

电流表电压表及功率表 检定规程参考资料

王景元 编

计 量 出 版 社

1985·北京

内 容 提 要

全书共三章,内容为两部分:第一部分介绍了常用电测量指示仪表与仪器、辅助设备的工作原理和使用方法;第二部分论述了电流表、电压表及功率表的检定技术,并对检定规程作了详尽的说明。

适于厂矿企业从事电测仪表计量检定、修理人员,计量部门的技术人员阅读,也可供电测仪表的使用人员参考。

电流表电压表及功率表 检定规程参考资料

王景元 编

责任编辑 许字凌

—

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—

开本 787×1092 1/32 印张 9

字数 206千字 印数 1—31000

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷

统一书号 15210·473

定价 1.70 元

目 录

第一章 常用电测量指示仪表的工作原理和使用	(1)
§ 1-1 电测量指示仪表的基本结构、工作原理和主要部件.....	(1)
§ 1-2 电测量指示仪表的分类.....	(8)
§ 1-3 电测量指示仪表的主要技术特性.....	(10)
§ 1-4 磁电系仪表.....	(34)
§ 1-5 电磁系仪表.....	(47)
§ 1-6 电动系仪表.....	(56)
§ 1-7 铁磁电动系仪表.....	(74)
§ 1-8 静电系仪表.....	(76)
§ 1-9 整流系仪表.....	(81)
§ 1-10 三相系统有功功率的测量和测量仪表	(87)
§ 1-11 三相系统无功功率的测量和测量仪表	(109)
第二章 常用电测量具、仪器及辅助设备的工作原理和使用 ...	(124)
§ 2-1 标准电阻.....	(124)
§ 2-2 标准电池.....	(129)
§ 2-3 直流电位差计.....	(135)
§ 2-4 直流分压箱.....	(140)
§ 2-5 直流电桥.....	(142)
§ 2-6 磁电系直流检流计.....	(149)
§ 2-7 交流电位差计.....	(160)
§ 2-8 交直流比较仪.....	(162)
§ 2-9 数字式电压表.....	(174)
§ 2-10 测量用互感器	(181)
§ 2-11 辅助设备	(187)

第三章 电流表、电压表及功率表的检定	(191)
§ 3-1 检定规程的前言.....	(191)
§ 3-2 主要技术要求.....	(192)
§ 3-3 检定项目.....	(196)
§ 3-4 检定周期.....	(199)
§ 3-5 检定条件.....	(200)
§ 3-6 检定方法的规定.....	(214)
§ 3-7 直流补偿法.....	(235)
§ 3-8 热电式交直流比较法.....	(254)
§ 3-9 用数字式电压表检定的方法.....	(258)
§ 3-10 直接比较法	(260)
§ 3-11 检定结果的处理	(272)

第一章 常用电测量指示仪表的 工作原理和使用

在电测量指示仪表中，被测量为电磁量，电磁量作用到它的机构上，驱使仪表的可动部分产生机械位移，从而模拟出被测量的大小，即指示被测量的大小。目前广泛使用的指针式及光指示式直读电测量仪表绝大部分属这一类。

电测量指示仪表是电测技术领域中出现最早的一种仪表，已有二百多年的历史，基本结构和制造工艺目前已达到相当完善的程度。为了满足近代电测量技术中一些新的要求（如高准确度、高速度和自动测量等），出现了数字式仪表，但是，由于电测量指示仪表具有结构简单、稳定可靠、成本低廉等一系列优点，目前仍然是电测量仪器与仪表中使用量最大、面最广的一类。

电测量指示仪表是我们检定对象，因此必须对它的工作原理、技术特性和使用等有一定的了解。本章只讨论检定规程所涉及的电流表、电压表和功率表的工作原理及使用等问题，以利于对检定规程的理解和掌握。

§ 1-1 电测量指示仪表的基本结构、 工作原理和主要部件

电测量指示仪表的种类虽然很多，但它的基本原理是相

8610197

同的，都是由测量机构和测量线路两个基本部分组成。

§ 1-1-1 测量机构

电测量仪表是以偏转角度（简称偏转）反映其可动部分的位移，而偏转是对应仪表所接受被测量的大小。为了将所测的电能量转换成偏转（机械能），在仪表中要有将电能量转换成机械能（和偏转相对应）的机构，该机构称为测量机构。每个测量机构都由可动部分和固定部分构成。可动部分通常包括动圈、软磁铁、阻尼器及指示器等；而固定部分包括永久磁铁、电磁线圈、标度盘及支架等。

1. 转动力矩

被测量作用到测量机构的可动部分或者固定部分上（某些仪表两者均须接受作用），由于它们之间的电磁力作用而产生作用力，该力对有转轴的可动部分产生转矩，这个转矩称为转动力矩（或作用力矩），用 M 表示，它可以使可动部分偏转。

转矩 M 的大小视被测量而定，对于磁电系、电磁系、电动系及静电系等仪表的转动力矩，可以用电工学中的电磁场能量与机械功的关系理论来确定，这类仪表的转矩都可用下式表示：

$$M = \frac{dA}{d\alpha} \quad (1-1)$$

式中： A ——电磁场能量；

α ——在转矩 M 作用下可动部分的偏转。

电磁场能量 A 的形式及大小视仪表的类型及被测量的大小而定，各系别仪表的转矩形式以后将分别讨论。对应于每一个被测量值 x 有一个完全确定的转矩值 M ，因此有如下关系式：

$$M = f_1(x) \quad (1-2)$$

仪表中接受被测量后产生转矩的部分称为驱动部分。

2. 反作用力矩

如果在仪表的可动部分上只有转矩作用，则不论转矩的大小，只要它能克服可动部分的摩擦，可动部分总要偏转到尽头，这样就无法实现测量。为了使一定大小的转矩相应于一定大小的被测量，还必须有另一个力矩作用到可动部分上，这个力矩的方向应和转矩方向相反，称这个力矩为反作用力矩。在仪表中反作用力矩起控制作用。

产生反作用力矩的方法很多，可用机械力的方法，也可用电磁力的方法。用机械力方法如用游丝、张丝及吊丝等。游丝、张丝及吊丝产生的反作用力矩 M_s 正比于偏转 α ，其表达式为

$$M_s = W\alpha \quad (1-3)$$

式中： $W = M_s / \alpha$ 为游丝、张丝或吊丝偏转（或扭转）单位角度产生的反作用力矩，称为反作用力矩系数，它决定于游丝、张丝或吊丝材料的几何尺寸及物理性质。

3. 阻尼力矩

可动部分在转矩作用下要运动，它具有一定的动能，因而可动部分在未达到稳定偏转之前要发生来回摆动的现象，将影响人们迅速获得指示值。为了消除这种摆动，通常在可动部分装一个阻尼器，来吸收这部分动能。当可动部分运动时，阻尼器便产生一个和运动方向相反，大小和运动速度有关的力矩，称这个力矩为阻尼力矩。当可动部分运动时，阻尼力矩总是力图阻止其运动，而运动一旦停止，阻尼力矩也就等于零，这样阻尼力矩只影响可动部分的运动过程，而不影响仪表的指示值。

在仪表中常用的阻尼器有空气阻尼器及磁感应阻尼器。

阻尼力矩 M_d 与可动部分的运动速度成正比关系，可用

下式表示

$$M_p = \rho \frac{d\alpha}{dt} \quad (1-4)$$

式中： ρ ——阻尼系数，它决定于阻尼器的结构参数及电磁参数（对于磁感应阻尼器）。

公式（1-4）表明，当可动部分静止了，角速度 $d\alpha/dt = 0$ ，阻尼力矩亦等于零，不会影响仪表的示值。

仪表可动部分的运动状态和阻尼力矩有关。图1-1给出了可动部分在不同的阻尼力矩作用下的运动状态。曲线 I 是阻尼力矩较小的情况，可动部分停止在稳定偏转 α_0 之前要做一

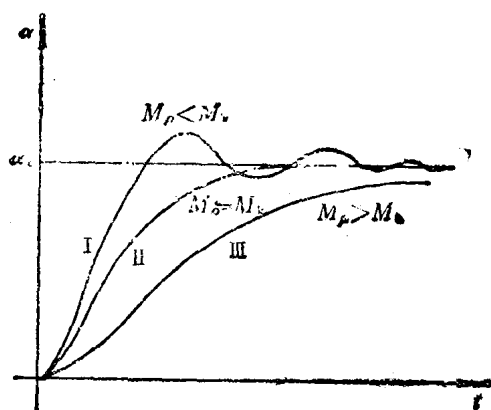


图 1-1 不同阻尼力矩可动部分的运动状态

系列衰减的周期性摆动，这种运动状态称为欠阻尼状态。随着阻尼力矩的增加，可动部分的摆动的振幅逐渐减小，当阻尼力矩 M_p 等于所谓临界阻尼力矩 M_k 时，可动部分达到稳定偏转的时间最短，如图中曲线 II，称它为临界阻尼状态。当阻尼力矩大于临界阻尼力矩时，虽然可动部分不会出现摆

劲，但需要较长的时间才能达到稳定偏转位置，如图中曲线Ⅲ所示，称它为过阻尼状态。

仪表的可动部分，一般都工作在微欠阻尼状态，因为在这种状态，可动部分在达到稳定偏转之前稍作摆动后停止，便于读数，不易产生读数错误。

4. 摩擦力矩

在一些由轴尖轴承支承的仪表中，轴尖和轴承之间存在摩擦，它将产生和可动部分运动方向相反的摩擦力矩，阻止可动部分的运动，影响仪表示值的正确性。

用 M_f 表示摩擦力矩，它可以为

$$M_f = KG^{1.5} \quad (1-5)$$

式中： G ——可动部分的重量；

K ——比例系数，它决定于轴尖和轴承的材料、尺寸、物理性质和接触情况。

5. 平衡条件及标度尺特性

当不考虑摩擦力矩影响时，仪表的可动部分在转动力矩作用下，偏转到和反作用力矩相等时，如图 1-2 所示，可动部分偏转到某一个位置，这时存在如下平衡条件：

$$M = M_0 \quad (1-6)$$

公式 (1-6) 亦称为平衡方程式。为求偏转和被测量之间的关系，

应将公式 (1-2) 和 (1-3) 代入公式 (1-6)，即

$$Wa = f_1(x)$$

由上式可以得出

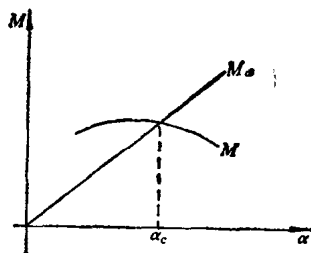


图 1-2 力矩和可动部分偏转之关系

$$\alpha = \frac{1}{W} f_1(x)$$

由于反作用力矩系数 W 为常数，因此有

$$\alpha = f(x) \quad (1-7)$$

公式 (1-7) 表明偏转的大小可以反映被测量的大小。

转矩 M 是由被测量值 x 所决定，对应于不同的被测量值 $(0.1x, 0.2x, \dots, 0.9x, x)$ ，可得出一簇转矩曲线，如图 1-3 所示。当可动部分有反作用力矩时，对应每一个被测量值，都有一个确定的稳定偏转，分别为 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_9, \alpha_{10}$ ，按偏转的大小在仪表的标度尺上划成分度，代表不同的被测量值。

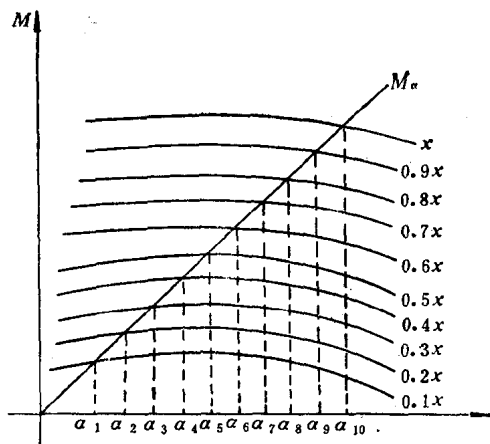


图 1-3 被测量和可动部分偏转的关系

从图 1-3 中也可以看出代表不同被测量值的分度与被测量之间的关系，该关系可反映仪表的标度情况。

分度和被测量的关系称之为标度尺特性。如果仪表的分

度和被测量成比例关系，则仪表分度是均匀的；否则是不均匀的。我们说前者标度尺特性好，后者标度尺特性不好。

§ 1-1-2 测量线路

仪表的测量机构接受被测电量后，可动部分便产生偏转。接受的电量不是电流便是电压或者两个电流的乘积。一定的测量机构，能借以产生偏转的电量都是一定的。例如：使磁电系和电磁系测量机构产生偏转的电量是电流；使静电系仪表测量机构产生偏转的电量是电压；使电动系仪表测量机构产生偏转的电量是两个电流的乘积。如被测量是其它的电量，例如：功率、能量、频率或相位等，则必须根据所采用的测量机构，把被测量转变成上述三种量中的一种，然后再作用到测量机构上。当被测的电流或电压过大或过小，不适宜直接作用到测量机构上时，也需进行量值大小的转换。

在仪表中经常使用由电阻、电感、电容和互感组成一定的电路，完成必要的转换工作，此种电路称为测量电路。

被测量 x 通过测量电路转换为某一个中间量 y ，而

$$y = \varphi(x)$$

函数 $y = \varphi(x)$ 决定于测量电路的性质。根据上述关系将有

$$\alpha = f(y) = f[\varphi(x)] = F(x)$$

为使某一个被测量只对应一个唯一的偏转，就要求上述关系式必须是单值的。

综上所述，被测量 x 与中间量 y 和仪表的测量电路及测量机构的关系，可用方框图 1-4 表示。



图 1-4 测量电路和测量机构方框图

§ 1-2 电测量指示仪表的分类

电测量指示仪表可根据不同的观点来分类。下面介绍国家标准 (GB776-76) 的十二种分类方法。

§ 1-2-1 按准确度分类

仪表按准确度分为七级, 即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 及 5.0 级。

§ 1-2-2 按使用条件分类

仪表按使用条件分为五组, 即 A、A₁、B、B₁ 及 C 组。而使用条件有两种, 即工作条件和最恶劣条件, 如表 1-1 所示。

§ 1-2-3 按外壳的防护性能分类

仪表按其外壳的防护性能分为七种, 即普通式、防尘式、防溅式、防水式、水密式、气密式和隔爆式。

§ 1-2-4 按耐受机械力作用的性能分类

仪表按耐受机械力作用的性能分两类, 即普通的和能耐受机械力作用的。

§ 1-2-5 按防御外界磁场和电场的性质分类

仪表按防御外界磁场和电场的性能分为四等, 即 I、II、III 和 IV 等。

§ 1-2-6 按作用原理分类

仪表按作用原理分为磁电系、动磁系、电磁系、极化电磁系、电动系、铁磁电动系、感应系、静电系、振簧系、热线系、双金属丝系、热电系、整流系及电子系等。

§ 1-2-7 按可动部分支承方式分类

仪表按其可动部分的支承方式分为三种, 即轴尖 (轴颈) 轴承式、张丝式及吊丝式仪表。

表1-1 仪表的使用条件

分类组别		A		A ₁		B	B ₁	C
环境条件参数								
工作条件	温 度	0~+40℃		-20~+50℃		-40~+60℃		
	相对湿度 (当时温度)	95% (+25℃)	85% (+25℃)	95% (+25℃)	85% (+25℃)	95% (+35℃)		
	霉菌、昆虫	有	没有	有	没有	有		
	盐 雾	没有	没有	按要求定	没有	按要求定		
	凝 露	有	没有	有	没有	有		
	尘 砂	有(轻微)	有(轻微)	有(轻微)	有(轻微)	有		
最恶劣条件	温 度	-40~+60℃		-40~+60℃		-50~+60℃		
	相对湿度 (当时温度)	95% (+35℃)	95% (+30℃)	95% (+35℃)	95% (+30℃)	95% (+60℃)		
	霉菌、昆虫	有	没有	有	没有	有		
	盐 雾	有(在海运包装条件下)		有(在海运包装条件下)		有		
	凝 露	有	没有	有	没有	有		
	尘 砂	有(在包装条件下)		有(在包装条件下)		有		

§ 1-2-8 按读数装置的结构形式分类

仪表按读数装置的结构形式分为三种，即指针式、光指示器式及振簧式仪表。

§ 1-2-9 按标度尺上零位的位置分类

仪表按标度尺上零位的位置分为三种，即单向标度尺、双向标度尺及无零位标度尺仪表。

§ 1-2-10 按使用方式分类

仪表按使用方式分为两种，即安装式和可携式仪表。

§ 1-2-11 按标度尺特性分类

仪表按标度尺特性分为两种，即均匀标度尺和非均匀标

度尺仪表。

§ 1-2-12 按外形尺寸大小分类

仪表按外形尺寸大小分为四种，即微型、小型、中型和大型仪表，其各型仪表的外形尺寸如表1-2所示。

表1-2 各型仪表的外形尺寸

仪表的分类名称	仪表正面部分的最大尺寸(mm)	
	可携式仪表	安装式仪表
微 型	≤ 75	≤ 40
小 型	$> 75 \sim 150$	$> 40 \sim 80$
中 型	$> 150 \sim 300$	$> 80 \sim 160$
大 型	> 300	> 160

§ 1-3 电测量指示仪表的主要技术特性

电测量指示仪表的技术特性是衡量仪表质量的主要技术依据，各种仪表应有的技术特性在国家 标准 (GB776-76) 中有明确的规定。技术特性是多方面的，但不外电气特性和机械特性两个方面，这里仅讨论与仪表检定有关的内容。

§ 1-3-1 仪表的误差

仪表的误差是仪表的主要技术特性。任何一个仪表在测量时都有误差，其指示值是被测量真值的近似值，仪表误差的大小，说明其指示值和被测量真值的接近程度。因此仪表的准确度愈高，其近似程度就愈高，它的误差也愈小。

根据产生误差的原因，仪表的误差分为基本误差和附加误差两类。

为了便于理解仪表的误差和准确度的有关概念，下面介绍误差的几种表示方法。

1. 误差的表示方法

(1) 绝对误差

测量结果和被测量真值之差称为绝对误差。如果以 x 表示测量结果， x_0 表示它的真值，则其绝对误差 Δx 可表示为

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-8)$$

式中测量结果 x 是指：在检定仪表时，它为被检分度线的示值；在检定量具时，它为量具的标称值；在测量时，它为被测量的测量值。而被测量的真值 x_0 ，则是理想的概念，通常是不知道的。因此，为了求出绝对误差，实际上都采用实际值（或称约定真值）来代替真值。实际值是真值的近似值，其误差相对于测量结果是可以忽略的。实际值是用准确度合适的仪器或仪表与测量方法测定的。

例 1 检定一电流表，其示值 A 为 1A 时，测得的实际值 A_0 为 1.012A（上升）和 1.018A（下降），则该表在示值为 1A 的最大绝对误差（指绝对值而言）为

$$\Delta A = A - A_0 = 1 - 1.018 = -0.018A$$

例 2 检定一标准电阻，其标称值 R 为 100 Ω ，测得的实际值 R_0 为 99.98 Ω ，则该标准电阻的绝对误差为

$$\Delta R = R - R_0 = 100 - 99.98 = 0.02 \Omega$$

除了绝对误差之外，在实际测量中还经常用到修正值（或称更正值）这一概念。修正值等于未修正测量结果的绝对误差，但正负号相反。设修正值以 C_x 表示，则有

$$C_x = -\Delta x = x_0 - x \quad (1-9)$$

这里应指出，为了计算仪表示值的修正值，应取该示值几次（两次或四次）测得值的平均值作为该示值的实际值。

例如，在上面例 1 中，为计算示值为 1A 的修正值，实

际值应等于两次测得值的平均值，即

$$A_0 = \frac{1}{2}(1.012 + 1.018) = 1.010\text{A}$$

所以，示值 1A 的修正值 C_a 为

$$C_a = A_0 - A = 1.010 - 1 = 0.010\text{A}$$

在例 2 中，标准电阻的修正值 C_r 为

$$C_r = -\Delta R = R_0 - R = -0.02\Omega$$

标准仪器和仪表经检定以后，都要给出修正值（或修正曲线）。当知道了标称值或示值及相应的修正值 C_x 之后，由公式 (1-9) 可求出真值（实际值） x_0 ，即

$$x_0 = x + C_x \quad (1-10)$$

上式表明，将标称值或示值加上其对应的修正值以后，可以消除系统误差的影响。在检定工作中，通常采用加修正值的办法来保证量值传递的准确一致。

例如，对上面的例 1 而言，被检电流表在示值 1A 处的实际值为

$$A_0 = A + C_a = 1 + 0.010 = 1.010\text{A}$$

而对于例 2，被检标准电阻的实际值为

$$R_0 = R + C_r = 100 - 0.02 = 99.98\Omega$$

综上所述可以看出，绝对误差和修正值不但有大小和符号，而且是有单位的一个量，其单位和被测量的单位相同。

绝对误差的表示方法有其不足之处，它不能较全面地反映出测量的准确程度。例如，测量两个电阻 R_1 和 R_2 ，其中 $R_1 = 100\Omega$ ，误差 $\Delta R_1 = 0.01\Omega$ ； $R_2 = 100\,000\Omega$ ， $\Delta R_2 = 1\Omega$ 。从例子中看出，尽管测量电阻 R_1 的绝对误差 ΔR_1 小于测量电阻 R_2 的绝对误差 ΔR_2 ，但这绝不能得出测量电阻 R_1 较测量电阻 R_2 的准确度高的结论。因为 R_1 的误差 0.01Ω ，相对于 100Ω 而言占 0.01% ，而 R_2 的误差 1Ω 相对于 $100\text{k}\Omega$

却仅占0.001%，而测量 R_2 反而比测量 R_1 为准确。

为了弥补绝对误差这种表示方法的不足，而采用相对误差表示方法，下面将讨论这种表示方法。

(2) 相对误差

相对误差 γ 等于绝对误差 Δx 与被测量的真值(实际值) x_0 之比，通常以百分数表示。即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1-11)$$

例如，有量限为 0~150V 的 0.2 级电压表，当指针指在 100V 的示值时，其实际值为 100.15 V，则测量 100V 电压的相对误差为

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{U - U_0}{U_0} \times 100\% = \frac{100 - 100.15}{100.15} \\ &\times 100\% \approx -0.15\% \\ &\approx \frac{U - U_0}{U} \times 100\% = \frac{100 - 100.15}{100} \\ &\times 100\% = -0.15\% \end{aligned}$$

不难看出，相对误差与绝对误差不同，它只有大小和符号而无单位。

相对误差可以用来评价量具、仪器和仪表的准确度。相对误差越小，准确度就越高。所以它是误差计算中经常使用的一种表示形式。

(3) 引用误差

相对误差虽然可以衡量测量的准确度，但却不能用它来衡量指示仪表的准确度。因为每一个指示仪表都有一定的测量范围(量限)，即使绝对误差在仪表的一个量限的全部分度线上保持不变，而相对误差将随着被测量的减小而增大，也就是说在仪表的各个分度线上的相对误差不是一个常数。