

輪作田地表面灌溉之水理研究

Hydraulic Study on Surface Irrigation in Crop Rotational Field

葉 政 秀

Cheng-Show Yeh

臺大農工系講師

一、前 言

本省農地之作物栽培，一向以水稻為主。凡有水源或具灌溉設施之地區，均栽植有水稻，而作物栽培方式主要受各地區雨量之大小與分佈型態所左右。除水源豐沛或雨量均勻之地區，可以栽植雙期作水稻之外，大部分乾、雨季分明之地區，在早期均種植其他需水量較少之作物，因此大部份旱作物之農地並非純旱田，而是屬於輪作田。

近年來由於水需要量之急增，且經多年試驗已證明旱作物灌溉效益顯著，因此隨著作物栽植面積之增加，所需灌溉用水量亦大為提高，更由於近年工業用水之與日俱增，水之開源與節流日益迫切。水庫之開發，幹支線之鋪設內面工，分水門與量水門之建造、修繕等所做之投資為數相當可觀，因此農民負擔水費之比例亦日漸加重，值此降低農作成本之今天，如何有效地運用此種有限之高價水源，實在是一重要之課題。以往水利會之灌溉管理僅能止於水門以上水路之輸送與分配，對於自小給水路進入田區之實際灌溉作業則不曾亦無力顧及。

臺灣大學農工系近十年來在農復會經費補助之下，為提高嘉南地區輪作田之用水管理，從事旱作物灌溉試驗研究，灌溉方法試驗即為其中之主要項目。限於現有明渠之輸水、配水系統，本地區之灌溉方法除少數農民偶而行抽水灌溉外，均屬於地表灌溉方式。而地表灌溉方式又依作物之栽培型態而有分別；行栽作物，如甘藷、甘蔗等行壟溝灌溉 (Furrow irrigation)，平栽作物如玉米、大豆、花生、高粱、黃麻等則採用埂間灌溉 (Border irrigation)。不論是壟溝灌溉或埂間灌溉方法之試驗，多年來已有不少之研究，分載於本系各年度出版之報告中。

作者曾有機會參與十數次之地表灌溉方法試驗，從試驗之設計、觀測過程、資料之記錄及整理分析中

，深深體會到地表灌溉之水理相當地複雜，既非穩定之明渠水流，又由於土壤等地域因子之巨大變異，使得錯綜複雜之資料，很難控制和解決，因此乃將複雜之地域性因子加以固定，而進行本試驗，以研究其他水理因素影響灌溉之程度。限於財力與時間，本文所探討的僅為埂間灌溉 (Border irrigation) 之水理研究。其流前水分狀態均維持在田間容水量左右，與實際旱田灌溉前之地面狀況實有不同，但是其結果一方面可以做為旱作實際灌溉之參考，另一方面亦可供做水田輪灌時一次灌溉水深之依據。

二、影響地表灌溉水理之因素

地表灌溉之水理相當地複雜，迄今雖然已有許許多多之研究，但仍然未見十分清楚，儘管如此，優良之灌溉設計仍必須將其原理加以瞭解，圖 1 所示者即為地表灌溉水理之基本因子，即

- | | |
|------------|------------------|
| 1. 流量 | 6. 地面坡度 |
| 2. 前進率 | 7. 地面糙度 |
| 3. 流距與灌溉時間 | 8. 土壤含水量 |
| 4. 流動剖面 | 9. 土壤滲入率 |
| 5. 灌溉水深 | 10. 渠道形狀 (埂間或壟溝) |

影響因子有十種以上，而無法直接給予定量分析，亦不易將其公式化。上述因子中 6~10 項均為地域因子，主要是土壤與田間之差異性，而自然田間狀況與土壤結構之不均一性，使得該等因子之錯綜影響，很難分別地或綜合地加以定量。就同一塊田區而言，土壤含水量，滲入率及地面糙度阻力雖然隨時會有變化，但是地面坡度及渠道形狀則為一致。再者通常首次灌溉之後，地面即呈顯著之密實平坦，糙度阻力減小，渠道形狀規則。雖然糙度、坡度及渠道形狀等因子對灌溉水流之影響程度仍難分別地定量，不過就同一田區而言，該等因子對於灌溉水流之綜合影響可以視為定性而常數化。本研究之試驗設計即試圖將前述

(1) 本文承國家科學委員會補助經費，謹致謝忱。

五項地域因子，包括土壤含水量，土壤滲入率等假設固定，而分析其餘五項因子間之關係。

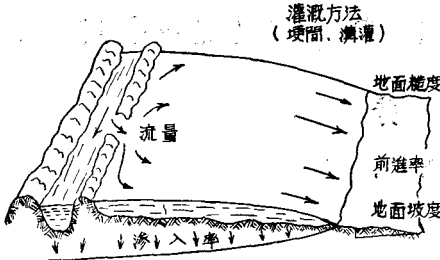


圖 1 影響地表灌溉之水利因素

三、試驗方法

(一)試驗處理

1. 田區長度與寬度

將長度 100 公尺，寬度 33 公尺之田區，按 6、7、8、9 公尺之寬度劃分成四種寬度之埂間，每一塊田區以寬度約 60 公分之田埂隔開。田埂之高度及結實度務須足以束水，且不致有橫向漏水之誤。

2. 灌溉流量

以抽水機自麻豆大排水溝抽水進入渠道，通過 6 吋巴歇耳量水槽，然後進入田區。流量之大小，以每田區之單位 埂間 寬度之流量值 $Q/W = 1、2、3、4、5$ 與 6 等六種處理，各施灌一次。

3. 田間佈置

如圖 2 之佈置，每 10 公尺在田埂上立有一標誌，距進水口首端 5 公尺處設一水尺，50 公尺及 90 公尺處亦各立一支。水尺之設置，務必注意確定其零點足以與田區之標高等齊。

4. 首次灌溉前，地面糙度大，但水分仍在田間容水量附近，此一自然狀態之灌溉亦同時記錄、分析。

5. 濕潤灌溉之施行，係在首次灌溉後第二日施行，以後每隔二日灌溉一次，每次各田區施灌之 Q/W 均一致。每次流量之調整以巴歇耳量水槽控制。灌溉前均測定土壤水分，其記錄均在 21~22% (重量比) 之間，因為變化不大，故視為常數。

6. 灌前亦行滲入率之測定，爲了不影響灌溉之作業，滲入率之測定位置選在末端，由於土壤水分高，因此土壤滲入率均很小，雖有差異，變化不大，以其平均滲入水深曲線 $D = 10T^{0.22}$ 代表之，並假定每次灌溉之滲入率影響程度相同。

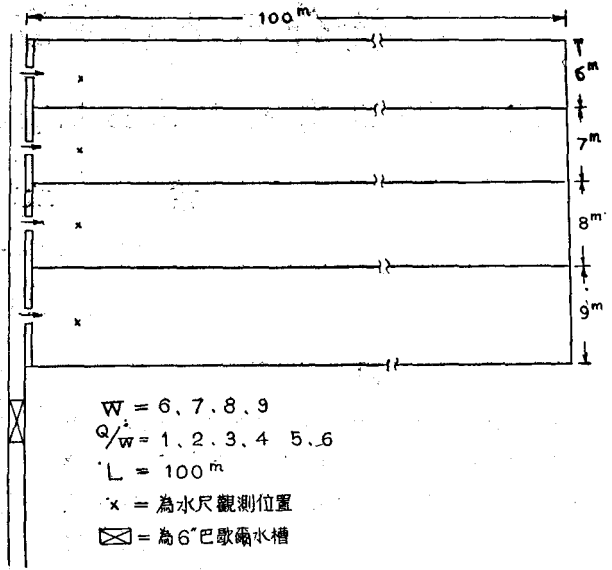


圖 2 地表灌溉田間佈置圖

表(1) 空地埂間灌溉試驗 (濕狀況)

Q/W	時間 (分)	流 距 (公尺)								
		10	20	30	40	50	60	70	100	
1	W = 6	3.5	9.9	17.0	24.3	31.5	41.5	50.5		
	W = 7	3.2	9.7	17.4	25.5	34.5	45.7	58.2		
	W = 8	4.3	10.2	17.5	25.6	34.2	45.2	57.0		
	W = 9	2.5	9.7	17.3	25.7	35.5	45.8	55.5		
	平均	3.4	9.9	17.3	25.1	33.9	44.6	55.3	93.5	
	施灌水深	20.4	29.7	34.6	37.7	40.7	44.6	47.5	55.6	
2	W = 6	1.5	4.5	8.5	12.5	16.8	21.4	26.5		
	W = 7	1.5	4.6	8.2	12.0	17.0	23.0	28.7		
	W = 8	2.1	5.5	9.7	14.2	19.3	24.5	30.0		
	W = 9	1.8	4.8	8.7	13.2	18.0	23.4	28.5		
	平均	1.7	4.9	8.8	13.0	17.8	23.1	28.4	48.0	
	施灌水深	20.4	29.4	35.2	39.0	42.2	46.2	48.5	58.0	
3	W = 6	1.5	3.7	6.3	9.6	13.0	16.7	20.3		
	W = 7	1.3	3.6	7.0	10.2	13.8	18.0	22.6		
	W = 8	2.1	4.5	6.9	11.4	15.2	19.3	23.9		
	W = 9	1.2	3.7	7.0	11.0	16.0	21.2	27.2		
	平均	1.5	3.9	6.8	10.6	14.5	18.8	23.5	38.5	
	施灌水深	27.0	35.1	40.8	47.7	52.2	56.4	60.0	69.0	
4	W = 6	1.6	3.4	5.7	8.2	10.8	13.7			
	W = 7	0.7	2.3	4.5	7.0	9.6	12.9			
	W = 8	1.1	3.1	5.8	8.6	11.6	15.3			
	W = 9	1.0	3.2	5.5	8.0	11.0	16.1			
	平均	1.1	3.0	5.4	8.0	10.8	14.0		29.5	
	施灌水深	26.4	36.0	43.3	48.0	52.0	56.0		71.0	
5	W = 6	0.9	2.4	4.5	6.6	8.8	11.2	13.8		
	W = 7	0.7	2.3	4.5	6.7	9.2	12.0			
	平均	0.8	2.3	4.5	6.6	9.0	11.6		26.0	
	施灌水深	2.4	34.5	45.0	49.5	54.0	58.0		78.5	
	6	W = 6	1.0	2.5	4.4	6.2	8.0	10.1	12.3	20.0
		施灌水深	36.0	45.0	53.0	55.8	57.6	60.6	63.0	74.5

註 100m 之施灌時間及施灌水深均由曲線所估算而得的。

四、試驗結果

將田間所得實測值列於表(1)中，以最小二乘法，利用臺灣大學 CDC-3150 電子計算機加以分析，求各係數之迴歸曲線方程式，並測定各係數間之差異顯著性與相關性。其相關係數均高達 0.995，而顯著性則均在 5% 以上之顯著。茲將各種迴歸曲線及分析結果做如下之討論：

1. 同區，流量、流距對於灌溉時間、灌溉水深與水脈前進率之關係

四種寬度之田區可以分別求得以下之關係式

$$\left. \begin{aligned} W=6^m, t=0.60 Q^{-0.75} L^{1.347} \\ W=7^m, t=0.50 Q^{-0.877} L^{1.523} \\ W=8^m, t=0.93 Q^{-0.803} L^{1.351} \\ W=9^m, t=0.74 Q^{-0.763} L^{1.526} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

式中

W：田區寬度 (m)

Q：流量 (l/sec)

L：流達長度 (m)

t：灌溉時間 (min)

而灌溉水深曲線係由下式將(1)式演化，例如：

$$d = \frac{Q \times t \times 60}{W \times L} = \frac{60 \times Q \times 0.60 Q^{-0.75} L^{1.347}}{W \times L} = 6.0 Q^{0.25} L^{0.347}$$

式中：

d：灌溉水深 (mm)。

至於前進率曲線則係將(1)式加以微分，例如

$$dT = 0.60 \times 1.347 Q^{-0.75} L^{0.347} dL$$

$$v = \frac{Q^{0.75} L^{-0.347}}{0.60 \times 1.347} = 1.24 Q^{0.75} L^{-0.347}$$

式中 v：水脈前進率 (m/min)

雖然由於各田區之差異性，使得上述四種寬度田區之各曲線間，流量之指數以及流距之指數並不十分一致，但是其對灌溉時間、水深及前進率等之影響趨勢均屬一致。就同一流距而言，流量愈大，時間愈短，水深愈高，速度愈快。每增加一倍之流量，時間即減少為 0.55~0.6 倍，前進率增大為 1.7~1.8 倍，而水深則增加為 1.1~1.2 倍。而同一流量，流距愈大，時間愈長，速度愈緩，水深愈高，每延長一倍之流距，時間即增加為 2.5~2.9 倍，前進率減緩為 0.7~0.9 倍，水深則提高為 1.1~1.4 倍。

2. 流量、寬度、流距與時間、前進率及水深之關係

如果不計田區本身之差異性，假定各田區之間狀態及其他地域因子完全相似，將四種田區視為四種

重複之資料一併分析，並加入寬度之因素，則由電子計算機求得之流量、寬度、流距與時間等之關係如以下之數學式所示

$$\left. \begin{aligned} t=0.128 Q^{-0.82} W^{0.795} L^{1.436} \\ d=7.68 Q^{0.18} W^{-0.205} L^{0.436} \\ v=5.4 Q^{0.82} W^{-0.795} L^{-0.436} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

因此，就同一流量與流距而言，若寬度增大一倍，將使灌溉時間增加為 1.1 倍，前進率減緩為 0.6 倍，水深則減少為 0.9 倍。照理倘若寬度不影響灌溉之水利情況，則寬度增大一倍，水深應增加一倍。而從(2)式之估算，寬度之增加反而減低灌溉水深，似乎矛盾得不合理。但是以下再深一層分析，即可明白其結果是正確的。

(2)式中，流量之指數與寬度之指數幾乎相等，但符號相反，亦即流量愈大，水深愈高；寬度愈寬，水深愈低，而且流量增大一倍之效果正好為寬度縮短一倍之效果所抵銷。由於兩者之指數相同符號相反，故以 Q/W 代替之，則(2)式可以簡略地改書為

$$\left. \begin{aligned} t=0.128 (Q/W)^{-0.82} L^{1.436} \\ d=7.68 (Q/W)^{0.18} L^{0.436} \\ v=5.4 (Q/W)^{0.82} L^{-0.436} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

(3)式之使用，乃認定流量之正效果等於寬度之反效果，故同一 Q/W 值，不論施灌何種寬度之田間，流達同一流距之水深完全相同。惟 Q/W 值增大一倍，將水深增加為 1.15 倍，前進率加快為 1.74 倍。此點正好解釋(2)式中寬度之增加何以導致水深之減少。因為同一流量，若寬度增大一倍，即 Q/W 減小一倍，Q/W 之減低使灌溉水深因而減小。就同一 Q/W 而言，施灌距離延長一倍，將使水深增高為 1.35 倍，前進率減低為 0.74 倍。

3. 自然糙度之地面首次灌溉之水利分析

上述濕潤狀態之灌溉試驗，其地面平實，糙度阻力小。實際田間之灌溉以在自然地面糙度大之首次灌溉為主，因此以下乃再將首次灌溉之資料加以分析，以資比較。試驗時為了摒除土壤水分之影響，灌溉之施行亦選定於當土壤水分在接近田間容水量之濕潤狀況下施行，結果其各因素之關係如下式

$$\left. \begin{aligned} t=0.11 Q^{-0.73} W^{1.086} L^{1.358} \\ d=6.6 Q^{0.27} W^{0.086} L^{0.358} \\ v=6.7 Q^{0.73} W^{-1.086} L^{-0.358} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

前節所述，在平實地面以同一流量灌溉時，由於寬度增加一倍時，會降低單位寬度之流量值 Q/W，因

此使灌溉水深減小。但是從(4)式，吾人不難看出寬度之指數大於流量指數之絕對值，而且其值大於1，即同一流量與流距，寬度增大一倍，水深增加為1.06倍。此種差異乃在於地面糙度阻力之大小各有不同。平實狀態之多次濕潤灌溉，水脈之前進分佈極為均勻。自進水口引入之水可以平均地分佈在單位寬度之埤間均勻地前進。在糙度大之自然地面首次灌溉之情況下，寬度對水脈之前進則有影響。由於糙度阻力大，若田區寬度加大，自進水口引入之水必須沿橫方向之阻力，緩慢迂迴移動。寬度愈大，此種橫方向之緩慢移動之距離愈長，故會減少水脈前進方向之前進率。由

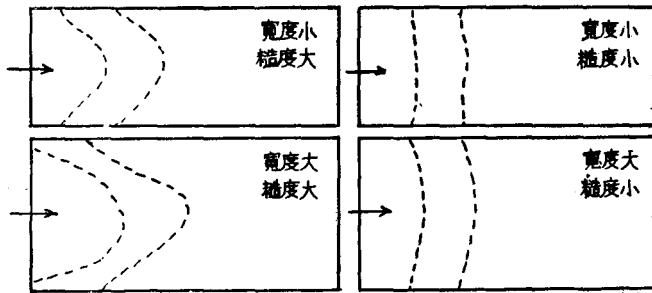


圖3 不同寬度與糙度之下水脈前進之型態

圖3可以看出寬度相同時，地面糙度大者水脈之前進極不均勻，水流向橫方向之移動有阻力時，即集中向末端方向之前進，無形中即以較大之Q/W值施灌，故會提高灌溉水深，且寬度愈大時，水脈之分佈愈不均勻，亦即愈會提高灌溉水深。如果將流量之因子代之以Q/W，則(4)式可改成爲

$$\left. \begin{aligned} t &= 0.11(Q/W)^{-0.73} W^{0.356} L^{1.358} \\ d &= 6.6(Q/W)^{0.27} W^{0.356} L^{0.358} \\ &= 6.6(Q/W)^{0.27} A^{0.358} \\ v &= 6.7(Q/W)^{0.73} W^{-0.358} \\ &= 6.7(Q/W)^{0.73} A^{-0.358} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

(5)式與(3)式相較，可以看出(5)式增加寬度之因子。令人注意的是寬度之指數與流距之指數在水深曲線、前進率曲線中幾乎無異，此點正好說明糙度阻力之影響在橫方向與水脈前進方向是一樣的，亦即水理依Q/W與灌溉面積而異。因此不論田區寬度之大小，就同一灌溉面積而言，Q/W值加大倍，將使水深增加為1.2倍。而就同一Q/W而言，寬度與流距具有同樣之影響，灌溉面積增大一倍（不論是寬度一定，流距延長一倍，或者是流距一定，寬度增加一倍），將使水深增加為1.3倍

(5)式之表示法顯示以往不論何種寬大，同一Q/W

值之水理被認定為一致者值得商榷。由於自然田面糙度阻力之影響，寬度之影響亦應顯及。因此以同一Q/W值施灌同一田區，寬度5公尺，長度100公尺之水深與寬度10公尺，長度50公尺之灌溉水深視為相同。此一意義甚為重要。因為太長之田區可以縮短埤間之寬度，而得同一效果。不過寬度顯示出糙度之影響效果，若在乾燥狀態之自然地面灌溉時，由於土壤滲入率之顯著增大，將會使流距之效果大於寬度者。又寬度之過於狹小者，將增加勞動成本並減少栽培面積。因此最適之埤間寬度與田區長度與各地區之水土經濟有關，因時因地而異，非本文所能探討。

4. 進水口首端水深與流動剖面係數之分析

對於首端水深之研究，一般之學者均假定為正常水深，此點可見於甚多之中外文獻中。這在有坡度之純旱田可能如此，但是在平緩之輪作田，多次之試驗結果均顯示首端水位隨流距之增加及流量之增大而升高。本研究在灌溉試驗之同時亦曾觀測首端水位之變化趨勢，經分析結果可以數學式表示為

$$y = 12.5(Q/W)^{0.417} L^{0.23} \dots\dots\dots(6)$$

即，就同一Q/M值，流距延長一倍，水深增加為1.17倍。就同一流距而言，Q/W值加大一倍，水深即升高為1.33倍，與(3)式相較，顯示流量之因素影響首端水位之程度較之影響灌溉水深者大。而流距之因素則反之。

灌溉水在地面流動時，首端水位之變化已如上述，依水收支原理，當水流達某一流距時，可以下式求得積存地面之平均水深

$$d_o = d - I = d - u \cdot y_1$$

式中：

d_o ：積存地面之平均水深 (mm)

d ：灌溉水深 (mm)

I ：滲入土中之平均水深 (mm)

y_1 ：首端滲入之水深 (mm)

u ：滲入土中水深沿水脈前進方向之均一指數

均一指數 $u = (1 - \frac{n}{1+m})$ ，其推演法請參閱作者在56年6月載於農工學報之「嘉南輪作田地表灌溉之理論分析與應用」乙文中所介紹的。

若參照滲入土中平均水深之均一指數表示法，將地面之流動剖面平均水深 d ，以進口首端之水位乘一係數而得，則

$$d_o = s \cdot y = d - u \cdot y_1$$

將(6)式代入

$$s = \frac{d - u \cdot y_1}{12.5q^{0.417} L^{0.28}} \quad (7)$$

式中 $q = Q/W$

s : 流動剖面係數

試利用 2 節之資料，分別求流距 60 公尺及 100 公尺時各種 q 值之 s 如下：

	c	n	w	L (m)	t (min)	I (mm)	d (mm)	d ₀ (mm)	y (mm)	s
q=1	10	0.22	0.91	100	90	24.6	54	29.4	36	0.82
q=2	10	0.22	0.91	100	50.5	21.6	61	39.4	48	0.82
q=3	10	0.22	0.91	100	37.5	20.2	67	46.8	57	0.82
q=4	10	0.22	0.91	100	29.5	19.2	71	52.8	64	0.82
q=5	10	0.22	0.91	100	24.5	18.4	73.5	55.1	67	0.80
q=6	10	0.22	0.91	100	21	17.7	75.6	57.9	71	0.77
q=1	10	0.22	0.91	60	45	21	45	24	33	0.73
q=2	10	0.22	0.91	60	24.5	18.6	49	30.4	43	0.71
q=3	10	0.22	0.91	60	18	17.1	54	36.9	51	0.72
q=4	10	0.22	0.91	60	14.3	16.3	58	41.6	57	0.73
q=5	10	0.22	0.91	60	11.8	15.6	59	43.4	64	0.68
q=6	10	0.22	0.91	60	10	15.1	60	44.9	66	0.67

上述計算所得之 s 值亦依流距之增加而增大，在流距 60 公尺時 $s \approx 0.7$ ，100 公尺時 $s \approx 0.80$ ，現有之資料尚看不出 q 對 s 值之影響。至於剖面曲線則因量測田面標高之準確度，以及水位觀測裝置，不足以定出水脈流動方向之正確水面線，在此不加妄斷。

由地面積存之平均水深 d 可以看出，雖然 Q/W 值之增加會提高灌溉水深，但其增加之幅度並不比流距者大，例如流動距離 60 公尺時， q 自 1 增加為 6，水深則由 45 增為 60，流距 100 公尺時，水深之變化為 54~75.6。另一方面，流達同一距離時，積存地面之平均水深亦與 q 值成正比例增加。增加之幅度較灌溉水深之增加為大。再者， q 值太小，流達末端之時間太久，雖然總灌溉水深較小，但是首、末端滲入水深之分佈頗不均勻。例如 $q=6$ 時僅 21 分鐘即可流達末端，且地面積存之水量有 54mm 之多，而 $q=1$ 時需 90 分鐘才能灌完，積存地面之平均水深僅 29.4mm。倘若以 $q=6$ 施灌，至 60 公尺時即行斷水，此時灌溉水深雖然高達 60 公厘，但積存地面之平均水深尚餘 45mm，使之繼續延長向末端流動。如果能流達末端則總灌溉水深僅 36mm 而已。當然 60 公尺之斷水點可能造成末端有施灌不足之虞，需做數次比較、分析才能確定適當之斷水點。此種現象在乾燥狀態之自然田面尤然。不過由於土壤滲入率之增加， Q/W 值愈小則流達末端之時間愈長，形成之首、末端不均一程度更

形顯著。而積存地面之平均水深隨 q 值之增加程度更高。此點作者在「嘉南輪作田地表灌溉之理論分析與應用」乙文中已有詳細之比較，證明以大流量灌溉而提早斷水點，可以節省灌溉水深，提高分佈效率。

五、後誌與謝辭

本試驗之經費係由農復會補助，試驗之構想乃農復會吳耀煌工程師所提供，嘉南水利會學甲試驗站執行，承黃卷重主任及諸位同仁之通力合作始得有成，試驗期間並蒙臺大農工系主任張建勛教授，施嘉昌教授及徐玉標教授等親臨指導，又文中之三圖託湯松義先生之大力幫助，謹此致謝。

六、摘 要

輪作田之特徵是坡度平緩，地面糙度大，滲入率低。而影響地表灌溉之水力因子有流量，前進率，流距，灌溉時間，流動剖面，地面坡度，地面糙度，土壤含水量，土壤滲入率及渠道形狀等十種之多，錯綜複雜，很難直接定量分析並公式化。本研究乃就同一田區，行多次灌溉，將土壤地域性因子與予常數化，而就其他因子進行分析。得平實地面濕潤狀態之灌溉水深曲線為 $d = 7.68(Q/W)^{0.18} L^{0.486}$ ，依 Q/W 與 L 之增大而提高。首端水位曲線為 $y = 12.5(Q/W)^{0.417} L^{0.28}$ 亦依 Q/W 與 L 之增大而升高，兩者均不受寬度之影響。而自然糙度濕潤狀態之首次灌溉，灌溉水深曲線為 $d = 6.6(Q/W)^{0.27} A^{0.356}$ ，其最大不同之處是受埂

寬之顯著影響，糙度大而渠寬加大時增加橫向移動，減緩水脈之前進率。不過此種現象在乾燥狀態之田區程度較輕微。地面流動水之剖面係數 S 亦依流距之增加而增加。

Q/W 值小時之灌溉水深較小，但首、末端滲入水深有不均之虞，若增加 Q/W 值，而提早斷水則可顯著地節省灌溉水深，提高分佈效率。

Summary

The hydraulics of the surface irrigation have all the complexities of unsteady open-channel flow plus the added major complication of a variable intake. At least ten principal criteria are important in the design of a surface irrigation system. Hence direct solution of this complex problem is not simple and are not readily subject to quantitative analysis.

With irrigations of different times on the same field in the wet and flat smooth condition, the influences of land factors as slope, roughness, intake rate etc., on the hydraulics of irrigation are considered to be constant.

The relationships among the length of run, width of border strip, discharge, refilled depth, advance rate and irrigation time can be expressed as

$$t = 0.128 (Q/W)^{-0.82} L^{1.436}$$

$$d = 7.68 (Q/W)^{0.18} L^{0.436}$$

$$v = 5.4 (Q/W)^{0.82} L^{-0.436}$$

The depth of water near the inlet during the water advance is not normal depth but being increased as the Q/W and L are enlarged, and can be expressed as

$$y = 12.5 (Q/W)^{0.417} L^{0.23}$$

As the length of run is 60–100m, the coefficient of the flow profile s is 0.7–0.8 and independent of the Q/W value.

參 考 文 獻

- | | |
|--|---|
| 1. Abbert
American Civil Engineering Practices | Change of Infiltration in Time (ICID) |
| 2. American Agronomy Society
Irrigation of Agricultural Land | 8. Clyde
Efficiency in Application of Water (ICID) |
| 3. Bassett and Tinney
Water Surface Configuration and Velocity of Advance in Hydraulic Laboratory Tests | 9. Davis
Concepts on Design of Border Irrigation Systems |
| 4. Bogumil Leszynski (Poland)
Increase of Water Volume on the Surface in Border Strip Irrigation p. 857 ASAE 1966 | 10. Erneat T. Smerdon
Subsurface Water Distribution in Surface Irrigation |
| 5. Bondurant
Hydraulic of Surface irrigation | 11. Farrell
Analysis of Border Irrigation |
| 6. Bowman
Manning's Equation for Shallow Flow | 12. Fok and Bishop
Analysis of Water Advance in Surface Irrigation, Trans of ASCE 1966 |
| 7. Bozoky-Szeszich (Hungary)
An Investigation of the Hydraulics on Border Irrigation with allowance to the | 13. Hansen
Mathematical Relationships Expressing the Hydraulics of Surface Irrigation |
| | 14. Houk
Irrigation Engineering (I) (II) |

15. Israelsen and Hansen
Irrigation Principle and Practices
16. King
Hydraulics
17. Kruse
The Hydraulics of Small, Rough Irrigation Channel
18. LawhOn
Attempts at Improvement of Design Procedures for Border Irrigation
19. Otto C Wilke
A Solution of the Irrigation Advance Problem ASCB
20. Pair
Effects of Irrigation on Methods and System Management (ICID)
21. Philip
General Solution of Infiltration-Advance Problem in Irrigation Hydraulics Journal of Geophysical Research Vol 69 Feb. 1964
22. Shih, Charles C. C.
The Solution of Intake Function on the Mathematical Model of the Water Advance Function for Surface Irrigation
23. Shockley
Present Procedures and Major Problems in Border Irrigation Design
24. Shockley
A Quasi-Rational Method of Border Irrigation Design
25. Transaction of ASAE 1961
Estimating Rate of Advance for Irrigation Furrows
26. USDA
Flow Resistance in Stimulated Irrigation Borders and Furrows
27. USDA
Methods For Evaluating Irrigation Systems
28. 張建勛等 旱地作物灌溉方法之研究 1968
29. 施嘉昌 由滲入與浸水因素分析地面灌溉之施灌效率 1967
30. 施嘉昌 烏山頭蓄水庫灌溉系統埤間灌溉方法試驗資料之分析報告 1969
31. 甘俊二 輪作田灌溉方法之研究 1969
32. 霍雨時 溝灌法之探討 1957
33. " 田區最適長度之設計公式 1958
34. " 地面灌溉法之原理及設計公式 1959
35. " 地面灌溉法中對計算平均土壤吸入水深度之討論 1961
36. 朱 益 土壤滲入率及蔗田灌溉用水量之研究 1967
37. 水利局 旱作灌溉方法調查試驗報告 1967
38. 吳純宏 臺灣輪作田埤間灌溉斷水點之研究
39. 水之江政輝 臺灣旱作灌溉之立地條件區分調查考察報告
40. " 畑地かんがい方式決定に関する研究
41. " かんがい方法確立に関する研究
42. 葉政秀、吳純宏 嘉南輪作田埤間灌溉方法理論分析與應用

承包土木水利建築工程

戴竹營造廠

負責人 戴竹

地址：臺南縣將軍鄉西湖村七三號
電話：佳里二二二

承包土木、水利、

農地重劃、建築工程

新華進營造廠

地址：彰化市長壽街一四號
電話：二二三六〇