

\$14.40

科學圖書大庫

漢譯世界名著

工程師實驗方法

譯者 蘇鴻烈 校閱 趙國華

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

漢譯世界名著

工程師實驗方法

譯者 蘇鴻烈 校閱 趙國華

7

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年六月二十八日二版

工程師實驗方法

基本定價 3.60

譯者 蘇鴻烈 省立台北工專副教授
校閱 趙國華 東南工業專科學校校長

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986・3813998

原 序

實驗量度一向令人困擾，而關於實驗方法的教本亦不能減輕所有令實驗工作者感到為難的問題。工程教育已逐漸地注重個人從事問題之理論分析的能力。雖然目前實驗方法並非不佔重要地位，但分析研究有時比較受人重視。故在近代的工程課程中，實驗工作變得令人更感迷惑。以往的實驗課程至今日已逐漸現代化，並已應用到較精緻的電子儀器作實驗。然而令人驚奇的是，很多工學院畢業生根本沒有操作工程量度能達到可容許精確度的能力。更可悲的是，他們竟然愚昧地提出這樣的問題：這量度到底要達到多好的程度啊？真是令人驚嘆。

本書對大學學生提供對實驗方法作概括的介紹。因此，本書所包括的範圍很廣在某些主題上比較缺乏深度。在這方面讀者可在一些專題討論上獲得較深一層的了解。

最重要的是工程學者須能成功地操作其實驗，同時要能估計其量度的正確度。本書企圖討論較廣泛的儀器及實驗量度的技巧。且重視解題，在所有討論中加入實驗量度的正確度，誤差，和不準確度。此書通常可適用於工程系中三年級或四年級生一學期的課程。必須在每星期對此書所討論的教材作一次實驗。為了幫助這項工作，希望在講解時加入課文內所提到的教材。在講解時必須包括儀器操作的原理，在上實驗課則提供學生應用在教科書上及其它足以幫助教職員規劃該課程所提到的儀器裝置的機會。在實驗時間內所做的實驗及其儀器，均賴每一實驗室所容許的最便利裝置及實驗的主題來決定。學生在數學方面必須要具有微分方程的基礎，且在熱力學，應用力學及電路理論課程上，必須先開一些與本書有關的課業。

不論對本書內課程如何安排，我們建議您對每章後面的習題必須多加留意。這些習題促使學生檢查各種儀器，以決定其正確度以及由於實驗技巧之錯誤所產生的不準確度。有些習題與課文上的例題非常類似。其它的習題則要學生經由誘導或設計新的實驗等以擴大本書內的教材。課程中習題的選擇，當然要視實驗的種類及實驗設備的方便來作決定。

II

關於教材的安排在下面照次序列了一些說明。爲了討論範圍廣泛的實驗方法，且欲配合一學期的課程，所以對每一主題僅有一簡明的介紹。第一章和第二章提供最初啓發性的陳述，和適用於所有量度系統的重要術語的簡明定義。其次，一些數據的統計分析原理則在第三章作一簡單的介紹。在第三章中所討論的一些原理在本書的以下幾章均應用到，尤其是應用在實驗不準確度的原理上。

第四章討論到一些簡單的電量度線路及典型的電換能器的操作原理，這些換能器有很多可用於以下幾章所討論的量度問題。第五章和第六章有關尺度和壓力的量度，除了對其主題做傳統性的討論外，並附有一些例題和習題以強調在不同裝置中實驗不準確度的重要性。流的量度在第七章中有較傳統性的討論。此章中最值得注意的是有關使流況能見之技巧一節。以及章中例題和習題所指出一些實驗技巧的優點及缺點。第八章中對溫度的量度裝置具有專門性的討論。其重點放在溫度量度裝置及其周圍之熱環境間由於傳導、對流及輻射之熱傳播所產生的誤差。章中並提供修正這些效應的方法。

第九章相當簡單，意在使讀者瞭解有關輸送特性的量度問題。章中所討論到的題材與第六、七和八章中所討論到的量度技巧有關。值得注意的是，第九章中的題材可分散於前三章中討論，而仍能達到同等的表現；但深信與其分散討論，不如將輸送特性及熱量度歸入新的一章加以刻意討論爲佳。

靜力，轉矩和應變的量度在第十章中討論。應變的量度中實驗中的一些應力分析之基本原理有關，且特別加重電阻應變計的操作。

一些運動和振動的量度裝置之基本原理均在第十一章中討論。包含在此章內，尚介紹有聲波、聲壓級和聲量度的討論。在第十一章裏包括聲學題材是有些任意的，因爲此題材亦可適當的在第六章裏討論。

第十二章討論到熱輻射和核輻射的量度，這些已逐漸地被廣泛應用於很多工業上。本章所介紹雖相當簡單，但討論到較重要的探測技巧，且提出一些例題以解釋其重要原理。本章中列有計數統計法的簡單介紹，意在解釋在核輻射探測中本底活動的重要性。此處的熱輻射量度與第八章所討論到的題材有關。

電子的數據收集與處理系統之發展非常迅速，因此在第十三章中只能以一般性的方法來介紹。本章對此專門系統的討論雖然稍微趕不上時代，但其討論，意在使讀者在近代實驗過程中對數據收集系統之重要性有所警覺。

對第二版內所加入的題材在此說明是非常需要的。經過仔細的考慮後，還是決定保留第一版的廣泛範圍及簡明形式。本書之主題仍爲：提供讀者對

一些量度技巧的概括性介紹，並養成對實驗不準確度和正確度的謹慎態度。書中並加入一些新的主題。在第二章中加入對實驗計劃較有系統性的介紹。在實驗設計及計劃中的不準確度的分析在第三章中用例題再加強解釋。關於光電導換能器的增加題材則於第四章中提出。第六章則將壓力換能器之動態反應擴大討論。至於第七章內則新加入雷射風速計流量量度技巧的討論。關於熱電偶的動力補償一節則在第八章中予以擴充，而將濕度和熱通量量度若干節加在第九章內。第十一章中關於聲的量度一節已酌量擴充，例如加入心理聲學因素的適當陳述。由於反射比和透射比的量度在近代熱輻射研究中具有極大的價值，故在第十二章中特予增加一節。各章中均增加習題的份量。且在每章末後均增添若干簡單的問題。

作者特別對史坦福大學的S. J. Kline教授詳讀第一版原稿並提供極寶貴的意見，深致謝忱。並感謝W. S. Kut, W. L. Rogers, J. H. Dittfach, J. E. Blair及其他各位先生對第二版的內容提供了很多珍貴的意見。至於C. A. Albritton博士及南美以美教會大學科學資料學會對編寫本書第一版時的部份補助，在此一併致謝。編寫本書之初，承蒙工學院H. J. Henry院長的鼓勵，謹此深致謝忱。本書第一版的原稿由內人 Katherine 打字，得其謹慎態度更正了很多的錯誤。第二版中新加入的題材則由 Gretna Anglen 太太打字。

很明顯地，一本篇幅受有限制的書籍，是無法包括使讀者感到興趣的所有實驗方法。基於此理由，在下頁列出一些精選的書籍及期刊以供讀者作更進一步的研究及參考。此表包含的範圍，主要是提供一般實驗知識和量度的來源。至於對某一專門部門的技巧則在各種專門性研究期刊中查到。讀者可從這些專門的參考資料中隨時應用新的量度技巧從事實驗。

J. P. Holman
霍爾曼

目 錄

原序

參考書和參考期刊

第一章 導論..... 1

第二章 基本觀念..... 5

2-1	引言.....	5
2-2	術語的定義.....	5
2-3	校定刻度.....	6
2-4	標準.....	6
2-5	一般的量度系統.....	10
2-6	在動態下測量的基本概念.....	12
2-7	系統應度.....	17
2-8	畸變.....	18
2-9	阻抗匹配.....	19
2-10	實驗設計.....	21
	問題.....	28
	習題.....	28
	參考資料.....	29

第三章 實驗數據的分析

3-1	引言.....	30
3-2	實驗誤差的起因及型式.....	31

3-3	基於常識的誤差分析法.....	32
3-4	不準確度的分析.....	33
3-5	實驗數據的統計分析.....	40
3-6	或然率分佈.....	44
3-7	高斯或常態誤差分析.....	46
3-8	或然率圖紙.....	54
3-9	適合度的卡方試驗法.....	56
3-10	最小二乘法.....	60
3-11	平均值的標準偏差.....	65
3-12	圖形的分析及曲線的配合.....	66
3-13	分析數據時的一般注意事項.....	69
	問題.....	70
	習題.....	70
	參考資料.....	75

第四章 基本的電量度和感應裝置

4-1	引言.....	76
4-2	電流的量度.....	76
4-3	伏特計.....	82
4-4	基本的輸入電路.....	83
4-5	電橋電路.....	89
4-6	放大器.....	97
4-7	濾波器電路.....	99

4-8	真空管伏特計	105
4-9	數字伏特計	105
4-10	示波器	109
4-11	示波記錄器	114
4-12	計數，時間，和頻率的量度	116
4-13	換能器和電感應裝置	123
4-14	可變電阻換能器	123
4-15	差示變壓器	123
4-16	電容換能器	126
4-17	壓電換能器	128
4-18	光電效應	129
4-19	光電導換能器	130
4-20	光生伏打電池	133
4-21	電離換能器	133
4-22	磁強計探索線圈	134
4-23	霍耳效應換能器	135
	問題	137
	習題	137
	參考資料	141

第五章 位移和面積的量度

5-1	引言	143
5-2	尺度量度	143
5-3	規塊	145
5-4	光學法	145
5-5	風力位移計	148
5-6	面積量度	150
5-7	面積儀	151
5-8	面積量度的圖解法和數計法	153
5-9	表面面積	155

習題	156
參考資料	157

第六章 壓力量度

6-1	引言	159
6-2	動態反應的考慮	161
6-3	壓力量度用物理儀器	163
6-4	靜重檢驗器	165
6-5	波登管壓力計	166
6-6	膜片和風箱壓力計	167
6-7	布利德門壓力計	171
6-8	低壓量度	171
6-9	馬克里壓力計	172
6-10	皮喇尼熱導壓力計	174
6-11	克努生壓力計	175
6-12	電離壓力計	175
6-13	阿爾發加速器	177
6-14	摘要	177
	問題	177
	習題	178
	參考資料	181

第七章 流量量度

7-1	引言	183
7-2	正向位移法	183
7-3	流阻法	186
7-4	阻錶的實際情況	189
7-5	聲音管嘴	199
7-6	應用曳力效應的流量量度	201
7-7	熱線風速計	204
7-8	磁流儀	207

7-9 流況能見法.....	209	9-1 引言.....	281
7-10 陰影圖.....	211	9-2 熱傳導率的量度.....	281
7-11 修禮連.....	213	9-3 液體和氣體的熱傳導率.....	285
7-12 干涉儀.....	214	9-4 黏滯性的量度.....	288
7-13 雷射風速計.....	218	9-5 氣體擴散.....	293
7-14 煙霧法.....	219	9-6 量熱學.....	296
7-15 壓力試探具.....	221	9-7 對流熱傳播的量度.....	300
7-16 超音速流內的撞擊壓力.....	226	9-8 濕度的量度.....	303
7-17 摘要.....	228	9-9 熱通量計.....	306
問題.....	228	問題.....	309
習題.....	228	習題.....	309
參考資料.....	232	參考資料.....	312

第八章 溫度量度

8-1 引言.....	234
8-2 溫標.....	234
8-3 理想氣體溫度計.....	235
8-4 應用機械效應的溫度量度.....	236
8-5 應用電效應的溫度量度.....	240
8-6 應用輻射的溫度量度.....	255
8-7 熱傳播對溫度量度的影響.....	260
8-8 熱系統的瞬變反應.....	267
8-9 熱電偶的補償.....	268
8-10 高速溫度量度.....	272
8-11 摘要.....	274
問題.....	274
習題.....	275
參考資料.....	279

第九章 熱特性和輸送特性的量度

第十章 力, 轉矩, 與應變的量度

10-1 引言.....	314
10-2 天平的質量量度.....	315
10-3 測力用彈性元件.....	318
10-4 轉矩的量度.....	322
10-5 應力和應變.....	324
10-6 應變的量度.....	325
10-7 電阻應變計.....	326
10-8 電阻應變計輸出的量度.....	329
10-9 溫度補整.....	330
10-10 應變計花板線匣.....	332
10-11 無束縛電阻應變計.....	335
問題.....	336
習題.....	336
參考資料.....	339

第十一章 運動與振動的量度

11-1 引言.....	340
--------------	-----

11-2	兩種簡易的振動儀	340
11-3	地震儀的原理	343
11-4	地震儀的實際應用	349
11-5	聲音的量度	351
問題		362
習題		363
參考資料		365

第十二章 熱輻射與核輻射的 量度

12-1	引言	367
12-2	熱輻射的探測	367
12-3	發射率的量度	372
12-4	反射比和透射比的量度	374
12-5	核輻射	375
12-6	核輻射的探測	377
12-7	蓋格 - 彌勒計數器	377
12-8	游離室	379
12-9	照相探測法	379
12-10	閃爍計數器	380
12-11	中子的探測	380
12-12	計數統計法	381
問題		385
習題		385
參考資料		387

第十三章 數據的收集與 整理

13-1	引言	389
13-2	一般收集系統	389
13-3	數據的整理	391
13-4	摘要	392

附錄		394
表A-1	國際單位制	394
表A-2	標準字首和倍數	396
表A-3	換算因數	397
表A-4	在 70°F 的金屬性質	398
表A-5	在 70°F 的非金屬熱特性	398
表A-6	在 68°F 的飽和液體性質	399
表A-7	在一大氣壓下 68°F 的氣體特性	399
表A-8	在一大氣壓下的乾燥空氣特性	400
表A-9	(飽和液體) 水的特性	401
表A-10	在 25°C 一大氣壓下, 空氣中一些氣體和蒸汽的擴散係數	402
表A-11	各種表面在 70°F 的總常態發射率之近似值	402
表A-12	一些幾何形面積之轉動慣量	403
索引		404

第一章 導 論

世上沒有“簡單的實驗”這一回事，而且在很多基本的研究部門或應用科學的發展方面，也沒有什麼東西可以取代精細的實驗過程。因為實驗，在工程界的各個部門是非常重要的，故對每一工程師而言，最迫切的要求就是能熟悉各種量度的方法，以及對各種實驗數據的解釋過程具有非常熟練的分析技巧。

自從發明了很多電子裝置用來觀察主要的物理參數及控制過程中的變數以後，實驗技術就有了很快的進步。在很多場合裡只要用上這些新的裝置就可將很多基本的物理量測得比過去精密得多。一般儀器的製造方面在很短的時間內會有更進步的發展，因為很多應用科學方面的量度及控制物理變數的需要正在大量的增加。爲了要迎合這個需要，一個工程師就必需對這些儀器的基本原理以及控制這個儀器的運用等的基本觀念要有很徹底的了解。

很明顯的，要將一個實驗作得非常成功，就必需對很多工程原理有完全的認識；爲了這個緣故，我們才說實驗是困難的。要設計一個實驗，工程師就必需先確定所要測量的物理變數以及那些變數在後來的分析工作中所佔怎樣的一個地位。爲了要計劃或獲得實驗中所需要的儀器，他必須對各種儀器的控制原理有一個廣泛的認識。最後，爲了要分析數據，實驗工程師們必須對他的觀測過程中所牽涉的物理原理要作深入的探討與綜合的工作，對所獲得的數據限度有個認識。

研究，是由分析和實驗二個工作結合而成的。理論家試以早經建立很多年的基本物理原理相符合的理論加以分析去解釋或預測實驗的結果。當收集到的數據與現存的物理原理所預測的形式不合時，一隻懷疑的眼睛就先釘在實驗數據上，然後才注意到有關的理論上去。在某些情況下，將新的實驗數據考慮進去，就會發覺有些理論需要加以修正，當然那些數據的有效度需先確定後才能這樣做。無論如何，所有的物理理論終究需要靠實驗來證明的。

一個研究工作不論是基本的或具有發展性的，完全操縱在實驗者手裏。一個核子物理學家如果想要確定某些理論的有效度，就必需時常在實驗室裏試驗他的理論，就像一個工程師他對新的電路或新型的水流系統作研究工作

時就需作相當多次的實驗然後才能確定那個裝置的用途。物理實驗是很多理論的最基本的試驗。

在很多工程方面的應用上，某些基本的物理現象是衆所皆知的，利用這些現象來設計的裝置，有很多可以利用。諸如真空管，流量計，和某些機構等。吾人也時常利用新法將這些裝置配合其他裝置一併來使用，例如一個新型的放大器，一個新的水流控制系統等。在這種情況下工程師必須利用他對以前那些裝置的經驗來設計新的裝置。不管那種裝置依據的資料是如何的可靠，工程師必須在設計完成以前和產品還未開始生產時堅持對這種新的裝置作一個徹底的實驗工作。

世界上存在著各式各樣的試驗或實驗等待着工程師們去完成。這些試驗有粗糙的像測定一個裝置的重量，精細的有如用電子裝置去量放射性原子核等。既然實驗的範圍這樣廣泛，一個工程師的實驗基礎就必須相對的具有彈性，才能在各種實驗工作中勝任愉快。很明顯的，我們不敢期望一個人能對任何部門的實驗工作都作得效率很高。有某種特殊能力的人只能在與他的興趣、分析及理論的能力有密切關係的實驗部門求發展。一個人的興趣廣泛，越有可能發展多方面的實驗興趣及能力。

在過去，有一些工程師，他們是原始的實驗家——那些人靠不斷的嘗試和失敗來設計某種裝置，而很少將分析工作當作實驗的初步。在工程界有些較老的部門，這種方法還相當盛行，最初完全將多年的經驗當作知識的基礎。但是，在新的部門裡，將重點完全放在理論和實驗的配合上。舉一個謊謬的例子，我們以火箭引擎的發展為例。我們也能造各種尺寸的火箭然後加以試驗一直到很幸運的找到了構造設計參數為止；但無論如何，那筆耗費的錢是無法負擔得起的。正當的研究途徑，是一種試驗和理論隨時的配合，時常計算實驗數據，然後不斷的和理論上所估計出來的數值比較。新的理論要以實驗量度為基礎列出式子，而這些理論又可引導更進一步的試驗及最後的設計。

一個工程師必須在他實驗進行以前，先知道他要尋求的是什麼。實驗的目的中必須指定所需要的正確度，可運用的經費，需要工作人員的水準。校核一個水銀溫度計的刻度比較上是一個簡單的工作，只需很有限的裝備及時間即可；但是，想精密的測量約 3000°F 高速流動氣流的溫度則需要較多的思索和顧慮。例如家庭樂器裏的放大器試驗起來一定要比人造衛星上電子裝備的放大器來得不精確……等等。

一個工程師不只對物理變數的量度要有興趣，他們對控制的方法也要非

常關心。這二個工作有非常密切的關連，但一個人必須先能量一個變數，例如溫度或水流量等，然後才能控制它。要控制得正確就先看是否量得精確。因此，要設計控制系統需先對量度的技術方面有豐富的常識。控制系統的細節問題在我們的討論範圍以外，但是應用某種特殊的裝置或感覺的設備到控制系統裡却是我們反覆提起的問題。

如果一個工程師只對於量度某些物理變數的技術非常熟練，這是不夠的。爲了要使數據具有最大的意義他必須對他所量度的某個變數能定出它的精密度。爲了要定出精密度必須先知道整個儀器使用的最大限度，而且需考慮到數據中可能出現的隨機或規律的誤差。再利用統計學上的技巧來分析數據以決定期望的誤差和它們與真確度量的偏差。一個工程師對這些技巧能非常熟悉，才能很有效的分析他的數據。

在很多場合裡，工程師以一種遲疑的，完全沒有信心的態度去參加實驗。胡亂搜集數據，其中大部份後來分析時發現是無用的，某些步驟的範圍內可能測量得不夠徹底，造成所搜集的數據的相關值很是有限。工程師必須確定他所收集的數據是足夠的，但他不能太浪費時間及金錢。最重要的一點就是實驗需有週密的計劃。很多實驗家的確在作有計劃的試驗以配合他們所要測量變數的範圍。但是他們常常忽略了一件事，那就是某些步驟的範圍內較其他的部份需要的數據更多。然後才能在最後的數據計算時確保相同的精確度。換句話說，所預期的數據分析法：統計學的或其他的，必須在計劃實驗時就先考慮好，例如在設計一個實驗裝置的大小時就需先考慮某些變數一樣。一個工程師常常問到這樣的問題：要確保我的結果不是靠運氣得來的，那麼最少要收集多少數據才夠？我們對一個實驗的計劃在本書裏會講得很多，而讀者只需將這些公開的說明當作起始的動機。

一些關於研究方面的實驗問題至此已大略說明。我們很難描述作研究工作所需的環境及技術。因爲不像標準的試驗那樣，只要照一些已成立的步驟操作即可，在研究工作中很少有明確的方法可以遵循。每個問題彼此均不相同，而且如果這個研究工作沒有價值的話，以前一定不會被廣泛的研究過。這個意思就是說一個工程師一旦埋首於研究工作就必須有準備去面臨很多複雜的實驗方面的問題。某些研究中要求的目標必須放寬些，因爲沒有量那些有關變數的儀器可資利用。在新的裝置無法適應操作以前，一些表面上看來並不重要的細節就變得很有意義了。一個最重要的基本問題就是一個工程師很少能對他所真正需要的變數作直接的量度。常常對某些量度逐漸加以修正，但很少落在“標準”的修正範圍內。一個接一個不重要的細節累積起來，

一直到整個實驗變得非常複雜且常常和最初研究的本意不合。我們要重覆那一句老生常談：“沒有簡單的實驗這回事”。

一個初作實驗的人時常假設某個實驗是很容易做的。他所要做的是將儀器用鉤子鉤起來，將開關扳上，然後就會產生很多有意義的數據使他的同事（或監察者）吃了一驚。他從沒有注意到只有一個簡單的儀器不能工作而且破壞了整個實驗。一旦這個儀器工作得很正常，另外一個可能壞掉，諸如此類。當整個裝置在操作時，一個實驗的生手就可能胡亂的搜集數據，沒有對最後結果多加考慮如何可從數據裏獲取什麼。他試著要將所有的問題一次解決掉，同一時間裏要求出很多的參數，而且對數據很少加以控制，最後變成某些部份的工作必須重做為止。最後又回到那個重要的關鍵，就是必須先仔細的計劃。在一個具有研究性的實驗裡，用很大的注意力與耐心，常常可能得到以最快的方式導致最好的結果。

上面所提到的各點對這本書的讀者（一個初學者）而言，好像非常洩氣，其實不然，相反的我們要警告初學者使他們能夠避免陷入一些較明顯的圈套裏。更重要的一點，就是故意要讓初學者明瞭某些麻煩是在預料中的，而且要堅強的面對這些問題再加上具有智慧的計劃。整個實驗就幾乎都可以獲得所需要的結果——精確而且有意義的數據。

在本書中所陳述的東西主要的目的是要傳授實驗方法及量度技術的廣泛常識。爲了要達到這個目的，我們將會站在操作原理的觀點上或特殊的工作性能方面將大宗的儀器加以討論。重點放在分析式的計算法，使讀者明瞭一個很重要的觀點，那就是將理論上的發展和關於描述操作性能的資料看得一樣重要。更要進一步強調的，那就是關於不準確度的討論，這個問題很可能在各種儀器裡都會遇到，要特別注意。

實驗方法的研究，是所有分析問題所必然延伸到的。對於分析工作能有方法來證明，就好像在理論裡注入新的生命和活力對實驗量度中所會遭遇到的困難能有徹底的了解；則在理論上會產生一個很謹慎的態度，而這個態度是不能被其他的任何方法所取代的。

第二章 基本觀念

2-1 引言

在本章裡我們要先解釋一些實驗中常用的術語和實驗系統的一般安排法。我們也將簡略的介紹單位，因為它在校正一切實驗的度量時非常重要。「實驗誤差」大部份留待第三章討論，在這裡只討論某些術語的定義。

2-2 術語的定義

我們常常講到儀器的“可讀性”(readability)。這個術語的意思是指儀器的分度所能讀出的最大數目；一個分度為 12 吋的儀器要較一個分度為 6 吋的儀器可讀性大。“最小計數”(least count) 是指指針在儀器上所移動的直線距離對所測得的量之比。例如一毫伏特的刻度刻在十吋長的範圍內時，它的靈敏度為 10 吋 / 毫伏特 (10 in/mv) 當然這是指所有的分度排成一直線而言。

所謂儀器的“滯後性”(hysteresis)是指當量度同一種量時，測定物質由少漸增和由多漸減時所得之讀數不同。“滯後性”可能是機件的摩擦，受到磁場的影響，彈性變形，或者受到溫度的影響等所致。

所謂儀器的“正確度”(accuracy)是指測量一已知量時所得的讀數和其已知道的偏差。“正確度”通常以最大度量的百分率表示，所以一個 100 磅/吋² 的壓力計有百分之一的正確度，就是對整個壓力計的測量範圍而言，我們說其正確度在 ± 1 磅/吋²。

所謂儀器的“精確度”(precision)是指重新很正確的指示某個讀數的可能性。茲以下列說明“精確度”和“正確度”的不同點，假如現在想用表量一個 100 伏特的電壓時，共量五次其數值分別為 104, 103, 105, 103 和 105 伏特。從這些數值中可以看出這個儀器的正確度為百分之五 (5 伏特)，而精確度為百分之一，因為和平均值 104 伏特的最大偏差只有 1 伏特。並且可看得出這個儀器刻劃刻度後可以很可靠的用來量 ± 1 伏特。這樣一個

簡單的例子就可說明一個重要的觀念。一個儀器的正確度可以提高但不能超過這個儀器的精確度。一個儀器的精確度和許多因素有關，並且需要特殊的分析技巧，我們留待第三章詳述。

2-3 校定刻度

“校定刻度”對一個儀器而言是非常重要的，因為校定刻度時可以將這個儀器和一已知的標準值核對，結果減少誤差。“校定刻度”的過程包括將一個儀器和下列各項比較，(1)一個主要的標準(2)一個正確度較待校正的儀器高的儀器，(3)一個已知數量的試件。例如，一個水量表 (flowmeter) 可以用下法校定：(1)和一個國家標準局所作出來的水量表比較，(2)和另一個已知正確度的水量表比較，或(3)用一個初步的測量法來校定刻度，就像將一水槽裝了一定重量的水，再讓這些水流過這個表，記下所經過的時間。在第二項中最重要的是「已知正確度」那是指該表的正確度已經過權威方面人士核定過的。

校定刻度的重要簡直無可言喻，因為它會深深的影響儀器的正確度。我們不能隨便就相信儀器的讀數，至少要先作一個簡單的校驗以確保量出來後數值的有效程度。甚至連製造廠商的說明書或刻劃出來的刻度均靠不住。雖然大部份的廠商是很有信用的，但仍有一些不盡如此。我們在這本書內會提到很多儀器的各種校定刻度的方法以及它們的正確度。

2-4 標準

爲了要讓全世界各地的人有一個共同的根據來比較他們的實驗結果，我們必須先建立一些長度，重量，時間，溫度，電量的標準單位。在美國國家度量衡局(National Bureau of Standards) 有全權負責維持這些標準量。

「米」和「仟克」被當作二種基本量，而且經過換算後可以推出英制的長度和質量。一個「標準米」的定義是指一個長度正好和法國的國際度量衡局的米原器同長，該米原器係一鉑銻合金作成的棒，永遠保持在一很準確的情況下。同樣的一個「標準仟克」的定義是指一個質量恰好和該局的一個鉑銻合金柱體相同者。在美國英制和米制的換算，有一定的準則如下：

$$1 \text{ 米} = 39.37 \text{ 吋}$$

$$1 \text{ 磅} = 453.59237 \text{ 克}$$

長度和質量的副標準是用來校定刻度的，保存在國家標準局。在 1960

年國際度量會議規定氬—86的燈光所發出的橘紅色光的波長當作長度的標準，這「標準米」規定為：

$$1 \text{ 米} = 1,650,763.73 \text{ 波長}$$

一吋規定為：1 吋 = 2.54 公分

時間的標準量，是以某個裝置振盪的頻率來計數的。最簡單的裝置就是單擺。一個扭轉振動的系統也可用來作頻率的標準。

扭轉振動系統在時鐘和錶方面用得很多。在某種情況下一般六十週的交變電壓亦可用來作頻率的標準。電鐘就是用這種頻率作為標準，它用一個同步的電馬達來帶動機件而該電馬達的速率決定於電源頻率。音叉和壓電晶體 (Piezoelectric crystal) 也是一個適當的頻率來源，電子振盪器 (Electronic Oscillators) 也可設計用來產生非常精確的頻率。

時間的基本單位「秒」以前規定為一平均太陽日的 $1/86400$ ，而太陽日是太陽連續兩次通過地球上同一子午線所需的時間。這個所經歷的時間在地球上各地不同且年年變換；但一年的平均太陽日 (mean solar day) 却為定數。太陽年是指地球繞太陽一週所需的時間。平均太陽年為 365 日 5 小時 48 分 48 秒。

上述「秒」的定義相當嚴密，但還得靠天文上的觀察。在 1967 年 10 月，第十三次國際度量衡會議通過了一個新的秒的定義為連續 9,192,631,770 次輻射所經歷的時間，而此輻射是基態 (fundamental state) 的鈹-133 原子在二個超精細級 (hyperfine level) 之間的躍遷 (transision) 時所發生的。這個標準全世界各處的實驗室均可複製。這個標準的正確度據估計出來是 10^{-2} 。

非常正確的頻率和標準時間是由國際標準電臺 (National Bureau of Standards' radio station, WWV.) 廣播的。這個電台供給標準的時距 (time intervals)，時間信號 (time signals)，標準基音 (standard musical pitch)，標準的無線電頻率 (Standard radio frequencies)，和無線電傳播預報 (radio propagation forecasts) 而所傳播的無線電和聲頻其正確度大於一億分之一，時距的正確度亦為一億分之一 (± 1 微秒)。

電學上的單位，可從力學上的力，質量，長度和時間的單位導出。這些單位均為絕對單位和西元 1948 年所公佈的電學國際單位稍有不同。國際單位制詳述在參考書 (1) 和參考 (2) 中。這個系統建立一個標準電池，其數值可直接變換為絕對單位。從國際單位可由下列換算為絕對單位：

$$1 \text{ 國際歐姆} = 1.00049 \text{ 絕對歐姆}$$

$$1 \text{ 國際伏特} = 1.000330 \text{ 絕對伏特}$$