

万用电表

16
2-02

上海科学技术出版社

万用电表

赵宝义 编著

上海科学技术出版社

前 言

为了正确使用和维修万用电表，需要关于万用电表的原理、计算和检修方面的书籍。为此编写了《万用电表》一书。书中介绍的原理与计算过程，不但直接与生产实际联系，而且力求去繁就简；在介绍修理和制作方法时，采取土洋结合，既便于自己制作，又便于改装修配，可供从事万用电表设计、生产、使用和维修的工作人员参考。

本书在写作过程中，曾得到爱华仪表修理工场、求精仪表厂、遵义电表厂、浦江电表厂及上海交电公司等单位的工人师傅及技术人员的大力协助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，本书中肯定还存在不少缺点和错误，诚恳希望广大读者批评指正。

编 者 1973年5月

目 录

第一章 万用电表的结构、用途和准确度	1
第一节 表头	3
第二节 万用电表的表盘	9
第三节 万用电表的准确度	13
第四节 转换开关	16
第五节 电阻	19
第二章 表头参数的测定	20
第一节 表头内阻的测定	20
第二节 表头灵敏度的测定	26
第三节 表头直线性的测定	28
第三章 测量直流电流的原理及计算	30
第一节 开路个别转换式分流电路	31
第二节 闭路抽头转换式分流电路	32
第四章 测量直流电压的原理及计算	38
第一节 测量直流电压的原理	38
第二节 直流电压各档的计算	39
第五章 测量交流电压的原理及计算	45
第一节 测量交流电压的原理	45
第二节 交流电压各档的计算	48
第六章 测量交流电流的原理及计算	53
第一节 分流法测量交流电流的原理及计算	53
第二节 变流法测量交流电流的原理及计算	54

第七章	测量电阻的原理及计算	58
第一节	欧姆表的中心阻值及表盘中心标度阻值	60
第二节	倍率的升降	61
第三节	表盘欧姆标度尺的标定	62
第四节	电压变动引起误差的补偿	64
第五节	测量电阻方法之一——极限灵敏度运用法	67
第六节	测量电阻方法之二——闭路抽头串阻法	78
第七节	测量电阻方法之三——并联测量法	85
第八章	测量 I_{ce0} 和 $\bar{\beta}$ 的电路及计算	92
第一节	外接线路	92
第二节	内接线路	94
第九章	分贝	97
第一节	分贝的来源	97
第二节	万用电表分贝标度尺的标定	98
第十章	测量电容量和电感量的原理及计算	101
第一节	电感量或电容量标度尺的标定	102
第二节	倍率的升降	106
第十一章	万用电表的制作	110
第一节	表头的修理和改制	110
第二节	转换开关的改制和自制	125
第三节	电阻的采用、自制和改制	128
第四节	整流元件的选用	136
第五节	表笔的自制	137
第六节	表箱的制作	138
第十二章	万用电表的使用和维修	140
第一节	万用电表的合理使用	140
第二节	万用电表故障检出及修复	150

第三节 万用电表的调整	155
附录一 化学胶水配制法	157
附录二 各种线径导线数据	157
附录三 万用电表技术性能、电阻元件和线路图	162
附录四 万用电表维修数据	183
附录五 表盘标度尺	185

万用电表的结构、用途和准确度

万用电表是由磁电系电流表、表盘、表箱、表笔、转换开关、电阻和整流器等构成，是一种能够测量直流电流、直流电

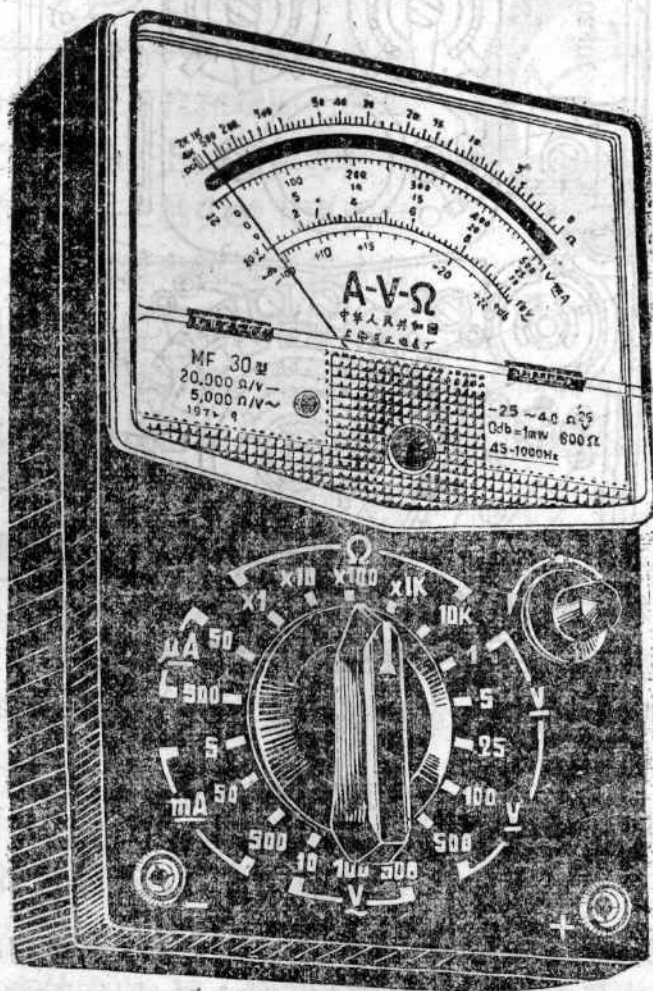


图 1-1 万用电表外形(MF 30 型)

压、交流电压和电阻的携带式仪表(图 1-1 和 1-2), 转动转换开关, 便可选择不同的测量项目及量程。

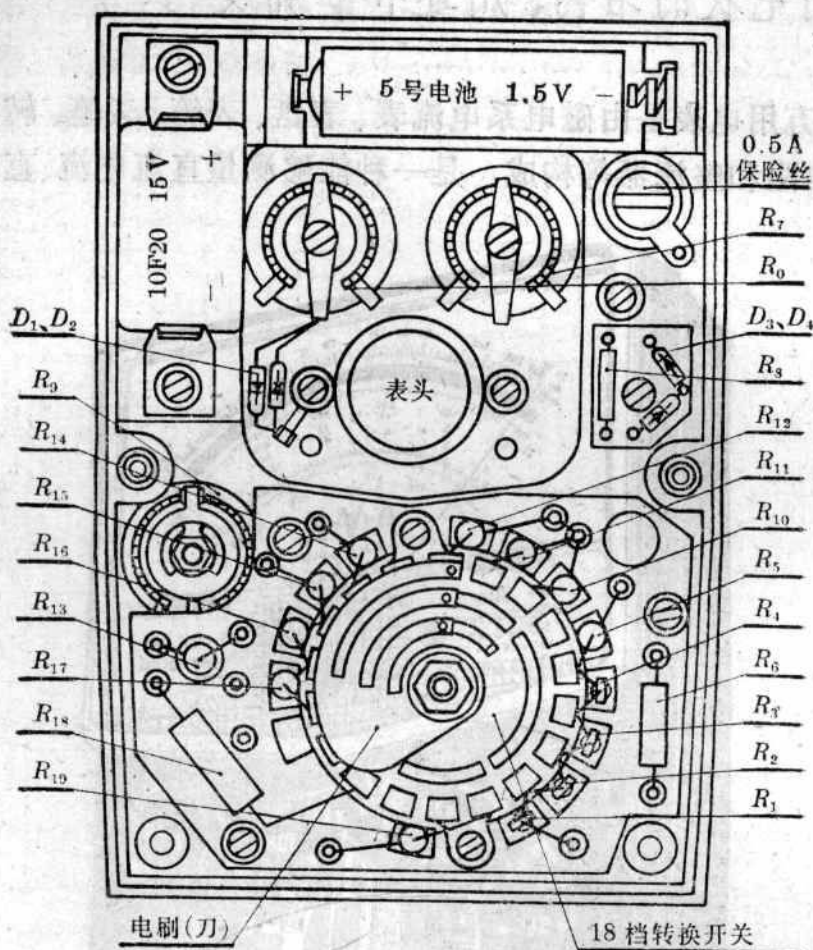


图 1-2 万用电表内部结构
(MF30 型、见附录三)

有的万用电表还可用来测量交流电流、音频功率、音频电平、阻抗、电容、电感、半导体三极管的穿透电流或直流电流放大倍数等参数。

第一节 表 头

万用电表的主要元件是一只磁电系电流表，通常称为表头，有圆形(图 1-3)和长方形(图 1-4)两种，灵敏度从几个微安到几百个微安，有时甚至到 1 毫安。一般磁电系表头的内部结构见图 1-4，磁场是由马蹄形磁钢 11 产生，极掌 3 和圆柱形软铁 4 用来在空气隙内形成辐射的均匀磁场，动圈 7 通过胶在端面上的轴尖支承在宝石轴承上，可以在空气隙内自由转动，上轴尖的下面固定着指针 9。当直流电流按规定方向通过线圈时，与空气隙内的磁场相互作用而产生转动力矩，使动圈顺时针方向转动起来。当转动力矩和上下两盘游丝 8、6 所产生的反作用力矩平衡时，指针便停下来，从标度尺上便可得出读数。

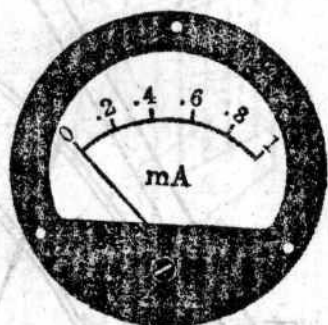


图 1-3 圆形表头

1. 动圈转动的原理及方向

磁电系仪表的作用原理为永久磁钢、圆弧形极掌和圆柱形软铁在空气隙中形成的均匀辐射磁场，与通过绕组的电流所形成的磁场相互作用，从而产生转动力矩使动圈转动(图 1-5)。

在磁场中导体受力的方向可用左手定则来判断：伸开左手，让拇指跟其余四个手指垂直，并且都跟手掌在一个平面里。把左手放在磁场里，让磁力线垂直穿入手心，如果四个手指指向电流的方向，那么拇指所指的就是导体受力的方向(图 1-6)。

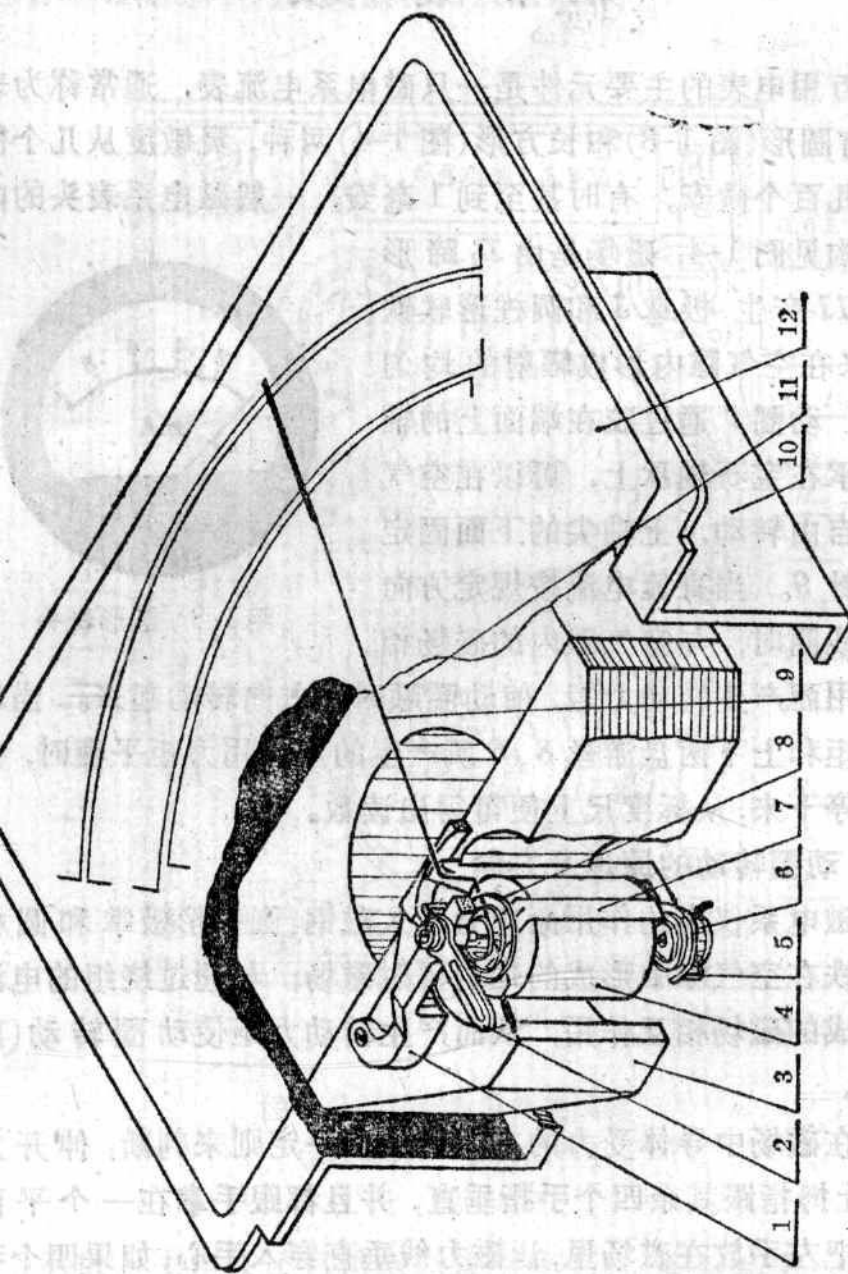


图 1-4 长方形表头各部分结构

1—蝴蝶形支架; 2—上调零杆; 3—极掌; 4—圆柱形软铁; 5—下调零杆; 6—下游丝; 7—动圈; 8—上游丝; 9—刀形指针; 10—表托; 11—磁钢; 12—表盘

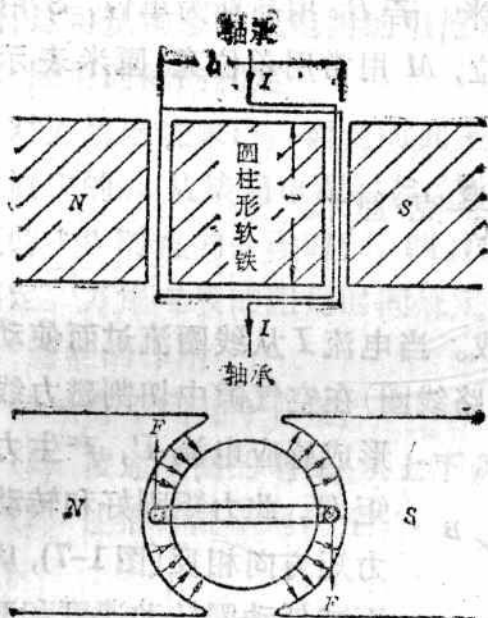


图 1-5 动圈在磁场内的偏转

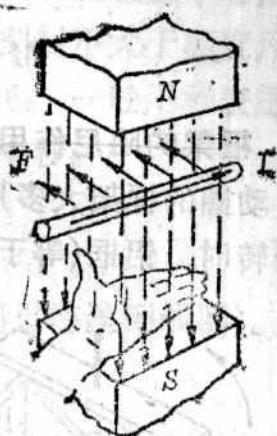


图 1-6 左手定则

动圈绕组在磁场中的一边受力的大小 F 与空气隙中磁感应强度 B_0 、通过导体的电流强度 I 、线圈的匝数 w 和有效边长 l 成正比, 即

$$F = B_0 I w l_0$$

作用于动圈的转动力矩

$$M = 2F \times \frac{b}{2} = Fb = B_0 I w l b = B_0 I w S,$$

式中: B_0 ——空气隙中的磁感应强度;

I ——通过动圈绕组的电流;

w ——动圈绕组匝数;

l ——动圈绕组在空气隙中的有效长度;

b ——动圈绕组的平均宽度;

S ——动圈的有效面积。

如果 B_0 用韦伯/米²为单位, S 用米²为单位, I 用安培

为单位, 则 M 的单位为牛顿·米。若 B_0 用高斯为单位, S 用厘米² 为单位, I 用安培为单位, M 用常用单位克·厘米表示时, 则

$$M = \frac{B_0 I \omega S}{9810} \text{ 克·厘米。}$$

2. 框架的阻尼作用

动圈的框架大多用铝制成。当电流 I 从线圈流过而使动圈偏转时, 铝框(等于一匝短路线圈)在空气隙中切割磁力线形成感应电流 I' , 产生力矩 F' , 此力矩刚好和转动力矩方向相反(图1-7), 从而减低动圈转动速度和减少停止前摆动次数, 以便迅速得到读数, 这种作用叫做阻尼。

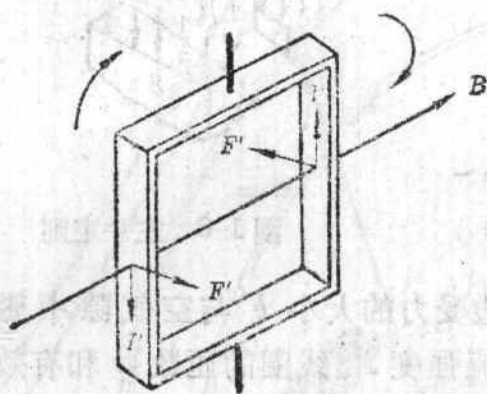


图 1-7 框架的阻尼力矩

同样原理, 在动圈上单独绕以若干匝短路线圈

也可引起阻尼作用。短路线圈匝数越多, 阻尼作用越大。

在磁电系仪表中, 如果有分流电阻, 则动圈绕组两端通过分流电阻而构成闭合回路, 相当于增大了电阻的短路线圈, 也可引起阻尼作用。分流电阻的阻值越小, 阻尼越大; 动圈绕组匝数越多, 阻尼也越大。此外, 磁钢磁性越强, 阻尼也越大。所以匝数相当多的具有分流电阻的强磁场电表往往不需要铝框或短路匝就可得到需要的阻尼。

阻尼过大或过小都不好。过小则指针摇摆, 读取读数时间延长; 过大则指针移动呆滞, 读取读数时间也会延长, 且会增大摩擦误差。最好是使指针停止前只作一次摆动, 即稍有

退回,这可从调节分流电阻的阻值来达到。

3. 阻尼时间的测定

对万用电表来讲,阻尼时间是使指针偏转至表盘中心附近时测定的。从接通电源时起,到指针的摆幅不大于标度尺全长的1%时止的一段时间,叫做阻尼时间。一般用秒表进行测定。万用电表的阻尼时间规定不超过4秒。

4. 游丝的作用

游丝有下列几个作用:

- (1) 接通线圈的电流(从上下调零杆通过游丝到线圈)。
- (2) 使指针准确地调至零位。

- (3) 产生反作用力矩。反作用力矩的大小与游丝的软硬程度有关。游丝越硬,反作用力矩越大。测定力矩的方法如下:

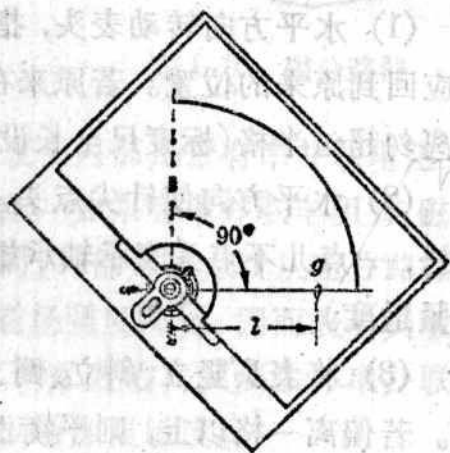


图 1-8 游丝力矩的测定

把调好平衡的仪表直立,使指向零位的指针与水平面垂直。然后将指针向右扳转 90° 并挂上游码,使指针保持在 90° 位置上(图1-8),则游丝力矩等于游码重量 g 乘上游码至转动中心的距离 l ,即

$$M_{90^\circ} = g \cdot l \text{ 毫克} \cdot \text{厘米} / 90^\circ,$$

式中: M_{90° ——游丝转过 90° 时的力矩;

g ——游码重量(毫克);

l ——游码至转动中心的距离(厘米)。

为了得到均匀的反作用力矩和减少温度变动所产生的影响,上下二盘游丝绕向总是相反的。当动圈转动时,一盘(一

一般为上面的一盘)被绞紧,另一盘被扭松。

综上所述,可知一只表头的灵敏程度与下列因素有关:

- (1) 磁钢磁性强度: 磁性越强,灵敏度越高。
- (2) 动圈绕组匝数: 匝数越多,灵敏度越高。
- (3) 游丝软硬程度: 游丝越硬,灵敏度越低。
- (4) 转动部分重量: 转动部分越轻,灵敏度越高。
- (5) 轴尖轴承品质: 品质越好,灵敏度越高。
- (6) 动圈有效面积: 有效面积越大,灵敏度越高。

5. 表头质量的初步检查

(1) 水平方向转动表头,指针应无卡轧现象。停止转动后应回到原来的位置。若原来在零位上,应基本上仍回零位,偏离勿超过半格(标度尺全长设为 50 格,下同)。

(2) 水平方向使针尖点头,点头幅度太大表示轴承螺丝太松,一点儿不点头表示轴承螺丝太紧。稍微有些点头表示松紧适度。

(3) 将表头竖立、斜立、倒立,看指针是否偏离原来的位置。若偏离一格以上,则平衡性能较差,必须加以调整(调整方法见第十一章第一节 10)。

(4) 通电测试其大概灵敏度

表头的灵敏度是指表头指针从标度尺零点偏转到满标度时所通过的电流,电流越小,灵敏度越高。业余制作者在购买旧表头时有必要知道它的大概灵敏度。用一节干电池串联一只 $30\text{k}\Omega$ 普通电阻去测试(图 1-9),此时线路上的电流按欧姆定律算得约为 $50\mu\text{A}$ ($I = \frac{E}{R} = \frac{1.5}{30 \times 1000 + \text{表头内阻}} \approx 50\mu\text{A}$)。

若表头偏转 A 格,占标度尺全长 $\frac{A}{50}$,则表头的大概灵敏度为

$50 \times \frac{50}{A} \mu\text{A}$ 。如遇到很高灵敏度的表头时，则串联的电阻值应加大。

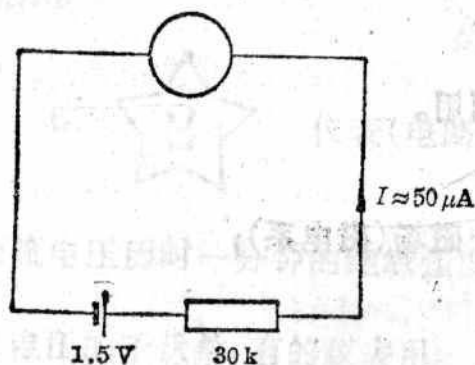


图 1-9 表头大概灵敏度的测定

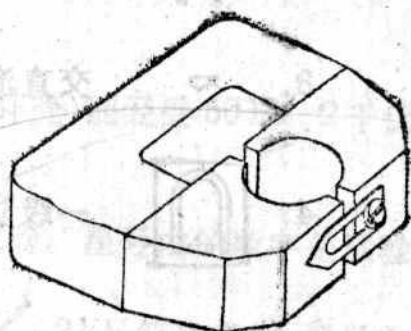



图 1-10 磁分路器

同时，还要仔细观察一下表头内部是否有串并联电阻、磁分路器(图 1-10)是否完全闭合。如果有串并联电阻或磁分路器已闭合(当磁分路器闭合时，一部分磁力线从磁分路器通过，使空气隙中磁力线减少，磁场强度降低，因而表头灵敏度也跟着降低，灵敏度降低可达 15% 左右)，只要去掉串并联电阻或把磁分路器移开些，就可以增加灵敏度。

第二节 万用电表的表盘

万用电表的表盘上印有各种符号、标度尺和数值。为了便于理解，现作以下说明：

1.  磁电系带机械反作用力的仪表。



整流系仪表。



交直流两用。



一级防外磁场(磁电系);



二级防外磁场;

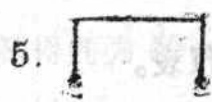


三级防外磁场;



四级防外磁场。

在5奥斯特外磁场影响下, 仪表指示值的变化一级不超过上量限(满标度值)的 $\pm 0.5\%$; 二级不超过上量限的 $\pm 1.0\%$; 三级不超过上量限的 $\pm 2.5\%$; 四级不超过上量限的 $\pm 5.0\%$ 。



仪表系水平放置使用, 有时用 \rightarrow 符号

表示。




仪表系垂直放置使用，有时用↑符号

表示。

6.



仪表(电路对外壳)能经受 50 Hz、2 千伏

交流电压历时一分钟的绝缘强度试验。星号内的数字是试验时电压的千伏数，有的仪表用  2kV 符号表示。星号内无数字时表示试验电压为 500 伏，星号内有一 0 字时表示未经绝缘强度试验。

7. 27°C 热带使用的仪表，标准温度定为 $27 \pm 2^\circ\text{C}$ 。一般仪表标准温度定为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

8. $20\text{k}\Omega/\text{V}$ 或 $20000\Omega/\text{V}$ 直流电压灵敏度。测量直流电压时，电表的输入电阻(即倍压电阻，又称倍率电阻)为每伏 20 千欧。

9. $4\text{k}\Omega/\text{V}$ 或 $4000\Omega/\text{V}$ 交流电压灵敏度。测量交流电压时，电表的输入电阻为每伏 4 千欧。

10. $0\text{dB}=1\text{mW}/600\Omega$ 表示分贝 (dB) 标度尺是以 600 欧负荷阻抗上得到 1 毫瓦功率定为零分贝作为参考音频电平的。

11.

~	dB
50 V	+14
100 V	+20
250 V	+28

是指用 50 伏交流电压档测量音频电平时，读数要加上 14 分贝；用 100 伏档时要加上 20 分贝；用 250 伏档时要加上 28 分贝。