

合理灌溉營運用水計畫之研究

Study on Water Use Plan for Reasonable Irrigation Operation and Management

嘉義技術學院農業土木工程技術系講師 國立臺灣大學農業工程學研究所研究生 國立台灣大學農業工程學研究所博士 國立台灣大學農業工程學研究所教授
陳清田 張煜權 陳焜耀 甘俊二
Chen Ching-Tien Yu-Chuan Chang Kune-Yao Chen Chun-E Kan

摘 要

灌溉主要的意義即指使水作有組織、適時、適量的分佈，補充作物在生長過程中，由自然界供應不足的需水量，確保生產糧食之所需。以往的灌溉營運管理用水計畫，主要是由「供給」的觀點，考慮灌溉水自水源引水，經渠道送至分水門乃至輪區進水口，再經由中小給水路流到田間提供作物正常生長所需之水量，由「供給」主導「需求」，藉由管理者的經驗解決水源變動的問題，並無建立一套因應水源變動的灌溉營運準則，因此，往往形成一旦管理者離位就易產生灌溉管理之斷層，而使得原有之灌溉營運體制無法繼續維持。

本文針對上述情形，首先以灌溉需適時及適量為基礎，探討水源的引水量(Q_s)與田間需求量(Q_d)的關係及輸水損(S)與損失係數(factor of loss L)的異同，其次討論流量大小(Q_s)對灌溉效率(E)與灌溉時間(t)的影響，期由灌溉管理的觀點，探討合理之灌溉用水計畫，俾為灌溉營運之參考應用。

關鍵詞：供給，需求，輸水損失，損失係數，灌溉效率，灌溉時間。

ABSTRACT

The major function of irrigation is to supplement water to growing crops with the quantities which cannot be sufficed by the nature, in order to ensure food productions. The conventional water use plan for irrigation operation and management is made based on the stance of "supply" which takes into account the amount of irrigation water diverted from water sources, then flowing through various levels of canals, and reaching farms for the needs of normal growth of crops. This concept implies that the supply side dominates the "demand" side; and its adjustment to the fluctuating water sources is much dependent on the operator's experience, in case there are not established irrigation operation criteria to cope with changing water sources. Under such a circumstance, when the system operator are absent, and few appropriate personal

are available to replace them, then the conventional irrigation operation mechanism is often discontinued.

With an aim to solve the aforesaid implication in irrigation operation, in this paper are examined and probed the following issues, on the basis of irrigation at right time and with proper quantities :

1. Relation between diverted amounts of water (Q_d) and farm requirements (Q_d)
2. Distinctions between conveyance loss (S) and factor of loss (K)
3. Influence of diverted amount of water (Q_d) to irrigation efficiencies (E)
4. Relation between irrigation efficiencies(E) and irrigation time (t)

Water use plans for reasonable irrigation operation and then studied and discussed, from the view point of irrigation management.

Keywords:Supply, Demand, Conveyance loss, Factor of loss, Irrigation efficiency, Irrigation time.

一、前言

以川流式引水為主，水資源豐富的水田灌溉地區，由於河川流量漲落起伏大，且大部份仍依賴低成本的明渠輸水，因此灌溉營運管理最困難的地方，即在因應變動水源制訂合理的灌溉用水計畫，並設法維持長距離輸水的水頭。

臺灣灌溉發展雖僅 300 多年，然而卻融合了中國、荷蘭、日本、美國等國的灌溉技術精華，而形成今日獨特的灌溉營運方式，例如水旱作交替的三年輪作制度以及因應缺水的救旱措施等皆有其特有的灌溉系統，但是由於長久以來較缺乏灌溉經營的理念，加上系統複雜，故大都依賴管理者的經驗克服水量供需平衡的問題，因此一旦管理者離位原有灌溉營運體制即無法繼續維持，然此卻也累積了一套符合實際需求的灌溉用水制度。

二、文獻回顧

臺灣位居熱帶與亞熱帶之間的北迴歸線上，是一個具有特殊地地條件的水稻國家，降雨量雖高達 2500mm，但是雨旱季分明，每年 5 月到 10 月為雨季，降雨量佔全年的 77%，其餘 11 月到隔年 4 月為旱季，降雨量佔全年的 23%，加上區域內川陡水急，除部份地區有水庫可供調節外，主要仍以河川引水為主，水源隨季節性的變動明顯，是一個絕對依賴灌溉的區域。

目前臺灣執行灌溉用水計畫主要可分為三個階

段。

(一)第一階段：由水利會以輪區為單元，制訂輸水系統全期作的灌溉用水計畫，步驟如下。

- 1.訂定輪區灌溉率：水利會根據過去經驗，分別依水稻期作別、旬別及土壤別等，估計輪區進水口供應單位流量可完成的水稻灌溉面積，即所謂的「灌溉率」。

$$Q_n(I,J) = \frac{A}{IR_n(I,J)} \quad (1)$$

其中 I = 1 表示一期作，I = 2 表示二期作；J = 1...m，m 表示旬別或半月別， Q_n 為灌溉流量 (cms)，表示農民在不同土壤完成水稻灌溉面積 A(ha) 所須獲得的流量，若 A 為輪區面積，則 $IR_n(I,J)$ 即為「輪區灌溉率」(ha/cms)。

- 2.訂定輸水損失：水利會以進水量 (Q_i) 為基礎，記錄正常時期各級渠道在經過渠道輸水過程後的出水量 (Q_o)，訂定輸水損失 (S)，如下所示。

$$Q_L = Q_i - Q_o \quad (2)$$

$$S = \frac{Q_L}{Q_i} \quad (3)$$

其中 Q_L 為水路損失流量 (cms)，則：

$$Q_i = \frac{Q_o}{1-S} \quad (4)$$

- 3.灌溉用水計畫：根據式(1)及式(4)製定灌溉用水計畫，有關各級渠道的輸水損失、進水口進水量、輸水損失水量及出水口流出量，如表 1 所示。

表 1. 各級渠道之輸水流量

各級水路	幹線(3)	支線(2)	分線(1)
輸水損失(S(i))	S(3)	S(2)	S(1)
進水口流量(Q _i)	$\prod_{j=1}^3 \frac{1}{(1-S_j)} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$	$\prod_{j=1}^2 \frac{1}{(1-S_j)} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$	$\frac{1}{1-S_1} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$
輸水損失量(Q _L)	$\prod_{j=1}^3 \frac{S_j}{(1-S_j)} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$	$\prod_{j=1}^2 \frac{S_j}{(1-S_j)} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$	$\frac{S_1}{1-S_1} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$
出水口流量(Q ₀)	$\prod_{j=1}^2 \frac{1}{(1-S_j)} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$	$\frac{1}{1-S_1} \times \frac{A}{IR_M(I, J)}$	$\frac{A}{IR_M(I, J)}$

則該輪區之計畫水源引水量(Q_s)，如式(5)所示。

$$Q_s = \prod_{i=1}^3 \frac{1}{(1-S(i))} \times \frac{A}{IR_M(I, J)} \quad (5)$$

水利會在完成灌溉用水計畫後，便交由水利會所屬工作站，將水量依不同時期分配至各輪區進水口。

(二)第二階段：由農民自行組成水利小組，訂定輪區進水口以下配水系統的灌溉工作，步驟如下。

1. 依位置遠近將輪區面積分成 3 至 4 組，依經驗分別訂定給水成數 CH(I)，較遠的灌溉組，給水成數較小。
2. 當各組面積及給水成數決定後，以加權的方式計算各組的灌溉時間。

$$AW(I) = \frac{A(I)}{CH(I)} \quad (6)$$

$$TT(I) = \frac{AW(I)}{\sum AW(I)} \times (Ped - TL) \quad (7)$$

其中 I 為組別，AW(I) 為各組應得時間權重，A(I) 為各組面積，TT(I) 為各組分配時間，Ped 為輪灌期距，TL 為水路流經時間。

3. 再將各小組的灌溉面積分級，依前述方式計算各級所分配的灌溉時間。
4. 至於田間各坵塊則可依所屬的級別灌溉時間，再以面積加權方式，計算各坵塊所分配之時間。
5. 依灌溉順序累積各坵塊之灌溉時間，排定各坵塊在輪灌期距內的灌溉時間表，輪區內的灌溉時間分配工作即告完成。

(三)第三階段：依照上述灌溉計畫實際執行。

依據管理者的經驗判定各項營運措施的臨界值，配水作業仍屬於灌溉計畫之一部份，缺乏一套符合公平合理原則又可即時反應水源情況的配水模式？茲將各水利會目前執行方式彙整如下：

1. 當實際引水量與計畫供水相差不大時：主要考量增加營運管理所需付出的成本，常見的措施如下。

(1) 調節分配水量：當水源水量變化時，依各水路既定的分水比率分配。至於輔助水源則配合水源進水量統籌分配，但以該區域之計畫用水量為上限，超過該區域之計畫用水量時則不予計入。

(2) 記錄用水時間：各水路流量分配後，開始記錄用水時間，以便掌握各組之總用水量。

(3) 各組用水追蹤：若各組因水源水量變動太快而無法適時調節水門，會造成用水的浪費，管理者依據經驗觀察不同水源流量到達各支分線水門之時間，使工作人員能適時調節水門，且在流量不足時確實追蹤不當的用水，使水源公平合理的分配與運用。

2. 當實際引水量與計畫供水相差甚大時（缺水）：主要考量減少生產所損失的利潤，完全依賴管理者的經驗，常見的措施如下：

(1) 加強灌溉管理：在缺水情形不太嚴重之情況下，加強輸水管理及水源之追蹤，減少無謂之損失。

(2) 減少灌溉水深法：按照各圳路用水比例，將各系統供應量減少。此法雖然非常簡便，但卻無法有效地減低輸水損失，有時更可能因水頭過低，引起供灌困難。

- (3)分區分段輪流灌溉方式：除了大系統幹支線間之輪灌外，在每一輪值組間可再分為區、段輪灌，以因應不同缺水情形之輪流灌溉。
- (4)大組輪灌：將系統分成若干大組，實施集中灌溉，減少輸水損失，加強灌溉管理，此為現階段水利會常用之方法，但必須事先與農民溝通，避免執行上發生困難。
- (5)延長輪距方法：輪流灌溉時，亦可視各輪灌分組之需求量多寡，來訂定輪灌日數，變更輪灌期距以增加乾田日數，來克服缺水問題。

3.當水源不足的現象持續嚴重時：配合政府政策經由公告將田間耗水較多或效益較差的地區斷水或停止供灌，即休耕。

過去在臺灣由供給的觀點制訂「輪區灌溉率」，讓灌區內的農民承擔不穩定的流量，因此水路末端的農田由於水頭不足必須接受「看天田」的命運，農民無所適從，一旦缺水即產生零星的休耕，中斷輸水的過程，影響到整個灌溉系統的產值與完整性。今若由需求的觀點，預先制訂改變灌溉需求量之計畫（如制訂輪灌、轉作面積等），將農民的損失事先降到最低，以維持水田地區合理的產值，並依水源流量的變化隨時修訂灌溉用水計畫，祛除缺水的風險，方能確保水田地區合理的灌溉配水。

三、合理的灌溉營運管理計畫

灌溉營運管理計畫主要可分為供水計畫及配水計畫，供水計畫之制定較為簡單，只要依據灌溉需水量及灌溉損失水量，即可計算出灌溉供給水量，至於配水計畫主要是制定不同的供水計畫以因應水源水量的變動，使供水計畫與實際灌溉水源水量一致。

(一)供水計畫：所有的灌溉供水計畫皆可分為灌溉供水量 IWS，灌溉需水量 IWN 及灌溉損失水量 IWL，如下式所示。

$$IWS = IWN + IWL \quad (8)$$

1.灌溉需求量 (Irrigation Water Need, IWN)

灌溉的目的主要是提供維持作物正常生長環境所需之水量，而作物生產最基本的條件即能滿

足作物正常生長所需的蒸發散量，當灌溉大於蒸發散量時，在有良好的排水與滲漏下，可以維持農田的生產量與生產環境；而當灌溉小於蒸發散量時，依賴灌溉的補充而維持在作物生長的忍耐範圍內，生產環境逐漸惡化，直至灌溉水量遠小於蒸發散量時，則生產與生態即開始遭到破壞，農田開始惡化而難再復原，鹽鹼地的產生即是一例。

以水田而言，灌溉需水量則應指將農地從旱田狀態轉變為濕潤狀態的整地用水量 (SAT)，滿足作物正常生長所需之作物蒸發散量 (ET_{rice})，預防土壤乾燥，維持水稻適當生長溫度之湛水深 (WL) 及維持大地永續利用之「適當滲漏量」 (P_{ad})，若再考慮有效雨量 (ER) 及上游滲漏回歸水 (RW) 對灌溉需水量的補充，如圖 1，則灌溉需水量可表示如式(9)。

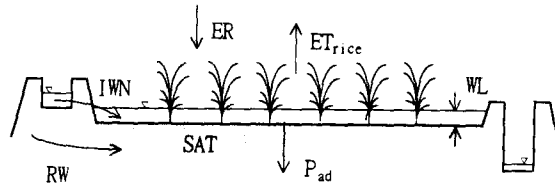


圖 1. 水田灌溉需水量示意圖

$$IWN = (SAT + ET_{rice} + P_{ad} + WL - ER - RW) \times A = D \times A \quad (9)$$

其中 A 為灌溉面積，D 為灌溉水深。

2.灌溉損失水量 (Irrigation Water Loss, IWL)

造成灌溉損失水量的原因大致可分為兩類，其一是硬體不善所損失的水量，包括土水路之滲漏、內面工破損及水面蒸發量等非人為的損失，其二是軟體不善所損失的水量，包括操作營運管理不當、田間灌溉效率低、非法盜水及稀釋污染用水等人為的損失。由於傳統的水田灌溉屬明渠，在通水期間各分水處皆有閘板以控制水路之水位及流量，以保持一定之水頭，當水位達灌溉所需之水頭時，方可導水入輪區進水口施行灌溉，故由於硬體不善而造成的輸水損失水量應可視為定值，至於軟體不善所造成的損失，往往會因為缺水的發生而更加嚴重，應設法透過法令、教育及道德等手段加以避免。

以往在台灣以輸水損失(S)表示輸水系統中的灌溉損失水量,如式(10)所示,而以「輪區灌溉率」(IR_N)涵蓋配水系統的灌溉損失水量。

$$S = \frac{Q_L}{Q_S} = \frac{Q'_L}{Q_a} \quad (10)$$

上式在水庫引水時,由於實際引水量(Q_a:cms)依照正常時期的計畫用水量(Q_s:cms)引入,應用上並不會有太大的問題產生,然而在川流式引水時,為增加水資源的有效利用,必須依據河川流量的豐枯調整實際引水量,因此運用S並不恰當,以缺水情形為例,由於實際引水量(Q_a)低於正常時期的計畫用水量(Q_a<Q_s),應用S則輸水損失量(Q'_L:cms)有低估的情形(Q'_L<Q_L,Q_L:cms),因而發生實際到達輪區進水口的水量不足,田間缺水的情形更加嚴重。

其次由邏輯上來看,供水計畫的目的即在確保灌溉需水量的基礎下推估灌溉供水量,而不應是推求灌溉供水量扣除灌溉損失水量後所剩餘的水量,故對輸水損失水量的記錄應以損失係數(Factor of Loss, L)為準,如式(11)、式(12)及式(13)所示。

$$L = \frac{V_L}{V_o} \quad (11)$$

$$V_L = L \times V_o \quad (12)$$

$$V_i = (1 + L) \times V_o \quad (13)$$

其中V_L為輸水損失量(m³),V_o為出水口水量(m³),V_i為進水口水量(m³)。

3.供水計畫之制訂

利用上述討論,即可將灌溉供水量列如表2。

由供需平衡的觀點,則:

$$IWS = \prod_{i=0}^3 (1 + L(i)) \times IWN \quad (14)$$

其中IWS與IWN分別為時間的函數,若分別考量灌溉面積(A)、灌溉供水時間(T_s)、灌溉需水時間(T_n,一般以旬或半月為T_n)與水流稽延時間(t₁),則灌溉供水流量(Q_s)與灌溉需水流量(Q_n)之關係,如圖2所示。

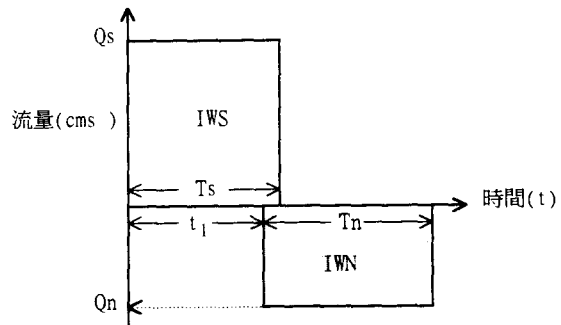


圖 2. IWS、IWN、Ts、Tn、t₁之關係示意圖

$$\text{則: } IWS = Q_s(t - t_1) \times T_s \quad (15)$$

$$IWN = Q_n(t) \times T_n \quad (16)$$

$$\text{即: } Q_s(t - t_1) = \frac{T_n}{T_s} \prod_{i=1}^3 (1 + L(i)) \times Q_n(t) \quad (17)$$

(1) 在輸水系統由於渠道維持長期通水,故T_s等於

表 2. 各級渠道應確保之輸水量

各級水路	配水系統	輸水系統		
	中小給水路(0)	分線(1)	支線(2)	幹線(3)
損失係數 L(i)	L(0)	L(1)	L(2)	L(3)
出水口水量 V _o (i)	IWN	(1+L(0)) × IWN	$\prod_{j=0}^1 (1 + L(j)) \times IWN$	$\prod_{j=0}^2 (1 + L(j)) \times IWN$
輸水損失量 V _L (i)	L(0) × IWN	L(1) × (1+L(0)) × IWN	L(2) × $\prod_{j=0}^1 (1 + L(j)) \times IWN$	L(3) × $\prod_{j=0}^2 (1 + L(j)) \times IWN$
進水口水量 V _i (i)	(1+L(0)) × IWN	$\prod_{j=0}^1 (1 + L(j)) \times IWN$	$\prod_{j=0}^2 (1 + L(j)) \times IWN$	$\prod_{j=0}^3 (1 + L(j)) \times IWN$

表 3. 不同供水條件下之配水計畫理論基礎

實際供水條件	理論基礎	配水計畫
$Q_c > Q_s > 75\% \times Q_p$	改變灌溉水深 D	Factor K
$75\% \times Q_p > Q_s$	改變灌溉面積 A	輪灌(Rotation)

註： Q_c ：渠道設計容量 Q_s ：計畫供水量 Q_p ：實際供水量

T_n ，即 for $i = 1$ to 3， $T_s = T_n$ 。

$$Q_s(t-t_1) = \prod_{i=1}^3 (1+L(i)) \times Q_p(t) \quad (18)$$

(2)在配水系統中，由於實際執行時農民會多引水量，以增加灌溉效率，減少灌溉時間，因此必須集中固定流量實施分組灌溉。分組灌溉所需考慮因子甚多，茲舉三個主要影響式子為例。

a. $Q_s <$ 水路容量 (19)

b. $\sum_{i=1}^N Ts(i) \leq T_n$ (20)

c. $Ts(i) >$ 農民灌溉時間 (21)

其中 Q_s 為配水系統進口流量， T_n 為配水系統作物適當灌溉期距， t_1 為配水系統水路行水時間， N 為分組組數， $Ts(i)$ 為各組分配灌溉引水時間。舉例來說，當流量 Q_s 過小時，除使灌溉效率減低外，由於各組的灌溉時間 $Ts(i)$ 延長，將會使得 $\sum_{i=1}^N Ts(i) \geq T_n$ ，而失去適當灌溉時機。其次若組數 N 過大，會造成各組分配的灌溉時間過短， $Ts(i) <$ 農民灌溉時間，則農民來不及灌溉，依據筆者經驗，面積大約50ha之配水系統約3到4組為最佳。

其次由於各組面積不同，損失係數亦有所不同，故應以各組的面積加權分配，以得到較合理的灌溉分配時間。舉例而言，依據印尼灌溉計畫之擬定，假設配水系統損失係數為 L ，考慮面積 $A(i)$ 大小與損失係數成正比，則可將各組分配的損失係數 $L(i)$ 調整如下：

$$A = \sum A(i) \quad (22)$$

$$L_0 = \frac{L}{A} \quad (23)$$

$$L_1 = \frac{\sum A(i)}{N} \times L_0 \quad (24)$$

$$L_2 = \frac{\sum A^2(i)}{\sum A(i)} \times L_0 \quad (25)$$

$$\alpha = \frac{L_1}{L_2} \quad (26)$$

$$L(i) = 1 + (A(i) \times L_0) \times \alpha \quad (27)$$

則由式(17)、式(19)、式(20)、式(21)及式(27)即可求得合理的 $T_s(i)$ 。然為使灌溉水在一定的時間內送到作物根系，並維持下游田區的回歸水源，灌溉必須在渠道容量容許的範圍內盡量多引水，以維持足夠水頭增加灌溉效率。

(二)配水計畫

配水計畫的目的主要是能事先規劃改變灌溉需求量的供水計畫，而由各種不同灌溉需求量的供水計畫組成配水計畫以因應不同的水源臨界流量，由式(9)可得知主要方法，如表3所示。

1. 改變灌溉水深 D：當水源不穩定時，可在農民可以接受的程度內，依比例將變動的水量分擔到各灌區，如式(28)所示。

$$K = \frac{Q_a - Q_{loss}}{Q_p - Q_{loss}} \quad (28)$$

其中 K 為比例增減係數， Q_{loss} 為灌溉損失流量。只要將 K 值乘上各進水口流量，即可得到各灌區進水口新的控制流量，當牽涉到作物用水別的不同、其他水源之流入及其他標的之移用時，亦利用此法調整。

2. 改變灌溉面積 A：當水量遞減至農民無法接受的程度時，可調整一次灌溉之面積，將灌區劃分成數組，採用輪流供水的方式，集中較大的流量灌溉其中之一組。至於劃分組數與適用範圍，如表4所示。

表 4. 輪流供水劃分組數的適用範圍

供水條件	配水對策
$75\% Q_p > Q_s > 50\% Q_p$	2 組輪灌
$50\% Q_p > Q_s > 33\% Q_p$	3 組輪灌
$33\% Q_p > Q_s > 25\% Q_p$	4 組輪灌

註： Q_s ：實際供水量 Q_p ：計畫供水量

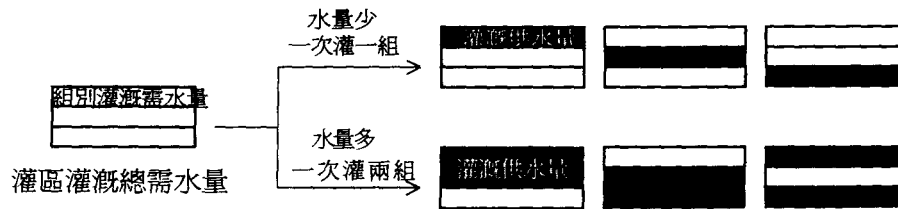


圖 3. 輪灌示意圖

其次考慮水路長度 l_i 與損失係數成正比，故以水路長度加權，假設灌溉系統損失係數 L_3 ，面積為 A_i ，則將各組損失係數調整如下：

$$\bar{i} = \frac{\sum(A_i \times l_i)}{\sum A_i} \quad (29)$$

$$L = \frac{L_3}{\bar{i}} \quad (30)$$

$$L(i) = L \times l_i \quad (31)$$

其中 \bar{l} 為平均水路長度。

舉例說明，將灌區依水路為單位劃分為三組，則可依水量的多寡，決定一次灌溉一組或一次灌溉兩組，如圖 3 所示，則實際水源引水量即可調整為原來灌溉供水計畫的 1/3 或 2/3。

3. 休耕：當乾旱持續發生，以致實施輪灌的期距超過作物適當灌溉期距時，則必須考慮停止部份田區的灌溉，即需決定休耕面積。休耕之考量應以水路為對象，規劃停灌輪區，不應考慮輪區內零星的休耕，因其只會降低田間灌溉效率，增加操作成本，其灌溉損失水量 (IWL) 並無法避免。

經由上述步驟，考慮農民耕種的習慣，經由電腦運算，則可訂出不同供水條件下之配水計畫，或稱為機動性配水。

四、結 論

(一)比較式(1)與表 2 可得知輪區灌溉率雖然和配水系統的進水口水量類似，然而灌溉率尚包含了區域性的回歸水利用率及灌溉效率等經驗因子，代表該地區實際上的灌溉績效，對第一線工作人員而言，有其實用上的優點，以往以經驗推估該值，今後應依據灌溉需水量的因子加以驗

證，使該值兼具精確性與實用性。

(二)在土地資源有限的地區，維持農田的永續利用相當重要，過去一直將水田滲漏量視為灌溉時的損失，事實上水田的滲漏與土壤的生產力息息相關，在日本即有所謂的「水田適當滲漏量」，意指對水稻的生育而言其最佳的滲漏情形，約在 15 ~ 25mm/day 之間，因此在推估灌溉需水量時應重視「維持土壤適當滲漏量」等水土資源永續利用的觀念。

(三)以往的供水計畫只考慮理論上適用的灌溉時間，而忽略實際灌溉的情形，因此造成白天用水不足，晚上用水浪費的情形，或者中給水路渠道容量過小，小給水路過大，亦或農民為了在分配灌溉引水的時間內完成灌溉，而疲於奔命，故在決定配水系統供水計畫及決定中小給水路渠道容量時，必須事先加以考量。

(四)今若由河川流量的歷史資料預知可能發生缺水，則可依據缺水的程度調整供水計畫，規劃出一套包括實施輪灌、轉作或休耕等的配水計畫。至於乾旱時期若要節約灌溉用水以支援其他標的用水，則應以受益者付費之觀點為前提，將管理的改善、硬體的改善、法令及道德的改善與加強田間灌溉效率等視為優先改善的對象。

(五)在農村勞力逐漸老化、政府有條件補貼農民與土地利用漸趨密集的地區，由於不需耕種即能得到補償以及希望改變農地為其他標的使用等預期心裡下，往往不當休耕就會形成都市鄰近地區大量土地廢耕的誘因，然就土壤有效管理而言，休耕的結果不但容易產生鹽鹼地且往往在復耕時需要付出更大的代價，故休耕在配水計畫當中只能救急，而非長久之計。

五、建議

合理的灌溉營運管理計畫除了在軟體上有健全的配水計畫外，亦應考慮水土資源的有效利用，充分利用水田地區彈性用水的空間，亦即在枯水時期考慮增加用水管理之人力及費用，以加強灌溉管理達到公平配水的目的；在豐水時期考慮「水田即水庫」的特性，將河川的水源大量引入田間，配合在田間休耕地區堆土植旱、造塘蓄水等水田永續利用的觀念，蓄存豐水時期的餘水，就近調整混植配水的困難；並藉著土堆的搬動，打破水田地區不透水層增加補注地下水，促進土壤氧化還原，使土地得以永續利用；乾旱時期則由池塘補充全區旱作灌溉用水，有條件的將上游原有旱作灌溉用水轉移到其他標的使用。

六、參考文獻

1. Indonesia : West Java Irrigation Project operation and maintenance procedures, 1988.
2. C. Brouwer, J.P.M. Hoevenaars, B. E. Van Bosch. 1992. Scheme Irrigation Water Needs and Supply, Training manual No6. FAO Land and Water Development Division.
3. Wolters, W. 1992. Influences on the Efficiency of Irrigation Water Use, Publication 51. ILRI, Wageningen, The Netherlands.
4. Bos, M. G. and J. Nugteren, 1974(4th Edition 1990). On Irrigation Efficiencies. Publication 19. ILRI, Wageningen, The Netherlands.

收稿日期：民國 86 年 7 月 3 日

修正日期：民國 86 年 11 月 22 日

接受日期：民國 86 年 12 月 3 日

(上接第 46 頁)

- 1966.
- Fischer, H.B. and Hanamura, T., "The Effect of Roughness Strip on Transverse Mixing in Hydraulic Model", Water Resources, vol. 11, no. 2, April 1975, pp. 362-364.
- Golafshani, M., "A Simple Numerical Technique for Transient Creep Flows with Free Surface", Int. J. for Numerical Method in Fluids, vol. 8, 1988, pp. 897-912.
- Harlow, F. H. and Welch, J. E., "The Marker and Cell Method Used to Simulate the Flow of Water from a sluice Gate", Science, 149, September 1965, pp. 1092-1093.
- Hirt, C. W., "Heuristic Stability Theory for Finite Difference Equations", J. Comput. Phys., vol. 2, 1968, pp. 339-355.
- Liu, Q. and Drews, U., "Turbulence Characteristics in Free and Forced Hydraulic Jumps", J. Hyd. Res., vol. 32, no. 6, 1994, pp.877-898.
- Miller, R. W., "Flow Measurement Engineering Handbook", McGraw-Hill International Book Co., New York, New York, 1983.
- Nichols, B. D. and Hirt, C. W., "Improved Free-Surface Boundary Conditions for Numerical Incompressible Flow Calculations", J. Compt. Phys., vol. 8, 1971, pp. 434-448.
- Rajaratnam, N. and Subramanya, K., "Profile of the Hydraulic Jump", J. of Hyd. Div., Proc. ASCE, Paper no. 5931, may 1968, pp. 663-673.
- Subramaya, K., "Flow in Open Channels", India, 1985, p. 196.
- Welch, J. Eddle, Harlow, F.H., Shannon, J.P. and Daly, B. J., "THE MAC Method:A Computing Technique for Solving Viscous, Incompressible, Transient Fluid-Flow Problems Involving Free surfaces", Los Alamos Scicentific Laboratory report LA-3425, 1966.
- 周恆毅, "自由跌水之數值模擬", 淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文, 台北, 1994.
- 施清吉, "初始深度對模擬堰流之影響", 農業工程報, vol. 40, no. 4, 1994, pp. 1-12.

收稿日期：民國 85 年 7 月 10 日

接受日期：民國 85 年 9 月 4 日