



国家电网
STATE GRID

国家电网公司
生产技能人员职业能力培训通用教材

电工仪表与测量

国家电网公司人力资源部 组编

GUOJIADIANWANGGONGSI
SHENGCHANJINENG RENYUAN
ZHIYENENGLI PEIXUN
TONGYONG JIAOCAI



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



国家电网
STATE GRID

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

电工仪表与测量

国家电网公司人力资源部 组编

白卫平 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训教材》是按照国家电网公司生产技能人员标准化培训课程体系的要求,依据《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》(简称《培训规范》),结合生产实际编写而成。

本套教材作为《培训规范》的配套教材,共 72 册。本册为通用教材的《电工仪表与测量》,全书共十一章、47 个模块,主要内容包括电工仪表与测量的基本知识,测量用互感器,磁电系仪表,电磁系仪表,电动系仪表及功率的测量,万用表与钳形电流表,绝缘电阻表与接地电阻测试仪,直流电桥与交流电桥,电测量变送器,电子测量仪器,数字式仪表。

本书是供电企业生产技能人员的培训教学用书,也可以作为电力职业院校教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工仪表与测量 / 国家电网公司人力资源部组编. —北京:中国电力出版社, 2010

国家电网公司生产技能人员职业能力培训通用教材

ISBN 978-7-5083-9653-8

I. 电… II. 国… III. ①电工仪表-技术培训-教材
②电气测量-技术培训-教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 200831 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 5 月第一版 2010 年 5 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 7.75 印张 137 千字

印数 0001—3000 册 定价 14.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《国家电网公司生产技能人员职业能力培训通用教材》

编 委 会

主 任 刘振亚

副 主 任 郑宝森 陈月明 舒印彪 曹志安 栾 军
李汝革 潘晓军

成 员 许世辉 王风雷 张启平 王相勤 孙吉昌
王益民 张智刚 王颖杰

编写组组长 许世辉

副 组 长 方国元 张辉明 徐伟良

成 员 白卫平 詹洪炎 范东明 王锡平 鞠宇平
倪 春 江振宇 李群雄 曹爱民 徐 林
胡文堂 张 冰



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

前言

为大力实施“人才强企”战略，加快培养高素质技能人才队伍，国家电网公司按照“集团化运作、集约化发展、精益化管理、标准化建设”的工作要求，充分发挥集团化优势，组织公司系统一大批优秀管理、技术、技能和培训教学专家，历时两年多，按照统一标准，开发了覆盖电网企业输电、变电、配电、营销、调度等 34 个职业种类的生产技能人员系列培训教材，形成了国内首套面向供电企业一线生产人员的模块化培训教材体系。

本套培训教材以《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》(Q/GDW 232—2008)为依据，在编写原则上，突出以岗位能力为核心；在内容定位上，遵循“知识够用、为技能服务”的原则，突出针对性和实用性，并涵盖了电力行业最新的政策、标准、规程、规定及新设备、新技术、新知识、新工艺；在写作方式上，做到深入浅出，避免烦琐的理论推导和论证；在编写模式上，采用模块化结构，便于灵活施教。

本套培训教材包括通用教材和专用教材两类，共 72 个分册、5018 个模块，每个培训模块均配有详细的模块描述，对该模块的培训目标、内容、方式及考核要求进行了说明。其中：通用教材涵盖了供电企业多个职业种类共同使用的基础知识、基本技能及职业素养等内容，包括《电工基础》、《电力生产安全及防护》等 38 个分册、1705 个模块，主要作为供电企业员工全面系统学习基础理论和基本技能的自学教材；专用教材涵盖了相应职业种类所有的专业知识和专业技能，按职业种类单独成册，包括《变电检修》、《继电保护》等 34 个分册、3313 个模块，根据培训规范职业能力要求，I、II、III 三个级别的模块分别作为供电企业生产一线辅助作业人员、熟练作业人员和高级作业人员的岗位技能培训教材。

本套培训教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略，充分发挥企业培养高技能人才主体作用的重要举措，是加快推进国家电网公司发展方式和电网发展方式转变的具体实践，也是有效开展电网企业教育培训和人才培养工作的重要基础，必将对改进生产技能人员培训模式，推进培训工作由理论灌输向能力培养转型，提高培训的针对性和有效性，全面提升员工队伍素质，保证电网安全稳定运行、支

撑和促进国家电网公司可持续发展起到积极的推动作用。

本册为通用教材部分的《电工仪表与测量》，由浙江省电力公司具体组织编写。

全书第一章、第九章由浙江省电力公司白卫平编写；第二章、第六章、第七章由浙江省电力公司范东明编写；第三章、第四章、第五章、第八章的部分小节由浙江省电力公司詹洪严编写；第八章的部分小节、第十章、第十一章由浙江省电力公司王锡平编写。全书由浙江省电力公司白卫平担任主编。陕西省电力公司刘晓莉担任主审，陕西省电力公司吴安岚、李文刚参审。

由于编写时间仓促，难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见，使之不断完善。



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

国家电网公司

生产技能人员职业能力培训通用教材

目 录

前言

第一章 电工仪表与测量的基本知识	1
模块 1 电工测量的基础知识 (TYBZ01101001)	1
模块 2 电工仪表的分类及表面标志 (TYBZ01101002)	2
模块 3 电工仪表的组成及作用 (TYBZ01101003)	8
模块 4 电工仪表的误差及准确度等级 (TYBZ01101004)	10
模块 5 电工仪表的主要技术要求 (TYBZ01101005)	12
模块 6 电测量指示仪表的正确选择与使用方法 (TYBZ01101006)	14
模块 7 测量误差及其消除办法 (TYBZ01101007)	18
模块 8 有效数字及测量结果的表示 (TYBZ01101008)	20
第二章 测量用互感器	22
模块 1 电压互感器 (TYBZ01102001)	22
模块 2 电流互感器 (TYBZ01102002)	25
模块 3 互感器的选择与使用方法 (TYBZ01102003)	28
第三章 磁电系仪表	30
模块 1 磁电系测量机构 (TYBZ01103001)	30
模块 2 磁电系电流表 (TYBZ01103002)	32
模块 3 磁电系电压表 (TYBZ01103003)	34
模块 4 磁电系检流计 (TYBZ01103004)	35
模块 5 磁电系仪表的技术性能与使用 (TYBZ01103005)	37
第四章 电磁系仪表	39
模块 1 电磁系测量机构 (TYBZ01104001)	39

模块 2	电磁系电流表 (TYBZ01104002)	40
模块 3	电磁系电压表 (TYBZ01104003)	41
模块 4	电磁系仪表的技术性能与使用 (TYBZ01104004)	42
第五章	电动系仪表及功率的测量	45
模块 1	电动系测量机构 (TYBZ01105001)	45
模块 2	电动系电流表和电压表 (TYBZ01105002)	47
模块 3	单相电动系功率表 (TYBZ01105003)	48
模块 4	三相有功功率的测量 (TYBZ01105004)	51
模块 5	三相无功功率的测量 (TYBZ01105005)	52
模块 6	电动系功率因数表 (TYBZ01105006)	55
第六章	万用表与钳形电流表	57
模块 1	万用表的结构和原理 (TYBZ01106001)	57
模块 2	万用表的使用 (TYBZ01106002)	59
模块 3	钳形电流表 (TYBZ01106003)	60
第七章	绝缘电阻表与接地电阻测试仪	63
模块 1	绝缘电阻表的结构和测量原理 (TYBZ01107001)	63
模块 2	绝缘电阻表的选择和使用 (TYBZ01107002)	65
模块 3	接地电阻测量仪的工作原理 (TYBZ01107003)	67
模块 4	接地电阻测量仪使用 (TYBZ01107004)	69
第八章	直流电桥与交流电桥	72
模块 1	直流单臂电桥 (TYBZ01108001)	72
模块 2	直流双臂电桥 (TYBZ01108002)	75
模块 3	交流电桥 (TYBZ01108003)	78
第九章	电测量变送器	80
模块 1	电测量变送器概述 (TYBZ01109001)	80
模块 2	交流电流和交流电压变送器 (TYBZ01109002)	81
模块 3	功率变送器 (TYBZ01109003)	84
模块 4	功率因数变送器 (TYBZ01109004)	88
模块 5	其它变送器简介 (TYBZ01109005)	89

第十章 电子测量仪器	91
模块 1 电子示波器 (TYBZ01110001)	91
模块 2 模拟式电子电压表 (TYBZ01110002)	94
 第十一章 数字式仪表	98
模块 1 直流数字电压表 (TYBZ01111001)	98
模块 2 数字万用表 (TYBZ01111002)	101
模块 3 电子计数器 (TYBZ01111003)	105
模块 4 自动测试系统与智能仪表 (TYBZ01111004)	108



第一章 电工仪表与测量的 基本知识

模块 1 电工测量的基础知识 (TYBZ01101001)

【模块描述】本模块介绍电工测量的基本概念和三种测量方法。通过概念描述、术语说明、原理讲解，了解电工测量的基础知识。

【正文】

电工测量是借助于测量设备，将被测量的电量或磁量，与作为同类标准量进行比较，从而确定被测电量或磁量的过程。比较的结果一般包括两部分：一是数据值，二是单位名称。

测量单位的确定和统一是非常重要的。为了对同一量在不同时间和地点进行测量时，都能得到相同的结果，必须采用一种公认而又固定不变的单位。只有这样测量才有实际意义。

电工测量的数据主要是反映电和磁特征的物理量，如电流、电压、电功率、电能等；反映电路特征的物理量，如电阻、电容、电感等；反映电和磁变化规律的物理量，如频率、相位、功率因数等。对被测量与标准量进行比较的测量设备，包括测量仪器和作为测量单位参与测量的度量器。进行电量或磁量测量的各种仪器、仪表，统称为电工测量仪表。进行电工测量时，应根据被测量的性质和测量的目的，选择不同的测量仪表和不同的测量方法。

常用电工测量方法有三种：

1. 直接测量法

直接测量是指测量结果可从一次测量的数据中得到。如用电流表测量电流、用欧姆表测量电阻等都属于直接测量法。此方法测量简便、读数迅速，但准确度较低。

2. 间接测量

间接测量只能测出与被测量有关的电量，然后经过计算求得被测量。如用伏安



法测量电阻，先测量电阻两端的电压和经过电阻的电流，最后再根据欧姆定律计算出被测的电阻值。间接测量法的误差比直接测量法大。

3. 比较测量法

比较测量是将被测的量与度量器在比较仪器中进行比较后，而得到被测量数值的一种方法，比较测量又可分为零值法、较差法和替代法三种。

(1) 零值法（又称平衡法）。它是利用被测量对仪器的作用，与已知量对仪器的作用两者相抵消的方法，由指示仪表作出判断。即当指零仪表指零时，表明被测量与已知量相等。就像天平称物体的重量一样，当指针指零时，表明被测物重量与砝码的重量相等，根据砝码的指示重量便知所称重物的重量数值。由此可见，零值法测量的准确度，取决于度量器的准确度和指示仪表的灵敏度。电桥和电位差计都是采用零值法原理进行测量的。

(2) 较差法。较差法是利用被测量与已知量的差值作用于测量仪器而实现测量目的的一种测量方法，较差法有较高的测量准确度。标准电池的相互比较就采用这种方法。

(3) 替代法。利用已知量代替被测量，而不改变测量仪器原来的读数状态。这时被测量与已知量相等，从而获得测量结果，其准确度主要取决于标准量的准确度和测量装置的灵敏度。

比较法的优点是准确度和灵敏度都较高，其准确度最小时可达 $\pm 0.001\%$ ；缺点是设备复杂，操作麻烦，此方法常用于精密测量。

【思考与练习】

1. 常用电工测量方法有哪几种？
2. 常用比较测量方法有哪几种？

模块 2 电工仪表的分类及表面标志 (TYBZ01101002)

【模块描述】本模块介绍常用电工仪表的分类、表面标志符号和型号的含义。通过概念描述、术语说明、列表示意，熟悉常用电工仪表的分类及表面标志。

【正文】

一、常用电工仪表的分类

常用电工仪表种类繁多，有多种不同的分类方法，通常可分为指示仪表、比较仪表、图示仪表和数字仪表四大类型。

- 1) 指示仪表：在电工测量领域中，指示仪表品种最多，应用最广泛，其分类

方法如下:

(1) 按工作原理分类: 有磁电系、电磁系、电动系、铁磁电动系、感应系、静电系仪表等类型。

(2) 按被测量分类: 有电流表、电压表、电能表、功率表、绝缘电阻表等类型。

(3) 按使用方法分类: 有便携式和固定式仪表。

(4) 按准确度等级分类: 有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 等 7 个准确度等级类型的仪表。

(5) 按使用条件分类: 有 A、B、C 三组类型的仪表。C 型仪表更适应恶劣环境。

(6) 按仪表防御工频磁场或外电场分类: 有 I、II、III、IV、V 五种类型。数字越大, 防御工频磁场或外电场的能力越强。

2) 比较仪表: 比较仪表用于比较测量中, 它包括各类交、直流电桥及直流电位差计等。比较法测量准确度高, 但操作比较复杂。

3) 图示仪表: 图示仪表主要用来显示两个相关量的变化关系, 常用的有示波器。这类仪表直观效果好, 但不能作为精密测量。

4) 数字仪表: 数字仪表是采用数字测量技术, 将被测的模拟量转换成为数字量, 直接读出, 常用的有数字电压表、数字万用表等。

二、常用电工仪表面板的基本特征

电工仪表的面板上标有各种符号, 表明仪表的基本特征。常用电工仪表面板符号见表 TYBZ01101002-1。

表 TYBZ01101002-1

常用电工仪表面板符号

测量单位的符号		测量单位的符号	
名 称	符 号	名 称	符 号
安 [培]	A	兆欧	MΩ
毫安	mA	千欧	kΩ
微安	μA	欧姆	Ω
千伏	kV	千赫	kHz
伏 [特]	V	赫兹	Hz
毫伏	mV	毫韦伯	mWb
千瓦	kW	微法	μF
瓦 [特]	W	皮法	pF
千乏	kvar	毫亨	mH
乏	var	微亨	μH



续表

被测量的性质和测量元件数		准确度等级	
名 称	符 号	名 称	名 称
直流线路和/或直流响应的测量元件		基准值为标度尺长或指示值或量程者除外	1
交流线路和/或交流响应的测量元件		基准值为标度尺长	
直流和/或交流线路和/或直流和交流响应的测量元件		基准值为指示值	
		基准值为量程	
三相交流线路(通用符号)	3~	通 用 符 号	
一个测量元件(E)用于三线网络	3~1E	名 称	符 号
一个测量元件(E)用于四线网络	3N~1E	磁电系仪表	
两个测量元件(E)用于不平衡负载三线网络	3~2E	磁电系比率表	
两个测量元件(E)用于不平衡负载四线网络	3N~2E	动磁系仪表	
三个测量元件(E)用于不平衡负载四线网络	3N~3E	动磁系比率表	
使 用 位 置		名 称	符 号
名 称	符 号		
标度盘垂直使用的仪表		电磁系仪表	
		极化电磁系仪表	
标度盘水平使用的仪表		电磁系比率表	
		电动系仪表	
标村盘相对水平面倾斜(例 60°)的仪表		铁磁电动(铁心电动)	
仪表标称使用范围为 80°~100°		电动系比率表	
		铁磁电动(铁心电动)系比率表	
仪表标称使用范围为 -1°~+1°		感应系仪表	
仪表标称使用范围为 45°~75°		感应系比率表	
		双金属系仪表	

续表

通 用 符 号		通 用 符 号	
名 称	符 号	名 称	符 号
静电系仪表		零位(量程)调节器	
弹簧系仪表		参考单独文件	
直热式热电偶 (热电变换器)		产生与等级指数相对应的 改变量, 电场强度用 kV/m 表示 (例 10kV/m)	
间热式热电偶 (热电变换器)		通用附件	
测量线路中有电子器件		厚度为 X 的铁磁支架	FeX
辅助线路中有电子器件		任意厚度的铁磁支架	Fe
整流器		任意厚度的非铁磁支架	NFe
分流器		支架或底板接端子	
串联电阻器		保护接地端	
串联电感器		无噪声接地端	
串联阻抗器		信号低端	
电屏蔽		正端	
磁屏蔽		负端	
无定向仪表	ast	电阻范围的设定调整器	
产生与等级指数相对应的 改变量, 磁场强度用 kA/m 表示 (例 2kA/m)		装有过载保护器件	
接地端 (通用符号)		装有过载复位保护器件	



三、电工仪表的型号含义

电工仪表的型号是按国家标准中有关电工仪表型号编制法编制的。通过电工仪表型号，可以了解仪表的用途及工作原理。

1. 安装式指示仪表

安装式指示仪表的型号及含义如图 TYBZ01101002-1 所示。

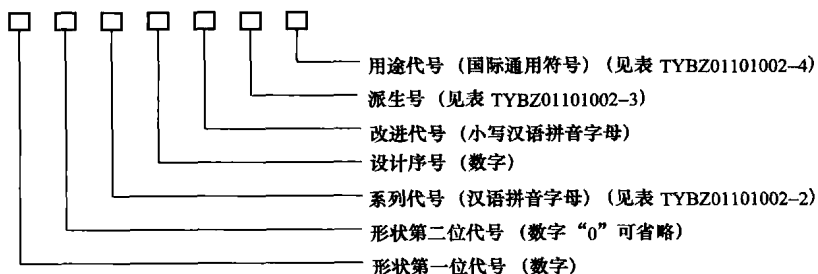


图 TYBZ01101002-1 安装式指示仪表的型号及含义

表 TYBZ01101002-2

系 列 代 号

名 称	代 号	名 称	代 号
磁电系	C	电磁系	T
电动系	D	光电系	U
热电系	E	电子系	Z
感应系	G	双金属系	S
整流系	L	热线系	R
静电系	Q	谐振系	B

表 TYBZ01101002-3

派 生 代 号

代号	T	TH	TA	G	H	F
意义	湿热干热两用	湿热两用	干热带用	高原用	船用	化工防腐用

表 TYBZ01101002-4

用 途 代 号

名 称	符 号	名 称	符 号
电流表	A、mA、 μ A、kA	电量表	Q
电压表	V、mV、 μ V、kV	多用表	V-A、V-A-Q
有功功率表	W、kW、MW	频率表	Hz、MHz
无功功率表	var、kvar、Mvar	相位表	ϕ
欧姆表	Ω 、m Ω 、 $\mu\Omega$ 、k Ω 、M Ω	功率因数表	cos ϕ

2. 实验室用指示仪表

实验室用指示仪表的型号及含义（无形状尺寸代号）如图 TYBZ01101002-2 所示。

3. 便携式及其他仪表

便携式及其他仪表的型号及含义如图 TYBZ01101002-3 所示。

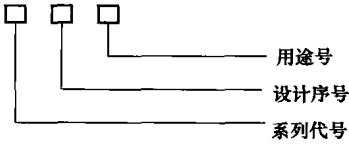


图 TYBZ01101002-2 实验室用指示
仪表的型号及含义

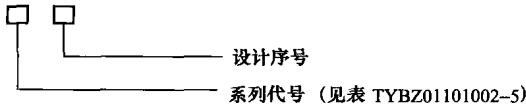


图 TYBZ01101002-3 便携式及其他
仪表的型号及含义

表 TYBZ01101002-5

便携式及其他仪表系列代号

系列名称	代 号	分 类 名 称	代 号
专用仪表	M	万用表	MF
		钳形电流表	MG
		成套仪表	MZ
电桥	Q	直流电桥	QJ
		交流电桥	QS
		多用电桥	QF
电阻表	Z	绝缘电阻表	ZC
		接地电阻表	ZC



续表

系列名称	代 号	分 类 名 称	代 号
电能表	D	单相交流电能表	DD
		三相三线交流电能表	DS
		三相四线交流电能表	DT
		直流电能表	DJ
		无功电能表	DX
数字式仪表	P	欧姆表	PC
		万用表	PF
		频率表	PP

【思考与练习】

1. 指示仪表分多少个准确度等级？
2. 哪一种电工仪表的测量精度较高？

模块3 电工仪表的组成及作用 (TYBZ01101003)

【模块描述】本模块介绍电工仪表的组成、结构及测量原理、指示仪表的测量机构。通过概念描述、术语说明、原理讲解、框图示意，了解电工仪表的组成及各部分作用。

【正文】

各种形式的电工仪表主要有两大部分组成：测量机构和指示装置。指示被测量的大小的机构，称为仪表的指示装置。

不同形式仪表的测量机构，尽管在动作方式上完全不同，可是它们在仪表中的功能却是相同的，都由两部分组成——固定部分与可动部分。即在被测量的作用下，内部产生转矩，推动可动部分偏转，指示被测量的大小。这种功能方面的相同，导致了它们在组成方面有许多共同之处。

一、电工指示仪表的结构及测量原理

电工指示仪表主要由测量机构和测量线路两部分组成。测量机构是仪表的核心，它由固定部分和可动部分组成。固定部分包括磁路系统、固定线圈等。可动部分包括可动线圈、可动铁心、指针、游丝等。

(1) 测量机构。电工指示仪表把被测电量转化为仪表可动部分的偏转角在转换过程中使两者之间保持确定的关系，从而用偏转角的大小来反映被测量的数值。因此，各种电工指示仪表都有一个接受电量后产生偏转运动的机构，即测量机构。