

灌溉原理

灌溉原理

Principles of Irrigation



行政院農業委員會

行政院農業委員會

中華民國109年5月

編者序

在高溫、潮濕、旱澇不均、災害頻傳的獨特自然地理環境條件下，歷經元、明、清、日據、戰後至今之農田水利事業經營，經年累月孕育成我國特有的灌溉排水營運管理技術與經驗，長年以來不僅盛譽於國際，亦受國外稻作國家灌溉專業人士重視並來訪見學。

有感於國內尚無能反映我國農田水利專屬淺顯易學之教育訓練教材，以為農田水利會員工或有志從事農田水利業務人員之參閱，爰此，在本會經費資助下，經參酌聯合國糧食及農業組織(FAO)灌溉用水管理系列教育訓練手冊之架構及藍本，並參照國內灌溉排水營運管理實際情況，編撰「灌溉排水營運管理」(2001)，經試講、廣納建言，修訂完成「灌溉排水營運管理」第三版(2003)。復鑑於農田水利會人員進用，及提供水利會同仁與有志從事農田水利業務人員甄試或國家考試者參閱或為國家考試命題參考書籍，遂以2003年版「灌溉排水營運管理」為底稿，並參酌部編大學用書「灌溉排水原理」第三版(施嘉昌等，1988)及相關資料，增補新的數字及資料，編撰「灌溉原理」及「灌溉管理學」二冊專業書籍。

本書「灌溉原理」屬學理層面，共12章，第一章為前言，敘述灌溉排水意義、目的、重要性，台灣灌溉簡史及農田水利會組織歷程發展，灌溉排水研究發展及未來展望；第二章為土壤與水分，包括：土壤之組成、入滲、水分種類及其常數、飽和含水量、田間容水量、永久凋萎點、可利用含水量等；第三章為作物-水分-土壤關係，包括：作物之體中水分、對水分吸收、蒸散作用及土壤有效水分等；第四章為灌溉與氣候立地環境，攸關灌溉環境因子，如：位置、地勢、氣溫、降雨、蒸發、日照、雲量及風等；第五章為作物需水量，涵蓋其定義、受氣候與土壤影響的因素、直接測定與間接估算方法等；第六章為灌溉用水量，依第二章～第五章基本原理，以及有效雨量、輸水損失，估算水田與旱田用水量；第七章為灌溉水質及水源，包括：對水質之要求、評估項目、標準、不良水質之處理，及河川、水庫、地下水之水源種類；第八章為灌溉方法，包括：地表灌溉之畦溝、埂間、漫灌，管路灌溉之噴灑、微噴、穿孔管、滴水灌溉等；第九章為灌溉效率，其意義、分類與影響因子，計算與應用等；第十章為農田排水，包含其範圍、功效、分類及其管理權責、排水量計算公式、排水計畫基準、治理成效等；第十一章為農地重劃，闡述其沿革、相關法令、辦理機關、農路系統與坵塊規劃、灌溉水路系統、排水路系統、推動成果等；第十二章為灌溉技術，介紹整地工程、淋洗、抽水機及抽水、迴歸水運用等4項灌溉技術課題等，並參酌國內灌溉實情及需求，落實內容本土化及實用化，可作為大專院校相關科系學生及農田水利事業從業人員參考。

承蒙國內多位專家學者精心編撰與審閱，包括計畫審查之孫委員明德、余委員化龍、鄭委員錦章、許委員銘熙、林委員永德，以及農業工程研究中心承辦，在短期中完成出版，在此謹致謝忱。惟文中疏誤在所難免，尚請先進多予指正，協助找出錯誤，以提供未來增補修正。

灌溉原理

Principles of Irrigation

參與人員芳名錄

章	章名	編撰/審查	委員	服務機關
第一章	前言	編撰	陳清田教授	嘉義大學土木與水資源系
		審查	甘俊二教授	臺灣大學生物環境系統工程系
第二章	土壤與水份	編撰	陳清田教授	嘉義大學土木與水資源系
		審查	甘俊二教授	臺灣大學生物環境系統工程系
第三章	作物-水-土關係	編撰	郭勝豐秘書長	台灣農業灌溉協會
		審查	周乃昉教授	成功大學水利及海洋工程系
第四章	灌溉與氣候立地環境	編撰	郭勝豐秘書長	台灣農業灌溉協會
		審查	周乃昉教授	成功大學水利及海洋工程系
第五章	作物需水量	編撰	陳清田教授	嘉義大學土木與水資源系
		審查	王裕民教授	屏東科技大學土木系
第六章	灌溉用水量	編撰	陳清田教授	嘉義大學土木與水資源系
		審查	王裕民教授	屏東科技大學土木系
第七章	灌溉水質及水源	編撰	陳清田教授	嘉義大學土木與水資源系
		審查	張尊國教授	臺灣大學生物環境系統工程系
第八章	灌溉方法	編撰	黃振昌副研究員	農業工程研究中心
		審查	許勝雄顧問	嘉南農田水利會
第九章	灌溉效率	編撰	張煜權教授	醒吾科技大學
		審查	郭勝豐秘書長	台灣農業灌溉協會
第十章	農田排水	編撰	陳清田教授	嘉義大學土木與水資源系
		審查	陳榮松教授	中興大學土木系
第十一章	農地重劃	編撰	陳意昌課長	土地重劃工程處
		審查	蕭輔導前處長	土地重劃工程處
第十二章	灌溉技術	編撰	黃振昌副研究員	農業工程研究中心
		編撰	廖志聰主任	雲林農田水利會
		審查	蔡明華前處長	行政院農業委員會

灌溉原理

Principles of Irrigation

目錄

編者序	I
參與人員芳名錄	III
目錄	IV
圖目錄	XII
表目錄	XVII
第一章、前言	1
1.1、灌溉排水意義	1
1.2、灌溉排水之目的與其重要性	2
1.2.1、灌溉之目的	2
1.2.2、排水之目的與功效	3
1.2.3、灌溉排水的重要性	4
1.3、臺灣灌溉簡史	6
1.4、灌溉排水未來之研究發展	6
1.4.1、灌溉排水之應用研究	8
1.4.2、灌溉排水之未來展望	8
1.5、參考文獻	12
第二章、土壤與水分	15
2.1、土壤組成	15
2.1.1、土壤剖面	15
2.1.2、土壤質地	16
2.1.3、土壤結構	17
2.2、水分滲入土壤	18
2.2.1、入滲過程	18
2.2.2、入滲率	19

2.2.3、影響入滲的因素	20
2.3、土壤水分	21
2.3.1、土壤對水的吸引力	21
2.3.2、土壤水分之種類	22
2.3.3、土壤水分含量的表示法	23
2.3.4、土壤水分含量之位能表示法	24
2.4、土壤水分常數	25
2.5、土壤含水量	26
2.5.1、飽和含水量	27
2.5.2、田間容水量	27
2.5.3、永久凋萎點	27
2.5.4、可利用土壤含水量	28
2.6、地下水位	29
2.6.1、地下水位深度	30
2.6.2、暫棲地下水位	30
2.6.3、毛細管上升作用	31
2.7、參考文獻	31
第三章、作物-水-土關係	33
3.1、作物體中水分	33
3.2、作物對水分吸收	34
3.3、作物蒸散作用	36
3.4、土壤有效水分	38
3.5、參考文獻	43
第四章、灌溉與氣候立地環境	45
4.1、位置與地勢之影響	45
4.2、氣溫、降雨與蒸發量	46
4.2.1、氣溫	46
4.2.2、降雨	49
4.2.3、蒸發量	51

4.3、日照、雲量與風	53
4.4、參考文獻	54
第五章、作物需水量	55
5.1、作物需水量之定義	55
5.2、影響需水量之因數	56
5.2.1、氣象因數	56
5.2.2、土壤因數	57
5.3、作物需水量之量測與估算方法	58
5.3.1、直接測定法	58
5.3.2、間接估算法	63
5.4、參考文獻	71
第六章、灌溉用水量	75
6.1、灌溉用水量的定義	75
6.2、灌溉用水量之有關名詞及單位	76
6.2.1、灌溉用水量之有關名詞	76
6.2.2、灌溉用水量之單位	76
6.2.3、應用實例	77
6.3、水田灌溉用水量	79
6.3.1、水田灌溉用水量之決定	79
6.3.2、臺灣水稻需水量試驗成果	83
6.3.3、臺灣各區水稻灌溉用水量之推估	85
6.4、旱田灌溉用水量	89
6.4.1、旱田灌溉用水量之決定	89
6.4.2、灌溉期距	90
6.4.3、主要作物灌溉臨界期	90
6.4.4、主要作物灌溉次數	92
6.5、灌溉系統之輸水損失	93
6.5.1、輸水損失之量測	94
6.5.2、渠道輸水損失之表示法	94

6.6、有效雨量	95
6.6.1、有效雨量之定義	96
6.6.2、有效雨量之估計	96
6.6.3、有效雨量之應用	101
6.6.4、提高田間有效雨量之作法	101
6.7、參考文獻	102
第七章、灌溉水質及水源	105
7.1、灌溉水質之要求	105
7.1.1、灌溉水質之評估項目	105
7.1.2、灌溉水質標準	109
7.1.3、水質不良的處理	111
7.1.4、臺灣之灌溉水質	113
7.2、水源種類	114
7.2.1、河川取水	114
7.2.2、蓄水庫	118
7.2.3、埤池水(湖沼水)	127
7.2.4、地下水	128
7.3、參考文獻	136
第八章、灌溉方法	139
8.1、灌溉方法分類	139
8.1.1、地表灌溉法	140
8.1.2、地下灌溉法	141
8.1.3、管路灌溉	141
8.1.4、依土地利用或作物耕種區分	142
8.1.5、灌溉方法優劣比較	142
8.2、畦溝灌溉	145
8.2.1、影響因子及使用時機	145
8.2.2、畦溝長度配置	145
8.2.3、畦溝分類	147

8.2.4、畦溝寬度.....	148
8.2.5、土壤濕潤型態.....	149
8.2.6、四分之一法及灌溉時間.....	151
8.2.7、臺灣輪作田灌溉特性.....	154
8.3、埂間灌溉	155
8.3.1、影響因子及使用時機.....	155
8.3.2、埂間配置.....	156
8.3.3、土壤濕潤型態.....	156
8.3.4、埂間灌溉公式及應用	158
8.3.5、水稻施行輪灌之特性.....	162
8.4、漫灌	163
8.4.1、圍埂或水盤灌溉影響因子及使用時機.....	163
8.4.2、水盤漫灌配置設計	164
8.4.3、漫灌之土壤濕潤型態.....	165
8.4.4、漫灌灌溉效率評估.....	168
8.5、噴灑及微噴灑灌溉	170
8.5.1、影響因子及基本資料.....	170
8.5.2、設計基本原則.....	172
8.5.3、管路水理設計.....	175
8.5.4、實例介紹.....	177
8.6、穿孔管及滴水灌溉	181
8.6.1、影響因子及使用時機.....	181
8.6.2、設計基本原則.....	183
8.6.3、水理設計.....	185
8.6.4、實例介紹.....	187
8.7、入滲率之觀念與試驗	188
8.7.1、入滲率之觀念.....	188
8.7.2、現場試驗實例及演算.....	191
8.7.3、入滲率圖解法.....	192

8.7.4、入滲率公式計算解法.....	193
8.8、參考文獻	195
第九章、灌溉效率	197
9.1、概述	197
9.1.1、前言	197
9.1.2、內容概要.....	198
9.2、灌溉效率之意義及其影響因子	198
9.2.1、灌溉效率之意義與分類.....	198
9.2.2、影響灌溉效率之因子.....	199
9.3、灌溉效率之計算與應用	201
9.3.1、系統的灌溉效率.....	201
9.3.2、其他常見之田間灌溉效率.....	204
9.4、結語	207
9.5、參考文獻	209
第十章、農田排水	211
10.1、排水之意義及需要	211
10.1.1、概述.....	211
10.1.2、排水之範圍.....	211
10.1.3、排水之功效.....	211
10.2、排水系統之分類及適用說明	212
10.2.1、一般分類.....	212
10.2.2、排水方式區分及管理權責.....	212
10.3、排水量之計算公式與計畫基準	214
10.3.1、農田排水量之計算公式.....	214
10.3.2、農田排水量計畫基準.....	219
10.4、不同類型之排水	221
10.4.1、地面排水.....	221
10.4.2、地下排水.....	223
10.4.3、機械排水(抽水排水).....	224

10.5、農田排水治理成效	225
10.6、參考文獻	226
第十一章、農地重劃	229
11.1、前言	229
11.1.1、農地重劃沿革	229
11.1.2、實施農地重劃原因	229
11.1.3、農地重劃相關法令	230
11.1.4、農地重劃辦理機關	232
11.2、重劃區農路系統與坵塊規劃	232
11.2.1、核定農地重劃原則	233
11.2.2、規劃設計之基本原則	234
11.2.3、區型規劃原則	234
11.2.4、農路規劃設計原則	236
11.3、重劃區灌溉水路系統	238
11.3.1、灌溉的目的	238
11.3.2、灌溉渠道佈置	239
11.3.3、灌溉系統設計	239
11.4、重劃區排水路系統	241
11.4.1、排水渠道佈置	241
11.4.2、排水量估算	242
11.4.3、渠道斷面之設計	242
11.4.4、生態工法之設計	243
11.5、農地重劃推動成果	245
11.5.1、各縣市農地重劃成果及變化	246
11.5.2、農地重劃之效益	246
11.6、參考文獻	249
第十二章、灌溉技術	251
12.1、前言	251
12.2、整地工程	251

12.2.1、整地工程應考慮因素	251
12.2.2、整地工程準備工作	252
12.2.3、整地工程設計	252
12.2.4、整地設計例-平面法	253
12.2.5、平面法計算例	254
12.2.6、整地工程施工	257
12.3、鹽分淋洗	257
12.3.1、含鹽水分由來	257
12.3.2、淋洗比值與淋洗水量	258
12.3.3、淋洗計算例	259
12.4、抽水機及抽水	261
12.4.1、概述	261
12.4.2、抽水機之種類與型式	262
12.4.3、抽水機常用基本名詞及特性	264
12.4.4、抽水機之選擇	266
12.5、迴歸水利用	268
12.5.1、概述	268
12.5.2、迴歸水定義及相關研究成果	269
12.5.3、迴歸水種類及產生原因	270
12.5.4、迴歸水利用應考慮因素	271
12.5.5、農業迴歸水利用實例	271
12.6、參考文獻	273
中英名詞對照	275

灌溉原理

Principles of Irrigation

圖目錄

圖 2-1 土壤的組成.....	15
圖 2-2 土壤的剖面.....	16
圖 2-3 粗質地土壤呈砂礫狀.....	17
圖 2-4 中質地土壤呈柔軟柔滑.....	17
圖 2-5 細質地土壤擠壓成一球形.....	17
圖 2-6 土壤結構.....	18
圖 2-7 一些土壤結構的例子.....	18
圖 2-8 水分滲入於土壤中.....	19
圖 2-9 相同水量供應於每一杯子.....	19
圖 2-10 水分已完全滲入砂土(一小時後).....	20
圖 2-11 入滲率為 15mm/hour 的土壤.....	20
圖 2-12 入滲率和土壤質地.....	20
圖 2-13 入滲率和土壤含水量.....	21
圖 2-14 150 mm/m 的土壤含水量.....	26
圖 2-15 土壤水分特性.....	27
圖 2-16 飽和含水量.....	28
圖 2-17 田間容水量.....	28
圖 2-18 永久凋萎點.....	28
圖 2-19 可利用的土壤水分或含水量.....	29
圖 2-20 地下水位.....	29
圖 2-21 地下水位深度的變化.....	30
圖 2-22 一暫棲地下水位.....	30
圖 2-23 水分向上移動或毛細管上升作用.....	31
圖 3-1 土壤水分特性曲線中各土壤水分與吸力 pF 值之相關示意圖.....	39

圖 3-2 土壤有效水分概念圖	41
圖 3-3 嘉南灌溉技術推廣中心試驗田塼質壤土土壤水分特性曲線	43
圖 4-1 臺灣歷年月平均溫度變化圖(1981 年~2010 年)	47
圖 4-2 臺灣六個百年測站年平均溫度變化趨勢(1915~2014 年)	48
圖 4-3 氣候變遷影響臺灣豐水年及乾早年發生頻率變化情形	48
圖 4-4 臺灣各地區年降雨量圖	49
圖 4-5 臺灣年降雨量、年逕流量及年利用總水量分佈情形	50
圖 5-1 玉米不同栽培期之耗水量比較圖	57
圖 5-2 春作大豆全生育期各項需水量消耗曲線	59
圖 5-3 固定式滲透計構造圖	59
圖 5-4 移動式滲透計構造圖	60
圖 5-5 簡易釣尺圖	61
圖 5-6 滲透筒觀測水稻需水量法	62
圖 6-1 流入、流出測定法	82
圖 7-1 電導度之換算圖表	106
圖 7-2 埤池水面面積及水容積之估算	128
圖 7-3 地下水層示意圖	132
圖 8-1 灌溉方法分類圖	139
圖 8-2 土地利用或作物耕種區分灌溉方法	142
圖 8-3 畦溝灌溉應用於玉米行栽作物	145
圖 8-4 田間長度及畦溝長度	147
圖 8-5 砂質土壤中深且窄之畦溝	147
圖 8-6 粘質土壤中寬且淺之畦溝	148
圖 8-7 雙田壟犁溝	148
圖 8-8 畦溝於不同土壤型態之不同濕潤型式	149
圖 8-9 理想之濕潤型態	149
圖 8-10 兩畦溝寬作物生長示意圖	150
圖 8-11 小流量時田壟乾燥情形	151
圖 8-12 水流太大土壤沖蝕	151

圖 8-13 水流前進示意圖.....	152
圖 8-14 水流退後示意圖.....	152
圖 8-15 小流量下水之分佈.....	152
圖 8-16 水流大之水分佈情形.....	153
圖 8-17 埂間灌溉示意圖.....	155
圖 8-18 埂間裡水流之斜坡流動.....	157
圖 8-19 水流太小之情形.....	158
圖 8-20 水流太大之情形.....	158
圖 8-21 埂間灌溉土壤水分、假比重、施灌效率及施灌水深關係.....	160
圖 8-22 砂質壤土埂間灌溉施灌水深、斷水距離及單位流量關係圖.....	161
圖 8-23 理想之濕潤灌溉型式.....	165
圖 8-24 接近邊界時灌溉水分分佈示意圖.....	166
圖 8-25 不良區域之濕潤型態.....	167
圖 8-26 水流不足時之濕潤型態.....	167
圖 8-27 缺量灌溉示意圖.....	168
圖 8-28 超量灌溉示意圖.....	168
圖 8-29 木樁間距 5m 佈置示意圖.....	169
圖 8-30 深層浸透損失曲線圖.....	170
圖 8-31 噴灑灌溉系統配置示意圖.....	172
圖 8-32 根系部分濕潤之滴灌系統.....	182
圖 8-33 滴灌系統田間佈置示意圖.....	183
圖 8-34 砂土及粘土於高低流量時土壤之濕潤型式.....	184
圖 8-35 圓筒法田間入滲試驗.....	189
圖 8-36 水池法田間土壤入滲率測定情形.....	190
圖 8-37 記錄表實例曲線圖.....	193
圖 9-1 系統中各種灌溉效率之關聯示意圖.....	202
圖 9-2 各種田間灌溉效率之比較.....	207
圖 10-1 灌排系統標準配置圖.....	213
圖 11-1 重劃前農地 1.....	233

圖 11-2 重劃前農地 2	233
圖 11-3 重劃後農地 1	233
圖 11-4 重劃後農地 2	233
圖 11-5 重劃規劃 1(中間給水型)	235
圖 11-6 重劃規劃 2(中間排水型)	235
圖 11-7 重劃規劃 3(中間給排水型)	235
圖 11-8 坵塊、單元區與經營區關係	235
圖 11-9 路寬未達 5 公尺農路不植栽	237
圖 11-10 路寬 5 公尺以上未達 6 公尺農路單側植栽	237
圖 11-11 路寬 6 公尺以上農路雙側植栽	237
圖 11-12 路寬 6 公尺以上農路並排交錯植栽	237
圖 11-13 屏東縣新東勢區農路碎石級配路面	238
圖 11-14 雲林縣車巷口區農路併行給排水路單側植栽綠美化	238
圖 11-15 雲林縣南光區農路雙側植栽	238
圖 11-16 重劃區之紀念碑綠美化	238
圖 11-17 雲林縣後溝子區重劃前地籍圖	238
圖 11-18 雲林縣後溝子區農水路規劃圖	238
圖 11-19 重劃區各輪區之灌溉系統(案例)圖	240
圖 11-20 重劃區各輪區之排水系統(案例)圖	243
圖 11-21 宜蘭縣十六結區四稜砂岩乾砌石排水路	244
圖 11-22 宜蘭縣雙和區排水路-箱籠及未封底	244
圖 11-23 宜蘭縣大湖(二)區漿砌石中排水路	245
圖 11-24 彰化縣草港尾區格框堆卵石中排水路	245
圖 11-25 雲林縣麥寮(一)區小排水路-渠底滲水孔	245
圖 11-26 桃園市新楊區小排水路-渠底滲水槽	245
圖 11-27 各縣市辦理農地重劃面積	246
圖 11-28 各縣市辦理農地重劃之區數	246
圖 11-29 歷年來辦理農地重劃效益圖	247
圖 12-1 應用平面法計算實例-田區佈置示意圖及行列平均高程	255

圖 12-2 應用平面法計算實例-挖填方數值第一次	256
圖 12-3 應用平面法計算實例-挖填方數值第二次	256
圖 12-4 輻流式抽水機	263
圖 12-5 混流式抽水機	263
圖 12-6 軸流式抽水機	263
圖 12-7 渦卷式抽水機	264
圖 12-8 輪機式抽水機	264
圖 12-9 抽水機揚程示意圖	265
圖 12-10 比速與葉輪之形狀示意圖	266
圖 12-11 抽水機特性曲線	266
圖 12-12 泵型式選定	267
圖 12-13 大義崙排水第一制水閘	272
圖 12-14 大義崙排水第一制水閘	272
圖 12-15 大義崙幹線灌溉系統圖	273

灌溉原理

Principles of Irrigation

表目錄

表 2-1 土壤礦物顆粒大小分類表.....	16
表 2-2 農民對土壤分類法.....	17
表 2-3 引力單位換算表.....	22
表 2-4 不同種類之土壤可利用含水量表.....	29
表 2-5 不同土壤質地毛細管水分上升表.....	31
表 3-1 各種土壤田間容水量、凋萎點及有效含水量.....	39
表 3-2 不同作物允許土壤水分消耗比例及根系深度.....	40
表 4-1 臺灣耕地、稻米及雜糧收穫面積統計表(民國 97~107 年).....	45
表 4-2 臺灣 17 個農田水利會灌溉面積(民國 105 年).....	46
表 4-3 臺灣歷年各事業標的用水情形.....	50
表 4-4 臺灣各地蒸發量統計表.....	52
表 4-5 臺灣各地區日照時數及日照率.....	53
表 5-1 氣象因數與作物蒸散量之關係(Briggs & Shantz).....	56
表 5-2 灌溉面積與減水深觀測點數之相關性.....	61
表 5-3 臺灣地區實驗所得一、二期作水稻 Kc 之值.....	66
表 5-4 臺灣各作物別之 Kc 值.....	67
表 5-5 臺灣各地區水稻需水量.....	68
表 5-6 臺灣各地區旱作作物需水量.....	69
表 6-1 水稻不同生長階段、土質之日需水量(田間需水量).....	83
表 6-2 民國 44 年第 1 期嘉南大圳中營水稻輪灌試驗成果.....	84
表 6-3 各種土壤滲漏水量.....	85
表 6-4 臺灣地區各農田水利會轄區耕作制度與面積統計(民國 107 年).....	86
表 6-5 灌區月別有效雨量.....	87
表 6-6 各區稻作栽培日程.....	87

表 6-7 各區稻作田間需水量估計.....	87
表 6-8 各區稻作之月田間灌溉用水量.....	88
表 6-9 各區稻作月粗灌溉用水量.....	88
表 6-10 春作作物灌溉次數與期距.....	92
表 6-11 秋作作物灌溉次數與期距.....	93
表 6-12 臺灣各水利會各級渠道之輸水損失率.....	95
表 6-13 逐日有效雨量計演算法(以嘉南農田水利會為例).....	98
表 6-14 有效雨量計算實例(嘉南學甲， $B_{max}=40$ ， $a=0.5$).....	99
表 7-1 臺灣灌溉用水水質標準.....	109
表 7-2 一般判斷灌溉水質摘要.....	110
表 7-3 各種灌溉水質施灌指南.....	110
表 7-4 臺灣地區各農田水利會灌溉水質受污染超過灌溉水質標準統計.....	113
表 7-5 臺灣地區重要河流長度及流域面積表.....	116
表 7-6 臺灣地區各區域年逕流量.....	117
表 7-7 各種地形之逕流係數表.....	117
表 7-8 臺灣 95 座公告水庫容量統計一覽表.....	119
表 7-9 經驗公式法 C 值.....	125
表 7-10 m 值之建議值.....	126
表 7-11 水庫標高-面積-容量曲線表.....	127
表 7-12 臺灣各地之地下水源分布區位.....	129
表 7-13 抽水機性能.....	129
表 8-1 不同坡度、土質、水流及純灌溉水深條畦溝長度之最大經驗值.....	147
表 8-2 建議埂間灌溉田埂的最大長度與寬度.....	157
表 8-3 機耕與牛耕各不同土質與作物埂間灌溉最適灌溉因子表.....	161
表 8-4 坵塊形狀一般標準表.....	163
表 8-5 盤灌或梯田寬度之概略值.....	164
表 8-6 不同土壤質地與引灌水量下之灌區面積.....	165
表 8-7 各種土質土壤水分常數及每呎土層蓄積水深.....	171
表 8-8 各種土質之基本入滲率.....	171

表 8-9 豎管高度及管徑.....	176
表 8-10 乾燥地區滴嘴均勻度之設計標準.....	185
表 8-11 計算支管摩擦損失時之流量校正因子.....	186
表 8-12 不同種類土壤基本入滲率.....	189
表 8-13 各種入滲率測定方法其設備與適用灌溉方法一覽表.....	191
表 8-14 記錄表說明.....	192
表 8-15 入滲率記錄表.....	192
表 8-16 入滲率公式解法演算表.....	194
表 9-1 烏山頭灌區施灌效率試驗值.....	208
表 9-2 地表灌溉一般田間之施灌效率.....	209
表 10-1 灌溉排水系統管理工作劃分表.....	214
表 10-2 各級灌排設施管理程式表.....	215
表 10-3 富貴角等 15 站各頻率別一、二、三日及年雨量.....	217
表 10-4 旱田之表面逕流係數(茶野忠夫).....	218
表 10-5 各種流域狀況下之表面洪峰逕流係數.....	218
表 10-6 臺灣地區排水設計流量歷史沿革整理一覽表.....	220
表 10-7 逕流係數 C 值之選擇參考表.....	221
表 11-1 歷年政府推動土地改革之重要政策.....	231
表 11-2 農地重劃相關法規.....	231
表 11-3 農地重劃相關辦法及規定.....	232
表 11-4 臺灣地區辦理農地重劃統計表.....	248
表 11-5 臺灣歷年農地重劃之型態案例.....	249
表 12-1 鹽分累積影響之土壤分類.....	258
表 12-2 泵之口徑與效率.....	265
表 12-3 三相感應電動機於 60HZ 之轉數.....	265
表 12-4 大義崙幹線灌溉實際取水量紀錄(106 年至 108 年 1 期為例).....	272

第一章、前言

1.1、灌溉排水意義

植物的正常生長，有賴於若干維持正常之必要條件；如水分、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，水分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，此乃灌溉排水之基本意義。

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追求作物之增產外，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畫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畫，勢無成功之可能。

一項灌溉排水計畫完成後，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(ICID)1972年將 Irrigation 與 Drainage 二字合為 Irrinage，其意義甚為深長。

1.2、灌溉排水之目的與其重要性

1.2.1、灌溉之目的

灌溉之主要目的，在於供給作物生長必要的水分，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，有效水分增加，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，使土壤含鹽濃度逐漸降低，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，粉粒及黏粒含量極微，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。

1.2.2、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：

- 1.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。
- 2.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，若土中水分過多，作物成熟延遲，此種現象加以排水改善，功效顯著。
- 3.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。
- 4.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，可吸取下層土壤水分，保持生長，淺根易受旱害。
- 5.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。
- 6.土壤空氣流通：土壤中積水排除，空氣透入土粒間隙，供給作物根部生長所需的氧氣。
- 7.更新水分：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。
- 8.肥料分解土壤風化：地溫高而空氣流通，促進氧化作用，土壤風化易，好氧性細菌活躍，促進肥料分解，易為作物吸收。
- 9.化學作用：土壤水分過多，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。
- 10.便利耕作：濕地土壤粘結，中耕除草困難。
- 11.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。
- 12.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。

1.2.3、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(drainage facility)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，臺灣瘧疾之絕跡，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，臺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(Field drainage)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，目前有部分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，以及家庭汙水之排除，往往均利用灌溉渠道(irrigation canal)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。以臺灣地區而論，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.在工業併用輸水之情況下，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，輸水性質不佳，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

農田水利會在臺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(irrigation

group)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。

此三種影響均增加農業生產，提高農民所得，同時亦帶來農村繁榮。

1.3、臺灣灌溉簡史

臺灣的「農田水利事業」，始於 17 世紀，迄今約有 400 年歷史。「農田水利事業」亦稱為農田灌溉排水事業，兼備生產、生活及生態等三生功能，為維繫農業永續經營所必需的事業。臺灣光復初期面臨著一系列的問題，在經濟方面，由於受到戰火的摧殘，工業廠礦毀壞過半，電力設施處於半癱瘓狀態，農田水利、交通運輸體系也都受到不同程度的破壞，生活物資嚴重匱乏。1945 年(民國 34 年)，農業就業人口約佔就業總人口的 46%，但稻米生產量卻只有 64 萬噸，比全省最低消費量還少 22 萬噸，糧荒問題凸顯；工業生產方面，發電量以及肥料、水泥產量都只達以往的 1/3。可謂生產衰退、百業凋敝，人民生活水平顯著下降。為供應人民充裕糧食，恢復農業生產是戰後臺灣經濟重建的重點，一方面確保百姓免於飢餓，另一方面亦為工業發展奠基，爰此，農業與產業的關係可說密不可分，農田水利事業之推動更攸關農業與產業之發展與穩定社會環境之重要基石。

臺灣灌溉事業演進及農田水利會組織發展，近 400 年歷史大致可分為元明清時期、日本統治時期及臺灣光復後迄今，三大重要階段(行政院農業委員會，2004)，詳〔「灌溉管理學」第一章灌溉組織與制度〕之專章撰述。

1.4、灌溉排水未來之研究發展

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，目前臺灣雨量豐沛，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。加之臺灣地處亞熱帶，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，灌溉排水之研究發展，必須自行擬定一定方針，逐步實施。

本省光復後之灌溉研究自推行輪流灌溉開始，在臺灣各地設試驗站，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，如臺灣糖業研究所從事甘蔗灌溉試驗已有 20 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 17 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，可體會某問題之關節所在，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。

本節撰述臺灣灌溉排水之研究發展，其主要目的乃將以上已進行之工作作整體之敘述，分門別類。因灌溉排水非一單純問題，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。使讀者瞭解臺灣灌溉環境及如何可將臺灣之農田水利達完善之境地。

1.4.1、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。因此為達臺灣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。

1.4.2、灌溉排水之未來展望

農田水利會維護管理之農田水利灌溉排水渠道總長度約 7 萬公里，遍布農村各地，除了灌溉排水功能外，蜿蜒縱橫的渠道，構成農村特有的景觀及孕育生物多樣性的優良環境。農田水利會擁有龐大的土地、人力、技術、設施及水資源，應有能力在農田水利相關事業，與維護環境的永續發展等面向做出重大的貢獻。

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、施肥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，必須由廣義之灌溉排水來配合。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。加以臺灣工商業漸發達，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，茲將灌溉排水未來亟需持續戮力研究之方向歸納如下：

一、強化農業水資源之調配及灌溉管理

(一)加強農田水利三生功能，創造農業永續經營願景

落實農業三生之用水政策，持續發揮並提升水稻田對環境保育之功能，兼顧水土資源永續利用之保育目標，積極維護既有水源之取水、蓄水設施，有效掌控水量及保護水質，加強更新改善老舊農田水利設施，建立有效活用農業用水機制與現代化管理技術，提升用水效率及效益。

於豐水期，善用水田及既有灌溉輸水系統，推廣水田生態環境維護及保育，促進水循環，提升蓄水調洪及補注地下水功能。於亢旱期，推廣節水措施，減低農業用水缺水損害，並活用有限之水資源，適時支援民生用水及工業用水，共度缺水難關，創造水資源之總體效益。

(二)健全灌溉管理制度，提升農田水利配水營運技術

灌溉用水因具生產、生態及生活等三生水源功能，應以正常灌溉需水量131.9億立方公尺為計畫目標量(農業灌溉白皮書，2017)，兼顧生產、生態及生活等三生功能，經常加強設施維護及更新改善，普設量水設施精準量水，維護水源水量及水質，儘量多用河川逕流水，節約水庫用水。

灌溉用水策略，於豐水期與枯水期分別採取不同策略，豐水期，河川灌溉水源不虞缺乏其他標的亦不缺水時，可採充分灌溉以兼顧水田生態環境維護；甚至利用休耕水田蓄水補注涵養地下水。於乾旱期，因可供水源有限，則需加強灌溉管理、實行輪流灌溉等節水措施，以因應乾旱用水之不足。如需因應民生用水、工業用水之調配，通常係發生在乾旱時，農業本身亦是在用水不足狀態，因而不得不採休耕或轉種少耗用水之旱作方式，以減少灌溉面積，暫時犧牲農業生產來節水支援。為因應未來精緻農業需求，對於旱作灌溉，考量水源之取得不易，則採行省水之噴灌、滴灌方式。

(三)推動旱作灌溉與現代化管理

未來水稻田轉為旱作之面積將逐漸擴大，旱地旱作集約栽培面積亦逐漸增加。未來管路灌溉發展趨勢，為朝多目標自動化灌溉系統方向發展，結合噴施灌溉水、噴藥及施肥作業之多目標利用功能，並以自動化灌溉設備，使管路灌溉能依適時、適量原則，充分提供作物所需水分及肥分。

(四)應用農業科技新知，整合建置大數據之智慧化灌溉決策系統

結合灌溉管理、地理、地籍、水文等資訊及善用科技建構一智慧灌溉決策系統，是國際灌溉研究與發展之重要趨勢，亦即將水文、輸水系統及田間監測資料透過資訊平台之智慧化灌溉決策系統即時發布。水文監視與灌溉管理不再侷限於機房內，而能隨時隨地經由網際網路及物聯網(IoT)操作管理與新增遠端操控攝影功能，使水文監控結合全球網際網路之基本系統架構更趨完整。

(五)加強農田水利灌溉水質監測管理，維護農業生產環境

灌溉水質管理維護工作，涉及層面相當廣泛，近年來農委會、環保單位、水利單位、農田水利會及縣市政府等相關單位，均持續推動水污染防治與管理工作，以維護農民及農產品消費者的權益，落實維護農民權益的核心價值。

(六)建立農業用水調配有償移用制度，活用農業水資源

新水資源開發不易，對農業用水形成「競爭使用」之壓力，政府遂常要求農業灌溉用水支援民生及工業用水。水資源使用，具有時間及地區之特性，在民生用水、工業用水不敷使用而須農業用水扮演救援或備援用水角色時，應先由需調用水者提出需水之時間、地點及水量之條件，再由農田水利會研議配合。農田水利會當主動運用其豐富之水管理技術、灌溉系統及現代化管理設備，詳細瞭解水文動態情況後作總合調整，調度水庫(reservoir)、埤塘、河川、地下水等水源，並由農糧主管機關協調農民配合適時採取轉作或部分停灌休耕措施，以節餘灌溉用水，期使農業三生功能之損害降至最低，並有助於減低補償費支出，發揮互助互補功能。

(七)加強辦理水利會蓄水、取水等灌溉設施改善，以提升供水能力

臺灣地區 17 個農田水利會大部分灌溉水源，是以河川取水為主，取水量約為 90 億立方公尺，如欲以增加取水量來擴大供水服務層面做法，則所調查具有開發潛能之農業灌溉設施取水口有 131 處，經統計豐枯水期原有渠道最大可能提升供水能力之水量約為 117 億立方公尺，其中水質合乎灌溉用水水質標準者，其水量約為 115 億立方公尺，該水量是否合於民生或工業用水之水質需求，仍須進一步評估(林尉濤，2003)。臺灣地區水文現象豐枯懸殊，豐水期各標的用水大多無缺，惟在枯水期非但民生及工業用水不足，即使農業用水亦經常因遇乾旱而導致農地停灌休耕；因此，如何藉由蓄水、取水等灌溉設施之改善，以提升枯水期灌溉供水能力，乃為灌溉排水未來之研究重點。

(八)加強運用區域多目標之替代水資源，減緩水匱乏衝擊

未來各標的用水之間，可建立夥伴關係，合作增闢新水資源。農田水利會運用灌溉管理知識及技術，平時即採節水策略措施，優先使用河川水源，提升降雨量之有效利用率及河川水源之利用率，可減少由水庫供應之水量，將節省之水量寄存水庫，備為缺水時調整支援其他標的用水之需。

二、加強農田水利建設

(一)加速農田水利設施更新改善，維護灌溉排水系統功能

農田水利設施除提供農田灌溉排水、減低旱澇災害等功能外，尚具有穩定糧食生產、強化生態環境保育、改善農村生活品質之效益，與農業發展及農民福祉之關係密不可分，為農業永續經營不可缺少之重要一環。持續推動農田水利工程建設，提升農田水利設施之取水、蓄水、輸配水及排水效能，減少農業用水輸送滲漏，有助於國家整體水資源之運籌及有效利用。

(二)廣續推動農地重劃及早期農地重劃區農水路更新改善

農地重劃推動方式，以農村發展為導向，以農民需要為優先，與農村社區土地重劃若場域相鄰者，將配合辦理先期規劃作業，有助於村里聯絡道路、農路、灌溉排水路及公共集散設施等整體規劃與設計，並結合當地產業文化及生態、生活特殊環境，塑造當地之三生特色，以促進當地農村之發展。

(三)提升農田水利工程規劃設計技術，落實工程品質管理

運用現代化資訊科技，整合農田水利工程規劃、設計、招標、施工管理作業，建構共同資料庫、電子化流程、網際網路化之工程資訊運籌管理平台。透過地理資訊系統、決策支援系統提供農委會及農田水利會管理所需之資訊，提升工程技術水準，推動農田水利會工程管理作業資訊化、標準化、制度化，並加強品質管理之督導。

(四)推動農田水利設施生態工程，發揮農田水利三生功能

推動農田水利會生態試辦工程，建立農田水利生態工程效益評估模式，加強本土化生態工程技術及材料之研發，編製生態工法技術規範及標準圖籍，以利加速農田水利工程全面推動生態化。在設施構建過程中，考量營造農田水利設施之親水空間及美麗的水環境，善用既有農田灌溉埤池、圳路及水資源，在水邊空間加以綠化、美化，創造休閒遊憩之親水空間及優質水環境景觀，強化農田水利建設在農村觀光方面之附加價值，發揮農業三生功能。

三、灌溉排水之綜合規劃

臺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。臺灣常有一個通病，大家均重視灌溉而忽視排水，事實上，臺灣地處亞熱帶，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，已呈過多。民國 43 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，臺灣非但雨量多，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 43 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。

依據臺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。二者應並重，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分，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，將來如在臺灣各地普遍應用，尚待進一步研究推廣。

四、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，本節所提均係將來灌溉排水及灌溉排水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。

1.5、參考文獻

1. 七星基金會、農業工程研究中心，農田水利訓練教材，1998。
2. 甘俊二等，灌溉用水管理訓練手冊，行政院農業委員會、臺灣省農田水利會聯合會、中國農業工程學會，1999 年 6 月。
3. 行政院農業委員會，灌溉排水營運管理，2003。

4. 行政院農業委員會，臺灣灌溉史，2004。
5. 行政院農業委員會，「農業灌溉白皮書暨農業灌溉用水問題集」，2017。
6. 行政院農業委員會，「提升灌溉用水效率策略規劃」，2017。
7. 行政院農業委員會，「農田水利會組織體制變革制度設計及配套措施規劃」，2019。
8. 李源泉，灌溉管理，嘉義大學，1993 年 10 月。
9. 林尉濤，農業水資源調配及乾旱因應對策，2003。
10. 吳進鋁，臺灣農田水利事業演化之研究，文化大學實業計畫研究所博士論文，1993 年。
11. 施嘉昌、曹以松、徐玉標、甘俊二，灌溉排水原理，中央圖書出版社發行，1982。
12. 施嘉昌，排水工程，大中國圖書公司印行，1988 莊精銳，灌溉管理，1971。
13. 張建勛、蔡明華，灌溉與排水，中國土木水利工程學會編行，1985。
14. 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，臺灣省農田水利會聯合會，1994 年 6 月。
15. 陳買等，水稻栽培灌溉排水管理，中國農村復興聯合委員會、臺灣省水利局、臺灣省農田水利協進會，1977 年 12 月。
16. 馬家齊、魏郁婷、吳瑞賢，因應氣候變遷調整稻作停灌決策時間對水庫用水管理的影響，農業工程學報，第 62 卷第 2 期，pp.27-39，2016。
17. 農田水利聯合會，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。
18. 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。
19. 農田水利聯合會，農田水利會圳路史(一)、(二)，1998 年 10 月。
20. 農業工程學會，農田水利會之灌溉排水維護及管理訓練推廣計畫，1999。
21. 農復會，臺灣之水稻灌溉，台大農工系合編，1970。
22. 臺灣省文獻會，重修臺灣省通志，卷四經濟誌水利篇，1992 年。
23. 臺灣省文獻會，臺灣地區水資源史，2001 年。
24. Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 1-Introduction to Irrigation.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
25. Juan Damian, Marques Fong, Tsugiyuki, Masunaga, Kuniaki Sato,

Assessment of the influence of water management on yield component and morphological behavior of rice at post-heading stage, *Paddy Water Environ.*, Vol. 14:211–220, 2017.

第二章、土壤與水分

2.1、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，孔隙內則充滿著水分，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 2-1)。

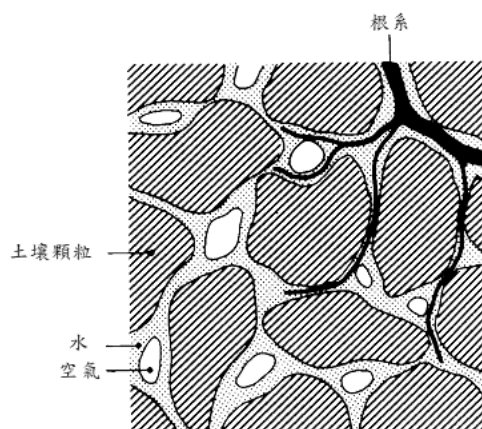


圖 2-1 土壤的組成

2.1.1、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 2-2)。

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。

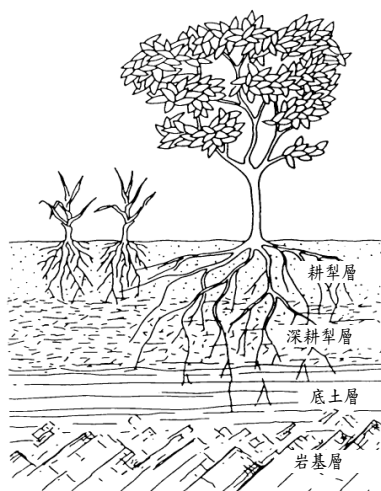


圖 2-2 土壤的剖面

- 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)。

2.1.2、土壤質地

土壤的礦物顆粒常以其大小而分類如下：

表 2-1 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	1~0.02	容	易	地
粉	土	0.02~0.002	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，如圖 2-3 所示之粗質地土壤呈砂礫狀，即使是潮濕土壤在手上感覺很疏鬆、分散；如圖 2-4 所示之中質地土壤在乾時感覺很柔軟(像麵粉)，在潮濕時感覺是很柔滑；如圖 2-5 所示之細質地土壤，在潮濕時會黏附於手指間，擠壓時將形成一球形。

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。因土壤的質地是不變的，農民是無法去變更或改變它。

表 2-2 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



圖 2-3 粗質地土壤呈砂礫狀



圖 2-4 中質地土壤呈柔軟柔滑



圖 2-5 細質地土壤擠壓成一球形

2.1.3、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 2-6)。

基本的團粒結構型態如圖 2-7 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，巨大結構會阻礙水分的進入；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，水分就容易進入，種子發育得很好。

在柱狀結構，因水分在土壤中主要是垂直的流動，所以供應到根系的水分通常是很少的。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。

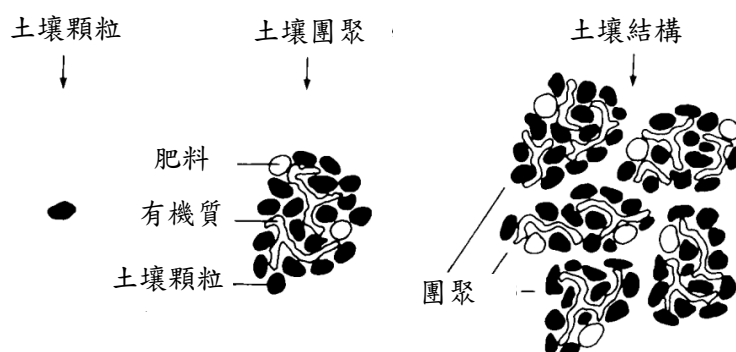


圖 2-6 土壤結構

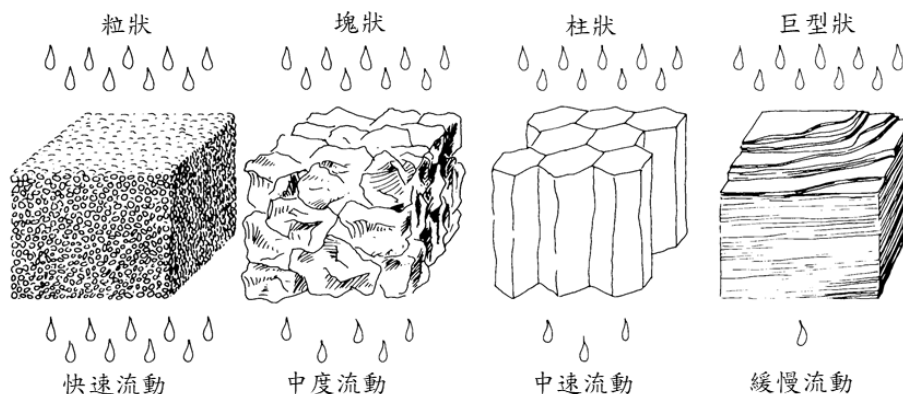


圖 2-7 一些土壤結構的例子

2.2、水分滲入土壤

2.2.1、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，水分滲入土壤之情形。土壤變濕時，顏色將變暗(見圖 2-8)。

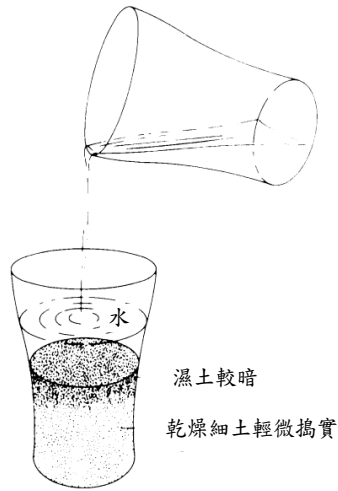


圖 2-8 水分滲入於土壤中

2.2.2、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 2-9 和圖 2-10)。水分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)。土壤的入滲率是水分進入土壤的速度，它通常以 1 小時中，土壤能吸入水分的深度測量。如入滲率為 15mm/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 2-11)。

入滲率的高低範圍，如下所示：

低入滲率 < 15 mm/hour

中入滲率 15~50 mm/hour

高入滲率 > 50 mm/hour

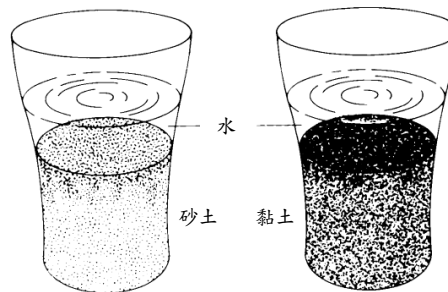


圖 2-9 相同水量供應於每一杯子

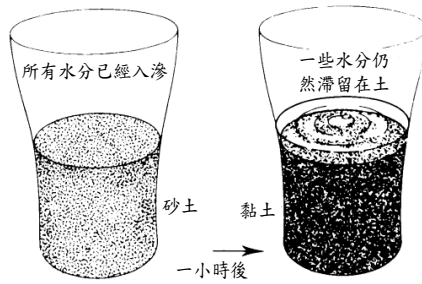


圖 2-10 水分已完全滲入砂土(一小時後)

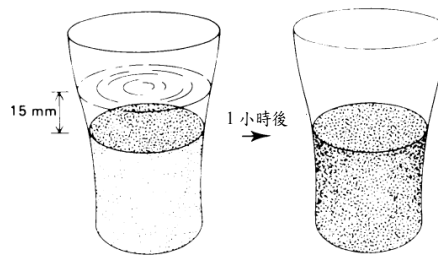


圖 2-11 入滲率為 15mm/hour 的土壤

2.2.3、影響入滲的因素

土壤入滲率，影響因素有的可能是不變的如土壤質地，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 2-12)。在粗質地土壤，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，花費較少時間，換言之，粗質地土壤入滲率是高於細質地土壤。

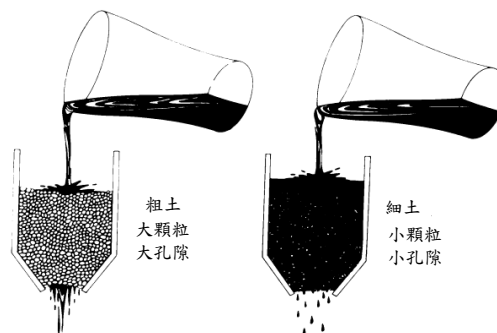


圖 2-12 入滲率和土壤質地

當土壤是乾時，水分入滲比土壤是濕的(見圖 2-13)更為快速(較高入滲率)。因此，當灌溉水施灌於田間時，剛開始水分容易入滲，但當土壤變濕時，入滲率則變慢了。

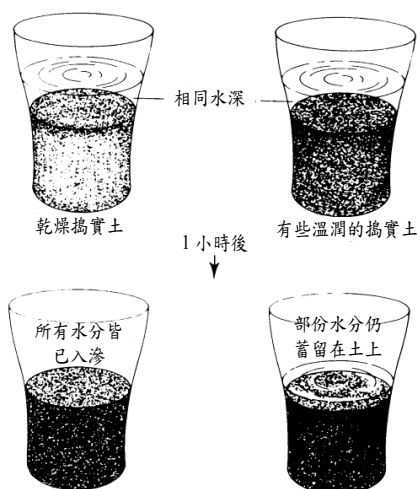


圖 2-13 入滲率和土壤含水量

2. 土壤結構

一般而言，水分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。

2.3、土壤水分

一般而言，水稻灌溉時，土壤水分是屬飽和狀態或過飽和狀態，而旱作灌溉依目的而言，係維持土壤水分在有效水分範圍內，以利作物根部吸收，為免浪費水，所灌溉的水量以不超過田間容水量為原則。所以旱田灌溉時，土壤水分是屬不飽和狀態的。茲將土壤水分之一般性質加以闡述。

2.3.1、土壤對水的吸引力

土壤中之水分是存在於土壤孔隙中，亦即存在於固體顆粒外圍，因此常被固體粒子表面的引力所吸住，這是一種物理的引力，引力之大小依水分固體粒子表面的距離而異。靠近粒子表面最近的位置引力最大，常被吸住成為不流動的水，植物也不能攝取。距離粒子表面稍遠的位置引力較小，水雖被吸引存於孔隙中，但尚能在孔隙內移動，植物也能攝取而利用之。距粒子表面更遠的位置引力更小的至於全無，水常不被吸住而能自由向下滲漏，穿過

土壤進入地下水層內。

引力大小的計算，可用土壤固體物質每一單位面積上所發生的吸力大小而計算之。力的計算單位可用大氣壓表之，也可用無大氣壓相當的其他數值表之。例如一個平方公分面積上的一個大氣壓約等於 1000cm 水柱高度之壓力，換言之，即 10^3 cm 水柱高度壓力，其對數為 3，此對數值稱為 pF 值，即 1 氣壓的引力相當於 pF3，下表即引力單位的換算表(表 2-3)。

表 2-3 引力單位換算表

氣壓作引力的單位	相當於 1cm ³ 之水柱高度	相當的 pF 值
1/1000 (Pa)	1 cm	0
1/100	10	1
1/10	100	2
1/3	346	2.54
1	1,000	3
10	10,000	4
15	15,849	4.2
31	31,623	4.5
100	100,000	5
1,000	1,000,000	6
10,000	10,000,000	7

2.3.2、土壤水分之種類

土壤水分可分為下列 6 類：

1. 化合水或結晶水：為土壤固體構成之一，雖加熱至 100°C~110°C 仍難使其分離，化合水與作物之生育無關。

2. 吸着(濕)水(hygroscopic water)：為風乾土在常溫大氣中，在土粒的表面上所吸着的一層很薄水膜，緊緊包在每顆土壤的表面上，所以單位體積內土粒總表面積的黏土，吸着水量較大而砂土較小，吸着水普通在常溫下不能蒸發，若在 100°C~110°C 下加熱才能除去，作物對此種水分亦無法吸收。

3. 膨潤水：為由於土壤膠質粒子面之離子滲透壓而吸收保持於土粒面之水分，它於土粒的關係位置尚在吸着水的外層，它與作物生育無關。

4. 毛管水(capillary water)：為土粒間孔隙中由水的表面張力所保持的水分，它能在吸濕(着)水膜外形成一種水分，不受吸濕(着)水作用，並能抵抗

地心引力而保持在粒子間的孔隙中，所以它能在常溫下蒸發，更能抵抗重力向上流動，一直到毛管力達到平衡狀態時為止。但這時由於毛管水上面經常持續在緩慢蒸發，不斷地被破壞，又使毛管水經常在繼續上升，並向乾土壤方面移動。毛管水為作物生育有效水分，為吸濕(著)水外側另一層水分，即吸著水與外界水互相吸引，充滿在毛細管內，承受外力在 $31\sim 1/3$ 大氣壓間，大部分水分可供植物利用之有效水分，存在細孔隙中保持及移動之水分。

5.重力水(gravity water)：為毛管力所不能保持而受重力作用向下移動之土壤水分，其下降速度之快慢，視土壤之構造及性質、粒子和外壓力的大小以及溫度的高低諸因子而定。一般而言，團粒構造之土粒，砂質多粒子大的土壤重力水下降速度快，而外壓力增加和溫度上升亦能影響下降速度之增加。重力水下降速度緩慢之黏重土壤，土壤中常保有過多之水佔據土壤孔隙不易排除，阻礙空氣流通，形成低溫濕地，致使作物根部呼吸困難而阻礙其生長，此種土地多需排水，方能徹底改良。重力水所承受引力為 $1/3\text{atm}$ 以下之水分稱之，此水分在土壤中不易保存，因為超量水，植物亦無法利用。

6.水蒸汽：係含於土壤孔隙中間，僅以蒸汽壓差而移動，對於作物生育無直接關係。

2.3.3、土壤水分含量的表示法

1.濕土重為基準之表示法：土壤中水分含量佔原有濕土重之百分比，即

$$\theta_{ww} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2-1)$$

其以乾土為基準兩者間之關係是為

$$\theta_{ww} = \frac{\theta_{dw}}{1+\theta_{dw}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-2)$$

2.乾土重量為基準之表示法：土壤中水分含量佔該土重之百分比

$$\theta_{dw} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(2-3)$$

其以濕土重為基準兩者間之關係式為

$$\theta_{dw} = \frac{\theta_{ww}}{1-\theta_w} \times 100\% \dots\dots\dots(2-4)$$

上式中，A：濕土重；B：乾土重； θ_w ：水分含量百分比； θ_{ww} ：濕土重為基準之水分含量； θ_{dw} ：乾土重為基準之水分含量。

3.容積比之表示法：土壤中含水量之體積，佔土壤總體積之百分比。如

測定土壤樣本之假比重(Bulk density)已知時，可由重量法求得其容積比，換算之關係式如下。

$$\theta_v = \left(\frac{D_b}{D_w} \right) \theta_{dw} = D_b \theta_{dw} \dots \dots \dots (2-5)$$

式中， θ_v ：容積比之土壤水分含量； D_b ：假比重； D_w ：水的密度(=1)； θ_{dw} ：重量比之土壤水分含量。

4.土壤飽和之表示法：土壤中之水分含量佔土壤飽和時之水分含量重量百分比。

$$\theta_s = \frac{M_w}{M_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2-6)$$

式中， θ_s ：土壤水分飽和度(%)； M_w ：土壤實測之水分含量佔乾土重百分比； M_s ：土壤在飽和狀態下之水分含量佔乾土重百分比。

5.有效性水分含量表示法：土壤實測之水分含量(重量比)減去永久凋萎係數後之水分含量，以田間容水量減去永久凋萎係數後之水分含量兩者之間，前者佔後者水分含量之百分比。

$$\theta_{AV} = \frac{M_s - PWP}{F_c - PWP} \% \dots \dots \dots (2-7)$$

式中， θ_{AV} ：土壤有效性水分含量百分比； M_s ：土壤實測之水分含量重量比；PWP：永久凋萎係數； F_c ：田間容水量。

2.3.4、土壤水分含量之位能表示法

土壤保持水分所需要之能量，亦即土壤保持水分之能值，可從土壤中抽出(Suction)該水分所需之「力」表示，一般採用氣壓或 pF 值兩種：

(1) 1 大氣壓(20°C)=1031×10 達因/平方公分

=14.71	磅/吋
=76.39	水銀柱高公分數
=1036	水柱高公分數
=34.01	水柱高呎數

(2) pF 值：土壤從水分完全飽和開始至近於完全乾燥為止，其氣壓介於 0~10000 之間，因數值表示不便，故以毛管水柱高公分數之對數表示之，即

$$pF = \log_{10} H \dots \dots \dots (2-8)$$

式中，pF：土壤水分張力值；H：水柱高(cm)。

例如：土壤中水分含量，當用相當於水柱高 100 公分高時之力，方可逐出土壤中某一部分水分，即土壤中含水量之保持能值為 $pF = \log_{10} 100 = 2$ ，若其力相當於水柱高 1000 公分高時， $pF = \log_{10} 1000 = 3$ ，因此， pF 等於 7，即表示該土壤保持水分之能值相當於在 10,000,000 公分，或 10,000 巴。

2.4、土壤水分常數

1.吸濕(著)係數：風乾土放置於 25°C 時之水蒸氣近於飽和的空氣中，使自此潮濕空氣中充分吸取水分，直到吸水達到飽和為止。此時土壤所含水量，以烘乾土含水百分率計算，稱為吸濕(著)係數。此水量實為土壤吸着水之全量，亦為土壤能容納吸着水的容量。

2.凋萎係數：土壤水分少到植物開始不能攝取而呈凋萎，此時之水量以烘乾土含水百分率計算，稱為凋萎係數，亦稱為植物生長的臨界點。此時土壤中殘留的水量為植物生長的臨界水量，不再能被植物所利用。所以凋萎係數是代表土壤中無效水分的總量，此量稍大於吸濕(著)係數。約等於全部吸着水加上一部分微管水。此部分微管水所承受的引力為 31~15 氣壓($pF 4.5 \sim 4.2$)，土壤對水的引力達到 15 氣壓($pF 4.2$)時，植物即不能攝取。

吸着係數與凋萎係數，雖依土壤之種類不同而有差異，但在各種土壤中，兩者比率值很相近。即

$$R = \text{吸濕(著)係數} / \text{凋萎係數} \approx 0.67 (\text{平均值}) \dots \dots \dots (2-9)$$

或，凋萎係數 = 1.5 吸濕(著)係數。

凋萎係數以下之水分含量因作物不能吸收利用，所以稱做無效水分。土壤中無效水分之多少對灌溉開始期的判定很有幫助。有機質多的土壤凋萎係數甚大，例如含有機質達 80% 之泥炭土，其凋萎係數可能近於 100%，一般礦物的凋萎係數常依土壤質地而異，砂質土小，黏質土較大。

3.田間容水量：一塊排水良好的土地上，經過大雨或經充分灌溉後，用覆蓋物把地面蓋好以防止蒸發，經 2~3 天讓重力水充分滲漏下去，採取表土測定水量，此水量以烘該土含水量百分率計算，稱為田間容水量。

田間容水量為全部吸着水及全部微管水的含量，也就是代表土壤能夠容納，或保持全部吸着水及微管水的總容量，此部分水的承受最低的引力為 1/3 氣壓($pF = 2.54$)。

$$(\text{田間容水量}) - (\text{吸濕(著)係數}) = \text{微管水總量}$$

$$(\text{田間容水量}) - (\text{凋萎係數}) = \text{有效水分總量}$$

在凋萎係數與田間容水量之間的水(引力 1/3 至 15 氣壓),即 pF(2.54~4.2) 為在微管孔隙內能移動之水,且為植物可利用水,故為有效水分。

4.水分當量:水飽和的濕土,用相當於 1000 倍地心引力的離心力(每分鐘 2440 轉,共轉動 40 分鐘)以驅除其中之水,再測定土中所持未失的殘餘水量,以烘乾土含水百分率計算,此水量稱為水分當量。水分當量以田間容水量的數值極相近,所以常以水分當量的測定式替田間容水量。

5.最大容水量:最大容水量或稱飽和含水量,為土壤全部空隙為水所充滿之水量,而以烘乾土含水百分率計算之。此水量實為全部吸着水,全部微管水及全部重力水之總量,亦代表土壤能夠容納各種水的總容量。

最大容水量=(全部吸着水)(全部微管水)(以上土壤水全部重力水)

2.5、土壤含水量

土壤含水量指出當前在土壤中的水分含量。土壤含水量普通的表示法為在 1 m 深土壤中所含的水分量。例如:當在 1 m 深土壤中含有 150 mm 深的水分,那土壤的含水量為 150 mm/m(見圖 2-14)。

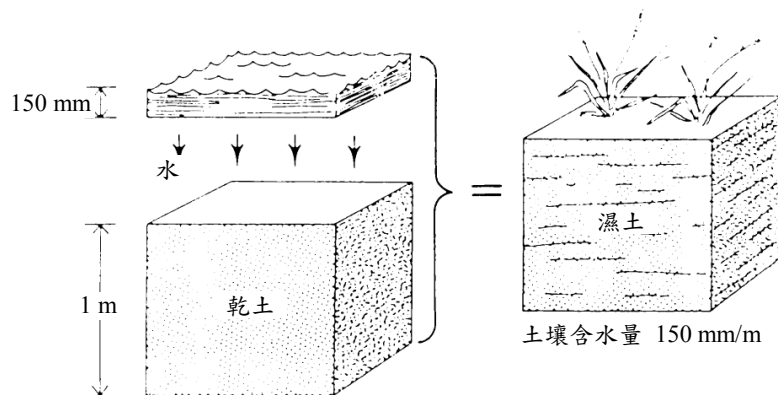


圖 2-14 150 mm/m 的土壤含水量

土壤含水量亦能以體積百分比表示,如以上例,1 m³ 土壤(有 1 m 深,1 m² 的表面積)含有 0.15 m³ 的水分,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:蓄存在土壤的水分並不是一定值,而是會隨時間而變化。)

2.5.1、飽和含水量

一場驟雨或灌溉期間，水分將填滿土壤孔隙。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 2-15a)。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，水分將在手指間流出。

植物在土中需要空氣和水分，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，在較大孔隙的部分水分將會向下移動，這過程稱為排水或滲漏。

水分從孔隙中排出後，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。

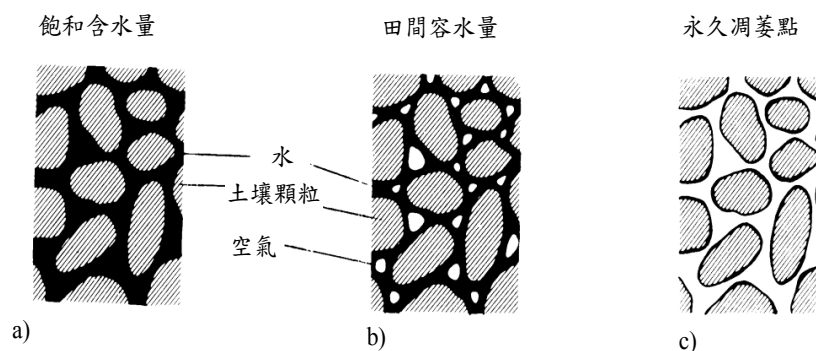


圖 2-15 土壤水分特性

2.5.2、田間容水量

當水分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，所存在土壤最大水分量。故

田間容水量(Field capacity)=土壤飽和含水量－土壤重力水

2.5.3、永久凋萎點

儲存在土壤中水分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。假如沒有外加水分供應到土壤中，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，吸收的水分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(Permanent wilting point)。此時土壤中雖仍含有一些水分，但它無法被根系從土壤中吸取。

2.5.4、可利用土壤含水量

土壤能夠比擬成一植物蓄水庫，當土壤是飽和時，蓄水庫是滿的。不過，在作物能夠使用前，根區以下水分會快速排去(如圖 2-16)。當水分已被排去，土壤處於田間容水量。作物根系從蓄留在蓄水庫吸取水分(如圖 2-17)。當土壤達至永久凋萎點時，蓄存水分就無法被作物所使用(如圖 2-18)。

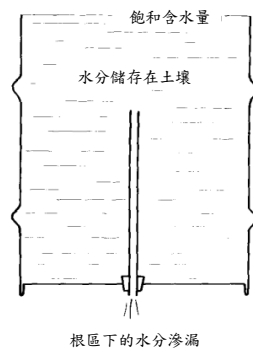


圖 2-16 飽和含水量

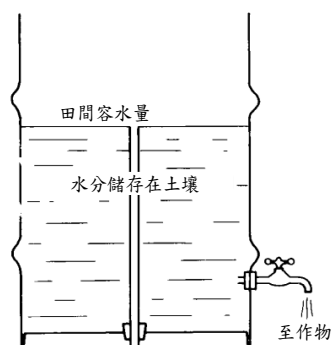


圖 2-17 田間容水量

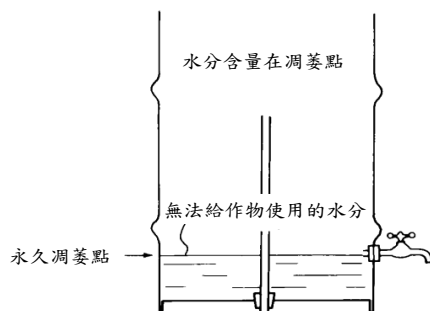


圖 2-18 永久凋萎點

被作物實際使用的水量為土壤在田間含水量所蓄存水量減去土壤在永久凋萎點所蓄留的水量，說明如圖 2-19 所示。

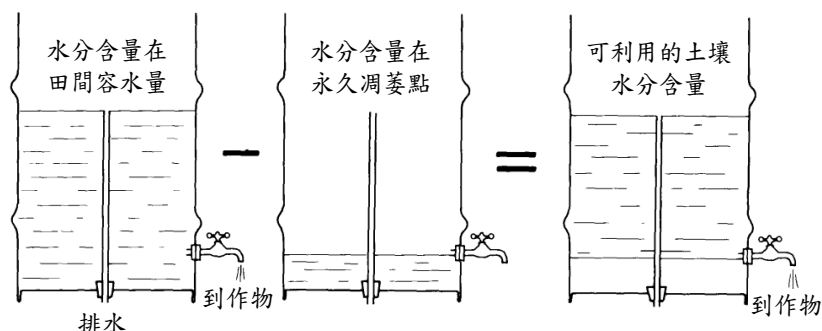


圖 2-19 可利用的土壤水分或含水量

可利用的土壤含水量＝在田間含水量的土壤含水量－在永久凋萎點的土壤含水量.....(2-10)

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 2-4 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
砂 土	25 ～ 100 mm/m
壤 土	100 ～ 175 mm/m
黏 土	175 ～ 250 mm/m

資料來源：FAO 灌溉排水訓練教材灌溉概論篇。

2.6、地下水位

供應於土壤表面的水分，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 2-20)。

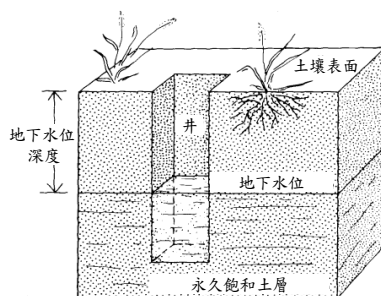


圖 2-20 地下水位

2.6.1、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 2-21)。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。

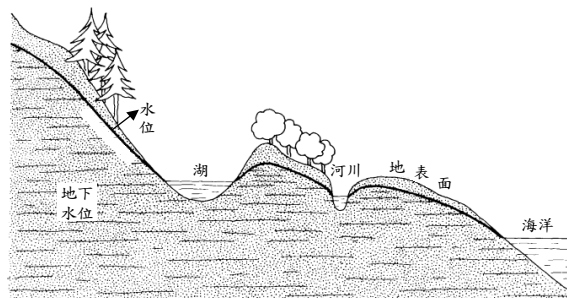


圖 2-21 地下水位深度的變化

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，為了保持根區水分，灌溉是必要的手段。

2.6.2、暫棲地下水位

暫棲地下水層，能在不透水層之上面發現，它略靠近地表面(20-100cm)。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 2-22)。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。

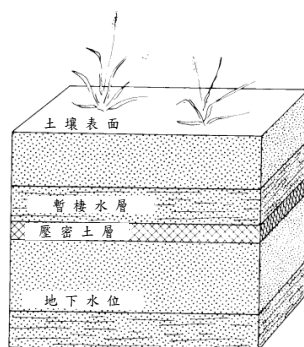


圖 2-22 一暫棲地下水位

2.6.3、毛細管上升作用

目前為止，已經解釋了水分能向下流動和水平(側向)流動。除此之外，水分能夠向上流動。假如一張薄紙進在水中(圖 2-23)，水分會被薄紙向上吸取。

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)，雖水分向上移動很慢，但它移動的距離較長。另一方面，在粗質地土壤(砂土)，水分向上移動是很快，但它移動的距離是短。

表 2-5 不同土壤質地毛細管水分上升表

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

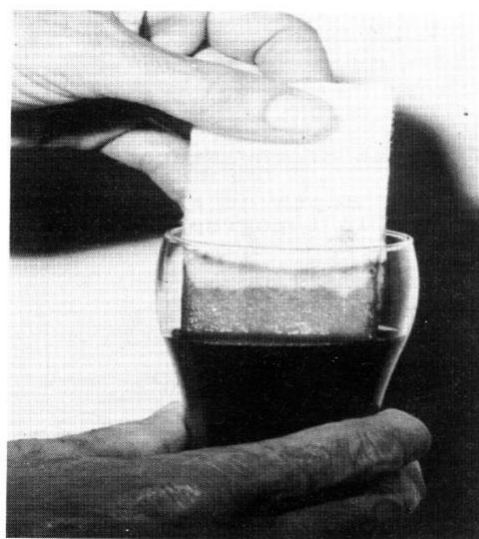


圖 2-23 水分向上移動或毛細管上升作用

2.7、參考文獻

1. 張建勛、蔡明華，1985，灌溉與排水，中國土木水利工程學會編行。

2. 施嘉昌、曹以松、徐玉標、甘俊二，1982，灌溉排水原理，中央圖書出版社發行。
3. 臺灣省農田水利聯合會編印，1984，農田水利訓練教材灌溉管理類合訂本。
4. 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，1998，農田水利訓練教材。
5. 曹以松，濁水溪沖積扇與臺灣的地下水研究，1996，濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集。
6. 陳買等，1977，水稻栽培灌溉排水管理，中國農村復興聯合委員會、臺灣省水利局、臺灣省農田水利協進會。
7. 行政院農業委員會編印，2003，灌溉排水營運管理。
8. 行政院農業委員會，2017，「農業灌溉白皮書暨農業灌溉用水問題集」。
9. 行政院農業委員會，2017，「提升灌溉用水效率策略規劃」。
10. Brouwer, C., 1989, "Irrigation Water Management Training Manual no. 1-Introduction to Irrigation.", FAO Land and Water Development Division, UN。
11. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 2-Elements of Topographic Surveying.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
12. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 3-Irrigation Water Needs.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
13. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 6-Scheme Irrigation Water Needs and Supply.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
14. Brouwer, C., "Irrigation Water Management Training Manual no. 7-Canals.", FAO Land and Water Development Division, UN, 1992。

第三章、作物-水-土關係

3.1、作物體中水分

植物體中當水分供需不正常時，會影響植物之生育，尤其在導管組織中水分長時間處在高度負壓位能之下，情況更為嚴重。因植物之生長需依新細胞之形成，而細胞之合成賴水分及營養分之不斷供應使細胞核行分裂及壯大才能達成。植物體中如缺乏水分，在生理上言，首先為光合作用速度降低，呼吸作用減少氣孔關閉，葉部膨壓減少而呈凋萎現象，嚴重時使新陳代謝機能受損，產生脫水作用終至死亡。一般而言，水分對植物之重要性有 4：

- 一、原形質之主要成分：水為構成植物體細胞質之主要成分，在草本植物，細胞質之水分含量約佔新鮮物重 80~90%；木本植物亦多超過 50%。水分不但為構成細胞質之主成分，同時能調節蛋白質膠體之濃度，因當植物體中之水分減少至一定程度時，引起原形質分離，蛋白質構造破壞，植物便死亡。
- 二、水為一種溶媒：水為植物體中細胞與細胞或器官與器官間輸送氣體、礦物質及其他溶質之溶媒，由於水之作用，使植物體中雖隔有細胞壁及滲透膜，而能使溶質溶解呈液態，連續不斷地引進輸導組織系統中。
- 三、水為反應劑：作物甚多重要生理活動中，如：光合作用、水化作用、水鮮作用(醣類、澱粉之合成或分解)等，水均為參與作用之一種反應劑。
- 四、水能維持植物之膨壓：水不但使植物細胞成長、增大，同時亦能使植物直立(支持草本植物形態)，葉部產生膨壓，使氣孔開閉發生調節作用。

一般而言，水分在植物中之移動，完全依賴位能之差異而產生。例如風乾之種實，其負壓位能可低至數百巴，但一旦吸水之後，胚胎膨脹發芽，幼導管中之水分位能可從負值變成正值，在幼葉頂端呈溢流現象，有時水分還可能從根部導管組織中滲出根毛之外，其體內水分位能約在正 1 巴左右，如葡萄及楓樹之種子發芽後，尚能高至正 2 巴。但在葉不斷伸長及蒸散增大時，植物體中之水分位能又能從正值降至零再轉變為負值。至於植物體中實際水分位能之大小，乃依據下述因素而定，即：

- 一、葉面蒸散與根系吸收率間之關係。
- 二、所接觸根系土層中土壤所保持之水分位能。

三、植物體之高度。

植物由於蒸散及新陳代謝作用，必須從土壤中不斷吸取水分。因此，在植物體內從根、莖至葉部，有一完整之運輸系統。在自然界僅有小部分極耐乾旱之植物例外，大多數之植物，每日蒸散損失之量常超過植物本身之水分含量。例如玉米在炎熱之夏日，每天能損失水量達 2 至 4 公升，為玉米鮮重之兩倍以上，此種損失之水量，除非立即獲得補充，否則在同一天之內，即會宣告死亡。水分在植物根部之通路，根據解剖學家及生理學家之研究，根部吸收水分最快速之部位乃在根端之原始分生組織，即根端生長點生長活力細胞所形成之一種組織，此部位與其說吸收水分快速，不如說其細胞活力伸長迅速所致，此種快速吸收部位，隨作物而有不同，一般乃在根端之後 1.5~20 公分之間，尤其在 5~10 公分部位。

前已述及，根系吸收水分最快速部位乃由於根生長點迅速生長所形成，要是根伸長緩慢，如植物體內水分應力大，或是在低溫與土壤排水通氣不良等之環境下，根系伸長受阻，水分之吸收率亦降低，甚至在非軟木質化之根亦如此。植物根吸收水分最快速部位，在空間上亦即根毛發生最多之部分，由於根毛眾多，增加根吸水之表面積。根毛具有黏性，根毛能黏著土粒而吸取土粒表面之水分。一般根毛僅為表皮細胞上生出之突起，故不能成普通之根，且生命甚短促，僅數日多則數週水分進入快速吸收部位根表面後，即輸導至表皮組織，經皮層、內皮層而至中柱之韌皮部及木質部，尤其木質部為司導水組織。外表皮細胞壁雖然附有臘質，但對水仍具有高度之滲透，根毛即由表皮細胞形成。皮層一般由 5~15 層疏鬆之柔細胞組成，水分可經由柔細胞組織之間隙進入內皮層，亦可進入細胞內之原生質，進行細胞與細胞間之滲透作用。

3.2、作物對水分吸收

植物對水分之吸收係通過二個器官——根與葉之工作來完成。其全部過程可分為 4 階段：

- 一、水分從土壤通過根毛中具有透性膜之細胞壁及半透性膜原生質膜而進入液胞中。
- 二、進入液胞後之水分再由木質部之輸導系統輸送至葉面之氣孔組織中。
- 三、葉面接受太陽能，其一部分是用以蒸發氣孔組織中之水成為蒸汽。
(1 克水變成蒸汽所需之能量為 580 卡)。
- 四、藉擴散及傳播作用使氣孔組織中之水蒸氣逸散於大氣中。

植物之所以能吸收水分，其基本原理緣於滲透現象。此種滲透現象之本質並不能以純物理觀念解釋，因僅在具有活原生質時方能實現，一旦原生質死亡，滲透現象亦告停止。

植物細胞原生質為一高度之親水膠體，當根毛細胞液之濃度較土壤持水力大時，土壤中之水分可能向細胞壁原形質膜滲透。所謂土壤持水力亦稱土壤水分應力，乃由兩種力量所構成：

一、土壤溶液滲透壓：由土壤溶液濃度決定。

二、土壤固相部分之吸着力：由土壤機械組成分及土壤濕度決定。故根系之吸收水分，在基本上其吸取力必須大於土壤溶液之滲透壓與土壤水分張力兩者之和，水分方可進入植物體內。

另一方面，植物根細胞對水分之吸收作用由根細胞內容物之濃度所具有之滲透壓以及其吸收水分時細胞體積膨大對細胞壁產生膨壓之大小來決定，適當可用公式(3-1)表示：

$$S = p - T \dots\dots\dots(3-1)$$

其中，S：吸取力值(或吸取負壓力)；p：根細胞內容物所具有之滲透壓值；T：膨壓值，即是根細胞內水分子之濃度逐漸增高，其內容物擠壓其彈性膜所表現之壓力。

上式中吸取值(S)亦稱擴散壓差。擴散壓差值之大小完全取決於滲透壓與膨壓間互為消長之情形而定，當滲透壓甚大，膨壓甚小時，擴散壓差愈大，細胞吸水力亦愈大，當滲透壓與膨壓逐漸接近時，用於吸水之力量亦漸減少，待 $p=T$ 時，則 $S=0$ ，表示膨壓達最大滿值，此時透入細胞之水量與滲出之水量完全平衡，細胞之吸水作用亦達到飽和。

植物因種類不同，根系分佈型態有甚大差別。根系型態以分佈狀態而言，可分淺根及深根，同時亦可分為主根、鬚根、塊根、球根等。根系分佈之深度及密度，除植物物種因屬而不同外，栽培管理亦能產生極大之影響。一般而言，根系非常巨大，以一年生草本植物為例，其在一年中所生根之總長度超過 10,000 公里，根表面積超過 1,000 平方公尺，假如此種根系是遍佈於 100 公升之土壤中，雖其長度及面積如比巨大，但根系實際所能接觸之土壤顆粒面積尚不及中等質地土壤面積之 1%。因此，土壤中之水分必需移運相當距離方能達到根之表面，此種距離依根系密度而定，至於水分移動之快慢受土壤水溶液含量及濃度所支配。土壤中有效水分與植物根系密度間之關係為根系密度大者對植物水分之吸取率可以不因有效水分之減少而受影響，此情況可保持到有效水分減少 80%以上才能使植物之生育急劇衰退。例如栽培

作物之根系密度大，則其耐旱力必強，灌溉期距可延長，俟有效水分降至相當程度時才施灌，也不致影響產量。反之，根系密度稀少時，則吸水率隨土壤有效水分減少而降低，有時在有效水分減少 25%即開始。

葉器官之工作與水分之蒸散作用有密切相關，當葉細胞因失水而呈水分不飽和時，細胞之吸取力即增長，亦即說明根系之吸水力亦增大。根據實地測定之結果表明，在強烈蒸散之情況下，此種吸取力可達 5~10 氣壓。

一般植物在正常狀態，葉器官之蒸散量大致與當時根系之吸水量相等，即所謂植物之水分平衡，當植物在水分收支平衡狀況下，植物體才能維持正常之膨脹狀態而進行其生理之活動機能。如在土壤缺水根系發生吸水困難時，在某種程度範圍內，葉部可藉氣孔之啟閉來調節其蒸散量，甚多植物葉面具具有甚厚之表皮膠質層，深凹之氣孔組織或被有毛茸與蠟質等，此皆係葉面為減少蒸散來應付根毛吸水困難之措施。又如溫帶地區為適應低溫時根系吸水能力之降低以及熱帶地方因蒸發過盛而產生之落葉現象等，皆屬葉器之作用賴以持其水分平衡之自衛手段。

3.3、作物蒸散作用

植物蒸散現象可視水由土壤—植物—大氣體系之一種運行過程。其主要之原動力，即由葉面與大氣間所呈現之蒸氣壓差所引起，亦即大氣蒸發要求 (Evaporative demand of the atmosphere) 驅使植物向土壤中吸取水分。植物產生蒸散現象，必需具備 3 種條件：

一、必需有不斷之熱源以供給蒸發潛熱之需要。例如在 15°C 之溫度下，蒸發 1 克重之水，需 590 卡之熱量。

二、大氣之蒸汽壓必需低於葉面之蒸汽壓。換言之，兩者之間必需維持有蒸汽壓差之存在，同時其蒸汽要藉擴散或對流從葉表面移走。

上述供應能量及移走蒸汽均屬蒸散體之外在條件，受氣象因子所支配，如氣溫、濕度、風速、輻射能，此四者之共同作用亦稱之為大氣蒸發度。

三、植物體中需有源源不斷之水源流至蒸發部位供蒸散之用。係屬內在因素，如含水量、水分保持位能以及其導水性等，此 3 者之共同作用即能決定植物體中水分傳導至蒸散部位之流速與流量。

一般蒸散率若非決定於外界氣象因子，即決定於土壤與植物送水分之條件，其情況視何者構成限制因子而定。

植物蒸發散作用在本質上可分潛勢蒸發散率(Potential evapotranspiration

rate)與實際蒸發散率(Actual evapotranspiration rate)兩種，前者指在土壤水分供應無限制情況下，植物由於大氣之要求，從土壤中吸取水分供葉面蒸發散之最大速率，由外在氣象因子決定。後者因土壤乾燥至某一程度，土壤中水源供應欠缺或導水能力降低時，其實際蒸發散率低於潛在蒸發散率，是由土壤與植物本身之因素所左右。

植物之一生從土壤中吸取之水量遠超過植物新陳代謝之需要，如在乾燥氣候下栽培作物，生產一噸重之植物體通常必需消耗數百噸乃至千噸以上之水量。因此，若站在植物之觀點而言，可說為一種不必要之浪費，因植物是無法避免從土壤中吸取 90%以上之水分以供大氣難解之渴，若植物生存在飽和或幾乎飽和之大氣下，生產同量之植物體，或許僅需要少量之蒸散量即可；故嚴格言之，蒸散作用並不為植物本身生活上必要之條件，乃是由於葉面與大氣之間所呈之蒸汽壓差而產生。在另一方面之意義而言，植物蒸散大部係為適應外在環境(如葉面蒸散可避免日射過熱)之一種自衛手段，同時亦自土壤中運送植物營養分之媒介所必需。

從動能系統觀念分析植物之蒸散歷程，其水分運動之通路包括有：土壤水移近根系、根系吸收水，水從根及莖維管束系統傳導至葉部，在葉部之纖維組織孔隙中蒸發成蒸汽。當氣孔開啓時，蒸汽從氣孔之凹穴中，擴散至葉面之接觸面成吸着於葉表面之空氣靜止層，再通過靜止層而進入動層，然後由大氣移動散失於大氣中。其在輸送過程中是否能及時傳導充分之水量以迎合植物蒸發之需要，實際上乃決定於氣象環境因素、土壤性態及作物本身三方面。即：

一、微域氣象條件：幅射、溫度、相對濕度、風速等。

二、土壤含水情形：導水係數、擴散作用、母質吸力以及土壤濕度間之關係情形。

三、植物性質：根系分佈之密度、深度、根系擴展比，以及植物所固有從土壤吸收水分以免凋萎之生理能力。

作物葉面蒸散為水汽由植物體散發至大氣之過程，在水循環中佔極重要地位。植物藉由根吸收土壤水分，水由植物根部細胞外壁進入內壁，此作用即為隔膜滲透，水滲透入根部內壁後，加入樹液運行，由於水分子彼此粘著力之吸引，於樹幹由細微之毛細管中，其張力可達 36 大氣壓。葉面蒸散張力，由樹幹傳於根部，造成根部細胞內低壓缺水程度，促進隔膜滲透及根部吸水作用。葉面蒸散發生之原因：一為減低葉面本身之溫度以適應其生存環境，二為排除多餘水分以適應本身生長。有植物生長處即有葉面蒸散，蒸散之估算亦為水平衡中不可缺少之資料。

影響葉面蒸散之因素頗多，茲列舉較重要者如下：

- 一、植物生理作用：葉面蒸散與植物種類有關，葉孔之密度隨植物種類而不同，葉之構造與植物病蟲害均亦有關，每葉孔旁有二保護細胞，保護細胞之外又有附屬細胞，一組共同經其任務，稱為葉孔器官。葉孔開閉依光之強弱、保護細胞液之充虛、氣溫及相對濕度。
- 二、葉面組織：葉面組織對葉面蒸散有關，乾旱植物如仙人掌科其葉孔在深處，有厚密之海綿質保護，減少葉面蒸散甚為顯著。葉面保持水分量大者，其葉面蒸散量亦大。
- 三、日光：日光有絕對控制能力於葉面蒸散。氣溫、濕度與風速合為蒸發能力，晝夜均有影響，但在露雨時期或植物需要吸收水分時則有相反之效果，即供應水量。用葉蒸儀量取之葉蒸量與蒸發器在同一地點環境量取之蒸發量之比，稱「相對蒸散」(relative transpiration)或「蒸散係數」(transpiration coefficient)，用以測驗葉孔或植物其他生理活動。
- 四、土壤：土壤對於葉面蒸散有關，壤土含水量大，供應水分迅速，不妨礙植物之生理變化，粘土供水量少，有阻碍植物用水之嫌。植物在取水受阻時，其葉蒸不正常，生長亦受阻碍，增加化合物於根部或噴洒葉面均妨礙葉蒸，因此施肥之量與時不適當，有時有害。

3.4、土壤有效水分

土壤中之水分並非全部均能被植物吸收利用，一般進入植物根部之水分，均可通過直徑細小之根毛，但僅根毛直接接觸到之水分方能吸收。惟土壤孔隙之直徑，尤以粘重土壤孔隙，其直徑較根毛細小，因此土壤中有甚多空間根毛不能穿達。孔隙中水分，隨土壤乾燥，僅細小之孔隙中才有水分存在，如果土粒之吸著力大而無法使水分移動至根毛附近時，便構成無效水。反之若土壤含水量超過毛細管水力所保持之最大限度時，雖有被植物吸收利用之可能，但通常在未被植物吸收利用前，因重力作用即下滲流出，因而也成無效水。故土壤中水分僅在不過分乾燥及濕潤之間，方能保持被作物利用，稱為土壤有效含水量，或有效水分。

土壤有效含水量因土壤質地及構造而異，在灌溉管理配水時，必須先測定土壤機械成分、各種水分常數及土壤根系分佈深度等，方可決定每次應施灌水深度及期距。常用於灌溉水分管理上，土壤有效含水量之上限為田間容水量(Field capacity, FC)，下限為永久凋萎點(Permanent wilting point, PWP)，相關觀念詳如第二章所敘。

圖 3-1 土壤水分特性曲線表示各土壤水分與吸力 pF 值之關係，表 3-1 表示不同土壤之田間含水量、凋萎點及有效水分。

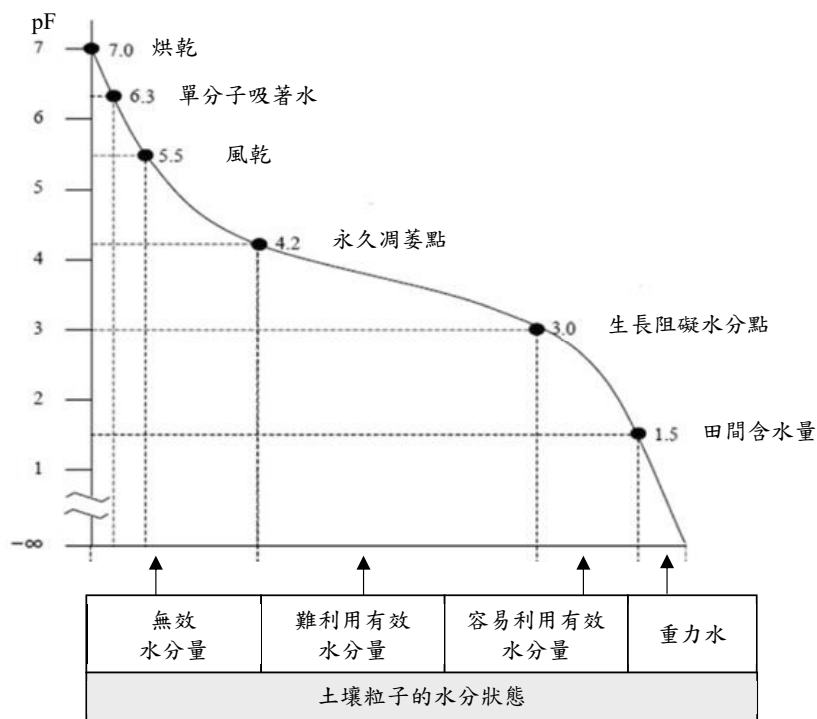


圖 3-1 土壤水分特性曲線中各土壤水分與吸力 pF 值之相關示意圖

表 3-1 各種土壤田間含水量、凋萎點及有效含水量

土壤種類	砂土	壤質砂土	砂壤土	壤土	砂質粘壤土及粘質壤土	粉質粘壤土及粘土
田間含水量(%)	2.2~3.5	3.5~8.5	8.5~16.0	13.0~22.0	18.0~28.0	25.0~36.0
凋萎點(%)	1.2~1.7	1.5~3.5	3.5~7.0	5.0~10.0	7.5~15.0	14.0~22.0
有效含水量(%)	1.0~1.8	2.0~5.0	5.0~9.0	8.0~12.0	10.5~13.0	11.0~14.0

資料來源：農田水利會聯合會，2011。

依據聯合國糧食與農業組織灌溉排水第 56 號「作物蒸發散量」報告(FAO Irrigation and Drainage Paper No.56: Crop Evapotranspiration)說明，總有效水分(Total Available Water, TAW)表示根系範圍內可使用水量，如公式(3-2)所示，意即作物根系土層內，田間含水量降至凋萎點時所消耗水量。

可速性有效水分(Readily Available Water, RAW)表示作物可容許土壤水

分消耗到一定程度而不影響作物根系吸收水分之參數(p)乘以 TAW，如公式 (3-3)所示，意即由土壤水分管理消耗點(生長阻礙水分點)灌溉到田間容水量所需之灌溉水深。表 3-2 表示不同作物允許土壤水分消耗比例(p)及根系深度。圖 3-2 表示土壤總有效水分概念圖。

表 3-2 不同作物允許土壤水分消耗比例及根系深度

Crop	Maximum Root Depth ¹ (m)	Depletion Fraction ² (for ET $\approx$ 5 mm/day) p
e. Legumes (<i>Leguminosae</i>)		
Beans, green	0.5-0.7	0.45
Beans, dry and Pulses	0.6-0.9	0.45
Beans, lima, large vines	0.8-1.2	0.45
Chick pea	0.6-1.0	0.50
Fababean (broad bean) – Fresh	0.5-0.7	0.45
– Dry/Seed	0.5-0.7	0.45
Grabanzo	0.6-1.0	0.45
Green Gram and Cowpeas	0.6-1.0	0.45
Groundnut (Peanut)	0.5-1.0	0.50
Lentil	0.6-0.8	0.50
Peas – Fresh	0.6-1.0	0.35
– Dry/Seed	0.6-1.0	0.40
Soybeans	0.6-1.3	0.50
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)		
Artichokes	0.6-0.9	0.45
Asparagus	1.2-1.8	0.45
Mint	0.4-0.8	0.40
Strawberries	0.2-0.3	0.20
g. Fibre Crops		
Cotton	1.0-1.7	0.65
Flax	1.0-1.5	0.50
Sisal	0.5-1.0	0.80
h. Oil Crops		
Castorbean (<i>Ricinus</i>)	1.0-2.0	0.50
Rapeseed, Canola	1.0-1.5	0.60
Safflower	1.0-2.0	0.60
Sesame	1.0-1.5	0.60
Sunflower	0.8-1.5	0.45
i. Cereals		
Barley	1.0-1.5	0.55
Oats	1.0-1.5	0.55
Spring Wheat	1.0-1.5	0.55
Winter Wheat	1.5-1.8	0.55
Maize, Field (grain) (<i>field corn</i>)	1.0-1.7	0.55
Maize, Sweet (<i>sweet corn</i>)	0.8-1.2	0.50
Millet	1.0-2.0	0.55
Sorghum – grain	1.0-2.0	0.55
– sweet	1.0-2.0	0.50
Rice	0.5-1.0	0.20 ⁴

資料來源：FAO Irrigation and Drainage Paper No.56。

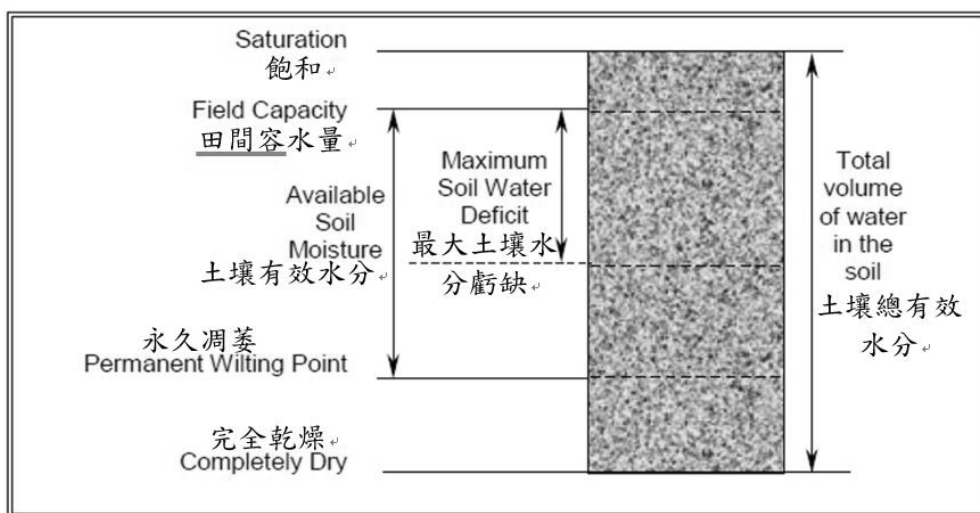


圖 3-2 土壤有效水分概念圖

可速效性有效水分(RAW)可應用於新進智慧灌溉概念，掌握不同作物可容忍之土壤水分消耗百分比(p)，利用張力計等土壤水分感測器，將田間土壤水分資料透過物聯網(IoT)傳輸到電腦及行動 App 之智慧灌溉決策平台系統，當達到此作物之灌溉管理臨界點，即啟動灌溉，進行機動性智慧灌溉。

$$TAW = \frac{(FC-WP) \cdot As \cdot Rz}{100} \dots\dots\dots(3-2)$$

式中，TAW：總有效水分(mm)；FC：田間容水量(重量比，%)；PWP：凋萎點(重量比，%)；As：假比重；Rz：根系深度 (mm)。

$$RAW = d = p \cdot TAW \dots\dots\dots(3-3)$$

式中，RAW：可速效性有效水分(mm)；TAW：總有效水分(mm)；d：灌溉水深(mm)；p：作物容許土壤水分消耗百分比 (%)。

總有效水分(TAW)可進一步應用於計算作物於不同灌溉起點之一次灌溉水深(d)，如下公式(3-4)~(3-7)所示：

一、以灌前土壤水分(θ)為起點

$$d = \frac{(FC-\theta) \cdot As \cdot Rz}{100} \dots\dots\dots(3-4)$$

二、以 1/2 有效水分為灌溉起點

此方式表示作物容許土壤總有效水分消耗至剩餘 1/2 時進行灌溉，意即

需補充 1/2 之總有效水分(TAW)。因此，公式(3-3)中之 p 值為 1/2。

$$d = \frac{1}{2} * TAW = \frac{\frac{1}{2} * (FC - PWP) * As * Rz}{100} \dots\dots\dots(3-5)$$

三、以 1/4 有效水分為灌溉起點

此方式表示作物容許土壤總有效水分消耗至剩餘 1/4 便進行灌溉，意即需補充 3/4 之總有效水分(TAW)。因此，公式(3-3)中之 p 值為 3/4。

$$d = \frac{3}{4} * TAW = \frac{\frac{3}{4} * (FC - PWP) * As * Rz}{100} \dots\dots\dots(3-6)$$

四、以 3/4 有效水分為灌溉起點

此灌溉方式表示作物容許土壤水分消耗至剩餘 3/4 進行灌溉，意即需補充 1/4 之總有效水分(TAW)。因此，公式(3-3)中之 p 值為 1/4。

$$TAW = \frac{1}{4} * TAW = \frac{\frac{1}{4} * (FC - PWP) * As * Rz}{100} \dots\dots\dots(3-7)$$

土壤水分特徵曲線(Soil water characteristic curve)一般也叫做土壤特徵曲線或土壤吸力 pF 曲線，它表述了土壤水勢(土壤水吸力)和土壤水分含量之間的關係，土壤水分特徵曲線可反映不同土壤的持水和釋水特性，也可從中瞭解特定土類的一些土壤水分常數和特徵指標。

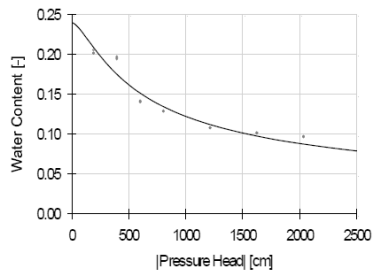
土壤水分特徵曲線是研究農田水利灌溉排水及土壤水分運動、調節利用土壤水的重要和基本的工具。美國農業部研發之 RETC 模式可應用求出公式(3-8)有關土壤水分特性曲線中土壤水分與壓力間之參數。

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + |\alpha h|^n} \right]^m \dots\dots\dots(3-8)$$

其中， Θ ：飽和度； θ_r ：殘餘體積； θ_s ：飽和體積含水比； α 、 n 及 m ： $h(\theta)$ 曲線之形狀因子，參數 $m = 1 - 1/n$ 。

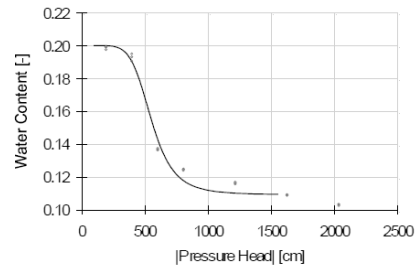
圖 3-3 表示應用壓力鍋試驗結果資料，以及 RETC 模式分析嘉南水利會灌溉技術推廣中心試驗田，地表下不同深度 10cm、30cm、40cm 及 60cm 之土壤水分特性曲線。

Hydraulic Properties: Theta vs. h



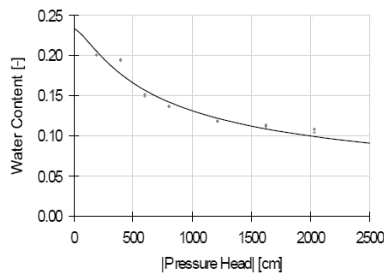
10 公分

Hydraulic Properties: Theta vs. h



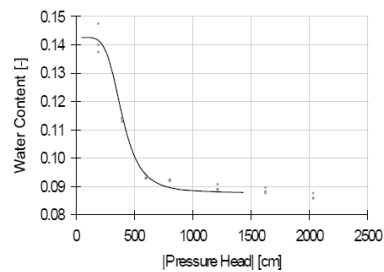
30 公分

Hydraulic Properties: Theta vs. h



40 公分

Hydraulic Properties: Theta vs. h



60 公分

圖 3-3 嘉南灌溉技術推廣中心試驗田坵質壤土土壤水分特性曲線

3.5、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1972，「灌溉名詞簡釋」。
2. 臺灣省水利局，1980，「雜作灌溉手冊」。
3. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二，1984，「灌溉排水原理」，國立編譯館。
4. 蔡明華，1985，「灌溉與排水」，中國土木水利工程學會。
5. 張文亮，1994，「土壤水分遲滯效應在非飽和導水係數測定上的影響」，臺灣水利，42(1):38-44。
6. 黃漢城等，2000，「未飽和土壤水分遲滯效應之研究」，農工學報，46(4):33-47。
7. 劉建榮，2002，「土壤特性曲線參數對濕鋒模擬與暫態補助量之影響」，逢甲大學水利工程研究所碩士論文。
8. 郭勝豐、陳怡雯，2003，「嘉南灌區土壤水分特性曲線及水旱田農業用水之探討」，九十二年度農業工程研討會，p670-681。

9. 郭勝豐、陳怡雯，2004，「土壤保水曲線與水旱田田間需水量之研究」，2004，立德管理學院資源與環境研究所碩士論文，台南。
10. 水利會聯合會，2011，「農田水利技術人員訓練教材-灌溉管理類合訂本」。
11. Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L.S. 1994. "An update for the definition of reference evapotranspiration", ICID Bulletin, 43(2):1-34.
12. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, Italy.
13. Bouman BAM, Humphreys E, Barker R, Tuong TP, 2006, Rice water. Adv Agron, 92:187-237.
14. Cuenca, Richard H., 1989, Irrigation System Design, Prentice-Hall Inc.
15. Hansen, V.E. Israelson, O.W., Stringham G.E., 1979, Irrigation Principles and Practice. John Wiley & Sons, Inc.
16. Jensen, M.E., Burman, R.D., and Allen, R.G., 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., New York, NY.
17. OECD. 2014. Water and Agriculture: Towards Resilient Systems, OECD Studies on Water, Paris., France.

第四章、灌溉與氣候立地環境

4.1、位置與地勢之影響

臺灣為一海島位於東經 120~122 度、北緯 22~25 度之間，面積約 3.6 萬平方公里。經濟發展、資源利用與農業生產等受地形與氣候環境之限制非常明顯。構成臺灣農業環境之主要因素為地勢及氣候，臺灣之氣候以高溫、豪雨及多風為共同特徵。惟三者之季節變化與區域差異甚為明顯。其季節之變化乃因臺灣所處之地理位置所致，而區域之差異則深受地形特殊之影響。

臺灣本島的形狀與山脈略成南北走向，地形高程變化大。500 公尺以上山地占了全島的 45%，全島平均高程為 660 公尺，平均坡度約 17%，而平均每平方公里的相對高度差為 312 公尺，在短短數十公里內，從海平面拔高近 3,000~4,000 公尺。

臺灣七成土地為山地與丘陵，平原及耕地主要集中於西部沿海，表 4-1 為農委會統計臺灣耕地及作物收穫面積，表中看出臺灣 107 年度耕地面積約為 79.07 萬公頃，其中，稻米收穫面積、一期稻米收穫面積、二期稻米收穫面積、雜糧收穫面積，分別為 27.15 萬公頃、16.98 萬公頃、10.17 萬公頃及 7.53 萬公頃。

表 4-1 臺灣耕地、稻米及雜糧收穫面積統計表(民國 97~107 年)

年度	耕地面積	稻米 收穫面積	一期稻米 收穫面積	二期稻米 收穫面積	雜糧 收穫面積
97 年	822,364	252,292	148,333	103,959	57,402
98 年	815,462	254,590	151,338	103,252	58,303
99 年	813,126	243,862	139,941	103,922	57,249
100 年	808,294	254,255	153,405	100,849	60,924
101 年	802,876	260,762	156,662	104,101	57,535
102 年	799,830	270,165	162,869	107,296	60,660
103 年	799,611	271,051	166,602	104,449	70,566
104 年	796,619	251,861	146,597	105,264	72,149
105 年	794,005	273,837	168,872	104,965	76,489
106 年	793,027	274,677	169,819	104,859	77,836
107 年	790,680	271,506	169,789	101,717	75,313

單位：公頃。

資料來源：農委會農業統計資料查詢，本研究整理。

依據農田水利會聯合會農田水利資料輯顯示，臺灣目前共有宜蘭、北基、七星、瑠公、桃園、石門、新竹、苗栗、台中、南投、彰化、雲林、嘉南、

高雄、屏東、台東、花蓮等 17 個農田水利會，表 4-2 表示 105 年度農田水利會灌溉地及耕種面積統計表，表中看出 17 個農田水利會合計灌溉地面積約 36.78 萬公頃，顯示屬於農田水利會轄區之灌溉地面積約佔臺灣可耕地面積之 46.2%，臺灣農業耕地面積或農田水利會轄內灌溉地面積因都市發展及工業區開發逐年微幅減少。

表 4-2 臺灣 17 個農田水利會灌溉面積(民國 105 年)

會別\項目	灌溉地面積					
	合計	雙期作田	單期作田	三年一作田	三年二作田	其他
民國 103 年	373,096	241,104	32,197	22,161	48,892	28,742
民國 104 年	368,575	237,167	32,091	14,180	56,625	28,513
總計	367,847	236,612	31,998	14,157	56,554	28,526
宜蘭	18,551	18,551	-	-	-	-
北基	5,299	4,307	992	-	-	-
瑠公	466	-	-	-	-	466
七星	627	440	-	-	-	187
桃園	22,677	22,677	-	-	-	-
石門	12,085	12,085	-	-	-	-
新竹	6,033	6,033	-	-	-	-
苗栗	9,504	9,504	-	-	-	-
台中	26,283	21,602	44	-	-	4,637
南投	12,412	11,854	558	-	-	-
彰化	44,416	40,683	519	-	-	3,214
雲林	63,577	13,943	6,047	13,811	21,634	8,142
嘉南	74,434	22,951	9,179	346	34,920	7,038
高雄	19,736	10,583	9,153	-	-	-
屏東	25,076	17,720	4,743	-	-	2,613
台東	14,173	11,567	763	-	-	1,843
花蓮	12,498	12,112	-	-	-	386

資料來源：農田水利資料輯，2016。

4.2、氣溫、降雨與蒸發量

4.2.1、氣溫

臺灣位於亞熱帶地區，一年四季溫度適中，最冷的月份是一月與二月份，南部較接近熱帶氣候，日照充足，冬天及夏天的溫度變化比北部小，北部地區的最高氣溫與最低氣溫相差較大，南部地區一年四季氣溫的變化比較小，圖 4-1 顯示中央氣象局統計臺灣 1981~2010 年月平均溫度變化圖。臺灣氣候

的最大特徵為高溫多雨，就溫度而言，除了山地外，年均溫大致介於 22℃ 至 25℃，夏季月均溫最高可達 29℃，南北溫差小；冬季最冷月均溫約 15℃，而南部接近 20℃，南北溫差大。另一方面，因山地地勢高聳，氣溫隨高度遞減，呈現垂直氣候分帶，使低緯度的臺灣也有溫帶和寒帶的氣候。雖然北回歸線橫貫南臺灣，又位處副熱帶高壓帶附近，但是臺灣卻未形成乾燥氣候，反而因位於大範圍的陸地和海洋交會處，受到季風、梅雨及颱風的影響，擁有豐沛的降水量。

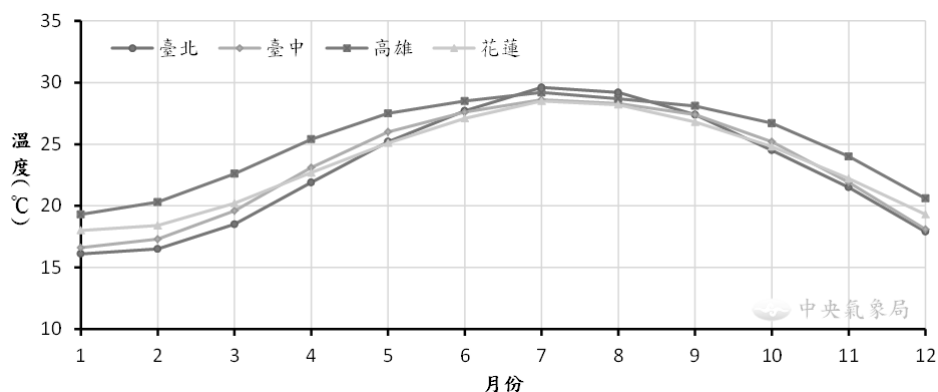


圖 4-1 臺灣歷年月平均溫度變化圖(1981 年~2010 年)

資料來源：中央氣象局。

全球暖化現象在 20 世紀中期以後趨於明顯，聯合國政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2013 年公布的第 5 次評估報告指出，從 1880 年到 2012 年期間，全球地表平均溫度大約上升 0.85 攝氏度，最後 10 年(2003-2012)的全球平均溫度，比 19 世紀後半(1850-1900)的平均溫度高 0.78 攝氏度。全球氣候變遷影響臺灣溫度變化，圖 4-2 表示臺灣 6 個百年測站年平均溫度變化趨勢，中央氣象局統計臺灣 1915~2014 年長期溫度變化趨勢存在暖化特徵，統計臺灣 6 個有百年以上紀錄的氣象站(臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮及臺東)長期的溫度資料，分別計算近 100、50、30 年的溫度變化趨勢，發現臺中、臺南、恆春以近 30 年的上升趨勢最大，而台北、花蓮、臺東以近 50 年的上升趨勢最大，但全島平均溫度排名前十名的年份都發生在 1990 年之後。

氣候變遷(climate change)造成臺灣近年滯旱頻繁，圖 4-3 表示氣候變遷影響臺灣豐水年及乾旱年發生頻率變化情形，圖中看出臺灣豐水年發生頻率由 19 年遞減為 2 年，乾旱年發生頻率由 17 年遞減為 9 年。

氣溫之高低及變化限制各種作物之栽培與生長，例如高緯度之寒帶溫度偏低無法種植水稻，但位於赤道附近，全年任何時期均可栽植水稻。臺灣一期作水稻在高屏地區於 12 月上中旬可播種插秧，但北部地區必須遲延至 3 月中下旬始可播種插秧，此表示南北季節差異影響稻作栽植之時期，故必須

配合溫度之變化趨勢，安置適當之栽培時期。各種作物均有適宜生長之溫度範圍及最高與最低溫度之限制，故就經濟觀點，必須慎重選擇適宜之作物種類及栽植期限。臺灣主要農作物以水稻為主，而水稻之栽培在第一期作初期之秧苗及插秧階段，常受低溫影響導致幼苗枯萎或減產，對稻作之產量影響頗大。多位學者從事研究與實驗稻苗與溫度之關係，談及稻苗之適宜溫度，必先瞭解溫度與稻苗之生理關係，如溫度對種子發芽、稻苗之光合作用與呼吸作用及根毛原形質流動之影響。

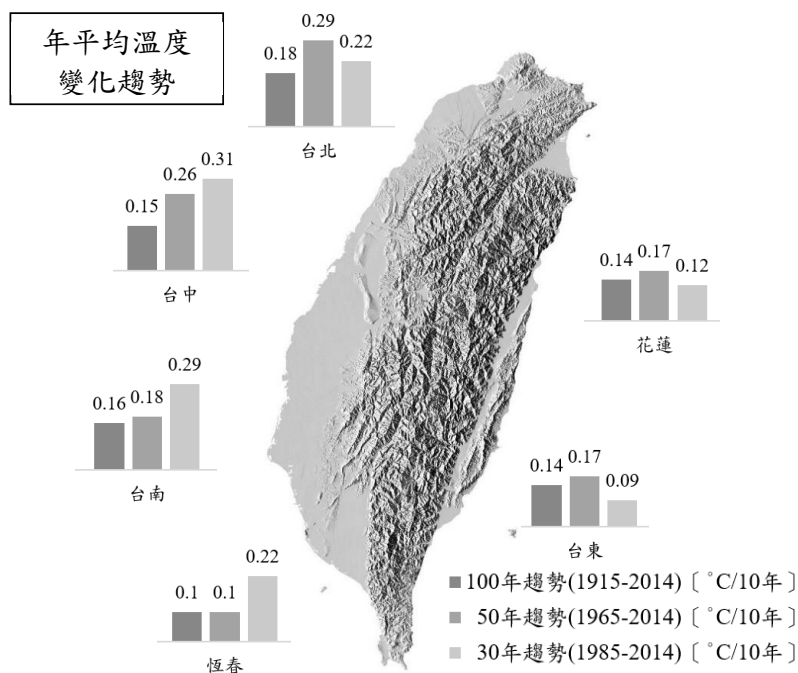


圖 4-2 臺灣六個百年測站年平均溫度變化趨勢(1915~2014 年)
 資料來源：中央氣象局。

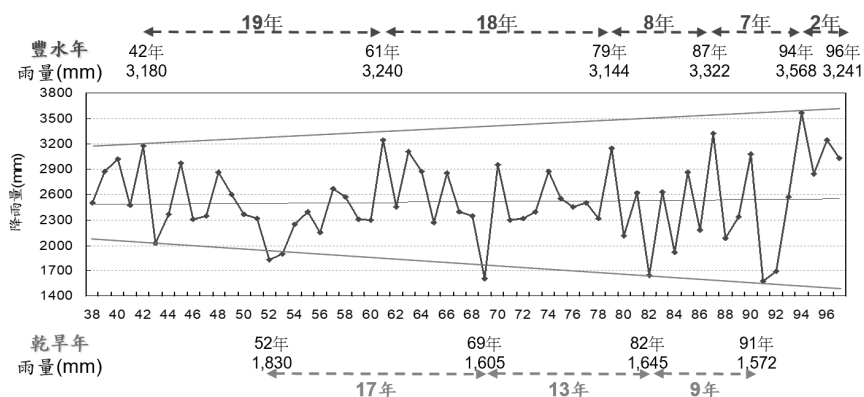


圖 4-3 氣候變遷影響臺灣豐水年及乾旱年發生頻率變化情形
 資料來源：水利署水文技術服務團。

4.2.2、降雨

臺灣位處於歐亞大陸與太平洋之間，季節性的降雨受到來自西伯利亞高壓、太平洋副熱帶高壓以及其所伴隨的環流與天氣系統影響。氣候上典型濕季從 5 月梅雨季開始直到 10 月颱風季結束，雨量多來自梅雨鋒面、颱風，或是午後強烈對流所引發的夏季降雨過程，11 月至隔年 4 月則降雨偏少是為乾季，尤其是中南部地區並不像北部地區在冬季東北季風強盛時期還有地形舉升所造成的降雨，以及冬季鋒面系統經過。

臺灣地區雖然降雨量豐沛，年平均降雨量達 2,510mm，惟降雨量的時空分布極不均勻，豐水期常因大雨宣洩不及而釀成災害，枯水期常有缺水情況，約 78% 雨量集中降於每年 5 月至 10 月間之豐水期；而空間分佈差異亦大，西部地區愈往南則分布愈不平均，尤以南部區域之豐、枯水期逕流量比例高達 9 比 1，具相當之水文不確定性，水資源實難以有效掌握，圖 4-4 表示臺灣各地區年降雨量圖。依據水利署 2016 年統計資料顯示，臺灣 2016 年降雨量約 1180 億立方公尺，但實際能利用的僅有總降雨量的 14%，約 165.5 億公噸。臺灣降雨量 78% 集中於 5~10 月汛期，臺灣地勢陡峭，河川坡陡流急，約有 60% 的雨水直接流入大海。依照聯合國糧農組織 FAO 2014 年資料顯示，臺灣降雨量在全世界排名第 13 名左右，但 2017 年卻名列缺水國家第 19 名。圖 4-5 表示臺灣年降雨量、年逕流量及年利用總水量分佈情形。

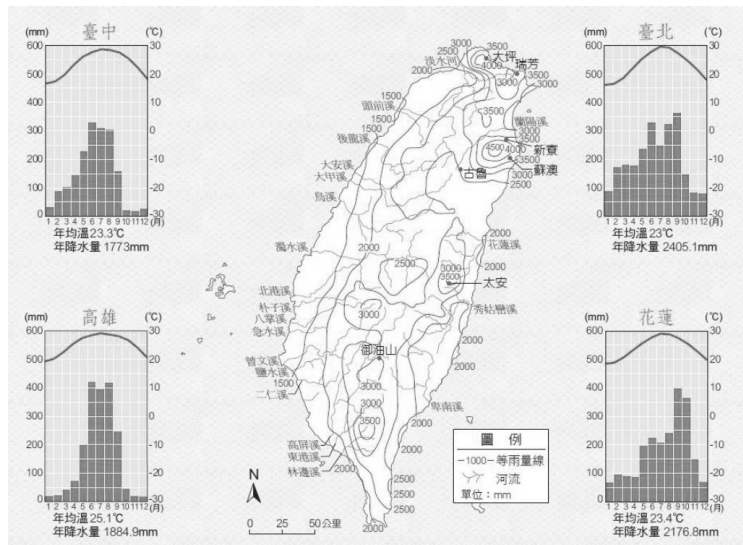
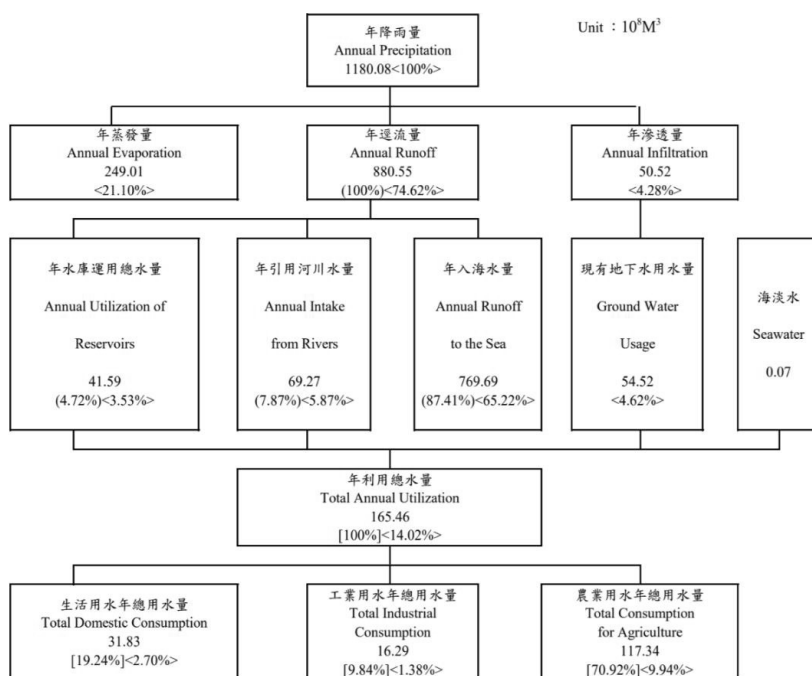


圖 4-4 臺灣各地區年降雨量圖

表 4-3 表示歷年農業用水、灌溉用水、生活用水及工業用水使用情形。依據農委會農業統計民國 90-100 年資料顯示，臺灣年總用水量約 179 億噸，其中農業用水、灌溉用水、生活用水及工業用水使用比例各約佔 71.5%、60.8%、18.8%及 8.8%。



資料來源：經濟部水利署水源經營組及水文技術組。

Data Source : Management Division & Hydrology Division , WRA, MOEA.

說明：1.<>以降雨量為基數 Base on Annual Precipitation<100%>

Note : ()以年逕流量為基數 Base on Annual Runoff (100%)

[]以年利用總水量為基數 Base on Total Annual Utilization[100%]

圖 4-5 臺灣年降雨量、年逕流量及年利用總水量分佈情形

資料來源：經濟部水利署水源經營組及水文技術組，2016。

表 4-3 臺灣歷年各事業標的用水情形

年度	總用水	農業用水		灌溉用水		生活用水		工業用水	
	百萬噸	百萬噸	%	百萬噸	%	百萬噸	%	百萬噸	%
90年	18,486	13,012	70.4	11,479	62.1	3,734	20.2	1,740	9.4
91年	18,701	13,410	71.7	11,764	63.6	3,525	19.1	1,766	9.6
92年	17,601	12,434	70.6	10,780	58.3	3,559	19.3	1,608	8.7
93年	17,790	12,604	70.8	10,795	58.4	3,532	19.1	1,654	8.9
94年	17,958	12,882	71.7	11,137	60.2	3,532	19.1	1,545	8.4
95年	17,412	12,238	70.3	10,549	57.1	3,598	19.5	1,576	8.5
96年	18,577	13,359	71.9	11,667	63.1	3,573	19.3	1,644	8.9
97年	17,985	12,960	72.1	11,212	60.7	3,357	18.2	1,668	9.0
98年	18,118	13,197	72.8	11,782	63.7	3,370	18.2	1,551	8.4
99年	17,072	12,205	71.5	11,089	60	3,264	17.7	1,603	8.7
100年	17,225	12,435	72.2	11,310	61.2	3,238	17.5	1,552	8.4
平均	17,902	12,794	71.5	11,233	60.8	3,480	18.8	1,628	8.8

資料來源：農委會農業統計資料，本研究整理。

4.2.3、蒸發量

蒸發乃指由於熱能改變而使水變形成水汽之過程，蒸散為水汽自有生植物散發於大氣之過程。綜合上述兩者，水分由濕表面蒸發及由植物蒸散之總和，稱為蒸發散量(evapotranspiration)。水循環中之任何過程，均有蒸發存在，蒸發量對於開發任一部門之水資源計畫皆為極重要之資料，且蒸發為一水量損失，尤其對乾旱地區之水資源控制十分重要。蒸發與蒸散為水文循環之一環，因其作用可調節氣溫，使氣溫適於人類生活，於分析水文平衡時，必須對蒸發與蒸散充分瞭解，方能對流域內水之活動加以估算，進而推求流域內之缺水、土壤蓄水量、地面暴雨量及洪水逕流量，以作為集水區內水資源開發之基本資料。

水面蒸發量觀測可分為蒸發皿(evaporation pan)及蒸發儀(atmometer)觀測法兩類。美國氣象局 A 型蒸發皿為目前最廣泛應用，該皿直徑 4 呎，高 10 吋，皿內水面保持 7~8 吋深。蒸發皿材料為未經油漆之鍍鋅鐵皮做成，皿底高出地面 6 吋，以木架墊之。皿內有靜水井中置鈎尺可讀出其水位，改算為蒸發量。實際水面蒸發量常較蒸發皿量測得者為低，一般常以實際蒸發量與皿蒸發量(pan evaporation)之比值稱為蒸發皿係數(pan coefficient)。臺灣使用蒸發皿多為日本製造之小型蒸發皿，皿面直徑 20 公分，皿高 24 公分，置於離地 30 公分之混凝土塊上，係用合金製成，不加油漆，讀時將水傾入量杯而量測之。

用葉蒸儀取之葉蒸量與蒸發器在同一地點環境量取之蒸發量之比，稱相對蒸散(relative transpiration)或蒸散係數(transpiration coefficient)，用以測驗葉孔或植物其他生理活動。

蒸發皿測定自由水面之蒸發量，因蒸發皿本身曝露空中，吸收陽光熱能，一般蒸發量測定值常較實際者為高，故必須乘以一蒸發皿係數加以校正。據研究結果指出，冬季蒸發皿係數常較夏季高，月蒸發量蒸發皿係數較年蒸發量者為大，埋入地下者較置於地面上之蒸發皿係數為高。臺灣地區之蒸發量自平地向山區遞減，等蒸發量線與等雨量線形式相似，但成反比，惟其變率不若降雨之大。歷年平均蒸發量，東北部平原為 1,200~1,300mm，西部為 1,600mm，南部可達 2,000mm，東部平地 1,700mm，以 7 月份各地蒸發量最大，2 月份蒸發量最小。臺灣各地區蒸發量及其線圖，如表 4-4 所示。

作物葉面蒸散為水氣由植物體蒸發至大氣之過程，在水循環中佔極重要地位。植物藉由根吸收土中水分，水由植物根部細胞外壁進入內壁，此作用即為隔膜滲透，水滲透入根部內壁後，加入樹液運行，由於水分子彼此粘著力之吸引，於樹幹由細微毛細管中，張力可達 36atm。葉面蒸散張力，由樹幹傳於根部，造成根部細胞內低壓缺水，促進隔膜滲透及根部吸水作用。

發生葉面蒸散之原因：

一、減低葉面本身之溫度以適應其生存環境。

二、排除多餘水分以適應本身生長。

有植物生長處即有葉面蒸散，影響葉面蒸散之因素頗多，茲列舉較重要者如下：

- 1.植物生理作用：葉面蒸散與植物種類有關，葉孔之密度隨植物種類而不同，葉之構造與植物病蟲害亦均有關，每葉孔旁有二保護細胞，保護細胞之外又有附屬細胞，一組共同經營其任務，稱為葉孔器官。葉孔依光之強弱、保護細胞漿液之充虛、氣溫及相對濕度而開閉。
- 2.葉面組織：葉面蒸散與葉面組織對有關，乾旱植物如仙人掌科其葉孔在深處，有厚密之海綿質保護，減少葉面蒸散甚為顯著。葉面保持水分量大者，其葉面蒸散量亦大。
- 3.日光：日光於葉面蒸散有絕對控制能力。氣溫、濕度與風速合為蒸發能力，晝夜均有影響，但在露雨時期或植物需要吸收水分時則有相反效果，即供應水量。
- 4.土壤：土壤對於葉面蒸散有關，壤土含水量大，供應水分迅速，不妨礙植物之生理變化，粘土供水量少，有阻碍植物用水之嫌。植物在取水受阻碍時，其葉蒸不正常，生長亦受阻碍，增加化合物於根部或噴洒葉面均妨碍葉蒸，因此施肥之量與時不適當，有時有害。

表 4-4 臺灣各地蒸發量統計表

單位：mm

測站	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
臺北	62.1	61.1	81.4	100.7	126.9	139.7	173.5	173.3	146.8	114.7	84.1	64.8
新竹	73.9	67.1	83.7	104.1	139.4	151.0	193.6	180.5	155.6	147.2	108.7	85.3
宜蘭	55.7	56.8	75.8	91.0	108.6	123.3	171.1	161.1	127.2	83.5	58.1	50.6
臺中	95.2	91.6	110.7	125.6	152.5	150.6	175.7	163.2	155.4	154.3	117.1	98.0
花蓮	79.8	76.1	94.3	108.7	130.1	142.1	189.1	175.4	149.8	128.4	98.0	86.7
臺南	94.8	98.7	130.9	149.3	166.0	143.8	152.8	142.3	143.9	138.7	107.4	91.4
臺東	114.1	110.2	128.1	139.4	156.6	165.3	187.5	173.8	155.9	152.3	131.1	116.8
高雄	137.9	139.8	171.0	186.1	210.1	173.7	185.0	171.8	170.3	169.5	143.6	132.1

4.3、日照、雲量與風

雲量多寡可以影響日照，雲量又與降水日數成比例，但並非完全吻合，因全日天陰之日也未必降雨，而降雨之日未必全日有雲。臺灣可稱為多雲地區，年平均雲量大致在 70% 左右。至於分佈狀況，西南部較少，東北部較多。山地較平地為多。各地年平均雲量不同原因，受冬季影響較大，與地形及氣流性質有關。

日照常以日時數表示，隨緯度、季節及天氣而變，凡平均雲量少之處，日照時數即較多，因此西南部較東北部為多。臺灣地區日照時數月平均變化，受天氣系統影響各地略有不同，但平地及離島地區 7 月份日照時數為最多，2 月份日照時數為最少。超過海拔 2000m 使得日照量隨時間變化十分明顯，臺灣各地區之全年日照總數差異懸殊。表 4-5 表示臺灣各地區年總日照時數及日照率，依據表中統計看出臺灣全年平均日照時數為 1876 小時，台南高達 2,598 小時，基隆則僅 1,390 時。倘若以實際日照時數對於可日照時數之百分比作為日照率，則緯度與季節之因素均可除去，而完全受天氣之影響。因此日照率大致與雲量及降雨日數成反比，全年平均以基隆及宜蘭之 27.2% 為最小，最大為台南之 59%。

表 4-5 臺灣各地區日照時數及日照率

測站	春(3-5 月)		夏(6-8 月)		秋(9-11 月)		冬(12-2 月)	
	日照時數(hr)	日照率(%)	日照時數(hr)	日照率(%)	日照時數(hr)	日照率(%)	日照時數(hr)	日照率(%)
台北	122.5	31	193.3	47	112.9	32	54.7	17
新竹	141.9	38	229.3	56	193.0	55	119.0	36
台中	185.0	48	221.6	55	214.2	61	178.7	55
嘉義	137.7	36	171.5	43	135.9	37	129.6	40
台南	220.0	57	234.7	58	215.2	61	195.1	59
高雄	201.4	52	195.7	48	189.1	50	175.8	53
恆春	229.9	60	226.4	57	209.0	60	194.4	58
台東	137.3	35	235.8	58	157.7	44	105.2	32
花蓮	113.4	35	224.2	55	136.9	39	77.6	24
宜蘭	110.5	28	207.9	51	120.2	34	74.9	23

資料來源：中央氣象局。

臺灣位於大陸東南海上，處海陸氣流消長更迭之區，季風現象非常顯著。東北季風與西南季風，為控制臺灣氣候主因。東北季風盛行於冬期，故東北部迎風地區，以冬季為雨期；西南季風發生於夏季，故西南部則以夏季為雨期。東北季風開始於十月下旬，終止於翌年三月下旬，為期約五個月。在此

期間，東北風盛吹，又因其來向與東北信風符合，故風力強大，而尤以北部為甚。惟因地形與位置之差異，各地變化頗大。以各月平均風速而言，海上島嶼最大，高山次之，沿海第三，盆地最小。至於平地，以恒春風速最大，年平均 4.1m/s，而冬夏相差極大。新竹、台南均為 3.0m/s，年變化大致相同。台中風速最小，僅 1.7m/s，全年亦少變化。又每日最大風速超過 10m/s 之強風日數，恒春有 80 日以上，且冬季各月較夏季為大。

4.4、參考文獻

1. 中國農村復興聯合委員會，1972，「灌溉名詞簡釋」。
2. 臺灣省水利局，1980，「雜作灌溉手冊」。
3. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二，1984，「灌溉排水原理」，國立編譯館。
4. 蔡明華，1985，「灌溉與排水」，中國土木水利工程學會。
5. 農田水利會聯合會，2011，「農田水利技術人員訓練教材-灌溉管理類合訂本」。
6. Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L.S. 1994. "An update for the definition of reference evapotranspiration", ICID Bulletin, 43(2):1-34.
7. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, Italy.
8. Bouman BAM, Humphreys E, Barker R, Tuong TP, 2006, Rice water. Adv Agron, 92:187-237.
9. Cuenca, Richard H., 1989, Irrigation System Design, Prentice-Hall Inc., New Jersey.
10. Hansen, V.E. Israelson, O.W., Stringham G.E., 1979, Irrigation Principles and Practice. John Wiley & Sons, Inc.
11. Jensen, M.E., Burman, R.D., and Allen, R.G., 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., New York, NY.
12. OECD. 2014. Water and Agriculture: Towards Resilient Systems, OECD Studies on Water, Paris., France.

第五章、作物需水量

5.1、作物需水量之定義

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，外界之氣象條件，即大氣對作物蒸散要求之狀況，是支配作物消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情形下，則作物產量之增加已脫離水分控制，而是受光之強度、大氣中二氧化碳濃度及土壤中所含營養分種類來決定，此時水分並不構成作物產量之一因數。另一種為作物生長過程中，由於土壤中所含水分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，則作物蒸散不能穩定，隨著土壤含水量減少，蒸發散率亦相對降低。因此，在灌溉觀點，所謂作物需水量乃指作物在不欠缺水分之情形下，獲取最大量產之正常狀態時，所消耗之水量而言。

灌溉雖然為供應作物對水之需求，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、蒸發損失及其生育期間土面蒸發等，均為灌溉用水估算不可缺少因素。作物本身所消耗水量，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)表示。即：

$$\text{蒸散係數} = \frac{\text{一定時間內植物蒸散之水量}}{\text{同一時間內植物乾重總增長量}} \dots\dots\dots(5-1)$$

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，因作物蒸散量與土壤蒸發量無法區分，故僅能求得。水分總消耗量，即作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蒸散量及臨近土壤面蒸發量之總合，與蒸發散量(Evapotranspiration)之意義相同。作物耗水量單位一般對短時間常以公釐/日示之，長時間則依應用上需要，以公釐/期作、公釐/月或公釐/旬等表示法。

由於作物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，故作物蒸散量一般以作物生長各不同時期表示之。

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：

$$\text{田間灌溉用水量} = (\text{作物耗水量} + \text{田間滲漏量} - \text{地下水補給量} - \text{有效雨量}) \div \text{灌溉效率} \dots\dots\dots(5-2)$$

就灌溉工程設計需要而言，估計水源灌溉用水量可依下式表示：

水源灌溉用水量＝田間灌溉用水量＋輸水損失.....(5-3)

5.2、影響需水量之因數

作物在各階段生長過程與不同生長環境中，蒸散作用因大氣蒸發要求及作物生理上需要而隨時在進行，土面蒸發損失亦同時發生。因此，影響作物耗水量包括：氣候、土壤、作物品種、生長階段乃至於灌排等人為措施。

不管是因作物蒸散作用自根系吸收土壤水分，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：A.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。B.蒸發面上方空氣蒸氣壓必須小於葉面或土壤表面蒸氣壓，設若無蒸氣壓差存在，則水氣淨輸導為零，即蒸發散量為零。C.有足量水分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。

5.2.1、氣象因數

任何可以增加水面放出蒸氣壓差者，均可加強蒸發。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，但是風速可使水面上方空氣流動，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、溫度及濕度等所致蒸發量之最大值而定。根據 Briggs 及 Shantz 氏調查研究，作物蒸散量最顯著之影響因素為太陽之照射，再次為氣溫，而風速之影響較低，作物蒸發散量與氣象因數之相關列如表 5-1。

表 5-1 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

5.2.2、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。亦即土壤水分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，但土壤水分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。

土壤供給水分之能力，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，有其一定限度之水分位能梯度與高度，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影響，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分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 5-1。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，仍無法直接引用臺灣之灌溉規劃與田間施灌。

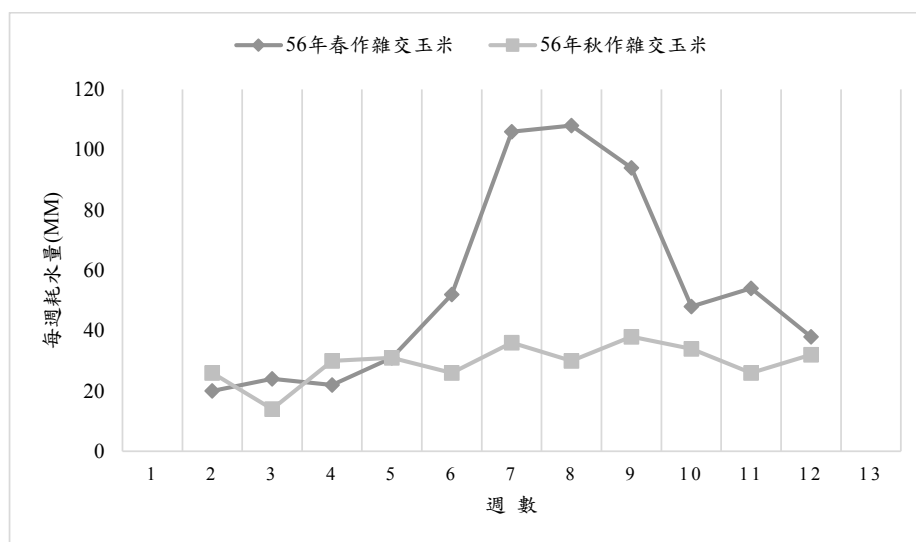


圖 5-1 玉米不同栽培期之耗水量比較圖

5.3、作物需水量之量測與估算方法

5.3.1、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，測定其土壤水分。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，中間留一孔，使作物長出，即可阻止水面或土面蒸發。在生長期間試盆內水稻試驗保持一定水深；旱作試驗其土壤水分經常保持在 1/2 有效水分或附近時，則機動加水至田間容水量。觀測期間每日上午九時以重量法秤重，測定水分消耗量。
2. 無覆蓋處理：試盆不加覆蓋，其他與覆蓋處一樣。

由以上兩種處理法可求得作物蒸發散量、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。以 2 月 19 日至 6 月 6 日春作大豆試驗結果為例，如圖 5-2。

二、滲透計觀測法(Lysimeter)

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

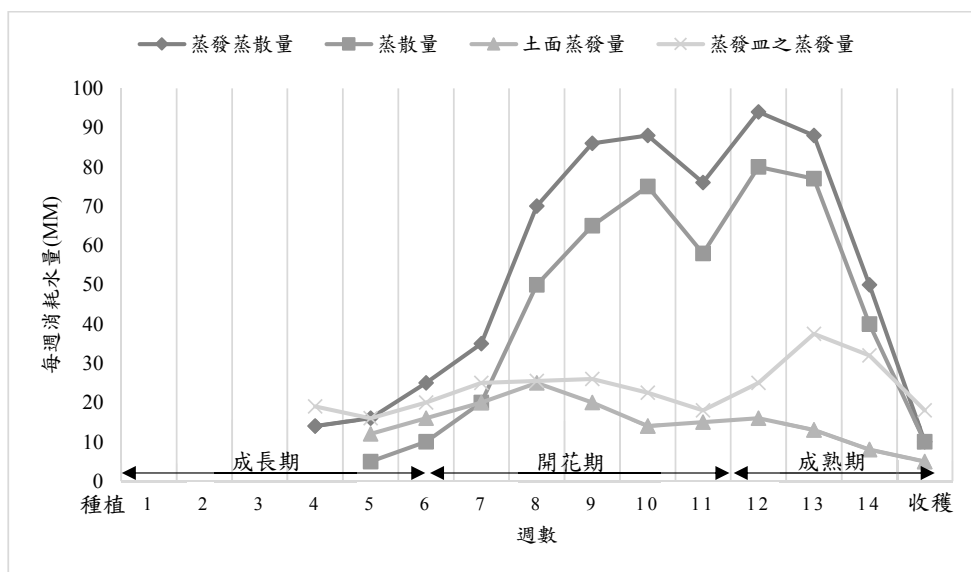


圖 5-2 春作大豆全生育期各項需水量消耗曲線

1. 固定式滲透計

構造如圖 5-3 所示，滲透計之大小並無一定規範，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，土面需保持與地面齊平。

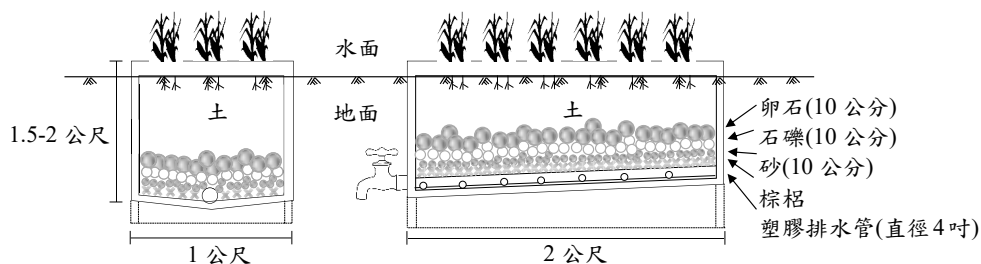


圖 5-3 固定式滲透計構造圖

水稻作物之觀測，以減水深法測定水深之變化。在觀測期，時常要將排水閥打開，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，以水分追蹤法測定之，土壤水分含量可用採土測定水分法、石膏塊法、水分張力計等法，一般水分張力計測定者為多，因操作簡單，精度高，可測得連續性之水分變化值。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，將其土壤水分觀測結果估算作

物需水量。其平衡式如下：

滲透計旱作物需水量

＝灌溉水量＋降雨量－底層增加水量＋土壤水分減少量.....(5-4)

2.移動式滲透計

構造如圖 5-4 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。

蒸發散量(mm)＝土壤減少之重量(kg)/土槽斷面積(m²).....(5-5)

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，故較大作物不宜採用。又土壤水分調整，須提土槽秤重，所花勞力相當可觀，為本法之缺點。

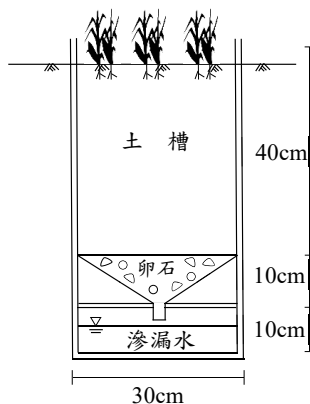


圖 5-4 移動式滲透計構造圖

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(conveyance losses)之計算，此為水源規劃及設計上所需要之數字，在理論上應等於作物需水量、田間滲漏量與水路損失之和。若為水庫計畫，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 0.2~0.5ha，離田埂 0.5~1.0m 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 5-5 之簡易釣尺(Hook gauge)測定之。如本法用於大面積觀測，測定點數建議如表 5-2。

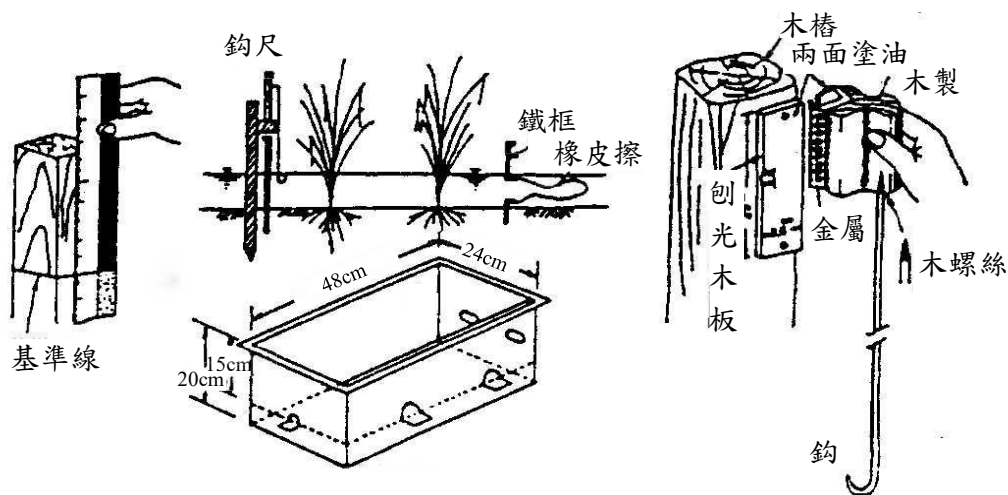


圖 5-5 簡易釣尺圖

表 5-2 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(farm ditch)，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 5-6)，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 55cm，高 50~60cm。方形者長寬各 1m，高為 50~60cm。埋設於離開田埂約 1m 左右之田間，筒緣離田面約 15~20cm。

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)

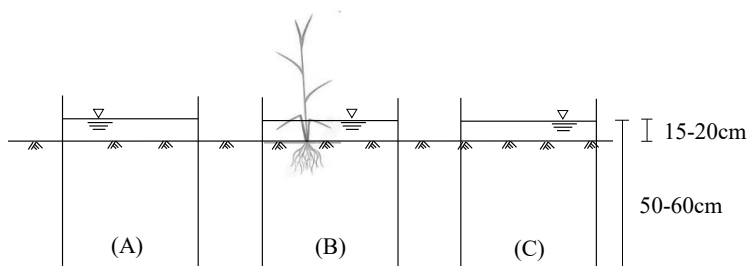


圖 5-6 滲透筒觀測水稻需水量法

2. 旱作田間作物需水量測定

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

(1) 水收支法：水收支法基本公式如下：

$$\Delta W = R + F_v - F_H - ET \dots \dots \dots (5-6)$$

式中，R：降雨量或灌溉水量；F_v：下層土壤水分上昇量或吸收量；F_H：降雨量或灌溉時田間流失量；ET：作物蒸發散量；ΔW：土壤水分含量變化。

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，及排水出口排水量觀測而得。下層土壤水分補給量 F_v ，及土壤水分含量變化量 ΔW 在小區試驗，可以利用各種土壤水分測定法測定之，大區域時間長時可忽略不計。採用此法關鍵，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)土壤水分遞減測定法：

定期測定各土層含水率之增減，求出各土層水分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，故按土壤水分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。

5.3.2、間接估算法

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：

- 1.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。
- 2.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。
- 3.作物蒸發散量(ET_{crop})：即可以下式(5-7)表示

$$ET_{crop} = K_c \times ET_o \dots\dots\dots(5-7)$$

式中， ET_{crop} ：作物蒸發散量(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； K_c ：作物係數。

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 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應用與良好評價，FAO 特推薦該模式以估算作物需水量，其估算式如下：

$$ET_0 = c [W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (e_a - e_d)] \dots \dots \dots (5-8)$$

式中，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 所建議，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：

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - S) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \dots \dots \dots (5-9)$$

式中，R_n：淨幅射之蒸發當量(mm/day)；△：飽和蒸汽壓力線斜率 (KPa/°C)；γ：濕度常數 (KPa/°C)；U₂：2 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：

$$ET_0 = c [p (0.46 T + 8)] \dots \dots \dots (5-10)$$

式中，p：日照率，可查表得知；T：溫度 (°C)；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：

$$ET_0 = c(W \times R_s) \dots \dots \dots (5-11)$$

$$R_s = R_a(0.25 + 0.50n/N) \dots \dots \dots (5-12)$$

式中， 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 ：實際與最大可能日照時間之比。

本估算式中太陽輻射(R_s)，是依照地球緯度及月份之不同而有所差異，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：

$$ET_0 = K_p \times E_{pan} \dots \dots \dots (5-13)$$

式中， E_{pan} ：蒸發皿蒸發量(mm/day)； K_p ：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，所得結果亦較為可靠；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, K_c)

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)。

1975 年，作物係數經 FAO 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，故只要地域性氣象資料能收集，對作物用水量之推估頗為方便。

1. 水稻作物係數：

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。

從作物生理觀點，稻作在開花抽穗期耗水形態必會呈現尖峰用水量(maximum water requirement)，故 FAO 推介 Kc 值，只指出大略範圍。為使灌溉配水計畫(water distribution schedule)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 Kc 值，大略低於一般水稻之 15~20%。有關臺灣地區水稻 Kc 值，如表 5-3 所示。

表 5-3 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。

2. 雜作物係數：

臺灣農田灌溉以水稻為主，然由於我未來即將加入 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。有關臺灣地區各主要雜糧作物之作物係數，可根據 FAO 及雜作灌溉手冊之推薦值為之(如表 5-4)。

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，而作物全生育期總作物需水量，則可由各單元別作物需水量總和表示之。

$$\sum ET_{\text{crop}} = \sum (Kc \times ET_o) \dots \dots \dots (5-14)$$

式中， $\sum ET_{\text{crop}}$ ：全生育期作物蒸發散量(mm)；Kc：作物係數。

經求得臺灣各地區水稻及早作作物需水量，如表 5-5～表 5-6 所示。

表 5-4 臺灣各作物別之 Kc 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

表 5-5 臺灣各地區水稻需水量

(單位：mm)

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：臺灣地區性作物需水量之推估研究(農委會研究報告，1997)

表 5-6 臺灣各地區旱作作物需水量

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	豌豆
宜蘭地區	1364	606	517	506	448	351	343	331	317	293	349	310	310	289	284	253	271	217
基隆地區	1250	556	474	464	410	322	314	303	290	268	320	284		265	260	232	249	199
臺北地區	1346	598	510	500	442	347	339	326	313	289	344	306	306	286	280	250	268	214
新竹地區	1430	636	542	531	469	368	360	347	332	307	366	325	325	303	298	265	284	228
台中地區	1510	671	572	560	496	389	380	366	351	324	386	343	343	320	315	280	300	240
嘉義地區	1413	628	535	524	464	364	355	343	328	303	361	321	321	300	294	262	281	225
台南地區	1603	712	607	595	526	413	403	389	372	344	410	364	364	340	334	297	319	255
高雄地區	1589	706	602	590	522	409	400	385	369	341	406	361	361	337	331	295	316	253
恆春地區	1752	779	664	650	575	451	441	425	407	376	448	398	398	372	365	325	348	279
花蓮地區	1423	632	539	528	467	366	358	345	331	305	364	323	323	302	296	264	283	226

資料來源：研擬合理灌溉概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)。

單位：mm/期作。

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，故無須測定土壤水分，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。但臺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分生理上之問題，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，又其土壤之水分蒸發亦較田間為快，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、上層土壤水分高低、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。由於臺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。惟臺灣之水稻蒸發散，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，須就臺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臺灣各種旱作物之需水量，如在臺灣有多種之旱作物，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。

5.4、參考文獻

1. 農業工程學會，1967，灌溉排水工程規劃手冊，省水利局叢刊之 66。
2. 農復會，1970，臺灣之水稻灌溉，台大農工系合編。
3. 農復會，1971，臺灣旱作灌溉立地區分調查報告，農復會特刊新 5 號。
4. 曹以松，1971，電子計算機計算水田有效雨量之研究，臺灣水利 19(2): 7-29。
5. 張建勛、蔡明華，1985，灌溉與排水，中國土木水利工程學會編行。
6. 農復會，1974，管路灌溉方法及技術，農復會特刊新 15 號。
7. 農發會，1980，旱作灌溉研討資料輯，農發會水利特刊第二號。
8. 臺灣省水利局，1980、台大農工系等合編，雜作灌溉手冊。
9. 李源泉，1993，灌溉管理，嘉義大學。
10. 甘俊二等，1999，灌溉用水管理訓練手冊，行政院農業委員會、臺灣省農田水利會聯合會、中國農業工程學會。
11. 徐金錫等，1994，農田水利會技術人員訓練教材灌溉管理類合訂本，臺灣省農田水利會聯合會。
12. 陳買等，1977，水稻栽培灌溉排水管理，中國農村復興聯合委員會、臺灣省水利局、臺灣省農田水利協進會。
13. 陳清田。1996。臺灣地區旱作物需水量之推估研究。國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
14. 施嘉昌、曹以松、徐玉標、甘俊二，1993，灌溉排水原理，中央圖書出版社發行。

- 15.游進裕、施嘉昌，1993，水對作物產量之效應，聯合國糧食及農業組織灌溉排水論文，No.33。
- 16.行政院農業委員會，1995，「灌溉節水技術手冊」。
- 17.經濟部水資源局，1998，「臺灣地區水資源供需情勢報告」。
- 18.經濟部水資源局，1998，「灌溉節餘用水之效率化應用推廣(I)」。
- 19.經濟部水資源局，1999，「灌溉節餘用水之效率化應用推廣(II)」。
- 20.經濟部水資源局，2001，「嘉南地區農業用水節水他用之研究(2/2)」。
- 21.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，1998，農田水利訓練教材。
- 22.行政院農業委員會編印，2003，灌溉排水營運管理。
- 23.許素禎。2012。不同田間灌溉管理操作對水稻生產力影響之研究。國立嘉義大學土木與水資源工程學系研究所碩士論文。
- 24.陳清田、林益如，2013，臺灣稻作種植日期調整對產量及灌溉用水效能影響之研究，臺灣水利，第 61 卷，第 3 期，pp. 98~107。
- 25.謝心怡、潘麟帆、蘇明道、林美君，2014，需水導向之灌溉用水量動態模擬系統評估，農業工程學報，第 60 卷，第 3 期，pp.82-91。
- 26.行政院農業委員會，2017，「農業灌溉白皮書暨農業灌溉用水問題集」。
- 27.行政院農業委員會，2017，「提升灌溉用水效率策略規劃」。
- 28.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 1-Introduction to Irrigation.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
- 29.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 2-Elements of Topographic Surveying.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
- 30.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 3-Irrigation Water Needs.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
- 31.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 6-Scheme Irrigation Water Needs and Supply.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
- 32.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 7-Canals.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1992。
- 33.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.
34. FAO Surface Irrigation (1974), Land and Water Development Series No.3 LJ. Booher. Rome.
 35. FAO Agro-meteorological Field Stations(1976), Irrigation and Drainage Paper 27 J. Doorenbos. Rome.
 36. FAO (1977), Crop Water Requirements (Revised). Irrigation and Drainage Paper 24. J. Doorenbos and W. O. Pruitt. Rome.
 37. FAO (1979), Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper 33. J. Doorenbos and A. H. Kassam. Rome.
 38. Moutonnet, P., 2001, Yield response factors of field crops to deficit irrigation International Atomic Energy Agency, Joint FAO/IAEA Division, Vienna, Austria.
 39. Jiamin L., Shinobu I., Zhaohu L., Egrinya E. A. 2005. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management 76: 8-23.
 40. 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.
 41. Yesim, E., Nedim, Y., 2003 , Yield response of watermelon to irrigation shortage, Science Horticulture ,98 : pp. 365-383.

第六章、灌溉用水量

6.1、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，會形成不同之用水量。例如輪區內位於水源附近及末端之不同坵塊(unit block)，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，依整地時之土壤水分及地下水位之狀況，亦會有不同之整地用水量，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。

目前臺灣採用之灌溉用水量之推算方式，相當粗放，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, Cu)為作物生長時期所需蒸散與附近土壤蒸發水分之總和，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。

6.2、灌溉用水量之有關名詞及單位

6.2.1、灌溉用水量之有關名詞

一、灌溉水深：以人為灌溉之水量以水深表示者。

二、田面蒸發量：由田面蒸發消失之水量。

三、葉面蒸散量：作物吸收之水分，經由葉面所蒸散之水量。

四、播種面積：播撒水稻種子育苗所用面積。

五、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。

六、浸田用水：於整田前供給田間泡田之水量。

七、整田用水：整田前所需用水量。

八、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。

九、本田用水：水稻自插秧後至成熟期停水日之間之用水。

十、生育日數：水稻自插秧後至成熟收穫之總日數。

十一、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。

十二、停水：水稻黃熟後期，不需灌溉時，停止供水施灌。

十三、輪區：輪流灌溉之配水區稱輪區(面積在 50 公頃左右)。

十四、單區(Rotation unit)：輪區內之單位配水區(面積在 10 公頃左右)。

6.2.2、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 4 種：

- 1.流量：立方公尺/秒(c.m.s 或 m^3/sec)，係指單位時間內流動水量。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(irrigation rate)：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。

6.2.3、應用實例

【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】

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

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

【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】

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

【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。

$$D = QT/A \quad T = DA/Q \quad Q = DA/T \quad A = QT/D \dots\dots\dots(6-1)$$

式中，D：灌溉水深(m)；T：灌溉時間(s)；A：灌溉面積(m²)；Q：灌溉流量(cms)。

【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】

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

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。

6.3、水田灌溉用水量

6.3.1、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，可分秧田、整田、本田三個時期加以說明。

一、秧田用水

一般計畫秧田用水，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，基於此等原因，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。此處以蓬萊種為例。

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 $= 0.0038 + 0.0093 \div 0.013\text{cms}$

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 $= 0.0047 + 0.0093 \div 0.014\text{cms}$

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，給水實際操作上易生問題，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，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 $Wp=5.23\%$ (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).....(6-2)

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

以上整田用水量，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.....(6-3)

若已知該地區蒸發量與雨量，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。

【例題十】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畫時，因必須得知正確的灌溉用水量資料，所以應依實測方法求之，方括：

A. 水田減水深(Water requirement in depth)之求法，詳 5.3.1。

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 6-1 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、流出量所用設備，除堰外，其他尚有巴歇耳量水槽等。

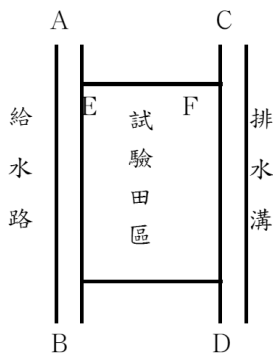


圖 6-1 流入、流出測定法

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 5-5 之裝置，但需加蓋，且於其中不種植水稻，安裝蓋子的目的，係為遮斷蒸發及降雨。

6.3.2、臺灣水稻需水量試驗成果

一、水稻蒸發散量

綜合以往試驗成果，臺灣水稻蒸散量，平均估計約 300~400mm，水面蒸發量為 320mm 以上，蒸發散量約為 600~700mm，因此，若水稻生長期以 100 天計，每日蒸發散量約為 6~7mm，以 2 期作蒸發散量較 1 期作為大。

二、水稻在各生長階段與土質下之日需水量

稻作生產期間日需水量，隨其各生長階段與土質差異很大。目前對水稻日需水量估計，按稻作生長期及土質，可列如表 6-1。

表 6-1 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 稔 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

稻作生長最適土壤水分範圍，在飽和水分與田間容水量之間。續灌法之田面經常保持一定水深，其土壤水分呈過飽和狀態，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，及至土壤水分遞減至相當於田間容量時再行補充灌溉。

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：

$$\text{灌溉期距(日)} = \frac{(\text{一次灌溉水深} / \text{灌溉效率})}{(\text{日蒸發散量} + \text{日滲漏量})} + 2(\text{日}) \dots \dots \dots (6-4)$$

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。在臺灣各地之灌溉期距，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(unit block)之配水，灌溉作業將至為繁重。

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深較淺，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。

臺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，為瞭解乾早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 5 種。1 次灌溉水深原計畫 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 6-2。依表 6-2，可作結論如下：

1. 續灌較輪灌用水量多達 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。

表 6-2 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

註：本表數據以 6 日 1 次試驗為基底 100 計之。

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：

$$P = 86,400 \times 1,000 / (\text{粘土粒}\% \times I \times 36 \times 10,000) \\ = 240 / (\text{粘土粒}\% \times I) (\text{mm/day}) \dots \dots \dots (6-5)$$

式中，P：滲漏水量，mm/day；I：係數，視粘土%的大小而定，粘土粒%，係以土壤內含 0.05mm 以下粘土的重要百分數計。

表 6-3 各種土壤滲漏水量

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

6.3.3、臺灣各區水稻灌溉用水量之推估

- 一、臺灣各區水稻種植面積：依據民國 107 年臺灣灌溉地普查報告資料，各區面積詳如表 6-4。
- 二、臺灣各區有效雨量：灌區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 6-5。
- 三、臺灣各區稻作栽培日程：稻作耕耘季節影響灌溉用水量最大，根據臺灣多年經驗，大致可分為三個不同地區，歸納其栽培日程如表 6-6。
- 四、臺灣各區稻作灌溉用水量估計：根據表 6-6 栽培日程，再依據：
 1. 秧田田間需水量：依照每一輪區 50ha，所需之秧田水路輸水量為 0.008cms 計算，則折合本田面積之 1.4mm/day。
 2. 整田田間需水量：本田面積之 185mm。

3.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。

五、依以上資料，臺灣八大區稻作各月份田間需水量大致估計如表 6-7。

六、稻作田間需水量扣除表 6-5 有效雨量，視為田間灌溉用水量，其逐月各值即可推算得如表 6-8。

七、稻作田間灌溉用水量，再加輸配水損失 30%，可估得粗灌溉用水量如表 6-9。以上估算年粗灌溉用水量，乃雙期水稻栽培所需水量，估算依據雖屬粗放，與實際情形自有差距，惟可藉此窺知臺灣水稻用水之一般。

表 6-4 臺灣地區各農田水利會轄區耕作制度與面積統計(民國 107 年)

區域	農田水利會別	灌溉地面積(ha)					合計
		雙期作田	單期作田	三年一作	三年二作	其他	
北部	宜蘭	18,551	-	-	-	-	18,551
	北基	4,307	992	-	-	-	5,299
	瑠公	-	-	-	-	481	481
	七星	440	-	-	-	190	630
	桃園	22,677	-	-	-	-	22,677
	石門	12,085	-	-	-	-	12,085
	新竹	6,035	-	-	-	-	6,035
	小計	64,095	992	-	-	671	65,758
中部	苗栗	9,504	-	-	-	-	9,504
	台中	21,640	44	-	-	4,408	26,092
	南投	12,085	558	-	-	-	12,643
	彰化	40,310	517	-	-	3,188	44,014
	雲林	14,324	6,119	16,199	23,041	3,802	63,485
	小計	97,863	7,238	16,199	23,041	11,398	155,738
南部	嘉南	22,932	9,172	346	34,864	6,863	74,117
	高雄	10,679	9,485	-	-	-	20,164
	屏東	17,733	4,743	-	-	2,616	25,092
	小計	51,344	23,400	346	34,864	9,479	119,433
東部	台東	7,963	1,191	-	-	5,847	15,001
	花蓮	14,421	-	-	-	385	14,806
	小計	22,384	1,191	-	-	6,232	29,807
合計		235,686	32,821	16,545	57,905	27,780	370,737

資料來源：農田水利聯合會，農田水利會資料輯，2018。

表 6-5 灌區月別有效雨量

單位：mm/月

區別	月別											
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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 6-6 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

表 6-7 各區稻作田間需水量估計

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) II (宜蘭) III (新竹)	一	14	42	275	270	270	270	90						1,231
	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) VI (高屏)	一	120	273	270	270	270							28	1,231
	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

表 6-8 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

表 6-9 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

6.4、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。

6.4.1、旱田灌溉用水量之決定

灌溉之目的乃維持土壤中水分在有效水分範圍內，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、以灌溉前土壤水分為起點

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

二、以 1/2 有效水分為起點

$$d = 1/2(FC - WP) \times As \times D / 100 \dots\dots\dots(6-7)$$

三、以 1/4 有效水分為起點

$$d = 1/4(FC - WP) \times As \times D / 100 \dots\dots\dots(6-8)$$

四、以 3/4 有效水分為起點

$$d = 3/4(FC - WP) \times As \times D / 100 \dots\dots\dots(6-9)$$

式中，d：純灌溉水深(mm)；FC：田間容水量(%)；WP：永久凋萎點(%)；Mc：灌溉土壤水分(%)；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 有效水分為灌溉起點者，普通用於地表灌溉，3/4 有效水分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。

【例題十一】

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

以 1/2 有效水分含量為灌溉起點時，

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

同理，已知灌前土壤水分為 15%，則該田區一次純灌溉水深為，

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

6.4.2、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(Irrigation interval)，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：

$$\text{灌溉期距(天)} = \frac{\text{有效根系純灌溉水量(mm)}}{\text{消耗水量(mm/day)}} \dots\dots\dots(6-10)$$

【例題十二】

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，求有效水分(AM)及灌溉期距(IV)？

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

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

$$(2) QT = Adg, 0.12 T = 5 \times 10000 \text{ m} \times 0.23$$

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

$$(3) AM = (FC-WP)/100 \times A_s \times D = 30-19/100 \times 1.5 \times 1000 = 165 \text{ mm}$$

$$(4) \text{灌溉期距}(IV) = 165/10 = 16.5 = 16 \text{ days}$$

6.4.3、主要作物灌溉臨界期

各種作物於生育期缺乏水分時，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，以下為臺灣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：

1. 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，成熟期有適當之水分，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。
 - 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)。
3. 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。
4. 大豆：水分為大豆生產重要限制因素，在營養生長期，水分太多將發生倒伏；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。
5. 黃麻：黃麻對水分非常敏感，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 有效水分以上，故在無降雨之情況下，約 10 天左右即應灌溉一次。
6. 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 有效水分以上。

7. 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，亦即分蘗期，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。
8. 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。
9. 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。
10. 油菜：移植後第 20、40、60 及 80 天各灌溉一次。
11. 胡麻：播種後第 30 天及 60 天各灌溉一次。
12. 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。

6.4.4、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 6-10、表 6-11 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 6-10 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
落花生	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 6-11 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

6.5、灌溉系統之輸水損失

灌溉水均取自河川、水庫及水井，自水源取入後經漫長的輸水渠道至田間，水量損失在所不免，影響輸水損失之因子可分兩大類，一為不可避免之損失，即渠道斷面之垂直滲漏、橫向滲漏及水面蒸發三種，前兩者損失較大，與修築渠道之材料及其環境有關係；水面蒸發量視渠道寬度而異，損失水量甚微，約占全損失水量之 5%；二為管理不當所影響之損失，即水門漏水，渠道有鼠洞、裂縫，渠岸溢流等。此等損失，管理雖甚嚴密，尚屬不可避免之損失，僅能將損失水量減少而已。茲將各種輸水損失分別說明如下：

- 一、渠道水面蒸發：渠道水面蒸發損失視渠道之寬狹深淺及當地的蒸發量而異，即使在乾旱之高熱天氣其量亦很少，必須由當地之蒸發觀測求得。一般言之，在夏天高熱之灌溉區域，每天之蒸發量約 12 公厘，相當於寬 7 公尺長 32 公里損失之流量 $30 l/sec$ ，在此種渠道，約為 1% 水量之損失。渠道水面蒸發損失，經常以渠道流量之百分比表之，在寬而淺之渠道，其損失率約較 1% 為高，經常均被忽略。
- 二、渠岸之蒸發散量：渠岸蒸散量之損失視岸坡建築材料，雜草之種類及沿岸植物生長之情形而定，如岸坡上無限制之生長雜草與植物，其蒸發散量可能會很大。如岸邊雜草及時修剪，毛細管作用移動快速，其土壤面蒸發量亦會相當可觀。因此種水量損失甚有限制，平常在淺水渠道甚少考慮，但如損失量甚大，應去除渠邊之雜草與植物，或加作內面工。
- 三、渠道之滲漏損失：渠底與渠岸之滲漏損失主要發生於無內面工渠道。有內面工渠道如為適當的建築與養護，其滲漏量可減少至極小限，但以腐蝕，風化之內面工，混凝土已透水，有裂縫破壞等現象，其滲漏損失與無內面工者無異。

6.5.1、輸水損失之量測

一、水流法

在渠道通水期間於上下游任取一斷面，利用流速儀或量水堰量測其流量，再除以上游流量即為此段渠道輸水損失，如式 6-11 所式。

$$L = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (6-11)$$

式中，L：輸水損失率(%/Km)； Q_{in} ：進水口流量(m^3/sec)； Q_{out} ：進水口流量(m^3/sec)。

二、水池法

在渠道中選取直線及斷面一致之渠段長約 500 至 1000 公尺，堵塞渠段二端不使有滲透現象，二斷面間必須嚴密堵塞流進流出水流，可利用原有閘門等構造物將此渠段充滿正常水位，並在此段內選取二至三處，設置水尺觀測斷面，每隔 8 小時記錄各斷面水深之讀數，觀測時間至少需 24 小時，時間愈長愈準確。觀測時間應記錄蒸發量，如觀測期間有降雨亦應予校正。觀測結果即為此段渠道內全部輸水損失，並非僅指滲濕損失。

臺灣各水利會目前訂定灌溉用水量時，是以灌溉率來計算水量，由田間灌溉面積，除以該地區灌溉率，推估田間需水量，進而再加入渠道輸水損失，包括：渠道本身蒸發、滲漏及人為操作管理損失量等。一般在幹、支、分渠上，因屬輸水系統，灌溉時長期通水，其損失之變化量較小而趨於穩定狀態。目前各水利會大部分採用水流實測法計算輸水損失(6-11)式，而後再轉換為單位長度損失水量，在無更好推估方式前，亦不失為一實用表示法，有關臺灣各水利會幹支分線之輸水損失如表 6-12 所示。

6.5.2、渠道輸水損失之表示法

上述渠道輸水損失常以百分比表示，此種表示方法是否合理極待討論。因渠道有大小、長度、水位高低以及流動時間久暫等因素，單以百分比渠道輸水損失，實在有欠合理。故一般表示渠道輸水損失方法可分如下三種：

- 一、每單位長度所損失之流量：此法較為實際，看到損失之流量，即可知水量之多寡，但除數字外上應加上說明，方可知渠道之型態及大小，如渠道之寬度與水深，內面攻之種類或土渠，渠道之新舊及通水時間等等方能明確表示該渠道之損失水量。

表 6-12 臺灣各水利會各級渠道之輸水損失率

會別	幹線	支線	分線	中小給	輸水 階段	配水 階段	灌溉 系統
宜蘭	20	15	10	5	38.80	3.06	41.86
桃園	13	20	17	15	42.23	8.67	50.90
石門	12	12	12	15	31.85	9.88	41.73
苗栗	25	22	--	30	41.50	17.55	59.05
台中	26	22	23	21	54.398	9.54	64.53
南投	25	20	20	15	52.00	7.20	59.20
彰化	16	8	14	14	33.81	18.53	52.34
雲林	10	8	7	20	23.00	15.40	38.40
嘉南	6	15	20	25	36.08	15.98	52.06
高雄	20	18	--	5	34.40	3.28	37.68
屏東	21	18	20	15	48.18	7.77	55.95
台東	30	32	32	45	67.63	14.57	82.20
花蓮	35	35	40	40	74.65	10.14	84.79

單位：%。資料來源：經濟部水利司，「研擬合理農業灌溉用水標準(II)」，1996。

二、每單位渠道長度損失之百分比：此種表示方法較第一種不甚明顯，不知實際損失之水量，同時亦無流量大小，渠道型態及流經時間等因素。

三、24 小時內每單位誰留面積所損失水量：用此方法是最為科學，表面上看來雖無渠道之單位長度、渠道之大小及形態等單位，事實上均已包括在內，惟需作簡單的換算。如某壤土渠道，其輸水損失為 $0.125\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ，及每 24 小時每一平方公尺支潤周損失 0.125 立方公尺之水，如某同性質之渠道，不管渠道大小僅量出通水面積，渠道長度即可計算得該渠道在 24 小時內求得損失之容量，由此亦可換算成某渠道所損失之流量，計算甚為方便。

6.6、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。

6.6.1、有效雨量之定義

有效雨量(effective rainfall)，顧名思義即降雨能為有效利用之部分稱之，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分，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，則此部分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土壤中，以供作物吸用之部分稱為有效雨量，反之，成為逕流或滲漏者，則為無效雨量。

6.6.2、有效雨量之估計

為確實估算有效雨量，一般而言，估計有效雨量，可將其區域分為大區域及小區域二種。針對小區域而言，由水平衡觀念得知：

$$I + R + \Delta h = ET + P + D \dots\dots\dots(6-12)$$

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

因有效雨量為作物所利用，其轉為逕流或滲漏，所以將水收支平衡式更改：

$$Re = K \times R \dots\dots\dots(6-13)$$

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

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

其中， Re ：有效雨量(mm/day)； K ：有效降雨係數； I ：施灌水量(mm/day)； D ：排水量(mm/day)； ET ：蒸發散量(mm/day)； P ：滲漏量(mm/day)； Δh ：蓄積水深變化(mm)； R ：降雨量(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。

若是針對大區域而言，由水收支平衡法得知，由如下(6-14)式將 K 值求出後，即可求出當地之有效雨量。

$$K = \frac{[(ET + P) - 8,640(Q_{in} - Q_{out})/A]}{R} \dots\dots\dots(6-14)$$

其中，K：有效降雨係數；ET：蒸發散量(mm/day)；P：滲漏量(mm/day)；R：降雨量(mm/day)；A：集水區面積(m²)；Q_{in}：總進流量(m³/sec)；Q_{out}：總出流量(m³/sec)。

常用田間有效雨量估計法，列舉如下 4 種：

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分，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：

- A. 確定土壤之有效水分；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。
- B. 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蒸發散量與蒸發量比值 a，而得作物該日需水量。
- C. 由前一日剩餘水量，減去作物該日需水量，減去該日剩餘水量。
- D. 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。
- E. 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)。
- F. 在(E)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分，亦即降雨成為逕流及深部滲漏等無效部分，則該日之降雨量減去無效雨量部分即為該日之有效雨量。
- G. 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耗盡前即應加以灌溉。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})。計算方法列舉如表 6-13、表 6-14。

表 6-13 逐日有效雨量計演算法(以嘉南農田水利會為例)

月日	降雨量	需水量	剩餘灌溉水量	有效雨量	灌溉水量	說明
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		$60 - (55.7 - 10) = 14.3$ $40 - 10 + 30 = 60$
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 $175.4/297.6 \times 100 = 58.9$ 。

表 6-14 有效雨量計算實例(嘉南學甲，Bmax=40，a=0.5)

年月	日期	蒸發量	降雨量	作物 需水量	剩餘灌 溉水量	有效 雨量	灌溉 水量	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	0.1			
	8	6.31		3.16	36.94		40.00	
	9	6.12	0.25	3.06	34.13	0.25		
	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	10.80		
	19	6.36	10.80	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	

註：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，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。

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

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	6 月	7 月	8 月	9 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 = $\{8,640/[(\text{田間灌溉水深}) \times (1 - \text{輪灌乾田日數比率})]\} \times \{1 - (\text{中小給水路損失率})\} \dots\dots\dots (6-15)$

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

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

$= 930 \text{ ha/cms}$

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，臺灣各地區每月之有效雨量值如表 6-5 所示。

6.6.3、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(pond)調節為水源之灌溉區域，如嘉南、桃園、石門農田水利會。

6.6.4、提高田間有效雨量之作法

一、灌溉前提早整備田埂，以便貯留雨水。

二、插秧後隨水稻生長，適時調整田間排水口之溢流(Overflow)高度，以增加貯留雨水量。

三、經常巡視加強田埂，以防止漏水。

四、灌溉水深應力求降低，以提高雨水之貯留。

五、灌溉後應有適當之乾田時間。

六、注意氣候，如有降雨跡象，即提前減水或斷水灌溉。

七、有蓄水池塘、水庫之大區域灌區，可先扣除預估之有效雨量。

八、加強實施公灌制度，以提高有效雨量之利用。

九、機械化作業可縮短工作時間，增加有效雨量利用機會。

十、直播栽培，應盡量利用降雨時播種。

十一、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分供應量。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。

6.7、參考文獻

1. 中國農業工程學，灌溉排水工程規劃手冊，省水利局叢刊六十六，1967。
2. 農復會，臺灣之水稻灌溉，台大農工系合編，1970。
3. 農復會，臺灣旱作灌溉立地區分調查報告，農復會特刊新 5 號，1971。
4. 曹以松，電子計算機計算水田有效雨量之研究，臺灣水利 19(2): 7-29，1971。
5. 張建勛、蔡明華，灌溉與排水，中國土木水利工程學會編行，1985。
6. 農復會，管路灌溉方法及技術，農復會特刊新 15 號，1974。
7. 農發會，旱作灌溉研討資料輯，農發會水利特刊第二號，1980。
8. 甘俊二等，灌溉用水管理訓練手冊，行政院農業委員會、臺灣省農田水利會聯合會、中國農業工程學會，1999 年 6 月。
9. 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，臺灣省農田水利會聯合會，1994 年 6 月。
10. 陳清田。1996。臺灣地區旱作物需水量之推估研究。國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
11. 施嘉昌、曹以松、徐玉標、甘俊二，灌溉排水原理，1993。
12. 蔡明華，「水田灌溉之公益效能剖析研究」，1993。
13. 游進裕、施嘉昌，水對作物產量之效應，FAO 灌溉排水論文，No.33，1993。
14. 行政院農業委員會，「灌溉節水技術手冊」，1995。
15. 經濟部水資源局，「臺灣地區水資源供需情勢報告」，1998 年 6 月。

- 16.經濟部水資源局，「灌溉節餘用水之效率化應用推廣(I)」， 1998。
- 17.經濟部水資源局，「灌溉節餘用水之效率化應用推廣(II)」， 1999。
- 18.經濟部水資源局，「嘉南地區農業用水節水他用之研究(2/2)」， 2001。
- 19.行政院農業委員會，灌溉用水調查評估及調配利用，2001。
- 20.行政院農業委員會，灌溉用水調查評估及調配利用，2001。
- 21.行政院農業委員會編印，灌溉排水營運管理，2003。
- 22.行政院農業委員會，農業水資源有效利用與灌溉管理策略規劃，2010。
- 23.七星農田水利基金會、農業工程研究中心，農田水利訓練教材，1998。
- 24.行政院農業委員會，2013，提升農業水資源利用效率政策規劃計畫。
- 25.經濟部水利署水利規劃試驗所，2008，嘉南水利會灌區休耕決策對灌溉用水影響之空間分析研究總報告。
- 26.彭明輝，2011，糧食危機關鍵報告，商業周刊出版社。
- 27.許素禎。2012。不同田間灌溉管理操作對水稻生產力影響之研究。國立嘉義大學土木與水資源工程學系研究所碩士論文。
- 28.陳清田、林益如，臺灣稻作種植日期調整對產量及灌溉用水效能影響之研究，臺灣水利，第 61 卷，第 3 期，pp. 98~107，2013。
- 29.謝心怡、潘麟帆、蘇明道、林美君，需水導向之灌溉用水量動態模擬系統評估，農業工程學報，第 60 卷，第 3 期，pp.82-91，2014。
- 30.行政院農業委員會，「農業灌溉白皮書暨農業灌溉用水問題集」，2017。
- 31.行政院農業委員會，2017，「提升灌溉用水效率策略規劃」，2017。
- 32.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 1-Introduction to Irrigation.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
- 33.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 3-Irrigation Water Needs.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
- 34.Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 6-Scheme Irrigation Water Needs and Supply.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
- 35.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.
- 36.FAO Surface Irrigation, 1974 , Land and Water Development Series No.3 LJ.

Booher. Rome.

37. FAO Agro-meteorological Field Stations, 1976, Irrigation and Drainage Paper 27 J. Doorenbos. Rome.
38. FAO, 1977, Crop Water Requirements (Revised). Irrigation and Drainage Paper 24. J. Doorenbos and W. O. Pruitt. Rome.
39. FAO, 1979, Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper 33. J. Doorenbos and A. H. Kassam. Rome.
40. ICID, 2008, "Irrigation and Drainage - Managing Water for Sustainable Agriculture - The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage".
41. IPCC, 2010, "Technical Paper VI - Climate Change and Water".
42. L. S. Pereira et al., 2012, "Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving".
43. M. Machibya et al., 2004, "Irrigation efficiency and productivity manual".
44. M.G. Bos et al., 2005, "Irrigation and drainage performance assessment".
45. Moutonnet, P., 2001, Yield response factors of field crops to deficit irrigation International Atomic Energy Agency, Joint FAO/IAEA Division, Vienna, Austria.
46. Jiamin L., Shinobu I., Zhaohu L., Egrinya E. A. 2005. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain. Agricultural Water Management 76: 8-23.
47. 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.
48. S. M. Scheierling et al., 2015, "Water Productivity in Agriculture: Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature".
49. Yesim, E., Nedim, Y., 2003, Yield response of watermelon to irrigation shortage, Science Horticulture, 98 : pp. 365-383.
50. The World Bank Group, World's Bank Web Site (<http://data.worldbank.org/>)

第七章、灌溉水質及水源

7.1、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。

7.1.1、灌溉水質之評估項目

一般而言，評定灌溉用水品質需注意者有：(1)灌溉用水之混濁度；(2)含鹽分之高低；(3)水中納離子之多寡；(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，而使灌溉排水趨於困難。

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，都是沿襲原始的濁度計，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 EC 表示，電導度為測量水之導

引電流之能力。電導度(EC)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電導度。

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(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。

新製蒸餾水之比電導度為 0.5 到 2 μ mhos/cm，放置數星期後會升高到 2 到 4 μ mhos/cm，這主要是由於吸收了空氣中之二氧化碳及微量氮所致。

美國自來水電導度約為 50 到 500 μ mhos/cm，含礦物質較多者為 500 到 1,000 μ mhos/cm，有時更高些。汙水中之比電導度與該地之給水有關。有些工業廢水之比電導度會超過 10,000 μ mhos/cm。

電導度單位，係以總合溶解鹽類濃度表示(參照圖 7-1)，以水溫 25°C 作為基準，單位為 μ mhos/cm25°C。

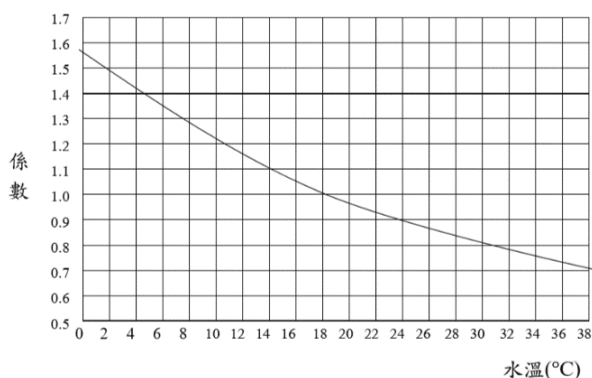


圖 7-1 電導度之換算圖表

電導度(conductivity Classes)可分下列六種：

C₁(0~250 μ 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。

C₂(250~750 μ 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 μ mhos/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(2250~4000 $\mu\text{mhos/cm}$)：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(4000~6000 $\mu\text{mhos/cm}$)：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 6000 $\mu\text{mhos/cm}$)：鹽分含量過多之灌溉水，不合灌溉用。

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：

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \dots\dots\dots(7-1)$$

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

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低。

S2 (SAR 值之低限自 2.5-10 至高限 7-18 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 11-26 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 11-26 至高限 30 間)：鈉鹽含量極高之灌溉水，一般情形已不適合灌溉用，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絮散，對土壤物理性較為有利，但仍應經常淋洗。

四、有害物質含量：其他有害物質種類甚雜，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 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， $1.25 \sim 2.50 \text{ meq/l}$ 為臨界濃度。

$$RSC = (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

- 2.硼(Boron)：硼是所有植物保持正常生長所必須元素，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。灌溉水中含硼 0.75 meq/l 以上時，對敏感作物以 $1.0 \sim 2.0 \text{ mg/l}$ 為其極限。在土壤飽和抽出液含硼濃度小於 0.7 mg/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，使土壤酸化為害作物。
- 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 mg/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 5.0 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 5.0 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.鈹(Be)：鈹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，在灌溉水中油脂含量不得超過 0.1 mg/l 。

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)等物含量限定，參考表 7-1。

7.1.2、灌溉水質標準

制定水質標準目的，為積極控制水資源之品質，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，制定水質標準應考慮下列各因素。表 7-1～表 7-3 為臺灣灌溉水質之標準。

- 一、承受水體的大小和用途。
- 二、廢汙量與承受水體最小流的比值。
- 三、承受水體的分類和存在的條件。
- 四、廢汙性質對河川用途的可能影響。
- 五、對區域的汙水系統的影響情形。

表 7-1 臺灣灌溉用水水質標準

項 目	限 值	項 目	限 值
鈷 (Co) mg/ℓ	0.05	氫離子濃度指數(pH 值)	6.0-9.0
銅 (Cu) mg/ℓ	0.2	電導度 $\mu\text{mhos}/\text{cm}25^{\circ}\text{C}$	750
鉛 (Pb) mg/ℓ	0.1	懸浮固體 mg/ℓ	100
鋰 (Li) mg/ℓ	2.5	氯化物 mg/ℓ	175
錳 (Mn) mg/ℓ	0.2	硫酸鹽 mg/ℓ	200
汞 (Hg) mg/ℓ	0.002	總氮量 mg/ℓ	3.0
鉬 (Mo) mg/ℓ	0.01	陰離子界面活性劑	5.0
鎳 (Ni) mg/ℓ	0.2	油脂 mg/ℓ	5.0
硒 (Se) mg/ℓ	0.02	鋁(Al) mg/ℓ	5.0
釩 (V) mg/ℓ	0.1	砷(As) mg/ℓ	0.05
鋅 (Zn) mg/ℓ	2.0	鉍(Be) mg/ℓ	0.1
納吸著率 (SAR)	6.0	硼(B) mg/ℓ	0.75
殘餘碳酸鈉 (RSC) meq/ℓ	2.5	鎘(Cd) mg/ℓ	0.01
水溫 $^{\circ}\text{C}$	35	鉻(總)(Cr) mg/ℓ	0.1

附註：1.本標準適用於農田水利會事業區域內之灌溉用水。

- 2.天然水之水質若超過本標準之限值，得不受本標準之限制。
- 3.本標準各項目限值，除氫離子濃度指數為一範圍、溶氧量為最低限值外，均為最大限值。
- 4.本表各項水質單位除水溫為 $^{\circ}\text{C}$ 、pH 為無單位、電導度 $\mu\text{S}/\text{cm}25^{\circ}\text{C}$ 、納吸著率為 $\sqrt{\text{meq}/\ell}$ 、殘餘碳酸鈉為 meq/ℓ外，其他均為 mg/ℓ。

表 7-2 一般判斷灌溉水質摘要

等級說明 評定項目	第一級	第二級	第三級
	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，仍可獲得滿意之結果。	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 (mg/ℓ)	少於 4~11	4~20	大於 12~20
EC(25°C) (μmhos/cm25°C)	早期文獻多設限為 500 μmhos/cm25°C，惟最近之研究，認為 1,000 μmhos/cm25°C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 7-3 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/100ml	1,000 ⁽³⁾	-
總可溶性固形物(TDS)(mg/ℓ)	500 ⁽³⁾	1,500
電導度 EC(μmhos/cm25°C)	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
銅 (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。

7.1.3、水質不良的處理

臺灣近十餘年來，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：

一、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)、PCB(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，部分滯留水因水流自淨能力不足，淤泥常產生甲烷及硫化氫放出臭氣。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。又計畫浚渫之時期，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。

二、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：

$$C_2 = \frac{C_1 Q_1 + C_s Q_s}{Q_1 + Q_s} \dots\dots\dots (7-2)$$

其中， Q_1 ＝導水前河川流量(m^3/sec)； Q_s ＝導水量(m^3/sec)； C_1 ＝導水前河川水質生物化學需氧量 BOD(PPM)； C_s ＝導水水質生物化學需氧量 BOD(PPM)； C_2 ＝導水後河川水質生物化學需氧量 BOD(PPM)。

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畫之調洪水庫之放水路(wasteway)，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。

三、保護水路之水質：

保護水路水質依其目的可選擇下述兩種方法：1.防止河川水與污染水合流。2.分離河川中汙濁水與清淨水，分離汙水的效果可由下式計算：

$$C_2 = \frac{C_1 Q_1 - C_s Q_s}{Q_1 - Q_s} \dots\dots\dots (7-3)$$

式中， Q_1 ＝分水前河川流量(m^3/sec)； Q_s ＝分水量(m^3/sec)； C_1 ＝分水前河川水質生物化學需氧量 BOD (PPM)； C_s ＝分水水質生物化學需氧量 BOD (PPM)； C_2 ＝分水後河川水質生物化學需氧量 BOD (PPM)。

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(conduit)，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。

四、污染負荷之減少：

對於計畫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，並避免與治水計畫發生矛盾。

- 1.施行在低水路之方法：施行在水深淺處、設蛇籠堰、設滯留堰。
- 2.施行在高灘地之方法：設酸化池、浸透池、散水高灘地或酸化水路。

7.1.4、臺灣之灌溉水質

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。依據行政院農業委員會農業發展計畫 2015 年統計報告，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，有關臺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 7-4。

表 7-4 臺灣地區各農田水利會灌溉水質受污染超過灌溉水質標準統計
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	6,684,130
	北基	0
	桃園	11,271,580
	石門	1,307,440
	新竹	1,198,500
	小計	20,461,650
中部	苗栗	3,692,170
	台中	10,057,500
	南投	1,479,720
	彰化	9,447,580
	雲林	8,666,050
	小計	33,343,020
南部	嘉南	6,543,490
	高雄	891,850
	屏東	6,225,090
	小計	13,660,430
東部	台東	19,930
	花蓮	2,162,550
	小計	2,182,480
合計		69,647,580

註：七星與瑠公因水量少亦無統計資料，故以 0 統計。單位：立方公尺。

資料來源：行政院農業委員會，農業發展計畫，2015。

目前臺灣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，目前臺灣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。

7.2、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，臺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。由行政院農業委員會農田水利處農業用水量化目標及總量清查報告(2000)得知，河川引水及地面水抽水水量 8,834,274,477 m³(約占 88.07%)，水庫及埤池水量 799,988,002 m³(約占 7.98%)，地下水水量 396,816,392 m³(約占 3.96%)。

由於臺灣河川特性不良，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，但臺灣由於集水區、地質、容水量及淤塞等因素之限制，造壩(dam)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。

7.2.1、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，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，然後根據所計畫栽培之作物，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(water demand)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(weir)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，以及防止河床變動或河道分歧等，以水利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. 臺灣河川概況

臺灣大小河川共 118 條，依前經濟部水資源之區分包括中央管河川 24 條，跨省市河川 2 條，和縣(市)管河川 92 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(如表 7-5)。

據調查統計，臺灣各河川年逕流總量計達 675 億 m^3 ，惟季節分佈很不平均，其中雨季(5~10 月)為 526 m^3 ，佔 78%，旱季(11~4 月)為 149 億 m^3 ，佔 22%。枯水年之年逕流量為 341 億 m^3 ，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，則臺灣可靠之地面水源約 134 億 m^3 。(如表 7-6)

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：

- A. 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。
- B. 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。

表 7-5 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	13.75	50.80	1,030	四重溪	31.91	124.88	1,960
淡水河	158.7	2,726.0	20,000	保力溪	20.70	105.23	1,740
南崁溪	30.73	214.67	2,850	雙溪	26.81	132.50	2,140
老街溪	36.70	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	19.30	98.35	1,630
頭前溪	63.03	565.94	8,380	蘭陽溪	73.0	978.0	8,400
客雅溪	22.98	48.41	720	冬山溪	25.29	113.36	1,510
中港溪	54.00	445.58	4,720	新城溪	18.13	50.46	880
後龍溪	58.30	536.59	6,340	蘇澳溪	8.83	29.65	593
西湖溪	32.50	110.53	1,800	南澳溪	48.40	311.73	3,690
大安溪	95.76	758.47	7,000	和平溪	48.20	561.06	9,000
大甲溪	124.20	1,235.73	8,780	立霧溪	55.0	616.30	5,910
烏溪	119.13	2,025.60	21,000	三棧溪	24.45	123.32	1,950
濁水溪	186.60	3,156.90	24,000	美崙溪	15.40	76.40	1,090
新虎尾溪	49.85	109.26	1,790	吉安溪	11.40	42.16	632
北港溪	82.0	645.21	6,100	花蓮溪	57.28	1,507.09	16,600
朴子溪	75.87	426.60	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	65.0	379.0	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	41.30	339.74	2,920	卑南溪	84.35	1,603.21	11,400
二仁溪	61.20	339.20	4,000	太平溪	20.50	88.0	1,580
阿公店溪	38.0	137.07	2,070	利嘉溪	37.80	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	171.0	3,256.85	23,500	太麻裏溪	36.27	217.53	2,880
東港溪	44.0	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	22.30	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	101.60	1,530
楓港溪	20.32	102.50	1,710				

資料來源：經濟部水利署。

表 7-6 臺灣地區各區域年逕流量

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	9524	5621	15145	9,259	7,305	4,986	3,613	淡水河、蘭陽溪、頭前溪
中部	10,507	11915	3453	15368	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	10,002	15629	1894	17523	6,623	3,260	1,920	1,466	樸子溪、八掌溪、急水溪、二仁溪、曾文溪、高屏溪、林邊溪
東部	8,144	12707	4264	16971	8,495	6,681	5,682	4,304	花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪
合計	36,000	49775	15232	65007	34,081	24,104	17,607	13,386	

註：1.豐水期：5～10 月，枯水期：11～4 月。2.單位：百萬立方公尺(%)。

3.區域畫分，是按「臺灣地區綜合開發計畫」分區原則，北區為宜蘭、基隆、臺北、桃園、新竹，中區為苗栗、臺中、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。

4.資料來源：中華民國一〇六年臺灣水文年報總冊，106 年 6 月。

C. 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，在同一時間內測議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。

$$V = 1/n \times R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots(7-4)$$

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畫，而事前對該溪河無實測流量記錄時，則以間接法推估之。即

$$R = C \times P \dots\dots\dots(7-5)$$

式中，R＝逕流量；P＝降雨量；C＝逕流係數，依次庫斯克(Isekowsxi)氏統計各種地形之逕流係數，如表 7-7。

表 7-7 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

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，故德國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。

7.2.2、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，若新釐訂一大規模之灌溉計畫時，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。臺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 7-8。

臺灣河流經水庫調節而用於灌溉之水源，大致可分三類(如表 7-8)：

- 1.攔截主要河流水源，而行季節性調節者，如石門，曾文水庫屬之。
- 2.攔截次要河流或主要河流支流水源，而行季節性或跨年度調節者，如大埔水庫、後龍水庫、白河水庫、虎頭埤、阿公店水庫等屬之。
- 3.攔截次要河流或主要河流之支流水源，並以隧道(tunnel)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。

表 7-8 臺灣 95 座公告水庫容量統計一覽表(1/5)

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 (m)	壩長 (m)	完成年月
				總容量	有效容量				
新山	基隆市安樂區	基隆河支流新山溪	公共給水	10.02	10.02	土石壩	66	265	民國 88 年
西勢	基隆市暖暖區	基隆河	公共給水	0.45	0.40	混凝土壩	29.6	102.4	民國 15 年
翡翠	新北市新店市	新店溪支流北勢溪	公共給水	406.00	334.13	拱壩	122.5	510	民國 76 年
直潭壩	新北市新店市	新店溪	大臺北地區民生用水	4.18	1.56	混凝土壩	12.5	117	民國 67 年
石門	桃園市大溪區	淡水河支流大漢溪	灌溉、發電、給水、防洪、觀光	309.12	202.56	土石壩	133.1	360	民國 53 年
寶山	新竹縣寶山鄉	頭前溪支流上坪溪	公共給水	5.47	5.38	土壩	34.5	260	民國 74 年
寶山第二	新竹縣寶山鄉	頭前溪支流上坪溪	公共給水	32.18	31.47	土壩	61	345	民國 95 年
鳶山堰	新北市三峽區	大漢溪	公共給水、灌溉	4.77	4.40	混凝土壩	15	246.5	民國 74 年
阿玉壩	新北市烏來區	南勢溪支流桶後溪	發電	0.11	0.09	混凝土壩	18	73	民國 36 年
羅好壩	新北市烏來區	南勢溪	發電	0.31	0.28	混凝土壩	22	86	民國 36 年
桂山壩	新北市烏來區	南勢溪	發電	0.42	0.32	混凝土壩	24	125	民國 30 年
青潭堰	新北市新店市	新店溪	大臺北地區民生用水	0.83	0.21	混凝土壩	5.5	197.6	民國 64 年
粗坑壩	新北市新店市	新店溪	發電	0.24	0.18	混凝土壩	6.8	160	民前 4 年
榮華壩	桃園市復興區	大漢溪	發電及攔砂	12.40	0.07	拱壩	82	160	民國 72 年
大埔	新竹縣峨眉鄉	中港溪支流峨眉溪	農業用水	9.26	5.30	土石壩	17	99	民國 49 年
永和山	苗栗縣頭份鎮	中港溪	公共給水、灌溉	30.22	29.99	土石壩	62.5	340	民國 73 年
明德	苗栗縣頭屋鄉	後龍溪支流老田寮溪	農業、公共給水	17.70	12.24	土石壩	35.5	187	民國 59 年
德基	臺中市和平區	大甲溪	農業灌溉、民生用水、防洪、發電	232.00	183.00	拱壩	180	290	民國 62 年

表 7-8 臺灣 95 座公告水庫容量統計一覽表(2/5)

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 (m)	壩長 (m)	完成年月
				總容量	有效容量				
谷關	臺中市和平區	大 甲 溪	農業灌溉、民生用水、防洪、發電	17.10	12.50	混凝土壩	85.1	149	民國 50 年
石岡壩	臺中市石岡區	大 甲 溪	農業與民生發電	2.40	1.24	混凝土壩	25	352	民國 90 年
霧社	南投縣仁愛鄉	濁水溪流域霧社溪	發電	148.60	43.66	混凝土壩	114	205	民國 48 年
日月潭	南投縣魚池鄉	濁 水 溪	發電蓄水及公共給水	171.62	129.75	土 壩	30.3	363.6	民國 23 年
鯉魚潭	苗栗線三義鄉	大安溪支流景陽溪	生活用水	126.07	114.98	土石壩	96	235	民國 81 年
頭社	南投縣魚池鄉	濁 水 溪	農業用水	0.30	0.21	土壩	12	64	民國 68 年
青山壩	臺中市和平區	大 甲 溪	發電	0.69	0.62	混凝土壩	45	100	民國 59 年
天輪壩	臺中市和平區	大 甲 溪	農業灌溉、民生用水、發電	0.82	0.25	混凝土壩	48.2	91	民國 52 年
馬鞍壩	臺中市和平區	大 甲 溪	農業灌溉、民生用水、發電	0.58	0.19	混凝土壩	23.5	229.5	民國 86 年
武界壩	南投縣仁愛鄉	濁水溪	日月潭用水	14.00	0.96	混凝土壩	57.6	86.5	民國 23 年
明湖下池	南投縣水里鄉	水里溪	抽蓄、發電用	9.76	7.57	混凝土壩	57.5	169.5	民國 73 年
明潭下池	南投縣水里鄉	水里溪	抽蓄、發電用	14.40	11.10	混凝土壩	61.5	314	民國 80 年
銃櫃壩	南投縣水里鄉	銃櫃溪	發電、民生用水	0.13	0.09	混凝土壩	27.3	57.2	民國 26 年
集集攔河堰	南投縣集集鎮	濁水溪	農業、工業、公共、水力	10.05	4.11	混凝土壩	15	352.5	民國 90 年
士林攔河堰	苗栗縣泰安鄉	大安溪	鯉魚潭水庫	1.05	0.73	混凝土壩	21	227.5	民國 89 年
劍潭	苗栗縣造橋鄉	中港溪支流南港溪	農業用水	0.79	0.52	土石壩	8	34.4	民國 46 年
湖山	雲林縣斗六市	虎尾溪支流梅林溪	公共給水	51.39	50.85	土石壩	76	615	民國 105 年

表 7-8 臺灣 95 座公告水庫容量統計一覽表(3/5)

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 (m)	壩長 (m)	完成年月
				總容量	有效容量				
仁義潭	嘉義縣番路鄉	八掌溪	公共給水	29.11	25.32	土石壩	28	1535	民國 76 年
蘭潭	嘉義市	八掌溪	公共給水	9.80	9.26	土壩	31	546	民國 33 年
鹿寮溪	臺南市白河區	八掌溪	灌溉	3.78	0.79	土壩	30	270.4	民國 28 年
白河	臺南市白河區	急水溪	多目標	25.09	6.92	土壩	42.5	546	民國 54 年
德元埤	臺南市柳營區	急水溪支流溫厝厝溪	灌溉	3.85	2.30	土壩	6.7	432	民國 45 年
尖山埤	臺南市柳營區	急水溪	觀光、灌溉	6.99	1.51	土石壩	30	255.6	民國 27 年
曾文	嘉義縣大埔鄉	曾文溪	灌溉、發電、給水、防洪	748.40	462.61	土石壩	133	400	民國 62 年
南化	臺南市南化區	曾文溪支流後堀溪	公共給水	154.41	95.00	土石壩	87.5	509	民國 82 年
烏山頭	臺南市官田區	曾文溪支流大埔溪	多目標	154.15	78.28	土石壩	56	1273	民國 19 年
鏡面	臺南市南化區	曾文溪支流菜寮溪	公共給水、灌溉	1.15	1.00	混凝土壩	36	120	民國 69 年
鹽水埤	臺南市新化區	鹽水溪	灌溉	0.76	0.47	土壩	8.5	420	民國 44 年
虎頭埤	臺南市新化區	鹽水溪	灌溉	1.36	1.06	土石壩	15.3	470	民前 66 年
阿公店	高雄市岡山區	阿公店溪	公共給水、農業用水	28.25	15.89	土石壩	31	2380	民國 41 年
澄清湖	高雄市鳥松區	高屏溪	高雄市	4.12	2.63	土石壩	19	600	民國 41 年
鳳山水庫	高雄市林園區	東港溪	工業及民生	9.20	7.19	土壩	39.5	325	民國 73 年
牡丹	屏東縣牡丹鄉	四重溪	公共、農業	31.19	26.41	土石壩	65	445.6	民國 84 年
龍鑾潭	屏東縣恆春鎮	保力溪	灌溉、生態保育	3.76	3.41	土壩	8	1967	民國 47 年
玉峰堰	臺南市山上區	曾文溪	公共給水	0.16	0.16	橡皮壩	2	97	民國 88 年
觀音湖	高雄市仁武區	後勁溪支流獅龍溪	灌溉	0.49	1.49	土石壩	6	600	民國 9 年

表 7-8 臺灣 95 座公告水庫容量統計一覽表(4/5)

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 (m)	壩長 (m)	完成年月
				總容量	有效容量				
中正湖	高雄市美濃區	美濃溪	供給灌溉用水	0.61	0.36	土石壩	6.5	600	民前 164 年
內埔子	嘉義縣民雄鄉	朴子溪	灌溉	0.91	0.69	土石壩	26	172	民國 31 年
酬勤	臺東縣綠島鄉	流麻溝	公共給水	0.07	0.07	混凝土壩	23.5	58.5	民國 85 年
南溪壩	花蓮縣秀林鄉	和平溪	發電	0.73	0.64	混凝土壩	42	116	民國 100 年
溪畔壩	花蓮縣秀林鄉	立霧溪	發電	0.34	0.23	混凝土壩	15	125.8	民國 54 年
龍溪壩	花蓮縣秀林鄉	木瓜溪	發電	0.24	0.19	混凝土壩	29.5	83	民國 48 年
木瓜壩	花蓮縣秀林鄉	木瓜溪	發電	0.005	0.002	混凝土壩	24.8	40	民國 74 年
水簾壩	花蓮縣秀林鄉	木瓜溪	發電	0.02	0.02	混凝土壩	27	83	民國 44 年
成功	澎湖縣湖西鄉	港底溪	公共給水	1.08	1.21	混凝土壩	10.5	290	民國 62 年
東衛	澎湖縣馬公市	—	公共給水	0.19	0.32	混凝土壩	9.5	247.5	民國 69 年
興仁	澎湖縣馬公市	雙港溪	公共給水	0.68	0.74	混凝土壩	13	232	民國 68 年
赤崁地下水庫	澎湖縣白沙鄉	—	公共給水	0.70	0.51	地下截水牆	25	820	民國 75 年
西安	澎湖縣望安鄉	—	公共給水	0.24	0.24	混凝土壩	13	361	民國 76 年
小池	澎湖縣西嶼鄉	—	公共給水	0.21	0.21	土石壩	16	245	民國 79 年
七美	澎湖縣七美鄉	—	公共給水	0.23	0.23	土石壩	14	146	民國 80 年
烏溝蓄水塘	澎湖縣望安鄉	—	公共給水	0.03	0.03	混凝土壩	12	70	民國 89 年
山西	金門縣金沙鎮	金沙溪	公共給水	0.22	0.18	混凝土壩	12	82	民國 86 年
擎天	金門縣金沙鎮	金沙溪	公共給水	0.24	0.17	混凝土壩	19	145	民國 58 年
榮湖	金門縣金沙鎮	金沙溪	公共給水	0.45	0.45	混凝土壩	3.5	46	民國 63 年
金沙	金門縣金沙鎮	金沙溪	公共給水	0.57	0.47	土石壩	10	260	民國 66 年
田浦	金門縣金沙鎮	前埔溪	公共給水	0.68	0.47	土石壩	12	500	民國 70 年
太湖	金門縣金湖鎮	山外溪	公共給水	1.69	1.30	土石壩	11.3	226	民國 56 年

表 7-8 臺灣 95 座公告水庫容量統計一覽表(5/5)

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 (m)	壩長 (m)	完成年月
				總容量	有效容量				
瓊林	金門縣金湖鎮	溪沙溪	公共給水	0.31	0.22	土石壩	9.7	529	民國 71 年
蘭湖	金門縣金湖鎮	—	公共給水	0.37	0.37	混凝土壩	5	210	民國 57 年
陽明湖	金門縣金湖鎮	前埔溪	公共給水	0.36	0.24	混凝土壩	5.7	27	民國 83 年
蓮湖	金門縣烈嶼鄉	—	公共給水	0.09	0.06	土石壩	5	90	民國 59 年
菱湖	金門縣烈嶼鄉	—	公共給水	0.09	0.06	土石壩	10	70	民國 59 年
西湖	金門縣烈嶼鄉	—	公共給水	0.49	0.34	混凝土壩	2.3	900	民國 60 年
板里	連江縣北竿鄉	—	公共給水	0.17	0.14	混凝土壩	18.6	140	民國 86 年
金湖	金門縣金湖鎮	—	公共給水	0.44	0.31	混凝土壩	13.2	200	民國 98 年
東湧	連江縣東引鄉	—	公共給水	0.09	0.09	混凝土壩	18.5	116	民國 73 年
邱桂山	連江縣南竿鄉	—	公共給水	0.04	0.03	混凝土壩	15	82	民國 76 年
儲水沃	連江縣南竿鄉	—	公共給水	0.05	0.04	混凝土壩	23.5	110	民國 73 年
津沙	連江縣南竿鄉	—	公共給水	0.06	0.05	混凝土壩	23	106	民國 73 年
勝利	連江縣南竿鄉	—	公共給水	0.28	0.18	混凝土壩	22	135	民國 69 年
津沙一號	連江縣南竿鄉	—	公共給水	0.02	0.01	混凝土壩	14.3	60	民國 80 年
后沃	連江縣南竿鄉	—	公共給水	0.47	0.42	混凝土壩	18	196	民國 96 年

資料來源：臺灣地區民國 106 年蓄水設施水量營運統計報告，水利署，2017。

一、水庫位置之選擇

選擇水庫位置時，須考慮下列各種因素：

1. 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。
2. 須有適當之蓄水容量，足以完成建造該水庫之目的。
3. 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。
4. 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。
5. 是否須有大量之挖土。
6. 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。
7. 建庫地址之交通、電力、工房等情形。
8. 如擬建土石壩，則該處是否有宜於建溢洪道(spillway)之位置。
9. 壩址處是否有嚴重之滲漏現象。
10. 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。
11. 間接流域之支流如有含沙量過多現象，應設法避免。
12. 水質須適合計畫中之用途。
13. 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。

二、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決定，或在水力發電之水庫中，乃由水輪機決定。

在水庫未建造時，河流流經水庫庫址時，河水亦有一部分體積，此即河流在庫址之河谷蓄水(Valley or Channel Storage)，故在河流築堤攔河建水庫所"淨增加"之蓄水容積，應為水庫總容積減去該段河原有河谷蓄水。

三、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，此法用於初步計畫時估計之用，即

$$S = CAH \dots\dots\dots(7-6)$$

式中，S=水庫容量(m³)；A=水庫蓄水面面積(m²)；H=水深(m)；C=常數，如下表。

表 7-9 經驗公式法 C 值

建堤處橫 斷面形狀 水庫 縱斷面形狀			
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

$$A = C_1 H^{3/2} \dots\dots\dots(7-7)$$

式中，A=庫內水深 H 時，水面面積(m²)；H=堤身處庫內水深(m)；C₁=常數，視水庫形式及大小而定。

將上式積分之

$$S = \int A dA = 2/5 C_1 H^{5/2} \dots\dots\dots(7-8)$$

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

$$S = KH^m \dots\dots\dots(7-9)$$

式中，K=常數，視水庫形式及大小而定；m=指數，其值如下：

表 7-10 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
峽谷	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 座標上截距，而 m 則為此直線斜率。惟從圖上查其斜率，須以直線長度為準，不可使用對數座標。

(三)計算法，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：

$$V = 1/2(A_1 + A_2)h \quad \text{即得此兩等高線間之體積。} \dots\dots\dots(7-10)$$

- 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埧基蓄水庫之相當容量；反之亦可視蓄水量之需要，而檢出埧之高度。

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，如表 7-11 所示。

茲列出水庫面積、容量曲線(Area-Capacity Curve)之計算例，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 7-11 水庫標高-面積-容量曲線表

標高 m	水庫面積 1,000m ²	V 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
--	--	--	--	--	--	--

7.2.3、埤池水(湖沼水)

埤池水(或湖沼水)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。埤池(或湖沼)除直接作為水源地外，又有調節河川水源流量功能。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。

臺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：

- 一、池塘僅收集集水區水量者，如嘉南及高雄農田水利會轄區內池塘。
- 二、池塘除收集集水區水量外，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，如桃園農田水利會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，常年養魚需有固定最少蓄水量，如有此需要，應予計畫及運用時，早予留出。宜蘭地區低窪地，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。

湖沼(埤池)水量之估算，以下列 3 步驟進行：

1. 求水面面積：測量一個與該湖泊尺寸相近的長方形(圖 7-2)(此處湖泊可代表另外之池塘或蓄水庫)，假設此長方形平均寬度為 180m，而平均長度為 220m。則其面積為 $180 \times 220 = 39,600 \text{ m}^2$ 。
2. 測量水容積：
 - A. 量出水面到最深處的深度：本例假定為 5m。
 - B. 求出該湖泊之平均深度：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， $5\text{m} \times 0.4 = 2\text{m}$ (平均深度)。
 - C. 該水面面積乘以平均深度： $39,600 \text{ m}^2 \times 2\text{m} = 79,200 \text{ m}^3$ 。
3. 求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 $79,200 \text{ m}^3 \times 0.8 = 63,360 \text{ m}^3$ 。

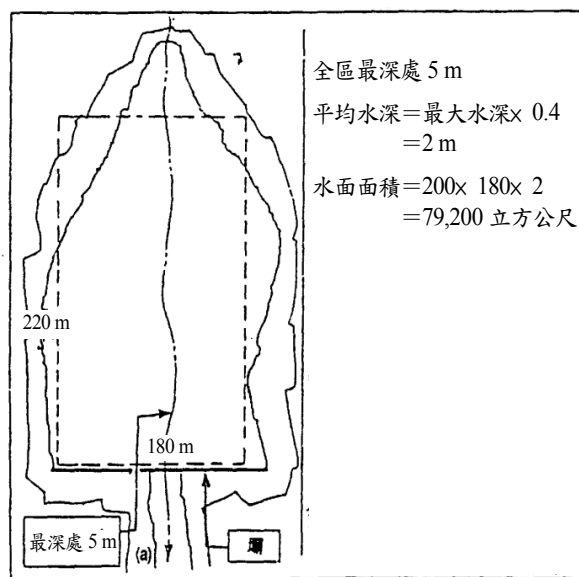


圖 7-2 埤池水面面積及水容積之估算

7.2.4、地下水

如表 7-12 大致可以分作九區，各地區之分布範圍及地下水蘊藏量並不互相呼應，其中以濁水溪沖積扇及屏東平原地下水蘊藏量為最多，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 7-12 臺灣各地之地下水源分布區位

地 區	面積 (Km ²)	估計安全年 出水量 (10 ⁶ m ³)	地下水位觀 測井數量	備 註
1.臺北盆地	380	150	30	淡水河流域。
2.桃園、中壢台地	1090	117	29	
3.新竹、苗栗地區	90	180	50	頭前、鳳山、後龍、 部分大安溪流域。
4.台中地區	1180	379	34	大甲溪及部分大安、 烏溪流域。
5.濁水溪沖積扇	1800	1,140	210	濁水溪、北港溪流域。
6.嘉南平原	2520	553	163	樸子、八掌、急水、 曾文、二仁溪流域。
7.屏東平原	1130	1,111	134	高屏溪域。
8.蘭陽平原	400	120	41	蘭陽溪流域。
9.花蓮、台東縱谷	930	250	23	卑南溪、秀姑巒溪流 域。
合 計	10,330	4,000	1,600	

資料來源：臺灣地區地下水資源(經濟部水利署，2015)。

由上表得知臺灣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 7-13 抽水機性能

按馬力分述	佔百分比例(%)
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

由上列可見臺灣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，足以表示臺灣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，西岸中南部灌溉區，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。臺灣省電力供應充沛，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，可能會遭遇潮濕土壤或飽和土壤，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。由於孔洞中空氣壓力等於大氣壓力，所以假若水是自由地流入孔洞中，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。由於地下水在重力作用下自由地移動至井中，因此亦可稱為自由水(Free water)或是重力水(Gravitational water)。自地表至地下水之深度，其範圍由 1m 或較淺至 1km 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通氣層(Aeration 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分都可真正地被飽和。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

地下水的來源有二，即雨水滲入與地表水滲入。

1.雨水滲入：

落在地面上雨水，除逕流及小部分蒸發外，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：

- A. 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「滲透能」，通常以水深表示之。

$$\text{滲透能(m/day)} = \text{水量(m}^3\text{/day)} \div \text{滲透面積(m}^2\text{)} \dots\dots\dots(7-11)$$

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 1/20，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。

- B. 雨前土壤保濕度：雨水滲入地中，一部分懸垂於土層中，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，待土壤水分達保濕容量後，才開始始下滲，此時若土壤水分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。
- C. 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滲透功能。
- D. 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。
- E. 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。

地層中地下水的存在，以地下水面(Water table)為界限，分上下二部

分，上部稱含氣層(Zone of aeration)，下部稱飽和層(Zone of saturation)。見圖 7-3。

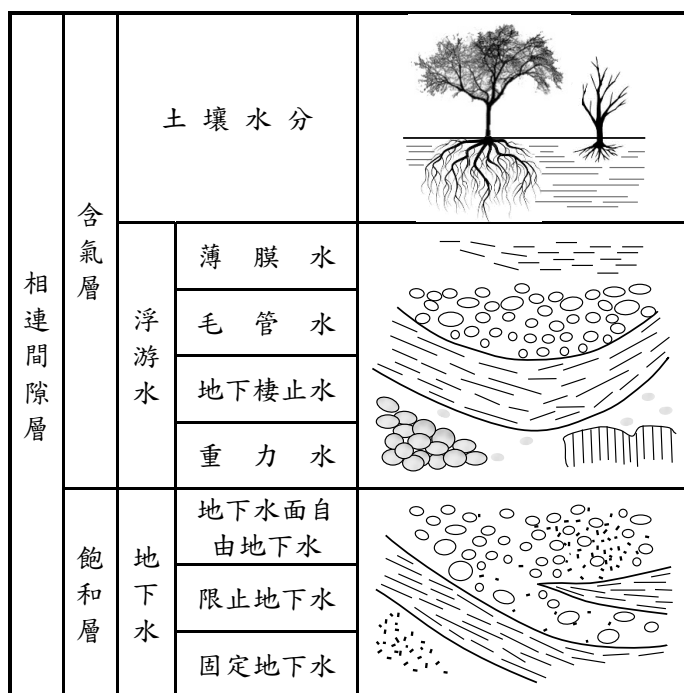


圖 7-3 地下水層示意圖

- A. 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。含氣層最上部分為土壤水分區，其深度可自若干公分至數十公尺不等，為各種植物吸收水分主要區域，也是地下水蒸發的出路。含氣層中的水分可分為止水與動水，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，農業上稱為田間容水量，其容量隨土壤種類的不同而異。當土壤中水分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。含氣層中若有不透水層存在時，則能預托一部分地下水於其上，此稱為地下棲止水(Porched water)。

毛管層(Capillary fringe)在地下水面之上，且與之相鄰，該層中水分乃受毛管作用所支配，深度由若干公分至數公尺不等，視地下水水面以上的土層結構及孔隙等而定。地下水水面距地面甚近時，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，則被吸收由葉面蒸散而去。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。

B. 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分，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、水庫及雨水等水分，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，水分為平衡計，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)：地下水在飽和層部分，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 law)：

$$V=K \times h/L \dots\dots\dots(7-12)$$

$$Q=VA=K \times A \times h/L \dots\dots\dots(7-13)$$

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：

$$K=cd^2(0.7+0.03t) \dots\dots\dots(7-14)$$

式中，c：常數約為 1000，視土粒情形而定；d：土粒有效粒徑 mm；t：水溫℃。

地下水量受地上乾旱影響較少，流量固定，當地面枯竭時，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(Headworks)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 $Q = SVA = SKIA \dots\dots\dots(7-15)$

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(influence circle)的橫截面積(m²)。

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，定義如前述。

六、地下水的利用

地下水利用，世界各國均各有其悠久歷史，古埃及與羅馬皆有輝煌成就。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 3/5 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腦河水量，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。

7.3、參考文獻

1. 張建勛，灌溉與排水學，中正書局印行，1965。
2. 張建勛、蔡明華，灌溉與排水，中國土木水利工程學會編行，1985。
3. 臺灣省水利局編，灌溉排水工程設計，農復會特刊新 28 號，1978。
4. 農發會，旱作灌溉研討資料輯，農發會水利特刊第二號，1980。
5. 臺灣省水利局、台大農工系等合編，雜作灌溉手冊，農發會補助計劃報告，1980。
6. 施嘉昌、曹以松、徐玉標、甘俊二，灌溉排水原理，中央圖書出版社發行，1993。
7. 臺灣省水利局編，灌溉水質管理手冊，農委會補助計劃報告，1986。
8. 施嘉昌，排水工程，大中國圖書公司印行，1988。
9. 臺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。
10. 中華民國八十六年臺灣水文年報，經濟部水資源局，1997 年。
11. 臺灣地區水資源供需情勢報告，經濟部水資源局，1998 年 6 月。
12. 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。
13. 「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。
14. 經濟部水資源統一規劃委員會，「臺灣地區缺水期救旱措施之研究」，1988。
15. 行政院農業委員會，「乾早年調整水量分配標準及救災處理制度」，1996。
16. 蔡明華，「乾旱時期灌溉營運措施與救災處理」，行政院農業委員會，1993。
17. 行政院農業委員會，「發生乾旱時農業用水之因應措施」，1994。
18. 行政院農業委員會，「農業用水之節水目標及措施」，1999。
19. 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。

20. 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, 行政院農業委員會。
21. 行政院農業委員會農田水利處, 農業用水量化目標及總量清查報告, 2000。
22. 行政院農業委員會編印, 灌溉排水管理, 2003。
23. 行政院農業委員會, 農業發展計畫 104 年度單一計畫說明書, 2015。
24. 行政院農業委員會編印, 農業灌溉白皮書, 2016。
25. 經濟部水利署, 臺灣地區民國 106 年蓄水設施水量營運統計報告, 2017。
26. 經濟部水利署, 臺灣地區地下水資源, https://www.wrap.gov.tw/sinotech/Overview1_1.aspx, 2020。
27. Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 1-Introduction to Irrigation.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
28. Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 2-Elements of Topographic Surveying.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
29. Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 3-Irrigation Water Needs.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
30. Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 4-Irrigation Scheduling.”, FAO
31. Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 6-Scheme Irrigation Water Needs and Supply.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1989。
32. Brouwer, C., “Irrigation Water Management Training Manual no. 7-Canals.”, FAO Land and Water Development Division, UN, 1992。
33. 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.
34. 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.
35. FAO Surface Irrigation (1974), Land and Water Development Series No.3 LJ. Booher. Rome.

- 36.FAO Agro-meteorological Field Stations (1976) , Irrigation and Drainage Paper 27 J. Doorenbos. Rome.
- 37.FAO (1977),Crop Water Requirements (Revised) . Irrigation and Drainage Paper 24. J. Doorenbos and W. O. Pruitt. Rome.
- 38.FAO (1979) , Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper 33. J. Doorenbos and A. H. Kassam. Rome.

第八章、灌溉方法

8.1、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)，如以明溝或暗管方式。再者，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。其他如人工挑水灌溉，詳如圖 8-1 所示。

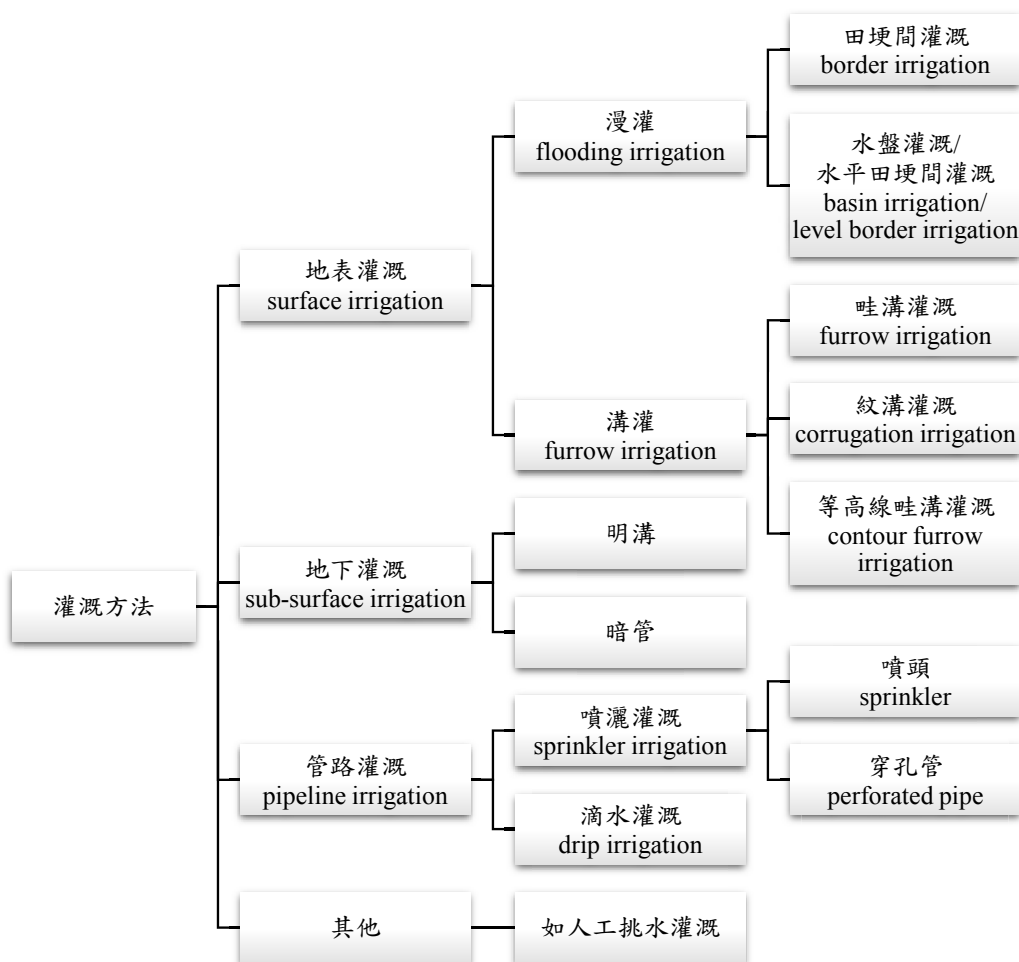


圖 8-1 灌溉方法分類圖

8.1.1、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，一般稱為自由漫灌(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 m，長為 100~200 m，隔以低埂，相互平行，此種田區之灌溉名為埂間灌溉。田埂(levee)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 2‰-4‰，但亦有小至 1‰及大至 75‰者，坡度大者必須防止沖刷。田區灌溉流量之大小通常在 14~280 l/sec 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 cm 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 100~200m，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 4 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 10 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. 冲刷問題(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(depth of water to be applied)。

8.1.2、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 3m 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。地下灌溉可分以下 2 類：

1. 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。
2. 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。

8.1.3、管路灌溉

一、噴灑灌溉

噴灑灌溉歷史甚短，普遍應用於農業約為最近半世紀之事，噴灌猶如人工降雨，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。

二、滴水灌溉

滴水管路灌溉係指在小口徑 PE 管上，按一定間隔安裝滴水孔或放射口

等給水材料，以少量水流經由滴水支管上所裝置之滴嘴，連續滴於作物根系旁之灌溉方法。

8.1.4、依土地利用或作物耕種區分

所稱土地利用或作物耕種，即是若以水田或旱田角度，或是，以水稻或旱作層面予以區分，詳如圖 8-2 所示。

水田灌溉包含有：繼續灌溉(簡稱續灌，亦稱流水灌溉)、間斷灌溉(屬非常灌溉，亦稱間歇灌溉，俗稱大區輪灌)及輪流灌溉(簡稱輪灌)。

旱田灌溉包含有：漫灌法、溝灌法、噴水灌溉法、滴水灌溉法及水盤灌溉法。



圖 8-2 土地利用或作物耕種區分灌溉方法

8.1.5、灌溉方法優劣比較

一、地表灌溉

(一)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)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.地表灌溉水中含野草種子等雜物甚多，須防治農田中野草滋長。

二、地下灌溉

(一)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。

(二)缺點：

- 1.受地形、土質、地下水位高低及排水良窳等限制，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。

三、管路灌溉(以噴灑灌溉為例)

(一)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。

(二)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。

8.2、畦溝灌溉

8.2.1、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(如圖 8-3 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。



圖 8-3 畦溝灌溉應用於玉米行栽作物

8.2.2、畦溝長度配置

畦溝長度需考量坡度、土壤質地、水流流勢、灌溉深度、耕作實行和田區長度等因素，每一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 110m），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 8-1 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。

五、農業耕作實施

農業機械化實施，可做長畦溝長度，以增田間操作容易，而畦溝較短時，宜特別注意水之流動，是否會從一個畦溝改變到下一個畦溝。通常，短畦溝灌溉效率會較長畦溝為高，此乃因灌溉時間較短，滲漏量較低原因所致。

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 8-4 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。

表 8-1 不同坡度、土質、水流及純灌溉水深條畦溝長度之最大經驗值

畦溝坡度(%)	每條畦溝 最大水流 (ℓ/s)	粘土		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

註：上表提供在不同坡度、土質、水流大小及純灌溉水深下，畦溝長度概略經驗值，此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 8-1 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。

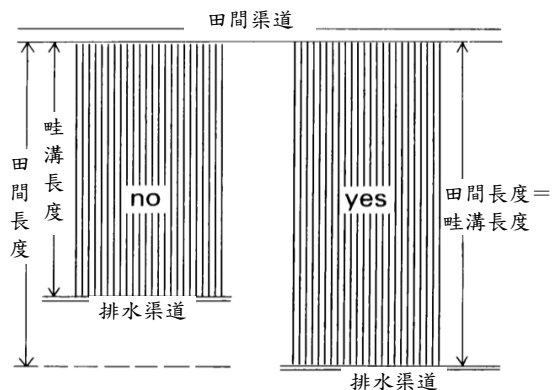


圖 8-4 田間長度及畦溝長度

8.2.3、畦溝分類

畦溝分類可依土壤型態和水流大小而定。就土壤型態角度，以砂質土壤為例，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 8-4)，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。

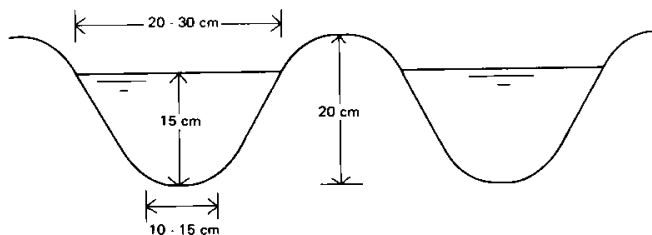


圖 8-5 砂質土壤中深且窄之畦溝

若在粘質土壤，由於水的流動較砂質土壤為快且入滲率又較低，故畦溝可以寬且淺之方式為之，如此可保持較大濕潤區域，降低逕流量(如圖 8-4)。

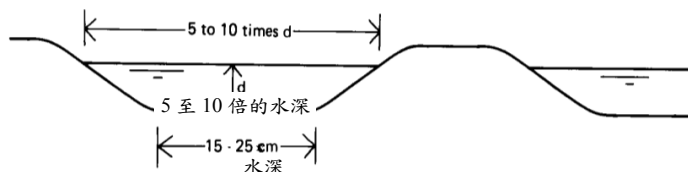


圖 8-6 粘質土壤中寬且淺之畦溝

其次，是水流大小，一般較大型的畦溝必須可以控制水流之流量。

8.2.4、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 8-7)。

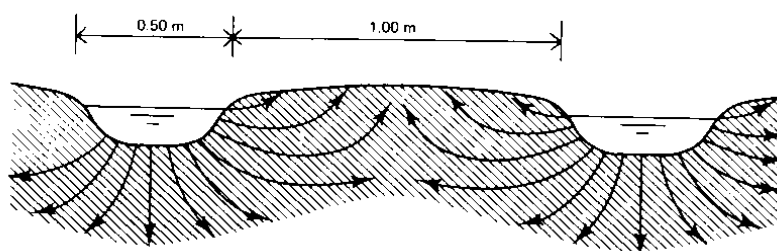


圖 8-7 雙田壟犁溝

二、耕種型式

使用機械耕作除挖田埂更兼具作物生長足夠空間，機械化是必須的。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，這樣機具中零件就不需更換。然而在所有土壤種類中，保持田埂中標準間隙濕度是必須的。

8.2.5、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 8-8 看到其滲透情形。

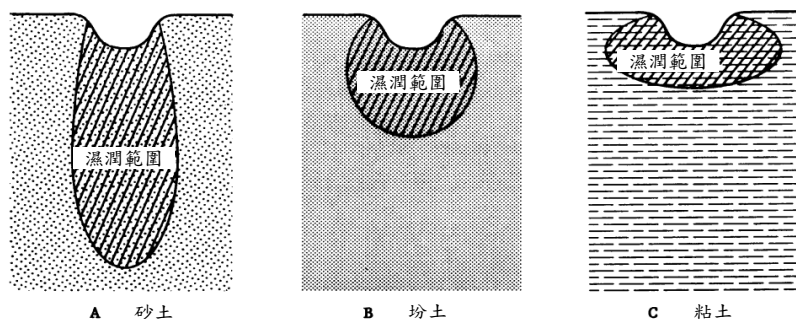


圖 8-8 畦溝於不同土壤型態之不同濕潤型式

一、理想的濕潤灌溉模式

在一個理想情況下，將鄰接互相重疊的濕潤圖當中，潮濕的水分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水分(如圖 8-9)。

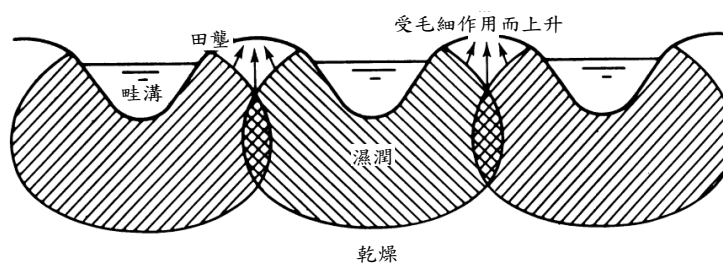


圖 8-9 理想之濕潤型態

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 8-10)。

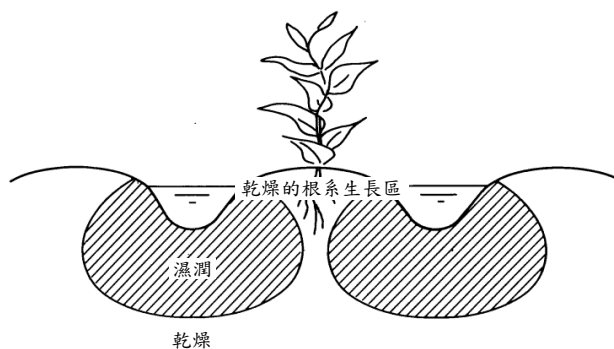


圖 8-10 兩畦溝寬作物生長示意圖

五、不良的管理

灌溉水流量太小(圖 8-11)會造成狹長隆起田壟水分不足，即使作物種植在田壟的左右邊，其水量亦是不足，對作物生長是有害的，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。

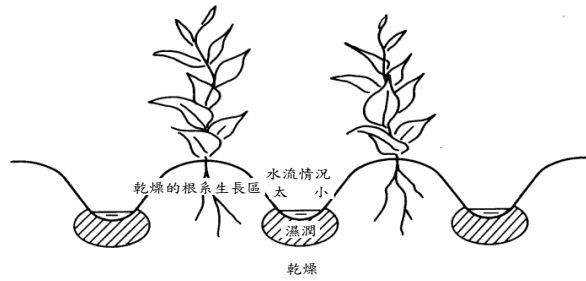


圖 8-11 小流量時田壟乾燥情形

在平坦斜坡上，如果水流量太大可能會發生田壟被淹沒(圖 8-12)，滲入太多水量的坡面，若不能停止於坡床和畦溝兩側水流，會使土壤沖蝕。

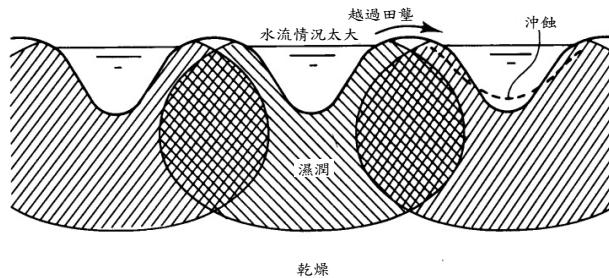


圖 8-12 水流太大土壤沖蝕

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。

8.2.6、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 8-13)。

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 8-14)。

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 8-15 所示。

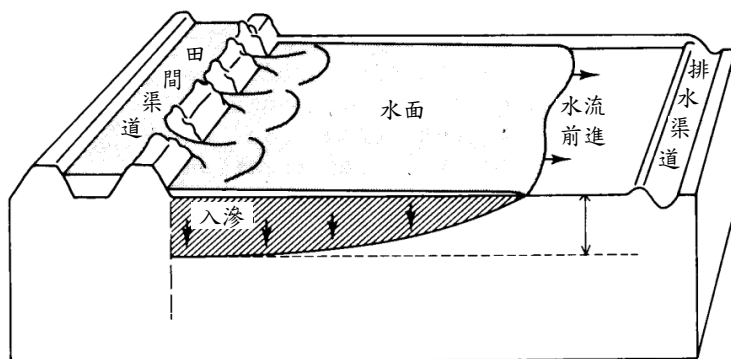


圖 8-13 水流前進示意圖

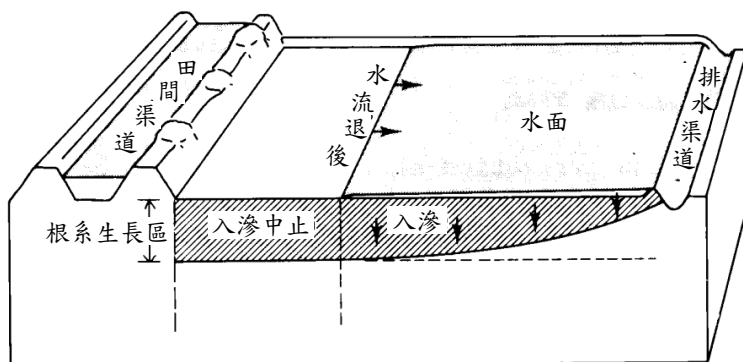


圖 8-14 水流退後示意圖

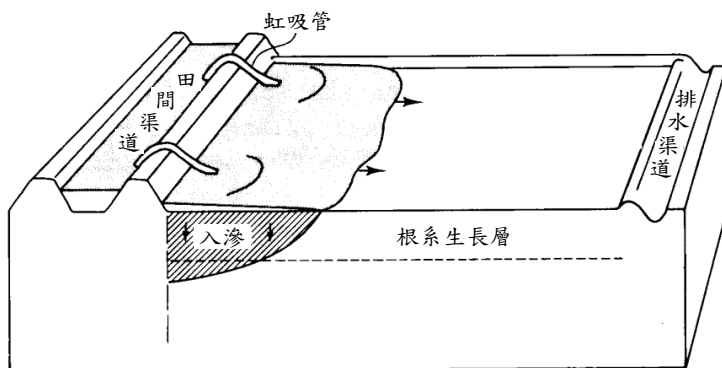


圖 8-15 小流量下水之分佈

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 8-16)。

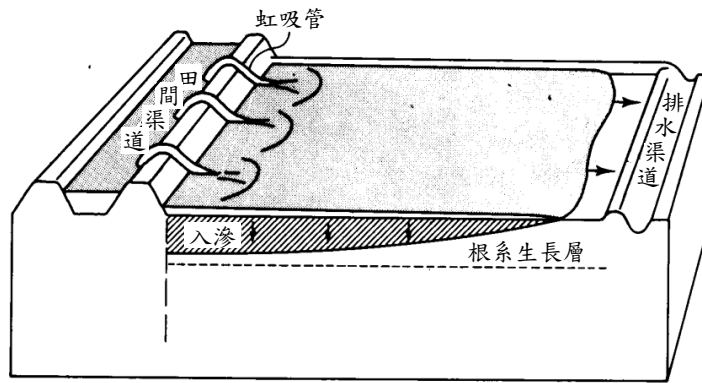


圖 8-16 水流大之水分佈情形

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(quarter time rule)。

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 $Q(\ell/\text{sec})$ ，需要的灌溉水深 $d(\text{mm})$ 和需要田地的面積大小 $A(\text{ha})$ 。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：

$$\text{灌溉時間}(\text{hr}) = \frac{2.78 \times \text{灌溉深度}(\text{mm}) \times \text{灌溉面積}(\text{ha})}{\text{流量}(\ell/\text{sec})}$$

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 75×50m²，則灌溉時間之計算如下：

步驟 1：決定田地面積(公頃)。

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

$$\text{灌溉時間(hr)} = \frac{2.78 \times \text{灌溉深度(mm)} \times \text{灌溉面積(ha)}}{\text{流量(ℓ/sec)}}$$

$$\text{灌溉時間(hr)} = \frac{2.78 \times 50 \times 0.375}{20}$$

$$\text{灌溉時間} = 2.6 \text{ (hr)} = 156 \text{ (min)}$$

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。

8.2.7、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。臺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，茲將臺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。

8.3、埂間灌溉

8.3.1、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 8-17 所示。

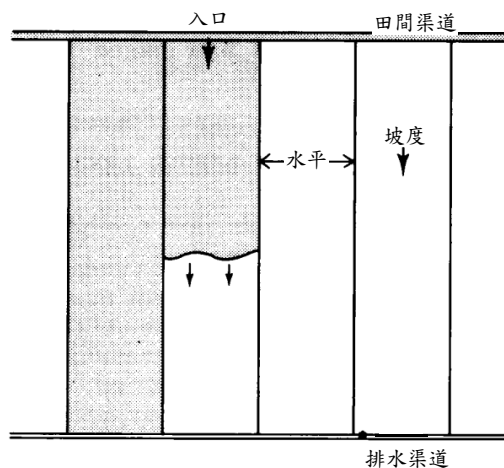


圖 8-17 埂間灌溉示意圖

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 100m，寬度則為 3~30 公尺，其取捨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！

8.3.2、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：

- 一、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 5cm 或大於 7cm，換言之，橫斷面二側之高度不得超過 2cm，如以坡度表之，其最大坡度可定為 0.2 %。
- 二、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 60m 以下，而黏質土壤入滲率低至 6cm/hr 必須要緩慢灌溉。
- 三、田區縱向坡度：田區 0.15%~0.3% 緩坡，寬度可大至 30m，0.4~0.5% 之中等坡度其寬度可為 6~10m，較大陡坡其最大寬度可為 5~7m。
- 四、流量：中質土壤田區灌溉流量可用 14ℓ/s，如此可灌溉最大寬度 7.5m，單位寬度流量為 1.87ℓ/s。
- 五、田埂斷面：田埂斷面形狀之選定應考慮下列 3 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，惟機械越田常會破壞田埂，亦須留意。

表 8-2 列出了一些參考數值以供決定埂間最大尺寸，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。

8.3.3、土壤濕潤型態

埂間灌溉之重要性如其它灌溉方法一樣，須有足夠灌溉水量確保埂間水量均勻分佈在根系區域。然，有許多共同問題結果導致水量分佈並不均勻：

- 一、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 8-18)。

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。

表 8-2 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 (l/sec)	埂間寬度 (m)	埂間長度 (m)
砂土 滲透速率高於 25mm/hr	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 10~25mm/hr	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 10mm/hr	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 100m 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。

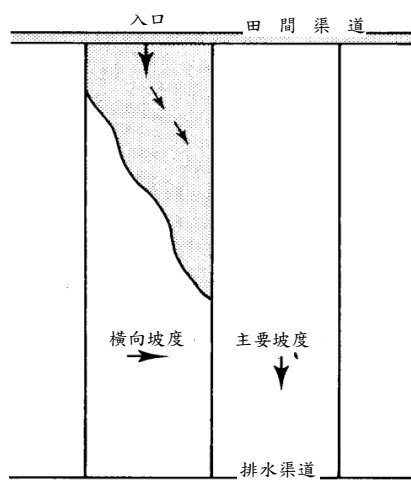


圖 8-18 埂間裡水流之斜坡流動

二、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 8-19)，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 8-20)，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分，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。

三、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。

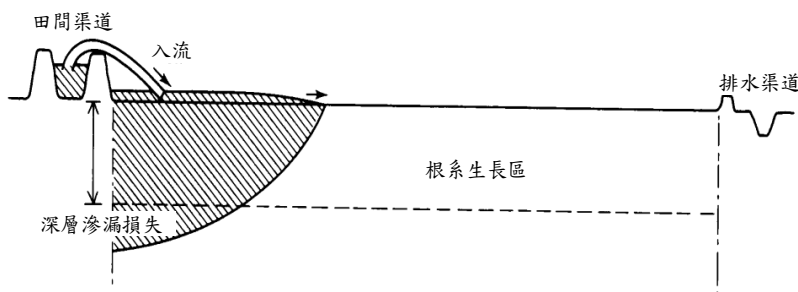


圖 8-19 水流太小之情形

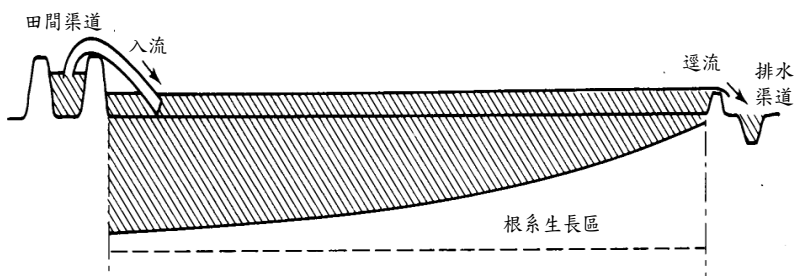


圖 8-20 水流太大之情形

8.3.4、埂間灌溉公式及應用

埂間灌溉公式考慮因子，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，如下式表示之：

$$I=f(Q, t_a, L, W, d, S, M, G, V, N).....(8-1)$$

式中，I：灌溉之結果；Q：灌溉流量； t_a ：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 8-1 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 10m 寬 1m 之流量 l/sec 表之，即為單位流量 q(unit discharge)，如設灌溉時間為 t_a ，則長 10m，寬 1m 之條形地所灌水量為 qt_a ，如用水深 d 表之則 $d=qt_a/10$ 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 8-2。

$$q = \frac{ct_i^{n+1}}{6t_n} = \frac{Ft_i^{n+1}}{t_a} \dots\dots\dots(8-2)$$

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(8-2)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 8-3, 8-4, 8-5 表示其複迴歸方程式。

$$q = Ft_i^a t_a^b \dots\dots\dots(8-3)$$

式中，F， α ， β 為係數，可由統計方法確定之。即

$$\alpha = \frac{\sum x_1 Y \sum x_2^2 - \sum x_1 x_2 \sum x_2 Y}{\sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 Y_2)^2} \dots\dots\dots(8-4)$$

$$\beta = \frac{\sum x_1^2 \sum x_2 Y - \sum x_1 x_2 \sum x_1 Y}{\sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 Y_2)^2} \dots\dots\dots(8-5)$$

$$F = \bar{y} - \alpha \bar{x}_1 - \beta \bar{x}_2$$

式中， $x_1 = \log t_i$ ； $x_2 = \log t_a$ ； $y = -\log q$

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(8-3)式，可得如 $q = 4.493t_i^{0.295}t_a^{-1.016}$ 之方程式。

公式(8-3)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 8-21 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 8-21A，B 二刻度，並將連線延長至刻度 C，即可求得 1m 土層應灌水深 106mm，設施灌效率為 60%，連 C，D 刻度並延長至 E 刻度，即可讀得 1m 土層施灌水深為 179mm，如根系深為 0.4m，則施灌水深為 71.6mm。

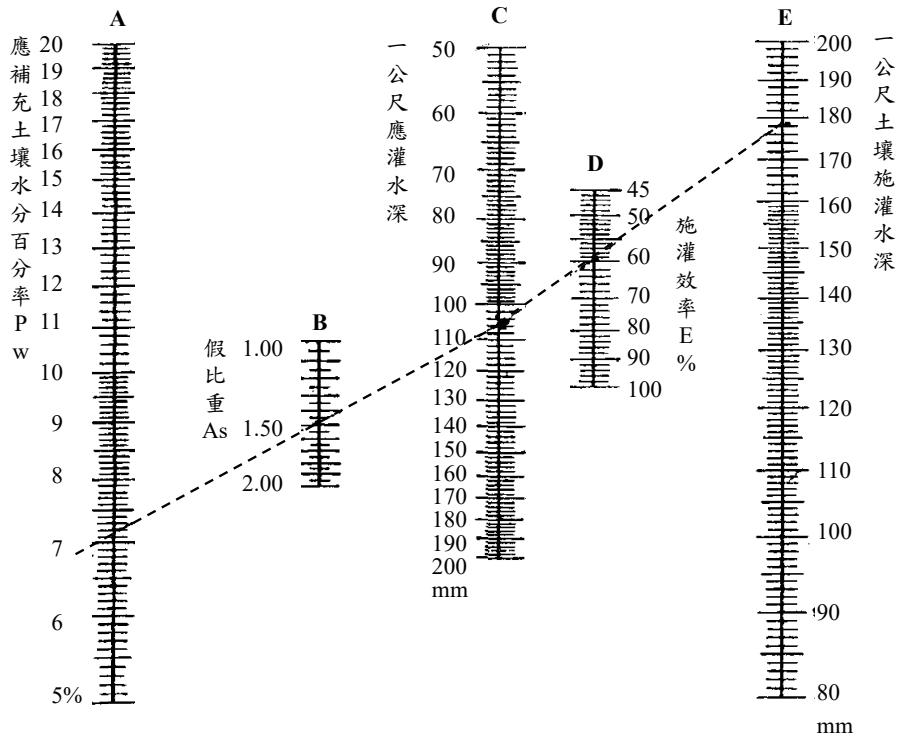


圖 8-21 埤間灌溉土壤水分、假比重、施灌效率及施灌水深關係

圖 8-22，為公式(8-3)經試驗及統計分析後，所得之方程式 $q = 4.493t_i^{0.295}t_a^{-1.016}$ 之圖解，既知施灌水深為 71.6mm，田區長度為 100m，水流至 80m 斷水，則在圖 8-22 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 5m，則長 100mm 田區所需流量為 $0.27 \times 5 \times 10 = 13.5$ l/s。圖 8-22 僅適用於砂質壤土花生之埤間灌溉，故欲灌溉他種作物與土壤，可參考表 8-3，表中各數據求得之方法，與本節以上各點所說明者同。

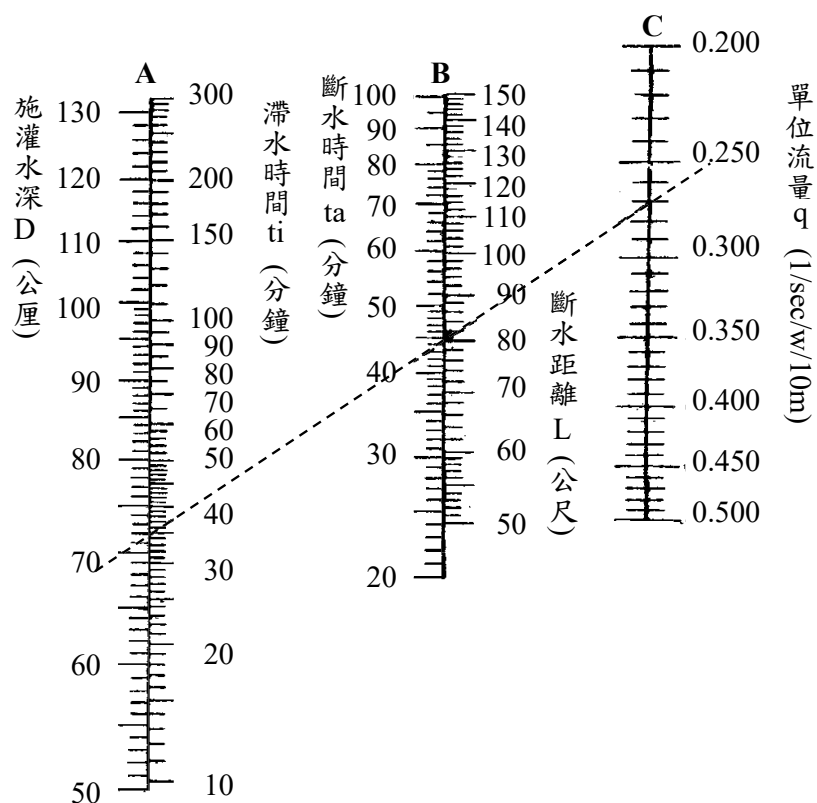


圖 8-22 砂質壤土埂間灌溉施灌水深、斷水距離及單位流量關係圖

表 8-3 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 方 式	作 物 別	施灌水深 (mm)	單 位 流 量 (l/s/m/10m)	停 水 百分比*
砂壤土	牛 犁	花 生	80	0.30	80
玢壤土	"	"	85	0.35	80
砂壤土	"	玉 米、高 梁	75	0.30	80
玢壤土	"	"	80	0.33	80
壤 土	"	"	78	0.32	80
砂壤土	"	整 地	100	0.40	90
玢壤土	"	"	90	0.35	90
壤 土	曳引機	玉 米、高 梁	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。

8.3.5、水稻施行輪灌之特性

為因應乾旱季節水量不足現象，臺灣嘉南地區水稻經常採用輪流灌溉(rotational irrigation)，簡稱為“輪灌”，是一根據用水計畫，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(單區輪灌)

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(坵塊輪灌)

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給予計算，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 8-4。

三、大區輪灌(系統輪灌)

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定程度時，採用此種輪流配水灌溉方法。

表 8-4 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

8.4、漫灌

8.4.1、圍埂或水盤灌溉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 6~13cm 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，水分大部分都流失掉。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栽培。其他適合漫灌作物尚有：

- 1.牧草類的：紫花苜蓿、江花草。
- 2.果樹：香蕉、柑橘。
- 3.國外作物如玉薯黍、麥片等。
- 4.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，有些作物如玉薯黍、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。

8.4.2、水盤漫灌配置設計

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 10,000m² 呢？高度是 10、50 或是 100cm 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 8-5 說明最大灌區寬度除取決於地表坡度，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。

表 8-5 盤灌或梯田寬度之概略值

坡度(%)	最大寬度平均值(m)	最大寬度範圍(m)
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

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 8-6。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 8-6 不同土壤質地與引灌水量下之灌區面積

單位：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

8.4.3、漫灌之土壤濕潤型態

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 8-23 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。靠近田間渠道的部分灌區，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)。

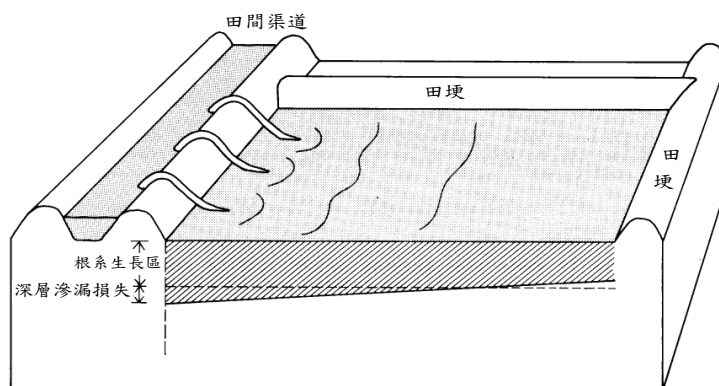


圖 8-23 理想之濕潤灌溉型式

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 8-24，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。

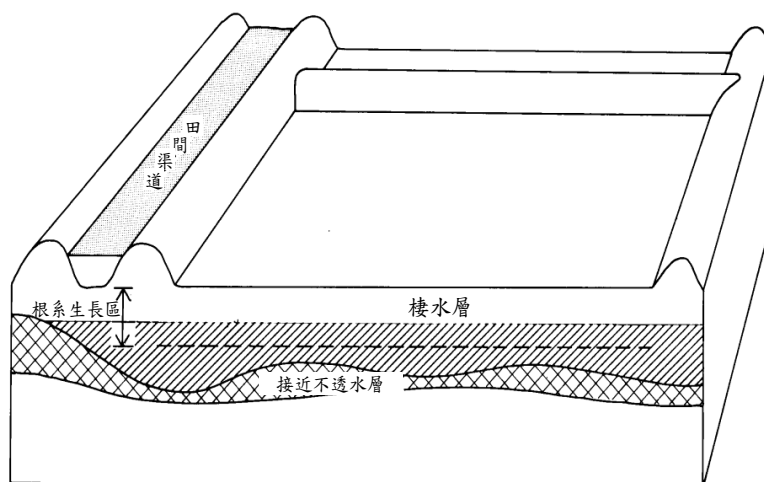


圖 8-24 接近邊界時灌溉水分分佈示意圖

3.不周詳的規畫

圖 8-25 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，而且較低的部分可能會積水、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。

4.不妥善的管理

圖 8-26 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。解決問題的方法是：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 8-27 顯示出灌溉水不足以填滿根深部分之土壤，稱為“缺量灌溉”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 8-28 則相對顯示超量灌溉之土壤入滲示意圖。

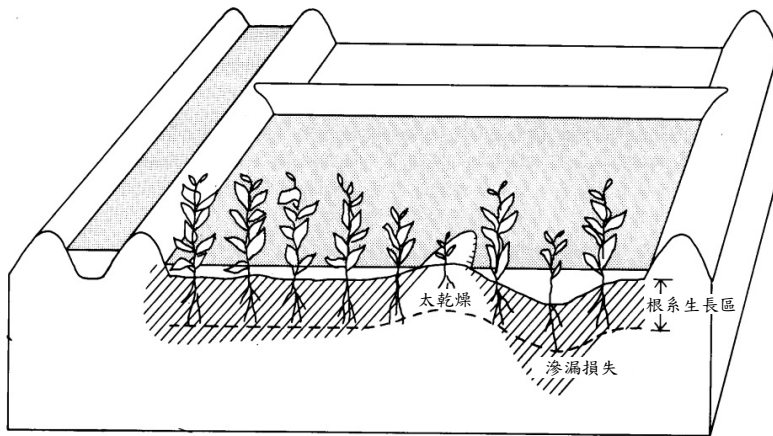


圖 8-25 不良區域之濕潤型態

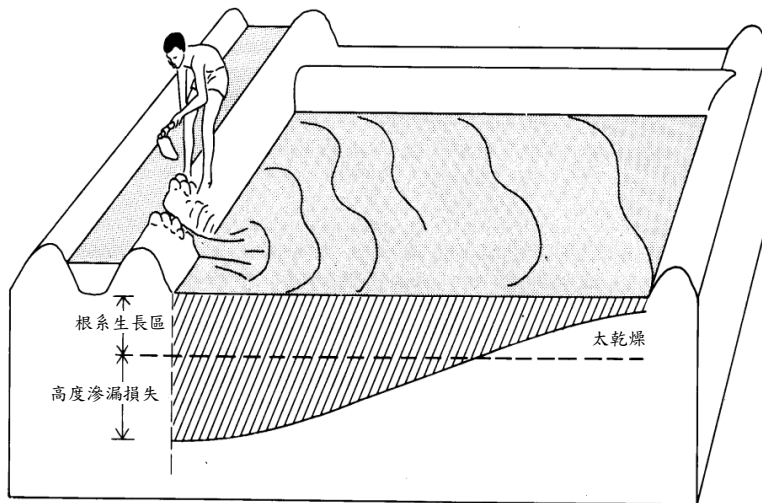


圖 8-26 水流不足時之濕潤型態

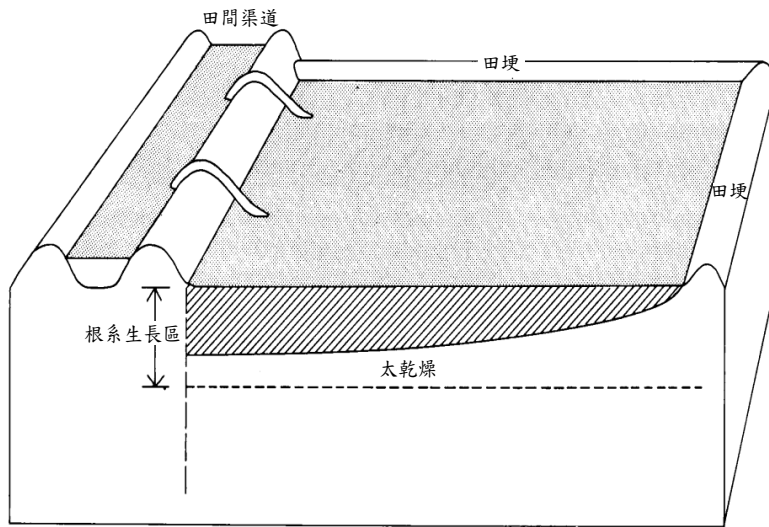


圖 8-27 缺量灌溉示意圖

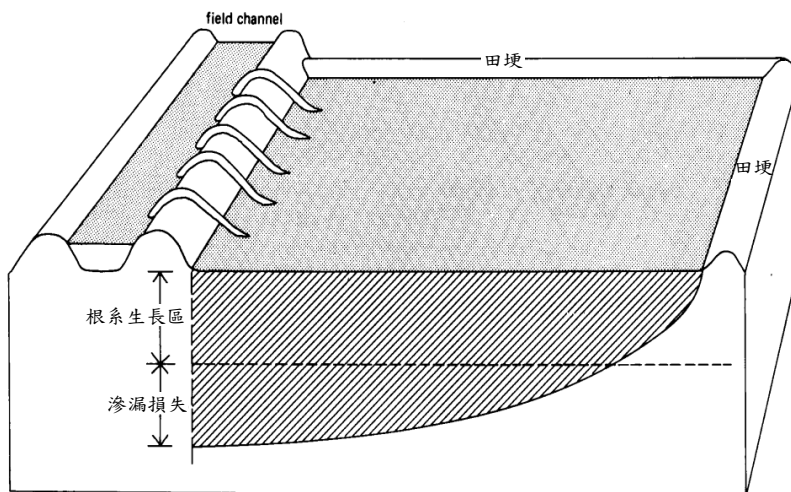


圖 8-28 超量灌溉示意圖

8.4.4、漫灌灌溉效率評估

實施漫灌灌溉效率評估之示意圖如圖 8-29 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： $24(\text{m}) \times 15(\text{m}) = 360(\text{m}^2)$ 、
作物：花生、純灌溉水深：45 mm。

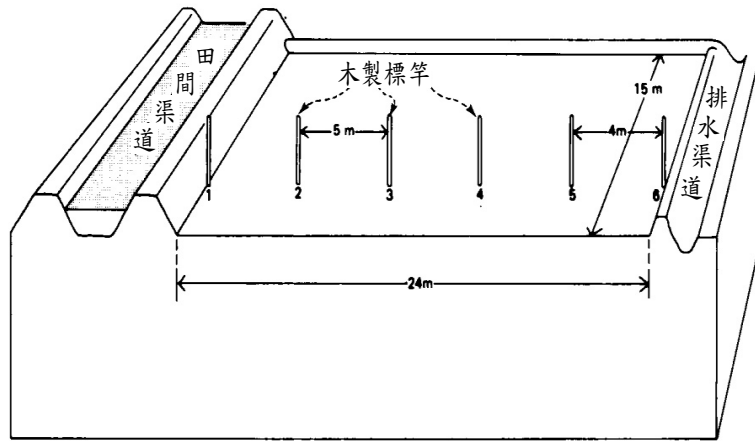


圖 8-29 木樁間距 5m 佈置示意圖

步驟 2：在每隔 5 到 10m 處放置標桿(如圖 8-29)，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 8-30)。

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 8-30)(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	65
2	5	11	04	4	11	50	63
3	10	11	08	8	11	50	61
4	15	11	11	11	11	51	60
5	20	11	20	20	11	52	56
6	24	11	30	30	11	54	46
						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：

$$\text{田間施灌效率(\%)} = \frac{\text{需要灌溉深度(mm)}}{\text{實際灌溉深度(mm)}} \times 100\%$$

平均施灌水深為 $(65 + 63 + 61 + 60 + 56 + 46) / 6 = 59 \text{ mm}$

需灌深度為 45 mm

田間施灌效率(\%) = $45 / 59 \times 100 = 76 \%$

平均深層浸透損失深度為 $59 - 45 = 14 \text{ mm}$

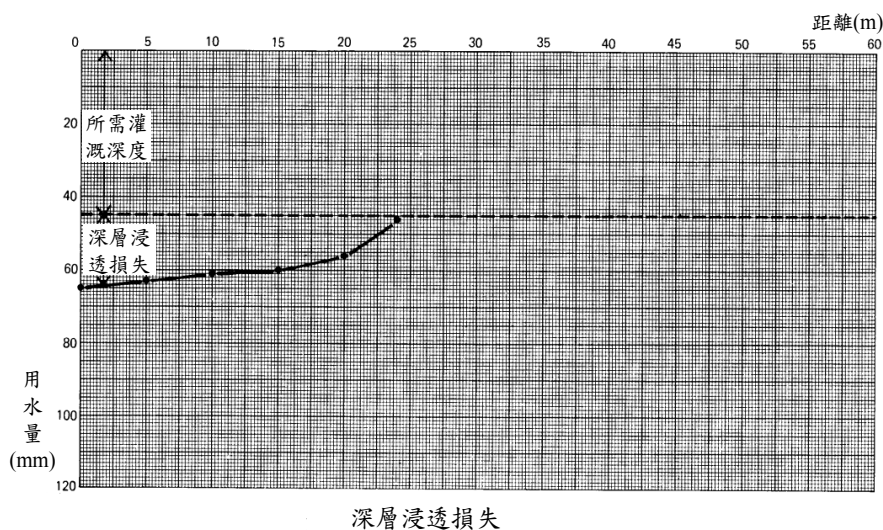


圖 8-30 深層浸透損失曲線圖

8.5、噴灑及微噴灑灌溉

8.5.1、影響因子及基本資料

噴灑灌溉，是將灌溉用水如降雨般地向地面散佈，使作物獲得灌溉水的滋潤，以達作物增產目的且有別於傳統地表灌溉之灌溉方法，其優、缺點，詳 8.1.5 所述。擬應用噴灑灌溉前應具備基本資料如下：

- 1.地形圖：地形圖為噴灑灌溉規劃設計前最重要基本資料之一，比例尺以 1/5,000~1/10,000 為適，等高線間隔約 1.0~2.0m。有地形圖後，

即可決定抽水機位置、灌區區分、主管排列及有效水頭估算等。如灌區為一山坡地，主管為橫越等高線排列而支管則順等高線排列。

2. 土壤：包括土壤質地調查、地層深度觀測、肥力測定、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 ha 選取調查點一處，每隔 20cm 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 8-7 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 8-7 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) %	容積比 (Pr)	每 d=30 公分 土層之水深(D) 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：入滲率為噴水強度之根據，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，凡不同土質地帶皆須觀測，每種土質至少要三重複，求其平均值，表 8-8 為各種不同土質之基本入滲率。

表 8-8 各種土質之基本入滲率

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 mm/hr	13 mm/hr
細 砂	13~19 mm/hr	9 mm/hr
細砂質壤土	13 mm/hr	8 mm/hr
淤質壤土	10 mm/hr	7 mm/hr
黏質壤土	8 mm/hr	6 mm/hr

- 5.氣象調查：包括雨量、連續乾早日數、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。

8.5.2、設計基本原則

一般噴灑灌溉系統之設計配置大略如圖 8-31 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，大部分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.主管及副管：指由水源送水至田區的一段管線，有時採地下埋管方式。
- 3.支管及豎管：指由副管至噴頭間之管線。
- 4.噴頭

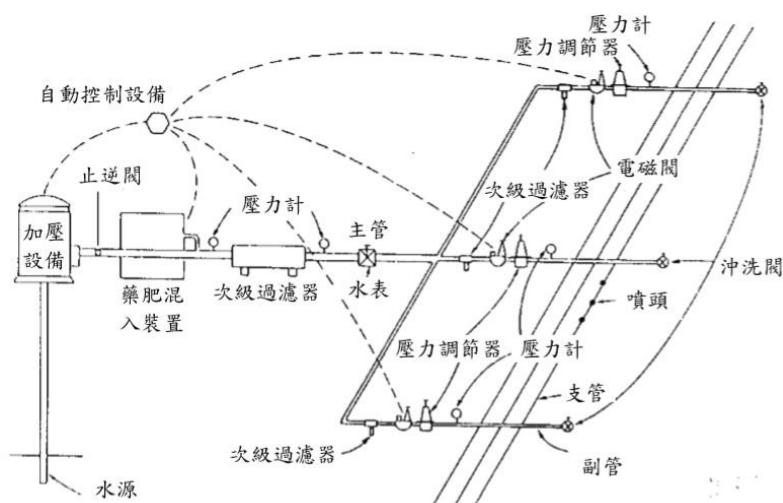


圖 8-31 噴灑灌溉系統配置示意圖

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，這個常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。

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：

$$UC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|X_i - \bar{X}|)}{(n\bar{X})} \dots\dots\dots(8-6)$$

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)

設計施灌率之訂定以不造成地表逕流為原則，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，小於蒸發率則所噴水量無法到達地表。設計施灌率可以依土壤質地、氣候狀況、地形及作物對水分敏感度等因子來決定，一般粗施灌率(gross application rate)可以下式表示：

$$\text{施灌效率} = (\text{灌溉水蓄積於作物根系內之水量} / \text{噴灌水量}) \times 100\% \dots\dots(8-7)$$

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、允許土壤水分消失量及施灌效率。

$$Tad = Tam \times Ad \times Dr \dots\dots\dots(8-8)$$

式中， Tad ：總允許土壤水分消失量(mm)； Tam ：總有效水分(mm/m)； Ad ：允許土壤水分消失率(以小數表示)； Dr ：根層深(m)。

$$Tam = Fc - Pwp \dots\dots\dots(8-9)$$

式中， Fc ：田間含水量(%)； Pwp ：永久凋萎點(%)。

因此，灌溉期距可以下式估算：

$$Ti = Tad / Etp \dots\dots\dots(8-10)$$

式中， Ti ：灌溉期距(day)； Etp ：尖峰蒸發散率(mm/day)。

所謂允許土壤水分消失率是一灌溉管理之標準，即表示於施灌之前允許

之土壤有效水分被使用之比率，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。

$$Q=2.778 \times ig \times A / (Nop \times Top) \dots\dots\dots(8-11)$$

式中，Q：系統容量(l/s)；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)。

8.5.3、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分之配置，其配置需考慮田間之地形狀況及管路之水理。

8.5.3.1、主管

一、總動力水頭(Tdh)

$$Tdh = Hop + Hf + Hfp + Hz + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(8-12)$$

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：抽水機吸水管部分之摩擦損失(m)；Hz：由水源至噴頭處之高度(m)； $\frac{V^2}{2g}$ ：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：

$$Hm = Ha + [0.75(Hf + He) + Hr] 9.807 \dots\dots\dots(8-13)$$

式中，Hm：支管入口處設計壓力(kPa)；Ha：噴頭設計壓力(kPa)；Hf：支管內摩擦損失(m)；He：入口處至(Critical)噴頭間高程差(m)；Hr：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 8-9 為一般使用之豎管高度及管徑之參考值。

表 8-9 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

8.5.3.2、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：

$$HL = (\theta \times Ha - He) / L \dots \dots \dots (8-14)$$

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)。

支管水理和一般管流稍有不同，支管因延線有許多噴頭取走部分流量，因此其內流量延流動方向遞減，為對此種狀況加以分析，作如下 3 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：

$$hf = k \times L \frac{(Q/C)^{1.852}}{D^{4.87}} \dots \dots \dots (8-15)$$

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：

$$h_{ac}=F(h_f).....(8-16)$$

式中， h_{ac} ：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：

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2}(8-17)$$

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 8-11 所示)；Hazen-William 公式 $m=1.852$ (如表 8-11 所示)；Darcy-Weisbach 公式 $m=2.0$ (如表 8-11 所示)。

若第一個噴頭和支管入口處距離等於設計噴頭間距之半(0.5 S1)時：

$$F = \frac{2N}{2N-1} \left(\frac{1}{m+1} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \right)(8-18)$$

8.5.4、實例介紹

本節介紹設計 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：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)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，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

為決定最後灌溉水量，必須考慮適用效率。當滿足下述條件時，微灌溉適用效率可達 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 10，係將水深換算為每公頃水量，即為 $\text{mm} \times \text{ha} \rightarrow \text{m}^3$ 之係數。

$$\frac{\text{粗日消耗水量} \times \text{換算係數} \times \text{面積} \times \text{灌溉期距計算值}}{\text{抽水機日操作時間} \times \text{灌溉期距採用值}} = \frac{4.9 \times 10 \times 40 \times 7}{24 \times 6}$$

$$= 95.3\text{m}^3/\text{hr}$$

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 $6\text{天} \times 95.3\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{hr} = 13,723\text{m}^3$ ，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

$$\frac{\text{ha}}{S_1 \times S_2} = \frac{10,000\text{m}^2}{7\text{m} \times 4\text{m}} = 357\text{株}/\text{ha}$$

12.每公頃灌溉水量

$$\text{粗灌溉水量} \times \text{ha} = 34.3 \times 10,000\text{m}^2 = 343,000\text{ℓ}/\text{ha}$$

13.每株灌溉水量

$$\frac{343000\text{ℓ}/\text{ha}}{357\text{株}/\text{ha}} = 960\text{liter}/\text{株}$$

14.每株消耗水量

$$\frac{960\text{ℓ}/\text{株}}{7\text{天}} = 137\text{ℓ}/\text{株}/\text{日}$$

15.灌溉時數

$$\frac{\text{每株灌溉水量}}{\text{噴頭出水量}} = \frac{960 \ell / \text{ha}}{80 \ell / \text{hr}} = 12 \text{hr}$$

16.全部灌溉次數

$$\frac{\text{灌溉期距} \times \text{日操作時數}}{\text{灌溉時數}} = \frac{6 \text{天} / 24 \text{hr}}{12 \text{hr}} = 12 \text{次}$$

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

$$(\text{每株噴灑面積} / 0.875)^{1/2} = (19.6 \text{m}^2 / 0.875)^{1/2} = 5 \text{m}$$

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

$$\frac{\text{出水量} \times \text{灌溉時間}}{\text{單噴頭之噴灑面積}} = \frac{80 \ell / \text{hr} \times 12 \text{hr}}{19.6 \text{m}^2} = 49 \ell / \text{m}^2$$

21.每日灌溉次數

$$\frac{\text{全部灌溉次數}}{\text{灌溉期距}} = \frac{12 \text{天}}{6 \text{天}} = 2 \text{次} / \text{天}$$

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， $3.33 \text{ha} \times 357 \text{株} / \text{ha} \times 80 \ell / \text{hr} = 95,105 \ell / \text{hr} \div 95.1 \text{ m}^3 / \text{hr} \div 95.3 \text{ m}^3 / \text{hr}$)

(check 2: 以(8-11)式計算之， $2.778 \times 34.3 \times 40 / 24 \times 6 = 26,468 \ell / \text{sec} \times 3,600 \div 95.285 \ell / \text{hr} \div 95.3 \text{ m}^3 / \text{hr}$)

23.總株數

$$40\text{ha} \times 357 \text{ 株/ha} = 14,280 \text{ 株}$$

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。

$$\frac{80\ell/\text{hr}}{28\text{m}^2} = 2.9\text{mm/hr}$$

25.實際噴灑強度

以噴灑面積除噴頭出水量即為實際噴灑強度並和土壤入滲率比較。

$$\frac{80\ell/\text{hr}}{19.6\text{m}^2} = 4.1\text{mm/hr} < \text{表 5-2 所示任何數據}, \therefore \text{O.K.}$$

26.結果概要

(1)灌溉面積：40 ha；(2)灌溉期距：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。

8.6、穿孔管及滴水灌溉

8.6.1、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分土壤之灌溉，並使其潮濕(圖 8-32)，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。

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，即可依照計畫實施，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。

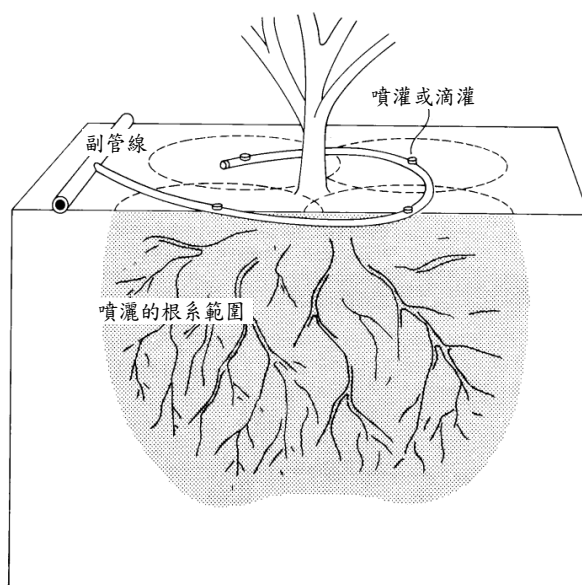


圖 8-32 根系部分濕潤之滴灌系統

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：是否要採用用水效率較高之施灌方法。
7. 經濟及財務上之分析及考量。

臺灣自 1971 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。

8.6.2、設計基本原則

一、系統設備：一個典型的滴水灌溉系統如(圖 8-33)所示，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. 滴水孔或放射口

抽水機提供適當之壓力將水輸送至各管路系統，控制系統是由閥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。

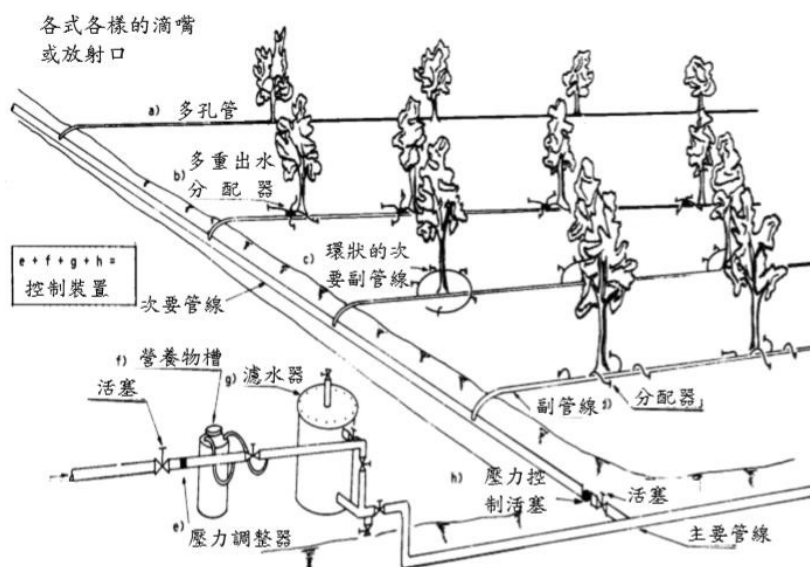


圖 8-33 滴灌系統田間佈置示意圖

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 8-34 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。

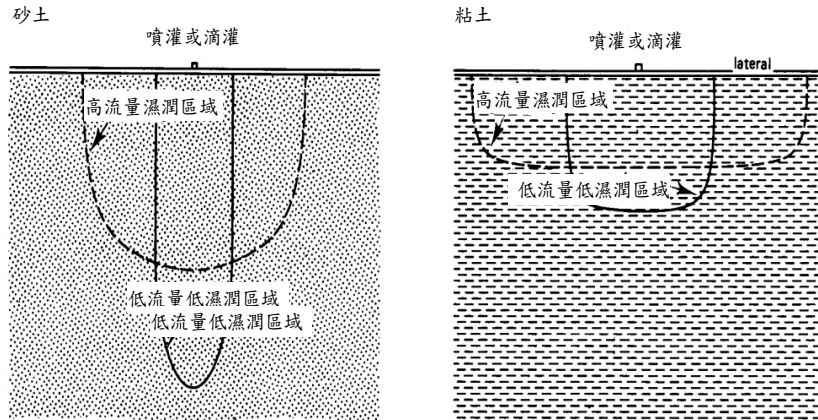


圖 8-34 砂土及粘土於高低流量時土壤之濕潤型式

雖然只有部分根系是濕潤的，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分，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：

$$Uc = (1.0 - 1.27 \times Cv/n) \times (Qmin/Qavg) \times 100\% \dots \dots \dots (8-19)$$

式中，Uc：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，依(植株距/廠商計算 Cv 時之單位長度)式計算，但不得小於 1.0；Cv：滴嘴生產品管之變異系數；Qmin：系統內滴嘴之最低流量(公升/時)；Qavg：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 8-10 表示乾燥地區滴嘴均勻度之設計標準。

表 8-10 乾燥地區滴嘴均勻度之設計標準

滴嘴種類	植株距	地形	U_c
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

8.6.3、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)

$$q = 3.6 \times (A) \times C_o \times (2gh)^{0.5} \dots\dots\dots(8-20)$$

式中， q ：滴嘴流量(ℓ/hr)； A ：滴嘴出流面積(mm^2)； C_o ：孔口係數； g ：重力加速度($9.807 m/s^2$)； h ：操作壓力(m)。

2. 長流徑型滴嘴(層流 laminar)

$$q = 0.11384 \times A \times \frac{2gHD}{f \times L} \dots\dots\dots(8-21)$$

式中， f ：摩擦係數； L ：滴嘴內之流動長度(m)；長流徑型滴嘴(完全紊流 fully turbulent)。

$$q = 0.11384 \times A \times \left[\frac{2gD\sqrt{H}}{f \times L} \right]^{0.5} \dots\dots\dots(8-22)$$

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 8-11)。

表 8-11 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。

$$hf = 6.377(F)f(L)Q^2(1/D)^5 \dots\dots\dots(8-23)$$

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：

$$\text{層流(laminar flow): } f = 64 / R \quad ; \quad \text{紊流時: } 1/\sqrt{f} = 2 \log (D/\varepsilon) + 1.14$$

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：

$$\text{管內連接型滴嘴 } Le = 1.0 \sim 3.0 \text{ m}$$

$$\text{管面連接型滴嘴 } Le = 0.1 \sim 0.6 \text{ m}$$

8.6.4、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，壓力調節閥使支管進水壓維持在 10.0m，滴嘴出水量和壓力之關係為 $q = 2.813 H^{0.63}$ 。故壓力 P=10m 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：

$$1. \text{Total } Q = 30 \times q = 30 \times 12 = 360 \text{ } \ell/\text{hr}$$

$$V = Q/A = \frac{360 \times (1/3600) \times (1/1000)}{\pi \times (10)^2 / 4 / (1000)^2} = 1.273 \text{ m/s}$$

$$2. R_n = VD/1,000\nu = 1.273 \times 10 / 1,000 / 1.0 \times 10^{-6} = 12,730 > 10,000$$

故為 Fully Turbulent Flow

$$1/\sqrt{f} = 2 \log (D/\varepsilon) + 1.14$$

$$\text{for 平滑之塑膠管 } e = 0.003 \text{ mm}$$

$$\therefore 1/\sqrt{f} = 2 \log (10/0.003) + 1.14 \quad \therefore f = 0.0149$$

$$3. hf = 6.377 \times f \times L \times \frac{Q^2}{D^5}$$

$$=6.377 \times 0.0149 \times 30 \times \frac{360^2}{10^5} = 3.69 \text{ m}$$

$m=2$, $N=30$ 查表得 Christiansen's friction factor $F=0.350$

實際之 Head Loss $= 3.69 \times 0.350 = 1.29 \text{ m}$

故最後一個 Emitter 之水壓為 $10 - 1.29 = 8.71 \text{ m}$

而其出流量 $q = 2.813 (8.71)^{0.63} = 11 \text{ l/hr}$

$\therefore \Delta q = (12 - 11) / 12 \times 100\% = 8.3\%$

PS. 設 Coefficient of Variation $C_v = 0.08$ ，每株作物分配 2 個 em

$$U_c = (1.0 - 1.27 \times C_v / n) \times (Q_{\min} / Q_{\text{avg}}) \times 100$$

$$= (1.0 - 1.27 \times 0.08 / 2) \times (11 / 12) \times 100 = 87\% (\text{與表 8-10 所示數據比較})$$

4. Point source, uniform slope, close crop spacing : $U_c : 85 - 90\%$ 。

8.7、入滲率之觀念與試驗

8.7.1、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，當水分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 8-12 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 8-35)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)。

任何土壤質地之入滲率，都可以透過現場試驗(如圖 8-36 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。

表 8-12 不同種類土壤基本入滲率

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

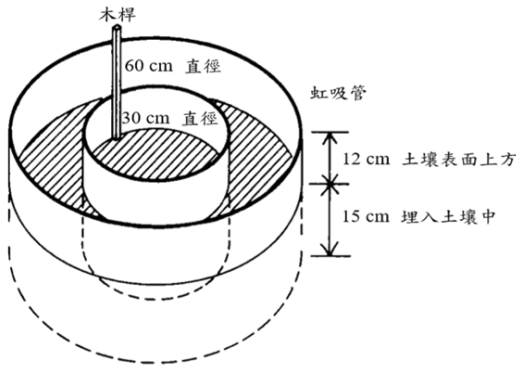


圖 8-35 圓筒法田間入滲試驗

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：

$$I = Kt^n \dots\dots\dots(8-24)$$

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。

(8-24)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(8-24)式積分，則可得(8-25)式為累積水深方程式。

$$D = \int I = \int Kt^n = \frac{K}{n+1} t^{n+1} = Ct^{n+1} \dots\dots\dots(8-25)$$

式中， D 表示累積水深，單位 mm； C 為常數 $= \frac{K}{n+1}$ 。

(8-25)式若繪於直角座標系，則可得一左下右上漸增曲線(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

$$I_{ave} = \frac{D}{t} = \frac{K}{n+1} \cdot \frac{t^{n+1}}{t} = \frac{K}{n+1} t^n \dots\dots\dots(8-26)$$

觀察(8-24)式及(8-26)式，可得 I 與 I_{ave} 之關係，即

$$I_{ave} = \frac{I}{n+1} \dots\dots\dots(8-27)$$

4.基本入滲率(basic intake rate, I_b)：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(8-24)式推導可得 I_b ，

$$\frac{dI}{dT} = \frac{d}{dt}(Kt^n) = nKt^{n-1} = 0.1Kt^n$$

$$n=0.1t \quad \text{or} \quad t=10n(\text{以小時計}) \quad \text{or} \quad t=600n(\text{以分鐘計}) \dots\dots\dots(8-28)$$

將(8-28)式代入(8-24)式，得

$$I_b = k(600n)^n \dots\dots\dots(8-29)$$

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)，如圖 8-36 所示，以及斜面入滲測定法，如表 8-13 所示。



圖 8-36 水池法田間土壤入滲率測定情形

表 8-13 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、鈎尺裝置、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、木椿、鏟、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，適合於臺灣輪作田旱作畦溝灌溉(坡度平坦而無出口)。
斜面入滲測定法	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，均由供水裝置、斜面逕流槽及回收循環裝置而成。	斜面漫灌或噴洒灌溉。

8.7.2、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。在邊界中水或裝入的兩個圓筒是為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 8-14 及其所附記錄表表 8-15 所示。

表 8-14 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 8-15 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 加水水位讀數		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)
			前 (mm)	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

8.7.3、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 8-15 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 8-37 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 8-37 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 8-14 第 7 行求得，入滲率單位為 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分之狀態，是乾燥土壤下實施。

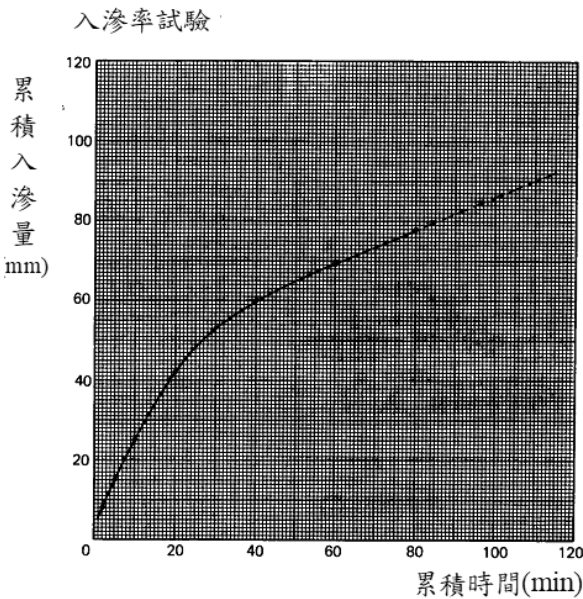


圖 8-37 記錄表實例曲線圖

8.7.4、入滲率公式計算解法

由(8-25)式 $D = Ct^{n+1}$ ，等式兩邊取對數 $\log$ ，可得

$$\log D = \log C + (n+1) \log t \dots\dots\dots (8-30)$$

假設： $y = \log D$ ， $a_0 = \log C$ ， $a_1 = n+1$ ， $x = \log t$ ，則(8-30)式，可改寫為直線方程式

$$y = a_0 + a_1 x \dots\dots\dots (8-31)$$

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，

$$\begin{cases} \sum y = a_0 N + a_1 \sum x \\ \sum xy = a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 \end{cases} \dots\dots\dots (8-32)$$

解(8-32)式，可得

$$a_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2} = \log C$$

$$= \frac{(\sum \log D)(\sum (\log t)^2) - (\sum \log t)(\sum (\log t \cdot \log D))}{N\sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2} \dots\dots\dots (8-33)$$

$$a_1 = \frac{N\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2} = n+1$$

$$= \frac{N\sum (\log t \cdot \log D) - (\sum \log t)(\sum \log D)}{N\sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2} \dots\dots\dots (8-34)$$

將表 8-14 第 3 行及第 8 行數據，進行(8-33)及(8-34)式計算前之相關演算，如表 8-16 所示，

表 8-16 入滲率公式解法演算表

(3) 累積 時間	(8) 累積入 滲量	(9) 入滲率公式 x=logt 計算	(10) 入滲率公式 x*x 計算	(11) 入滲率公式 y=logD 計算	(12) 入滲率公式 x*y 計算
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
合計		10.061452	14.803914	12.333741	16.869993
平均		0.838454	1.233659	1.027812	1.405833

並將結果代入，得

$$a_0 = \frac{(12.3337)(14.8039) - (10.0615)(16.87)}{8(14.8039) - 101.2328}$$

$$= \frac{182.5869 - 169.7375}{17.1984} = \frac{12.8494}{17.1984} = 0.7471 = \log C$$

$$\therefore C=5.587(\text{取 anti log})$$

$$\begin{aligned} a_1 = n+1 &= \frac{8(16.87) - (10.0615)(12.3337)}{17.1984} \\ &= \frac{134.96 - 124.0955}{17.1984} = \frac{10.8645}{17.1984} = 0.632 = n+1 \end{aligned}$$

$$\therefore n=-0.368$$

將上述計算所得結果，代入(8-24)、(8-25)及(8-26)式，即可得本文所列舉入滲率試驗實例之公式解法，

$$D = 5.587t^{0.632}$$

$$I = 5.587 \times 0.632 \times 60 \times t^{-0.368} = 211.9t^{-0.368}$$

$$I_{ave} = 60Ct^n = 60 \times 5.587 \times t^{-0.368} = 335.22t^{-0.368}$$

8.8、參考文獻

1. 行政院農委會，1983，“旱作灌溉推廣講義”。
2. 農復會水利特刊第二十八號，1978，“灌溉排水工程設計”。
3. 農復會水利特刊第三號，1984，“微噴灌溉”。
4. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二，1984，“灌溉排水原理”。
5. 水利會聯合會，1984，“農田水利技術人員訓練教材—灌溉管理類”。
6. 行政院農委會水利特刊第八號，1995，“灌溉節水技術手冊”。
7. 行政院農委會，1999，“農田水利會之灌溉排水維護及管理訓練推廣計畫—灌溉方法”。
8. 七星農田水利研究發展基金會，1999，“臺灣農業與水利研究發展論叢—灌溉排水設施及管理”。
9. 蔡明華，1985，「灌溉與排水」，中國土木水利工程學會。
10. Israelsen, O.W. and Vaughn Hansen, “Irrigation Principle and Practice.” New York, John Wiley and Sons, 1962.
11. Kay, M. “Surface Irrigation: System and Practice.” Bedford, UK., Cranfield Press, 1986.
12. Smith, Stephen W. “Landscape Irrigation—Design and Management.”, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1997.

13. Walker W.R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Irrigation & Drainage Paper 45. FAO, Rome, Italy.
14. Wynn R. Walker. "Surface Irrigation: Theory and Practice." N.J., Prentice Hall, 1987.

第九章、灌溉效率

9.1、概述

9.1.1、前言

任何事情均須講究效率，尤以現代社會，對各事物之效率更應重視，因此灌溉效率亦不例外。過去因水資源豐富，有取之不竭用之不盡之感，無庸談論灌溉效率，因此灌溉效率這名詞僅為最近半世紀的事。雖然一般灌溉計畫及管理所追求之目的即在設法提高灌溉效率，惟為達成較高之灌溉效率，相對地須增加用水管理(water management)人力及經費，若增加之費用超過所節用水之價值時，仍將失去提高灌溉效率之實質意義。

此外，由於對於不同灌溉階段供灌目的的認知不同就會衍生不同的灌溉效率計算及其客觀性，因此在實務與學理上均很難有系統地將世界各國的灌溉效率加以綜整歸納。舉例來說，以往灌溉的目的即在提供作物正常生長之水量，但隨著灌溉技術的提升與現代化，如何將單位水量所灌溉出來的產量達到最高，反而更為農民所重視。有鑒於此，本篇章灌溉效率僅能列舉幾個現代化灌溉系統中較常見的灌溉效率加以說明，期待在有限的篇幅下，針對灌溉效率不同的應用目的提供不同的幫助，主要有以下三點：

- 一、對於灌溉規劃人員：透過估算灌溉效率，灌溉計畫能在規劃階段了解到灌溉系統所需要的水源水量及適當的種植作物，並進而歸納出灌溉系統所適合的工程及管理方法。
- 二、對於灌溉工程人員：於掌握不同階段應有之灌溉效率後，可以了解到該段灌溉工程施作的良否與待改善之目標，並做為灌溉系統之設計依據。
- 三、對於灌溉管理人員：針對灌溉系統中不同灌溉階段的灌溉效率表現，擬定適當的優先順序及其管理策略，並用於評估實施灌溉管理後之成效。

如上述，由於各國灌溉事業有不同發展型態(詳參灌溉管理學第一章灌溉組織與制度)，故對於灌溉效率的定義與看法也有所不同。早期國內灌溉效率的文獻主要引用來自於歐北美農體系為主的原文資料，該體系以農場(farm)作為灌溉系統評估單元之依據，翻譯上往往會將 farm 視為田間。但對於盛行小農體系的灌溉系統而言，實際的田間應指的是「丘塊」，因此，常常會造成灌溉效率中文定義上的混淆。本文為能釐清灌溉效率的不同定義，特別將 farm 與 field 兩個的中文名詞加以區分。其中，farm 基本上講的是耕

作或牧養的地方，除了作物之外，可能包括公共設施、農舍、穀房、豬牛圈及農地等，稱為「農場」，常見用於描述歐美或缺乏農地重劃灌溉系統中最末端的灌溉單元，本文稱之為「農區」，相當於小農體系灌溉系統中的「輪區」(tertiary unit)。field 基本上是指有一定範圍的地，拿來農作的稱為「農地」，有農作物的叫「農田」，為小農體系灌溉系統最末端的灌溉單元「坵塊」(plot 或 lot)，為避免與上述的「農區」混淆，本文稱之為「田間」。

9.1.2、內容概要

本章共分四個單元，第一單元介紹本篇之用途及內容；第二單元介紹灌溉效率之意義及其影響因子，主要說明不同灌溉效率的意義與影響灌溉效率的因子；第三單元介紹灌溉效率之計算與應用，藉此了解灌溉系統中不同灌溉效率的計算方式及其應用；第四單元則為結語，除說明國際間評估灌溉效率的趨勢外，並列舉臺灣過去試驗站所記錄的各項灌溉效率數值。

9.2、灌溉效率之意義及其影響因子

9.2.1、灌溉效率之意義與分類

灌溉效率是一個廣泛的名詞，因名稱不同其意義亦因之而異，細分之種類繁多，惟任何灌溉效率均以百分率表示，常見的大致有以下幾種。

- 一、輸水效率：自河川、水庫或抽水機所去入之水，經漫長之幹支渠，必有一部分水因滲漏及水面蒸發，至分水門必有損失，故以分水門水量除以進水口之水量稱為輸水效率(Water conveyance efficiency)；
- 二、配水效率：自分水門進入之水量經漫長之給水路，非但有滲漏與水面蒸發之損失，尚有管理不當使渠水流失，故將進入田間之水量除以輪區(農區)進水口之水量稱為配水效率(Distribution efficiency)或分水效率(Division efficiency)；
- 三、施灌效率：灌溉水進入田間之後會成為根系內蓄積之水、逕流損失及根系深層滲漏，則根系中蓄積之水除以田間入口處之水量名為田間施灌效率(Water application efficiency)；
- 四、計畫效率：如根系中蓄積水量除以進口水量，名為計畫效率(Project efficiency)；
- 五、需水效率：貯蓄於根系中之水量不一定全部能被作物利用，因此實際被作物所利用之水量除以根系中所蓄積之水量名為需水效率(Consumptive use efficiency)；

- 六、儲水效率：如計算根系中應灌水量，及根系中蓄積水量與未蓄滿水量之和，則根系中蓄積水量除以根系中應灌水量稱為儲水效率(Water storage efficiency)；
- 七、分布效率：如觀測根系中水量所積蓄之均勻程度名為分布效率(Water distribution efficiency)；
- 八、實施效率：其他尚有實際施灌效率與理想施灌效率之比，名為實施效率(Operational efficiency)；
- 九、經濟灌溉效率：灌溉系統中實際作物之產量與理想條件下產量之比，名為經濟灌溉效率(Economic irrigation efficiency)。

灌溉效率之名稱雖多，但灌溉水之損失與浪費可大別為三類，一為輸水系統與配水系統之損失與浪費；二為給水小渠系統之損失，三為田間灌溉之損失；因此上列幾種灌溉效率，較重要者首推輸水效率與施灌效率二種，但田間灌溉之儲水效率與分布效率亦常有人提出討論。無論何種灌溉效率，凡自河川取入水量，引致田間後，實際為作物所利用者，最高僅 33%，在大區域之灌溉效率約為 20%至 35%。由此可知取入水量，能有三分之一供作物應用已甚不容易。

9.2.2、影響灌溉效率之因子

近年來研究灌溉效率之學者雖逐漸增多，但影響灌溉效率因子繁多，欲得一單純而確實之灌溉效率，實不容易，茲首先談談影響灌溉效率之因子：

- 一、農場大小：灌溉效率必須先問灌溉面積之大小，如在小面積之灌溉，灌溉效率之要求可予提高，但在大區域之灌溉如欲普遍提高，必須要付出相當高之代價，其經濟條件是否合算，應為考慮之重點。
- 二、作物種類：在同一大小農場，灌溉效率與灌溉次數成反比，因每種作物有其不同需水特性，每次灌溉水量多寡與灌溉次數依作物種類而異，由此而影響灌溉效率。以不同作物之觀點論灌溉效率如灌溉水量多與次數多時其灌溉效率定不如灌溉水量少及次數少之作物。
- 三、水源類別：水源取水難易影響灌溉效率，如水源取自河川與地下水比較，應視工程投資費用與引水多寡來控制灌溉效率，如工程費龐大而出水量小之水源，灌溉效率要求應較單位水量成本低者為高。
- 四、供水難易：所謂供水難乃指單位水量所化之成本較高，因此，灌溉效率之要求更為嚴格。

- 五、構造物設備良窳與灌溉系統之新舊：構造物設備新而優良，及灌溉渠系陳舊，反可提高灌溉效率，但二者甚難兼備因陳舊渠系其構造設備不可能新而不漏水，反之新渠道滲漏水量多，如構造物施工不良，漏水過多，灌溉效率亦因之減低。
- 六、取水口多寡：一定之灌溉面積如取水口愈多，愈可提高灌溉效率，因甚多取水口，可減少輸水渠道長度，減少滲漏量增加灌溉效率。
- 七、作物生長期長短與灌溉期距：如作物生長期一定，灌溉期距愈長，灌溉次數愈少，可提高灌溉效率；反之作物生長期愈短，灌溉期愈長，亦可減少灌溉次數與提高灌溉效率。
- 八、水費徵收方式與徵收率：水費徵收方法普通分以量計費與以面積計費二種，後者為目前臺灣採用之方法，如改以量計費可增高灌溉效率甚多。水費徵收率與灌溉效率成正比，即單位水量或單位面積收費愈高愈可提高灌溉效率。
- 九、水源盈虧：灌溉效率與水源盈虧成反比，即水源愈少，灌溉效率愈高，反之則低。
- 十、灌溉技術之優劣：灌溉技術優劣與灌溉效率成正比，即有好之灌溉技術，可提高灌溉效率。
- 十一、地下水位高低：地水位高低亦與灌溉效率成正比，因地下水位高處，部分水分可由根系自毛細管作用吸收，可減少灌溉水。輸水渠線位於地下水位高之地區，可減少滲漏提高輸水效率。
- 十二、機械操作程度：一般田間採用機械耕作，耕犁深度均較畜犁者為深，灌溉水量較多灌溉亦不易均勻，故灌溉效率較差。
- 十三、農場收益多寡：農場收益愈高，灌溉效率愈低，因收益高之農場，不在乎支出水費之繳納，容易浪費水量而減低灌溉效率。
- 十四、灌溉資金之投資：灌溉資金投資之多寡與灌溉效率高低成正比。
- 十五、灌溉團體組織：有灌溉團體組織地區，其灌溉管理嚴密，因此灌溉效率亦高。
- 十六、土壤質地與滲入率：粗質土壤灌溉效率較低，但黏質土壤，在土壤過乾時灌溉，表面有裂縫，滲漏過大亦可減低灌溉效率，凡土壤質地疏鬆者，入滲率均大，灌溉效率與以上有同樣現象。

此外，其他影響灌溉效率因子尚有：灌前土壤水分多寡，灌溉流量，灌溉時間，田面坡度及糙率等等，茲不一一列舉。總之，影響灌溉效率之因子繁多，如全部兼顧，勢非可能，同時各灌溉區情況不同，應以因地制宜作適當之決定。同時欲估計準確之灌溉效率，十分困難，據一般估計，有 75% 之準確度，已為良好之結果。其地區灌溉效率之估計，須經 5~10 年之核對，方可得可靠之數值。為更詳細說明各灌溉效率，茲分節闡明如下。

9.3、灌溉效率之計算與應用

在灌溉過程中，灌溉水會經由水源取水工取入渠道，再由渠道輸送至輪區進水口，水量在輪區進水口分配給不同田間坵塊，最後在田間坵塊土壤中被作物所吸收。為能簡化灌溉效率的描述，通常會將整個灌溉系統分成數個階段，以方便評估不同階段的灌溉效率，以下兩種是常見的區分方式。

一、二分法：分為系統(off-farm)與農區(on-farm)兩個階段。常見於傳統灌溉系統中。由於大部分灌溉地在輪區進水口以下並無完善配水水路或以土渠為主，水路中的輸漏水也大部分會流到田間被農民所利用，因此評估此階段的灌溉效率並無法實際作為改善灌溉管理的依據，故習慣上以輪區進水口之前(斗門以上)稱之為系統(off-farm)，進入到輪區之後(斗門以下)稱為農區(on-farm)。由於世界許多地區並無完善的農地重劃，故輪區進水口以內大部分都可以算是田間的一部分，因此此種分法較為國際所通用。

二、三分法：分輸水系統(conveyance system)、配水系統(distribution system)及田間(field)三個階段。主要是應用在現代化的灌溉系統當中，由於配合農地重劃作業，輪區進水口以下也會設置中小給排水路，故透過適當的管理可提升輪區(農區)進水口至田間進水口之間的灌溉效率，因此會將此部分的水路系統獨立出來。這樣的分法除了原有 off-farm 的部分會將輪區進水口之前(斗門以上)稱之為輸水系統(conveyance system)外，進入到輪區之後(斗門以下)，在到達田間進水口之前會稱為配水系統(distribution system)，至於田間(field)的部分則專指坵塊的部分。

臺灣目前各水利會的管理概念，主要還是採用二分法方式，輪區進水口以前(斗門以上)由工作站進行管理，輪區進水口以下(斗門以下)由水利小組(農民)來管理。然由於臺灣大部分的灌溉系統均已有完成農地重劃，或設置有輪區以下的中小給排水路，故在灌溉效率評估上有必要採用三階段評估方式，故本節說明會以三分法方式，介紹灌溉效率的評估方式及其應用。

9.3.1、系統的灌溉效率

誠如上述，在灌溉過程中，以三分法為例，假設水源取水口水量經量測

可得到 W_r ，輪區(農區)進水口水量為 W_t ，田間進水口水量為 W_f ，根系土層實際蓄積水量 W_s ，則各階段所量測水量與相對所衍生的灌溉效率，加以繪製，如圖 9-1。

一、輸水效率(Water Conveyance Efficiency)

最早之灌溉效率觀念僅為輸水效率，即表示自水源輸水至輪區進水口之效率，其關係如下式：

$$E_c = 100 \times \frac{W_t}{W_r} \dots \dots \dots (9-1)$$

式中， E_c 為輸水效率，以百分比表之； W_t 為輪區(農區)進水口之水量； W_r 自水源取水口之水量。

二、配水效率(Distribution Efficiency)

指自輪區(農區)進水口水量分配至田間的效率，其關係如下式：

$$E_D = 100 \times \frac{W_f}{W_t} \dots \dots \dots (9-2)$$

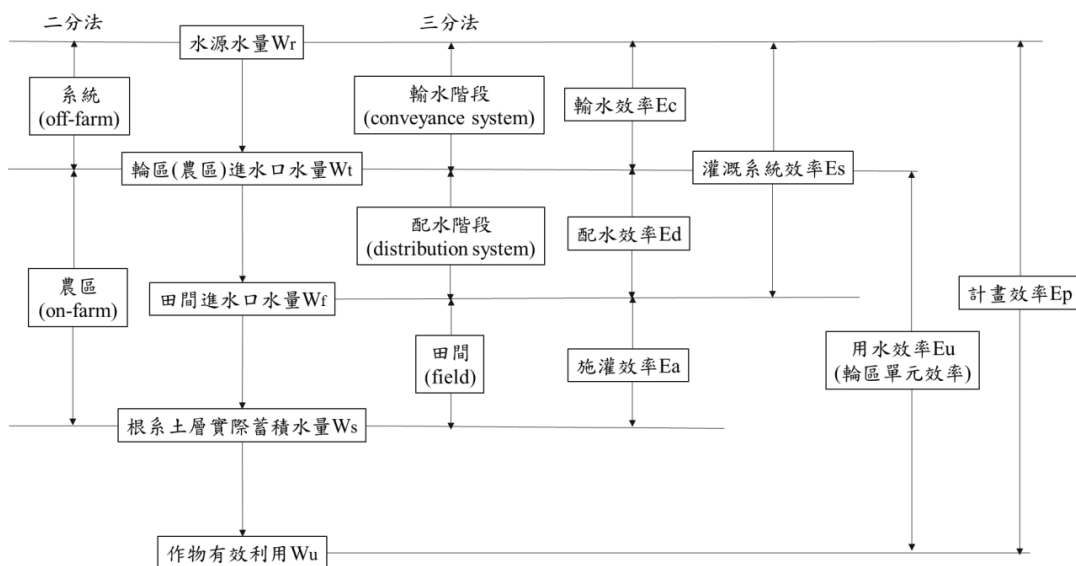


圖 9-1 系統中各種灌溉效率之關聯示意圖

式中， E_D 為配水效率，以百分比表之； W_f 為田間進水口之水量； W_t 為輪區(農區)進水口之水量。

三、施灌效率(Water application efficiency)

由上式，引至田間之水並非即為所需要之水量。輸水效率高並非即為用

水效率高。因此產生施灌效率之觀念，即作物根系土層所儲留水量與引入田間水量之比，以百分數表示，一般言之，如無指明某種灌溉效率即指施灌效率，其式為：

$$E_a = 100 \times \frac{W_s}{W_f} \dots\dots\dots(9-3)$$

式中， E_a 為施灌效率，以百分比表之； W_s 為根系土層實際蓄積之水量； W_f 為田間進水口之水量。

當(9-3)式中 W_s 如以某根系深度灌溉前後土壤水分表之，則可寫成：

$$W_s = (M_a - M_b) \times A_s \times d \dots\dots\dots(9-4)$$

式中， M_a 與 M_b ，分別為灌溉後與灌溉前根系中蓄積水分之百分比(以重量比表之)， A_s 為土壤之假比重， d 為有效根系深度。當水進入田間後，為滿足田間末端根系內之蓄積水量，會發生逕流損失；同時滲入土層之水量超過根系中所蓄積之水量，則成為深層滲漏，因此，灌入田間中之水量可用下式表之：

$$W_f = W_s + R_f + D_f \dots\dots\dots(9-5)$$

式中， R_f 表逕流損失水量； D_f 表深層損失水量。如將(9-4)及(9-5)式代入(9-3)式，則

$$\begin{aligned} E_a &= 100 \times \frac{W_f - (R_f + D_f)}{W_f} \\ &= 100 \times \frac{(M_a - M_b) \times A_s \times d}{W_f} \dots\dots\dots(9-6) \end{aligned}$$

四、灌溉系統效率(Irrigation System Efficiency)

灌溉系統效率並非國際灌溉排水協會慣用的效率評估項目，因此並不常使用，惟為了描述灌溉系統的完整性，仍將該效率簡述如下。該效率主要是要描述灌溉水在輸配水系統水路中的運送效率，其式為：

$$E_I = 100 \times \frac{W_f}{W_r} \dots\dots\dots(9-7)$$

式中， E_I 為灌溉系統效率，以百分比表之； W_f 為田間進水口之水量； W_r 自水源取水口之水量。

五、輪區單元效率(Tertiary unit Efficiency)，或稱用水效率(Water-use Efficiency)

為能描述進入輪區(農區)的水量儲存到田間根系土層的情形，茲將作物有效利用部分與引入輪區進水口水量之百分比稱為輪區單元效率。在輪區進水口以下並無完善的配水水路或以土渠為主的情況中，可以直接將輪區(農區)視為田間，即 W_t 視為 W_f ，輪區單元效率又可稱為用水效率(或農場的灌溉效率，Irrigation Efficiency)，即其式為：

$$E_u = 100 \times \frac{W_u}{W_t} = 100 \times \frac{W_u}{W_f} \dots\dots\dots(9-8)$$

式中， E_u 為用水效率，以百分比表之； W_u 為作物有效利用部分； W_t 為灌入農區之水量； W_f 為田間進水口之水量。

六、計畫效率(Overall or Project Efficiency)

為能簡化比較不同灌溉系統的灌溉成效，會將整個灌溉系統最終被作物有效利用的水量與該系統自水源取用的水量相比，稱之計畫效率，其式為：

$$E_p = 100 \times \frac{W_u}{W_r} \dots\dots\dots(9-9)$$

式中， E_p 為計畫效率，以百分比表之； W_u 為作物有效利用部分； W_r 自水源取水口之水量。在輪區進水口以下並無完善配水水路或以土渠為主的情況中，將輪區(農區)視為田間，而(9-8)式之 W_u 亦可將其視為根系土層實際蓄積水量，則：

$$E_u = E_D \times E_a \dots\dots\dots(9-10)$$

又由(9-1)式、(9-2)式及(9-7)式可得到

$$E_I = E_D \times E_C \dots\dots\dots(9-11)$$

由此可知，計畫效率與前述灌溉效率之間的關係，可推得如(9-12)式。

$$E_p = E_C \times E_D \times E_a = \frac{E_u \times E_I}{E_D} \dots\dots\dots(9-12)$$

9.3.2、其他常見之田間灌溉效率

由於影響上述施灌效率之因素極多，例如土滲透性、流量、田間操作、畦溝長短、地形被度、整地情形、每次施灌水深等，均足以影響施灌效率。故僅用施灌效率尚未足以說明田間實際情況。最高之施灌效率仍未能代表最理想之灌溉，故有進一步分析之必要。

灌溉水自給水小渠流入田間後，依地形坡度自田首流至田末，部分水垂直滲入土層，如滲至根系以下時為深層損失，如自田間末端流出區外為逕流

損失，討論此等問題之灌溉效率名為田間灌溉效率。換言之，田間灌溉效率即指灌溉水量供應作物消耗之有效部分，在應用上，此有效部分即為作物需水量。

但在田間施灌時，由於土壤水分之分布不均，灌入田間之水並非全部有效，作物所能吸收者僅限於根系範肉土層內之土壤水分。嚴格而論，有效水分應指蒸散量而言，但作物需水量包括作物蒸散量、地面與水面蒸發量，亦即蒸發散量。但計算田間灌溉效率乃以土壤水分之分布情形為根據，因此，灌溉效率須作更詳細之分析。茲將其他常見的田間灌溉效率說明如下。

一、儲水效率(Water-storage Efficiency)

由於一般灌溉地區水源缺乏，水價較高，用水可能過少而致灌溉不足，在此情形下，灌源效率可高達 100%，而灌溉效果不佳，此種情形可用儲水效率加以說明。儲水效率乃表示根系土層內實際儲水程度，其式為：

$$E_s = 100 \times \frac{W_s}{W_n} \dots\dots\dots(9-13)$$

式中， E_s 為儲水效率，以百分比表之； W_s 為根系土層實際蓄積之水量，可由(9-6)式求得，其中 M_a 為灌溉後實際土壤含水量； W_n 為根系土層應蓄積之水量，可由(9-3)式求得，其中 M_a 為灌溉後應達到之土壤含水量，常以田間容水量(Field capacity)表之。

美國德州研究報告中指出有較高之儲水效率，可使作物產量增加三倍，同時甘州研究報告中亦指出，有較高之儲水效率可提高作物之價格。如有較高之施灌效率，該二州皆證明不一定能增產，由此可見儲水效率之重要性。但較高之儲水效率在灌溉水量缺乏處所較為有利，並需要較高之灌溉費用。鹽分地之灌溉如有較高之儲水效率，可防止鹽分之上升而達增產之目的。通常在有較高之施灌效率時仍須以儲水效率方能表示其灌溉實況。儲水效率 E_s 常與施灌效率 E_a 混淆，唯儲水效率專指根層土壤經灌溉後的效果，在實際應用上由於作物根層不易決定，故較少有人使用。

二、分布效率(Water-distribution Efficiency)

儲水效率低雖能表示缺水狀態時之灌溉有效程度，但未能比較水量在此有效土層內之分布情形。在節水狀態下施灌，水量之均勻分布更為重要。因而產生土壤水分分布效率之觀念。其式如下：

$$E_d = 100 \left| 1 - \frac{y}{d} \right| \dots\dots\dots(9-14)$$

式中， E_d 為分布效率； y 為灌溉水蓄積於土層中平均水深與田間各點土層實際蓄積灌溉水深差之平均值； d 為平均水深。

分布效率較佳之灌溉，可使作物平均吸收水分。分布效率較差之灌溉有下列各不同之情況，在乾旱地區每次實施少量灌溉，不能得較佳之均勻度，水量過多之灌溉雖可增加分布效率，相反的亦會增加水量之損失，灌溉水量增加至何種程度方可有較高之分布效率而其水量之損失亦少乃為灌溉技術問題；鹽分聚積較多地區，灌溉後土層中所蓄積之水量，不如所想像中多，因此特殊區域有不同之分布效率。

分布效率低則灌溉效果較差，比較不同灌溉方法或不同灌溉設備，可根據其分部效率。分布效率較低者，如欲獲得相同之灌溉效果需增加灌溉水量。在選擇噴灑灌溉設施時，分布效率尤為重要之指標。

三、需水量效率(Consumptive-use Efficiency)

水量儲存於土層中，未必全部能供作物利用，例如寬壟溝初植時，曝露表面可有大量之蒸發，或下層水分滲入較深，作物未能利用等情形。故在田間施灌如係寬行及滲漏性強之土壤，此項效率觀念更形重要。例如在上述情形下，行栽作物其需水量效率可能僅 50%，假如實施噴灌，改用窄行，不用畦溝，其需水量效率可能大為提高。需水量效率之公式如下：

$$E_{cu} = 100 \times \frac{W_{cu}}{W_d} \dots\dots\dots(9-15)$$

式中， E_{cu} 為需水量效率，以百分比表之； W_{cu} 為作物正常需水量； W_d 為根系土層消耗之水量。

需水量效率更可說明不同灌溉方法所產生之不同效果，此項效率受作物栽培密度、土壤、地面覆蓋、根系發展及土壤水分分布等因素之影響而定。在試驗研究工作上，有助於研究分析，尤以淺根作物之灌溉更需明瞭灌溉水量如何可以有效為作物根系所利用。

臺灣之田間均有田埂，灌溉後不容許發生逕流，因此計算施灌效率時常以灌溉前後觀測土壤水分之差來計算。通常畦溝之灌溉效率約為 50~60%，埂間灌溉效率約在 50%，設計良好之噴灑灌溉可達 75% 以上。

上述各項灌溉效率觀念雖似有重覆，但各有其適用情形。單獨任何一項效率並不足以表示最佳灌溉效率。圖 9-2 之說明，以玉米為例，虛線表示最佳灌溉深度，實線則表示以不同灌溉方法之實灌深度。

由(a)(b)(c)圖，為溝灌自左至右，(d)(e)(f)圖為自兩端施灌，(g)(h)(i)圖則

為噴灑灌溉之情形，各圖上部之曲線為表示作物之生長情形，以(h)圖最為均一。可見(a)、(b)與(c)田首灌水較多，而多灌水對作物並非有利。(d)、(e)、(f)圖為滲透性強之土壤，由兩端施灌，水量較為節省而效果較高。(g)、(h)、(i)圖則為噴灑灌溉之情形，(g)表示灌溉不足，(i)則為灌溉過多。其中 E_d 則與系統設計與機械性能有關。由上圖可見維持任何一項 100%效率並非表示最理想之灌溉。此外，尚需考慮作物本身生理狀態，土壤水分過於充分，可能對作物生育有不良之影響。

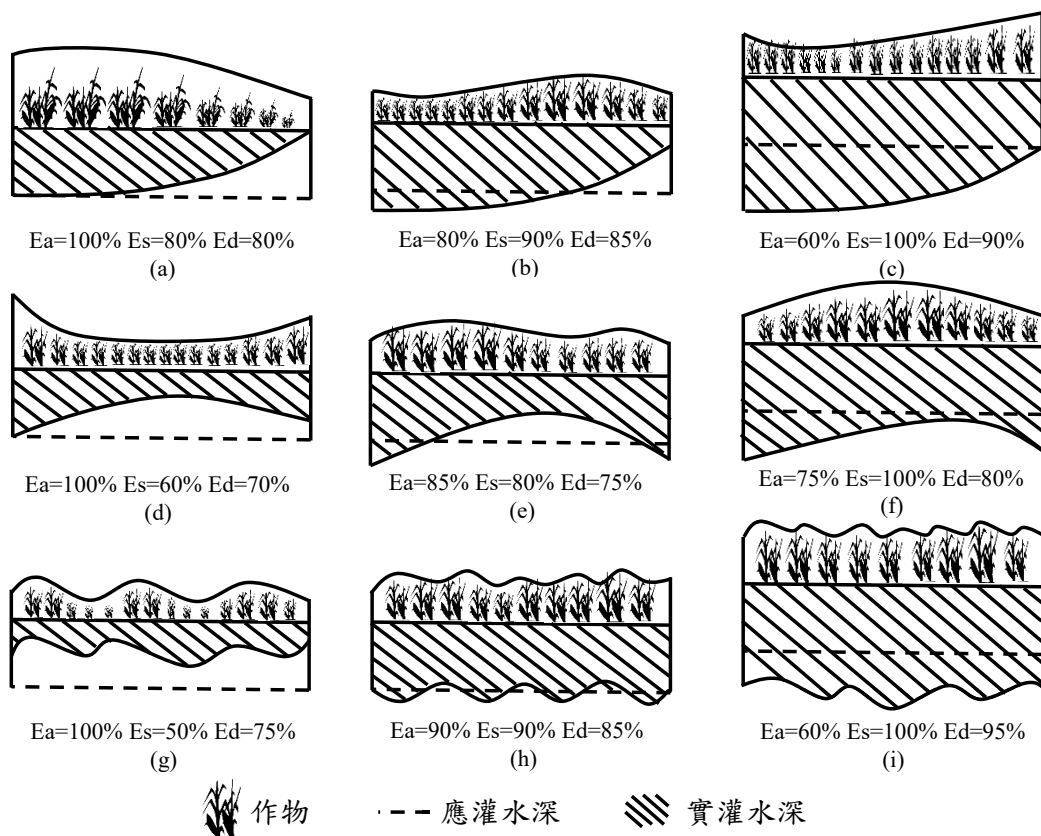


圖 9-2 各種田間灌溉效率之比較

9.4、結語

近幾年對灌溉效果之評估，除灌溉效率之外，也會使用灌溉生產力的概念，即單位灌溉水量所得到的產量等，均是相當常見的方法，可以詳見其他單元。至於灌溉效率的應用，臺灣過去有多處的灌溉試驗站，但灌溉效率之研究資料並不算多。嘉南水利會之學甲試驗站及新港試驗站曾進行數年大區田間灌溉效率之試驗研究。並在烏山頭系統灌區內選擇有代表性土壤之處，作旱田灌溉方法及灌溉效率試驗，其測定結果經整理後，如表 9-1。

表 9-1 烏山頭灌區施灌效率試驗值

作物	灌溉方式	整地程度	畦長(m)	計畫灌溉水深(mm)	實際水深(mm)	施灌效率(%)
大蒜	埂間	優	116.0	34	62.9	54.1
大蒜	埂間	可	117.5	34	62.9	54.3
大蒜	埂間	可	136.5	34	43.9	77.4
大蒜	埂間	優	114.0	34	54.4	62.5
甘蔗	畦溝	劣	97.0	51	63.9	79.8
甘蔗	畦溝	優	70.0	51	29.0	100.0
玉米	波紋	可	70.5	45	58.5	76.9
玉米	埂間	優	100.0	45	82.0	54.9
大麥	埂間	劣	143.0	45	91.8	49.0
甘藷	畦溝	劣	71	45	81.2	55.4
甘藷	畦溝	劣	71	45	81.2	55.4
甘藷	畦溝	劣	26	45	52.1	86.4
甘藷	畦溝	劣	26	45	52.1	86.4
甘藷	畦溝	劣	26	45	52.1	86.4
甘藷	畦溝	劣	117	45	49.2	91.5
甘藷	畦溝	優	90	45	31.4	100.0
甘藷	畦溝	劣	97	45	63.9	70.4
甘藷	畦溝	劣	100	45	77.6	58.0
甘藷	畦溝	可	120	45	96.6	46.6
甘藷	畦溝	可	90	45	58.9	76.4
甘藷	畦溝	可	100.8	43	77.0	58.4
甘藷	畦溝	劣	100.8	45	56.4	79.8
甘藷	畦溝	可	88	45	59.8	75.3
甘藷	畦溝	可	100.8	45	49.5	90.9
甘藷	畦溝	可	100.8	45	51.7	87.0
甘藷	畦溝	優	145.0	45	30.4	100.0
甘藷	畦溝	優	158.0	45	49.5	90.9
甘藷	畦溝	優	51.0	45	24.2	100.0
甘藷	畦溝	優	51	45	37.9	100.0
甘藷	畦溝	劣	114.5	42	96.3	46.7
甘藷	畦溝	可	100.0	45	79.8	56.4
甘藷	畦溝	優	160.0	45	45.6	98.7

註：F.C.=22.67%, PwP=6.99%, $\frac{1}{2}$ A.M.處理，As=1.44

根系深度：大蒜：30cm，甘蔗：45cm，玉米：40cm，大麥：40cm，甘藷：40cm。

對於田間之灌溉，由於作物種類多，而栽培方式亦不同，故各作物之灌溉水深及灌溉效率，應有一合理之數字。例如按作物別，一次灌溉水深較大之甘蔗能獲得較多配水，如淺根之蔬菜不宜灌溉過多，以免排水不良而遭致減產。就施灌效率而言，如甘蔗及甘藷採用畦溝，灌溉水沿溝底流動，流速較快，其效率較佳。又如玉米及黃麻，係用波紋狀栽培方式，由於溝數多而溝淺，輸水能力較遜於畦溝，效率亦不如甘藷及甘蔗。其他如大麥、花生等採用漫灌方式灌溉，其效率更低，尤其低莖作物，覆蓋地面之莖葉阻止灌溉水前進，使施灌效率更差。茲將各作物之灌溉水深及施灌效率列舉如表 9-2。

表 9-2 地表灌溉一般田間之施灌效率

土質與田面狀況	埂間灌溉 (%)	溝灌或 紋溝(%)	有控制之淹 灌法(%)	盤灌法(%)
1.砂質土				
(a)坡度良好與適當	60	40-50	45	70
(b)坡度平坦	40-50	35	30	-
(c)起伏地或較陡坡地	-	20-30	20	-
2.土層深之中層土				
(a)坡度良好與適當	70-75	65	55	70
(b)坡度平坦	50-60	55	45	-
(c)起伏或較陡坡地	-	35	35	-
3.土層淺之中層土				
(a)坡度良好與適當	65	50	45	60
(b)坡度平坦	46-50	35	35	-
(c)起伏或較陡坡地	-	30	30	-
4.重質土				
(a)坡度良好與適當	60	65	50	60
(b)坡度平坦	40-50	55	45	-
(c)起伏或較陡坡地	-	34-45	30	-

9.5、參考文獻

1. 甘俊二等，1996，灌溉排水原理，中央圖書出版社。
2. 臺灣省水利局，1980，雜作灌溉手冊，農委會。
3. 游俊基、林達雄等，1994，農田水利技術人員訓練教材，農田水利聯合會。
4. Bos, M.G. 1979. Standards for Irrigation Efficiencies of ICID. ASCE Journal of the Irrigation and Drainage. Division 105 (1)
5. Hansen, V.E. 1960. New Concepts in Irrigation Efficiency, Transactions of the ASAE. Vol 3, No. 1, pp. 55-61.

6. Heermann, D.F., Wallender, W.W., Bos, M.G. 1992. Irrigation efficiency and uniformity, Management of farm irrigation systems Chapter 6. Hoffman, G.J., Howell, T.A. and Solomon, K.H. (ed). 125 - 149
7. Howell, T.A. 1988. Irrigation Efficiencies. In Handbook of Engineering in Agriculture; Brown, R.H., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, Vol. I, 173–184.
8. M.G. Bos and J. Nugteren. 1990. On irrigation efficiencies. ILRI publication 19.
9. W. Wolters. 1992. Influences on the efficiency of irrigation water use. ILRI publication 51.

第十章、農田排水

10.1、排水之意義及需要

10.1.1、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。當土壤水分不足供應作物生產時，應尋求灌溉，補充水分；當土壤水分過多，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。

10.1.2、排水之範圍

如前所述，排水目的於改善農作物生長環境，增加作物收益，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，必須做詳細估算分析，以決定其開發建設尺度，政府亦可視農民經濟情況，給予適當補助。

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、違規取帝之辦法，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。

10.1.3、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，若土中水分過多，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，可吸收下層土壤水分，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。

10.2、排水系統之分類及適用說明

10.2.1、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(regional drainage)：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汙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。

10.2.2、排水方式區分及管理權責

排水系統依排水方區分，可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，每輪區面積約 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。

- 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。
- 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 10-1。

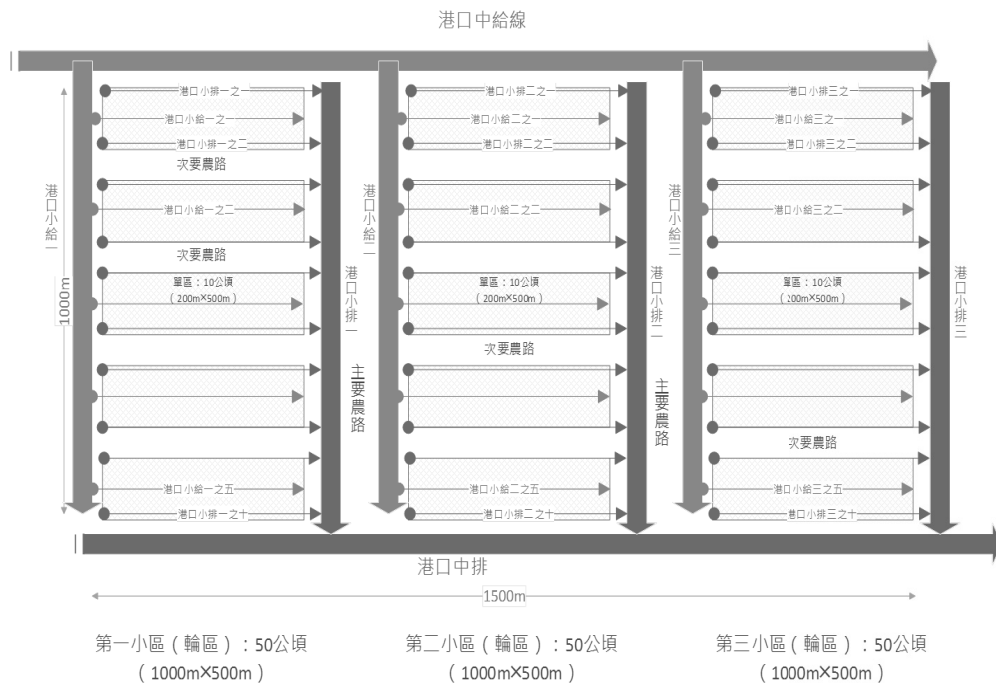


圖 10-1 灌排系統標準配置圖

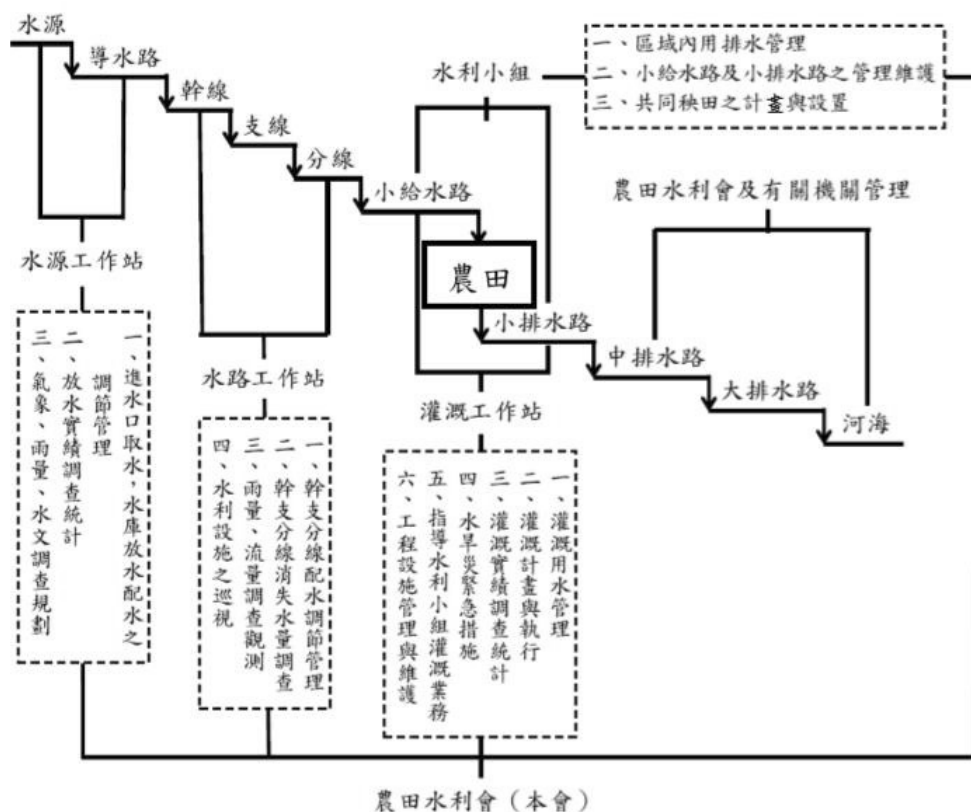
二、系統別管理權責劃分

- 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 10-1 及表 10-2 所示。

表 10-1 灌溉排水系統管理工作劃分表



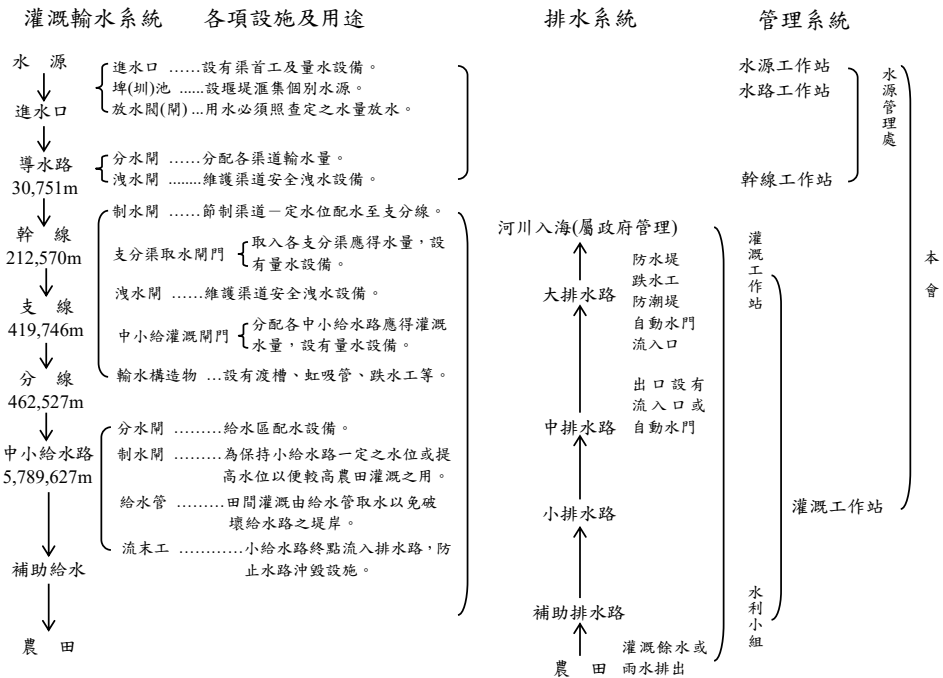
10.3、排水量之計算公式與計畫基準

10.3.1、農田排水量之計算公式

一、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。

表 10-2 各級灌排設施管理程式表



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。然一般洪水災害，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

$$Q = \frac{F \times R \times A \times 1,000,000}{1,000 \times 86,400 \times N} = \frac{FAR}{86.4N} \dots \dots \dots (10-1)$$

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 1km²，則單位面積流量(比流量)，可依排水日計算：

(1)1 日降雨 1 日排出

$$q_1 = \frac{0.7R_1 \times 1 \times 1,000,000}{1,000 \times 86,400 \times 1} = 0.008R_1 \text{ (cms/km}^2\text{)} \dots \dots \dots (10-2)$$

(2)2 日降雨 2 日排出

$$q_2 = \frac{0.7R_2 \times 1 \times 1,000,000}{1,000 \times 86,400 \times 2} = 0.00405R_2 (\text{cms/km}^2) \dots \dots \dots (10-3)$$

(3) 3 日降雨 3 日排出

$$q_3 = 0.0027 R_3 (\text{cms/km}^2) \dots \dots \dots (10-4)$$

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

$$Q = \frac{A(R-D+d) \times 1,000,000}{1,000 \times 86,400 \times N} \dots \dots \dots (10-5)$$

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，表 10-3 係臺灣 147 雨量站中，因受限篇幅，僅以富貴角等 15 站代表，其餘各站，詳參閱相關資料)。

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，超過計畫流量之部分洪水，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。

二、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量才不致造成洪峰流量任意漫流。其排水量計算公式如下：

$$Q = 1/3.6 C \times I \times A \dots \dots \dots (10-6)$$

式中， Q ：計畫流量(m³/sec)； C ：洪峰逕流係數(參照表 10-4 與表 10-5)； I ：洪水流達時間內最大雨量之平均降雨強度(mm/hr)，臺灣各地區時間雨量強度公式如表 10-6； A ：流域面積(km²)。

表 10-3 富貴角等 15 站各頻率別一、二、三日及年雨量

編號	站 名	雨 量 別	基 雨 頻 率 (年)							
			200	100	50	20	10	5	2	1.11
1	富 貴 角	一 日	317	288	260	224	197	169	127	86
		二 日	504	445	391	324	276	231	169	113
		三 日	539	486	434	368	319	269	196	125
		年	4,137	3,851	3,562	3,170	2,859	2,523	1,990	1,390
2	雙 竣 頭	一 日	412	372	334	283	245	205	146	87
		二 日	609	545	483	405	347	290	207	128
		三 日	707	628	553	460	393	327	235	150
		年	3,691	3,536	3,369	3,126	2,918	2,676	2,246	1,678
3	台 (1) 北	一 日	423	379	337	284	244	204	147	91
		二 日	561	503	447	376	323	271	195	122
		三 日	581	528	476	407	354	301	221	139
		年	3,222	3,084	2,941	2,738	2,570	2,379	2,052	1,638
4	火 燒 寮	一 日	495	468	439	401	369	335	280	216
		二 日	739	694	694	588	540	487	404	310
		三 日	1,088	994	902	781	688	591	444	291
		年	6,616	6,329	6,030	5,609	5,260	4,867	4,196	3,350
5	小 粗 坑	一 日	292	277	262	239	221	199	163	118
		二 日	412	391	370	338	312	828	231	165
		三 日	485	460	433	395	363	327	263	183
		年	3,216	3,206	3,191	3,154	3,105	3,017	2,750	2,112
6	大 豹	一 日	284	275	265	248	233	214	178	124
		二 日	399	381	363	336	313	287	241	183
		三 日	414	402	388	367	348	324	277	208
		年	3,743	3,710	3,666	3,581	3,485	3,341	2,981	2,269
7	大 (1) 溪	一 日	302	282	261	233	211	188	151	110
		二 日	525	477	430	370	324	277	208	139
		三 日	655	586	521	438	378	318	232	151
		年	3,318	3,193	3,059	2,862	2,691	2,491	2,129	1,637
8	阿 (1) 玉	一 日	400	397	392	381	367	344	284	169
		二 日	635	619	598	563	529	483	387	241
		三 日	814	776	734	670	615	549	429	274
		年	4,506	4,475	4,432	4,352	4,261	4,125	3,783	3,084
9	石 (2) 門	一 日	370	340	310	272	243	213	169	124
		二 日	570	514	460	391	340	288	214	142
		三 日	706	629	557	465	399	334	242	156
		年	3,629	3,492	3,344	3,129	2,944	2,727	2,336	1,809
10	利 莫 子	一 日	619	579	536	473	419	357	252	132
		二 日	804	760	710	634	566	486	343	174
		三 日	934	872	806	709	626	532	373	195
		年	3,962	3,941	3,908	3,836	3,742	3,585	3,143	2,195
11	三 (1) 光	一 日	768	697	627	536	466	394	285	176
		二 日	1,197	1,065	937	774	654	533	361	201
		三 日	1,216	1,095	977	820	701	579	398	220
		年	2,713	2,694	2,628	2,536	2,446	2,328	2,078	1,659
12	鞍 部	一 日	1,139	992	855	680	556	436	274	135
		二 日	1,561	1,351	1,153	908	743	566	344	160
		三 日	1,593	1,389	1,194	951	776	605	374	178
		年	3,936	2,870	2,799	2,688	2,589	2,469	2,238	1,892
13	鎮 西 堡	一 日	753	693	630	543	473	397	276	149
		二 日	1,346	1,164	995	790	646	508	327	173
		三 日	1,326	1,165	1,012	821	684	549	363	197
		年	3,748	3,563	3,371	3,100	2,877	2,626	2,202	1,677
14	白 石	一 日	1,058	940	827	680	572	463	307	163
		二 日	1,745	1,506	1,280	1,002	804	615	365	162
		三 日	1,754	1,524	1,308	1,037	844	656	404	190
		年	3,894	3,717	3,530	3,263	3,039	2,784	2,342	1,778
15	桃 園	一 日	324	294	264	227	199	170	128	87
		二 日	526	463	404	332	282	233	166	107
		三 日	539	487	436	371	321	270	195	120
		年	3,270	3,070	2,866	2,585	2,359	2,112	1,710	1,242

表 10-4 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 10-5 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 $A_i(\text{km})$ 及逕流係數 C_i 。
- 2.決定 10 年發生 1 次之 24 小時降雨量 $r_{24}(\text{mm/day})$ 。
- 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：

$$W_{AB} = 72 \left(\frac{H_{AB}}{L_{AB}} \right)^{0.6} \dots\dots\dots(10-7)$$

$$W_{AB} = 72 \left(\frac{H_{BC}}{L_{BC}} \right)^{0.6} \dots\dots\dots(10-8)$$

$$T_{AC} = \frac{L_{AB}}{W_{AB}} + \frac{L_{BC}}{W_{BC}} \dots\dots\dots(10-9)$$

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：

$$C = \frac{\sum(C_i \times A_i)}{\sum A_i} \dots\dots\dots(10-10)$$

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

$$I = \frac{r_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_{AC}} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(10-11)$$

7.決定排水量：

$$Q = 1/3.6 \ C \times I \times A \dots\dots\dots(10-12)$$

10.3.2、農田排水量計畫基準

農田排水設施主要功效為排除農田剩餘水而設置之排水設施，為維護農業生產、國民生活環境及促進社會繁榮之需求，臺灣地區自民國 62 年度起進行排水系統改善計畫之推動，期間歷經加速農建計畫、經建計畫、易淹水地區水患治理計畫、流域綜合治理計畫。隨著經濟及工商業發展，人口迅速成長及生活品質提高，土地需求已轉往過去未曾開發之農業地區，土地利用型態則隨之變異，將原有農業區土地使用情況逐漸轉變為都市、工商等混用狀態，導致集水區內不透水面積大幅提升、入滲情況減少，亦使整體逕流體積增加及洪峰到達時間提早等現象頻傳。又近年來，由於全球暖化及氣候變異之影響，導致臺灣降雨型態及雨量豐枯更迭皆產生重大之改變，其年降雨之分布型態及其變異量似乎都有加大加劇的趨勢，往往在數日內幾乎降了年雨量之 1/2 至 2/3，對於都市防洪、排水等工程設計產生重大衝擊及挑戰。

民國 62 年以前，其農田排水設計流量係沿用嘉南大圳建設以來，以排除農田餘水為對象，依農作物耐浸程度而訂之排水標準，其定義為「連續三日內最大降雨量於三日內平均排除」，以過去記錄所發生者為對象。民國 62 年至 74 年間，此時期之排水改善標準改為「2 至 5 年頻率日暴雨量，以一至三日平均排除」。民國 74 年，排水類型分類為區域排水與農田排水，區域排水改善標準提昇為「五年頻率之日暴雨量，一日平均排出為原則」，若有社區及都市時需加計其設計排水量，若受山區排水時，排水路設計須能通過二十五年頻率之日暴雨量所發生洪流量不溢堤。另外，農地重劃計畫之排水規劃設計標準，規範為「頻率 10 年一次的一日暴雨量，在一日排除的平均流量」。此時期農田水利會之農田排水改善標準亦比照農地重劃計畫之排水規劃設計標準辦理。民國 93 年至 96 年，原由農業委員會推動之區域排水計畫改由經濟部繼續推動。農委會仍繼續推動農建計畫有關之農田排水改善，包括農地重劃、早期農地重劃區農水路更新改善及農田水利設施更新改善等計畫項目。此時期排水改善設計流量為 10 年重現期距之 1 日暴雨量在 1 日平均時間內排出。民國 96 年至 102 年，農業委員會易淹水地區水患治理計畫之農田排水設計流量為「5 至 10 年重現期距排水量，以一日降雨平均排

除」，排水路流經人口密集住宅區、工業區及商業區或重要農業高淹水潛勢地區，地表逕流增大，其設計排水量時予以考慮提高。民國 103 年起，農業委員會流域綜合治理計畫之農田排水之計畫流量又提升為「10 年重現期距之 1 日暴雨量以 1 日排除的平均流量」，惟以區域排水設計之比流量為上限，而整體設計流量歷史沿革演變如表 10-6 所示。

表 10-6 臺灣地區排水設計流量歷史沿革整理一覽表

項次	農田排水設計流量	時間(民國)
1	連續三日內最大降雨量於三日內平均排除	62 年以前
2	2 至 5 年頻率日暴雨量，以一至三日平均排除	62 年至 74 年
3	頻率 10 年一次一日暴雨量，在一日排除的平均流量	75 年至 93 年
4	10 年重現期距之 1 日暴雨量在 1 日平均時間內排出	93 年至 96 年
5	5 至 10 年重現期距排水量，以一日降雨平均排除	96 年至 102 年
6	10 年重現期距之 1 日暴雨量以 1 日排除的平均流量	103 年

資料來源：行政院農業委員會農田水利處，2016。

依據上述農田排水設計流量演進，其以比流量(即流量除以面積，單位為 cms/ha)概念進行設計，為 10 年重現期距之 1 日暴雨量以 1 日排除的平均流量標準辦理。平地農田容許有限度之浸水，並於規定時間內能順利排洩流域內積水為原則。排水系統之各級排水路容量，採用同一比流量標準，以期盡量平均分散流域之浸水。排水量之規定依臺灣省政府地政處，民國 74 年 6 月出版之「農地重劃農水路規劃設計規範」P.27 之規定，並參考土地重劃工程局近 10 年來辦理重劃區之採用基準。比流量法之分析推算方法如下：

$$q_h = \frac{F \times R_T \times 10,000}{1,000 \times 86,400 \times t} \dots \dots \dots (10-13)$$

$$Q_h = A_h \times q_h \dots \dots \dots (10-14)$$

式中， q_h ：平地混作區比流量值(cms/ha)； R_T ：T 年重現期之暴雨量(mm)； t ：平均排除時間(day)，在平地混作區為 1 日； F ：逕流係數，一般視現地狀況採 0.7-0.9； A_h ：平地混作區面積(ha)； Q_h ：平地混作區排水量(cms)。其中，1,000 係指 1m=1,000mm；10,000 係指 1ha=10,000m²；86,400 係指 1day=86,400sec。

村莊排水容量採用合理化公式計算如下：

$$q_v = 0.002778 \times C \times i \dots\dots\dots(10-15)$$

$$Q_v = A_v \times q_v \dots\dots\dots(10-16)$$

式中， q_v ：村莊地區單位面積排水量(cms/ha)； C ：逕流係數，(依集水區狀況而定，如表 10-7)； i ：平均降雨強度(mm/hr)； A_v ：村莊地區面積(ha)； Q_v ：村莊地區排水量(cms)。

表 10-7 逕流係數 C 值之選擇參考表

集水區狀況		陡峻山地	山嶺區	丘陵地或森林地	平坦耕地	非農業使用
無開發計畫區		0.75~0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
有開發計畫區	開發中	1.00	0.95	0.95	0.90	1.00
	開發後	0.95	0.90	0.90	0.85	0.95

資料來源：水土保持手冊，民國 94 年。

10.4、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，區域浸水情況，俾利於提出改善方案，或配置一完善排水系統，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。

基於經濟效益考量，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，常用農田排水類別分述如下：

10.4.1、地面排水

一、集水系統

1. 農水路中之中、小排為集水系統，在已辦理農地重劃地區，每一坵塊(unit block)均臨小排，降雨時地面逕流或灌溉餘水，都直接由小排集流後排除之；未辦理農地重劃地區，有時仍靠越田排水集流，如此將使田面積水排除更形困難，因此必要時，可在田間配置補助小排，其所需用地，可協調相關農民提供或徵購之。

2. 田間小排、中排或補助小排，一般均為土渠，為使這些排水系統能發揮功能，每年雨季前應進行維修工作，將渠道依計畫斷面辦理疏浚或除草工作，附屬構造物進行必要清理或維護，並先試行運轉以確定其功能。
3. 以上工作，均屬水利小組(irrigation group)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水直接流入者，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，整個排水輸水系統進行必要之維護，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，低窪地之分布。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瞬時排水，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，有待相關課題中進一步探討之。
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：
 - A. 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(tide barrier and drainage gate)或自動水門，閘門前兩岸堤防高度應高過在外水位高漲，排水無法排出而致，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。

B.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，將依內、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。

10.4.2、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分，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分，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，通常以平行方式布置於全排水區。
- 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、貯水池或塹滲透水之暗管，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(settling basin)：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組成，詳參閱其他相關資料。

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，其地面逕流仍必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。

10.4.3、機械排水(抽水排水)

排水流倒灌或其他排水，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。機械排水之設計原理如下所述，維護管理可參照抽水機設備之相關資料辦理。

一、選擇抽水機之設計要點

1.排水量計算：需求排水量可由 10.3 節計算而得。

2.抽水機吸水口口徑之計算

$$D = 146 \sqrt{\frac{Q}{V}} \dots \dots \dots (10-17)$$

式中，D=抽水機吸水口之口徑(mm)；Q=抽水量(m³/min)；V=吸水口之流速，一般為 1.5~3.0 m/sec，但抽水機轉速愈快，流速愈快。吸水揚程大，吸水損失水頭大，流速減小。吸水管口徑較小時，選用較小口徑；反之，則選用較大口徑。

3.抽水揚程計算

- A. 淨揚程：抽水機吸水邊與出水邊之水位差，稱為淨揚程或實揚程，淨揚程因水位變化而有最高與最低淨揚程之情況。
- B. 總揚程：淨揚程加上吸水管、出水管各種損失水頭，以及出水管末端之最小剩餘水頭為總揚程。

二、動力計算

1. 理論馬力或水馬力(Water Horse Power , WHP)

$$WHP = \frac{QHr}{75} \dots\dots\dots(10-18)$$

式中，WHP=水馬力，若以 KW 表示，則 1HP=0.736KW；Q=揚水量(cms)；H=總揚程 (m)；r=水之單位體積重，清水為 1000kg/m³。

2. 軸馬力(Shaft Horse Power , SHP)

$$SHP = \frac{WHP}{\eta_p} = \frac{QHr}{75\eta_p} \dots\dots\dots(10-19)$$

式中， η_p =抽水機效率，依抽水機種類、型式、大小而異。

3. 需要馬力(Required Horse Power , RHP)

$$RHP = \frac{SHP(1+\alpha)}{\eta_t} \dots\dots\dots(10-20)$$

式中， α =安全率，電動機取 $\alpha = 0.1 \sim 0.2$ ，引擎取 $\alpha = 0.2 \sim 0.25$ ； η_t =傳動效率，使用圖帶傳動取 $\eta_t = 0.9 \sim 0.95$ ，使用齒輪減速裝置，正齒輪 $\eta_t = 0.92 \sim 0.95$ 、螺旋齒輪 $\eta_t = 0.95 \sim 0.97$ 、蝸線斜齒輪 $\eta_t = 0.90 \sim 0.95$ 。

10.5、農田排水治理成效

「易淹水水患治理計畫」整體執行為 8 年(95 年至 102 年)，分三階段推動，農田排水部分特別預算總額為 55 億元，第一階段(95 年 7 月-97 年 6 月)預算總額 12.6 億元，第二階段(97 年至 99 年)預算總額 20 億元，第三階段(100 年至 102 年)預算總額 22.4 億元，整體執行期間完成農田排水渠道長度約 409 公里、構造物 743 座；「流域綜合治理計畫」整體執行計畫為 6 年(103 年至 108 年)，分三期推動計畫，農田排水部分特別預算總額為 14.8 億元，第一期(103~104 年)預算總額 5.28 億元，第二期(105~106 年)預算總額 4.76 億元，第三期(107~108 年)預定編列預算為 4.76 億元，其中由農業委員會農田水利處執行「農田排水」與「設施區域及農田排水瓶頸改善」等兩項計畫，補助農田水利會或縣市政府執行。流域綜合治理計畫第一期(103~104 年)，可幫助農田排水系統機能改善，提高田區積淹水排放能力，有效改善重要農業生產地區之水患問題。

10.6、參考文獻

1. 張建勛，灌溉與排水學，中正書局印行，1965。
2. 臺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，臺灣省水利局叢刊之六十六，1967。
3. 農復會，臺灣之水稻灌溉，台大農工系合編，1970。
4. 農復會，臺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. 臺灣省水利局編，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. 臺灣省水利局，水資源工程規劃講義，農發會補助計畫報告，1980。
11. 臺灣省水利局、台大農工系等合編，雜作灌溉手冊，農發會補助計畫報告，1980。
12. 楊清財、林守吉、李金樹、馬延齡，灌溉與排水(實習)，臺灣書店發行，1981。
13. 農田水利會灌溉管理人員講習會專刊，農發會補助計畫報告，1982。
14. 農工中心、臺灣省水利局、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. 臺灣省水利局編，灌溉水質管理手冊，農委會補助計畫報告，1986。
16. 施嘉昌，排水工程，大中國圖書公司印行，1988。
17. 臺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 °

第十一章、農地重劃

11.1、前言

農地重劃(farm land consolidation)為一種綜合性土地改良措施，將一定區域內農地重新規劃整理，建立標準坵塊(standard lot)，設農路(farm road)、建水路，使每一坵塊直接臨路、灌溉與排水，將零碎不整農地透過交換分合予以集中，俾以改善農業生產結構，增進土地利用，擴大農場規模，便利機械操作，提高生產效率，節省農民勞力，降低經營成本，減少作物災害等。近 20 年來，為保護農業環境而融入生態工法(ecological method)之設計理念，並結合生產、生活及生態之三生功能，使建設與生態保育兼容並重。

另為減輕公共工程對生態環境造成之負面影響，秉生態保育、公民參與及資訊公開之原則，行政院公共工程委員會於 106 年 4 月 25 日訂定「公共工程生態檢核機制」，經累積經驗後，檢討並修正名稱為「公共工程生態檢核注意事項」，農地重劃實施前，從工程計畫核定階段、規劃階段、設計階段、施工階段至維護管理階段，亦需各階段對重劃區辦理生態檢核。

茲將農地重劃沿革、實施農地重劃原因、核定農地重劃原則及辦理所依據的相關法令，分述如下：

11.1.1、農地重劃沿革

臺灣土地改革分為二大部分，一為農地改革，一為市地改革。就農業改革而言，又分為農地權屬分配改革與農地利用改革。臺灣光復後，為求農業經濟繁榮，以及農村社會安定，決定先從農地改革方面著手，採取溫和漸進方式。首於 1949 年實施「三七五減租」，接著在 1951 年辦理「公地放領」，嗣於 1953 年推行「耕者有其田」。

臺灣自實行耕者有其田以後，土地所有權與收益都已歸屬耕作者所有，農村經濟日趨繁榮，農民受惠之餘，對政府實施農地改革，愈益信賴，咸盼繼續農業生產環境加予改善，以配合農業技術的進步，提高勞動生產力，並增加糧食產量，俾縮短農業與其他產業所得的差距。因此認為農地分配問題大致獲得解決，轉而謀求農地利用的改進，以奠立農業現代化的基礎。

11.1.2、實施農地重劃原因

除上述歷史背景外，臺灣農業生產環境，因存有如下諸多不良缺失，致無法充分發揮土地潛力而為高度有效的利用以提高農業生產，亦為促使積極推動辦理農地重劃工作之原因。

- 一、田間排水不良：由於地形複雜，且雨量不均，加上排水設施不良，致田間時常積水為患，此不僅妨礙機械操作及影響作物生長，且不宜裏作間作，土地利用度難予提高。
- 二、田間灌溉不便：在實施重劃以前之水田能直接灌溉之坵數，大約佔 20%，餘均為越坵灌溉或看天田。如此不僅難以適時適量給水，農民也常為用水而發生糾紛，已施用肥料亦常因供應越坵灌溉而流失。
- 三、坵塊畸零狹小：實施重劃前耕地至為畸零狹小，平均每一坵塊面積僅 0.05 公頃左右。坵塊零細不僅回耕次數多，耕作效率低，且無法大規模經營，妨礙農業現代化。同時因田埂多，直接生產用地面積相對減少，影響農地資源充分有效利用。
- 四、耕地分散：農戶因買賣、繼承均分等原因，造成耕地極端分散。以一般情形來說，分散在三處以上者約佔 50%。耕地分散結果，農事耕作及經營管理均感不便。
- 五、農路缺乏：重劃前耕地臨路坵塊大約僅為 20%，餘均為間接臨路，且田間農路彎曲狹窄。如此不僅肥料及農產品運輸不便，浪費人力，增加生產成本，且農業機械不能進入田間，阻礙農業經營之現代化。

1958 年行政院農業委員會與前臺灣省政府，分別在臺南縣仁德鄉大甲段、車路墘段，以及屏東萬丹鄉社皮段、下蚶、後庄子段等地區，試辦大甲及社皮農地重劃；1959 年臺灣中部地區發生 87 水災，耕地災情嚴重，經界無存，嚴重影響農業生產，為重建災區復耕，乃選定遭流失埋沒面積 50 公頃以上嘉義縣林子尾、雲林縣田頭、彰化縣渡船頭及嘉寶潭、南投縣包尾、台中縣內新及阿密哩、苗栗縣二湖及灣尾等 9 個地區，面積 817 公頃，辦理災區農地重劃；1960 年政府計畫各縣選擇地區舉辦示範，以為普遍進行之準據，乃選定宜蘭四鬮、新竹青埔子、雲林引西圳及北港、嘉義道將圳及鹿草、台南麻豆、高雄土庫、花蓮南埔、台東關山及鹿野，計 11 區 3,225 公頃辦理示範農地重劃；1961 年辦理 10 年計畫農地重劃以後陸續推動農地重劃計畫迄今，歷年政府推動有關土地改革或農地重劃重要政策，整理如表 11-1 所示。

11.1.3、農地重劃相關法令

農地重劃工作，關係人民權利義務至鉅，如果沒有完整的法令作為執行的依據，極易滋生糾紛及困擾。臺灣農地重劃在辦理初期，所依據的法令，主要為土地法及土地重劃辦法，因該兩項法令，公佈施行為時已久，且僅就

辦理程序為原則性的規定，對於重劃作業有關內容及方法，均漏未規範。為應業務實際需要，政府爰於 1980 年 12 月 19 日公佈制定農地重劃條例專法，1982 年 3 月 12 日依據該條例訂定發布施行細則(如表 11-2 所示)。由於農地重劃條例及其施行細則的公布實施，使臺灣辦理農地重劃的法令基礎更加完備。後續為使規劃設計更臻完善或維護農地重劃工程成果或配合政策推動生態工法等而陸續訂定相關辦法(如表 11-3 所示)。

表 11-1 歷年政府推動土地改革之重要政策

時間(年)	重要政策	說明
1949	耕地三七五減租	佃農對地主繳納的地租，以全年收穫量的 37.5% 為上限，解決部分租佃問題。
1951	公地放領	放領對象以原承租公有耕地之現耕農民為主。
1953	耕者有其田	將地主出租之耕地徵收後，放領給現耕佃農或雇農。
1958	農地重劃	綜合性之土地改良方式，土地交換分合，配置農路、給排水路，每一坵塊均臨路、灌溉及排水。
1987	農村社區土地重劃	增加公共設施，促進農村社區土地合理利用及區域整體發展，改善生活環境，必要時擴大鄰近農地。
1988	二次重劃(早期農地重劃區農水路更新)	1971 年以前辦理之農地重劃，將 2.5-3 公尺寬農路拓寬至 4 公尺以上，路面並加鋪碎石級配，灌、排水路一併改善。

資料來源：內政部，本研究整理。

表 11-2 農地重劃相關法規

公布時間	法規名稱	最後 1 次修正時間
1930.06.30	土地法	2005.06.15
1973.09.03	農業發展條例	2003.02.03
1975.10.01	農業發展條例施行細則	2005.06.10
1980.12.19	農地重劃條例	2000.11.08
1982.03.12	農地重劃條例施行細則	1999.11.02
2000.01.26	農村社區土地重劃條例	2002.12.11
2002.03.06	農村社區土地重劃條例施行細則	2009.06.03

資料來源：內政部，2005。

表 11-3 農地重劃相關辦法及規定

公布時間	法規名稱
1946.10.31	土地重劃辦法
1962.02.16	臺灣省各縣農地重劃執行委員會設置辦法
1999.12.24	農地重劃委員會設置辦法
1962.02.16	臺灣省各縣鄉(鎮)農地重劃協進會設置辦法
1999.12.24	農地重劃協進會設置辦法
1999.11.09	農地重劃區農路水路管理維護辦法
2004.06.30	農田水利建設應用生態工法規劃設計與監督管理作業要點
2000.01.25	辦理農地重劃區地籍測量工作應行注意事項
2000.07.25	農地重劃土地分配作業注意事項
2003.02.10	農地重劃區農路水路工程規劃設計標準
2017.03	農地重劃工作手冊(內政部編印)

資料來源：內政部，2005。

11.1.4、農地重劃辦理機關

依據農地重劃條例第二條之規定，主管機關在中央為內政部，然而歷年中長程計畫編列主要為行政院農業委員會及臺灣省政府地政處(精省前)；另依農業發展條例第十五條規定，地政主管機關推行農地重劃，應會同農業及水利等有關機關，統籌策劃，配合實施。農地重劃辦理機關如下：

- 1.督導機關：行政院農業委員會、內政部、臺灣省政府地政處(精省前)。
- 2.執行機關：內政部土地重劃工程局處、臺灣省政府地政處土地重劃工程規劃總隊(精省前)及各直轄市、縣(市)政府。
- 3.協辦機關：經濟部水利署、臺灣省政府水利處(精省前)、各地水利會。
- 4.其他機關：縣農地重劃委員會、農地重劃區協進會。
- 5.管理維護機關：重劃後灌溉排水路為各地農田水利會、農路為各鄉、鎮、(市)區公所。

11.2、重劃區農路系統與坵塊規劃

農地重劃區內調整耕地型態及結構，將原來犬牙交錯不整、狹小分散不適於農事耕作的土地(如圖 11-1 及圖 11-2)，透過土地交換分合，建立標準坵

塊並且集中農戶耕地，使農場結構趨向完整，並佈設完善的農水路系統，便利田間農事管理及實施機械化耕作(如圖 11-3 及圖 11-4)。因灌溉、排水方法的進步，灌溉及排水系統(drainage system)亦必須做佈置的改進，所以農地重劃工程的規劃，必須符合該地區耕地坵形的整理及灌溉、排水的改良；農路的設置，使農場適合將來的農業經營形態，提昇農業機械之作業效率及合理之用水、排水管理，達到之生產性能的效果。



圖 11-1 重劃前農地 1



圖 11-2 重劃前農地 2

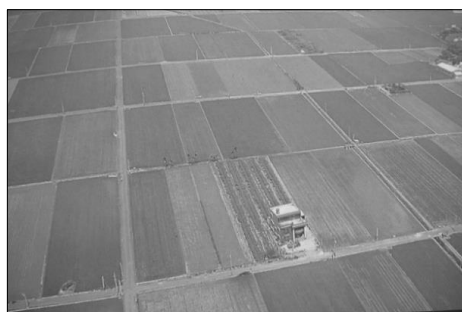


圖 11-3 重劃後農地 1



圖 11-4 重劃後農地 2

資料來源：內政部。

11.2.1、核定農地重劃原則

依據農地重劃條例第六條之規定，凡農地符合下列條件之一者，各該縣(市)政府得就轄區內之相關土地勘選為重劃區，經複勘檢討核定後，實施農地重劃。

- 1.耕地坵形不適於農事工作或不利於灌溉、排水者。
- 2.耕地散碎不利於擴大農場經營規模或應用機械工作者。
- 3.農路、水路缺乏，不利於農事經營者。
- 4.須新闢灌溉、排水系統者。
- 5.農地遭受水沖、砂壓等重大災害者。
- 6.舉辦農地之開發或改良者。

農地重劃區選定後，各縣(市)政府應邀集重劃區農民舉辦說明會，宣導重劃之意義與效益，並說明重劃之實施內容、依據原則、農民負擔及應配合事項等，然後辦理意願調查，徵詢農民意見，如果申請辦理重劃的私有土地所有權人過半數，而其所有土地面積超過區內私有土地總面積半數者，則擬具重劃計畫書報經核定公告實施。

11.2.2、規劃設計之基本原則

規劃前應先對重劃區及鄰近地區辦理測量及現況調查，測量及調查工作是重劃工程規劃設計及土地交換分合的基礎。測量有邊界測量、控制點測量、地形測量及現況測量等；現況調查則包括氣象、地形、地質、土壤、地下水、坵形、農路、區域道路、交通狀況、灌溉狀況、排水狀況、社會、經濟條件、農業經營、作物栽培狀況、土地權利及地價等。規劃則以農業經營、坵塊、農路、土壤、灌溉、排水、土地交換分合、環境保護、生態保育來決定。

農地重劃規劃設計之基本原則如下：

- 1.減少田埂，節約用地，增加直接生產用地面積。
- 2.擴大坵塊，減少坵數，使適合農地耕作。
- 3.調整集中使用人耕地，便利農事經營及管理。
- 4.配合輪灌建立給水系統，使每一坵塊均能直接灌溉，善用水資源。
- 5.改善排水系統，使每一坵塊均能直接迅速排水，不再積水為患。
- 6.建立完善農路系統，便利田間交通及農具、產物之運輸。

11.2.3、區型規劃原則

區型計畫(land readjustment)以考慮坵塊之形狀、大小、灌溉、排水及農路配置等而決定；應配合高性能農業機械之有效率作業及有適宜灌溉、排水之管理。坵塊形狀及大小則應考慮農家經營面積、經營方式、作物種類、地形坡度、農機操作技術及水管理等因素而決定。坵塊愈大，農機具發揮效率愈大，以講究耕作效率而擴大農場經營規模之狀況下，大坵塊劃分為未來趨勢，亞洲鄰國的韓國以 1ha、日本以 1.5ha 為大坵塊的推廣作法，值得我國參考。

農場之區分為坵塊(lot)、單區及經營區(farm block)等三種；坵塊以田埂為界線所圍成之最小耕作單位，為適應稻作之用水管理(water management)，在同一形狀之最大區劃稱之單(元)區；坵塊作物種植行之方向，儘量與太陽移動方向垂直，與風向平行，求達到日照均勻和通風良好的目的。經營區是指四周由農路所包圍之長方形之區劃，一般做為經營、栽培管理之單位。通

常以兩個單區合併為一經營區(如圖 11-5 至圖 11-7)。

農地重劃區儘量選定天然河川、溝渠，和人為之公路、鐵路，人工之大排、灌溉幹支分線為基線，以避免移動基線，減少重劃工程費。

區內坵形之規劃原則如下：

1. 坵塊以長方形為原則，通常長邊均以田埂為界，短邊則臨接農路及給、排水路(drainage canal)，使直接臨路直接灌溉及排水。
2. 水田區坵塊短邊最短應在 10 公尺以上，25 至 30 公尺左右為最適當；長則為短邊 3 至 5 倍。(如圖 11-8)
3. 坵塊標準面積：
 - (1) 水田：0.25 公頃，100 公尺×25 公尺。
 - (2) 旱田：0.50 公頃，100 公尺×50 公尺。
4. 最小坵塊面積，以該重劃區規劃坵塊短邊 10 公尺計算之面積為準。
5. 坵塊方向，應配合地形、日照、風向及土地分配(substitute lot)設計。

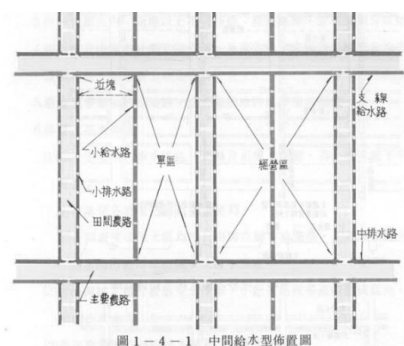


圖 11-5 重劃規劃 1(中間給水型)

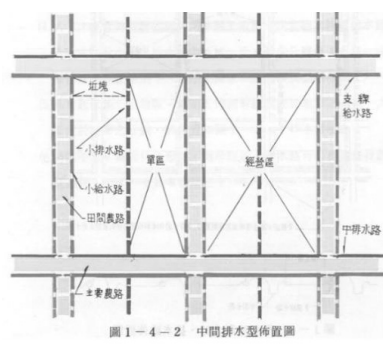


圖 11-6 重劃規劃 2(中間排水型)

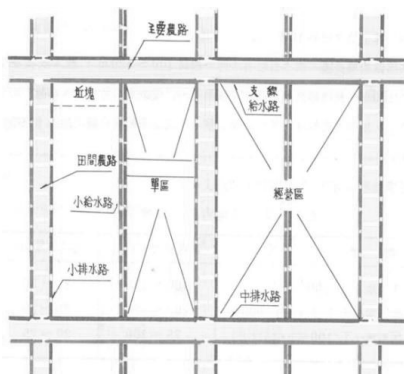


圖 11-7 重劃規劃 3(中間給排水型)

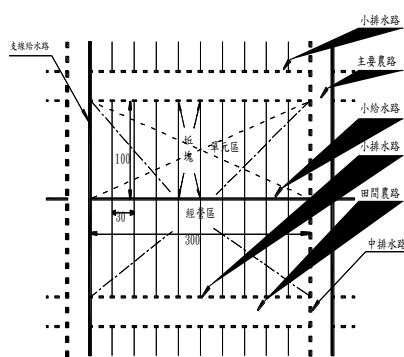


圖 11-8 坵塊、單元區與經營區關係

11.2.4、農路規劃設計原則

1971 年以前辦理之農地重劃，其工程費和農水路用地，均由農民負擔，當時顧及農民負擔能力及農業環境條件，田間農路寬度設計標準為 2.5 至 3 公尺，路面未鋪設碎石級配，以土路為主，歷年農地重劃工程設計標準，隨時代進步及工程經費補助而有所改變，農路相關之規劃設計原則如下：

1. 農路系統及其面寬分為：

- (1) 幹線農路(trunk line road)：連貫村莊或區外縣、鄉、鎮道路者，面寬 7 公尺。
- (2) 主要農路(main farm road)：連接縱向或橫向農路者，面寬 6 公尺。
- (3) 田間農路(inter-farm road)：一般耕作農路，為臨接坵塊短邊之農路，面寬 4-5 公尺。如圖 11-9。

2. 依前臺灣省政府地政處(1985)之農地重劃農水路規劃設計規範，田間農路路面鋪設 12 公分、主要農路路面鋪設 15 公分厚度之碎石級配；惟近年來為求設計之正確性，則透過土壤加州載重比(CBR 值)試驗結果辦理農路碎石級配鋪設厚度之設計。近年來視土壤路基狀況或考量交通使用頻繁程度，路面於碎石級配路面上加鋪設水泥混凝土路面、瀝青混凝土路面。

3. 田間農路間隔 200 公尺，主要農路間隔 600 公尺之原則配置，並以小水路區分；單元區(field block)面積約 3-4 公頃，長邊平均約 300 公尺，短邊以原有坵塊長度約 100-130 公尺為原則，視地形、灌溉、排水狀況、土壤條件等調整；而相鄰二個單元區合併一個經營區，構成約 12 公頃為一經營單位。

4. 農路植栽設計：為兼顧農業生產、保育生態環境、維護生物多樣化及營造農村景觀風貌，本重劃區綠美化植栽工程仍維持改善後農路寬度達 5 公尺者單側植栽，如圖 11-10；6 公尺(含)以上者且雙側改善時雙側植栽設計，如圖 11-11；倘為 6 公尺(含)以上、臨中(大)排、區域排水、主給、支線時，因農路較寬，亦可採單側雙排植栽設計，如圖 11-12。另於重劃區內其他地區尋求植栽或綠化，如於紀念碑周圍規劃綠美化及景觀造型。重劃完成的成果相片如圖 11-13 至圖 11-16 樹種的選擇以當地原生種為主，臨近河海邊或風勢較強重劃區可以耕地防風林設計，較窄農路寬可採較低矮灌木或綠籬設計，不影響行車動線為宜。



圖 11-13 屏東縣新東勢區農路碎石級配路面



圖 11-14 雲林縣車巷口區農路併行給排水路單側植栽綠美化



圖 11-15 雲林縣南光區農路雙側植栽



圖 11-16 重劃區之紀念碑綠美化



圖 11-17 雲林縣後溝子區重劃前地籍圖
資料來源：內政部土地重劃工程處。

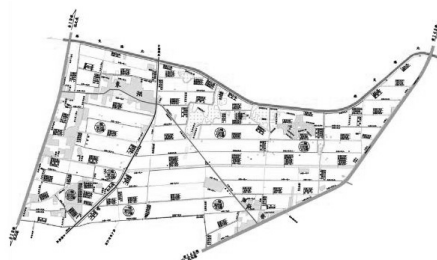


圖 11-18 雲林縣後溝子區農水路規劃圖

11.3、重劃區灌溉水路系統

農地重劃區之灌溉水路系統依照農業經營方式，土壤、地形、坡度、灌溉條件，制定灌溉計畫。其他有關灌溉課題內容請詳本書各章節內容。

11.3.1、灌溉的目的

「水」與「土」是農業生產的保障，無土無水就無農業，農田所需要的水，可以藉助於雨水，但是希望在不降雨的時候仍然也有適當水分供應農作物的生長，為滿足上述的需求，在缺乏雨量或雨量不均勻的地方，就應該興

辦如農塘、水壩、水堰、河川蓄水閘門等灌溉工程以供給農作物所需之水量。

水進入耕地土壤以後，即受地心引力的作用往下滲透，太陽曝曬蒸發及土壤顆粒之吸水作用，另一方面作物根部亦有吸取土壤內水分的力量，作物吸取水分以後作物的葉面亦有水分的散發，叫做葉面蒸散。近年更進一步研究作物的生理狀況，何時給予農作物水分或肥料讓他長得更好等。

11.3.2、灌溉渠道佈置

給水路佈置，原則上應給排分離，每一坵塊均可直接臨小給水路，但應避免從幹支主給水路取水；地形特殊，需要利用灌溉迴歸水者，可採給排兼用。地形起伏地區，灌溉幹線或主給水路應設置於地形高處。而給水路之計畫水位應高於灌溉土地田面 10 cm 以上，但地形特殊者不在此限。

1. 幹支線：

- (1)選定地勢較高處，使能支配全灌溉區域。
- (2)支分線在平坦耕地，其選線與佈置應注意配合輪灌制度與重劃輪區劃分之原則。
- (3)為灌溉分水調節及水路養護之方便，渠道堤岸應兼做管理道路。

2. 小給水路：

- (1)小給水路長度儘可能避免超過 1.5 公里。
- (2)小給水路儘可能設於農路兩旁，方便灌溉管理。
- (3)灌溉水之輸送順序，應經過各輪區給水門並加以量水後，由主給水路引水入田，不得直接由幹支分渠取水灌溉。

11.3.3、灌溉系統設計

農地重劃區內灌溉用水量，應以作物、土壤、氣象、灌溉方式等條件而擬定給水計畫，其給水路之設計流量應以尖峰用水量為準。在系統上大略分為平地混作區，以水田用水為準，以及坡地宜農牧區旱作或果樹區之旱作灌溉方式。

一、平地混作區或緩坡梯田：水田用水

以田間需水量＝作物葉面蒸散＋田面蒸發量＋滲透量

田間用水量＝田間需水量－有效雨量

以單位水量所能灌溉的面積表示，即一般稱為灌溉率，灌溉率(E)=ha/cms，即單位流量能夠灌溉若干公頃土地。

單位面積的灌溉需水量可由以下公式計算得到：

$$Q = \left(\frac{A \times P}{N \times T} + \frac{A}{10,000E} \right) \times \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(11-1)$$

式中，Q：給水路單位面積灌溉需水量(cms/ha)；A：灌溉面積(1ha=10,000m²)；P：整田所需水深(0.15m)；N：整田日數(15天)；T：一日灌溉時間(86,400sec)；E：本田灌溉率(平均 720ha/cms)；L：給水路平均輸水損失率(25%)，

$$\therefore Q = \left(\frac{10,000 \times 0.15}{15 \times 86,400} + \frac{10,000}{10,000 \times 720} \right) \times \frac{1}{1 - 0.25} = 0.0034 \text{ C. M. S/ha}$$

經計算得出單位面積灌溉需水量，再由重劃區劃分為若干輪區，視輪區面積的多寡，計算每輪區所需之水量，再依總水量分配至各輪區，進而得出各重劃區之灌溉系統，如下圖 11-19 所示。

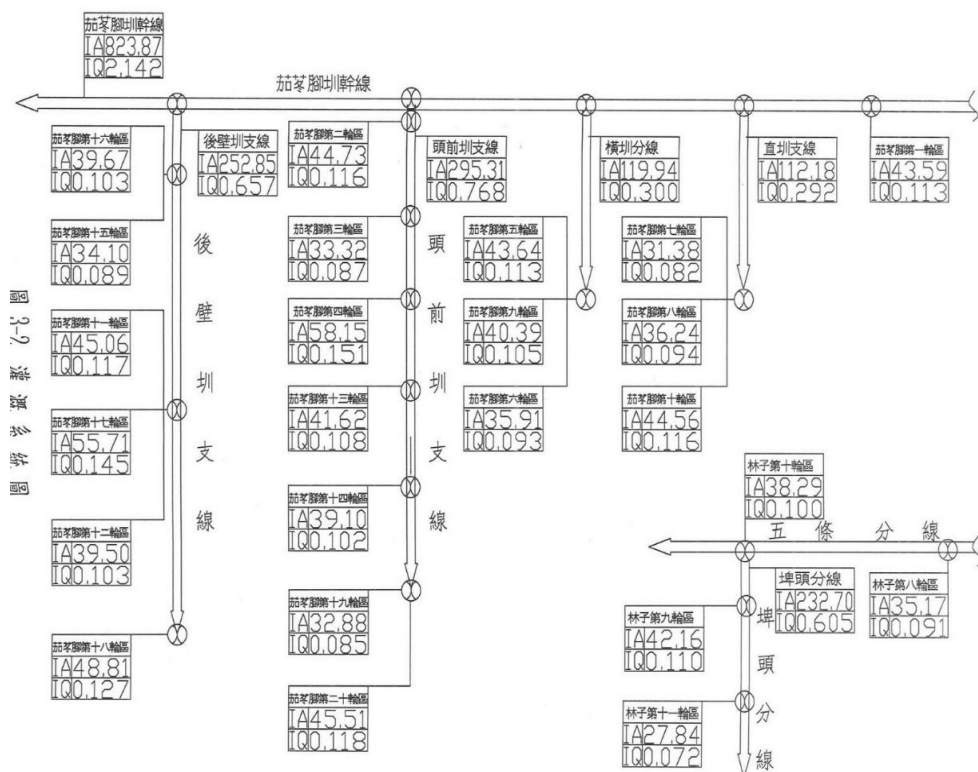


圖 11-19 重劃區各輪區之灌溉系統(案例)圖

資料來源：內政部土地重劃工程處。

二、坡地宜農牧區或果樹區：旱作灌溉尖峰用水量計算如下：

$$d = \left(\frac{2}{4} \sim \frac{3}{4}\right) \times \left[\frac{P_{fc} - P_{wp}}{100}\right] \times \gamma_s \times D \dots\dots\dots(11-2)$$

式中，d：一次灌溉水深(mm)。P_{fc}：土壤田間容水量(%)。P_{wp}：土壤凋萎點(%)。γ_s：土壤假比重。D：作物根深(mm)。2/4~3/4：係指灌溉起灌點，係土壤有效水分之 2/4 或 3/4(由農業單位決定，一般採用 2/4，即土壤乾至 1/2 有效水分就開始灌溉，採用 3/4 者係在水源較少地區，灌溉起點在土壤水分僅剩 1/4 時)。

$$Q = \frac{1}{360} [(A \times d)/t]/(1 - L) \dots\dots\dots(11-3)$$

式中，Q：小給及主給路通水量(cms)。A：每天供水面積(ha)。d：一次灌溉水深(mm)。t：一次灌溉時間(hr)。L：管路輸水損失，一般以 5%估計。以上計算式，尚須遵守灌溉強度需小於土壤入滲率之條件，以免發生地表逕流。

11.4、重劃區排水路系統

當暴雨或豪雨之際，因排水不良，積水致淹沒耕地，致使耕地長期潮濕難乾，農作物生長大受影響，收穫量減低，甚至浸害死亡，無法收成。此外，因為土地潮濕間作無法栽培等等。排水路的目的就是要排除重劃區內地面或地下過剩之水，使土地適於作物生長發育之改良工作。

排水的效果如下：

- 1.適合作物生長。
- 2.耕種容易。
- 3.土溫上升。
- 4.土壤內空氣流通。
- 5.濕田變乾田。

11.4.1、排水渠道佈置

依排水田區範圍則可分為小排、中排及大排。1.大排水路：與灌溉幹支分線相反，應選擇最低處，使全區排水均順利納入後直通入海或河川。2.中排水路：收集小排水路之水量再注入大排，通常平行放置於主要農路旁邊。3.小排水路：收集各坵塊排出之排水注入中排水路，通常設置於兩田間農路之中間或平行於農路之旁邊，與坵塊長邊成直角。

11.4.2、排水量估算

一、降雨資料蒐集：以當地氣象站實測年雨量、月雨量、最大一日、二日、三日暴雨量等資料，作為規劃設計之依據。

二、暴雨頻率計算，以十年重現年期設計，並採海生法(Hazen Method)估算之。

$$T = \frac{2N}{2m-1} \text{ or } T = \frac{1}{P} \dots\dots\dots(11-4)$$

其中，T=週期，N=記錄年數，m=位序，P=發生頻率。另，必須再加以考慮如：海生法修正係數：，變異係數 CV 及校正偏差係數 CS 值，詳參水文學專書。

三、排水量 Q 計算

$$Q = \frac{C \times R \div 1,000 \times 10,000}{86,400 \times N} \dots\dots\dots(11-5)$$

式中：Q=單位面積排水量(cms/ha)；R=最大日降雨量(採十年最大暴雨頻率)；N=排水日數(1日)；C=逕流係數(農田=0.80、村庄=0.95)。

經計算得出單位面積排水量，再由重劃區劃分為若干輪區，視輪區(集水)面積多寡，計算每輪區所需排水量，再依總排水量分配至各輪區，進而得出各重劃區排水系統，如圖 11-20 所示，重劃區排水系統規劃，通常經由小排流入中排，再集流至大排水或區域排水。

11.4.3、渠道斷面之設計

由單位面積設計排水量決定渠道斷面大小，可採用曼寧公式(Manning Formula)計算之：

$$Q = AV \dots\dots\dots(11-6)$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots(11-7)$$

上式，Q=流量(cms)，V=流速(m/sec)，A=面積(m²)，n=粗糙率，R=A/P 水力半徑(m)，P=濕周(m)，S=水力坡降(%)。

梯形與矩形之最佳水力斷面：

$$d = \sqrt{\frac{A \sin \theta}{2 - \cos \theta}} \dots\dots\dots(11-8)$$

$$b = 2d \tan \theta/2 \dots\dots\dots(11-9)$$

其中，d=水深(m)， θ =側壁對水平之傾斜角，A=通水斷面積，b=底寬。

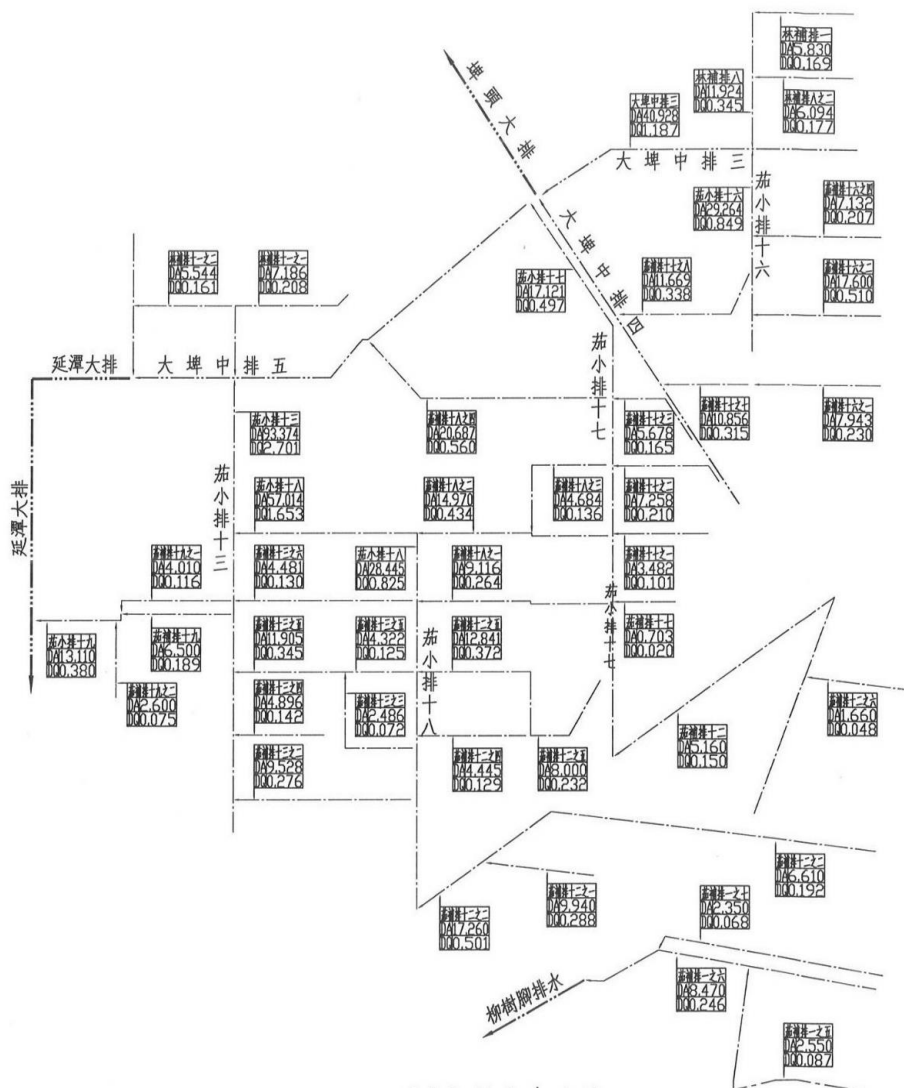


圖 11-20 重劃區各輪區之排水系統(案例)圖

資料來源：內政部土地重劃工程處。

11.4.4、生態工法之設計

農地重劃區內農水路配置，大多以交通運輸、灌溉及排水為主要目標，所採材質以安定性為考量，即以混凝土渠道取代傳統上利於生態發展的土渠與乾砌石水路，造成水路生態空間逐漸喪失。如今生態環境保育意識抬頭，

農地排水渠道，除須符合一般規劃設計外，更需考量生態效益，復育逐漸喪失之水路生態空間且影響水生動植物正常棲息與繁衍的生態系統。

臺灣農地之排水路渠道，按大小可分為大、中、小排，若按形式與功能則可分為土渠、乾砌卵石、漿砌石、混凝土溝、預鑄溝等。土溝為早期之排水渠道，有利於生物多樣化，水生動植物及微生物之棲息，生長繁衍，並維持動植物相互間食物鏈之正常循環，並有利於水源涵養與地下水補助，此即自然環境生態。乾砌卵石因縫間有空隙能填充土壤，可作為植物生長之基盤，及水生小型動物之棲息場所，兼具工程之溝岸穩定與維護溝岸之生態環境；混凝土溝內面光滑，強度大，但其表面既光滑、垂直且無孔隙，大多數動植物皆甚難存活、棲息。

近二十年來，政府於農地重劃區之排水路推行相關的生態工法，排水路之主要任務為排除灌區內多餘之水量，故無漏水之虞，所以應用生態工法於排水路時不需以減少輸水損失為設計前提，惟仍需兼顧安全與生態，因地制宜，視當地環境需要及材料取得之難易，應用生態工法構築具景觀、生物多樣性排水路。斷面較大排水路在用地許可下，可採緩坡設計，護岸採用多孔質空間之材料，如採用乾砌塊石工法、蛇籠及箱籠工法(如圖 11-21 及圖 11-22)，最常見之箱籠，是以鐵絲編織成網狀之長條鐵籠，內置石塊，可彎曲變形，軟性之護岸石縫內淤積之土，可提供給蔓藤類或濱水植物生育的環境，而於水中箱籠的石縫則可提供水生昆蟲及甲殼類棲息及產卵之環境，具有良好的生態效果；中排水路則為增加側牆的粗糙面，可採漿砌卵石工法(如圖 11-23)或格框堆石工法(如圖 11-24)，以鋼筋混凝土格框為基架內鋪塊(卵)石，一則使塊(卵)石抵抗衝擊及沖刷，又塊石間孔隙多，是動植物生存之良好棲地；小排水路原則不加以封底，維持土渠原貌，若有沖刷之慮而用混凝土打底，則可留設滲水槽加設卵石或採預留 PVC 管的方式，使水可滲透至地下，而涵養地下水源(如圖 11-25 及圖 11-26)。



圖 11-21 宜蘭縣十六結區四稜砂岩乾砌石排水路



圖 11-22 宜蘭縣雙和區排水路-箱籠及未封底



圖 11-23 宜蘭縣大湖(二)區漿砌石中排水路



圖 11-24 彰化縣草港尾區格框堆卵石中排水路



圖 11-25 雲林縣麥寮(一)區小排水路-渠底滲水孔



圖 11-26 桃園市新楊區小排水路-渠底滲水槽

資料來源：內政部土地重劃工程處。

11.5、農地重劃推動成果

農地重劃係臺灣地區辦理面積最廣亦歷史最悠久之土地重劃項目，政府自 1958 年起，於臺灣地區辦理農地重劃，先在台南縣仁德鄉大甲及屏東縣萬丹鄉社皮農地重劃區試辦。1959 年中部地區發生八七大水災，選擇嘉義縣林子尾、雲林縣田頭、彰化縣渡船頭及嘉寶潭、南投縣包尾、臺中縣內新及阿密哩、苗栗縣二湖及灣瓦等 9 個地區，面積共 817 公頃，辦理災區農地重劃試辦。臺灣省政府賡續於 1961 年，陸續從示範農地重劃、歷年的中長程計畫、農業建設方案等實施農地重劃，至 2018 年底止，前後已超過 60 年，計辦理 812 區(含台糖農場重劃)，重劃面積 393,628 公頃。佔全國耕地面積 880,000 公頃，約 44.73%。歷年各階段計畫辦理農地重劃相關計畫統計整理詳如表 11-4。由表中可看出歷年辦理的重劃面積中，以 1962 年至 1971 年間為高峰期，十年間即辦理逾 25 萬公頃。

農地重劃主要以水田重劃為主，及早期配合臺灣糖業公司的台糖農場重劃，或配合開墾、河川地開發之農地重劃；然而農地重劃其範疇由水田重劃擴展至旱地重劃、坡地重劃、養殖區重劃、花卉專業區重劃，及結合農村社區土地重劃(如表 11-5)，呈現出多元化之型態。

11.5.1、各縣市農地重劃成果及變化

臺灣地區各縣市(改制前)辦理農地重劃之面積及區數均以雲林縣最高，其次為臺南及嘉義等縣(如圖 11-27 及圖 11-28)，即集中在嘉南平原地區。各縣市每區平均重劃面積以桃園縣最大，平均每區面積接近 1,050 公頃，其次為臺南縣約在 650 公頃左右，以澎湖縣最小，每區約僅 70 公頃。

近一二十年來，因人為開發及都市化向外擴展，原高雄縣小港鄉之小港重劃區(1963)、東區(1964)行政區域調整而劃歸為高雄市；臺東市之卑南區(1963 年)及豐樂區(1968 年)納入都市計畫範圍內，臺東縣卑南鄉之加鹿蘭區(1968 年)納入風景特定區。

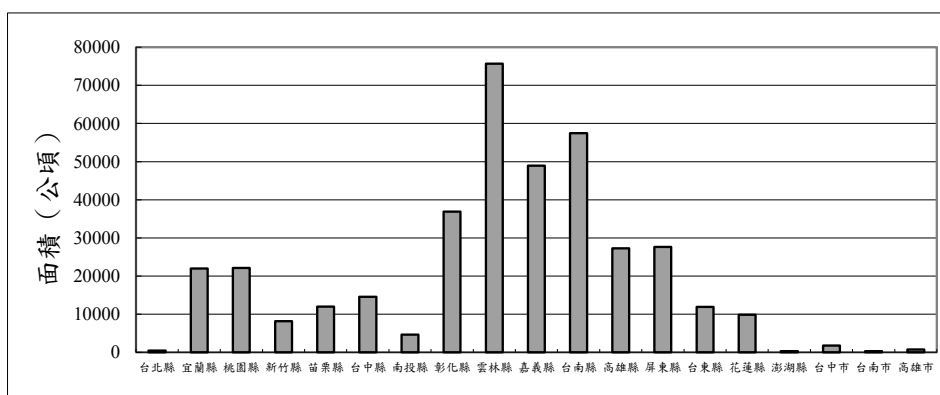


圖 11-27 各縣市辦理農地重劃面積

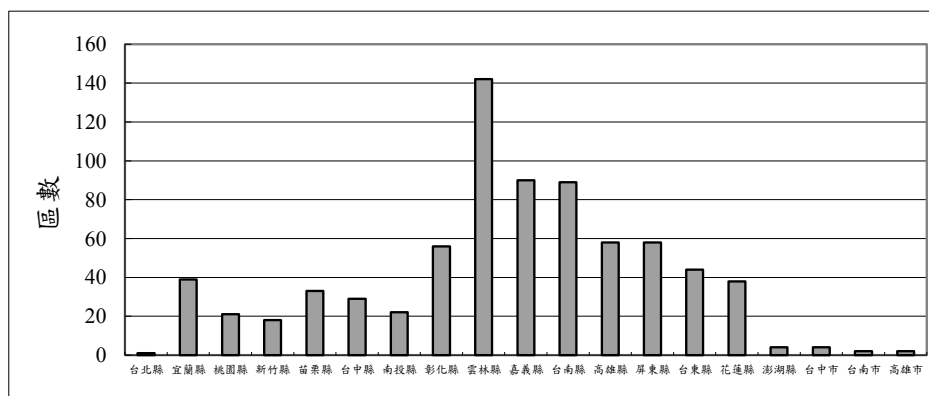


圖 11-28 各縣市辦理農地重劃之區數

11.5.2、農地重劃之效益

農地重劃後，農戶耕地集中率平均達到 86%，節省耕作勞力 20%，田埂直接給水和排水率，由重劃前之 26%增加為 98%，直接臨路則由 28%增加為 99%(如圖 11-29)，使重劃後農場結構獲得徹底改善(臺灣省政府地政處，1997)。至於其他農地重劃之效益如下說明：

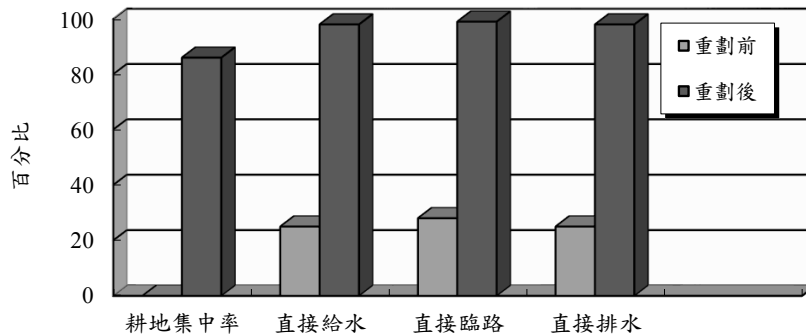


圖 11-29 歷年來辦理農地重劃效益圖

- 一、每一坵塊農地直接臨路，便利於大型農業機械進入農田操作，便利農業生產資材及農產品運輸交通，大幅降低農業經營運輸成本。農民騎機車或開車到田間工作巡田，非常便利。
- 二、農地有良好之灌溉水路，每一坵塊農地直接灌溉，灌排分離，灌溉系統之灌溉水質良好，廢汙水不會排進灌溉水路，農路緊臨水路，巡水方便，農田水利會灌溉管理容易。且大約 20% 的灌溉用水得以節省。
- 三、每個坵塊都可直接排水，帶走多餘的水分並消除水滯；相關區域排水也配合改善，排水情況變較好。
- 四、農路系統包括幹線農路、主要農路及田間農路，系統完整並與聯外交通系統連接，生鮮蔬果等農產品可平穩、快速地從產地送至消費市場，減少農產品損壞率，保持鮮度及品質，獲得較佳價格，提高農民所得。
- 五、隨著農業環境的改善，可以有效地利用對作物的病蟲害防治，取得良好效果。稻米作物的平均單位產量增加了 30%，由於有效的排水和充足的灌溉，作物間的產量也增加了。
- 六、每一坵塊為矩形田區，便利農業機械在田間操作，利於農業機械化發展，農場經營規模擴大，生產效率大幅提升，並大幅降低農業經營成本，解決農民高齡化勞動力弱化困境問題。
- 七、重劃後田界明確，權利分明，消弭產權糾紛；個體農民在一個農地集中經營，可以快速將農田整地改良變成良田，改善和加速土地使用。
- 八、重劃後土地價格大幅提高，較無農地重劃地區土地為高。
- 九、農地重劃後，區內農地依非都市計畫土地編定規定，編為特定農業區，為國家農業永續發展，擔負確保糧食安全之重責。

十、農地重劃具有改善農業生產環境、農村生活品質、促進農村安定繁榮及強化生態環境保育等方面之三生效益。

十一、農地重劃對農業發展、農業經營、農村發展、農民福祉均具有正面效益。

十二、農路及銜接的道路系統完善，都市民眾方便開車到農村欣賞田園風光生態旅遊。

表 11-4 臺灣地區辦理農地重劃統計表

計畫/辦理年期(年度)	地區數	面積(ha)	臺糖重劃區	
			地區數	面積(ha)
試辦農地重劃(1958 年)	2	525	0	0
八七水災災區重建(1960 年)	9	817	0	0
示範農地重劃(1961 年)	11	3,225	0	0
十年農地重劃計畫 (1962 年至 1971 年)	446	251,687	181	53,813
農牧綜合經營 (1973 年至 1974 年)	26	3,694	1	139
六年經建計畫 (1977 年至 1980 年)	42	18,647	1	1,228
加速農地重劃計畫 (1981 年至 1985 年)	99	61,310	0	0
改善農業結構提高農民所得方案 (1986 年至 1991 年)	87	31,066	0	0
農業綜合調整方案 (1992 年至 1997 年)	43	13,172	0	0
跨世紀農業建設方案 (1998 年至 2001 年)	16	3,924	0	0
第 1 期中長程公共建設農業計畫 (2002 年至 2004 年)	8	2,289	0	0
第 2 期中長程公共建設農業計畫 (2005 年至 2008 年)	9	1727	0	0
第 3 期中長程公共建設農業計畫 (2009 年至 2012 年)	11	1292	0	0
第 4 期中長程農業發展計畫(2013 年至 2016 年)	2	170	0	0
第 5 期加強農田水利建設計畫 (2017 年至 2018 年)	1	83	0	0
總計	812	393,628	183	55,180

註：統計至 2018 年底。

資料來源：內政部地政司，本研究整理。

表 11-5 臺灣歷年農地重劃之型態案例

型態	主要農產	重劃案例(年度)	面積 (ha)	備註
水田重劃	水稻	雲林縣大美(1982)	2,092	輪作短期作物
		臺南縣西港(1969)	3,155	
旱地重劃	鳳梨、檳榔、高粱	屏東縣鳳新(1997)	333	原為雜木林、碉堡
		金門縣長寮(2003)	65	
坡地重劃	鳳梨、茶、檳榔	臺東縣高台(1987)	126	轉型休閒農業
		花蓮縣秀林(1968)	101	
養殖區重劃	魚	宜蘭縣礁溪(1986)	930	部分魚塭、部分水稻
台糖重劃	甘蔗	臺南縣沙崙(1967)	1,289	計 183 區 面積 55,180 公頃
		高雄縣本洲(1965)	546	
花卉專業區	花卉、樹苗	彰化縣田尾(1997)	130	配合都市計畫，結合觀光休閒旅遊
河川地開發	水稻	花蓮縣平林(1967)	378	-
		花蓮縣大禹(1991)	150	
配合開墾	-	屏東縣阿烏(1970)	143	-
		屏東縣春日(1969)	129	
果樹重劃	釋迦	屏東縣豐樂(一) (1984)	263	-
		屏東縣豐樂(二) (1986)	362	

資料來源：內政部地政司，本研究整理。

11.6、參考文獻

1. 內政部，2003，農地重劃簡介。
2. 內政部，2005，農地重劃實錄。
3. 內政部地政司，2003，臺閩地區辦理完成農地重劃區統計表。
4. 內政部地政司，2019，全球資訊網 <https://www.land.moi.gov.tw/>。
5. 內政部地政司，2019，107 年業務年報。

6. 內政部土地重劃工程局，2000，農地重劃生產、生活、生態農水路工程設計規範。
7. 內政部土地重劃工程局，2004，農地重劃區農路、水路建造物規格及規範手冊。(委託農業工程研究中心之研究成果)
8. 內政部土地重劃工程處，2011，農地重劃工程農水路改善工法標準圖輯及適栽樹種手冊。(委託農業工程研究中心之研究成果)
9. 內政部土地重劃工程處，農地重劃區環境資源調查及相關效益分析，2011。(委託農業工程研究中心之研究成果)
10. 內政部土地重劃工程處，107 年業務年報，2019。
11. 甘俊二，加入 WTO 後農地重劃對應策略(簡報檔)，2006。
12. 行政院農業委員會、財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會，農業工程技術辭典，2002。
13. 行政院農業委員會，網頁 <https://www.coa.gov.tw/index.php>，2019。
14. 林淑珍，現行農地重劃成效之研究—以泰田及十分塹重劃區為例，國立中興大學農業企業經營管理碩士在職專班碩士論文，2013。
15. 邱燕華，臺灣農地重劃多功能目標實施成效之探討，國立中興大學農村規劃研究所碩士論文，2007。
16. 陳意昌，加入 WTO 後農地重劃之方向，內政部土地重劃工程局，2002。
17. 陳意昌，農地重劃地區土地利用與景觀變遷之研究，國立中興大學水土保持學系博士論文，2004。
18. 陳意昌、張俊斌、游功揚，農路植栽綠化效益探討，鄉村發展，15: 21-37，2013。
19. 劉瑞煌，農地重劃工程規劃設計(簡報檔)，2005。
20. 劉健哲、傅鈺琇，臺灣省實施農地重劃效益之評估，臺灣省政府地政處、國立中興大學農業經濟系，1995。
21. 蕭輔導，農地重劃之願景(簡報檔)，2008。
22. 臺灣省政府地政處，1985，農地重劃農水路規劃設計規範。
23. 臺灣省政府地政處，1997，臺灣省農地重劃簡介。

第十二章、灌溉技術

12.1、前言

灌溉，係以人為方式，將一點一滴珍貴水源，從上游集水區匯集至水庫或河川溪流渠首工或攔河堰之攔蓄取水，再藉由導水路、幹支分線、給水路等各級灌溉渠道，搭配如沉砂池、貯水池、隧道、渡槽、跌水工、虹吸工、暗渠、涵洞、量水設備等系列構造物，輸送至下游田間坵塊灌溉作物，供給作物生長所需水分，而在降雨集中又能兼顧迅速排水減災，發揮穩定糧食安全、有效利用水土資源、保育維護生態生活環境、提供農民優質灌溉排水服務等使命之種種專業技術，堪稱為灌溉排水技術。

本書已於第二章至第十一章介紹灌溉原理技術外，農委會委辦編印之農田水利灌溉管理叢書中，「灌溉管理學」與「灌溉工程學」對灌溉排水管理及工程規劃設計施工等技術，另有專業論述介紹。

爰此，攸關田區灌溉用水施灌效率及排除積水之整地工程(land leveling or grading)、鹽分田區施行灌溉排水之淋洗(leaching requirement)、受制地形地勢田區之灌溉與排水需仰賴之抽水機及抽水(pumper or pumping)，各用水標的競用有限水資源下，積極有效運用之迴歸水(return flow)等灌溉技術相關課題，本章特予聚焦並摘述如下。

12.2、整地工程

為地表灌溉需要，有效施灌灌溉用水及排除積水，透過畜力或機械，修整田面坡度更為均勻一致，使田區土方移動最少並達挖填平衡之整地作業，稱為整地工程，系列作業包括：應考慮因素、準備工作、設計與施工等。隨著科技進步，雷射整地(laser land leveling)挾其整地作業更為精準、用水效率與作物產量提升、人力與能源耗用減少等優勢，顯著有別於傳統方式，是地表灌溉技術的重大進步。

12.2.1、整地工程應考慮因素

整地工程應考慮因素，首先必須勘查田區各項立地條件，如：

1. 土壤剖面調查，並避免田區過度挖深或移動淺層地表土層，影響作物生產；
2. 氣象，即指降雨，降雨延時與強度是決定最大及最小整地坡度限制之重要依據；
3. 田區坡度，與氣象、栽種作物及灌溉方法息息相關，最大坡度應不

致發生降雨沖蝕現象，最小坡度應不致產生積水或排水不易；

4. 栽種作物，如水稻或一般旱作物之栽種選擇，會影響灌溉方法如漫灌與非漫灌之選擇，也左右整地工程投資多寡；
5. 灌溉方法，每一方法都有其適當田區坡度應用範圍，其選擇也與栽種作物有關；
6. 農民意向，攸關整地設計標準選擇，及其所致相對應之投資費用，因此，為維持灌溉效益所需的整地工程設計最低標準，與農民謀求勞力節省、用水減少、作物增產及排水順暢等各項要求，需透過溝通與說明，以取得最佳整地方案之共識。

12.2.2、整地工程準備工作

根據田間實際地表狀況而擬定之整地工程計畫，準備工作依序如下：

1. 清除地表一切雜物障礙物，包含如樹木、樹枝、石頭、草叢等物，以利整地及其後續之作物栽種與灌溉；
2. 地形測量，為便於分析計算，建立適當大小如 10m×10m 正方形格網系統(grid system)，並在方格點上打樁、架設測量儀器、量測高程，方格大小在大面積耕種國家如美國，典型之例是 100ft×100ft(約 30.5m×30.5m)，然在小型農業國家似嫌過大，FAO(1989)建議可以 10m 為單位，取其倍數為間距，且其所形成格網面積至少需佔田區面積 5%。

12.2.3、整地工程設計

在灌溉原理領域廣泛應用的整地有 4 種設計途徑：

1. 平面法(plane method)，顧名思義，形成樁點格網橫向與縱向，都有田間高程並共同顯示在二維座標平面上，廣泛應用於各種地形，特別是平坦地勢；
2. 剖面法(profile method)，以運用格線剖面數據加以設計為由而名之，適用於較平坦地形或波浪地勢擬整為較平地形；
3. 平面檢視法(plan-inspection method)，同時考慮縱橫坡度、土方平衡及其搬運距離變數，以避免成本過高而獲適當地表坡度之方法；
4. 等高線調整法(contour-adjustment method)，顧名思義，將坡度、土方及搬運距離，以等高線方式調整而獲適當地表坡度之方法，畸零地、不規則地形、較陡峭地勢等廣泛應用。

上述 4 種方法各有其優劣特點及應用地形，都是以最小二乘法(least squares)或線性迴歸(linear regression fit)方式，分析計算都可得到滿意結果，其中，更以平面法應用更為廣泛並為 FAO(1989)所推薦。

12.2.4、整地設計例-平面法

平面法所稱二維(X, Y)座標系統中，其方程式可以(12-1)式表之。

$$E(X,Y)=AX+BY+C\cdots\cdots\cdots(12-1)$$

式中，E 為座標點(X,Y)高程；A 與 B 為迴歸係數，分別代表 X、Y 方向之坡度；C 為座標原點(0,0)高程；A、B 及 C 三係數依如下步驟求得。

步驟 1：格點權重計算。由於邊界樁點田區長度並非格點間距之整倍數，以其代表面積與所佔標準格點面積之比值，如(12-2)式調整之。

$$\theta_{ij}=\frac{A_{ij}}{A_s}\cdots\cdots\cdots(12-2)$$

式中， θ_{ij} = 田區第 i 行第 j 列格點權重因子； A_{ij} = (i,j) 格點面積； A_s = 標準格點面積。

步驟 2：計算各行列平均高程，分別如(12-3)左右式所示。

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{N'} \theta_{ij} E_{ij}}{\sum_{j=1}^{N'} \theta_{ij}} \quad \text{或} \quad E_j = \frac{\sum_{i=1}^{N''} \theta_{ij} E_{ij}}{\sum_{i=1}^{N''} \theta_{ij}} \cdots\cdots\cdots(12-3)$$

式中， E_i 、 E_j 分別是代表行、列之平均高程； E_{ij} 為格點(i,j)實測高程； N' 、 N'' 分別是代表樁點之行、列數。

步驟 3：計算田區中心點(centroid of the field)，分別如(12-4)式所示。

$$X = \frac{\sum_{j=1}^{N'} \theta_j X_j}{\sum_{j=1}^{N'} \theta_j} \quad \text{或} \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^{N''} \theta_i Y_i}{\sum_{i=1}^{N''} \theta_i} \cdots\cdots\cdots(12-4)$$

式中，X、Y 分別是代表原點至中心點之 X、Y 方向距離； X_j 、 Y_i 分別是代表原點至第 j 行樁點、第 i 列樁點之距離； $\theta_j = \sum_{i=1}^{N''} \theta_{ij}$ ； $\theta_i = \sum_{j=1}^{N'} \theta_{ij}$ 。

步驟 4：計算 X、Y 方向坡度，以最小二乘法得線性迴歸直線方程式，即(12-1)式中，A 與 B 兩迴歸係數可分別依(12-5)左右式求得。

$$A = \frac{\sum_{j=1}^{N'} X_j E_j - \frac{(\sum_{j=1}^{N'} X_j)(\sum_{j=1}^{N'} E_j)}{N'}}{\sum_{j=1}^{N'} X_j^2 - \frac{(\sum_{j=1}^{N'} X_j)^2}{N'}} \quad \text{或} \quad B = \frac{\sum_{i=1}^{N''} X_i E_i - \frac{(\sum_{i=1}^{N''} X_i)(\sum_{i=1}^{N''} E_i)}{N''}}{\sum_{i=1}^{N''} X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{N''} X_i)^2}{N''}} \cdots\cdots\cdots(12-5)$$

步驟 5：計算田區平均高程 EF，將各樁點高程總和除以總樁點數可得 EF，此值即為田區中心點高程，爰此，將(12-1)加以移項，C 值即可解得。

步驟 6：運用整平後田間平面方程式，再次計算田區各樁點高程，並計算與原測量高程之差值，其正、負值分別代表填、挖方。

步驟 7：調整挖填比(cut/fill ratio) $R = \frac{V_C}{V_F}$ ，依(12-6)式求得，整地後田間土方移動最少並達挖填平衡，是整地工程主要目的，而由於經擾動土壤因土質及其膨脹(swell)與收縮(shrinkage)特性，即使填挖方雖經上述步驟以最小二乘法解得，然挖填平衡仍不易達成，遂有挖填比 1.1~1.5 之建議範圍進行調整(FAO, 1989)，因此，田區中心點高程 C 值也可能隨之上下變動而需加以計算以得調整值 D，依(12-7)式求得，如此反覆試誤(trial and error)演算直至獲得最佳方案，在近年應用盛行之 Execl，甚至遺傳演算法(genetic algorithms)(Hamid Raeisi Vanani, et al., 2017)，快速又精確，已大幅地改善上述反覆試誤既複雜且費時之演算。

$$V_C = \sum_{m=1}^{NC} A_m C_m \text{ 或 } V_F = \sum_{n=1}^{NF} A_n C_n \dots\dots\dots(12-6)$$

$$D = \frac{R' \times V_F - V_C}{\sum_{j=1}^{NC} A_j (1+R')} \dots\dots\dots(12-7)$$

式中，VC、VF 分別是代表挖方、填方土量(m³)，其中，VC 之計算，尚有類稜形公式(prismoidal formula)、平均邊端面積法(average end area method)及四角法(four corners method)，其中又以四角法最便於應用且為 USDA(1970)及 FAO(1989)所推薦；Cm、Fn 分別是代表格點 m、n 之挖填深(m)；Am、An 分別是代表格點 m、n 之面積(m²)；NC、NF 分別是代表挖填格點總數；R'=設計挖填比；NC=田區挖方格點總數。

12.2.5、平面法計算例

茲援引 FAO(1989)應用平面法計算實例，標準格網間距 20mX20m，如圖 12-1 左所示，由田區左上角開始，距其 1/2 間距位置開始設樁，如圖 12-1 右所示之(i,A)格點，標準面積 400m²，緊鄰右邊界各格網面積 500m²，僅最右下角面積為 375 m²。

計算步驟 1：應用(12-2)式計算格點權重，得 $\theta_{iA}=400/400=1$ ，包括 A~E 行之 i~vii 列都是 1， $\theta_{iF}=500/400=1.25$ ，包括 ii~vii 列都是 1.25， $\theta_{viiiA}=300/400=0.75$ ，包括 B~E 行都是 0.75， $\theta_{viiiF}=375/400=0.938$ ，爰此，累加之，得 A~F 行分別是 7.75、7.75、7.75、7.75、7.75 及 9.688，i~viii 列行分別是 6.25、6.25、6.25、6.25、6.25 及 4.688。

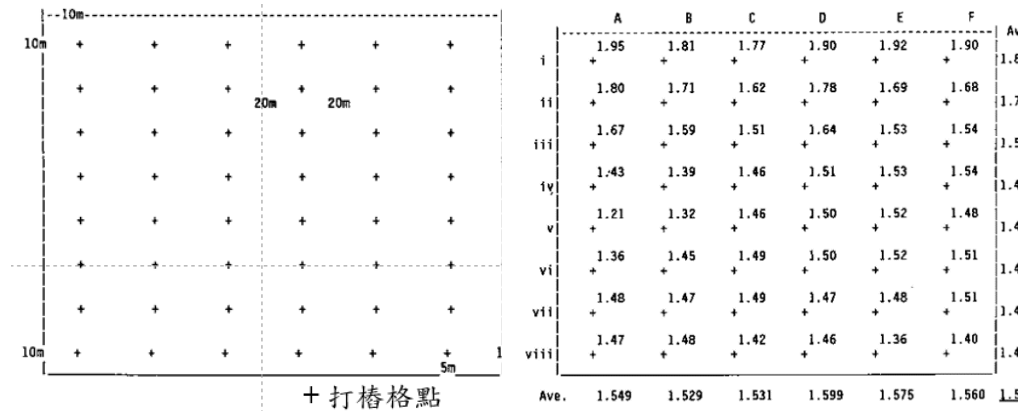


圖 12-1 應用平面法計算實例-田區佈置示意圖及行列平均高程

計算步驟 2：應用(12-3)式計算各行列平均高程，其結果如圖 12-1 右所示之最右行及最下列。

計算步驟 3：應用(12-4)式計算田區中心點，得 $X=72\text{m}$ ， $Y=87.743\text{m}$ 。

計算步驟 4：應用(12-5)式計算 X、Y 方向坡度，即 A 與 B 兩迴歸係數分別是 0.000373、-0.002746(演算過程略之)。

$$X = \frac{7.75 \times (20 + 40 + 60 + 80 + 100) + 9.688 \times 120}{5 \times 7.75 + 9.688} = 72\text{m}$$

$$Y = \frac{6.25 \times (20 + 40 + 60 + 80 + 100 + 120 + 140) + 4.688 \times 160}{7 \times 6.25 + 4.688} = 87.743\text{m}$$

計算步驟 5：將(12-1)式加以移項，並帶入 X、Y 方向坡度及 A、B 迴歸係數與平均高程 $E_F=1.557$ (如圖 12-1 右所示之最右下角)，解得 C 值。

$$C = 1.557 - 0.000373X - (-0.002746Y) = 1.7711\text{m}$$

計算步驟 6：將 A、B 及 C 值帶入(12-1)式，得如下平面方程式。

$$E(X, Y) = 0.000373X - 0.002746Y + 1.7711$$

計算步驟 7：運用整平後田間平面方程式，再次計算田區各樁點高程，並計算與原測量高程之差值，其正、負值分別代表填、挖方，如圖 12-2 左所示。依(12-6)式估之，如以 vi 列為例，挖方土量 $= -0.01 \times 400 + (-0.01) \times 400 + (-0.02) \times 400 = -16\text{m}^3$ ，填方土量 $= 400 \times (0.11 + 0.03) + (0) \times 500 = 56\text{m}^3$ ，依此類推，可求得全區挖方土量 $V_C = 627\text{m}^3$ ，全區填方土量 $V_F = 1007\text{m}^3$ ，其挖填比 $R = \frac{V_C}{V_F} = \frac{627}{1007} = 0.62$ ，小於 1.1~1.5 值，需再輪流替代試誤演算。

	A	B	C	D	E	F
i	* -0.21	* -0.06	* -0.01	* -0.13	* -0.15	* -0.12
ii	* -0.11	* -0.01	* +0.08	* -0.07	* +0.03	* +0.05
iii	* -0.04	* +0.05	* +0.14	* +0.02	* +0.13	* +0.13
iv	* +0.15	* +0.20	* +0.13	* +0.09	* +0.08	* +0.20
v	* +0.31	* +0.21	* +0.08	* +0.05	* +0.03	* +0.08
vi	* +0.11	* +0.03	* -0.01	* -0.01	* -0.02	* 0
vii	* -0.07	* -0.05	* -0.06	* -0.03	* -0.04	* -0.06
viii	* -0.11	* -0.11	* -0.05	* -0.08	* +0.03	* 0

圖 12-2 應用平面法計算實例-挖填方數值第一次

	A	B	C	D	E	F
i	* -0.21 -0.24	* -0.06 -0.09	* -0.01 -0.04	* -0.13 -0.17	* -0.15 -0.18	* -0.12 -0.15
ii	* -0.11 -0.14	* -0.01 -0.05	* +0.08 +0.05	* -0.07 -0.10	* +0.03 0	* +0.05 +0.01
iii	* -0.04 -0.07	* +0.05 +0.02	* +0.14 +0.11	* +0.02 -0.02	* +0.13 +0.10	* +0.13 +0.10
iv	* +0.15 +0.12	* +0.20 +0.16	* +0.13 +0.10	* +0.09 +0.06	* +0.08 +0.05	* +0.20 +0.16
v	* +0.31 +0.28	* +0.21 +0.18	* +0.08 +0.05	* +0.05 +0.01	* +0.03 0	* +0.08 +0.05
vi	* +0.11 +0.08	* +0.03 -0.01	* -0.01 -0.04	* -0.01 -0.04	* -0.02 -0.05	* 0 -0.04
vii	* -0.07 -0.10	* -0.05 -0.08	* -0.06 -0.09	* -0.03 -0.07	* -0.04 -0.07	* -0.06 -0.09
viii	* -0.11 -0.14	* -0.11 -0.15	* -0.05 -0.08	* -0.08 -0.11	* +0.03 0	* 0 -0.04

圖 12-3 應用平面法計算實例-挖填方數值第二次

計算步驟 8：假設計挖填比 $R=1.3$ ，全區共有 23 個挖方樁點，17 個屬標準網點，面積 400m^2 ，2 個緊鄰右邊界，面積 500m^2 ，4 個沿下方邊界，面積 300m^2 ，因此，以(12-7)式計算之，得調整值 $D=0.033\text{m}$ 。

$$D = \frac{1.3 \times 1007 - 627}{9000 \times (1 + 1.3)} = 0.033 \text{ m}$$

計算步驟 9：帶入各樁點，如(i,A)格點*號上方是第一次數值-0.21，經調整，*號下方是-0.24，依此類推，可得全區第二次挖填方數值，如圖 12-2 右所示。

計算步驟 10：再依(12-6)式估算挖填方土量，得挖填比 $R = \frac{V_C}{V_F} = \frac{959}{708} = 1.35$ ，與假設挖填比 $R' = 1.3$ 非常接近，所以演算至此算是可以接受，若想再更精確將誤差再縮小，則需再進行輪流替代試誤直至滿意精度。

12.2.6、整地工程施工

整地設計經反覆輪流替代試誤演算，直至獲得最佳挖填方數值後，達到田間土方移動最少且挖填平衡目的，後續即是依如圖 12-2 右所示第二次挖填方數值，付諸實際施工。如以牛隻牽引之畜力是過去農業社會藉助畜力進行田區整平工程畫面，隨著工業機械進步，以牽引機或拖拉機(tractor)配備刮削器或刮除機或平土機或鏟土機(scraper)方式，省時省力提升整地效率。近代則是運用雷射科技方式整地，是由：

- 1.曳引機和刮除設備；
- 2.雷射發射器(transmitter)；
- 3.雷射接受器(receiver)；
- 4.控制箱(control box)；
- 5.水力式升降系統(hydraulic system)等組成。

利用架設於三腳架之發射器，產生雷射光束(laser beam)有效建構整地田區參考平面及地表面垂直距離，精確挖填土方量及均勻坡度，即藉由曳引機拖曳刮除全區而完成整地作業，優點是大幅提升整地效率及其效果，效率包括：時間、勞力、能源等大幅減少，效果包括：作物增產、灌溉用水分布均勻、用水減少等，缺點是雷射整地設備價昂，較適用於大型農業。

12.3、鹽分淋洗

12.3.1、含鹽水分由來

源自於岩石或土壤經自然風化或分解溶化而溶解於水，所以，絕大多數的土壤及灌溉用水，都含有某種程度對作物生長有礙的溶解鹽分(salts)，像鈉(sodium)、氯(chlorine)、硼(boron)等，即是灌溉田區土壤水分經地表蒸發及葉面蒸散後，累積在作物根區甚至土壤地表常見的無機鹽類，此過程稱之鹽化(salinization)。

此外，帶有鹽分如農業迴歸水、都會市區排放廢水、畜牧廢水或工業廢水或劣質地下水等之引取，尤其是在時下為農業糧食安全、水資源日益匱乏且各標的競用趨緊下，日益頻繁的常被加以引用以為作物灌溉，都更可能是作物根區鹽分累積的途徑與其根源。

耕地土壤，若受無機鹽類累積影響，國際慣用上可分成 3 大類，1.鹽土 (saline soil)、2.鹼土(alkali/sodic soil)及 3.鹽鹼土(saline alkali soil)，如表 12-1 所示。

表 12-1 鹽分累積影響之土壤分類

年代	一般土壤	鹽土	鹼土	鹽鹼土
1973 年前	EC < 4	EC > 4	EC < 4	EC > 4
	ESP < 15	ESP < 15	ESP > 15	ESP > 15
1973 年	EC < 2	EC > 2	EC < 2	EC > 2
	SAR < 15	SAR < 15	SAR > 15	SAR > 15
	-	pH < 8.5	8.5 > pH > 10.0	pH < 8.5

資料來源：Soil Science Society of America(1973)。

單位，EC:dSm⁻¹；ESP:%；SAR:√meq/L。

表 12-1 之判定標準肇於 1973 年之修正。有鑑於以往國際上將受鹽分影響之土壤，廣泛以其飽和抽出液導電度(Electrical Conductivity, EC)是否大於 4 dSm⁻¹與可交換性鈉百分比(Exchangeable Sodium Percentage, ESP)低於 15%，來判定是否為鹽土，惟對大多數鹽分敏感作物，在土壤飽和抽出液導電度值介於 2 至 4 dSm⁻¹之間，生長便會受到影響，且鈉吸著率(Sodium Absorption Ratio, SAR)與 ESP 間有良好相關性，因此，美國土壤科學學會(Soil Science Society of America)於 1973 年修正，將鹽土的定義修正為土壤飽和抽出液導電度值高於 2 dSm⁻¹、鈉吸著率低於 15√meq/L與 pH<8.5。

累積於作物根區土壤水分鹽分濃度，是指單位體積水量含鹽量(salinity)，量測上不容易，實務運用常簡化以 EC 代表溶於水中所有解離性無機鹽類總濃度，溶液中鹽分越多，溶於水中各種離子濃度亦越大，電流通過亦越高，臺灣灌溉用水水質標準 EC=750 μmho/cm25°C(micromhos per centimeter at 25°C)，應用上由於 EC 值動輒數千甚至上萬，加以公制單位普及，所以國際上廣泛常以 dSm⁻¹代之，即 EC=750 μmho/cm 25°C 相當於 0.75 dSm⁻¹(decisiemens per meter)。

12.3.2、淋洗比值與淋洗水量

灌溉供給田間作物成長適當水質及其水量是不可或缺的，然當灌溉用水含鹽成分超越作物鹽分容忍度(salt tolerance)，或蒸發量大於降雨量之半乾旱乃至乾燥且排水不良地區土壤表層累聚鹽鹼，而影響作物產量，最直接又有效且經濟的鹽分管理(salinity management)措施，就是針對作物根係區域不斷施予水分，這些水分可以是灌溉水源或/及天然降雨，以溶液狀態隨滲漏水流洗除根系鹽分，免除根部鹽量累積致影響作物收成，此稱淋洗(leaching)，應用上以鹽分平衡(salt balance)概念定義，廣泛為全世界普遍採用，也為無數專家學者據以研究、改良精進的是 Salinity Laboratory Staff(1954)公式。

$$LF = \frac{D_d}{D_a} = \frac{EC_{aw}}{EC_d} \dots \dots \dots (12-8)$$

式中，LF 為淋洗比值(leaching fraction)，係淋洗水量佔施灌水量之一部分； D_d 、 D_a 分別是作物根區淋洗、地表施灌之水深； EC_{aw} 、 EC_d 分別是施灌水分、根區排出之電導度值；所稱施灌水量/水深/水分是指灌溉或/及降雨。

若考慮作物鹽分容忍度，則淋洗水量(leaching requirement, LR)為，

$$LR = \frac{EC_{aw}}{EC_d^*} = \frac{EC_{aw}}{5EC_t - EC_{aw}} \dots \dots \dots (12-9)$$

式中，LR 為控制鹽分在作物容忍度範圍內所需最少淋洗水量，從 LF 與 LR 含義可以發現，都是指控制鹽分在一特定濃度之流入根區部分水分，LF 為一比值，LR 可為一比值或是灌溉水量之一部分，LF 與 LR 可交換運用在各種分析計算上； EC_d^* 係未減少作物收成，根區排出最大電導度值，由於進出根區水分流動情況，事實上很少是穩定狀態(steady state)的，因此在根區鹽分濃度也是隨時間而瞬變(transient)，所以灌溉實務遂常以穩定狀態視之， EC_d^* 遂有許多經驗公式被推薦在世界各地廣泛應用，本文採FAO(1994)建議，即 $EC_d^* = 5EC_t - EC_{aw}$ 予以估算， EC_t 是作物潛在產量之鹽分容忍門檻(threshold)電導度值，依不同作物及其耐鹽程度與作物減產百分比而異。

12.3.3、淋洗計算例

例 1：某農場栽種玉米，假設根係需水為 40%、30%、20%、10%標準型態，其 ET_{crop} 作物需水量 800 mm/季，於圳路測得引灌水量 EC_{aw} 為 1ds/m，鄰近水井水質 EC_{aw} 為 3.6ds/m，並已知 90%潛在產量(亦即容忍 10%減收)之 EC_t 為 2.5ds/m、最大 EC_{aw} 為 1.7ds/m，不計降雨量，田間施灌效率 $E=80\%$ ，在田區末端排水溝匯集處測得 EC_d 為 6.7ds/m，試問：淋洗比值、各耗水土層淋洗比值其電導度值、作物根區平均土壤水分鹽度、淋洗水量、評價是否需要額外施灌水量予以淋洗，混和井水灌溉是否可擴充面積以增加收成。

計算步驟 1：依(12-8)式，計算淋洗比值 $LF = \frac{EC_{aw}}{EC_d} = \frac{1}{6.7} \cong 0.15$ 。

計算步驟 2：滿足玉米需水量及淋洗之施灌水量，為 $\frac{\frac{ET_{crop}}{E}}{1-LF} = \frac{\frac{800}{80\%}}{1-0.15} \cong 1176\text{mm}$ 。

計算步驟 3：各耗水土層之淋洗比值及其電導度值，於 40%土層底層，解得 $LF_{40\%} = \frac{D_d}{D_a} = \frac{1176 - 0.4(1000)}{1176} = 0.66$ ， $EC_{40\%} = \frac{EC_{aw}}{LF_{40\%}} = \frac{1}{0.66} = 1.5 \text{ ds/m}$ ；同理，於 30%土層底層，得

$$LF_{30\%} = \frac{D_d}{D_a} = \frac{776-0.3(1000)}{776} = 0.61, EC_{30\%} = \frac{EC_{aw}}{LF_{30\%}} = \frac{1.5}{0.61} = 2.5 \text{ ds/m};$$

$$\text{於 } 20\% \text{ 土層底層, } LF_{20\%} = \frac{476-0.2(1000)}{476} = 0.58, EC_{20\%} = \frac{2.5}{0.58} = 4.3 \text{ ds/m};$$

於 10% 土層底層, $LF_{10\%} = \frac{276-0.1(1000)}{276} = 0.64, EC_{10\%} = \frac{4.3}{0.64} = 6.7 \text{ ds/m}$, 由以上實際數值分析演算結果顯示, EC 值從表層土層的 1 ds/m, 經入滲淋洗, 其土壤含鹽水分循環層漸增, EC 值依序是 1、1.5、2.5、4.3、6.7 ds/m, 越來越大, 顯見引灌水量措施獲得對作物根係鹽度控制之效果, 且最底層與排水溝匯集處所測值同為 6.7 ds/m。

計算步驟 4：作物平均根區土壤水分鹽度 $EC_{sw} = \frac{1.0+1.5+2.5+4.3+6.6}{5} \cong 3.2 \text{ ds/m}$ 。由於根區土壤鹽度(soil salinity) EC_e 及田區土壤經入滲淋洗排出水分鹽度(soil-water salinity) EC_{sw} 之複雜及不易量測, 相較於, 取水口水體 EC_{aw} 容易測得, 爰此, 援引計算所得 3.2 ds/m 的結果, 在標準需水型態、淋洗比值 LF 介於 15-20%情況下, FAO(1994)建議, 有如下關係式, 可從取水口水體 EC_{aw} 值簡易預測或估算 EC_e 及 EC_{sw} 值, 快速又便捷施行田區鹽分管控。

$$EC_{sw} = 3 EC_{aw} \dots\dots\dots(12-10)$$

$$EC_e = 1.5 EC_{aw} \dots\dots\dots(12-11)$$

$$EC_{sw} = 2 EC_e \dots\dots\dots(12-12)$$

$$\text{計算步驟 5：淋洗水量 LR, 依(12-9)式, 得 } LR = \frac{1.0}{5(2.5)-1.0} \cong 0.09。$$

計算步驟 6：以一季之時日長期監控土壤水分鹽度, 及滿足玉米需水量並可獲 90% 潛在收成下, 施灌水深為 $\frac{ET_{crop}}{1-LR} = \frac{800}{1-0.09} \cong 880 \text{ mm/季}$, 遠遠小於 1176 mm/季, 有 296mm(=1176-880)水深已深層滲漏, 施灌水量 1176mm 已滿足且長期監控鹽分, 遂不需額外施灌水量予以淋洗。

計算步驟 7：90% 潛在收成, 井水 $LR = \frac{3.6}{5(2.5)-3.6} \cong 0.4$, 井水施灌水深 $\frac{ET_{crop}}{1-LR} = \frac{800}{1-0.4} \cong 1333 \text{ mm/季}$, 即井水較圳水增加約 $\frac{1333-1176}{1176} \cong 13\%$; 若井水圳水混和, 並假設井水佔 x%, 在滿足最大 EC_{aw} 下, 應用鹽分平衡概念, 即 $3.6x+1(1-x)=1.7$, 解得 $x=0.27$, 即 27% 井水與 73% 圳水混和灌溉, 可擴充面積增加收成。

例 2：有一溝灌田區, 畦溝計 20 條, 每畦溝長 200 m, 畦溝寬 1.0 m, 灌區土壤水分消耗量(soil moisture deficit)為 100 mm, 每一畦溝引灌水量為 $0.001 \text{ m}^3/\text{sec}$, 灌溉 12 小時, 得畦溝各點入滲水量如下表所示, 試求：1. 該灌

區平均施灌效率(water application efficiency)、深層滲漏率(deep percolation ratio)及田區末端尾水逕流率(tail water runoff ratio)；2.已知上述灌溉水電導度值 EC 為 $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C ，土壤 EC 為 $3000\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C ，請問田區(下表各點位)是否鹽分累積？

畦溝距離與灌溉入滲量關係表

距田區取水處之畦溝長度(m)	10	50	90	130	170
入滲水量(mm)	160	155	140	130	120

計算步驟1：施灌水量 $V(\text{m}^3)=Q(\text{cms})\cdot T(\text{sec})=0.001\cdot 12/24\cdot 86400=43.2\text{m}^3$ ，入滲水量 $V(\text{m}^3)=200\cdot 1\cdot (160+155+140+130+120)/5/1000=28.2\text{m}^3$ ，深層滲漏水量 $V(\text{m}^3)=200\cdot 1\cdot (160+155+140+130+120-5\cdot 100)/5/1000=8.2\text{m}^3$ ，由施灌水量=入滲水量+尾水逕流量，得尾水逕流量= $43.2-28.2=15\text{m}^3$ ，土壤含水量=入滲水量-深層滲漏水量= $28.2-8.2=20\text{m}^3$ ，所以，得

平均施灌效率= $20/43.2=46\%$ ，

平均深層滲漏率= $8.2/43.2=19\%$ ，

尾水逕流率= $15/43.2=34\%$ 。

計算步驟2：深層滲漏 DP =入滲水深-土壤消耗水深，詳如下表，再應用(12-9)式，可得淋洗水深 LR ，進一步比較 DP 與 LR 數值大小，若 LR 值較 DP 小，表示淋洗足夠，不會有鹽分累積之虞，如距田區取水處畦溝長度 10、50m 處，反之， LR 值較 DP 大，表示入滲淋洗不足，會有鹽分累積現象，如距田區取水處畦溝長度 90、130、170m 處。

已知：Q=0.001cms施灌水量							
$EC_{aw}=1000$ 、 $EC_d=3000$						合計	平均
距田區取水處之畦溝長度(m)	10	50	90	130	170	-	-
入滲水量(mm), D_a	160	155	140	130	120	705	141
土壤水份消耗量(soil moisture deficit),smd	100	100	100	100	100	500	100
計算：							
深層滲漏(mm), $DP=D-smd$	60	55	40	30	20	205	41
淋洗水深(mm), $LR=(EC_{aw}/EC_d)\cdot D_a$	53.3	51.7	46.7	43.3	40	235	47
是否鹽分累積,DP vs LR	否	否	是	是	是	-	-

12.4、抽水機及抽水

12.4.1、概述

抽水機(亦稱泵或泵浦)係一種由外部供給原動力(如電動機或內燃機)，對流體施加能量，提高其壓力，而將流體揚升至較高地方或壓送至較遠處的

動力機械。泵(pump)的角色如同人體心臟，可將血液加壓輸送到身體各部位，是相當重要的一種流體動力機械。泵的用途非常廣泛，無論是農業灌溉、工業流體輸送、民生用水輸送及防洪排水等等，或是內燃機潤滑油、冷卻水循環，以及各種運用液壓傳動或作功的動力機械，都有賴泵的功能。

泵的構造和壓縮機非常相似，主要差別在於輸送或加壓的流體不同，壓縮機作用的對象是氣體，而泵的主要作用對象是液體。依其作動原理可分為排量型(positive displacement type)與非排量型(non-positive displacement type)兩大類，排量型包括有往復泵(reciprocating pump)、旋轉泵(rotary pump)等，非排量型則以離心泵(centrifugal pump)為代表，當負荷變化時，排量型泵的流量幾乎不變，而非排量式泵，其流量則隨負荷而變動。

自古以來，抽水機與人類生活早有密切之關係，長久以來，經由許多先輩研究改進，至今已有長足進步。對於農田灌溉，逢地勢較高或地面水不足需依賴回歸水或地下水供應之處，均藉由抽水機抽灌。

12.4.2、抽水機之種類與型式

抽水機之種類與型式很多，依構造及對液體施壓方式的不同，大致可分為三種類型：1.離心式抽水機(centrifugal pump)，構造內有一個葉輪，當泵浦轉動時液體藉由葉輪的旋轉離心力而流出，液體乾淨與否並不會影響其輸送功能，因此常利用在含有泥沙等之農業灌溉用途。大小流量均適用，不適合黏性較大之流體。2.往復式抽水機(reciprocating pump)，原理和使用吸管飲用汽水一樣，將吸水管深入液體中，提起活塞使管內大氣壓力降低，周圍大氣壓力就能把液體壓進吸水管裡。流量不均勻，且壓力較大。3.迴轉式抽水機(rotary pump)，操作方式與往復式泵浦的原理相同，只是把活塞換成以馬達帶動齒輪、扇葉或螺旋等構造，藉由馬達帶動轉軸施加壓力於液體，運轉速度較高，因此多運用在黏稠的液體如石油等之輸送。揚程大，效率不高，不適合於太大流量。另外，也有其他分類方式，受限篇幅摘述如下數種。

(一)、依水流方向分類

A.輻流泵(radial flow pump)：亦稱離心式抽水機(centrifugal pump)，水流由軸方向進入葉輪，觸及與軸向垂直之葉輪壁後，折為徑向流出。水流出口與入口形成直角，其對水流之推曳力均由離心作用所形成，如圖 12-4。

B.混流泵(mixed flow pump)：水流由軸方向進入葉輪斜向流出，流出口與入口形成一斜角。其葉輪出水端大於進水端，推曳力係由葉瓣旋轉離心力及葉瓣推撞作用共同造成。依其流出角度斜度不同，又可分為近似徑向之法蘭西斯(Francis)混流式，及近似軸向之螺旋槳混流式。一般灌溉水井所採用之立式透平抽水機及沉水式即屬前者，而一般大水量低水頭排水用抽水機則

屬後者，如圖 12-5 所示。

C.軸流泵(axial flow pump)：亦稱為推進式抽水機(propeller pump)，葉輪之進出水葉徑相等，水沿軸向進出，水流出口與入口形成同一方向，無徑向水流。其推曳力係由葉瓣推撞所造成。一般大水量低水頭推進式螺旋槳抽水機即屬此型式，如圖 12-6 所示。

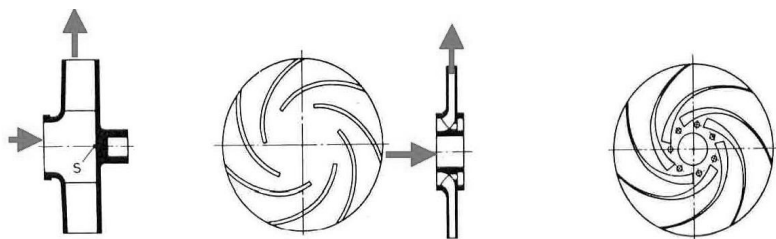


圖 12-4 輻流式抽水機

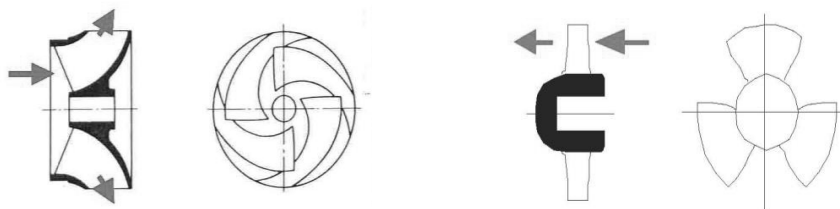


圖 12-5 混流式抽水機

圖 12-6 軸流式抽水機

(二)、按構造型式分類

構造型式	泵浦	
A.非排量泵	(1)離心泵	①渦卷泵
		②輪機泵
	(2)混流泵	
	(3)軸流泵	
	(4)摩擦泵	
B.排量泵	(1)往復泵	
	(2)迴轉泵	
C.其他	(1)噴射泵	
	(2)氣力揚升泵	

(三)、依導翼之有無分類

A.渦卷式(volute-type pump)

葉輪外殼無導輪，水流直接由葉輪傳至葉輪室，輪室呈蝸狀。自進水至出水斷面逐漸擴大，以使水流速能漸變為勢能。一般都裝置於地面或坑內，

吸水高程受大氣壓力限制，壓送高程亦因無導輪而較小，故僅適用於低揚程，如圖 12-7 所示。原理是由電動機或內燃機透過聯軸器將動力傳入主軸，驅動葉輪旋轉後，藉離心力使液體加速流向外殼，當通過蝸形外殼時減速，並將動能轉變成壓力能，再由排出口排出。離心泵啟動時，若葉輪與蝸形外殼內未注滿液體，雖旋轉葉輪但仍無法將液體吸入，因此，需由蝸形外殼上方引動水漏斗，將液體注入泵內，並利用排氣旋塞將剩餘空氣排除，才能順利運轉。此外，通常會在泵的出口處加裝止回閥(check valve)，以防止液體逆流，並於吸入口前設置過濾器，以過濾液體中雜質。

B. 輪機式(turbine-type pump)

渦卷泵的葉輪轉速越高，則液體流入蝸形外殼內速度越高，由衝擊造成的能量損失越大。因此，欲提高渦卷泵輸出壓力時，須加裝固定導葉片(guide vane)，如圖 12-8 所示。當液體由葉輪流出後，先經導葉片改變其方向並降低流速，將動能轉變成壓力能，而提高其壓力，此泵稱為輪機泵(turbine pump)或擴散泵(diffusion pump)。因葉輪外殼具有導輪，故壓送高程較大，可加段增加抽水高度，一般深井抽水機多屬此型。

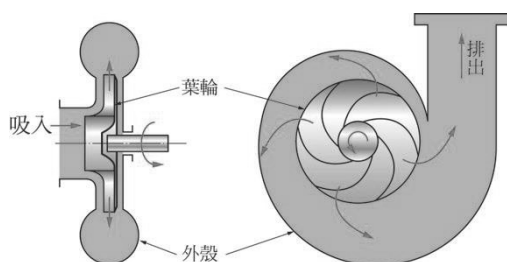


圖 12-7 渦卷式抽水機

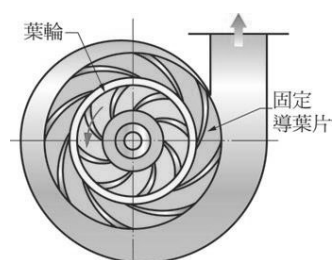


圖 12-8 輪機式抽水機

12.4.3、抽水機常用基本名詞及特性

流量(capacity)：單位時間泵所輸送流體體積稱為流量 Q ，通常以 m^3/min 或 m^3/s 表示。

動力：泵於一定轉速輸送一定流量及揚程所需之功率稱為動力。泵賦予液體之有效動力稱為輸出動力或水動力；供給於泵之動力稱為輸入動力或軸動力，考慮原動機至泵軸間之傳動效率，原動機實際輸出動力必須大於軸動力，稱為所需動力。

效率(efficiency)：乃輸出與輸入之比，泵內部因有機械摩擦、洩漏及水力損失，供入泵軸動力不能全部充為輸送液體動力，因此軸動力必大於賦予液體輸送動力，於此泵效率乃泵之有效動力(水動力)與輸入動力(軸動力)之比，一般大型泵效率比小型泵者高。泵之口徑與效率之關係如表 12-2 所示。

表 12-2 泵之口徑與效率

口徑(mm)	50	70	80	100	130	160	180	200	260	300
效率(%)	45	50	55	60	65	70	72	73	74	75
口徑(mm)	400	500	600	800	1,000	1,300	1,500			
效率(%)	76	77	78	79	80	81	82			

揚程(head)：單位重量流體在泵出口處及入口處所具有能量差，即為泵所供給流體之能量，其值為泵所供給之壓力能、動能及位能的總和，如圖 12-9 所示。由於入口液面與出口液面上之壓力差以及管路中的各種損失，因此，實際揚程 H_a 小於總揚程 H 。

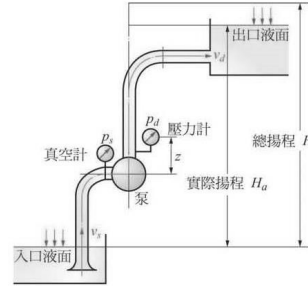


圖 12-9 抽水機揚程示意圖

轉速(rpm)：泵欲抽送某一定流量及揚程時，每分鐘所需迴轉數稱轉速 N ，單位為每分鐘轉數。由電動機直接驅動之泵，其轉數依電源頻率及電動機之極數而定，如表 12-3 所示。

表 12-3 三相感應電動機於 60HZ 之轉數

單位：rpm

極數	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
同步轉速	3,600	1,800	1,200	900	720	600	514	450	400	360
實際轉速	3,450	1,750	1,160	870	700	580	500	430	390	350

比速(specific speed)：乃代表一系列葉輪在尺寸形狀上保持幾何相似時，於最高效率點各特性值—水量、總揚程、轉速之關係值，以 $N_s = \frac{N(Q)^{1/2}}{H^{3/4}}$ 表示，式中：比速 N_s ； N ：轉速 rpm； Q ：抽水量 m^3/min ； H ：每個葉輪之總揚程 m ；其物理意義為在幾何比例上與實務泵相似之假想泵於 1m 之總揚程，輸送每分鐘 $1m^3$ 水量每分鐘所需之迴轉數。比速代表泵浦的身分證，代表葉輪的形狀， $NS100$ 與 $NS250$ 與 $NS1200$ 的葉輪形狀是不相同的，也表示具有不同的運轉特性曲線， NS 相同的泵浦，雖然大小尺寸可能不同，但是運轉特性相同，節流時節能的比例也相同。

比速 N_s 為選用葉輪型式重要指標，它代表一系列之葉輪型式，抽水量愈大揚程愈低之泵其 N_s 值越高，對於葉輪內部之水流而言， N_s 值隨葉輪型式，由輻流→混流→軸流而逐漸增高，如圖 12-10 所示。

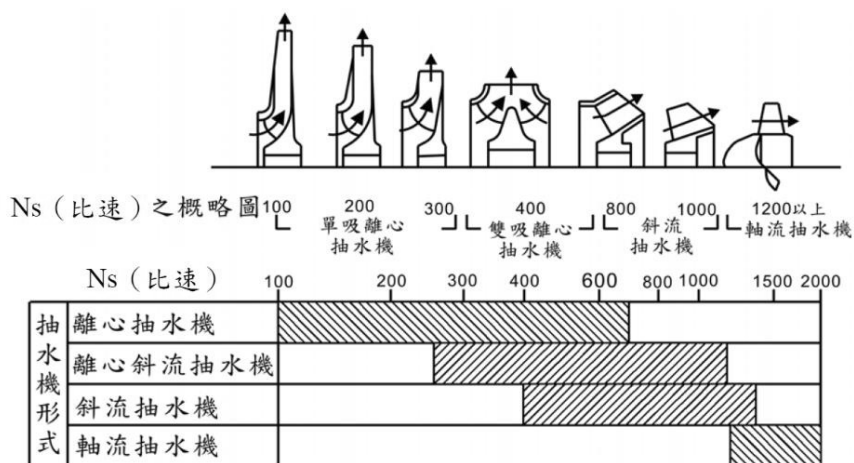


圖 12-10 比速與葉輪之形狀示意圖

資料來源：下水道管渠工程設計指南(中國土木水利學會環境工程委員會，1984)

抽水機特性有多種表示方法，一般以轉速、抽水量與總揚程等三種因數之一保持一定，其餘兩因數使之變化而測定動力及效率變化予以表示。除特殊電動機可改變轉速外，目前多以交流感應電動機驅動泵，因其轉速趨於一定，遂以定速狀態，而以抽水量與總揚程、動力及效率四者關係表示泵之特性，此即為定速特性，一般以橫坐標表示出水量 Q ，縱座標分別表示全揚程 H 、軸動力 P 及效率 η 而繪成 $H-Q$ 、 $P-Q$ 及 $\eta-Q$ 等 3 種關係曲線示意圖，如圖 12-11 所示。

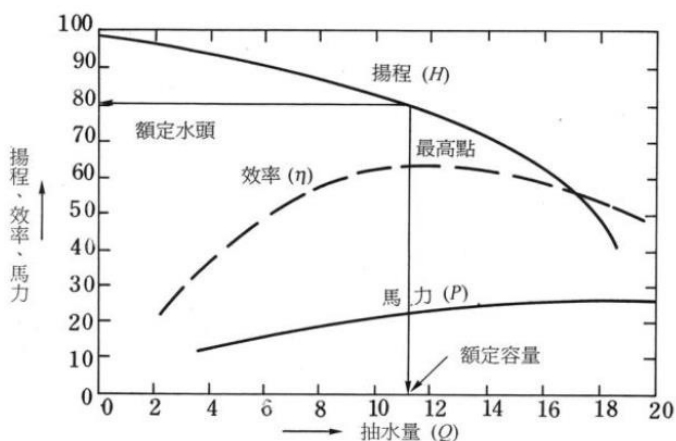


圖 12-11 抽水機特性曲線

12.4.4、抽水機之選擇

選擇抽水機須考慮之因素包括抽水量、總揚程、轉速、原動機之總類、驅動方式、設置地點之地形條件、使用目的、工程費、維護保養之難易、管理及燃料或電費等。惟一般簡略之選擇，可依水量、揚程及轉速等三要件，

依前述方法求取口徑及比速率，據以選用適宜機種。圖 12-12 為 60Hz 泵型式選定圖，包括各型泵，只要已知水量及總揚程，即可選出適用泵型式，亦可選用適當口徑。圖中以英文字母代表各機種名稱，其代名列舉如下：

- | | |
|------------|-----------------------------|
| RS：摩擦泵 | MS,SS：輪切型多級泵(2P 表 2 級電動機直結) |
| HWS：電動渦卷泵 | SP：上下分割型多級泵 |
| S：單吸式渦卷泵 | HDS,HDB：筒型多級泵 |
| L，C：兩吸式渦卷泵 | PS,PSW：沉水式電動泵 |
| HS：軸流泵 | VW：豎軸汙水泵 |
| HY：斜流泵 | BHS：井用水中電動泵 |
| SZ：斜流渦卷泵 | |

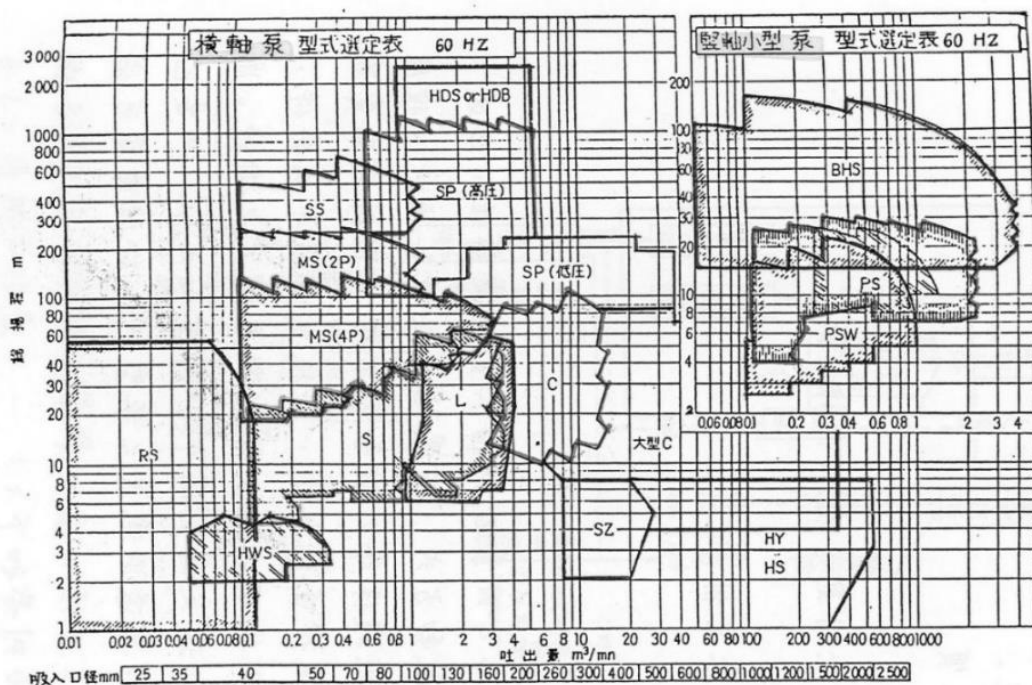


圖 12-12 泵型式選定

例：設揚水量 $70\text{m}^3/\text{min}$ ，總揚程 5m，以電動機驅動，電源 60HZ，選用適當泵型式。

解：由圖 12-12 可選出 4 種型式之泵，兩吸式大型渦卷泵(大型 C)、斜流泵(HY)、豎軸軸流泵(HS)及橫軸軸流泵(HS)，然因橫軸軸流泵具有吸入升程 N_s 高之緣故，可能有發生空蝕之虞，故不採用；豎軸軸流泵因葉輪沉入水中，沒有吸入升程，故不發生空蝕，配合現地條件，本例可就兩吸式渦卷泵、斜流泵及豎軸軸流泵三者擇一：

一、口徑 800mm 之豎軸軸流泵， $N_s \doteq 1500$ ，轉速 599rpm，直結電動機時，轉速為 585 rpm(12 極)，則決定採 $N_s=1464$ ，因 N_s 高達 1464，出水管之制水閥關閉時，軸動力較設計點為高，不宜利用制水閥調節水量而運轉。

二、口徑 800mm 之橫軸或豎軸斜流泵， $N_s \doteq 800$ ，轉速 320rpm，此種宜使用 6 極或 8 極電動機，藉齒輪等減速裝置，使轉速降為 320rpm，以驅動泵。

三、口徑 800mm 之橫軸兩吸式渦卷泵， $N_s \doteq 600$ ，轉速 340rpm， N_s 計算以 $1/2Q$ 代 Q ，與上述同樣藉齒輪等減速裝置。

本例若空間有限，選擇豎軸軸流泵，否則配合現地條件，採橫軸、豎軸斜流泵或橫軸兩吸式渦卷泵皆可。

12.5、迴歸水利用

12.5.1、概述

臺灣地區年平均降雨量雖達 2,500 mm，約世界年平均降雨量 970mm 的 2.6 倍，但因特殊水文及地文環境，降雨在時間及空間分布極不均勻，豐枯水期相差懸殊，使得每年人均分配降雨量約 $4,400 \text{ m}^3$ ，約世界均值 $27,000 \text{ m}^3$ 的 0.16(經濟部水利署，2018)，顯示臺灣地區每人可分配水資源極為有限，約只有全世界平均雨量 $1/7$ 而已，換算每人每年可用水量約只有 $1,000 \text{ m}^3$ ，以世界可用水量標準來說，臺灣地區是屬於缺水國家。

就水資源有效利用觀點而言，迴歸水利用堪居重要地位。為充分利用水資源，各地農田水利會對迴歸水早已列入灌溉計畫用水之中，如：以雲林農田水利會而言，由於主要水源取自河川，致常發生間斷性缺水，水源供應極不穩定，遂開發補助水源 56 處抽取迴歸水以補充灌溉。桃園及石門農田水利會灌區大部分位處桃園台地，地形上以 $1/100$ - $1/120$ 坡度由東南向西北傾斜延伸至臺灣海峽，灌區內數百口蓄水農塘，蓄存來自攔河堰或降雨地面逕流或田間灌溉等餘水，即常稱之迴歸水利用。北基農田水利會灌溉圳路因限於自然地勢，橫跨於深坑絕谷，蜿蜒於山腰溪旁，圳基均屬粗糙，致輸水損失頗大，故圳尾灌區易發生缺水現象，因此遂在較易缺水地區，設置抽水機抽汲地面迴歸水，藉以補充灌溉水源不足，以克服旱季缺水難關。其他各農田水利會亦多有迴歸水利用情況，在新水源開發不易及減少使用地下水前提下，迴歸水不失為一可靠且經濟之水源。

12.5.2、迴歸水定義及相關研究成果

迴歸水(return flow)，為已使用或廢棄之水回歸至地表水或地下水，變成可供再利用之水(Wheeler, 1987; Gronning, 1989; Oad 等, 1997; Horn, 2002)。在「灌溉名詞簡釋」(中國農村復興聯合會, 1972)中，對迴歸水定義，為上游之一部分灌溉水，回流出現在下游水溝而可再加以攔截利用者。即包括由地表面流入下游水溝和滲入地下在下游湧出且流入於水溝之上游灌溉水。迴歸水量隨地區、地形、地質特性及作物生長期間而有改變，為提高農業水資源利用率，加強農地迴歸水利用技術及取用設施的改進、迴歸水利用現況與調查、分析及妥適計畫灌溉用水，以期有效利用迴歸水，達到充分利用有限水資源目標，實為經年應辦業務。

駱安華(1960)，將迴歸水區分為雨水及灌溉水，並定義迴歸水量等於有效雨量與灌區引水量減去灌區耗水量，以彰化灌區為例，推得濁水溪下游彰化地區迴歸水量約佔區內引水量之 48.36%。

甘俊二(1969)指出，烏溪中游龍泉圳地質年代較新，地質鬆散，表土下富含礫石層，入滲量有偏高趨勢，由「引水與實際灌溉水深皆為 15.34mm」，及「下游北投新圳引水灌溉水深 17.68mm，實際灌溉水深 22.06mm」數據，清晰證實龍泉圳產生迴歸水量極為豐富，迴歸水量年平均流量達 0.69cms，較為枯旱的 12 月迴歸水亦有 0.22cms，估計系統迴歸水量約佔灌溉水量 21%。

臺灣省水利局(1972)於新竹苗栗地區穿龍圳灌區水之動態變化分析，採用現地調查與水收支平衡法進行迴歸水分析，結果顯示，穿龍圳灌區迴歸水反覆利用率約為 10%，而局部地區甚至可達 40%。

徐龍淵等(1986)，以計畫用水量、實際取水量及灌溉面積，推估迴歸水利用率，結果顯示：桃園灌區，設有攔河堰 282 座攔取迴歸水及降雨逕流量，迴歸水利用率約為佔總水量 10%，在苗栗公館地區，採鑿井，攔河堰及抽取窪地蓄水，迴歸水平均利用率為 15%，部分地區可高達 40%。

雲林農田水利會(1991)，以水收支平衡法及水筒模式，進行雲林灌區迴歸水有效利用調查研究，獲得迴歸水利用比例為 30.56%。

經濟部水利司(1996)，針對臺灣 14 個農田水利會(未含七星、瑠公及北基農田水利會)，進行「迴歸水佔灌溉水源比例」問卷調查，成果顯示：彰化、雲林、嘉南及高雄等 4 個農田水利會，分別是 18、5、1 及 2%。

農業工程研究中心(1996)，以現地流量量測及水收支法，進行石岡壩南幹渠道可再利用迴歸水調查，得迴歸水比例為 13.61%。

林啟超(1997)，定義迴歸水為灌溉水及降雨所產生，採水收支平衡，以引灌水量減去作物蒸發散量為還原水量，得 1996 年農業灌溉用水還原水量為 51.897 億噸，約佔引水量之 63%。

林癸妙(1997)，應用 Dupuit's Assumption 水文連續方程式、堰流公式，以數值模擬計算推估，得雲林灌區迴歸水量佔總水量 24%，並以雲林莿桐地區為例，推算十年平均迴歸水量約佔總水量 36.56%。

劉君帆(1998)，以水收支原理推求，結果顯示 1996 年嘉南地區水稻一期作迴歸水量 2.45 億噸，二期作約 8 億噸。

農業工程研究中心(2003)，調查 2000-2002 年臺灣地區各水利會灌區 403 處排水路迴歸水取用，分析統計結果顯示：迴歸水平平均取用水量約 23,136cmsd(相當於 666,331,468m³/年)，約 1992-1998 年實際平均取用水量 10,397,022,961m³之 6.41%，其中，符合灌溉用水水質標準(EC 及 pH 值)迴歸水量約 9,993cmsd(即 287,800,800 m³/年)，佔總量 23,136cmsd 之 43%。

12.5.3、迴歸水種類及產生原因

迴歸水依其產生路徑之不同，一般可區分為地表迴歸水及地下迴歸水，兩者最大的差異在於地表迴歸水產生於地表之上，當水田引灌水深高於田埂高度或田埂缺口高度時即會越過田埂或由田埂缺口流出，而造成地表迴歸水；地下迴歸水則產生於地表下，主要是由於水田滲漏作用所造成。依據經驗顯示，迴歸水產生大致有如下原因：

- 一、由雨水所產生：發生於灌區內降雨，若降雨量小於水田蓄留量，則部分雨量除蒸發、植物所吸收利用外，其餘則可能入滲後再於下游湧出；當降雨量大於水田蓄留量時，除了水田蓄留量外，其餘降雨量則會越過田埂或田埂缺口，以地表逕流方式流入灌溉排水路中。
- 二、為灌溉水源所產生：包括過多的引灌水量所造成的灌溉餘水、渠道滲漏及水田停灌後的退水。
- 三、水田滲漏水：由於田面長期浸水，以致土壤處於飽和狀態而產生滲漏，包括田埂、田埂缺口滲流等。
- 四、田區及渠道漏水：主要是由田區田埂缺口所造成的漏水現象，另外灌溉排水路在內面工損壞缺口及細縫處亦可能湧出迴歸水。
- 五、灌溉管理不盡完善：如引灌用水過大，灌水技術落後，田間管理不善等，致灌溉用水有效利用率低，皆會造成迴歸水。

12.5.4、迴歸水利用應考慮因素

凡經再次利用之迴歸水，應考慮之因素如下：

- 一、水質：是為應考慮首要因素，因是迴歸水再利用，必先檢定其水質，合格後方可利用。尤其是抽引自排水溝廢棄排放水、都市排水與鹽分地排水等。如為高地所收集迴歸水擬供下游地區使用者，可將迴歸水過濾或淨化後供下游使用。
- 二、土質：灌溉區之土質，對迴歸水之發生影響甚大，砂質土滲透大，灌溉或降雨後排入排水溝之水量亦多。黏質土滲透小，但如在土壤龜裂時灌溉，水量流失亦多，迴歸水亦因此而增加。
- 三、地形：地形平坦地區，滲透水少並且不易集中，迴歸水利用率亦低；反之，坡度較大地形，常可將高地滲透水或餘水供低地利用，如管理得當，甚至可反覆利用數次。
- 四、作物種類：作物種類影響迴歸水量甚大，如水稻，灌溉次數多，無論管理如何嚴密，流失水量多，迴歸水利用率大，反之，旱作物，灌溉次數少，如在旱季，管理得當，即無迴歸水可言。
- 五、灌溉管理：灌溉管理之周密與否影響迴歸水甚大。以渠道系統而言，土渠水量流失較有內面工者為多；渠系中陳舊構造物，其流失水量較多；舊有渠道較新完成渠系水量流失較多；續灌較輪灌為多；晒田種耕除草時期較平時為多；有掌水工灌區迴歸水較無掌水工者多。總之嚴密之灌溉管理可節省水量，但相對的即減少迴歸水之利用。

12.5.5、農業迴歸水利用實例

雲林農田水利會大義崙幹線係利用水利會轄區內水圳餘水(排水或迴歸水)取水灌溉，創設於 1825 年，灌溉雲林大義崙、港后、油車、八角亭等地區農田。大義崙排水係西螺地區三條排水系統(舊頂埤頭排水、甘厝排水、西螺大排)之集流，大義崙幹線取水口位於大義崙排水第一制水閘上游處，如圖 12-13～圖 12-15 所示，其計畫與實際取水量(含地下水)、降雨量及水質採檢，以 106 年及 107 年與 108 年 1 期作為例，如表 12-4 所示。

大義崙幹線灌溉面積 664 ha，實際運轉上，除實際取用迴歸水量外，亦搭配地下水抽用(亦兼具稀釋水質)，採檢迴歸水水質其水溫、pH 及 EC，也都符合灌溉水質標準(如表內附記欄位所示)，顯示迴歸水量充沛也充分利用。



圖 12-13 大義崙排水第一制水閘
(攝於民國 37 年 2 月 5 日)

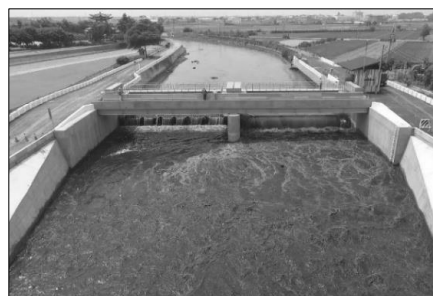


圖 12-14 大義崙排水第一制水閘
(攝於 107 年 8 月 1 日)

表 12-4 大義崙幹線灌溉實際取水量紀錄(106 年至 108 年 1 期為例)

108年第1期作 大義崙幹線灌溉實際取水量紀錄表																			
項目		1月			2月			3月			4月			5月			合計	備註	
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	C.M.S		
計劃用水量		0.912	0.912	2.331	3.080	2.398	2.191	2.097	2.204	2.518	2.706	2.599	2.505	2.505	1.970	0.990	320.64		
實際 用水量	取水量	0.420	0.540	0.600	0.600	0.670	0.560	0.280	0.700	0.700	0.700	0.630	0.560	0.210	0.420	0.127	77.48		
	地下水	0.016	-	-	0.027	0.014	-	0.011	-	-	0.012	0.003	-	0.018	-	-	1.01		
	計	0.436	0.540	0.600	0.627	0.684	0.560	0.291	0.700	0.700	0.712	0.633	0.560	0.228	0.420	0.127	78.49		
降雨量mm		-	5.9	-	1.1	4.4	9.3	109.4	-	12.4	-	96.3	30.4	48.5	72.7	30.9	421		
附記		1/24水質檢驗 水溫17.6、pH=7.37、EC=708						4/10水質檢驗 水溫25、pH=7.78、EC=776											
107年第1、2期作 大義崙幹線灌溉實際取水量紀錄表																			
項目		1月			2月			3月			4月			5月			合計	備註	
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	C.M.S		
計劃用水量		0.912	0.912	2.331	3.080	2.398	2.191	2.097	2.204	2.518	2.706	2.599	2.505	2.505	1.970	0.990	320.64		
實際 用水量	取水量	-	0.120	0.357	0.380	0.680	0.480	0.600	0.600	0.600	0.600	0.540	0.300	0.450	0.600	0.600	69.67		
	地下水	-	0.003	0.001	0.026	0.018	-	0.009	0.000	0.008	0.008	0.010	0.008	0.014	0.014	0.014	1.34		
	計	-	0.123	0.358	0.406	0.698	0.480	0.609	0.600	0.608	0.608	0.550	0.308	0.464	0.614	0.614	71.01		
降雨量mm		82.6	0.9	13.0	9.2	-	12.6	2.3	27.4	-	-	14.2	-	29.8	-	-	192		
附記		2/6水質檢驗 水溫12、pH=7.77、EC=701						4/9水質檢驗 水溫23、pH=7.72、EC=688											
項目		6月			7月			8月			9月			10月			合計	備註	
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	C.M.S		
計劃用水量		0.128	0.240	0.267	0.461	0.705	0.809	0.824	0.824	0.824	0.824	0.824	0.728	0.469	0.169	0.024	82.86		
實際 用水量	取水量	0.600	0.120	-	-	0.180	0.600	0.300	0.240	-	0.480	0.600	0.480	0.360	0.600	0.600	52.80		
	地下水	0.008	0.008	0.002	0.006	0.007	0.005	0.006	0.015	0.005	0.013	-	0.005	0.020	0.016	-	1.18		
	計	0.608	0.128	0.002	0.006	0.187	0.605	0.306	0.255	0.005	0.493	0.600	0.485	0.380	0.616	0.600	53.98		
降雨量mm		16.4	158.8	4.0	329.9	-	18.2	16.7	154.4	181.1	8.6	-	-	-	-	0.5	889		
附記		0614豪雨、6/12水質檢驗 水溫28.7、pH=7.37、EC=587			瑪莉亞颱風7月10日			0823豪雨、8/3水質檢驗 水溫30.2、pH=7.77、EC=608						10/2水質檢驗 水溫28.6、pH=7.61、EC=666					
106年第1、2期作 大義崙幹線灌溉實際取水量紀錄表																			
項目		1月			2月			3月			4月			5月			合計	備註	
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	C.M.S		
計劃用水量		0.000	0.804	0.804	1.387	1.387	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	125.024		
實際 用水量	取水量	0.296	0.473	0.728	0.780	0.780	0.624	0.767	0.780	0.858	0.810	0.740	0.740	0.800	0.770	0.798	108.48		
	地下水	0.000	0.000	0.000	0.104	0.208	0.118	0.049	0.016	0.024	0.013	0.177	0.000	0.041	0.150	0.000	8.79		
	計	0.296	0.473	0.728	0.884	0.988	0.742	0.816	0.796	0.882	0.823	0.917	0.740	0.841	0.920	0.798	117.36		
降雨量mm		0.0	1.6	0.0	0.0	1.9	0.6	22.9	4.4	9.2	0.0	44.0	31.7	0.0	23.3	38.4	178		
附記		2/14水質檢驗 水溫21.2、pH=6.22、EC=659						4/11水質檢驗 水溫25.1、pH=6.25、EC=680											
項目		6月			7月			8月			9月			10月			合計	備註	
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	C.M.S		
計劃用水量		0.660	0.856	1.539	2.546	2.724	2.537	2.491	2.491	2.491	2.491	2.491	2.247	1.550	0.813	0.486	289.64		
實際 用水量	取水量	0.470	0.236	0.632	0.776	0.800	0.590	0.640	0.533	0.853	0.800	0.802	0.800	0.800	0.640	0.880	104.85		
	地下水	0.000	0.000	0.004	0.014	0.008	0.000	0.002	0.006	0.004	0.000	0.016	0.000	0.009	0.003	0.005	0.71		
	計	0.470	0.236	0.636	0.790	0.808	0.590	0.642	0.540	0.857	0.800	0.818	0.800	0.809	0.643	0.885	105.56		
降雨量mm		537.2	521.7	29.3	48.1	9.9	287.8	28.6	0.0	58.4	37.5	0.0	0.0	0.0	56.4	0.0	1,615		
附記		0602豪雨 0613豪雨		尼莎颱風7月28日 海棠颱風7月29日				天鵝颱風8/20、8/8水質檢驗 水溫26.7、pH=6.23、EC=514								10/6水質檢驗 水溫30.1、pH=6.33、EC=703			



圖 12-15 大義崙幹線灌溉系統圖

12.6、參考文獻

1. 大町昌義著、徐景福譯，「渦旋泵浦之設計」，正言出版社，1978。
2. 中國農村復興聯合委員會，1972，「灌溉名詞簡釋」。
3. 李國貞，1997，「抽水工程」，農田水利會人員訓練工程設計班。
4. 李國貞，2002，「抽水機工程設計實務」，農田水利會人員訓練班。
5. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二，1984，「灌溉排水原理」，國立編譯館。
6. 梶原滋美著、張兆豐譯，1988，「泵及其使用方法」，臺隆書店。
7. 陳朝光、王明庸、黃泰翔，1997，「機械設計製圖」，高立圖書有限公司。
8. 雲林農田水利會，1991，「雲林灌區迴歸水有效利用調查研究」。
9. 經濟部水利司，1996，「研擬合理農業灌溉用水標準(II)及農業用水調配之可行性方案研究」。
10. 農業工程研究中心，2003，「灌溉用水調查評估與調配利用」。
11. 蔡明華，1985，「灌溉與排水」，中國土木水利工程學會。
12. Ayers R.S. and Westcot D.W. 1994. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1. FAO, Rome, Italy.
13. Hamid Raeisi Vanani, et al., 2017, " A simple method for land grading computations and its comparison with genetic algorithm method", International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences, vol. 3, no. 8, p.13
14. M.L. Jat, Parvesh Chandna, Raj Gupta, S.K. Sharma and M.A. Gill. 2006.

- Laser Land Leveling: A precursor technology for resource conservation. Rice-Wheat Consortium Technical Bulletin Series 7. pp 48.
15. Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M., 1992. The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation & Drainage Paper 48. FAO, Rome, Italy.
 16. Reena Kumari, Babloo Sharma and Pratibha Kumari, 2017, Laser land leveling for enhancing agricultural input use efficiency Indian Farmer 4 (Issue 8):659-662.
 17. Soil Science Society of America, 1973. Glossary of Soil Science Terms.
 18. USDA, Soil conservation service. 1970. Land leveling, National engineering handbook, U. S. Government printing office. Washington, D. C., chap. 12.
 19. U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA, Handbook 60, p. 160
 20. Walker W.R. 1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Irrigation & Drainage Paper 45. FAO, Rome, Italy.

中英名詞對照

中文	英文	頁碼
二劃		
入滲	infiltration	18
入滲率	infiltration rate/intake rate	19,141,188
入滲方程式/瞬時入滲率	instantaneous intake rate	189
三劃		
土地分配	substitute lot	235
土壤剖面	soil profile	15
土壤水分特徵曲線	soil water characteristic curve	42
四劃		
孔隙	pores	15
水庫	reservoir	10
比速	specific speed	265
化育層	horizons	15
毛管水	capillary water	22
毛管層	capillary fringe	130,132
水池法	ponding method	190
分水效率	division efficiency	198
分布效率	water distribution efficiency	199
水利小組	irrigation group	5,6,222
水路損失	conveyance losses	60
水盤灌溉	basin irrigation	139,140
毛管水運動	capillary movement	133
支線別灌溉用水量	delivery requirement	72
五劃		
母質	parent material	16
田埂	levee	140
田間	field	197,198,201

中文	英文	頁碼
四角法	four corners method	254
平面法	plane method	252
未飽和層	unsaturated zone	130
生態工法	ecological method	229
用水效率	water-use efficiency	204
用水管理	water management	197,234
用水需求	water demand	114
田間農路	inter-farm road	236
皿蒸發量	pan evaporation	51
主要農路	main farm road	236
平均入滲率	average intake rate	189
正常池水位	normal pool level	124
史考貝公式	Scobey Formular	177,186
永久凋萎點	permanent wilting point	27,38
田間容水量	field capacity	27,38,205
田間耗水量	water requirement	75
田間灌溉用水量	field irrigation requirement	75
可速性有效水分	readily available water	40
四分之一時間法則	quarter time rule	153

六劃

地下水	groundwater	130
自由水	free water	130
地表灌溉	surface irrigation	139
有效雨量	effective rainfall	75,96
地下水層	groundwater zone	130
地下紊流	ground water turbulent flow	133
有用蓄水	useful storage	124
地下棲止水	porched water	132
地下灌溉法	sub-surface irrigation	139
尖峰用水量	maximun water requirement	66
有控制灌溉	controlled irrigation	140

中文	英文	頁碼
七劃		
含鹽量	salinity	258
吸著水	hygroscopic water	22
沉砂池	settling basin	223
防潮閘	tide barrier and drainage gate	223
作物係數	crop coefficient, Kc	65
完全紊流	fully turbulent flow	187
系統/農區	off-farm	201
作物需水量	consumptive use, CU	75
系統總灌溉用水量	diversion requirement	76
克里斯汀摩擦係數	Chistiansen's friction factor	188
八劃		
坵塊	plot / lot	198,234
坵塊	unit block	75,84,221
抽水影響圈	influence circle	135
抽水機	pumper	251
放水路	wasteway	112
河谷蓄水	valley or channel storage	125
非線性相關	non-linear correlation	159
九劃		
泉水	spring	135
施灌率	application rates	174
挖填比	cut/fill ratio	254
重力水	gravitational water	130
重力水	gravity water	23
相對蒸散	relative transpiration	38,51
計畫效率	project efficiency/overall efficiency	198,204
施灌水深	gross irrigation water	160
施灌效率	water application efficiency	198,203,261

中文	英文	頁碼
施灌效率	irrigation application efficiency	160
哈臣-威廉	Hazen-Williams	176
政府間氣候變遷委員會	intergovernmental panel on climate change, IPCC	47

十劃

浸水	water logging	143
迴歸水	return flow	251,259
庫底蓄水	dead storage	124
氣候變遷	climate change	47
紋溝灌溉	corrugation	140
配水系統	distribution system	201
配水計畫	water distribution schedule	66
配水效率	distribution efficiency	198,202
埂間灌溉/田埂間灌溉	border irrigation	139,140

十一劃

排水	drainage	1
排水路	drainage canal	235
通氣層	aeration zone	130
假比重	bulk density	24
區型計畫	land readjustment	234
區域排水	regional drainage	212
排水系統	drainage system	233
排水設施	drainage facility	4
淋洗比值	leaching fraction	259
畦溝灌溉	furrow irrigation	139,140
粗施灌率	gross application rate	174
基本入滲率	basic intake rate	188,190
畦溝流入流出法	inflow and outflow method	190

中文	英文	頁碼
十二劃		
單區	rotation unit	76
渠首工	headworks	134
無控制	uncontrolled irrigation	140
給水路	farm ditch	61
單元區	field block	236
等高圍埂	contour check	140,163
鈉吸著率	sodium absorption ratio, SAR	258
等值管長	equivalent length	187
間歇灌溉法	intermittent irrigation	162
最小二乘法	least square method	193
殘餘碳酸鈉	residual sodium carbonate, RSC	108
十三劃		
暗渠	conduit	112
溢流	overflow	99
農區	farm	197
農路	farm road	229
圓筒法	cylinder method	190
經營區	farm block	234
雷諾數	Reynolds number	187
電導度	electric conductivity	105
飽和層	saturated zone	130
溢洪道	spillway	124
農田排水	field drainage	4
農地重劃	farm land consolidation	229
雷射整地	laser land leveling	251
幹線農路	trunk line road	236
經濟灌溉效率	economic irrigation efficiency	199
達西-威巴方程式	Darcy-Weisbach equation	177,186

中文	英文	頁碼
十四劃		
滲漏	percolation	75,133
滲漏	seepage	133
漫灌	wild flooding	140
蒸發皿	evaporation pan	51
蒸發儀	atmometer	51
蓄水池	pond	101
實施效率	operational efficiency	200
蒸發散量	evapotranspiration, ET	51,55,75
需水效率	consumptive use efficiency	199
蒸散係數	transpiration coefficient	38,51
蒸發皿法	pan evaporation method	65
蒸發皿係數	pan coefficient	51
實際蒸散率	actual evapotranspiration rate	37
滲透計觀測法	lysimeter	58
十五劃		
層流	laminar flow	185,187
輪區	tertiary unit	198
噴灑灌溉	sprinkler irrigation	139
輪流灌溉	rotational irrigation	162
標準坵塊	standard lot	229
潛在蒸散率	potential evapotranspiration rate	36,37
輪區用水量	turnout requirement	75
輪區單元效率	tertiary unit efficiency	204
複迴歸方程式	multiple regression equation	159
十六劃		
濁度	turbidity	105
隧道	tunnel	118

中文	英文	頁碼
整地工程	land leveling or grading	251
輸水系統	conveyance system	201
輸水效率	water conveyance efficiency	198,202
十七劃		
薄膜水	pellicular water	132
儲水效率	water storage efficiency	199
應灌水深度	net irrigation water	160
總有效水分	total available water, TAW	40
二十劃		
攔河堰	weir	115
繼續灌溉	continuous flow irrigation	164
二十一劃		
灌溉	irrigation	1
灌溉率	irrigation rate	77
灌溉方法	irrigation methods	139
灌溉期距	irrigation interval	90
灌溉渠道	irrigation canal	5
灌溉系統效率	irrigation system efficiency	201
二十四劃		
壩	dam	114
鹽分容忍度	salt tolerance	258

灌溉原理

Principles of Irrigation

編著者 陳清田 郭勝豐 黃振昌 張煜權 陳意昌 廖志聰

(依章節順序排序)

發行人 陳吉仲

策劃 謝勝信 林國華 譚智宏

執行編輯 林柏璋 黃振昌 郭紫晶

著作權

行政院農業委員會 台北市南海路 37 號

所有人

出版機關 行政院農業委員會 台北市南海路 37 號

執行機關 財團法人農業工程研究中心 (03)452-1314

出版年月 中華民國 109 年 5 月 初版