



整田時期輪流灌溉之數學模式

Mathematical Model of Rotation Irrigation in Rotational Unit during Land Preparing

國立台灣大學農業工程學系教授

林俊男

Chun-Nan Lin

摘 要

輪區輪流灌溉配水計劃之計算，為農田水利會之重要工作，亦為灌溉輸配水之根本。依據輪流灌溉之理論，推導出整田時期輪區輪流灌溉配水量之解析解。與目前之計算方法差矩頗大。由此解析解發現，若輸水損失與輸水量成正比之狀況下，整田時期輪流灌溉之總用水量，係在有條件下，方比連續灌溉之方式省水。

關鍵詞：整田時期，輪灌期距。

ABSTRACT

The calculation of the water demand in rotational unit is an important work in Irrigation Association. According to the theory of the rotation irrigation, its analytical solution is derived during the land preparing. The total amount of water is larger than the current calculating method. If the conveyance loss is in proportion to the water being conveyed, it is under the some conditions such that the total amount of water in the rotation irrigation system will be less than that in the continuous irrigation system during the land preparing.

Keywords: Land preparing, Rotational interval.

一、前 言

民國43年政府大力推行輪流灌溉制度，以一輪區為主體，講求整體性之『定時』、『依序』、『適量』之水資源共同調配，為本省灌溉史上之

重要措施。由於輪流灌溉講求整體性之『定時』、『依序』、『適量』，因此每次灌溉之前，農田水利會必須與農政、水利等有關單位如農業改良場、縣政府水利科、水庫管理局……等研討此期灌溉之農作時期、水源之供需，進而責成各地工

作站依據輪流灌溉精神，製作各輪區之灌溉用水申請書及灌溉通知單，彙集成各幹、支、分線之灌溉用水計畫。較為精緻之農田水利會，更進一步製作各會員之灌溉通知單。輪區灌溉配水計畫為農田水利會之非常重要之工作。

目前各地各旬灌溉用水申請書，其計算方式皆以旬為一階段，計算各輪區旬平均灌溉流量。但灌溉通知單卻是通知每隔一輪灌期距灌溉一次，二者之間似有差距。

在水資源錙銖必較之今日，精確計算輪區之配水量，一則可提供合理用水資訊，減少水資源之浪費。二則在自動化時代來臨時，可提供精確之計算及控制模式。這些皆有賴於輪區灌溉配水數學模式之建立。又在整個稻作灌溉期間，整田時期用水量較為複雜，此時一方面需要整田灌溉用水，另一方面要為已插秧者，進行本田補給用水。且整田時期亦為灌溉尖峰，因此整田時期之用水量亦涉及渠道輸水容量之設計。由此可知輪區之灌溉配水計劃之計算，影響農業用水及灌溉硬體設施頗巨，不得不慎。

二、輪流灌溉有關用詞

2-1 時間類

2-1-1 整田日數：輪區整田作業完畢所需之日數。

2-1-2 錯開日數：輪區完成每次灌溉所需之日數（配合輪流灌溉作業，錯開日數等於整田日數）。

2-1-3 輪灌期距：對輪區內某一坵塊而言，此次灌溉與上次灌溉相隔日數（為公平起見，有些水利會之輪灌期距有加半日之設計）。

2-1-4 乾田日數：在輪灌期距內，保留數日之田面無水，以配合土壤通氣之要求。此保留日數即為乾田日數。

2-1-5 整田及插秧相隔日數：為配合本田插秧作業，整田完畢後，無法同時插秧，有些地區隔日再進行插秧，即整日及插秧相隔日數為一天。

2-1-6 流經時間：實施由下往上之輪灌制度時，

小給水路末端等待灌溉水到達之時間，即為流經時間。

2-1-7 灌溉日數：本田自插秧起開始灌溉至收割前幾日停止灌溉之間之灌溉總日數，稱之為灌溉日數。

2-2 用水類

2-2-1 有效雨量：凡可減少渠道引水量之天然降雨，皆稱為有效雨量。

2-2-2 作物需水量：作物生長所需之水量。

$$\begin{aligned} \text{作物需水量} &= \text{作物蒸發散量} \\ &= \text{葉面蒸散量} + \text{水面蒸發量} \\ &\quad (\text{水田}) \\ &= \text{葉面蒸散量} + \text{土面蒸發量} \\ &\quad (\text{旱田}) \end{aligned}$$

2-2-3 下滲量：由田面移至田面下之水份為下滲量。水田下滲量可供作為水稻蒸發散量及水田滲漏量。

2-2-4 滲漏量：田面下之水量移至排水或地下水或根系之外之水量。

2-2-5 每日減水深：水田田面每日減少之水深。

$$\text{每日減水深} = \text{作物需水量} + \text{水田滲漏量}$$

2-2-6 用水量(又稱作日供水量或灌溉用水量)：即每日灌溉水量，依不同作業需求分為秧田整地用水量、秧田補給用水量、浸田用水量、整田用水量、本田補給用水量。但

$$\text{本田每日補給用水量} = \text{每日減水深} - \text{有效雨量}$$

2-2-7 一次灌溉水深：在輪流灌溉制度下，一次灌溉水量即提供輪距內所需之灌溉用水，如

$$\text{本田一次灌溉水量} = \text{每日補給用水量} \times (\text{輪灌期距} - \text{乾田日數})$$

2-2-8 灌溉率：

定義：灌溉水量 1 秒立方公尺 (1CMS) 每日可灌溉之面積 (公頃)。係灌溉水深之另一種表示方法。

灌溉水深 D (公釐) = $8640/\text{灌溉率}$ (公頃/cms)

灌溉率 (公頃/cms) = $8640/D$ (公釐)

2-2-9 灌溉流量

$$\begin{aligned} \text{每日灌溉流量} &= \frac{\text{每日灌溉面積(公頃)} \times \text{灌溉水深(公厘)}}{8640} \\ &= \text{每日灌溉面積(公頃)} \div \text{灌溉率(CMS / 公頃)} \end{aligned}$$

2-2-10 中小給水門灌溉流量

$$\begin{aligned} \text{中小給水門灌溉流量} &= \text{田間灌溉流量} / \\ &\quad (1-\text{中小給水門以下輸水損失率}) \end{aligned}$$

2-2-11 中小給水門用水量

$$\begin{aligned} \text{中小給水門用水量} &= \text{田間灌溉水深} / \\ &\quad (1-\text{中小給水門以下輸水損失率}) \end{aligned}$$

2-3 其他

2-3-1 輸水損失：灌溉水在輸送時，所減少之水量為輸水損失量。可分為幹、支、分線渠道之輸水損失及中小給水門以下輸水損失(包括中小給水門以下之中小給水路及田間灌溉效率損失)。一般以百分比(即輸水損失率)或固定水量表示之。此輸水損失量之來源可分為三類：

- (a) 管理上之疏忽：如水門沒關緊、盜水。
- (b) 硬體之缺失：如渠道滲漏量大。
- (c) 無法避免之損失：如渠道蒸發量。

2-3-2 給水成數：即(1-田間灌溉損失)。嘉南農田水利會，每一坵塊估計給水成數。此給水成數有二層：第一層分組(中小給水門以下之中小給水路之給水成數)，每組底下再分級(田間灌溉效率)，換言之每一坵塊自之中小給水門而言之給水成數=分組×分級

2-3-3 折合灌溉面積：由於輸水損失之存在，將輸水損失之水量換算為灌溉面積之水量，此折抵之灌溉面積與原灌溉面積之和，稱為折合灌溉面積。即灌溉之水量(計及輸水損失量)換算為無輸水損失之折合灌溉面積之灌溉水量。

$$\text{折合灌溉面積} = \text{灌溉面積} / (1 - \text{輸水損失率})$$

三、文獻探討

周禮氏(1960)⁽¹⁾提出輪區斗門以下之渠道容量應為

$$Q = \frac{A_T}{8.64} \left(\frac{P}{N} + \frac{D}{n} \right) \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(3-1)$$

A_T = 輪區總面積 (公頃)

P = 整田水深 (公尺)

D = 本田補給灌溉每次灌溉水深 (公尺)

N = 整田日數 (天)

n = 輪灌期距 (天)

L = 輸水損失率 (%)

溫理仁氏(1972)⁽²⁾提出整田期間，定流量之公式

$$Q = \frac{A_T}{1 - e^{-\frac{D}{P}N}} \times \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(3-2)$$

A_T = 輪區總面積 (公頃)

P = 整田水深 (公尺)

D = 本田補給灌溉每次灌溉水深 (公尺)

N = 整田日數 (天)

$e = 2.71828$ 自然對數值

L = 輸水損失率 (%)

鄭俊澤氏(1980)⁽³⁾提出整田期間，輪區灌溉配水流量為

$$Q_n = \frac{1}{8.64} [A_{n-1} \times D + \left(\frac{P}{N} + \frac{D}{2} \right) \Delta A_n] \frac{1}{1-L} \dots\dots(3-3)$$

A_{n-1} = 第 $n-1$ 天已整田面積 (公頃)

P = 整田水深 (公尺)

D = 本田補給灌溉每次水深 (公尺)

Q_n = 第 n 天灌溉流量

ΔA_n = 第 n 天需整田灌溉面積 (公頃)

N = 整田日數 (天)

林俊男氏(1984)⁽⁴⁾建立整田時期連續灌溉，輪區灌溉流量之通式數學模式為

$$Q(t) = P(t) \frac{dA_T(t)}{dt} + u(t-\xi) \int_0^{t-\xi} D(\tau) \frac{dA_T(\tau)}{d\tau} d\tau \dots(3-4)$$

A_T = 輪區總面積 (平方公尺)

$P(t) = t$. 時整田水深 (公尺)

$D(t) =$ 本田 t . 時補給灌溉水深 (公尺)

$$u_{\xi} = \text{單位步階函數} \begin{cases} 0 \dots \xi < t \\ 1 \dots \xi > t \end{cases}$$

ξ = 整田與插秧相隔日數，即整田後 ξ 天後才開始插秧

$$A_T = \int_0^N \frac{dA_T}{dt} dt$$

N = 整田日數 (天)

若 $\frac{dA_T}{dt} = \frac{A_T}{N} = \bar{A}$ = 定值 且 $P(t) = \bar{P}$ = 定值

$D(t) = \bar{D}$ = 定值 則

$$Q = \bar{P} \times \bar{A} + (t - \xi) \times \bar{D} \times \bar{A} \times u(t - \xi) \dots (3-5)$$

若 $Q(t) = \bar{Q}$ = 定值 且 $P(t) = \bar{P}$ = 定值 $D(t) = \bar{D}$ = 定值 則

$$\frac{dA_T(t)}{dt} = \frac{\bar{Q}}{\bar{P}} \left\{ 1 - u(t - \xi) \times \frac{\bar{D}}{\bar{P}} \times (t - \xi) + u(t - 2\xi) \times \frac{\bar{D}^2}{\bar{P}^2} \times \frac{(t - 2\xi)^2}{2!} - u(t - 3\xi) \times \frac{\bar{D}^3}{\bar{P}^3} \times \frac{(t - 3\xi)^3}{3!} + \dots \right\} \dots (3-6)$$

現行有關輪流灌溉配水計畫之計算方式，常見於各農田水利會自行參考或訓練用之書冊，如嘉南農田水利會之『嘉南農田水利會輪流配水計算』⁽⁵⁾。其計算方式如同連續灌溉之配水計算方式，但每日灌溉水深以下式表示

$$\text{每日灌溉水深} = \text{田間每日用水量} \times \frac{\text{輪流灌溉期距} - \text{乾田日數}}{\text{輪流灌溉期距}}$$

換言之，

$$\begin{aligned} \text{每旬本田補給灌溉流量} &= \frac{(\text{旬初已整田面積} + \text{旬末擬整田面積})}{2} \\ &\times \text{田間每日用水量} \times \frac{\text{輪流灌溉期距} - \text{乾田日數}}{\text{輪流灌溉期距}} \times \frac{1}{86400} \\ &\dots (3-7) \end{aligned}$$

或

$$\begin{aligned} \text{每旬本田補給灌溉流量} &= \frac{(\text{旬初已整田面積} + \text{旬末擬整田面積})}{2} \\ &\times \frac{1}{\text{灌溉率}} \times \frac{\text{輪流灌溉期距} - \text{乾田日數}}{\text{輪流灌溉期距}} \end{aligned}$$

以上諸式或討論連續灌溉公式或以數值方

法表示，並未推導出輪流灌溉之數學模式。

四、整田時期輪流灌溉輪區配水數學模式

整田時期輪流灌溉輪區配水具有下列之特色：

1. 整田灌溉僅提供一次用水
2. 每隔輪流期距內必須提供本田補給灌溉一次
3. 每次本田補給灌溉之水深 D_0 = 每日需灌水深 D × (輪流灌溉期距 ω - 乾田日數 r)

為發展整田時期輪流灌溉輪區配水數學模式，並基於下列之假設：

1. 有效雨量暫時不計
2. 輪區整田總時間為 N
3. 整田 ξ 天後可再開始進行插秧
4. 輸水損失暫不考慮

則整田時期輪流灌溉輪區配水數學模式為

$$Q(t) = P(t) \times \frac{dA_T(t)}{dt} + u(t - \xi) \times D_0(t) \times \int_0^{t-\xi} \frac{dA_T(\tau)}{d\tau} \times \delta_{\omega}(t - \tau) d\tau \dots (4-1)$$

$$\text{且 } A_T = \int_0^N \frac{dA_T(t)}{dt} dt$$

$$\text{即 } Q(t) = P(t) \times \frac{dA_T(t)}{dt} + D_0(t) \times u(t - \xi) \times \left(\frac{dA_T}{dt} * \delta_{\omega} \right) (t - \xi)$$

若 $\omega = 0$ 則 $\delta_{\omega} = 1$ 為連續灌溉，(4-1) 式成為 (3-4) 式。

$Q(t)$ 為 t 時之灌溉流量 (CMS)

$P(t) \times \frac{dA(t)}{dt}$ 為 t 時之整田灌溉流量 (CMS)

$D_0(t) = D \times (n - r)$ 為 t 時之本田補給一次灌溉水深為定值 (公尺)

D 為每日需灌水深 (公尺)

n 為輪灌期距 (天) = $\omega / 86400$

r 為乾田日數 (天)

$\int_0^{t-\xi} \frac{dA(\tau)}{d\tau} \times \delta_{\omega}(\tau) d\tau$ 為 $t - \xi$ 時之本田應補給灌溉面積 (平方公尺 / 秒)

$\delta_{\omega} = \delta(t)$ 函數之周期函數，其周期為 ω 。輪灌期距 (參見圖 1)

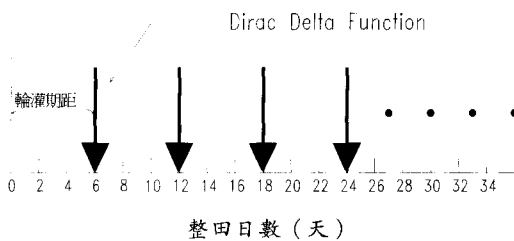


圖 1 δ_ω 函數

$\delta(t)$ 函數為脈衝函數 (dirac.delta.function)

ω 為輪灌期距 (秒)

$(f * g)(t) = \int_0^t f(\tau) \times g(t - \tau) d\tau$ 為 $f(t)$ 與 $g(t)$ 之旋捲
運算 convolution

A_T 為輪區總面積 (平方公尺)

N 為輪區整田總時間

五、整田進度每日相同制

目前全省農田水利會輪區之整田進度皆每日相同，即 $\frac{dA_T}{dt} = \frac{A_T}{N} = \bar{A}$ 定值 且 $P(t) = \bar{P}$ 定值

則 (4-0) 式經拉普拉斯轉換 Laplace Transform 可得

$$\begin{aligned}
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + D_0 \times \bar{A} \times u(t - \xi) + D_0 \times \bar{A} \times u(t - \omega - \xi) \\
 & + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 2\omega - \xi) + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 3\omega - \xi) \\
 & + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 4\omega - \xi) + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 5\omega - \xi) + \dots
 \end{aligned}$$

..... (5-1)

即

$$\begin{aligned}
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} & 0 < t < \xi & \dots \dots \dots \text{整田開始至插秧前} \\
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + D_0 \times \bar{A} & \xi < t < \omega + \xi & \dots \dots \dots \text{插秧後至第一個輪期} \\
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + 2D_0 \times \bar{A} & \omega + \xi < t < 2\omega + \xi & \dots \dots \dots \text{第一個輪期至第二個輪期} \\
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + 3D_0 \times \bar{A} & 2\omega + \xi < t < 3\omega + \xi & \dots \dots \dots \text{第二個輪期至第三個輪期} \\
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + 4D_0 \times \bar{A} & 3\omega + \xi < t < 4\omega + \xi & \dots \dots \dots \text{第三個輪期至第四個輪期} \\
 & \dots \dots \dots & & \dots \dots \dots
 \end{aligned}$$

由上式可知 $Q(t)$ 呈階梯式增加。

若 $\xi = 0$ 即整田與插秧補給同時進行 (目前有些水利會係以此方式配水)，則(5-1)式即為

$$\begin{aligned}
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 0) + D_0 \times \bar{A} \times u(t - \omega) \\
 & + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 2\omega) + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 3\omega) \\
 & + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 4\omega) + D_0 \times \bar{A} \times u(t - 5\omega) + \dots
 \end{aligned}$$

..... (5-2)

即

$$\begin{aligned}
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + D_0 \times \bar{A} & 0 < t < \omega & \dots \dots \dots \text{整田開始至第一個輪期} \\
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + 2D_0 \times \bar{A} & \omega < t < 2\omega & \dots \dots \dots \text{第一個輪期至第二個輪期} \\
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + 3D_0 \times \bar{A} & 2\omega < t < 3\omega & \dots \dots \dots \text{第二個輪期至第三個輪期} \\
 Q(t) = & \bar{P} \times \bar{A} + 4D_0 \times \bar{A} & 3\omega < t < 4\omega & \dots \dots \dots \text{第三個輪期至第四個輪期} \\
 & \dots \dots \dots & & \dots \dots \dots
 \end{aligned}$$

由上式可知 $Q(t)$ 亦呈階梯式增加。

六、整田期間灌溉水量每日相同制

一灌區若全由抽水機抽水灌溉，以抽水機性能而言，希望能穩定抽水，管理上較為方便，抽水機之壽命亦可較長。換言之即希望整田期間灌溉水量每日相同。即 $Q(t) = \bar{Q}$ 定值 且 $P(t) = \bar{P}$ 定值 則(4-1)式經拉普拉斯轉換 Laplace Transform 可得

$$\begin{aligned}
 \frac{dA_T}{dt} = & \frac{\bar{Q}}{P} \left\{ \left[u(t - 0) - \frac{D_0}{P} u(t - \xi) + \frac{D_0^2}{P^2} u(t - 2\xi) - \dots \right] \right. \\
 & - \left[\frac{D_0}{P} u(t - \omega - \xi) - \frac{2D_0^2}{P^2} u(t - \omega - 2\xi) + \frac{3D_0^3}{P^3} u(t - \omega - 3\xi) - \dots \right] \\
 & - \left[\frac{D_0}{P} u(t - 2\omega - \xi) - \frac{3D_0^2}{P^2} u(t - 2\omega - 2\xi) + \frac{6D_0^3}{P^3} u(t - 2\omega - 3\xi) - \dots \right] \\
 & - \left[\frac{D_0}{P} u(t - 3\omega - \xi) - \frac{4D_0^2}{P^2} u(t - 3\omega - 2\xi) + \frac{10D_0^3}{P^3} u(t - 3\omega - 3\xi) - \dots \right] \\
 & \left. - \dots \dots \dots \right\} \dots \dots \dots (6-1)
 \end{aligned}$$

若 $\xi = 0$ 即整田與插秧補給同時進行，則(6-1)式即為

$$\begin{aligned}
 \frac{dA_T}{dt} = & \frac{\bar{Q}}{P} \left\{ \left[1 - \frac{D_0}{P} + \frac{D_0^2}{P^2} - \frac{D_0^3}{P^3} + \frac{D_0^4}{P^4} - \dots \right] \right. \\
 & - u(t - \omega) \left[\frac{D_0}{P} - \frac{2D_0^2}{P^2} + \frac{3D_0^3}{P^3} - \frac{4D_0^4}{P^4} \dots \right] \\
 & - u(t - 2\omega) \left[\frac{D_0}{P} - \frac{3D_0^2}{P^2} + \frac{6D_0^3}{P^3} - \frac{10D_0^4}{P^4} \dots \right] \\
 & - u(t - 3\omega) \left[\frac{D_0}{P} - \frac{4D_0^2}{P^2} + \frac{10D_0^3}{P^3} - \frac{20D_0^4}{P^4} \dots \right] \\
 & \left. - \dots \dots \dots \right\} \dots \dots \dots (6-2)
 \end{aligned}$$

若 $\xi = 0$ 且 $\omega = 0$ 即整田與插秧補給同時進行之連續灌溉，則(6-2)式即為(3-2)式

七、整田時期現行計算方式與理論輪流灌溉之比較

今以一數值加以比較，一輪區之灌溉配水計畫營運基本資料如下：
 輪區灌溉面積：45.2079 公頃
 輸水損失 暫不計
 插秧開始日期：3 月 1 日
 整田開始日期：3 月 1 日

整田日數：18 天
 整田灌溉水深：每日 120 公厘
 本田補給灌溉水深：每日 9.6 公厘
 輪流灌溉期距：6 天
 乾田日數：1 天
 整田進度每日相同制
 (5-2)式為理論輪流灌溉配水公式，(3-7)式為現行配水計算公式。以上式資料試算之結果如下表 1。

表 1

日期		整田灌溉作業		本田補給灌溉作業				註	連續灌溉計算方式	
		整田進度 公頃/天	整田灌溉 用水 CMS	現行計算方式		輪流灌溉計算方式			本田應補給 灌溉面積 公頃	本田補給 灌溉流量 CMS
				本田應補給 灌溉面積 公頃	本田補給灌 溉流量 CMS	本田應補給 灌溉面積 公頃/天	本田補給 灌溉流量 CMS			
3月1日	00:00	2.51	0.035	0.00	0.000	2.51	0.014		0.00	0.000
	24:00	2.51	0.035	2.51	0.002	2.51	0.014		2.51	0.003
3月2日	00:00	2.51	0.035	2.51	0.002	2.51	0.014		2.51	0.003
	24:00	2.51	0.035	5.02	0.005	2.51	0.014		5.02	0.006
3月3日	00:00	2.51	0.035	5.02	0.005	2.51	0.014		5.02	0.006
	24:00	2.51	0.035	7.53	0.007	2.51	0.014		7.53	0.008
3月4日	00:00	2.51	0.035	7.53	0.007	2.51	0.014		7.53	0.008
	24:00	2.51	0.035	10.05	0.009	2.51	0.014		10.05	0.011
3月5日	00:00	2.51	0.035	10.05	0.009	2.51	0.014		10.05	0.011
	24:00	2.51	0.035	12.56	0.012	2.51	0.014		12.56	0.014
3月6日	00:00	2.51	0.035	12.56	0.012	2.51	0.014		12.56	0.014
	24:00	2.51	0.035	15.07	0.014	2.51	0.014		15.07	0.017
3月7日	00:00	2.51	0.035	15.07	0.014	5.02	0.028		15.07	0.017
	24:00	2.51	0.035	17.58	0.016	5.02	0.028		17.58	0.020
3月8日	00:00	2.51	0.035	17.58	0.016	5.02	0.028		17.58	0.020
	24:00	2.51	0.035	20.09	0.019	5.02	0.028		20.09	0.022
3月9日	00:00	2.51	0.035	20.09	0.019	5.02	0.028		20.09	0.022
	24:00	2.51	0.035	22.60	0.021	5.02	0.028		22.61	0.025
3月10日	00:00	2.51	0.035	22.60	0.021	5.02	0.028		22.61	0.025
	24:00	2.51	0.035	25.12	0.023	5.02	0.028		25.12	0.028
3月11日	00:00	2.51	0.035	25.12	0.023	5.02	0.028		25.12	0.028
	24:00	2.51	0.035	27.63	0.026	5.02	0.028		27.63	0.031
3月12日	00:00	2.51	0.035	27.63	0.026	5.02	0.028		27.63	0.031
	24:00	2.51	0.035	30.14	0.028	5.02	0.028		30.14	0.033
3月13日	00:00	2.51	0.035	30.14	0.028	7.53	0.042		30.14	0.033
	24:00	2.51	0.035	32.65	0.030	7.53	0.042		32.65	0.036
3月14日	00:00	2.51	0.035	32.65	0.030	7.53	0.042		32.65	0.036
	24:00	2.51	0.035	35.16	0.033	7.53	0.042		35.16	0.039
3月15日	00:00	2.51	0.035	35.16	0.033	7.53	0.042		35.16	0.039
	24:00	2.51	0.035	37.67	0.035	7.53	0.042		37.67	0.042
3月16日	00:00	2.51	0.035	37.67	0.035	7.53	0.042		37.67	0.042
	24:00	2.51	0.035	40.18	0.037	7.53	0.042		40.18	0.045
3月17日	00:00	2.51	0.035	40.18	0.037	7.53	0.042		40.18	0.045
	24:00	2.51	0.035	42.70	0.040	7.53	0.042		42.70	0.047
3月18日	00:00	2.51	0.035	42.70	0.040	7.53	0.042		42.70	0.047
	24:00	2.51	0.035	45.21	0.042	7.53	0.042		45.21	0.050
用水量小計(噸)			54249		32550		43400			39060

由以上之計算，可知理論輪溉灌溉在整田時期之總灌溉水量明顯地大於現行之計算方式，雖然最後一天之灌溉水量二者相同，但理論輪溉灌溉並非線性增加，而是階梯式變化。(參見圖 2)

八、整田進度每日相同制度下整田期間理論輪流灌溉較連續灌溉省水之條件

整田進度每日相同制度下整田期間之總灌溉水量為 $\int_0^N Q(t)dt$ 。若整田與插秧同時進行，則理論輪流灌溉整田時期總用水量為

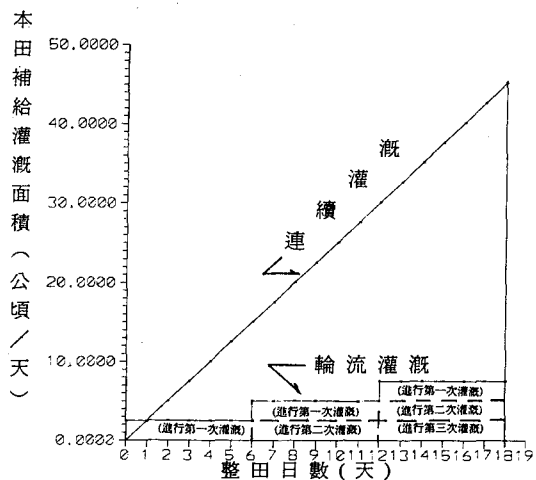


圖 2A 整田時期本田補給灌溉面積

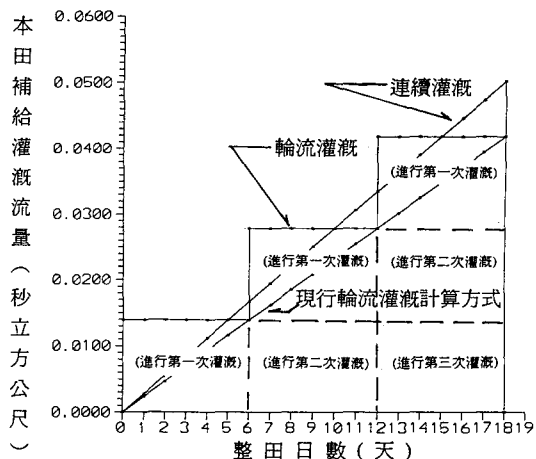


圖 2B 整田時期本田補給灌溉流量

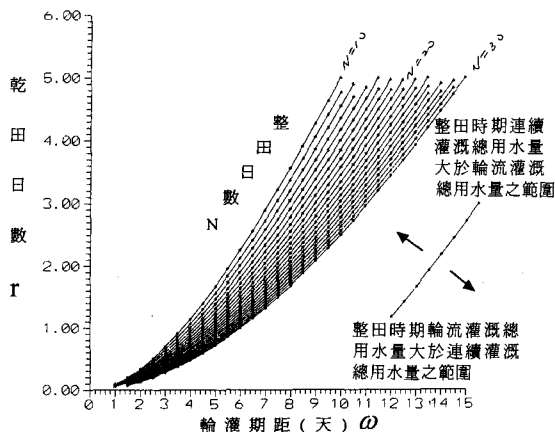


圖 3 整田日數、輪灌期距、乾田日數三者之關係

$$\int_0^N Q(t)dt = \int_0^N (\bar{P} \times \bar{A} \times u(t-0) + D_0 \times \bar{A} \times u(t-0) + D_0 \times \bar{A} \times u(t-\omega) + D_0 \times \bar{A} \times u(t-2\omega) + D_0 \times \bar{A} \times u(t-3\omega) + D_0 \times \bar{A} \times u(t-4\omega) + D_0 \times \bar{A} \times u(t-5\omega) + \dots) dt \quad (8-1)$$

而連續灌溉整田時期總用水量為

$$\int_0^N Q(t)dt = \int_0^N (\bar{P} \times \bar{A} + t \times D \times \bar{A}) dt \quad (8-2)$$

因 $u(t-0) = 1$ 又 $N = n \times \omega$ $D_2 = D \times (\omega - r)$ 要求 (8-1)式大於 (8-2)式之條件為

$$\frac{\omega^2}{r} - \omega < N \quad (8-3)$$

該條件即在整田日數固定下

(1) 乾田日數 r 增加

或

(2) 輪灌期距 ω 減少

但 ω 為二次式， r 為一次式， ω 之影響較大。以表一為例 $\omega=6$ ， $r=1$ ， $N=18$ (8-3)式不成立。即此種方式之輪流灌溉並不比連續灌溉較為省水。(參見圖 3)

九、結論及建議

整田進度每日相同制度下整田期間，由以上之分析可獲得下列之結論

(1) 在本田補給灌溉配水，目前之輪區灌溉配

水計算方式，比理論輪流灌溉配水之計算方式減少 $\frac{1}{n}$ 倍。(以表 1 為例， $\frac{43399.59 - 32549.69}{32549.69} = \frac{1}{3}$)。即在整田期間，若實施三次灌溉，即總水量比目前少配水之三分之一。若實施四次灌溉，即總水量比目前少配水之四分之一。

- (2) 輪流灌溉整田時期，若田間輸水損失是與用水量成正比之情況下，在下列之條件下，才能比連續灌溉總用水量少。

$$\frac{\omega^2}{r} - \omega \leq N$$

為實際反映田間之需求及掌水工配水之操作，茲建議下列幾點以供參考：

- (1) 實施輪流灌溉，其配水計算應改為(5-1)式或(5-2)式，以符合實際需求及灌溉傳票，並減少掌水工句末缺水之困擾。
- (2) 以往以人工計算計畫配水量，今計算機如此普遍且計算快速精確，不該再以句為計算單位，應配合輪流灌溉精神，以輪距為單位。
- (3) 輪流灌溉在整田時期是有條件較連續灌溉省水，整田日數、乾田日數、輪灌期距須注意相互配合。

十、致謝

承蒙農業委員會之計畫支援，得以思考此一問題。謹致謝意。

十一、參考文獻

- (1) CHOW, LEE "Developmemet of rotation irrigation in Taiwan", J. Irrig. Drain Div., ASCE, Sept 1960, Vol 86, IR3, p1-p12.
- (2) 溫理仁 "水稻灌溉系統容量之決定與整田用水之管理"，中國農業工程學報第 18 卷第 1 期 1972 年 4 月，p11-p20。
- (3) 鄭俊澤 "水稻灌溉系統營運配水計畫之進一步研究"，臺灣水利 28 卷 2、3 期，1980 年 6 月，p22-p40，p33-p60。
- (4) 林俊男 "整地時期灌溉配水模式與尖峰用水及農機作業之研討"，中國農業工程學報第 30 卷第 1 期 1984 年 3 月，p25-p40。
- (5) "嘉南農田水利會輪灌配水計算"，嘉南農田水利會管理組，1982 年 5 月。

收稿日期：民國 86 年 12 月 4 日

接受日期：民國 87 年 2 月 20 日