

# 傾斗式雨量計檢校技術研發與系統性誤差之修正

## A Preliminary Study on Developing Calibration Technologies for Tipping Bucket Rain Gauges and their Qualitative Correction for the Systematic Error Induced Thereby

謝黎惠<sup>1\*</sup> 簡振和<sup>1</sup> 劉格非<sup>1</sup> 馬家驊<sup>2</sup>  
國立台灣大學水工試驗所<sup>1</sup> 經濟部水利署水文技術組<sup>2</sup>

### 摘要

傾斗式雨量計 (Tipping Bucket Rain Gauge, TBRG) 顧名思義係以特別設計之計量傾斗來計量。隨著傾斗裝載雨水量之增加, 利用傾斗裝載標稱容量 (Nominal volume) 時, 對軸承產生足以翻傾的力矩而自動翻傾排水, 同時以另一側傾斗接替來承載雨量; 並藉由傾斗翻傾之動作觸發磁簧開關所發送之脈衝 (pulse) 訊號來計次。由於計量的原理及機械構件簡單、便於電信訊號輸出、耗電量少, 極適合長期、持續性雨量觀測, 並有利於雨量自動化觀測作業利用。因此, 傾斗式雨量計係目前國內外雨量觀測最主要及最廣泛採用儀器之一。但傾斗式雨量計之計量機制一直存在不可避免的系統性誤差 (systematic error), 亦即當傾斗裝載雨水至標稱容量並開始翻傾至另方傾斗接續之很短暫期間, 仍有額外的雨水持續注入。因此, 每一傾斗實際裝載超出標稱容量的雨水, 造成雨量計器示值低於實際降雨量 (或參考標準值); 而此項儀器系統性誤差會隨著降雨強度增大而加劇, 並且與計量傾斗之標稱容量 (即雨量計分辨率) 有關。分辨率小的雨量計雖然對雨量觀測較為敏銳, 但當雨強稍大, 雨量測值偏低情形會比分辨率大的雨量計更為嚴重。台灣近年因受到地球暖化、氣候變遷影響, 強降雨事件頻傳, 觀測雨量低估情形已逐漸對水利工作者在水文分析、水庫防洪操作、洪水預警機制之運作造成困擾。傾斗式雨量計雖然存在此項不可避免的系統性誤差, 但迄今仍係WMO指定、暫無可取代之常規性雨量觀測設備。因此, 有必要針對傾斗式雨量計雨量觀測值偏低現象加以修正。

本研究主要目的係研發一套傾斗式雨量計器差之校驗方法, 並進一步針對該受校雨量計因系統性誤差造成低估之器示值提出量化之修正方程式, 俾讓傾斗式雨量計之觀測雨量能更接近實際降雨量。首先, 針對國內使用最廣泛之傾斗式雨量計, 研發一套高效率之檢校技術, 以滿足雨量觀測需求 (特別針對強降雨事件), 同時據以建立雨量計校正標準作業程序, 並完成該校驗系統之不確定度分析。其次, 針對國內常見廠牌型號所蒐集到之傾斗式雨量計進行量測誤差分析, 探討並建議不同分辨率傾斗式雨量計最佳適用量測範圍。

關鍵字: 傾斗式雨量計、系統誤差、校正、不確定度

Keyword : Tipping Bucket Rain Gauge, Systematic error, Calibration, Uncertainty

## 一、前言

傾斗式雨量計 (Tipping Bucket Rain Gauge, TBRG) 係利用傾斗裝載標稱容量 (Nominal volume, 標稱容量 = 承雨面積 × 雨量計分辨率) 雨水後之重量以及重心位置偏移、對軸承產生足以翻傾的力矩而自動翻傾排水, 並以另一側傾斗接替來承載雨

量; 同時利用傾斗翻傾動作時觸發磁簧開關所發送脈衝 (pulse) 訊號來記錄傾斗翻傾的次數。由於計量的原理及機械構件簡單、便於訊號輸出、耗電量少, 極適合長期、持續性雨量觀測, 並有利自動化觀測作業利用。因此, 傾斗式雨量計係目前國內外最主要及最廣泛採用雨量觀測設備之一。

但傾斗式雨量計之計量機制一直存在不可避免的系統性誤差 (systematic error), 亦即當傾斗裝載雨水至標稱容量、並開始翻傾至另方傾斗接續之很

<sup>1</sup>國立台灣大學水工試驗所

<sup>2</sup>經濟部水利署水文技術組二科科長

\*通訊作者, E-mail: [grace.hsieh@hotmail.com](mailto:grace.hsieh@hotmail.com)

短暫期間，仍有額外的雨水持續注入。因此，每一傾斗實際裝載了超出標稱容量的雨水，但仍計量為一傾斗，造成雨量計之量測（器示）值低於實際降雨量；而儀器此項系統性誤差會隨著降雨強度之增大而加劇，並且與計量傾斗之標稱容量有關。分辨力小的雨量計雖然對雨量觀測較為敏銳，但當雨強增大，雨量測值偏低情形會比分辨力大的雨量計更為嚴重。傾斗式雨量計雖然存在此項系統性誤差，但迄今仍係世界氣象組織（WMO, World Meteorology Organization）指定，目前暫無可取代之雨量常規觀測設備。由於傾斗式雨量計此項系統性誤差是可預期的，因此WMO要求雨量觀測者應提醒雨量資料使用者（特別是水利工程師）注意並適時加以修正，以免造成嚴重後果。台灣因一般觀測雨量值已較全球各地降雨量高出許多，因此並未重視傾斗式雨量計造成雨量觀測值偏低問題。但近年來，台灣因受到地球暖化、氣候變遷影響，強降雨事件頻傳，觀測雨量低估情形已逐漸對水利工作者在水文分析、水庫防洪操作、洪水預警機制之運作造成困擾，因此，有必要針對傾斗式雨量計雨量觀測值偏低現象加以修正。本研究特別針對傾斗式雨量計研發一套量測其器差之校驗方法，然後針對該受校雨量計因系統性誤差所造成低估之器示值提出量化之修正方程式，俾讓傾斗式雨量計之觀測雨量能更接近實際降雨量。

## 二、傾斗式雨量計校正方法研發

### 2.1 校正方法

臺灣大學水工試驗所附設水文觀測儀器校正實驗室(以下簡稱本實驗室)為滿足國內水利單位對強降雨環境下雨量觀測準確度需求(特別是WMO對雨量計校驗最新的規範及要求)，將雨量計檢校技術本土化，研發高效能雨量計檢校技術。除通過TAF認證標準外(認證實驗室編號：2859)，並設法降低雨量計量測系統不確定度，提昇雨量計量測及校正實驗室水平。

本實驗室雨量計校驗程序採靜態方法(Statistic method)，該方法係在實驗室(環境條件可控制在指定範圍內)，利用供水設備以穩定之供水流率(以模擬特定雨強)，將純淨且水溫控制在特定溫度範圍(24 °C ± 4 °C)之水體持續導入雨量計承雨器內，以模擬承雨器捕集雨水狀況。為增加雨量計校驗的可追溯性及降低量測不確定度，本實驗室利用可以追溯準確性(每年送校TAF認證重量量測實驗室進行校正)、精度1/80000的電子天平直接量測期距內雨量計實際承受所有水體重量(如圖1所示，以壓克力盒蒐集全部經過雨量計的雨水、並透過電腦軟體讀取每1/10秒的電子天平數據)，經質量體積轉換後，

即可十分準確地計算出供水器之流率及模擬雨強(單位時間的供水量，TAF稱參考標準)。

另一方面，利用受校件包括：雨量計分辨力(resolution)、承雨器標稱面積，或計量傾斗之標稱容量(nominal volume)等計量機制構件，量測該計量傾斗(裝載雨水後)翻傾特定次數所需時間，即可計算得到該雨量計之器示雨強。比較兩強器示值與兩強參考值，求得該測試雨量計在不同雨強下的相對器差，用來校驗器示值之準確度。最後，利用雨量計在不同雨強之量測器差，透過回歸運算提出該雨量計系統性誤差之修正方程式，俾讓雨量計之觀測雨量更接近實際降雨量。

雨量計兩強器示值  $RI_m$ 、兩強參考標準值  $RI_{ref}$  之計算說明如下：

(一) 雨量計兩強器示值  $RI_m$  係去量測不同分辨力  $r_d$  [mm] 之計量傾斗翻傾定次數  $n$  所需時間  $t_*$  [s] 或  $t$  ( $t = t_*/3600$ ) [h]；

因此，兩強器示值

$$RI_m = n \cdot r_d / (t_*/3600) = n \cdot r_d / t \quad [\text{mm/h}]$$

(二) 兩強參考標準值  $RI_{ref}$  是量測期距  $t_*$  內，承雨器實際捕集水體之總質量  $M$  [g]，再經當時水溫之水體密度  $\rho_*$  [g/cm<sup>3</sup>] 或  $\rho$  ( $\rho = \rho_*/1000$ ) [g/mm<sup>3</sup>] 換算體積  $V$  [cm<sup>3</sup>] 後，再除以承雨器面積  $A$  [mm<sup>2</sup>]，即為該時距  $t$  累積之降雨深度  $d$  [mm]。因此，兩強參考值

$$RI_{ref} = \frac{d}{t} = \frac{\left(\frac{V}{A}\right) \times 1000}{(t_*/3600)}$$

$$= \left(\frac{M}{\rho_*} \times 1000\right) / (A \times t)$$

$$= (M/\rho \cdot A \cdot t) \quad [\text{mm/h}]$$

以下分析，時間、長度、面積單位分別採小時 [h]、毫米[mm]、平方毫米[mm<sup>2</sup>]：

(三) 兩強相對誤差  $RE$  [%]：雨量計兩強器示值  $RI_m$  減去兩強參考標準(模擬雨強)  $RI_{ref}$ ，再除以兩強參考標準值  $RI_{ref}$

$$RE = RI_m / RI_{ref} - 1$$

$$= [(n \cdot r_d / t) - (M/\rho \cdot A \cdot t)] / (M/\rho \cdot A \cdot t)$$

$$= (\rho \cdot n \cdot r_d \cdot A / M) - 1$$

$$= 0.25\pi \cdot \rho \cdot n \cdot r_d \cdot D_m^2 / M - 1$$

其中， $A = \frac{1}{4}\pi D_m^2$ ； $D_m$  為四次量測承雨筒平均直徑 [mm]。

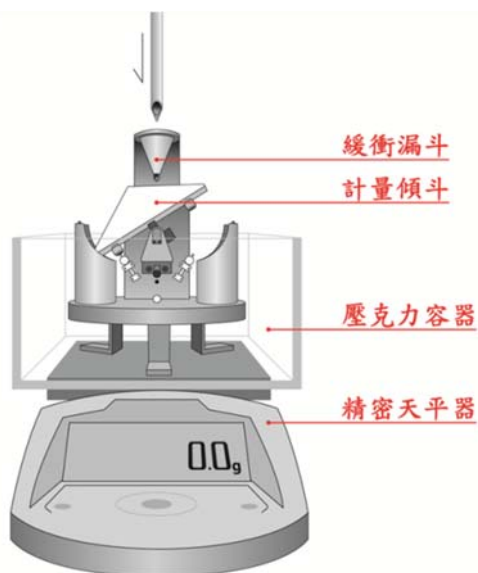


圖1 雨量計檢正布置示意圖

## 2.2 傾斗式雨量計校正程序

檢校作業流程如示意圖2所示，主要工作包括：

### (一) 校驗前準備項目

1. 檢校儀器、供水設備(含逆滲透淨水設備、UV殺菌恆溫水槽)、電腦讀取系統(含不斷電系統)及分析軟體確認正常運作。
2. 環境控制及監測設備，包括：
  - (1) 確認實驗室室溫(室溫)及水溫符合預設條件( $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ )；
  - (2) 相對濕度： $50\% \pm 30\%$ ；
  - (3) 監測並記錄大氣壓力。
3. 受校雨量計外觀檢查，包括：
  - (1) 檢查受校雨量計廠牌、型號是否與收件登錄資料一致？
  - (2) 雨量計外觀是否有受撞擊變形？
  - (3) 承雨器構件(例如濾網、固定螺絲)是否有脫落、缺漏或損壞？
  - (4) 並將外觀檢視情況記錄下來。
4. 受校雨量計承雨面積量測，包括：
  - (1) 量測4次直徑；
  - (2) 承雨器器差(雨量計捕集雨量之面積)是否在允差範圍內？

圖2 雨量計校正作業流程示意圖

### (二) 雨量計校驗程序

1. 雨量計穩定性檢查：以各組最大模擬雨強測試雨量計傾斗翻轉之穩定性(比較各傾斗時間偏異狀況)，並確認磁簧是否正確輸出訊號。由於本實驗室採靜態方法、以穩定流率供水，因此每傾斗時間理論上應差異不大。藉由每傾斗時間與全部傾斗平均時間偏異狀況，我們可初步判斷此雨量計是否穩定、正確計量。圖3顯示分辨力1.0mm雨量計於模擬雨強600mm/h下、進行三次試驗，每次翻轉80傾斗之每傾斗時間、與80傾斗平均傾斗時間差異占比，最大2.47%、最小-2.94%。此數據越接近0，表示雨量計翻傾機制越穩定。圖3同時顯示該雨量計在其它雨強下的翻傾表現之穩定狀況。
2. 依雨量計分辨力(傾斗大小：0.1、0.2、0.5、1.0 mm；或對應其他不同傾斗容量)，進行共7組強度之降雨模擬(參考表1，並由高雨強至小雨強依序進行各組降雨模擬試驗量測)；

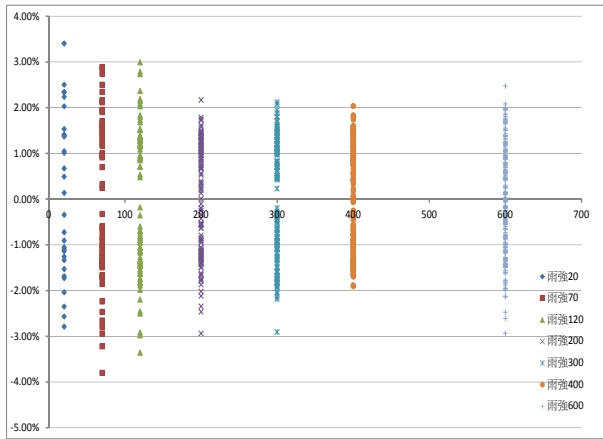


圖3 不同雨強每傾斗翻傾所需時間離散情形 (以各次時間與均值的偏差百分比表示)

3. 每組雨強之降雨模擬實驗，分別量測傾斗(翻傾)特定次數所需時間，用以計算並比較模擬雨強(參考標準)及實際量測雨強(器示值)。
4. 每組雨強皆進行3次量測。

表1 不同分辨率雨量計校驗採用雨強及量測傾斗翻傾次數之對照表

| 校驗組別<br>(依雨量分辨率分組) | 雨強<br>組別<br>(單位) | 對應不同模擬雨強及量測傾斗翻傾之次數 |    |    |     |     |     |     |     |
|--------------------|------------------|--------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    |                  | 1                  | 2  | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   |     |
| I                  | 0.1 mm           | mm/h               | 10 | 20 | 30  | 40  | 60  | 80  | 100 |
|                    | 次                | 10                 | 10 | 20 | 20  | 30  | 40  | 50  |     |
| II                 | 0.2 mm           | mm/h               | 10 | 20 | 40  | 60  | 80  | 100 | 120 |
|                    | 次                | 10                 | 10 | 20 | 20  | 20  | 25  | 40  |     |
| III                | 0.5 mm           | mm/h               | 20 | 50 | 80  | 120 | 150 | 200 | 300 |
|                    | 次                | 10                 | 15 | 20 | 30  | 30  | 40  | 50  |     |
| IV                 | 1.0 mm           | mm/h               | 20 | 70 | 120 | 200 | 300 | 400 | 600 |
|                    | 次                | 10                 | 20 | 30 | 40  | 50  | 60  | 80  |     |

表1雨強試驗範圍係根據台灣地區目前降雨狀況所訂。本實驗室目前檢校能力係可提供WMO所建議之雨強2,000mm/h(以集雨面積314cm<sup>2</sup>計算)時，檢校雨量計的表現。

### 2.3 校正成果

本實驗室之雨量計檢校能力係經TAF認證、並同步與氣象局進行能力試驗比對(針對100mm/h)後符合認可標準。以下針對竹田TK-1、分辨率1.0mm、儀器序號12377雨量計(2012.10製造之新品，該雨量計同時於2013年9月19日送氣象局檢校中心檢校合格)進行試驗結果，摘要本實驗室提供雨量計校驗報告書部分內容如下：

1. 受校雨量計在不同雨強下之觀測誤差，提供使用單位瞭解該雨量計在不同降雨強度下的器差狀況(如圖4所示)，做為後續繼續使用與否之判斷依據。其中，點虛線為中央氣象局訂明所允許±3%之公差；虛線所標示係為國際氣象組織WMO建議雨量計之器差要求應小於±5%。圖4顯示，該雨量計在200mm/h以下尚符合氣象法所規範的3%公差，在400mm/h以下也還可符合WMO要求的5%以內的器差(相對誤差)。

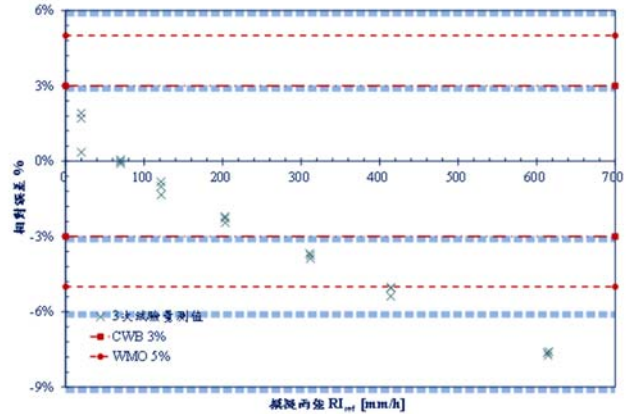


圖4 受校雨量計不同雨強之觀測誤差圖

傾斗式雨量計隨著雨強越大、其相對器差越大的原因由本實驗室所量測而得之表2 傾斗式雨量計於不同模擬雨強下之每傾斗容量，可看出隨著模擬雨強越大、每傾斗所量測到的重量換算得到的體積有逐漸增加的趨勢，亦即在傾斗翻轉的極短時間內，因持續有降雨注入，致使傾斗式雨量計反應的一傾斗量實際高於標稱容量，但仍紀錄為一傾斗，因此造成降雨讀值低估的狀況。此狀況在各種不同分辨率之傾斗式雨量計皆然，而且隨著雨強越大、低估狀況越嚴重。

表2 竹田傾斗式雨量計在不同模擬雨強下每傾斗翻傾時實際裝載之雨水量

| 模擬雨強 (mm/h) | 每傾斗翻傾平均時間 | 每傾斗平均容量  | 每傾斗容量相對誤差 |
|-------------|-----------|----------|-----------|
| 20          | 178.22sec | 30.99mL  | 1.32%     |
| 70          | 51.50 sec | 31.41 mL | -0.02%    |
| 120         | 29.93 sec | 31.74 mL | -1.06%    |
| 200         | 18.15 sec | 32.14 mL | -2.31%    |
| 300         | 12.01 sec | 32.63 mL | -3.77%    |
| 400         | 9.16 sec  | 33.11 mL | -5.16%    |
| 600         | 6.34 sec  | 34.00 mL | -7.65%    |

註：承雨器口徑 20cm，分辨率1.0mm，傾斗標稱容量31.4mL

2. 提供受校雨量計在不同模擬雨強下器示值（受儀器系統性誤差影響）之偏差狀況；圖5顯示傾斗式雨量計的相對誤差會隨著雨強變大而加劇。由於雨強器示值與雨強參考值間存在一對一的對應關係，因此本實驗室透過雨強器示值與參考雨強（實際降雨強度）之比較，求出器示雨強與參考雨強之關係方程式。以分辨力1.0mm的雨量計而言，其關係方程式呈現線性關係( $y = ax + b$ )，但由於實驗室針對WMO規範常用分辨力0.1、0.2、0.5及1.0mm雨量計之試驗結果，顯示分辨力較小的雨量計，其器示值與參考值關係方程式以二次多項式迴歸可以得到較高的相關係數，因此本實驗室統一以二次多項式表示各分辨力雨量計器示雨強與參考雨強的關係。圖5所列方程式  $y = -0.0001x^2 + 1.0003x + 0.4032$  即為竹田TK-1 1.0mm傾斗式雨量計器示雨強與參考雨強的關係方程式，其中x代表參考雨強、y代表雨量計器示雨強。

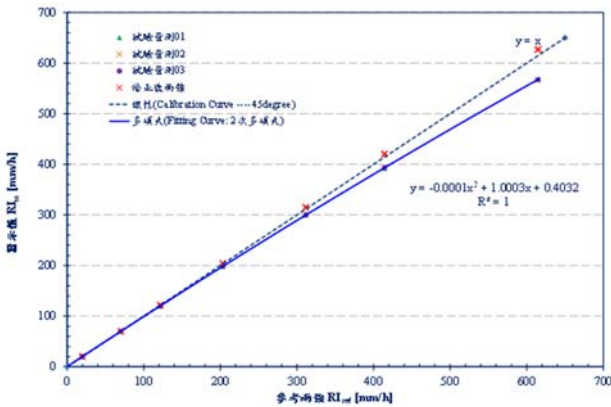


圖5 雨量計器示值 $RI_m$ 量測偏差情形與參考標準 $RI_{ref}$ 關係圖

3. 提供受校雨量計雨強修正方程式：既然器示雨強與參考雨強間有二次多項式的函數關係，因此，我們推測當一傾斗式雨量計觀測得到一個器示雨強時，也可以透過這個函數關係推算出較接近真值的實際降雨強度。

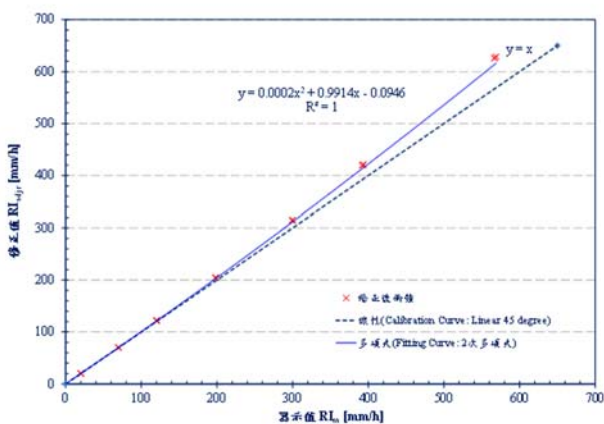


圖6 竹田TK-1 1.0mm雨量計修正雨強與器示雨強的關係方程式

圖6即竹田TK-1 1.0mm雨量計修正雨強與器示雨強的關係方程式  $y = 0.0002x^2 + 0.9914x - 0.0946$ ，其中x為雨量計器示雨強、y為修正後雨強。本實驗室對每個雨量計進行量測試驗後，提供該雨量計可以量化之專屬雨量修正方程式，俾讓雨量計之觀測雨量可以透過本方程推算出更接近實際降雨量。圖5中45°虛線為器示值 = 參考值之理想狀況；紅色X點即為利用該雨量計修正方程式修正後之降雨量，圖5顯示修正雨強紅點在各雨強均更有效貼近參考值（真值）。

表3即竹田TK-1雨量計之實驗數據，可以看出原本竹田雨量計在第5組（約300mm/h時）以後之試驗，有3%以上的相對誤差，但經過修正方程式  $y = 0.0002x^2 + 0.9914x - 0.0946$  修正後，其在20至600mm/h雨強下之相對誤差均可降低到2%。

表3 竹田TK-1傾斗式雨量計檢測數據

| 測試組別 | 器示雨強 (mm/h) | 參考雨強 (mm/h) | 相對器差          | 修正後雨強 (mm/h) | 修正後相對器差      |
|------|-------------|-------------|---------------|--------------|--------------|
| 1    | 20.20       | 19.94       | 1.32%         | 20.01        | 0.37%        |
| 2    | 69.91       | 69.92       | -0.02%        | 70.19        | 0.39%        |
| 3    | 120.29      | 121.58      | -1.06%        | 122.05       | 0.39%        |
| 4    | 198.38      | 203.08      | -2.31%        | 204.45       | 0.67%        |
| 5    | 299.75      | 311.49      | <b>-3.77%</b> | 315.04       | <b>1.14%</b> |
| 6    | 392.95      | 414.31      | <b>-5.16%</b> | 420.36       | <b>1.46%</b> |
| 7    | 567.64      | 614.69      | <b>-7.65%</b> | 627.11       | <b>2.02%</b> |

### 三、傾斗式雨量計器差分析

#### 1. 不同分辨力不同品牌雨量計誤差分析

傾斗式雨量計一般依觀測目的需求不同，提供0.1、0.2、0.5及1.0mm等不同分辨力的雨量計。分辨力 (resolution) 係指雨量計用來計量之最小單位，並且係以WMO指定單位mm來作呈現。因此，分辨力與該雨量計用來計量傾斗之標稱容量 (Nominal Volume) 有關；雨量計之分辨力愈小 (其用來計量傾斗之容量愈小)，對於降雨觀測亦愈靈敏 (目前以分辨力0.1mm的雨量計對降雨觀測之反應最為靈敏)。但因傾斗容量小，量測器差也相對較大。以日本竹田系列直徑20cm承雨器為例，分辨力1.0mm之雨量計一個傾斗容量約僅31.4mL；若以美國Young承雨器面積200cm<sup>2</sup>、分辨力0.1mm之雨量計為例，一個傾斗容量則僅2 mL。隨著降雨強度增加後，因計量傾斗容量小，傾斗翻傾的速度亦有其極限，因此當雨量稍大些，傾斗會有翻傾不及，甚至上方之集水緩衝之漏斗亦可能出現溢流現象，其系統性誤差也相對較大，容易造成雨量被嚴重低估情形。反之，分辨力大 (例如1.0mm) 的雨量計，雖然對降雨的反應較遲緩 (傾斗容量約31.4mL，

必須累計1.0mm降雨深度才能記錄到降雨量)；如果在降雨量稀少地區，雨量測值容易受構件沾濕及蒸發散作用影響而造成低估，但在降雨強度變大時卻反而可以維持正常機制(亦即在允許誤差範圍內運作)，因此適合在較大雨強時利用。基本上，不同分辨力的雨量計應各有其適用觀測雨強範圍。

本研究共蒐集4種不同分辨力雨量計(雨量計廠牌型號及規格摘要如表4所示)，利用實驗室所建置雨量計校正程序，分別量測10至600mm/h模擬雨強各雨量計之器差，所得到的相對器差狀況如圖8所示，其中虛線為45度線，代表器示雨強 = 參考雨強；點線為WMO規範的5%的誤差範圍。

表4 參與不同分辨力測試之4個雨量計

| 廠牌         | 型號      | 分辨力    | 集雨面積                |
|------------|---------|--------|---------------------|
| Young (美國) | 52202   | 0.1 mm | 200 cm <sup>2</sup> |
| Texas (美國) | TR-525i | 0.2 mm | 200 cm <sup>2</sup> |
| 竹田 (日本)    | TK-1    | 0.5 mm | 314 cm <sup>2</sup> |
| 竹田 (日本)    | TK-1    | 1.0 mm | 314 cm <sup>2</sup> |

圖8顯示分辨力較大的雨量計在0至600mm/h下相對呈現較線性化的誤差，相對誤差也還在可接受的範圍；但分辨力較小的雨量計則隨著雨強變大呈現非線性化的誤差。以本次試驗Young 0.1mm雨量計為例，進行600mm/h組之試驗時，其低估狀況高達30%以上。因此，建議使用者應依據自身需求選擇適合的傾斗式雨量計，以便取得更適當、更精確的數據做為後續應用。

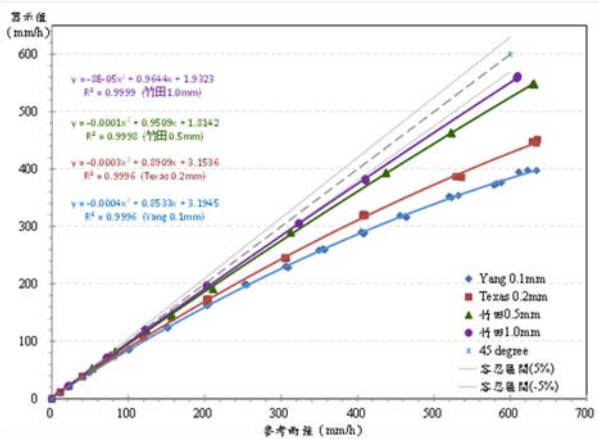


圖8 不同分辨力雨量計在不同模擬雨強(10至600mm/h)器差分布情形

若檢視0至200mm/h雨強，可以發現分辨力小的雨量計，在較小雨強尚可反應實際降雨(在5%相對誤差範圍內)，隨著雨強越大其相對誤差越大，並呈現非線性的誤差量。數據顯示(圖9)，分辨力0.1mm的雨量計在雨強大於50mm/h後，雨量計量測值已超

過WMO規範之5%誤差；分辨力0.2mm的雨量計在雨強大於80mm/h之後，雨量計量測值超過WMO規範之5%誤差，證實分辨力小的雨量計不適合量測大降雨狀況、有嚴重低估的現象。

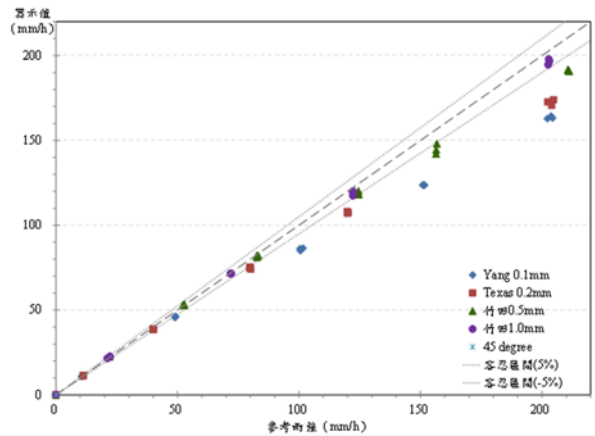


圖9 各不同雨強不同分辨力雨量計量測偏差

## 2. 相同分辨力不同品牌雨量計誤差分析

圖10及圖11針對1.0mm及0.5mm兩種分辨力的雨量計、台灣地區常用之各品牌雨量計進行分析。兩圖顯示分辨力0.5mm雨量計校驗到600mm/h雨強，平均約有13%的誤差；分辨力1.0mm雨量計校驗到600mm/h雨強，平均約有9%的誤差，兩者在差異不太而且呈線性，顯示分辨力0.5mm與分辨力1.0mm之雨量計在台灣地區降雨雨強範圍0至600mm/h都是很好的選擇。

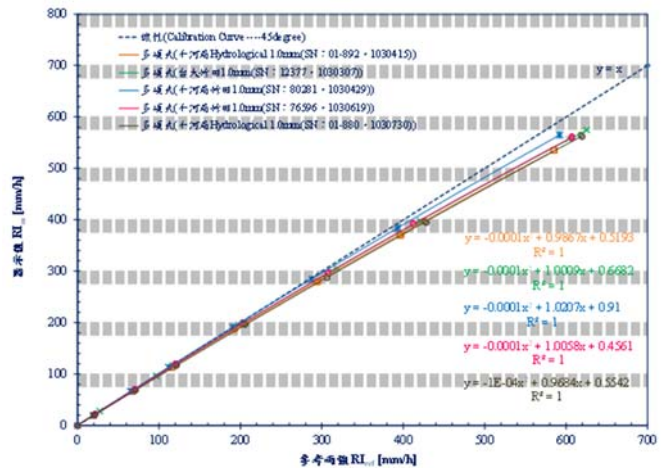


圖10 不同廠牌分辨力1.0mm雨量計在各模擬雨強(10至600mm/h)下器差分布比較

氣象局以提供一般大眾氣象資訊為目標(降雨就要量測到)選用分辨力0.5mm雨量計、水利署以防災為考量選用分辨力1.0mm雨量計為主，透過本實驗室實際試驗數據看來，均為最佳選擇。不過，需要特別提醒的是，由於本實驗室取得進行試驗的雨量計

並非全為新品，本分析不代表雨量計越接近真值（45 度直線）的品牌較佳。

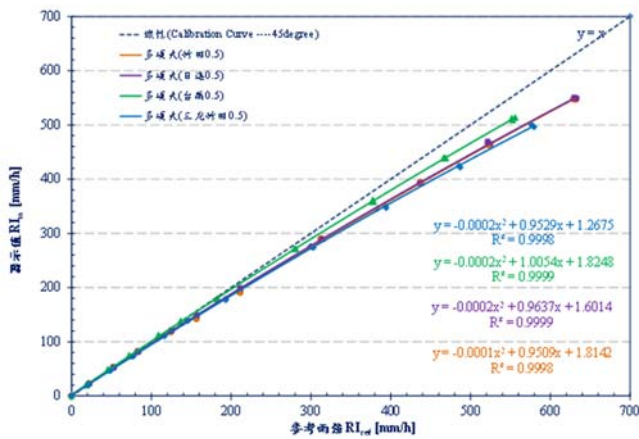


圖11 不同廠牌0.5mm分辨力雨量計在各模擬雨強（10至600mm/h）下器差分布比較

#### 四、結論

本研究為持續提昇傾斗式雨量計校正量能，增加校驗的可追溯性及降低量測不確定度，今年度重新檢討蠕動馬達的效能後，修改蠕動馬達在校正系統中擔任角色；改以電子天平直接量測承雨器實際承受水量，再利用質量體積轉換（由單位時間重量增率）來計算參考雨強（模擬雨強）。校正時祇需分別量測量傾斗翻傾特定次數所需時間，即可獲得雨強器示值，並且可將校正系統不確定度控制在理想或需求範圍內。

藉由本實驗室經TAF認證核可的參考標準雨強，我們可以量測不同分辨力之傾斗雨量計在不同降雨強度下的相對器差，透過量化的數據更進一步瞭解傾斗式雨量計的運作狀況。同時建置雨量計校正標準作業程序，除提供受校驗傾斗雨量計之器差外，並可針對傾斗雨量計之系統性誤差提供量化之修正值，俾讓傾斗雨量計之觀測雨量能更接近實際降雨量。本文除希望雨量計採購單位可以了解不同分辨力雨量計有其最佳量測雨強範圍、以利採購應用外；更期待雨量資料的使用者可以清楚瞭解傾斗式雨量計提供的數據，存在著隨著雨強增強、而有越來越大的相對器差，俾其在資料運用的同時能有效注意、做出更正確的判斷。未來如更進一步實驗室能確實針對每一部雨量計進行檢校、並提供各個雨量計修正方程式，則可以在各部雨量計量測輸出每十分鐘雨強(器示值)之際，加入傾斗式雨量計本身的系統性誤差，換算更接近實際降雨的雨強；透過累積每個十分鐘

修正雨強之降雨量，讓傾斗式雨量計的觀測之時雨量數據能更有效接近實際降雨量。

#### 誌謝

本文感謝水利署水文技術組張廣智前組長對水文儀器檢校的支持，特別是其對雨量計檢校必要性的獨到見解，強調雨量計檢校要能滿足水利單位對強降雨雨量觀測準確度的需求。臺灣大學大氣系林博雄教授提供WMO關於雨量計校正與量測比對的最新資訊。中央氣象局氣象儀器檢校中心王世堅主任、葉瑞元技正及臧靖宇、陳明欽兩位先生提供關於雨量計檢校實務上之諸多寶貴經驗。特別感謝工研院量測中心工研院量測中心何宜霖研究員，同時也是TAF評審員，耐心提供雨量計校正技術相關之協助外，讓我們學到如何將專業上的認知，實際應用於校正測試領域；並且如何藉由校正作業及校正結果品質管制作業等文件化的程序書等，來提昇維持校正實驗室運作的水準。讓臺大水文儀器（雨量計）校正實驗室得以順利通過認證，特在此一併致上謝意。

#### 參考文獻

- 1.台灣省水利局（1982），「水文觀測實務講義」，台灣省水利局。
- 2.財團法人工業技術研究院能源與資源研究所（2000），「水文觀測站網儀器檢校管理之建立」，經濟部水資源局。
- 3.財團法人工業技術研究院（2004、2005），「流速儀檢校實驗室試運轉與認證輔導（1/2）（2/2）」，經濟部水利署。
- 4.水利部國際合作與科技司（2002），水利技術標準匯編—水文卷—水文測驗，中國水利水電出版社。
- 5.周維果(2011)，台灣汽車監理管理制度介紹，財團法人車輛安全審驗中心。
- 6.經濟部水利署（2013），地面水文觀測手冊，經濟部水利署。
- 7.全國認證基金會，觀測儀器校正認證服務計畫 TAF-CNLA-A11(2)。
8. Servruk, B., Zahlavova, L., (1994), Classification System of Precipitation Gauge Site Exposure : Evaluation and Application, International J. CLIMATOLOGY, Vol. 14, 681-689.
9. WMO (1986), Guide to meteorological instruments and methods of observation.
10. WMO (1998), Solid Precipitation Measurement Inter-comparison, final report, Instrument and observing methods, Report No. 67, WMD/TD No. 872.

11. WMO (2001), Final Report of the Expert Meeting on Rainfall Intensity Measurements, Bratislava, Slovakia, 23–25 April 2001.
12. WMO (2005), Joint CIMO Expert Team on Surface-Based Instrument Intercomparison and Calibration Methods and IOC on Surface-Based Instrument Intercomparison, Geneva, 5–9 December 2005.
13. WMO (2006), WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges, Final Report, Instruments and observation Method.
14. WMO (2006), Abridged final report with resolutions and recommendations, WMO-No. 1019, ISBN 92-63-11019-0, Commission for Instruments and Methods of Observation, Fourteenth session, Geneva, 7–14 December, 2006.
15. WMO (2008), Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO Pub. No. 8 Seventh Edition. WMO, Geneva 978-92-63-10008-5.
16. WMO (2009), WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges, Instruments and observation Methods, Report No. 99.