

葉式灌溉水表

A Vane Type Irrigation Meter

曹以松 Yü-soong Tsoa

This Vane type irrigation meter is designed to answer the ever increasing demand for an inexpensive and yet accurate device for the measuring and distributing of irrigation Water in pipe systems.

It employs a swinging Vane, a Counter Weight and a pointing hand, The difference of forces Caused by the impact of the flowing water upon the lower-side Vane and upper-side vane deflected the Vane, Counter weight, and the pointing hand, The angle of deflection is thus a measure of rate of discharge.

This Vane meter is found to be very inexpensive, while it has a static accuracy of $\pm 3.5\%$ as well as good reproduce ability.

Details of Construction and Calibration are given. Future improvements to be made and possible research to be done are also pointed out.

一、前言

在灌溉事業發展之初期，水源充沛，灌溉水隨取隨携，其供應為一不成問題之事，但隨後灌溉事業日趨發達，灌溉面積日益增加，向之豐沛水源均已利用，欲得額外之灌溉水量，常須鉅額之投資，有時且為經濟所不許，於是爭水之糾紛四起，而水權問題與明確劃分水權，非有準確可靠之量水設備不可。同時在現代農業科學之長足進步下，對於水分、土壤與作物間之關係已有充分之認識，但欲運用此等新知識於灌溉實務時，亦非無精確可靠之量水設備不可，故如何公平分配水量，如何使灌溉水能盡其利，如何使作物得到適時適量之灌溉，乃是現代灌溉之一大課題，而量水設備則為此一課題之中心。可用於量水及其他液體之設施，種類極多根據美國機械工程學會之分析，共可分為十大類四十型之多，然而種類雖多，適今於量度灌溉水之用者殊少，因一理想量水設備，應適合下列之條件：

1. 價格低廉 一般農民之經濟能力有限，過於昂貴之設備非其所能負擔。
2. 使用簡單 不論中外，農民之知識水準較低，過於複雜之量水設備，不但不受歡迎，同時使用時每易造成極大之誤差。

3. 經久耐用 須適合野外之使用，不須特別之保養，而能耐長期之使用，亦不受灌溉水中所含雜質之影響。

4. 準確可靠 任何儀器均難完全精確，灌溉上之量水設備所要求之精確度，較工業上量水或其他流體之標準為低，但仍須力求準確可靠。

在明渠灌溉中，目前一般使用最普遍者為巴歇爾水槽 (Parshall Flume) 與各種形式之堰，此二種設備不能直接讀得流量，在測量水頭時，未經訓練之農民易生誤差，尤其巴歇爾水槽有自由流與潛流等情形，更不易為農民所瞭解，故使用不能稱為簡單，惟此二種設備尚能符合上述之其他條件。

在管道灌溉中則至目前為止，尚未見有合乎理想之量水設備，一般工業上所用之量水設備因不適合，即設計用於灌溉量水之積分式，螺旋槳式水表，雖則此等水表使用簡便，不但能讀出瞬時流量，同時亦可讀得累積水量，價格過昂，通常一具約需三百美元，即在歐美亦為絕大多數農民不能負擔。

在目前本省地面水之自然利用已達飽和點，故今後的灌溉開發除興建水庫外，又須積極從事於地下水之開發。因此管道灌溉與管道輸水之重要性，自必隨時日而增加，同時噴洒灌溉，目前不但在美國日益普

遍，且已由美國逐漸推行至歐洲，噴洒灌溉雖有成本較高之缺點，但其優點亦多，亦減少滲漏損失節省灌溉水量，同時無須利用自然坡度故即在起伏不平之山坡地帶可藉此得以灌溉，在本省平地業已開發殆盡，如將山坡地用以種植經濟作物，則噴洒灌溉在本省亦將有光明之前途。

因此適於管道灌溉之量水設備為刻不容緩之事，葉式灌溉水表即係筆者根據此一需要而設計。

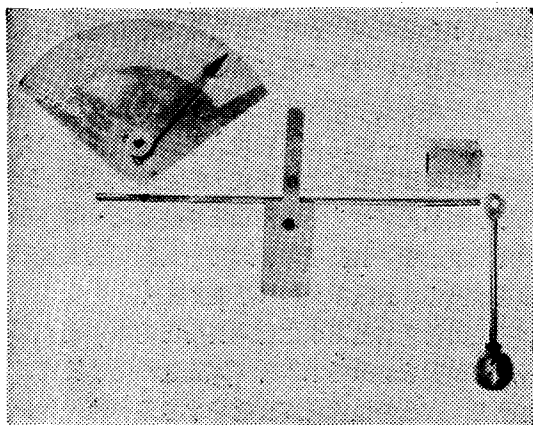
二、葉式水表之構造

葉式灌溉水表係設於一截10呎之6吋直徑之鋁質水管上，葉離上游端八呎，以減少水表與管道結合處所產生水動之擾動，在該處鑽二相對之二小孔，通過該管之中心線，此二孔之孔徑為 $\frac{7}{32}$ 吋，二鋁製之螺絲柱，以支持水表中葉板之軸。

葉板係以 $\frac{1}{8}$ 吋厚之鋁片製成，葉板之上端寬 $\frac{1}{2}$ 吋而其下端寬一吋半，二端均長三吋，葉板之軸為一外徑 $\frac{1}{4}$ 吋之不銹鋼管製成，長11吋，葉板由一固定螺絲(Set screw)固定於軸上。

一閉水螺絲套(Packing gland nut)旋緊於每一螺絲柱之上，內裝止水線(Packing String)以防漏水，有一刻度盤用螺絲固定於一端之螺絲套之上，在刻度之外，有一指針藉固定螺絲(Set screw)之助，固定於葉板軸上，在葉板軸之另一端，另一螺絲套之外，有一連桿長4.75吋，亦以固定螺絲固定於葉板軸上，而鋁質連桿之一端則以螺絲連結一重達0.3磅之熟鐵球，鐵球與連桿之中心線必須經常與葉板之上游面在同一平面上。

所有之零件及其構造如圖一所示，當管中水流流動時，由於其對上下二端之衝擊力不同，因而使葉板與平衡鐵球發生傾斜，因傾斜之程度隨流量之大小而



圖一：葉式灌溉水表之零件

異，故由指針所示之傾角，須知管中之流速與流量。

三、假定與原理

在設計葉式灌溉水表之初先作下列之三假定，以推定理論上之公式，此三個假定為：

1. 在表中之水流為一簡單形式之亂流。
2. 由葉板之傾斜所量得之流速為水流之平均流速。
3. 假定軸與軸承間之摩擦，葉板與葉板軸所引起水流之擾動(Disturbance)等影響可藉引入一實驗常數以消除之。

故如設

Q = 流量 (立方呎/秒)

A = 水管橫斷面積 (立方呎)

a_1 = 葉板下端之面積 (")

a_2 = 葉板上端之面積 (")

r = 水表、水管之半徑 (呎)

W = 熟鐵球之質量 (磅)

W_1 = 葉板下端之質量 (磅)

W_2 = 葉板上端之質量 (磅)

L = 鐵球重心至軸心之距離 (呎)

m_1 = 每秒鐘衝擊葉板下端之水流質量 (磅/秒)

m_2 = 每秒鐘衝擊葉板上端之水流質量 (磅/秒)

b_1 = 葉板下端之寬度 (呎)

b_2 = 葉板上端之寬度 (呎)

ρ = 水之平均密度 (磅/立方呎)

V = 水流流速 (呎/秒)

θ = 傾角 (度)

C = 實驗常數

則作用於葉板下端之水平力為

$$F_1 = cm_1V \dots\dots\dots(1)$$

同理，作用於葉板上端之水平力為

$$F_2 = Cm_2V \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{但 } m_1 = a_1V\rho \dots\dots\dots(3)$$

$$m_2 = a_2V\rho \dots\dots\dots(4)$$

故得

$$F_1 = Ca_1V^2\rho \dots\dots\dots(5)$$

$$F = Ca_2V^2\rho \dots\dots\dots(6)$$

當指針所指之傾角為 θ 時，所有 W ， W_1 ， W_2 ，與 F_1 ， F_2 所產生之力矩必須互相平衡即

$$\begin{aligned} W_g L \sin\theta + W_1 g \frac{r}{2} \sin\theta - W_2 g \frac{r}{2} \sin\theta \\ = F_1 \frac{r}{2} \cos\theta - F_2 \frac{r}{2} \cos\theta \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

於是

$$g(2WL\sin\theta + W_1r\sin\theta - W_2r\sin\theta) = r(F_1 - F_2)\sin\theta \quad (8)$$

以(6)式及(8)式代入(8)式得

$$g(2WL + W_1r - W_2r)\sin\theta = cr\rho V^2(a_1 - a_2)\cos\theta \quad (9)$$

但 W_1 與 W_2 之質量甚小，相差又微，故可假定

$$W_1 = W_2 \quad (10)$$

則(9)式可簡化為

$$2W_g L\sin\theta = CrV^2\rho(a_1 - a_2)\cos\theta \quad (11)$$

$$V^2 = \frac{2W_g L \tan\theta}{cr\rho(a_1 - a_2)} \quad (12)$$

$$V = \sqrt{\frac{2W_g L \tan\theta}{cr\rho(a_1 - a_2)}} \quad (13)$$

但

$$Q = VA = \sqrt{\frac{2W_g L \tan\theta}{cr\rho(a_1 - a_2)}} A \quad (14)$$

$$\text{而 } A = \pi r^2 \quad (15)$$

$$\text{同時 } a_1 = b_1 r \quad (16)$$

$$a_2 = b_2 r \quad (17)$$

於是

$$Q = \sqrt{\frac{2W_g L \tan\theta}{cr\rho(b_1 r - b_2 r)}} \pi r^2 \\ = \sqrt{\frac{2\pi^2 r^2 W_g L \tan\theta}{c\rho(b_1 - b_2)}}$$

在此一水表中

$$r = 3\text{吋}$$

$$L = 4.5\text{吋}$$

$$W_g = 0.3\text{磅}$$

$$b_1 = 1.5\text{吋}$$

$$b_2 = 0.5\text{吋}$$

$$\rho = 62.4\text{磅/立方呎}$$

則

$$Q = \sqrt{\frac{2\pi^2 \frac{9}{12 \times 12} \times 0.3 \times \frac{4.5}{12} \tan\theta}{c \times 62.4 \frac{(1.5 - 0.5)}{12}}} \\ = \sqrt{\frac{0.268 \tan\theta}{c}} \quad (18)$$

$$\text{設 } K = \sqrt{1/c}$$

則

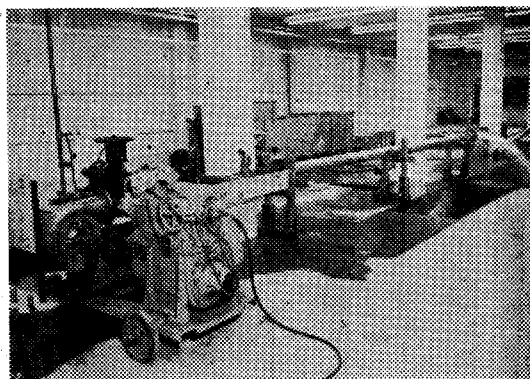
$$Q = 0.163 K \tan\theta$$

如 Q 以每秒鐘加侖數(G.P.M.)表示則

$$Q = 0.163 \times 448.83 K \tan\theta = 73 K \tan\theta \quad (19)$$

四、流量與傾角關係之檢定

在檢定此一葉式灌溉水表時，所用之量水設備共有三種，即文透里管 (Venturi meter) 一孔徑四吋之銳緣小孔水表 (Orifice plate meter) 及一螺旋槳水表 (Measure-rite meter) 三者之中文透里管之容量太小，其所能量得之最大流量祇為 300 G.P.M. 故大部之檢定之結果係由後二者串聯而得如圖二所示。



圖二：流量檢定之情形

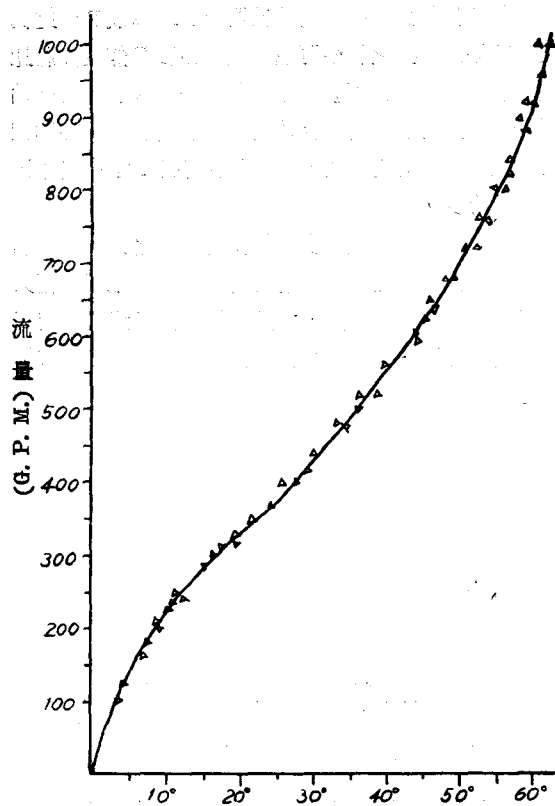
該螺旋槳水表製造廠家保證其有 ± 2 % 之準確性而該四吋之銳緣小孔水表則因有原始之檢定曲線，故其準確亦極可靠，在檢定時每一流量可得三組讀數，即四吋銳緣小孔水表之讀數，螺旋槳水表指針所指示之讀數，與在五分鐘時間中，螺旋槳水表累積水量計讀數首尾之差，除以時間而得之流量。在此三組讀數之中，彼此頗有差異，但其中銳緣小孔水表所得之讀數與螺旋槳水表指針所示之讀數極為接近，而有螺旋槳水表累積流量除以時間而得之讀數則明顯地偏於過高，普遍約較前二者高 7.5 %，故流量在 300 G.P.M. 以下時，採用之流量為文透里管，螺旋槳水表指針之讀數，與銳緣小孔水表讀數之平均，在 300 G.P.M. 以上，500 G.P.M. 以下時則採用後二者讀數之平均，逾此則銳緣小孔水表已達極限，故採用螺旋槳水表指針之讀數。

五、結論與檢討

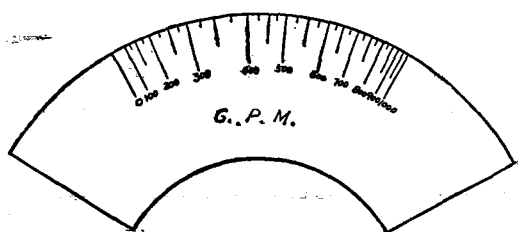
圖三為該葉式水表之檢定曲線（每一葉式水表其檢定曲線雖大致相似而數值則不同）亦即流量與傾角之關係，所得之曲線為一 S 形之曲線，根據此一檢定曲線，葉式水表刻度盤之刻度即可求得，由於檢定曲線之形狀關係，故所得刻度盤上之刻度係不均勻者

表一 傾角、傾角之正切、流量、流速及係數K之關係

實驗號次	傾角 θ°	傾角正切 $\tan \theta$	流量 G.P.M. Q	流速 Vft/sec	V^2	K
1	3	0.05241	100	1.14	1.29	26.2
2	4	0.06993	125	1.42	2.01	24.6
3	6	0.10510	165	1.87	3.50	21.6
4	8.5	0.14945	210	2.38	5.70	19.3
5	10.5	0.18534	238	2.69	7.25	17.6
6	15	0.26795	285	3.23	10.42	14.6
7	16	0.28675	300	3.40	11.58	13.9
8	17	0.30573	310	3.52	12.40	14.1
9	7	0.12278	186	2.11	4.46	20.8
10	8.5	0.14945	203	2.32	5.78	18.6
11	9.5	0.16734	225	2.55	6.50	18.5
12	11	0.19438	245	2.88	8.30	17.3
13	19	0.34433	328	3.71	13.80	13.1
14	26	0.48773	400	4.54	20.66	11.3
15	34	0.67451	479	5.42	29.50	9.75
16	44	0.96569	590	6.70	45.00	8.4
17	48	1.11061	680	7.72	59.70	8.4
18	54	1.37638	800	9.08	82.80	8.0
19	58	1.60033	900	10.20	102.20	7.7
20	56.5	1.51084	840	9.55	91.30	7.65
21	46	1.03553	650	7.37	54.3	8.55
22	36	0.72564	500	5.67	32.2	9.47
23	30	0.57735	440	4.99	24.8	10.5
24	22	0.40443	350	3.97	15.8	11.9
25	38.5	0.79544	520	5.90	34.8	8.95
26	50	1.19175	720	8.17	66.9	8.3
27	52.5	1.30323	760	8.62	74.2	8.0
28	56.5	1.51094	840	9.55	91.0	7.55
29	59	1.66428	920	10.43	104.3	7.5
30	61	1.80450	1000	11.35	128.2	7.65
31	19.5	0.35412	310	3.64	13.2	12.0
32	27.5	0.52057	400	4.54	20.6	10.5
33	33	0.64942	480	5.45	29.8	10.1
34	44	0.96569	600	6.81	46.5	8.5
35	52.5	1.30323	730	8.18	67.0	7.7
36	55.5	1.45501	800	9.10	83.7	7.55
37	59	1.66428	880	10.00	100.0	7.30
38	61	1.80405	960	10.90	119.0	7.28
39	46	1.03553	640	7.27	52.9	8.5
40	48.5	1.13029	680	7.72	59.0	8.25
41	54.5	1.40195	760	8.64	74.8	7.45
42	60	1.73205	920	10.42	109.2	7.30
43	62	1.88073	1000	11.35	128.5	7.30
44	24	0.44523	360	4.09	16.7	11.48
45	29	0.55431	420	4.78	22.8	10.25
46	36	0.72654	520	5.91	35.0	10.50
47	39.5	0.83443	550	6.36	40.5	9.2
48	45	1.00000	620	7.04	49.5	8.5
49	13	0.23087	240	2.73	7.49	14.3
50	9	0.15838	200	2.27	5.15	17.4



圖三：傾角與流量之關係



圖四：葉式水表之刻度盤

，即傾角與流量之關係並非直線，但此項不均勻之程度，並不影響在該水表設計流量範圍內之精確度。

刻度盤之形狀如圖四所示，從無流量時之傾角為零度開始至1,000 G.P.M. 時為止，其最大之傾角為61度。

從表一之結果可知以前假定為常數之K值，實際上並非一常數，此即在推出此水表之理論公式時所作之三個假定中有一個或一個以上與實際之情形不符，筆者認為此種K值變異之原因，主要乃由於葉板與葉板軸對管中水流之擾動 (Disturbance)，雖則此種變異並不影響葉式灌溉水表量水之性能，惟此水表流量公式將完全依賴實驗。

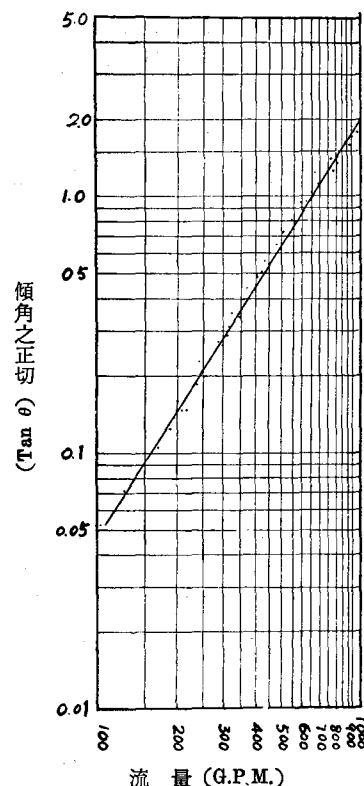
將表一傾角之正切與流量記錄表於對數紙上 (圖五) 則雖則表示之點仍稍帶有S形，但已可視為高線，由此得到流量之實驗公式為

$$\text{Tau} = 0.000304Q^{1.6} \dots\dots\dots (23)$$

或

$$Q = 159(\tan \theta)^{0.625} \dots\dots\dots (24)$$

在表一所作之流量檢定，因每一不同流量須費時十分鐘以上，中間又曾停頓相當時間，故全部檢定首尾相間近一個月，中間且曾更換一次止水線 (Packing String) 但在首尾各組所得記錄，未有顯著之差異，由此可知葉板軸與軸承間之摩擦，對此水表之讀數影響極微，亦可知此水表之重複性 (Reproduceability) 極為良好。



圖五：流量與傾角正切之關係

刻度盤之刻度雖自 0 至 1000 G.P.M.，但流量在 100 G.P.M. 以下時水表未能滿水，同時流量超過 800 G.P.M. 以後，刻度狹小，不易讀取，故實際上此一葉式水表之有效量水範圍為 100 G.P.M. 至 800 G.P.M.。

從實驗中所得之最大誤差為 22.4 G.P.M. 如以有效量水範圍為 100 G.P.M. 至 800 G.P.M. 則此一葉式水表之精確度為 $\pm 3.2\%$ ，如以刻度盤之範圍計則可達 $\pm 2.3\%$ 之精確度，以 $\pm 3.2\%$ 之精確度而論在灌溉量求上，已為夠用，事實上如有較完備之量水設備以檢定此一葉式灌溉水表則其精確度無疑尚可提高。

脈動 (Pulsation) 為一般測定管道流量誤差之最大來源，葉式水表亦不免受其影響，故讀表時應讀指針脈動間之平均值，如此可減少此項誤差，從實

際之使用上，發現脈動所產生之誤差尚在可容許之範圍以內，惟葉式水表不宜用於測量由容積式抽水機（Displacement type Pump）所抽出之水。

葉式灌溉水表不但可設於六吋直徑之水管，其他尺寸之水管亦可依照同一原理而製成水表，唯須個別檢定，同時管徑過小時製作較為困難，水表本身即可作普通水管用，為葉式灌溉水表之另一優點，水流經過葉式水表之損頭亦極微小，如更換平衡鐵球之重量，即可得到不同之流量量度範圍，惟須另行檢定，鐵球亦可以彈簧代之，以補救鐵球與連桿在表外，搬運稍感不便，與表身必須成水平之缺點，如使用特殊設計之彈簧，更可使檢定曲線成為較簡單之形狀。

如在指針與葉板軸之間裝置一組5:1或其他比例之齒輪則刻度盤之範圍可以放大，但脈動無疑亦將比例增加，在指針與葉板軸之間裝置一特殊設計之凸輪（cam）則可將傾角與流量之關係成為直線，亦即刻度盤上可有均勻之刻度，但此種裝置將增加水表之複雜性與造價。

綜上所述，葉式水表雖頗多需改進之處，但已頗具理想灌溉水表之條件，構造簡單，造價低廉，經久耐用，亦頗高之準確度，尤其流量可直接讀得，使用方便最令農民需要，將來在管道灌溉系統中必可有相當之發展。

公 告

查本會本年度年會決定與中國工程師學會及各專門工程學會聯合舉行，地點在臺北市中山堂，時間為11月11~12兩日。會程中有論文宣讀及專題討論均與土木、水利工程學會合併舉行。

請各位會員惠賜論文並踴躍參加年會。論文稿件及中英文摘要請於十月廿日以前寄會（臺北市臺灣大學農工系施嘉昌先生收）

本 會 謹 啓

戴 竹 營 造 廠

經 理 戴 竹

地 址：臺南縣將軍鄉西湖村73號

電 話：佳 里 2 2 號