

科技用書

電 儀 表

黃聖賢、黃宗賢 編著

復文書局

電 儀 表

(1988) 民國七十七年八月初版發行

著作權執照台內著字第 號

版權所有 翻版必究

編著者：黃聖賢、黃宗賢

發行者：吳 主 和

發行所：復 文 書 局

地址：台南市林森路二段 63 號

電話：(06) 2370003 · 2386937

郵政劃撥帳戶 0032104 - 6號

NO. 63 SECTION 2 LIN-SEN ROAD.

TAINAN. TAIWAN. R.O.C.

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

基價 5.04 元

編輯大意

- 一、本書的主要目的在引導學生對於電儀表的原理、構造、特性及量度方法有深入的瞭解，並能配合實習，使理論與實務合一。
- 二、本書內容實際，編排循序漸近，易讀性高。
- 三、本書內容為求生動活潑，圖表均筆者自行繪製，以求正確精美，並用以加強學生的記憶及提高學習興趣。
- 四、本書各章末另附有習題及學後評量測驗，以供學生自我練習之用，並進而可知對該章內容的瞭解程度。
- 五、本書編審謹慎，並經多次校對，然疏漏之處在所難免，尚祈諸先進及教師同仁能多予指正，以供再版時修訂之參考。

作者 謹識

目 錄

第一章 概論	1
1-1 量度單位	2
1-1-1 基本單位	2
1-1-2 實用單位及國際單位	7
1-1-3 電工單位換算	9
1-2 量度之方法	14
1-3 誤差和校正	15
1-4 靈敏度、準確度及精確度	22
1-5 標準器	26
習題	31
學後評量測驗	33
第二章 電儀表之分類及基本結構	37
2-1 電儀表之種類	39
2-2 電儀表之基本結構	42
2-3 電儀表誤差原因及特性之要求	50
習題	54
學後評量測驗	55
第三章 指示儀表	59
3-1 動圈型電表	60

3-1-1 動圈型電表之原理	61
3-1-2 動線圈型電表	64
3-2 動鐵型電表	67
3-3 電動力計型電表	70
3-4 熱動型電表	78
3-5 感應型電表	86
3-6 靜電型電表	93
3-7 整流型電表	98
3-8 振動型電表	105
3-9 動磁針型電表	107
3-10 動擊電表	110
3-11 電表之靈敏度	111
習題	113
學後評量測驗	115

第四章 電路量度之基本儀表 121

4-1 電壓表之應用	124
4-2 電位差表之應用	136
4-2-1 直流電位差表	137
4-2-2 交流電位差表	153
4-2-3 直流電位差表之電阻量度法	157
4-3 電流表之應用	164
4-4 電阻表及電抗表之應用	180
4-4-1 惠斯登電橋	181
4-4-2 中電阻量度法	193

4-4-3	低電阻量度法	196
4-4-4	高電阻量度法	201
4-4-5	高阻表測量絕緣電阻	207
4-4-6	直讀歐姆表	210
4-4-7	液體電阻量度法	223
4-4-8	接地電阻量度法	225
4-4-9	接觸電阻量度法	230
4-4-10	線路故障位置量度法	231
習題		237
學後評量測驗		242

第五章 瓦特表、瓦時表、乏時表及功率因數表 255

5-1	瓦特表之應用	262
5-2	瓦時表之應用	278
5-2-1	瓦時表之種類及計算	278
5-2-2	三相感應型瓦時表	292
5-2-3	瓦時表之試驗法	292
5-2-4	無效電功率量度法	297
5-3	乏時表之應用	302
5-4	功率因數表之應用	305
習題		315
學後評量測驗		317

第六章 常用儀表之認識 325

6-1	三用電表	325
-----	------	-----

6-2	檢電器.....	343
6-3	夾式電表.....	345
6-4	頻率表.....	349
6-5	轉速表.....	358
6-6	照度表.....	359
6-7	音量表.....	360
6-8	其他常用電表.....	362
習題.....		363
學後評量測驗.....		364

第七章 基本電子儀表..... 369

7-1	電源供應器.....	369
7-2	電子電壓表.....	376
7-3	信號產生器.....	380
7-4	示波器.....	382
7-5	阻抗電橋.....	388
習題.....		397
學後評量測驗.....		398

第八章 記錄儀表..... 403

8-1	記錄儀表之功能.....	403
8-2	記錄儀表之種類.....	405
8-2-1	直動型記錄儀表.....	405
8-2-2	間歇型記錄儀表.....	405
8-2-3	電驛型記錄儀表.....	408
8-2-4	光學式記錄儀表.....	409

習題	412
學後評量測驗	413

第九章 特殊儀表

9-1 量度之遙測	415
9-1-1 直送型遙測電表	416
9-1-2 平衡型遙測電表	418
9-1-3 頻率型遙測電表	421
9-2 檢漏表	424
9-3 同步指示表	425
9-4 相序指示表	429
9-5 計週表	430
9-6 磁力表	432
9-7 磁通表	434
9-8 磁通密度表	436
9-9 換能器	438
9-9-1 張力換能器	438
9-9-2 位移換能器	439
9-9-3 溫度換能器	439
9-9-4 光電換能器	440
9-9-5 濕度換能器	440
習題	441
學後評量測驗	442
附錄	445

附錄一	各種型式交流電橋·····	445
附錄二	基本電量之實用單位、靜電單位及電磁單位換算表·····	451
附錄三	國際系統內常用電磁量之因次與單位·····	452
附錄四	單位換算表·····	456
附錄五	三角重要公式及關係·····	458
附錄六	對數關係·····	460
英漢名詞對照表	·····	461
學後評量測驗解答	·····	475

第一章 概論

凡表示事物之多寡或大小，均稱之爲量（Quantity），諸如某物之輕重、距離，或時間之長短，力或電流之大小，溫度或電壓之高低等，均可以用某數目之量來表示，此在各種運用中，常須明瞭量之數值，始能運用恰當。量的組成包括大小（Magnitude）及單位，如某物之重量爲五公斤，則五爲其大小，公斤則爲單位，數值之大小，與選用單位（Unit）有關，通常由每單位量（Per-unit）所決定，此單位量爲衆所公認之定量，可用以比較事物相同性質含量的大小，單位量雖可任意選定，但必須有明確之定義，並應考慮使用之方便，否則便毫無價值可言。

質量、速度、長度、力、時間或溫度等諸量，可由人之感官或經驗判斷其大小，此與經驗有關，但仍難獲得準確之數值，欲求其精確，必須藉諸量度器具。在電學運用中，電量之決定，如電流大小、電壓高低及磁量多寡等更非由感官所能獲知，必須經由各種電儀表實際測量後，方能確定，然而電儀表之種類形式，既多且繁，且日新月異，不勝枚舉，幸而所根據之基本理論則一定，方不至於無從學起。欲有效利用電儀表，必須瞭解其原理、構造、用法、限制或精確程度等，始可運用恰當，舉一反三，儀表之用途，即在獲得準確之量度。

1-1 量度之單位

單位 (Unit) 是用以表示測定數量之性質及大小，為一切量度之基準，例如長度之單位為公尺或呎，重量之單位為公斤或磅等皆是；所謂數值，即為研究之物理量與單位量之比，單位決定後，物理量即可由數值表示，單位成立之條件有二，即必須有明確的定義及便於使用。定義明確，得以保持單位之性質不變，不致產生混亂，例如長度之單位——公尺，其最初定義為地球北極通過巴黎子午線之千萬分之一；質量的單位——公斤，其定義為在 760 mm 水銀柱氣壓下，4°C 時， 10^{-3} 立方公尺之蒸餾水的質量；時間之單位——秒，其定義為一個平均太陽日 (Mean solar day) 之 $\frac{1}{86400}$ 。諸如前述之長度、質量及時間等項均定義明確，使用上亦無困難，故為衆所公認，使用廣泛，才能成為事物相同性質之比較準則。

1-1-1 基本單位

於工程中常用之單位可分為兩類，即基本單位 (Fundamental unit) 及導出單位 (Derived unit)。基本單位乃指長度、質量及時間三者之單位，可分為三種系統，即 M.K.S 制，分別為公尺、公斤及秒；C.G.S 制，分別為公分、公克及秒；F.P.S 制，分別為呎、磅及秒；導出單位則指由上述三種基本單位組合或換算而成之單位，故又稱為組合單位，例如平方公尺、平方公分為面積之單位；立方公尺、立方公分為體積之單位；公尺/秒、公分/秒為速度之單位；公斤/立方公尺、磅/立方呎為密度之單位；力的導出單位則如公斤-公尺/秒²，為了使用方便，則稱為一牛頓 (Newton)。

導出單位可用單位因次 (Dimension) 識別，例如長度用 L，

時間用 T ，質量用 M ，則面積之單位因次為 L^2 ，體積之單位因次為 L^3 ，力的單位因次為 LMT^{-2} 。

上述之長度、質量、時間等之基本單位，乃就物理學中之力學而言，稱為主（原始）基本單位（Primary fundamental units），主基本單位也為其他各學科所應用。而其他如熱學、光學和電學所用之基本單位則稱為輔助基本單位（Auxiliary fundamental units），例如愷氏溫度（ $^{\circ}K$ ）、燭光（Candle）、安培（Ampere）等，輔助單位僅用於這些學科，而不用於其他學科。

此六個基本單位，在1960年，第十一屆國際度量衡會議定為國際單位系統（International System of Units，簡稱SI）之基本單位，稱為M.K.S.A系統，其重新定義如下：

1. 公尺（m）：

在真空中，氙（Krypton）之同位素 Kr^{86} 被激發時所發出橘紅色輻射波波長之1650763.73倍定為1公尺。

2. 公斤（kg）：

在 $4^{\circ}C$ 時（水之密度最大）， 10^{-3} 立方公尺純水之質量為1公斤，亦即1立方公尺純水之質量為 10^3 公斤。

3. 秒（s）：

在不受外界場力擾亂之下，銨（Cesium， Cs^{33} ）之原子鐘（Atomic clocks）振盪9192631770次所需要之時間為1秒。

4. 安培（A）：

相距1公尺之兩平行無限長直導線，其圓截面小至可忽略程度，當通以電流而使每單位長度導體產生 2×10^{-7} 牛頓吸或斥力時之導體電流定為1安培。

5. 愷氏溫度（ $^{\circ}K$ ）：

在一大氣壓下，水之三相點（Triple point，指水、冰

4 電儀表

及水蒸氣可同時存在之溫度)定為 273.16°K ，水之沸點定為 373.16°K 。

6. 燭光 (cd)：

鉑在固化溫度 (2042°K) 下輻射，每平方厘米面積中照明強度之 $1 / 16$ 定為 1 燭光。

在電工單位為電磁量度之方便，產生兩種系統，其一稱為 C.G.S 靜電單位系統 (C.G.S electrostatic unit system)，其二為 C.G.S 電磁單位系統 (C.G.S electromagnetic unit system)，前者在各單位前標以“靜”(Stat)之字樣，如靜庫侖 (Stat-coulomb)、靜伏特 (Stat-volt) 等，後者在各單位前標以“絕對”(Ab)之字樣，如絕對伏特 (Ab-volt)、絕對安培 (Ab-ampere) 等。

根據上述之靜電單位系統及電磁單位系統之定義說明如下：

1. C.G.S 靜電單位系統

係以靜電學之庫侖定律 (Coulomb's law) 為根據，此定律謂兩帶電體之相互作用所產生的電力與二者帶電量之乘積成正比，與距離平方成反比，即

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

其中：

F：為兩電荷間之作用力，單位為克—公分 / 秒²，又稱達因 (Dyne)。

Q_1 及 Q_2 ：帶電體之帶電量，單位為靜庫侖。

r：兩帶電體間之距離，單位為公分。

K：比例常數。

若以真空中之比例常數 K 定為 1，並令 $Q_1 = Q_2 = Q$ ，則

$$Q = \sqrt{F r} \quad (1-2)$$

由上式可得 1 靜庫侖之定義爲二等量電荷相距 1 公分時，若作用力恰爲 1 達因時之電量。

K 之倒數，稱爲介質係數 (Permittivity)，常以 ϵ 表示之，在真空中， $\epsilon = \epsilon_0 = 1$ 。

由 (1-2) 式中，可導出其他之電量單位，例如電流之定義爲某固定截面在單位時間內所通過之電荷量，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-3)$$

(1-3) 式中，若 Q 以靜庫侖及 t 以秒作單位，則 I 之單位稱爲靜安培，即

$$1 \text{ 靜安培} = 1 \text{ 靜庫侖} / \text{秒}$$

其他再根據電場強度 (Electric field strength) E，電位差 V，電容 (Capacitance) C 等之定義可分別導出其他電量之單位來，由這些單位所形成之系統，即稱爲 C.G.S 靜電單位系統。

2. C.G.S 電磁單位系統

以靜磁學之庫侖定律爲根據，此定律謂二磁極 (Magnetic pole) 間所產生之磁作用力與二磁極強度乘積成正比，與距離平方成反比，即

$$F = K' \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1-4)$$

6 電儀表

其中：

F ：電磁極間之作用力，單位為達因。

m_1 及 m_2 ：磁極強度。

K' ：比例常數，其倒數稱為導磁係數 (Permeability)，以 μ 表之。

r ：兩磁極間之距離，單位為公分。

仍以真空中之比例常數 K' 為 1，令 $m_1 = m_2 = m$ ，則由 (1-4) 式可得下式：

$$m = \sqrt{F r} \quad (1-5)$$

由上式若取 $F = 1$ 達因， $r = 1$ 公分，則此二相等極之磁極強度稱為 1 單位磁極 (Unit pole)。

根據磁極及其他各磁量定義，可導出其他之磁量單位來，例如磁通密度 (Magnetic flux density) B ，其定義為單位面積所流過之磁通量。而 1 單位磁極在真空中則產生 4π 單位之磁通量 (Magnetic flux)，磁通量以 ϕ 表之， ϕ 的單位定為馬克斯威 (Maxwell)，1 馬克斯威又定為 1 條磁力線 (Magnetic line)，每單位面積有 1 條磁力線垂直通過時，其磁通密度稱為 1 高斯 (Gauss)。磁場強度 (Magnetic field strength) H ，為單位磁極所受到之作用力，每單位磁極在磁場中恰受 1 達因之作用力時，則該處之磁場強度定為 1 奧斯特 (Oersted) 等等，這些單位所形成之系統，即稱為電磁單位系統。

靜電單位和電磁單位均為獨立之單位，在兩單位系統中，具有互不相同之數值及因次，在使用上極感不便，十九世紀中葉，經由高斯、韋伯及安培氏等學者之多方探討，始發現相同電荷在靜電與電磁兩單位之數值及因次，其比例均約等於真空中之光速 C ，此發現導致今日各電磁數量單位之統一。

1-1-2 實用單位及國際單位

前述之 C.G.S 靜電制單位或電磁制單位，在當作實際應用之單位時，發現所需之數值，非為過大，即為過小，甚為不便，例如普通電燈所用的 100 伏特電壓，若用電磁單位表示，則為 10^{10} 絕對伏特

，用靜電單位表示， $\frac{1}{3}$ 靜伏特。1 安培的電流，若用靜電單位表示，

為 3×10^9 靜安培，用電磁單位表示，則為 $\frac{1}{10}$ 絕對安培。由此可知

在數值上的處理極為不便，為了便於實際之應用，乃由 C.G.S 電磁制導出第三種單位系統，稱為實用單位系統 (Practical unit system)，例如安培 (Ampere)，伏特 (Volt)，歐姆 (Ohm)，亨利 (Henry)，法拉 (Farad)，庫倫 (Coulomb) 等。

表 1-1 為 MKSA 系統基本單位及電工實用單位之名稱、符號、單位、單位符號及因次一覽表，注意單位符號與名稱符號不可混亂。

電工發展初期，各國量度技術未臻完善，其所使用單位，差異甚大，未能統一，使用上諸多不便，直至公元 1908 年在英國倫敦召開國際電工技術委員會時 (IEC)，製定電氣原器 (Primary standard)，商定各單位之標準規格，稱為國際電工單位 (International electrical unit)，主要者有下列四單位：

1. 國際歐姆 (International ohm)：

在 0°C 時，質量為 14.4521 克，長度為 106.300 公分，截面積均勻之水銀柱，對於不變電流之電阻，稱為 1 國際歐姆。

2. 國際安培 (International ampere)：

8 電儀表

表 1-1 MKSA 基本單位及電工單位系統符號

電 量	符 號	單 位	單 位 符 號	因 次
長 度	ℓ	公斤	m	L
質 量	m	公斤	kg	M
時 間	t	秒	s	T
電 流	I	安培	A	I
溫 度	T	愷氏溫度	°K	θ
光 度		燭光	cd	
電 荷	Q	庫侖	C (AS)	TI
電 壓	V	伏特	V (W/A)	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
電場強度	E	伏特 / 公尺	V/m	$LMT^{-3}I^{-1}$
電通密度	D	庫侖 / 公尺 ²	C/m ²	$L^{-2}TI$
電 阻	R	歐姆	Ω (V/A)	$L^2MT^{-3}I^2$
電 能	W	焦耳	J	L^2MT^{-2}
電 容	C	法拉	F (AS/V)	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$
磁 通	ϕ	韋伯	Wb	$L^2MT^{-2}I^{-1}$
磁場強度	H	安培 / 公尺	A/m	$L^{-1}I$
磁通密度	B	忒斯拉 (Tesla)	T (wb/m ²)	$MT^{-2}I^{-1}$
電 感	L, M	亨利	H	$L^2MT^{-2}I^2$
磁 通 勢	U	安培	A	I
頻 率	f	赫茲	Hz	T^{-1}