

国家机械工业委员会统编

电工测量

(初中级内外线、维修电工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

93

本书主要叙述常用电工测量仪器和仪表的结构、工作原理和使用方法,使初级和中级电工能够了解常用电工测量仪器和仪表的基础知识,并掌握基本的测量技术,亦可供初级技术人员和其他工种的工人学习与参考。

书中标有“*”的内容和习题,是中级电工的教学内容(第三章中的一部分及第四章)。本书是按初级工和中级工各讲授30课时来编写的。

本书由南京汽轮机厂程野平、廖群编写,由南京市电机电器工业公司闵大毅、南京金陵职业大学刘官臣、黄厚国审稿。

电 工 测 量

(初中级内外线、维修电工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑:边 萌

责任校对:张 佳

封面设计:林胜利 方 芬

版式设计:张伟行

责任印制:张俊民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄峭里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国铁道出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $5^{1/8}$ ·插页1·字数113千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001-45,000 ·定价 2.40元

ISBN 7-111-01119-8/TM · 149

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 概述1

第一节 电工测量的重要性及方法1

第二节 常用电工仪表的分类及符号的意义2

复习题10

第二章 常用电工仪表11

第一节 指示仪表的一般原理11

第二节 磁电系仪表12

第三节 电磁系仪表17

第四节 电动系仪表22

第五节 感应系仪表25

第六节 整流系仪表29

第七节 数字式仪表31

复习题35

第三章 测量技术37

第一节 电流的测量37

第二节 电压的测量43

第三节 功率和电能的测量49

第四节 电阻的测量59

第五节 功率因数和频率的测量71

第六节 万用表的使用75

第七节 操作实例85

第八节 减少测量误差的方法87

第九节 电工仪表的合理选择、正确使用和维护保养90

复习题	94
第四章 常用电子测量仪器	96
第一节 正弦信号发生器	97
第二节 脉冲信号发生器	103
第三节 通用电子计数器	105
第四节 通用示波器	117
第五节 晶体管测试仪	143
第六节 仪器的维护和保养	156
复习题	157

第一章 概 述

第一节 电工测量的重要性及方法

电工测量的任务，是借助各种仪器仪表，对电流、电压、电功率、电能等电量进行测量，以便了解和掌握电气设备的特性或运行状况。例如，要防止某电气设备过载运行，可以用电流表监测其电流的大小；要了解某电路的耗电量，可以用电度表测量其电能的大小。此外，一些非电量，如温度、压力、位移等，也可以利用换能器，将它们转变为电量后再进行测量。在我国，电能是一种主要的动力来源，对电能的利用遍及各行各业、各个领域，所以，电工测量的范围极为广泛。广大电气工人必须正确地掌握电工测量这一工作手段，才能确保各种电气设备正常安全地运行。

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，就是将被测电量和作为比较单位的同类电量进行比较，以确定被测电量的值。电工测量的方法可分为直读法和比较法两类。直读法测量是利用指示仪表直接读取被测电量的值。例如用电流表测量电流，用电压表测量电压等。直读法从表面上看似乎没有标准量参与比较，但由于直读法中使用的指示仪表在生产和校正时必须借助于标准仪表，因此，在直读法中，被测量和标准量的比较是间接进行的。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。比较法测量是将被测量和标准量在较量仪器中进行比较，以确定被测量的值。例如用电桥测量电阻等。用比较法测量时，被测量和标准量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，将指示仪表简称为仪表；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。

第二节 常用电工仪表的分类及符号的意义

一、电工仪表的分类

电工仪表的种类繁多，分类方法也各有所异。按照电工仪表的结构和用途，大体上可分为三类。

1. 指示仪表类 指示仪表是应用最为广泛的一类电工仪表。各种交、直流电压表和电流表以及万用表等，大多为指示仪表。指示仪表的特点是，将被测电量转换为驱动仪表可动部分偏转的转动力矩，以指针偏转的大小反映被测电量的大小，使操作者可以从标度尺上直接读数。所以，指示仪表是一种直读式仪表。

2. 较量仪器类 较量仪器是利用直接比较方式进行测量的仪器。如各类交、直流电桥、电位差计等。较量仪器一般用于高精度测量或校对指示仪表。

3. 其他电工仪表 除了指示仪表和较量仪器这两大类之外，常见的电工仪表还有数字式仪表、记录式仪表以及一些用于扩大仪表量程的装置，如分流器、测量用互感器等。

二、指示仪表的分类

由于指示仪表种类繁多，故又将它们按下列八种方式进行分类。

1. 按仪表的工作原理分类 指示仪表按工作原理可分

为磁电系、电磁系、电动系、感应系、整流系、静电系等。

2. 按仪表的测量对象分类 指示仪表按测量对象的不同可分为电压表、电流表、功率表、频率表等。

3. 按仪表的工作电流分类 指示仪表按工作电流的种类可分为直流仪表、交流仪表和交直流两用仪表。

4. 按仪表的准确度等级分类 指示仪表按准确度等级可分为七级，如表 1-1 所示。仪表的准确度反映仪表的基本误差范围。一般0.1级和0.2级的仪表用作标准仪表，0.5级至1.5级的仪表用于实验室测量，1.5级至5.0级的仪表用于工程测量。

表1-1 指示仪表的准确度等级分类表

仪表的准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差(%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

5. 按仪表的使用方式分类 指示仪表按其使用方式可分为安装式仪表和可携式仪表。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。

6. 按仪表的使用条件分类 指示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。

7. 按仪表防御外界磁场或电场的性能分类 指示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±0.5%；Ⅱ级仪表允许改变±1.0%；Ⅲ级仪表允许改变±2.5%；Ⅳ级仪表允许改变±5.0%。

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℃		-20~+50℃		-40~+60℃
	相对湿度 (当时温度)		95% (+25℃)	85% (+25℃)	95% (+25℃)	85% (+25℃)	95% (+25℃)
	霉菌、昆虫		有	没有	有	没有	有
	盐雾		没有	没有	①	没有	①
	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% (+25℃)	95% (+30℃)	95% (+25℃)	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 订货方提出要求时应能耐受盐雾影响。

8. 按仪表外壳的防护性能分类 指示仪表按其外壳的防护性能，可分为普通式、防尘式、防溅式、防水式、水密式、气密式、隔爆式七种。其中，普通式外壳应能保护仪表和附件的测量机构或工作部分不受脏物与昆虫等的侵害及机械损伤，外壳上允许具有散热气孔；防尘式外壳应能防止灰尘进入外壳内部；防溅式外壳应能防止雨水溅入外壳内部；隔爆式外壳应能防止仪表内部发生的爆炸扩展到壳外的空间去。

以上介绍的指示仪表的八种分类方法，实际上是通过不同的角度来反映仪表的技术性能的。通常，在指示仪表的标度盘上都标有一些符号来说明上述各种技术性能，常用的符号及其意义可参见表1-3。

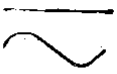
表1-3 电气测量指示仪表的符号

(1) 测量单位的符号					
名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
千 安	kA	千 乏	kvar	功率因数	cosφ
安〔培〕	A	乏	var	无功功率因数	sinφ
毫 安	mA	兆 赫	MHz	库〔仑〕	C
微 安	μA	千 赫	kKz	毫 韦	mWb
千 伏	kV	赫〔兹〕	Hz	毫韦/米 ² 毫特〔斯拉〕	mWb/m ² mT
伏〔特〕	V	太 欧	TΩ	微 法	μF
毫 伏	mV	兆 欧	MΩ	皮 法	pF
微 伏	μV	千 欧	kΩ	亨〔利〕	H
兆 瓦	MW	欧〔姆〕	Ω	毫 亨	mH
千 瓦	kW	毫 欧	mΩ	微 亨	μH
瓦〔特〕	W	微 欧	μΩ	摄氏温度	℃
兆 乏	Mvar	相位角	φ		

(2) 仪表工作原理的符号			
名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		电动系比率表	

(续)

(2) 仪表工作原理的符号			
名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系比率表		铁磁电动系仪表	
电磁系仪表		感应系仪表	
电磁系比率表		静电系仪表	
电动系仪表		整流系仪表	

(3) 电流种类的符号			
名 称	符 号	名 称	符 号
直流		具有单元件的三相平衡负载交流	
交流(单相)		具有两元件的三相不平衡负载交流	
直流和交流		具有三元件的三相四线不平衡负载交流	

(续)

(4) 准确度等级的符号	
名 称	符 号
以标度尺上量限百分数表示的准确度等级, 例如1.5级	1.5
以标度尺长度百分数表示的准确度等级, 例如1.5级	
以指示值的百分数表示的准确度等级, 例如1.5级	
(5) 工作位置的符号	
名 称	符 号
标度尺位置为垂直的	
标度尺位置为水平的	
标度尺位置与水平面倾斜成一角度, 例如60°	
(6) 绝缘强度的符号	
名 称	符 号
不进行绝缘强度试验	
绝缘强度试验电压为500V	
绝缘强度试验电压为2kV	

(续)

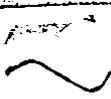
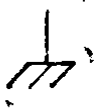
(6) 绝缘强度的符号	
名 称	符 号
危险 (测量线路与外壳间的绝缘强度 不符合标准规定, 符号为红色)	
(7) 按外界条件分组符号	
名 称	符 号
I 级防外磁场 (例如磁电系)	
I 级防外电场 (例如静电系)	
I 级防外磁场及电场	
II 级防外磁场及电场	
III 级防外磁场及电场	
A 组仪表	
A _I 组仪表	
B 组仪表	

(续)

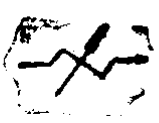
(7) 按外界条件分组符号

名 称	符 号
B ₁ 组仪表	
C组仪表	

(8) 端钮和调零器的符号

名 称	符 号
负端钮	
正端钮	
公共端钮(多量限仪表)	
交流端钮	
电源端钮(功率表, 无功功率表, 相位表)	
接地用的端钮(螺钉或螺杆)	
与外壳相连接的端钮	
与屏蔽相连接的端钮	

(续)

(8) 端钮和调零器的符号	
名 称	符 号
与仪表可动线圈连接的端钮	
调零器	

复 习 题

- 1. 指示仪表和较量仪器有什么区别？
- 2. 指示仪表有哪些种类？说明图1-1所示电流表标度盘上的符号
是什么意思？

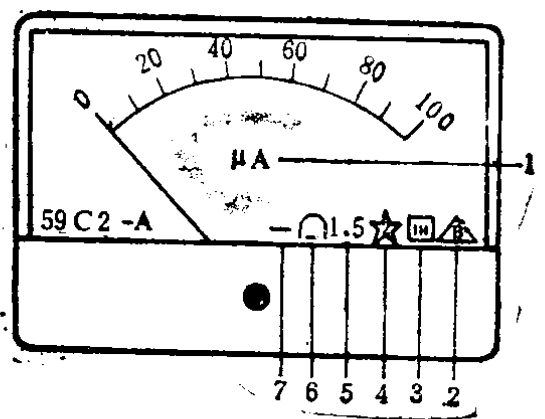


图1-1 59C2-A型电流表标度盘符号

第二章 常用电工仪表

第一节 指示仪表的一般原理

指示仪表由测量机构和测量线路组成，其核心是测量机构。测量机构可分为固定部分和可动部分，在工作时主要产生三个力矩。

一、转动力矩

测量机构在与被测电量有关的电磁能量作用下，产生转动力矩，驱动可动部分（包括指针在内）偏转。转动力矩可由电磁力、电动力、电场力或其他力产生。根据产生转动力矩的不同方式和原理，可构成不同系列的指示仪表，如磁电系、电磁系、电动系等等。

二、反作用力矩

仪表的可动部分在转动力矩作用下产生偏转时，测量机构中的游丝或其他控制装置，便产生与偏转角成正比的反作用力矩。反作用力矩的方向和转动力矩的方向相反，其作用是平衡转动力矩。如果只有转动力矩，没有反作用力矩，则仪表的指针在大小不等的被测电量作用下，都要偏转到最终位置；这样的仪表只能反映被测电量的有无，不能反映被测电量的大小。而有了反作用力矩，则当转动力矩和反作用力矩完全相等时，可动部分由于力矩平衡而不再偏转，这时，偏转角的大小就能反映被测电量的大小。