

# 三種新形式灌溉水錶之研究

## An Investigation on the development of three new types of irrigation Water Meter

臺灣大學農工系副教授

曹 以 松

### ABSTRACT

An ideal irrigation water meter has to be accurate, durable, cheap in price, and easy in use. There are many different water measurement devices available in the market, however, only a few, if any, of such devices meet the above-mentioned requirements.

In this report, three different types of irrigation water meter are developed and tested in order to find the ideal irrigation water meters which fulfill the above-mentioned requirements.

Among the three meters tested, the rotating-cylinder meter is designed for measuring irrigation water in open channel. this type of water meter is found to be very successful.

The turbine type water meter and rotating-cup type water meter are designed to measure the instantaneous discharge and cumulative discharge in pipe systems, the later type is found to be more successful owing to its better accuracy, reproducibility and sensibility.

### 一、前 言

在灌溉事業發展之初，水源之供應極為充沛，而所灌溉之土地又往往與水源極為接近，故灌溉水可就近儘量引取。其後農業日益發達，灌溉面積日益增加，而向之豐沛水源均已充分利用，而新開發之土地又多為距水源較遠之邊際土地。於是欲求額外之灌溉水量必須建造鉅大之蓄水庫及漫長之輸水渠道；採用揚水灌溉或抽取較深層次之地下水。此種工程常須鉅額之投資，有時且為經濟情況所不許，於是有節省用水，劃分水權，計量收取水費等需要。欲解決此種問題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、作物、土壤三者間之相互關係已有充分之認識，但欲進一步研究此種關係，或欲運用此種新知識於灌溉實務時，亦非藉助於精確可靠之量水設備不可。

故如何公平分配水量？如何使灌溉水水盡其利？如何使作物得到適時適量之灌溉？乃是現代灌溉最大課題之一，而量水設備則又為此一課題之中心。可用於量水之設施，種類極多，根據美國機械工程學會之分類，可用於量水及量其他液體之設施，共可分為十大類，四十基本型式之多，然而種類雖多，型式紛紜，但適合用於量度灌溉水之用者殊少，一理想之灌溉量水設備，應符合下列之條件。

1. 價格低廉：一般農民之經濟能力有限，過於昂貴精密之設備非其所能負擔。
2. 使用簡單方便：不論中外，農民之知識水準往往較低，過於複雜之量水設備不但不受農民歡迎，同時使用時亦每易造成極大之誤差。
3. 經久耐用：能適合野外之情況，毋須特別之保養，而能耐長期之使用，不受灌溉水中所含雜質之影

響，不易發生故障。

4. 準確可靠：任何儀器均難完全精確，灌溉上量水設備所要求之精確度，較工業上量水或測量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之量水設備為巴歇爾水槽 (Parshall Flume)，與各種形式之堰，此二種設備，雖可適合 1. 3. 4. 項之條件，但未能適合第二項之條件，全省各灌溉工程大部配有此二種量水設施，但除少數外，大部均未曾作適當而充分之利用，且頗多已成荒廢，見之往往令人興嘆，此固由於一般農民不知量水之重要性，而量水設備之使用複雜，令農民見而生畏，可能為更重要之原因也。

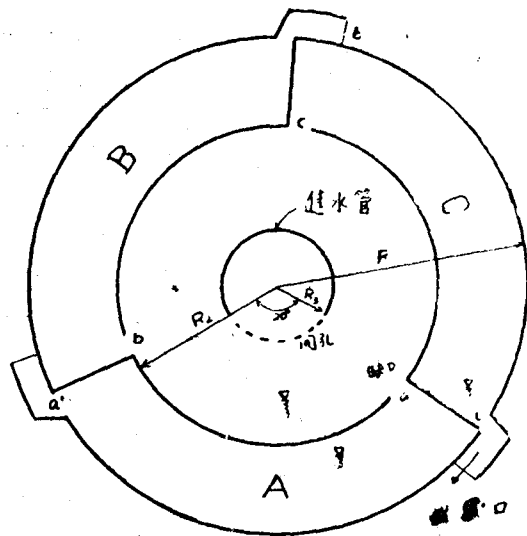
在管道量水中，小孔水表 (Orificc plate) 最為低廉，使用之困難較明渠量水中之堰及巴歇爾水槽更有過之，國外製造之螺旋槳水表，使用極為簡便，不但能讀得瞬時流量，同時亦可讀出累積水量，唯此種水表，價格昂貴，通常一具約需三百美元之譜，即在歐美絕大多數農民亦無力購買，至於一般家用之自來水表，因大量生產之故，價格低廉，目前本省因廠商競爭激烈，價格尤廉，唯此種水表一則容量偏小，不適於一般灌溉量水之用；二則其構造乃為量清潔之自來水設計，如用於量度灌溉水，則灌溉水中之雜質，迅即使其活動之機件發生故障，停止轉動，尤其此種家用之自來水表之指示及記數裝置大都採用溼齒輪式 (Wet Gears)，此種齒輪最易為灌溉水中雜質膠塞而發生故障，停止轉動或滯緩轉動，失去量水之正確性，而造成極大之誤差，同時此種水表大都僅有指示累積水量之裝置，而缺乏指示瞬時流量之設備，綜上各點可知此種水表用於灌溉水之量度亦不適宜。

由上述之各種情形，可知明渠及管道之量水設施目前均無一種形式，能符合所有前列之四項條件，筆者有鑑於此，前曾設計一種葉式灌溉水表，刊登於中國農業工程學報九卷一期。本研究報告中再提出三種灌溉水表之設計，分別適用於明渠及管道之量水，並就其實驗結果加以報告及檢討。

## 二、轉筒式明渠灌溉水表

A. 構造與作用：此型之水表乃筆者設計用於測量明渠灌溉之灌溉水量者，其形狀為二同心圓之圓筒所組成，二同心圓之中更有一同心之進水管工，進水管之一端或二端與接連水源之橡皮管相連，如僅連接一端，則另一端以螺絲帽封閉之，該進水管上開有甚多之小孔以供灌溉水流入圓筒之用，此等小孔之直徑

約為半公分，其數目及大小視進水管之大小而定，開孔之位置位於進水管圓周下端之  $120^\circ$  內，分五行或七行排列。進水管靠近水表內部二側之部分無開孔，並有二凸環固定於其上以防止水沿進水管流至表外，內筒與外筒之間部分，復分為三個貯水室，此三個貯水室之容量均相等，當灌溉水自進水管小孔流入筒中後，起初聚結於內筒之下端，亦即貯水室 A 之頂上，如圖一所示：當貯水室 A 頂上之水聚結相當數量後，因其上水位增高，水自缺口 a 處流入貯水室 A 之內部，當貯水室 A 內部之水位接近貯水室頂部時，因為重心發生變更的關係，內外筒即繞進水管二端之軸承者轉動，轉動至某一程度後，貯水室 B 之進水口開始進水，而差不多在同時貯水室 A 之排出口 a 開始排水



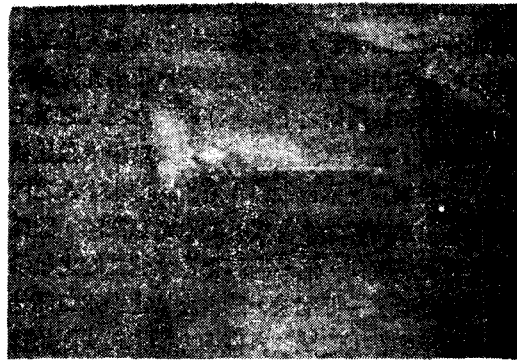
圖一 轉筒式灌溉水表斷面圖

，貯水室 B 之進水與貯水室 A 之排水，加劇了整個水表之重心不平衡，因此，內外筒以更快的速度繞軸承而旋轉。A、B、C 三貯水室循序地不斷進水、排水，錶身亦不斷地循圖一箭頭所示之方向而旋轉，當內外二筒所構成的錶身在旋轉時，每旋轉一週，即掣動裝於軸承上之計數器，如圖二所示：因各貯水室之容量一定，故旋轉一周時，該水表排出之水量一定，故從計數計上之累積轉數，可推知某一時間內流經該水錶之流量，如以停錶記錄每一轉所需之時間即可推得該時之瞬時流量，如加裝一自動記錄器則可將流量在各時間之變化記錄下來一目了然。

### B 實驗經過：

轉筒式明渠水表可大可小，其大小端視其設計流

量而定，在本研究中，一則因節省製造之經費，二則準備用於溝灌法之量水，故其設計流量甚小，其形狀如圖二所示，



圖二 轉筒式明渠灌溉水錶，其左上端為轉數記數計

因實驗時所用之水錶甚小，流量不大，故在實驗時用以校正流量者為一方形量水箱及停錶，此方形量水箱之面積為 50cm×50cm 每次實驗時，測量水箱內水之深度時間及轉筒式明渠灌溉水錶之轉數，然後加以計算其結果如表一所示：

表一 轉筒式灌溉水錶試驗結果

試驗次數	量筒水深 (cm)	量筒水深 (cm <sup>3</sup> )	水錶轉數 (轉)	時間 (Sec)	水錶每轉流量 (cm <sup>3</sup> /轉)	平均瞬時流量 (cc/sec)	備註
1	31	77,500	36	65	2153	1190	
2	48	120,000	50	121	2140	999	
3	45.6	114,000	54	146	2150	797	
4	43	107,600	50	125	2135	860	
5	44.4	111,000	52	181	2135	615	
6	46.2	115,300	54	205	2137	564	
7	48	120,000	56	218	2140	550	
8	50	125,000	58	235	2155	530	
平均					2146		

由表一之結果，可見此型水錶之準確性極高，雖將流量加以變化，而水錶每轉之流量相差無幾，其精確度在 0.5% 以上。在理論上其精確度應尤高於此，因由重量及容量以測量流量為所有測量方法之中最準確者也，現在試驗之誤差，大部係由於在測量量水箱水深，計算水錶轉數及換算水量時所產生，同時所用之量水箱容積欠大，倘用較大之量水箱，每次試驗時可使水錶有較多之轉數，則誤差必可大幅減少也，實際百分之零點五之精確度已較一般明渠量水設施之精確度高出甚多矣。例如堰之精確度在最佳狀態時為

1%，但一般狀況下均在 3% 以上，在不熟練人使用時誤差更大，同時其精確度亦隨時間而衰退。巴歇爾水槽之精確度則約與堰相同，而持久性較高，故本錶之精確度已足以適應灌溉量水之需要而有餘，實可謂最精確的一種灌溉水錶。

### C. 討論

①此型水錶使用極為方便，造價不高，經久耐用而準確度甚高。

②此型水錶上端可為管道水流或明渠水流以管道連接至水錶，但水錶之下游則必須為明渠水流。

③此型水錶必須有相當之水頭損失，此項損失至少須大於水錶外筒之半徑，如欲減少此項水頭損失可增加水錶之長度而減少水錶之直徑，但用此一方式以減少水頭之損失自亦有其限度。

④此型水錶在水頭過大之渠道，除量水外尚可兼作跌水之用。

⑤當明渠中流量微小時，他種量水設施，均難測量，而本型水錶即使為涓涓滴滴之水流，亦可以同樣準確度量得，故可用以自記雨量計或量集水區中之枯水流量。

⑥此次試驗中所用之水錶係以鐵片鑄成，故有生銹之弊，嗣後建造宜使用不生銹之材料。

⑦此次試驗中所用之水錶，原設計每轉之流量為二千 c. c. 但試驗時檢定之流量則為 2146c. c.，此種畸零數字，在使用時多少有不便之處，故嗣後在建造時，應使其成為整數，或設有調節之裝置可將其調至整數，使用時當更形便利。

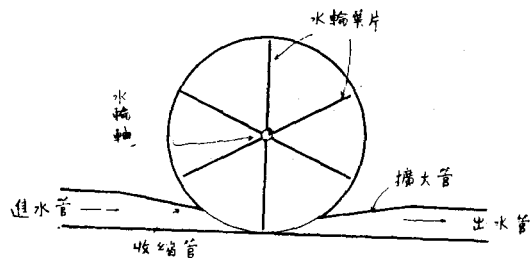
### 三、管道灌溉量水水錶

管道灌溉水在目前本省尚不普遍，但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，地下水之加強利用亦為必然之趨勢。根據本省登記之地下水權而論，百分之八十三之地係用於灌溉，因此管道灌溉與管道輸之重要性，自必隨時間而日益增加，同時噴灑灌溉，目前不但在歐美東瀛日益普遍，且已逐漸推行至本省，噴灑灌溉雖需較高之投資，但其優點極多，不但可以節省水量與人工，同時無須利用自然坡度，不必整地，故即使起伏不平之山坡地帶，亦可藉此得以灌溉，在本省平地業已開發淨盡，政府提倡開發邊際土地之際，如將噴灑灌溉以灌溉山坡地上之經濟作物，前途大有可為，因此設計一種價廉而準確耐久而使用便利之灌溉量水設備，實為一刻不容緩之事。透平式管道灌溉量水水錶與旋杯式管道灌溉水錶，即係筆者針對此一需要而設計。

## 甲、透平式管道灌溉水錶

### A. 構造與作用

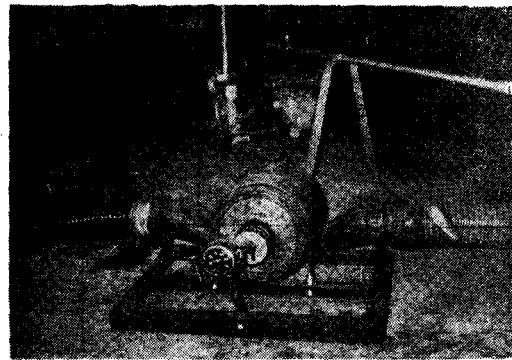
透平式管道灌溉量水水錶係利用水之衝流擊力，使一水輪發生旋轉，由水輪旋轉之速率可知管中之水流流量，由水輪旋轉之次數，可知管中水流在該一段時間內之總流量。透平式管道灌溉量水水錶之構造略如圖三所示，水流由輸水水管流入水錶之進水管，水錶進水管之管徑與輸水水管同，然後水錶進水管連接一收縮管。收縮管兩端之直徑相差約為一倍，收縮管之長度則約為輸水管直徑之 3~4 倍，收縮管實際上為一噴嘴 (Nozzle) 其作用為縮斷面積之收縮，增加水流之衝擊力，由收縮管噴出之快速水流衝擊水輪



圖三 透平式管道灌溉水錶

之葉片，因而使葉片發生轉動，水輪之直徑約為輸水水管之二倍或二倍以上，以增加衝擊水流之力矩及效果。葉片計為六片，繞一轉動軸而旋轉，轉動軸連接一摩托車速度表兼里程表，此因轉數表及累積轉數表如自行製造既費時間又多困難，所需費用亦屬極鉅，因此利用市場上種類極多的摩托車表可省事省費不少，蓋此種摩托車表因係大量生產之故，售價極為便宜，每個約在二百元臺幣以下。故在使用時，以摩托車表之速度表作為瞬時流量表而以摩托車表之里程表作為累積流量表。自然，在以速度表及里表作為瞬時流量及累積流量之指示器時，必須經過水工試驗加以檢定，經檢定後瞬時流量祇須將摩托車速度表之表面根據試驗結果加以更換即可，至於累積流量之指示則因摩

托車里程表係採用轉動數字之形式不易改換，因此必須根據水工試驗室檢定之結果，決定累積流量與累積轉數之關係係數，而在使用時，則將累積轉數乘以此係數即可得累積流量，如在進水管與出水管之間連接一旁路水管 (By Pass)，並在此旁路水管上設置一旁路水閥 (By Pass Valve)，則由於此旁路水閥之調整，可使累積轉數與累積流量間之關係係數成為一整數，在此水錶使用年久後此關係係數發生變遷時，復可經由調整此旁路水閥；而使此係數返回原狀，惟此旁路水閥必須以火漆或錫鉍封，以免妄動而影響準確性也。



圖四 透平式管道灌溉水錶

### B. 試驗方法及結果

試驗係在臺大水工試驗室舉行，將透平式管道灌溉量水水錶以塑膠蛇紋管一管連接三吋直徑出水管，該出水管則與水工試驗室之高平水櫃相通連，在出水管與蛇紋管連接處有一水閥，用作調節進入水錶水量之用，透平式管道灌溉量水水錶之另一端則以塑膠蛇紋管導入水工試驗室之地下水槽其流量經由一巴歇爾水槽測定流量後，流入一地下量水池，該量水池具有電氣水位尺，以測量水池水深，從水池水深之變遷，可求得該段時間內之累積流量。試驗之結果並以最小二乘方加以計算，得出該水錶之公式，試驗之記錄及計算之結果，如附表所示

#### 透平式管道灌溉量水錶試驗記錄

##### I 巴歇爾量水槽記錄表

Ha			Hb			潛沒度 百分比	流量 (litei/seo)	次 數
讀 數 (ft)	零點讀數 (ft)	水 頭 (cm)	讀 數 (ft)	零點讀數 (ft)	水 頭 (cm)			
1.585	1.352	7.102	1.335	1.300	1.067	15.02	2.8917	1
1.595	"	7.407	1.333	"	1.006	13.58	2.1250	5
1.595	"	7.407	1.333	"	1.006	13.58	3.1250	3
1.586	"	7.132	1.322	"	0.671	9.40	2.9060	4

1.578	1.352	6.888	1.316	1.300	0.488	7.08	2.7550	5
1.565	"	6.492	1.308	"	0.244	3.75	5.5960	6
1.532	"	5.425	1.281	"			1.9700	7

註：(水頭)——欄係由〔(讀數欄) - (零點讀數)〕×30.48  
(流量)——欄係查自毛壽彭教授編著「巴歇耳量水槽」一書之表(-)。

### II 設計水錶記錄表

釋程表標示 (km)			時 間		平均速度 (km/sec)		瞬時數度 (km/sec)		次 數
上 限 (a)	下 限 (b)	淨 計 (c)	分 秒 (d)	秒 (e)	各次數度 (f)	平 均 值 (g)	標 示 值 (h)	平 均 值 (i)	
15.0	14.0	1.0	3'15"	195"	5.13×10 <sup>-3</sup>	5.345×10 <sup>-3</sup>	20.0	20.25	1
17.4	15.4	2.0	6'10"	360"	5.56×10 <sup>-3</sup>		20.5		
15.5	18.5	1.0	2'56"	176"	5.69×10 <sup>-3</sup>	5.685×10 <sup>-3</sup>	21.0	21.25	2
21.9	19.5	2.1	6'10"	370"	5.68×10 <sup>-3</sup>		21.5		
23.7	22.7	1.0	2'50"	170"	5.88×10 <sup>-3</sup>	5.43×10 <sup>-3</sup>	22.5	22.75	3
25.75	23.8	2.15	6'0"	360"	5.98×10 <sup>-3</sup>		23.0		
27.8	26.8	1.0	3'37.4"	217.4"	4.61×10 <sup>-3</sup>	4.625×10 <sup>-3</sup>	19.0	18.15	4
29.57	27.9	1.67	6'0"	360"	4.64×10 <sup>-3</sup>		18.5		
71.2	30.2	1.0	3'58"	238"	4.20×10 <sup>-3</sup>	4.235×10 <sup>-3</sup>	16.5	16.25	5
32.8	31.3	1.5	6'0"	360"	4.17×10 <sup>-3</sup>		16.0		
74.50	33.20	1.0	4'42"	282"	3.47×10 <sup>-3</sup>	7.61×10 <sup>-3</sup>	14.5	14.5	6
35.65	34.30	1.35	6'0"	360"	3.75×10 <sup>-3</sup>		14.5		
37.2	36.7	0.5	4'53"	298"	1.68×10 <sup>-3</sup>	1.68×10 <sup>-3</sup>	7.0	7.0	7

註：(f)=(c)/e (g)=2(f)/2 i=2(h)/2

### III 水錶檢定計算表

(a) 累積里程表與巴歇耳水槽流量關係表

次 數 m	巴歇耳量 水 Q <sub>p</sub> (liter/sec)	里 程 表 標 示 值 Q <sub>m</sub> (cm/sec)	Q <sub>p</sub> <sup>2</sup>	Q <sub>p</sub> Q <sub>m</sub>
1	2.8817	534.5	8.3042	1540.2687
2	3.1250	568.5	9.7656	1776.5625
3	3.1250	543.0	9.7656	1696.8750
4	2.9060	462.5	8.4448	1344.0250
5	2.7550	423.5	7.5900	1166.7425
6	2.5960	361.0	6.7392	937.1560
7	1.9700	168.0	3.8809	330.9600
Σ	19.3587	3061.0	54.4903	8792.5897

公式計算：

$$a = \frac{m \sum(Q_p Q_m) - \sum Q_p \sum Q_m}{m \sum Q_p^2 - (\sum Q_p)^2}$$

$$b = \frac{\sum Q_p^2 \sum Q_m - \sum Q_p \sum Q_m Q_p}{m \sum Q_p^2 - (\sum Q_p)^2}$$

$$a = \frac{7 \times 8792.5897 - 3061.0 \times 19.3587}{7 \times 54.4903 - (19.3587)^2}$$

$$= \frac{61548.1279 - 59256.9807}{381.4321 - 374.7593}$$

$$= \frac{2291.15}{6.6728} = 343.354$$

$$b = \frac{54.4903 \times 3061 - 19.3587 \times 8792.5897}{7 \times 54.4903 - (19.3587)^2}$$

$$= \frac{166794.8083 - 170213.10622589}{381.4321 - 374.7593}$$

$$= \frac{341.15}{6.6728} = 512.4010$$

$$\therefore Q_m = 343.354 Q_p - 512.4010 \dots \dots \dots (1)$$

進度表及巴歇耳水槽流量關係表

次數 (m)	巴歇耳量 水 Qp (liter/sec)	瞬時速度 V (km/sec)	Qp <sup>2</sup>	Qp V
1	2,8817	20.25	8,3042	58,5544
2	3,1250	21.25	9,7656	66,4406
3	3,1250	22.75	9,7656	71,0938
4	2,9060	18.75	8,4448	54,4875
5	2,7550	16.25	7,5900	44,7698
6	2,5960	14.50	6,7392	37,6420
7	1,9700	7.0	3,8809	13,7900
Σ	19,3587	120.75	54,4903	346,5771

$$a = \frac{m \sum(QpV) - \sum Qp \sum V}{m \sum Qp^2 - \sum(Qp)^2}$$

$$b = \frac{\sum Qp^2 \sum V - \sum Qp \sum QV}{m \sum Qp^2 - \sum(Qp)^2}$$

$$a = \frac{7 \times 346.5771 - 19.3587 \times 120.75}{7 \times 54.4903 - (19.3587)^2}$$

$$= \frac{2426.0397 - 2337.568025}{881.4321 - 374.7593}$$

$$= \frac{88.4767}{6.6728} = 13.2593$$

$$b = \frac{54.4903 \times 120.75 - 19.3587 \times 346.5771}{7 \times 54.4903 - (19.3587)^2}$$

$$= \frac{6579.703725 - 6709.28210577}{881.4321 - 374.7593}$$

$$= \frac{129.47}{6.6728} = -29.1781$$

$$\therefore V = 13.2593Qp - 29.1781 \dots\dots\dots(2)$$

C. 討論：

① 本實驗所用之透平式管道灌溉量水水錶因其摩擦阻力頗大，影響其靈敏度不少。

② 推究此一水錶阻力過大之原因，約有下列數端：

a. 所用之水輪葉片及水輪軸均為鐵質，且前者過厚，後者過粗，致增加摩擦阻力。同時二者之重量既重，慣性亦大，影響起動。

b. 水輪軸之二端均伸出表身之外，為防止漏水起見，在二端軸承之內均裝一塑膠水封 (Seal) 因此摩擦阻力大增。

c. 表身之長度超過必需之長度甚多，不但增加水錶起動所需要之扭轉力矩，同時亦使轉動時增加阻力。

d. 因摩托車轉速較高，本水錶之轉速較慢，故在實驗過程中在摩托車表與水錶水輪軸之間裝一吋

4:1 之齒輪，所增加之阻力雖不如前數者之大，但無疑仍有相當影響而使摩擦阻力增加。

③ 表身設計過於笨重，製造時費用高而使用時則又不够靈便。

④ 水錶之靈敏度欠佳，必需相當大之流量方開始轉動。

⑤ 因起動所須的流量太大，故此水錶之測量範圍 (Range) 不大。

⑥ 本表表身，水輪及水輪軸均為鐵鑄有生鏽之弊。綜上各點可知本實驗所製之透平式管道灌溉量水水錶在設計上及製作上具有頗大缺點，雖可勉強使用但未能符合理想，因此尚待繼續研究，並針對在此次實驗所發生之缺點一一予以矯正改良，則此型之水錶在理論上所具有之各種優點應能充分發揮，方能符合前述灌溉量水水錶之理想條件也。

乙、旋杯管道灌溉水錶

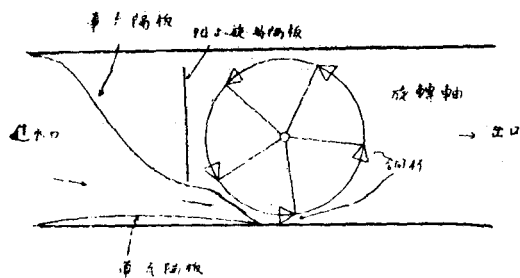
A. 構造與作用：

此型水錶之設計與製作係於透平式管道灌溉水錶製造試驗完成以後，因此透平式管道灌溉水錶所發生之種種缺點，均竭力加以避免。此型水錶體積極小，其旋轉部分為五個列成一環之旋杯，其形狀及構造概與朴刺司旋杯式流速儀 (Price Current Meter) 相似，錶身為一長約 50 公分之不銹鋼管，管之左端為進水口，連接水源，進水口之內有一導流隔板，此隔板之作用，在導引水流，增加流速，其作用實與透平式管道灌溉水錶之收縮噴嘴相仿也，水流在導流隔板處以高速流入錶之中心，並衝擊旋杯，旋杯因而發生旋轉。在旋杯環之中必有一旋轉軸，當旋杯旋轉時旋轉軸亦隨之而旋轉。旋轉軸之一端以針形軸承架以表身之內壁，另一端則通出錶身外，而連接一摩托車表，由該摩托車表，可讀出水錶之轉速及累積轉數，經水工試驗室檢定後即得通過該水錶之瞬時流量及累積流量。在旋杯之下游即為錶表之出水口，管身平直，並無擴大或收縮。出水管之下端即逕接連供水管。此外在導流阻板之上端另有一阻止發生渦流之隔板，以防止因發生渦流而增加阻力。

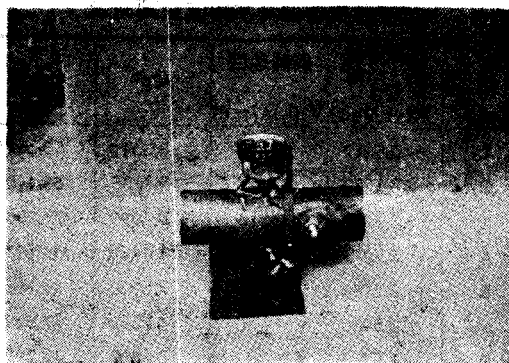
B. 試驗方式及結果：

試驗係在臺大水工試驗所中舉行，其部署略與試驗透平式管道灌溉水錶時相同。首先，以塑膠蛇紋管連接通向水工試驗所之高平水櫃之出水管，然後將該蛇紋管連接旋杯式管道灌溉水錶之進水端，至於旋杯式管道灌溉水錶之出口端則與另一條塑膠蛇紋管相連

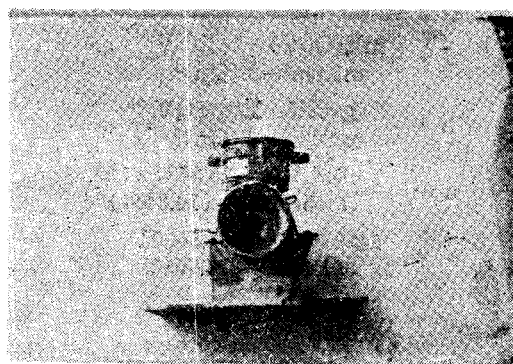
而該塑膠蛇紋管之另端則置於一水工試驗所之地下回水槽內，水流由此回水槽，經一巴歇爾量水槽，再流入具有電氣水位尺之地下量水池內，由巴歇爾水槽，量水池，及量水箱以測定流量，試驗之結果如圖所示。



圖五 旋杯式管道灌溉水錶



圖六 旋杯式管道灌溉水錶



圖七 旋杯式管道灌溉水錶之進水端

(I) 旋杯式水錶檢定記錄

次 數	時 間 (Sec)		流 量 (l/sec)		瞬 時 速 度 (km/hr) (e)	釋 程 表 標 示 (km)				平均速度 (km/min) (j)
	各 次 數 (a)	平 均 數 (b)	各 次 數 (c)	平 均 數 (d)		上 限 (f)	下 限 (g)	淨 計		
								各 次 數 (h)	平 均 數 (i)	
1	43.5	43.5	3.34	3.34	50	779	786.0	7.0	7.00	9.78
2	43.7	43.7	3.32	3.32	46	807	813.0	6.0	6.00	8.23
3	50.7	51.1	2.86	2.84	40	830	835.0	5.0	5.25	6.16
	51.5		2.82			851	856.5	5.5		
4	59.7	59.85	2.43	2.425	35	870	875.5	5.5	5.75	5.85
	60.0		2.42			888	894.0	6.0		
5	69.8	69.9	2.08	2.06	30	908	913.5	5.5	5.75	4.94
	70.0		2.04			924	930.0	6.0		
6	83.0	83.2	1.75	1.745	25	940	945.5	5.5	5.75	4.15
	83.4		1.74			954	860.0	6.0		
7	104.6	104.9	1.39	1.385	20	967	972.5	5.5	5.66	3.20
	105.2		1.38			982	987.7	5.7		
8	141.5	141.2	1.025	1.0275	15	993	998.3	5.3	5.30	2.25
	140.8		1.03			1008	1013.3	5.3		

8	192.3 193.0	192.65	0.755 0.752	0.7535	10	1018 1027	1022.5 1031.8	5.5 4.8	5.15	1.605
10	249.6 258.4	254.0	0.533 0.562	0.5475	5	1034 1041	1037.3 1044.2	3.3 3.0	3.15	0.744

註：量 1k 桶體積：145 liter

$$(a)/2=(b) ; (c)2=(d) ; (g)-(f)=(h) ; (h)/2=(i) \quad [(i)/(b)] \times 60=(j)$$

(II) 瞬時流量公式之推算

m	Qb	Vav	Qb <sup>2</sup>	Qb × Vav
1	3.34	50	11.1556	167
2	3.32	46	11.0224	152.72
3	2.84	40	8.0656	113.60
4	2.425	35	5.880625	84.875
5	2.06	30	4.2436	61.800
6	1.745	25	3.045025	43.625
7	1.385	20	1.918225	27.700
8	1.0275	15	1.05575625	15.4125
9	0.7535	10	0.56776225	7.5350
10	0.5475	5	0.29975625	2.7375

公式計算：

$$a = \frac{m \sum(Qb \times Vav) - \sum Qb \sum Vav}{m \sum Qb^2 - \sum (Qb)^2}$$

$$= \frac{1403.504}{94.49380525}$$

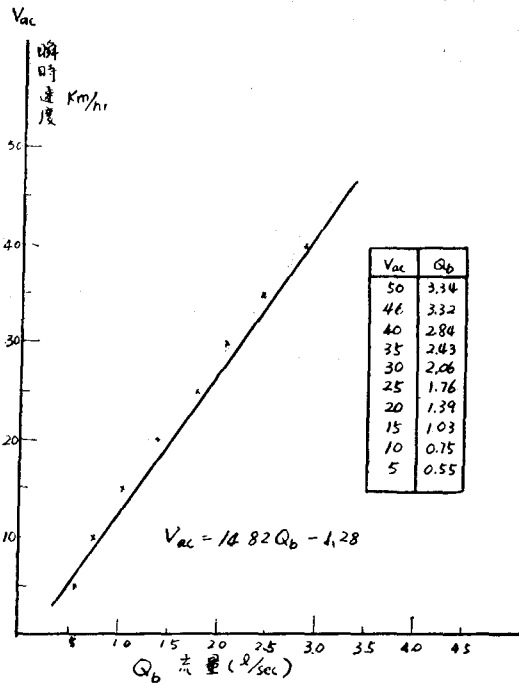
$$= 14.82$$

$$b = \frac{\sum Qb^2 \sum Vav - \sum Qb \sum Qb Vav}{m \sum Qb^2 - \sum (Qb)^2}$$

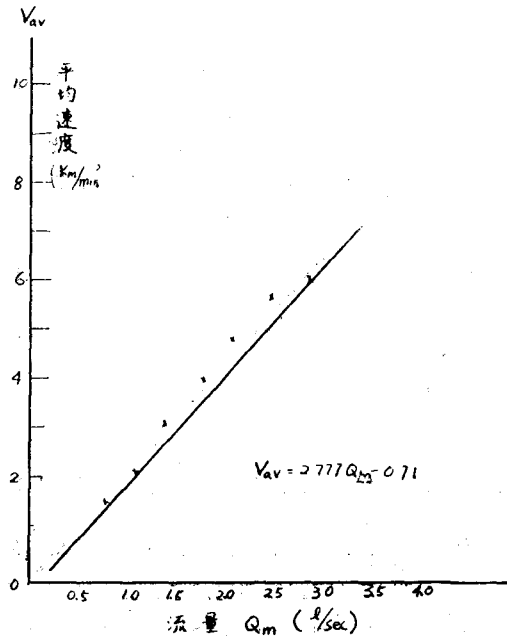
$$= \frac{-121.461865}{94.49380525}$$

$$= -1.2820542699$$

$$V_{ac} = 14.82 Q_b - 1.2820$$



圖八 旋杯式水錶瞬時流量之檢定



圖九 旋杯式水錶平均流量之檢定



(III) 平均流量公式之推算

m	Qb	Vav	Qb <sup>2</sup>	Qb×Vav
1	3.34	9.78	11.1556	32.6652
2	3.32	8.23	11.0224	27.3236
3	2.84	6.16	8.0656	17.4944
4	2.425	5.85	5.880625	14.18625
5	2.06	4.94	4.2436	10.1764
6	1.745	4.15	3.045025	7.24175
7	1.385	3.20	1.918225	4.4320
8	1.0275	2.25	1.05575625	2.311875
9	0.7535	1.605	0.56776225	1.2093675
10	0.5475	0.744	0.29975625	0.4073400

公式計算：

$$a = \frac{m \sum(Qb \times Vav) - \sum Qb \sum Vav}{m \sum Qb^2 - \sum(Qb)^2}$$

$$= \frac{262.4066885}{94.49380525}$$

$$= 2.77697234$$

$$b = \frac{\sum Qb^2 \sum Vav - \sum Qb \sum Qb Vav}{m \sum Qb^2 - \sum(Qb)^2}$$

$$= \frac{-66.949444016}{94.49380525}$$

$$= -0.708506169$$

$$Vav = 2.777 Qb - 0.7085$$

C. 討 論：

(1) 本型水錶因有透平式管道灌溉水錶作為前車之鑒，故缺點少而優點顯著。

(2) 本型水錶之靈敏度頗高，雖仍有相當之死區(Dead Zone)，但在灌溉之管道中，以本水錶而言為三吋水管，一般使用時決不致有如此低之流量，故可放心使用。

(3) 本型水錶之轉軸僅有一端伸出錶外，故僅有一個封水(Seal)，故摩擦阻力大為減少。

(4) 本型水錶之轉動軸及旋杯，俱極輕巧，故易於起動而靈敏而靈度高。

(5) 本型水錶，體積小，重量輕，因之連價低而於攜帶。

(6) 本型水錶錶內水之體積不多，又設有阻止漩渦當生之隔板，而旋杯之阻水面積亦小，故起動容易，靈敏度高，轉動迅速而靈活。

(7) 本型水錶全用不銹材料製成，無生銹之慮。

(8) 錶中之導流隔板之斜度可以螺絲加以變更以調整累積流量與累積轉數之換算係數。

(9) 在檢定此型水錶時，因水頭受水工試驗所高平水櫃高度之限制，故最高之流量為3.34公升/秒。

(10) 在流達到3.34公升/秒時，水錶之指示值與

檢定曲線之延伸線相差頗大，此可由檢定曲線上之Wild Point 見之，由此可見此一三吋管徑之旋杯式管道灌溉水錶中之流量以不超過3.3公升/秒為宜。

#### 四、結 論

發展一種儀器，長期之試驗與不斷的改良均極為必需。在本試驗中，雖已屢經改良，但終以時間短促，又乏專人從事協助試驗改良，一切頗多未能盡如人意之處，其中轉筒式明渠灌溉量水水錶甚為成功，用於量水極為方便準確，惟所製成之水錶為小型者，祇適合於測量小水量之用，事實上，轉筒式明渠灌溉水錶較適合於測量小水量，在此一方面其精確性殆非其他任何水錶所能企及，至於較大之流量，則此轉筒式水錶之體積必須放大，但此種放大在經濟上及實用上必有某種程度上之限制與其他型式之水錶相同，故此式水錶所能測量流量之上限必需在以後製造大型的此種水錶加以試驗方能決定也。

透平式管道灌溉水錶則在試驗中，顯示頗多之缺點，唯此種缺陷，多半係用於設計及製造時考慮欠週詳，及受設備及經濟上限制之故。以後根據此次之經驗，針對其顯示之缺陷，設法力求改良，則亦可望臻於理想也。

旋杯式管道灌溉水錶因有透平式管道灌溉水錶之經驗作為基礎，故其結果相當成功，體積小，搬運便利，造價低廉，經久耐用，使用方便而又有相當高之靈敏度與精確度，在再加改良後，當可大量生產，普遍使用也。在發展此三種型式水錶之過程中，因受經濟之限制，無法完全依照理想製造，例如，塑膠原為極理想之製錶材料。但因壓製塑膠之鋼模極為昂貴，在試驗中每型僅需製一二具，則其成本實屬過高，倘大量製造，普遍應用則情形正好相反。塑膠製者成本反遠為低廉也。

#### 五、後 記

本研究係得農復會及水利局輪灌小組之補助，始克完成，本試驗過程中，得毛壽彭師及水工試驗所同仁之助益極多，實際之水錶製作係由葉錦文君擔任，並在水錶之設多計改良時貢獻甚多寶貴意見。李源泉君協助試驗，並擔任大部之計算工作出力甚多。吳銘塘、吳春宏、林國綱、倪海麟、歐石鏡等君協助試驗，謹在此誌謝。

#### 六、參 考 文 獻

1. SCS U. S. A, Measurement of Irrigation Water, 1962
2. A. Adison, Hydraulic Measurements, 1948
3. D. P. Eckman Industrial Instrumentation Wiley, 1950
4. P. J. O' Higgins, Basic Instrumentation, 1966
5. A. S. M. E., Flow Metering 1952
6. 毛壽彭, 巴歇爾量水槽
7. 劉業開譯: 灌溉用水量之觀測(美國墾務局編)
8. 曹以松 葉式灌溉水錶。中國農工學校九卷一期