

第四篇

電磁測定及電儀表

3k602/2504

目 錄

頁

第一章 電氣單位與標準

1.1	電氣單位	4— 1
1.2	絕對測定法	4— 3
1.3	電氣標準	4— 5

第二章 電儀表

2.1	儀表之分類	4— 8
2.2	儀表之構成元件	4— 10
2.3	計器之誤差	4— 15
2.4	機械長度	4— 18

第三章 指示計器

3.1	轉圈型	4— 19
3.2	轉鐵型	4— 21
3.3	測力計型	4— 22
3.4	熱型	4— 24
3.5	感應型計器	4— 25
3.6	靜電型計器	4— 27
3.7	整流型計器	4— 29
3.8	廣角度計器	4— 30
3.9	頻率計	4— 31
3.10	功率因數計、相位計、無效率計	4— 34

第四章 積算計器

4.1	種類	4— 36
4.2	直流用積算計器	4— 36
4.3	交流用積算電力計（又稱瓦時計）	4— 37

4.4	三相積算電力計	4— 41
4.5	試驗法	4— 42
4.6	負載法	4— 44
4.7	積算無效電力計	4— 46
4.8	最大需量計	4— 47
4.9	特殊積算電力計	4— 49

第五章 儀器用變比器

5.1	比流器 (簡稱 C.T.)	4— 50
5.2	比壓器 (簡稱 P.T.)	4— 52
5.3	變比器之各種接線法	4— 53
5.4	儀器用比壓、比流器 (P.C.T.)	4— 55
5.5	共磁型變比器	4— 55
5.6	電容器型儀器用變比器 (P.D.)	4— 55
5.7	直流儀器用變比器	4— 57

第六章 記錄儀器與遙測儀器

6.1	記錄儀器	4— 59
6.2	遙測計器 (Telemeter)	4— 61

第七章 特殊儀器

7.1	相序指示器	4— 65
7.2	檢漏器	4— 65
7.3	同步指示器	4— 66
7.4	損失角計 ($\tan \delta$ 計)	4— 67
7.5	真空管電壓計	4— 68
7.6	架線電流計	4— 70
7.7	波高電壓計	4— 70
7.8	直流大電流計	4— 72

第八章 檢流計

8.1	直流用檢流計	4— 73
8.2	交流用檢流計	4— 80
8.3	靜電計	4— 82

8.4	檢流計用分流器	4—84
第九章 示波器		
9.1	種類	4—87
9.2	電磁型示波器	4—87
9.3	靜電型示波器	4—88
9.4	陰極射線示波器	4—89
第十章 電位差計		
10.1	直流電位差計	4—93
10.2	交流用電位差計	4—96
第十一章 電阻之測定		
11.1	電阻器之種類	4—98
11.2	中電阻之測定法	4—99
11.3	低電阻之測定法	4—105
11.4	高電阻之測定法	4—105
11.5	特殊電阻之測定法	4—107
11.6	接地電阻測定法	4—109
11.7	直接指示電阻計	4—110
11.8	障礙位置測試法	4—113
第十二章 電力測定法		
12.1	直流電力之測定	4—116
12.2	交流電力之測定	4—117
第十三章 感應及電容測定法		
13.1	測定用器具	4—121
13.2	交流電橋	4—124
13.3	感應測定法	4—125
13.4	電容測定法	4—127
13.5	各種電橋之平衡條件	4—128
第十四章 頻率測定法		
14.1	閃光測頻器 (Stroboscope)	4—130
14.2	電容充電法	4—130

14.3	李沙育圖形法 (Lissajous figure)	4-131
14.4	頻率計	4-132
14.5	頻率電橋	4-132
14.6	吸收式波長計	4-133
14.7	外差式頻率計	4-133

第十五章 磁性測定法

15.1	磁力計	4-134
15.2	磁通計	4-135
15.3	磁通密度之測定法	4-135
15.4	鐵損測定法	4-137

第十六章 應用電氣測定法

16.1	電氣測定法之優點	4-140
16.2	各種電氣量之變換法	4-140
16.3	電氣測定用電路	4-141
16.4	長度測定法	4-141
16.5	振動與壓力之測定法	4-143
16.6	真空度之測定法	4-145
16.7	時間測定法	4-146
16.8	速度測定法	4-147,
16.9	流體之測定	4-148
16.10	電氣溫度計	4-150
16.11	濕度之測定法	4-154
16.12	含水量測定法	4-155
16.13	工業量之電氣演算	4-157

第十七章 放射線之測定

17.1	放射線之種類與性質	4-159
17.2	放射線有關單位	4-160
17.3	放射線測定器	4-161
17.4	閃爍計數器 (Scintillation Counter)	4-164
17.5	計數裝置 (Scaler)	4-166
17.6	計數率計	4-168
17.7	放射線檢查器	4-168

1.1.3 實用單位

CGS 單位係一種學術上之單位，在實用上時感不便，為適應實際需要，有訂定一種實用單位之必要。例如以「斷面積 1 mm^2 、長度 1 m 之水銀柱電阻」作為電阻單位，實用上甚為方便，但以絕對測定法（參照本章 2 節）測定其值時約等於 CGS 電磁單位之 10^9 倍。故以 CGS 電磁單位之 10^9 倍為電阻之絕對實用單位，稱之為歐姆 $[\Omega]$ 。又以丹薩爾電池之電勢作為電壓單位時在實用上亦甚為方便，但其電勢實際上相當於 CGS 電磁單位之 10^8 倍，故吾人以 CGS 電磁單位之 10^8 倍作為電壓之絕對實用單位，稱為伏特 $[V]$ 。由此可知電流及電力實用單位之安培 $[A]$ 及瓦特 $[W]$ 各為 CGS 電磁單位之 10^{-1} 及 10^7 倍。實用單位與 CGS 單位有下列關係：

$$1 [V] = 10^8 [\text{CGS 電磁單位}] \rightleftharpoons \frac{1}{300} [\text{CGS 靜電單位}]$$

$$1 [A] = \frac{1}{10} [\text{CGS 電磁單位}] \rightleftharpoons 3 \times 10^9 [\text{CGS 靜電單位}]$$

$$1 [\Omega] = 10^9 [\text{CGS 電磁單位}] \rightleftharpoons \frac{1}{9} \times 10^{-11} [\text{CGS 靜電單位}]$$

1.1.4 MKS 單位

此係義大利人 G. Giorgi (1911 年) 所提倡之一種單位，以公尺 $[m]$ 、公斤 $[kg]$ 及秒 $[s]$ 各為長度、質量及時間之一種實用單位。其優點為 m 、 kg 甚適於作為長度與質量之實用單位，又因其採用以實用單位為基礎具有一貫性之單位系統，可減少各單位系統間之混淆。MKS 單位制度可分為有理單位系與非有理單位系二種。

	有理系	非有理系
庫倫定律	$F = \frac{QQ'}{4\pi\mu r^2}$	$F = \frac{QQ'}{\mu r^2}$
磁束密度	$B = \mu H + J$	$B = \mu H + 4\pi J$
球體之靜電容	$C = 4\pi\epsilon r$	$C = \epsilon r$
起磁力	$F = NI$	$F = 4\pi NI$
平行板之靜電容	$C = \frac{\epsilon A}{d}$	$C = \frac{\epsilon A}{4\pi d}$
介質中之電能密度	$W = \frac{BH}{2} = \frac{\mu H^2}{2}$	$w = \frac{BH}{8\pi} = \frac{\mu H^2}{8\pi}$

1.1.5 國際電氣單位

1908 年倫敦電氣基本單位國際會議制訂了實用單位與 CGS 單位間之關係，同時制訂此種單位之電氣原器，以原器制定之單位即舊國際單位。可分為國際歐姆及國際安培兩種。

「國際歐姆：在水之溶解溫度下以穩定電流通過質量 14.4521 g、長度 106.300 cm、橫切面 1 mm 之水銀柱時其電阻稱為一國際歐姆。」

「國際安培：通過硝酸銀水溶液每秒析出銀 0.00111800 g 之穩定電流為一國際安培。」

各國所保管之水銀電阻器及銀析出器即係用以表現此等定義之一種原器。惟此等原器之複製精確度僅為 3×10^{-5} 左右且安定度不佳，因此由原器所定之舊國際單位與 CGS 電磁單位之絕對單位間難免發生差異，故由美、英、日、德、法、蘇、義等七國所組成之電氣諮詢委員會（1927 年成立）決議廢棄此等原器而改用絕對電氣單位，並在 1933 年第八次國際度量衡總會決議，各國定於 1940 年一月一日起採用新單位。因二次大戰而未能實施，戰後（1946 年）再度由國際度量衡總會議定自 1948 年一月一日起採用絕對單位，並規定舊國際單位與絕對單位間之精密關係。現歐美各國對採用絕對單位已實施有年矣。

1958 年第十一屆國際度量衡總會決定除採用 [m]、[g]、[s]、[A] 外，並增加絕對溫度 [$^{\circ}\text{K}$] 及光度單位燭光 [cd] 為基本之一種絕對單位，稱為國際單位制 [簡稱 S. I. U.]。舊國際單位與新國際單位即絕對電氣單位間之換率如下：

1 平均舊國際歐姆 = 1.00049 絕對歐姆

1 平均舊國際伏特 = 1.00034 絕對伏特

1.2 絕對測定法

直接以長度、時間及力等絕對單位來測定電氣量之方法稱為絕對測定法。

1.2.1 電阻之絕對測定法

電阻之因次為 [μLT^{-1}]，電感為 [μL]，轉速或週率為 [T^{-1}]，故電阻可

用自感或互感及轉速或週率決定之。

1.2.1.1 羅倫芝 (Lorenz) 法：此為英國 NPL 所使用之方法。圖 4.1.1 為測定裝置之原理圖。圖中電感線圈 C 內置一鋁銅合金之圓盤 D，以 f [c/s] 之速度旋轉，當電流 i [A] 通過 C 時，圓盤 D 之應電勢為 fMi [V]，其 M 為 C 線圈與圓盤 D 間之互感，其單位為 [H]。若此電勢與電路中電阻 R [Ω] 之位降 Ri [V] 平衡時， $R = fM$ [Ω]，則電阻可以 MKS 單位表示。式中 M 之數值係以線圈 C 及圓盤 D 之幾何學尺寸所算出者。

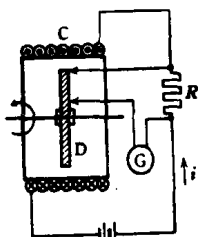


圖 4.1.1 羅倫芝法

1.2.1.2 交流電橋法：此為美國標準局所使用者，見圖 4.1.2 (a) 馬克士威電橋 (Maxwell bridge) 中電阻 r_1 、 r_2 、 r_3 與電容器 C 作比較，用斷續器以每秒 f 次之速度將 C 充放電時，加於 C 之電壓為 E [V]，則充放電電流 $i = fCE$ [A]，設 C 電路之等價電阻為 r_0 ， $r_0 = 1/fC$ ，故電橋在平衡狀態時

$$r_1 r_3 = r_2 r_0$$

$$\therefore C = \frac{1}{f} \cdot \frac{r_2}{r_1 r_3} \text{ [F]} \quad (4.1.3)$$

再將 C 之數值用圖 4.1.2 (b) 馬克士威電橋與自感標準器 L 比較時， $L = CQR$ ， $PS = QR$ ， $L = QRr_2/fr_1r_3$ 。

$$\text{設 } QRr_2/r_1r_3 = R_0 \quad (4.1.4)$$

$$\text{則 } R_0 = fL \text{ [}\Omega\text{]} \quad (4.1.5)$$

故電阻可用週率 f 與電感 L 來表示。英國 NPL 及日本電氣試驗所所用之方法為利用圖 4.1.2 (c) 之葛萊福斯特電橋 (Carey Foster bridge) (參閱本篇 13.5) 與互感標準器 M 作比較，其平衡條件為 $M = CQR$ ，故 $M = QRr_2/r_1r_3 = R_0/f$ ，所以 R_0 可以次式表示

$$R_0 = fM \text{ [}\Omega\text{]} \quad (4.1.6)$$

英國 NPL 亦採用圖 4.1.2 (d) 之肯貝爾電橋法 (Campbell's bridge)，電阻 R_x 可用次式表示。

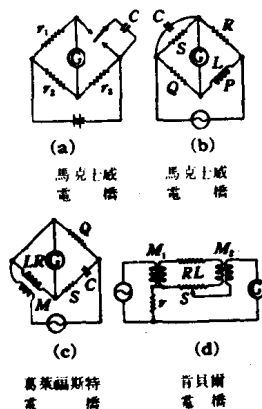


圖 4.1.2 交流電橋

$$R_p = \omega^2 M_1 M_2 \quad [\Omega] \quad (4.1.7)$$

1.2.1.3 電感絕對標準器：在電阻之絕對測定時作爲標準之電感器，必須由其幾何學尺寸並大約以十萬分之一之精密度算出者，又以受溫度、濕度、週率之影響極小及有恒久性者爲宜。美國國家標準局所製作之自感標準器係在熔融水晶製之圓筒上繞以 1000 圈之單層線圈，其直徑爲 280 mm，線圈長度爲 1110 mm，其電感值爲 69.01 mH。

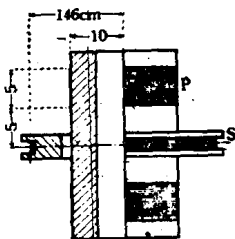


圖 4.1.3 電感標準器

英國 NPL 所製作之互感標準器係如圖 4.1.3 所示之大理石所製，其一次線圈係 2×100 圈，二次線圈爲 465 圈，其互感爲 10 mH。日本電氣試驗所所用者係與此同型。

1.2.2 電流之絕對測定法

電流之因次爲 $[L^{1/2} M^{1/2} T^{-1} \mu_0^{-1/2}]$ ，力之因次爲 $[LMT^{-2}]$ ，故在空氣中測定電流間所作用之力就可決定電流之數值。力之精密測定係用圖 4.1.4 之電流秤。圖中將固定線圈 C_1 、 C_2 與可動線圈 M 串聯通直流 I ，其力與天秤上之砝碼平衡時，由 $I = K\sqrt{Mg}$ 可決定電流之數值。 M 爲砝碼質量， g 爲重力加速度， K 爲線圈之幾何學之尺寸與兩線圈間相對位置所算出之常數。

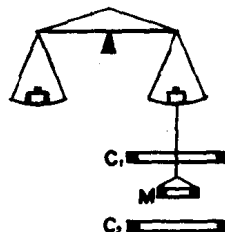


圖 4.1.4 電流秤

1.3 電氣標準

絕對電氣單位之制度實施後，必須以標準器來維持其實際上之單位。標準器有電阻標準器與標準電池兩種。此等標準器需具備下列條件：①具有恒久性，②不受外界條件影響，③使用方便。

1.3.1 電阻標準器

電阻標準器應具備下列條件：①溫度係數小，②電阻率大，③數值安定，經年不變，④對純銅或黃銅之熱電勢較小。較爲理想之材料爲錳絲 (manganin)。錳絲爲 Cu 84 %、Ni 3.5 %、Mn 12.5 % 之合金，電阻係數爲 $36 \sim 52 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ，其溫度係數在 $20 \sim 50^\circ\text{C}$ 時約爲 $10^{-5}/^\circ\text{C}$ ，對 Cu 之熱電勢在 0°C 與 100°C 之兩接合點間僅 0.1 mV。電阻標準器有各種構造，其中以 NBS 型爲

最佳。圖 4.1.5 表示其內部構造，電阻線係繞於薄圓筒上，外塗絕緣漆以防止氧化，外圓筒與內圓筒在上下兩端焊接密封。使用時置於油中，將油攪拌使其保持一定溫度。此外有一種外殼有多數小孔者，可使電阻線與油保持接觸以防溫度上升。

1.3.2 標準電池

現在一般普遍使用之標準電池為偉士頓(Weston)之鎘標準電池。其優點為：①受溫度影響甚小，②電勢可長期間保持不變，③較易製造等。

圖 4.1.6 為其內部構造。用一 H 形之玻璃容器，陽極為水銀，陰極為鎘水銀合金 (Cd 10~15%)。陽極之減極劑係將 CdSO_4 粉末及 HgSO_4 以 CdSO_4 溶液攪成糊狀後裝入。又以 CdSO_4 溶液及其結晶之飽和液裝入，然後用白金線作兩極的引入線。

本電池之電勢在 20°C 時為 1.01830 V (1.01864 絕對伏特)，關於溫度特性有國際公認之計算式。

$$\begin{aligned} E_t = & 1.01827 - 40.6 \times 10^{-6}(t-20) \\ & - 0.95 \times 10^{-6}(t-20)^2 \\ & + 0.01 \times 10^{-6}(t-20)^3 \quad (4.1.8) \end{aligned}$$

由上式計算其溫度係數約為 $-4 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。其內部電阻約為 $500\ \Omega$ ，但溫度降下時會稍微降低。使用時應極小心，避免振動，因顛倒後則無法再用。又為避免日光直射，普通均裝於金屬筒內並置油中，使各部保持恒溫，同時裝一數萬 Ω 之串聯電阻以資保護。又逆電流對電池有害亦應注意。電池之壽命約為 10~15 年。

1.3.3 交流標準

交流之絕對測定極為困難，因無相當於標準電池之實用上之標準，故利用交流比較器 (comparator) 作媒介，將交流值與直流值作精密比較，測定後作為交流標準器。主要有電流測力計式、靜電式及熱電式等三種，如圖 4.1.7 所示。直流標準較易達到 0.0001% 之精確度，但現在採用之三種交流標準其精確度約為 0.01% ，可用於 0.1 、 0.2 、 0.5 級計器之交流試驗。

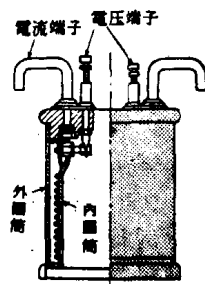


圖 4.1.5 電阻標準器

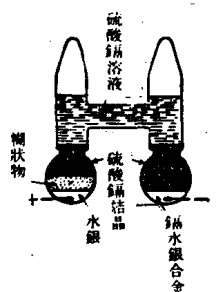


圖 4.1.6 標準電池之構造

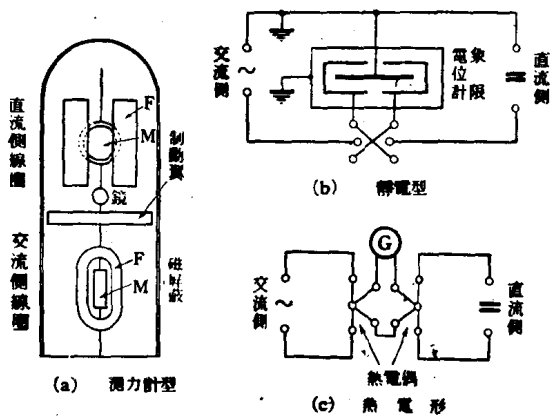


圖 4.1.7 直交流比較器

第二章 電 儀 表

2.1 儀表之分類

2.1.1 動作上之分類

- (1) 指示計器：用指針直接指示各種電量之計器。
- (2) 積算計器：在一定期間積算計量各種電氣量之計器。
- (3) 記錄計器：記錄各種電氣量變化之計器。

2.1.2 直流與交流之分類

(參閱表 4.2.1)。

表 4.2.1	計器之直流交流分類
直流專用	—
交流專用	~
交直流兩用	~
平衡三相交流用	≡
不平衡三相交流用	≡

垂直式 丄

傾斜式：∠

水平式 匸

2.1.3 動作原理上之分類

(參閱表 4.2.2)。

表 4.2.2

種 類	記 號	符號	計 器 例	使用電路	使 用 範 圍		週 率 [Hz]
					電流[A]	電壓[V]	
轉圈型		M	VAΩNθLφ	直 流	$5 \times 10^{-8} \sim 10^2$	$10^{-1} \sim 6 \times 10^2$	
轉鐵型		S	VAΩN	交(直)流	$10^{-2} \sim 3 \times 10^2$	$10 \sim 10^2$	<500
測力計型		D	VAWf	交 直 流	$10^{-3} \sim 20$	$1 \sim 10^2$	<10 ³
整流器型		R	VAΩf	交 流	$5 \times 10^{-4} \sim 10^{-1}$	$3 \sim 10^2$	<10 ⁴
熱電偶型		T	VAW	交 直 流	$10^{-3} \sim 5$	$0.5 \sim 150$	<10 ³
熱線型		H	VA	交 直 流	$10^{-2} \sim 10^2$	$1 \sim 10^2$	10 ⁶
靜電型		E	VΩ	交 直 流		$1 \sim 5 \times 10^4$	<10 ³
感應型		I	VAWN	交 流	$10^{-1} \sim 10^2$	$1 \sim 10^2$	30~10 ³
簧片型		V	fM	交 流			10~10 ³
轉圈比率計型		XM	Ωθ	直 流			
轉鐵比率計型		XS	φSyf	交 流			
測力計比率計型		XD	ΩfφCSy	交 直 流			
真空管型			V	交(直)流		$1 \sim 300$	<10 ³
電解型			C	直 流			
電動機型			CW	直 流			

2.1.4 構造上之分類

分爲試驗室用、攜帶用、配電盤用、電氣計費用等幾種。

2.1.5 精密度上之分類

分爲下列五階級：

0.2 級——特殊精密級（可作爲副標準器）。

0.5 級——精密測定用。

1.0 級——次精密級。

1.5 級——普通級（工業用及普通測定用）。

2.5 級——次普通級。

表示等級之數字係與計器許容誤差〔%〕值相等（參考本篇 3.3）。

2.2 儀表之構成元件

計器需具備之條件爲：①精確度高，誤差小，②對計量值之變化有即應性，③有適當形式之刻度，④構造堅固使用方便，⑤有高絕緣耐力。爲滿足上述條件，計器須有良好之元件。

構成一般計器之主要元件有：①使轉動部產生力矩而發生變位之驅動裝置，②發生制動力矩使與驅動力矩平衡而使轉動部靜止於一定位置之制動裝置，及③空抑轉動部使指針快速指示之阻尼裝置。以上三者稱爲計器之三要素。此外尚有磁石、刻度、指針、軸承等元件。

2.2.1 驅動裝置

產生驅動力矩之方法可利用各種原理，如表 4.2.2 所示（參閱本篇第三章）。

2.2.2 制動裝置

是產生制動力矩以對抗轉動部之運動，使驅動力矩與制動力矩平衡之一種裝置。有利用彈簧、電磁力及重力等三種。

2.2.2.1 彈簧制動裝置：有螺旋及帶狀簧片二種。

如圖 4.2.1 所示，將彈簧之一端固定，在另一端加以驅動力矩 T_D ，則產生與轉角 θ 成正比之制動力矩 T_C ，即 T_C 。

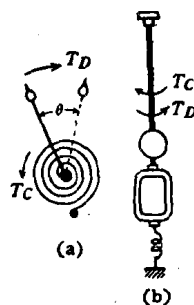


圖 4.2.1
彈簧制動裝置

$=K\theta$, K 為制動常數, 其值視彈簧之質料、形狀、溫度等而定, 又因通常兼作電流引線, 故用電阻較小者為宜, 材料以磷青銅 (Sn 4~10%、P 0.1~0.5% 之銅合金)、銀銅 (Ag 9~15%)、鈹銅 (Be 2.25%) 等較為適合。通常多用磷青銅, 其彈性溫度係數較大, 約為 $-0.04/^{\circ}\text{C}$ 。

普通用二只方向相反之螺旋簧裝於同一軸心上以免受溫度及彈性疲勞之影響。

2.2.2.2 重力制動裝置: 本裝置多用於廉價之配電盤用電表。如圖 4.2.2 所示, 指針軸之二橫臂上有重錘 W_A 、 W_B , 移動 W_A 可調整制動力矩 T_c , 移動 W_B 可調整指針之零值。指針轉動 θ 時, T_c 為 $W_A r \sin \theta$, r 為 W_A 與可動軸心之距離。此種電表不能用於傾斜之配電盤上。圖 4.2.3 係表示彈簧制動力矩及重力制動力矩 T_c 與 θ 之關係 (a 為彈簧制動, b 為重力制動)。

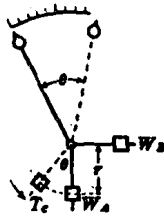


圖 4.2.2 重力制動裝置

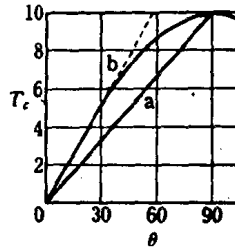


圖 4.2.3

2.2.2.3 電磁制動裝置: 本裝置可分為利用渦流與利用交叉線圈者二種。

(1) 利用渦流者: 此種方法多用於積算計器。鋁圓盤 D 及永久磁石 M 裝置如圖 4.2.4 (a), D 轉動時因與 M 之磁力線相切而產生渦流。此渦流與 M 間所形成之轉矩, 反抗圓盤之轉動, 即對圓盤 D 發生一種制動力矩 T_c , 即 $T_c = K\phi^2 n$ 中 ϕ 為磁石 M 之磁通, n 為圓盤之轉速, 故 T_c 與圓盤之 D 轉速成正比, 與圓盤之驅動轉矩保持平衡而制御轉速。調整 M 之強度及其位置即可變更 T_c 之大小。

(2) 利用交叉線圈者: 圖 4.2.4 (b) 中, A 為驅動線圈, B 為制動線圈, 因 A 與 B 經常置於力矩相反之位置, 故交叉線圈經常靜止於 A 所產生之驅動轉矩與 B 所產生之制動轉矩之平衡位置。當交叉線圈無電流時其位置浮動不定, 一般絕緣電阻計及功

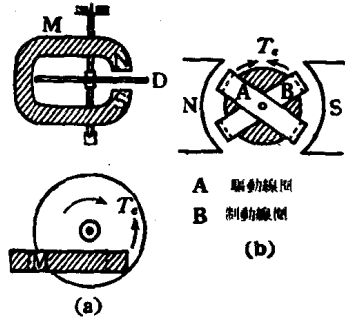


圖 4.2.4 電磁制動裝置原理

率計均利用此種方式。

2.2.3 阻尼裝置

給予可動部分一種適當之阻尼時，除可快速讀取度數外，還可減輕由於振動所引起之軸承磨損。阻尼裝置有下列三種：①空氣阻尼，②液體阻尼，③電磁阻尼。

2.2.3.1 空氣阻尼：此方法最廣被利用，有活塞型（圖 4.2.5）及扇型（圖 4.2.6）兩種，前者係以鋁製活塞板在一端閉口之圓筒中游動，後者係以鋁製阻尼翼放在密閉箱中游動，翼與箱之間隙甚小藉以增加空氣之阻力。

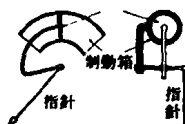


圖 4.2.5 活塞型空氣阻尼裝置

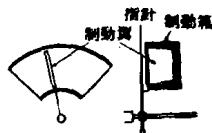


圖 4.2.6 扇形空氣阻尼裝置

2.2.3.2 液體阻尼：阻尼翼係放在油或甘油等液體中游動，比空氣阻尼效果較大，但缺點為受溫度及液體粘度變化之影響。普通用於記錄計器或電磁示波器振動子之阻尼裝置。

2.2.3.3 電磁阻尼：又稱為渦流阻尼，如圖 4.2.7 中可動部分之金屬板 D 夾於永久磁石 M 之兩極間，金屬板轉動時發生渦流，此渦流與永久磁石磁場間即產生阻尼作用。阻尼作用係與磁石強度之平方及與金屬板之厚度成正比，調整磁石 M 之強度及位置可變更其大小，其原理與前述之電磁制動裝置相同。又以永久磁石為磁場之計器（例如可動線圈型計器），其鋁製之線圈框即有阻尼作用。附有分流器之計器其線圈本身即有阻尼作用，故無需用阻尼框（參照本編 4.1）。

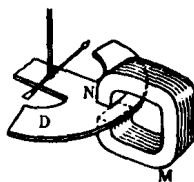


圖 4.2.7 電磁阻尼裝置

2.2.4 刻度、指針

2.2.4.1 刻度：刻度必須正確且易於讀取者，最好係均等刻度，但實際上除極少數外，大部分為非均等刻度。圖 4.2.8 係普通計器所用之刻度，(a) 為 0.5 級，(b) 為 1.5 級及 2.5 級之刻度，(c) 為廣角度計器所用者，(d) 稱為對角線刻度，用於 0.2 或 0.1 級之計器，可讀取到普通刻度之 1/5，(g) 為對數刻度之一例。

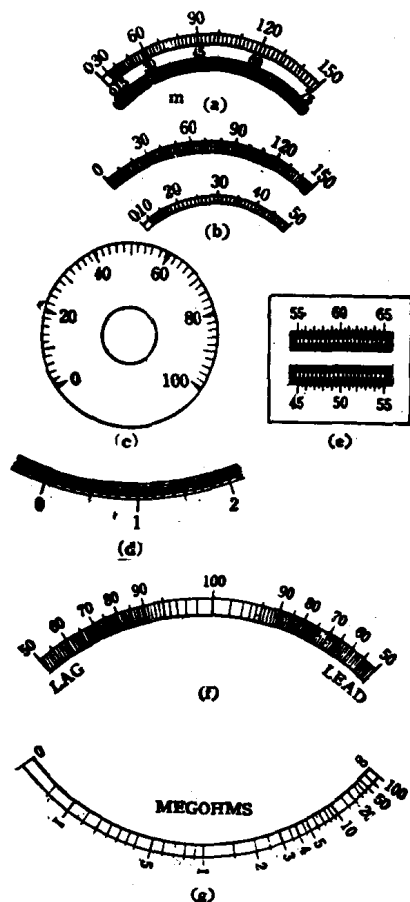


圖 4.2.8 各種表計之刻度

0.5 級以上之計器普通在刻度下面裝一鏡面如 (a) 圖之 m ，以防止視差。

2.2.4.2 指針：指針以較輕、堅固及轉動慣量小，且易於讀者為佳。普通採用鋁質或鋁合金之中空管。指針之另一端則裝上平衡裝置如圖 4.2.9，指針之形狀有多種如圖 4.2.10 所示之 (a) 叉形指針、(b) 纖條指針、(c) 槍形指針、(d) 支架形指針、(e) 邊緣形計器之刻度及指針等數種。(a)、(b) 用於精密級計器，(c) 用於配電盤計器，(d) 因對振動不生共振，構造堅固，可用於交

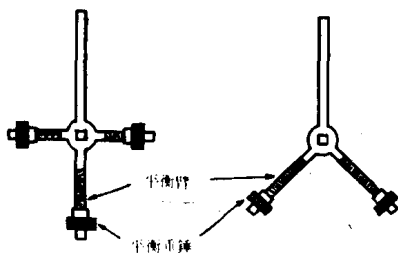


圖 4.2.9 平衡裝置

流精密級計器。

2.2.5 支樞與軸承

電表之可動軸係將鍍鉻鋼製之圓錐形支樞裝於其兩端，置於磨成 V 形之軸承上。支樞之圓錐角度為 $40^\circ \sim 60^\circ$ ，尖端為曲率半徑 $0.01 \sim 0.03 \text{ mm}$ 之球面。軸承下凹處係磨成角度為 $90^\circ \sim 120^\circ$ 之圓錐形，其底部之曲率半徑為 $0.15 \sim 0.3 \text{ mm}$ 。軸承普通用紅寶石、藍寶石、瑪瑙或鍍有硬質鉻之鋼及鉍銅（Be 2%）等製成。圖 4.2.11 及圖 4.2.12 所示者為軸承之一例。積算計器之可動部較重且不斷在轉動，故其下部軸承較易磨損。為減輕磨損，有多種軸承之設計。圖 4.2.12 即其

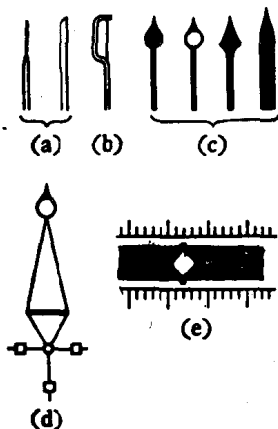


圖 4.2.10 各種指針之形狀

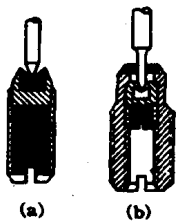
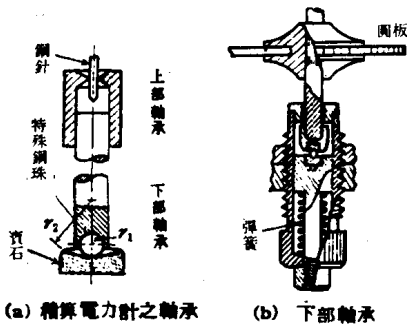


圖 4.2.11 儀錶之軸承



(a) 積算電力計之軸承

(b) 下部軸承

圖 4.2.12