

## 20. 量測誤差 (Measurement Errors)

吳 偉 特\*

「量測誤差」之詞係指針對任何量測儀器所得之目測或自動記錄讀數資料，與實際值之間所必然存在的差異，必須加以修正與校準以得到量測資料的真正數據值；一般係以百分比表示之。

大地工程設計與施工，所需之參數數據，無論是取自室內或野地試驗，或是於現地工址按裝觀測儀器之監測系統 (Instrumentation System) 之量測資料，皆必須使量測誤差儘量降低至最低，或在某一可容許程度之範圍內，否則將使所得之設計參數數據，毫無意義且無法應用。

因此，無論是試驗或現地監測系統之儀器，在選擇使用時十分重要；一般儀器之特性須符合下列三項要求：

- (1) 準確性 (Accuracy)：係指量測數據之個別或平均數值，與實際真正值或參考值相比較時之吻合程度；有關儀器之累積誤差對準確性影響甚大，應小心處理之。
- (2) 可重複性 (Repeatability)：係指在特定條件下，各量測個別值相互比較間的吻合程度；精度 (Precision) 或可複製性 (Reproducibility) 均指與「可重複性」具有相同含義。
- (3) 靈敏性 (Sensitivity)：係指儀器刻度上所能量測讀出的最小單位。

為能得到真正代表的實際數值，儀器皆需加以檢定與校正，雖然儀器之校正，在出廠時即已完成，但由於環境、溫濕度，使用程度等因素之影響，儀器須時常予以校正，尤其對於監測系統之儀器檢定工作，更需於使用前進行

鑑定之，方能得到可用之量測數據。

由於誤差產生之不可避免性，因此對於產生誤差之原因，與各種誤差之代表含意和解釋，以及降低或阻止誤差產生之方法等等，有加以瞭解的必要。

量測誤差值一般係以絕對測度 (Absolute Measurement) 值，或相對測度 (Relative Measurement) 值表示之；大體言之，量測儀器之各單元組件，皆為產生誤差來源之部份，故量測誤差可分靜態誤差 (Static Errors)，儀器載重誤差 (Instrument Loading Errors) 與動態誤差 (Dynamic Errors) 三種形態，茲敘述如下：

### (1) 靜態誤差

誤差來源之起因，包括儀器本身硬體材料固有之缺陷或限制，儀器物理性質之外部影響因素，檢定系統之不精確程度以及量測系統之最終結果，需要量測者主觀性之解釋說明等等；對於電氣機械式量測系統之感應子 (Transducer)，訊號調節器 (Signal Conditioning) 與資料輸出組件等儀器之量測值，誤差來源係存在於各單元組件中；且各單位組件包含之誤差來源起因，有的僅有一種，有的則有數種。

### (2) 載重誤差

誤差來源起因於整個儀器系統中，各單元組件連接為一體時所得之量測值，與未連接為一體時量測值間之差額稱之；此種載重誤差為不可避免性且經常為造成不準確量測值之主要原因，因此選擇適當的單位組件儀器，以使將來整個儀器系統的載重誤差值降

\* 國立臺灣大學土木工程學系副教授

至最低，實為重要。

### (3) 動態誤差

誤差來源起因於量測系統無法忠實地反映出隨時間變化之量測值；一般而言，電氣機械式量測系統之動態反應，係受限於單位組件之慣量、阻尼、束制或摩擦等影響因素；一般有關量測系統之動態特性，必須在量測隨時間變化之輸入量值前即已知曉；動態誤差一般係以量測系統之頻率反應(Frequency Response)描述之。

由於量測系統儀器通常甚少直接顯示出量測值數據，故一般都使用感應子(Transducer)之轉換裝置設備，將量測物物理量經由感應子之反應，再配合訊號調節器與資料輸出等設備，得出量測之數據值。

根據經驗最容易使誤差產生的來源，並佔大部份主因的即為靜態誤差；該項誤差包括讀數誤差(Reading Errors)，環境誤差(Environmental Errors)與性能誤差(Characteristic Errors)，茲分別敘述如下：

#### (1) 讀數誤差

由於視差(Parallax)，內插(Interpolation)，光學解析能力等因素之影響，產生讀數誤差值；一般係直接顯示於資料輸出或記錄設備所得量測數據之中，此種誤差可經由簡單之方法加以減低或消除之；例如在記錄指針或指示器後面，按置鏡子以消除視差；或在指針附近使用放大鏡將比例放大，以降低內插與光學解析誤差等等。

#### (2) 環境誤差

由於量測儀器系統之外在因素影響而產生，包括溫度，壓力，濕度，輻射，電磁場，振動，爆破等等；此等影響因素之作用，對儀器本身與量測值皆能產生影響，且各自獨立地產生靜態誤差，因此對於影響因素之項目，應儘量降低至少數目。

#### (3) 性能誤差

由於量測結果值之非線性關係，而造成線性誤差，阻滯(Hysteresis)與可重複性誤差，此等稱之性能誤差；此外調節增大器之增大誤差(Gain Error)與零點補償(Zero Offset)誤差(兩者合稱檢定誤差)亦稱之為性能誤差。

性能誤差一般係以在固定之環境因素情況

下，將量測系統儀器所得之量測值，與理論預測值或某一特定值相比較所得之偏差(Deviation)表示之。

由於相似之性能誤差在各儀器組件中具累進性(Additive)，因此量測結果之線性關係，係為各單位組件儀器之誤差總和，故對於量測值之誤差總和與累積值，應特別考慮之。

可重複性誤差係在性能誤差中，唯一不能被檢定或修正之項目，因此在整個檢定過程中，構成限制因素並影響整個量測值之精確度；雖是如此，但實際上若比較量測值與參考標準值間之差異程度，可重複性誤差却是所有不確定值中最小的一項誤差。

偏差之得取，係先基於作為標準(Normal)或基準(Reference)值之成立，再相互比較而得之；故如何選擇具代表性且正確之標準參考值十分重要，尤其在選定基準值之線性(Linearity)關係時，更加需要技巧與小心；圖一為四種參考直線選取方法之示意圖；圖一(a)係將直線強制通過原點；圖一(b)係使直線儘量接近數據點，而不考慮是否通過原點；圖一(c)則採用雙斜率直線，以原點為中心畫出兩個不同斜率之直線，且各直線皆儘量接近所屬之數據點；而圖一(d)則為最小二乘方線(Least-Squares Line)。

上述四種參考直線之選取，根據經驗與統計理論，以最小二乘方線最能真正考慮各數據點之關係位置，為所得出最靠近各點之適當曲線；一般最小二乘方線之計算與繪製，可利用微電腦(Mini-Computer)加以運算得之。

上述有關量測值之總靜態誤差，一般係以RMS(Root-Mean-Square)方法得取之：

$$TSE = \sqrt{RE^2 + (LE_1 + \dots + LE_n)^2 + (EE_1^2 + \dots + EE_n^2) + CE^2}$$

式中 TSE：總靜態誤差，%

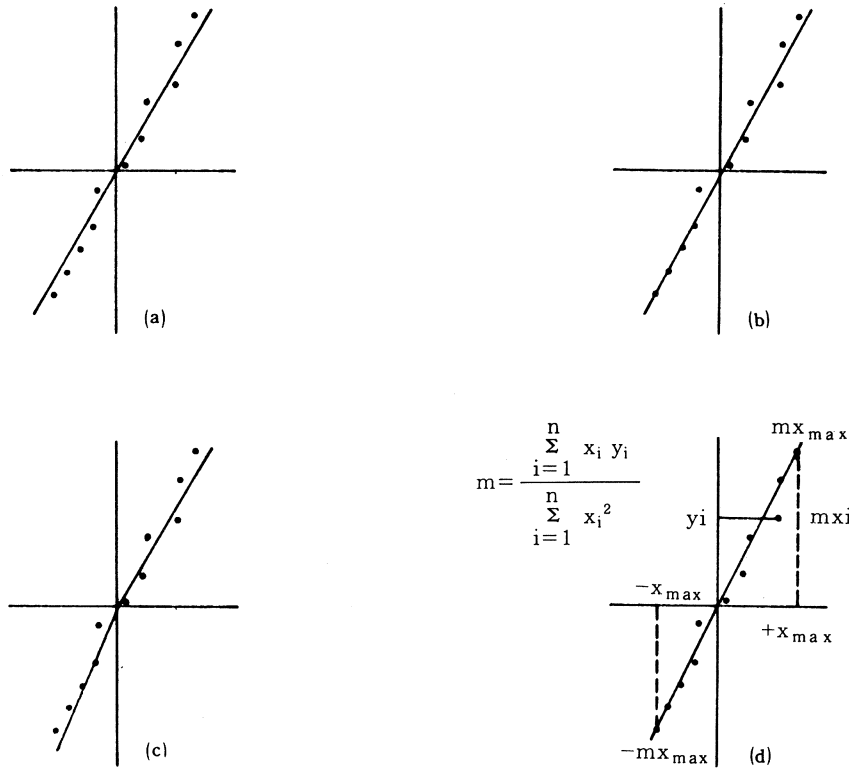
RE：讀數讀差，%

LE：單一分量之線性誤差，%

EE：環境誤差，%

CE：性能誤差(非經由線性誤差而產生之值)，%

RMS 靜態誤差可用以評估量測之最適當值，一般將RMS 誤差值視之為標準偏差(Standard Deviation)  $\sigma$ ，並以  $1\sigma(68\%)$ ，或  $2\sigma(95\%)$



圖一 參考直線之選用方法示意圖

，或  $3\sigma(99.7\%)$ ，來表示其信賴程度範圍帶 (Confidence Band)。

總之，由於量測誤差之存在，故必須對於量測結果加以界限，使實測值或其出現機率位於規定範圍內；大體言之，針對下列各影響因素，包括測讀，人為，視差，摩擦，彈性壓縮，軸承間隙，彈性疲勞，應力振盪等原因產生之誤差，可藉  $N$  次反復計量結果之平均值，縮減誤差對量測值之影響；此種  $N$  次計量之效果，可使精確度增加  $\sqrt{N}$  倍；至於經由儀器之輕

微受損，或未經校正，或溫度、濕度等原因導致的誤差，則應對已明悉者加以考慮，由於計量無法絕對準確，一般皆以或多或少之近似數值，作為修正係數修正之。

### 參 考 文 獻

EDWARD E. Herceg (1976) *Handbook of Measurement and Control*, Schaevitz Engineering, Pennsauken, N. J., U. S. A.