

技工学校試用教科書

电工計量及二次回路

陝西省電業局技工學校等三校合編

學校內部使用



中国工业出版社

“电工計量及二次回路”共分两篇：第一篇主要叙述了电流、电压、电阻、功率、电能、力率及周率的测量仪表和测量方法，分析了仪用互感器的基本原理和各种結綫，对温度的测量及电工仪表的使用维护知識也作了简单的介紹；第二篇主要叙述了监察测量回路、开关操作回路、信号装置、閉鎖装置及直流供电回路的构成原則和結綫，介紹了二次回路的各種标号和安裝結綫图的閱讀方法，最后还对控制盘作了一般的說明。

本书說理淺显，文字簡明，并能結合現場实际。除用作电力技工学校“电气运行与检修”和“繼电保护”两专业的教材外，还可供現場培訓之用，此外对发电厂和变电站电气方面的运行、检修及安裝工人也有一定的参考价值。

本书由陝西省电业局技工学校魏豐志、重庆电力技工学校林秉忠、李振金、浙江电力技工学校戚永康編写和修訂，并經陝西省电业局基建处常华国审查。

电工計量及二次回路

陝西省电业局技工学校等三校合編

水电技工教材編輯組編輯（北京校外教育出版部）

中国工业出版社出版（北京德勝門外大街10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

化工印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $6^{3/4}$ · 插頁 1 · 字数 150,000

1961年12月北京第一版·1961年12月北京第一次印刷

— 印数 0001—6,200 · 定价 (7-2) 9.57元

統一书号：15165 · 947(水电-151)

目 录

第一篇 电工测量与测量仪表

第一章 电工测量仪表的一般知识	4
第一节 电工仪表的分类	4
第二节 构成电工仪表的零件	6
第三节 电工仪表的误差	11
第四节 对电工仪表的基本要求	14
第二章 常用电工仪表的测量机构	16
第一节 磁电式仪表的测量机构	16
第二节 电磁式仪表的测量机构	19
第三节 电动式仪表的测量机构	21
第四节 感应式仪表的测量机构	24
第三章 电流和电压的测量	28
第一节 电流的测量	28
第二节 电压的测量	31
第四章 仪用互感器	35
第一节 电压互感器	35
第二节 电流互感器	46
第五章 电阻的测量	58
第一节 导体电阻的测量	58
第二节 绝缘电阻的测量	63
第三节 接地电阻的测量	68
第六章 电功率的测量	73
第一节 直流电功率的测量	73
第二节 交流有功功率的测量	75
第三节 交流无功功率的测量	81
第七章 电能的测量	86

第一节 单相交流电路中有功电能的测量	86
第二节 三相交流电路中有功电能的测量	90
第三节 三相交流电路中无功电能的测量	92
第八章 力率、周率的测量及自动记录仪表	96
第一节 力率的测量	96
第二节 周率的测量	100
第三节 电磁式同期表	102
第四节 自动记录仪表	103
第九章 温度的测量	105
第一节 水银温度计	106
第二节 压力型信号温度计	107
第三节 电阻温度计	108
第十章 电工仪表的使用和维护	110
第一节 电工仪表的使用	110
第二节 电工仪表的维护	111
第二篇 发电厂变电所的二次回路	
第十一章 二次回路的基本知识	113
第一节 一次回路和二次回路的基本定义	113
第二节 二次回路的接线图	114
第三节 展开图中设备的标号	118
第十二章 监察测量回路	121
第一节 概说	121
第二节 监察测量仪表的接线	126
第三节 同期装置的基本接线	130
第十三章 开关设备的操作回路	135
第一节 概说	135
第二节 电力开关的操作接线	135
第三节 闪光电源装置	148
第四节 电磁开关的远方操作	150

第十四章 电气設備的信號裝置	158
第一节 概說	158
第二节 位置信号裝置	158
第三节 事故信号裝置	159
第四节 警告信号裝置	164
第五节 保护装置和自动裝置动作信号	168
第六节 命令信号裝置	168
第七节 帶中央通知的信号裝置	170
第十五章 防止隔離開關誤操作的閉鎖裝置	175
第一节 机械閉鎖裝置	175
第二节 电磁閉鎖裝置	178
第十六章 直流供電回路	180
第一节 直流回路的供电方式	180
第二节 直流回路的絕緣監視裝置	184
第十七章 安裝結綫圖	189
第一节 安裝結綫图中的部件	189
第二节 安裝結綫图的标号	191
第三节 安裝結綫图的实例	203
第十八章 控制盤	204
第一节 概說	204
第二节 控制盤的形式及其布置	205
附錄 1 展開圖中設備的字母標號	208
附錄 2 二次回路的數字標號	211

第一篇 电工测量与测量仪表

第一章 电工测量仪表的一般知識

第一节 电工仪表的分类

电工仪表的种类很多，发电厂变电所常用的电工测量仪表按所测量的种类可分，电流表(安培表)、电压表(伏特表)、功率表(电力表或瓦特表)、电度表(千瓦时表)、功率因数表或相位表)、周率表(频率表或周波表)和欧姆表、此外还有同期表(同期检定器)等。

按所测电流的性质可分：直流仪表、交流仪表及直流和交流均可测量的交直流两用仪表。

按读数方法可分：指示型仪表、记录型仪表及累积型仪表等；指示型仪表是能将被测量的数值，通过指针在标盘刻度上直接指示出该瞬时值的仪表，如电压表、电流表及功率表等；记录型仪表是能将被测量的数值，通过书写机构而自动记录起来的一种仪表，如记录型电压表、记录型功率表及记录型周率表等；累积型仪表是能将被测量的数值，通过计算机构而积累起来的一种仪表，如电度表。

按作用原理可分：磁电式(永磁式)、电磁式、电动式、感应式、振动式、电桥式等几种。

按准确度可分 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5 和 2.5 等级，数字表示仪表的容许误差。0.1、0.2 和 0.5 级的仪表用在试验室或用来校验其它仪表，其余作为控制盘上经常指示用。

按仪表的应用特性，可分成固定式、便携式等。

按屏蔽外磁場的方法分：仪表可分成屏蔽式和无屏蔽式两种。

根据外壳形状，又可分成圆形仪表和矩形仪表等。

为了便于我們正确使用测量仪表，在仪表的标盘上，通常用不同的标记来表示该表的类型、准确度级、适用电流性质及应该怎样装置等项。常见的标记如表1—1所示。

表 1—1 电工仪表的标记

标 记	型 式	标 记	说 明	标 记	说 明
	磁电式	級的标记			仪表绝缘受过 2千伏耐压試驗
	电磁式	0.2	基本容許 誤差, % ± 0.2		仪表的裝置
	电动式 无磁屏	0.5	± 0.5		垂 直
	有磁屏	1.0	± 1.0		水 平
	铁磁电 动 式	1.5	± 1.5		傾斜30°
		2.5	± 2.5		
		电流性質标记	电流性質		
	感应式	—	直 流	例	
		~	单相交流		准确度 1.5 的 电磁式直流仪表 作垂直裝置
		≡	三相交流		
	振动式	—	交直两用		准确度 1.0 級 的电动式交直流 两用仪表作水平 裝置

第二节 构成电工仪表的零件

虽然电工仪表种类很多，但是大多数的电工仪表，都具有一些共同的零件。这些零件包括外壳、标尺、指针、阻尼器、轴和轴承、反抗力矩装置、调整器等。

一、外壳 电工仪表外壳的作用，是保护仪表内部的机构，使它不受到机械作用而损坏，并防止灰尘和潮气的侵入。使用中必须注意保持仪表的外壳处于完整的状态，从而保证仪表的正常工作。

仪表的外壳一般用铁、木、硬橡胶或电木制成。

二、指示装置 标尺就是画有刻度的表面，它与指针组成仪表的指示装置。当指针尖端移动到某一刻度上时，就可以从标注的分格和数字读取所测得的数值。



图 1-1 均匀标尺

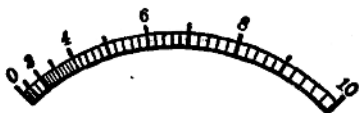


图 1-2 不均匀标尺

仪表的标尺，通常用黄铜或锌片制成，上面贴着一层纸，纸上画出刻度。仪表的标尺有均匀的(图1-1)和不均匀的(图1-2)两种；所谓均匀标尺，就是任意相邻两格间距离相等的标尺，所谓不均匀标尺，

也就是相邻两格间距离不等的标尺。试验室所用的0.1~0.2和0.5级仪表，通常采用镜子标尺(图1-3)，以减小读数误差。

指针的作用，是为了使工作人员能迅速地读取被测的数

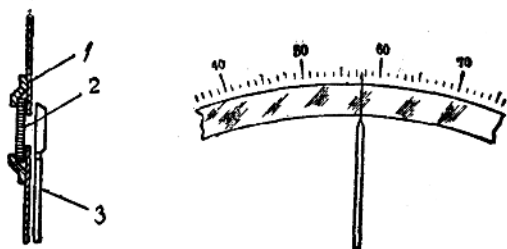


图 1—3 鏡子标尺

1—标尺；2—鏡子；3—指针。

值。仪表的指针要求輕而坚固，以减小它的慣性力矩和避免因过载时的撞击而变形。所以，仪表的指针通常都是用鋁制成的。

由于仪表的用途不同，仪表指针的形状也有所不同。工程上所用的仪表，一般采用矛形指针(图1—4)。試驗室所用的仪表，則大都采用刀形指针(图1—5)。在高灵敏度仪表中，有时还采用“影象指针”。

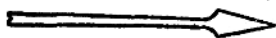


图 1—4 矛形指针

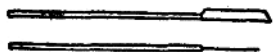


图 1—5 刀形指针

在标尺两端一定距离处，还各装有一个限动器，以限制指针的偏轉范围。

为了避免指针在偏轉时由于重心不正而带来誤差，在指针支架上应装有平衡錘(图1—6)，使活动部分的重心与轉軸重合。

三、反抗力矩装置 电工测量仪表，都有使仪表活动部分发生轉动的轉动力矩(簡称轉矩)，轉矩是由被测量的作用

而产生的。假如只有轉矩作用于仪表的活动部分，沒有任何机械阻力，活动部分将轉到标尺的最終位置，而与测量的大小无关。要使测量的数值，对应于仪表活动部分的一定偏轉角，必須用与偏轉角有关的反抗力矩来平衡轉矩。反抗力矩一般由螺旋弹簧或电磁力产生。

螺旋弹簧通常用磷青銅制成。靠中心一端接在仪表可动部分的軸上，另一端接在平常固定的調整器上，如图1—6所示，当指針偏轉时，弹簧同时被扭轉，于是产生反抗力矩反对指針的偏轉。这反抗力矩与指針偏轉角度成比例，当轉动力矩与反抗力矩平衡时指針便停止不动。

图1—7表示利用电磁力产生反抗力矩的装置。在仪表轉軸上連接着两个互相垂直的綫圈 I 和 II，作用在两个綫圈上的力矩方向相反，即当其中一个为轉动力矩时，另一个便是反抗力矩。两个力矩都与电流有关。仪表的活动部分停留在

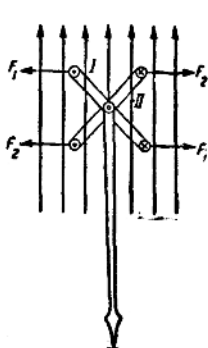
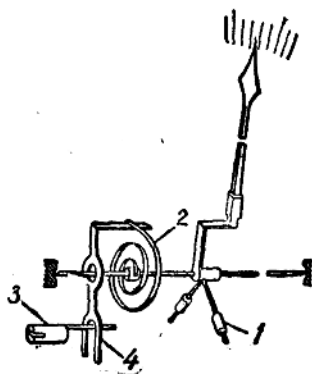


图 1—6 弹簧、調整器和平衡錘 图 1—7 电磁反抗力矩的产生
1—平衡錘；2—弹簧；3—調整器；4—导杆。

两个力矩相互平衡的位置，它的偏轉角决定于通过两个繞圈电流的比值，所以也叫做流比式仪表(流比計)。

四、阻尼裝置 仪表的指針偏轉时，由于同时受到反抗力矩的作用，常常摆动很久才能稳定下来，这样不但延长了测量的時間，同时对于随時間变动的电气量值又不可能测得。因此，一切电工仪表都具有阻尼器，使测量时指針能很快稳定下来，迅速指示出所测的电气量值，就得应用阻尼器；通常采用的阻尼器有空气阻尼器(图1—8)和磁性阻尼器(图1—9)两种。

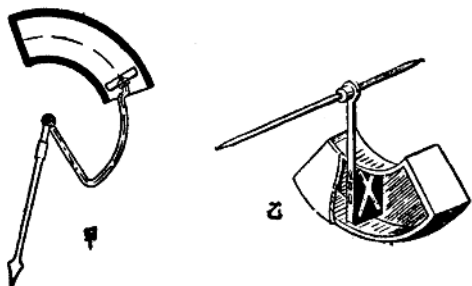


图 1—8 空气阻尼器

甲—活塞式；乙—叶片式。

空气阻尼器有两种形式，即活塞式(图1—8，甲)和叶片式(图1—8，乙)。它們的基本构造是这样的：仪表活动部分的軸上装有圓形的或矩形的鋁質薄片，这种鋁質薄片可以在特殊的盒內自由运动。在盒內运动时鋁片并不与盒的內壁接触。当活动部分摆动时，鋁片也在盒內摆动，这时盒內空气在鋁片两边的压力相应改变，于是空气通过鋁片与盒壁間的縫隙流动，来平衡两边不同的空气压力，从而产生制动作用，即阻尼作用。

磁性阻尼器(图1—9)具有一块联接在轉軸上的鋁片1，它可在永久磁鉄2的磁場內活动。当其运动时，鋁片上便感应出涡流，由于涡流与磁場間的相互作用，产生制动力，使仪表活动部分的摆动受到阻尼而迅速达到稳定。

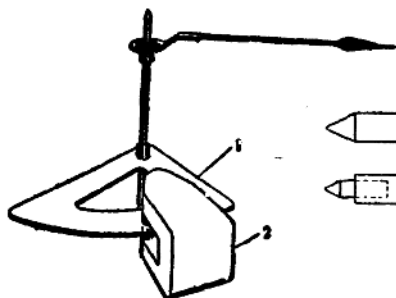


图 1—9 磁性阻尼器

1—鋁片；2—永久磁鉄。

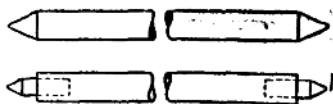


图 1—10 仪表的軸

五、支持裝置 軸和軸承是連接和支持仪表的活动部分用的。一般电工仪表的活动部分都連接在直径1~2毫米的金属絲制成的軸上。軸的两端是錐形的尖头，用来在軸承上作支撑之用(图1—10)。

較准确的仪表的軸承通常用宝石制成。准确度較低的仪表的軸承通常用硬銅或磷青銅制成。为了减少摩擦，軸尖和軸承都是經過了很好的研磨。軸承固定在支持螺絲內，支持螺絲由夹头螺絲抵住，以免松动旋轉。图 1—11 表示电工仪表軸承的构造。

电工仪表的活动部分亦可連接在張絲裝置上。这种裝置在近几年来才用得比較广泛，它是两根截面为圓形或矩形的細磷銅絲。利用这种張絲把可动部分有弹性的联接起来(图

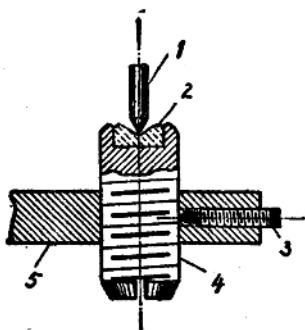


图 1-11 仪表的轴承

1—轴；2—宝石；3—夹头螺钉，
4—支持螺钉；5—支座。

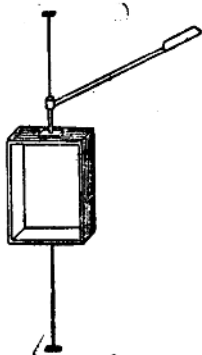


图 1-12 张丝装置

1—12)。这种张丝装置一方面成为活动部分的支柱与转轴，另一方面又是产生反抗力矩的弹簧。

六、调整装置 一般电工仪表，都具有调整器（图 1—6）。调整器一般是在仪表未接上电路时，使仪表指针调整到零的设备。扭转露在表壳外面的调整螺丝，导杆便相应转动一很小的角度，将仪表螺旋弹簧的固定点略微移动，使零位得到必须的调整。

第三节 电工仪表的误差

由于仪表刻度的不正确，以及外界的影响，仪表的读数便可能与被测量的实际值有些差别。仪表的读数与实际值之差，称作仪表的绝对误差。被测量的实际值，通常根据标准仪表来决定。用 A' 代表测量仪表的读数， A 代表被测量的实际值， ΔA 代表仪表的绝对误差，那么：

$$\Delta A = A' - A.$$

为了消除誤差，測量的結果可以用校正值加以校正。校正值与仪表讀数作代数相加，便得到被測量的实际值。因此，校正值 K 等于仪表誤差的負值，即

$$K = -\Delta A = A - A'.$$

例1—1 安培表的讀数 $I' = 20$ 安，标准安培表的讀数 $I = 20.4$ 安，求安培表的誤差与校正值。

〔解〕 安培表的誤差：

$$\Delta A = I' - I = 20 - 20.4 = -0.4(\text{安}).$$

安培表的校正值：

$$K = I - I' = 20.4 - 20 = 0.4(\text{安}).$$

絕對誤差与被測量的实际值之比，称为相对誤差，相对誤差 r 通常用百分数表示：

$$r = \frac{\Delta A}{A} 100\% = \frac{A' - A}{A} 100\%.$$

絕對誤差与仪表額定量程之比，称作单位相对誤差。若用 r_n 表示单位相对誤差，則：

$$r_n = \frac{\Delta A}{A_n} 100\%.$$

例1—2 上題中，若安培表的額定电流 $I_n = 50$ 安，試求相对誤差及安培表的单位相对誤差。

〔解〕 相对誤差

$$r_{I'} = \frac{\Delta I}{I} 100\% = \frac{-0.4}{20.4} 100\% \approx -2\%.$$

安培表的单位相对誤差

$$r_n = \frac{\Delta I}{I_n} 100\% = \frac{-0.4}{50} 100\% \approx -0.8\%.$$

依照規定，仪表可以具有的最大单位相对誤差，称作仪表的容許誤差。

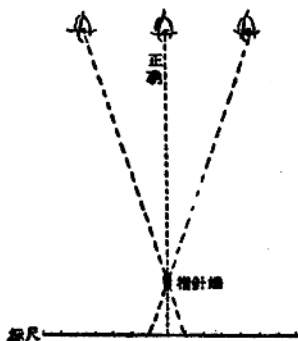
$$\tau_s = \frac{\Delta A_s}{A_n} 100\%.$$

仪表讀数的可靠程度称做测量仪表的准确度。准确度就是用仪表的容許誤差来評定的。

测量时的誤差，按它的来源可分为应用仪表誤差，测量方法誤差及讀数誤差。

应用仪表誤差或称测量工具誤差是由仪表的不完善和不精确以及仪表装配的不正确所引起的。在电工仪表中，这些誤差分为基本誤差和附加誤差；基本誤差是由于仪表設計和制造不良(軸的摩擦标尺的分度和画綫不精确，調节不良等)而引起的。附加誤差的发生是由于各种外界因素(溫度、周率、外界电磁場等)对仪表的影响而造成。

测量方法誤差是由测量方法不完善所引起的。这些测量方法大多数是近似的方法。例如用惠斯登电桥测量小电阻时，由于接触电阻和联接导线电阻的影响而产生的这类誤差，当利用安培表和伏特表，根据欧姆定律测量电阻时，由于沒有考虑仪表本身电阻的影响而产生的誤差，这都是方法誤差。为了消除这些誤差，应该作輔助的测量和进行适当的校正；或采用对该种测量所适用的其他方法。



讀数誤差与测量者和仪表

图 1—13 讀数誤差的产生

的指示裝置（標尺、指針）都有關係。例如當測量者的視線與標尺不垂直時，指針便在標尺上給出不正確的投影（圖1—13），產生視差即讀數誤差。指針與標尺間距離越大，則讀數誤差就可能越大。為了減小指示裝置所造成的讀數誤差，如前所述，可採用鏡子標尺。取其讀數時，眼睛的位置應使指針遮去鏡中的指針象，這樣就可自動使視線對正，取得較為準確的讀數。

第四節 對電工儀表的基本要求

實用上對電工測量儀表提出了許多基本要求。包括儀表所指示的被測量的數值必須以常用單位為單位，以便由儀表的指示直接讀出被測的量；儀表的讀數必須具有足夠的準確度；要使溫度、外界磁場等外界因素對儀表影響最小，亦即是基本誤差和附加誤差極小，不超過規定值。

測量儀表應有足夠的靈敏度。靈敏度是由指針的偏轉角度與引起這個偏轉的被測量的變化之比來決定的。靈敏度的大小，決定於單位被測量所具有的指針偏轉角度的大小（或標尺分格數）。儀表接受一個單位的被測量指針偏轉的角度愈大，儀表就愈靈敏。具有均勻標尺的儀表，標尺各點的靈敏度是相同的；標尺不均勻的儀表，在標尺的不同點上有着不同的靈敏度。靈敏度大的地方，標尺的分格就寬些（單位被測量所產生的偏轉大些）；靈敏度小的地方，分格亦就狹些。必須指出，用到“靈敏度”一詞時，必須說明“儀表對電流的靈敏度”或“儀表對電壓的靈敏度”。靈敏度的倒數叫儀表常數。

當電工測量儀表工作時，有着電功率的消耗。雖然，在一般情況下，儀表所消耗的功率很小。但是，它可能造成儀

表各部分的温度升高，引起测量误差，因此仪表本身所消耗的功率应该很小。除此以外，仪表的功率消耗，应该使仪表接入电路时，不致引起被测电路工作状态的变动。当在小功率电源的电路内进行测量时，这一点尤其需要注意。

为了保证电工测量仪表工作的可靠性，它们还必须具有足够的过载能力。电工测量仪表的过载有两种情况：一种叫热过载或延时过载，当电工仪表的负载长期超过额定值时，由于通过仪表的电流发出热量，仪表的温升将超过容许值，而造成绝缘和仪表带电部分（线圈、螺旋弹簧）的损坏；另一种是动力过载即短时过载，当仪表的负载虽然超过额定值时，在反常的较大转矩影响下，活动部分将冲向极端位置，这时将发生机械震击，而可能引起活动部分的机械损坏（轴承、轴尖的损坏，能动线圈的变形，指针的损坏等）。

此外，电工测量仪表的阻尼应良好，以便很快地完成测量过程；仪表的标尺应尽量均匀；它还必须具有工作安全所需的足够大的耐压强度和绝缘电阻；仪表的结构必须简单和便于制造。

复 习 题

1. 电工测量仪表是怎样分类的？
2. 在电工仪表的标盘上有那些常见的标号？说明了什么问题？
3. 仪表的指示装置由那几部分组成？各有什么作用？
4. 试说明电工仪表活动部分平衡的条件和方法。
5. 流比计的特点是什么？
6. 阻尼装置有什么作用？常见的阻尼器有那几种？
7. 试述支持装置和调整装置的构造及作用。
8. 解释下列各名词。

绝对误差；相对误差；单位相对误差；容许误差；校正值；