

# 定水位蒸發皿之研究

## A Study on the Constant Level Evaporation Pan

臺灣大學農工系副教授

曹 以 松

### 一、概 論

蒸發皿為用以測量蒸發量之一種儀器，蒸發量在氣象與水文之研究上極為重要，舉凡大氣溫度之變化，熱量之平衡，水分之循環等，莫不與蒸發及蒸發量息息相關不可須臾或離。在水利工程中則如水庫之蒸發損失，地下水之儲藏量，渠道之蒸發損失，作物之蒸散量及灌溉需水量，有效雨量等亦莫不需由或可由蒸發量之記錄分析推算而得。故蒸發量測定之精確度直接影響推算分析之結果，故對測定蒸發量之儀器實有精益求精之必要。

目前我人對於蒸發之原理及過程尚未能全盤明瞭，因此測量蒸發量之儀器及方法仍停留在粗放之狀態。實地測量蒸發量之儀器，全恃蒸發皿。蒸發皿之種類甚多，形製不一，然其所用之原理相同，即一儲水之容器附有觀測水深之設備而已。在一段時間內蒸發皿所損失之水深即為該時間內之蒸發量。此種傳統之蒸發皿，缺點甚多，誤差亦鉅。故世界各國有關之學術界均努力謀求改進唯迄今仍未有妥善之方法以矯正其缺點。本研究之目的亦在針對此一問題以求獲得一較合理想之蒸發皿，俾能對蒸發現象作更精確與深入之研究。

### 二、蒸發之原理與公式

蒸發乃水分由液態而變成氣態之現象，水中分子不斷運動，其中有若干分子有較大之動能，運動較劇，致克服周圍水分子之吸引力而逸出液面。一物體之溫度與其分子運動之劇烈程度成正比。蒸發時因動能較大之分子之離去，故水溫隨之降低。因此蒸發有冷卻之作用，逸出水面之分子在水面上形成一種壓力，是即蒸汽壓 (Vapor pressure) 逸出水面之水分子與空氣中之分子相撞擊，若干之水分子因此又跌回水中，同時空氣中一部分動能大之水汽分子亦能穿過水面而進入水中稱為凝結 (Condensation)。當進入水面與逸出水面之水分子數目相等時即達成一種平衡之狀態，此時蒸汽壓與周圍之氣壓適相平衡，此種蒸發與凝結相平衡之狀態稱為飽和 (Saturation)。在未達到飽和狀態時蒸發較凝結為速，在過飽和狀態則凝結較蒸發劇烈。故蒸發之速率須視水中蒸汽壓與水面上空氣中蒸汽壓之差而定，在一定之條件下，蒸發與蒸汽壓不飽和之程度 (Deficit of Vapor Pressure) 成正比，所謂蒸汽壓不飽和之程度即水中飽和蒸汽壓與空氣中蒸汽壓之差。此一現象於 1802 年時即由道爾頓氏所發現，故稱為道爾頓定律 (Dalton's Law)。自道氏發現此一定律以還，研究此一現象而得出蒸發公式者甚多，茲錄其較著者如次：

表一、常用之蒸發公式

公 式 名	年 份	公 式
1 道爾頓 Dalton	1802	$E=C(e_w - e_a)$
2 菲茲齊拉德 Fitzgerald	1886	$E=\psi(e_w - e_a) \quad \psi=0.4+1.99w$
3 美域 Meyer	1915	$E=C\psi(e_w - e_a) \quad \psi=1+0.1$
4 霍登 Horton	1917	$E=0.4(\psi e_w - e_a) \quad \psi=2-e^{-0.2w}$
5 羅威 Robwer	1931	$E=0.771(1.465-0.0186B)\psi(e_w - e_a) \quad \psi=0.44+0.118w$
6 海夫納湖 Lake Hefner	1954	$E=0.00177w(e_w - e_a)$
7 米特湖 Lake Mead	1958	$E=0.001813w(e_w - e_a)t[1-0.03(T_a - T_w)]$
8 潘門 Penman	1948	$E=0.35(1+9.8+10^{-3}w)(e_w - e_a)$
9 浮活生 Ferguson	1952	$E=(0.96+0.166w)(e_w - e_a)$
10 桑霍二氏 Thornthwaite-Holzman		$E = \frac{133.3(e_1 - e_2)(w_2 - w_1)}{(T - 459.4)1u(h_2/h_1)^2}$

上表各公式之意義如下。

$E$  = 蒸發率。其單位各式不同。(3)式中為吋 / 30日，(7)式為吋 / t日，(8)式為公厘 / 日，(9)式為卡羅里 / 平方公分 / 小時，(10)式為吋 / 小時，餘為吋 / 日

$C$  = 常數

$e$  = 自然對數之底

$e_a$  = 空中實際蒸氣壓水銀柱高，(7)式單位為毫巴，餘為吋

$e_w$  = 水面溫度之飽和蒸氣壓，單位同上

$e_1$  = 在水面高度上 $h_1$ 處之蒸氣壓

$e_2$  = 在水面高度上 $h_2$ 處之蒸氣壓

$w$  = 風速，在(3)式中為在地面上30呎處之平均風速以哩 / 小時計，(7)式為地面風速以哩 / 時計，餘均為哩 / 小時

$w_1$  = 在水面上 $h_1$ 處之風速

$w_2$  = 在水面上 $h_2$ 處之風速

$\psi$  = 風速因子

$t$  = 蒸發時間以日計

$T_a$  = 平均氣溫 = °C + 1.9°C

$T_w$  = 水面平均溫度°C

上表所列之公式多為經驗公式或半經驗公式。在使用此種公式以求得蒸發量時，與實際情形往往有極大之差異，故祇能作概略之估計。在理論上蒸發量尚可以能量平衡法 (Energy Balance Method) 或理論水力學法 (Hydrodynamic Approach) 以求得之。唯前法須先測得由太陽傳來之短波輻射能，由太空或雲層傳來之長波輻射能，由各反射面反射而來之短波輻射能，由水面向上下傳導之熱量等。後法則需測定雲量，各方向之風速、空氣密度及壓力之變化等。並須決定若干熱傳導係數，故此二種方法所需之儀器複雜而昂貴。實際應用既極困難而所得之結果又並不準確。尤以後法因選擇熱傳導係數之故可引致極大之誤差，故二者現均尚無實用之價值也。

### 三、蒸發皿之種類

蒸發皿為目前使用最普遍之蒸發測量儀器，其種類甚多，以形狀而分則可分為圓形及方形，以大小而分則有各種不同之尺寸，(直徑自數公分至30公尺)。以放置之位置而分則有陸地蒸發皿、(Land Pan) 埋設蒸發皿 (Sunken Pan) 及浮蒸發皿 (Floating Pan)，此外又可以絕緣之有無，測深之方法而分，故其種類殆不勝記。惟目前在美國常用者為下列數

種：

(1)美國氣象局A級蒸發皿 (U. S. W. B. Class A Land Pan)

此種蒸發皿係以22號鍍鋅鐵皮製成，直徑為四呎，邊緣深十吋。其底部置於一木架上距離地面六吋，皿中水深八吋，每逢皿中水面降低一吋時即須加水恢復原狀。水深之測量係以一具有化微之鈎尺於置在皿中之靜水池中之。此皿之蒸發量偏高，故與大面積上之蒸發量相較須乘以一0.6至0.8之蒸發皿常數，一般採用0.7此種蒸發皿較其他形式使用更為普遍。

(2)美國植物工業局埋設蒸發皿 (U. S. B. P. I. Sunken Pan)

此一蒸發皿亦係以22號鍍鋅鐵皮製成之圓形蒸發皿，直徑為六呎，深二呎，埋後露出地面之部分為四吋高，皿中之水與地面齊平，當皿中水位高於地面 $\frac{1}{2}$ 吋或低於地面 $\frac{1}{2}$ 吋時即須加以調整。此皿由於其面積較大故蒸發量與水庫或湖泊等大面積水域之蒸發量最為接近，其蒸發皿係數約為0.95但春天較低而秋、冬較高。

(3)科羅拉多埋設蒸發皿 (Colorado Sunken Pan)

此為一方形之蒸發皿，三呎見方，為以18號鍍鋅鐵皮所鑄成，邊緣高一呎半至三呎，埋設後露出於地面上之部分高四吋，皿中水亦與地面齊平，水面與地面之高差不得超過 $\pm \frac{1}{2}$ 吋。因深度之不同，故其蒸發皿常數約自0.75至0.86平均約為0.78。

(4)美國地質調查所浮蒸發皿 (U. S. Geological Survey Floating Pan)

此皿亦係以18號鍍鋅鐵皮所製成之方形蒸發皿。長寬各為三呎，深一呎半。皿下為一長16呎寬14呎之筏，皿下有二圓形之浮筒以維持其浮力，皿中水位與周圍之水面相齊平，二對角線有緩衝板，板上鑽圓有孔甚多，以避免皿水生波及水分之濺出，此皿之蒸發皿常數為0.7至0.82一般使用0.8。

(5)美國氣象局浮蒸發皿 (U. S. W. B. Floating Pan)

美國氣象局浮蒸發皿，實即將A級皿置於木筏上而已，因皿之面積較美國地質調查所浮蒸發皿為大，故在水中較易引起波浪，而更形不穩定，此皿之蒸發皿常數平均約為0.78。

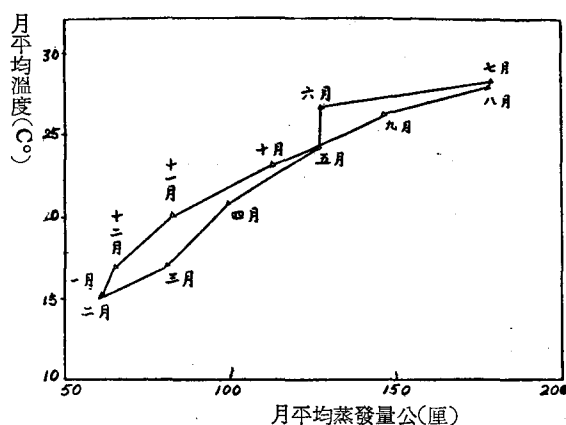
此外蒸發皿在各國常用者尚有極多種類，唯其原理均與上述者相同，所不同者為形狀大小而已，蒸發皿之附屬裝備有觀測水深之鈎尺，測量水溫及氣溫之

溫度計、風速儀、濕度計、雨量計、及除去皿中雨水之量杯等。在研究機關往往有特殊之裝備如美國田納西流域管理局之A級蒸發皿下為一精確之地磅，每十五分鐘自動秤量一次，以得連續之蒸發記錄，此外或以光學原理，或以電子裝備配合蒸發皿，以觀測極微之水深、變化，因此可測得極短時間內之蒸發量，及一日間蒸發率之變化，並自動紀錄其結果，唯此種裝備均極為昂貴，裝設及維護亦極不易，故無法普遍使用也。

#### 四、影響蒸發皿蒸發之因素

影響蒸發皿蒸發之因素極夥，上列之各種經驗公式並不能包含其部之因素，茲分述其各重要之因素如下：

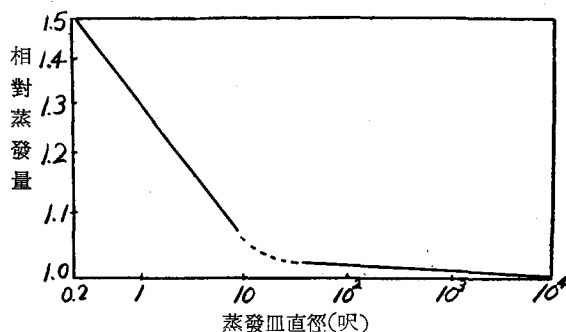
(1)氣溫 因為氣溫之記錄於大部分地方均可找到，故蒸發量常與氣溫向比較，但影響蒸發之因素不僅氣溫一項。故二者之間並無一定之關係，在圖一中即可看出二者之間之關係隨季節而變，圖一為臺北歷年月平均溫度與月平均蒸發量之關係，從此圖中可見溫度與蒸發量最大之二月即七月與八月極為接近，溫度與蒸發量最小之二月即一月與二月亦極為接近。但中間則頗有差異，在同一溫度時春天之蒸發量較冬天大，夏天之蒸發量略遜於秋天。



項蒸汽全部吹離，因而使皿上之空氣可容納新的蒸汽，因此促進蒸發率，在大水面上則需有25哩/小時之風速始能有增加蒸發之作用。

(4)氣壓 氣壓之變化亦可影響蒸發率，氣壓增加時可增加分子逸出水面之困難，故有減少蒸發之作用，根據蜜勒氏 (F. G. Millar) 之研究，蒸發量與氣壓之負0.25次方成正比。

(5)水深 水温之變化較氣溫之變化落後已如前述，水愈深則落後之程度愈大。同時水深與水淺時之熱容量亦不同，故根據巴堂氏 (C. W. Bonython) 之研究，如蒸發皿中水深相差五公分時則蒸發量之差可達百分之十五。可謂鉅矣。



圖二 蒸發皿直徑與蒸發量之關係

圖一 臺北市月平均溫度與月平均蒸發量

(6)直徑 最大蒸發皿之直徑達八十五呎，蒸發皿水大則蒸發率愈小，蒸發皿常數愈接近於一 (大面積水域之蒸發皿常數為1)，一般蒸發皿直徑在十二呎以上時，其蒸發皿常數可視為1。圖二為綜合各家對此一現象研究之結果，從圖中可知蒸發皿之直徑在10呎以下時，蒸發量與直徑之負0.16次方成正比即  $E \sim D^{-0.16}$

當其直徑大於十呎時則蒸發量與直徑之負0.01次方成正比即  $E \sim D^{-0.01}$

(7)邊緣高度 (Rim Height) 在水面以上之皿緣高度亦可影響蒸發量，根據李維兒氏 (R. W. Revall) 之研究，在皿緣高度分別為1吋、2吋及3吋之三蒸發皿中，強風時3吋緣高者蒸發量最多，1吋緣高者蒸發量最少，在弱風時則正好相反。李氏認為在強風時皿緣有造成空氣渦流之作用，因而增加蒸發量，在弱風時，皿緣有擋風之作用故可減少蒸發量。

(8)顏色 蒸發皿之顏色影響其吸熱之性能因而影響其蒸發量楊氏 (A. A. Young) 以十種不同顏色

(2)水温 在淺水中水温之變化常較氣溫落後，根據薛考克氏 (G. H. Hickox) 之研究，蒸發量與溫度之0.375次方成正比，在水温為70°F時變化±30°F所產生蒸發量之變化僅為原來之2%，故以氣溫作為水温而代入公式計算時所引起之誤差並不太大。唯仍以測量水温為宜。

(3)風速 在蒸發皿上之蒸汽，一有微風即可將此

，同樣大小與形式之蒸發皿作試驗而得下列之結果：

表二、蒸發皿顏色對蒸發量之影響

顏 色	蒸發量 百分比	備 註
白 色	82.7	以新鍍鋅鐵皮蒸發皿為100%
橙 色	92.0	
淡 黃 色	93.3	
鋁 漆	97.6	
鋁鍍鐵皮皿(新)	100.0	
深 藍 色	101.6	無油漆
深 綠 色	102.5	
鍍鋅鐵皮皿(舊)	105.9	
黑 色	105.7	無油漆
銅 皿	106.7	

從上表之結果可知蒸發皿之顏色愈深則蒸發量愈大。另有二點值得注意者使用已久之舊蒸發皿其蒸發量較新皿大 5.7%，幾與黑色皿相若，故蒸發皿使用相當時間後應即換新。以免造成誤差，又銅皿之顏色並非甚深，而其蒸發量竟高於黑色皿。當係由於其導熱能力較高之故。

(9)水質 蒸發皿水中含有鹽分或雜質時因蒸汽壓之降低而使蒸發量亦降低。根據楊氏之研究水中含有氯化鈉時其對蒸發量之影響如表三所示

表三、鹽分對蒸發量之影響

鹽分百分比含量	蒸 發 百 分 比	備 註
清 水	100	蒸發百分比以清水為100%
5	93.1	
10	90.1	
15	85.0	
20	81.1	

其他鹽分之影響尚少研究，惟大致與上表相同，尤其在鹽分百分比較少時各種鹽分之影響相差極微。

### 五、各種蒸發皿之比較

蒸發皿之種類既如前節所述，在實用上應如何抉擇採用，宜就各種蒸發皿之優劣加以比較。

浮蒸發皿之優點為：

- (1)理論上其蒸發皿常數為 1。
- (2)下雨時濺進蒸發皿之水量與濺出者大致相等，可免却除去皿中雨水之麻煩。
- (3)皿中水面無灰塵垃圾。

缺點則為：

- (1)水面有波濤時水分濺進濺出影響精確性。
- (2)管理觀察極為不便。
- (3)記錄之可靠性常使人懷疑。

陸地蒸發皿中以 A 級蒸發皿使用最廣其優點為

- (1)此種蒸發皿之記錄最為普遍可資利用。
- (2)此皿之蒸發皿常數最為穩定。
- (3)觀測方便。
- (4)皿之位置固定。
- (5)水分無濺進濺出之慮。
- (6)灰塵、雪、垃圾等不易進入。
- (7)造價廉宜。
- (8)對氣溫變化之適應較快。

缺點為：

- (1)蒸發皿常數太小。

埋設蒸發皿之優點為：

- (1)其蒸發皿常數與浮蒸發皿大致相同。
- (2)觀測方便。
- (3)蒸發皿本身對風之阻碍小。
- (4)皿之位置固定。
- (5)科羅拉多埋設皿歷史最久，造價最廉

缺點：

- (1)熱量之傳導較大，因土壤之熱性能不詳故難於計算。
- (2)土壤如發生裂縫影響熱量之分布狀態與傳導。
- (3)灰塵泥土雨水等易於濺入。
- (4)皿中水溫較氣溫落後甚多。

綜上所述可見各皿中以美國氣象局之 A 級蒸發皿較為理想，倘在外層再加以絕緣則更為理想，因絕緣後可避免熱量之出進其情形與大水庫之蒸發相彷彿矣，唯絕緣後之 A 級皿須與原型作長期之比較，始可利用 A 級蒸發皿之過去記錄也。

### 六、定水位蒸發皿之設計

傳統之蒸發皿優劣之比較已如前節所述，但除上節所述之外尚有共同之缺點，此種缺點即為：

- (1)蒸發皿中水深不定：所有現在使用中之蒸發皿，均採取人工加水之方式。蒸發皿中之水經過若干時日之後，皿中水量因蒸發而損失，水深因而降低，致皿與皿水熱容量之和隨之減少。同時露出水面之皿緣增加。凡此均將影響皿之蒸發皿常數，因而減低蒸發皿之精確度。例如美國氣象局 A 級蒸發皿，皿深十吋，皿中水深八吋，當皿中水深因蒸發而降至七吋時，即

以人工加水恢復原來水深，當皿中水深自八吋降至七吋時，皿水之熱容量減少 $\frac{1}{8}$ 。因此同樣之熱能可提高溫度較多，而引致較多之蒸發。同時，皿緣露出水面以上之部分自二吋增加至三吋，在風力較強時又將促進蒸發。根據巴堂氏之研究蒸發皿中水深相差五公分時則蒸發量之差異可達15%，水深相差一吋相當2.54公分蒸發量之差異約在5%至10%之間，視風速而定。故因皿中水深不定可引致相當大的誤差。

(2)需以人工除去雨水：蒸發皿之附近置有雨量計一架，每逢降雨，即根據雨量計中所得結果，自蒸發皿中挹出同等深度之水量。如降雨為10mm則須挹出皿水之體積應等於此一深度乘上蒸發皿之面積。此一步驟已引入不小之誤差。而在雨量特大之地區，皿水在暴雨時每易發生溢流，例如美國氣象局IA級蒸發皿下雨超過五十一公厘時往往即發生溢流，事實上，在皿中滿水發生溢流以前已有大量之皿水因雨滴滴打擊而溢出皿外，此時之蒸發量即無從估算矣。

(3)觀測誤差：各種蒸發皿皆藉鈎尺以觀測皿中水深與蒸發量，並設有靜水池以避免因水面波動而引起之誤差。如美國氣象局A級蒸發之靜水池為置於皿中而可移動者。美國植物工業局埋設蒸發皿則為固定而置於皿外者，唯在靜水池中水面往往因塵穢等物覆蓋而形成一片薄膜，表面張力甚大故以鈎尺觀測時往往易造成誤差。同時蒸發皿之觀測通常為每日一次至二次。如需要較長時期之蒸發量時，則需將各短期之蒸發量累加而得，此時誤差即隨之而累積，此種誤差累積之情形在觀測者同為一人時尤為嚴重。

定水位蒸發之設計目的即在矯正上述之缺點而增加蒸發量觀測之精確性，定水位蒸發皿之構造可分為蒸發皿本身、自動給水裝置、自動排水裝置等三部茲分述之如下：

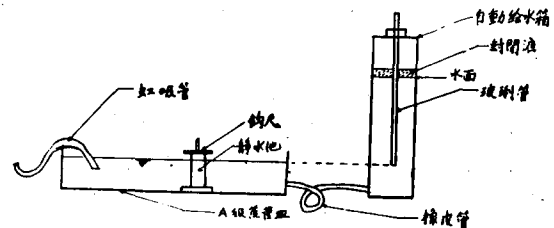
1. 蒸發皿本身：任何現有各種型式之蒸發皿，經裝備自動給水裝置及自動排水裝置後均可成為定水位蒸發皿，唯各型蒸發皿中，浮蒸發皿之位置較為不穩故裝設時較為困難耳。在本研究中，因A級皿之記錄較為普遍，優點較為顯著，故試驗時採用A級皿，唯如採用其他形式之蒸發皿亦不致影響試驗之結果也。

2. 自動給水裝置：自動給水裝置為一透明柱體之容器。容器之下端連佳一橡皮管，該橡皮管之另端與A級蒸發皿皿壁之下部相連。自動給水容器上端之中央有一大橡皮塞，一兩端開啓之玻璃管穿入此橡皮塞，玻璃管之下端與蒸發皿預定之水位相齊平，玻璃管之上端則仍有部分留於橡皮塞之外。自動給水容器

頂端之一側有一孔，以備加水至該容器時之用，不加水時該孔以一橡皮塞封閉之，所有橡皮塞與自動給水容器之銜接處、玻璃管與橡皮塞之銜接處均以石臘加以密封，務使不能漏氣。每當蒸發皿中水位因蒸發作用而降低時，自動給水容器內之水即自動經橡皮管而流入蒸發皿中，直至蒸發皿中水位恢復原來狀態為止。在水自自動給水容器流入蒸發皿中時，大氣中之空氣即自玻璃管之上端進入，再以前一個個之氣泡自玻璃管之下端上昇，此種氣泡直昇至自動給水容器之頂端為止。因此，自動給水容器之頂端空氣，其氣壓應等於周圍之大氣壓，而蒸發皿中之水深始終保持特定之水深，A以級蒸發皿而言，皿中之水深始終保持八吋而不使有任何之變化。

3. 自動排水裝置：降入蒸發皿之雨水如能以自動裝置排除之，可節省甚多之麻煩，又可增進觀測之精確度。蒸發皿自動排水之可能方法有二種，即溢流堰與自動虹吸管，溢流堰可採取置於皿中之圓形溢流堰，唯溢流堰排水之流量較小，排水量在皿中水面因風而起伏時將有顯著之增加，即使無降雨時皿水亦可能因風而排出，同時溢流堰置於蒸發皿之中間時對蒸發皿有較多之破壞，減少蒸發皿之有效面積，故自動排水之裝置實以自動虹吸管較為理想。因自動虹吸管可為獨立之裝置，排水時所利用之水頭較溢流堰時大得甚多，因此直徑相同時自動虹吸管之流量亦大得甚多，排水量亦不受風之影響，此一虹吸管事先即予充水，並作成特殊之形狀使管中永遠保持滿水，故每逢降雨，降入皿中之雨量瞬即因虹吸管之作用而排除。

整個定水位蒸發皿之構造如圖三所示



圖三 定水位蒸發皿之構造

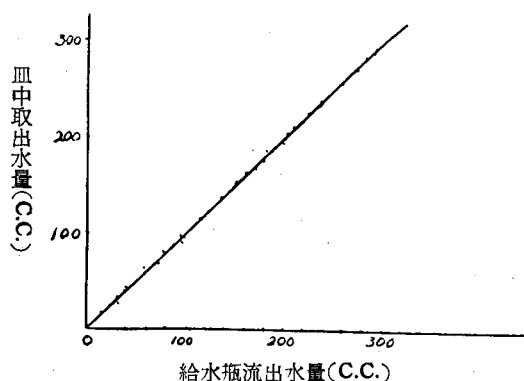
## 七、試驗之設備方法與經過

本試驗之步驟可分為：(1)自動給水部分之模型試驗，(2)自動給水部分之實體試驗，(3)自動排水虹吸管之試驗。茲分別說明其步驟及經過如下：

(1)自動給水部分之模型試驗：因自動給水部分之設計在實際上是否可行，在試驗之初並無十分把握，因此就此原理先作模型試驗利用一廣口之給水瓶，瓶

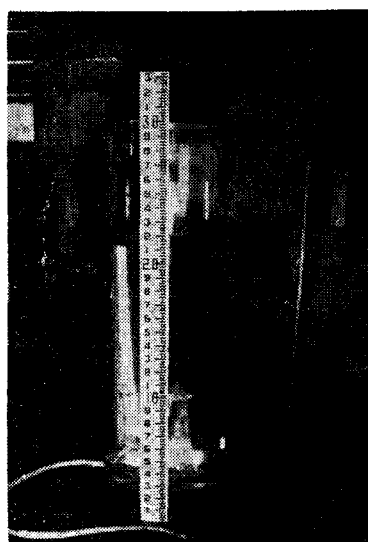
之上端用一大橡皮塞加以封閉一兩端開啓之玻璃管貫穿此橡皮塞而伸入瓶內，玻璃管之下端與皿中水位齊平，給水瓶之下端有一管狀開口，一橡皮管之一端緊密套於此管狀開口之上而將另一端置於一玻璃皿內。

試驗時，以一精密之量杯，在皿中取出水量若干，此時給水瓶中之水即自動自瓶中流入皿內，以補充皿中取出之水量，而空氣則自玻璃管之頂端進入瓶內，以氣泡狀態自玻璃管之下端昇至瓶之頂部，當氣泡之上升由密而疎，由疎而停止時，此時給水瓶中水之流出已告停止，而皿中水位已恢復原狀矣。給水瓶上繪有容量之刻度，以瓶中水流出之體積與從皿中取出水之體積相較，可知二者之體積是否相等，相差幾何以及自動給水之原理是否實際可行，經反覆試驗，並變更取出之水量，所得之結果如圖五所示。累積取出之水量與給水瓶中累積流出之水量成一四十五度之直線，由此可知自動給水之構想尚屬確實可行。



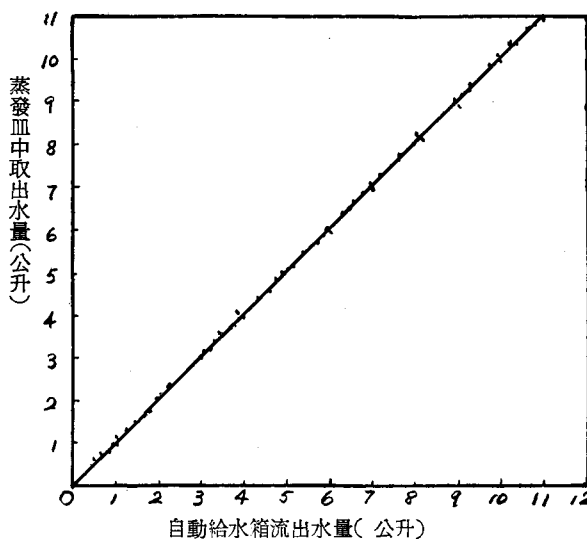
圖四 模型試驗之結果

(2)自動給水裝置之實體試驗：自動給水裝置之構想，既經模型試驗證明尚屬確實可行，因此即着手自動給水裝置之建造，第一次建造之自動給水箱為一方形者，二邊為玻璃，二邊為木製，唯因木材有吸水之作用，影響箱水體積，及箱中水位降低後，在水面以上木材所吸入之水分又往往因蒸發而形成蒸氣壓，故又重行設計一全由壓克力所建成之圓形給水箱其內直徑為28公分，淨高一公尺，此箱之斷面積恰為A級蒸發皿斷面積之 $\frac{1}{25}$ ，換言之，每當蒸發皿蒸發一公厘之水深時，給水箱之水面即下降二十五公厘，試驗時因求有較多之記錄故初步仍採用在皿中取水之方法而不採取實際蒸發之方法。此時之步驟與模型試驗時大致相同，所不同者，蒸發皿中有靜水池及鈎尺之設置可作為校核之用，在實驗時發現一問題即當此設備放置數天而晝夜溫度相差較鉅時則給水箱之上部往往仍有



圖五 自動給水箱

蒸氣壓之形成，在溫度降低時，給水箱之頂部往往有水汽凝成之小水滴，影響精確度甚大，因此在水面再加一層二公分至三公分厚之封閉液以阻止給水箱水面之蒸發，封閉液之選擇曾採取蓖麻油、白臘油 (Paraffin Oil) 及中國石油公司所產之機油加以試驗，結果以後者較為接近理想，試驗所得之結果與模型試驗相同即自動給水箱中流出之水量與皿中取出之水量成為直線之關係。



圖六 自動給水之實體試驗

(3)自動排水虹吸管之試驗：虹吸管自動排水試驗之部分係以各種形狀及各種不同直徑之虹吸管用以排除蒸發皿中超出特定水位部分之水量，試驗時以測定之水量注入蒸發皿，然後在虹吸管下收集排出之水量

，加以比較，觀察二者是否相等，同時亦觀察其靈敏度如何，即虹吸管在皿中水位增加若干時始起作用，在試驗過程中發現下列各點：

(一)虹吸管之靈敏度隨其直徑而異，管徑小者靈敏度較高。

(二)虹吸管之下端因受表面張力之影響，有阻滯虹管吸發動之作用。

(三)虹吸管排水端之邊緣須保持水平。

(四)虹吸管過細者因毛細管現象之作用有排水過多之弊。

(五)虹吸管排水端平鋪或包以一層尼龍紗可破壞表面張力而增進靈敏度。

(六)虹吸管之流量可以下式計算之：

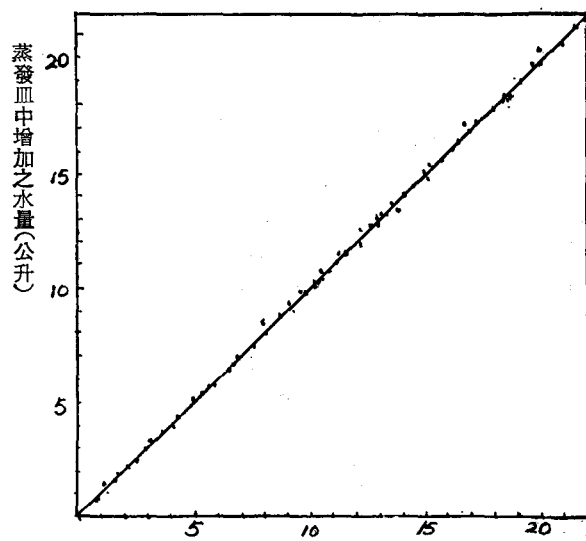
$$Q = A\sqrt{\frac{2gh}{1+k}}$$

中 A 為斷面積，g 為重力加速度

，h 為虹吸管之淨水頭，k 為因虹吸管之形狀及質地而異之損頭常數，在以虹吸管排除皿中多餘水量時，h 與 Q 均隨時間而減少，在排除降雨時則因雨量強度之變化而影響皿中水位，後者又影響虹吸管之流量，故其情形極為複雜。

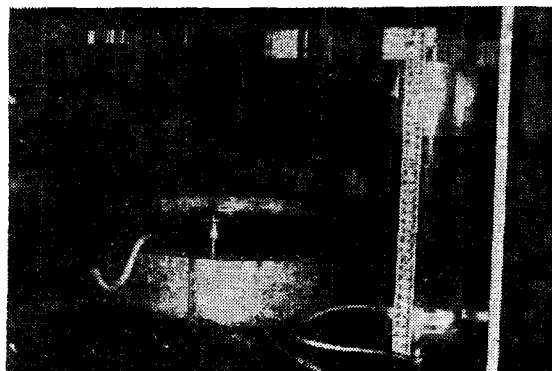
(七)一般而言，一直徑為一公分之玻璃管已足以排除最大之暴雨所注入皿中之水量，唯為防止意外並增加安全起見，可採用直徑一公分之虹吸管兩支。

(八)虹吸管排出之水量除水量極少時外與加入皿中之水量極為接近，可視為相等。



圖七 虹吸管自動排水試驗之結果

(九)試驗時之布置如圖八所示。



圖八 定水位蒸發皿試驗之實況

(十)虹吸管之靈敏度為 0.02 公厘，即在此微小之雨量時虹吸管即自動起排水之作用。

## 八、結論與檢討

綜合上列試驗之結果，確知定水位蒸發皿不但為實際可行之方法抑且較普通之蒸發皿有下列之優點：

(1)皿中水深保持恒定，因此可避免因皿中水量變化，熱容量隨之變化而引起蒸發量之變化致造成誤差。

(2)能直接觀察一較長時間之累積蒸發量，既可避免日日觀測之麻煩，又可避免觀差誤差之累積。

(3)自動補充皿中被蒸發之水量，省却時時加水之麻煩，以臺北而論蒸發旺盛之七、八二月普通蒸發皿每三日即須加水一次，定水位蒸發皿加水之間距視設計而定，一般至少亦在十日以上。同時任何時間均可加水而不致影響蒸發量。

(4)增加觀測之精度，在本研究所作之自動給水箱斷面積為 A 級蒸發皿之  $\frac{1}{25}$ ，即蒸發量為 1 公厘時，自動給水箱之水面降下二十五公厘，讀測較易亦較精確。

(5)降雨時降於皿中之雨量自動排除，既省以人工量除之麻煩，又可避免因此而產生之誤差。

(6)即使在極強之暴雨時皿水亦無溢出之虞，皿水濺出之可能性亦減至極低。

(7)造價不高，較普通蒸發皿雖多一給水箱與一虹吸管但可省去鈎尺與靜水池。

在試驗之過程中遭遇之困難亦不少，其中大部雖均已克服，但仍值得檢討。又本試驗因時間與經費之影響，所得初步結果雖證明定水位蒸發皿之優點甚多，但同時亦發現甚多值得研究改進之處及需要作進一步試驗之處，謹就所發現各點加以討論以供嗣後深入研究以改進定水位蒸發皿使臻於完善之參考。

(1)自動給水箱木製者之缺點，已如前述，現用壓克力因容器較大接縫較多每易發生漏氣，如發生漏氣則水流根據連通器之原理而大量流入蒸發皿。

(2)自動給水容器之上端空氣部分，每易產生蒸汽壓使水分侵入玻璃管之下端，阻止空氣之供應，此種情形尤以放置較久氣溫變化較大時更易發生。

(3)為阻止自動給水容器上端發生過大之蒸器壓器中水面之上另加一層封閉液 (Scaling Liquid) 以阻止水面之蒸發，使器中之氣壓與大氣中相同。此種封閉液須合乎下列之條件方為理想：

- (a) 較水為輕浮於水面。
- (b) 沸點高，(宜在 $500^{\circ}\text{C}$ 以上)。
- (c) 在常溫時蒸汽壓極低。
- (d) 不與水起化學作用。
- (e) 不附着於容器之表面。
- (f) 能輕易為玻璃管下端冒出之氣泡通過。
- (g) 經久而不致變質。

目前所用之機油僅屬勉強可用，因其與 (c) (e) (f) (g) 四項不能完全符合也。最近美國 3M 公司發展出一種輕水 (Light Water) 似為極理想之封閉液，應設法一試。

(4)自動排水虹吸管之形狀及布置，表面張力影響

之消除，尚可作進一步之研究與改善。

(5)自動給水容器之存在對蒸發量之影響如何？亦宜以試驗，作深入之研究。

(6)在暴雨時，虹吸管排水量與雨量強度，皿中水位之關係如何也值得研討。

(7)本研究之試驗因時間限制均係以人工取水加水之方式進行，應在室外實地作一長期之使用而與本研究之結果相比較。

(8)在室外試驗時應另設一普通之 A 級蒸發皿以作對照。

(9)對於自動給水箱之水位，應研究如何自動記錄，俾更臻完善。

(10)蒸發皿之蒸發皿常數為研究蒸發損失時最令人頭痛之問題，根據美國之研究，皿中近水面處加一每方格長寬各四分之一吋之鐵絲網，可提高蒸發皿常數至 0.98 如何將其再提高至 1，值得研究，此外皿外加以絕緣後之影響等亦值得研究。

## 九、感 謝 詞

本研究之得以實現係得國家長期科學委員會之助，試驗之設備及儀器由臺灣大學水工試驗所所供給，實驗工作方面甚多承水工試驗所陳長秀小姐之協助，謹此誌謝。

## 十、參 考 文 獻

1. Blaney, H. F. and Movin, K. V., "Evaporation and Consumptive Use of water empirical formulas" American Geophysical Union Transection, 1942.
2. Deacon, E. L., Priestley, C. H. B., and Swinbank, W. C., "Evaporation and the water balance". Review of Research on Arid Zone Climatology, Paris, UNESCO, 1958.
3. Griffiths, J. F., "Another evaporation formula". Agricultural Meteorology, May, 1966.
4. Hickman, H. C., "Evaporation experiments" Trans. Am. Soc. Civil Engrs. 1940.
5. Hickox, G. H., "Evaporation from a free water source." Trans. Am. Soc. Civil Engrs. 1946.
6. Rohwer, C. "Evaporation from different type pans." Trans. Am. Soc. Civil Engrs. 1934.
7. Scobey, F. C., "Standard equipment for evaporation stations." Trans. Am. Soc. Civil Engrs. 1934.
8. Priestley, C. H. B. "The limitation of temperature by evaporation in hot climates." Agricultural Meteorology. May, 1966.
9. Linsley, R. K., Kohler, MA. and J. L. H. Paulhus "Hydrology for engneers." 1958.
10. Young, A. A. "Some recent evaporation investigations." Transactron, American Geophysical Union. April, 1947.
11. Cummings, N. W., "Evaporation from water Surfaces: Status of Present Knowledge and need for further investigations." Trans. Am. Geophys. Union. 1935.
12. Kittredge, J., "Report of Committee on transpiration and evaporation, 1940-41." Trans. Am. Geophyo. Union, 1941.
13. Levine, G., "Methods of estimating evaporation." Trans. Am. Soc. Agr. Engrs. Vol. 2, 1959.
14. Chow, V. T., "Handbook of applied hydrology." 1966.



15. Davis, J. R. "Evaporation and evapotranspiration research in the United States and Other Countries." Am. Soc. Agr. Engrs., 1956.
16. Bouwer, R. I., "Integrating rainfall-evaporation recorder." Trans. Am. Soc. Agr. Engrs., May, 1959.

### **Summary**

The ordinary evaporation pans suffer from the following Shortcomings:

- (1) Errors introduced due to the variation of water depth in the pan.
- (2) Errors introduced due to remove rain-water from the pan.
- (3) Errors accumulated by adding daily evaporation for the cumulative evaporation of a longer period.

In order to overcome these shortcomings and to improve the accuracy of evaporation measurement. A Constant level evaporation pan was developed and tested by the author. It is found that by using an automatic water supply tank to reimburse the water lost in the evaporation pan due to evaporation and an automatic siphon to remove the increment of water due to precipitation, the level in a class-A evaporation pan can be maintained constant.

The advantages of such a pan were discussed to the full. and improvements for further research were suggested.