

电工测量

张渭贤 编著



华南理工大学出版社

电 工 测 量

张渭贤 编著

华南理工大学出版社

内 容 简 介

本书主要包括：电工测量基本知识，测量误差的计算，常用电工仪表如磁电系、电磁系、电动系和感应系等仪表的结构、工作原理和应用，仪用互感器的工作原理，常用较量仪器如直流电桥、交流电桥和直流电位差计的工作原理与使用方法。还介绍了数字频率计和数字微欧计。

本书可作大专院校、电大、夜大、成人教育有关专业的教材，也可作各类电工培训或自学用书，还可供所有从事电工测量的工程技术人员参考。

DV09/11
〔粤〕新登字12号

电 工 测 量

张渭贤 编著

责任编辑 林 焕

华南理工大学出版社出版发行

（广州 五山）

各地新华书店经销

广东省封开县人民印刷厂

开本 787×1092 1/32 印张10.75 字数241千

1991年12月 第1版 1993年5月 第2次印刷

印数 3001—8000

ISBN 7-5623-0303-7/TM·11

定价：6.50元

前 言

电工测量是从事电气工程技术人员必须掌握的基础知识和基本技能。本书叙述了各种常用电工仪表的原理、特性和使用方法,介绍了各种电量的主要测量方法和特点。通过本书的学习,读者能够根据测量工作的需要正确地选择电工仪表和掌握正确的测量方法。

随着电子技术的不断发展,在电工仪表中越来越多地使用电子元件组成的各种电工测量的变换电路,以测量交流电路的各种参数,如频率、相位和功率因数等。因此,出现了变换器式的电工仪表,而这些仪表工艺简单、价格便宜、在安装式仪表中使用较多,本书对其作了适当的介绍。

数字仪表的出现,使电工测量进入了高灵敏度和高准确度的领域,数字电压表和数字频率表使用最为普遍。本书对数字仪表的基本工作原理作了介绍。为了开拓读者视野,还介绍了我国80年代研制的数字微欧计。

在本书的编写过程中,机械电子工业部广州电器科学研究所计量中心副主任肖庆崑高级工程师、华南理工大学电机电器教研室副主任何志伟副教授、电力系统及其自动化教研室施文模高级工程师和陈启贤工程师等都提了许多宝贵意见,特此致谢。

本书是在教学之余编写,缺点和错误难免,欢迎读者批评指正。

编 著 者

1991.4

目 录

绪 论	(1)
第一章 电工测量的一般知识	(3)
第一节 概 述	(3)
第二节 直读仪表的分类和符号	(5)
第三节 直读仪表的组成及工作原理	(8)
第四节 仪表的误差及准确度	(12)
小 结	(25)
思考题与习题	(26)
第二章 磁电系仪表	(28)
第一节 磁电系仪表的结构	(28)
第二节 磁电系仪表的工作原理	(32)
第三节 磁电系电流表	(35)
第四节 磁电系电压表	(38)
第五节 磁电系直流检流计	(40)
第六节 磁电系仪表的技术特性	(46)
第七节 欧姆表	(47)
第八节 整流系交流电压表	(50)
第九节 万用表	(54)
第十节 兆欧表	(74)
小 结	(81)
思考题与习题	(82)
第三章 电磁系仪表	(84)
第一节 电磁系仪表的结构和工作原理	(84)
第二节 电磁系仪表的转矩与刻度特性	(90)

第三节	防御外磁场影响的措施	(91)
第四节	电磁系电流表和电压表	(93)
第五节	电磁系仪表的技术特性	(96)
第六节	整步表	(97)
小 结		(105)
思考题与习题		(106)
第四章	电动系仪表	(108)
第一节	电动系仪表的结构和工作原理	(109)
第二节	转动力矩	(110)
第三节	电动系电流表和电压表	(112)
第四节	电动系仪表的技术特性	(116)
第五节	电动系功率表	(117)
第六节	低功率因数功率表	(128)
第七节	铁磁电动系仪表	(131)
第八节	三相电路功率的测量	(133)
第九节	三相无功功率的测量	(139)
第十节	电动系单相相位表	(144)
第十一节	电动系三相相位表	(149)
第十二节	电动系频率表	(151)
小 结		(155)
思考题与习题		(159)
第五章	感应系电度表	(160)
第一节	感应系电度表的基本结构	(160)
第二节	感应系电度表的工作原理	(162)
第三节	三相有功电度表	(171)
第四节	三相无功电度表	(174)
第五节	电度表的使用	(179)
第六节	电度表的校验	(183)
小 结		(186)

思考题与习题	(187)
第六章 变换器式仪表	(189)
第一节 变换器式功率表	(189)
第二节 变换器式功率因数表	(193)
第三节 变换器式频率表	(199)
第四节 变换器式整步表	(206)
第五节 组合式同步表	(209)
小 结	(212)
思考题与习题	(213)
第七章 测量用互感器	(214)
第一节 测量用互感器的用途	(214)
第二节 测量用互感器的构造原理	(215)
第三节 互感器的误差及准确度	(219)
第四节 互感器的正确使用	(227)
第五节 穿心式电流互感器和钳形电流表	(231)
小 结	(233)
思考题与习题	(234)
第八章 直流电桥	(235)
第一节 直流单电桥	(235)
第二节 直流双电桥	(240)
小 结	(246)
思考题与习题	(247)
第九章 交流电桥	(248)
第一节 交流电桥的基本原理	(248)
第二节 常用的交流电桥	(251)
第三节 万用电桥	(261)
第四节 变压器电桥	(265)
第五节 使用交流电桥的注意事项	(272)

小 结	(273)
思考题与习题	(274)
第十章 直流电位差计	(275)
第一节 直流电位差计的工作原理	(275)
第二节 直流电位差计的分类和技术特性	(278)
第三节 直流电位差计举例	(279)
第四节 直流电位差计的应用	(281)
第五节 使用时注意事项	(284)
小 结	(286)
思考题与习题	(286)
第十一章 测量误差的分析	(288)
第一节 测量误差的分类	(288)
第二节 测量误差及其消除方法	(290)
第三节 工程上最大测量误差的估计	(294)
小 结	(302)
思考题与习题	(302)
第十二章 数字仪表	(304)
第一节 数字仪表概述	(304)
第二节 数字频率表	(307)
第三节 数字电压表	(311)
第四节 数字微欧计	(328)
小 结	(333)
思考题与习题	(335)

绪 论

电磁测量是研究各种电磁被测量的测量方法，各种测量方法所采用的仪表、仪器设备，仪器设备的原理和结构，测量时的操作技术和测量误差等。电磁测量是人们掌握电学知识、发展电学知识的主要手段，它促使电工理论及电工技术的蓬勃发展。因此，学习和掌握电磁测量技术，对从事电气技术的工作人员是十分必要的。在很多工矿企业中产品质量的检查、生产过程的监测与自动化、保证生产安全和经济运行等，都与电工仪表及测量有密切关系。

所谓“测量”，就是将未知的被测量和已知的标准量进行直接或间接的比较，从而确定被测量数值的过程。电工测量，就是将被测电量或磁量和作为测量单位的同类电量或磁量进行比较，以确定被测电量或磁量的值的过程。

在测量中实际使用的是测量单位的复制体，称为度量器。度量器应有足够高的精度和稳定性，以保证测量的准确性。度量器按照精度和用途的不同，分为基准度量器和标准度量器。基准度量器是现代技术水平所能达到的精度最高的度量器，由国际和各国的最高计量部门保存。为保证测量仪器的准确一致，还要建立不同等级的标准度量器，以用来检定低一级的测量仪器，把量值准确地传递到生产第一线。电工测量中常用的标准度量器有标准电池、标准电阻、标准电感和标准电容等。

根据在测量过程中度量器是否直接参与工作，电工测量的方法可分为直读法和比较法两类。直读法测量是利用直接

指示的仪器仪表读取被测量数值，而无需度量器的直接参与比较，但它们的刻度已经事先用标准量具进行了检定。例如用电流表测量电流，用电压表测量电压等。用这种方法测量，具有简单、迅速和方便等优点，但测量的准确度不如比较法。与直读法不同，比较法测量是在测量过程中需要度量器的直接参与、并通过比较仪器来确定被测量的数值的方法，例如用电桥测量电阻等。用比较法测量时，被测量和度量器的比较是直接进行的，因此，测量的准确度较高，但测量时操作比较复杂，测量速度也比较慢。

一般，将直接指示的仪器仪表称为仪表；将较量仪器简称为仪器；将用于电工测量的仪器、仪表统称为电工仪表。

随着生产及科学技术的发展，电磁测量技术达到了较高的水平。电工测量仪器的准确度、灵敏度不断提高，测量范围不断拓宽。特别是在应用了电子技术和计算技术以后，电工测量技术正向着快速测量、小型化、数字化、多功能化、高准确度、高灵敏度、高可靠性和智能化等方面发展。

第一章 电工测量的一般知识

第一节 概 述

一、定 义

为了确定一个被测量，必须将被测量和作为测量单位的同类量进行比较这种比较的过程叫做测量。将被测的电量或磁量，与作为测量单位的同类电量或磁量进行比较，以确定其量的过程叫做电工测量。

任何电气设备都有额定值等一些技术指标要求。如果电机和电器中的电流超过其额定电流，其使用期限就会缩短，甚至被烧坏。如果载流导线间绝缘材料的漏电阻小于其额定值，则会发生漏电现象。甚至造成短路故障。可见，使用电气设备时，不能不注意其电工量的数量。电工测量的应用是非常广泛的，确定电磁现象中各种量的关系，了解电气设备的特性和运行情况，以及在电气设备的制造和维修过程中，都离不开电工测量。

由此可见，正确掌握电工测量的基本知识和技能是十分重要的。

学习“电工测量”的基本方法，是理论联系实际的方法。一方面我们要认真读书，掌握各种常用仪表（电压表、电流表、瓦特表、万用表、兆欧表和电桥等）测量电工量的基本原理；另一方面，要重视实践，在实践过程中掌握各种

常用电工仪表的使用方法。

二、分 类

任何测量都包括测量对象（即被测量）、测量方法和测量设备三个方面，电工测量也是这样。

常用的测量方法有两种：

（1）直接测量 用弹簧称测量物体的重量，用电流表测量电流被测量（重量、电流）的大小和单位可以直接在弹簧称或电流表上读出，这样的测量方法就是直接测量法。其优点是简便、迅速、应用较广；缺点是测量准确度较差。

（2）比较测量 用天平测物体的质量，就是将未知的质量与标准的质量（即砝码）进行比较。在电工测量中，也用到这种将未知量与同种的标准量进行比较的测量方法——比较测量法。例如用电桥测量未知电阻。其优点是准确度高；缺点是手续比较复杂、费时。此法常用于精密的测量中。

进行测量时所用的工具就是测量设备。电工测量的主要设备有两类：

（1）电工仪表 根据测量方法的不同，有直读仪表和较量仪器两种。

（2）度量器 这是测量单位的实物样品。

我国生产的度量器有：BC型标准电池（B—标，C—池），BZ型标准电阻（Z—阻），BG型标准电感（G—感）和BR型标准电容（R—容）等。它们在比较测量中用作标准量。

在使用度量器以前，一定要了解它们的技术数据，注意它们的容许功率，电流或电压。

第二节 直读仪表的分类和符号

直读仪表的种类很多，选用时应了解它们的分类和标志符号。

一、根据仪表的作用原理来分

直读仪表按作用原理分类见表 1-1。

表1-1 直读仪表按作用原理分类

作用原理	型 号 表 示	符 号
磁电系	C	
电磁系	T	
电动系	D	
感应系	G	
静电系	Q	
整流系	(磁电系 + 整流器)L	

[注] 根据 GB7676.1~7676.9—87 国家标准，直读仪表应称为直接作用模拟指示电测量仪表。

续上表

热电系	(磁电系 + 热电变换器)	
电子系	(磁电系 + 电子管)	
	(磁电系 + 晶体管)	

二、根据工作电流分

直流表 —;

交流表 ~;

交直流表 ≈。

三、根据使用方式分

安装式 (又叫配电盘式, 或称开关板式);

可携式 (又叫携带式);

安装式仪表通常是固定安装在开关板或某一电气装置的面板上, 其准确度较低, 但过载能力较强, 造价较低; 可携式仪表便于携带, 一般常在室外或实验室使用, 其准确度较高, 但过载能力较差, 造价较贵。

四、按仪表的防御外磁场和电场的性能分

直读仪表按其防御外界磁场或电场的性能, 分为 I、II、III、IV 四个等级。I 级仪表在外磁场或外电场的影响

下,允许其指示值改变 $\pm 0.5\%$;Ⅱ级仪表允许改变 $\pm 1.0\%$;Ⅲ级仪表允许改变 $\pm 2.5\%$;Ⅳ级仪表允许改变 $\pm 5.0\%$ 。

五、按仪表的使用条件分

直读仪表按其使用条件可分为A、A₁、B、B₁、C五组,各组的工作条件和最恶劣条件如表1-2所示。

表1-2 仪表的使用条件分类表

环境条件参数		分类组别		A组	A ₁ 组	B组	B ₁ 组	C组
工作条件	温度	0~+40°C		-20~+50°C		-40~+60°C		
	相对湿度(当时温度)	95% (+25°C) 85% (+25%)		95% (+25°C) 85% (+25°C)		95% (+25%)		
	霉菌、昆虫	有		没有		有		
	盐雾	没有		①		没有		
	凝露	有		没有		有		
	尘砂	有(轻微)		有(轻微)		有(轻微)		
最恶劣条件	温度	-40~+60°C		-40~+60°C		-50~+60°C		
	相对湿度(当时温度)	95% (+35°C) 95% (+30°C)		95% (+30°C) 95% (+30°C)		95% (+60°C)		
	霉菌、昆虫	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		
	尘砂	有(在包装条件下)		有(在包装条件下)		有		

①订货方提出要求时应能耐盐雾影响。

从上表可见, A、B组可用于室内, C组则要求较高, 可

用于室外或船舰、飞机、车辆上。

六、按仪表的准确度等级分

直读式仪表按准确度等级可分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5等七级。一般0.1级和0.2级的仪表用作标准仪表，0.5级至1.0级的仪表用于实验室测量，1.5级至5级的仪表用于安装式。

七、根据被测量的名称（单位）分

电流表（安培表A、毫安表mA、微安表 μA ）；

电压表（伏特表V、毫伏表mV）；

功率表（瓦特表W）；

高阻表（兆欧表 $M\Omega$ ）；

欧姆表（ Ω ）；

电度表（瓦时表kWh）；

相位表（ φ ）；

频率表（Hz）。

八、按仪表的工作位置分

直读式仪表可分为水平使用和垂直使用。

以上介绍的直读仪表的分类方法，实际上是通过不同的角度来反映仪表的技术性能。通常，在直读仪表的表面上都标有一些符号来说明上述各种技术性能。

第三节 直读仪表的组成及工作原理

一、仪表的组成

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，直读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过渡电量，如电压表的附加电阻，电流表的分流电阻等都是测量线路。

测量机构是直读仪表的核心部分，仪表的指针偏转角是靠它实现的。

电气测量仪表的组成可以用图1-1的方框图表示。

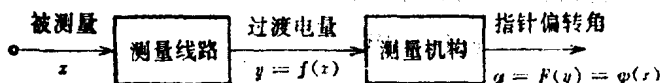


图1-1 直读仪表组成方框图

二、直读仪表的结构及工作原理

仪表的测量机构可以分为二个部分，即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。

常用的几种直读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的转动力矩。