

量測不確定度評估之研究 — 以內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室為例

邱明全¹ 陳鶴欽² 曾耀賢³ 劉正倫⁴
Ming-Chyu Chiou HeChin Chen Yao-Hsien Tseng Jheng-Lun Liou

摘 要

依國際校正實驗室認證規範 ISO/IEC 17025，量測不確定度係指隨同一個量測結果，說明可合理歸屬於受測量之值分散程度的參數。按該規範 5.4.6 節規定，實施校正之實驗室應使用程序以估算實驗室之量測不確定度。內政部國土測繪中心（National Land Surveying and Mapping Center, NLSC）為中央測繪機關，負責辦理國家基礎測繪工作，建立全國性測繪成果，提供各界參考應用。為提升測量成果品質並符合相關法規規定，落實儀器校正制度，於 2008 年成立「測量儀器校正實驗室」（Survey Instrument Calibration Laboratory, SICL），積極建置相關校正設備及發展符合國際認證規範 ISO/IEC 17025 之品質管理系統，並於 2009 年 11 月向全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation, TAF）提出校正實驗室認證申請，於 2010 年 3 月通過 TAF 校正實驗室認證。本研究即以本實驗室之校正系統為例，包括電子測距儀、經緯儀及衛星定位儀等 3 項校正系統，說明測量儀器在校正過程中應考慮的因素及評估的程序，並據以估算本實驗室各校正系統之最佳校正能力。

關鍵字：儀器校正，量測不確定度

Abstract

According to the international certification standard ISO/IEC 17025, the uncertainty is the parameters of dispersion range of the measurement results. The calibration laboratory should evaluate the uncertainty according to the regulation of section 5.4.6 of the standard. The National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) is a central authority that is responsible for the establishment of a national mapping results. In order to establish the instrument calibration institution, the NLSC established the Surveying Instrument Calibration Laboratory (SICL) in 2008 and has developed quality management system of calibration to meet the requirements of international certification standard ISO/IEC 17025. This laboratory has approved the recognition by Taiwan Accreditation Foundation (TAF) in March of 2010. This study will take the laboratory calibration system as an example, including total stations, theodolites and GPS receivers to show the assessment procedures of uncertainty and estimate the best measurement capabilities of laboratory.

Keywords : Calibration, uncertainty

¹內政部國土測繪中心專員
²內政部國土測繪中心技正
³內政部國土測繪中心課長
⁴內政部國土測繪中心副主任

一、前言

國土測繪法已於 2007 年 3 月公布，子法「基本測量實施規則」第 24 條及「應用測量實施規則」第 12 條均規定辦理測量業務之儀器均應定期送校，其中「基本測量實施規則」更明定儀器應定期送國家度量衡標準實驗室或簽署國際實驗室認證聯盟相互承認辦法之認證機構所認證之實驗室辦理校正，而國內簽署相互承認辦法之認證機構即為全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)。本中心為全國最高測繪機關，為落實儀器校正制度並符合相關法規規定，於 2008 年成立「測量儀器校正實驗室」(以下簡稱本實驗室)，積極建置相關校正設備及發展符合國際認證規範 ISO/IEC 17025 之品質管理系統，並於 98 年 11 月向 TAF 提出校正實驗室認證申請，TAF 於 2010 年 1 月 20 日派評審員至本中心現場評鑑，於 2010 年 3 月 10 日通過 TAF 校正實驗室認證(實驗室編號 2218)。

二、量測不確定度與最佳校正能力

(一)量測不確定度

依國際校正實驗室認證規範「ISO/IEC 17025:2005 測試與校正實驗室能力一般要求」(TAF, 2005)，所謂量測不確定度即是指隨同一個量測結果，說明可合理歸屬於受測量之值分散程度的參數。

(二)最佳校正能力

依 TAF 文件「校正領域特定規範(TAF-CNLA-T01(1))」(TAF, 2009)，「最佳校正能力」是一個實驗室於認可範圍內，在

下列狀況，可達到的最小量測不確定度：

- 1.當執行近乎完美的量測標準所欲定義、實現、保存或再現的一組的量，或一個或多個的值或多或少例行性校正工作時；或
- 2.以近乎完美的量測儀器，執行或多或少之例行性校正工作時。

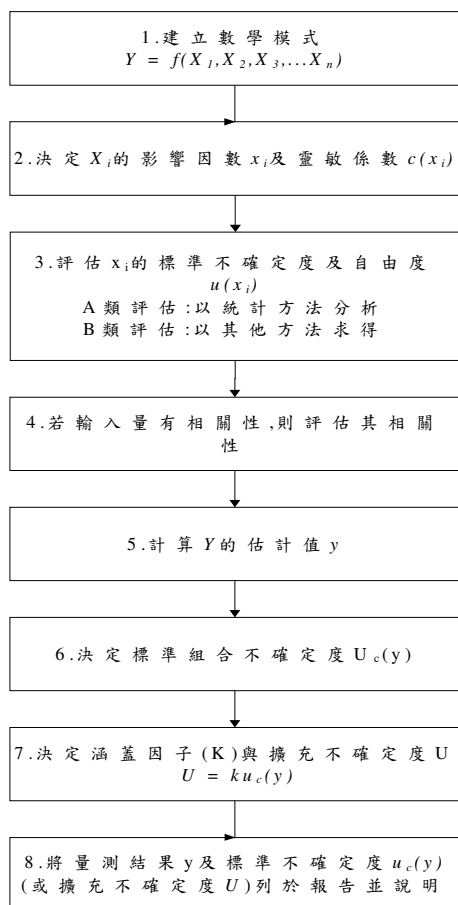
實驗室在發展校正系統時，均需評估量測過程中各項量測不確定度的來源及大小，並據以計算校正系統之最佳校正能力。就測量觀念而言，量測不確定度即為測量過程中的誤差，只是測量一般較強調的是觀測值的誤差(即中誤差)，但評估校正系統之最佳校正能力，應將所有誤差源均納入，舉凡觀測值的誤差、環境造成的誤差、輔助設備的誤差、儀器解析度的誤差及人為誤差等等，均為量測不確定度的來源。

三、量測不確定度評估程序

依國際標準組織(ISO)出版的「量測不確定度表示方式指引」(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 2nd Edition, 1995, 簡稱 ISO-GUM)及 TAF「校正領域量測不確定度評估指引」(TAF, 2008)(林開儀)建議之評估方法，將各項誤差來源予以量化為 A 類及 B 類不確定度。其中，A 類以統計方法評估，B 類用其他方法評估，兩者皆以假設性機率分佈為基礎，估得各標準不確定度(Standard uncertainty)，再合併成組合標準不確定度(Combined standard uncertainty)，依特定信賴水準與有效

自由度，決定涵蓋因子，計算擴充不確定度 (Expanded uncertainty)，並以擴充不確定度表示最佳校正能力。本實驗室各校正系統均依 ISO GUM 建議之 8 步驟 (如圖 1)，評估量測不確定度。

圖 1 評估量測不確定度 8 步驟



本中心測量儀器校正實驗室共建置電子測距儀、經緯儀及衛星定位儀等三套校正系統 (邱明全等, 2010)，各校正系統之量測不確定度評估如下。

(一) 電子測距儀校正系統 (內政部國土測繪中心, 2010)

1. 建立量測方程式

固定基座基線場電子測距儀之器差，計算式如下：

$$\text{器差} (\Delta D) = \text{校正件測距儀量測值} (D_m) - \text{基線場標準距離} (D_s)$$

由於校正件測距儀量測值與基線場基樁標準距離獨立不相關，則校正結果器差 ΔD 之組合標準不確定度為

$$u_{\Delta D} = \left(u(D_m)^2 + u(D_s)^2 \right)^{1/2} = \left(u_m^2 + u_s^2 \right)^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

式中 u_s 表示固定基座基線場標準距離之組合標準不確定度； u_m 表示校正件測距儀量測值之組合標準不確定度。

2. 不確定度來源分析

(1) 固定基座基線場標準距離不確定度來源分析

固定基座基線場係使用本中心標準件 Leica TC2003 進行基線標準距離測量，並以溫度計及壓力計施測環境之溫度及壓力以進行觀測值之大氣影響修正，基線場不確定度來源分析及計算如表 1。

(2) 校正件距離量測不確定度來源分析

即校正件於基線場進行校正時之不確定度來源，依校正程序，校正件每一段距離均觀測 3 次，取其平均值，不確定度來源分析及計算如表 2。

表 1 固定基座基線場標準距離標準不確定度來源及計算表

代號	不確定度來源	不確定度	類別	機率分配	分配係數	標準不確定度 $u(x_i)$	靈敏係數 $c_i = \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i}$	標準不確定度分量 $c_i \times u(x_i)$	自由度
X ₁	來自一級追溯值	0.6 mm	B	常態	2.0	0.3 mm	1	0.3 mm	12
		(1.6×10^{-6})	B	常態	2.0	0.8×10^{-6}	D	$(0.8 \times 10^{-6}) \times D$	12
X ₂	基線場距離重複觀測	0.34 mm	A	常態	1	0.34 mm	1	0.34 mm	28
X ₃	大氣條件變化	(1×10^{-6})	B	矩形	$3^{1/2}$	0.58×10^{-6}	D	$(0.58 \times 10^{-6}) \times D$	12.5
X ₄	反射鏡定平誤差	0.4 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.23 mm	1	0.23 mm	12.5
X ₅	照準偏心回復訊號	0.2 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.12 mm	1	0.12 mm	12.5
X ₆	基樁偏移量	0	本實驗室辦理校正之標準距離係當天辦理校正作業時量測而得，因此視基樁短時間內無偏移，本項評估值為 0。						
X ₇	儀器最小讀數	0.01 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.006	1	0.006 mm	12.5

表 2 校正件標準不確定度來源及計算表

代號	不確定度來源	不確定度	類別	機率分配	分配係數	標準不確定度 $u(x_i)$	靈敏係數 $c_i = \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i}$	標準不確定度分量 $c_i \times u(x_i)$	自由度
X ₈	校正件重複觀測	$a / \sqrt{3}$ mm	A	矩形	$3^{1/2}$	$a/3$ mm	1	$a/3$ mm	50
		$(b \times 10^{-6}) / \sqrt{3}$	A	矩形	$3^{1/2}$	$(b \times 10^{-6}) / 3$	D	$[(b \times 10^{-6}) / 3] \times D$	50
X ₉	反射鏡定平誤差	0.4 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.23 mm	1	0.23 mm	12.5
X ₁₀	大氣條件變化	(1×10^{-6})	B	矩形	$3^{1/2}$	(0.58×10^{-6})	D	$(0.58 \times 10^{-6}) \times D$	12.5
X ₁₁	照準偏心回復訊號	0.2 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.12 mm	1	0.12 mm	12.5
X ₁₂	儀器最小讀數	Δ mm	B	矩形	$3^{1/2}$	$\Delta / \sqrt{3}$ mm	1	$\Delta / \sqrt{3}$ mm	12.5

註：儀器規格為 $a \text{ mm} + (b \times 10^{-6}) \times D$ ，最小讀數為 Δ

3. 組合標準不確定度及擴充不確定度

$$u_{\Delta D} = (u(D_m)^2 + u(D_s)^2)^{1/2} = (u_m^2 + u_s^2)^{1/2}$$

校正結果器差 ΔD 組合標準不確定度為

(2)

式中 u_s 表示基線場標準距離之

組合標準不確定度； u_n 表示校正件測距儀量測值之組合標準不確定度

(1) 基線場標準距離之組合標準不確定度 u_{sc}

由基線場標準距離不確定度來源分析，因各來源獨立不相關，由誤差傳播，標準距離之組合標準不確定度如下：

$$\begin{aligned}
 u_s^2 &= X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 + X_5^2 + X_6^2 + X_7^2 \\
 &= (cu(x_1))^2 + (cu(x_2))^2 + (cu(x_3))^2 + (cu(x_4))^2 + (cu(x_5))^2 + (cu(x_6))^2 + (cu(x_7))^2 \\
 &= (0.3\text{mm})^2 + (0.8 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.34\text{mm})^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.23\text{mm})^2 + \\
 &\quad (0.12\text{mm})^2 + (0\text{mm})^2 + (0.006\text{mm})^2 \\
 &= (0.52\text{mm})^2 + (0.99 \times 10^{-6} \times D)^2 \\
 \text{即 } u_s &= [(0.52\text{mm})^2 + (0.99 \times 10^{-6} \times D)^2]^{1/2} \quad (3)
 \end{aligned}$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以固定基座基線場最長基樁 266m 計算如下：

$$\begin{aligned}
 v_{eff} &= \frac{(u_s)^4}{\frac{X_1^4}{v_1} + \frac{X_2^4}{v_2} + \frac{X_3^4}{v_3} + \frac{X_4^4}{v_4} + \frac{X_5^4}{v_5} + \frac{X_6^4}{v_6} + \frac{X_7^4}{v_7}} \\
 &= \frac{0.6740^4}{\frac{0.3^4}{12} + \frac{(0.8 \times 0.266)^4}{12} + \frac{0.34^4}{21} + \frac{(0.58 \times 0.266)^4}{12.5} + \frac{0.23^4}{12.5} + \frac{0.12^4}{12.5} + \frac{0.006^4}{12.5}} \\
 &= 73
 \end{aligned} \quad (4)$$

而標準距離之擴充不確定度 $U_s = ku_s$ ， k 稱為涵蓋因子 (Coverage factor)，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k=2.0$ ，故基線場標準距離之擴充不確定度

$$U_s = 2.0 \times ((0.52\text{mm})^2 + (0.99 \times D)^2)^{1/2} = ((1.04\text{mm})^2 + (1.98 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2}$$

在校正報告中之基線場標準距離之擴充不確定度取

$$U_s = ((1.1\text{mm})^2 + (2.0 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2} \quad (5)$$

(2) 校正件量測值之組合標準不確定度 u_n

由校正件量測值之不確定度來源分析，因各來源獨立不相關，由誤差傳播，以校正件規格為 $1\text{mm} + 1 \times 10^{-6} \times D$ ，最小讀數為 0.01mm 估算，校正件量測值之組合標準不確定度計算如下

$$\begin{aligned}
 u_m^2 &= X_8^2 + X_9^2 + X_{10}^2 + X_{11}^2 + X_{12}^2 \\
 &= (c_8 u(x_8))^2 + (c_9 u(x_9))^2 + (c_{10} u(x_{10}))^2 + (c_{11} u(x_{11}))^2 + (c_{12} u(x_{12}))^2 \\
 &= (0.33\text{mm})^2 + (0.33 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.23\text{mm})^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 \\
 &\quad + (0.12\text{mm})^2 + (0.006\text{mm})^2 \\
 &= (0.42\text{mm})^2 + (0.67 \times 10^{-6} \times D)^2
 \end{aligned}$$

$$\text{即 } u_m = \left((0.42\text{mm})^2 + (0.67 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以固定基座基線場最長基樁 266m 計算如下：

$$\begin{aligned} v_{eff} &= \frac{(u_m)^4}{\frac{X_8^4}{v_8} + \frac{X_9^4}{v_9} + \frac{X_{10}^4}{v_{10}} + \frac{X_{11}^4}{v_{11}} + \frac{X_{12}^4}{v_{12}}} \\ &= \frac{0.4645^4}{\frac{0.33^4}{50} + \frac{(0.33 \times 0.266)^4}{50} + \frac{0.23^4}{12.5} + \frac{(0.58 \times 0.266)^4}{12.5} + \frac{0.12^4}{12.5} + \frac{0.006^4}{12.5}} = 83 \end{aligned} \quad (7)$$

校正件量測值之擴充不確定度 $U_m = k u_m$ ， k 稱為涵蓋因子，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k = 1.99$ ，故校正件量測值之擴充不確定度

確定度 $u_{\Delta D}$

基線場標準距離 D_s 與校正件測距儀量測值 D_m 獨立不相關，不確定度計算表如表 3 所示：

$$U_m = 1.99 \times \left((0.42\text{mm})^2 + (0.67 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} = \left((0.84\text{mm})^2 + (1.33 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

(3) 校正結果器差之組合標準不

表 3 校正結果器差 ΔD 標準不確定度分析表

代號	不確定度來源	靈敏係數	標準不確定度分量(mm)	自由度
u_s	標準基線 D_s 組合標準不確定度	1	$\left((0.52)^2 + (0.99 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$	73
u_m	校正件測距儀量測值 D_m 組合標準不確定度	1	$\left((0.42)^2 + (0.67 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$	83

則校正結果之組合標準不確定度計算如下

$$\begin{aligned} u_{\Delta D} &= \left(u(D_m)^2 + u(D_s)^2 \right)^{1/2} = \left(u_m^2 + u_s^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((0.52\text{mm})^2 + (0.99 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.42\text{mm})^2 + (0.67 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \quad (8) \\ &= \left((0.67\text{mm})^2 + (1.19 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \end{aligned}$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以固定基座基線場最長基樁 266m 計算如下：

$$v_{eff} = \frac{(u_{\Delta D})^4}{\frac{u_s^4}{v_s} + \frac{u_m^4}{v_m}} = \frac{0.7438^4}{\frac{0.5848^4}{73} + \frac{0.4557^4}{85}} = 143$$

而器差之擴充不確定度 $U_{\Delta D} = k u_{\Delta D}$ ， k 稱為涵蓋因子，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k=1.97$ ，故基線場校正結果器差 ΔD 之擴充不確定度 $U_{\Delta D}$

$$U_{\Delta D} = 1.97 \times \left[(0.67 \text{ mm})^2 + (1.19 \times 10^{-6} \times D)^2 \right]^{1/2} = \left[(1.32 \text{ mm})^2 + (2.34 \times 10^{-6} \times D)^2 \right]^{1/2}$$

因此固定基座電子測距基線場以電子測距儀規格 $1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6}$ ，最小讀數 0.01 mm 模擬校正，則最佳校正能力為

$$U_{\Delta D} = \left[(1.4 \text{ mm})^2 + (2.4 \times 10^{-6} \times D)^2 \right]^{1/2}, \quad D \text{ 從 } 1 \text{ m 至 } 266 \text{ m}$$

(一) 經緯儀校正系統 (內政部國土測繪中心, 2010)

1. 建立量測方程式

本系統的校正項目包括視準軸誤差 (C)、橫軸誤差 (i)、垂

直度盤指標差 (I)、一測回水平角準確度 (μ) 及望遠鏡視軸調焦直度誤差 (W)，各項誤差的量測方程式如下所列：

(1) 視準軸誤差 (C)

$$C = [D_{\text{輔}} - (R_{\text{輔}} \pm 180^\circ)]/2 + H_C$$

(2) 橫軸誤差 (i)

$$i = \left[(D^{\perp} - (R^{\perp} \pm 180^\circ)) - (D_{\text{下}} - (R_{\text{下}} \pm 180^\circ)) \right] \times \cot \alpha / 4 + H_Z$$

(3) 垂直度盤指標差 (I)

$$I = (ZD_{\text{輔}} + ZR_{\text{輔}} - 360^\circ) / 2 + H_I$$

(4) 一測回水平角準確度 (μ)

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 v_i^2}{6-1}} + v_{\mu}; \quad v_i = \bar{Q}_i - \bar{P}_i - \bar{\mu}_0 = \frac{(Q_i + Q'_i)}{2} - \frac{(P_i + P'_i)}{2} - \bar{\mu}_0$$

(5) 望遠鏡視軸調焦直度誤差 (W)

$$W = \left[(P_A + P'_A) - (P_B + P'_B) \right] / 2 + H_W$$

各式中， D ：正鏡水平角觀測讀數值； R ：倒鏡水平角觀測讀數值； ZD ：正鏡垂直度盤觀測讀數值； ZR ：倒鏡垂直度盤觀測讀數值； H_C ：視準軸誤差等精度觀測平均值，其理論值為 0； H_Z ：橫軸誤差等精度觀測平均值，其理論值為 0； H_I ：垂直度盤指標誤差等精度觀測平均值，其理論值為 0； P_i ：第 i 測回，正鏡照準主準直儀 ∞ 目標水平角

觀測讀數值、 P'_i ：第 i 測回，倒鏡照準主準直儀 ∞ 目標水平角觀測讀數值、 Q_i ：第 i 測回，正鏡照準輔助準直儀水平角觀測讀數值、 Q'_i ：第 i 測回，倒鏡照準輔助準直儀水平角觀測讀數值； v_{μ} ：一測回水平角準確度之理論值，其理想值為 0； P_A ：正鏡照準主準直儀 A 目標水平角觀測讀數值； P'_A ：倒鏡照準主準直儀 A 目標水平角

觀測讀數值； P_B ：正鏡照準主
準直儀 B 目標水平角觀測讀數
值； P'_B ：倒鏡照準主準直儀 B
目標水平角觀測讀數值； H_w ：
望遠鏡視軸調焦直度誤差等精

度觀測平均值，其理論值為 0。

2. 校正系統各項誤差來源分析
實施經緯儀校正時，各項誤差
來源分析及誤差如表 4：

表 4 經緯儀校正各項誤差來源分析

誤差來源及誤差量	誤差種類	誤差分布型態	除數	標準不確定度	靈敏係數	標準不確定度分量	自由度
望遠鏡照準誤差 $\sigma_1 = 0.33''$	B	矩形	$\sqrt{3}$	$u_1 = 0.19''$	1	$0.19''$	$\nu_1 = 8$
光學測微最小讀值誤差 $\sigma_2 = d''/10$	B	矩形	$\sqrt{3}$	$u_2 = \frac{d''}{10 \times \sqrt{3}}$	1	$\frac{d''}{10 \times \sqrt{3}}$	$\nu_2 = 8$
光學經緯儀讀數指標對齊誤差 $\sigma_3 = 0.87''$	B	矩形	$\sqrt{3}$	$u_3 = 0.50''$	1	$0.50''$	$\nu_3 = 12.5$
電子經緯儀最小顯示讀值能力誤差 $\sigma_4 = \Delta''$	B	矩形	$\sqrt{3}$	$u_4 = \frac{\Delta''}{\sqrt{3}}$	1	$\frac{\Delta''}{\sqrt{3}}$	$\nu_4 = 50$
經緯儀定平誤差 $\sigma_5 = 0.00048''$	B	常態	3	$u_5 = 0''$	1	$0''$	$\nu_5 = \infty$
準直儀∞目標變化誤差 $\sigma_6 = 0''$	B	常態	3	$u_6 = 0''$	1	$0''$	$\nu_6 = \infty$
環境變化誤差 $\sigma_7 = 1.5''$	B	矩形	$\sqrt{3}$	$u_7 = 0.87''$	1	$0.87''$	$\nu_7 = 12.5$
視準軸誤差 等精度觀測平均值 C_8	A	常態	1	u_8	1	u_8	$\nu_8 = 2$
橫軸誤差 等精度觀測平均值 i_9	A	常態	1	u_9	1	u_9	$\nu_9 = 2$
垂直度盤指標誤差 等精度觀測平均值 I_{10}	A	常態	1	u_{10}	1	u_{10}	$\nu_{10} = 2$
一測回水平角準確度 等精度觀測平均值 μ_{11}	A	常態	1	u_{11}	1	u_{11}	$\nu_{11} = 5$
望遠鏡視軸調焦直度誤差等精度觀 測平均值 W_{12}	A	常態	1	u_{12}	1	u_{12}	$\nu_{12} = 2$
查核件測角追溯誤差	B	常態	2	$u_{13} = 0.30''$	1	$0.30''$	$\nu_{13} = 77$

3. 各校正項目不確定度分析

目前本中心所使用之經緯儀均為電子經緯儀，因此本研究之各項誤差均以電子經緯儀為評估標的。

(1) 視準軸誤差 C

(I) 組合標準不確定度 $\mu_c(C)$

由視準軸觀測方程式，視準軸誤差 C 的誤差來源有 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 、 σ_5 、 σ_6 、 σ_7 及 C_8 、

σ_{13} ，假設各誤差來源彼此互相獨立，且靈敏係數均為 1，可得

$$u_{D_{精}}^2 = u_{R_{精}}^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 +$$

對電子經緯儀而言， $u_2 = 0$ 及 $u_3 = 0$ ，其組合標準不確定度的計算如下

$$\begin{aligned}
u_{c_2}^2(C) &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{D_{\text{輔}}})^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{R_{\text{輔}}})^2 + u_8^2 \\
&= \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_1^2 + u_4^2 + u_7^2 + u_{13}^2) + \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_1^2 + u_4^2 + u_7^2 + u_{13}^2) + u_8^2 \quad (9) \\
&= \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(0.19^2 + \frac{\Delta^2}{3} + 0.87^2 + 0.30^2\right) \times 2 + u_8^2 = 0.44 + \frac{\Delta^2}{6} + u_8^2
\end{aligned}$$

以查核件 (Leica TC2003) 進行模擬校正，將 $\Delta = 0.10''$ ， $u_8 = 0.13''$ ，代入上式，求得 $u_{c_2}(C) = 0.68''$ 。

按 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度 $\nu_{\text{eff}}(C)$ ：

$$\begin{aligned}
\nu_{\text{eff}}(C) &= \frac{[u_{c_2}(C)]^4}{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^4 \left\langle \frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_4^4}{\nu_4} + \frac{u_7^4}{\nu_7} + \frac{u_{13}^4}{\nu_{13}} \right\rangle + \frac{u_8^4}{\nu_8}} \quad (10) \\
&= \frac{0.68^4}{(1/2)^2 \times \left\langle \frac{0.19^4}{8} + \frac{\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^4}{50} + \frac{0.87^4}{12.5} + \frac{0.30^4}{77} \right\rangle + \frac{0.13^4}{2}} = 18.14 \approx 18
\end{aligned}$$

選擇的 95% 信賴水準， $\nu_{\text{eff}}(C) = 18$ ，利用 t-分布表查得涵蓋因子

$$k_C = t_{95\%}(18) = 2.10。$$

(II) 擴充不確定度 $U(C)$

$$U_{c_2}(C) = k_C \times u_{c_2}(C) = k_C \times \sqrt{0.44 + \frac{\Delta^2}{6} + u_8^2} = 2.10 \times 0.68 = 1.42'' \approx 1.5'' \quad (11)$$

(2) 橫軸誤差 i

(I) 組合標準不確定度 $u_c(i)$

由橫軸觀測方程式，誤差來源有 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 、 σ_5 、 σ_6 、 σ_7 及 i_9 、 σ_{13} ，因為各誤差來源彼此互相獨立，且靈敏係數均為 1，可得

$$u_{D_{\text{上}}}^2 = u_{D_{\text{下}}}^2 = u_{R_{\text{上}}}^2 = u_{R_{\text{下}}}^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_{13}^2$$

，為簡化符號，令 $u_i = u_{D_{\text{上}}} = u_{D_{\text{下}}} = u_{R_{\text{上}}} = u_{R_{\text{下}}}$ ，對電子經緯儀而言，

$u_2 = 0$ 及 $u_3 = 0$ ，組合標準不確定度 $u_c(i)$ 計算如下 ($\alpha = 30^\circ$)：

$$\begin{aligned}
u_c^2(i) &= \left(\frac{1.73}{4}\right)^2 (u_{D_{\text{上}}})^2 + \left(\frac{1.73}{4}\right)^2 (u_{R_{\text{上}}})^2 + \left(\frac{1.73}{4}\right)^2 (u_{D_{\text{下}}})^2 + \left(\frac{1.73}{4}\right)^2 (u_{R_{\text{下}}})^2 + u_9^2 \\
&= \left(\frac{1.73}{4}\right)^2 (u_i)^2 \times 4 + u_9^2 = \left(\frac{1.73}{4}\right)^2 (u_1^2 + u_4^2 + u_7^2 + u_{13}^2) \times 4 + u_9^2 \quad (12) \\
&= \left(\frac{1.73}{4}\right)^2 \left(0.19^2 + \frac{\Delta^2}{3} + 0.87^2 + 0.30^2\right) \times 4 + u_9^2 = 0.66 + \frac{1.73^2 \times \Delta^2}{12} + u_9^2
\end{aligned}$$

以查核件進行模擬校正 $\Delta = 0.10''$, $u_9 = 0.28''$, 代入上式, 求得 $u_{c_2}(i) = 0.86''$ 。

按 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度：

$$v_{\text{eff}}(i) = \frac{[u_{c_2}(i)]^4}{\left(\frac{1.73}{2}\right)^4 \left\langle \frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_4^4}{v_4} + \frac{u_7^4}{v_7} + \frac{u_{13}^4}{v_{13}} \right\rangle + \frac{u_9^4}{v_9}} \quad (13)$$

$$= \frac{0.86^4}{(1.73/2)^4 \times \left\langle \frac{0.19^4}{8} + \frac{\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^4}{50} + \frac{0.87^4}{12.5} + \frac{0.30^4}{77} \right\rangle + \frac{0.28^4}{2}}$$

選擇的 95% 信賴水準, $v_{\text{eff}}(i) = 19$, 利用 t-分布表查得涵蓋因子 $k_i = t_{95\%}(19) = 2.09$ 。

(II) 擴充不確定度 $U(i)$

$$U_{c_2}(i) = k_i \times \sqrt{0.66 + \frac{1.73^2 \times \Delta^2}{12} + u_9^2} = 2.09 \times 0.86 = 1.80 \approx 1.8'' \quad (14)$$

(3) 垂直度盤指標誤差 I

(I) 組合標準不確定度 $\mu_c(I)$

由垂直度盤指標誤差觀測方程式, 誤差來源有 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 、 σ_5 、 σ_6 、 σ_7 及 I_{10} 、 σ_{13} , 誤差來源彼此互相獨立, 且靈敏係數均為 1, 可得 $u_{ZD_{\text{精}}}^2 = u_{ZR_{\text{精}}}^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_{13}^2$, 對電子經緯儀而言, $u_2 = 0$ 及 $u_3 = 0$, 組合標準不確定度計算如下：

$$u_{c_2}^2(I) = \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{ZD_{\text{精}}})^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{ZR_{\text{精}}})^2 + u_{10}^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_1^2 + u_4^2 + u_7^2 + u_{13}^2) \times 2 + u_{10}^2$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(0.19^2 + \frac{\Delta^2}{3} + 0.87^2 + 0.30^2\right) \times 2 + u_{10}^2 = 0.44 + \frac{\Delta^2}{6} + u_{10}^2$$

以查核件進行模擬校正, 過 $\Delta = 0.10''$, $u_{10} = 0.53''$, 代入上式, 求得 $u_{c_2}(I) = 0.85''$ 。

按 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度：

$$v_{\text{eff}}(I) = \frac{[u_{c_2}(I)]^4}{\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^4 \left\langle \frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_4^4}{v_4} + \frac{u_7^4}{v_7} + \frac{u_{13}^4}{v_{13}} \right\rangle + \frac{u_{10}^4}{v_{10}}} \quad (15)$$

$$= \frac{0.85^4}{(1/2)^2 \times \left\langle \frac{0.19^4}{8} + \frac{\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^4}{50} + \frac{0.87^4}{12.5} + \frac{0.30^4}{77} \right\rangle + \frac{0.53^4}{2}}$$

選擇的 95% 信賴水準, $v_{\text{eff}}(I) = 10$, 利用 t-分布表查得涵蓋因子

$$k_1 = t_{95\%}(10) = 2.23。$$

(II) 擴充不確定度 $U(I)$

$$U_{c_2}(I) = k_1 \times u_{c_2}(I) = k_1 \times \sqrt{0.44 + \frac{\Delta^2}{6} + u_{10}^2} = 2.23 \times 0.85 = 1.90 \approx 1.9'' \quad (16)$$

(4) 一測回水平角準確度 μ

(I) 組合標準不確定度 $u_c(\mu)$

按一測回水平角觀測方程式，誤差來源有 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 、 σ_5 、 σ_6 、 σ_7 及 μ_{11} ，因各誤差來源彼此互相獨立，且靈敏係數均為 1，可得 $u_{Q_i}^2 = u_{Q_i'}^2 = u_{P_i}^2 = u_{P_i'}^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_{13}^2$ ，為簡化符號，令 $u_\mu = u_{Q_i} = u_{Q_i'} = u_{P_i} = u_{P_i'}$ ，對電子經緯儀而言， $u_2 = 0$ 及 $u_3 = 0$ ，組合標準不確定度 $u_c(\mu)$ 計算如下：

$$\begin{aligned} u_{c_2}^2(\mu) &= \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \times u_\mu^2 \times 4 \times 6}{5} + u_{11}^2 = \frac{6 \times (u_1^2 + u_4^2 + u_7^2 + u_{13}^2)}{5} + u_{11}^2 \quad (17) \\ &= \frac{6 \times \left(0.19^2 + \frac{\Delta^2}{3} + 0.87^2 + 0.30^2\right)}{5} + u_{11}^2 = 1.06 + \frac{6 \times \Delta^2}{15} + u_{11}^2 \end{aligned}$$

以查核件進行模擬校正， $\Delta = 0.10''$ ， $u_{11} = 0.17''$ ，代入上式，求得 $u_{c_2}(\mu) = 1.05''$ 。

按 Welch-Satterthwaite 公式，計算有效自由度：

$$\begin{aligned} \nu_{\text{eff}}(\mu) &= \frac{[u_{c_2}(\mu)]^4}{\left(\sqrt{\frac{6}{5}}\right)^4 \left\langle \frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_4^4}{\nu_4} + \frac{u_7^4}{\nu_7} + \frac{u_{13}^4}{\nu_{13}} \right\rangle + \frac{u_{11}^4}{\nu_{11}}} \quad (18) \\ &= \frac{1.05^4}{(6/5)^2 \times \left\langle \frac{0.19^4}{8} + \frac{\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^4}{50} + \frac{0.87^4}{12.5} + \frac{0.30^4}{77} \right\rangle + \frac{0.17^4}{5}} = 17.93 \approx 17 \end{aligned}$$

選擇 95% 信賴水準， $\nu_{\text{eff}}(\mu) = 17$ ，利用 t 分布表查得涵蓋因子 $k_\mu = t_{95\%}(17) = 2.11$ 。

(II) 擴充不確定度 $U(\mu)$

$$U_{c_2}(\mu) = k_\mu \times u_{c_2}(\mu) = k_\mu \times \sqrt{1.06 + \frac{6 \times \Delta^2}{15} + u_{11}^2} = 2.11 \times 1.05 = 2.21 \approx 2.3'' \quad (19)$$

(5) 望遠鏡視軸調焦直度誤差 W

(I) 組合標準不確定度 $u_c(W)$

按望遠鏡視軸調焦直度誤差量測方程式，誤差來源有 σ_1 、 σ_2 、

σ_3 、 σ_4 、 σ_5 、 σ_6 、 σ_7 及 W_{12} 、 σ_{13} ，因各誤差來源彼此互相獨立，且靈敏係數均為 1，可得

$$u_{P_A}^2 = u_{P'_A}^2 = u_{P_B}^2 = u_{P'_B}^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_{13}^2，為$$

簡化符號，令 $u_W = u_{P_A} = u_{P'_A} = u_{P_B} = u_{P'_B}$ 。對電子經緯儀而言， $u_2 = 0$

及 $u_3 = 0$ ，組合標準不確定度計算如下：

$$\begin{aligned} u_c^2(W) &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{P_A})^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{P'_A})^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{P_B})^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_{P'_B})^2 + u_{12}^2 \\ &= \left(\frac{1}{2}\right)^2 (u_W)^2 \times 4 + u_{12}^2 = u_1^2 + u_4^2 + u_7^2 + u_{13}^2 + u_{12}^2 \\ &= 0.19^2 + \frac{\Delta^2}{3} + 0.87^2 + 0.30^2 + u_{12}^2 = 0.88 + \frac{\Delta^2}{3} + u_{12}^2. \end{aligned} \quad (20)$$

在本系統中以查核件進行模擬校正， $\Delta = 0.10''$ ， $u_{12} = 0.14''$ ，代入上式 (38)，求得 $u_{c_2}(W) = 0.95''$ 。按 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度：

$$\begin{aligned} v_{\text{eff}}(W) &= \frac{[u_{c_2}(W)]^4}{\frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_4^4}{v_4} + \frac{u_7^4}{v_7} + \frac{u_{13}^4}{v_{13}} + \frac{u_{12}^4}{v_{12}}} \\ &= \frac{0.95^4}{\frac{0.19^4}{8} + \frac{\left(\frac{0.1}{\sqrt{3}}\right)^4}{50} + \frac{0.87^4}{12.5} + \frac{0.30^4}{77} + \frac{0.14^4}{2}} = 17.73 \approx 17 \end{aligned} \quad (21)$$

選擇的 95% 信賴水準，有效自由度 $v_{\text{eff}}(W) = 17$ ，利用 t-分布表查得涵蓋因子 $k_W = t_{95\%}(17) = 2.11$ 。

(II) 擴充不確定度 $U(W)$

$$U_{c_2}(W) = k_W \times u_{c_2}(W) = k_W \times \sqrt{0.88 + \frac{\Delta^2}{3} + u_{12}^2} = 2.11 \times 0.95 = 2.01 \approx 2.1'' \quad (22)$$

綜上討論，本實驗室經緯儀各校正項目之最佳校正能力（擴充不確定度）歸納如表 5 所示：

表 5 校正系統之最佳校正能量表

校正項目 (Calibration Items)	涵蓋因子 k (Coverage Factor)	有效自由度 v_{eff} (Effective Degree of Freedom)	校正結果擴充不確定度 U (95% 信賴水準)
視準軸誤差 C	2.1	18	1.5''
橫軸誤差 i	2.0	19	1.8''
垂直度盤指標誤差 I	2.2	10	1.9''
一測回水平角準確度 μ	2.1	17	2.3''

望遠鏡視軸調焦直度誤差 W	2.1	17	2.1"
---------------	-----	----	------

(二)衛星定位儀校正系統 (內政部國土測繪中心, 2010)

1. 建立量測方程式

假設在某一坐標系中參考測站 A 的位置向量 R_A 為已知, 若可利用衛星決定出在相同坐標系中兩點間的基線向量 ΔR_{AB} , 而根據向量方程式:

$$R_B = R_A + \Delta R_{AB} \quad (23)$$

則可求得在相同坐標系中未知測站 B 的位置向量 R_B 。而坐標 B 組合不確定度 $u_B = [u(R_A)^2 + u(\Delta R_{AB})^2]^{1/2}$, 式中 $u(R_A)$ 表示已知點坐標之組合不確定度; $u(\Delta R_{AB})$ 表示已知點與未知點間向量之組合不確定度。若測站 A 為約制點, 將

視 $u(R_A)$ 為 0, 則 $u_B = u(\Delta R_{AB})$, 而 $u(\Delta R_{AB})$ 即相對定位之各項誤差來源。

2. 不確定度來源分析

在本系統中, 影響校正基點與固定基點 LS08、中基線參考站 TNML 或 TCMS 之間基線的主要誤差來源有: 量測定位重複性、整置定平及定心、相位中心偏移量、IGS 衛星軌道及氣象修正模式及改正等。

- (1)校正基點 LS01 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 相對於固定基點 LS08 之不確定度來源分析
本系統超短基線各項誤差來源及其影響量分析計算表如表 6 所示。

表 6 校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於 LS08 之不確定度分析表

不確定度來源	類別	變異量 (a)	除數 (b)	標準 不確定度值(c) = (a) ÷ (b)	靈敏 係數 (d)	標準 不確定度分量 (e)= (c) × (d)	自由度
量測定位重複性 $u(x_1)$	A	1.12 mm	1	1.12 mm	1	1.12 mm	39
整置定平及定心 $u(x_2)$	B	1.00 mm	$\sqrt{3}$	0.58 mm	1	0.58 mm	12.5
相位中心偏移量 $u(x_3)$	B	0.30 mm	$\sqrt{3}$	0.18 mm	1	0.18 mm	8
IGS 衛星軌道 $u(x_4)$	B	0.000054 mm	$\sqrt{3}$	0.000032 mm	1	0.000032 mm	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_5)$	B	0.000036 mm	$\sqrt{3}$	0.000021 mm	1	0.000021 mm	12.5
來自一級追溯值 $u(x_6)$	B	2.30 mm	2.79	0.83 mm	1	0.83 mm	47.3

- (2)校正基點 LS01 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 相對於中基線參考站 TNML 之不確定度來源分析

本系統超短基線各項誤差來源及其影響量分析計算表如表 7 所示。

表 7 校正基點 LS01 & 2 & 3& 4& 5 & 6 & 7 相對於 TNML 之不確定度分析表

不確定度來源	類別	變異量 (a)	除數 (b)	標準 不確定度值 (c) = (a) ÷ (b)	靈敏 係數 (d)	標準 不確定度分量 (e) = (c) × (d)	自由度
量測定位重複性 $u(x_7)$	A	3.52 mm	1	3.52 mm	1	3.52 mm	195
整置定平及定心 $u(x_8)$	B	1.00 mm	$\sqrt{3}$	0.58 mm	1	0.58 mm	12.5
相位中心偏移量 $u(x_9)$	B	0.30 mm	$\sqrt{3}$	0.18 mm	1	0.18 mm	8
IGS衛星軌道 $u(x_{10})$	B	0.24 mm	$\sqrt{3}$	0.14 mm	1	0.14 mm	12.5
氣象修正模式及改正 $u(x_{11})$	B	0.16 mm	$\sqrt{3}$	0.093 mm	1	0.093 mm	12.5
來自一級追溯值 $u(x_{12})$	B	14 mm	2.79	5.02 mm	1	5.02 mm	80.9

3. 組合標準不確定度

(1)校正基點 LS01 & 2& 3 & 4 & 5 & 6 & 7 相對於固定基點 LS08 之組合標準不確定度 u_{c1}

相關，校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於 LS08 之單向度組合標準不確定度

表 5 所列各誤差源彼此獨立不

$$u_{c1} = \left(u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + u(x_3)^2 + u(x_4)^2 + u(x_5)^2 + u(x_6)^2 \right)^{1/2} \quad (24)$$

$$= \left[(1.12)^2 + (0.58)^2 + (0.18)^2 + (0.000032)^2 + (0.000021)^2 + (0.83)^2 \right]^{1/2} = 1.53 \text{ mm}$$

而有效自由度 v_{eff1} 依 Welch-Satterthwaite 公式計算

$$v_{eff1} = (u_{c1})^4 / \left(\frac{u(x_1)^4}{v_1} + \frac{u(x_2)^4}{v_2} + \frac{u(x_3)^4}{v_3} + \frac{u(x_4)^4}{v_4} + \frac{u(x_5)^4}{v_5} + \frac{u(x_6)^4}{v_6} \right) \quad (25)$$

$$= (1.53)^4 / \left(\frac{1.12^4}{39} + \frac{0.58^4}{12.5} + \frac{0.18^4}{8} + \frac{0.000032^4}{12.5} + \frac{0.000021^4}{12.5} + \frac{0.83^4}{47.3} \right) = 91$$

(2) 校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於中基線參考站 TNML 之組合標準不確定度 u_c

不相關，校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於 TNML 之單向度組合標準不確定度

表 6 所列各誤差源彼此獨立

$$u_{c2} = \left(u(x_7)^2 + u(x_8)^2 + u(x_9)^2 + u(x_{10})^2 + u(x_{11})^2 + u(x_{12})^2 \right)^{1/2} \quad (26)$$

$$= \left[(3.52)^2 + (0.58)^2 + (0.18)^2 + (0.14)^2 + (0.093)^2 + (5.02)^2 \right]^{1/2} = 6.17 \text{ mm}$$

而有效自由度 v_{eff2} 依 Welch-Satterthwaite 公式計算

$$v_{eff2} = (u_{c2})^4 / \left(\frac{u(x_7)^4}{v_7} + \frac{u(x_8)^4}{v_8} + \frac{u(x_9)^4}{v_9} + \frac{u(x_{10})^4}{v_{10}} + \frac{u(x_{11})^4}{v_{11}} + \frac{u(x_{12})^4}{v_{12}} \right) \quad (27)$$

$$= (6.17)^4 / \left(\frac{3.52^4}{195} + \frac{0.58^4}{12.5} + \frac{0.18^4}{8} + \frac{0.14^4}{12.5} + \frac{0.093^4}{12.5} + \frac{5.02^4}{80.9} \right) = 167$$

4. 擴充不確定度

(1) 校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於固定基點 LS08 之擴充不確定度 U_1

本校正系統採 95 %信賴水準，有效自由度 $\nu_{eff1} = 91$ ，得 t 分布值為 2.0，即涵蓋因子 $k_1 = 2.0$ 。故校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於 LS08 之單向度擴充不確定度 $U_1 = k_1 \times u_{c1}$ ，則

$$U_1 = 2.0 \times 1.53 = 3.06 \text{ mm} \approx 3.1 \text{ mm}$$

(2) 校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於中基線參考站 TNML 之擴充不確定度 U_2

本校正系統採 95 %信賴水準，有效自由度 $\nu_{eff2} = 167$ ，得 t 分布值為 2.0，即涵蓋因子 $k_2 = 2.0$ 。故校正基點 LS01&2&3&4&5&6&7 相對於 TNML 之單向度擴充不確定度 $U_2 = k_2 \times u_{c2}$ ，則

$$U_2 = 2.0 \times 6.17 = 12.34 \text{ mm} \approx 13$$

mm

綜上討論，本實驗室衛星定位儀各校正項目之最佳校正能力（擴充不確定度）歸納如表 8 所列：

表 8 衛星定位儀各校正項目之最佳校正能力

校正項目	涵蓋因子 k	有效自由度 ν_{eff}	校正結果擴充不確定度 U (95% 信賴水準)
超短基線靜態相對定位	2.0	91	3.1
中基線靜態相對定位	2.0	167	13

五、結語

依國際校正實驗室認證規範 ISO/IEC 17025 規定，校正實驗室應依程序評估各校正系統之最佳校正能力，而最佳校正能力係以各系統之擴充不確定度表示。本實驗室於評估各校正系統量測不確定時，均按儀器規格、特性、重複性觀測及經驗值將各項誤差予以納入，並依據 ISO-GUN 指引評估量測不確定度，據以計算擴充不確定度，以能忠

實反應各校正系統之最佳校正能力，除提供顧客於送校時之參考，更反應本實驗室之校正信心。

另因篇幅有限，本文評估各誤差項之誤差值時，予以簡化，有興趣之讀者，請參考各項校正系統之系統評估。

參考文獻

- 財團法人全國認證基金會，ISO/IEC 17025：2005 測試與校正實驗室能力一般要求，

- (TAF-CNLA-R01(2)), 2005。
2. 財團法人全國認證基金會, 校正領域特定規範(TAF-CNLA-T01(1)), 2009。
3. 財團法人全國認證基金會, 校正領域量測不確定度評估指引(TAF-CNLS-G16(1)), 2008。
4. 林開儀譯, 量測不確定度表示方式指引(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 2nd Edition, 1995), 工研院量測中心認證/驗證、訓練組。
5. 邱明全、王春治、曾耀賢、林燕山, 內政部國土測繪中心 測量儀器校正實驗室發展簡介, 中華民國地籍測量學會會刊, 地籍測量 第二十九卷第 2 期, 99 年 6 月。
6. 內政部國土測繪中心, 電子測距儀校正系統評估 V3.2, 2010 年 2 月。
7. 內政部國土測繪中心, 經緯儀校正系統評估 V4.0, 2010 年 2 月。
8. 內政部國土測繪中心, 衛星定位儀校正系統評估 V2.0, 2009 年 11 月。