

常用电工仪表 与电子仪器

华达刚 编



航空工业出版社

内 容 提 要

本书主要讲述常用电工仪表与电子仪器的结构原理、测试方法及使用知识。

全书共分八章,前五章较全面地介绍了包括数字电压表在内的常用电工仪表及仪器;后三章介绍了包括扫频仪在内的常用电子仪器。每章后均附有复习题。全书实用性强、物理概念清晰、难易程度适当、便于自学。

本书可作为中专电工类专业的专业基础教材及电气技术工人的培训教材,也可供有关工程技术人员及实验技术人员参考。

常用电工仪表与电子仪器

华达刚 编

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里14号)

——邮政编码: 100013——

全国各地新华书店经售

北京市同兴印刷厂印刷

1989年5月第1版

1989年5月第1次印刷

787×1092毫米1/16

印张: 16.4

印数: 1—3300

字数: 408千字

ISBN 7-80046-064-9/TH·008

定价: 3.30元



前 言

本书是根据电工类专业教学大纲，为提高学生的实践技能，培养应用型人才的要求而编写的，参考学时为80学时左右。

全书突出“常用”和“使用”两个方面。选材上力求常用，讲述上落实到使用。全书力求做到深浅合适、主次分明、详略得当，既注意原理结构，又注意实际使用。在内容的阐述上以物理概念为主、简明扼要、便于自学。书中带•号部分为选学内容，可根据不同专业，不同学制的需要加以选择。

本书由西安交通大学林学亮高级工程师审稿，还得到了西安电讯工程学院孙青、朱北宗两位副教授的评阅，他们都提出了不少修改意见和建议。全书图稿由西安航空工业技术专科学校贾克山讲师描绘。编者在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，不妥之处难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

1988年元月5日

目 录

前言

第一章 仪表的基本知识	1
第一节 电工仪表的分类	1
第二节 指示仪表的组成	5
第三节 仪表的误差及准确度	8
第四节 仪表的主要技术性能	11
复习题	13
第二章 电流表和电压表	15
第一节 磁电系仪表	15
第二节 电磁系仪表	27
第三节 电动系仪表	32
第四节 静电系仪表	36
第五节 测量用互感及钳型表	38
第六节 直流电位差计	43
第七节 数字电压表	45
复习题	51
第三章 万用表	53
第一节 万用表直流电流挡	53
第二节 万用表直流电压挡	58
第三节 万用表交流电压挡	60
第四节 万用表直流电阻挡	65
• 第五节 电平测量	69
第六节 万用表的使用	72
复习题	74
第四章 功率表和电度表	76
第一节 电动系功率表	76
第二节 低功率因数功率表	80
第三节 三相电路有功功率的测量	82
第四节 感应系电度表	85
第五节 三相有功电度表	90
复习题	91
第五章 参数测量仪表及仪器	93
第一节 兆欧表	93
• 第二节 接地电阻测量仪	97

第三节	直流单臂电桥	99
第四节	直流双臂电桥	101
第五节	交流电桥	104
复习题		111
第六章	电子管及晶体管电压表	113
第一节	模拟式电压表的结构特点	113
第二节	电压表的检波电路	115
• 第三节	放大-检波式电子管电压表	122
第四节	放大-检波式晶体管电压表	128
• 第五节	检波-直流放大式电子管电压表	131
复习题		140
第七章	电子示波器	142
第一节	概述	142
第二节	示波管	143
第三节	扫描与同步	147
第四节	SR8型二踪示波器	152
第五节	SBT-5同步示波器	172
复习题		182
第八章	晶体管特性图示仪和扫频仪	184
• 第一节	JT-1型晶体管特性图示仪	184
• 第二节	BT-3高频扫频仪	202
复习题		217
参考文献		217

第一章 仪表的基本知识

第一节 电工仪表的分类

一、电工仪表的分类

随着生产和科学技术的迅速发展, 电工仪表的品种愈来愈多, 分类方法也很多。根据仪表所用的测量方法的不同以及结构、用途等方面的特性, 通常可分为指示仪表、比较仪器、数字仪表和巡回检测装置、记录仪表和示波器、扩大量程装置和变换器等。

(一) 指示仪表

指示仪表的特点是将被测电量转换成仪表可动部分的机械角位移, 然后通过指示器直接指示出被测量的数值; 也就是把被测电量用与其相对应的机械量来表示。因此, 又称为电气-机械式或直读式仪表。

指示仪表具有结构简单、性能稳定、工作可靠、测量迅速、读数直观、使用维修方便等优点, 所以应用极为广泛、对应的规格品种繁多, 分类方法不一, 这里以目前常用的几种分类方法作一介绍。

1. 按指示仪表的工作原理分 有磁电系仪表、电磁系仪表、电动系仪表、感应系仪表、整流系仪表、静电系仪表以及振动系仪表等。
2. 按被测对象的名称分 有电流表、电压表、功率表、功率因数表、电度表、兆欧表以及频率表等。
3. 按被测电流的种类分 有直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。
4. 按使用方式分 有安装式仪表和可携式仪表两种。安装式仪表又称开关板式仪表(简称板式仪表), 使用时一般均固定安装在开关板上或某个电气装置的面板上。它的特点是过载能力强、造价低、测量精度低、误差大。可携式仪表又称实验室仪表, 一般不作固定安装而是根据测量需要可以任意搬动, 它的特点是携带方便测量精度高, 但过载能力低造价高, 被广泛用于电气试验、精密测量以及仪表检定中。
5. 按仪表的准确度等级分 有0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5共七级。目前还生产有0.05级的仪表, 尚未列入国家标准。
6. 按使用条件分 有A、B、C三组。A组仪表使用于环境温度为 $0^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$, 相对湿度在85%以下的条件; B组仪表使用于环境温度为 $-20^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$, 相对湿度在85%以下的条件; C组仪表使用于环境温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$, 相对湿度在98%以下的条件。

此外, 还可以根据仪表的防磁性能和外壳的保护作用等进行分类。

(二) 比较仪器

这类仪器用于比较法测量中, 包括直流比较仪器和交流比较仪器。属于直流比较仪器的有标准电池、标准电阻、分压箱、直流电桥以及直流电位差计等; 属于交流比较仪器的有标

准电容、标准电感、交流电桥以及交流电位差计等。

(三) 数字仪表和巡回检测装置

数字仪表是以逻辑控制来实现自动测量，并以数码形式直接显示出测量结果的仪表，如数字电压表、数字欧姆表等。数字仪表若加上选测控制系统就构成了巡回检测装置，可以实现对多种测量对象的远距离测试。

(四) 记录仪和示波器

记录仪和示波器是一种能测量和记录被测量随时间变化情况的仪表，如 X—Y 记录仪。这里所述的示波器不同于后面要分析的电子示波器，它是通过振动物子在电量作用下的振动，经过特殊的光学系统来显示波形的光线示波器。

(五) 扩大量程装置和变换器

用于扩大仪表量程的装置称为扩大量程装置。如常用的分流器、分压电阻、电流互感器、电压互感器等。用于实现不同电量之间的变换或将非电量转换成电量的装置，称为变换器，如将压力转换成电量的应变电阻。

二、电工仪表的标志

不同种类的电工仪表有不同的技术特性。为了便于选择和使用仪表，通常将其技术特性用不同的符号标志于仪表的面板上。根据国标规定，每台仪表应标有测量对象的单位、电流种类及相数、工作原理系别、准确度等级、工作位置、使用条件组别、绝缘强度试验电压的大小、防磁性能、仪表型号以及各种额定值的标志。现将有关电工仪表常用的标志符号列于表1—1，供参阅。

三、电工仪表的型号

电工仪表的产品型号是按规定的标准编制的，对于安装式和实验室仪表的型号各有不同的编制规则。

安装式仪表型号的基本组成形式如图1—1所示。形状第一位代号按仪表面板形状最大尺

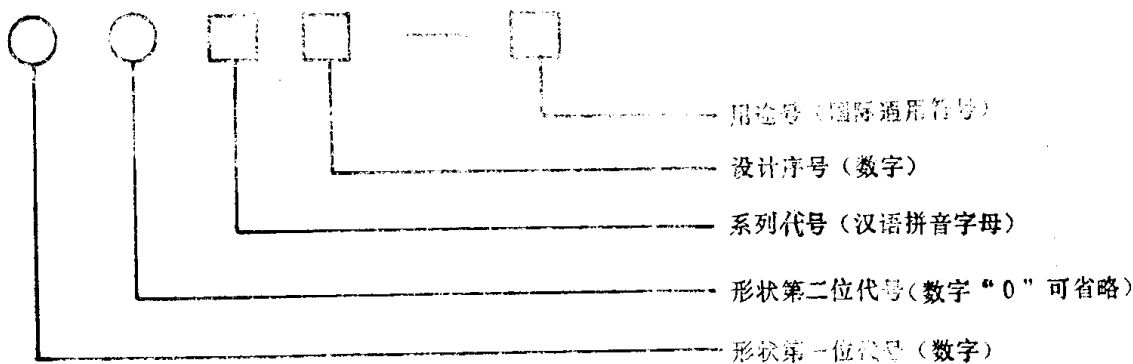


图 1—1

寸编，形状第二位代号按仪表外壳形状尺寸特征编，系列代号表示仪表的不同系列，如磁电系用C、电磁系用T、电动系用D、静电系用Q、整流系用L等来表示。例如62C—17—V型

表1—1—1 测量单位的符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
千安	KA	瓦特	W	功率因数	$\cos\varphi$
安培	A	千乏	Kvar	无功功率因数	$\sin\varphi$
毫安	mA	乏尔	Var	毫韦伯	mWb
微安	μA	千赫	KHz	微法	μF
千伏	KV	赫芝	Hz	微微法	pF
伏特	V	兆欧	M Ω	亨	H
毫伏	mV	千欧	K Ω	毫亨	mH
微伏	μV	欧姆	Ω	微亨	μH
千瓦	KW	相位角	φ		

表1—1—2 仪表工作原理的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		铁磁电动系仪表	
磁电系比率表		感应系仪表	
电磁系仪表		静电系仪表	
电动系仪表		整流系仪表	

表1—1—3 电流种类的符号

名 称	符 号	名 称	符 号
直 流	—	直流和交流	
交流(单相)	~	三相交流	

表1—1—4 准确度等级的符号

名 称	符 号
以标尺量限的百分数表示准确度等级, 例如1.5级	1.5
以标尺长度的百分数表示准确度等级, 例如1.5级	
以指示值的百分数表示准确度等级, 例如1.5级	

表1—1—5 工作位置的符号

名 称	符 号
垂 直 放 置	
水 平 放 置	
倾 斜 60°放 置	

表1—1—6 绝缘强度符号

名 称	符 号
不进行绝缘强度试验	
绝缘强度试验电压为2KV	

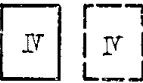
表1—1—7 端钮、调零器的符号

名 称	符 号	名 称	符 号
负 端 钮		与外壳连接的端钮	

续表

名 称	符 号	名 称	符 号
正 端 钮		与屏蔽连接的端钮	
公共端钮		调 零 器	
接地端钮			

表1—1—8 按外界条件分组的符号

名 称	符 号	名 称	符 号
I 级防外磁场 (例如磁电系)		IV 级防外磁场及电场	
I 级防外电场 (例如静电系)		A组仪表	(不 标 注)
II 级防外磁场 及 电 场		B 组仪表	
III 级防外磁场 及 电 场		C组仪表	

直流电压表，“62”为形状代号，按形状代号可从有关标准中查出仪表的外形和尺寸，“C”表示磁电系仪表，“17”为设计序号，“V”表示电压表。

对于实验室仪表，则不用形状代号。第一位为组别号，用于表示仪表的不同系列，至于后面部分的组成形式与安装式仪表相同。例如 D26—W 型交直流瓦特表，“D”表示电动系仪表，“26”表示设计序号，“W”表示用于测功率的瓦特表。

第二节 指示仪表的组成

一、指示仪表的组成

指示仪表虽然种类繁多,但从定义出发,无论何种类型的指示仪表均必须将被测电量转换成可动部分的偏转角,并使两者之间保持一定的函数关系,这样,偏转角的大小就反映了被测量的数值。用来完成电（电量）机（机械角位移）转换任务的机构称为指示仪表的测量机

构。例如 磁电系微安表表头就是一种典型的测量机构。

但是，仅仅有测量机构是不能构成各种规格的指示仪表，这是因为绝大多数的被测量通常不能直接加到测量机构上。例如 上述提到的磁电系微安表表头只能测量微安级的直流小电流，而不能用于大电流或其它电量的测试。为此，一般指示仪表中，在把被测量转换为可动部分的偏转角时都要经过两个步骤的转换，即先将被测电量 x （如直流电流、直流电压、交流电压等）转换成仪表测量机构可以接受的过渡电量 y （如小电流）、然后再将过渡电量转换为仪表可动部分的偏转角 α 。为了达到测量目的，被测电量、过渡电量以及偏转角三者之间应保持一定的函数关系。

能按一定的函数关系将被测电量转换为仪表测量机构可以接受的过渡电量的中间装置称为测量线路。测量线路通常由分流电阻、附加电阻、电感、电容及整流二极管等元器件组成。可见一个完整的指示仪表，通常应由测量线路和测量机构两部分组成，如图1—2所示。其中

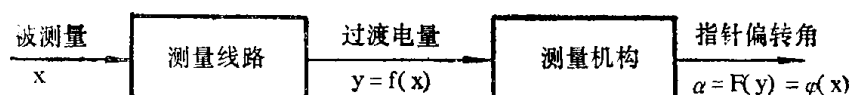


图 1—2

测量机构是指示仪表的核心，而测量线路是不可分割的重要组成部分，它们之间既有主次之分而又是互相依存的一个有机整体。

二、测量机构的组成及其主要功能

测量机构为指示仪表的核心，对于不同类型的指示仪表其结构和原理各不相同。这里暂不讨论各自的具体结构和原理，而只就其共性的内容进行分析，然后在此基础上再结合具体仪表详细分析它们的结构和原理。

（一）测量机构的组成

不同类型的指示仪表，虽然测量机构的结构和原理有所不同，但都由固定和可动两部分组成。其中用于指示被测量数值的指针或光标指示器是安装在可动部分上。例如 磁电系测量机构中，固定部分包括永久磁铁、极掌、铁芯以及支架等；可动部分包括可动线圈、游丝、上下半轴以及指针等，而指针固定于上半轴。

（二）测量机构的主要功能

1. 在被测电量或过渡电量的作用下，能产生使仪表可动部分发生偏转的转动力矩。

在被测电量的作用下，仪表要有指示，指针必须偏转，而指针是固定于仪表的可动部分，所以指针偏转实质是可动部分偏转的结果。力学中指出，要使一个物体产生转动必须有转动力矩的作用。可见，要达到测量目的，测量机构必须具有产生转动力矩的功能，其由产生转动力矩的装置来完成，不同的是该力矩的大小应与被测量的数值成一定的比例关系。

结论：不论何种类型指示仪表的测量机构，也不论其产生转动力矩的方式有所不同，但都必须产生转动力矩，且大小与被测量成一定比例，这点是共同的。对应的表达式如

$$M = F(x)$$

$$\text{或 } M = F(x, \alpha)$$

式中 x ——被测量

α ——指针偏转角

2. 在可动部分偏转时能产生随偏转角增加而增大的反作用力矩。

众所周知，秤所以能称出物体的重量，它是应用了力矩平衡的原理。即由被测物体产生的作用力矩和秤砣产生的反作用力矩相平衡，若没有秤砣，则不论被测物体多重，秤杆都会翘起到顶端，可见，无秤砣的秤是无法称出物体重量的。同理，在指示仪表的测量机构中仅有转动力矩作用于可动部分其结果同样会产生，不论被测量多大，可动部分都要偏转到最大位置，直至转不动为止。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出被测量的数值。因此，为了进行有效的测试，仪表的测量机构除了具有产生转动力矩的功能外，还必须具备产生反作用力矩的功能，其由产生反作用力矩的装置来完成。反作用力矩的方向总是和转动力矩的方向相反，大小与仪表可动部分的偏转角成比例，达到平衡时，反作用力矩在数值上等于转动力矩。

结论：（1）不论何种类型指示仪表的测量机构，也不论其产生反作用力矩的方式有所不同，但都必须产生反作用力矩，方向与转动力矩相反，大小与偏转角成比例，这点是共同的。表达式如

$$M_a = D\alpha$$

式中 D ——游丝的反作用系数，其大小取决于游丝的材料、性质和尺寸。

（2）反作用力矩和转动力矩是测量机构内部一对主要的而又是统一的矛盾，它们是同时存在又同时消失，平衡时反作用力矩必定等于作用力矩。

即

$$M_a = M$$

3. 在可动部分作偏转运动时，测量机构应具有产生阻尼力矩的功能。

从原理上讲，测量机构具备了上述两种功能后，已能完成测试工作。对应一个测量值就有一对相平衡的力矩，使指针停留于某个刻度位置，指示出被测量的数值。但由于可动部分具有惯性，测量过程中它不可能马上静止于平衡位置，而是在剩余的转动力矩和反作用力矩作用下，要在平衡位置附近作衰减振荡运动，这样就造成了读数困难，至少是延长了读数时间，这是测量不希望有的。为了缩短或消除摆动时间，吸收振荡能量，那么，必须使可动部分在运动过程中受到一个与运动方向相反而大小与运动速度成比例的力矩的作用，在此力矩作用下，使可动部分迅速地或不摆动地稳定于平衡位置，这个力矩仅仅起到阻碍惯性运动的作用，这样的力矩称为阻尼力矩，它由相应的阻尼装置产生。

结论：（1）为了提高测量速度，仪表测量机构必须具有产生阻尼力矩的功能。

（2）阻尼力矩是一种动态转矩，其大小与可动部分的运动速度成正比，故仪表平衡时，阻尼力矩也就消失。对应的表达式如

$$M_d = KV$$

式中 K ——比例系数

V ——可动部分的运动速度

（3）阻尼力矩仅仅对惯性运动起作用，它并不改变也不影响由转动力矩和反作用力矩所确定的被测量的数值。

4. 应能直接指示出被测量的数值

为了达到测试目的，可动部分的偏转角最后应反映于指示装置上，指示出被测量的数值。

综上所述，一个完整的测量机构应有产生转动力矩的装置、产生反作用力矩的装置、产

生阻尼力矩的装置以及指示装置四个基本部分组成。

第三节 仪表的误差及准确度

对于各种仪表，无论制造工艺如何完善，仪表的误差总是客观存在的，是不可避免的，不同的仅是大小之别。所谓误差是指仪表在测试中它的指示值（也称示值）和被测量的实际值（也称真值）之间的差别。误差愈小，仪表就愈准确。因此，仪表的准确度也是用误差的大小来表明，但必须明确，它说明的是仪表指示值和实际值之间的接近程度。

一、仪表误差的分类

根据产生误差的原因，仪表误差可分为两大类：

1. 基本误差——指仪表在规定的正常工作条件（即规定的环境温度、使用位置、频率和波形以及不存在外界电场或磁场的影响等条件）下使用时，由于结构和制造工艺上的不完善而产生的仪表本身所固有的误差。例如 摩擦误差、倾斜误差、刻度误差等均属于基本误差范畴。

2. 附加误差——指仪表在非正常工作条件（指环境温度改变、使用方式错误、有外磁场或外电场干扰等）下使用时所产生的额外误差。

仪表制成后，其本身固有的基本误差也就确定，它是误差的本质。至于附加误差，实际是人为误差，使用中应设法加以避免和消除。

二、误差的几种表达方式

误差的大小直接影响测量精度的高低，为了定量的确定仪表误差对被测量的影响程度，就目前常用的有关误差的几种表达方式作一分析。

1. 绝对误差——指仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间的差值，用符号 Δ 表示。
即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

注：计算时，可用标准表的指示值作为被测量的实际值。

例 1 用甲、乙两只电压表测负载电压，其读数分别为202伏和119伏，而用标准表测量其读数为200伏，求甲、乙两表的绝对误差。

解 由式（1—1）得

甲表的绝对误差 $\Delta_1 = A_{x1} - A_0 = 202 - 200 = +2$ 伏

乙表的绝对误差 $\Delta_2 = A_{x2} - A_0 = 119 - 200 = -81$ 伏

上例说明，绝对误差的单位与被测量的单位相同，符号有正负之分。正号表示仪表的指示值比实际值大，负号表示仪表的指示值比实际值小。对于同一个被测量来说，可以用绝对误差的绝对值来表明不同仪表的准确程度， $|\Delta|$ 值愈小，仪表的测量结果就愈准确。

在工程上还经常用到更正值这个概念，所谓更正值是指被测量的实际值与仪表的指示值之差，在数值上等于绝对误差的负值，用符号 C 表示。

即

$$C = A_0 - A_x = -\Delta \quad (1-2)$$

引进更正值以后，可以对仪表指示值进行修正，以消除其误差，提高测量精度。

2. 相对误差

绝对误差能直观地反映仪表基本误差的大小，但不能反映仪表基本误差对测量结果究竟有多大的影响，也就是说，绝对误差反映不出仪表的基本误差在测量中占了多大的比例。这个问题不解决，仪表在测量不同大小的被测量时，就无法判断仪表测量精度的高低。

例2 有甲、乙两只电压表，甲表量程为0~250伏，测200伏电压时绝对误差 $\Delta_1 = +2$ 伏；乙表量程为0~20伏，测10伏电压时绝对误差 $\Delta_2 = +0.5$ 伏，现判断哪只表的测量精度比较高？

从绝对误差看，显然 $\Delta_1 > \Delta_2$ ，甲表的绝对误差大于乙表，但绝不等于甲表的测量精度比乙表低。

相对误差——指仪表的绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A_0 之比的百分数，用符号 γ 表示。即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

由于仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间相差不大，所以工程上也常用指示值近似地代替实际值进行计算。

即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

下面计算例2中仪表的相对误差

解 甲表的相对误差

$$\gamma_1 = \frac{A_1}{A_0} \times 100\% = \frac{+2}{200} \times 100\% = +1\%$$

乙表的相对误差

$$\gamma_2 = \frac{+0.5}{10} \times 100\% = +5\%$$

求解表明 $\gamma_2 > \gamma_1$ ，这就是说，从绝对误差看 $\Delta_1 > \Delta_2$ ，但从绝对误差对测量结果的影响来看，甲表的绝对误差只占被测量的1%，而乙表的绝对误差却占被测量的5%，显然甲表测量结果的相对误差远比乙表小，所以甲表的测量精度比乙表高。

由于相对误差定量的揭示了仪表的基本误差对测量结果的影响程度，所以工程上常用它来估算测量结果的准确度。

3. 引用误差

相对误差可以表明测量结果的准确度，但却不足以说明仪表本身的精确程度。这是因为对于一台仪表，由于某种因素产生的基本误差在标尺的不同部位都近似于某个常数（即标尺各点的绝对误差基本相等），但随着被测量的变化，被测值可在仪表的整个刻度范围内变动，不是常数，这样，根据式（1-4）计算相对误差时，势必出现在标尺不同部位的相对误差各不相同，数值上甚至可以相差很大，这就难以用相对误差来全面衡量一台仪表的准确性能。

例3 有一台量程为0~250伏的电压表，标尺刻度为100小格，由于摩擦产生的仪表基本误差均为1小格（2.5伏），求测量20伏和200伏时的相对误差各为多少？

解 20伏时的相对误差

$$\gamma_1 = \frac{2.5}{20} \times 100\% = 12.5\%$$

200伏时的相对误差

$$\gamma_2 = \frac{2.5}{200} \times 100\% = 1.25\%$$

可见，用相对误差是无法全面衡量一台仪表的准确性能的。

引用误差——指仪表的绝对误差 Δ 与仪表测量上限之比的百分数，用符号 γ_m 表示。

即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

上式表明，引用误差实际也是相对误差，不同的仅是用 A_m 取代原有的 A_0 ，故又称其为测量上限的相对误差。

由于 A_m 和 Δ 都是由仪表本身性能所决定的参数，其中仪表的测量上限是个常数，仪表的绝对误差又大致相等，这样引用误差也基本是个常量，所以可用它来较确切地表示仪表的准确性能。

三、仪表的准确度

在引用误差中提到，对于一台确定的仪表，标尺各部位的绝对误差基本相等，但实际还是有差异。为了能概括仪表基本误差的全貌，以及更严格和更科学地考核仪表的准确性能，通常用准确度这个技术指标。国标规定，以仪表的最大引用误差定义为仪表的准确度，用符号 $\pm K\%$ 表示。

即

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 K ——仪表的准确度等级

上式表明，仪表准确度等级的百分数，表示了该仪表在正常使用条件下所允许的最大引用误差的数值。准确度等级愈高的仪表所允许的最大引用误差就愈小，仪表的基本误差也愈小，准确度也就愈高。按国标规定，仪表允许的基本误差在标尺工作部分的所有刻度线上不得超过表1—2所示值。

表1—2 仪表允许的基本误差

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

对于确定的仪表测量上限是已知的，所以，在工程上还经常用仪表的准确度来估算仪表测试时所允许出现的最大绝对误差和最大相对误差。

式(1—6)经过简单的换算可得

$$\Delta_m = \pm K\% A_m \quad (1-7)$$

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \pm \frac{K A_m}{A_x} \% \quad (1-8)$$

例4 用一台准确度等级为1.0级,上量限为50伏的电压表,测量40伏电压时,其允许出现的最大绝对误差和最大相对误差各为多少?

解 最大允许绝对误差为

$$\Delta_m = \pm K\% A_m = \pm \frac{1 \times 50}{100} = \pm 0.5 \text{ 伏}$$

最大允许相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{0.5}{40} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

上例说明,一般情况下测量结果的准确度并不等于仪表的准确度,只有当测量值等于仪表的上量限时,二者才相等。当测量值愈接近仪表的测量上限,则测量结果的准确度就愈高,反之就愈低。为此,为了提高测量结果的准确度,通常规定仪表应使用于标尺刻度的三分之二以上的部位。另外,在选用仪表时,除了要考虑仪表的准确度外更重要的还要合理地选择仪表的量程,这样才能确保测量精度。

例5 如将例4中的电压表改成准确度等级为0.5级,上量限为250伏的电压表,仍测40伏电压,求其可能出现的最大相对误差。

解 可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm \frac{K A_m}{100} = \pm \frac{0.5 \times 250}{100} = \pm 1.25 \text{ 伏}$$

可能出现的最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \pm \frac{1.25}{40} \times 100\% = \pm 3.125\%$$

此例中仪表的准确度等级虽然提高了,但测量结果的准确度反而大为降低。可见,在选用仪表时,一味追求仪表的精度而忽视仪表量程的合理选择,是完全错误的。

第四节 仪表的主要技术性能

为保证测量结果的准确和可靠,在国家标准中对仪表应具备的主要技术性能的标准作了全面的规定,从使用角度考虑应对下列几方面的性能要有所了解。

一、仪表的准确度

1. 仪表在正常工作条件下的基本误差应与该仪表的准确度等级相符,即在仪表标尺“工作部分”的所有分度线上的基本误差都不应超过表1-2所示的规定。

2. 仪表在非正常工作条件下使用时,对应的附加误差也不能超过国家标准中的相应规定。

二、恒定性

所谓测量仪器的恒定性是指测量仪器在外界条件不变的前提下，指示值随时间能保持多大的不变性。对指示仪表通常用变差来衡量，度量器用稳定性来衡量，而较量仪器是两者都要考核。

1. 变差——在外界条件不变的情况下，对应于同一个被测量的实际值，重复读数可能出现的差值。指示仪表是指被测量由零向上量限平稳增加与由上量限向零平稳减小时，在同一分度线上两次读得的实际值之差，即为仪表的变差，其值不能超过仪表基本误差的绝对值。

2. 稳定性——度量器或测量仪器的参数或示值，当它们受不可逆的和稳定的外界变化因素作用后，能保持自己读数或示值的性能。稳定性也常用不稳定性来表示。

例如 II 级标准电池的电动势允许年变化小于 50 微伏，I 级标准电池则要求年变化小于 10 微伏，说明后者的稳定性比前者高。

三、灵敏度

关于灵敏度对于不同仪表，在不同场合有不同的含义。

指示仪表的灵敏度——仪表可动部分偏转角的变化量与被测量的变化量的比值，用符号 S 表示。

即

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X} \quad (1-9)$$

当仪表的标尺为均匀刻度时
则

$$S = \frac{\alpha}{X} \quad (1-10)$$

可见，对于标尺刻度均匀的仪表，灵敏度是一个常数。表示单位被测量所引起的偏转角的度数。单位被测量所对应的偏转角愈大，仪表的灵敏度愈高，反之愈低。灵敏度的高低，由仪表本身的结构和线路所决定。

选用仪表时，应使灵敏度与被测量的大小和测量精度相适应。若灵敏度过高，会因仪表量限过小而满足不了测量要求；若灵敏度过低，则仪表不能分辨被测量的最小值。所以，恰当地选择灵敏度适中的仪表也是很重要的。

四、仪表的阻尼

第二节中提到，为了克服仪表可动部分惯性带来的影响，缩短测试时间，仪表的测量机构中均设有阻尼装置。仪表阻尼是否良好，通常用阻尼时间来衡量。所谓阻尼时间是指仪表从接入被测量至仪表指针的摆动振幅小于标尺全长的 1 % 所需要的时间。从使用角度考虑，要求仪表的阻尼时间尽可能短。

按照国家标准规定，仪表可动部分的阻尼时间不应超过 4 秒。有吊丝及张丝的仪表以及指针长度大于 100 毫米的仪表，阻尼时间不应超过 6 秒。量限为 60 伏和 60 伏以下的静电系电