

降雨觀測技術改善需求探討(1)—2017梅雨鋒面降雨 不同分辨力傾斗式雨量計田野量測結果比對

謝黎惠
Li-hui Hsieh

簡振和
Chen-ho Chien

陳明仁
Min-jen Chen

國立台灣大學 水工試驗所 水文學測技術研發暨服務中心 雨量計校正實驗室

摘 要

傾斗式雨量計 (TBRG) 係國內外使用最廣泛之雨量觀測儀，目前國內雨量觀測單位依自身觀測需求主要採用分辨力0.5mm或1.0mm之傾斗式雨量計。TBRG因構造設計、其計量機制存在明顯系統性誤差 (systematic error)，該儀器誤差 (器差) 會隨著雨強變大器差也隨之變化。TBRG之系統性誤差亦與雨量計之分辨力有關，因此，不同分辨力雨量計有其最合宜的雨強觀測範圍 (雨量計的分辨力雖為解析度，但與一般儀器解析度越高越準確之觀念不一定相同)；除非有特殊需求 (例如為判定是否降雨)，一般降雨量較稀少的地區，適用較小分辨力0.1mm及0.2mm的雨量計，強降雨觀測則應選用0.5mm或1.0mm等分辨力較大的雨量計。

台灣降雨不僅量大，降雨強度範圍大，時有驚人瞬間強降雨，但各觀測單位在測站通常只安裝一部雨量計去量測降雨，以TBRG先天設計架構，難免有顧此失彼之憾。本研究將不同分辨力 (0.1、0.2、0.5、1.0mm) TBRG，組合在一特製的觀測平台上 (彼此觀測環境相似、不相互干擾)，本文以今年六月初梅雨鋒降雨事件進行田野觀測比對，探討不同分辨力TBRG之量測誤差。田野比對結果顯示：不同分辨力傾斗雨量計所觀測雨量，會隨雨型 (降雨強度) 而具有明顯差異性；觀測雨量 (器示值) 之差異量，除隨時間歷程累積而增加外，其同時距觀測雨量之差值與觀測雨強具強烈關連性。

關鍵字：傾斗式雨量計(TBRG)、分辨力、器差、雨強、田野觀測比對

一、前言

傾斗式雨量計 (Tipping Bucket Rain Gauge, TBRG) 由於計量原理及機械構件簡單、耗電量少，適合長期、持續性雨量觀測；搭配相關傳輸設備，即可規劃自動化觀測作業，因此成為目前包括臺灣在內、世界各國最主要及最廣泛採用雨量觀測設備之一。計量傾斗容量亦即該雨量計之分辨力 (或解析度 resolution)，慣以雨量之計量單位：深度[L] 0.1、0.2、0.5或1.0mm來區分，不同分辨力TBRG各有其最佳準確度的量測雨強範圍。一般觀測單位依其自身觀測目的選定需求分辨力之TBRG，並依其對觀測雨量資料精確度的要求，設定雨量計指定雨強下器差之允收標準，以維護其觀測雨量資料之品質。例如：氣象局因綜觀尺度觀測需求，採用分辨力0.5mm TBRG，並設定10~100mm/h範圍公差3%的允收標準；水利署因重點在大雨量，採用分辨力1.0mm TBRG，並設定20~120mm/h範圍公差3%的允收標準。

台灣降雨不僅量大，降雨強度變化大，時有驚人瞬間強降雨，但各觀測單位在一地通常只安裝一部雨量計去量測降雨 (或2部相同分辨力之TBRG互相備

援)，以TBRG先天設計架構，難免有顧此失彼之憾。本研究將不同分辨力 (0.1、0.2、0.5、1.0mm) TBRG，組合在一特製的觀測平台上 (彼此觀測環境相似、不相互干擾)，以今年六月初梅雨鋒降雨事件進行田野觀測比對，探討不同分辨力TBRG之量測特性。

二、資料來源

2.1 觀測設備及設計

TBRG係利用傾斗裝載標稱容量 (nominal volume) 雨水後，隨著重量增加及重心偏移對軸承產生翻傾的力矩而自動翻傾排水，同時以另一側傾斗接替來盛裝雨量，持續其計量機制。再利用傾斗翻傾的同時觸發磁簧開關 (reed switch) 所發送之脈衝 (pulse) 訊號來記錄傾斗翻傾的次數。謝，簡與陳(2016)指出在傾斗開始翻傾及至另一側傾斗完全接替之很短暫期間，因為雨水仍持續注入翻傾中的傾斗，致使每一傾斗實際盛裝超出標稱容量的雨水，但仍只發送出一個脈衝訊號，輸出為一個分辨力的雨量值。此等傾斗翻傾時持續注入、而未被計量之雨水是TBRG儀器量測的主要誤差原因，此器差並與

兩強相關。基於構造設計的限制，此種重量平衡型的傾斗式雨量計只能在某一區間的雨強範圍有最佳的準確度，在此區間以下的小雨強會高估；但在此區間以上的高雨強則會低估（表1）。

表1：不同分辨力在四種雨強下的盛裝量及相對器差

模擬雨強 (mm/h)	分辨力1.0mm 每一傾斗量	分辨力1.0mm 與標稱值之器差	分辨力0.5mm 每一傾斗量	分辨力0.5mm 與標稱值之器差
20	30.58	2.62%	15.46	1.55%
70	31.30	0.31%	15.79	-0.58%
200	32.17	-2.46%	16.26	-3.58%
300	32.74	-4.25%	16.78	-6.87%

臺灣位於亞熱帶、四面環海，又地處於太平洋西邊颶風路徑上，降雨不僅豐沛、且瞬間降雨雨強驚人，依據目前氣象局網站提供降雨資訊，時有十分鐘降雨量40mm以上的強降雨。在這種狀況下，如果選用單一分辨力TBRG量測降雨，必有顧此失彼之憾，為此臺大雨量計校正實驗室設計並建置「降雨觀測智慧型資料蒐集系統」，在一2m×2m特製平台（圖1），將分辨力0.1、0.5、1.0mm之TBRG兩兩放置平台上邊長1m正三角形的三個頂點，以減少同一風向、風場通過雨量筒導致風場形變影響下方處雨量計捕集率。期藉由相同承雨面積、相同高程、接近相同觀測點位，比較不同分辨力TBRG量測降雨的差異。目前階段研究團隊藉由蒐集及分析各種大小降雨事件，歸納不同分辨力TBRG觀測輸出邏輯、以便撰寫相關判讀程式；未來計畫進一步透過此平台上多感應器資料的紀錄，在現地自動判讀計算、偵錯檢核、相互補遺後，自動回傳最佳觀測雨量值至統一伺服器，做為最具當地代表性的降雨觀測值。



圖1：臺灣大學降雨觀測智慧型資料蒐集系統

本次選用安置於特置平台的三部雨量計為大田OTA、型號OW-34-BP，分辨力分別為0.1mm、0.5mm、1.0mm、捕集面積均為314cm²之TBRG，相關基本資料如表2。除此之外，我們另比較採購自德國Lambrecht、型號15189、分辨力0.2mm、捕集面積200cm²之TBRG，該部雨量計內置廠方所提修正公式，宣稱準確度為±2% with intensity correction。

表2：參與比較之雨量計基本資料

分辨力	0.1mm	0.5mm	1.0mm	0.2mm
廠牌	大田OTA	大田OTA	大田OTA	Lambrecht
型號	OW-34-BP	OW-34-BP	OW-34-BP	15189
捕集面積	314cm ²	314cm ²	314cm ²	200cm ²
出廠年份	2016	2016	2017	2016
宣稱準確度	20mm以下： ±0.5mm； 20mm超過： ±3%	20mm以下： ±0.5mm； 20mm超過： ±3%	40mm以下： ±1.0mm； 40mm超過： ±3%	±2% with intensity correction
實驗室校準	10~40mm/h 符合±3%	20~100mm/h 符合±3%	20~300mm/h 符合±3%	-

其中，大田TBRG安置前均已於臺大雨量計校正實驗室進行校準，各模擬雨強下的相對器差如圖2。

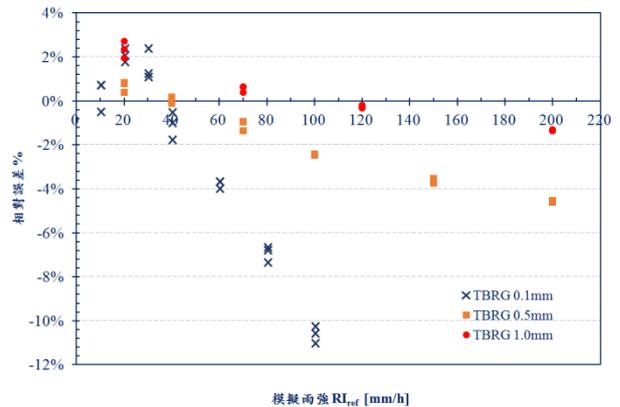


圖2：不同雨強下、大田TBRG各分辨力之相對器差

2.2 降雨事件及資料格式

6月2日台灣受滯留鋒面系統及西南氣流影響，造成基隆市與新北市降雨超過大豪雨標準。根據氣象局統計，0時至上午8時10分，累積雨量以新北市最可觀，石門達444毫米，其次是三芝428毫米、金山372毫米，降雨量及降雨強度都非常驚人，造成新北市多處積水並釀災。國立臺灣大學雨量計校正實驗室因開發「智慧型雨量觀測系統」一案，也量測到本次梅雨鋒面事件在臺大校區的降雨。本次比對資料時間及格式如下：

時間：106/6/2 00:00 ~ 106/6/4 19:00

地點：臺大校園（水工試驗所頂樓）

資料格式：1分鐘降雨量（mm）

相關資料：氣象局公館站（C1A73）降雨同時間資料（10分鐘雨量）

本研究期掌握不同分辨力TBRG在各種大小降雨強度的量測反應，因此希望分析事件包括各種強度降雨。圖3~圖5為6/2~6/4日本研究3部TBRG當日累積降雨。6/2及6/3日各下了一場為時4小時及為時11小時雷陣雨；三天期間也各自有幾場綿綿細雨，包括6/2 02:00-06:00、6/2 16:00-24:00、6/4日04:00-06:00。每日總降雨量數據顯示：在強降雨事件中，分辨力1.0mm TBRG量測到的當日累積降雨量較其他分辨

力來得多。此點與本研究團隊（2015）在龍潭十一份所設置的地坑雨量計獲得結果一致。

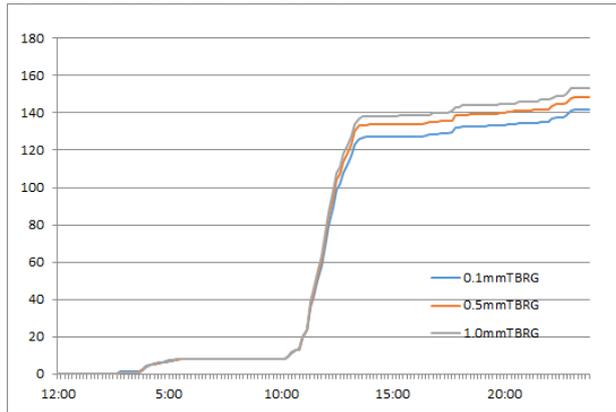


圖3：6/2日降雨累積圖（4TBRG）

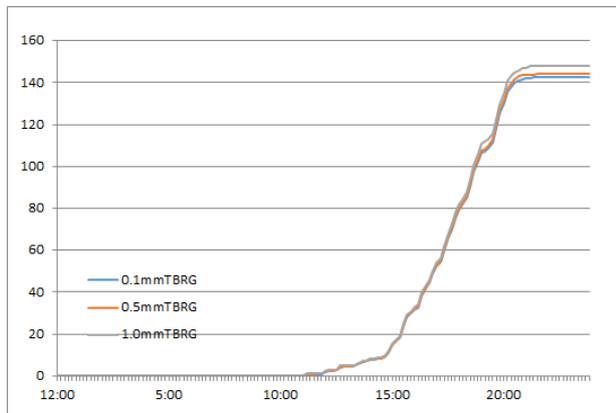


圖4：6/3日降雨累積圖（3TBRG）

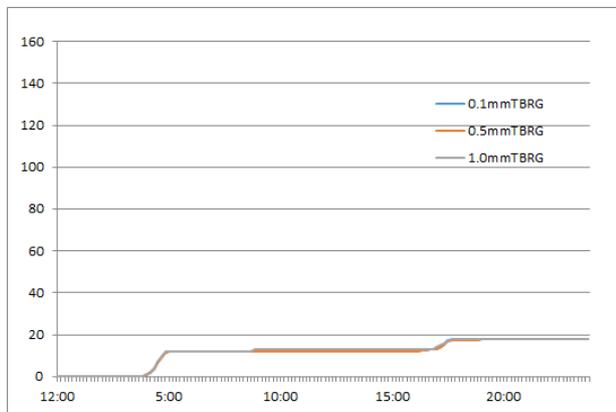


圖5：6/4日降雨累積圖（3TBRG）

由於TBRG量測之器差與降雨強度有關，而觀測降雨量測所得的數據為每分鐘降雨量，因此我們定義：瞬間雨強（mm/min）為每分鐘觀測資料降雨量，十分鐘雨強（mm/10min）為每十分鐘觀測資料降雨量，並換算為標準雨強定義（mm/h）。亦即如資料中單一分鐘數值為2mm即表示雨強超過120mm/h，如對照圖2雨量計之相對器差：顯示在該分鐘以分辨力1.0mm TBRG而言，其儀器相對器差少0.3%左右雨量；以分辨力0.5mm TBRG而言，其儀器相對器差就少2.5%左右雨量；以分辨力0.1mm TBRG而言，其儀器低估雨量超過10%以上。統計6/2~6/4日4320筆資料，每分鐘不小於於2mm共計18筆（以分辨力1.0mm計

算），其中最強瞬間雨強為3mm/min，換算時雨強為180mm/h，發生在6/2 11時；每十分鐘不小於10mm共計6筆（以分辨力1.0mm計算），其中最強瞬間雨強為15mm/10min，換算時雨強90mm/h，發生於6/2 11時（圖6）。

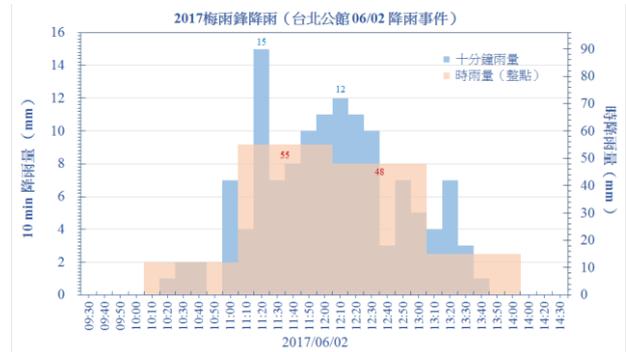


圖6：6/2 時雨量及10分鐘降雨比較組體圖

三、資料分析

本研究藉由蒐集及分析各種大小降雨事件，以歸納不同分辨力TBRG觀測輸出邏輯、撰寫相關判讀程式，以下根據降雨初步分類二種型態討論：

3.1 小雨

事件1：圖7是一場總降雨量12mm、最大十分鐘雨強：3 mm/10min（雨強18mm/h），雨勢集中歷時2小時的小型午後雷陣雨（6/4 04:00~06:00）。

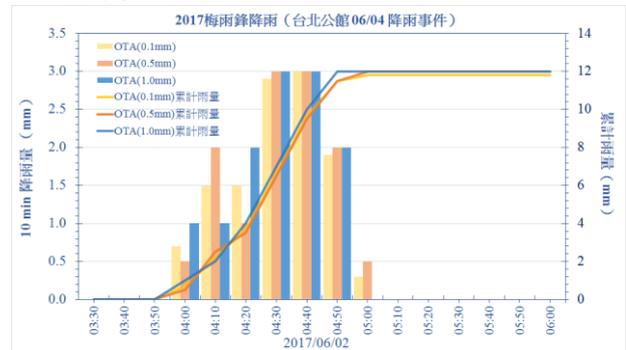


圖7：6/4 2小時降雨組體圖

事件2：圖8是一場總降雨量8mm、最大十分鐘雨強：2 mm/10min（雨強12mm/h），此時新北市迎風面的石門、三芝已經釀災，而位於天氣系統前方公館也下了歷時4小時的綿綿小雨（6/2 02:00~06:00）。

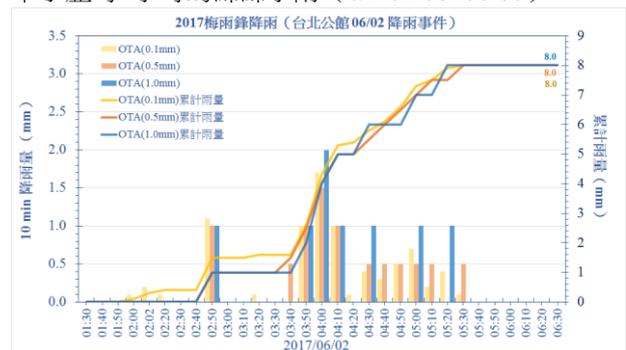


圖8：6/2 4小時降雨組體圖

事件3：圖9是一場總降雨量14.5mm、最大十分鐘雨強：3 mm/10min（雨強18mm/h），歷時8小時的綿綿小雨（6/2 16:00~24:00）。

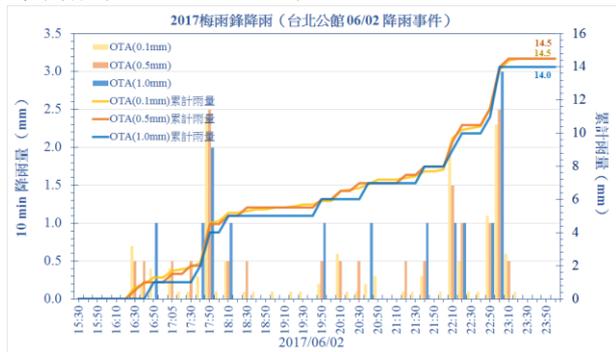


圖9：6/2 8小時降雨組體圖

小結：小雨形態下（本次數據顯示十分鐘雨強不超過3 mm/10min）：

1. 分辨力0.1mm TBRG會先反應降雨，降雨初期的總雨量也通常量測得較多；
2. 但0.5mm TBRG通常1小時內會追上，1.0mm TBRG按理應最後反應，但有時會因前一場降雨事件斗杯裡尚有殘餘量，反而導致分辨力1.0mm TBRG的量測雨量會較優先反應（可以分辨後去除）；
3. 下下停停的小雨，各分辨力10分鐘觀測降雨組體圖數據通常高低互見，通常不易比對並從中看出降雨實際狀況；
4. 在小雨強下，各分辨力10分鐘量測值不論孰優孰劣，三場小雨事件顯示：當10分鐘量測降雨值在3mm以下，三種不同分辨力TBRG量測總雨量”相當”。

3.2 強降雨

事件1：西南氣流助陣下的梅雨鋒隨後南移，在本研究所在地公館地區下了一場總降雨量130mm、最大十分鐘雨強：15.5 mm/10min（雨強93mm/h），歷時4小時的強降雨（6/2 10:00~14:00，達氣象局豪雨標準）。透過不同分辨力降雨組體圖的比較（同時比對氣象局公館站及德國Lambrecht宣稱內含修正公式之觀測資料，圖10），可以看出：

1. 一開始10分鐘雨強即超過3mm，通常分辨力大的TBRG就可以與分辨力小的TBRG量測到相當的雨量，即分辨力小的TBRG先反應降雨的優勢不再。
2. 當10分鐘雨量超過5mm（雨強30mm/h）以上，通常分辨力1.0mm之TBRG的量測值會高於其他分辨力，此點與本研究採用的儀器設備自身相對器差有關，此等顯示只要掌握量測雨量計的器差，即可預期在強降雨下量測狀況。
3. 累積雨量部分，強降雨下分辨力1.0mm通常有較大的量測總量。

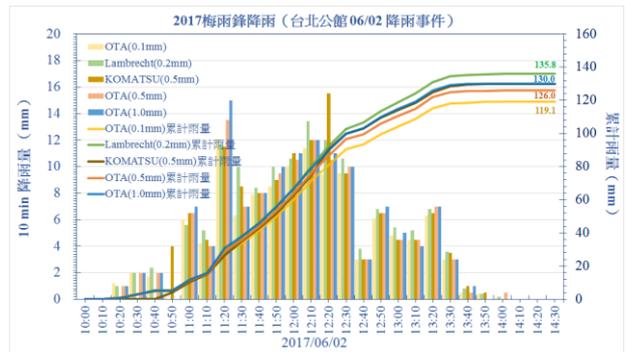


圖10：6/2 4小時降雨組體圖

事件2：鋒面滯留因素，6/3日繼續在公館地區有場總降雨量148mm、最大十分鐘雨強：7 mm/10min（雨強42mm/h），歷時11小時的強降雨（6/3 11:00~22:00，圖11）。透過更長時間不同雨強強度的降雨，可以更歸納驗證，得到相同的上述結論。

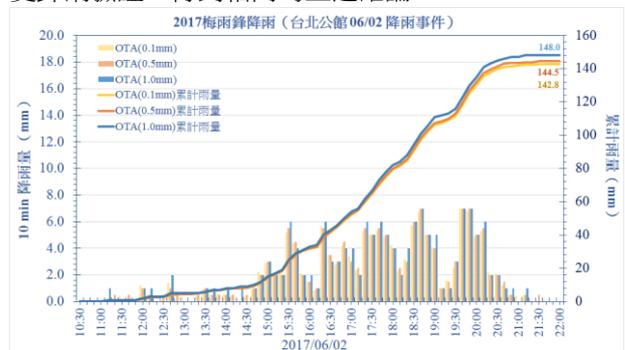


圖11：6/3 11小時降雨組體圖

小結：在這兩場強降雨（相對於3.1之小雨）事件中：

1. 當10分鐘降雨小於3mm以下，得到與3.1小節一樣的結論；
2. 而當10分鐘雨量在3-5mm之間，各分辨力量測到的10分鐘降雨量測數值相當，總雨量累積速率也一致；
3. 但當10分鐘降雨超過5mm以上，分辨力0.5mm及1.0mm會呈現較佳的量測值。累積到時雨量部分，當10分鐘降雨大於5mm情況發生的機率小於等於1/6，三種分辨力量測的小時雨量還能維持相當的量測值；但當這樣的情況（每10分鐘超過5mm）越頻繁頻率超過1/3，表現在累積時雨量上就會有明顯差異，分辨力1.0mm TBRG量測到的降雨大於分辨力0.5TBRG量測到的降雨，且分辨力0.5TBRG量測到的降雨大於分辨力0.1mm TBRG量測到的降雨。

四、結語

降雨觀測資料不論眼前的立即應用、解決當下所面臨的問題，或百年後的歷史分析、了解氣候變遷軌跡，都是基本而重要的工作。降雨資料的品質取決於負責觀測相關等吾輩的態度，臺大雨量計校正實驗室以此理念及態度，與中央氣象局一起為台灣降雨資料品質而努力。這幾年來水利署、水保局、

各縣市政府水利單位已定期送校雨量計，其他單位也陸續溝通說明、了解其重要性中。但除了校正這層把關之外，根據3年來檢校雨量計6百餘部TBRG的經驗，實驗室團隊發現各觀測單位在清潔及維護保養（自理或委外）頻率及要求標準不一，實驗室校正數據顯示，雨量計的清潔狀況嚴重左右儀器器差表現，而保養是否得宜則影響TBRG使用壽命，因此也開始陸續對TBRG業主或其外包廠商進行宣導。

傾斗式雨量計雖有利於自動化觀測規劃，但其構造設計造成其觀測限制，無法以單一TBRG準確量測臺灣地區各類降雨事件，這是臺大團隊設計「降雨觀測智慧型資料蒐集系統」初衷。本文針對系統前端感應部分（三部不同分辨力之TBRG），分析小雨及強降雨下，不同分辨力TBRG之量測表現及其特性：

1. 分辨力小的TBRG可以立即反應出降雨，但降雨時間一長（視降雨強度決定時間長短），分辨力大的TBRG量測值就會追上，除非降雨量少又短暫。
2. 10分鐘雨量3mm（相當於20mm/h）以下，降雨總時間2小時以上者，三種分辨力TBRG量測總雨量相當，各分辨力都有機會是最優量測值，視降雨強度及延時，但總量差距不超過1mm。
3. 10分鐘雨量3-5mm（相當於20~30mm/h）之間，降雨總時間10分鐘以上者，三種分辨力TBRG量測總雨量相當，各分辨力都有機會是最優量測值，視傾斗翻傾先後狀況，但總量差距不超過1mm。
4. 10分鐘雨量5mm（相當於30mm/h）以上，通常分辨力0.5mm或1.0mm量測值較優。10分鐘雨量越大，分辨力1.0TBRG量測值相較其他分辨力可量到越大雨量。
5. 時雨量累計部分，當只有1個10分鐘雨量超過5mm，通常不同分辨力累積時雨量值相當；但當有2個以上的10分鐘雨量超過5mm，通常分辨力1.0mm之時雨量值較大。

致謝

感謝水利署水文技術組、水資源局、水保局、各縣市政府等對雨量計檢校的支持，臺灣大學雨量計校正實驗室才能在短期內累積大量校正經驗，掌握傾斗式雨量計的特性。也感謝中央氣象局氣象儀器檢校中心臧靖宇、陳明欽先生，每當實驗室有什麼特殊狀況、觀察或發現時，願意隨時與我們交流並提供諸多寶貴經驗。

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（2015），水文觀測檢校作業制度之研析。
3. 經濟部（2016），降雨觀測技術改良之先期研究。
4. 全國認證基金會，觀測儀器校正認證服務計畫 TAF-CNLA-A11(2)
5. 財團法人工業技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。
6. 謝黎惠，簡振和，劉格非，馬家麟（2014），傾斗式雨量計檢校技術研發與系統性誤差之修正，103年天氣分析與預報研討會，A7-5
7. 簡振和，謝黎惠，莊旭楨，劉格非，王璿璋，林博雄，李育棋（2015），十一份氣象觀測坪雨量觀測田野量測比對初探，104年天氣分析與預報研討會，A1-3
8. 謝黎惠，簡振和，劉格非（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，A1-4
9. 謝黎惠，簡振和，陳明仁（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
10. 簡振和，謝黎惠，陳明仁（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量測器差特性及其校驗方法，105年天氣分析與預報研討會，A1-4
11. Sevruc, B. and L. Zahlavova, (1994), Classification System of Precipitation Gauge Site Exposure: Evaluation and Application, International J. Climatology, Vol. 14, 681-689
12. WMO (2001), Final Report of the Expert Meeting on Rainfall Intensity Measurements, Bratislava, Slovakia, 23-25 April 2001.
13. 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.
14. WMO (2006), WMO Laboratory Inter-comparison of Rainfall Intensity Gauges, Final Report, Instruments and observation Method.
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 (1986), Guide to meteorological instruments and methods of observation.

