

降雨觀測技術改善需求探討(2)一 傾斗式雨量計校準需求及允收標準擬定之探討

A Study on Measurement errors form Tipping Bucket Rain Gauge with Syphon and its Calibration Procedure

謝黎惠^{1*} 簡振和¹ 陳明仁¹
Li-Hui Hsyeh Chen-ho Chien Min-jen Chen

水工試驗所 水文量測技術研發暨服務中心 雨量計校正實驗室¹
國立台灣大學

摘 要

傾斗式雨量計 (TBRG) 係國內外使用最廣泛, 亦是國內目前最主要的降雨觀測儀器。由於降雨觀測量之原理簡單, 目前市面上有多種廠牌規格雨量計; 而各廠牌雨量計因自身計量結構設計不盡相同、材質亦不同, 各種雨量計量測的準確度及適用觀測雨強範圍亦不同(觀測雨強範圍及量測所能達到的精確度並非盡如雨量計製造商在規格說明書所標示), 因此即使新的雨量計仍有必要進行校驗。此外, 雨量計由於長期暴露在日曬風吹雨淋自然環境中, 量測器差可能隨著使用年限增加、雨量計維護保養狀況而變化。雨量計除應定期清潔維護保養外, 亦應定期(依校驗週期)送校驗(並進行校準)才能讓雨量計維持在最佳運轉狀況並確保雨量資料品質。

傳統之雨量計校驗係採用定量瓶(Buret)滴定法, 亦即以一可追溯容量(體積)標準之滴定瓶, 以不同流率(換算成約10、50、100或120mm/h等模擬降雨強度), 將定量瓶內純淨水體注入受校雨量計。比較定量瓶水量(參考標準)與雨量計器示值, 即可分別校驗出雨量計在各校驗雨強(流率)之相對器差, 並訂出公差 $\pm 3\%$ 做為受校件“合格”與否之判定基準(倘量測值之相對誤差值超出 $\pm 3\%$ 容許範圍, 就必須調整、維修、或汰換)。但雨量計校驗之“允收標準”恐非僅“相對器差”一項。近年, 藉助於更有效率校驗方法及程序研發, 除可進一步掌握受校雨量計更多資訊, 同時累積近幾年(台大雨量計校正實驗室)500多件受校件校驗成果, 本研究試圖藉依據傾斗式雨量計器差隨雨強變化之趨勢線, 提出雨量計校驗時應增列考量之項目, 俾從新訂定允收標準及進行“合格判定”之依據。

關鍵字：傾斗式雨量計，系統性誤差，校驗與校準，允收標準，合格判定基準

Keyword : Tipping Bucket Rain Gauge, Systematic Error, Calibration and Adjust, Acceptance Level, Acceptance Criterion

一、前言

臺灣特有強降雨特性及脆弱地質環境, 是天然災害頻繁發生最主要肇因; 而雨量資料係政府在防災應變、水資源利用等重要決策上最主要之依據。其中, 傾斗式雨量計 (Tipping Bucket Rain Gauge, TBRG) 因計量原理及構件簡單、耐用、耗電量少, 訊號輸出簡便並有利於自動化作業, 極適合野外長期、持續性之降雨觀測。因此, 傾斗式雨量計係目前國內最主要的地面點雨量觀測儀。但傾斗式雨量計不僅存在顯著的系統性誤差 (Systematic Error), 量測器差會隨降雨強度增加而變化, 常造成在強降雨情況下觀測雨量嚴重低估的困擾。事實上, 傾斗式除前述儀器的系統性

誤差外, 雨量計需要定期維護保養與校準(校驗及調整), 才能維持儀器準確度、確保雨量觀測資料品質。雨量計由於長期處在日晒風吹雨淋環境, 尚未能適時的維護、保養並進行校準, 即使仍然可以量測到雨量, 但資料可能不是正確的, 不正確的雨量資料恐造成防災作業上的盲點。

二、TBRG計量原理與誤差特性

降雨是自然界大氣循環重要元素之一, 降雨觀測係以一標準口徑(200mm)承雨器捕集雨水, 將雨水集中後, 經集雨漏斗、緩衝漏斗導入計量組件的斗杯。斗杯承載標稱容量(一定質量)雨水後造成斗杯自動翻傾, 由質量(g)或體積(mL)來測量降雨量。以

儀器分辨力1.0mm、承雨口徑(200mm)雨量計為例，轉換為斗杯承載標稱容量(Nominal Volume) 31.4mL雨水，亦即質量約為31.4g，斗杯即翻傾1次，觸動磁簧開關(reed switch)輸出一個脈衝(puls)訊號，累計觀測時間內的訊號 n ，即可得觀測期間內的降雨量($n \times 1\text{mm}$)；降雨強度(RI, Rainfall Intensity)則係單位時間內的降雨量，例如一般常見用有分鐘。TBRG常見(0.1、0.2、0.5、1.0mm)分辨力及承雨口徑(160、200、300mm)對應斗杯翻傾之容量轉換如表 1 所示。

表 1 常見各種分辨力雨量計斗杯標稱容量

承雨器口徑/面積		雨量計分辨力				
d(mm)	A (cm ²)	0.1mm	0.2mm	0.254mm	0.5mm	1.0mm
159.6	200.00	2.0mL	4.0mL	5.0mL	---	---
200.0	314.16	3.1mL	6.3mL	8.0mL	15.7mL	31.4mL
225.7	400.00	---	8.0mL	---	---	---
282.8	628.13	6.3mL	---	---	---	---
300.0	706.86	---	---	---	35.3mL	---

TBRG感測器量測雨量是一個動態過程，當計量斗杯承載達預定質量 w ，並啟動翻傾動作時，雨水可能仍不停地注入已翻傾中的斗杯，其增加量為 $\delta \Delta w$ 。隨著降雨強度 i 增加，增量 $\delta \Delta w$ 亦隨之增大。此是TBRG計量機制無可避免的系統性誤差。此結果造成雨量器示值在大雨偏小、在小雨偏大問題(以量測值與參考標準作比較)。

假設 W 為TBRG斗杯每次傾覆動作實際翻倒水量， w 為啟動斗杯翻傾所需水量(斗杯標稱容量)。 $\delta \Delta w$ 為斗杯傾覆過程中持續注入的水量； w_r 為在一般狀況下斗杯翻傾後殘留之餘水量，則

$$W = w + \Delta w - w_r$$

為分析降雨強度對TBRG量測器差影響，暫忽略斗杯殘留水量 w_r ，則

$$W = w + \Delta w$$

假設 i 為降雨強度， $\delta \Delta t$ 為在斗杯翻傾程中雨水持續注入的時間，則 $\Delta w = i \times \delta \Delta t$ 。以國內水利單位使用最多一分辨力1.0mm、承雨口徑(200mm)雨量計為例，上式中， $w = w_{1.0} = 31.4\text{mL}$ (換算雨水重量約為31.4g)。但 $W = w$ 祇有在極度理想狀況下，量測誤差 Δw 才可能等於 0 ($\Delta w = 0$ ，亦謂降雨強度 $i = 0$)。當雨強 $i > 0$ ，雨強 i 愈大斗杯實際承載水量 W 亦愈多，亦即量測雨量(器示值)會比實際降雨量小，量測誤差亦愈大。TBRG器差隨雨強變化趨勢如圖 1 所示。事實上，每一部雨量計之器差不僅與承受雨強有關，亦與該雨量計分辨力大小有密切關聯性(另補充不同分辨力雨量計器差隨雨變化趨勢線圖)。分辨力0.1mm的雨量計對降雨的反應雖然較靈敏，但當雨強稍大(例如超過40mm/h)，量測誤差便可能超出公差(容許誤差)；分辨力較大(0.5mm、1.0mm)的雨量計，雖然在小雨強時無法立即反應實際降雨情況，但當雨強稍大(100mm/h)時，器差仍可維持在公差範圍內。一般雨量計當雨強稍大些，就同樣雨強而言，分辨愈小的雨

量計(標稱容量相對較小)，量測誤差愈大。各分辨力雨量計各有其最適合觀測之雨強範圍；沒有一種雨量計可以大雨、小雨通用；因此，建議使用者應視自身降雨觀測業務的需求與目的選用雨量計分辨力。

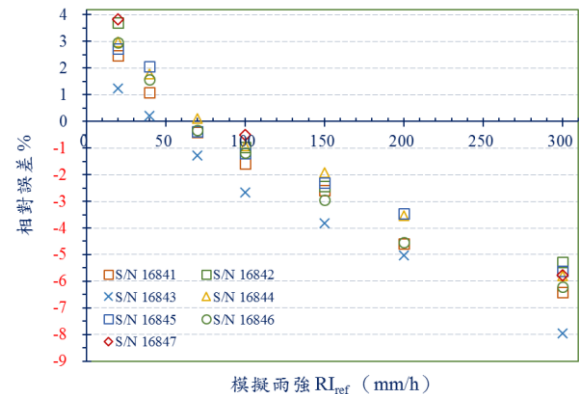


圖 1 TBRG器差隨雨強變化趨勢

相對器差愈大。量測誤差一般係以相對誤差(Relative Error, RE)方式來表示，

$$RE(\%) = (RI_m - RI_{ref}) / RI_{ref} \times 100\%$$

其中， RI_m 及 RI_{ref} 分別為雨強之器示值及參考值。

$$RE(\%) = \Delta w \text{ 隨雨強而有變化 } (\Delta w)$$

三、雨量計校驗(校準)需求

傾斗式雨量計(TBRG)由於計量機制存在系統性誤差，而且量測對象一降雨量在時間及空間非均勻分布特性，因此無法像其他量測儀器一樣可以明確提供一個精確、準確之測值(與其他量測儀器比較)，但仍可以給予一個合理量值。由於其便利性目前係全世界使用最廣泛，亦是國內目前最主要的地面點降雨觀測儀。因此WMO對雨量觀測儀器之容許誤差(公差)，包括承雨筒器口徑(雨量捕集面積)、器口高度、顯露度...等都作了規範。惟雨量計器差是否符合要求，除非透過校驗手段，否則實在無法發現雨量計的問題，因為雨量計祇要還能對降雨有回應、斗杯還能動(計量傾斗可以自由翻傾、磁簧開關沒有壞掉)總是量測到雨量(或有輸出值)，但這些器示值並不代表就是實際降雨量。如果這雨量資料有誤，不僅無法達到降雨觀測預期的需求或目的，甚至可能造成困擾。

由於傾斗式雨量計(TBRG)之使用年限一般都在5年以上；而隨著使用年限增加，儀器構件可能出現老化現象，雨量計之「器差(量測誤差)」可能隨時發生變化。因此，雨量計除應定期校驗外，並應進行調準動作，俾可將雨量計器差維持在公差(容許誤差)範圍內。

雨量計"校準"(校驗及調準)之「校驗週期」之訂定，基本上與該儀器量測誤差風險之承受度有關，除考量該儀器性能條件外，還應包括使用單位對儀器維護保養頻率、儀器所處環境條件及對觀測資料準確度需求...等因素來制訂。但各業務單位並不瞭解「校驗週期」意義，而主管機關所訂之校驗週期其實最低標

準的基本要求，臺大（水文儀器量測技術研發暨服務中心）基於協助水利單位提昇降雨觀測資料品質初表考量（同時考量台灣特殊水文環境條件及降雨觀測需求），根據累積近600件傾斗雨量計校驗經驗，建議雨量計「校驗週期」如下：

1. 全新傾斗雨量計之校驗週期：3年；
2. 使用年限未滿 4年（已使用或第2次送校）雨量計之校驗週期：2年；
3. 其餘使用年限滿 4年雨量計之校驗週期：1年。

國內降雨觀測單位依氣象法規，除應依校驗週期定期將雨量計送校外；由於雨量計之校驗週期一般至少1~3年，雨量計因置於田野、長期暴露於日晒風吹雨淋大自然環境中，其間雨量計仍可能因故無法正常運作情況。為解決校驗週期有效期間內，臺大另研發雨量計田野校驗儀具FCD（Field Calibration Device）及現地查核程序。

四、雨量計量測誤差與校驗結果表示

早期的雨量計校驗一般係採定量瓶（Buret）滴定法，該法以一容量預經校驗之滴定瓶，將容器內純淨水注入受校雨量計，比較滴定瓶水量（「參考標準」）與雨量計之器示值，即可校驗出該受校雨量計之器差。如果誤差值超出誤差容許範圍（或「允收標準」），就必須調整或維修。此校驗方法係利用定量瓶（校驗標準器）換算出校驗歷程中之平均流率（參考雨強）。由於校驗期間玻璃容器內水位會隨時間下降，故校驗兩強事實上會稍有變化（並非完全一致），故稱為「動態校驗法」（dynamim method）。此校驗法之缺點是必需將定量瓶內水量全部滴完，因此校驗時間稍長，而且校驗至最後，計量傾斗內可能仍留存殘餘（未滿1傾斗）水量必需另以人工讀值方式處理，增加人為操作的不確定度。

近年，配合數位式步進馬達（peristaltic pump）、科氏力流量計等定流率控制設備之發展，WMO先進國家之雨量計校驗皆已改採用較新式的“靜態校驗法”（statistic method）。所謂“靜態校驗法”係將穩定供水流率水量直接導入承雨器內，以模擬雨量計承受特定雨強（參考標準）情況。臺大校正實驗室研發之校驗方法係藉用定水頭供水裝置、或步進馬達等供水設備，並利用精密電子天平直接量測雨量計測器實承受水量，只需利用精密天平量測足夠樣本數斗杯承載水重（器示雨強），比較供水流率（參考雨強），即可校驗出受校雨量計之器差（如圖 3）。由於臺大校正實驗室研發之校驗方法比傳統校驗方法更具效率，除可掌握雨量計器差隨雨強變化之趨勢外，同時亦可掌握受校雨量計，包括左、右方傾斗承載量、量測值離散度、器差修正…等諸多重要資訊，不僅對受校雨量計“校準”、對校驗“合格”判定（受校件是否符合“允收標準”、或是否仍然“勤用”），皆有很大的幫助。

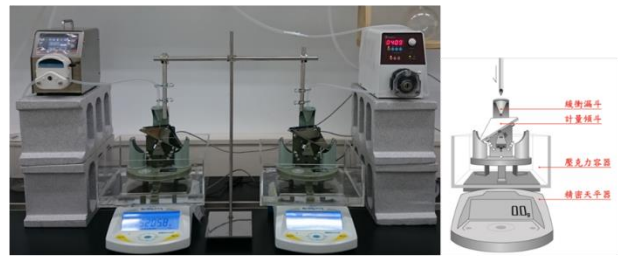


圖 2 雨量計靜態校驗法示圖

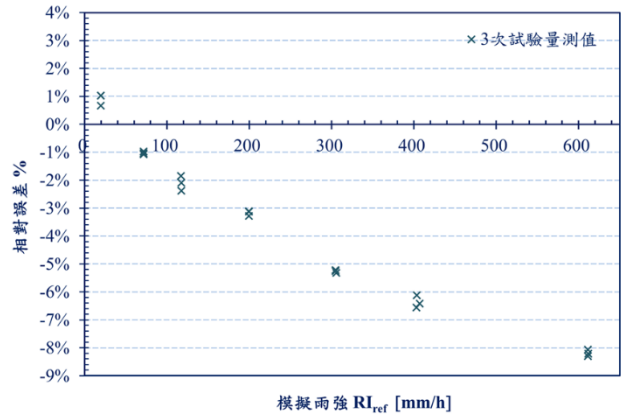


圖 3 受校雨量計不同雨強量測誤差圖

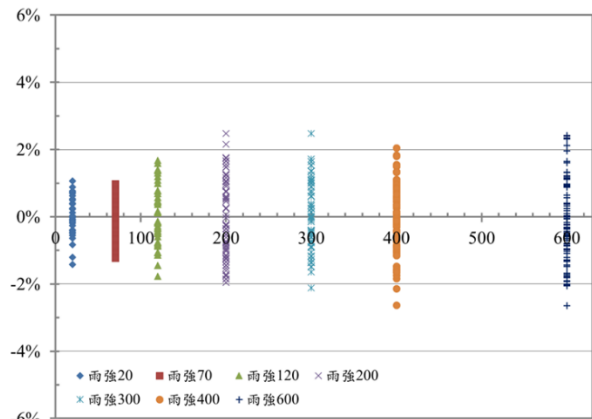


圖 4 計量傾斗在各雨強每次翻傾水量離散情形

六、雨量計校驗允收標準

七、合格判定準則之建議

八、結論與建議

本研究以台大TAF認證雨量計校正實驗室（2859）2016年實際校驗11具裝置有虹吸調節器傾斗雨量計之經驗，除比較分析其計量器差特性外，提出一套不同的校驗程序及規範以因應，俾滿足雨量計一般校驗及校準需求。同時，建立台大雨量計校正實驗室校驗此類雨量計之標準作業程序。收件時會先將具虹吸調節

功能傾斗式雨量計視為特殊規格件處理，亦即先針對被校件（w/o syphon）之計量誤差進行校驗，再針對裝置虹吸調節器（with syphon）後之器差進行校驗。

該被校件如果有需要進行調整（校準），會先移除受校件之虹吸調節器（然後參考該虹吸調節器實際作用範圍後）再進行校準。調整完成後，另再進行一次置回虹吸調節器後的校驗（作為查核），並清楚說明有或無虹吸調節器之器差狀況，俾提供後續使用上判斷依據。本文針對此類（具虹吸式調節）雨量計器差特性發展之校驗程序，仍有待累積更多校驗實例經驗累積、盼請更多有識之專家學者提供意見，俾作後續修正，滿足雨量計校驗之需求及目的。

致謝

本文感謝氣象局儀校中心臧靖宇、陳明欽兩位好友鼓勵，將雨量計校正實驗室一些技術性、看似枝微細節但卻重要的觀察，寫成論文與大家分享交流。同時，儀校中心常提供諸多在雨量計校驗方面之寶貴經驗與協助，衷心感謝。

參考文獻

1. 簡振和、謝黎惠、陳明仁 (2016)，「降雨觀測技術之先期研究」，MOEAWRA1050362，經濟部水利署計畫，2016年12月。

2. 謝黎惠等 (2015)，雨量計檢校一傾斗式雨量計器差分析及探討摘要，104年天氣分析與預報研討會，交通部中央氣象局，2015年9月16-18日。
2. Servruk, B., Klemm, S., (1989), Catalogue of National Standard Precipitation Gauges, Instruments and Observation Methods. Report No. 39, 1989.
3. Servruk, B., Zaslavova, L., (1994), Classification System of Precipitation Gauge Syte Exposure: Evaluation and Application, International J. CLIMATOLOGY, Vol. 14, 681-689 (1994)
4. WMO (2006), WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges, Final Report, Instruments and observation Method.
5. WMO (2006), Abridged final report with resolutions and recommendations, WMO-No. 1019, ISBN 92-63-11019-0, Commissyon for Instruments and Methods of Observation, Fourteenth sessyon, Geneva, 7-14 December 2006.
6. WMO (2008), Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO Pub. No. 8 Seventh Edition. WMO, Geneva 978-92-63-10008-5.