

# 第一章 概述

## 1.1 前言

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

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

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

灌溉計畫視其目的之不同所能提供的幫助，有以下三點：

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

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

## 1.2 內容概要

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

有關本篇內容示意圖，如圖 1-1。

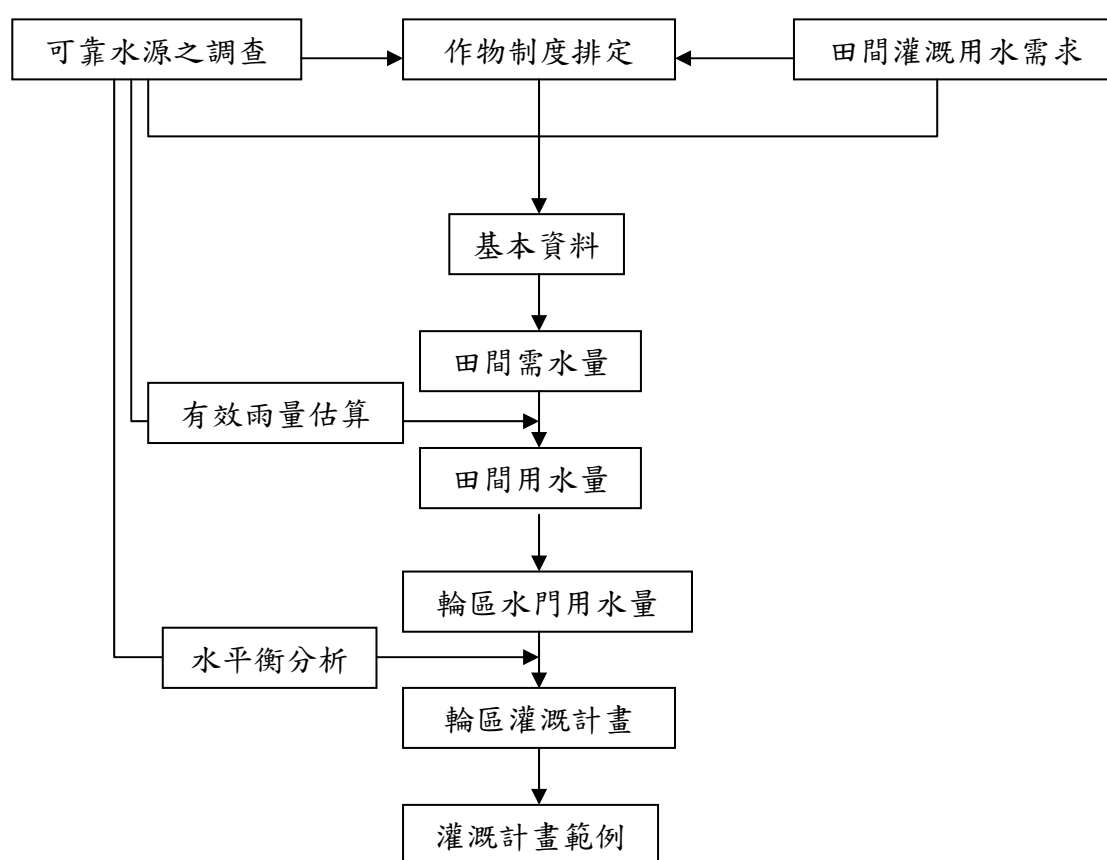


圖 1-1 本篇內容示意圖

## 第二章 灌溉計畫製作之前置作業

### 2.1 對灌區及系統之瞭解

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

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

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

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

## 2.2 對灌區作物制度之瞭解

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

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

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

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

1.雙期作田：有充足水源，每一年可種植兩期水稻之水田。

2.單期作田：

(1)前單期作田：每年固定於第一期供灌種植水稻之水田。

(2)後單期作田：每年固定於第二期供灌種植水稻之水田。

3.輪作田：

(1)二年一作：以二年為一輪迴，可供灌一期水稻之農田。

(2)三年一作：以三年為一輪迴，可供灌一期水稻之農田。

(3)三年二作：以三年為一輪迴，可供灌兩期作水稻之農田。

4.蔗作田：耕地以種植製糖用甘蔗為主之農田，如臺糖公司之甘蔗農場地。

而就作物栽培時期或作物種類之不同，尚有下列耕作方式，但通常並不給予灌溉水。

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



## 2.3 對田間灌溉用水之瞭解

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

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

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

### 2.3.1 灌溉用水量之定義

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

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

### 2.3.2 計算灌溉用水量之主要因子

#### 一、蒸發散量 (ET)

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

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

表 2-1 台灣一二期水稻作物係數

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

資料來源：灌溉排水原理，1993。

表 2-2 台灣之地區水稻蒸發散量

單位：mm

月別 生育階段 ET 地區別	十二月		一月		二月		三月		四月		五月		六月		七月		八月		九月		十月		十一月	
	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬	上旬	下旬
	淡水							A(1) 1.60	B(1) 2.56	C(1) 4.80	D(1) 5.20	E(1) 6.24	F(1) 5.76	G(1) 5.60	H(1) 3.92		A(2) 6.21	B(2) 8.16	C(2) 10.20	D(2) 9.12	E(2) 8.55	F(2) 5.59	G(2) 4.30	H(2) 2.16
台北							A(1) 1.65	B(1) 2.64	C(1) 4.92	D(1) 5.33	E(1) 5.98	F(1) 5.52	G(1) 5.20	H(1) 3.64		A(2) 5.40	B(2) 7.32	C(2) 9.15	D(2) 8.80	E(2) 8.25	F(2) 5.72	G(2) 4.40	H(2) 2.16	
下大堀							A(1) 1.35	B(1) 2.16	C(1) 4.32	D(1) 4.68	E(1) 5.20	F(1) 4.80	G(1) 5.00	H(1) 3.5	A(2) 4.50	B(2) 7.80	C(2) 9.75	D(2) 9.44	E(2) 8.85	F(2) 6.50	G(2) 5.00	H(2) 2.52		
新竹							A(1) 1.55	B(1) 2.48	C(1) 4.92	D(1) 5.33	E(1) 6.63	F(1) 6.12	G(1) 6.10	H(1) 4.27	A(2) 5.49	B(2) 9.00	C(2) 11.25	D(2) 10.24	E(2) 9.00	F(2) 7.41	G(2) 5.70	H(2) 3.12		
竹南							A(1) 1.30	B(1) 2.08	C(1) 3.96	D(1) 4.29	E(1) 5.46	F(1) 5.04	G(1) 4.70	H(1) 3.27	A(2) 4.23	B(2) 7.20	C(2) 9.00	D(2) 7.84	E(2) 7.35	F(2) 6.11	G(2) 4.70	H(2) 2.82		
大甲					A(1) 1.40	B(1) 2.88	C(1) 4.32	D(1) 5.85	E(1) 5.85	F(1) 6.00	G(1) 5.00	H(1) 3.78			A(2) 5.85	B(2) 7.80	C(2) 9.15	D(2) 9.86	E(2) 8.55	F(2) 7.41	G(2) 5.30	H(2) 3.18		
台中					A(1) 1.60	B(1) 2.72	C(1) 4.08	D(1) 5.20	E(1) 5.20	F(1) 6.00	G(1) 5.00	H(1) 3.50			A(2) 5.22	B(2) 6.96	C(2) 7.80	D(2) 8.32	E(2) 0.90	F(2) 5.98	G(2) 4.60	H(2) 2.76		
日月潭					A(1) 1.20	B(1) 2.08	C(1) 3.12	D(1) 3.38	E(1) 3.38	F(1) 3.72	G(1) 3.10	H(1) 2.03			A(2) 2.88	B(2) 3.84	C(2) 4.80	D(2) 5.12	E(2) 3.90	F(2) 3.38	G(2) 2.70	H(2) 1.62		
西螺					A(1) 1.45	B(1) 2.64	C(1) 3.96	D(1) 5.33	E(1) 5.33	F(1) 5.88	G(1) 4.60	H(1) 3.50			A(2) 5.31	B(2) 7.08	C(2) 8.40	D(2) 8.96	E(2) 6.90	F(2) 5.98	G(2) 4.60	H(2) 2.76		
嘉義			A(1) 1.10	B(1) 1.76	C(1) 2.76	D(1) 2.99	E(1) 4.42	F(1) 4.08	G(1) 3.90	H(1) 2.73					A(2) 3.96	B(2) 7.05	C(2) 6.88	D(2) 6.45	E(2) 4.68	F(2) 3.60	G(2) 2.10	H(2) 2.10		
麻豆			A(1) 1.35	B(1) 2.16	C(1) 3.84	D(1) 4.16	E(1) 5.07	F(1) 4.68	G(1) 4.60	H(1) 3.22					A(2) 4.41	B(2) 6.12	C(2) 7.65	D(2) 6.72	E(2) 6.30	F(2) 5.33	G(2) 4.10	H(2) 2.40		
台南			A(1) 1.10	B(1) 1.76	C(1) 3.36	D(1) 3.64	E(1) 4.32	F(1) 4.32	G(1) 4.20	H(1) 2.94					A(2) 4.23	B(2) 6.00	C(2) 7.50	D(2) 6.56	E(2) 6.15	F(2) 5.07	G(2) 3.90	H(2) 2.34		
屏東		A(1) 1.10	B(1) 1.68	C(1) 2.52	D(1) 3.25	E(1) 3.25	F(1) 3.72	G(1) 3.10	H(1) 2.59					A(2) 3.06	B(2) 4.08	C(2) 5.52	D(2) 5.60	E(2) 4.50	F(2) 3.90	G(2) 3.00	H(2) 1.80			
旗山		A(1) 1.05	B(1) 1.84	C(1) 2.76	D(1) 3.51	E(1) 3.51	F(1) 4.20	G(1) 3.50	H(1) 2.73					A(2) 3.51	B(2) 4.68	C(2) 6.30	D(2) 6.72	E(2) 6.00	F(2) 5.20	G(2) 3.70	H(2) 2.22			
恒春		A(1) 1.40	B(1) 2.08	C(1) 3.12	D(1) 4.68	E(1) 4.68	F(1) 4.80	G(1) 4.00	H(1) 3.15					A(2) 3.60	B(2) 4.80	C(2) 6.30	D(2) 6.72	E(2) 5.25	F(2) 4.55	G(2) 3.50	H(2) 2.10			
基隆						A(1) 1.40	B(1) 2.24	C(1) 4.08	D(1) 4.42	E(1) 5.07	F(1) 4.68	G(1) 5.15	H(1) 3.57			A(2) 6.39	B(2) 7.56	C(2) 9.45	D(2) 8.32	E(2) 7.80	F(2) 5.33	G(2) 4.10	H(2) 1.92	
宜蘭					A(1) 1.15	B(1) 2.16	C(1) 3.24	D(1) 4.29	E(1) 4.29	F(1) 4.36	G(1) 3.80	H(1) 3.36			A(2) 5.67	B(2) 7.56	C(2) 8.55	D(2) 9.12	E(2) 6.75	F(2) 5.85	G(2) 2.80	H(2) 1.60		
花蓮					A(1) 1.50	B(1) 2.80	C(1) 4.20	D(1) 5.20	E(1) 5.20	F(1) 5.76	G(1) 4.80	H(1) 3.92			A(2) 5.85	B(2) 7.20	C(2) 9.00	D(2) 8.80	E(2) 8.25	F(2) 8.85	G(2) 4.50	H(2) 1.98		
台東					A(1) 1.45	B(1) 2.72	C(1) 4.08	D(1) 4.94	E(1) 4.94	F(1) 5.28	G(1) 4.40	H(1) 3.22			A(2) 4.41	B(2) 5.88	C(2) 6.60	D(2) 7.04	E(2) 6.30	F(2) 5.46	G(2) 3.90	H(2) 2.34		
新港					A(1) 1.55	B(1) 2.56	C(1) 3.84	D(1) 4.55	E(1) 4.55	F(1) 4.80	G(1) 4.00	H(1) 3.22			A(2) 4.59	B(2) 6.12	C(2) 7.35	D(2) 7.81	E(2) 7.05	F(2) 6.11	G(2) 4.50	H(2) 2.70		
大武					A(1) 1.75	B(1) 3.04	C(1) 4.56	D(1) 5.85	E(1) 5.85	F(1) 6.00	G(1) 5.00	H(1) 3.71			A(2) 4.59	B(2) 6.12	C(2) 7.20	D(2) 7.68	E(2) 6.60	F(2) 5.72	G(2) 4.80	H(2) 2.88		
岡山		A(1) 1.05	B(1) 1.76	C(1) 2.64	D(1) 3.51	E(1) 3.51	F(1) 4.08	G(1) 3.40	H(1) 2.73					A(2) 3.60	B(2) 4.80	C(2) 6.30	D(2) 6.72	E(2) 5.55	F(2) 4.81	G(2) 3.70	H(2) 2.22			
鳥松		A(1) 1.10	B(1) 1.76	C(1) 2.64	D(1) 3.38	E(1) 3.38	F(1) 3.96	G(1) 3.30	H(1) 2.66					A(2) 2.33	B(2) 1.76	C(2) 5.85	D(2) 6.24	E(2) 5.10	F(2) 4.42	G(2) 3.40	H(2) 2.04			
高雄		A(1) 1.10	B(1) 1.76	C(1) 2.64	D(1) 3.38	E(1) 3.38	F(1) 3.96	G(1) 3.30	H(1) 2.66					A(2) 3.42	B(2) 1.76	C(2) 6.00	D(2) 6.40	E(2) 5.25	F(2) 4.55	G(2) 3.50	H(2) 2.10			
宮源					A(1) 1.05	B(1) 2.16	C(1) 3.24	D(1) 4.42	E(1) 4.42	F(1) 4.80	G(1) 4.00	H(1) 3.22			A(2) 5.04	B(2) 5.88	C(2) 7.35	D(2) 6.88	E(2) 6.45	F(2) 4.29	G(2) 3.30	H(2) 1.50		
池上					A(1) 1.50	B(1) 2.96	C(1) 4.44	D(1) 5.59	E(1) 5.59	F(1) 5.88	G(1) 4.90	H(1) 3.71			A(2) 5.40	B(2) 7.20	C(2) 7.80	D(2) 8.32	E(2) 7.20	F(2) 6.24	G(2) 4.20	H(2) 2.52		
玉里					A(1) 1.00	B(1) 2.16	C(1) 3.24	D(1) 4.42	E(1) 4.42	F(1) 4.68	G(1) 3.90	H(1) 3.15			A(2) 4.86	B(2) 5.52	C(2) 6.90	D(2) 6.40	E(2) 6.00	F(2) 4.16	G(2) 3.20	H(2) 1.50		

資料來源：灌溉排水原理，1993。



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

表 2-3 台灣各季雜作蒸發散量

單位：mm

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

資料來源：研擬合理農業用水標準，1996。

## 二、滲漏量 (P)

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

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

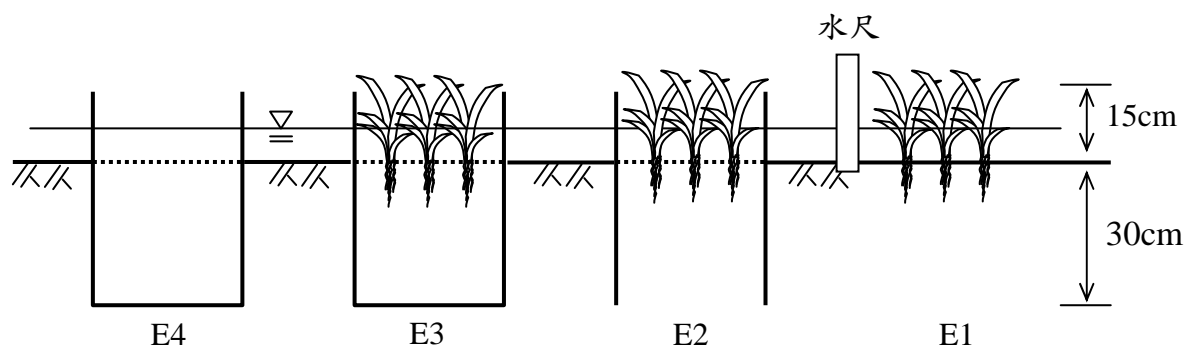


圖 2-2 筒測法示意圖

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

水面及土面蒸發 = E4

$$\begin{aligned} \text{垂直滲漏} &= (\text{葉面蒸散} + \text{水面及土面蒸發} + \text{垂直滲漏}) - (\text{葉面蒸散} + \text{水面及土面蒸發}) \\ &= E2 - E3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{橫向滲漏} &= \text{水量損失總和} - (\text{葉面蒸散} + \text{水面及土面蒸發} + \text{垂直滲漏}) \\ &= E1 - E2 \end{aligned}$$

E1：在田區內設立水尺觀測每天水位，由前後二天之差，求得逐日之減水深。

E2：無底汽油桶中植水稻，桶內保持田面水深，每日觀測水深。

E3：有底滲漏桶，內植水稻，桶內保持田面水深。

E4：有底滲漏桶，內無水稻，桶內保持田面水深。

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

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

表 2-4 各種土壤滲漏量

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

### 三、有效雨量 (ER)

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

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

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

- $K_{ER}$  : 有效雨量率 (%)
- $Q_{IN}$  : 觀測期間流入調查區域之平均流量 (cms)
- $Q_{OUT}$  : 觀測期間流出調查區域之平均流量 (cms)
- $T$  : 觀測期間 (day)
- $A$  : 觀測區域面積 (ha)
- $ET$  : 蒸發散量 (mm/day)
- $P$  : 滲透量 (mm/day)
- $RF$  : 觀測期間之總降雨量 (mm)
- $ER$  : 觀測期間之有效雨量 (mm)

經由上法推估水稻續灌田之有效雨量，可列舉如表 2-5。

表 2-5 水稻續灌田之有效雨量

單位：mm/day

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

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

#### 四、水路輸水損失 (S)

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

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

$$(1) \text{供水 } S_1 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

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

$Q_{in}$ ：流進量

$Q_{out}$ ：流出量

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

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

因此，理論之損失量  $S_1$  可經由(3)轉換為  $S_2$ ，以方便現地使用。

### 2.3.3 灌溉水深與期距

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

#### 一、灌溉水深

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

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

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

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

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

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

#### 4. 決定一次灌溉水深的方法

以  $W_s$  表示，說明如下：

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

$W_s$  : 灌溉水深。

$\alpha$  : 係數，水稻為 1，雜作常見有 1/4、1/2 及 3/4。

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

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

$A_s$  : 土壤假比重。

$d$  : 有效根系深度。

$E$  : 施灌效率，灌溉後根系蓄積水量與灌入田區水量之比值。

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

## 二、灌溉期距

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

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

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

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

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

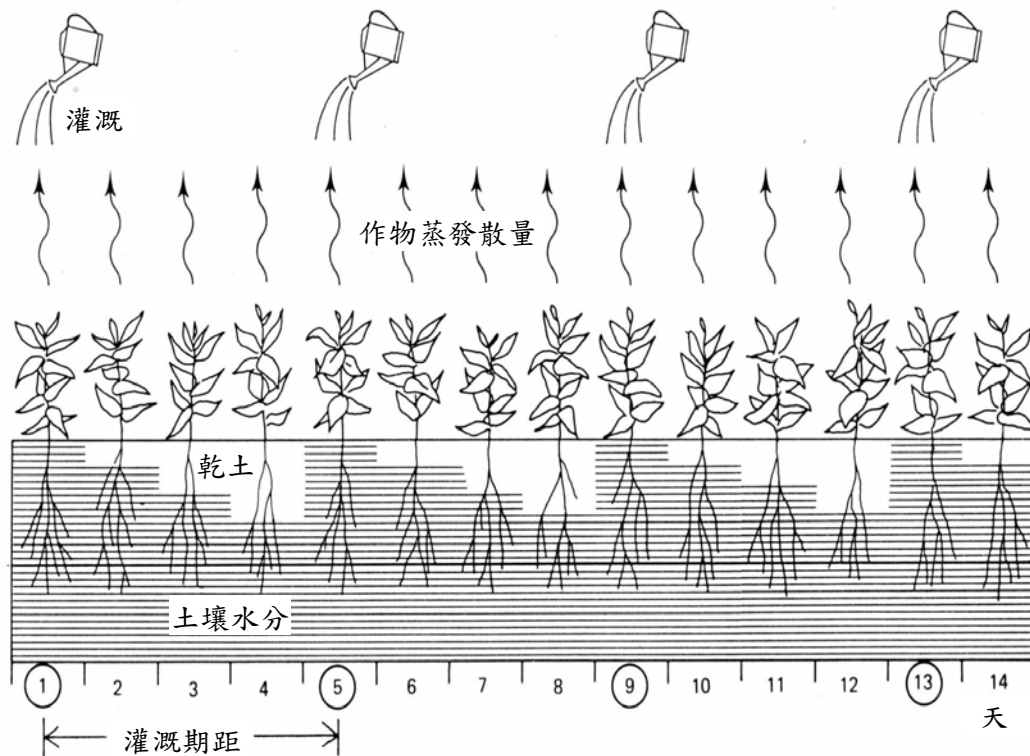


圖 2-3 經常性之施灌則作物將不會遭受缺水之情形

### 三、主要雜作作物灌溉次數

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

表 2-6 嘉南灌區雜作灌溉實施情形

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

\*：1.毛管水供應量以 51.6% 計算。

2.降雨量與蒸發量採用中央氣象局連續 20 年記錄平均值。

## 2.4 對灌溉水源之瞭解

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

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

### 一、雨水

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

### 二、溪河水量



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

### 三、水庫及池塘蓄水量

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

### 四、回歸水

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

### 五、地下水

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

### 第三章 輪區灌溉計畫之製作

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

#### 3.1 基本資料

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

#### 3.2 田間灌溉耗水量 (WR) 之估算

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

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

田間耗水量計算說明範例：以水稻田為例

##### 1. 秧田

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

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

計算例：

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

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

第 2 天=0.03mm×2=0.06mm（即 1 月 23 日）

第 3 天=0.03mm×3=0.09mm（即 1 月 24 日）

依此可累計秧田期每旬之田間耗水量，如表 3-1。

表 3-1 水稻秧田期之日田間耗水量（以 1 月下旬為例）

單位：mm

項目 \ 日	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
整地日計	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
補給日計	0	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.3
整地旬計	4										
補給旬計	1.65										

## 2. 整田

整田期耗水量之多少，即視水田土壤空隙率、含水量滲透能力、翻耕深度、配水管理而不同，通常 100mm~200mm 範圍最多。

計算例

假設整田耗水量 180mm，一次供給，錯開 20 天，1 月 22 日開始播種，計算整田期耗水量如下（育苗日數 40 天）：

整田耗水量每天=180mm/20 天=9mm/day(自 3 月 2 日起至 3 月 21 日止)。

## 3. 本田

水稻移植後就開始灌溉，至成熟末期即可停止灌溉，在生長成熟過程中之田間灌溉耗水量包括本田蒸發散量(或本田作物需水量)及土壤滲漏量。

計算例：

(1)本田期蒸發散量

插秧整地完成後水稻即進入本田期之分蘗初期，本例蒸發散量依水稻生長期查表 2-2，因此本田期第 1 天蒸發散量= $2.16\text{mm} \times 1/20 = 0.108\text{mm}$ （即 3 月 3 日）。

第 2 天= $0.108\text{mm} \times 2 = 0.216\text{mm}$ （即 3 月 4 日）

第 3 天= $0.108\text{mm} \times 3 = 0.324\text{mm}$ （即 3 月 5 日）

依此，根據水稻不同生長期之作物蒸發散量，推估本田期日及旬蒸發散量，如表 3-2。

(2)本田期滲漏量

台灣水稻田區均有田埂，灌溉後不容許發生逕流，因此灌溉計畫中之田間滲漏量僅計入垂直滲漏損失。本例滲漏量依土壤類別查表 2-4 採粘質壤土  $6.85\text{mm/day}$  計算。本田期第 1 天滲漏量= $6.85\text{mm} \times 1/20 = 0.3425\text{mm}$ （即 3 月 3 日）。

第 2 天= $0.3425\text{mm} \times 2 = 0.685\text{mm}$ （即 3 月 4 日）

第 3 天= $0.3425\text{mm} \times 3 = 1.0275\text{mm}$ （即 3 月 5 日）

依此，推估本田期日及旬滲漏量，如表 3-2。

(3)本田期田間耗水量=本田期蒸發散量+本田期滲漏量，如表 3-2。

4.由步驟 1、2、3 依照水稻秧田期、整田期及本田期，分別計算各旬之田間灌溉耗水量，如表 3-3。

表 3-2 水稻本田期之日田間耗水量（以 3 月上旬為例）

單位：mm

日 生育期	蒸發散量 mm/day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分蘖初期	2.16	0	0	0.108	0.216	0.324	0.432	0.54	0.648	0.756	0.864
分蘖末期	4.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
開花初期	4.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
開花末期	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
成熟初期	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
成熟中期	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
成熟末期	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
滲漏量	6.85	0	0	0.343	0.685	1.028	1.37	1.713	2.055	2.398	2.74
蒸發散量旬計 mm		3.9									
滲漏量旬計 mm		12									

### 3.3 田間灌溉用水量（FIR）之估算

$$\text{田間灌溉用水量 (FIR)} = \text{田間耗水量 (WR)} - \text{有效雨量 (ER)}$$

田間灌溉用水量（FIR）常以一時間內之用水深（mm）、體積（ $m^3$ 、 $l$ ）及流量（cms、 $l/sec$ ）為計量，其值為前項田間耗水量（WR）扣除有效雨量（ER）。

田間灌溉用水量計算說明範例：以水稻田為例

水稻田有效雨量宜依據管理所決定之標準，惟應注意如下各項：

- (1) 秧田用水不計入有效雨量。
- (2) 為避免缺水，第一期作整田期不計入有效雨量。
- (3) 移植錯開期間中之有效雨量應按實際移植完成之面積比例計算，本例灌溉輪區面積採 50 公頃。
- (4) 斷水開始後之有效雨量計算應按斷水面積之增加逐日減遞有效雨量。
- (5) 本例有效雨量依據水稻生長期查表 2-5 計算，如表 3-4。

表 3-3 水稻田間灌溉耗水量 (WR) 之估算例

單位：mm

項目		1月			2月			3月			4月			5月			6月			7月			本期合計	備註			
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下					
秧田期 耗水量	整地			4	4																	8					
	補給			1.65	4.65	6	4.8	0.6															17.7				
整地期號水量								81	90	9													180				
本田期蒸 發散量	分蘗 初期							3.888	13.93	12.96	1.62												32.4				
	分蘗 末期								1.944	21.38	30.24	11.88												65.448			
	開花 初期											10.53	31.59	24.57	3.51									70.2			
	開花 末期												2.6	24.57	36.4	14.3									77.87		
	成熟 初期														10.8	32.4	26.4	2.4							72		
	成熟 中期															2.5	27.5	33.75	11.25							75	
	成熟 末期																	9.625	24.5	16.63	1.75					52.5	
滲漏量								12.33	46.24	75.01	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	75.35	68.5	63.36	32.54	3.43				719.25			
小計				5.65	8.65	6	4.8	97.82	152.1	118.4	110.9	114.6	117.6	119.2	117.7	129.3	114.3	99.11	49.16	5.175				1370.37			

表 3-4 水稻田間用水量 (FIR) 之估算例 (灌溉面積 50ha)

時間	項目 單位	水稻田間耗水量	估計有效雨量	估計田間用水量		
		WR mm	ER mm	FIR mm	FIR m <sup>3</sup>	FIR ℓ/sec
1 月	上					
	中					
	下	5.65		5.65	2,825	3.270
2 月	上	8.65		8.65	4,325	5.006
	中	6		6	3,000	3.472
	下	4.8		4.8	2,400	2.778
3 月	上	97.818	3.6	94.218	47,109	54.524
	中	152.1135	14.28	137.8335	68,916.75	79.765
	下	118.3515	34.77	83.5815	41,790.75	48.369
4 月	上	110.89	44.05	66.84	33,420	38.681
	中	114.57	46.05	68.52	34,260	39.653
	下	117.64	46.475	71.165	35,582.5	41.183
5 月	上	119.21	47.15	72.06	36,030	41.701
	中	117.7	47.525	70.175	35,087.5	40.611
	下	129.25	50.6	78.65	39,325	45.515
6 月	上	114.275	44.2	70.075	35,037.5	40.553
	中	99.1125	40.7	58.4125	29,206.25	33.804
	下	49.1625	20.9	28.2625	14,131.25	16.536
7 月	上	5.175	2.2	2.975	1,487.5	1.722
	中					
	下					
本期合計		1,370.368	442.5	927.868	463,934	
備註						

### 3.4 輪區用水量 (TR) 之估算

$$\text{輪區用水量 (TR)} = \text{田間灌溉用水量 (FIR)} + \text{水路輸水損失量 (S)}$$

1. 輪區用水量 (TR) 較常以流量 (cms、 $\ell/\text{sec}$ ) 為計量，其值為前項田間灌溉用水量 (FIR) 加上水路輸水損失量 (S)。
2. 灌溉管理乃為公平配水，必須精確計量水路輸水損失，方能免生糾紛及獲得田坵圓滿的灌溉，為期有正確之數值，必須隨時隨地經常觀測記錄。

(1) 幹、支、分線之輸水損失觀測：目前水利會幹、支、分線之構造，大部份為混凝土內面上，其輸水損失量均於建設完成時利用穆芮斯氏 Moritz 公式估計及實際觀測所得資料，由於經過年久，內面上構造難免有裂縫或其他斷面不整等現象，故採用之輸水損失難免有所不正確，未來仍需就幹、支、分線各段加以觀測，其方法以流速儀為主，浮漂法、水面坡降法輔進行流量觀測。

(2) 小給水路輸水損失觀測：灌區內小給水路大部份為土渠，在水稻灌溉期間係連續通水狀態，故其損失較穩定，但在雜作及甘蔗灌溉時，土渠較乾且水路甚長，因此坵塊灌溉順序之前後，輸水損失之差異極大，故盡可能利用兩具簡單之量水槽（如三角堰或巴歇爾量水槽），任意選定不定長之水路計量兩段之流量，由下式求得，流入量－流出量＝水路損失量 (CMS)。

#### 輪區水門用水量計算說明範例：以水稻田為例

1. 小給水路之輸水損失應依據已經查定之輸水損失率計算，為秧田用水因流量較少，其輸水損失率應另行考慮（一般均以 50% 為準計算）。
2. 進入整田及本田期後，水路輸水損失需依實際觀測資料決定，本例水路輸水損失採用  $S_2=18\%$ ，估算水路損失水量。
3. 為避免估算後之輪區水門用水量過小，以致無法將田間用水量全數送抵田間，故於估算輪區水門用水量後，仍需與給水路最少供應量比較，若估算後之輪區水門用水量小於水路最少供應量時，則水門用水流量需採用水路最少供應量。本例給水路最少供應量採  $8 \ell/s$ ，如表 3-5。



表 3-5 水稻輪區水門用水量之估算例

時間	項目 單位	田間用水量	估計輸水損失	估計田間用水量	估計水門用水	水門用水流量
		FIR	S2(18%)	FIR	流量	Qdemand(Qd)
		ℓ/sec	ℓ/sec	ℓ/sec	ℓ/sec	ℓ/sec
1 月	上					
	中					
	下	3.270	3.270	6.539	8	8.00
2 月	上	5.006	5.006	10.012	8	10.01
	中	3.472	3.472	6.944	8	8.00
	下	2.778	2.778	5.556	8	8.00
3 月	上	54.524	9.814	64.339	8	64.34
	中	79.765	14.358	94.122	8	94.12
	下	48.369	8.706	57.075	8	57.08
4 月	上	38.681	6.963	45.643	8	45.64
	中	39.653	7.138	46.790	8	46.79
	下	41.183	7.413	48.596	8	48.60
5 月	上	41.701	7.506	49.208	8	49.21
	中	40.611	7.310	47.920	8	47.92
	下	45.515	8.193	53.708	8	53.71
6 月	上	40.553	7.299	47.852	8	47.85
	中	33.804	6.085	39.888	8	39.89
	下	16.356	2.944	19.300	8	19.30
7 月	上	1.722	0.310	2.032	8	8.00
	中					
	下					
本期合計						
備註						

### 3.5 水平衡分析

由於水量供需兩方皆發生於同一個灌溉系統內，理想之灌溉必須要滿足水量供需雙方之平衡。

灌溉計畫之製作目的應是以滿足每個坵塊之灌溉需求為優先，在輪區內應逐一計算累加每一坵塊之需水量，才可求得每一輪區真正所需要之灌溉水量，水源由水利會統籌負責供應，農民並不瞭解水源水量是否能滿足全部田坵之灌溉，僅關心水利會供水到自己坵塊的水量能否足夠於田間作物之所需。因此最佳之灌溉計畫狀況為：

$$Q_{\text{supply}} = Q_{\text{demand}}$$

其中：

$Q_{\text{supply}}(Q_s)$ ：輪區水門以上之水路供水量，

$Q_{\text{demand}}(Q_d)$ ：輪區水門用水流量。

倘若  $Q_s > Q_d$ ，在渠道容許的範圍內，就農民的立場，只要過多的水量不引至田間，造成作物長期淹水以致減產，仍不至有太大問題。反之，發生  $Q_s < Q_d$  時，則就灌溉管理者的立場，為避免農民因缺水使作物減產而造成損失，需針對不同供需差異程度，進行灌溉計畫之修正。

水平衡分析計算說明範例：以水稻田為例

為檢定灌溉計畫之可行與否，需將前述推估之水稻輪區水門用水量（ $Q_{\text{demand}}$ 、 $Q_d$ ）與可供應水門之流量（ $Q_{\text{supply}}$ 、 $Q_s$ ）進行每旬供需水量之差異分析，茲採用旬供需差異量百分比進行比較，如表 3.5-1。

$$\text{旬供需差異量百分比 (\%)} = 100 \times (Q_s - Q_d) / Q_s$$

當旬供需差異百分比在 -10% ~ -20%，則該灌溉計畫視為可以接受，若差異百分比過大時，則需視作物種植與否，採行不同之修正方式。

1. 種植前：調整灌溉面積，延長錯開日數，減低需水尖峰。
2. 種植後：採行輪灌或重點式灌溉，均勻減少供應水量。

表 3-6 水稻輪區每旬之水平衡分析例

時間	項目 單位	水門用水流量 Qdemand (Qd)	可供應水門之流量 Qsupply (Qs)	供量與用量之差異量 Qs - Qd	差異量百分比 (Qs - Qd)/ Qs
		ℓ /sec	ℓ /sec	ℓ /sec	%
1 月	上				
	中				
	下	8.00	9	1.00	11.1
2 月	上	10.01	9	-1.01	-11.2
	中	8.00	9	1.00	11.1
	下	8.00	9	1.00	11.1
3 月	上	64.34	60	-4.34	-7.2
	中	94.12	100	5.88	5.9
	下	57.08	60	2.92	4.9
4 月	上	45.64	45	-0.64	-1.4
	中	46.79	45	-1.79	-4.0
	下	48.60	45	-3.60	-8.0
5 月	上	49.21	45	-4.21	-9.4
	中	47.92	45	-2.92	-6.5
	下	53.71	50	-3.71	-7.4
6 月	上	47.85	45	-2.85	-6.3
	中	39.89	40	0.11	0.3
	下	19.30	20	0.70	3.5
7 月	上	8.00	9	1.00	11.1
	中				
	下				
本期合計					
備註					

### 3.6 年與旬灌溉計畫

灌溉計畫視其製作時機，可分為年灌溉計畫與旬灌溉計畫，後者為實際應用於配水操作之依據，故亦稱為配水計畫，其製作詳見第三篇配水計畫。

- 1.年灌溉計畫係於依作物年度開始前約三個月左右製成，其灌溉用水量之計算如依各水利會悉用之時間單位，如旬採行之。此一計畫為前述各項，包括作物制度或計畫、作物需水量、田間灌溉耗水量、田間灌溉用水量及各水門灌溉用水量之彙集，並以一系統進水口之各旬總灌溉用水量與各旬可供灌水量比較，進行水平衡分析，以決定妥適者選為定案灌溉計畫，再經水利會之會務委員會通過，然後報經濟部水利處及相關縣市政府備查。
- 2.此一年灌溉計畫因製作時間距離灌溉季節尚遠，其功能僅在作為水利會於來年計畫之灌溉目標，實際作業上，於各旬開始前約7至10天前（視灌溉系統規模而定），依最近氣象情況及氣象局預測降雨資料，修訂年灌溉計畫中，各相關旬之水門用水量，包括作物種植計畫之配合修訂，如轉作或休耕等。
- 3.由於旬灌溉計畫將於第三篇「灌溉配水技術」有詳細介紹，故在此僅將旬灌溉計畫之製作原則概述於下：
  - (1)旬灌溉計畫宜就灌溉用水之基本灌區單位（在輪灌推行為輪區，其餘為支分渠或埤圳）分別列出，然後按系統予以統計製作各輪區水門及支分渠或埤圳別之旬灌溉用水計畫。
  - (2)在灌溉水調節設施未自動化前，由於系統設施缺乏機動性，故灌溉計畫之灌溉用水量採旬別計算，並以平均流量表示。
  - (3)在配水時，各灌區再依據實際可供水量之記錄與灌溉計畫之用水量比較，如相差懸殊，即予調整配水計畫。至於輪灌之系統內，每個輪區應分別製作單區配水計畫時間表。

## 第四章 灌溉計畫範例

### 4.1 實際範例之灌溉地及系統

茲以桃園水利會轄區之桃園大圳灌溉計畫為例。

#### 一、灌溉系統

該灌區灌溉系統主要自石門水庫取水，如圖 4-1，利用桃園大圳幹線引入，下分設 16 條支分線，於每年通水前由水利會擬訂各支線之年灌溉計畫表，再交由幹線工作站執行旬灌溉計畫操作。

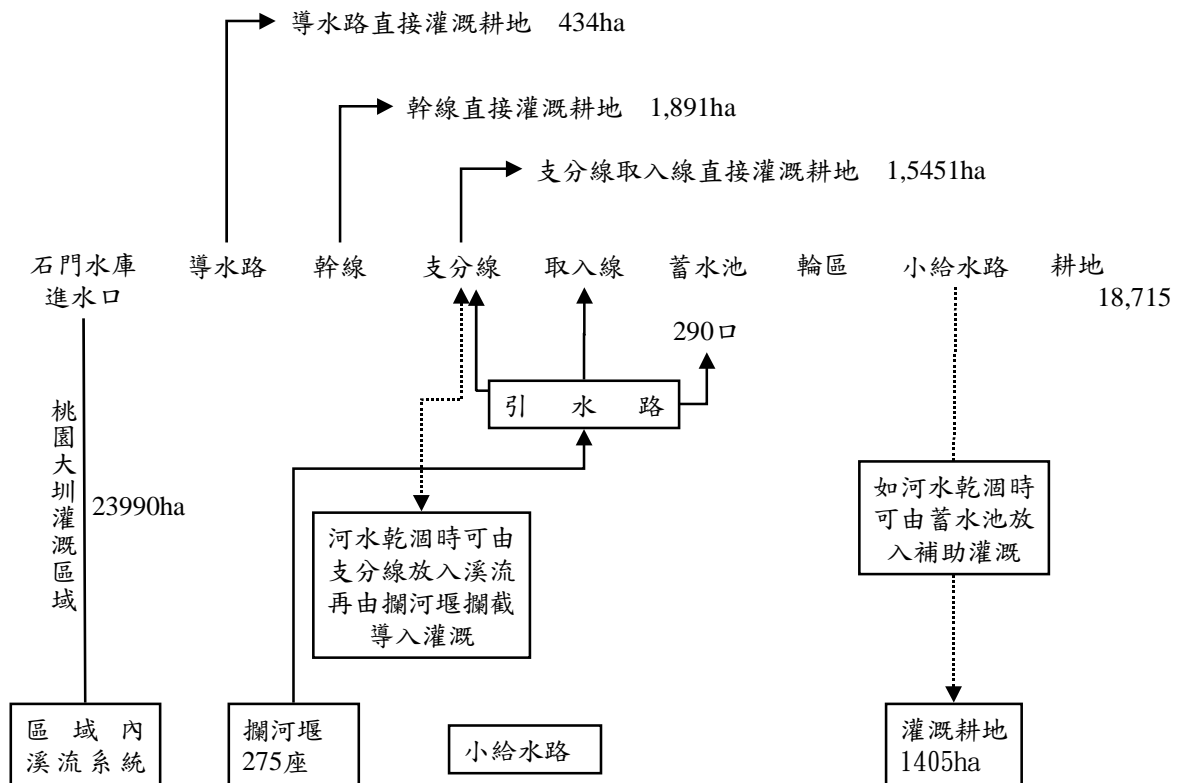


圖 4-1 桃園大圳灌溉系統

旬灌溉計畫執行工作站，如表 4-1。

表 4-1 工作站執行旬灌溉計畫作業

項別	執行工作站	管轄之分線	說明
幹線配水	水尾工作站-依灌溉計畫由石門水庫，供應之幹線通水量分配給各支線，如某支線支池塘貯水過多或過少，或其他原因需要改變分配水量時，應由管理組作改變計畫，由會長核定後通知工作站執行，但洪水期之排水如幹渠水位越過一定標準時，即由站處理啟開排水門洩洪，以維渠道之安全。		
支線配水及執行灌溉	桃園工作站 大竹工作站 大園工作站 大崙工作站 草螺工作站 新坡工作站 觀音工作站 新屋工作站 湖口工作站 大溪工作站	1.支線及轄區幹直 2.... 3.4.5.... 6.7.8-1... 8.... 9.... 10.11.... 12.12-1...蚵殼港圳光復圳 導水路直接灌區	支線管理員依計畫配水量分水至池塘，如有多餘水量依配水比例分配各池塘，灌溉管理員負責各灌區內灌溉配水集合水堰之水盡量引進灌區或池塘，以補充灌溉用水量。

## 二、灌溉面積

該灌區灌溉面積 23,815 公頃，為桃園水利會最大之灌溉區域，不同土壤別之灌溉面積統計，如表 4-2。

## 三、農作時期

桃園大圳對於年灌溉計畫之製作，主要考慮全年對水稻灌溉之供水，對於農作時期之安排，如表 4-3。

表 4-2 灌溉面積

單位：ha

土壤別 圳或支線別		土壤別				計	備註
		輕粘土	粘質壤土	砂質粘壤土	砂質壤土		
桃	1 支線	447	295	174	884	1,800	包括南崁圳、坑子口圳
	2 支線	244	1,874	129	452	2,699	
	3 支線	416				416	
	4 支線	724	29		230	983	
	5 支線		203		553	756	
	6 支線	117		431	14	562	
園	7 支線			708		708	
	8-1 支線	155				155	
大	8 支線	624	608		1,061	2,293	
	9 支線	567	102	308	150	1,127	
	10.11 支線		1,821		1,281	3,102	
	12 支線	360	624		681	1,665	
	蚵殼港圳		784	401	132	1,317	
圳	12-1 支線			181		181	
	幹線直接		2,775	911	115	3,801	
	光復圳	789	798	516	147	2,250	對照表六之一之合計值
	小計	4,443	9,913	3,759	5,700	23,815	

表 4-3 農作時期

農作別	時期	第一期作		第二期作	
		日期	錯開日數	日期	錯開日數
播種		2月1日~2月25日	25天	7月9日~7月28日	20天
浸田		2月15日~3月11日	25天	7月12日~7月31日	20天
整田		2月28日~3月24日	25天	7月23日~8月11日	20天
插秧		3月1日~3月25日	25天	7月24日~8月12日	20天
本田期間		3月1日~7月23日	含錯開	7月24日~11月30日	含錯開
收穫		7月5日~7月29日	145天	11月21日~12月10日	130天
本田灌溉日數		120天(原計畫105天)		110天(原計畫95天)	
備註	在輪區之用水計畫其播種、插秧等錯開日數以15~20天為原則，如屬河水灌區可以延長，惟不超過25天為宜。				

## 4.2 水門灌溉用水量

### 一、田間灌溉耗水量

桃園大圳目前對於田間灌溉耗水量之估算，可分為秧田、浸田、整田及本田四期，與本篇第三章所介紹之估算方式略有不同，主要在於桃園大圳在整田期為降低尖峰用水量，乃依據土壤滲漏情形，提早將部分整田用水量送至田間，實施浸田。另對於本田期田間灌溉耗水量之決定亦較為粗放，並未依水稻不同生長期之作物需水量加以推估。有關桃園大圳之田間灌溉耗水量推估表，如表 4-4。

表 4-4 田間灌溉耗水量

項目		第一期作				第二期作				
		輕粘土	粘質壤土	砂質粘土	砂質壤土	輕粘土	粘質壤土	砂質粘土	砂質壤土	
秧田	折合本田面積比率	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	
	秧田整地(供給一次)(mm)	200	200	200	200	200	200	200	200	
	秧田補給水	日供水深(mm)	15	15	15	15	15	15	15	15
		期距(day)	4	4	4	4	4	4	4	4
		灌溉日數(day)	40	40	40	40	15	15	15	15
折合本田面積之秧田水深(mm)	32	32	32	32	17	17	17	17		
浸田	一次(mm)	100	100	100	-	100	100	100	-	
	二次(mm)	50	50	50	-	50	50	50	-	
整田(mm)		30	30	30	180	30	30	30	180	
本田	每日水深(mm)	自插秧完30天內	7.2	7.6	8.1	10.1	7.6	8.1	8.4	10.8
		自插秧完31天起	6	6.4	6.7	8.4	6.4	6.7	7	9
	期距(day)	自插秧完30天內	3	3	3	3	3	3	3	3
		自插秧完31天起	6	6	6	6	6	6	6	6
	本田期間總水深(mm)		756	804	846	1059	740	779	812	1044
該期作折合本田面積之總水深(mm)		968	1016	1058	1271	937	976	1009	1241	

### 二、田間灌溉用水量

茲以桃園大圳 10 支線一輪區之輕黏土及砂質壤土為例，其估算之田間灌溉用水量，如表 4-5、表 4-6。



表 4-5 桃園大圳 10 支線一輪區輕黏土田間灌溉用水量

項目		單位	1 月			2 月			3 月			4 月			5 月			6 月			7 月			本期 合計
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
田間 需水量	秧田	整地	mm			4.0	4.0																8	
		補給	mm			1.65	4.65	2.4															9.3	
		浸田	1 次	mm				30.0	40.0	30.0													100	
			2 次	mm					10.0	25.0	15.0												50	
		整地	mm							13.5	15.0	1.5											30	
		本田	mm							13.0	48.6	78.8	72.0	72.0	60.0	60.0	60.0	66.0	60.0	55.5	28.5	3.0	677.4	
		小計	mm			5.65	8.65	32.4	50	81.5	78.6	80.3	72	72	60	60	60	66	60	55.5	28.5	3	874.7	
有效雨量		mm							6.48	24.3	39.4	37.1	37.1	37.1	34.7	34.7	38.2	42.4	38.0	17.8	0	387.26		
田間灌溉 用水量		mm			5.65	8.65	32.4	50	74.9	54.3	40.9	34.9	34.9	22.9	25.3	25.3	27.8	17.6	17.5	10.7	3	487.44		

表 4-6 桃園大圳 10 支線一輪區砂質壤土田間灌溉用水量

項目		單位	1 月			2 月			3 月			4 月			5 月			6 月			7 月			本期合計
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	
田間 需水量	秧田	整地	mm			4	4																8	
		補給	mm			1.65	4.65	6	4.8	0.6														17.7
	浸田	1 次	mm																					
		2 次	mm																					
	整地	mm							81	90	9												18	
	本田	mm							18	67.5	110.5	101	101	84	84	84	92.4	84	77.7	39.9	4.2		948.2	
	小計	mm				5.65	8.65	6	4.8	99.6	157.5	119.5	101	101	84	84	84	92.4	84	77.7	39.9	4.2	1153.9	
有效雨量	mm							6.48	24.3	39.42	37.1	37.1	37.1	34.7	34.7	38.17	42.4	38.19	17.6	0		387.2		
田間灌溉 用水量	mm			5.65	8.65	6	4.8	93.12	133.2	80.08	63.9	63.9	46.9	49.3	49.3	54.23	41.6	39.51	22.3	4.2		766.64		

### 三、水門灌溉用水量

小給水路之輸水損失應依據已經查定之輸水損失率計算，為秧田用水因流量較少，其輸水損失率應另行考慮(一般均以 50% 為準計算)。至於各級之渠道輸水損失率之查定，如表 4-7；灌溉用水量計算，如表 4-8。

表 4-7 各級渠道輸水損失率之查定

圳或支線別	小給水路損失		支線損失		
	秧田用水	其他	損失率 S <sub>1</sub> (%)	損失率 S <sub>2</sub> (%)	損失量(mm)
1 支線	一般均以 50% 為準計算 資料來源： On Irrigation Efficiencies, 1990	應依據已經查定之輸水損失率計算	6.7 (實測 5.4)	7.2	98
2 支線			9.5 (實測 7.8)	10.5	308
3 支線			14.4 (實測 13.2)	16.8	70
4 支線			10.8 (實測 9.8)	12.1	100
5 支線			11.1 (實測 9.8)	12.5	100
6 支線			12.2 (實測 12.4)	13.9	88
7 支線			14.2 (實測 9.2)	16.6	80
8-1 支線			13 (實測 8.8)	14.9	10
8 支線			13.8 (實測 10.7)	16.0	398
9 支線			21.6 (實測 9.1)	27.6	172
10、11 支線			13.7 (實測 10.9)	15.9	568
12 支線			14.5 (實測 12.9)	17.0	291
蚵殼港圳			10.5 (實測 9.1)	11.7	195
12-1 支線			12.7 (實測 5.2)	14.5	13
光復圳			14.6 (實測 13.4)	17.1	722
小計			12.5 (實測 10.2)	14.3	3,213
總計	9.6 (實測 10.2)	10.6	3,213		

表 4-8 灌溉用水量計算

項目 圳或支線別	輕黏土		粘質壤土		砂質粘壤土		砂質壤土		計		有效雨量		田間 供水量 mm	輸水損失		水門 用水量 mm
	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm	面積 ha	需水量 mm		損失率 %	損失量 mm	
1 支線	471	897	334	665	0	0	737	-	1,542	3,413	1,542	668	2,745	13%	410	3,155
2 支線	320	610	1,831	3,647	332	686	726	-	3,209	6,767	3,209	1,516	5,251	13%	785	6,036
3 支線	418	796	-	-	-	-	-	-	418	796	418	169	627	13%	94	721
4 支線	731	1,393	29	58	-	-	233	-	993	2,036	993	423	1,613	13%	241	1,854
5 支線	-	-	228	454	-	-	534	-	762	1,795	762	364	1,431	13%	214	1,645
6 支線	117	223	-	-	442	914	14	-	573	1,172	573	270	902	13%	135	1,037
7 支線	-	-	-	-	703	1,453	-	-	703	1,453	703	344	1,109	13%	166	1,275
8-1 支線	153	291	-	-	-	-	-	-	153	291	153	62	229	13%	34	263
8 支線	686	1,307	511	1,018	111	229	1,021	-	2,239	5,119	2,329	1,012	4,107	13%	725	4,832
9 支線	565	1,076	102	203	308	637	-	151	1,126	2,295	1,126	505	1,790	13%	267	2,057
10.11 支線	-	-	1,854	3,693	31	64	-	1,202	3,087	6,776	3,087	1,304	5,472	15%	966	6,438
12 支線	359	684	626	1,247	-	-	-	684	1,669	3,649	1,669	692	2,957	13%	442	3,399
蚵殼港圳	-	-	792	1,578	397	821	-	131	1,320	2,728	1,320	597	2,131	24%	673	2,804
12-1 支線	-	-	-	-	182	376	-	-	182	376	182	85	291	13%	43	334
幹線直接	915	1,743	807	1,607	576	1,191	-	90	2,388	4,767	2,388	1,129	3,638	13%	543	4,181
光復圳	-	-	2,784	5,546	927	1,916	-	115	3,826	7,751	3,826	1,549	6,202	24%	1,959	8,161
小計	4,735	9,020	9,898	19,716	4,009	8,287	-	5,638	24,280	51,184	24,280	10,689	40,495	-	7,697	48,192

### 4.3 水平衡分析

#### 一、可供應水門之水量

水源以由大漢溪石門水庫取水之幹線-桃園大圳（含光復圳）為主，區域內大小河川，除大漢溪外，另有南崁溪、茄苳溪、新街溪、老街溪、社子溪、新庄子溪等小溪流為補助水源。灌溉水源主要可分為：1.石門水庫、2.蓄水池、3.河水堰。

由於石門水庫放水量有限制，其所放水量又須兼顧大溪灌區及新海灌區各圳之用水，桃園大圳進水量亦有限制，最大取水量（流量）為 16.7CMS 洪水時亦不能多取。全區域內蓄水池共有 285 口，大小不一，其有效蓄水量與支配面積和需水量均不成比例，其水源除由本身集水面積之集流取入外，可由石門水庫放水經幹線支分線灌注，亦可由河水堰引入，全區共有河水堰 346 座，河水堰之水，除注入蓄水池作間接灌溉外，亦可直接灌溉農田。故水源之調配異常複雜，其灌溉營運辦法有下列之規定：

- 1.蓄水池能由河水堰取水者，應盡量由河水堰取水，減少由石門水庫配水，以免妨害其他水權人之權益。
- 2.蓄水池集水面積較大者，應盡量貯引地面逕流，減少石門水庫配水。
- 3.石門水庫放水量超過計畫用水量時，應將超過水量取入貯放於較大之蓄水池，以備取水量銳減時，得以把握幹支分線及取入線（幹支分線引水至蓄水池之水路定名為取入線）直接灌溉區之用水。
- 4.缺水時在可能範圍內，優先供給幹支分線及取入線直接灌溉區域，其有餘水在注入蓄水池，倘水量不足時須參照全部蓄水池之蓄水量及各地缺水情形，採臨時灌溉措施變更改用水計畫。
- 5.非稻作灌溉期間，除渠道歲修斷水外，應繼續由石門系統及河水堰盡量取水，貯入蓄水池。蓄水池之給水門或幹支分線直接灌溉之給水門除配放裏作灌溉用水外一律關閉。
- 6.降雨量應盡量利用以增加蓄水池之貯水量。
- 7.整田及插秧期間須作有計畫之時間先後錯開，以避免尖峰用水。

## 二、水門供需差異水量

表 4-9 桃園大圳灌區配水計畫

圳或支線別	水 門 用水量	河水取入 及貯水池 集 水 量	大 圳 配 水 量				
			配水量	支線損失		幹線損失	計
				損失率	損失量		
1 支線	720 3,155	2,509.6	1,365.4	6.7 (實測 5.4)	98		1,463.4
2 支線	192 6,036	3,301	2,927	9.5 (實測 7.8)	308		3,235
3 支線	118 721	421.2	417.8	14.4 (實測 13.2)	70		478.8
4 支線	47 1,854	1,076.7	824.3	10.8 (實測 9.8)	100		924.3
5 支線	277 1,654	1,123.4	798.6	11.1 (實測 9.8)	100		898.6
6 支線	357 1,037	763.1	630.9	12.2 (實測 12.4)	88		718.9
7 支線	129 1,275	919.2	484.8	14.2 (實測 9.2)	80		564.8
8-1 支線	194 263	390	67	13 (實測 8.8)	10		77
8 支線	39 4,832	2,393.5	2,477.5	13.8 (實測 10.7)	398		2,875.5
9 支線	410 2,057	1,843.1	623.9	21.6 (實測 9.1)	172		795.9
10、11 支線	566 6,438	3,412.7	3,591.3	13.7 (實測 10.9)	568		4,159.3
12 支線	241 3,399	1,928.4	1,711.6	14.5 (實測 12.9)	291		2,002.6
蚵殼港圳	2,804	1,150.4	1,150.4	10.5 (實測 9.1)	195		1,848.6
12-1 支線	113 334	357.3	89.7	12.7 (實測 5.2)	13		102.7
光復圳	8,161	3,953.5	4,207.5	14.6 (實測 13.4)	722		4,929.5
導水路直接	778	187.5	590.5				590.5
小計	48,192	25,730.6	22,461.4	12.5 (實測 10.2)	3,213		25,674.4
幹線損失	-	-	-	-	-	5,235	5,235
總計	48,192	25,730.6	22,461.4	9.6 (實測 10.2)	3,213	5,235	30,909.4

表 4-10 桃園大圳分配石門水庫配水量之計畫表

月旬 圳別	1			2			3			4			5			6		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
配水量	1.987	1.987	1.987	12.443	12.258	14.241	14.000	14.000	14.000	13.477	13.477	13.069	12.476	12.476	12.476	13.202	13.202	13.202
月旬 圳別	7			8			9			10			11			12		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
配水量	14.385	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	13.490	13.294	13.294	13.580	13.580	13.560	13.582	13.177	13.603	1.987	1.987	1.987

## 參考文獻

1. 甘俊二等：灌溉用水管理訓練手冊，行政院農業委員會、台灣省農田水利會聯合會、中國農業工程學會，1999年6月。
2. 郭慶和等：農田水利教材，財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會、財團法人農業工程研究中心，1998年11月。
3. 雲林農田水利會管理組業務講義，雲林農田水利會，1998年6月。
4. 徐金錫等：農田水利會技術人員訓練教材灌溉管理類合訂本，台灣省農田水利會聯合會，1994年6月。
5. 陳買等：水稻栽培灌溉排水管理，中國農村復興聯合委員會、台灣省水利局、台灣省農田水利協進會，1977年12月。
6. 甘俊二等：灌溉排水原理，中央圖書出版社，1993年10月。
7. 李源泉：灌溉排水原理，嘉義大學，1993年10月。
8. 灌溉排水原理，嘉義大學，1993年10月。
9. M..G.Bos, J. Nugteren, On Irrigation Efficiencies, ILRI(19),1990.