

荷重元校正與應用

三聯科技股份有限公司 / 鄭朝陽

一、前言

量測其實與我們的生活習習相關，舉凡政府政策制定、公權力執行、甚至環境衛生、醫療保健上皆有應用，例如體重計、磅秤、呼氣酒精分析儀、廢氣排放規範等等，皆需要一個公正客觀且有公信力的認證機制，確認量測設備的準確度，以召公信。要測試或生產各種設備，最前端的元件便是各種感測器，若感測器本身的設計或準確性並沒有標準或是有標準但無法驗證該準確性，整體產品的系統準確性便會招到質疑。

三聯科技自成立以來，持續積極參與國內諸多基礎建設的監測系統或工程專案（例如：高鐵、捷運、水庫、橋樑等），也代理國內外各種工業、氣象、水文、工程、電子產業的測試設備，如代理日本知名大廠(KYOWA)應變規、荷重計等感測器已超過50年，感測器的銷售已達到一定的數量。然而面對全球資訊流通，網路日益普及，客戶往往可以由各種管道，取得相關設備所需資訊與價格，且大陸世界工廠的崛起，也造成另一波低價競爭；面對種種威脅，毛利日益下滑，唯有提昇自我的研發技術能力，做出自己的品牌，才是最好的解決之道。因此本公司陸續成立各量別實驗室，目前已有長度、電量、力量、振動四個量別，本文主要介紹力量實驗室-100kN疊加機及其不確定度評估方式。

本系統改採用荷重元為工作標準件，其優點主要為：

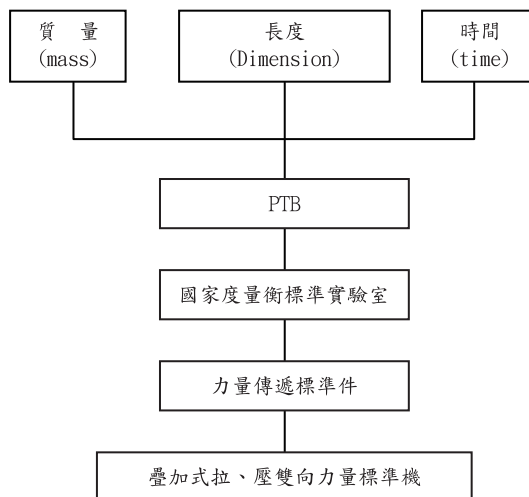
1. 具有數位輸出，可方便數據記錄及分析。
2. 具有溫度自動補償功能。
3. 不因環境背景噪音而影響數據的讀取。
4. 可執行ASTM E74規範

二、量測原理

疊加式拉壓雙向校正機的主要功能是以工作標準件產生標準力以校正荷重元等彈性測力計。校正時，由液壓系統配合工作標準件產生一標準力F施加於待校件上，藉由力平衡關係，得待校之彈性測力計所受的力f與工作標準件之標準力F相等，即 $F=f$ 。

三、量測系統追溯圖

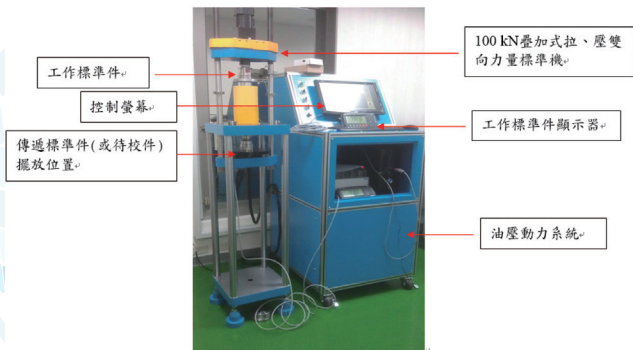
1. 微力實驗室量測系統追溯如圖1所示



▲ 圖1 系統追溯圖



2. 100 kN疊加機校正系統組立如圖2所示



▲ 圖2 100 kN疊加機系統示意圖

四、不確定度分析

1. 不確定度評估依循規範

本系統不確定度評估依循EURAMET cg-4 version 2.0 (5.2 Determination of the machine's CMC) 規範，在此規範中所規定的標準轉移及不確定度計算方式如下：

(1) 傳遞標準件之參考值的相對標準不確定度

$$w_{rv}$$

$$w_{rv} = \sqrt{w^2(F_{n\ fsm}) + w^2(x) + w^2(D)} \quad (式1)$$

其中

$w(F_{n\ fsm})$ ：傳遞標準件之校正溯源源（標準機）的相對標準不確定度。

$w(x)$ ：傳遞標準件之器示值的相對標準不確定度。

$w(D)$ ：傳遞標準件之漂移的相對標準不確定度。

所以傳遞標準件之校正追溯的相對標準不確定度 $w(k_{ts}) = \sqrt{w^2(F_{n\ fsm}) + w^2(x)}$

又傳遞標準件之漂移的相對標準不確定度 $w(D)$ ，取傳遞標準件前後2次送至NML追溯校正後之每個校正點的的差值做分析計算，並設

定其為三角分佈之全長則 a_{drift} 三角的半寬與校正點標準值之比值。

$$w(D) \text{ 相對標準不確定度計算：} w(D) = \frac{a_{drift}}{\sqrt{6}}$$

(2) 量測系統之校正與量測能力 W_{CMC}

$$W_{CMC} = k \times \sqrt{w_{rv}^2 + w^2(d_{fcm}) + w^2(\Delta d_{max}) + w^2_{ref_tra} + w^2_{ref_instab}} \quad (式2)$$

其中

$w(d_{fcm})$ ：量測系統之再現性相對標準不確定度。

w_{ref_tra} ：工作標準件之相對標準不確定度(依 ASTM E74 規範校正計算)。

$w_{\Delta dmax}$ ：量測系統之器示值與傳遞標準件之器差的相對標準不確定度。

w_{ref_instab} ：工作標準件之長期穩定性相對標準不確定度。

k ：涵蓋因子

2. 工作標準件「 w_{ref_tra} 」之相對標準不確定度相關計算

(1) 由於本系統是執行 ASTM E74 規範校正,故引用 ASTM E74 校正規範來計算，工作標準件「 w_{ref_tra} 」之相對標準不確定度，使用傳遞標準件校正工作標準之數據。

(2) 量測系統之重現性的相對標準不確定度 $w(d_{fcm})$

其中

a. 假設重現性的機率分佈為矩形分佈，自由度， $\nu(d_{fcm})=2$

b. 量測系統（工作標準件）之再現性的相對不確定度計算如下：

$$w^2(d_{fcm}) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^3 ((x_{fcm_i} - x_{fcm}) / x_{fcm})^2$$

(3) 工作標準件之長期穩定性的相對標準不確

定度 w_{ref_instb}

$$w_{ref_instb} = \sqrt{\frac{a_{ref_instb}^2}{3}}$$

其中

- a. 假設長期穩定性的機率分布為矩形分布，依據校正領域不確定度評估指引，自由度： $\nu(w_{ref_instb})=50$
- b. 工作標準件1年內的長期穩定性，以最近一年內之查核管制數據，故 a_{ref_instb} 為量測系統在最近一年內之查核管制數據之量測值最大差異的半寬與校正點標準值之比值。

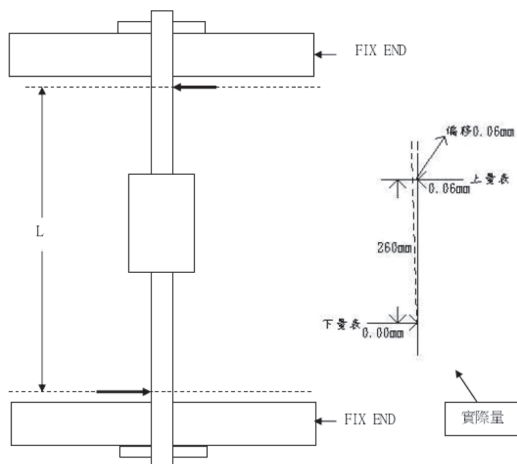
(4) $w\Delta d_{max}$ ：量測系統之器示值與傳遞標準件之器差的相對標準不確定度。

其中假設器差的機率分布為矩形分布，自由度 $\nu(w\Delta d_{max})=2$

$w\Delta d_{max}$ 為量測系統之器示值與傳遞標準件之器差值之其半寬與校正點標準值之比值。

$$w_{corr} = \sqrt{\frac{\Delta d_{max}^2}{3}}$$

拉伸校正角度偏移問題如圖3所示



▲ 圖3 同軸角度示意圖

如果用萬向接頭，實際同軸度的量測角度變化很小，所以為求保守起見我們假設荷重元放於校正機，受拉時偏離垂直軸的偏擺角度為 $\pm 1^\circ$ ，假設其機率分配為矩形分配，且將變數由 θ 轉為 $\cos \theta$ ，則 $\cos \theta$ 的平均值為 0.99985，標準不確定度 $u_{\cos \theta}$ 計算如下：

$$u_{\cos \theta} = \frac{1 - \cos 1^\circ}{\sqrt{3}} = 8.79 \times 10^{-5}$$

自由度 $\nu_{\cos \theta} = 50$ 可忽略不計

3. 系統含待校正件之最佳校正能力計算(CMC)

(1) -1 校正系統含待校件之組合標準不確定度為 u_c

$$u_c^2 = u_r^2 + u_w^2 + u_d^2$$

其中

u_r ：送校件量測值之標準不確定度， $u_r = S \times f$ 。（ S 、 f 之值為將校正所得之數據依 ASTM E74-06 的規定計算而得）

u_w ：校正系統的標準不確定度

u_d ：送校件顯示值解析度所引起之標準不確定度（若解析度為 d ，則其標準不確定度為 $\frac{0.5d}{\sqrt{3}}$ ）

(2) -2 若待校件無溫度補償，需再考慮因溫度造成的不確定度

$$u_c^2 = u_r^2 + u_w^2 + u_d^2 + u_t^2$$

其中 u_t ：送校件量測值之標準不確定度， $u_t = S \times f$ 。（ S 、 f 之值為將校正所得之數據依 ASTM E74-06 的規定計算而得）

u_w ：校正系統的標準不確定度。

u_d ：送校件顯示值解析度所引起之標準不確定度。

u_t ：送校件無溫度補償所引起之標準不確定度。



(3) 校正系統含待校件之擴充不確定度為 U_{CMC}

$$\text{則 } U_{CMC} = k \times u_w$$

其中：擴充係數 $k=2$ ，信賴水準為95%。

(4) 校正系統含待校件之不確定度計算結果
當待校件等級越高，其所帶來之不確定度影響就越小，故以下我們將引用已往較佳之校正件量測數據，代入上述公式中計算，來推估校正系統含待校件之最佳不確定度水準

五、量測品保

為確保系統評估的結果持續有效，故設計以穩定之查核標準件定期對系統做查核，查核件資料、查核週期及查核管制方法分述如下：

1. 查核週期

在正常的情形下，每四個月一次

2. 查核管制圖

將查核件之全幅值取3個查核點，做15次循環，利用下列公式來計算各查核點的平均值、標準差及管制界限：

$$(1) \text{ 平均值 } A_c = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n C_i$$

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

(n ：為量測個數； C_i ：為獨立之查核值)

$$(3) \text{ 上管制界限 } UCL = A_c + 3 \times S_c$$

$$\text{下管制界限 } LCL = A_c - 3 \times S_c$$

當依上述方法求得管制界限後，即可開始定期查核，在正常的情形下，查核值應落於上下管制界限內，若有查核值落於管制界限外或查核值有其它異常趨勢，則應即調查其可能原因並加以排除，以落實標準之維持。

六、結語

本設備預期達到以下目標

1. 提升量測儀錶的準確度完善的標準追溯體系包括國家度量衡標準實驗室，以及綿密的二級標準例如各公司的檢校實驗室，只要現場量測儀器定期送校，不論是直接或是間接，標準值即可自原級標準導引傳遞至檢校儀器。提升量測儀錶的準確度，可謂是最直接的產業效益。
2. 提升產品的品質量測儀器經過校正並於使用時修正器，可監控生產操作條件使之維持穩定，則生產的產品可符合設定之規格。
3. 提升公司形象當公司建立制度的標準化，包括製造與量測標準的制定、發行及實施等過程，其主要利益是改進產品、過程及服務之適切性，以達成既定目標。
4. 力量校準的能量建立後，本公司對於力量（荷重元）的校正，無論是公司所代理的KYOWA荷重元，或是其他各國內外大廠的荷重元，皆多了一個快速且準確的標準可依循。

☒ 參考文獻

- [1] E74-06, Standard Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines.
- [2] EA-10/04, Uncertainty of Calibration Results in Force Measurements.
- [3] ISO 376, Metallic materials-Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines.
- [4] ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement.