



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

电工仪表与 电路实验技术

● 马鑫金 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

电工仪表与电路实验技术

马鑫金 编著

机械工业出版社

本书是《电路》、《电路原理》等相关教材的配套用书。本书结合电路原理课程中的相关知识和实验内容,从与电路理论相关的角度出发,采用较多篇幅介绍电工仪表的结构、特点和工作原理,并在此基础上,较系统地介绍了电工测量知识和电路实验技术。对于目前普遍运用的电子设计自动化(EDA)技术中的仿真实验,介绍了 Multisim7 软件的使用方法。最后用不多的篇幅将相关电路实验组合为基础性实验、综合型实验和电工仪表测量实验3个板块,以便教学中对实验有充分的选择,有利于学生实践能力的提高。

图书在版编目(CIP)数据

电工仪表与电路实验技术/马鑫金编著. —北京:机械工业出版社, 2007. 8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

ISBN 978 - 7 - 111 - 21972 - 9

I. 电… II. 马… III. ①电工仪表 - 高等学校 - 教学参考资料②电路 - 实验 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. TM93
TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 113775 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王保家 版式设计:冉晓华 责任校对:姚培新

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.25 印张 · 276 千字

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 21972 - 9

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

《电工仪表与电路实验技术》一书，是为配合高校本科电类专业电路和电路原理等课程的实践教学而编写的。由于教育理念的提升，人才质量观念的转变，教学方法与手段的改革，高等教育要求培养有坚实的理论基础，有严格的工程技术训练，能够理论联系实际，具有解决工程实际问题能力的人才，因而对实践类教材也提出了新的要求。目前，国内的电路实践类的新教材较少，本书希望能够填补一部分空缺。

本书的宗旨是提高学生的综合素质，以培养创新精神为目的，着力于实践能力培养。从培养工程素质的人才为出发点，培育学生理论联系实际的能力，锻炼学生的动手能力、分析问题和解决问题的能力。

本书涉及电路基础实验、电路综合实验和电工仪表测量实验的内容。第1、2章从电路原理角度出发，重点介绍常用指针式、数字式仪表的结构、原理和特点。要求不仅会用电工仪表进行实验中的测量，而且要知“其所以然”，知道各种仪表测量的相应原理，提高测量技能。本书第3章介绍了实验数据处理的一般方法和误差分析的一般方法。在实验前希望对这3章内容有所了解，才能在实验中收到事半功倍的良好效果。

本书将实验分为基础性实验、综合型实验和电工仪表测量实验3大类。所有实验只提出目的、任务、要求，实验电路一般要求自拟完成，因此，实验前必须充分预习相关内容。

由于在综合型实验中涉及了电子设计自动化(EDA)方面的内容，因此本书在第6章详细介绍了Multisim7软件在电路实验中的运用，有兴趣的同学可以提前进入该领域。

诸如实验室安全操作、实验前预习、实验电路的拟定、分析和总结实验数据、正确撰写实验报告、论文书写的一般方法等，在本书的第7章作了详细介绍。

本书在附录B中介绍了实验平台提供的各项参数，以便在预习报告中确定电路的参数。希望实验前认真阅读本书有关章节，祝愿实验后有所收获。

书中难免有疏漏之处，望读者指正。

作 者

目 录

前言

第1章 电工仪表的分类和指针式

电工仪表 1

1.1 电工测量与电工仪表 1

1.1.1 电工测量 1

1.1.2 常用电工仪表的分类 1

1.2 指针式仪表 2

1.2.1 指针式仪表的组成 2

1.2.2 指针式仪表测量机构的基本 工作原理 3

1.2.3 指针式仪表表盘上常用的符号及 意义 5

1.3 指针式仪表的主要技术指标 7

1.3.1 指针式仪表的准确度 7

1.3.2 指针式仪表的灵敏度和仪表 常数 8

1.3.3 指针式仪表的功耗 8

1.3.4 指针式仪表的标尺特性 8

1.3.5 指针式仪表的阻尼时间 9

1.4 磁电系仪表 9

1.4.1 磁电系仪表测量机构的结构及 工作原理 9

1.4.2 磁电系仪表测量机构的特点 11

1.4.3 磁电系仪表的应用 11

1.5 电磁系仪表 12

1.5.1 电磁系仪表测量机构的结构及 工作原理 12

1.5.2 电磁系仪表测量机构的特点 13

1.5.3 电磁系仪表的应用 13

1.6 电动系仪表 14

1.6.1 电动系仪表测量机构的结构及 工作原理 14

1.6.2 电动系仪表测量机构的特点 15

1.6.3 电动系仪表的应用 15

1.6.4 电动系仪表使用时的注意事项 16

1.6.5 铁磁电动系功率表简介 17

1.7 整流系仪表 17

1.7.1 整流系仪表测量机构 17

1.7.2 整流系仪表的应用 18

1.7.3 常见指针式系列仪表技术指标 比较 18

1.8 磁电系比率表 18

1.8.1 磁电系比率表测量机构和绝缘 电阻表工作原理 18

1.8.2 绝缘电阻表的特点 20

1.8.3 绝缘电阻表的使用 20

1.9 指针式万用表 21

1.9.1 指针式万用表的结构及工作 原理 21

1.9.2 指针式万用表的特点 24

1.9.3 MF47 型指针式万用表简介 24

第2章 现代电工仪表 26

2.1 电工仪表的数字化测量技术 26

2.1.1 电工仪表的数字化及 A/D 转换器 26

2.1.2 逐次逼近型 A/D 转换器 27

2.1.3 双积分型 A/D 转换器 28

2.1.4 $\Sigma-\Delta$ 型 A/D 转换器 30

2.1.5 脉冲调宽型 A/D 转换器简述 31

2.2 数字式直流电压基本表 32

2.2.1 数字式直流电压基本表组成 32

2.2.2 数字式直流电压基本表的 A/D 转换电路 33

2.2.3 逻辑控制电路 33

2.2.4 显示器 34

2.3 便携式数字式万用表原理 35

2.3.1 典型 $3\frac{1}{2}$ 位数字式电压基本表

的 7106 集成电路	35	第 4 章 电路基本电量的测量	67
2.3.2 多量程数字式直流电压表		4.1 电压、电流的测量	67
测量原理	36	4.1.1 电压和电流的波形和分挡	67
2.3.3 多量程数字式直流电流表		4.1.2 用直读式仪表测量	68
测量原理	37	4.1.3 用直流电位差计精确测量	68
2.3.4 线性整流和数字交流量的		4.1.4 用真有效值表测量交流电量	69
测量原理	38	4.2 非正弦电量的测量	70
2.3.5 多量程数字式电阻表测量		4.2.1 利用谐波分析法测量非正弦	
原理	39	电流和电压	70
2.4 数字式万用表简介	40	4.2.2 仪表测量非正弦周期电流和	
2.4.1 数字式万用表的基本技术指标	40	电压	71
2.4.2 数字式万用表的其他技术指标	41	4.3 高电压和大电流的测量	71
2.4.3 国产便携式数字式万用表简介	42	4.3.1 用电压互感器测量高电压	71
2.5 智能式电工仪表	43	4.3.2 大电流的测量	72
2.5.1 智能式仪表概述	43	4.4 功率的测量	75
2.5.2 智能式电工仪表结构	44	4.4.1 单相功率的测量	75
2.5.3 DMM 标准模块和基本表	47	4.4.2 三相功率的测量	76
2.6 DMM	48	4.4.3 三相无功功率的测量	79
2.6.1 DMM 结构	48	4.4.4 数字式功率表简介	81
2.6.2 国外 DMM 简介	49	4.5 数字式功率因数表和频率表的简介	82
2.7 数字式电工仪表中常见的电气符号	51	4.5.1 数字式功率因数表简介	82
2.7.1 数字式多用表上常见的电气		4.5.2 数字式仪表的频率测量	82
符号	51	第 5 章 电路元件及参数测量	84
2.7.2 国际通用数字式电工仪表上		5.1 电阻元件简介	84
常见的电气符号	52	5.1.1 电阻的命名和分类	84
第 3 章 误差与数据处理	53	5.1.2 电阻的主要技术指标	85
3.1 仪表误差与准确度	53	5.1.3 电阻的标示法	86
3.1.1 误差的表示方式	53	5.2 电阻的测量	87
3.1.2 仪表准确度	54	5.2.1 中值电阻参数测量	87
3.2 测量误差	55	5.2.2 低值电阻的测量	88
3.2.1 测量误差的分类	55	5.2.3 高值电阻的测量	89
3.2.2 直接测量中由仪表引起的		5.2.4 常用测量电阻的方法和误差	
误差分析	55	范围	89
3.2.3 间接测量中由仪表引起的		5.3 电感元件简介	90
误差分析	57	5.3.1 电感的主要技术指标	90
3.3 减小测量误差的方法	59	5.3.2 含铁心（或磁心）线圈的特殊	
3.3.1 减小系统误差的方法	59	问题	91
3.3.2 随机误差和处理	61	5.4 电感参数测量	92
3.3.3 疏失误差和处理	62	5.4.1 电感的测量	92
3.4 实验数据处理	63	5.4.2 互感系数的测量	94
3.4.1 测量中仪表数据的读取	63	5.5 电容元件简介	95
3.4.2 有效数字的表示方法和运算	63	5.5.1 电容命名和介质代号	95
3.4.3 实验数据处理	65	5.5.2 电容的主要技术指标	95

5.5.3 电容的标示法	97	7.3.2 实验步骤与故障排除	121
5.6 电容参数测量	98	7.4 实验报告及论文书写	123
5.6.1 中值电容的测量	98	7.4.1 实验报告书写	123
5.6.2 数字式表测量电容	99	7.4.2 论文书写	124
第6章 Multisim7 软件应用简介	100	第8章 基础性实验任务书	127
6.1 软件主窗口及菜单栏	100	实验1 直流电路电流、电压和电位的 实验研究	127
6.1.1 软件特点	100	实验2 电路基本定理(一)——直流叠加 定理和替代定理研究	129
6.1.2 软件主窗口	101	实验3 电路基本定理(二)——戴维南定 理及诺顿定理研究	129
6.1.3 菜单栏	101	实验4 电路基本定理(三)——特勒根定 理与互易定理的研究	131
6.2 工具栏	104	实验5 一阶电路的暂态响应	132
6.2.1 系统工具栏和设计工具栏	104	实验6 二阶电路的暂态响应	133
6.2.2 两个重要按钮	104	实验7 正弦交流电路中的阻抗和频率 特性研究	136
6.2.3 图形注释工具栏	105	实验8 RC 、 RL 的相量轨迹和功率 因数提高	137
6.2.4 元件工具栏	105	实验9 正弦稳态谐振电路的研究	139
6.2.5 仪表工具栏	105	实验10 含耦合电感的电路研究	139
6.3 创建原理图	107	实验11 三相交流电路的研究	140
6.3.1 定制用户界面	107	实验12 线性无源二端口网络参数 测量	142
6.3.2 元件选取和放置	108	第9章 综合型实验课题	143
6.3.3 指示器件库	109	课题1 交流电路的应用设计	143
6.3.4 元件的编辑和连线	109	专题1 RC 选频网络及应用	143
6.4 虚拟仪表的使用	110	专题2 裂相(分相)电路	143
6.4.1 虚拟数字式万用表	110	课题2 运算放大器(多端元件)的应用 设计	145
6.4.2 函数信号发生器	110	专题1 运算放大器基本电路	145
6.4.3 功率表(瓦特表)	111	专题2 运算放大器电路应用(一)—— 负阻抗变换器和回转器的 设计	145
6.4.4 双线示波器	111	专题3 运算放大器电路应用(二)—— 旋转器设计	146
6.4.5 波特图计	113	课题3 非线性电阻电路及应用的研究	148
6.5 对电路的进一步编辑	114	专题1 非线性电阻电路	148
6.5.1 修改元件的参考序号	114	专题2 非线性电阻电路的应用—— 混沌电路	152
6.5.2 调整、删除元件和文字标注的 位置	114	第10章 电工仪表测量实验任务书	153
6.5.3 修改元件或连线的颜色	114	实验1 电工仪表测量方法的研究	153
6.5.4 电路的保存	115		
6.5.5 电路的复制和粘贴	115		
第7章 电路实验技术	116		
7.1 用电安全简述	116		
7.1.1 电对人体的伤害	116		
7.1.2 实验室安全防护和安全用电	117		
7.2 漏电保护和过电流保护	118		
7.2.1 漏电断路器的原理	118		
7.2.2 漏电断路器的选择	118		
7.2.3 过电流保护	119		
7.3 实验设计的基本方法和故障排除	120		
7.3.1 实验设计的基本方法	120		

实验 2 电路元件参数测量	153	A. 3 直流电流挡	159
实验 3 指针式仪表的校验	154	A. 4 直流电压挡	160
实验 4 正弦及非正弦电路	155	A. 5 交流电压挡	161
实验 5 三相交流电路功率测量	156	A. 6 电阻挡	162
课程设计 指针式万用表电路设计和 调试	157	附录 B 电工实验平台主要配置简介	163
附录	159	B. 1 实验模块简介	163
附录 A 指针式万用表电路的计算	159	B. 2 实验平台电源简介	168
A. 1 万用表的基本技术参数	159	B. 3 实验平台仪表简介	169
A. 2 万用表的各挡准确度	159	参考文献	172

第1章 电工仪表的分类和指针式电工仪表

1.1 电工测量与电工仪表

1.1.1 电工测量

电工测量是用被测的未知电量与同类标准电量进行比较的过程。其主要测量对象是电流、电压、功率、功率因数、相位、电能等。

对实际电路进行研究时，电工测量是必不可少的一门测量技术。电工测量常用的工具是电工仪表。电工仪表应具有测量迅速、构造简单、方便可靠等特点。若将电工仪表同其他设备组合起来，便能对生产过程进行测量和控制，从而实现生产自动化。随着生产和高新科技的发展，电工测量技术除用于测量电量外，也已日益广泛地应用于对非电量的测量，例如对温度、压力、转速、机械变形、加工精度等非电量的测量都已应用了相关的电工测量技术。

电工测量的方法可分为直读测量法和较量测量法两类，使用的仪表分别称为直读式仪表和较量式仪表。

常用的直读式仪表有指针式仪表和数字式仪表两大类。指针式仪表是传统的电工仪表，这种仪表测量具有结构简单、测量可靠等优点，但测量准确度不高；如今随着数字技术和大规模集成电路制造技术的发展，数字式仪表已广泛应用，因而使测量速度和准确度都极大提高。进入21世纪以来，微处理器已被引入电工仪表，从而产生了全新一代微机化智能式电工仪表。智能式电工仪表的主要特征是仪表内部含有微处理器（或单片机），它具有数据存储、运算和逻辑判断的能力，能根据被测参数的变化自动选择量程，可实现自动校正、自动补偿，以至实现远距离传输数据、遥测遥控等功能。智能式电工仪表是电工测量仪表的发展方向。

较量式仪表是根据比较法来实现测量的仪表。在测量中将被测量与标准量在较量器中进行反复比较，以确定被测量的值。这种仪表准确度高，但测量时操作比较复杂，测量速度也比较慢，常用于精密测量。目前常用的较量式仪表是电位差计和电桥。

1.1.2 常用电工仪表的分类

1. 指针式仪表

指针式仪表简称为指针表，是目前电工测量中广泛应用的一类电工仪表。其特点是将被测电量转换为驱动仪表机械转动部分的转动力矩，以带动指针偏转的角度来反映被测电量的大小，操作者可从仪表表盘的标度尺上直接读数。

指针表由于种类繁多，又常按以下几个方面分类：

- 1) 按被测电量可分为电流表、电压表、功率表与频率表等。
- 2) 按工作原理可分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、整流系等。

3) 按工作电流可分为直流电流表、交流电流表、交直流两用电流表等。

4) 按准确度等级可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0，共 7 级。一般 0.1 级和 0.2 级的仪表用于标准仪表，0.5 级~1.5 级的仪表用于实验室测量，1.5 级~5.0 级的仪表用于工程测量。

5) 按使用方式可分为安装式仪表和便携式仪表。

6) 按使用条件可分为 A、A1、B、B1、C，共 5 组。

7) 按防御外界磁场或电场的性能可分为 I、II、III、IV，共 4 个等级。

8) 按外壳防护性能可分为普遍式、防尘式、防溅式、防水式、水密式、气密式、隔爆式 7 种。

2. 数字式仪表

数字式仪表简称为数字表。数字表是采用数字化技术，把被测电量转换成电压信号，并以数字形式直接显示。它主要通过模拟量/数字量 (A/D) 转换来测量随时间连续变化的电量。其显示位数一般为 4~8 位，若最高位只能显示 0 或 1 字，则称为半位，写成“1/2”位。

数字表目前有两大类，即普通数字表和智能式数字表，两者的区别在于内部是否有微处理器。

数字表也常按被测量物理量来分类，如测量电压的数字电压表、测量频率的数字频率表等。

数字表还常按显示单元的“位数”来分类，如对于常用的数字万用表共有 5 个显示单元，因其最高只能显示“0”或“1”，故称为“4 $\frac{1}{2}$ 位”数字万用表。近来有一部分数字表的显示单元用 3000 字、4000 字、5000 字作显示单元的“位数”，分别表示最高显示为 2999、3999、4999。

数字表将在第 2 章中专门介绍。

3. 较量式仪表

较量式仪表如电位差计、电桥等，其与直读式仪表的测量原理不同，它是根据比较法来实现测量的目的。在利用这种仪表进行测量时，尽管它也用直读式仪表的测量机构作为参照，将被测量与已知标准量进行比较，但最终确定被测量的大小不依靠仪表的读数。其测量误差很容易做到低于万分之一。由于大部分较量式仪表在测量中对测量的环境（如温度、湿度等）等指标要求非常高，因此除电位差计和电桥外，其他较量式仪表平时较少采用。

1.2 指针式仪表

1.2.1 指针式仪表的组成

指针式仪表主要由测量机构和测量电路组成，配上读数装置就可以由仪表指针的偏转指示来取得测量值。

1. 测量机构

指针式仪表的测量机构是一个接受电量后产生偏转运动的机构。它能将被测电量转换成

仪表可动部分的偏转角，并在转换过程中保持接受的电量和产生的偏转角成函数关系。测量机构大都由固定部分（磁铁或线圈）和可动部分（线圈或软磁铁片）两大部分组成，这两部分通过电磁力的相互作用来产生转动力矩带动指针偏转以指示电量，故常称这类仪表为机电式电工仪表。

2. 测量电路

测量电路是把被测量 x （电流、电压、相位、功率等）转换为测量机构可以直接接受的过渡量 y （一般为电流），并保持一定变换比例的组合部分。测量电路通常由电阻、电感、电容等电子元器件组成。

同一种测量机构配合不同的测量电路，可组成多种测量仪表。指针式仪表的测量过程如图 1-1 所示。

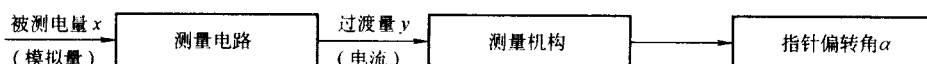


图 1-1 指针式仪表的测量过程

3. 读数装置

读数装置由指示器和标尺（又称刻度盘）组成。

指示器有指针式和光标式两种。指针式指示器的指针用铝或玻璃纤维制成，重量极轻。指针又分刀形和矛形。刀形指针要近观细看，多用于便携式仪表中，以利取得精确读数；矛形指针远看醒目，用于大、中型安装式仪表中，便于一定距离之外读取指示值。光标式指示器不用指针读取指示值，它借助于一套光学系统将测量机构的偏转角聚成一个光点射到刻度盘上来读取指示值，它可以完全消除视差，但结构复杂，只在一些高灵敏度、高准确度的仪表上才使用。

标尺是一块画有刻度的表盘，标尺可以是线性的（刻度均匀），也可非线性（刻度不均匀）。为减小视差，0.5 级以上的精密仪表通常在标尺下面安装一个反射镜（又称为镜子标尺），当看到指针和指针在镜子中的影像重合时才进行读数。

1.2.2 指针式仪表测量机构的基本工作原理

指针式仪表的测量机构从结构特点来说主要是由固定部分和可动部分组成，这两个部分通过电磁力的相互作用来产生作用力矩（转矩），构成驱动机构，给出偏转指示。为了与这个作用力矩取得平衡从而得到稳定偏转，在可动部分的转轴上必须装有反作用力矩装置。其产生的反作用力矩（也称为控制力矩）用于控制可动部分的偏转。反作用力矩装置一般由游丝、张丝、吊丝等组成。有些特殊仪表是用另一个通电流的线圈来产生反作用力矩。为了使仪表指针在测量中很快静止以便读数，还需要有阻尼装置。

可见，测量机构必须包含转矩装置、反作用力矩装置和阻尼装置 3 部分。除此以外，在结构上测量机构还要有支架、转轴、轴承、调零器等附件。

1. 转矩装置

为了使可动部分的偏转角反映被测电量的大小，测量机构必须具有产生转动力矩的装置。不同类型的仪表，产生转动力矩的原理和方式也不相同。例如，磁电系仪表是利用永久磁铁与通电线圈之间的电磁力产生转矩，而电动系仪表是利用两个通电线圈之间的电磁力产

生转矩。转动力矩 M 的大小与被测量 x (或过渡量 y) 及偏转角 α 之间必须满足某种函数关系, 即

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

2. 反作用力矩装置

仪表可动部分在转动力矩 M 作用下, 将带动指示器偏转。但是, 如果在仪表可动部分上只有转矩而无反作用力矩作用, 则不论被测量多大, 只要转动力矩 M 能克服可动部分的摩擦力矩, 都将使指示器一直偏转到尽头。所以, 没有反作用力矩的仪表只能反映被测量的有无, 而不能测量其大小。因此在可动部分的转轴上必须装设反作用力矩装置。

反作用力矩装置一般用游丝或张丝构成, 图 1-2 所示为用游丝产生反作用力矩的装置。当可动部分偏转时游丝被扭紧, 利用游丝的弹力 (或张丝的扭力) 产生反作用力矩。反作用力矩的方向总是与转矩相反, 而其大小在游丝的弹性变形范围内与可动部分偏转角 α 成正比。

当被测量一定时, 测量机构的转动力矩 M 也是一定的, 可动部分在这个力矩的作用下开始偏转。随着偏转角 α 的增大, 反作用力矩 M_a 也不断增大, 直到反作用力矩 M_a 与转动力矩 M 平衡, 此时可动部分不再偏转, 而稳定在一定的偏转角 α 上。即

$$M = M_a \quad (1-1)$$

当被测量增大时, 测量机构的转动力矩 M 也随之增大, 式 (1-1) 所示力矩平衡关系被破坏, 可动部分又开始转动而使偏转角 α 继续增大, 于是反作用力矩随之增大, 直到力矩达到新的平衡状态为止。这时可动部分稳定于一个较大的偏转角, 正好与被测量增大的数值相对应。这样达到了用偏转角 α 来表示被测量的目的。

以上所述利用游丝、张丝产生的反作用力矩, 属于机械反作用力矩, 在仪表中应用较多。此外, 有的仪表也用电磁力来产生反作用力矩, 如绝缘电阻表 (兆欧表) 等。

3. 阻尼装置

仪表通电后, 其可动部分就要偏转, 由于有惯性, 当偏转到 $M = M_a$ 的平衡位置时不能马上停下来, 而要继续偏转。这时由于反作用力矩大于转动力矩, 所以偏转速度将逐渐减慢。当最后减至零时, 可动部分已经超过了平衡位置, 因而反作用力矩大于转动力矩, 可动部分又将往回偏转, 使可动部分在平衡位置左右来回摆动, 而且要经过一段时间才能稳定在平衡位置上。为了减少可动部分摆动的时间以利尽快读数, 仪表中必须有阻尼装置, 用来消耗可动部分的动能, 即限制可动部分的摆动。常用的仪表阻尼装置有空气阻尼器和磁感应阻尼器两种, 两种阻尼器结构如图 1-3 所示。

图 1-3a 所示的空气阻尼器有一密闭小盒 (阻尼器盒) 1, 盒中的阻尼片 2 固定在仪表转轴上。当可动部分偏转时带动阻尼片运动, 由于盒中的阻尼片两侧空气压力差而形成了阻尼力矩。图 1-3b 所示为磁感应阻尼器。当可动部分偏转时, 带动阻尼片 3 在永久磁铁 4 的磁场内运动, 切割磁力线产生涡流。若阻尼片 3 向左运动, 则产生的涡流方向如图 1-4 中虚线所示, 在永久磁铁的磁场 B 和涡流相互作用下, 产生一个方向向右的阻尼力矩。

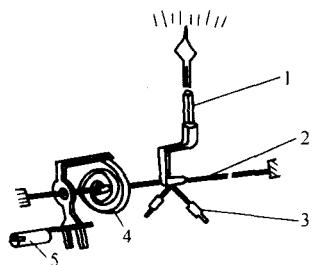


图 1-2 用游丝产生反作用力矩的装置
1—指针 2—轴 3—平衡锤
4—游丝 5—调零器

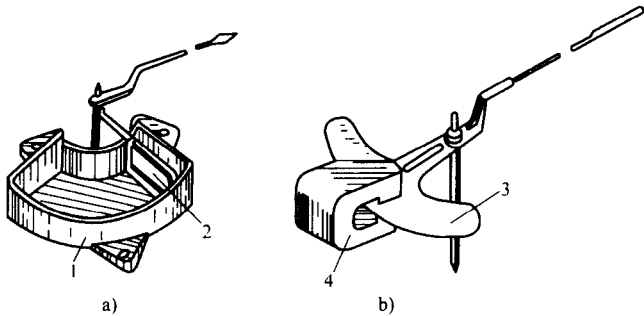


图 1-3 两种阻尼器结构
a) 空气阻尼器 b) 磁感应阻尼器
1—阻尼器盒 2、3—阻尼片 4—永久磁铁

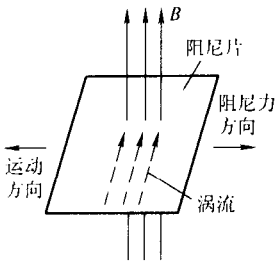


图 1-4 阻尼装置原理

需要指出，阻尼力矩只能在可动部分运动时才产生，它仅与可动部分的运动速度有关而与偏转角无关，即可动部分的稳定偏转角只由转动力矩和反作用力矩的平衡关系所确定，而与阻尼力矩无关。

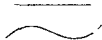
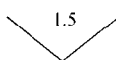
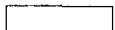
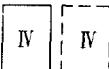
1.2.3 指针式仪表表盘上常用的符号及意义

指针式仪表实际上是通过仪表表盘上的不同符号来反映其技术性能的，通常在指针式仪表的表盘上标有一些特定符号来说明其各种技术性能。指针式仪表表盘上常用的符号及意义见表 1-1。

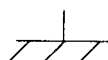
表 1-1 指针式仪表表盘上常用的符号及意义

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	
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	

(续)

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	
直流与交流		具有三元件的三相四线不平衡负载交流	
准确度等级的符号		工作位置的符号	
等 级	符 号	位 置	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	标度尺位置为垂直的	
以标度尺长度百分数表示的准确度等级 例如 1.5 级		标度尺位置为水平的	
以指示值的百分数表示的准确度等级 例如 1.5 级		标度尺位置与水平面倾斜成一角度 例如 60°	
绝缘强度的符号			
名 称	符 号	名 称	符 号
不进行绝缘强度试验		绝缘强度试验电压为 2kV	
绝缘强度试验电压为 500V		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)	
按外界条件分组符号			
名 称	符 号	名 称	符 号
I 级防外磁场(例如:磁电系)		III 级防外磁场及电场	
I 级防外电场(例如:静电系)		IV 级防外磁场及电场	
II 级防外磁场及电场		A 组仪表	

(续)

按外界条件分组符号			
名 称	符 号	名 称	符 号
A _I 组仪表		B _I 组仪表	
B 组仪表		C 组仪表	
端钮及调零器的符号			
名 称	符 号	名 称	符 号
负端钮		接地端	
正端钮		与外壳相连接的端钮	
公共端钮(多量限仪表)		与屏蔽相连接的端钮	
交流端钮		与仪表可动线圈连接的端钮	
电源端钮(功率表、无功功率表、相位表)		调零器	

1.3 指针式仪表的主要技术指标

通常对指针式仪表的主要技术要求包括足够的准确度、适当的灵敏度、良好的标尺特性、较小的阻尼时间、较少的功率损耗、较强的过载能力,还要求频率范围宽、绝缘耐压力强及工作环境(温度、湿度等)条件宽松等。

1.3.1 指针式仪表的准确度

指针式仪表的准确度,通常就是指仪表的准确度级别。它表示仪表在正确和正常使用下所具有的最大引用误差(将在第3章详细叙述),如1.0级、2.5级等。选用仪表的准确度要与测量所要求的准确度相适应,即根据实际需要和具体条件来选用相应准确度级别的仪表,而非一味追求准确度级别越高越好。例如测量三相交流电压,由于供电部门本身提供的参量是380V,误差为 $\pm 10\%$,故只要选用2.5~5.0级表就可以了,再选准确度高也就没有必要了,而且准确度高的表成本也必定会高。通常0.1级和0.2级仪表多用于标准仪表以校准其他工作仪表,0.5级、1.5级仪表可作为一般实验室用表。

1.3.2 指针式仪表的灵敏度和仪表常数

将指针式仪表的指针或光点偏转角的变化量与被测量的变化量之比称为仪表的灵敏度，其表达式为

$$S = d\alpha/dX \quad (1-2)$$

式中， S 是仪表灵敏度； α 是偏转角； X 是被测量。

由此可见，灵敏度取决于仪表的偏转性能，并与被测量性质有关，它是单位被测量的偏转角，它反映了仪表对被测量的反应能力，单位为格/A 或格/V。

常将灵敏度的倒数称为仪表常数，用 C 表示，即

$$C = 1/S$$

例如将 $1\mu\text{A}$ 电流通入微安表，若偏转 10 格，则其灵敏度 S 为 10 格/ $1\mu\text{A}$ 。仪表的偏转角一般为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 或 $0^\circ \sim 110^\circ$ 。在有限的偏转范围内，灵敏度越高就意味着量限越小。不同类型仪表其灵敏度有时相差很大。仪表灵敏度反映了仪表所能测量的最小被测量。对于测量同一被测量（如电压）的不同型号仪表，其结构不同，即使有相同的电压灵敏度也可能有不同的电流灵敏度，反之亦然。因此选用仪表时不要顾此失彼，应综合考虑，相互兼顾。

1.3.3 指针式仪表的功耗

当指针式仪表接入被测电路时，经测量电路和测量机构会消耗一些功率，这称为仪表功耗。功耗也是仪表的一个重要参数，它由仪表的类型和结构决定。当被测电路的功率不大时，仪表消耗的功率将会改变电路的工作状态，使所测得的量并非原来要测量的，因而带来很大的测量误差。这种测量误差并不是由于仪表示值不准确而引起的，所以它与仪表的准确度等级无关。仪表消耗的功率对电路的影响，通常可通过仪表内阻来表示：电流表用它们的满标电压降，电压表用满标的电流或每伏欧姆数表示。选择仪表时其内阻也是要考虑的一个主要因素：对于电流表应有尽可能小的内阻，对于电压表应有尽可能大的内阻；而功率表应具有以上两者的有利因素才能使功耗尽可能小。

总之，在选择实验仪表时，准确度、灵敏度和仪表的内阻要全面考虑。一味追求高准确度有时反而会使测量误差增大。为了尽可能减少功耗，关于仪表功耗的考虑也要因实际被测电路而定，有时可以不予考虑，而有时必须考虑。例如用电压表测稳压电源电压时，无论电压表的内阻抗值多少（或功耗多少），该电源电压不会因仪表功耗大小而有所改变；相反，若被测电路本身是高内阻抗小容量的，即使仪表功耗不太大，也会导致被测电路本身的参数的变化，而引起测量方法误差。

1.3.4 指针式仪表的标尺特性

由于各种系列的仪表结构和工作原理不同，指针式仪表的标尺刻度特性也不相同。标尺刻度有线性和非线性（或均匀和不均匀）两大类。非线性标尺刻度其不均匀性有按平方律的，也有按双曲函数规律的。标尺刻度的不均匀性，使得某些仪表刻度的起始部分无法准确读数，在这些部分往往成了无效区，有些仪表标尺在刻度左端或左右两端的有效区与无效区的分界处分格线上方打一个小圆点以示分界，如图 1-5b 所示。标尺刻度的不均匀也使指针落在刻度中间无法估读。图 1-5 所示为几种常见的指针式仪表的标尺特性。

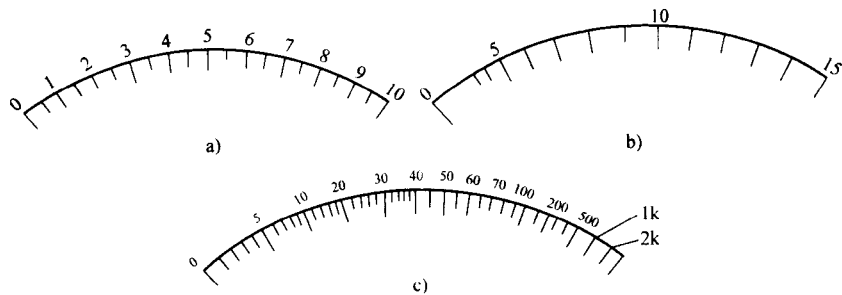


图 1-5 几种常见的指针式仪表的标尺特性
a) 均匀刻度标尺 b)、c) 不均匀刻度标尺

指针式仪表的标尺读数精度（即能够读得的有效数位数）是有规律的，以图 1-6 所示指针式仪表均匀标尺为例，从起始线到第 2 条刻度线以内（1 位区），可以读得 1 位有效数；从第 2 条刻度线到第 10 分格以内可读得 2 位有效数；从第 11 条刻度线到第 100 分格以内可读得 3 位有效数；从第 101 条线到第 1000 分格以内可读得 4 位有效数。依次类推可得规律，每增加至 10 倍分格数的范围内，将使读数精度增加 1 位，即“增十倍加一位”。这一规律仅与标尺分格疏密程度有关，而与仪表指示所代表的量值和测量单位无关。一般来说，指示仪表准确度越高就要求标尺读数精度也越高。

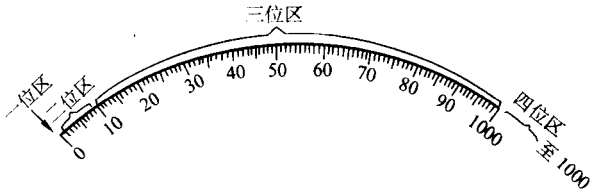


图 1-6 指针式仪表均匀标尺

1.3.5 指针式仪表的阻尼时间

阻尼时间是指仪表的指针或光点从被测量加入或去掉时的初始位置到最终距离稳定位置小于标尺全长 1% 时所需的时间。一般仪表为了读数迅速，其阻尼时间越短越好，通常规定不超过 4s，较好的仪表约为 1.5s。

1.4 磁电系仪表

1.4.1 磁电系仪表测量机构的结构及工作原理

1. 结构

磁电系仪表测量机构由固定的磁路系统和可动部分组成，如图 1-7 所示。仪表的固定部分是磁路系统，用它来得到一个较强的磁场。在永久磁铁 1 的两极，固定着极掌 6，两极掌之间是圆柱形铁心 4。圆柱形铁心固定在仪表的支架上，用来减小两极掌间的磁阻，并在极掌和铁心之间的空气隙中形成均匀辐射的磁场，即圆柱形铁心的表面，磁感应强度处处相等，且方向和圆柱表面垂直。圆柱形铁心与极掌间留有一定的空隙，以便可动线圈 5 在气隙中运动。

仪表的可动部分是用薄铝皮做成一个矩形框架，上面用很细的漆包线绕有很多匝线圈。转轴分成前后两个半轴，每个半轴的一端固定在动圈铝框上，另一端通过轴尖支承于轴承