



# 長途電話機綫 常用測試儀器 及应用

范懋本編

人民邮电出版社



# 長途電話机綫常用測試仪器及应用

范 懋 本 編

513

人 民 郵 電 出 版 社

## 內 容 提 要

本書从电表講起，介紹各種較典型的測試儀器的電路原理和使用的方  
法。所介紹的儀器中，除常用的电表外，還包括振盪器、指示器、電橋、  
傳輸測試器、串話測試器及雜音測試器等。在談到這些儀器的應用時，對  
日常測試所使用的各種方法，也作了較詳細的說明。

### 長途電話機綫常用測試儀器及應用

編 者： 范 燾 本  
出版者： 人 民 郵 電 出 版 社  
北京東四大街13號  
(北京市宣武門外大街22號郵政管理局對面)  
印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂  
發行者： 新 華 書 店

開本 850×1168 1/32 1953年6月 北京第一版  
印張 7.5 頁數 113  
印 數 190,000  
定 價： 1.000 元  
1953年6月 北京第一版  
印 數 150,450  
定 價： 1.011.20 元

## 目 录

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一章 各种常用的电表·····     | 1   |
| 第二章 标准仪器与测试用滤波器····· | 45  |
| 第三章 测试用的交流电源·····    | 61  |
| 第四章 直流电桥·····        | 82  |
| 第五章 交流电桥 ·····       | 113 |
| 第六章 高频指示器 ·····      | 140 |
| 第七章 传输测试器 ·····      | 156 |
| 第八章 串音测试与测试仪器 ·····  | 184 |
| 第九章 杂音测试与测试仪器 ·····  | 207 |

# 第一章 各种常用的电表

## § 1-1 概 說

在長途電話机械和綫路维护与測試工作中，常常使用到很多不同种类和不同型式的电表，它們的功用和性能都不相同。有的能够測量很高頻率的交流电；有的仅能測量很低頻率的交流电，甚至仅能測量直流电；有的很灵敏，能够測量很低与很小的电压和电流；有的則不够灵敏，仅能測量較高与較大的电压和电流。因此这些电表的構造与原理都不相同，我們都应该了解和熟悉它們的構造、原理以及使用方法。

本章的主要内容，是对各种常用的电表的一般構造、动作原理以及基本使用方法加以分析和介紹。这些电表是：伏特表，安培表，欧姆表，万能表，梅克表，整流式电表，热电式电表及真空管电压表。

在叙述这些电表之前，先着重介紹三种原型电表，即动圈式电表，动鉄式电表及电动式电表。这是因为它們是各种常用电表的基本組成部分，熟悉与了解这些原型电表后，在閱讀各种常用电表时便容易而方便。

## § 1-2 动圈式电表

动圈式电表是最常用和普通的直流电表，它是各种其他类型的电表的基本組成部分，因此可以說是“电表之母”。其構造与动作原理如下：

### (1) 構造

圖 1-1 为动圈式电表的实裝圖。將其运动部分剖解則如圖 1-2，圖 1-3 及圖 1-4 所示。圖中  $N$ ， $S$  为永久磁鉄， $P$  为極塊，固定于磁鉄上。在此極塊中間，有圓柱型軟鉄  $K$ ，由銅片  $m$  固定其位置。

在此圓柱型軟鐵  $K$  与極塊  $P$  之間有一可轉动的綫圈  $S'$ 。該綫圈系用極細的表面絕緣的銅絲繞在鋁質的圓柱架上，上下位置由軸承支

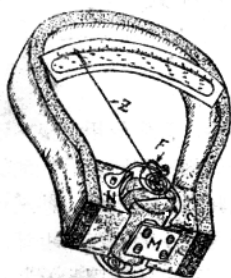


圖 1-1 動圈式电表安裝圖

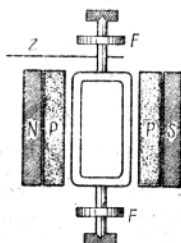


圖 1-2 正視圖

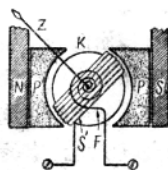


圖 1-3 頂視圖

持，使它能在  $P$ ,  $K$  間自由轉动。在此綫圈上部，固定着一指針  $Z$ 。指針平时固定于一定位置，这是因为綫圈上下兩端都有游絲  $F$  牽住。游絲  $F$  有二个功用，即：

(1) 导通电流，使外来电流进入綫圈  $S'$ ；

(2) 稳定綫圈的位置，不使其左右迴轉。

因为上下兩游絲繞法相反，当無电流通入时，指針可停留在零位置。如果温度变化，游絲伸縮，則加于动圈上的推力与拉力上下恰巧可抵消，使指針不致移动位置。

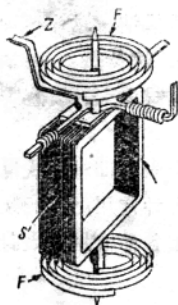


圖 1-4 动圈部分

一般此种电表上面的游絲可以調整，使指針当無电流而未指示零值刻度时，指在零值。 $Z$  为用鋁制成的輕金屬指針，与綫圈同时旋轉。圓柱鉄  $K$  有二个作用：(1) 增强磁場；(2) 使兩極塊間的磁力綫集中而使極塊与軟鉄間磁場分佈均匀。

## (2) 原理

动圈式电表的动作原理，与直流电动机的动作原理相同。綫圈在磁極間的情况，如圖 1-5 与圖 1-6 所示。

当电流流入轉动綫圈时，綫圈导体由于处在磁場中，受力  $F'$  为

$$F' = nBIl \text{ 牛頓}$$

[1-1]

$n$ : 綫圈之匝数;

$B$ : 磁場中磁感应强度, 單位为  
韋伯/米<sup>2</sup>;



圖 1-5 導綫在磁場中的情况

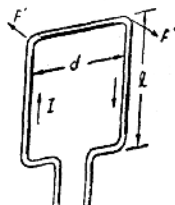


圖 1-6 導綫有電流通過時產生轉矩

$I$ : 通入綫圈中的电流, 單位为安培;

$l$ : 綫圈的長度, 單位为米。

由于圆柱鉄的影响, 使磁力綫向心, 所以力  $F'$  的方向垂直于綫圈的平面, 并且轉矩  $Z$  在  $A, B$  磁場內迴轉, 其大小是恒等的, 即:

$$Z = F' \times d = nIdBI = nABI \quad [1-2]$$

$A = l \times d$  = 綫圈的面积, 單位平方米

如果綫圈并未受到其他阻力, 則它將一直迴轉, 直到綫圈中电流所产生的磁力綫方向与原来永久磁場磁力綫方向一致为止。可是, 游絲是有彈性的, 当綫圈偏轉时, 它也产生了一个相反方向的轉矩  $Z'$ , 而  $Z'$  的大小与偏轉的角度成正比的关系, 即

$$Z' = k\theta。$$

当綫圈  $S'$  迴轉后, 使两个相反方向的轉矩相等的时候, 动圈即將停止迴轉, 此时:

$$Z = Z'$$

$$k\theta = nBAI$$

$$\therefore I = \frac{k}{nAB} \theta = K\theta \quad (K = \frac{k}{nAB}) \quad [1-3]$$

上式表示动圈式电表的綫圈由电磁效应所引起的指針偏轉角度, 与通入該綫圈中的电流相互間的关系式。在構造固定的电表

中， $k$ 、 $n$ 、 $A$ 與 $B$ 均為常數。因此通入綫圈中的電流 $I$ 與偏角 $\theta$ 成正比，電表上的刻度是均勻的。這是這種電表的基本特點。

### (3) 電表的靈敏度

電表的靈敏度，就是當單位數值的電流通入電表時所產生的偏轉角度，亦即

$$H = \frac{\theta}{I} = \frac{nAB}{k} \quad [1-4]$$

當單位電流通入電表時，電表的偏轉角度愈大則電表愈靈敏。從公式 1-4 中可以看出，欲使 $\theta$ 大，則必須使 $nAB$ 愈大愈好。 $B$ 是依所採用的永久磁鐵的材料而決定，使用磁性愈強的磁鐵則 $B$ 愈大，另外磁鐵間的間隙愈小亦可使 $B$ 值增大。但是永久磁鐵強度是有一定限度的，不能太大，否則體積笨重非所相宜。同樣 $A$ 亦不能用得太大，因此 $A$ 、 $B$ 值是不能隨理想而隨便增大的。

其次來看看游絲的常數 $k$ ， $k$ 值愈小，游絲必須愈細，因此亦有一定的限度。一般的方法都是增加綫圈的匝數 $n$ ，並盡量減少轉動時可能遇到的磨擦力。然而加多了綫匝，電阻亦隨着增高，因此 $n$ 值亦有一定的限度。總之，一定構造的电表的靈敏度是有限度的。

這種電表可以製成直流電流表、直流電壓表及歐姆表，如附加一些其他的設備亦可以作為交流電流表與電壓表。

## § 1-3 動鐵式電表

此種電表主要應用於配電盤上，測量 50 赫或 60 赫的市電電流或電壓。其構造與動作原理如圖 1-7(a)(b)所示。

$C$ 為綫圈，鐵片 $A$ 固定於綫圈上，可動鐵片 $B$ 固定在轉軸上。當欲測試的交流電流或電壓接於綫圈之兩端時，綫圈內通過電流而產生磁力綫。此時鐵片 $A$ 與 $B$ 在電流正負半週均磁化，並且極性相同，因而相互推斥。因為 $A$ 是固定的， $B$ 乃被推斥，產生轉動轉矩，使轉軸旋轉，帶動指針 $Z$ 。當游絲 $S$ 的反轉矩與 $B$ 鐵片所受到的轉矩平衡時，指針即停住，指示出一個刻度。

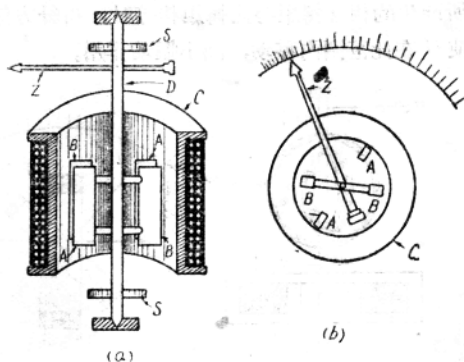


圖 1-7 动鉄式电表的構造

这种电表構造比較簡單，不太精确。因为斥力与电流的平方成正比，所以刻度是不均匀的。同时这种电表不适于测量直流电流或电压。因为动鉄片A与B容易在多次运用后有剩磁留下，影响测量結果。对于高频的电流，则由于鉄片上产生磁滞损失与渦流作用，亦使测量結果有誤差。因此这种电表仅用于配电盤上，测量50週或60週的市电用。此种电表型式很多，然而基本的構成部分与原理則都是相同的。

#### § 1-4 电动式电表

电动式电表主要用于测量負荷上的視在功率，比較精密，其構造与原理如下：

##### (1) 構成部份与动作原理

圖 1-8为此种电表構成实裝圖。 $F$  是固定綫圈， $M$  是轉动綫圈。两个綫圈串联着。当电流通过时，根据右手定則，固定綫圈 $F$ 产生圖 1-8中的实綫磁力綫，可动綫圈 $M$ 則产生圖中的虛綫磁力綫。因为 $F$ 是固定不动的，所以对 $M$ 即产生一种斥力，强迫 $M$ 所产生的磁力綫方向与 $F$ 所产生的磁力綫方向趋向一致。因此 $M$ 被推动而依箭头所示方向旋轉，由此而帶动指針 $P$ 一起旋轉，直到

游絲  $S$  所产生的相反轉矩与此轉矩相等时，指針方停住。 $D$  为一空  
气箱，使  $G$  在此範圍內移动，减小振动作用。

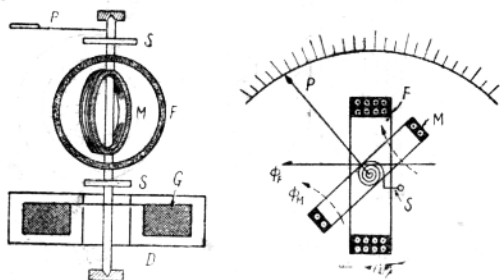


圖 1-8 电动式电表实装圖及原理圖

因为固定綫圈的磁場与可变綫圈的磁場强度均与通过的电流成正比，而迴轉力則与上述两种磁場的乘积成正比，因此迴轉力或轉矩与通入綫圈中的电流平方成正比，亦即：

$$\Phi_F = K_1 i = \text{固定綫圈产生的磁場}$$

$$\Phi_M = i = \text{轉动綫圈产生的磁場}$$

而

$$\begin{aligned} F' &= K_3 \Phi_F \Phi_M \\ &= K_1 K_2 K_3 i^2 = K i^2 \quad (K = K_1 K_2 K_3) \end{aligned} \quad [1-5]$$

由于迴轉力  $F'$  与通入各綫圈中的电流  $i$  成平方的关系，因此电表的刻度是不均匀的。

## (2) 应用

此种电表不用鉄片，所以測量交流电与直流电时誤差較小。然而在測量高頻率的交流电时，由于綫圈具有相当数值的电感量，所以会影响測試結果。因此，这种电表主要用于測量市电 50 赫(或 60 赫)的交流电流与电压，并且常用于測量市电的电功率。常用的功率电表(即瓦特表)即是这种典型的电动式电表。

## § 1-5 伏特表、安培表、欧姆表及万能表

以上各节所介绍的几种原型电表，都可用來制成專門測量負荷

上兩端的电压的伏特表，和测量流过負荷的电流的安培表以及测量未知电阻的电阻值的欧姆表。但是，常用的伏特表、安培表及欧姆表，都用动圈式电表制造。

### (1) 伏特表（或电压表）的構造原理

伏特表用来测量交直流的未知电压值。交流伏特表与直流伏特表的基本原理相同，仅在構造上交流伏特表內多了一个整流器。为了分析簡單起見，下面仅將直流伏特表的基本原理介紹一下：

直流伏特表的構成情况如圖 1-9 所示。从圖中可以看出，此种电表即在原型的动圈式电表外部多加了一些高值电阻，称为倍增器。采用不同数值的倍增器，伏特表就有不同测量范围的电压数值。圖 1-10(a)(b) 画出了  $S$  轉鈕，轉动  $S$  可以得到各种不同的測

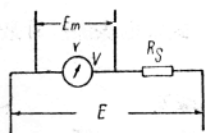


圖 1-9 伏特表

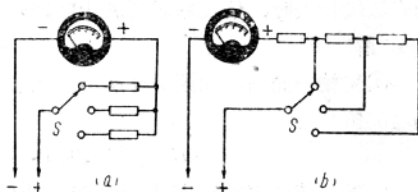


圖 1-10 可变刻度的伏特表

量电压的范围。这种倍增器的主要作用是使电表的內阻提高，使在跨接于被測負荷兩端时对負荷不起很大的分流作用，只讓很小的电流流入該表中去，所以伏特表的制作一定要采用灵敏度較高的动圈式电表。

### 伏特表倍增器的計算：

在使用动圈式电表时，首先应了解最大允許通入該表中去去的电流数值，也就是使电表指向滿度时通入的电流值。当然这种电流的数值愈小，即表示电表愈灵敏；反之，則表示电表愈不灵敏了。

在工業与商業方面并不依这种电流数值的大小来区分电表的灵敏程度，而是以“欧/伏”来区分电表的灵敏程度。这名词的意义就是最大允許通入电表的电流值的倒数。电流的倒数的單位即为“欧/

伏”。这数值愈大，表示允許通入电表中的电流值愈小，表示电表愈灵敏。一般电表的說明書上，或者电表的刻度盤上都註有这数值。設  $H$  为电表的灵敏度，則，

$$H = 1/I_m \text{ 欧/伏} \quad [1-6]$$

$I_m$  为最大允許通入电表中的电流值，也就是电表指針打到头（滿度）时所通入电表中的电流值。常用的电表，其灵敏度在 10,000 到 20,000 欧/伏範圍內。知道了动圈式电表灵敏度  $H$  值后，就可以設計需要某一測量范围的伏特表了。

“例一”

一电表  $H$  值为 20,000 欧/伏，电表內阻（包括轉动繞圈，游絲及一些保护电阻）为 2000 欧。如要利用它作为能測量 0—100 伏的直流伏特表时，倍增器需要若干欧姆？

“解”

①先繪一簡圖，如圖 1-9 所示。依 [1-6] 式求电表滿度时最大的电流值  $I_m$ ：

$$I_m = 1/H = 1/20,000 = 0.05 \text{ 毫安}$$

②計算該电表兩端最大能允許加上的电压值，即圖 1-9 中的  $E_m$  值：

$$E_m = I_m r \quad r \text{ 为电表內阻}$$

$$\therefore E_m = 0.05 \times 10^{-3} \times 2000 = 0.1 \text{ 伏}$$

③要使該电表能測量的电压值为  $E$ ，而  $E$  大于  $E_m$ ，因此必須將大于  $E_m$  的电压值降压在外加的电阻  $R_s$ （即倍增器）上，因此成立下式：

$$E = I_m(R_s + r) = I_m R_s + E_m$$

又因

$$I_m = \frac{E_m}{r}$$

$$\therefore E = \frac{E_m R_s}{r} + E_m$$

或

$$\frac{E_m R_s}{r} = E - E_m$$

$$\therefore R_s = r \left[ \frac{E - E_m}{E_m} \right] = r \left[ \frac{E}{E_m} - 1 \right] \quad [1-7]$$

上式[1-7]即为伏特表的基本公式。如作0—100伏的伏特表，倍增器的电阻应为：

$$\begin{aligned} R_s &= \left[ \frac{100}{0.1} - 1 \right] \cdot 2000 \\ &= [1000 - 1] \cdot 2000 \\ &= 1.998 \text{兆欧} \end{aligned}$$

简单的来说，即当用此表测量0—100伏的伏特时，将有99.9伏的电压降于 $R_s$ 上面，仅有0.1伏的电压加在电表本身两端。因此当测量100伏特的电压时，表针指向满度，而通入该电表中去电流值不会超过最大允许通过的电流值。

## (2) 安培表（或电流表）的构造原理

为了简便分析起见，仅研究一下直流安培表。图1-11即为安培表的基本电路图。 $S$  转钮控制并联于电表两端的分流器，使安培表的测量范围可以改变。分流器的作用是旁路一部份或大部份电流，不让大于电表最大允许通过的电流流入电表。使用不同数值的分流器，即可测量不同范围的电流值。分流器的计算方法与步骤如下：

① 同伏特表计算方法一样，先应知道原型动圈式电表的灵敏度“欧/伏”值为若干，内阻若干。设  $H =$

20,000 欧/伏， $r =$  2000 欧。

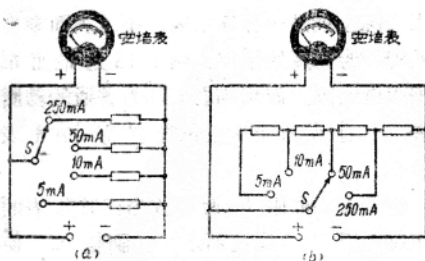


图 1-11 安培表

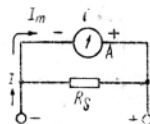


图 1-12 计算安培表分流器的简图

②繪出圖 1-12 簡圖，註明欲測的電流範圍。如用其測量 0—50 毫安，則  $I = 50$  毫安。

③推出計算分流器的公式：

因為流入電表之最大電流值  $I_m$  為：

$$I_m = I \frac{R_s}{R_s + r}$$

$$\therefore I_m R_s + I_m \cdot r = I R_s$$

$$R_s(I - I_m) = I_m \cdot r$$

因此 
$$R_s = \frac{I_m r}{I - I_m} = \frac{r}{\frac{I}{I_m} - 1} = \frac{r}{n - 1} \quad [1-8]$$

而 
$$n = \frac{I}{I_m} = \frac{\text{欲測電流範圍的最大值}}{\text{電表最大允許通入電流值}}$$

[1-8]式是確定安培表分流器的基本公式。

④具體計算

先求  $n$  值：
$$n = \frac{I}{I_m} = \frac{50}{0.05} = 1000$$

$$\therefore R_s = \frac{r}{n - 1} = \frac{2000}{1000 - 1} = 2.0 \text{ 歐}$$

### (3) 歐姆表的構造原理

簡單的來說，歐姆表實際上就是一種安培表，不過表面刻度是以歐姆作為刻度的單位。圖 1-13 是最簡單的歐姆表電路圖。使用的電表即為普通的動圈式電表。電池  $E$  和可變電位計  $R$  都附在電表內部。

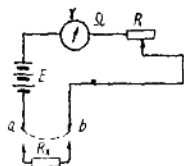


圖 1-13 歐姆表

測量未知電阻  $R_x$  時，首先應將電表的兩端短路（圖 1-13 虛線所示）。調整  $R$ ，使表針指示歐姆表之零值位置，此時  $R_x$  等於零，而

流入該電表中的電流就是滿度電流，亦即該電表最大允許通入之

电流  $I_m$ 。然后将  $R_x$  接在  $a, b$  端上, 此时表针即有一指数, 流入电表中的电流值必然减少。设此时电流值为  $I$ , 则可依下法求出  $R_x$  与  $I$  之关系式来:

$$I_m = \frac{E}{R+r} = \frac{E}{R_0} \quad (1)$$

式中  $R$ ——校正零位时电表串接的电阻;

$r$ ——电表内阻。

$R_x$  接上后, 则,

$$I = \frac{E}{R_x + R_0} \quad (2)$$

(1)/(2)得:

$$I_m/I = \frac{R_0 + R_x}{R_0} = 1 + \frac{R_x}{R_0}$$

$$\therefore R_x = R_0 \left[ \frac{I_m}{I} - 1 \right] \quad [1-9]$$

[1-9]式即为欧姆表的基本公式。由该公式中可以看出  $R_x$  与  $I$  成反变的关系, 而电表的刻度与通入该表之电流成正变的关系, 因此电表的刻度与  $R_x$  成反变的关系。根据这关系式, 即可在电表表面直接刻出被测电阻的欧姆值。 $R_x$  与  $I$  之特性如图1-14(b)所示。

一般使用的欧姆表的电路如图1-13(a)所示。 $R$  用以限制电流用。 $R_1$  是电表并联的分流电阻, 用作零位调整。调整零位时, 将  $a, b$  端短路, 调整  $R_1$  使其指针指在最大位置。此时通入电表中的电流为  $I_m$ , 而其数值即为:

$$I_m = \frac{E}{R + \frac{R_1 r}{R_1 + r}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + r} \quad (1)$$

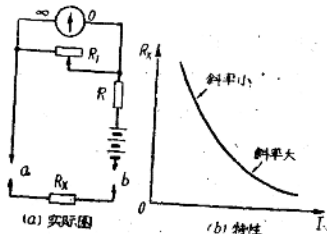


图 1-14 欧姆表电路图及其特性

接上欲測的電阻  $R_x$  時，其電流  $I$  應為：

$$I = \frac{E}{R + R_x + \frac{R_1 r}{R_1 + r}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + r} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (1)/(2) \text{ 得: } I_m/I &= \left( R + R_x + \frac{R_1 r}{R_1 + r} \right) / \left( R + \frac{R_1 r}{R_1 + r} \right) \\ &= 1 + R_x / \left( R + \frac{R_1 r}{R_1 + r} \right) \end{aligned}$$

$$\therefore R_x = \left( R + \frac{R_1 r}{R_1 + r} \right) \cdot \left( \frac{I_m}{I} - 1 \right) = R'_0 \left[ \frac{I_m}{I} - 1 \right] \quad [1-10]$$

式中  $R'_0 = R + \frac{R_1 r}{R_1 + r}$ 。

[1-10]式與[1-9]式基本上相同。由  $I$  與  $R_x$  之關係可以直接刻出未知電阻值。

因為歐姆表表針的偏度與  $I$  成正比，而與  $R_x$  成反變的關係（可見圖 1-13(b) 特性曲線），因此電表的刻度是不均勻的。歐姆表所用的電池  $E$  的電壓必須變動不大，否則在調整零位時  $R_1$  就要變動過大，影響讀數的正確性。另外從歐姆表的基本公式中可以看到，如果要使歐姆表能夠測量較大範圍，則必須提高  $R'_0$  的數值。必須注意的一點是歐姆表不能用來測量正在通過電流的未知電阻，因為此時該電阻兩端有電位差，使歐姆表一則讀數根本不正確；二則又很可能使外來電流流入電表而燒毀電表。所以用歐姆表測量電路中電阻時，電源必須取去，濾波器中電容器必須放電後才能用歐姆表測試。

#### (4) 萬能表

萬能表名字的意义，即是利用同一个电表能够测量电流、电压以及电阻值（甚至輸出功率）等。并且測量範圍亦很多，一般用開關轉鈕控制。

萬能表的種类型式很多，但是其構造原理則大致相同。下面將

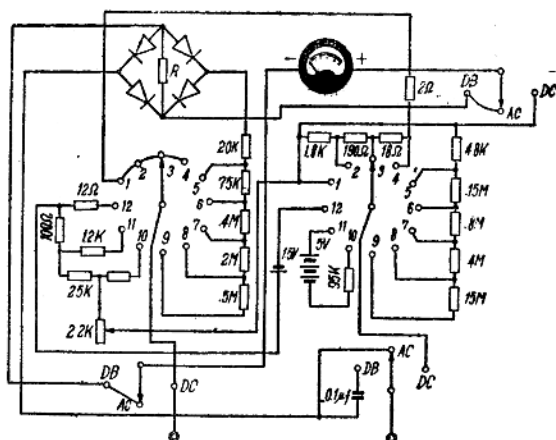


圖 1-15 万能表

一个典型的万能表来讨论一下。

圖 1-15 示一个万能表的实装圖。从圖中可以看出有一个动圈式电表，一个整流器（测量交流电用）。其余即为轉鈕，开关，电池及可变电位計。电表是有極性的。其测量范围如下：

直流电压：0—2.5V，0—10V，0—50V，0—250V，0—1000V  
( $H=20,000$  欧/伏)

交流电压：0—2.5V，0—10V，0—50V，0—250V，0—1000V  
( $H=10,000$  欧/伏)

直流电流：0—0.1mA，0—1mA，0—10mA，0—100mA

| 步 位 | 范 围     | 步 位 | 范 围    | 步 位 | 范 围              |
|-----|---------|-----|--------|-----|------------------|
| 1   | 0—0.1mA | 5   | 0—2.5V | 9   | 0—1000V          |
| 2   | 0—1mA   | 6   | 0—10V  | 10  | $R \times 10000$ |
| 3   | 0—10mA  | 7   | 0—50V  | 11  | $R \times 100$   |
| 4   | 0—100mA | 8   | 0—250V | 12  | $R \times 1$     |