

# 中央氣象局具導管音波式水位計校正實驗室 及其標準校正系統評估

盛嘉宏<sup>1,2</sup> 呂理弘<sup>1</sup> 林燕璋<sup>1</sup>

中央氣象局海象測報中心<sup>1</sup>

國立台灣師範大學地球科學系博士生<sup>2</sup>

## 摘要

音波式水位觀測系統在量測精度上較傳統式等級為高，為了能精確掌握平均海水面變動的趨勢，國內目前正陸續以新一代水位自動觀測系統來取代傳統式潮位觀測系統。同時為確保量測數據的品質，音波式水位計在出廠前，必須於檢校單位進行校正工作，以確保新進儀器的準確能力；然而國內目前尚無專為音波式水位計檢校之實驗室。為了建立國內標準音波式水位計校正實驗室，中央氣象局遂於92年間委託財團法人工業技術研究院量測技術中心執行該項計畫，並於94年底完成驗收工作，預計於96年初正式對外進行檢校服務，未來期許以取得國家標準實驗室認證為努力目標。

本文主要描述校正系統架構、量測原理及量測方法等，並依據國際標準組織（ISO）出版之「量測不確定度表示方法指引」GUM為統計分析理論架構進行設計評估及品保方法，同時分析系統所產生之各項誤差來源予以評估，最後對校正系統所造成之量測不確定度的影響，來訂定本校正系統之不確定度及標準校正規範流程。經評估後本校正系統對外服務的範圍長度為3.04 m至12.16 m，系統擴充不確定度，於擴充係數 $k=2$ （信賴水準約為95%）時，具備最佳校正能量，最後將評估結果做為中央氣象局具導管音波式水位計校正實驗室標準作業規範依據。

## 一、前言

台灣四週面海其中藍色國土資源豐富，其開發與調查有賴於精密可靠的海洋觀測儀器，目前本局所建立的國內首座音波式水位計檢校實驗室，正可以為後續建立各項海洋觀測儀器標準校驗系統之藍圖及規範參考。

本計畫研擬一套適合國內可行之完整的音波式水位計校正方法與標準程序，同時參考美國海洋暨大氣總署（NOAA）音波式水位計校正實驗室現況及全國認基金會 TAF (Taiwan Accreditation Foundation) 原為中華民國實驗室認證體系 (CNLA) 之國內實驗室長度校正規範為標準，以建立一套適合國內標準具導管音波式水位計校正方法及程序。其中具導管音波式測計校正方法及標準程序的原則，是評估校正實驗室具有檢驗具導管音波式水位計之精確度 (precision)、準確度 (accuracy) 是否符合 mm 等級標準以及零值檢定 (sensor zero offset) 是否符合出廠時標準之能力。此部份包括校正水

位測計量測特性、水位測計調校與測計零值檢定等三大程序。

## 二、校正系統架構

### （一）校正系統設備

本音波式水位計校正系統設備有一大型校正箱一座（長16m，寬0.45m，高0.4m；包含四座風扇、15.15m標準鋼尺一座、音波傳感器固定座一座、音波管固定座三十座、0.65m高之不銹鋼腳架15座、防震墊片15組）、電源系統一組及標準音波管10根等，其中風扇是為讓校正箱內空氣能充分對流，維持校正箱內達均溫狀態；探頭固定座及音波管固定座是用來固定探頭及音波管，防震墊片在減少外來震動因素影響到校正儀器固定；電源系統需能供應校正設備及控制系統之用；標準音波管10根是用於校正音波式水位計時之輔助被量測物，音波式水位計校正系統設備一覽表如表1所示。

表1 音波式水位計校正系統設備一覽表

名稱	廠牌	型號	序號	使用規格及功用
大型校正箱	-----	----	----	尺寸：長16m，寬0.45m，高0.4m。 提供執行校正時水位計之固定座及穩定環境溫度。
標準鋼尺 (標準件)	LRUMA	-----	F931117601-8 F931117618	長度範圍：0~20m。 解析度：1mm。 提供校正時之標準長度數據。
數位式溫度計 (標準件)	COMARK	N1001	5970614 5970615 5970616	量測範圍：10~30℃。 解析度：0.1℃。 監測校正箱內溫度並提供長度修正標準。
L型鋼尺	-----	-----	-----	長度範圍：120*250mm。 解析度：1mm。 提供執行校正時輔助擷取標準長度數據。
音波管	AQUATRAK	-----	-----	長度範圍：1515mm。 提供執行校正時音波運行之導波用。
溫溼度計	ROTRONIC	-----	33065014/ 32267113	量測範圍：20~30℃， 40~70%RH。 監測實驗室溫溼度。
蓄電池	YUASA	-----	-----	音波式水位計用直流12V 電源。
自動音波水位校正電腦	-----	CH-8303	-----	執行自動化程式。

(二) 校正系統示意圖

本校正系統是將待校音波式水位計置於大型校正箱內，以追溯過之標準鋼尺為基準，運用比較校正的方式進行音波式水位計之校正工作，如圖1所示。

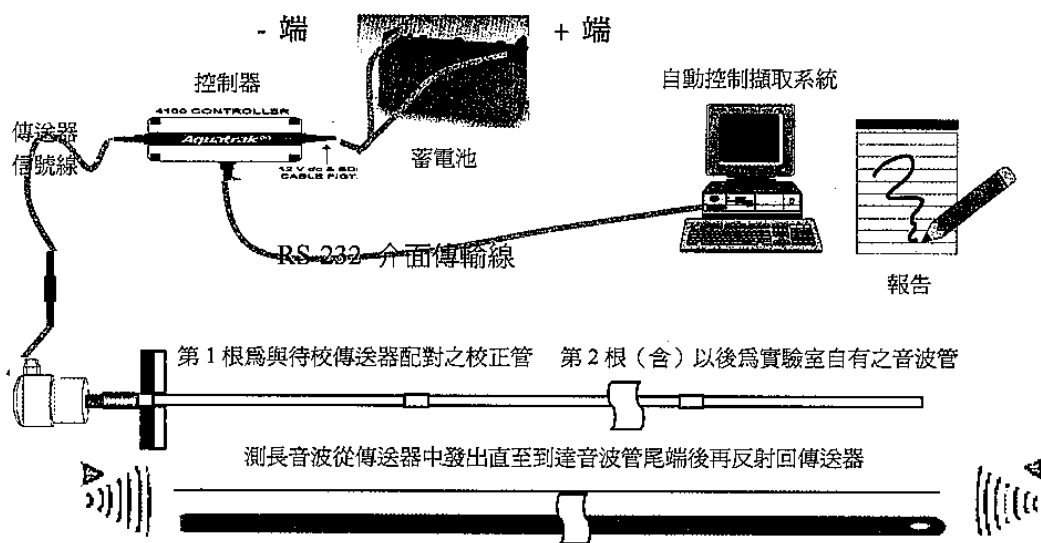


圖1 校正系統接線示意圖



$$u_c^2(E_i) = c_{R_i}^2 u^2(R_i) + c_{S_i}^2 u^2(S_i)$$

$$c_{R_i} = \partial E_i / \partial R_i = 1$$

$$c_{S_i} = \partial E_i / \partial S_i = -1$$

而各觀測值間各自獨立互不相干，共變數(covariance)等於零，因此依據ISO GUM建議之不確定度表示法，組合標準不確定度(Combined Standard Uncertainty)可依下式計算分析：

$$(3) u_c^2(E_i) = u^2(R_i) + u^2(S_i) \\ = f(R, S)$$

### (三) A類標準不確定度評估 ( $U_A$ )

$$U_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$X_i$ : 觀測值

$\bar{X}$ : 觀測值平均

$S$ : 觀測值之標準差

經由一連串重複取樣所獲得的觀測值，所進行的不確定度評估方法，稱為A類標準不確定度評估，本校正系統中僅有待校音波式水位計之重複取樣不確定度( $U_{R1}$ )一項。

執行音波式水位計校正時，藉由傳送器重複取樣的觀測值(頻率為1Hz)，也就是每秒發出一量測音波並得到1個器示值，因每段校正長度之校正時間均設為6分鐘，所以每段校正長度共取得360個器示值，以此計算出每段校正長度之標準差，此標準差即為A類標準不確定度，此分項不確定度服從t分配，自由度為(360-1) = 359。

### (四) B類標準不確定度評估 ( $U_B$ )

排除A類標準不確定度之評估範圍即可得B類標準不確定度範圍，本校正系統中共有三項如下所述。

#### 標準鋼尺解析度之不確定度 ( $U_{S1}$ )

標準鋼尺之解析度為1mm，其機率密度函數服從矩形分配，分配係數為 $\sqrt{3}$ ，自由度為 $\infty$ ，計算本項所提供的標準不確定度為0.2887 mm。

#### 2. 標準鋼尺追溯報告提供的標準不確定度 ( $U_{S2}$ )

追溯報告所提供擴充不確定度為0.3mm，擴充係數為2，自由度為12.5(採相對不確定性R% = 20%)，計算本項所提供的標準不確定度為0.15 mm。

#### 3. 待校音波式水位計準確度之不確定度 ( $U_{R2}$ )

原廠規格書所列準確度為0.025%，計算結果如表2：

表2 規格書提供準確度，單位：mm

量測長度	原廠規格手冊提供	擴充係數	標準不確定度	自由度
3040	0.025%	$\sqrt{3}$	0.44	12.5
6080	0.025%	$\sqrt{3}$	0.88	12.5
9120	0.025%	$\sqrt{3}$	1.32	12.5
12160	0.025%	$\sqrt{3}$	1.76	12.5

(遵循矩形分佈，自由度為12.5，擴充係數為 $\sqrt{3}$ )

### (五) 計算組合標準不確定度：

依據組合標準不確定度之定義為

$$u_c^2(E_i) = u^2(R_i) + u^2(S_i)$$

將前述A類及B類的標準不確定度代入上式中，因此可將組合標準不確定度表示為  $u_c^2(E_i) = (U_{R1}^2) + (U_{S1}^2 + U_{S2}^2 + U_{R2}^2)$

組合標準不確定度計算如表3及表4：

表3 校正系統(不含待校件)

組合標準不確定度值，單位：mm

量測長度	標準鋼尺解析度之不確定度	追溯標準鋼尺報告所求得之標準不確定度	組合標準不確定度
3040	0.2887	0.15	0.33
6080	0.2887	0.15	0.33
9120	0.2887	0.15	0.33
12160	0.2887	0.15	0.33

表4 校正系統(含待校件)

組合標準不確定度值，單位：mm

量測長度	不確定度類別				組合標準不確定度
	A類 待校音波式水位計重複取樣不確定度	B類 標準鋼尺解析度之不確定度	B類 追溯標準鋼尺所求得之標準不確定度	B類 待校音波式水位計準確度之不確定度	
3040	0.07	0.2887	0.15	0.44	0.51
6080	0.07	0.2887	0.15	0.88	0.92
9120	0.07	0.2887	0.15	1.32	1.35
12160	0.07	0.2887	0.15	1.76	1.78

(六) 計算有效自由度  $\nu_{eff}$

依據各觀測點量測次數 ( $n$ )，所得自由度 ( $\nu = n - 1$ )，與自追溯報告估得的自由度，組成有效自由度  $\nu_{eff}$ ，組合公式如下：

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}$$

表5 校正系統 (不含待校件) 有效自由度

量測長度	標準鋼尺解析度之不確定度	自由度	追溯標準鋼尺所求得之標準不確定度	自由度	組合標準不確定度	有效自由度
3040	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	0.33	276.64
6080	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	0.33	276.64
9120	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	0.33	276.64
12160	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	0.33	276.64

表6 校正系統 (含待校件) 有效自由度

量測長度	不確定度類別								組合標準不確定度	有效自由度
	A類		B類				自由度	組合標準不確定度		
	待校音波式水位計重複取樣不確定度	自由度	標準鋼尺解析度之不確定度	自由度	追溯標準鋼尺所求得之標準不確定度	自由度				
3040	0.07	359	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	0.44	12.5	0.51	22.26
6080	0.07	359	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	0.88	12.5	0.92	14.92
9120	0.07	359	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	1.32	12.5	1.35	13.67
12160	0.07	359	0.2887	$\infty$	0.15	12.5	1.76	12.5	1.78	13.08

(七) 決定擴充係數與計算擴充不確定度

本量測評估系統所選定的信賴水準為95%，配合有效自由度即可在  $t$  分配表查詢擴充係數  $k$  的值。擴充不確定度  $U$  為擴充係數  $k$  與組合標準不確定度  $u_c$  的乘積，即  $U = k * u_c$ ，相關擴充不確定度計算如表7至表11。

1. 校正系統 (不含待校件) 擴充不確定度計算

表7 量測長度3040 ~ 12160mm擴充不確定度計算表，單位：mm

不確定度類別來源	標準不確定度 $u(x_i)$	分布	靈敏係數	不確定度分量	自由度
標準鋼尺解析度之不確定度	0.2887	矩型	1	0.2887	$\infty$
追溯標準鋼尺所求得之標準不確定度	0.15	$t$	1	0.15	12.5
組合標準不確定度	-	-	-	0.33	-
有效自由度: 276.64 信賴水準: 95% 擴充係數: 1.96 擴充不確定度: 0.65					

2. 校正系統 (含待校件) 擴充不確定度計算

表8 量測長度3040mm之擴充不確定度計算表，單位：mm

不確定度類別來源	標準不確定度 $u(x_i)$	分布	靈敏係數	不確定度分量	自由度
A類 待校音波式水位計重複取樣不確定度	0.07	$t$	1	0.07	359
B類 標準鋼尺解析度之不確定度	0.2887	矩型	1	0.2887	$\infty$
追溯標準鋼尺所求得之標準不確定度	0.15	$t$	1	0.15	12.5
待校音波式水位計準確度之不確定度	0.44	矩型	1	0.44	12.5
組合標準不確定度:	-	-	-	0.51	-
自由度: 22.26 信賴水準: 95% 擴充係數: 2.08 擴充不確定度: 1.06					

表9 量測長度6080mm之擴充不確定度計算表，單位：mm

不確定度類別來源	標準不確定度 $u(x_i)$	分布	靈敏係數	不確定度分量	自由度
A類 待校音波式水位計重複取樣不確定度	0.07	$t$	1	0.07	359
B類 標準鋼尺解析度之不確定度	0.2887	矩型	1	0.2887	$\infty$
追溯標準鋼尺所求得之標準不確定度	0.15	$t$	1	0.15	12.5
待校音波式水位計準確度之不確定度	0.88	矩型	1	0.88	12.5
組合標準不確定度:	-	-	-	0.92	-
有效自由度: 14.92 信賴水準: 95% 擴充係數: 2.13 擴充不確定度: 1.96					

表10 量測長度9120mm之擴充不確定度計算表，單位：mm

不確定度類別來源		標準不確定度 u(xi)	分布	靈敏係數	不確定度 分量	自由度
A類	待校音波式水位計 重複取樣不確定度	0.07	t	1	0.07	359
B類	標準鋼尺解析 度之不確定度	0.2887	矩型	1	0.2887	∞
	追溯標準鋼尺報告所 求得之標準不確定度	0.15	t	1	0.15	12.5
	待校音波式水位計準 確度之不確定度	1.32	矩型	1	1.32	12.5
	組合標準不確定度	-	-	-	1.35	-
有效自由度: 13.67 信賴水準: 95 % 擴充係數: 2.15 擴充不確定度: 2.90						

表11 量測長度12160mm之擴充不確定度計算表，單位：mm

不確定度類別來源		標準不確定度 u(xi)	分布	靈敏係數	不確定度 分量	自由度
A類	待校音波式水位計 重複取樣不確定度	0.07	t	1	0.07	359
B類	標準鋼尺解析 度之不確定度	0.2887	矩型	1	0.2887	∞
	追溯標準鋼尺報告所 求得之標準不確定度	0.15	t	1	0.15	12.5
	待校音波式水位計準 確度之不確定度	1.76	矩型	1	1.76	12.5
	組合標準不確定度:	-	-	-	1.78	-
有效自由度: 13.08 信賴水準: 95 % 擴充係數: 2.16 擴充不確定度: 3.84						

## 四、量測品保

### (一) 品保設計

本系統量測品保設計分為二大部份，一為不確定度評估，一為建立管制圖。首先選定標準鋼尺為工作標準、檢測音波式水位計量測長度，選定音波式水位計為查核件，將工作標準及查核件進行一系列之量測累積量測所得數據製成管制圖。爾後每次量測時，將查核件量測值作為查核值(查核點)，將查核點繪入管制圖中，可檢查出系統在整個量測過程中是否屬正確控制範圍內。若查核點落入管制界限內，則表示該次量測是在正常控制範圍內，所得之量測值及不確定度皆是可靠的。若查核點落在管制界限外，則表示該次量測系統處於異常狀態，此時需立刻停止量測，棄置所得數據，找出系統異常原因，予以改善處理，再重新執行量測。

### (二) 管制圖

將工作標準及查核音波式水位計，進行一系列之量測，將將查核件量測值作為查核值(查核點)，將此一系列之查核值所求算的平均值與標準差，利用平均值與3倍標準差製成所謂的管制圖。管制圖是以平均值為管制中線，以平均值加減3倍標準差分別為管制上限及管制下限。公式表示如下：

$$\text{平均值} \quad A_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i$$

$$\text{標準差} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - A_c)^2}{n-1}}$$

$n$ ：量測次數； $c_i$ ：查核點； $A_c$ ：平均值

$$\text{管制上限} = A_c + 3S$$

$$\text{管制下限} = A_c - 3S$$

依此方式所製的管制圖，其查核點落入管制界限內之機率為99.7%，並以此作為量測系統掌控之依據。管制圖須每年更新，以確保管制圖為穩定狀態。更新時需將新的查核點數據併入原管制圖所累積的數據，重新計算後繪製新的管制圖。若查核點有飄移現象，則需檢討飄移的原因；若飄移原因為可接受之原因，則可取後段數據重繪管制圖。若飄移原因無法接受，則需改善系統，系統重新評估及製作新的管制圖。

## 五、系統能量之訂定

(一) 本校正系統可提供之最長量測範圍為12.16公尺。

### (二) 擴充不確定度

表12 校正系統(不含待校音波式水位計) 擴充不確定度，單位：mm

量測長度	有效自由度 $\nu_{eff}$	信賴水準	擴充係數	擴充不確定度
3040	276.64	95 %	1.96	0.65
6080	276.64	95 %	1.96	0.65
9120	276.64	95 %	1.96	0.65
12160	276.64	95 %	1.96	0.65

表13 校正系統(含待校音波式水位計) 擴充不確定度，單位：mm

量測長度	有效自由度 $\nu_{eff}$	信賴水準	擴充係數	擴充不確定度
3040	22.26	95 %	2.08	1.06
6080	14.92	95 %	2.13	1.96
9120	13.67	95 %	2.15	1.90
12160	13.08	95 %	2.16	3.84

## 參考文獻

- 2003: 規劃音波式水位計檢校及潮位站水準系統建站標準規範期末報告, 財團法人成大研究發展基金會, 台南市, 2-19-2-38
- 2003: 壓力式海洋儀器檢校標準及程序設計, 國立高雄海洋科技大學海洋環境工程系, 高雄市, 3-8
- 2004: ISO GUM 量測不確定度與統計應用研討會(基礎班), 財團法人工業技術研究院, 台北

市

4. 2005: 實驗室認證規範ISO/IEC 17025 訓練, 財團法人全國認證基金會, 新竹市, 31-35
5. 2005: ISO/IEC 17025:2005 測試與校正實驗室能力一般要求, 財團法人全國認證基金會, 新竹市, 2, 19-20
6. 2005: 實驗室主管訓練教材, 中華民國計量工程學會, 台北市
7. 2006: USER' S GUIDE MODEL 4100/4110 SERIES AQUATRAK, Aquatrak Corporation, Sanford