

灌溉排水營運管理

甘俊二 陳清田 張煜權 陳焜耀
黃振昌 鄭昌奇 譚智宏 陳世楷

行政院農業委員會

中華民國九十二年十二月

序

臺灣之農田水利在獨特的立地環境下，孕育成特有的灌溉技術經驗，頗受國外各稻作國家灌溉從業人士的重視，惟國內至今尚無十足反映臺灣農田水利技術應用及傳承的專業教材，因此有必要早日建立一套臺灣農田水利專屬之淺顯易學且符合國際教育內涵之訓練教材，作為國內從事農田水利事業人士之參考。

為達此目標，首先參酌國際糧農組織（FAO）所發行之技術手冊：灌溉概論（Introduction to Irrigation）、灌溉用地測量（Elements of Topographic Surveying）、灌溉需水量（Irrigation Water Needs）、灌溉計畫（Irrigation Scheduling）、灌溉方法（Irrigation Methods）、灌溉之需求與供應（Scheme Irrigation Water Needs and supply）、灌溉設施（Canals）等七冊訓練教材之架構，做為編撰臺灣灌排教材之藍本。更為了落實本教材的內涵，邀請多位長期奉獻臺灣農田水利事業之學者專家，如行政院農業委員會水利科郭前科長慶和、蔡科長明華、胡前技正文章、王技正桑村、林技正尉濤、財團法人農業工程研究中心柯研究員海生及中興工程顧問公司李主任技師聰輝等七位先進，組成教材諮詢委員會，確立教材之方針及內容。由本人負責總編撰工作外，另外邀請對灌溉排水具有豐富學識素養的國內學者，如陳清田、張煜權、陳焜耀、黃振昌、鄭昌奇、譚智宏、陳世楷等七位農田水利專業博士，組成編撰工作小組，參照FAO國際教材學理的前提下，儘量參照國內灌溉實情及需求，撰編適合臺灣本土化之教材。

有關本教材，依其專業範疇，共分成：(一)灌溉排水原理、(二)灌溉計畫、(三)灌溉配水技術、(四)田間灌溉方法、(五)灌溉排水設施操作與維護、(六)地理資訊系統與遙測於灌排管理之應用、(七)作物制度與水源計畫等七冊。

為了嚴謹負責，本教材之初稿，經由諮議委員會予以逐字審查、複核及提供詳實修定意見，並重新讓編撰人士赴各農田水利會查證臺灣的灌溉經營實況，重作全面性大幅度的教材修正。

更為了落實本教材的本土化及實用化，完稿後，仍敦請農委會水利科蔡科長明華、陳技正衍源、全省 17 個農田水利會、農田水利會聯合會及農業工程研究中心等國內具有灌溉管理實務經驗人士，舉辦二次灌溉排水營運管理審查會。由實際負責臺灣灌溉排水業務的人士，共同確認了教材的可行性，並於今年三月於台灣大學舉行「灌溉排水營運管理試講班」，針就學員之評量意見，修訂完成「灌溉排水營運管理」第二版。今後我們仍將會不斷地廣納各先進之建言，繼續修定教材內容，確實達到教材實用之目的。

本教材之編纂，承蒙行政院農委會之經費補助，多數專家學者參與撰寫及審查工作，計畫得以順利完成；尤其農委會水利科蔡科長明華、陳技正衍源在計畫執行中，從始至終，指導並提供寶貴意見，在此誠致謝忱。

國立臺灣大學生物環境系統工程學系 教授 甘俊二 謹誌

2003 年 12 月

參與人員芳名錄

主 編		甘 俊 二	臺灣大學生物環境系統工程學系教授
編 撰 委 員	第 一 篇	陳 清 田	嘉義大學土木與水資源工程學系副教授
	第 二 篇	張 煜 權	臺灣大學農業工程學博士
	第 三 篇	陳 煜 耀	臺灣大學農業工程學博士
	第 四 篇	黃 振 昌	農業工程研究中心組長
	第 五 篇	鄭 昌 奇	美國雪城大學土木系博士
	第 六 篇	譚 智 宏	美國佛羅里達大學農業暨生物工程學博士
	第 七 篇	陳 世 楷	臺灣大學農業工程學博士
諮 議 委 員	第 一 篇	蔡 明 華	行政院農業委員會水利科科长
	第 二 篇	李 聰 輝	中興工程顧問公司主任技師
	第 三 篇	柯 海 生	財團法人農業工程研究中心研究員
	第 四 篇	林 尉 濤	行政院農業委員會水利科技正
	第 五 篇	王 桑 材	行政院農業委員會水利科技正
	第 六 篇	胡 文 章	行政院農業委員會水利科前技正
	第 七 篇	郭 慶 和	行政院農業委員會水利科前科長
審 查 人 士 (初 審)	第 一 篇	黃 宗 輝	農田水利會聯合會管理組長
	第 二 篇	許 勝 雄	嘉南農田水利會灌溉股長
	第 三 篇	施 進 卿	雲林農田水利會灌溉股長
	第 四 篇	劉 振	台東農田水利會灌溉股長
	第 五 篇	何 德 本	彰化農田水利會灌溉股長
	第 六 篇	李 雄 傑	經濟部水利處規劃試驗所組長
	第 七 篇	徐 錫 鄧	桃園農田水利會灌溉股長
審 查 人 士 (複 審)	第 一 篇	阮 明 宗	瑠公農田水利會管理組長
		傅 俊 智	南投農田水利會灌溉管理員
	第 二 篇	蔡 錦 堂	桃園農田水利會管理組長
		陳 清 峰	台中農田水利會灌溉股長
		陳 明 進	台中農田水利會灌溉管理員

第三篇	何德本	彰化農田水利會灌溉股長
	許勝雄	嘉南農田水利會灌溉股長
第四篇	洪東嶽	苗栗農田水利會會長
	謝金佑	苗栗農田水利會管理組長
	溫鳳生	苗栗農田水利會灌溉股長
	林仁政	花蓮農田水利會管理組長
	陳 獻	農業工程研究中心組長
第五篇	簡建基	北基農田水利會管理組長
	葉在德	雲林農田水利會管理組長
	施進卿	雲林農田水利會灌溉股長
	林俊宏	雲林農田水利會灌溉管理員
	陳長溪	宜蘭農田水利會灌溉股長
	郭啓雄	台東農田水利會管理組長
第六篇	張蒼霖	七星農田水利會管理組長
	林文傑	七星農田水利會工程員
	黃金杬	石門農田水利會管理組長
	陳光北	石門農田水利會灌溉股長
	洪再勉	石門農田水利會灌溉管理員
	葉佳煥	新竹農田水利會灌溉管理員
第七篇	林明道	高雄農田水利會管理組長
	廖文賢	屏東農田水利會管理組長
綜合審查	蔡明華	行政院農業委員會水利科科長
	陳衍源	行政院農業委員會水利科技正
	廖本炎	農田水利會聯合會總幹事
	黃宗輝	農田水利會聯合會組長
	吳孟洋	農田水利會聯合會副工程師

目 錄

目 錄.....	I
圖目錄.....	XIV
表目錄.....	XXI
照片目錄.....	XXVI

第一篇 灌溉排水原理

第一章 概說.....	I-1
1.1 灌溉排水的原始意義.....	1-1
1.2 今日灌溉排水的意義.....	1-1
1.3 灌溉排水之目的與其重要性.....	1-2
1.3.1 灌溉之目的.....	1-2
1.3.2 排水之目的與功效.....	1-3
1.3.3 灌溉排水的重要性.....	1-4
1.4 灌溉排水的略史.....	1-6
1.5 台灣省灌溉排水的現況及今後努力的目標.....	1-9
1.5.1 台灣地區灌溉排水現況.....	1-9
1.5.2 灌溉排水今後努力之目標.....	1-18
第二章 灌溉水質及水源.....	1-20
2.1 灌溉水質之要求.....	1-20
2.1.1 灌溉水質之評估項目.....	1-20
2.1.2 灌溉水質標準.....	1-24
2.1.3 水質不良的處理.....	1-26
2.1.4 台灣地區之灌溉水質.....	1-29
2.2 水源種類.....	1-30
2.2.1 河川取水.....	1-30
2.2.2 湖沼水(埤池水).....	1-34
2.2.3 地下水.....	1-36
2.3 蓄水庫.....	1-44
2.3.1 水庫位置之選擇.....	1-49

2.3.2	水庫之容量.....	1-49
2.3.3	水庫容量估計與計算.....	1-50
第三章	土壤與水份.....	1-53
3.1	土壤組成.....	1-53
3.1.1	土壤剖面.....	1-53
3.1.2	土壤質地.....	1-54
3.1.3	土壤結構.....	1-56
3.2	水份滲入土壤.....	1-57
3.2.1	入滲過程.....	1-57
3.2.2	入滲率.....	1-58
3.2.3	影響入滲的因素.....	1-59
3.3	土壤水份狀況.....	1-61
3.3.1	土壤含水量.....	1-61
3.3.2	飽和含水量.....	1-61
3.3.3	田間容水量.....	1-62
3.3.4	永久凋萎點.....	1-62
3.4	可利用土壤含水量.....	1-63
3.5	地下水位.....	1-65
3.5.1	地下水位深度.....	1-65
3.5.2	暫棲地下水位.....	1-66
3.5.3	毛細管上升作用.....	1-67
第四章	作物需水量.....	1-68
4.1	作物需水量之意義與定義.....	1-68
4.2	影響需水量之因數.....	1-69
4.3	作物需水量之測定方法.....	1-71
4.3.1	直接測定法.....	1-71
4.3.2	間接測定法.....	1-76
第五章	灌溉用水量.....	1-86
5.1	灌溉用水量的定義.....	1-86
5.2	灌溉用水量之有關名詞及單位.....	1-87
5.2.1	灌溉用水量之有關名詞.....	1-87
5.2.2	灌溉用水量之單位.....	1-87
5.3	水田灌溉用水量.....	1-90

5.3.1	水田灌溉用水量之決定.....	1-90
5.3.2	台灣水稻需水量試驗成果.....	1-95
5.3.3	台灣各區水稻灌溉用水量之推估.....	1-97
5.4	旱田灌溉用水量.....	1-100
5.4.1	旱田灌溉用水量之決定.....	1-100
5.4.2	灌溉期距.....	1-102
5.4.3	主要作物灌溉臨界期.....	1-102
5.4.4	主要作物灌溉次數.....	1-105
5.5	有效雨量.....	1-105
5.5.1	有效雨量之定義.....	1-106
5.5.2	有效雨量之估計.....	1-106
5.5.3	有效雨量之應用.....	1-112
5.5.4	提高田間有效雨量之作法.....	1-112
第六章	農田排水.....	1-114
6.1	排水之意義及需要.....	1-114
6.1.1	概述.....	1-114
6.1.2	排水之範圍.....	1-114
6.1.3	排水之功效.....	1-114
6.2	排水系統之分類及適用說明.....	1-115
6.2.1	一般分類.....	1-115
6.2.2	排水方式區分及管理權責.....	1-116
6.3	排水量之計算公式與計畫基準.....	1-119
6.3.1	總降雨量法.....	1-119
6.3.2	洪峰排水量之理論公式.....	1-131
6.3.3	經濟單位排水量.....	1-133
6.4	不同類型之排水.....	1-133
6.4.1	地面排水.....	1-133
6.4.2	地下排水.....	1-135
6.4.3	機械排水.....	1-136
第七章	灌溉排水之研究發展.....	1-137
7.1	灌溉排水之應用研究.....	1-138
7.2	將來灌溉排水之研究發展.....	1-138
	參考文獻.....	1-144
	中英名詞對照表.....	1-145

第二篇 灌溉計畫

第一章 概述.....	2-1
1.1 前言.....	2-1
1.2 內容概要.....	2-2
第二章 灌溉計畫製作之前置作業.....	2-3
2.1 對灌區及系統之瞭解.....	2-3
2.2 對灌區作物制度之瞭解.....	2-4
2.3 對田間灌溉用水之瞭解.....	2-6
2.3.1 灌溉用水量之定義.....	2-6
2.3.2 計算灌溉用水量之主要因子.....	2-7
2.3.3 灌溉水深與期距.....	2-13
2.4 對灌溉水源之瞭解.....	2-16
第三章 輪區灌溉計畫之製作.....	2-18
3.1 基本資料.....	2-18
3.2 田間灌溉耗水量(WR)之估算.....	2-18
3.3 田間灌溉用水量(FIR)之估算.....	2-21
3.4 輪區用水量(TR)之估算.....	2-24
3.5 水平衡分析.....	2-26
3.6 年與旬灌溉計畫.....	2-28
第四章 灌溉計畫範例.....	2-29
4.1 實際範例之灌溉地及系統.....	2-29
4.2 水門灌溉用水量.....	2-32
4.3 水平衡分析.....	2-37
參考文獻.....	2-40
中英名詞對照表.....	2-41

第三篇 灌溉配水技術

第一章 概述.....	3-1
1.1 灌溉輸配水之目的.....	3-1
1.2 灌溉輸配水之分類.....	3-1
1.2.1 按需求供水.....	3-2

1.2.2	按預先制定計畫供水.....	3-2
1.2.3	輸配水系統.....	3-3
1.3	灌溉輸配水基本要求.....	3-3
1.3.1	公平原則.....	3-3
1.3.2	輸配水之軟、硬體.....	3-3
1.3.3	輸配水之經濟成本觀念.....	3-3
第二章	用水管理.....	3-4
2.1	用水管理任務之區分.....	3-4
2.1.1	用水管理任務區分原則.....	3-4
2.1.2	用水管理執行流程.....	3-5
2.1.3	用水管理任務之職掌劃分.....	3-6
2.2	水利小組的運作.....	3-7
2.2.1	水利小組之設置.....	3-7
2.2.2	水利小組的任務.....	3-8
2.2.3	水利小組之營運.....	3-8
2.2.4	水利小組會議.....	3-9
2.2.5	水利小組公約.....	3-9
2.2.6	水利小組應具備之基本資料.....	3-9
第三章	配水方法與操作.....	3-11
3.1	輪流灌溉.....	3-11
3.1.1	輪流灌溉之需要.....	3-11
3.1.2	輪灌之分類.....	3-12
3.1.3	輪流灌溉之執行方式.....	3-13
3.2	田間配水.....	3-14
3.2.1	田間配水方法.....	3-14
3.2.2	田間配水操作.....	3-15
3.3	系統配水.....	3-16
3.3.1	系統配水方法.....	3-17
3.3.2	正常期與豐水期之配水.....	3-20
3.4	降雨時之調節用水.....	3-21
第四章	乾旱缺水時期因應對策.....	3-24
4.1	乾旱時期水量分配原則及救災措施.....	3-25
4.1.1	水量分配原則.....	3-25

4.1.2 農田水利會灌區之救旱措施及財源.....	3-26
4.2 乾旱缺水期之配水方法.....	3-27
4.2.1 傳統之配水方法.....	3-28
4.2.2 機動性之配水方法 (K 係數法).....	3-31
4.3 各水源不同缺水程度時之採行措施.....	3-40
4.3.1 河川供水系統.....	3-40
4.3.2 水庫供水系統.....	3-41
4.3.3 埤塘供水系統.....	3-43
4.3.4 地下水供水系統.....	3-45
4.4 不同缺水程度時之配水實例.....	3-47
4.4.1 不同供水量之配水模式探討.....	3-47
4.4.2 供應南科用水之方案.....	3-49
第五章 移用灌溉用水之損害補償.....	3-75
5.1 各標的用水.....	3-75
5.1.1 農業用水.....	3-79
5.1.2 生活用水.....	3-80
5.1.3 工業用水.....	3-82
5.2 灌溉用水之移用.....	3-83
5.2.1 灌溉用水協助其他用水標的.....	3-83
5.2.2 移用補償原則.....	3-84
5.2.3 補償之估算.....	3-85
參考文獻.....	3-87
中英名詞對照表.....	3-88

第四篇 田間灌溉方法

第一章 概述.....	4-1
1.1 灌溉方法分類.....	4-1
1.1.1 地表灌溉法.....	4-1
1.1.2 地下灌溉法.....	4-2
1.1.3 噴灑灌溉.....	4-3
1.2 灌溉方法優劣比較.....	4-3
第二章 畦溝灌溉.....	4-6

2.1	影響因子及使用時機.....	4-6
2.2	畦溝配置.....	4-7
2.2.1	畦溝長度.....	4-7
2.2.2	畦溝分類.....	4-9
2.2.3	畦溝寬度.....	4-10
2.3	土壤濕潤型態.....	4-10
2.4	四分之一法及灌溉時間.....	4-13
2.5	臺灣輪作田灌溉特性.....	4-17
第三章	埂間灌溉.....	4-18
3.1	影響因子及使用時機.....	4-18
3.2	埂間配置.....	4-19
3.3	土壤濕潤型態.....	4-20
3.4	埂間灌溉公式及應用.....	4-22
3.5	臺灣水稻灌溉特性.....	4-26
第四章	漫灌.....	4-28
4.1	影響因子及使用時機.....	4-28
4.2	漫灌配置設計.....	4-28
4.3	土壤濕潤型態.....	4-30
4.4	漫灌灌溉效率評估.....	4-33
第五章	噴灑及微噴灑灌溉.....	4-37
5.1	影響因子及基本資料.....	4-37
5.2	設計基本原則.....	4-39
5.3	管路水理設計.....	4-43
5.3.1	主管.....	4-43
5.3.2	支管.....	4-44
5.4	實例介紹.....	4-46
第六章	穿孔管及滴水灌溉.....	4-51
6.1	影響因子及使用時機.....	4-51
6.2	設計基本原則.....	4-52
6.3	水理設計.....	4-55
6.4	實例介紹.....	4-58
第七章	入滲率之觀念與試驗.....	4-59

7.1 入滲率之觀念.....	4-59
7.2 現場試驗實例及演算.....	4-61
7.2.1 入滲率圖解法.....	4-63
7.2.2 入滲率公式計算解法.....	4-64
參考文獻.....	4-67
中英名詞對照表.....	4-68

第五篇 灌溉排水設施操作與維護

第一章 概述	5-1
第二章 灌溉排水設施操作維護有關因素	5-2
2.1 灌溉排水系統配置.....	5-2
2.2 灌溉排水設施種類.....	5-3
2.2.1 水源設施.....	5-3
2.2.2 輸水設施.....	5-4
2.2.3 配水設施.....	5-5
2.2.4 排水設施.....	5-5
2.3 灌溉排水渠道主要問題.....	5-6
2.3.1 漏水損失.....	5-6
2.3.2 溢流.....	5-9
2.3.3 渠道沖刷.....	5-9
2.4 相關法規及制度問題.....	5-11
第三章 操作與維護原則	5-15
3.1 管理權責分工.....	5-15
3.1.1 任務權責劃分.....	5-15
3.1.2 基本資料建立.....	5-18
3.1.3 維護計畫之擬定.....	5-19
3.1.4 制定工程設施維護管理辦法.....	5-20
3.1.5 操作與維護作業流程.....	5-22
3.2 灌排水路基本維修原則.....	5-25
3.2.1 田間給排水路維護之實施.....	5-25
3.2.2 基本維修工作.....	5-26
3.2.3 減低滲流.....	5-30

3.2.4	洩漏之修護.....	5-32
3.2.5	如何避免溢流.....	5-33
3.2.6	渠道修補及沖刷之預防.....	5-35
3.3	維護管理紀錄.....	5-38
3.4	妨害水利案件取締處理.....	5-48
3.4.1	處理程序與方法.....	5-48
3.4.2	法令依據.....	5-48
第四章	操作與維護.....	5-49
4.1	水源設施.....	5-49
4.1.1	水庫.....	5-49
4.1.2	蓄水池（含農塘）.....	5-50
4.1.3	攔河堰（河川或排水路）.....	5-51
4.1.4	抽水設備.....	5-52
4.2	輸水設施.....	5-53
4.2.1	渠道.....	5-53
4.2.2	輸水設備.....	5-54
4.2.3	管路系統設施.....	5-56
4.3	配水設施.....	5-57
4.3.1	量水設備.....	5-57
4.3.2	分水設備.....	5-57
4.3.3	調節設備.....	5-57
4.3.4	管路附屬設施.....	5-57
4.4	排水工程.....	5-59
4.4.1	排水定義.....	5-59
4.4.2	排水主要附屬設備.....	5-60
附件 4-1	農田水利會開門管理維護辦法.....	5-61
附件 4-2	農田水利會機械維修審查要點.....	5-70
	中英名詞對照表.....	5-71

第六篇 地理資訊系統與遙測於灌排管理之應用

第一章	概述.....	6-1
第二章	灌溉管理地理資訊系統.....	6-3

2.1	什麼是地理資訊系統.....	6-3
2.2	向量式與網格式資料格式.....	6-3
2.2.1	向量式地理資訊系統 (Vector GIS)	6-3
2.2.2	網格式地理資訊系統 (Raster GIS)	6-4
2.2.3	關連式資料庫 (Relational Database System)	6-5
2.3	地理資訊系統套疊分析.....	6-5
2.4	農田水利會灌溉管理地理資訊系統.....	6-7
2.4.1	灌溉管理地理資訊系統內容及格式.....	6-7
2.4.2	全省平地土系資料.....	6-8
2.4.3	全省農地坵塊圖.....	6-10
2.4.4	水利會輪區圖.....	6-10
2.4.5	土壤特性及入滲資料.....	6-11
2.4.6	灌溉渠道系統資料.....	6-14
2.4.7	輪區別灌溉計畫資料.....	6-14
2.5	實例應用 新竹農田水利會地理資訊系統.....	6-16
2.5.1	設置經過.....	6-16
2.5.2	新竹農田水利會地理資訊系統應用架構.....	6-16
2.5.3	資料來源.....	6-16
2.5.4	系統建置成果.....	6-17
2.5.5	未來發展.....	6-23
第三章	遙感探測與農業應用.....	6-25
3.1	什麼是遙感探測	6-25
3.2	遙測基本原理.....	6-25
3.3	大氣對電磁輻射的影響.....	6-29
3.4	近紅外光與熱紅外光的特性.....	6-29
3.5	波譜反射率曲線.....	6-31
3.6	遙測影像.....	6-32
3.6.1	空載影像.....	6-33
3.6.2	衛星影像.....	6-34
3.7	遙測影像之來源.....	6-39
3.8	數值地形模型 (DTM)	6-40
3.9	遙感探測與農業應用	6-41
3.9.1	植物指標.....	6-44
3.10	遙測工具的選擇.....	6-45

3.11 應用實例.....	6-46
3.11.1 作物產量估計.....	6-46
3.11.2 土地利用植物覆蓋動態監測.....	6-47
第四章 衛星定位系統與田間管理.....	6-49
4.1 衛星定位系統簡介.....	6-50
4.2 衛星定位測量之原理.....	6-50
4.3 GPS 衛星訊號之形式及精度.....	6-53
4.4 差分修正法.....	6-54
4.5 大地基準轉換.....	6-55
4.6 GPS 衛星定位應用實例：GPS 於水利會灌區現有水井數調查.....	6-55
4.6.1 定位施程序.....	6-55
4.6.2 地理資訊系統之整合與建立.....	6-56
4.6.3 水井定位結果.....	6-57
參考文獻.....	6-58
中英名詞對照表.....	6-60

第七篇 作物制度與水源計畫

第一章 概述.....	7-1
1.1 台灣水資源概況.....	7-1
1.1.1 水資源利用率低之因應.....	7-1
1.1.2 降雨時空分布不均.....	7-1
1.2 農地利用與農業用水.....	7-2
1.2.1 台灣農地利用情形.....	7-2
1.2.2 農業用水與功能.....	7-2
1.3 水源與可靠水量.....	7-3
1.3.1 灌溉用水營運上之問題.....	7-3
1.3.2 支援其他用水標的之問題.....	7-3
第二章 地表水源利用.....	7-5
2.1 前言.....	7-5
2.1.1 79 年農業灌溉用水量.....	7-5
2.1.2 86~87 年平均農業用水量.....	7-5
2.2 河川取水.....	7-8

2.2.1	直接河川取水.....	7-10
2.2.2	河川取水堰.....	7-10
2.2.3	河川抽水.....	7-11
2.3	水庫與湖泊（池塘）取水.....	7-11
2.3.1	池塘取水.....	7-12
2.3.2	水庫取水.....	7-13
2.3.3	取水方式.....	7-14
2.4	可靠水量.....	7-14
2.4.1	河川之可靠水量.....	7-14
2.4.2	湖泊、水庫之可靠水量.....	7-17
第三章	地下水源利用.....	7-24
3.1	前言.....	7-24
3.2	地下含水層分類及分布.....	7-24
3.2.1	地表下水之垂直分布.....	7-24
3.2.2	含水層分類.....	7-26
3.3	台灣地下水資源分布.....	7-27
3.3.1	地下水資源分區.....	7-27
3.3.2	地下水抽用情況.....	7-28
3.4	水井抽水及安全出水量分析.....	7-29
3.4.1	水井抽水.....	7-29
3.4.2	地下水量之分析及估算.....	7-30
3.4.3	安全出水量分析.....	7-35
第四章	作物制度與水源供應.....	7-39
4.1	前言.....	7-39
4.2	台灣水田之耕種輪作方式.....	7-39
4.2.1	一般方式.....	7-39
4.2.2	嘉南高雄地區方式.....	7-39
4.2.3	其他方式.....	7-40
4.3	作物制度.....	7-40
4.3.1	作物耕作制度之範例.....	7-40
4.3.2	大面積之作物制度.....	7-45
4.4	灌溉需水量計算方法.....	7-46
4.4.1	單一作物系統之計畫灌溉需水量.....	7-46
4.4.2	多種作物系統之計畫灌溉需水量.....	7-50

4.4.3	以水稻為主之耕作制度下之灌溉需水量.....	7-51
第五章	水量之供需平衡.....	7-58
5.1	前言.....	7-58
5.2	灌溉區域.....	7-58
5.2.1	灌溉面積與灌溉水量.....	7-58
5.2.2	臨界灌溉區域.....	7-59
5.2.3	臨界灌溉區域之計算例.....	7-60
5.3	粗計畫灌溉需水量與計畫供水量之平衡.....	7-61
5.3.1	基本原則.....	7-61
5.3.2	可能之方法.....	7-61
5.4	多種水源之灌溉營運.....	7-64
5.4.1	各種水源之灌溉營運.....	7-64
5.4.2	多種水源灌溉營運之注意事項.....	7-65
5.5	迴歸水利用.....	7-66
5.5.1	迴歸水利用之可行性.....	7-66
5.5.2	迴歸水利用之估計及研究.....	7-66
5.6	農業用水之節水營運管理.....	7-68
5.6.1	乾旱時期因應對策.....	7-68
5.6.2	現行節水管理營運措施.....	7-69
5.6.3	結語.....	7-70
附錄 I	符號及定義.....	7-72
附錄 II	各符號間之關係.....	7-75
附錄 III	mm/day 與 λ /sec/ha 轉換表.....	7-78
附錄 IV	資料表格.....	7-79
參考文獻.....		7-82
中英名詞對照表.....		7-84

圖目錄

第一篇 灌溉排水原理

圖 2-1	電導度之換算圖表.....	1-21
圖 2-2 a	埤池水面面積之估算.....	1-36
圖 2-2 b	埤池水容積之計算.....	1-36
圖 2-3	地下水層示意圖.....	1-39
圖 3-1	土壤的組成.....	1-53
圖 3-2	土壤的剖面.....	1-54
圖 3-3a	粗質地土壤是呈砂礫狀。即使是潮濕的土壤，在手上感覺 是很疏鬆和分散地.....	1-55
圖 3-3b	中質地土壤在乾時，感覺是很柔軟（像麵粉）。在潮濕時， 是很容易擠壓，感覺上是很柔滑的.....	1-55
圖 3-3c	細質地土壤在潮濕時會黏附於手指間，擠壓時將形成一球形.....	1-56
圖 3-4	土壤結構.....	1-56
圖 3-5	一些土壤結構的例子.....	1-57
圖 3-6	水份滲入於土壤中.....	1-57
圖 3-7a	相同水量供應於每一杯子.....	1-58
圖 3-7b	一小時後，水份已完全滲入砂土中，但有許多水份仍滯留在黏土上.....	1-58
圖 3-8	入滲率為 15 mm/hour 的土壤.....	1-59
圖 3-9	入滲率和土壤質地.....	1-60
圖 3-10	入滲率和土壤含水量.....	1-60
圖 3-11	150 mm/m 的土壤含水量.....	1-61
圖 3-12	一些土壤水份特性.....	1-62
圖 3-13a	飽和含水量.....	1-63
圖 3-13b	田間容水量.....	1-64
圖 3-13c	永久凋萎點.....	1-64
圖 3-14	可利用的土壤水份或含水量.....	1-64
圖 3-15	地下水位.....	1-65
圖 3-16	地下水位深度的變化.....	1-66
圖 3-17	一暫棲地下水位.....	1-66
圖 3-18	水份向上移動或毛細管上升作用.....	1-67

圖 4-1	玉米不同栽培期之耗水量比較圖.....	1-71
圖 4-2	春作大豆全生育期中各項需水量消耗曲線(民國55年於台南學甲)	1-72
圖 4-3	固定式滲透計構造圖.....	1-72
圖 4-4	移動式滲透計構造圖.....	1-73
圖 4-5	簡易鈎尺圖.....	1-74
圖 4-6	滲透筒觀測水稻需水量法.....	1-75
圖 5-1	水田減水深測定用之簡易鈎尺圖.....	1-94
圖 5-2	流入、流出測定法.....	1-94
圖 6-1	灌排系統標準配置圖.....	1-117

第二篇 灌溉計畫

圖 1-1	本篇內容示意圖.....	2-2
圖 2-1	作物制度與灌溉計畫之關係示意圖.....	2-5
圖 2-2	簡測法示意圖.....	2-9
圖 2-3	經常性之施灌則作物將不會遭受缺水之情形.....	2-15
圖 4-1	桃園大圳灌溉系統.....	2-29

第三篇 灌溉配水技術

圖 1-1	水稻栽培管理概略圖.....	3-1
圖 4-1	機動性配水流程圖.....	3-36
圖 4-2	不同豐枯情形下水利會投入之用水營運管理.....	3-47
圖 4-3	南科特定區中長程供水系統示意圖.....	3-49
圖 4-4	嘉南水利會烏山頭灌區系統.....	3-52
圖 4-5	嘉南水利會烏山頭灌區善化支線系統圖.....	3-65
圖 5-1	台灣之年平均降雨量分布圖(1949-1990).....	3-76
圖 5-2	台灣地區歷年各標的用水.....	3-78

第四篇 田間灌溉方法

圖 2-1	田間長度及畦溝長度.....	4-8
圖 2-2	砂質土壤中深且窄之畦溝.....	4-9

圖 2-3	粘質土壤中寬且淺之畦溝.....	4-9
圖 2-4	一個雙田壟之犁溝.....	4-10
圖 2-5	畦溝於不同土壤型態之不同濕潤型式.....	4-11
圖 2-6	理想之濕潤型態.....	4-11
圖 2-7	兩畦溝寬作物生長示意圖.....	4-12
圖 2-8	小流量時田壟乾燥情形.....	4-13
圖 2-9	水流太大土壤沖蝕.....	4-13
圖 2-10	水流前進示意圖.....	4-14
圖 2-11	水流退後示意圖.....	4-14
圖 2-12	在小流量下水之分佈.....	4-15
圖 2-13	水流大時，水之分佈情形.....	4-15
圖 3-1	埂間灌溉示意圖.....	4-18
圖 3-2	埂間裡水流之斜坡流動.....	4-21
圖 3-3	水流太小之情形.....	4-22
圖 3-4	水流太大之情形.....	4-22
圖 3-5	埂間灌溉土壤水分百分率、假比重、施灌效率及施灌水深關係圖.....	4-25
圖 3-6	砂質壤土埂間灌溉施灌水深、斷水距離及單位流量關係圖..	4-26
圖 4-1	理想之濕潤灌溉型式.....	4-30
圖 4-2	接近邊界時灌溉水分分佈示意圖.....	4-31
圖 4-3	不良區域之濕潤型態.....	4-31
圖 4-4	水流不足時之濕潤型態.....	4-32
圖 4-5	地下灌溉示意圖.....	4-33
圖 4-6	超量灌溉示意圖.....	4-33
圖 4-7	5 公尺木樁間距佈置示意圖.....	4-34
圖 4-8	深層浸透損失曲線圖.....	4-35
圖 5-1	噴灑灌溉系統配置示意圖.....	4-41
圖 6-1	根系部份濕潤之滴灌系統.....	4-51
圖 6-2	滴灌系統田間佈置示意圖.....	4-53
圖 6-3	砂土及粘土於高低流量時土壤之濕潤型式.....	4-53
圖 7-1	田間入滲試驗之佈置（圓筒法）.....	4-59
圖 7-2	記錄表實例曲線圖.....	4-64

第五篇 灌溉排水設施操作與維護

圖 2-1	灌溉排水系統架構圖.....	5-2
圖 2-2	灌溉排水主要系統圖.....	5-3
圖 2-3	渠道邊坡底部滲水示意圖.....	5-7
圖 2-4	搶救渠道邊坡破裂示意圖.....	5-8
圖 2-5	延遲搶修造成嚴重洩漏示意圖.....	5-8
圖 2-6	渠道邊坡溢流示意圖.....	5-9
圖 2-7	渠道沖刷情形.....	5-10
圖 3-1	灌溉排水系統管理權責劃分.....	5-15
圖 3-2	年度歲修維護工程作業流程圖.....	5-23
圖 3-3	緊急僱工搶修作業流程圖.....	5-24
圖 3-4	除草及清淤泥.....	5-26
圖 3-5	渠道維修.....	5-27
圖 3-6	渠道底部完全覆蓋情形.....	5-27
圖 3-7	渠道軸心壓實準備.....	5-31
圖 3-8	挖掘一小溝渠.....	5-31
圖 3-9	分層回填且壓實.....	5-31
圖 3-10	渠道軸心壓實補強執行結果.....	5-32
圖 3-11	渠道洩漏標示.....	5-32
圖 3-12	挖掘渠道邊坡洩漏點附近之土壤.....	5-33
圖 3-13	分層回填且壓實土壤.....	5-33
圖 3-14	渠道邊坡之加寬.....	5-34
圖 3-15	渠道邊坡之階梯式挖掘.....	5-34
圖 3-16	分層回填土壤夯實.....	5-34
圖 3-17	回填實成後之種植草皮.....	5-35
圖 3-18	渠道之緊急出口.....	5-35
圖 3-19	渠道坡度過陡之修正.....	5-37
圖 3-20	回填土方以降低渠道坡度.....	5-37
圖 3-21	跌水工以降低渠道坡度.....	5-37
圖 3-22	陡峻渠道中構建一系列跌水工.....	5-38

第六篇 地理資訊系統與遙測於灌排管理之應用

圖 2-1	新竹農田水利會地理資訊系統架構圖.....	6-17
圖 2-2	會員地籍查詢畫面-地理位置分佈.....	6-18
圖 2-3	會員地籍查詢畫面-屬性資料展示.....	6-18
圖 2-4	灌溉渠道內面工分佈狀況(連續線段).....	6-19
圖 2-5	灌溉渠道路網圖.....	6-19
圖 2-6	水工構造物路網圖.....	6-20
圖 2-7	水工構造物座落椿號及設施內容查詢.....	6-20
圖 2-8	會有土地查詢.....	6-21
圖 2-9	灌溉渠道佔用公私有地(黃色部份為地理位置).....	6-21
圖 2-10	乾旱時期停灌優先順序排程(決策支援).....	6-22
圖 2-11	灌區水稻分類.....	6-22
圖 2-12	小組分佈圖.....	6-23
圖 3-1	電磁波中電場與磁場能的傳播圖.....	6-26
圖 3-2	電磁波譜 (electromagnetic spectrum) 連續分佈圖.....	6-26
圖 3-3	各種絕對溫度的黑體電磁波能量曲線圖.....	6-28
圖 3-4	電磁輻射穿透大氣層較良好的區段(大氣窗).....	6-29
圖 3-5	綠色植物, 土壤以及透明的水體等典型的波譜反射率曲線圖.....	6-31
圖 3-6	各種不同之遙測載具.....	6-32
圖 3-7	台灣的五千分之一相片基本圖(圖中為雲林縣四湖鄉水田).....	6-33
圖 3-8	921 震災後埔里市郊之航空相片.....	6-34
圖 3-9	SPOT 衛星竹北地區紅外光段影像.....	6-36
圖 3-10	SPOT 衛星竹北地區紅光段影像.....	6-37
圖 3-11	SPOT 衛星竹北地區綠光段影像.....	6-37
圖 3-12	SPOT 衛星竹北地區紅外光假色影像.....	6-38
圖 3-13	國立中央大學太空及遙測研究中心衛星影像線上查詢系統..	6-39
圖 3-14	葉片結構及與光線之反射示意圖.....	6-42
圖 3-15	落葉喬木、草地、水生植物及針葉樹木的波譜反射曲線.....	6-42
圖 3-16	植物體受到外在環境的壓迫, 光譜反應之四階段圖.....	6-44
圖 3-17	稻米與小麥輪作田之 NDVI 時間序列, 陰影部分面積可用以 推求單季作物之產量.....	6-47
圖 3-18	NDVI-溫度所形成的空間上, 每一類型土地使用狀況, 又可	6-48

	依其主要成份及標準差，訂出特性橢圓.....	
圖 4-1	衛星定位系統示意圖（GPS 共有 24 顆衛星均勻分布於 6 軌道面上）...	6-51
圖 4-2	離衛星一固定距離之可能範圍為一球面.....	6-52
圖 4-3	離二顆衛星固定距離之可能範圍為一圓周.....	6-52
圖 4-4	三顆衛星所代表之球面相交會後可能位置為二個點.....	6-52
圖 4-5	雲林水利會引西圳灌區引西工作站轄區民井口徑分布圖.....	6-57

第七篇 作物制度與水源計畫

圖 2-1	農業用水結構分析.....	7-6
圖 2-2	台灣地區主次要河川河系圖.....	7-9
圖 2-3	不同灌溉水源之鳥瞰圖.....	7-9
圖 2-4	設置匣門做為取水設施.....	7-10
圖 2-5	採用取水堰與不採用取水堰時之取水口位置示意圖.....	7-11
圖 2-6	湖泊(池塘)之水收支出示意圖.....	7-12
圖 2-7	水庫蓄水容量分區示意圖.....	7-22
圖 2-8	水庫簡易操作規線示意圖.....	7-22
圖 2-9	石門水庫 M-5 規線圖.....	7-23
圖 3-1	水文循環圖.....	7-24
圖 3-2	地表下水之分布.....	7-25
圖 3-3	毛細管水面升高圖.....	7-26
圖 3-4	自由地下水與受壓地下水之關係.....	7-27
圖 3-5	台灣地下水分區.....	7-29
圖 3-6	深井與沉水式抽水機示意圖.....	7-30
圖 3-7	淺井抽水情況.....	7-32
圖 3-8	深井抽水情況.....	7-34
圖 4-1	曾文--烏山頭水庫灌區耕作方式與灌溉制度標準圖.....	7-41
圖 4-2	高雄區作物輪作方式圖.....	7-42
圖 4-3	線狀之作物制度示意圖.....	7-43
圖 4-4	條狀之作物制度示意圖.....	7-43
圖 4-5	洋蔥之錯開種植示意圖.....	7-44
圖 4-6	平行四邊型之作物制度示意圖.....	7-45

圖 4-7	耕作面積為 150 公頃之作物制度示意圖.....	7-46
圖 4-8	水田系統剖面及水收支平衡圖.....	7-52
圖 5-1	多種水源營運示意圖.....	7-65

表目錄

第一篇 灌溉排水原理

表 1-1	台灣地區之耕地面積.....	1-10
表 1-2	台灣地區各農田水利會轄區耕作制度與面積統計 (民國 81~87 年平均值).....	1-11
表 1-3	台灣地區民國 86-87 年平均農業用水量及水源別統計表 (不含台糖公司自行供灌水量).....	1-12
表 1-4	台灣地區農田水利會 81~87 年灌溉用水量清查、統計彙總表	1-13
表 1-5	台灣地區規劃作物制度區及其面積.....	1-14
表 1-6	土地利用分類表.....	1-16
表 1-7	山坡地可利用限度區分概況.....	1-17
表 1-8	台灣省排水地區排水系統調查統計.....	1-19
表 2-1	台灣省灌溉用水水質標準.....	1-24
表 2-2	一般判斷灌溉水質摘要.....	1-25
表 2-3	各種灌溉水質施灌指南.....	1-25
表 2-4	台灣地區各農田水利會灌區灌溉水質受污染超過灌溉水質 標準調查統計.....	1-29
表 2-5	臺灣地區重要河流長度及流域面積表.....	1-32
表 2-6	臺灣地區各區域年逕流量.....	1-33
表 2-7	各種地形之逕流係數表.....	1-34
表 2-8	台灣各地之地下水源.....	1-36
表 2-9	抽水機之性能.....	1-37
表 2-10	光復前完成水庫一覽表.....	1-45
表 2-11	光復後完成水庫一覽表 (1/2)	1-46
表 2-11	光復後完成水庫一覽表 (2/2)	1-47
表 2-12	目前規劃興建之水庫.....	1-48
表 2-13	C 值之建議值.....	1-50
表 2-14	m 值之建議值.....	1-51
表 2-15	水庫標高-面積-容量曲線表.....	1-52
表 3-1	土壤礦物顆粒大小分類表.....	1-54
表 3-2	農民對土壤分類法.....	1-55
表 3-3	不同種類之土壤可利用含水量表.....	1-65

表 3-4	不同土壤質地毛細管水份上升表.....	1-67
表 4-1	氣象因數與作物蒸散量之關係 (Briggs & Shantz)	1-70
表 4-2	灌溉面積與減水深觀測點數之相關性.....	1-74
表 4-3	臺灣地區實驗所得一、二期作水稻 Kc 之值.....	1-80
表 4-4	台灣各作物別之 Kc 值.....	1-81
表 4-5	台灣各地區水稻需水量.....	1-82
表 4-6	台灣各地區旱作作物需水量.....	1-83
表 5-1	水稻不同生長階段、土質之日需水量 (田間需水量)	1-95
表 5-2	民國 44 年第 1 期嘉南大圳中營水稻輪灌試驗成果.....	1-96
表 5-3	各種土壤的滲漏水量.....	1-97
表 5-4	灌區月有效雨量.....	1-98
表 5-5	各區稻作栽培日程.....	1-98
表 5-6	各區稻作之田間需水量估計.....	1-99
表 5-7	各區稻作之月田間灌溉用水量.....	1-99
表 5-8	各區稻作月粗灌溉用水量.....	1-100
表 5-9	春作作物灌溉次數與期距.....	1-105
表 5-10	秋作作物灌溉次數與期距.....	1-105
表 5-11	逐日有效雨量計演算法 (以嘉南農田水利會為例)	1-109
表 5-12	嘉南甲 62 年 5 月份有效雨量計算實例 ($B_{max}=40$, $a=0.5$)	1-110
表 6-1	灌溉排水系統管理工作劃分表.....	1-118
表 6-2	各級灌排設施管理程式表.....	1-118
表 6-3	臺灣選用 147 雨量站各種頻率別一、二、三日及年雨量表...	1-121
表 6-4	旱田之表面逕流係數 (茶野忠夫)	1-131
表 6-5	各種流域狀況下之表面洪峰逕流係數.....	1-131

第二篇 灌溉計畫

表 2-1	台灣一二期水稻作物係數.....	2-7
表 2-2	台灣之地區水稻蒸發散量.....	2-8
表 2-3	台灣各季雜作蒸發散量.....	2-9
表 2-4	各種土壤滲漏量.....	2-10
表 2-5	水稻續灌田之有效雨量.....	2-12

表 2-6	嘉南灌區雜作灌溉實施情形.....	2-16
表 3-1	水稻秧田期之日田間耗水量(以 1 月下旬為例).....	2-19
表 3-2	水稻本田期之日田間耗水量(以 3 月上旬為例).....	2-21
表 3-3	水稻田間灌溉耗水量(WR)之估算例.....	2-22
表 3-4	水稻田間用水量(FIR)之估算例(灌溉面積 50ha).....	2-23
表 3-5	水稻輪區水門用水量之估算例.....	2-25
表 3-6	水稻輪區每旬之水平衡分析例.....	2-27
表 4-1	工作站執行旬灌溉計畫作業.....	2-30
表 4-2	灌溉面積.....	2-31
表 4-3	農作時期.....	2-31
表 4-4	田間灌溉耗水量.....	2-32
表 4-5	桃園大圳 10 支線一輪區輕黏土田間灌溉用水量.....	2-33
表 4-6	桃園大圳 10 支線一輪區砂質壤土田間灌溉用水量.....	2-34
表 4-7	各級渠道輸水損失率之查定.....	2-35
表 4-8	灌溉用水量計算.....	2-36
表 4-9	桃園大圳灌區配水計畫.....	2-38
表 4-10	桃園大圳分配石門水庫配水量之計畫表.....	2-39

第三篇 灌溉配水技術

表 3-1	各輪流組種植面積、給水成數及輪灌期距表.....	3-18
表 3-2	各輪流組(單區)種植面積、給水成數及輪灌期距表實例.....	3-19
表 3-3	各級別(單區別)灌溉所需日數計算表.....	3-19
表 4-1	臨界K值與輪灌組別.....	3-39
表 4-2	嘉南地區推估之潛能蒸發散量 ET_0	3-53
表 4-3	嘉南地區水稻二期作之田間灌溉需水量表.....	3-54
表 4-4	嘉南水利會烏山頭灌區系統全面種植水稻之取水量推估.....	3-55
表 4-5	烏山頭灌區系統平水期配水與供應南科用水調配比較表.....	3-58
表 4-6	烏山頭灌區系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (分三組灌二組).....	3-61
表 4-7	烏山頭灌區系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (分二組灌一組).....	3-63
表 4-8	烏山頭灌區系統善化支線水稻取水量估算結果.....	3-68

表 4-9	善化支線系統平水期配水與供應南科用水調配比較表.....	3-70
表 4-10	善化支線系統平水期配水與供應南科用水調配比較表 (分三組灌二組).....	3-71
表 4-11	善化支線系統平水期配水與供應南科用水調配比較表 (分二組灌一組).....	3-72
表 4-12	善化支線系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (分二組灌一組).....	3-73
表 4-13	善化支線系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (分三組灌一組).....	3-74
表 5-1	世界各國降雨與每人每年分配水量表.....	3-75
表 5-2	歷年各標的用水情形.....	3-77

第四篇 田間灌溉方法

表 2-1	不同坡度、土質、水流及純灌溉水深條件下畦溝長度之最大經驗值	4-8
表 3-1	建議埂間灌溉田埂的最大長度與寬度.....	4-21
表 3-2	機耕與牛耕各不同土質與作物埂間灌溉最適灌溉因子表.....	4-25
表 3-3	坵塊形狀一般標準表.....	4-27
表 4-1	盤灌或梯田寬度之概略值.....	4-29
表 4-2	不同土壤質地與引灌水量下之灌區面積.....	4-29
表 5-1	各種土質土壤水分常數及每呎土層蓄積水深.....	4-38
表 5-2	各種土質之基本入滲率.....	4-39
表 5-3	豎管高度及管徑.....	4-44
表 6-1	乾燥地區滴嘴均勻度之設計標準.....	4-55
表 6-2	計算支管摩擦損失時之流量校正因子.....	4-57
表 7-1	不同種類土壤基本入滲率 (basic intake rate)	4-59
表 7-2	各種入滲率測定方法其設備與適用灌溉方法一覽表.....	4-62
表 7-3	記錄表說明.....	4-62
表 7-4	入滲率記錄表.....	4-63
表 7-5	入滲率公式解法演算表.....	4-65

第五篇 灌溉排水設施操作與維護

表 3-1	渠道管理養護檢查紀錄簿.....	5-42

表 3-2	渠道維護檢查紀錄表.....	5-43
表 3-3	渠道維護檢查季統計表.....	5-44
表 3-4	巡邏相巡邏卡.....	5-45
表 3-5	工作站巡邏統計表.....	5-46
表 3-6	全會巡邏統計表.....	5-47

第六篇 地理資訊系統與遙測於灌排管理之應用

表 2-1	農田水利會灌溉管理地理資訊系統基本資料.....	6-8
表 2-2	全省平地土系資料圖幅清單.....	6-9
表 2-3	全省平地土系資料-屬性欄位名稱.....	6-9
表 2-4	全省平地土系資料-屬性欄位代碼.....	6-9
表 3-1	電磁波譜中之主要類別.....	6-27

第七篇 作物制度與水源計畫

表 2-1	臺灣各農田水利會 79 年各水源別之實際用水量.....	7-7
表 2-2	台灣民國 86~87 年平均農業用水源別統計.....	7-7
表 2-3	台灣歷年農業用水總量統計表.....	7-8
表 2-4	地形與逕流關係表.....	7-16
表 3-1	台灣地下水資源分區及運用情形.....	7-28
表 3-2	各類岩層出水性能表.....	7-31
表 3-3	各類砂土滲透係數表.....	7-32
表 5-1	月別淨灌溉需水量 INnet 之變化.....	7-59
表 5-2	月別灌溉區域之計算例.....	7-59
表 5-3	月別灌溉區域計算例—水稻.....	7-59
表 5-4	提前種植例.....	7-62
表 5-5a	錯開種植期—提早種植.....	7-63
表 5-5b	錯開種植期—提早種植.....	7-63

照片目錄

第四篇 田間灌溉方法

照片 1-1	台東高台茶區旋轉擺動式噴頭噴灌情形.....	4-5
照片 1-2	PE 穿孔管灌溉(單管式) 露天式花卉(田間定植).....	4-5
照片 2-1	畦溝灌溉應用於玉米行栽作物.....	4-6
照片 5-1	全圓香菇型微噴頭.....	4-50
照片 5-2	細霧型微噴頭灌溉溫室內花卉(床架擺放).....	4-50
照片 7-1	水池法田間土壤入滲率測定情形.....	4-62

第一篇 灌溉排水原理

第一章 概說

1.1 灌溉排水的原始意義

植物的正常生長，有賴於若干維持正常之必要條件；如水份、日光、空氣、溫度等因素，均須配合其生長之需要。此外如土壤之性質、肥料之施用、病蟲害之防治、耕作方法與技術之改進等，均足以影響作物之滋長繁殖。上列各因素有屬於天然環境，未必盡為人力所能改變或調節控制，而植物之生長對上述各項因素之反應，亦因時因地而輕重緩急不同。但農業科學之研究，其目的為改善作物之生存環境，或改良作物之品種，使其適應天然環境，例如品種之選擇或由育苗之改良，使作物增加其抗病、抗寒、耐旱之能力等，皆可視作以人為方法補天然條件之不足。上述各項天然因素，水份無疑為任何植物賴以生存之要素。但在天然狀態中，水量之供應往往不能與作物之需要相配合，時而過多，時而不足，故以人為方法補充天然雨量之不足或排除過剩之水量，以維持作物正常生長，此乃灌溉排水之原始意義。

1.2 今日灌溉排水的意義

近數十年來，由於科學之進步，灌溉排水其主要意義雖尚無大變化，但其內容、目的、及效果已擴大，故其含意亦趨複雜。

灌溉排水在今日農業上之意義，除了維持作物正常生長並需求作物之增產外，更需彰顯其具有涵養地下水源、調節微氣候、水資源循環、國土保全等環境保育之功用，以確保農田之永續利用與農業之永續經營。換言之，農業經營效益除需考慮生產效益，尚有生活及生態之效益。灌溉排水為一項農業投資，必須由農業經營收益支付。在政府之立場，尚可將開發地方繁榮社會與生活及生態之效益估算在內，但在農民之立場，則灌溉排水之負擔為生產成本之一部分，若增產利益不足以支付其費用，即無實際之意義，故灌溉排水之投資與實施灌溉排水後之利益，必須經客觀且詳細比較分析，方能決定一項灌溉排水計劃是否建立於健全合理之經濟基礎上。灌溉排水事業之成敗，往往由於經濟因素之影響，經濟條件不夠健全之計劃，勢無成功之可能。

一項灌溉排水計劃完成後，灌排受益地區內，受益人均有應享之權利與應盡之義務。灌排事業大多數為集體性之建設，在法定制度下由一管理機構負責主持。各國法令多有明文規定各種灌排水事業制度，並訂有推行事業與取締違法行為之各種法規。事業愈發達，其組織與法規愈詳盡。在水源不足之地區，水量供不應求，為使水源有公平合理之分配，及為保障人民應享之合法權益，灌溉排水制度與法規，必須符合當地之法制。各國均訂有水利法規以配合事業之推行。綜合上述而言，灌溉排水對作物生長是不能分離，因此國際排水會議 1972 年將 Irrigation 與 Drainage 二字合為 Irrinage，其意義甚為深長。

1.3 灌溉排水之目的與其重要性

1.3.1 灌溉之目的

灌溉之主要目的，在於供給作物生長必要的水份，謂之濕潤灌溉；其次，是使土壤吸收灌溉水中之肥分，以施肥為主要目的者，謂之培肥灌溉。故以河水為灌溉水源時，因河水中通常含肥效成分，具有濕潤灌溉與培肥灌溉之雙重效益。此外，尚有為如下列之目的而灌溉者：

一、調節土壤溫度

寒冷或砂質地帶，夜間氣溫及地溫降低，對作物有不良影響，可於白晝灌水，控制夜間之土熱放散，以維持晝間之高溫，進而防止作物遭受冷害及霜害。在北歐、加拿大，牧草多實行冬季灌溉即是。相反在溫帶地區，夏季地溫過高，灌溉可適度降低地溫。

二、改善土壤的物理性

適當之灌溉排水，可促成土壤的團粒構造，孔隙增大，有效水份增加，空氣流通，對作物之根部生長適宜。黏重土壤過度乾燥時，表土硬化，耕耘作業困難，略施灌溉可使表土鬆軟，便於犁耙。

三、除蟲及洗鹽

灌溉可消除寄生蟲及驅除有害生物，如田鼠等。在乾燥地方或海岸地帶，可利用淡水灌溉，溶解耕土中之鹽份，使土壤含鹼濃度逐漸降低，謂之洗鹽。

四、土地改良及放淤

洪水時將含有大量淤泥之河水引入河灘沙礫地，貧瘠不良之耕地或低濕地，使其挾帶之淤泥及浮游物沈澱，施行客土，既可增高地盤又可改良土質，謂之放淤。

五、防止風蝕

海岸砂地土壤多為粗砂及細砂所組成，塹粒及黏粒含量極微，土粒多呈單粒構造，易受強勁季風吹移，故為保護作物之生長，常利用灌溉來安定砂土，防止風蝕。

六、集約農業的經營

農業集約化為現代農業之特點，尤以未來加入世界貿易組織（WTO）後

更為重要，諸如果樹及蔬菜等之栽培，除需要優良品種、化學肥料、機械耕耘及採用進步之栽培方法外，其最大之前提在於灌溉，此問題必需先為解決，方可促使農業集約化。

1.3.2 排水之目的與功效

排水之目的除了可除去耕地內積水或降低地下水位外，尚有下列功效：

- 一、促進作物根部伸長：各種作物根部深淺不一，排水不良地區，根群不能伸入深層，僅蔓延表層土中，遇雨糜爛，遇風易倒，且吸收肥料能力弱。
- 二、縮短農作的季節：春耕時土地需乾燥，濕地不能耕種，且地溫低，發芽不易，若土中水份過多，作物成熟延遲，此種現象加以排水改善，功效顯著。
- 三、霜害減少：排水不良的農田，地溫低，作物生態較弱，易致霜害，地溫高，作物較為強健。
- 四、旱災減少：排水良好的地方，作物的根部深入土中深層，雖遇乾旱，可吸取下層土壤水份，保持生長，淺根易受旱害。
- 五、地溫增高：土壤中濕度愈高，地溫愈下降，排水得宜，地溫增高，作物生長好。
- 六、土壤空氣流通：土壤中積水排除，空氣透入土粒間隙，供給作物根部生活所需的氧氣。
- 七、更新水份：濕地積水留滯，成為有毒物質，排水良好地區，雨水滲入，有代謝作用。
- 八、肥料分解土壤風化：地溫高而空氣流通，促進氧氣作用，土壤風化易，好氧性細菌活躍，促進肥料分解，易為作物吸收。
- 九、化學作用：土壤水份過多，氧化作用停止，空氣缺乏，造成有害鹽類及次氧化鐵，如排水良好，可免除不利於作物之化學成分。
- 十、便利耕作：濕地土壤粘結，中耕除草困難。
- 十一、增進產量品質：濕地穀粗粉質少，蔬菜纖維多，排水良好地區，作物產量大增，品質提高。
- 十二、減少病害：土壤過濕為作物發生病害主因，小麥的銹病、水稻萎縮病、菌核病、稻熱病、皆為土壤過濕所引起，排水良好，可減少病害發生。

1.3.3 灌溉排水的重要性

一、安定農業環境

水為農業上最重要之資源之一，但是其他資源愈多愈好，而水資源則過多與不足均能造成災害，過去無灌溉排水設施之農業為「看天」之農業，倘若風調雨順，則國泰民安；假如風不調雨不順，則必致旱澇成災，赤地千里，而農民扶老攜幼，離鄉背井，逃荒於災區之外，在此種隨時可能發生天災的情形下，不但農業環境不安定，而且農民的心理更充滿著不安全感，影響到工作的情緒，更不願意作進一步的投資和努力。而在災害發生後善良者聽天怨命，而強暴者則挺而走險，歷史上的黃巾、赤眉、黃巢、張獻忠、李自成莫不發生在嚴重的天災之後。在進步的農業中，由於有灌溉排水設施可以防止旱澇的發生，至少也可以大大減緩其嚴重的程度，已不再是看天的農業而是人定勝天的農業。因此灌溉排水的設施和系統，不但為一種建設性的投資，同時也可以看作是農業保險之一種型態，對農業環境的安定有投資，而對農民的心理方面，更具有建設性的影響。

二、改善農村衛生

農村在灌溉排水系統建設完成之後，其衛生環境亦隨之而改善。尤其排水系統對於農村環境衛生之貢獻尤為顯著，台灣瘧疾之絕跡，固然由於醫藥衛生當局之努力，但全省排水系統之加強興建逐一完成，對於遏止瘧蚊之繁殖確實產生釜底抽薪的效果，也是功不可沒。排除農業污水，對改善農村衛生，效果極為顯著，更有進者，台灣一般之農村及市鎮均無專門之污水排水系統，即所謂下水道，因此農田排水系統即必須負擔社區公共排水之責任。雖則此農田排水系統原為農田水利會也即是農民之財產，並由其出資管理維護，而兼作社區公共排水，其他人均能分享利益，對農民而言，雖屬有欠公平，惟對整個國家及社區而言，其貢獻甚大。此種市鎮之能免於雨後積水及環境污染等種種有形與無形的損失，農田排水系統之厥功最偉。

另一方面，工業廢水往往也依賴農田灌排系統將其排除，此種情形下，農民不但權益受損，同時亦往往蒙受重大損害，而工業方面則承受其利，殊欠公平。故今後工業污水排入農田排水系統應先取得有關水利會之同意，並給付補償。至於將廢水排入灌溉渠道系統為害更大，尤應絕對加以禁止，不宜因工業方面之利益而加以姑息。

農村衛生環境改善，可提高農民壽命，增進農民之健康，延長農民實際從事農業之年數，並增進其工作情緒及效率，凡此均為灌溉排水系統對農村衛生環境之無形貢獻，雖難以金錢數字加以衡量，但在實際上卻具有深遠而重大之影響。

三、農村公共給水之輸送

灌溉系統所輸送之水，原與公共給水無關，但在較落後之國家，以印尼為例，農民之飲水、洗菜、洗衣、洗澡，以及家庭污水之排除，往往均利用灌溉渠道所輸的水，甚至此種種工作即在渠道中進行之，堪稱灌溉渠道之多目標利用。雖此種多目標利用之方式不應加以鼓勵，但在缺乏自來水及地下水之地區，實為無法避免之附帶效益。以台灣地區而論，自來水之普及率已極高，民眾罕有直接利用灌溉系統中水量之情形。惟各地自來水系統往往有利用灌溉系統輸水至其濾水池或其附近之情形，且相當普遍。其目的在節省一獨立自水源引水之管路或明渠輸水系統，灌溉系統之完成在前，因此此項效益及其對社會之貢獻，在原規劃時並未列入考慮，而對農村及社會則具有實質上之影響。惟此種藉灌溉渠道輸送自來水原水之方式，在理論上應為有欠妥當之方式。因灌溉之工作為季節性之工作，而自來水則非每日供水不可，兩者併合輸水時有下列之缺點：

- 1.在工業之情況下，灌溉系統利用非灌期停止通水，以實施歲修。因使用年久之灌溉系統必有破損之處亟待修復，而有缺陷之處亦須乘機改進。至於閘門等金屬木材結構以及各種活動機械均係在此時期加以油漆保養。若與自來水合併輸水，則因無法停水而肇致歲修及保養之困難。
- 2.渠道因灌溉所需之水量甚大，而自來水所需之水量較小，因此當停止灌溉而渠道中祇剩自來水原水時，即有水深太淺，水力性質不佳，通水困難，滲漏及蒸發所佔比例甚大等缺點。因此此種併合輸水雖有節省工程費用之優點，使灌溉系統對社會有更大之貢獻，但缺點更多，今後應設法避免。

除自來水外，常利用灌溉系統輸水者為工業用水，且更為常見，如成功啤酒廠即利用嘉南大圳之灌溉系統供水，其利弊殆與兼輸自來原水相同。

此外農村之消防水亦往往利用灌溉用水，對農村及鄉鎮居民之生命財產有保護之功，由以上所述可見灌溉系統對公共用水方面已提供極重要之服務，對整個社會有多方面之貢獻。

四、團結農民，宣導政令

農田水利會在台灣省為一種歷史悠久的農民組織，由於灌溉及排水乃農民日常之工作且事關切身之利害，故農民對此一農民組織之參與最為積極。而農田水利會工作人員與農民之接觸最為頻繁密切，為一般農民團體所不及。由於除農田水利會之管理處及工作站之下，由農民自行組水利小組及工作班等，以推動灌溉水到達輪區及單區後之田間灌溉及小給水排水路之維護工作，因此農田水利會之組織深入農民基層，與每一農民均有密切的聯繫，

因此除有效地推行灌溉排水方面的本位工作外，尚具有加強農民團結，宣導政令，守望相助，維持治安等功能，對農村社會之安定與進步，產生重大而積極之影響。

五、促進農村繁榮

由於灌溉排水系統之建立，對農業生產發生下述三種影響：

1. 災害之防止與緩和。
2. 單位面積產量之增加。
3. 使同一土地可種多期作物。

此三種影響均增加了農業的生產，此種效益明顯而可以計算，但是由於農業生產之增加，提高了農民所得；提高農民所得後，農民的生活水準自然隨之而水漲船高，同時亦必帶來了農村之繁榮。一個繁榮的農村，在工業景氣時可以防止農業人口之外流，而在工業不景氣時又能容納返鄉之多餘工人而維護社會之安定。近年來政府之不惜斥巨資以加速農村建設，在加強農村建設中，又以灌溉排水系統之興建與改善列為重點，實屬高瞻遠矚之舉，故其無形之功效遠勝於經濟效益也。

1.4 灌溉排水的略史

我國之農業，自有史以來，即與水利有密切之關係。遠在五千年前，中華民族發祥於黃河上游，迨後逐漸向東擴展，而進而黃河與長江流域之間。此一廣約三十萬方公里之廣大平原，成為中華民族五千年來農業之基礎。若從自然地史之演變觀之黃河與長江實為孕育此一平原之主，且今後仍將控制其所造成之土地及生活於斯之人口。

遠在四千年前，帝堯時代，洪水成災達二十年之久。農業基礎，首遭嚴重打擊。而後經大禹治導，歷時八載，卒使氾濫之江河，復歸東海。因此一偉大排水事業之成功，始導致中國古代農業之再度安定。

周朝繼夏商之後，創井田溝洫之制。井田分九區，每區四週有遂，遂為寬二尺深二尺之小水溝。九區為一井，井週有溝，溝寬四尺深四尺。集多溝而成洫，洫為寬八尺深八尺之排水溝。此種溝洫之法，實為一種完善之灌溉排水體系。故有周一代，歷時八百餘載，農業繁榮，文化昌盛，農田水利實有其功。

周末戰國，中原地區，久經戰亂，秦據江河上游，廣興水利，如鄭國渠，使關中成為沃野。秦平天下，蜀太守李冰父子，在四川成都西北灌縣之岷江

出口，建都江堰，使成都盆地，普獲灌溉之益，水旱無慮，沃野千里，號稱天府之國，其偉大功效，迄今猶在，此外漢中寧夏等地，亦有秦漢開渠之跡，可見當時秦能廣修水利，重視農業，始能兵精糧足，稱霸七雄。

晉末北方民族入侵，西北農業地區屢遭破壞，農產漸感不足。於是漢族被迫相繼南移，長江中游之兩湖盆地，與下游之沖積平原遂成為新農業區，水利事業隨之而興。豐富之農產，足供北方所需，於隋開運河，北自北平南迄杭州，首創南北運糧之水道，迄今千三百餘年，仍具通航灌溉之利。

至唐末北方民族入侵強烈，漢民族南移者更多；因之江南土地墾殖日盛。五代時吳越王錢鏐興修太湖之水利，開溝引渠，溝通北湖，奠立灌溉排水之基礎，對太湖地區農業發展，貢獻甚大，建都杭州，人才稱盛，南朝因得一時之偏安。

宋、元、明、清四朝，千餘年間，中國一再受北方民族之侵凌，戰禍連年，農業基礎時遭破壞，不但新興之灌溉事業少見，即以往之設施亦漸多荒廢，以致江河利少而害多，各地水旱連年，農村日趨荒蕪貧乏。其中如西北黃土高原，古代原為溝洫縱橫農業繁榮之區，時至今日，往昔之水利設施，多成遺跡，已成瘠貧之區。即在東南之新農業區，亦以祇知守成，不求進步，甚少水利建設。此一時期可稱之為農田水利事業之衰退時期。

民國以來，政府急謀振興水利，以挽救農業之危機。新興灌溉事業成績卓著者，當首推陝西之涇惠渠、渭惠渠及洛惠渠等三大渠之完成。其他各地亦有大小不同灌溉工程之興建，對各地區之農業增產，貢獻甚大。如陝西涇惠渠灌溉之後，地價上漲三十至四十倍，棉花單位面積產量增加五倍以上，效益之大可以想見。

台灣從三國以來便受到中國大陸的影響，至元代更納入中國的版圖，設官治事，隨後更納入了化圈的一環。根據可靠的史料，台灣的農田水利事業至遲在明代天啟四年（西元一六二四年）可以確定已經延續平埔族的原始水利，其後荷蘭人入據台灣以後招募中國大陸沿海福建一帶的漢人來台，經漢人的農耕水利技術、水利設施的埤、圳傳到台灣，並影響到台灣的先住民；後經明鄭時代鄭成功的率軍復台，驅逐荷蘭人，將台灣成為反清復明的根據地，更在台灣實施軍事屯田政策，從事農耕事業。自台南為起點，往南至高雄，往北則經麻豆，到嘉義、雲林從事農田的開發與水利事業的開發。隨後到了清康熙二十二年（西元一六八三年），清滅鄭氏領台，至清光緒二十年（西元一八九五年）中日甲午之戰，將台灣割讓給日本為止的二一二年間，再由台灣南部、經中部、而北部；然後，由台灣西部再到台灣東部之順序，一方面從事農耕事業，一方面從事水利事業的開發。

台灣之農田水利事業發展組織，已有三百餘年悠久歷史，其間營運組織之遞嬗演變，各有其順應事業發展之背景。明清兩代，係由民間私人出資築埤開圳，農田水利設施視同私產，與土地同樣可以自由買賣，尚無組織管理，多由有力者自由興建及經營。

日據時代（西元 1896 至 1945 年），推行「埤圳公共化」政策，將與公共利害有關之農田水利設施，指定為「公共埤圳」，賦予「法人」性格，繼有官方出資興建農田水利設施並設「官設埤圳」。其後於 1921 年更頒布「水利組合令」，將「公共埤圳」及「官設埤圳」一律改為「水利組合」，規定其為「公法人」，任務為管理養護灌排工程、徵收會費、處理財務，農田水利之管理權，移轉由政府掌握，此後農田水利事業漸趨發達。另為充分利用水源，於 1941 年公佈「農業水利調整令」，將 108 個水利組合合併成 47 個水利組合，並於 1944 年再縮編成為 38 個水利組合。

光復後（1945 年），政府本民主自治精神，將「水利組合」及「水害預防組合」分別改組為「農田水利協會」及「防汛協會」，會長由農民直接選舉，職員由會長任用。民國 37 年將前述二協會合併改組為 39 個「水利委員會」，受省水利局指揮及當地縣（市）政府監督。唯水利委員會之組織權能不分，議行合一，且未經立法程式，屬性模糊不清，各方解釋不一，對於推行水利事業，因未具公權力，難免有所窒礙。政府為健全水利組織，於民國 44 年依據水利法制定「台灣省農田水利組織規程」，並於民國 45 年調整合併水利委員會成為 26 個「農田水利會」，為具有「公法人」地位之「水利自治團體」。此項改進措施之基本目標，為提高農民地位、維護農民權益、增進農業生產、繁榮國民經濟。

民國 50 年代期間，由於工商業快速成長，社會經濟結構變動，而農民收益並未合理增加，農田水利會亦因而財源困絀，對事業之營運與管理亦形困難，台灣省自民國 64 年起實施行政院頒布之「台灣省加速農村建設時期健全農田水利會方案」，為期 7 年 5 個月，將原來農田水利會作部分裁併，並由政府代管，會長由政府遴派產生，暫停選舉會員代表。自民國 71 年 6 月，農田水利會再恢復設置會員代表大會，會長由政府遴選二至三名交由會員代表選舉產生。民國 82 年 2 月 3 日「農田水利會組織通則」修訂公佈，中央主管機關改為行政院農業委員會，為改進農田水利會之體制，加強政府之輔導協助，台灣省各農田水利會於民國 83 年 6 月起將會員代表會取消，改設會務委員會，會長及會務委員均由政府遴派產生。民國 90 年 6 月 20 日總統明令公佈，會長及會務委員由會員直選產生。

1.5 台灣省灌溉排水的現況及今後努力的目標

1.5.1 台灣地區灌溉排水現況

台灣地區之農業環境為耕地有限及人口增加迅速，雨量豐沛而分佈不均，但氣候溫和可以一年多作。在此種環境因素之下，形成台灣農業之特點，即對土地與水源之高度利用，與集約栽培之小農制度。故水與農業之關係，不論為利或害均甚為密切。

一、灌溉排水面積

台灣地區之耕地並非全部有灌溉或排水設施，但有灌溉排水設施之農田絕大部分屬於稻田。

台灣地區耕地總面積，從民國 35 年起至 58 年間，耕地面積是逐年遞增，乃因拓墾面積逐年增加，在此期間，非農業用地，如住宅、工廠、交通等建用地，雖亦每年擴張，佔用農耕地面積，但農地被轉用的面積仍少拓墾的面積。而 58 年後至 62 年間，耕地總面積逐年遞減，表示每年耕地拓墾的面積已彌補不了被非農業佔用的面積。於 62 年以後，政府鑒於優良農地，被非農業轉用，日益嚴重，陸續依據有關法令訂頒各種限制高等則水田轉用措施，於是被轉用農田面積才顯著減少。63 年開始政府解除 58,000 餘公頃國有林班地，其中約 2 萬餘公頃的宜農牧山坡地被登記為農耕地，以至 63 年至 66 年，耕地面積逐年增加，而後受工商業發達及都市重劃之影響，因此自 76 年至 85 年耕地面積已有逐年遞減之趨勢，詳如表 1-1 所示。

灌溉排水事業之發展，可以提高作物複作指數。台灣之灌溉排水設施，以往以水稻為主要對象，現也漸次發展旱作灌溉。水稻之灌溉大多屬農田水利會管理服務，僅少數區域外由私設埤圳或由農民自行引水灌溉。旱作灌溉雖亦由水利會辦理試驗示範，但除輪作田外，在現階段，大多由農民自設水源供應灌溉蔬菜、果樹等園藝作物。據行政院農業委員會農業用水量化目標及總量清查報告統計，台灣地區各農田水利會民國 81~87 年平均之總灌溉面積為 382,068 公頃，其中兩期作水田 261,584 公頃，單期作田 20,003 公頃，旱田 21,168 公頃，輪作田 79,604 公頃，各農田水利會別之分佈面積示如表 1-2。

表 1-1 台灣地區之耕地面積

年次及 縣市別	土地面積 總計	耕地面積 總計	水田				旱田	耕地佔 總面積 (%)
			合計	兩期 作田	單期作田			
					第一 期作	第二 期作		
民國 80 年	3,600,690	884,443	472,759	333,448	10,182	129,129	411,684	24.56
民國 81 年	3,601,117	875,951	465,016	328,152	9,810	127,054	410,935	24.30
民國 82 年	3,601,119	874,535	463,560	329,660	15,477	118,423	410,975	24.29
民國 83 年	3,601,437	872,307	461,226	329,227	16,194	115,805	411,081	24.22
民國 84 年	3,601,425	873,378	459,335	329,106	14,262	115,967	414,043	24.25
民國 85 年	3,601,425	872,159	456,167	328,134	13,697	114,337	415,992	24.22
民國 86 年	3,602,042	864,817	454,865	324,867	9,640	120,358	409,952	24.01
民國 87 年	3,602,042	858,756	450,616	322,973	8,219	119,424	408,139	23.84
民國 88 年	3,602,042	855,073	444,456	321,139	7,089	116,228	410,616	23.74
民國 89 年	3,602,042	851,495	442,005	317,495	7,104	117,406	409,489	23.64
臺北市	27,179	3,401	1,377	1,293	85	0	2,024	12.51
高雄市	16,785	915	454	454	0	0	461	5.45
臺灣省總計	3,558,078	847,179	440,174	315,748	7,019	117,406	407,005	23.81
臺北縣	205,257	34,296	14,691	11,617	2,740	335	19,604	16.71
宜蘭縣	214,362	27,742	17,276	17,095	181	0	10,466	12.94
桃園縣	122,095	40,129	32,173	32,107	65	0	7,956	32.87
新竹縣	142,759	29,983	14,724	14,724	0	0	15,259	21.00
苗栗縣	182,031	35,083	20,202	20,202	0	0	14,881	19.27
臺中縣	205,147	52,892	26,615	26,609	6	0	26,277	25.78
彰化縣	107,440	65,324	50,369	50,369	0	0	14,955	60.80
南投縣	410,644	65,778	16,135	11,923	599	3,613	49,642	16.02
雲林縣	129,084	84,255	65,012	18,347	0	46,665	19,243	65.27
嘉義縣	190,167	76,876	42,018	20,071	1,555	20,392	34,858	40.43
臺南縣	201,601	93,987	49,454	13,741	879	34,833	44,534	46.62
高雄縣	279,266	51,820	22,949	14,791	539	7,619	28,871	18.56
屏東縣	277,560	76,545	33,536	32,973	29	534	43,008	27.58
臺東縣	351,525	47,691	13,780	12,789	13	978	33,911	13.57
花蓮縣	462,857	45,963	13,095	12,718	364	13.50	32,867	9.93
澎湖縣	12,686	5,537	0	0	0	0	5,537	43.64
基隆市	13,276	739	250	236	15	0	489	5.57
新竹市	10,410	2,672	2,000	2,000	0	0	673	25.67
臺中市	16,343	3,895	1,831	1,831	0	0	2,064	23.84
嘉義市	6,003	2,550	1,530	1,530	0	0	1,020	42.48
臺南市	17,565	3,423	2,533	76	33	2,424	890	19.49

註：1.單位：公頃。

2.資料來源：台灣省政府農林廳。民國 89 年 6 月。民國 89 年版台灣年報。

表 1-2 台灣地區各農田水利會轄區耕作制度與面積統計（民國 81~87 年平均值）

單位：ha

區 域	農田水利 會別	水田（含輪作田）						旱田		合計
		雙期作田	單期作田	二年一作田	三年一作田	三年二作田	小計	旱作田	荒作田	
北 部	七星	895	0	0	0	0	895	0	0	895
	瑞公	162	0	0	0	0	162	122	0	284
	宜蘭	18,698	0	0	0	0	18,698	0	0	18,698
	北基	4,912	0	0	0	0	4,912	0	0	4,912
	桃園	24,953	0	0	0	0	24,953	0	0	24,953
中 部	石門	11,997	0	0	0	0	11,997	0	0	11,997
	新竹	6,544	0	0	0	0	6,544	0	0	6,544
	小計	68,161	0	0	0	0	68,161	122	0	68,283
	苗栗	10,860	0	0	0	0	10,860	0	0	10,860
	台中	27,226	0	0	0	0	27,226	4,007	0	31,233
南 部	南投	11,936	0	0	0	0	11,936	1,308	0	13,244
	彰化	51,289	420	0	0	0	51,709	0	0	51,709
	雲林	14,037	6,249	4,432	14,424	23,709	62,851	0	0	62,851
	小計	115,348	6,669	4,432	14,424	23,709	164,582	5,315	0	169,897
	嘉南	23,280	9,541	366	0	36,673	69,860	0	8,442	78,302
東 部	高雄	13,882	2,990	0	0	0	16,872	747	0	17,619
	屏東	20,048	0	0	0	0	20,048	3,686	0	23,734
	小計	57,210	12,531	366	0	36,673	106,780	4,433	8,442	119,655
	台東	8,752	803	0	0	0	9,555	2,180	0	11,735
	花蓮	12,113	0	0	0	0	12,113	385	0	12,498
合 計	小計	20,865	803	0	0	0	21,668	2,565	0	24,233
	計	261,584	20,003	4,798	14,424	60,382	361,191	12,435	8,442	382,068

資料來源：行政院農業委員會，農業用水量化目標及總量清查報告，2000.3。

二、灌溉水源

台灣之灌溉水源主要為河川引水，其次為水庫與埤池蓄水，再其次為包括地面水與地下水之抽水灌溉。

台灣大小河川共 129 條，依前經濟部水資源之區分包括主要河川 21 條，次要河川 29 條，和普通河川 79 條。所有河川都是流短坡陡，豐枯流量懸殊。流量集中在夏季颱風季節，容易成災，平時流量稀少，甚至枯竭，可供利用的天然流量有限。台灣地區農業用水量與各水源別之相關統計，如表 1-3 及表 1-4。

表 1-3 台灣地區民國 86-87 年平均農業用水量及水源別統計表
(不含台糖公司自行供灌水量)

單位：億立方公尺

用水別 水源別	農田水利會 灌溉用水	養殖用水	畜牧用水	合計
水庫埤池	11.06 (10.4)	0	0	11.06 (9.1)
河川引水及地面 水抽水	90.53 (85.2)	1.78 (12.1)	0	92.31 (75.5)
地下水	4.72 (4.4)	12.94 (87.9)	1.16 (100)	18.82 (15.4)
合計	106.32 (100)	14.72 (100)	1.16 (100)	122.20 (100)

註：() 內數據為水源別所占之百分比，本表灌溉用水量不包括台糖公司自行供灌之 0.75 億立方公尺。

三、灌溉作物

台灣以往之灌溉規劃主要以水稻為對象，但今後必將趨向於尋求土地與水源之最有效利用為目標。經近十餘年來之試驗研究，證明旱田作物之灌溉效益不低於水田，若以單位水量之灌溉效益比較，且高於水田甚多，尤其是乾旱季節或枯旱年期，旱作物之灌溉效益為最顯著。因此今後之灌溉作物，將朝水稻以外之旱作物為規劃對象。

根據行政院農業發展委員會之規劃，台灣地區之作物制度區及其表面積如表 1-5。此作物制度區分亦即是土地之利用方式，第一至第五類作物制度屬水田，其他類則為旱田，均有必要逐步開發水源及增設灌溉設施、發展旱作灌溉。灌溉計劃可以選定之作物制度為計劃目標，決定系統容量及灌溉需水量。

表 1-4 台灣地區農田水利會 81~87 年灌溉用水量清查、統計彙總表

單位：立方公尺

統計期間	實際取用水量	水源結構						備註
		河川引水及 地面水抽水		水庫及埤池		地下水		
		水量 m ³	百分比 %	水量 m ³	百分比 %	水量 m ³	百分比 %	
81 年	10,259,526,037	9,062,481,170	88.33	930,646,359	9.07	266,398,507	2.60	
82 年	10,053,960,289	8,636,925,965	85.91	1,055,435,891	10.50	361,598,433	3.60	
83 年	10,104,585,464	8,923,409,360	88.31	892,392,826	8.83	288,783,278	2.86	
84 年	11,137,917,558	9,676,675,406	86.88	1,102,505,285	9.90	358,736,866	3.22	為 81-87 年七年中，實 際取用水量較充足年
85 年	9,957,572,277	8,745,139,593	87.82	707,583,178	7.11	504,849,505	5.07	
86 年	10,649,480,919	9,006,107,247	84.57	1,141,026,942	10.71	502,346,730	4.72	
87 年	10,614,181,275	9,100,096,871	85.74	1,071,613,224	10.10	442,471,180	4.17	
81 年至 87 年平均	10,396,746,260	9,021,547,945	86.77	985,886,244	9.48	389,312,071	3.74	
86 年及 87 年平均	10,631,831,097	9,053,102,059	85.15	1,106,320,083	10.41	472,408,955	4.44	
83 年及 85 年平均	10,031,078,871	8,834,274,477	88.07	799,988,002	7.98	396,816,392	3.96	此二年之實際取用水 量最少，為七年中較乾 旱之年份

資料來源：行政院農業委員會，農業用水量化目標及總量清查報告，2000.3。

表 1-5 台灣地區規劃作物制度區及其面積

作物制度區	規劃面積 (公頃)
一、雙期水稻+裡作雜作、蔬菜、菸草區	334,060
二、單期水稻+一作雜作、蔬菜+裡作雜作、蔬菜、菸草區	70,360
三、二年一作水稻+一作雜作+秋裡作雜作+甘蔗輪作區	3,210
四、三年二作水稻+二作雜作+秋裡作雜作、蔬菜+甘蔗輪作區	77,360
五、三年一作水稻+三作雜作+秋裡作雜作、蔬菜+甘蔗輪作區	14,050
六、甘蔗、雜作區	124,240
七、雜作、蔬菜區	58,358
八、蘆筍區	16,100
九、竹筍區	19,680
十、茶區	34,550
十一、桑區	7,990
十二、柑桔區	44,320
十三、香蕉區	11,030
十四、鳳梨區	8,000
十五、芒果區	11,000
十六、其他果樹區	80,706
十七、花卉區	1,450
十八、瓊麻區	4,130
十九、香水茅區	5,360
二十、牧草區	18,100
合 計	944,054

資料來源：農發會，台灣地區農業區域發展初步規劃總報告。

四、需灌溉排水及土地改良之土地

農業土地之評價，最高原則決定於生產力之高低。優良灌溉土壤則應具有如下條件：

1. 灌溉水源豐富，鹽分含量低，水質優良。
2. 地形平坦，適於灌溉，如作階段梯田時不致過於翻動或曝露心土，則對肥力有不利影響。
3. 土壤滲透性中等，不必藉人工特別排水。
4. 土壤中交換性鈉(E.S.P)及鈉吸著率 S.A.R(sodium absorption ratio) 值低。
5. 土層深厚，根系土層中可貯大量有效性水份。同時土壤通氣良好，不

致阻礙根系發展。

- 6.土壤構造及其他物理性良好，在灌溉時導水性均勻而不致引起嚴重沖蝕。
- 7.土層儲有適量植物營養分，隨植物需要而供應，如因沖蝕及滲漏而損失之土壤與養分能由岩石之風化及植物殘餘補充。
- 8.不致有生成或引起毒害之條件。
- 9.地下水位不致過高，影響根系之發育。

灌溉土地評價調查之方法與內容有多種，對一般性農場之調查所應注者有土壤物理性狀及其水保情形、土壤肥力及有害物質之存在及地形坡度等。近年來由於航空測量之便利，用航測作土地資源利用調查，在歐美及日本均非常普遍，將土地特徵如地形、坡度、土壤有效深度、表土質地、底土滲透性、母質種類、沖蝕程度、排水情形、可溶性鹽分含量、礫石、粘盤、硬盤、地下水位以及利用現況等，均分別用符號記載於底圖上，然後將調查所得之結果予以評會分類。

台灣地區之土壤調查，於光復後曾由台灣省農業試驗所及台灣肥料公司先後舉辦全省性土壤概略調查。農復會復於民國 52 年至 67 年間委託國立中興大學與台灣省農業試驗所進行調查台灣耕地土壤。調查區域包括台灣本島平地及低海拔地區，調查面積共達 822,500 公頃。調查方法除在田間每隔 200 公尺檢查土壤特性，描繪土壤分佈外，並採取代表性土壤樣本以供土壤理化性質之測定。其所資料經分析與整理，繪成比例尺二萬五千分之一土壤分佈詳細圖共 162 幅，附以縣別土壤調查報告書詳細敘述調查區域的土壤生成環境，每一種土壤的基本特性、分佈狀況、主要理化性質以及農業利用上之適當管理措施等。

為明瞭台灣地區平地土地利用，尤其是現有水稻田分佈之面積及具有可開發為水田潛力地區之土壤、水利等狀況，以利擬定水利開發計劃及掌握主要糧食之生產，並進一步提供農業規劃之所需，農復會於 63 年 7 月委託台灣省政府農林廳成立航測計劃，由林務局農林航測隊執行，利用最新拍攝之空中照片，全面調查平地之土地資源，並參考水利、土壤及土地利用狀況等資料，繪製二萬五千分之一測量調查圖，建立平地土地資源之基本資料，此項工作，已於 67 年 6 月底全面完成，其資料可供利用。

台灣省水利局根據耕地土壤調查資料及歷年灌溉計劃調查資料，繪製灌溉土壤圖。此外於民國 65 年也完成「台灣旱作灌溉立地區分調查報告」，對各地區之氣象、土壤保水力進行調查區分，並推估旱作灌溉需水量與灌溉次數。

對於鹽分地、砂丘地、河川地、海埔地之分佈及土壤特性，均有完成調查報告可供應用。

台灣地區山坡地範圍，由台灣省政府依照「山坡地保育利用條例」第三條規定劃定公佈面積 973,730 公頃。由於山坡地夾於平地與高山林區之間，地形複雜，丘陵起伏，坡度陡峻，一般土壤多為灰化的石質土，土層有效深度較淺。何種土地適於農作或植牧草利用及可利用程度，何種土地僅能用於造林，或不堪任何使用，均需分類。政府於民國 50 年曾公佈有「台灣省農林邊際土地宜農宜牧宜林分類標準」，制定「山坡地保育利用條例」後，並將上項標準修訂公佈為「山坡地土地利用限度分類標準」，成為該條例子法規，依照該標準可製成分類表解如表 1-6。

表 1-6 土地利用分類表

土壤深度		坡度	坡度 (%)											
		5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55												
		A	B	C		D		E		F				
土壤有效深度(公分)	90	甚深層	I	II				III		V 林地				
	50	深層		III		IV		地(一)						
	20	淺層	II	III	IV		IV (二)		V 極沖 嚴重 重蝕					
		甚淺層					IV (二)		V					

註：1.上表 I 至 IV 級土地屬宜農牧地，V 級土地屬宜林地。

2.IV(二)級土地之利用限制其為僅適於常年地面覆蓋，不須全面擾動土壤之多年生果樹或牧草，如必須栽種動耕作物，應由當地水土保持單位指定其水土保持處理。

3.尚有 VI 級地屬崩塌、滑崩地等，未列入圖解中。

為明瞭山坡地範圍內適於農牧利用之土地分佈面積、利用現況及其可利用程度等級等全盤概況，俾作為全省農業區域發展規劃以及加強山坡地開發利用之參考依據。前農復會於 63 年 7 月起委託台灣省山地農牧局進行全面性山坡地調查，依新修訂之「山坡地土地可利用限度分類標準」按土地坡度、土壤有效深度以及母岩等因數區分 I、II、III、IV 級之宜農牧地，V 級之宜林地，以及 VI 級之須加強保育地。並利用最新拍攝之空中照片，配合地面調查，於 67 年 6 月全部完成。全台灣地區山坡地可利用限度區分結果情形如表 1-7 所示。

表 1-7 山坡地可利用限度區分概況

區分項目		面積（公頃）	%
宜農牧地	一級地	10,732	1.10
	二級地	73,879	7.59
	三級地	117,600	12.08
	四級地	255,947	26.28
	小計	458,158	47.05
宜林地（五級地）		425,276	43.67
加強保育地（六級地）		8,639	0.89
其他（不分級）		81,657	8.39
合計		973,730	100.00

註：1. 宜農牧地中已有 296,418 公頃業已開墾利用。

2. 宜林地中有 50,245 公頃被開墾，即所謂超限利用地。

資料來源：農牧局，山坡地航測調查。

依據上表區分結果，I、II、III、IV 級之宜農牧地共 58 公頃，此即為全台灣地區山坡地中可耕地之總面積，但其中已有 296,418 公頃早經先後開墾作農牧利用，且已列入台灣地區耕地面積統計中。

五、區域排水地區

台灣地區排水不良，降雨時經常淹水二日以上地區共有 87,700 公頃，危害農業生產至鉅，其改善工作，除自民國 62 年度起分別在加速農村建設計劃及六年經建計劃辦理外，並自 68 年度起列入十二項建設第八項「加速改善重要農田排水系統」計劃內，由水利局專業執行，截至 70 年度止，已改善 31,550 公頃。尚餘 5 萬餘公頃，仍繼續分年改善中。

台灣省各地區排水資料，於民國 64 至 65 年間，由農復會經費協助台灣省水利局與各有關縣市政府及農田水利會共同進行排水系統流域現況調查，現況通水能力調查，並參考以上兩項調查資料及其他法定條件，劃分排水類別，研定維護管理經費分擔，確立維護管理辦法制度。業已於 66 年 1 月完成「台灣省排水分類調查報告」。排水地區依縣市別區分為十個地區，共 717 系統（一級排水），含二級排水 1,348 條，三級以下之排水 1,086 條。集水區面積共 982,347 公頃，水路長度 8,967 公里，常浸水面積 87,700 公頃，估計年浸災損失 8.7 億元。茲摘列其資料如表 1-8。

為執行區域排水維護管理，台灣省政府於 68 年 9 月訂頒「台灣省排水設施維護管理辦法」實施，明訂排水路維護管理有關之主管機關、權責、經費、考核、罰則等有關事項，並於 71 年起省政府在中央機關指導下開始舉辦台灣省區域排水維護管理工作檢查，以促進加強區域排水維護管理工作，確保農業生產及人民生命財產安全。

1.5.2 灌溉排水今後努力之目標

今後之灌溉排水事業發展，在灌溉方面繼續維護改善，維持現有水田之灌溉外，將逐步促使未有灌溉水源及未有灌溉設施之旱田，亦能獲得灌溉保障，而能生產各類旱作物。在排水方面，則積極改善區域排水及農田中小排水，先減除地面浸水之災害，進而對排水不良之土壤，以暗管排水改善土壤之生產環境。

台灣之灌溉排水事業，以往係以提高農作物生產為主要目標。然而，農田水利設施之存在及其有效運作，對地區之生態環境、生活環境等，亦均提供直接與間接之機能與貢獻。換言之，目前農田水利具有「生產性」、「生態性」及「生活性」等三方面之機能，對地區社會已成為不可輕言破壞、放棄之設施。

以農田水利會轄區為主要範圍，近幾年來，政府為加強農村建設、提高農民所得及保育水土資源，對水利會區域內及區域外之農田生產、生活、生態環境，均曾予以大力經費協助改善，今後對區域外之農田灌溉排水需繼續投資改善，期使農田得以永續利用。

表 1-8 台灣省排水地區排水系統調查統計

地區別	條數			水路長度(公尺)			集水面積 (公頃)	常浸水面積 (公頃)	年浸災 損失 (元)	改善工程費 概估 (元)	排水類別(系統)		
	一級	二級	三級 以下	一級	二級	三級 以下					區域	農田	市區 工礦 其他
宜蘭	13	37	115	55,279	126,527	266,184	447,990	44,795.41	4,928	42,405,500	421,869,500	7	5
桃園	113	201	55	515,589	384,253	51,449	951,291	120,811.50	437	1,727,900	165,233,600	77	21
新竹	145	111	15	425,422	187,557	30,038	643,017	63,526.95	1,696.26	12,047,920	168,825,000	133	7
臺中	90	45	14	430,376	239,656	35,092	705,124	86,329.59	1,755	26,602,000	425,086,484	63	22
南投	52	58	7	315,665	143,244	17,650	476,559	118,113.22	1,807.57	12,934,400	193,191,300	31	8
彰化	71	144	138	305,951	494,193	328,720	1,128,864	107,032.21	6,680	169,502,000	1,155,450,400	47	9
雲林	58	199	243	418,002	514,041	310,032	1,242,075	115,333.38	31,085	388,008,730	219,511,400	42	16
嘉南	66	257	332	433,675	558,661	561,832	1,554,168	138,148.40	19,634.65	147,601,080	253,016,480	58	5
高雄	40	89	41	211,663	212,457	72,193	496,313	81,179.23	4,410	7,445,600	997,818,110	39	1
屏東	69	177	126	480,711	561,911	279,768	1,322,390	107,077.64	5,302	62,791,950	111,576,500	38	28
共計	717	1,348	1,086	3,592,333	3,422,500	1,952,958	8,967,791	982,347.53	87,735.48	871,067,080	5,598,718,774	537	122
												3	55

資料來源：臺灣省水利局，臺灣省排水分類調查報告，66年。

第二章 灌溉水質及水源

2.1 灌溉水質之要求

灌溉事業之發展，對水質之要求甚為重要。不良水質不但使作物生長受害，田間操作不衛生，對土壤之理化性亦可產生不良影響，甚至使農產品品質劣化，有毒物質累積影響人體健康。

2.1.1 灌溉水質之評估項目

一般而言，評定灌溉用水之品質需注意者有：(1)灌溉用水之混濁度；(2)含鹽分之高低；(3)含水溶性納離子之多寡；(4)其他有害物質的含量。

一、濁度 (Turbidity)

灌溉用水之混濁度最主要者為粉粒之含量，粉粒含量對灌溉用水品質的影響，是決定於灌溉水中粉粒本身的性質而定，另者尚須視灌溉土壤之性質。例如灌溉土壤之質地為砂質，保水力較低，同時又缺乏植物養分，則施灌混濁度大，含粉粒量高之水是有利的，如埃及尼羅河沿岸之田地，因灌溉水在上游係流經肥沃的地區，故其灌溉水所含之粉粒，對作物有增產之效果。但在一般情形，粉粒含量多的灌溉水，對土壤性質作物生長是有害的，尤其是粉粒的來源是因心土受沖刷而堆積在肥沃之表土上為然。土壤因粉粒堆積之結果，能降低土壤滲透性，而使灌溉排水趨向於困難。

1. 濁度標準單位：

由於濁度是自然界許多不同的物質所形成，因此需要一個任意的單位，這單位是選用 $1 \text{ mgSiO}_2/\text{L} = 1 \text{ unit of turbidity}$ 並且矽 (Silica) 的粒子大小必需達到特定的規格。

在施測濁度時，一般是不用純矽的標準溶液。它只是用於施測最初時，來校正傑克森蠟燭濁度計 (Jackson candle turbidimeter)。傑克森蠟燭濁度計是被選用來作濁度測量的。今天所有的測濁度工具，都是抄襲原始的濁度計，然後由原始的濁度資料校正。

由於工作的常規，如果施用傑克森蠟燭濁度計時，不需要標準溶液校正。但如使用其他方法施測時，標準溶液必須被準備以供參考，平常的儀器標準都是利用矽藻土或漂台土 (fullers earth) 之懸浮液，其標準藉著傑克森濁度計加以標準化。

二、無機性鹽類含量

大都以電導度 (Electric Conductivity) 簡稱 E.C 表示，電導度為測量水之導引電流之容量。電導度 (E.C) 定義如下，是用來測定水中解離性無機鹽類之總濃度，電導度大小即表示水中含有鹽分濃度之高低。此性質與水中電解質之總濃度與量時溫度有關。各種溶解物質之性質，其真正及相對濃度，以及水中之離子強度等均能影響此導電度。

含有解離分子之水溶液能導引電流。在一直流電路中，陽離子游向陰極，陰離子游向陽極。大多數無機酸、鹼和鹽（例如鹽酸，碳酸鈉和氯化鈉）為良導體。有機物如蔗糖和苯則相反，在水中不起電離，所以極難導電。

新製之蒸餾水之比導電度為 0.5 到 $2 \mu\text{mhos/cm}$ ，放置數星期後會升高到 2 到 $4 \mu\text{mhos/cm}$ ，這主要是由於吸收了空氣中之二氧化碳及微量氨所致。

美國之自來水之比導電度約為 50 到 $500 \mu\text{mhos/cm}$ ，含礦物質較多者為 500 到 $1,000 \mu\text{mhos/cm}$ ，有時更高些。污水中之比導電度與該地之給水有關。有些工業廢水之比導電度會超過 $10,000 \mu\text{mhos/cm}$ 。

1. 電導度之單位：

以總合的溶解鹽類濃度表示。日本以水溫 18°C 作為基準(參照圖 2-1) 惟其他國家則以水溫 25°C 作為基準。其單位表示式為 $\mu\text{mhos/cm}25^\circ\text{C}$ 。

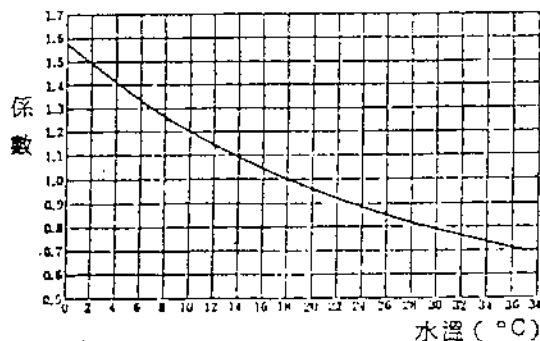


圖 2-1 電導度之換算圖表

2. 電導度之等級：

電導度等級 (conductivity Classes) 可分下列六種：

C_1 ($0 \sim 250 \mu\text{mhos/cm}$)：鹽份含量低之灌溉水適用於各種作物及土壤，形成塩鹽土之可能性甚少。

C_2 ($250 \sim 750 \mu\text{mhos/cm}$)：灌溉水鹽分含量中等，除對鹽分敏感之作物外，一般作物可灌溉。在土壤滲透性較快之情況下，適宜引用，但在滲透特低之土壤應常淋洗，必要時應選種較耐鹽之作物。

C₃ (750~2250 micromhos/cm): 鹽分濃度稍高, 僅宜用於滲透性較強之土壤, 應經常淋洗以防止土壤鹽分積聚, 必要時應行除鹽之特殊管理, 作物選擇較耐鹽之作物。

C₄ (2250~4000micromhos/cm): 鹽分濃度高, 僅適於滲透性強之土壤, 同時應行特殊處理, 淋洗過多之鹽分, 作物應選擇耐鹽性較高之作物。

C₅ (4000~6000micromhos/cm): 鹽分濃度極高之灌溉水, 通常已不適於灌溉之用, 僅可用於滲透性極強之土壤, 並經常淋洗及選擇耐鹽作物。

C₆ (大於 6000micromhos/cm): 鹽分含量過多之灌溉水, 不合於灌溉之用。

三、鈉離子與陽離子(鈣、鎂)之比率

鈣與鎂在土壤中可使土壤保持良好結構, 易透水及空氣流通, 至於鈉則相反, 能使土壤土粒分散, 呈緊密結構, 透水性低, 導致排水不良。由此可知鈣、鎂含量增多, 對土壤結構有利, 反之, 鈉離子含量增加則對土壤有害。所以灌溉水中鈉與鈣、鎂離子濃度之比率將成為判斷水質優劣之重要指標, 而以 SAR 值表示。SAR 計算式如下式:

$$SAR = \frac{N_a^{+}}{\sqrt{\frac{C_a^{++} + M_g^{++}}{2}}} \dots\dots\dots(2-1)$$

式中 Na⁺、Ca⁺⁺、Mg⁺⁺代表每公升該陽離子之公絲當量數 (meq/l)。

1. 鈉吸著率 (SAR) 值之分級如下:

S₁ (SAR 值之低限自 0-2 至高限 2.5-10 間): 鈉含量低之灌溉水, 可用於所有土壤, 在一般情況下, 引起交換性鈉離子積聚而危害作物之可能性甚少。

S₂ (SAR 值之低限自 2.5-10 至高限 7.0-18.0 間): 含鈉中等, 在黏重土壤同時有機質含量低者, 常可感鈉離子之為害, 尤以在排水不良, 淋洗作用緩慢而鈣含量低之土壤為然。此種水質最好施灌溉於粗質地滲透性強之土壤。

S₃ (SAR 值之低限自 18-20 至高限 11.0-26.0 間): 鈉含量高之灌溉水, 施用於非石膏質土壤, 往往可發生鈉離子聚積而產生毒害之情形。但排水良好, 經常淋洗, 施用有機物以改善土壤之物理性, 則此種水質仍可施用。

S₄ (SAR 值之低限自 11.0-26.0 至高限 30.0 間): 鈉鹽含量極高之灌溉

水，一般情形已不適合於灌溉之用，除非土壤施用石膏或其他方法改良。若本等級水質鹽分含量偏高而鈉含量偏低，則土壤中鈉離子不致引起土粒之絮散，對土壤之物理性較為有利，但仍應經常淋洗。

四、有害物質的含量：

其他有害物質之種類甚雜，茲將較常見的分述如下：

1. 殘餘碳酸鈉 (Residual Sodium Carbonate, 簡稱 RSC)：係測定土壤中的碳酸根離子濃度，以下式表示： $RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$
RSC 高者，鈣、鎂易形成碳酸鹽而沈澱，使鈣鎂減少，鈉濃度相對增加，形成鈉害，一般 $RSC < 1.25 \text{ meq/l}$ 者可適於灌溉， $RSC > 2.50 \text{ meq/l}$ 不適於灌溉， $1.25 \sim 2.50 \text{ meq/l}$ 為界濃度。
2. 硼 (Boron)：硼是所有植物保持正常生長所必須的元素缺硼時能產生葉黃及葉焦等明顯現象，最後不是減產即是枯死。硼過多時，對果樹而言，易使葉萎黃，葉燒及落果，品質不佳等現象。灌溉水中含有 0.75 meq/l 以上硼時對敏感作物以 $1.0 \sim 2.0 \text{ meq/l}$ 為其極限。在土壤飽和抽出液之含硼濃度小於 0.7 meq/l 時，可視安全。
3. 硫酸鹽 (Sulfate)：硫在濃度低時，有利作物之生長且為植物生長所必須之元素。但濃度高時，使土壤酸比為害作物。
4. 氯化物：其為害情形與硫酸鹽大致相同，惟毒性較大。在灌溉水中之限值是不得大於 175 meq/l 。
5. 清潔劑 (Detergent)：凡是用來清潔之煉硫都可稱為清潔劑。一般分硬性及軟性兩種：前者由烷基、苯、硫酸鹽（即 ABS）合成。後者由 SAS（鈉、多脂性、硫酸鹽），或是 UAS（硫化腺性烷基化合物）合成。在灌溉水中其值不得超過 50 mg/l （以 ABS 表示）。
6. 油脂：油脂污染主要來自礦物油類及家庭之食料。在灌溉水中油脂含量不得超過 $15.0 \sim 20.0 \text{ mg/l}$ 。
7. 鋁 (Al)：在酸性及鹼性狀況下，有聚積現象，對植物有害。補救方法是將土壤 pH 值控制 $6.0 \sim 6.5$ 間。其忍受限度為 1 mg/l 。
8. 砷 (As)：其規濃度為 1.0 mg/l 。
9. 鉍 (Be)：鉍在灌溉水中是屬於稀有元素，毒性相當大，往往由工業廢水中排入，用其在中性之水中 ($\text{pH} 7 \sim 8$) 易被其他物質吸附，除非排

入 pH 相當低之水中，則不易溶解。其含量達 0.5 mg/ℓ 時，會抑制豆科植物生長，如粘重土壤含量可達 1.0 meq/ℓ 仍可施用。

有關鎘(Cd)、鉻(Cr)、鈷(Co)、銅(Cu)、汞(Hg)、鋰(Li)、錳(Mn)、鉛(Pb)、鉬(Mo)、鎳(Ni)、硒(Se)、鈮(V)、鋅(Zn)等物含量之限定，可參考表 (2-1)。

2.1.2 灌溉水質標準

制定水質標準目的，為積極的控制水資源之品質，使其能適合於各種用途包括自來水、工業用水、魚類及水生物、野生物，以及農業、遊憩等，同時儘可能利用自然水之自淨能力，制定水質之標準應考慮下列各因素：

1. 承受水體的大小和用途。
2. 廢汙量與承受水體最小流的比值。
3. 承受水體的分類和存在的條件。
4. 廢汙性質對河川用途的可能影響。
5. 對區域的污水系統的影響情形。

表 2-1～表 2-3 為台灣灌溉水質之標準。

表 2-1 台灣省灌溉用水水質標準

67.7.5 府建水字第 59931 號

項 目	限 值	項 目	限 值
鈷 (Co) mg/ℓ	0.05	pH 值	6.0-9.0
銅 (Cu)	0.2	電導度 μ mhos/cm25°C	750
鉛 (Pb)	0.1	懸浮固體 mg/ℓ	100
鋰 (Li)	2.5	氯化物	175
錳 (Mn)	2.0	硫酸鹽	200
汞 (Hg)	0.005	總氮量	1.0
鉬 (Mo)	0.01	清潔劑(以 ABS 表示)	5.0
鎳 (Ni)	0.5	油 脂	5.0
硒 (Se)	0.02	鋁 (Al)	5.0
鈮 (V)	10.0	砷 (As)	1.0
鋅 (Zn)	2.0	鉍 (Be)	0.5
納吸著率 (SAR)	6.0	硼 (B)	0.75
殘餘碳酸鈉 (RSC) meq/ℓ	2.5	鎘 (Cd)	0.01
水溫 °C	35	鉻 (總)(Cr)	0.1

附註：天然水之水質若超過本標準之限值，得不受本標準之限制

表 2-2 一般判斷灌溉水質摘要

等級說明	第一級	第二級	第三級
評定項目	極優至良好，在任何情況下，對大多數作物均能施用之。	良好至有害，在某些土壤、氣候或灌溉情況下，對作物產生害處。	有害至不可用，此種水質在大多數情況下不適施用，除非經常淋洗
$\frac{N_a \times 100}{N_a + M_g + C_a + K}$ (meq/l)	小於 30~60%，最近之研究多採用 60% 為標準。	30~75%	大於 70~75%
Boron (mg/l)	少於 0.5mg/l，但對耐硼之作物，濃度可提高至 1~1.5mg/l，還不致有害。	0.5~2.0mg/l，但對耐硼作物，濃度高至 3.75mg/l，仍可得滿意之結果。	硼之含量超過 2mg/l，一般硼之濃度超過 1mg/l，對硼敏感作物已不適用
Cl ⁻ (mg/l)	少於 2~2.5	2~16	大於 6~16
SO ₄	少於 4~11	4~20	大於 12~20
EC×10 ⁶ (25°C) micromhos/cm	早期文獻多設限為 500micromhos/cm，惟最近之研究，認為 1,000 micromhos/cm 仍可接受。	500~3,000	大於 2,500~3,000
總鹽分 (mg/l)	少於 700	350~2,100	大於 1,750~2,100

表 2-3 各種灌溉水質施灌指南

水質因數	可接受濃度 ⁽¹⁾	限制濃度 ⁽²⁾
桿菌、大腸菌 MPN/100m	1,000 ⁽³⁾	(4)
總可溶性固形物 (TDS) mh/l	500 ⁽³⁾	1,500
電導度 EC×10 ⁶ micromhos/cm	750 ⁽³⁾	2,250
pH	7.0~8.5	6.0~9.0
鈉級著率 (SAR)	6.0 ⁽³⁾	15
殘餘碳酸鈉 (RSC) (meq/l)	1.25 ⁽¹⁾	2.5
砷 (meq/l)	1.0	5.0
硼 (meq/l)	0.5 ⁽³⁾	2.0
氯化物 (meq/l)	100 ⁽³⁾	350
硫化物 (meq/l)	200 ⁽³⁾	1,000
鈣 (meq/l)	0.1 ⁽³⁾	1.0

註：1.可接受濃度，表示灌溉水達到此種濃度，要開始關注其對水質所產生之影響。滲漏問題應加考慮，要是其濃度低於該標準時，表示對大多數作物及任何土壤均可施用。

2.限制濃度，表示對高價經濟作物之產量能劇烈下降，用於種植低價便宜作物為宜。

3.該測定值在連續性測定中，其數值變動不超過 20 個或 30 個樣本之平均值範圍之 20%，同時取樣之頻率應該規定。

- (1)可接受濃度，表示灌溉水達到此種濃度，要開始關注其對水質所產生之影響。滲漏問題應加考慮，要是其濃度低於該標準時，表示對大多數作物及任何土壤均可施用。
- (2)限制濃度，表示對高價經濟作物之產量能劇烈下降，用於種植低價便宜作物為宜。
- (3)該測定值在連續性測定中，其數值變動不超過 20 個或 30 個樣本之平均值範圍之 20%，同時取樣之頻率應該規定。

2.1.3 水質不良的處理

本省近十餘年來，由於工業急速發展，與人口增加及集中的結果，伴隨產生大量之工業及家庭廢水，造成污染問題。促使農田遭受嚴重污染，農作物遭受損失，影響灌溉管理及農業生產。有關改善不良水質之方法有：

1. 污泥浚渫：

由於流域之開發，造成河川水質污染，其中因家庭用水、工廠排水，所引起之有機性堆積物其多，此種堆積物中含有為害人體健康之水銀（Hg）、鉻（Cr）、P.C.B（多氯聯苯）等，堆積之污泥經長期生物化學分解過程，消耗流水中涵容氧氣（O₂），造成有機物之有害物質，污染水質，又於河川中，部份滯留水因水流自淨能力不足，淤泥常產生瓦斯及硫化氫放出臭氣。為改善此類河川水質，以採浚渫方法為宜。

污泥浚渫之目的在於防止產生臭氣，減少消耗水中之含氧量，除去危險有害物質，污泥浚渫，首先須依調查資料，定其範圍及數量，當浚渫實施時，要防止污泥亂放，若有必要，防鎖工地，進行浚渫，尤其當污泥含有毒害之物質，於搬運時須防止流失及飛散，一般浚渫之污泥需經一連串之步驟，包括濃縮（Thickening）、脫水（Dewatering）、和最後棄置（Final disposal），當處理時，使用藥品，須於封密式之混凝土槽內處理，避免造成第二次公害轉移。又計劃浚渫之時期，應盡量避免於河中水生物，如苔、魚、貝類等採收時期，以夏季以免生惡臭，破壞生活環境。

2. 流況改善：

流況改善計畫，應依各種不同水域狀況，選擇下述各項適當的方法：

- (1)由蓄水池補給水量。
- (2)由大河川越域引水。

(3)引入海水。

(4)維持用水之循環。

對於流入汙濁負荷量較多且流量較少之河川，其河川淨化對策，可在流域內設蓄水庫，維持及增加水量，或引導其他河川流入，另可利用海域中良好水質以抽水機或導水路引入，以改善狀況，保護水質，淨化用水量計演算法依下式：

$$C_2 = \frac{C_1 Q_1 + C_s Q_s}{Q_1 + Q_s} \dots\dots\dots(2-2)$$

其中：

Q_1 = 導水前河川流量 (C.M.S)

Q_s = 導水量 (C.M.S)

C_1 = 導水前河川水質 B.O.D (P.P.M)

C_s = 導水水質 B.O.D (P.P.M)

C_2 = 導水後河川水質 B.O.D (P.P.M)

淨化用水量依河川，水之利用狀況，隨時改變，故須充分觀察其現況及將來可能之演變，同時須明瞭各階段之變化狀況，及檢討淨化用水量對河川之疏通能力。

流況改善計畫工程實施必須考慮其他計畫，以便兼用，如水庫之導水路，及揚水用之抽水機，可兼做以治水為目的的計劃之調洪水庫之放水路，及排除內水之抽水機等。

“維持用水循環”係都市內小型河川由於下水道之設施，使流水量減少，以致河川內之水流無法達到自淨作用，其改善方法以引入水質良好之水使水流循環。其所需用水量係補給蒸發損失之水量，此法主要係用於附近無法得到大量淨化用水量之使用方法。

3.保護水路之水質：

保護水路之水質依其目的可選擇下述兩種方法：

(1)分離河川中汙濁水與清淨水。

(2)防止河川水與污染水合流。

(1)項係使河川中之河川與汙濁水分開放流，其分離汙水的效果可由下式計算：

$$C_2 = \frac{C_1 Q_1 - C_s Q_s}{Q_1 - Q_s} \dots\dots\dots(2-3)$$

式中：

Q_1 = 分水前河川流量 (C.M.S)

Q_s = 分水量 (C.M.S)

C_1 = 分水前河川水質 B.O.D (P.P.M)

C_s = 分水水質 B.O.D (P.P.M)

C_2 = 分水後河川水質 B.O.D (P.P.M)

一般河川之河幅較寬時，可在河床內另開第二條低水路分離汙水，但在於河幅較小之河川無法另開一條汙水路，可於河床下另開一條排出汙水之暗渠，上部為流通清水之明渠，即使用二層構造，此汙水道之佈置係河川縱斷方向在管理上較為困難。

4. 污染負荷之減少：

對於計劃削減河川空間之污染負荷時，應視各水域之狀況選擇適當之方法。同時須考慮河川周圍之環境，並避免與治水計劃發生矛盾。

(1) 施行在低水路之方法：

① 施行在水深淺處。

② 設蛇籠堰。

③ 設滯留堰。

(2) 施行在高灘地之方法：

① 設酸化池。

② 設浸透池。

③ 散水高灘地

④ 酸化水路。

2.1.4 台灣地區之灌溉水質

灌溉水源受到污染之來源，包括天然污染與人為污染，一般而言，以人為污染應值得重視和警惕。依據台灣省水利局在民國八十年度統計，全省各農田水利會設有水質監視點約 3,036 點，每天廢水量 911,817 噸，其中有 17.5 % 的水質監視點測得的灌溉水質不合格，各水利會包括兩期作之灌溉面積約為 398,104 公頃，受水污染影響面積為 56,575 公頃，減產稻穀達 2,563,125 公斤，有關台灣地區各農田水利會灌區灌溉水質受污染情形調查統計如表 2-4。

表 2-4 台灣地區各農田水利會灌區灌溉水質受污染超過灌溉水質標準調查統計

單位：立方公尺

區域	農田水利會別	灌溉水質不合格水量
北部	七星	0 (無統計數據)
	瑠公	0 (無統計數據)
	宜蘭	3,900,000
	北基	894,000
	桃園	26,168,000
	石門	12,330,000
	新竹	98,082,000
	小計	141,373,000
中部	苗栗	6,015,667
	台中	8,292,000
	南投	0
	彰化	138,216,000
	雲林	26,014,000
	小計	178,537,667
南部	嘉南	8,734,000
	高雄	24,088,000
	屏東	91,264,000
	小計	124,086,000
東部	台東	22,071,000
	花蓮	32,071,000
	小計	54,142,000
合計		498,138,667

註：七星與瑠公因水量少亦無統計資料，故以 0 統計。

資料來源：行政院農業委員會，農業用水量化目標及總量清查報告，2000,3。

目前台灣地區灌溉水污染的來源以工業廢水占第一位，畜牧廢水次之，市區廢水居於第三。據水利局統計，工業廢水水量各占農田水利會排洩戶廢水量之 80% 以上，造成灌溉水質污染最為嚴重。工業廢水中又以食品業、製紙業、紡織業、化工業，等廢水量較多。工業廢水所含污染物非常複雜，很多尚含有毒物質，應特別重視。畜牧廢水中，以養豬廢水影響最大，不論大型企業化養豬場或小型養豬場，都常發生公害糾紛事件。畜牧廢水中，雖然有毒物質含量低，但含有大量的氮、磷、無機鹽類等，若要處理達到灌溉水質標準相當困難，以氮素含量為例，經厭氧發酵及好氧處理的豬糞尿廢水，其 BOD 值雖可達 200ppm 以下，符合事業放流水標準，但全氮含量仍平均在 350ppm 左右，遠超過灌溉水質標準的 1ppm，可見畜牧廢水污染實是灌溉水質維護之一大隱憂。都市家庭廢水的問題則由於人口持續增加而日趨嚴重，目前本省都市下水道之普及率僅 17% 左右，都市廢水處理廠寥寥可數，故經由各種途徑污染灌溉水源的情形不可漠視。

2.2 水源種類

灌溉水源有河川、蓄水庫、湖沼（埤池）、地下水等。若由灌溉面積視之，台灣主要係以河川水源為主。水庫與埤池水源之灌溉面積較少，地下水則多數用為輔助水源。但台灣河川特性不良，由於地形關係，流短坡陡，洪水枯水流量懸殊，含砂量大，增加水源開發之困難。

就灌溉觀點而言，興建水庫調節水源固屬有利，但台灣由於集水區、地質、容水量及淤塞等因素之限制，造壩往往並不經濟，選擇壩址尤非易事，尤其是興建大型水庫困難更多。

決定灌溉水源時，除了應考慮水質、水溫、水量外，尚須顧及有關取水之設備費、維持費等。

2.2.1 河川取水

就水量與水質視之，河川一般可謂為最適當的灌溉水源。同時，取水設備費亦當較其他水源低廉，唯自河川取水時，其所須注意者如下：

一、水量

選擇河川作為灌溉水源時，首先必須分析河川取水地點之年間流量變化情形，然後根據所計劃栽培之作物，其年間所需之灌溉用水量變化，以瞭解河川之枯水期是否亦能取得足夠的用水。一般情形，河川之枯水期，往往也是作物用水需求最殷切之時。因此，河川之枯水量必須要足以應付灌溉用水量最多的時期，否則其不足之水量，必須要有蓄水庫等給予補助。又將枯水量之大部分取入時，必須詳加考慮是否因此影響下游之水權問題。

二、水位

取水地點之河川水位，應以枯水位作為標準。若其水位無法依自然流入方式取水時，則應築造攔河堰以維持水位，或使用抽水機取水。

三、低水工事

於河床不安定之河川，因枯水期水位發生變化，致使取水困難時，為使此種河川能以自流方式取水，因而施以低水工事以固定流路。整正低水或常水之河川流路，固定河岸，以及防止河床之變動或河道之分歧等，以利水之取入或航運之工事，稱為低水工事，此種工事有丁壩、順壩、分流工……等。

1.本省河川之概況

台灣大小河川共 129 條，包括主要河川 21 條，次要河川 29 條，和普通河川 79 條。（台灣重要河流長度及流域面積表如表 2-5）所有河川都是流短坡陡，豐枯流量懸殊。流量集中在夏季颱風季節，容易成災，平時流量稀少，甚至枯竭，可供利用的天然流量有限。

據調查統計，台灣各河川年逕流總量計達 675 億立方公尺，惟季節分佈很不平均，其中雨季（5～10 月）為 526 億立方公尺，佔 78%，旱季（11～4 月）為 149 億立方公尺，佔 22%。枯水年之年逕流量為 341 億立方公尺，約年平均逕流量之半。若將歷年日流量按大小順序排序，可以找出 90% 日流量均大於某種低流量，稱為歷時 90% 日流量。若以此低流量作為可供引用之可靠天然流量，則台灣可靠之地面水源約 134 億立方公尺。（如表 2-6）

表 2-5 臺灣地區重要河流長度及流域面積表

河名	河流 長度 (km)	流域 面積 (km ²)	河口計畫 洪水量 (m ³ /s)	河名	河流 長度 (km)	流域 面積 (km ²)	河口計畫 洪水量 (m ³ /s)
磺溪	14.46	49.07	1,030	四重溪	31.91	124.88	1,960
淡水河	158.67	2,725.82	20,000	保力溪	14.94	105.23	1,740
南崁溪	29.11	214.83	2,850	雙溪	26.81	141.36	2,140
老街溪	37.07	81.59	1,460	福德溪	7.75	15.90	325
社子溪	24.17	77.83	1,420	金面溪	7.64	7.94	159
鳳山溪	45.45	250.10	2,400	得子口溪	19.23	95.25	1,630
頭前溪	63.03	565.97	8,380	蘭陽溪	73.06	978.63	8,400
客雅溪	22.98	48.41	720	冬山溪	25.29	113.36	1,510
中港溪	54.14	445.58	4,720	新城溪	18.13	50.46	880
後龍溪	58.04	536.59	6,340	蘇澳溪	8.83	29.65	593
西湖溪	32.11	110.53	1,800	南澳溪	43.90	311.73	3,690
大安溪	95.76	758.47	7,000	和平溪	50.73	561.06	9,000
大甲溪	140.21	1,235.73	8,780	立霧溪	58.37	616.30	5,910
烏溪	116.75	2,025.60	21,000	三棧溪	24.45	123.32	1,950
溪水溪	186.40	3,155.21	24,000	美崙溪	19.58	72.54	1,090
新虎尾溪	49.85	109.26	1,790	吉安溪	11.40	42.16	632
北港溪	81.86	645.21	6,100	花蓮溪	57.28	1,507.09	16,600
樸子溪	75.67	400.44	3,490	豐濱溪	16.98	82.99	1,240
八掌溪	80.86	474.74	3,580	秀姑巒溪	81.15	1,790.46	12,300
急水溪	65.05	378.77	2,380	富家溪	10.46	27.23	387
曾文溪	138.47	1,176.64	9,190	馬崙溪	23.11	150.33	2,230
鹽水溪	41.34	221.69	2,920	卑南溪	84.35	1,603.21	11,400
二仁溪	65.18	350.04	4,000	太平溪	19.62	95.05	1,580
阿公店溪	29.66	135.01	2,070	利嘉溪	37.68	174.70	2,470
高雄川	20.60	115.51	1,860	知本溪	39.25	198.45	2,700
高屏溪	170.90	3,256.85	23,500	太麻裏溪	36.27	217.53	2,880
東港溪	46.94	472.20	4,040	金崙溪	28.82	151.94	2,250
林邊溪	42.19	343.97	3,240	大竹溪	23.60	133.41	2,050
率芒溪	22.33	89.61	1,560	大武溪	19.85	109.52	1,793
枋山溪	25.67	125.48	1,970	港口溪	31.18	101.69	1,530
楓港溪	20.38	102.52	1,710				

資料來源：經濟部水利處。

表 2-6 臺灣地區各區域年逕流量

單位：百萬立方公尺（%）

區域	面積 (km ²)	平均年逕流量			枯水年 逕流量	各項歷時百分比的流量			主要河川
		豐水期	枯水期	全年		50%	75%	90%	
北部	7,347	10,146	5,999	16,145	9,259	7,305	4,986	3,613	淡水河、蘭陽溪、 頭前溪
中部	10,507	13,507	3,403	16,911	9,704	6,856	5,091	4,003	後龍溪、大安溪、 大甲溪、烏溪、濁 水溪、北港溪
南部	10,004	16,092	1,498	17,590	6,623	3,260	1,920	1,466	旗子溪、八掌溪、 急水溪、二仁溪、 曾文溪、高屏溪、 林邊溪
東部	8,144	13,485	3,755	17,240	8,495	6,681	5,682	4,304	花蓮溪、秀姑巒 溪、卑南溪
合計	36,002	52,589	14,908	67,497	34,081	24,104	17,607	13,386	

註：1. 豐水期：5～10 月，枯水期：11～4 月。

2. 表內區域的畫分，是按照「臺灣地區綜合開發計畫」分區原則，包括的縣市北區為宜蘭、基隆、臺北、桃園、新竹，中區為苗栗、臺中、南投、南投、彰化、雲林，南區為嘉義、臺南、高雄、屏東、澎湖，東區為花蓮、臺東，四區的水資源年逕流量大致相等。

資料來源：臺灣地區水資源之合理開發與利用，水資會報告，70 年 6 月。

2. 地表水（溪河流量）之估算：

(1) 觀測法：溪河之流量，需根據溪河之浸水斷面面積，與平均流速計算求得。即 $Q=AV$ 。流速測量方法有三：

- ① 流速儀測法：將流速儀沈入水中，觀測斷面上各點之流速，推算該斷面之平均流速。
- ② 浮標測法：洪水時期放浮標入流水中，觀測表面流速，推算溪河之平均流速。
- ③ 水面坡降法：在溪河中一整齊河段，取上下斷面各一分別設立水尺一組，在同一時間內測讀上下水尺之水位差數，除以二水尺間距離，即得水面坡降，用曼寧公式推算不平均流速。

$$V = 1/n \times R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots (2-4)$$

根據各流量站之日報表，加以整理統計分析後，分別繪製過程曲線、頻

率線，和累積曲線等，以供規劃之用。

- (2)估算法：溪河流量若在某種情況急欲實施一有希望之灌溉計劃，而事前對該溪河無實測流量記錄時，則以間接法推估之。即

$$R=C \times P \dots\dots\dots(2-5)$$

式中：

R=逕流量

C=逕流係數

P=降雨量

根據上式估算原理，依次庫斯克(Isekowsxi)氏曾統計各種地形之逕流係數，如表 2-7。

表 2-7 各種地形之逕流係數表

地形分類	沼澤窪地	低地高原	丘陵地伏地	坦坡山地	陡坡山地	高山	險陡高山	極陡高山
逕流係數	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55~0.70

2.2.2 湖沼水（埤池水）

湖沼以其廣大之水面積與蓄水能力，可作為最經濟之自然灌溉水源。湖沼除了直接作為水源地外，又有調節河川水源流量之功能。平原部下游地區之沼澤，雖亦可利為調節洪水或灌溉水源，但用之於灌溉時，因其水位較低，通常需用抽水機提高水位。又海埔地墾殖時，可保留一部分為滯潮地，兼作洪水調節及枯水期灌溉之用，亦可利用天然地形，開設海岸淡水湖，蓄儲鄰近河川餘水，作為海埔地或沿海地區之灌溉水源。

台灣池塘水源蓄水容量之計算，多以供應水稻插秧尖峰用水之需，或保證本田灌溉期間枯旱用水（30~40 天）之用。按照池塘水源在灌溉系統所處位置之不同，大致可分為二類：

- (1)池塘水源僅收集其集水區水量者，例如嘉南及高雄兩農田水利會轄區內之池塘。

- (2)池塘水源除收集其集水區水量外，另以灌溉輸水系統與水庫或河流水源渠道相連供水蓄存備用者，如本省北部桃園農田水利會之桃園大圳及光復圳灌溉區均是，池塘水源常應考慮之副產品為淡水魚，

桃園大圳 220 口池塘之淡水魚，為水利會及當地農民之一大收入，常年養魚需有固定之最少蓄水量，如有此需要，應予計劃及運用時，早予留出。宜蘭地區之低窪地，於旱季（2 月～6 月）以 30% 土地先養魚苗，70% 土地栽培一期水稻，再於雨季（7 月～10 月）以 100% 土地全部飼養成魚（吳郭魚），此為一舉兩得之事，此種養魚與水稻輪作方式，在世界上其他地區尚不多見。

1. 湖沼（埤池）水量之估算

(1) 求出其水面面積

a. 測量一個與該湖泊尺寸相近的長方形（圖 2-3）（此處之湖泊可代表另外之池塘或蓄水庫）假設此長方形之平均寬度為 180 公尺，而平均長度為 220 公尺。

b. 則其面積為 $180 \times 220 = 39,600$ 平方公尺

(2) 測量水容積

a. 量出水面到最深處的深度。

本例假定為 5 公尺（圖 2-2a）

b. 求出該湖泊之平均深度（圖 2-2b）。

對一般小湖泊來說，其平均深度約為 0.4 乘以最大深度。所以， $5 \text{ 公尺} \times 0.4 = 2 \text{ 公尺}$ （平均深度）

c. 該水面面積乘以平均深度。

$39,600 \text{ 平方公尺} \times 2 \text{ 公尺} = 79,200 \text{ 立方公尺}$

(3) 求出可供灌溉用之水容積。

假定由於該湖泊的滲漏、蒸發和淤積之影響，其效能只 80%。

於是： $79,200 \text{ 立方公尺} \times 0.8 = 63,360 \text{ 立方公尺}$

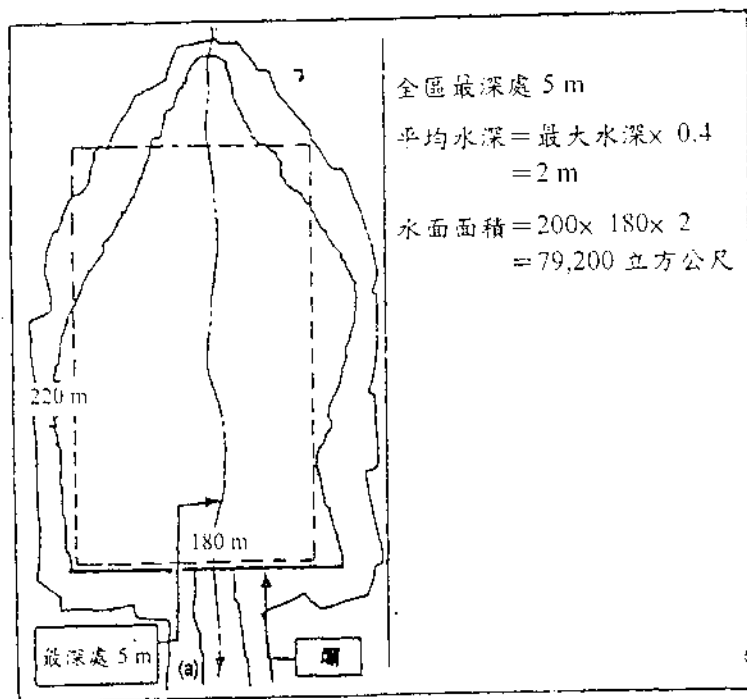


圖 2-2 (a)埤池水面面積之估算 (b)埤池水容積之計算

2.2.3 地下水

如表 2-8 大致可以分作九區，各地區之計劃深井數目及地下水蘊藏量並不互相呼應，此點固然深受地面水源、引水及蓄水開發程度之影響，亦可略示供求之情形。

表 2-8 台灣各地之地下水源

地 區	蘊藏量情形	估計安全年出水量 ($10^6 m^3$)	計劃深井數目	備 註
1. 臺北盆地	次多	99	27	淡水河流域。
2. 桃園盆地	較少	75	-	
3. 桃園、新竹、苗栗、沿海地區	最少	30	145	頭前、鳳山、後龍、部分大安溪流域。
4. 台中盆地	較少	140	74	大甲溪及部分大安、烏溪流域。
5. 濁水溪扇形地	最多	1,300	807	濁水溪、北港溪流域。
6. 嘉南高雄平原	最少	300	100	樸子、八掌、急水、曾文、二仁溪流域。
7. 屏東平原	最多	370	315	高屏溪流域。
8. 宜蘭平原	次多	120	-	蘭陽溪流域。
9. 花蓮、台東間的河谷地帶	次多	200	132	卑南溪、秀姑巒溪流域。
合 計		2,634	1,600	

資料來源：台灣地區水資源之評估（金紹興，1981）

由上表得知本省北部及東部地下水利用不多，西岸中部及南部利用最多，全部電動機及內燃機抽水井 9375 口之中，西岸中部佔 4444 口，南部佔 4741 口，共佔全省之 98% 左右。此種抽水機（地下水）之性能大致如下：

表 2-9 抽水機之性能

按馬力分述	佔百分比比例 (%)
未滿 5.0HP 者	49.5
5.0HP 至 10.0HP	38.3
10.0HP 至 15.0HP	4.4
15.0HP 至 20.0HP	1.2
20.0HP 至 30.0HP	1.7
30.0HP 至 60.0HP	4.7
60HP 以上者	0.2
計	100.0

由上列可見本省西岸中部及南部之地下水抽水機約 90% 均為 10 匹馬力以下者，足以表示本省地下水井之灌溉面較小，或多為補助地面水源以應付水稻整田插秧時期之尖峰用水。大致而言南部高屏溪灌區，地下水井單獨供水之灌區較多，面積小而單獨經營，不受水利會之約束，西岸中南部灌區，地下水井供水多利用地面水源之渠道系統送達輪區單區，其用途多屬供應水稻整田插秧期尖峰用水之需，另一特點為本抽水灌溉，無論地下水源及地面水渠，均以電動機為主，故與電力供應有密切關係。台灣省電力供應充沛，配電系統密佈，亦為促成地下水水源開鑿之主因。

一、地下水的定義

在地球表面的水，能用井、隧道或排水溝收集者，或能經由滲流或噴泉自然地流至地面者稱之為地下水 (Groundwater)。

但並不是所有地裡的水都是地下水。假若掘一孔洞，可能會遭遇潮濕的土壤或飽和的土壤，只要水不能自由地滲流入孔洞中就不算是地下水。僅當水開始流入孔洞中時它才算真正的地下水。由於孔洞中之空氣壓力等於大氣壓力，所以假若水是自由地流入孔洞之中，地下水壓力必然高於大氣壓力。同理，不流孔洞中的地裡水，其壓力必然小於大氣壓力。因此，辨明其地下水而別於其他各種地裡水之根據乃是地下水壓大於大氣壓。由於地下水在重力的作用下自由地移動至井中，因此亦可稱為自由水 (Freewater) 或是重力水 (Gravitational water)。自地表至地下水之深度，其範圍由 1 公尺或較淺至 1 公里或更深，也有些地方的地下水人類根本無法達到。

介於地表面與地下水頂端的區域稱作通氣層 (Vadose Zone) 或未飽和層

(Unsaturated zone)，此層仍含有水（唯乾燥氣候區含水量很少），但是此種水乃是土粒或地下質材的毛細力所保持。此種水雖能在通氣層移動，卻不能以水體方式移出通氣層而流入井中或移出暴露於大氣壓中的其他地方。

採用「通氣層」一詞比採用「未飽和層」為優。因為在通氣層中的許多部份都可真正地飽和。通氣層中之飽和區尚包括地下水面上的各類：毛管層（Capillary fringe）指雨水飽和的表土，黏土的飽和層，及以粗粒質材為底上面保水力較高的細質材層。因此，位於地下水上面之地層下該稱作未飽和層。同理，稱地下水區域為飽和層（Saturated Zone）也是不合理的。因為壓擠在土層中的空氣可能保持在該層中而不能完全飽和。由於上述的理由，本文中採用通氣層與地下水層（Groundwater Zone）而不採用未飽和層和飽和層。大氣壓力是通氣層和地下水層的分界線，通氣層中之水，其壓力小於大氣壓力，地下水層中的壓力大於大氣壓力。

二、地下水源與存在

(一)地下水的來源有二，即雨水滲入與地表水滲入，茲分述之。

1.雨水滲入：

落在地面上的雨水，除逕流及小部份蒸發外，其餘通過土壤空隙，受地心引力作用，漸次向下層滲降，最後儲積在飽和層，即地下水層中，此種現象稱滲透，其有關因素如下：

(1)土壤的透水性（Permeability of soil）：

土壤種類甚多，其透水性能極不一致。按透水性的優劣，應視其滲透速度而定；惟此速度的大小，不但因土壤的種類而異，且與其保濕量大小，溫度高低，及其他條件，彼此互有關係，在一定條件下，可能滲透量的最大速度，稱之曰「滲透能」，通常以水深表示之。

$$\text{滲透能(公尺/日)} = \text{水量(立方公尺/日)} \div \text{滲透面積(平方公尺)}$$

滲透能隨各種土粒之性質而異，一般含砂土壤，其滲透能較大，粘性者為小。依實驗結果，粘土層滲透能為砂層的二十分之一，含七份砂三份粘粒的混合土，其滲透能亦僅為砂層之 0.82 倍，由此可知純砂層的滲透能之大。

(2)雨前土壤保濕度：

雨水滲入地中，一部份懸垂於土層中，增加其保濕量，其餘成為重力水，下降達地下水面。在降雨之初，若土壤均在保濕不足狀態時，雨水只能增加上層的懸垂水，待土壤水份達保濕容量後，才

開使始下滲，此時若土壤水份繼續增加達飽和狀態後，則滲透愈趨活潑，地下水量亦愈趨豐富。

(3)降雨強度：

有時在短時間內降下傾盆暴雨，巨大雨滴打擊地面，使地表粘土浮動與雨水混成濁流，侵入土層中，將流通水量的空隙一時為之填塞，遂使雨水不易滲透，大部分因之而成逕流；但若經過較長時間的降雨，空隙亦可復告疏通開始原有的滲透功能。

(4)地面坡度：

比降大者，雨水降落地面時，因來不及滲入土中，大部分均成逕流而去。

(5)其他：

如季節不同，氣候差異，地面覆被情形，地下水面深淺等均有影響。

2.地表水滲入：

包括河床、灌溉渠等，亦為地下水來源之一。凡任何河川，可在其上下游測定其流量之差，再減去水面蒸發量，即可知滲入地下水的水量；其滲入量的大小，隨河川河床與地下水面間的土質及地層構造而異。

(二)地層中地下水的存在，可以地下水面（Water table）為界限，分上下二部份，上部稱含氣層（Zone of aeration），下部稱飽和層（Zone of saturation）。見圖 2-3。

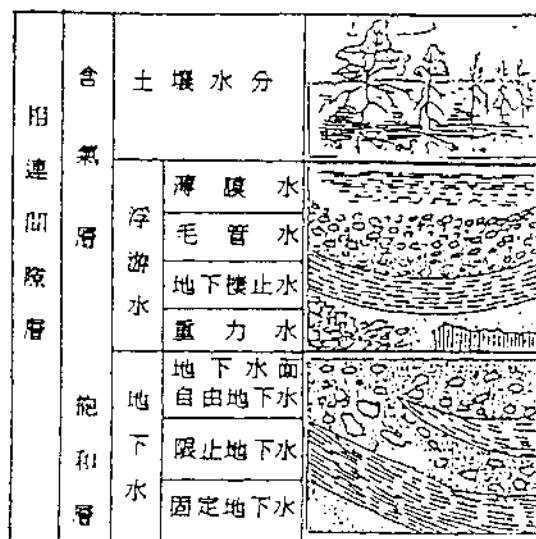


圖 2-3 地下水層示意圖

1. 含氣層：

因該層中氧氣、碳酸氣及有機酸等作用於岩石，使變成為風化物，故又稱風化層。含氣層最上部份為土壤水份區，其深度可自若干公分至數十公尺不等，為各種植物吸收水份主要區域，也是地下水蒸發的出路。含氣層中的水份可分為止水與動水，止水薄膜緊貼於裂縫，或如楔形體密接於土中孔隙中，止水在毛管層上部稱薄膜水(Pellicular water)。土壤保持薄膜水的容量，農業上稱為田間含水量，其容量隨土壤種類的不同而異。當土壤中水份量超過土壤最大保持量時，則受重力作用向下運動，而稱重力水。

毛管層(Capillary fringe)在地下水面之上，且與之相鄰，該層中水份乃受毛管作用所支配，深度由若干公分至數公尺不等，視地下水面以上的土層結構及孔隙等而定。地下水面距地面甚近時，則可由地面蒸發至大氣中，此外為毛管水上升達植物根部時，則被吸收由葉面蒸發而去。毛管水的升高運動，視管徑的大小而異，管徑較大如在砂土中者，升高速度快而高度低，管徑小如粘土中者，速度慢而上升高度大。

含氣層中若有不透水層存在時，則能預托一部份地下水於其上，此稱為地下棲止水(Porched water)。

2. 飽和層：

此層在地下水面以下，全部孔隙均為水所充滿，依其存在性質，可分為：

(1) 自由地下水：

由其水面比降不同，可自由流動者屬之，河床底下的潛流即其一例。

(2) 限止地下水：

地下水如在二不透水層間的含水層中，其水流受上覆不透水層的緊閉限制，而成為壓力水流時稱之。鑿井時，如達此限止地下水層，其中壓力因井孔穿透而獲得解除，地下水即由井孔自動上升，達到水力坡線，與此含水層進水處約略相等的高度處為止；如開井處水力坡線在地面之上時，則地下水可自井口自動噴出，此即為自流井的原理。

(3) 固定地下水：

乃保持在地底微細孔隙中的水份，在尋常比降條件下亦不發生流動。

三、地下水之流動

地下水的流動，有四種不同的形式，即滲漏、毛管水運動、地下紊流及滲流；前二者係發生在地下水面以上。

(1)滲漏 (Seepage)：

為地表上江河、湖沼、水庫及雨水等水份，由地面滲入地層中的一種運動，滲漏的原動力是動力，影響滲漏的因數是土質、地面比降等，在上節中已詳述及。

(2)毛管水運動 (Capillary movement)：

在細管中，因受表面張力的吸力而有上升的現象。土壤中空隙縱橫交錯，可認為多數毛管相互交聯，本來水在土壤毛管中是有保持平衡的趨勢，但當上部毛管水因植物根部吸收或地面蒸發而告減少時，水份為平衡計，乃由壓力較大處向較小處流動，因植物根部的吸收及地面蒸發永無休止，故乃繼續發生毛管水的運動。

(3)地下紊流 (Ground water turbulent flow)：

在地下水面較近大孔隙之地層，此項水面比降甚大時，則水之分子成渦旋流動者稱為紊流。因其流速較大，故地下水面比降較小者，不易發生。

(4)滲流 (Percolation)：

地下水在飽和層部份，沿粒狀物質的孔隙中作緩慢流動；此項運動，由於微小的地下水面比降而生，因而呈穩定規則的層流。

四、地下水之流速與流量

地下水的流動甚為緩慢，在砂土中一年約為一兩公里，在砂礫層中則較大，乃視水頭及砂礫的性質而定。

1893 年海氏與白氏 (Hagen & Poiseuille) 發現流體在毛細管中流動速率，與壓力水頭成正比例，稱為海白氏定律，1856 年達西氏經多次實驗證實上述定律，並發表流速與土壤性及水頭的關係，即為達西定律 (Darcy formula)：

$$V = K \times h / L \dots\dots\dots(2-6)$$

$$Q = VA = K \times A \times h / L \dots\dots\dots(2-7)$$

式中：

V：流速

K：滲流係數

h：水頭

L：滲透距

A：滲流斷面積，等於土面積乘孔度

式中英、公制均可適用，惟並未注意如何決定K值，至1892年Allen Hajen以達西氏定律為基本，用河砂做實驗而定K值為：

$$K = cd^2 (0.7 + 0.03t) \dots\dots\dots(2-8)$$

式中：

t：水溫°C

d：土粒有效粒徑 mm

c：常數約為 1000，視土粒情形而定

地下水量受地上乾旱影響較少，流量固定，當地面積枯竭時，地下水仍可源源供應，此為開發地下水的優點。在下列各種場合尤有開發價值。

- (1)灌溉工程的水庫或渠首工程需先有龐大之經費，資金籌措困難，工作期間過長，不若局部開鑿地下水，經費少而時間短，完成一井即可灌溉。
- (2)附近無地面水流可資利用者，非鑿井不可。
- (3)必須引用清潔水質為飲用水或灌溉水者。
- (4)補給旱地地面灌溉水不足，乾旱更見功效。
- (5)集合群力不易時，個別鑿井，便可單獨使用。
- (6)鑿井多在灌區內，節省引水工程，利用原有水路即可灌溉。

地下水量之估算係先測出試驗井流量，再推求全地地下水流量。其應用原理為達西（Darcy）氏之基本水流公式，彼認為：任二點間之地下水流速與該二點之水頭差成正比例，與二點間距離長度成反比例，且與土壤顆粒之粗細和其孔隙量有密切之關係。

有關井內水量估算之基本原理：

即依 Darcy 公式： $V = KI$

則 $Q = SVA = SKIA$(2-9)

式中：

Q ：流入井內之水量 (cms)

S ：岩層之出水量率 (%)，即岩層孔隙中之飽和水量，受重力作用時而能流出之水量，所佔岩層總體積之百分數。

I ：地下水坡降＝兩點間之水頭差/兩點間距離長差

K ：滲透係數

A ：抽水影響圈的橫截面積 (m^2)

五、地下水的種類

1. 以存在型式來分：

(1) 井水：以人工挖鑿而成。

(2) 泉水 (Spring)：乃地下水自地層之天然罅隙中溢出者。

2. 依壓力能含有與否可分：

(1) 自由地下水；(2) 限止地下水；(3) 固定地下水，其定義如前所述。

六、地下水的利用

地下水之利用，世界各國均各有其悠久的歷史，古埃及與羅馬皆有輝煌之成就。我國利用地下水，早見於數千年以前。茲將各國利用情形，列舉如次：

1. 農田灌溉：

我國夏周時代，即厲行井田制度，利用井水、地下水以資灌溉，明代農田水利學家徐文定以光啟曾著農政全書，對地下地質，測探地下水源，水質鑑別，鑿井技術，均有詳盡之研究，「旱田用水書」一文，力陳井水灌溉之利，尤為精闢不朽之論。民國以來，華北及西北等高旱地區，自創抽取地下水墾荒，大告成功以還，使該州水穀產量名揚各地。蓋該處一帶，地屬結耕含蓄，地下水量豐富，加以農業工程發達，益使利用灌溉，成績顯著，今日加尼福尼州約有五分之三的農田，即仰賴於深井抽水灌溉，可見利益之溥。

2. 都市給水：

地下水經地下砂石層的天然滲濾，水質清潔，為極佳之飲用水料。北平自來水廠，即以地下水為其水源，漢口及其他若干都市，亦多利用井水。紐約市自來水廠，利用地下水量達全廠消耗水量之半，倫敦市亦

占四分之一強，奧京維也納更捨去附近多瑙河水量，而向百哩外引用井水入市供應，日本自鑿泉合資社在佐賀地方初次打井成功後，全國各地蜂起開發，德國因地理環境關係，地表水存量有限，不得不特別注重於地下水之利用，計每日耗用量如平鋪全境，可達五公釐厚的水層。

3. 工業用水：

地下水含有若干硬度，如利用以釀酒，可以促進發酵之用，故德國之啤酒業因此而著名全球。日本東京市將地下水軟化後，則大量供給蒸汽機之用。

2.3 蓄水庫

因降雨量或流域之狀況，無法從河川求得安定灌溉用水之地區，則以蓄水庫為主要水源，或補給水源。即使用水以河川為主要水源地區，仍有於其上游設置蓄水庫，當枯水期河川水量不足時以發揮灌溉功能者。又於用水不充裕之地區，若新整訂一大規模之灌溉計劃時，亦有必要設置蓄水庫。另者為了緩和河川流量之變動，使能應付用水量之變化，亦有於河川或水路之中下游部設置調水蓄水庫者。

築造蓄水庫，因需要巨額的工程費，故僅就灌溉而言，水價通常較從河川直接用水者略高，但因其可調節洪水並用於發電，所以若能適宜執行放流操作，則既能治水，而得以發揮水之高度利用。因此，目前蓄水庫之興建多具備多目標之功能。

台灣河流經水庫調節而用於灌溉之水源，大致可分作三類（如表 2-10）：

- 一、攔截主要河流水源，而行季節性之調節者，如石門水庫、曾文水庫屬之。
- 二、攔截次要河流或主要河流之支流水源，而行季節性或跨年度之調節者，如大埔水庫、後龍水庫、白河水庫、虎頭埤、阿公店水庫等屬之。
- 三、攔截次要河流或主要河流之支流水源，並以隧道與主要河流相聯通者，如日月潭、烏山頭水庫屬之。

如按照水源適用目標的分類，則可大別為二類：

1. 單目標水庫，例如虎頭埤水庫及烏山頭水庫屬之。
2. 多目標水庫，例如石門水庫、曾文水庫、大埔水庫、後龍水庫、白河水庫及阿公店水庫屬之。

台灣地區已完成及待興建各水庫之功能、蓄水量等相關資料如表 2-10～表 2-12。

表 2-10 光復前完成水庫一覽表

民國 80 年 8 月調查
民國 84 年 11 月補正

水庫名稱	水庫位置	水 源	目 標	蓄水容量 (百萬立方公尺)		壩 址	壩高 (公尺)	壩長 (公尺)	完成年月	備 註
				總容量	有效容量					
虎頭埤	臺南縣新化鎮	鹽水溪	灌 溉	1.36	0.81	土石壩	15.0	470	民前 26 年	虎頭埤:民國 10 年改善增加給水目標灌溉 124 公頃
西勢	基隆市暖暖區	基隆河	給水、灌溉	0.56	0.49	混凝土壩	26.0	127	民國 16 年	
烏山頭	臺南縣官田鄉	曾文溪支流大埔溪	給水、灌溉	171.19	83.76	土石壩	56.0	1,273	民國 19 年	
日月潭	南投縣水裏鄉	濁水溪	給水、灌溉、發電、觀光	171.62	138.68	土 壩	30.0	364	民國 23 年	
尖山埤	台南縣柳營鄉	急水溪支流龜重溪	給水、灌溉	8.11	3.07	土 壩	30.0	255	民國 27 年	
鹿 寮	嘉義縣水上鄉	八掌溪	給 水	3.78	1.24	土 壩	31.0	340	民國 28 年	
澄清湖	高雄縣萬松鄉	高 屏 溪	給水、觀光	5.30	2.30	土 壩	6.0	1000	民國 32 年	
蘭 潭	嘉義市	八掌溪	給 水	9.80	8.92	土 壩	77.3	546	民國 33 年	

資料來源：台灣地區之水資源，經濟部水資源局，1995。

表 2-11 光復後完成水庫一覽表 (1/2)

水庫名稱	水庫位置	水 源	目 標	蓄水容量 (百萬立方公尺)		壩址	壩高 (公尺)	壩長 (公尺)	完成年月
				總容量	有效容量				
西河	苗栗縣三灣鄉	峨眉溪	灌溉	0.60	0.60	混凝土壩	5.0	90	民國 40 年
龍鑾潭	屏東縣恆春鎮	保力溪	灌溉	3.79	3.54	土 壩	18.5	1967	民國 41 年
阿公店	高雄縣燕巢鄉	阿公店溪	灌溉 給水 防洪	45.00	5.67	土 壩	42.0	2,380	民國 41 年
天輪	臺中縣天冷	大 甲 溪	發電	0.82	0.69	混凝土壩	54.5	92	民國 41 年
鹽水埤	臺南縣新化鎮	鹽水溪支流茄苳溪	灌溉	0.76	0.24	土 壩	8.6	737	民國 44 年
德元埤	臺南縣柳營鄉	急水溪支流	灌溉	3.85	2.23	土 壩	6.7	432	民國 45 年
青草湖	新竹市南區	溫厝廓溪	灌溉	1.10	0.08	土 壩	17.0	149	民國 45 年
劍潭	苗栗縣造橋鄉	客 雅 溪	灌溉	0.56	0.56	混凝土壩	8.0	35	民國 46 年
霧社	南投縣仁愛鄉	南 港 溪	灌溉	148.6	105.8	混凝土壩	114	226	民國 47 年
大埔	新竹縣峨眉鄉	濁水溪流域霧社溪	發電	9.40	4.51	混凝土壩	17.0	99	民國 49 年
穀關	臺中縣和平鄉	中港溪支流峨眉溪	給水、灌溉	17.10	7.02	混凝土壩	86.0	140	民國 50 年
石門	桃園縣石門	大 甲 溪	發電	309.12	236.59	土 壩	133	360	民國 53 年
白河	臺南縣白河鎮	淡水河支流大漢溪	灌溉、發電、防洪、給水	25.09	15.96	土 壩	43.0	210	民國 54 年
下達見	臺中縣下達見	急 水 溪	灌溉、給水、防洪	0.60	0.59	混凝土壩	45.0		民國 59 年
明德	苗栗縣頭屋鄉	大 甲 溪	發電	17.70	13.98	土 壩	35.5	187	民國 59 年
曾文	臺南縣楠西	後龍溪支流老田寮溪	灌溉、給水、發電	712.70	583.81	土石壩	133.0	400	民國 62 年

表 2-11 光復後完成水庫一覽表 (2/2)

水庫名稱	水庫位置	水 源	目 標	蓄水容量 (百萬立方公尺)		壩址	壩高 (公尺)	壩長 (公尺)	完成年月
				總容量	有效容量				
成功	澎湖縣港西鄉	港底溪	給水	1.08	1.04	混凝土壩	10.5	290	民國 62 年
德基	臺中縣和平鄉	大甲溪	發電	255.40	175.00	拱壩	180.0	290	民國 62 年
石岡	台中縣石岡鄉	大甲溪	灌溉、給水	3.02	2.20	混凝土壩	25.0	357	民國 66 年
直潭	臺北縣新店市	淡水河支流新店溪	給水	4.20	4.00	混凝土壩	17.0	117	民國 67 年
興仁	澎湖縣馬公市	窪地	給水	0.68	0.64	混凝土壩	13	232	民國 68 年
頭社	南投縣魚池鄉	濁水溪	灌溉	0.34	0.26	土壩	12.0	64	民國 68 年
柔佛巴魯	基隆市	大武倫溪支流柔佛巴魯溪	給水	4.00	3.75	土壩	50	240	民國 69 年
東衛	澎湖縣馬公市	窪地	灌溉、給水、 防洪	0.19	0.19	混凝土壩	9.5	248	民國 69 年
鏡面	臺南縣南化鄉	曾文溪支流鏡面溪	灌溉、給水	1.15	0.81	混凝土壩	36.0	120	民國 70 年
永和山	苗栗縣頭份鎮	中港溪	灌溉、給水	29.58	27.39	土壩	62.5	340	民國 73 年
鳳山	高雄縣林園鄉	東港溪	給水	9.20	7.87	土壩	39.5	325	民國 73 年
寶山	苗栗縣頭份鎮	頭前溪支流上坪溪	給水	5.47	5.35	土壩	34.5	260	民國 74 年
仁義潭	嘉義縣番路鄉	八掌溪	灌溉、給水	29.11	25.98	土壩	28.0	1511	民國 75 年
赤崁	澎湖縣白沙灣	新店溪支流北勢溪	灌溉、給水	1.28	0.66	混凝土壩	13.0	820	民國 75 年
翡翠	臺北縣新店市	窪地	給水、發電	406.00	354.04	拱壩	122.5	500	民國 76 年
西安	澎湖縣望安鄉	大安溪支流景陽溪	給水	0.24	0.24	重力壩	13.0	361	民國 76 年
鯉魚潭	苗栗縣	曾文溪支流後堀溪	給水、發電	126.12	122.77	土石壩	96.0	235	民國 82 年
南化	台南縣南化鄉	四重溪	給水、發電	158.05	149.46	土石壩	87.5	509	民國 82 年
牡丹	屏東縣牡丹鄉		灌溉、給水	31.40	29.78	土石壩	5.0	435	民國 84 年

資料來源：台灣地區之水資源，經濟部水資源局，1995。

表 2-12 目前規劃興建之水庫

水庫名稱	地 點	區 別	水源主要河流	壩型	最大有效容量 (百萬立方公尺)	用 途
坪林水庫	臺北縣坪林鄉	北部	新店溪支流北勢溪	混凝土壩	165	公共給水
雙溪	宜蘭縣	北部	集溪支流丁子蘭溪	拱 壩	15.6	公共給水
寶山水庫 (第二)	新竹縣寶山鄉	北部	頭前溪之上坪溪	土 壩	32.18	公共給水及工業用水
建民水庫	台中縣大裏鄉	中部	烏溪支流大裏溪 分流草湖溪	土 壩	79.63	公共給水及工業用水
瑞峰水庫	台中縣	中部	清水溪支流 生毛樹溪	土石壩	145.5	公共給水及灌溉
瑪家水庫	屏東縣瑪家鄉	南部	高屏溪系隘寮溪	混凝土壩	386.0	農業灌溉、給水、水力發電

資料來源：台灣地區之水資源，經濟部水資源局，1995。

2.3.1 水庫位置之選擇

選擇水庫位置時，須考慮下列各種因素：

- 一、須有充足之水源，不論水源來自直接流域或間接流域，均以發揮水庫功能為目的。
- 二、須有適當之蓄水容量，足以完成建造該水庫之目的。
- 三、庫址建壩之基礎，須足以建造其高度，使水庫有足夠容量之壩。
- 四、附近是否可取得築壩材料，此項可利用材料之性能是否合格。
- 五、是否須有大量之挖土。
- 六、是否須建擋水壩、抽水站、隧道及其他設施以排除壩址處之水。
- 七、建庫地址之交通、電力、工房等情形。
- 八、如擬建土石壩，則該處是否有宜於建溢洪道之位置。
- 九、壩址處是否有嚴重之滲漏現象。
- 十、水庫淹區（包括鐵路、公路、住屋等）之補償與重建費用應不過大。
- 十一、間接流域之支流如有含沙量過多現象，應設法避免。
- 十二、水質須適合計劃中之用途。
- 十三、深水庫較淺水庫為佳，蓋淺水庫之蒸發量較大，且易長水草。

綜上因素，水庫位置須有可靠水源、適當地形、堅實地質、水庫內無滲漏產生，同時築壩之山谷愈狹則壩之費用愈少，但須有適當位址容納溢洪道等結構，其他如附近有容納施工機械、工房及適當之施工道路合格而充分之建材料等，均為選定水庫位置之重要條件。

2.3.2 水庫之容量

水庫蓄水可分為有用蓄水（Useful storage）及庫底蓄水（Dead storage）二部分。介於正常池水位（Normal pool level）與最低池水位以下者則為庫底蓄水。正常池水位為水庫在正常適用中水面之量高高度，此一高度係由水庫溢洪道頂部或溢洪道上閘門之頂所決定。最低池水位則為水庫在正常適用中所能降至之最低高度，通常此一水位由壩體最低之出水口所決定，或在水力發電之水庫中乃由水輪機所決定。

在水庫未建造時，河流流經水庫庫址時，河水亦有一部份體積，此即河流在庫址上之河谷蓄水 (Valley or Channel Storage)，故在河流上築堤攔河建立水庫所"淨增加"之蓄水容積應為水庫之總容積減去該段河原有之河谷蓄水。

2.3.3 水庫容量估計與計算

水庫容量與形狀有關，其容量之估計與計算有下列方法：

一、經驗公式法

此法用於初步計劃時估計之用，即

$$S = CAH \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

式中：

S = 水庫容量，以 m^3 計。

A = 水庫蓄水面面積，以 m^2 計。

H = 水深，以 m 計。

C = 常數，如下表。

表 2-13 C 值之建議值

建堤處橫 断面形狀 水庫 縱断面形狀			
凸 出	0.15	0.20	0.30
平 坦	0.20	0.36	0.40
凹 入	0.25	0.40	0.05

二、積分法

據美國邁阿米防洪區水庫水面面積與高度之關係為

$$A = C_1 H^{3.2} \quad \dots\dots\dots(2-11)$$

式中：

A = 庫內水深 H 時，水面之面積，以平方公尺計。

H = 堤身處庫內之水深，以公尺計。

C_1 = 常數，視水庫之形式及大小而定。

將上式積分之

$$S = \int A dA = 2/5 C_1 H^{5/2} \dots \dots \dots (2-12)$$

式中：

S = 水庫在水深 H 時之蓄水容量，以畝呎計。

若以水庫容量之一般公式表之為

$$S = KH^m$$

式中：

K = 常數，視水庫形式及大小而定。

m = 指數，其值如下：

表 2-14 m 值之建議值

水庫庫址	m 值
湖泊、沼澤	1.0~1.5
沖積地及山腳	1.5~2.5
山谷	2.5~3.5
峽穀	3.5~4.5

此公式係自經驗，但由理論推算亦極吻合，若以對數表之，為

$$\log S = \log K + m \log H$$

此式在對數紙上為一直線，故高度與容量二值若有一點為已知，即可得此直線，並可求得 K 及 m 之值，因 K 即 S 座標上之截距，而 m 則為此直線之斜率。惟從圖上查其斜率時，須以直線長度為準，而不可使用對數之座標。

三、計演算法

此即算出水庫之標高、面積、容量曲線表，其優點較為精確，使用普遍，惟需有精確之地形圖，其法之步驟如下：

1. 以求積體自水庫底部起求得相鄰兩等高線所包圍之面積，代入梯形容積公式：

$$V = 1/2 (A_1 + A_2) h \quad \text{即得此兩等高線間之體積。}$$

2.繼續向上計算，並求得其累積容量。

3.根據以上所求得結果，以同一間距繪出水庫高度、面積、容量曲線。

4.在此曲線上可檢出任何假想高度之壩基蓄水庫之相當容量；反之亦可視蓄水量之需要，而檢出壩之高度。

為便於水庫運用時，能立刻查得任何水庫容量之水庫面積，以估計蒸發損失量，呆水位標高以上需作每隔 0.1 公尺之詳細面積、體積對照表。

茲列出水庫面積、容量曲線 (Area-Capacity Curve) 之計算例，如表 2-15。

此法之缺點為計算時假設水庫水面經常保持水平，然在有迴水影響之地區，水庫在同一高度時，其蓄水量並不相同，迴水影響以在狹長形之水庫最為顯著；同一水庫則在水庫水位降落時較為顯著；在迴水影響甚顯著之水庫，其蓄水量不能單藉水庫之高度容量曲線求得，必須加入一參變數，而得一組之曲線，通常此參變數常用水庫上游水文站之進水量。

表 2-15 水庫標高-面積-容量曲線表

標高 m	水庫面積 1,000m ²	ΔV 1,000m ³	水庫容量 1000m ³	標高 m	水庫面積 1,000m ²	水庫容量 1,000m ³
111	0					
112	1	0.5	0.5	138.0	471	3,396
113	2	1.5	2.0	138.1	475	3,443
114	3	2.5	4.5	138.2	478	3,490
115	5	4	8.5	138.3	482	3,538
116	7	6	14.5	138.4	485	3,586
--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--
138	471	453	3,396	138.7	496	3,734
139	507	489	3,885	138.8	499	3,784
140	544	525.5	4,410.5	138.9	503	3,834
141	581	562.5	4,973	139.0	507	3,885
142	620	600.5	5,573.5	139.1	510	3,936
--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--

第三章 土壤與水份

3.1 土壤組成

當乾土用手壓碎後，能看到它是由各種不同大小的顆粒所組成的。

大部分土壤中的顆粒來自由岩石的風蝕；它們是被稱為礦物顆粒。許多來自於植物或動物的殘餘（腐爛的樹葉、動物的遺骸等），它們稱為有機質顆粒（有機質）。土壤顆粒似乎是彼此相接觸，但實際上他們彼此間是有空隙，這些空隙稱為孔隙（pores）。當土壤是乾的時候，孔隙內大部分是充滿空氣，在灌溉或降雨後，孔隙內則充滿著水份，在土壤中能發現生物體，它們可能是植物的根系、甲蟲、蠕蟲、幼蟲等。它們可以使土壤疏鬆，而創造植物根系有利的生長環境（見圖 3-1）。

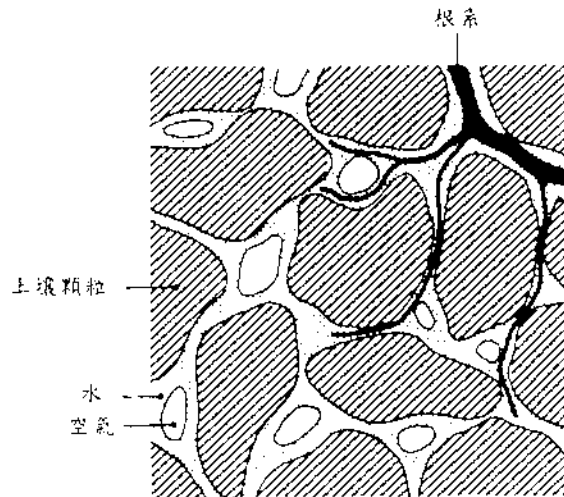


圖 3-1 土壤的組成

3.1.1 土壤剖面

假如在表面上挖一個至少一公尺深的坑，就可以看到有不同顏色、組成的各種土層，這些土層稱為化育層（horizons），連續的化育層就稱為土壤的剖面（soil profile）（見圖 3-2）。

一非常普通和簡單的土壤剖面，敘述如下：

1. 耕犁層（20-30 cm 厚）：包含有許多有機質和植物的根系，這層易受地面耕作的影響（例如犁田、耙地等），且常有深暗的顏色（棕色至黑色）。

2.深耕犁層：包含較少的有機質和植物根系，這層幾乎不受到正常的地面耕作活動影響，顏色也較淡，經常是呈現灰色，且常帶有微黃或微紅的斑點。

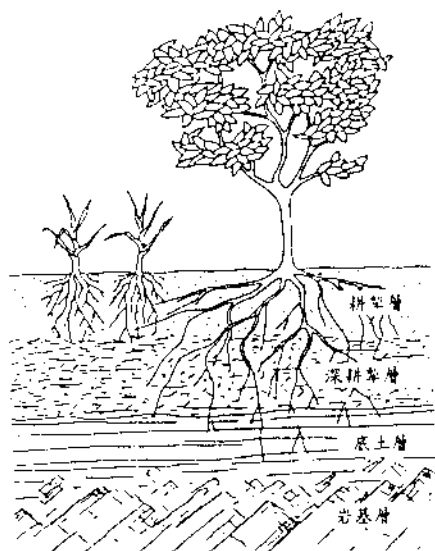


圖 3-2 土壤的剖面

- 3.底土層：幾乎沒有發現任何的有機質和植物根系。因只有少數的植物根系能達到這裡，故此層對於植物的生長並不是很重要。
- 4.岩基層：包含有岩石，岩石風蝕後，形成土壤，此岩石有時稱為母質（parent material）。

3.1.2 土壤質地

土壤的礦物顆粒常以其大小而分類如下：

表 3-1 土壤礦物顆粒大小分類表

顆粒的名稱		粒徑大小範圍 (mm)	用肉眼的區分
礫	石	>2	很明顯
砂	土	$1 \sim 0.02$	容易地
粉	土	$0.02 \sim 0.002$	很勉強
黏	土	<0.002	不可能

在土壤中砂土、粉土和黏土所佔的比例，取決於土壤的質地。

粗質地土壤：砂土佔較大比例（如砂質土壤）。

中質地土壤：粉土佔較大比例（如壤質土壤）。

細質地土壤：黏土佔較大比例（如黏質土壤）。

在田間，土壤質地能經由手指間的搓揉感覺來決定（圖 3-3）。

農民經常把土壤分為輕質土和重質土。粗質地土壤是輕質土，因它容易去耕種，而細質地土壤是重質土，因它不容易去耕種。

表 3-2 農民對土壤分類法

農民的分法	文獻上的分法	
輕質土	砂質土	粗質地
中質土	壤質土	中質地
重質土	黏質土	細質地

因土壤的質地是不變的，農民是無法去變更或改變它。



圖 3-3a 粗質地土壤是呈砂礫狀。即使是潮濕的土壤，在手上感覺是很疏鬆和分散地。



圖 3-3b 中質地土壤在乾時，感覺是很柔軟（像麵粉）。在潮濕時，是很容易擠壓，感覺上是很柔滑的。

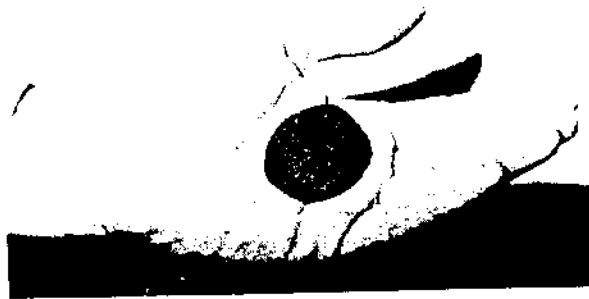


圖 3-3c 細質地土壤在潮濕時會黏附於手指間，擠壓時將形成一球形。

3.1.3 土壤結構

土壤結構乃論及土壤顆粒（砂土、粉土、黏土、有機質和肥料）聚集成孔隙的混合物，這些被稱為團粒結構。土壤結構也言及這些被孔隙和裂縫分開的團粒結構的排列（圖 3-4）。

基本的團粒結構型態如圖 3-5 所示，包括粒狀、塊狀、柱狀和巨大的結構。當目前是在表層土壤時，巨大結構會阻礙水份的進入；由於缺乏空氣，種子也是不易發育的。另一方面，假如上層土壤是屬於粒狀土，水份就容易進入，種子發育得很好。

在柱狀結構，因水份在土壤中主要是垂直的流動，所以供應到根系的水份通常是很少的。土壤結構不像土壤質地，不是長久不變的，農民為了他的田地，經由田間的耕作（耕犁，培土等），嘗試去獲得粒狀的表層土結構。

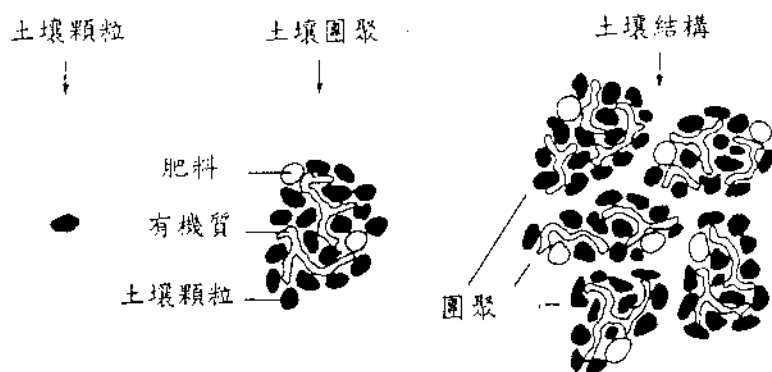


圖 3-4 土壤結構

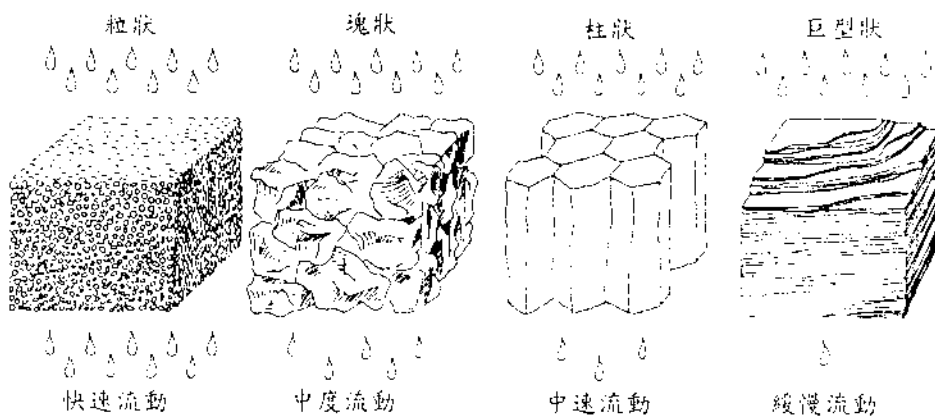


圖 3-5 一些土壤結構的例子

3.2 水份滲入土壤

3.2.1 入滲過程

當雨水或灌溉水供應在一田地時，它會滲入土壤中，此過程稱為入滲（infiltration）。

入滲可以想像成將水倒入一杯裝有壓實過的乾燥土壤中，水份滲入土壤之情形。土壤變濕時，顏色將變暗（見圖 3-6）。

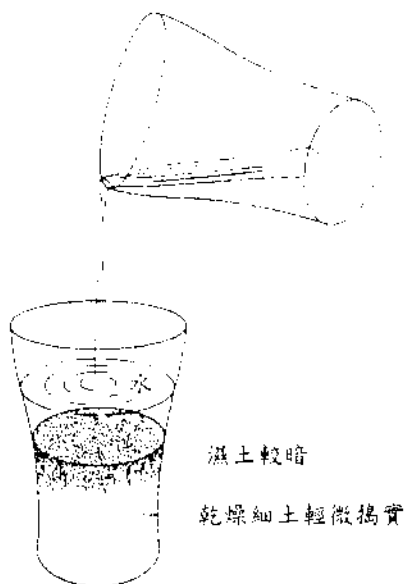


圖 3-6 水份滲入於土壤中

3.2.2 入滲率

重複前面的試驗，這次用兩個杯子，一個裝有乾砂土，另一個裝有乾黏土（見圖 3-7a 和 3-7b）。

水份進入砂土的入滲是比進入黏土更為快速，所以砂土被說為有較高入滲率（infiltration rate）。

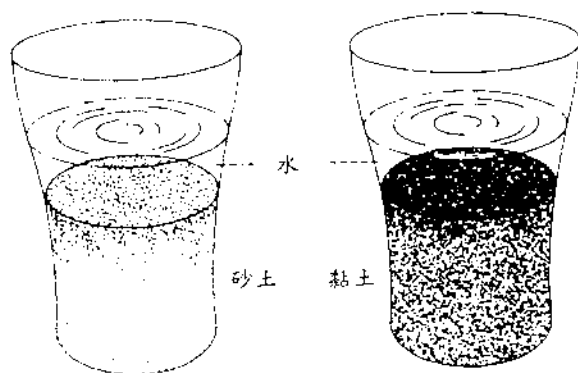


圖 3-7a 相同水量供應於每一杯子

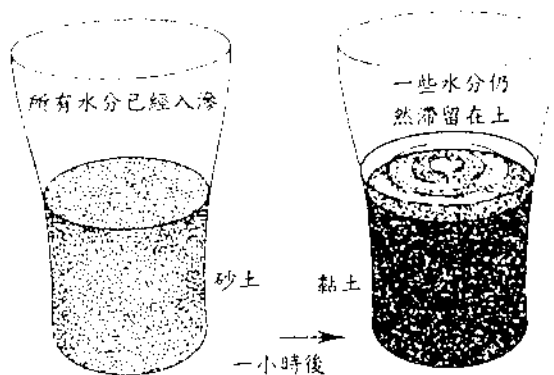


圖 3-7b 一小時後，水份已完全滲入砂土中，但有許多水份仍滯留在黏土上

土壤的入滲率是水份進入土壤的速度，它通常以 1 小時中，土壤能吸入水份的深度測量。

如入滲率為 15 mm/hour，意思是說在土壤表面 15 mm 的水深，將花 1 小時時間去滲入土壤（見圖 3-8）。

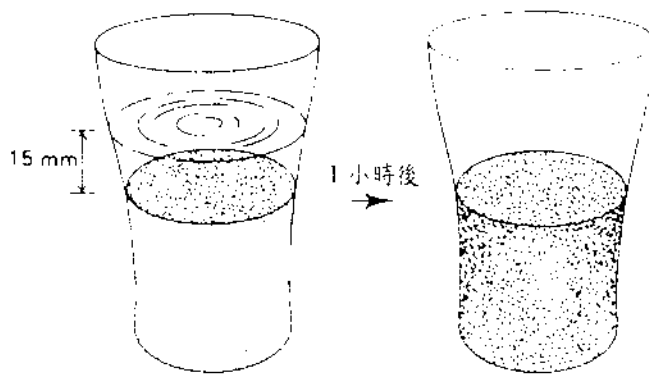


圖 3-8 入滲率為 15 mm/hour 的土壤

入滲率的高低範圍，如下所示：

低入滲率	$< 15 \text{ mm/hour}$
中入滲率	$15 \sim 50 \text{ mm/hour}$
高入滲率	$> 50 \text{ mm/hour}$

3.2.3 影響入滲的因素

土壤的入滲率，影響的因素有的可能是不變的如土壤的質地，亦有可能是有變化的如土壤含水量。

1. 土壤質地

粗質地土壤主要有較大的顆粒，顆粒間有較大的孔隙。另一方面，細質地土壤主要有較小的顆粒，顆粒間有小的孔隙（見圖 3-9）。

在粗地土壤，雨水或灌溉水是較容易進入和移動於較大的孔隙。當水入滲於土壤時，它花費較少的時間。換言之，粗質地土壤的入滲率是高於細質地土壤。

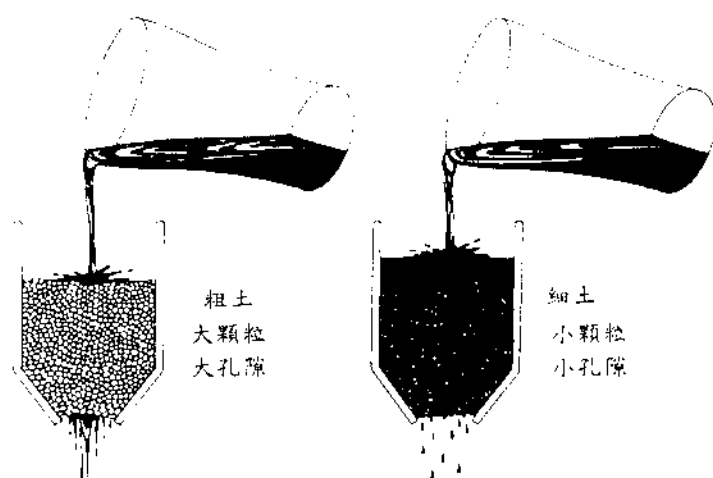


圖 3-9 入滲率和土壤質地

當土壤是乾時，水份入滲比土壤是濕的（見圖 3-10）更為快速（較高入滲率）。因此，當灌溉水施灌於田間時，剛開始水份容易入滲，但當土壤變濕時，入滲率則變慢了。

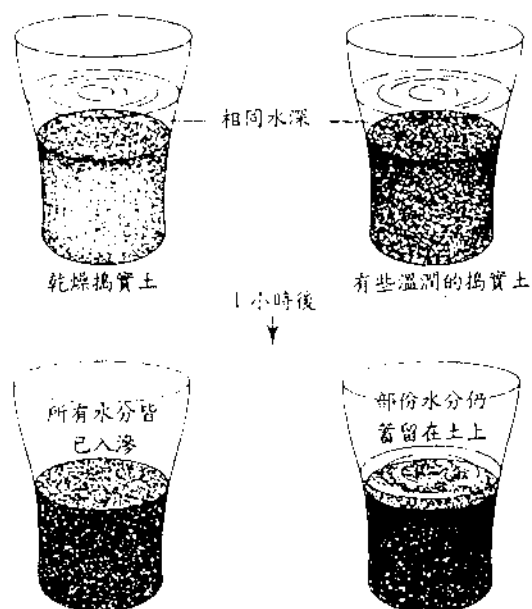


圖 3-10 入滲率和土壤含水量

2. 土壤結構

一般而言，水份快速地滲入粒狀土壤（高入滲率），但對於堅硬和壓實過的土壤，則是非常的慢。

因為農民能夠影響土壤的結構（經由耕作實務），他亦能改變土壤的入滲率。

3.3 土壤水份狀況

3.3.1 土壤含水量

土壤含水量指出目前在土壤中的水份含量。

土壤含水量普通的表示法為在 1 m 深土壤中所含的水份量。例如：當。在 1 m 深土壤中含有 150 mm 深的水份，那土壤的含水量為 150 mm/m（見圖 3-11）。

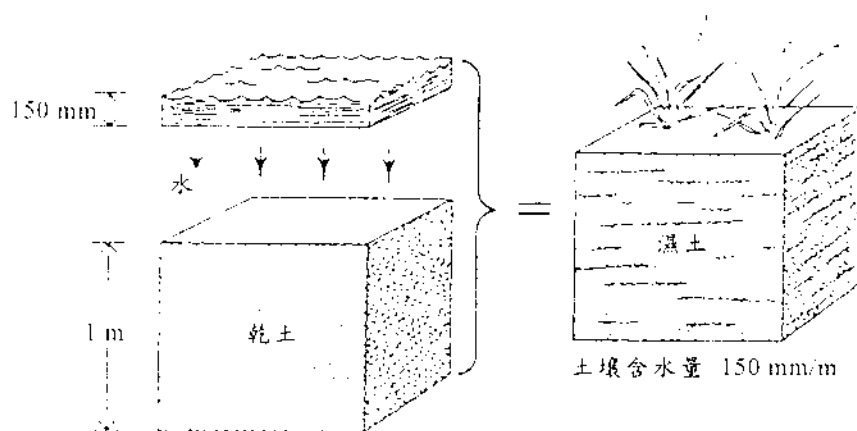


圖 3-11 150 mm/m 的土壤含水量

土壤含水量亦能以體積百分比表示，如以上的例子， 1 m^3 的土壤（有 1 m 深， 1 m^2 的表面積）含有 0.15 m^3 的水份，此土壤含水量，以體積百分比表示：

$$\frac{0.15\text{ m}^3}{1\text{ m}^3} \times 100\% = 15\%$$

所以，100 mm/m 的土壤含水量，相當於一 10 % 體積土壤含水量。

（註：蓄存在土壤的水份並不是一定值，而是會隨時間而變化。）

3.3.2 飽和含水量

一場驟雨或灌溉期間，水份將填滿土壤的孔隙。假如所有土壤孔隙被水填滿稱為飽和狀態，此時沒有空氣殘留在土壤中（見圖 3-12a）。在田間土壤達

飽和狀態是很容易的。假如一把飽和土壤被擠壓，許多水份將在手指間流出。

植物在土中需要空氣和水份，在飽和狀態，因沒有空氣提供，故植物會受苦。許多作物不能處於飽和狀態超過 2 ~ 5 天時間，而水稻是例外之一。表層土處於飽和狀態通常是不會太久，降雨或灌溉停止後，在較大孔隙的部份水份將會向下移動，這過程稱為排水或滲漏。

水份從孔隙中排出後，則被空氣所取代。在粗質地土壤（砂土），排水只要幾小時內就完成。在細質地土壤（黏土），可能需要幾天（2~3 天）時間。

3.3.3 田間容水量

當水份向下滲透一天至五天後達飽和狀態時，土層土壤中水因重力水下降，下降速度至穩定近乎零，所存在土壤最大水份量。故（田間容水量 = 土壤飽和含水量 - 土壤重力水）

3.3.4 永久凋萎點

儲存在土壤中水份不是被植物根系吸收就是從表土蒸發到大氣中，所以將愈來愈少。假如沒有外加水份供應到土壤中，它將逐漸變乾。

土壤變得愈乾燥，更多殘留水被緊密地留住，植物根系吸收它將更為困難。在某一階段，吸收的水份無法充供應作物的需求，開始時，作物會顯出憔悴及凋萎狀態；葉子顏色亦從綠到黃色，最後作物則會枯死。

在作物即將枯死時之土壤含水量，稱為永久凋萎點。此時土壤中雖仍含有一些水份，但它無法被根系從土壤中吸取。

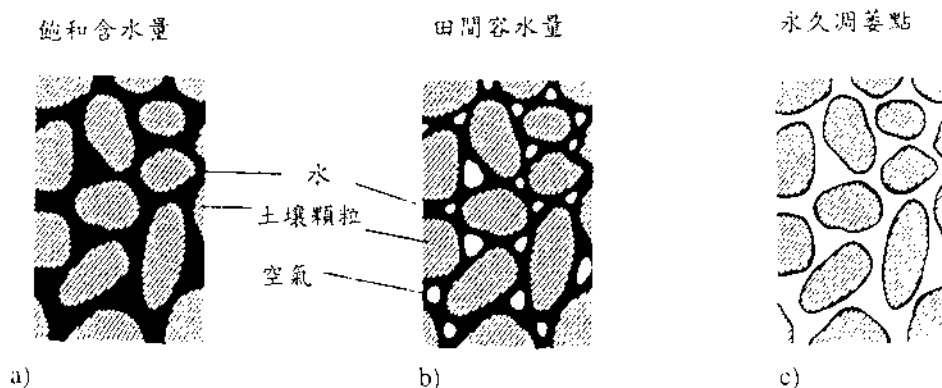


圖 3-12 一些土壤水份特性

3.4 可利用土壤含水量

土壤能夠比擬成為一植物的蓄水庫，當土壤是飽和時，蓄水庫是滿的。不過，在作物能夠使用前，根區以下的一些水份會快速的排去(如圖 3-13a)。

當這水份已被排去後，土壤是處於田間容水量。作物根系從蓄留在蓄水庫吸取水份(如圖 3-13b)。

當土壤達至永久凋萎點時，蓄存的水份就無法被作物所使用(如圖 3-13c)。

土壤水份含量包含三種種類

1 吸著水 (Hygroscopic Water)

吸著水為包圍在土粒表面極薄之水膜，緊附在土粒之外表，又稱吸濕水，需於 $100^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 高溫烘箱下去除，土壤吸著水吸力極強，對植物而言為無效水份，無法供植物利用。

2 毛管水 (Capillary Water)

為吸著水外側另一層之水份，即為吸著水與外界水互相吸引，充滿在毛細管內，所承受外力為 $3\text{atm}\sim 1/3\text{atm}$ 之間，其大部份水份為可供植物利用之有效水份，存在細孔隙中保持及移動之水份。

3 重力水 (Cravity Water)

存在大孔隙中，受地心引力水份移動向下稱為重力水，所承受引力為 $1/3\text{atm}$ 以下之水份稱之，此水份在土壤中不易保存，固為超量水，植物無法利用。

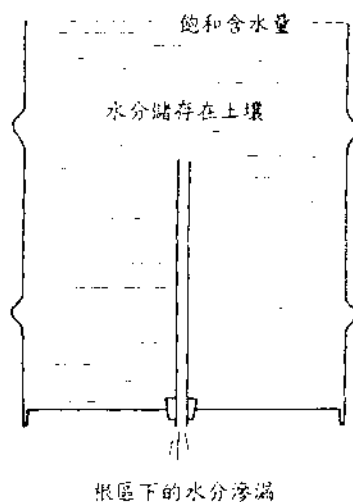


圖 3-13a 飽和含水量

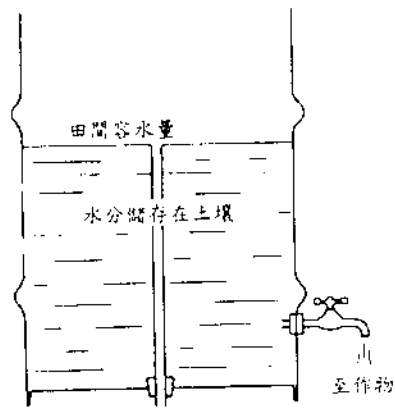


圖 3-13b 田間容水量

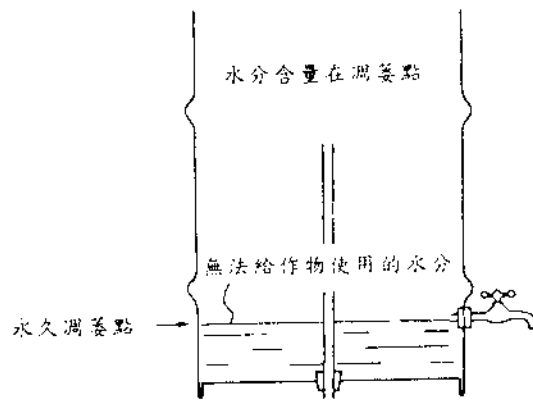


圖 3-13c 永久凋萎點

被作物實際使用的水量為土壤在田間容水量所蓄存水量減去土壤在永久凋萎點所蓄留的水量，其說明如圖 3-14 所示。

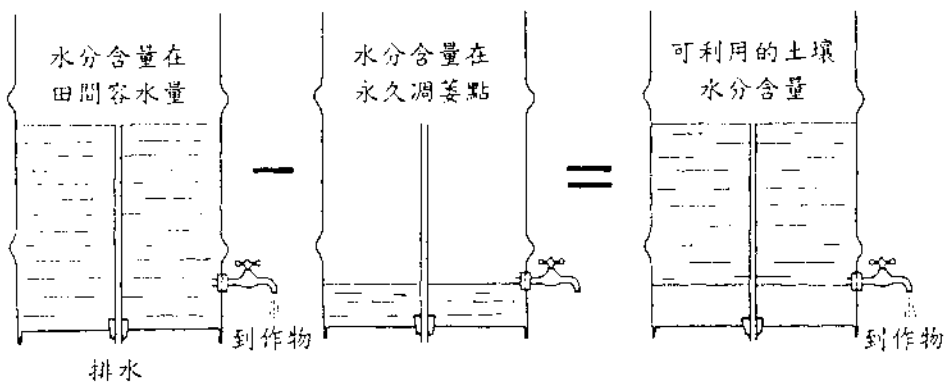


圖 3-14 可利用的土壤水份或含水量

可利用的土壤含水量 = 在田間容水量的土壤含水量 - 在永久凋萎點的土壤含水量.....(3-1)

可利用土壤含水量主要依土壤質地和結構而定。對於不同種類之土壤可利用含水量則如下表所示：

表 3-3 不同種類之土壤可利用含水量表

土 壤	在每一公尺土壤深度中可利用土壤含水量之深度 (mm/m)
砂 土	25 ~ 100
壤 土	100 ~ 175
黏 土	175 ~ 250

資料來源:FAO 灌溉排水訓練教材灌溉概論篇

田間容水量、永久凋萎點 (PWP) 和可利用的土壤含水量是稱為土壤水份性質，對於已知土壤，它是一常數，但從一種土壤至另一土壤間的變化是很大的。

3.5 地下水位

供應於土壤表面的水份，部分由根區以下排去，流入更深的永久飽和土層；飽和層的頂面稱為地下水位或有時稱為水位面（見圖 3-15）。

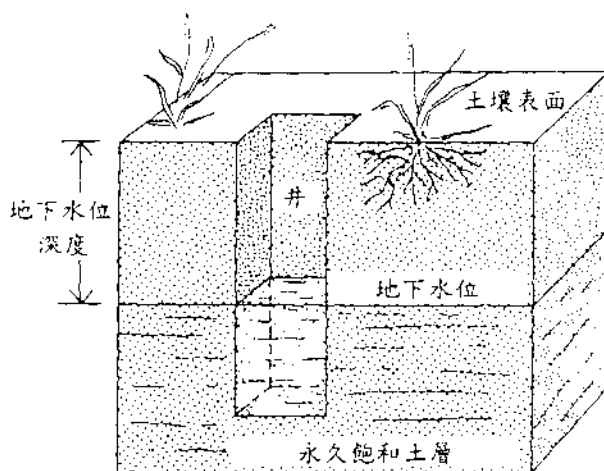


圖 3-15 地下水位

3.5.1 地下水位深度

從一地方到另一地方的地下水位深度變化是很大地，主要原因是由於地區地表的變化（見圖 3-16）。

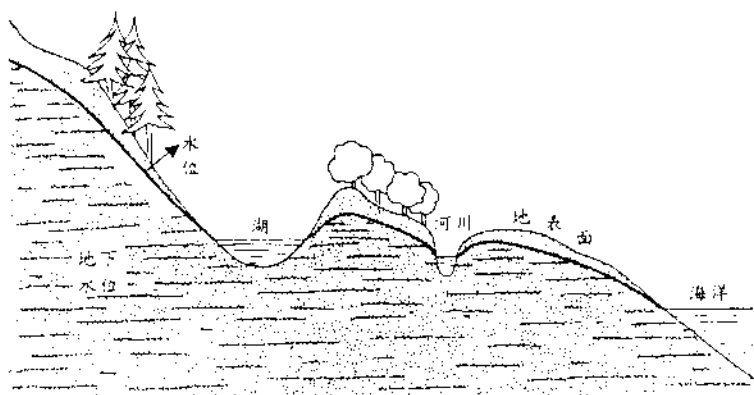


圖 3-16 地下水位深度的變化

在一特別的地方或田間，地下水位深度或許會隨著時間而變化。

隨著一場大雨或灌溉後，地下水位會上升，它甚至會達到根區而使其達飽和狀態。假如時間延長，此狀況將使作物損失慘重，因作物根系無法抵長時間的浸泡，

地下水位在地表面出現，稱為開放地下水位，這是在沼澤地區的狀況。

地下水位也能非常深，從作物根區以下有一距離。例如，在乾旱季節很長時間後，為了保持根區水份，灌溉是必要的手段。

3.5.2 暫棲地下水位

一暫棲地下水層，能不透水層之上面發現，它略靠近地表面 (20-100 cm)。它通常涵蓋一有限的區域。暫棲地下水層的頂面被稱為暫棲地下水位。

不透水層將暫棲地下水層隔離距地下水位更深地區 (見圖 3-17)。

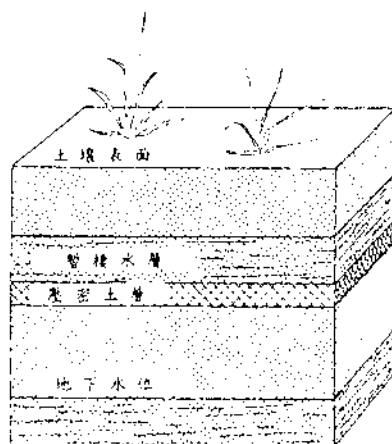


圖 3-17 一暫棲地下水位

不低於根區的不透水層的土壤，應該有灌溉的防範措施，因為過度的灌溉（太多灌溉），暫棲地下水位將快速上升。

3.5.3 毛細管上升作用

目前為止，已經解釋了水份能向下流動和水平（側向）流動。除此之外，水份能夠向上流動。假如一張薄紙進在水中（圖 3-18），水份會被薄紙向上吸取。

相同的過程亦發生在地下水位和其上面的土壤。地下水能經由土壤中非常小的孔隙向上吸取，那非常小的孔隙稱為毛細管，這過程稱為毛細管上升作用。

在細質地土壤（黏土），雖水份向上移動很慢，但它移動的距離較長。另一方面，在粗質地土壤（砂土），水份向上移動是很快，但它移動的距離是很短。

表 3-4 不同土壤質地毛細管水份上升表

土壤質地	毛細管上升高度 (cm)
粗質土 (砂土)	20~50 cm
中質土	50~80 cm
細質土 (黏土)	>80 cm



圖 3-18 水份向上移動或毛細管上升作用

第四章 作物需水量

4.1 作物需水量之意義與定義

農作物在生長過程中所消耗之水量，並非一絕對值。任何作物在獲得足以延續生機之水量外，外界之氣象條件，即大氣對作物蒸散要求之狀況，亦是支配作物耗水量之一重要因數。

作物消耗水量對其生育與生產而言，大致具有二種意義：其一為作物生育在蒸散率接近或達到大氣蒸散要求之最大可能率之情形下，則作物產量之增加已脫離水份控制，而是受光之強度、大氣中二氧化碳濃度以及土壤中所含營養分之種類來決定，水份並不構成作物產量之一因數。另一種為作物生長過程中，由於土壤中所含水份之運動性無法使作物滿足大氣蒸發散要求，其實際之蒸發率低於最大可能率時，則作物之蒸散不能穩定，隨著土壤含水量之減少，蒸發散率亦相對降低。因此，在灌溉之觀點，所謂作物需水量乃指作物在不欠缺水份之情形下，所獲取最大增產之正常狀態時，所消耗之水量而言。

灌溉雖然為供應作物對水之要求，但灌溉水量並非全部為作物所消耗，如渠道輸水過程中之滲漏、蒸發損失以及其生育期間之土面蒸發等，均為灌溉用水估算不可缺少之因素。作物本身所消耗之水量，乃是指由葉面蒸散至大氣中之水量而言，一般是以蒸散係數(Coefficient of evapo-transpiration)來表示。即：

$$\text{蒸散係數} = \frac{\text{一定時間內植物蒸散之水量}}{\text{同一時間內植物乾重總增長量}} \dots\dots\dots(4-1)$$

但實際上，通常僅以植物地上部之增長量來估算。蒸散係數之精確值可用盆栽試驗求得，在田間情況下，因植物蒸散量與土壤蒸發量無法區分，故僅能求得水份總消耗量，即植物蒸散量與土壤蒸發量兩者之和。以「作物耗水」(Consumptive-Use)來表示。所謂「作物耗水量」乃指單位面積內某一段特定時間作物生長之蒸散量及臨近土壤面之蒸發量之總合，與蒸發散量(Evapotranspiration)之意義相同，耗水量之單位一般對短時間常以公釐/日表示之，長時間則依應用上之需要，以公釐/期作、公釐/月或公釐/旬等不同之表示法。

由於作物之蒸散量受內在及外在種種因素之影響甚大，如植物之種類，各不同生育階段、土壤含水量、氣溫、相對濕度、風速、幅射能、降雨以及耕作技術等，均可左右之，故蒸散量一般以作物生長各不同時期之蒸散量表示之。

作物耗水量為灌溉規劃設計上所需之最基本資料，就田間所需水量而言，可以下列關係式表示之：

$$\text{田間灌溉用水量} = (\text{作物耗水量} - \text{地下水補給量} - \text{有效雨量}) \div \text{灌溉效率} \quad (4-2)$$

就灌溉工程設計之需要而言，估計水源灌溉用水量可依下列之關係式表示：

$$\text{水源灌溉用水量} = \text{田間用水量} + \text{輸水損失} \dots\dots\dots (4-3)$$

4.2 影響需水量之因數

各種作物在不同之生長環境與生長過程中各階段，蒸散作用因大氣蒸發要求及作物生理上之需要而隨時在進行，土面蒸發損失亦同時發生。因此，影響作物耗水量之因數可包括：氣候、土壤、作物品種、生長階段乃至於灌溉及排水等人為措施。

不管是因作物蒸散作用自根系吸收土壤水份，再經過植物體蒸散至大氣中，或自土壤表面蒸發消失，其自液相變成氣相之物理過程完全一致，亦即其連續蒸發之必要條件為：①必須有一熱源足以幅射或傳導，供給蒸發所需為數巨額之潛熱。②蒸發面上方之空氣蒸氣壓必須小於葉面或土壤表面之蒸氣壓，設若無蒸氣壓差存在，則水氣之淨輸導為零，即蒸發散量為零。③有足量之水份可以連續地供應蒸發所需。

影響作物需水量之因數可分為以下數種：

1. 氣象因數

任何可以增加水面放出蒸氣壓差者，均可以加強蒸發。滿足第一個條件之主要因數為太陽之能勢，一般均以溫度與日照時間表示之。

濕度為蒸發過程中極重要之因數，蒸發量視空氣飽和時之濕度與同溫度時之實際濕度之差而定，亦即受飽和氣壓與當時水面汽壓之差所支配。溫度增加時，飽和汽壓亦增高，因此蒸發量即高。

此外，風速對蒸發亦有影響，風不能直接影響蒸發量之增減，但是風速可以使水面上方之空氣流動，使乾燥之氣流置換已略為水蒸氣所飽和者，而產生對流作用以促進蒸發。但風速高達某一臨界值後即不至使蒸發加劇，此一臨界值視幅射熱能、溫度及濕度等所造成之蒸發量之最大值而定。

根據 Briggs 及 Shantz 氏之調查研究，作物蒸散量最顯著之影響因

素為太陽之照射，再次為氣溫，而風速之影響頗低。其將作物蒸發散量與氣象因數之相關列如表 4-1。

表 4-1 氣象因數與作物蒸散量之關係 (Briggs & Shantz)

氣象因數	相關係數
日照	0.89
氣溫	0.86
濕度	0.84
風速	0.35
蒸發量	0.93

2. 土壤因數

土壤對作物耗水量之影響，主要依土壤保水力，土壤含水量以及毛管水之移動情況而定。亦即土壤水份是否能滿足上述三個條件，供給作物之蒸散與土面之蒸發。如土壤含水量低或含水量雖高，但土壤水份張力卻大於作物根系所能吸收之能力時，即使氣候條件適宜，土壤亦無能力供給蒸發所需之水，故作物耗水量隨土壤含水量之降低而減少。

土壤供給水份之能力，若土壤下層有飽和水層，則因毛管作用可由下往上補充。毛管作用力之大小，視土壤質地與構造而異。細質地土壤上升較高，粗質地則較小。但因毛管作用上升之水柱，有其一定限度之水份位能梯度與高度，若土壤表面在毛管帶之範圍內，則可經由毛管作用不斷供水，使土壤表面繼續蒸發。同理，若根系土層亦在毛管帶範圍內，則蒸散作用可以繼續進行。故作物耗水量亦視土壤質地及地下水位之高低而定。

此外，地面覆蓋使地面無法接受日光直接照射，因此土面溫度降低，同時又一方面可以減低風速，故間接可減少作物耗水量。

以上所述影響作物耗水量之種種因數，其關係有屬單獨，亦有綜合交感，甚為複雜，惟就其綜合效果而言大致尚可確定。

由於不同作物具有不同之耗水特性，同時即使同一作物又因其不同生長階段（主要為葉面之增大以及水份生理需要之變化而異），不同栽培時期與生長環境下亦具有不同之耗水量圖 4-1。因此某一作物耗水量很不容易用某一數字即可將其定量，特別是地域性之差異。因此世界各國雖積有數十年之研究成果，仍無法直接引用台灣之灌溉規劃與田間施灌。

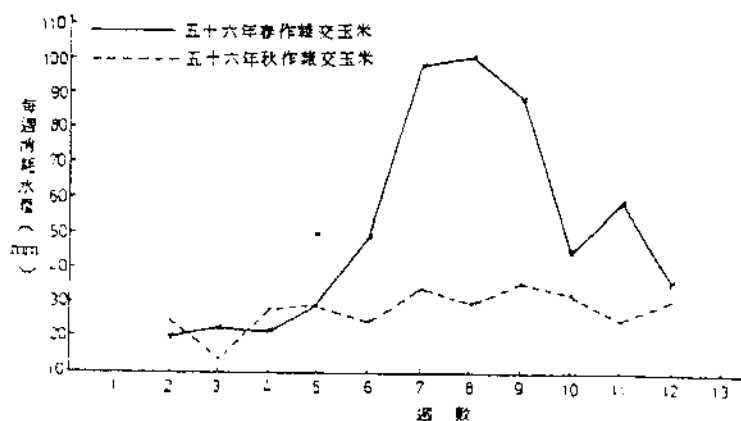


圖 4-1 玉米不同栽培期之耗水量比較圖

4.3 作物需水量之測定方法

4.3.1 直接測定法

一、盆栽觀測法

田間需水量測定每因有效雨量及地下水之補給不易分離，干擾實測值，難以求得作物之實際需水量，而滲漏計之測定，雖與田間作物同時栽培，且不受地下水之干擾，但對於受降雨時間、強度、分佈以及降雨前土壤濕度等諸因數所左右之有效雨量，仍然無法估算出來，故需以溫室盆栽測定來隔離降雨之干擾，以測定作物在盆栽全生育期之需水量，尤其在各生育階段之吸水型態變化情形。

測定方法常以高 30 公分，直徑 30 公分之塑膠圓筒作試盆，裝以供試土壤，測定其土壤水份。在水稻作物之測定，俟田間秧苗長至 2~3 葉後，將試盆內土壤處理成田間插秧前之濕潤狀態，而後插植一株於試盆內，再以下列兩法試驗處理。旱作物之測定，乃將作物種子播於試盆內，待其發芽長葉成活後，亦分成如下兩種試驗處理：1. 覆蓋處理及 2. 無覆蓋處理。

1. 覆蓋處理：於試盆上以塑膠布密封之，中間留一孔，使作物長出，即可阻止水面或土面蒸發。在作物生長期間試盆內水稻試驗應保持一定水深；旱作試驗其土壤水份經常保持在 1/2 有效水份或附近時，則機動加水至田間容水量。觀測期間通常在每日上午九時以重量法秤重，測定水份消耗量。

2. 無覆蓋處理：試盆不加覆蓋，其他與覆蓋處一樣。

由以上之兩種處理法可求得作物之蒸發散量、蒸散量、土面蒸散量等項目。即作物蒸發散量為無覆蓋處之全期每日累積量，作物蒸散量為覆蓋處理之全期每日累積量。土面蒸發或水面蒸發為無覆蓋處理減覆蓋處理。

試驗結果舉例如下圖 4-2：

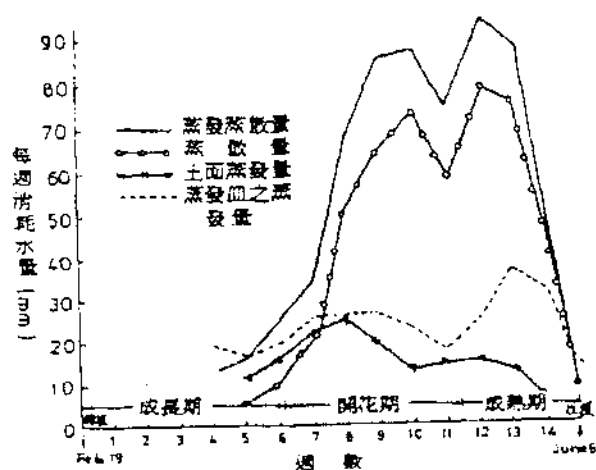


圖 4-2 春作大豆全生育期中各項需水量消耗曲線（民國 55 年於台南學甲）

二、滲透計觀測法

滲透計觀測由於水量可以嚴密控制，理應較為可靠。但在台灣甚少利用滲透計栽培水稻灌溉試驗。因此法可嚴密控制水量，故多用於基本研究與探討。例如蒸發散量之測定，即水稻栽培之研究及各項水份生理上之問題，均可用滲透計或上節所述之盆栽法進行之，至於大田區之配水，則頗難在滲透計或盆栽獲得答案。

1. 固定式滲透計

構造如圖 4-3 所示，滲透計之大小並無一定規定，視經濟條件而定。其形狀正方形、長方形、圓形均可，有的為單槽、亦有的為並聯式。土槽之材料可用防水材料如防水水泥、塑膠等以防止漏水。設置場所最好接近實際田間栽培條件為宜。槽底埋設排水用塑膠管，管面四周鑽以小孔以利排水，管上敷一層棕梠，再加細砂、卵石、最上一層填裝與田間一樣之土壤，土壤深度以 1 公尺以上為宜。土面保持與地面齊平。

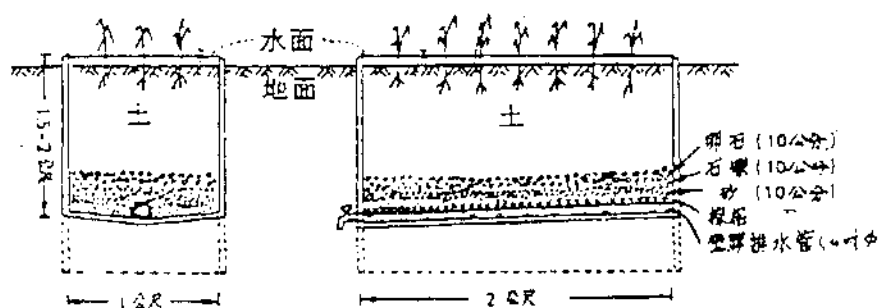


圖 4-3 固定式滲透計構造圖

水稻作物之觀測，以減水深法測定水深之變化。在觀測期，時常要將排水閘打開，排出滲漏水以促進新陳代謝，確保作物正常之生育，每日定時進行水位及氣象觀測，一般均在上午九時行之。

旱作物之觀測，以水份追蹤法測定之，土壤水份含量可用採土測定水份法、石膏塊法、水份張力計等法，一般水份張力計測定者為多，因操作簡單，精度高，可測得連續性之水份變化值。觀測深度為 15 公分、25 公分、35 公分及 50 公分等，依作物根系分佈情況而定，將其土壤水份觀測結果估算作物需水量。其平衡式如下：

$$\text{滲透計旱作物需水量} = \text{灌溉水量} + \text{降雨量} - \text{底層增加水量} + \text{土壤水份減少量} \dots (4-4)$$

2. 移動式滲透計

構造如圖 4-4 所示，其大小無嚴格規定，為操作方便，以 30cm×50cm 為最適宜。形狀圓形、方形均可。設置地點以接近實際田間氣象條件為宜。

測定時提出土槽於臺秤上秤重，以重量法測定，則可求得其蒸發散量。

$$\text{蒸發散量(mm)} = \text{土壤減少之重量(kg)} / \text{土槽斷面積(m}^2\text{)} \dots \dots \dots (4-5)$$

本法屬於較簡單者，但在測定期間，作物隨時間慢慢地長大，影響秤重，故較大之作物不宜採用。又土壤水份之調整，須提土槽秤重，所花之勞力相當可觀，此為本法之缺點。

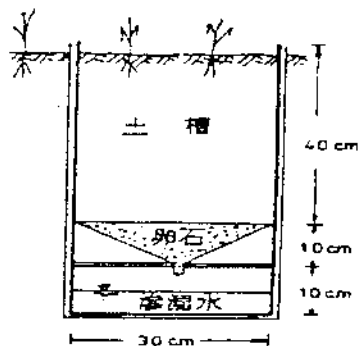


圖 4-4 移動式滲透計構造圖

三、田間觀測法

1. 水田田間觀測

可分為田區法及滲透筒法兩種。田區法又有大面積及小面積之分。大面積之觀測乃包括水路損失之計算。此為水源規劃及設計上所需要之數字。理論上應等於作物需水量、田間滲漏量與水路損失之和。若為水

庫計劃，須考慮有效雨量，若屬河川引水則有效雨量關係減少，而在構造物設計上則對雨量無影響。而小面積之觀測即在試驗田中實施，主要目的為尋求輪灌之適當期距與用水量。但必須注意因灌溉方法之不同而引起之差異。例如在輪灌期距中，田面可能若干天無水，若以灌後每天消失水量作為田間需水量，或以每次灌水深度除以輪灌期距為田間需水量均無不合，但所得到之數值不同。

田區法之測定可分為減水深法及水收支法。

(1) 減水深法：

選定灌溉，排水容易、田埂堅實、交通方便之田區 0.2~0.5 公頃，離田埂 0.5~1.0 公尺附近之田間豎立木樁，於田面等高處釘一釘，入為基準點，或以木樁上端劃一明顯之線為基準點，每日用尺測定減水深。或將尺固定於木樁上直接觀測亦可。為求讀數精確，可使用如圖 4-5 之簡易釣尺 (Hook gauge) 測定之。

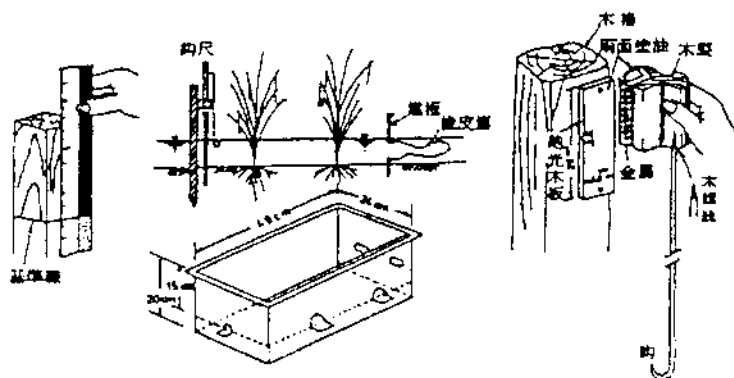


圖 4-5 簡易釣尺圖

如本法用於大面積觀測，測定之點數建議如下表 4-2：

表 4-2 灌溉面積與減水深觀測點數之相關性

100 公頃以下	每 20 公頃 1 點
100~300 公頃	每 50 公頃 1 點
300 公頃以上	每 100 公頃 1 點

(2) 水收支法

無重劃區或小田區因本身無給水路，必須越田灌溉，如此無法用減水深法測定。故以區域（給水區）為單位，在進口與末端之出水口，利用巴歇爾量水槽、三角堰、矩形堰等量水器量測進出水量，所得之差即為此區域之水田用水量。

此上所述之兩種測定法，如考慮廣大地區，在上游之水田滲透之水很可能流入下游水田，因此個別以小面積觀測之用水量較之大面積者為多。以水收支之流入流出觀測之大面積水田用水量，雖與實際較接近，但因地形與其他因素，所測得之結果較小面積用減水深測得之用水量為大。故最好以兩種方法合併觀測，可望得較佳之結果。

至於滲透筒之測定，雖不如田區法接近實際，惟因構造簡單（如圖 4-6），若能增加測點，亦可得預期之精度，因此農業工程師們常喜用之。其法係用三個相同體積之圓筒或方形筒，其中兩個為無底，一個有底。圓形者直徑約 55 公分，高 50~60 公分。方形者長寬各 1 公尺，高為 50~60 公分。埋設於離開田埂約 1 公尺左右之田間，筒緣離田面約 15~20 公分。

筒內作物之栽培日期、土壤、水深、氣象及地域條件與田區一致。裝填土壤於筒內時，須依田間實際土層次序回填，又土壤與鐵筒之接觸處要搗實，以免重力水沿筒緣流下過多，影響精確度。整地後在無底筒之一栽植水稻（株距與田間一樣），其餘兩個不栽水稻，灌溉水量依田間實際處理，則由此三個簡易滲透筒之每日減水深累積量，可以得下式之蒸散量。

蒸散量 = 無底栽水稻之水深 (B) - 無底不栽水稻之減水深 (A)

滲漏量 = 無底不栽水稻之減水深 (A) - 有底不栽水稻之減水深 (C)

田面或水面蒸發量 = 有底不栽水稻之減水深 (C)

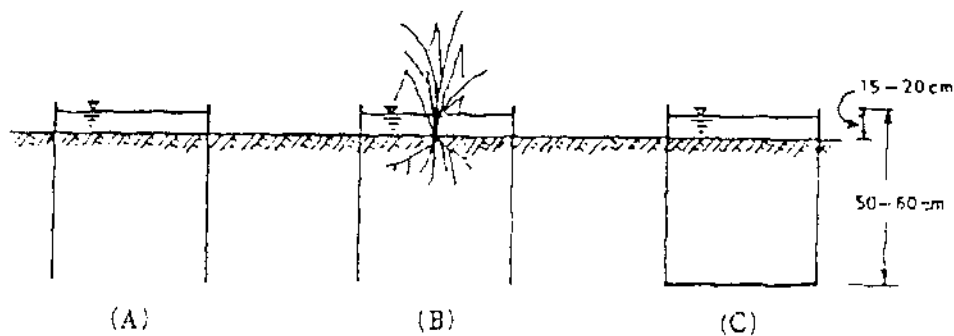


圖 4-6 滲透筒觀測水稻需水量法

2. 旱作田間作物需水量

有關旱作田間作物需水量之測定，有水收支法及土壤水份遞減法二種，一般均用土壤水份遞減法測定。

(1) 水收支法：水收支法基本公式如下：

$$\Delta W = R + F_v - F_H - ET \dots\dots\dots(4-6)$$

式中：

R = 降雨量或灌溉水量

F_v = 下層土壤水份上昇量或吸收量

F_H = 降雨量或灌溉時之田間流失量

ET = 作物蒸發散量

ΔW = 土壤水份含量之變化

上式中，由觀測獲得之 R 、 F_v 、 F_H 及 ΔW 各值以推算作物蒸發散量 ET 。降雨或灌溉水量及田間流失量在小區域試驗時可用各種儀器觀測。大區可利用區域內外雨量站記錄，及排水出口之排水量觀測而得。下層土壤水份補給量 F_v ，及土壤水份含量變化量 ΔW 在小區試驗，可以利用各種土壤水份測定法測定之，大區域時間長時可予忽不計。採用此法之關鍵，在於如何正確處理式中各項因素。處理方式之不同，影響計算結果正確度甚大。

(2) 土壤水份遞減測定法：

定期測定各土層含水率之增減，求出各土層水份消失量以計算日蒸發量之方法，在田間進行觀測過程中，除灌溉水量可以準確計算外，降雨時期、強度、以及降雨量均無法控制，不易加以定量，再加上地下水之補給量難以分離，更增加有效雨量分離上之困難，故按土壤水份之消長所換算出代表單純之作物需水量，其數值恒低於真正之作物需水量。

4.3.2 間接測定法

根據國際糧農組織（FAO）推薦間接推估作物蒸發散量（ ET_{crop} ）之標準方法，可分為三個步驟：

一、求參考作物蒸發散量（ ET_o ）：此值乃由氣象條件及環境條件決定之，其考慮影響作物蒸發散量因數的地域條件，包括地域特性與灌溉方式等調整作物需水量。

二、作物係數（ K_c ）之決定：可由作物耕作型態、種植（或播種）時間、作物生長階段及生長週期決定。

三、作物蒸發散量（ ET_{crop} ）：即可由下式（4-7）求得

$$ET_{crop} = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots(4-7)$$

式中：

ET_{crop} ：作物蒸發散量 (mm/day)

K_c ：作物係數

ET_0 ：參考作物需水量 (mm/day)

ET_{crop} 通常以 30 或 10 天為間隔，在作物的生育階段當中，做一連續性的推估。

一、參考作物需水量之計算

對於參考作物需水量之計算，係採用國際糧農組織 (FAO) 於 1984 年所推薦之 Modify Penman 法、Modify Blaney-Criddle 法、Pen Evaporation Method 法、Radiation 法及 ICID 於 1994 年所推薦之 Penman-Monteith Method：

1. Modify Penman

Penman 式是 1948 年由英國 Penman 所提出，結合了能量平衡理論與空氣動力學之方法來模擬表面之蒸發散量，此法係假定土壤如保持濕潤狀態而且地表有完全覆蓋時，其蒸發散作用係由環境條件所調節，可用氣象資料估計。其後並於 1952 年 1956 年及 1963 年分別修正估算模式中之地域性參數，使其應用範圍可從一月、一天而縮短至以小時為基準，因此在世界各地受到廣泛的應用與良好的評價，FAO 特推薦該模式以估算作物需水量，其估算式如下：

$$ET_0 = c [W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)] \dots\dots\dots(4-7)$$

式中：

ET_0 ：參考作物之蒸發散量 (mm/day)。

W ：加權因數依溫度及緯度而定。

R_n ：淨幅射之蒸發當量 (mm/day)。

$f(u)$ ：風速函數。

e_a ：平均溫度時之飽和蒸汽壓 (mb)。

e_d ：露點溫度時之蒸汽壓 (mb)。

c ：校正因數，調整因日夜間氣象條件所引起之差異。

2. Penman-Monteith (ICID, 1994)

此估算式於 1994 年為 ICID 所公佈，該模式以草類及苜蓿做蒸發散試驗，其與 1984 年 FAO 建議式之主要差別乃在於：a. 為使計算更方便、適切，特將估算式中各參數之單位由原來之 CGS 制，更正為國際之通用單位 SI 制 (International Standard Units)；b. 為消弭風速函數因區域之特性在估算上所產生之差異性及降低估算之準確度，故以作物遮蔽阻力 (Crop Canopy Resistance) 及空氣動力阻力 (Aerodynamic Resistance) 等兩項關係式取代了原有之風速函數值 (Monteith, 1981, 1980) 該估算式如下：

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - S) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \dots\dots\dots(4-8)$$

式中：

ET_0 ：參考作物之蒸發散量 (mm/day)。

R_n ：淨幅射之蒸發當量 (mm/day)。

Δ ：飽和蒸汽壓力線斜率 (KPa/°C)。

γ ：濕度常數 (KPa/°C)。

U_2 ：2 公尺高所量測之風速 (m/s)。

T ：溫度 (°C)。

$e_a - e_d$ ：飽和蒸汽壓力差 (KPa)。

S ：土壤通熱量 (MJ/m²/day)。

3. Modified Blaney-Criddle 法

Blaney-Criddle 於 1945 年提出，而於 1950 年、1970 年相補充修正，該經驗式基於一項假定，即日照時間與溫度為影響作物需水量最主要之因素。該估算式創於美國西部地區，頗適合乾燥氣候氣候地區應用，由於溫度及日照資料易於取得，故在美國及世界各地已有相當普遍的使用，FAO 於 1984 年所推薦之估算式如下：

$$ET_0 = c[p(0.46T + 8)] \dots\dots\dots(4-9)$$

式中：

ET_0 ：參考作物之蒸發散量 (mm/day)。

p：日照率，可查緯度表得知。

T：溫度（℃）。

c：校正因數，視最小相對濕度、日照時數、日間風速而定。

4. Radiation 法

Radiation Method 由 Makkink 氏在 1957 年所提之經驗公式修正而來，基本上假設溫度、日照及太陽輻射為主要影響因數，FAO 於 1984 年所推薦之估算式如下：

$$ET_0 = c (W \times R_s) \dots\dots\dots(4-10)$$

$$R_s = R_a (0.25 + 0.50n/N) \dots\dots\dots(4-11)$$

式中：

ET_0 ：參考作物之蒸發散量（mm/day）。

R_s ：太陽輻射之蒸發當量（mm/day）。

W ：加權因數，依溫度及緯度而定。

c ：校正因數，依平均濕度與日間風速而定。

R_a ：不同緯度所接受之淨輻射蒸發散量（mm/day）。

n/N ：實際日照時間與最大可能日照時間之比。

本估算式中之太陽輻射（ R_s ），是依照地球緯度及月份之不同而有所差異，其可由緯度表查出最大輻射量（ R_a ）值，再根據實際日照時數（ n ），與最大可能日照日數（ N ），計算出太陽輻射值。而加權因數（ W ）則由平均氣溫及氣象站之海拔高度加以修正得出。而校正因數 c 值則視平均相對濕度及日間風速而異，若以圖解法估算作物需水量，則在求得 $W \times R_s$ 後配合相對濕度及日間風速，可求得參考作物之需水量。

5. Pan Evaporation 法

蒸發皿蒸發量為氣象因數之綜合指標，因此用蒸發皿蒸發量來推求作物需水量較為實用簡便，其估算式如下：

$$ET_0 = K_p \times E_{pan} \dots\dots\dots(4-12)$$

式中：

ET_0 ：參考作物之蒸發散量（mm/day）。

Epan：蒸發皿蒸發量 (mm/day)。

Kp：蒸發皿係數。

由以上各種估算作物需水量之模式可得知，前三種方法是以微作物氣象學為基礎，利用空氣動力學方法及能量平衡理論之理論之組合方式，其在應用上較繁雜；而其他幾種方式是以能量平衡理論為基礎，再配合多年的氣象資料試驗而得之經驗公式，在應用上雖較為簡便，但卻有區域性之限制。在整體之應用上，無論以何種方法其所測得之結果均為參考作物需水量，因此務必再配合各種作物之作物係數，方能推測出各種作物之作物需水量，由此可見作物係數之決定，攸關作物需水量之多寡，其重要性質不容忽視之。

二、作物係數之決定 (Crop coefficient, Kc)

作物係數是代表各種作物生長期間之耗水特性之指標。一般可從滲漏計或溫室栽培觀測求得。作物係數依作物之類別，栽種季節、生長階段以及氣象等條件而異。故各種作物及其生長階段，均有不同的作物係數 (Kc 值)。

作物係數之研究，1975 年經國際糧農組織之整理，將全世界各研究成果系統地分類成稻作、雜作、甘蔗及牧草等四類，故只要地域性之氣象資料能收集，對作物用水量之推估頗為方便。

1. 水稻之作物係數：

水稻屬於好水性作物，水稻之 Kc 值視地域栽培環境、氣象條件、品種栽培環境以及生育期間長短之差異，均會顯示出不同之耗水型態，故作物係數 Kc 值亦得按實況作適當之校正。

表4-3 臺灣地區實驗所得一、二期作水稻Kc之值

生育天數	1-15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-105	106-120
生育期	插秧期	分蘗 初期	分蘗 末期	開花 初期	開花 末期	成熟 初期	成熟 中期	成熟 末期
一期作	0.5	0.8	1.2	1.3	1.3	1.2	1.0	0.7
二期作	0.9	1.2	1.5	1.6	1.5	1.3	1.0	0.6

資料來源：甘俊二，灌溉系統配水技術之分析與研究，1979年。

從作物生理之觀點，稻作在開花抽穗期之耗水形態必會呈現尖峰用水量，故 FAO 推介之 Kc 值，只指出大略之範圍。為使灌溉配水計劃合理化，供水最好按照生育階段別分別計算 Kc 值。對於旱作水稻或陸稻之 Kc 值，大略低於一般水稻之 15~20%。有關台灣地區水稻之 Kc 值如表 4-3 所示。

2. 雜作之作物係數：

本省農田灌溉以水稻為主，然由於我未來即將加入世界貿易組織（WTO），水田面積勢必被迫減少，今又經各地旱作灌溉試驗證實，旱作物在有計畫灌溉後產量顯著增加，故旱作灌溉之重要性勢必大大提升。今若欲制訂旱作灌溉計畫，所面臨問題為旱作物種類及品種繁多，種植期間不相同，各地土壤、氣象又有差異，其關係之複雜是可以想像。然為提供旱作灌溉管理及工程設計之依據，及為提供有關單位劃定作物專業區之參考，或為提供合理調配水資源之依據，因此，建立各旱作物之作物係數，並配合相關之氣象因數及種植期距，俾供各旱作灌溉用水量之決定。有關台灣地區各主要雜糧作物之作物係數，可根據國際糧農組織（FAO）及雜作灌溉手冊之推薦值為之（如表 4-4）。

表 4-4 台灣各作物別之 K_c 值

作物	初始期	發展期	中期	末期	收穫期	總生長期	
高需水作物	甘蔗	0.4~0.5	0.7~1.0	1.0~1.3	0.75~0.8	0.5~0.6	0.85~1.05
	棉花	0.4~0.5	0.7~0.8	1.05~1.25	0.8~0.9	0.65~0.7	0.8~0.9
	胡椒	0.3~0.4	0.6~0.75	0.95~1.1	0.85~1.0	0.95~1.1	0.8~0.95
	煙草	0.3~0.4	0.7~0.8	1.05~1.25	0.8~0.95	0.6~0.65	0.85~0.95
	向日葵	0.3~0.4	0.7~0.8	1.05~1.2	0.7~0.8	0.35~0.45	0.75~0.85
	小麥	0.3~0.4	0.7~0.8	1.05~1.2	0.65~0.75	0.2~0.25	0.8~0.9
中需水作物	馬鈴薯	0.4~0.5	0.7~0.8	1.05~1.2	0.85~0.95	0.7~0.75	0.75~0.9
	玉米	0.3~0.5	0.7~0.9	1.05~1.2	1.0~1.05	0.5~1.1	0.8~0.95
	西瓜	0.4~0.5	0.7~0.8	0.95~1.05	0.8~0.9	0.65~0.75	0.8~0.9
	蠶豆	0.3~0.4	0.65~0.75	0.95~1.05	0.9~0.95	0.85~0.95	0.85~0.9
	甜菜	0.4~0.5	0.75~0.85	1.05~1.2	0.9~1.0	0.6~0.7	0.8~0.9
	甘藍菜	0.4~0.5	0.7~0.8	0.95~1.1	0.9~1.0	0.8~0.95	0.7~0.8
低需水作物	落花生	0.4~0.5	0.7~0.8	0.95~1.1	0.75~0.85	0.55~0.6	0.75~0.8
	洋蔥	0.4~0.6	0.6~0.75	0.95~1.05	0.95~1.05	0.95~1.05	0.65~0.8
	蕃茄	0.4~0.5	0.7~0.8	1.05~1.25	0.8~0.95	0.6~0.65	0.7~0.9
	大豆	0.3~0.4	0.7~0.75	1.0~1.05	0.77~0.8	0.5~0.55	0.75~0.9
	高粱	0.3~0.4	0.7~0.75	1.0~1.05	0.77~0.8	0.5~0.55	0.75~0.85
	豌豆	0.4~0.5	0.7~0.85	1.05~1.2	1.0~1.15	0.95~1.1	0.8~0.9
	香蕉	0.5~0.65	0.8~0.9	1.0~1.2	1.0~1.15	1.0~1.15	0.85~0.95
	紅菜	0.3~0.4	0.7~0.8	1.05~1.2	0.65~0.7	0.2~0.25	0.65~0.7

資料來源：FAO Code 24, 1984 及雜作灌溉手冊, 1980。

三、作物需水量之推求

ET_{crop} 之估算應用通常以 10 至 30 天為一單元，而作物之全生育期之總作物需水量則可由各單元別之作物需水量之總和來表示之。

$$\sum ET_{crop} = \sum (K_c \times ET_0) \dots \dots \dots (4-13)$$

式中：

$\sum ET_{crop}$ ：全生育期作物蒸發散量 (mm)。

K_c ：作物係數。

ET_0 ：參考作物需水量 (mm/day)。

經求得本省各地區水稻及早作作物需水量，如表 4-5～表 4-7 所示。

表 4-5 台灣各地區水稻需水量

區域		臺北地區			新竹地區	台中地區	台南地區		高雄地區		東部地區
期作	水稻需水量	宜蘭	基隆	臺北	新竹	台中	嘉義	台南	高雄	恆春	花蓮
第一期作	一般期距	427	445	491	514	545	327	473	455	517	458
	一旬移動	440	452	500	527	547	351	485	474	545	473
	二旬移動	471	491	536	571	574	377	522	508	578	506
	範圍	427~536			514~571	545~574	327~522		455~578		458~506
第二期作	一般期距	757	664	728	863	832	755	897	833	883	696
	一旬移動	573	632	690	793	781	772	868	808	861	621
	二旬移動	518	570	636	741	740	737	846	800	848	571
	範圍	518~757			714~863	740~832	737~897		800~883		571~691

註：1. 臺灣各地區第一期作水稻作種植時間（一般期距）

宜蘭地區：02 月 21 日～06 月 20 日 基隆地區：03 月 01 日～06 月 30 日

臺北地區：03 月 01 日～06 月 30 日 新竹地區：03 月 01 日～06 月 30 日

台中地區：02 月 21 日～06 月 20 日 嘉義地區：01 月 01 日～04 月 30 日

台南地區：01 月 01 日～04 月 30 日 高雄地區：01 月 01 日～04 月 30 日

恆春地區：01 月 01 日～04 月 30 日 花蓮地區：02 月 21 日～06 月 20 日

臺灣各地區第一期作水稻作種植時間（一般期距）

宜蘭地區：07 月 01 日～10 月 31 日 基隆地區：07 月 21 日～11 月 20 日

臺北地區：07 月 21 日～11 月 20 日 新竹地區：07 月 01 日～10 月 31 日

台中地區：07 月 01 日～10 月 31 日 嘉義地區：06 月 21 日～10 月 20 日

台南地區：06 月 21 日～10 月 20 日 高雄地區：06 月 01 日～09 月 30 日

恆春地區：06 月 01 日～09 月 30 日 花蓮地區：07 月 21 日～11 月 20 日

2. 一旬移動水稻需水量：種植期間為將上述一般種植期距往後移一旬所得之水稻需水量

3. 二旬移動水稻需水量：種植期間為將上述一般種植期距往後移二旬所得之水稻需水量

資料來源：台灣地區性作物需水量之推估研究（農委會研究報告，1997）

表 4-6 台灣各地區旱作物需水量

單位：mm/期作

地區	高需水					中需水					低需水						
	甘蔗	棉花	胡椒	向日葵	煙草	小麥	馬鈴薯	玉米	西瓜	蠶豆	落花生	甘藍菜	甘藷	洋蔥	蕃茄	大豆	高粱
宜蘭地區	1364	606	517	506	448	351	343	331	317	293	349	310	310	289	284	253	271
基隆地區	1250	556	474	464	410	322	314	303	290	268	320	284	284	265	260	232	249
臺北地區	1346	598	510	500	442	347	339	326	313	289	344	306	306	286	280	250	268
新竹地區	1430	636	542	531	469	368	360	347	332	307	366	325	325	303	298	265	284
台中地區	1510	671	572	560	496	389	380	366	351	324	386	343	343	320	315	280	300
嘉義地區	1413	628	535	524	464	364	355	343	328	303	361	321	321	300	294	262	281
台南地區	1603	712	607	595	526	413	403	389	372	344	410	364	364	340	334	297	319
高雄地區	1589	706	602	590	522	409	400	385	369	341	406	361	361	337	331	295	316
恆春地區	1752	779	664	650	575	451	441	425	407	376	448	398	398	372	365	325	348
花蓮地區	1423	632	539	528	467	366	358	345	331	305	364	323	323	302	296	264	283

資料來源：研擬合理灌溉用水標準及農業用水調配之可行性方案研究（經濟部水資源局）。

四、各種方法之檢討

如上所述，作物灌溉需水量之測定，可採用各種不同之測定方法，可用儀器設備或間接估計。水稻灌溉需水量之差異，包括蒸發散量、田間滲漏與水路損失。其中蒸發散量甚微，因此重要之測定項目乃為田間滲漏量與水路損失。在浸水狀態之稻田土壤乃屬飽和或接近飽和之狀態，故無須測定土壤水份，田間觀測不外為測定其滲漏量。旱作灌溉水量，因非在浸水狀態，故其測定項目包括有作物蒸發散、地下水補給量、有效雨量、水路損失等。

盆栽與滲透計觀測，由於水量可以嚴密控制，理應較為準確可靠。但台灣甚少以滲透計或盆栽水稻灌溉需水量之觀測，常用於基本研究與探討。例如蒸發散量之測定，節水栽培之研究及各項水份生理上之問題，均可用滲透計或盆栽進行。至於大田區之配水，則甚難在滲透計或盆栽獲得答案。關於旱作盆栽之觀測，雖不受降雨之干擾，但因容器體積太小之故，根系生育受到限制，影響作物之生育，又其土壤之水份蒸發亦較田間為快，以目前所能搜集之盆栽作物用水試驗資料均比田間實測值為高，故不宜以盆栽觀測之資料直接作為田間灌溉之依據。滲漏計之觀測，在旱作因可以完全隔離地下毛管水上升之補給部分，故與田間觀測互相配合，則可以求出地下毛管水之供應量，惟因受地下水高低、土壤質地、毛管構造、上層土壤水份高低、作物吸水機能之強弱，以及其他日照、風速等氣象因數影響，頗難準確計量確實之補給量。使用汽油筒改裝之小型測滲筒測定滲漏及作物蒸發散，理應合乎需要。

過去數十年實地觀測田區之消失水量，均以圳路別計算其灌溉面積內平均每日消失水量，其差異較為正常。若蒸發散量可以估計，則田間需水量減去蒸發散量即為該灌溉區內之平均田間滲漏量。由於台灣已無大面積之新墾土地，開發水源多數為擴大已有灌區，故估計滲漏量實不如觀測已灌水區比照估計，較為合理，但觀測田間滲漏，乃在田面有水之狀態行之，若田面無水，如旱田則無法觀測。

根據土壤條件以判定滲漏率，由於滲漏本身為一物理現象，與土壤之物理性有關。如上節所述之水利局「設計規定」以黏土質含量百分率計算滲漏量，若此方法可靠，則使用上無疑為最便捷者，但實際上則與田間觀測常不相符。有時土層結構之不同對滲漏量之影響更大。在機械分析上性質相近之土壤，滲漏量可能相差甚多。即使在同一地區有時用滲漏筒觀測之數值，亦可能相距甚遠。

至於使用氣候因素之相關公式，僅能用於作物之蒸發散量。惟台灣之水稻蒸發散，已有多數年之觀測結果，差異較少，在實際應用上實無庸置疑。旱作方面可利用 Blaney-Criddle 及 A-pan 方法，均依當地平均氣溫與日照時間

及蒸發皿蒸發量計算作物蒸發散量，為最簡易而不需特殊之儀器，故喜被人採用。又若於氣象資料較為完整之地區，建議採用較精確之 Penman-Monteith 法及 Modify Penman 法，但公式中之作物需水係數可能有地區性之差異，須就台灣之各種作物予以測定，倘若能產生合理之 K 值，則上述之估算式皆可用以估計台灣各種旱作物之需水量，如在台灣有多種之旱作物，同一作物可在不同季節栽培，亦即栽培日期之不同而其“k”值亦異，如春作、秋作等。

綜合上述之灌溉水量，對全灌區而言，水田包括水稻之蒸發散量、日間滲漏與水路損失。旱田尚包括有地下水補給量。其中除作物之蒸發散量可以據各地試驗結果予以估計外，田間滲漏、地下補給量、水路損失，均須實地測定或比照實地測定之結果，加以合理之判斷。

第五章 灌溉用水量

5.1 灌溉用水量的定義

水田灌溉用水量乃為綜合作物蒸發散量、滲漏量、輸水損失、有效雨量及整地用水之組合體，對田間之灌溉用水量，就上列各因數之變化，會顯示不同之用水量。例如輪區內位於水源附近及末端之不同坵塊，受水源距離之不同，輸水損失之變化可相差 30%，即兩者用水量之標準以單項因數之不同，即顯示了 30% 的變化，又如同一坵塊，一、二期作水稻之整地用水量，依整地時之土壤水份及地下水位之狀況，亦會顯示出不同之整地用水量，故田間灌溉用水量，乃為錯綜複雜之變化，不應以固定之推算數值，作為田間灌溉用水量之依據。

目前台灣採用之灌溉用水量之推算方式，至為粗放，一般單憑灌溉管理上之經驗，推估每秒立方公尺可灌溉之面積數（稱為灌溉率），作為計算田間灌溉用水量之依據，至於較進步者，亦僅限於引用土壤別，水路結構以及管理方式作進一步之劃分，其推估方法仍將各因數視為固定數值，求出概略之推估值，尚無法普遍符合田間之需求。

本節將各灌溉因數視為變數來討論其關連性，依田間實際狀況，由各個因數合理之推估數據，綜合求出符合田間之灌溉用水量。

茲將推估各灌溉用水量之公式及其定義分述如下：

- 一、蒸發散量 (Evapotranspiration, ET)：亦稱作物需水量 (Consumptive use, C_u) 為作物生長時期所需蒸散與附近土壤蒸發水份之總和，單位常為單位時間之水深（如公釐/日）或以作物生長季節之總水深表之（如公釐/期作）。
- 二、田間耗水量 (Water requirement, WR)：為蒸發散量與滲漏量 (Percolation, P) 之和，不論供水來源為灌溉水或雨水均稱田間耗水量，其單位與蒸發散量同。
- 三、田間灌溉用水量 (Field irrigation requirement, FIR)：田間供水來源係為灌溉水，因此田間灌溉用水量為田間耗水量與有效雨量之差。
- 四、有效雨量 (Effective rainfall)：灌溉時期所降的雨可供作物利用之水量，並可減少灌溉水量者。
- 五、輪區用水量 (Turnout requirement, TR)：為田間灌溉用水量加上小給水渠之輸水損失，以流量表示，亦即為某輪區分水門之流量。

六、支線別灌溉用水量 (Delivery requirement, DER)：各輪區分水門流量之和加上支線輸水損失。

七、系統總灌溉用水量 (Diversion requirement, DIR)：各支線水門流量加上輸渠輸水損失。

5.2 灌溉用水量之有關名詞及單位

5.2.1 灌溉用水量之有關名詞

1. 灌溉水深：以人為灌溉之水量以水深表示者。
2. 田面蒸發量：由田面蒸發消失之水量。
3. 葉面蒸散量：稻根吸收之水份，經由葉面所蒸散之水量。
4. 播種面積：播撒水稻種子育苗所用面積。
5. 秧苗面積：指育秧時灌溉之面積。包括播種面積、畦溝和保護區面積。
6. 浸田用水：於整田前供給田間泡田之水量。
7. 整田用水：整田前所需用水量。
8. 錯開日數：為緩和用水尖峰，將某一灌區整田插秧日期妥予安排之所需日數。
9. 本田用水：水稻自插秧後至成熟期停水日之間之用水。
10. 生育日數：水稻自插秧後至成熟收穫之總日數。
11. 灌溉日數：水稻自插秧至成熟停水所需灌溉之總日數。灌溉日數比生育日數略少。
12. 停水：水稻黃熟後期，不需灌溉時，停止供水施灌。
13. 輪區：輪流灌溉之配水區稱輪區（面積在 50 公頃左右）。
14. 單區：輪區內之單位配水區（面積在 10 公頃左右）。

5.2.2 灌溉用水量之單位

一般灌溉用水量單位之表示方法，有下列四種：

1. 流量：立方公尺/秒 (c.m.s)

係指單位時間內流動之水量而言。如一秒鐘流一立方公尺之水量謂之1立方公尺/秒(1 c.m.s 或 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$)，一般多用於河川、埤圳之幹、支、分線或小給水路等流量之表示。

2. 水深：公釐或公尺(mm 或 m)

以田間灌溉用水之深度來表示之一種方法。一般多用於田間灌溉用水量之計算(雨量亦以水深表示之)。

3. 容量：立方公尺(m^3)

以體積容量來計算用水多寡之表示方法。

4. 灌溉率：公頃/每秒立方公尺(ha/cms)

是指一單位流量能夠灌溉若干公頃作田間用水量之表示方法。

應用之實例

【例題一】

1 公頃農田，灌溉水深分別為 6 公釐、7 公釐、8 公釐、150 公釐，試求其灌溉水量，各為若干立方公尺？

【解法】

1 公釐 = 0.001 公尺，1 公頃 = 10,000 平方公尺

(1) 6 公釐之水量：10,000 平方公尺 $\times$ 0.006 公尺 = 60 立方公尺 (m^3)

(2) 7 公釐之水量：10,000 平方公尺 $\times$ 0.007 公尺 = 70 立方公尺 (m^3)

(3) 8 公釐之水量：10,000 平方公尺 $\times$ 0.008 公尺 = 80 立方公尺 (m^3)

(4) 150 公釐之水量：10,000 平方公尺 $\times$ 0.150 公尺 = 1,500 立方公尺 (m^3)

【例題二】

1 公頃農田，灌溉水量為 100 立方公尺，求其灌溉水深？

【解法】

100 立方公尺 / 10,000 平方公尺 = 0.01 公尺 = 10 公釐 (mm)

【例題三】

一秒鐘流經渠道一立方公尺之流量，求一日(24 小時)中能輸送多少容積之水量？

【解法】

$$1 \text{ 日} = 24 \text{ 小時} = 1,440 \text{ 分} = 86,400 \text{ 秒}$$

$$1 \text{ 立方公尺/秒} \times 86,400 \text{ 秒} = 86,400 \text{ 立方公尺 (m}^3\text{)}$$

【例題四】

1 立方公尺/秒之流量，一天中用以灌溉 100 公頃面積之農田，求其灌溉水深若干？

【解法】

$$\begin{aligned} 86400 \text{ 立方公尺} \div (100 \text{ 公頃} \times 10,000 \text{ 平方公尺/公頃}) &= 0.0864 \text{ 公尺} \\ &= 86.4 \text{ 公釐 (mm)} \end{aligned}$$

【例題五】

某輪區整田用水量為 100 公釐，渠道流量為 0.5 立方公尺/秒，求當日可灌溉之面積為若干公頃？

【解法】

$$86,400 \text{ 秒} \times 0.5 \text{ 立方公尺/秒} \div 0.1 \text{ 公尺} = 432,000 \text{ 平方公尺} = 43.2 \text{ 公頃}$$

以上所舉，係應用於每日所需水量及灌溉用水量之計算，至於配水計畫用水量之計算，應依照下列公式較為方便。

$$D = QT/A \quad T = DA/Q \quad Q = DA/T \quad A = QT/D$$

式中：

D：灌溉水深（公尺）

T：灌溉時間（秒）

A：灌溉面積（平方公尺）

Q：灌溉流量（立方公尺/秒）

【例題六】

流量 0.5cms，灌溉時間 50 分鐘，面積 1 公頃，求灌溉水深？

【解法】

$$D = QT/A = (0.5 \times 50 \times 60) / (1 \times 10,000) = 0.15 \text{ 公尺} = 150 \text{ 公釐}$$

【例題七】

面積 0.2 公頃，灌溉水深 8.4 公釐，流量 0.02cms 時，求灌溉所需時間？

【解法】

$$T=DA/Q=(0.0084\times0.2\times10,000)/0.02=840\text{ 秒}=14\text{ 分}$$

【例題八】

灌溉水深 100 公釐，流量 0.02cms，時間 2 小時，求可灌溉面積？

【解法】

$$A=TQ/A=(2\times60\times60\times0.02)/0.1=1,440\text{ 平方公尺}=0.144\text{ 公頃}$$

【例題九】

每日灌溉需水量為 8 公釐，其灌溉率為若干？

【解法】

$$\begin{aligned}\text{計算式}\quad \text{灌溉率}&=\frac{\text{時間(秒)}\times1\text{立方公尺/秒}}{10,000\text{平方公尺}\times\text{灌溉水深(公尺)}}\\&=\frac{86,400\times1}{10,000\times0.008}=1,080\text{公頃/cms}\end{aligned}$$

以上所舉數例，均不計輸水損失量，亦即渠道流量在田間給水口之流量。

5.3 水田灌溉用水量

5.3.1 水田灌溉用水量之決定

水稻自播種至成熟期間，由灌溉配水觀點上，可分為秧田、整田、本田三個時期加以說明。

一、秧田用水

一般計劃秧田用水，其秧田面積採用本田面積之 1/25（按蓬萊種為 1/25，在萊種為 1/30）。也就是說，1ha 之秧苗可移植 25ha 之本田所使用，故秧田所佔面積遠較本田面積為少，且育苗期較短，加以秧苗本質亦不能長久泡於水中，有時尚需排水，基於此等理由，秧田灌溉通常不考慮同一灌區之土壤因素，亦不計入有效雨量。

茲以屬於壤土之灌區為例，估計每輪區之標準秧田用水量如下：

1. 基本資料

A. 輪區灌溉標準面積：50ha。

B. 各輪區秧田面積： $50 \times 1/25 = 2\text{ha}$ 。

C. 育苗期間：第一期作 40 天，第二期作 20 天，在菜種 25~30 天。茲以蓬萊種為例。

D. 秧田整田用水：150mm。

E. 秧田田間補給水量：12mm/day，3 天供水 1 次為 36mm。第一期作，供 14 次，計 504mm。第二期作，供 7 次，計 252mm。

F. 秧田期間之渠道輸水消耗率：採用輪區標準面積用水量之 20%。

G. 本田在給水門之日平均用水量為 8mm，即灌溉率 $E = 1,084\text{ha}/\text{cms}$ 。

2. 計算

依上述之基本資料，決定每一輪區秧田用水量：

第一期作：

每一輪區秧田田間用水量： $(150 \times 2 + 504 \times 2) / (8,640 \times 40) = 0.0038\text{cms}$

渠道消耗水量（輪區本田用水量之 20%）： $(50 \times 8) / 8,640 \times 0.2 = 0.0093\text{cms}$

合計：每一輪區秧田在給水門之用水量 $= 0.0038 + 0.0093 = 0.013\text{cms}$

第二期作：

每一輪區秧田田間用水量： $(150 \times 2 + 252 \times 2) / (8,640 \times 20) = 0.0047\text{cms}$

渠道消耗水量（輪區本田用水量之 20%）： $(50 \times 8) / 8,640 \times 0.2 = 0.0093\text{cms}$

合計：

每一輪區秧田在給水門之用水量 $= 0.0047 + 0.0093 = 0.014\text{cms}$

以上，不論第一期作或第二期作，每一輪區秧田用水量，非常微少，給水上易生問題，故常用同一系統 2~3 輪區合併實施輪灌，以節省渠道輸水消耗量。倘若在面積較小之輪區，秧田用水量計算結果未達 0.008cms 時，可估算為 0.008cms，以利輸水。

二、整田用水

水稻移植前，對於本田先予翻耕及粉碎土壤，使成最適狀態等作業，其所必要之用水稱為整田用水。

整田用水量之多寡，端視水田之土壤孔隙率、含水量、滲透性、翻耕深度、蒸發量、覆蓋水深、水管理等因素而不同。除了可於實地施測外，並可由計算之方法求得。

茲以一輪區 50ha 為例，依下列基本資料，敘述計算整田用水量之方法如下：

1. 基本資料

A. 整田用水量，原則上不計有效雨量。

B. 耕地翻耕深度以 150mm 為準。

C. 為使翻耕土壤達飽和狀態，其所需灌滿之空隙（即土壤孔隙減凋萎係數），茲以砂壤土之孔隙率 $P=40\%$ ，凋萎係數 $W_p=5.23\%$ （容積率），則所需灌溉孔隙為： $40.0-5.23=34.77\%$ 。

D. 覆蓋土面水深為 30mm。

E. 整田期間，自灌水起至插秧完畢所需要作業時間為 2 天，在這期間內，所需補給之水量為田間蒸發量與田間滲漏量兩種。蒸發量應以該灌區例年整田時期之蒸發量資料統計其平均值應用之。本例係用平均蒸發量 $4.74 \times 0.7 = 3.3\text{mm/day}$ ，以及中粗質土壤之滲漏量 15mm/day 。

2. 計算

整田用水量 = 翻耕深度 $\times$ （孔隙率 - 凋萎係數） + 覆蓋土面水深 +（整田期間田面之平均蒸發量 + 田間總滲漏量）

$\therefore$ 整田用水量 = $150 \times (40 - 5.23) / 100 + 30 + (3.3 + 15) = 119\text{mm}$

以上所述整田用水量，係指田間用水量而言，若需知總用水量，尚須計入渠道輸水損失。

三、本田純灌溉用水量

決定水稻本田純灌溉用水量之方法，有依據計算之方法與依據實測之方法，以及兩者之折衷等三種，茲分別敘述如下：

1.依計算之方法

由前所述，純灌溉用水量＝（蒸散量＋水面蒸發量＋滲漏量）－有效雨量

若已知該土地之蒸發計蒸發量與雨量，再由各地過去之事例推定滲漏量，則可計算純灌溉用水量。本法並非精密的方法，惟若僅欲知其概值，尚稱方便。

【例】設水稻之灌溉期間為 100 日，灌溉期間中之蒸發計蒸發量為 500mm，灌溉期間中之雨量為 400mm，灌溉期間中之滲漏量為 15mm/day，試求其純灌溉用水量。假設有效雨量為 85%。設：該地區灌溉期間中之平均蒸發散比為 1.2，則：

$$\text{蒸發散量} = 500 \times 1.2 = 600 \text{ (mm)}$$

$$\text{滲漏量} = 15 \times 100 = 1,500 \text{ (mm)}$$

$$\text{有效雨量} = 400 \times 0.85 = 340 \text{ (mm)}$$

$$\text{全期間之純灌溉水量} = 600 + 1,500 - 340 = 1,760 \text{ (mm)}$$

$$1 \text{ 日之純灌溉用水量} = 1760 / 100 = 17.6 \text{ (mm)}$$

2.依實測之方法

依據實測求灌溉用水量，是一種可靠性最高的方法。實測雖然需要很長之時日，但施行大面積灌溉計劃時，因必須得知正確的灌溉用水量資料，所以應依據本法求之。

A.水田減水深（Water requirement in depth）之求法

本法，可於平時湛水之水稻田中施行，實測田間每日消減水深，用於估算灌溉水深之用，其觀測用具如圖 5-1。

試驗時，容器內之水稻，應使之與試驗田之水稻具同樣的生育狀態，施行培肥管理。又於測定之期間中，若遇有降雨時，必須減去雨量值。

減水深，因隨水稻之生育狀態，其變化甚大，所以全生育期均應施行實測。

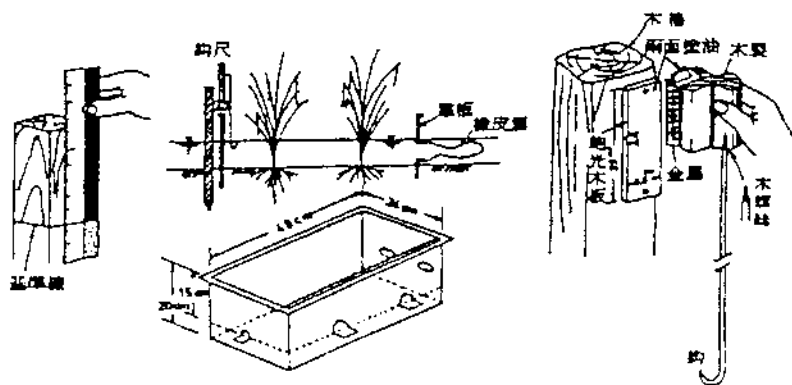


圖 5-1 水田減水深測定用之簡易鉤尺圖

B. 由流入、流出量之求出

在水稻內劃出一試驗區域，先測得其面積，然後於兩側設置如圖 5-2 所示之給水路 AB 與排水路 CD，水由給水路經量水堰 E 溢流進入試驗田區，再由量水堰 F 溢流進入排水路。

在灌溉期中，由 E、F 量水堰測定流入量與出水量，求出其兩者之差，即可得用水量。

測定流入、流出量所用之設備，除了堰外，其他尚有巴歇耳量水槽等。

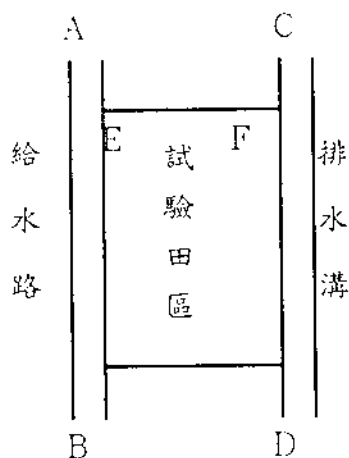


圖 5-2 流入、流出測定法

C. 實測與計算之折衷法

即蒸散量與水面蒸發量依據過去之實驗資料計算，而滲漏量則依據實測，以此所決定灌溉用水量的方法，稱之為折衷法。

滲漏量之實測，可用圖 5-1 之裝置，但需加蓋，且於其中不種植水稻，安裝蓋子的目的，係為遮斷蒸發以及降雨。

5.3.2 台灣水稻需水量試驗成果

一、水稻蒸發散量

綜合以往之試驗成果，台灣水稻之蒸散量，平均估計約為 300~400mm，水面蒸發量為 320mm 以上。蒸發散量之和約為 600~700mm。因此，若以水稻生長期為 100 天計算，每日蒸發散量約為 6~7mm。而以第 2 期作之蒸發散量較第 1 期作為大。

二、水稻在各生長階段與土質下之日需水量

稻作生產期間之日需水量，隨著其各生長階段與土質而差異很大。目前對水稻日需水量之估計，按稻作生長期及土質，可列如下表 5-1。

表 5-1 水稻不同生長階段、土質之日需水量（田間需水量）

稻作生長階段別	砂 土		壤 土		粘 土	
	日需水量 mm/day	灌溉率 ha/cms	日需水量 mm/day	灌溉率 ha/cms	日需水量 mm/day	灌溉率 ha/cms
整田用水量 (mm)	133.0	64.8	112.0	77.1	100.0	86.4
移 植 期 第 1 旬	7.8	1107	6.4	1350	5.1	1700
分 蘗 前 期 2	7.1	1217	5.8	1485	4.6	1870
分蘗有效決定期 3	6.5	1328	5.3	1620	4.2	2040
最 高 分 蘗 期 4	6.5	1328	5.3	1620	4.2	2040
幼 稈 形 成 期 5	7.1	1217	5.8	1485	4.6	1870
孕 穗 期 6	8.7	996	7.1	1215	5.7	1530
出 穗 期 7	8.7	996	7.1	1215	5.7	1530
乳 熟 期 8	7.8	1107	6.4	1350	5.1	1700
糊 熟 期 9	7.8	1107	6.4	1350	5.1	1700

三、水稻灌溉期距與田間需水量

稻作生長之最適土壤水份範圍，在飽和水份與田間容水量之間。續灌法之田面經常保持一定水深，其土壤水份呈過飽和狀態，灌溉係指經常性之補充作業。輪灌法則一次補充至定水深，即行中斷給水，待田面水深經由蒸發散量及滲漏而消失，及至土壤水份遞減至相當於田間容量時再行補充灌溉。兩次灌溉日數之間距稱為灌溉期距。

一般地區性稻作蒸發散量之變化有限，滲漏仍為促成田面水深變化之主因。灌溉期距可由下式表之：

$$\text{灌溉期距(日)} = (\text{一次灌溉水深} / \text{灌溉效率}) / (\text{日蒸發散量} + \text{日滲漏量}) + 2(\text{日}) \quad (5-4)$$

上式之兩日，係指土壤充分灌溉經 48 小時已遞減成田間容水量之時間。在台灣各地之灌溉期距，因地而異，如桃園地區為 3~4 日，嘉南為 7.5 日，甚至有部分砂性水田如花蓮、台東，則 2 日需施灌一次。輪流灌溉之配水，必須按時按量依序施行，故過短之期距，如 30 公頃之輪區、區內約有 120 坵塊之配水，灌溉作業頗為繁重。

若按一定之減水深，實施不同期距之輪灌，則期距短者其實施灌水較淺，對水田已保有浸水狀態之補充灌溉並無問題，但對地面已呈乾田狀之輪灌給水，另須考慮灌溉效率，故較少之水量，恐難實施均勻之灌溉。

台灣地區由於受地形地勢陡峻與降雨時空分佈不均之影響，乾旱現象之發生可謂相當頻繁，為瞭解乾旱期或常缺水地區之灌溉期距，於民國四十四年在嘉南大圳中營實施現地試驗，其試驗目的主要為實地試驗輪灌對節水增產情形以及研究解決大面積施行輪灌時之技術問題。

試驗計分 6 日 1 次，8 日 1 次，10 日 1 次，15 日 1 次以及續灌等五種。1 次灌溉水深原計劃 60mm，後因遭遇異常旱災，一再減至 45mm 以下。但同時亦因正逢奇旱，使本試驗獲得意外的結果，茲將第一期水稻試驗成果摘要如下表 5-2。

表 5-2 民國 44 年第 1 期嘉南大圳中營水稻輪灌試驗成果

輪灌期距	輪灌期間	田間需水量 (mm)	百分比 %	每日平均需水量 (mm)	百分比 %	灌溉用水量 (mm)	百分比 %	灌溉期間雨量全部為有效 (mm)	單位面積稻穀產量 (kg/ha)	百分比 %
6 日	116	974.0	100	8.4	100	835.5	100	138.5	5623	100
8 日	116	815.3	84	7.0	83	676.8	80	138.5	5861	101
10 日	116	800.5	82	6.9	82	662.0	79	138.5	5125	109
15 日	116	682.3	70	5.9	70	543.8	65	138.5	4722	84
續灌	116	1891.0	194	16.7	199	1752.5	210	138.5	5236	93

依表 5-2，可作結論如下：

1. 續灌較輪灌之用水量多達 1 倍以上，而產量反較 6 日灌溉 1 次者少 7%。
2. 15 日灌溉 1 次者，其需水量與用水量雖較 6 日區少 30~35%，但其產量亦大受影響，減少 16%，似可暫作輪灌期距延長之極限視之。
3. 6 日、8 日、10 日三種輪灌期距之比較，可作為改進嘉南大圳灌溉用水之參考。

四、田間滲漏水量

滲漏水量的多寡，因土質而不同，其差異甚大，根據水利局「設計規定」所載，田間滲漏水量的經驗公式如下：

$$P = 86,400 \times 1,000 / (\text{粘土粒}\% \times I \times 36 \times 10,000) \\ = 240 / (\text{粘土粒}\% \times I) \text{ (mm/day)} \dots\dots\dots (5-5)$$

式中：

P：滲漏水量，mm/day。

I：係數，視粘土%的大小而定。

上式中粘土粒%，係以土壤內含 0.05mm 以下粘土的重要百分數計。

表 5-3 各種土壤的滲漏水量

土壤種類	粘土粒含量%	係數 I	滲漏量 (mm/day)
砂質礫土	1.6	1.0	150.00
礫質砂土	5.0	1.1	43.70
砂 土	8.0	1.2	25.00
壤質砂土	11.6	1.3	15.90
砂質壤土	14.9	1.4	11.50
壤 土	18.2	1.5	8.80
粘質壤土	21.9	1.6	6.85
壤質粘土	27.0	1.7	5.24
粘 土	33.0	1.8	4.04
中 粘 土	40.0	1.9	3.16
重 粘 土	49.0	2.0	2.45

5.3.3 台灣各區水稻灌溉用水量之推估

一、台灣各區水稻種植面積

依據民國 85 年台灣灌溉地普查報告資料，各區面積詳如第一章概說表 1-3。

二、台灣各區有效雨量

灌區之有效雨量對水稻而言，若暫照月平均雨量 60% 計算，但以不超過 180mm 為限之標準，可估計如下表 5-4。

三、台灣各區稻作栽培日程

稻作耕耘季節影響灌溉用水量最大，根據台灣多年經驗，大致可分為三個不同地區歸納其工作日程表如下：

表 5-4 灌區月有效雨量

單位：mm/月

區別	十一	十二	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
I 臺北	41	44	53	83	103	100	128	178	149	169	139	71
II 宜蘭	180	146	83	81	72	70	120	127	87	117	150	180
III 新竹	16	20	28	58	64	95	112	147	110	142	96	15
IV 台中	8	14	19	31	54	62	125	176	143	142	80	16
V 嘉南	10	10	10	17	25	39	98	180	180	180	97	19
VI 高屏	31	10	10	14	12	25	86	180	180	180	159	69
VII 台東	46	24	21	23	32	43	87	126	172	163	166	83
VIII 花蓮	82	44	46	49	60	67	115	110	139	137	180	146

表 5-5 各區稻作栽培日程

區 別	第 一 期 稻 作		
	秧田 (40 天)	整田 (20 天)	本田 (110 天)
I (臺北). II (宜蘭) III (新竹)	1 月 21 日~2 月 28 日	3 月 1 日~3 月 20 日	3 月 21 日~7 月 10 日
IV (台中). VIII (花蓮)	1 月 1 日~2 月 10 日	2 月 11 日~2 月 28 日	3 月 1 日~6 月 20 日
V (嘉南). VI (高屏) VII (台東)	12 月 11 日~1 月 20 日	1 月 21 日~5 月 31 日	2 月 11 日~5 月 31 日
區 別	第 二 期 稻 作		
	秧田 (40 天)	整田 (20 天)	本田 (110 天)
I (臺北). II (宜蘭) III (新竹)	7 月 11 日~7 月 31 日	8 月 1 日~8 月 20 日	8 月 21 日~11 月 20 日
IV (台中). VIII (花蓮)	6 月 21 日~7 月 10 日	7 月 11 日~7 月 31 日	8 月 1 日~10 月 31 日
V (嘉南). VI (高屏) VII (台東)	6 月 1 日~6 月 20 日	6 月 21 日~7 月 10 日	7 月 11 日~10 月 10 日

四、台灣各區稻作灌溉用水量估計

根據表 5-5 之耕作日程，再假定稻作田間需水量如下：

秧田田間需水量：依照每一輪區 50ha，所需之秧田水面為 0.008cms 計算，則折合本田面積之 1.4mm/day。

整田田間需水量：本田面積之 185mm。

本田田間需水量：假定一期與二期相同。臺北、宜蘭、新竹、台中、嘉

南、高屏等六區 9mm/day；台東、花蓮兩區 10mm/day。

依照以上資料，則台灣八大區之稻作，各月份之田間需水量，大致可以估計如下表 5-6。

表 5-6 各區稻作之田間需水量估計

單位：mm

區 別	期 別	一 月	二 月	三 月	四 月	五 月	六 月	七 月	八 月	九 月	十 月	十一 月	十二 月	年 計
I(臺北)	一	14	42	275	270	270	270	90						1,231
II(宜蘭)	二							28	275	270	270	180		1,023
IV(台中)	一	42	199	270	270	180								1,231
	二						14	199	270	270	270			1,023
V(嘉南)	一	120	273	270	270	270							28	1,231
VI(高屏)	二						120	273	270	270	90			1,023
VII(台東)	一	120	293	300	300	300							28	1,341
	二						120	293	300	300				1,113
VIII(花蓮)	一	42	199	300	300	300	200							1,341
	二						14	199	300	300	300			1,113

稻作田間需水量扣除 5-4 所示之月有效雨量，視作為田間灌溉用水量，其逐月各值即可推算得如表 5-7。

表 5-7 各區稻作之月田間灌溉用水量

區 別	期 別	一 月	二 月	三 月	四 月	五 月	六 月	七 月	八 月	九 月	十 月	十一 月	十二 月	年 計
I (臺北)	一	0	0	172	170	142	92	0						576
	二							0	106	131	199	139	0	575
II (宜蘭)	一	0	0	203	200	150	143	0						696
	二							28	158	90	90	0		366
III (新竹)	一	0	0	211	175	158	123	0						667
	二							8	133	174	255	164		734
IV (台中)	一	23	168	216	208	145	0							760
	二						14	56	128	190	254			642
V (嘉南)	一	110	256	245	231	172							18	1,032
	二						0	93	90	173	71			427
VI (高屏)	一	110	259	258	245	184							18	1,074
	二						0	93	90	111	21			315
VII (台東)	一	99	270	268	257	213								1,109
	二						0	121	137	134	17			409
VIII (花蓮)	一	0	150	240	233	185	90							898
	二						14	60	163	120	154			511

以上估算年粗灌溉用水量，乃供應雙期水稻栽培所需水量，估算依據雖屬粗放，與實際情形自有相當距離，惟藉此可窺知台灣水稻用水之一般。

稻作田間灌溉用水量，再加輸水及配水損失 30%，可估計作為粗灌溉用水量如下表。

表 5-8 各區稻作月粗灌溉用水量

單位：mm

區 別	期 別	一 月	二 月	三 月	四 月	五 月	六 月	七 月	八 月	九 月	十 月	十一 月	十二 月	年 計
I (臺北)	一	0	0	224	221	184	120	0						749
	二							0	138	171	261	181		751
II (宜蘭)	一	0	0	133	260	195	186	0						774
	二							36	205	117	117	0		475
III (新竹)	一	0	0	274	227	205	160	0						866
	二							10	173	226	330	214		953
IV (台中)	一	30	218	281	271	189	0							989
	二						18	61	166	247	330	0		822
V (嘉南)	一	143	133	319	301	224							23	1,143
	二						0	122	117	225	92			556
VI (高屏)	一	143	335	331	318	238							23	1,391
	二						0	122	117	144	27			410
VII (台東)	一	129	350	348	334	277								1,438
	二						0	157	178	174	22			531
VIII (花蓮)	一		195	313	303	240	117							1,167
	二						18	78	212	156	200			664

5.4 旱田灌溉用水量

旱地灌溉，有濕潤灌溉、培肥灌溉以及冬季的保溫灌溉等。依據各灌溉目的，由於灌溉方法不相同，其用水量也有差異。

以濕潤灌溉為目的者，必須灌溉至田間容水量最為適合農作物生育之狀況。因此，用水量受該耕地的土壤質地、氣象條件、農作物的種類所支配。綜合以上決定其用水量，則有依據田間耗水量之決定方法與依據作物根系在土層內之吸水型態的決定方法等種。

5.4.1 旱田灌溉用水量之決定

灌溉之目的乃維持土壤中水份在有效水份範圍內，以利作物根系之吸收，同時為避免浪費用水，所灌之水量，以不超過田間容水量為原則，通常

所採用估計一次純灌溉水深之公式如下

一、以灌前土壤水份為起點

$$d = (FC - Mc) \times As \times D / 100 \dots\dots\dots(5-6)$$

二、以 1/2 有效水份為起點

$$d = 1/2 (FC - WP) \times As \times D / 100 \dots\dots\dots(5-7)$$

三、以 1/4 有效水份為起點

$$d = 3/4 (FC - WP) \times As \times D / 100 \dots\dots\dots(5-8)$$

四、以 3/4 有效水份為起點

$$d = 1/4 (FC - WP) \times As \times D / 100 \dots\dots\dots(5-9)$$

式中：

d：純灌溉水深（mm）

FC：田間容水量（%）

WP：永久凋萎點（%）

Mc：灌溉土壤水份（%）

As：假比重

D：有效根層深度（mm）

一次純灌溉水深之計算，理論公式甚多，其中以 TRAM 計算為最安全，用 1/2 或 3/4 有效水份為灌溉起點者，普通用於地表灌溉，3/4 有效水份者適用於噴灑或蔬菜灌溉，至於應灌之土層深度，視作物根系之分佈深度而定，輪作田普通用 40 公分，甘蔗用 60 公分，蔬菜等淺根作物用 20 公分。

茲舉例說明如下：

某一排水良好之田區，土壤假比重為 1.3，田間容水量 25%，凋萎點為 10%，有效根系深度 60 公分，則

1/2 有效水份含量為灌溉起點時

$$d = 1/2 (25 - 10) \times 1.3 \times 600 / 100 = 58.5 \text{mm}$$

同理：已知灌前土壤水份為 15%，則該田區一次純灌溉水深為：

$$d = (25 - 10) \times 1.3 \times 600 / 100 = 78 \text{mm}$$

5.4.2 灌溉期距

一般作物灌溉之期距，除作物類別之間有差異外，同一作物也可受不同生育環境和作物本身生理上之需要，而有極大之差異，但實際農業經營上所希望之灌溉期距，係作物在生育、收量及品質不降低之條件下，決定其最長之間隔時間。

灌溉間隔之時間，大多均根據作物每天消耗水量，即為作物需水量與一次純灌溉水量之多少來決定，其公式如下：

$$\text{灌溉期距(天)} = \text{有效根系內純灌溉水量(mm)} / \text{每天消耗水量(mm/day)} \quad (5-10)$$

有關灌溉水深及灌溉期距之綜合計算舉例說明如下：

有一田區之田間容水量(F.C.)為 30% (重量比)，灌溉前之土壤水分含量為 20% (重量比)，土壤假比重(A_s)為 1.5、有效根系深度為 1m，試求(1)一次純灌溉水深(mm)？(2)又如田間灌溉效率為 65%，流量為 0.12 cms，灌溉面積為 5ha，則所需之灌溉時間(T)？(3)如凋萎點之水分含量為 19% (重量比)，作物日尖峰用水量 10mm，求有效水份(AM)及灌溉期距(IV)？

$$\text{Sol: (1) 一次純灌溉水深(d)} = \frac{(30-20)}{100} \times 1.5 \times 1000 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$$

$$(2) \text{ 粗灌溉水深}(d_g) = \frac{150 \text{ mm}}{0.65} = 230 \text{ mm}$$

$$QT = Ad_g$$

$$0.12 T = 5 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 0.23$$

$$T = 95833 \text{ sec} = 26.62 \text{ hrs}$$

$$(3) \text{ AM} = \frac{(F.C. - BP)}{100} \times A_s \times D$$

$$= \frac{30-19}{100} \times 1.5 \times 1000$$

$$= 165 \text{ mm}$$

$$\text{灌溉期距(IV)} = \frac{165}{10} = 16.5 \approx 16 \text{ days}$$

5.4.3 主要作物灌溉臨界期

各種作物於生育期缺乏水份時，對生育影響常有甚大之差別，如大豆與花生在開花期乾旱對收量影響最大，小麥在分蘖、抽穗、開花等期皆不應受旱，甘藷則在塊根形成後乾旱影較大，作物中如黃麻與陸稻可適應較多之水量，花生則灌溉太多，反而產量不高，蔬菜等淺根作物，需要灌溉次數應較多。一般而論，各作物均有不同好水時期，惟大部分在開花期之耗水量最大，在嘉南灌區，由於面積廣大，為配合水源水量之供應能力，通常並無法按土壤含水率來決定灌溉水量，僅於作物臨界期施灌 1-2 次，以下為本省各有關機關經多次試驗所得臨界期與應灌次數之研究摘要：

一、甘藷

甘藷在雜糧作物中屬於較耐旱之作物，對於灌溉不比其他作物敏感，生育前期灌溉，並不能使產量增加，成熟期有適當之水份，方可促使塊根重量增加，故在塊根形成及肥大時期應灌溉，亦即甘藷栽培期間，於插植後 1-3 個月內灌溉兩次。

二、玉米

玉米對灌溉較敏感，春作玉米種植前適為旱季，必須整地灌溉一次，以促進種子發芽，秋作種植時為雨季末期，地下水位高，土壤水份含量多，不需整地灌溉，至於春、秋作生育初期均應保持適當水份，中期以後需水量漸增，至開花期達到高峰，故其灌溉時期為：

- a. 春作種植前需要整地灌溉一次。
- b. 播種後 30 天左右，即生育中期株高約 80 公分時灌溉一次。
- c. 雄花抽穗始期灌溉一次（即播種後約 60-65 天）。
- d. 雄花吐絲期灌溉一次（即播種後約 70-80 天）。

三、花生

春作花生栽培期間，其氣候由乾旱低溫漸進入高溫日照較強且多雨之季節，故生育初、中期之灌溉較為迫切，至於秋作花生則恰相反，因此灌溉實施以生育後期為主。

一般花生之灌溉適期為始花期及開花後 15 天各灌溉一次，亦即種植後第 35 天左右（始花期）及第 80 天（開花後 15 天）各灌溉一次。

四、大豆

水份為大豆生產重要限制因素，在營養生長期，水份太多將發生倒伏；但於莢果發育期，適量之灌溉對產量影響較大，亦即播種後 35-45 天（即幼莢期至子實膨大期）灌溉一次。

五、黃麻

黃麻對水份非常敏感，其用水量較其他作物多，生物期間初期灌溉極其重要，不可有缺水情形，因乾旱對產量影響較大，一般須保持在 1/2 有效水份以上，故在無降雨之情況下，約 10 天左右即應灌溉一次。

六、陸稻

陸稻之用水量僅次於黃麻，倘有充分之水量供給，其生育日數亦可縮短，並可提高產量，至於灌溉期距，在無降雨之狀況下，必須每隔 20 天灌溉一次，並保持 1/2 有效水份以上。

七、小麥

小麥每年僅種植一作，為秋作栽培，其灌溉適期為播種後第 30 及 60 天各灌溉一次，亦即分蘖期，抽穗期前後及抽穗期施灌，於生育後期之成熟期不可灌溉，否則會拖延成熟期。

八、高粱

高粱為耐旱作物，於幼穗形成期（播種後 35 天）及抽穗期（播種後 60 天）各灌溉一次最佳，對產量有甚大之效果。

九、亞麻

亞麻自發芽後至種子乳熟時，需每隔 20 天灌溉一次，生長期間共計施灌四次。

十、油菜

移植後第 20、40、60 及 80 天各灌溉一次。

十一、胡麻

播種後第 30 天及 60 天各灌溉一次。

十二、甘蔗

甘蔗在不同生長階段之灌溉次對於產量之反應有顯著之差別，以生長盛期（3 月至 9 月）灌溉效果最大，隨著灌溉次數之增加而有增產之趨勢，目前在嘉南灌區之甘蔗灌溉，由於有可靠之水源水量，故生長期間中，共計可獲得七次之灌溉，其適期為 11、12、1、2、3、4、5 及 10 月間各灌溉一次。

5.4.4 主要作物灌溉次數

根據嘉南地區之試驗結果，以產量最高之灌溉處理求其需水量，假定一次灌溉水深為 40mm 計算時，在無降雨之情況下，作物全期之灌溉次數及灌期距如表 5-9、5-10 所示，表中可指出春作灌溉次數為 4 次以上，秋作至少 3 次以上。例如春作玉米於生長期間，完全不降雨之情況下，一次灌溉水深以 40mm 計算時，需要灌溉 7 次，灌溉期距最長為 14 天，最短為 9 天，平均則為 11 天，實際上因地下毛管水之補給及降雨量之利用，各種作物灌溉次尚可減少，春作約可減少 1-6 次，秋作約 2-4 次，此種情形在實際施灌時，各種旱作物每作之灌溉次數約 2-3 次。

表 5-9 春作作物灌溉次數與期距

作物別	灌溉次數(次)	最短期距(日)	最長期距(日)	平均期距(日)
玉米	7	9	14	11
花生	7	8	17	11
大豆	7	10	14	12
黃麻	13	7	14	10
陸稻	9	9	18	13
綠豆	4	11	14	13
高粱	8	15	17	16

表 5-10 秋作作物灌溉次數與期距

作物別	灌溉次數(次)	最短期距(日)	最長期距(日)	平均期距(日)
早植玉米	4	14	18	16
晚植玉米	5	12	15	13
早植甘藷	5	23	37	30
晚植甘藷	5	23	31	27
落花生	4	17	27	21
大豆	3	14	15	14
大麥	3	36	37	36

5.5 有效雨量

降雨量之有效利用方式，可為直接利用於田間作物，亦可間接因土壤或上、下田區之蓄留、貯留而待用之，凡此種種能達到減少人工灌溉水量作用之降雨量都是有效雨量，故有效雨量意義深廣而重要，人工灌溉僅為補充天然水的不足，常見一些無水利設施的看天田，仍可維持農作物生產，足見有效雨量在灌溉上的重要性。而有效雨量能充分利用時，灌溉水量可相對的有效節省，因之，有效雨量之利用實為灌溉管理人員必要探討之重要課題。

5.5.1 有效雨量之定義

所謂有效雨量，顧名思義即降雨量之能為有效利用之部份稱之，而由於有效雨量影響因素頗多，故有效雨量之定義，可因觀點不同而有下列幾種：

一、以作物觀點定義

凡天然降雨之降於作物生長季節，而能為作物所利用以供給作物生長所需之水份，稱為有效雨量。

二、以灌溉管理觀點定義

凡因降雨而可減少之灌溉水量，則此部份節省之灌溉水量即為有效雨量，降雨若不能實際節省灌溉水量，則雨量雖多，亦不能視為有效。

三、以土壤入滲觀點定義

凡降雨能儲於作物根區內之土壤中，以供作物吸用之部份稱為有效雨量，反之，成為逕流或滲漏者，則為無效雨量。

5.5.2 有效雨量之估計

一、有效雨量估算概念

一般而言，為確實估計有效雨量，可將其區域分為大區域及小區域二種，茲就下列二者加以說明：

1. 針對小區域

由水平衡觀念知：

$$I + R + \Delta h = ET + P + D \dots\dots\dots(5-11)$$

$$(供) \text{ Supply} = \text{Demand (需)} \quad (供需平衡)$$

因為有效量為作物所利用之量，其轉為逕流或滲漏，所以將水收支平衡式更改：

$$Re = K \times R \dots\dots\dots(5-12)$$

$$I + KR + \Delta h = ET + P + D$$

$$K = \frac{[(ET + P) - (I - D) - \Delta h]}{R}$$

其中：

Re：有效雨量（effective rainfall）（mm/day）

K：有效降雨係數（coefficient of effective rainfall）

I：施灌水量（irrigation）（mm/day）

D：排水量（drainage）（mm/day）

ET：蒸發散量（evapotranspiration）（mm/day）

P：滲漏量（percolation）（mm/day）

Δh ：蓄積水深變化（variation stanating water）（mm）

R：降雨量（rainfall）（mm/day）

如此，由上式可將 K 值出，由 $K \times P$ 即可知有效雨量之值。

2. 針對大區域

由水收支平衡法知：

$$K = \frac{(ET + P) - 8,640(Q_{in} - Q_{out})}{A \times R} \dots \dots \dots (5-13)$$

其中：

K：有效降雨係數（coefficient of effective rainfall）

ET：蒸發散量（evapotranspiration）（mm/day）

P：滲漏量（percolation）（mm/day）

R：降雨量（rainfall）（mm/day）

A：集水區面積（catchment area）（ m^2 ）

Q_{in} ：總進流量（Total inflow discharge for irrigation）（ m^3/sec ）

Q_{out} ：總出流量（Total outflow discharge for irrigation）（ m^3/sec ）

將 K 值求出後，即可求出當地之有效雨量。

二、常用田間有效雨量估計法

1. 逐日記帳法

此法之原理係以逐日計算日雨量及作物之用水量，算出土壤中剩餘之有效水份，以決定作物需要灌溉之時間，並依田間容水量來計算有效雨量。其計算原則如下：

- (1) 確定土壤之有效水份；此數據可由實測、假定、或上期結存得來。
並求其當時之剩餘灌溉用水量。
- (2) 決定作物每日需水量；通常水稻可依生育經驗日耗水資料據定其日需水量，如 10mm/day。而旱作則可根據蒸發量記錄，將每日之蒸發量乘以作物之蒸發散量與蒸發量比值 a ，而得此作物該日之需水量。
- (3) 由前一日之剩餘水量，減去作物該日之需水量，減去該日之剩餘水量。
- (4) 如該日發生降雨，而前一日之剩餘水量，減去該日作物需水量，再加上該日之降雨量，如其結果不超過一次灌溉最大水深，則此結果即為該日之剩餘水量，而該日之降雨量全部視為有效雨量。
- (5) 如該日發生降雨，而前一日之剩餘水量減去該日作物需水量，再加上該日之降雨量所得之結果超過一次灌溉最大水深時，則該日之剩餘水量即等於一次灌溉最大水深（為其最大限值）。
- (6) 在(5)之情形下，前一日之剩餘水量減去該日作物需水量，加上該日之降雨量，所得之結果與一次灌溉最大水深之差即為無效雨量部份，亦即降雨成為逕流及深部滲漏等無效部份，則該日之降雨量減去無效雨量部份即為該日之有效雨量。
- (7) 久不降雨時，在土壤中剩餘水量遞減至零或接近於零時應即加以灌溉，即每當土壤中剩餘水量消耗淨盡之前即應加以灌溉。通常以日剩餘水量低於當時日作物需水量時予以灌溉，每次灌溉水深為其一次灌溉最大水深（ B_{max} ）。

茲將計算方法列舉如表 5-11、表 5-12。

表 5-11 逐日有效雨量計算演算法（以嘉南農田水利會為例）

日期 月日	降雨量 (公釐)	需水量 (公釐)	剩餘灌 溉水量 (公釐)	有效雨量 (公釐)	灌溉水量 (公釐)	說 明 (公釐)
5.31			40			上月結存
6.1		10	30			
2	14.0	10	34	14.0		
3		10	24			
4		10	14			
5		10	4			
6		10	54		60	$4 + 60 - 10 = 54$
7	36.0	10	60	16		$54 + 36 - 10 = 80$ 田間有效容納 $36 - (80 - 60) = 16$ 以 60mm 為限
8	47.5	10	60	10		$60 + 47.5 - 10 = 97.5$ $47.5 - (97.5 - 60) = 10$
9	11.2	10	60	10		$60 + 11.2 - 10 = 61.2$ $11.2 - (61.2 - 60) = 10$
10		10	50			
11		10	40			
12		10	30			
13		10	20			
14	45.7	10	(40)55.7	(30)45.7		$20 + 45.7 - 10 = 55.7$ 有效雨量以不 $20 + 30 - 10 = 40$ 超過 30mm 為限
15	62.3	10	60	(30)14.3		$60 - (55.7 - 10) = 14.3$ $40 - 10 \div 30 = 60$
16		10	50			
17		10	40			
18		10	30			
19		10	20			
20	16.6	10	26.6	16.6		$20 + 16.6 - 10 = 26.6$
21		10	16.6			
22	27.1	10	33.7	27.1		$16.6 + 27.1 - 10 = 33.7$
23		10	23.7			
24		10	13.7			
25		10	3.7			
26		10	53.7		60	
27	31.8	10	60	16.3		$53.7 + 31.8 - 10 = 75.5$ $31.8 - (75.5 - 60) = 16.3$
28	5.4	10	54.4	5.4		$60 - 5.4 - 10 = 55.4$
29		10	45.4			
30		10	35.4			
計	297.6	300		175.4	120	

註：有效雨量與同時期降雨量的百分比稱為有效雨量率，故該月份之有效雨量率為
 $175.4 \div 297.6 \times 100 = 58.9$ 。

表 5-12 嘉南甲 62 年 5 月份有效雨量計算實例 ($B_{\max}=40$, $a=0.5$)

年月	日期	蒸發量 (mm)	降雨量 (mm)	作物 需水量 (mm)	剩餘灌 溉水量 (mm)	有效 雨量 (mm)	灌溉 水量 (mm)	備 註
62 年 5 月					20.00			上月結存
	1	7.52		3.76	16.24			
	2	7.12		3.56	12.68			
	3	6.89		3.45	9.23			
	4	7.05		3.53	5.70			
	5	2.54		1.27	4.43			
	6	3.12		1.56	2.87			
	7	5.53		2.77	0.01			
	8	6.31		3.16	36.94		40.00	
	9	6.12	0.25	3.06	34.13	0.24		
	10	6.70		3.35	30.78			
	11	5.75		2.87	27.91			
	12	4.34		2.17	25.74			
	13	6.70		3.35	22.39			
	14	6.77		3.39	19.00			
	15	7.53		3.77	15.23			
	16	8.02		4.01	11.22			
	17	5.60	0.30	2.80	8.72	0.30		
	18	4.14	10.80	2.07	17.45	10.801		
	19	6.36	40.80	3.18	25.07	10.80		
	20	6.21		3.11	21.96			
	21	5.22	3.35	2.61	22.70	3.35		
	22	7.18		3.59	19.11			
	23	8.14		4.07	15.04			
	24	6.50		3.25	11.79			
	25	6.72		3.36	8.43			
	26	7.14		3.07	5.36			
	27	6.92		3.46	1.90		40.00	
	28	5.14	0.10	2.07	39.93	0.10		
	29	1.00	16.60	0.50	40.00	0.57		
	30	4.98		2.49	37.51			
	31	7.68		3.84				
總 計		185.90	42.20	92.50	33.67	26.17	80.00	本月有效雨量率 = $26.17/42.20 = 62\%$

2.五年平均日雨量法

一般採用 30 公釐以下降雨量為有效雨量之預扣方法計算：

將連續五年各地各月別之日雨量實績記錄 30 公釐以下之平均值計為該月份之平均日有效雨量。

例如：六月間降雨量資料如下：

1 日	2 日	11 日	12 日	25 日	26 日	合計
25mm	5mm	18mm	5mm	7mm	18mm	78mm

則 $78\text{mm}/30 = 2.6\text{mm/day}$

即該年六月份平均每日之有效雨量為 2.6mm。

將連續五年之六月份實績所計算日有效雨量平均之，併入計算灌溉率（第二期作）資料如下：

項 目	六 月	七 月	八 月	九 月	合 計	備 註
降雨量 (mm)	78.0	62.8	99.9	64.3	305.0	
日利用量 (mm)	2.6	2.0	3.2	2.1	2.5	

於中小給水門灌溉率，依下列條件計算之：

- (1) 田間需水量：12mm/day。
- (2) 中小給水路輸水損失率：25%。
- (3) 有效雨量：2.5mm/day。
- (4) 輪灌曬田日數：2 天。
- (5) 輪灌期距：7.5 天。

則中小給水門灌溉率 = $\{8,640 / [(田間灌溉水深) \times (1 - 輪灌乾田日數比率)]\} \times \{1 - (中小給水路損失率)\} \dots\dots\dots$
(5-14)

= $\{8,640 / [(田間需水量 - 有效雨量) \times (1 - 輪灌乾田日數比率)]\} \times \{1 - 中小給水路損失率\}$

= $\{8,640 / [(12 - 2.5) \times (1 - 2/7.5)]\} \{1 - 0.25\}$

= 930 ha/cms

3.二十年間第四位枯水月法

以過去 20 年間每月之第四枯水位降雨量分析之，其步驟如下：

- (1)日雨量在 5mm 以下，而其前後各連續二日以上無雨者，視為無效。
- (2)日雨量在 5mm 至 30mm 之間，原則上視為有效。
- (3)數日連續降雨時，視為一次連續降雨（中間隔一日無雨，亦同樣視為連續降雨），即基本之 30mm 及其連續日數之田面消失水深（平均每日 6mm）之和視為有效，餘視為無效。

4.百分比法

以歷年月平均雨量之百分比計算，各區月有效雨量通常以月平均雨量之 60% 計算，但以不超過 180mm 為限量，台灣各地區每月之有效雨量值如表 5-4 所示。

5.5.3 有效雨量之應用

一、預先扣除法

在每期作灌溉計畫時，按過去若干年之平均降雨量估算有效雨量，除秧田及整田外，均在日需水量中預先扣除之。一般在引取河川自然流量為水源之區域採用，如雲林、彰化、臺中等農田水利會灌區。

二、先扣與後扣兼用法

除用水計畫預先扣除外，並在執行時，視降雨量之大小予以減水或停水。適用地區在利用水庫或蓄水池調節為水源之灌溉區域，如嘉南、桃園、石門農田水利會。

5.5.4 提高田間有效雨量之作法

- 1.灌溉前提早整備田埂，以便貯留雨水。
- 2.插秧後隨水稻生長，適時調整田間排水口之溢流高度，以增加貯留雨量。
- 3.經常巡視加強田埂，以防止漏水。
- 4.灌溉水深應力求降低，以提高雨水之貯留。
- 5.灌溉後應有適當之乾田時間。

- 6.注意氣候，如有降雨跡象，即提前減水或斷水灌溉。
- 7.有蓄水池塘、水庫之大區域灌區，可先扣除預估之有效雨量。
- 8.加強實施公灌制度，以提高有效雨量之利用。
- 9.機械化作業可縮短工作時間，增加有效雨量利用機會。
- 10.直播栽培，應盡量利用降雨時播種。
- 11.在不影響插秧農時原則下，水稻栽培應盡量選定有效雨量率最高之時期插秧。

有效雨量在灌溉管理上之重要性不容置疑，它可直接供應作物生長需水，並和灌溉水量呈互補之密切關係；即有效雨量率高時對天然雨量之利用程度較高，相對的可節省灌溉水量，尤在灌溉水源短缺之地區，提高有效雨量率更屬重要。而估算有效雨量應配合實際應用力求正確，因若有效雨量估算過低則不但浪費寶貴之灌溉水量，並且形成過度灌溉，對作物之生長非但無益而且有害，若估算過高，則據此而施灌之水量又不足以維持作物在生長良好條件所必需之水份供應量。因此準確估算有效雨量予以應用之，實為整灌溉管理上不可或缺之重要工作。

第六章 農田排水

6.1 排水之意義及需要

6.1.1 概述

排水與灌溉實為一體之兩面，其能增加生產之功效是一致的。當土壤水份不足供應作物生產時，應尋求灌溉，補充水份；當土壤水份過多，含鹽分過高，地下水位太高，以及地面積水，威脅作物發育時，應設法加以排除，以免根系腐敗，毫無收成。

根據資料顯示，作物之病害，不管是生理病或毒性傳染病，均與排水不良有關，所以減少感染病蟲害，可視為排水改善之間接效益。農田排水是為排除地面、地下過剩水量，淋洗土壤鹽分，改善作物生育環境，使其適合作物生長，故亦可稱為土地改良之一種措施。

6.1.2 排水之範圍

如前所述，排水之目的於改善農作物生長環境，增加作物之收益，因此其設施之建立及計畫之實施，應為一項農業投資，必須由增產之收益支付。在政府立場，可將改善社會環境，促進地方繁榮之效益估算在內；在農民立場，灌溉、排水之負擔，應為生產成本之一部分，若增產利益不足以支付其投資時，則該投資即無實際之意義。因此在計畫實施之先，必須做詳細之估算分析，以決定其開發建設之尺度，政府亦可視農民之經濟情況，給予適當之補助。

再者，灌溉、排水計畫為一項集體性之建設，在法定制度下由一管理機構負責辦理。各國法令規章亦多明文規定各種灌溉、排水事業制度及事業推行、違規取締之辦法，事業愈發達，其法規制度愈周延，惟必須符合當地之法制與需要以利執行。

6.1.3 排水之功效

一、促進作物根部伸長

排水不良地區，根群不能深入下層，僅蔓延於表層土中，遇雨糜爛，遇風易倒，且吸收肥料力弱。

二、縮短農作物的季節

春耕時土地需乾燥，濕地不能耕種，且地溫低，發芽不易，若土中水份過多，作物成熟延遲，此種現象加以排水改善，功效顯著。

三、霜害減少

排水不良的農田，地溫低，作物生態較弱，易致霜害，地溫高的作物，較為強健。

四、旱災減少

排水良好的地方，作物的根能深入土中深層，雖遇乾旱，可吸收下層土壤水份，保持生長；淺根則易受旱害。

五、維持土壤生產力

排水良好的農田，土壤空隙流通，可供作物良好之生長環境並可改善土壤之生產力。

6.2 排水系統之分類及適用說明

6.2.1 一般分類

依據民國 66 年 1 月 12 日在前臺灣省水利局召開研議區域排水分類原則會議所研究之排水分類，係以排水區各類土地利用面積所占百分率為依據，將排水區分如下，本章所陳述之農田排水，則涉及第(一)、(二)兩項。

一、區域排水

細分為農田水利會轄區內農田為主之區域排水，工礦排水為主之區域排水，一般區域排水等。

二、農田排水

細分為農田水利會轄區內農田排水、轄區外農田排水。

三、市區排水

指都市計畫區排水。

四、事業排水

係指排除事業使用後之廢污水及水力發電之尾水。

五、其他排水

細分為社區排水、道路排水、坡地及養殖地排水。

6.2.2 排水方式區分及管理權責

排水系統倘依排水方式予以區分，應可以分為地面明渠排水及地下暗管排水，對農田排水系統而言，因考慮其經濟價值，並降低排水投資成本，除了鹽分地為實施土地改良，有施暗管排水之必要外，一般均採用明渠排水，茲分述如下：

一、系統分佈

1. 一個灌溉區域內，除了灌溉供水系統外，尚須配置排水系統，才能相輔相成，達到農業增產之目的。一般灌溉系統均設置於區域之高處，俾利於輸配水，而排水系統則設置於區域之低處，以利於收集灌溉餘水或降雨時之地面逕流而排除之。
2. 目前農田灌溉區域之配置，以灌溉面積約 150 公頃設置一小組為原則，每小組區域分為三個小區，即一般稱之輪區，故每輪區之面積約 50 公頃左右，輪區下尚有單區，即為輪流灌溉配水之單元。排水系統之配置，以每一小區設置一小排為原則，並於每單區設置一補助排水路俾利排水順利排出。小排之名稱以小組名稱及小區別命名之，譬如港口小組第一小區，其小排名稱為「港口小排一」，其補助排水路名稱則按序號為「港口小排一之一」、「港口小排一之二」、-----餘類推。
3. 再者，匯集兩條以上小排之排水路稱之為中排，故中排之集水面積約在 100 公頃左右，然後數條中排再匯集成大排，而逐漸形成一區域性之排水系統。故其整個系統架構與灌溉系統恰好相反，在數量上排水系統是由繁而簡，在長度上，由短而長；在斷面上，由小而大，直至排入河川或海洋。
4. 以上所敘述者為較典型之排水系統配置，在實地規劃設計時，須配合地形及現況做適當之調整，譬如，也有小排直接排入大排者，或小排流入小排及中排流入中排者，故實際運用時，常有些許之差異，有關其配置標準圖，請參閱圖 6-1。

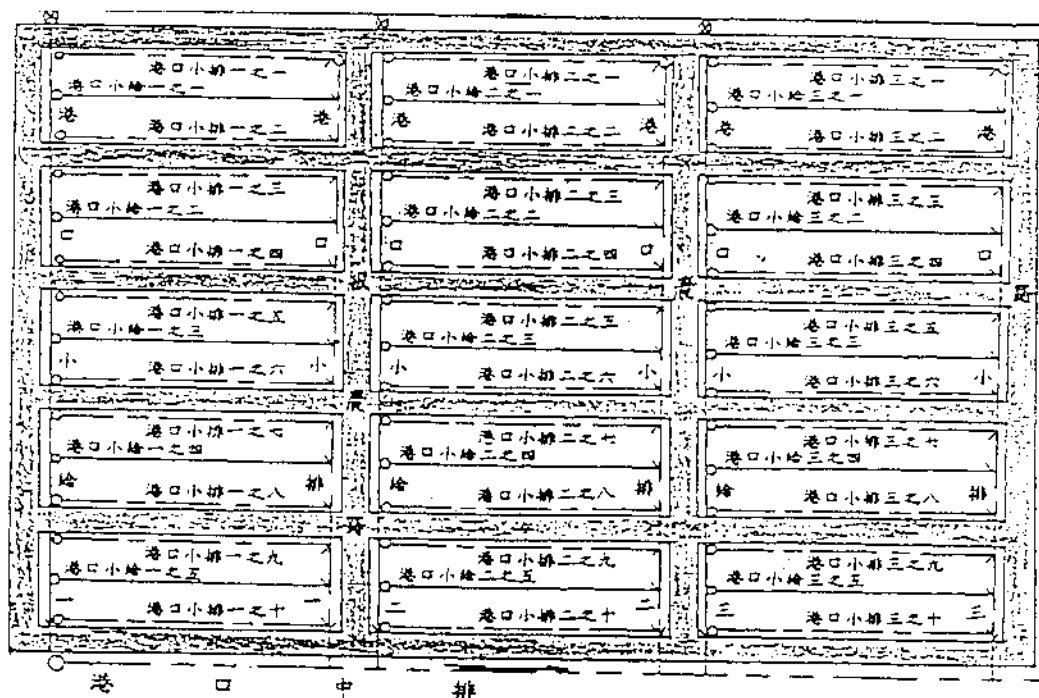


圖 6-1 灌排系統標準配置圖

二、系統別管理權責劃分

1. 前已述及，談到農田排水，可能牽涉列區域排水，因農田排水往往流經區域排水後再排入大海。農田排水由農田水利會管理，區域排水流經單一縣市或跨越二縣市以上者，則分別由相關縣（市）政府或上一級政府所管轄。農田水利會必要時得接受縣（市）政府或上級政府之委託，代為管理區域排水，因為區域排水大都為早期農田水利會成立時，配合灌溉系統建設而成，當時雖僅供農田排水及部分聚落所使用，後來因經濟發達，社會繁榮，環境變遷而形成區域排水者，且農田水利會擁有龐大之人力資源及健全之管理組織體系，足堪承擔其維護管理營運之重任。
2. 由於灌溉系統及排水系統有其連帶之關連性，且為便於瞭解各層次管理單位之權責，將兩者依系統層次之管理工作及管理程式說明如表 6-1 及表 6-2 所示。

表 6-1 灌溉排水系統管理工作劃分表

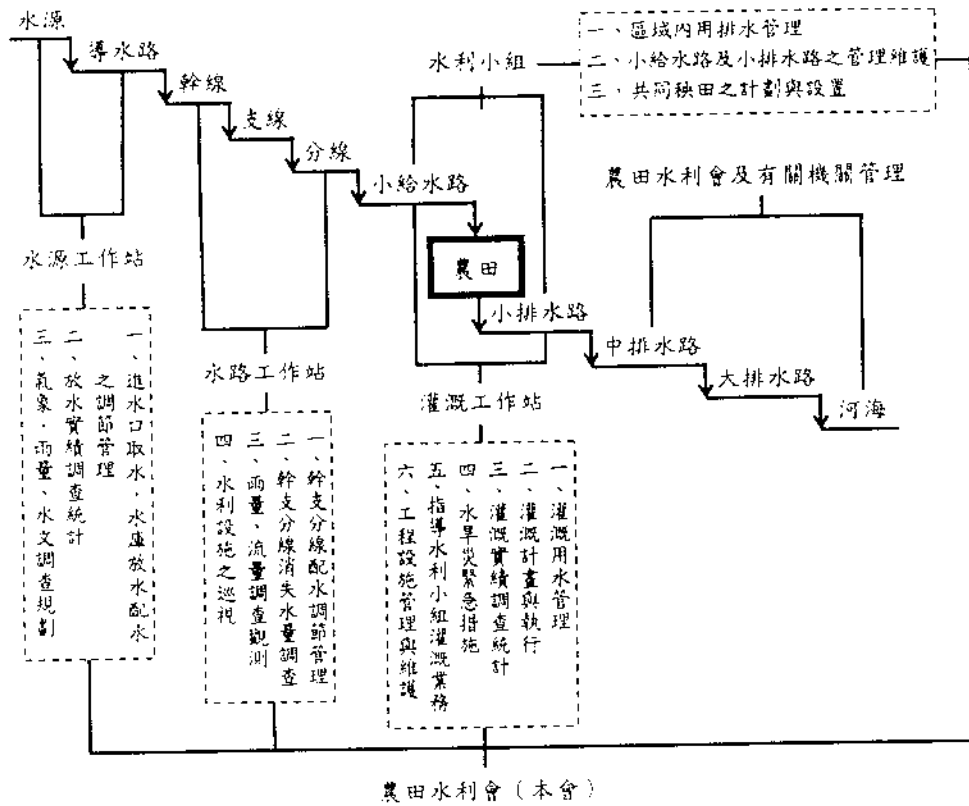
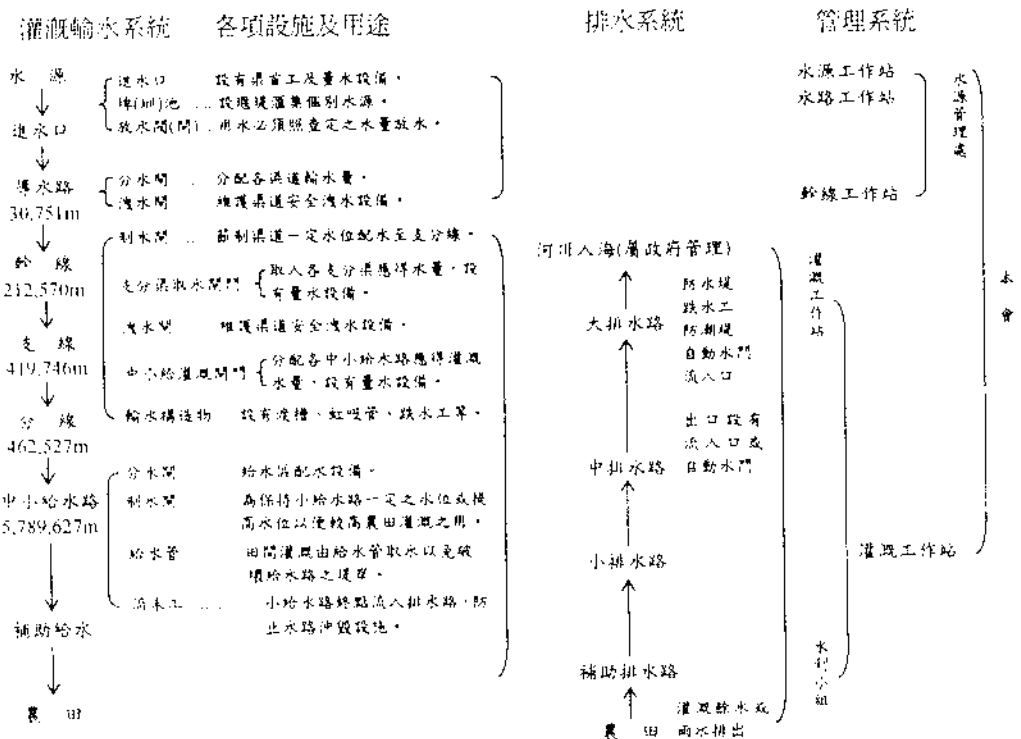


表 6-2 各級灌排設施管理程式表



6.3 排水量之計算公式與計畫基準

6.3.1 總降雨量法

大規模河川改道計畫，常採用過去最大或發生頻率 50~200 年之降雨或洪水量為計畫之依據，但如以此值採為計畫排水量，則各種排水設施往往過大，在衡量工程投資與改善效果時不見得有利，尤其農地排水計畫情形，可以考慮容許浸水因素，往往採用最大雨量之第 2~3 位，或 10~20 年發生 1~3 次程度之洪水，以擇定計畫排水量。

降雨強度以降雨延時越短越大，一般排水流域面積較大，流達時間極短，所佔洪峰往往很突出，但其總流出體積並不大，其洪水災害，受總雨量之影響遠較短時間暴雨量為大，因此農地排水往往採用日雨量或長時間連續雨量為研究對象，過去採用之計畫排水量，往往根據：2 年、5 年、25 年發生一次之暴雨，以一日最大雨量一日平均排出、二日最大雨量二日平均排出、三日最大雨量三日平均排出，則農田排水量之計算說明如下：

一、旱田排水量公式

$$Q = \frac{F \times R \times A \times 1,000,000}{1,000 \times 8640 \times N} = \frac{FAR}{86.4N} \dots\dots\dots(6-1)$$

式中：

Q：排水量 (cms)

R：計畫暴雨量 (mm) (採用計畫頻率之 1、2、3 日暴雨量)

A：集水面積 (km²)

F：逕流係數，一般採用 0.7

N：排水日數值 (配合計畫降雨量日數)

上式中若 A 採用 1 平方公里，則單位面積流量 (比流量) 可依排水日計算如下：

(1) 1 日降雨 1 日排出

$$q_1 = \frac{0.7R_1 \times 1 \times 1,000,000}{1,000 \times 86,400 \times 1} = 0.008R_1 (cms / km^2) \dots\dots\dots(6-2)$$

(2) 2 日降雨 2 日排出

$$q_2 = \frac{0.7R_2 \times 1 \times 1,000,000}{1,000 \times 86,400 \times 2} = 0.00405 R_2 (\text{cms}/\text{km}^2) \dots\dots\dots(6-3)$$

(3) 3 日降雨 3 日排出

$$q_3 = 0.0027 R_3 (\text{cms}/\text{km}^2) \dots\dots\dots(6-4)$$

式中：

R_1, R_2, R_3 (mm)：所採用頻率之 1、2、3 日連續降雨量

q_1, q_2, q_3 (cms/km²)：由以上降雨量比導出之比流量

二、水田排水量公式

$$Q = \frac{A(R - D + d) \times 1,000,000}{1,000 \times 86,400 \times N} \dots\dots\dots(6-5)$$

式中：

Q：排水量 (cms)

R：計畫暴雨量 (mm) 一般採用 3 日暴雨

D：水田最大蓄水深 (mm)，一般採用 150mm

d：田間灌溉水深 (mm)，一般採用 50 mm

A：集水面積 (km²)

N：排水日數，一般用 3 天 (配合採用之計畫暴雨日數，如表 6-3)

上述公式之意義，至為明顯，不計洪峰如何，僅以一日~三日之總雨量，以平均流量排出，超過計畫流量之部份洪水，可暫留農地，但終能在一日~三日間排出。此公式可用於大面積之水田地區排水計畫。茲舉例說明如下：

某一排水區，25 年頻率連續三日降雨量為 606mm，設排水時間(T)為 3 天，逕流係數(C)=0.8，求單位排水量(cms/ha)？

Sol：R = 606 mm A = 1 ha C = 0.8 T = 3 天

$$Q = \frac{606\text{mm} \times \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} \times 0.8 \times 1\text{ha} \times \frac{10^4\text{m}^2}{1\text{ha}}}{3 \times 86400}$$

$$= 0.019 \text{ cms/ha}$$

表 6-3 臺灣選用 147 雨量站各種頻率別一、二、三日及年雨量表

編號	站名	雨量別	暴雨頻率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.1
1	富貴角	一日	388	317	288	260	224	197	169	127	86
		二日	660	504	445	391	324	276	231	169	113
		三日	670	539	486	434	368	319	269	196	125
		年	4,796	4,137	3,851	3,562	3,170	2,859	2,523	1,990	1,390
2	雙溪頭	一日	506	412	372	334	283	245	205	146	87
		二日	770	609	545	483	405	347	290	207	128
		三日	910	707	628	553	460	393	327	235	150
		年	4,021	3,691	3,536	3,369	3,126	2,918	2,676	2,246	1,678
3	台(1)北	一日	532	423	379	337	284	244	204	147	91
		二日	705	561	503	447	376	323	271	195	122
		三日	710	581	528	476	407	354	301	221	139
		年	3,524	3,222	3,084	2,941	2,738	2,570	2,379	2,052	1,638
4	火燒寮	一日	559	495	468	439	401	369	335	280	216
		二日	842	739	694	694	588	540	487	404	310
		三日	1,311	1,088	994	902	781	688	591	444	291
		年	7,249	6,616	6,329	6,030	5,609	5,260	4,867	4,196	3,350
5	小粗坑	一日	325	292	277	262	239	221	199	163	118
		二日	457	412	391	370	338	312	282	231	165
		三日	538	485	460	433	395	363	327	263	183
		年	3,226	3,216	3,206	3,191	3,154	3,105	3,017	2,750	2,112
6	大竹	一日	301	284	275	265	248	233	214	178	124
		二日	437	399	381	363	336	313	287	241	183
		三日	437	414	402	388	367	348	324	277	208
		年	3,790	3,743	3,710	3,666	3,581	3,485	3,341	2,981	2,269
7	大(1)溝	一日	350	302	282	261	233	211	188	151	110
		二日	643	525	477	430	370	324	277	208	139
		三日	828	655	586	521	438	378	318	232	151
		年	3,579	3,318	3,193	3,059	2,862	2,691	2,491	2,129	1,637
8	阿(1)玉	一日	404	400	397	392	381	367	344	284	169
		二日	664	635	619	598	563	529	483	387	241
		三日	691	814	776	734	670	615	549	429	274
		年	4,553	4,506	4,475	4,432	4,352	4,261	4,125	3,783	3,084
9	石(2)門	一日	445	370	340	310	272	243	213	169	124
		二日	771	570	514	460	391	340	288	214	142
		三日	903	706	629	557	465	399	334	242	156
		年	3,918	3,629	3,492	3,344	3,129	2,944	2,727	2,376	1,809
10	柳箕子	一日	700	619	579	536	473	419	357	252	132
		二日	891	804	760	710	634	566	486	343	174
		三日	1,062	934	872	806	709	626	532	373	195
		年	3,988	3,962	3,941	3,908	3,836	3,742	3,585	3,143	2,195
11	三(1)光	一日	937	768	697	627	536	466	394	285	176
		二日	1,525	1,197	1,065	937	774	654	533	361	201
		三日	1,504	1,216	1,095	977	820	701	579	398	220
		年	2,817	2,713	2,694	2,628	2,536	2,446	2,328	2,078	1,654
12	陂部	一日	1,514	1,139	992	855	680	556	436	274	135
		二日	2,100	1,561	1,351	1,153	908	743	566	344	160
		三日	2,113	1,593	1,389	1,194	951	776	605	374	178
		年	3,069	3,936	2,870	2,799	2,688	2,589	2,469	2,238	1,892
13	鎮西堡	一日	887	753	693	630	543	473	397	276	149
		二日	1,826	1,346	1,164	995	790	646	508	327	173
		三日	1,736	1,326	1,165	1,012	821	684	549	363	197
		年	4,158	3,748	3,563	3,371	3,100	2,877	2,626	2,202	1,677
14	白石	一日	1,346	1,058	940	827	680	572	463	307	163
		二日	2,360	1,745	1,506	1,280	1,002	804	615	365	162
		三日	2,337	1,754	1,524	1,308	1,037	844	656	404	190
		年	4,280	3,894	3,717	3,530	3,263	3,039	2,784	2,342	1,778
15	桃園	一日	399	324	294	264	227	199	170	128	87
		二日	693	526	463	404	332	282	233	166	107
		三日	664	539	487	436	371	321	270	195	120
		年	3,725	3,270	3,070	2,866	2,585	2,359	2,112	1,710	1,242

編號	站名	雨量別	暴雨頻率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.11
16	大園	一日	369	313	289	264	231	205	177	133	86
		二日	592	476	429	384	325	281	237	172	108
		三日	647	529	480	432	368	320	270	195	119
		年	3,182	2,905	2,775	2,635	2,430	2,255	2,052	1,692	1,221
17	文屋	一日	302	257	238	220	195	170	156	126	92
		二日	680	521	460	403	334	285	237	172	113
		三日	692	551	495	442	373	323	272	200	130
		年	2,928	2,706	2,599	2,484	2,314	2,167	1,994	1,682	1,259
18	觀音	一日	291	271	261	249	230	212	191	150	94
		二日	376	353	340	326	303	281	198	198	534
		三日	465	427	408	386	353	352	287	220	134
		年	2,870	2,644	2,534	2,415	2,237	2,082	1,899	1,567	1,120
19	新屋	一日	337	305	289	271	245	221	194	145	84
		二日	481	429	404	377	336	302	261	192	109
		三日	557	494	463	431	383	342	296	216	122
		年	3,452	3,144	2,994	2,831	2,590	2,380	2,133	1,692	1,121
20	新豐	一日	299	260	243	228	203	185	165	133	91
		二日	508	422	386	350	302	266	227	168	107
		三日	624	506	458	410	348	301	254	183	112
		年	2,645	2,427	2,322	2,208	2,040	1,894	1,722	1,413	1,002
21	北萬	一日	443	370	339	309	270	240	210	163	115
		二日	763	622	563	504	427	367	306	214	123
		三日	880	719	651	582	491	420	347	236	127
		年	3,221	2,998	2,889	2,768	2,586	2,425	2,231	1,871	1,370
22	雙西	一日	617	499	450	402	339	292	243	172	101
		二日	850	674	603	535	449	385	321	230	142
		三日	1,252	902	776	663	531	441	358	251	164
		年	3,723	3,463	3,337	3,198	2,992	2,810	2,594	2,194	1,641
23	新(1)竹	一日	514	421	382	343	292	253	213	151	89
		二日	607	513	472	429	372	326	277	199	117
		三日	731	612	560	507	435	379	318	225	127
		年	3,147	2,862	2,726	2,580	2,367	2,183	1,969	1,591	1,103
24	竹(1)東	一日	639	474	413	358	291	246	203	146	98
		二日	685	547	492	439	373	323	273	202	133
		三日	741	605	549	494	422	367	310	226	141
		年	3,709	3,399	3,250	3,090	2,854	2,649	2,410	1,980	1,412
25	大園南	一日	758	614	553	493	414	353	291	199	108
		二日	1,320	957	824	702	556	456	362	239	137
		三日	1,752	1,184	993	825	634	507	394	255	147
		年	3,872	3,598	3,463	3,316	3,094	2,898	2,663	2,229	1,629
26	毗眉	一日	480	393	358	323	278	245	210	159	107
		二日	788	628	563	501	420	360	300	212	127
		三日	1,003	784	696	612	504	425	346	234	131
		年	3,253	2,976	2,844	2,701	2,491	2,309	2,097	1,718	1,218
27	竹(2)南	一日	327	286	267	249	223	202	179	142	99
		二日	570	474	433	392	337	294	249	179	107
		三日	694	600	517	465	395	340	284	198	112
		年	2,500	2,283	2,181	2,071	1,911	1,774	1,615	1,337	993
28	紙湖	一日	290	290	290	290	290	289	287	250	68
		二日	762	714	685	647	583	519	436	279	102
		三日	529	529	529	527	522	511	481	353	96
		年	3,372	3,226	3,144	3,048	2,888	2,733	2,531	2,114	1,465
29	後龍	一日	534	416	370	326	272	233	195	142	93
		二日	672	536	480	427	359	309	258	184	113
		三日	854	665	590	519	430	364	300	209	124
		年	3,100	2,769	2,615	2,450	2,214	2,014	1,786	1,395	915
30	橫龍山	一日	1,538	950	766	685	604	508	453	354	242
		二日	1,538	1,153	1,006	869	701	583	468	314	179
		三日	1,979	1,419	1,215	1,030	811	662	523	344	197
		年	3,963	3,744	3,640	3,518	3,322	3,135	2,836	2,414	1,683

編號	站名	雨量計	暴雨頻率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.1
31	大(1)湖	一日	609	572	550	521	472	422	358	234	88
		二日	930	850	805	753	668	588	490	318	124
		三日	1,213	1,059	982	898	773	665	543	344	141
		年	2,768	2,767	2,766	2,763	2,749	2,719	2,634	2,231	1,098
32	三義	一日	821	655	585	517	427	359	290	190	96
		二日	1,177	921	930	730	600	503	404	262	131
		三日	1,459	1,082	939	907	646	533	425	282	158
		年	2,589	2,588	2,585	2,580	2,562	2,527	2,431	2,021	1,021
33	苑(1)里	一日	322	296	282	267	243	223	196	149	87
		二日	486	440	417	391	352	317	273	200	108
		三日	593	530	499	465	413	367	314	222	115
		年	2,091	2,022	1,977	1,917	1,805	1,684	1,513	1,136	575
34	大(1)街	一日	1,195	896	783	678	550	460	374	258	156
		二日	1,597	1,252	1,110	972	793	660	526	336	164
		三日	1,970	1,466	1,273	1,092	870	713	562	360	198
		年	3,773	3,593	3,497	3,385	3,205	3,034	2,817	2,379	1,710
35	庄(1)蘭	一日	573	495	460	422	370	327	279	201	114
		二日	829	706	650	593	514	449	379	267	148
		三日	1,059	877	798	719	613	529	441	308	171
		年	3,692	3,420	3,286	3,138	2,914	2,715	2,476	2,034	1,443
36	雙(2)崎	一日	896	756	693	626	530	453	358	235	104
		二日	1,256	1,054	961	864	728	617	498	315	137
		三日	1,632	1,222	1,091	960	788	656	522	318	151
		年	3,918	3,887	3,859	3,816	3,716	3,584	3,360	2,737	1,540
37	大(3)里	一日	388	350	331	311	281	254	223	167	97
		二日	450	420	404	384	354	325	288	218	124
		三日	526	491	472	450	413	378	334	250	137
		年	3,064	2,774	2,632	2,477	2,246	2,044	1,808	1,387	858
38	月(1)眉	一日	601	511	471	429	372	325	275	195	110
		二日	737	641	596	548	479	422	357	252	134
		三日	922	783	720	655	564	490	410	282	148
		年	2,939	2,768	2,676	2,570	2,402	2,243	2,043	1,651	1,085
39	環山	一日	371	356	347	356	316	299	274	221	139
		二日	446	432	424	413	395	377	352	297	206
		三日	489	474	471	462	446	428	402	341	232
		年	4,936	4,250	3,958	3,667	3,277	2,973	2,650	2,144	1,588
40	新伯公	一日	641	523	475	428	366	320	272	201	130
		二日	1,026	309	723	640	534	457	379	269	164
		三日	1,260	989	875	767	630	531	434	297	172
		年	3,906	3,644	3,516	3,375	3,163	2,975	2,750	2,331	1,745
41	八仙山	一日	358	344	337	327	311	294	272	224	147
		二日	569	542	527	508	477	446	406	323	200
		三日	764	709	679	646	593	544	484	371	219
		年	4,981	2,542	4,334	4,112	3,787	3,509	3,197	2,617	1,875
42	台中港	一日	415	370	349	326	293	266	234	179	113
		二日	472	434	415	393	359	329	292	225	137
		三日	470	449	436	420	394	367	332	259	152
		年	2,679	2,418	2,293	2,158	1,960	1,789	1,590	1,241	801
43	北勢坑	一日	235	229	226	221	213	205	194	168	123
		二日	458	409	387	363	330	302	271	218	153
		三日	503	456	433	409	374	343	308	245	164
		年	3,140	2,631	2,680	2,515	2,271	2,059	1,812	1,376	834
44	七張犁	一日	387	353	336	316	289	265	237	185	119
		二日	655	574	536	496	439	392	338	249	146
		三日	847	717	659	600	519	455	383	272	154
		年	2,831	2,650	2,556	2,448	2,281	2,126	1,935	1,567	1,047
45	翠巒	一日	300	293	289	282	270	256	236	187	107
		二日	496	471	457	440	411	383	346	270	160
		三日	694	638	610	577	528	484	430	331	201
		年	3,426	3,269	3,186	3,089	2,935	2,789	2,603	2,228	1,649

編號	站名	雨量別	暴雨頻率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.11
46	台 (3) 中	一日	539	455	419	382	333	295	254	190	122
		二日	943	747	667	596	491	417	343	236	135
		三日	1,122	872	774	686	561	475	389	269	159
		年	2,957	2,708	2,589	2,466	2,271	2,107	1,916	1,572	1,119
47	大 (1) 肚	一日	396	348	326	301	266	235	201	143	77
		二日	637	541	498	452	389	338	282	194	100
		三日	668	582	541	498	435	383	324	226	119
		年	2,779	2,536	2,413	2,276	2,067	1,881	1,659	1,256	743
48	湖 (2) 姓	一日	685	563	512	462	396	346	294	216	135
		二日	1,431	1,073	936	807	648	534	425	278	150
		三日	1,706	1,272	1,106	949	757	621	490	314	163
		年	4,421	3,991	3,792	3,581	3,280	3,026	2,737	2,237	1,606
49	上 城	一日	315	227	273	259	238	221	200	163	115
		二日	813	634	565	501	420	362	305	226	153
		三日	967	745	661	581	483	413	345	252	167
		年	3,785	3,438	3,275	3,100	2,848	2,632	2,383	1,946	1,384
50	埔 (1) 里	一日	542	455	417	379	328	288	244	177	106
		二日	850	692	627	562	476	411	344	244	143
		三日	1,060	948	761	676	567	484	401	279	161
		年	4,117	3,789	3,629	3,455	3,195	2,968	2,698	2,209	1,553
51	南 (1) 投	一日	633	504	452	406	339	292	245	178	112
		二日	1,065	817	720	628	514	431	350	238	137
		三日	1,104	862	766	674	557	472	387	268	156
		年	3,259	3,020	2,904	2,778	2,590	2,424	2,228	1,869	1,376
52	名 (2) 間	一日	550	435	391	349	297	259	222	170	122
		二日	862	663	588	518	432	372	313	233	161
		三日	893	704	630	550	473	410	347	259	177
		年	3,484	3,250	3,137	3,013	2,829	2,667	2,474	2,118	1,621
53	仙 港	一日	227	212	204	194	180	167	151	120	77
		二日	480	412	381	349	305	269	230	166	97
		三日	552	474	439	402	352	310	265	193	113
		年	2,251	2,048	1,949	1,841	1,681	1,542	1,379	1,087	711
54	大 竹	一日	341	311	296	280	256	235	211	168	112
		二日	892	701	624	551	457	388	320	222	130
		三日	1,029	802	712	626	518	439	361	251	149
		年	2,703	2,451	2,334	2,209	2,029	1,877	1,702	1,398	1,010
55	秀 水	一日	260	250	244	236	223	210	193	156	99
		二日	575	498	463	427	377	336	290	217	133
		三日	729	619	571	521	454	400	342	251	151
		年	2,479	2,255	2,148	2,032	1,861	1,714	1,542	1,238	841
56	嶺 (1) 林	一日	482	417	387	356	312	276	236	171	98
		二日	792	651	591	530	448	385	319	219	119
		三日	963	763	682	603	503	428	353	245	142
		年	3,298	2,893	2,712	2,524	2,264	2,051	1,816	1,430	977
57	溪 (1) 湖	一日	477	405	374	343	301	268	232	177	117
		二日	917	722	644	570	473	406	337	239	148
		三日	927	750	678	606	513	443	371	265	159
		年	2,803	2,569	2,453	2,325	2,131	1,960	1,756	1,385	896
58	萬 合	一日	497	403	365	329	283	249	215	165	117
		二日	539	477	449	418	375	339	298	229	146
		三日	518	479	459	436	402	371	333	262	167
		年	2,547	2,337	2,235	2,134	1,959	1,816	1,647	1,342	937
59	岑 苑	一日	543	446	405	364	310	268	225	159	92
		二日	548	490	462	432	388	350	305	229	136
		三日	583	532	506	477	433	393	345	258	148
		年	2,110	1,979	1,913	1,834	1,714	1,603	1,465	1,199	820
60	田 (1) 中	一日	471	395	364	332	289	256	222	169	112
		二日	766	611	549	490	416	361	306	228	152
		三日	759	633	580	528	458	405	348	262	172
		年	3,135	2,905	2,789	2,660	2,463	2,286	2,073	1,676	1,132

編號	站 名	雨量站	暴 雨 頻 率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.11
61	大 (1) 城	一 日	346	316	302	285	260	237	211	162	300
		二 日	503	449	424	397	357	323	264	218	136
		三 日	533	484	461	434	396	362	322	251	160
		年	2,292	2,125	2,040	1,945	1,798	1,666	1,505	1,203	791
62	真 (1) 州	一 日	523	427	387	347	295	254	212	149	86
		二 日	617	519	477	433	373	326	275	195	111
		三 日	682	580	534	487	422	370	314	224	127
		年	3,382	2,929	2,731	2,528	2,251	2,029	1,788	1,399	955
63	萬 (3) 大	一 日	284	273	267	260	247	234	218	183	127
		二 日	444	405	387	367	338	313	284	232	164
		三 日	613	530	494	458	409	371	329	263	188
		年	3,167	3,008	2,929	2,841	2,707	2,567	2,441	2,160	1,744
64	龍 神 橋	一 日	417	375	355	333	301	274	242	187	118
		二 日	736	640	556	503	433	379	322	236	147
		三 日	889	719	649	581	493	427	359	260	161
		年	3,107	2,973	2,902	2,620	2,689	2,565	2,407	2,088	1,569
65	第一進水口	一 日	808	586	506	433	347	288	234	163	104
		二 日	835	656	585	518	433	371	309	222	140
		三 日	1,037	799	707	621	513	436	360	255	159
		年	3,274	3,045	2,933	2,810	2,625	2,462	2,267	1,907	1,408
66	鹿 谷	一 日	508	431	399	367	324	292	257	205	148
		二 日	818	655	591	529	452	395	338	258	180
		三 日	811	676	621	567	496	442	386	302	215
		年	4,016	3,850	3,765	3,669	3,518	3,379	3,205	2,859	2,320
67	鹿 場	一 日	665	523	467	414	347	297	248	179	113
		二 日	770	626	566	508	432	374	314	226	138
		三 日	907	665	605	545	467	407	344	249	162
		年	3,027	2,721	2,581	2,433	2,223	2,047	1,849	1,508	1,084
68	東 埔	一 日	364	323	304	284	256	232	205	159	104
		二 日	644	523	475	428	368	323	277	211	144
		三 日	830	651	582	517	436	377	329	241	167
		年	2,790	2,666	2,601	2,528	2,411	2,302	2,164	1,890	1,464
69	崙 背	一 日	477	387	351	317	272	239	205	155	106
		二 日	668	529	475	424	360	314	268	203	143
		三 日	648	538	494	450	393	349	304	236	166
		年	2,751	2,443	2,304	2,159	1,955	1,788	1,601	1,268	921
70	傘 (1) 寮	一 日	360	311	316	299	272	247	217	160	88
		二 日	456	426	410	390	359	329	292	220	124
		三 日	436	422	413	401	380	357	325	254	143
		年	1,816	1,758	1,724	1,661	1,608	1,533	1,431	1,208	839
71	鹿 沙	一 日	525	417	375	334	283	245	208	154	104
		二 日	644	536	490	444	383	336	286	211	131
		三 日	737	614	562	510	439	384	326	237	143
		年	2,185	2,063	1,997	1,922	1,800	1,686	1,541	1,254	835
72	水 井	一 日	351	323	309	293	268	246	219	169	104
		二 日	598	523	488	451	399	356	307	228	136
		三 日	650	575	540	503	449	403	350	261	156
		年	2,314	2,180	2,109	2,028	1,901	1,782	1,653	1,342	919
73	大 崙	一 日	962	709	615	529	425	353	284	193	116
		二 日	1,145	856	747	647	526	442	361	253	158
		三 日	1,207	909	797	694	568	480	396	283	183
		年	3,490	3,185	3,044	2,895	2,662	2,502	2,269	1,938	1,477
74	鹿 寮	一 日	353	313	294	275	246	222	195	149	94
		二 日	527	467	438	408	364	326	286	216	132
		三 日	518	477	456	433	396	363	322	246	147
		年	2,374	2,224	2,148	2,063	1,932	1,814	1,669	1,393	999
75	北 (2) 港	一 日	267	262	258	254	245	235	220	184	121
		二 日	2,175	1,536	1,307	1,100	857	694	543	354	197
		三 日	416	412	408	403	391	377	354	292	175
		年	2,822	2,573	2,454	2,325	2,136	1,972	1,781	1,441	857

編號	站名	雨量別	基 雨 頻 率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	111
76	民 (1) 鎮	一 日	281	266	259	250	236	222	205	172	122
		二 日	354	349	343	336	323	309	299	240	157
		三 日	425	409	399	396	367	347	322	267	182
		年	2,959	2,707	2,590	2,466	2,287	2,136	1,961	1,655	1,255
77	梅 埔	一 日	518	425	386	348	299	251	221	163	103
		二 日	43	689	624	559	472	406	336	232	129
		三 日	885	739	675	611	523	453	379	263	145
		年	2,929	2,982	2,562	2,431	2,236	2,066	1,966	1,504	1,027
78	中 安	一 日	602	472	420	371	309	263	218	154	94
		二 日	1,132	849	740	637	511	421	334	217	115
		三 日	1,302	980	854	736	590	485	384	245	126
		年	2,655	2,448	2,345	2,230	2,056	1,901	1,715	1,371	908
79	鷺 起 湖	一 日	461	458	456	452	443	430	407	338	196
		二 日	655	653	651	647	537	622	593	502	298
		三 日	710	709	708	706	699	688	665	578	357
		年	4,327	4,184	4,106	4,013	3,860	3,711	3,516	3,103	2,419
80	中 (2) 埔	一 日	423	386	369	350	321	296	267	214	145
		二 日	597	539	511	481	438	401	358	284	191
		三 日	661	599	569	537	490	450	403	321	216
		年	4,396	4,026	3,556	3,677	3,422	3,208	2,964	2,540	1,995
81	下 山	一 日	429	376	352	326	290	261	227	171	105
		二 日	793	652	592	533	455	394	332	237	140
		三 日	946	777	706	633	539	466	390	276	160
		年	3,079	2,792	2,654	2,506	2,289	2,102	1,885	1,502	1,011
82	安 溪	一 日	386	343	323	302	272	248	221	175	119
		二 日	771	651	573	516	442	386	329	243	156
		三 日	988	772	688	609	510	438	368	269	177
		年	2,974	2,767	2,666	2,554	2,385	2,236	2,057	1,725	1,264
83	北 寮	一 日	562	479	445	410	364	328	290	231	167
		二 日	553	510	489	467	434	406	373	314	234
		三 日	641	584	558	530	492	460	423	361	281
		年	3,238	3,218	3,204	3,185	3,147	3,102	3,031	2,845	2,433
84	賀 建	一 日	384	349	332	314	288	265	238	191	130
		二 日	778	644	588	533	461	406	349	263	173
		三 日	975	782	704	629	534	464	393	290	190
		年	3,081	2,820	2,695	2,561	2,343	2,192	1,992	1,614	1,163
85	頭 港	一 日	380	320	302	282	255	232	205	161	107
		二 日	610	534	495	461	409	365	316	234	140
		三 日	839	696	635	575	494	432	367	267	164
		年	2,959	2,651	2,509	2,361	2,149	1,973	1,773	1,433	1,013
86	海 埔	一 日	405	366	347	326	296	271	241	182	122
		二 日	588	533	506	478	431	391	344	259	153
		三 日	658	605	578	547	496	454	401	302	173
		年	3,007	2,758	2,638	2,508	2,316	2,148	1,948	1,590	1,115
87	七 股	一 日	392	347	326	304	273	248	219	172	115
		二 日	659	561	518	474	414	367	316	235	147
		三 日	783	671	621	570	498	441	378	277	166
		年	3,134	2,824	2,676	2,523	2,298	2,110	1,892	1,515	1,040
88	馬 山 頭	一 日	629	509	461	415	356	313	268	207	145
		二 日	983	789	711	635	537	465	391	285	180
		三 日	1,085	884	801	719	613	532	449	325	201
		年	3,715	3,398	3,247	3,086	2,650	2,648	2,412	1,994	1,445
89	埔 西	一 日	462	415	393	369	335	305	272	213	135
		二 日	684	592	564	534	487	446	398	309	194
		三 日	707	681	637	609	566	535	475	378	243
		年	3,680	3,503	3,412	3,310	3,150	3,003	2,820	2,461	1,914
90	左 (2) 鎮	一 日	509	458	434	408	369	335	297	229	143
		二 日	941	810	750	698	601	530	452	325	186
		三 日	1,100	940	869	796	695	613	525	383	228
		年	4,055	3,709	3,545	3,370	3,114	2,895	2,641	2,189	1,598

編號	站名	雨量計	暴雨頻率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	11
91	普化	一日	641	517	467	418	355	308	260	150	121
		二日	1,062	840	750	663	551	465	365	266	152
		三日	1,278	1,008	899	793	657	555	453	307	170
		年	3,635	3,280	3,112	2,931	1,667	2,441	2,179	1,722	1,144
92	安南	一日	979	924	886	836	742	644	513	273	55
		二日	913	719	641	567	473	404	335	237	143
		三日	1,071	849	760	673	563	482	409	282	169
		年	3,312	2,971	2,811	2,642	2,399	2,194	1,959	1,555	1,052
93	媽祖宮	一日	549	457	418	380	328	289	247	183	116
		二日	875	711	644	578	432	427	360	260	161
		三日	1,164	921	924	730	511	523	434	307	186
		年	2,912	2,698	2,592	2,475	2,297	2,139	1,949	1,598	1,116
94	普(2)化	一日	539	457	421	384	334	294	250	182	108
		二日	907	742	672	602	511	440	367	257	147
		三日	1,029	857	782	706	604	523	438	306	171
		年	3,636	3,293	3,129	2,952	2,691	2,468	2,204	1,741	1,151
95	台南	一日	543	472	440	405	357	316	271	197	112
		二日	829	702	646	589	509	456	377	269	133
		三日	1,085	901	521	740	631	546	456	318	176
		年	3,638	3,283	3,115	2,934	2,669	2,443	2,180	1,721	1,141
96	崎頂	一日	446	405	385	364	332	305	273	216	144
		二日	891	753	693	632	530	433	416	305	189
		三日	1,520	1,133	1,050	922	720	542	524	339	205
		年	3,640	3,503	3,344	3,174	2,926	2,714	2,467	2,032	1,434
97	木柵	一日	294	284	284	283	291	273	271	243	162
		二日	383	383	383	382	381	379	370	333	215
		三日	880	525	523	513	506	491	463	391	242
		年	3,453	3,328	3,260	3,181	3,051	2,926	2,763	2,423	1,376
98	田寮	一日	332	323	317	309	296	282	263	221	130
		二日	534	504	488	470	433	411	375	306	199
		三日	658	514	587	558	514	476	430	346	234
		年	2,969	2,835	2,753	2,681	2,549	2,424	2,266	1,947	1,453
99	窩子內	一日	327	315	308	299	293	267	246	200	127
		二日	514	473	452	430	396	365	329	263	175
		三日	774	670	624	576	511	459	401	309	203
		年	3,307	3,027	2,891	2,744	2,526	2,336	2,113	1,713	1,185
100	崎碑	一日	663	537	486	437	374	327	280	211	143
		二日	817	696	643	590	517	459	397	299	191
		三日	899	778	724	668	590	527	458	246	219
		年	3,315	3,096	2,984	2,860	2,668	2,494	2,282	1,880	1,313
101	高(2)雄	一日	499	425	394	364	323	292	280	209	156
		二日	525	484	484	443	411	384	353	296	219
		三日	525	509	500	458	467	446	416	352	244
		年	2,682	2,583	2,530	2,462	2,349	2,237	2,087	1,767	1,250
102	媽雅	一日	568	549	538	523	498	473	437	361	236
		二日	852	524	807	766	748	708	554	534	340
		三日	1,307	1,196	1,140	1,077	981	896	793	606	364
		年	4,561	4,818	4,735	4,833	4,459	4,284	4,047	3,528	2,644
103	建山	一日	483	465	455	442	418	384	361	295	176
		二日	702	688	679	666	641	612	568	418	278
		三日	797	788	781	771	749	722	679	563	346
		年	4,655	4,480	4,380	4,260	4,060	3,862	3,599	3,044	2,152
104	甲(2)仙	一日	399	335	392	387	377	365	348	295	195
		二日	587	579	574	566	549	529	498	418	265
		三日	769	745	730	712	678	643	653	484	306
		年	4,378	4,193	4,094	3,979	3,795	3,621	3,398	2,945	2,235
105	六(3)龜	一日	383	381	379	376	368	358	341	290	194
		二日	486	406	486	485	483	478	467	415	261
		三日	585	584	503	581	575	568	547	480	310
		年	4,530	4,394	4,291	4,173	3,985	3,910	3,588	3,141	2,443

編號	站名	西量別	風 向 頻 率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.1
106	高 (1) 雄	一 日	446	416	402	385	357	331	298	235	147
		二 日	562	624	603	578	538	600	451	355	219
		三 日	873	800	763	722	660	605	539	418	262
		年	4,664	4,402	4,263	4,121	3,694	3,688	3,435	2,950	2,239
107	聖 (1) 港	一 日	450	411	392	371	339	311	279	220	144
		二 日	714	644	610	573	519	472	417	321	200
		三 日	975	842	703	722	638	570	495	375	239
		年	3,583	3,428	3,345	3,248	3,091	2,940	2,747	2,352	1,734
108	聖 (1) 洞	一 日	489	424	336	369	334	308	273	234	187
		二 日	510	486	474	459	436	414	386	329	243
		三 日	577	555	542	527	503	479	448	384	281
		年	3,910	3,582	3,570	3,443	3,263	3,099	2,902	2,531	1,997
109	河 港	一 日	565	565	562	559	553	545	531	469	385
		二 日	1,387	1,298	1,253	1,203	1,128	1,056	871	811	582
		三 日	1,665	1,555	1,500	1,437	1,341	1,253	1,145	941	633
		年	5,894	5,750	5,880	5,579	5,402	5,218	4,962	4,381	4,341
110	六 地 港	一 日	344	327	318	307	281	275	255	216	157
		二 日	466	450	440	429	409	369	341	303	207
		三 日	664	608	581	551	509	472	429	353	253
		年	2,564	2,514	2,482	2,441	2,368	2,286	2,171	1,901	1,403
111	林 園	一 日	332	323	327	323	314	304	286	237	143
		二 日	497	487	479	470	451	431	401	330	207
		三 日	576	567	560	550	530	508	474	390	241
		年	2,711	2,639	2,595	2,538	2,438	2,333	2,188	1,854	1,288
112	老 港	一 日	428	387	369	350	322	299	272	226	169
		二 日	620	569	545	479	445	405	332	234	234
		三 日	687	644	622	597	557	521	477	392	270
		年	4,197	3,866	3,712	3,548	3,311	3,109	2,876	2,465	1,921
113	新 (1) 洲	一 日	524	454	423	392	349	315	278	218	150
		二 日	609	567	545	521	482	447	404	322	205
		三 日	755	684	650	614	562	517	466	375	259
		年	3,047	2,947	2,691	2,823	2,710	2,597	2,446	2,128	1,596
114	突 (2) 義	一 日	275	275	275	275	274	273	268	243	156
		二 日	509	499	492	482	465	445	415	345	220
		三 日	628	612	602	588	563	535	495	405	252
		年	3,799	3,736	3,692	3,633	3,510	3,367	3,191	2,711	1,824
115	砂 (1) 寮	一 日	316	313	310	306	297	266	267	214	117
		二 日	411	407	404	399	387	371	345	375	146
		三 日	454	450	447	441	429	413	385	308	165
		年	3,142	2,962	2,662	2,744	2,551	2,367	2,130	1,661	997
116	石 門	一 日	472	443	429	412	385	360	329	268	181
		二 日	793	729	699	662	608	560	602	396	254
		三 日	1,075	934	872	809	722	653	577	454	313
		年	4,511	4,405	4,290	4,133	3,927	3,707	3,412	2,833	1,927
117	陸 (1) 春	一 日	523	474	449	422	381	345	303	227	133
		二 日	678	628	598	566	517	473	618	315	181
		三 日	757	707	680	648	596	547	483	366	206
		年	3,437	3,338	3,278	3,202	3,068	2,928	2,733	2,303	1,575
118	基 (1) 隆	一 日	468	395	363	331	287	252	214	155	92
		二 日	602	509	469	428	372	328	281	207	126
		三 日	655	561	519	477	418	372	322	241	153
		年	6,264	5,589	5,289	4,979	4,548	4,196	3,808	3,158	2,377
119	雄 (2) 溪	一 日	345	321	309	295	273	254	230	186	124
		二 日	768	602	538	479	405	352	300	229	164
		三 日	982	738	648	366	469	401	338	254	184
		年	3,547	3,363	3,274	3,178	3,034	2,907	2,756	2,473	2,057
120	三 田	一 日	683	527	467	411	344	296	250	189	135
		二 日	41,030	796	707	623	520	446	374	175	184
		三 日	1,267	962	846	739	608	516	426	305	197
		年	4,744	4,320	4,120	3,905	3,596	3,332	3,028	2,487	1,790

編號	站名	測量別	基 礎 順 率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.11
121	圓 進 水 口	一 日	684	592	551	509	451	405	334	272	178
		二 日	1,581	1,171	1,020	882	718	604	497	356	238
		三 日	1,790	1,334	1,164	1,009	821	591	567	403	260
		年	6,040	5,419	5,130	4,849	4,455	4,993	3,712	3,063	2,270
122	四 (2) 季	一 日	319	318	312	318	315	312	302	265	163
		二 日	399	399	399	398	397	394	366	346	219
		三 日	476	473	470	456	435	444	422	362	233
		年	3,588	3,365	3,256	3,189	2,957	2,798	2,610	2,267	1,757
123	蘇 溪	一 日	622	545	512	479	4,333	400	362	202	235
		二 日	1,089	928	690	784	707	634	359	461	346
		三 日	1,656	1,307	1,173	1,046	889	776	664	509	366
		年	7,083	6,479	6,198	5,900	5,471	3,108	4,690	3,959	3,008
124	南 溪	一 日	930	798	738	680	501	539	472	367	250
		二 日	1,846	1,470	1,318	1,171	983	843	701	497	299
		三 日	1,982	1,577	1,414	1,258	1,089	911	762	549	342
		年	6,285	5,719	5,444	5,144	4,699	4,312	3,856	3,042	1,991
125	山 脚	一 日	1,334	1,026	912	807	682	594	511	402	310
		二 日	1,735	1,419	1,291	1,168	1,009	891	770	592	415
		三 日	2,185	1,783	1,619	1,458	1,250	1,093	933	595	458
		年	8,238	7,766	7,536	7,281	6,897	6,556	6,144	5,367	4,245
126	大 獨 水	一 日	601	556	532	506	465	426	383	298	184
		二 日	1,397	1,108	991	879	733	628	529	366	218
		三 日	1,517	1,210	1,006	966	813	699	584	418	257
		年	4,929	3,978	3,824	3,653	3,397	3,159	2,897	2,393	1,700
127	溪 畔	一 日	526	501	487	471	445	420	387	322	222
		二 日	1,015	902	850	793	713	545	567	435	276
		三 日	1,120	992	933	870	780	705	620	477	305
		年	3,543	3,270	3,137	2,991	2,772	2,580	2,331	1,933	1,367
128	達 美 多	一 日	953	864	818	768	691	622	539	392	212
		二 日	2,076	1,731	1,573	1,407	1,177	991	792	489	204
		三 日	1,949	1,821	1,475	1,327	1,124	963	792	529	266
		年	4,242	3,882	3,671	3,458	3,138	2,830	2,510	1,895	1,118
129	花 港	一 日	697	477	438	398	345	304	260	191	118
		二 日	797	679	628	573	500	441	377	276	166
		三 日	879	766	713	658	580	515	442	321	185
		年	3,552	3,389	3,219	3,068	2,845	2,551	2,425	2,016	1,471
130	草 菜	一 日	770	682	641	598	536	485	427	329	211
		二 日	1,753	1,433	1,295	1,155	967	822	670	442	221
		三 日	1,524	1,281	1,175	1,067	920	803	679	485	281
		年	3,332	4,833	4,603	4,361	4,015	3,725	3,398	2,828	2,107
131	湖 門	一 日	662	557	511	464	401	381	298	214	126
		二 日	1,098	898	813	727	612	523	430	291	153
		三 日	1,032	882	815	748	650	372	487	351	203
		年	4,106	3,701	3,503	3,286	2,963	2,682	2,353	1,773	1,055
132	溪 口	一 日	344	340	337	332	323	312	294	249	162
		二 日	957	798	730	663	572	502	427	313	193
		三 日	1,093	919	844	769	668	389	505	375	236
		年	4,683	4,211	3,987	3,747	3,399	3,301	2,759	2,163	1,418
133	大 觀	一 日	1,338	1,107	1,007	905	769	661	548	375	201
		二 日	2,009	1,669	1,520	1,367	1,180	996	822	555	288
		三 日	2,288	1,904	1,732	1,557	1,317	1,126	922	509	299
		年	9,125	8,021	7,537	7,043	6,364	5,819	5,225	4,258	3,131
134	光 (2) 復	一 日	382	378	375	370	360	348	328	276	175
		二 日	600	581	569	555	529	501	463	379	243
		三 日	745	702	680	653	610	569	516	413	264
		年	4,509	4,123	3,935	3,730	3,426	3,159	2,845	2,280	1,338
135	立 山	一 日	566	516	491	463	421	383	338	287	154
		二 日	1,358	1,162	1,067	965	817	692	555	338	137
		三 日	1,404	1,171	1,068	963	819	705	583	395	204
		年	4,070	3,812	3,666	3,492	3,205	2,928	2,575	1,889	983

編號	站名	雨量引	暴雨頻率 (年)								
			100	200	100	50	20	10	5	2	1.1
136	思 勇	一 日	379	336	317	298	271	250	226	187	141
		二 日	973	795	719	643	542	464	382	260	140
		三 日	1,023	849	773	700	599	520	437	310	178
		年	4,458	3,931	3,684	3,422	3,045	2,728	2,370	1,766	1,057
137	45 港	一 日	644	519	470	424	367	325	284	227	173
		二 日	1,266	956	841	735	609	520	437	326	230
		三 日	1,278	1,009	904	804	678	586	494	363	242
		年	4,246	3,793	3,594	3,390	3,108	2,881	2,631	2,220	1,731
138	露 鹿	一 日	508	472	453	430	394	359	316	233	123
		二 日	929	843	797	745	662	588	498	338	154
		三 日	1,175	1,030	959	882	767	668	555	367	167
		年	3,336	2,991	2,836	2,676	2,452	2,269	2,064	1,721	1,302
139	紅 葉 谷	一 日	891	751	689	627	541	474	401	287	166
		二 日	1,443	1,206	1,101	995	849	733	610	419	222
		三 日	1,727	1,456	1,332	1,202	1,022	876	717	470	222
		年	4,485	3,584	3,734	3,498	3,172	2,908	2,618	2,142	1,579
140	台 東	一 日	596	497	454	411	354	309	261	188	112
		二 日	908	746	678	611	522	453	382	275	166
		三 日	1,008	840	768	695	598	521	440	316	186
		年	3,879	3,434	3,234	3,027	2,739	2,502	2,240	1,806	1,281
141	太 麻 里	一 日	438	406	390	372	343	317	286	226	144
		二 日	812	729	688	645	581	526	462	351	214
		三 日	1,052	917	855	790	699	624	541	403	246
		年	4,850	4,301	4,050	3,788	3,417	3,110	2,764	2,184	1,483
142	紹 家	一 日	865	708	643	581	500	439	376	283	189
		二 日	1,929	1,436	1,252	1,083	878	735	600	419	262
		三 日	1,912	1,486	1,319	1,161	964	820	679	482	298
		年	4,792	4,356	4,160	3,956	3,671	3,436	3,172	2,728	2,175
143	大 (2) 武	一 日	567	481	444	408	361	325	286	228	165
		二 日	811	702	655	608	542	491	435	345	243
		三 日	963	834	778	720	641	578	510	400	275
		年	4,643	4,213	4,017	3,811	3,520	3,277	3,001	2,530	1,934
144	滿 州	一 日	554	516	494	469	429	390	341	248	128
		二 日	932	815	759	692	610	536	451	312	158
		三 日	1,001	880	822	760	669	592	504	356	188
		年	4,396	4,202	4,087	3,946	3,704	3,489	3,134	2,453	1,441
145	台 (1) 中	一 日	782	597	526	458	374	314	255	173	100
		二 日	1,132	873	769	670	545	435	363	236	123
		三 日	1,282	989	871	759	617	513	410	267	138
		年	3,505	3,165	3,004	2,832	2,582	2,369	2,123	1,694	1,152
146	萬 (1) 雄	一 日	729	584	526	470	399	346	292	215	139
		二 日	828	693	636	578	501	441	378	280	177
		三 日	955	799	733	667	579	510	437	325	207
		年	3,323	3,053	2,922	2,778	2,563	2,374	2,151	1,746	1,205
147	宜 (1) 第	一 日	798	591	514	444	359	300	245	171	107
		二 日	1,312	936	801	680	538	441	352	238	145
		三 日	1,439	1,054	912	781	625	518	414	279	165
		年	4,946	4,505	4,298	4,078	3,459	3,488	3,176	2,628	1,918

6.3.2 洪峰排水量之理論公式

如旱田不容許浸水，或鄰近坡地或集水區坡度大，洪峰流量無法平均暫留在集水區，其截留排水路之排水量設計，應以洪峰流量為計畫排水才不致造成洪峰流量作任意漫流。其排水量計算公式如下：

$$Q=0.2778 \ fxr_t \times A \dots\dots\dots(6-6)$$

式中：

Q：計畫流量（ m^3/sec ）

f：洪峰逕流係數（參照表 6-4 與表 6-5）

r_t ：洪水流達時間內最大雨量之平均降雨強度（ mm/day ），台灣各地區時間雨量強度公式如表 6-6

A：流域面積（ km^2 ）

表 6-4 旱田之表面逕流係數（茶野忠夫）

總雨量（mm）	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
表面逕流係數	0.06	0.2	0.25	0.28	0.30	0.30	0.37	0.41	0.47	0.49

資料來源：雜作灌溉手冊 P181

表 6-5 各種流域狀況下之表面洪峰逕流係數

流域狀況	平坦旱地	緩傾斜林地	山腹林地	傾斜裸地
表面洪峰逕流係數	0.30~0.35	0.35~0.45	0.45~0.55	0.55~0.60

資料來源：雜作灌溉手冊 P182

計算步驟：

1. 決定排水區域內各面積 A_i （ km ）及逕流係數 f_i 。

2. 決定 10 年發生 1 次之降雨量 r_{24} （ mm/day ）。

3. 決定排水路坡降之有關因素：

L_{AB} ：自最上游流路至坡降變化點之距離（ km ）

L_{BC} ：變化點至測點之距離（坡降無變化時， $L_{BC}=0$ ）（ km ）

H_{AB} ：最上游與坡降變化點間之高差（ km ）

H_{BC} ：變化點與測點間之高差（坡降無變化時， $H_{BC}=0$ ）（km）

4.決定流達時間：

使用 Rziha 之實驗公式推算：

$$W_{AB} = 72 \left(\frac{H_{AB}}{L_{AB}} \right)^{0.6} \quad (\text{Km/hr}) \dots\dots\dots(6-7)$$

$$W_{BC} = 72 \left(\frac{H_{BC}}{L_{BC}} \right)^{0.6} \quad (\text{Km/hr}) \dots\dots\dots(6-8)$$

$$T_{AC} = \frac{L_{AB}}{W_{AB}} + \frac{L_{BC}}{W_{BC}} \quad (\text{hr}) \dots\dots\dots(6-9)$$

式中：

W_{AB} ：最上游流路至坡降變化點之流速（km/hr）

W_{BC} ：變化點至測點之流速（km/hr）

T_{AC} ：A 至 C 點流達時間（hr）

5.決定平均逕流係數：

$$f = \frac{\sum(f_i \times A_i)}{\sum A_i} \dots\dots\dots(6-10)$$

6.決定流達時間 T_{AC} 小時內之平均雨量（mm/hr）使用伊藤式推算：

$$r_t = \frac{r_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_{AC}} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(6-11)$$

7.決定排水量

$$Q=0.2778f \times r_t \times A$$

茲舉例說明如下：

某一平坦耕地，已知排水集流長度為 0.8km，逕流係數(f)為 0.7，平均流速為 0.5 m/sec，5 年一次降雨強度 $r = \frac{569}{(t-0.4)^{0.5174}}$ 求單位面積排水量？

$$\text{Sol : } L = 0.8\text{km} \quad V = 0.5 \text{ m/sec}$$

$$t_c = \frac{L}{V} = \frac{0.8 \times 1000}{0.5} = 1600 \text{ sec} \cong 27 \text{ min}$$

$$I = \frac{569}{(27-0.4)^{0.5174}} = 104.2 \text{ mm/hr}$$

$$Q = \frac{1}{3.6} f r_i A = \frac{1}{3.6} \times 0.7 \times 104.2 \times 1 (\text{km}^2) \\ = 20.3 \text{ cms/km}^2$$

6.3.3 經濟單位排水量

近年來，由於平原地灌溉事業逐漸發達，土地之高度利用，而排水設施經久失修，以致排水不良，情形頗為嚴重，水利局為改善排水不良情況，在各地區進行排水規劃，常依工程經濟原則，提倡「經濟單位排水量」此法，即依各排水不良地區之改善方案，以不同單位排水量比較分析，其改善工程費與計畫效益之關係，擇定經濟價值最高之單位排水量（稱為經濟單位排水量或經濟比流量），做為改善計畫推行之依據。

6.4 不同類型之排水

灌溉與排水同為增進農業生產之必要手段，因此在興建之初，必須經過週詳之規劃，尤其是排水系統之建立，應對計畫區域進行詳細之勘查測量，明瞭地形及土地利用狀況，並對水文資料進行分析及模擬，以瞭解暴雨發生時，區域之浸水情況，俾利於提出改善方案，或配置一完善之排水系統，但此皆屬於改善規劃之範疇，系統建立以前所必須思考之方向，亦即思考確立計畫區域之排水方式或排水方法。

如前所述，基於經濟效益之考量，農田排水之排水方法，主要以地面排水為主，倘為鹽分地之改良，可局部採用地下排水。

6.4.1 地面排水

一、集水系統

1. 農水中之中、小排為集水系統，在已辦理農地重劃之地區，每一坵塊均臨小排，降雨時之地面逕流或灌溉餘水，都直接由小排集流後排除之；未辦理農地重劃之地區，有時仍靠越田排水集流，如此將使田面積水之排除更形困難，因此必要時，可在田間配置補助小排，其所需要之地，可協調相關之農民提供，或征購之。

2. 田間小排中排或補助小排，一般均為土渠，為了使這些排水系統能發揮功能，每年於雨季應進行維修工作，將渠道依計畫斷面辦理疏浚或除草工作，附屬構造物做必要之清理或維護，並先試行運轉以確定其功能。
3. 以上這些工作，均屬水利小組之任務，工作站應依年度計畫，配合辦理。

二、輸水系統

1. 排水系統中之大排或部分中排屬之，這些渠道鮮有農田排口直接流入者，因此其任務為將集流後之排水逐層輸送到出口，排入河川或流入大海，這些輸水系統往往是區域排水，其改善規劃及維護管理較為複雜，牽涉極廣，及需要維持其功能，方不致影響上游之社區部落排水或農水排水等。
2. 輸水系統中倘仍為農田排水者，其管理單位為工作站、管理處、管理人員應配合年度計畫，在雨季來臨前，整個排水輸水系統做必要之維護，以確保其排水功能。管理人員更應充分瞭解排水系統狀況，各種設施功能及集水區之地形，低窪地之分佈。當外水位高於耕地標高時，應關閉排水閘門，以防止排水倒灌，當外水位降低時，即應開啟閘門，實施排水，將耕地積水排除。部分窪地區之排水出口，常有設置自動水門，以減少管理人力，惟於雨季前須檢查門板有否被雜物阻塞，而造成水門無法密閉；門板吊具五金有否銹蝕，而影響自動水門之啟閉靈活度，這些都是雨季來臨，實施排水前，所必須確實執行者。
3. 排水輸水系統倘為區域排水，其主管機關在縣、市為縣、市政府，或上級政府，因此其改善規劃及維護管理之工作均應由政府為之。惟必要時農田水利會得接受政府之委託，代為管理區域內之區域排水。不管區域排水之管理單位為政府機關或農田水利會，其排水系統之流暢，乃為解決上游排水問題之關鍵所在。
4. 區域排水大都是市區排水或農田排水等之出口，一直延伸到流入河川或流入大海，因此所承受的排水量有都市計畫區之臨時排水，及依各種不同降雨頻率標準所計算之排水量，其改善規劃方案之擬定，就較一般之排水路更為繁雜，有待相關課題中做進一步之探討。
5. 區域排水之出口，一般均為河川或大海，因此其排水之排洩直接受河川洪水位或海潮之影響，其排水處理方式如下：
 - (1) 感潮區段，大都位居沿海，排水路坡度平緩，為防止海水倒灌，可考慮於出口段適當地點設置防潮閘或自動水門，閘門前兩岸堤防高度應足以掩蓋在外水位高漲，排水無法排出期間，內水位壅高後之

高度，並在外水位低於內水位時，即刻開啟閘門，實施排水。

- (2) 流入河川之排水路，出口段倘受河川水位之影響，其排水縱坡平緩者，可依上項方式處理；若坡度較陡者，則以構築背水堤保護兩岸耕地較為經濟，且其排水方式，即依內、外水位之高度自由進出，沒有人為處理之問題。惟在實際運用上，宜採用水門或背水堤方式處理，須經檢討分析後決定之。

6.4.2 地下排水

一、地下排水之目的與功能

地下排水之目的在於提供良好的淋洗條件，加速土壤鹽分溶洗淋除，更能改善土壤內部排水，同時降低地下水位，使根部的活動空間加深，促進作物根部之自然發展，並可防止鹽分因毛細作用回升地表，以促進作物之增產。故一個設施完善，運維良好之暗管排水系統應具備以下之功能：

1. 排出土壤中過多之水份，降低地下水位，使利於作物生長
2. 抑制毛細作用，減少地表蒸發，緩和根層鹽分之積聚。
3. 及時排除含有溶鹽之水份，助長土壤之溶洗，獲致土壤鹽分平衡。

二、地下排系統之構成

1. 吸水管

吸水管是直接吸收地下水之排水管，為暗管排口系統中最主要部分，通常以平行方式佈置於全排水區。

2. 集水管

一般有集水幹管或集水支管，用以將吸水管之集水量導至排水口或抽水井中，俾利排除。

3. 截水管

視地形之需要而設，並非必備，用以截取來自區域外高臺地、貯水池或滲透水之暗管，可連接集水幹管並導至排水口，故一般均埋設於地區邊界。

4. 沉砂池

吸水管流入幹支管之連接處，均設置沉砂池（人孔井），以便沉砂之

用，其功能除防止幹、支管內泥砂之積堵塞外，並可用以清洗吸水管之進口及量測吸水管排水量。

5. 排出口

地下排水系統之排出口，可分為自然排出及抽水機排出兩種。自然排出式之出口為集水幹線之出口，直接排入自然河道或排入海，但需注意其排出幹管之出口，至少應高出天然河道或排水路之常水位 30 公分以上，如於洪水期有洪水湧入管內之危險時，應於出口處設置自動水門。若集水幹管之出口，低於自然河道常水位，無法自然排出時，必須設置集水池(抽水井)，用抽水機抽出。排出口之位置與構造對全區域之排水效果影響頗大，故於設計時，應特別留意。有關地下暗管排水系統之組成如圖 8-2

三、其他說明

以上說明，對暗管排水系統能有一概略之認識，惟必須注意的是，設置暗管排水系統之區域，其地面逕流仍須由地面排水系統加以排除，暗管排水系統僅用以排除田間內地下水，其詳細設計，流量計算，系統配置及各種不同之排鹽方式等，可參閱相關書籍。

6.4.3 機械排水

排水流入逆或其他排水，其水位低於河道或其他排水之水位而無法以重力方式自然排出者，應設置抽水機排出之。其管理單位如屬區域排水者由地方政府為之。機械排水之設計及管理，可參照抽水機設備之相關資料辦理。

第七章 灌溉排水之研究發展

灌溉排水之研究發展對任何科學均甚需要，過去我國的舊習，常應用先進國家之研究發展成果，但各國之國情、政策及環境等因素均不同，他國研究之成果，未必能適應我國之需要。就灌溉科學而言，我國有特殊之環境，以水源為例，目前台灣雨量豐沛，河川短陡，地質年代短暫，四周環海，潮位高差懸殊，排水不良與鹽分地分佈廣闊，均有本身特殊之問題存在。加之台灣地處亞熱帶，氣候高濕，作物種類繁多，對灌溉排水之需要與其他國家互異，因此，灌溉之研究發展，必須自行擬定一定方針，局步實施。

本省光復後之灌溉研究自推行輪流灌溉開始，在台灣各地設試驗站，分別以不同之灌溉處理，比較其產量，以作估計稻作輪灌之期距與水深之依據，試驗進行歷時數載，並兼有示範與推廣之目的。此項初期之試驗，僅側重於綜合觀測而非理論研究，故在輪灌開始推行之後，即產生各種基本問題，有待探討。如稻作品種間之耐旱力，施行輪灌後對土壤物理性之長遠影響，輪作田之施肥，病蟲害之防治，及雜草控制等均可能與傳統之放流灌溉方法有所不同，以上各項研究試驗皆已陸續加以進行，且有具體之研究報告可供參考。

作物灌溉試驗除水稻外，其他旱作物均有進行研究，如台灣糖業研究所從事甘蔗灌溉試驗已有二十餘年，但極待研究之問題尚多。其他旱作物灌溉試驗自民國 52 年始及至 89 年，經 37 年時間由台大農工系、水利局及水利會曾於各地試驗站進行研究試驗，包括一切田間之實際問題，如作物需水量、水路輸水損失、灌溉方法、灌溉效率、有效雨量、土壤物理性、灌溉水質分析、洗鹽排及灌溉之經濟分析等，均有輝煌成果，但至推廣應用階段尚須繼續努力。

灌溉管理方面，為研究農田用水之節約，利用過去之研究資料，擬定各項用水標準，以電腦操作代替已往用人工計算之灌溉計劃，使灌溉用水可根據過去田間實際需要以電腦程式配水，非但節省人工，更可達迅速準確。另一項灌溉管理方面之重要研究，為灌溉系統流量搖控之裝置，已在桃園大圳、嘉南烏山頭水庫及雲林農田水利會濁水溪取入口裝設，可將全部閘門流量集中管理，各閘門進水量可一目了然，並可作瞬間調整。其他尚有半自動水門之研究，桃園 4 號池塘灌地 60 餘公頃已完成管路系統，達省水、省地、省工之目的。最近若干灌溉系統著手研究規劃流量之統一控制，噴灌與滴灌之研究實施，農業機械化後對灌溉水量之變更等試驗均在著手進行中。總合以上各點，欲達理想之管理與全面實施，尚須加強作綜體而完善之計劃，逐步實施，方可達節水與科學管理。

農田水利行政方面由全省十七個水利會經營，欲達節水與科學管理之目的，水利行政人員必須密切配合實施。其配合重點首推健全組織，充裕經費與人員更新三端。同時農田水利方面之試驗研究工作，目前雖屬學術研究試驗機

構，但實際從事管理人員，亦必須洞悉進行過程，以及之推廣全面實施時，可體會其問題之關節所在，因此將來集體試驗研究之實施勢在必行，甚至經費充裕之水利會將來應自行設置小型之灌溉試驗研究機構，若干有待研究之問題，可由該機構自行進行試驗，以解決該會之灌溉管理問題。

本章撰述台灣灌溉之研究發展，其主要目的乃將以上已進行之工作作整體他之敘述，分門別類。因灌溉非一單純問題，必須涉及水土資源、氣候環境、土壤性質、作物栽培以及政府政策經費等問題。因此本章之寫作自基本研究著手，繼之敘述應用研究及水土資源之綜合利用。使讀者瞭解台灣灌溉環境及如何可將台灣之農田水利達完善之境地。

7.1 灌溉排水之應用研究

研究灌溉水源與用水量後，應考慮灌溉問題以作物為觀點可分水稻灌溉與旱作灌溉二大類；以農地性質而論可分坡地灌溉與平地灌溉；如再細分，因土質不同每次應灌水量及次數又不同。因此為達本省灌溉有系統之灌溉規劃，水稻與旱作二方面應作各地區之立地調查，經調查後，繪製圖表，則各地區之灌溉實施可用此為根據。本節即說明水稻及旱作灌溉應調查之項目，以作實際從事立地調查之參考。另一方面講，如為新灌溉區，必須研究灌溉區之地形地貌，研究項目包括灌溉區之界線、等高線、道路、公路、既有之排水溝以及其他之地貌，進而研究土壤之性質。

7.2 將來灌溉排水之研究發展

灌溉排水是一門應用科學，其目的可使作物增產。如將灌溉原理與排水、放淤、肥料及水土保持等項目配合，非但可作土壤改良，同時亦可保持農地永恆之地力。因此綜合之農業發展，必須由廣義之灌溉來配合。現代之農業日新月異，不能以過去單純之灌溉排水可滿足將來農業發展之需要。加以本省工商業漸發達，農產勞力減少，以往古老之灌溉方法亦極待改進，工廠林立，灌溉水污染問題勢必發生；人口增多現有之耕地必須有合理之灌溉排水設施；有限之水源如何克服利用等等問題均為將來灌溉排水研究發展之方向。

一、現代農村環境與灌溉排水設施

因經濟之加速發展，無論都市與鄉村，人民生活水準皆以提高，過去髒亂與辛苦之生活有待改進，對此方面之改進，水之利用與處理尤為重要，茲分述於後：

1.住宅環境之改善

通常農村均築在耕地附近，非用水不便，排水不良，即為排水系統堵

塞，有礙衛生。以用水而言，每戶或數戶均開鑿水井，以供人畜飲水或洗滌之用，但地下水源之多寡與水質等資料從未預先研究，乾旱時無水可取，如遇過度超抽而不注意補注，會影響地層沈陷，同時賴地下水源灌溉地區，灌溉水量不足，招致農作物減產。以排水不良，排水系統不善而言，小則環境潮濕，蠅蚊叢生，有礙健康，是為疾病之源泉；大則洪水時淹埋田地房舍，危及生命財產。因此，將來灌溉之研究應供給農民地下水資料或在設計灌溉系統時，非但應考慮灌溉水量、水質與補注等問題，同時應計劃農村人畜用水之簡易設計；在農田排水之研究上亦應考慮農村之排水系統及堤防之興築等問題。

2. 循環水流系統與小型污水處理

將來水資源開發日益困難，現有水源應有循環利用之觀念，已利用之水源，除發電外，均含有雜質與不同之化合物，如何將用過的水，作污水處理後再用於洗滌或灌溉，應為將來經濟用水之措施之一。如家庭與高地之滲漏水作妥善之處理後，再用作灌溉是為一例。

3. 低濕地之綜合經營

為經濟利用土資源，如低濕地不可能用一般之排水方法處理或不經濟時，可由政府收買挖掘地塘或湖泊，引用水源作蓄水池或作養魚之用，挖出之土可填至周圍土地，或改為建築用地，因此，可作低濕地之經濟利用。

4. 灌溉排水系統規劃之基本觀念

欲達作物增產之目的，除供應作物本身所需之必要水份外，欲使作物有良好之生長環境，必須加強新陳代謝作用，換言之，灌溉與排水欲快速運用。日本水稻產量較高之原因，為不計較灌溉龐大之水量，需要排水時即迅速排除，僅以改善水稻生長之環境為目的，如欲達水源之經濟利用，在下游收集排水量，稍作處理即可用作第二次灌溉。目前台灣之灌溉水量限制過嚴，灌溉之速度似嫌不夠，排水系統除容納雨水外，甚少考慮灌溉水之排除。欲達加速作物新陳代謝之目的，灌溉排水溝渠之容量尚需加大，各田區灌排系統均須具備有獨立灌排之條件。台灣雨量豐沛，降雨強度甚大，擴大排水溝之斷面尤為需要。

5. 節約農用水源之政策

目前水資源之利用，農業用水約佔 75%，但台灣水源開發已受限制，將來工業用水與公共給水必須仰賴農業用水節約供應，為達此目的，政府應計劃一套可行之辦法，一味命令從事農業用水者節約是徒然的。其中最重要者，為節省用水所需經費及補償原用水機構措施等問題。

6. 建立合理移用農業用水制度

在兼顧糧食安全及生態環境之原則下，建立合理移用農業用水之模式，包括移用之條件、數量、補償等。農業部門因應移水需要，協調輔導採取輪灌、轉作、休耕等配合措施節水，以求在和諧的方式下移用農業用水，支援民生或工業用水。

二、綜合水資源開發

1. 水資源開發基本資料之建立

欲研究水資源必須健全其基本資料，包括氣象、水文、水質觀測站之設立，新型科技設備之增購，技術人員訓練及成立資料中心等，均為必要之措施，茲分述如下：

(1) 氣象、水文及水質觀測站之設立

此三種觀測站之設立，應以流域為單位。各流域支流之氣象觀測站似多已設置，是否已考慮各種地形及其密度，似有再商確之必要，各氣象站等級及觀測儀器精粗亦應分別考慮。水文站之設立，過去似多著重水位觀測，流量觀測，但對設站密度似嫌不夠。為求準確之水資源，以上二種觀測站適當密度與精度，在全省各河川應仔細探討。水質觀測站，過去常被忽視，近年來工業發展迅速，工廠林立，污水排入河渠隨處可見，因此河渠水質之控制必須自設置水質觀測站著手。水質觀測站設置之原則與上列兩觀測站之設置有別，應與河渠二側設置工廠之種類密度配合，河川中下游之觀測站應較上游為密，設備亦應較完善。

(2) 新型科技設備之增購

過去各地雖設置各種觀測站，大部分觀測設備陳舊而簡陋，所觀測之資料未敢信任，因此更新設備為求得準確資料之應具條件。各流域通訊系統之建立，遙控技術之改進及洪水預報系統之設置等均為日後開發水資源之重要措施。

(3) 觀測與分析人員訓練工作

過去各觀測站工作人員之素質常被忽略，甚多觀測站均委託當地農民兼任，有時因忙於本身工作未能按時記載。觀測者因限於基本知識雖儀器故障亦不能發現，更談不上修理。甚多山區觀測站交通不便，運輸費時，觀測人員必須兼具儀器修理與保養技術。同時觀測人員應熟悉分析方法，分析人員亦須經歷觀測過程，如此觀測與分析者如遇

特殊問題亦不難解決。因此觀測與分析人員除具備基本知識外，尚需有適當之訓練。

(4)水資源資料中心之設置

觀測水資源資料機構繁多，為節省人力與財力，所有基本資料應集中某中心，以便研究人員綜合應用。目前氣象資料似已由中央氣象局統一管理，而水文與水質資料尚未建立資料中心，使研究者無所適從。有些機構視此等資料為秘密檔，研究者無法取得，如此有礙水資源之研究。因此，建立地面與下水水文地質資訊系統，期使有效管理地面與地下水使用，加強水質監測，防止地下水受污染及鹽化，此乃未來研究之趨勢。

2.研究水資源保育，管理與合理分配技術，提高用水效率

過去水資源之利用以農業為主，但近年來工業發展神速，人口逐年增加，人民生活程度提高，對用水之需要量亦增加。但欲大量開發水源似非可能，尚須賴節流方式來解決水源問題。故應以區域為一整體，配合人口與社會及經濟發展之需要，釐訂短期與長期計劃，對水資源之保育、控制及利用，全盤統籌規劃運用。

水資源之保育係指全流域之水土保持工作，過去山地農牧局似乎未與水利機構取得密切聯繫，山坡地開墾未有嚴格限制，縱使坡度非常之坡地，林林依然被砍伐而變為果園等其他作物，致使表土沖刷嚴重，非但影響水庫與河川之淤砂問題，同時亦會帶來嚴重之災害。高山大規模之崩塌地亦為陡峻山坡地土壤沖刷之嚴重問題，發生崩塌之主要原因與地質有關；但陡坡開築道路與墾植亦可增加崩塌之機會。防止崩塌地之方法，可將崩塌嚴重地區劃為保安林，並在發生崩塌地區構築攔砂壩，圍阻上游泥砂以免遊積河床與水庫。如能注意道路選線施工與維護，設置完善之排水系統與謹慎開發坡地，或可減輕崩塌之程度。

加強用水管理可提高用水效率有效措施。由於時代環境變遷，各標之水權量亦應重新調整，然水權重分配問題，應採用何標準分配？分配前應具何種資料？均頗費推敲之問題。筆者意見，在水權重分配以前，必須先調查各流域支分線之枯水流量，再校核申請機構之用水標的，以輕重緩急核定水權。加強用水管理之項目甚多，對農業用水而言，如能以量計費取代以面積計費可節省甚多水量，但農用水量龐大，在以量計費以前必須解決量水問題。其他加強用水管理可提高用水效率尚有下列措施：

(1)土渠加做內面工及管路系統減少渠道輸水損失。

(2)修理陳舊之渠道水工構造物，減少漏水損失。

(3)調整作物輪作制度，盡量利用天然雨水及有效雨量。

(4)限制滲漏特大地區種植水稻，以節省水量損耗。

(5)水稻實施輪流灌溉，旱作盡量採用噴灑及滴水灌溉。

(6)嚴密管理使流失之水減少至最少限度。

(7)利用迴歸水作多次利用。

(8)調整水旱田用水，節約農漁業用水

(9)訓練農民適當用水習慣，改善農民「多多益善」用水之觀念。

3.研究水資源調查規劃及新水源之開發

包括綜合開發計劃，調查重要河川水資源，選擇優良壩址，築壩蓄水，調節供應。研究地下水開發限度，地下蓄水及人工補注之可能性。對旱害缺水，繼續實施人造雨試驗。

三、灌溉排水之綜合規劃

台灣各地大部區植水稻，普通一年二作，經常有水蓄積田面，如長期觀測地下水位，定可發現地下水位慢慢上升，久之可減少作物產量。本省常有一個通病，大家均重視灌溉而忽視排水，事實上，台灣地處亞熱帶，雨量豐沛，屬濕潤地區，灌溉僅補充天然雨水不足，目前灌溉水量，筆者認為已經過多。民國四十三年大旱，甚多地區實施輪流灌溉，方渡過此難關，結果該年水稻產量較常年高，此為甚好證明。反言之，本省非但雨量多，且強度大，排水不良地區，到處皆是，眾人以為水深浸淹田面方稱為排水有問題，事實上，地下水接近離地面一公尺處對作物之產量已受影響，僅減產程度較無灌溉地區不顯著而已，因此眾人均認為灌溉重於排水。民國四十三年大旱，雨量稀少地下水普遍降低，作物根系通氣，生長環境良好，僅以少水補充即可達理想之產量，永遠保持地力，灌溉與排水同樣重要，尤其地下排水更應注意。

依據台灣的氣候環境與作物種植種類，提高地下水位必然會發生的問題，但吾人不能解釋僅重視排水而不必灌溉亦可達作物增產之目的。筆者認為二者並重，處理灌溉排水適得其時方可使作物得最高產量。在水稻種植區，為控制適當之地下水位，必須在根系下排設暗管，不但可使土層通氣，改善根系之生長環境，同時可促進新陳代謝作用，尤以黏土區為最。對旱作區而言，地下水位較高地區亦應設置地下排水，在水稻區附近之旱作地尤為重要。但旱作區之

地下位，一年四季受氣候之影響，地下水位高低不定，設置地下排水地區，雖已控制地下水位至適當限度，但至乾旱期地下水位過低，如欲達有效之灌溉，可將水灌至人孔，由排水管中供給根系之水份，相當於地下灌溉。鹽分較高地區，亦可設置暗管，將溶解於水中之鹽分可自暗管中排。以上各種灌溉排水綜合應用措施，台糖公司已有初步資料，將來如在台灣各地普遍應用，尚待進一步研究推廣。

四、水污染防治

因工業日漸發展，工廠廢水排入河川溝渠常有可見，灌溉水受嚴重污染，受害現象包括急性枯萎，作物減產，品質低劣，農田廢耕，土質惡化及累積毒性物質等項，已達公害程度。水污染之防治應以整體發展著眼，以河系及水利會為單位，從人口分佈與工業區位置著手整體研究規劃。其要點包括推行水質與土地規劃之研究與都市人口之適當分佈及居住環境標準之關係，工業區位置整體研究與規劃暨研究區域性環境維護與整體發展之實施方法與步驟。

五、加強宣導教育，使民眾對農田水利之「三生」機能及效能，有正確認知並予支持，期使農田得以永續利用農田水利事業之機能及效能，除了與農業經營有「生產性」方面之直接效益外，亦兼具有「生態性」及「生活性」方面的間接效益，故受益對象已由「農民」擴及至「地區住民」，甚至「國民全體」，因此，對農田水利事業之建設投資及設施維護等，今後應可將之當作「地區社會資產形成」之公共事業，讓社會大眾與農民均能共同關心推動，並與給予支持。對此，亟需加速彙整農田水利之真正機能、效能及效益之定性分析及定量評價資料，並加強宣導教育，促使民眾有正確認知並建立支持共識。

總之，本章所提均係將來灌溉及灌溉有關問題之研究發展，所提各項均為甚重要之問題，希望從事灌溉排水同仁共同努力，使灌溉排水事業能配合將來農業與工業發展之需要。

參考文獻

1. 張建勛，灌溉與排水學，中正書局印行，1965。
2. 台灣省水利局委託中國農業工程學會編，灌溉排水工程規劃手冊，台灣省水利局叢刊之六十六，1967。
3. 農復會，台灣之水稻灌溉，台大農工系合編，1970。
4. 農復會，台灣旱作灌溉立地區分調查報告，農復會特刊新 5 號，1971。
5. 莊精銳，灌溉管理，1971。
6. 張建勛、蔡明華，灌溉與排水，中國土木水利工程學會編行，1985。
7. 農復會，管路灌溉方法及技術，農復會特刊新 15 號，1974。
8. 台灣省水利局編，灌溉排水工程設計，農復會特刊新 28 號，1978。
9. 農發會，旱作灌溉研討資料輯，農發會水利特刊第二號，1980。
10. 台灣省水利局，水資源工程規劃講義，農發會補助計劃報告，1980。
11. 台灣省水利局、台大農工系等合編，雜作灌溉手冊，農發會補助計劃報告，1980。
12. 楊清財、林守吉、李金樹、馬延齡，灌溉與排水（實習），台灣書店發行，1981。
13. 農田水利會灌溉管理人員講習會專刊，農發會補助計劃報告，1982。
14. 農工中心、台灣省水利局、台大農工系合編，灌溉排水原理，施嘉昌、曹以松、徐玉標、甘俊二，中央圖書出版社發行，1982。
15. 台灣省水利局編，灌溉水質管理手冊，農委會補助計劃報告，1986。
16. 施嘉昌，排水工程，大中國圖書公司印行，1988。
17. 台灣省農田水利聯合會編印，農田水利訓練教材灌溉管理類合訂本，1984。
18. 財團法人七星農田水利研究發展基金會、財團法人農業工程研究中心，農田水利訓練教材，1998。
19. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 1-Introduction to Irrigation.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
20. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 2-Elements of Topographic Surveying.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
21. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 3-Irrigation Water Needs.", FAO Land and Water Development Division. UN, 1989。
22. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 4-Irrigation Scheduling.", FAO
23. Land and Water Development Division, UN, 1989。
24. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 5-Irrigation Methods.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
25. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 6-Scheme Irrigation Water Needs and Supply.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
26. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 7-Canals.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1992。

中英名詞對照表

- 入滲, Infiltration, 1-57, 1-58, 1-59, 1-60
- 入滲率, Intake rate, 1-58, 1-59, 1-60, 1-61
- 土壤剖面, Soil profile, 1-53
- 工業用水, Industrial water, 1-5, 1-24, 1-139, 1-140
- 中小給水門, Check Gate, 1-111
- 孔隙, Pores, 1-2, 1-40, 1-41, 1-43, 1-53, 1-56, 1-59, 1-61, 1-62, 1-63, 1-67
- 支線別灌溉用水量, Delivery requirement, 1-87
- 毛管水, Capillary Water, 1-40, 1-41, 1-70, 1-84, 1-105
- 毛管水運動, Capillary movement, 1-41
- 毛管層, Capillary fringe, 1-38, 1-40
- 水利小組, Irrigation group, 1-5, 1-134
- 水庫, Reservoir, 1-12, 1-27, 1-30, 1-34, 1-35, 1-41, 1-42, 1-44, 1-45, 1-49, 1-50, 1-51, 1-52, 1-63, 1-113, 1-141
- 水路損失, Conveyance losses, 1-73, 1-84, 1-85
- 未飽和層, Unsaturated zone, 1-38
- 正常池水位, Normal pool level, 1-49
- 母質, Parent material, 1-15, 1-54
- 永久凋萎點, Permanent wilting point, 1-62, 1-63, 1-64, 1-65
- 生長期, Growth stage, 1-71, 1-80, 1-95, 1-104
- 用水管理, Water Management, 1-141
- 用水需求, Water Demand, 1-30
- 田間容水量, Field capacity, 1-40, 1-62, 1-63, 1-64, 1-65, 1-71, 1-95, 1-96, 1-100, 1-101, 1-102, 1-107
- 田間耗水量, Water requirement, 1-86, 1-100
- 田間灌溉用水量, Field irrigation requirement, 1-69, 1-86, 1-88, 1-99, 1-100
- 地下水, Groundwater, 1-5, 1-12, 1-30, 1-36, 1-37, 1-38, 1-39, 1-40, 1-41, 1-42, 1-43, 1-44, 1-71, 1-76, 1-135, 1-136, 1-141
- 地下水層, Groundwater Zone, 1-38, 1-40, 1-66
- 地下紊流, Ground water turbulent flow, 1-41
- 地下棲止水, Parched water, 1-40
- 地表灌溉, Surface irrigation, 1-101

尖峰用水量, Maximun water requirement, 1-80, 1-102
 有用蓄水, Useful storage, 1-49
 有效雨量, Available rainfall, 1-69, 1-71, 1-74, 1-76, 1-84, 1-86, 1-90, 1-97, 1-99,
 1-105, 1-106, 1-107, 1-108, 1-111, 1-112, 1-113, 1-137
 自由水, Free water, 1-37
 作物係數, Crop coefficient, 1-76, 1-80, 1-81
 作物需水量, Consumptive use, 1-68, 1-69, 1-73, 1-75, 1-76, 1-77, 1-78, 1-79, 1-80,
 1-82, 1-86, 1-102, 1-108, 1-137
 吸收, Absorption, 1-2, 1-3, 1-40, 1-41, 1-62, 1-69, 1-70
 吸著水, Hygroscopic water, 1-63
 沉砂池, Settling basin, 1-135
 系統總灌溉用水量, Diversion requirement, 1-87
 防潮閘, Tide barrier and drainage gate, 1-134
 供水, Water Supply, 1-5, 1-34, 1-37, 1-80
 抽水影響圈, Influence circle, 1-43
 放水路, Wasteway, 1-27
 河谷蓄水, Valley Storage, 1-50
 坵塊, Unit Block, 1-86, 1-96, 1-133
 泉水, Spring, 1-43
 洗鹽, Leaching, 1-2, 1-137
 重力水, Gravity water, 1-37, 1-38, 1-40, 1-62, 1-63, 1-75
 庫底蓄水, Dead storage, 1-49
 迴歸水, Return flow, 1-142
 配水計畫, Water distribution Schedule, 1-89
 區域排水, Regional drainage, 1-18, 1-115, 1-117, 1-134, 1-136
 排水設施, Drainage facility, 1-4, 1-9, 1-119, 1-133, 1-138
 通氣層, Aeration Zone, 1-37, 1-38
 單區, Rotation unit, 1-5, 1-37, 1-116
 殘餘碳酸鈉, Residual Sodium Carbonate, 1-23
 渠首工, Headworks, 1-42
 湛水, Ponded water, 1-93
 給水路, Farm ditch, 1-74, 1-94
 鈉吸著率, Sodium Absorb Ratio, 1-14, 1-22

暗渠, Conduit, 1-28

溢洪道, Spillway, 1-49

溢流, Overflow, 1-94

農田排水, Field drainage, 1-4, 1-17, 1-114, 1-115, 1-116, 1-117, 1-133, 1-134, 1-139

農業用水, Agricultural water., 1-9, 1-12, 1-139, 1-140, 1-141

電導度, Electric Conductivity, 1-21

飽和層, Saturated Zone, 1-38, 1-39, 1-41, 1-65

滲透計, Lysimeter, 1-72, 1-84

滲漏, Seepage, 1-5, 1-15, 1-35, 1-41, 1-49, 1-62, 1-108

滲漏量, Percolation, 1-73, 1-75, 1-84, 1-86, 1-94

蓄水池, Pond, 1-26, 1-112, 1-113, 1-139

蒸散係數, Coefficient of evapotranspiration, 1-68

蒸發散量, Evapotranspiration, 1-68, 1-69, 1-70, 1-71, 1-72, 1-73, 1-76, 1-77, 1-78, 1-84, 1-85, 1-86, 1-95, 1-108

層流, Laminar, 1-41

輪區, Tertiary Unit (Rotation block), 1-37, 1-86, 1-87, 1-91, 1-96, 1-98, 1-116

輪區用水量, Turnout requirement, 1-86

濁度, Turbidity, 1-20

輸水系統, Water conveyance system, 1-5, 1-34, 1-134

輸水損失, Conveyance losses, 1-69, 1-86, 1-87, 1-90, 1-137

隧道, Tunnel, 1-37, 1-44, 1-49

薄膜水, Pellicle water, 1-40

攔河堰, weir, 1-31

灌溉方法, Irrigation methods, 1-74, 1-100, 1-137, 1-138

灌溉計畫, Irrigation Schedule (Irrigation Project), 1-81, 1-112

灌溉排水, Irrigation and Drainage, 1-1, 1-2, 1-6, 1-7, 1-18, 1-20, 1-137, 1-138, 1-142, 1-143

灌溉率, Irrigation rate, 1-86, 1-88, 1-90, 1-111

灌溉期距, Irrigation interval, 1-95, 1-96, 1-102, 1-104, 1-105

壩, Dam, 1-30, 1-49

第二篇 灌溉計畫

第一章 概述

1.1 前言

植物之正常生長有賴若干維持正常生長之必要條件，如水分、日光、空氣及溫度等因素，均需配合其生長期之需要，而水分無疑為任何植物賴以生存之要素。在天然狀態下，水量之供應往往不能與作物之需要相配合，故需以人為方法補天然降雨量之不足，即使在極為落後之地區，亦可見農民以各種簡陋方法引水灌溉。

由於作物生長所需之水量，因其在利用型態之便利，可以儲留、引導、排除與用人為方法，因此在處理過程中，有必要引用到科學知識與工程技術。首先需瞭解作物與水分之供求關係及影響作物需水量之各項因素，次需根據灌溉所需要之水量計畫其來源、輸送、分配、排除及處理等問題，最後則為灌溉排水之實施，必須考慮地方及社會環境、灌溉排水制度與法規等限制，有此可見，一項灌溉排水問題之解決，必須經過研究、計畫與實施等階段。

本篇主要針對灌溉計畫之製作，即上述之第二階段，依據作物需水量之變化，估算水源所必須提供之可靠水量，進行一系列之介紹。

灌溉計畫視其目的之不同所能提供的幫助，有以下三點：

- 1.對於灌溉規劃人員：於掌握水源可供水量及灌區預定種植作物與可提供之灌溉面積後，可利用灌溉計畫，安排最有效率的全灌區灌溉用水方式，作為制定最適作物制度之依據。
- 2.對於灌溉設計人員：於掌握作物制度及水源可供水量後，可藉由灌溉計畫推估渠道最大及最小設計流量，做為灌溉系統之設計之依據。
- 3.對於灌溉管理人員：針對灌區種植中或已種植作物，即應儘速調查各種作物確實需灌溉之面積後，可藉灌溉計畫推估於某時間內各水門用水量，然後對照可供水量，做為實際灌溉配水作業方式（如續灌或輪灌）之依據。

本手冊及專為灌溉用水管理目的，因而採上述第3點為主。但本篇之範圍則只限於輪區灌溉計畫，至於涉及全灌溉系統之灌溉計畫及灌溉配水技術則不涉及，而於第三篇「灌溉配水技術」介紹。此外，本篇之灌溉用水係指來自明渠重力式灌溉系統者。

1.2 內容概要

本篇共分四章，第一章介紹本篇之用途及內容。第二章介紹製作灌溉計畫前所需準備之事項，包括對灌區範圍及水路系統、灌區作物制度、田間灌溉用水及灌溉水源之瞭解，第三章介紹灌溉計畫之製作，依序包括田間灌溉耗水量（WR）之估算、田間灌溉用水量（FIR）之估算、輪區用水量（TR）之估算、水平衡分析及年與旬灌溉計畫，第四章則以桃園大圳為例，說明灌溉計畫之實際應用。

有關本篇內容示意圖，如圖 1-1。

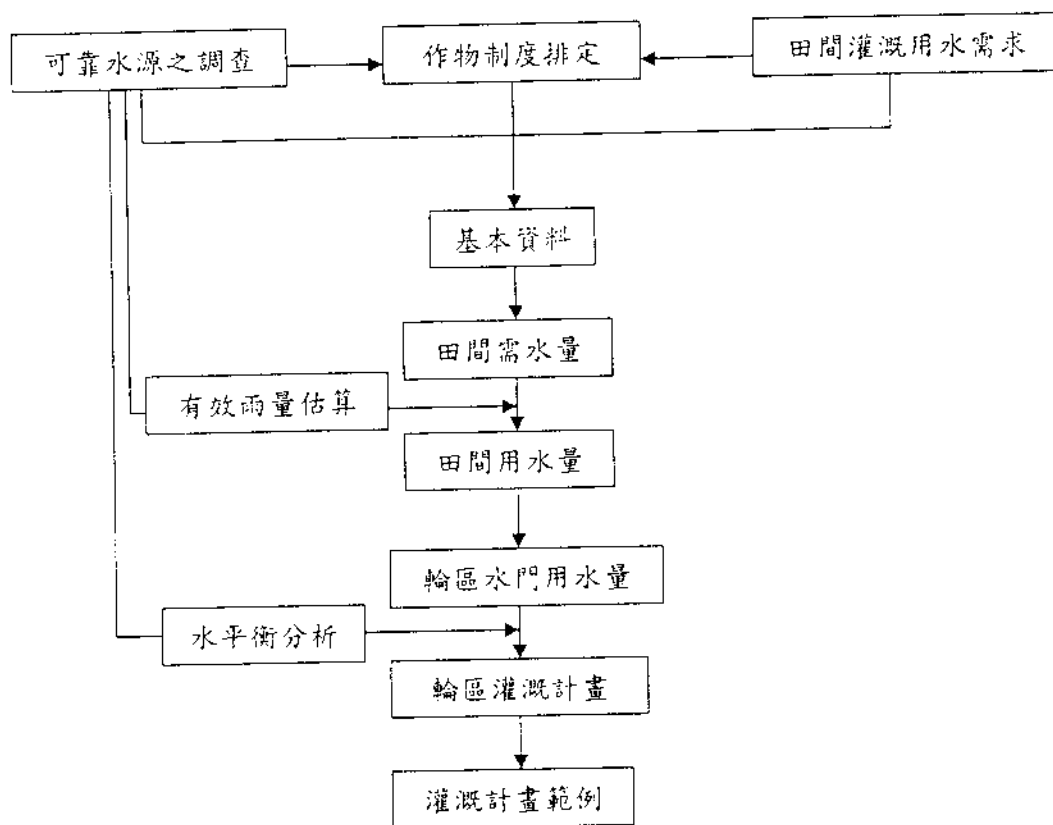


圖 1-1 本篇內容示意圖

第二章 灌溉計畫製作之前置作業

2.1 對灌區及系統之瞭解

以灌溉用水管理為目的之灌溉計畫製作，主要依據田間灌溉需求、作物制度及水源水量等基本資料，估算適當的灌溉水量、灌溉期距、灌溉日期及因應缺水期或降雨過多時之灌溉供水調節等，提供工作人員實際從事灌溉作業之相關資訊。

對於灌溉計畫的製作，一般農田之雜作灌溉較水稻灌溉複雜。此因同一輪區內作物栽培種類常有數種以上，且種植時期有可能參差不齊，致各作物及田間需水條件不一。對一既有灌溉系統之灌溉計畫編訂常與工程規劃時預期之情況不同，為合理達到灌溉預期效果，使符合農業經營需要，除工程完工前所建立之各項基本資料外，水利會之灌溉管理之實際情形及現況資料，亦應經常建立、保存與更新，以供編訂各輪區，分、支、幹線及全系統之灌溉計畫。以輪區而言，所需收集的基本資料，包括：

1. 灌區地形圖及平面圖（繪有系統之配置）。
2. 灌溉系統示意圖。
3. 作物類別與種植面積。
4. 各類作物種植適期。
5. 作物需水量及田間耗水量。
6. 續灌、輪灌及緊急灌溉措施標準。
7. 灌溉時期與輪灌期距。
8. 田間灌溉用水量與有效雨量。
9. 輪區渠道輸水損失。
10. 渠道容量。
11. 可靠灌溉供水量。

本章將先廣泛說明製作灌溉計畫之概念及所必需準備之事項，亦即前置作業，包含田間不同作物不同生長期之耗水需求、作物制度及輪區水門可供水量等基本資料。至於灌溉用水量及有效雨量將在下章內說明。

2.2 對灌區作物制度之瞭解

灌溉計畫在前置作業階段必需決定灌溉區域內的作物類別、種植面積及各作物適種之種植時間。

一地區之作物制度乃指該地區在一定年期內種植作物之類別、面積及時程，其擬定與土壤氣候及灌溉情況密切相關。台灣農業環境特殊，作物栽培種類甚多。在灌溉地區除以水稻為主外，尚有雜糧作物，特用作物及蔬菜、果樹等。因社會及經濟結構改變，耕地之利用、栽培方式、栽培作物種類等亦將隨之變化，但其程度尚需視各地之灌溉情況而異，詳見第七篇「作物制度與水源計畫」。

作物制度之推行，當應配合農業區域發展規劃，適地適種，有效執行且為配合現代化之農業經營。台灣由於灌溉設施一向以水稻為主，灌地之所謂作物制度，概針對水稻之種植而言，再配合於其他非水稻種植時期，則以種植雜作，增加生產。

由灌溉管理立場而言，對於灌區水田則視灌溉水源可供水量之多寡，計有下列幾種主要耕作制度或方式：

1. 雙期作田：有充足水源，每一年可種植兩期水稻之水田。

2. 單期作田：

(1) 前單期作田：每年固定於第一期供灌種植水稻之水田。

(2) 後單期作田：每年固定於第二期供灌種植水稻之水田。

3. 輪作田：

(1) 二年一作：以二年為一輪迴，可供灌一期水稻之農田。

(2) 三年一作：以三年為一輪迴，可供灌一期水稻之農田。

(3) 三年二作：以三年為一輪迴，可供灌兩期作水稻之農田。

4. 蔗作田：耕地以種植製糖用甘蔗為主之農田，如臺糖公司之甘蔗農場地。

而就作物栽培時期或作物種類之不同，尚有下列耕作方式，但通常並不給予灌溉水。

1. 中間作：係指在第一期作水稻末與第二期水稻整地前之期間，在水稻田所種植之短期作物而言。

2. 冬季裏作：第二期水稻後末與下第一期水稻田整地前之期間，在水田所種植之作物。

作物制度與灌溉計畫之關係

一旦作物制度確定後，即可依作物類別各生長其需水程度及面積，安排灌溉時間並計算灌溉用水量，如圖 2-1 所示。

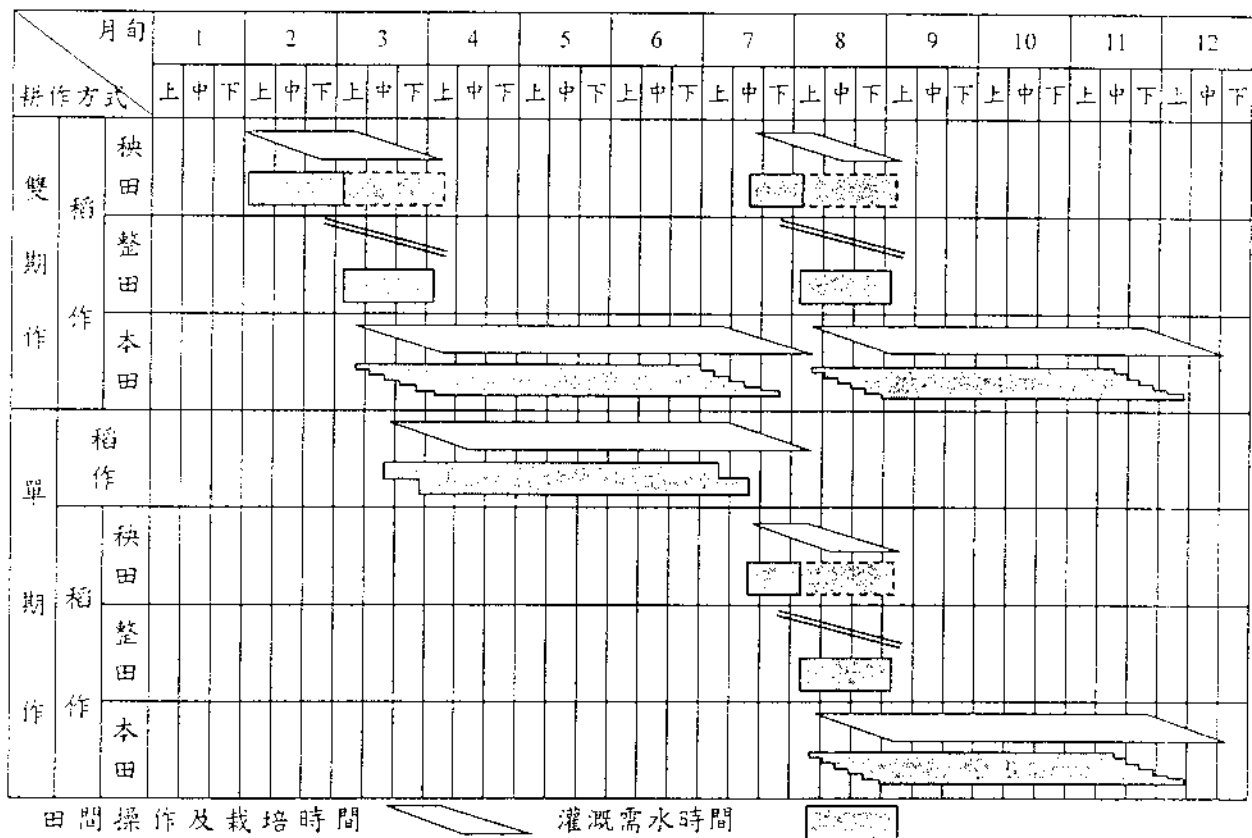


圖 2-1 作物制度與灌溉計畫之關係示意圖

由於既有灌溉系統在操作上無法隨時應付任一田間作物之需水，乃採取以一水門或一組水門為單位，於某一段時間內給予連續性的平均流量供給灌溉水。如以台灣地區而言，此一段配水時間通常以旬為單位。至於是否全系統所有水門皆連續方式配水，或輪流方式，或採重點式對有乾枯危機田區採救急式供應，則要看水源可供水量。如此依據全系統灌溉計畫排定各給水口含輪區水門在內之供水時間及流量，即可據以排定一輪區之灌溉計畫。

2.3 對田間灌溉用水之瞭解

一灌區之灌溉計畫在前置階段必需備有提供此區之可靠田間需水量、一次灌溉水深、灌溉時期、輪灌方式與輪灌期距標準等資料。

目前台灣採用之灌溉用水量之推算方式，至為粗放，一般單憑灌溉管理上之經驗，推估每秒立方公尺可灌溉之面積數（灌溉率），作為計算田間灌溉用水量之依據，至於較進步者，亦僅限於引用土壤別，水路結構以及管理方式作進一步之劃分，其推估方法仍將各因子視為固定數值，求出概略之推估值，尚差無法普遍符合田間之需求。

本節將各灌溉因子視為變數來討論其關連性，依田間實際狀況、由各別因子合理之推估數據，綜合求出符合田間之灌溉用水量。

2.3.1 灌溉用水量之定義

台灣田間灌溉用水需求的估算，主要考量作物類別及不同成長階段耗水量、田間滲漏損失或灌溉效率、有效雨量及水路輸水損失，為了便於探討，先將推估用水量之關連式及使用代號及定義敘述如下：

- 一、蒸發量 (Evapotranspiration, ET)：亦名作物需水量 (Consumptive use, C_u)，為作物生長時所需蒸散與附近土壤蒸發水分之總和，單位常為水深（公厘 mm）或某作物生長季節之單位面積水深表之。
- 二、田間耗水量 (Water requirement, WR)：為蒸發散量與滲漏量 (Percolation, P) 之和不論供水來源為灌溉水或雨水均稱田間耗水量，其單位與蒸發散量同亦為水深或某作物生長季節之單位面積水深表之。
- 三、田間灌溉用水量 (Field irrigation requirement, FIR)：供水來源均為灌溉水，因此田間灌溉用水量為田間耗水量與有效雨量之差。
- 四、有效雨量 (Effective rainfall, ER)：灌溉時期所降的雨，可供作物利用之水量，並可減少灌溉水量者。
- 五、輪區用水量 (Turnout requirement, TR)：為田間灌溉用水量加上小給水渠之輸水損失，亦即為某輪區分水門之流量。
- 六、支線別灌溉用水量 (Delivery requirement, DER)：各輪區分水門流量之和加上支線輸水損失。
- 七、系統總灌溉用水量 (Diversion requirement, DIR)：各支線水門流量加上幹渠輸水損失。

2.3.2 計算灌溉用水量之主要因子

一、蒸發散量 (ET)

任何灌溉計劃之擬定，均以供應並滿足作物之蒸發散量為目的，蒸發散量又稱作物需水量 (Consumptive use)，乃包括作物體之蒸散量及耕地面（水田時為水面、旱田時為土壤面）之蒸發量之總和。

1. 蒸發散量之推估在早期較常採用直接觀測法，但影響作物需水量之因素極多，觀測上水田無法分離滲透因素，旱田另有毛管水上升之干擾，實驗結果難以廣泛應用，加以觀測須經數年之紀錄，無法短期內求得可應用之資料，因此近年來均採取間接推估法推估，詳見第一篇「灌溉排水原理」，利用氣候及土壤因素作為估計蒸發散量之依據。
2. 水稻蒸發散量：一般稻作之生長約為 120 天，以 15 天為一單位，共分 8 個生育階段，各階段依耗水多寡各有不同之蒸發散量，此種變化一般用作物係數表示，如表 2-1。至於應用上，僅以此係數乘以栽植水稻當地之蒸發量記錄，即可概略推估出稻作之需水量。茲舉台灣之地區水稻蒸發散量如表 2-2。

表 2-1 台灣一二期水稻作物係數

生育天數	生育階段	一期作	二期作
1-30	整地期	-	-
31-45	插秧期	0.5	0.9
46-60	分蘖初期	0.8	1.2
61-75	分蘖末期	1.2	1.5
76-90	開花初期	1.3	1.6
91-105	開花末期	1.3	1.5
106-120	成熟初期	1.2	1.3
120-135	成熟中期	1.0	1.0
135-150	成熟末期	0.7	0.6

資料來源：灌溉排水原理，1993。

表 2-2 台灣之地區水稻蒸發散量

單位: mm

站名 地點	十二月		一月		二月		三月		四月		五月		六月		七月		八月		九月		十月		十一月	
	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬
淡水							A(1) 1.60	B(1) 2.56	C(1) 4.80	D(1) 5.20	E(1) 6.24	F(1) 5.76	G(1) 5.60	H(1) 3.92		A(2) 6.21	B(2) 8.16	C(2) 10.20	D(2) 9.12	E(2) 8.55	F(2) 5.59	G(2) 4.20	H(2) 2.16	
台北							A(1) 1.65	B(1) 2.64	C(1) 4.92	D(1) 5.33	E(1) 5.98	F(1) 5.52	G(1) 5.20	H(1) 3.64		A(2) 5.40	B(2) 7.32	C(2) 9.15	D(2) 8.80	E(2) 8.25	F(2) 5.72	G(2) 4.40	H(2) 2.16	
中興							A(1) 1.35	B(1) 2.16	C(1) 4.32	D(1) 4.68	E(1) 5.20	F(1) 4.40	G(1) 5.80	H(1) 3.5	A(2) 7.80	B(2) 9.75	C(2) 9.44	D(2) 8.85	E(2) 6.56	F(2) 5.00	G(2) 3.52	H(2) 2.52		
新竹							A(1) 1.55	B(1) 2.48	C(1) 4.92	D(1) 5.33	E(1) 6.03	F(1) 6.12	G(1) 6.10	H(1) 4.27	A(2) 9.00	B(2) 11.25	C(2) 10.24	D(2) 9.06	E(2) 7.41	F(2) 5.76	G(2) 3.12	H(2) 2.16		
台南							A(1) 1.30	B(1) 2.08	C(1) 3.96	D(1) 4.29	E(1) 5.46	F(1) 5.04	G(1) 4.70	H(1) 3.27	A(2) 7.20	B(2) 9.00	C(2) 7.84	D(2) 7.25	E(2) 6.31	F(2) 4.79	G(2) 2.82	H(2) 2.16		
大甲							A(1) 1.40	B(1) 2.88	C(1) 4.32	D(1) 5.85	E(1) 5.85	F(1) 6.00	G(1) 5.00	H(1) 3.78		A(2) 5.85	B(2) 7.80	C(2) 9.15	D(2) 9.86	E(2) 8.55	F(2) 7.41	G(2) 5.30	H(2) 3.15	
台中							A(1) 1.60	B(1) 2.72	C(1) 4.08	D(1) 5.20	E(1) 5.20	F(1) 6.00	G(1) 5.00	H(1) 3.50		A(2) 5.22	B(2) 6.96	C(2) 7.80	D(2) 8.12	E(2) 3.90	F(2) 5.98	G(2) 4.60	H(2) 2.76	
日月潭							A(1) 1.20	B(1) 2.08	C(1) 3.12	D(1) 3.38	E(1) 3.38	F(1) 3.72	G(1) 3.10	H(1) 2.03		A(2) 2.88	B(2) 3.84	C(2) 4.80	D(2) 5.12	E(2) 3.90	F(2) 3.38	G(2) 2.70	H(2) 1.62	
西螺							A(1) 1.45	B(1) 2.64	C(1) 3.96	D(1) 5.33	E(1) 5.33	F(1) 5.88	G(1) 4.60	H(1) 3.50		A(2) 5.51	B(2) 7.08	C(2) 8.40	D(2) 8.96	E(2) 6.90	F(2) 5.98	G(2) 4.60	H(2) 2.76	
嘉義			A(1) 1.10	B(1) 1.76	C(1) 2.76	D(1) 2.99	E(1) 4.42	F(1) 4.08	G(1) 3.90	H(1) 2.73					A(2) 3.96	B(2) 5.64	C(2) 7.05	D(2) 6.58	E(2) 6.45	F(2) 5.21	G(2) 3.60	H(2) 2.10		
麻豆			A(1) 1.35	B(1) 2.16	C(1) 3.84	D(1) 4.16	E(1) 5.07	F(1) 4.68	G(1) 4.60	H(1) 3.22					A(2) 4.41	B(2) 6.12	C(2) 7.65	D(2) 6.72	E(2) 6.30	F(2) 5.33	G(2) 4.10	H(2) 2.40		
台南			A(1) 1.10	B(1) 1.76	C(1) 3.36	D(1) 3.64	E(1) 4.68	F(1) 4.32	G(1) 4.20	H(1) 2.94					A(2) 4.23	B(2) 6.00	C(2) 7.50	D(2) 6.56	E(2) 6.15	F(2) 5.07	G(2) 3.90	H(2) 2.34		
屏東		A(1) 1.10	B(1) 1.68	C(1) 2.52	D(1) 3.25	E(1) 3.25	F(1) 3.72	G(1) 3.10	H(1) 2.59					A(2) 3.08	B(2) 4.08	C(2) 5.52	D(2) 6.40	E(2) 4.50	F(2) 3.90	G(2) 3.60	H(2) 1.80			
旗山		A(1) 1.05	B(1) 1.84	C(1) 2.76	D(1) 3.51	E(1) 3.51	F(1) 4.20	G(1) 3.50	H(1) 2.73					A(2) 3.51	B(2) 4.68	C(2) 6.30	D(2) 6.72	E(2) 6.00	F(2) 5.20	G(2) 3.70	H(2) 2.22			
池春		A(1) 1.40	B(1) 2.88	C(1) 3.12	D(1) 4.68	E(1) 4.68	F(1) 4.80	G(1) 4.00	H(1) 2.55					A(2) 3.60	B(2) 4.80	C(2) 6.30	D(2) 6.72	E(2) 5.25	F(2) 4.55	G(2) 3.60	H(2) 2.10			
港仔							A(1) 1.40	B(1) 2.24	C(1) 4.08	D(1) 4.42	E(1) 5.07	F(1) 4.68	G(1) 5.15	H(1) 3.57		A(2) 6.39	B(2) 7.56	C(2) 9.45	D(2) 8.32	E(2) 7.86	F(2) 5.53	G(2) 4.10	H(2) 1.92	
宜蘭						A(1) 1.15	B(1) 2.16	C(1) 3.24	D(1) 4.29	E(1) 4.29	F(1) 4.36	G(1) 3.80	H(1) 3.36		A(2) 5.67	B(2) 7.56	C(2) 8.85	D(2) 9.12	E(2) 6.75	F(2) 5.85	G(2) 2.80	H(2) 1.68		
花蓮						A(1) 1.50	B(1) 2.80	C(1) 4.20	D(1) 5.20	E(1) 5.20	F(1) 5.76	G(1) 4.80	H(1) 3.92		A(2) 5.85	B(2) 7.20	C(2) 9.00	D(2) 8.80	E(2) 8.25	F(2) 8.85	G(2) 4.50	H(2) 1.98		
台東						A(1) 1.45	B(1) 2.72	C(1) 4.08	D(1) 4.94	E(1) 4.94	F(1) 5.28	G(1) 4.40	H(1) 3.22		A(2) 4.41	B(2) 5.88	C(2) 6.60	D(2) 7.04	E(2) 6.30	F(2) 5.46	G(2) 3.90	H(2) 2.34		
新港						A(1) 1.55	B(1) 2.56	C(1) 3.84	D(1) 4.55	E(1) 4.55	F(1) 4.80	G(1) 4.00	H(1) 3.22		A(2) 4.59	B(2) 6.12	C(2) 7.35	D(2) 7.81	E(2) 7.05	F(2) 6.11	G(2) 4.50	H(2) 2.70		
大武						A(1) 1.75	B(1) 3.04	C(1) 4.56	D(1) 5.85	E(1) 5.85	F(1) 6.00	G(1) 5.00	H(1) 3.71		A(2) 4.59	B(2) 6.12	C(2) 7.20	D(2) 7.68	E(2) 6.60	F(2) 5.72	G(2) 4.80	H(2) 2.88		
岡山		A(1) 1.05	B(1) 1.76	C(1) 2.64	D(1) 3.51	E(1) 3.51	F(1) 4.08	G(1) 3.40	H(1) 2.73					A(2) 3.60	B(2) 4.80	C(2) 6.30	D(2) 6.72	E(2) 5.55	F(2) 4.83	G(2) 3.70	H(2) 2.22			
屏東		A(1) 1.50	B(1) 2.76	C(1) 3.78	D(1) 3.38	E(1) 3.96	F(1) 3.30	G(1) 2.66						A(2) 2.33	B(2) 3.76	C(2) 5.85	D(2) 6.24	E(2) 5.10	F(2) 4.42	G(2) 3.40	H(2) 2.04			
高雄		A(1) 1.50	B(1) 2.76	C(1) 3.78	D(1) 3.38	E(1) 3.96	F(1) 3.30	G(1) 2.66						A(2) 3.42	B(2) 5.16	C(2) 6.60	D(2) 6.40	E(2) 5.25	F(2) 4.55	G(2) 3.50	H(2) 2.10			
高雄		A(1) 1.35	B(1) 2.16	C(1) 3.24	D(1) 4.42	E(1) 4.42	F(1) 4.80	G(1) 4.00	H(1) 3.22					A(2) 5.04	B(2) 6.88	C(2) 7.35	D(2) 6.88	E(2) 6.45	F(2) 4.29	G(2) 3.30	H(2) 1.50			
池上		A(1) 1.50	B(1) 2.40	C(1) 4.44	D(1) 5.59	E(1) 5.59	F(1) 5.88	G(1) 4.90	H(1) 3.71					A(2) 5.40	B(2) 7.20	C(2) 7.80	D(2) 8.32	E(2) 7.20	F(2) 6.24	G(2) 4.26	H(2) 2.52			
五里		A(1) 1.30	B(1) 2.16	C(1) 3.24	D(1) 4.42	E(1) 4.42	F(1) 4.68	G(1) 3.90	H(1) 3.15					A(2) 4.86	B(2) 5.52	C(2) 6.90	D(2) 6.40	E(2) 6.00	F(2) 4.16	G(2) 3.20	H(2) 1.50			

資料來源：灌溉排水原理，1993。

3. 雜作蒸發散量：蒸發散量為雜作灌溉最主要之基本資料。對於雜作蒸發量之推估可詳見第一篇。台灣目前由於各地氣象站之蒸發量記錄相當完全，因此較常採用蒸發皿法進行推估。茲舉台灣各雜作蒸發散量如表 2-3。

表 2-3 台灣各季雜作蒸發散量

單位：mm

地區 期作別	北部	中北部	中南部	南部	東部
春作	270-410	160-350	170-290	220-290	180-250
夏作	180-380	160-350	170-290	—	230-330
秋作	150-400	160-350	170-290	190-280	188-300

資料來源：研擬合理農業用水標準，1996。

二、滲漏量 (P)

灌溉水自給水渠道流入田區後，依地形坡度自田首流至田末，大部分水量會受重力影響，滲入土層，成為土壤水。當土壤水分持續累積超過根系土壤吸力時，則會滲至根系以下，該部分水量即為滲漏量。由於該水量無法為田區作物根系所吸收，因此在灌溉計畫中必須增加該部分損失水量，確保作物能得到蒸發散量補充。

1. 對於滲漏量之推估可詳見第一篇「灌溉排水原理」，至於實際田間較適用之觀測方法，可埋設汽油桶，分別觀測葉面蒸散、水面及土面蒸發、垂直滲漏（深層滲漏）及橫向滲漏等項目，如圖 2-2 所示。

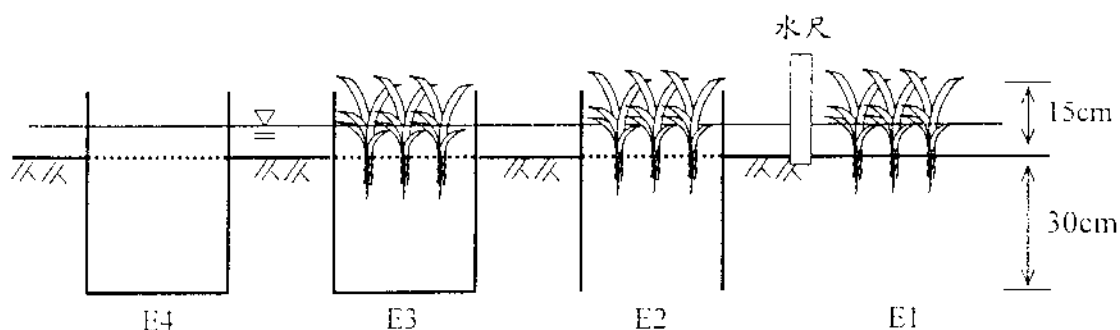


圖 2-2 簡測法示意圖

$$\begin{aligned} \text{葉面蒸散} &= (\text{葉面蒸散} + \text{水面及土面蒸發}) - \text{水面及土面蒸發} \\ &= E3 - E4 \end{aligned}$$

水面及土面蒸發=E4

垂直滲漏=(葉面蒸散+水面及土面蒸發+垂直滲漏)-(葉面蒸散+水面及土面蒸發)

$$= E2 - E3$$

橫向滲漏=水量損失總和-(葉面蒸散+水面及土面蒸發+垂直滲漏)

$$= E1 - E2$$

E1：在田區內設立水尺觀測每天水位，由前後二天之差，求得逐日之減水深。

E2：無底汽油桶中植水稻，桶內保持田面水深，每日觀測水深。

E3：有底滲漏桶，內植水稻，桶內保持田面水深。

E4：有底滲漏桶，內無水稻，桶內保持田面水深。

2.輪灌田區經常在乾田二三日後才實施第二次灌溉，灌溉後第一二天之垂直滲漏量特大。

3.由於台灣已無大面積之新開墾土地，開發水源多數為擴大已有灌區，故估計滲漏量實不如觀測已灌田區，比照估計，較為合理。依據水利局推估滲漏量之方式，詳見第一篇「灌溉排水原理」，台灣目前各種土壤之滲漏量，如表 2-4。

表 2-4 各種土壤滲漏量

土 壤 種 類	滲漏量 (mm/day)
砂 土	25.00
壤 土	8.80
粘質壤土	6.85
粘 土	4.04

三、有效雨量 (ER)

所謂有效雨量，顧名思義即降雨量之能為有效利用之部份稱之，而由於有效雨量影響因素頗多，故有效雨量之定義，可因作物生理、土壤入滲及灌溉管理觀點不同而不同。以灌溉管理而言，凡因降雨而可減少之田間灌溉耗水量，則此部份節省之灌溉水量即為有效雨量，降雨若不能實際節省田間灌溉耗水量，則雨量雖多，亦不能視為有效。

1. 就水田之有效雨量 (ER) 而言，續灌田與輪灌田之有效性全然不同。
2. 輪灌田按期距分成數組不同之灌溉單位，各組別之田間水深因灌溉日期之先後而有高低之差，故同樣之降雨對坵塊別之截留水深顯示不同之有效性。
3. 續灌田之田面已呈滿水溢流狀態，對降雨之最大有特性，僅能估算蒸發散量 (ET) 及滲漏量 (P) 之和。不過降雨之強度及分佈亦可影響田面逕流之速率，故降雨量之有效性往往小於 (ET+P) 值。
4. 續灌田之有效雨量可利用水收支法直接觀測出入流量方式求得，茲將計算數式列述如下：

$$ER = K_{ER} \times (ET + P)$$

K_{ER} : 有效雨量率 (%)

Q_{IN} : 觀測期間流入調查區域之平均流量 (cms)

Q_{OUT} : 觀測期間流出調查區域之平均流量 (cms)

T : 觀測期間 (day)

A : 觀測區域面積 (ha)

ET : 蒸發散量 (mm/day)

P : 滲透量 (mm/day)

RF : 觀測期間之總降雨量 (mm)

ER : 觀測期間之有效雨量 (mm)

經由上法推估水稻續灌田之有效雨量，可列舉如表 2-5。

表 2-5 水稻續灌田之有效雨量

單位：mm/day

生育階段	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
整地期	1.0	1.2	2.0	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2	4.0	3.8	1.3	0.7
插秧期	1.0	1.2	2.0	4.2	4.2	4.3	4.3	4.2	4.0	3.8	1.3	0.7
分蘖初期	1.0	1.2	2.0	4.5	4.5	4.6	4.6	4.5	4.3	3.8	1.3	0.7
分蘖末期	1.0	1.2	2.0	4.6	4.7	4.8	4.8	4.7	4.5	3.8	1.3	0.7
開花初期	1.0	1.2	2.0	4.6	4.9	4.9	5.0	4.8	4.6	3.8	1.3	0.7
開花末期	1.0	1.2	2.0	4.6	4.8	4.8	4.9	4.7	4.5	3.8	1.3	0.7
成熟初期	1.0	1.2	2.0	4.6	4.6	4.6	4.7	4.6	4.3	3.8	1.3	0.7
成熟中期	1.0	1.2	2.0	4.4	4.4	4.4	4.5	4.4	4.2	3.8	1.3	0.7
成熟末期	1.0	1.2	2.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	3.9	3.7	1.3	0.7

上表主要應用於高雄獅子頭圳轄區，該轄區水源豐富，一般均採用上接下流之續灌方法，上表之推估值，頗為符合現狀用水收支之平衡，若屬輪灌方式，田面貯水之空間較大，可高於續灌田之有效雨量。必須另由他法推估降雨之有效特性。

四、水路輸水損失 (S)

所謂灌溉計畫之水路輸水損失乃指灌溉水自渠首引入減去實際可供應田間灌溉用水量之水量。

1. 水路系統中水量之損失包括渠道之水面蒸發、渠底與渠岸因雜草與樹木之生長而蒸散之水量及其渠道本身滲漏之水量，前二者損失均甚少，不是特殊情形均略而不計，因此渠道輸水損失主要者為滲漏損失。
2. 另外一種叫流失 (Leakage) 損失，是不可忽視者。此種損失之主要原因有二，一為渠道構造物之新舊及另一為管理好壞之程度，如以上二點均不注意，流失之水量可能會超過滲漏水量，從事灌溉管理者不可不注意。
3. 一般對水路損失之定義並無一非常明確之說明，以致常會混淆不清，造成實際應用時之困擾，甚至發生錯誤，故必須予以釐清，方能使往後對水路輸水損失之使用更加明確。通常輸水損失之定義有二種：

$$(1) \text{供水 } S_i = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

$$(2) \text{需水 } S_2 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{out}} \times 100\%$$

Q_{in} ：流進量

Q_{out} ：流出量

(1)(2)兩種不同定義，皆有人應用於實例上。造成(1)與(2)損失之不同定義，肇因於對水需求觀點上之差異。(1)是從供水者觀點所下的定義，而(2)則是以需求者觀點為基準，就農民而言必須以 S_2 值估算損失方能滿足灌溉之所需。為使 S_1 值轉換成能滿足田間灌溉需求之 S_2 值，因此必須經由(3)將 S_1 值轉換為 S_2 。

$$(3) \text{轉換式 } S_2 = \frac{100 S_1}{100 - S_1}$$

因此，理論之損失量 S_1 可經由(3)轉換為 S_2 ，以方便現地使用。

2.3.3 灌溉水深與期距

若田間灌溉用水量為 8 mm/day，並不表示每天一定要經灌溉系統供給 8 mm 之水深，在理論上可以每天供給 8 mm 之水深，但在實際上，由於時間與勞力的關係，較佳之施灌方式係採用灌溉期之方式實施。例如：可採用三天灌溉一次，每次灌溉 24 mm 之水深，或每 5 天灌溉一次，每次灌溉水深為 40 mm。此一灌溉水量將儲存在根系部分，以每天 8 mm 之消耗情形漸漸的被作物所吸收利用。

一、灌溉水深

原則上，一次之施灌水量（灌溉水深）之多寡，是指目前一次施灌後所消耗之水量而言。

一次施灌水量之大小是有所限制的，其最大施灌水量之決定因子有：1.土壤類別；2.根層深度；3.施灌方法。

1. 土壤之種類將會影響所存在根系中之一次最大施灌水量，砂土所能儲存之水量較少，換句話說砂土之土壤有效水分較高，採用之灌溉方式，以多次灌溉較多水量。
2. 作物之根層深度亦是影響一次最大施灌水量之因子之一，深度之大小將影響儲存在根層中水量之多少，當作物之根系深度較淺時，則儲存在根層中

之水量較少，因此所採用之灌溉，以一次施灌少量但多次之灌溉方式，若根系深度較深時，因其可儲存較多之水分於根系中，灌溉時採用少次多量之灌溉方式為之。

作物種植開始之前後，對於整個生長期而言，屬根系較小之階段，因此播種或移植之初，其所需之灌溉水量相對於作物成長之後半階段，需要以一次灌溉水量較少，但灌溉次數較多的方式為之。

3. 至於灌後有多少水量可儲存於根系中，因現地之灌溉方法而異，例如：當採用噴灌之方式所入滲於土壤中之水量，會比採用埂間灌溉方式為多，尤其是對於較小規模之灌溉系統而言（小規模之區域與施灌流量較小之地區）。

4. 決定一次灌溉水深的方法

以 W_s 表示，說明如下：

$$W_s : \alpha \times (M_a - M_b) / 100 \times A_s \times d / E + d_2$$

W_s : 灌溉水深。

α : 係數，水稻為 1，雜作常見有 1/4、1/2 及 3/4。

M_a : 灌溉後根系蓄積水分之百分比（以重量比表示），以田間容水量為限（FC），超過該水量會形成滲漏損失。

M_b : 灌溉前根系蓄積水分之百分比（以重量比表示），一般以 MC 表示，若指有效水分時 $M_a = WP$ （凋萎點）。

A_s : 土壤假比重。

d : 有效根系深度。

E : 施灌效率，灌溉後根系蓄積水量與灌入田區水量之比值。

d_2 : 田面冠水深，主要為確保作物不缺水，常見於水稻，可參見田間用水管理一節。

二、灌溉期距

假設灌溉前土壤為濕潤狀態，作物將很容易的由根系中的取水分，隨著時間的經過，若不再加以灌溉，則因土壤中水分之消耗，作物將越來越困難的由根系中吸取水分，最後將造成作物凋萎之情形。

圖 2-3 中，很明顯的可以看出，由開始到一週左右，作物開始遭受缺水情形，為保持正常之產量，在此之前應加以灌溉。通常在作物消耗了根系所保存之二分之一水分時，即應加以灌溉，在圖 2-3 中說明了施灌日期為第 5 天，第 9 天及第 13 天時，則作物將不會遭受缺水之情形。

一般作物灌溉之期距，除作物類別之間有差異外，同一作物也可受不同生育環境和作物本身上之需要，而有極大之差異，但實際農業經營上所希望之灌溉期距，係作物在生育、收量及品質不降低之條件下，決定其最長之間隔時間。

灌溉間隔之時間，大多均根據每天田間灌溉耗水量與有效雨量之淨值（即為田間灌溉用水量）與一次灌溉水量之多少來決定，其公式如下：

$$\text{灌溉期距} = \text{一次灌溉水深} / \text{田間灌溉用水量}$$

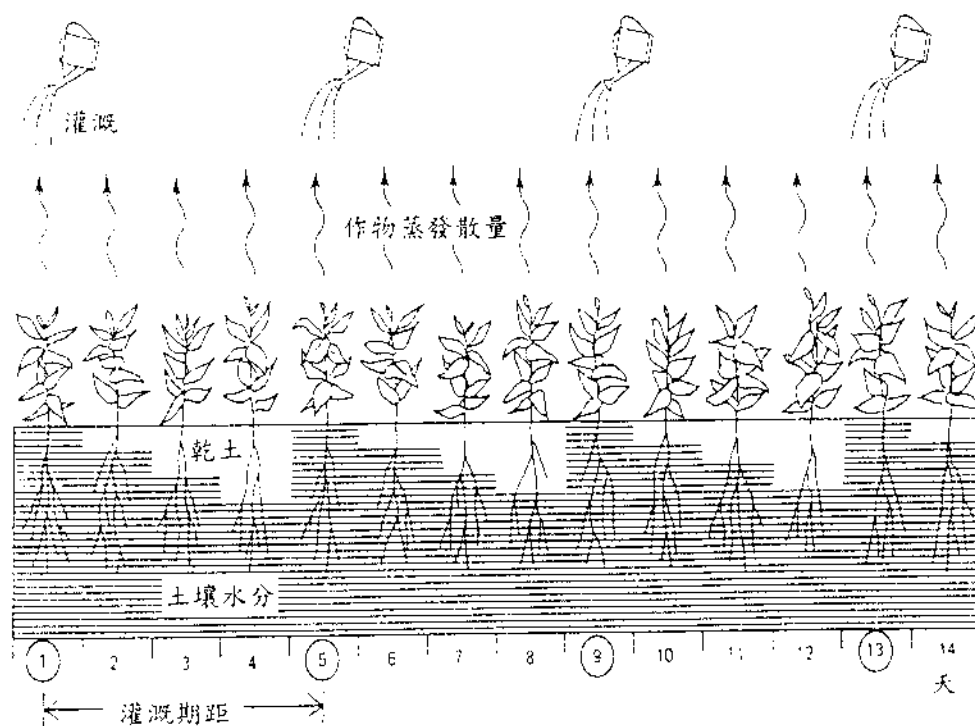


圖 2-3 經常性之施灌則作物將不會遭受缺水之情形

三、主要雜作作物灌溉次數

茲將嘉南學甲站之資料引用中央氣象局二十年之降雨及蒸發量紀錄歸納如表 2-6。

表 2-6 嘉南灌區雜作灌溉實施情形

土壤別 項目 期作別		黏質土 (T.R.A.M.=60mm)				粉質土 (T.R.A.M.=40mm)				砂質土 (T.R.A.M.=20mm)				蒸發量 (mm)	降雨量 (mm)
		作物 用水量 (mm)	有效 雨量 (mm)	灌溉 用水量 (mm)	灌溉 次數 (次)	作物 用水量 (mm)	有效 雨量 (mm)	灌溉 用水量 (mm)	灌溉 次數 (次)	作物 用水量 (mm)	有效 雨量 (mm)	灌溉 用水量 (mm)	灌溉 次數 (次)		
春 作 (三月至六月)	0.8 cu	269	112	25	1	269	104	34	1	269	70	68	4	530	575
	1.0 cu	336	130	43	1	336	116	56	2	336	96	76	4		
	1.2 cu	403	147	60	1	403	128	78	2	403	122	85	4		
夏 季 (七月至十月)	0.8 cu	280	129	14	0	280	125	19	1	280	107	36	2	520	890
	1.0 cu	350	151	29	1	350	141	38	1	350	120	60	3		
	1.2 cu	420	172	43	1	420	157	58	2	420	132	83	4		
秋 作 (十一月至翌年二月)	0.8 cu	185	33	62	1	185	30	65	2	185	24	70	4	290	69
	1.0 cu	232	35	84	2	232	32	87	2	232	26	93	5		
	1.2 cu	278	36	107	2	278	34	109	3	278	27	116	6		

*：1.毛管水供應量以 51.6% 計算。

2.降雨量與蒸發量採用中央氣象局連續 20 年記錄平均值。

2.4 對灌溉水源之瞭解

灌溉功效之可靠性，與灌溉水源有密切的關係。往昔之灌溉工程，多忽視水源之估算和運用，致工程完成後，常因水源過少，供水發生問題，或取水過多，影響同流域其他地區之開發。今後之灌溉計畫，當綜合全流域之可用水源，加以慎密之估算，和妥善地運用。使流域中土地均沾水之利益，和發揮水資源之最大功效。

灌溉水源水量的來源大致可分為雨水、溪河水量、水庫及池塘蓄水量、回歸水及地下水等五類，灌溉計畫在前置階段必需確實掌握灌區各種可能水源之可靠供水量。

一、雨水

灌溉水之來源，大致可認為係來自降雨，其降落於灌區者，可增加土壤含水量，供給作物之消耗水量，此項發生灌溉效用之雨水，謂之有效雨量。為提高有效雨量，減少灌溉用水量，對於灌區降雨量資料必須詳實紀錄。

二、溪河水量

降落地面之雨水，或地下湧出之地下水，部份成逕流入溪河中。溪河流量視集水面積、逕流係數等而定，故溪河愈趨下游，集水面積愈大，流量理應增加。若以溪河水量為灌溉水源，則引水地點之流量記錄，為不可缺少之資料。

三、水庫及池塘蓄水量

如雨量分佈不均，洪枯流量相差過鉅，旱季溪河流量不足，雨季則水量有餘，欲求水源之盡量利用，必須設法利用水庫及池塘加以蓄存。為使灌溉水量達到最有效之利用，對於水庫運轉規線及池塘蓄水量必須事先掌握。

四、回歸水

灌區內的部份水量，終歸要流返河渠或低下排水路中，如能導引匯集，在缺水地區，將視為一項重要的灌溉水源。都市中之廢水，和工廠區之污水，如經合適處理後，亦可供作灌溉水源。當乾旱時期發生時，在其他水源皆不足的情形下，若能掌握該水源水量，對於灌區抗旱效果貢獻極大。

五、地下水

灌溉水除取用地面水外，地下水亦可供利用。地下水係由地面水滲入者，其滲入之水量，一部份為表層土壤所吸留，另一部份則移向地下，當其到達某一深度受阻時，水份將充填土壤孔隙，成為地下蓄水層。如蓄水層面積廣大，土層深厚時，其蓄藏水量將甚龐大，不啻為一天然地下水庫。若鑿井入此蓄水層中，汲取地下水灌溉，亦甚安全可靠。唯過量的抽取亦會產生不良的後果，如地盤下陷等，因此對於地下水水位必須確實掌握，控制安全出水量。

第三章 輪區灌溉計畫之製作

所謂灌溉用水量乃作物在田間生育過程中，為補充田間土壤含水量之不足，利用人工施灌於田間，供給作物所需之水量，俾利作物適當生長與生產。本章將配合目前水利會實際執行內容，以實例說明擬定灌溉計畫前所需掌握之原則及概念。

3.1 基本資料

1. 灌溉系統。
2. 灌溉地面積清查。
3. 農作時期之決定。
4. 作物別種植面積調查。
5. 田間需水量之決定。
6. 有效雨量之決定。
7. 各級渠道輸水損失率之查定。
8. 水源可供流量。

3.2 田間灌溉耗水量 (WR) 之估算

$$\text{田間耗水量 (WR)} = \text{蒸發散量 (ET)} + \text{田間滲漏量 (P)}$$

1. 上式主要用於估算水稻本田期及雜作之田間耗水量，至於水稻插秧、整田期與實際雜作灌溉時，則需配合農民勞力及作物耐旱期距等，進行間斷性一次大量供水，其一次供給之灌溉水深如 2.3-3 節所示。
2. 由於水稻灌溉滲漏較為穩定，在灌溉計畫中田間滲漏量一般以一定值表示，至於雜作灌溉則由於滲漏不穩定且水量較少，因此一般將該損失量涵蓋在施灌效率之中。

田間耗水量計算說明範例：以水稻田為例

1. 秧田

秧田之灌溉，通常不考慮土壤因素，亦不計入有效雨量，一律定為同一標準，大致為：秧田整地 200 mm (一次供給) 左右，秧田補給水每天 15 mm 左右 (4 天供給 60 mm 左右)。

秧田用水開始時期需配合本田整田時期之錯開，其錯開日數在普通情形下係以 20 天為準，但本田整地開始時秧田用水即予停配。

計算例：

設秧田整地耗水量 200mm，秧田補給水 15mm，錯開 20 天，1 月 22 日開始播種，計算秧田期耗水量如下：

秧田整地耗水量=200mm $\times$ 1/25 $\div$ 20 天=0.4mm（自 1 月 22 日起至 2 月 10 日止每天 0.4mm）秧田補給水第 1 天=15mm $\times$ 1/25 $\div$ 20 天=0.03mm（即 1 月 22 日）。

第 2 天=0.03mm $\times$ 2=0.06mm（即 1 月 23 日）

第 3 天=0.03mm $\times$ 3=0.09mm（即 1 月 24 日）

依此可累計秧田期每旬之田間耗水量，如表 3-1。

表 3-1 水稻秧田期之日田間耗水量（以 1 月下旬為例）

單位：mm

項目 \ 日	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
整地日計	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
補給日計	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3
整地旬計	4										
補給旬計	1.65										

2. 整田

整田期耗水量之多少，即視水田土壤空隙率、含水量滲透能力、翻耕深度、配水管理而不同，通常 100mm~200mm 範圍最多。

計算例

假設整田耗水量 180mm，一次供給，錯開 20 天，1 月 22 日開始播種，計算整田期耗水量如下（育苗日數 40 天）：

整田耗水量每天=180mm/20 天=9mm/day（自 3 月 2 日起至 3 月 21 日止）。

3. 本田

水稻移植後就開始灌溉，至成熟末期即可停止灌溉，在生長成熟過程中之田間灌溉耗水量包括本田蒸發散量（或本田作物需水量）及土壤滲漏量。

計算例：

(1)本田期蒸發散量

插秧整地完成後水稻即進入本田期之分蘗初期，本例蒸發散量依水稻生長期查表 2-2，因此本田期第 1 天蒸發散量= $2.16\text{mm} \times 1/20 = 0.108\text{mm}$ （即 3 月 3 日）。

第 2 天= $0.108\text{mm} \times 2 = 0.216\text{mm}$ （即 3 月 4 日）

第 3 天= $0.108\text{mm} \times 3 = 0.324\text{mm}$ （即 3 月 5 日）

依此，根據水稻不同生長期之作物蒸發散量，推估本田期日及旬蒸發散量，如表 3-2。

(2)本田期滲漏量

台灣水稻田區均有田埂，灌溉後不容許發生逕流，因此灌溉計畫中之田間滲漏量僅計入垂直滲漏損失。本例滲漏量依土壤類別查表 2-4 採粘質壤土 6.85mm/day 計算。本田期第 1 天滲漏量= $6.85\text{mm} \times 1/20 = 0.3425\text{mm}$ （即 3 月 3 日）。

第 2 天= $0.3425\text{mm} \times 2 = 0.685\text{mm}$ （即 3 月 4 日）

第 3 天= $0.3425\text{mm} \times 3 = 1.0275\text{mm}$ （即 3 月 5 日）

依此，推估本田期日及旬滲漏量，如表 3-2。

(3)本田期田間耗水量=本田期蒸發散量+本田期滲漏量，如表 3-2。

4.由步驟 1、2、3 依照水稻秧田期、整田期及本田期，分別計算各旬之田間灌溉耗水量，如表 3-3。

表 3-2 水稻本田期之日田間耗水量（以 3 月上旬為例）

單位：mm

生育期 \ 日	蒸發散量 mm/day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分蘖初期	2.16	0	0	0.108	0.216	0.324	0.432	0.54	0.648	0.756	0.864
分蘖末期	4.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
開花初期	4.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
開花末期	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
成熟初期	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
成熟中期	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
成熟末期	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
滲漏量	6.85	0	0	0.343	0.685	1.028	1.37	1.713	2.055	2.398	2.74
蒸發散量旬計 mm		3.9									
滲漏量旬計 mm		12									

3.3 田間灌溉用水量（FIR）之估算

$$\text{田間灌溉用水量 (FIR)} = \text{田間耗水量 (WR)} - \text{有效雨量 (ER)}$$

田間灌溉用水量（FIR）常以一時間內之用水深（mm）、體積（ m^3 、 ℓ ）及流量（cms、 ℓ/sec ）為計量，其值為前項田間耗水量（WR）扣除有效雨量（ER）。

田間灌溉用水量計算說明範例：以水稻田為例

水稻田有效雨量宜依據管理所決定之標準，惟應注意如下各項：

- (1) 秧田用水不計入有效雨量。
- (2) 為避免缺水，第一期作整田期不計入有效雨量。
- (3) 移植錯開期間中之有效雨量應按實際移植完成之面積比例計算，本例灌溉輪區面積採 50 公頃。
- (4) 斷水開始後之有效雨量計算應按斷水面積之增加逐日減遞有效雨量。
- (5) 本例有效雨量依據水稻生長期查表 2-5 計算，如表 3-4。

表 3-3 水稻田間灌溉耗水量（WR）之估算例

單位：mm

項目	月別	1 月			2 月			3 月			4 月			5 月			6 月			7 月			本期合計	備註
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下		
整地	整地			4																			8	
耗水量	補給			1.65	4.65	6	4.8	0.6															17.7	
整地期號水量								81	90	9													180	
分蘗	初期							3.888	13.93	12.96	1.62												32.4	
分蘗	末期								1.944	21.38	30.24	11.88											65.448	
開花	初期												10.53	31.59	24.57	3.51							70.2	
禾田期蒸散量	開花											2.6	24.57	36.4	14.3								77.87	
發散	末期																						72	
成熟	初期													10.8	32.4	26.4	2.4						75	
成熟	中期														2.5	27.5	33.75	11.25					52.5	
成熟	末期																9.625	24.5	16.63	1.75			719.25	
滲漏量								12.33	46.24	75.01	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	75.35	68.5	63.36	32.54	3.43				
小計				5.65	8.65	6	4.8	97.82	152.1	118.4	110.9	114.6	117.6	119.2	117.7	129.3	114.3	99.11	49.16	5.175			1370.37	

表 3-4 水稻田間用水量（FIR）之估算例（灌溉面積 50ha）

時間	項目 單位	水稻田間耗水量 WR	估計有效雨量 ER	估計田間用水量 FIR		
		mm	mm	mm	m ³	ℓ/sec
1 月	上					
	中					
	下	5.65		5.65	2,825	3.270
2 月	上	8.65		8.65	4,325	5.006
	中	6		6	3,000	3.472
	下	4.8		4.8	2,400	2.778
3 月	上	97.818	3.6	94.218	47,109	54.524
	中	152.1135	14.28	137.8335	68,916.75	79.765
	下	118.3515	34.77	83.5815	41,790.75	48.369
4 月	上	110.89	44.05	66.84	33,420	38.681
	中	114.57	46.05	68.52	34,260	39.653
	下	117.64	46.475	71.165	35,582.5	41.183
5 月	上	119.21	47.15	72.06	36,030	41.701
	中	117.7	47.525	70.175	35,087.5	40.611
	下	129.25	50.6	78.65	39,325	45.515
6 月	上	114.275	44.2	70.075	35,037.5	40.553
	中	99.1125	40.7	58.4125	29,206.25	33.804
	下	49.1625	20.9	28.2625	14,131.25	16.536
7 月	上	5.175	2.2	2.975	1,487.5	1.722
	中					
	下					
本期合計		1,370.368	442.5	927.868	463,934	
備註						

3.4 輪區用水量 (TR) 之估算

$$\text{輪區用水量 (TR)} = \text{田間灌溉用水量 (FIR)} + \text{水路輸水損失量 (S)}$$

1. 輪區用水量 (TR) 較常以流量 (cms、l/sec) 為計量，其值為前項田間灌溉用水量 (FIR) 加上水路輸水損失量 (S)。

2. 灌溉管理乃為公平配水，必須精確計量水路輸水損失，方能免生糾紛及獲得田坵圓滿的灌溉，為期有正確之數值，必須隨時隨地經常觀測記錄。

(1) 幹、支、分線之輸水損失觀測：目前水利會幹、支、分線之構造，大部份為混凝土內面上，其輸水損失量均於建設完成時利用穆芮斯氏 Moritz 公式估計及實際觀測所得資料，由於經過年久，內面上構造難免有裂縫或其他斷面不整等現象，故採用之輸水損失難免有所不正確，未來仍需就幹、支、分線各段加以觀測，其方法以流速儀為主，浮漂法、水面坡降法輔進行流量觀測。

(2) 小給水路輸水損失觀測：灌區內小給水路大部份為土渠，在水稻灌溉期間係連續通水狀態，故其損失較穩定，但在雜作及甘蔗灌溉時，土渠較乾且水路甚長，因此坵塊灌溉順序之前後，輸水損失之差異極大，故盡可能利用兩具簡單之量水槽（如三角堰或巴歇爾量水槽），任意選定不定長之水路計量兩段之流量，由下式求得，流入量－流出量＝水路損失量 (CMS)。

輪區水門用水量計算說明範例：以水稻田為例

1. 小給水路之輸水損失應依據已經查定之輸水損失率計算，為秧田用水因流量較少，其輸水損失率應另行考慮（一般均以 50% 為準計算）。
2. 進入整田及本田期後，水路輸水損失需依實際觀測資料決定，本例水路輸水損失採用 $S_2=18\%$ ，估算水路損失水量。
3. 為避免估算後之輪區水門用水量過小，以致無法將田間用水量全數送抵田間，故於估算輪區水門用水量後，仍需與給水路最少供應量比較，若估算後之輪區水門用水量小於水路最少供應量時，則水門用水流量需採用水路最少供應量。本例給水路最少供應量採 8 l/s，如表 3-5。

表 3-5 水稻輪區水門用水量之估算例

時間	項目 單位	田間用水量 FIR	估計輸水損失 S2(18%)	估計田間用水量 FIR	估計水門用水 流量 TR	水門用水流量 Qdemand(Qd)
		ℓ/sec	ℓ/sec	ℓ/sec	ℓ/sec	ℓ/sec
1 月	上					
	中					
	下	3.270	3.270	6.539	8	8.00
2 月	上	5.006	5.006	10.012	8	10.01
	中	3.472	3.472	6.944	8	8.00
	下	2.778	2.778	5.556	8	8.00
3 月	上	54.524	9.814	64.339	8	64.34
	中	79.765	14.358	94.122	8	94.12
	下	48.369	8.706	57.075	8	57.08
4 月	上	38.681	6.963	45.643	8	45.64
	中	39.653	7.138	46.790	8	46.79
	下	41.183	7.413	48.596	8	48.60
5 月	上	41.701	7.506	49.208	8	49.21
	中	40.611	7.310	47.920	8	47.92
	下	45.515	8.193	53.708	8	53.71
6 月	上	40.553	7.299	47.852	8	47.85
	中	33.804	6.085	39.888	8	39.89
	下	16.356	2.944	19.300	8	19.30
7 月	上	1.722	0.310	2.032	8	8.00
	中					
	下					
本期合計						
備註						

3.5 水平衡分析

由於水量供需兩方皆發生於同一個灌溉系統內，理想之灌溉必須要滿足水量供需雙方之平衡。

灌溉計畫之製作目的應是以滿足每個坵塊之灌溉需求為優先，在輪區內應逐一計算累加每一坵塊之需水量，才可求得每一輪區真正所需要之灌溉水量，水源由水利會統籌負責供應，農民並不瞭解水源水量是否能滿足全部田坵之灌溉，僅關心水利會供水到自己坵塊的水量能否足夠於田間作物之所需。因此最佳之灌溉計畫狀況為：

$$Q_{\text{supply}} = Q_{\text{demand}}$$

其中：

$Q_{\text{supply}}(Q_s)$ ：輪區水門以上之水路供水量，

$Q_{\text{demand}}(Q_d)$ ：輪區水門用水流量。

倘若 $Q_s > Q_d$ ，在渠道容許的範圍內，就農民的立場，只要過多的水量不引至田間，造成作物長期淹水以致減產，仍不至有太大問題。反之，發生 $Q_s < Q_d$ 時，則就灌溉管理者的立場，為避免農民因缺水使作物減產而造成損失，需針對不同供需差異程度，進行灌溉計畫之修正。

水平衡分析計算說明範例：以水稻田為例

為檢定灌溉計畫之可行與否，需將前述推估之水稻輪區水門用水量（ Q_{demand} 、 Q_d ）與可供應水門之流量（ Q_{supply} 、 Q_s ）進行每旬供需水量之差異分析，茲採用旬供需差異量百分比進行比較，如表 3.5-1。

$$\text{旬供需差異量百分比}(\%) = 100 \times (Q_s - Q_d) / Q_s$$

當旬供需差異百分比在 -10% ~ -20%，則該灌溉計畫視為可以接受，若差異百分比過大時，則需視作物種植與否，採行不同之修正方式。

1. 種植前：調整灌溉面積，延長錯開日數，減低需水尖峰。
2. 種植後：採行輪灌或重點式灌溉，均勻減少供應水量。

表 3-6 水稻輪區每旬之水平衡分析例

時間	項目 單位	水門用水流量 Qdemand (Qd)	可供應水門之流量 Qsupply (Qs)	供量與用量之差異量 Qs - Qd	差異量百分比 (Qs - Qd) / Qs
		ℓ /sec	ℓ /sec	ℓ /sec	%
1 月	上				
	中				
	下	8.00	9	1.00	11.1
2 月	上	10.01	9	-1.01	-11.2
	中	8.00	9	1.00	11.1
	下	8.00	9	1.00	11.1
3 月	上	64.34	60	-4.34	-7.2
	中	94.12	100	5.88	5.9
	下	57.08	60	2.92	4.9
4 月	上	45.64	45	-0.64	-1.4
	中	46.79	45	-1.79	-4.0
	下	48.60	45	-3.60	-8.0
5 月	上	49.21	45	-4.21	-9.4
	中	47.92	45	-2.92	-6.5
	下	53.71	50	-3.71	-7.4
6 月	上	47.85	45	-2.85	-6.3
	中	39.89	40	0.11	0.3
	下	19.30	20	0.70	3.5
7 月	上	8.00	9	1.00	11.1
	中				
	下				
本期合計					
備註					

3.6 年與旬灌溉計畫

灌溉計畫視其製作時機，可分為年灌溉計畫與旬灌溉計畫，後者為實際應用於配水操作之依據，故亦稱為配水計畫，其製作詳見第三篇配水計畫。

1. 年灌溉計畫係於依作物年度開始前約三個月左右製成，其灌溉用水量之計算如依各水利會悉用之時間單位，如旬採行之。此一計畫為前述各項，包括作物制度或計畫、作物需水量、田間灌溉耗水量、田間灌溉用水量及各水門灌溉用水量之彙集，並以一系統進水口之各旬總灌溉用水量與各旬可供灌水量比較，進行水平衡分析，以決定妥適者選為定案灌溉計畫，再經水利會之會務委員會通過，然後報經濟部水利處及相關縣市政府備查。
2. 此一年灌溉計畫因製作時間距離灌溉季節尚遠，其功能僅在作為水利會於來年計畫之灌溉目標，實際作業上，於各旬開始前約 7 至 10 天前（視灌溉系統規模而定），依最近氣象情況及氣象局預測降雨資料，修訂年灌溉計畫中，各相關旬之水門用水量，包括作物種植計畫之配合修訂，如轉作或休耕等。
3. 由於旬灌溉計畫將於第三篇「灌溉配水技術」有詳細介紹，故在此僅將旬灌溉計畫之製作原則概述於下：
 - (1) 旬灌溉計畫宜就灌溉用水之基本灌區單位（在輪灌推行為輪區，其餘為支分渠或埤圳）分別列出，然後按系統予以統計製作各輪區水門及支分渠或埤圳別之旬灌溉用水計畫。
 - (2) 在灌溉水調節設施未自動化前，由於系統設施缺乏機動性，故灌溉計畫之灌溉用水量採旬別計算，並以平均流量表示。
 - (3) 在配水時，各灌區再依據實際可供水量之記錄與灌溉計畫之用水量比較，如相差懸殊，即予調整配水計畫。至於輪灌之系統內，每個輪區應分別製作單區配水計畫時間表。

第四章 灌溉計畫範例

4.1 實際範例之灌溉地及系統

茲以桃園水利會轄區之桃園大圳灌溉計畫為例。

一、灌溉系統

該灌區灌溉系統主要自石門水庫取水，如圖 4-1，利用桃園大圳幹線引入，下分設 16 條支分線，於每年通水前由水利會擬訂各支線之年灌溉計畫表，再交由幹線工作站執行旬灌溉計畫操作。

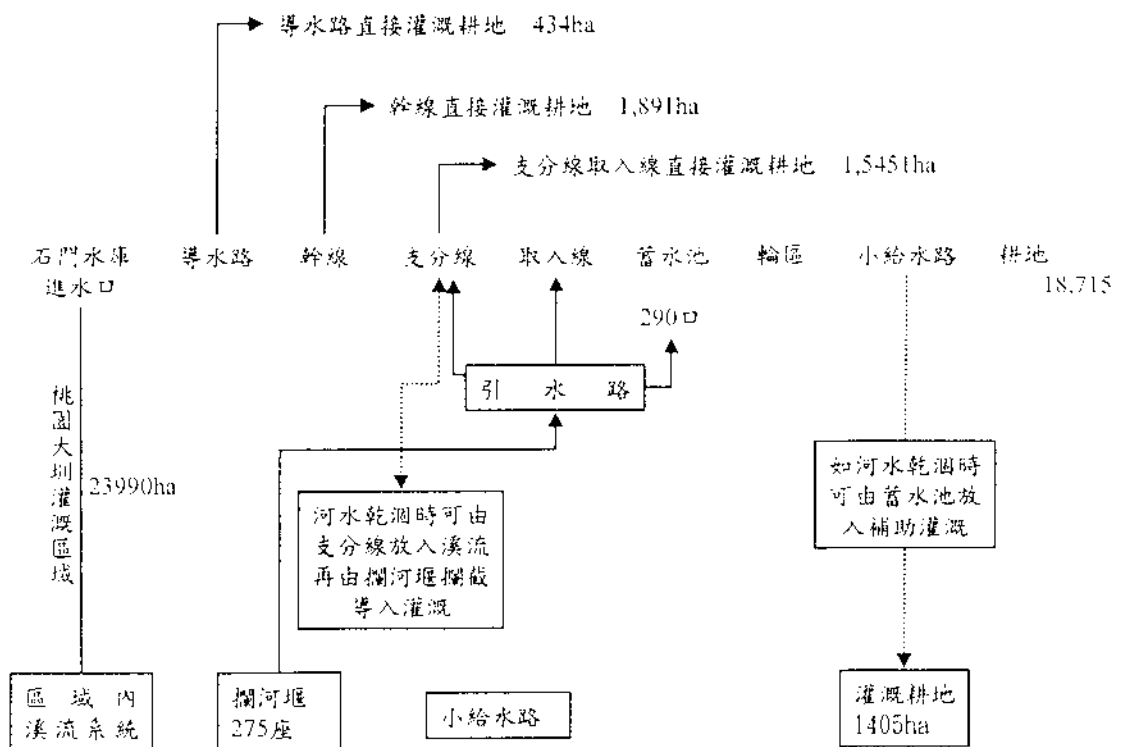


圖 4-1 桃園大圳灌溉系統

旬灌溉計畫執行工作站，如表 4-1。

表 4-1 工作站執行旬灌溉計畫作業

項別	執行工作站	管轄之分線	說明
幹線配水	水尾工作站-依灌溉計畫由石門水庫，供應之幹線通水量分配給各支線，如某支線支池塘貯水過多或過少，或其他原因需要改變分配水量時，應由管理組作改變計畫，由會長核定後通知工作站執行，但洪水期之排水如幹渠水位越過一定標準時，即由站處理啟開排水門洩洪，以維渠道之安全。		
支線配水及執行灌溉	桃園工作站	1.支線及轄區幹直	支線管理員依計畫配水量分水至池塘，如有多餘水量依配水比例分配各池塘，灌溉管理員負責各灌區內灌溉配水集合水堰之水盡量引進灌區或池塘，以補充灌溉用水量。
	大竹工作站	2....	
	大園工作站	3.4.5....	
	大崙工作站	6.7.8-1...	
	草螺工作站	8....	
	新坡工作站	9....	
	觀音工作站	10.11....	
	新屋工作站	12.12-1...蚵殼港圳光復圳	
	湖口工作站	導水路直接灌區	
	大溪工作站		

二、灌溉面積

該灌區灌溉面積 23,815 公頃，為桃園水利會最大之灌溉區域，不同土壤別之灌溉面積統計，如表 4-2。

三、農作時期

桃園大圳對於年灌溉計畫之製作，主要考慮全年對水稻灌溉之供水，對於農作時期之安排，如表 4-3。

表 4-2 灌溉面積

單位：ha

土壤別 圳或支線別		輕粘土	粘質 壤土	砂質 粘壤土	砂質 壤土	計	備註
桃園 大 圳	1 支線	447	295	174	884	1,800	包括南炭圳、坑子口圳
	2 支線	244	1,874	129	452	2,699	
	3 支線	416				416	
	4 支線	724	29		230	983	
	5 支線		203		553	756	
	6 支線	117		431	14	562	
	7 支線			708		708	
	8-1 支線	155				155	
	8 支線	624	608		1,061	2,293	
	9 支線	567	102	308	150	1,127	
	10,11 支線		1,821		1,281	3,102	
	12 支線	360	624		681	1,665	
	蚵殼港圳		784	401	132	1,317	
	12-1 支線			181		181	
	幹線直接		2,775	911	115	3,801	
	光復圳	789	798	516	147	2,250	對照表六之一之合計值
	小計	4,443	9,913	3,759	5,700	23,815	

表 4-3 農作時期

時期 農作別		第一期作		第二期作	
		日期	錯開日數	日期	錯開日數
播	種	2月1日~2月25日	25天	7月9日~7月28日	20天
浸	田	2月15日~3月11日	25天	7月12日~7月31日	20天
整	田	2月28日~3月24日	25天	7月23日~8月11日	20天
插	秧	3月1日~3月25日	25天	7月24日~8月12日	20天
本田期間		3月1日~7月23日	含錯開	7月24日~11月30日	含錯開
收	穫	7月5日~7月29日	145天	11月21日~12月10日	130天
本田灌溉日數		120天(原計畫105天)		110天(原計畫95天)	
備註		在輪區之用水計畫其播種、插秧等錯開日數以15~20天為原則，如屬河水灌區可以延長，惟不超過25天為宜。			

4.2 水門灌溉用水量

一、田間灌溉耗水量

桃園大圳目前對於田間灌溉耗水量之估算，可分為秧田、浸田、整田及本田四期，與本篇第三章所介紹之估算方式略有不同，主要在於桃園大圳在整田期為降低尖峰用水量，乃依據土壤滲漏情形，提早將部分整田用水量送至田間，實施浸田。另對於本田期田間灌溉耗水量之決定亦較為粗放，並未依水稻不同生長期之作物需水量加以推估。有關桃園大圳之田間灌溉耗水量推估表，如表 4-4。

表 4-4 田間灌溉耗水量

項目			第一期作				第二期作			
			輕粘土	粘質壤土	砂質粘土	砂質壤土	輕粘土	粘質壤土	砂質粘土	砂質壤土
秧田	折合本田面積比率		1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
	秧田整地(供給一次)(mm)		200	200	200	200	200	200	200	200
	秧田 補給 水	日供水深(mm)	15	15	15	15	15	15	15	15
		期距(day)	4	4	4	4	4	4	4	4
		灌溉日數(day)	40	40	40	40	15	15	15	15
	折合本田面積之秧田水深(mm)		32	32	32	32	17	17	17	17
浸田	一次(mm)		100	100	100	-	100	100	100	-
	二次(mm)		50	50	50	-	50	50	50	-
	整田(mm)		30	30	30	180	30	30	30	180
本田	每日 水深 (mm)	自插秧完 30 天內	7.2	7.6	8.1	10.1	7.6	8.1	8.4	10.8
		自插秧完 31 天起	6	6.4	6.7	8.4	6.4	6.7	7	9
	期距 (day)	自插秧完 30 天內	3	3	3	3	3	3	3	3
		自插秧完 31 天起	6	6	6	6	6	6	6	6
	本田期間總水深(mm)		756	804	846	1059	740	779	812	1044
	該期作折合本田面積之總水深(mm)		968	1016	1058	1271	937	976	1009	1241

二、田間灌溉用水量

茲以桃園大圳 10 支線一輪區之輕粘土及砂質壤土為例，其估算之田間灌溉用水量，如表 4-5、表 4-6。

表 4-5 桃園大圳 10 支線一輪區輕粘土田間灌溉用水量

項目	單位	1 月			2 月			3 月			4 月			5 月			6 月			7 月			本期合計
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
田間需水量	整地			4.0	4.0																		8
	補給			1.65	4.65	2.4																	9.3
	1 次					30.0	40.0	30.0															100
	2 次						10.0	25.0	15.0														50
	整地							13.5	15.0	1.5													30
本田	mm							13.0	48.6	78.8	72.0	72.0	60.0	60.0	60.0	66.0	60.0	55.5	28.5	3.0			677.4
小計	mm			5.65	8.65	32.4	50	81.5	78.6	80.3	72	72	60	60	60	66	60	55.5	28.5	3			874.7
有效雨量	mm							6.48	24.3	39.4	37.1	37.1	37.1	34.7	34.7	38.2	42.4	38.0	17.8	0			387.26
田間灌溉用水量	mm			5.65	8.65	32.4	50	74.9	54.3	40.9	34.9	34.9	22.9	25.3	25.3	27.8	17.6	17.5	10.7	3			487.44

表 4-6 桃園大圳 10 支線一輪區砂質壤土田間灌溉用水量

項目	單位	1 月			2 月			3 月			4 月			5 月			6 月			7 月			本期合計
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
田間需水量	秧田			4																		8	
	整地																						
	補給			1.65	4.65	6	4.8	0.6														17.7	
	1 次																						
浸田	2 次																						
整地									81	90	9											18	
	本田								18	67.5	110.5	101	101	84	84	84	92.4	84	77.7	39.9	4.2	948.2	
小計																							
				5.65	8.65	6	4.8	99.6	157.5	101	101	84	84	84	84	92.4	84	77.7	39.9	4.2		1153.9	
有效雨量									6.48	24.3	39.42	37.1	37.1	37.1	34.7	34.7	38.17	42.4	38.19	17.6	0	387.2	
田間灌溉用水量				5.65	8.65	6	4.8	93.12	133.2	80.08	63.9	63.9	46.9	49.3	49.3	54.23	41.6	39.51	22.3	4.2		766.64	

三、水門灌溉用水量

小給水路之輸水損失應依據已經查定之輸水損失率計算，為秧田用水因流量較少，其輸水損失率應另行考慮(一般均以 50%為準計算)。至於各級之渠道輸水損失率之查定，如表 4-7；灌溉用水量計算，如表 4-8。

表 4-7 各級渠道輸水損失率之查定

圳或支線別	小給水路損失		支線損失		
	秧田用水	其他	損失率 $S_1(\%)$	損失率 $S_2(\%)$	損失量(mm)
1 支線	一般均以 50% 為準計算 資料來源： On Irrigation Efficiencies, 1990	應依據已經查定之輸水損失率計算	6.7 (實測 5.4)	7.2	98
2 支線			9.5 (實測 7.8)	10.5	308
3 支線			14.4 (實測 13.2)	16.8	70
4 支線			10.8 (實測 9.8)	12.1	100
5 支線			11.1 (實測 9.8)	12.5	100
6 支線			12.2 (實測 12.4)	13.9	88
7 支線			14.2 (實測 9.2)	16.6	80
8-1 支線			13 (實測 8.8)	14.9	10
8 支線			13.8 (實測 10.7)	16.0	398
9 支線			21.6 (實測 9.1)	27.6	172
10、11 支線			13.7 (實測 10.9)	15.9	568
12 支線			14.5 (實測 12.9)	17.0	291
蚵殼港圳			10.5 (實測 9.1)	11.7	195
12-1 支線			12.7 (實測 5.2)	14.5	13
光復圳			14.6 (實測 13.4)	17.1	722
小計			12.5 (實測 10.2)	14.3	3,213
總計			9.6 (實測 10.2)	10.6	3,213

表 4-8 灌溉用水量計算

項目	輕黏土		粘質壤土		砂質粘壤土		砂質壤土		計		有效雨量		田間 供水量 mm	輸水損失 率 %	輸水損失 mm	水 門 用水量 mm
	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm				
圳或支線別																
1 支線	471	897	334	665	0	0	737	-	1,542	3,413	1,542	668	2,745	13%	410	3,155
2 支線	320	610	1,831	3,647	332	686	726	-	3,209	6,767	3,209	1,516	5,251	13%	785	6,036
3 支線	418	796	-	-	-	-	-	-	418	796	418	169	627	13%	94	721
4 支線	731	1,393	29	58	-	-	233	-	993	2,036	993	423	1,613	13%	241	1,854
5 支線	-	-	228	454	-	-	534	-	762	1,795	762	364	1,431	13%	214	1,645
6 支線	117	223	-	-	442	914	14	-	573	1,172	573	270	902	13%	135	1,037
7 支線	-	-	-	-	703	1,453	-	-	703	1,453	703	344	1,109	13%	166	1,275
8-1 支線	153	291	-	-	-	-	-	-	153	291	153	62	229	13%	34	263
8 支線	686	1,307	511	1,018	111	229	1,021	-	2,239	5,119	2,329	1,012	4,107	13%	725	4,832
9 支線	565	1,076	102	203	308	637	-	151	1,126	2,295	1,126	505	1,790	13%	267	2,057
10.11 支線	-	-	1,854	3,693	31	64	-	1,202	3,087	6,776	3,087	1,304	5,472	15%	966	6,438
12 支線	359	684	626	1,247	-	-	-	684	1,669	3,649	1,669	692	2,957	13%	442	3,399
蚵殼港圳	-	-	792	1,578	397	821	-	131	1,320	2,728	1,320	597	2,131	24%	673	2,804
12-1 支線	-	-	-	-	182	376	-	-	182	376	182	85	291	13%	43	334
幹線直接	915	1,743	807	1,607	576	1,191	-	90	2,388	4,767	2,388	1,129	3,638	13%	543	4,181
光復圳	-	-	2,784	5,546	927	1,916	-	115	3,826	7,751	3,826	1,549	6,202	24%	1,959	8,161
小計	4,735	9,020	9,898	19,716	4,009	8,287	-	5,638	24,280	51,184	24,280	10,689	40,495	-	7,697	48,192

4.3 水平衡分析

一、可供應水門之水量

水源以由大漢溪石門水庫取水之幹線-桃園大圳（含光復圳）為主，區域內大小河川，除大漢溪外，另有南崁溪、茄苳溪、新街溪、老街溪、社子溪、新庄子溪等小溪流為補助水源。灌溉水源主要可分為：1.石門水庫、2.蓄水池、3.河水堰。

由於石門水庫放水量有限制，其所放水量又須兼顧大溪灌區及新海灌區各圳之用水，桃園大圳進水量亦有限制，最大取水量（流量）為 16.7CMS 洪水時亦不能多取。全區域內蓄水池共有 285 口，大小不一，其有效蓄水量與支配面積和需水量均不成比例，其水源除由本身集水面積之集流取入外，可由石門水庫放水經幹線支分線灌注，亦可由河水堰引入，全區共有河水堰 346 座，河水堰之水，除注入蓄水池作間接灌溉外，亦可直接灌溉農田。故水源之調配異常複雜，其灌溉營運辦法有下列之規定：

- 1.蓄水池能由河水堰取水者，應盡量由河水堰取水，減少由石門水庫配水，以免妨害其他水權人之權益。
- 2.蓄水池集水面積較大者，應盡量貯引地面逕流，減少石門水庫配水。
- 3.石門水庫放水量超過計畫用水量時，應將超過水量取入貯放於較大之蓄水池，以備取水量銳減時，得以把握幹支分線及取入線（幹支分線引水至蓄水池之水路定名為取入線）直接灌溉區之用水。
- 4.缺水時在可能範圍內，優先供給幹支分線及取入線直接灌溉區域，其有餘水在注入蓄水池，倘水量不足時須參照全部蓄水池之蓄水量及各地缺水情形，採臨時灌溉措施變更用水計畫。
- 5.非稻作灌溉期間，除渠道歲修斷水外，應繼續由石門系統及河水堰盡量取水，貯入蓄水池。蓄水池之給水門或幹支分線直接灌溉之給水門除配放裏作灌溉用水外一律關閉。
- 6.降雨量應盡量利用以增加蓄水池之貯水量。
- 7.整田及插秧期間須作有計畫之時間先後錯開，以避免尖峰用水。

二、水門供需差異水量

表 4-9 桃園大圳灌區配水計畫

圳或支線別	水 門 用水量	河 水 取 入 及 貯 水 池 集 水 量	大 圳 配 水 量				
			配水量	支線損失		幹線損失	計
				損失率	損失量		
1 支線	720 3,155	2,509.6	1,365.4	6.7 (實測 5.4)	98		1,463.4
2 支線	192 6,036	3,301	2,927	9.5 (實測 7.8)	308		3,235
3 支線	118 721	421.2	417.8	14.4 (實測 13.2)	70		478.8
4 支線	47 1,854	1,076.7	824.3	10.8 (實測 9.8)	100		924.3
5 支線	277 1,654	1,123.4	798.6	11.1 (實測 9.8)	100		898.6
6 支線	357 1,037	763.1	630.9	12.2 (實測 12.4)	88		718.9
7 支線	129 1,275	919.2	484.8	14.2 (實測 9.2)	80		564.8
8-1 支線	194 263	390	67	13 (實測 8.8)	10		77
8 支線	39 4,832	2,393.5	2,477.5	13.8 (實測 10.7)	398		2,875.5
9 支線	410 2,057	1,843.1	623.9	21.6 (實測 9.1)	172		795.9
10、11 支線	566 6,438	3,412.7	3,591.3	13.7 (實測 10.9)	568		4,159.3
12 支線	241 3,399	1,928.4	1,711.6	14.5 (實測 12.9)	291		2,002.6
蚵殼港圳	2,804	1,150.4	1,150.4	10.5 (實測 9.1)	195		1,848.6
12-1 支線	113 334	357.3	89.7	12.7 (實測 5.2)	13		102.7
光復圳	8,161	3,953.5	4,207.5	14.6 (實測 13.4)	722		4,929.5
導水路直接	778	187.5	590.5				590.5
小計	48,192	25,730.6	22,461.4	12.5 (實測 10.2)	3,213		25,674.4
幹線損失	-	-	-	-	-	5,235	5,235
總計	48,192	25,730.6	22,461.4	9.6 (實測 10.2)	3,213	5,235	30,909.4

表 4-10 桃園大圳分配石門水庫配水量之計畫表

月別 旬別	1			2			3			4			5			6		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
配水量	1,987	1,987	1,987	12,443	12,258	14,241	14,000	14,000	14,000	13,477	13,477	13,069	12,476	12,476	12,476	13,202	13,202	13,202
月別 旬別	7			8			9			10			11			12		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
配水量	14,385	14,500	14,500	14,500	14,500	14,500	13,490	13,294	13,294	13,580	13,580	13,560	13,582	13,177	13,603	1,987	1,987	1,987

參考文獻

1. 甘俊二等：灌溉用水管理訓練手冊，行政院農業委員會、台灣省農田水利會聯合會、中國農業工程學會，1999年6月。
2. 郭慶和等：農田水利教材，財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會、財團法人農業工程研究中心，1998年11月。
3. 雲林農田水利會管理組業務講義，雲林農田水利會，1998年6月。
4. 徐金錫等：農田水利會技術人員訓練教材灌溉管理類合訂本，台灣省農田水利會聯合會，1994年6月。
5. 陳買等：水稻栽培灌溉排水管理，中國農村復興聯合委員會、台灣省水利局、台灣省農田水利協進會，1977年12月。
6. 甘俊二等：灌溉排水原理，中央圖書出版社，1993年10月。
7. 李源泉：灌溉排水原理，嘉義大學，1993年10月。
8. 灌溉排水原理，嘉義大學，1993年10月。
9. M.G.Bos, J. Nugteren, On Irrigation Efficiencies, ILRI(19),1990.

中英名詞對照表

- 入滲, Infiltration, 2-11, 2-14
- 孔隙, Pores, 2-17
- 支線別灌溉用水量, Delivery requirement, 2-6
- 毛管水, Capillary Water, 2-7
- 水庫, Reservoir, 2-16, 2-17
- 水路損失, Conveyance losses, 2-12, 2-24
- 生長期, Growth stage, 2-1, 2-3, 2-14, 2-20, 2-21, 2-32
- 用水管理, Water Management, 2-1, 2-3
- 用水需求, Water Demand, 2-6
- 田間耗水量, Water requirement, 2-6, 2-18, 2-19, 2-20, 2-21
- 田間灌溉用水量, Field irrigation requirement, 2-2, 2-6, 2-12, 2-13, 2-15, 2-21, 2-24, 2-28, 2-32
- 地下水, Groundwater, 2-16, 2-17
- 安全出水量, Safe yield, 2-17
- 尖峰用水量, Maximum water requirement, 2-32
- 有效雨量, Available rainfall, 2-3, 2-6, 2-11, 2-12, 2-15, 2-16, 2-18, 2-21
- 作物係數, Crop coefficient, 2-7
- 作物需水量, Consumptive use, 2-1, 2-6, 2-7, 2-19, 2-28, 2-32
- 吸收, Absorption, 2-9
- 系統總灌溉用水量, Diversion requirement, 2-6
- 供水, Water Supply, 2-3, 2-5, 2-6, 2-18, 2-26, 2-28, 2-30
- 坵塊, Unit Block, 2-24, 2-26
- 計畫用水量, Water demand of irrigation project, 2-37
- 埂間灌溉, Border irrigation, 2-14
- 缺水期, Water shortage Period, 2-3
- 配水計畫, Water distribution Schedule, 2-28
- 單區, Rotation unit, 2-28
- 給水路, Farm ditch, 2-24
- 進水口, Intake, 2-28
- 溢流, Overflow, 2-11

滲漏, Seepage, 2-6

滲漏量, Percolation, 2-6, 2-9, 2-10, 2-11, 2-18, 2-19, 2-20

蓄水池, Pond, 2-37

蒸發散量, Evapotranspiration, 2-6, 2-7, 2-9, 2-11, 2-18, 2-19, 2-20

輪區, Tertiary Unit (Rotation block), 2-1, 2-3, 2-5, 2-24, 2-26, 2-28

輪區用水量, Turnout requirement, 2-2, 2-6, 2-24

輸水損失, Conveyance losses, 2-6, 2-12, 2-18, 2-24, 2-35

灌溉方法, Irrigation methods, 2-14

灌溉計畫, Irrigation Schedule (Irrigation Project), 2-1, 2-2, 2-3, 2-5, 2-6, 2-9, 2-12, 2-16, 2-18, 2-20, 2-26, 2-28, 2-29, 2-30

灌溉排水, Irrigation and Drainage, 2-1

灌溉率, Irrigation rate, 2-6

灌溉期距, Irrigation interval, 2-3, 2-15

第三篇 灌溉配水技術

之水位，輸配水時以連日不斷灌溉稱之。(2)間歇灌溉：主要係因水源有限，所因應實施用水調節措施，在輸配水之作業上以斷斷續續，有週期性之供水，乾濕交替，如在某階段灌溉一段落，調節暫時停灌數日，再重新另一階段灌溉。(3)輪流灌溉：一般係在灌該之階段內施行各輪區或各系統之輪流引水之灌溉方法。

1.2.1 按需求供水

作物需水量或作物蒸發散量，包括作物的蒸散量和從土壤及作物表面之蒸發量。當作物尚在幼苗時期，蒸發量可能比蒸散量大。當作物是在完全成長期時，蒸散量將趨大於蒸發量。因此，作物吸收水分之多寡，與土壤水分及作物各生育期之需水量有關，在剛種植和初始階段，蒸發量是比蒸散量重要。初始階段之蒸發散量或作物需水量約為中期階段作物完全發展時作物需水量的50%。在所謂作物發展階段期間，作物需水量是逐漸從最大作物需水量的50%到最大作物需水量。最大作物需水量發生在作物發展階段末期，為中期階段的開始。對於末期階段，是在作物成熟和收穫時期，依照成熟收穫之情況可區分為：

新鮮收穫作物：如萵苣、甘藍菜等，這些作物在末期階段期間的作物需水量仍然需要維持和中期階段期間相同水量。這些作物是新鮮收穫的，因此對於水分之需求，可以由需要較高水分之中期，一直維持到最後之收穫時刻。

乾燥收穫作物：如棉花、玉米（粒狀）、向日葵、水稻等。在末期階段期間，這些作物將會逐漸乾燥。所以，它們在末期階段的需水量是最少的。此時，其作物需水量只有在中期或尖峰期作物需水量的25%。或許在末期階段，這些作物是不用灌溉了。

最理想之配水方式，即是按照作物不同生長階段之需水要求供水，然此一方式在執行上，會隨著灌溉面積之增大，以及作物栽培時期之不一致，土壤滲漏量與保水與保水力之相異，而難以正確執行。

1.2.2 按預先制定計畫供水

在進行作物種植之前，需先對整個灌溉區域之水源、氣候、作物、土壤、種植時期等，擬定灌溉計畫（如第二篇所述）。而同一灌區內作物栽培種類不一，且種植時期亦參差不齊，致各作物之需水條件互異，為合理達到灌溉預期效果，除工程設計前後所建立之各項基本資料外，灌溉管理之實際情況應經常建立保存與更新以供擬定灌溉計畫之參考。

灌溉計畫之執行主要為決定適當灌溉水量，灌溉期距及適切之灌溉日期。在作物種植後之配水執行上，在理想之情況下，即可以依照預先制定計畫供水。

1.2.3 輸配水系統

原則上自水源經導水路、幹線、支線、分線至中小給水門之水路部分，稱為輸水系統，其用水管理任務由水利會負責辦理。而自中小給水門以下，經中小給水路、補給水路至輪區農田之水路部分，稱為配水系統，其田間用水管理任務由水利小組在灌溉工作站之指導下實際操作辦理。由水利小組按掌水工或會員輪值或會員自行擔任等方式，實際操作田間配水。

1.3 灌溉輸配水基本要求

1.3.1 公平原則

基於水源之特性，現行之灌溉配水方式，大都是使用輪流灌溉之方式，具有可以節省系統之灌溉用水量之優點，及減少枯水期爭水之不良後果。因此在理想之配水作業上，應能合理分配水量、消弭爭水糾紛、減輕農民負擔、促進集體經營及發揮應有之水資源效益。

台灣過去所施行之輪流灌溉，在執行上係依據各支分線配給水量，按照規定時間供水，其順序由下游而上游，由左而右，有條不紊。其所秉持的就是公平之原則。

1.3.2 輸配水之軟、硬體

水自水源處經由取水構造物、渠道、渠道構造物、量水構造物、分水構造物、保護構造物等硬體設施，將水由水源處導引到田區之中。因此就輸配水之硬體設施，隨著水源、地形之特性而有所變化，詳細之硬體設施請參考本手冊第六冊。至於在軟體方面，因輸配水屬於灌溉管理之一環，故廣泛之輸配水之軟體包括：用水管理之技術，分水、配水技術及輸配水硬體設施之各項控制、管理技術、及配水之記錄、分析等等。

1.3.3 輸配水之經濟成本觀念

興辦農田水利工程之目的在灌溉，而灌溉之目的，由早期以生產為目的，發展至現今以生產、生態、生活—「三生」為目的之情況，因此對於水之管理及其效益之發揮，與我們的生活息息相關。所考量的應是以生態與經濟兼顧之效益觀，而非早期以生產為主之經濟效益概念。故在作法上應以如何提高水的利用價值、增加作物之產量及如何發揮水的經濟效益為目標外，並應兼顧灌溉對環境保育、生態系統、生物多樣性等可能產生之非經濟性環境效益。

第二章 用水管理

2.1 用水管理任務之區分

2.1.1 用水管理任務區分原則

(一) 中小給水門以上

原則上自水源經導水路、幹線、支線、分線至中小給水門之用水管理任務由水利會負責辦理。

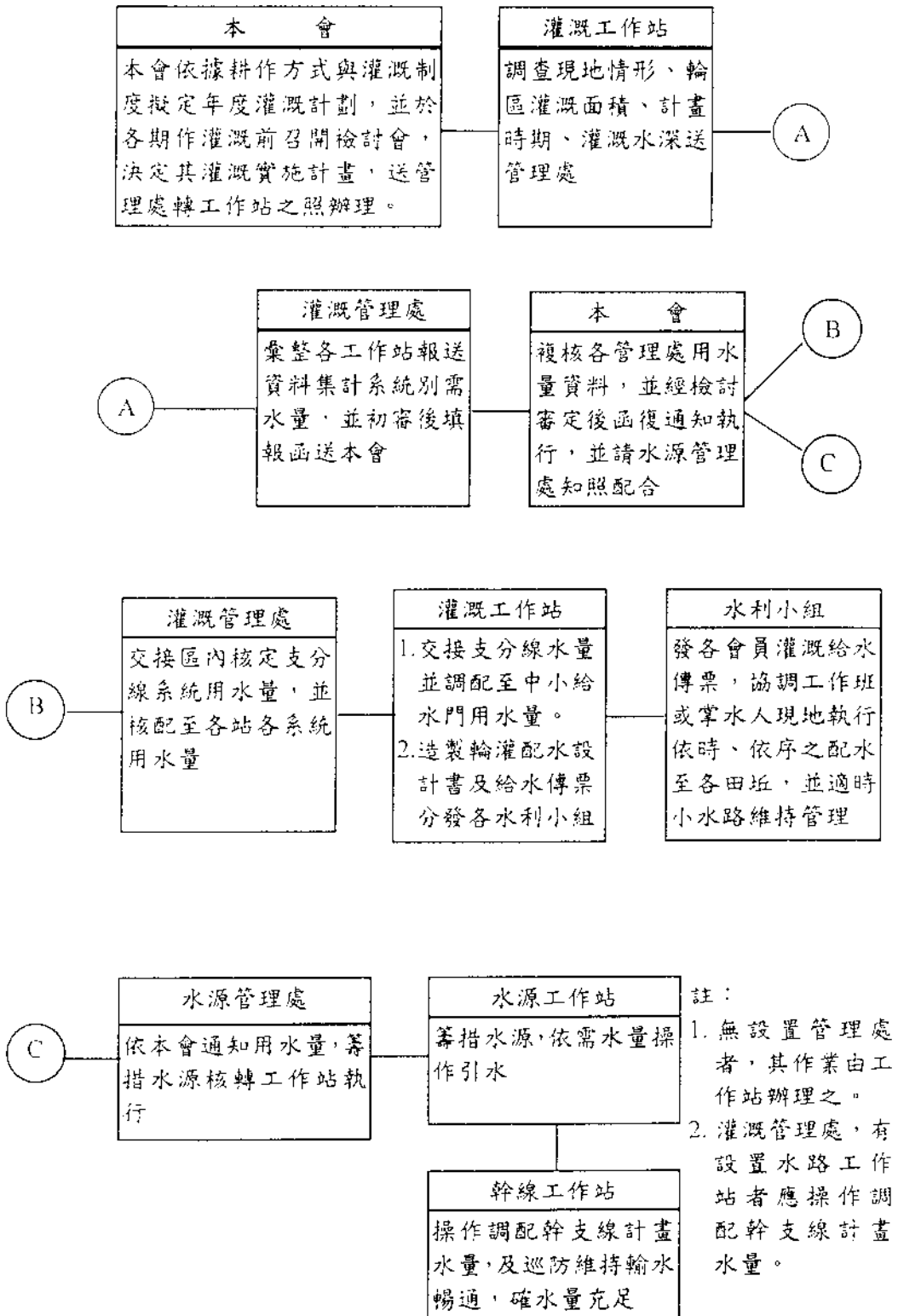
1. 從水源之攔水、引水、蓄水；再經送水至幹線及支線之輸水、分水等，係由水源工作站及水路工作站（設有管理處者，由水源管理處統籌）依照本會核定之灌溉計畫通知各系統之核定用水量，實際調配輸送之。
2. 各區之支線系統分水至各分線系統，及至各中小給水門，係由水路工作站或灌溉工作站（設有管理處者由灌溉管理處統籌）依各級系統別核配用水量情形調節交接引取用水。

(二) 中小給水門以下

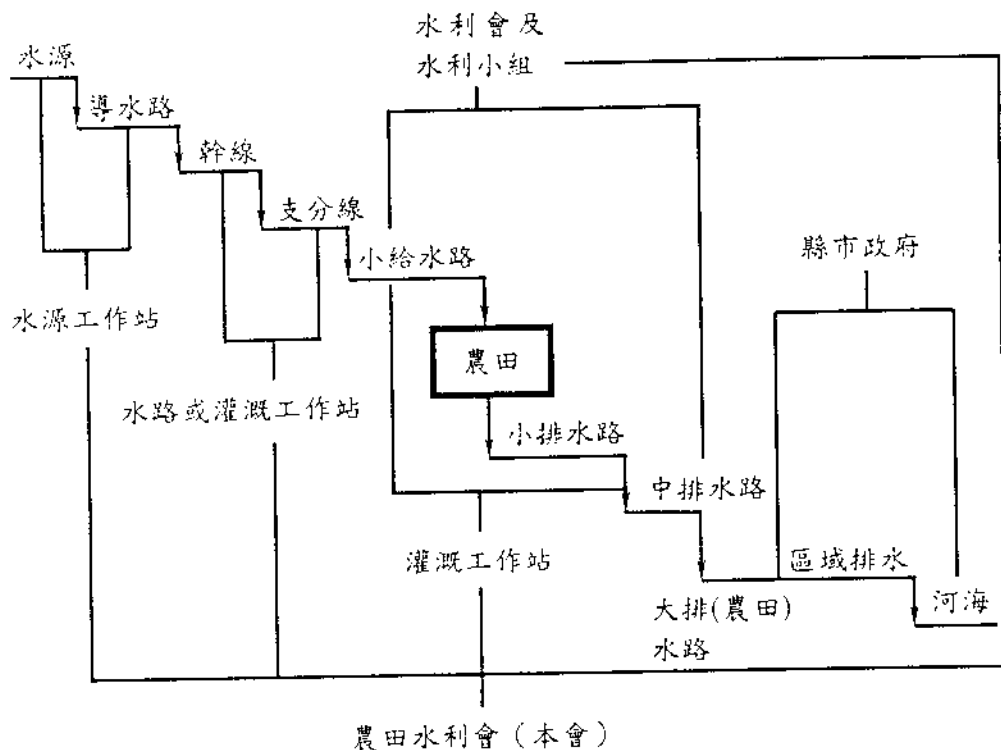
自中小給水門以下，經中小給水路、補給水路至輪區農田之田間用水管理任務由水利小組在灌溉工作站之指導下實際操作辦理。

1. 田間配水原則上以輪流灌溉之原則，由工作站擬定田間輪灌配水計畫包括配水流量及配水時間之計算和灌溉次序之排定等，並通知會員配合。
2. 實際操作田間配水到灌農田，則由水利小組按掌水工或會員輪值或會員自行擔任等方式辦理。

2.1.2 用水管理執行流程



2.1.3 用水管理任務之職掌劃分



註：灌溉區域較大之水利會，在本會之下設有水源管理處統籌督導水源工作站及水路工作業務，另灌溉管理處分區轄管各灌溉工作站業務。

依水利法施行細則第六條所稱排水，係指用人為方法排洩流動或停滯於地面以上或地面以下，足以為害或可供歸還利用之水，其分類如下：

1. 農田排水：係指排除停滯於農田田面及表土內過剩之水。
2. 市區排水：係指排除都市計畫法所稱市（鎮）計畫、鄉街計畫範圍內之雨水或污水。
3. 事業排水：係指排除事業使用後之廢水污水及水力發電後之尾水。
4. 區域排水：係指排除第 1 款至第 3 款之二種以上匯流者或排除區域性地面或地下之水。
5. 其他排水：係指排除不屬於第 1 款至第 4 款之水。

又依照台灣省排水設施維護管理辦法第五條所述，排水設施維護管理機關或事業負責人規定如下：

1. 農田排水設施：為農田水利會或其他灌溉事業人。
2. 市區排水設施：為縣（市）政府或鄉（鎮、市、區）公所。
3. 事業排水設施：為事業排水負責人或代表人。
4. 區域排水設施：同一縣（市）轄區內者為縣（市）政府，跨越二縣（市）以上為經濟部水利處；並得委託代管，其委託代管事項與代管機關權責，由中央主管機關統一規定。
5. 其他排水設施：為排水事業負責人或代表人。前項各款排水設施之管理機關或事業負責人應配合或分別辦理，如有爭議，由上級主管機關決定之。第一項各款排水之銜接事宜應由各該管理機關或事業負責人協調，如有爭議，由上級主管機關決定之。

2.2 水利小組的運作

2.2.1 水利小組之設置

- (一)組織依據：依據台灣省農田水利會組織規程第十九條規定，水利小組係會員於田間灌溉排水之基層組織，凡屬農田水利會所轄灌溉區域，依照土地分佈特性及灌溉排水系統編組，水利小組任務執行，受水利會之監督指導。
- (二)小組編組：為使各水利小組能充分發揮其個體機能，需予適當劃分界定小組範圍，其原則如下：
 1. 以同一灌溉系統並參酌地形劃定。
 2. 灌溉面積以五十一至一百五十公頃為準，地形特殊者得視實際情況酌予合併或分設小組。
 3. 小組以埤圳為單位設置，但一埤一圳灌溉面積較大者，得按支分線分設數個小組，區域過小者，得合併鄰近區域五十一公頃以上設置為聯合小組。
 4. 小組應冠以埤圳所在地或重劃區域為名稱。
 5. 自營農場、大同農場、合作農場等，其土地集中而在同一灌溉系統者，宜成立獨立小組。
 6. 小組得按小組區域內會員每十至十二人或按灌溉小區編為一班。

(三)小組組織：

1. 水利小組由該小組區域內會員組成，設小組長一人，其人選由小組區域內會員選舉產生，負責執行小組任務及小組會議決議事項。
2. 每一小組分設若干班，每班設班長一人，由小組長遴選報請水利會聘任。
3. 小組長及班長任期四年，連選得連任，均為義務職。
4. 水利小組得設掌水人員，由小組會員輪流擔任，必要時得僱用專人，負責辦理用水之分配。

2.2.2 水利小組的任務

依照水利會組織規程第廿條規定，水利小組的任務有以下七項：

- (一)小給水、小排水路之維護、管理及修補。
- (二)區域內用水之管理。
- (三)協助工程用地之處理。
- (四)區域內補給水路之設施。
- (五)小給水路或補給水路分水門之管理。
- (六)協助徵收會費及工程費。
- (七)其他委辦或交辦事項。

上項任務之執行受水利會之監督指導。

2.2.3 水利小組之營運

水利小組主要運作項目，含田間灌溉管理、田間設施維護及水利會委辦或交辦事項，由小組長負責執行：

- (一)田間灌溉管理：田間給水應遵照水利會訂定之灌溉配水計畫，依序施行灌溉作業。
- (二)田間設施維護：中小給水路是農田灌溉之出入通道，必須時常清除水路雜草、漂流物及維護堤岸，方能保持其暢通，而附屬建造物亦應經常維護，才能適時、適量調節灌排水量。
- (三)水利會委辦或交辦事項：水利會為推展各項水利事業（如協助徵收會費、工程費、小給排水路共同維護等項業務），必須經由全體水利小組推動，才

能獲得圓滿之效果。

2.2.4 水利小組會議

為達成前述小組任務，按組織規第廿八條規定每年至少應開小組會議一次，由小組長召集小組區域內會員舉行，開會時以小組長為主席。水利小組會議應討論事項如下：

- (一)年度工作計畫建議事項。
- (二)水利用地案件。
- (三)會員提議案件。
- (四)水利會工作站及小組長交議事項。
- (五)其他有關第廿條第一項、第廿六條第廿八條規定事項。

前項決議不得與水利會會務委員會決議或工作計畫相抵觸，第一項重要決議事項應報由工作站轉報水利會核辦。

2.2.5 水利小組公約

水利小組為水利會自治團體之基層組織，小組會員應充分發揮自治精神，表現自治活力，以民主的方式議定公約，共同遵守。

水利小組公約，在小組會議提出討論時，會員可充分發表自己意見，經通過簽字後，必須認真實行，並可適時透過小組會議，予以修正，未簽名會員補簽。

主管機關，所訂水利小組公約規範，僅提供各地水利小組之參考，各水利小組儘可按實際需要，予以增刪或另行擬訂，總之能表達大家之共同意願與共同認識，自動自發將小組區域內之事，完全辦好為目的。

2.2.6 水利小組應具備之基本資料

基本資料是處理公務之重要依據，具備完善資料，才能順利推展業務。

- (一)水利小組區域圖（1/2,400、1/2,500、1/4,800 或 1/5,000 以顏色分班別並繪入水路構造物等）。
- (二)會員名冊。
- (三)水利小組長、班長名冊。

(四)水利小組公約。

(五)會議記錄。

(六)共同維護紀錄簿。

(七)水利糾紛及水利妨害案件處理紀錄簿（包括違規或違約處分案件）。

上列資料由小組長收執並列入移交。

第三章 配水方法與操作

3.1 輪流灌溉

3.1.1 輪流灌溉之需要

(一)輪流灌溉之定義

將灌溉區域有系統的設計畫分有給水區、輪區、單區等。一般一給水區即組成一水利小組，一輪區設一水利「班」，一輪區包含若干單區，灌溉用水依次序在單區之田坵實施輪區內輪灌；再次單區間施行輪灌；進行給水區間輪灌。一般一循環之輪灌，亦稱輪距，系在一輪區內完成。故輪區為輪灌之最大單位。惟在缺水時，可能採取大於一般輪區之輪灌，如分、支線間輪灌，幹線間輪灌等。

(二)輪流灌溉之目的

輪流灌溉實質上是勵行定時、適時、依序之最適合灌溉原理之科學化的灌溉方法，以其應用於水稻灌溉言之，可使田地時乾時濕，保護肥分流失，一方面節省用水量，一方面使土壤中流通新鮮空氣，促進稻根之伸展，尤以水稻習性為喜好多水，然由經驗與實際研究之結果，過多水分反而有害於稻穀之生育，因此依輪流灌溉有計畫的按作物需水程度及地域環境、水源水量情況等施行依序、適量、按時之配水，可有效達成供給作物生長合理需水之目標。

(三)輪流灌溉之優點

- 1.節省灌溉用水量。
- 2.適應作物生長，增加作物產量。
- 3.有利於用水管理上推行之順利：
 - (1)調節工作上之勞力分配。
 - (2)減少爭水糾紛。
 - (3)常水時期有利於掌控施行穩定之用水灌溉。
 - (4)缺水時期易於施行非常灌溉，以利救旱工作。
- 4.改善排水不良、驅除黃萎病毒。
- 5.配合輪作制度，促進土地生物多樣性之功能。

3.1.2 輪灌之分類

輪流灌溉簡稱為“輪灌”。為根據用水計畫，在適當時期（適時）以適當之水量（適量）按照順序（依序）供水之灌溉方法。多用於水稻灌溉，依實驗其用水量將較自古以來所習用之繼續灌溉方法節省用水 17%~50%，而不嚴重影響水稻之單位面積產量。嘉南灌區許多嚴重缺水而執行嚴格輪灌後，灌溉用水量比平均減少 30% 以上，但單位面積生產量反而比平均增加 10% 以上。此可能日照陽光能量較高，故獲較高之產量。輪灌是間歇灌溉法的一種。依其給水方式，可分為小區輪灌、精密輪灌和大區輪灌三種。

小區（標準式）輪灌，先劃分輪區，原則上以每 50 公頃為一個輪區，且每一輪區設一個水門和量水設備，輪區內劃分若干單區（一般設有五個單區），每一單區約 10 公頃。各單區內設單區配水箱和小給水路，或補助水路，以便各田坵均能直接引水灌溉。執行輪灌時，集中輪區應得的給水量，依單區順序輪流給水，週而復始。

早期台灣之輪流灌溉，為求達到執行順利，宜統一品種，各輪區應設置共同秧田，和組織共同工作隊，使秧苗生長和整地插秧，均能配合輪灌時間。過去所採用之公灌制度，農戶不需自己看水，稱為「標準式輪灌」。又因為以單區為用水計畫和配水，故亦可稱「小區輪灌」。以上這些工作因為時代之變遷，已不合時宜。

上項標準式輪灌是本省實施農地重劃前，所規劃決定的輪灌方法，因臺灣地區在農業生產環境與農地結構上，大多田坵崎零狹小，耕地使用分散，農路缺乏且排水不良，灌溉不便，雖增設小給水路，而越田灌溉或排水不良的情形，仍不能避免，因此為求達到綜合性的農場結構改良需要，乃實施農地重劃。

農地重劃的標準規格為配合輪流灌溉所設施之小給水路，排水溝與農路等，均有一定標準，整齊劃一。藉農地重劃，不但水路用地易於解決，而且每坵塊農地均能直接引水，直接排水。於是輪流灌溉可以進一步改善，因此，用水計畫或配水操作，均可依每塊田坵之各次用水因子加予計算，而達成適時適量依序的供水，故稱為精密式輪灌。精密式輪灌之每塊田坵為耕作之最小單位面積，且以長方形為原則，短邊在 25~30m 間，長邊在 100~150m 之間。

至於大區輪灌，是灌溉缺水時的補救辦法，按輸水幹支分渠系統，或埤圳別間歇輪流配水的方法。自提倡輪流灌溉制度後，各農田水利會參照輪灌用水計算方式，計算大區輪灌需水量和配水時間表，當水源水量低於需水量某一度時，採用此種輪流配水灌溉方法。

3.1.3 輪流灌溉之執行方式

輪流灌溉一般可分為大區輪灌、小區輪灌與精密輪灌。大區輪灌係指大面積以幹、支、分線別為對象的區分法，小區輪灌指輪區內劃分單區分別進行輪灌；精密輪灌則指輪區內各丘塊間為輪流單位之輪灌方法。

(一)大區輪灌：

大區輪灌係當灌溉缺水時之調節用水因應措施，包括按埤圳別輪流集中取水供灌，或以幹、支分線系統別分段或分區間歇性輪流配水的方法，一般單一田丘之灌溉，多以延長灌溉期距或減少單一灌溉用水深，或者兩者兼有之方法，達到省水之目的，其執行方式如下：

1. 在同一河川水源的若干灌溉圳路系統，當其水源水量減少至各圳路總灌溉需水量的 70% 時，可開始實施圳別輪流取水灌溉，以使獲得地區性之平均輪配水量的效果。
2. 在埤圳內分幹線、或支分線輸水系統、或分段區等實施大區輪灌，即以幹支線按分水比率實施間歇輪流配水。因此，大區輪灌可謂灌溉缺水時期的一種補救配水辦法，是因時因地臨時性之執行。

(二)小區輪灌：

小區輪灌意指單區輪灌，即在輪區內劃分若干單區，以集中輪區應得的給水量，依單區別順行輪流給水，週而復始之輪灌方法，其執行方式如下：

1. 規劃及配置：先劃分輪區，每輪區約 50 公頃，原則上一輪區設一個水門和量水設備，輪區內劃分若干單區，每單區約 10 公頃，各單區內設單區配水箱和小給水路或補助水路，俾輸配水之順利。
2. 輪灌之執行：按灌溉面積，作物需水量及給水量損失率等擬定各單區供水時間之輪灌配水計畫，以集中輪區水量，依單區別及其給水時間順序供水，單區內各田丘則可同時引水灌溉。而各系統上各輪值輪區亦可在控制下同時進行施灌。

(三)精密輪灌：

精密輪灌係將單區輪灌延伸精密至以每一田丘塊為配水單位徹底達到適時、依序及適量灌溉之境界，實乃輪灌之最高理想。其執行方式係依照單區的給水順序和給水時間，是由下而上，由左而右，按土壤性質、實際面積、稻作需水量和給水量損失程度，決定供水多少時間。

1. 實施條件：除需具有可靠之水源，並應具備逐坵灌溉及逐坵排水之田間給、排水路系統，俾使每一坵塊之供水得以精確符合作物之需要，故水庫埤池或水井等穩定水源之灌溉系統經過農地重劃之地區，可以具有適合施行精密輪灌之條件。
2. 輪灌之執行：以單區輪灌之執行原則延伸用水計畫或配水操作依每塊田坵之各項用水因子加以計算，訂定其輪灌配水時間排程，逐由依其給水時間順序引水灌溉，而達成適時、適量、依序的供水。

3.2 田間配水

3.2.1 田間配水方法

(一)平常時期配水方法

1. 按照給水區灌溉配水計畫，施行田間灌溉管理。
2. 灌溉用水應由指定之給水路引灌，不得擅自取水。
3. 各田區之灌溉應依順序灌起，倘輪值下游給水時，上游不能攔水，以免下游缺水。

(二)缺水時期配水方法

1. 實施間歇灌溉，嚴格執行輪灌工作，並嚴禁和取締非法搶水盜水行為。
2. 按照輪區灌溉面積，估計一輪次之可靠進水量以同一*權重比例減少配水量。
3. 另行尋覓補給水源，實施補助抽水灌溉。

(三)緊急時期配水方法

1. 按缺水時期配水步驟辦理。
2. 影響作物正常發育最嚴重者為優先灌溉。
3. 儘量於輪值時間內全面施灌，若受時間限制而未能全面普灌，其未灌到之部份，於下一輪次優先施灌。
4. 在不嚴重影響作物正常發育之原則下，延長輪灌期距或減少灌溉水深。

3.2.2 田間配水操作

田間之配水操作，在做法上依照各水利會之特性，可以分成 1. 僱用專任掌水工、2. 由會員輪值擔任掌水人員、3. 會員自行操作等三種方式。在目前兼業農已達到總農業人口之百分之八十五以上之同時，由農民輪值擔任掌水人員之方式，其實用性不高。以下僅略述三種操作方式之優缺點：

(一)僱用專任掌水工：

1. 方法：由會員共同出資僱用掌水工，依照用水計畫負責輪區內給水操作。

2. 優點：

- (1)用水不浪費。
- (2)可均勻施灌。
- (3)免除用水糾紛。
- (4)工作專業化。

3. 缺點：灌溉管理費用高，需由會員負擔掌水工之工資。

(二)由會員輪值擔任掌水人員：

1. 方法：依各會員灌溉面積，安排會員輪值之時間輪流出工掌水。

2. 優點：

- (1)不需負擔掌水人工資。
- (2)可充分利用農友剩餘勞力。
- (3)減少用水浪費。
- (4)減少用水糾紛。

3. 缺點：

- (1)輪值時農友如不能出席，掌水工作容易脫節。
- (2)灌溉操作不如專任掌水工之公平與熟練。
- (3)工作需要隨時隨地加以督導。

(4)浪費輪值換班及來往時間。

(5)各農戶耕地面積不一，計算派工及分擔時間難以公平。

(6)水源豐沛之地區較難推行。

(三)由會員自行操作：

1.方法：按灌溉配水計畫之分區、依序、定時情形，公告通知會員依時各自引灌。

2.優點：

(1)無需負擔掌水工費用。

(2)在輪值灌溉時可就地兼顧田間他項工作。

(3)晝間可由婦孺老幼兼任。

(4)田間灌溉管理費用較低。

3.缺點：

(1)容易發生擅自引水。

(2)水源水量變動時，易發生灌溉不均現象。

(3)容易發生取水糾紛。

(4)灌溉未能專業化，農友從事副業困難。

3.3 系統配水

系統配水之執行之前，需先擬定用水計畫及配水計畫。用水計畫之制訂是在作物種植之前以田間需求面（Demand）之觀點，在不考慮水源之情況或田間水路之狀況下，推估全灌區之需水量。因此只要有轄區之面積、作物各生長期之用水標準及輪配水損失係數，即可迅速求得取水口所需之流量。

配水計畫亦是在作物種植之前所制訂之計畫，其與供水計畫之差別乃配水計畫是以供給之觀點，並考慮水源與田區水路之情況下所做之用水調配計畫。其所考慮之重點，在水源方面是依照歷年之用水情況，並依照過去之水文記錄，預估可用水源以作為供水之標準；在水路之考量方面則是針對各幹、支分線之渠道容量限制，限定其最大通水量。故整個配水計畫是考量可用水源、水路容量限制、作物種植時刻等相關因素，所制訂之供水計畫稱之為配水計畫。

配水計畫與配水作業並不相同，配水計畫是在作物種植之前所擬定者；而配水作業是在作物種植之後，依照所引進之水源水量，配合田間之需求情況，在田間進行之水量調配工作。

灌溉需水量會隨著作物生長之過程與管理方式，而呈現不同之用水標準對於水稻作物之種植而言，其尖峰用水是發生在稻作插秧時整地末期之用水，其用水量往往比其他生育階段高出許多，若在灌區中各個輪區集中於同一時期進行整地作業，則在水源供水能力或幹支線之輸水系統容量，將難承載所需之尖峰用水量。因此，為了大量遞減尖峰用水量，在配水計畫之作業上是將整地日期加以錯開，使整地期之幹支線輸送水量在其容許之範圍內。

3.3.1 系統配水方法

台灣之灌溉系統大致可分為二段，即水源取水口至輪區進水口為一段，考慮之重點在於提高輸水效率、穩定輪區進水口之流量。另一段為輪區進水口至作物根系，即輪區內之配水。其影響因子極多，如灌溉方式（輪灌或續灌）、灌溉次序、耕作制度、輸水損失、水路長短、土壤質地、氣候條件等，皆會對輪區內之配水造成影響。

在系統之配水基礎上，係依照水源之動態，參考計畫流量進行水量之調放，有關計畫流量、調放流量說明如下：

1. 計畫流量

- (1) 中小給水門流量：從田間之水平衡關係 $A \times D = Q \times T$ ，加中小給輸水損失。
- (2) 分線流量：各中小給水門流量加其分線輸水損失。
- (3) 支線流量：各分線流量加其支線輸水損失。
- (4) 幹線流量：各支線流量加其幹線輸水損失。
- (5) 水源流量：各幹線流量之和。

2. 調放流量：

- (1) 水源之調配：視水源動態，依水收支用水核擬調配用水。
- (2) 幹、支、分線至中小給水門之調配：由水源管理處、水源工作站、水路工作站之調節後，灌溉管理處、灌溉工作站之交接調配至中小給水門。

(3) 中小給水門後，依輪灌配水計畫執行配水。

輪灌單元區之配水為系統配水之基礎，對於輪灌單元區之配水時間之計算概述如下表所示：

表 3-1 各輪流組種植面積、給水成數及輪灌期距表

組 別	種植面積 (ha)	現地給水成數 (%)	包括輸水時間之分配日數 (day)	備 註
1	A1	Rs1	T1	輪灌期距 T_d 日
2	A2	Rs2	T2	
3	A3	Rs3	T3	
4	A4	Rs4	T4	
計	A			

資料來源：嘉南水利會，許勝雄，輪流灌溉作業規範

各組分配時間是依據現地給水成數算出的，示如下式：

$$A_w(i) = \frac{A(i)}{R_s(i)} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$T(i) = \frac{A_w(i)}{\sum_{i=1}^n A_w(i)} \times [T_d - T_c(i)] \dots\dots\dots (3-2)$$

式中：

$T(i)$ ：各組分配時間 (day)

$A_w(i)$ ：各組加權面積 (ha)

$A(i)$ ：各組面積 (ha)

$R_s(i)$ ：各組給水成數

T_d ：輪灌期距 (day)

$T_c(i)$ ：輸水時間 (day)

n ：組別

以嘉南水利會為例，其現行之輪區配水方式，乃是將輪區內之坵塊距離輪區進水口之遠近，概分為四組，分別估計各組別之水路損失值，並在指定的灌溉期距內，完成輪區內每一坵塊之灌溉。如嘉南水利會西麻豆區第二小區之水稻灌溉，該輪區之水稻總種植面積為 62.02 公頃，共分為四個小組，水路損失

按組別距輪區進水口之遠近，分別為 50%、40%、20%、10%，因此其現地給水成數依序為 50%、60%、80%、90%，若全區之輪灌期距定為 7.5 日，則各組灌溉所需天數如下表所示：

表 3-2 各輪流組（單區）種植面積、給水成數及輪灌期距表實例

組 別 (單區別)	種植面積 (ha)	現地給水成數 (%)	包括輸水時間之分配日數 (day)	備 註
1	14.06	50	2.29	輪灌期距 7.5 日
2	16.24	60	2.20	
3	11.85	80	1.21	
4	19.87	90	1.80	

資料來源：輪區內水路系統之配置與實施之研究

上述之輪區（如 50ha）其輪灌期距（如 7.5 天）之意義，為輪區水門取水量在該輪區內，按計畫順序游走 7.5 天為一輪，週而復始。而輪區內所謂分組分級，該組即為單區，該級係在單區內，依水路上、下游關係再細分區段級區，各級區所管之面積之和即該單區。有關分組分級之區分根據，主要係就水路狀況及其上、下游間可能輸送順序之關係考量，而以給水成數來調整配水面積權重，俾以符合公平配水原則。

但根據上項配水計算方式，只能對渠道之水路輸水損失做校正，至於各組別（單區別）內之配水，為了在指定之灌溉天數內完成灌溉作業，各小組（單區）內之坵塊已不再詳細考慮因水路長短之不同，所導致損失水量之差異，僅參酌水路系統之消耗、地形、土質、越田灌溉等因子，並根據多年之現地實際灌溉成效，查定每筆水田之用水級別給水成數，一般分為三級，期使坵塊之配水在小組（單區）內達到均勻。如表 3-2 第一組（單區）之配水方法，可再進一步計算，其結果如表 3-3 所示。

表 3-3 各級別（單區別）灌溉所需日數計算表

用水級別	種植面積 (ha)	現地給水成數 (%)	分配灌溉日數 (day)
1	4.74	40	0.941
2	4.33	50	0.688
3	4.99	60	0.661
計	14.06	90	2.290

資料來源：輪區內水路系統之配置與實施之研究

由於單區內之配水，必須按水路考量來分組分級，然後再就各級別分別估計坵塊給水成數。對於用水級別之評定，所牽連之因子非常多，如坵塊位置、

灌溉順序、土壤性質、田區長度、作物類別、耕作方式等，均會影響各田區級別之判定，又各級別坵塊給水率之估計，難以精確求得，故對配水而言，此種計算用水量的方法，將無法對全輪區每一坵塊作公平合理之配水。

由於上述輪區內配水，必須按過去經驗推測損失標準，在配水計畫制定時，須要許多複雜之計算，始能獲得結果，因此必須予以簡化改進，才能符合時勢所需。

整體之系統配水是以上述之輪區內配水為基準，以各輪區取水口各生長期之流量，配合幹、支分線之輸水損失情形，再以上述之輪區配水方式，進行灌溉時間之演算，就可得到該輪區於系統取水口各生長期之需水量。對於幹、支分線之輸水損失，若有實測值則採用實測值，然在灌區之中幅員遼闊，不可能對所有之幹、支分線之輸水損失，進行實際之量測工作，因此在計畫之配水工作上，務必參考部分之相關實測資料估算之，而各級之水路其長短並不一致，若採用相同之值並不合理，因此務必加以修正之。

以上所述之各項計算，如：「現地給水成數」及「輸水損失」等，雖儘可能按照理論推測，一但實際進入系統調配時，應按實際配水狀況，逐年予以調整，使所預測之係數修正至與現地一致為止，一般要修正3~5年才可以獲得穩定可靠之數字。

3.3.2 正常期與豐水期之配水

對於水庫式灌溉用水係依既定耕作方式與灌溉制度，並視水源動態及現地情形，擬定灌溉計畫施行，在豐水期時依計畫引水，其餘水蓄於水庫，待枯水期充分應用，俾有效運用水資源；而對於河川取水系統而言，在豐水期之時因水源不虞匱乏，若在田間之灌溉水路系統尚可負荷之前，對於計畫用水以外之過剩水量若不加以取用，則多餘之水終將流入大海之中，形成水資源之浪費。因此，在豐水期之配水原則，當實際可取用水量達到計畫用水量以上時，則在渠道容量安全考量的範圍之內，儘量引水進入灌溉系統之中，對於水量之分配，除了依照既定之配水計畫進行配水操作外，對於剩餘水量之分配方式簡述如下：

在正常期與豐水期之配水時，表示當作物種植後對於某一灌溉時期，其輪區計畫用水量 (Q_i) 小於或等於系統取水口流量 (Q_s)。在正常時期可以依照計畫流量進行配水工作，但若河川是處於豐水期，則代表可取用水量大於計畫用水量，因此在渠道容量安全範圍之內，在某一生長期之實際取水量為 Q_j ，若屬豐水期則 $Q_j \geq Q_{sj}$ ，此時對於剩餘水量 ($Q_j - Q_{sj}$) 可應用輪區面積加權之方式，進行水量之分配工作。亦即：

$$Q'_{tij} = Q_{tij} + \frac{A_i}{A} \times (Q_j - Q_{sj}) \dots \dots \dots (3-3)$$

式中，

Q_t ：輪區取水口計畫用水量 (cms)；

Q'_t ：超量灌溉分配水量 (cms)；

Q_s ：系統取水口計畫用水量 (cms)；

Q ：實際取水量 (cms)；

A ：灌區之面積 (ha)；

i ：輪區 (index of tertiary)；

j ：生長期 (index of growth stage)。

上述方法於豐水期進行配水工作時，需考慮到渠道容量之限制，當渠道容量無法負荷時，務必調整水門取水量於渠道容量限制之範圍內，再進行水量之分配。

惟實際應用上，當河川水源之流量變化頻繁時，欲作上述之計算及閘門調節，將相當之繁瑣而耗費人力，故豐水期引進多餘之流量，並不作嚴格之平均分配，視現地需求之多寡予以分配。同時，在輪流灌溉之執行可暫粗放，以節省人力。今後政府如按照引水量收取水權費時，豐水期多引進之水量，將更需要作合理之節制。

3.4 降雨時之調節用水

凡可補充灌溉用水量(即減少渠道引水量)之天然降雨，皆稱為有效雨量。則降雨對於灌溉用水量之補充及如何來調節用水，可依其灌溉型態(河川引水、池塘或水庫型態灌溉)來加以區別。若為河川型引水灌溉，降雨即可依田間所需水量而達到即時之補充灌溉，但若超過田間需水量時，則須調節排水，以減少災害發生，而並不能達到蓄存利用。相對的池塘、水庫型灌溉則可於降雨時利用其他地形環境來蓄存並進一步調節利用而達到水資源之有效利用。在降雨時之配水執行時，各水利會所採用之方法因區域之特性而有所不同，茲以嘉南及桃園水利會水庫或池塘灌區所採用之運用方法說明如下以供參考：

1. 嘉南水利會運用方法：

嘉南灌區因缺水，乃採有效雨量以 30mm 先予以預扣併入灌溉水深(灌溉率)中處理。此外，由於嘉南灌區範圍遼闊，其降雨在區內常分布不均，且其主要水源烏山頭水庫系統，係一大規模之灌溉系統，分支眾多，其水

路並非管路系統，每次變動水量可謂勞師動眾，故所列降雨調節方法僅為原則，實際仍需視水源動態及現地情形機動調節。

(1) 水稻灌溉：

降雨量 (mm)	中小給水門減水量 (%)	減水時間 (天)	備註
40	20	2~3	視土質分別決定
50	50	2~3	
60 以上	停止供水	3 天以上	

說明：A 表列減水量係降雨量超過 30 公厘以上時適用之。

B 降雨量 30 公厘以下時即採用有效雨量預扣之方法併入灌溉水深予以扣除，提高灌溉效率。

(2) 旱作（甘蔗、雜草）灌溉：

日降雨量 (mm)	中小給水門減水量		說 明
	流量 C.M.S	減水日數(天)	
31~40	1/3Q	3	1. Q 表示灌溉核配水量。 例如降雨量達 31~40mm 時中小給水門流量 1/3 而繼續停放 3 天。 2. 本標準係於灌溉前五天降雨時適用之。
41~50	1/2Q	5	
51 以上	停止灌溉		

2. 桃園水利會運用方法：

(1) 利用標準：

以過去 20 年間逐用（灌溉期間）利用率為準。

A 單獨日雨量在 5 公厘以下者視為無效（即二日以上有用，僅在某一日降雨在 5 公厘以下，以後又繼續二日以上無雨，視為單獨日雨量）。

B 超過 5 公厘以上之日雨量，雖儘可能貯留至田埂高度（約 100 公厘）之水深，但因在降雨前適值灌溉終了，田面已貯有相當水深，或田面正需排水，為安全計，以日雨量在 5 公厘至 30 公厘之間，均視為有效，日雨量超過 30 公厘者，其超過部份視為無效，但應加算一日之田面消失水深 6 公厘。即 36 公厘以上之超過部份視為無效。

C 田間消失水深為安全計，每日估計為 6 公厘。

D 數日連續降雨，視為一次連續雨（中間僅隔一日無雨亦同視為連續雨），此時如連續期間之降雨量 30 公厘以下者為有效，如 30 公厘以

上者，即基本之 30 公厘及其連續日數之田面消失水深（每日 6 公厘）之和視為有效，餘視為無效。

(2)利用方法：

A 單獨日雨量在 5 公厘以下時照常配水（即指前後二天以上無雨，僅在某一日降雨 5 公厘以下，以後又繼續二日以上無雨者）。

B 日雨量在 5 公厘至 6 公厘者斷水一日。

C 日雨量在 10 公厘至 15 公厘者斷水二日。

D 日雨量在 16 公厘至 21 公厘者斷水三日。

E 日雨量在 22 公厘至 27 公厘者斷水四日。

G 日雨量在 28 公厘至 33 公厘者斷水五日。

H 如降雨持續至二日以上時（如數日降雨量僅間斷一日無雨，以後又繼續降雨之時仍視為持續降雨），應就前列 B 至 H 項之標準雨量加每日田間消失水深（暫定 6 公厘）為有效而須重加計算斷水日數。

I 雨量測記以各工作站內之雨量為準。

J 秧田用水、旱作用水及裡作用水之有效雨量不在此範圍內。

第四章 乾旱缺水時期因應對策

台灣地區現有耕地 873,378 公頃，其中有灌溉之水田面積為 459,335 公頃，灌溉之作物則以水稻為主，又水田灌溉用水量為農業用水之大宗，故亦是乾旱時期受害之主要探討對象。

一般而言，受乾旱之影響最大常發生在整田期，因整田期係將田區土壤水分自乾田轉換為飽和水田狀態，田區一次灌水深度往往高達 120 至 200 mm，就坵塊用水而言相當於本田用水正常用水量之 1.5 至 2.5 倍之多，換句話說，乾旱發生時，若能突破整田期灌溉用水量瓶頸，順利整田插秧，則旱災之威脅即可減至最低。台灣地區一期作之整田插秧期（二、三月）適逢枯水季，較易發生乾旱。又因為人口增加，都市及工業發展迅速，公共給水及工業用水，均逐年增加趨勢，且農耕方式逐年採用機械化，整田期縮短集中，需水流量增加，致農田用水發生因枯旱而缺水的頻率增加，尤以平常即為缺水的地區，旱象更是經常發生。

救旱工作之執行，所牽涉的因子十分複雜，諸如乾旱發生之時間、地點、乾旱程度、救旱水源等，皆為重要之影響因子，姑不論其方法如何，但其救旱最終目的是一致的。換句話說，在乾旱期間，能以最少水量、最短時間，藉由救旱政策之執行，達到最高之水資源利用率，減少災害至最低程度，此即救旱之目的所在。救旱對策之擬定及執行，將因地域條件之不同而有所差異，供水系統為救旱水源之重要參考因子，灌溉系統依水源不同分水庫系統、河川系統、埤塘系統、地下水系統及綜合系統等。

台灣地區各農田水利會，每逢枯水期，均預先綢繆因應之救旱措施，動員水利會各級工作人員，傾全力投注於救旱工作，農民在觀念上亦認為應設法繼續種植水稻，並使之順利結穗生產，因此，在枯旱缺水期間，各方面均設法尋找補助水源，研擬救旱計劃，加強配水管理，以渡過枯旱缺水難關。

台灣地區灌溉水源計畫之基準年，基於經濟原則，對於乾旱之頻率，一般係採用四至五年一次乾旱之頻率年，並不是以充分確保農業灌溉用水之安全設計，亦即約每四、五年即可能出現一次用水不足之情況，或平均每年可能有 20 至 25% 之缺水機率。遇超過計畫基準年以上之乾旱年，用水呈不足情況，是不可避免之事，亦是意料中之事。因此，農田水利會為灌溉營運，除需訂定平水時期之正常灌溉計畫外，尚須準備一些針對一旦發生乾旱時之因應措施及臨時救旱設備。

全省各農田水利會之灌溉管理營運，除訂有平常之灌溉計畫外，對於乾旱時期，應事先對各灌溉系統灌區之可忍受缺水程度，分別訂定不同缺水程度之配水計畫及救旱措施，並報經主管機關核備後公告，以備實施。並須預為準備

及演練有關配水操作之細節與方法及救旱所需之設施與事項，以應隨時需要。行政院農業委員會有鑑於此，曾於七十五年所研訂「乾旱年調整水量分配標準及救災處理制度」，針對不同缺水程度，定訂灌溉因應營運措施之基本指導原則，略述如下：

- (一)水源供水量在缺水時期達計畫用水量 75% 以上時，其配水營運之田間灌溉，採加強灌溉管理，維持原訂施灌期距，以減水深法按原計畫減少配水量行之。
- (二)水源供水量在計畫用水量 75% 以下時，其配水方法，應視實際情形，以延長灌溉期距，實施非常灌溉。非常灌溉可依嚴重程度，選擇下列施灌方式間斷配水管理，並以公平為原則：
 - 1.輪區與輪區實施輪流配水（輪區輪灌）
 - 2.支分線別實施輪流配水（支分線輪灌）
 - 3.幹線或埤圳別間實施輪流配水（圳別輪灌）
- (三)由水庫蓄水及河川引水供應之灌區，其預估水源可供水量如低於計畫用水量 50% 時，管理機構對已種植之農田，除實施非常灌溉外，必要時得呈請主管機關公告部分農田轉作或停灌休耕。
- (四)為救旱措施使用備用抽水機，抽取可能補給水源之水量。
- (五)預先訂定缺水時期之轉作及停灌之分區順序，並提早公告。

4.1 乾旱時期水量分配原則及救災措施

4.1.1 水量分配原則

依據行政院農委會於民國七十五年間所研擬並經行政院經建會之「乾旱年調整水量分配標準及救災處理報告」，其中有關乾旱時期調整水量分配之原則，經整理略述如下：

- (一)對未來長期發展用水需要，主管機關應要求及協助各用水標的事業人或管理機構，及早開發水源，解決其自身用水需要。對經常性之乾旱缺水，各用水標的管理機構，應自行研訂節水措施，勸導用水者節約用水，共渡缺水難關。不得因投資困難，不積極開發新水源而欲移用其他標的用水，以致增加困擾。
- (二)在非常枯旱時期，人類生命之維持最為要緊，其他標的用水自可支援家用

及公共給水之緊急需求之不足，但依水利法優先移用水量時，基於缺水時期須本節約用水精神及公平合理原則，應以供給至「維持生命及基本生活所必需之水量」為限。前項「維持生命及基本生活所必需之水量」基準，建議訂為該計畫用水量之 70%。前項「優先用水者」，應給以適當補償。其補償金額，由雙方協議定之。協議不成，再由上一級水利主管機關按損害情形核定補償，責由優先用水人負擔之。超過 70% 部分之移用水量，須經農業用水管理單位報請主管機關同意後，由雙方自行協議。

(三) 在非常枯旱時期，除前項支援家用及公共給水之緊急需求「維持生命及基本生活所必需之水量」外，平常低順位用水標的之管理機構認為可忍受部分用水商讓不致犧牲其事業情況下，各用水人自得視實際情形相互商議酌情支援部分水量，對其「支援用水」之補償金額，由雙方及水源管理機構會同商議定之，惟如商議不成，主管機關不干預此部分之支援用水。

4.1.2 農田水利會灌區之救旱措施及財源

發生乾旱乃屬天然災害，並非政府之責任，但為協助農民維持基本生活及社會安全秩序，對於農田水利會灌區遭受旱災及灌溉水被移用時，依不同情況，政府採取之救災處理原則如下：

(一) 救旱措施

1. 發生乾旱時，經政府公告輔導完全休耕或棄耕而無耕作收入地（包括稻作及旱作），全免水利會會費，大型工程費予以緩徵一期，每公頃稻作由政府予以補助稻穀 1.0 公噸，旱作予以補助稻穀 0.5 公噸，並以公價折算支付。
2. 發生乾旱時減少供水，並由政府臨時輔導稻田轉作者，予以按規定減收水利會會費，但不予補助救濟。其臨時轉作輔導措施，由農業主管機關另訂。
3. 發生乾旱時，經政府公告輔導休耕或棄耕，事後再遇降雨可灌溉及時恢復原計畫作物者，視作物減產情況酌予減收水利會會費，但不另予救濟補貼。
4. 水利會加強配水管理及緊急設法救災水源之費用等，事後由主管機關審核後，如認為有必要，由政府預算以救災科目撥助水利會。
5. 水利會會費，除公告休耕地區及完全停止供水地區全免外，其餘地區，最多以減少 50% 為限。

註：目前（民國八十九年）會費及大型工程費皆由政府全額補助，公告休耕或轉作部份另頒補助辦法。

(二)救旱財源

- 1.各農田水利會預算內依規定編列之意外事故準備金。
- 2.水量被移用所得之補償金額，合併上項財源統籌支用。
- 3.前二項財源運用後，如有不足再向政府（地方政府及中央政府）申請以救災科目支援。

註：上述 2.水量被移用所得之金額，合併上項財源統籌支用，在實務上尚有爭議。如最常發生亢旱經政府公告停灌之烏山頭水庫灌區一期作水稻，其當時可供移用之水量其實係自去年之二期作水稻即因旱象趨勢，施行間歇灌溉減水措施，且秋、冬季甘蔗、雜作灌溉計二次不施灌後，水量累蓄水庫才有水被移，而且一期作期間除水稻外，尚應有春季第一、二、三次甘蔗、雜作灌溉因水量被移用而無法施行，故其移用補償金額應係屬全灌區農民共享，並非專屬某期作或某灌區委會，實務上均由水利會依會務委員會議決統籌用於水利小組費用回饋委員。況且政府公告停灌所發之休耕補貼，係屬天災救濟金，其和移用供某標的使用之補償費性質迥異。

4.2 乾旱缺水期之配水方法

乾旱為氣象水文之極端現象，世界各地皆有乾旱，其主要現象為雨水匱乏，致在某一水經理系統下，河溪流量不能順利供應現有民生用水及作物需水時，所發生之週期缺水現象。通常將年降水量少於 250 公釐（mm）的地區稱為乾旱地區，年降雨量 250~500mm 地區稱為半乾地區，全球有 25%地區屬乾旱地區。

根據美國氣象局公報，旱象存在於某一時期及地域，依期間長於 23 日以上且雨量僅及平均之百分之十者為準，而臺灣則以連續 50 日以上不降雨謂之小旱（The small scale drought）連續 100 日以上不降雨謂之大旱（The large scale drought）。

就農業觀點言之，所謂農業乾旱（Agriculture drought）根據 J.W Smith：“Agriculture Meteorology”中解釋乃指在某一期間因雨水之不足而致水份缺乏和土壤乾燥而遂使作物不能正常生長及成熟所發生之天然災變。其現象為作物耗水多於吸水，導致作物體內水分過度缺乏水分而受害。農業乾旱由於發生原因不同，有大氣乾旱、土壤乾旱、生理乾旱之分。其中危害較普遍且損失較嚴重的為土壤乾旱。大氣乾旱延續時間長時，亦能導致土壤乾旱。

全球約有一半以上之地區，年降雨量小於 500 公釐 (mm)，經常出現不同程度的乾旱。而雨量較豐的地區，亦因降水分配不均而發生春旱、夏旱或秋旱。乾旱發生及其危害程度，除與氣候條件（氣溫、相對濕度、輻射、降雨等），土壤性質（質地、構造、有效水分、保水力等）有密切關係外，尚與作物種類、品種、生育階段、生長狀況，以及耕作栽培技術有關。良好之灌溉設施，是預防乾旱之根本保證。但合理之種植制度，耐旱作物選取，增施有機肥料，做好乾旱預報，科學之灌溉節水用水技術等，均為防旱抗旱之有效措施。

臺灣屬亞熱帶海島型氣候，降雨量雖豐沛，惟降雨季節與地區性之分布不均，豐枯水期明顯，河川流量變化甚大，枯水期可供利用之水源有限，供應各標的用水常感不足。乾旱發生時間多在冬春季，以十月至翌年三月為多。

由於各農田水利會之環境條件不盡相同，耐旱程度也有所差異，制定的救旱模式也不盡相同。一般而言，救旱對策之擬定，是根據灌溉排水原理的標準，配合各地區不同之地理、氣象等條件及耐旱程度，定出各地區灌溉需水量標準，然後以供水率之大小來制定各個農田水利會的救旱對策。

目前存在的救旱對策，是依供水率來判定乾旱程度，當供水率不足，而能以加強灌溉管理方式渡過缺水期者，仍視為安全階段，當供水率下降，則必須實施緊急灌溉。一般以輪區進水口為界，上游系統灌區，採大區輪灌或延長期距等措施；而下游輪區，則開闢新水源，施行小輪灌制度，亦可渡過難關；但若供水率持續下降，則判定已達危險期，必須放棄部份灌溉面積，甚至實行轉作或休耕。

4.2.1 傳統之配水方法

在乾旱缺水時期，供給水源低於計畫用水量，可採行之灌溉方式亦相當的多，且各水利會之水源特性不同，實施方法也有所差異，一般而言所採用之方式為非常灌溉，非常灌溉是一種臨時的灌溉方法，又稱“間歇灌溉”。當灌溉水源枯減，既不能全面續灌供水，亦無法按輪區單區順序依時供水時，為減輕災害損失，採用這種臨時的灌溉方法。依據臺灣省灌溉事業管理規則第十七條規定，其供水順序為：

1. 農作物生長期間迫切需水之田地、
2. 用水少而生產量多之田地、
3. 接近水源而圳路滲透損失最少之田地。

採用之方法有：均勻遞減法（又稱減水深法）、輪距延長法、分組輪灌配水法、減少灌區面積法等。

1. 均勻遞減法（又稱減水深法）

一般缺水在微量不足之狀況下，採取加強人為管理方式，可減少操作上之損失，藉由均勻遞減各用水量之方法，可公平的調整各輪區新分配的計畫需水量。

均勻遞減水量法乃指少量缺水狀態時，整個灌區所缺少的水量，公平的由各輪區分擔，以遞減輪區需水量之方式，共度缺水的難關。至於各輪區重新分配到水量的多寡，則由均勻遞減係數來決定，均勻遞減係數是由各進水口的取水率計算得知，作為重新分配水量之調整依據。亦即視水源水量實際減少程度，依照配水比率減少各系統之配水量，至於田間灌溉則仍維持原訂輪距，以減少水深執行之。

例如某系統原計畫灌溉水深為 12 公厘/日，輪距為 5 天，若水源減少 30% 時，則應用均勻遞減水量法，灌溉水深應減為 8.4 公厘，輪距仍維持 5 日。

2. 輪距延長法

視作物生育階段，在不影響作物生長之原則下，維持原一次灌溉水深，延長輪距實施配水。如原輪距五日，延長輪距為八日。灌溉一次之水深則維持不變。

3. 分組輪灌配水法

當灌區缺水較為嚴重時，而以均勻遞減水量法實施配水時尚無法滿足配水之需求時，則可以採用灌區分組之輪流灌溉方式。採取分組輪灌方式主要是以集中有限之取水量施灌，藉以提高灌溉效率，同時利用施灌之地區內流量充裕，對於分水與配水作業較易控制施行，且在全區管理作業上僅需控制各組別進水口之流量與分配時間即可，達到公平配水之目的。

對於支線、分線為主體之大灌區輪灌，所輪灌之對象是以輪區內之單位輪區間之輪灌為主，其分組輪灌方式甚多，但須遵守下列之輪灌原則：

- (1) 以輪區作為每一單元，不能任意分割，故系統之分組不能將同一輪區分割至兩個不同的組別。
- (2) 分組時，各組需水量之差值越小越佳。
- (3) 為使有限之灌溉水源發揮最高之效率，應實施集中灌溉為原則。
- (4) 分組後之配水流量必須符合渠道容量之限制。

4. 減少灌區面積法

水源銳減至上述方法無法執行時，則停止部分農田配水，其處理方式可分二種：

(1)集中法：

將水量集中灌溉於滲漏最小，效率最大灌區，而其他灌區停止供灌。

(2)平均分配法：

停止供灌面積，依水源水量減少程度，按配水比率分配於各支分線系統。亦即按各配水田坵之面積，依缺水率減少灌溉面積。

5. 其他配合措施

除上述之各項缺水期之配水方法外，其他應配合之措施有：

(1)抽用地下水：

灌區內如有可靠之地下水源可資利用者，應擬具計畫，經核定後予以開發利用。

(2)利用回歸水

尋找灌區內可資利用之回歸水，擬具計畫後引用。

(3)加強管理

水利會灌區如發生嚴重乾旱時，用水管理人員應即停止一切休假，依照救旱措施所訂工作要領切實執行非常灌溉工作。

(4)協調農民錯開插秧時期

乾旱發生在整田期間，而水源水量銳減，經採取非常灌溉，倘仍無法克服時，應協調農民，在不影響作物生育原則下，盡量錯開插秧時間。

(5)水田轉作或休耕

配合政府水稻田停灌轉作政策，將水田轉作為可節省用水或耐旱之雜作，如無水源可供灌者，應考慮休耕。轉作地區應選擇輸配水損失大，需水量多之灌區，並宜以整灌溉系統為劃定區，以利配水管理。

4.2.2 機動性之配水方法 (K 係數法)

台灣地區之灌溉地表水來源主要有水庫取水系統及河川取水系統二種，河川取水系統之用水特性與水庫供水系統稍有不同，在河川取水系統中，因其流量受氣候之影響甚鉅，且其變動性較大，加上台灣地區之河川均屬短而陡之型態，在豐水期過多之水若不加以取用，則將迅速直流入海而無法利用。因此，對於河川取水系統之灌溉計畫之擬定原則，在尖峰用水期勿使高用水階段集中於同一時期，可採取系統別錯開之方式以降低尖峰用水；若在水源水量充足之情況下，則在不影響渠道安全之範圍內儘量取水，這多取之水量不但可以減少部份管理工作，更可提供給生產、生活、生態三生用水中之生活及生態用水；因此對於河川流量不穩定情況下之配水，於水量調配時應有一可行之管理措施以因應之，尤其是在水源引進水量低於計畫用水量之缺水情況下，更應有針對缺水情形下尚能以公平、合理之原則達到適時配水之對策。

(一) Factor of Loss

一般通用之水路輸水損失（包括操作損失）表示方式為：

$$S = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}}$$

式中

S : 水路輸水損失

Q_{in} : 入流量 (m^3/s)

Q_{out} : 出流量 (m^3/s)

亦即

$$Q_{in} = \frac{Q_{out}}{(1-S)}$$

由於 S 值介於 0 與 1 之間，為便於應用起見今將其轉成以田間為基準之形式時，其表示方式為：

$$Q_{in} = (1+S')Q_{out}$$

則 S' 與 S 之關係可以表示為：

$$S' = \frac{S}{1-S}$$

此一 S' 值即為輸水損失水量佔所轄灌區之灌溉需水量之比例，而 ($L=1+S'$)

稱之為損失係數 (Factor of Loss)，其所代表之意義以輪區之情況加以說明如下：若當損失係數為 1 時，此時 $S'=0$ ，表示系統並無損失之情形，故 $Q_{in}=Q_{out}$ ，此一情形在實際之狀況下是不可能發生的；而當輸水損失增為 20% ($S=20\%$) 時，則 $S'=25\%$ 此時之損失係數為 1.25，而其所表示之意義為：當田間需要 1 單位之水量時，在輸水損失為 20% 之情況下，則在輪區取水口務必供給 1.25 個單位之水量方能滿足輪區內田間所需之水量。

就輪區之損失係數而言，台灣地區在農地重劃時，對於輪區之設計係採用 50 公頃為基準，依照過去全省各水利會長期營運觀測之結果，輪區之平均損失係數約為 1.15~1.25 間，但是在輪區群中，由於各個輪區之面積差異甚大，小至數公頃，大至數百公頃，在大小上並非一致，因此若所有之輪區均採用同一平均值，勢必無法達到公平且合理之配水結果，因此在實用上應以實際之面積、水路等條件加以修正之，輪區損失係數 (L_i) 之修正方式為：

$$L_i = 1 + S_i F$$

式中，

- L_i : 輪區損失係數；
- S : 輪區輸水損失 (%)；
- F : 輪區面積大小之權重因子；
- i : 輪區 (index of tertiary)。

S_i 為輪區內中小給之輸水損失，依照過去全省各水利會長期營運觀測結果，以輪區面積為 50 公頃之情形下，輪區內之中小給平均輸水損失約為 15%~25% 左右，就整個灌溉系統之中，各輪區面積之不同，在應用上若採用同一標準亦不合理，因此對於各輪區間之中小給之輸水損失亦需加以修正，其修正方式如下：

$$S_i = A_i S_0$$

式中，

- S : 輪區輸水損失 (%)；
- S_0 : 單位面積之輸水損失 (%/ha)；
- A : 輪區面積 (ha)；
- i : 輪區 (index of tertiary)。

則，面積與水路之權重因子 (F) 可表為：

$$F = \frac{\left(\sum_{i=1}^n S_i / n \right)}{\left(\sum_{i=1}^n A_i S_i / \sum_{i=1}^n A_i \right)}$$

(二)用水計畫

用水計畫之制訂是在作物種植之前以田間需求面 (Demand) 之觀點，在不考慮水源之情況或田間水路之狀況下，推估全灌區之需用水量。因此只要有轄區之面積、作物各生長期之用水標準及損失係數，即可迅速求得取水口所需之流量。其計算方式簡述如下：

由前述輸水損失係數 (factor of loss) 之觀念，各輪區取水口各需水期之需水量，可經由各輪區之面積與該區之田間灌溉需水量、輪區損失係數等推求而得，其表示方式為：

$$Q_{ij} = FIR_j \times A_i \times L_i$$

$$FIR_j = CWR_j + P - AR_j$$

式中

Q_{ij} : 第*i*輪區第*j*生長期之輪區灌溉需水量 (ℓ/s) ;

FIR : 田間灌溉需水量 (ℓ/s/ha) ;

CWR : 作物需水量 (ℓ/s/ha) ;

A : 輪區之面積 (ha) ;

L_i : 輪區損失係數 ;

P : 田間滲漏量 (ℓ/s/ha) ;

AR : 有效雨量 (ℓ/s/ha) ;

i : 輪區 (index of tertiary) ;

j : 生長期 (index of growth stage) 。

在求得各輪區取水口各生長期之流量之後，另行考慮幹、支分線之輸水損失係數，就可得到該輪區於系統取水口各生長期之需用水量。對於幹、支分線之輸水損失，若有實測值則採用實測值，然在灌區之中幅員遼闊，不可能對所有之幹、支分線之輸水損失，進行實際之量測工作，因此在計畫之配水工作上，務必參考部分之相關實測資料估算之，而各級之水路其長短並不一致，若採用相同之值並不合理，因此務必加以修正之，本研究對於水路損失係數 (L_s) 是依照水路距離之長短加以修正，其修正之方式為：

$$L_{si} = 1 + C_i G$$

$$C_i = L_i C_0$$

$$G = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n L_i / n \right)}$$

式中

L_s : 水路系統損失係數；

C : 水路系統輸水損失；

G : 水路長短之權重因子；

L : 水路長度 (m)；

C_0 : 水路系統輸水損失實測值；

i : 輪區 (index of tertiary)。

則，在考量輪區面積與水路長度之權重後，系統取水口之輪區灌溉需水量可以表示如下：

$$Q_{sij} = \text{FIR}_j \times A_i \times L_0 \times L_{pi} \times L_{li}$$

式中，

Q_s : 系統取水口之灌溉需水量 (ℓ/s)；

FIR : 田間灌溉需水量 ($\ell/s/\text{ha}$)；

A : 輪區之面積 (ha)；

L_t : 輪區損失係數；

L_p : 幹線輸水損失係數；

L_l : 支分線輸水損失係數；

i : 輪區 (index of tertiary)；

j : 生長期 (index of growth stage)。

(三)配水計畫

配水計畫亦是在作物種植之前所制訂之計畫，其與供水計畫之差別乃配水計畫是以供給之觀點，並考慮水源與田區水路之情況下所做之用水調配計畫。其所考慮之重點，在水源方面是依照歷年之用水情況，並依照過去之水文記錄，預估可用水源以作為供水之標準；在水路之考量方面則是針對各幹、支分線之渠道容量限制，限定其最大通水量。故整個配水計畫是考量可用水源、水路容量限制、作物種植時刻等相關因素，所制訂之供水計畫稱之為配水計畫。

配水計畫與配水作業並不相同，配水計畫是在作物種植之前所擬定者；而配水作業是在作物種植之後，依照所引進之水源水量，配合田間之需求情況，在田間進行之水量調配工作。

灌溉需水量會隨著作物生長之過程與管理方式，而呈現不同之用水標準對於水稻作物之種植而言，其尖峰用水是發生在稻作插秧期之整地末期，若在灌區中各個輪區集中於同一時期進行整地作業，則在水源供水能力或幹支線之輸水系統容量，將難承載所需之尖峰用水量。因此，為了大量遞減尖峰用水量，在配水計畫之製作上是將整地日期加以錯開，使整地期之幹支線輸送水量在其容許之範圍內。

(四)機動性配水

實地之配水作業是在作物種植之後，根據現有之水源情況所因應之水量調配工作，就農田永續利用之觀點，由於降雨在時空上的分佈不均的情況下，造成供應水源之流量不穩定而發生變動，在缺水期無法充分的灌溉，作物生長所需之水量欠缺之部分是由毛管水所供應，也因此讓土壤中之鹽鹼類累積或上升，造成鹽鹼地的發生，為能讓農地永續之利用，日後必當補充更多之水量予以淋洗，才不致形成鹽鹼地而無法利用。

本研究就農田之永續利用的觀點，進行配水作業的研擬，在缺水期無法達到田間耕作之正常供水情況時，如何利用適當之灌溉營運措施，將微量的水源在適當的時機，合理地分配至各田區，提供作物維持合理產量所需之水量，籍以提出水源不足時田間之灌溉營運技術，來達到田間灌溉之需求；而在豐水季節時應在渠道容量許可的情形下儘量引水灌溉，將多餘之水量加以分配至全區中，對土壤加以淋洗，冀以減少在缺水期因灌溉不足所引起之不良後果，讓地力得以保持並達到農地永續利用的宗旨，進而達到生產、生活、生態三生的目的。

在水源不穩定之情況下其水量調配工作顯得較為複雜，為因應水源之變動情況，本研究提出以下之水量調配方式，進行實地配水作業之參考，其配水作業之流程如圖4-1所示。

1. 豐水期之配水

對於河川取水系統而言，在豐水期之時因水源不虞匱乏，若在田間之灌溉水路系統尚可負荷之前，對於計畫用水以外之過剩水量若不加以取用，則多餘之水終將流入大海之中，形成水資源之浪費。因此，在豐水期之配水原則，當實際可取用水量達到計畫用水量以上時，則在渠道容量安全考量的範圍之內，儘量引水進入灌溉系統之中，對於水量之分配，除了依照既定之配水計畫進行配水操作外，對於剩餘水量之分配方式簡述如下：

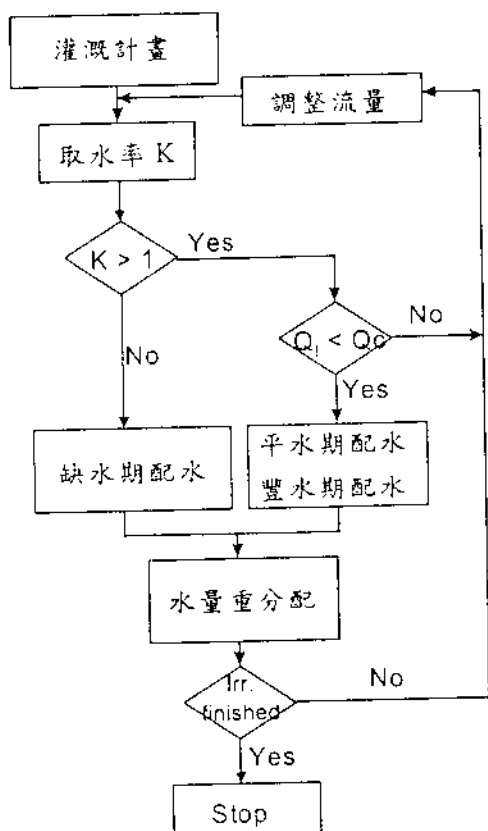


圖4-1 機動性配水流程圖

當作物種植後對於某一灌溉時期，其輪區計畫用水量 (Q_i) 相對取水口流量 (Q_s) 關係可以表示為：

$$Q_{si} = Q_{ti} \times L_{si}$$

$$Q_s = \sum_{i=1}^n Q_{si}$$

$$= \sum_{i=1}^n (Q_{ti} \times L_{si})$$

而損失水量 (Q_{sl}) 可表為：

$$Q_{sli} = Q_{si} - Q_{ti}$$

$$= (L_{si} - 1) \times Q_{ti}$$

$$Q_{sl} = \sum_{i=1}^n Q_{sli}$$

$$= \sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{ti})$$

式中，

Q_s : 系統取水口計畫用水量 (cms) ;

Q_t : 輪區取水口計畫用水量 (cms) ;

L_s : 水路系統損失係數 ;

Q_{sl} : 損失水量 (cms) ;

l : 輪區 (index of tertiary) ;

N : 總輪區數。

若河川是處於豐水期，則代表可取用水量大於計畫用水量，因此在渠道容量安全範圍之內，在某一生長期之實際取水量為 Q_j ，若屬豐水期則 $Q_j \geq Q_{sj}$ ，此時對於剩餘水量 $(Q_j - Q_{sj})$ 可應用輪區面積加權之方式，進行水量之分配工作。亦即：

$$Q'_{ij} = Q_{ij} + \frac{A_i}{A} \times (Q_j - Q_{sj})$$

式中，

Q_t : 輪區取水口計畫用水量 (cms) ;

Q'_t : 超量灌溉分配水量 (cms) ;

Q_s : 系統取水口計畫用水量 (cms) ;

Q : 實際取水量 (cms) ;

A : 灌區之面積 (ha) ;

i : 輪區 (index of tertiary) ;

j : 生長期 (index of growth stage) 。

為了簡化配水作業中之繁複水量計算與決策之過程，本研究引用過去各水利會以取水率之水量分配方式加以修正之，研擬符合簡便、快速、公平與合理之原則下之水量分配方式，此一較為簡便之分配方式，乃根據引進水量與需水量之比例加以調整之方法，稱為 K 係數法 (K factor)，不論是在豐水期、平水期或缺水期下，均可依照 K 係數法之分配方式，將引進水量公平合理的分配到各個田區之中，K 係數法之表示方式稱為有效灌溉取水率，即：實際之有效灌溉取水量（實際取水量－系統輸水損失）與計畫之有效灌溉用水量（計畫用水量－系統輸水損失）之比，亦即：

$$K = \frac{Q_j - Q_{slj}}{Q_{sj} - Q_{slj}}$$

式中，

- Q : 實際取水量 (cms) ;
 Q_s : 計畫用水量 (cms) ;
 Q_{sl} : 輸水損失量 (cms) ;
 $Q_j - Q_{slj}$: 第j生長期之實際有效灌溉取水量 (cms) ;
 $Q_{sj} - Q_{sl}$: 第j生長期之計畫有效灌溉用水量 (cms) ;
 j : 生長期 (index of growth stage) 。

在豐水期之水量分配，以應用 K 係數法之配水方式，係考慮輪區面積加權與水路長度加權之方式，配合灌區設計時對水頭之要求，重新分配水量，因此各輪區在豐水期 ($K > 1$) 之重新分配水量 (Q'_{ij}) 為：

$$Q'_{ij} = K \times Q_{ij}$$

在應用 K 係數法於豐水期進行配水工作時，需考慮到渠道容量之限制，當渠道容量無法負荷時，務必調整水門取水量於渠道容量限制之範圍內，再進行水量之分配。

2. 缺水期之配水

缺水期時之配水方式，因為牽涉到的方法較為複雜，傳統之配水方式係以引水量之多寡（取水率）決定因應之配水對策，一般而言有：加強灌溉管理方式、減少灌溉水深（均勻遞減法）、輪流灌溉法（大輪灌、小輪灌）、延長輪距法等等。而且各水利會因基本條件之不同，所採用之標準亦不一致，對於水資源之決策者容易造成困擾，本研究對於缺水期之配水標準係引用 K 係數法，已經將不可避免之損失列入考慮之範圍內，對於水量之分配是考慮可以有效應用之水量，因而可以採用同一標準，本研究對於缺水期之配水方式採用之方式，在輕微缺水時應用 K 係數法進行均勻遞減之水量分配，在缺水較為嚴重時採用 K 係數法進行分組輪灌之配水作業。

(1) 均勻遞減法

若水源之水量在輕微不足之情況下，此時水量雖減少但尚可提供足夠之水頭以供灌溉之用，此時可採用加強人為管理之方式配合均勻遞減水量之措施，調整各輪區之分配水量。均勻遞減法係將全灌區缺少之水量，依照各輪區需水

情形平均負擔之，故對於不足之水量亦可採用面積加權法或 K 係數法進行水量之調整分配工作，其分配之方式與豐水期之配水方式相同，不同的是此時之 K 值小於 1。

(2)分組輪灌法

當缺水情形較為嚴重，致使水源無法全面提供有效足夠之水頭同時灌溉全灌區時，此時務必採用灌區分組之輪流灌溉方式，集中有限之水量，以較大之流量灌溉其中之部分區域，減少不必要的輸水損失，而其餘之地區則處於暫時停止供水之狀態。

採用灌區分組之輪流灌溉方式時，因系統配水作業僅負責將水送至輪區口，而不干涉輪區內之配水操作，故在實施分組時應以輪區為最小單位，對輪區不可加以分割，且不能破壞輪區間之連續性，於分組配水之同時配合均勻遞減法，使各組之水量差異達到最小之目標。

於缺水期以灌區分組輪灌之方式進行配水時，其輪灌期距與所劃分組數之決定乃根據灌區土壤之 TRAM 與作物之耐旱程度而定，其分組之原則首先係根據土壤之 TRAM、作物類別與生長時期決定輪灌期距，然後再配合該生長期之作物耐旱程度，決定最大分組數目，最後依照實際引進水量決定其輪灌分組方式。

至於決定最佳分組灌溉情況可根據 K 係數法 (K factor) 加以判別之，當 K 值大於 80% ($K > 0.8$) 以上時，採不分組之型態以前述之均勻遞減方法分配水量；若當 K 值小於 80% ($K \leq 0.8$) 以下時，為便於說明起見以最大分 4 組之情況為例，則其可能之分組情況視 K 值而定，K 值之臨界值分別如下表所示。

一般而言，最大分組數目視所種植之作物其耐旱程度，與該地區土壤之保水力情況而定，當水源水量極度缺乏使得規劃之分組數目大於最大分組數目時，則無論應用何種灌溉方式均無法滿足灌溉之所需，此時唯有犧牲部份地區不予灌溉才能持續整個地區之灌溉。

表 4-1 臨界 K 值與輪灌組別

臨界 K 值	輪灌組別	說 明
1.00	1/1	全區均灌
0.75	3/4	分四區灌三區
0.66	2/3	分三區灌二區
0.50	1/2	分二區灌一區
0.33	1/3	分三區灌一區
0.25	1/4	分四區灌一區

4.3 各水源不同缺水程度時之採行措施

4.3.1 河川供水系統

依據長期水文資料之統計分析，在一年當中，可利用之水量、時間、地域等均有其特性，每年春季常有季節性之缺水現象，夏季偶而亦有缺水，因河川坡陡本身調蓄水之功能甚小，故發生缺水之情況最為頻繁。每遇缺水期，水利會及農民即不惜投入人力、財力以救旱，故對救旱措施已頗有經驗。各不同缺水程度時應採行措施如次：

(一)缺水率在百分之十時：

- 1.應備妥各種乾旱程度之灌溉計畫及配水方法，召開研討會，使水利會全體員工與水利小組充分溝通，共同認識，同心協力推行救旱工作。
- 2.加強用水調配，提高灌溉效率。
- 3.按原訂灌溉計畫分水比率切實執行。
- 4.鞏固河川水源取水設施，防止漏水。
- 5.盡量利用可用水源，如在排水溝攔水或利用迴歸水補給。

(二)缺水率在百分之二十時：

除應辦理前列缺水期之各項措施外，應再辦理如下列要項：

- 1.召開救旱應變措施研討會，機動調整不同灌溉系統之配水，並報請主管機關核備及宣導水利小組配合實施。
- 2.錯開用水尖峰時期，如在水稻整田插秧期間，盡量集中水量以利插秧推行進度加快，旱作物灌溉暫停或錯開。
- 3.如稻作已進入本田時期，可延長輪距。
- 4.雇用掌水工執行配水。
- 5.動用抽水機，抽取地面水或地下水為補充水源。

(三)缺水率在百分之三十時：

除應辦理前列缺水期之各項措施外，應再辦理如下列要項：

- 1.再研擬修訂並變更公告配水時間及實施要領。

- 2.減少灌溉水深或再延長輪距。
- 3.公告實施埤圳別或幹支線別間歇輪灌。
- 4.如為整田插秧期，勸導會員改種少用水量之作物。
- 5.尋找其他水源，架設臨時抽水機抽水補救。
- 6.動員員工救旱，日夜加強管理，停止休假。
- 7.報請主管機關成立救旱連繫小組，並請有關機關協助推行非常灌溉。

(四)缺水率在百分之四十時：

除應辦理前列缺水期之各項措施外，應再辦理如下列要項：

- 1.公告實施非常灌溉，並報請主管機關備查。
- 2.耐旱性強的作物暫停灌溉。
- 3.配合政府政策辦理休耕或轉作，並報由主管機關公告變更灌溉方式。
 - (1)如於種植前，勸導農民休耕或轉作。
 - (2)如已種植，則改行非常灌溉。
- 4.水稻本田灌溉時期，為節省水量及避免輪距過長，則實施滑流灌溉，使田面不保留積水為原則。
- 5.利用臨時設備，儘量補充水源。

4.3.2 水庫供水系統

水庫在建造時，均訂有營運計畫及不同存水量情況下之運用規則以供遵循，各水庫計畫之建造目的及投資分配比率（尤其是多目標水庫）各有不同，故各水庫之灌溉用水之分配比率也因而有異。但其共同特性，為因有水庫可儲水調配，其流量較可穩定供應。茲以較常發生乾旱缺水之曾文—烏山頭水庫為參考例代表說明，缺水期無法照常供水灌溉之配水計畫及耕作制度之選擇，必須事先經政府有關機關及農田水利會研討後決定之。其主要水量分配準則及配水計畫如下列：

- (一)以十月底水庫蓄水量為基準之灌溉措施曾文與烏山頭水庫，自十月至翌年五月間，屬平水及枯水期，故以十月底兩水庫總水量作基準，計劃至一期水稻作止之灌溉計畫，因此無種植後再行調整灌溉之事宜。

1. 水庫蓄水量在規線上限（六億二千萬立方公尺）以上時，照正常灌溉計畫施行，即(1)第一期水稻灌溉，(2)冬季甘蔗、什作灌溉，(3)春季第一、二次甘蔗及什作灌溉，第三次甘蔗灌溉。
2. 水庫蓄水量在規線上限至下限間（三億五千萬至六億二千萬立方公尺）時
 - (1) 蓄水量在四億五千萬至六億二千萬立方公尺時，照正常計畫施行灌溉，即如上述 1. 之各項灌溉。
 - (2) 蓄水量在三億五千萬至四億五千萬立方公尺時，就以下各灌溉方式，擇一施行：
 - a. 第一期水稻，照計畫施行；冬春季甘蔗、什作灌溉，各施行一次。
 - b. 一期水稻，照計畫施行；冬春季第一、二次甘蔗及什作灌溉，各施行一次。
 - c. 一期水稻分二區，實施一區；冬春季甘蔗、什作灌溉，照計畫施行。
 - d. 一期水稻分二區，實施一區；冬春季甘蔗、什作灌溉，各施行一次。
 - e. 一期水稻分二區，實施一區；冬、春季第一、二次甘蔗及什作灌溉，各施行二次。
3. 水庫蓄水量在規線下限至嚴重下限間（二億六千萬至三億五萬立方公尺）時，就以下各灌溉方式，擇一施行：
 - (1) 第一期水稻灌溉，照計畫施行。
 - (2) 第一期水稻灌溉，照計畫施行；甘蔗、什作灌溉，各施行一次。
 - (3) 第一期水稻灌溉，分二區，施行一區；冬季一次、春季二次甘蔗及什作灌溉。
 - (4) 冬春季甘蔗及什作灌溉，照計畫施行。
4. 水庫蓄水量在規線嚴重下限（二億六千萬立方公尺）以下時，就以下各灌溉方式，擇一施行：
 - (1) 冬春季甘蔗及什作灌溉，照計畫施行。
 - (2) 第一期水稻灌溉，照計畫施行。

(3)第一期水稻灌溉，分二區，施行一區；冬春季甘蔗及什作灌溉，各施行一次。（備註：水庫蓄水量增加時，得隨時調整增加供水灌溉）

(二)以五月底水庫蓄水量為基準之灌溉措施

1.農作物種植前

(1)水庫蓄水量在規線上限（一億立方公尺）以上時

a.水庫水量在二億立方公尺以上時照計畫施行第二期作及中間作水稻灌溉。

b.水庫水量不到一億五千萬立方公尺時，灌溉開始日期延後，至一億五千萬立方公尺時，照計畫施行灌溉。

(2)七月二十五日水庫蓄水量仍在四千萬至一億五千萬立方公尺間時，依嘉南水利會水稻整田灌溉分組辦法，以一萬立方公尺／公頃用水量基準衡量可灌面積，予以先行灌溉，餘則公告取消該期作灌溉，未輪灌溉面積則於下次旱象時，優先輪值灌溉。

a.水庫水量在一億五千萬立方公尺時，灌溉面積以一萬公頃至一萬五千公頃範圍內施灌。

b.水庫水量不到四千萬至一億立方公尺時，灌溉面積以四千公頃至一萬公頃範圍內施灌。

(3)七月二十五日水庫蓄水量在四千萬立方公尺以下時，公告水稻灌溉取消。

2.農作物種植後

上述(1)(2)情況，於水稻種植後，如水庫蓄水量無繼續進入可運用水量時，對已種植面積一律採取間歇灌溉。其灌溉期距，斟酌水庫蓄水量隨時決定。

4.3.3 埤塘供水系統

本省在石門、桃園地區之農業灌溉，埤塘蓄水調節灌溉水源，長久以來一直扮演著極為重要之角色，茲以其為一類別說明如下：

(一)配合水庫系統之因應措施

1.缺水時期，於稻作插秧前一個月（各地時期不同，大約第一期作為十二

月一日至二月一日，第二期作為五月一日至六月二十日），對灌區水源供水量必須預先估算，稻作種植後，須隨時估算，據以決定因應對策，報請主管機關公告執行。

2. 水源供水量，依據水庫庫存水量、進水量、預估降雨量、儲水池存水量及其他水源供水量一併估算之。
3. 缺水時期，預估水源供水量在計畫用水量百分之七十五以上、水庫蓄水量在運用規線中至下限時，其配水營運之田間灌溉，應採加強管理，維持原訂灌溉期距，以減水深法，按原計畫減少配水量行之。
4. 缺水時期，預估水源供水量在計畫用水量百分之七十五以下、水庫水位在運用規線下限以下時，其配水方法應視實際情形加強管理，實施非常灌溉，延長灌溉期距，期距之延長必須配合灌溉水深，以至少能完成全面灌溉一輪次為原則。並依嚴重程度實施(1)輪區與輪區、(2)支分線別、(3)幹線埤圳別等之輪灌。
5. 稻作種植前發生缺水時，預估水源供水量在計畫用水量百分之五十以下、水庫水位在運用規線嚴重下限時，依石門水庫營運規則第六條第七項：「水位低於嚴重下限時，應視實際情形限制灌溉用水，其減水範圍及次序應隨時會同石管局及有關水利會研辦。」，迅速調查轉作或停灌休耕面積，擬訂變更灌溉計畫，報請農業主管機關輔導及核備。
6. 稻作種植後發生缺水時，預估水源供水量在計畫用水量百分之五十以下、水庫水位在運用規線嚴重下限時，亦依石門水庫營運規則第六條第七項：「水位低於嚴重下限時，應視實際情形限制灌溉用水，其減水範圍及次序應隨時會同石管局及有關水利會研辦。」，迅速調查轉作或停灌休耕面積，擬訂變更灌溉計畫，報請農業主管機關輔導及核備。

(二)單純埤塘系流之因應措施

1. 缺水時期，於稻作插秧前一個月（各地時期不同，大約第一期作為十二月一日至二月一日，第二期作為五月一日至六月二十日），對灌區水源供水量必須預先估算，稻作種植後，須隨時估算，據以決定因應對策。
2. 水源供水量，依據埤塘存水量、進水量、預估降雨量及其他水源供水量一併估算之。
3. 缺水時期，預估水源供水量在計畫用水量百分之七十五以上時，其配水營運之田間灌溉，應採加強管理，按原計畫減少配水量行之。

4.缺水時期，預估水源供水量在計畫用水量百分之七十五以下時，其配水方法，應視實際情形加強管理，實施非常灌溉，延長灌溉期距。期距之延長必須配合灌溉水深，以至少能完成全面灌溉一輪次為原則。並依嚴重程度，實施(1)輪區與輪區、(2)支分線別、(3)幹線埤塘別等之輪灌。

5.稻作種植前或種植後發生缺水時，預估水源供水量在計畫用水量百分之五十以下時，應視實際情形限制灌溉用水，其減少供水範圍及次序，隨時召集有關水利小組研辦，擬訂實施非常灌溉計畫，報請農業主管機關輔導及核備。

4.3.4 地下水供水系統

(一)單獨地下水源灌溉區

1.抽取地下水專用灌區，並無地面水取水量補給，全仰賴抽水設備，對故障井應緊急辦理修護、更新外，對於因乾旱時期所導致水位下降、揚程增加、水量減少等不可抗拒情況時，擬採下列措施予補救：

(1)出水量減少需水量之百分之十時，採加強用水管理、掌水分配、補修渠道減少耗損等予以克服。

(2)出水量減少需水量之百分之二十時，減少田間灌溉水深，調整輪距，並動用民井水量補充。

(3)出水量減少需水量之百分之三十時，除採行(1)及(2)項措施外，水位下降時即加深抽水管，揚程不合時即調換適宜抽水機，井體透水性能不良時即緊急施行洗井改善，縮短施工日期，恢復抽水量補充。

(4)出水量減少需水量之百分之四十以上時，採行(3)項措施仍無法克服時，除集中抽水量輪灌外，對於無法灌溉之缺水面積，報請主管機關核准公告部分農田轉作、休耕或停止配水。

2.配合措施：

(1)施設臨時柴油抽水機，抽取迴歸水補充。

(2)請治安機關協助維持輪灌秩序，防止紛爭。

(3)轉作、休耕，請政府輔導。

(二)地下水、地面水併用灌溉區

1.可運用地下水占供水系統需水量百分之八十情況：

(1)地面水取入量減少時，開啟地下水井使用，但以補足需水量為限。

(2)地面水取入量減少達百分之八十以上或無法取入時，除動用全部地下水補充外，應加強渠道修補、減少損耗、調整輪距、減少灌溉水深、動用民井等克服之。

2.可運用地下水占供水系統需水量百分之六十情況：

(1)地面水取入量減少在百分之六十以下時，開始以地下水補充。

(2)地面水取入量減少達百分之八十時，採上述 1.項因應措施克服。

(3)地面水無法取入時，施設臨時柴油抽水機，抽取回歸水補充，如仍無法克服時，除集中抽水量輪灌外，對於無法灌溉之缺水農田，報請主管機關核准公告部分農田轉作、休耕或停止配水。

3.可運用地下水占供水系統需水量百分之四十情況：

(1)地面水取入量減少在百分之四十以下時，開啟地下水井補足。

(2)地面水取入量減少達百分之六十、百分之八十時，採行上述 2.項所列之因應措施辦法。

4.可運用地下水占供水系統需水量百分之二十情況

(1)地面水取入量減少在百分之二十以下時，開啟地下水井補足。

(2)地面水取入量減少達百分之四十、百分之六十時，採行上述 2.項所列之因應措施辦法。

(三)抽地面水補助地下水灌溉區

抽地面水係抽取河川、溪流、排水之地面水為補助水源，但在乾旱時期，無降雨致水源枯竭，只有間歇抽取迴歸水，水源並不可靠，故以使用地下水為主，抽地面水為輔，其亢旱因應措施，比照單獨地下水灌溉區原則處理。

4.4 不同缺水程度時之配水實例

機動性之用水調配，乃針對不同時期及水源別之條件下，不同之供水量採行不同之調配措施。依照區域之可用水資源情形，分為豐水期、缺水期及極端缺水等三個不同情形，在不影響農業生產環境及又能保障工業安全供水之原則下，藉由水利會之投入，分別進行必要之用水調配營運，並訂定可達成節水目

標值之可行性，如圖 4-2 所示。以下僅就嘉南水利會之用水營運管理，及過去對於南科用水調配管理之研究實例，加以說明機動性灌溉配水之應用情形。

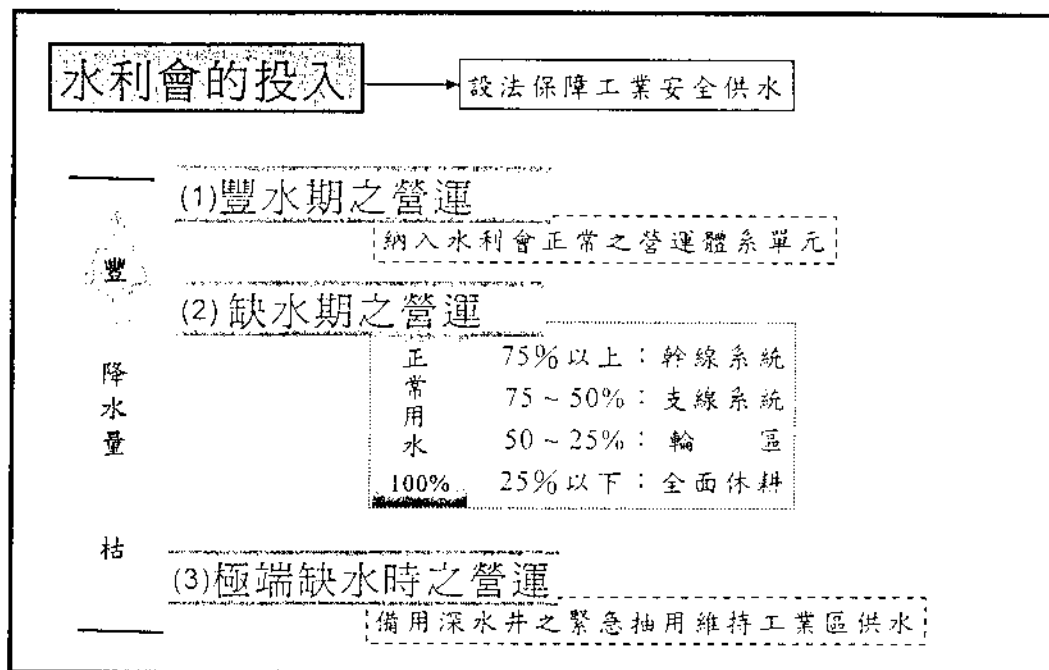


圖 4-2 不同豐枯情形下水利會投入之用水營運管理

4.4.1 不同供水量之配水模式探討

對於不同豐枯情形下水利會投入之用水營運管理，係以一嘉南水利會之烏山頭水庫灌區為對象，以過去水利會之用水資料為依據，配合以理論之實證資料，進行系統配水計畫與配水作業之演算。其步驟為：首先是依照系統之基本資料制訂系統配水之用水計畫，其次則為考量系統之渠道容量限制之下，應用不同之錯開種植期距方式，以降低尖峰用水之情形之配水計畫；最後則為考量水源變動之情形下，因應水源變化需求下之即時機動性配水作業。

對於配水之營運管理，當地面水源超出或等於灌溉計畫用水量時，則依照灌溉計畫進行配水之工作，然當水源不足時，則所採行之措施因各地條件與習慣之不同而有所差異，一般常採用之措施包括：動用補助水源或動用地下水抽水機、大組輪灌、減少灌溉水深、加強灌溉管理、延長灌溉期距、減少供灌面積等等不同之方法。目前水利會對於配水作業之執行，僅以進水口之取水佔計畫用水量之成數量，決定採用何種措施。至於取水成數係依照各水利會過去之營運管理經驗而有所不同，其所採用之措施亦不相同，就前述之嘉南水利會之營運管理加以歸納，其所採用之措施如下：

- 1.當實際取水量達計畫用水量以上時，則以既定之配水計畫實施配水作業。
- 2.當實際取水量在計畫用水量之80%以上時，在水量遞減情形不甚嚴重之情況下，以加強輸水管理、確實掌握各區域之用水量、減少無謂之輸水損失、提高灌溉效率等，便可以應付水源輕度短缺之情形。較嚴重時則依照各圳別之用水比例，憑進水口進水量重新分配各圳別用水量，將各系統之供應量同時減少，此一方式在缺水情形不甚嚴重之情形下，甚為簡便與實用，但若遇缺水情形更為嚴重時，則因輸水損失大而產生供灌困難之情形。
- 3.當實際取水量在計畫用水量之75%-80%之間時，採用幹線分組輪灌方式進行灌溉。為使有效水源發揮高度之效能與減少輸水損失，係將系統分成若干大組別，以較大水量實行集中灌溉，可減少損失與提高配水效率。
- 4.當實際取水量在計畫用水量之50%-75%之間時，則原有之分組輪灌方式已無法達成任務，故於輪值組內再行分區、分段為支線分組輪流灌溉方式為之。
- 5.當實際取水量在計畫用水量之25%-50%之間時，則除了要進行原有之分組輪灌方式外，於輪值組內之各輪區系統進行輪區分組輪流灌溉。
- 6.當實際取水量在計畫用水量之25%以下時，屬水源缺乏極度嚴重之情況，整個系統無法運作，務必犧牲部份地區，一般是以配合政府之政策，對於耗水較多之地區，以公告之方式實行斷水停灌，唯此法在今日之情況下，其所受之阻力較大，實施較為不易。

以上所述為水利會目前對於水源缺乏時之因應措施，對於判定各營運措施之臨界值或輪灌時之形式，在目前均是以人為之方式為之，其在執行時並無完整之制定方法，完全依照人為主觀之因素所控制。而截至目前為止之配水作業均屬於灌溉計畫之一部份，尚無一套符合公平、合理之原則又可及時反應水源情況之實地配水模式。

就後續之工作重點，應用目前積極進行之農業用水模式資料庫，配合以去年度研擬之機動性用水調配模式，以圖4-2所示之不同豐枯情形下水利會投入之用水營運管理概念，配合以嘉南水利會過去對於乾旱缺水期之各項營運措施，進行不同供水情況下之用水調配，包括：幹線間之輪灌配水、支線間之輪灌配水及輪區輪灌配水，並就各方案之模擬結果進行分析與比較。

4.4.2 供應南科用水之方案

南科特定區範圍包含一期基地 638 公頃、二期基地 400 公頃及特定區都市發展區約 850 公頃，其用水需求及時程則為一期基地在民國 97 年達飽和需水量為 11.5 萬公噸/日，二期基地民國 100 年達飽和需水量為 8.5 萬公噸/日，特定區都市發展區預計民國 110 年開發完成，需水量為 2.68 萬公噸/日，合計一期、二期基地至民國 100 年需水量為 20 萬公噸/日；至民國 110 年特定區（一、二期基地及都市發展區）總計需水量為 22.68 萬公噸/日；另南科路竹基地整體用水需求經南科籌備處重新評估後，至民國 96 年底需水量為 7.2 萬公噸/日，其終期（民國 100 年）需水量推估約 10 萬公噸/日。南科特定區之中長程供水系統如圖 4-3 所示。

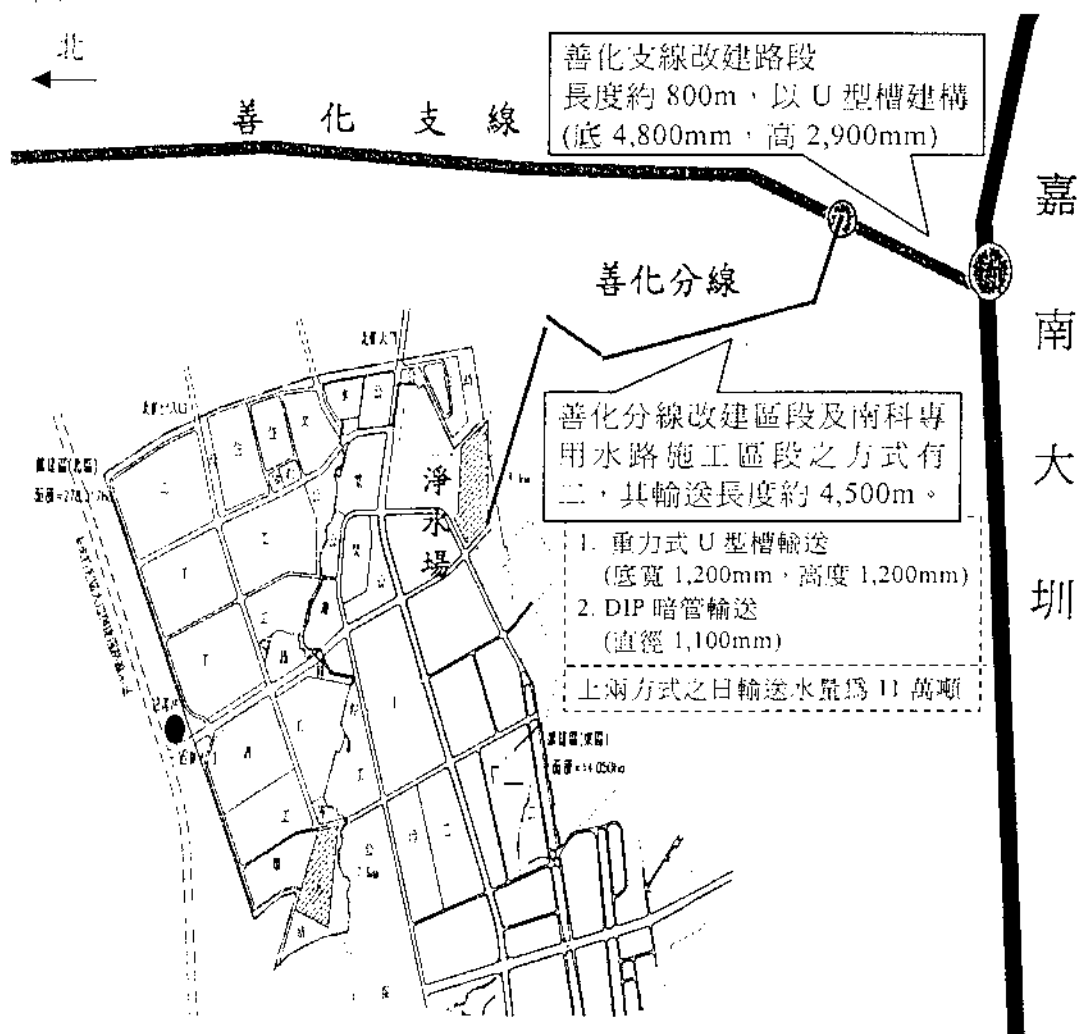


圖 4-3 南科特定區中長程供水系統示意圖

有關南科用水需求，無論一期、二期基地或都市發展區，嘉南農田水利會雖然原則同意供應總量年四千萬噸用水，經與南科籌備處協商以後，目前已規劃完成之輸配水系統為善化支線至南幹線之輸水方式以 U 型槽擴建，善化分線至南科園區之輸水方式，則分別以重力式 U 型槽及 DIP 暗管兩方式設計之，以確保日輸水量可達 11 萬噸，詳如圖 4-3 所示，至於供水之水價則刻正積極協商處理中，預計應可配合南科需水時程調配供水量。

南科路竹基地用水問題，其長程需水量為每日 10 萬噸，並預計於民國 100 年時達此需求量。由於南化水庫至高屏溪攔河堰聯通管路計畫與阿公店水庫更新改善計畫完成後可增供高雄地區每日 35 萬噸水量（聯通管路每日 25 萬噸，阿公店水庫每日 10 萬噸），估計可分配路竹科學園區每日 7.2 萬噸，滿足其至民國 96 年之用水需求；至於民國 97 年以後科學園區之增加用水量每日 2.8 萬噸，則預計由其他新水源工程如吉洋人工湖、阿公店水庫更新改善計畫等供應。

基本上南科供水之必要條件為「南化水庫與高屏溪攔河堰聯通管路」計畫如期完成且能完全執行南化水庫與高屏堰聯合營運原則，即豐水期由高屏堰供應台南、高雄，俾保存南化水庫蓄水於枯水期運用；此原則之達成仍需台南縣、高雄縣市政府全力支持。如在豐水期高屏堰不供台南條件下，僅能增加 9 萬噸/日水源量，則分配給嘉南地區之 4.5 萬噸/日之水源量僅能供應至 94 年中成長，無法供應南科二期等用水需求。分配給高屏地區之 4.5 萬噸/日水源量亦無法供應南科路竹基地用水需求。

南部缺水是不爭的事實，除了調用農業用水節水及其它水庫支援外，應及早建立海水淡化系統，由園區投資，進駐廠商集資，或 BOT 方式進行，使南科的高科技廠商有固定水源的保障。目前海水淡化成本為 35~40 元/噸，而原水成本為 11.5 元/噸，差額為 30 元/噸，應鼓勵廠商及早實施採用海水淡化方式取得備用水資源，其對整個成本的增加極少。

本計畫之農業節水供應方案，即針對嘉南農田水利會供應每日供水量 11 萬噸用水之情況下，以供應南科一期、二期基地或都市發展區用水需求，在此一前題下之灌溉配水營運調整方式。

一、幹線用水調配

本方案所採行之用水調配措施，乃根據在嘉南水利會之缺水期用水調配措施，配合本研究之機動性用水調配模式；進行以幹線系統為主之用水調配方式。在南科用水需求殷切之情況下，為能讓南科用水能穩定供應，本研究採用預扣之方式迫行用水之調配，亦即，在南科用水需求下，以充分滿足南科之用水後，再依照所剩餘之水量進行系統間之用水調配。

嘉南水利會之灌區，因地處嘉南平原上，水源獲取不易，為能充分利用土地，水源因而有其特殊之輪作制度，如三年一作，三年二作等。烏山頭灌區系統之灌溉水源係來自於曾文溪，由曾文水庫調節後之流量導引至烏山頭水庫內，再經由進水塔、壓力隧道、制水閘、送水鋼管、放水閘、尾水池等放水設施進入灌溉渠道，供應嘉南平原之農田灌溉、工業及民生給水等各項用水之需，其送水隧道之設計流量平時為 68cms，最大可達 89.8cms。圖 4-4 所示為烏山頭灌區系統圖。

灌溉配水作業乃綜合作物種類、作物生育階段、作物需水量、田間滲漏量、輸水損失、有效雨量等之組合體，且以上各因子會隨著時間及地點之不同而有所變化，因此如何適時地將所需之水量分配到各田區之中，對於大面積系統之配水而言，將是極為複雜之專業技術。

在實際配水方案之研擬中，對於作物潛能蒸發散量之估算，係採用國際糧農組織（FAO）所推薦之四種作物需水量間接推估法，配合嘉南地區之氣象觀測資料，進行作物需水量之推估。表 4-2 所示為嘉南地區以 FAO 所推薦之推估式估算潛能蒸發散量（ ET_0 ）之結果，表中所列之四種方法中，根據甘氏等（甘俊二，1996）針對台灣地作物需水量推估模式之合適性研究中，其結果顯示以 modify penman method 推估之結果，與實測值最為接近，並建議在氣象資料充足之情況下，可作為台灣地區作物需水量之最佳推估模式，因此本研究對於灌溉需水量之估算選用 modify penman method 之估算結果為依據。

烏山頭水庫

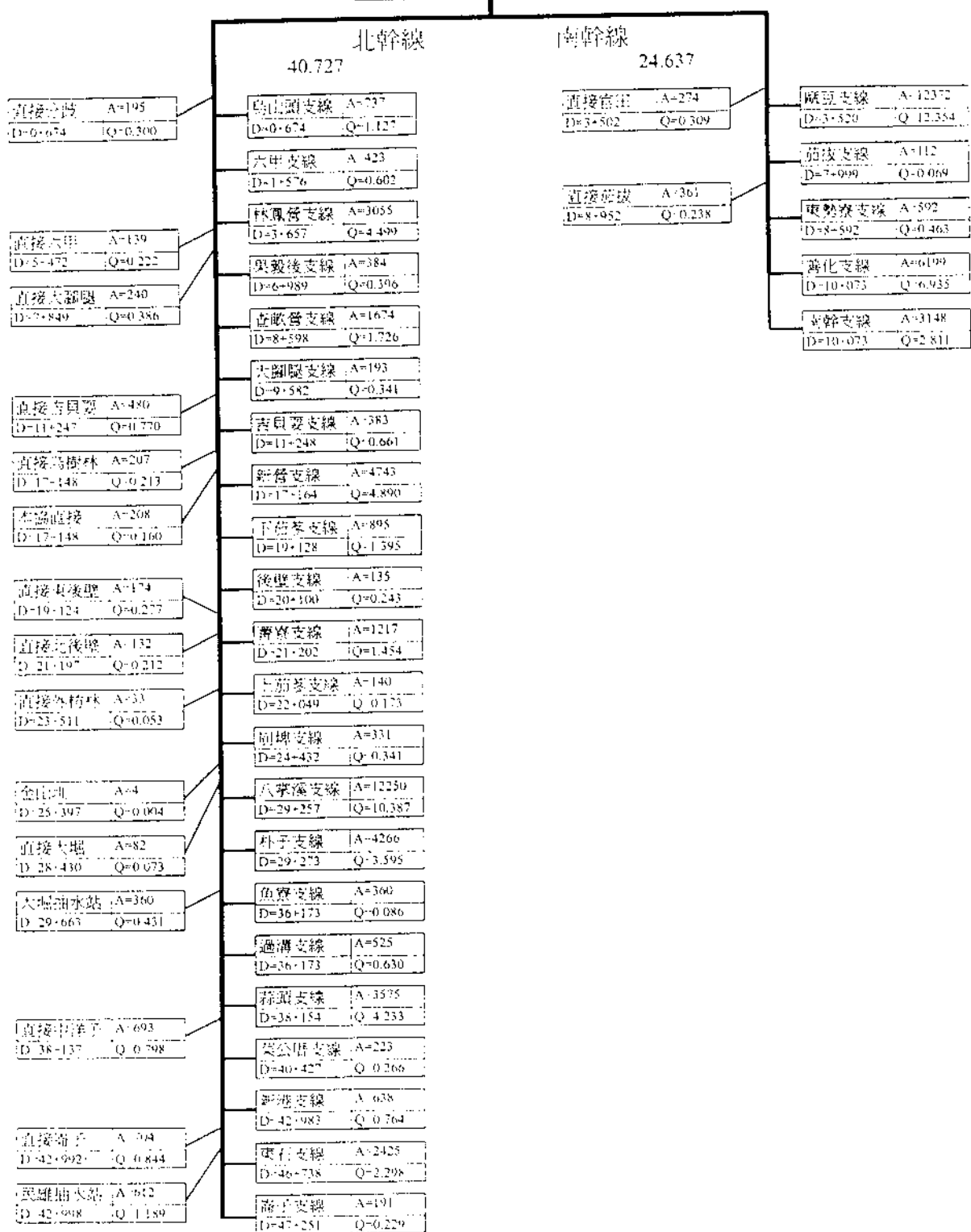


圖 4-4 嘉南水利會烏山頭灌區系統

資料來源：經濟部水資源局，2001

表 4-2 嘉南地區推估之潛能蒸發散量 ET_0

(mm/day)

旬 別	B-C	radiation	penman	A-pan
1 月上旬	2.9	2.4	2.2	2.4
1 月中旬	2.9	2.4	2.2	2.4
1 月下旬	2.9	2.3	2.1	2.4
2 月上旬	3.1	2.5	2.4	2.4
2 月中旬	3.3	2.6	2.5	2.5
2 月下旬	3.4	2.7	2.5	2.7
3 月上旬	3.7	3.3	3.1	3.0
3 月中旬	3.8	3.3	3.1	3.1
3 月下旬	3.9	3.4	3.2	3.2
4 月上旬	4.2	3.8	3.7	3.4
4 月中旬	4.2	3.9	3.8	3.5
4 月下旬	4.2	4.0	3.9	3.7
5 月上旬	4.4	4.3	4.2	4.0
5 月中旬	4.5	4.4	4.4	4.1
5 月下旬	4.6	4.5	4.5	4.2
6 月上旬	5.2	4.6	4.7	4.4
6 月中旬	5.3	4.8	4.9	4.5
6 月下旬	5.3	4.9	5.1	4.7
7 月上旬	5.6	5.3	5.4	4.9
7 月中旬	5.3	5.2	5.3	4.8
7 月下旬	4.9	5.1	5.1	4.6
8 月上旬	4.5	4.7	4.7	4.2
8 月中旬	4.4	4.7	4.7	4.2
8 月下旬	4.3	4.7	4.6	4.1
9 月上旬	4.2	4.4	4.2	3.9
9 月中旬	4.1	4.2	4.1	3.8
9 月下旬	4.0	4.1	4.1	3.8
10 月上旬	3.7	3.5	3.4	3.6
10 月中旬	3.7	3.4	3.3	3.4
10 月下旬	3.7	3.4	3.2	3.2
11 月上旬	3.5	2.7	2.6	2.9
11 月中旬	3.5	2.7	2.5	2.8
11 月下旬	3.5	2.7	2.5	2.7
12 月上旬	3.1	2.4	2.2	2.6
12 月中旬	3.0	2.4	2.2	2.6
12 月下旬	3.0	2.3	2.1	2.5

資料來源：經濟部水資源局，2001。

因為本區之灌溉水源相當缺乏，在灌溉配水作業上，雖然在配水計畫中明列旱作灌溉之水量與施灌時間，考量嘉南地區之民生及工業用水需求下，往往減少旱作灌溉次數以節省水量，而僅進行水稻之灌溉而已。本研究乃配合實地現況，對於配水方案之研擬也僅以水稻為對象，而不考慮旱作灌溉之部分。表4-3為根據表4-2以 modify penman method 之推估結果，配合嘉南地區之區域特性、水稻之作物係數 (Kc)、土壤質地及降雨情形估算而得之田間灌溉需水量 (Field Irrigation Requirement, FIR)，其所推估之嘉南地區二期作田間灌溉需水量，在水稻生育的八個階段中，分別為插秧成活期：1.54 $\lambda/s/ha$ (包括整田)、分蘗初期：0.77 $\lambda/s/ha$ 、分蘗末期：1.01 $\lambda/s/ha$ 、開花初期：1.03 $\lambda/s/ha$ 、開花末期：1.11 $\lambda/s/ha$ 、成熟初期：1.01 $\lambda/s/ha$ 、成熟中期：0.82 $\lambda/s/ha$ 、及成熟末期：0.61 $\lambda/s/ha$ 。

表 4-3 嘉南地區水稻二期作之田間灌溉需水量表

生育天數	生育期	作物需水量 (mm)	滲漏量 (mm)	有效雨量 (mm)	FIR (mm)	FIR ($\lambda/sec/ha$)
1~15	插秧期	86.31	37.5	0.00	123.81	1.54
16~30	分蘗初期	111.96	37.5	49.73	99.73	0.77
31~45	分蘗末期	131.85	37.5	38.40	130.95	1.01
46~60	開花初期	139.04	37.5	43.15	133.39	1.03
61~75	開花末期	123.53	37.5	16.71	144.32	1.11
76~90	成熟初期	102.90	37.5	9.01	131.39	1.01
91~105	成熟中期	70.10	37.5	0.71	106.89	0.82
106~120	成熟末期	42.10	37.5	0.00	79.60	0.61

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-4 嘉南水利會烏山頭灌區系統全面種植水稻之取水量推估 (1/2)

單位: λ/s

分線	面積 (ha)	損失係數		六月上	六月中	六月下	七月上	七月中	七月下	八月上	八月中	八月下	九月上	九月中	九月下
		輪區	系統												
直接官田	274	1.333	1.153	563	424	281	369	373	376	406	387	369	300	263	223
麻豆支線	12372	1.333	1.302	25404	19135	12702	16661	16826	16991	18311	17486	16661	13527	11877	10063
茄拔支線	112	1.333	1.190	230	173	115	151	152	154	166	158	151	122	108	91
直接茄拔	361	1.333	1.112	741	558	371	486	491	496	534	510	486	395	347	294
東勢寮支線	592	1.333	1.475	1216	916	608	797	805	813	876	837	797	647	568	481
善化支線	6199	1.333	1.467	12729	9588	6364	8348	8431	8513	9175	8761	8348	6778	5951	5042
南幹支線	3148	1.333	1.238	6464	4869	3232	4239	4281	4323	4659	4449	4239	3442	3022	2560
直接分歧	195	1.333	1.111	400	302	200	263	265	268	289	276	263	213	187	159
烏山頭支線	737	1.333	1.069	1513	1140	757	992	1002	1012	1091	1042	992	806	708	599
六甲支線	423	1.333	1.111	869	654	434	570	575	581	626	598	570	462	406	344
林鳳營支線	3055	1.333	1.186	6273	4725	3136	4114	4155	4196	4521	4318	4114	3340	2933	2485
直接六甲	139	1.333	1.227	285	215	143	187	189	191	206	196	187	152	133	113
直接大腳腿	240	1.333	1.149	493	371	246	323	326	330	355	339	323	262	230	195
果毅後支線	384	1.333	1.073	788	594	394	517	522	527	568	543	517	420	369	312
查畝營支線	1674	1.333	1.108	3437	2589	1719	2254	2277	2299	2478	2366	2254	1830	1607	1362
大腳腿支線	193	1.333	1.086	396	299	198	260	262	265	286	273	260	211	185	157
直接吉貝要	480	1.333	1.141	986	742	493	646	653	659	710	678	646	525	461	390
吉貝要支線	383	1.333	1.066	786	592	393	516	521	526	567	541	516	419	368	312
直接烏樹林	207	1.333	1.139	425	320	213	279	282	284	306	293	279	226	199	168
本協直捷	208	1.333	1.143	427	322	214	280	283	286	308	294	280	227	200	169
新營支線	4743	1.333	1.211	9739	7336	4869	6387	6450	6514	7020	6703	6387	5186	4553	3858
下茄苳支線	895	1.333	1.109	1838	1384	919	1205	1217	1229	1325	1265	1205	979	859	728
後壁支線	135	1.333	1.125	277	209	139	182	184	185	200	191	182	148	130	110

表 4-4 嘉南水利會烏山頭灌區系統全面種植水稻之取水量推估 (2/2)

單位: λ/s

分線	面積 (ha)	損失係數 輪區系統	六月上	六月中	六月下	七月上	七月中	七月下	八月上	八月中	八月下	九月上	九月中	九月下
直接東後壁	174	1.333	1.135	357	269	179	234	237	239	258	246	234	190	167
直接北後壁	132	1.333	1.134	271	204	136	178	180	181	195	187	178	144	127
青寮支線	1217	1.333	1.244	2499	1882	1249	1639	1655	1671	1801	1720	1639	1331	1168
直接外枋林	33	1.333	1.233	68	51	34	44	45	45	49	47	44	36	32
上茄苳支線	140	1.333	1.081	287	217	144	189	190	192	207	198	189	153	134
崩埤支線	331	1.333	1.616	680	512	340	446	450	455	490	468	446	362	318
金山圳	4	1.333	1.250	8	6	4	5	5	5	6	6	5	4	4
直接大掘	82	1.333	1.141	168	127	84	110	112	113	121	116	110	90	79
八掌溪支線	12250	1.333	1.230	25153	18947	12577	16497	16660	16823	18130	17313	16497	13393	11760
朴子支線	4266	1.333	1.117	8760	6598	4380	5745	5802	5859	6314	6029	5745	4664	4095
大掘抽水站	360	1.333	1.677	739	557	370	485	490	494	533	509	485	394	346
魚寮分線	360	1.333	1.593	739	557	370	485	490	494	533	509	485	394	346
過溝支線	525	1.333	1.119	1078	812	539	707	714	721	777	742	707	574	504
蒜頭支線	3575	1.333	1.096	7341	5529	3670	4814	4862	4910	5291	5053	4814	3909	3432
直接中洋子	693	1.333	1.135	1423	1072	711	933	942	952	1026	979	933	758	665
蔡公厝支線	223	1.333	1.127	458	345	229	300	303	306	330	315	300	244	214
新港支線	638	1.333	1.331	1310	987	655	859	868	876	944	902	859	698	612
直接崙子	704	1.333	1.150	1446	1089	723	948	957	967	1042	995	948	770	676
民雄抽水站	612	1.333	1.726	1257	947	628	824	832	840	906	865	824	669	588
東石支線	2425	1.333	1.204	4979	3751	2490	3266	3298	3330	3589	3427	3266	2651	2328
崙子支線	191	1.333	1.157	392	295	196	257	260	262	283	270	257	209	183
合計	66084			135692	102210	67846	88993	89874	90755	97804	93399	88993	72252	63441
系統取水口取水量				168899	127222	84449	110771	111868	112965	121739	116255	110771	89933	78966

由表 4-4 可以看出整個烏山頭灌區系統之灌溉面積高達 66,084 公頃，若全面種植水稻時，其尖峰用水量將高達 168.9 cms，這對於烏山頭放水設施之設計流量 89.8 cms 而言，是無法負荷的，這也說明本區為何實行輪作制度的原因。表 4-3 所示，為假設烏山頭灌區系統若全面種植水稻時之各支分線需用水情形，表中之輸水損失係採用嘉南水利會之實測結果，並以水源較穩定時之二期作時期為準，由表中可以看出若全面種植水稻，則系統取水口之供應流量，在六月上旬需要 168.9 cms，而在成種末期（九月下旬）之需水量亦高達 66.9 cms。因此以下之幹線用水調配方案是以目前之輪作制度下之需用水情形，作為用水調配之參考。

表 4-5 所示為烏山頭灌區系統平水期配水與供應南科用水調配之配水比較表，在表中之取水量是以嘉南水利會灌溉計畫中之平時用水，若該時期之用水在系統取水口之所需水量為 69.46cms 時，則各支分線系統所需水量，如需水量一欄所示，在該系統中支分線別之面積差異相當大，面積最大為麻豆支線：12,372 公頃，其次為八掌溪支線：12,250 公頃，面積最小的是金山圳，面積僅有 4 公頃，由於面積差異大，徒增用水調配之困難度。

當系統之供水量充足時之平水期，原本之灌溉用水調配，在供水量為 100%（依計畫水量供水）時，各支分線系統分配水量如表中之需水量一欄所示。若水量輕微缺乏時，則在配水作業上可以均勻遞減之方式進行配水，並不會嚴重影響系統之營運操作，如：供水率為 90%時（系統供水量 62.5 cms），則各支分線之分配水量以均勻遞減分配後如表中分配水量比較一欄之 90%欄所示；在供水率為 80%時（系統供量 55.57cms），各支分線之分配水量如表中分配水量比較一欄之 80%欄所示。

在上述之供水情形下，若要支援供應南科用水，則勢必調整分配水量方能符合要求，在該研究中採用預扣之方式進行水量調配工作，以確保南科用水之穩定，亦即在系統配水時先行提供南科用水後再進行用水量之調配工作。若原本水量充足，各支分線之分配水量原為需水量一欄，但為要提供南科每日 11 萬噸之用水，此相當於系統之取水減少之情況，經模式模擬後，相當於取水率為 98%時之情形，故可以均勻遞減之配水方式為之，其重新分配水量如表中分配水量比較欄之 100%*一欄所示。

表 4-5 烏山頭灌區系統平水期配水與供應南科用水調配比較表 (1/2)

支線別	面積 (ha)	損失係數		取水量 (λ /sec)	分配水量比較(λ /sec)				
		輪區	系統		100%*	90%	90%*	80%	80%*
直接官田	274	1.333	1.153	268	261	241	235	214	水量 過 低 需 改 用 分 組 輪 灌
麻豆支線	12372	1.333	1.302	9491	9259	8540	8308	7593	
茄拔支線	112	1.333	1.190	58	57	52	51	46	
直接茄拔	361	1.333	1.112	214	209	193	187	171	
東勢寮支線	592	1.333	1.475	314	306	283	275	251	
善化支線	6199	1.333	1.467	4728	4612	4254	4139	3783	
南幹支線	3148	1.333	1.238	2271	2215	2043	1988	1817	
直接分歧	195	1.333	1.111	270	263	243	236	216	
烏山頭支線	737	1.333	1.069	1054	1028	948	923	843	
六甲支線	423	1.333	1.111	542	529	488	474	434	
林鳳營支線	3055	1.333	1.186	3795	3702	3415	3322	3036	
直接六甲	139	1.333	1.227	181	177	163	158	145	
直接大腳腿	240	1.333	1.149	336	328	302	294	269	
果毅後支線	384	1.333	1.073	369	360	332	323	295	
查畝營支線	1674	1.333	1.108	1558	1520	1402	1364	1246	
大腳腿支線	193	1.333	1.086	314	306	283	275	251	
直接吉貝要	480	1.333	1.141	675	658	607	591	540	
吉貝要支線	383	1.333	1.066	620	605	558	543	496	
直接烏樹林	207	1.333	1.139	187	182	168	164	150	
本協直接	208	1.333	1.143	140	137	126	123	112	
新營支線	4743	1.333	1.211	4037	3938	3632	3534	3230	
下茄苳支線	895	1.333	1.109	1258	1227	1132	1101	1006	
後壁支線	135	1.333	1.125	216	211	194	189	173	
直接東後壁	174	1.333	1.135	244	238	220	214	195	
直接北後壁	132	1.333	1.134	187	182	168	164	150	
青寮支線	1217	1.333	1.244	1169	1140	1052	1023	935	
直接外枋林	33	1.333	1.233	43	42	39	38	34	
上茄苳支線	140	1.333	1.081	160	156	144	140	128	
崩埤支線	331	1.333	1.616	211	206	190	185	169	
金山圳	4	1.333	1.214	14	14	13	12	11	
直接大掘	82	1.333	1.141	64	62	58	56	51	
八掌溪支線	12250	1.333	1.230	8442	8235	7596	7389	6754	
朴子支線	4266	1.333	1.117	3219	3140	2896	2818	2575	

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-5 烏山頭灌區系統平水期配水與供應南科用水調配比較表 (2/2)

支線別	面積 (ha)	損失係數		取水量 (λ /sec)	分配水量比較(λ /sec)				
		輪區	系統		100%*	90%	90%*	80%	80%*
大掘抽水站	360	1.333	1.677	161	251	231	225	129	
魚寮分線	360	1.333	1.593	54	53	49	47	43	
過溝支線	525	1.333	1.119	563	549	507	493	450	
蒜頭支線	3575	1.333	1.096	3861	3767	3474	3380	3089	
直接中洋子	693	1.333	1.135	703	686	633	615	562	
蔡公厝支線	223	1.333	1.127	236	230	212	207	189	
新港支線	638	1.333	1.331	574	560	516	502	459	
直接崙子	704	1.333	1.150	734	716	660	642	587	
民雄抽水站	612	1.333	1.726	689	672	620	603	551	
東石支線	2425	1.333	1.204	1908	1861	1717	1670	1526	
崙子支線	191	1.333	1.157	198	193	178	173	158	
合 計	66084			56330	55016	50694	49380	45066	
系統取水口供水量				69460	69460	62500	62500	55570	55570
配水比例					0.98	0.9	0.88	0.8	—

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

而在供水率 90%時，提供南科用水後，相當於系統供水率為 88%之情況，尚符合採用均勻遞減之配水方式，而不致嚴重影響配水操作，因而採用均勻遞減之配水方式，其分配水量如 90%*一欄所示。而在供水率為 80%時，原本可以應用均勻遞減之方式進行配水，惟在供應南科用水後，造成取水率降相對的降低，此時因水量過低，已無法再利用均勻遞減之方式配水，需改以分組輪灌之配水方式為之。

以麻豆支線為例，在該支線之灌溉面積為 12,372 公頃，其輪區損失係數為 1.333，系統損失係數為 1.302，若某一時期之取水量為 9.491cms，則在水量供應充足之平水期，其分配水量即為取水量 9.491cms，在此一情況下，若實施供應南科用水方案，則分配水量因實施均勻遞減的因素，配水量由原來的 9.491cms 降為 9.259cms。又若原本在供水率為 90%時，其分配水量為 8.54cms，在實施南科供水調配方案後，其分配水量減為 8.308cms。

在分組輪灌上，因為各支分線系統之面積差異過大，在輪灌分組上，若所劃分之組數過多，則反而會造成用水不切實際之情形，且易造成配水作業之困擾，因此本研究在系統用水調配之分組上，建議最大分組數為三組，以下就輪灌分組之配水情形，以分三組灌二組及分二組灌一組之情形加以說明之。

(一)分三組灌二組

當系統之供水率持續降低，在使用均勻遞減之配水方式會嚴重影響水量之分配工作時，則務必採用非常之手段採行分組輪灌措施，至於分組輪灌之分組數乃視取水率之多寡加以細分。以供水率 70% 之情形下，根據本模式之分組法則，屬分三組灌二組之情形。就烏山頭灌區系統而言，依照本模式之模擬結果，第一組為自直接官田至南幹支線之 7 個南幹線之支分線系統，其餘之北幹線系統部分，自直接分歧至直接大掘之 24 個支分線系統為第二組，而其餘之 13 個支分線系統（自八掌溪支線至崙子支線）為第三組，詳如表 4-6 所示。依照模式之調配結果，在供水率為 70% 時（供水量 48.62cms），屬分三組灌二組之配水，在第一組及第二組輪值時，其配水比例為 1.11，第二組及第三組輪值時之配水比例為 1.05，第三組與第一組輪值時之配水比例為 0.99。在相同之情形下若實施供應南科用水方案，則依照本模式之模擬結果尚屬分三組灌二組之情形，各輪值組之配水比例依序為 1.07、1.01 及 0.96。以麻豆支線為例，在未實施南科供水方案下，當第一組及第二組輪值時，其分配水量為 10.557cms（取水量乘上配水比例），而在第二組及第三組輪值時，因該支線屬第一組，故不予分配水量，而在第三組及第一組輪值時，該支線之分配水量為 9.431cms。而在供應南科用水之情形下，其分配水量分別由原來之 10.557、0、9.431cms 降為 10.188、0、9.101cms。

表 4-6 烏山頭灌區系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (1/2)
(分三組灌二組)

支線別	面積 (ha)	損失係數		取水量 (λ /sec)	分配水量比較(λ /sec)					
		輪區	系統		70%			70%*		
直接官田	274	1.333	1.153	268	298		266	288		257
麻豆支線	12372	1.333	1.302	9491	10557		9431	10188		9101
茄拔支線	112	1.333	1.190	58	65		58	62		56
直接茄拔	361	1.333	1.112	214	238		213	230		205
東勢寮支線	592	1.333	1.475	314	349		312	337		301
善化支線	6199	1.333	1.467	4728	5259		4698	5075		4534
南幹支線	3148	1.333	1.238	2271	2526		2257	2438		2178
直接分歧	195	1.333	1.111	270	300	284		290	274	
烏山頭支線	737	1.333	1.069	1054	1172	1107		1131	1069	
六甲支線	423	1.333	1.111	542	603	569		582	549	
林鳳營支線	3055	1.333	1.186	3795	4221	3987		4074	3847	
直接六甲	139	1.333	1.227	181	201	190		194	183	
直接大腳腿	240	1.333	1.149	336	374	353		361	341	
果毅後支線	384	1.333	1.073	369	410	388		396	374	
查畝營支線	1674	1.333	1.108	1558	1733	1637		1672	1580	
大腳腿支線	193	1.333	1.086	314	349	330		337	318	
直接吉貝委	480	1.333	1.141	675	751	709		725	684	
吉貝委支線	383	1.333	1.066	620	690	651		666	629	
直接烏樹林	207	1.333	1.139	187	208	196		201	190	
本協直接	208	1.333	1.143	140	156	147		150	142	
新營支線	4743	1.333	1.211	4037	4490	4241		4333	4093	
下茄苳支線	895	1.333	1.109	1258	1399	1322		1350	1275	
後壁支線	135	1.333	1.125	216	240	227		232	219	
直接東後壁	174	1.333	1.135	244	271	256		262	247	
直接北後壁	132	1.333	1.134	187	208	196		201	190	
青寮支線	1217	1.333	1.244	1169	1300	1228		1255	1185	
直接外枋林	33	1.333	1.233	43	48	45		46	44	
上茄苳支線	140	1.333	1.081	160	178	168		172	162	
崩埤支線	331	1.333	1.616	211	235	222		226	214	
金山圳	4	1.333	1.214	14	16	15		15	14	
直接大堀	82	1.333	1.141	64	71	67		69	65	
八掌溪支線	12250	1.333	1.230	8442		8869	8389		8559	8095
朴子支線	4266	1.333	1.117	3219		3382	3199		3263	3087

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-6 烏山頭灌區系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (2/2)
(分三組灌二組)

支線別	面積 (ha)	損失係數		取水量 (λ /sec)	分配水量比較(λ /sec)					
		輪區	系統		70%			70%*		
大掘抽水站	360	1.333	1.677	161		169	160		261	246
魚寮分線	360	1.333	1.593	54		57	54		55	52
過溝支線	525	1.333	1.119	563		591	559		571	540
蒜頭支線	3575	1.333	1.096	3861		4056	3837		3914	3702
直接中洋子	693	1.333	1.135	703		739	699		713	674
蔡公厝支線	223	1.333	1.127	236		248	235		239	226
新港支線	638	1.333	1.331	574		603	570		582	550
直接崙子	704	1.333	1.150	734		771	729		744	704
民雄抽水站	612	1.333	1.726	689		724	685		699	661
東石支線	2425	1.333	1.204	1908		2004	1896		1934	1830
崙子支線	191	1.333	1.157	198		208	197		201	190
合 計	66084			56330	38918	40956	38442	37557	39622	37190
系 統 取 水 口 供 水 量				69460	48620	48620	48620	48620	48620	48620
配 水 比 例					1.11	1.05	0.99	1.07	1.01	0.96

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

(二)分二組灌一組

當系統之供水率降低到無法以分三組灌二組之配水方式進行用水調配時，依照本模式需重新檢討分組數，再依照新的分組方式進行配水操作。以取水率為 50% 為例，在供水率低至 50% 時（即供水量為 34.73cms），經本模式之調配模擬結果，屬分二組灌一組之非常輪灌情形，其分組之結果為自直接官田至南幹支線之南幹線部分，及北幹線之直接分歧至本協直接，共 20 個子系統屬第一組，其餘之 24 個北幹線子系統則分屬第二組，在不提供南科用水之情形下，第一組輪值時之配水比例與第二組輪值時之配水比例分別為 1.01、1.00，而在實行供應南科配水方案時，經本模式之模擬結果，亦屬於分二組灌一組之情形，而第一組輪值與第二組輪值之配水比例分別為 0.96 及 0.95。

以麻豆支線為例，在未實施供應南科用水方案下，當第一組輪值時，其分配水量為 9.576cms（其需水量為 9.491cms），第二組輪值時，其分配水量為 0。而在實施南科用水供應方案下，其分配水量則降為 9.107cms。

表 4-7 烏山頭灌區系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (1/2)

(分二組灌一組)

支線別	面積 (ha)	損失係數		取水量 (λ /sec)	分配水量比較(λ /sec)		
		輪區	系統		50%	50%*	
直接官田	274	1.333	1.153	268	270		257
麻豆支線	12372	1.333	1.302	9491	9576		9107
茄拔支線	112	1.333	1.190	58	59		56
直接茄拔	361	1.333	1.112	214	216		205
東勢寮支線	592	1.333	1.475	314	317		301
善化支線	6199	1.333	1.467	4728	4770		4537
南幹支線	3148	1.333	1.238	2271	2291		2179
直接分歧	195	1.333	1.111	270	272		259
烏山頭支線	737	1.333	1.069	1054	1063		1011
六甲支線	423	1.333	1.111	542	547		520
林鳳營支線	3055	1.333	1.186	3795	3829		3642
直接六甲	139	1.333	1.227	181	183		174
直接大腳腿	240	1.333	1.149	336	339		322
果毅後支線	384	1.333	1.073	369	372		354
查畝營支線	1674	1.333	1.108	1558	1572		1495
大腳腿支線	193	1.333	1.086	314	317		301
直接吉貝耍	480	1.333	1.141	675	681		648
吉貝耍支線	383	1.333	1.066	620	626		595
直接烏樹林	207	1.333	1.139	187	189		179
本協直接	208	1.333	1.143	140	141		134
新營支線	4743	1.333	1.211	4037		4020	3823
下茄荖支線	895	1.333	1.109	1258		1253	1191
後壁支線	135	1.333	1.125	216		215	205
直接東後壁	174	1.333	1.135	244		243	231
直接北後壁	132	1.333	1.134	187		186	177
青寮支線	1217	1.333	1.244	1169		1164	1107
直接外枋林	33	1.333	1.233	43		43	41
上茄荖支線	140	1.333	1.081	160		159	152
崩埤支線	331	1.333	1.616	211		210	200
金山圳	4	1.333	1.214	14		14	13
直接大堀	82	1.333	1.141	64		64	61
八掌溪支線	12250	1.333	1.230	8442		8406	7995
朴子支線	4266	1.333	1.117	3219		3205	3048

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-7 烏山頭灌區系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表 (2/2)
(分二組灌一組)

支線別	面積 (ha)	損失係數		取水量 (λ /sec)	分配水量比較(λ /sec)			
		輪區	系統		50%		50%*	
大掘抽水站	360	1.333	1.677	161		256		243
魚寮分線	360	1.333	1.593	54		54		51
過溝支線	525	1.333	1.119	563		561		533
蒜頭支線	3575	1.333	1.096	3861		3845		3656
直接中洋子	693	1.333	1.135	703		700		666
蔡公厝支線	223	1.333	1.127	236		235		223
新港支線	638	1.333	1.331	574		572		544
直接崙子	704	1.333	1.150	734		731		695
民雄抽水站	612	1.333	1.726	689		686		652
東石支線	2425	1.333	1.204	1908		1900		1807
崙子支線	191	1.333	1.157	198		197		188
合 計	66084			56330	27630	28918	26278	27502
系 統 取 水 口 供 水 量				69460	34730	34730	34730	34730
配 水 比 例					1.01	1.00	0.96	0.95

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

二、支線用水調配

在用水之調配技術上，除了應用幹線系統之調配方式外，亦可以將該方式應用於支分線系統上，當應用在幹線系統上時，因為所供應之水量佔幹線系統之比例較低（以本案為例，其所佔之比例約為 2%），故在進行用水調配時，對於系統之營運操作影響較小，在考慮渠道容量限制下，不致發生太大之問題。但若供應用水方案移到支線，以支線之分配水量調配因應時，若調配水量所佔之比例過高時，不但營運操作不易，在渠道容量之限制下，是否會發生無法營運或因流量過大危及渠道安全，實乃值得深慮，以本系統為例（善化支線系統），因為供應南科用水量，約佔系統尖峰用水量之 17% 左右，因此在營運操作上較為困難。以下就針對支線系統之用水調配模擬結果進行說明。

對於作物需水量之推估同幹線之部分，配合善化支線之系統特性，其系統之水稻灌溉取水量推估結果如表 4-8 所示，本系統共分 24 個分線或直接取水口，系統之水稻灌溉面積為 3707.99 公頃，最大為曾文溪分線之 1719.61 公頃，最小為善化直接之 1.92 公頃，因本區為輪作區，非當輪值組時則無水量可供應，故有水稻面積為 0 者，如竹園、胡厝寮等。

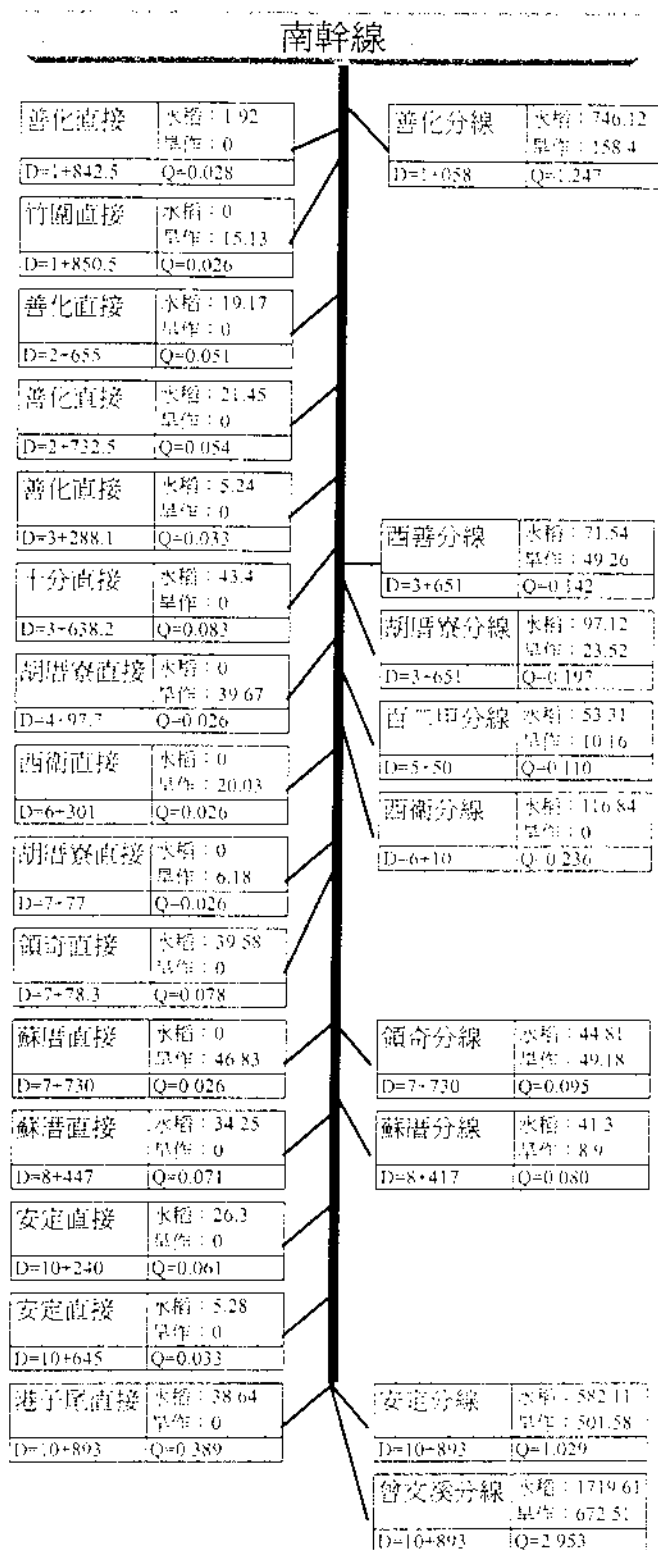


圖 4-5 嘉南水利會烏山頭灌區善化支線系統圖

依照推估之結果，各分線系統之計畫水量如表 4-8 所示，由表中可知系統之尖峰用水發生在六月上旬之整田期，其系統取水口之計畫水量為 8.685cms。而部分分線系統因非當值種水稻，故不予分配水量（旱作不灌溉），在灌溉計畫中之水量為 0。

在灌溉之用水調配方案上，以八月上旬時之用水為例，在八月上旬時之計畫用水量，其系統取水口之計畫水量為 6.26cms，如表 4-9 所示。在供水量穩定時，其分配水量如取水量一欄所示。若水量遞減至供水量為 80%時，在符合均勻遞減配水之情形下，其分配水量如表中分配水量 80%一欄所示，該分配水量為計畫用水量之 80%。

但若實行南科供水方案時，因南科用水佔該用水時期計畫水量之 24%，因此在原本 100%供水情況下，又要供應南科用水，則水量遞減過多，經本模式模擬結果，已無法使用均勻遞減之配水方式，而務必施行分組輪灌。依照模式之模擬結果屬分三組灌二組之配水，分組別自順序 1 至 14 屬第一組，自順序 15 至 23 屬第二組，曾文溪分線因所佔面積大，故獨立一組為第三組，在第一及第二組、第二及第三組、第三及第一組輪值時之配水比例分別為 1.32、1.08、及 0.94。詳如表 4-10 所示。

由此一結果顯示，子系統面積差別過大時，不利於分組輪灌之施行，且容易造成用水浪費之情形，配水比例大於 1.00 者，即表示灌溉過多之水量，雖然此一情形有利於生態及環境之改善，但在缺水期卻是一種浪費（無法有效利用有限之水資源）。

由表 4-10 中，在供應南科用水之情形下，在第一組及第二組輪值時，或第二及第三組輪值時，其配水比例均大於 1，而第一組及第三組輪值時配水比例小於 1。就水資源有效利用之觀點，第一組及第三組輪值下之配水方式較佳，而其餘二輪值組之配水，並不能充分的有效利用。以領奇分線為例，在此一供水率之情況下，原本之取水量為 66 λ/s ，於第一及第二組輪值時，其分配水量則為 87 λ/s ，高出原計畫取水量 21 λ/s ，而在第二及第三組輪值時之分配水量為 72 λ/s ，高出原計畫 6 λ/s 。而之所以造成此一用水差異的主要原因是系統間之施灌面積上之差異過大，在系統不可分割之原則下，形成配水之不均勻情況。

以上所述為供水率為 100%情況下，為因應供應南科用水方案下，因供南科用水而造成用水不足之情形，不得已而採行之分組輪灌措施。然若供水率不足 100%時，則分組輪灌之方案會隨著供水率之降低而有所變化。如供水率在 80%、70%且供應南科用水時，經模式之模擬，均屬於分二組灌一組之情況，其分組情形為自順序 1 至順序 22 屬第一組，順序 23 及順序 24 屬第二組，在供水率 80%之情形下，第一輪值組與第二輪值組之配水比例分別為 0.97 及

1.15。而在供水率為 70%時，第一輪值組與第二輪值組之配水比例分別為 0.8 及 0.94。表 4-11 及表 4-12 分別表示在取水率為 80%及 70%之情形下，並採用供應南科用水之用水調配方案。

若系統之供水率降至 60%時，在供應南科用水情形下，經模式模擬屬分三組灌一組之配水方案，在此一情形下，三輪值組之配水比例分別為 1.01、1.44 及 0.73，詳如表 4-13 所示。在此情形下第三組之配水已達均勻遞減之極限（80%），反觀第二組之分配水量卻高出計畫水量甚多，如此除了會有用水浪費之情形外，更會因為流量大而危及渠道之安全，因此在實際之應用上不一定可行。

綜觀前述之各種情形，因南科用水量佔本支線計畫用水量之比例甚高，故不建議採用支線輪灌之方式進行用水量之調配，相較之下，幹線用水調配方式之可行性較高，執行時所造成之影響亦較少，故本計畫建議採行以幹線用水調配之方式以供應南科之用水。

表 4-8 烏山頭灌區系統善化支線水稻取水量估算結果 (1/2)

單位： λ/s

順序	分線別	水稻 (ha)	早作 (ha)	損失係數		六月		七月		八月		九月	
				輪區	系統	上旬	中旬	上旬	中旬	上旬	中旬	上旬	中旬
1	善化分線	746.12	158.4	1.333	1.15	1532	1154	766	1005	1015	1025	1104	1055
2	善化	1.92	0	1.333	1.24	4	3	2	3	3	3	2	2
3	竹園	0	15.13	1.333	1.27	0	0	0	0	0	0	0	0
4	善化	19.17	0	1.333	1.20	39	30	20	26	26	26	21	18
5	善化	21.45	0	1.333	1.20	44	33	22	29	29	30	23	21
6	善化	5.24	0	1.333	1.20	11	8	5	7	7	7	6	5
7	西善分線	71.54	49.26	1.333	1.25	147	111	73	96	97	98	106	101
8	胡厝寮分線	97.12	23.52	1.333	1.19	199	150	100	131	132	133	144	137
9	十乃	43.4	0	1.333	1.20	89	67	45	58	59	60	64	61
10	胡厝寮	0	39.67	1.333	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0
11	百二甲分線	53.31	10.16	1.333	1.21	109	82	55	72	73	73	79	75
12	西衛分線	116.84	0	1.333	1.20	240	181	120	157	159	160	173	165
13	西衛	0	20.3	1.333	1.22	0	0	0	0	0	0	0	0
14	胡厝寮	0	6.18	1.333	1.27	0	0	0	0	0	0	0	0
15	領奇	39.58	0	1.333	1.20	81	61	41	53	54	54	59	56
16	蘇厝	0	46.83	1.333	1.23	0	0	0	0	0	0	0	0
17	領奇分線	44.81	49.18	1.333	1.25	92	69	46	60	61	62	66	63
18	蘇厝	34.25	0	1.333	1.20	70	53	35	46	47	47	51	48

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-8 烏山頭灌區系統善化支線水稻取水估算結果 (2/2)

單位： λ/s

順序	分線別	水稻 (ha)	旱作 (ha)	損失係數		六月 上旬	六月 中旬	六月 下旬	七月 上旬	七月 中旬	七月 下旬	八月 上旬	八月 中旬	八月 下旬	九月 上旬	九月 中旬	九月 下旬
				輪區	系統												
19	蘇厝分線	41.3	8.9	1.333	1.21	85	64	42	56	56	57	61	58	56	45	40	34
20	安定	26.3	0	1.333	1.20	54	41	27	35	36	36	39	37	35	29	25	21
21	安定	5.28	0	1.333	1.24	11	8	5	7	7	7	8	7	7	6	5	4
22	安定分線	582.11	501.58	1.333	1.17	1195	900	598	784	792	799	862	823	784	636	559	473
23	港子尾	38.64	0	1.333	1.22	79	60	40	52	53	53	57	55	52	42	37	31
24	曾文溪分線	1719.61	672.51	1.333	1.10	3531	2660	1765	2316	2339	2362	2545	2430	2316	1880	1651	1399
合計		3707.99	1601.62			7614	5735	3807	4993	5043	5092	5488	5241	4993	4054	3560	3016
系統取水口取水量						8685	6542	4342	5696	5752	5809	6260	5978	5696	4624	4060	3440

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-9 善化支線系統平水期配水與供應南科用水調配比較表

順序	分線別	面積 (ha)		損失係數		取水量 (8月上旬) (λ /sec)	分配水量比較 (λ /sec)	
		水稻	旱作	輪區	系統		80%	100%*
1	善化分線	746.12	158.4	1.333	1.15	1104	882	若
2	善化	1.92	0	1.333	1.24	3	2	提
3	竹圍	0	15.13	1.333	1.27	0	0	供
4	善化	19.17	0	1.333	1.20	28	23	南
5	善化	21.45	0	1.333	1.20	32	25	科
6	善化	5.24	0	1.333	1.20	8	6	用
7	西善分線	71.54	49.26	1.333	1.25	106	85	水
8	胡厝寮分線	97.12	23.52	1.333	1.19	144	115	，
9	十乃	43.4	0	1.333	1.20	64	51	則
10	胡厝寮	0	39.67	1.333	1.22	0	0	水
11	百二甲分線	53.31	10.16	1.333	1.21	79	63	量
12	西衛分線	116.84	0	1.333	1.20	173	138	過
13	西衛	0	20.3	1.333	1.22	0	0	低
14	胡厝寮	0	6.18	1.333	1.27	0	0	，
15	領奇	39.58	0	1.333	1.20	59	47	需
16	蘇厝	0	46.83	1.333	1.23	0	0	改
17	領奇分線	44.81	49.18	1.333	1.25	66	53	用
18	蘇厝	34.25	0	1.333	1.20	51	40	分
19	蘇厝分線	41.3	8.9	1.333	1.21	61	49	組
20	安定	26.3	0	1.333	1.20	39	31	輪
21	安定	5.28	0	1.333	1.24	8	6	灌
22	安定分線	582.11	501.58	1.333	1.17	862	688	。
23	港子尾	38.64	0	1.333	1.22	57	46	
24	曾文溪分線	1719.61	672.51	1.333	1.10	2545	2033	
合計		3707.99	1601.62			5488	4383	
系統取水口供水量						6260	5000	
配水比例							0.8	—

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-10 善化支線系統平水期配水與供應南科用水調配比較表

(分三組灌二組)

順序	分線別	面積 (ha)		損失係數		取水量 (8月上旬) (λ /sec)	分配水量比較 (λ /sec)		
		水稻	旱作	輪區	系統		100%*		
1	善化分線	746.12	158.4	1.333	1.15	1104	1455		1041
2	善化	1.92	0	1.333	1.24	3	4		3
3	竹園	0	15.13	1.333	1.27	0	0		0
4	善化	19.17	0	1.333	1.20	28	37		27
5	善化	21.45	0	1.333	1.20	32	42		30
6	善化	5.24	0	1.333	1.20	8	10		7
7	西善分線	71.54	49.26	1.333	1.25	106	140		100
8	胡厝寮分線	97.12	23.52	1.333	1.19	144	189		135
9	十乃	43.4	0	1.333	1.20	64	85		61
10	胡厝寮	0	39.67	1.333	1.22	0	0		0
11	百二甲分線	53.31	10.16	1.333	1.21	79	104		74
12	西衛分線	116.84	0	1.333	1.20	173	228		163
13	西衛	0	20.3	1.333	1.22	0	0		0
14	胡厝寮	0	6.18	1.333	1.27	0	0		0
15	領奇	39.58	0	1.333	1.20	59	77	63	
16	蘇厝	0	46.83	1.333	1.23	0	0	0	
17	領奇分線	44.81	49.18	1.333	1.25	66	87	72	
18	蘇厝	34.25	0	1.333	1.20	51	67	55	
19	蘇厝分線	41.3	8.9	1.333	1.21	61	81	66	
20	安定	26.3	0	1.333	1.20	39	51	42	
21	安定	5.28	0	1.333	1.24	8	10	8	
22	安定分線	582.11	501.58	1.333	1.17	862	1135	931	
23	港子尾	38.64	0	1.333	1.22	57	75	62	
24	曾文溪分線	1719.61	672.51	1.333	1.10	2545		2749	2399
合計		3707.99	1601.62			5488	3878	4048	4040
系統取水口供水量						6260	6260	6260	6260
配水比例							1.32	1.08	0.94

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-11 善化支線系統平水期配水與供應南科用水調配比較表

(分二組灌一組)

順序	分線別	面積 (ha)		損失係數		取水量 (8月上旬) (λ /sec)	分配水量比較 (λ /sec)	
		水稻	旱作	輪區	系統		80%*	
1	善化分線	746.12	158.4	1.333	1.15	1104	1075	
2	善化	1.92	0	1.333	1.24	3	3	
3	竹園	0	15.13	1.333	1.27	0	0	
4	善化	19.17	0	1.333	1.20	28	28	
5	善化	21.45	0	1.333	1.20	32	31	
6	善化	5.24	0	1.333	1.20	8	8	
7	西善分線	71.54	49.26	1.333	1.25	106	103	
8	胡厝寮分線	97.12	23.52	1.333	1.19	144	140	
9	十乃	43.4	0	1.333	1.20	64	63	
10	胡厝寮	0	39.67	1.333	1.22	0	0	
11	百二甲分線	53.31	10.16	1.333	1.21	79	77	
12	西衛分線	116.84	0	1.333	1.20	173	168	
13	西衛	0	20.3	1.333	1.22	0	0	
14	胡厝寮	0	6.18	1.333	1.27	0	0	
15	領奇	39.58	0	1.333	1.20	59	57	
16	蘇厝	0	46.83	1.333	1.23	0	0	
17	領奇分線	44.81	49.18	1.333	1.25	66	65	
18	蘇厝	34.25	0	1.333	1.20	51	49	
19	蘇厝分線	41.3	8.9	1.333	1.21	61	59	
20	安定	26.3	0	1.333	1.20	39	38	
21	安定	5.28	0	1.333	1.24	8	8	
22	安定分線	582.11	501.58	1.333	1.17	862	839	
23	港子尾	38.64	0	1.333	1.22	57		66
24	曾文溪分線	1719.61	672.51	1.333	1.10	2545		2927
合計		3707.99	1601.62			5488	2809	2993
系統取水口供水量						6260	5000	5000
配水比例							0.97	1.15

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-12 善化支線系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表

(分二組灌一組)

順序	分線別	面積 (ha)		損失係數		取水量 (8月上旬) (λ /sec)	分配水量比較 (λ /sec)	
		水稻	旱作	輪區	系統		70%*	
1	善化分線	746.12	158.4	1.333	1.15	1104	879	
2	善化	1.92	0	1.333	1.24	3	2	
3	竹園	0	15.13	1.333	1.27	0	0	
4	善化	19.17	0	1.333	1.20	28	23	
5	善化	21.45	0	1.333	1.20	32	25	
6	善化	5.24	0	1.333	1.20	8	6	
7	西善分線	71.54	49.26	1.333	1.25	106	84	
8	胡厝寮分線	97.12	23.52	1.333	1.19	144	114	
9	十乃	43.4	0	1.333	1.20	64	51	
10	胡厝寮	0	39.67	1.333	1.22	0	0	
11	百二甲分線	53.31	10.16	1.333	1.21	79	63	
12	西衛分線	116.84	0	1.333	1.20	173	138	
13	西衛	0	20.3	1.333	1.22	0	0	
14	胡厝寮	0	6.18	1.333	1.27	0	0	
15	領奇	39.58	0	1.333	1.20	59	47	
16	蘇厝	0	46.83	1.333	1.23	0	0	
17	領奇分線	44.81	49.18	1.333	1.25	66	53	
18	蘇厝	34.25	0	1.333	1.20	51	40	
19	蘇厝分線	41.3	8.9	1.333	1.21	61	49	
20	安定	26.3	0	1.333	1.20	39	31	
21	安定	5.28	0	1.333	1.24	8	6	
22	安定分線	582.11	501.58	1.333	1.17	862	686	
23	港子尾	38.64	0	1.333	1.22	57		54
24	曾文溪分線	1719.61	672.51	1.333	1.10	2545		2395
合計		3707.99	1601.62			5488	2298	2449
系統取水口供水量						6260	4400	4400
配水比例							0.80	0.94

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

表 4-13 善化支線系統缺水期配水與供應南科用水調配比較表

(分三組灌一組)

順序	分線別	面積 (ha)		損失係數		取水量 (8月上旬) (λ /sec)	分配水量比較(λ /sec)			
		水稻	旱作	輪區	系統		60%*			
1	善化分線	746.12	158.4	1.333	1.15	1104	1111			
2	善化	1.92	0	1.333	1.24	3	3			
3	竹園	0	15.13	1.333	1.27	0	0			
4	善化	19.17	0	1.333	1.20	28	29			
5	善化	21.45	0	1.333	1.20	32	32			
6	善化	5.24	0	1.333	1.20	8	8			
7	西善分線	71.54	49.26	1.333	1.25	106	106			
8	胡厝寮分線	97.12	23.52	1.333	1.19	144	145			
9	十乃	43.4	0	1.333	1.20	64	65			
10	胡厝寮	0	39.67	1.333	1.22	0	0			
11	百二甲分線	53.31	10.16	1.333	1.21	79	79			
12	西衛分線	116.84	0	1.333	1.20	173	174			
13	西衛	0	20.3	1.333	1.22	0	0			
14	胡厝寮	0	6.18	1.333	1.27	0	0			
15	領奇	39.58	0	1.333	1.20	59		84		
16	蘇厝	0	46.83	1.333	1.23	0		0		
17	領奇分線	44.81	49.18	1.333	1.25	66		96		
18	蘇厝	34.25	0	1.333	1.20	51		73		
19	蘇厝分線	41.3	8.9	1.333	1.21	61		88		
20	安定	26.3	0	1.333	1.20	39		56		
21	安定	5.28	0	1.333	1.24	8		11		
22	安定分線	582.11	501.58	1.333	1.17	862		1242		
23	港子尾	38.64	0	1.333	1.22	57		82		
24	曾文溪分線	1719.61	672.51	1.333	1.10	2545				1864
合計		3707.99	1601.62			5488	1751	1733		1864
系統取水口供水量						6260	3750	3750		3750
配水比例							1.01	1.44		0.73

註：*表示該分配水量，已先行提供每日 110,000 噸之水量，供南科之用。

資料來源：經濟部水資源局，2001。

第五章 移用灌溉用水之損害補償

5.1 各標的用水

台灣之年平均降雨量為 2,515 公釐、總量約 905 億噸，為全球年平均降雨量 970 公釐之 2.7 倍，降雨量尚稱豐沛，然而因為在時間與空間之分部不均，造成水資源利用之困擾。在空間之分布上，就本省過去自 1949 年至 1990 止之統計資料顯示，其降雨分布情形，北部地區之年降雨量最高為 2,934 公厘，中部地區最低為 2,081 公厘，南部地區為 2,501 公厘，東部地區為 2,715 公厘；在時間之分布上雨季集中於每年之 5 月到 9 月之間，而自 10 月至隔年之 4 月則屬旱季，在量的分布上，就過去 1949-1990 年間之平均資料顯示，北部地區豐枯相差較小約有 62% 之降雨集中在雨季，而南部地區之豐枯相差最為懸殊雨季之降雨量高達 90%，至於中部地區與東部地區則分別為 78% 與 79%，詳細之情形如圖 5-1 所示。

由於每年水文豐枯差異相當之大，在總降雨量 905 億噸之中，除去無法利用之蒸發散量及年入海水量外，分別由年引用河水、水庫調節及抽用地下水供應，實際可利用之水量，約介於 170 億噸至 193 億噸間，只佔總水量之 22% 左右，每人每年可分配水量僅為世界平均值八分之一（詳如表 5-1），顯示水資源之稀少性。加上台灣地區降雨在空間與時間上分布不平均，河流坡度陡流急，以致降雨稍有變化，便常造成缺水現象。加上當前台灣地區水資源環境已大幅改變，受到全球氣候變遷影響，水文不確定性相對提高，水資源問題日趨複雜，同時隨著國際環境保育潮流趨勢，政府在水資源施政工作上，不能祇以開發利用為唯一手段，更要兼顧水資源管理、水資源保育及水資源的統籌調配機能，在邁入廿一世紀之際，期能達到有限水資源永續經營與利用之目標。

表 5-1 世界各國降雨與每人每年分配水量表

國 別	年平均降雨量 (mm/yr)	每人每年 分配水量 (噸/年/人)	國 別	年平均降雨量 (mm/yr)	每人每年 分配水量 (噸/年/人)
澳 州	460	264,930	中 國	660	7,651
加 拿 大	522	228,099	印 度	1,170	6,581
蘇 聯	502	44,110	日 本	1,749	5,529
美 國	760	33,313	義大利	1,000	5,393
阿拉伯	100	24,130	比利時	1,064	4,579
菲律賓	2,360	16,868	西德	803	3,220
法 國	750	7,811	台灣	2,515	4,184
平 均				973	33,875

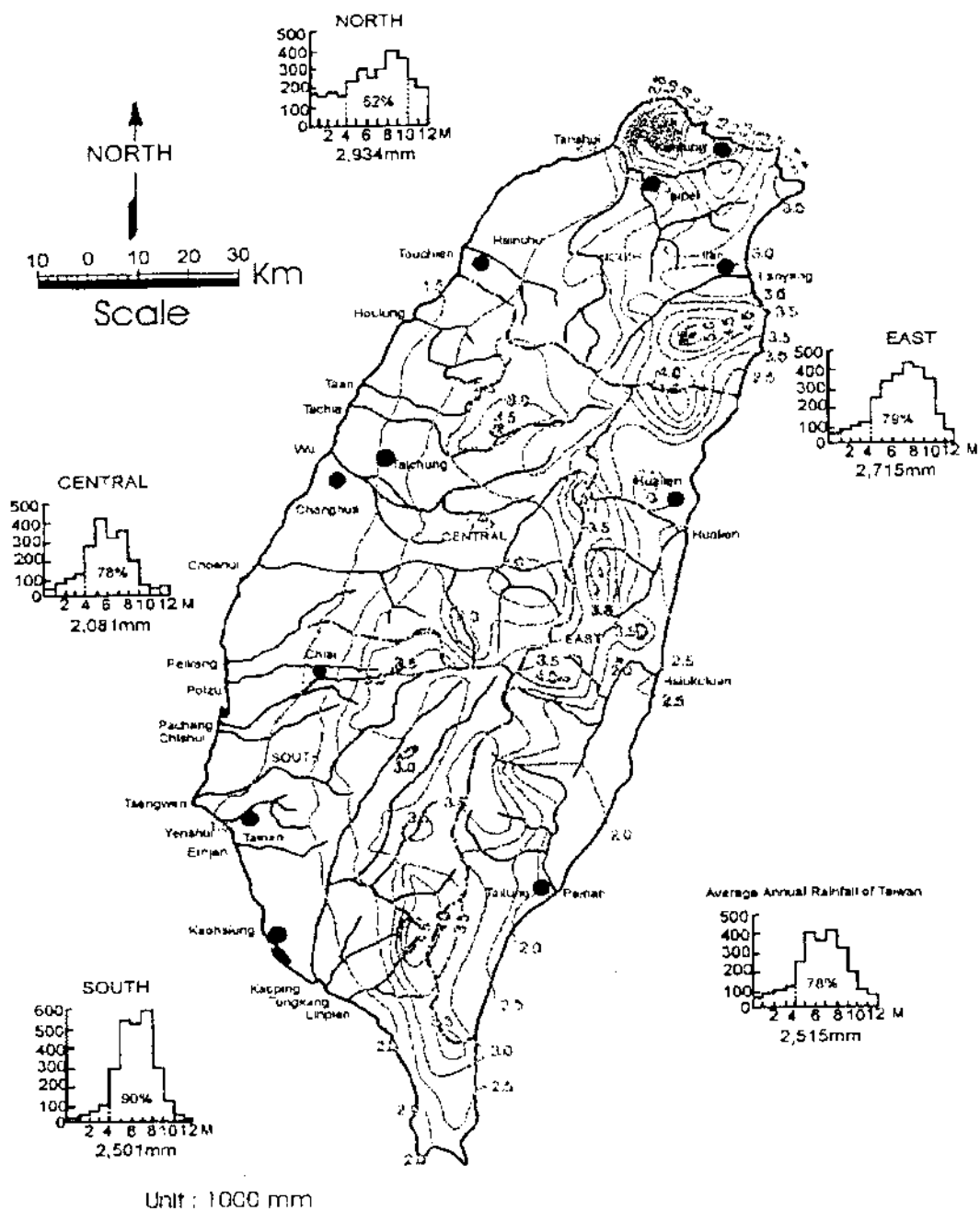


圖 5-1 台灣之年平均降雨量分布圖 (1949-1990)

在水量的需求方面，台灣地區自民國 65 年至民國 85 年之統計資料顯示，歷年之平均用水量約為 183.72 億噸，各標地之用水情形為：生活用水約 18.92 億噸佔總用水之 10.3%，工業用水則為 15.13 億噸，佔總用水之 8.24%，農業用水為 149.68 億噸，佔總用水之 81.46%，詳細之歷年各標的用水情形如表 5-2 及圖 5-2 所示。

表 5-2 歷年各標的用水情形

單位：億噸

民國	工業用水	生活用水	農業用水
65	13.47	7.25	159.59
66	13.81	8.09	164.07
67	14.24	9.07	167.85
68	14.40	9.87	162.50
69	14.54	10.89	156.24
70	14.67	14.66	159.02
71	14.95	15.58	163.52
72	15.15	16.44	159.32
73	15.61	17.03	150.90
74	15.64	18.25	150.13
75	13.62	19.01	149.02
76	14.10	20.06	148.27
77	14.43	21.40	146.76
78	14.74	22.64	149.74
79	15.01	23.84	153.93
80	16.28	24.83	135.53
81	17.34	26.03	135.02
82	16.85	27.71	126.51
83	16.01	28.20	131.75
84	16.26	27.47	144.64
85	16.51	29.00	128.89
86	16.14	29.13	135.07

台灣地區歷年各標的用水

單位：億噸

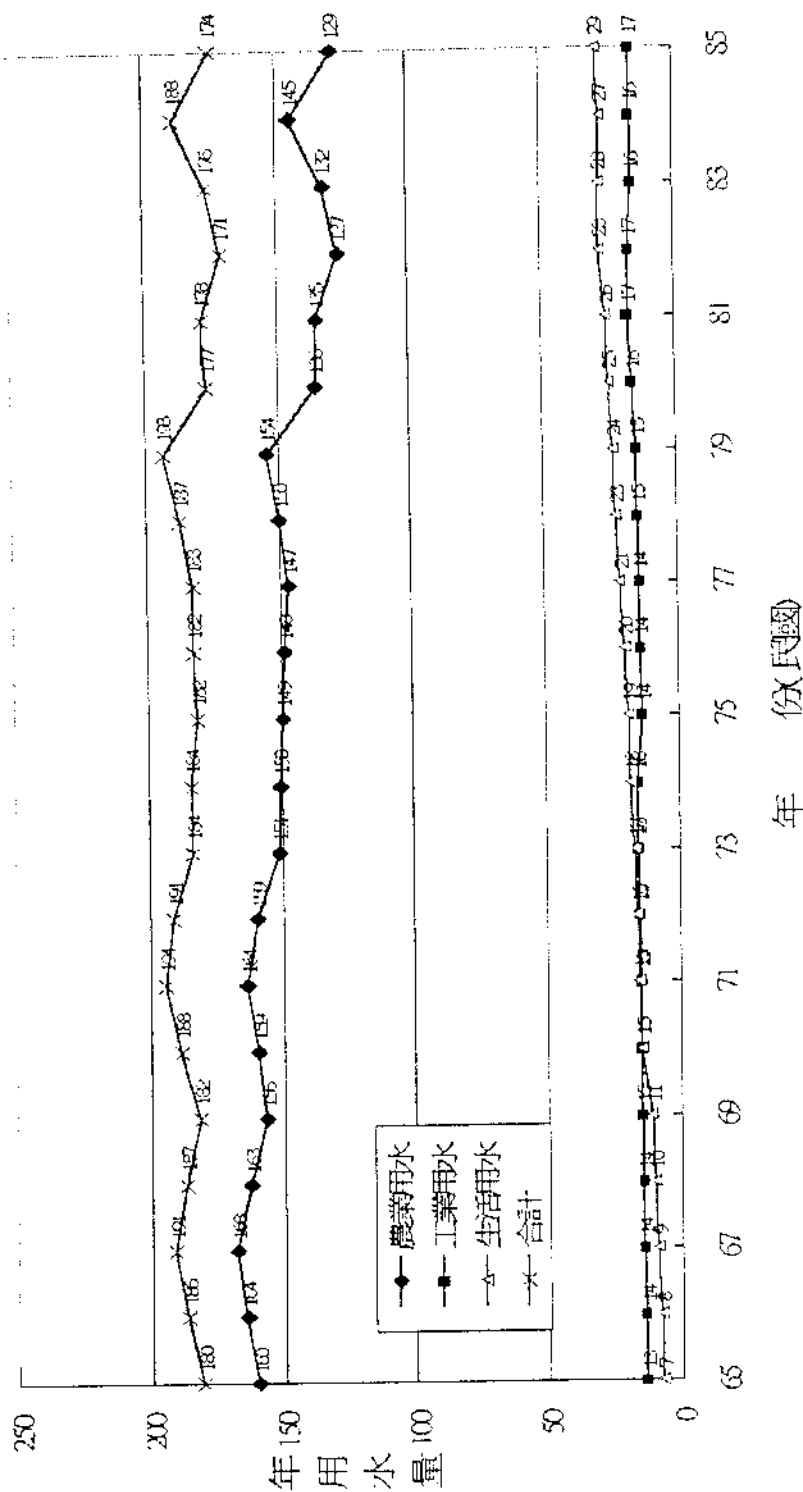


圖 5-2 台灣地區歷年各標的用水

5.1.1 農業用水

臺灣農業發展較早，用水量占各標的總用水量約 80%，惟近十幾年來農業生產比重日低，農業占國民生產毛額（Gross Domestic Product, GDP）百分比由早期的 32% 降至當前的 3.5%；同期間水田面積減少約 7 萬公頃，且水稻種植面積亦由最高峰的 79 萬公頃大幅減少至 39 萬公頃。未來加入世界貿易組織（World Trade Organization, WTO）後，一旦開放稻米進口，自產稻米的競爭力不足，稻作面積勢必逐漸減少；另為配合國土綜合開發規劃，未來可能釋出農地將達 16 萬公頃。然而比較歷年農業用水量，水田灌溉面積雖減少，但灌溉用水量卻未見明顯減少；又生活與工業用水標的需水量逐年增加，而開發新水源不但日漸困難且成本日高，故社會要求農業標的用水量應逐年減少之壓力日高。

為增進農田灌溉水源之有效利用，應依據未來農業發展政策目標，規劃所需水源，並進一步增建或改善水源與灌溉設施，以期確保農田灌溉功能；而多餘水源應妥善規劃，提供灌溉的三生效益或移作非農業使用，俾能發揮水資源效益。農業用水包括灌溉、養殖及畜牧三類，其面積及用水量分項敘述如下：

(一) 耕地、灌溉、養殖面積及畜牧頭、隻數

民國 86 年台灣地區四個區域之耕地總面積為 86.48 萬公頃，其分佈以南部 31.53 萬公頃最多，中部 31.36 萬公頃次之，北部 14.32 萬公頃再次之，東部最少，為 9.26 萬公頃；北、中、南、東各區域耕地佔耕地總面積百分比，依次分別為 16.57%、36.27%、36.46% 及 10.71%。

民國 86 年台灣地區之灌溉地總面積為 44.22 萬公頃，佔耕地總面積 51.13%。其中中部 18.13 萬公頃為最多，佔灌溉地總面積之 40.99%；依次為南部 15.12 萬公頃，北部 7.48 萬公頃，東部最少僅 3.49 萬公頃，分別佔灌溉地總面積之 34.18%、16.92% 及 7.90%。

民國 86 年台灣地區之灌溉面積為 72.80 萬期作公頃，較民國 85 年增加 9.80 萬期作公頃；以南部 6.87 萬期作公頃為增加最多，北部及中部分別增加 2.41 及 0.50 萬期作公頃，東部則增加 0.03 萬期作公頃。養殖面積（含淡水及鹹水魚塭）為 4.19 萬公頃，其中以南部 2.81 萬公頃最多，中部 0.90 萬公頃次之，北部為 0.38 萬公頃，東部 0.11 萬公頃最少；養殖面積較民國 85 年減少 1.01 萬公頃，其中南部減少 0.67 萬公頃，北部減少 0.13 萬公頃，中部減少 0.19 萬公頃，東部則減少 0.02 萬公頃。畜禽類頭隻數，計畜類 8,576 千頭，與民國 85 年比較減少 2,713 千頭；禽類 129,428 千隻，與民國 85 年比較增加 5,917 千隻。

(二)農業用水量

民國 86 年台灣地區農業總用水量為 135.07 億立方公尺，其中灌溉用水量 107.89 億立方公尺，佔農業總用水量 79.88%；養殖及畜牧用水量各為 25.83 及 1.34 億立方公尺，分別佔農業總用水量 19.13% 及 0.99%。就區域而言，農業用水量以中部 52.34 億立方公尺為最多，南部 34.69 億立方公尺次之，北部為 24.35 億立方公尺，東部 23.69 億立方公尺最少。

上述農業用水中之灌溉用水部份，因台灣地區之灌溉體系概可分為各農田水利會轄管地區、農田水利會轄區外灌溉地、台糖公司農場等三部份。其灌溉用水量之統計，於農田水利會轄管地區，係蒐集各農田水利會提供實際灌溉面積及引用水量統計；水利會轄區外之灌溉地，多屬私設灌溉設施，無量水設備及記錄，故其用水量資料無法搜集，只能從各農田水利會提供之實際灌溉面積所引用之河川、水庫池埤、其他地面水等之用水量，及地下水抽水水量等項資料，加以整理。經統計分析後，再依各地區合理之用水深與降雨情形調整修正，估算其單位面積用水量，作為水利會轄區外灌溉用水推算資料。另近年發展之坡地開墾種植經濟作物如果樹等，多以噴灌、滴灌方式灌溉，其水源多由農民自行抽引山澗水等為主，無實際登錄資料，且蒐集不易，故尚未列入統計。

台糖公司農場之原料甘蔗灌溉用水量，依據農林廳農業年報及台糖公司提供之用水量、種植面積、糖業年報內有關基本資料統計，推算其灌溉用水量。養殖用水係依據漁業局漁業年報內養殖面積資料，及行政院農委會提供之單位面積用水量推算之。畜牧用水亦依據行政院農委會推算之單位用水量資料及農林廳之農業年報內畜、禽隻數資料推算之。

因農業用水佔消耗性總用水量最多，故農業用水量之變動，對每年各標的總用水量變動幅度之影響最大。農業用水量自民國 60 年之 137.37 億立方公尺增至民國 72 年之 159.32 億立方公尺，共增加 21.95 億立方公尺，呈現正成長。近年因政府大力推行轉作計畫，致使農業灌溉面積減少；或因氣候異常，部份時段河川逕流減少，致灌渠引水減少，故自民國 72 年起，農業用水量開始呈現遞減趨勢，至民國 86 年已減為 135.07 億立方公尺，較 72 年計減少 24.25 億立方公尺。

5.1.2 生活用水

民國 82 年臺灣地區公共給水普及率約 86.2%，每人每日用水量（以配水量計）約 386 公升，臺北市更高達 613 公升。比較世界主要國家與城市，顯示臺灣地區單位用水量偏高；又各地自來水管路日趨老舊，致輸漏水損失率高達 20% 以上，浪費不少水資源。相對於水源及其處理成本，現行自來水

水價未能合理反映成本，且每月水費占家庭支出僅 0.5%。因此，偏低水價不但導致無法有效推動節省用水，且無力改善供水設施，以減少漏水。

為促進公共給水用水效率，首應合理調整水價，儘量反映成本；為落實受益者付費原則，政府宜減少補助水源開發經費，促使省市自來水得以企業化經營，俾能有效推行省水措施，限制單位用水量之不當成長，同時確實改善輸送水設施，減少漏水損失。根據民國 86 年之生活用水之統計資料，分為由自來水系統供應及居民自行取水兩部份統計，茲分述如下：

(一)自來水系統供應

民國 86 年台灣地區生活用水由自來水系統供應之水量為 27.46 億立方公尺，其中以北部 14.86 億立方公尺最多，依次為南部 6.35 億立方公尺，中部 5.76 億立方公尺，以東部 0.49 億立方公尺為最少，分別佔台灣地區自來水系統供應生活用水量之 54.12%、23.12%、20.98% 及 1.78%。

台灣地區民國 86 年生活用水由自來水供應之普及率為 88.8%，且有逐年增高之趨勢；其中以北部 93.1%為最高，南部 86.7%次之，再次為中部 85.7%，以東部 76.0% 為最低。

民國 86 年與 85 年由自來水系統供應生活用水量之比較，前者共增加 0.59 億立方公尺；其中以南部增加 0.27 億立方公尺為最多，中部增加 0.17 億立方公尺次之，北部則增加 0.15 億立方公尺，東部減少 0.12 百萬立方公尺。

(二)自行取水

自來水系統供應區域以外，居民自行取用其他水源之生活用水水量，係根據自來水公司、台北自來水事業處供應普通用水於各該地區之每人每日用水量，及各該地區未供應自來水居民數予以估算。民國 86 年之自行取水量共計 1.67 億立方公尺，較民國 85 年 1.74 億立方公尺減少 0.07 億立方公尺。

(三)生活用水量

民國 86 年台灣地區生活總用水量（含自來水供應及自行取水）為 29.13 億立方公尺；其中自來水供應部分 27.46 億立方公尺，佔生活總用水量 94.3%，自行取水部分 1.67 億立方公尺，佔 5.7%。各區域之生活用水量以北部 15.33 億立方公尺為最多，佔生活總用水量 52.63%；南部 6.87 億立方公尺，佔 23.58%；中部 6.34 億立方公尺，佔 21.76%；東部 0.59 億立方公尺為最少，佔 2.03%。

民國 86 年與 85 年生活總用水量比較，民國 86 年增加 1.14 億立方公尺，其中以南部 0.27 億立方公尺增加最多，中部增加 0.15 億立方公尺次之，北部增加 0.09 億立方公尺，而東部則亦增加些許。

5.1.3 工業用水

工業用水回收率估計約 30%，主要由於 80% 的工業用水源來自地下水，其成本較使用公共給水為低，業者缺乏節省用水的意願，不但浪費用水，且難予有效防治工業廢水污染水源，又因超量使用地下水，導致地層下陷，政府應合理限制業者抽用地下水，並要求業者採行省水措施，回收廢水再利用，提高用水回收率，促進工業用水之有效利用。工業用水量係根據各業別廠地面積及各業別單位面積日用水量統計，茲分述如下。

(一) 工業用地面積

台灣地區工業用水之估計，係指狹義之製造業用水而言，並未包括其他如礦業、營造業及水電燃氣業等之用水。其業別分類，乃採行政院主計處編印「中華民國行職業標準分類」中之製造業 22 種分類標準。民國 86 年台灣地區工業面積計 24361.1 公頃。依類別分，則以食品業 4115.8 公頃佔地最多，佔總工業用地面積 16.89%；基本金屬業為 2053.8 公頃，佔 8.43% 次之；再者分別為電子業 1895.6 公頃，佔 7.78%；化學材料業 1860.7 公頃，佔 7.64%；非金屬業 1841.1 公頃，佔 7.56%；其他各類業別用地面積概在 1824.8 公頃以下至 65.7 公頃之間。依區域別分，則以南部 10482.6 公頃最多，北部 8210.4 公頃次之，中部為 5176.4 公頃，東部為 491.8 公頃最少。

(二) 工業用水量

民國 86 年台灣地區工業總用水量為 16.14 億立方公尺。就區域而言，以南部 7.00 億立方公尺最多，佔工業總用水量 43.35%；北部 5.13 億立方公尺次之，佔 31.76%；中部為 3.48 億立方公尺，佔 21.58%；東部 0.53 億立方公尺為最少，佔 3.31%。就工業類別而言，以食品業 3.79 億立方公尺最多，佔工業總用水量 23.51%；造紙業 2.48 億立方公尺次之，佔 15.35%；化學材料業 1.80 億立方公尺居第三位，佔 11.15%；紡織業 1.70 億立方公尺居第四位，佔 10.52%。

台灣地區工業用水，依供應方式，可分為自來水供應及自行取水兩部分；依水源別，則可分為地面水及地下水兩部份。其中由自來水系統供應者 4.14 億立方公尺，約佔工業用水總量 25.63%，由自行取水方式供應者 12.00 億立方公尺，約佔工業用水總量 74.37%，惟其水源大部份屬抽取地下水。

5.2 灌溉用水之移用

台灣地區發生調配用水之情形，一般是以農業用水支援公共給水最為常見。近幾年來，工業用水亦經常面臨水源不足之窘境，在目前工業用水專用引水系統未完成之前，農業用水除調用給公共用水之外，亦需調用部分給工業用水使用。

5.2.1 灌溉用水協助其他用水標的

近二十餘年來，因人口增加及工商迅速發展，民生及工業用水之快速成長，惟在現有水源方面，因水污染之影響造成水源水量之利用率降低，另在新水源開發方面，因國民對生態及環保意識提升，致新水源開發工程不易順利推動，以致民生及工業用水常與農業競用水源，尤其遇乾旱年，農業部門屢被要求以休耕方式將灌溉用水移供支援非農業部門使用；根據前述農委會所完成之「乾旱年調整水量分配標準及救災處理報告」，有關移用水量協調原則，列述如下：

- (一) 發生非常乾旱時，必須依據調整水量分配標準予以減少配水，家用及公共給水若無法獲得「維持生命及基本生活所必需之水量」，在一般河川水源，依法可自低優先用水移用。農業用水常成為被移用之對象，此情形頗多。乾旱時，農業本身已遭受損害，在被移用結果，必加重其受害程度，故需予適當補償。
- (二) 農業用水依水利法第十八條用水標的之順序，列為第二位，缺水時，與第二順序以下之用水標的比較，自亦有其法定之「優先用水」地位，惟亦需付出移用其它標的之損害補償，目前農業用水尚少有要求優先移用其他標的用水之情況。但在糧食不足情況下，此種移用亦有可能會發生。惟農業用水過去在非常乾旱時期，為支援救旱用水，亦曾臨時商請從家用及公給水、台糖農場用水、工業用水等標的之地下水井支援用水情況。其商讓關係並非依水利法之優先順序，而係由有關受益人與權益人個別商讓，並付出代價商議取得救旱用水。
- (三) 工業用水，依水利法之優先順序在農業用水之後，故無優先用水之法定地位，但為工業發展之需要，有的工業如國防工業或重大經建工業等，如確因臨時性嚴重缺水無法忍受，將使該特殊工業遭受嚴重損害，導致經濟及國家重大損失者，事實上，過去亦有與其他標的用水商讓支援用水，或併與家用及公共給水標的要求優先配水。此種用水雖有其需要，但應由用水單位自行協議解決，而不能由主管機關事先以行政指示促成支援用水之協調，以免困擾並維法律之尊嚴。提供支援用水之對象，多以農業用水為主，今後對農民應得之權益損害及農業損失，亦應給予適當之補償。

5.2.2 移用補償原則

水資源為有限之天然資源，由於臺灣地區需水量逐年增加，缺水情況已日趨嚴重，欲再增闢新水源須仰賴水庫之興建，非但開發成本日高且可供興建水庫的合適地點亦有限，在各標的用水爭水激烈之現況下，除開源與節流並重外，水資源的合理調配也將是臺灣地區未來水資源管理的重要課題之一。由於水利法第十八條明定各標的用水之用水順序，同法第二十條則明定登記之水權因水源水量不足發生爭執時，用水標的順序在先者，有優先權。因此，同法明定在某一特定情況下進行水權之停止、撤銷、變更、限制或移用時，應對原水權人給予適當之損害補償，其相關條文之規定包括：

- (一) 水利法第十九條：「水源之水量不敷公共給水，並無法另得水源時，主管機關得停止或撤銷第十八條第一項第一款以外之水權，或加使用上之限制。前項水權之停止、撤銷或限制，致使原用水人受有重大損害時，由主管機關按損害情形核定補償，責由公共給水機構負擔之。」
- (二) 水利法第二十條之一：「水源之水量不足，依第十八條第一項第二款至第六款用水標的順序在先，取得水權登記在後而優先用水者，如因優先用水之結果，致登記在先之水權人受有重大損害時，由登記在後之水權人給予適當補償，其補償金額由雙方協議定之；協議不成，由主管機關按損害情形核定補償，責由優先用水人負擔之。」

由上述條文可知，有關水權之停止、撤銷、變更、限制或移用補償均屬原則性之規定，惟該等條文並未明確規定有關水權移用補償標準之爭議處理方式，致移用水量之雙方常因補償金額生爭執。因此，為有效解決此一具複雜性且實務性之問題，實應建立一套具「客觀性」、「效率性」、「公平性」、「必需性」及「可行性」之「移用水量補償辦法」。此一辦法係應秉著互助互惠，共渡缺水難關之前提下，訂定移用水量補償標準之計算方式及其爭議處理方式，俾對因公共給水無法另得水源而停止、撤銷或限制其他水權人被移用水量之水量所造成之損害；或因乾旱時期水源水量不足而優先用水者，對於其他水權人移用之水量所造成之損害；或因公共事業之需要而變更或撤銷私人水權所造成之損害等情況皆能有所參據，以消弭用水損害補償糾紛，藉以提昇水資源使用效率。

水資源雖屬國家所有，但在申請水權後，仍需施設引、抽、蓄水設施始能運用，故仍應有其私用權觀念，始能擴及移用水補償處理，否則被移用人為保障其固有權利，絕不輕言被移用。

有關水資源屬國家所有應以未開發之水源而言，已經開發之水源應有適切的私有化及經濟財觀念，故在實務上，移用必須合理之補償才有其可行性。

灌溉用水係經農民投資及長期維護、管理而來，有其既有之用水權益，有關移用水之調配，原則必須以協議處理，事實上，其是否有水量可供移用才是最重要。

5.2.3 補償之估算

(一)作物種植前移用之補償估算

1.支援民生用水情況

作物栽培前，事先依據預測之乾旱程度分配水量後用水被移用之損害計算，如將被移用之水量按所有灌溉面積平均減少，其減產之程度不易正確估計，因此，以按被移用之水量可能導致該期作物多少面積必須休耕之損害情況作估計。

a.每公頃平均損害金額，應為每公頃經營所得損失。

平均損害金額（元／公頃）＝平均經營所得損失（元／公頃）

經營所得損失＝利潤＋自給之人工、畜工、機工、地租、資本利息等

b.總損害補償金額，根據每公頃平均損害金額乘以移用總水量與每公頃計畫用水量之比計算之。

總損害補償金額＝每公頃平均損害金額×移用總水量÷每公頃計畫用水量

c.移用總水量之計算時間，以一期作為準，經協議後，不得因事後降雨而不承認。

2.支援工業用水情況

依支援民生用水情況項原則計算，惟每公頃平均損害金額，應以每公頃之農業產值為計算基準。

(二)作物種植後移用之補償估算

1.支援民生用水情況

作物種植後，依據臨時發生乾旱之缺水程度所分配水量後用水再被移用之損害計算，如作物種植後再被迫棄耕，其損害更大，因此，不論棄耕以後是否仍會降雨而有產量，一律假定以無產量估計，其損害，除農業經營所得損失外，對已投入之費用，亦應列為損失併計。

a.每公頃棄耕平均損害金額，應包括每公頃經營所得損失及移水前每公

頃已種作物之生產投資。

每公頃棄耕平均損害金額 = 每公頃經營所得損失 + 移水前每公頃已種作物之生產投資

b. 總損害補償金額，根據每公頃棄耕平均損害金額乘以移用總水量與移用時每公頃計畫尚可分配之灌溉水量之比計算之。

總損害補償金額 = 每公頃棄耕平均損害金額 × 移用總水量 ÷ 移用時每公頃計畫尚可分配灌溉水量

c. 移用總水量之計算時間，以移用時至該期作結束止，經協議後，不得因事後降雨而不予承認。

d. 由於作物種植後再棄耕情況，較種植前預先決定休耕情況之損害計算結果為多，因此，移用水時機不同，所應負擔之損害補償金額，亦有所不同，建議除非在真正非常嚴重情況下，最好避免在作物種植後再要求移用水量，以免付出較大代價。

2. 支援工業用水情況

依支援民生用水情況項原則計算，惟每公頃棄耕平均損害金額，應以每公頃之農業產值為計算基準。

探討調配移用問題必須研擬合理移用水補償費，惟所謂“合理”不應只對相關損害之補償，如僅以農業損失金額為據，將因農業生產價值暫予偏低而偏低，但農業有生產、生態、生活等三生功能，將來水利會也不能因生產價值偏低而不運營，故合理移用水費除考慮加強管理相關事項和補償農作損失等外，尚應考量貯儲或引用水源設施之開發成本，並相對考量新開發時原水成本，及移用人之經濟成本或機會成本等。2. 移用水補償因各地區環境、供需特性（如嘉南係缺水，本身用水不足下之勉強調配移用）、水源（水庫之移用與河川之移用，價值有異）、水質及其他地區性特性等均不相同，且視移用時間性、穩定需要性等亦有異，故移用水費宜以個案協商處理。

有關提及支援民生用水之情況和支援工業用水情況之移用水費計算事宜，因民生用水與工業用水之公共性質不同，水利法用水優先順序不同（工業係在農業之後），工業之經濟效益和機會成本與民生用水之移用差異大，農業用水移供民生用水有其不得不移用必要性，而移供工業用水應須有相當之誘因等，故移用水應有不同之計算考量，宜以個案協商處理。

參考文獻

1. 農田水利會基層組織－水利小組，農田水利會聯合會，1999年6月。
2. 農田水利會簡介，農田水利會聯合會，1982年。
3. 水資源政策白皮書，經濟部水資源局，1997年3月。
4. 中華民國八十六年台灣水文年報，經濟部水資源局，1997年。
5. 台灣地區水資源供需情勢報告，經濟部水資源局，1998年6月。
6. 農田水利教材－水田灌溉，七星農田水利研究發展基金會，1998年11月。
7. 「水權合理重分配與補償標準之研究（一）」，經濟部水利司，1992。
8. 農田水利會合理灌溉用水量及水源可靠水量調查與評估－灌溉標的用水實態及特性分析，85農建－9.2－林－19(1)，行政院農業委員會，1996。
9. 「水權及其移用水量補償標準之訂定（一）」，經濟部水資源局，1997。
10. 「水權及其移用水量補償標準之訂定（二）」，經濟部水資源局，1997。
11. 「台灣地區缺水期救旱措施之研究」，經濟部水資源統一規劃委員會，1988。
12. 「研擬合理農業用水標準(I)」，經濟部水利司，1995。
13. 「研擬合理農業灌溉用水標準(II)」，經濟部水利司，1996。
14. 「研擬合理農業灌溉用水標準(III)及農業用水調配之可行性方案研究」，經濟部水資源局，1997。
15. 「農田永續利用之灌溉配水模式」，陳焜耀，1997。
16. 「灌溉節餘用水之效率化應用推廣(I)」，經濟部水資源局，1998。
17. 「灌溉節餘用水之效率化應用推廣(II)」，經濟部水資源局，1999。
18. 「台南科學園區次級用水之規劃研究」，國科會，1999。
19. 「嘉南地區農業用水節水他用之研究」，經濟部水資源局，2000。
20. 「岡山地區農業節水方案之擬定」，經濟部水資源局，2000。
21. 「嘉南地區農業用水節水他用之研究(2/2)」，經濟部水資源局，2001。
22. Chun-E. Kan, Kune-yao Chen, and Sun F. Shih 1997. Irrigation Water Distribution Scheme for Rice Production in Taiwan. Transactions of the ASAE and Applied Engineering in Agriculture, Vol.13(5):601-608
23. Sun F. Shih, Kune-yao Chen, Chun-E. Kan, and G. H. Synder 1996. Water Management Schemes for Rice Production. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings - Volume 55
24. Chun-E. Kan, Kune-yao Chen, and Sun F. Shih 1997. A Procedure for Rotation Irrigation in Lowland Rice. Agricultural Water Management, Vol.35:109-121.

中英名詞對照表

- 工業用水, Industrial water, 3-24, 3-54, 3-77, 3-79, 3-82, 3-83, 3-86
- 中小給水門, Check Gate, 3-3, 3-4, 3-17, 3-18
- 毛管水, Capillary Water, 3-35
- 水利小組, Irrigation group, 3-3, 3-4, 3-7, 3-8, 3-9, 3-11, 3-27, 3-40, 3-45
- 水庫, Reservoir, 3-14, 3-21, 3-25, 3-41, 3-43, 3-75, 3-80, 3-84, 3-86
- 水源設施, Water source facility, 3-86
- 水路損失, Conveyance losses, 3-18
- 正常期, Normal Period, 3-20
- 生長期, Growth stage, 3-1, 3-16, 3-20, 3-33, 3-37, 3-39
- 生活用水, Domestic Water, 3-77, 3-81
- 用水管理, Water Management, 3-3, 3-4, 3-11, 3-30, 3-45
- 用水需求, Water Demand, 3-49, 3-50, 3-51
- 田間配水, On farm, 3-3, 3-4
- 各標的用水, Each object uses of water, 3-28, 3-77, 3-84
- 地下水, Groundwater, 3-40, 3-45, 3-46, 3-75, 3-80, 3-82
- 尖峰用水量, Maximun water requirement, 3-17, 3-35, 3-57, 3-64
- 有效雨量, Available rainfall, 3-21, 3-23, 3-51
- 作物係數, Crop coefficient, 3-54
- 作物需水量, Consumptive use, 3-2, 3-13, 3-51, 3-64
- 吸收, Absorption, 3-2
- 均勻遞減法, Uniform decreased method, 3-28, 3-38, 3-39
- 系統配水, Off farm, 3-16, 3-18, 3-20, 3-39, 3-47, 3-57
- 供水, Water Supply, 3-1, 3-2, 3-3, 3-12, 3-13, 3-14, 3-16, 3-17, 3-26, 3-28, 3-35, 3-39, 3-48, 3-50, 3-57
- 取水率, Intake ratio of water demand, 3-29, 3-37, 3-38, 3-57, 3-59, 3-60, 3-62, 3-67
- 坵塊, Unit Block, 3-12, 3-13, 3-14, 3-18, 3-19
- 計畫用水量, Water demand of irrigation project, 3-20, 3-25, 3-26, 3-28, 3-31, 3-35, 3-36, 3-37, 3-44, 3-45, 3-47, 3-48, 3-66, 3-67, 3-85
- 缺水期, Water shortage Period, 3-1, 3-28, 3-30, 3-35, 3-37, 3-38, 3-39, 3-40, 3-41, 3-46, 3-48, 3-51, 3-66

迴歸水, Return flow, 3-40, 3-45, 3-46

配水系統, Water distribution system, 3-3

配水計畫, Water distribution Schedule, 3-4, 3-8, 3-13, 3-14, 3-16, 3-17, 3-18, 3-20, 3-24, 3-34, 3-35, 3-41, 3-47, 3-48, 3-54

區域排水, Regional drainage, 3-6, 3-7

排水設施, Drainage facility, 3-6, 3-7

移用補償, Compensate of Transferring water, 3-27, 3-84

連續灌溉, Continuous Irrigation, 3-1

單區, Rotation unit, 3-11, 3-12, 3-13, 3-14, 3-19, 3-28

給水路, Farm ditch, 3-4, 3-12, 3-13, 3-14

進水口, Intake, 3-17, 3-18, 3-29, 3-47, 3-48

間歇灌溉, Intermittent irrigation, 3-2, 3-12, 3-14, 3-27, 3-28, 3-43

農田排水, Field drainage, 3-6, 3-7

農業用水, Agricultural water, 3-24, 3-26, 3-48, 3-50, 3-77, 3-79, 3-80, 3-83, 3-86

滲漏量, Percolation, 3-2, 3-51

精密輪灌, Nicety Rotational Irrigation, 3-12, 3-13, 3-14

蒸發散量, Evapotranspiration, 3-2, 3-51, 3-75

輪區, Tertiary Unit (Rotation block), 3-2, 3-3, 3-4, 3-11, 3-12, 3-13, 3-14, 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-28, 3-29, 3-32, 3-33, 3-35, 3-36, 3-38, 3-44, 3-45, 3-48

輪區損失係數, Factor of losses in tertiary, 3-32, 3-33, 3-59

機動性配水, Mobile Water Distribution Model, 3-47

輸水系統, Water conveyance system, 3-3, 3-13, 3-17

輸水損失, Conveyance losses, 3-17, 3-19, 3-20, 3-31, 3-32, 3-33, 3-39, 3-48, 3-51, 3-57

輸配水系統, Irrigation Canal System, 3-50

隧道, Tunnel, 3-51

豐水期, Plentiful water period, 3-20, 3-21, 3-31, 3-35, 3-37, 3-38, 3-39, 3-46, 3-50

攔河堰, weir, 3-50

連續灌溉, Continuous flow irrigation, 3-12

灌溉方法, Irrigation methods, 3-2, 3-11, 3-12, 3-28

灌溉計畫, Irrigation Schedule (Irrigation Project), 3-2, 3-4, 3-20, 3-24, 3-31, 3-40, 3-41, 3-42, 3-44, 3-45, 3-47, 3-48, 3-57, 3-66

灌溉排水、Irrigation and Drainage, 3-1, 3-28

灌溉率、Irrigation rate, 3-21

灌溉期距、Irrigation interval, 3-2, 3-13, 3-18, 3-25, 3-43, 3-44, 3-45, 3-47

第四篇 田間灌漑方法

第一章 概述

1.1 灌溉方法分類

灌溉方法 (irrigation methods)，係以人為方式將水供給田間作物吸收，成長之方法，可分直接與間接二種。直接灌溉之方法，即以土壤為媒介供給作物吸收，水自田區上端流至下端，一面滲漏一面前進之方法，即所謂地表灌溉 (surface irrigation)。如將水供給至次層土，藉根系吸收而供給作物之灌溉名為地下灌溉法 (sub-surface irrigation)，其它不以土壤為媒介之灌溉方法，如噴灑灌溉 (sprinkler irrigation) 及滴水灌溉 (trickle irrigation) 等，藉空中將水供應至作物，名為間接灌溉，此等灌溉方法之灌溉效率較地表灌溉為高，約有 80% 以上之水皆可被根系吸收。茲將其詳細分類及影響之因子分別說明如下。

1.1.1 地表灌溉法

地表灌溉可分無控制 (uncontrolled irrigation) 與有控制灌溉 (controlled irrigation) 二種，前者為古老之灌溉方法，無技術可言，灌溉效率亦差，一般稱為漫灌 (wild flooding)，有控制之灌溉方法，因地形、作物種類及其種植方法不同而異，可分為畦溝灌溉 (furrow irrigation)、紋溝灌溉 (corrugation)、埂間灌溉 (border irrigation) 及水盤灌溉 (basin irrigation) 等方法。上述各灌溉方法亦因土質、地形、水量多寡，作物種類及灌溉習慣等因子而異，各地表灌溉之性質略述如下：

一、埂間灌溉法

將田區分成長條形，寬約 5 至 7 公尺，長為 100~200 公尺，隔以低埂，相互平行，此種田區之灌溉名為埂間灌溉。田埂間橫向坡度，原則上為水平，即水流前進時可橫蓋田面，而田埂之縱坡與田面一致，理想坡度約千分之 2 至 4，但亦有小至千分之一及大至千分之 75 者，坡度大者必須防止沖刷。田區灌溉流量之大小通常在每秒 14~280 公升之間，視田區大小，土質類別及作物之種類而異。埂間灌溉適應甚多土質，但其大小與土壤之物理性必須妥為配合，如次層土為堅實之黏壤土，可有較長之田區，而易透水之次層土應有短而狹之田區。埂間灌溉常適用於密生點播等作物，水稻灌溉亦屬此類。

二、圍埂浸灌法

與埂間灌溉最大不同點，此法以地形情況不同作圍埂灌溉，田埂不相平行，有時依等高線高差每隔 6~13 公分圍埂，故又名等高圍埂

(contour check)。一般灌溉之流量較大，地表亦較平坦，如用於滲透性較大之土壤，大流量覆蓋地表甚快可減小滲漏損失，如用於黏重土滲漏較低之土壤，延長水流覆蓋地面之時間，亦可得良好之效果。

三、水盤灌溉法

此法與圍埂漫灌法相似，惟僅用於果樹之灌溉，即於果樹四周挖溝灌水，使水覆蓋於四周，如地形良好，水之覆蓋可同時圍繞 2 株或更多之果樹。各水盤亦有互相連接者，可由給水渠道輸送至水盤內。

四、畦溝灌溉

此種灌溉方法不像埂間灌溉與圍埂漫灌，將水灌入田區後濕透全面，而將水灌入溝中，僅潤濕全溝之 1/4~1/5，因此可減少蒸發損失，灌溉後亦易乾不會耽誤耕期，常用於行栽作物之灌溉如甘藷、甘蔗等。畦溝坡度無特殊之限制，可適用於較陡之坡度，唯需考慮沖刷問題，一般土質可採用 10‰~15‰，以水之容量來控制沖刷，坡度以 0.5‰~3‰ 最為適合，但若干土質以 3‰~6‰ 較適。畦溝長度普通以 100~200 公尺，過長之畦溝在上游易發生過度之沖刷與深層滲漏，然對土地經濟利用與農機操作之觀點，較長畦溝較短者有利。

以上四種皆屬地表灌溉方法，其水理亦同屬一類，水力因素甚為複雜亦不易明瞭，唯一解決之途僅了解其原理及影響之因子，再作良善之設計方可粗略解決現場之應用。至於以直接方法澈底解決此錯綜問題是不易做到的。綜合地表灌溉水力因子 (hydraulics of surface irrigation) 可包括下列十項：(1) 流量大小 (size of stream)；(2) 水流前進速度 (rate of advance)；(3) 田區長度與所需灌溉時間 (length of run and time required)；(4) 水流深度 (depth of flow)；(5) 入滲率 (intake rate)；(6) 地表坡度 (slope of land surface)；(7) 地表糙率 (surface roughness)；(8) 沖刷問題 (erosion hazard)；(9) 流槽類型 (shape of flow channel) (如埂間田區、畦溝、紋溝等)；(10) 施灌水深度 (depth of water to be applied)。

1.1.2 地下灌溉法

地下灌溉係控制或補給地下水，依土層毛細管作用上升而供作物生長之灌溉方法。此法適宜於表土易滲透之壤土或砂壤土，地形條件甚佳，地面坡度平緩均勻及距地表 3 公尺以下有不透水層。此法如不徹底了解地勢、地質、地下水、土壤等各種性質，不可輕易採用。地下灌溉可以下二類：

一、兼排水之地下灌溉

此種灌溉以控制地下水位，並藉土壤毛管作用使水分上升以供給作物根系吸收。當雨水過多時常使地下水位過高而影響作物生長，此時供地下灌溉之地下管線系統可作為排水管線使用，以排除土層中多餘之水。

二、人工地下補給灌溉

在完全乾旱或地勢高之地區，無排水問題，則可施行完全人工地下補給灌溉。方法為完全由人工引水並在地下適當深度埋設管路供水灌溉，使土壤水分依毛管作用移動以供作物生長。此法需具備適宜之土壤條件為：水分容易橫向移動並容易依毛管上升之土壤，根系下有不滲透層不使水分滲入地下深層等。

1.1.3 噴灑灌溉

噴灑灌溉歷史甚短，普遍應用於農業僅為最近 50 年之事，噴灑猶如人工降雨，非但可得甚均勻之灌溉，且可實施少量而頻繁之高效率灌溉，甚少受氣候與地形之限制，所影響之因子亦少，為目前最佳之灌溉方法。如照片 1-1、1-2 所示。

1.2 灌溉方法優劣比較

一、地表灌溉之優點：

- 1.地表灌溉設備維持費低廉。
- 2.各種作物皆可實施地表灌溉。
- 3.可施用於大面積之灌溉。
- 4.灌溉時不需要有專門技術之工人。

二、地表灌溉之缺點：

- 1.影響之因子甚多，不能得較高之效率。
- 2.因配水溝渠減少耕地面積 10%~15%。
- 3.一次灌溉所需之水量甚多，用水不經濟。
- 4.實施灌溉之農地，必須預先整地便成均勻一致之坡度，增加整地費用。
- 5.土壤沖刷問題甚易發生。

6.灌溉水量不易均勻。

7.因地表灌溉損失水量甚多，易發生排水問題。

8.地表灌溉水中所含野草種子等雜物甚多，必須防治農田中野草之滋長。

三、地下灌溉之優點：

1.水分供給至根系，減少蒸發量，可達有效經濟用水。

2.節省灌溉勞工，不致耽誤農期。

3.如能控制地下水位及鹽鹼之聚積，可提高產量。

4.防止雜草種子之傳播，可節省除草費用。

5.水分供給至根系無沖刷問題發生。

6.如兼排水之地下灌溉，同時可解決灌溉排水問題，節省工程費。

四、地下灌溉之缺點：

1.受地形、土壤性質、地下水高低及排水良惡等條件之限制，應用範圍不廣。

2.建築費甚高。

3.容易發生浸水（water logging）及鹽鹼聚集，有害作物。

4.地下水位必須在作物根系之下，限制某種作物之種植。

5.需要整地費用。

6.灌溉系統如有損壞，修理困難。

7.因受地形限制，常需抽水，增加營運費用。

五、噴灑灌溉之優點：

1.可用少量之頻繁灌溉，灌溉效率高。

2.不受地形影響，可節省整地費用。

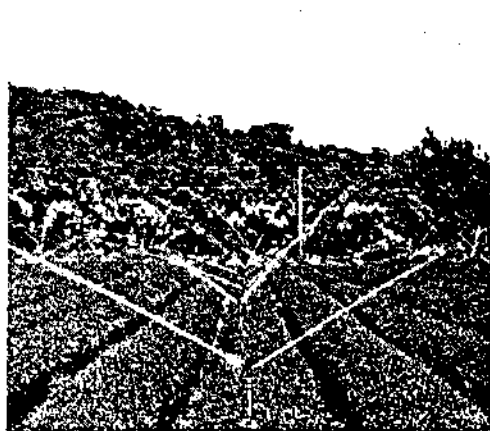
3.避免逕流及輸水損失。

4.噴灌如同降雨，灌溉水均勻一致。

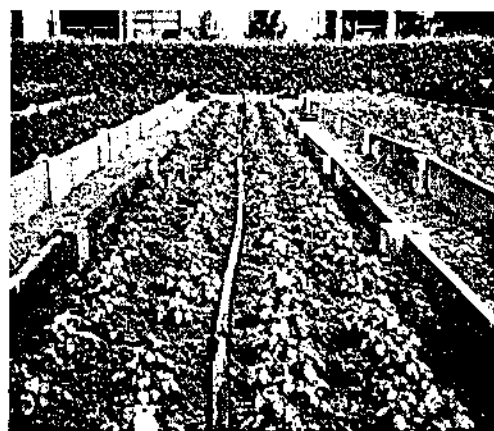
- 5.不致發生土壤沖刷，土壤表面亦不會發生硬殼。
- 6.適用於入滲率較大之地區。
- 7.適用於種子發芽時之灌溉。
- 8.可兼噴灑農藥及液肥，以節省勞力。
- 9.無需建築給水渠路與田埂，約可增加耕地 15%
- 10.可洗除葉面及莖上之塵砂，使氣孔擴大。
- 11.有冷卻作用亦可防止霜害。
- 12.容易控制水量，節省勞力，並易自動化管理。
- 13.減少灌溉管理人員。
- 14.水源取自地下水者，可減少雜草之繁殖。
- 15.無排水問題。

六、噴灑灌溉之缺點：

- 1.噴灌設備較貴，維持費亦昂。
- 2.葉面及地面蒸發水量較大。
- 3.如受風力影響，則減低灌溉效率。



照片 1-1 台東高台茶區旋轉
擺動式噴頭噴灌情形



照片 1-2 PE 穿孔管灌溉(單管式)
露天式花卉(田間定植)

第二章 畦溝灌溉

2.1 影響因子及使用時機

畦溝是一種小且平行之水路，且能夠輸送水而對作物加以灌溉。作物通常被種在畦溝間之壟土上。

很多作物皆可適用於畦溝灌溉，特別是條播作物。但水若順著畦溝淹過作物之莖或頂部時，如此將會對作物之生長產生很大之傷害。當然畦溝灌溉亦適合果樹作物之灌溉。一般而言，畦溝灌溉常被應用於行栽作物之玉米(如照片 2-1 所示)、太陽花、甜菜、黃豆等作物，然在它們被水淹沒時則會有浸損現象，又如蕃茄、蔬菜、馬鈴薯及一些豆類亦是，果樹類則像柑橘、葡萄等等，然如條播作物則需利用紋溝灌溉像小麥。

均勻的低地和不太陡的坡度是最適合畦溝灌溉，但坡度以不超過 0.5% 為宜，通常理想之畦溝坡度應大於 0.05%，以幫助畦溝排除因降雨而產生過剩之水深。在高低起伏之田區上應隨著田地之等高線依設畦溝。

畦溝可以被使用於許多的土壤質地，然而，也會有很多地表灌溉方式，於較大的粗砂粒土壤中，會因滲透作用而損失較高之水量而不適用，但表面較硬之砂質土反而適用於地表灌溉，因為水流深度不會超過田壟，所以可維持耕地裡作物之生長。



照片 2-1 畦溝灌溉應用於玉米行栽作物

2.2 畦溝配置

2.2.1 畦溝長度

畦溝長度必需和坡度、土壤質地、水流流勢、灌溉深度、耕作實行和田區長度等因素加以考量，上述各因子皆會對畦溝長度產生影響，以下分別討論之：

一、坡度

當田地坡度較陡時畦溝雖然可以流得較長，然畦溝坡度之最大限度最好應不超過 0.5%，以避免土壤沖蝕。畦溝之設計有時亦可以窄且平坦地為之，但無論如何，仍建議以 0.05% 為最小限度之限制值，以利灌溉或有效排除過度降雨之水量，假如土地坡度較陡峭且超過 0.5%，則畦溝可以在主要的斜坡上設置一個安全設施，或者甚至建議在限制的範圍內沿著地勢來保持畦溝的斜度。當田地斜度有超過 3%，畦溝可以這方法加以設置。此外，在畦溝系統中若有土壤沖蝕之缺點，這將是其主要的風險。又在陡峭的土地或梯田，畦溝可沿著梯田予以建造，如此梯田即可利用從事耕種。

二、土壤質地

在砂質土壤中的灌溉水迅速地滲透土壤中，溝畦之設計長度應該要較短（少於 110 公尺），以使水到達田區末端時而不致過度的滲透流失。在黏質土壤中，其滲透的比率比在砂質土壤中慢許多。因此於黏土中，畦溝長之設計可比在砂質土壤中長的多。有關滲透率之測定，將於本篇第七章加以說明。

三、水流大小

正常水流大小應大於 0.5 l/sec，如此方可提供畦溝一個適當的供灌水量，而不致太多。當有較大的水流可利用時，水將迅速流至畦溝，所以畦溝通常會較長。最大灌溉水量之限制應視畦溝坡度，且不會導致土壤沖蝕而定，一般而言，最大用水量以不超過 3.0 l/sec 為宜，這是必須加以熟慮的，如表 2-1 所示，提供了於小型區域之灌溉條件下其最大畦溝長度之經驗值，通常而言，這些數值皆較灌溉手冊中所提供的數值為低。而較高之數值之採用則適用全面機械化之大面積耕作區域。

四、灌溉水深

灌溉水深較大時，則畦溝通常需做長一點，因水流到畦溝入滲量會較大，且灌溉時間會較長。

表 2-1 不同坡度、土質、水流及純灌溉水深條件下畦溝長度之最大經驗值

畦溝坡度 (%)	每條畦溝 最大水流 (λ/s)	黏土		壤土		砂土	
		純灌溉水深 (mm)					
		50	75	50	75	50	75
0.0	3.0	100	150	60	125	30	45
0.1	3.0	120	170	90	150	45	60
0.2	2.5	130	180	110	150	60	95
0.3	2.0	150	200	130	170	75	110
0.5	1.2	150	200	130	170	75	110

注意事項：上述表 2-1 提供了在不同坡度、土質、及水流大小及純灌溉水深下畦溝長度之概略經驗值，這些資料僅是田間工作經驗使用上之指導原則，和科學無任何關連。最大之畦溝長度是在提供合理化之灌溉效率。然而，若畦溝長度甚至比上表 2-1 所提供之長度更為短，通常而言，這將有助於灌溉效率之改善，此時只有藉著畦溝系統設置之指導方針，即可評估其適用性。

五、農業耕作之實施

當農業機械化後，畦溝長度儘可能做長一點，如此將可增加田間操作之容易度，但當畦溝渠較短時，宜需特別注意水之流動，是否會經常從一個畦溝改變到下一個畦溝。通常，短畦溝之灌溉效率會較長畦溝為高，此乃因灌溉時間較短，其滲漏量較低之原因所致。

六、田間長度

大部分畦溝長度設計之經驗值是應等於田間長度，此為一較理想之設計，否則將有可能導致一小塊在下游之面積無法考慮到，如圖 2-1 所示。同樣地，田間長度亦有可能小於畦溝長度許多。當然，這不是一經常性之問題，因為畦溝長度大都可以作為田間長度之邊界。

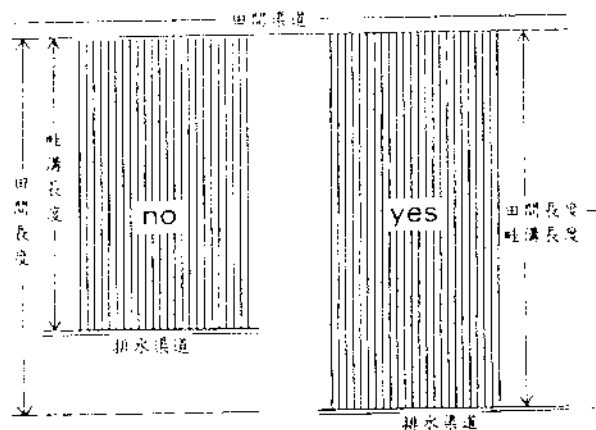


圖 2-1 田間長度及畦溝長度

2.2.2 畦溝分類

畦溝分類可依土壤型態和水流大小而定。

一、土壤型態

在砂質土壤裡，水的垂直流動較橫向流動快，狹窄且深的V形畦溝是可以降低其滲漏量（如圖 2-2），但無論如何，多砂之土壤是較不穩定的，且易於倒塌，並有可能降低其灌溉效率。

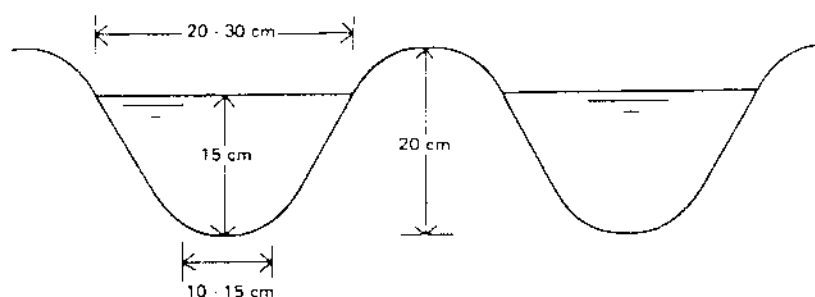


圖 2-2 砂質土壤中深且窄之畦溝

在粘質土壤，由於水的流動較砂質土壤為快且其入滲率又較低，故畦溝可以寬且淺之方式為之，如此可以保持較大之濕潤區域，降低其逕流量（如圖 2-3）。

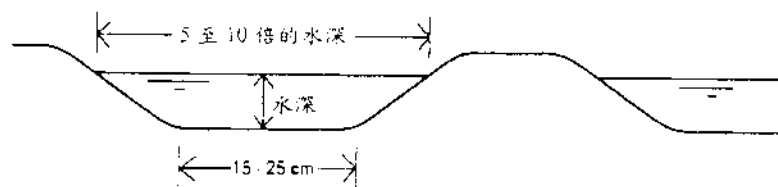


圖 2-3 粘質土壤中寬且淺之畦溝

二、水流大小

一般較大型的畦溝必須可以控制水流之流量。

2.2.3 畦溝寬度

土壤類型和耕種型式會影響到畦溝的寬度大小。

一、土壤類型

依照原則來說，於砂質土壤之畦溝寬應介於 30~60cm 之間，而對於劣質粗砂之畦溝寬可以為 30cm，純淨之細砂時之畦溝寬可以為 60cm，而粘質土壤之畦溝寬可為 75~150cm，目前粘質土之雙壟上亦可被作為使用，有時稱此為苗床，它的優點是容易除去現有排列在每一田壟上之許多農作物，目前在田壟圓形之頂點上，是可以排去少許的水量，除此之外，在大量降雨期間田壟的表面亦有可能會產生積水。（如圖 2-4）。

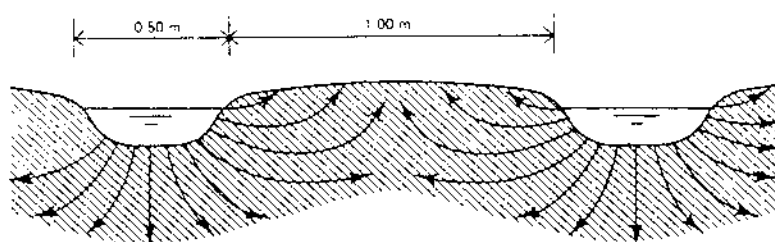


圖 2-4 一個雙田壟之型溝

二、耕種型式

使用機械來挖田埂以保持作物足夠的空間，因此機械化耕作是必須的。假如可維持田埂間標準寬度，甚至當作物在常態下成長需要不同的距離時，機械之設備可減少工作量。當這設備從這株作物移至另一株，這樣機具中的零件就不需要更換。然而在所有的土壤種類中，保持田埂中標準間隙的濕度是必須的。

2.3 土壤濕潤型態

為維持根系區域濕潤均勻，畦溝寬度應要非常適當，且坡度需均勻及灌溉水應能被迅速利用。

畦溝中的水向下入滲比橫向或側向之滲透為快，使得植物根系從畦溝吸收水分而潮濕，不管是向下或橫向滲透都受土壤形態之影響，我們可從圖 2-5 看到其滲透情形。

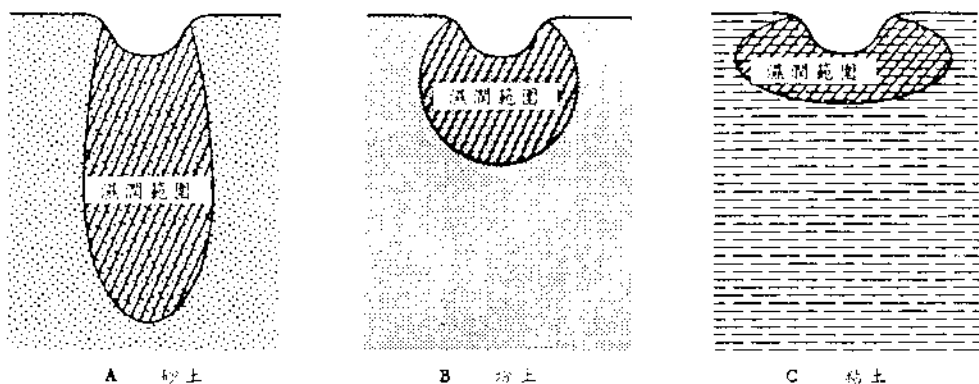


圖 2-5 畦溝於不同土壤型態之不同濕潤型式

一、理想的濕潤灌溉模式

在一個理想適當的情況下，將鄰接互相重疊的濕潤圖當中，潮濕的水份會全部往隆起處向上移動（毛細作用），如此便能供給植物根部地區的水份（如圖 2-6）。

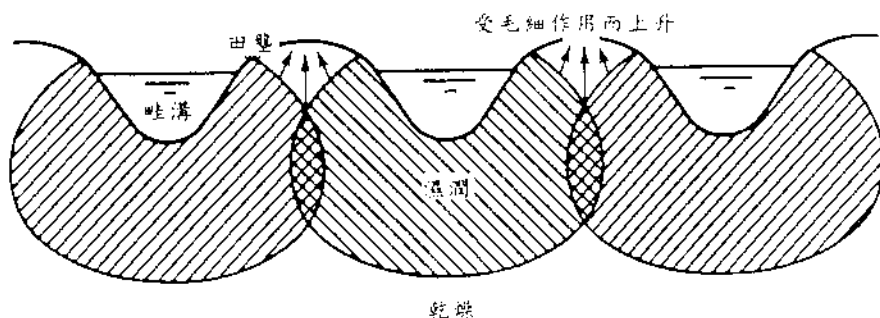


圖 2-6 理想之濕潤型態

均勻坡度與足夠多的水量，對畦溝長度維持水量分布之均勻性是很重要的，因水分將能迅速流往畦溝被吸收，如此可避免水分在畦溝中大量的滲透而流失，為了把滲透的損失減少到最小，可使用四分法來限定水分由田間水路流至畦溝後所需之時間。

二、不良之濕潤型態

導致不良濕潤模式之原因有：

1. 不利的自然現象，例如：密度大的地層，不同的土壤，不適當之坡度。
2. 不適當之佈置，例如：畦溝間距的大小過寬。

3.缺乏管理：供應的水量過多或過少，阻塞物流入太快。

三、有害的自然現象

水盤灌溉與畦溝灌溉，在密度大的土層或不同的土壤類型，皆有同樣的影響。

畦溝中一個不平坦的坡面會導至水分分佈不均，水分於陡峭的坡面中會快速流失，而在平緩的坡面會慢慢的留下，這樣會影響在固定的時間內缺乏可用水源及導致缺水，這問題可由均勻的坡面加以克服。

四、不良的配置

假如畦溝間隔太寬時，會使根系區域沒有足夠的水量，畦溝的間隔必須小心地選擇，才能確定將根系區域之土壤適當地變濕（如圖 2-7）。

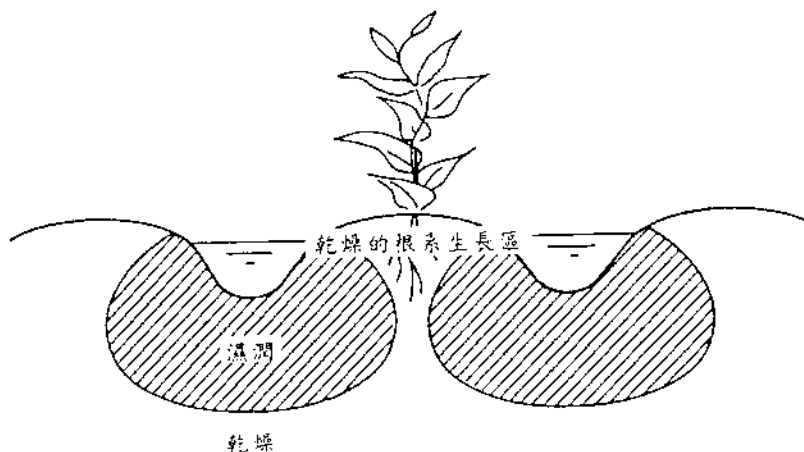


圖 2-7 兩畦溝寬作物生長示意圖

五、不良的管理

灌溉水流量太小（圖 2-8）將會造成狹長隆起田壟水分之不足，即使作物種植在田壟的左右邊，其水量亦是不足，其對作物之生長是有害的，小流量將會沿著畦溝長度使水分分布不均，且太多的水會在畦溝的前端深處滲漏流失。

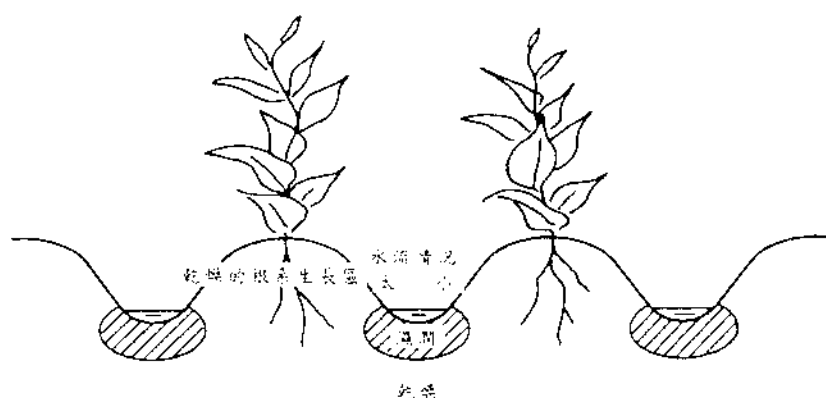


圖 2-8 小流量時田壟乾燥情形

在平坦斜坡上，如果水流量太大可能會發生田壟被淹沒（圖 2-9），滲入太多水量的坡面，若不能停止於坡床和畦溝兩側之水流，將可能會使土壤沖蝕。

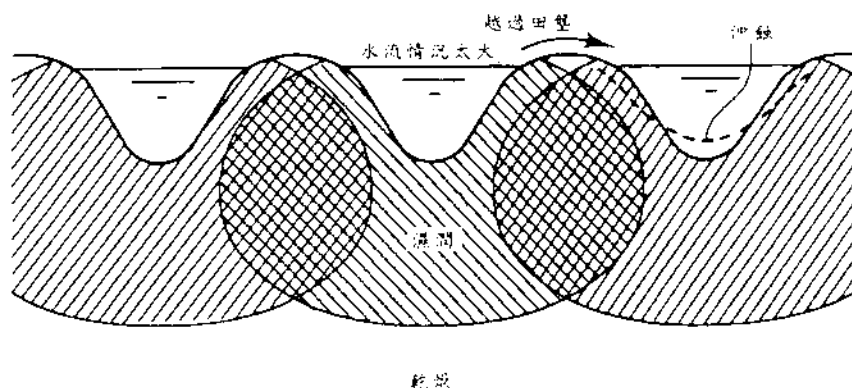


圖 2-9 水流太大土壤沖蝕

於灌溉管理上，其共同之缺點乃在於太快停灌水量，這雖可降低其逕流量，但其結果卻使得灌溉水之分佈極為不平均，特別是在畦溝之末端得不到足夠之水量，假如引灌水量不是很快加以停止，則將產生過度逕流，且種在畦溝末端之作物會因排水不良之現象，最後，造成植物之死亡。

2.4 四分之一法及灌溉時間

在地表灌溉，水是由給水路將水供應至整個田區。供應溝渠的水來自於田區對面的埂間，稱之為“水流前進”（如圖 2-10）。

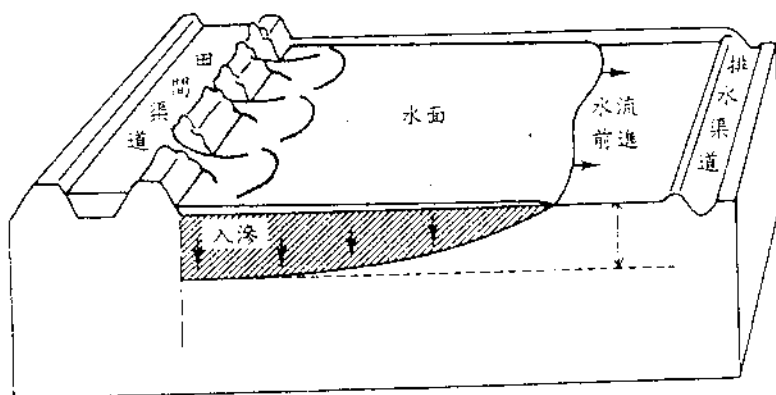


圖 2-10 水流前進示意圖

當水停止供應時，在這地區的水，逐漸滲透進入土壤裡，且水流離開溝渠稱之為“水流退後”（如圖 2-11）。

理想的水流前進速度應和水流後退的速度相同，這發生在水灌滿整個田區時才有相同的滲透速度，然而，水流前進和退後通常是不相同的，水流前進速度時常常比退後慢，此結果造成接近供應水源溝渠的田地比末端的田地得到更多的水，尤其當水源以少量水供給田區時，特別明顯。

例如在砂土上的小水流應用在一個大田區，它將花費很多的時間，使水流到達遠處盡頭的田地，水迅速的滲透到砂土裡，田邊接近供給水源溝渠的會得到較多的水量，在另一端的田區得到的水較少，如圖 2-12 所示。

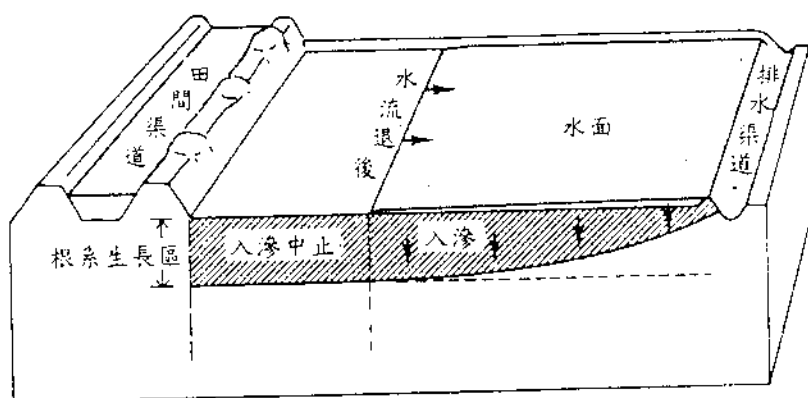


圖 2-11 水流退後示意圖

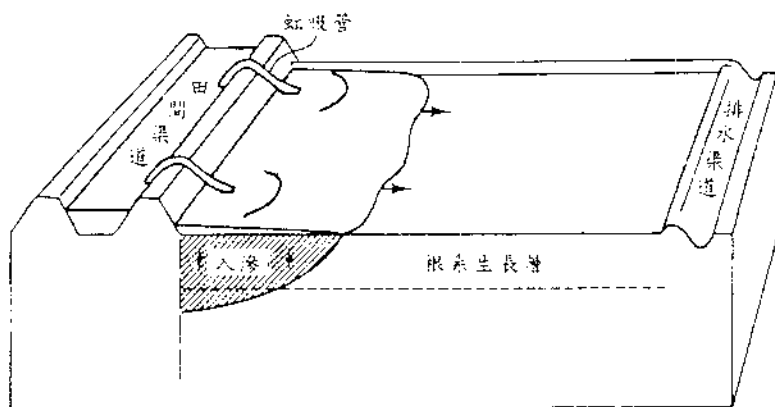


圖 2-12 在小流量下水之分佈

當田區水流量增加時，將改善田區之分佈情形，水的滲透率雖是相同的比率，但是由於水流的前進使水能很快的到達對面田區。所以同理這邊會得到一般水源分配，雖然總是少於接近有水源溝渠的田邊（如圖 2-13）。

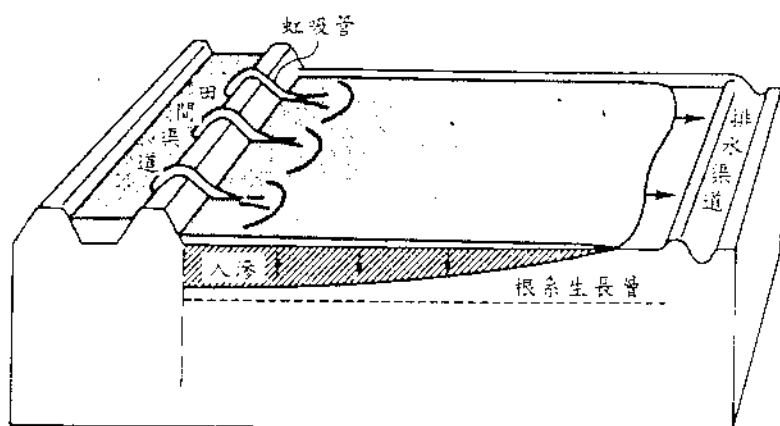


圖 2-13 水流大時，水之分佈情形

為了選擇一個適當的水流大小，採用概測法，此法通常被稱為四分之一時間法則。

四分之一時間的法則表示水流大小足夠的話，水就能夠到達田地的末端。畦溝灌溉或是水能灌滿整個田地（水盤灌溉），足夠的水需要四分之一的灌溉時間才能將根系填滿。灌溉時間是指浸潤所需要水的總量所需花的時間。灌溉時間之決定來自於入滲曲線。

例如：

假定入滲曲線已決定有 70mm 之水量供灌於水盤，而入滲量為 70mm 所花時間約為 74 分鐘，這意味應用四分之一時間規則之方法時，水盤被水灌滿時間需 18 至 19 分鐘 ($74/4$)，因此水流大小必須選擇其灌滿時間不應超過水的 18 或 19 分鐘。假如田區長度夠長，則分佈於根系區域的水是不夠的。因此若不能增大水流流量及需花費比 18 或 19 分鐘較長的時間去灌滿田地，則必需去縮小田區面積，這樣才可能只花 18 或 19 分鐘去灌滿田地。

灌溉時間

灌溉時間 t (分鐘或小時) 是指供給田區必要灌溉水深所需之時間。灌溉時間取決於流量的大小 Q (ℓ/sec)，需要的灌溉水深 d (mm) 和需要田地的面積大小 A (ha)。灌溉時間之計算，可以 t 時間內總施灌水量 (體積) 來思考，亦即，可依 $Q \times t = A \times d$ 恆等式，解得灌溉時間 t 值，有關公式如下：

$$\text{灌溉時間 (hr)} = \frac{2.78 \times \text{灌溉深度 (mm)} \times \text{灌溉面積 (ha)}}{\text{流量 } (\ell/\text{sec})}$$

例如：

假如有一灌溉水深為 50mm，而可用的流量為 20 ℓ/sec 和田地的面積是 $75 \times 50 \text{m}^2$ ，則灌溉時間之計算如下：

步驟 1：決定田地面積 (公頃)。

$$\text{這個面積大小是 } 75 \times 50 \text{m} = 3,750 \text{m}^2 = 3,750 / 10,000 = 0.375 \text{ha}。$$

步驟 2：決定灌溉時間

$$\text{灌溉時間 (hr)} = \frac{2.78 \times \text{灌溉深度 (mm)} \times \text{灌溉面積 (ha)}}{\text{流量 } (\ell/\text{sec})}$$

$$\text{灌溉時間 (hr)} = \frac{2.78 \times 50 \times 0.375}{20}$$

$$\text{灌溉時間} = 2.6 \text{ (hr)} = 156 \text{ (min)}$$

以四分之一法則應用，水必需在 $156/4=39$ 分鐘到達畦溝或灌滿田地的末端。假如田區的長度較長時，則將增加每一畦溝或水盤之流量，或是減少畦溝長度或水盤大小。

2.5 臺灣輪作田灌溉特性

畦溝灌溉法適用於行栽作物，其間距約一公尺左右，作物種類有甘藷、蔬菜、甘蔗等。影響畦溝灌溉之因素有流量、行距、行長、灌溉時間、地面坡度、灌前土壤水分與入滲率等。美國以四分法來控制灌溉時間，同時隨時調節畦溝流量而得一均勻之灌溉。台灣輪作田耕作方法與環境特殊，未能採用美國所用之四分法，茲將台灣輪作田之特性敘述如下。

1. 輪作田坡度平坦，水流緩慢，如採用四分法灌溉時間過長，易增加深層滲漏與逕流。
2. 皆種植淺根作物，每次灌溉較少水量即可滿足作物之需要。
3. 畦溝耕犁後，皆經人工整理，表面土塊小，易實施灌溉。
4. 每坵塊皆有田埂圍隔，灌溉後不容許發生逕流，深層滲漏亦少。
5. 實施灌溉時由掌水工專司其事，在美國隨時調節畦溝流量，雖可得均勻之灌溉，但掌水工無暇按溝調節，不便實施。
6. 因田面坡度平坦，雖用較大流量亦不至發生土壤沖刷問題。

第三章 埂間灌溉

3.1 影響因子及使用時機

埂間灌溉為一種控制地表漫灌之方法，通常將田間以田埂區分成若干田區，每一田區分別施灌。灌溉時由田區一端引入水流，一面前進，一面將水滲入根系，最後完成灌溉之目的。埂間灌溉是藉由渠道將水流引至田埂的上游來灌溉，水流順著坡度而下，當所需求的水量引進埂間之後，就把引入水流切斷，甚至有可能在灌溉用水尚未完全灌滿時，就把引入水流切斷，何時把引入水流切斷並沒有一個明確的準則，但是如果水流太早切斷，距離田埂上游較遠的地方就可能無法得到足夠的水來完成灌溉；但如果剩下的水太多，而經過漫長的流動之後，水流可能會在田區末端產生逕流，由排水系統加以排出而造成水量之浪費。如圖 3-1 所示。

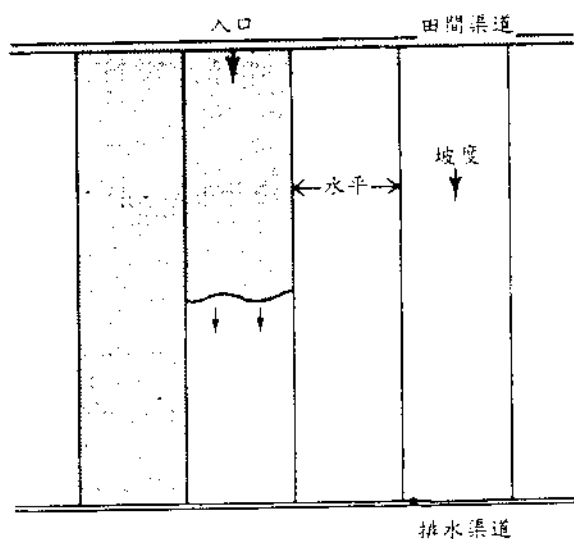


圖 3-1 埂間灌溉示意圖

埂間灌溉通常是最適合較大機械化的農地，如此可設計出較長之田間長度，如此，一方面可增加生產且易於機耕。田埂長度約在 800m 或以上，寬度則為 3~30 公尺，其取舍主要決定於如下不同因子。

一、適當之坡度

埂間之坡度要均勻，最低限度之坡度為 0.05%，如此才能充分將多餘水量排出，而最大坡度之限制則為 2%，以避免造成土壤沖蝕。

二、適當之土壤

深且均勻之壤土或黏土具中等之入滲率，而重黏土於實施埂間灌溉時是較困難的。因為要有足夠之水才能滲入土壤中，否則不能提供作物足夠之水量，盤灌即是一例！

3.2 埂間配置

田埂的尺寸和樣式就如同水盤灌溉及畦溝灌溉一樣，深受土壤種類、水流大小、坡度、灌溉深度和一些其他的因素，諸如耕作習慣、耕作區域或是耕地大小所影響。埂間田區設計要點包括如下：

1. 田區橫向坡度：灌溉水進入田區後，使橫向之水深相同，其坡度以水平為原則，但因地形關係不能完全水平時，此橫斷面上之水深，不得小於 5 公分或大於 7 公分，換言之，橫斷面二側之高度不得超過 2 公分，如以坡度表之，其最大坡度可定為 0.2 %。
2. 田區之長度：如田區甚長，縱坡與灌溉流量皆小，而入滲率甚大，則田區前端較末端吸收更多之水；如增大縱坡與流量，增加灌溉速度，減短田區長度則可改善灌溉。砂土地田區灌溉長度常用 60 公尺以下，而黏質土壤入滲率低至 6cm/hr 必須要緩慢灌溉。
3. 田區縱向坡度：田區有 0.15%~0.3% 之緩坡，其寬度可大至 30 公尺，0.4~0.5% 之中等坡度其寬度可為 6~10 公尺，較大之陡坡其最大寬度可為 5~7 公尺。
4. 流量：中質土壤田區之灌溉流量可用 14ℓ/s，如此可灌溉最大寬度 7.5 公尺，單位寬度之流量為 1.87ℓ/s。
5. 田埂斷面：台灣一般之田埂斷面已示於前述，但將來實施農業機械耕作後，機械越田常會破壞田埂，茲將目前美國適用之田埂形狀說明如下，以備參考。田埂形狀之選定應具備下列三條件：
 - (1) 限制灌溉水流出區外。
 - (2) 有足夠之寬度，不使水滲出區外。
 - (3) 機械耕作時容易穿越田埂。

表 3-1 列出了一些參考數值以供決定埂間的最大尺寸，但要強調的是，這張表只是經驗上的一些參考數值，並不具任何科學意義。

3.3 土壤濕潤型態

埂間灌溉之重要性如其它灌溉方法一樣，必須有足夠之灌溉水量確保埂間使水量能均勻分佈在根系區域。然而，有許多共同的問題其結果導致水量之分佈並不均勻，這些包含：

- 1.不良土地等級。
- 2.不正常的水流大小。
- 3.斷水之時間之不適當。

1.不良土地等級

假如田地本身是一個橫向斜坡及不適當地分級，灌溉水將無法均勻散佈於田區，不平均地流動至埂間的邊緣（圖 3-2）。但若能依正確的邊界坡度來消除更正，或者在邊界建造導溝，可防止這交雜的流動水。

2.不正常的水流大小

水流如果太小其結果將導致在靠近渠道處會產生深層滲漏（如圖 3-3），尤其在砂土。

假如水流流量太大，水將迅速地流動至田間末端，以致於不能充滿根系區域，在灌溉水未達到應用之前，水之逕流應該予以避免（圖 3-4），在這狀況下停止水的流動是必要的，直到根系區域充分地充滿水份，而這結果將導致相當可觀的地表逕流損失。過大的水流可能引起水土流失。假如田地沒有適當地定次序且有一個逆向坡，灌溉水將不會在田地上平衡地散佈，它將會沿著斜坡流動，總是在尋找田埂邊緣最低處，這可以校準田埂坡度或者用田埂構造輔助來引導防止水的反向流動。

3.斷水時間不適當

假如水流停止太快了，那水流可能無法流到田區之末端，相形之下，假如水量大且時間長，則水將會在下游溢流出埂間，而由排水系統排出。

表3-1 建議埂間灌溉田埂的最大長度與寬度

土壤種類	邊界坡度 (%)	每百公尺寬之單位 逕流量 (公升/秒)	埂間寬度 (公尺)	埂間長度 (公尺)
砂土 滲透速率高於 25公釐/小時	0.2-0.4	10-15	12-30	60-90
	0.4-0.6	8-10	9-12	60-90
	0.6-1.0	5-8	6-9	75
壤土 滲透速率介於 10~25公釐/小時	0.2-0.4	5-7	12-30	90-250
	0.4-0.6	4-6	9-12	90-180
	0.6-1.0	2-4	6	90
黏土 滲透速率低於 10公釐/小時	0.2-0.4	3-4	12-30	180-300
	0.4-0.6	2-3	9-12	90-180
	0.6-1.0	1-2	6	90

註：單位逕流量是以埂間每一百公尺寬來計算，因此，埂間的總逕流量就等於單位逕流量乘以埂間的寬度，而寬度以公尺為單位。

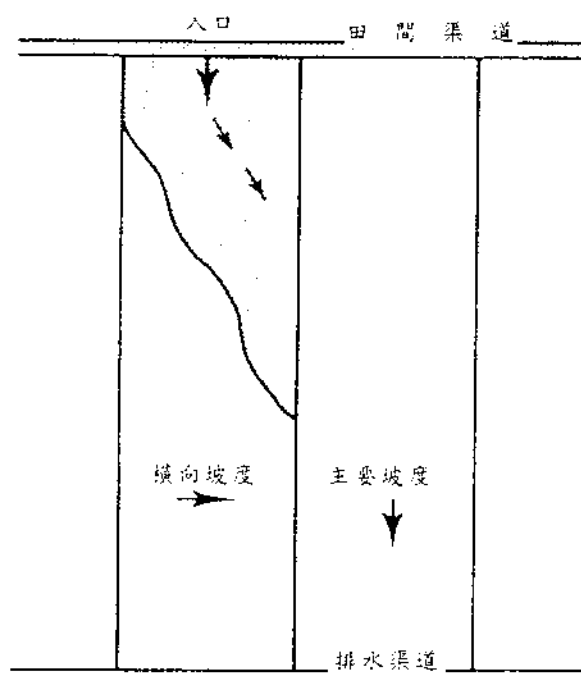


圖 3-2 埂間裡水流之斜坡流動

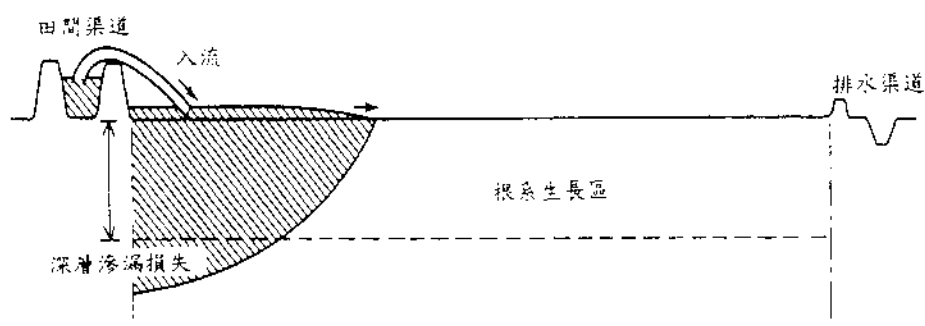


圖 3-3 水流太小之情形

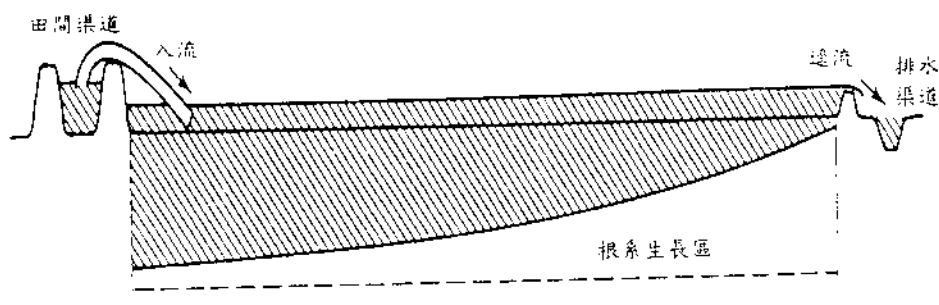


圖 3-4 水流太大之情形

3.4 埂間灌溉公式及應用

埂間灌溉公式考慮之因子，包括灌溉流量、時間、長度、寬度、水深、土壤質地、土壤水分、田面坡度、入滲速度、地表狀態等因子，可以下式表示之：

$$I = f(Q, t_d, L, W, d, S, M, G, V, N) \dots\dots\dots(3-1)$$

式中：

I：灌溉之結果。

Q：灌溉流量。

t_d ：灌溉時間亦即斷水時間。

L：田區灌溉長度。

W：田區寬度。

d：灌溉水深。

S：土壤質地。

M：灌溉前土壤水分。

G：田面坡度。

V：灌溉水入滲速度。

N：地表狀態包括地表粗糙程度，土層鬆緊程度及地形等。

如欲求上列公式，必須解以上十個變數方程式，目前雖可藉電子計算機求解，但各變數之影響程度不甚明顯，甚難求解，為求合理之灌溉，除將以上影響之因子歸類外，並經分組，方可求得一近似公式，如將公式 3-1 中之流量 (Q)，田區灌溉長度 (L) 及田區寬度同時考慮，即用每長 10 公尺寬 1 公尺之流量秒公升表之即為單位流量 q (unit discharge)，如設灌溉時間為 t_i ，則長 10 公尺，寬 1 公尺之條形地所灌水量為 qt_i ，如用水深 d 表之則 $d = qt_i / 10$ 土質，地表狀態為影響灌溉主要因子，應分組成獨立因子，如砂質壤土花生表土疏鬆狀態之灌溉或粉質黏土玉米表土堅實狀態之灌溉等。式中坡度 G 及灌溉前土壤水分 M 皆可視為常數，因輪作田坡度甚為平坦，普通皆在 0.2~0.3% 之間，而灌前土壤水分大約皆在有效水分之 50%；式中最後一值為 V 入滲速度即為公式 $D = Ct_i^{n-1}$ ，此值必須與灌溉水深 d 相同，將二者相等起來，並將流量之單位化成秒公升，則可成立如公式 3-2。

$$q = \frac{ct_i^{n-1}}{6t_n} = \frac{Ft_i^{n-1}}{t_a} \dots\dots\dots(3-2)$$

式中：

q ：為單位流量即 1 公尺寬，10 公尺長所灌之流量，以秒公升表之。

t_i ：為積水時間 (Intake time)，即灌溉水停留於地表之時間，以分鐘表之。

t_a ：為灌溉時間，以分鐘表之。

F ：為常數等於 $C/6$ 。

C ：為入滲累積水深公式 $D = Ct_i^{n-1}$ 中之常數。

公式 (3-2) 單位流量 q ，積水時間 t_i 及灌溉時間 t_a 三因子間有某種關係存在。欲由試驗各組資料中尋求一適當之配合式，須藉統計方法；且此三因子之間成複迴歸方程式 (multiple regression equation) 之關係。由於 q 、 t_i 、 t_a

非線性相關 (non-linear correlation)，則三因子間可假定為對數線性相關，公式 3-3, 3-4, 3-5 表示其複迴歸方程式。

$$q = Ft_1^a t_2^b \dots \dots \dots (3-3)$$

式中 F ， α ， β 為係數，可由統計方法確定之。即

$$\alpha = \frac{\sum x_1 y \sum x_2^2 - \sum x_1 x_2 \sum x_2 y}{\sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2} \dots \dots \dots (3-4)$$

$$\beta = \frac{\sum x_2^2 \sum x_1 y - \sum x_1 x_2 \sum x_1 y}{\sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2} \dots \dots \dots (3-5)$$

$$F = \bar{y} - \alpha \bar{x}_1 - \beta \bar{x}_2$$

式中：

$$x_1 = \log t_1; \quad x_2 = \log t_2; \quad y = -\log q$$

如將某一試驗值代入上列三式，即可解得 α ， β 及 F 值，再將此等值代入 (3-3) 式，可得如 $q = 4.493 t_1^{0.295} t_2^{1.016}$ 之方程式。

公式 (3-3) 尚未考慮灌前之土壤水分，亦即未計及一次應灌水深 (net irrigation water) 與施灌水深 (gross irrigation water)，故灌溉前必須先觀測土壤水分、假比重與田間容水量，如某作物之根深已知，可計算應灌水深，將應灌水深再除以施灌效率 (irrigation application efficiency) 即得施灌水深，如以圖解表示可自圖 (4.3-5) 中求得。設該土壤灌前土壤水分與田間容水量之差為 7.18% (Pw)，假比重為 1.47，連接圖 (4.3-5) A，B 二刻度，並將連線延長至刻度 C，即可求得一公尺土層應灌水深之公厘數，設施灌效率為 60%，連 C，D 刻度並延長至 E 刻度，即可讀得一公尺土層施灌水深為 179 公厘，如根系深為 0.4 公尺，則施灌水深為 71.6 公厘。圖 (4.3.6) 為公式 (3-3) 經試驗及統計分析後，所得之方程式 $q = 4.493 t_1^{0.295} t_2^{1.016}$ 之圖解，既知施灌水深為 71.6 公厘，田區長度為 100 公尺，水流至 80 公尺斷水，則在圖 (4.3-6) 中連 A，B 二刻度並延長至 C，可得單位流量為 0.271 s/w/10m，並可在刻度 B 左側求灌溉時間為 44.4 分鐘。設田區寬為 5 公尺，則長 100 公尺田區所需流量為 $0.27 \times 5 \times 10 = 13.5$ l/s。圖 (4.3-6) 僅適用於砂質壤土花生之埂間灌溉，故欲灌溉他種作物與土壤，可參考表 (4.3-2)，表中各數據求得之方法，與本節以上各點所說明者同。

表 3-2 機耕與牛耕各不同土質與作物埂間灌溉最適灌溉因子表

土 質	耕 犁 式	作 物 別	施灌水深度 (mm)	單 位 流 量 停 水 (l/s/m/10m) 百分比*
砂壤土	牛 犁	花 生	80	0.30 80
粉壤土	"	"	85	0.35 80
砂壤土	"	玉 米、高 粱	75	0.30 80
粉壤土	"	"	80	0.33 80
壤 土	"	"	78	0.32 80
砂壤土	"	整 地	100	0.40 90
粉壤土	"	"	90	0.35 90
壤 土	曳引機	玉 米、高 粱	90	0.42 90
壤 土	耕耘機	"	81	0.40 90
壤 土	曳引機	整 地	110	0.60 90
壤 土	耕耘機	"	105	0.50 90

*註：所謂停水百分比即水流達田區長度之百分比時即行停水，餘水可流達田區末端，可達均勻之灌溉。

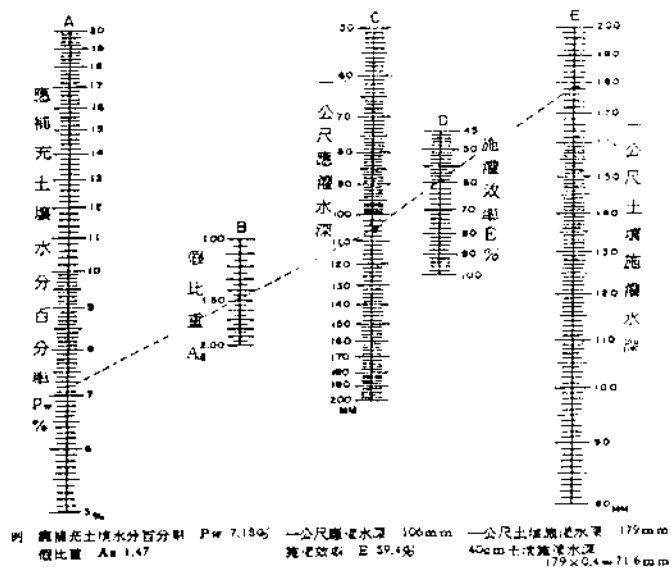


圖 3-5 埂間灌溉土壤水分百分率、假比重、施灌效率及施灌水深度關係圖

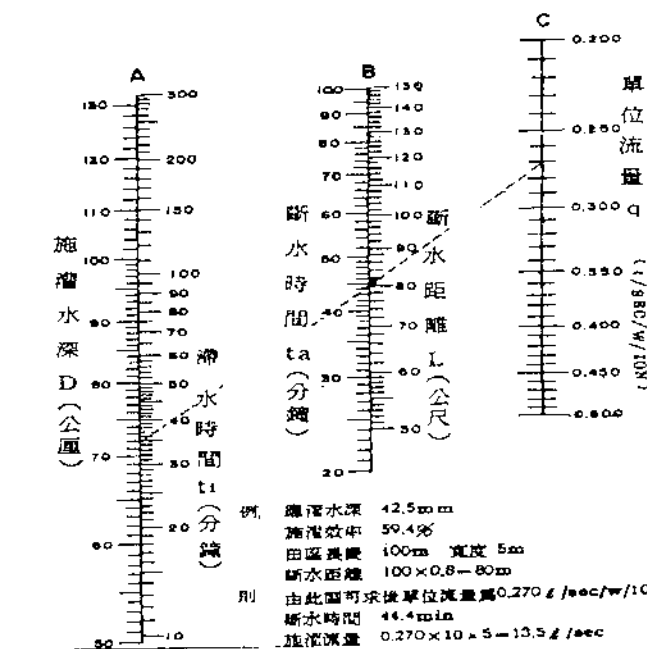


圖 3-6 砂質壤土間灌溉施灌水深、斷水距離及單位流量關係圖

3.5 臺灣水稻灌溉特性

為因應乾季時水量不足現象，臺灣水稻採用輪流灌溉（rotational irrigation），簡稱為“輪灌”。為根據用水計畫，在適當時期（適時）以適當之水量（適量）按照順序（依序）供水之灌溉方法。多用於水稻灌溉，依實驗其用水量將較自古以來所習用之繼續灌溉（continuous flow irrigation）方法節省用水 17%~50%，而不減少水稻之單位面積產量。輪灌是間歇灌溉法（intermittent irrigation）的一種。依其給水方式，可分為標準式輪灌、精密式輪灌和大區輪灌三種：

一、標準式輪灌

先劃分輪區，原則上以每 50 公頃為一個輪區，且每一輪區設一個水門和量水設備，輪區內劃分若干單區（一般設有五個單區），每一單區約 10 公頃。各單區內設單區配水箱和小給水路，或補助水路，以便各田坵均能直接引水灌溉。執行輪灌時，集中輪區應得的給水量，依單區順序輪流給水，週而復始。單區的給水順序和給水時間，是由下而上，由左而右，按土壤性質、實際面積、稻作需水量和給水量損失程度，決定供水多少時間。為求達到執行順利，宜統一品種，各輪區應設置共同秧田，和組織共同工作隊，使秧苗生長和整地插秧，均能配合輪灌時間。採用公灌制度，農戶不需自己看水，這是臺灣推行的輪灌制度，故稱為“標準式輪灌”。因以單區為用水計畫和配水，故亦可稱“小區輪灌”。

二、精密式輪灌

因臺灣地區在農業生產環境與農地結構上，大多田坵崎零狹小，耕地使用分散，農路缺乏且排水不良，灌溉不便，雖增設小給水路，而越田灌溉或排水不良的情形，仍不能避免，因此為求達到綜合性的農場結構改良需要，乃實施農地重劃。

農地重劃的標準規格為配合輪流灌溉所設施之小給水路，排水溝與農路等，均有一定標準，整齊劃一。藉農地重劃，不但水路用地易於解決，而且每坵塊農地均能直接引水，直接排水。於是輪流灌溉可以進一步改善，因此，用水計畫或配水操作，均可依每塊田坵之各次用水因子加予計算，而達成適時適量依序的供水，故稱為精密式輪灌。尤其在長年水源不足或嚴重缺水時採用此法，因各坵塊均臨小給水路，較易實施輪灌，故已完成農地重劃之灌溉系統較適合推動辦理。精密式輪灌之每塊田坵為耕作之最小單位面積，且以長方形為原則，短邊在 25~30m 間，長邊在 100~150m 之間。考慮地形時，其標準如表 3-3。

表 3-3 坵塊形狀一般標準表

地 形 及 坡 度	坵 塊 長 邊 (m)	坵 塊 短 邊 (m)
平坦地 (1/500 以下)	100~150	25~30
緩傾斜地 (1/100~1/500)	100~120	25~30
傾斜地 (1/100 至 1/15 以上)	75~100	20~25

三、大區輪灌

大區輪灌，亦稱為粗放式輪流灌溉，是灌溉水源短缺時的補救辦法，按幹支分渠系統或埤圳別間歇輪流配水的方法，大致可分為：

1. 在同一河川水源的若干灌溉圳路系統，當其水源水量減少至圳路總灌溉需水量的 70%~80% 時，開始實施圳路輪流取水灌溉，以便獲得地區性的平均輪配水量的效果。
2. 在埤圳內分幹線，或支分線系統，或分段區，實施大區輪灌，即以幹支線，按分水比率，實施間歇輪流配水。因此，大區輪灌可以說是灌溉缺水時期的一種補救配水辦法，因時因地臨時執行。

自提倡輪流灌溉制度後，各農田水利會參照輪灌用水計算方式，計算大區輪灌需水量和配水時間表，當水源水量低於需水量某一程度時，採用此種輪流配水灌溉方法。

第四章 漫灌

4.1 影響因子及使用時機

與埂間灌溉最大不同點為此法以地形情況不同作圍埂灌溉，田埂不相平行，有時依等高線高差每隔 6~13 公分圍埂，故又名等高圍埂 (contour check)，即為梯田灌溉。一般灌溉之流量較大，地表亦較平坦，如用於黏重土滲漏較低之土壤，大流量覆蓋地表甚快可減少滲漏損失，如用於黏重土滲漏較低之土壤，延長水流覆蓋地面之時間，亦可得良好之效果。

何種土質適合盤灌乃取決於耕種的作物，主要差別在於水稻田與非水稻田或其他作物。稻米種在黏土上是最好的，該土質幾乎全部都是低滲透率的不透水土質。稻米雖亦可以種植在砂質土壤上，但該土質的其滲透率高而無法維持一定水深，這種情形有時候發生在溪谷底部的地方。雖然許多作物能種在黏土上，但盤灌時最好的是砂質壤土，因為它能避免水分到達永久飽和點。粗砂質地則不建議使用盤灌，因其入滲率太高，水分大部份都流失掉。如果土壤有堅硬外殼，那麼也不適合用作盤灌。

許多作物皆適合盤灌。稻米最佳的成長時期是發生於根部浸在水裡的時候，所以漫灌是最適合水生作物之栽培。其他適合漫灌之作物尚有：

牧草類的：紫花苜蓿、江花草。

果樹：香蕉、柑橘。

國外作物如玉薯黍、麥片等。

亦有些如條播作物，如煙草亦可。

盤灌通常不適合無法浸水或不能泡在水中超過 24 小時的作物，而有些作物，例如玉薯黍、樹薯、甜菜及胡蘿蔔，其根及莖部需要寬鬆及排水良好的土壤。

4.2 漫灌配置設計

盤灌計畫的設計不只有其盤灌區域之大小與形狀而已，當然也包括其內耕地的大小與形狀。灌區該是正方形、矩形還是不規則形狀？大小是 10、100、1,000 或是 10,000 平方公尺呢？高度是 10、50 或是 100 公分呢？耕地該適合何種形式呢？地大小主要取決於其地表坡度、土質、現有河川流量的大小（可引至灌區的水源）、灌溉水深及農業實務。

在寬度上最主要的限制是坡度的大小，如果坡度太陡，灌區則宜較窄。

否則太多的地表運動將使得灌區需要加以整平。表 4-1 說明最大之灌區寬度除取決於地表的坡度，其他尚有三個可能影響灌區寬度的因素：

1. 肥沃土壤的深度。
2. 構築灌區的方法。
3. 農業實務。

決定灌區大小不只端賴坡度，土壤之種類及現有河川所能提供之水源也是考量的重點。土壤種類、現有河川水量多寡與灌區大小間之關係如表 4-2。上述為一原則性之決定，但有些是根據以往的經驗來調整某些特殊情形以配合小規模的灌溉條件。

表 4-1 盤灌或梯田寬度之概略值

坡度 (%)	最大寬度 (m)	
	平均值	範圍
0.2	45	35—55
0.3	37	30—45
0.4	32	25—40
0.5	28	20—35
0.6	25	20—30
0.8	22	15—30
1.0	20	15—25
1.2	17	10—20
1.5	13	10—20
2.0	10	5—15
3.0	7	5—10
4.0	5	3—8

表 4-2 不同土壤質地與引灌水量下之灌區面積 (m²)

河川流量 (l/sec)	砂土	砂壤土	粘壤土	粘土
5	35	100	200	350
10	65	200	400	650
15	100	300	600	1,000
30	200	600	1,200	2,000
60	400	1,200	2,400	4,000
90	600	1,800	3,600	6,000

4.3 土壤濕潤型態

適量且規律的在作物的根部供水，對於作物的成長是非常重要的。如果水分不足，表土會變的乾燥，且耕地面積會減少；如果水分太多，則容易造成深層滲漏，尤其是黏土，可能造成永久性的飽和狀態使植物浸死。

想要在作物的根部獲得均勻的水分，則灌區必須整平，且必須能快速供水。圖 4-1 顯示出理想的濕潤灌溉型式：地盤之整平且由適切的河川流量供水。由於根部不可能同時且完整的濕潤。靠近田間渠道的部份灌區，與水源相銜接的一邊總是比另一邊的末端區域有較多之水流時間，因此滲漏損失會發生在靠近田間渠道的地方。(假設另一邊可獲得足夠水量)。

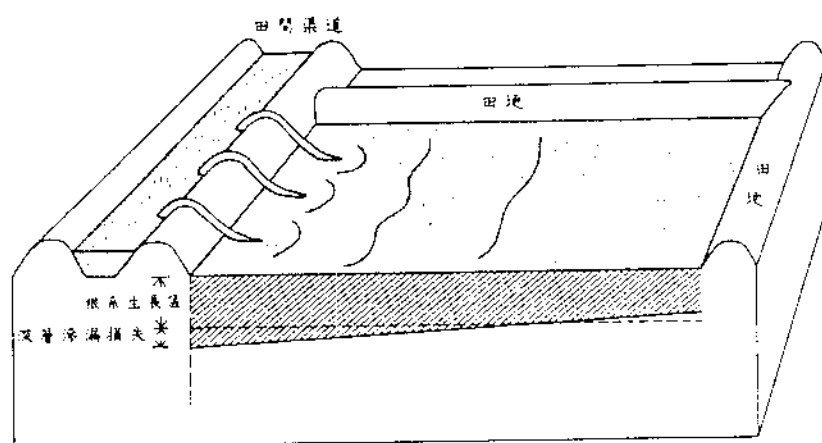


圖 4-1 理想之濕潤灌溉型式

1. 不良的濕潤灌溉型式

導致土壤不夠濕潤之因素：不理想的自然條件，例如緊密的下層土或同一區塊內有不同類型的土壤。不周詳的規畫，例如地表不夠平整。不妥善的管理，例如河川供水量不正確（太多或太少）。

2. 不理想的自然條件

緊密的下層土有時在會發生在地表下 30~60 公分處，入滲的水分經過這一層時會變的很慢，而且有堆積在該層之傾向，如圖 4-2，該層會形成所謂的“棲水層”，這可能會導致浸水現象的發生。這種情形對水稻栽作是有益的，但對於其他作物來說卻是壞處。此密實的下層土可以藉著犁耕深的畦溝而加以翻鬆。

灌區內不同的土壤類型使得水分分佈不均勻，不斷的調整田埂與鬆土可使土壤攪拌而漸呈一致性。

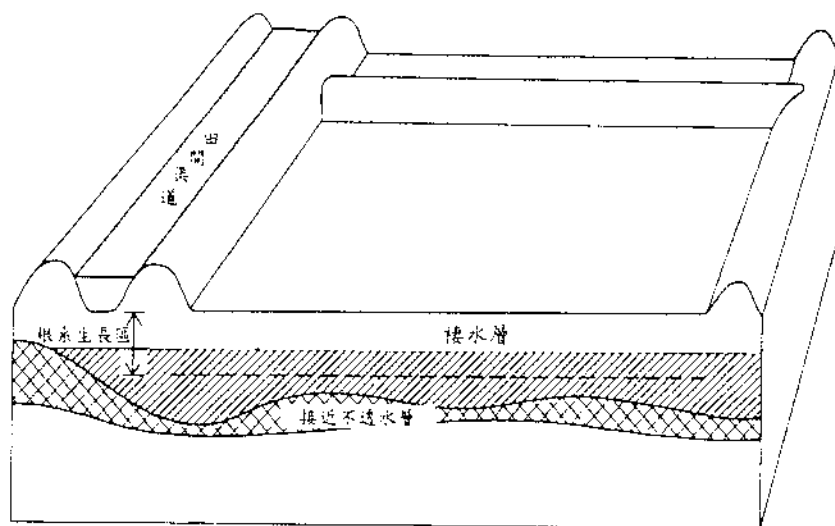


圖 4-2 接近邊界時灌溉水分分佈示意圖

3. 不周詳的規畫

圖 4-3 顯示出在不平整的地表之下，某些根部的地方無法吸收足夠的水分，而且較低的部份可能會積水、較深的地方會發生滲漏。作物在乾燥的環境中吸收不到足夠的水分会開始凋萎；在過於潮濕的環境之下，其養分會從根部被帶到土壤下，尤其是黏土質的情形更嚴重，作物可能會因此而淹死。然而，解決這個問題的方法就是必須小心翼翼的做好整地工作。

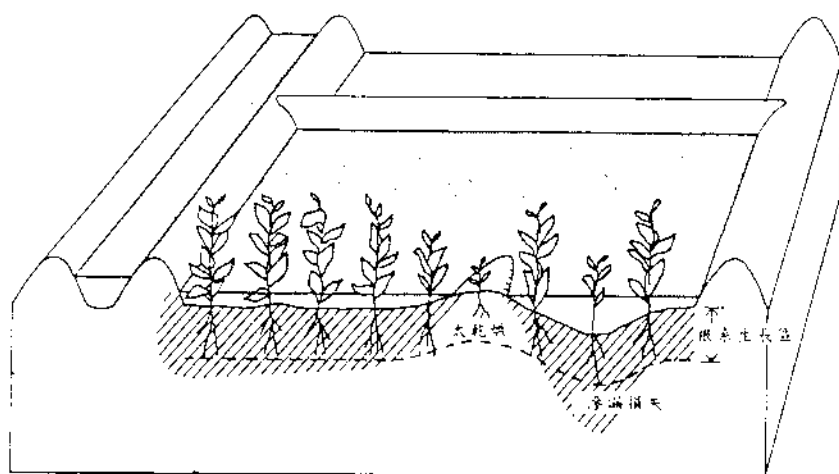


圖 4-3 不良區域之濕潤型態

4. 不妥善的管理

圖 4-4 顯示出當灌溉速度太慢時，最先灌溉的區域其灌溉的時間最長，吸收的水分太多。這種現象造成滲漏損失，土壤中的養分被沖洗掉並且使得植物淹死。而其他區域則是太乾了。解決這個問題的方法就是：增加引灌水量，使得灌區能快速的充滿水，或者是將區塊劃分的更小而適合較小的引灌水量。

圖 4-5 顯示出灌溉水不足以填滿根深部份之土壤，稱為“地下灌溉”這是水量估算太少所造成。再多施灌幾天便可補足水分。在灌溉不足的區域不會有任何的滲漏，雖然這種方法蠻有效率地，但必需經常灌溉以供作物所需。然而持續性的灌溉不足現象最後會使得根部成長受到限制，而且作物可能受到灌溉的延期，就好比說當水源短缺時，給水系統則會故障或停擺。圖 4-6 則相對顯示超量灌溉之土壤入滲示意圖。

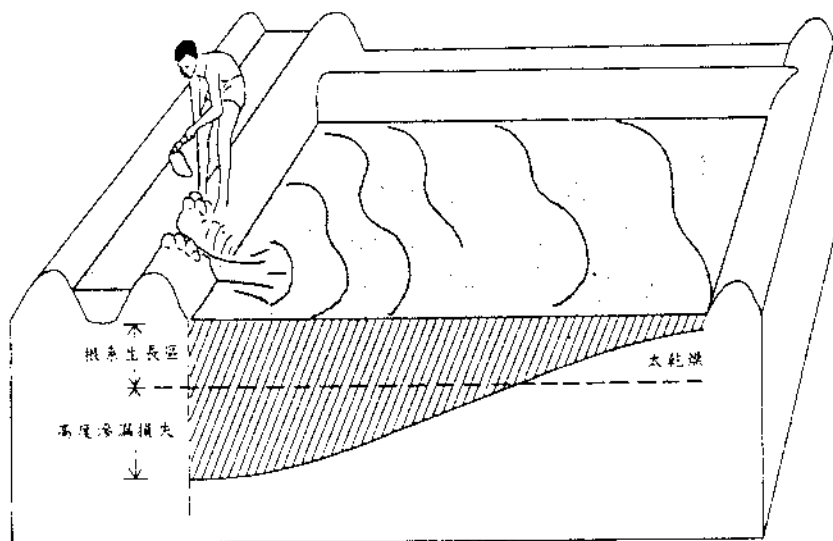


圖 4-4 水流不足時之濕潤型態

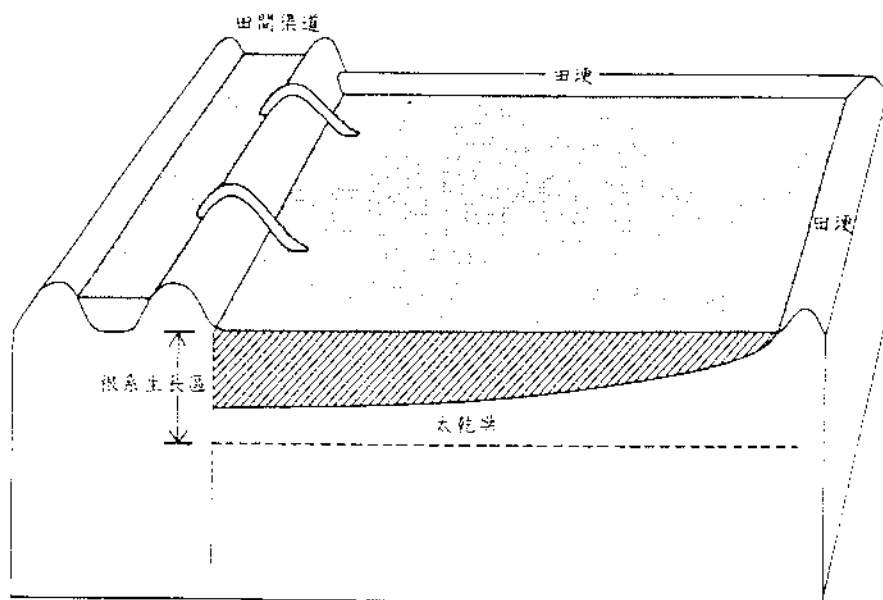


圖 4-5 地下灌溉示意圖

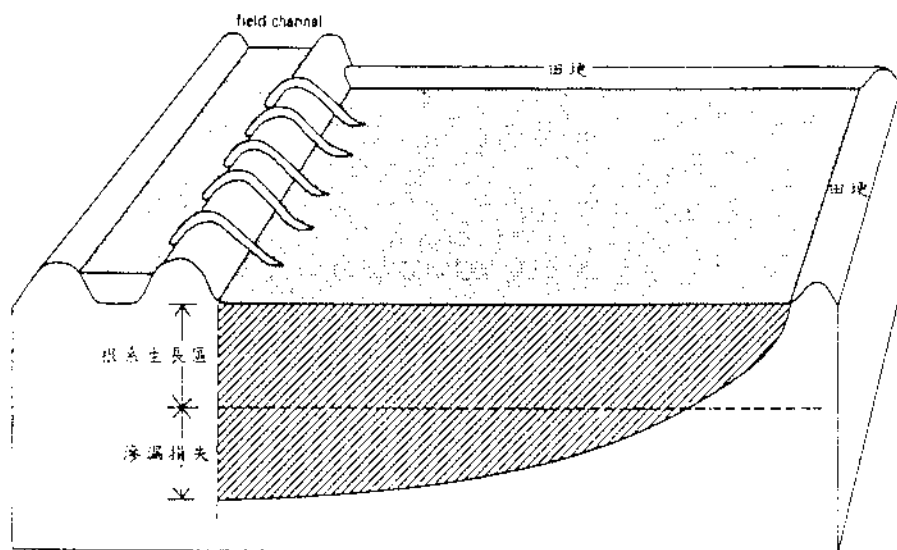


圖 4-6 超量灌溉示意圖

4.4 漫灌灌溉效率評估

實施漫灌灌溉效率評估之示意圖如圖 4-7 所示，其步驟如下：

步驟 1：典型的水盤灌溉或畦溝灌溉需考慮耕地大小、土壤類別及作物、水盤大小或畦溝長度可以卷尺量測之，並記錄在資料表上。

例如：

試驗日期：11,4,1987

水盤大小：24 (m) × 15 (m) = 360 (m²)

作物：花生

純灌溉水深：45 mm

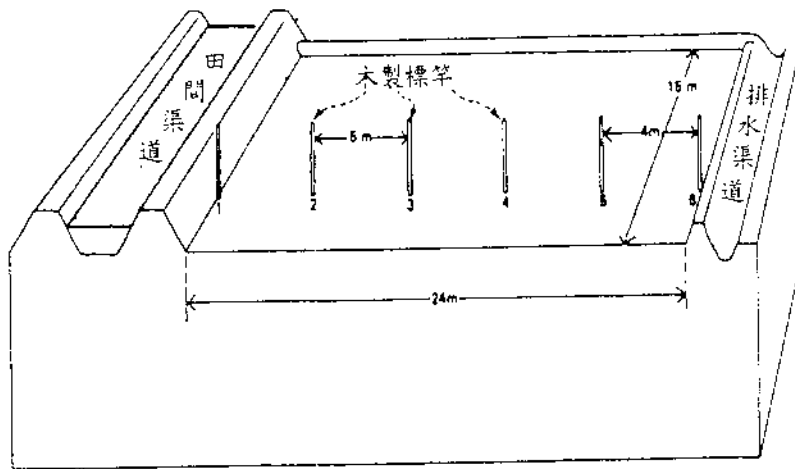


圖 4-7 5 公尺木椿間距佈置示意圖

步驟 2：在每隔 5 到 10m 處放置標桿（如圖 4-7），並記錄標桿位置於數據表上（數列 2）。

步驟 3：完成數個入滲試驗後，並作入滲曲線，作成入滲曲線圖（如圖 4-8）。

步驟 4：灌溉開始時，使用相同水量及相同灌溉時間，並記錄水到達每根標竿（1—6）前所需要時間，此稱為水流前進時間（數列 3）。

步驟 5：記錄每一標桿其水滲入土壤所需時間，此稱為退水時間（數列 4）。

步驟 6：計算每一標桿所接觸時間，此接觸時間則為全程水歷時與退水時間差（數列 5）。

步驟 7：計算達到每一標桿高度的用水量，使用入滲曲線圖（如圖 4-8）（數列 6），並把資料記錄於記錄表上，如下列範例。

1 編號	2 水流距離 (m)	3 水流前進時間		4 水流退水時間		5 停止時間 (min)	6 施灌水深 (mm)	
		計時 (hr、min)	開始時間 (min)	計時 (hr、min)	開始時間 (min)			
1	0	11	00	0	11	50	50	65
2	5	11	04	4	11	50	50	46
3	10	11	08	8	11	50	50	42
4	15	11	11	11	11	51	51	40
5	20	11	20	20	11	52	52	32
6	24	11	30	30	11	54	54	24
							平均值	59mm

步驟 8：田間施灌效率之決定

田間施灌效率，即指農作物的有效用水量，假定沒有逕流損失，其田間施灌效率等於所需要之灌溉深度 (mm)，即為需灌深度除以實際平均灌溉深度 (mm)，再乘以 100%，如下式：

$$\text{田間施灌效率 (\%)} = \frac{\text{需要灌溉深度 (mm)}}{\text{實際灌溉深度 (mm)}} \times 100\%$$

平均施灌水深度為 (65 + 63 + 61 + 60 + 56 + 46) / 6 = 59 mm

需灌深度為 45 mm

田間施灌效率 (%) = 45 / 59 × 100 = 76 %

平均深層浸透損失深度為 59 - 45 = 14 mm

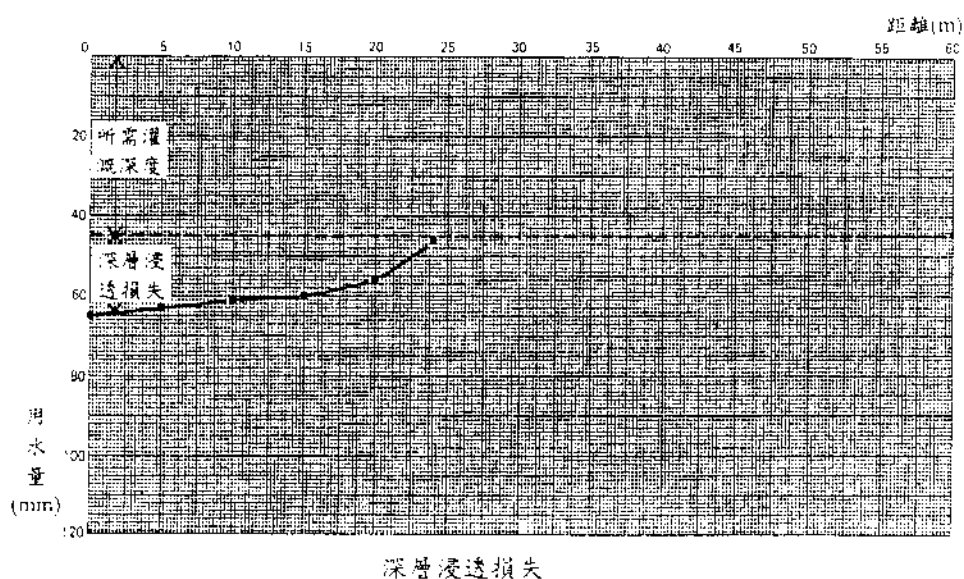


圖 4-8 深層浸透損失曲線圖

灌溉成效記錄表

試驗日期：

土壤種類：

水盤大小： $(m) \times (m) = (m)^2$ 或畦溝長度 (m)

作物：

純灌溉深度：

[illegible]

第五章 噴灑及微噴灑灌溉

5.1 影響因子及基本資料

噴灑灌溉是農田水利新技術之一，乃將灌溉水如降雨般地向地面散佈，使作物獲得灌溉水的滋潤，以達增產之目的。噴灑灌溉有下列之優點：

- 1.節省灌溉用水量，促進水資源有效利用；
- 2.適時供水灌溉，增加作物產量，提高作物品質，增加經營收益；
- 3.省工、省時，降低灌溉成本；
- 4.提高灌溉均勻度及灌溉效率；
- 5.適用於所有地形，不需整地；
- 6.增加灌溉面積，促進邊際土地開發利用；
- 7.操作方便，管理簡易，灌溉時可兼做其他田間工作；
- 8.可調節產期，增加根系發達及延長作物壽命；
- 9.減少土壤沖刷及雜草滋生；
- 10.施肥、噴灑農藥方便，可多目標利用及自動化管理；
- 11.可以減少地表積存鹽份；
- 12.可以兼作防凍害或高溫等多目標使用。

雖然有上述之優點，但也有下列之缺點：

- 1.設施成本及營運管理費高；
- 2.易受風干擾，影響灌溉均勻度；
- 3.噴嘴易阻塞；
- 4.固定式設施會妨礙田間耕作，而移動式設施則須花費較多勞力。
- 5.施工及維護需要較高之技術。

噴灑灌溉規劃設計前應具備之基本資料有下列各項：

1. 地形圖：地形圖為噴灑灌溉規劃設計前最重要之基本資料之一，其比例尺以 1/5,000~1/10,000 為適，等高線之間隔約 1.0~2.0 公尺。有地形圖後，即可決定抽水機之位置、灌溉區之區分、主管排列及有效水頭之估算等。如灌溉區為一山坡地，普通主管為橫越等高線排列而支管則順等高線排列。
2. 土壤：包括土壤質地之調查、地層深度之觀測、肥力之測定、PH 及鹽分含量等，皆為噴灑灌溉設計前必須之土壤資料。如為大灌溉區之土質調查每 1~10 公頃選取調查點一處，每隔 20 公分垂直採取土樣一個至作物根系深度為止，然後作以上各項分析與測定。
3. 土壤水分及各常數之測定，利用調查土壤時所採取之土樣測定孔隙率、田間容水量、凋萎點、假比重等，並分析土層中可蓄積水分，以作計算灌溉期距與灌溉時間之根據。表 5-1 為以上各土質之約數，如無測定資料亦可作噴灑灌溉設計之根據。

表 5-1 各種土質土壤水分常數及每呎土層蓄積水深

土 質	孔隙率 %	假比重 As	田間容水量 (Fc) %	凋萎點 (Wp) %	有效水分 (Pw) ⁽¹⁾ %	容積比 (Pr) ⁽²⁾	每 d=30 公分 土層之水深(D) ⁽³⁾ mm
砂 土	38	1.65	9	4	5	8	25
砂 壤 土	43	1.50	14	6	8	12	36
壤 土	47	1.40	22	10	12	17	50
黏 壤 土	49	1.35	27	13	14	19	58
淤質黏土	51	1.30	31	15	16	21	64
黏 土	53	1.25	35	17	18	23	69

備註：(1) $Pw = Fc - Wp$

(2) $Pr = Pw \cdot As$

(3) $D = \frac{Pw}{100} \cdot As \cdot d$

4. 入滲率之測定：入滲率為噴雨強度之根據，與土質、土壤結構、土壤水分等因素有關，故設計前亦須於灌溉區中測定，凡不同土質地區皆須觀測，每種土質至少要三重複，求其平均值，表 5-2 為各種不同土質之基本入滲率。

表 5-2 各種土質之基本入滲率（公厘/時）

土 質	土壤結構良好有機質含量高	土壤結構差有機質含量差
粗 砂	19~25	13
細 砂	13~19	9
細砂質壤土	13	8
淤質壤土	10	7
粘質壤土	8	6

5.氣象調查：包括雨量、連續乾旱日數、蒸發、風速、風向等資料，前三者為設計噴灌期距及每次灌溉水量之依據，風速、風向為噴灌系統佈置之準繩。

6.水源調查：包括地表水源、地下水源、水質、水量與取水之難易及經費等。

7.作物種類與根深，各種作物之需水量與根系深度之分佈亦為噴灑灌溉設計之因子，設計前亦應妥為調查。

綜合以上七項資料所考慮之噴灑灌溉設計因素有下列九點：(1)有效用水量；(2)噴水強度；(3)噴水均勻度；(4)噴灑水量與頻度；(5)灌溉區之相對高度；(6)壓力水頭；(7)噴灑系統水頭損失；(8)噴灑系統佈置；(9)噴灑灌溉之經濟價值。

5.2 設計基本原則

一般噴灑灌溉系統之設計配置大略如圖 5-1 所示，各重要元件包括：

1.水源及加壓設備：

噴灑灌溉需要壓力來完成，除了少數有天然落差可以利用之情況外，大部份之噴灑灌溉系統均需要設置加壓設備，如水中含有雜物，則需另外加設沉砂及過濾之設施。

2.主管：指由水源送水至田區的一段管線，有時採地下埋管方式。

3.支管：指由主管至噴頭間之管線。

4.噴頭

在噴灑灌溉系統之設計有三個間距長度十分重要，描述於下：

(1)主管間距：即兩隻相臨支管間之距離，通常以 S_m 表示。

(2)支管間距：即兩個相臨噴頭間之距離，這個長度除了中央轉軸系統外，其它的噴灑灌溉系統通常維持定長，以 S_l 表示。

(3)噴灑直徑（又濕潤直徑）：即於設計之操作壓力下，噴出的水可以潤濕之圓形區域，通常以 D_m 表示。

噴灑系統配置設計之基本原則及步驟，包括如下：

1. 調查設計所需之基本資料，包括水文氣象、水源水質、地形、土壤、動力來源及種類，作物及耕地作業等項目。
2. 決定一次施灌水量。
3. 決定設計用的灌溉率或灌溉期距。
4. 決定系統容量。
5. 決定最佳施灌率。
6. 噴頭之選定。
7. 決定噴頭間隔、出水量、噴嘴尺寸，操作壓力等，以符最佳灌溉效率。
8. 決定噴頭數及操作方式，並考慮符合系統的需水量。
9. 噴灑系統幹支線佈置。
10. 作必要的最後調整，以符合佈置條件。
11. 噴灌支管之設計，決定支管之所需管徑及管長及每條支線之最大總需水壓力。
12. 副管及主管之設計，決定所需尺寸。
13. 檢討幹線主管尺寸對動力經濟與否。
14. 決定最大及最小操作條件。
15. 選擇在操作條件範圍內具有最大運轉效率之抽水機及動力設備，水源工程及調整池之設計。
16. 準備平面圖，進程表及操作使用說明書，以供水利會及農民營管理及操作之用。

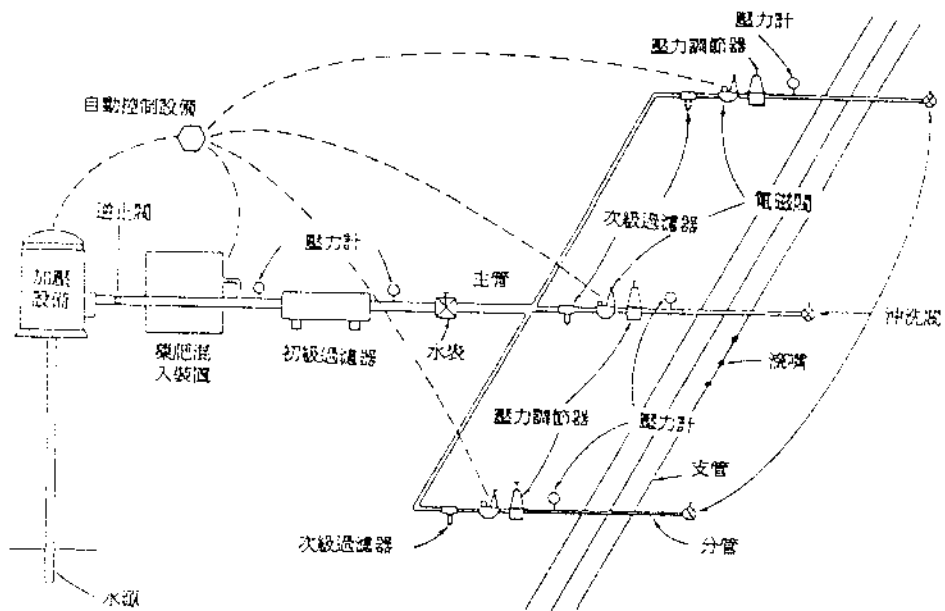


圖 5-1 噴灑灌溉系統配置示意圖

噴灑系統設計中，包括：噴灑均勻度，施灌率，灌溉期距，系統容量等均為設計中應考慮事項，茲概述如后：

一、Christiansen 均勻度係數 (Uniformity Coefficients)

噴灌水量在地表分佈均勻程度之係數，一般以 Christiansen 氏所提出之下列數學式表示：

$$UC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|Xi - \bar{X}|)}{(n\bar{X})} \dots\dots\dots (5-1)$$

式中：

UC：Christiansen 均勻度係數（以小數表示）

X_i ：第 i 個量筒中之水量（mm）

$\bar{X}$ ：所有量筒之平均累積水量（mm）

n ：量筒之個數

二、施灌率（application rates）

設計施灌率之定訂以不造成地表逕流為原則，其大小應在土壤基本入滲率及蒸發率之間，大於土壤入滲率則會形成地表逕流，小於蒸發率

則所噴之水量無法到達地表。設計之施灌率可以依土壤質地、氣候狀況、地形及作物對水份之敏感度等因子來決定，一般粗施灌率（gross application rate）可以下式表示：

$$\text{施灌效率} = (\text{灌溉水蓄積於作物根系內之水量} / \text{噴灌水量}) \times 100 \dots (5-2)$$

三、灌溉期距

灌溉期距對噴灑灌溉系統設計是十分重要之項目，其長短決定於土壤保水力、根層深度、允許土壤水份消失量及施灌效率。

$$Tad = Tam \times Ad \times Dr \dots (5-3)$$

式中：

Tad ：總允許土壤水份消失量（mm）

Tam ：總有效水份（mm/m）

Ad ：允許土壤水份消失率（以小數表示）

Dr ：根層深（m）

$$Tam = Fc - Pwp \dots (5-4)$$

Fc ：田間容水量（mm/m）

Pwp ：永久凋萎點（mm/m）

因此，灌溉期距可以下式估算：

$$Ti = Tad / Etp \dots (5-5)$$

式中：

Ti ：灌溉期距（天）

Etp ：尖峰蒸發散率（mm/天）

所謂允許土壤水份消失率是一灌溉管理之標準，即表示於施灌之前允許之土壤有效水份被使用之比率，一般依作物之耐性而定：耐旱或深根層作物用 67%，一般作物用 50%，不耐旱或淺根層作物則以 33% 為基準。

四、系統容量

所謂系統容量，即指於所訂之施灌期距內，能灌完某一設計區域面

積的系統設計容量。

$$Q = 2.778 \times ig \times A / (Nop \times Top) \dots\dots\dots(5-6)$$

式中：

Q：系統容量（升/秒）

ig：粗灌水深（mm）

A：總面積（ha）

Nop：每一灌溉周期天數

Top：每天運轉時數

n：噴頭數 = Q / q （ q = 噴嘴流量）

5.3 管路水理設計

噴灑灌溉之配水系統設計乃指主管及支管部份之配置，其配置需考慮田間之地形狀況及管路之水理。

5.3.1 主管

一、總動力水頭（Tdh）

$$Tdh = Hop + Hf + Hfp + Hz + V2g \dots\dots\dots(5-7)$$

式中：

Hop：噴頭操作壓力（m）

Hf：由抽水機至噴頭之摩擦損失（包括接頭次要損失）（m）

Hfp：抽水機吸水管部份之摩擦損失（m）

Hz：由水源至噴頭處之高程度（m）

V2g：流速水頭（一般可以省略）

抽水機必需能提供 Tdh 以使系統順利運轉，若主管採用較大管徑，則摩擦損失減少可使操作成本降低，但初期之管路投資將提高，反之若採用較小之管徑，則初期投資額小，但日後之操作費用將是沉重的負擔，因此主管管徑之設計，應在初期之設備投資及日後之操作成本間取得平衡。此外若系統中有一小區域因地形特別高或須要較其它區域之操作壓力高出甚多，則應以加壓抽水機（booster pump）作局部加壓以降低能源費用。

二、支管入口處之設計壓力

設計壓力之計算是由噴頭往回算，且必需以整個系統中運轉壓力最小之噴頭（一般又稱作 Critical 噴頭）作為起算之基點，除非有中央隆起之地形，一般為最後一隻支管的最後一個噴頭。支管入口處之設計壓力為：

$$H_m = H_a + [0.75(H_f + H_e) + H_r] 9.807 \dots \dots \dots (5-8)$$

式中：

H_m ：支管入口處之設計壓力（kPa）

H_a ：噴頭之設計壓力（kPa）

H_f ：支管內之摩擦損失（m）

H_e ：入口處至（Critical）噴頭間之高程差（m）

H_r ：提升管（raiser）、豎管高度（m）

0.75：以支管中點處壓力為平均壓力之校正係數

因為一般所謂操作壓力是指噴頭出口處之壓力，所以豎管長度必需於上式中考慮，表 5-3 為一般使用之豎管高度及管徑之參考值。

表 5-3 豎管高度及管徑

豎管管徑		豎管高度	
cm	in	cm	in
1.27	1/2	7.6	3
1.90	3/4	15	6
2.54	1	30	12
7.6	3（噴槍）	90	36

5.3.2 支管

支管設計最重要之原則是不要讓支管內各點之壓力相差太多，因為壓差太大會影響支管內各噴頭流量之均勻度，進而影響全系統之效能，一般之設計準則是支管內之壓差不得大於 $\pm 20\%$ ，而各噴頭流量差不得大於 $\pm 10\%$ 。因此支管中兩個臨界（critical）噴頭間之最大允許水損失為：

$$HL = (\theta \times H_a - H_e) / L \dots \dots \dots (5-9)$$

式中：

HL：最大允許水頭損失 (m/m)

θ ：最大允許壓差比

Ha：噴頭設計壓力 (m)

He：兩端之高程差 (m)

L：兩端之距離 (m)

支管之水理和一般之管流稍有不同，支管內因延線有許多噴頭取走部份流量，因此其內之流量延流動方向遞減，為對此種狀況加以分析，作了下面三個假設：

- a. 支管上每一噴頭之間距均一樣。
- b. 支管上每一噴頭之流量均一樣。
- c. 所有進入支管之流量最後均由噴頭流出。

Hazen-Williams 公式為常用之管流分析公式：

$$hf = k \times L \frac{(Q/C)^{1.852}}{D^{4.87}} \dots\dots\dots(5-10)$$

式中：

hf：摩擦損失

k：換算因子

L：管長

Q：流量

C：管材之 Hazen-Willian 摩擦係數

D：管徑

支管內之摩擦損失可由 Hazen-Willian 公式推算：

$$hac = F (hf) \dots\dots\dots(5-11)$$

式中：

hac：實際之摩擦損失 (m)

F：Christiansen's 摩擦係數

上式中之 Christiansen's 摩擦係數和支管中之噴頭數有關，若第一個噴頭和支管入口處之距離等於設計之噴頭間距（S1）時：

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \dots\dots\dots(5-12)$$

式中：

N：支管上之噴頭數

m：計算摩擦損失時使用之公式中流速項之指數值

Scobey 公式 $m=1.9$ （如表 6-2 所示）

Hazen-William 公式 $m=1.852$ （如表 6-2 所示）

Darcy-Weisbach 公式 $m=2.0$ （如表 6-2 所示）

若第一個噴頭和支管入口處之距離等於設計之噴頭間距之一半（0.5 S1）時：

$$F = \frac{2N}{2N-1} \left(\frac{1}{m+1} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \right) \dots\dots\dots(5-13)$$

5.4 實例介紹

本章節介紹設計 40 公頃柑園，栽植間隔 7m×4m 之微噴灑器灌溉系統之設計實例，程序包括如下：

1. 純灌溉水量之決定

近代的灌溉計畫僅利用根層內有效水分之一部分。若利用全部有效水分時，土壤之水分張力會升高，以致降低收穫量。柑橘園（基本數據如下：柑橘根深 1,200mm、 $F_c=10\%$ 、 $W_p=4.25\%$ 、 $A_s=1.6$ ，所以，以容積%表示為 $(10-4.25) \times 1.6=9.2\%$ ，有效水深 $d=9.2 \times 1,200/100=110.4\text{mm}$ ）灌溉喜用較低之水分張力，而微噴灑器以 40%（已知值）有效水分作灌溉計畫已被廣泛採用。因此，有效水分量 110.4mm（已知值，如上述）經下式修正而得純灌溉水量：

$$\frac{110.4\text{mm} \times 40\%}{100\%} = 44.16\text{mm}$$

2. 實施灌溉水量

在微灌溉時，僅施灌田區之 70%（已知值），故其實純灌溉水量如下：

$$\frac{44.16 \times 70\%}{100\%} = 30.9\text{mm}$$

3. 實粗灌溉水量

為決定最後之灌溉水量，必須考慮適用效率。當滿足下述條件時，微灌溉之適用效率可達 95% 以上，即(1)單位面積灌溉水量不超過預定之限度。(2)附方霧化裝置之微噴灑器分佈，隨著與噴頭距離而逐漸降低。(3)清除會妨礙噴水之枝葉。為安全計，採用適用效率 90% 時，實粗灌溉水量如下：

$$\frac{30.9\text{mm} \times 100\%}{90\%} = 34.3\text{mm}$$

4. 灌溉期距之計算

計算灌溉期距，係採用實純灌溉水量，而不考慮適用效率。

$$\frac{30.9\text{mm} (\text{實純灌溉水量})}{4.4\text{mm} (\text{日消耗水量})} = 7\text{天} (\text{最低})$$

5. 灌溉期距之決定

考慮灌溉設備故障及假日休息，保守決定灌溉期距。在比例，採用 1 天之餘裕，故其灌溉期距為 6 天。

6. 日需水量

灌溉期距 7 天修正為 6 天後，其實粗灌溉水量修正如下：

$$\frac{34.3\text{mm}}{6\text{天}} = 5.72\text{mm/day} (57\text{m}^3/\text{ha})$$

將此值帶入灌溉面積，即可決定灌溉系統容量及管路口徑。以灌溉期距 7 天計算之日消耗水量為 4.9mm，而灌溉期距 6 天之日消耗水量為 5.72mm，一次灌溉水量如下式：

$$7\text{天} \times 4.9\text{mm/天} = 34.3\text{mm}$$

$$6\text{天} \times 5.72\text{mm/天} = 34.3\text{mm}$$

7. 粗日消耗水量

日粗消耗水量之計算如下：

$$\frac{\text{1次灌溉水量}}{\text{灌溉期距}} = \frac{34.3\text{mm}}{7\text{天}} = 4.9\text{mm}$$

8.系統容量

系統容量計算如下，式中換算係數係將水深換算為每公頃水量之係數。

$$\frac{\text{粗日消耗水量} \times \text{換算係數} \times \text{面積} \times \text{灌溉期距計算值}}{\text{抽水機日操作時間} \times \text{灌溉期距採用值}} = \frac{4.9 \times 10 \times 40 \times 7}{24 \times 6} = 95.3\text{m}^3/\text{hr}$$

註：10 為 $\text{mm} \times \text{ha} \rightarrow \text{m}^3$ 之係數

9.水之消耗與補給

水之消耗量為 $40\text{ha} \times 10 \times 4.9\text{mm} \times 7\text{天} = 13,720\text{m}^3$ ，而水之補給量為 6 天 $\times 95.3\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{hr} = 13,723\text{m}^3$ ，兩者一致。

10.栽植間隔

樹之行距為 7m，株距為 4m，故一株樹之支配面積為 28m^2 。

11.每公頃株數

$$\frac{\text{ha}}{S_1 \times S_2} = \frac{10,000\text{m}^2}{7\text{m} \times 4\text{m}} = 357\text{株/ha}$$

12.每公頃灌溉水量

$$\text{粗灌溉水量} \times \text{ha} = 34.3 \times 10,000\text{m}^2 = 343,000\text{ } \ell/\text{ha}$$

13.每株灌溉水量

$$\frac{343,000\text{ } \ell/\text{ha}}{357\text{株/ha}} = 960\text{ liter/株}$$

14.每株消耗水量

$$\frac{960\text{ } \ell/\text{株}}{7\text{天}} = 137\text{ } \ell/\text{株/日}$$

15.灌溉時數

$$\frac{\text{每株灌溉水量}}{\text{噴頭出水量}} = \frac{960\text{ } \ell/\text{ha}}{80\text{ } \ell/\text{hr}} = 12\text{hr}$$

16.全部灌溉次數

$$\frac{\text{灌溉期距} \times \text{日操作時數}}{\text{灌溉時數}} = \frac{6\text{天} \times 24\text{hr}}{12\text{hr}} = 12\text{次}$$

全區分成 12 次灌溉 (亦即分成 12 小區)

17.每株噴灑面積

$$(\text{支配面積} \times \text{灌溉面積率} / 100\%) = (28\text{m}^2 \times 70\% / 100\%) = 19.6\text{m}^2$$

18.噴灑直徑

$$(\text{每株噴灑面積} / 0.785)^{1/2} = (19.6\text{m}^2 / 0.785)^{1/2} = 5\text{m}$$

19.微噴灑器之選擇 (廠商所提供型錄 catalog 之已知值)

DN-881C 型防霧化器之性能如下：(1)操作壓力：15m；(2)桔色噴嘴
操作水壓：30m；(3)桔色防霧化器之噴灑直徑為 4.9m；(4)黃色旋轉架散
佈器之噴灑直徑：5m；(5)出水量：80 l/hr。

20.每平方公尺補給水量

$$\frac{\text{出水量} \times \text{灌溉時間}}{\text{單噴頭之噴灑面積}} = \frac{80\text{ l/hr} \times 12\text{hr}}{19.6\text{m}^2} = 49\text{ l/m}^2$$

21.每日灌溉次數

$$\frac{\text{全部灌溉次數}}{\text{灌溉期距}} = \frac{12\text{天}}{6\text{天}} = 2\text{次/天}$$

22.一次灌溉面積

$$\frac{40\text{ha}}{12\text{次}} = 3.33\text{ha}$$

(check 1: 以噴頭數 $n = Q / q$ 計算之, $3.33\text{ha} \times 357\text{株/ha} \times 80\text{l/hr} = 95.105\text{l/hr} \approx 95.1\text{m}^3/\text{hr} \approx 95.3\text{m}^3/\text{hr}$)

(check 2: 以 (5-6) 式計算之, $2.778 \times 34.3 \times 40 / 24 \times 6 = 26.468\text{l/sec} \times 3.600 = 95.285\text{l/hr} \approx 95.3\text{m}^3/\text{hr}$)

23.總株數

40ha×357 株/ha=14,280 株

24. 噴灑強度

各噴頭之出水量為 80 l/hr，支配面積為 28 m²，故其噴灑強度計算如下式為 2.9 mm/hr，亦即每公頃每小時之灌溉水量為 29 m³。

$$\frac{80 \text{ l/hr}}{28 \text{ m}^2} = 2.9 \text{ mm/hr}$$

25. 實際噴灑強度

以噴灑面積除噴頭之出水量即為實際噴灑強度，可和土壤入滲率比較。

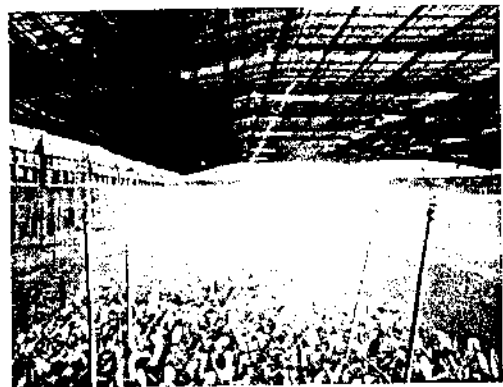
$$\frac{80 \text{ l/hr}}{19.6 \text{ m}^2} = 4.1 \text{ mm/hr} < \text{表 5-2 所示任何數據，} \therefore \text{O.K.}$$

26. 結果概要

(1)灌溉面積：40 公頃；(2)灌溉期距計算值：7 天；(3)灌溉期距採用值：6 天；(4)噴頭出水量：80 l/hr；(5)系統容量：95.3 m³/hr；(6)粗日消耗水量：4.9mm；(7)一次灌溉水量：34.3mm；(8)根層深度：1.2m；(9)灌溉面積率：70%；(10)全部灌溉次數：12 次；(11)噴灑面積：19.6m²；(12)每公頃灌溉水量：29m³/hr。



照片 5-1 全圖香菇型微噴頭



照片 5-2 細霧型微噴頭灌溉
溫室內花卉(床架擺放)

第六章 穿孔管及滴水灌溉

6.1 影響因子及使用時機

又稱為放射口或滴水口灌溉，係指使用一條小直徑的塑膠管且管上附有適當之噴嘴，水管以 2~20 l/hr 之低壓流量輸送水量。只提供位在根系四周一小部份土壤之灌溉，並使其潮濕（圖 6-1），滴水系統不同於地表上的噴灌系統，在於灌濕土壤之方式；滴灌系統之應用比起其它種類之灌溉方式，在於需有較多次之灌溉次數（通常每天 1~3 次），這種供水方式正可提供確保土壤之濕潤性，以使植物更加茂盛。

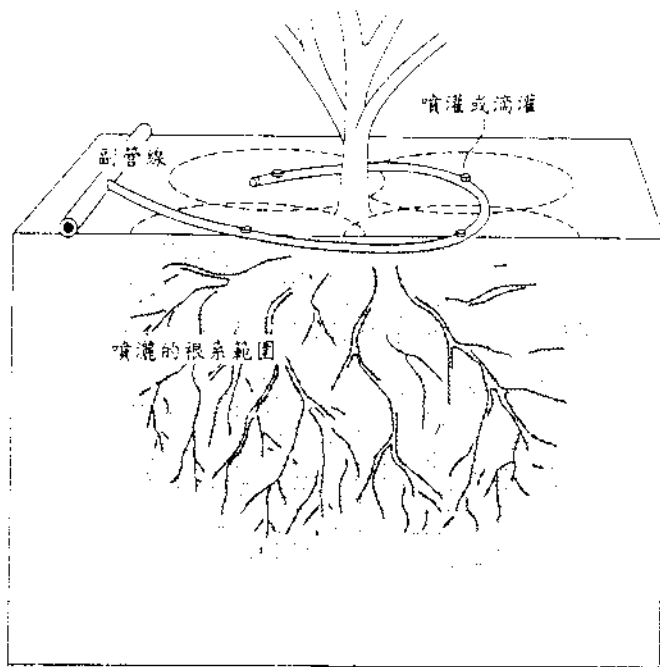


圖 6-1 根系部份濕潤之滴灌系統

滴水灌溉之優點可分下列各點：(1)機動施灌，有益作物生長，可提高產量與品質；(2)經濟使用灌溉水，約可節省 25~50%；(3)減少鹽害，因連續滴水，保持低土壤水分張力，而降低鹽分滲透作用所引起之張力；(4)節省施灌及施肥勞力，灌溉時僅控制首部之制水閥，即可依照計劃實施，施肥也可利用施肥裝置，使可溶性肥料或液肥與灌溉水自動混合施灌，可節省灌溉及施肥之勞力；(5)以低流量率施灌，對土壤之透水性能保持良好條件。滴水灌溉之缺點為對密植作物之田區設施費高、滴嘴易堵塞及管子易被野鼠咬毀等。

在灌溉方法之選擇上並不一定要選用複雜或高技術之方法，而是要由管理、經濟、資源、及技術支援等各層面作一整體之考慮，一般須要考慮到下列各項因子。

1. 根層土壤之種類及特性。
2. 地形及整地工程量之需求。
3. 氣候。
4. 所需之技術層次及可能之支援能力是否匹配。
5. 市場之狀況（如材料之供應能力，價格等）。
6. 整體水資源之考慮：是否要採用用水效應較高之施灌方法。
7. 經濟及財務上之分析及考量。

本省自民國 60 年最先引進在崎頂砂丘地進行試驗，並持續在山坡地果樹、蔗園、鳳梨園及澎湖地區，分別進行適應性試驗研究。同時也試製一些滴嘴及設備產品。目前，由於滴灌設施費用尚高，滴嘴堵塞問題也亟待研究改善解決，故尚未普遍大面積推廣。惟因其具有特殊優點，在傳統灌溉方法不易達到目的之處，可取代應用。故未來之可能發展，仍頗具遠景。

6.2 設計基本原則

一、系統設備

一個典型的滴水灌溉系統如（圖 6-2）顯示其組成份之順序如下：

1. 抽水機
2. 控制系統
3. 主管及副管
4. 支管
5. 滴水孔或放射孔

抽水機提供適當之壓力將水輸送至各管路系統，控制系統是由閘門和壓力系統所組成，以控制流量之進出，它也有過濾器清理水，普通過濾器的樣式包括篩濾器和將砂分類的濾器，可將懸浮於水中的細微物質清除，更有一些水源控制裝置包含了肥料或營養槽，在灌溉時，緩慢的分配一定量的肥料入水中，這是滴水灌溉優於其它方法的主要優點。

主管、副管及支管可將水輸送至田區裡，管線之材料通常用 PVC 管或是聚乙烯管，且應該埋於土壤下，因為暴露於太陽照射下，容易老化脆化降低品質，支管之直徑通常在 13~32 mm。滴嘴開關通常是來自作物旁的支管，

間隔為多於一公尺以上的距離，對象是一棵樹的單一作物使用一個或多個滴嘴開關。

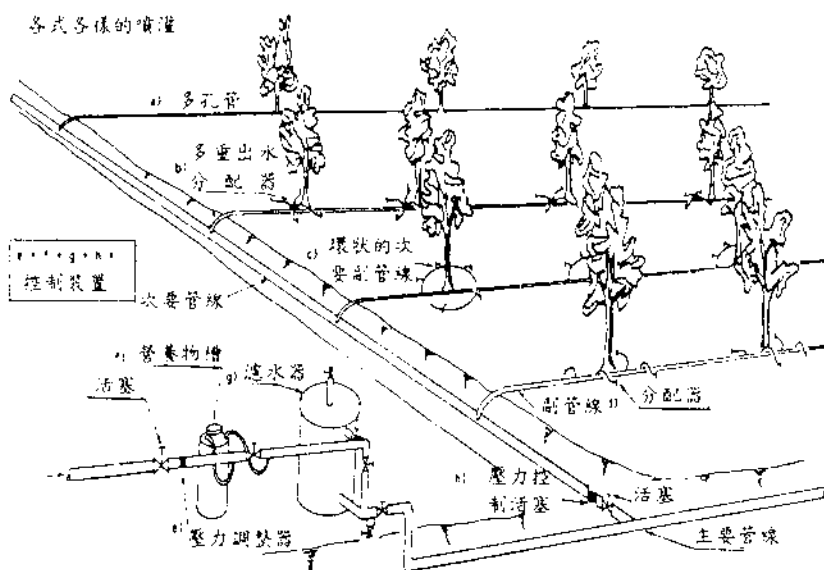


圖 6-2 滴灌系統田間佈置示意圖

二、濕潤灌溉型式

不同之地表灌溉、噴灌及滴灌，僅在土壤根系區域產生不同之濕潤區域，滴灌之土壤濕潤體積較其它灌溉方式低 30%，其濕潤型主要取決於出水量及土壤型態，如圖 6-3 顯示出當流量之改變，在砂土及粘土兩種不同土壤類別其土壤濕潤型態。

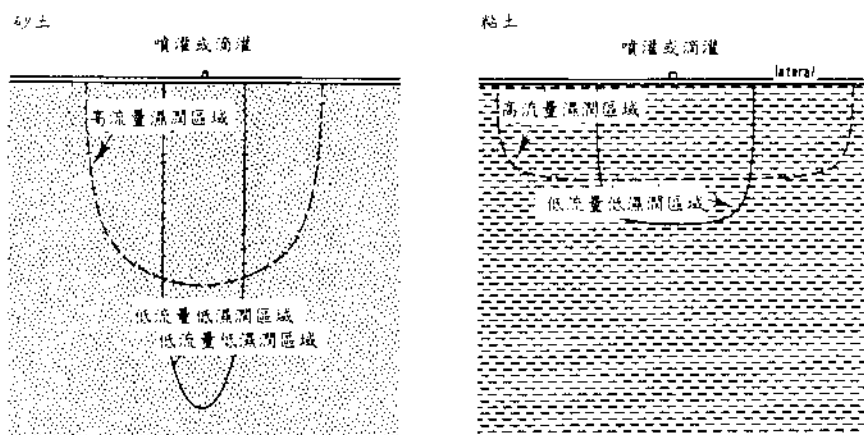


圖 6-3 砂土及粘土於高低流量時土壤之濕潤型式

雖然只有部份根系是濕潤的，但對作物之需水性仍然是重要的，有時滴灌雖然能保存水分降低作物之用水，這是不真實的，作物用水是不能改變的，不管其任何灌溉方式皆是。作物需水時，而能適時提供水量，對作物之成長是有幫助的。

滴灌能降低滲漏量、地表逕流及土壤蒸發，故對水分之保存具有不錯之效果、水分之保存全賴使用者及設備之配合。

滴灌並非完全適用於任何地區之灌溉方式，但若於灌溉水質良好、田間坡度陡峻、水源缺乏、水價昂貴與高經濟作物之區域，滴灌是最理想之灌溉方式。

三、均勻性

滴嘴滴水均勻性之考慮可分為兩大部份，一是各滴嘴處供水壓力之穩定與均勻，另一則是滴嘴生產之品質均勻度。由於滴嘴之流量一般都很小，因此若滴嘴之品質不穩定對於全灌溉系統之施灌均勻度會造成很大之影響。常用之均勻度以下式來表示：

$$U_c = (1.0 - 1.27 \times C_v / n) \times (Q_{min} / Q_{avg}) \times 100 \dots \dots \dots (6-1)$$

式中：

U_c ：均勻度（以%表示）

n ：點源（Point Source）方式，為每株作物分配到的滴嘴數
線源（Line source）方式則下式計算但不得小於 1.0
（植株距） / （廠商計算 C_v 時之單位長度）

C_v ：滴嘴生產品管之變異系數

Q_{min} ：系統內滴嘴之最低流量（公升/時）

Q_{avg} ：系統內滴嘴之平均流量或設計流量（公升/時）

一般設計之 U_c 約在 75% 至 95% 之間，依使用之滴嘴種類、作物之植株距及地形狀況而定，一般植株距越大，地形越均勻 U_c 越高。而點源較線源之 U_c 大。表 6-1 表示乾燥地區滴嘴均勻度之設計標準。

表 6-1 乾燥地區滴嘴均勻度之設計標準

滴嘴種類	植株距	地形	Uc
點源	> 4 公尺	均勻緩坡 (<2%)	90-95
		稍陡坡 (>2%)	85-90
	< 4 公尺	均勻緩坡 (<2%)	85-90
		稍陡坡 (>2%)	80-90
線源	< 4 公尺	均勻緩坡 (<2%)	80-90
		稍陡坡 (>2%)	75-85

6.3 水理設計

一、操作壓力和滴嘴流出量之關係

1. 孔口型滴嘴 (完全紊流 fully turbulent)

$$q = 3.6 \times (A) \times Co \times (2gh)^{0.5} \dots\dots\dots(6-2)$$

式中：

q：滴嘴流量 (ℓ/hr)

A：滴嘴出流面積 (mm²)

Co：孔口係數

G：重力加速度 (9.807 m/s²)

H：操作壓力 (m)

2. 長流徑型滴嘴 (層流 laminar)

$$q = 0.11384 \times A \times \frac{2gHD}{f \times L} \dots\dots\dots(6-3)$$

式中：

f：摩擦係數

L：滴嘴內之流動長度 (m)

3. 長流徑型滴嘴 (完全紊流 fully turbulent)

$$q = 0.11384 \times A \times \left[\frac{2gD\sqrt{H}}{f \times L} \right]^{0.5} \dots\dots\dots(6-4)$$

二、支管水理設計

支管水理設計和一般之輸水管不同處，在於輸送之流量延支管之流動方向逐漸減少，雖可以利用一般之公式如 Darcy Weisbach 公式來計算管流之摩擦損失，但必需再乘上一校正因子 F（如表 6-2）。

$$hf = 6.377 (F) f (L) Q^2 (1/D)^5 \dots\dots\dots(6-5)$$

式中：

hf：摩擦損失（m）

L：支管長（m）

f：摩擦係數

F：流量校正因子

Q：支管進口處之流量（公升／小時）

D：支管內徑（mm）

摩擦係數（f）可由下列兩式計算求得，亦可由 Moody Diagram 查得：

層流： $f = 64 / R$

紊流時： $1/\sqrt{f} = 2 \log (D/\varepsilon) + 1.14$

上兩式中：

R：雷諾數（Reynolds Number）

D：管內徑（mm）

ε ：絕對糙度（mm）

滴嘴及接頭之摩擦損失可以等值管長（equivalent length）處理：

管內連接型滴嘴 $Le = 1.0 \sim 3.0 \text{ m}$

管面連接型滴嘴 $Le = 0.1 \sim 0.6 \text{ m}$

表 6-2 計算支管摩擦損失時之流量校正因子

滴嘴數	摩擦損失公式內之流速項之指數		
N	1.852	1.900	2.000
1	1.004	1.003	1.000
2	0.639	0.634	0.625
3	0.534	0.529	0.519
4	0.485	0.480	0.469
5	0.457	0.451	0.440
6	0.438	0.433	0.421
7	0.425	0.419	0.408
8	0.416	0.410	0.398
9	0.408	0.402	0.391
10	0.402	0.396	0.385
11	0.397	0.392	0.380
12	0.393	0.388	0.376
13	0.390	0.384	0.373
14	0.387	0.381	0.370
15	0.385	0.379	0.367
16	0.382	0.377	0.365
17	0.381	0.375	0.363
18	0.379	0.373	0.362
19	0.377	0.372	0.360
20	0.376	0.370	0.359
22	0.374	0.368	0.356
24	0.372	0.366	0.354
26	0.370	0.364	0.353
28	0.369	0.363	0.351
30	0.367	0.362	0.350
35	0.365	0.359	0.348
40	0.363	0.357	0.346
50	0.361	0.355	0.343
100	0.356	0.350	0.338

註：指數=1.853，適用於 Hazen-William 公式。

指數=1.900，適用於 Scobey 公式。

指數=2.000，適用於 Darcy-Weisbach 公式。

6.4 實例介紹

一支管上有 30 個滴嘴，支管內徑 10mm，滴嘴間距 1.0m，第一個滴嘴至支管之距離為 1.0m，地表為水平，壓力調節閥使支管之進水壓維持在 10.0m，滴嘴之出水量和壓力之關係為 $q = 2.813 H^{0.63}$ 。故壓力 $P = 10\text{m}$ 時之流量約為每小時 12 公升，設計此一支管各滴嘴流量之差異狀況，計算如下：

$$1. \text{Total } Q = 30 \times q = 30 \times 12 = 360 \text{ } \ell/\text{hr}$$

$$V = Q/A = \frac{360 \times (1/3600) \times (1/1000)}{\pi \times (10)^2 / 4 / (1000)^2} = 1.273 \text{ m/s}$$

$$2. \text{Re} = VD/1,000v = 1.273 \times 10 / 1,000 / 1.0 \times 10^{-6} = 12,730 > 10,000$$

故為 Fully Turbulent Flow

$$1/\sqrt{f} = 2 \log (D/\epsilon) + 1.14$$

for 平滑之塑膠管 $e = 0.003 \text{ mm}$

$$\therefore 1/\sqrt{f} = 2 \log (10/0.003) + 1.14 \quad \therefore f = 0.0149$$

$$3. hf = 6.377 \times f \times L \times \frac{Q^2}{D^5}$$

$$= 6.377 \times 0.0149 \times 30 \times \frac{360^2}{10^5} = 3.69 \text{ m}$$

$m=2, N=30$ 查表得 Christiansen's friction factor $F=0.350$

$$\text{實際之 Head Loss} = 3.69 \times 0.350 = 1.29 \text{ m}$$

故最後一個 Emitter 之水壓為 $10 - 1.29 = 8.71 \text{ m}$

$$\text{而其出流量 } q = 2.813 (8.71)^{0.63} = 11 \text{ } \ell/\text{hr}$$

$$\therefore \Delta q = (12 - 11) / 12 \times 100\% = 8.3\%$$

PS. 設 Coefficient of Variation $C_v = 0.08$ ，每株作物分配 2 個 em

$$U_c = (1.0 - 1.27 \times C_v/n) \times (Q_{\min}/Q_{\text{avg}}) \times 100$$

$$= (1.0 - 1.27 \times 0.08/2) \times (11/12) \times 100 = 87\% (\text{與表 6-1 所示數據比較})$$

4. Point source, uniform slope, close crop spacing : $U_c : 85 - 90\%$

第七章 入滲率之觀念與試驗

7.1 入滲率之觀念

入滲率 (intake rate)，係指水入滲土壤的速率或速度，即單位時間內水深(單位 mm)滲入土壤的速率，例如水深為 15 mm 所需入滲時間為一小時，則入滲率為 15 mm/hour。

乾燥土壤開始初期水之入滲迅速，此稱為最初入滲率，當水份充滿孔隙中的空氣時，水則由土壤表面緩慢入滲最後達到固定速率則稱為基本入滲率 (basic intake rate)。通常以入滲率之遞減率達到當時入滲率之 1/10 時，稱之為基本入滲率，以 I_b 表之，常被應用於土壤性質之分類，是一土壤透水性之指標，不同種類土壤之基本入滲率，如表 7-1 所示。入滲率取決於土壤質地(土壤顆粒大小)、土壤構造(土壤顆粒排列)、土壤種類及土層分佈等等。入滲率測定方法以雙圓筒式(如圖 7-1)為例，在田間之入滲測定配備包括：鐵鎚(2kg)、計時器、公升水桶、木造障礙物(75×75×400)、至少 100 公升水、直徑為 30 cm 和 60 cm 入滲圓筒、測尺(mm)。

表 7-1 不同種類土壤基本入滲率 (basic intake rate)

土壤種類	基礎入滲率 (mm/hr)
砂 土	30 以下
砂質壤土	20-30
壤 土	10-20

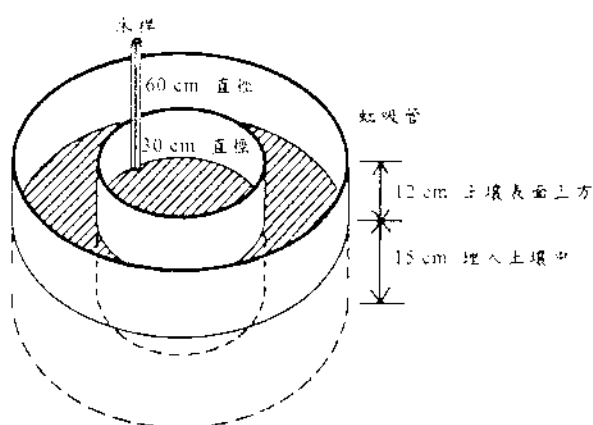


圖 7-1 圓筒法田間入滲試驗

任何土壤質地之入滲率，都可以透過現場試驗（如圖 7-1 所示）所獲數據，以點繪方式在雙對數座標紙或直角座標紙上圖解之，或公式計算方式解得入滲方程式（或稱瞬時入滲率）、平均入滲率、基本入滲率及累積入滲量。

1. 入滲方程式（或稱瞬時入滲率，instantaneous intake rate, i_{inst} ）：一般常用之計算公式有：

$$i = Kt^n \dots\dots\dots(7-1)$$

式中， i 表示入滲率，單位 mm/min 或 mm/hr

K 為常數，依土壤質地、土壤結構等因素而異

t 為時間，以分鐘或小時表之

n 為負值，依土質而異，界於 $0 > n > -1$ 之間

(7-1) 式若繪於直角座標系，是呈由左向右遞減之指數型曲線，若繪於雙對數座標系，則是右左向右傾斜之直線。

2. 累積水深 (accumulated depth)：將 (7-1) 式積分，則可得 (7-2) 式為累積水深方程式。

$$D = \int i = \int Kt^n = \frac{K}{n+1} t^{n+1} = Ct^{n+1} \dots\dots\dots(7-2)$$

式中， D 表示累積水深，單位 mm

C 為常數 $= \frac{K}{n+1}$

(7-2) 式若繪於直角座標系，則可得一左下右上漸增之曲線（曲面向下）。

3. 平均入滲率 (average intake rate, i_{ave})：將累積水深 D 除以時間 t ，即得平均入滲率 i_{ave} ，即

$$i_{ave} = \frac{D}{t} = \frac{K}{n+1} \cdot \frac{t^{n+1}}{t} = \frac{K}{n+1} t^n \dots\dots\dots(7-3)$$

觀察 (7-1) 式及 (7-3) 式，可得 i 與 i_{ave} 之關係，即

$$i_{ave} = \frac{i}{n+1} \dots\dots\dots(7-4)$$

4. 基本入滲率 (basic intake rate, I_0)：入滲率之遞減率達到入滲率之 1/10 時，該入滲率定為基本入滲率。依據此定義，經 (7-1) 式推導可得 I_0 ，

$$\frac{dI}{dT} = \frac{d}{dt}(Kt^n) = nKt^{n-1} = 0.1Kt^n$$

$$n=0.1t \quad \text{or} \quad t=10n \quad (\text{以小時計})$$

$$\text{or} \quad t=600n \quad (\text{以分鐘計}) \dots\dots\dots(7-5)$$

將 (7-5) 式代入 (7-1) 式，得

$$I_s = k(600n)^n \dots\dots\dots(7-6)$$

入滲率測定方法及設備：入滲率因地表形狀及灌溉方法不同，測定方法及設備皆不相同。測定方法依目的通常可分為圓筒法 (cylinder method)，畦溝流入流出法 (inflow and outflow method) 與水池法 (ponding method)，如照片 7-1 所示，以及斜面入滲測定法，如表 7-2 所示。

7.2 現場試驗實例及演算

步驟 1：鎚打直徑為 30 cm 圓筒，打入土壤深度為 15 cm，鎚打時用木板保護圓筒以免損害，並使圓筒垂直打入土壤內，並把測尺插入土壤內，而圓筒則露出土壤表面 12 cm。

步驟 2：鎚打直徑為 60 cm 圓筒，圍繞於 30 cm 圓筒，並與圓筒同高，其圓筒可保護土壤表面水外漏。

步驟 3：開始試驗時，先把水倒入圓筒內直到一定深度 70~100 mm。同時，加水讓水面介於兩個圓環或者是圓筒和邊界相等的深度。進行上面步驟時應須迅速。在邊界中的水或裝入的兩個圓筒是為了防止水深之側漏現象。

步驟 4：當試驗開始時，記錄計時器的時間，並且記錄量測尺上的水深。

步驟 5：在 1~2 分鐘之後，記錄測尺內部水平面的下降水深；並且再加入水至原先開始試驗時大概的水面高，記錄水面位置，保持外部圓筒的水面高和內部圓筒水面高相似。

步驟 6：持續在相同時間間隔試驗，一直到滴入之水面是相同時，在試驗起初時先清楚地朗讀（在每隔 1~2 分鐘時），而後就延長讀數間隔的時間（當間隔為 20~30 分鐘時），至少記錄兩組入滲試驗資料以確定所獲得的結果是正確的。詳細如表 7-3 及其所附記錄表表 7-4。

表 7-2 各種入滲率測定方法其設備與適用灌溉方法一覽表

入滲率測定方法		主要測定設備	適用灌溉方法
圓筒法	蓄水於無底圓筒內，在地表流失之狀態下，測定時間與供給水深之方法。	鐵圓筒、槌打用鐵蓋板、槌、跑錶、釣尺裝置、定水頭給水筒。	田埂間灌溉、水盤灌溉、噴洒灌溉、等高漫灌法。
流入流出法	測定單位時間給水量與地表流下量之差之方法。	水準儀、量尺、布尺、跑錶、木格、銓、量水設備。	畦溝灌溉、等高線畦溝灌溉、較有坡度之田區。
水池法	貯溜灌溉水於畦溝內以測定入滲率之方法。	定水頭給水筒、截水鐵板。	平坦畦溝灌溉，適合於本省輪作田旱作畦溝灌溉(坡度平坦而無出口)。
斜面入滲測定法	係使用特製裝置循環利用斜面逕流水量隨時測定所補充之水量，即為入滲量。	簡易斜面及自動操作斜面入滲計兩種，均由(1)供水裝置(2)斜面逕流槽(3)回收循環裝置而成。	斜面漫灌或噴洒灌溉。



照片 7-1
水池法田間土壤入滲率測定情形

表 7-3 記錄表說明

第一行：時間讀數，以小時、分鐘及秒表示。
第二行：兩次不同讀數之時間。
第三行：累積試驗時間。
第四行：水位加水前及加水後之水深讀數。
第五行：兩次不同時間所量測水位之差值。
第六行：入滲率 (in, mm/min) 即為入滲量 (第五行) ÷ 不同時間 (第二行)。
第七行：入滲速率，以入滲率乘以 60 換算成小時。
第八行：累積入滲量，係指一開始試驗入滲量逐一累積而得。

表 7-4 入滲率記錄表

試驗地區：土壤

種類：壤土

試驗日期：

1 時間讀數 (hr·min·sec)	2 時間差 (min)	3 累積時間 t (min)	4 水位讀數		5 入滲量 (mm)	6 入滲率 (mm/min)	7 入滲率 (mm/hr)	8 累積入滲量 D (mm)
			加水前 (mm)	加水後 (mm)				
14 05 0	開始 0	開始 0		100				開始 0
14 07 0	2	(0+2) 2	92	100	(100-92) 8	(8/2) 4.00	240	(0+8) 8
14 10 0	3	(2+3) 5	93	99	(100-93) 7	(7/3) 2.33	140	(8+7) 15
14 15 0	5	(5+5) 10	89	101	(99-89) 10	(10/5) 2.00	120	(15+10) 25
14 25 0	10	(10+10) 20	84	100	(101-84) 17	(17/10) 1.70	102	(25+17) 42
14 35 0	10	(20+10) 30	89	102	(100-89) 11	(11/10) 1.10	66	(42+11) 53
14 45 0	10	(30+10) 40	95	101	(102-95) 7	(7/10) 0.70	42	(53+7) 60
15 05 0	20	(40+20) 60	92	100	(101-92) 9	(9/20) 0.45	27	(60+9) 69
15 25 0	20	(60+20) 80	91		(100-91) 9	(9/20) 0.45	27	(69+9) 78

7.2.1 入滲率圖解法

依現場試驗實例所得數據，經過些微計算，以表 7-4 第 3 行累積時間及第 8 行累積入滲量，點繪在直角座標紙上，可得如圖 7-2 所示累積入滲曲線，累積的時間（分鐘，第 3 行）是對照累積的滲透（mm，第 8 行）而行成的曲線，可以從圖 7-2 為例子去觀察土壤 70 分鐘灌溉水約為 74 mm。

基本的入滲率可從表 7-4 第 7 行求得，入滲率的單位為 mm/hour，當一個入滲率值是不變時，即已達到基本入滲率，再舉例說明，當基本入滲率是 27 mm/hour 而且在 60 分鐘後到達基本入滲率，則在 69 分後的累積入滲量是 69mm，在第一個 60 分鐘後入滲率是固定的：27 mm/hour，所以在 120 分鐘後（2 小時後）累積的入滲量是 $69 + 27 = 96$ mm（顯示在有曲線的圖），3 小時之後累積入滲量是 $96 + 27 = 123$ mm。當一累積入滲曲線圖已經建立，此時若是知道灌溉時間，即可得知土壤之累積入滲水量為多少，這就是入滲試驗主要之目的。

注意：入滲曲線之決定，通常應在灌前土壤水份之狀態，是乾燥土壤下實施。

入滲率試驗

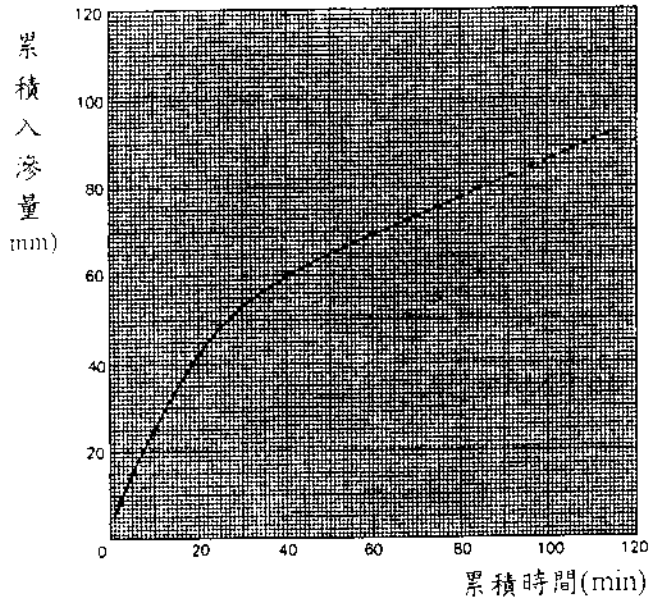


圖 7-2 記錄表實例曲線圖

7.2.2 入滲率公式計算解法

由 (7-2) 式 $D = Ct^{n+1}$ ，等式兩邊取對數 $\log$ ，可得

$$\log D = \log C + (n+1) \log t \quad \dots\dots\dots(7-7)$$

假設： $y = \log D$ ， $a_0 = \log C$ ， $a_1 = n+1$ ， $x = \log t$ ，則 (7-7) 式，可改寫為直線方程式

$$y = a_0 + a_1 x \quad \dots\dots\dots(7-8)$$

以最小二乘法 (least square method) 求解 a_0 、 a_1 ，即以下列聯立方程式 (simultaneous equations) 解之，

$$\begin{cases} \sum y = a_0 N + a_1 \sum x \\ \sum xy = a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(7-9)$$

解 (7-9) 式，可得

$$a_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2} = \log C$$

$$= \frac{(\sum \log D)(\sum (\log t)^2) - (\sum \log t)(\sum (\log t \cdot \log D))}{N \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2} \dots\dots\dots(7-10)$$

$$a_1 = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} = n+1$$

$$= \frac{N \sum (\log t \cdot \log D) - (\sum \log t)(\sum \log D)}{N \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2} \dots\dots\dots(7-11)$$

將表 7-4 第 3 行及第 8 行數據，進行 (7-10) 及 (7-11) 式計算前之相關演算，如表 7-5 所示，

表 7-5 入滲率公式解法演算表

(3)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
t	D	x=logt	x*x	y=logD	x*y
2	8	0.301030	0.090619	0.903090	0.271857
5	15	0.698970	0.488559	1.176091	0.822053
10	25	1.000000	1.000000	1.397940	1.397940
20	42	1.301030	1.692679	1.623249	2.111896
30	53	1.477121	2.181887	1.724276	2.546965
40	60	1.602060	2.566596	1.778151	2.848705
60	69	1.778151	3.161822	1.838849	3.269752
80	78	1.903090	3.621751	1.892095	3.600826
sum		10.061452	14.803914	12.333741	16.869993
average		0.838454	1.233659	1.027812	1.405833

並將結果代入之，得

$$a_0 = \frac{(12.3337)(14.8039) - (10.0615)(16.87)}{8(14.8039) - 101.2328}$$

$$= \frac{182.5869 - 169.7375}{17.1984} = \frac{12.8494}{17.1984} = 0.7471 = \log C$$

∴ C=5.587 (取 anti log)

$$a_1 = n+1 = \frac{8(16.87) - (10.0615)(12.3337)}{17.1984}$$

$$= \frac{134.96 - 124.0955}{17.1984} = \frac{10.8645}{17.1984} = 0.632 = n + 1$$

$$\therefore n = -0.368$$

將上述計算所得結果，代入 (7-2)、(7-1) 及 (7-3) 式，即可得本文所列舉入滲率試驗實例之公式解法，

$$D = 5.587t^{0.632}$$

$$I = 5.587 \times 0.632 \times 60 \times t^{-0.368} = 211.9t^{-0.368}$$

$$I_{ave} = 60Ct^n = 60 \times 5.587 \times t^{-0.368} = 335.22t^{-0.368}$$

參考文獻

1. 行政院農委會水利特刊第二十八號,“灌溉排水工程設計”,1978。
2. 行政院農委會,“旱作灌溉推廣講義”,1983。
3. 行政院農委會水利特刊第三號,“微噴灌溉”,1984。
4. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘從二,“灌溉排水原理”,國立編譯館,1984。
5. 農田水利會聯合會,“農田水利技術人員訓練教材—灌溉管理類合訂本”,1984。
6. 行政院農委會水利特刊第八號,“灌溉節水技術手冊”,1995。
7. 行政院農委會,“農田水利會之灌溉排水維護及管理訓練推廣計畫—灌溉方法”,1999。
8. 七星農田水利研究發展基金會,“台灣農業與水利研究發展論叢—灌溉排水設施及管理”,1999。
9. Israelsen, O.W. and Vaughn Hansen, “Irrigation Principle and Practice.” New York, John Wiley and Sons, 1962.
10. Kay, M. “Surface Irrigation: System and Practice.” Bedford, UK., Cranfield Press, 1986.
11. Smith, Stephen W. “Landscape Irrigation—Design and Management. “, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
12. Wynn R. Walker. “Surface Irrigation: Theory and Practice.” N.J., Prentice Hall, 1987.

中英名詞對照表

- 入滲, Infiltration, 4-7, 4-10, 4-15, 4-16, 4-19, 4-22, 4-23, 4-30, 4-32, 4-34, 4-38, 4-59, 4-60, 4-61, 4-63
- 入滲率, Intake rate, 4-2, 4-5, 4-9, 4-17, 4-19, 4-28, 4-38, 4-41, 4-50, 4-59, 4-60, 4-61, 4-63, 4-66
- 土壤透水性, Permeability of soil, 4-59
- 孔隙, Pores, 4-38, 4-59
- 水池法, Ponding method, 4-61
- 水盤灌溉, Basin irrigation, 4-1, 4-12, 4-15, 4-19, 4-33
- 平均入滲率, Average intake rate, 4-60
- 田間容水量, Field capacity, 4-24, 4-38
- 地下水, Groundwater, 4-2, 4-5
- 地下灌溉法, Sub-surface irrigation, 4-1
- 地表灌溉, Surface irrigation, 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-6, 4-13, 4-53
- 吸收, Absorption, 4-1, 4-3, 4-11
- 均勻度係數, Uniformity coefficients, 4-41
- 完全紊流, Fully turbulent, 4-55
- 供水, Water Supply, 4-26, 4-27, 4-30
- 坵塊, Unit Block, 4-17, 4-27
- 施灌率, Application rates, 4-40, 4-41
- 埂間灌溉, Border irrigation, 4-1, 4-2, 4-18, 4-19, 4-20, 4-22, 4-24, 4-28
- 紋溝灌溉, Corrugation irrigation, 4-1, 4-6
- 配水系統, Water distribution system, 4-43
- 基本入滲率, Basic intake rate, 4-38, 4-41, 4-59, 4-60, 4-63
- 畦溝流入流出法, Inflow and outflow method, 4-61
- 畦溝灌溉, Furrow irrigation, 4-1, 4-6, 4-12, 4-15, 4-17, 4-19, 4-33
- 粗施灌率, Gross application rates, 4-42
- 累積水深, Accumulated depth, 4-60
- 最小二乘法, Least square method, 4-64
- 單區, Rotation unit, 4-26
- 等值管長, Equivalent length, 4-56

等高圍埂, Contour check, 4-2, 4-28

給水路, Farm ditch, 4-13, 4-27

間歇灌溉, Intermittent irrigation, 4-26

圓筒法, Cylinder method, 4-61

溢流, Overflow, 4-20

雷諾數, Reynolds Number, 4-56

滴水灌溉, Trickle irrigation, 4-1, 4-51, 4-52

滲漏, Seepage, 4-2

滲漏量, Percolation, 4-8, 4-9, 4-54

噴灑灌溉, Sprinkler irrigation, 4-1, 4-3, 4-37, 4-38, 4-39, 4-40, 4-42, 4-43

層流, Laminar, 4-55

複迴歸方程式, Multiple regression equation, 4-23

輪區, Tertiary Unit (Rotation block), 4-26

輸水損失, Conveyance losses, 4-4

瞬時入滲率, Instantaneous intake rate, 4-60

繼續灌溉, Continuous flow irrigation, 4-26

灌溉方法, Irrigation methods, 4-1, 4-2, 4-3, 4-20, 4-26, 4-27, 4-51, 4-52, 4-61

灌溉計畫, Irrigation Schedule (Irrigation Project), 4-46

灌溉排水, Irrigation and Drainage, 4-4

灌溉率, Irrigation rate, 4-40

灌溉期距, Irrigation interval, 4-38, 4-40, 4-41, 4-42, 4-47, 4-50

第五篇

灌溉排水設施操作與維護

第一章 概述

台灣地區近年來人口增長，工商經濟蓬勃發展，更即將邁入二十一世紀科技資訊島及開發中國家之林。這些成就端賴過去這幾十年間農業發展奠定良好之基礎，並在此基礎下順利發展並轉換為工商業社會。而農業發展的成功，農田水利事業佔有功不可沒之角色。

水資源原即為一有限之自然資源，台灣地區之水資源因受颱風、季風等水文及地形、地文等因素之影響，時空分佈極不均勻；在地文上，因坡陡流短及地質脆弱，致沖蝕嚴重且集流時間甚短，蓄水容量有限；在水文上，因豐枯水季水量相差懸殊，致旱澇災害時有所見；復在地理環境上，因天災地震頻繁，致水源供應未能穩定。這些因素，在在顯示灌溉排水設施工程之重要性。為求灌排順暢，首重灌排工程設施之完善；而工程設施是否能發揮其長久性的效用，則有賴平時適當之管理與維護。

農田水利會之宗旨在提供農業生產所需要之適量灌溉與排水，因此必需建築各種大小的灌排水路及構造物或附屬設備，為期鉅資興建的水路和構造物等設備，發揮最佳使用效果及延長使用壽命，故需辦理維護計畫，以維護重於興建之觀念，使較少經費獲得更大的功能。

本文除本章之概述外，首先於第二章中針對灌溉排水系統所牽涉之技術問題，包括系統、設施及其他問題，如相關法規等，做一概括之說明，本章並將灌溉排水系統主要分為水源設施、輸水設施、配水設施、及排水設施等四大類別；其次於第三章中提出上述灌溉排水系統與各設施之操作維護原則，除管理之權責分工、系統及設施之操作與維護外，亦包含維護管理紀錄，並著重平時、定期、緊急等狀況之操作維護之原則與要領；第四章再根據前述灌溉系統分類之水源設施、輸水設施、配水設施、及排水設施分別提出其操作與維護規則；最後於第五章再補充相關注意事項及附件等資料。

惟配合世界趨勢，政府正積極推行「三生」政策，期在生產之外，亦能考量生態、生活機能，並要求各水利會設施綠美化。故有關如何將綠美化納入灌排設施工程規劃，以及維護管理之配套措施，為本文後續應加以探討之方向。

第二章 灌溉排水設施操作維護有關因素

本章主要探討與灌溉排水設施操作維護有關之相關因素，包括灌排系統配置、灌排設施種類、問題種類及其他有關法規制度等。

2.1 灌溉排水系統配置

灌溉系統係為提供灌區作物生長所需用水，排水系統則係為排除區內因灌溉或降雨等所多餘之水分而必須建設之系統。由於水源之不同、地形之崎嶇變化、土地所有之情況，甚至管理體系之差異等因素，使得灌溉及排水系統亦因之有所差異。不過從水源開始，自水源地之蓄水、攔水或抽水，經由渠首工程取水後，再經由導水路、幹渠、支渠、分渠等輸水至給水路，再由給水路配水至各小給水路等，將灌溉水分送至灌區各角落，其間又因地形地物而需經由相關設施，如隧道、虹吸、渡槽、制水門、分水門、量水設備、暗渠、跌水等；而在田區或灌溉系統內，多餘之水量又需藉大、中、小排水路，甚或溢洪道、排洪閘、抽水站等設施排除，如圖 2-1 所示，大體上仍可將田間灌溉排水系統主要區分為(一)水源設施、(二)輸水設施、(三)配水設施，以及(四)排水設施等四大部分，如圖 2-2 所示。

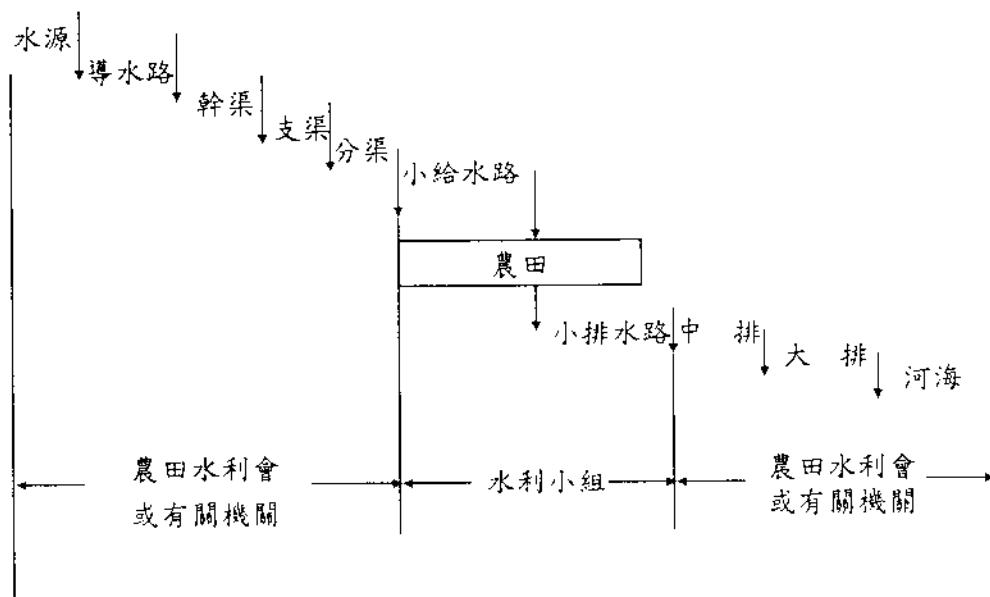


圖 2-1 灌溉排水系統架構圖

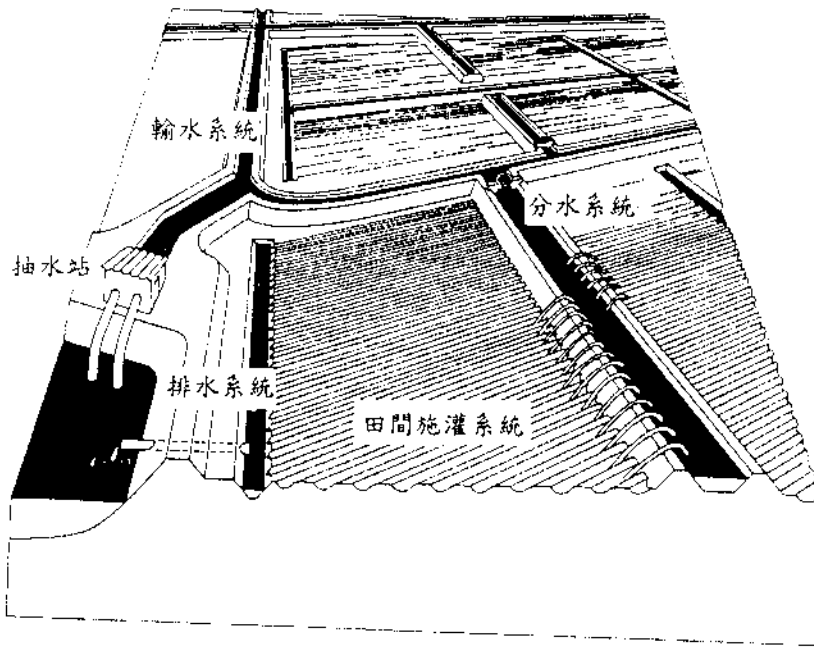


圖 2-2 灌溉排水主要系統圖

2.2 灌溉排水設施種類

延續 2.1 節將田間灌溉排水系統區分為：(一)水源設施、(二)輸水設施；(三)配水設施，以及(四)排水設施等四大部分，本節將說明各部份中所包含各種設施之定義與功能。

2.2.1 水源設施

透過各種取水構造物，利用重力或抽水方式，直接自供應水源，如水庫、河川、或地下含水層等，取得水量進入灌溉系統。

(一)水庫：利用河道或山谷等地形，透過堰壩之興建以攔截並蓄積水量之構造。

1.壩：攔蓄水量用，一般依材料可分為土石壩及混凝土壩。

2.進水口：由河道、湖泊或蓄水池引水入渠之建造物，一般由攔河堰及取水工以及週邊附屬設施組合而成，提供水量進入灌溉系統，一般可調節進出水量，並兼具量水用。

3.溢洪道：供排洩洪水或多餘水量之設施。

4.放水閘門：颱風、豪大雨或緊急事故時之排洩或放淤用。

(二)蓄水池（含農塘）：利用地形低窪或圍堤築堰以供蓄水。

1.池堤：攔蓄水用。

2.蓄水池：儲蓄水量。

3.給水閘門：提供蓄存水量進入灌溉系統。

(三)攔河堰

1.渠首工：自河流將攔河堰所抬高之水位適切引入灌溉渠道之結構物總稱，渠首工構造物可包括攔河堰、固定堰、可動堰、進水閘、排砂閘、防洪閘、抽水設備、沉砂池、背水堤防、魚道與附屬設施等。

2.導水路：將灌溉用水自水源導入灌溉系統之水路。

(四)抽水設備

1.馬達及抽水機：自地下或高程較低處抽取水量。

2.井體：將地下含水層之水量輸送至地表灌溉系統之設施。

2.2.2 輸水設施

(一)渠道

1.導水路及幹支分渠：將灌溉用水自水源導入灌溉系統，再輸送至田間之水路，依輸送階段、管理區位及大小等區分。

2.給水路：在幹、支、分渠上透過水門或水汴分水至田坵之水路。

3.放水路：颱風、豪大雨或緊急事故時，為排放過量之水或放淤用之設施。

4.灌排兼用渠道：兼具有灌溉輸水及排水功能之渠道。

(二)輸水設備

1.渠道內外面工：防止渠道表面受沖刷或淤積破壞、減少滲漏、避免雜草叢生、增加通水能力等功能。

2.隧道：穿過山區或高地之輸水渠道。

3.渡槽：為橫過河流、道路、山谷、水路或低窪地等障礙物而架高跨越之輸水構造物。

- 4.倒虹吸：為橫過河流、道路、水路等障礙物而自底下穿越之輸水渠道。
- 5.涵洞與暗渠：穿越道路等設施而保持水流為自由流之渠道。
- 6.跌水工與陡槽：地形高程變化甚大時，避免沖刷獲取水造成渠道破壞之構造物。前者透過跌水消能，後者著重調整渠道坡度。
- 7.沉砂池：供水源含砂量較大之渠道沉積泥沙之用，以減少進入於灌溉系統內造成淤積，減小通水斷面。

(三)管路系統設施

2.2.3 配水設施

- (一)量水設備：量測流經渠道各控制地點流量之設備，一般搭配分水或給水設備內設置。
- (二)分水設備：調配流入幹支分渠之用水，以達適時適量配水之目的，一般應兼具量水設備及控制之閘門設施，以達分水功能。

(三)調節設備

- 1.制水閘：設於渠道之間門用於調節抬高水位，以供在幹、支、分渠中各分水門可按計畫水量取水之用。
- 2.放水門：通常設於放水路之起點，供颶洪、豪大雨或緊急事故時之排洩或放淤用。

(四)管路附屬設施

- 1.首部位置設備：順利將水於壓力管路內輸送，並提供檢修用之相關設備。
- 2.中部附屬設備：提供管路分水、制水、給水、排水等功能之設備。
- 3.末端設備：將用水均勻、無阻礙施灌於田間作物之設備。

2.2.4 排水設施

- (一)農田排水：水利法施行細則內所分五種排水之一（其餘四種為市區排水、事業排水、區域排水及其他排水），主要指灌區與灌溉系統之排水。

(二)排水主要附屬設備

- 1.流入工：兩條以上排水匯流點之構造物。

2. 流末工：為排除灌溉餘水及保護水路流失之構造物。
3. 護岸工：防止排水路或渠道受沖刷破壞，大致分為排水堤或背水堤。
4. 制水閘：設於渠道之閘門用於調節抬高水位，保持排水路之計畫水位，通常在利用排水為水源時設置之。
5. 防潮閘：防止下游出水口因潮位上升所導致海水倒灌，侵入灌溉排水渠道，一般均於防潮閘門下游方向附設自動門扇，隨漲退潮之水能自動啟閉，以節省操作頻繁之人力。

2.3 灌溉排水渠道主要問題

灌排渠道系統中主要問題可歸納為：

1. 水源水量不足。
2. 上游引用大量水源導致下游水量不足。
3. 渠道構造物操作不當。
4. 泥砂淤積影響渠道輸水功能。
5. 植物孳長。
6. 漏水。
7. 經常性溢流以及潰堤。
8. 渠道沖蝕。

操作不當或設計錯誤均會造成上述問題，惟其中牽涉技術性方面問題，則僅有漏水、溢流及沖刷等三項，分別說明如下。

2.3.1 漏水損失

設計及施工良好之渠道，從水源輸水到農田，漏水情況將不顯著；但如滲流及洩漏情形經常發生，則將嚴重影響輸水效率。

(一) 滲水 (Seepage, 或稱滲流)

水經由底床或邊坡滲出，造成灌溉水之損失，稱為“滲水”。透水性高之材質較易造成滲水現象。渠道緊鄰田間時滲水現象可由土壤濕潤察覺，甚至造成積水現象，如圖 2-3 所示。

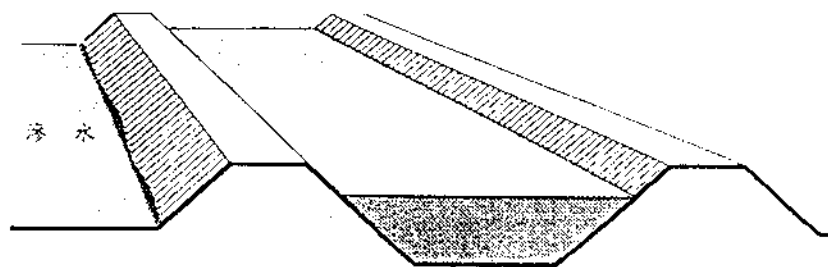


圖 2-3 渠道邊坡底部滲水示意圖

渠道底部滲水情形則較不易察覺，補救方法包括：

1. 加強渠道邊坡，
2. 於渠道底部及內部設置內面工。

(二) 洩漏 (Leakage)

渠道中之水量可能經由缺口直接流失，屬於洩漏而非滲流。造成洩漏之主因包括：

1. 老鼠於底部邊坡挖洞，
2. 邊坡腐蝕，
3. 構築不良或砂質區域經由滲流而造成洩漏，
4. 結構物滿佈滲流，進而造成嚴重洩漏，
5. 水閘門未完全封閉，
6. 混凝土內面工破裂，或接合點未緊密，
7. 瀝青或塑膠內面工破裂。

洩漏往往由小洞開始，如未能及時修補將造成渠道邊坡被沖毀之可能性。內面工渠道之洩漏開始時不易察覺，但經過一段時間後，渠道可能崩潰。

經常性的檢查及即時性的搶修可避免嚴重洩漏之產生。圖 2-4 顯示渠道邊坡之一小洞被及時察覺修復。圖 2-5 則顯示未察覺洩漏之發生，經由數週後，渠道邊坡被沖走，需要花費更大之人力、物力來修復。

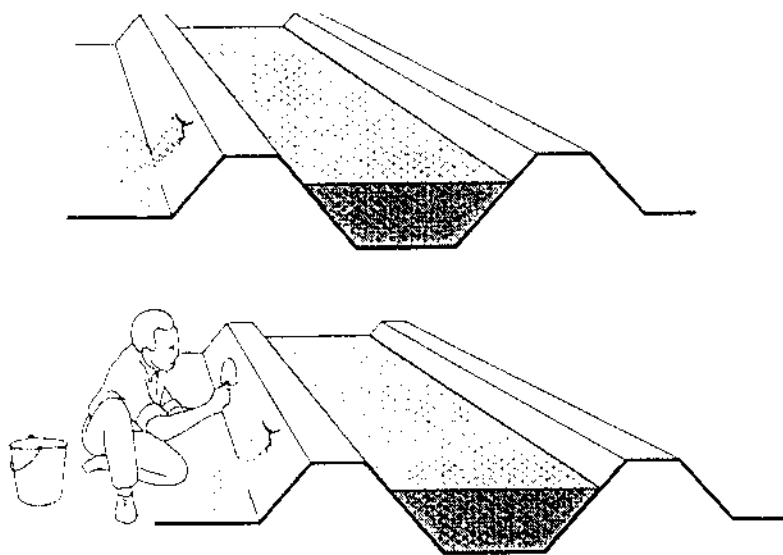


圖 2-4 搶救渠道邊坡破裂示意圖

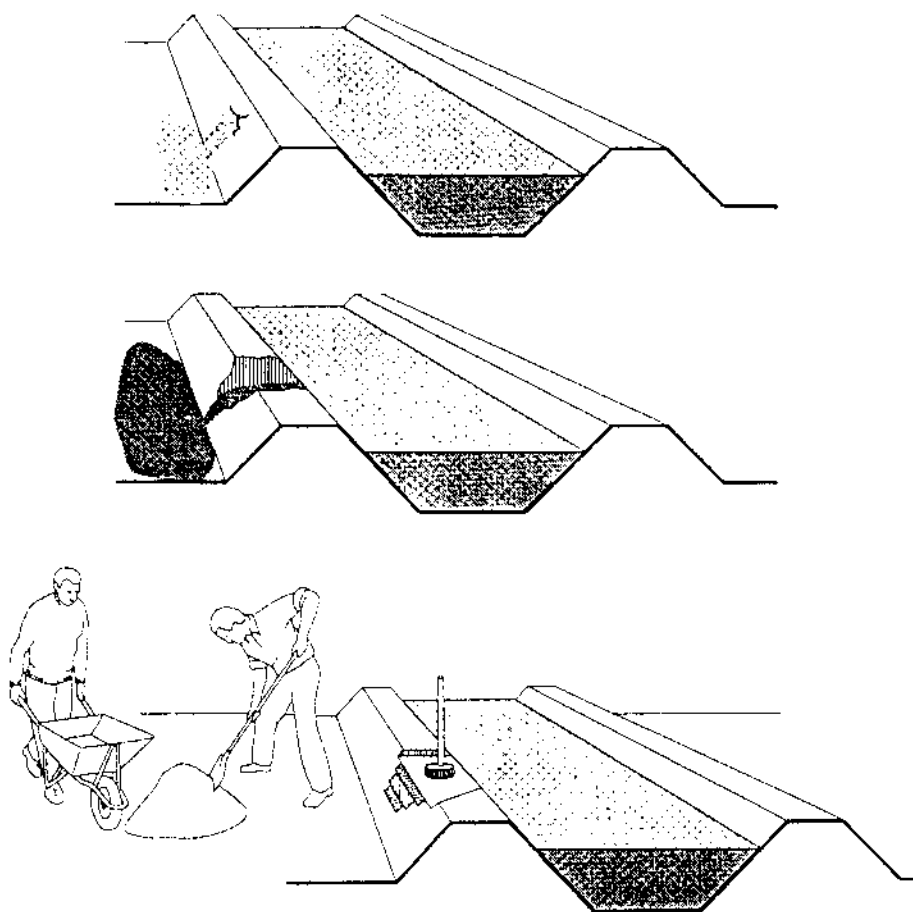


圖 2-5 延遲搶修造成嚴重洩漏示意圖

2.3.2 溢流

渠道中水面暴漲，致造成溢流之原因有：

1. 渠道設計通水斷面不夠，流入渠道之水量大於渠道容量，
2. 石塊、植物或其他雜物於渠道中阻擋水流，
3. 渠道排水出口被不當關閉，
4. 豪雨或其他水源匯流入渠道，
5. 農夫於渠道中設置暫時性之小堰以升高水位，及
6. 豪大雨時地面逕流匯入渠道，暫兼排水之功能。

溢流情形將引起渠道邊坡之沖刷進而導致嚴重之缺口（圖 2-6），此種情形可經由水閘門根據配水計畫適時開啟、關閉等操作方式來避免之。為了避免溢流，可於渠道中安置溢流道或放水門來排洩多餘之水量，以防破壞渠道之安全。



圖 2-6 渠道邊坡溢流示意圖

2.3.3 渠道沖刷

無內面工之渠道邊坡有時會被急流破壞，造成“沖刷”現象，渠道斷面改變及下游處常因流向轉變，致流速增大，最易造成沖刷現象；內側之渠道邊坡若材質不良或太陡，亦將因流速過大而造成沖刷。

圖 2-7 顯示渠道沖刷情形，由原先及目前之渠道斷面可清楚看出，因堤防崩潰，以致斷面無法回復原先之形狀。由於渠道斷面變成不規則、堤岸變低，且底部變寬，因此不僅需要更多的水來達到需要之水位，邊坡亦隨時有倒塌之危險。



圖 2-7 渠道沖刷情形

另外一種現象為沖刷之土壤於下游造成淤積之問題，將導致水工結構物之故障。沖刷土壤亦會沈積於渠道中，造成渠道容量降低及溢流之情形。

渠道容許流速是渠道構築材料而異，超出容許流速則易造成沖刷現象，反之，則易造成淤積。為避免渠道沖刷或淤積，應視材質設計適用之容許流速。

預防沖刷或淤積之措施包括：

1. 降低或提高流速，
2. 施設固床設施，

3. 施設坡面內面工，以及

4. 改善為混凝土 U 型溝。

邊坡之頂部及外側亦可能因溢流或降雨而造成沖刷，乾濕現象亦可能產生龜裂情形。龜裂將經由沖刷而造成小溝，降低“出水高度”之高度。

2.4 相關法規及制度問題

除上述系統及設施問題外，影響灌排設施操作維護問題尚有制度、法規、及人為問題等。有關人為問題，實則本文所主要探討之操作維護規則所欲提出供操作人員所能夠一致遵循之規範者；至於制度方面，則在下章「管理權責分工」一節中將予說明；本節將針對相關法規提出探討。

除針對一般水利設施之操作與維護外，目前有針對灌溉排水設施提及相關操作維護的原則性或準則性規範之法規概有以下幾種：

1. 「渠道管理實施計畫」，水利局 64.9.2 水政字第 30300 號函頒。
2. 「農田水利會組織通則」，90.06.23 總統華總義字第九〇〇〇一二〇七八〇號令修正公布。
3. 「臺灣省農田水利會組織規程」，臺灣省政府 87.12.24 府法四字第一四二九六三號修正。
4. 「水利建造物安全檢查辦法」，經濟部 88.6.30 經（八八）水字第八八四六一五五〇號令發布。
5. 「臺灣省排水設施維護管理辦法」，經濟部 88.6.30 經（八八）水字第八八四六一六一二號令發布。
6. 「臺灣省灌溉事業管理規則」，經濟部 88.6.30 經（八八）水字第八八四六一六二四號令發布。

首先在管理機關方面，「臺灣省灌溉事業管理規則」即於其第 1 章總則中之第 3 條指出“本規則所稱主管機關，在中央為經濟部，在縣（市）為縣市政府。縣市政府得授權建設局（科）辦理”，並在第 4 條中進一步說明“灌溉事業，除多目標或具有特殊目標之設施，由政府設立或指定機構管理外，其餘灌溉事業，由興辦灌溉事業人呈准主管機關設置管理機構管理之。前項灌溉事業人包括農田水利會（以下簡稱水利會）及其他公私法人及自然人。第一項所稱管理機構包括各地水利會及水利公司及其他公私法人”。此規則中所稱之灌溉事業，實已包括相關之農田排水，如該規則第 3 章排水中第

21 條所述“凡因灌溉而引起之排水，應視為灌溉事業之一部，由管理機構負責統籌規劃辦理”。另在「臺灣省排水設施維護管理辦法」中，先於第 1 章總則之第 2 條中說明“本辦法所稱主管機關，在中央為經濟部，在縣（市）為縣（市）政府”，惟農田排水僅係該辦法內所指排水之一種，故於該辦法第 2 章權責中第 5 條首先指出“排水設施維護管理機關或事業負責人規定如下：一、農田排水設施 為農田水利會或其他灌溉事業人。...”。此外，在「水利建造物安全檢查辦法」中，亦在第 2 條中說明了“本辦法所稱主管機關在中央為經濟部；在直轄市為直轄市政府；在縣（市）為縣（市）政府。所稱水利建造物管理機關（構）係指直轄市、縣（市）政府負責水利業務之單位及各地區農田水利會等。”。由上可歸納出，本文所論灌溉排水設施之管理機關，主要即為各地區之農田水利會。

在操作與維護方面，「臺灣省灌溉事業管理規則」中自第 2 章至第 8 章分別對引灌、排水、水庫管理、埤池與水路變更、養護、以及禁止事項及罰責說明，尤其第 7 章特別針對養護自第 44 條至第 48 條提出重要原則：“第 44 條 管理機構對灌溉設施應分區分段派員經常巡視，如有損壞或漏水應即派工修復。小給排水路之平時養護及災害搶修應由受益人分段負責辦理。第 45 條 管理機構對灌溉設施除防汛及災害搶修即時辦理外每年並應舉行總檢查一次，擬具歲修計畫，呈報或層報主管機關核准後實施，其屬一般性工程應儘量於農暇分配受益農民辦理之。因故未能出工得僱工代理。第 46 條 前條歲修計畫管理機構，應依照左列規定辦理：一、水庫埤池：應注意造林，保林等水土保持工作並定期檢修。二、圳路：導水路、幹支分線、給水路、排水路、補助水路、隧道、暗渠、配水、量水等設備，每年至少應疏濬或整理一次並填補缺口保持完整。疏濬取出之泥沙、雜草及淤集物，不得佔壓農田或集水路兩側。三、堤岸：每年應檢修一次並於外堤坡種植草木。四、其他建造物應定期檢查維護並予必要之更新。第 47 條 灌溉設施，應於每年汛期前儲備料具。並將受益人加以編組分段巡守，嚴密防護觀測水流變化，隨時報告處理，凡暴雨時期，對重要排水及進水閘門，應加強防護及時啟閉，並注意水文及氣象之變化。第 48 條 灌溉設施如有重大災害，必須緊急搶修時，應由管理機構報請當地縣市政府，督導鄉鎮公所及警察機關予以協助，並參照水利法有關規定辦理。”。另在「水利建造物安全檢查辦法」第 5 條及第 8 條中也分別指出“第 5 條 興辦水利事業人，應訂定操作及維護管理手冊，報請主管機關核備，並負責所興辦水利建造物之維護、管理工作。第 8 條 興辦水利事業人應辦理下列安全檢查：一、依照水利建造物操作及維護管理手冊之規定辦理平時檢查及特別檢查，並均應保留詳細紀錄。紀錄格式由興辦水利事業人訂定之。二、依照中央主管機關所訂定之水利建造物安全檢查表，辦理每年一次之定期性檢查，其檢查結果應報請主管機關核備。”

在執行管理方面，在「臺灣省農田水利會組織規程」第 20 條特別指出“水利小組之任務如左：一、小給水路、小排水路之維護、管理及修補。二、區域內用水之管理。三、協助工程用地之處理。四、區域內補給水路之設施。五、小給水路或補給水路分水門之管理。六、水利小組經費之經收及管理運用。七、其他水利業務之委辦或交辦事項。前項任務之執行，受水利會之監督指導。”，其中所指之水利小組，另於第 19 條中定義：“水利小組係會員於田間灌溉配水之基層組織。水利會得在灌溉面積五十一公頃以上一百五十公頃以下之範圍內，以埤圳為單位設一水利小組。但埤圳之灌溉面積較大者，得按支分線分設二個以上水利小組，區域過小者，得合併鄰近區域聯合設置之。水利小組由區域內會員組成之，其名稱以埤圳所在地地名或重劃區域名稱為原則。”。另在「臺灣省排水設施維護管理辦法」則於第 2 章權責中亦於第 9、第 11、及第 12 條列出相關管理執行原則：“第 9 條 排水設施應禁止下列行為：一、擅在排水界線內建築建造物或掘井、挖溝、種植、養殖、採收水產物、採取土石、放牧、飼養牲畜。二、擅在排水路上加蓋建造物或在兩側鏟草砍伐竹木。三、毀損或擅移排水設施。四、擅自填塞排水路或任意排注、引水、取水。五、擅自在排水界線內堆積物品及棄置廢棄物或行駛車輛、嬉戲、游泳。六、擅自啟閉閘門、擅動機械及破壞水門或管制設備。七、其他足以損壞排水設施或減損排水功能之行為。第 11 條 管理機關或事業負責人對排水設施應劃分管理區指定專人負責養護巡視。前項巡視人員執行勤務時應依下列規定：一、發現違反排水維護管理事件，應適時勸導或取締，必要時得會同當地警察機關取締之。涉及刑責者，報請管理機關或事業負責人移送司法機關辦理。二、排水路或建造物呈現異狀應迅予處理，並報請管理機關或事業負責人採取緊急措施。三、閘門之啟閉應隨時檢查，遇有損壞或故障應迅予處理。四、防汛期各排水設施應加強防護，並注意颱風、豪雨、地震及其他緊急情事，作適當之防備，如有災變，應迅予處理，並報請管理機關或事業負責人採取緊急措施。五、閘門之開啟應注意下游之安全防護。第 12 條 管理機關或事業負責人對排水工程之養護，每年應辦理檢查及歲修。”

在操作維護之經費配合上，首先於「農田水利會組織通則」第 5 章經費中第 31 條特別規定“農田水利會每年度之全部收入，除用人及管理上必需之費用外，應全部用於水利設施之興建、養護及改善，並酌提公積金、災害準備金及折舊準備金。前項公積金、準備金，非經報准主管機關，不得動用。”。其次於「臺灣省農田水利會組織規程」第 28 條亦特別規定“小給水路及小排水路養護、歲修經費之基準，由水利局依據其水源、水路原設施、耕作制度及灌溉方法等因素定之。水利會應參酌前項基準，編列養護、歲修預算，所需經費之半數由受益會員負擔。”（註：本條中所指水利局目前已改制為經濟部水利處），另於第 44 條中進一步規定“水利會應依左列規定編列預算：一、水利設施之維護管理及更新改善費，應依設施重建建造費

總額百分之一・五至百分之二編列。二、用人費按核定員額編列。三、業務費用按實編列。水利處於每年預算編列前，應依前項規定研訂預算編審要點作為水利會各項經費編列基準。”。此外，「臺灣省排水設施維護管理辦法」亦於第3章經費中第16條特別規定“排水設施維護管理經費，由各該管理機關或事業負責人編列預算，每年不得少於排水工程重建建造費總額百分之一。”。

最後，有關管考方面，則於「臺灣省排水設施維護管理辦法」第四章考核中之第18、19條列有相關原則規定：“第18條 排水設施維護管理工作考核項目規定如下：一、不定期考核：管理機關或事業負責人應不定期派員抽查，並將優劣事項作成記錄。二、定期考核：主管機關應於每年四月舉辦總檢查，考評管理績效。第19條 管理機關得依考核結果予以獎懲。”。

第三章 操作與維護原則

3.1 管理權責分工

灌排系統分布在遼闊田野間，為使導水、引水、輸水、配水、給水等作業順利操作與執行，管理業務須有明確之權責劃分，方能達到完善之管理維護。因此，灌排工程之管理與維護不但是農田水利會工作人員之主要任務，也是全體會員應共同負起之責任。一具規模之農田水利會轄區內之主要灌排系統及設施之管理維護權責，大致劃分如圖 3-1。然目前大部分之農田水利會並無設置水源及水路工作站，故可逕就近以相關工作站負責，或配合現行水利會運作分工。

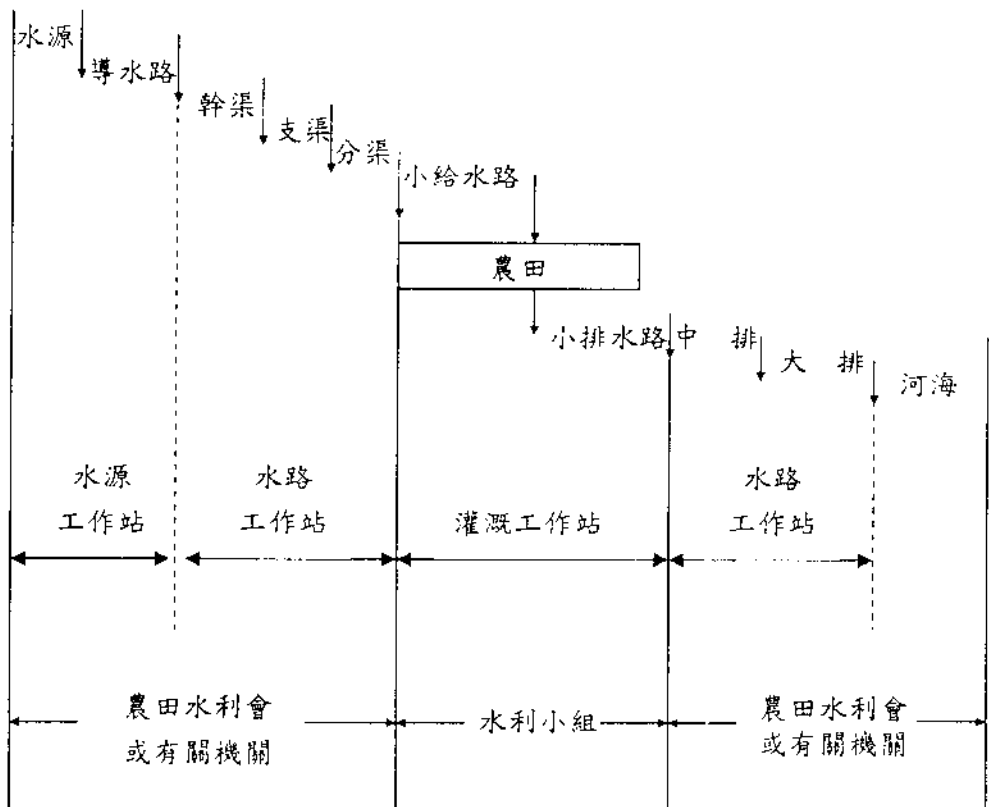


圖 3-1 灌溉排水系統管理權責劃分

3.1.1 任務權責劃分

(一) 水源工作站

1. 引水設施、機電設備及附屬構造物之維護管理、歲修、改善、取締及防汛之搶險。

2. 水庫區域內建築物及水利用地管理。
3. 進水、出水及排洪之管制及調節。
4. 氣象、水文、水位、水質之觀測調查。
5. 水源河道之巡邏及排洪之警報。
6. 違反水利案件查處。
7. 水利會交辦事項。

(二)水路工作站

1. 輸排水系統設施及附屬構造物之維護管理、歲修、改善、取締及防汛之搶險。
2. 輸水、分水、水質之管制及調節。
3. 氣象、水文、水質之觀測調查。
4. 輸水系統灌溉計畫之核定及執行。
5. 違反水利案件查處。
6. 水利會交辦事項。

(三)灌溉工作站

1. 小給水門、小排水門以上灌溉排水設施之維護管理、歲修、改善、取締及防汛之搶險。
2. 小給水門、小排水門以上引水、輸水、分水管理及調節。
3. 水利小組工作之指揮考核。
4. 水利糾紛之調解處理。
5. 水利政令及灌溉制度之推行。
6. 灌溉水質之監視處理。
7. 灌溉計畫之擬定及執行，耕作面積與生產量之調查。
8. 會員會籍及灌溉地籍異動之查報。

9. 會費及工程費等各種費用之經收。
10. 公共財產之維護管理。
11. 氣象、水文、土壤之觀測、調查。
12. 協助有關農業、水利之實驗及示範。
13. 水利會交辦事項。
14. 協助工程用地取得之處理。
15. 廢水路地報廢及圳路改道案初勘。
16. 救旱因應措施之執行。
17. 使用水利構造物及搭配排水之勘查處理。
18. 水利會交辦事項。

(四)農田水利會

1. 灌溉管理決策。
2. 灌溉用水查定。
3. 灌溉用水調配。
4. 灌溉計畫執行。
5. 灌溉用水實績統計。
6. 幹支分線消失水量調查測定。
7. 水文資料調查統計。
8. 工作站、水利小組業務計畫督導。
9. 灌溉秩序維持及糾紛處理。
10. 灌溉水質監視處理計畫督導。
11. 工程設施維護管理及更新改善工程計畫擬定提報。
12. 廢水路地報廢及圳路改道案提報主管機關核定。

13. 使用水利構造物及搭配排水之複查處理及核定。

14. 救旱因應措施之擬定推動督導。

(五)水利小組

水利小組對灌排系統維護管理之任務有下列幾項：

1. 小給水路、小排水路之維護、管理及修補。
2. 區域內灌溉排水之管理。
3. 協助工程用地取得之處理。
4. 區域內補給水路之設施。
5. 小給水路或補給水路分水門之管理。
6. 水利小組經費之經收及管理運用。
7. 其他水利業務之委辦或交辦事項。
8. 違反水利及糾紛案件之協助勸導與調處。

前項任務之執行，受水利會之監督指導。

(六)全體會員

水利小組長、班長、掌水人或會員，在圳路巡視及田間工作時，如發現水流不暢通或圳路漏水，應即隨時整理修補，如災害嚴重時，即回報工作站處理。水利小組應於每期作通水前或斷水期，發動會員共同維護小給水、排水路，如雜草割除、濬漂及圳堤整修等。

3.1.2 基本資料建立

任何灌溉排水系統之建設，都須經規劃、設計、施工以至完工通水，期間不過數年，但日後的長久維護管理，對灌排水暢通及使用壽命，關係極為重要，故必須建立各項有關資料，以期有效執行灌溉排水路之維護計畫。

工程登記卡：

(一)建立對象：屬於水利會財產或管理使用者為對象，小給、小排以下之小型建造物，應以每一小給、小排水路為單位。

(二)資料搜集：由工程設計資料抄錄，內容包括系統別、工程名稱、位置、地點、建造年代、造價、歲修養護記錄。

(三)資料管理：

- 1.大埤圳每一系統裝訂一冊，零星灌區小型埤圳視實情分區裝訂。
- 2.每一系統或每一分區之工程登記卡冊在第一頁應附平面區域圖，在圖上註明各水路、構造物之名稱與編號。
- 3.水利會、管理處、工作站應指派專人保管。
- 4.如有改善，更新、重建、歲修、搶險資料變更時，應於完工後將資料更正。

(四)填表方法：

- 1.編號：依灌溉排水系統等級順位，由上而下，由右而左依序編號。
- 2.所屬系統：水庫、埤圳、幹線、支線（大排）、分線（中排）、小給（小排）。
- 3.工程名稱：
 - 支線改善工程。
 - 農地重劃工程。
 - 排水支線改善工程。
- 4.位置或地點：填寫有關鄉鎮、段別、椿號或上、下游之地號。
- 5.建造年代及造價：依據工程設計資料填入，無案可考者免填。
- 6.工程概要：填寫工程改善之緣由，工程主要內容等。
- 7.較大型工程或灌排系統，可設副卡，作有系統歸納。
- 8.工程具有特殊情形及效能者，於備註欄內註明。
- 9.附屬工程於工程概要欄寫明名稱數量即可。

3.1.3 維護計畫之擬定

(一)農田水利會為確實執行灌溉排水路維護，增進設施使用效率和年限，

應依權責擬定維護計畫或緊急維修計畫，以便進行維護工作。

- (二)工作站責任區管理人員，對轄區內之灌溉排水路系統分佈，水路性質，灌溉排水環境等應深入了解和認識，同時將平時巡視檢查登錄於檢查簿，作為擬定維護計畫之基本依據。
- (三)工作站應於年度開始或最遲於歲修期前二個月，擬妥初步調查表報會或管理處，以便派員勘查核定維護之優先順序。
- (四)會員陳情、水利小組建議會務委員提案等，須加以分析，研究，以合理、公平、切合需要及緩急順序作為計畫擬定之參考，
- (五)災害搶修工程，因水路設施遭受天然災害，影響灌溉排水功能時，工作站應盡速派員調查災情於災後二日內報本會辦理。
- (六)灌溉排水水路遇緊急事故影響輸水機能時，工作站應速擬搶修計畫進行處置以免災害擴大，並應即行向上級電話報備。

3.1.4 制定工程設施維護管理辦法

維護工程大都為零星緊急僱工或補修水路、疏濬清掃之小型工程，為爭取時效搶修進行，應賦予工作站人員緊急處理之權限，以利維護工程之進行，但應符合相關法令之規定，因此需訂定維護管理辦理要點，使工作站人員有所遵循。

工程設施維護辦理要點

- 一、農田水利會灌溉排水工程設施維護，除法令另有規定外，悉依本要點規定辦理。
- 二、水利會各工作站轄內各灌溉排水工程設施，應依據管區人員之巡視紀錄及參酌各方之反映，分輕重緩急於分配預算範圍內列入計畫辦理維護，並於每年三月底以前將下年度辦理之維護計畫列表報會核定。
- 三、各工作站之維護計畫，既經本會核定後，除因特殊情形事先報准外，各種項目預算不得相互流用。
- 四、各工作站辦理工程設施維護（歲修、養護、搶修）應編製工程計畫預算書（以同一系統或地區編製一件為原則）經送會審查核定後，由本會工務組辦理發包及施工，但伍萬元以下之土方（或除草）工程或水路補修、構造物改修工程，得以零星工程編製預算書報會核定後交工作站僱工辦理，並應添附施工前、中、後照片請款；為簡化作業程序貳萬元以下工

程得授權站長逕行決定後直接僱工辦理，但嚴禁化整為零。

五、渠道（幹、支、分線及大、中排）定期維護（清土或除草）工程，以每年舉辦二次（灌溉水路於通水期以前、排水路於防汛期以前辦理）為原則，必要時得增加次數，每次舉辦前應由工作站提出計畫列表報會核定後，依本要點第四條規定辦理。

六、以零星工程舉辦請核書計畫之維護（清土）工程，其單價分析仍應依經濟部水利處頒發之「水利工程工資、工率分析手冊」規定辦理；除草工程之單價則依下列規定辦理：

（一）木本植物：如樹木、竹等視實際情形以普通工每一工作天能處理之工作量（面積）分析之。

（二）草本植物：除草工作依刈岸高度分別規定如下：

1. 一公尺以下（包括一公尺）每平方公尺一、七〇～二、四〇元。

2. 一公～二公尺（不包括一公尺）每平方公尺二、四〇～三、〇〇元。

3. 二公尺～三公尺（不包括二公尺）每平方公尺三、〇〇～三、五〇元。

4. 三公尺以上（不包括三公尺）每平方公尺四、〇〇元。

5. 噴除草劑每平方公尺工資二、三元（不包含除草劑）；噴藥後仍阻礙水流之乾草雜物等，得按實僱工清除。

七、零星工程如數量過於微少，由工程週轉金支付者可按實僱工並授權站長逕行辦理，但金額超過壹萬元者，仍應依本要點第四條規定辦理，僱工按月補貼之漂流物撈起工作，或按日補貼之掌水工作，則應經請核決定始可僱用。

八、工作站僱工辦理之維護工程完工後，立即由站長切實初驗，並限於一星期內將請款憑證報會，本會隨時派員抽驗，如發現有不實或虛假情事發生時，站長應負連帶責任；發包工程由工作站派員會同驗收並接管。

九、工程設備維護用材料之購買或機械（發動機、抽水機、水門或其他機械）修理，其金額未達壹萬元者，授權站長逕行辦理後於一星期內請款（該項書件由本會管理組受理），至於金額在壹萬元以上者，應由工作站事先提出請核，金額未達伍萬元時由管理組尋覓一家殷實廠商辦理，金額

在伍萬元以上拾萬元以下時由本會訂定底價取具二家以上比價辦理，金額在拾萬元以上者，採公開招標，但符合政府採購法第二十二條第一項各款情形者除外。

十、各工作站辦理零星維護工程，得設置零星工程週轉金，由站長指定專人負責保管並於權責發生後，隨時隨件登記於收支簿以供查對，各工作站週轉金金額各為柒萬元整。

十一、使用零星工程週轉金發給之工程款，以授權站長範圍之零星工程款或機械修理費及材料費為限，且其金額每件最多不得超過壹萬元，付款之憑證，應由站長審核後始可發給，如經本會發現有不合會計程序，而必需收回該款項時，應由站長負責。

十二、各工作站指定工務主辦乙名，負責經理及初審各該站之歲修、養護及搶修工程。

十三、本要點提水利會主管會報議決通過，報請會長核定實施之，修改時亦同。

3.1.5 操作與維護作業流程

農田水利會水利設施之維護，在斗門以上之各級水路（包含幹支分線池塘取入、河水取入及主給水路），池塘及攔河堰由農田水利會工作站辦理，斗門以下之田間給排水路則由水利小組召集所屬會員出工辦理維護。

(一)維護工程分類

農田水利會工作站辦理之維護工程分二大類：

1. 年度歲修維護。
2. 緊急僱工搶修。

其中，依各水利會所訂授權額度，自 5 萬元至 10 萬元不等，在該額度以下者，授權工作站辦理；在該額度以上者，經工作站編製預算書送農田水利會核定後，以自行僱工、比價或發包、或依採購法有關規定辦理。

(二)各種維護工程作業流程圖

1. 年度歲修維護工程作業流程圖，如圖 3-2。惟其中所述之承辦組、股，各農田水利會可能不盡相同，可適度調整因應。

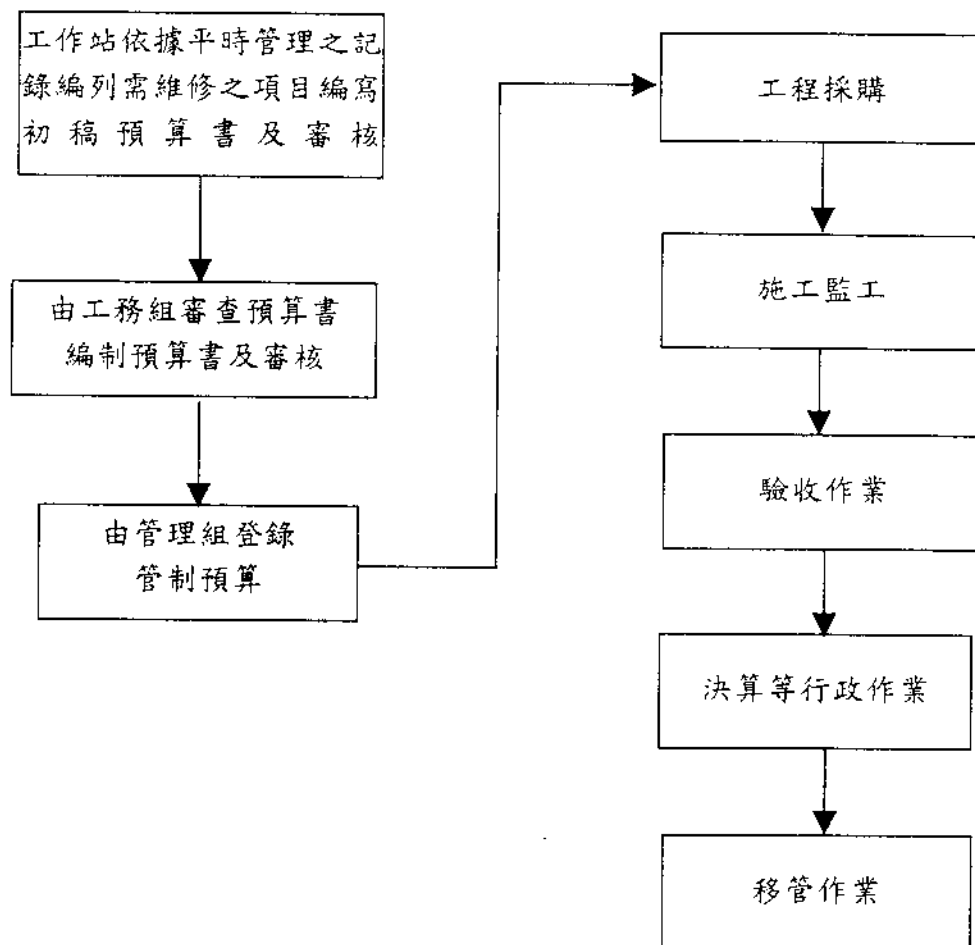


圖 3-2 年度歲修維護工程作業流程圖

2. 緊急僱工搶修勞務採購作業流程圖：

(1) 工程金額在授權額度以下者

部分水利會工程金額在授權額度以下者由工作站自行派員驗收，決算報會核發工程款；緊急僱工搶修工程經由工作站編製工程預算書送會核定後以自行僱工、比價或發包方式辦理，相關歲修自辦（僱工）工程作業流程表，如圖 3-3。

(2) 工程金額在授權額度以上者

經工作站編製預算書送農田水利會核定後，依採購法有關規定辦理。其驗收等行政手續則依一般營繕工程方式及採購法辦理。

自辦(僱工)工程作業流程： 依據行要點第二條第(二)項(扣)款
 及第三條以僱工方式辦理。

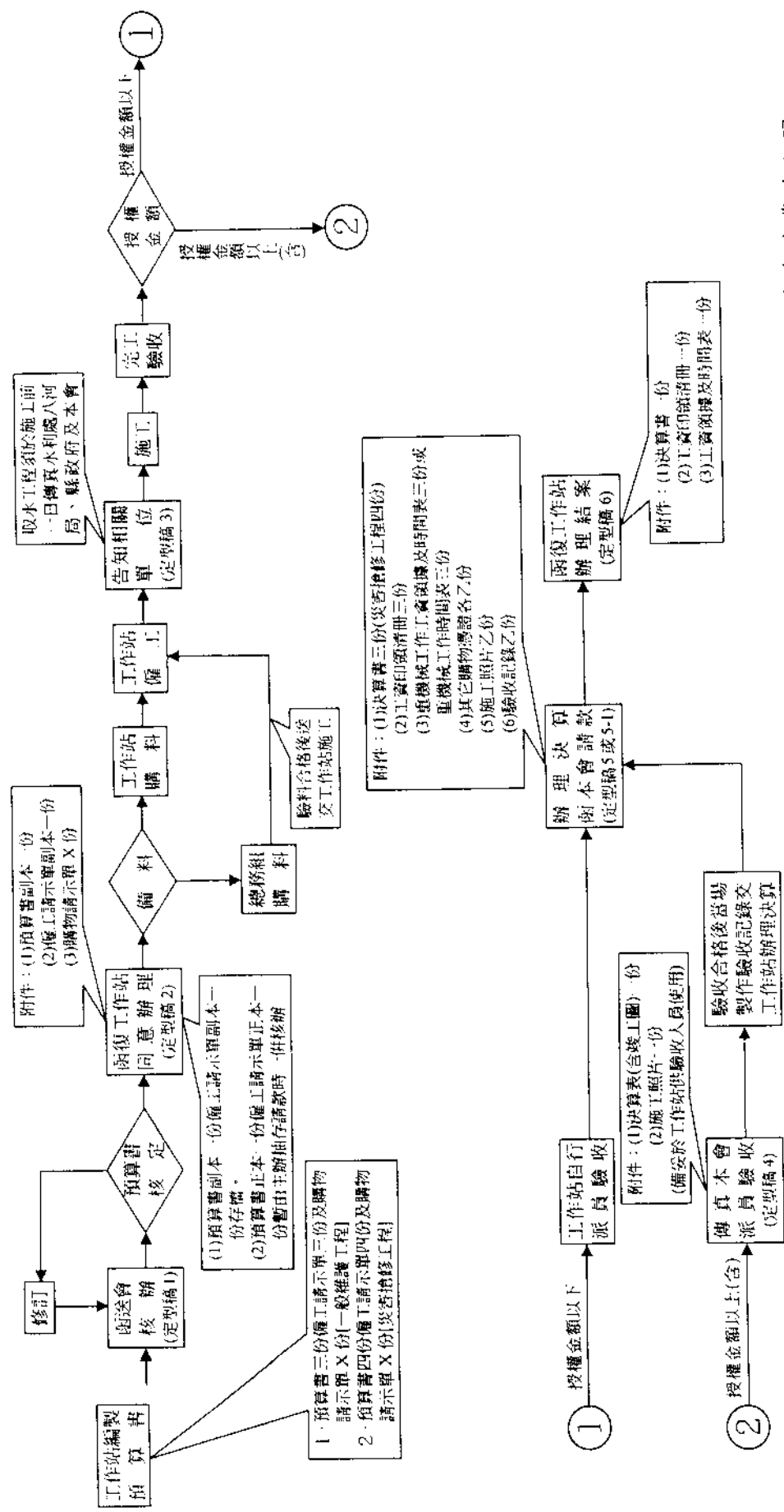
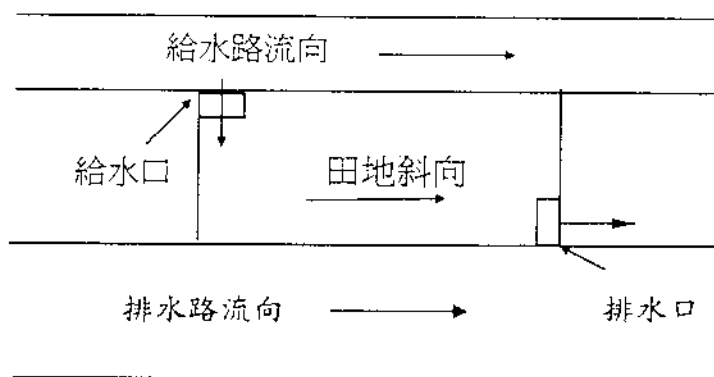


圖 3-3 緊急僱工搶修作業流程圖

3.2 灌排水路基本維修原則

3.2.1 田間給排水路維護之實施

田間給排水之設施，就各會員而言，具有特別密切而重要之關係，向來由農田水利會促請水利小組會員共同維護。



(一)定期維護

1. 水路疏濬或除草：為確保水路斷面輸水能力，灌溉給水路，每年至少應有 1~2 次的歲修疏濬維護，檢修或除草，小排水路應視實際需要歲修維護。
2. 小水路護岸整修：在堤岸之一部分砌石損壞，如砌石修補時，應自基腳起，平均升高砌做，塊石之長邊徑，應垂直於坡面，充分填實，並使其接觸面平整。

(二)平時維護

1. 以水利小組為單位，訂立小組會員公約，規定會員應共同遵守工程設施之維護。
2. 水路內禁止亂倒垃圾及任何雜物，土堤外應保持足夠的寬度，以免影響輸水機能及堤岸之安全。
3. 以水利小組為單位，劃分會員鄰接田坵水路之管理區段，由會員在田間工作時隨時維護水路。
4. 構造物背後填土、內面工頂填土及保護工頂填土等如塌陷，均應隨時補充填平夯實，以防塌陷擴大。
5. 對會員及農民宣傳，建立共同維護水路之觀念。

(三)緊急搶修

1. 一旦臨時發生災害時，立刻先行搶修以維通水，事後予以修復。
2. 一方面搶修，同時向農田水利會報備。
3. 搶修原則以恢復供水及使災害不再擴大之原則辦理，修復工法力求一氣呵成，如牽涉授權以外層面，以復建工程辦理。

3.2.2 基本維修工作

良好之維護計畫能延長田間水路壽命，維護工作通常於灌溉通水期前執行。此工作包括：清理、除草、清淤泥（簡要概示如圖 3-4）、修復斷面及執行小型維修（圖 3-5）等，茲分述如下：

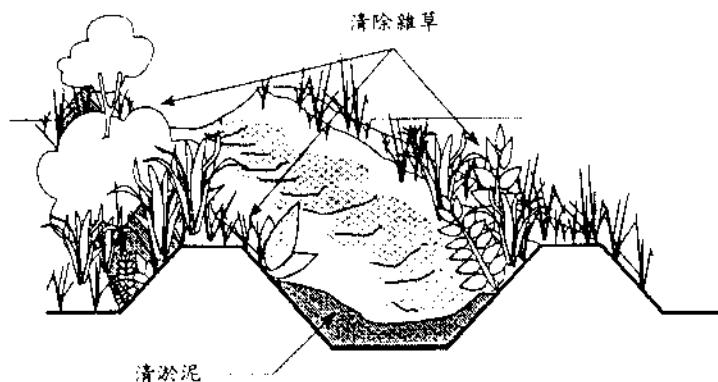


圖 3-4 除草及清淤泥

- (一)樹幹或樹枝應清除，因其會阻擋水流或擠壓底部土壤造成洩漏現象（圖 3-6 顯示渠道底部完全覆蓋情形）。
- (二)植物、淤泥或岩石應清除，然清除中可利用原有設計斷面之物體，以儘可能恢復渠道原有之形狀。
- (三)邊坡內外之老鼠洞應以濕的緊密土壤填實。
- (四)人或動物經常通行之斷面稱為“不安全之斷面”，應用緊密土壤或磚塊加以補強。
- (五)沖刷之渠道斷面應回復到原來形狀。
- (六)內面工施工縫或伸縮縫，填縫修補。



圖 3-5 渠道維修



圖 3-6 渠道底部完全覆蓋情形

有關基本維修工作中，又可分田間水路疏濬作業及整修作業概述如下：

(一)田間水路疏濬作業方法

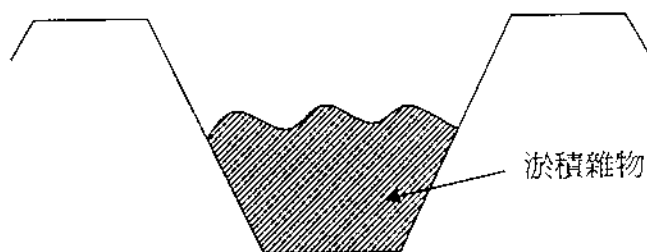
1.土渠內面工

疏濬目的在整理水路之斷面及坡度。一方面為保持原來斷面，一方面為清除水路邊坡的雜草，同時清除水路內淤積泥砂及雜物。實施疏濬時應注意事項：

(1) 邊坡絕勿截切過深不齊。



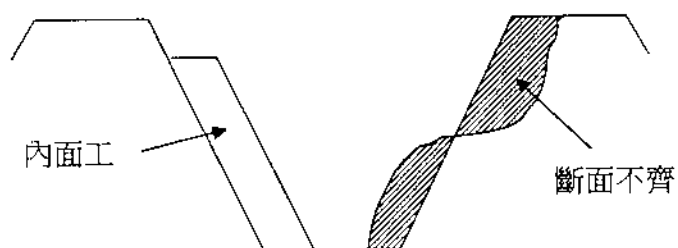
(2) 清除邊坡雜物不可放入水路內。



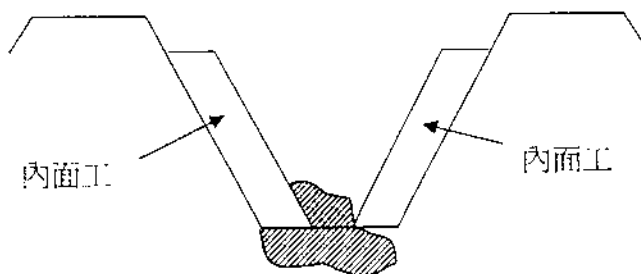
2. 混凝土內面工

混凝土內面工的疏濬，應避免建造物破損，作業時仍須保持應有之斷面與坡度。

(1) 單面混凝土內面工

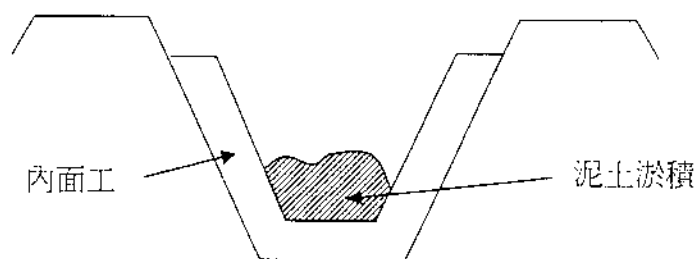


(2) 二面混凝土內面工



底面泥砂不清除，或截掘過深，都影響坡度。

(3)三面混凝土內面工

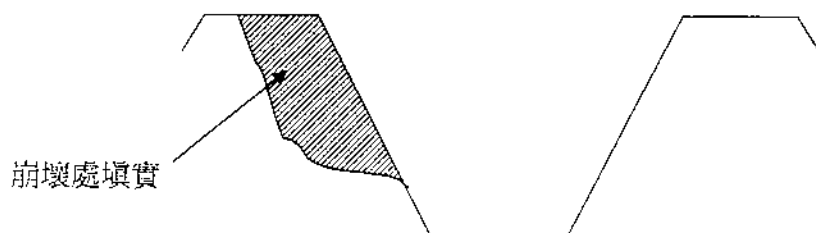


底面泥砂必須清除。

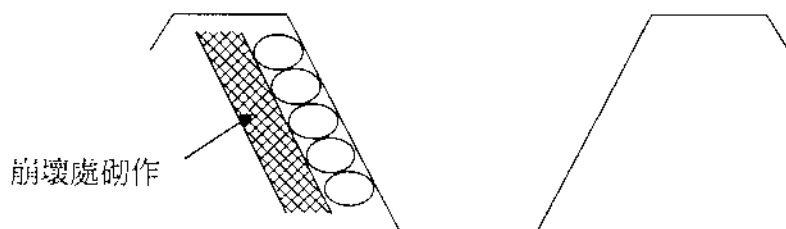
(二)田間水路整修作業法

1.水路整修

- (1) 堤防一部分崩壞，實施填土時，不得含有樹根、雜草及其他腐蝕有害等物質。填土應分層平鋪夯實，並先由斷面最底處填起。

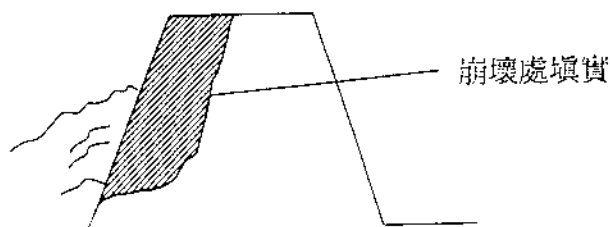


- (2) 水路之砌石一部分崩壞，實施整修時，應自基腳起，平均升高砌做，砌石之長度徑，應垂直於坡面，充分填塞，並使其接觸面儘量平整。

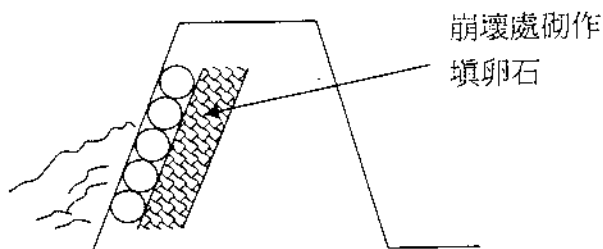


2.池塘堤防整修

- (1) 堤防土方部分崩壞，整修要領，與水路整修同。



(2)堤防砌石部分崩壞，整修要領，與水路整修同。



3.2.3 減低滲流

田間水路之部分或全部斷面均可能發生滲流，而造成灌溉水之損失及田間浸水等情形。能解決滲流問題之方法包括：

- 1.降低渠道邊坡之滲透性，
- 2.渠道內面工之執行。

本節首先針對減少渠道邊坡滲透性說明。緊密壓實渠道堤岸軸心可降低渠道邊坡之滲透性，執行步驟首先於軸心挖掘一窄小溝渠，然後分層回填材質並緊密壓實，此一壓實之軸心應超過水面以上。

詳細過程包括：

- 1.移除渠道邊坡及頂端之雜草（如圖 3-7）。
- 2.於邊坡內側挖掘一窄小溝渠，此溝渠為渠道滲透性較大處，其寬度最小應為 0.5 倍之水深，其底部應低於原地盤底部 20 公分以上。（如圖 3-8）。
- 3.用人工敲棍方式以每層 5 到 10 公分之厚度壓縮回填此小溝渠之底部（如圖 3-9）。當回填材質含砂成分較高時，應以粘質材質取代之。回填時每層應澆水濕潤，因濕潤土壤於敲打過程將較乾土具有較好之凝聚性。
- 4.分層回填及壓實此溝渠直到頂部（如圖 3-10）。

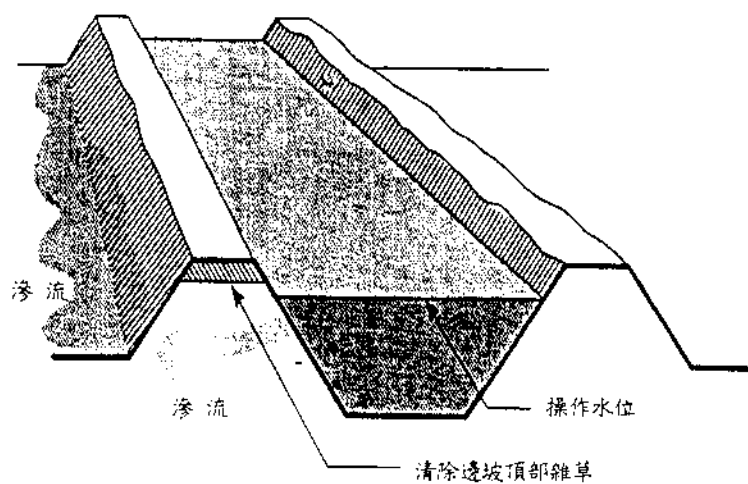


圖 3-7 渠道軸心壓實準備

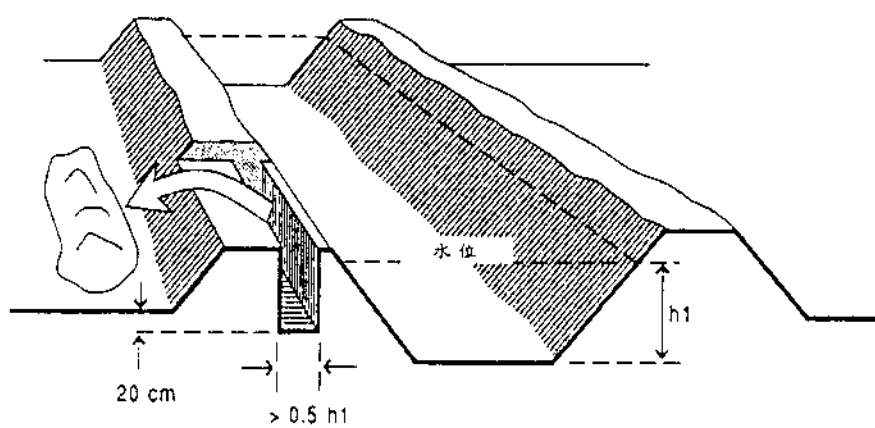


圖 3-8 挖掘一小溝渠

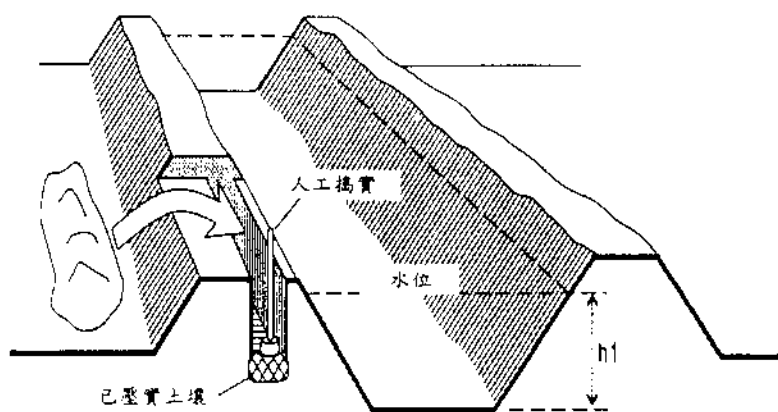


圖 3-9 分層回填且壓實

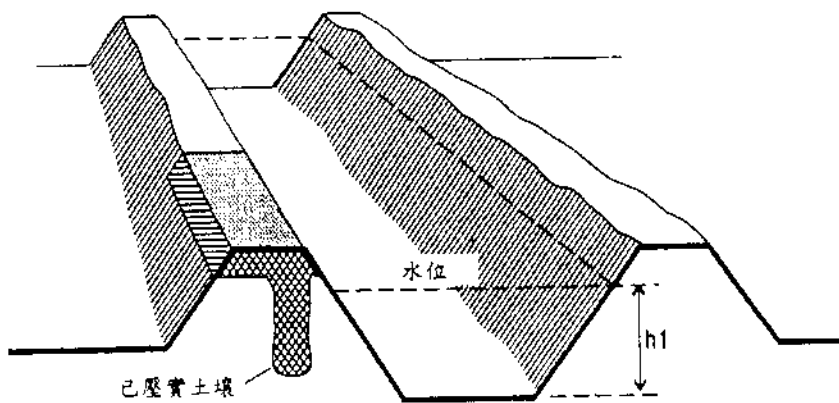


圖 3-10 渠道軸心壓實補強執行結果

3.2.4 洩漏之修護

大部分渠道均有洩漏情形發生。渠道自一小洞或裂縫洩漏之情形可由鄰近田區出現濕潤現象而察覺；但若洩漏發生於渠道底部時，除非謹慎的檢查底部情形，否則不易察覺。當發覺洩漏情形時應迅速解決，維護洩漏過程如下：

1. 排放渠道水量，並用椿於渠道邊坡內外處標出問題點（如圖 3-11）。
2. 清除雜草並挖掘洩漏點附近之土壤，邊坡之挖掘應分階梯層次實施，洩漏點下方為最小階梯（如圖 3-12）。
3. 分層回填且壓實濕潤之土壤（如圖 3-13）。

具有內面工之渠道其執行過程相同，唯施工前後應先移除及重建原有之內面工。需注意事項包括：

1. 由於內面工會被洩漏水暗中侵蝕、破壞、進而造成內面工之龜裂或破洞，故僅於具有內面工之渠道修護洩漏處是不足的。
2. 內面工接合處重建時應於接縫處分期密接以避免洩漏。

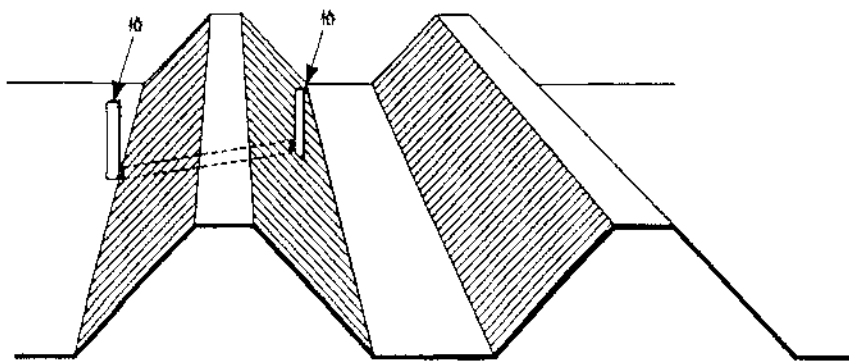


圖 3-11 渠道洩漏標示

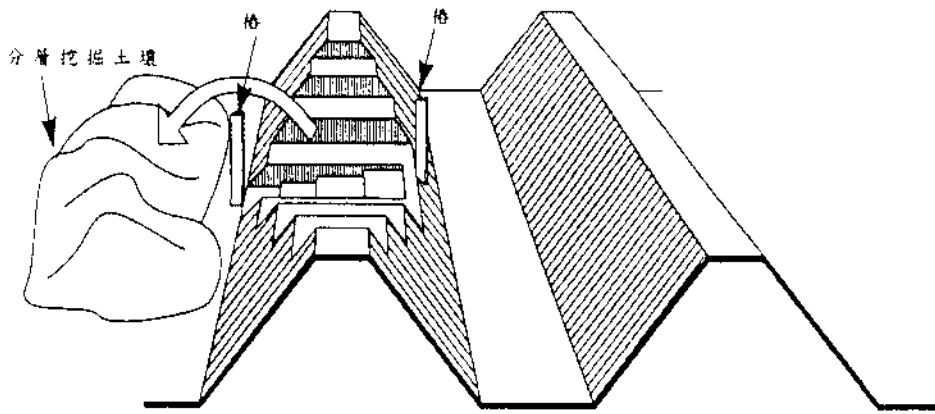


圖 3-12 挖掘渠道邊坡洩漏點附近之土壤

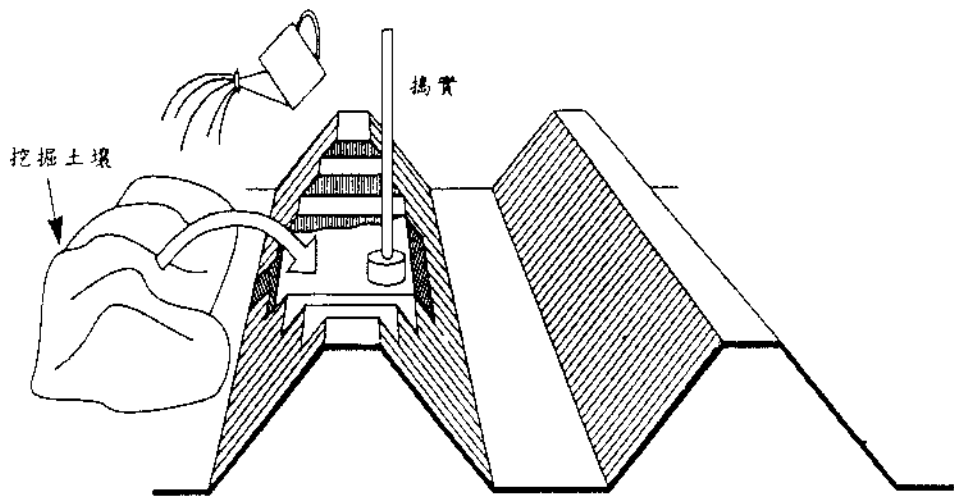


圖 3-13 分層回填且壓實土壤

3.2.5 如何避免溢流

當渠道內之流量超過其容量時，則會發生溢流。溢流將造成渠道堤岸沖刷，進而降低並減少原有渠道設計容量。避免渠道溢流之方法包括：1. 降低流量，以及 2. 增加渠道容量。增加渠道容量之步驟如下：

1. 移除雜草，標樁並拉繩索於欲處理斷面之上下游處（如圖 3-14）。
2. 以階梯式挖掘邊坡之頂部及周邊（如圖 3-15）。
3. 以每層 5~10 公分之厚度回填濕潤黏土於挖掘處，並分層壓實之（如圖 3-16）。
4. 當回填完成後並於其上種植草皮（如圖 3-17）。

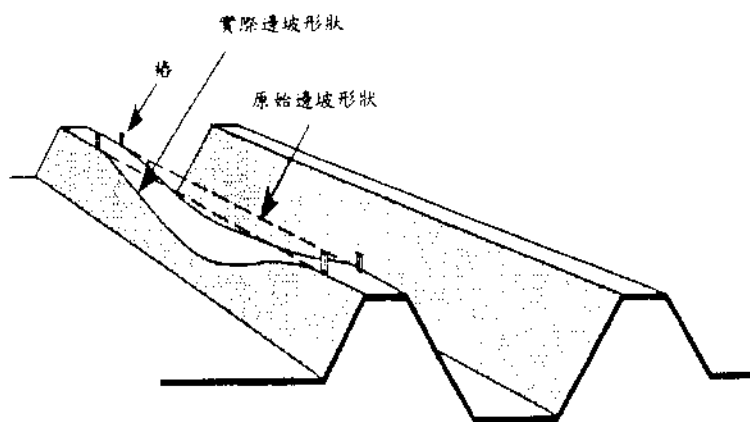


圖 3-14 渠道邊坡之加寬

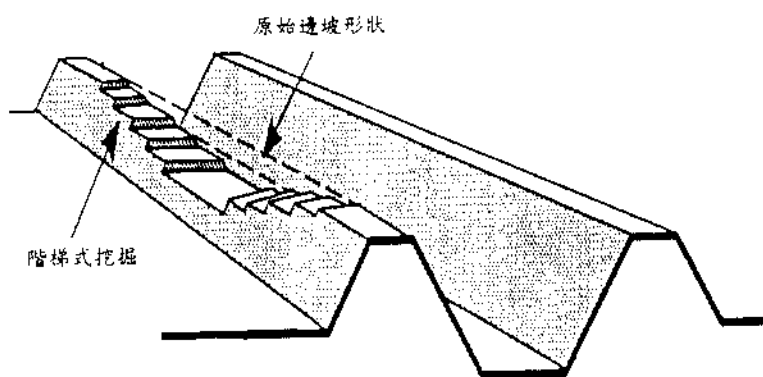


圖 3-15 渠道邊坡之階梯式挖掘

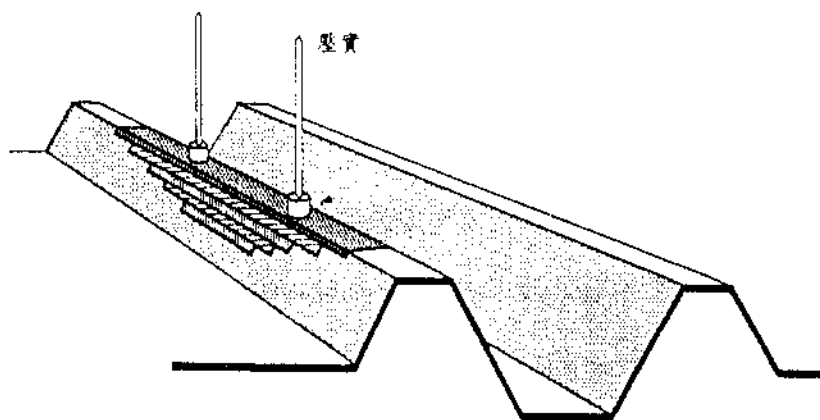


圖 3-16 分層回填土壤夯實

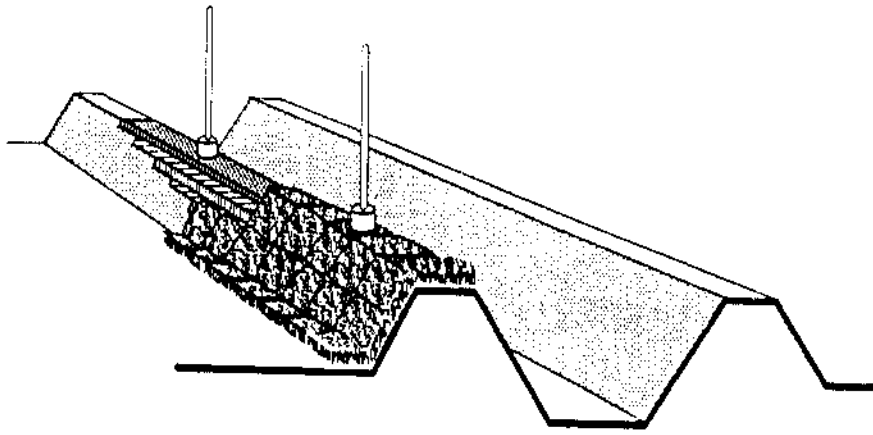


圖 3-17 回填實成後之種植草皮

若無法避免高水位之發生，則可佈置一緊急之洩洪口，此緊急洩洪口可確保渠道下游邊坡之安全。

將水流直接排入排水系統，而不危害到渠道邊坡，同時此結構應同時確保多餘水量能安全排出，且水面將不致高於出水高度。圖 3-18 顯示緊急出口，工程師於設計、建造此類構造物時，應考慮到水面確實低於出口之頂端。

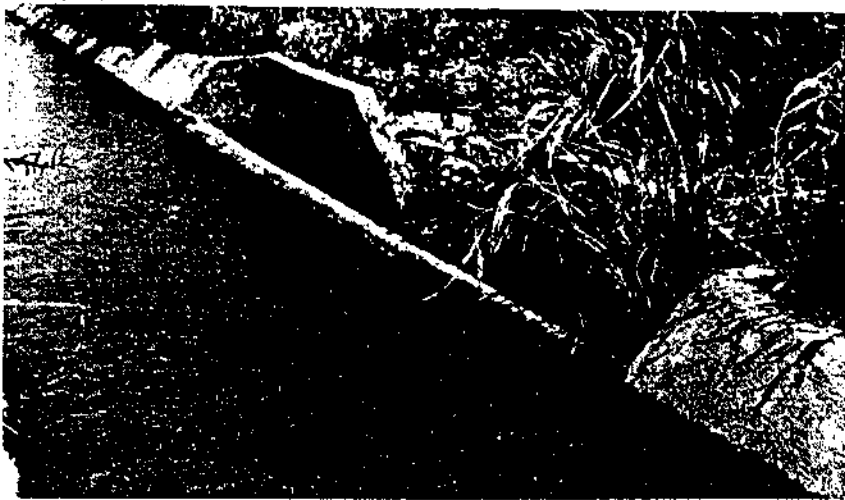


圖 3-18 渠道之緊急出口

3.2.6 渠道修補及沖刷之預防

(一)修補

1. 土渠

a. 潰堤修補

(1) 緊急處理通水中發生潰堤，應先行斷水，坡面先以砂袋疊砌，並加鋪 PVC 防水布，背填上，加以潤濕後分層夯實（每層約 15~20cm）。

(2) 列入長程計畫，編列經費改善為混凝土坡面工或 U 型渠道。

b. 漏水處理

(1) 緊急處置，應先行斷水，加鋪 PVC 防水布。

(2) 開挖堤岸，更新較佳之不透水土壤，潤濕後分層（每層約 15~20cm）夯實。

(3) 列入長程計畫，編列經費改善為混凝土坡面工或 U 型渠道。

2. 混凝土坡面工或 U 型溝

a. 潰堤修補

(1) 緊急處理通水中發生潰堤，應先行斷水，坡面先以砂袋疊砌，並加鋪 PVC 防水布，背填上，加以捏濕後，分層（每層約 15~20cm）夯實。

(2) 修復工程，以原施工縫為區段，且採用原材料及斷面修復。

(3) 檢視混凝土坡面工或 U 型渠道，是否超過建造使用年限，是者辦理全段更新。

b. 漏水處理

(1) 坡面漏水，如屬超過使用年限，應全面列入更新計畫。

(2) 施工縫漏水，應先清除勾縫、烘乾、重新填注防水材料（如環氧樹脂、柏油、防漏素等）。

(二) 預防沖蝕

避免灌溉渠道沖蝕之方法包括 1.降低流速；或 2.渠道內面工。

1. 降低流速

降低渠道坡度可降低流速，通常渠道坡度沿著地形而變化，因而造成某些區域太陡之情形。為了避免上述情形發生，於渠道構建時可因地形變化而挖或填部份土方以降低渠道坡度。為了減少挖開大量土方可於不同高程處佈置跌水工或陡槽，如圖 3-19~21。

當渠道坡度變緩時流速降低，因此需加大渠道斷面以維持相同之容量。

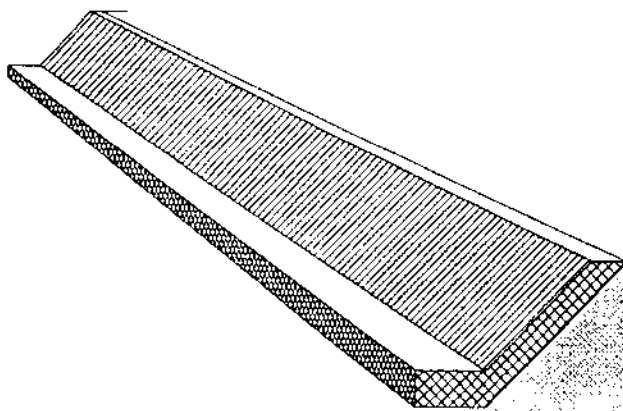


圖 3-19 渠道坡度過陡之修正

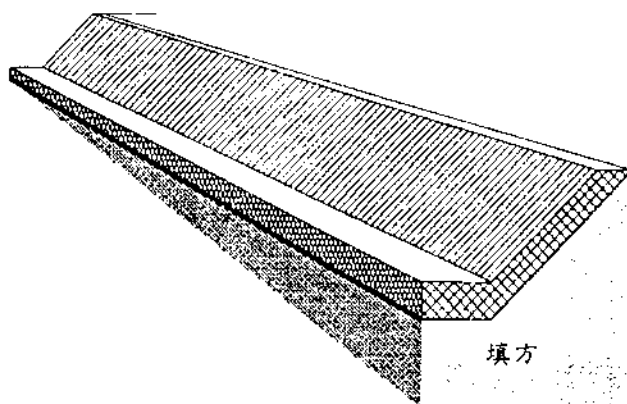


圖 3-20 回填土方以降低渠道坡度

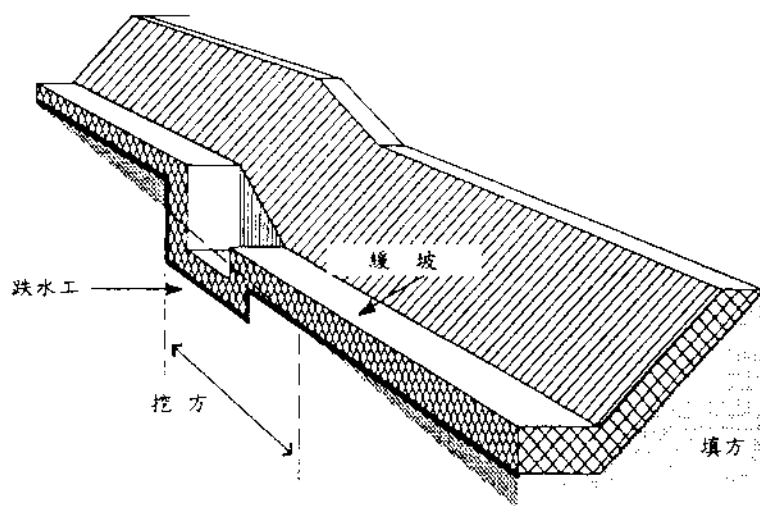


圖 3-21 跌水工以降低渠道坡度

圖 3-19 顯示渠道與地形具有相同之坡度，坡度太陡速度超過界限，造成渠道被沖刷情形。圖 3-20 則顯示回填土方以減緩渠道之坡度，然若渠道坡度與地形有極大差異時，則需挖出大量土方，以降低流速，避免渠道沖刷。圖 3-21 則顯示與圖 20 相同之坡度，然跌水工之構造則可減少大量土方之開挖。現存渠道若太陡時則不易重新建造，此時可構建一系列跌水工以降低流速，如圖 3-22 所示。

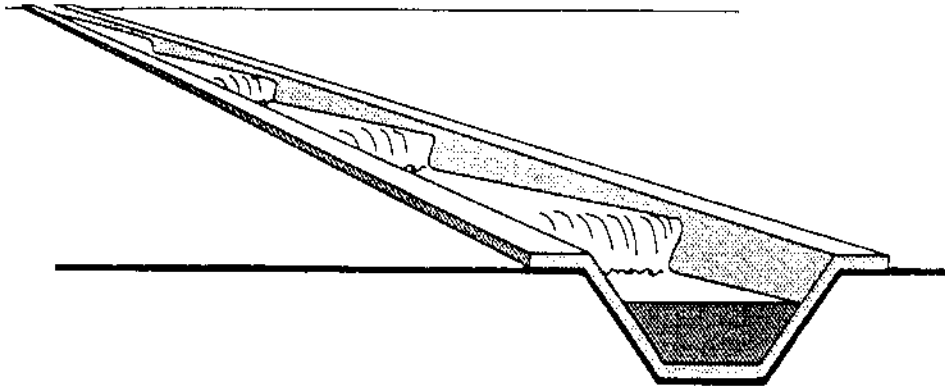


圖 3-22 陡峻渠道中構建一系列跌水工

2. 渠道內面工

渠道內面工可降低渠道沖刷情形之發生：

- (1) 具有內面工之渠道保有較高之流速，因此渠道坡度可較陡。
- (2) 具有內面工之渠道較無內面工之渠道擁有較高之流速。因此，在輸送相同流量情況下，具有內面工之渠道僅需較小斷面即可。

3.3 維護管理紀錄

渠道維護管理紀錄主要可有三種，分別為：一、渠道管理養護檢查紀錄簿（如表 3-1）；二、渠道維護檢查紀錄表（如表 3-2）、及三、渠道維護檢查統計表（如表 3-3）。填寫紀錄表應注意事項簡述如下：

- 一、渠道管理養護檢查記錄簿：為落實水利設施維護管理工作，水利處（前水利局）曾頒發「渠道維護管理檢查紀錄簿」乙種，由水利會轉發工作站各區段管理人員每人乙冊，要求區段管理人依規定確實檢查紀錄，並將各項設施損毀等情形報會，以作為維護、改善之依據。

(一)渠道管理分類為：

1. 竊盜用水，其項目有「盜水」。
2. 破壞構造物，其項目有「毀損破壞」。
3. 竊盜建造物，其項目有「竊盜建造物」。
4. 侵占用地，其項目有「侵建」、「侵耕」、「侵種」、「侵殖」等。
5. 妨害用水，其項目有「放牧」、「取土」、「棄土」、「傾倒垃圾」、「傾注廢污水」等。

請於項目欄內，依照發生事實自行填入其情形，如盜水、侵耕、或傾注廢污水等句。

(二)圳路名稱請以渠道名稱，如中小給水路即以○○區小給一等填寫，測點請以該渠道累距如 3k+021 表示之（給水由上游往下游累距，排水由下游往上游累距）。

(三)侵占面積欄，如為盜水、竊盜建造物、傾注廢污水等免填。

(四)損害情形欄應以圳路安全觀點及影響程度填寫受損建造物名稱，並以「嚴重」、「中等」、「輕微」三種情形表示損害程度，如「渠堤毀損嚴重」、「水污染嚴重，影響下游抽水灌溉」等。

(五)處理情形欄填寫：

1. 「已勸導並經當場處理」、「已通知限期拆除修復，或恢復原狀」...（屬於和解類）。
2. 「擬列入工程施行」、「已送縣市政府」...（屬於報告本會處理類）。
3. 「已告發」、「移送法院」...（屬於地方主管機關）。

(六)數字一律以阿拉伯數字填寫。

(七)週別請以月單位填寫，如 1 月第 1 週，4 月第 3 週。

(八)上級督導時，請於本記事欄內簽章核示，表明查核情形。

二、渠道維護檢查記錄表

- (一)應需維護、改善或新建水利設施物，如灌溉開門、渠道內面工、護岸工、分水工、隧道、放水閘、渡槽、倒虹吸工、混凝土管、跌水工、制水閘、外面工、橋樑、涵洞、自動水門、流（入）未工、除草、泥沙游積疏浚、水路土方整修、內（外）面工修補、捲揚機修理、量水設備等項目，依實際情況自行填入工程設施欄內。
- (二)不良情形應具體說明、估計數量、件數或損害零件等，供作工程設計參考。
- (三)處理情形應填寫已（擬）自行（僱工）修補或報告上級，於本（下）年度預算辦理等，並請分緩急別表示之，如為急待辦理，應專案另行報告上級及時處理。
- (四)數字一律以阿拉伯數字填寫。
- (五)上級督導時，請於本記事欄內簽章核示，表明查核情形。

三、渠道管理維護紀錄表注意事項

- (一)紀錄表所表示之渠道包括應負責維護管理區段內所有灌排系統。
- (二)渠道檢查每月以不少於1次為原則。
- (三)請熟記管理檢查參考資料並妥為運用。
- (四)發現侵占或施設物損毀，應先行作適當處理後將情形層報本會。
- (五)紀錄表內容應填寫注意事項，按實記載，以為維護參考。

四、水利會巡邏箱設置要點

部分水利會加強渠道維護管理工作尚設置巡邏箱，以掌握各圳路設施之狀況。茲以台東農田水利會為例將其設置要點列於后，以供參考。

(台灣省台東農田水利會)巡邏箱設置要點

1. 為加強灌溉管理、防患渠道被竊占、廢污水排水等違章案件發生，以維渠道安全，提高服務品質，訂定本要點。
2. 依據水利法七十八條，台灣省灌溉事業管理規則第四十九條暨水利局六十四年九月二日水政字第三〇三〇〇號函頒加強渠道管理實施計畫。
3. 本會為實施巡邏箱之督導及考核單位，由分區督導員（管理組指派）不定期抽查，藉以辦理考核、獎懲，並列為年度工作站業務檢查成績及個人年終考績之依據，各工作站站長負責巡邏箱管理執行及推動責任，工作站區段管理員負責實際巡邏任務。
4. 巡邏箱設於各重要渠道進水口，大型水利構造物及抽水站或其他經指定之適當地點。
5. 巡邏要領：
 - (1) 渠道輸水之調節、水量豐缺有否淤積堵塞，溢流或崩潰情形。
 - (2) 有否在水利用地範圍內違建、取土、倒土、排放廢污水、垃圾。
 - (3) 是否在水利用地範圍內侵耕種植、搭建柵架、養殖、放牧等。
 - (4) 是否有非法取水或被破坵灌溉水利設施等。
 - (5) 區段管理員就發覺事項應即依規定處理，予以制止取締陳報本會，並於巡邏卡（表 3-4）紀事欄相關項目打「✓」簽名外，渠道管理紀錄簿應一併記載清楚。
 - (6) 區段管理員對轄區內之巡邏至少三天一次，站長每週複巡一次，督導員不定期每月至少一次，管理組長、總幹事、會長機動察巡。
 - (7) 各工作站應於每張巡邏卡用畢後，每月五日前由站長收齊交回本會並補新卡。
 - (8) 巡邏勤快及有缺失或怠忽職務者依本會員工獎懲基準予以獎懲之〔附巡邏卡（表 3-4）、工作站巡邏統計表（表 3-5）、全會統計表（表 3-6）各乙份〕。

表 3-1 渠道管理養護檢查紀錄簿

_____農田水利會_____工作站 民國_____年_____月份第_____週
 _____檢查日期_____月_____日

項 目	渠 道 名 稱	測 點	侵 占 面 積 (平 方 公 尺)	損 害 情 形	發 生 時 間	處 理 情 形
記 事						

檢 查 人

主 管

表 3-2 渠道維護檢查紀錄表

_____農田水利會_____工作站 民國_____年_____月份
檢查日期_____月_____日

工程設施 名稱	渠道名稱	測 點	不良情形	修 補 費 (元)	改 善 費 (元)	處 理 情 形
記 事						

檢查人

主管

表 3-3 渠道維護檢查季統計表

農田水利會

工作站

時間：

項 目	損害 件數 (件)	已修復設施		待修復設施		未修復之主因
		件數 (件)	工程費 (件)	件數 (件)	工程費 (件)	
土 渠						
內 面 工						
外 面 工						
灌 溉 閘 門						
分 水 工						
制 水 閘						
放 水 閘						
暗 渠						
混 凝 土 管						
渡 槽						
倒 虹 吸 工						
水 門 捲 揚 機						
流 末 (入) 工						
跌 水 工						
橋 樑						
量 水 設 備						
區段管理員意見						

檢查人

主管

表 3-4 巡邏箱巡邏卡

工作站 年 月 第 號巡邏箱巡邏卡 設置地點：

日	時	分	簽	章	記 事										記 事 欄				
					違 建	侵 耕	破 壞	渠			道	水 量	水 門 操 作 情 形			抽 水 機 情 形		耙 污 機	
								堵 塞	崩 潰	污 水 排			正 常	異 常		良 好	故 障	良 好	故 障

一、區段管理員巡邏時於記事適當項目「」，並在記事欄內補充說明。

二、如有發現違規，應予告發，如有故障應予報修。

站 長 簽 章 ； 區 段 管 理 員 ；

3.4 妨害水利案件取締處理

水利設施遭受破壞、竊佔、違建、常造成灌溉管理上極大阻礙,為確保水利事業之順利推展,案發當時工作站區段管理員應自動負責迅速積極依法檢舉告發,以杜絕妨害水利行為之擴大。

3.4.1 處理程序與方法

- 1.勸導：工作站區段管理員於糾紛或妨害發生時（包括會員發現轉報或陳情）應迅速查明當事人及利害關係人之姓名、年齡、職業、住址、妨害類別、發生時間、地點、發生情形，若情節輕微，應立即勸導肇事人自行拆除並恢復原狀（侵佔案件）遵守配水秩序（搶水或盜水案件）或清除水路廢棄物（阻礙水路案件）等將處理情形填入水利妨害處理登記簿並報告工作站站長。
- 2.協調：妨害水利案件發生後經勸導未果，工作站區段管理員應即確實採證，查研實情（應拍照或採樣以為存證）並由工作站站長依水利法施行細則第一百八十五條定，邀請水利小組長、地方有關人士及當事人進行協調尋求解決辦法，並將協調結果作成妨害水利協調紀錄並由工作站負責監督依協調結果執行。
- 3.告發：妨害水利案件經工作站依勸導、協調均未果時,應將處理過程報請農田水利會依法處理。

3.4.2 法令依據

- 1.水利法施行細則第一百八十五條。
- 2.水利法第七十八條、九十一條、九十二條、九十三條、第九十四條。
- 3.刑法 第二五二條、三二〇條、三五四條。

第四章 操作與維護

4.1 水源設施

4.1.1 水庫

一、進水口

1. 水庫進水口係屬管制區，除應豎立管制標誌載明管制事項外，應禁止閒雜人等進入。
2. 進水口前池設有排砂閘者，此排砂閘之啟閉運轉應由專人負責，其他人員不得任意啟閉。
3. 進水口前閘門之啟閉除應依規定辦理外，其進行運轉亦應依農田水利會指示，或報請農田水利會核定後方可辦理；啟閉操作時應注意下游河床內人民生命財產之安全，並需依照規定通知有關單位。
4. 進水口前河道應適時疏浚，並應依照規定定期觀測水位與流量，繪製水位—流量率定曲線；洪水後流心如有變化，應重新測定，必要時與以適切疏導。
5. 進水口前雜物及砂石應時常清除，設有電動除污設施者，除視污渣物淤積情形予以適切啟動清除外，並應定時試轉。
6. 進水口前機電設備除應經常加以維護外，並應定期分解整修。
7. 進水量、河川水位、排砂閘開啟時間、排砂量、排砂洩水量均應詳細記錄，並每日報請農田水利會核備。
8. 進水口上、下游河床砂石之採取，除由政府依照「台灣省河川管理規則」之有關規定予以管制之外，如有危及進水口取水者，應即報請農田水利會轉請有關單位處理。
9. 如需非常操作，應報請農田水利會核定。

二、壩

1. 土石壩坡面、壩頂禁止任意種植及堆積雜物，除非設計供為道路使用者外，壩頂禁止重型車輛通行。
2. 裝有觀測儀器者應按規定觀測，觀測儀器故障時應即報請檢修，

觀測紀錄需每月報請農田水利會核備。

3. 壩頂、內外側坡及壩墩應定期施行沈陷及位移測量，並將紀錄送農田水利會，如有特殊變化，應即調查原因，並報農田水利會處理。

三、溢洪道

1. 溢洪道有關結構（包括溢洪壩體、翼牆及靜水設備等），應時常檢查有無龜裂、空穴或損害，如有破損應即報請農田水利會予以調查處理，溢洪壩址或壩基、翼牆邊土方是否淘空現象，應詳予檢查，尤以每次洪水後更應詳加檢查。
2. 溢洪道底部如有淘空，通常係以穿孔機施行灌漿，表面如有磨損則以噴漿方式處理。
3. 溢洪道兩旁如有漏水現象時應予灌漿，其土方下陷時則需即予填土處理。
4. 溢洪有關機電設備應常注油並檢查，以利靈活。
5. 洩洪設備應定期試轉。
6. 非指定人員不得啟閉水門。
7. 溢洪道之下游水路，應經常巡視，如發現有影響洩洪情形者，應報農田水利會洽請有關機關處理。
8. 進水量及洩洪水量應依規定詳細記錄並報農田水利會。

四、放水閘門

1. 放水閘門控制室屬管制區，非經允許不得進入。
2. 各種閘門或機電設備應經常維護外，每年應定期檢修。

4.1.2 蓄水池（含農塘）

一、池堤

1. 池堤堤頂及邊坡禁止任意種植、堆積雜物、放牧或搭建。
2. 除特別許可者，嚴格禁止重型車輛通行。

3. 池堤應定期檢查整修（刈草、填穴、培厚、保護工等）。
4. 如有漏水現象應即查明原因，立即採取緊急措施，一方面報農田水利會。
5. 地震豪雨後應即巡視堤防，如有沈陷或滑落現象即予修補。

二、蓄水池

1. 蓄水池應按其容量及降雨情形注意引蓄排放營運。
2. 蓄水池容易淤積，故其水位--蓄水量關係曲線應視情形時加調整。
3. 蓄水池容易滋生雜草應時常注意清除。
4. 蓄水池與他人立有租約或許可他人使用者，管理人員務必瞭解各埤池有關許可使用約定事項，確實配合管理，以免影響灌溉及維護或造成糾紛。
5. 豎立禁止警告牌「水利設施 危險地區 禁止靠近 以策安全」。
6. 豎立標示牌：標示「蓄水池名稱、管理單位名稱及電話、管理員姓名及連絡電話號碼」

三、給水閘門

蓄水池給水閘門通常為捲揚式，可按一般渠道有關閘門之管理維護方式辦理。

4.1.3 攔河堰（河川或排水路）

一、渠首工

1. 進水閘之啟閉操作應由專人負責。
2. 進水閘前設有攔污柵者應時常清除。
3. 渠首工設有抽水設備者，應依一般抽水機維護辦法予以維護。
4. 進水口護坡部分，應經常檢視有無龜裂或脫落現象。
5. 經常巡視上游流心變化是否危及攔河堰之安全。
6. 每次洪水後應檢視攔河堰是否受損，並予適切維護。

7. 豎立禁止警告牌「水利設施 危險地區 禁止靠近 以策安全」。
8. 豎立標示牌：標示「渠首工名稱、管理單位名稱及電話、管理員姓名及連絡電話號碼」。

二、導水路

1. 河川內之導水路通常有臨時攔水設施予以導水，其型式由農田水利會決定，工作站應妥加維護。
2. 每次洪水後應測量河川流心變化，並選定最佳導水方向施設臨時攔水堰，配合疏浚予以導流。

4.1.4 抽水設備

一、馬達及抽水機

1. 應配合灌溉需要，依規定步驟開動或停止抽水機，並維護電氣開關、馬達及抽水機等之正常操作運轉。
2. 依規定時間巡檢各抽水處（站）或水井，並經常保持各種設備之整潔。
3. 按規定觀測各項數據（如電壓、電流、電錶指數、水位、水量及出水情形等），並確實記錄於機電保養紀錄卡內。
4. 機電修繕情形應記錄於機電保養紀錄卡上。
5. 經常注意馬達、抽水機及附屬機器各轉動部分之潤滑工作。
6. 抽水機所用各種測試儀器及各種資料之紀錄需妥善保管。
7. 應強化操作人員對於抽水設備故障之初期研判與呈報，及簡易故障之處理。
8. 需保持與電力公司有關服務所之連繫。
9. 其他有關操作注意事項，檢查要點、檢修方法等應按規定之手冊辦理。
10. 嚴防抽水設備被竊，並注意用電安全。
11. 設置禁止警告牌非工作人員請勿進入，以策安全。

12. 豎立標示牌：標示「抽水機名稱、管理單位名稱及電話、管理員姓名及連絡電話號碼」

二、井體

1. 需定期執行水井水位、水量之測定及蒐集，以做為判定水井性能優劣、洗井、更新改善之參考。
2. 發現出水含砂實應即時處置，如利用製水閘控制抽水量已減低流速、儘量採長時間供水以減少開停頻度等方法，以防止惡化；同時應考慮洗井、補充井圈礫石等措施，必要時亦需施行井管套補工作。
3. 井圈礫石乃井體維護之重要工作，遇有礫石沈陷，應即時補充。
4. 地下水質之優劣除對所灌溉之作物有影響外，對於井體本身亦會產生腐蝕與積垢現象，腐蝕有消蝕井管及抽水設備之作用，積垢會阻滯水流，影響井體性能，故需定期取樣分析，並依結果採取適當對策。

4.2 輸水設施

4.2.1 渠道

一、導水路及幹支分渠

1. 通水前應全面疏浚。
2. 輸水時水位不得超過最高計畫水位。
3. 內面工及保護工如有龜裂或破損，應予修補。
4. 堤防雜草應予清除，斷面破損應予整修。
5. 懸浮雜物應隨時清除。
6. 堤防不得被侵耕、放牧。
7. 防止盜水行為。
8. 水路用地範圍非經許可不得任意使用。
9. 禁止傾倒垃圾。

10. 嚴禁污水排入。
11. 禁止游泳。
12. 禁止捕魚。
13. 發現穴漏、獸穴或人為破壞，應即修補或取締。

二、給水路

1. 給水路因分布於田間，易被農民侵耕，或任意挖開缺口引灌農田，為有效達到用地之管理及渠道堤防維護，應於小組會議或有關小組活動時，勸導農民共同維護不得侵耕或破壞。
2. 給水路因斷面甚狹，易於滋生雜草而發生阻流現象，應時加清除，唯應注意避免將斷面整修過大，以免過度縮小堤防斷面或影響輸水功能。
3. 給水路維護管理依規定係屬水利小組業務，應時常指導水利小組妥予維護管理，並考核其執行成果。

三、放水路

各幹支分渠為排放過量之水，或在渠道發生緊急狀況須將上游之水量予以排放以免發生災害，通常均應透過放水路與排水系統相銜接。

4.2.2 輸水設備

一、渠道內外面工

1. 內面工背後填料應密實堅固，以免因自重及水壓作用而發生龜裂或塌壞現象；如有流失時，應即填補。
2. 內面工龜裂應予填補，最簡易方法係以水泥砂漿灌注，如用防滲素等材料填補時，其接著面應清除乾淨，並俟其完全乾燥後再行施工以確保其黏著力。
3. 內面工填縫材料（常見者為瀝青砂漿）容易脫落，應定期檢查補填，如長出雜草者，應先將雜草連根清除後再行填塞。
4. 外面工如有龜裂或脫落應即予修補。

5. 外面工背後填料如有流失現象應即填補。

6. 外面工基礎如有冲刷或沈陷應即改善。

二、隧道

1. 每次斷水後應檢視周圍有無龜裂、變形、湧水及沖蝕現象。

2. 每次地震過後，宜斷水檢查。

三、渡槽

1. 渡槽應經常檢查，如發現沈陷、龜裂、漏水實應即報請農田水利會處理。

2. 渡槽橋墩或橋台基礎如有被水沖露現象，應在基礎附近加設拋石或蛇籠等保固設施。

3. 出入口漸變段較為脆弱應時常巡視檢視。

4. 渡槽鋼架應定期油漆，其除銹過程應特別注意。

四、倒虹吸

1. 通水前及通水初期渠道雜物最多，應經常派人清除入口處之漂浮物。

2. 發現漏水時，應即報農田水利會處理，必要時並豎立警告標誌。

3. 倒虹吸成暴露時，應即予保固改善。

五、涵洞與暗渠

1. 出入口浮渣物及淤積物應時常清除，以免阻礙水流。

2. 發現沈陷時，應即報農田水利會處理。

六、跌水工與陡槽

1. 跌水工

(1) 斷水時應檢查其有無被沖蝕、淘空等現象。

(2) 通水中應檢查有無管湧現象。

2. 陡 槽

- (1) 進口設有控制閘門者，應由專人負責，並須經常予以維護，以免機能受損。
- (2) 土工部分應時常檢視，如有淘空、沖蝕、獸穴時應即處理。
- (3) 發現龜裂應即修補，其底部基礎如有淘空及打孔灌漿。

七、沈砂池

1. 沈砂池之維護管理，主要在於如何適時將淤砂清除，其清除方式有兩種，一為水沖式，一為疏浚式。
2. 水沖式沈砂池為淤積達到某種程度時，可利用開啟排砂門並集中水流予以沖除者，其清除速度與淤積砂石之粒徑、數量及流量大小有關。除沈砂池設計時已有資料可供參考者外，營運人員應憑經驗加以調整，使耗用之水量及時間為最經濟。
3. 沈砂池進水量低於排砂所需流量時，切勿排砂以免浪費水源。
4. 疏浚式沈砂池應於淤積砂石達到規定程度時，即予疏浚。

4.2.3 管路系統設施

一、管路設施

1. 應貯備各種器材、工具及人力，以備隨時修理之需。
2. 應實施定期及不定期檢修。
3. 管路如果通水不暢時，應予清管或抽換。
4. 接頭（伸縮接頭或固定接頭）鬆脫、漏水時，應予打緊固定或修復。
5. 制水閘漏水時需檢查開關閘桿之防水填料是否磨損，如有磨損應更換防水填料，如其他零件磨損，應視損壞部位及決定更換零件或全部換新。
6. 管路檢修後，周圍如有積水或污泥，應予清除並以砂回填，以免基礎鬆軟，致管路接頭鬆動。
7. 管路所有開關位置應設標誌，以防因修路或車輛輾壓而受損。

8. 管路停水前應先檢查制水閘、排氣閘、放水閘之性能。
9. 制水閘之操作，應避免急速啟閉，以免發生水錘現象。

4.3 配水設施

4.3.1 量水設備

1. 量水設備內應隨時清除雜物，以保持正常之量水狀態。
2. 經常檢查水尺位置，維持在固定地點避免移動，以免影響量水之精確度。
3. 保持水尺刻度清晰。

4.3.2 分水設備

1. 各分水設備在通水前應全面檢修，通水期間應嚴防破壞。
2. 應隨時清除浮游物及淤積泥砂等，以維持分水效能。

4.3.3 調節設備

一、制水閘

1. 閘門各種主要零件應時常油漆，閘板損毀時應即更換，並嚴防螺桿及鎖頭遭受人為破壞。
2. 插板應妥予管理，以免被盜，如有毀損應即補充，閘板槽如毀損，亦應修復。非灌溉時期，應作防腐等保養處理，必要時收回妥為保管。
3. 平頂堰應妥為管理，以免遭受破壞。

二、放水門

1. 閘門式放水門應經常維護保養，以利靈活啟閉；虹吸式放水設施應注意吸入口、喉口及通氣孔有無堵塞現象。
2. 放水前應瞭解下游水路通水機能，放水應由小而大，並酌作間斷式啟閉，以警告下游地區採取必要安全措施。

4.3.4 管路附屬設施

一、首部位置設備

1. 底閘：應防止雜物進入抽水機內。
2. 制水閘：輸水之初應微開，以利抽水機啟動；在管線壓力許可下，抽水機啟動後，首部制水閘應予全開，以減少因水沖擊而損壞閘閥。
3. 排氣閘：裝置浮球之排水閘漏水或不靈時，應即檢查浮球是否附著污物或排氣孔堵塞。
4. 逆止閘：一般設於抽水機出水管，防止抽水機停止時之逆流。
5. 減壓閘：此閘如失靈時應更新，以確保管線之安全。
6. 安全閘：其開啟應謹慎，不可用力過猛或過急，以免扭斷轉軸。
7. 壓力表：如使用太久失靈而指針不動時則需更換。
8. 壓力槽：如有漏水現象，則將失去調度功能，故需經常檢查，如發現漏水應補銲加強之。如空氣壓縮機不能維持原設計壓力時應即送修。
9. 壓力水塔（豎槽）：如使用年久老化，則應更新。
10. 水表：如水表失靈應拆下分解整修或更新。
11. 調整池：其管理維護除參照蓄水池維護管理外，並應注意苔草、貝殼類之清除，以免進入管中而阻塞管路。

二、中段附屬設備

1. 分水座：如發現漏水時應予檢修。
2. 中間制水閘：其維護管理與一般閘類相同。
3. 支分線分水角閘：其維護管理與一般閘類相同。
4. 給水栓：因其閘門心軸容易磨損，如發現漏水時應即更換。
5. 排水閘或尾閘：管路應視實際需要，作定期或不定期沖洗，其方法應分段實施，即由上向下分段開啟排水閘清洗之，起初速度應緩慢，等濁水放完後關上，反覆進行至全部洗清為止。

三、末端設備

1. 噴水器具：主要工作在防止阻塞，阻塞時可用細鐵絲加以清除，如噴嘴與提升管之接合處漏水，或提升管與支線之接頭漏水時，則應以止洩帶紮緊阻漏，提升管最好以支架加以固定。
2. 滴水管：如有雜物阻塞，應以鐵絲清除之。

4.4 排水工程

4.4.1 排水定義

排水與灌溉原為農田水利不可分割之一整體，由於排水標的不同，水利法施行細則第六條加以分類：即農田排水、市區排水、工礦排水、區域排水等四項，涵蓋範圍都有明確界定，惟農田排水與區域排水之間每易混淆，為此應特別加以闡釋，所謂農田排水即以人為方法排除田面積水或農田土壤中所滯留過多之水量，換言之，就是排除田埂內態靜之水量，這些水的來源係灌溉剩餘或水源渠道等滲透而來，至於因降雨過多超出田埂高度而地面流動之水，則屬區域排水，在灌溉管理上所謂排水者，應泛指農田排水及區域排水而言。

一、排水設施應注意事項

1. 排水系統建造物及各級水路應分類統一編號，並於用地範圍內豎立木椿或號誌以劃分管理區，指定專人管理。
2. 經常派員巡視，遇有颱風、豪雨、地震及其他緊急事故時，應隨時作適當之防備；各重要閘門應派人守護，其啟閉操作應按規定切實執行；如有災變，巡視人員應迅予處理，並報請農田水利會採取緊急措施。
3. 各級排水路及附屬構造物之基礎、暗渠、流入工、跌水工，每年應疏浚、修補及填護。堤岸每年應加培修，並於堤外種植草皮、閘門及附屬零件應予必要之保養、修理或更新。
4. 排水路或建造物呈現異狀，應即報請農田水利會緊急處理。
5. 堤身坍塌，應迅予處理；發現鑽穴動物，應予驅除並填塞洞穴。
6. 廢污水排入排水系統時，應先取得管理機關之同意。
7. 巡視人員發現違反排水維護管理事件應適時勸導或取締，必要時得

會同當地警察機關取締；涉及刑責者，報請農田水利會移送司法機關處理。

二、排水設施應禁止下列事項：

1. 擅在排水界線內建築建造物或掘井、挖溝、種植、養殖、採收水產物、採取土石、放牧、飼養牲畜。
2. 擅在排水路上加蓋建造物或在兩側鏟草砍伐竹木。
3. 擅自移改或毀壞排水路之建造物。
4. 擅自填塞排水路或任意排注、引水、取水。
5. 擅自在排水界線內堆積物品及棄置廢棄物，或行駛車輛。
6. 擅自啟閉閘門，擅動機械及破壞水門或管制設備。
7. 其他足以損壞排水設施之行為。

4.4.2 排水主要附屬設備

一、流入工及流末工

1. 匯流段如受水流沖刷時，應利用拋石或其他方式加以保護。
2. 保護工前後土方如有崩蝕，應即予處理。

二、護岸工

1. 排水路內之護岸工，通常有拋石，串磚、竹柵、植草及蛇籠等。
2. 護岸工基礎有沈陷、破壞或沖刷掏空現象時應即改善。
3. 護岸工背後填料如有塌陷或流失應即填補。
4. 植草護坡應妥為培植，並鏟除雜草。

三、閘門維護管理辦法

閘門維護管理在排水工程維護管理上佔非常重要之一環，尤其在颱風豪雨期，閘門管理之良窳，關係人民生命財產之安全，因此宜訂定較詳細之辦法，予以規範，如附件 4-1。

四、機械維修審查要點（附件 4-2）

農田水利會閘門管理維護辦法

壹、總則

閘門包括防潮、排水與制水之閘門，因此依其分類閘門具有儲水、排洪等調節水量及防止海水浸入，並於豪雨成災時可改善排效能，減少淹水之面積及時間，俾確保糧食生產，安定人民生活，另外自動摺型閘門除上述功能外，兼可維護魚類之自然生態。因此訂定本辦法供管理維護之依據。

貳、管理

一、閘門一般管理：

- (一)閘門於建造完成後應將閘門興建原因、年代、工程名稱、內容及經費籌措方式、養護記錄等事項建立基本資料陳列於管理房內，並於閘門改建或修繕時確實記錄，保持資料之新鮮完整，並由管理機關（○○農田水利會）負責管理。
- (二)閘門應遴聘品德端正，服務熱忱之人員專責管理，隨時注意閘門四周環境清潔，並於閘門上、下游設置警示牌，禁止於閘門上、下游十公尺內捕魚、游泳、泛舟、停放漁船等，並為維護河川水質、環境衛生、期使防潮排水順暢及有效制水，更需禁止居民垃圾等雜物倒入河流，違者應報請主管機關依法處理。門扇數甚多，且均設置有手動與自動操作之功能，為落實閘門運作，應明顯標示各水門扇之編號，並於配電盤之編號相互配合，避免錯誤之操
- (三)閘門既具防潮、排水及制水功能，開啟頻率較高，閘門底下最容易因雜物、石頭阻礙，致閘門無法密閉，造成災害，因此發現閘門受阻礙時，應於確定無安全顧慮時，迅速派員清除，以利閘門運作。
- (四)閘門除自動摺型閘門外，其他無論電動抑或油壓水門，其水作、損害機件及浪費能源。
- (五)平常未開啟閘門時，應將操作閘門用之動力電源妥善關閉，管理房外之現場操作開關及配電盤應予以上鎖，避免人蓄碰觸發生意外，另管理房絕對禁止閒雜人員進入，因其外設備精密昂貴，修護不易，管理員更須注意清潔維護，並為安全起見管理房有窗口應加裝鐵窗，閘門運作期間，管理員不得擅離崗位，於停止運轉

時，大門應妥為上鎖，其鑰匙除管理員保管外，亦須複製一組交管理機關保管備用，如此由管理員負責實際管理工作，由管理機關負責督導，方能落實閘門管理工作。

- (六)閘門旁之堤防應實施水土保持，並定期檢查、整修，如有損壞時，應即修復，否則構造物將有遭受沖毀之虞。
- (七)地震、豪雨後應立即巡視堤防及土木部份，如有沉陷或滑落及漏水現象應即查明原因，立刻採取緊急措施，適切處理。
- (八)閘門之土木部份易為風雨腐蝕，形成鋼筋暴露現象應注意並隨時修補。
- (九)閘門由管理員專職駐守，負責閘門開啟、關閉及環境維護外，工作站管區人員須經常巡視（每週至少三次），並與管理員密切連繫，管理房並設置公務用電話，如遇颱風、豪雨及其他突發事件時，管理員應迅速作適當之措施，並報請管理機關採取緊急因應措施，防止災害發生於未然及避免國家賠償事件之發生。
- (十)管理機關及管理員應利用各種機會加強宣傳閘門之維護管理並設置有關禁示牌，提高人民對閘門之共識。

二、閘門之開啟、關閉之時機：

(一)自動摺型閘門之操作：(即操作規則)

其操作開啟及關閉時間依潮位漲退時間水位差達 30 公分以上時自動操作(即漲潮時自動關閉，退潮時自動開啟)其潮位表如下：

農曆		最低潮	最高潮
1.	16.	12:30	6:30
2.	17.	1:18	7:18
3.	18.	7:06	8:06
4.	19.	7:54	8:54
5.	20.	3:42	9:42
6.	21.	4:30	10:30
7.	22.	5:18	11:18
8.	23.	6:06	12:06
9.	24.	6:54	12:54
10.	25.	7:42	1:42
11.	26.	8:30	2:30
12.	27.	9:18	3:18
13.	28.	10:06	4:06
14.	29.	10:54	4:54
15.	30.	11:42	5:42

(二)人控閘門之操作(包括捲揚式電動閘門、油壓閘門、輥輪式閘門。)

- 1.每次颱風、豪雨過後及上游排水量甚大時，為縮短積水時間及減少淹水面積時，開啟所有人控閘門。
- 2.布袋草、污穢物淤積閘門前，造成排水困難，影響環境衛生開啟。
- 3.平常為維護機件正常運作，規定每星期至少二次以上選擇退潮期間，並於閘門內外水位差達 10 公分以上時開啟。
- 4.開啟後，每遇漲潮時，為防止鹽水災害及海水倒灌，則立即關閉。
- 5.其他有關單位人員參觀、示範觀摩及漁船出入需要，以不影響防潮排水或制水功能之原則開啟或關閉。
- 6.閘門於每次操作時間均應作成記錄，操作前應先行觀察閘門四周有無危及安全事故，應先行以口頭警告後，方得以操作。

三、養殖漁民為取放水需要，常擅自開啟或使閘門不能自動啟閉，應嚴予制止；洪水期應經常巡視，如有雜物應予清除。

四、豎立禁止警告牌「水利設施 危險地區 禁止靠近 以策安全」。

五、豎立標示牌：標示「閘門名稱、管理單位名稱及電話、管理員姓名及連絡電話號碼」

六、緊急事故處理：

(一)閘門管理單位應於每年一月完成與合格機械廠商議價簽約，於颱風豪雨期間，水利會派員會同駐廠待命戒備，並應備妥搶修車輛，機械器材，技術人員，以因應閘門緊急事故搶修。

(二)在颱風豪雨期間，工作站應通知閘門管理員應進駐管理房駐守適時操作啟閉門扇，確實掌控閘門之最佳功能。

參、操作

一、自動摺型閘門：

自動摺型閘門之門扇經二側連桿以下軸承座為中心，平衡機構架呈摺型以上軸承為重心，配重置於上部，以應潮水漲退情形，當水位差達 30 公分以上時自動開關，並另設手動捲揚設備，可於洪水期間將閘門全部開啟，以利排洪。

二、捲揚式電動閘門：

此類閘門係以馬達帶動閘門之開關，操作前應先檢視各配電線路是否牢固後，檢驗電源是否正常，然後決定於現場或遙控操作，按下按鈕開關即可，因其設計時均設有上、下限開關，因此閘門於到達極限時，即碰觸極限開關，使電磁開關失磁，切斷電源使馬達停止運轉，唯閘門均設於室外，受風雨侵蝕嚴重，極限開關容易蝕損壞，因而操作中應特別注意，如於閘門達極限仍未關閉電源時，管理員應迅速予以切斷電源，並於故障時通知水利會工作站聯絡技術人員檢修，以免馬達因超載燒毀。

三、捲揚式油壓閘門：

油壓閘門乃利用油壓泵浦將電動機的機械能變為流體能量（壓力能），以油壓油為媒介，經由控制閥依特定之目的調整其壓力、流量及方向，再適當的轉換為機械能而驅動水門之昇降。

（一）操作前注意事項：

- 1.檢查閘門及油壓筒支承座等是否潤滑足夠，如不夠時應先行潤滑後再行運作，以維閘門壽命。
- 2.檢視油壓構造及管路有否鬆脫現象，汽油引擎燃機油有否添注。
- 3.檢視電氣控制箱內是否有雜物，並注意操作前所有開關停放於關閉位置。

（二）開啟閘門：送電後，馬達運轉帶動油泵，將液壓油從油箱經止回閥打入油管經個別壓力開關及放洩閥所設定之壓力值，由電磁切換選擇開啟油路，將油壓輸入油壓唧筒上端，使油壓缸內之活塞下移，同時液壓油將響導式止回閥頂開，將油流回油箱。

（三）關閉閘門：送電後，按下馬達運轉按鈕，馬達運轉帶動油泵，將液壓油從油箱經共同一組放洩及壓力開關所設定的壓力油，由電磁切換選擇上升油路，將液壓油經油壓唧筒式底部使油壓缸內之活塞上移，同時回油將響導式上回閥頂開，將油壓缸另一端之液壓油洩回箱內。

四、輥輪式閘門：

（一）發電機之操作：

1.發電機使用前應謹慎檢查輸出用電接線，並檢查各出口塞子，管路開關及有關使用的塞頭，螺釘是否按裝正確良好後，打開所有通風窗口，提高機組效率。

2.引擎開車步驟：

(1)目為視檢查全機電瓶線是否牢固，所有開關均置於「OFF」位置，並先行清除易為風扇吸進之雜物，塑膠袋及易燃物等。

(2)電瓶接妥，水、機油、燃油加足，負載接妥。

(3)引擎起動正常運轉時，運轉燈明亮表示正常，如引擎於 15～20 秒內無法起動運轉，則盤車自動停止，引擎停車，警告燈亮，此時應檢查逾時不能起動原因後，再行起動。

(4)按啟動按鈕讓引擎啟動，注意引擎轉速需達約 1800r.p.m 後打開調壓器，視週率表之指示值可再調引擎轉速之週率表指示值。

(5)調整調壓電阻至電壓表指示額定電壓值 200 伏特後，無熔絲開關往上「on」負載輸出，指示燈亮，電流輸出。

3.停車步驟：

(1)將無熔絲開關往下「OFF」先行切離負載，若未先行作此步驟將使調壓器容易損壞。

(2)再將電壓調節器開關放於「OFF」位置，按下停車按鈕，引擎熄火。

(3)如不使用時，應將電瓶線拆除，並使電瓶充分充電。

(二)開門之操作：

1.操作前之準備工作：

(1)檢視開門是否位於正常位置，各減速機齒輪油是否足夠。

(2)檢視開門能否靈活轉動，側式水封是否有雜物阻礙，鋼索是否有鬆動脫落及斷裂現象，鋼索調整是否正常。

(3)檢視現場控制箱及屋內遙控箱線路有否鬆落現象及電流表，電壓表顯示是否符合規定，如電壓超過 240 伏特，電

流超過 25 安培時，請檢修後再行操作。

- (4)檢視各部需加注黃油部份是否有適當潤滑，手動離合器及捲揚機座等是否需加注黃油。

2.操作方法：

- (1)運轉發電機送入交流三相 220 伏特電流，此時電壓表應顯示 220 伏特，手動離合器撥桿往後和馬達軸接合。
- (2)按下開啟按鈕，則電磁制動器放鬆，馬達轉動，而電流表外表示馬達之負荷。
- (3)當閘門開啟至所設定之高度時，輸出凸輪即抵住上限極限開關，閘門停止上升，若設定上限極限開關失效時，運轉過度則「過度開啟」指示燈亮。
- (4)欲使閘門提升或降至任何位置時，僅需按停止按鈕，電源切斷後，馬達即停止運轉。
- (5)啟動關閉按鈕，經電磁開關，馬達反轉，閘門下降，當其在完全關閉位置時，其輸出凸緣抵往設定全閉之下限極限開關，此時「全閉」指示燈亮，當鋼索鬆脫時，鬆纜極限開關產生作用，馬達停止運轉，「鬆纜」指示燈亮，若馬達超載時，過載電驛動作，切斷馬達電源，「超載」指示燈亮。
- (6)現場或遙控操作之決定，只要選定按鈕選擇開關位置即可。

肆、維 護

一、自動摺型閘門之維護：

- (一)閘門以手動操作時，應於退潮時方可進行，並以人工方式將上、下游游積雜物清除。
- (二)鋼索：鋼索之壽命決定於鋼蕊線上之磨損及腐蝕，如鋼索外圈磨損達總數之二分之一或過多的腐蝕時，應更換鋼索，唯鋼索較不易損壞，且不易以目視觀察，因此每年應聘專門技術人員檢查一次，如更換時，應特別留意避免鋼索扭結而減少其強度，換妥後應調整閘門兩側之拉力，使其相等，防止閘門傾斜。
- (三)發現油漆脫落：生銹處即應行補漆，避免銹蝕之蔓延至於使用油漆之廠牌，則以品質符合國家正宗標記為原則。

- (四)閘門之土木部份背後填料應夯實堅固，以免因自身重量及水壓作用而發生龜裂或塌壞現象，如有流失時，應即填補。
- (五)土木部份龜裂最簡易方法係以水泥砂漿灌注，如用防漏素材補填時，其接著面應清除乾淨，並俟完全乾燥後再行施工以確保其粘著力。
- (六)堤岸之透水孔作用發生不良時，應注意堤防之安全並經常巡視之。
- (七)閘門之開啟應注意流水之衝擊力，一般情況下，以先開啟中央之閘門為宜，避免因流水衝力之衝擊致水泥護底損壞，影響閘門之功能。
- (八)捲揚式電動閘門、油壓式閘門及輥輪式閘門其土木部份維護保養方法與本自動摺型閘門維護之(四)、(五)、(六)、(七)點同。

二、捲揚式電動閘門之維護：

- (一)電動機及運轉機械因長年暴露室外，海風雨水侵蝕最為頻繁，損壞較為嚴重，應經常巡防養護，發現損壞，則立即修繕，如油漆脫落時，除銹上漆外，並視經費狀況儘可能逐項改換不銹鋼器材，以延長機件使用年限。
- (二)電氣設備部份須保持各種電磁接觸器及馬達之乾燥，防止潮濕以致絕緣不良，並應防漏電，產生電擊之危險，故凡需暴露室外之電器設備（例如電線、開關馬達等）均需加裝保護裝置，避免電器直接遭受打擊。
- (三)機械摩擦為影響閘門壽命之重大因素，因此需定期實施潤滑保養，原則上以每星期乙次，但得視操作頻率而增加潤滑次數，確保各機械之靈活運動；該電動閘門升降桿之潤滑以黃油為主。
- (四)運轉中如發現馬達溫度過高或電流指示急遽上升，強烈震動、噪音等現象時，請立即停止操作，檢查是否有雜物阻礙閘門之升降或其他故障，無法排除障礙時，應通知水利會派員勘查檢修。

三、捲揚式油壓閘門之維護：

- (一)期使油壓裝置達到最經濟、最有效的目的，液壓油之選擇極為重要，宜蘭縣內油壓水門系採用中國石油公司 R-28 循環機油為宜。
- (二)捲揚式閘門其動力部份，除電動油壓馬達以外，當備有汽油引擎

作為停電時之供需，使用汽油引擎應注意引擎機油是否於油尺刻劃以內，油箱油料是否足夠，火星塞是否旋緊及電發火頭有否接上，啟動繩索有否鬆脫之現象等。

(三)運轉時應檢視電壓表及電流表顯示之讀數，如電壓不正常可能為內部有漏電現象或電表故障，如電流表指示過大，即表示負載過大，應即找出原因再行運轉，如操作按鈕而無作用時，檢查壓力開關設定值是否太低及電磁接觸器是否接觸不良。

(四)在裝機開車後六個月內，應注意其運轉狀況，在這段期間內應把握其運轉狀況的檢查，例如機件的保養，螺絲有否鬆動，油溫是否有不正常的上昇，油壓油是否很快污染劣化，並檢查使用條件是否符合規定及周遭環境等。

(五)注意機件內部銹蝕的情況：儲油箱、配管、各種閥門內的銹片脫落，致使閥門動作不良，也是造成濾網阻塞的主要原因，所以銹蝕情形的檢查應特別注意。

(六)注意整個設備漏油的情形，從因磨損而變形的填料處和鬆動的螺絲，很容易發漏油的情，保管人員應特別注意此點，尤其在承受往復荷重附近的螺絲，更需定期核檢。

四、輥輪式閥門之維護：

(一)發動機之維護：

1.使用前的一般保養：

(1)加冷卻水：引擎水箱以不含礦物質的軟水為佳，如自來水。

(2)加潤滑油：又稱為機油。一般引擎均可適用 SAE#30 機油，本處所提發電機組應引用中油公司較佳的超重級機油，夏天使用 30#，冬天則使用 40#機油，加油時一定要加至油標尺「FULL」的位置，且每半年檢查一次。

(3)加足燃油：本柴油發電機燃油規格為 2 號輕柴油，油箱加至適當高度，並放泵燃油至管路每一部份，管路內不得留有空氣，否則不能發動，必須洩放空氣。

(4)經常保持全機清潔，引擎表面散熱片切忌髒污，以利通風、散熱；發電機繞組小心油污、受潮，以免電機絕緣不良。操作時打開所有通風窗口，注意廢氣之排除，保持良好的通風，可提高機組的效率。

(5)保持風扇皮帶適當緊度、鬆弛的皮帶會容易滑動和迅速磨損，如過份扣緊，會損壞水泵浦或充電發機之軸承。

2.蓄電池之保養維護：

(1)電池端頭與電線接觸部份應保持良好接觸，電池裝置應完全固定，不可讓其鬆動，且不可重擊樁頭部位及電池外殼。

(2)電池不使用時，每星期應行補充電一次，並時常檢查電解液面，絕對不能失水，如液面降低時，應補充蒸餾水。

(3)電池充電時，嚴禁接近火花，並應以 5A 以下長時間電流充電。

3.油箱之維護保養：

(1)油箱蓋須確實蓋好，避免燃油暴露空氣中，因燃油全吸收空氣中之水份及塵埃。

(2)每次使用後，應將油箱加油至八分滿，如此可防止水氣凝聚於油箱內壁，而使水份滲入油中，但不可加滿，應預留空間使熱漲冷縮裕如。

(3)嚴禁將火種置於油箱附近，以免發生危險，且每六個月應油箱清洗乙次，以清除沉澱物。

(二)閘門之保養維護：

1.潤滑：經檢查後若污染達 5 % 或水份含量達 1 % 以上，即不可使用，應更新，檢查期限為每半年一次，檢查範圍應包括齒輪軸、鏈條、蝸輪減速機鋼索等。

2.鋼索：其保養方法如自動摺型閘門鋼索之保養。

3.油漆：發現油漆脫落、生鏽時即行補漆，避免銹蝕繼續加重。

4.電氣部份之養護如捲揚或電動閘門及油壓閘門之維護。

五、閘門檢查維護時應於每次檢查維護記錄並建檔管理。

伍、總結

閘門既肩負儲水、排、洪功能，為人民生命財產之屏障，唯有負責盡職之管理員本著犧牲奉獻、服務、負責之精神，落實本管理辦法，方能有效正確的操作閘門，確保人民生命財產之安全。

農田水利會機械維修審查要點

- 一、農田水利會機械（水門、抽水機、發動機或其他機械）維修，除法令及本會工程設施維護辦理要點另有規定外，悉依本要點規定辦理。
- 二、水利會各工作站對機械維修應依左列規定確實辦理：
 - 1.金額未達壹萬元者（授權站長逕行辦理），相關零組件換修及操作狀況，有關管區人員務必全盤了解並列冊備檢；站長需確實掌握狀況並全權負責。
 - 2.金額在壹萬元以上者，務必依本會工程設施維護辦理要點第九條規定事先請核或議價手續完妥後方得施工，不得化整為零或施工後請核。
- 三、本會應就各工作站機械維修金額在壹萬元以上者嚴加審核，必要時採不定期實施抽檢；由管理組派員會同輔導室查核簽報。
- 四、本要點提水利會主管會報議決通過，報請會長核定後實施之，修改時亦同。

中英名詞對照表

水利小組, Irrigation group, 5-13, 5-18, 5-20, 5-22, 5-25, 5-54
水庫, Reservoir, 5-3, 5-19, 5-49
水源設施, Water source facility, 5-1, 5-2, 5-3
可動堰, Gated weir, 5-4
地表灌溉, Surface irrigation, 5-4
池堤, Pond levee, 5-4, 5-50, 5-51
吸收, Absorption, 5-69
沉砂池, Settling basin, 5-4, 5-5
防洪閘, Flood sluice gate, 5-4
防潮閘, Tide barrier and drainage gate, 5-6
供水, Water Supply, 5-3, 5-5, 5-26, 5-53
制水閘, Check regulator, 5-5, 5-6, 5-40, 5-56, 5-57, 5-58
固定堰, Fixed weir, 5-4
放水路, Wasteway, 5-4, 5-5, 5-54
洩漏, Leakage, 5-6, 5-7, 5-26, 5-32
倒虹吸, Inverted siphon, 5-5, 5-40, 5-55
配水計畫, Water distribution Schedule, 5-9
配水設施, Water distribution facility, 5-1, 5-2, 5-3
陡槽, Chute, 5-5, 5-36, 5-55
區域排水, Regional drainage, 5-5, 5-59
排水設施, Drainage facility, 5-1, 5-2, 5-3, 5-11, 5-59, 5-60
排砂閘, Sand sluice gate, 5-4, 5-49
涵洞, Culvert, 5-5, 5-40, 5-55
魚道, Fishway, 5-4
渡槽, Flume, 5-2, 5-4, 5-40, 5-55
渠首工, Headworks, 5-2, 5-4, 5-51, 5-52
給水路, Farm ditch, 5-2, 5-4, 5-12, 5-13, 5-18, 5-25, 5-54
跌水工, Drop, 5-5, 5-36, 5-38, 5-40, 5-55, 5-59
進水口, Intake, 5-3, 5-41, 5-49, 5-51
進水閘, Intake gate, 5-4, 5-12, 5-51

暗渠, Conduit, 5-2, 5-5, 5-12, 5-55, 5-59
溢洪道, Spillway, 5-2, 5-3, 5-50
溢流, Overflow, 5-6, 5-9, 5-10, 5-11, 5-33, 5-41
農田排水, Field drainage, 5-5, 5-11, 5-59
蓄水池, Pond, 5-3, 5-4, 5-51, 5-58
輸水系統, Water conveyance system, 5-16
輸水設施, Conveyance facility, 5-1, 5-2, 5-3
隧道, Tunnel, 5-2, 5-4, 5-12, 5-40, 5-55
攔河堰, weir, 5-3, 5-4, 5-22, 5-51
灌溉方法, Irrigation methods, 5-13
灌溉計畫, Irrigation Schedule (Irrigation Project), 5-16, 5-17
灌溉排水, Irrigation and Drainage, 5-1, 5-6, 5-18, 5-20
壩, Dam, 5-3, 5-50

第六篇

地理資訊系統與遙測於灌排管理之應用

第一章 概述

二十一世紀是資訊掌控的時代，各種現代化科技提供了新方法，解決了以往需要長時間、眾多人力或大量金錢才能解決的問題。灌溉排水結合了農業科技與工程技術，自然不能自外於現代化科技的衝擊，其中最重要的資料擷取、整理工具即是地理資訊系統、遙感探測與衛星定位系統。農田水利業務涵蓋廣大面積之空間資料與經常更新的作物、灌溉資料，利用遙感探測和衛星定位系統提供之即時性作物種類、生長情況等，再透過地理資訊系統之空間管理、分析及展示功能，將可有效幫助灌溉排水業務之績效。

一、地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）

所謂地理資訊系統乃是結合各種具有空間分佈特性之地理資料庫，如交通、人文、土地利用、土壤、雨量、地質、地形及水資源等，經由處理及分析後，可供資源規劃、生態保育、區位勘選等，並進而提供準確之評估，以供決策分析。政府為全面提升空間決策品質與行政效率，明定推動國土資訊系統，實質內容為國土資訊系統是一個以共同座標系統為套合基準，可結合全國各種具有空間特性資料的地理資訊系統架構，現正由內政部資訊中心統籌推動有關工作，並將水利事業相關業務劃分到自然環境及生態保育資訊系統中，以期得到一完整之農業體系資訊系統。

傳統之灌溉排水管理多以人工方式作業，紀錄資料之更新與訊息的掌握常無法跟上田間實際情況。田間丘塊、灌溉渠道與各種水工設施數量，也常因資料量龐大而使管理人員無法精確的統計。灌溉排水之規劃與管理，需要先收集各種正確的數據資料，再經過分析處理才能產生正確之成果，因此當資料無法反映實際狀況時，此種管理必將產生許多困擾，因此必朝向更科學化之方向邁進，而地理資訊系統之應用便是解決此一方法之利器。

二、遙感探測（Remote Sensing, RS）

登高望遠一向是人類瞭解周遭環境的慣用方法，古人有言「欲窮千里目，更上一層樓」或「登泰山而小天下」，在高樓上俯望城市，原本零散的地標，錯綜複雜的街道，開始呈現出它的結構，在高山上展望四野，河流的動態與山脈的走向一目了然。登高而望遠是遙感探測的起源，而遙感探測則是現代科技對遙測的展現。

遙感探測是利用航空載具攜帶感測儀器，從空中收集地表上各種光譜資料，加以處理分析、解釋，以了解地面目標物之特性的技術，簡稱遙測。過去，遙測的技術經常因為戰爭的需要而得到進展，今天，遙測已經是我們每日生活的一部份。氣象報播報員利用天氣雲圖解說未來的天氣；新聞記者在

直昇機上拍攝洪水、地震災區現場的狀況，測量人員利用航空相片來製作地圖，環境學者依賴遙測來蒐集環境資訊，農業人員判識遙測影像來監測作物生長的狀況等，均是遙測利用於日常生活之實例。由於遙測技術能夠在最內短的時間，蒐集大範圍的資料，已經成為我們瞭解周遭大地之有效工具。

三、衛星定位系統 (Global Positioning System, GPS)

衛星定位系統原本是為美國空軍在軍事上之定位、戰機導航、飛彈遙控等目的而發展出來的全球性空間定位系統，後經國防部接管並擴大計畫使其應用於民間定位測量，並於近年來逐漸轉為商業用途。透過衛星定位系統，不論使用者是在陸地、海面或是空中，都可以精確測量出所在的位置。於農業應用上，衛星定位系統結合農業機具可進行自動化噴灑農藥、施肥及收穫等工作。衛星定位系統也促成了資料生產的方式。例如，將定位系統裝置在車上，沿著街道開一遍，立刻可以得到最新的街道圖。定位系統如果加上各種感測器，更可以快速的生產各種資料。

四、資訊系統之整合

地理資訊系統為一空間資訊管理工具，遙感探測和衛星定位系統是空間資訊有效且快速的提供者，三者之結合是目前邁向農業現代化及推展精準農業 (Precision Agriculture) 之最佳方法。用遙感探測和衛星定位系統蒐集資料不但迅速、位置正確，並且是數值化的形態，可以直接被地理資訊系統使用。地理資訊系統更可以整合這些新方法所獲取的資料，使資料的價值能夠充分的發揮。以水土保持工作為例：由衛星所得影像可以知道甚麼地方在開發。疊合上土壤、坡度等資料，就可以判斷那些地方有不當開發的狀況。再配合地籍資料就可以知道誰的土地有不當開發的行為。地理資訊數值化之另一項長處為資料的交換、傳遞變得非常容易，例如平時以大量紙張登錄之資料、紀錄，可以收藏於一張光碟片中，更可以透過電腦網路，查詢或使用遠處電腦中儲存的資料。在農田水利業務中，每月之灌溉水量、水質檢驗報告等資料透過電腦網路的連線，傳至管理單位。同樣的方式，遠方的管理單位亦可以透過網路，使用地理資訊系統，查到田間最新的作物種植面積、生長情形等地理資料庫中的資料。

近年來農田水利業務成功地使用地理資訊系統、遙感探測與衛星定位系統之例子不斷增加，農田水利不再僅是看天掌水，現代化的監控與管理方法將使農田水利業務更能確實達到水與土地物盡其用之目的。

第二章 灌溉管理地理資訊系統

2.1 什麼是地理資訊系統

地理資訊系統 (GIS) 可以簡單定義為具有整合空間資訊及協助解決真實世界問題的決策支援系統。它的主要目的是透過疊圖及空間分析功能，將原始地理資料轉變為可支援空間決策的資訊。GIS 在設計上是用來有效擷取、儲存、更新、處理、分析、及展示各種形式地理資訊的系統，包括電腦硬軟體、地理資料庫、及操作維護人員。地理資訊系統為一有效處理圖形資料與文字數字資料之資訊系統，其最大優點在於其具備整合各類不同空間資料的能力。因此 GIS 在功能方面一般將具有輸入、管理、分析應用及展示之特性，茲將其特性簡述如下：

(一)輸入：地籍圖之數化、屬性資料之建立等工作可由 GIS 介面下完成。

(二)管理：地理資料庫之建立，如圖形資料與屬性資料連結，才能提供適當之資訊，供使用者利用。

(三)分析應用：包括

- 1.空間資料處理，座標轉換等。
- 2.空間資料分析、套疊。
- 3.數值地形，如集水區分析等。
- 4.網路分析，如最佳路徑選擇，流量模擬等。

(四)展示：能夠將空間資訊，經分析處理後，利用螢幕或繪圖機製作主題圖將其結果展示出來。

2.2 向量式與網格式資料格式

地理資訊系統儲存資料的格式大致可分為向量式與網格式，茲分別介紹如下：

2.2.1 向量式地理資訊系統 (Vector GIS)

向量式地理資訊系統是使用點、線、面等幾何圖元來表現地形、地物。向量式地理資訊系統以地形地物為主體，儲存各地形、地物的位置及屬性資料。向量系統又可分為有位向關係 (topological relation) 及無位向關係 (non-topological) 兩大類。通常無位向關係的向量系統指的是電腦繪圖系統 (CAD)，如 AUTOCAD、MICROSTATION 等設計製圖軟體，純粹為圖

形之展現而無須分析點、線、面之間的關係，而採用無位向的向量結構表現空間資料。反之，有位向關係向量系統通常使用有位向關係的向量結構儲存地理資料，透過位向，可以表達空間中物體的相鄰關係。例如在灌溉坵塊圖中，有位向關係的系統可以很容易的分辨甲坵塊的鄰居為乙坵塊而不是丙坵塊；或是甲渠道和乙渠道及丁渠道連接而不與丙渠道相連接等等。

(一)向量式地理資訊系統優點：

- 1.能精確的表示位置，可用於大比例尺地圖。
- 2.便於儲存水工構造物、農作生產等屬性資料或地籍資料。
- 3.可以表達物體間等各種關係。例如可建立渠道、田間道路、輸水管線等網路以進行各種網路分析。

(二)向量式地理資訊系統缺點：

- 1.表達地形、溫度等連續變化現象較困難。
- 2.建立檔案需要較高的技術，費用較高。
- 3.系統的維護及使用較為複雜。

2.2.2 網格式地理資訊系統 (Raster GIS)

網格式地理資訊系統將研究區域分為規則的網格 (grid)，每一網格均有一座標位置，相鄰的網格其座標差即為此網格系統之解析度。系統於每一個網格內儲存相對於該座標位置相的特徵值，此特徵值可以是土地利用型態、土壤質地、種植作物或任何相關於那一個格子的性質。網格式地理資訊系統的展現常被視為主題圖像，它可與向量式地理資訊系統共同展示以發揮不同的特性。

(一)網格式地理資訊系統優點：

- 1.適於表達地形高程、土壤、土地利用等覆蓋全地表類型的資料。
- 2.資料製作簡單，經過簡單的訓練就可以進行。
- 3.網格式結構簡單明瞭，觀念易懂、容易學習。
- 4.遙感探測資料為網格式，容易納入網格式地理資訊系統使用。
- 5.空間結構單純，適合於環境模型的表達。

(二)網格式地理資訊系統缺點：

- 1.精確度受方格大小限制、需要高精確度資料時、資料量增加得很快。不適合表達位置要求精確的資料。
- 2.繪圖時容易出現鋸尺狀邊緣，較不美觀。
- 3.不容易儲存各行政區人口、統計值等類型資料。
- 4.不利於表達有複雜關係的資料。例如交通網路、電信、電力管線、自來水管路資料。

2.2.3 關連式資料庫 (Relational Database System)

文數字資料庫方面、過去有階層式資料庫 (hierarchical database system)、網路式資料庫系統 (network database system)。大多數近代的資料庫系統，例如，Dbase、MS Access、Oracle、Informix 等均為關連式資料庫系統。目前向量式地理資訊系統的屬性大多儲存在關連式資料庫系統中。關連式資料庫系統最基本的觀念便是表格 (table)。一個表格式為儲存資料最自然的方式，每一個表格包含了許多行 (column) 又稱為欄位 (field)，於每一行內存著相同性質的資料。表格內每一列 (row) 裡包含許多不同性質的資料項目。每一列又稱為一筆記錄 (record)。

2.3 地理資訊系統套疊分析

從事水利土地規畫管理時，常常需要綜合地形、地質、土壤、水文、交通、人口等多種地圖。用人工處理這麼大量的資料、幾乎是不可能的事。於是有人想到將資料輸入電腦就可以輕易的將各種地圖疊合在一起。進行土地規畫時，經常必須量測道路、河流的長度及計算土地的面積。過去必須利用曲線計及求積儀以人工量取。資料輸入電腦後，求取長度，面積成為輕而易舉的事。加拿大在 1960 年代就體認到利用地理資訊系統管理土地的好處，開發了加拿大地理資訊系統 (CGIS)。地理資訊系統也從此成為進行土地規畫、管理工作的利器。

對現代的土地資源規畫者來說，疊圖僅是資料分析的起點。整合過的資料可以透過地理資訊系統作進一步的分析。例如為了瞭解不同水土保持措施的效果，可將各種措施下土壤、地形、植被狀況等資料代入土壤沖蝕公式中，以模擬各種措施的效果，然後據此選擇最佳的方法。現代的地資訊系統除資料疊合的功能外，還提供許多分析工具及分析模式。對於地理資訊系統疊合功能而言，資料的位置正確，疊圖的結果才可靠。

地理資料一般可分成二大部份即屬性及空間資料，GIS 具備之分析功能

如下：

(一)屬性資料處理分析

- 1.資料更新
- 2.統計分析
- 3.即時查詢

(二)空間資料處理分析

- 1.多邊形相疊/取消
- 2.座標轉換及座標資料過濾
- 3.環框/通廊之形成
- 4.近鄰/相鄰分析
- 5.長度、面積、週邊、坡度、坡向、體積計算等
- 6.最佳路線選擇
- 7.流量模擬
- 8.時間/距離分區
- 9.等值線繪製
- 10.集水區分析
- 11.比例尺改變
- 12.圖形重疊
- 13.三度空間立體圖製作
- 14.變遷研究
- 15.最佳路徑尋找
- 16.空間分布之分析
- 17.預測模擬

2.4 農田水利會灌溉管理地理資訊系統

農田水利會為農業灌溉用水之管理單位，秉承政府之政策加予執行，因此對於地理資訊系統所提供之決策支援及規劃之能力，可能無法單獨執行，故在應用方面可能偏重於現有資料之管理及應用，目前本省各水利會對管理業務之需求度不一，都會型之水利會偏重於會有地之管理，水資源匱乏或管理業務較龐大之水利會則以灌溉管理為優先，因此以水利會之應用角度來看，其應用之方向約可分為：

- 1.地籍圖管理
- 2.灌溉計畫及輸配水管理
- 3.灌溉渠道及排水渠道系統管理
- 4.灌溉區域圖分佈、劃分及現場勘查應用
- 5.灌溉設施及水工構造物管理
- 6.會有財產及會有土地管理
- 7.水污染及各監視點管理及追蹤
- 8.工程設施評估及受益面積估算
- 9.立地條件相關資料分析及應用（土壤質地、氣候分佈、入滲率、灌溉地類別、地目、等則等）
- 10.地下水井分佈及管理
- 11.水源資料及水權管理
- 12.其他如工程規劃設計、人事、會計、財物等之管理

2.4.1 灌溉管理地理資訊系統內容及格式

全省各農田水利會生產之灌溉相關資料包括土系圖、農地坵塊圖、水利會輪區圖（或小組範圍圖）、土壤特性及入滲資料、各水利會轄區灌溉渠道基本資料、各農田水利會輪區別灌溉計畫基本資料、灌溉設施基本資料及灌溉設施歷年更新改善資料等。資料名稱、型態、內容及用途、以及資料來源列於表 2-1。

表2-1 農田水利會灌溉管理地理資訊系統基本資料

資料名稱	資料型態	資 料 內 容 及 用 途	資 料 來 源
平地土壤土系圖	面	由土系類別及四層土壤質地(0-30 cm、30-60 cm、60-90 cm、90-120 cm)資料用來估算入滲率	中興大學土壤系、台灣省農試所
農地坵塊圖	面	全省農地坵塊圖、供繪製全省水利會輪區圖	台灣省糧食局
水利會輪區圖或水利小組圖	面	輪區界限、小組界限、輪區面積、及土壤特性等	全省各水利會
地下水深淺層補注資料	面	提供入滲量對地下水深淺層補注之分級	省水利局(由台大自行數化)
土壤保水力分析資料	點	土壤特性及入滲率	省水利局(旱作立地區分報告)
河川入滲資料	點	土壤特性及入滲率	地調所
旱作灌溉基本資料	點	土壤特性及入滲率	各農田水利會及農工中心
灌溉渠道系統基本資料	線	系統編號、水利會代號、管理處代號、工作站代號、水權量、渠道長度、最大設計通水容量、補助水源、輸水損失、公井口數、公井水量、水質狀況	全省各水利會
輪區別灌溉計畫基本資料	點	水利會代號、水利會名稱、管理處代號、工作站代號、小組別代號、灌溉系統別代號、輪區別、輪區面積、輪區內之旱作面積、土壤別代號、粘土率百分比、正常時期之灌溉期距、最大之灌溉期距、乾田日數、錯開日數、日需水量、日滲漏量、正常開始插秧日期、正常結束插秧日期、最早開始插秧日期、最晚開始插秧日期、本田日數、量水設備、期作別、整地用水量、種植作物別代號、本田需水量、旱作需水量	全省各水利會
排水渠道系統基本資料	線	等級、渠道長度、斷面底寬、斷面高、邊坡比、渠道質地、植生/淤積情形、集水區面積等	全省各水利會

2.4.2 全省平地土系資料

本資料係由台灣省農試所農化系負責數化，經由農工中心轉換為 Arc/Info 之資料格式，資料精度為 1/5000，依縣市區分全省共有 15 幅資料，其資料格式如表 2-2：

表2-2 全省平地土系資料圖幅清單

圖幅代號	縣市別	圖幅代號	縣市別	圖幅代號	縣市別	圖幅代號	縣市別
seye	嘉義縣	Shce	新竹縣	shle	花蓮縣	sile	宜蘭縣
skhe	高雄縣	Smle	苗栗縣	snte	南投縣	spte	屏東縣
stce	台中縣	Stne	台南縣	stpe	台北縣	sche	彰化縣
stte	台東縣	Stye	桃園縣	syle	雲林縣		

表2-3 全省平地土系資料-屬性欄位名稱

欄位名稱	資料型態	資料長度	小數點位數	備 註
labelid	Numeric	11	0	識別碼
drain	numeric1	1	0	排水性
slope	Character	1		坡度分級
t0_30	Numeric	2	0	0到30公分之土壤質地
t30_60	Numeric	2	0	30到60公分之土壤質地
t60_90	Numeric	2	0	60到90公分之土壤質地
t90_150	Numeric	2	0	90到150公分之土壤質地

表2-4 全省平地土系資料-屬性欄位代碼

欄位名稱	屬 性 代 碼
drain	: a: 良好 b: 不完全 c: 不良 d: 極不良 e: 浸水
slope	: a: 0~5% b: 5~15% c: 15~30% d: 30~40% e: 40~55% f: >55%
t0_30	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫
t30_60	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫
t60_90	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫
t90_120	1: cos 粗砂土、s 砂土 2: fs 細砂土、lcos 壤質粗砂土、ls 壤質砂土、3: lfs 壤質細砂土、cosl 粗砂質壤土、sl 砂質壤土、fsl 細砂質壤土、4: vfs 極細砂土、lvfs 壤質極細砂土、vfsl 極細砂質壤土、5: si 粉土、sil 粉質壤土、6: l 壤土、7: scl 砂質粘壤土、8: cl 粘質壤土、sicl 粉質粘壤土、9: sic 粉質粘土、10: c 粘土、11: grv 石礫

2.4.3 全省農地坵塊圖

本資料係由台灣省糧食局數化，主要以農地坵塊為主，非農地之部份則未數化，檔案為 Arc/Info 格式，全省共 3,000 多幅，其屬性檔資料內容如下：

欄 位 名 稱	長 度	資料型態	小 數 點 長 度	備 註
area	13	n	6	坵塊面積
perimeter	13	n	6	坵塊周長
s6232008	11	n	0	地籍內部編碼
s6232008_i	11	n	0	地籍人工編碼
ang	3	n	0	地號角度
more	1	c	0	多重地號有無(y/n)
land	2	n	0	多重地號數
l_type	1	c	0	地目
land_no	9	c	0	地號
r	1	c	0	
m	1	c	0	
s	1	n	0	

2.4.4 水利會輪區圖

本資料係由全省各農田水利會向地政機關申請 1/4800 地籍圖，並由各水利會作業人員直接將輪區界限描繪於地籍圖上，同時將灌溉渠道、排水系統、水工構造物名稱及位置亦加予描繪，其資料庫包括之空間物件計有以下四類：

- (一)渠道：包括灌溉及排水渠道等線性資料。
- (二)水源：包括水庫取水口、水井、河川取水口、池塘等點資料。
- (三)農地：包括地籍坵塊、輪區、小組、灌區等面資料。
- (四)水工構造物：包括分水門、河水堰、抽水站等點資料。

種 類	圖 層 劃 分	資料型態	屬 性 欄 位
渠 道	灌溉幹線、灌溉支線、灌溉分線、灌溉大中小給水路、大排水、中排水、小排水	線資料	渠道代碼、輸水時間、輸水損失、所轄灌區、管理維護單位、渠道等級、渠道長度、灌溉面積、渠道各區段對照表
水 源	水庫水源取水口、河川水源取水口、池塘取水口、水井	點資料	水源代碼、水源名稱
農地地籍坵塊	坵塊邊界、坵塊中心點	面資料	地段代碼、地號代碼
水 工 構 造 物	抽水站、河水堰、分水門	點資料、 (須附屬在 渠道上)	構造物代碼、所屬渠道代碼、位置區段數字、設置時間、上次維修時間、設施用途、工程設計圖、實地照片

2.4.5 土壤特性及入滲資料

土壤特性資料係由水利局、地調所、及農工中心等單位所出版之報告經整理後建檔完成，包括：台灣旱作灌溉立地區分計畫報告、地表地質材料粒徑分析及現地入滲試驗究、旱作灌溉基本資料收集等報告。資料建檔之精度係以經緯度座標輸入建檔，資料格式為 Arc/Info 圖幅資料，坐標系統為 TM 二度分帶。資料內容如下：

圖幅清單：表土壤入滲特性測點資料（僅表土層，且表土厚度定義不一致）。圖幅屬性資料存於屬性資料庫中，欄位說明見附表。附屬屬性資料庫包含各土層土壤入滲特性測點資料（屬性欄位見附表）。

(一)旱作立地區分部份：

資料檔型態為 Database 檔案，建檔筆數為 3,614 筆。

欄 位 名 稱	欄 位 型 態	欄位長度	小數點	備 註
x	numeric	11	4	x坐標(tm2,m)
y	numeric	12	4	y坐標(tm2,m)
sample_id	character	6		樣點編號
depth_s	numeric	3		採樣深度起(cm)
depth_e	numeric	3		採樣深度終(cm)
sand	numeric	5	1	砂粒(%)
clay	numeric	5	1	粘粒(%)
silt	numeric	5	1	粉粒(%)
texture	character	16		土壤質地
wpoint	numeric	6	2	永久凋萎點(pwp%)
fcapacity	numeric	6	2	田間容水量(fc%)
pwater	numeric	3		有效水分(pv%)
conduc	character	10		滲透率(cm/sec)

(二)旱作灌溉基本資料部份：

資料檔型態為 Database 檔案，建檔筆數為 501 筆。

欄 位 名 稱	欄 位 型 態	欄位長度	小數點	備 註
x	numeric	1	4	x座標(tm2,m)
y	numeric	12	4	y坐標(tm2)
sample_id	character	6		點編號
depth_s	numeric	2		採樣深度起(cm)
depth_e	numeric	2		採樣深度終(cm)

texture	character	4		土壤質地
wpoint	numeric	4	1	永久凋萎點(pwp%)
fcapacity	numeric	5	1	田間容水量(fc%)
pwater	numeric	4	1	有效水分(pv%)
k	numeric	10	5	入滲率k係數 (mm/hr)
n	numeric	8	5	入滲率n指數 (mm/hr)
irate	numeric	7	4	入滲率(mm/hr)
gwt	numeric	4	1	地下水位(m)

(三)整合後之土壤測點資料庫欄位定義

資料檔型態為 Database 檔案，建檔筆數為 4,675 筆。

欄 位 名 稱	資 料 型 態	欄 位 長 度	小 數 點	備 註
x	numeric	11	4	x坐標(tm2,m)
y	numeric	12	4	y坐標(tm2,m)
id	numeric	5		識別碼
type	numeric	1		資料來源類型
sample_id	character	6		樣點編號
depth_s	numeric	3		採樣深度起(cm)
depth_e	numeric	3		採樣深度終(cm)
sand	numeric	5	1	砂粒(%)
clay	numeric	5	1	粘粒(%)
silt	numeric	5	1	粉粒(%)
texture	character	16		土壤質地
wpoint	numeric	6	2	永久凋萎點(pwp%)
fcapacity	numeric	6	2	田間容水量(fc%)
pwater	numeric	4	1	有效水分(pv%)
swater	numeric	5	2	含水量(%)
k	numeric	13	8	入滲率k係數
n	numeric	10	7	入滲率n指數
iratecmmin	numeric	6	4	入滲率(cm/min)
iratemmhr	numeric	9	4	入滲率(mm/hr)
gwt	numeric	4	1	地下水位(m)
conduc	character	10		滲透率(cm/sec)

備註： type 代碼： 1--水利局旱作立地區分；
2--地調所濁水溪、高屏入滲資料；
3--嘉南地區旱作灌溉基本資料。

id 代碼：由 type 在第一位再加上各 type 樣點之 4 位流水號，如 20015。

kn 值之單位：type=2 時，是以入滲率 cm/min 為單位計算；

type=3 時，是以入滲率 mm/hr 為單位計算；

type=1 時，無 kn 值。

資料空間分佈說明：

1. 水利局土壤測點分佈資料，共有 1473 點，分佈在全省各平地區域。
2. 地調所濁水溪測點分佈涵蓋彰化、雲林、嘉義三縣之平地區域，共 280 點，高屏之測點分佈則涵蓋高雄、屏東兩縣之平地區域，共亦 280 點，其分佈與農試所土系資料之分佈大致相符。
3. 嘉南地區旱作灌溉基本資料涵蓋台南、嘉義兩縣之平地區域，共 167 點，其分佈與農試所土系資料之分佈大致相符。

(四)整合後之土壤測點資料庫欄位資料來源對照表

代號	欄位英文名稱	欄位中文名稱	type1	type2	type3
1	x	x坐標(tm2度,公尺)	○	○	○
2	y	y坐標(tm2度,公尺)	○	○	○
3	id	識別碼	1xxxx	2xxxx	3xxxx
4	type	資料來源類型	1	2	3
5	sample_id	樣點編號	○	○	○
6	depth_s	採樣深度起(cm)	○	x	○
7	depth_e	採樣深度終(cm)	○	x	○
8	sand	砂粒(%)	○	x	x
9	clay	粘粒(%)	○	x	x
10	silt	粉粒(%)	○	x	x
11	texture	土壤質地	○	x	○
12	wpoint	永久凋萎點(pwp%)	○	x	○
13	fcapacity	田間容水量(fc%)	○	x	○
14	pwater	有效水分(pv%)	○	x	○
15	swater	含水量(%)	x	○	x
16	k	入滲率k係數	x	cm/min	mm/hr
17	n	入滲率n指數	x	cm/min	mm/hr
18	iratecmmin	入滲率(cm/min)	x	○	導出
19	iratemmhr	入滲率(mm/hr)	x	導出	○
20	gwt	地下水位(m)	x	x	○
21	conduc	滲透率(cm/sec)	x	○	x

Type=1：水利局旱作立地區分；

Type=2：地調所濁水溪、高屏入滲資料；

Type=3：嘉南地區旱作灌溉基本資料。

2.4.6 灌溉渠道系統資料

本項資料係由全省各農田水利會針對轄區之灌溉系統，依水源別及幹支分線之順序重新調查及填寫表格後再予建檔，其格式如下：

欄位名稱	資料型態	資料長度	小數點	備註
code	character	2		水利會代號。
laens	character	4		水利會中文名稱。
mng	character	1		管理處代號，依各會現行灌溉地籍資料代碼格式，除嘉南及雲林水利會外，其餘各會本欄皆空白。
stn	character	2		工作站代號，依各會現行灌溉地籍資料代碼格式。
sys	character	27		灌溉渠道系統代號，依各會現行灌溉地籍資料代碼格式，如001001003，第一個'001'代表水系，第二個'001'代表埤圳別，'003'為幹線。
sys_cns	character	28		渠道中文名稱
sys_len	numeric	10	3	渠道長度(m)
sys_cap	numeric	8	3	渠道設計最大通水容量(cms)
sys_wq	character	2		渠道之水質狀況，分五級，即c1-c5
pub_well	numeric	8	3	公井水量(補助水源),cms
pwc	numeric	3		公井口數
re water	numeric	8	3	迴歸水水量(cms)
loss	numeric	8	3	輸水損失
loss_unit	numeric	1		輸水損失之單位（1:百分比2:cms 3:cms/公里）
wtr_right	numeric	8	3	水權量,cms

2.4.7 輪區別灌溉計畫資料

本項資料係由全省各農田水利會以輪區為調查單位，調查灌溉計畫相關之基本資料，如輪區面積、使用之水源、各旬用水量、種植之作物別等，其格式如下：

欄位名稱	資料型態	資料長度	小數	備註
code	character	2		水利會代號
laens	character	4		水利會名稱
mng	character	1		管理處代號
stn	character	2		工作站代號
grp	character	2		小組別代號
rotation	character	2		輪區別

rot_area	numeric	6	2	輪區面積
paddy_area	numeric	6	2	輪區內之旱作面積
soil	character	1		土壤別代號
clay	numeric	5	2	粘土率百分比
ip_normal	numeric	4	1	正常時期之灌溉期距
ip_max	numeric	4	1	最大之灌溉期距
ip_paddy	numeric	2		乾田日數
loss	numeric	4	1	輸水損失
ref	numeric	1		農地重劃
crop_1	numeric	4	1	第一期作錯開日數
crop_2	numeric	4	1	第二期作錯開日數
wtr_demand	numeric	6	2	日需水量
perc	numeric	6	2	日滲漏量
cl_n_s_m	character	2		第一期作正常開始插秧日期(月份)
cl_n_s_10d	character	1		第一期作正常開始插秧日期(旬別)
cl_n_e_m	character	2		第一期作正常結束插秧日期(月份)
cl_n_e_10d	character	1		第一期作正常結束插秧日期(旬別)
cl_e_m	character	2		第一期作最早開始插秧日期(月份)
cl_e_10d	character	1		第一期作最早開始插秧日期(旬別)
cl_l_m	character	2		第一期作最晚開始插秧日期(月份)
cl_l_10d	character	1		第一期作最晚開始插秧日期(旬別)
cl_gp	numeric	3	0	第一期作本田日數
c2_n_s_m	character	2		第二期作正常開始插秧日期(月份)
c2_n_s_10d	character	1		第二期作正常開始插秧日期(旬別)
c2_n_e_m	character	2		第二期作正常結束插秧日期(月份)
c2_n_e_10d	character	1		第二期作正常結束插秧日期(旬別)
c2_e_m	character	2		第二期作最早開始插秧日期(月份)
c2_e_10d	character	1		第二期作最早開始插秧日期(旬別)
c2_l_m	character	2		第二期作最晚開始插秧日期(月份)
c2_l_10d	character	1		第二期作最晚開始插秧日期(旬別)
c2_gp	numeric	3		第二期作本田日數
water_equ	character	1		輪區內是否有量水設備(1:是,2:否)
period	character	1		期作別
work_water	numeric	3		整地用水量(mm)
kind	character	36		種植作物別代號(共三年36旬)
pd_water1	character	108		第一年本田需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
pd_water2	character	108		第二年本田需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm

pd_water3	character	108	第三年本田需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
cr_water1	character	108	第一年旱作需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
cr_water2	character	108	第二年旱作需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm
cr_water3	character	108	第三年旱作需水量,每月三旬,每旬長度三位,長度=12*3*3=108,單位mm

2.5 實例應用—新竹農田水利會地理資訊系統

2.5.1 設置經過

農田水利會之灌溉管理業務龐大且資訊量多，特別是引用到地籍圖之部份，由於牽涉到大批之圖籍資料，在管理上特別辛苦，鑑於近年來地理資訊系統之技術日漸成熟，因此新竹農田水利會為了加強灌區地籍資料及灌排渠道、水工構造物等資訊之有效管理，進而於民國 86 年起以『普查』之方式陸續建立灌溉管理地理資料庫，並於民國 90 年全部完成，地理資料庫內容包括灌區內地籍圖、灌溉渠道分佈圖、排水渠道分佈圖、水工構造物分佈圖（含斷面變化、構造物起始樁號等），同時針對本會之業務開發軟體介面，以提昇水利會之灌溉管理成效。

2.5.2 新竹農田水利會地理資訊系統應用架構

RS、GPS 與 GIS 俗稱 3S，其整合應用成功實例很多，新竹農田水利會所建置之地理資訊系統利用 RS 協助灌溉地面積及灌溉區域內灌溉地遺漏輔助調查，利用 GPS 協助現地之渠道及水工構造物調查，最後利用桌上型 GIS 系統，將上述資料整合並建置一個灌溉管理資料庫（詳如圖 2-1）。

另外新竹農田水利會採用 ESRI 公司出品之 NT 版 ARC/INFO 為前端模式應用工具，而後端工作則交給 ArcView 來做處理。ArcView 也是 ESRI 公司發展的一套功能強大之桌上型地理資訊系統，本身提供了圖形資料及屬性資料的建立外，亦可輕易整合各種數位地圖資料、CAD 圖檔、遙測影像資料圖檔等，同時透過此關聯式的資料整合，可進行資料的修改及互動式查詢、統計分析、資料展示及出圖等功能，並可利用其內建之 Avenue 程式語言，撰寫使用者自定之操作介面。

2.5.3 資料來源

新竹農田水利會所建置之地理資料庫，部份資料係引用其他單位建置完成之電子檔加予轉換，部份則自己生產，茲說明如下：

(一)向地政事務所或土地測量局申請

- 1.數值地籍圖：為Autocad之dxf格式電子檔，取得後再利用Autocad Map轉成shape file格式。
- 2.地籍圖：為藍晒圖（土地測量局未提供地籍數值檔部份），取得後再自行數化。
- 3.灌排渠道、水工構造物等,利用GPS協助普查及蒐集。

(二)由相關單位取得或購置。

- 1.內政部出版1:25000地形圖。
- 2.1:5000 電子地圖。
- 3.水系圖。

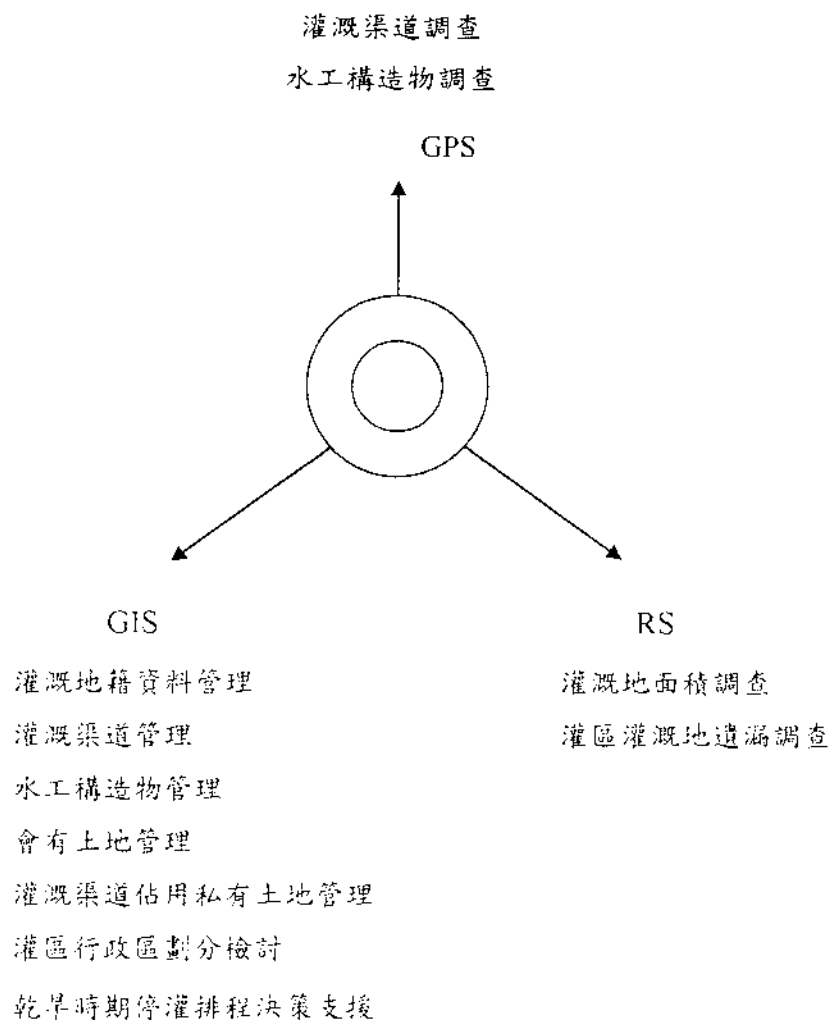


圖 2-1 新竹農田水利會地理資訊系統架構圖

2.5.4 系統建置成果

要建立一個灌溉管理地理資訊系統，需耗費大量之人力、時間及金錢，特別是國內尚未有一個專責之單位在負責基本圖之建置時，想要利用 GIS 來管理業務，在建置成本上需花費較高之代價，然建置完成後也能夠收到較好之成效。以下茲分別說明新竹農田水利會利用 GIS 來完成各項管理業務之效益。

一、灌溉地籍資料管理：特過定期取得轄區地政機關之地籍圖數值檔及地籍資料，結合地籍圖與地籍資料產生地址對位，建立完整之地籍資料表，可隨時掌控灌區內灌溉地籍資料之變化。

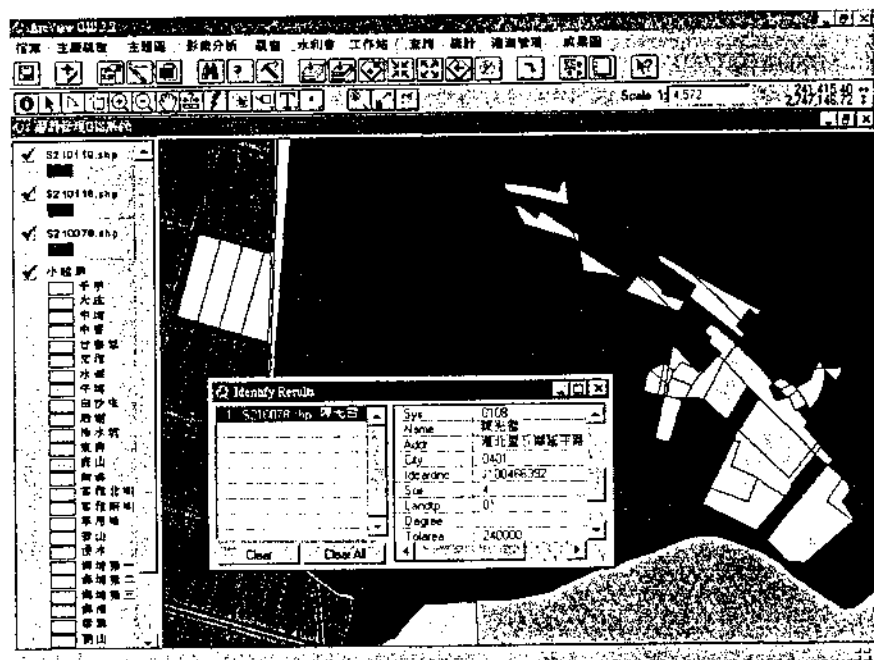


圖 2-2 會員地籍查詢畫面-地理位置分佈

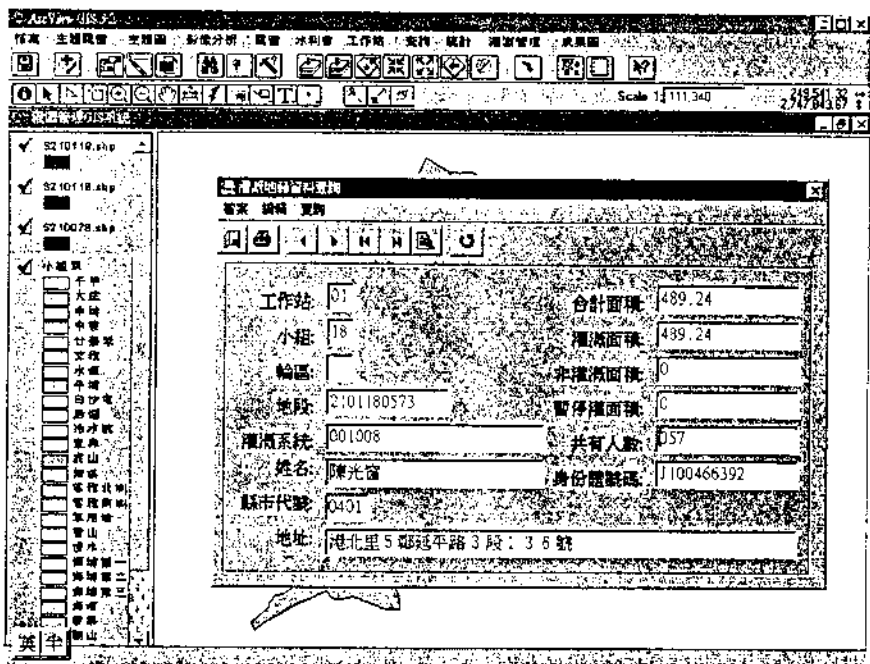


圖 2-3 會員地籍查詢畫面-屬性資料展示

二、灌排渠道管理：建構完整之灌排渠道資訊網，配合地籍圖之套疊，即時提供渠道維修及管理上之各種資訊。

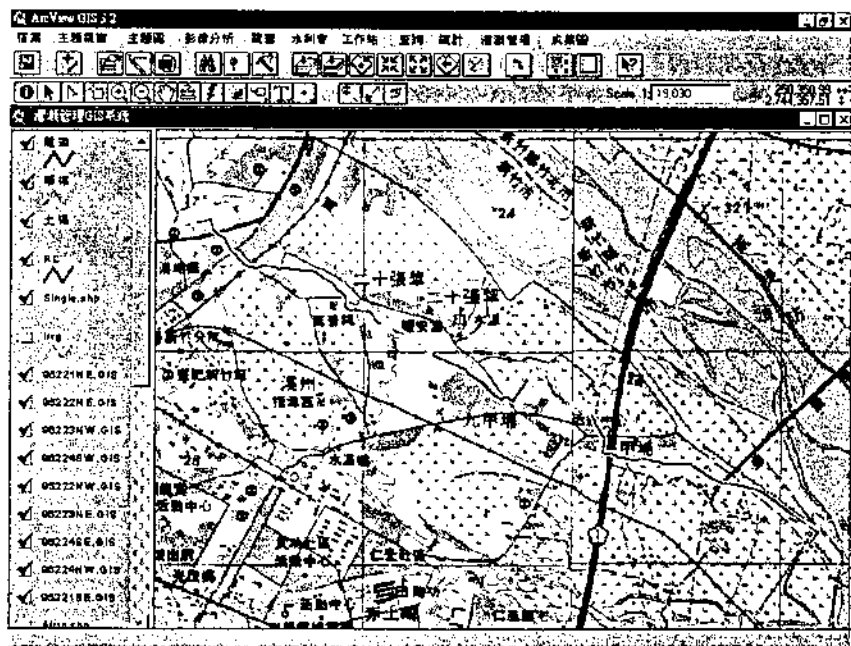
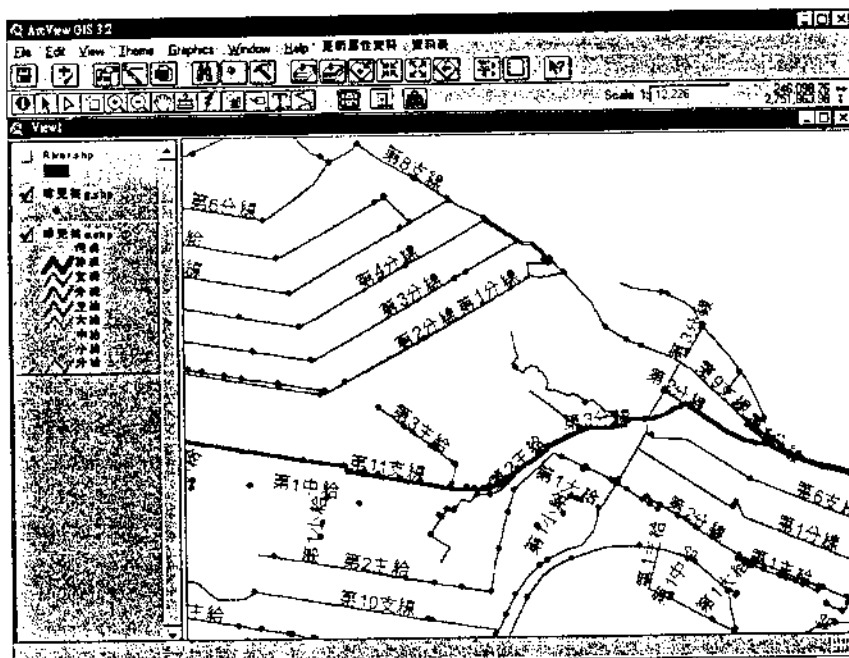
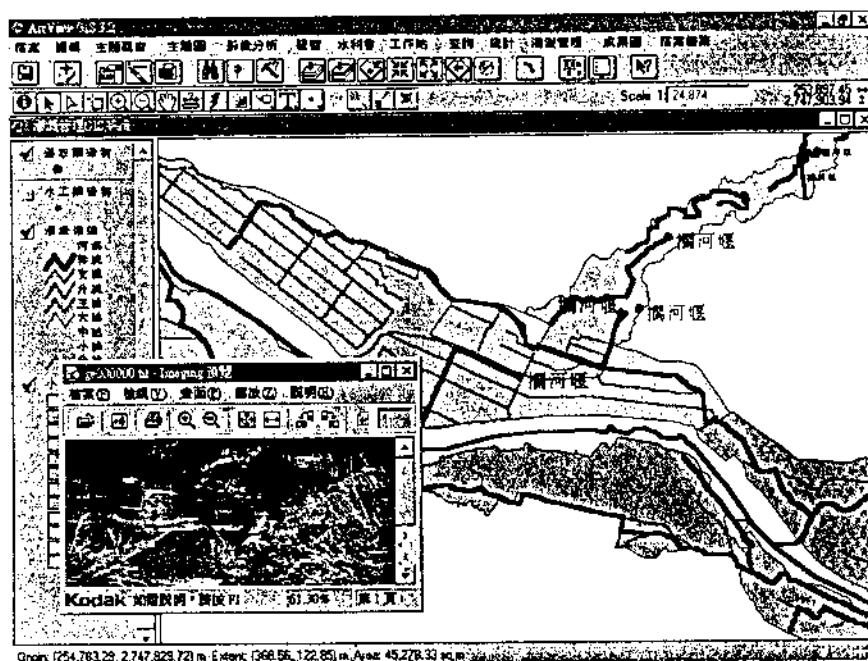


圖 2-4 灌溉渠道內面工分佈狀況（連續線段）



三、**水工構造物管理**：蒐集及建構水工構造物之起始終點座落樁號、種類，配合灌溉渠道及地籍圖聯結，建立完整之水工構造物資訊網，即時提供渠道維修及管理上之各種資訊。



Attributes of 堤防設施						
S. Station	E. Station	Location	Size	Image	Desc.	Start
0+334.6	0+391.5	0+084.6 0+391.6	001006007		堤防 堤頂寬 1m 高 0.5m 堤底寬 1m	84.60
0+343.3	0+407.1	0+104.3 0+407.1	001006007		堤防 堤頂寬 2.6m 高 3.9m	104.30
0+205.8	0+234.2	0+205.8 0+234.2	001006007		堤防 堤頂寬 1.3m 高 0.9m 堤底寬 2.05m	205.80
0+000.0	0+000.0	0+000.0	001006	CC10601.w	防冲石門 寬 5.5m 高 3.1m	0.00
0+157.5	0+309.5	0+157.5 0+309.5	001006		堤防 堤頂寬 2.1m 高 1.4m	157.50
0+309.5	0+347.5	0+309.5 0+347.5	001006		堤防 堤頂寬 3.2m 高 1.57m	309.50
0+140.5	0+160.8	0+140.5 0+160.8	001006		堤防 堤頂寬 2.3m 高 1.3m 堤底寬 1.40m	140.50
1+295.4	1+366.9	1+295.4 1+366.9	001006		堤防 堤頂寬 3.3m 高 1.1m 堤底寬 2.15m	1295.40
1+396.3	1+401.1	1+396.3 1+401.1	001006		堤防 堤頂寬 1.6m 高 4.8m	1396.30
1+470.3	1+475.3	1+470.3 1+475.3	001006		堤防 堤頂寬 3.8m 高 4.4m	1470.30
1+557.5	1+599.5	1+557.5 1+599.5	001006		堤防 堤頂寬 1.3m 高 0.9m	1557.50
1+653.1	1+656.1	1+653.1 1+656.1	001006		堤防 堤頂寬 4m 高 3m	1653.10
2+658.2	2+728.2	2+658.2 2+728.2	001006		堤防 堤頂寬 2.6m 高 1.1m 堤底寬 2.0m	2658.20
3+859.8	3+885.8	3+859.8 3+885.8	001006		堤防 堤頂寬 3.5m 高 1.3m 堤底寬 3.0m	3859.80
3+116.8	3+154.8	3+116.8 3+154.8	001006004		堤防 堤頂寬 0.7m 高 0.7m 堤底寬 4.8m	116.80
0+667.6	0+679.6	0+667.6 0+679.6	001006006		堤防 堤頂寬 1.9m 下底寬 1.5m	667.60
1+730.5	1+736.4	1+730.5 1+736.4	001006		堤防 堤頂寬 2.1m 高 1.2m 堤底寬 1.73m	1730.50
2+028.8	2+154.3	2+028.8 2+154.3	001006		堤防 堤頂寬 2.5m 高 1.8m 堤底寬 1.25m	2028.80
2+231.3	2+235.8	2+231.3 2+235.8	001006		堤防 堤頂寬 10.6m 高 2m 堤底寬 2.23m	2231.30
2+480.1	2+511.0	2+480.1 2+511.0	001006		堤防 堤頂寬 5m 高 1.8m 堤底寬 2.48m	2480.10
5+076.0	5+240.8	5+076.0 5+240.8	001006005		堤防 堤頂寬 0.6m 高 0.6m	76.00
5+000.0	5+721.4	5+000.0 5+721.4	001006006002		堤防 堤頂寬 0.6m 高 0.8m	0.00
5+521.7	5+544.3	5+521.7 5+544.3	0010060060001		堤防 堤頂寬 2.1m 高 1.3m 堤底寬 2.26m	521.70
0+000.0	0+793.1	0+000.0 0+793.1	001006007003		堤防 堤頂寬 0.5m 高 0.6m 堤底寬 1.0m	0.00
0+662.2	0+686.0	0+662.2 0+686.0	001006003		堤防 堤頂寬 0.7m 高 1.3m 堤底寬 1.3m	62.20
5+000.0	5+071.2	5+000.0 5+071.2	001006007001		堤防 堤頂寬 0.45m 高 0.65m 堤底寬 1.2m	0.00
0+424.1	0+424.1	0+424.1 0+424.1	001006007		堤防 堤頂寬 1.3m 高 1m	424.10

圖 2-7 水工構造物座落格號及設施內容查詢

四、會有土地管理：利用水利會現有之『會有土地資料』與地籍圖做地址對位，建立關連分析及查詢，提供水利會在會有土地分佈、查詢、統計及不同比例出圖列印等管理需求。

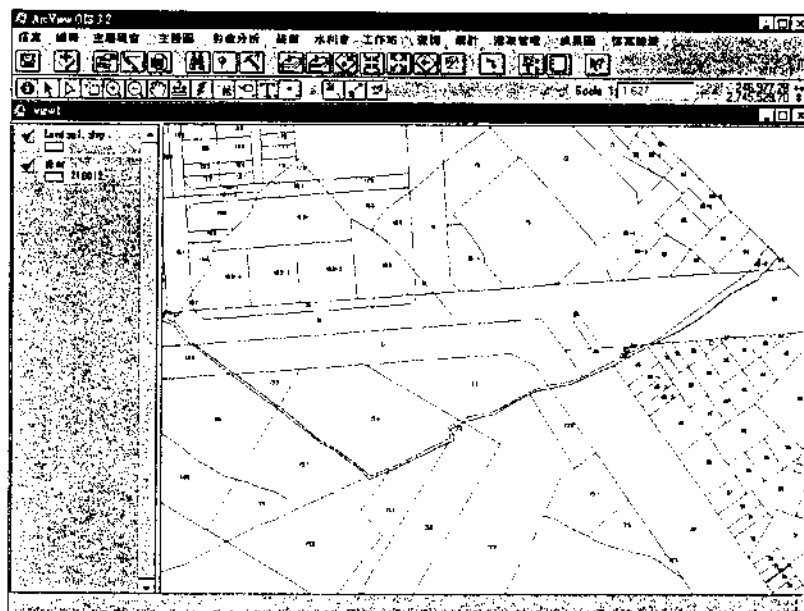


圖 2-8 會有土地查詢

五、灌溉渠道佔用公私有土地管理：從建構之地理資料庫中，利用 GIS 之分析特性，輔助清查水利會現行灌溉渠道中，佔用公私有地之地理分佈及建立該筆土地之相關資訊。

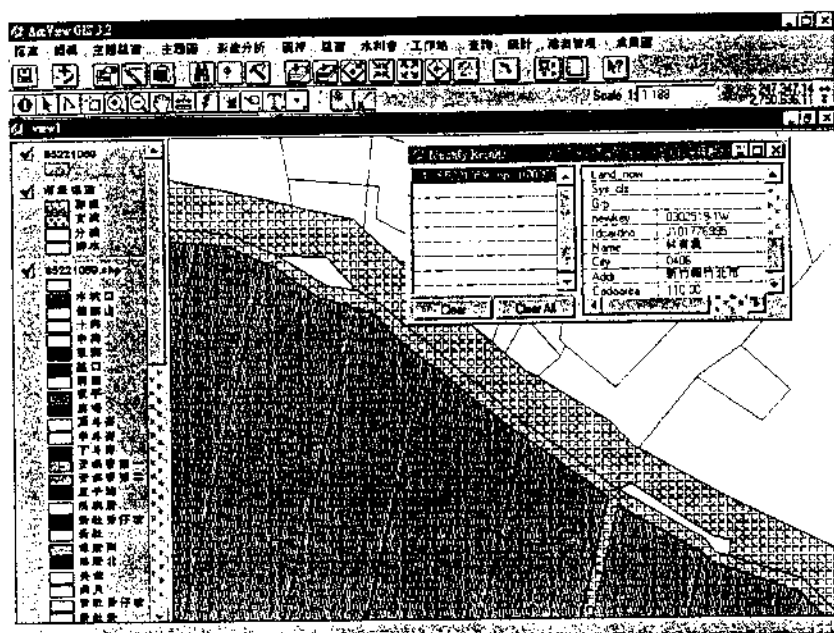


圖 2-9 灌溉渠道佔用公私有地（黃色部份為地理位置）

六、灌區行政區劃分檢討：由於過去不同之時空背景，致產生水利小組劃分上之錯誤，過去因無法與圖籍資料聯結，故不易發覺。新竹農田水利會利用灌區內地籍資料與地籍圖做地址對位後，可將不合理之分佈，依照灌溉渠道特性，做適當之調整。

七、乾旱時期停灌排程決策支援：建立灌區內之土壤別、渠道損失、渠道長度、缺水率等模式庫，依照計算不同小組別之灌溉需水量，提供優先停灌順序，做為乾旱時期之決策支援參考。

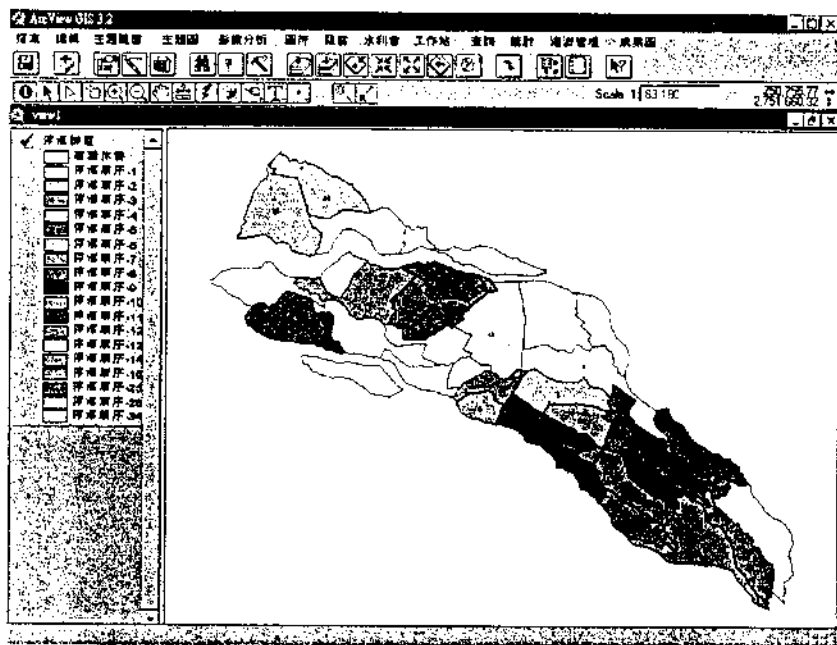


圖 2-10 乾旱時期停灌優先順序排程（決策支援）

八、灌溉地面積及灌區內遺漏調查：配合灌區地籍圖，SPOT 衛星影像，利用 ArcView Image Analysis 延伸模組，以灌區內之『單一坵塊』、多時段進行土地使用分類，協助水利會灌區內灌溉地面積及遺漏面積之統計及調查。

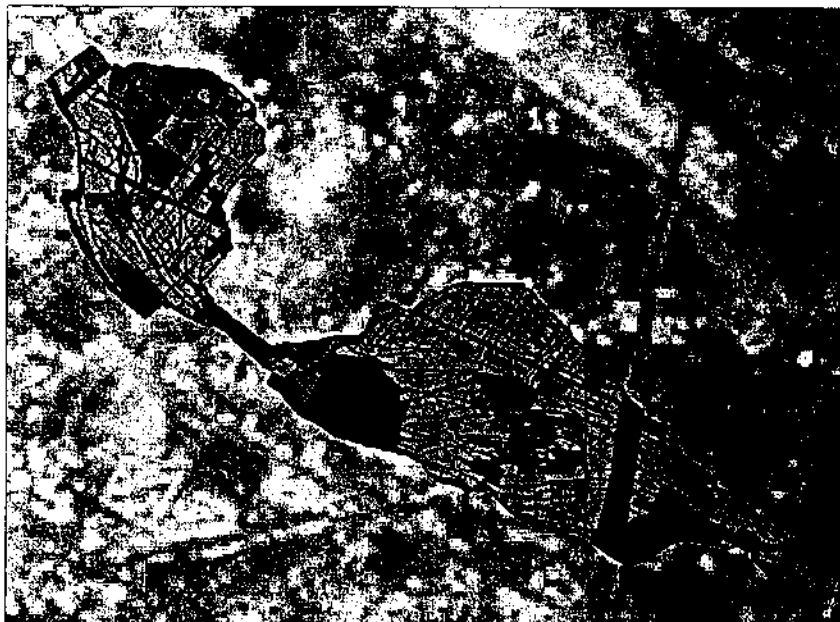


圖 2-11 灌區水稻分類

九、成果圖展示：依照水利會之不同需求，隨時提供水利會不同主題之成果展示，包括水利小組分佈圖、地段別地籍圖、1:5000 地籍圖、灌溉渠道分佈圖、排水渠道分佈圖、水工構造物分佈圖、灌溉區域分佈圖等。

前溪小組

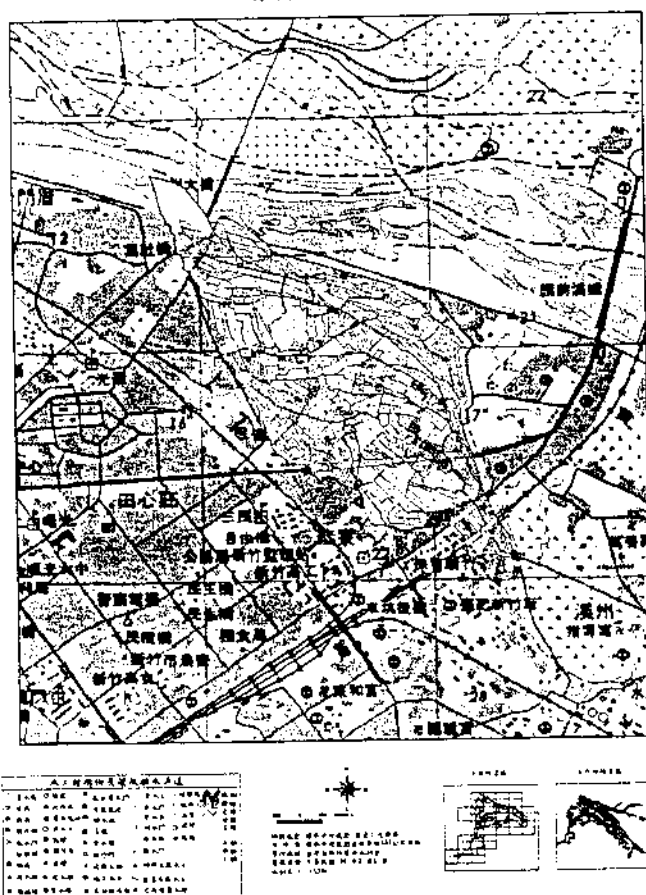


圖 2-12 小組分佈圖

2.5.5 未來發展

隨著 e 世代之來臨，傳統管理方法已經不符合企業之需求，過去水利會之管理方式也必需隨著潮流作適當之調整才能產生競爭優勢，在競爭激烈的商場中，競爭優勢是企業表現好壞的精髓。今天農田水利會在面對資訊化、全球化及加入 WTO 後，如何利用現有之資源，提昇服務之績效，為未來水利會經營者必需面對之課題。

GIS 之技術過去幾年日漸成熟，建置費用也大幅滑落，特別是地籍圖之建置上，近年來在內政部土地測量局逐年完成電子化及開放外界購買後，所需之成本已經大幅降低，展望未來新竹農田水利會將繼續朝著：

- (一)繼續推動水利會地理資訊系統，並加強各單位對地理資訊系統之概念。

- (二)確立合理之資料供應制度，降低資料取得成本及時間，提高行政效率。
- (三)利用高精度之衛星影像資料輔助土地使用分類，提高水利會灌區大面積判釋之精度。
- (四)積極發展網際網路應用環境（Web-Gis），符合資訊時代之需求。

第三章 遙感探測與農業應用

3.1 什麼是遙感探測

遙感探測簡稱為遙測，這個名詞經常出現，但它究竟是什麼，對農田水利人員有什麼用處？遙測這個名詞源自英文的 Remote Sensing。Remote 本為遠隔或遙遠的，Sensing 即為感覺的意思。有人將遙測定義為「人類對環境的事物與現象，利用儀器探測，而不作直接的接觸，以獲取所需情報的技術」。廣義的遙測可說與人類的眼睛歷史同樣久遠。早期的人類為求生存以眼睛尋找獵物、察知危難，以事先設法防範或逃避，眼睛即為當時最精巧的遙測工具。目前科學日益發達，遙測利用飛機、衛星等將比人類肉眼更精密的感測器送到有利的觀察位置，在遠距離蒐集資訊。遙測與我們與生俱來的視力與聽力相較，好比以望遠鏡拓展我們觀察的距離，以專門的感測器觀測紫外光、紅外光、雷達等人眼所不能感知的電磁波段，來延伸我們探索環境的能力，再加上氣球、飛機及衛星等飛行器械的發展，感測器得以自由的移動，來到最適宜的觀察位置記錄資訊。

過去，遙測的技術經常因為戰爭的需要而得到進展。在 1870 的法俄戰爭中，氣球首次被雙方作為偵察之用。第一次大戰起，飛機被作為軍事偵察的利器，在第二次世界大戰時，空中偵察及空中照相更是軍事行動中不可缺少的一環。這時期也發明了紅外光照相的技術來突破對手的反偵察偽裝。二次戰後的冷戰時期，促成了間諜衛星的發展。今天，遙測已經是我們每日生活的一部份。氣象報播報員利用天氣雲圖解說未來的天氣；新聞記者在直昇機上拍攝洪水、地震災難現場的狀況；測量人員利用航空相片來製作地圖；環境學者依賴遙測來蒐集環境資訊；農業研究人員利用遙測影像來監測作物生長的狀況。由於遙測技術能夠在最內短的時間，蒐集大範圍的資料，已經成為我們瞭解大地不可或缺的利器。

3.2 遙測基本原理

遙測是對環境事物與現象，不做直接的測定，但欲觀測地表面的各種物體與現象，一定得藉由一些物理量的傳達，此物理量即為電磁輻射 (electromagnetic radiation)。地表面上的各種物體，對於電磁波有不同的反射強度，亦有不同的輻射強度，而遙測資料即是記錄地物的這種光譜反應，因此欲研究遙測必須先對電磁波的特性有所瞭解。如人的眼睛所能感受的可見光是電磁波的許多種型態之一，其它為我們所熟知的無線電波、熱量、紫外線及 x 射線等亦屬電磁波的其它型式。電磁波是以光速進行，由基礎物理學可知電磁波做下列公式運動：

$$c = f \times \lambda$$

式中：

c = 光速

f = 頻率

λ = 波長

波在物理學上，分為橫波與縱波，如聲波振動的位移發生於波動進行傳播的方向者稱縱波。水波的振動位移則與傳波進行的方向垂直，稱為橫波，並由二個振動場所構成，一為電場，另一為磁場。電場與磁場互成直角，而兩者共同又與傳波進行的方向成直角，如圖 3-1 所示。

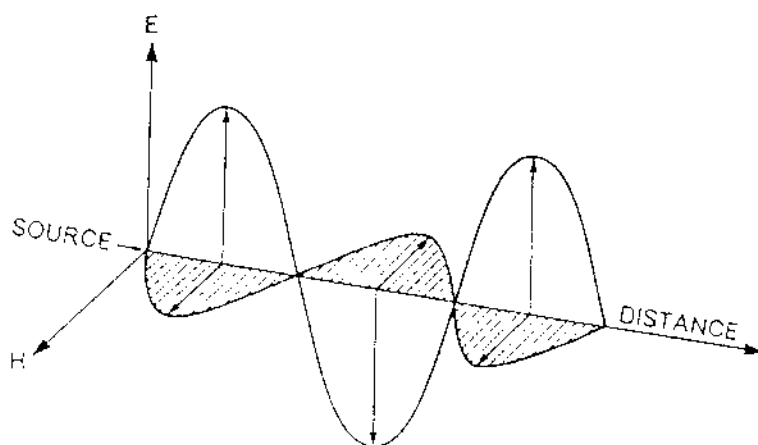


圖 3-1 電磁波中電場與磁場能的傳播圖

電磁波傳播的速度一定，然其波長可有變化，且為一連續的變化，此波長變化的範圍稱電磁波譜 (electromagnetic spectrum)。電磁波譜內依波長位置之不同，可將電磁波加以分類為許多不同功能之波，如圖 3-2 及表 3-1。其中最常利用的波段為可見光段，反射紅外光段 (reflected infrared, 簡稱 IR)、熱紅外光段 (thermal infrared)，及微波 (microwave) 等電磁波段。

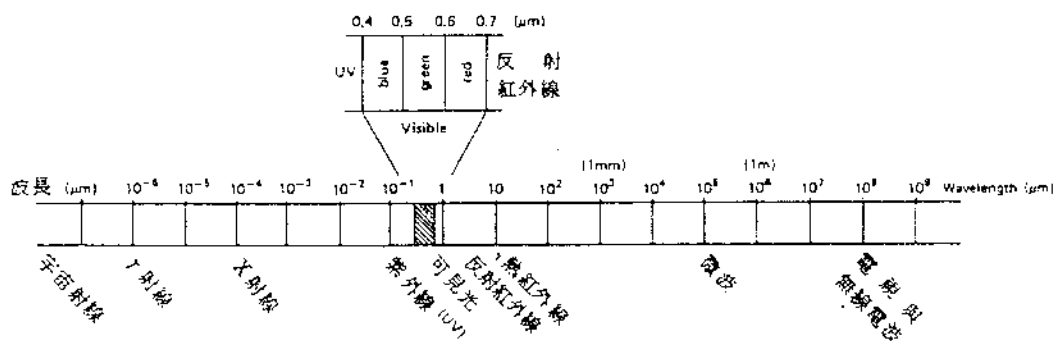


圖 3-2 電磁波譜 (electromagnetic spectrum) 連續分佈圖

表 3-1 電磁波譜中之主要類別

電磁波類別	波長範圍
伽瑪射線	$< 0.03 \text{ nm}$
X-射線	$0.03\text{-}300 \text{ nm}$
紅外線	$0.30\text{-}0.38 \mu\text{m}$
可見光	$0.38\text{-}0.72 \mu\text{m}$
近紅外光	$0.72\text{-}1.30 \mu\text{m}$
中紅外光	$1.30\text{-}3.00 \mu\text{m}$
熱紅外光	$7.0\text{-}15.0 \mu\text{m}$
微波	$0.3\text{-}30 \text{ cm}$
無線電波	$\geq 30 \text{ cm}$

雖然電磁輻射的許多特性可藉波動理論求得，但另一個理論剛說明了電磁能如何與物質交互作用，此學說即所謂的粒子學說。在粒子學說中提出了電磁輻射是由許多光子（Photons）或量子（quanta）等小單元組合而成，量子的能量為

$$E = h \times f$$

式中：

E ＝量子能量，單位為焦耳（以 J 表示），

h ＝普朗克常數，其值為 $6.626 \times 10^{-34} \text{ J/sec}$ 。

因此可得知波與電磁輻射作用中量子模型的關係，其關係式為：

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

由上式中可看出量子能量與波長成反比，即波長愈長，能量愈少。故從遙測觀點來看，自然界中長波段輻射能的放射（如地表物體所放射的微波），要比短波段輻射能的放射（如熱紅外線能量的放射）更難感測出。

在遙測中太陽是最明顯的輻射來源，然而，所有溫度在絕對溫度零度（0K 或 -273°C ）以上的物質都會放出電磁輻射。因此，地球上的任何物質均是輻射來源，且其輻射量與其表面溫度有關。此性質可以史蒂芬一波茲曼定律（Stefan-Boltzmann Law）來表示，關係如下：

$$W = \sigma T^4$$

式中：

W ＝物體表面的全部輻射強度， w m^{-2}

σ = 史蒂芬—波茲曼常數， $5.667 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

T = 放射物質的絕對溫度 (absolute temperature)，K。

由上式可知物體放射的全部能量隨著絕對溫度 T 的四次方成正比，因此能量隨著溫度增加而遞增。而正如物體放射能隨溫度變化一般，放射能的波譜分佈也隨著溫度變化。如圖 (3-3) 顯示從 200° K 到 6000° K 不同溫度範圍，黑體的能量分佈曲線，且由圖可知太陽在可見光段的輻射能量正好在峰值處。輻射體的溫度愈大，所放射的輻射能愈大，從圖中曲線亦可知當溫度增加，黑體輻射曲線達到最大值時的波長，即主要波長，依維恩位移定律叫 (Wein's displacement law) 可知其與溫度之關係如下：

$$\lambda_m = \frac{A}{T}$$

式中：

λ_m = 最大波譜輻射強度時的波長

$A = 2898 \mu \text{ m K}$

T = 絕對溫度，K

因此由此式可知，地球表面的溫度 (即地表物質諸如土壤、水及植物等的溫度) 約為 300K (27°C) 左右。由維恩位移定律可知，地球產生最大波譜輻射強度時的波長約為 $9.7 \mu \text{ m}$ 。

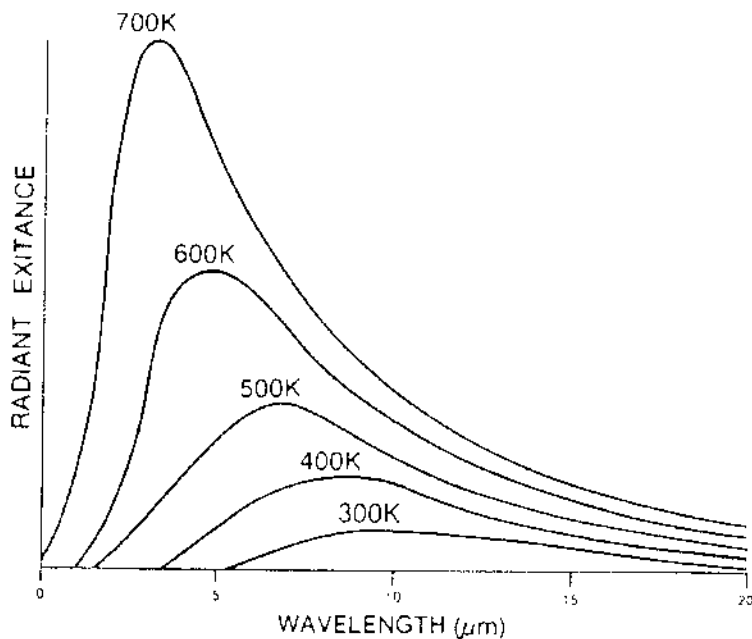


圖 3-3 各種絕對溫度的黑體電磁波能量曲線圖

3.3 大氣對電磁輻射的影響

無論以何種能源，輻射線在被感測器所偵測到之前，必定在大氣層中穿越若干距離，因此大氣對這些輻射線便會有吸收（absorption）與散射（scattering）的現象產生。所謂大氣散射是大氣層中的粒子作不可預測的擴散性輻射作用。當大氣分子以及其他直徑比輻射波長為小的微小粒子與輻射線交互作用時，通常稱之為雷氏散射（Rayleigh scatter）。另一種散射方式稱之為米氏散射（Mie scatter），它存在於大氣層中粒子的直徑與被感測到的能量波長大約相等，其中水蒸氣和灰塵是導致米氏散射的主要原因。而第三種散射則為非選擇性散射（nonselective scatter），此現象要在粒子直徑遠大於被感測到的能量波長時才會發生。而大氣層中的吸收作用會導致能量在大氣層中損耗的效果，這種現象通常發生在某些特定範圍的波長，如太陽輻射最有效的吸收體為水蒸氣、二氧化碳及臭氧，因為這些氣體易吸收特殊波段的電磁能，因此對於遙測系統所觀察的波譜影響相當巨大。在大氣中的能量可穿透某些特別的波段，這些區段稱之為大氣窗（atmospheric windows），如（圖 3-4）。圖中的陰影部份表示能量受大氣層阻擋的波譜範圍，而遙測資料是由未受阻擋的範圍中取得，該範圍即上述的大氣窗。由於有大氣窗的存在，所以在選擇感測器時，必須要考慮到希望感測的波譜區域中是否有大氣窗的存在。

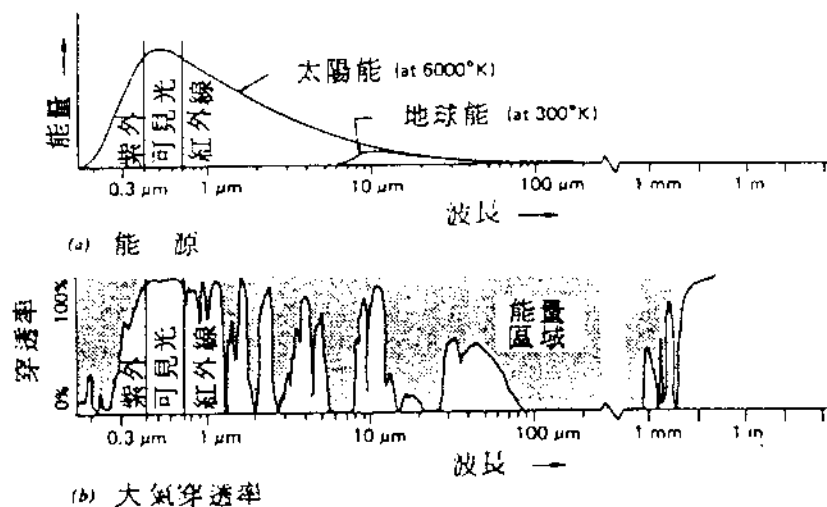


圖 3-4 電磁輻射穿透大氣層較良好的區段（大氣窗）

3.4 近紅外光與熱紅外光的特性

光學中將波長為 $0.75 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 的電磁波稱為近紅外光，近紅外光遙測之能量來源為地表反射之太陽光，故又稱為反射紅外光（reflected infrared）。此段光波不能為肉眼所見，但卻可以用軟片感光。近紅外光照片有黑白及彩色之分。近紅外光黑白照片最大的用途在於海岸線及水資源的調查，因為水

體能夠吸收近紅外光線，故在紅外光照片上水體將呈黑色，色調對比甚強，極為醒目。同時近紅外光線穿透大氣層的能力比可見光遠強，放在矇矓的天氣照相，紅外光照片仍十分清晰。近紅外線彩色照片又稱為假色照片（false color photograph），因為在照片上的景物其色彩與真實的顏色大異其趣，如植物呈紅色，都會區呈灰藍色，純淨的水則表現為黑色。一般而言，反射紅外線的景物在此種照片上呈紅色，反射紅色的景物呈綠色，而反射綠色的景物則呈藍色，亦即在近紅外光照片上所顯現的顏色均較物體的真實顏色降低一個波段（例如由紅色降為綠色，由綠色降為藍色等）。然特別要說明的是植物的反射特性較為特殊，它雖然反射綠色，但反射最多的卻是近紅外線，此非肉眼所能感覺，因此近紅外線照片確實使人的視覺能力更為延伸。此外，近紅外光彩色照片極適合於植生和水分的研究，岩石露頭或土壤內水分含量的變化一般在照片上極為醒目，因此對於危險邊坡及崩坍地的調查，從近紅外光彩色照片可獲得極佳的效果。

雖然近紅外光用途相當廣泛，但地球上物體反射太陽光的能力到 $3\mu\text{m}$ 以後即趨減弱。因此要測量更長的波長時，不再是反射能，而是輻射能。輻射能係自物體本身放射出來，此部份輻射能係反應地表本身之運動溫度（kinetic temperature），運動溫度乃由於物體分子運動所產生能量之轉化溫度，故遙測上將此電磁波稱為熱紅外光（thermal infrared），以示此部份能量來源主要為地表放射出之熱能。熱紅外線波段中有些小波段易被大氣層所吸收，因此在遙測上只用兩個窗口（波段），分別是 3 至 $5\mu\text{m}$ ，及 8 至 $14\mu\text{m}$ 。

在地球表面的溫度約為 300 K ，太陽之溫度約為 6000 K 。地表幾乎無法放射出近紅外光段（ 0.7 - $1.3\mu\text{m}$ ）之能量，而根據維恩定律，地表所能放射最大能量強度之波長為 $9.66\mu\text{m}$ ，此波段正位於 8 - $14\mu\text{m}$ 之大氣窗內，其能量之大部份可透過大氣為遙感探測器偵測得到。

雖然太陽所放射之輻射能亦包括熱紅外光段之能量，但此能量於穿透大氣層到達地表時，部份為大氣層所吸收。到達地表之能量又有部份為地表覆蓋所吸收，部份則再被反射而再度進入大氣層。此能量經大氣吸收、散射後，部份可到達遙感偵測器。唯由於到達偵測器所需經過之路徑（Path）不同，故熱紅外光遙測之主要輻射能來源係地表所放出者，而非來自太陽輻射再經地表反射回大氣層之能量。

熱紅外線能量的接收需利用掃描方式，導入感測器（sensor）而後記錄在磁帶上，再變成影像（image）。使用多波段掃描儀時，可以從紫外線、可見光、攝影紅外線，一直到熱紅外線分成數個至十數個頻道（channel）一一接收。熱紅外線掃描的飛行時間一般均選擇在黎明前，因為此時溫度較為穩定，而且沒有反射能（即太陽光）的干擾。為了地質的研究，更不願在白天飛行，因為在日間的向陽坡較熱，背陽坡較冷，故在熱紅外線影像上顯露者為地形而非地質。

對未固結的沈積物而言，顆粒愈大，吸熱與散熱愈快，亦即白天熱得快，夜間亦冷得快。例如在黎明前的熱紅外線影像上，礫石層感覺最冷，其它依次是砂質土及黏土。土壤內的水分有降低土層溫度的功能；斷層帶亦因含有水分而溫度略低，可顯示於影像上。在夜間影像上，固結岩層比未固結岩層還冷，而砂岩比頁岩冷。水與岩層正好相反，兩者相較之下，水在白天較冷而夜間較溫。熱紅外線影像亦可用來辨認崩塌地，此因崩塌地質含有較多的水分，其溫度與周圍的岩層有異。

3.5 波譜反射率曲線

圖 3-5 代表三種基本型式的地物：健康的綠色植物，乾裸的土壤（灰棕壤土）以及透明的湖水等典型的波譜反射率曲線。圖中線條代表著每一種地物，由甚多樣本的平均值所編輯而成的反射率曲線。這些曲線說明了有關波譜反射率的一些基本性質。

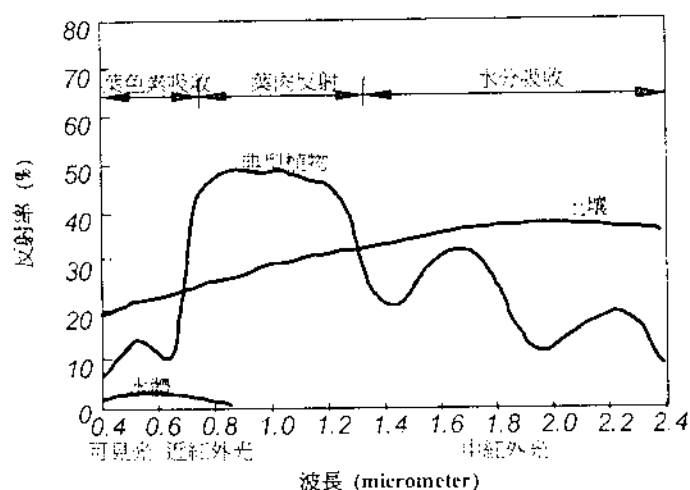


圖 3-5 綠色植物，土壤以及透明的水體等典型的波譜反射率曲線圖

由圖可知，由於植物葉子對於藍光及紅光能量吸收率很高，又極易反射綠光能量，因此吾人所見之健康植物都是綠色的。若植物受到某些病害而影響到其正常成長及生產力時，它可能減少或停止生產葉綠素，結果將減少葉綠素對藍光及紅光波段的吸收。紅光反射強度的增加使吾人看到的植物轉變成黃色（由綠色及紅色組合而成）的印象。在反射強度曲線凹下處發生在波長 1.4、1.9、2.7 μm 的地方，因為在此波段樹葉的水分吸收力最強。因此在波譜中這些波段稱為水吸收帶。

在圖中，土壤的反射強度曲線峰谷之間變化較少。其意義為因特殊波段作用而產生影響土壤反射強度的因素較少，而土壤中含水量與其組織有極密切的關係。如粗糙的砂質土壤常具有良好的排水性，因此導致低含水量，相對的反射強度便增加，排水不良的細質土壤則反射強度較低。若考慮水的波

譜反射強度，其最明顯的區別點為反射紅外光波段的高度能量吸收。簡言之，吾人所討論的是由於水體（如湖泊或溪流）或者是在植物、土壤中所含的水分，會吸收反射波段的能量。由於此吸收的特性，在反射紅外波段內利用遙測資料去尋找水體位置並加以描述便十分容易。然水中的物質亦會影響到波譜的反射率，如水體的反射強度也隨著所含的葉綠素濃度而變化，水中葉綠素濃度增加，使得水體在藍光段的反射強度減少，而綠光段的反射強度增加，藉此遙測資料，利用上述變化可測得海藻之位置及估算它們的濃度。

由上述植物、土壤及水的波譜反射強度特性後，可知研究者若能廣泛的瞭解各種地物的波譜反射特性，則對於遙測資料的判讀將會有更大的幫助，也可將遙測的技術做最大的應用。

3.6 遙測影像

遙測影像依不同之觀點有不同之分類方式。依探測器之載台可分為空載之遙測影像與衛星之衛星影像。二者飛行高度不同，故具有不同之地面解析力及涵蓋之範圍。依探測能源而言，遙測影像包括主動式與被動式之探測系統。依探測之光譜，則具有多光譜之影像。此外，遙測影像之多時性（重覆觀測性）亦是地表變遷偵測之動態資料之考慮。雖然分類方式可依載具、探測能源之主/被動性、多光譜性，及多時性辦理。本單元將以載具為主要分類，並以之介紹遙測影像。

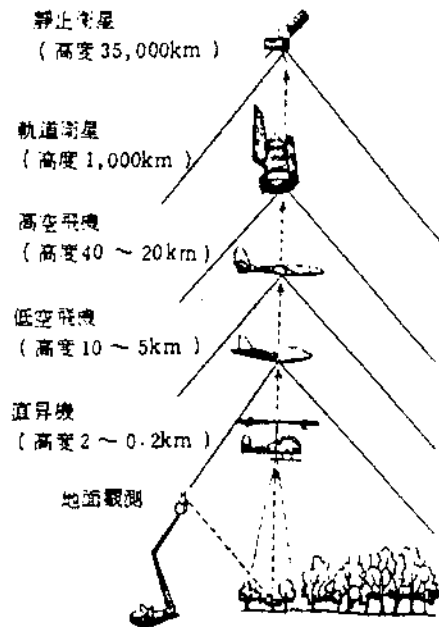


圖 3-6 各種不同之遙測載具

3.6.1 空載影像

空載影像之載具為飛機。其影像之主要來源有三，即空照相片、空載多譜掃描儀影像及雷達影像。空照相機以中心投影之方式，將物體空間目標之反射能量記錄於影像平面上。其光譜資訊視其所使用之底片而異。在台灣地區以使用全色態（panchromatic）底片為主。空載多譜掃描儀則以一定之瞬間視場角（IFOV）進行地面目標物之掃描。空載多譜掃描儀影像與空照相片相比較，前者具較佳之光譜解析力，但其掃描時之扭曲，造成影像幾何變形，校正過程較為困難。雷達影像之全天候特性，無論日夜以及雲層狀況，並可裝置於飛機上增強機動性，進而提升其應用性。

一、正射相片

在照相時，以垂直地面的方法拍攝，所拍出的相片中每一個地點的比例尺都近似，稱為正射相片。正射相片經處理後，可以用來製成地圖，節省許多地面調查及測量的時間及經費。如果用一系列相同比例尺正射相片來涵蓋整個地區，再將這些鑲嵌成一張大圖，就能夠展現出一個地區的全貌。台灣的五千分之一相片基本圖（如圖 3-7），就是由正射相片加工製作出來的一套圖。



圖 3-7 台灣的五千分之一相片基本圖（圖中為雲林縣四湖鄉水田）

二、航空照相

航空照相是最普及、用途最廣且最經濟的遙測技術之一，也是使用最早的遙測技術。航空照相係利用光學攝影系統，將地面的景物以照片形式記錄下來。藉著照片，我們可以同時「鳥瞰」廣大地區的地表現象。由於航空照相同時將所有的地表現象記錄在照片上，不同的照片，使用人可能自照片上獲得完全不同的資料。例如水文學家可能注意照片上所展現的地表水體分佈情形；地質學家注意岩層的分佈及構造現象；農業學家則注意土壤及農作物的種類等。航空照相將地表的現況做成永久的記錄以便隨時在室內研究，而且一張照片可供多人研究，比較同一地區不同時間拍攝的照片可以發現地表的變化情形，達到監測的目的。圖 3-8 顯示民國 88 年 921 地震災害後埔里市郊之航空相片。



圖 3-8 921 震災後埔里市郊之航空相片

3.6.2 衛星影像

衛星影像具有之特性有：(1)涵蓋面積廣，(2)資料量大，(3)具多光譜之特性，(4)具重覆觀測之能力，因此，適於區域性及全球性之環境監視之用。資源衛星的目的是觀察地形地貌、環境污染、森林植被、生態環境等現象。常見之資源衛星包括美國 Landsat 大地衛星、法國 SPOT 資源衛星、歐洲太空總署歐洲資源衛星 (ERS-1)。

一、美國 Landsat 大地衛星

美國 Landsat 大地衛星為美國航空暨太空總署 (NASA) 很早所著手研究一系列地球資源技術衛星之後期成熟產品。地球資源技術衛星 ERT-1 於 1972 年 7 月 23 日發射升空，為第一個具有中等解像力之多譜掃描系統，並且反覆蒐集地球資源資料的自動操作人造衛星。其設計著眼點，係當作一個實驗系統，以測試無人駕駛人造衛星蒐集地球資源資料的可行性。其後太空總署正式將 ERTS 計畫更名為大地衛星計畫，因此 ERTS 系列衛星重新命名為 Landsat 系列衛星。大地衛星的基本組成。其外型類似蝴蝶狀，高 3 公尺，直徑 1.5 公尺，外伸之太陽能板約寬 4 公尺，重 815 公斤。其環繞地球的軌道高度在 880 公里至 940 公里之間，平均高度約 900 公里。大地衛星由北向南環繞地球運轉，繞地球一周需 103 分鐘，即每天可繞地球 14 圈，其繞行速度約為 6.46 公里/秒。新一代的 Landsat 地球資源觀測衛星，具有四波段多譜掃描系統及主題測繪器 (Thematic Mapper; TM)。主題測繪器為一個七波段的掃描器，設計目的在使農業用途的植物分析提昇到最大的能力。以下為主題測繪器的七個波段及其特性：

- (一)第一波段 (波長 0.45 至 0.52 μm) 用以調查沿岸水域及土地使用、土壤及植物特性為主。
- (二)第二波段 (波長 0.52 至 0.60 μm) 用以察看位於兩個葉綠素吸收波段之間的植物綠光反射波峰。此一波段主要用於植物調查與生長狀況的評估。
- (三)第三波段 (波長 0.63 至 0.69 μm) 為識別植物最重要的波段。位於葉綠素吸收區段的一個。強調植物與非植物之間的對比及植物種類間的對比。
- (四)第四波段 (波長 0.76 至 0.90 μm) 用以偵測像幅內出現的植生數量，有助於作物的鑑定及強調土壤—作物、土地—水體之間的對比。
- (五)第五波段 (波長 1.55 至 1.75 μm) 主要著重於作物種類，作物含水量及土壤濕度狀況的測定。
- (六)第六波段 (波長 10.4 至 12.5 μm) 為一熱紅外光波段，有助於植物的分類，植物病蟲害的分析，土壤濕度識別及其他和熱有關的現象。
- (七)第七波段 (波長 2.08 至 2.35 μm) 一用以識別各種岩層。

二、SPOT 衛星

SPOT 衛星是法國公司所發射的資源衛星，SPOT 衛星在離地球 822 公里的軌道上運行，每隔 26 天回到同一地點。在 SPOT 上裝載著兩種的感測

器，一種是黑白的，能夠觀測到地表上超過 10 公尺大小的物體；另一種多波段感測器，分別紀錄綠、紅及紅外光的強度；能夠分辨大小超過 20 公尺的物體。SPOT 的影像系統，包括兩具的高解像可見光 (HRV) 的掃描器，每具 HRV 單元有兩種方式的操作，包括 3 波段多譜與黑白全色態。多譜掃描每波段的範圍是:0.49-0.59 μm (綠)，0.61-0.71 μm (紅)，和 0.80-0.91 μm (反射紅外線)。下圖中三張黑白影像分別為 SPOT 衛星的多光譜感測器拍攝的紅外光 (圖 3-9)、紅光 (圖 3-10) 及綠光段 (圖 3-11) 竹北地區影像。其中紅外光影像的特別明亮，這是因為植物反射大量的紅外光。不同種類的植物反射紅外光的強度有相當的差異，因此紅外光能夠用來辨認植物的種類及生長的狀況。水體則能有效的吸收紅外光，因此在影像中呈現黑色，所以紅外光可以區分水體及非水體。正因為紅外光能提供可見光所沒有的重要資料，所以許多的感測器中都會蒐集紅外光波段的資訊。

由 SPOT 衛星的紅外、紅、綠三個波段組合成彩色影像，最常用的方法有兩種，分別是紅外光假色影像 (圖 3-12) 及擬自然色影像。紅外光假色影像將紅外光波段著上紅色，紅光波段著上綠色，綠光波段著上藍色，然後組合起來，所得到的影像中，植物呈現紅色，紅色越鮮豔代表植物越茂密。水體越澄清，水色越黑。聚落則呈現灰藍色。以擬自然色影像方式製作影像時，則盡量模擬成可見光的效果，植生是綠色的而水體是藍色的。不過因為 SPOT 衛星沒有藍光的資料，因此所製作出來的擬自然色影像和可見光的影像多少有些差異。

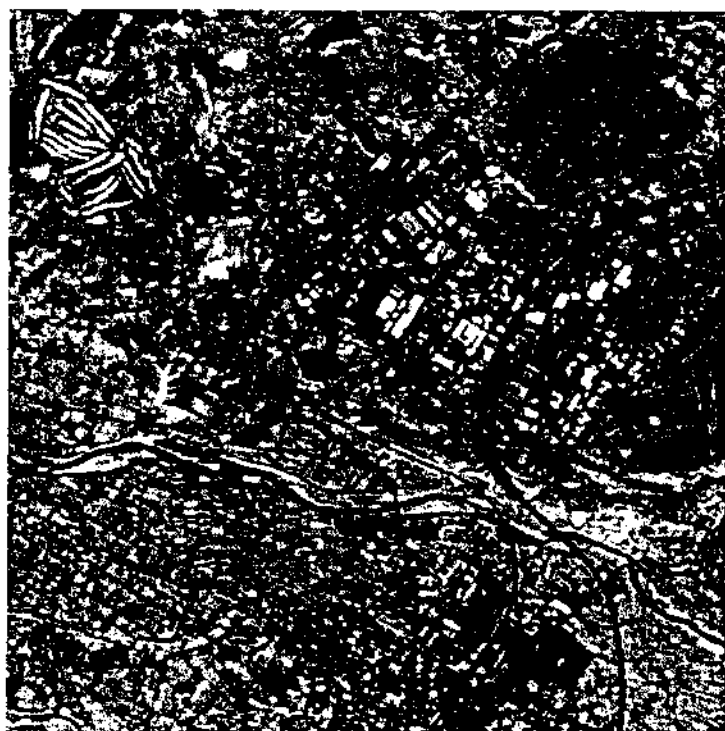


圖 3-9 SPOT 衛星竹北地區紅外光段影像



圖 3-10 SPOT 衛星竹北地區紅光段影像



圖 3-11 SPOT 衛星竹北地區綠光段影像



圖 3-12 SPOT 衛星竹北地區紅外光假色影像

三、歐洲資源衛星

歐洲資源衛星(ERS-1)是歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)負責之衛星，是以太陽同步軌道運行，軌道高度約為 785 公里，軌道傾斜角約為 98.5° ，以 168 天週期運作。ERS-1 衛星合成口徑雷達影像(SAR)系統是以 23° 入射角斜視地面物攝取雷達回波資料，掃描軌跡寬約為 100 公里，掃描軌跡中心距離衛星軌道投影中心約為 294 公里。因合成口徑雷達影像不受天候影響，且日夜均可取樣，有助於未來台灣地區遙測應用。

四、氣象衛星

在衛星上攜帶各種輻射感測儀器，並由各輻射觀測值反演推求諸如溫度、濕度、風、雲、降水和各種氣體含量等氣象要素以及監測各種天氣現象，這種用於氣象目的的衛星稱之為氣象衛星。

1960 年，美國發射第一顆氣象衛星 TIROS-1 升空後，在氣象研究上之應用技術更是蓬勃發展。氣象衛星提供包括劇烈風暴、鋒面、高空槽脊、氣流、雲霧等大尺度運動之特徵，並可監測颱風、風暴及大氣層外地球輻射收支之估算。

氣象報告中的衛星雲圖是由 GMS 氣象衛星所拍攝，GMS 氣象衛星在離地球表面三萬六千公里軌道，繞地運行。GMS 環繞地球的速度正好和地球自轉的速度一樣。所以在地面上看來，就好像一直停在同樣的地方，所以也

稱為地球同步衛星。NOAA 也是一種氣象衛星，平均飛行高度約 820 公里，繞地球一周需時約 101 分鐘。除了探測氣象外，NOAA 的資料也可以用來產生植生分佈的影像。

3.7 遙測影像之來源

在國科會之補助下，設置於國立中央大學太空及遙測研究中心的資源衛星接收站，是台灣衛星影像最主要之來源。太空及遙測研究中心已於民國八十二年底起有系統地接收並處理資源衛星影像，目前已超過四十萬幅。這些影像之 Meta-Data 及 Quick-Look 和其他由中央大學負責提供之相關遙測資料，可經由中央大學太空及遙測研究中心之網站 (<http://www.csrsl.nctu.edu.tw>) 進行查詢 (圖 3-13)。目前可提供查詢的項目如下：

1. 資源衛星資料影像查詢
2. 氣象衛星影像查詢
3. 空載多譜掃描儀影像查詢
4. SPOT/LANDSAT 衛星資料: 主題式影像查詢
5. SPOT 立體像對查詢
6. 新加坡資源衛星接收站 (CRISP)
7. 衛星資料影像查詢系統

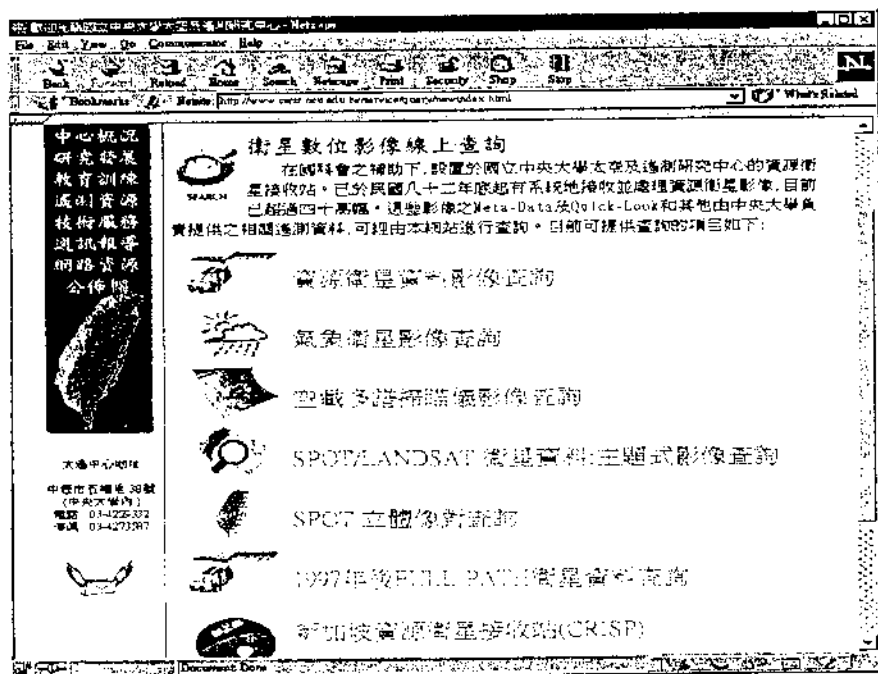


圖 3-13 國立中央大學太空及遙測研究中心衛星影像線上查詢系統

3.8 數值地形模型 (DTM)

數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM)，乃是以數值的方式記錄地面上平面位置 (X,Y) 及高程 (Z) 的座標值，為一種描述地形資料之數值模式。台灣地區的 DTM 資料乃由農委會委託農林航測所測製，利用解析航測法，在航照立體相片上數化高程點，以每 40 x 40 公尺等間距的規則網格取樣，產生之 DTM 資料以五千分之一基本圖幅分檔，每幅約 4800 點。全台灣地區的 DTM 資料共有 5441 幅，山區部分因長年雲霧覆蓋和地形陡峭等因素，仍缺一些圖幅，另有一百餘幅被軍方列為機密 (121 幅)，目前可買到的圖幅共 4627 幅。

DTM 是地面特性空間分布的數值描述，故凡是涉及地面特性空間分布的問題，都可以應用 DTM。五十年代中期到六十年代初，DTM 多侷限在網格式數值高程模型在土木水利工程和地圖測繪中的應用，至六十年代中期起，逐漸成為地理資訊系統資料庫中的實體，為地理資訊系統進行空間分析和決策提供操作便利的輔助資訊。其應用領域包括：

一、工程建設方面

1. 挖填方計算
2. 鐵路及各種管線選線
3. 水庫蓄水量、淤沙量及淹沒面積計算。
4. 廠址、住宅區選址。

二、在地圖測繪和遙測方面

1. 製作正射像片
2. 輔助遙測影像處理之幾何校正與分類判釋。

三、在自然地理方面

1. 氣候分析 (日照分析、山區風場模型)
2. 水文分析
3. 地形分析
4. 土壤地理應用
5. 植被分析

四、在農、林業方面

1. 農產品栽植適宜性分析
2. 林地評價、林業規畫、林區景觀改造

五、在災情監控方面

- 1.水災淹沒區劃定
- 2.洪水期人口撤退選線
- 3.蓄洪堤防、分洪口、出洪口選址
- 4.森林大火監控

六、土地管理方面

- 1.地價分級評定
- 2.航測土地利用現況調查

七、其他相關領域

- 1.軍事（飛彈導航、機場、雷達系統選址）
- 2.生態（動植物棲地分析）

3.9 遙感探測與農業應用

地表上人類活動的範圍，無論是都市、農田、森林或沼澤，絕大部分都有植物生長。植物通常是太陽電磁幅射於穿透大氣層後首先接觸的地表物體，此能量的反射、穿透與吸收對植物光合作用的形成，太陽能量與生物質量的轉換累積及空氣中氧氣量的循環更新，都有直接的影響。遙感探測針對此能量與植物體的交互作用，經由航空照片或衛星影像的記載，配合植物本身之物理特性，在許多不同的電磁波譜（Electromagnetic spectrum）上作分析，已能準確的辨識作物種類、覆蓋面積，並可對植物病害監測、缺水程度作評估。另外，間接的可做準確的作物收穫量估計，森林材積衡量湖泊優養化程度評估，地表利用及生態環境之動態監測等。

正常的植物體在近紅外光區域有最強的光譜反射，其反射特性主要受控於二類植物細胞，其一是位於上表皮下方的狹長形柵狀細胞（palisade cells），其包含許多飽含葉綠素的葉綠體（chloroplasts），吸收大部份電磁波譜中的藍色和紅色光以用於光合作用，另有約 20%的綠色光由葉綠體所反射，而使正常植物體葉表面呈現綠色。二是位於葉片柵狀細胞下的海綿組織（sponge mesophyll）層，此層包含中葉細胞及無數不規則形狀，可容納空氣的小孔，圖 3-14 顯示葉片結構之示意圖。近紅外光幅射於穿透葉表及柵狀細胞時並不受影響，但會被其下方的海綿組織層所高度反射。對一健康的植物葉片而言，常有高於 50%的近紅外光反射回葉表面外，而其餘部份則被穿透或被葉片所吸收。由於中葉海綿組織排列的變化，造成不同植物於紅外光波段有不同的反射特性，例如大部分的單子葉植物有較薄的海綿組織，造成相對較少的紅外光反射與較高的穿透；相反地，具明顯海綿組織雙子葉植

物的葉片，常有高度的紅外光反射與少量的穿透。

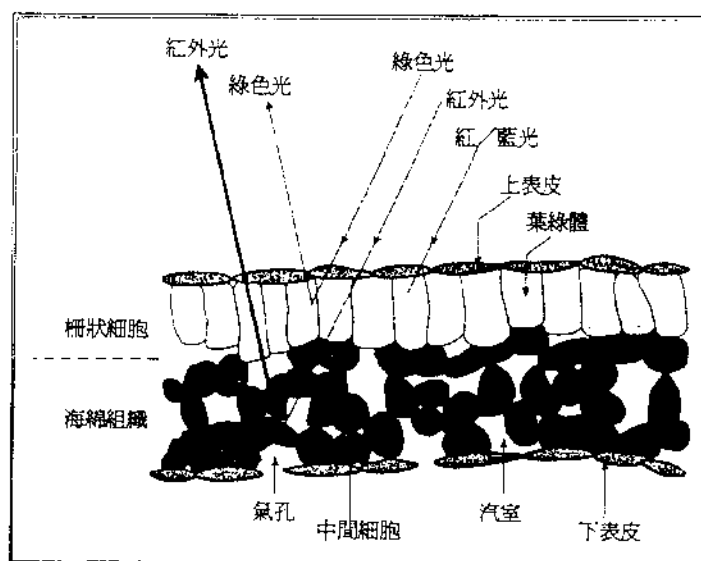


圖 3-14 葉片結構及與光線之反射示意圖

不同種類的植物，即使其顏色近似，反射曲線在可見光區或許不易分辨，但在紅外光波段可能有顯著的差別，圖 3-15 顯示落葉喬木、草地、水生植物及針葉樹木的波譜反射曲線，他們在可見光段無明顯差別，但在近紅外光段即可予以分辨。

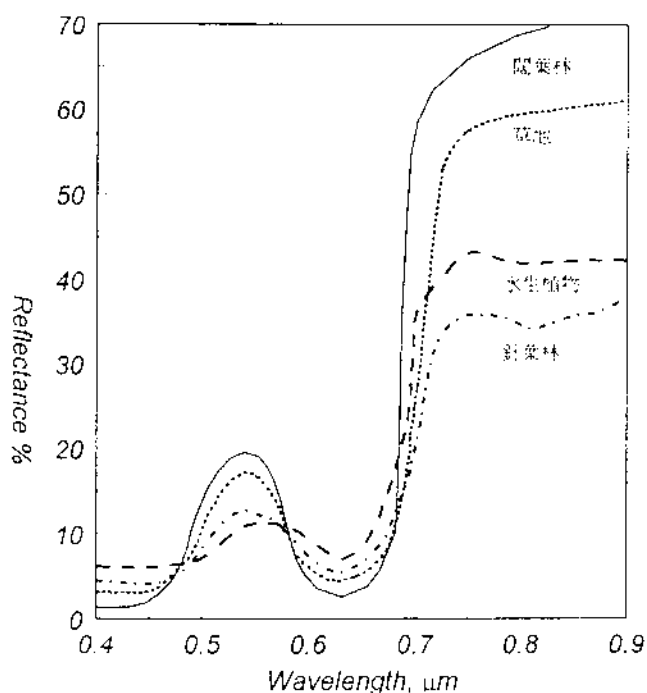


圖 3-15 落葉喬木、草地、水生植物及針葉樹木的波譜反射曲線

當植物體受到外在環境的壓迫 (stress) 包括蟲害的侵襲，疾病的感染，生長期溫度異常，土壤鹽分濃度過高，土壤水分不足，根部長期浸泡，養分缺乏或環境污染等等，它的波譜特性曲線將發生改變，通常此變化同時發生於可見光及紅外光段，但在紅外光段的改變量將數倍於可見光段的改變，此類影響植物體生長的因素，直接破壞海棉組織中的孔隙或摧毀葉中細胞的細胞壁，造成近紅外光波段較強烈反射率的改變。

此變化約可分為四個階段：

階段 1.健康期:可見光譜反射的波峰在綠色光段 (約 20%)，紅光與藍光段有較低反射值 (約 10%)，而近紅外光段有明顯的高原 (約 70%)。

階段 2.傷害初期:葉片受到傷害之初期，僅於近紅外光區產生一反應值降落 (約 10%)，此減少乃葉片中葉組織氣孔的潰散，通常此期亦稱"視覺前" (pre-visual) 傷害，因為葉片仍呈現綠色，植物體本身無任何明顯變化，此階段遙測方法可透過近紅外光波段值測出此一先期變化，而設法降低此環境壓迫，使植物恢復第一階段之生長狀況。

階段 3.傷害顯現期:此階段通常位於傷害初期後數天至數星期，葉片由綠而轉黃，顏色的改變是由於柵狀細胞中葉綠體的破壞增加了紅色光的反射值，在近紅外光波段相較於階段 2 亦約有 5% 的降低。

階段 4.壞死期:葉片呈現棕色或棕紅色，光譜反應曲線中可見光區的波峰消失，紅色反射增強，而可見光區至近紅外光區位於 0.7um 的高反射率亦不復存在。此階段葉片細胞結構已遭破壞，水分亦已散失而呈乾燥易碎。

對一般農作或園藝作物，由階段 2 傷害初期返回階段 1，僅需設法移去造成此傷害之環境壓迫因子，即可迅數復原；而由階段 3 欲返回階段 1，則除了移去此迫害因子外，依植物種類的不同，尚須經歷不同長度的復育時期。此時的生長停滯或產量減低，是可以藉由遙測方法早期獲得訊息而予以防治。

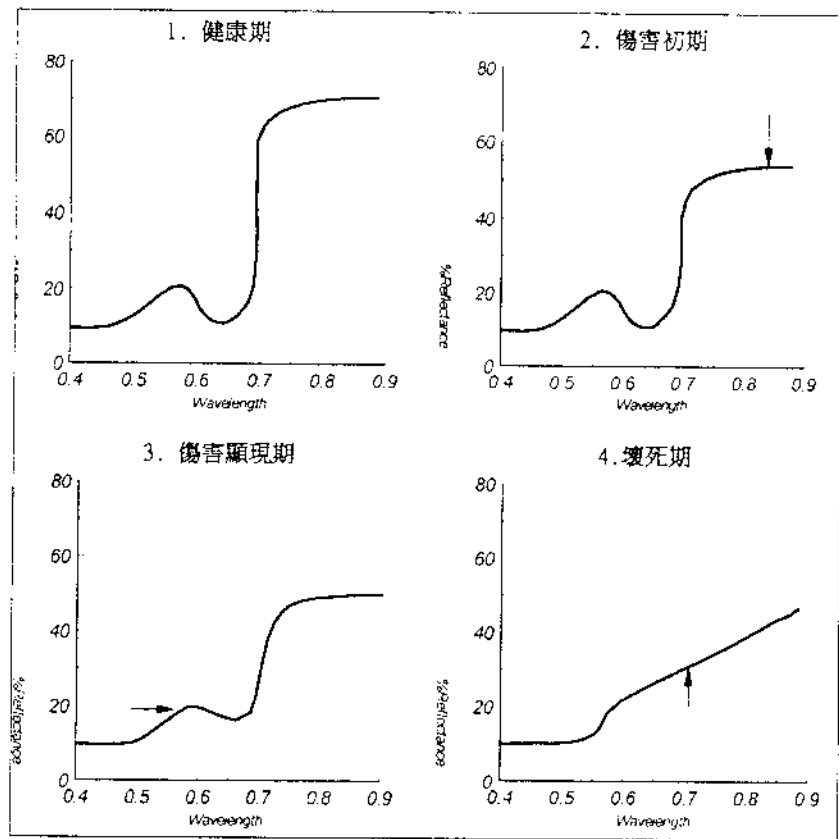


圖 3-16 植物體受到外在環境的壓迫，光譜反應之四階段圖

3.9.1 植物指標

植物指標 (Vegetation Index) 是利用植物於不同波段光譜所反應之特性，加以特殊組合成的一組數值，用以顯示植物於某一特定時間及地點之生長狀況。植物指標可依不同植物類別，土壤條件及可使用的遙測波段而賦與不同的組合。其基本目標在於(1)經由適當的光譜組合，而加強其對植物特性的分辨能力。此指標並非隨意的波段排列，而是根據植物與其土壤背景之物理性質，對光譜反應的不同予以選擇性合併，來加強植物反應部份，及減低背景反應的影響；(2)建立一可供長時期，及不同地區比較的標準。經由比例 (Ratio) 或正規化 (Normalize) 的過程，可除去許多由當時氣象條件及日照程度不同，所造成的影響。

許多研究指出植物指標和植物的生長現象有密切相關，其中具體的研究包括葉面積指標 (leaf area index)、生物質量 (biomass)、地面覆蓋百分率 (percentage ground cover)、和吸收之有效光合輻射量 (absorbed photosynthetic active radiation) 與植物指標關係之研究。許多植物相關模式，可藉此基本關係，再加以推廣。常見的植物指標及其定義，列表如下：

名	稱	定	義
比例植物指標		$\frac{IR}{R}$	
Simple ratio vegetation index		$\frac{R}{G}$	
紅綠比		$\frac{R}{G}$	
Red green ratio		$\frac{G}{R}$	
標準化差異植物指標		$\frac{IR - R}{IR + R}$	
Normalized difference vegetation index (NDVI)		$\frac{IR - R}{IR + R}$	
轉換標準化差異指標			
Transformed normalized difference vegetation index (TNDVI)		$\sqrt{\left(\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5\right)}$	
正交植物指標 Perpendicular vegetation index (PVI), s=soil v=vegetation		$\sqrt{(R_v - R_s)^2 + (IR_v - IR_s)^2}$	
土壤修正植物指標 soil adjusted vegetation index (SAVI)		$\left(\frac{IR - R}{IR + R + L}\right) \times (1 + L)$	
纓帽轉換 Tasseled Cap transformation		$0.332 MSS_1 + 0.603 MSS_2 + 0.676 MSS_3 + 0.263 MSS_4$ $-0.283 MSS_1 - 0.660 MSS_2 + 0.577 MSS_3 + 0.388 MSS_4$ $-0.899 MSS_1 + 0.428 MSS_2 + 0.076 MSS_3 - 0.041 MSS_4$	

R=red band, G=green band, IR=near infrared band

3.10 遙測工具的選擇

遙測工具的選擇，須考慮所欲監測地區面積，欲監測變化之頻率與被監測區於光譜反應之特性，而有不同尺度的考量。空間尺度或稱空間解析度 (spatial resolution)，指的是遙測儀器所能分辨最小地表物件的能力。低空航照或軍事用途上所謂の間諜衛星，可以達到 10 公分以下的解析度，地表面甚至如高爾夫球般大小的物件，可從衛星影像或航空照片上分辨出來。一般民間用途的觀測衛星 (如美國 LANDSAT，法國 SPOT，印度 IRS 等)，空間解析度約在 10 公尺至 80 公尺之間，適合中等規模如農地、森林、小集水區等之觀測。氣象衛星 (如美國 NOAA、GOES，日本 GMS 等)，空間解析度約在一公里至數公里之間，適合較大規模或地區性觀測，如整個行政區、國界或洲陸地，甚至全球的監測。此類衛星，尤其是 NOAA 衛星，雖歸類為氣象衛星，但許多研究顯示，其用於地面觀測之功能遠大於原本設計之氣象用途。

時間尺度指的是對同一地點得到重複觀測影像所需的時間。一般環繞地球衛星，空間解析度愈高，因其每次觀測所能涵蓋之地表面積有限，時間解析度便相對降低。如美國 LANDSAT 衛星，每 16 天可對同一地區做重複觀測；法國 SPOT 衛星在正常運行下，每 26 天可重複觀測一次，然後者具有

特殊的定點觀測能力，可移動感應器的觀測角度，依所在緯度不同，可得到 1 天至 5 天不等的重複觀測能力。氣象衛星雖然空間解析度低，但具有極佳的時間解析度。環繞地球軌道的 NOAA 衛星，每日可作 2 次的重複觀測，適合選擇為需要每日讀取變化的研究。而定點（Geostationary）氣象衛星，因其與地球的相對位置固定，可有高達 15 分鐘一次的觀測能力，適合作雲層變化、颱風移動等改變頻繁的監測。

除了上述二項主要的尺度考量外，尚有光譜解析度（spectral resolution）及輻射解析度（radiometric resolution）的尺度考量，與遙測方法的選擇有直接關係。前者指的是遙測儀器在電磁波譜上可感應的範圍，如 LANDSAT TM 有 7 種不同波段範圍（0.45-0.52 μm , 0.52-0.60 μm , 0.63-0.69 μm , 0.76-0.90 μm , 1.55-1.75 μm , 10.4-12.5 μm , 2.08-2.35 μm ），而 NOAA AVHRR 有 5 種不同的感應範圍（0.58-0.68 μm , 0.72-1.1 μm , 3.55-3.92 μm , 10.3-11.3 μm , 11.5-12.5 μm ）。依所應用目標不同，光譜解析度有時亦是非常重要的考慮因素之一，如以熱慣量估計土壤水份須作地表溫度監測，則必須選擇具有熱紅外光（Thermal infrared）波段之衛星。輻射解析度指的是感應系統可以記錄不同感應值的能力，如 8-bit 輻射解析度可以記錄 256 種不同灰階的變化，10-bit 解析度則可以記錄 1024 種不同感應值。輻射解析度相較於其他三種尺度，其重要性略低，但適當地選擇資料分析及儲存時的尺度，則可顯著的增加運算速度及減小檔案。

3.11 應用實例

3.11.1 作物產量估計

許多研究依植物外觀特徵與生理機能等合併特徵，與植物產量之關係而提出產量效率（production efficiency）的觀念。具體而言，農作物、草地或森林的累積生物量（accumulated biomass）和植物葉面所截取的太陽輻射量大約成一線性關係。此關係可以表示為一截取百分率與太陽輻射量對時間積分之關係式如下：

$$P = \varepsilon \int_{-t}^0 I_t \cdot S_t dt$$

P = 產量（g/m²/time），

ε = 生產率（g/MJ），

I = 截取的太陽輻射百分率，

S = 太陽輻射量（MJ/m²），

t = 時間。

而後衛星遙測技術及多頻道影像的被大量採用，經由田野實驗及理論推導許多研究均指出，由可見光及紅外光波段組成的指標，與前述輻射截取量有緊密的關聯性。另有研究指出地面觀測之正規化差異植物指標（NDVI）與光合輻射之葉面吸收百分率，有幾乎一對一的相關性，而改寫前面方程式為：

$$P = \varepsilon \int_{-t_0}^t NDVI_t \cdot S_t dt$$

當整個生長季節中，作物的 NDVI 相對於時間作圖，通常可得到一鐘形曲線，鐘形曲線上升段代表作物生長階段，曲線高點區域代表作物由生長階段轉為複製階段（開花結穗期），而曲線下降區代表作物逐漸趨向衰亡。圖 3-17 顯示一輪作田之 NDVI 時間序列，序列基部介於 NDVI=0 至 0.05 之間，通常會有一土壤基線，代表土壤本身 NDVI 反應值，其上方之 NDVI 方為植物本體所貢獻，最大年度 NDVI 勢能與作物型態及氣候有關，而曲線下之面積可作為年度產量的指標。

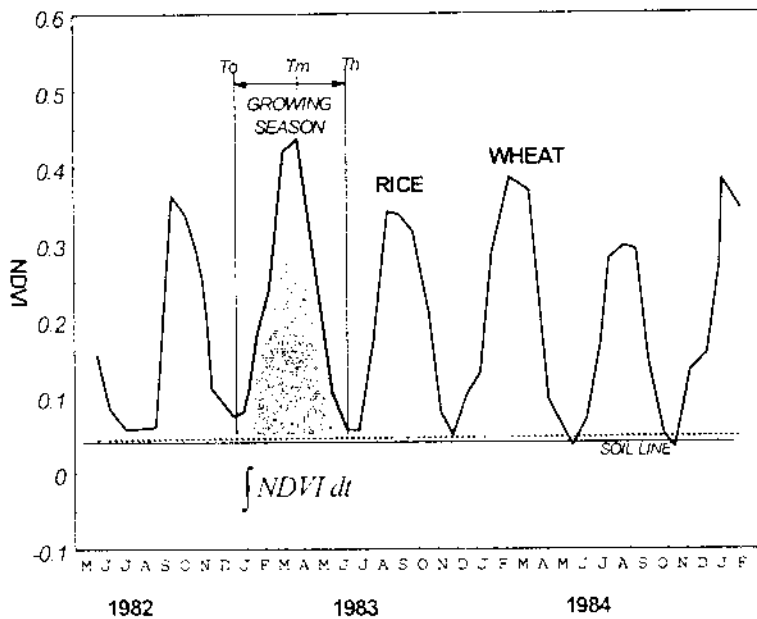


圖 3-17 稻米與小麥輪作田之 NDVI 時間序列，陰影部分面積可用以推求單季作物之產量

3.11.2 土地利用植物覆蓋動態監測

地表植物覆蓋受自然或人為因素的影響，其變化常是許多環境擾動的先期指標。天然的變化，如上游集水區邊坡崩塌，森林火災造成的林相改變，湖泊優養化所造成的大面積藻類生長等；人為的擾動包括森林砍伐，河川盜採砂石，高爾夫球場與新社區的開發等。許多此類地表的變化，無論是人為

或天然的，常發生於偏遠或不易為人得知的地點，其早期變化的訊息是避免情況進一步惡化及解決紛爭的重要因素。

本例是以 NOAA 衛星 AVHRR 5 波段資料作地表土地利用之動態監測，主要地表利用大致分為一般農業用地（包括旱作、甘蔗、蔬菜、柑橘類等）、牧草地（pasture）、沼澤地（marsh）、森林地（forest）、濕地（swamp）、都市和湖泊等。NOAA AVHRR 具有 1 公里地表解析度及每日 2 次的重複觀測能力。本例中所利用之 NOAA AVHRR 地表特性推估值，包括輻射率（emissivity），植物指標（NDVI），地表溫度（Ts）等。

植物指標，可代表當地地表植物的生長密度及健康狀況，而地表溫度除了隨不同地表覆蓋物而改變外，土壤水份含量是另一重要的影響因子。因水的比熱高於大部分地表自然物質，在相同的太陽輻射能量供給下，土壤水份含量高的地區，其熱慣量（thermal inertia）亦大，溫度隨時間的改變較緩慢，而有日間湖泊、濕地的溫度低於一般地表，而夜間此關係正相反。

植物指標與溫度特性之應用常先選取欲分析之土地利用，分別計算其範圍內之 NDVI 及地表溫度之統計特性，再進一步以此特性依次決定整個區域中每一像素（pixel）所代表的土地利用型態。再經由現地勘察（ground truthing），以驗證此分辨之準確性。校驗部份採用地面點經由現地踏勘、觀測及記錄其地表利用，並配合全球定位系統（GPS）記錄其座標以檢驗其分辨能力。分類之誤差分析（Error analysis）顯示此方法具足夠之精確度，尤其在對草原地及水體等於 NDVI-溫度圖上位置特殊區域，有高達九成以上的準確率。植物指標與地表溫度與地表特性的關聯性，是監測地表土地利用的良好工具，此監測不同於傳統之土地利用分類之處，在於它是根據地表的物理特徵，直接加以辨識，而非傳統分類方法根據多波段光譜的統計特性。在資料分析速度及物理意義解釋上，均有其優越之處。此外，此處之監測，強調的是高頻率的觀測，期能在地表發生變化的初期即加以注意，並採取必要措施。

在 NDVI-溫度所形成的空間上，每一類型土地使用狀況，又可依其主要成份（principle components）及標準差（standard deviation），訂出其特性橢圓（圖 3-18），如都市之特性橢圓，位於高地表溫度及低植物指標區；而草地、牧場等高植物覆蓋用地，位於高 NDVI 及中等地表溫度區；沼澤及濕地因植物覆蓋變異量大，在 NDVI 方向上有較長之橢圓長軸，又因其土壤含水量極高，地表溫度相對較其他土地利用低。在此 NDVI-Ts 空間上位置的移動，常可作為土地利用變化的指標。例如 NDVI 與 Ts 同時有明顯的上升，在短期看來可能是作物正常生長，覆蓋量或樹冠大小增加，土壤因作物吸收含水量降低，顯示地表溫度上升，若此變化是屬於長期性的，從 NDVI-Ts 圖上判斷可能為濕地排水後形成新的牧草地，亦有可能由沼澤地變化為農業用地，須依其實際位置及變化量大小而決定。

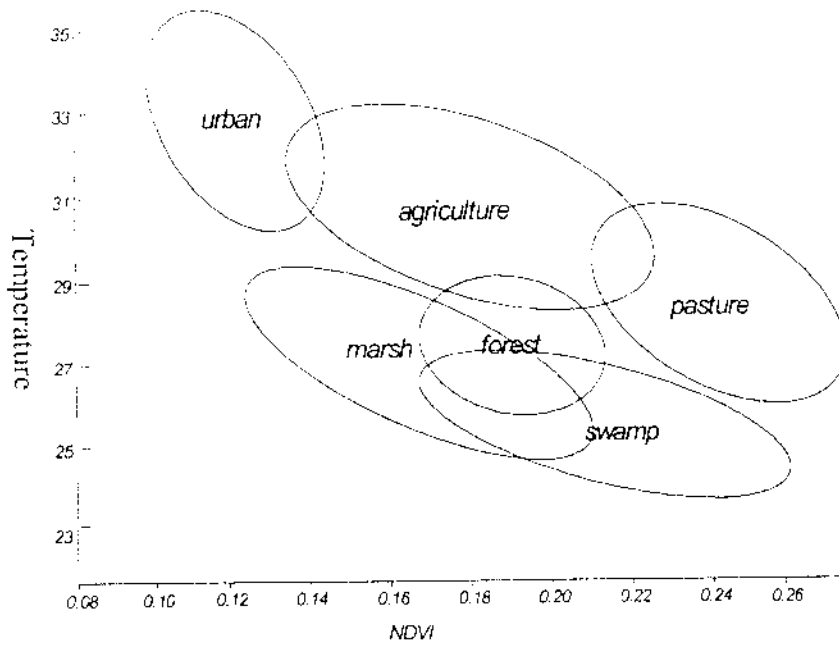


圖 3-18 NDVI-溫度所形成的空間上，每一類型土地使用狀況，又可依其主要成份及標準差，訂出特性橢圓

低空間尺度，高時間尺度的地表監測，並不能取代高解析度的地表分類，它是藉由迅速、低成本的衛星觀測早期發現變異，再針對此局部變異配以高解析度之衛星影像或航空照相，甚至派專人至現地調查，以探求此地表特徵改變的原因。此方法亦可針對某種特定地表利用改變，於 NDVI-Ts 空間上的向量變化，設計監測模式，一旦此改變型態出現即予以預警並作進一步查驗。例如森林地的盜伐必然導致 NDVI 明顯下降與地表溫度某種程度的上升，實際數值變化量，可依當地過去影像特徵值而決定，或以目前影像上已知類似狀況點之特徵向量，推求整個影像中符合此特徵之其他區域。

第四章 衛星定位系統與田間管理

4.1 衛星定位系統簡介

衛星定位系統（Global Positioning System，簡稱 GPS）是一九八〇年代美國國防部逐漸發展出來的衛星性空間定位系統，原本是為美國空軍軍事上定位、戰機導航、飛彈遙控等目的而發展，後經國防部接管並擴大計畫使其應用於民間定位測量。近年來則逐漸轉為商業用途。透過 GPS，不論使用者是在陸地、海面或是空中，都可以精確測量出所在的位置（包括了經、緯度與海拔等資訊）。

大略來說，GPS 包括了三部份，第一個是太空部份：由 24 顆人造衛星繞行地球，擔任傳送訊號的角色，全天候傳送著衛星位置資訊。第二部份則是地面控制部份：由於人造衛星的需要管理與監控，因此在全球不同地方設置了地面控制站來負責整個系統的運作。第三部份則是使用者部份：使用者需要一個特別的 GPS 接收器來接收數個衛星訊號，透過微電腦來計算出位置資訊，由於訊號是透過衛星傳送，所以沒有使用區域、地形與人數的限制。

在概念上，GPS 代表著整個系統，包括衛星、地面控制站及 GPS 接收器。不過一般而言，GPS 即意指一個 GPS 接收器，這是因為我們在使用上多半只會接觸 GPS 接收器的緣故。

4.2 衛星定位測量之原理

GPS 系統中的 24 顆衛星高約兩萬公里，平均分佈於六個軌道面，以一天繞行地球兩週的速度運行（圖 4-1）。一般而言，在任何地點、時間，天空中都至少有 4 顆衛星存在，擔任訊號發射的工作。每顆衛星都透過精密的儀器與地面控制站的修正而有十分精準、同步的計時器，每顆衛星都在同一時刻發出訊號，但是由於使用者與每顆衛星之間的距離不同，每個衛星的訊號產生延遲的程度也不同。而使用者便透過接收器搜尋這些訊號，利用不同訊號的延遲程度求得距離每個衛星的距離，再以三角測量理論，計算出使用者的所在位置座標，以完成導航定位及各種測量作業。

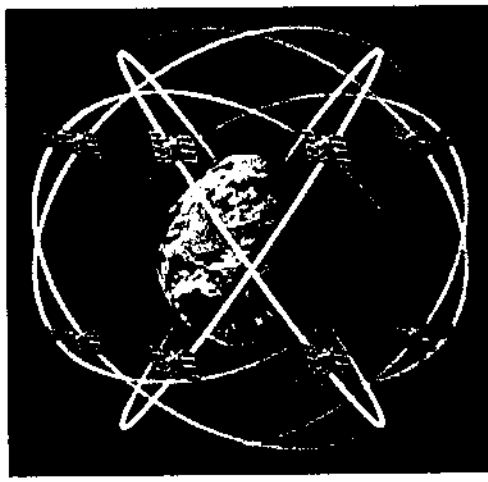


圖 4-1 衛星定位系統示意圖（GPS 共有 24 顆衛星均勻分布於 6 軌道面上）

由於 GPS 衛星持續不斷地發射這些定位訊息，只要接收器能持續接收，便能隨時計算、更新它的資料，幾乎每隔一秒鐘就能提供使用者最新的訊息，由於這樣快的更新速率，我們就可以將定位資訊再加以計算，來得到使用者的其他空間運動資訊，如移動速度、移動方向等。為防止非美軍使用者得到太精確的定位資料，以至妨礙到美國的國家安全，所以在供給民間使用的訊號上，另外加入所謂的 S/A（Selective Availability）效應干擾訊號，使得民用的 GPS 接收器在定位時，只能維持 95% 的接收狀況讓精確度在直徑 100 公尺內，另外 5% 的接收狀況可能在直徑 300 公尺內。事實上，這樣的精確度已滿足大部份民間定位作業的需求。但如果某些定位作業需要更高的精確度，也可以利用差分定位法（Differential GPS, DGPS）達到 2~10 公尺內的定位精度。

舉例來說，假設我們知道距離 A 衛星的距離是 17,000 公里，這已經將位置所在的可能性降低到一個球面（如圖 4-2），換句話說，我們一定是位在以衛星為中心，17,000 公里為半徑的假想球面上。同時如果我們也能知道距離另一顆衛星 B 的距離是 18,000 公里，這樣一來更加縮小了我們可能的位置。因為在整個宇宙空間中，同時距離 A 衛星 17,000 公里及 B 衛星 18,000 公里的點，都位在這兩個球面相交的圓周上（如圖 4-3）。這時如果再得知第三顆衛星的距離，我們幾乎就可以知道自己的位置。假設距離第三顆衛星 C 是 19,000 公里，可能的位置只剩下二個點，這二點是 19,000 半徑的球面通過 17,000 公里及 18,000 公里半徑球面交界所在的點（如圖 4-4）。我們可以發現，透過知道三顆衛星的距離，已經將自己可能所在位置降低到二個點。其實這時候甚至可以說只剩下一個點，因為在這二點中，位在地球表面附近的僅有一個，另一點也許在太空中，也許在地心內，GPS 內的電腦程式有許多方法可以快速過濾掉這不可能的點。也可以想像成地球是第四個球面。

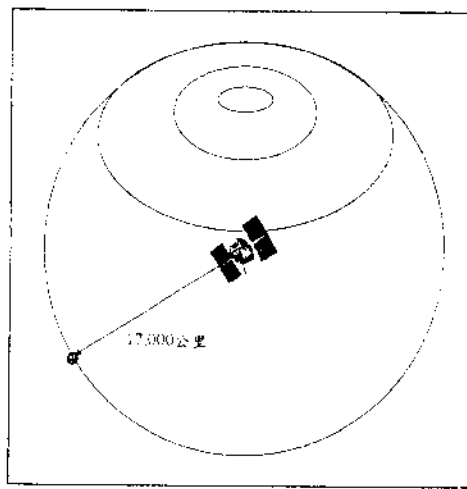


圖 4-2 離衛星一固定距離之可能範圍為一球面

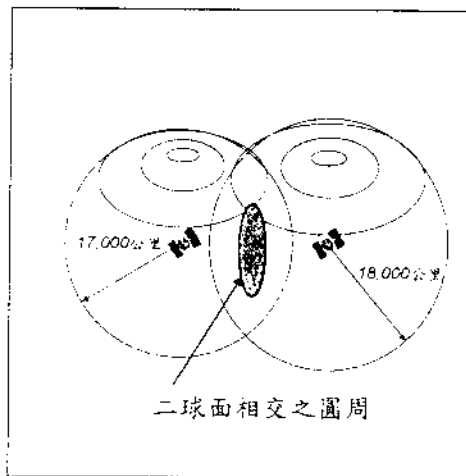


圖 4-3 離二顆衛星固定距離之可能範圍為一圓周

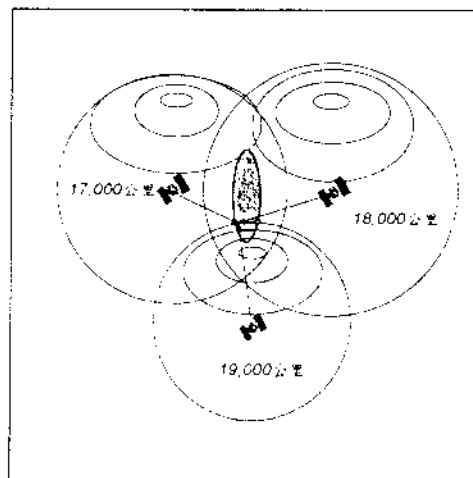


圖 4-4 三顆衛星所代表之球面相交會後可能位置為二個點

4.3 GPS 衛星訊號之形式及精度

GPS 衛星所播送之訊號內容主要可分為電碼及載波兩類：

1. 電碼訊號可即時定位，主要應用在飛機、船隻等運動器具之導航上，其精度僅約 50~100 公尺，惟近年來差分導航定位 (DGPS) 技術發展快速，其精度已可達 1 公尺以內。
2. 載波訊號須事後處理計算，主要應用在高精度點位測量上，其點位精度可達公分級以上。

衛星定位系統中利用幾何原理計算出接收儀所在的位置，可以表示為：

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\Delta\delta_i^j(t) \dots\dots\dots(1)$$

其中 $R_i^j(t)$ 為 i 觀測點與衛星 j 之間的電碼距離 (pseudorange)， $\rho_i^j(t)$ 為衛星與地面觀測點之幾何距離， c 為光速， $\Delta\delta_i^j(t)$ 為地面接收儀之訊號接收延時。

$\rho_i^j(t)$ 可利用幾何性質直接求得，即

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{(x^j(t) - x_i)^2 + (y^j(t) - y_i)^2 + (z^j(t) - z_i)^2} \dots\dots\dots(2)$$

其中 $x^j(t)$ 、 $y^j(t)$ 、 $z^j(t)$ 為衛星 j 在 t 時間之空間位置， x_i 、 y_i 、 z_i 即為觀測點未知位置。

對於每顆衛星而言，與地面觀測點之間皆存在一時間延時，因此對於單一衛星而言，即有 4 個未知數需解決，加入一顆衛星雖多提供了一條方程式，但是也多一項未知時間延時，因此未知數永遠比方程式的個數多，無法得到可行解，因此必須將所有衛星上的原子鐘時間以參考時間 t_0 加以表示，減少變數的數目，一般皆以二項式的方式表示為

$$\delta^j(t) = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2 \dots\dots\dots(3)$$

由 $\Delta\delta_i^j(t) = \delta^j(t) - \delta_i^j(t)$ 代入(1)式得到

$$R_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta^j(t) - c\delta_i^j(t) \dots\dots\dots(4)$$

雖然(4)式中仍存在四個變數，但其中 $\sigma_i(t)$ 與衛星無關，因此四顆衛星擁有四條方程式即可解出四個變數。

以衛星定位技術來輔助地理資料收集與輸入有許多優點，包括(a)

由於衛星資料經由接收儀接收，本體上即為數值化資料，透過 GIS/GPS 界面，可以在野外直接將調查的資料輸入資料庫中，使資料調查收集與輸入建檔能夠一次完成；(b)過去傳統的資料收集都將資料或記錄或繪製於地圖上，然後再以人工輸入電腦，每一過程中都隱藏著概括化誤差及人為失誤。而以衛星定位方法從事資料收集，自始至終都是數值化過程，除了衛星定位系統的系統誤差外，幾乎無誤差的累積與傳播；(c)由接收儀接收衛星資料後直接進入電腦，以地理資訊系統功能來加以處理及儲存，可以節省大量人力及時間金錢的花費。

衛星定位的誤差來自整個系統的各部份，包括衛星軌道不準確度、接收儀本身及附近環境的影響、天線相位中心不準確性和雜訊、以及訊號從發射到接收中間路徑的變化，如電離層、對流層等影響及觀測的方法等，使得其精度變化範圍可準確自數公分至數十公尺以上不等，若加上選擇性可靠 (Selective Availability, SA) 的干擾，其誤差甚至可達 100 公尺以上，在如此大的誤差範圍內，我們首先必須根據應用的目的，決定誤差的容許範圍，然後施以不同操作步驟降低誤差，達到應用的精度需求。

一般而言，軌道誤差對高程影響會較顯著，對基線之尺度較不顯著；電離層對單頻觀測而言，其對基線尺度影響約 0.35ppm 至 3.5ppm；而對流層在小範圍內不當的氣象修正可能反而造成修正過當。故衛星軌道及電離層、對流層誤差在小範圍（相對於整個地球）的地理應用上應該是可以忽略而不予考慮。而接收儀附近的環境影響主要是多路徑效應的作用，多路徑效應是指接收儀附近的障礙物多次折射造成訊號經由兩條以上的路徑到達接收儀的天線，這種作用在高樓林立的都市中尤其明顯，因此在都市中的 GPS 應用如建物調查，汽車導航等應用，必須特別考慮此效應所造成的誤差。

4.4 差分修正法

觀測的方法也直接影響衛星定位的精度，一般而言，定位方法可分為單點定位及相對定位，單點定位的精度平均大約在 10-15 公尺之間，並且衛星群的幾何分佈是影響精度的主要因素。相對定位又稱為差分定位 (Differential Positioning)，其原理是利用設在已知位置之固定接收儀所接收到的資料來求得改正值，再將此改正值與未知位置接收儀所接收到的資料合併計算，以求得較高精度之座標，其精度可達公分級以上精度，其中基地台即為固定接收儀，將衛星之誤差值傳給接收儀（移動台）做即時差分，或是將接收儀的資料帶回實驗室做後差分處理。

4.5 大地基準轉換

全球衛星定位系統所使用的座標系統是屬於全球性的 WGS84 座標基準，其座標原點為地球質量中心。台灣地區現在使用的大地基準為以埔里鎮虎子山為原點之 TWD67 基準，只適合台灣地區使用，所以自接收儀所收到的 WGS84 座標必須先將其轉換至 TWD67 座標，台灣地區目前使用的地圖大都以橫麥卡托投影為主，所以還必須將 TWD67 座標由球面投影至二維的平面上，如此才能進入地理資訊系統中與其它資料整合。本計畫所使用之衛星定位系統具有預先設定座標系統之功能，可在首次架構 GPS 接收儀之資料屬性時載入，直接由台灣慣用的二度分帶座標獲得，省去日後座標轉換的工作。

4.6 GPS 衛星定位應用實例：GPS 於水利會灌區現有水井數調查

雲林水利會為控制地區超抽地下水使用情形，必須瞭解地下水井之分佈情形。GPS 定位施程序及地理資訊系統之整合與建立略述如下：

4.6.1 定位施程序

衛星定位不同於傳統測量的方法，因為它不受氣候所影響，並且毋需顧慮測點之間的能見度，紅外線瞄準裝置的開發，甚至不用到達定點即可量測。在決定計畫執行工作之前，必須先考慮所需精度及用途，在本計畫之研究區內，井的密度非常高，相鄰井之間距離多在 10 公尺以下，因此基地台之設置不可或缺，其可將精度保持在 5 公尺以下，但井數龐大，接收儀必須容易攜帶及輕巧，以節省人力的損耗，所以本計畫採用 Trimble GeoExplorerII 接收儀以及 Pathfinder 基地台，其中接收儀精度於差分修正後在 2-5 公尺之間，可同時追蹤 8 顆衛星，儲存容量為 9000 個訊號點。

基地台使用 Pathfinder2.01 程式，直接做程式上載及資料下載處理之工作，圖 4.5 顯示進行差分修正前後之結果，同時選擇差分修正成 ArcView shapefile 型式以利後續分析工作。定位前準備工作包括以下幾點：

- (一)底圖的選擇:視調查項目及範圍來選擇適當比例的底圖，本研究屬普查性質，井距在 10 公尺以下，因此選擇大比例尺的 1:5000 像片基本圖為底圖。
- (二)決定測量時段:一般而言，天空中隨時都會出現四顆以上的衛星，然而同時出現的數目越多，越能得到正確的結果，此狀況稱為最佳視窗(optimal window)，可由方位-高度表獲得。
- (三)現地定位測量：將日期、時間、座標系統設定後，就可將所編排之屬

性程式上截至接收儀進行現地測量。基本上，在本研究區內建築物非常稀少，且水平視野皆在符合 15-20 度之最低限制，因此訊號接收皆不受干擾。

4.6.2 地理資訊系統之整合與建立

地理資訊系統是將地球表面各種地理資料整合於電腦以掌握和使用，於 1964 年首先由加拿大發展出來。由於其具有空間資料庫管理及圖形展示分析等多項功能，因此可利用來整合分析大量的空間資料，同時分析結果可快速地提供決策者及決策單位作為一判斷之依據。而 GIS 的應用方可迅速提供監測資料和圖形資料，有助於資訊的傳遞與溝通，使資訊集中管理，增加資訊應用的效率。

地理資訊系統之主要功能可概分為以下幾點說明：

- (一)資料聯結、查詢：利用 DBASE 之資料庫管理，百件不同型態資料之聯結、整合，再與空間資料結合，更百件各種空間或屬性之查詢，對所有資料庫之儲存、更新、擷取，功用頗大。
- (二)空間分析：GIS 之強大功能，在於其能將各種空間資料作各種形式之整合、轉換，如交、聯集，分割、網路等等，而使得各種相關資料整合為一新資料庫，可再加以分析得到所需之資料，我們乃能藉此作各種相關空間之分析。
- (三)展示：GIS 同時也是相當優異之繪圖系統，除可套疊各種圖層，顯示各不同資料，分析結果更可繪製成清晰易懂之地理圖檔，作展示或輸出。

經營管理地下水之使用量，並結合地面水之應用為本研究調查之主要工作。圖 4-7 為整合了址塊地籍資料檔，包括糧食局所建農地坵塊屬性資料格式表、雲林水利會所建灌溉地籍資料格式表、水利會會員資料檔、台灣電力公司電度查詢資料格式，以及本中心所建立的水井定位屬性資料格式等，對於管理工作的推行有極佳的便利性。

本計畫即採用用 ARC/INFO 地理資訊系統作為模式應用工具，而展圖的工作則交給 ArcView 來做處理。ArcView 是 ESRI 公司發展的一套功能強大完整的桌上型地理資訊系統，本身提供了圖形資料及屬性資料的建立，可輕易整合各種數位地圖資料、CAD 圖檔、遙測影像資料圖檔等，同時透過此關連式的資料整合進行資料的修改及互助式查詢、各種統計分析、資料展示等查詢、展示、分析、出圖等功能。並且藉由 Avenue 物件程式語言，可改變 ArcView 的介面以提供給使用者發展出最適自己需求的系統環境。

4.6.3 水井定位結果

經由 GPS 定位調查，於雲林水利會引西圳灌區引西工作站轄區內民井口徑分布如圖 4-5 所示。

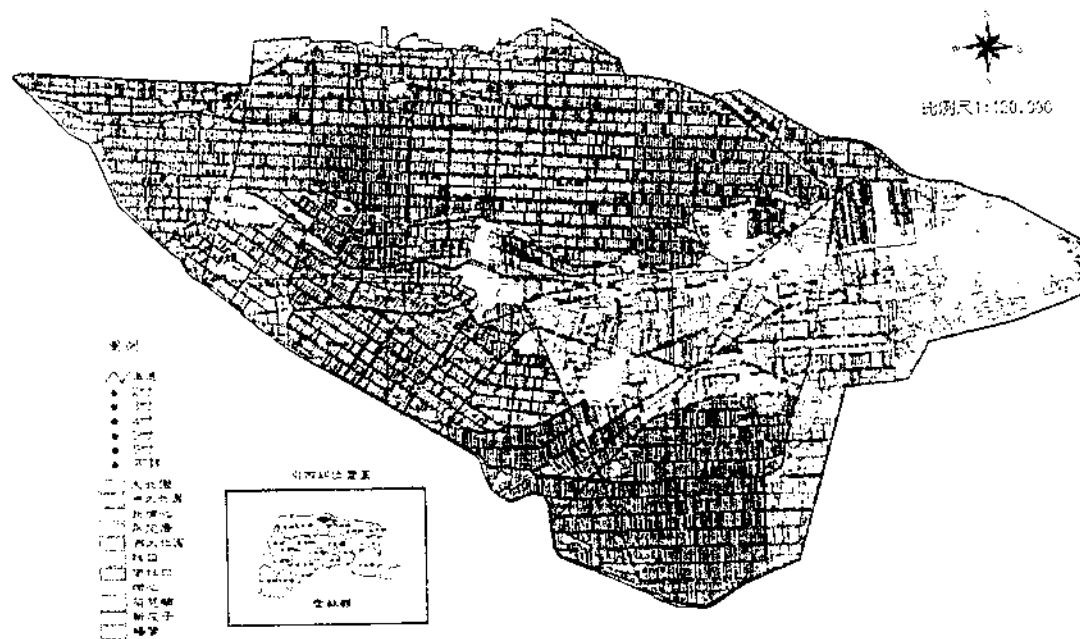


圖 4-5 雲林水利會引西圳灌區引西工作站轄區民井口徑分布圖

參考文獻

1. 歐陽鐘裕，遙感探測學，大中國圖書公司，民國 81 年。
2. 焦國禔，森林航空測學記，國立編譯館，民國 78 年。
3. 國立台灣大學水工試驗所，遙測技術於水利之應用訓練班講義，民國 85 年。
4. 廖大牛，遙測技術與資源調查，台灣省林務局職工訓練中心，民國 83 年。
5. 曾清涼，全球定位系統衛星導航及定位測量。
6. 蔡源二，即時 DGPS 衛星定位經度之研究，第十三屆測量學術應用研討會論文集，民國 83 年，國立交通大學。
7. Baret, F., and Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, *Remote Sensing of Environment*, 35:161-174.
8. Campbell, J. B., 1987. Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, pp.551.
9. Choudhury, B. J., 1987. Relationships between vegetation indices, radiation absorption and net photosynthesis evaluated by a sensitivity analysis, *Remote Sensing of Environment*, 22:209-233.
10. Environmental Systems Research Institute, 1990. Understanding GIS-the Arc/Info Method, ESRI.
11. Goward, S. N., B. Markham, D. G. Dye, W. Dulaney, and J. Yang, 1991. Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer, *Remote Sensing of Environment*, 35:257-277.
12. Lillesand, T.M., and R.W. Kiefer, 1987. Remote Sensing and Image Interpretation, second edition, John Wiley & Sons, pp. 721.
13. Malingreau, Jean-Paul, 1986. Global vegetation dynamics: satellite observations over Asia. *International Journal of Remote Sensing*, vol.7, no.9, 1121-1146.
14. Price, J. C., 1992. Estimating vegetation amount from visible and near infrared reflectances, *Remote Sensing of Environment*, 41:29-34.
15. Seller, P.J., 1985. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration, *International Journal of Remote Sensing*, 6:1335-1371.
16. Tan, C. H., S. F. Shih and J. D. Jordan, 1994. Spatial dependence of NOAA-AVHRR observations and ground measured meteorological parameters in an agricultural area (abstract). *EOS transaction/supp.*, vol.75, no. 16, 174.
17. Tucker, C. J., Vanpraet, C. L., Boerwinkle, E., and Easton, A., 1984. Satellite remote sensing of total dry matter accumulation in the Senegalese Sahel, *Remote Sensing of Environment*, 13:461-469.

中英名詞對照表

- 入滲率, Intake rate, 6-7
- 大氣窗, Atmospheric Windows, 6-30, 6-31
- 反射紅外光, Reflected Infrared, 6-27, 6-30, 6-33, 6-37
- 孔隙, Pores, 6-44
- 水利小組, Irrigation group, 6-22, 6-23
- 主要成份, Principle components, 6-49
- 主題測繪器, Thematic Mapper, 6-36
- 史蒂芬一波茲曼定律, Stefan-Boltzmann Law, 6-28
- 正規化, Normalize, 6-45, 6-48
- 生物質量, Biomass, 6-42, 6-45
- 生長期, Growth stage, 6-44
- 光譜解析度, Spectral Resolution, 6-47
- 向量式地理資訊系統, Vector GIS, 6-3, 6-4, 6-5
- 地下水, Groundwater, 6-56, 6-57
- 地面覆蓋百分率, Percentage Ground Cover, 6-45
- 地理資訊系統, Geographic Information System, 6-1, 6-2, 6-3, 6-5, 6-7, 6-16, 6-18, 6-24, 6-41, 6-55, 6-56, 6-57
- 有效光合輻射量, Photosynthetic Active Radiation, 6-45
- 米式散射, Mie scatter, 6-30
- 位向關係, Topological Relation, 6-3
- 吸收, Absorption, 6-30, 6-31, 6-32, 6-33, 6-36, 6-37, 6-42, 6-45, 6-48, 6-49
- 空間解析度, Spatial Resolution, 6-46
- 非選擇性散射, Nonselective scatter, 6-30
- 坵塊, Unit Block, 6-1, 6-4, 6-10, 6-23, 6-57
- 柵狀細胞, Palisade cells, 6-42, 6-44
- 差分定位, Differential Positioning, 6-52, 6-55
- 海綿組織, Sponge mesophyll, 6-42
- 假色照片, False Color Photograph, 6-31
- 現地勘察, Ground Truthing, 6-49
- 產量效率, Production Efficiency, 6-47
- 累積生物量, Accumulated Biomass, 6-47

散射, Scattering, 6-30, 6-31

植物指標, Vegetation Index, 6-45, 6-48, 6-49

絕對溫度, Absolute Temperature, 6-28, 6-29

階層式資料庫, Hierarchical Database, 6-5

微波, Microwave, 6-27, 6-28

葉面積指標, Leaf Area Index, 6-45

葉綠體, Chloroplasts, 6-42, 6-44

雷氏散射, Rayleigh scatter, 6-30

電腦繪圖系統, CAD, 6-3

電磁波譜, Electromagnetic Spectrum, 6-27, 6-42, 6-47

電磁輻射, Electromagnetic Radiation, 6-26, 6-28

像素, Pixel, 6-49

精準農業, Precision Agriculture, 6-2

網格, Grid, 6-3, 6-4, 6-41

網格式地理資訊系統, Raster GIS, 6-4, 6-5

維恩位移定律, Wein's Displacement Law, 6-29

誤差分析, Error Analysis, 6-49

遙感探測, Remote Sensing, 6-1, 6-2, 6-4, 6-26, 6-31, 6-42

數值地形模型, Digital Terrain Model, 6-41

熱紅外光, Thermal infrared, 6-27, 6-31, 6-36, 6-47

熱慣量, Thermal Inertia, 6-47, 6-49

衛星定位系統, Global Positioning System, 6-1, 6-2, 6-51, 6-54, 6-55, 6-56

輪區, Tertiary Unit (Rotation block), 6-10, 6-14

輻射解析度, Radiometric Resolution, 6-47

選擇性可靠, Selective Availability, 6-55

瞬間視場角, IFOV, 6-34

關連式資料庫, Relational Database, 6-5

灌溉計畫, Irrigation Schedule (Irrigation Project), 6-7, 6-14

灌溉排水, Irrigation and Drainage, 6-1

第七篇

作物制度與水源計畫

第一章 概 述

1.1 台灣水資源概況

1.1.1 水資源利用率低之因應

台灣雨量雖然豐沛，平均年雨量高達 2,510 公厘，惟在時間與空間上之分布不均，加上河川流短坡陡，洪枯流量懸殊，每當颱風暴雨來臨時，河川流量隨降雨量激增而暴漲，因而常常氾濫成災；於枯水時期，降雨量明顯驟減，河川流量甚低，甚至發生嚴重乾旱，以致各用水標的無法依各所需水量運用。依長年統計平均約有 78% 之逕流水，未能有效控制利用而流入海中，是故可供利用之可靠水資源相當有限；復加上近年來經濟繁榮、人口急遽增加，工商業加速發展，都市迅速擴展，整體產業結構不斷改變，形成各標的用水量激增，對用水之需求日益增加。如何提高利用流入海中之水量，乃為今後之重要課題。

台灣農業灌溉用水量占總體水資源利用的 58%（前經濟部水資源統一規劃委員會統計 82 年之資料），為各標的用水之首，水田灌溉則為農業灌溉用水之大宗。在未來加入世界貿易組織（WTO）之後，農產品進口增加，本土農作物如果相對減少，農業用水可望在改善灌溉技術與農地釋出導致農作減產之情況下，至少達到零成長之目標。此一農業之轉型可為水資源日益拮据，開發水源成本日益昂貴之時代中，在臨時面臨乾旱發生時可減少部分灌溉用水，以緩和與其他用水標的間之競爭，不必再為本身缺水產生開發水資源之壓力，在零成長之情況下宜自行克服難關。

今後農業灌溉之轉型乃是如何擴大推展省水之旱作管路灌溉方式，使各類旱作物之生產經營，不必完全考慮降雨之條件而能推行作物之適時適地適作栽培，並能視作物最有利之收穫時期予以實施計畫性栽培，以促使其更具有競爭條件而能成為「經濟產業」。尤其精緻農業之旱作栽培，必須有旱作灌溉之保障，才能發揮其高度之農藝、園藝技術。此外，將依農業生產結構之調整，推動集團轉作，促進水稻與旱作灌溉用水作合理分配及有效運用。

1.1.2 降雨時空分布不均

一、台灣年平均降雨量約為 2,510 公厘，為世界平均值之 2.6 倍，實屬豐沛，但在時間上之分布極為不均，豐水期（5~10 月）的降雨量平均為 2,139 公厘，占全年降雨量的比例，高達 78.8%；而枯水期（11~4 月）的降雨量平均為 576 公厘，只占 21.2%。因此在枯水期容易發生乾旱，而在豐水期時卻常因颱風所帶來的豪雨釀成水災。使得在水資源的利用及調配上益形困難。根據行政院農業委員會相關研究得知，台灣各地區之乾旱期稍有不同，北部為 6~7 月，中部為 3~5 月，南部為 2~4 月，東部及宜蘭地

區則幾無缺水期，其中又以嘉南地區之缺水最為嚴重。

二、逕流量之季節性分布，與降雨量相同，皆是分布相當不均。在平均逕流量 667.6 億立方公尺中，豐水期（5~10 月）的逕流量高達 513.9 億立方公尺，占 77.0%；而枯水期（11~4 月）的逕流量只有 153.7 億立方公尺，約占 23.0%，豐枯比例懸殊。逕流量較大之月份集中於 6 至 9 月，而枯水期的各月份逕流量占全年逕流量的比例，均小於 4.0%，此顯示了枯水期間可利用的水資源相當有限。又枯水年（82 年）之年逕流總量僅為 355 億立方公尺，大約只有平水年之一半（52.6%）。可見水資源在豐、枯水時期的流量差異極大，一年中可資引用的逕流量極不穩定；再加上山高河短坡陡，水量不易貯留，實際上只引用了約 22%，其餘 78% 之逕流量未經利用即流入海中。

三、一般而言，降雨之分布未能與作物之成長配合，必須由人工供水。又 11 月至翌年之 4 月期間為台灣之乾旱季，但此期間乃為第一期作水稻及其他高經濟作物之重要耕作期，需要大量之灌溉用水。因此各農田水利會之配水工作更形艱苦。

1.2 農地利用與農業用水

1.2.1 台灣農地利用情形

一、四十年來，台灣耕地總面積大約維持在 87 至 90 萬公頃（耕地占台灣土地總面積約 24%），其中水田面積由民國 41 年的 53 萬公頃減少至民國 83 年的 46 萬公頃，減少約 7 萬公頃，主要是單期作水田之第二期作水田面積減少所致，兩期作水田及單期作水田之第一期作面積變化則較小。

二、旱田面積則由民國 41 年的 34 萬公頃增加至民國 83 年的 41 萬公頃，即增加約 7 萬公頃。水稻實際耕種面積則由民國 41 年的 78 萬期作公頃增加至民國 64 年的最高峰約 79 萬期作公頃，而因農業趨向轉型逐漸減少至民國 83 年收穫面積僅為 37 萬期作公頃，即減少約一半。

三、魚塢養殖面積從民國 41 年的 3 萬公頃增加至民國 81 年的 5.4 萬公頃為最多。因用水管制及產銷問題，近二年則呈減少趨勢，民國 83 年養殖魚塢總面積約 4.6 萬公頃，其中淡水與鹹水魚塢面積各占一半。

1.2.2 農業用水與功能

目前及今後台灣農業之總計畫用水量年約 150 億立方公尺，其中灌溉用水約為 120 億立方公尺，養殖用水約 29 億立方公尺，畜牧用水約 1 億立方公尺。就台灣之總用水量統計，雖屬用水之最大宗，但就農業用之實況檢討，每遇乾

旱年，灌溉用水即呈嚴重不足現象，即實際用水量常低於計畫用水量。養殖用水又多屬無辦理水權登記之地下水，地下水超抽已造成部分沿海地區有地盤下陷之問題。

一般人每遇民生用水或工業用水不足時，即想從灌溉用水移用水權水量，對農業用水營運管理常引起困擾。事實上，在豐水期，因河川流量豐沛，民生用水及工業用水亦均不缺水。河川過多流量對灌溉及對水稻生長並不是有利，希冀其他標的設法利用。但水田本身，在降雨季節卻兼具有調節洪峰、減低下游排水尖峰及補注涵養地下水之功能，其對生態環境方面之貢獻，經評估結果，並不亞於對作物增產之貢獻。故水田生態環境之維護，須加重視（水田休耕時，尤須在兩期推動獎勵保持蓄水狀態，以維持其補注地下水之機能）。

1.3 水源與可靠水量

1.3.1 灌溉用水營運上之問題

一、水源水質及水量較為良好及可靠者，係由水庫、埤池及地下水供應之水量。在枯水期能移用支援民生用水之水源，應屬水庫蓄存之水量。至於河川引灌部分，因枯水期流量銳減，且大部分河川之中下游地區均已受到污染，灌溉渠道亦多受到區域排放污染水質匯入之影響，於灌渠末端之迴歸水多已不堪使用；再者其他用水標的都無取用河川水量之調蓄設備，故枯水期並非所有農業灌溉用水均可移至支援民生之用。

二、台灣農業灌溉用水量一度僅占總體水資源利用的 58%，但仍為各標的用水之首，自然成為各標的用水者所急欲移用的對象。但農田灌溉用水水源主要來自河川、水庫及地下水，其餘有大部分流量皆在回歸利用，而其中河川引水因受地區性及季節性的限制，盈缺明顯，河川流量在豐水時期，河川水量豐沛，農田灌溉用水得以紓解；惟在乾旱時期，水源供應不足，田間灌溉營運便發生操作上的困難，因此農田灌溉水源極為不穩定。

1.3.2 支援其他用水標的之問題

一、就農業用水供應方面，雖總量係以不增加作為計畫原則，惟為有效調配用水之時間、空間上之不均勻，必須積極進行用水調查及調整規劃，充分掌握農業水資源之狀況，期使農業用水之調配及管理，能更順暢地營運及活用，以促進合理分配並提高用水效率。在糧食安全及生態環境維護均能兼顧情況下，有計畫地活用農業灌溉用水，並視各地區當時之情況酌予支援民生或工業用水，原則上應在和諧互惠方式進行。

二、若農業用水將「餘水」蓄存其田間，將長期對地下水、伏流水、迴歸水進行補注的工作，其用水方式與工業及民生等消耗性用水大不相同，其水量

消耗僅為維持作物正常生長所需之蒸發散量。因此，站在水資源有效利用的立場，在豐水時期只要有水，理應鼓勵田間儘量蓄水。豐水期之餘水甚多，除在農田具有保育功能外，其他用水標的亦應設法興造蓄水設備加以調節，以應付其乾旱期用水之需，而減低移用乾旱期灌溉水量之壓力，如此才是良好之水資源管理營運之政策。

三、農委會曾經於民國八十年代推廣試辦「種水」政策，在豐水時期利用河川豐沛水量，鼓勵於休耕田區蓄水，藉以補注地下水源。未來若能研擬在此蓄水空田內種植適當之水生植物，如學菜、菱角、蓮等經濟性替代作物或於都會周邊田區開闢水生植物景觀公園等，應能喚起農民配合之興趣，共同關心參與水源管理調節工作，亦能保留水田之三生（生產、生活、生態）公益功能。

第二章 地表水源利用

2.1 前言

2.1.1 79 年農業灌溉用水量

一、台灣之農業用水結構，係以利用地表水源為主，利用地下水源為輔，進一步之分析，可以民國 79 年為例，該年之水文水況為平水年，故選定該年用水情況做分析，如圖 2-1 所示。在農業總用水量 154 億立方公尺中，灌溉用水量為 121 億立方公尺（含水稻灌溉用水量 111 億立方公尺及早作灌溉用水量 10 億立方公尺），占農業總用水量之 78%；養殖用水量為 32 億立方公尺，占農業總用水量之 21%；及畜牧用水量為 1 億立方公尺，占農業總用水量之 1%。

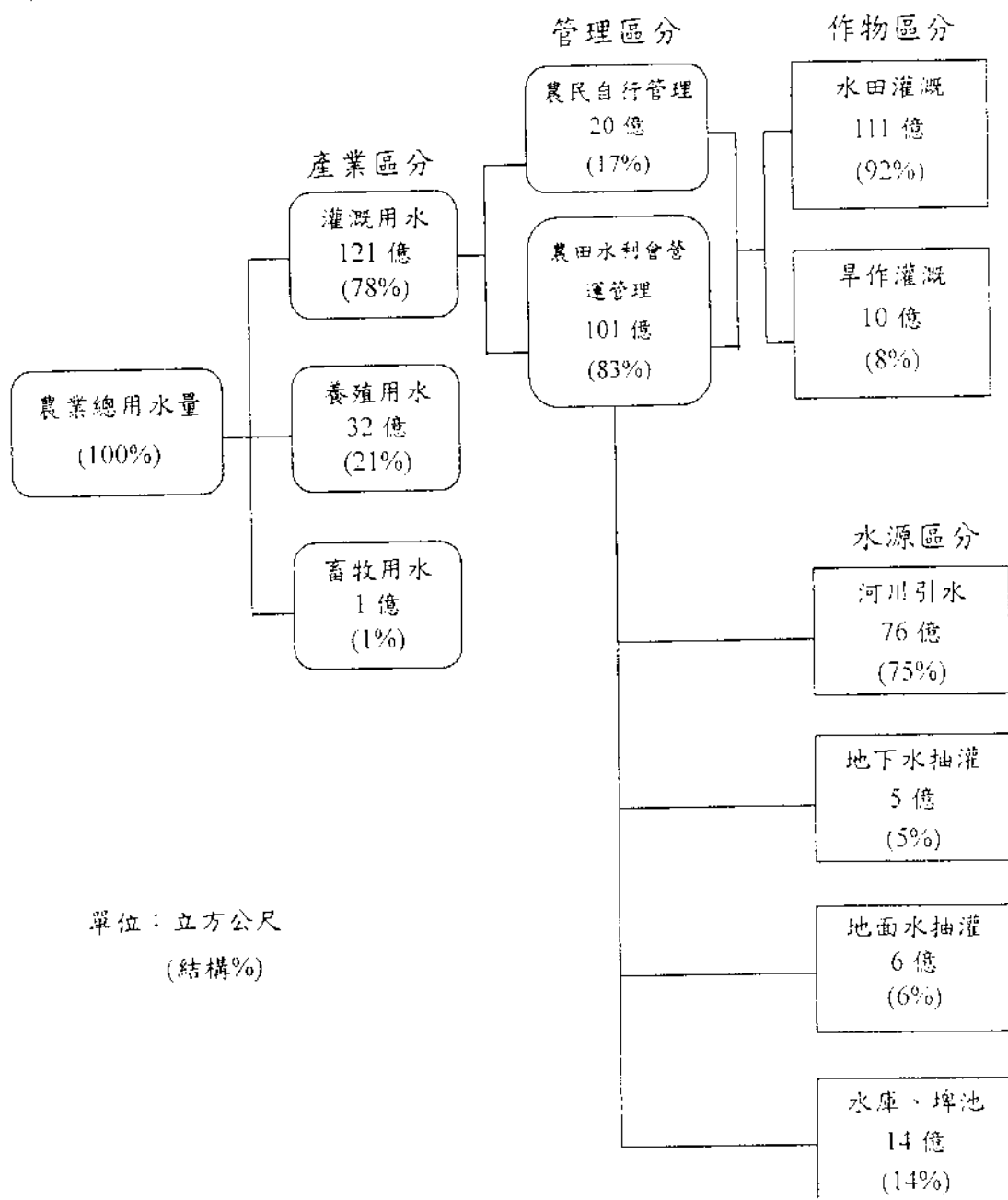
二、79 年台灣各標的總用水量共 195 億立方公尺，農業用水為 154 億立方公尺，合占各標的總用水量之 79%；灌溉用水量 121 億立方公尺，合占各標的總用水量之 62%。

三、臺灣灌溉總用水量 121 億立方公尺中，由農田水利會實際管理營運者為 101 億立方公尺（不含養殖及畜牧用水），約占 83%。就農田水利會營運管理之 101 億立方公尺作水源別分析統計，如表 2-1 所示，自河川引灌者為 76 億立方公尺，占 75%；自水庫、埤池引灌者為 14 億立方公尺，占 14%；由地面水抽灌者為 6 億立方公尺，占 6%；由地下水抽灌者為 5 億立方公尺，占 5%。即農田水利會之灌溉水源有 75% 之水源係自河川直接取水，為其最大宗，其他自水庫、埤池取水者占 14%，以動力抽地下水及地表水者占 11%。至於由農民自行管理之 20 億立方公尺，則大部分係抽取地下水及少部分引用河川溪流之地面水。

2.1.2 86~87 年平均農業用水量

依據行政院農業委員會之統計資料，台灣 86~87 年度平均農業用水量包括台糖公司自行供水、養殖及畜牧用水共為 122.95 億立方公尺，其中由農田水利會供水者為 106.32 億立方公尺，水量及水源別之統計如表 2-2 所示，至於台灣歷年農業用水量之統計如表 2-3 所示。

(以 79 年平水年為例)



資料來源：前經濟部水資源統一規劃委員會

圖 2.1 農業用水結構分析

表 2-1 臺灣各農田水利會 79 年各水源別之實際用水量

地區 \ 水源別	河 川 引 水	水庫、埤池 引水	地面水 抽取量	地下水 抽取量	合 計
臺 灣 地 區	7,595,316 (75.24)	1,362,672 (13.50)	629,880 (6.24)	506,788 (5.02)	10,904,656 (100.00)
北 部 區 域	1,075,515 (60.07)	470,642 (26.29)	243,654 (13.61)	524 (0.03)	1,790,335 (100.00)
中 部 區 域	3,926,131 (87.96)	61,973 (1.39)	173,239 (3.88)	302,091 (6.77)	4,463,434 (100.00)
南 部 區 域	594,540 (32.45)	834,057 (45.31)	212,987 (11.63)	194,517 (10.62)	1,832,101 (100.00)
東 部 區 域	1,999,130 (99.52)	0 (0.00)	0 (0.00)	9,656 (0.48)	2,008,786 (100.00)

註：上欄數據為引水量，單位：千立方公尺。

下欄括號內數據為各水源別水量所占之百分比，單位％。

資料來源：前經濟部水資源統一規劃委員會

表 2-2 台灣民國 86～87 年平均農業用水源別統計

單位：億立方公尺

用水別 水源別	灌 溉 用 水			養 殖 用 水	畜 牧 用 水	合 計
	農田水利會 供水	台糖公司 自行供水	小 計			
水庫、埤池	11.06	0.15	11.21	0	0	11.21
河川引水及地 下水取水	90.53	0	90.53	1.78	0	92.31
地 下 水	4.72	0.60	5.32	12.94	1.16	19.42
合 計	106.32	0.75	107.07	14.72	1.16	122.95

註：1. 台糖公司自行供之低標灌溉用水量係採用該公司 86 及 87 年二年之年平均灌溉用水量。

2. 台糖公司自行供灌用水量不大，且無其他詳細評估資料，因此，高標及中標灌溉用水量採與低標相同值。

表 2-3 台灣歷年農業用水總量統計表

單位：億立方公尺

民國（年）	灌溉用水	養殖用水	畜牧用水	合 計
71	140.48	22.25	0.78	163.51
72	134.61	23.83	0.88	159.32
73	126.17	23.80	0.93	150.90
74	125.59	23.61	0.93	150.13
75	123.71	24.31	0.99	149.01
76	121.55	25.66	1.05	148.26
77	117.76	27.93	1.07	146.76
78	119.41	29.16	1.17	149.74
79	121.28	31.49	1.16	153.93
80	103.32	30.93	1.28	135.53
81	103.03	30.64	1.34	135.01
82	97.13	28.01	1.36	126.50
83	99.41	30.97	1.40	131.78
84	111.80	31.38	1.46	144.64
85	101.99	31.45	1.51	134.95
86	107.89 (107.39)	25.83 (14.7)	1.34 (1.23)	135.06 (123.43)
87	(106.74)	(14.6)	(1.09)	(122.46)

註：1.71 年至 86 年資料係由經濟部統計，86 年及 87 年各欄()內數據係行政院農業委員會本次清查結果，其中灌溉用水量差異不大，而養殖及畜牧用水量部分，因單位用水量已較經濟部沿用之單位用水量調低，故用水量有減少之現象。

2.86 年及 87 年灌溉用水量欄()內數據為農田水利會灌溉用水量加上台糖公司自行供灌用水量之和。

3.86 年及 87 年，農田水利會供水之灌溉用水量分別 106.49 億立方公尺及 106.14 億立方公尺，由台糖公司自行供水之灌溉用水量分別為 0.90 億及 0.60 億立方公尺，灌溉用水總計分別為 107.39 億立方公尺及 106.74 億立方公尺。

2.2 河川取水

臺灣河川以往區分為主要河川 21 條、次要河川 29 條及普通河川 79 條，共計 129 條，其河系圖如圖 2-2 所示。目前河川則區分為中央管河川（含 24 條主要水系）及縣管河川。17 世紀起的 350 年，台灣的農業發展主要依賴自河流引水灌。先民渡海來台定居開墾時，便築埤圳引水灌溉。河川中之天然流量經於河中設置攔河堰等設施，導水引入灌溉渠道中再輸送至下游灌溉農田。全台灣目前重要引水設施共有 1,531 處，輸水路長共 67,000 公里，依 84 年資料，共引用 56.50 億立方公尺河川水量，為台灣最重要之農業水源。

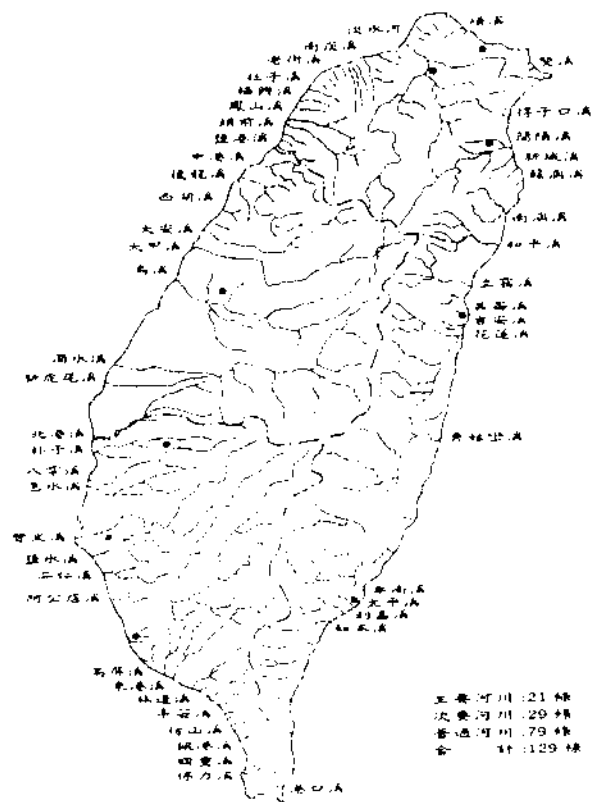


圖 2-2 台灣地區主要河川水系圖 (前經濟部水資源局)

圖 2-3 為不同灌溉水源之鳥瞰圖，其中河川取水方式主要可分為直接河川取水、河川取水堰、河川抽水等三種。

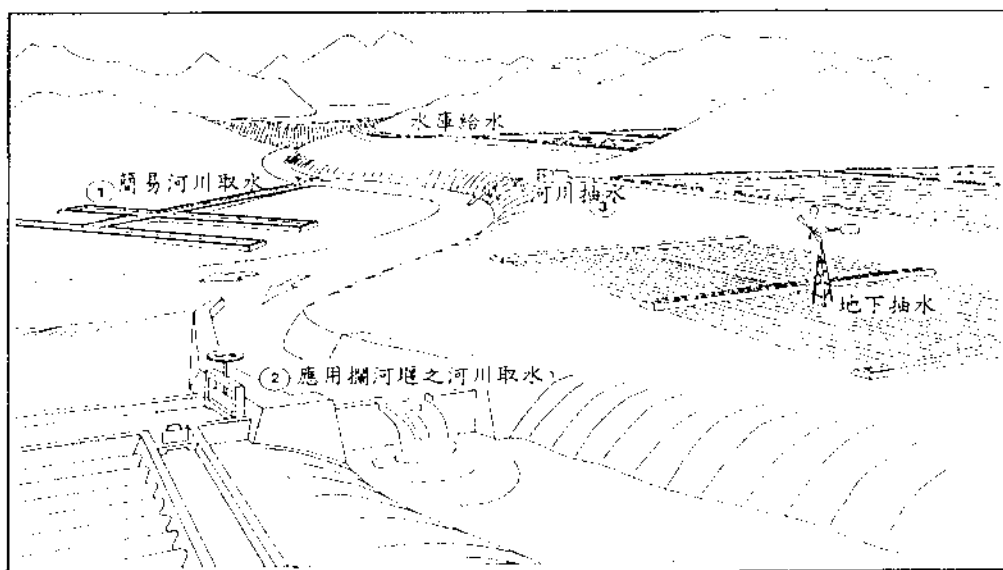


圖 2-3 不同灌溉水源之鳥瞰圖 (FAO,1992)

2.2.1 直接河川取水

在圖 2-3 之灌溉計畫區域中，其供水系統為河川直接取水系統，該取水系統並無任何之結構物存在，如壩或其他取水設施等。渠道取水口之部分是直接穿過河岸，且無任何之水門設施，同時在渠道中亦無任何之流量控制結構。取水之流量是隨河川水位而變，亦即當河川為高水位時，其所取的流量較大，當河川為低水位時則取進之流量較小。

通常為避免流量之變化過大，常於渠道中設置控制水門，水門之操作在河川水位較低時則完全開放，當河川水位較高時則採部分開啟之方式為之（如圖 2-4）。

應用此一取水方式的好處是可以降低成本，然而此取水方式，僅適用於河川水位，甚至是指低流量時之河川水位，較灌區之高程為高時，換句話說，取水點之位置會在灌區之上游處，才會讓河川之水位高出灌區之高程。但若田區相當平坦時，則渠道之長度會變得相當長，才会有足夠之水頭可用。

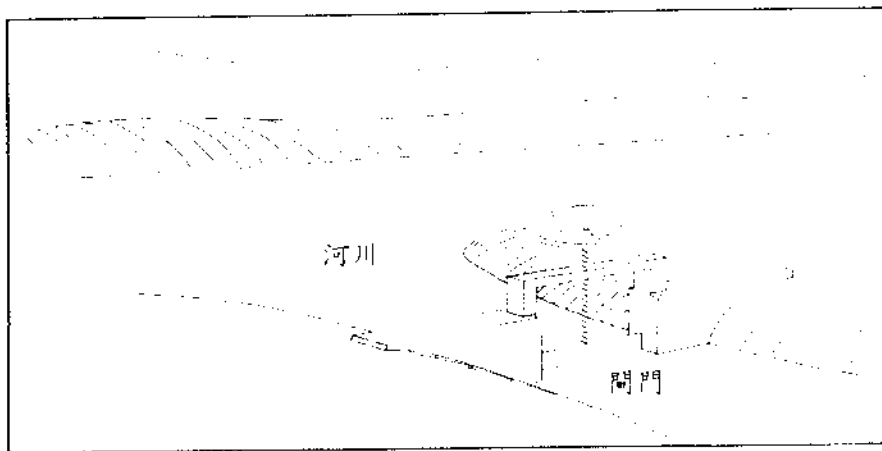


圖 2-4 設置匣門做為取水設施 (FAO,1992)

2.2.2 河川取水堰

為了避免河川之水位變化過大，可以應用橫跨河川之築堰方式以抬高水位，在高流量時期，部分流量會溢過堰而流到下游，其上游處之水位在一年中會有些許之變化，而在旱季時之水位會比尚未築堰前之水位為高。

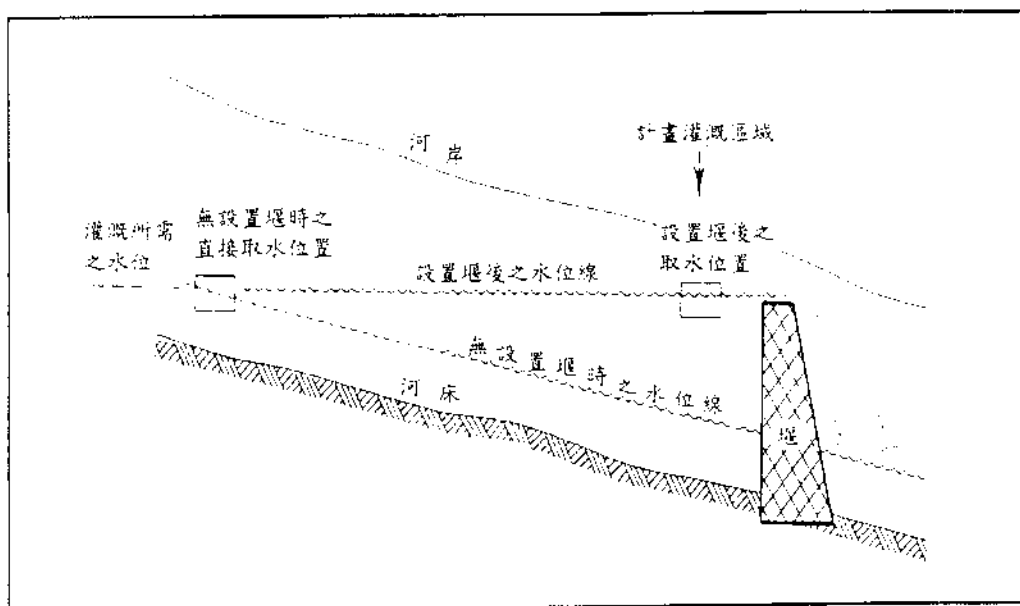


圖 2-5 採用取水堰與不採用取水堰時之取水口位置示意圖 (FAO,1992)

由於築堰後其上游之水位會比尚未築堰時為高，因此取水構造物可以較靠近灌溉區域，且主要灌溉渠道亦可以較短些，在圖 2-3 之灌溉計畫區域中所示為應用此法之取水方式，圖 2-5 所示為採用取水堰與不採用取水堰時之取水口位置示意圖。

2.2.3 河川抽水

在圖 2-3 之灌計畫區域中所示，為河川直接抽水供田區灌溉使用之情形，抽水之費用係隨著計畫區域之增加而增加。築堰之成本主要是隨著河川之大小，而部分是隨著灌計畫區域之大小所影響，因此對於一灌溉區域較小，而其灌溉水源係來自大型之河川時，一般都採用河川抽水之方式為之，如此可以減少在築堰上面之花費，較為經濟可行。若地形高之大灌區先將河水抽至高處，再由重力施灌之方式，成本似乎較高。

2.3 水庫與湖泊（池塘）取水

湖泊（池塘）中水量的來源為來自於天然降水落至湖泊（池塘）表面、或鄰近地區之逕流流入湖泊中、或是經由地下水之滲透流入湖泊之中。湖泊（池塘）中之水量流失方式有：經由湖泊（池塘）表面之蒸發、或經由湖泊（池塘）之天然缺口溢流、或經由湖泊（池塘）底部之滲漏至地下水層當中。圖 2-6 所示為湖泊（池塘）之水量供給與流失示意圖。

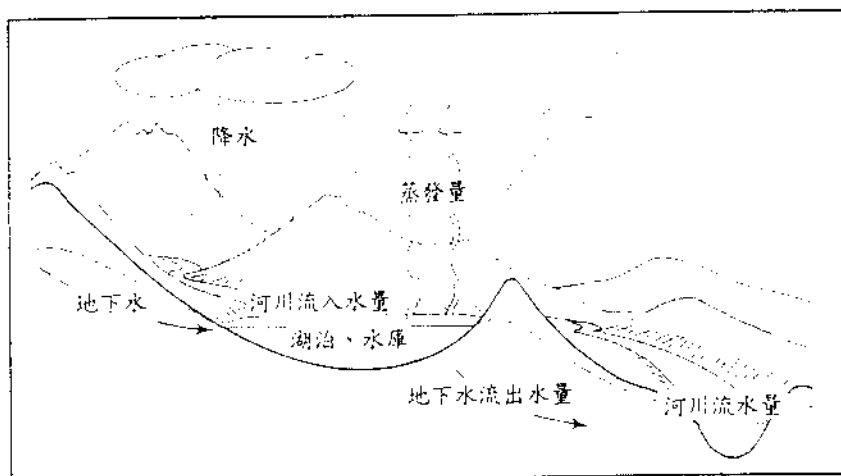


圖 2-6 湖泊（池塘）之水收支出示意圖（FAO,1992）

水庫則為人工之湖泊，水庫之形式可經由在山谷處建造擋水壩、或經由開挖製造人工湖泊、或經由築堤之方式建造水庫，於水庫之中蓄存水量。

大型水庫之建造，是在主要河川處築壩之方式加以建造，其所蓄存之水量可供灌溉數千公頃至數萬公頃之面積；而中小型之水庫，其蓄存容量較小，在一季中可供給之灌溉面積由 10 至 100 公頃不等。

2.3.1 池塘取水

池塘水源與水庫水源性質類似，惟蓄水容量較少，集水面積多屬較低之丘陵地或其上游灌區之迴歸水，蓄水量變化較大，調節供灌機能有其限制與水庫水源不盡相同，其特性乃池塘水源比水庫水源較接近灌溉渠道配水系統，視水源水量較可發揮機動性調整放水灌溉作業。台灣之池塘水源蓄水量計算，多以估計供應水稻插秧之尖峰用水量，或確保本田用水灌溉期間枯水期（約 30~40 天）之水量，按照池塘水源依其灌溉系統所處之位置，大致可分二大類：

- 一、池塘水源僅攔蓄其集水區水量者，如高雄農田水利會或嘉南農田水利會轄區部分之池塘。
- 二、池塘水源除攔蓄集水區水量外另由水源自水庫灌溉輸水系統或由河流水源渠道系統供應水量者，例如台灣北部桃園及石門農田水利會之桃園大圳、光復圳及石門大圳灌區所轄之池塘均是。池塘蓄水在河流水源灌溉系統中有其重要性，桃園大圳灌溉總用水量 4.1 億立方公尺中，大圳自大漢溪石門取水口之引水量約 2.57 億立方公尺（60%），其餘自 285 口池塘及 334 處攔河堰之取水量共約 1.53 億立方公尺（40%），可見池塘之重要性。惟池塘應能藉地形收集雨水及灌溉餘水，則雨水或灌溉餘水流入排水溝者將藉由攔河堰再度導引入池塘或直接加入配水系統，此種安排，使桃園大圳

將近 20 公里長導水幹線隧道及開渠之設計通水能量自 26 秒立方公尺減至 16.7 秒立方公尺，又使整個幹線、支線等輸水系統，自 800 公頃／秒立方公尺之灌溉率提高至 1,450 公頃／秒立方公尺，更使整個配水系統分成許多單體，使各單體均備有一個可靠之池塘供緊急之用。在桃園石門地區之池塘，如事先蓄水得當自可成為系列之小水庫，尤其乾旱時期池塘之水量配合運用之效果頗為顯著。

2.3.2 水庫取水

水庫之興建功能在於攔蓄調節河川豐枯水期流量，提升水資源充分有效利用，因此水庫水源供給灌溉水量較易掌握控制，對其供灌區域可擬定週密之灌溉計畫，以輪流灌溉方式執行，計畫性配水使灌溉作物得到均霑灌溉目標。

台灣現有水庫 41 座，總蓄水容量 26.5 億立方公尺，有效容量為 20.8 億立方公尺，84 年之運用水量為 43 億立方公尺。既有 41 座水庫中，光復前完成者有 8，33 座完成於光復後。又其中，純灌溉標的之水庫有 10 座，平均運用水量在 15 億立方公尺左右，兼有灌溉標的之多目標水庫有 9 座。

水庫水源受其座落地區氣候條件不同，其水源供應及運用之趨勢亦有所差異。根據水庫存水量可事先預警防範，擬定灌溉因應措施，機動調整灌溉計畫之執行，以減少因遇缺水時該灌區之灌溉營運損失。

一、調蓄別分類

台灣河川流量經水庫調蓄者大致分作三類：

1. 攔截主要河川水源，而行季節性之調節者，如曾文水庫、石門水庫屬之。
2. 攔截次要河川或主要河川支流水源，而行季節性之調節者，如大埔水庫、明德水庫、白河水庫、虎頭埤、阿公店水庫等均屬之。
3. 攔截主、次要河川或主要河流支流水源並以隧道為主、次要河川相連通者如烏山頭水庫，惟目前因曾文溪上游建造曾文水庫，兩水庫互相串聯營運。

二、運用標的分類

1. 單目標水庫，例如虎頭埤水庫、德元埤水庫等為灌溉標的；南化水庫為供應民生用水標的。
2. 多目標水庫，具有防洪、發電、公共給水、工業用水、灌溉功能，如石門水庫、曾文水庫、明德水庫屬之。

三、水庫之灌溉計畫

不管單目標或多目標水庫供應灌溉標的，均須參酌其灌區地理環境，水文條件，配合水庫運用規則，依既定之耕作方式及灌溉制度，擬定年度灌溉計畫。

2.3.3 取水方式

水庫與湖泊（池塘）之取水方式，端視水位高程與農田高程而定。

1. 當水被蓄存於築壩之山谷中時，則其水位將會比壩之下游的水位還高，而此一水位之差，足以讓灌溉之系統採用重力式之方式施灌。由水庫取水時，可藉由混凝土管或鋼管為之。此一輸水管線係連接水庫與下游灌區之灌溉渠道。經由閘門加以控制，導引到下游渠道，閘門之設置位置通常位於管線之上游端。
2. 當灌溉之地區位於水庫壩址之上游處或沿著湖泊（池塘）四周，且其高程比較水庫或湖泊（池塘）之水位還高時，若要對該地區進行施灌，則祇有依靠抽水機方能達成。在雨季後則水庫之水位通常最高，而在旱季之後水庫之水位會達到最低之情形，因此在安置抽水機之時，務必要能夠掌握此一變動之情況，不但在垂直方面之變動，尚包括水平方向之變動情形，因為水位降低的同時，水會向後退至水庫低窪之地區。
3. 此外若有乾枯之支流時，亦可以當作具有水庫功能之用，在雨季時，該支流將會有水量之蓄存，而在旱季時，則將關閉而無蓄存情形，因此，此一蓄存之水量可以被利用之。由於這些狀況是發生在低水位時，故抽水機之引用亦是必然的。

2.4 可靠水量

2.4.1 河川之可靠水量

確保灌溉用水使其不致於缺乏是非常重要的，若在作物生長過程中有用水短缺之情形時，則將影響作物生長，由作物生產之獲利也會減少，嚴重者會造成灌溉投資計畫之停擺。

灌溉計畫之確立，是要靠著在全生育期中水之供應是否足夠，因此一個成功的灌溉計畫基本上要有可靠的供應水源，故對於灌溉計畫中之粗計畫灌溉需水量（ SIN_{gross} ）確立之後，則務必要儘量查明在該灌溉期中其河川水源之可靠程度。

一、對水源可靠度之考量將不外乎以下幾種情形：

1. 祇有在豐水期之時，河川之流量才能滿足粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross})，由於河川之流量每年在變，缺水之情形必然會發生在乾早年或較旱之月別。因此必需查明的是在一年當中有那幾個月其河川流量最小，很明顯的在此情形之下，若要改變灌溉之執行，而造成在乾早期有高灌溉水量需求之情形，應予以避免之。
2. 若在乾早年時之旱季期間，河川之流量充足，且超出粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 時，若任意對灌溉之施行予以變更成需要較多之水量或稍為擴展灌區等，均會讓未來產生更大的缺失困擾。
3. 在整個作物之生長季中，河川之流量一直都比粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 為高，且每年都如此，則此將不會有灌溉計畫中用水可靠度之問題，此情形可由現地之農民間得到較確實之資料。在此情形之下且未發生移水，對於稍為擴展灌溉區域，或變更種植耗水較大的作物，如水稻等，亦不會有嚴重之問題。
4. 對於水源可靠度之尋求，應與水文負責機構密切配合，該機構可提供水資源與河川流量等相關資訊，在水文之資料方面有：降雨、逕流等。在預測方面，則該機構可根據過去之歷史記錄資料推估在灌溉期之中其最大河川流量，並可預測乾旱之河川枯流量。因此若尚無河川之流量量測資料時，則務必儘速進行，讓日後之計畫能有可靠之資料可資引用。
5. 另一種可能之情況是在作物生長期中，於部分生長期中其供水不足，而部分生長期中除供作物所需之水量外，尚有部分盈餘之水量可用，對於此一盈餘部分之水量，可以應用築壩或蓄水設備之方式，將水量蓄存起來，但灌溉方面本身無能力投資為之。此一可蓄存之水量，若為河川可靠引水量而為盈餘水量部分，自可讓其他用水標的設法酌予移用，應由水資源主管單位協助推動。

二、有關於目前台灣常用之河川水量量測方法簡介如下：

1. 觀測法

溪河之流量，不能直接觀測，需根據溪河之浸水斷面面積，與平均流速計算求得。流速測量方法常用者有三：

(1) 流速計測法

將流速儀沉入水內，觀測斷面上各點之流速，推算該斷面之平均流速。

(2)浮標測法

洪水時期放浮標入流水中，觀測表面流速，推算溪河之平均流速。

(3)水面坡降法

在溪河中某一整齊河段，取上下斷面各一分別設立水尺一組，在同一時間內，測讀上下水尺之水位差數，除以二水尺間距離，即得水面坡降，用曼寧氏公式 (Manning's formula)，推算平均流速：

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

式中 V = 流速 (m/sec)

n = 粗糙係數

R = 水力半徑

S = 水面坡降

2.估算法

溪河流量可由實測獲得，但在某種情況下，因急欲實施一有希望的灌溉計畫，事前對於該溪河之流量，未有實測記錄，應退一步利用估算方法，間接決定之。

$$R = C \cdot P \dots\dots\dots(2.1)$$

式中 R = 逕流量

C = 逕流係數

P = 降雨量

根據本式之估算原理，依次庫斯克 (Iszkowski) 氏曾統計各種地形之逕流係數如下表。

表 2-4 地形與逕流關係表

地形分類	沼澤 窪地	低地 高原	丘 陵 起伏地	坦坡 山地	陡坡 山地	高山	險陡 高山	極陡高山
逕流係數	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55~0.70

利用相似逕流關係，和長期降雨資料，估算溪河流量，乃最常用之方法。如一溪河之氣候，地形，地質，和植物覆蓋情形，與另一已知逕流關係之溪河

相似時，有理由設定預測溪河之逕流情形與之大致相同，則可利用此一逕流關係，估算預測溪河之逕流量。如因測站之控制面積相異，最好利用兩站之集水總量即降雨量之集水面積比例，來推算之。

2.4.2 湖泊、水庫之可靠水量

一、湖泊（池塘）之可靠水量：

- 1.在前面已經說明河川之可靠水量之決定，該方法亦適用於湖泊（池塘）系統，在灌溉系統中總灌溉水量之需求量，必須要小於單獨水源之湖泊（池塘）可提供之水量。
- 2.當湖泊（池塘）之水源來自於河川時，則其水位係隨著河川之情況而有所不同，若湖泊（池塘）之水源係由地下水所供應，其水位之變動較緩，且隨著地下水位之高低而變。
- 3.對於湖泊（池塘）中灌溉用水之可靠水量估算，需由湖泊（池塘）之可蓄容水量，與湖泊（池塘）中因蒸發及滲漏之損失水量而決定之。對於大型之灌溉計畫區域而言，地方或中央單位，將會估算可靠之水量，對於可靠水量，是經由詳細之河川流量、地下水補給、詳細估算蒸發量、滲漏損失量及其他之用水需求等資料估算之。

二、水庫之可靠水量

以灌溉為單目標之計畫水庫之設立，係配合計畫灌溉之需要。水庫之計畫容量，應根據水源之變化情形，和灌區用水量資料分析估算之：

- 1.估算水庫之蓄水量，應按計畫滿水週期，就流量變化情形，累積分析之。水庫之中可蓄存之水量係依照下列因子而定：
 - (1)河川流量（流量之大小隨降雨而定）
 - (2)壩之高度（當於河谷攔河築壩時）
 - (3)水庫面積（如果是以人工挖掘方式時）
- 2.另一種情形為將水蓄存於離槽水庫之中，蓄存之方法，係將水流導入一天然之窪地、或河川旁側之分支中、或以人工挖掘水庫，而此情形與湖泊（池塘）之情況類似。
- 3.計畫蓄水量則應自蓄水開始，即累計流入量，減去同時期累積供水量，蒸發損失量，和滲漏損失量等，即可得各階段水庫之有效蓄水量，另加死水

量即為水庫之實存水量。

4.現就蒸發損失，滲漏損失量，和死水量等分述如下：

(1)滲漏損失量

水庫庫址為石質或粘土者，滲漏損失甚微；為細砂壤者大致尚佳，祇滲漏損失較大；水庫兩岸或其底由卵石組成者，雖有薄層細密土壤覆蓋，亦易成地下水道，其滲漏必大；鄰近石灰岩或石膏地區，岩內常有孔穴，易導致大量滲漏。除水庫地質不良易導致大量滲漏外，一般水庫之滲漏損失皆不致太大，其損失量與蓄水深度有關，隨完成年數而逐漸減少，一般估計滲漏損失約占水庫容量的5~15%。

(2)蒸發損失量

由水表面所引發之蒸發量在乾燥或半乾燥之地區，一天達到7公厘是相當普遍之情形，這相當於在一週之間蒸發5公分水深或一個月之間蒸發20公分水深之情形。此一蒸發水量相當之可觀，尤其是對於寬而淺之水庫而言，則其蒸發量更不可等閒視之。因此，若以深度較淺之湖泊或水庫為灌溉水源時，則於雨季後之灌溉應儘速施行，以免等待過久，造成水庫乾枯而浪費用水。

蒸發損失率與溫度和風速成正比，與濕度成反比。根據廣水面之實驗資料，其蒸發量約為蒸發計蒸發量之半。惟水庫之蒸發損失問題極堪重視，因蒸發率之最高時期，其降雨量恆屬最微，農田需水最殷，由水庫引水最多，故計算水庫容量時，蒸發損失宜採用最大值。

水庫之蒸發水面以滿水時最大，水位最低時最小，估算蒸發損失宜採平均水面。蒸發損失量應根據水庫當地之蒸發量紀錄，推算各月旬之廣水面蒸發損失率，乘以水庫之平均水面而得。

(3)死水

水庫中之部分水量，因低於引水口標高，故無法引用，其量之大小視地形及引水口標高而定，此一容水空間，其低標高部分常用以儲蓄泥沙。

5.根據需水量估算蓄水量

在第一篇 2.3.3 節中已介紹水庫容量與其形狀有關，並依此介紹經驗公式法及積分法等方式推求水庫容量，本節則依據需水量估算蓄水量，水庫之蓄水量亦可根據連續無效降雨日數，簡便地算出。通常10~20年一

次之連旱日數為標準，凡日雨量在 5 公厘以下者，視為無效降雨日，併入計算最長早期之需水量，即為水庫計畫蓄水量，可用下式估算之：

$$Q = q \cdot d + L \dots\dots\dots(2.2)$$

式中 Q = 水庫計畫蓄水量 (m^3)

q = 灌區日需水量 (m^3)

d = 最長早期日數 (包括無效降雨日)

L = 早期內水庫之總損失水量 (m^3)

其他較複雜之計算方式上包括 1883 年 Ripple 所發展之累積曲線法，以需水曲線和累積進水曲線間最大之偏距，求得滿足此需要量之水庫容量，或 1963 年 Thomas 所發展之尖峰序列法，該法假設進流量與估計之取水量在 T 年間有週期循環，求兩循環內不致缺乏取水情況下之最低蓄水量為水庫容量，其優點為可處理變動之需水量。此外，尚有全距法，可計算所需年間為保持供需平衡所需之水庫容量，如下所示：

假設起始為滿庫。

$$R(n) = \text{Sup} \left[\sum_{t=1}^n (Y_t - \mu) \right] - \text{Inf} \left[\sum_{t=1}^n (Y_t - \mu) \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

式中 $R(n)$: N 時間區間內為保持供需平衡所需之水庫容量

$\text{Sup}(\circ)$: 為盈量(正值)之最大值

$\text{Inf}(\circ)$: 為虧量(負值)之最小值

t : 流量之次序

n : 流量序列之數

Y_t : 第 t 時間區間內水庫之總入流量

μ : 平均時間區間出流量，亦即水庫每時間區間之目標放水量

【綜合例題】

已知某一擬興建灌溉水庫位置處各月份的平均天然流量、預估的灌溉用水需求量、皿(Pan)蒸發量及降雨量如下表所示。建水庫前已登記的水權要求釋出天然流量或每月 0.4×10^6 立方公尺兩者中的較小值。假設不考慮預定淹沒區的逕流係數(Runoff coefficient)，水庫的各月份平均表面積皆為 10 平方公里，蒸皿係數為 0.7。忽略水庫的滲漏量。試求所需之水庫容量。

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
天然流量(10^6m^3)	7.6	7.1	8.4	3.5	1.5	0.6	0.2	0.4	6.9	7.3	1.7	0.2
預估的灌溉用水 需求量(10^6m^3)	0.6	0.6	1.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	1.2	0.6	0.6
降雨量(mm)	164	126	80	74	50	30	5	10	196	206	0	6
皿蒸發量(mm)	60	90	100	110	150	250	260	250	240	190	100	60

【解】

由入流量與估計之取水量供需平衡求得水庫蓄水容量如下表：

(1) 月	(2) 流量 (10^6m^3)	(3) 皿蒸發量 (mm)	(4) 降雨量 (mm)	(5) 需水量 (10^6m^3)	(6) 優先水權 用水量 (10^6m^3)	(7) 實 際 蒸發量 (10^6m^3)	(8) 降雨量 (10^6m^3)	(9) 調節 流量 (10^6m^3)	(10) 蓄水量 (10^6m^3)
一	7.6	60	164	0.6	0.4	0.42	1.64	8.42	0
二	7.1	90	126	0.6	0.4	0.63	1.26	7.33	0
三	8.4	100	80	1.2	0.4	0.70	0.80	8.10	0
四	3.5	110	74	2.4	0.4	0.77	0.74	3.07	0
五	1.5	150	50	2.4	0.4	1.05	0.50	0.55	1.85
六	0.6	250	30	2.4	0.4	1.75	0.30	-1.25	3.65
七	0.2	260	5	2.4	0.2	1.82	0.05	-1.77	4.17
八	0.4	250	10	2.4	0.4	1.75	0.10	-1.65	4.05
九	6.9	240	196	2.4	0.4	1.68	1.96	6.78	0
十	7.3	190	206	1.2	0.4	1.33	2.06	7.63	0
十一	0.7	100	0	0.6	0.4	0.70	0.0	-0.40	1.00
十二	0.2	60	6	0.6	0.2	0.42	0.06	-0.36	0.96

其中 (6)=Min [(2), 0.4]

$$(7)=(3)/1000 \times 0.7 \times 10 \times 10^6$$

$$(8)=(4)/1000 \times 10 \times 10^6$$

求淨入流

$$(9)=(2)-(6)-(7)-(8)$$

$$(10)=(9)-(5)$$

若淨入流-需水量 ≥ 0 ，則蓄水量=0

若淨入流-需水量 < 0 ，則蓄水量=(淨入流-需水量)之絕對值

計算(10)之總和得 $15.68 \times 10^6 \text{m}^3$

即所需水庫容量至少為 $15.68 \times 10^6 \text{m}^3$

6. 水庫規線操作方法

臺灣地區許多主要水庫採用多目標的運轉方式，以獲得在灌溉、給水、發電、防洪等功能考量下有較大的整體效益。在操作上多採用運轉規線的方式，將水庫蓄水容量分為數個區間，如圖 2-7 所示，分別為死水區(Inactive pool 或 Dead pool)、貯水區(Conservation pool)、防洪區(Flood control pool)及超量區(Surcharge pool)。最簡單的規線如圖 2-8 所示，在夏天時為洪水季節，規線可依雨量計錄及進流量計錄等資料予以降低，以預留防洪空間。通常各區間的大小隨季節變化而異，在操作規則中制定各時期不同蓄水量所對應的放水原則，例如水位在規線的上限以上可儘量滿載發電，並於防洪期預留空間使水位保持在上限以下，位於上限與下限之間時只供應保證電力與合約放水量，低於下限則對標的量採減供措施。這種規線在水庫設計規劃階段即利用歷史流量以模擬法求得，屬於一種長期水庫操作的規範。今舉石管局在民國 66 年訂定的規則作一說明，其操作規線分為上限，下限及嚴重下限三條，如圖 2-9 所示，其旬操作如下：

(1) 水庫水位超過上限時，應視實際情形儘量增加發電，以幫助降低水位至上限。

(2) 水庫水位在上限與下限之間時，一切按照正常運轉，即公共給水與灌溉用水按正常供給，並應滿足發電合約。

(3) 水庫水位在下限與嚴重下限之間時，公共給水與灌溉用按正常供給，發

電量至少為合約發電量之 80%。

- (4) 水庫水位低於嚴重下限時，應協調減配灌溉水量(70%供給)，並應嚴格依照公共給水灌溉需水量發電。

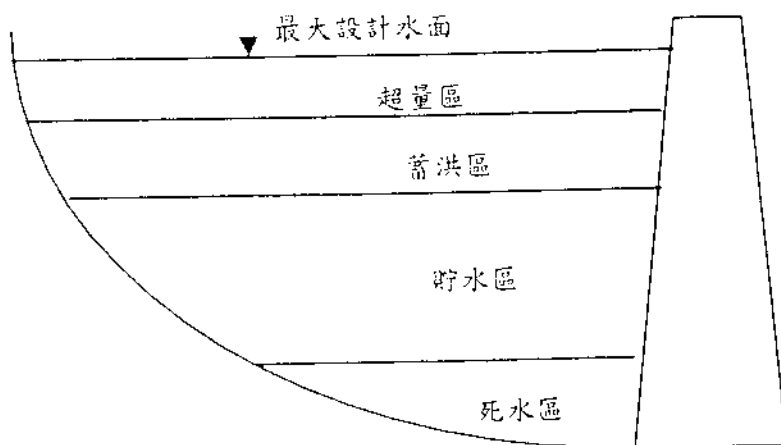


圖 2-7 水庫蓄水容量分區示意圖

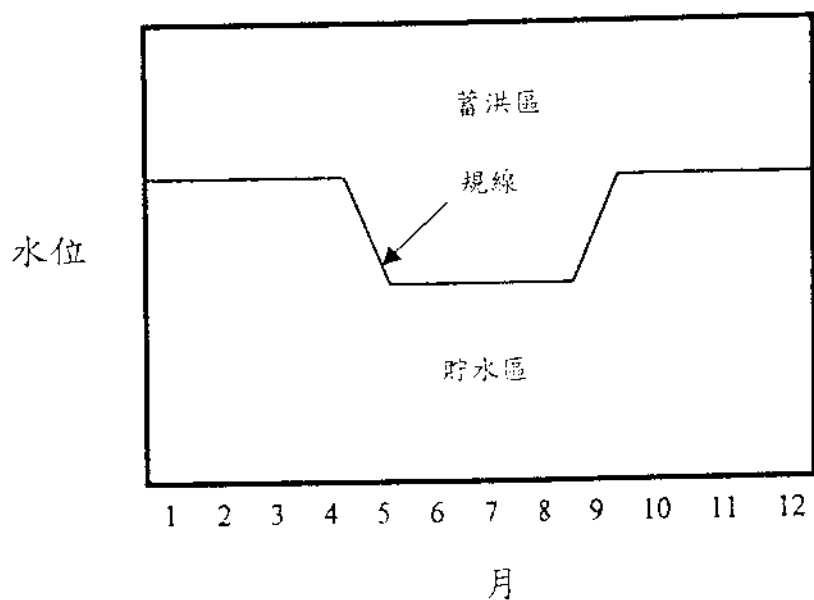


圖 2-8 水庫簡易操作規線示意圖

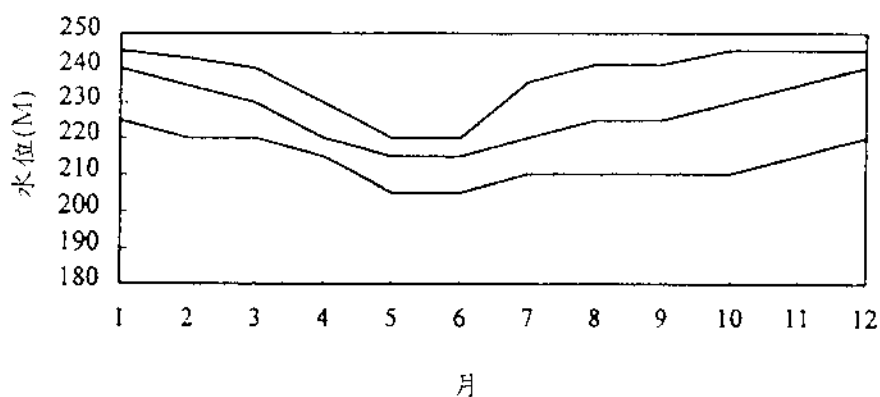


圖 2-9 石門水庫 M-5 規線圖

台灣現有水庫運用規線大部份制定於水庫實際運轉之前，許多水庫已運作數十年以上，現今的實際情況與制定規線之時有產生極大的變化，例如農業作物型態與耕作面積的不同，公共給水劇增，水庫本身逐年淤積等，以及水文資料隨時間而改變其統計特性。因此必須配合現行的實際情況重新修訂水庫的操作規線，使水庫能藉理想之操作規線，因應乾旱缺水危機。

第三章 地下水源利用

3.1 前言

地表水為水文循環之一環，其行徑可自圖 3-1 之水文循環示意圖見其梗概。地殼表層內之含水層猶如管渠之可以導水，亦如水庫之可以蓄水。地表水自地面進入含水層後即緩慢流動，在不同之地點，經由自然流出、植物蒸散、人為汲取等不同之方法又回復至地面，為應用極廣之水源。河道在乾涸成枯水時，地下水供給其水量。甚至某些地區自水井抽水為其唯一之水源。

地下水來自地表水，天然之補給包括雨水、河道流量、湖泊與水庫等。其他人為因素如超量灌溉、渠道滲漏、或人工補注等。

地下水流向河道、湖泊與海洋，有時溢出地面而成泉。地下水接近地面時可經土壤與植物直接蒸發與蒸散而回至大氣。水井抽水為地下水之主要人工汲取方式。

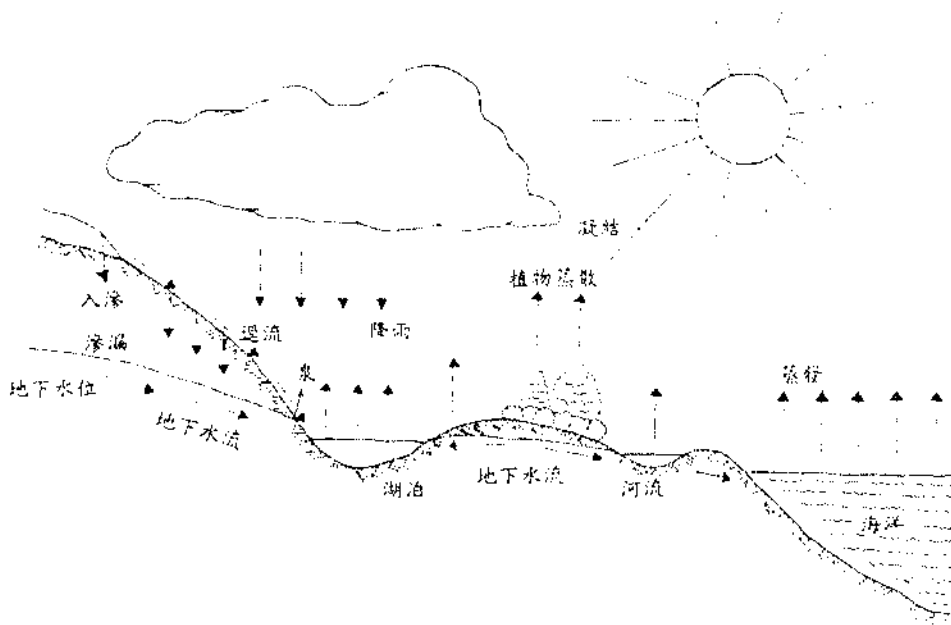


圖 3-1 水文循環圖

3.2 地下含水層分類及分布

3.2.1 地表下水之垂直分布

滲入土壤之水稱為地表下水，存在於飽和層者始稱為地下水，因此地表下

水並不全部為地下水。原則上地表下水主要受到三種作用之影響而產生移動，茲分述如下：

1. 為毛細管作用力之吸引，回返地表經蒸發至空中，縮短水文循環之途徑。
2. 為植物之根部吸收，經由葉面蒸散重回大氣。
3. 受重力作用下滲至土壤更深部分，到達飽和層，成地下水而為供給水井之水源。
4. 外表外層之空隙，常有部分含水，但仍有空氣之存在，故稱為通氣層。通氣層以下之空隙全部含水，則稱為飽和層，見圖 3-2。

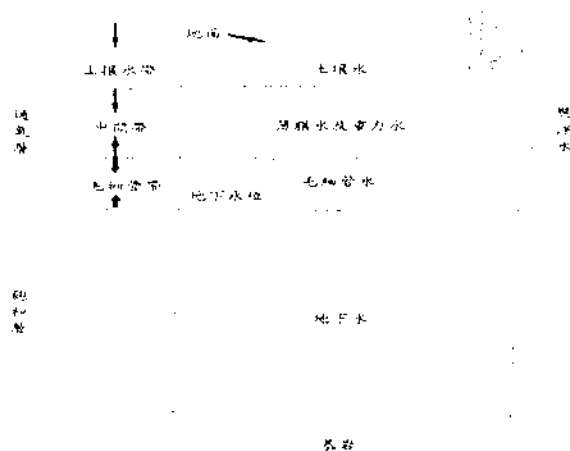


圖 3-2 地表下水之分布

(1) 通氣層可分為三帶：

- a. 土壤水帶之水分不穩定，易蒸發，為植物根部吸收，再由葉面蒸散。
- b. 中間帶包括：
 - (a) 吸附水或稱薄膜水，吸附水因分子間吸力而附著於土壤表面，不因重力作用而下降，但仍可因蒸發而緩慢散失。
 - (b) 重力水，水分能受重力作用而下降。
- c. 毛細管水邊緣則毛細管水到達地區，因毛細管作用而自地下水面上昇

之水。毛細管作用所能升之水高可以下式計算：

$$h_c = \frac{2\pi}{r\gamma} \cos \lambda \dots\dots\dots(3.1)$$

由 3.1 式中：

h_c = 毛細管水高

π = 表面張力

γ = 水之比重

r = 管半徑

λ = 凹形水面與管壁之接觸角，如圖 3-3

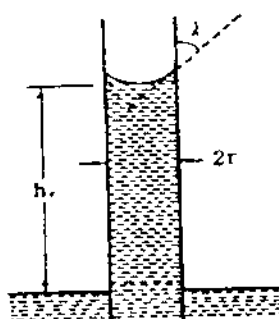


圖 3-3 毛細管水面升高圖

(2)飽和層內所含之水稱地下水，厚度由數公尺至數百公尺不等，決定之因素為：

- a.當地之地質。
- b.地層中之有效空隙。
- c.自補給地區流向流出地區地下水之補給與流動狀況。

3.2.2 含水層分類

含水層主要可分為自由地下水含水層(Unconfined aquifer) 及受壓地下水含水層(Confined aquifer)兩大類，關係如圖 3-4。此外，尚有暫棲含水層(Perched aquifer)及洩漏含水層(Leaky aquifer)等不同地質狀況產生之含水層，一併說明如下：

1.自由地下水：之飽和層底部連接不透水層，其空隙間含水之水面直接受大

栗沿海地區、台中地區、濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原及花蓮台東縱谷等。其中又以濁水溪沖積扇及屏東平原之地下水蘊藏量最為豐富（參考表 3-1）。上述 9 個地下水分區之地理位置如圖 3-5 所示。

3.3.2 地下水抽用情況

- 一、台灣之地下水資源相當豐富，據估計台灣全島每年之地下水補注量約有 40 億噸，而儲蓄在地下含水層中之地下水量更高達數百億噸。一般而言，地下水之可運用量應以地下水補注量為依據，亦即每年或長期之地下水抽取量，不能超過其地下水補注量。然而根據相關資料顯示，台灣大部分的地下水區，其地下水抽取量均遠超過其地下水補注量，若此情形仍持續下去，將會對環境生態造成極嚴重之衝擊。
- 二、地下水除了具有水質良好、水溫固定、取得便利、價格便宜等之優點外，最重要的是當枯水期地表水源不足時，可運用地下水來彌補地表水之不足。但因地下水水井數量眾多且分布範圍遼闊，以致於管理極為困難，所以雖然政府已於台灣全島之地下水區設置 337 口地下水水位觀測井，但總體而言，資訊仍相當貧乏，使得地下水之管理仍相當粗糙。
- 三、再加上近年來由於沿海地區養殖漁業之興起，非法水井頗多，用水需求急遽增加，因而地表水已不敷使用，故業者轉而大量抽取地下水以補地表水供給之不足。由於長年超量使用地下水之故，以致在沿海地區，特別是在彰化、雲林、嘉義、屏東等縣造成嚴重的地層下陷。除了造成寶貴國土流失及財產損失，在沿海地層下陷區均釀成極大的災情，社會國家也為此付出慘痛的代價。因此，如何能有效管理地下水資源，以減緩地層下陷速率，使之不再持續惡化，並使水資源能永續利用，乃為目前重要的工作。

表 3-1 台灣地下水資源分區及運用情形

區域	面積 (平方公里)	地下水資源分區			年雨水補注量 (億立方公尺)	年抽取量 (億立方公尺)	備註
		分區	面積 (平方公里)	占區域%			
北部	7,347	台北盆地、桃園中壢台地、蘭陽平原及新竹苗栗臨海地區（新竹部分）	2,140	32.8	4.72	5.37	台北盆地之地層下陷目前已有改善
中部	10,507	新竹苗栗臨海地區（苗栗部分），台中地區及濁水溪沖積扇	3,340	31.79	16.14	25.92	濁水溪沖積扇沿海地區已發生地層下陷之現象

南部	10,004	嘉南平原、屏東平原	3,650	36.59	16.64	37.97	沿海地區已發生地層下陷之現象
東部	8,144	花蓮台東縱谷	930	11.42	2.5	2.13	
合計	36,002.9	個分區	10,330	28.69	40	71.39	

資料來源：經濟部水資源局

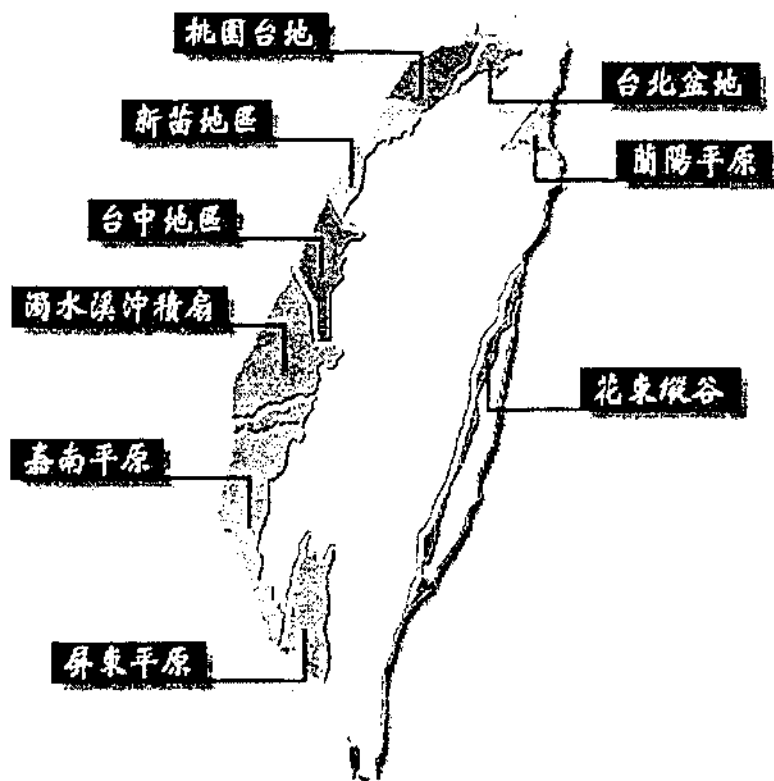


圖 3-5 台灣地下水分區（經濟部水資源局）

3.4 水井抽水及安全出水量分析

3.4.1 水井抽水

若要抽用地下水，則首先必須鑿井至地下水位以下，如此地下水可經由週圍土壤之孔隙，流至水井之中，直到水井中之水位與原地下水位平衡時為止。

一、淺層地下水

當地下水位於地表下數公尺距離內時，則開發該地下水時較為容易，可以人工挖掘之方式挖掘淺井即可達到，該地下水井之直徑通常約 1 公尺

左右，對於此一類地下水井之抽水，可由獸力或人力為之，但近年來已漸漸以柴油引擎替代之。

在抽用淺層地下水之水量時，由於水井較淺、水量較少之因素，所抽取之水量有限，也因此其所要灌溉之面積大小亦有所限制。

二、深層地下水

當地下水位距地表層相當深時，則以人力挖掘地下水井似乎不可能。深井之水量抽取必須深入地下，一般是以沉水抽水機為之，將沉水式抽水機深入到地下水位以下，而將水抽到地表面上，至於其驅動之方式，則以電動馬達或柴油引擎為之。

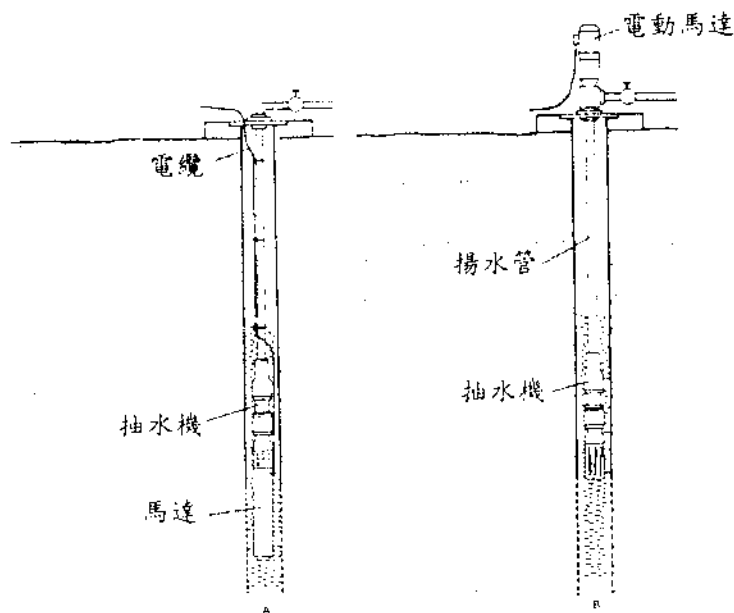


圖 3-6 深井與沉水式抽水機示意圖

圖 3-6 所示為深井之抽水裝備示意圖，在例子 A 中，抽水機與馬達均為沉水式，在例子 B 中，祇有抽水機為沉水式，抽水機是由地表上之電動馬達所驅動。

3.4.2 地下水量之分析及估算

一、地下蓄水量之分析

地下水為含蓄於地層中之潛水，其產生與地下岩層之性能相關，一優良地下含水層必須具有極大孔隙量（岩層孔隙容量占總體積之百分數，讓潛水能大量存儲其中）。蓄水岩層更須具有高度透水性能，即各孔隙間必

需脈絡相通，使潛水能自由滲透運行，相互挹注，水源方能供應不斷。

蓄水量之比(水庫之)出水量 (Specific yield) 係指岩層孔隙中之飽和水量，受重力作用時而能流出之水量，所占岩層總體積之百分數。因有一部分水量是保留於孔隙中而不能流動者，故出水量應較岩層之孔隙量為小。現摘錄 Linsley 和 Franzini 兩氏合著「Elements of Hydraulic Engineering」一書中，各類岩層之出水性能列於表 3-2 中，供作估算參考。

表 3-2 各類岩層出水性能表

岩 層	孔 隙 量 (%)	出 水 量 (%)	透 水 係 數 (g.p.d./ft ²)
粘土	45	3	1
砂土	35	25	800
礫石	25	22	5,000
礫石及砂土	20	16	2,000
砂岩	15	8	700
石灰岩、頁岩	5	2	1
石英岩、花崗岩	1	0.5	0.1

二、地下水量之估算方法

1. 達西氏 (Darcy) 水流基本公式：

地下水之流速，達西氏根據水力學理論，最早研究所得結論經分析應為：任二點間之地下水流速與該二點之水頭差成正比，與二點間距離長度成反比例，且與土壤顆粒之粗細和其孔隙量有密切之關係。其基本計算公式為：

$$V = KI \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{或 } K = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(3.3)$$

式中 V = 地下水流速 (m/sec)

$$I = \text{地下水流坡降} = \frac{\text{兩點間之水頭差}}{\text{兩點間距離長度}} = \frac{h}{L}$$

K = 水力傳導係數 (Hydraulic conductivity)

$$\therefore V = K \frac{h}{L} \dots\dots\dots(3.4)$$

各類砂土之滲透係數，因土質粗細和孔隙量不同而相異。現將德國學者實驗之結果，列於表 3-3 中供作參考。

表 3-3 各類砂土滲透係數表

類 別	粒徑 (mm)	滲透係數 (m/sec)	測 定 者
河 砂	0.1~0.5	0.0025	Munster
河 砂	0.1~0.8	0.0088	"
細 礫	2.0~4.0	0.0300	Welitschkowsky
中 礫	4.0~7.0	0.0351	

2. 估算井內水量之基本原理

在含水層為均質等向之情況下，計算灌溉井內水量，可根據達西氏基本水流公式配合誘導計算之。該假設為水力坡降梯度與地下水面坡降一致，都普特假設(Dupuit assumption)且每一垂直面之水流流速為水平且均勻分佈。水流可簡單區分為穩態(Steady state)與非穩態(Unsteady state)之徑向流(Radial flow)，在此僅依含水層之分類(自由含水層與受壓含水層)簡單介紹淺井與深井之穩態徑向流以估算農業灌溉水井之出水量。

3. 淺井之集水量

凡鑿井深度不大，或井底在不透水層之上時，皆謂之淺井(如圖 3-7)。由淺井中抽汲地下水時，井水面必逐漸下降，井管外之水面亦隨之下降，謂之洩降(Drawdown)，此水面下降之區域，謂之抽水影響圈(Influence circle)。如地下水來源不斷時，此影響圈之擴展，將至其能供給汲取水之範圍為止。

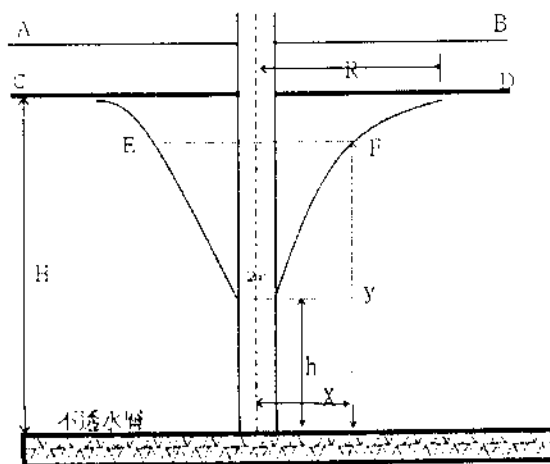


圖 3-7 淺井抽水情況

設 r = 井管之半徑

h = 井管中水深

H = 蓄水層之厚度

R = 抽水影響圈之半徑

x, y = 地下水面上任一點之坐標

故距離井管中心 x 處之進水面積應為

$$A = 2\pi xy$$

在該出水範圍內，能進入井內之水量為

$$Q = KIA$$

$$\therefore I = \frac{dy}{dx}$$

$$Q = K \cdot 2\pi xy \cdot \frac{dy}{dx}$$

$$\text{則 } Q \frac{dx}{x} = 2\pi Ky \cdot dy$$

$$\text{積分得 } Q \cdot \log_e x = \pi ky^2 + C \dots\dots\dots(3.5A)$$

若 $x = r, y = h$

$$\text{則 } C = Q \cdot \log_e r - \pi Kh^2 \dots\dots\dots(3.5B)$$

代 (3.5B) 入 (3.5A) 中，即得

$$y^2 = \frac{Q}{\pi K} \cdot \log_e \frac{x}{r} + h^2$$

若 $x = R, y = H$ 時，則

$$H^2 = \frac{Q}{\pi K} \cdot \log_e \frac{R}{r} + h^2$$

$$\text{則 } Q = \pi K \cdot \frac{H^2 - h^2}{\log_e \frac{R}{r}} \dots\dots\dots(3.6)$$

4. 深井之集水量

深井開鑿入透水層時，地下水可自動湧入井內，其井內水量計算如後：

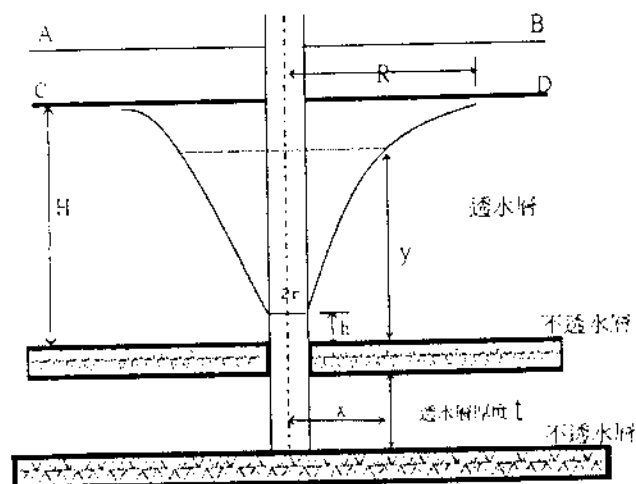


圖 3-8 深井抽水情況

設 t = 透水層之厚度

則 $A = 2\pi xt$

$$Q = KIA = K \cdot 2\pi xt \cdot \frac{dy}{dx}$$

$$\text{即 } Q \cdot \frac{dx}{x} = 2Kt \cdot dy$$

$$\text{積分得 } Q \cdot \log_e x = 2\pi Kty + C \quad \dots\dots\dots(3.7A)$$

若 $x=r$, $y=h$

$$\text{則 } C = Q \cdot \log_e r - 2\pi Kth \quad \dots\dots\dots(3.8B)$$

代(3.7B)入(3.7A)中，即得

$$y = \frac{Q}{2\pi Kt} \cdot \log_e \frac{x}{r} + K$$

若 $x=R$, $y=H$ 時，則

$$H = \frac{Q}{2\pi Kt} \cdot \log_e \frac{R}{r} + h$$

$$Q = \frac{H-h}{\log_e \frac{R}{r}} \cdot 2\pi Kt \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

【例題】

設有 30cm 直徑抽水井鑿入一 32m 深之非揭限含水層內，在洩降為 2m 時之穩定抽水量為 213 liters/min。試求算如直徑為(一) 20cm，(二) 40cm 之抽水井，在洩降仍為 2m 時之抽水量，以 liters/min 表示，已知上述三種不同管徑之抽水影響半徑均為 750m。

【解】

(1) 已知 $h=30m$ ， $H=32m$ ， $R=750m$ ， $r=0.30/2=0.15m$

由 式(3.6)

$$Q = \frac{\pi K (H^2 - h^2)}{\ln(R/r)}$$

將已知分別代入式中：

$$0.213/60(cms) = \frac{\pi K (32^2 - 30^2)}{\ln(750/0.15)}$$

$$\text{得 } K = 7.76 \times 10^{-5} m/sec$$

(2) 已知 $r=0.10$ ，將求得之 K 值代入式(3.6)得：

$$q = \frac{7.76 \times 10^{-5} \times \pi \times (32^2 - 30^2)}{\ln(750/0.10)} = 3.39 \times 10^{-3} (cms) = 203 (l/min)$$

(3) 同上，將 $r=0.20$ ，代入式(3.6)得：

$$q = \frac{7.76 \times 10^{-5} \times \pi \times (32^2 - 30^2)}{\ln(750/0.2)} = 3.67 \times 10^{-3} (cms) = 220 (l/min)$$

3.4.3 安全出水量分析

一、安全出水量之定義探討

地下水「安全出水量」(Safe yield)並非一定值，同一地下水區中，在不同時間可能有不同之安全出水量，例如產業型態、能源價格、地面水供應情況等，因抽用水量不同，均會影響安全出水量之大小，而安全出水量大小更牽涉到地下水管制方案之適宜性，並影響施行管制之成效，惟何

謂「安全出水量」，則因人為因素與適用之抽水量不同，使各家之解釋互不類同而有不同定義，分別說明如下：

1. 安全出水量這一術語，於 1915 年由美國 Lee 氏首度提出，其後並經許多學者、專家從各種不同的觀點提出看法，例如永續性出水量 (Perennial yield)、開採出水量 (Mining yield)、水域出水量 (Basin yield)、含水層出水量 (Aquifer yield)、經濟安全出水量 (Economic safety yield)、法規安全出水量 (Legal safety yield)、優選出水量 (Optimal yield) 等。
2. 根據葉弘德教授及日本學者柴崎達雄等人對於地下水安全出水量的探討 (中鼎, 1999)，認為一般地下水的開發，由於缺乏有效的管理，不少的抽水井，集中於局部區域、且/或於短時間內抽取大量的地下水，使地下水文成為一動態系統，已不符合「安全出水量」的定義。
3. 沈 (1989) 曾提出所謂地下水安全出水量之定義，大概可從兩個觀點加以探討：其一從理論上定義安全出水量，也就是從水文收支平衡的理論上所推求的年補注量。其二是從水權上定義安全出水量，也就是從法律及經濟的立場定義安全出水量。前者可稱為水文的安全出水量 (Hydrological safety yield)，後者可稱為經濟的安全出水量 (Economic safety yield)；兩者之間有相當大的差距。水文的安全出水量以不超過年補注量為限，其型式也有兩種：其一為倘若抽用量與補注量相平衡，則地下水位不會變化，此時補注量即為安全出水量，此法通常適用於累積了足以進行地面水平衡計算資料的地下水流域；其二為當開始抽水時之水位與使用一年後之水位相同時，此一年之用水量應等於安全出水量。以經濟為必要條件所定義的安全出水量是以效益觀點來考慮，其考慮因素除了要考慮地下水使用花費外，在台灣亦應將地層下陷所衍生的問題及社會成本納入考量，就目前來說，經濟觀點所定義的安全出水量是否適用，除了需要深入研究外，亦應從法律與社會的觀點探討其可行性。
4. 除了水文與經濟之外，安全出水量之定義也可從「水質條件」與「減緩地層下陷」的不同觀點分別進行研究。所謂以「水質條件」推估安全出水量，主要的觀點就是決定使用地下水的容許界限，以避免海水入侵到沿岸地區的含水層，而造成地下水利用的問題與社會環境問題。「減緩地層下陷」亦是一個決定安全出水量的方法，適當的地下水位應可從土壤力學的觀點求出，而對應的抽水量亦可據以推估。
5. 由以上討論，可見分析安全出水量並不單只為抽用含水層水量的角度，其尚需考量自然環境及社會經濟等因素，但即使至目前，由於各種看法的分歧，尚無一清晰之定論。大致可歸納出「安全出水量」的定義，雖可從水文、經濟、水質和地層下陷的不同觀點進行研擬，但對於濁水溪

沖積扇地層下陷區而言，各有其應用上的困難。目前由「台灣地下水觀測網整體計畫」所得資料，並未發現濁水溪沖積扇有海水入侵之現象，故以「水質條件」推估濁水溪沖積扇安全出水量，並不適當。其次以地層下陷觀點來看，濁水溪沖積扇沿海地區早已發生嚴重之地層下陷問題，已失去防患於未然之先機，當前所迫切需要面對的問題是如何減緩地層下陷的持續惡化。以地層下陷問題發生原因來看，此時如全面禁抽地下水對先前發生之地層下陷問題已改善不大，因為如能嚴格限制抽水量且讓地下水水位不再降低或讓其逐年水位上升，亦能達成減緩地層下陷持續惡化目標。

6. 曹（1989）指出地下水安全出水量常見的計算方法有 7 種：水文平衡公式法、地下水盤存法、希祿(Hill)法、哈定(Harding)法、辛普森(Simpson)法、應用達西定律、水位上升與比流率法等等。其中希祿法需長期水位及抽水量資料，哈定法需長期水位及進水量資料，辛普森法水力坡降不易決定，水位上升與比流率法需長期水位及抽水量資料，由於濁水溪沖積扇地下水觀測站網初成，地下水位及抽水量的資料尚欠缺，長期資料取得不易，目前現有資料尚不足以使用這些方法估算本區正確之安全出水量（嘉義技術學院，1998）。國內常用研究方法有：水收支平衡法與地下水數值模式推估。不同估計方法各有其適用狀況，以下將按國內學者常用研究方法予以分類，以前人的研究個案，探討各種地下水安全出水量估計方法的特性。

二、國內安全出水量之估計探討

1. 水文平衡法

Linsley (1949) 利用水文平衡觀念計算安全出水量，平衡方程式如下式所示：

$$G = P - Q_s - Et + Q_g - \Delta S_g - \Delta S_s \dots\dots\dots(3.9)$$

其中	G	=	為安全出水量
	P	=	為降雨量
	Q _s	=	為地面逕流
	Et	=	為蒸散量
	Q _g	=	為地下水淨流入量
	ΔS _g	=	為地下水蓄水容積的變化

ΔS_s = 為地面水蓄水容積的變化。

假如以年平均為基礎，則 ΔS_s 通常可視為零。上式各項都容易受到人為改變的影響。林等（1998）估算彰化地層下陷地區各層平衡出水量介於 0.734 至 1.62 億噸/年間。

2. 地下水數值模式推估

應用地下水數值模式模擬逆向推估地下水安全出水量，一般係將安全出水量定義為自然補注量，故其理論與補注量之推估相同。葉（1998）將安全出水量定義為自然補注量，以 MODFLOW 模擬濁水溪沖積扇安全出水量為 8.97 億噸/年，中興（1999）將合理出水量定義為自然補注量，也以 MODFLOW 模擬濁水溪沖積扇安全出水量為 8.2 億噸/年。為了達到減緩地面繼續下陷的政策目標，「減緩地層下陷」亦是一個決定安全出水量的方法。林（1998）以 MODFLOW 模擬估算使彰化地層下陷區低於零水位面積於 5 年內減少一半之安全出水量約為 4.58 億噸/年，土木科技（1997）也以 MODFLOW 模擬雲林地區符合地層下陷防治方案量化目標之安全出水量為 3.6 億噸/年。

第四章 作物制度與水源供應

4.1 前言

農業生產須依其農地生產環境、土壤性質、作物栽培種類與技術、氣候水文條件擬定其耕作方式與灌溉制度，得以發揮農地高度利用，提昇生產效益。為配合農業區域之立地條件予以規劃其經濟發展，適地適時適作及水資源充分利用，則灌溉制度之推行乃為重要因素。茲以水稻灌溉為例，台灣分為台北、新竹、台中、嘉南、高雄、台東、花蓮等七個地區，均有各種不同之耕種輪作方式。

4.2 台灣水田之耕種輪作方式

4.2.1 一般方式

依各地區之氣候、降雨及耕作習慣，有下列幾種主要耕作方式與灌溉制度：

1. 雙期作田：一年中可種植兩期水稻，即分第一期及第二期作水稻之農田。
2. 單期作田：
 - (1) 前單期作田：每年供灌第一期作水稻之農田。
 - (2) 後單期作田：每年供灌第二期作水稻之農田。
3. 輪作田：
 - (1) 二年一作田：以二年為輪迴，可供灌一期作水稻之農田。
 - (2) 三年一作田：以三年為輪迴，可供灌一期作水稻之農田。
 - (3) 三年二作田：以三年為輪迴，可供灌兩期作水稻之農田。
 - (4) 其他尚有四年二作田、二年三作田、四年輪作田等。
4. 旱作田：缺乏水源或無水源可供灌溉之旱作物栽培農田。
5. 蔗作田：耕地以種植製糖用甘蔗為主之農田。
6. 另外就作物栽培時期或作物種類之不同，尚有下列耕作方式：
 - (1) 中間作田：係指在第一期作水稻後與第二期作水稻田間休閒期，在水稻田種植短期作物。另因受水源之限制，於豐水期每年 5 至 10 月間，可供灌水稻者，稱為中間作田。
 - (2) 冬季裡作：第二期作水稻後與隔年第一期作水稻種植前休閒期間在水田所種植之作物。
 - (3) 水田混作：指在水稻田之灌區中，除植水稻外，亦種植其他作物者。

4.2.2 嘉南高雄地區方式

嘉南高雄地區為台灣重要農作區，唯受灌溉水源限制，因而衍生較為特殊

之輪作制度。嘉南地區按照灌溉規定，三年間為二期作水稻、一期作甘蔗、三期作雜作。高雄地區由於高屏溪流貫其間，灌溉較為便利，故水田中雙期作田所占比例甚高。主要輪作方式在雙期作田之夏季中間作有瓜類，冬季裏作以大豆、紅豆等較為普遍。在美濃一帶冬季菸草栽培極盛，此外甘薯、蔬菜及瓜類亦為重要之冬季裏作。兩區詳細之輪作制度如圖 4-1 及圖 4-2 分別表示之。

4.2.3 其他方式

為避免稻米生產過剩，在政府獎勵休耕之情況下，由於第二期作水稻產量較第一期作為低，故農民申請休耕以第二期作者為多。第二期作屬雨季，如轉種旱作，低地水田易受淹水損害，且水田原具有之調蓄洪水功能及補注地下水機能，將會降低而影響水之生態循環。為因應加入世界貿易組織（WTO）後，水稻栽培面積可能須暫時性減少，為善加利用現有水田及灌溉輸配水系統，加強推動水田生態環境保護及增進生態貢獻措施。農委會近年來積極推動水田生態維護及涵養補注地下水計畫，獎勵農民加高其休耕水田排水出口高度，盡量維持蓄水狀態，將水田當作地下水補注池，引灌豐水期河川多餘之逕流水入田，提高逕流利用率，增進補注涵養地下水功能。唯第一期作常面臨旱季，灌溉用水在支援其他標的用水後，常導致插秧後之農田休耕，近年來迭有改變耕作制度之議，如將第一期作之整田插秧期延後至梅雨季以避開旱期等，但仍應考量稻作品種之適應性及評估收穫期之颱風侵襲風險性。

4.3 作物制度

較為精確之作物灌溉需水量估算方式，係以作物之耕作制度為基準，在耕作制度確立之下，依其作物之生長期推估合宜之灌溉需水量。基本之作物耕作制度所提供的資料有下列各項（FAO,1992）：

4.3.1 作物耕作制度之範例

（一）基本資料

- 1.種植何種作物
- 2.何時開始種植（種植日期）
- 3.各種作物之種植面積

（二）釐定農民之灌區耕作制度

根據以上這些詳細之資料，則可釐定各農民之灌區耕作制度，以甲農場之作物制度為例：

- 1.洋蔥種植期為 4 月 15 日～9 月 15 日，面積為 1 公頃。
- 2.馬鈴薯之種植期為 10 月 15 日～2 月 15 日，種植面積為 1/2 公頃，種植地區與洋蔥相同。
- 3.棉花種植期為 7 月 10 日～1 月 20 日，種植面積為 1.5 公頃。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	52

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \right) &= \frac{1}{2} \rho \frac{d}{dt} (\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) = \frac{1}{2} \rho \frac{d}{dt} (v^2) = \frac{1}{2} \rho \frac{d}{dt} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \\ &= \frac{1}{2} \rho \left(\frac{dv_x}{dt} v_x + \frac{dv_y}{dt} v_y + \frac{dv_z}{dt} v_z \right) \end{aligned}$$
[illegible][illegible]

10-1	第一组(1)		第二组(2)		第三组(3)		第四组(4)		第五组(5)		第六组(6)		第七组(7)		第八组(8)		第九组(9)		第十组(10)		第十一组(11)		第十二组(12)		第十三组(13)		第十四组(14)		第十五组(15)		第十六组(16)		第十七组(17)		第十八组(18)		第十九组(19)		第二十组(20)		第二十一组(21)		第二十二组(22)		第二十三组(23)		第二十四组(24)		第二十五组(25)		第二十六组(26)		第二十七组(27)		第二十八组(28)		第二十九组(29)		第三十组(30)		第三十一组(31)		第三十二组(32)		第三十三组(33)		第三十四组(34)		第三十五组(35)		第三十六组(36)		第三十七组(37)		第三十八组(38)		第三十九组(39)		第四十组(40)		第四十一组(41)		第四十二组(42)		第四十三组(43)		第四十四组(44)		第四十五组(45)		第四十六组(46)		第四十七组(47)		第四十八组(48)		第四十九组(49)		第五十组(50)		第五十一组(51)		第五十二组(52)		第五十三组(53)		第五十四组(54)		第五十五组(55)		第五十六组(56)		第五十七组(57)		第五十八组(58)		第五十九组(59)		第六十组(60)		第六十一组(61)		第六十二组(62)		第六十三组(63)		第六十四组(64)		第六十五组(65)		第六十六组(66)		第六十七组(67)		第六十八组(68)		第六十九组(69)		第七十组(70)		第七十一组(71)		第七十二组(72)		第七十三组(73)		第七十四组(74)		第七十五组(75)		第七十六组(76)		第七十七组(77)		第七十八组(78)		第七十九组(79)		第八十组(80)		第八十一组(81)		第八十二组(82)		第八十三组(83)		第八十四组(84)		第八十五组(85)		第八十六组(86)		第八十七组(87)		第八十八组(88)		第八十九组(89)		第九十组(90)		第九十一组(91)		第九十二组(92)		第九十三组(93)		第九十四组(94)		第九十五组(95)		第九十六组(96)		第九十七组(97)		第九十八组(98)		第九十九组(99)		第一百组(100)		第一百零一组(101)		第一百零二组(102)		第一百零三组(103)		第一百零四组(104)		第一百零五组(105)		第一百零六组(106)		第一百零七组(107)		第一百零八组(108)		第一百零九组(109)		第一百一十组(110)		第一百一十一组(111)		第一百一十二组(112)		第一百一十三组(113)		第一百一十四组(114)		第一百一十五组(115)		第一百一十六组(116)		第一百一十七组(117)		第一百一十八组(118)		第一百一十九组(119)		第一百二十组(120)		第一百二十一组(121)		第一百二十二组(122)		第一百二十三组(123)		第一百二十四组(124)		第一百二十五组(125)		第一百二十六组(126)		第一百二十七组(127)		第一百二十八组(128)		第一百二十九组(129)		第一百三十组(130)		第一百三十一组(131)		第一百三十二组(132)		第一百三十三组(133)		第一百三十四组(134)		第一百三十五组(135)		第一百三十六组(136)		第一百三十七组(137)		第一百三十八组(138)		第一百三十九组(139)		第一百四十组(140)		第一百四十一组(141)		第一百四十二组(142)		第一百四十三组(143)		第一百四十四组(144)		第一百四十五组(145)		第一百四十六组(146)		第一百四十七组(147)		第一百四十八组(148)		第一百四十九组(149)		第一百五十组(150)		第一百五十一组(151)		第一百五十二组(152)		第一百五十三组(153)		第一百五十四组(154)		第一百五十五组(155)		第一百五十六组(156)		第一百五十七组(157)		第一百五十八组(158)		第一百五十九组(159)		第一百六十组(160)		第一百六十一组(161)		第一百六十二组(162)		第一百六十三组(163)		第一百六十四组(164)		第一百六十五组(165)		第一百六十六组(166)		第一百六十七组(167)		第一百六十八组(168)		第一百六十九组(169)		第一百七十组(170)		第一百七十一组(171)		第一百七十二组(172)		第一百七十三组(173)		第一百七十四组(174)		第一百七十五组(175)		第一百七十六组(176)		第一百七十七组(177)		第一百七十八组(178)		第一百七十九组(179)		第一百八十组(180)		第一百八十一组(181)		第一百八十二组(182)		第一百八十三组(183)		第一百八十四组(184)		第一百八十五组(185)		第一百八十六组(186)		第一百八十七组(187)		第一百八十八组(188)		第一百八十九组(189)		第一百九十组(190)		第一百九十一组(191)		第一百九十二组(192)		第一百九十三组(193)		第一百九十四组(194)		第一百九十五组(195)		第一百九十六组(196)		第一百九十七组(197)		第一百九十八组(198)		第一百九十九组(199)		第二百组(200)		第二百零一组(201)		第二百零二组(202)		第二百零三组(203)		第二百零四组(204)		第二百零五组(205)		第二百零六组(206)		第二百零七组(207)		第二百零八组(208)		第二百零九组(209)		第二百一十组(210)		第二百一十一组(211)		第二百一十二组(212)		第二百一十三组(213)		第二百一十四组(214)		第二百一十五组(215)		第二百一十六组(216)		第二百一十七组(217)		第二百一十八组(218)		第二百一十九组(219)		第二百二十组(220)		第二百二十一组(221)		第二百二十二组(222)		第二百二十三组(223)		第二百二十四组(224)		第二百二十五组(225)		第二百二十六组(226)		第二百二十七组(227)		第二百二十八组(228)		第二百二十九组(229)		第二百三十组(230)		第二百三十一组(231)		第二百三十二组(232)		第二百三十三组(233)		第二百三十四组(234)		第二百三十五组(235)		第二百三十六组(236)		第二百三十七组(237)		第二百三十八组(238)		第二百三十九组(239)		第二百四十组(240)		第二百四十一组(241)		第二百四十二组(242)		第二百四十三组(243)		第二百四十四组(244)		第二百四十五组(245)		第二百四十六组(246)		第二百四十七组(247)		第二百四十八组(248)		第二百四十九组(249)		第二百五十组(250)		第二百五十一组(251)		第二百五十二组(252)		第二百五十三组(253)		第二百五十四组(254)		第二百五十五组(255)		第二百五十六组(256)		第二百五十七组(257)		第二百五十八组(258)		第二百五十九组(259)	

$$x_0^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}(x \pm i y), \quad x_1^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}(x \pm i y), \quad x_2^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}(x \pm i y), \quad x_3^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}(x \pm i y)$$

姓名	性别	出生年月	民族	籍贯	文化程度	职业	工作单位	住址	联系电话
张明	男	1985.03	汉族	江苏苏州	高中	教师	苏州市第一中学	苏州市姑苏区观前街123号	13812345678

1. $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.80$, $n = 100$, $\mu = 0.5$, $\sigma = 0.1$, $\mu_0 = 0.4$, $\mu_1 = 0.6$, $\mu_2 = 0.7$, $\mu_3 = 0.8$, $\mu_4 = 0.9$, $\mu_5 = 1.0$, $\mu_6 = 1.1$, $\mu_7 = 1.2$, $\mu_8 = 1.3$, $\mu_9 = 1.4$, $\mu_{10} = 1.5$, $\mu_{11} = 1.6$, $\mu_{12} = 1.7$, $\mu_{13} = 1.8$, $\mu_{14} = 1.9$, $\mu_{15} = 2.0$, $\mu_{16} = 2.1$, $\mu_{17} = 2.2$, $\mu_{18} = 2.3$, $\mu_{19} = 2.4$, $\mu_{20} = 2.5$, $\mu_{21} = 2.6$, $\mu_{22} = 2.7$, $\mu_{23} = 2.8$, $\mu_{24} = 2.9$, $\mu_{25} = 3.0$, $\mu_{26} = 3.1$, $\mu_{27} = 3.2$, $\mu_{28} = 3.3$, $\mu_{29} = 3.4$, $\mu_{30} = 3.5$, $\mu_{31} = 3.6$, $\mu_{32} = 3.7$, $\mu_{33} = 3.8$, $\mu_{34} = 3.9$, $\mu_{35} = 4.0$, $\mu_{36} = 4.1$, $\mu_{37} = 4.2$, $\mu_{38} = 4.3$, $\mu_{39} = 4.4$, $\mu_{40} = 4.5$, $\mu_{41} = 4.6$, $\mu_{42} = 4.7$, $\mu_{43} = 4.8$, $\mu_{44} = 4.9$, $\mu_{45} = 5.0$, $\mu_{46} = 5.1$, $\mu_{47} = 5.2$, $\mu_{48} = 5.3$, $\mu_{49} = 5.4$, $\mu_{50} = 5.5$, $\mu_{51} = 5.6$, $\mu_{52} = 5.7$, $\mu_{53} = 5.8$, $\mu_{54} = 5.9$, $\mu_{55} = 6.0$, $\mu_{56} = 6.1$, $\mu_{57} = 6.2$, $\mu_{58} = 6.3$, $\mu_{59} = 6.4$, $\mu_{60} = 6.5$, $\mu_{61} = 6.6$, $\mu_{62} = 6.7$, $\mu_{63} = 6.8$, $\mu_{64} = 6.9$, $\mu_{65} = 7.0$, $\mu_{66} = 7.1$, $\mu_{67} = 7.2$, $\mu_{68} = 7.3$, $\mu_{69} = 7.4$, $\mu_{70} = 7.5$, $\mu_{71} = 7.6$, $\mu_{72} = 7.7$, $\mu_{73} = 7.8$, $\mu_{74} = 7.9$, $\mu_{75} = 8.0$, $\mu_{76} = 8.1$, $\mu_{77} = 8.2$, $\mu_{78} = 8.3$, $\mu_{79} = 8.4$, $\mu_{80} = 8.5$, $\mu_{81} = 8.6$, $\mu_{82} = 8.7$, $\mu_{83} = 8.8$, $\mu_{84} = 8.9$, $\mu_{85} = 9.0$, $\mu_{86} = 9.1$, $\mu_{87} = 9.2$, $\mu_{88} = 9.3$, $\mu_{89} = 9.4$, $\mu_{90} = 9.5$, $\mu_{91} = 9.6$, $\mu_{92} = 9.7$, $\mu_{93} = 9.8$, $\mu_{94} = 9.9$, $\mu_{95} = 10.0$, $\mu_{96} = 10.1$, $\mu_{97} = 10.2$, $\mu_{98} = 10.3$, $\mu_{99} = 10.4$, $\mu_{100} = 10.5$, $\mu_{101} = 10.6$, $\mu_{102} = 10.7$, $\mu_{103} = 10.8$, $\mu_{104} = 10.9$, $\mu_{105} = 11.0$, $\mu_{106} = 11.1$, $\mu_{107} = 11.2$, $\mu_{108} = 11.3$, $\mu_{109} = 11.4$, $\mu_{110} = 11.5$, $\mu_{111} = 11.6$, $\mu_{112} = 11.7$, $\mu_{113} = 11.8$, $\mu_{114} = 11.9$, $\mu_{115} = 12.0$, $\mu_{116} = 12.1$, $\mu_{117} = 12.2$, $\mu_{118} = 12.3$, $\mu_{119} = 12.4$, $\mu_{120} = 12.5$, $\mu_{121} = 12.6$, $\mu_{122} = 12.7$, $\mu_{123} = 12.8$, $\mu_{124} = 12.9$, $\mu_{125} = 13.0$, $\mu_{126} = 13.1$, $\mu_{127} = 13.2$, $\mu_{128} = 13.3$, $\mu_{129} = 13.4$, $\mu_{130} = 13.5$, $\mu_{131} = 13.6$, $\mu_{132} = 13.7$, $\mu_{133} = 13.8$, $\mu_{134} = 13.9$, $\mu_{135} = 14.0$, $\mu_{136} = 14.1$, $\mu_{137} = 14.2$, $\mu_{138} = 14.3$, $\mu_{139} = 14.4$, $\mu_{140} = 14.5$, $\mu_{141} = 14.6$, $\mu_{142} = 14.7$, $\mu_{143} = 14.8$, $\mu_{144} = 14.9$, $\mu_{145} = 15.0$, $\mu_{146} = 15.1$, $\mu_{147} = 15.2$, $\mu_{148} = 15.3$, $\mu_{149} = 15.4$, $\mu_{150} = 15.5$, $\mu_{151} = 15.6$, $\mu_{152} = 15.7$, $\mu_{153} = 15.8$, $\mu_{154} = 15.9$, $\mu_{155} = 16.0$, $\mu_{156} = 16.1$, $\mu_{157} = 16.2$, $\mu_{158} = 16.3$, $\mu_{159} = 16.4$, $\mu_{160} = 16.5$, $\mu_{161} = 16.6$, $\mu_{162} = 16.7$, $\mu_{163} = 16.8$, $\mu_{164} = 16.9$, $\mu_{165} = 17.0$, $\mu_{166} = 17.1$, $\mu_{167} = 17.2$, $\mu_{168} = 17.3$, $\mu_{169} = 17.4$, $\mu_{170} = 17.5$, $\mu_{171} = 17.6$, $\mu_{172} = 17.7$, $\mu_{173} = 17.8$, $\mu_{174} = 17.9$, $\mu_{175} = 18.0$, $\mu_{176} = 18.1$, $\mu_{177} = 18.2$, $\mu_{178} = 18.3$, $\mu_{179} = 18.4$, $\mu_{180} = 18.5$, $\mu_{181} = 18.6$, $\mu_{182} = 18.7$, $\mu_{183} = 18.8$, $\mu_{184} = 18.9$, $\mu_{185} = 19.0$, $\mu_{186} = 19.1$, $\mu_{187} = 19.2$, $\mu_{188} = 19.3$, $\mu_{189} = 19.4$, $\mu_{190} = 19.5$, $\mu_{191} = 19.6$, $\mu_{192} = 19.7$, $\mu_{193} = 19.8$, $\mu_{194} = 19.9$, $\mu_{195} = 20.0$, $\mu_{196} = 20.1$, $\mu_{197} = 20.2$, $\mu_{198} = 20.3$, $\mu_{199} = 20.4$, $\mu_{200} = 20.5$, $\mu_{201} = 20.6$, $\mu_{202} = 20.7$, $\mu_{203} = 20.8$, $\mu_{204} = 20.9$, $\mu_{205} = 21.0$, $\mu_{206} = 21.1$, $\mu_{207} = 21.2$, $\mu_{208} = 21.3$, $\mu_{209} = 21.4$, $\mu_{210} = 21.5$, $\mu_{211} = 21.6$, $\mu_{212} = 21.7$, $\mu_{213} = 21.8$, $\mu_{214} = 21.9$, $\mu_{215} = 22.0$, $\mu_{216} = 22.1$, $\mu_{217} = 22.2$, $\mu_{218} = 22.3$, $\mu_{219} = 22.4$, $\mu_{220} = 22.5$, $\mu_{221} = 22.6$, $\mu_{222} = 22.7$, $\mu_{223} = 22.8$, $\mu_{224} = 22.9$, $\mu_{225} = 23.0$, $\mu_{226} = 23.1$, $\mu_{227} = 23.2$, $\mu_{228} = 23.3$, $\mu_{229} = 23.4$, $\mu_{230} = 23.5$, $\mu_{231} = 23.6$, $\mu_{232} = 23.7$, $\mu_{233} = 23.8$, $\mu_{234} = 23.9$, $\mu_{235} = 24.0</$

7-41



圖 4-2 高雄區作物輪作方式圖

(三)甲農場各種可行耕作制度之說明

根據各作物之種植時期，則可以線性圖表示如圖 4-3。

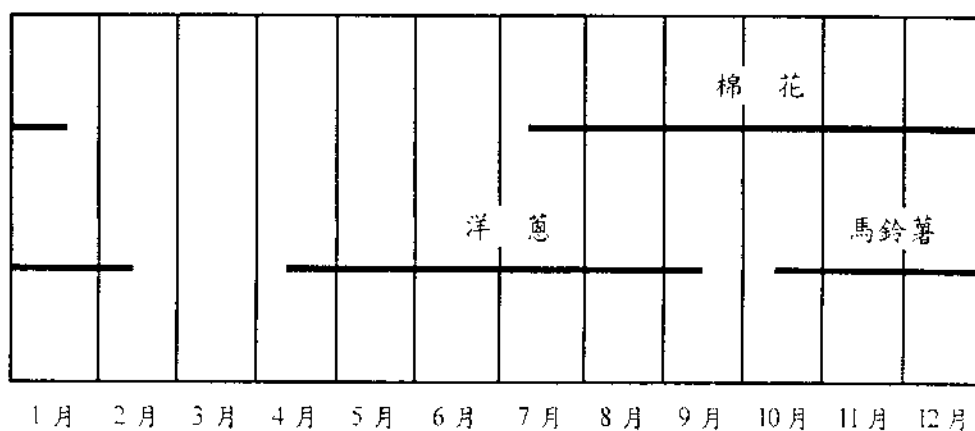


圖 4-3 線狀之作物制度示意圖

1. 由作物之耕作制度圖表中可以知道在甲農場中，對於洋蔥之種植始於4月中旬，而於9月中旬收成，在隨後之短短1個月內於該地區繼續種植馬鈴薯，收成期約於隔年之2月中旬左右。此外，甲農場還種植另一作物一棉花，其生長期則長達半年之久，期間為7月中旬到隔年之1月下旬。
2. 如果在作物制度圖表中，對於各作物之種植面積資料亦有詳細之資料提供時，則作物制度圖表中之線性圖會擴大成條狀圖，而其線條之寬窄則表示該作物之種植面積之大小，為便於說明起見，以下列例子說明之。每公頃面積以條狀寬度約0.5公分表示時，而條狀圖之長度表示作物之生長期，則其所構成之圖表稱為作物之耕作制度圖。
3. 圖4-4即表示在甲農場種植1.5公頃之棉花，其種植期自7月10日到隔年之1月20日，1公頃之洋蔥種植期自4月中旬到9月中旬，及0.5公頃之馬鈴薯，種植期自10月中旬到隔年之2月中旬為止。

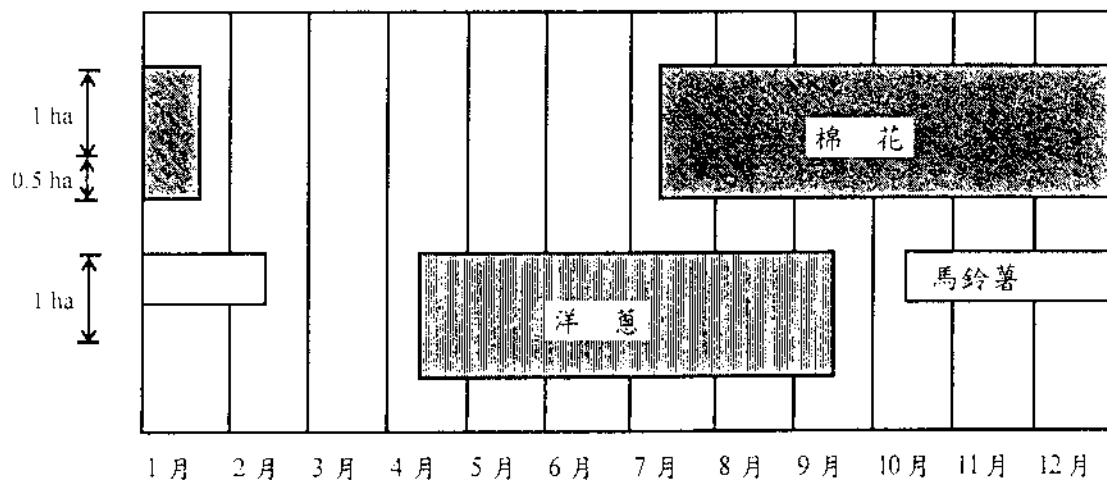


圖 4-4 條狀之作物制度示意圖

4. 作物制度圖表中還可以明確的記載相關之農事資料。例如作物之施肥期、除草期及作物之移植期等等，當然亦可以將農場範圍增加，記錄較大區域之情況，將之擴充為數個農場或整個灌溉區域，而其與單一農場之差異主要是在於單一農場係假設作物之種植是在一特定之日期，然在實際上對於整個灌溉是無法在同一時間播種，其原因有：

(1) 整地時，對於機器與勞力之安排，各田區必須依照機器或勞力之分配時間進行整地工作。

(2) 農民有其他要事耽擱，因此必須延後種植。

(3) 對於田間灌溉水量之需求無法同時提供，因此其計畫之播種期，會隨著施灌面積之加大而需要更多之時間。

(四) 錯開種植方式

1. 對於作物之播種期便分布於一適當之時間，此一情形稱為錯開種植期，或錯開種植之耕作制度。

例如：當最早種植之農民於4月1日開始種植洋蔥，其餘之農民則隨在其後，以或多或少之錯開期距進行種植，直到最後一位種植完成，其日期為4月底。因此在耕作制度表上，洋蔥之錯開期距為1個月，因此在此在作物制度圖表終將以圖4-5之方式表之。

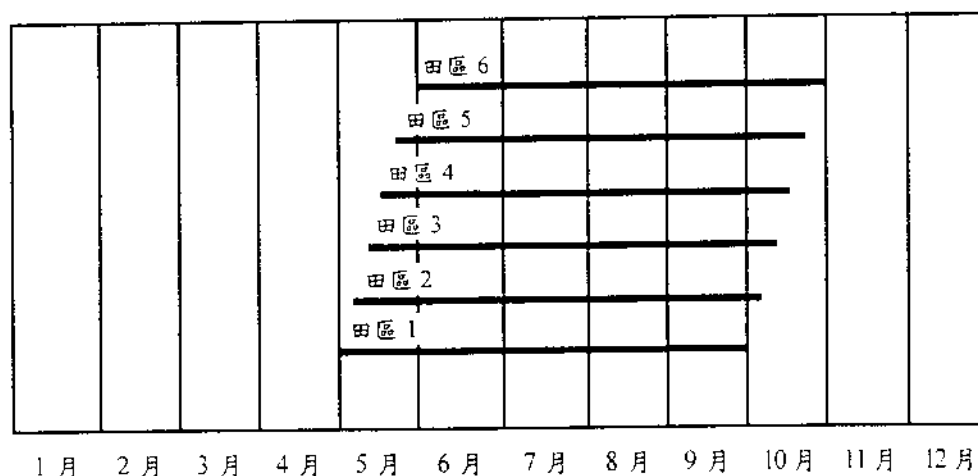


圖 4-5 洋蔥之錯開種植示意圖

2. 在圖4-5中每一條線表示一田區，或一特定之面積，而其開始種植期在線之起點處，且在圖中之錯開種植期，將與生長期之錯開日數相同。

3. 在正規之耕作制度圖表中，介於最早與最晚種植期之間的線條通常省

略，而以一平行四邊行之條狀圖表示之，在條狀圖底端之部分為最早種植者，而條狀圖上端之部分則表示最晚種植之日期，詳如圖 4-6 所示。

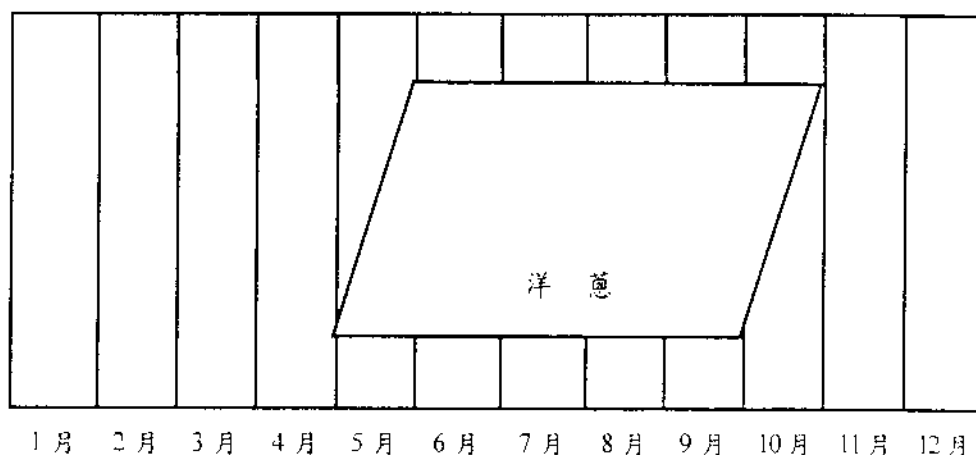


圖 4-6 平行四邊型之作物制度示意圖

4.3.2 大面積之作物制度

- 一、參照單一農民之耕作制度，擴展各種種植作物之面積至整個計畫期限，各不同作物之耕作面積大小，可經由耕作制度圖中之平行四邊形之高度大小得知，垂直方向之高度代表整個耕作面積之大小。例如在一灌區面積為 150 公頃時（參考圖 4-7），洋蔥之種植面積為 60 公頃，且其生長期為 5 個月，洋蔥之種植期自 4 月 1 日開始，錯開期為 1 個月，馬鈴薯之生長期為 4 個月，其種植面積大小為 30 公頃，自 10 月 1 日開始種植且其種植錯開期距為 1 個月，棉花之生長期為 190 天，種植面積為 75 公頃，種植期自 7 月開始，且其生長期之錯開期距為 45 天。
- 二、在圖 4-7 之空白處，表示該時段中，該面積並未種植任何作物，例如在 3 月份時，於計畫中並無種植任何作物，5 及 6 月份時，於計畫中僅種植 60 公頃之洋蔥，因此在 150 公頃之可耕作面積中，尚有 90 公頃閒置。棉花之種植面積為 75 公頃，種植期自 7 月開始，且其生長期之錯開期距為 45 天。故自 8 月中旬完成棉花種植起至 9 月洋蔥開始收成前，總種植面積達 135 公頃，為年度實際最大種植面積，此時僅有 15 公頃之土地空置。洋蔥收成後，連原未種植 15 公頃共 75 公頃中，自 10 月起錯開種植馬鈴薯 30 公頃。

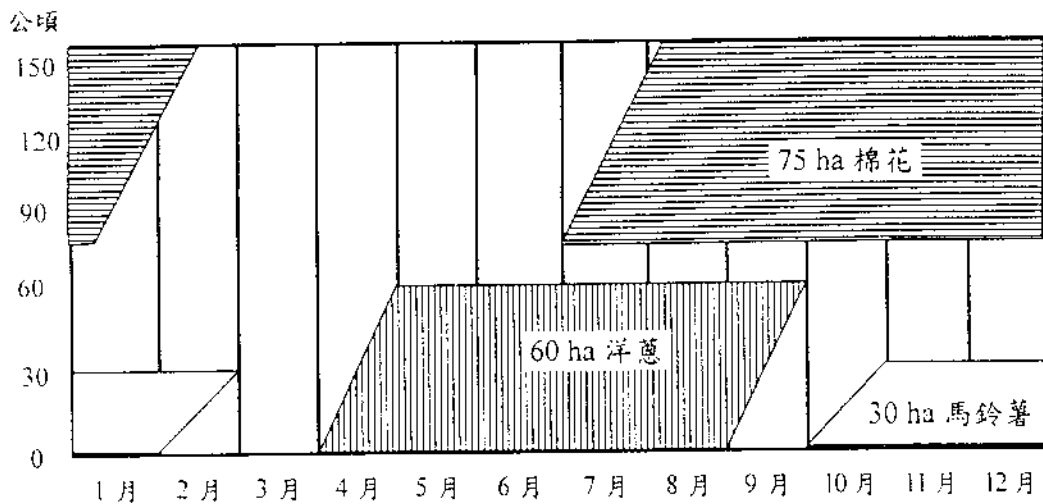


圖 4-7 耕作面積為 150 公頃之作物制度示意圖

4.4 灌溉需水量計算方法

灌溉需水量與實際之計畫灌溉所需水量可經由近似估算法推估之，其所根據乃簡單之單一法，亦即在灌溉期中單位面積所需之流量為固定之情形。

然當有正確之作物與氣象之資料時，則有較精確之估算粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 之方法，因此對於營運操作計畫灌溉需水量 (SIN_{op})，可以加以調整，讓其與實際之灌溉需求相符。然當計畫之區域中有多種作物時，以此精確之估算方式進行估算時所需之計算亦較為複雜，在本節中將以一實例說明輔助專業技術人員與經理人員，瞭解在計算計畫灌溉需水量時，基礎理論中各參數之關係。

本章及第五章採用之各主要符號及解說，請參閱附錄 I 及附錄 II，本節所列範例取材自 FAO (1992)。

4.4.1 單一作物系統之計畫灌溉需水量

1. 假設在一灌溉區域中，其計畫灌溉面積為 150 公頃，有 60 公頃之面積種植洋蔥，其播種期之錯開日數為 1 個月，即由 4 月 1 日起到 4 月 30 日止。
2. 最早種植之洋蔥，在 4 月份之灌溉需水量為 98 公厘，相當於每天 3.3 公厘之需水量 (3.3 公厘/日)，持續 30 天，隨後並未種植直到 4 月 15 日才開始種植第二批。因此第二批種植之洋蔥在 4 月份之前半月不需要用水，而其後半月之需水量為 15×3.3 公厘或 49 公厘，而最後一批之種植是在 4 月底，因此該批洋蔥在 4 月份不需要任何之灌溉水量。
3. 在此例中，所要強調說明的是對於洋蔥之計畫灌溉需水量，在最早及最晚種

植期間，灌溉需水量之估算方式，一般而言，洋蔥之平均灌溉需水量（或其他作物）之估算方式，是以最早種植之需水量 IN_e 及最晚種植需水量 IN_l 的平均值，其表達方式如下式：

$$IN_{av} = \frac{IN_e + IN_l}{2} \text{ (mm / month)}$$

4. 月灌溉需水量 (IN_{av}) 可表示的是針對某一特定區域中，在該月所需灌溉之水深，然而，灌溉之施灌流量，並無法在一特定時間內正確的以一均勻之水深施灌於區域中，但是流量單位（每秒所通過之公升水量，或每秒可通過之立方公尺水量）卻可以明確的表示之。因此月灌溉需水量 IN_{av} 必須加以轉換為流量之單位，故淨計畫灌溉需水量 SIN_{net} 可以表示如下式：

$$SIN_{net} = \frac{IN_{av} \text{ (mm / month)} \times \text{Area (ha)} \times 10,000}{30 \text{ (days / month)} \times 86,400 \text{ (s / day)}} \text{ (ℓ/sec)}$$

$$\text{或 } SIN_{net} = \frac{IN_{av} \text{ (mm / month)} \times \text{Area (ha)}}{260} \text{ (ℓ/sec)}$$

5. 若在特定區域中所種植之作物在播種時有錯開種植期之情形時，此時若要決定灌溉需水量，則必須分別估算最早種植和最晚種植期之灌溉需水量。以下之例子可協助現地專家及經理人員，熟悉前述之計算操作。

【例題】試決定洋蔥之灌溉需水量（以下所列均為假設之資料）。

假設資料如下：

作物：洋蔥	最早種植：4月1日
種植面積：60ha	最晚種植：4月30日
各生育期之生育日數	作物係數 (K_c)
初始階段 15天	0.5
成長階段 25天	0.75
中間階段 70天	1.05
後期階段 40天	0.85

在本例中每月給定之潛能蒸發散量 (ET_0) 為：

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET_0 (mm/day)	4.7	5.1	5.2	5.6	5.7	6.1	5.8	5.5	5.6	5.2	4.3	4.6

有效雨量 (P_c)：

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P _e (mm/month)	1	3	7	10	12	13	72	82	16	7	1	0

【解題計算步驟】

步驟 1：依據平行四邊型之作物制度示意圖繪製作物耕作制度圖

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作 物 制 度												

步驟 2：計算最早種植之需水量 IN_e。

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET ₀ (mm/day)				5.6	5.7	6.1	5.8	5.5				
生 長 期	(該月之日數)			IS 15	DS 15	Mid 10	20	Late 10	30			
生長期 K _c				0.5	0.75	1.05		0.85				
月別 K _c *1				0.65	0.95	1.05	1.0	0.85				
ET _{cr} (mm/month) *2				108	162	192	174	141				
P _e (mm/month) *3				10	12	13	72	82				
IN _e (mm/month) *4				98	150	179	102	59				

註：為方便計算，本例假定每月天數固定為 30 天

*1：每個月之平均 K_c 值，例如：5 月份之作物係數 K_c = 0.75 × (10/30) + 1.05 × (20/30) = 0.95

*2：ET_{cr} (mm/month) = ET₀ (mm/day) × 該月之作物生長日數 × 月作物係數 K_c

*3：P_e (mm/month)：月別有效雨量

*4：IN_e 或 IN_l (mm/month) = ET_{cr} (mm/month) - P_e (mm/month)

步驟 2 中之生長期以 IS, DS, Mid, Late 區分為四階段，分別代表初始階段、成長階段、中間階段及後期階段。

步驟 3：計算最晚種植需水量 IN_{ℓ} （同步驟 2 之方法）

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET_0 (mm/day)					5.7	6.1	5.8	5.5	5.6			
生 長 期		(該月之日數)			ISDS		Mid		Late			
					15	15	10	20	30	20	10	30
生長期 K_c					0.5	0.75	1.05		0.85			
月別 K_c					0.65	0.95	1.05	1.0	0.85			
ET_G (mm/month)					111	174	183	165	143			
P_c (mm/month)					12	13	72	82	16			
IN_{ℓ} (mm/month)					99	161	111	83	127			

註： IN_{ℓ} 同上*4 之說明

步驟 4：計算平均月灌溉需水量 IN_{av}

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IN_c (mm/month)				98	150	179	102	59				
IN_{ℓ} (mm/month)					99	161	111	83	127			
IN_{av} (mm/month)				49	125	170	107	71	64			

步驟 5：使用下列公式決定淨計畫灌溉需水量 SIN_{net}

$$SIN_{net} = \frac{IN_{av}(\text{mm/month}) \times \text{Area}(\text{ha})}{260} \quad \ell/s$$

例如：若 4 月之 $IN_{av}=49$ mm，則 SIN_{net} 等於 49 mm 乘上面積 60 公頃，再除以 260，即

$$\frac{49\text{mm} \times 60\text{ha}}{260} = 11 \quad \ell/s$$

依照相同之方法，分別計算 5、6、7、8 及 9 月份之情況，其結果為：

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SIN_{net} (ℓ/s)				11	29	39	25	16	15			

必須特別注意的是在以上例子所計算之每個月之灌溉需水量計算結果是不一樣的，如果與近似估算方法相比較，可以發現，由近似推估法所得之結果，其淨計畫灌溉需水量 SIN_{net} 為單一之值，因此如果假設淨灌溉需水量， IN_{net} 為 1 公升/秒/公頃時，則面積為 60 公頃之情況下，其所需流量為 60 ℓ/s ，其值與本例所估算之尖峰值（6 月份 39 ℓ/s ）高出約 50% 左右。

對於本例中之計算方式與結果，可以簡單的應用附錄IV.中所定之表格 1 即可以計算灌溉需水量。

4.4.2 多種作物系統之計畫灌溉需水量

在一整年當中，若要同時決定一種以上之作物之灌溉計畫時，經常要用到決定多重之作物制度之灌溉計畫需水量。而單一作物系統已經在前述說明過，而多重作物系統之灌溉計畫需水量之決定，可依據各不同月別下之灌溉計畫需水量加以累積而得，其與決定單一作物系統之方法相同，故只要依照以下之三個步驟即可順利完成計畫。

步驟 1：繪製多重作物之耕作制度系統圖，其方式如 4.3 節所述。

步驟 2：決定個別作物之計畫灌溉需水量，以附錄IV中之資料表格 1 依照 4.3 節中之步驟逐個完成之。

步驟 3：將各月別之計算結果累加，而總計畫灌溉需水量即可求得，其單位為每秒所通過之公升數 (ℓ/s)

如附錄IV中之資料表格 2 所示，其設計之目的就是在於便利計算多重作物系統下之計畫灌溉需水量表。

【範例】在以下之假設前提下，試決定計畫灌溉需水量。

1. 氣象資料與前述之例子相同。
2. 計畫灌溉面積：150ha (如圖 4-7 所示)
3. 假設資料：

名 稱	作物 1 洋 蔥	作物 2 棉 花	作物 3 馬鈴薯
種植面積	60ha	75ha	30ha
播種日期	4/1~4/30	7/1~8/15	10/1~10/30
生 長 期	150 天	190 天	120 天

【計算】

步驟 1：多種作物之耕作制度圖，由附錄IV.資料表格 2 之形式可由圖 4-7 表示之，其在縱軸之大小表示計畫之灌溉面積大小，在此為 150 公頃。

步驟 2：對於各作物之灌溉需水量之決定，可由附錄 IV 資料表格 1 之型式得之，在此不再重複，其結果將直接複製至附錄 IV 資料表格 2 中。

步驟 3：淨計畫灌溉需水量可由個別作物之月灌溉需水量加總而得。

計算之結果如下所示：

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物制度	150 120 90 60 30 公頃 30 公頃 作物 1 60 公頃 洋 蔥 作物 2 75 公頃 棉 花 作物 3 30 公頃 馬 鈴 薯											
SIN_{crop1} ℓ/s				11	29	39	25	16	15			
SIN_{crop2} ℓ/s	22	14					1	6	30	41	42	38
SIN_{crop3} ℓ/s	17	8								4	16	15
SIN_{crop4} ℓ/s												
SIN_{crop5} ℓ/s												
SIN_{net} ℓ/s	39	22		11	29	39	26	22	45	45	58	53

*單一作物之計畫灌溉需水量之計算方法同 4.4.1 所示。

4.4.3 以水稻為主之耕作制度下之灌溉需水量

一、由水收支平衡公式推算

水稻田之垂直剖面可以系統性區分為湛水 (ponded water)、對水流具低阻抗性之泥濘層 (muddy layer)、對入滲水流具高阻抗性之犁底層 (俗稱牛踏層 plow sole)，以及其下之未翻耕層 (non-puddled subsoil) (參考圖 4-8)。水稻淨灌溉需水量是由作物之蒸發散量， ET_{rice} ，扣除有效雨量 P_e ，除此之外尚須需考慮到田間之滲漏損失 PERC (含側向滲漏及垂向滲漏)。當水稻開始種植之前，必須提供一相當大之水量，讓作物根系之土壤成過飽和泥濘狀態，稱為整田，其用水量稱為整田用水量 SAT，其量之大小約為 200 公厘。最後，由於水稻之生長過程中，田面需經常保持湛水狀態，因而有湛水深 WL，其水深在台灣約為 60 公厘。因此對於水稻田之淨灌溉需水量之決定公式可以下式表示：

$$IN_{net, rice} = ET_{rice} + SAT + PERC + WL - P_e (mm/month)$$

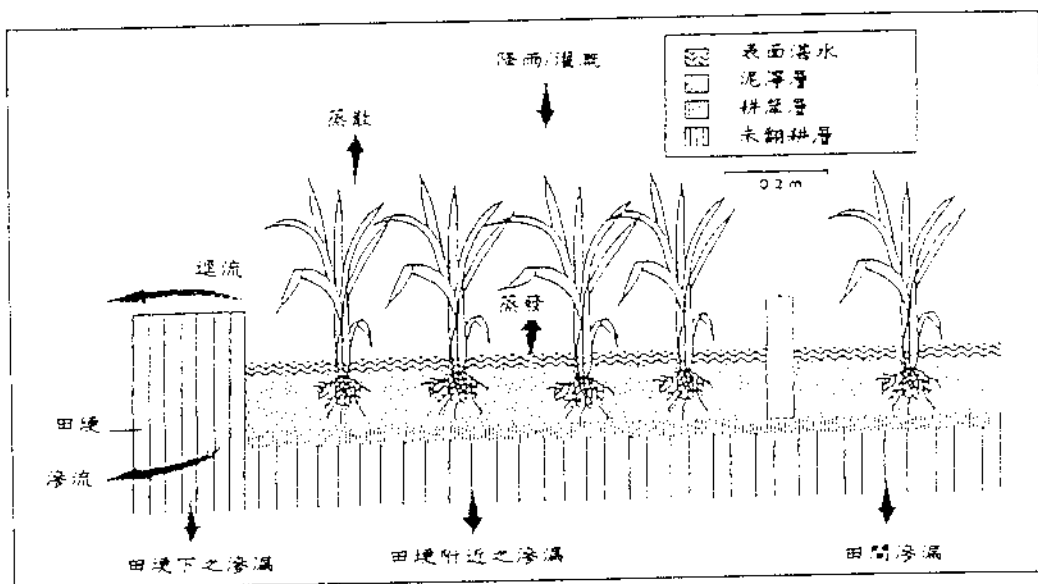


圖 4-8 水田系統剖面及水收支平衡圖 (Woperreis et al., 1994)

若考慮水稻有錯開種植期之情形時，則可利用上式分別求取其最早與最晚種植時期之淨灌溉需水量，然後參照 4.4.1 節計算單一作物之方法來計算水稻之平均灌溉需水量。至於水田在旱季或休耕期時種植之作物，如雜糧、田菁或油菜等，其估算灌溉需水量之方式，則如同前節所述。

【例題】一水稻之灌溉區域面積 150 公頃，在雨季時種植，試決定其計畫灌溉需水量及土壤飽和水量 SAT、湛水深 WL、滲漏量 PERC。

假設：

種植時期：最早：6 月 16 日

最晚：8 月 1 日

生長期：130 天

作物係數：

	K_c
第 0~60 天	1.1
中間階段 (40 天)	1.15
最後階段 (30 天)	1.0

SAT : 200mm

最早：5 月 16 日到 6 月 15 日

最晚：7 月 1 日到 7 月 31 日

PERC : 6mm/day=180mm/month

WL : 100mm

最早：6 月 16 日到 7 月 15 日

最晚：8 月 1 日到 8 月 30 日

【計算】

依據資料表格 3 (空白表格如附錄 IV 中之資料表格.3 所示) 計算之：

步驟 1：繪製作物制度圖表，將 SAT、WL 及 ET_0 繪入

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作 150 物 (ha) 制 度						SAT 200mm	WL 100mm		水稻 150ha			
ET_0 (mm/day)				8.1	7.6	6.5	4.1	4.2	4.5	4.6	5.1	5.3

步驟 2：依照 4.4 節所提之方法計算灌溉需水量 IN_c (mm/month)

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生 長 期			(該月之日數)			Day 0-60		Mid	Last			
						15	30	15	15	25	5	25
生長期之 K_c							1.1		1.15	1.0		
每月之 K_c						1.1	1.1	1.13	1.13	1.0		
ET_0 mm/month						107*	135	142	152	115**		
SAT mm/month					100	100*						
PERC mm/month						90*	180	180	180	150**		
WL mm/month						50*	50					
P_c mm/month					2	50	137	166	78	6		
IN_c mm/month					98	297	228	156	254	259		

註： * 15 天，**25 天

步驟 3：同步驟 2 之方法估算 $IN\ell$ (mm/month)

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生 長 期					(該月之日數)			Day 0-60		Mid	Last	
								30	30	30	10	20
生長期之 K_c								1.1		1.15	1.0	
每月之 K_c								1.1	1.1	1.15	1.13	1.0
ET_g mm/month								139	149	159	161	53*
SAT mm/month							200					
PERC mm/month								180	180	180	180	60*
WL mm/month								100				
P_c mm/month							137	166	178	6	0	0
$IN\ell$ mm/month							63	253	151	333	341	113

註：* 10 天

步驟 4：計算平均月別灌溉需水量 IN_{av} (mm/month)

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IN_{av} mm/month					49	149	146	205	203	296	171	57

步驟 5：決定每月之 SIN_{net} (ℓ/s)

$$SIN_{net} = \frac{IN_{av}(\text{mm/month}) \times \text{Area}(\text{ha})}{260} \quad (\ell/s)$$

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SIN_{net} ℓ/s					28	86	84	118	117	171	99	33

二、臺灣常用之推算方式

根據歷來試驗觀測統計紀錄，每一期作之水稻蒸散量在 300 公厘左右，而田間蒸發量亦在 300 公厘上下。雖兩者因氣象及作物品種有所差異，然其變幅相差不大。惟田間滲漏量，因土壤質地以及地形、地勢等之不同，差異頗為懸殊。因此，估計田間需水量時，若能將田間滲漏量求得，再加上約估之作物蒸散量及田間蒸發量，即能得到相當可靠之需水量。蒸散與蒸發量之和約為 600~700 公厘，若以水稻生長期 100 天計算，每日蒸發散量約為 6~7 公厘，此數據與田區觀測及滲透計測定之結果相近。以下介紹臺灣常用之灌溉用水量常用計算公式如後。詳細計算例請參考 1998 年出版之農田水利教材第伍、陸、柒類之有關部分。

(一)灌溉用水量常用計算公式：

1.常用計算公式

(1)灌溉面積

$$A(\text{ha}) = \frac{\text{時間}(\text{sec}) \times \text{流量}(\text{cms})}{10,000(\text{m}^2) \times \text{水深}(\text{m})}$$

$$\therefore A = \frac{T \times Q}{10,000D}$$

(2)灌溉水深

$$D(\text{m}) = \frac{\text{流量}(\text{cms}) \times \text{時間}(\text{sec})}{10,000(\text{m}^2) \times \text{面積}(\text{ha})}$$

$$\therefore D = \frac{Q \times T}{10,000A}$$

(3)灌溉流量

$$Q(\text{cms}) = \frac{10,000(\text{m}^2) \times \text{面積}(\text{ha}) \times \text{水深}(\text{m})}{\text{時間}(\text{sec})}$$

$$\therefore Q(\text{cms}) = \frac{10,000A \times D}{T}$$

(4)灌溉時間

$$T(\text{sec}) = \frac{10,000(\text{m}^2) \times \text{面積}(\text{ha}) \times \text{水深}(\text{m})}{\text{流量}(\text{cms})}$$

$$\therefore T(\text{cms}) = \frac{10,000A \times D}{Q}$$

(5)灌溉率

$$E(\text{ha/cms}) = \frac{8,640}{\text{水深}(\text{mm})}$$

(二)水稻灌溉不同生長期之需水量計算如下：

1.秧田用水

- (1)秧田面積：為本田面積之 1/25（蓬萊種）～1/30（在萊種）即為一公頃之秧田育成後可以移植 25～30 公頃。
- (2)秧田期間：第一期作約 40 天，第二期作約 20 天。
- (3)灌溉水深：秧田整田用水 150～200 公厘（一次供給），秧田期間補給用水每天 15～20 公厘。
- (4)渠道輸配水損失率：採用 20%（視灌溉管理之集約度及渠道結構材料而異）。
- (5)不考慮有效雨量。
- (6)秧田期間之用水量包括損失量不得少於 0.008 秒立方公尺，否則無法施灌。
- (7)開始供給整田用水時，即不計列秧田用水。

2. 整田用水

台灣部分地區或在等面積及集中於末期整田作業的灌區，為有效利用水資源，避免造成整田用水尖峰，於整田插秧前施行浸（泡）田灌溉。整田用水量之多寡，視水田之土壤孔隙率、含水量、滲漏量、翻耕深度、蒸發量、覆蓋水深、灌溉管理等因素而不同，可以下列公式求得：

$$\text{整田需水量(mm)} = \frac{(\text{土壤孔隙率}\% - \text{土壤含水量}\%) \times \text{飽和土壤深度}}{100} + \text{田面覆蓋水深度}$$

【例題】設有一灌區土壤屬粘土，土壤孔隙率 50%，土壤含水量 20%，需要飽和土壤深度 350 公厘，整田時田面覆蓋水深度（包括滲漏、蒸發量）為 40 公厘時，則一次灌溉的整田需水量為

$$\frac{(50-20) \times 350}{100} + 40 = 145(\text{mm})$$

3. 本田用水

- (1)本田日數：第一期作 110～120 天，第二期作 90～100 天。
- (2)本田需水量

本田需水量依土壤質地，水稻品種、水稻生育期、氣候等因素而定。

$$\text{田間需水量} = \text{水稻蒸散量} + \text{田面蒸發量} + \text{田間滲漏量}$$

田間用水量＝田間需水量－有效雨量

水門用水量＝田間用水量－渠道輸配水損失量

一般本田一次之灌溉水深在 36～60 公厘左右。

4. 整田及停水期間本田面積之計算式

整田期間本旬本田面積＝前旬本田面積＋ $\frac{\text{前旬整田面積} - \text{本旬整田面積}}{2}$

停水期間本旬本田面積＝前旬本田面積－ $\frac{\text{前旬停水面積} - \text{本旬停水面積}}{2}$

第五章 水量之供需平衡

5.1 前言

在本冊之第四章中對於估算計畫之灌溉需水量已有詳細之說明，而第二、三章所討論的則為灌溉用水水源，在實際之情形下，灌溉水源會受到各種因子之影響而有所限制。在本章中首先針對灌溉需水量與水源供水量之平衡加以說明 (FAO,1992)，而後闡述國內多種水源應用、迴歸水利用及討論相關抗旱措施。

一般而言，在灌溉區域中，其影響因子產生變化而造成缺水之現象時，在實際應用上均會採取數種不同之方法，以減低因缺水現象所造成之危害。故在此所提供之方式，將作為實際上發生缺水時之參考依據，其訊息將可供田間現地工作人員或專家，在解決較為複雜程度下之灌溉管理問題時之管理工具。

5.2 灌溉區域

5.2.1 灌溉面積與灌溉水量

- (一)灌溉區域 CA，所表示的為自水源處所引進之可靠引水量中，所灌溉之區域面積而言，在此所提之可灌溉區域面積，所指的是該區域之可靠水量均大於或等於計畫之灌溉需水量而言。
- (二)如果灌溉區域之面積大於實際之灌溉面積時，則該區域應無缺水之情形發生。當某一月份之實際供水量已知時，如：250 公升/秒，且於當月之每公頃之粗灌水量已估算後，如：1.8 公升/秒/公頃，則灌溉區域便可計算而得。在可靠引水量為 250 公升/秒，粗灌水量為 1.8 公升/秒/公頃時，其灌溉區域為 $250/1.8=139$ 公頃，因此計算灌溉區域之公式。即：區域之計畫供水量 SWS 除以粗灌溉需水量 IN_{gross} 或

$$CA = \frac{SWS}{IN_{gross}}(ha)$$

- (三)若在一個月當中，或一個季節當中，其水源供水量並不穩定一致時，則其灌溉區域亦應隨之而變，假設河川系統之計畫供水量如表 5-1 所示（表格中所列之資料，將於其他例題所共同引用），在第四章中，已將估算淨灌溉需水量 IN_{net} 之方法說明之。當在一年中水源供水量隨時間而變時，其灌溉需水量亦隨之而變，因此在下表中每個月之淨灌溉需水量 IN_{net} 之變化，是以 4.4 節中所述之方法計算而得。

表 5-1 月別淨灌溉需水量 IN_{net} 之變化

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SIN_{up} (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{net} (ℓ/s)	0.5	0.5	0.7	1.0	1.1	1.2	1.1	1.0	0.7	0.6	0.5	0.5

(四)假設計畫灌溉效率為 50%，則粗灌溉需水量 IN_{gross} 與灌溉區域之計算結果如下表所示（表 5-2）。

表 5-2 月別灌溉區域之計算例

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} (ℓ/s/ha)	1.0	1.0	1.4	2.0	2.2	2.4	2.2	2.0	1.4	1.2	1.0	1.0
CA (ha)	290	420	364	280	295	167	145	140	179	192	200	220

(五)在表 5-2 中最小之灌溉區域面積為 8 月之 140 公頃，最大之灌溉區域面積為 2 月之 420 公頃。

5.2.2 臨界灌溉區域

(一)假設在一灌溉區域中種植甘蔗 420 公頃，其生長期為 12 個月，則在本例中祇有 1 個月，即 2 月份有足夠之水量可供灌溉整個灌溉區域，因此就水源而言，其可靠度太低。若種植之面積控制在 140 公頃以下時，則在全年當中，甘蔗均能得到可靠之水量，在此情形下水源之可靠度相當之高，由表 5-2 中可以知道，140 公頃之面積係各月份中最小之灌溉區域，此稱為臨界灌溉區域。

(二)再假定在該區域中以種植水稻取代原種植之甘蔗時，因水稻之生長期為 4 個月，開始種植日期為 4 月而收成期為 7 月，其粗灌溉需水量 IN_{gross} 之估算假設如表 5-3 所示，則其每個月之灌溉區域計算結果（同表 5-2 之計算方法），如表 5-3 所示。

表 5-3 月別灌溉區域計算例—水稻 (FAO,1992)

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} (ℓ/s/ha)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4	2.2	2.0			
CA (ha)				280	271	154	133					

(三)在本例中之臨界灌溉區域為7月份之133公頃，因此在安全可靠之水源下，於4月份種植水稻時，其面積不宜超過133公頃。儘管其他月別之水量足以灌溉較大之區域亦同。

5.2.3 臨界灌溉區域之計算例

【例題】試決定大豆之臨界灌溉區域。

假設：大豆之生育期：9月～11月

淨灌溉需水量： IN_{net} 分別為6、5及4 mm/day

灌溉效率：50%

SWS： 9月：250 ℓ/s

10月：230 ℓ/s

11月：200 ℓ/s

【計算】

步驟1：淨灌溉需水量之單位轉換，由 mm/day 轉換成 $\ell/s/ha$ 。

依照附錄III之轉換表，6、5及4 mm/day 轉換成 $\ell/s/ha$ 時分別為0.69、0.58及0.46。

步驟2：決定粗灌溉需水量 IN_{gross} 。

$$IN_{gross} = IN_{net} \times 100 / e$$

則

月別	$IN_{gross} (\ell/s)$
9	1.4
10	1.2
11	0.9

步驟3：決定各月別之灌溉區域。

$$CA = SWS / IN_{gross}$$

則

月別	CA
9	$250/1.4 = 179 \text{ ha}$
10	$230/1.2 = 192 \text{ ha}$
11	$200/0.9 = 222 \text{ ha}$

步驟 4：決定臨界灌溉區域。

臨界灌溉區域為各月別之灌溉區域中最小者，故 $CA=179ha$ 。

5.3 粗計畫灌溉需水量與計畫供水之平衡

5.3.1 基本原則

在前節中已述及粗灌溉需水量，其單位為 $\ell/sec/ha$ ，因此，當獲知總計畫灌溉面積之後，乘上粗灌溉需水量，即可以得到粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 。

$$SIN_{gross} (\ell/s) = IN_{gross} (\ell/s/ha) \times Area (ha)$$

粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 乃為連續流量之形式，計畫灌溉供水所指定為自水源處之引進流量，在本節中，特提出 5 種可能之方法讓粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 與計畫灌溉供水達到平衡，尤其是當供水小於需水量之時。

5.3.2 可能之方法

(一) 當計畫需求量大時，加大計畫供水

當水源處並未完全引用時，加大計畫供水，乃唯一可行之方法。此種情形有可能是發生在抽水機供水系統中，因為沒有足夠之動力以抽取所需用之水量，或是取水構造物，供水渠道等過小，或是在河川或水庫取水時位置過高，無法取到足夠之水量時，在以上這些狀況下，祇要靠抽水機之增設或取水口之改善及其他之努力等，均可增加取水量。而不是建造一花費龐大之水庫調蓄之。

若灌溉水量是經由抽水井抽時，則會受到水井出水量之限制，在本例子中，則只有加深抽水井深度，或是另外再設置抽水井抽水。

(二) 經由操作準則之改變減少營運計畫灌溉需水量 SIN_{op}

當水源之供水並非持續不斷，而是斷斷續續的情況下，例如當河川之水量在某些時段並不自河川引水時，形成取水時間斷斷續續之情形。在此情形下對於河川流量之利用並非是最佳之情況，此外，當施灌時間為長期的，或灌溉期距縮短等時候，其操作營運之計畫灌溉需水量 SIN_{op} 均會減少。

如果抽水機已是經常滿載之情況，或是農民不願意變更灌溉時程時，則所牽涉到的是營運管理之問題，務必尋求其他之解決方式。

【例題】

假設抽水機之容量為 315 ℓ/s ，粗計畫灌溉需水量為 100 ℓ/s ，抽水機之營運時間，每天 8 小時，每週使用 5 天，則營運計畫灌溉需水量，必需等於粗計畫灌溉需水量除以營運操作時間 T_{op} 。

$$\begin{aligned} SIN_{op} &= SIN_{gross} / T_{op} \\ &= 100 / [(8/24) \times (5/7)] \\ &= 420 \ell/s \end{aligned}$$

依照此一操作營運準則，此抽水機無法達到所需之流量 420 ℓ/s 。然句話說，如果抽水機之操作時間，由每天 8 小時改為 9 小時，每週操作天數由 5 天變為 6 天時，則其營運計畫灌溉需水量 $SIN_{op} = 100 / [(9/24) \times (6/7)] = 311 \ell/s$ ，此一數值在抽水機之系統容量之下，為可行。

(三)提早或延後作物之種植

對於河川取水系統而言，計畫供水量可能在灌溉期之開始或結束期，以避免產生流量過小之情形，若乾旱缺水發生在生長期之開端時，則可以考慮將作物之種植期延後，則可改善缺水狀況。若乾旱缺水是發生在生長期之末期，則可以提早種植之方式加以改善之。

【例題】灌溉計畫區域面積 150 公頃，農民計畫在整個區域中種植水稻，其粗灌溉需水量 IN_{gross} ，如表 5-3 所示。水稻之生長期為 4 個月，插秧種植期自 4 月開始，表 5-4 中為在此情形下水稻之灌溉區域 CA 計算結果，可作為決定適當種植時期之依據。

表 5-4 提前種植例

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} ($\ell/s/ha$)		2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4					
CA (ha)		210	255	280	271	154	133					

在表 5-4 中可以看出計畫供水量在 4、5 及 6 月可供灌 150 公頃以上之面積，但是在 7 月份之水量僅能供灌 133 公頃之面積。如果種植期由原來之 4 月份提前到 3 月份時，則臨界灌溉區域變成 6 月份之 154 公頃，因此沒有乾旱缺水之情況發生，若自 2 月份開始種植則臨界灌溉區域變成 210 公頃，亦無缺水之情形發生。

(四)錯開期距

方法 3 所使用的是整個灌區提早或延緩種植時期，或多或少可以避免乾旱缺水情形發生在生長期開始或生長期結束之時。但應用方法 4 是祇有部分區域之種植期改變，若小心利用此法處理之，則可以將粗計畫灌溉需水量調整至與計畫供水平衡之情況。

【例題】假設水稻之計畫供水量 SWS 與粗灌溉需水量 IN_{gross} 如表 5-3 所示之水稻生長期可於 2 月到 8 月之間，生長期共 4 個月，計畫區域之面積為 250 公頃。

首先，決定月別灌溉區域

表 5-5a 錯開種植期—提早種植

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} ($\ell/s/ha$)		2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4	2.2				
CA (ha)		210	255	280	271	154	133	127				

由表 5-5a 中可以知道，並沒有連續 4 個月的臨界灌溉區域大於 250 公頃，對於在 2 月種植 5 月收成之情況下，若要提供足夠之灌溉水量，則其最大可能之灌溉面積為 210 公頃，且在 2 月份中水量全部被利用，而 3、4 及 5 月份還有部分多餘水量，而在 6、7 及 8 月份並沒有用到水量。因此若將各月別之灌溉區域 CA，扣除 210 公頃後則其差異為灌溉區域中未使用之部分，如表 5-5b 所示，相當於每月剩餘水量可提供其他區域灌溉之面積，原區域未使用於種植水稻之面積則僅為 40 公頃。

表 5-5b 錯開種植期—提早種植

月別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} ($\ell/s/ha$)		2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4	2.2				
CA (ha)		210	255	280	271	154	133	127				
最早種植 (ha)		210	210	210	210							
剩餘 CA (ha)		0	45	70	61	154	133	127				

(五)減少粗計畫灌溉需水量

如果以上所有的方法都不能達成，則唯一之方法就只有減少粗計畫灌溉需水量。在減少粗計畫灌溉需水量的第一個步驟就是，增加灌溉效率 e ，有關進一步之資訊另行述及。

- 1.若改善灌溉效率，還是沒辦法讓粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 與計畫供水 SWS 達到平衡時，則還有以下三種方式可供利用：

(1)轉作其他較低需水量之作物

(2)減少供灌面積

(3)接受缺水事實與減產事實

- 2.在既有的灌溉計畫中，農民一般難以接受轉作或減少供灌面積之情形，就過去經驗倘若乾旱缺水程度在 10~20%時，減產之情形並不嚴重，農民亦多能接受此一事實。對於灌溉區域之擴展，若農民之擴展區域遠超過可供水量之限制時，則務必要能說服農民調整其灌溉計畫，減少部分新灌溉區域，或轉作其他需水量較低之作物。

5.4 多種水源之灌溉營運

所謂多種水源指灌溉區域內各種不同水源包括：水庫水源、河川水源、池塘水源、野溪水源或地下水源等二種以上之水源共同運用者。亦即因地制宜、因時利用有效水資源之綜合灌溉營運。台灣桃園灌溉區域即為一例。

5.4.1 各種水源之灌溉營運

今以圖 5-1 說明多種水源之灌溉營運方法。

- 1.水庫系統與河川系統灌溉設施並聯運用，且將埤池與蓄水庫串聯營運。
- 2.在豐水期內，以散處各地之攔水堰攔水入渠灌溉農田，河水乾涸時才由埤池放水補給，以保持埤池平常蓄水能量。
- 3.水庫系統灌溉區由水庫供灌系統供灌；埤池系統由埤池水源供應，以節省水庫水量。
- 4.一旦河水乾涸時，農田水利會將協調水庫管理機關，以水庫水源放入埤池系統而導入灌溉系統營運。
- 5.在河水乾涸，埤池亦空涸，而灌溉系統又不銜接時，應由農田水利會協調

水庫管理機關以抽水方式補給救旱。

水庫水源

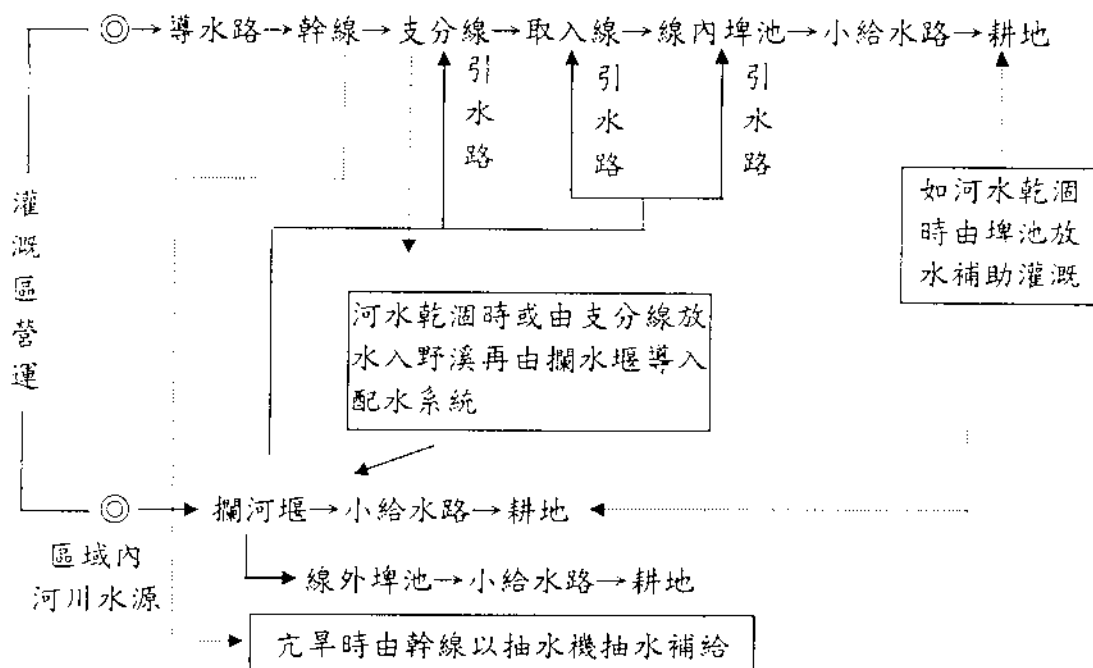


圖 5.1 多種水源營運示意圖

5.4.2 多種水源灌溉營運之注意事項

因其引水、輸水及配水系統複雜，尤其各攔水堰及埤池四處分散，其營運上除參照前述水庫及渠首之營運方法外，尤應注意下列幾點：

1. 通訊網之加強

平常期之灌溉營運循灌溉配水計畫操作，在洪沴期應利用完善通訊設備報導灌溉區域內降雨情形、河川水位及田間需水情況，機動調節攔水堰、埤池水門，及渠道系統制水閘、進水閘之啟閉操作，以確保水利設施之安全，同時避免下游農地毀損。乾旱時，亦應經由通訊設備，通報各地缺水情況及非常灌溉營運狀況，俾收隨機應變之營運功效。

2. 強化後勤支援

桃園大圳區域內野溪系統之攔水堰多達 334 處，埤池數 285 口，灌溉期間攔河堰崩潰及埤池水門調節失靈等情形難免時有發生，因此器材及人員之儲備以備機動運用皆應建立制度。

3. 協調工作

石門水庫年度各標的之用水計畫悉依有關法令擬訂，所應強調者為農田灌溉臨時增減水量、乾旱年各標的減水比率、各野溪水源及埤池水源之分布與利用，皆予列入區內農業用水綜合營運的協調會議決定，以符合全區域灌溉整體規劃營運，而非各自為政的個別操作。

5.5 迴歸水利用

5.5.1 迴歸水利用之可行性

- (一)灌溉、工業、和家庭之用水，除部分水量必需消耗者外，另一部分的水量終究迴歸入溪河中。此項迴歸水源，視其污染程度，加以水質或水溫的改良後，即可供作灌溉水源。
- (二)本節主要針對灌溉後之迴歸水量進行估算，此對農業用水計畫之設計甚為重要。蓋農地大部分均以重力式引水灌溉，亦即農地灌溉依地形，自高地向低地順坡引水灌溉，也可能上游農田灌溉後部分水量流出往下游農田，而下游農田再取水灌溉，如此可反覆多次利用。故正確估算農地迴歸水，可確保適當灌溉需水量，同時亦可提高用水效率。
- (三)迴歸水 (Return flow) 指可反覆再利用之水量，包括由地表逕流至下游處及灌溉水滲入地下後再從下游農地湧出者，若以產生方式作為分類依據，前者稱為明迴歸水 (Visible return flow)，而後者則稱為暗迴歸水 (Invisible return flow)。
- (四)目前台灣大部分的農地乃採用動力式引水灌溉，自上游農田引灌後，多餘之灌溉水量以越過田埂缺口或以灌溉水路輸送的方式順坡而下，在下游地勢較低之處可產生迴歸水量，以供下游農田利用。故正確估算農田迴歸水量，非但可提高農田用水效率，更可使灌溉用水得以有效利用。

5.5.2 迴歸水利用之估計及研究

(一)估計原則：

- 1.產生最大迴歸水量的時期，係在雨季和灌溉後各月，最小則在旱季和灌溉前各月。
- 2.種植水稻地區，灌溉期間的剩餘水量，幾乎全部流返河渠中。
- 3.在設計完善而水量充足的灌溉地區，其年迴歸水量可達年引水量的 $1/3 \sim 2/3$ 。即田間年迴歸水量，須視灌區之土壤性質、引水量、輸灌效率、耗

水量和灌溉年數等因素而定，每公頃由小於 3,000 立方公尺，至大於 10,000 立方公尺。

(二)我國歷年來對迴歸水之利用研究可以整理如下：

- 1.駱安華(1960)，在「迴歸水之計算和運用」一文中將迴歸水定義為灌區內之雨水、灌溉水、自然排出之地下水能流返河渠之水量，並將迴歸水分類為由地表逕流排入之明迴歸水及地下滲漏水所造成之暗迴歸水。並分析迴歸水之產生原因可歸類為下列二項：一為由雨水所產生；二為灌溉水源所產生，包括灌溉餘水、田埂流失與田間滲漏水等。根據迴歸水之定義，迴歸水量應等於灌區引水量減去灌區耗水量，計算式如下：

$$R = \frac{P \times A \times 10000}{1000} + (31536000 \times D) - (10000 \times C \times A)$$

式中 R = 灌區年迴歸水量 (m^3)

C = 灌區年平均耗水深度 (m)

D = 年平均引水 (cms)

A = 灌區面積 (ha)

P = 灌區年有效雨量 (mm)

並以彰化灌區為例，求得日迴歸水量約為日引水量的 48.36%。

- 2.前台灣省水利局(1972)，利用水平衡收支法推估苗栗公館區之迴歸水量，採用實地觀測的方式進行調查分析，求得該地區之迴歸水平均反覆利用率約為 10%，局部地區甚至達 40%之譜。
- 3.徐龍淵、徐恭也(1986)，指出迴歸水為一可利用之高經濟水源，台灣常見之迴歸水利用設施有攔水堰、蓄水池、鑿井、抽取低窪蓄水等。以桃園灌區為例，設有攔水堰 334 座，以攔取迴歸水及降雨逕流量，其迴歸水利用率約占總用水量 10%；另在苗栗公館地區，採用鑿井、攔水堰及抽取低窪蓄水方式利用迴歸水做補給水源，迴歸水利用率達 40%，而迴歸水平均利用率為 15%。
- 4.林癸妙(1998)，在「水田迴歸水量之研究」一文中將明迴歸水與暗迴歸水分開計算，其中水分滲漏量為影響暗迴歸水之重要因素。林氏採用牛踏層具有保水能力之觀點，推估垂直滲漏量與側向滲漏量的比例約為 5:1，並在固定田地面積下，探討影響迴歸水量因子，其中改變田埂高度與田埂缺口寬度皆不會影響迴歸水量。在迴歸水量的推估方面，將計算所得之總迴歸水量與 MODFLOW 模式相互驗證，結果顯示總迴歸水量

占灌溉水量 24%，並以雲林莿桐地區為例，推算 10 年平均迴歸水量約占灌溉水量之 36.56%。

5.6 農業用水之節水營運管理

5.6.1 乾旱時期因應對策

台灣灌溉水源計畫之基準年，基於經濟原則，一般係採用四至五年一次乾旱之頻率年，並不是以充分確保農業灌溉用水之安全設計，亦即約每四、五年即可能出現一次用水不足之情況，或平均每年可能有 20~25% 之缺水機率。遇超過計畫基準年以上之乾旱年，用水呈不足情況，是不可避免之事，亦是意料中之事。因此，農田水利會為灌溉營運，除需訂定平水時期之正常灌溉計畫外，尚須準備一些針對一旦發生乾旱時之因應措施及臨時救旱設備。

多年來，各農田水利會對因應乾旱時期之救旱處理工作，已有相當之經驗，可使旱災之損害抑減至最低程度。農田水利會之服務功能，在乾旱缺水時期最能彰顯地發揮其組織及灌溉系統之有效運作貢獻。遭遇乾旱缺水期，各農田水利會即配合政策採取部分停止供水或減少供水轉作、加強灌溉水源維護及水路管理等之迫切作業。一方面實施輪流灌溉及抽用可臨時救援之補助水源等措施，期使已種植之農作物儘量以「有旱無災」之結局善了。

近十餘年來，行政院農業委員會與前台灣省水利局積極推廣旱作管路灌溉，在有實施旱作灌溉之地區，更可發揮旱作灌溉設施之功能及效用，不但農民豐收，而且因氣候溫暖而無水害，使瓜果類品質特別良好、甜美，消費者得以享受物美價廉之西瓜、香瓜、水果。平時推廣旱作灌溉，如上述亦可為因應乾旱採取部分稻田轉作之最佳對策之一。

全台灣各農田水利會之灌溉管理營運，除訂有平常之灌溉計畫外，對於乾旱時期，應事先對各灌溉系統灌區之可忍受缺水程度，分別訂定不同缺水程度之配水計畫及救旱措施，並報經主管機關核備後公告，以備實施。並須預為準備及演練有關配水操作之細節與方法及救旱所需之設施與事項，以應隨時需要。行政院農業委員會有鑑於此，曾於 75 年所研訂「乾旱年調整水量分配標準及救災處理制度」。並與財團法人七星農田水利研究發展基金會於 84 年合作編印「灌溉節水技術手冊」提供各農田水利會參辦，並協助各農田水利會依據其水源特性及過去經驗研定各灌溉系統乾旱時期灌溉營運措施，以供遵循。針對不同缺水程度之灌溉因應營運措施基本指導原則，可參考第三篇 4.3 節之內容。

5.6.2 現行節水管理營運措施

(一)增建調蓄設施，有效調配利用水稻灌溉之節餘水

- 1.水稻灌溉用水自民國七十三年推行休耕轉作計畫起，已逐年大幅減少用水量，其用水量自民國七十年之 129.61 億立方公尺，減為七十五年之 114.02 億立方公尺、八十年之 93.79 億立方公尺及八十五年之 77.46 億立方公尺，但由於水稻灌溉水源有 75%係取自河川，以往所減少之用水量，因缺少調蓄設施及輸配系統而無法有效調配作其他利用，殊屬可惜。
- 2.目前，在桃園地區之石門及桃園兩個農田水利會轄區內，共有 745 口蓄水池，容量計 6,200 百萬立方公尺，其他農田水利會亦有些埤池，對農業用水本身之調配，發揮相當之功能。
- 3.非農業部門如欲利用農業節餘水，須先投資建設調蓄設施，以利調配。

(二)獎勵農民利用第二期作休耕水田蓄水調洪及涵養補注地下水

- 1.第二期作水稻產量較第一期作為低，故農民申請休耕以第二期作者為多。
- 2.第二期作屬雨季，如轉種旱作，低地水田易受淹水損害，且水田原具有之調蓄洪水功能及補注地下水機能，將會降低而影響水之生態循環。
- 3.為因應加入世界貿易組織(WTO)後，水稻栽培面積可能須暫時性減少，為善加利用現有水田及灌溉輸配水系統，加強推動水田生態環境保護及增進生態貢獻措施。
- 4.農委會近年來正積極推動水田生態維護及涵養補注地下水計畫，獎勵農民加高其休耕水田排水出口高度，盡量維持蓄水狀態，將水田當作地下水補注池，引灌豐水期河川多餘之逕流水入田，提高逕流利用率，增進補注涵養地下水功能。

(三)加強推廣省水旱灌技術，配合精緻農業發展

為因應邊際土地之有效利用及精緻農業發展需要，農委會積極策劃擴大推廣設置省水之噴灌、滴灌設施，並指導農民灌溉操作之技術，配合農業栽培技術，以省水、省力、省工方式施灌，提高作物產量及品質，增加農民收益。

(四)加強灌溉用水水質維護，確保農產品品質

- 1.灌溉水源大多取自河川及輸配水系統均採明渠，故污染物容易進入灌溉系統。

- 2.目前約有 10%之灌溉水其水質已超過灌溉用水水質標準，繼續引灌，對農地及農產品均具潛在危機，亟待改善。
- 3.這些受污染之灌溉用水，若以稀釋方式改善，依據農工中心之評估，須耗用清潔之灌溉水量 22 億立方公尺，這些稀釋用水之水源，目前根本無法取得，亦不經濟。因此，最適方案仍是從污染源根本管制，並作水質處理改善。
- 4.各農田水利會建立持續性灌溉水質監測體系及管理制度，以期逐年減少受污染程度。

(五)確保水田之水權，兼顧生產及生態，並建立合理移用農業水資源制度

- 1.水田為確保台灣永續發展之重要農業生產土地，已建有良好灌溉排水及農路系統，為優先保留繼續作農業使用之農地，其水權須確保。
- 2.水田除生產功能外，並對地下水補注、洪水調節、水質淨化、氣象調節、景觀維持等生態環境具有重大貢獻，為適合台灣自然生態環境之良好水土資源利用之方式。
- 3.今後為因應加入世界貿易組織（WTO），其用水應兼顧生產與生態機能作整體規劃，並建立合理移用農業水資源制度，俾於乾旱缺水期，支援民生用水之不足。

(六)加強農業用水調配規劃及科技管理研究

- 1.農業用水之有效調配，需有調蓄設施、輸配水系統設施才能運作，而這些設施之設置，需要時間、土地、經費，故須預為規劃及協調設置。
- 2.農業用水與農、漁、牧各產業之經營技術息息相關，具有相當高之技術性，為提昇各種農業用水效率及效益，均必須加強其用水管理之技術研究，以期利用現代化科技管理技術及設備來改進。

5.6.3 結語

- (一)農業用水是水資源利用之大宗，農業生產、農村生活及自然生態環境等具有重大貢獻，必須共同重視並予以維護，在水資源有限情況下，須採取合理之用水策略及節水措施，以期台灣之農業能永續發展，確保全體國民之糧食安全。
- (二)農業用水來源，多數係直接引用河川逕流水，乾旱季節，河川中多缺水，灌溉水源呈短缺，農業本身須採節水措施度過難關。養殖及畜牧用水，基

於環境保護及衛生要求，須逐年減少地下水抽取量及用水量，因此須採取養殖及畜牧管理措施配合。

(三)在灌排兼用現況下，枯水期灌溉水之水質與民生用水、工業用水之所需水質標準尚有差距，亟待加強污染防治改善水質。

(四)為有效調配利用灌溉節餘水，須預先投資建設調蓄設施，並與農業用水管理單位預先協商，儘量在豐水地區調配，俾能在儘量減少農業傷害原則下進行。

(五)水庫用水為枯水期民生用水、工業用水爭用之對策，為節水移用之主要目標，移用時對農田水利會及農民用水權益之損害，須給予合理補償，以期社會和諧圓滿。

附錄 I 符號及定義

在本訓練手冊當中會引用一系列與灌溉有關之水量與流量之符號與定義，對於各符號及其定義將說明如下，而各符號間之關係亦於附錄 II 中有詳細說明與圖說。

1. 主要符號

(1) 淨灌溉需水量	IN_{net}
(2) 粗灌溉需水量	IN_{gross}
(3) 淨計畫灌溉需水量	SIN'_{net}
(4) 粗計畫灌溉需水量	SIN_{gross}
(5) 營運操作計畫灌溉需水量	SIN_{op}
(6) 計畫供水量	SWS
(7) 平均月灌溉需水量	IN_{av}
(8) 最早種植需水量	IN_c
(9) 最晚種植需水量	IN_l
(10) 整田用水量	SAT
(11) 滲漏損失	$PERC$
(12) 泄水深	WL
(13) 營運操作時間	T_{op}

2. 主要符號之定義

(1) IN_{net} ：淨灌溉需水量 (mm/day, mm/month, $\ell/\text{sec}/\text{ha}$)

此為作物之灌溉需要水量，其表示方法為在一單位時間，如每天或每個月或任一段時間中，所需要之水深 (IN_{net})，此一單位時間內之用水深度亦經常用單位面積所需之流量來表示之，一般較常用之單位為每公頃之面積下每秒鐘所須之水量 (以公升表示之)，即 $\ell/\text{sec}/\text{ha}$ ($8.6 \text{ mm/day} = 1.0 \ell/\text{sec}/\text{ha}$)，在訓練教材第四冊中有一將 mm/day 與 $\ell/\text{sec}/\text{ha}$ 之間換算之表格，對於灌溉需水量 (IN_{net}) 之決定方法，已於訓練手

冊第三冊中詳細述說之。

(2) IN_{gross} ：粗灌溉需水量 (mm/day, mm/month, $\ell/sec/ha$)

粗灌溉需水量為作物之灌溉需水量，加上要將田間作物所需之水量，自水源處送達田間之過程中，所引起的損失水量，在輸送的過程所引起之損失現象，於實際之應用上，我們是以灌溉效率(e)表示之，應用灌溉效率之方法衡量整體之損失情形。

粗灌溉需水量之表示方式為，每天或每個月所需之水深，即 mm/day 或 mm/month，以一連續之流量來表示時，其單位為： $\ell/sec/ha$ ，粗灌溉需水量與淨灌溉需水量之關係式為：

$$IN_{gross} = IN_{net} \times 100 / e$$

(3) SIN_{net} ：淨計畫灌溉需水量 (ℓ/sec)

淨計畫灌溉需水量是指，整個灌溉區域之淨灌溉需水量，而非單位面積下之淨灌溉需水量，因此，淨計畫灌溉需水量之單位，無法以 mm/day 表示，而是以每秒所需之水量（公升）來表示之，即： ℓ/sec ，其公式之表示方式如下：

$$SIN_{net} = IN_{net} \times A$$

式中： A 為計畫灌溉面積（公頃）

(4) SIN_{gross} ：粗計畫灌溉需水量 (ℓ/sec)

粗計畫灌溉需水量是指，整個灌溉區域之灌溉需水量，加上水在輸送的過程當中所引起的各種損失，其表示公式為：

$$\begin{aligned} SIN_{gross} &= IN_{gross} \times A \\ &= (IN_{net} \times 100 / e) \times A \quad (\ell/sec) \end{aligned}$$

(5) SIN_{op} ：營運操作計畫灌溉需水量 (ℓ/sec)

營運操作計畫灌溉需水量，所代表的為實際之流量，而該流量乃依照灌溉計畫中，事先所訂定之水量與時間，送達田區施灌之流量。至於整個生育期之總用水量，在粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 及營運操作計畫灌溉需水量 (SIN_{op}) 是一致的，但由於實際操作上的關係， SIN_{op} 會比 SIN_{gross} 來的大些。通常對於灌溉之執行，並不是每小時或每

天予以施灌(就田區之部分)，而是在一期距內(數天)之數小時而已，因此，營運操作計畫灌溉需水量(SIN_{op})，必須補足在非灌溉時期作物所消耗之水量，而此一時間在灌溉計畫中稱為營運操作標準(T_{op})。

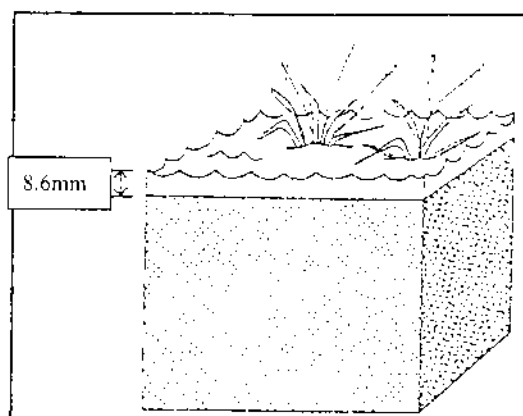
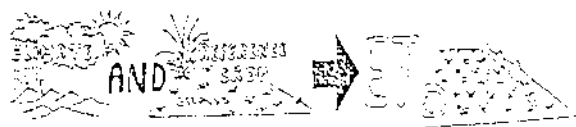
(6) SWS：計畫供水量 (ℓ/sec 、 m^3/s)

計畫供水量表示要施行灌溉時，在水源處所要取用之灌溉水量，若計畫中採用抽水機供水時，則其計畫供水量不可大於抽水機之容量，至於非利用抽水機之系統，則計畫供水量不可超過取水設備之最大容量，計畫供水量所採用之單位為每秒所通過之水量(公升數)(ℓ/sec)，但若流量較大時，則是以每秒鐘所通過之水量(立方公尺數)(m^3/s)表示之。

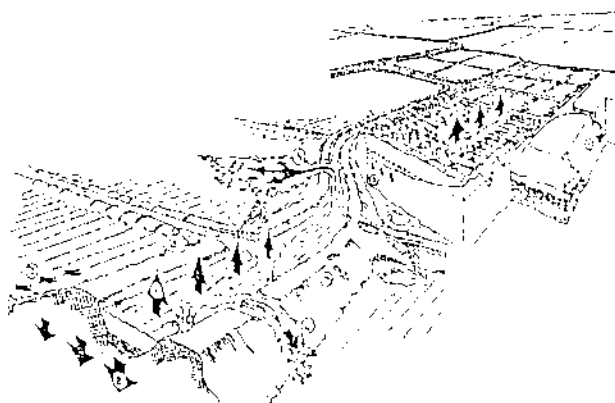
附錄 II 各符號間之關係

1. SIN_{gross} 之計算圖示

IN_{net} : 淨灌溉需水量 (mm/day, mm/month, $\ell/s/ha$)

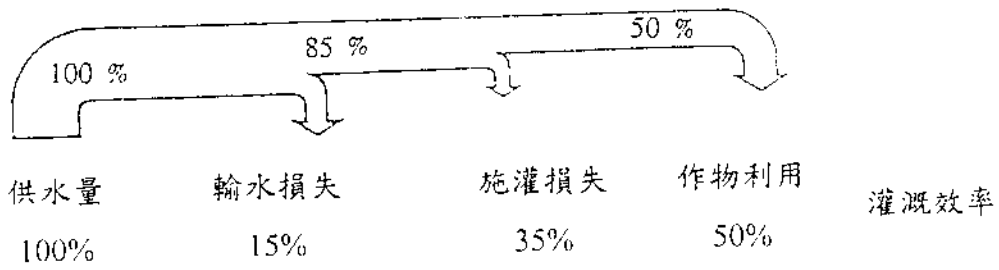


8.6 mm/day 之淨灌溉需水量 = 1 $\ell/s/ha$



計畫面積 (ha)

SIN_{net} ：淨計畫灌溉需水量 (ℓ/s)



SIN_{gross} ：粗計畫灌溉需水量 (ℓ/s)

2. 供需平衡圖示

SIN_{gross} ：粗計畫灌溉需水量 (ℓ/s)

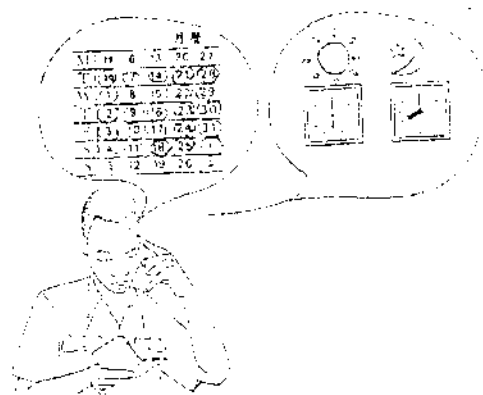
營運操作準則 (T_{op})

何時灌溉？

每次灌溉多久？

$d=5$ 天/週

$h=14$ 小時/天

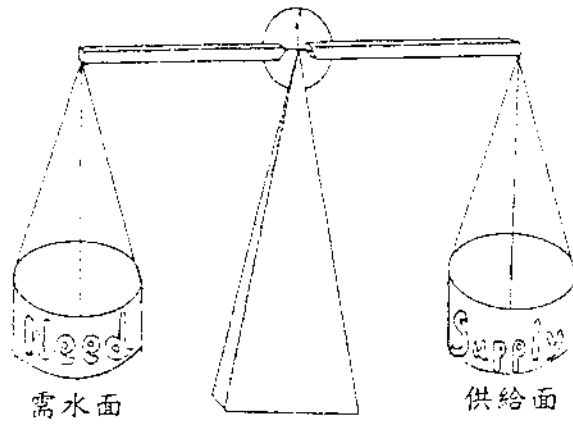


$$T_{op} = d/7 \times h/24$$

SIN_{op} ：營運操作計畫灌溉需水量 (ℓ/s)

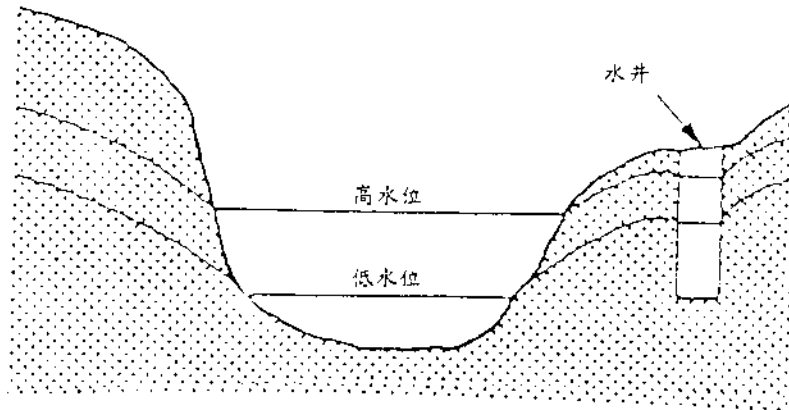
供需平衡

需 求
(修正)
生長季節
 ET_{crop}
 T_{op}
效 率
面 積



供 給
(擴大)
取水口
抽水機
渠 道
(尋找)
額外之水源

SWS：計畫供水量 (ℓ/s , m^3/s)



河川水位之變化

附錄 III mm/day 與 $\ell/\text{sec}/\text{ha}$ 轉換表

mm/day	$\ell/\text{s}/\text{ha}$	$\ell/\text{s}/\text{ha}$	mm/day
2	0.23	0.2	1.7
3	0.35	0.3	2.6
4	0.46	0.4	3.5
5	0.58	0.5	4.3
6	0.69	0.6	5.2
7	0.87	0.7	6.0
8	0.93	0.8	6.9
9	1.04	0.9	7.8
10	1.16	1.0	8.6
12	1.39	1.2	10.4
14	1.62	1.4	12.1
16	1.85	1.6	13.8
18	2.08	1.8	15.6
20	2.31	2.0	17.3

附錄 IV 資料表格

資料表格 1

單一作物之淨計畫灌溉需水量之決定

作物：_____

最早種植：_____

面積：_____

最晚種植：_____

作物生長期	作物係數 (K_c)
開始階段：_____天	K_c = _____
作物發展階段：_____天	K_c = _____
中間階段：_____天	K_c = _____
最後階段：_____天	K_c = _____

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物面積 制 ha												
ET_o (mm/day)												
P_e (mm/day)												
生長期												
生長期 K_c												
月 別 K_c ¹												
ET_{crop} mm/mon ²												
IN_e mm/mon ³												
生長期												
生長期 K_c												
月 別 K_c ¹												
ET_{crop} mm/mon ²												
IN_e mm/mon ³												
IN_{av} (mm/day)												
SIN_{net} l/s ⁴												

1 average of K_c per month

2 ET_{cr} (mm/mon) = ET_o (mm/day) × 每月作物生長日數 × K_c (per month)

3 IN_e or IN_e (mm/mon) = ET_{cr} (mm/mon) - P_e (mm/mon)

4 SIN_{net} = (IN_{av} × Area) / 260

資料表格 2

多種作物耕作制度之淨計畫灌溉需水量之決定

地點：_____ 日期：_____

作物 1：_____ 作物 2：_____ 作物 3：_____

作物 4：_____ 作物 5：_____

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物 制 度 面 積 ha												
$SIN_{crop}^1 \ell/s$												
$SIN_{crop}^2 \ell/s$												
$SIN_{crop}^3 \ell/s$												
$SIN_{crop}^4 \ell/s$												
$SIN_{crop}^5 \ell/s$												
$SIN_{net} \ell/s$												

1. SIN_{crop} 為單一作物之淨計畫灌溉需水量

2. SIN_{net} 在此為多種作物之淨計畫灌溉需水量

資料表格 3

種植時期：

生長期：

作物係數： K_c

Day 0-60

Mid season

Last 30 days

SAT : mm Early

PERC : mm/day==mm/month

WL : mm Early

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物 面積 制度 ha												
ET _o (mm/day)												
P _e (mm/day)												
生長期												
生長期 K _c												
月 別 K _c ¹												
ET _{cr} mm/mon ²												
SAT mm/mon												
PERC mm/mon												
WL mm/mon												
IN _e mm/mon ³												
生長期												
生長期 K _c												
月 別 K _c ¹												
ET _{cr} mm/mon ²												
SAT mm/mon												
PERC mm/mon												
WL mm/mon												
IN _e mm/mon ³												
IN _{av} mm/day												
SIN _{net} l/s ⁴												

1 average of K_c per month

2 ET_{cr} (mm/mon) = ET_o (mm/day) × 每月作物生長日數 × K_c (per month)

3 IN_e or IN (mm/mon) = ET_{cr} (mm/mon) - P_e (mm/mon)

4 SIN_{net} = (IN_{av} × Area) / 260

參考文獻

1. 中國農業工程學會 (1999), 農田水利會之灌溉排水維護及管理訓練推廣計畫, 灌溉用水管理訓練手冊第六冊灌溉之需求與供應, 行政院農業委員會。
2. 農田水利會聯合會 (1994), 農田水利技術人員訓練教材灌溉管理類合訂本。
3. 前經濟部水資源統一規劃委員會 (1994,1995), 台灣地區之水資源。
4. 農業工程研究中心 (1998), 農田水利教材, 財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會。
5. 陳莉 (1997), 水資源工程規劃, 曉園出版社, 2-4~2-16 頁。
6. 曹以松 (1989), 地下水, 中國土木水利工程學會。
7. 沈向白 (1989), 雲林地區地下水安全出水量調查研究, 嘉義農工學報, 第八期, 第 11-31 頁。
8. 地下水勘測隊 (1957), 大濁水溪沖積扇平原地下水勘查報告。
9. 地下水工程處 (1963), 大濁水溪沖積扇地區地下水源複勘報告。
10. 李源泉 (1970), 濁幹線臨海地域之水收支研究, 經濟部水資源開發委員會。
11. 前地下水工程處 (1973), 濁水溪南岸雲林地區地下水源調查報告。
12. 嘉義農專 (1991), 濁水溪沖積扇地區地下水資源調查, 嘉義農專報告。
13. 前水資源統一規劃委員會 (1992), 臺灣地區地下水資源, 經濟部, 共 45 頁。
14. 水資源局 (1996), 臺灣地區地下水觀測網整體計畫, 經濟部。
15. 曹以松 (1996), 濁水溪沖積扇與台灣的地下水研究, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, 前經濟部水利司。
16. 劉聰桂 (1996b), 濁水溪沖積扇之地下水資源—破十四與氾定年/示蹤研究, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, 前經濟部水利司, 181-206 頁。
17. 姜儷安、歐陽湘 (1997), 雲林地區地下水與水平衡初步分析, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, 前經濟部水利司, 181-206 頁。
18. 土木科技研究發展文教基金會 (1997), 地層下陷防治推動綜合計畫子計畫九—雲林地區安全出水量之估算, 經濟部水資源局, 共 116 頁。
19. 逢甲大學 (1997), 地下水及地盤下陷調查—濁水溪沖積扇地下水資源之合理推估 (一), 行政院農業委員會, 共 65 頁。
20. 林國峰、李天浩、陳家洵、蔡惠峰、劉振宇、謝正倫、譚義績、歐陽湘 (1997), 濁水溪沖積扇地下水補注工作架構之規劃與推動, 雲林縣政府。
21. 經濟部水資源局 (1997), 中華民國 85 年臺灣水文年報, 經濟部。
22. 經濟部水利處 (1997a), 台灣地區地下水觀測網第一期計畫--地下水觀測網之建立及運作管理 86 年子計畫報告--濁水溪沖積扇扇頂平原地區地表垂向補注量估計, 經濟部水資源局。
23. 經濟部水利處 (1997b), 台灣地區地下水觀測網第一期計畫--濁水溪沖積扇地下水水文初步分析, 經濟部水資源局。
24. 林再興、陳時祖、李振誥 (1998), 地層下陷防治綜合計畫子計畫四—彰化地層下

- 陷區地下水入滲補注及安全出水量之評估，經濟部水資源局。
25. 中興工程顧問股份有限公司 (1998)，濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用第二階段—濁水溪沖積扇地下水人工補注計畫規劃報告，臺灣省水利處，共 223 頁。
 26. 農工中心 (1998)，彰化雲林農田水利會灌區現有水井調查與 GPS 定位，經濟部水資源局，共 108 頁。
 27. 嘉義技術學院 (1998)，嘉義沿海地區地下水安全出水量調查研究，經濟部水資源局，共 156 頁。
 28. 中鼎工程顧問有限公司 (1999)，楠梓加工出口區地下水資源監測與評估，楠梓加工出口區管理局。
 29. 嘉南農田水利會 (1982)，「民國 68 年至 70 年曾文-烏山頭灌溉管理報告」。
 30. 駱安華 (1960)，「迴歸水之計算與運用」，台灣水利第 8 卷第 2 期。
 31. 前台灣省水利局等 (1972)，「新竹苗栗地區水資源繼續調查研究計畫報告—苗栗公館區後龍溪河道與穿龍圳灌區水之動態研究」。
 32. 徐龍淵、徐恭也 (1986)，「迴歸水利用現況及加強方法」，農田水利第 34 卷第 8 期。
 33. 林癸妙 (1998)，「水田迴歸水量之研究」，中央大學土木工程研究所，碩士論文。
 34. 行政院農業委員會 (1986)，「乾旱年調整水量分配標準及救災處理制度」。
 35. 蔡明華 (1993)，「乾旱時期灌溉營運措施與救災處理」，行政院農業委員會。
 36. 行政院農業委員會 (1994)，「發生乾旱時農業用水之因應措施」。
 37. 行政院農業委員會 (1999)，「農業用水之節水目標及措施」。
 38. FAO Surface Irrigation (1974), Land and Water Development Series No.3 L.J. Booher. Rome.
 39. FAO Agro-meteorological Field Stations (1976), Irrigation and Drainage Paper 27 J. Doorenbos. Rome.
 40. FAO (1977), Crop Water Requirements (Revised), Irrigation and Drainage Paper 24. J. Doorenbos and W. O. Pruitt. Rome.
 41. FAO (1979), Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper 33. J. Doorenbos and A. H. Kassam. Rome.
 42. FAO (1989), NGO Case Book on Small Scale Irrigation in Africa. Agl Miscellaneous Paper 15. R. Carter. Rome.
 43. FAO (1992), Irrigation Water Management Training manual no6 "Scheme Irrigation Water Needs and Supply". International Institute for Land Reclamation and Improvement & FAO Land and Water Development Division.
 44. Kay M. (1986), Surface Irrigation: System and Practice. Cranfield Press. Bedford, UK.
 45. Stern P. (1979), Small Scale Irrigation: Intermediate Technology Publications. London and International Irrigation Information Centre, Bet Dagan.
 46. Withers B. and Vipond S. (1974), Irrigation Design and Practice. Batsford. London.
 47. Wopereis, M.C.S. et al., 1994, "Water use efficiency of flooded rice fields. (I) Validation of the soil-water balance model SAWAH." Agricultural Water Management, 26: pp277-289.

中英名詞對照表

- 入滲, Infiltration, 7-51
- 工業用水, Industrial water, 7-3, 7-13, 7-71
- 孔隙, Pores, 7-29, 7-30, 7-31, 7-32
- 水庫, Reservoir, 7-3, 7-5, 7-12, 7-13, 7-14, 7-17, 7-18, 7-21, 7-24, 7-31, 7-61, 7-64, 7-65
- 水域出水量, Basin yield, 7-36
- 未翻耕層, Non-puddled subsoil, 7-51
- 永續性出水量, Perennial yield, 7-36
- 生長期, Growth stage, 7-15, 7-40, 7-43, 7-44, 7-45, 7-54, 7-59, 7-62, 7-63
- 用水管理, Water Management, 7-70
- 用水需求, Water Demand, 7-17, 7-20, 7-28
- 各標的用水, Each object uses of water, 7-1, 7-3
- 地下水, Groundwater, 7-3, 7-5, 7-11, 7-17, 7-24, 7-25, 7-26, 7-27, 7-28, 7-29, 7-30, 7-31, 7-32, 7-34, 7-35, 7-36, 7-37, 7-64, 7-67, 7-69, 7-70, 7-71
- 地下水層, Groundwater Zone, 7-11
- 安全出水量, Safe yield, 7-35, 7-36, 7-37, 7-38
- 尖峰用水量, Maximun water requirement, 7-12
- 有效雨量, Available rainfall, 7-51, 7-57
- 死水區, Inactive pool or Dead pool, 7-21
- 作物係數, Crop coefficient, 7-79
- 吸收, Absorption, 7-25
- 含水層出水量, Aquifer yield, 7-36
- 供水, Water Supply, 7-2, 7-58, 7-61, 7-64, 7-68
- 制水閘, Check regulator, 7-65
- 抽水影響圈, Influence circle, 7-32
- 明迴歸水, Visible return flow, 7-66, 7-67
- 泥濘層, Muddy layer, 7-51
- 法規安全出水量, Legal safety yield, 7-36
- 非穩態, Unsteady state, 7-32
- 洩降, Drawdown, 7-32, 7-35
- 洩漏, Leakage, 7-26, 7-27

計畫用水量, Water demand of irrigation project, 7-2

重力水, Gravity water, 7-25

徑向流, Radial flow, 7-32

缺水期, Water shortage Period, 7-2, 7-68, 7-70

迴歸水, Return flow, 7-3, 7-12, 7-58, 7-66, 7-67

配水系統, Water distribution system, 7-12, 7-65

配水計畫, Water distribution Schedule, 7-65, 7-68

曼寧氏公式, Manning's formula, 7-16

通氣層, Aeration Zone, 7-25

都普特假設, Dupuit assumption, 7-32

單區, Rotation unit, 7-32

湛水, Ponded water, 7-51, 7-52

貯水區, Conservation pool, 7-21

超量區, Surcharge pool, 7-21

進水閘, Intake gate, 7-65

開採出水量, Mining yield, 7-36

暗迴歸水, Invisible return flow, 7-66, 7-67

溢流, Overflow, 7-11

經濟安全出水量, Economic safety yield, 7-36

農業用水, Agricultural water., 7-1, 7-3, 7-5, 7-66, 7-69, 7-70, 7-71

飽和層, Saturated Zone, 7-24, 7-25, 7-26

滲透計, Lysimeter, 7-54

滲漏, Seepage, 7-24, 7-54

滲漏量, Percolation, 7-20, 7-52, 7-54, 7-56, 7-67

蓄水池, Pond, 7-67, 7-69

蒸發散量, Evapotranspiration, 7-4, 7-51, 7-54

輸水系統, Water conveyance system, 7-12

輸配水系統, Irrigation Canal System, 7-69, 7-70

隧道, Tunnel, 7-13

優選出水量, Optimal yield, 7-36

薄膜水, Pellicle water, 7-25

豐水期, Plentiful water period, 7-1, 7-2, 7-3, 7-4, 7-15, 7-39, 7-40, 7-64, 7-69

穩態, Steady state, 7-32

攔河堰, weir, 7-8, 7-12, 7-65

灌溉計畫, Irrigation Schedule (Irrigation Project), 7-10, 7-11, 7-13, 7-14, 7-15,
7-16, 7-17, 7-50, 7-62, 7-64, 7-68

灌溉排水, Irrigation and Drainage, 7-70

灌溉率, Irrigation rate, 7-13

灌溉期距, Irrigation interval, 7-61

灌溉輸配水, Irrigation Water Distribution, 7-40

壩, Dam, 7-10, 7-12, 7-14, 7-15, 7-17

