

农电工人培训教材

全国“星火计划”丛书

电气仪表工

刘璋瑞 李积才 编



SDIAN GONGREN PEIXUN JIAOCAI

水利电力出版社

内 容 提 要

本书由水利电力部农电司和水利电力出版社共同组织编写的“农电工人培训教材”丛书之一。全书共分六章：概述，指示式仪表，频率表、相位表和整步表，电阻测量仪，电气测量常用的电子仪器。

书中提出了电力生产对电气仪表的全面技术要求。对县及县级以下电力生产部门常用的电气仪表结构原理、使用方法及注意事项作了扼要阐述，并附有实例。同时对目前使用较为广泛的电子仪器及电气仪表的修理方法作了简单介绍。本书重点突出，通俗易懂。

本书除可作为农电工人培训教材外，还可供电力生产部门从事电气测量的专业技术人员和有关院校的师生参考。

全国“星火计划”丛书

农电工人培训教材

电 气 仪 表 工

刘琤瑞 李积才 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6.125印张 134千字 1插图

1989年7月第一版 1989年7月北京第一次印刷

印数00001—30930册 定价2.80元

ISBN 7-120-00690-8/TM·189

前 言

近年来，我国农村电气化事业发展很快，农电工人队伍迅速壮大，为提高农电工人的技术业务素质，做好技术培训工作，农电司和水利电力出版社共同组织编写了这套“农电工人培训教材”，作为全国各农电部门培训农电工人的基础教材。这套书适用于培训具有初中文化水平的农电工人，同时也可作为他们的自学参考书。对于教材的内容要求和编写大纲，是同有关省（市）农电负责同志经过几次会议共同研究确定的。该教材由九个省的有关同志分工编写，林虔同志任主编。

这套教材共十二种，分别是《电工与电子学基础》、《变电运行工》、《变配电设备检修工》、《外线工》、《内线工》、《电气试验工》、《继电保护工》、《电气仪表工》、《电度表工》、《装表接电工》、《营业管理与营业工》、《农电通讯工》。

各地在使用该教材过程中，可根据学员的文化技术水平作适当的增删，对这套教材有何意见和建议，请及时函告水利电力出版社，以便再版时改正。

水利电力部农电司

1986年11月

目 录

前 言

第一章	概述	1
第二章	指示式电气仪表	7
第一节	电气仪表的分类	7
第二节	对电气仪表的主要技术要求	17
第三节	常见的几种电气仪表结构和工作原理	26
第四节	万用表	47
第五节	有功功率表	72
第六节	三相电路无功功率表	80
第七节	钳形电流表	83
第八节	变换器式指示仪表	84
第三章	频率表、相位表和整步表	90
第一节	D ₃ -Hz型电动式频率表	90
第二节	电动式相位表	98
第三节	整步表	103
第四节	几种小水电常用的并网同步指示器	116
第四章	电阻测量仪	119
第一节	直流单臂电桥	119
第二节	直流双臂电桥	123
第三节	接地电阻的测量方法和ZC-8型接地电阻测量仪	127
第四节	兆欧表(摇表)	134
第五章	电气仪表的选择、校验、调整和修理	141
第一节	仪表使用的选择	141
第二节	仪表的校验与调整	149

第三节	仪表的检修和工艺要求	160
第六章	电气测量常用的电子仪器	173
第一节	晶体管电压表	173
第二节	数字式电压表	186

第一章 概 述

为保证安全经济运行，电力系统电能的生产、输送、分配、控制及使用的各个环节，必须有电气仪表随时准确无误地反映和累计电气量的各种变化值。电力系统的主要经济技术指标有：发电量、供电量、售电量、煤耗、厂用电、线路损耗等，都是依靠电气仪表的正确指示来作量值的反映。例如，电度表不准，就不可能如实反映国家计划完成情况；功率表或电流表指示不准，就可能使设备潜力得不到充分发挥，也可能使设备过负荷运行，缩短设备的使用寿命，甚至烧毁；电压表和频率表不准，将会严重的影响供电质量，还会使系统发生故障，给用户带来一系列恶果。为此，我国技术标准GB776-65《电气测量指示仪表通用技术条件》、《电流表、电压表、功率表检定规程》及水利电力部部颁《电力技术管理法规》、《电测量指示仪表检验规程》，都对电气测量仪表装置的设计和对电力系统及电力设备运行监视的要求作了具体规定，并要做到技术先进、经济合理、准确可靠、监视方便。

电力系统是应用电气测量仪表最为集中，也是最为普遍的一个部门，用于电力系统中的电气测量仪表，必须适应电力生产的特点，满足全面技术要求，即：

1. 有足够的准确度

当仪表在所规定的技术条件下工作时，在其整个标尺的全部分度线上，可能出现的最大基本误差绝对值的百分数，称为仪表的准确度等级。

电气测量仪表的基本误差，不应超过仪表本身所标明的准确度等级。仪表的准确度越高，表示基本误差越小。

国家标准《电气测量指示仪表通用技术条件》规定，各种仪表准确等级的基本误差示于表1-1。

表 1-1 仪表的基本误差

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

2. 受外界条件影响要小

我们国家幅员辽阔，南、北方气候变化差异较大。南方酷热，北方严寒，因此要求同一块电气仪表或者同一系列的电气仪表，既要能够适用于南方的酷热之夏，又应适用于北方严寒之冬，还要适用于一天气温变化较大的场所。很明显，要求使用电气测量仪表场所的环境温度，应当尽可能的保持相对稳定。

电力系统中使用的仪表工作场所，一般均有外磁或电场存在，因此在设计电气测量仪表、结构选型、材质选择等方面，应使仪表受温度、外磁或电场等影响，所引起的附加误差要尽量地小。

3. 仪表自身消耗的功率要尽量小

电气测量仪表在工作过程中，是要消耗一定的能量。如果被测电路的功率比较小时，而仪表本身所消耗的功率又比较大，就有可能改变电路原来的工作状态，从而引起比较大的测量误差，所以，要求仪表本身所消耗的功率应尽量的小。

常见各种仪表的消耗功率概算值示于表2-6。

4. 应有一个良好的读数装置

为了便于读数，一般的仪表标尺分度应该力求均匀。对于标尺分度不均匀的仪表，在表的盘面上要注明读数的起始点，并以“·”符号标示；在某些情况下（在非工作部分）用虚线或弧线表示。一般情况下，规定的标尺工作部分（即读数范围），不应小于满刻度的85%。

通常，为了减少视力所引起的读数差，对于实验室所使用的电气测量仪表指针，多系采用刀形结构，并在标尺上附有反射镜，如图1-1所示。在读数时，应使眼睛和指针以及指针在镜中的影像三点重合成为一条直线。对于安装式电气测量仪表，标尺分度线则要醒目，经常读数部分刻度线要细，保证仪表指针在经常所指示的位置附近时，有比较高的灵敏度；其它仪表指针的结构形式，多采用矛形，如图1-2（b）所示，以便于从较远处观察。

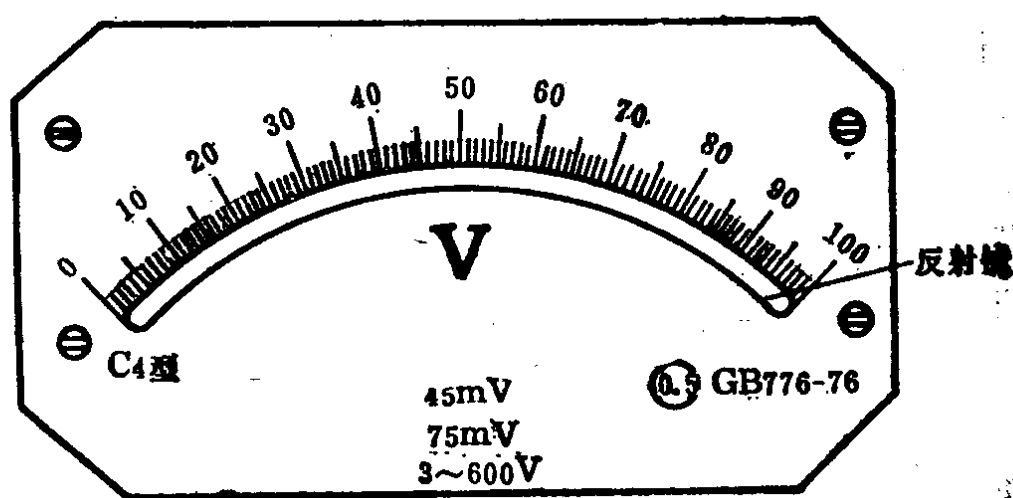


图 1-1 精密仪表的标度尺

5. 要有合适的灵敏度

电气测量仪表的灵敏度，就是单位被测量值所引起的偏转角。假如被测量值的变化量为 Δx 时，相对应的仪表活动

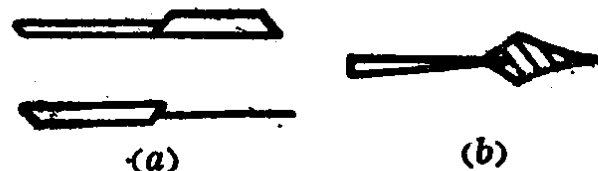


图 1-2 指针的结构

(a)刀形; (b)矛形

部分偏转角的变化量为 $\Delta\alpha$, 则其灵敏度为

$$s = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

对于均匀分度标尺的仪表, 则灵敏度是一个常数, 即

$$s = \frac{\alpha}{x}$$

根据使用场所的具体要求合理的进行选择电气测量仪表, 其灵敏度的要求以适中为宜。灵敏度过高的仪表, 固然能够反映出微小的被测量值。但是, 由于高灵敏度仪表的阻尼时间较长, 指针一时难以稳定, 将会造成仪表的读数困难, 况且此种仪表的造价也较昂贵。

6. 阻尼性能良好

仪表阻尼性能的好坏, 是指阻尼时间的长短而言。阻尼时间即指从接通电路开始, 至仪表指针在读数位置左右摆动不超过满刻度 $\pm 1\%$ 的这段时间。一般要求此值不应超过4s, 最多不能超过6s。此值愈小, 则说明仪表的阻尼性能愈好。

7. 具有足够的绝缘强度和过载能力

在正常情况下, 电力系统内的每一种操作, 如像对于空载变压器、空载线路、无功补偿电容器的分、合以及大型感应电动机的起动等, 都将在系统内引起一个暂态过渡过程。

在此过程中都可能出现有短时的，甚至是比较危险的操作过电压，或冲击电流值。虽然仪表常接在主设备的二次侧，但基于电磁能量转换原理，也要求仪表承受超过它本身额定工作值，以至数倍之多的瞬时值的能力，以确保电力生产和使用的安全。

此外，还应要求电气测量仪表使用方便，结构坚固。对于安装在常有震动的场所或携带型仪表，还需对仪表采取减震措施。

水利电力部颁发的《电力工业技术管理法规》及《电气测量指示仪表检验规程》中，对于仪表在电力系统中使用时的准确度配合选择、检修校验以及运行维护都作出了有关条文的规定。用于发电机及其重要设备的交流仪表，其准确度等级应该不低于1.5级。用于其它设备和线路上的交流仪表，应不低于2.5级。直流仪表应不低于1.5级。对于电力系统中的调度所和发电厂，为了准确监视系统的频率，宜采用数字式和记录式频率表，其测量范围在45~55Hz时的基本误差应不大于±0.02Hz，并能在事故的情况下进行检测。为了准确地监视系统电压，在电压监视点上应装设记录式电压表。

仪表附件准确度的选择：和仪表连接的分流器或附加电阻，应不低于0.5级；和仪表连接的互感器，对于1.0及1.5级的仪表应不低于0.5级，2.5级的仪表应不低于1.0级。

电压互感器及电流互感器和仪表测量范围的选择原则，应该尽量保证发电机、变压器及其它电力设备在正常运行时，仪表指示在标度尺量限的 $\frac{2}{3}$ 以上，并应考虑过负荷时能有适当的指示。

使用于发电厂和变电所的电度表，当作为有功电能计量

时，其准确等级宜不低于1.0级；当作为无功电能计量时，其准确度一般为2.0级。

在实际使用过程中，电气测量仪表要有计划的、定期的进行检修和校验。控制盘和配电盘上的仪表，应该和该仪表所连接的主要设备大修结合进行，不应延误。其它表盘上的仪表，每四年至少进行一次检修和校验。对于运行中设备的控制盘仪表，指示发生疑问时，可以用标准仪表在其工作点上用比较法进行核对。试验室里的标准仪表，每年至少进行校验一次；携带型仪表，常用的仪表每半年至少校验一次，其余的仪表每年至少要校验一次；经过两次以上校验证明质量好的仪表，可以延长校验期一倍。和仪表连接使用的仪用互感器，应该有误差记录；更换或检修仪用互感器之后，要对其有关二次回路进行检查，必要时应该计算仪表的综合误差并加以校正。仪表在校验时，要进行仪表外观的检查，即外部是否完整、密封情况是否良好和内部是否清洁及轴尖、轴承的磨损情况，并应进行必要的修理。

综合上述，我们可以清楚地看到，电气测量仪表在电力系统生产过程的每一个环节中，都是必不可少的。一个电测工作者，应该绝对保证生产现场，实验室里，特别是一些重要场所仪表应有的准确度。

为适应我国电力工业的蓬勃发展，电网的不断扩大，大容量新型发电机组的出现以及科学技术的进步，在电气测量仪表的使用、维护、检修和校验等方面，对电测工作者都提出了更新和更高的要求。所以说，电测工的责任是重大的，任务是艰巨的。

（中）
全

6

第二章 指示式电气仪表

电气测量仪表的种类是多种多样的。实用中最常见的电气仪表，按工作原理可分为磁电式、电磁式、电动式及感应式。用不同的仪器和不同的方法进行测量时，都难免要引进不同的测量误差，所以，电气测量除了应该正确的选择和使用电工仪表之外，还必须正确地处理测量中的有关误差，才能够得到满意的测量结果。

第一节 电气仪表的分类

电气仪表的产品种类、规格比较繁多，它们的分类方法也各有差异。我国国家标准《电气测量指示仪表通用技术条件》，将指示仪表（未含检示仪表和记录仪表等）及附件（如分流器、互感器、分压器等），按照其结构和用途，大体分为下述几类：

1. 按照仪表和附件的准确度分类

仪表按准确度分为0.1；0.2；0.5；1.0；1.5；2.5及5.0级。

仪表的附件按准确度分为：0.05；0.1；0.2；0.5及1.0级。

2. 仪表和附件按照使用条件分类

I类：适用于热带地区，供在较高温暖的室内使用。

II类：适用于温带地区，供不具备取暖设备的室内使用。

III类：适用于寒带地区，供在不固定地区的室内及室外

使用，如流动性很大的设备、船舰、飞机等。

三类仪表和附件的工作使用条件和最恶劣条件（指不在此条件下工作，但是，经受此条件之后仍能正常工作），见表2-1。

表 2-1 仪表的类别和使用条件

环境条件参数 / 分 类		I	II	III
工作条件	温 度	0~+40℃	-20~+50℃	-40~+60℃
	相对湿度	95%	95%	95%
	(当时温度)	(+25℃)	(+25℃)	(+35℃)
	霉菌、昆虫	有	有	有
	盐 雾	无	*	*
最恶劣条件	凝 露	有	有	有
	尘 砂	有	有	有
	温 度	-40~+60℃	-40~+60℃	-50~+60℃
	相对湿度	95%	95%	95%
	(当时温度)	(±35℃)	(+35℃)	(+60℃)
最恶劣条件	霉菌、昆虫	有	有	有
	盐 雾	有	有	有
	(在海运包装条件下)	(在海运包装条件下)	(在海运包装条件下)	(在海运包装条件下)
	凝 露	有	有	有

* 室内使用时，无盐雾影响；室外使用时，当使用单位提出现场有盐雾，应能耐受盐雾影响。相对湿度允许偏差±3%。

一般情况下，仪表的额定温度为±20℃；供热带地区使用的仪表，也允许定为+27℃。

3.按照仪表和附件外壳的防护性能分类

按防护性能可以分为：普通式、防尘式、防溅式、防水式、水密式、气密式、隔爆式等七种。

4. 按照仪表和附件耐受机械作用力的性能分类

按耐受机械作用力性能可以分为普通的和能够耐受机械作用力的（包括防颠簸的、耐颠簸的、耐振动的和抗冲击的）两种。

5. 按照仪表对外界电、磁场的防御能力分类

按防御能力可以分为：I；II；III及IV的四等。仪表对外界电、磁场的防御等级愈高，则外界电、磁场对仪表测量所引起的误差愈小；反之，则高。

6. 按照仪表的工作原理分类

根据仪表的工作原理（包括流比计）可以分为：磁电系、动磁系、电磁系、极化系、电动系、铁磁电动系、磁感应系、静电系、振簧系、热线系、双金属系、热电系、整流系、感应系、电子系等15种类型。

7. 按照仪表可动部分的支承方式分类

按可动部分的支承方式，可以分为轴尖轴承式、张丝式和吊丝式三种。

8. 按照仪表读数装置的结构形式分类

按读数装置的结构形式可以分为指针式、光指示式和振簧式三种。

9. 按照仪表标度尺上零值的位置分类

按标度尺上零值的位置可以分为单向标度尺仪表、双向标度尺仪表和无零位仪表三种。

10. 按照仪表的使用方式分类

按仪表的使用方式可以分为开关板式仪表（见表8-2）和可以携带式仪表两种。

11. 按照仪表标度尺的特性分类

按标度尺的特性可以分为均匀标度尺仪表和不均匀标度

尺仪表。

表 2-2 开关板式仪表外形尺寸 (mm)

外形 类型	正 方 形		矩 形	精 形
	90°转角	240°转角		
微 形	20×20 30×30 40×40 (45×45)			40×12
小 形	60×60 (65×65) 80×80 (85×85)	60×60 80×80 100×100 (110×110)	100×80	60×20 80×20 80×40
中 形	120×120 160×160	120×120 (135×135) 160×160 (185×185)	120×120 (120×) 160×	120×60 160×80
大 形	(240×240) (360×360)			
巨 形	(480×480)			

注 表中括号内的数值不提倡使用。

12.按照仪表的外形尺寸分类

按外形尺寸可以分为微形的、小形的、中形的、大形的和巨形的五种 (见表2-3)。

13.按照测量对象的种类分类

按测量对象可以分为电流表 (又可分为安培表、毫安表和微安表)，电压表 (又可分为伏特表、毫伏表)、功率表、欧姆表、电度表、频率表等。

14.按照被测量的性质分类

按被测量的性质可以分为直流仪表、交流仪表和交直流

两用仪表。

表 2-3 仪表的外形尺寸 (mm)

仪表分类名称	仪表正面部分最大几何尺寸	
	可携带式仪表	开关板式仪表
微型仪表	≤75	≤50
小型仪表	>75~150	>50~100
中型仪表	>150~300	>100~200
大型仪表	>300	>200~400
巨型仪表	—	>400

表 2-4 常见电气测量单位的符号

测量单位名称		单 位 符 号	测量单位名称	单 位 符 号
千 安	安培	kA	吉 欧	GΩ
安		A	兆 欧	MΩ
毫 安	安	mA	千 欧	kΩ
微 安	安伏	μA	欧 姆	Ω
千 伏	伏特	kV	毫 欧	mΩ
伏		V	微 欧	μΩ
毫 伏	伏伏	mV	相 位 角	φ
微 伏	伏	μV	功率因数	cos φ
兆 瓦	瓦	MW	库 伦	C
千 瓦	瓦特	kW	毫 韦 伯	mWb
瓦		W	毫韦伯/米²	mT
兆 乏	乏	Mvar	微 法	μF
千 乏		kvar	皮 法	pF
乏		var	亨	H
兆 赫	赫	MHz	毫 亨	mH
千 赫	赫	kHz	微 亨	μH
赫	兹	Hz	摄氏温度	℃

表 2-5 仪表和附件的工作原理图形符号

分 类 名 称	图 形 符 号	分 类 名 称	图 形 符 号
磁电系仪表		铁磁电动系仪表	
磁电系比率表		铁磁电动系比率表	
动磁系仪表		感应系仪表	
动磁系比率表		感应系比率表	
电磁系仪表		磁感应系仪表	
电磁系比率表		静电系仪表	
极化电磁系仪表		振簧系仪表	
电动系仪表		热线系仪表	
电动系比率表		双金属系仪表	