

儀表電子能力本位訓練教材 量測的基本概念

編號：PEN-IMT0101

編著者：徐照夫

審稿者：吳經文、董勝源

主辦單位：行政院勞工委員會職業訓練局

研製單位：中華民國職業訓練研究發展中心

印製日期：九十年十二月

單元 PEN-IMT0101 學習指引

當學員在學習研讀本單元前，每位學員都會有量測的經驗，例如對溫度的量測，如果從量測的結果來探討，用描述性的表達如很熱或很冷，用數位化的表達如 23°C ， 23.5°C ， 23.56°C ，等等。量測的結果是希望能對量測的項目有更進一步的認知，尤其在尖端科技上，愈能顯示它的特徵。本單元是屬於量測的概念啓發，所以毋須偏重演算能力或反覆操作，僅需保持學習新知的熱忱和興趣即可，並依循下列學習指引進行本單元之學習：

- (1) 你對於量測的工作不感性趣，請將本教材放回原位，並思考自身學習的目的，或請教你的老師。
- (2) 你對於量測的工作，有學習的意願及興趣，請詳細研讀本單元，以作為進階學習的基礎。
- (3) 當你研讀本單元後且達成本教材各項學習目標之學習評量工作，相信你對量測的目的，量測的數據之定義及其表示法會有所正確的認知。

引言

應用量測的理念來探討自然界的現象是一種科學的行為，所以量測的基本概念，主要在於量測數據的表達和意義要有明確的規範，例如量測值，標準值，偏差量，解析度，準確度，精密度等的定義及其表示法，若能認清這些規範，則對於日後的學習與應用，將有如虎添翼之利。

定義

追溯 (traceable)：將量測結果修正為國家標準的數據

實驗室 (laboratory)：從事校正或測試的機構

國家標準實驗室 (national standard laboratory)：建立國家標準值的實驗室

量測 (measurement)：針對自然界的現象做量的認識，這種過程我們稱其為量測。

待校件：受校正的儀器稱待校件。

標準件：能夠校正待校件並可提供修正量者。

滿刻度 (full scale)：儀器顯示最大值的範圍

分辨能力：一部儀器能夠顯示有限個數值

解析度 (resolution)：顯示值的範圍／分辨能力

校正 (calibration)：儀器的顯示值經過認定才能獲得修正量，這種認定的過程，稱為校正。

偏差量 (deviation)：又稱儀器顯示值經過認定才能獲得修正量，這種認定的過程，稱為校正。

偏差百分比：記為+D%或-D%，

$$D\% = \frac{\text{標準值} - \text{顯示值}}{\text{標準值}} \times 100\%$$

量測值：量測值=標準值=（修正量+顯示值）

準確度 (accuracy)：儀器製造廠所提供的一種數據，表示該儀器可容許的最大偏差量，常用±（數值）表示。

精密度 (precision)：表示儀器的精密程度，即儀器不能確定的程度，常用不確定度值（uncertainty）來表示。

學習目標

- 一、不使用參考資料，你能夠說明量測的目標，及儀器應有的標示。
- 二、不使用參考資料，你能夠說明準確度，解析度，偏差量，量測值的定義與計算。
- 三、不使用參考資料，你能夠說明精密度的定義及表示法。

學習活動

本講義之學習活動旨在說明儀器量測的基本概念，這些基本概念對儀器製造者和使用儀器者，皆須具有的基本要求。這些基本概念的相關知識，你可以由下列兩個途徑中，選擇一個途徑去學習。

- 一、閱讀本教材之第 5 頁至第 31 頁。
- 二、量測資訊月刊，工研院量測技術發展中心出版。

本教材的第一個學習目標是：

不使用參考資料，你能夠說明量測的目標，及儀器應有的標示。

一、何謂量測

(一) 量測的定義：

量測 (measurement) 是一種行為，它是針對自然界的現象做量的認識，稱為量化，這種過程我們稱其為量測。應用量測的結果將可以讓我們對自然界的現象能有更正確的認知。故量測的目標就是要獲得標準值。

量測的科學 (The Science of Measurement) 就是應用量測的理念來探討自然界的現象，所以稱為計量學 (Metrology)，或稱為度量衡學，例如我國的度量衡法，度量衡檢定中心 等即為其應用所在。

(二) 量測的方式：

量測的方式可以分為人體量測和儀器量測兩種方式，如圖(1-1)所示

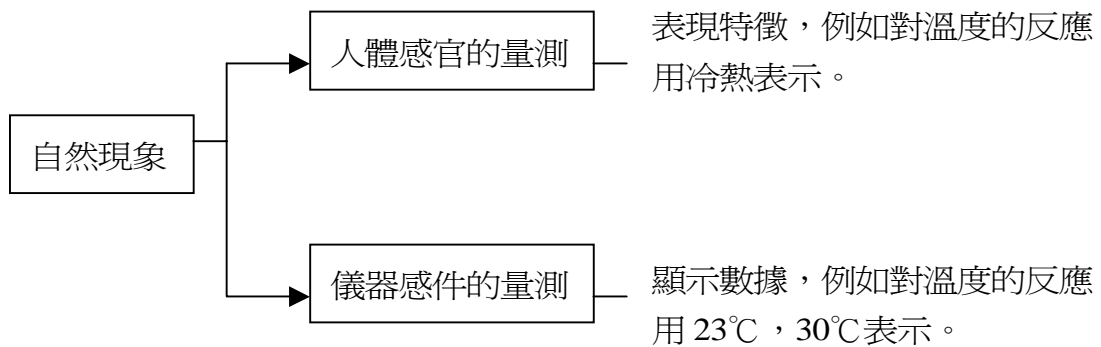
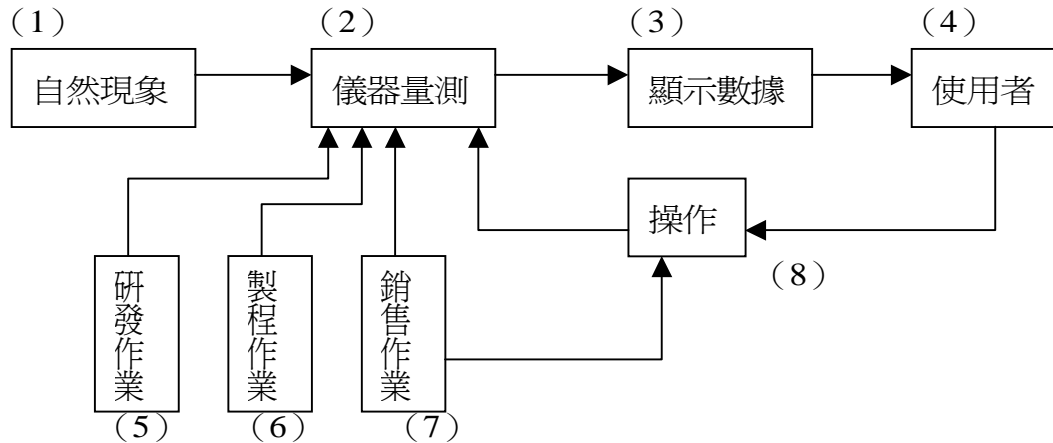


圖 (1-1) 量測的方式

從圖 (1-1) 中，可知人體量測是依靠人體的感官來表達量測的結果，這種表達只能用描述性的方式來表現特徵，所以該資料難以運用。儀器量測的結果是直接顯示數據，這種量化的數據就比較能夠區分現象的差異和明確的描述，本文主要的範疇就是探討儀器量測部份。

二、儀器量測的範疇

儀器量測的範疇是以儀器為中心來說明，如圖（1-2）所示



圖（1-2）儀器量測的範疇

從圖（1-2）中，可知儀器量測的範疇包含了多種不同的領域，例如（5）研發作業是屬於儀器的原理和應用方面，（6）製程作業是屬於儀器的生產製造方面，（7）銷售作業是屬於儀器的販賣，這三方面的作業人員之專業領域都有很大的差距。

現在以（7）銷售作業為例，在販賣中我們僅探討量測儀器的（8）操作以及（4）使用者，（4）使用者都須知道量測儀器的原理，操作和維護，…等理念，故（7）銷售作業的內涵，在對使用者來講應該製作儀器相關的資料，例如儀器的製造廠商名稱，儀器名稱，型號，序號，量測範圍，解析度，準確度，量測接點，電源接點以及過負載標示，等等以符合銷售的目標。

學習評量一：

- 一、請不要使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明量測的目標？
- 二、請不要使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明量測儀器應有的標示。

學習評量一答案：

- 一、標準值
- 二、儀器的名稱，型號，序號，量測範圍，解析度，準確度，過負載標示

如今你已經對量測的目標，及儀器應有的標示有正確的認識，本教材的第二部份是要你認知量測儀器的計量資料。

本教材的第二個學習目標是：

不使用參考資料，你能夠說明準確度，解析度，偏差量，量測值的定義與計算。

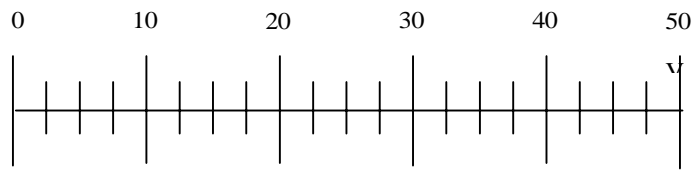
三、量測儀器的計量資料

(一) 量測值，標準值，偏差量，解析度，

儀器量測所顯示的數據，我們常稱為顯示值，或稱為指示值，或稱為器示值。若儀器的顯示值是採用刻度來表示，則稱其為指針型的儀表。若儀器的顯示值是採用數位來表示，則稱其為數位型的儀表。

1. 指針型的儀表之顯示值

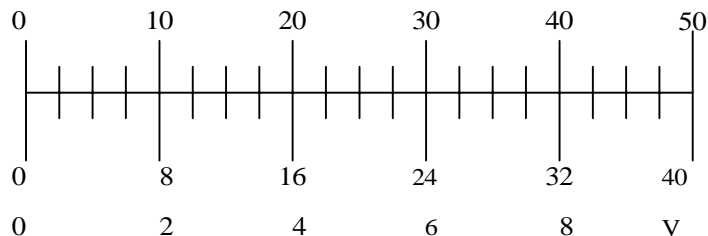
儀器所顯示的數據是有一定的意義，例如指針型的儀表僅能表示其刻度上的數據。如圖（1-3）所示：



圖（1-3）刻度上的數據

在圖（1-3）中，該儀器所顯示的數據範圍是從 0 到 50，這個 50 稱為顯示的最大值，或稱為滿刻度（full scale），常用記號 F.S. 來表示，如果該儀器是顯示電壓值，則會附有電壓的單位 V（伏特），同理可以表示不同的單位，例如其滿刻度的數據可以寫為 F.S.=50V，或 50A。

圖（1-3）中的刻度總共有 20 格，故該儀器所能顯示的數據就限定這 20 個，也就是說儀器所能顯示的數據是有限的，不是無限的，這種有限的數據就是表示一部儀器對顯示數據的分辨能力。依上例可以認定該儀器的分辨能力為 20 個，如圖（1-4）所示，該儀器的顯示範圍與分辨能力的關係可用下列數個例子來表示。



圖（1-4）多種滿刻度的表示

例（1）顯示範圍 F.S.=50V：

$$\frac{\text{顯示範圍}}{\text{分辨能力}} = \frac{50 (V)}{20 (\text{格})} = 2.5 (V / \text{格})$$

例（2） 顯示範圍 F.S.=40V：

$$\frac{\text{顯示範圍}}{\text{分辨能力}} = \frac{40(V)}{20(\text{格})} = 2(V/\text{格})$$

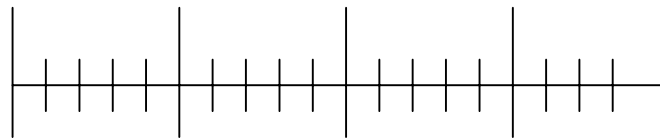
例（3） 顯示範圍 F.S.=10V：

$$\frac{\text{顯示範圍}}{\text{分辨能力}} = \frac{10(V)}{20(\text{格})} = 0.5(V/\text{格})$$

從上面的例子我們可以知道，一部儀器的顯示刻度是固定的，即其分辨能力是一種定數，在不同的顯示範圍裡，每一格的刻度所代表的量測值也會不相同。例如顯示範圍在 50V，則每格為 2.5V，若在 40V，則每格為 2V，若在 10V，則每格為 0.5V，這種每格為若干 V 的數據，稱其為該儀器的解析度(resolution)，故儀器的解析度可用下列的關係式來表示之：

$$\text{解析度} = \frac{\text{顯示範圍}}{\text{分辨能力}}$$

儀器的解析度就是表示它的最小刻度之顯示值，如果儀器的顯示刻度是一種等量分配，而呈連續狀，則其顯示範圍就無滿刻度的特徵，所以這種刻度的解析度就要採用內含數個最小刻度的一段來當做顯示範圍，該範圍稱為一大格，故在一大格內所含的最小刻度之數量，即為其分辨能力的數目。例如常用的溫度，長度或示波器之刻度即為此例之應用，如圖（1-5）所示：



圖（1-5） 一大格有 5 小格之刻度

例（1）：

$$\text{一大格爲 } 5V \text{ 的解析度} = \frac{5(V)}{5\text{小格}} = 1(V/\text{小格})$$

例（2）：

$$\text{一大格爲 } 2V \text{ 的解析度} = \frac{2(V)}{5\text{小格}} = 0.4(V/\text{小格})$$

例（3）：

$$\text{一大格爲 } 1V \text{ 的解析度} = \frac{1(V)}{5\text{小格}} = 0.2(V/\text{小格})$$

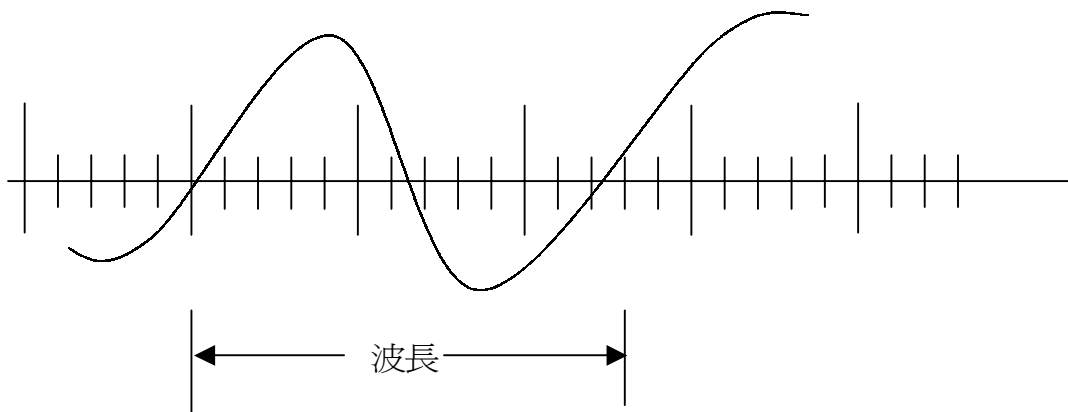
例（4）：

$$\text{一大格爲 } 5\text{cm 的解析度} = \frac{5(\text{cm})}{5\text{小格}} = 1 \quad (\text{cm} / \text{小格})$$

例（5）：

$$\text{一大格爲 } 5\text{ms 的解析度} = \frac{5(\text{ms})}{5\text{小格}} = 1 \quad (\text{ms} / \text{小格})$$

如圖（1-6）所示，計算該信號的波長：



圖（1-6） 波長的計算

例（6） 信號的波長含蓋 2 大格又 3 小格，顯示範圍一大格爲 5ms，其解析度爲 $5\text{ms}/5=1\text{ms}$ ，則該波長值爲：

$$(2 \times 5\text{ms}) + (3 \times 1\text{ms}) = 13\text{ms}$$

例（7） 信號的波長含蓋 2 大格又 2 小格，顯示範圍一大格爲 5ms，其解析度爲 $5\text{ms}/5=1\text{ms}$ ，則該波長值爲：

$$(2 \times 5\text{ms}) + (2 \times 1\text{ms}) = 12\text{ms}$$

例（8） 信號的波長含蓋 2 大格又 2 小格，顯示範圍一大格爲 2ms，其解析度爲 $2\text{ms}/5=0.4\text{ms}$ ，則該波長值爲：

$$(2 \times 2\text{ms}) + (2 \times 0.4\text{ms}) = 4.8\text{ms}$$

例（9） 信號的波長含蓋 2 大格又 3 小格，顯示範圍一大格爲 2ms，其解析度爲 $2\text{ms}/5=0.4\text{ms}$ ，則該波長值爲：

$$(2 \times 2\text{ms}) + (3 \times 0.4\text{ms}) = 5.2\text{ms}$$

2. 數位型的儀表之顯示值

數位型的儀表所顯示的數據是直接的，如圖（1-7）所示：

1 9 9 9

圖（1-7）

圖(1-7)中所指的數據是 1999，其數據的顯示內容是從 0，01，02，……1998，1999，共有 2000 個數值可以表示。這些數據的特徵如下列所示：

個位數的顯示內容為	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
十位數的顯示內容為	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
百位數的顯示內容為	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9
千位數的顯示內容為	0,1

從上列顯示數據(1999)的位數來看，由左邊算起的第一位數(千位數)的數據僅含 0 和 1，而其它位數的數據都是從 0~9，這些數據的位數我們常稱為三位半，即其中的第一位數(僅含 0 和 1)稱為半位，而其他的合稱為三位，三位半的符號可以記為 $3 \frac{1}{2}$ 。

由上列的數據可知，三位半的數值共有 2000 個數目，也就是說能夠顯示三位半的儀表就有 2000 個分辨能力，則其解析度與顯示範圍的關係就可以表示為：

$$\text{解析度} = \frac{\text{顯示範圍}}{2000}$$

由上列的關係式，可以推論出不同的顯示範圍就會有不同的解析度，例如電壓的顯示範圍為 200mV，2V，20V，200V，2kV，20kV，200kV 時，則其解析度為：

$$200 \text{ mV 的解析度} = \frac{200 \text{ mV}}{2000} = 0.1 \text{ mV}$$

$$2 \text{ V 的解析度} = \frac{2 \text{ V}}{2000} = 0.001 \text{ V} = 1 \text{ mV}$$

$$20 \text{ V 的解析度} = \frac{20 \text{ V}}{2000} = 0.01 \text{ V} = 10 \text{ mV}$$

$$2 \text{ kV 的解析度} = \frac{2000 \text{ V}}{2000} = 1 \text{ V}$$

$$20 \text{ kV 的解析度} = \frac{20000 \text{ V}}{2000} = 10 \text{ V} = 0.01 \text{ kV}$$

$$200 \text{ kV 的解析度} = \frac{200000 \text{ V}}{2000} = 100 \text{ V} = 0.1 \text{ kV}$$

由解析度的觀點來看，若應用三位半的交流電壓表來量測電力公司的交流電壓 110V，則顯示值會因顯示範圍的不同而有所差異，如下所示：

200Mv 的顯示範圍顯示	不能量測
2V 的顯示範圍顯示	不能量測
20V 的顯示範圍顯示	不能量測
200V 的顯示範圍顯示	109.8V
2kV 的顯示範圍顯示	110V
20kV 的顯示範圍顯示	0.11kV
200kV 的顯示範圍顯示	0.1kV

由上列的數據可知，三位半的數位型儀表具有 2000 個數目的分辨能力，則四位半的數位型儀表應具有 20000 個數目的分辨能力，同理類推，如下所示：

數位型儀表	分辨能力	200V 的顯示範圍之解析度
三位半	$2000=2 \times (10)^3$	0.1V
四位半	$20000=2 \times (10)^4$	0.01V
五位半	$2 \times (10)^5$	0.001V=1mV=1000 μ V
六位半	$2 \times (10)^6$	0.0001V=0.1mV=100 μ V
七位半	$2 \times (10)^7$	0.00001V=0.01mV=10 μ V
八位半	$2 \times (10)^8$	0.000001V=1 μ V

數位型儀表的分辨能力，在不同的顯示範圍裡，其解析度之變化如下表所示：

解析度表（單位 V）

範圍	三位半	四位半	五位半	六位半	七位半	八位半
0.2V	0.0001	10 μ	1 μ	0.1 μ	0.01 μ	0.001 μ
2V	0.001	100 μ	10 μ	1 μ	0.1 μ	0.01 μ
20V	0.01	0.001	100 μ	10 μ	1 μ	0.1 μ
200V	0.1	0.01	0.001	100 μ	10 μ	1 μ
2kV	1	0.1	0.01	1000 μ	100 μ	10 μ
20kV	10	1	0.1	0.01	1000 μ	100 μ
200kV	100	10	1	0.1	0.01	1000 μ

3. 量測值的計算

儀器量測所顯示的數據就稱為顯示值，儀器顯示值的正確性必須要經過認定才能相信，這種認定的過程，我們稱其為校正（calibration），儀器顯示值的校正，就是將該儀器送往解析度比較高而且有追溯過的儀器來量測。例如三位半，四位半的儀器就可送往五位半以上的儀器來校正，同理五位半以上的儀器也要送往更高級的儀器來校正。

受校正的儀器稱為待校件，能夠校正待校件並可提供修正量者，稱為標準件，標準件本身必須有追溯到國家標準實驗室的數據，因此經由標準件所量測的數據即標準值。

受校正過的儀器是可以獲得該儀器顯示值的修正量，這種修正量又稱為偏差量（deviation），符號記為 D ，偏差量常用偏差值（記為 $+D$ 或 $-D$ ）或偏差百分比（記為 $+D\%$ 或 $-D\%$ ）來表示。如果將待校件的顯示值記為 B ，而標準值記為 A ，則二者的關係可以表示如下：

待校件的修正量 = 標準值 - 待校件的顯示值

$$(1) D = A - B$$

$$(2) D\% = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

由此可知，儀器的量測值 = 顯示值 + 修正量，才合乎標準。

現舉例如下

例（1）儀器的顯示值為 109.8V，修正量為 +0.22V，則
量測值 = 109.8V + 0.22V

$$= 110.02V + 110.0V \text{（因為解析度為 } 0.1V\text{）}$$

例（2）儀器的顯示值為 109.8V，修正量為 +0.2%，則
量測值 = 109.8V + (109.8V × 0.2%)

$$= 109.8V + 0.2196V$$

$$= 110.0196V + 110.0V \text{（因為解析度為 } 0.1V\text{）}$$

（二）準確度的意義及其表示法

儀器的準確度（accuracy）是儀器製造廠所提供的一種數據，這種數據是當做該儀器容許的最大偏差量，也就是說，準確度是用來診斷該儀器所量測的數據是否可以採用，如圖（1-8）所示：

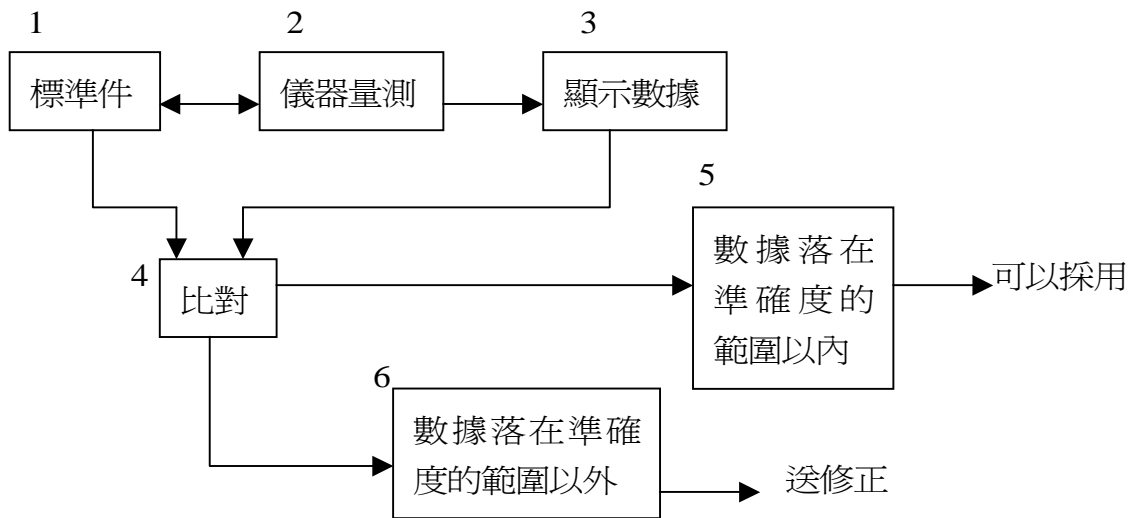


圖 (1-8) 準確度的應用流程

儀器的顯示值是一個單點的數值，而其準確度的數據卻是表示一段範圍的數值，所以準確度常用 \pm 數值或 \pm 數值的 % 來表示，如範圍在 10V 的準確度可表為： $\pm 0.1V$ ，或 $\pm 1\%$ ，或 $\pm (20\text{ppm of reading} + 5\mu V)$ ，或 $\pm (20\text{ppm of reading} + 5\text{ppm of range})$ 。若輸入 5V 時的準確度為：

準確度的表示

輸入值為 5V 時之準確度值

例 1. $\pm 0.1V$ 時

$\pm 0.1V$

例 2. $\pm 1\%$ 時

$\pm (1\% \times 5V) = 0.05V$

例 3. $\pm (20\text{ppm of reading} + 5\mu V)$ 時，5V 的準確度值為：

$= \pm \mathbf{【(20\text{ppm} \times 5V) + 5\mu V】} = \pm 105\mu V$ 或用

5V 的 $\pm \mathbf{【(105\mu V / 5V) \times 100\%】} = \pm 0.0021\% = \pm 21\text{ppm}$ 來表示

例 4. $\pm (20\text{ppm of reading} + 5\text{ppm of range})$ 時，5V 的準確度值為：

$= \pm \mathbf{【(20\text{ppm} \times 5V) + (5\text{ppm} \times 10V)】} = 150\mu V$ 或用

5V 的 $\pm \mathbf{【(150\mu V / 5V) \times 100\%】} = \pm 0.0030\% = \pm 30\text{ppm}$ 來表示

例 (1) 某三用電表的準確度為 $\pm 1\%$ ，當量測標準交流電壓 110V 時，其顯示值是 108.5V，如圖 (1-9) 所示：

準確度值 $= 110V \times (\pm 1\%) = \pm 1.1V$

所以準確度的容許範圍為 108.9V 到 111.1V，

$110V - 108.5V = 1.5V$ ，該值大於準確度值 1.1V，故該儀器要送修調整。

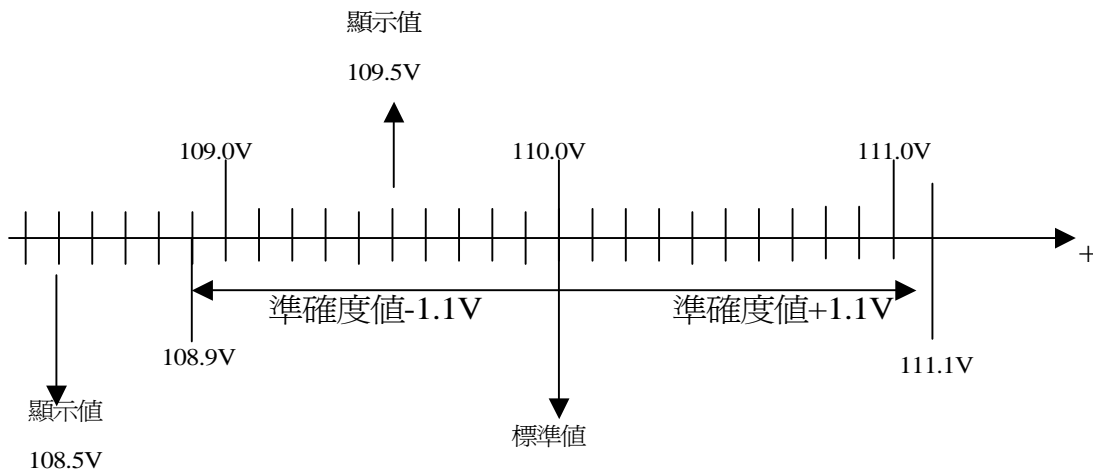


圖 (1-9) 電表的顯示值與準確度的容許範圍

例 (2) 依照例 (1) 的條件，如果電表的顯示值是 109.5V，則該顯示值是落在準確度的範圍以內，故儀器正常。

(三) 準確度的定義：

準確度的定義，如式 (1) 所示：

$$\text{準確度} = \pm (| \text{平均值的偏差量} | + \text{重複度}) \dots\dots\dots (1)$$

式 (1) 中的平均值 (Ac) 為：

$$\text{平均值 (Ac)} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n C_i \dots\dots\dots (2)$$

式 (2) 中的 C 為量測值，i 為量測次數，從 1 次到 n 次的量測值，合計後再除以 n 值，即可得平均值。

在式 (1) 中，平均值的偏差量，又稱正確度，其值為：

$$\text{平均值的偏差量} = \text{平均值} - \text{標準值}$$

在式 (1) 中的重複度 (δ)，其值為：

$$\text{重複度} = \max. | \text{平均值} - \text{量測值} | \quad (\text{取最大或最小的量測值})$$

準確度的計算，例如量測 10 次的數值為：

100.5, 100.7, 100.4, 100.8, 100.7, 100.5, 100.5, 100.6, 100.5, 100.7, 100.8, 其中最大的為 100.8, 最小的為 100.4, 則平均值

$$(Ac) = 100.6$$

$$\text{平均值的偏差量} = 100.6 - 100.0 = 0.6$$

$$\text{重複度} (\delta) = | 100.6 - 100.8 | = 0.2$$

$$\text{故準確度} = \pm (| 0.6 | + 0.2) = \pm 0.8$$

或用百分比表示為 $\pm (0.8/100) \times 100\% = \pm 0.8\%$ 如圖 (1-9.1)

所示：

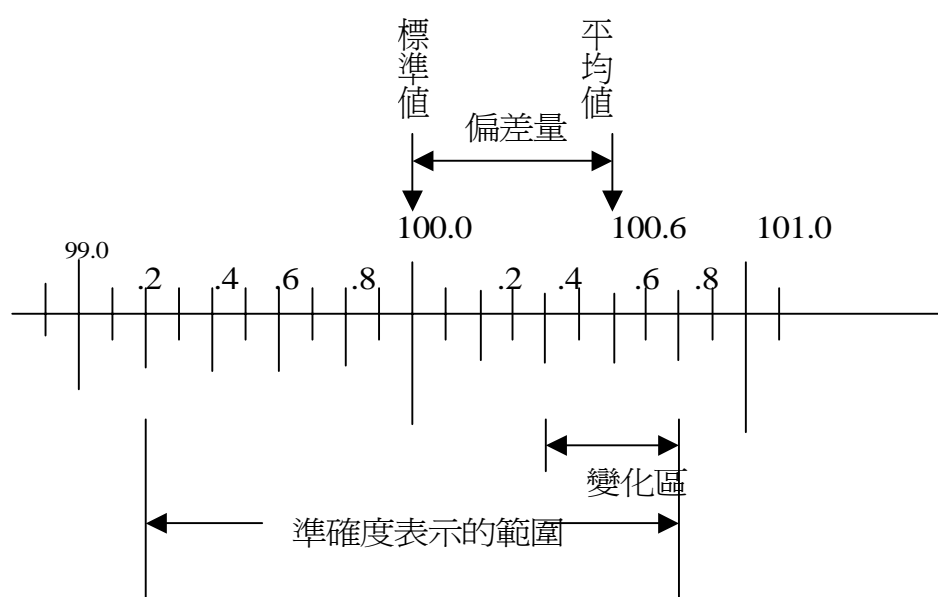


圖 (1-9.1) 準確度的定義

由上列所述，準確度是當做診斷儀器的參考依據，而準確度的含意是屬於一種偏差量。

學習評量二：

請不要使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明準確度，解析度，偏差量，量測值的定義。

學習評量二答案：

- 一、標準值，顯示值，最小刻度值。
- 二、修正量，偏差百分比。

假如你的答案與上述之重點相似，請翻到第 21 頁，假如你的答案不與上述之重點相似，則請翻到第 9 頁，重新閱讀，以便發現你的錯誤之處，並將第 19 頁上的錯誤改正，然後翻到第 21 頁。

如今你已經對量測的準確度，解析度，偏差量，量測值的定義及計算有正確的認識，本教材的第三部份是要你認知量測儀器的精密度的定義及表示法。

本教材的第三個學習目標是：

不使用參考資料，你能夠說明精密度的定義及表示法。

(四) 精密度的意義及其表示法

儀器的精密度 (precision) 是表示儀器的精密程度，這種數據是表示一段範圍的數值，所以精密度的值也常用 \pm 數值或 \pm 數值的 % 來表示。一部儀器精密度值的取得是經由比較高級的儀器對其量測，且經統計分析而確定之，如圖 (1-10) 所示：

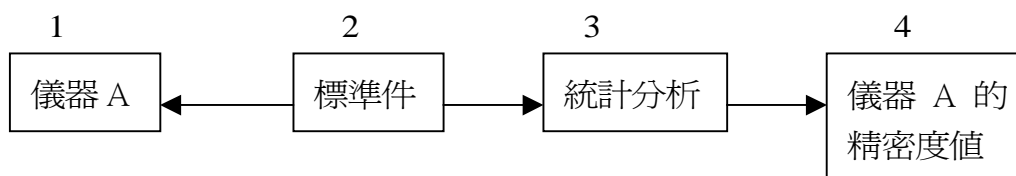


圖 (1-10) 儀器之精密度的取得流程

儀器的精密度所表示的範圍，其意義如圖 (1-11) 所示：

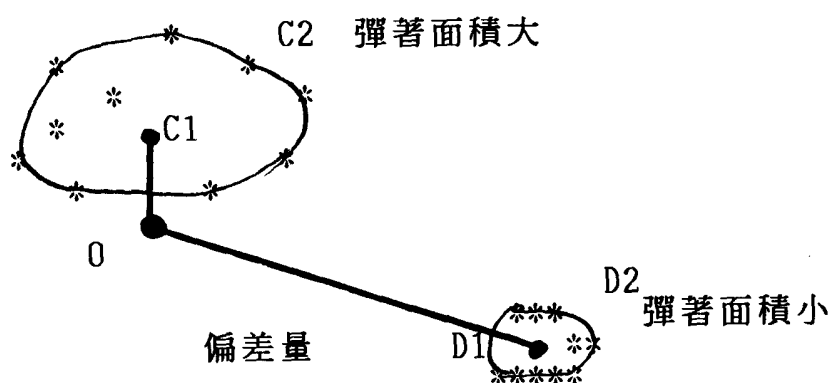


圖 (1-11) 兩支槍的彈著點之比較

圖 (1-11) 中，以兩支槍 (記為 A 和 B) 各以十發子彈對靶心 (記為 0) 射擊為例，依其彈著點之特徵來比較兩支槍的精密度。槍 A 的彈著面積記為 C2，其彈著點的平均值為 C1，槍 B 的彈著面積記為 D2，其彈著點的平均值記為 D1。靶心 0 相當於標準值，故 $\overline{0C1}$ 的距離就是槍 A 的偏差量，而 $\overline{0D1}$ 的距離就是槍 B 的偏差量，如下表所示：

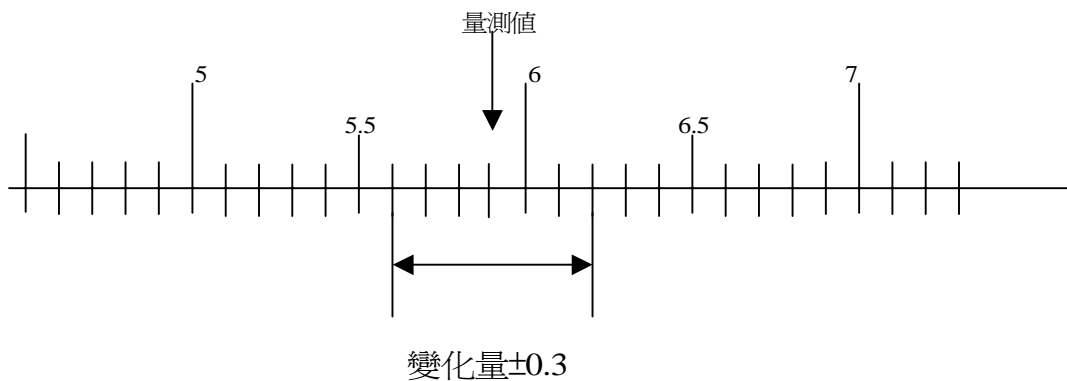
	偏差量的比較	彈著面積的比較	精密度
槍 A	($\overline{0C1}$) 小	大	低
槍 B	($\overline{0D1}$) 大	小	高

上列所述，槍之偏差量都可以調整到相同的一個值，故二者偏差量的比較無意義可言。但是槍的彈著面積大小就是該槍的彈

著點可能會發發生的區域大小，這種區域的大小就是該槍之彈著點的變化量，從槍之射擊命中率的觀點來看，其變化量愈大則表示該槍要命要中靶心的機會就愈少，顯然的，槍 A 的變化量大，而槍 B 的變化量小，因此我們可以稱槍 A 的精密度低，而槍 B 的精密度比較高。

槍的精密度之高低，可以由槍之彈著點的變化量來決定，對一部儀器來講，其量測值的變化量就相當於該儀器的精密度值。因此一部儀器的品質標準就以其精密度來表示，即可了解儀器量測之變化量。

量測值的變化量就是量測值不能確定的部份，一部儀器是否能夠將量測值的變化量完全顯示出來，則要依照儀器本身的解析度來決定之，如圖（1-12）所示：



圖（1-12）解析度與量測值的變化量之關係

依照圖（1-12）中的量測值之變化量，若有三台不同解析度的儀器，記為 A，B，C，其顯示值如下列所示：

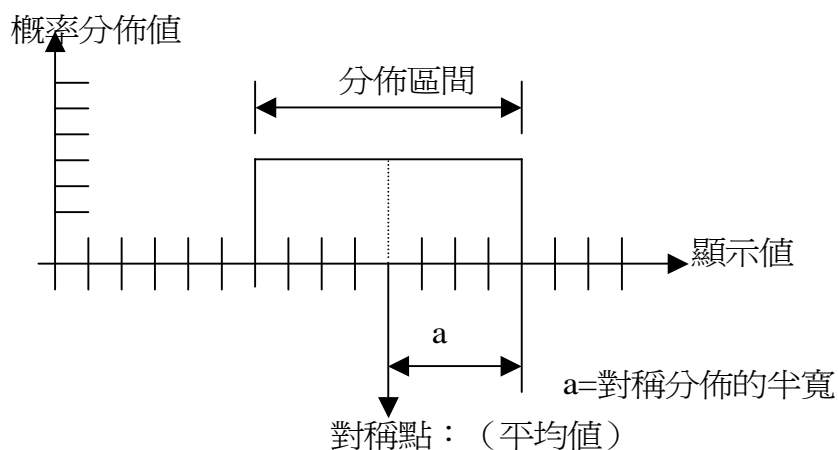
- A 儀器的解析度為 0.1V 時，會顯示： 5.6，5.7，5.8，5.9，6.0，6.1，6.2
- B 儀器的解析度為 0.5V 時，會顯示： 5.5，6.0
- C 儀器的解析度為 1V 時，會顯示： 6

從上列之例子可知，C 儀器只能顯示一個數目，B 儀器可能顯示兩個數目的範圍，A 儀器可能顯示七個數目的範圍，所以儀器的解析度之高低，對顯示量測值的變化量有很大的影響。解析度愈高愈能表現出儀器量測值的變化量，反之解析度愈低就愈不能表現出它的變化量，例如 C 儀器只能顯示單一值，根本無法看出它的變化量。

儀器量測值的變化量是由儀器顯示值的變化和其出現頻率的多寡來決定，所以對同一個待測件的量測次數愈多，則探討量測

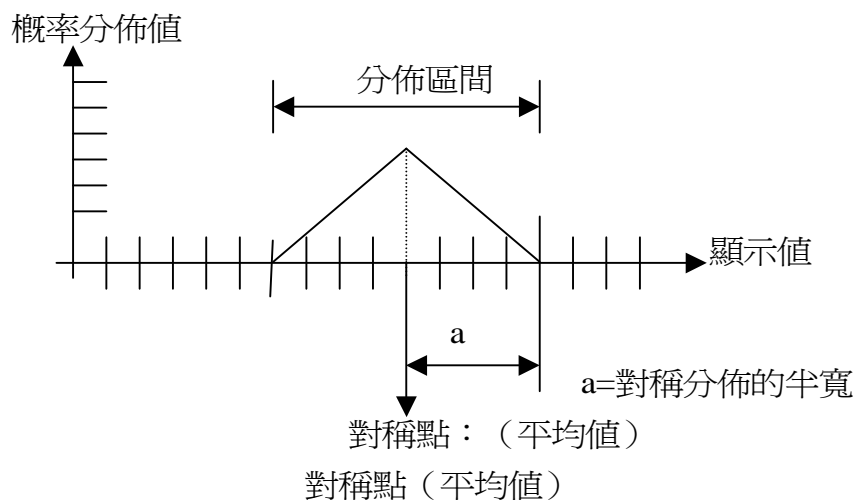
值的變化量就愈能正確。由上列之說明，我們知道儀器顯示值的變化會受其解析度的限制，但其顯示值的出現頻率就需要依靠多次的量測來推論之。依照顯示值的出現頻率可以採用統計的方法計算出該值的概率分佈，數種概率分佈的模式如下所示，水平軸代表顯示值，垂直軸代表出現頻率的概率分佈值。

例（1）矩形分佈圖：

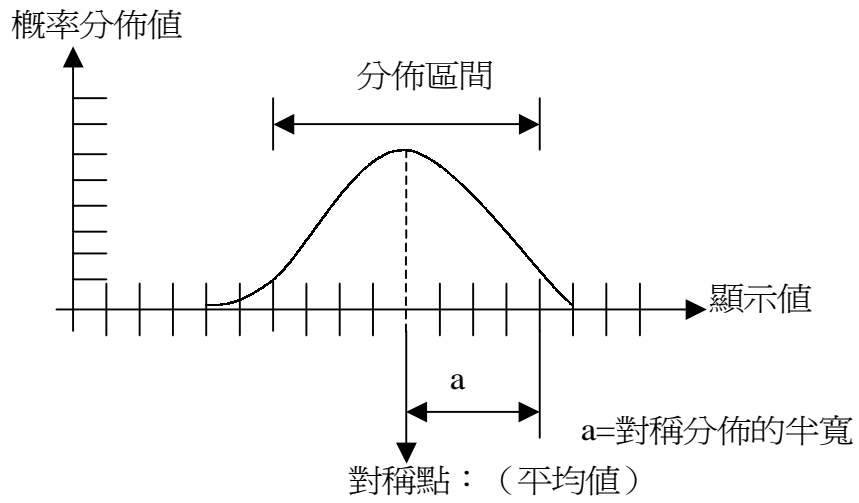


例（2）三角形分佈圖：

概率分佈值



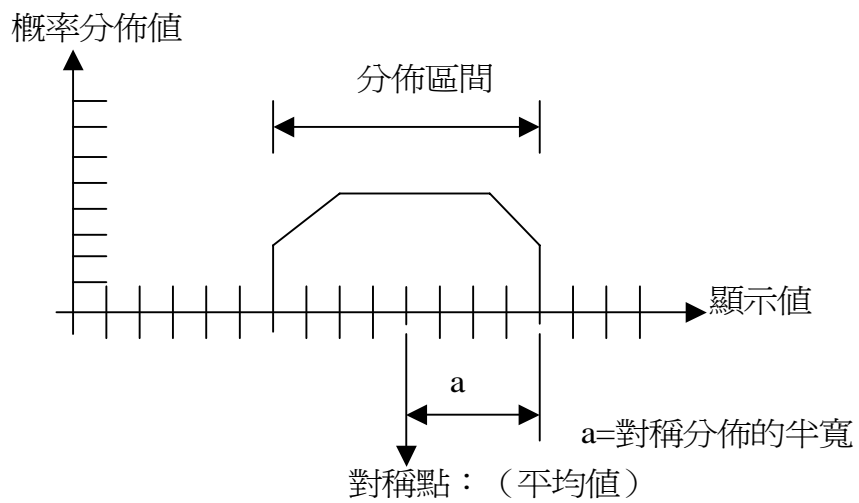
例（3）常態（normal）分佈圖：



圖（1-15）常態分佈圖

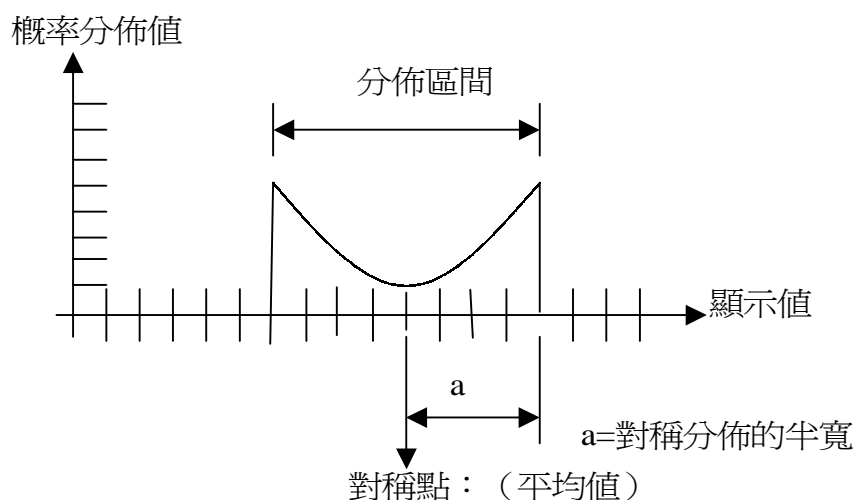
例（4）梯形分佈圖：

概率分析值



圖（1-15）梯形分佈圖

例（5）U形分佈圖：



圖（1-16）U形分佈圖

依據量測值的概率分佈所歸納的數種分佈模式可供參考，量測值的變化範圍又稱為分佈區間，如果量測值的變化是以分佈區間的中間點（平均值）做對稱分佈，則該對稱分佈區間的半寬就如圖中的符號 a ，一般上表示量測值的變化量，都採用不確定度（uncertainty）的方式來表達，這種表達的意義也就是顯示該儀器不能確定的量測程度。

3.5 穩定度

穩定度是用來表示穩定性（stability）的意義，儀器穩定度的定義，是依據儀器在控制條件下，其量測值能隨時間保持不變的能力。因此常用時間（1天，1月，6月，1年，2年...）為座標，在控制條件下，其平均值的變化量即為穩定度值。例如 HP3458A 多功能電表在其環境規範下，一年內 DC1V 的穩定度為 $\pm 4\text{ppm}$ ，也就是說，量測值會存有 $\pm 4\text{ppm}$ 的變化量。

3.6 靈敏度

靈敏度（sensitivity）常用符號 S 來表示，儀器的靈敏度是表示儀器對待測件的變化量（輸入量）之反應能力（輸出量），這種反應能力即為儀器的量測值。如圖（1-17）所示：

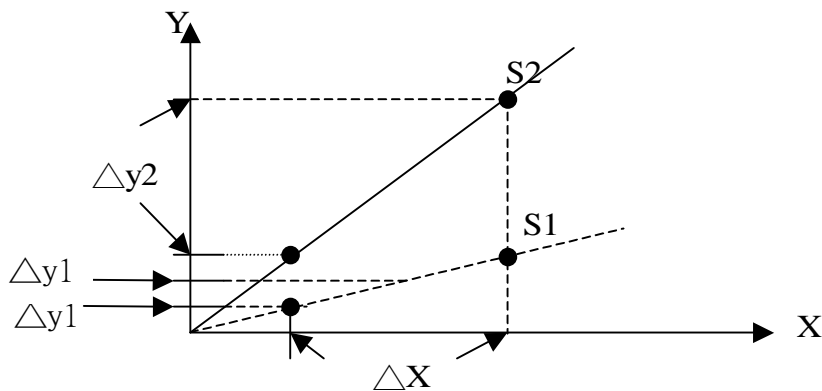


圖 (1-17) 靈敏度的定義

圖 (1-17) 中的 ΔX ，表示輸入量， Δy 表示輸出量，則靈敏度可以表示為

$$\text{靈敏度 } (S) = \frac{\Delta y}{\Delta X}$$

在圖 (1-17) 中，S2 的靈敏度比 S1 高。所以儀器的靈敏度太低時 (Δy 很小)，則量測值的變化量 (誤差) 會有顯著性的影響 (也就是說 Δy 值近似量測的誤差值，影響到其分辨的程度)。反之儀器的靈敏度太高時 (Δy 很大)，量測值不易保持線性關係 (也就是說容易偏離線性範圍，因而使誤差增大)。所以儀器的靈敏度值，最好是讓其量測值能夠維持在線性狀態，如果儀器在規定輸入範圍內，容許其量測值偏離線性的最大程度，稱為該儀器的線性度。

如果儀器在一定的輸入範圍內有不同的靈敏度時，則其量測值將會呈現一種非線性的狀態，如圖 (1-18) 所示：

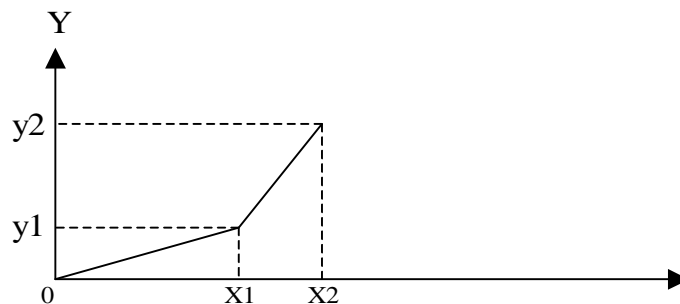


圖 (1-18) 量測值呈非線性的狀態

在圖 (1-18) 中，儀器的輸入範圍從 0 到 X1 段以及從 X1 到 X2 段是表示不同的直線性，也就是代表不同的靈敏度。所以對輸入範圍 0 到 X1 段，增加輸入範圍值到 X3 點，如此可以獲得較多的分辨能力 (0 到 y3)，如圖 (1-19) 所示：

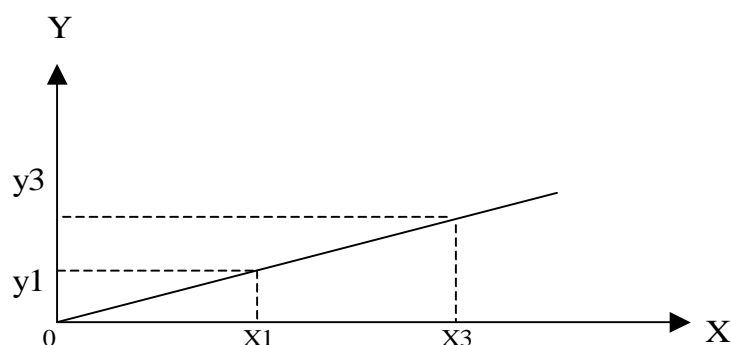


圖 (1-19) 增加輸入的範圍值 (x1 到 X3)

在圖 (1-18) 中，儀器的輸入範圍從 X_1 到 X_2 段是高的靈敏度，所以對其輸入範圍值做壓縮，即將 X_2 點移到 X_4 點，如此可以獲得較接近的分辨能力 (0 到 y_4)，如圖 (1-20) 所示：

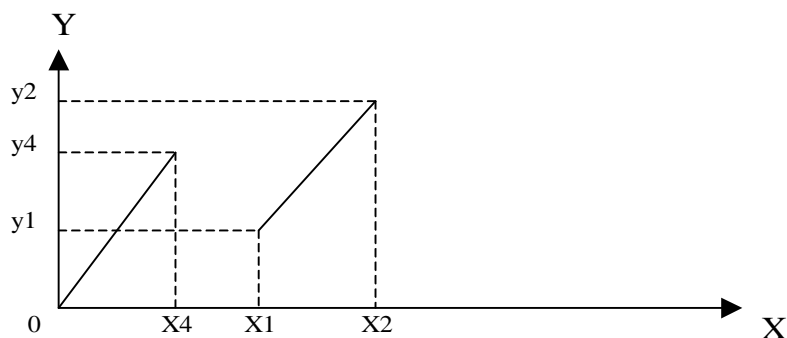


圖 (1-20) 壓縮輸入的範圍值 (x2 移到 X4)

3.5 線性度

線性度是用來表示直線性 (linearity) 的意義，儀器線性度的定義是依據儀哈在規定輸入範圍內，容許其量測值偏離線性的最大程度，稱為該儀器的線性度，常用 \pm 數值，來表示如圖 (1-21) 所示：

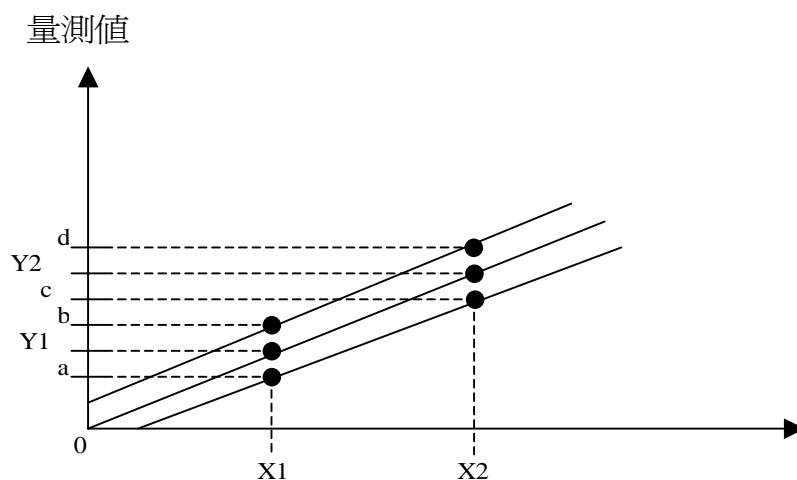


圖 (1-21) 線性度的意義

圖 (1-21) 中，輸入值為 X_1 (或 X_2) 時，其量測值應為 y_1 (或 y_2)，容許偏差量為 y_1-a , y_1-b 稱為 $\pm\Delta y_1$ (或 y_2-c , y_2-d , 稱為 $\pm\Delta y_2$)。

學習評量三：

- 一、請不要使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明精密度的定義。
- 二、請不要使用參考資料，你能夠以你自己的話正確地說明精密度的表示法。

學習評量三答案：

一、量測值的變化值，不確定度。

假如你能勝任學習目標所列之能力，準備參加最後的評量。

學後評量

一、不使用參考資料，請說明下列各項：

1. 量測的目標：
2. 解析度：
3. 三位半電表：
4. 偏差量：
5. 標準值：
6. 準確度：
7. 不確定度：

二、若電表的準確度為 $\pm 0.5\%$ ，請問量測 100V 時之準確度應為若干？

三、依照第二題所示，若顯示值為 100.4V 時，又將如何？

四、依照第二題所示，該電表是幾位半？其解析度為若干？

五、依照第二題所示，若偏差量為 -0.4% ，其量測值為若干？

六、計算下圖各段（0a，ab，ac，cd）的解析度？

