

具雨量修正補償傾斗式雨量計之校驗及其特性分析

The Calibration and Characteristic Analysis of Tipping-bucket Rain Gauge with Rainfall Correction

謝黎惠 林軍廷 簡振和
國立臺灣大學水工試驗所

摘要

傾斗式雨量計 (TBRG) 是目前全球最廣泛使用的雨量觀測設備，近年來在校正領域發展下、TBRG的誤差特性越來越被週知；同時在面對多元 (光學式、壓力式...) 新型的降雨觀測儀器威脅下，陸續發展各項軟、硬體的設計以提升其量測之準確度。TBRG存在明顯系統性誤差，此計量誤差主要源自於傾斗裝滿標稱容量雨水後，在翻傾同時因雨水仍持續注入，而造成量測值低估現象；而此系統性誤差往往隨著雨強變大而加劇，造成強降雨之雨量觀測值常有嚴重低估情形。為減少TBRG系統誤差對量測值的影響，根據其器差隨著降雨強度而變化之情況，儀器製造商在承雨筒集水漏斗下方加置一虹吸 (syphon) 導水裝置，藉由調節承雨筒輸水至計量傾斗之流率，緩和量測誤差隨雨強變化之困擾。另外，根據TBRG系統性誤差特性而以修正公式直接對量測值進行補償的軟硬體，也陸續由各雨量計製造商導入。此類裝置硬體調節修正或軟體補償的雨量計之計量方式有其特殊性，其計量器差校驗方法亦必需另有所因應。國立臺灣大學雨量計校正實驗室 (TAF 3487) 陸續收到各種針對TBRG進行量測修正的雨量計受校件，這些TBRG或者透過虹吸裝置調節進入量測斗杯的導水流速來修正儀器誤差；或者透過即時 (修正程式安置於雨量計上) 或非即時 (修正程式安裝於雨量資料系統上) 來進行補償。本文依據本實驗室校正數據，分享具雨量修正補償功用TBRG之校驗經驗，初步探討其原理及特性，比較各種修正補償方式之優劣，俾使用單位在儀器維護，以及校驗單位在儀器調校 (校驗、校準) 時參考。

關鍵字：傾斗式雨量計 (TBRG, Tipping Bucket Rain Gauge)、系統性誤差 (Systematic Error)、修正 (Correction)、補償 (Compensation)、校正 (Calibration)、校驗

一、前言

傾斗式雨量計 (TBRG, 圖1) 因耗電量低、耐高溫高濕、低故障率等特性，成為全球最廣泛使用的雨量觀測設備。但雨量計長期暴露在日曬風吹雨淋自然環境中，極易因環境因素 (周遭環境遮蔽效應、落葉、落塵、蟲蟻)、構件老化 (軸承磨損、承雨器傾斜、銹蝕、磁簧開關無法正常感應導致訊號輸出異常) ……等因素影響，造成觀測雨量值失真現象。因此，雨量計除應定期進行維護保養外，亦應定期 (依校驗週期) 送校正實驗室 (氣象局儀校中心或經國家認證體系認證實驗室) 校驗、校準，才能讓雨量計維持在最佳狀態、並確保雨量觀測值準確度。

TBRG存在明顯的系統性誤差，而此系統誤差所造成之量測誤差會隨著雨強之加劇而增加 (謝等, 2015)，近年來在校正領域發展下、TBRG的誤差特

性越來越被大眾所週知。TBRG係利用重力原理，當計量傾斗裝載標稱容量 (Nominal volume) 雨水後，

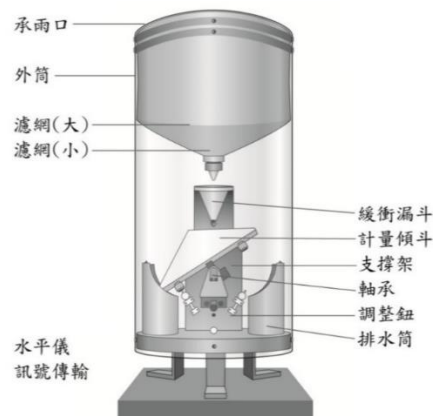


圖 1 傾斗式雨量計各部份構件介紹

藉由本身重量所產生的力矩翻傾自動排水，並以另側斗杯接替來盛裝雨量。但在原傾斗開始翻傾及至另方傾斗完全接替之很短暫期間，因為雨水仍持續注入原翻傾中的傾斗，致使每一傾斗實際裝載了超出標稱容量的雨水，此為傾斗式雨量計計量機制的系統性誤差。此誤差造成雨量觀測值被低估，而當雨強越大時，被低估的量更多。

為緩和量測誤差隨雨強變化之困擾，有些雨量計製造商會就原計量傾斗設計進行改善，至少包括：(1)將左右雙傾斗改為快速倒水的單傾斗Tipping spoon（如圖 2）以減少換盛水杯時間所造成的量測誤差（倒水時間小於 300 ms；代表廠牌/型號：PRONAMIN / Rain-O-Matic, Denmark）；(2)在承雨筒（集水漏斗）下方加置虹吸（syphon）導水裝置，來調節承雨筒傳輸雨水至計量傾斗之流率，經調節流率大致相當，因此可減少量測誤差隨降雨強度而變化之困擾。國內常見包括自澳洲水文（Hydro Service）及RIMCO（Campbell Scientific）等國際知名雨量計製造大廠（代表型號：Model TB300、TB3及RIM83050）。



圖 2 Tipping spoon (PRONAMIN, Rain-O-Matic)

此外，由於傾斗式雨量計器差隨雨強變化趨勢十分明顯，除國外學者利用程式來修正系統性誤差外，歐美亦有不少儀器製造商開始利用內建軟體程式來修正傾斗式雨量計的系統性誤差。事實上，臺大雨量計校正實驗室自2014年起所提供雨量計校正報告，除器差外，亦另針對器差隨雨強變化趨勢，提供雨量計器示值修正公式，俾使用者可自行修正量測值，讓該觀測雨量值可以更接近實際降雨量。此項創新作為，由於考量降雨資料連續性（歷史資料統計分析）、一致性（是否所有測站皆作修正）以及在實務操作上的困難度（如何修正、修正公式有效性可持續多久），因此除曾在一些特定降雨事件的少數測站作分析探討外，並未能大量進行實際應用及可行性評估，殊為可惜。

近年由於數位化及自動化技術日漸成熟，不僅有國外研究學者，儀器製造商開始利用軟硬體來修正系統性誤差，亦有儀器代理商開始將是類具雨量補償機制、可修正系統性誤差之傾斗式雨量計引進國內，介紹及推廣使用。本實驗室依據目前校正數據，針對裝置有雨量計修正功能之雨量計，進行系統性的探討：包括修正原理及特性、原雨量計器差、加裝補償器後的效果，

俾雨量計使用單位在儀器在採購、使用維護，以及校驗單位在儀器調校時之參考。

二、具量測修正TBRC器差之校驗

本節說明針對裝置有雨量計修正功能TBRC之校驗程序，包含具虹吸調節器及裝置雨量補償器（Rain Gauge Compensator）雨量計，校驗方法及相關作業程序說明如下：

1.校驗方法¹：

本文採用靜態方法（Statistic method），此法係以供水設備將穩定流率之水體直接導入承雨器內，模擬雨量計承受特定雨強之降雨情境。藉由量測承雨器實際受水重量以及雨量器計量傾斗（裝載標稱容量雨水）翻傾持續特定次數所需時間；前者可換算為體積流率即為參考雨強，而後者則為器示雨強。此校驗方法因過程易依雨量計特性（例如分辨力、承雨器面積……）及校驗需求變化調整，不僅可大幅提昇校驗精確度及工作效率，且因過程可記錄每傾斗實際裝載水量及翻傾時間，對於受校件後續校準（調整）及計量構件品質、運作機制之掌握亦有很大的助益。

校正環境	室溫：24 °C ± 4 °C 相對濕度：50 % ± 30 %
校正方法	自訂雨量計校正作業程序書（I-QP-TRG）
校正設備	捕集型（Catch type）雨量計校驗設備
工作標準件	精密電子天平（量測追溯單位：TAF 1199）
最小不確定度	0.4%

2.校驗雨強範圍：20~600 mm/h；

雨量計校驗雨強範圍，基本上應依受校件分辨力來決定²。依據臺大「雨量計校正作業程序書」，分辨力0.5mm雨量計原校驗雨強範圍20~300mm/h，但由於客戶要求將校驗之最大雨強提高至600mm/h，因此本次校驗雨強範圍：20~600 mm/h。

3.校正作業程序：

依據校正作業程序書，分別在前述校驗雨強範圍（20~600 mm/h）內表訂 7 個雨強進行校驗；每個雨強需進行 3 次重複性量測來計算其平均器差。校驗雨強由小而大分別為：20mm/h、60mm/h、120mm/h、200mm/h、300mm/h、420mm/h及600mm/h。

4.擴充不確定度：

本文依據 TAF 認可實驗室校正系統評估作業要求，參考 ISO GUM 程序方法，(1)先計算各影響因

¹ 本文所採雨量計校驗方法係依 ISO/IEC 17025 測試與校正實驗室能力一般要求（TAF-CNLA-R01(3)）建立，請另詳臺大雨量計校正實驗室「雨量計校正作業程序書（I-QP-TRG (3.1)）」（TAF 認可編號 3487）。

² 亦即應依該雨量計適用觀測對象雨強來決定校驗雨強；小分辨力（0.1、0.2mm）雨量計適用於觀測小雨，觀測高強度降雨則應選用分辨力較大（0.5、1.0mm）的雨量計。

子之標準不確定度 (Uncertainty)，再計算組合標準不確定度 $u_c(RE)$ ；(2) 進一步計算自由度，再由 Student-t 分布表，取信賴水準95%，查得涵蓋因子 $k = 1.99$ ；(3) 擴充不確定度 $U = k \cdot u_c(RE)$ 。

5. 特殊目的校驗 (修正補償)：

校正實驗室將此類裝置有雨量量測修正功能之雨量計視為特殊規格件處理，亦即先針對被校件移除 (w/o, without) 修正功能之計量誤差部份進行校驗，其後再針對裝置雨量量測修正功能 (w, with) 後進行校驗器差。

三、含虹吸調節器之TBRG

本實驗室含有虹吸調節裝置的受校雨量計共53件，顯示國內有相當數量之具虹吸調節器傾斗式雨量計。具虹吸調節器傾斗式雨量計及虹吸導水裝置如圖 3 所示。其原理系利用虹吸調節器將不同雨強降雨等化為單一雨強導入計量斗杯，所以不受TBRG原設計特性 (儀器器差隨雨強越大低估越多)，進而將器差控制在一誤差範圍中。



虹吸調節器



圖 3 國內常見具虹吸調節器傾斗式雨量計

依簡等 (2016)，由於虹吸調節器可以定常流率，以澳洲水文TB300系列為例，虹吸調節器全長僅約 50mm，其中，導水管內徑 $\phi = 3.14\text{mm}$ ，內外套管間之

間隙僅 2~3 mm，藉由爬昇約 7~8 mm 的壓力差來形成連通虹吸作用，可將承雨筒的雨水以約 120~150mm/h 之雨強導流至計量斗杯；因傳輸動量不隨降雨強度之不同而有太大之變化，計量斗杯翻傾速度一致，因此不論雨強大小、導流至斗杯後額外盛裝的水量相當，因而可以有效減少TBRG量測誤差隨雨強變化之系統性誤差。圖 4 為 RIMCO / RIM83050+2 / 0.5mm / 706cm² / SN: 88446 雨量計 w 及 w/o 虹吸調節器在不同校驗雨強下之量測器差，圖中顯示小雨強時雨量計的高估的誤差被虹吸調節器下移緩和；較大雨強時雨量計低估的誤差也被上移緩和。

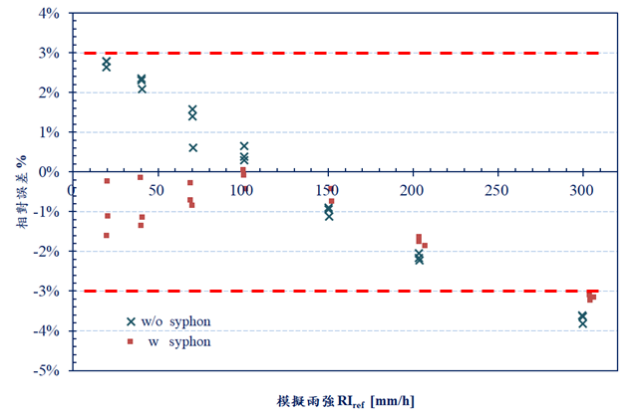


圖 4 具虹吸調節器雨量計在各不同校驗雨強量測之相對誤差變化

不過，全新和使用一段時間後的虹吸調節器會有不同的表現。調節器輸水的行為變異度大 (針對同一雨強降水而言，輸水及停水時間間隔不一)，因此也改變計量傾斗受水的時間 (圖5)；因此可能扭曲實際降雨歷線分布圖 (特別是較小雨強及較小時間尺度上的探討)，並且放大每次量測結果之變異度 (再現性變差，如圖4)。當校驗雨強在120~150 mm/h 範圍時，因雨水流徑形成連通管，虹吸失去作用；當校驗雨強到達 200~225 mm/h 左右時，現有尺度虹吸管因排水不及，雨量會開始在承雨筒內往上累積至平衡高度，藉由位能之增加而提昇輸水流率、同時緩和原低估之誤差 (不同雨強承雨筒內累積雨量有不同的平衡高度)。

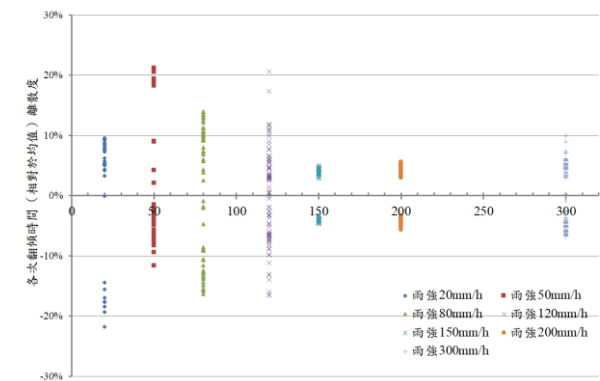


圖 5 具虹吸調節TBRG每傾斗翻傾時間離散情形

實驗室團隊同時發現有22件雨量計原具有調節功能之虹吸調節器已被移除，主要是由於現場落塵、落葉、甚至鳥糞經日晒雨淋及經年累月堆積後，不僅容易堵塞、清理不易，甚至可能造成堵塞量測不到降雨。雖然，儀器製造商在設計上已儘量讓拆卸更方便，但的確增加清潔維護的困難度（此可能係有些使用單位直接將虹吸作用的調節器直接移除的主要原因）。但是，這類雨量計出廠時為滿足國內雨量計允收標準（公差）及虹吸調節作用結果，製造商一般將具虹吸調節器之TBRG斗杯實際計量，調整低於標稱容量，因此維護廠商在不清楚計量原理下，倘冒然將虹吸導水裝置自傾斗式雨量計移除，將造成觀測雨量（器示值）高估之情況。

四、具雨量補償之TBRG

臺大雨量計校正實驗室（TAF認證編號：3487）日前接受委託送校件（MicroStep-MIS / MR2-05v / 0.5mm / 200cm² / SN：2225）為研究對象，除針對該具雨量補償器（RGC，Rain Gauge Compensator）校件之量測誤差進行校驗外，並針對包括所謂補償機制原理及其運作特性等進行分析（該雨量計一般規格如下圖6所示）。

MR2/MR2H Technical data

Dimensions	265 x 178.5 mm
Aperture diameter	159.6 mm
Aperture	200 cm ²
Sensitivity	0.2 mm 0.1 mm optional 0.5 mm optional
Voltage for heating (MR2H only)	40 to 46 V AC
Performance of heating elements (MR2H only)	48 to 57 W
Operating temperature	MR2 MR2H 0 °C to +60 °C -30 °C to +60 °C
Enclosure	IP55

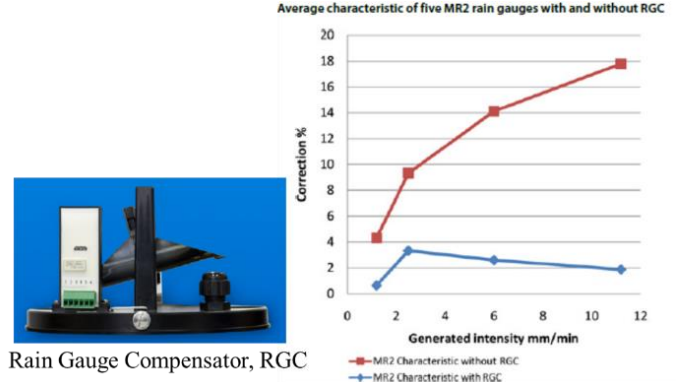


MicroStep-MIS / MR2

圖 6 受校雨量計（MicroStep-MIS /MR2）規格

此型雨量計雨量補償原理係將器差（相對誤差%）以一兩強的函數來描述；因此倘能預知（在實驗室預先校驗）其誤差特性函數（characteristic error function），即可將此誤差特性函數程式化後，內建在一個極小化（約10*4*1cm）的電子裝置—雨量補償器（RGC）的記憶體內。此電子裝置RGC可即時感應傾斗翻倒遞送的訊號，並計算出需要修正的脈衝數給資料記錄器（data logger）。RGC可相容於所有機械傳遞（mechanical relay）輸出的資料記錄器，很容易在原雨量筒內找到空間來裝置體積極小的 RGC，因此適用於各型式的傳統傾斗雨量計（但對於特別型態的雨量計，可能還是有需要去更改 RGC 的設計）。此外，由於 RGC 需要維持電力（5~35 V），因此也需要額外的配線或加裝電池來供電（RGC閒置空載的耗電率 0.9 μA @ 12 V）。圖7係 RGC裝置在基座的情形（左上），圖右則是使用RGC 雨量量測誤差（%）改善情形；

下方表則是廠商宣稱該受校雨量計（Meteo Service/ MR2, Slovak made）在各兩強的準確度。



Accuracy at rainfall intensity*

to 20 mm/h	under 1 % of measured value
to 60 mm/h	under 2 % of measured value
to 200 mm/h	under 10 % of measured value
to 500 mm/h MR2HC only **	under 2 % of measured value

* Above mentioned accuracy is valid for liquid precipitation only.

** This option is possible when calibration curve of error versus precipitation is applied.

圖 7 廠商宣稱使用RGC雨量量測誤差改善情形

校驗數據顯示，RGC 在 20 及 60 mm/h³ 兩強校驗下，依本實驗室標準程序所蒐集的樣本傾斗數，並未見計量補償額外訊號；自 100mm/h 兩強後陸續在累積固定傾斗翻傾數會增加額外雨訊提供計量補償，並有效縮小儀器誤差。表1 為不同校驗兩強下，RGC 累積誤差至增加一額外訊號（1斗）的累積翻傾斗數。表2 為SN：2225 RGC在7種不同校驗兩強下 w/o RGC 及 w RGC之器差表現，補償後之器差可提昇其誤差至 ± 1%範圍內。圖8顯示，使用RGC（或是廠商所稱提供雨量補償）後，可有效縮小儀器的系統性誤差。

儘管RGC在實驗室校驗中因為採集充分的樣本數，而有效改善其量測器差，但在現實降雨環境中，因為降雨並非固定兩強，降雨延時也不可預測，因此量測數值是否達到累積100%誤差值（1斗）、而能確實達到補償，過程中存在諸多可能。目前還僅是實驗室內的量測比較，缺少田野量測比對結果，建議後續進行現地實際降雨事件同步量測，俾針對傾斗式雨量計系統誤差之影響規模進行評估、並採取進一步作為。

表 1 RGC雨量補償送出額外脈衝時機與效果

校驗兩強 RI (mm/h)	每次翻傾平均相隔時間 (sec/tip)	RGC每次雨量補償		預期 誤差 (%)	補償後 誤差 (%)
		翻傾次數 (n)	經歷時間 (sec)		
19	93.4	--	--	--	-0.5
60	30.6	98	3,116	-1.0	-1.8
122	15.2	34	518	-2.9	0.4
203	9.3	22	202	-4.5	-0.4
307	6.3	15	95	-6.7	0.1
425	4.6	12	55	-8.3	-0.2
614	3.2	8.4	27	-11.9	0.8

³ 後續在額外的校驗數據中，發現兩強 60mm/h 該部 RGC 雨量計在每 98~99 次翻傾後，增加額外輸出訊號。

表 2 器差校驗結果

組別	參考雨強 RI _{ref} (mm/h)	器示雨強 RI _m (mm/h)	器差RE (%)		擴充不確定度 (%)
			w/oRGC	wRGC	
1	19.34	19.26	-0.5	-0.5	0.4
2	59.83	58.77	-1.8	-1.8	0.4
3	121.69	118.21	-2.9	0.4	0.5
4	202.79	192.99	-4.9	-0.4	0.5
5	306.76	287.59	-6.3	0.1	0.5
6	425.33	392.17	-7.8	-0.2	0.7
7	614.12	553.98	-9.8	0.8	0.7

備註
 1.校驗雨強：20 to 600 mm/h (依客戶要求提高，如上表參考雨強)，最大校驗雨強：617.46 mm/h。
 2.器差RE(%)=(RI_m-RI_{ref})/RI_{ref}×100%，其中，RI_{ref}及RI_m分別為雨強之參考值及器示值；

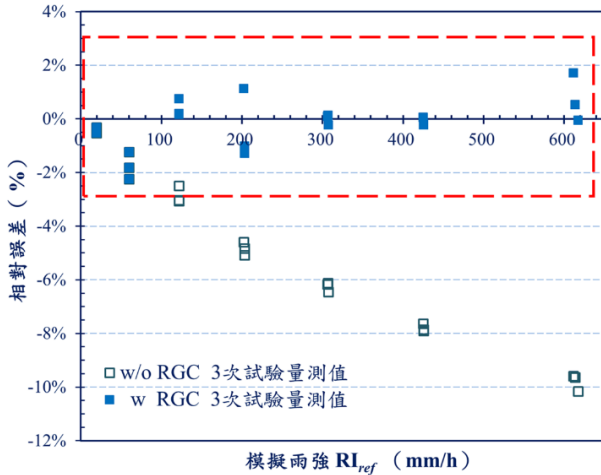


圖 8 受校件使用/不使用補償器量測器差比較

RGC雖然相容於現有機械傳遞 (mechanical relay) 輸出的TBRG，但目前補償通常在傾斗翻傾後一秒內自動加入，很容易被現有電腦偵錯系統誤認為是重複訊號 (假雨訊) 而予以刪除 (重複訊號是磁簧開關常見的現象；特別是經久使用已老化的磁簧開關，常出現遺漏或重複訊號現象)。

另外，量測誤差易受儀器清潔、維護狀況、使用磨耗、老化影響，雨量計之誤差特性函數之適用性 (包括補償公式及適用時程) 亦須根據該部雨量計之器差特性 (加強校驗以確保雨量補償有效性及觀測雨量精準度) 及儀器穩定性進行追蹤及更新，方能有效進行補償。圖9為TBRG每傾斗承載水量的離散情形，當雨量計每傾斗的承載量相較於均值變異大時 (本實驗室以5%檢視雨量計穩定性)，根據本實驗室經驗，其誤差函數所補償的效果通常相對較差，亦即補償的有效性會有其限制，亦即雨量計的穩定性是補償優劣的關鍵。

最後，RGC只就最後結果輸出，以現有電池供電狀況，除增加更換電池頻率之維護困難度外，輸出值在有電時進行了RGC補償、其他有狀況的情況下輸出原始量測值 (並不運作補償)，對於降雨觀測的數據在時間上的一致性不足，可能造成後續應用上困難。

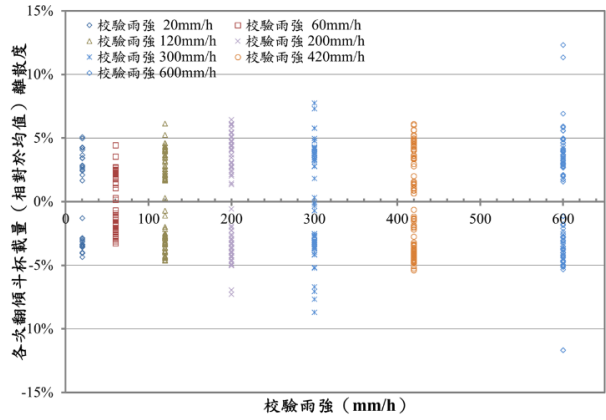


圖 9 受校件每傾斗承載水量離散情形

五、資料庫上軟體修正

國立臺灣大學雨量計校正實驗室自2014年對外受理傾斗式雨量計校正業務起，藉由掌握每部TBRG誤差特性，開始推廣雨量修正觀念，並在每份報告書提供該部TBRG之修正方程式，讓需要的使用單位可以據此得到更接近實際的觀測雨量。圖10為本實驗室依據TBRG不同雨強校驗誤差所提出修正公式得補償數據，可以有效補償降雨接近實際降雨值。此法優點在於雨量計使用單位可以保留原始觀測數據，僅透過修正公式在資料庫上依自身的需求計算得到修正值，因此保留了使用原始觀測數據或修正數據的彈性。不過，一組修正公式對該部雨量計的適用性能持續多久，會依TBRG的保養狀況、現場環境、使用頻率及儀器本身狀況而漂移 (drift)，因此定期將TBRG送校正實驗室進行校正才能確保修正公式之有效性。

2015年本團隊進一步推廣雨量計整合 (監理) 平台觀念，希望整合國內雨量計使用單位及校正單位資料，包含環境資訊、雨量計規格及校正資訊、修正補償公式...等資訊彙整於統一平台，除便於降雨觀測主管機關有效管理、確保每部雨量計正常運作外，也讓使用降雨資料的使用者可以還原觀測位置、高度，更清楚掌握不同降雨系統與地形的交互作用。

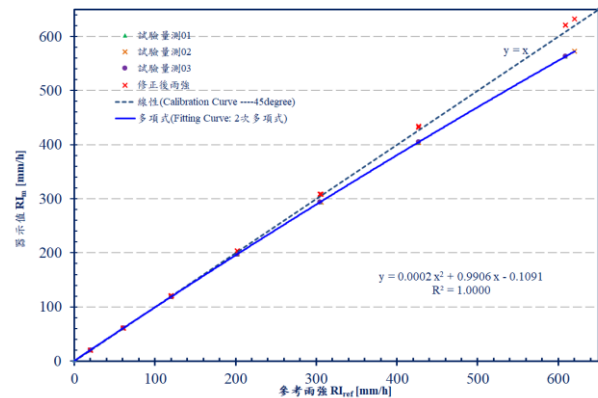


圖 10 臺大雨量計校正實驗室補償效果

六、結論及建議

國內外針對降雨觀測數據進行修正或補償的狀況越來越多、勢不可擋。本文根據實驗室五年來雨量計校正經驗，期待以客觀數據逐一分析具修正補償功能TBRG優缺點，俾使用單位在儀器維護，以及校驗單位在儀器調校時參考。

- 1、虹吸調節器能將不同雨強降雨等化為單一雨強導入計量斗杯，所以不受TBRG器差隨雨強越大越低估之影響，有效將器差控制在一範圍中。但有容易堵塞、清理不易等疑慮。冒然將虹吸導水裝置移除，將導致觀測雨量高估。
- 2、雨量補償原理系將相對誤差以雨強函數描述，據此函數進行補償，實驗室校驗數據顯示可有效縮小儀器的系統性誤差。但誤差特性函數之適用性及適用時程須加強雨量計校驗，方能確保補償之正確性及有效性；RGC補償優劣仍取決於雨量計自身穩定性，雨量計優劣是補償效果好壞的關鍵。
- 3、修正補償效果仍屬實驗室內量測比較，建議後續進行田野量測比較，俾針對傾斗式雨量計修正補償之影響規模進行評估。同時，在尚未確認修正補償影響，建議同時保存修正前後降雨資料，不應貿然只輸出一筆量測結果。

致謝

本文感謝氣象局儀校中心臧靖宇、陳明欽兩位先生，透過兩實驗室間不定期的交流與討論，分享雨量計校正經驗中看似枝微末節、但卻重要的觀察。這些細微而深入的經驗，傳遞著期待臺灣降雨觀測能更精益求精的心意，也讓我們對雨量計的校正更具一份責任感，衷心感謝。

參考文獻

- 1.簡振和等(2018)，雨量計校驗現況問題及改善對策初擬，107年天氣分析與預報研討會(A2-4)，交通部中央氣象局，2018年9月11-13日。
- 2.簡振和等(2017)，降雨觀測技術改善需求探討(2)—傾斗式雨量計校準需求及允收標準擬定之探討，106年天氣分析與預報研討會(A1-19)，交通部中央氣象局，2017年9月12-14日。
- 3.謝黎惠等(2016)，雨量計校驗特殊案例探討(1)—國內常見雨量計校驗器差分析探討，105年天氣分析與預報研討會(A1-3)，交通部中央氣象局，2015年10月4-6日。
- 4.簡振和等(2016)，雨量計校驗特殊案例探討(2)—具虹吸調節器傾斗式雨量計之校驗及其校驗方法之探討，105年天氣分析與預報研討會(A1-4)，交通部中央氣象局，2015年10月4-6日。

- 5.謝黎惠等(2015)，傾斗式雨量計檢校案例之探討，104年天氣分析與預報研討會(A1-3)，交通部中央氣象局，2015年9月15-17日。
- 6.謝黎惠等(2014)，傾斗式雨量計檢校技術研發與系統性誤差之修正，2014水利產業研討會(23)，臺灣水利產業發展促進會，2014年10月8-9日。
- 7.Sevruk, B., Klemm, S., (1989), Catalogue of National Standard Precipitation Gauges, Instruments and Observation Methods. Report No. 39, 1989.
- 8.Sevruk, B., Zahlavova, L., (1994), Classification System of Precipitation Gauge Site Exposure: Evaluation and Application, International J. CLIMATOLOGY, Vol. 14, 681-689 (1994)
- 9.WMO (2006), WMO Laboratory Inter-comparison of Rainfall Intensity Gauges, Final Report, Instruments and observation Method.
- 10.WMO (2006), A bridged 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.
- 11.WMO (2008), Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO Pub. No. 8 Seventh Edition. WMO, Geneva 978-92-63-10008-5.

