

常用电工仪表与测量

华中工学院电工基础教研组编

常用电工仪表与测量
华中工学院电工基础教研组编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)
(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $13\frac{2}{16}$ · 字数 288 千字
1975 年 6 月北京第一版 · 1975 年 6 月北京第一次印刷
印数 000,001—140,000 · 定价 0.90 元

*

统一书号: 15033 · 4254

毛主席语录

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

随着我国社会主义革命和社会主义建设的飞速发展，电工测量技术已广泛地应用于工农业生产和科学研究各个部门。为了适应广大工农兵掌握电工测量技术的需要，在院党委和工宣队的领导下，我们组织了教研组有关教师，到工农兵中去学习和调查，广泛征求了从事电工测量的工人和技术人员的意见，编写了本书。

本书内容由三部分组成：第一部分，介绍常用电气测量指示仪表的结构、原理、使用和维修知识；第二部分，介绍常用较量仪器的结构、原理、使用和维修知识；第三部分着重介绍电磁测量方法。在问题的阐述上，力求简明扼要，通俗易懂，着重从物理概念来说明，并结合实际，以国产电工仪表为例进行介绍。

本书在编写过程中，曾得到中国计量科学研究院电磁室、湖北省计量局、武汉供电局、湖北省电业局中心试验所、中原机械厂计量室等兄弟单位的大力帮助、支持和鼓励，在此表示衷心的感谢。

由于我们对马克思列宁主义、毛泽东思想学得不够，又缺乏实际经验，书中难免有不少缺点或错误，诚恳地希望同志们批评指正。

华中工学院电工基础教研组

一九七四年四月

31762

目 录

绪论	1
第一部分 常用电气测量指示仪表	3
第一章 电气测量指示仪表的一般知识	3
第一节 电气测量指示仪表的分类	3
第二节 电气测量指示仪表的组成及工作原理	4
第三节 电气测量指示仪表的误差及准确度	8
第四节 仪表的灵敏度和仪表常数	15
第五节 电气测量指示仪表的主要技术要求	16
第六节 电气测量指示仪表的正确使用	18
第七节 电气测量指示仪表的表面标记	19
第二章 磁电系仪表	23
第一节 磁电系仪表的结构	24
第二节 磁电系仪表的工作原理	26
第三节 磁电系电流表 分流器	27
第四节 磁电系电压表 附加电阻	32
第五节 磁电系直流检流计	34
第六节 磁电系仪表的技术特性	39
第七节 磁电系仪表的简单调修	42
第三章 万用表	46
第一节 万用表的结构	47
第二节 万用表的直流电流档——多量限的直流 电流表	51
第三节 万用表的直流电压档——多量限的直流 电压表	54

第四节	万用表的交流电压档——多量限的整流式交流电压表	56
第五节	万用表的电阻档——多量限欧姆表	62
第六节	电平的测量	68
第七节	万用表的技术特性	73
第八节	万用表的正确使用	74
第九节	万用表的简单调修	79
第十节	万用表的简单设计	85
第四章	电磁系仪表	98
第一节	电磁系仪表的结构和工作原理	99
第二节	电磁系电流表和电压表	107
第三节	电磁系仪表的技术特性	108
第四节	电磁系仪表的常见故障及其消除方法	110
第五章	电动系仪表	111
第一节	电动系仪表的结构和工作原理	112
第二节	电动系电流表及电压表	115
第三节	电动系功率表	119
第四节	低功率因数功率表	129
第五节	三相电路功率的测量	134
第六节	铁磁电动系功率表	141
第七节	电动系仪表的常见故障及其消除方法	142
第六章	交流电度表	144
第一节	概述	144
第二节	交流单相电度表的基本结构	147
第三节	交流单相电度表的工作原理	149
第四节	交流电能的测量 三相有功电度表	161
第五节	三相无功电能的测量 三相无功电度表	163
第六节	电度表的正确使用	169
第七节	电度表的主要技术特性	171

第八节	电度表的校验	172
第九节	电度表的调节装置	180
第七章	兆欧表	186
第一节	兆欧表的结构及工作原理	187
第二节	兆欧表的正确使用	191
第三节	兆欧表误差的调整及校验方法	197
第八章	相位表和频率表	200
第一节	电动系单相相位表	200
第二节	电动系三相相位表	205
第三节	电动系频率表	206
第九章	测量用互感器	212
第一节	测量用互感器的用途	212
第二节	测量用互感器的构造原理	214
第三节	测量用互感器的误差及准确度	218
第四节	电压互感器的正确使用	225
第五节	电流互感器的正确使用	226
第六节	在功率和能量测量中测量用互感器的使用	229
第七节	穿心式电流互感器和钳形电流表	235
第八节	测量用互感器的检验	237
第十章	电气测量指示仪表的选择与校验	244
第一节	电气测量指示仪表的技术特性比较	244
第二节	电气测量指示仪表的选择	245
第三节	电气测量指示仪表的校验	254
第二部分	较量仪器	264
第十一章	度量器	265
第一节	概述	265
第二节	基准器	266
第三节	标准电池	268
第四节	标准电阻	272

绪 论

在党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的鼓舞下，特别是经过无产阶级文化大革命，我国的工农业生产，科学技术飞跃发展。

目前，电能已成为我国社会主义工农业和交通运输业的主要动力来源。在电能的生产、输送分配、控制和应用的过程中，离不开电工仪表与测量。因此，电工仪表与测量在工农业各生产部门，获得了极为广泛的应用。

利用电工仪表进行测量，具有快速测量、连续测量、自动检测和远距离测量等一系列优点，它不仅可以测量电量或磁量，而且可以将温度、压力、流量、温度、速度和加速度等非电量变换为电量加以测量。在我国很多工厂企业中，产品质量的检测、生产过程的监视与自动化等方面都与电工仪表与测量紧密相关。

所谓电工测量，就是将被测电量或磁量与作为测量单位的同类电量或磁量进行比较，以确定电量或磁量的过程。而测量电量或磁量的仪器仪表统称为电工仪表。

根据在测量过程中度量器是否直接参与工作，电工仪表通常可以分为电气测量指示仪表和较量仪器两大类。

在电气测量过程中不需要度量器直接参与工作而能够随时指示出被测量的数值的仪表称为电气测量指示仪表，如电流表、电压表、功率表等都是指示仪表。带有记录装置的自动记录仪表也属这一类。

在电气测量过程中需要度量器直接参与工作才能确定被

测量数值的测量仪器称为较量仪器。例如用直流电桥测量电阻就必须要有电阻的度量器（标准电阻）的配合使用才行。常用的较量仪器有直流电桥、交流电桥、直流电位差计等。

解放前，由于国民党的反动统治，我国的工业极端落后，全国几乎没有一个完整的仪表工厂。解放后，在毛主席革命路线指引下，我国电工仪表制造业，从无到有，从小到大，发展迅速。尤其无产阶级文化大革命以来，我国电工仪表制造业和电工计量研究单位中的工人、干部和技术人员，在毛主席“**独立自主、自力更生**”方针指引下，接连不断地创造很多新产品。目前，我国电工仪表在产品数量、品种、规格和质量方面，不仅基本满足了国民经济各部门的需要，而且还有不少产品出口。

随着生产及科学技术的飞跃发展，电工测量技术的测量对象也扩展到相当大的范围，如电流从 10^{-16} 安到数十万安培；电压从 10^{-9} 伏到上千万伏；电阻从百分之几微欧到 10^{16} 欧的数量级等等。

近年来，综合了电子技术和计算技术的最新成果而发展起来的各种类型的数字仪表和仪器，它们具有数字显示、高准确度、高灵敏度、高测量速度及适用于多种参数测量和集中控制等一系列优点，从而成为今天电工测量技术的一个新的领域和重要的发展方向。随着我国社会主义革命和建设的发展，我国电工测量技术必将获得更大的成就。

第一部分 常用电气测量指示仪表

测量电气参数（如电压、电流、功率、电阻、相位角及频率等等）的指示仪表称为“电气测量指示仪表”。它除了可以直接测量电量以外，经过转换，还可以间接测量多种非电量（如磁通、温度、湿度、压力等等），所以它是工农业生产、国防建设以及科学实验的基本测量工具之一。

解放后，尤其是无产阶级文化大革命以来，我国的电气测量指示仪表得到了飞跃的发展。由于电气测量指示仪表具有许多优点，如制造简单、成本低、稳定性和可靠性高、使用维修方便等，因此，它被广泛应用于工农业生产和科学实验中。在这一部分里，我们将介绍常用的电气测量指示仪表的基本结构、工作原理和使用方法。

第一章 电气测量指示仪表 的一般知识

第一节 电气测量指示仪表的分类

电气测量指示仪表的种类繁多，分类方法也很多。了解电气测量指示仪表的分类，有助于认识它们所具有的特性，对我们了解电气测量指示仪表的概况也有一定的帮助。下面介绍几种常见的电气测量指示仪表的分类方法：

一、根据电气测量指示仪表的工作原理分类

主要有以下几种：磁电系；电磁系；电动系；感应系；整流系；静电系；热电系；电子系。

本书将对前面常用的五种进行介绍。

二、根据被测量的名称（或单位）可分为：

电流表（安培表、毫安表、微安表）；电压表（伏特表、微伏表）；功率表（瓦特表）；高阻表（兆欧表）、欧姆表；电度表（瓦时表）；相位表（或功率因数表）；频率表以及多种用途的仪表，如万用表，电压、电流表（伏安表）等等。

三、根据使用方式可分为：

开关板式与可携式仪表。

开关板式仪表（简称“板式表”），通常固定安装在开关板或某一装置上，一般误差较大，价格较低。

可携式（实验室用）仪表：通常做成可携型式，这种仪表一般误差较小（即准确度较高），价格较贵。

四、根据仪表的工作电流的种类分为：

直流仪表；交流仪表；交直流两用仪表。

此外，按仪表的准确度等级可分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5七级（见第一章表1-1）；按仪表对电场磁场的防御能力可分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四级（见第一章表1-4）；按仪表的使用条件可分为A、B、C三组（见第十章表10-2）。

第二节 电气测量指示仪表的组成及工作原理

一、仪表的组成

电气测量指示仪表的种类很多，但是它们的主要作用都是将被测电量变换成仪表活动部分的偏转角位移。

为了将被测量变换成角位移，电气测量指示仪表通常由

测量机构和测量线路二部分组成。

测量线路的作用是将被测量 x （如电压、电流、功率等）变换成为测量机构可以直接测量的电磁量，如电压表的附加电阻、电流表的分流器电路等都是测量线路。

测量机构是指示仪表的核心部分，仪表的偏转角位移是靠它实现的。

电气测量仪表的组成可以用图 1-1 的方框图表示。

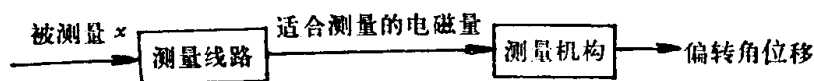


图1-1 电气测量指示仪表的组成方框图

二、仪表测量机构的结构及工作原理

仪表的测量机构可分为两个部分：活动部分及固定部分。用以指示被测量数值的指针或光标指示器就装在活动部分上。

测量机构的主要作用为：

1. 产生转动力矩

要使仪表的指针转动，在测量机构内必须有转动力矩作用在仪表的活动部分上。转动力矩一般是由磁场和电流（或铁磁材料）的相互作用产生的（静电系仪表则由电场力形成），而磁场的建立可以利用永久磁铁，也可以利用通有电流的线圈。

常用的几种电气测量指示仪表的转动力矩的产生方式如下：

（1）磁电系仪表——固定的永久磁铁的磁场与通有直流电流的可动线圈间的相互作用产生转动力矩。

（2）电磁系仪表——通有电流的固定线圈的磁场与铁

片的相互作用（或处在磁场中的两个铁片的相互作用）产生转动力矩。

（3）电动系仪表——通有电流的固定线圈的磁场与通有电流的可动线圈间的相互作用产生转动力矩。

（4）感应系仪表——通有交流电流的固定线圈与在可动铝盘中所感应的电流的相互作用产生转动力矩。

转动力矩 M 的大小通常是被测量 x 与偏转角位移 α 的函数，即

$$M = F_1(x, \alpha)$$

2. 产生反作用力矩

如果一个仪表仅有转动力矩作用在活动部分上，则不管被测量为何值，活动部分都会偏转到满刻度位置，直到不能再转动为止，因而无法指示出被测量的大小。正如“称杆”需要“称砵”以平衡重物才能称东西的道理一样，在指示仪表的测量机构内也必须有“反作用力矩”作用在仪表的活动部分上，反作用力矩 M_a 的方向与转动力矩相反，而大小是仪表活动部分偏转角位移 α 的函数，即

$$M_a = F_2(\alpha)$$

当测量被测量时，转动力矩作用在仪表活动部分上，使它发生偏转，同时反作用力矩也作用在活动部分上，且随着偏转角的增大而增大，当转动力矩与反作用力矩相等时，指针就停止下来，指示出被测量的数值。

在电气测量指示仪表中产生反作用力矩的办法有：

（1）利用机械力

利用“游丝”在变形后所具有的恢复原状的弹力产生反作用力矩在仪表中用得很多，详见第二章“磁电系仪表的结构”一节。此外可以利用悬丝或张丝的扭力产生反作用力

矩。仪表的活动部分在使用悬丝或张丝支撑后，可以不再需要转轴和轴承，消除了其中的摩擦影响，使仪表测量机构的性能得到了很大改善，目前它们越来越得到了广泛应用。

（2）利用电磁力

和利用电磁力产生转动力矩的办法一样，可以利用电磁力产生反作用力矩，这就构成了“比率表”（或称流比计）一类仪表，如磁电系比率表构成了兆欧表，电动系比率表构成了相位表及频率表等（详见第七、八章）。

此外可以利用在磁场中的导体的涡流作用产生反作用力矩，如感应系仪表中的反作用力矩正是根据这个原理获得的（详见第六章）。

3. 产生阻尼力矩

从理论上来说，在指示仪表中，当转动力矩和反作用力矩相等时，仪表指针应静止在某一平衡位置，但由于仪表活动部分具有惯性，它不能立刻就静止下来，而是围绕这个平衡位置左右摆动不已，这种情况将造成读数的困难。为了缩短这个摆动时间，必须使仪表活动部分在运动过程中受到一个与运动方向相反的力矩的作用，这种力矩通常称为阻尼力矩，它的作用是使仪表活动部分更快地静止在最后的平衡位置上。产生阻尼力矩的装置称为阻尼器，电气测量指示仪表中常用的阻尼器有：

（1）空气阻尼器

空气阻尼器是利用仪表活动部分在运动过程中带动在阻尼箱内的阻尼翼片运动时受到空气的阻力作用来产生阻尼力矩的。

（2）磁感应阻尼器

磁感应阻尼器是利用仪表活动部分在运动过程中带动金

属阻尼翼片切割永久磁铁的磁力线而产生阻尼力矩的。

有关阻尼器的详细介绍见第四章“电磁系仪表的结构和作用原理”一节。

在仪表的测量机构中，转轴和轴承之间还存在着摩擦力矩，这一力矩的方向和活动部分的运动方向相反，大小也不是恒定的，因此它将影响活动部分的稳定偏转位置，是仪表基本误差的来源之一。

总的说来，转动力矩和反作用力矩是仪表内部的一对主要矛盾，两者的相互作用决定了仪表的稳定偏转位置，而转动力矩又是主要矛盾的主要方面，因此，正是由于产生转动力矩的方法和机构各有不同，从而构成了各种不同类型的仪表，如磁电系、电磁系、电动系、感应系等等，在以后各章将分别进行介绍。

第三节 电气测量指示仪表的误差及准确度

一、仪表误差的分类

任何一个仪表在测量时都有误差，它说明仪表的指示值（简称“示值”）和被测量的实际值（通常以标准仪表的示值作为被测量的实际值）之间的差异程度。而准确度则说明仪表示值与被测量的实际值相符合的程度。误差越小，准确度就越高。

根据引起误差的原因，可将误差分为两种：

1. 基本误差——指仪表在规定的正常条件下进行测量时所具有的误差，它是仪表本身所固有的，是由于结构上和制作上的不完善而产生的。例如活动部分因轴承里的摩擦和刻度划分不精密等等原因所引起的误差都是属于基本误差。

所谓仪表的正常工作条件是指（详细规定参考第十章表

10-5):

- (1) 仪表指针调整到零点;
- (2) 仪表按规定的工作位置安放;
- (3) 周围的温度是 20°C , 或是仪表上所标的温度;
- (4) 除地磁外, 没有外来电磁场;
- (5) 对于交流仪表来说, 电流的波形是正弦波, 频率是所规定的频率值。

2. 附加误差——当仪表不是在正常条件下工作时, 除上述基本误差之外, 还会出现附加的误差, 称为“附加误差”。例如温度、外磁场等不符合仪表正常条件时, 都会引起附加误差。

二、误差的几种表达形式

为了进一步弄清楚仪表误差和准确度的概念, 首先介绍最常用的误差表达形式。

1. 绝对误差

测量值与被测量的实际值之间的差值称为测量的绝对误差。如果用 A_x 表示测量结果, A_0 表示被测量的实际值, 则绝对误差 Δ 可表示为:

$$\Delta = A_x - A_0$$

绝对误差的单位与被测量的单位相同。

2. 相对误差

相对误差是绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A_0 之间的比值, 它通常是以百分数 γ 表示, 即:

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

在相对误差的实际计算中, 有时难于求得被测量的实际值, 这时也可以用测量结果 A_x 代替实际值 A_0 , 而近似求

得:

$$\gamma \doteq \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$$

相对误差由于给出了测量误差的清晰概念,便于对不同测量结果的测量误差进行比较,所以它是误差计算最常用的一种表示方法。

例如:用两个伏特表测量两个大小不同的电压,一个在测量 200 伏时,绝对误差为 2 伏,另一个在测量 10 伏电压时,绝对误差为 0.5 伏,在这里,从绝对误差来看,前者误差大些,后者误差小些。但如果从绝对误差对测量结果的影响来看,前者的绝对误差只占测量结果的 1% (此即相对误差的数值),而后者绝对误差却占测量结果的 5%,可见,前者的测量结果的相对误差小些,测量的准确度要高些。因此,在工程上凡是遇到要求测量结果的误差或是估价测量结果的准确度时,一般地都是确定测量结果的相对误差。有关测量误差的进一步讨论详见第十五章。

3. 引用误差

有了相对误差的概念,虽然可以说明测量结果和被测量实际值之间的差异程度,但是还不足以说明仪表本身性能的好坏。这是因为对于同一个仪表来说,它所具有的基本误差,例如摩擦影响所带来的误差等近于某一常数,这样就使得在仪表的标度尺的各个不同部位,相对误差不是一个常数,而且变化很大。

例如,一只测量范围为 0~250 伏的电压表,若在标度尺的“200 伏”处的绝对误差为 2 伏,则该处的相对误差 γ_1 为 1% ($\gamma_1 = \frac{2}{200} = 1\%$); 若在标度尺的“10 伏”处的绝对误差为 1.8 伏,则该处的相对误差 γ_2 为 18% ($\gamma_2 = \frac{1.8}{10}$)