

傾斗式雨量計檢校案例之探討

謝黎惠* 簡振和 劉格非
國立臺灣大學水工試驗所水文觀測儀器校正實驗室

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雨量觀測儀。但傾斗式雨量計存在明顯系統性誤差 (Systematic Error)，而且該器差隨雨強加大而加劇。此外，由於雨量計長期暴露於日曬風吹雨淋之自然環境，並得承受在惡劣天候狀況下仍正常運作之需求，因此其器差亦可能隨著環境及使用年限增長而變化。雨量計除得定期進行維護保養外，亦應定期辦理校驗，俾可將雨量之觀測誤差控制在允差範圍 (公差 $\pm 3\%$) 內。但過去國內雨量計校驗之量能不足，並非所有雨量觀測單位皆能定期辦理校驗 (中央氣象局除外)，無法滿足氣象法、氣象專用觀測站觀測儀器校驗辦法，“觀測儀器應依自訂校驗週期向校驗單位申請校驗合格，方得使用”之規定。台大水工所為滿足水利單位對強降雨觀測資料準確度需求，爰於前 (2013) 年成立水文儀器 (雨量計) 校正實驗室，並於去 (2014) 年7月通過TAF認證 (認證編號2859)，成為符合ISO/IEC 17025國際標準，並且受氣象法“經國家認證體系認證”之雨量計校正實驗室。校驗雨強範圍10 - 600mm/h，最小不確定度0.46%。期間特別感謝中央氣象局儀校中心諸位先進無私分享數十年雨量計檢校之寶貴經驗，讓我們減少無謂的摸索、順利通過TAF認證。

台大水工所雨量計校正實驗室正式受理雨量計校驗業務1年多，累計近100件雨量計受校件之校驗經驗與過程，提出傾斗式雨量計一些有興趣的看法與大家分享。同時亦期待各界對傾斗式雨量計之特性及應用 (特別是其使用上之限制條件) 能有更清楚的認識，並有助於提昇國內雨量觀測資料品質及水文資料之分析應用。

關鍵字：傾斗式雨量計、校正

Keyword : Tipping Bucket Rain Gauge, Calibration

一、前言

雨量資料是水文分析、工程設計、問題研析及決策最主要的依據，但雨量觀測資料是由何種儀器量測、儀器精確度如何、儀器是否常保正常可量測狀況、記錄器及訊號傳遞輸過程以及量測環境狀況.....等，都會影響資料的產出品質，這些不同量測情況下產出的雨量資料，當匯入同一個資料庫進行空間分析時，可能因資料來源的器差問題、分辨力(精度問題)、各種低估及環境影響問題，導致錯誤的結論，對數值模擬分析也常出現無法解釋、不合理的結果。臺灣地區最常用的雨量觀測儀器為傾斗式雨量計，其雨量量測除了WMO已提醒之構件沾濕、蒸發、分辨力(不足一傾斗無法計次)所造成的低估問題；另外，謝及簡(103)經由實驗室量測結果提醒，傾斗式雨量計之計量構件在模擬雨強越大時，其相對器差越大；且強降雨下，分辨力越小之雨量計，其相對器差相較分辨力大的雨量計低估得更嚴

重。透過定期檢校可以確保雨量計計量正確，不過過去雨量計檢校僅有中央氣象局提供，無法定期檢校全國近2000部的雨量計。

國立臺灣大學水工試驗所因委辦水利署之臺灣強降雨下提昇水文觀測品質之檢校技術發展應用計畫，在中央氣象局的同意及協助下，成立水文量測技術研發暨服務中心水文觀測儀器校正實驗室，並於103年7月24日正式取得財團法人全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF) 認證，檢校雨強範圍10 - 600mm/h，最小不確定度0.46%，為國內第一家符合ISO/IEC 17025之雨量計校正實驗室 (實驗室編號：2859)。希望經由增加國內雨量計檢校量能，協助每個在役的雨量計均能定期檢校，確保雨量觀測資料品質可以維持在控制下、可接受的誤差範圍。

本文探討實驗室成立迄今受理之雨量計檢校結果之統計分析及期間發現的一些現象，受校雨量計共計100件，其背景資料詳如表1。

廠牌	0.1mm		0.2mm		0.5mm		1.0mm		總計
	新品	舊品	新品	舊品	新品	舊品	新品	舊品	
Geonica		1							1
Hydro-Serv.								5	5
Komatsu					1		1	2	4
OTA								1	1
Texas				3					3
Yokogawa						1			1
小笠原								1	1
日進					3				3
台禹			1		2				3
竹田					1		42	34	77
松田								1	1
總計		1	1	3	7	1	43	44	100
合格					2		35	36	73

表1：100件受校雨量計基本資料(其中合格代表在20-120mm/h雨強下符合中央氣象局允收器差)

二、結果產出與狀況

目前實驗室在完成雨量計檢校後，提供受校雨量計以下資訊：1.受校雨量計在七組不同雨強下的原始相對器差及其量測不確定度；2.透過數學式修正系統性誤差後的結果及修正後的相對器差(如表2)；3.穩定度分析。

組別	參考雨強 RI_{ref} (mm/h)	雨強器示值 RI_m (mm/h)	相對器差 RE (%)	修正雨強 RI_{adj} (mm/h)	修正後相對 器差 RE_{adj} (%)	擴充不確定度 (%)
1	20.12	20.60	2.4	20.09	-0.2	0.4
2	72.83	72.49	-0.5	72.48	-0.5	0.4
3	122.36	121.11	-1.1	122.06	-0.3	0.4
4	204.94	199.80	-2.6	203.31	-0.8	0.4
5	300.69	289.64	-3.7	297.58	-1.1	0.5
6	403.10	381.58	-5.4	395.73	-1.9	0.5
7	607.49	562.57	-7.4	593.88	-2.3	0.5

表2：受校雨量計校正報告--在七組不同雨強下的原始相對器差、量測不確定度及迴歸修正後結果

1.不同分辨力傾斗式雨量計在各雨強下的相對器差

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供觀測者使用。雨量計之分辨力愈小對於降雨觀測愈靈敏，但也因傾斗容量小(若以美國Young承雨器面積 200cm^2 為例，一個傾斗容量則僅2 mL)，量測器差相對較大。特別是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，甚至上方集水之緩衝漏斗亦可能出現溢流現象，其系統性誤差也相對較大，容易造成觀測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(搭配口徑20cm承雨器之傾斗容量約31.4mL，必須累計1.0mm降雨深度才能記錄到降雨量)，如果用在降雨量稀少地區，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，因此適合在較大雨強時利用。基本上，不同分辨力的雨量計各有其適用觀測雨強範圍。本次分析之分辨力為0.1mm、0.2mm及0.5mm受校件之件數過少，不足以推論一般通則，但透過不同分辨力在各雨強之相對器差比較，仍能了解不同分辨力之雨量計各有其適用之最適觀測降雨兩強範圍。圖1顯示分辨力0.1mm雨量計在雨強50mm/h之相對器差超過WMO規範之5%相對器差；分辨力0.2mm雨量計在雨強80mm/h之相對器差超過5%；分辨力0.5mm雨量計在雨強150mm/h之相對器差超過5%；分辨力1.0mm雨量計在雨強300mm/h其相對器差超過5%；而且隨著雨強增加、各分辨力雨量計的器差之變化也開始呈現非線性情況。

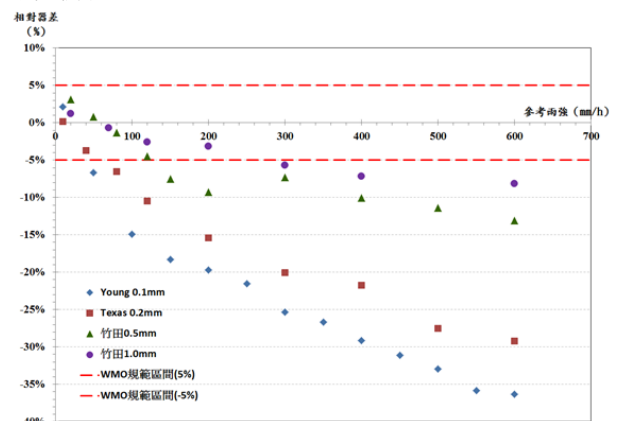


圖1：不同分辨力之雨量計在各雨強下之相對器差

分辨力1.0mm之傾斗式雨量計本文共蒐集87個個案，其相對器差在雨強範圍20mm/h ~ 120mm/h時通常符合中央氣象局的公差標準，落在+3% ~ -3%之間。之後其相對器差並隨著雨強加劇而低估更多，一般在600mm/h時相對器差落在-6% ~ -9%之間。唯相對器差不完全隨著雨強線性變大(低估)，特別是在70mm/h ~ 120mm/h雨強之間，常有非線性的狀況(圖2~4為不同受校案例相對器差狀況)。

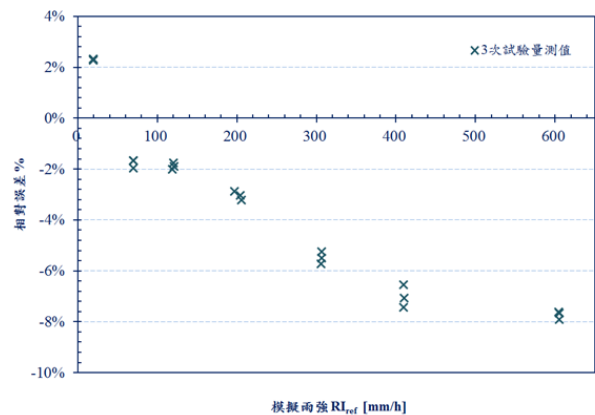


圖2：分辨力1.0mm雨量計在各雨強下之相對器差

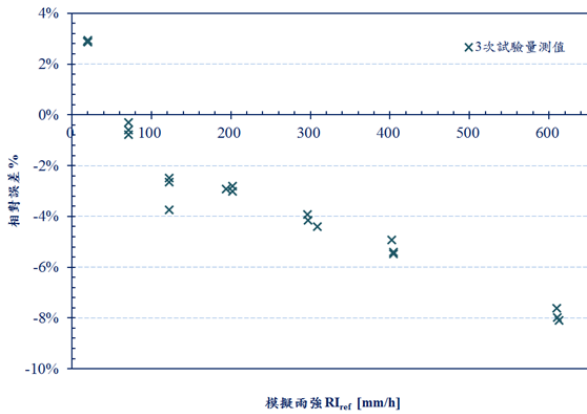


圖3：分辨力1.0mm雨量計在各雨強下之相對器差

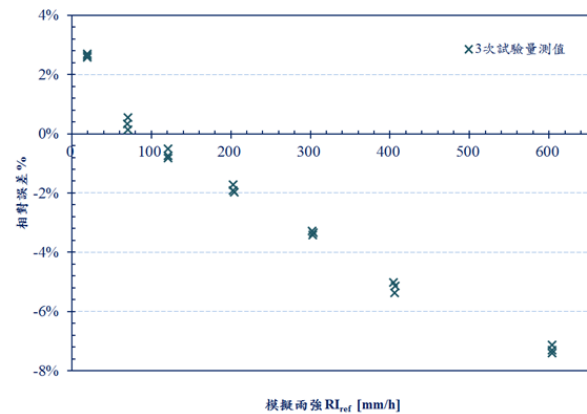


圖4：分辨力1.0mm雨量計在各雨強下之相對器差

2.雨量計系統性誤差之修正

傾斗式雨量計一般為符合中央氣象局所規範的公差，廠商在出廠前均會做好品管程序，調整其相對器差在雨強範圍20mm/h ~ 120mm/h落在+3% ~ -3%之間，亦即會有20mm/h雨強高估、120mm/h雨強時低估的情況。由於量測儀器本身之偏差有其規律性，倘假設雨量計之器示雨強與模擬雨強互為一對一的函數關係，則可以求得其對應關係之數學式，並透過數學運算補正量測儀器本身的系統性誤差。依據實驗室的經驗，一般補正後的結果在20mm/h ~ 600mm/h雨強範圍下，普遍可以修正到3%以內的相對器差，圖5 x號即為經數學公式修正後傾斗式雨量計所反應的計量可以更符合模擬雨強(45度虛線)。但考量現場量測狀況時，會發現傾斗式雨量計在初降雨時會因構件沾濕而低估；另外降雨事件結束時也可能因不足一傾斗的量而未能紀錄於紀錄器，此兩種狀況一般多發生於較小雨強，而傾斗式雨量計儀器本身在小雨強高估的狀況剛好可以彌補現實狀況的低估，故我們建議數學修正適合在較大雨強時(如100mm/h以上)再進行修正。

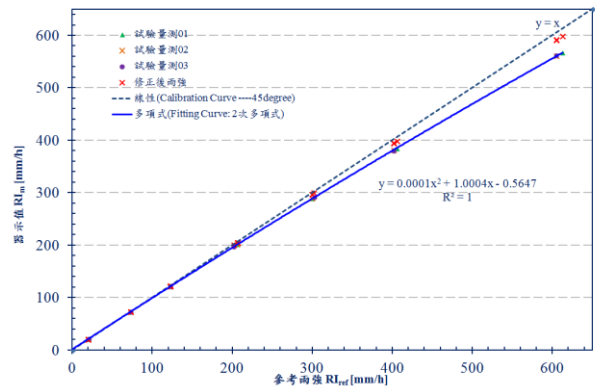


圖5：分辨力1.0mm雨量計在各雨強下之量測表現及迴歸修正後結果

3.穩定度分析

實驗室供水設備鑒於馬達使用、蠕管老化狀況、環境因素等，因此定期進行率定。經過多次率定，確認在轉速5RPM ~ 180RPM(搭配#25蠕管流量為8.336mL/min ~ 300mL/min)下其流量相對誤差均不超到 1%，亦即實驗室提供相當穩定的流量。透過穩定供水通過傾斗式雨量計量構件，我們量測每一傾斗翻傾的時間及乘載的水重，並預期左右傾斗翻傾的時間應該穩定且一致，才能正確量測及反應此模擬降雨狀況，我們因此計算相對時間差做為傾斗翻傾之穩定度分析：

$$\text{相對時間差(\%)} = (t_i - t) / t$$

其中， t_i 表示第*i*傾斗之翻傾時間、 t 表示該次模擬雨強所有傾斗之平均翻傾時間。不同受校案例顯示(圖6~8)，當左右傾斗翻傾時間穩定且一致，每傾斗時間相對誤差通常在正負5%之間，且落點為常態分布；但當左右傾斗翻傾時間不一致、一邊裝得多、一邊裝得少時，就會出現如圖9~10，左右傾斗各偏重一方的狀況；當傾斗翻傾因軸承問題或下方頂點問題而出現偶發性翻傾延遲、甚或溢流狀況，則會顯示如圖11~13，有幾個點甚至遠遠超出5%的範圍。藉由傾斗翻傾穩定性分析圖，我們可以迅速了解該傾斗式雨量計在計量構件上的表現是否穩定。

實驗室校正結果發現，傾斗式雨量計的計量機制的穩定性與其相對器差並無一定關係，左右傾斗翻傾時間(量)不一致，儀器仍就大有機會通過設定之公差標準；因目前尚未能掌握住的原因所造成的偶發性傾斗翻傾延遲，只要機率不高也仍舊有機會通過設定之公差標準。因此如果僅定義公差3%為傾斗式雨量計的允收標準，一個降雨事件如果延續時間夠長、雨量夠多(如梅雨、鋒面等)，傾斗穩定性的影響可能較小；但如果是短延時的降雨事件(如午後雷

陣雨)或僅一、二傾斗的小雨,在穩定性不佳的雨量計量測下,可能有嚴重低估的可能性。

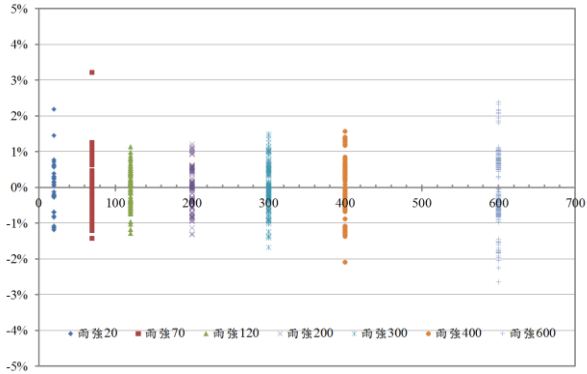


圖6：在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

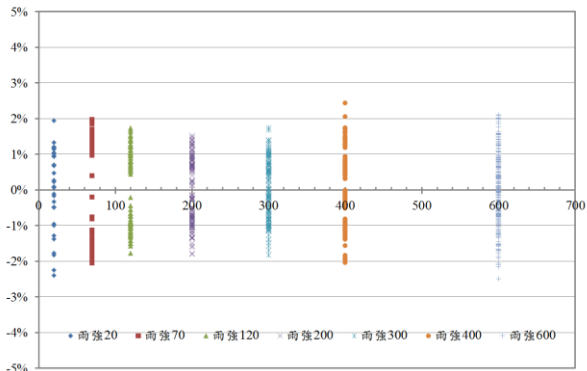


圖7：計量傾斗在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

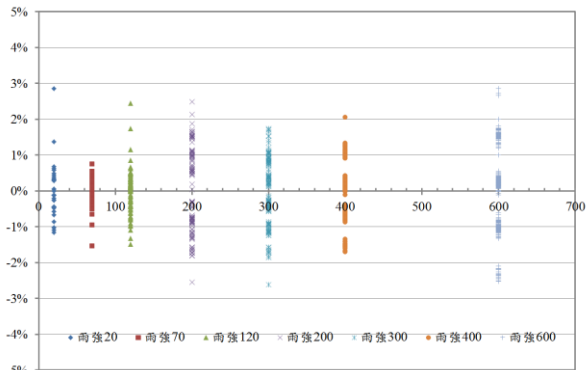


圖8：計量傾斗在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

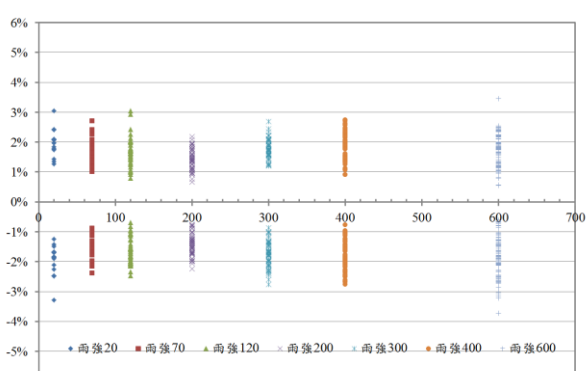


圖9：計量傾斗在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

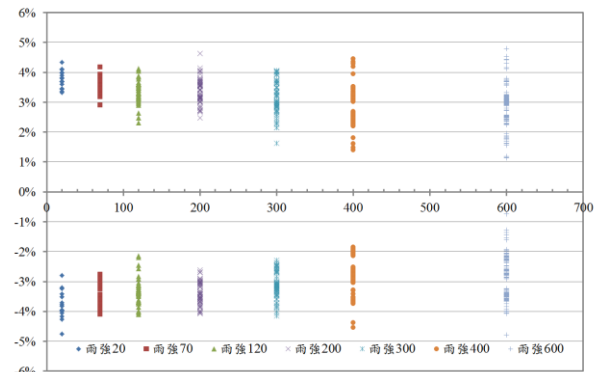


圖10：計量傾斗在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

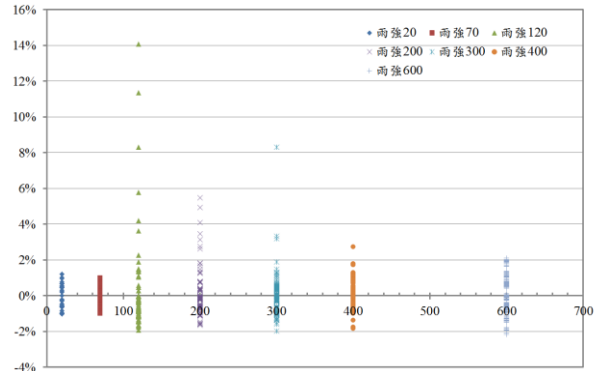


圖11：計量傾斗在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

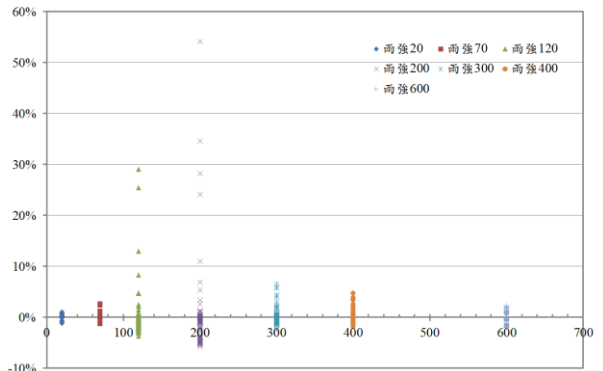


圖12：計量傾斗在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

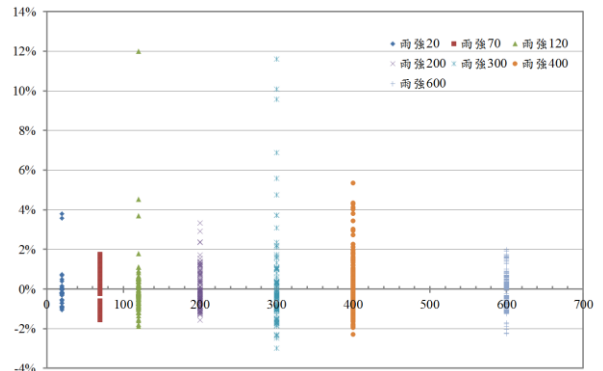


圖13：計量傾斗在不同雨強下傾斗翻傾時間差百分比

4. 分辨力1.0mm雨量計相對器差統計分析

針對表1中分辨力1.0mm傾斗式雨量計共87件樣本(其中包括全新新品43件、使用超過1年以上者44件)所量測之相對器差進行盒狀圖分析,圖14顯示各雨強之四分位距不大、五成樣本數之相對器差數據頗集中,亦即傾斗式雨量計之相對器差在各雨強下一般有一致性的表現;但全距相對較大,應為部分不合格之樣本其相對器差較極端之貢獻。如果分成新品(43件)及舊品(44件)各自統計(如圖15及圖16),則可發現儘管新舊品的合格率差相當、四分位距差異不大,但新品的相對器差全距較舊品小,此等顯示新品相對器差數據較舊品集中,亦即雨量計經現場使用後,增加更多不可控的變因,會影響傾斗式雨量計器差變化,進而影響雨量觀測品質,如舊品確實進行例行維護、清潔及保養,應有助於提升雨量觀測品質。

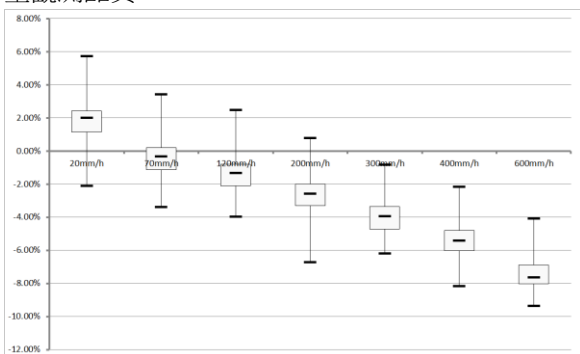


圖14：分辨力1.0mm 87件樣本相對器差盒狀圖

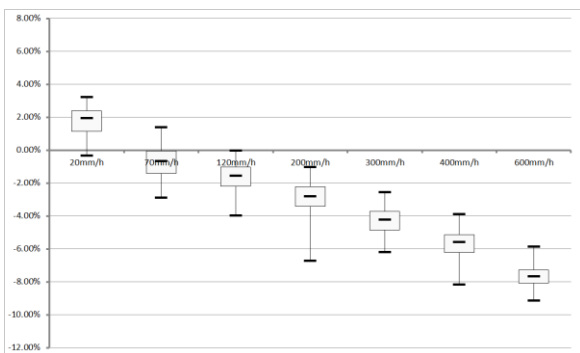


圖15：分辨力1.0mm 43件新品樣本相對器差盒狀圖

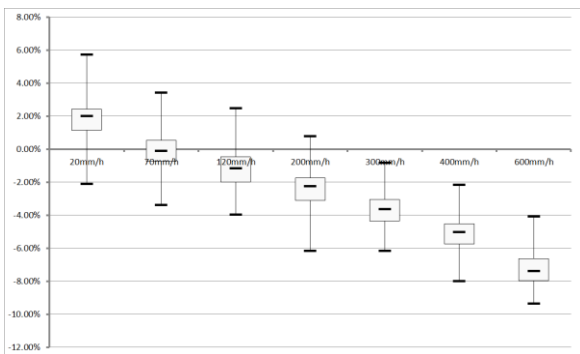


圖16：分辨力1.0mm 44件舊品樣本相對器差盒狀圖

如果在將新舊品中單獨找出合格新品(35件)、合格舊品(36件)進行盒狀圖分析(如圖17及圖18),可以發現在新品部分,合格之1.0mm雨量計其相對器差在20mm/h介於-0.35%~2.78之間;70mm/h介於-2.92%~1.37之間;120mm/h介於-2.95%~-0.43之間;200mm/h介於-4.49%~-1.67之間;300mm/h介於-6.20%~-2.94之間;400mm/h介於-7.74%~-3.91之間;600mm/h介於-9.17%~-5.89之間,四分位距在1.35%、全距在4.3%以下,亦即在同一模擬雨強下合格新品之器示雨強有一致的表現。合格舊品部分在各雨強的相對器差表現也相較於全部樣品之全距更集中,證實傾斗式雨量計經檢校後確實得以確保儀器量測的有效性及穩定性。

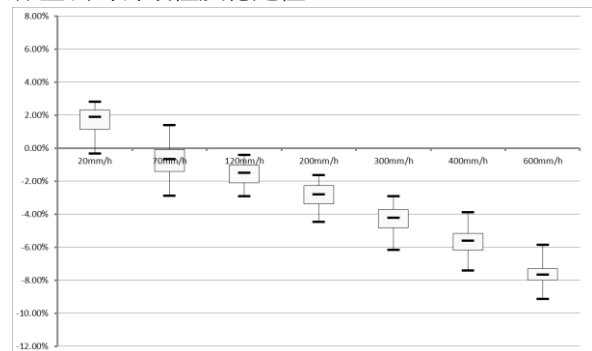


圖17：分辨力1.0mm 35件合格新品樣本相對器差盒狀圖

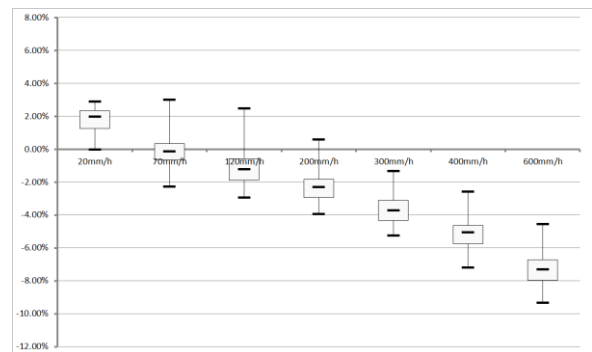


圖18：分辨力1.0mm 36件合格舊品樣本相對器差盒狀圖

三、小結

傾斗式雨量計是否準確量測實際降雨牽涉現場顯露度狀況、風場影響、承雨口面積誤差、儀器沾濕、分辨力、環境蒸發及傾斗計量準確性...等問題,實驗室檢校主要針對傾斗計量部分進行把關,其中可分為兩類問題:1.傾斗計量相對器差;2.傾斗穩定性(左右傾斗承載量是否一致)問題。這兩類問題因為傾斗式雨量計設計關係,都隨降雨強度不同而有不同變化。目前雨量計的允收標準中央氣象局已有規範公差3%,此為氣象局現況校正雨強120mm/h以下之標準,當校正雨強提高時,由於量測設備本有其

極限，目前也發現200mm/h雨強要符合此公差標準確有其困難，因此可以評估傾斗式雨量計的允收標準是否依雨強範圍設定不同的允收器差。

其次，受校件中我們發現傾斗式雨量計不論新舊品均可能有左右傾斗翻傾不均、及單邊傾斗有偶發性的延遲翻傾甚或溢流現象，儘管如此，其在目前規範之120mm/h雨強下仍可能符合公差3%的規範，由於檢校的過程中所有傾斗數據均被留存下來，建議檢校可以考慮將傾斗翻傾之穩定性狀況列入考量，除可提昇廠商在雨量計的研發及品管能力外，雨量計在現場量測之數據品質也更能提昇。

在修正方面，本實驗室校正報告中依據量測結果所迴歸的數學式雖可有效修正儀器本身的系統性誤差，但雨量觀測誤差來源不僅僅於儀器本身之系統性誤差，單獨修正本項誤差的意義及成本有待評估，目前我們持續在北水局十一份測站進行地坑試驗，希望可以進一步了解環境風場對雨量計量測之影響及修正方式後，期待一併討論。不過根據我們粗淺針對幾個個案單就系統性誤差進行修正，可以增加5~15%的總降雨量，建議數值模擬分析學者可以參考使用，評估單獨修正雨量計系統性誤差後的數據對模擬的影響。另外，一般傾斗式雨量計在小雨強雖有高估的問題，但現地量測因分辨力及構件沾濕低估問題，建議修正數學式針對十分鐘雨量換算成雨強100mm/h以上的資料再進行修正會更有意義。

目前實驗室進行檢校的數量雖然不多，但透過分辨力1.0mm之雨量計相對器差之統計分析可以看出傾斗式雨量計在各雨強下其相對器差有其穩定範圍，加上低耗電量、可耐久使用的特性，無怪乎其為短期間內仍暫無可取代，包括臺灣在內之世界各國最主要及最廣泛採用雨量觀測設備。新舊品的統計分析也顯示，對於現場進行量測之雨量計如確實進行維護、清潔及保養，有助於提升雨量觀測品質；而透過合格之雨量計統計分析顯示經檢校合格後確實得以確保儀器量測的有效性與穩定性。

參考文獻

- 1.經濟部（2014），臺灣強降雨下提昇水文觀測品質之檢校技術發展與應用（102年~103年）
- 2.經濟部水利署（2013），地面水文觀測手冊，經濟部水利署
- 3.全國認證基金會，觀測儀器校正認證服務計畫 TAF-CNLA-A11(2)
- 4.Sevruk, B. and L. Zahlavova, (1994), Classification System of Precipitation Gauge Site Exposure: Evaluation and Application, International J. Climatology, Vol. 14, 681-689
- 5.WMO (2001), Final Report of the Expert Meeting on Rainfall Intensity Measurements, Bratislava, Slovakia, 23-25 April 2001.
- 6.WMO (2005), Joint CIMO Expert Team on Surface-Based Instrument Inter-comparison and Calibration Methods and IOC on Surface-Based Instrument Inter-comparison, Geneva, 5-9 December 2005.
- 7.WMO (2006), WMO Laboratory Inter-comparison of Rainfall Intensity Gauges, Final Report, Instruments and observation Method.
- 8.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.
- 9.WMO (2008), Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO Pub. No. 8 Seventh Edition. WMO, Geneva 978-92-63-10008-5.
- 10.WMO (2009), WMO Field Inter-comparison of Rainfall Intensity Gauges, Instruments and observation Methods, Report No. 99.