

# 電子計算機執行大區域配水之研究

## Study for the Irrigation Distribution by Computer Programming

陳 益 榮

臺大農工系研究生

張 建 勳

臺大農工系教授

### Abstract

1. There are many factors that affect the distribution of the irrigation water. In order to combine theory and practice, this problem can be studied in three respects
  - (1) Consumptive use (C.U) may be represented by the following formula  $C. U = E (a + bx + cx^2)$
  - (2) Conveyance loss
    - 1) The conveyance loss of the earth ditch depended upon the conveyance duration and the length of the ditch. Let S represent the percentage of conveyance
    - 2) The conveyance loss of the lined ditch could be used to test the seepage loss with the ponding method. Then seepage loss can be transformed to continue discharge state by the control volume method.
  - (3) Irrigation efficiency  
when it was irrigated, measuring the character of the irrigation water on the surface, can be obtained the intake rate of the soil
2. By using electronic computer, the irrigation time  $F(t)$  of any field in the irrigation rotational district can be calculated
3. To connect neighboring irrigation Rotational districts discharge by a net of canals, It help us to get the accurate discharge at any canals and any point, Finally, the total discharge of the reservoir can be thus computed.

### 一、前 言

由於較易開發之水資源，大抵開發殆盡，如何就現有水源作合理有效之運用，為當今重要問題，目前臺灣所引用水源當中，百分之六十八用為灌溉，因開發成本高，得之不易，如何使涓滴之水，發揮其效力，滙為國用，提高農業生產，有賴於灌溉之試驗研究；近十年來之試驗研究，確悉作物對水有其適時、適量之要求。在一水庫所轄大區域之配水，除需顧及田間作物需水準則而外尚需顧及灌溉技術及大區域間整

個水路系統流量之分配，方能使配水臻於理想。以往因失之灌溉試驗資料，未能確悉何時、何量為作物所需，故擬定一大區域之配水，所需之數據，均依經驗選定，缺乏客觀，失之於粗放。所用之動力均為人力，耗費太多人力，不調和於當今大力倡議科學機械化之步調，也緣因假藉手工之計算，速度甚慢，須提前多日作灌溉計畫，臨灌時，事隔多日現場需要情況已發生變化；諸如上述之缺失，所擬成之配水水量，失之粗放，水庫所轄整個系統之輸水，常因或多：引起水源浪費，或少：產量欠佳，甚至引起農民爭水糾紛。

。水量不足，固然影響產量，過多，對產量亦無助益，甚至有害，因此配水之得當與否，關係到水資源經濟使用，作物產量，以及勞力諸問題。徵之水源開發、利用，以上所述，正是問題中熒熒而大者。是故理想之配水，必須同時滿足諸問題要求，企望使配水能達到新、速、實、簡、高產量、經濟用水，各方包容並蓄，實非靠人力所能為，因而有電子計算機引用於配水思想之起源。

## 二、配水因子之探討

### 1. 作物用水量

作物用水量包括作物之蒸散量及作物周圍土面、水面、作物枝、葉上水之蒸發量，如此之定義，較適合於灌溉科學之應用，如無其他因素時，作物用水量，即為灌溉需水量，但尚有降雨及地下水補給，使得減少灌溉之量，這是指旱作而言，要是水田，尚須考慮滲透。故在旱作上有如下之關係：

$$\text{灌溉需水量} = \text{作物用水量} - \text{有效雨量} - \text{地下補給量}。$$

$$\text{渠道輸水量} = \text{田間灌溉需水量} + \text{渠道輸水損失}。$$

決定灌溉需水量之前提，必須先知道作物用水量，有效雨量及地下水補給量，此三項研究，目前正在各別研究探討中。不過，以往在臺南學甲所作之作物用水量試驗，因有效雨量難以估計及地下補給量難以分離，綜合影響作物用水量之正確性。作物用水量值包括有效雨量及地下補給量數，田間實際測得之作物用水量雖亦包括此二項因素影響之量，但其個別影響之量則尚未能作定量之分析，只計其綜合影響結果，此綜合影響結果，歸結於土壤水分之遞變，故在某一特定作物之下，設法追蹤其土壤水分之變動，用以估計作物之用水量，以為何時需要灌溉，灌溉多少之依據。

作物用水量，可依下述方法推算之：許多學者試圖以純理論之氣象因子，以推算作物用水量，如 Penman Method 係顧及進入太陽能來推測， Thornthwaite Method 基於溫度之高低作推測，而 Blaney-Griddle Method 則以溫度和日照時間作推測，作物用水量受氣候因素而左右，是無可置疑，除此而外，尚有作物種類、生長階段、作物生長環境—地下水水位高低、降雨等之不同而變異，是故純氣象理論之推測未顧及其他之影響因素，顯然有所偏差，不够精確。在以氣候因素推求作物用水量各種方法中，以氣候相關因素法 (Correlation with climatic Data) 較為實際可行，在各種氣象因素當中

，尤以蒸發量與作物用水量，息息相關，最為密切，下表為美國 Briggs 與 Shartz 二氏及日本 Kato 氏對各種氣象因素與作物用水量相關程度研究結果。(10)

表 1 各種氣象因素與作物用水量之相關係數表

氣象因素	相關係數	
	日本 Kato 氏等	Briggs與Shantz
日照 Day-time hour	0.86	0.89
淨輻射量 Net radiatjon	0.89	—
溫度 Temperture	0.83	0.86
濕度 Humidity	—	0.84
蒸汽飽和差 Defficienay from Saturated vapor pressure	0.59	—
風速 Wind speed	—	0.35
蒸發量 Evaporation	0.94	0.93

由上表可見蒸發量與作物用水量之關係，遠較其他因素與作物用水量之關係為密切，其相關係數達 0.94 之鉅，其餘各因素中最大者祇 0.89 而已。事實上，當土壤水分在永久凋萎點以上時，影響蒸發與作物用水量之各因素幾乎完全相同。作物用水量與蒸發量之比通常以 k 或 a 代表之，根據張建勛氏在嘉南學甲試驗區研究作物與蒸發量之間，有近乎直線之關係，即：

$$\Delta C = a \Delta E$$

作物在不同之生長時期，可能有不同之 a 值，如水稻、玉米可分為早期、中期及晚期，每期之作物用水量與蒸發量關係仍為直線，唯各期有不同之 a 值，即各段直線之坡度不一致，各線段連接後成為折線。以此為出發點，求其在更短時間內：如一週或一天中各種作物之需水量與蒸發量關係，而得出一條適合作物的無因次曲線方程式，如圖 1：

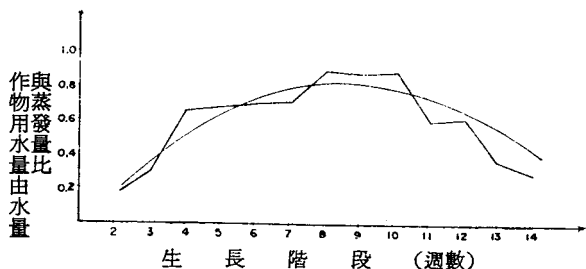


圖 1. 作物用水量無因次曲線

圖 1 之橫坐標為作物之生育時期，縱坐標為作物用水量與蒸發量之比值，此一無因次曲線用於任何作物，甚為方便，唯此比值，因作物之不同而有相當之變異，實際上應用時，須將各種作物用水量和蒸發量關係曲線分別予與統計推論，始可準確地引用以符實際。以此種方法推算作物用水量，不但考慮到氣象因素，尚考慮及作物種類、作物生長程度，地域性，以及生長季節—春、秋季別，多方兼顧，可謂相當完美，惟其慮及地域性，不同地域者應不能引用，此為所須顧忌者。將臺南學甲試驗站所收集得之秋作玉米用水量與蒸發量，統計得之關係說明如下：

其方程式為：

$$y = -0.272 + 0.248x - 0.0139x^2 \dots\dots\dots(1)$$

x：種值後之週數

y：作物用水量和蒸發量之比值，為一無因次數值。

求得作物用水量和蒸發量之比值 y 之後，將當週之蒸發量乘以 y，所得之數值即為當週之作物用水量，即

$$CU = E(-0.272 + 0.248x - 0.0139x^2)$$

此 x，y 曲線，有一極明顯之特徵，前段之坡度較緩，後段則較陡，此乃因作物生長型態之故。

灌溉之時與量，需由土壤中水分乾濕情形以作決定，但田間作物之消耗水量，僅為土壤中水分收支之一部份，其他因素如灌溉、降雨、地下水補助，均一一影響土壤水分之升降，是故，四者交互影響，決定土壤水分含量，因地下水補給量屬於地區之因素而且難以分離，僅採用其餘三項因素以予推算。設某時候，土壤水分為已知。經歷一段時間後，作物用水量由蒸發量決定，降雨量由實際測得，則土壤水分可依下述

決定：

$$P_{x_2} = P_{x_1} - \frac{100}{dA_s}(D_3 - D_1)$$

$P_{x_1}$ ：已知之土壤水分。

$P_{x_2}$ ：經歷一段時間後之土壤水分。

$D_3$ ：經歷一段時間內，作物消耗水深。(mm)

$D_1$ ：降雨量。(mm)

d：土深。(mm)

求得土壤水分  $P_{x_2}$  之後與灌溉下限之土壤水分  $P_{w_p}$  比較，如仍較高，仍依上述方法繼續推算，直到  $P_{x_2}$  比  $P_{w_p}$  之值低時為止，此時即亦需要灌溉，灌溉上限如以田間容水量  $P_{F_c}$  為準，則灌水量  $D_2$  mm 為

$$D_2 = \frac{P_{F_c} - P_{x_2}}{100} A_s d$$

作物消耗水分，灌溉，降雨互相影響，歷時一段時間（如一週）後，其時之土壤水分可逕作決定，

$$P_{x_2} = P_{x_1} - \frac{100}{A_s d}(D_3 - D_2 - D_1)$$

如此繼續不斷推算，只要在最初剛開始時，測得土壤水分，以後收集每週內之蒸發量，降雨量、灌溉量，即可推測每週後土壤水分數值，以此作為灌溉之決定。由於作物用水量受地下水位影響而左右其遞變率，只因目前尚未能肯確其數，故最好是把地下水位相近者，畫歸同一區，如地下水位，或土壤類別不同者不可互用；或許追蹤土壤水分所顯到的因素較多，此種計算顯得繁雜。可利用高速度之電子計算機處理之

以  $y = -0.272 + 0.248x - 0.0139x^2$  推算學甲旱作灌溉試驗站 56、57 兩年秋作玉米土壤水分，與實際所測得，以資比較如表 2 及表 3 所示。

表 2 學甲旱作灌溉試驗站 56 年秋作玉米灌溉試驗

種植後週數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E	28.56	34.6	37.8	35.02	23.36	34.0	20.6	23.0	21.0	25.0	25.4	29.18
CU		5.8	13.1	17.3	14.4	24.2	16.0	19.0	17.0	18.2	17.5	17.2
Irrg					45			40		45	38	
PP	8			6			10					
Pc	21.1	20.1	17.7	14.6	19.3	15.0	12.14	11.4	13.8	10.7	16.2	13.13
Pt	21.1	19.6	18.3	14.5	17.5	15.8	12.50	11.9	13.3	12.6	16.0	14.5

表 3 57 年 秋 作 玉 米 灌 溉 試 驗

種 植 後 週 數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
E	14.2	31.9	31.8	34.3	26.7	27.5	29.0	22.7	21.9	19.2	19.3	20.4	24.4	13.4
CU		5.35	11.0	17.0	16.0	19.6	22.6	18.5	18.1	15.5	14.0	14.0	14.3	6.1
Irrg							44			44				
PP	150.2	10.1												
P <sub>c</sub>	17.6	24.0	20.2	18.5	15.6	13.8	21.0	17.1	13.9	19.4	16.8	14.4	12.0	
P <sub>t</sub>	17.6	24.0	19.9	18.5	16.7	14.4	19.9	17.2	14.6	18.5	17.1	15.0	13.1	

- E : 蒸發量。(mm)
- CU : 玉米用水量。(mm)
- Irrg : 灌溉水深。(mm)
- PP : 降雨量。(mm)
- P<sub>c</sub> : 理論推測算所得之土壤水分。
- P<sub>t</sub> : 實際上採土烘乾所測得之土壤水分。

新港地區 :

$$S = 2.89 L^{0.35} T^{-0.15}$$

$$800 \leq L \leq 3000 \text{ 公尺}$$

式中:  $T \geq 240$  小時

S = 輸水損失百分比 (%)

L = 渠道長度 (公尺)

T = 通水 (浸水) 時間, 以小時計。

## 2. 渠道輸水損失 :

渠道目前有內面工與土質渠道兩種, 不論何種, 其輸水損失之來源大致可分為

1. 渠道本身之滲透。
2. 水門之漏失。
3. 水面蒸發量。 茲分述如下 :

### 1) 土質渠道 :

土質渠道之輸水損失, 只有渠道本身之滲透為數最大, 水面蒸發量數甚少, 水門漏失甚或缺如, 滲透因渠道之乾濕狀態, 通水時間之久暫, 渠道流量及渠道之長短, 而有很大之差別。依土質之不同, 曾在嘉義六脚及嘉義新港兩地之土質渠道測輸水損失。依常理判斷, 輸水損失隨通水時間增多而減少, 成反比, 與渠道之長度成正比, 而有  $S = aL^bT^c$  式之模擬, 此種損失量亦隨渠道流量而變化, 流量愈大, 渠道潤週愈大而滲透損失量自然愈多。設輸水損失是採用損失量與原流量之比值百分率, 並假定每次灌溉之流量不致相差太大, 則流量因素可不予考慮, 尤其在標準斷面之土質給水路, 可以如此假設。致於水路長短, 通水時間之久暫影響情形, 可以流入流出方法 (In-flow-out flow Method) 或儲水方法 (Ponding Method) 測得輸水損失如下二式 (6) :

六脚地區 :

$$S = 4.62L^{0.37}T^{-0.38}$$

為測得出輸水損失之變化, 觀測時間須較久, 尤其式中之 T 採用小時為單位, 觀測值之數目極大, 可寫成電子計算機程式, 以統計之。

### 2) 內面工渠道 :

內面工渠道之輸水損失較土質渠道為小, 水面蒸發量, 內面工之滲透, 水門之漏失, 均有研究調查之必要。

水面蒸發量 :

最直接的, 可將蒸發皿放置於各線渠道上, 直接測出各線渠道之蒸發損失, 因蒸發量在各季節變化較大, 故此資料至少需要一年, 如缺乏此種資料, 可引用氣候相近地區之 Class A Pan 所測得之每日蒸發量, 作推測, 擬引用一資料, 須查究其差異性, 始能引用, 影響蒸發之因素不外為外界環境因子及水體本身溫度之差異性 :

1. 外界因素差異性 : 在同一地區, 氣候型態相同, 則其外界環境因素諸如風速、溫度、濕度、氣壓等等, 其差異性極小, 不必計及。
2. 水溫差異性 : 如果 Class A Pan 之水溫與渠道之水溫相差太大, 則兩者之蒸發量自亦大不同, 兩者之水溫差異性如何, 可由實際測得比較, 由於水面蒸發量之損失佔輸水損失之

比值很少，此項差異性亦可予與忽略。亦可將此項損失包括於內面工 Seepage 量內。

內面工本身之滲透：

內面工材料優良與否，有無裂縫或破損，及其接縫間接觸之構築，均影響滲透損失之大小。內面工滲透與水面蒸發兩項之損耗量，可以同時直接予與測定。

內面工滲透之量，在輸水損失計算上，可用質量不滅定理 (Conservation of Mass) 觀念處理之(2)，如圖 2：

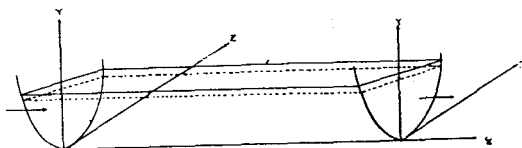


圖 2. 控制體積(control volume) 改變與流量之變化

$$\left(\frac{dM}{dt}\right)_{s,y,s} = \iint_{c,s} \rho \vec{V}_r \cdot dA + \frac{\partial}{\partial t} \int_{c,v} \rho dv$$

$\iint_{c,s} \rho \vec{V}_r \cdot dA$ ：控制體積週圍  
流失變化。

$\frac{\partial}{\partial t} \int_{c,v} \rho dv$ ：控制體積內質  
量之變化。

質量不滅定理所述者為： $\left(\frac{dM}{dt}\right)_{s,y,s} = 0$

$$\therefore \iint_{c,s} \rho \vec{V}_r \cdot dA + \frac{\partial}{\partial t} \int_{c,v} \rho dv = 0$$

設流體第一斷面 (Section I) 之流速為  $V_1$ ，  
斷面積為  $A_1$

流體第二斷面 (Section II) 之流速為  $V_2$ ，  
斷面積為  $A_2$

水之密度  $\rho$  在明渠內不變。

控制體積 (Control volume) 內之質量，因滲透量有少許變化，使得其質量亦起少許變化，但當滲透穩定之後，其質量自會保持一定，在初期因滲透量之變化，使控制體積內之質量引起之變化有限，可以不計。所以

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{c,v} \rho dv = 0$$

$$\therefore \iint_{c,s} \rho \vec{V}_r \cdot dA = 0$$

$$\text{即} -\rho A_1 V_1 + \rho V_2 A_2 + \rho A_s V_s = 0$$

$\rho A_s V_s$ ：控制體積週圍因滲透流失及水面蒸發逸失之水質量。

$$\therefore -A_1 V_1 + V_2 A_2 + A_s V_s = 0$$

$$-\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 + \bar{Q}_s = 0$$

設流體第一斷面之流入量保持一定則  $Q_1 = \bar{Q}_1$

設流體第二斷面之流出量在開始時為  $Q_2$

在滲透達到穩定向之流出量為  $Q_2'$

$$\text{則 } \bar{Q}_2 = \frac{1}{2} (Q_2 + Q_2')$$

$$\therefore \bar{Q}_s = \bar{Q}_1 - \bar{Q}_2 = \frac{\Delta M}{\Delta t}$$

$$\text{但輸水損失百分率 } S = \frac{\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2}{\bar{Q}_1} = \bar{Q}_s / \bar{Q}_1$$

如在流體第一斷面 (Section I)，測出其渠道坡度  $S$ ，即可引用曼寧公式 (Manning formular)，求得第一斷面之流速  $V_1$ ，則流過此斷面之量  $Q_1$  可算得。

$$\therefore Q_1 = A_1 V_1 = A_1 \left( \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$S = \frac{\bar{Q}_s}{Q_1}$$

$$= \bar{Q}_s / A_1 \left( \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$= \Delta M_s / \Delta t / A_1 \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$\Delta M_s$ ：在測定時間內，控制體積內因潤週之滲透及水面蒸發所流失水之質量。

$\Delta t$ ：測定所經歷之時間。

如根據 61 年元月十四日，在嘉南學甲試驗站附近中給線測得之滲透量 (包含水面蒸發量) 值 5mm/hr 代入上式計算得

$$S = 0.0123 L$$

$L$ ：渠道長度以公里計。

內面工 Seepage 量之測定法：

1. 地點：嘉南學甲試驗站附近。

2. 水路：中給線。

3. 測定前準備工作：

1) 取渠道 30 公尺長，清除其內之雜物。

2) 此段渠道之首末兩端，用土堤堵住，並踏實。如 ABCD A'B'C'D' 之形狀。

3) 洗刷土堤內側 10 公分寬之內面工如圖之 BDD'B bdd'b' 部份，乾後塗上強力膠，並鋪貼以塑膠布，以防渠道中之水滲入土堤中。

4) 于首末兩端，精密量測斷面。

5) 于首末兩端及每隔 5 公尺，用水準儀測其標高，以求其坡度。

4. 測定方法如圖 3 所示

- 1) 于強力膠乾後，將水放進所要測定之渠道內。
- 2) 于渠道水面上，放置一小型蒸發皿，量測蒸發量以利對照 Seepage 量。
- 3) 于此段渠道，設置一量水位器具，每經歷一段時間量測渠道水位，同時量其水面寬。

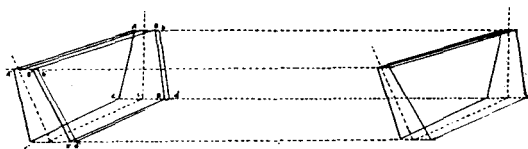
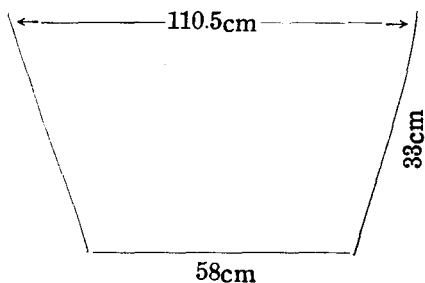


圖 3. 測內面工滲透之略圖

5. 測得之資料抄錄如下：

	時間 (小時)	水面 (cm)	水面寬 (cm)
六月十四日	11°55'	72.04	110.50
	14°05'	51.02	—
	15°05'	42.19	102.30
	15°35'	72.04	110.50
	16°37'	66.84	108.50
	17°35'	59.96	106.65
	18°35'	55.62	105.60
六月十五日	19°35'	47.12	104.00
	9°06'	72.04	110.00
	10°16'	62.94	107.50
	11°10'	53.22	105.32



3) 水門之漏失：

在灌溉期間，排水道之閘門與停止灌溉渠道給水門，通常情形，均為關閉。由於水門密接與否，或多或少都有漏水現象，漏失量可用鹽析法(11)測定之。

在所要測定流量之處，注入一一定濃度已知量之鹽溶液，在其下流溶液能完全混合之處，取其水，測定鹽分濃度，即可求出其流量之大小。此流失之量和內面工之滲透，渠道水面蒸發量之總和，為內面工渠

道之輸水損失量。

3) 灌溉效率：

根據以往灌溉方法試驗所得之結果，一般上，畦溝水流，流速較快，灌溉效率較佳。紋溝則由於單位寬之溝數多，而溝深淺，輸水能力較遜於畦溝。其他漫灌方式，效率更低，尤其低莖作物伏蓋於地面之莖葉阻止灌溉水之前進，使得灌溉效率最差。依已經試驗研究，所訂定各種作物之灌溉效率如下表 4 示<sup>(6)</sup>

表 4

作物灌	溉效率(%)
A：甘藷	75
B：玉米	70
C：甘蔗	75
D：蔬菜	70
E：大麥	70
F：花生	60
G：棉花	70

英文字母分別代表作物名稱，以便送資訊給電子計算機。

上列之灌溉效率，大抵均以圓筒法 (Cylinder Method)，蓄水法 (Ponding Method)，以及流入一流出法 (inflow-outflow Method) 測其入滲率 (intake rate)，再由實地灌溉時，測其前進記錄，水滯留土壤表面時間之諸資料，統計分析水分在土壤中之分佈，定其效率之高低。

至於大區域配水時，或者由於制度之變化，將來採較大農田 (合併鄰近之小丘塊) 共耕制度時，如測點不够多，所測得之入滲率易失其代表性。另外可由實地灌溉時，測其地面上之水理，進而研究入滲於土壤中之水份，研討其在土壤中之分佈情形，以定其效率：

由現地測得瀆溝之前進曲線，瀆溝之斷面，溝中水位之高低，分別可以下式表示：

$$W = f(H) \quad \text{畦溝斷面關係,}$$

$$H = f(t) \quad \text{前進記錄曲線}$$

$$H = f(L) \quad \text{水深與流長之關係}$$

式中：

$$L : \text{流 距 (m)}$$

$$H : \text{水 位 (m)}$$

$$t : \text{通水時間 (min)}$$

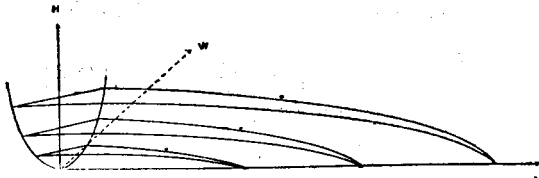


圖 4 .灌溉水理曲線

通水經 L 距離之後，將地面上之水積分之，即能求得滲入於土壤中之部份。因現有灌溉觀測資料有限，難應用於進一步之理論分析，僅予與處理如下：

$$v = \iint_A Adx = \int_0^L \int_0^y \int_0^z dydz dx$$

$$= \int_0^L \frac{2}{3} yzdx$$

$$v = \frac{4}{3\sqrt{A}} \frac{(2cx+b)\sqrt{a+bx+cx^2}}{8c} \left[ (a+bx+cx^2) + \frac{3}{2} \frac{(4ac-b^2)}{(4c)} \right] \times$$

$$\frac{3(4ac-b^2)^2}{8(16c^3)} \frac{1}{\sqrt{c}} \sinh^{-1} \frac{2cx+b}{\sqrt{4ac-b^2}}$$

$v$  : 每一流距下，地表面上積水總值  
 $v_0$  : 在此一流距下，由前進記錄中，查知流達時間  $t$  min，此時間下，進口之總流入量

$v' = v_0 - v$  : 流入土壤之水

$a, b, c$  為  $H = f(L)$  之關係，實際測得之係數。

係實際資料算得如下所列：

$$v_{0.50} = 1.75868 \text{ M}^3 \quad v_{50} = 0.609586 \text{ M}^3$$

$$v_{0.60} = 2.3598 \text{ M}^3 \quad v_{60} = 1.0123902 \text{ M}^3$$

$$v_{0.70} = 2.9376 \text{ M}^3 \quad v_{70} = 1.585922117 \text{ M}^3$$

$$v_{0.80} = 3.4542 \text{ M}^3 \quad v_{80} = 1.6417245 \text{ M}^3$$

$$v'_{50} = 1.147214 \text{ M}^3 \quad d_{50} = 2.2\text{cm} \quad d_{10} = 4\text{cm}$$

$$v'_{60} = 1.3474098 \text{ M}^3 \quad d_{60} = 1.9\text{cm} \quad d_{20} = 3.5\text{cm}$$

$$v'_{70} = 1.3516779 \text{ M}^3 \quad d_{70} = 1.7\text{cm} \quad d_{30} = 3.0\text{cm}$$

$$v'_{80} = 1.8124755 \text{ M}^3 \quad d_{80} = 1.53\text{cm} \quad d_{40} = 2.5\text{cm}$$

$d_{50}, d_{60}, d_{70}, d_{80}$  : 分別為 50、60、70、80m 長平均入滲水深  
 $d_{10}, d_{20}, d_{30}, d_{40}$  : 分別為 10、20、30、40m 長平均入滲水深，因原資料無此等長度之水位記錄，以致未能算出、在此以假設值代入、以便下面之分析。

如假設在一定長度內，其相對應時間之入滲水深相等，可依上列之數，換算得如表 5，圖 4

表 5 水足流長和入滲水深之關係

滲入水深 時長 m	流距 m							
	10	20	30	40	50	60	70	80
10	4	4	4	4	4	4	4	4
20	3	3	3	3	3	3	3	
30	2	2	2	2	2	2		
40	1	1	1	1	1			
50	0.4	0.4	0.4	0.4				
60	0.5	0.5	0.5					
70	0.9	0.9						
80	0.6							

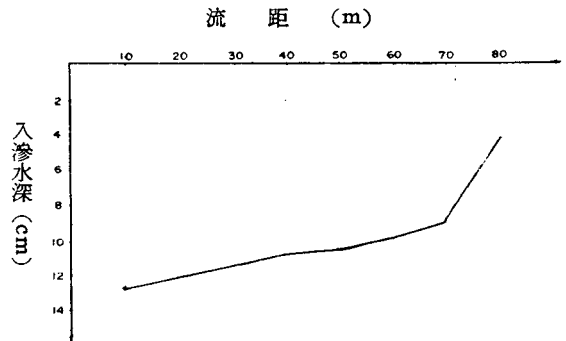


圖 4 水足流抵末端，入滲於土壤中之曲線

由於畦溝中流水較濁，黏滯性大，土壤表面太粗糙，前進之水流，所受摩擦力甚大，其動能愈來愈少，每前進一等距離長度，愈往後，費時愈久，表所列之數，仍有所偏差。土表一般均較乾，浸水初期之短時間內，入滲率特別大，等距離之流達時間不等，初期之浸水時間不等，又影響 intake 量。為求精確，可取甚短距離，予與體積積分，所得結果當更準確。

以上所述及之田間作物用水量，渠道之輸水損失，灌溉效率等，均為影響配水之重要因素，作合理解決之後，始能談及合理之配水。

### 三、輪區配水

#### 1. 配水式之導演

輪區為大區域之組成單元，即大區域為輪區所組成故為利用電子計算機執行大區域之配水計劃，作成適合之計算機程式 (computer programming)，應先就輪區之配水。茲將輪區之配水程式敘述如下：

輸水進入輪區給水門 (turnout gate) 之時間開始為 0 點，計算所有以後發生事項之時間，灌溉設由水路末端開始，水由給水門流經渠道所需之時間( $\theta$ )以

$$t = \alpha L^\beta$$

式中：

t：輸水時間 (min)

L：水路長度 (m)

$\alpha, \beta$ ：由實際渠道通水求得

每一輪區均為給水路與補給水路穿插其間組成，其形狀以下二圖 5 及圖 6 表示

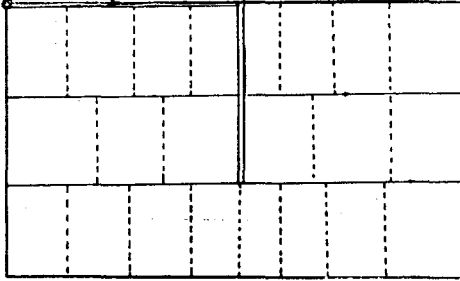


圖 5 輪 區 I

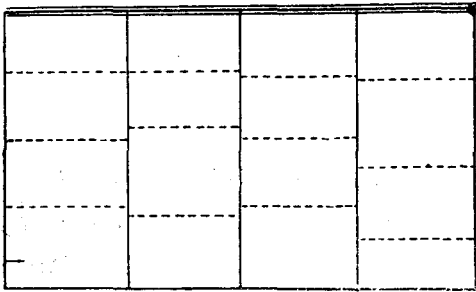


圖 6 輪 區 II

圖 5 及圖 6 內，雙線代表給水路，細線代表補給水路，黑粗代表輪區界線，水由給水門經給水路轉送至補給水路，每一補給水路灌溉一單區，灌溉配水期間，給水路均在通水狀態之下，水路浸水時間為連續性，從無間斷，僅在更換單區，給水路浸水長度，漸漸縮短變化外，浸水時間仍依序累積，至於補給水路，因灌溉所屬單區丘塊之變換，浸水長度亦依序漸縮，浸水時間仍依序漸增，但單區灌畢，需依序變換至另外單區，而新灌溉單區之補給水路浸水時間須另計，由 0 時開始，給水路與補給水路之浸水時間不同，各自成一系統，為適應此特性，水流經給水路之浸水時間，需加以分開。設流經給水路之浸水時間為  $t_{10}$ ，而流經補給水路浸水時間為  $t_{20}$ ，通達任一丘塊，給水路之浸水時間為  $t_{30}$ ，丘塊開始灌溉之時間亦即  $t_{30}$ 。各時間之關係為：

$$t_{10} = \alpha (AL)^\beta$$

AL：給水路長

$$t_{20} = \alpha (BL)^\beta \quad BL: \text{補給水路長}$$

$$t_{30} = t_{20} + t_{10}$$

$t_{30} - t_{10}$ ：每一丘塊開始灌溉時，補給水路之浸水時間。

設  $t$  為每一丘塊施灌截止之時間， $t - t_{10}$  為丘塊施灌完畢時補給水路之浸水時間  
則：

$$S_{01} = a(AL)^b (t_{30}/60)^c / 100$$

$$S_{02} = (1 - S_{01}) a (BL)^b \left( \frac{t_{30} - t_{10}}{60} \right)^c / 100$$

$$S_0 = S_{01} + S_{02}$$

$$S_0 = \frac{a(AL)^b t_{30}/60)^c}{100} + \left[ 1 - \frac{a(AL)^b (t_{30}/60)^c}{100} \right] \times \frac{a(BL)^b (t_{30} - t_{10})^c}{100 \times 60^c}$$

$$S_{11} = \frac{a(AL)^b (t/60)^c}{100}$$

$$S_{12} = (1 - S_{11}) \frac{a(BL)^b (t - t_{10})^c}{60^c \times 100}$$

$$S_1 = S_{10} + S_{11}$$

$$S_1 = \frac{a(AL)^b t^c}{100 \times 60^c} + \left[ 1 - \frac{a(AL)^b t^c}{100 \times 60^c} \right] \times \frac{a(BL)^b (t - t_{10})^c}{100 \times 60^c}$$

設  $X = a(AL)^b / 100$

$Y = a(BL)^b / 100$

$$S_0 = X \left( \frac{t_{30}}{60} \right)^c + \left[ 1 - X \left( \frac{t_{30}}{60} \right)^c \right] \times Y \frac{(t_{30} - t_{10})^c}{60^c}$$

$$S_1 = X \left( \frac{t}{60} \right)^c + \left[ 1 - X \left( \frac{t}{60} \right)^c \right] \times Y \frac{(t - t_{10})^c}{60^c}$$

$$q = Q(1 - S_0)$$

$$q_1 = Q(1 - S_1)$$

$$\bar{q} = \frac{1}{2} (q_0 + q_1)$$

$$= \frac{Q}{2} (2 - S_0 - S_1)$$

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \frac{Q}{2} \left[ 2 - X \left( \frac{t_{30}}{60} \right)^c - Y \left( \frac{t_{30} - t_{10}}{60} \right)^c \right. \\ &\quad + X Y \left( \frac{t_{30}}{60} \right)^c \left( \frac{t_{30} - t_{10}}{60} \right)^c \\ &\quad \left. - X \left( \frac{t}{60} \right)^c - Y \left( \frac{t - t_{10}}{60} \right)^c \right. \\ &\quad \left. + X Y \left( \frac{t}{60} \right)^c \left( \frac{t - t_{10}}{60} \right)^c \right] \end{aligned}$$



$$\therefore t-t_{30} = -\frac{A}{E} \frac{d}{\bar{q}}$$

將  $\bar{q}$  代入上式

$$\begin{aligned} \text{則 } & XY(t-t_{10})^c t^{1+c} - XYt_{30}(t-t_{10})^c - X(60^c) \\ & t^{1+c} - y(60^c)(t-t_{10})^c t + Xt_{30}(60^c)t^c \\ & + yt_{30}(60^c)(t-t_{10})^c + [2(60)^2 t - Xt_{30}^c 60^c t \\ & + XYt_{20}^c (t_{30}-t_{10})^c t - 2t_{30}(60)^{2c} + Xt_{30}^{1+c} 60^c \\ & + Y(t_{30}-t_{10})^c t_{30}(60^c) - XYt_{30}^{1+c} (t_{30}-t_{10})^c \\ & - 2Z(60^{2c}) = 0 \end{aligned}$$

$t-t_{30}$ ，即為坵塊灌溉配水時間，整理此方程式，設此方程式之值為  $F(t)$ ，

- $S_{01}$ ：任一坵塊，開始灌溉時，給水路輸水損失（以小時計）
- $S_{02}$ ：任一坵塊，開始灌溉時，補給水路之輸水損失。
- $S_0$ ：任一坵塊，開始灌溉時，水路輸水總損失。
- $S_{11}$ ：任一坵塊，灌溉截止時，給水路輸水損失。
- $S_{12}$ ：任一坵塊，灌溉截止時，補給水路之輸水損失。
- $S_1$ ：任一坵塊，灌溉截止時，水路輸水總損失。
- $Q$ ：進入給水門之流量 (C.M.S)
- $q_0 q_1$ ：分別為任一坵塊灌溉開始及截止時流入田間實際流量 (C. M. S)
- $\bar{q}$ ：任一坵塊，灌溉期中，流入田間平均實際流量 (C.M.S.)
- $t-t_{30}$ ：任一坵塊之灌溉時間 (分鐘)
- $A$ ：任一坵塊之面積 (ha)
- $d$ ：任一坵塊之灌溉水深 (mm)
- $E$  任一坵塊之灌溉效率 (%)

依上所述，作電子計算程式如下：（因篇幅未列上）

## 2. 計算機配水程式：

任一輪區作配水之後，再依此輪區在水路上之位置，即刻接着作大區域水路網配水之配置。故輪區配水及水路網配水之程式，需放在一起，以便計算機連續操作。在下面所列之程式中，除了程式號碼 61 至 68；總共有 20 個程式為水路網配水所寫而外，其餘則全為輪區配水之程式。

## 3. 計算機配水程式流程圖（從略）

## 4. 輪區配水實例：

設在某一輪區，由末端灌起之灌溉次序已定妥，並已知坵塊地號，面積、田區長度、給水路長、補給水路長、作物別、灌溉效率、灌溉水深、放水日數等基本資料，則可任定一流量  $Q$ ，以電子計算機算出輪區配水計劃中所需之灌溉資訊。諸如每一坵塊之灌溉時間，輸水損失，實際進入田間之流量，灌溉之開始時間，截止時間，任何時刻進入輪區給水門之總量，以及實際所需要之流量等等。為要滿足第一章所述配水因素之要求，任定之流量  $Q$ ，不一定適用，但以任定之流量  $Q$ ，先滿足配水因素，而所算得之放水灌溉日數和水庫原定放水數作為指數，調整流量，直到合適為止。

設一輪區之坵塊數  $N$  為 24，並已知

$$X=0.102, \beta=1.1, a=4.6231, b=0.37, c=-0.3792$$

已定水庫放水日數為 3 天

任定之流量  $Q=0.03$  C. M. S

為要符合配水因素要求，C. M. S 之流量，需要放水 4.5 天始克完成，欲使效水總日數為 3 天則必須再調整流量，直到  $Q=0.0498$  C. M. S 為止。如表 6 所示。

## 四、水路網配置及應用計算執行大區域配水實例：

水路網配置：

以上由計算機所算出之輪區內各坵塊之配水資料可供輪區內配水之依據。然在一水庫所轄之大區域，水經幹線，支線、分線及中給水路進到輪區，如同樹枝，作分支及分叉狀，如何在交叉處配水，以滿足各線以致各輪區之需要是水路網研究之目標。每一輪區一定有所屬之幹、支、分線線路。作水路網配水時，首需將輪區配水所算得流量，考慮及輪區上游水路之輸水損失，然後累加而上，即能得到各叉口各線之流量，由此法可一直推算幹線所應有之流量，水庫應放之水量。

在配水程式中，程式號碼 61 至 68 為水路網配水之程式，水路網配水之重點，僅在將輪區所應配之流量，考慮其上游水路之輸水損失，然後作有次序之累加而已。輪區上游之幹、支、分線，因均係內面工，其輸水損失均採用 2-2 節所述：輸水損失僅與渠道長度一次方成正比。在撰寫本文之程式時，因內面工之輸水損失向未能全部測定完竣，故在程式中，內面



工之輸水損失，暫以一些假設值代用。將來全部測定完竣，再將這些測定得之確值代入即可。

設有十七個輪區，如圖 7 所示，分佈於幹、支、分線、中給線上，茲將電子計算機算得之結果列於圖 7 及表 6

於表 6 中

MID DISCHARGE 代表分線上之流量  
SUBB DISCHARGE 代表支線上之流量  
SUB DISCHARGE 代表幹線上之流量

幹線上最後之流量即為水庫所應開放之流量。

### 結 論 與 應 用 :

1. 配水涉及整個灌溉問題，其所牽涉之因子比比皆是，如果因子不論其大小，均一一舉用，增加之準確性有限，却增加機器之操作時間，幾十萬公頃之配水，機器使用之時間，不能不加以注意。本文將一些較小之因子用統計歸納到係數之內，不單獨考慮這些因子之單獨影響。將來如果較精密公式能引用灌溉科，或機器操作更便宜時，再詳加研究。

2. 就本文所考慮之災災大者因子而言，所涉及之範圍，亦相當廣泛，不能于短時內一一完成各項之測定，如內面工之輸水損失，僅在一中給水路作一次為期三天之觀測測定。在配水實務上是不敷用，尚得作多次之重複觀測，以明其差異性。同時各級水路亦須作多次同樣之重複觀測。如此始能窺知內面工輸水損失全貌。在撰寫本文之電子計算機程式期間，因內面工之輸水損失尚未能全部探悉，故其輸水損失暫以一假設值替代。其次本文所提及之灌溉效率，亦應就埂間，畦溝、紋溝等之不同灌溉方式，分別予以研究，始不致以偏既全之譏。

3. 以電子計算機在此算出之結果，曾在灌溉現場作實地核對，大抵均能符合要求。惟遇現場有特殊之處，如地表過高，渠道需積高水位，始能引水灌溉，影響灌溉進度，結果不理想。諸如此類，現場有特殊之處必須增加配水因子，始可符合實際之要求。因時

間所限，本文未作特殊現象之處理。

4. 以機器配水，期達到經濟配水，提高產量，節省配水人力，此等效益等值幣值，與計算機操作費用比較可明機器配水是否經濟可行。以本文之程式操作時間而言，設一輪區平均有 130 丘塊，機器作輪區配水及大區域水路網配置，共需時約 1 分鐘，1 小時之機器操作費為 1200 元，以此為準，估計嘉南地區作一次灌溉配水約需 1 萬 5 千元左右。用機器配水，所節省之人力，節省之水源，提高之產量等效益之等值幣值，究竟有多少，未予調查，可待他日探討。不過依經驗推測機器配水應是經濟有效得多。

### 參 考 書 籍

1. Israelsen & Hansen  
"Irrigation Principles and Practics"  
chapter 11, John Wiky and Sons Inc, 1962
2. Arther G. Hansen  
"Fluid Mechanics." chapter 4, New York,  
Wiley, 1967
3. Peter S. Eagleson  
"Dynamic Hydrology' Chapter 3, New  
York, McGraw Hill, 1970
4. Daniel M. Cracken  
"A guid to FØRTRAN IV Programming."  
New York, Wiley, 1965
5. "Computer Systems Fortran CDC 3150"  
Cortrol Data Corporation 1967
6. 張建勛、甘俊二、陳益榮  
嘉南地區旱作灌溉綜合試驗研究報告。  
農工一灌溉第十二號研究報告 59年10月
7. 張建勛、徐玉標、吳銘塘  
旱地作物灌溉方法之研究  
農工一灌溉第十號研究報告 57年7月
8. 施嘉昌  
烏山頭舊水庫灌溉系統埂間灌溉方法試驗資料之研  
究分析報告  
農工一灌溉第十一號研究報告 58年3月
9. 張建勛、徐玉標、葉政秀、黃卷重  
嘉南學甲地區旱作灌溉研究試驗報告 54年~58年
10. 曹以松  
電子計算機分析估算旱作及水田有效雨量之研究  
農工一灌溉第十四號研究報告 60年6月

### (上承 2 項)

位距渠面高度，和土壤之導水係數而變，可由 Jepposn 氏 (註 3) 所得出之結果去計算。對非經常有水之渠道而言，由於通水前渠身乾燥，通水後土壤才漸漸濕潤，故滲透係在非全部飽和之土中進行。此情況下影響滲透量之因子比前更為複雜，由理論推算滲漏量頗為不易。

目前臺灣輪灌區小給水路 (非經常有水之渠道) 漏水損失常用經驗公式  $S = aL^bT^c$  (即本文中 (2)

式) 計算。式中  $S$  為損失水量之百分比;  $L$  為渠長;  $T$  為通水時間;  $a, b, c$  為係數，由統計而得。此公式缺點很大，值得提出討論與修改，本文提議以一半經驗半理論之公式，即 (11) 式，代替缺乏理論根據的 (2) 式。(11) 式中之係數  $\alpha$  與  $\beta$  可由水在渠道中流動之實際情形觀測而得，甚為簡單。係數  $a$  與  $b$  則必須用 ponding 法在渠道中測出。謹此建議作為今後臺灣研究土渠漏水計算之參考，並就教於諸專家學者。