

第一章 概 述

1.1 台灣水資源概況

1.1.1 水資源利用率低之因應

台灣雨量雖然豐沛，平均年雨量高達 2,510 公厘，惟在時間與空間上之分布不均，加上河川流短坡陡，洪枯流量懸殊，每當颱風暴雨來臨時，河川流量隨降雨量激增而暴漲，因而常常氾濫成災；於枯水時期，降雨量明顯驟減，河川流量甚低，甚至發生嚴重乾旱，以致各用水標的無法依各所需水量運用。依長年統計平均約有 78% 之逕流水，未能有效控制利用而流入海中，是故可供利用之可靠水資源相當有限；復加上近年來經濟繁榮，人口急遽增加，工商業加速發展，都市迅速擴展，整體產業結構不斷改變，形成各標的用水量激增，對用水之需求日益增加。如何提高利用流入海中之水量，乃為今後之重要課題。

台灣農業灌溉用水量占總體水資源利用的 58%（前經濟部水資源統一規劃委員會統計 82 年之資料），為各標的用水之首，水田灌溉則為農業灌溉用水之大宗。在未來加入世界貿易組織（WTO）之後，農產品進口增加，本土農作物如果相對減少，農業用水可望在改善灌溉技術與農地釋出導致農作減產之情況下，至少達到零成長之目標。此一農業之轉型可為水資源日益拮据，開發水源成本日益昂貴之時代中，在臨時面臨乾旱發生時可減少部分灌溉用水，以緩和與其他用水標的間之競爭，不必再為本身缺水產生開發水資源之壓力，在零成長之情況下宜自行克服難關。

今後農業灌溉之轉型乃是如何擴大推展省水之旱作管路灌溉方式，使各類旱作物之生產經營，不必完全考慮降雨之條件而能推行作物之適時適地適作栽培，並能視作物最有利之收穫時期予以實施計畫性栽培，以促使其更具有競爭條件而能成為「經濟產業」。尤其精緻農業之旱作栽培，必須有旱作灌溉之保障，才能發揮其高度之農藝、園藝技術。此外，將依農業生產結構之調整，推動集團轉作，促進水稻與旱作灌溉用水作合理分配及有效運用。

1.1.2 降雨時空分布不均

一、台灣年平均降雨量約為 2,510 公厘，為世界平均值之 2.6 倍，實屬豐沛，但在時間上之分布極為不均，豐水期（5~10 月）的降雨量平均為 2,139 公厘，占全年降雨量的比例，高達 78.8%；而枯水期（11~4 月）的降雨量平均為 576 公厘，只占 21.2%。因此在枯水期容易發生乾旱，而在豐水期時卻常因颱風所帶來的豪雨釀成水災。使得在水資源的利用及調配上益形困難。根據行政院農業委員會相關研究得知，台灣各地區之乾旱期稍有不同，北部為 6~7 月，中部為 3~5 月，南部為 2~4 月，東部及宜蘭地

區則幾無缺水期，其中又以嘉南地區之缺水最為嚴重。

- 二、逕流量之季節性分布，與降雨量相同，皆是分布相當不均。在平均逕流量 667.6 億立方公尺中，豐水期（5~10 月）的逕流量高達 513.9 億立方公尺，占 77.0%；而枯水期（11~4 月）的逕流量只有 153.7 億立方公尺，約占 23.0%，豐枯比例懸殊。逕流量較大之月份集中於 6 至 9 月，而枯水期的各月份逕流量占全年逕流量的比例，均小於 4.0%，此顯示了枯水期間可利用的水資源相當有限。又枯水年（82 年）之年逕流總量僅為 355 億立方公尺，大約只有平水年之一半（52.6%）。可見水資源在豐、枯水時期的流量差異極大，一年中可資引用的逕流量極不穩定；再加上山高河短坡陡，水量不易貯留，實際上只引用了約 22%，其餘 78% 之逕流量未經利用即流入海中。
- 三、一般而言，降雨之分布未能與作物之成長配合，必須由人工供水。又 11 月至翌年之 4 月期間為台灣之乾旱季，但此期間乃為第一期作水稻及其他高經濟作物之重要耕作期，需要大量之灌溉用水。因此各農田水利會之配水工作更形艱苦。

1.2 農地利用與農業用水

1.2.1 台灣農地利用情形

- 一、四十年來，台灣耕地總面積大約維持在 87 至 90 萬公頃（耕地占台灣土地總面積約 24%），其中水田面積由民國 41 年的 53 萬公頃減少至民國 83 年的 46 萬公頃，減少約 7 萬公頃，主要是單期作水田之第二期作水田面積減少所致，兩期作水田及單期作水田之第一期作面積變化則較小。
- 二、旱田面積則由民國 41 年的 34 萬公頃增加至民國 83 年的 41 萬公頃，即增加約 7 萬公頃。水稻實際耕種面積則由民國 41 年的 78 萬期作公頃增加至民國 64 年的最高峰約 79 萬期作公頃，而因農業趨向轉型逐漸減少至民國 83 年收穫面積僅為 37 萬期作公頃，即減少約一半。
- 三、魚塢養殖面積從民國 41 年的 3 萬公頃增加至民國 81 年的 5.4 萬公頃為最多。因用水管制及產銷問題，近二年則呈減少趨勢，民國 83 年養殖魚塢總面積約 4.6 萬公頃，其中淡水與鹹水魚塢面積各占一半。

1.2.2 農業用水與功能

目前及今後台灣農業之總計畫用水量年約 150 億立方公尺，其中灌溉用水約為 120 億立方公尺，養殖用水約 29 億立方公尺，畜牧用水約 1 億立方公尺。就台灣之總用水量統計，雖屬用水之最大宗，但就農業用之實況檢討，每遇乾

早年，灌溉用水即呈嚴重不足現象，即實際用水量常低於計畫用水量。養殖用水又多屬無辦理水權登記之地下水，地下水超抽已造成部分沿海地區有地盤下陷之問題。

一般人每遇民生用水或工業用水不足時，即想從灌溉用水移用水權水量，對農業用水營運管理常引起困擾。事實上，在豐水期，因河川流量豐沛，民生用水及工業用水亦均不缺水。河川過多流量對灌溉及對水稻生長並不是有利，希冀其他標的設法利用。但水田本身，在降雨季節卻兼具有調節洪峰、減低下游排水尖峰及補注涵養地下水之功能，其對生態環境方面之貢獻，經評估結果，並不亞於對作物增產之貢獻。故水田生態環境之維護，須加重視（水田休耕時，尤須在兩期推動獎勵保持蓄水狀態，以維持其補注地下水之機能）。

1.3 水源與可靠水量

1.3.1 灌溉用水營運上之問題

- 一、水源水質及水量較為良好及可靠者，係由水庫、埤池及地下水供應之水量。在枯水期能移用支援民生用水之水源，應屬水庫蓄存之水量。至於河川引灌部分，因枯水期流量銳減，且大部分河川之中下游地區均已受到污染，灌溉渠道亦多受到區域排放污染水質匯入之影響，於灌渠末端之迴歸水多已不堪使用；再者其他用水標的都無取用河川水量之調蓄設備，故枯水期並非所有農業灌溉用水均可移至支援民生之用。
- 二、台灣農業灌溉用水量一度僅占總體水資源利用的 58%，但仍為各標的用水之首，自然成為各標的用水者所急欲移用的對象。但農田灌溉用水水源主要來自河川、水庫及地下水，其餘有大部分流量皆在回歸利用，而其中河川引水因受地區性及季節性的限制，盈缺明顯，河川流量在豐水時期，河川水量豐沛，農田灌溉用水得以紓解；惟在乾旱時期，水源供應不足，田間灌溉營運便發生操作上的困難，因此農田灌溉水源極為不穩定。

1.3.2 支援其他用水標的之問題

- 一、就農業用水供應方面，雖總量係以不增加作為計畫原則，惟為有效調配用水之時間、空間上之不均勻，必須積極進行用水調查及調整規劃，充分掌握農業水資源之狀況，期使農業用水之調配及管理，能更順暢地營運及活用，以促進合理分配並提高用水效率。在糧食安全及生態環境維護均能兼顧情況下，有計畫地活用農業灌溉用水，並視各地區當時之情況酌予支援民生或工業用水，原則上應在和諧互惠方式進行。
- 二、若農業用水將「餘水」蓄存其田間，將長期對地下水、伏流水、回歸水進行補注的工作，其用水方式與工業及民生等消耗性用水大不相同，其水量

消耗的僅為維持作物正常生長所需之蒸發散量。因此，站在水資源有效利用的立場，在豐水時期只要有水，理應鼓勵田間儘量蓄水。豐水期之餘水甚多，除在農田具有保育功能外，其他用水標的亦應設法興造蓄水設備加以調節，以應付其乾早期用水之需，而減低移用乾早期灌溉水量之壓力，如此才是良好之水資源管理營運之政策。

- 三、農委會曾經於民國八十年代推廣試辦「種水」政策，在豐水時期利用河川豐沛水量，鼓勵於休耕田區蓄水，藉以補注地下水源。未來若能研擬在此蓄水空田內種植適當之水生植物，如學菜、菱角、蓮等經濟性替代作物或於都會周邊田區開闢水生植物景觀公園等，應能喚起農民配合之興趣，共同關心參與水源管理調節工作，亦能保留水田之三生（生產、生活、生態）公益功能。

第二章 地表水源利用

2.1 前言

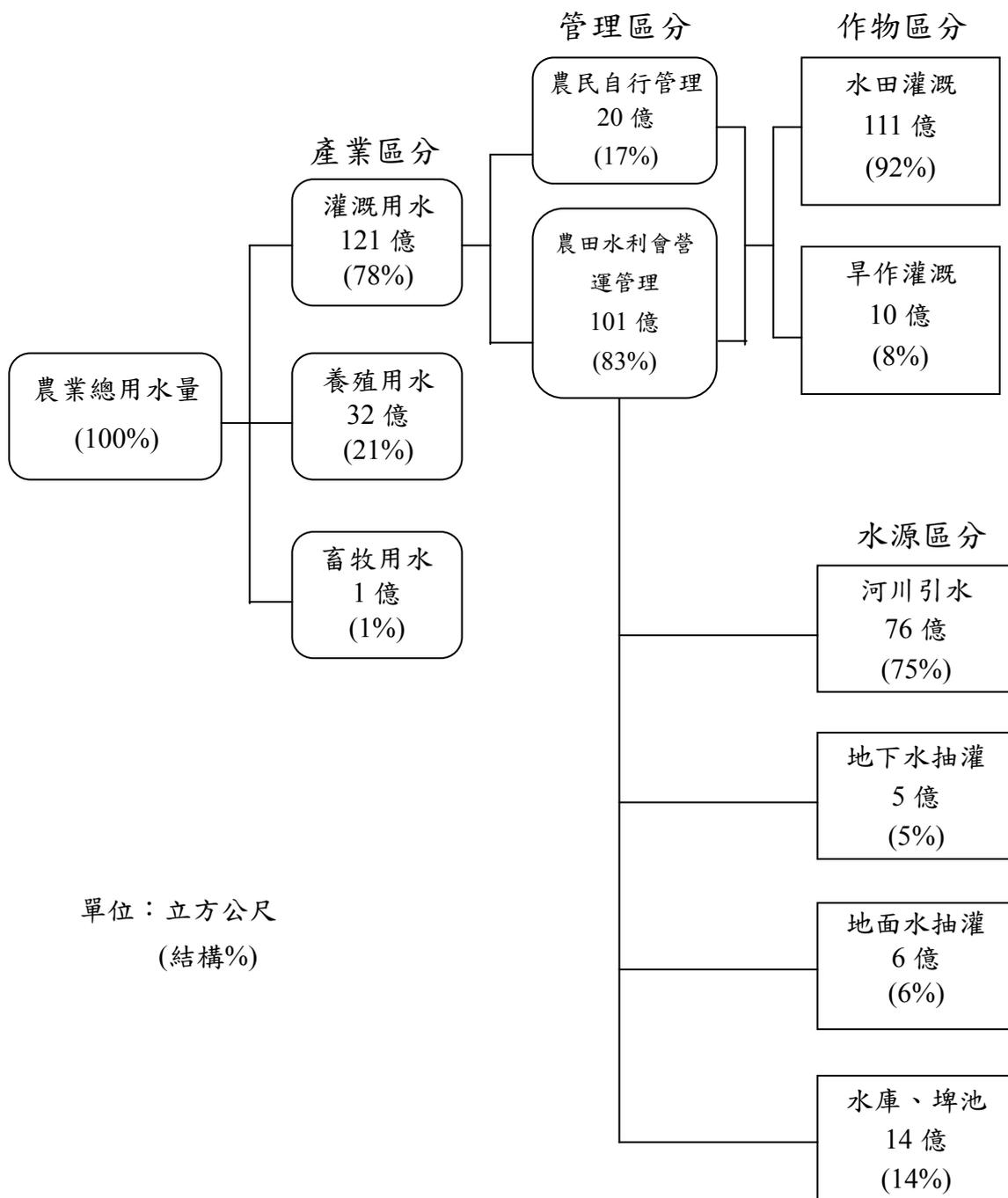
2.1.1 79 年農業灌溉用水量

- 一、台灣之農業用水結構，係以利用地表水源為主，利用地下水源為輔，進一步之分析，可以民國 79 年為例，該年之水文水況為平水年，故選定該年用水情況做分析，如圖 2-1 所示。在農業總用水量 154 億立方公尺中，灌溉用水量為 121 億立方公尺（含水稻灌溉用水量 111 億立方公尺及早作灌溉用水量 10 億立方公尺），占農業總用水量之 78%；養殖用水量為 32 億立方公尺，占農業總用水量之 21%；及畜牧用水量為 1 億立方公尺，占農業總用水量之 1%。
- 二、79 年台灣各標的總用水量共 195 億立方公尺，農業用水為 154 億立方公尺，合占各標的總用水量之 79%；灌溉用水量 121 億立方公尺，合占各標的總用水量之 62%。
- 三、臺灣灌溉總用水量 121 億立方公尺中，由農田水利會實際管理營運者為 101 億立方公尺（不含養殖及畜牧用水），約占 83%。就農田水利會營運管理之 101 億立方公尺作水源別分析統計，如表 2-1 所示，自河川引灌者為 76 億立方公尺，占 75%；自水庫、埤池引灌者為 14 億立方公尺，占 14%；由地面水抽灌者為 6 億立方公尺，占 6%；由地下水抽灌者為 5 億立方公尺，占 5%。即農田水利會之灌溉水源有 75% 之水源係自河川直接取水，為其最大宗，其他自水庫、埤池取水者占 14%，以動力抽地下水及地表水者占 11%。至於由農民自行管理之 20 億立方公尺，則大部分係抽取地下水及少部分引用河川溪流之地面水。

2.1.2 86~87 年平均農業用水量

依據行政院農業委員會之統計資料，台灣 86~87 年度平均農業用水量包括台糖公司自行供水、養殖及畜牧用水共為 122.95 億立方公尺，其中由農田水利會供水者為 106.32 億立方公尺，水量及水源別之統計如表 2-2 所示，至於台灣歷年農業用水量之統計如表 2-3 所示。

(以 79 年平水年為例)



單位：立方公尺
(結構%)

資料來源：前經濟部水資源統一規劃委員會

圖 2.1 農業用水結構分析

表 2-1 臺灣各農田水利會 79 年各水源別之實際用水量

地區 \ 水源別	河川引水	水庫、埤池引水	地面水抽取量	地下水抽取量	合計
臺灣地區	7,595,316 (75.24)	1,362,672 (13.50)	629,880 (6.24)	506,788 (5.02)	10,904,656 (100.00)
北部區域	1,075,515 (60.07)	470,642 (26.29)	243,654 (13.61)	524 (0.03)	1,790,335 (100.00)
中部區域	3,926,131 (87.96)	61,973 (1.39)	173,239 (3.88)	302,091 (6.77)	4,463,434 (100.00)
南部區域	594,540 (32.45)	834,057 (45.31)	212,987 (11.63)	194,517 (10.62)	1,832,101 (100.00)
東部區域	1,999,130 (99.52)	0 (0.00)	0 (0.00)	9,656 (0.48)	2,008,786 (100.00)

註：上欄數據為引水量，單位：千立方公尺。

下欄括號內數據為各水源別水量所占之百分比，單位％。

資料來源：前經濟部水資源統一規劃委員會

表 2-2 台灣民國 86~87 年平均農業用水源別統計

單位：億立方公尺

水源別 \ 用水別	灌溉用水			養殖用水	畜牧用水	合計
	農田水利會供水	台糖公司自行共水	小計			
水庫、埤池	11.06	0.15	11.21	0	0	11.21
河川引水及地下水取水	90.53	0	90.53	1.78	0	92.31
地下水	4.72	0.60	5.32	12.94	1.16	19.42
合計	106.32	0.75	107.07	14.72	1.16	122.95

註：1.台糖公司自行供之低標灌溉用水量係採用該公司 86 及 87 年二年之年平均灌溉用水量。

2.台糖公司自行供灌用水量不大，且無其他詳細評估資料，因此，高標及中標灌溉用水量採與低標相同值。

表 2-3 台灣歷年農業用水總量統計表

單位：億立方公尺

民國（年）	灌溉用水	養殖用水	畜牧用水	合計
71	140.48	22.25	0.78	163.51
72	134.61	23.83	0.88	159.32
73	126.17	23.80	0.93	150.90
74	125.59	23.61	0.93	150.13
75	123.71	24.31	0.99	149.01
76	121.55	25.66	1.05	148.26
77	117.76	27.93	1.07	146.76
78	119.41	29.16	1.17	149.74
79	121.28	31.49	1.16	153.93
80	103.32	30.93	1.28	135.53
81	103.03	30.64	1.34	135.01
82	97.13	28.01	1.36	126.50
83	99.41	30.97	1.40	131.78
84	111.80	31.38	1.46	144.64
85	101.99	31.45	1.51	134.95
86	107.89 (107.39)	25.83 (14.7)	1.34 (1.23)	135.06 (123.43)
87	(106.74)	(14.6)	(1.09)	(122.46)

註：1.71 年至 86 年資料係由經濟部統計，86 年及 87 年各欄()內數據係行政院農業委員會本次清查結果，其中灌溉用水量差異不大，而養殖及畜牧用水量部分，因單位用水量已較經濟部沿用之單位用水量調低，故用水量有減少之現象。

2.86 年及 87 年灌溉用水量欄()內數據為農田水利會灌溉用水量加上台糖公司自行供灌用水量之和。

3.86 年及 87 年，農田水利會供水之灌溉用水量分別 106.49 億立方公尺及 106.14 億立方公尺，由台糖公司自行供水之灌溉用水量分別為 0.90 億及 0.60 億立方公尺，灌溉用水總計分別為 107.39 億立方公尺及 106.74 億立方公尺。

2.2 河川取水

臺灣河川以往區分為主要河川 21 條、次要河川 29 條及普通河川 79 條，共計 129 條，其河系圖如圖 2-2 所示。目前河川則區分為中央管河川（含 24 條主要水系）及縣管河川。17 世紀起的 350 年，台灣的農業發展主要依賴自河流引水灌。先民渡海來台定居開墾時，便築埤圳引水灌溉。河川中之天然流量經於河中設置攔河堰等設施，導水引入灌溉渠道中再輸送至下游灌溉農田。全台灣目前重要引水設施共有 1,531 處，輸水路長共 67,000 公里，依 84 年資料，共引用 56.50 億立方公尺河川水量，為台灣最重要之農業水源。

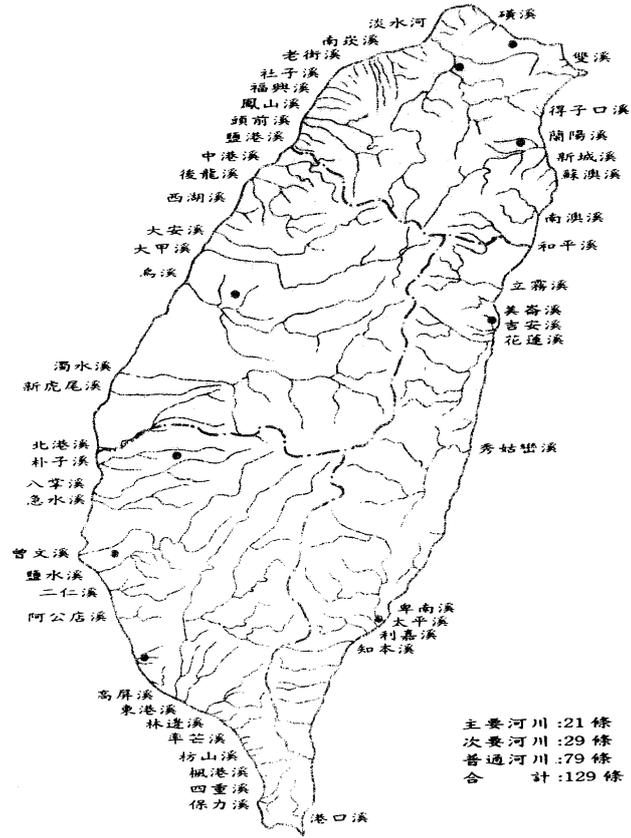


圖 2-2 台灣地區主次要河川河系圖 (經濟部水資源局)

圖 2-3 為不同灌溉水源之鳥瞰圖，其中河川取水方式主要可分為直接河川取水、河川取水堰、河川抽水等三種。

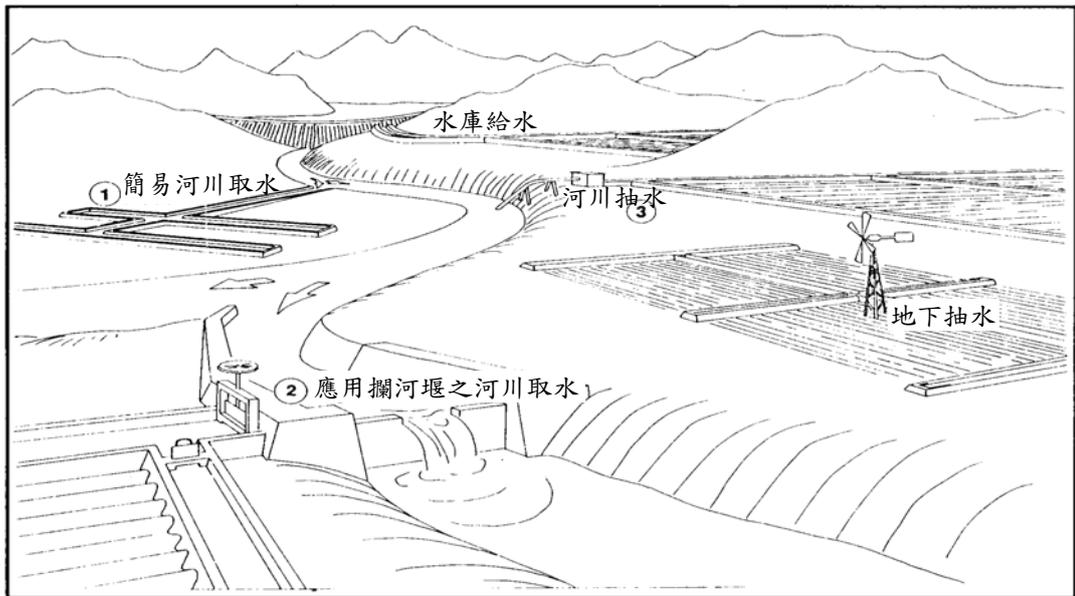


圖 2-3 不同灌溉水源之鳥瞰圖 (FAO,1992)

2.2.1 直接河川取水

在圖 2-3 之灌溉計畫區域①中，其供水系統為河川直接取水系統，該取水系統並無任何之結構物存在，如壩或其他取水設施等。渠道取水口之部分是直接穿過河岸，且無任何之水門設施，同時在渠道中亦無任何之流量控制結構。取水之流量是隨河川水位而變，亦即當河川為高水位時，其所取的流量較大，當河川為低水位時則取進之流量較小。

通常為避免流量之變化過大，常於渠道中設置控制水門，水門之操作在河川水位較低時則完全開放，當河川水位較高時則採部分開啟之方式為之（如圖 2-4）。

應用此一取水方式的好處是可以降低成本，然而此取水方式，僅適用於河川水位，甚至是指低流量時之河川水位，較灌區之高程為高時，換句話說，取水點之位置會在灌區之上游處，才會讓河川之水位高出灌區之高程。但若田區相當平坦時，則渠道之長度會變得相當長，才會有足夠之水頭可用。

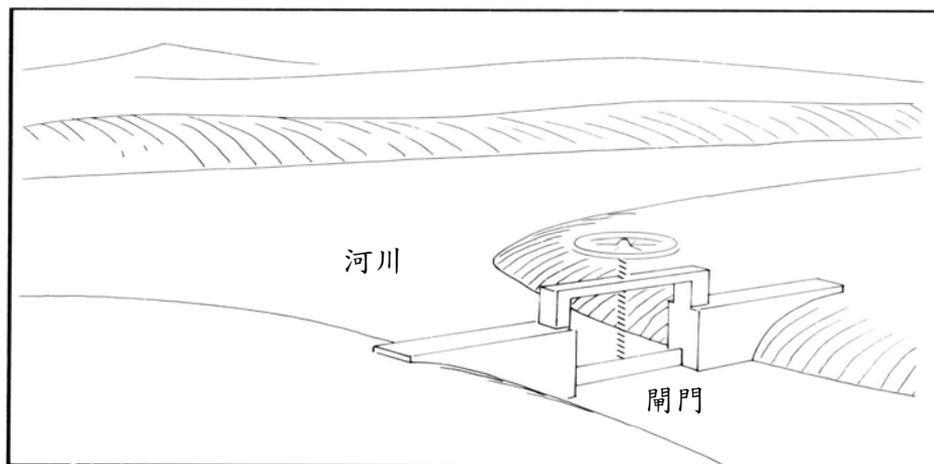


圖 2-4 設置匣門做為取水設施 (FAO,1992)

2.2.2 河川取水堰

為了避免河川之水位變化過大，可以應用橫跨河川之築堰方式以抬高水位，在高流量時期，部分流量會溢過堰而流到下游，其上游處之水位在一年中會有些許之變化，而在旱季時之水位會比尚未築堰前之水位為高。

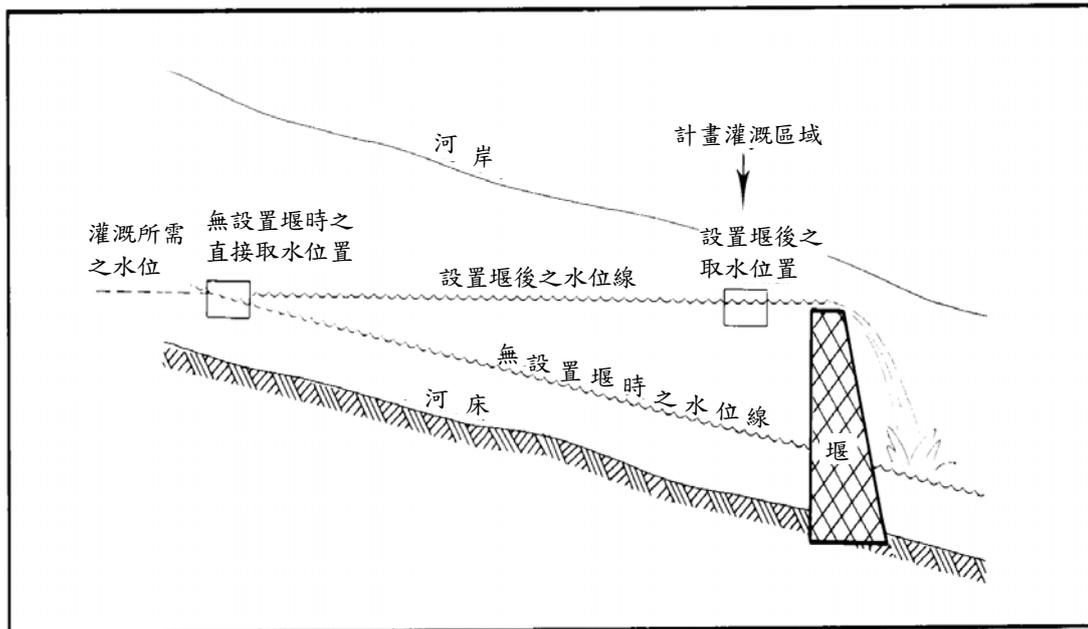


圖 2-5 採用取水堰與不採用取水堰時之取水口位置示意圖 (FAO,1992)

由於築堰後其上游之水位會比尚未築堰時為高，因此取水構造物可以較靠近灌溉區域，且主要灌溉渠道亦可以較短些，在圖 2-3 之灌溉計畫區域②中所示為應用此法之取水方式，圖 2-5 所示為採用取水堰與不採用取水堰時之取水口位置示意圖。

2.2.3 河川抽水

在圖 2-3 之灌計畫區域③中所示，為河川直接抽水供田區灌溉使用之情形，抽水之費用係隨著計畫區域之增加而增加。築堰之成本主要是隨著河川之大小，而部分是隨著灌計畫區域之大小所影響，因此對於一灌溉區域較小，而其灌溉水源係來自大型之河川時，一般都採用河川抽水之方式為之，如此可以減少在築堰上面之花費，較為經濟可行。若地形高之大灌區先將河水抽至高處，再由重力施灌之方式，成本似乎較高。

2.3 水庫與湖泊（池塘）取水

湖泊（池塘）中水量的來源為來自於天然降水落至湖泊（池塘）表面、或鄰近地區之逕流流入湖泊中、或是經由地下水之滲透流入湖泊之中。湖泊（池塘）中之水量流失方式有：經由湖泊（池塘）表面之蒸發、或經由湖泊（池塘）之天然缺口溢流、或經由湖泊（池塘）底部之滲漏至地下水層當中。圖 2-6 所示為湖泊（池塘）之水量供給與流失示意圖。

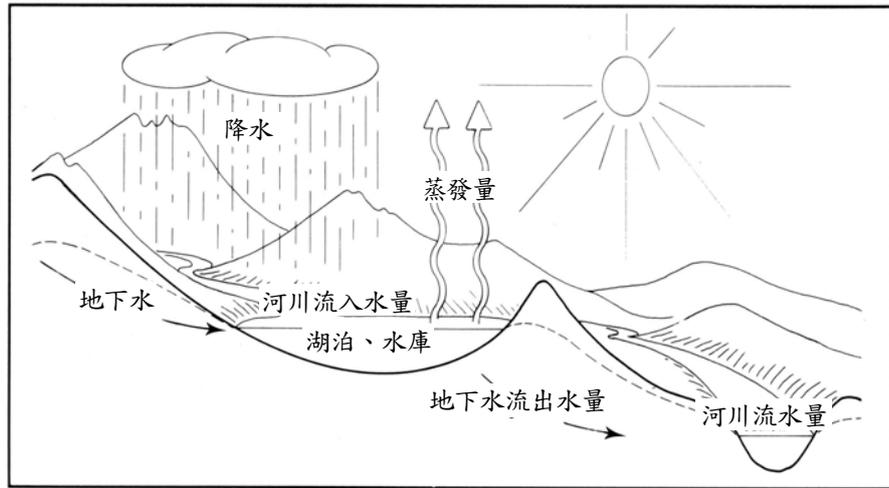


圖 2-6 湖泊（池塘）之水收支示意圖（FAO,1992）

水庫則為人工之湖泊，水庫之形式可經由在山谷處建造擋水壩、或經由開挖製造人工湖泊、或經由築堤之方式建造水庫，於水庫之中蓄存水量。

大型水庫之建造，是在主要河川處築壩之方式加以建造，其所蓄存之水量可供灌溉數千公頃至數萬公頃之面積；而中小型之水庫，其蓄存容量較小，在一季中可供給之灌溉面積由 10 至 100 公頃不等。

2.3.1 池塘取水

池塘水源與水庫水源性質類似，惟蓄水容量較少，集水面積多屬較低之丘陵地或其上游灌區之迴歸水，蓄水量變化較大，調節供灌機能有其限制與水庫水源不盡相同，其特性乃池塘水源比水庫水源較接近灌溉渠道配水系統，視水源水量較可發揮機動性調整放水灌溉作業。台灣之池塘水源蓄水量計算，多以估計供應水稻插秧之尖峰用水量，或確保本田用水灌溉期間枯水期（約 30~40 天）之水量，按照池塘水源依其灌溉系統所處之位置，大致可分二大類：

- 一、池塘水源僅攔蓄其集水區水量者，如高雄農田水利會或嘉南農田水利會轄區部分之池塘。
- 二、池塘水源除攔蓄集水區水量外另由水源自水庫灌溉輸水系統或由河流水源渠道系統供應水量者，例如台灣北部桃園及石門農田水利會之桃園大圳、光復圳及石門大圳灌區所轄之池塘均是。池塘蓄水在河流水源灌溉系統中有其重要性，桃園大圳灌溉總用水量 4.1 億立方公尺中，大圳自大漢溪石門取水口之引水量約 2.57 億立方公尺（60%），其餘自 285 口池塘及 334 處攔河堰之取水量共約 1.53 億立方公尺（40%），可見池塘之重要性。惟池塘應能藉地形收集雨水及灌溉餘水，則雨水或灌溉餘水流入排水溝者將藉由攔河堰再度導引入池塘或直接加入配水系統，此種安排，使桃園大圳

將近 20 公里長導水幹線隧道及開渠之設計通水能量自 26 秒立方公尺減至 16.7 秒立方公尺，又使整個幹線、支線等輸水系統，自 800 公頃／秒立方公尺之灌溉率提高至 1,450 公頃／秒立方公尺，更使整個配水系統分成許多單體，使各單體均備有一個可靠之池塘供緊急之用。在桃園石門地區之池塘，如事先蓄水得當自可成為系列之小水庫，尤其乾旱時期池塘之水量配合運用之效果頗為顯著。

2.3.2 水庫取水

水庫之興建功能在於攔蓄調節河川豐枯水期流量，提升水資源充分有效利用，因此水庫水源供給灌溉水量較易掌握控制，對其供灌區域可擬定週密之灌溉計畫，以輪流灌溉方式執行，計畫性配水使灌溉作物得到均霑灌溉目標。

台灣現有水庫 41 座，總蓄水容量 26.5 億立方公尺，有效容量為 20.8 億立方公尺，84 年之運用水量為 43 億立方公尺。既有 41 座水庫中，光復前完成者有 8，33 座完成於光復後。又其中，純灌溉標的之水庫有 10 座，平均運用水量在 15 億立方公尺左右，兼有灌溉標的之多目標水庫有 9 座。

水庫水源受其座落地區氣候條件不同，其水源供應及運用之趨勢亦有所差異。根據水庫存水量可事先預警防範，擬定灌溉因應措施，機動調整灌溉計畫之執行，以減少因遇缺水時該灌區之灌溉營運損失。

一、調蓄別分類

台灣河川流量經水庫調蓄者大致分作三類：

1. 攔截主要河川水源，而行季節性之調節者，如曾文水庫、石門水庫屬之。
2. 攔截次要河川或主要河川支流水源，而行季節性之調節者，如大埔水庫、明德水庫、白河水庫、虎頭埤、阿公店水庫等均屬之。
3. 攔截主、次要河川或主要河流支流水源並以隧道為主、次要河川相連通者如烏山頭水庫，惟目前因曾文溪上游建造曾文水庫，兩水庫互相串聯營運。

二、運用標的分類

1. 單目標水庫，例如虎頭埤水庫、德元埤水庫等為灌溉標的；南化水庫為供應民生用水標的。
2. 多目標水庫，具有防洪、發電、公共給水、工業用水、灌溉功能，如石門水庫、曾文水庫、明德水庫屬之。

三、水庫之灌溉計畫

不管單目標或多目標水庫供應灌溉標的，均須參酌其灌區地理環境，水文條件，配合水庫運用規則，依既定之耕作方式及灌溉制度，擬定年度灌溉計畫。

2.3.3 取水方式

水庫與湖泊（池塘）之取水方式，端視水位高程與農田高程而定。

- 1.當水被蓄存於築壩之山谷中時，則其水位將會比壩之下游的水位還高，而此一水位之差，足以讓灌溉之系統採用重力式之方式施灌。由水庫取水時，可藉由混凝土管或鋼管為之。此一輸水管線係連接水庫與下游灌區之灌溉渠道。經由閘門加以控制，導引到下游渠道，閘門之設置位置通常位於管線之上游端。
- 2.當灌溉之地區位於水庫壩址之上游處或沿著湖泊（池塘）四周，且其高程比較水庫或湖泊（池塘）之水位還高時，若要對該地區進行施灌，則祇有依靠抽水機方能達成。在雨季後則水庫之水位通常最高，而在旱季之後水庫之水位會達到最低之情形，因此在安置抽水機之時，務必要能夠掌握此一變動之情況，不但在垂直方面之變動，尚包括水平方向之變動情形，因為水位降低的同時，水會向後退至水庫低窪之地區。
- 3.此外若有乾枯之支流時，亦可以當作具有水庫功能之用，在雨季時，該支流將會有水量之蓄存，而在旱季時，則將關閉而無蓄存情形，因此，此一蓄存之水量可以被利用之。由於這些狀況是發生在低水位時，故抽水機之引用亦是必然的。

2.4 可靠水量

2.4.1 河川之可靠水量

確保灌溉用水使其不致於缺乏是非常重要的，若在作物生長過程中有用水短缺之情形時，則將影響作物生長，由作物生產之獲利也會減少，嚴重者會造成灌溉投資計畫之停擺。

灌溉計畫之確立，是要靠著在全生育期中水之供應是否足夠，因此一個成功的灌溉計畫基本上要有可靠的供應水源，故對於灌溉計畫中之粗計畫灌溉需水量（ SIN_{gross} ）確立之後，則務必要儘量查明在該灌溉期中其河川水源之可靠程度。

一、對水源可靠度之考量將不外乎以下幾種情形：

1. 祇有在豐水期之時，河川之流量才能滿足粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross})，由於河川之流量每年在變，缺水之情形必然會發生在乾早年或較早之月別。因此必需查明的是在一年當中有那幾個月其河川流量最小，很明顯的在此情形之下，若要改變灌溉之執行，而造成在乾早期有高灌溉水量需求之情形，應予以避免之。
2. 若在乾早年時之旱季期間，河川之流量充足，且超出粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 時，若任意對灌溉之施行予以變更成需要較多之水量或稍為擴展灌區等，均會讓未來產生更大的缺失困擾。
3. 在整個作物之生長季中，河川之流量一直都比粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 為高，且每年都如此，則此將不會有灌溉計畫中用水可靠度之問題，此情形可由現地之農民間得到較確實之資料。在此情形之下且未發生移水，對於稍為擴展灌溉區域，或變更種植耗水較大的作物，如水稻等，亦不會有嚴重之問題。
4. 對於水源可靠度之尋求，應與水文負責機構密切配合，該機構可提供水資源與河川流量等相關資訊，在水文之資料方面有：降雨、逕流等。在預測方面，則該機構可根據過去之歷史記錄資料推估在灌溉期之中其最大河川流量，並可預測乾旱之河川枯流量。因此若尚無河川之流量量測資料時，則務必儘速進行，讓日後之計畫能有可靠之資料可資引用。
5. 另一種可能之情況是在作物生長期中，於部分生長期中其供水量不足，而部分生長期中除供作物所需之水量外，尚有部分盈餘之水量可用，對於此一盈餘部分之水量，可以應用築壩或蓄水設備之方式，將水量蓄存起來，但灌溉方面本身無能力投資為之。此一可蓄存之水量，若為河川可靠引水量而為盈餘水量部分，自可讓其他用水標的設法酌予移用，應由水資源主管單位協助推動。

二、有關於目前台灣常用之河川水量量測方法簡介如下：

1. 觀測法

溪流之流量，不能直接觀測，需根據溪流之浸水斷面面積，與平均流速計算求得。流速測量方法常用者有三：

(1) 流速計測法

將流速儀沉入水內，觀測斷面上各點之流速，推算該斷面之平均流速。

(2)浮標測法

洪水時期放浮標入流水中，觀測表面流速，推算溪流之平均流速。

(3)水面坡降法

在溪流中某一整齊河段，取上下斷面各一分別設立水尺一組，在同一時間內，測讀上下水尺之水位差數，除以二水尺間距離，即得水面坡降，用曼寧（Manning）氏公式，推算平均流速：

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

式中 V = 流速 (m/sec)

n = 粗糙係數

R = 水力半徑

S = 水面坡降

2.估算法

溪河流量可由實測獲得，但在某種情況下，因急欲實施一有希望的灌溉計畫，事前對於該溪流之流量，未有實測記錄，應退一步利用估算方法，間接決定之。

$$R = C \cdot P \dots\dots\dots(2.1)$$

式中 R = 逕流量

C = 逕流係數

P = 降雨量

根據本式之估算原理，依次庫斯克（Iszkowski）氏曾統計各種地形之逕流係數如下表。

表 2-4 地形與逕流關係表

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

利用相似逕流關係，和長期降雨資料，估算溪流流量，乃最常用之方法。如一溪流之氣候，地形，地質，和植物覆蓋情形，與另一已知逕流關係之溪流

相似時，有理由設定預測溪流之逕流情形與之大致相同，則可利用此一逕流關係，估算預測溪流之逕流量。如因測站之控制面積相異，最好利用兩站之集水總量即降雨量之集水面積比例，來推算之。

2.4.2 湖泊、水庫之可靠水量

一、湖泊（池塘）之可靠水量：

- 1.在前面已經說明河川之可靠水量之決定，該方法亦適用於湖泊（池塘）系統，在灌溉系統中總灌溉水量之需求量，必須要小於單獨水源之湖泊（池塘）可提供之水量。
- 2.當湖泊（池塘）之水源來自於河川時，則其水位係隨著河川之情況而有所不同，若湖泊（池塘）之水源係由地下水所供應，其水位之變動較緩，且隨著地下水位之高低而變。
- 3.對於湖泊（池塘）中灌溉用水之可靠水量估算，需由湖泊（池塘）之可蓄容水量，與湖泊（池塘）中因蒸發及滲漏之損失水量而決定之。對於大型之灌溉計畫區域而言，地方或中央單位，將會估算可靠之水量，對於可靠水量，是經由詳細之河川流量、地下水補給、詳細估算蒸發量、滲漏損失量及其他之用水需求等資料估算之。

二、水庫之可靠水量

以灌溉為單目標之計畫水庫之設立，係配合計畫灌溉之需要。水庫之計畫容量，應根據水源之變化情形，和灌區用水量資料分析估算之：

- 1.估算水庫之蓄水量，應按計畫滿水週期，就流量變化情形，累積分析之。水庫之中可蓄存之水量係依照下列因子而定：
 - (1)河川流量（流量之大小隨降雨而定）
 - (2)壩之高度（當於河谷攔河築壩時）
 - (3)水庫面積（如果是以人工挖掘方式時）
- 2.另一種情形為將水蓄存於離槽水庫之中，蓄存之方法，係將水流導入一天然之窪地、或河川旁側之分支中、或以人工挖掘水庫，而此情形與湖泊（池塘）之情況類似。
- 3.計畫蓄水量則應自蓄水開始，即累計流入量，減去同時期累積供水量，蒸發損失量，和滲漏損失量等，即可得各階段水庫之有效蓄水量，另加死水

量即為水庫之實存水量。

4.現就蒸發損失，滲漏損失量，和死水量等分述如下：

(1)滲漏損失量

水庫庫址為石質或粘土者，滲漏損失甚微；為細砂壤者大致尚佳，祇滲漏損失較大；水庫兩岸或其底由卵石組成者，雖有薄層細密土壤覆蓋，亦易成地下水道，其滲漏必大；鄰近石灰岩或石膏地區，岩內常有孔穴，易導致大量滲漏。除水庫地質不良易導致大量滲漏外，一般水庫之滲漏損失皆不致太大，其損失量與蓄水深度有關，隨完成年數而逐漸減少，一般估計滲漏損失約占水庫容量的5~15%。

(2)蒸發損失量

由水表面所引發之蒸發量在乾燥或半乾燥之地區，一天達到7公厘是相當普遍之情形，這相當於在一週之間蒸發5公分水深或一個月之間蒸發20公分水深之情形。此一蒸發水量相當之可觀，尤其是對於寬而淺之水庫而言，則其蒸發量更不可等閒視之。因此，若以深度較淺之湖泊或水庫為灌溉水源時，則於雨季後之灌溉應儘速施行，以免等待過久，造成水庫乾枯而浪費用水。

蒸發損失率與溫度和風速成正比，與濕度成反比。根據廣水面之實驗資料，其蒸發量約為蒸發計蒸發量之半。惟水庫之蒸發損失問題極堪重視，因蒸發率之最高時期，其降雨量恆屬最微，農田需水最殷，由水庫引水最多，故計算水庫容量時，蒸發損失宜採用最大值。

水庫之蒸發水面以滿水時最大，水位最低時最小，估算蒸發損失宜採平均水面。蒸發損失量應根據水庫當地之蒸發量紀錄，推算各月旬之廣水面蒸發損失率，乘以水庫之平均水面而得。

(3)死水

水庫中之部分水量，因低於引水口標高，故無法引用，其量之大小視地形及引水口標高而定，此一容水空間，其低標高部分常用以儲蓄泥沙。

5.根據需水量估算蓄水量

水庫之蓄水量亦可根據連續無效降雨日數，簡便地算出。通常10~20年一次之連早日數為標準，凡日雨量在5公厘以下者，視為無效降雨日，併入計算最長早期之需水量，即為水庫計畫蓄水量，可用下式估算之：

$$Q = q \cdot d + L \dots\dots\dots(2.2)$$

式中 Q = 水庫計畫蓄水量 (m^3)

q = 灌區日需水量 (m^3)

d = 最長早期日數 (包括無效降雨日)

L = 早期內水庫之總損失水量 (m^3)

第三章 地下水源利用

3.1 前言

地表水為水文循環之一環，其行徑可自圖 3-1 之水文循環示意圖見其梗概。地殼表層內之含水層猶如管渠之可以導水，亦如水庫之可以蓄水。地表水自地面進入含水層後即緩慢流動，在不同之地點，經由自然流出、植物蒸散、人為汲取等不同之方法又回復至地面，為應用極廣之水源。河道在乾涸成枯水時，地下水供給其水量。甚至某些地區自水井抽水為其唯一之水源。

地下水來自地表水，天然之補給包括雨水、河道流量、湖泊與水庫等。其他人為因素如超量灌溉、渠道滲漏、或人工補注等。

地下水流向河道、湖泊與海洋，有時溢出地面而成泉。地下水接近地面時可經土壤與植物直接蒸發與蒸散而回至大氣。水井抽水為地下水之主要人工汲取方式。

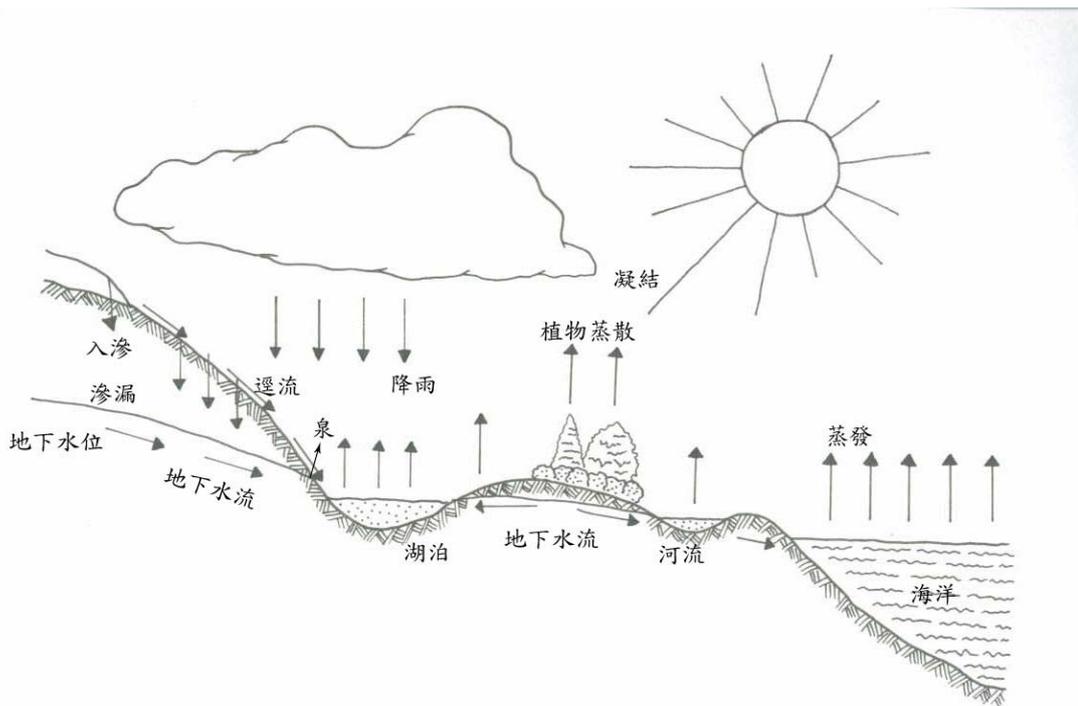


圖 3-1 水文循環圖

3.2 地下含水層分類及分布

3.2.1 地表下水之垂直分布

滲入土壤之水稱為地表下水，存在於飽和層者始稱為地下水，因此地表下

水並不全部為地下水。原則上地表下水主要受到三種作用之影響而產生移動，茲分述如下：

1. 為毛細管作用力之吸引，回返地表經蒸發至空中，縮短水文循環之途徑。
2. 為植物之根部吸收，經由葉面蒸散重回大氣。
3. 受重力作用下滲至土壤更深部分，到達飽和層，成地下水而為供給水井之水源。
4. 外表外層之空隙，常有部分含水，但仍有空氣之存在，故稱為通氣層。通氣層以下之空隙全部含水，則稱為飽和層，見圖 3-2。

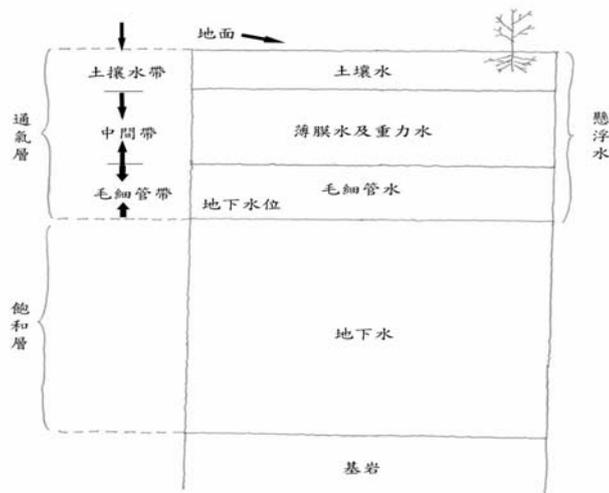


圖 3-2 地表下水之分布

(1)通氣層可分為三帶：

- a. 土壤水帶之水分不穩定，易蒸發，為植物根部吸收，再由葉面蒸散。
- b. 中間帶包括：
 - (a) 吸附水或稱薄膜水，吸附水因分子間吸力而附著於土壤表面，不因重力作用而下降，但仍可因蒸發而緩慢散失。
 - (b) 重力水，水分能受重力作用而下降。
- c. 毛細管水邊緣則毛細管水到達地區，因毛細管作用而自地下水面上昇

之水。毛細管作用所能升之水高可以下式計算：

$$h_c = \frac{2\pi}{r\gamma} \cos\lambda \dots\dots\dots(3.1)$$

由 3.1 式中：

h_c = 毛細管水高

π = 表面張力

γ = 水之比重

r = 管半徑

λ = 凹形水面與管壁之接觸角，如圖 3-3

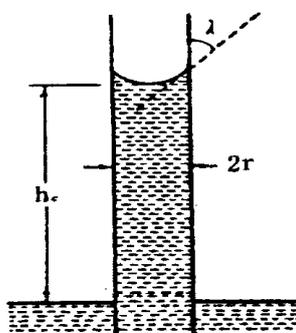


圖 3-3 毛細管水面升高圖

(2)飽和層內所含之水稱地下水，厚度由數公尺至數百公尺不等，決定之因素為：

- a.當地之地質。
- b.地層中之有效空隙。
- c.自補給地區流向流出地區地下水之補給與流動狀況。

3.2.2 含水層分類

自地下水與受壓地下水含水層關係如圖 3-4。飽和層所含之地下水分為：

- 1.自由地下水，飽和層底部接不透水層，其空隙間含水之水面直接受大氣壓力之作用，此水面即為地下水面，自由地下水流動受地下水面之坡降所控制與在明渠中之水流相似。
- 2.受壓地下水，含水層之上為不透水性之地層所覆蓋，形成受壓現象，故其

地下水中之壓力大於大氣壓力。除在地下水補給地區外，與上部地下水無水力連通之關係。受壓地下水之流動如管路中之水流相同，受補給地區與流出地區之水頭差控制。

3. 棲止地下水，存在地下水面之上，因其下部有不透水層托住，故範圍往往有限，補充來源緩慢，極少流動。

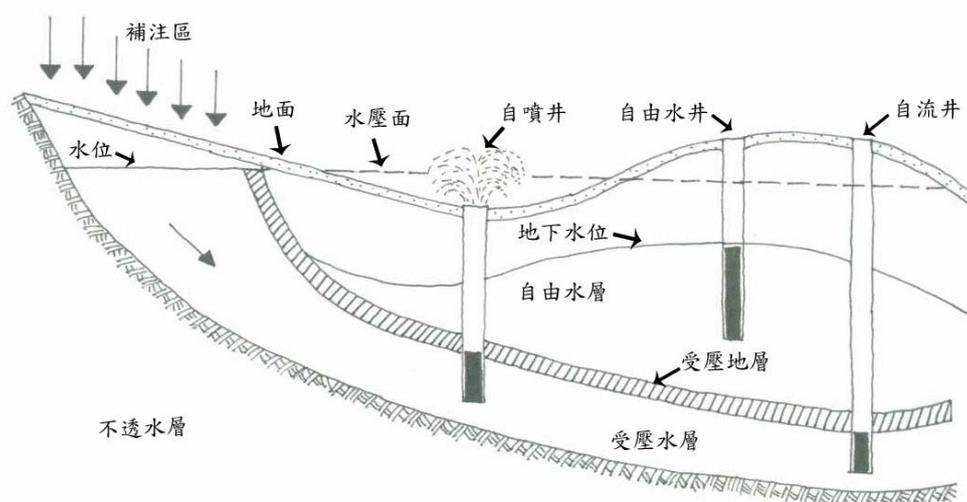


圖 3-4 自由地下水與受壓地下水之關係

3.3 台灣地下水資源分布

3.3.1 地下水資源分區

台灣地下水資源可分為九個分區，包括台北盆地、桃園中壢台地、新竹苗栗沿海地區、台中地區、濁水溪沖積扇、嘉南平原、屏東平原、蘭陽平原及花蓮台東縱谷等。其中又以濁水溪沖積扇及屏東平原之地下水蘊藏量最為豐富（參考表 3-1）。上述 9 個地下水分區之地理位置如圖 3-5 所示。

3.3.2 地下水抽用情況

一、台灣之地下水資源相當豐富，據估計台灣全島每年之地下水補注量約有 40 億噸，而儲蓄在地下含水層中之地下水量更高達數百億噸。一般而言，地下水之可運用量應以地下水補注量為依據，亦即每年或長期之地下水抽取量，不能超過其地下水補注量。然而根據相關資料顯示，台灣大部分的地

下水區，其地下水抽取量均遠超過其地下水補注量，若此情形仍持續下去，將會對環境生態造成極嚴重之衝擊。

- 二、地下水除了具有水質良好、水溫固定、取得便利、價格便宜等之優點外，最重要的是當枯水期地表水源不足時，可運用地下水來彌補地表水之不足。但因地下水水井數量眾多且分布範圍遼闊，以致於管理極為困難，所以雖然政府已於台灣全島之地下水區設置 337 口地下水水位觀測井，但總體而言，資訊仍相當貧乏，使得地下水之管理仍相當粗糙。
- 三、再加上近年來由於沿海地區養殖漁業之興起，非法水井頗多，用水需求急遽增加，因而地表水已不敷使用，故業者轉而大量抽取地下水以補地表水供給之不足。由於長年超量使用地下水之故，以致在沿海地區，特別是在彰化、雲林、嘉義、屏東等縣造成嚴重的地層下陷。除了造成寶貴國土流失及財產損失，在沿海地層下陷區均釀成極大的災情，社會國家也為此付出慘痛的代價。因此，如何能有效管理地下水資源，以減緩地層下陷速率，使之不再持續惡化，並使水資源能永續利用，乃為目前重要的工作。

表 3-1 台灣地下水資源分區及運用情形

區域	面積 (平方公里)	地下水資源分區			年雨水補注量 (億立方公尺)	年抽取量 (億立方公尺)	備註
		分區	面積 (平方公里)	占區域%			
北部	7,347	台北盆地、桃園中壢台地、蘭陽平原及新竹苗栗臨海地區(新竹部分)	2,140	32.8	4.72	5.37	台北盆地之地層下陷目前已有改善
中部	10,507	新竹苗栗臨海地區(苗栗部分)，台中地區及濁水溪沖積扇	3,340	31.79	16.14	25.92	濁水溪沖積扇沿海地區已發生地層下陷之現象
南部	10,004	嘉南平原、屏東平原	3,650	36.59	16.64	37.97	沿海地區已發生地層下陷之現象
東部	8,144	花蓮台東縱谷	930	11.42	2.5	2.13	
合計	36,002	9 個分區	10,330	28.69	40	71.39	

資料來源：經濟部水資源局



圖 3-5 台灣地下水分區 (經濟部水資源局)

3.4 水井抽水及安全出水量分析

3.4.1 水井抽水

若要抽用地下水，則首先必須鑿井至地下水位以下，如此地下水可經由週圍土壤之孔隙，流至水井之中，直到水井中之水位與原地下水位平衡時為止。

一、淺層地下水

當地下水位於地表下數公尺距離內時，則開發該地下水時較為容易，可以人工挖掘之方式挖掘淺井即可達到，該地下水井之直徑通常約 1 公尺左右，對於此一類地下水井之抽水，可由獸力或人力為之，但近年來已漸漸以柴油引擎替代之。

在抽用淺層地下水之水量時，由於水井較淺、水量較少之因素，所抽取之水量有限，也因此其所要灌溉之面積大小亦有所限制。

二、深層地下水

當地下水位距地表層相當深時，則以人力挖掘地下水井似乎不可能。

深井之水量抽取必須深入地下，一般是以沉水抽水機為之，將沉水式抽水機深入到地下水位以下，而將水抽到地表面上，至於其驅動之方式，則以電動馬達或柴油引擎為之。

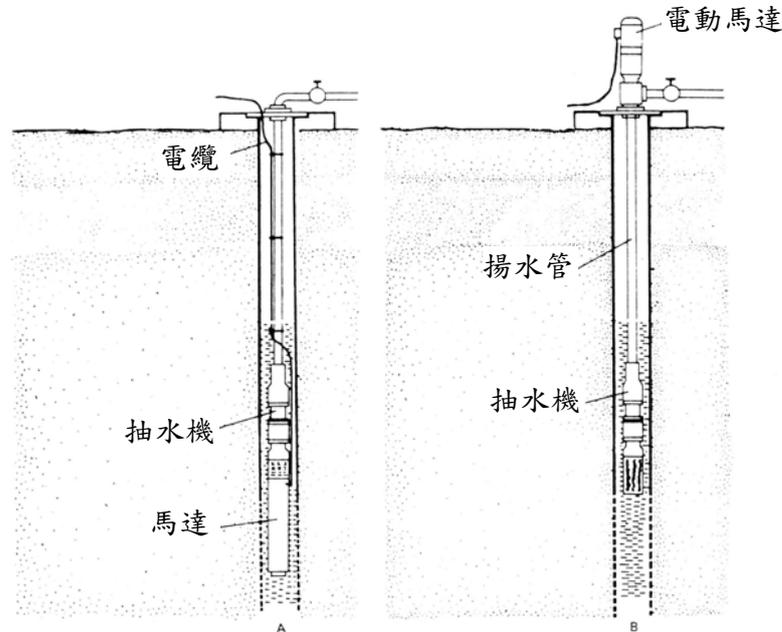


圖 3-6 深井與沉水式抽水機示意圖

圖 3-6 所示為深井之抽水裝備示意圖，在例子 A 中，抽水機與馬達均為沉水式，在例子 B 中，祇有抽水機為沉水式，抽水機是由地表上之電動馬達所驅動。

3.4.2 地下水量之分析及估算

一、地下蓄水量之分析

地下水為含蓄於地層中之潛水，其產生與地下岩層之性能相關，一優良地下含水層必須具有極大孔隙量（岩層孔隙容量占總體積之百分數，讓潛水能大量存儲其中）。

蓄水岩層更須具有高度透水性能，即各孔隙間必需脈絡相通，使潛水能自由滲透運行，相互挹注，水源方能供應不斷。

蓄水量之出水量（Specific yield）係指岩層孔隙中之飽和水量，受重力作用時而能流出之水量，所占岩層總體積之百分數。因有一部分水量是保留於孔隙中而不能流動者，故出水量應較岩層之孔隙量為小。現摘錄 Linsley 和 Franzini 兩氏合著「Elements of Hydraulic Engineering」一書中，各類岩層之出水性能列於表 3-2 中，供作估算參考。

表 3-2 各類岩層出水性能表

岩 層	孔 隙 量 (%)	出 水 量 (%)	透 水 係 數 (g.p.d./ft ²)
粘土	45	3	1
砂土	35	25	800
礫石	25	22	5,000
礫石及砂土	20	16	2,000
砂岩	15	8	700
石灰岩、頁岩	5	2	1
石英岩、花崗岩	1	0.5	0.1

二、地下水量之估算方法

1. 達西氏 (Darcy) 水流基本公式：

地下水之流速，達西氏根據水力學理論，最早研究所得結論經分析應為：任二點間之地下水流速與該二點之水頭差成正比，與二點間距離長度成反比例，且與土壤顆粒之粗細和其孔隙量有密切之關係。其基本計算公式為：

$$V = KI \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{或 } K = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(3.3)$$

式中 V = 地下水流速 (m/sec)

$$I = \text{地下水流坡降} = \frac{\text{兩點間之水頭差}}{\text{兩點間距離長度}} = \frac{h}{L}$$

K = 滲透係數 (Transmission coefficient)

$$\therefore V = K \frac{h}{L} \dots\dots\dots(3.4)$$

各類砂土之滲透係數，因土質粗細和孔隙量不同而相異。現將德國學者實驗之結果，列於表 3-3 中供作參考。

表 3-3 各類砂土滲透係數表

類	別	粒徑 (mm)	滲透係數 (m/sec)	測 定 者
河	砂	0.1~0.5	0.0025	Munster
河	砂	0.1~0.8	0.0088	"
細	礫	2.0~4.0	0.0300	Welitschkowsky
中	礫	4.0~7.0	0.0351	

2. 估算井內水量之基本原理

計算灌溉井內水量，係根據達西氏基本水流公式誘導計算之。即：

$$Q = SVA \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\because V = KI$$

$$\text{則 } Q = SKIA \dots\dots\dots(3.6)$$

式中 Q = 流入井內之水量 (cms)

S = 岩層之出水量 (%)

A = 抽水影響圈之橫截面積 (m^2)

3. 淺井之集水量

凡鑿井深度不大，或井底在不透水層之上時，皆謂之淺井(如圖 3-7)。由淺井中抽汲地下水時，井水面必逐漸下降，井管外之水面亦隨之下降，此水面下降之區域，謂之抽水影響圈 (Influence circle)。如地下水來源不斷時，此影響圈之擴層，將至其能供給汲取水之範圍為止。

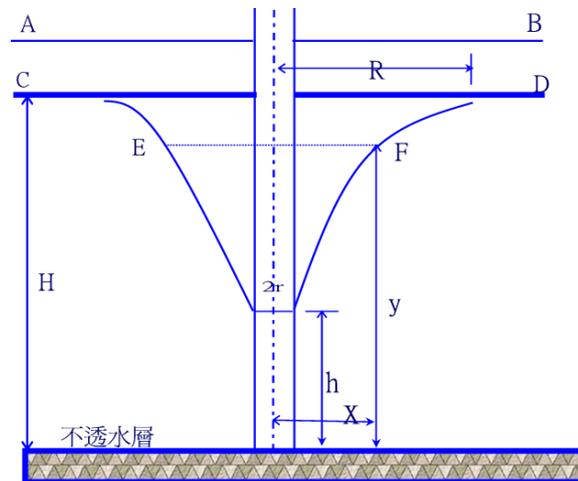


圖 3-7 淺井抽水情況

設 r = 井管之半徑

h = 井管中水深

H = 蓄水層之厚度

R = 抽水影響圈之半徑

x, y = 地下水面上任一點之坐標

故距離井管中心 x 處之進水面積應為

$$A = 2\pi xy$$

在該出水範圍內，能進入井內之水量為

$$Q = SKIA$$

$$\therefore I = \frac{dy}{dx}$$

$$Q = SK \cdot 2\pi xy \frac{dy}{dx}$$

$$\text{即 } Q \frac{dx}{x} = 2\pi SKy \cdot dy$$

$$\text{積分得 } Q \cdot \log_e x = \pi SKy^2 + C \dots\dots\dots(3.7A)$$

若 $x=r, y=h$

$$\text{則 } C = Q \cdot \log_e r - \pi SKh^2 \dots\dots\dots(3.7B)$$

代 (3.7B) 入 (3.7A) 中，即得

$$y^2 = \frac{Q}{\pi SK} \cdot \log_e \frac{x}{r} + h^2$$

若 $x=R, y=H$ 時，則

$$H^2 = \frac{Q}{\pi SK} \cdot \log_e \frac{R}{r} + h^2$$

令 $P = \pi SK$

$$\text{則 } Q = P \cdot \frac{H^2 - h^2}{\log_e \frac{R}{r}} \dots\dots\dots(3.7)$$

4.深井之集水量

深井開鑿入透水層時，地下水可自動湧入井內，其井內水量計算如後：

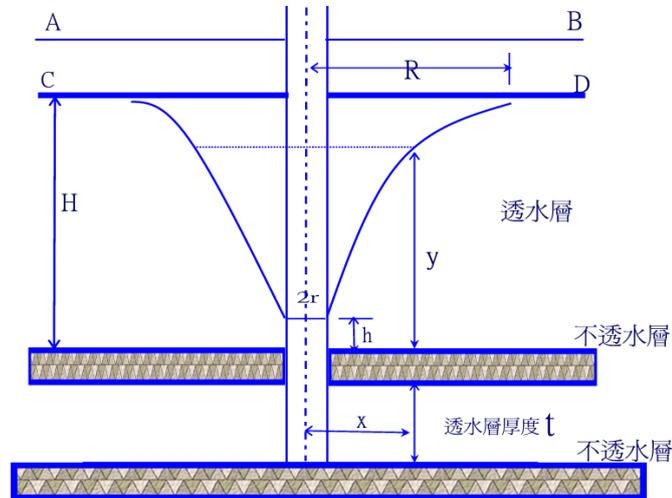


圖 3-8 深井抽水情況

設 t = 透水層之厚度

則 $A = 2\pi xt$

$$Q = SKIA = SK \cdot 2\pi xt \cdot \frac{dy}{dx}$$

$$\text{即 } Q \cdot \frac{dx}{x} = 2SKt \cdot dy$$

$$\text{積分得 } Q \cdot \log_e x = 2\pi SKty + C \dots\dots\dots(3.8A)$$

若 $x=r, y=h$

$$\text{則 } C = Q \cdot \log_e r - 2\pi SKth \dots\dots\dots(3.8B)$$

代 (3.8B) 入 (3.8A) 中，即得

$$y = \frac{Q}{2\pi SKt} \cdot \log_e \frac{x}{r} + K$$

若 $x=R, y=H$ 時，則

$$H = \frac{Q}{2\pi SKt} \cdot \log_e \frac{R}{r} + h$$

$$Q = \frac{H-h}{\log_e \frac{R}{r}} \cdot 2\pi SKt$$

令 $P = \pi SK$

$$\text{則 } Q = 2tP \frac{H-h}{\log_e \frac{R}{r}} \dots\dots\dots(3.8)$$

在上述 3.7 和 3.8 式中之 P 值，宜根據實地測量 S、K 值推算之。

3.4.3 安全出水量分析

一、安全出水量之定義探討

地下水「安全出水量」(Safe yield)並非一定值，同一地下水區中，在不同時間可能有不同之安全出水量，例如產業型態、能源價格、地面水供應情況等，因抽用水量不同，均會影響安全出水量之大小，而安全出水量大小更牽涉到地下水管制方案之適宜性，並影響施行管制之成效，惟何謂「安全出水量」，則因人為因素與適用之抽水量不同，使各家之解釋互不類同而有不同定義，分別說明如下：

- 1.安全出水量這一術語，於 1915 年由美國 Lee 氏首度提出，其後並經許多學者、專家從各種不同的觀點提出看法，例如永續性出水量 (Perennial yield)、開採出水量 (Mining yield)、水域出水量 (Basin yield)、含水層出水量 (Aquifer yield)、經濟安全出水量 (Economic safety yield)、法規安全出水量 (Legal safety yield)、優選出水量 (Optimal yield) 等。
- 2.根據葉弘德教授及日本學者柴崎達雄等人對於地下水安全出水量的探討 (中鼎，1999)，認為一般地下水的開發，由於缺乏有效的管理，不少的抽水井，集中於局部區域、且/或於短時間內抽取大量的地下水，使地下水文成為一動態系統，已不符合「安全出水量」的定義。
- 3.沈 (1989) 曾提出所謂地下水安全出水量之定義，大概可從兩個觀點加以探討：其一從理論上定義安全出水量，也就是從水文收支平衡的理論上所推求的年補注量。其二是從水權上定義安全出水量，也就是從法律及經濟的立場定義安全出水量。前者可稱為水文的安全出水量 (Hydrological safety yield)，後者可稱為經濟的安全出水量 (Economic safety yield)；兩者之間有相當大的差距。水文的安全出水量以不超過年

補注量為限，其型式也有兩種：其一為倘若抽用量與補注量相平衡，則地下水位不會變化，此時補注量即為安全出水量，此法通常適用於累積了足以進行地面水平衡計算資料的地下水流域；其二為當開始抽水時之水位與使用一年後之水位相同時，此一年之用水量應等於安全出水量。以經濟為必要條件所定義的安全出水量是以效益觀點來考慮，其考慮因素除了要考慮地下水使用花費外，在台灣亦應將地層下陷所衍生的問題及社會成本納入考量，就目前來說，經濟觀點所定義的安全出水量是否適用，除了需要深入研究外，亦應從法律與社會的觀點探討其可行性。

4. 除了水文與經濟之外，安全出水量之定義也可從「水質條件」與「減緩地層下陷」的不同觀點分別進行研究。所謂以「水質條件」推估安全出水量，主要的觀點就是決定使用地下水的容許界限，以避免海水入侵到沿岸地區的含水層，因而造成地下水利用的問題與社會環境問題。「減緩地層下陷」亦是一個決定安全出水量的方法，適當的地下水位應可從土壤力學的觀點求出，而對應的抽水量亦可據以推估。
5. 由以上討論，可見分析安全出水量並不單只為抽用含水層水量的角度，其尚需考量自然環境及社會經濟等因素，但即使至目前，由於各種看法的分歧，尚無一清晰之定論。大致可歸納出「安全出水量」的定義，雖可從水文、經濟、水質和地層下陷的不同觀點進行研擬，但對於濁水溪沖積扇地層下陷區而言，各有其應用上的困難。目前由「台灣地下水觀測網整體計畫」所得資料，並未發現濁水溪沖積扇有海水入侵之現象，故以「水質條件」推估濁水溪沖積扇安全出水量，並不適當。其次以地層下陷觀點來看，濁水溪沖積扇沿海地區早已發生嚴重之地層下陷問題，已失去防患於未然之先機，當前所迫切需要面對的問題是如何減緩地層下陷的持續惡化。以地層下陷問題發生原因來看，此時如全面禁抽地下水對先前發生之地層下陷問題已改善不大，因為如能嚴格限制抽水量且讓地下水水位不再降低或讓其逐年水位上升，亦能達成減緩地層下陷持續惡化目標。
6. 曹（1989）指出地下水安全出水量常見的計算方法有 7 種：水文平衡公式法、地下水盤存法、希祿(Hill)法、哈定(Harding)法、辛普森(Simpson)法、應用達西定律、水位上升與比流率法等等。其中希祿法需長期水位及抽水量資料，哈定法需長期水位及進水量資料，辛普森法水力坡降不易決定，水位上升與比流率法需長期水位及抽水量資料，由於濁水溪沖積扇地下水觀測站網初成，地下水位及抽水量的資料尚欠缺，長期資料取得不易，目前現有資料尚不足以使用這些方法估算本區正確之安全出水量（嘉義技術學院，1998）。國內常用研究方法有：水收支平衡法與地下水數值模式推估。不同估計方法各有其適用狀況，以下將按國內學者

常用研究方法予以分類，以前人的研究個案，探討各種地下水安全出水量估計方法的特性。

二、國內安全出水量之估計探討

1. 水文平衡法

Linsley (1949) 利用水文平衡觀念計算安全出水量，平衡方程式如下式所示：

$$G = P - Q_s - E_t + Q_g - \Delta S_g - \Delta S_s \dots\dots\dots(3.9)$$

- 其中
- G = 為安全出水量
 - P = 為降雨量
 - Q_s = 為地面逕流
 - E_t = 為蒸散量
 - Q_g = 為地下水淨流入量
 - ΔS_g = 為地下水蓄水容積的變化
 - ΔS_s = 為地面水蓄水容積的變化。

假如以年平均為基礎，則ΔS_s 通常可視為零。上式各項都容易受到人為改變的影響。林等 (1998) 估算彰化地層下陷地區各層平衡出水量介於 0.734 至 1.62 億噸/年間。

2. 地下水數值模式推估

應用地下水數值模式模擬逆向推估地下水安全出水量，一般係將安全出水量定義為自然補注量，故其理論與補注量之推估相同。葉 (1998) 將安全出水量定義為自然補注量，以 MODFLOW 模擬濁水溪沖積扇安全出水量為 8.97 億噸/年，中興 (1999) 將合理出水量定義為自然補注量，也以 MODFLOW 模擬濁水溪沖積扇安全出水量為 8.2 億噸/年。為了達到減緩地面繼續下陷的政策目標，「減緩地層下陷」亦是一個決定安全出水量的方法。林 (1998) 以 MODFLOW 模擬估算使彰化地層下陷區低於零水位面積於 5 年內減少一半之安全出水量約為 4.58 億噸/年，土木科技 (1997) 也以 MODFLOW 模擬雲林地區符合地層下陷防治方案量化目標之安全出水量為 3.6 億噸/年。

第四章 作物制度與水源供應

4.1 前言

農業生產須依其農地生產環境、土壤性質、作物栽培種類與技術、氣候水文條件擬定其耕作方式與灌溉制度，得以發揮農地高度利用，提昇生產效益。為配合農業區域之立地條件予以規劃其經濟發展，適地適時適作及水資源充分利用，則灌溉制度之推行乃為重要因素。茲以水稻灌溉為例，台灣分為台北、新竹、台中、嘉南、高雄、台東、花蓮等七個地區，均有各種不同之耕種輪作方式。

4.2 台灣水田之耕種輪作方式

4.2.1 一般方式

依各地區之氣候、降雨及耕作習慣，有下列幾種主要耕作方式與灌溉制度：

1. 雙期作田：一年中可種植兩期水稻，即分第一期及第二期作水稻之農田。
2. 單期作田：
 - (1) 前單期作田：每年供灌第一期作水稻之農田。
 - (2) 後單期作田：每年供灌第二期作水稻之農田。
3. 輪作田：
 - (1) 二年一作田：以二年為輪迴，可供灌一期作水稻之農田。
 - (2) 三年一作田：以三年為輪迴，可供灌一期作水稻之農田。
 - (3) 三年二作田：以三年為輪迴，可供灌兩期作水稻之農田。
 - (4) 其他尚有四年二作田、二年三作田、四年輪作田等。
4. 旱作田：缺乏水源或無水源可供灌溉之旱作物栽培農田。
5. 蔗作田：耕地以種植製糖用甘蔗為主之農田。
6. 另外就作物栽培時期或作物種類之不同，尚有下列耕作方式：
 - (1) 中間作田：係指在第一期作水稻後與第二期作水稻田間休閒期，在水稻田種植短期作物。另因受水源之限制，於豐水期每年5至10月間，可供灌水稻者，稱為中間作田。
 - (2) 冬季裡作：第二期作水稻後與隔年第一期作水稻種植前休閒期間在水田所種植之作物。
 - (3) 水田混作：指在水稻田之灌區中，除植水稻外，亦種植其他作物者。

4.2.2 嘉南高雄地區方式

嘉南高雄地區為台灣重要農作區，唯受灌溉水源限制，因而衍生較為特殊

之輪作制度。嘉南地區按照灌溉規定，三年間為二期作水稻、一期作甘蔗、三期作雜作。高雄地區由於高屏溪流貫其間，灌溉較為便利，故水田中雙期作田所占比例甚高。主要輪作方式在雙期作田之夏季中間作有瓜類，冬季裏作以大豆、紅豆等較為普遍。在美濃一帶冬季菸草栽培極盛，此外甘薯、蔬菜及瓜類亦為重要之冬季裏作。兩區詳細之輪作制度如圖 4-1 及圖 4-2 分別表示之。

4.2.3 其他方式

為避免稻米生產過剩，在政府獎勵休耕之情況下，由於第二期作水稻產量較第一期作為低，故農民申請休耕以第二期作者為多。第二期作屬雨季，如轉種旱作，低地水田易受淹水損害，且水田原具有之調蓄洪水功能及補注地下水機能，將會降低而影響水之生態循環。為因應加入世界貿易組織（WTO）後，水稻栽培面積可能須暫時性減少，為善加利用現有水田及灌溉輸配水系統，加強推動水田生態環境保護及增進生態貢獻措施。農委會近年來積極推動水田生態維護及涵養補注地下水計畫，獎勵農民加高其休耕水田排水出口高度，盡量維持蓄水狀態，將水田當作地下水補注池，引灌豐水期河川多餘之逕流水入田，提高逕流利用率，增進補注涵養地下水功能。唯第一期作常面臨旱季，灌溉用水在支援其他標的用水後，常導致插秧後之農田休耕，近年來迭有改變耕作制度之議，如將第一期作之整田插秧期延後至梅雨季以避開旱季等，但仍應考量稻作品種之適應性及評估收穫期之颱風侵襲風險性。

4.3 作物制度

較為精確之作物灌溉需水量估算方式，係以作物之耕作制度為基準，在耕作制度確立之下，依其作物之生長期推估合宜之灌溉需水量。基本之作物耕作制度所提供的資料有下列各項（FAO,1992）：

4.3.1 作物耕作制度之範例

(一)基本資料

- 1.種植何種作物
- 2.何時開始種植（種植日期）
- 3.各種作物之種植面積

(二)釐定農民之灌區耕作制度

根據以上這些詳細之資料，則可釐定各農民之灌區耕作制度，以甲農場之作物制度為例：

- 1.洋蔥種植期為 4 月 15 日～9 月 15 日，面積為 1 公頃。
- 2.馬鈴薯之種植期為 10 月 15 日～2 月 15 日，種植面積為 1/2 公頃，種植地區與洋蔥相同。
- 3.棉花種植期為 7 月 10 日～1 月 20 日，種植面積為 1.5 公頃。

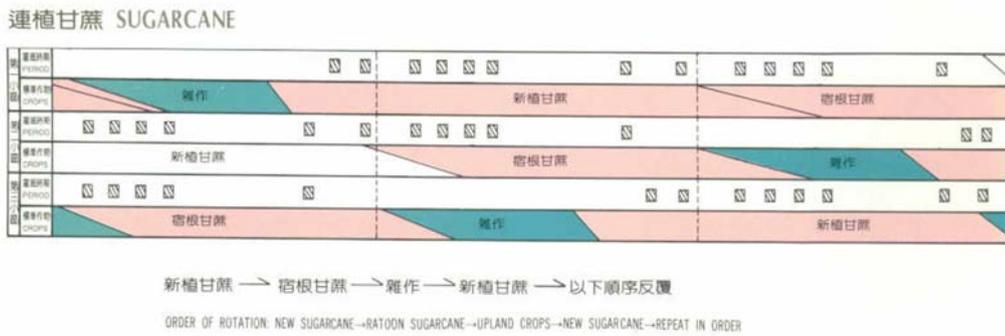
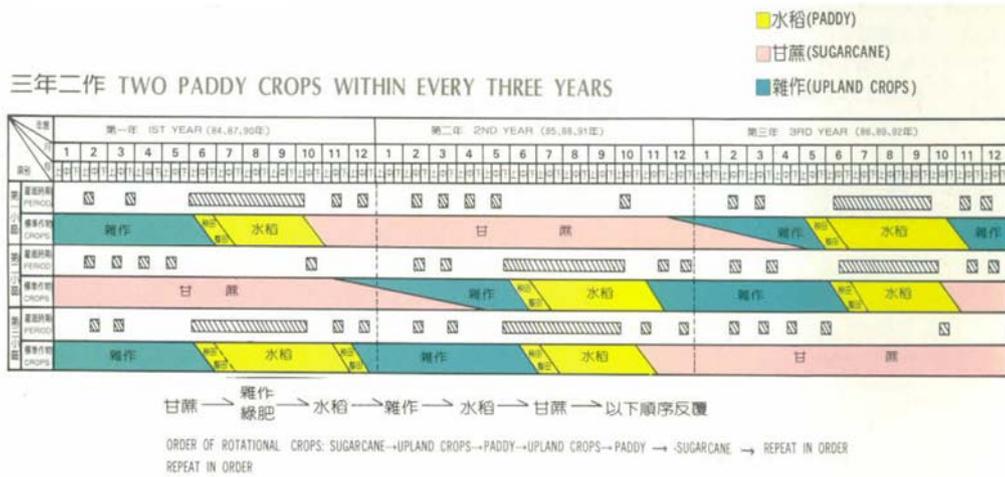


圖 4-1 曾文--烏山頭水庫灌區耕作方式與灌溉制度標準圖

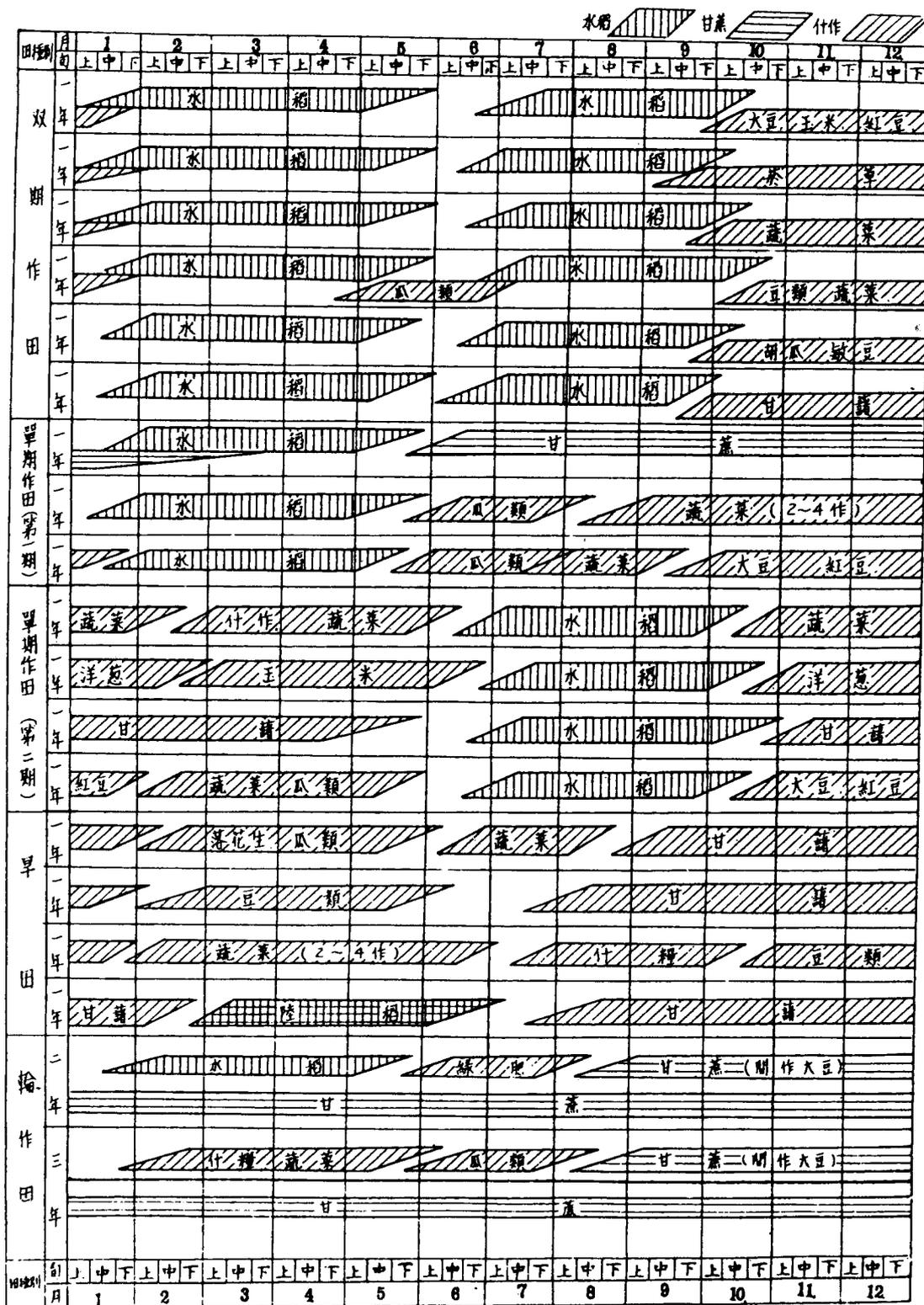


圖 4-2 高雄區作物輪作方式圖

(三)甲農場各種可行耕作制度之說明

根據各作物之種植時期，則可以線性圖表示如圖 4-3。

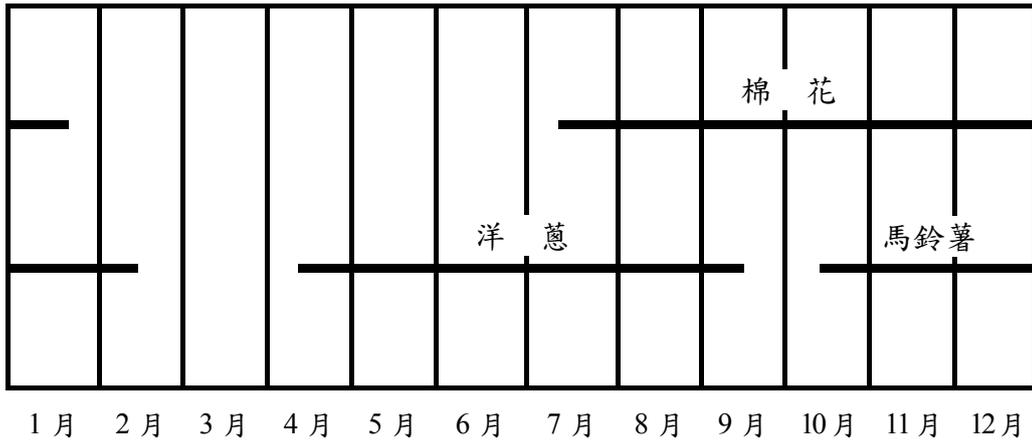


圖 4-3 線狀之作物制度示意圖

- 1.由作物之耕作制度圖表中可以知道在甲農場中，對於洋蔥之種植始於4月中旬，而於9月中旬收成，在隨後之短短1個月內於該地區繼續種植馬鈴薯，收成期約於隔年之2月中旬左右。此外，甲農場還種植另一作物一棉花，其生長期則長達半年之久，期間為7月中旬到隔年之1月下旬。
- 2.如果在作物制度圖表中，對於各作物之種植面積資料亦有詳細之資料提供時，則作物制度圖表中之線性圖會擴大成條狀圖，而其線條之寬窄則表示該作物之種植面積之大小，為便於說明起見，以下列例子說明之。每公頃面積以條狀寬度約0.5公分表示時，而條狀圖之長度表示作物之生長期，則其所構成之圖表稱為作物之耕作制度圖。
- 3.圖4-4即表示在甲農場種植1.5公頃之棉花，其種植期自7月10日到隔年之1月20日，1公頃之洋蔥種植期自4月中旬到9月中旬，及0.5公頃之馬鈴薯，種植期自10月中旬到隔年之2月中旬為止。

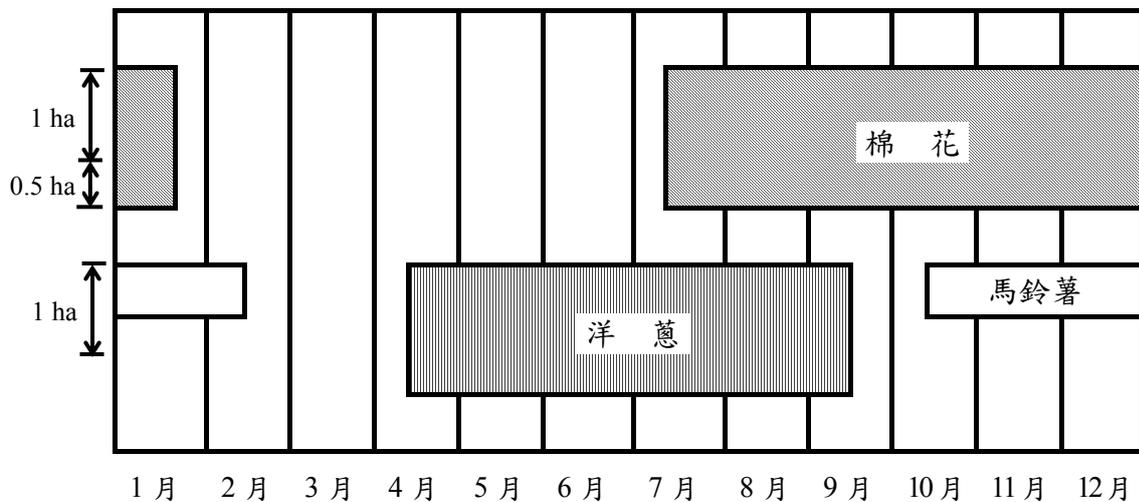


圖 4-4 條狀之作物制度示意圖

4.作物制度圖表中還可以明確的記載相關之農事資料。例如作物之施肥期、除草期及作物之移植期等等，當然亦可以將農場範圍增加，記錄較大區域之情況，將之擴充為數個農場或整個灌溉區域，而其與單一農場之差異主要是在於單一農場係假設作物之種植是在一特定之日期，然在實際上對於整個灌溉是無法在同一時間播種，其原因有：

- (1)整地時，對於機器與勞力之安排，各田區必須依照機器或勞力之分配時間進行整地工作。
- (2)農民有其他要事耽擱，因此必須延後種植。
- (3)對於田間灌溉水量之需求無法同時提供，因此其計畫之播種期，會隨著施灌面積之加大而需要更多之時間。

(四)錯開種植方式

1.對於作物之播種期便分布於一適當之時間，此一情形稱為錯開種植期，或錯開種植之耕作制度。

例如：當最早種植之農民於4月1日開始種植洋蔥，其餘之農民則隨在其後，以或多或少之錯開期距進行種植，直到最後一位種植完成，其日期為4月底。因此在耕作制度表上，洋蔥之錯開期距為1個月，因此在作物制度圖表終將以圖4-5之方式表之。

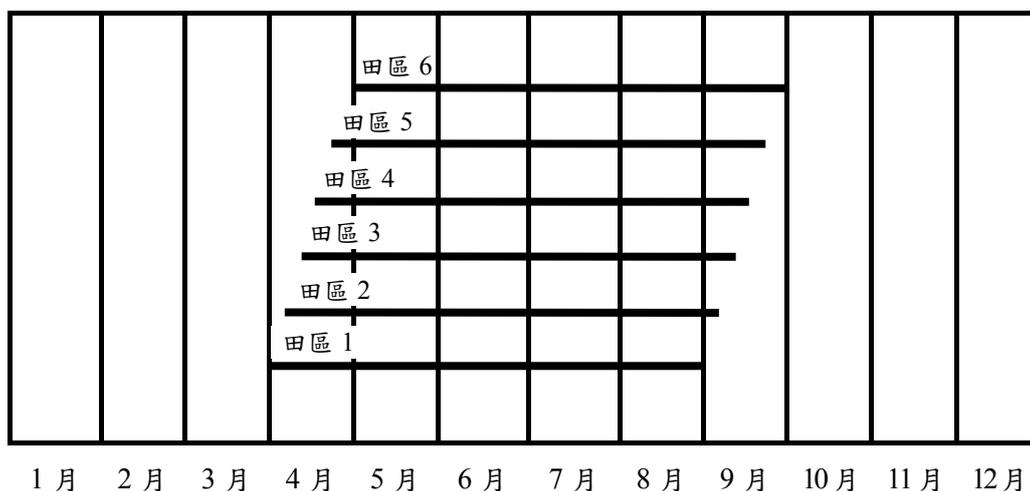


圖 4-5 洋蔥之錯開種植示意圖

2.在圖4-5中每一條線表示一田區，或一特定之面積，而其開始種植期在線之起點處，且在圖中之錯開種植期，將與生長期之錯開日數相同。

3.在正規之耕作制度圖表中，介於最早與最晚種植期之間的線條通常省

略，而以一平行四邊行之條狀圖表示之，在條狀圖底端之部分為最早種植者，而條狀圖上端之部分則表示最晚種植之日期，詳如圖 4-6 所示。

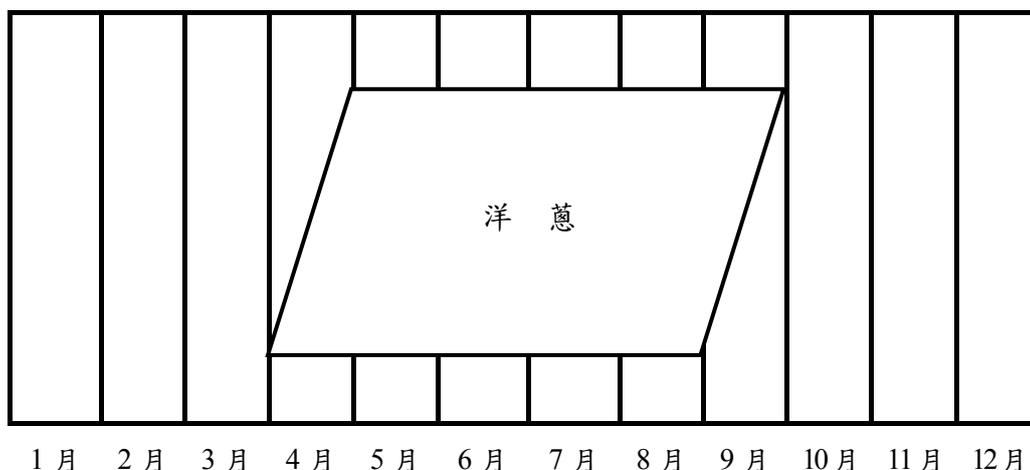


圖 4-6 平行四邊型之作物制度示意圖

4.3.2 大面積之作物制度

- 一、參照單一農民之耕作制度，擴展各種種植作物之面積至整個計畫期限，各不同作物之耕作面積大小，可經由耕作制度圖中之平行四邊形之高度大小得知，垂直方向之高度代表整個耕作面積之大小。例如在一灌區面積為 150 公頃時（參考圖 4-7），洋蔥之種植面積為 60 公頃，且其生長期為 5 個月，洋蔥之種植期自 4 月 1 日開始，錯開期為 1 個月，馬鈴薯之生長期為 4 個月，其種植面積大小為 30 公頃，自 10 月 1 日開始種植且其種植錯開期距為 1 個月，棉花之生長期為 190 天，種植面積為 75 公頃，種植期自 7 月開始，且其生長期之錯開期距為 45 天。
- 二、在圖 4-7 之空白處，表示該時段中，該面積並未種植任何作物，例如在 3 月份時，於計畫中並無種植任何作物，5 及 6 月份時，於計畫中僅種植 60 公頃之洋蔥，因此在 150 公頃之可耕作面積中，尚有 90 公頃閒置。棉花之種植面積為 75 公頃，種植期自 7 月開始，且其生長期之錯開期距為 45 天。故自 8 月中旬完成棉花種植起至 9 月洋蔥開始收成前，總種植面積達 135 公頃，為年度實際最大種植面積，此時僅有 15 公頃之土地空置。洋蔥收成後，連原未種植 15 公頃共 75 公頃中，自 10 月起錯開種植馬鈴薯 30 公頃。

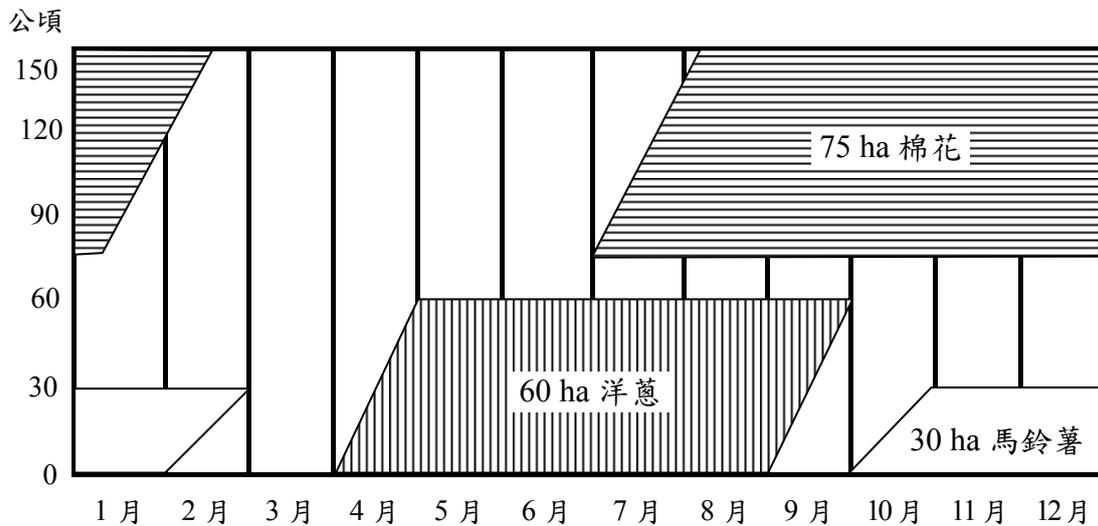


圖 4-7 耕作面積為 150 公頃之作物制度示意圖

4.4 灌溉需水量計算方法

灌溉需水量與實際之計畫灌溉所需水量可經由近似估算法推估之，其所根據乃簡單之單一法，亦即在灌溉期中單位面積所需之流量為固定之情形。

然當有正確之作物與氣象之資料時，則有較精確之估算粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 之方法，因此對於營運操作計畫灌溉需水量 (SIN_{op})，可以加以調整，讓其與實際之灌溉需求相符。然當計畫之區域中有多種作物時，以此精確之估算方式進行估算時所需之計算亦較為複雜，在本節中將以一實例說明輔助專業技術人員與經理人員，瞭解在計算計畫灌溉需水量時，基礎理論中各參數之關係。

本章及第五章採用之各主要符號及解說，請參閱附錄 I 及附錄 II，本節所列範例取材自 FAO (1992)。

4.4.1 單一作物系統之計畫灌溉需水量

1. 假設在一灌溉區域中，其計畫灌溉面積為 150 公頃，有 60 公頃之面積種植洋蔥，其播種期之錯開日數為 1 個月，即由 4 月 1 日起到 4 月 30 日止。
2. 最早種植之洋蔥，在 4 月份之灌溉需水量為 98 公厘，相當於每天 3.3 公厘之需水量 (3.3 公厘/日)，持續 30 天，隨後並未種植直到 4 月 15 日才開始種植第二批。因此第二批種植之洋蔥在 4 月份之前半月不需要用水，而其後半月之需水量為 15×3.3 公厘或 49 公厘，而最後一批之種植是在 4 月底，因此該批洋蔥在 4 月份不需要任何之灌溉水量。
3. 在此例中，所要強調說明的是對於洋蔥之計畫灌溉需水量，在最早及最晚種

植期間，灌溉需水量之估算方式，一般而言，洋蔥之平均灌溉需水量（或其他作物）之估算方式，是以最早種植之需水量 IN_e 及最晚種植需水量 IN_l 的平均值，其表達方式如下式：

$$IN_{av} = \frac{IN_e + IN_l}{2} \text{ (mm / month)}$$

4. 月灌溉需水量 (IN_{av}) 可表示的是針對某一特定區域中，在該月所需灌溉之水深，然而，灌溉之施灌流量，並無法在一特定時間內正確的以一均勻之水深施灌於區域中，但是流量單位（每秒所通過之公升水量，或每秒可通過之立方公尺水量）卻可以明確的表示之。因此月灌溉需水量 IN_{av} 必須加以轉換為流量之單位，故淨計畫灌溉需水量 SIN_{net} 可以表示如下式：

$$SIN_{net} = \frac{IN_{av} \text{ (mm / month)} \times \text{Area (ha)} \times 10,000}{30 \text{ (days / month)} \times 86,400 \text{ (s / day)}} \text{ (l/sec)}$$

$$\text{或 } SIN_{net} = \frac{IN_{av} \text{ (mm / month)} \times \text{Area (ha)}}{260} \text{ (l/sec)}$$

5. 若在特定區域中所種植之作物在播種時有錯開種植期之情形時，此時若要決定灌溉需水量，則必須分別估算最早種植和最晚種植期之灌溉需水量。以下之例子可協助現地專家及經理人員，熟悉前述之計算操作。

【例題】 試決定洋蔥之灌溉需水量（以下所列均為假設之資料）。

假設資料如下：

作物：洋蔥	最早種植：4月1日
種植面積：60ha	最晚種植：4月30日
各生育期之生育日數	作物係數 (K_c)
初始階段 15天	0.5
成長階段 25天	0.75
中間階段 70天	1.05
後期階段 40天	0.85

在本例中每月給定之潛能蒸發散量 (ET_0) 為：

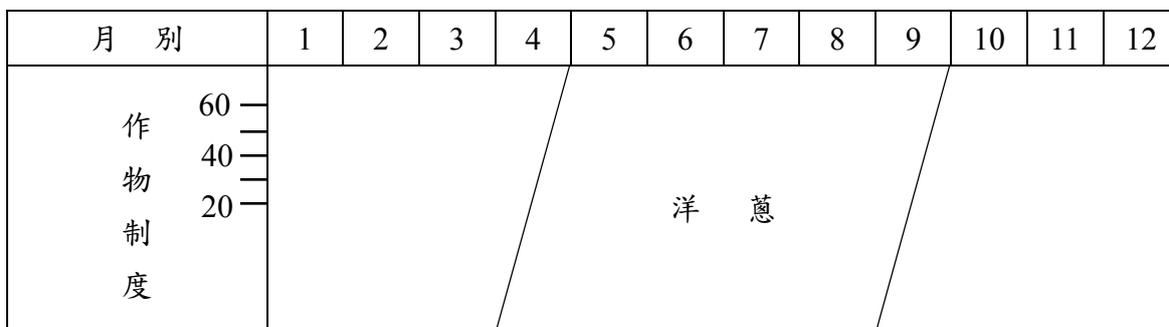
月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET_0 (mm/day)	4.7	5.1	5.2	5.6	5.7	6.1	5.8	5.5	5.6	5.2	4.3	4.6

有效雨量 (P_e):

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P _e (mm/month)	1	3	7	10	12	13	72	82	16	7	1	0

【解題計算步驟】

步驟 1：依據平行四邊型之作物制度示意圖繪製作物耕作制度圖



步驟 2：計算最早種植之需水量 IN_e

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET ₀ (mm/day)				5.6	5.7	6.1	5.8	5.5				
生 長 期	(該月之日數)			IS	DS	Mid		Late				
				15	15	10	20	30	20	10	30	
生長期 K _c				0.5	0.75	1.05		0.85				
月別 K _c *1				0.65	0.95	1.05	1.0	0.85				
ET _{cr} (mm/month) *2				108	162	192	174	141				
P _e (mm/month) *3				10	12	13	72	82				
IN _e (mm/month) *4				98	150	179	102	59				

註：為方便計算，本例假定每月天數固定為 30 天

*1：每個月之平均 K_c 值，例如：5 月份之作物係數 K_c = 0.75 × (10/30) + 1.05 × (20/30) = 0.95

*2：ET_{cr} (mm/month) = ET₀ (mm/day) × 該月之作物生長日數 × 月作物係數 K_c

*3：P_e (mm/month)：月別有效雨量

*4：IN_e 或 IN_l (mm/month) = ET_{cr} (mm/month) - P_e (mm/month)

步驟 2 中之生長期以 IS, DS, Mid, Late 區分為四階段，分別代表初始階段、成長階段、中間階段及後期階段。

步驟 3：計算最晚種植需水量 IN_l （同步驟 2 之方法）

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET_0 (mm/day)					5.7	6.1	5.8	5.5	5.6			
生 長 期		(該月 之日 數)			IS	DS	Mid		Late			
					15	15	10	20	30	20	10	30
生長期 K_c					0.5	0.75	1.05		0.85			
月別 K_c *1					0.65	0.95	1.05	1.0	0.85			
ET_{cr} (mm/month) *2					111	174	183	165	143			
P_e (mm/month) *3					12	13	72	82	16			
IN_l (mm/month) *4					99	161	111	83	127			

註： IN_l 同上*4 之說明

步驟 4：計算平均月灌溉需水量 IN_{av}

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IN_e (mm/month)				98	150	179	102	59				
IN_l (mm/month)					99	161	111	83	127			
IN_{av} (mm/month)				49	125	170	107	71	64			

步驟 5：使用下列公式決定淨計畫灌溉需水量 SIN_{net}

$$SIN_{net} = \frac{IN_{av}(\text{mm/month}) \times \text{Area}(\text{ha})}{260} \quad \ell/s$$

例如：若 4 月之 $IN_{av} = 49 \text{ mm}$ ，則 SIN_{net} 等於 49 mm 乘上面積 60 公頃 ，再除以 260 ，即

$$\frac{49\text{mm} \times 60\text{ha}}{260} = 11 \quad \ell/s$$

依照相同之方法，分別計算 5、6、7、8 及 9 月份之情況，其結果為：

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SIN_{net} (ℓ/s)				11	29	39	25	16	15			

必須特別注意的是在以上例子所計算之每個月之灌溉需水量計算結果是不一樣的，如果與近似估算方法相比較，可以發現，由近似推估法所得之結果，其淨計畫灌溉需水量 SIN_{net} 為單一之值，因此如果假設淨灌溉需水量， IN_{net} 為 1 公升/秒/公頃 時，則面積為 60 公頃 之情況下，其所需流量為 $60 \ell/s$ ，其值與本例所估算之尖峰值（6 月份 $39 \ell/s$ ）高出約 50% 左右。

對於本例中之計算方式與結果，可以簡單的應用附錄IV.中所定之表格 1 即可以計算灌溉需水量。

4.4.2 多種作物系統之計畫灌溉需水量

在一整年當中，若要同時決定一種以上之作物之灌溉計畫時，經常要用到決定多重之作物制度之灌溉計畫需水量。而單一作物系統已經在前述說明過，而多重作物系統之灌溉計畫需水量之決定，可依據各不同月別下之灌溉計畫需水量加以累積而得，其與決定單一作物系統之方法相同，故只要依照以下之三個步驟即可順利完成計畫。

步驟 1：繪製多重作物之耕作制度系統圖，其方式如 4.3 節所述。

步驟 2：決定個別作物之計畫灌溉需水量，以附錄IV中之資料表格 1 依照 4.3 節中之步驟逐個完成之。

步驟 3：將各月別之計算結果累加，而總計畫灌溉需水量即可求得，其單位為每秒所通過之公升數 (l/s)

如附錄IV中之資料表格 2 所示，其設計之目的就是在於便利計算多重作物系統下之計畫灌溉需水量表。

【範例】 在以下之假設前提下，試決定計畫灌溉需水量。

1. 氣象資料與前述之例子相同。
2. 計畫灌溉面積：150ha (如圖 4-7 所示)
3. 假設資料：

名 稱	作物 1 洋 蔥	作物 2 棉 花	作物 3 馬鈴薯
種植面積	60ha	75ha	30ha
播種日期	4/1~4/30	7/1~8/15	10/1~10/30
生 長 期	150 天	190 天	120 天

【計算】

步驟 1：多種作物之耕作制度圖，由附錄IV.資料表格 2 之形式可由圖 4-7 表示之，其在縱軸之大小表示計畫之灌溉面積大小，在此為 150 公頃。

步驟 2：對於各作物之灌溉需水量之決定，可由附錄IV.資料表格 1 之型式得之，在此不再重複，其結果將直接複製至附錄IV.資料表格 2 中。

步驟 3：淨計畫灌溉需水量可由個別作物之月灌溉需水量加總而得。

計算之結果如下所示：

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物制度												
SIN_{crop1}^* l/s				11	29	39	25	16	15			
SIN_{crop2}^* l/s	22	14					1	6	30	41	42	38
SIN_{crop3}^* l/s	17	8								4	16	15
SIN_{crop4}^* l/s												
SIN_{crop5}^* l/s												
SIN_{net}^* l/s	39	22		11	29	39	26	22	45	45	58	53

*單一作物之計畫灌溉需水量之計算方法同 4.4.1 所示。

4.4.3 以水稻為主之耕作制度下之灌溉需水量

一、由水收支平衡公式推算

水稻田之垂直剖面可以系統性區分為湛水 (ponded water)、對水流程低阻抗性之泥濘層 (muddy layer)、對入滲水流具高阻抗性之犁底層 (俗稱牛踏層 plow sole)，以及其下之未翻耕層 (non-puddled subsoil) (參考圖 4-8)。水稻淨灌溉需水量是由作物之蒸發散量， ET_{rice} ，扣除有效雨量 P_e ，除此之外尚須需考慮到田間之滲漏損失 PERC (含側向滲漏及垂向滲漏)。當水稻開始種植之前，必須提供一相當大之水量，讓作物根系之土壤成過飽和泥濘狀態，稱為整田，其用水量稱為整田用水量 SAT，其量之大小約為 200 公厘。最後，由於水稻之生長過程中，田面需經常保持湛水狀態，因而有湛水深 WL，其水深在台灣約為 60 公厘。因此對於水稻田之淨灌溉需水量之決定公式可以下式表示：

$$IN_{net, rice} = ET_{rice} + SAT + PERC + WL - P_e (mm / month)$$

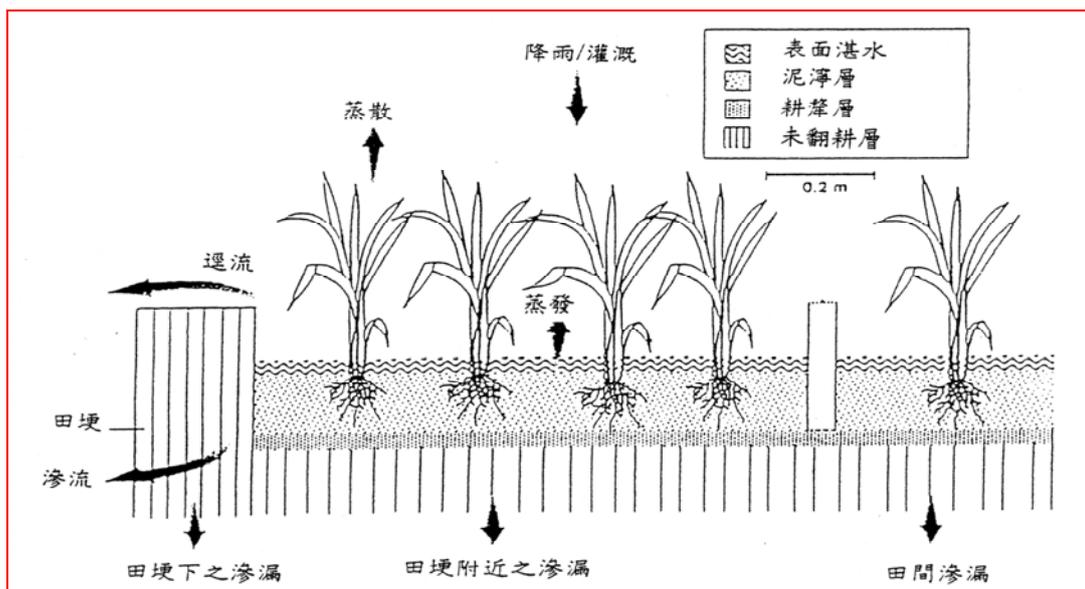


圖 4-8 水田系統剖面及水收支平衡圖 (Woperreis et al., 1994)

若考慮水稻有錯開種植期之情形時，則可利用上式分別求取其最早與最晚種植時期之淨灌溉需水量，然後參照 4.4.1 節計算單一作物之方法來計算水稻之平均灌溉需水量。至於水田在旱季或休耕期時種植之作物，如雜糧、田菁或油菜等，其估算灌溉需水量之方式，則如同前節所述。

【例題】一水稻之灌溉區域面積 150 公頃，在雨季時種植，試決定其計畫灌溉需水量及土壤飽和水量 SAT、湛水深 WL、滲漏量 PERC。

假設：

種植時期：最早：6 月 16 日

最晚：8 月 1 日

生長期：130 天

作物係數：

	K_c
第 0~60 天	1.1
中間階段 (40 天)	1.15
最後階段 (30 天)	1.0

SAT : 200mm

最早：5月16日到6月15日

最晚：7月1日到7月31日

PERC：6mm/day=180mm/month

WL：100mm

最早：6月16日到7月15日

最晚：8月1日到8月30日

【計算】

依據資料表格3（空白表格如附錄IV中之資料表格.3所示）計算之：

步驟1：繪製作物制度圖表，將SAT、WL及ET_o繪入

月別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物制度						SAT 200mm		WL 100mm		水稻 150ha		
ET _o (mm/day)				8.1	7.6	6.5	4.1	4.2	4.5	4.6	5.1	5.3

步驟2：依照4.4節所提之方法計算灌溉需水量IN_e（mm/month）

月別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生長期			(該月之日數)			Day 0-60		Mid		Last		
						15	30	15	15	25	5	25
生長期之K _c						1.1		1.15		1.0		
每月之K _c						1.1	1.1	1.13	1.13	1.0		
ET _o mm/month						107*	135	142	152	115**		
SAT mm/month					100	100*						
PERC mm/month						90*	180	180	180	150**		
WL mm/month						50*	50					
P _e mm/month					2	50	137	166	78	6		
IN _e mm/month					98	297	228	156	254	259		

註：* 15天，**25天

步驟 3：同步驟 2 之方法估算 IN_l (mm/month)

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生 長 期					(該月之日數)			Day 0-60		Mid		Last
								30	30	30	10	20
生長期之 K_c								1.1		1.15	1.0	
每月之 K_c								1.1	1.1	1.15	1.13	1.0
ET_c mm/month								139	149	159	161	53*
SAT mm/month							200					
PERC mm/month								180	180	180	180	60*
WL mm/month								100				
P_e mm/month							137	166	178	6	0	0
IN_l mm/month							63	253	151	333	341	113

註：* 10 天

步驟 4：計算平均月別灌溉需水量 IN_{av} (mm/month)

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IN_{av} mm/month					49	149	146	205	203	296	171	57

步驟 5：決定每月之 SIN_{net} (ℓ/s)

$$SIN_{net} = \frac{IN_{av} (\text{mm/month}) \times \text{Area} (\text{ha})}{260} \quad (\ell/s)$$

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SIN_{net} ℓ/s					28	86	84	118	117	171	99	33

二、臺灣常用之推算方式

根據歷來試驗觀測統計紀錄，每一期作之水稻蒸散量在 300 公厘左右，而田間蒸發量亦在 300 公厘上下。雖兩者因氣象及作物品種有所差異，然其變幅相差不大。惟田間滲漏量，因土壤質地以及地形、地勢等之不同，差異頗為懸殊。因此，估計田間需水量時，若能將田間滲漏量求得，再加上約估之作物蒸散量及田間蒸發量，即能得到相當可靠之需水量。蒸散與蒸發量之和約為 600~700 公厘，若以水稻生長期 100 天計算，每日蒸發散量約為 6~7 公厘，此數據與田區觀測及滲透計測定之結果相近。以下介紹台灣常用之灌溉用水量常用計算公式如後。詳細計算例請參考 1998 年出版之農田水利教材第五、陸、柒類之有關部分。

(一)灌溉用水量常用計算公式：

1.常用計算公式

(1)灌溉面積

$$A(\text{ha}) = \frac{\text{時間}(\text{sec}) \times \text{流量}(\text{cms})}{10,000(\text{m}^2) \times \text{水深}(\text{m})}$$

$$\therefore A = \frac{T \times Q}{10,000D}$$

(2)灌溉水深

$$D(\text{m}) = \frac{\text{流量}(\text{cms}) \times \text{時間}(\text{sec})}{10,000(\text{m}^2) \times \text{面積}(\text{ha})}$$

$$\therefore D = \frac{Q \times T}{10,000A}$$

(3)灌溉流量

$$Q(\text{cms}) = \frac{10,000(\text{m}^2) \times \text{面積}(\text{ha}) \times \text{水深}(\text{m})}{\text{時間}(\text{sec})}$$

$$\therefore Q(\text{cms}) = \frac{10,000A \times D}{T}$$

(4)灌溉時間

$$T(\text{sec}) = \frac{10,000(\text{m}^2) \times \text{面積}(\text{ha}) \times \text{水深}(\text{m})}{\text{流量}(\text{cms})}$$

$$\therefore T(\text{cms}) = \frac{10,000A \times D}{Q}$$

(5)灌溉率

$$E(\text{ha} / \text{cms}) = \frac{8,640}{\text{水深}(\text{mm})}$$

(二)水稻灌溉不同生長期之需水量計算如下：

1.秧田用水

- (1)秧田面積：為本田面積之 1/25（蓬萊秧）～1/30（在萊秧）即為一公頃之秧田育成後可以移植 25～30 公頃。
- (2)秧田期間：第一期作約 40 天，第二期作約 20 天。
- (3)灌溉水深：秧田整田用水 150～200 公厘（一次供給），秧田期間補給用水每天 15～20 公厘。
- (4)渠道輸配水損失率：採用 20%（視灌溉管理之集約度及渠道結構材料而異）。
- (5)不考慮有效雨量。
- (6)秧田期間之用水量包括損失量不得少於 0.008 秒立方公尺，否則無法施灌。
- (7)開始供給整田用水時，即不計列秧田用水。

2. 整田用水

台灣部分地區或在等面積及集中於末期整田作業的灌區，為有效利用水資源，避免造成整田用水尖峰，於整田插秧前施行浸（泡）田灌溉。整田用水量之多寡，視水田之土壤孔隙率、含水量、滲漏量、翻耕深度、蒸發量、覆蓋水深、灌溉管理等因素而不同，可以下列公式求得：

$$\text{整田需水量(mm)} = \frac{(\text{土壤孔隙率}\% - \text{土壤含水量}\%) \times \text{飽和土壤深度}}{100} + \text{田面覆蓋水深度}$$

【例題】設有一灌區土壤屬粘土，土壤孔隙率 50%，土壤含水量 20%，需要飽和土壤深度 350 公厘，整田時田面覆蓋水深度（包括滲漏、蒸發量）為 40 公厘時，則一次灌溉的整田需水量為

$$\frac{(50-20) \times 350}{100} + 40 = 145(\text{mm})$$

3. 本田用水

- (1)本田日數：第一期作 110～120 天，第二期作 90～100 天。
- (2)本田需水量

本田需水量依土壤質地，水稻品種、水稻生育期、氣候等因素而定。

$$\text{田間需水量} = \text{水稻蒸散量} + \text{田面蒸發量} + \text{田間滲漏量}$$

田間用水量 = 田間需水量 - 有效雨量

水門用水量 = 田間用水量 + 渠道輸配水損失量

一般本田一次之灌溉水深在 36~60 公厘左右。

4. 整田及停水期間本田面積之計算式

整田期間本旬本田面積 = 前旬本田面積 + $\frac{\text{前旬整田面積} + \text{本旬整田面積}}{2}$

停水期間本旬本田面積 = 前旬本田面積 - $\frac{\text{前旬停水面積} + \text{本旬停水面積}}{2}$

第五章 水量之供需平衡

5.1 前言

在本冊之第四章中對於估算計畫之灌溉需水量已有詳細之說明，而第二、三章所討論的則為灌溉用水水源，在實際之情形下，灌溉水源會受到各種因子之影響而有所限制。在本章中首先針對灌溉需水量與水源供水量之平衡加以說明 (FAO,1992)，而後闡述國內多種水源應用、迴歸水利用及討論相關救旱措施。

一般而言，在灌溉區域中，某影響因子產生變化而造成缺水之現象時，在實際應用上均會採取數種不同之方法，以減低因缺水現象所造成之危害。故在此所提供之方式，將作為實際上發生缺水時之參考依據，其訊息將可供田間現地工作人員或專家，在解決較為複雜程度下之灌溉管理問題時之管理工具。

5.2 灌溉區域

5.2.1 灌溉面積與灌溉水量

(一)灌溉區域 CA，所表示的為自水源處所引進之可靠引水量中，所灌溉之區域面積而言，在此所提之可灌溉區域面積，所指的是該區域之可靠水量均大於或等於計畫之灌溉需水量而言。

(二)如果灌溉區域之面積大於實際之灌溉面積時，則該區域應無缺水之情形發生。當某一月份之實際供水量已知時，如：250 公升/秒，且於當月之每公頃之粗灌水量已估算後，如：1.8 公升/秒/公頃，則灌溉區域便可計算而得。在可靠引水量為 250 公升/秒，粗灌水量為 1.8 公升/秒/公頃時，其灌溉區域為 $250/1.8=139$ 公頃，因此計算灌溉區域之公式。即：區域之計畫供水量 SWS 除以粗灌溉需水量 IN_{gross} 或

$$CA = \frac{SWS}{IN_{gross}} (\text{ha})$$

(三)若在一個月當中，或一個季節當中，其水源供水量並不穩定一致時，則其灌溉區域亦應隨之而變，假設河川系統之計畫供水量如表 5-1 所示（表格中所列之資料，將於其他例題所共同引用），在第四章中，已將估算淨灌溉需水量 IN_{net} 之方法說明之。當在一年中水源供水量隨時間而變時，其灌溉需水量亦隨之而變，因此在下表中每個月之淨灌溉需水量 IN_{net} 之變化，是以 4.4 節中所述之方法計算而得。

表 5-1 月別淨灌溉需水量 IN_{net} 之變化

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SIN _{op} (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN _{net} (ℓ/s)	0.5	0.5	0.7	1.0	1.1	1.2	1.1	1.0	0.7	0.6	0.5	0.5

(四)假設計畫灌溉效率為 50%，則粗灌溉需水量 IN_{gross} 與灌溉區域之計算結果如下表所示（表 5-2）。

表 5-2 月別灌溉區域之計算例

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN _{gross} (ℓ/s/ha)	1.0	1.0	1.4	2.0	2.2	2.4	2.2	2.0	1.4	1.2	1.0	1.0
CA (ha)	290	420	364	280	295	167	145	140	179	192	200	220

(五)在表 5-2 中最小之灌溉區域面積為 8 月之 140 公頃，最大之灌溉區域面積為 2 月之 420 公頃。

5.2.2 臨界灌溉區域

(一)假設在一灌溉區域中種植甘蔗 420 公頃，其生長期為 12 個月，則在本例中祇有 1 個月，即 2 月份有足夠之水量可供灌溉整個灌溉區域，因此就水源而言，其可靠度太低。若種植之面積控制在 140 公頃以下時，則在全年當中，甘蔗均能得到可靠之水量，在此情形下水源之可靠度相當之高，由表 5-2 中可以知道，140 公頃之面積係各月份中最小之灌溉區域，此稱為臨界灌溉區域。

(二)再假定在該區域中以種植水稻取代原種植之甘蔗時，因水稻之生長期為 4 個月，開始種植日期為 4 月而收成期為 7 月，其粗灌溉需水量 IN_{gross} 之估算假設如表 5-3 所示，則其每個月之灌溉區域計算結果（同表 5-2 之計算方法），如表 5-3 所示。

表 5-3 月別灌溉區域計算例－水稻 (FAO,1992)

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN _{gross} (ℓ/s/ha)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4	2.2	2.0			
CA (ha)				280	271	154	133					

(三)在本例中之臨界灌溉區域為7月份之133公頃，因此在安全可靠之水源下，於4月份種植水稻時，其面積不宜超過133公頃。儘管其他月別之水量足以灌溉較大之區域亦同。

5.2.3 臨界灌溉區域之計算例

【例題】試決定大豆之臨界灌溉區域。

假設：大豆之生育期：9月～11月

淨灌溉需水量： IN_{net} 分別為6、5及4 mm/day

灌溉效率：50%

SWS： 9月：250 l/s

10月：230 l/s

11月：200 l/s

【計算】

步驟1：淨灌溉需水量之單位轉換，由 mm/day 轉換成 $l/s/ha$ 。

依照附錄III之轉換表，6、5及4 mm/day 轉換成 $l/s/ha$ 時分別為0.69、0.58及0.46。

步驟2：決定粗灌溉需水量 IN_{gross} 。

$$IN_{gross} = IN_{net} \times 100 / e$$

則

月別	IN_{gross} (l/s)
9	1.4
10	1.2
11	0.9

步驟3：決定各月別之灌溉區域。

$$CA = SWS / IN_{gross}$$

則

月別	CA
9	$250 / 1.4 = 179$ ha
10	$230 / 1.2 = 192$ ha
11	$200 / 0.9 = 222$ ha

步驟 4：決定臨界灌溉區域。

臨界灌溉區域為各月別之灌溉區域中最小者，故 $CA=179\text{ha}$ 。

5.3 粗計畫灌溉需水量與計畫供水量之平衡

5.3.1 基本原則

在前節中已述及粗灌溉需水量，其單位為 $\ell/\text{sec}/\text{ha}$ ，因此，當獲知總計畫灌溉面積之後，乘上粗灌溉需水量，即可以得到粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 。

$$SIN_{\text{gross}} (\ell/\text{s}) = IN_{\text{gross}} (\ell/\text{s}/\text{ha}) \times \text{Area} (\text{ha})$$

粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 乃為連續流量之形式，計畫灌溉供水量所指為自水源處之引進流量，在本節中，特提出 5 種可能之方法讓粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 與計畫灌溉供水量達到平衡，尤其是當供水量小於需水量之時。

5.3.2 可能之方法

(一) 當計畫需求量過大時，加大計畫供水量

當水源處並未完全引用時，加大計畫供水量，乃唯一可行之方法。此種情形有可能是發生在抽水機供水系統中，因為沒有足夠之動力以抽取所需用之水量，或是取水構造物，供水渠道等過小，或是在河川或水庫取水時位置過高，無法取到足夠之水量時，在以上這些狀況下，祇要靠抽水機之增設或取水口之改善及其他之努力等，均可增加取水量。而不是建造一花費龐大之水庫調蓄之。

若灌溉水量是經由抽水井抽時，則會受到水井出水量之限制，在本例子中，則只有加深抽水井深度，或是另外再設置抽水井抽水。

(二) 經由操作準則之改變減少營運計畫灌溉需水量 SIN_{op}

當水源之供水並非持續不斷，而是斷斷續續的情況下，例如當河川之水量在某些時段並不自河川引水時，形成取水時間斷斷續續之情形。在此情形下對於河川流量之利用並非是最佳之情況，此外，當施灌時間為長期的，或灌溉期距縮短等時候，其操作營運之計畫灌溉需水量 SIN_{op} 均會減少。

如果抽水機已是經常滿載之情況，或是農民不願意變更灌溉時程時，則所牽涉到的是營運管理之問題，務必尋求其他之解決方式。

【例題】

假設抽水機之容量為 315 ℓ/s ，粗計畫灌溉需水量為 100 ℓ/s ，抽水機之營運時間，每天 8 小時，每週使用 5 天，則營運計畫灌溉需水量，必需等於粗計畫灌溉需水量除以營運操作時間 T_{op} 。

$$\begin{aligned} SIN_{op} &= SIN_{gross} / T_{op} \\ &= 100 / [(8/24) \times (5/7)] \\ &= 420 \ell/s \end{aligned}$$

依照此一操作營運準則，此抽水機無法達到所需之流量 420 ℓ/s 。然句話說，如果抽水機之操作時間，由每天 8 小時改為 9 小時，每週操作天數由 5 天變為 6 天時，則其營運計畫灌溉需水量 $SIN_{op} = 100 / [(9/24) \times (6/7)] = 311 \ell/s$ ，此一數值在抽水機之系統容量之下，為可行。

(三)提早或延後作物之種植

對於河川取水系統而言，計畫供水量可能在灌溉期之開始或結束期，以避免產生流量過小之情形，若乾旱缺水發生在生長期之開端時，則可以考慮將作物之種植期延後，則可改善缺水狀況。若乾旱缺水是發生在生長期之末期，則可以提早種植之方式加以改善之。

【例題】灌溉計畫區域面積 150 公頃，農民計畫在整個區域中種植水稻，其粗灌溉需水量 IN_{gross} ，如表 5-3 所示。水稻之生長期為 4 個月，插秧種植期自 4 月開始，表 5-4 中為在此情形下水稻之灌溉區域 CA 計算結果，可作為決定適當種植時期之依據。

表 5-4 提前種植例

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} ($\ell/s/ha$)		2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4					
CA (ha)		210	255	280	271	154	133					

在表 5-4 中可以看出計畫供水量在 4、5 及 6 月可供灌 150 公頃以上之面積，但是在 7 月份之水量僅能供灌 133 公頃之面積。如果種植期由原來之 4 月份提前到 3 月份時，則臨界灌溉區域變成 6 月份之 154 公頃，因此沒有乾旱缺水之情況發生，若自 2 月份開始種植則臨界灌溉區域變成 210 公頃，亦無缺水之情形發生。

(四)錯開期距

方法 3 所使用的是整個灌區提早或延緩種植時期，或多或少可以避免乾旱缺水情形發生在生長期開始或生長期結束之時。但應用方法 4 是祇有部分區域之種植期改變，若小心利用此法處理之，則可以將粗計畫灌溉需水量調整至與計畫供水量平衡之情況。

【例題】 假設水稻之計畫供水量 SWS 與粗灌溉需水量 IN_{gross} 如表 5-3 所示之水稻生長期可於 2 月到 8 月之間，生長期共 4 個月，計畫區域之面積為 250 公頃。

首先，決定月別灌溉區域

表 5-5a 錯開種植期—提早種植

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} ($\ell/s/ha$)		2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4	2.2				
CA (ha)		210	255	280	271	154	133	127				

由表 5-5a 中可以知道，並沒有連續 4 個月的臨界灌溉區域大於 250 公頃，對於在 2 月種植 5 月收成之情況下，若要提供足夠之灌溉水量，則其最大可能之灌溉面積為 210 公頃，且在 2 月份中水量全部被利用，而 3、4 及 5 月份還有部分多餘水量，而在 6、7 及 8 月份並沒有用到水量。因此若將各月別之灌溉區域 CA，扣除 210 公頃後則其差異為灌溉區域中未使用之部分，如表 5-5b 所示，相當於每月剩餘水量可提供其他區域灌溉之面積，原區域未使用於種植水稻之面積則僅為 40 公頃。

表 5-5b 錯開種植期—提早種植

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SWS (ℓ/s)	290	420	510	560	650	400	320	280	250	230	200	220
IN_{gross} ($\ell/s/ha$)		2.0	2.0	2.0	2.4	2.6	2.4	2.2				
CA (ha)		210	255	280	271	154	133	127				
最早種植 (ha)		210	210	210	210							
剩餘 CA (ha)		0	45	70	61	154	133	127				

(五)減少粗計畫灌溉需水量

如果以上所有的方法都不能達成，則唯一之方法就只有減少粗計畫灌溉需水量。在減少粗計畫灌溉需水量的第一個步驟就是，增加灌溉效率 e ，有關進一步之資訊另行述及。

1.若改善灌溉效率，還是沒辦法讓粗計畫灌溉需水量 SIN_{gross} 與計畫供水量 SWS 達到平衡時，則還有以下三種方式可供利用：

(1)轉作其他較低需水量之作物

(2)減少供灌面積

(3)接受缺水事實與減產事實

2.在既有的灌溉計畫中，農民一般難以接受轉作或減少供灌面積之情形，就過去經驗倘若乾旱缺水程度在 10~20%時，減產之情形並不嚴重，農民亦多能接受此一事實。對於灌溉區域之擴展，若農民之擴展區域遠超過可供水量之限制時，則務必要能說服農民調整其灌溉計畫，減少部分新灌溉區域，或轉作其他需水量較低之作物。

5.4 多種水源之灌溉營運

所謂多種水源指灌溉區域內各種不同水源包括：水庫水源、河川水源、池塘水源、野溪水源或地下水源等二種以上之水源共同運用者。亦即因地制宜、因時利用有效水資源之綜合灌溉營運。台灣桃園灌溉區域即為一例。

5.4.1 各種水源之灌溉營運

今以圖 5-1 說明多種水源之灌溉營運方法。

- 1.水庫系統與河川系統灌溉設施並聯運用，且將埤池與蓄水庫串聯營運。
- 2.在豐水期內，以散處各地之攔水堰攔水入渠灌溉農田，河水乾涸時才由埤池放水補給，以保持埤池平常蓄水能量。
- 3.水庫系統灌溉區由水庫供灌系統供灌；埤池系統由埤池水源供應，以節省水庫水量。
- 4.一旦河水乾涸時，農田水利會將協調水庫管理機關，以水庫水源放入埤池系統而導入灌溉系統營運。
- 5.在河水乾涸，埤池亦空涸，而灌溉系統又不銜接時，應由農田水利會協調

水庫管理機關以抽水方式補給救旱。

水庫水源

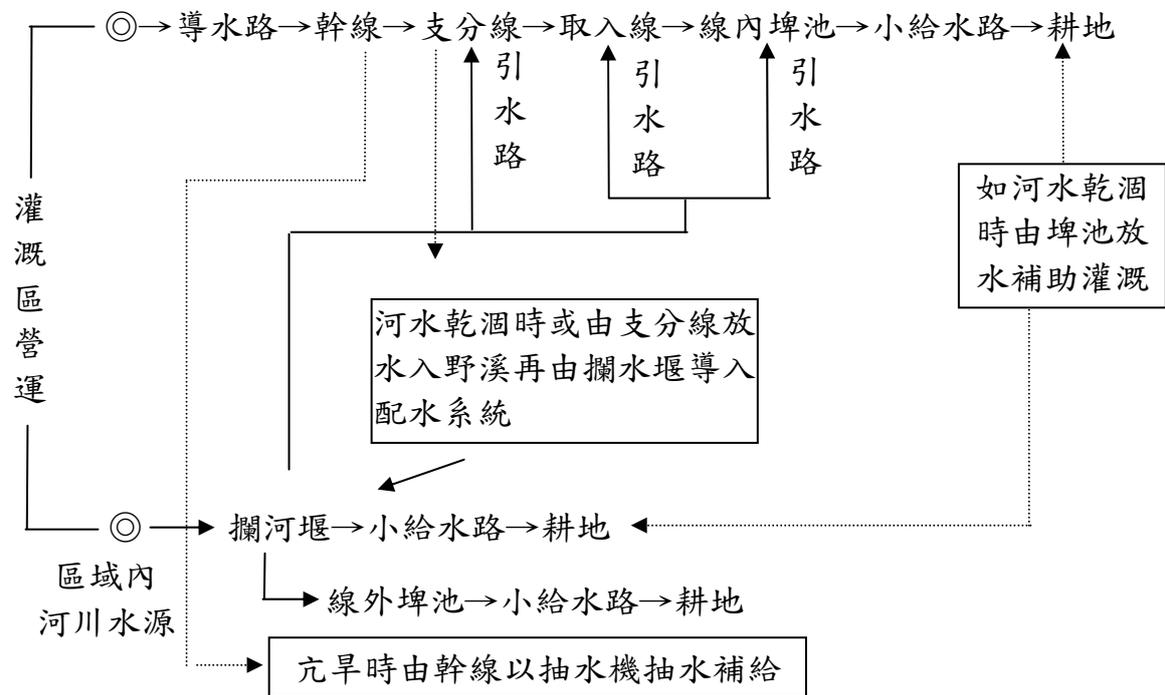


圖 5.1 多種水源營運示意圖

5.4.2 多種水源灌溉營運之注意事項

因其引水、輸水及配水系統複雜，尤其各攔水堰及埤池四處分散，其營運上除參照前述水庫及渠首之營運方法外，尤應注意下列幾點：

1. 通訊網之加強

平常期之灌溉營運循灌溉配水計畫操作，在洪汎期應利用完善通訊設備報導灌溉區域內降雨情形、河川水位及田間需水情況，機動調節攔水堰、埤池水門，及渠道系統制水閘、進水閘之啟閉操作，以確保水利設施之安全，同時避免下游農地毀損。乾旱時，亦應經由通訊設備，通報各地缺水情況及非常灌溉營運狀況，俾收隨機應變之營運功效。

2. 強化後勤支援

桃園大圳區域內野溪系統之攔水堰多達 334 處，埤池數 285 口，灌溉期間攔河堰崩潰及埤池水門調節失靈等情形難免時有發生，因此器材及人員之儲備以備機動運用皆應建立制度。

3. 協調工作

石門水庫年度各標的之用水計畫悉依有關法令擬訂，所應強調者為農田灌溉臨時增減水量、乾早年各標的的減水比率、各野溪水源及埤池水源之分布與利用，皆予列入區內農業用水綜合營運的協調會議決定，以符合全區域灌溉整體規劃營運，而非各自為政的個別操作。

5.5 迴歸水利用

5.5.1 迴歸水利用之可行性

- (一)灌溉、工業、和家庭之用水，除部分水量必需消耗者外，另一部分的水量終究迴歸入溪河中。此項迴歸水源，視其污染程度，加以水質或水溫的改良後，即可供作灌溉水源。
- (二)本節主要針對灌溉後之迴歸水量進行估算，此對農業用水計畫之設計甚為重要。蓋農地大部分均以重力式引水灌溉，亦即農地灌溉依地形，自高地向低地順坡引水灌溉，也可能上游農田灌溉後部分水量流出往下游農田，而下游農田再取水灌溉，如此可反覆多次利用。故正確估算農地迴歸水，可確保適當灌溉需水量，同時亦可提高用水效率。
- (三)迴歸水 (Return flow) 指可反覆再利用之水量，包括由地表逕流至下游處及灌溉水滲入地下後再從下游農地湧出者，若以產生方式作為分類依據，前者稱為明迴歸水 (Visible return flow)，而後者則稱為暗迴歸水 (Invisible return flow)。
- (四)目前台灣大部分的農地乃採用動力式引水灌溉，自上游農田引灌後，多餘之灌溉水量以越過田埂缺口或以灌溉水路輸送的方式順坡而下，在下游地勢較低之處可產生迴歸水量，以供下游農田利用。故正確估算農田迴歸水量，非但可提高農田用水效率，更可使灌溉用水得以有效利用。

5.5.2 迴歸水利用之估計及研究

(一)估計原則：

- 1.產生最大迴歸水量的時期，係在雨季和灌溉後各月，最小則在旱季和灌溉前各月。
- 2.種植水稻地區，灌溉期間的剩餘水量，幾乎全部流返河渠中。
- 3.在設計完善而水量充足的灌溉地區，其年迴歸水量可達年引水量的 1/3～2/3。即田間年迴歸水量，須視灌區之土壤性質、引水量、輸灌效率、耗

水量和灌溉年數等因素而定，每公頃由小於 3,000 立方公尺，至大於 10,000 立方公尺。

(二)我國歷年來對迴歸水之利用研究可以整理如下：

- 1.駱安華 (1960)，在「迴歸水之計算和運用」一文中將迴歸水定義為灌區內之雨水、灌溉水、自然排出之地下水能流返河渠之水量，並將迴歸水分類為由地表逕流排入之明迴歸水及地下滲漏水所造成之暗迴歸水。並分析迴歸水之產生原因可歸類為下列二項：一為由雨水所產生；二為灌溉水源所產生，包括灌溉餘水、田埂流失與田間滲漏水等。根據迴歸水之定義，迴歸水量應等於灌區引水量減去灌區耗水量，計算式如下：

$$R = \frac{p \times A \times 10000}{1000} + (31536000 \times D) - (10000 \times C \times A)$$

式中 R=灌區年迴歸水量 (m³)

C=灌區年平均耗水深度 (m)

D=年平均引水 (cms)

A=灌區面積 (ha)

P=灌區年有效雨量 (mm)

並以彰化灌區為例，求得日迴歸水量約為日引水量的 48.36%。

- 2.前台灣省水利局 (1972)，利用水平衡收支法推估苗栗公館區之迴歸水量，採用實地觀測的方式進行調查分析，求得該地區之迴歸水平均反覆利用率約為 10%，局部地區甚至達 40%之譜。
- 3.徐龍淵、徐恭也 (1986)，指出迴歸水為一可利用之高經濟水源，台灣常見之迴歸水利用設施有攔水堰、蓄水池、鑿井、抽取低窪蓄水等。以桃園灌區為例，設有攔水堰 334 座，以攔取迴歸水及降雨逕流量，其迴歸水利用率約占總用水量 10%；另在苗栗公館地區，採用鑿井、攔水堰及抽取低窪蓄水方式利用迴歸水做補給水源，迴歸水利用率達 40%，而迴歸水平均利用率為 15%。
- 4.林癸妙 (1998)，在「水田迴歸水量之研究」一文中將明迴歸水與暗迴歸水分開計算，其中水分滲漏量為影響暗迴歸水之重要因素。林氏採用牛踏層具有保水能力之觀點，推估垂直滲漏量與側向滲漏量的比例約為 5:1，並在固定田地面積下，探討影響迴歸水量因子，其中改變田埂高度與田埂缺口寬度皆不會影響迴歸水量。在迴歸水量的推估方面，將計算所得之總迴歸水量與 MODFLOW 模式相互驗證，結果顯示總迴歸水量

占灌溉水量 24%，並以雲林蔴桐地區為例，推算 10 年平均迴歸水量約占灌溉水量之 36.56%。

5.6 農業用水之節水營運管理

5.6.1 乾旱時期因應對策

台灣灌溉水源計畫之基準年，基於經濟原則，一般係採用四至五年一次乾旱之頻率年，並不是以充分確保農業灌溉用水之安全設計，亦即約每四、五年即可能出現一次用水不足之情況，或平均每年可能有 20~25%之缺水機率。遇超過計畫基準年以上之乾旱年，用水呈不足情況，是不可避免之事，亦是意料中之事。因此，農田水利會為灌溉營運，除需訂定平水時期之正常灌溉計畫外，尚須準備一些針對一旦發生乾旱時之因應措施及臨時救旱設備。

多年來，各農田水利會對因應乾旱時期之救旱處理工作，已有相當之經驗，可使旱災之損害抑減至最低程度。農田水利會之服務功能，在乾旱缺水時期最能彰顯地發揮其組織及灌溉系統之有效運作貢獻。遭遇乾旱缺水期，各農田水利會即配合政策採取部分停止供水或減少供水轉作、加強灌溉水源維護及水路管理等之迫切作業。一方面實施輪流灌溉及抽用可臨時救援之補助水源等措施，期使已種植之農作物儘量以「有旱無災」之結局善了。

近十餘年來，行政院農業委員會與前台灣省水利局積極推廣旱作管路灌溉，在有實施旱作灌溉之地區，更可發揮旱作灌溉設施之功能及效用，不但農民豐收，而且因氣候溫暖而無水害，使瓜果類品質特別良好、甜美，消費者得以享受物美價廉之西瓜、香瓜、水果。平時推廣旱作灌溉，如上述亦可為因應乾旱採取部分稻田轉作之最佳對策之一。

全台灣各農田水利會之灌溉管理營運，除訂有平常之灌溉計畫外，對於乾旱時期，應事先對各灌溉系統灌區之可忍受缺水程度，分別訂定不同缺水程度之配水計畫及救旱措施，並報經主管機關核備後公告，以備實施。並須預為準備及演練有關配水操作之細節與方法及救旱所需之設施與事項，以應隨時需要。行政院農業委員會有鑑於此，曾於 75 年所研訂「乾旱年調整水量分配標準及救災處理制度」。並與財團法人七星農田水利研究發展基金會於 84 年合作編印「灌溉節水技術手冊」提供各農田水利會參辦，並協助各農田水利會依據其水源特性及過去經驗研定各灌溉系統乾旱時期灌溉營運措施，以供遵循。針對不同缺水程度之灌溉因應營運措施基本指導原則，可參考第三篇 4.3 節之內容。

5.6.2 現行節水管理營運措施

(一)增建調蓄設施，有效調配利用水稻灌溉之節餘水

1. 水稻灌溉用水自民國七十三年推行休耕轉作計畫起，已逐年大幅減少用水量，其用水量自民國七十年之 129.61 億立方公尺，減為七十五年之 114.02 億立方公尺、八十年之 93.79 億立方公尺及八十五年之 77.46 億立方公尺，但由於水稻灌溉水源有 75% 係取自河川，以往所減少之用水量，因缺少調蓄設施及輸配系統而無法有效調配作其他利用，殊屬可惜。
2. 目前，在桃園地區之石門及桃園兩個農田水利會轄區內，共有 745 口蓄水池，容量計 6,200 百萬立方公尺，其他農田水利會亦有些埤池，對農業用水本身之調配，發揮相當之功能。
3. 非農業部門如欲利用農業節餘水，須先投資建設調蓄設施，以利調配。

(二)獎勵農民利用第二期作休耕水田蓄水調洪及涵養補注地下水

1. 第二期作水稻產量較第一期作為低，故農民申請休耕以第二期作者為多。
2. 第二期作屬雨季，如轉種旱作，低地水田易受淹水損害，且水田原具有之調蓄洪水功能及補注地下水機能，將會降低而影響水之生態循環。
3. 為因應加入世界貿易組織 (WTO) 後，水稻栽培面積可能須暫時性減少，為善加利用現有水田及灌溉輸配水系統，加強推動水田生態環境保護及增進生態貢獻措施。
4. 農委會近年來正積極推動水田生態維護及涵養補注地下水計畫，獎勵農民加高其休耕水田排水出口高度，盡量維持蓄水狀態，將水田當作地下水補注池，引灌豐水期河川多餘之逕流水入田，提高逕流利用率，增進補注涵養地下水功能。

(三)加強推廣省水旱灌技術，配合精緻農業發展

為因應邊際土地之有效利用及精緻農業發展需要，農委會積極策劃擴大推廣設置省水之噴灌、滴灌設施，並指導農民灌溉操作之技術，配合農業栽培技術，以省水、省力、省工方式施灌，提高作物產量及品質，增加農民收益。

(四)加強灌溉用水水質維護，確保農產品品質

1. 灌溉水源大多取自河川及輸配水系統均採明渠，故污染物容易進入灌溉系統。

- 2.目前約有 10%之灌溉水其水質已超過灌溉用水水質標準，繼續引灌，對農地及農產品均具潛在危機，亟待改善。
- 3.這些受污染之灌溉用水，若以稀釋方式改善，依據農工中心之評估，須耗用清潔之灌溉水量 22 億立方公尺，這些稀釋用水之水源，目前根本無法取得，亦不經濟。因此，最適方案仍是從污染源根本管制，並作水質處理改善。
- 4.各農田水利會建立持續性灌溉水質監測體系及管理制度，以期逐年減少受污染程度。

(五)確保水田之水權，兼顧生產及生態，並建立合理移用農業水資源制度

- 1.水田為確保台灣永續發展之重要農業生產土地，已建有良好灌溉排水及農路系統，為優先保留繼續作農業使用之農地，其水權須確保。
- 2.水田除生產功能外，並對地下水補注、洪水調節、水質淨化、氣象調節、景觀維持等生態環境具有重大貢獻，為適合台灣自然生態環境之良好水土資源利用之方式。
- 3.今後為因應加入世界貿易組織（WTO），其用水應兼顧生產與生態機能作整體規劃，並建立合理移用農業水資源制度，俾於乾旱缺水期，支援民生用水之不足。

(六)加強農業用水調配規劃及科技管理研究

- 1.農業用水之有效調配，需有調蓄設施、輸配水系統設施才能運作，而這些設施之設置，需要時間、土地、經費，故須預為規劃及協調設置。
- 2.農業用水與農、漁、牧各產業之經營技術息息相關，具有相當高之技術性，為提昇各種農業用水效率及效益，均必須加強其用水管理之技術研究，以期利用現代化科技管理技術及設備來改進。

5.6.3 結語

- (一)農業用水是水資源利用之大宗，農業生產、農村生活及自然生態環境等具有重大貢獻，必須共同重視並予以維護，在水資源有限情況下，須採取合理之用水策略及節水措施，以期台灣之農業能永續發展，確保全體國民之糧食安全。
- (二)農業用水來源，多數係直接引用河川逕流水，乾旱季節，河川中多缺水，灌溉水源呈短缺，農業本身須採節水措施度過難關。養殖及畜牧用水，基

於環境保護及衛生要求，須逐年減少地下水抽取量及用水量，因此須採取
養殖及畜牧管理措施配合。

(三)在灌排兼用現況下，枯水期灌溉水之水質與民生用水、工業用水之所需水
質標準尚有差距，亟待加強污染防治改善水質。

(四)為有效調配利用灌溉節餘水，須預先投資建設調蓄設施，並與農業水管
理單位預先協商，儘量在豐水地區調配，俾能在儘量減少農業傷害原則下
進行。

(五)水庫用水為枯水期民生用水、工業用水爭用之對策，為節水移用之主要目
標，移用時對農田水利會及農民用水權益之損害，須給予合理補償，以期
社會和諧圓滿。

附錄 I 符號及定義

在本訓練手冊當中會引用一系列與灌溉有關之水量與流量之符號與定義，對於各符號及其定義將說明如下，而各符號間之關係亦於附錄 II 中有詳細說明與圖說。

1. 主要符號

(1) 淨灌溉需水量	IN_{net}
(2) 粗灌溉需水量	IN_{gross}
(3) 淨計畫灌溉需水量	SIN_{net}
(4) 粗計畫灌溉需水量	SIN_{gross}
(5) 營運操作計畫灌溉需水量	SIN_{op}
(6) 計畫供水量	SWS
(7) 平均月灌溉需水量	IN_{av}
(8) 最早種植需水量	IN_e
(9) 最晚種植需水量	IN_ℓ
(10) 整田用水量	SAT
(11) 滲漏損失	PERC
(12) 湛水深	WL
(13) 營運操作時間	T_{op}

2. 主要符號之定義

(1) IN_{net} ：淨灌溉需水量 (mm/day, mm/month, $l/sec/ha$)

此為作物之灌溉需要水量，其表示方法為在一單位時間，如每天或每個月或任一段時間中，所需要之水深 (IN_{net})，此一單位時間內之用水深度亦經常用單位面積所需之流量來表示之，一般較常用之單位為每公頃之面積下每秒鐘所須之水量 (以公升表示之)，即 $l/sec/ha$ ($8.6\text{ mm/day} = 1.0\text{ }l/sec/ha$)，在訓練教材第四冊中有一將 mm/day 與 $l/sec/ha$ 之間換算之表格，對於灌溉需水量 (IN_{net}) 之決定方法，已於訓練手

冊第三冊中詳細述說之。

(2) IN_{gross} ：粗灌溉需水量 (mm/day, mm/month, $l/sec/ha$)

粗灌溉需水量為作物之灌溉需水量，加上要將田間作物所需之水量，自水源處送達田間之過程中，所引起的損失水量，在輸送的過程所引起之損失現象，於實際之應用上，我們是以灌溉效率 (e) 表示之，應用灌溉效率之方法衡量整體之損失情形。

粗灌溉需水量之表示方式為，每天或每個月所需之水深，即 mm/day 或 mm/month，以一連續之流量來表示時，其單位為： $l/sec/ha$ ，粗灌溉需水量與淨灌溉需水量之關係式為：

$$IN_{gross} = IN_{net} \times 100 / e$$

(3) SIN_{net} ：淨計畫灌溉需水量 (l/sec)

淨計畫灌溉需水量是指，整個灌溉區域之淨灌溉需水量，而非單位面積下之淨灌溉需水量，因此，淨計畫灌溉需水量之單位，無法以 mm/day 表示，而是以每秒所需之水量 (公升) 來表示之，即： l/sec ，其公式之表示方式如下：

$$SIN_{net} = IN_{net} \times A$$

式中： A 為計畫灌溉面積 (公頃)

(4) SIN_{gross} ：粗計畫灌溉需水量 (l/sec)

粗計畫灌溉需水量是指，整個灌溉區域之灌溉需水量，加上水在輸送的過程當中所引起的各種損失，其表示公式為：

$$\begin{aligned} SIN_{gross} &= IN_{gross} \times A \\ &= (IN_{net} \times 100 / e) \times A \quad (l/sec) \end{aligned}$$

(5) SIN_{op} ：營運操作計畫灌溉需水量 (l/sec)

營運操作計畫灌溉需水量，所代表的為實際之流量，而該流量乃依照灌溉計畫中，事先所訂定之水量與時間，送達田區施灌之流量。至於整個生育期之總用水量，在粗計畫灌溉需水量 (SIN_{gross}) 及營運操作計畫灌溉需水量 (SIN_{op}) 是一致的，但由於實際操作上的關係， SIN_{op} 會比 SIN_{gross} 來的大些。通常對於灌溉之執行，並不是每小時或每

天予以施灌(就田區之部分),而是在一期距內(數天)之數小時而已,因此,營運操作計畫灌溉需水量(SIN_{op}),必須補足在非灌溉時期作物所消耗之水量,而此一時間在灌溉計畫中稱為營運操作標準(T_{op})。

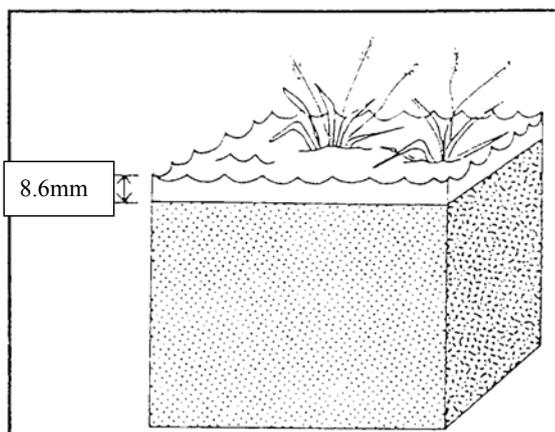
(6) SWS: 計畫供水量 (l/sec 、 m^3/s)

計畫供水量表示要施行灌溉時,在水源處所要取用之灌溉水量,若計畫中採用抽水機供水時,則其計畫供水量不可大於抽水機之容量,至於非利用抽水機之系統,則計畫供水量不可超過取水設備之最大容量,計畫供水量所採用之單位為每秒所通過之水量(公升數)(l/sec),但若流量較大時,則是以每秒鐘所通過之水量(立方公尺數)(m^3/s)表示之。

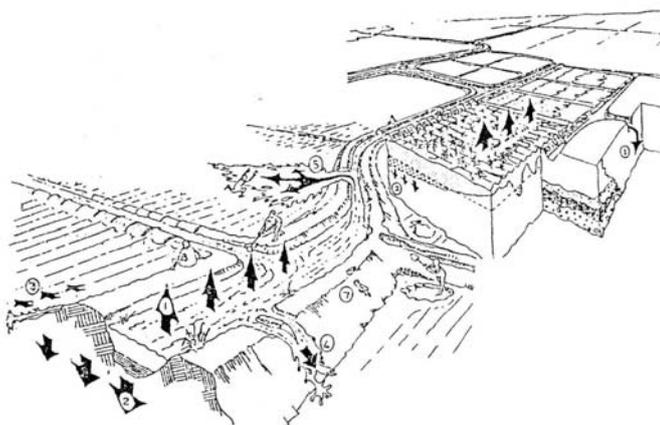
附錄 II 各符號間之關係

1. SIN_{gross} 之計算圖示

IN_{net} : 淨灌溉需水量 (mm/day, mm/month, l/s/ha)

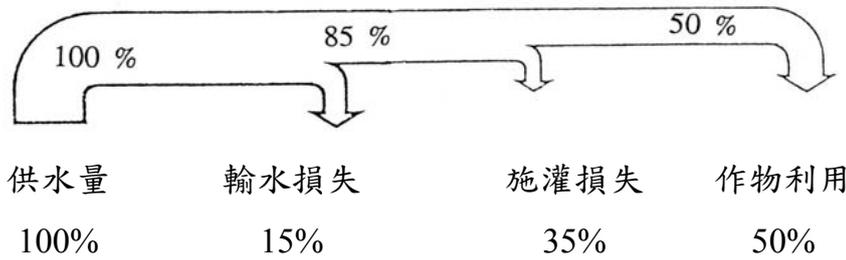


8.6 mm/day 之淨灌溉需水量 = 1 l/s/ha



計畫面積 (ha)

SIN_{net} : 淨計畫灌溉需水量 (l/s)



灌溉效率

SIN_{gross} : 粗計畫灌溉需水量 (l/s)

2. 供需平衡圖示

SIN_{gross} : 粗計畫灌溉需水量 (l/s)

營運操作準則 (T_{op})

何時灌溉？

每次灌溉多久？

$d=5$ 天/週

$h=14$ 小時/天

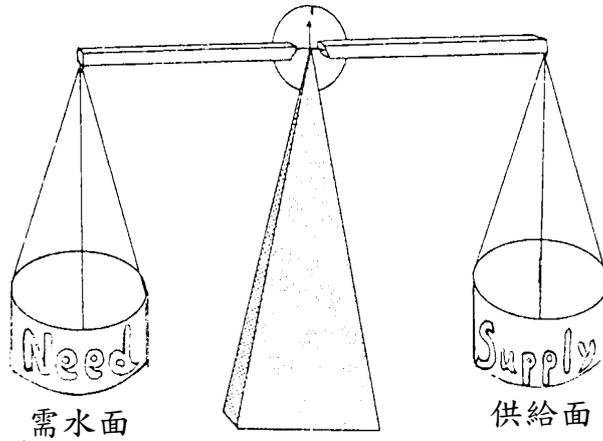


$$T_{op} = d/7 \times h/24$$

SIN_{op} : 營運操作計畫灌溉需水量 (l/s)

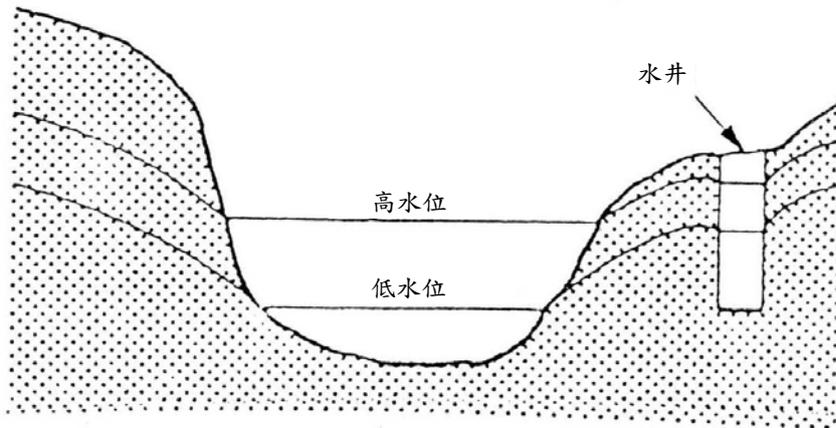
供需平衡

需求
(修正)
生長季節
 ET_{crop}
 T_{op}
效率
面積



供給
(擴大)
取水口
抽水機
渠道
(尋找)
額外之水源

SWS : 計畫供水量 ($l/s, m^3/s$)



河川水位之變化

附錄 III mm/day 與 $\ell/\text{sec}/\text{ha}$ 轉換表

mm/day	$\ell/\text{s}/\text{ha}$	$\ell/\text{s}/\text{ha}$	mm/day
2	0.23	0.2	1.7
3	0.35	0.3	2.6
4	0.46	0.4	3.5
5	0.58	0.5	4.3
6	0.69	0.6	5.2
7	0.87	0.7	6.0
8	0.93	0.8	6.9
9	1.04	0.9	7.8
10	1.16	1.0	8.6
12	1.39	1.2	10.4
14	1.62	1.4	12.1
16	1.85	1.6	13.8
18	2.08	1.8	15.6
20	2.31	2.0	17.3

附錄 IV 資料表格

資料表格 1

單一作物之淨計畫灌溉需水量之決定

作物：_____ 最早種植：_____

面積：_____ 最晚種植：_____

作物生長期	作物係數 (K _c)
開始階段：_____天	K _c = _____
作物發展階段：_____天	K _c = _____
中間階段：_____天	K _c = _____
最後階段：_____天	K _c = _____

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物面積 制度 ha												
ET _o (mm/day)												
P _e (mm/day)												
生長期												
生長期 K _c												
月 別 K _c ¹												
ET _{crop} mm/mon ²												
IN _e mm/mon ³												
生長期												
生長期 K _c												
月 別 K _c ¹												
ET _{crop} mm/mon ²												
IN _e mm/mon ³												
IN _{av} (mm/day)												
SIN _{net} l/s ⁴												

1 average of K_c per month

2 ET_{cr} (mm/mon) = ET_o (mm/day) × 每月作物生長日數 × K_c (per month)

3 IN_e or IN_ℓ (mm/mon) = ET_{cr} (mm/mon) - P_e (mm/mon)

4 SIN_{net} = (IN_{av} × Area) / 260

資料表格 2

多種作物耕作制度之淨計畫灌溉需水量之決定

地點：_____ 日期：_____

作物 1：_____ 作物 2：_____ 作物 3：_____

作物 4：_____ 作物 5：_____

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物 制度 面積 ha												
SIN_{crop}^1 ℓ/s												
SIN_{crop}^2 ℓ/s												
SIN_{crop}^3 ℓ/s												
SIN_{crop}^4 ℓ/s												
SIN_{crop}^5 ℓ/s												
SIN_{net} ℓ/s												

1. SIN_{crop} 為單一作物之淨計畫灌溉需水量

2. SIN_{net} 在此為多種作物之淨計畫灌溉需水量

資料表格 3

種植時期：

生長期：

作物係數： K_c

Day 0-60

Mid season

Last 30 days

SAT：mm Early

PERC：mm/day=mm/month

WL：mm Early

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
作物 面積 制度 ha												
ET_o (mm/day)												
P_e (mm/day)												
生長期												
生長期 K_c												
月 別 K_c ¹												
ET_{cr} mm/mon ²												
SAT mm/mon												
PERC mm/mon												
WL mm/mon												
IN_e mm/mon ³												
生長期												
生長期 K_c												
月 別 K_c ¹												
ET_{cr} mm/mon ²												
SAT mm/mon												
PERC mm/mon												
WL mm/mon												
IN_e mm/mon ³												
IN_{av} mm/day												
SIN_{net} l/s ⁴												

1 average of K_c per month

2 ET_{cr} (mm/mon) = ET_o (mm/day) × 每月作物生長日數 × K_c (per month)

3 IN_e or IN (mm/mon) = ET_{cr} (mm/mon) - P_e (mm/mon)

4 SIN_{net} = (IN_{av} × Area) / 260

參考文獻

1. 中國農業工程學會 (1999), 農田水利會之灌溉排水維護及管理訓練推廣計畫, 灌溉用水管理訓練手冊第六冊灌溉之需求與供應, 行政院農業委員會。
2. 農田水利會聯合會 (1994), 農田水利技術人員訓練教材灌溉管理類合訂本。
3. 前經濟部水資源統一規劃委員會 (1994,1995), 台灣地區之水資源。
4. 農業工程研究中心 (1998), 農田水利教材, 財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會。
5. 曹以松 (1989), 地下水, 中國土木水利工程學會。
6. 沈向白 (1989), 雲林地區地下水安全出水量調查研究, 嘉義農工學報, 第八期, 第 11-31 頁。
7. 地下水勘測隊 (1957), 大濁水溪沖積扇平原地下水勘查報告。
8. 地下水工程處 (1963), 大濁水溪沖積扇地區地下水源複勘報告。
9. 李源泉 (1970), 濁幹線臨海地域之水收支研究, 經濟部水資源開發委員會。
10. 前地下水工程處 (1973), 濁水溪南岸雲林地區地下水源調查報告。
11. 嘉義農專 (1991), 濁水溪沖積扇地區地下水資源調查, 嘉義農專報告。
12. 前水資源統一規劃委員會 (1992), 臺灣地區地下水資源, 經濟部, 共 45 頁。
13. 水資源局 (1996), 臺灣地區地下水觀測網整體計畫, 經濟部。
14. 曹以松 (1996), 濁水溪沖積扇與台灣的地下水研究, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, 前經濟部水利司。
15. 劉聰桂 (1996b), 濁水溪沖積扇之地下水資源—碳十四與氡定年/示蹤研究, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, 前經濟部水利司, 181-206 頁。
16. 姜儷安、歐陽湘 (1997), 雲林地區地下水與水平衡初步分析, 濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集, 前經濟部水利司, 181-206 頁。
17. 土木科技研究發展文教基金會 (1997), 地層下陷防治推動綜合計畫子計畫九—雲嘉地區安全出水量之估算, 經濟部水資源局, 共 116 頁。
18. 逢甲大學 (1997), 地下水及地盤下陷調查—濁水溪沖積扇地下水資源之合理推估 (一), 行政院農業委員會, 共 65 頁。
19. 林國峰、李天浩、陳家洵、蔡惠峰、劉振宇、謝正倫、譚義績、歐陽湘 (1997), 濁水溪沖積扇地下水補注工作架構之規劃與推動, 雲林縣政府。
20. 經濟部水資源局 (1997), 中華民國 85 年臺灣水文年報, 經濟部。
21. 經濟部水利處 (1997a), 台灣地區地下水觀測網第一期計畫--地下水觀測網

- 之建立及運作管理 86 年子計畫報告--濁水溪沖積扇扇頂平原地區地表垂向補注量估計，經濟部水資源局。
- 22.經濟部水利處 (1997b)，台灣地區地下水觀測網第一期計畫--濁水溪沖積扇地下水水文初步分析，經濟部水資源局。
 - 23.林再興、陳時祖、李振誥 (1998)，地層下陷防治綜合計畫子計畫四—彰化地層下陷區地下水入滲補注及安全出水量之評估，經濟部水資源局。
 - 24.中興工程顧問股份有限公司 (1998)，濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用第二階段—濁水溪沖積扇地下水人工補注計畫規劃報告，臺灣省水利處，共 223 頁。
 - 25.農工中心 (1998)，彰化雲林農田水利會灌區現有水井調查與 GPS 定位，經濟部水資源局，共 108 頁。
 - 26.嘉義技術學院 (1998)，嘉義沿海地區地下水安全出水量調查研究，經濟部水資源局，共 156 頁。
 - 27.中鼎工程顧問有限公司 (1999)，楠梓加工出口區地下水資源監測與評估，楠梓加工出口區管理局。
 - 28.嘉南農田水利會 (1982)，「民國 68 年至 70 年曾文-烏山頭灌溉管理報告」。
 - 28.駱安華 (1960)，「迴歸水之計算與運用」，台灣水利第 8 卷第 2 期。
 - 29.前台灣省水利局等 (1972)，「新竹苗栗地區水資源繼續調查研究計畫報告—苗栗公館區後龍溪河道與穿龍圳灌區水之動態研究」。
 - 30.徐龍淵、徐恭也 (1986)，「迴歸水利用現況及加強方法」，農田水利第 34 卷第 8 期。
 - 31.林癸妙 (1998)，「水田迴歸水量之研究」，中央大學土木工程研究所，碩士論文。
 - 32.行政院農業委員會 (1986)，「乾早年調整水量分配標準及救災處理制度」。
 - 33.蔡明華 (1993)，「乾旱時期灌溉營運措施與救災處理」，行政院農業委員會。
 - 34.行政院農業委員會 (1994)，「發生乾旱時農業用水之因應措施」。
 - 35.行政院農業委員會 (1999)「農業用水之節水目標及措施」。
 - 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.FAO (1989) ,NGO Case Book on Small Scale Irrigation in Africa. Agl Miscellaneous Paper 15. R. Carter. Rome.
- 41.FAO (1992) ,Irrigation Water Management Training manual no6 “Scheme Irrigation Water Needs and Supply”, International Institute for Land Reclamation and Improvement & FAO Land and Water Development Division.
- 42.Kay M. (1986) ,Surface Irrigation: System and Practice. Cranfield Press. Bedford, UK.
- 43.Stern P. (1979) , Small Scale Irrigation: Intermediate Technology Publications, London and International Irrigation Information Centre, Bet Dagan.
- 44.Withers B. and Vipond s. (1974) , Irrigation Design and Practice. Batsford. London.
- 45.Wopereis, M.C.S. et al., 1994, “Water use efficiency of flooded rice fields. (I) Validation of the soil-water balance model SAWAH.” Agricultural Water Management, 26: pp277-289.