

内 容 提 要

本书是根据部颁《电力工人技术等级标准》编写的，全书共分十九章，比较系统地对精密型磁电系、电磁系、电动系仪表，电能表的结构原理，检定装置，互感器及其检定装置，电能计量装置的综合误差和测量误差的基本概念等等，作了详细的介绍。为普及电子技术，还对常用数字测量仪表（如数字频率表、直流数字电压表、繁用表）、电子示波器、稳压电源等作了简要的叙述。为加强基层班组建设，同时还介绍了电气仪表班组生产技术管理的基本知识。为便于培训和考核，每章之后均附有复习题。

本书供电力系统电测仪表专业经初、中级工培训后的高级工学习使用，也可供技工学校、中等专业学校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电测仪表：高级工/山西省电力工业局编. -北京：中国电力出版社，1997

全国火力发电工人通用培训教材

ISBN 7-80125-215-2

I. 电… II. 山… III. 电工仪表-技术培训-教材
N. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 18728 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市水利局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1997 年 5 月第一版 1997 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 17.25 印张 379 千字

印数 0001—5130 册 定价 17.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

序

《全国火力发电工人通用培训教材》出版、发行了，这是电力职工培训工作的一件大事。

工人技术培训教材建设，是搞好培训、提高人员素质、直接为生产服务的一项重要基础工作。电力工业部领导对电力职工队伍的培训和教材建设非常重视，多次为之做过重要指示。

关于电力工人培训教材建设工作，多年来我部取得了较大的成绩，得到了劳动部的肯定。由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》已发行、使用 10 余年，并多次重印，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的需要，有力地促进了培训工作的开展。在 1987 年全国电力普及读物评优中，这两套培训教材荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

但是，随着我国电力工业技术装备的不断更新和技术水平的不断提高，对电业生产人员的素质相应地提出了更高的要求。此外，由于劳动、培训制度改革不断深化，关于工人培训教育的思想、方法和手段也发生了深刻变化。为适应这一新情况、新需要，进一步加强电力工人培训教材的建设，有必要对原编写的两套培训教材进行修订和增补。为此，决定由山西省电力工业局重新编写《全国火力发电工人通用培训教材》。这套新编的培训教材业经中电联教培部组织审定，

作为全国火力发电工人通用的培训教材，由中国电力出版社出版、发行。

《全国火力发电工人通用培训教材》具有相当的权威性。首先，这套培训教材的编写依据，是电力工业部、劳动部颁发的《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》和中电联教培部《关于电力工人培训教材建设的意见》，以及有关电业生产、建设的技术规程、规范。无论是在内容的取舍上，还是在深度的把握上，这套教材都是按以上国家标准和部颁规程、规范的要求来进行的。

其次，这套培训教材从总体设计上来讲，思路是清晰的，指导思想是正确的。教材的编写突破了传统的学校教科书模式，注意按照工人培训的特点和规律，安排教学内容，即强调实用性，并且“以工种立目，以岗位立篇”。与每一个专业工种对应的初、中、高三个分册在内容上是阶梯式递进的，互不重复或不简单重复。这些思路都是超前的、可行的，符合中电联教培部《关于电力工人培训教材建设工作的意见》的精神。

再有，这套培训教材的编写、出版力量都是相当强的。其作者是山西省电力系统中技术上比较权威的专家，有相当丰富的培训工作经验，基本上能够代表全国电力系统的技术力量水平。作为全国首批认定的15家优秀出版社之一的电力出版社，无论在编辑力量和水平上，还是在出版质量上，都是国内一流的。对于这套培训教材，出版社领导亲自挂帅，组织了20余人的编辑班子，精心策划，全面指导，精雕细刻，因此，其质量是高的。

《全国火力发电工人通用培训教材》的另一个特点是实用性较强。一方面，这套培训教材是从生产实际需要和工人实

际水平出发，进行设计、编写的。为了使教材更具有针对性，更加实用，我们做了大量的前期工作，对电力系统的人员结构、整体素质进行过调查和认真分析。这套培训教材不仅适用于具有初中及以上文化程度、没有经过系统专业培训的电力生产人员，而且对于现场的工程技术人员，也是有参考价值的。另一方面，这套培训教材以培养工人实际能力为重点，以提高工人操作技能为主线，教材中所提供的“知识”是为“技能”服务的，因而增强了教材的实用性，使经过培训的工人能较快运用所学的知识 and 掌握的技能，指导或改进所从事的生产实践。

此外，这套培训教材图文并茂，通俗易懂，好学好用，特别适合于工人学习。

当然，《全国火力发电工人通用培训教材》所反映的是普遍适用的主要内容。各单位在使用过程中，只要结合本单位的设备、工艺特点和人员素质的实际情况，在内容上做适当的补充和调整，便可有针对性地对本单位职工开展培训。

《全国火力发电工人通用培训教材》是《全国电力工人公用类培训教材》的延伸，两套培训教材要配合使用。这些培训教材的出版，必将对我国电力职工培训工作的有效开展和“九五”期间电力职工素质的提高，产生积极而深远的影响。

中国电力企业联合会教育培训部

1996年12月

前 言

由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》，发行、使用已历时 10 余年。其间，《学徒工初级工》各分册分别重印 5 至 9 次，《中级工》各分册分别重印 4 至 7 次，发行量很大，深受全国电力系统广大读者的欢迎，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的要求，取得了显著的社会效益。为此，这两套培训丛书在全国电力普及读物评优中，荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

10 余年来，由于改革开放的不断深入发展，我国的电力工业有了很大的发展，现已普遍进入大机组、大电网、高参数、超高参数、高电压、超高电压和高度自动化的发展阶段，对电业生产人员的素质提出了更高的要求。继 1991 年 12 月原能源部颁发的《电力工人技术等级标准》之后，1995 年 9 月电力工业部、劳动部又颁发了《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》。因此有必要根据电力生产的新情况和电力工人技术等级标准的新要求，对上述两套培训教材进行修订并增补高级工培训教材。经山西省电力工业局和中国电力出版社通力合作，并在全国电力工人技术教育研究所的支持下，现编写、出版了这套《全国火力发电工人通用培训教材》。本套丛书的内容覆盖了火力发电 16 个专业对初、中、高级工的技术要求，每个专业分初级工、中级工、高级工三个分册出版，共计 48 个分册；每一分册中又以各专业的不同岗位工种设“篇”，共覆盖了 40 余个工种。

在编写本套丛书的过程中,首先根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定,紧扣标准提出的知识要求和技能要求,从火电生产实际需要出发拟出初步的编写提纲;经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲;之后,又历时半年余,始成初稿。初稿形成后,在局系统内进行了专家审稿和主编者的修改、统稿工作。因此,定稿后的火力发电工人培训教材,深信是紧扣新的工人技术等级标准的实用性教材。

火力发电工人培训教材,体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则,尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法;教材以 300MW 机组及其辅机为主,兼顾 600MW 和 200MW 机组及其辅机的内容,因而有相当的先进性和普遍适用性,适应于“九五”期间主要机型的技术要求。与每一专业对应的初、中、高级工三个分册,自成一个小的系列,呈阶梯式递进,内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样,解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。有些习题,如操作题、读绘图题、设计试验题等,主要用以培养和巩固必备的技能。鉴于全国电力系统各基层单位、部门培训力量和师资水平并不平衡,学员水平也参差不齐,所以有必要为每一分册编写相应的《教材使用说明和习题解答》,这将在本套丛书出版后陆续推出。

本书是《电测仪表》高级工培训教材,全书共分十九章。第一至第七章主要阐述了测量误差的基本概念,精密型磁电系、电磁系、电动系仪表的结构原理、检定方法和误差调整,检定装置的原理、检定方法。第八至第十章讲述直流电位差

计、标准电阻、标准电池的工作原理、技术要求和正确使用。第十一章介绍了仪表班组技术管理的基本知识。第十二章至第十四章。讲述了数/模转换器的工作原理，着重介绍了常用数字测量仪表及电子示波器、稳压电源等的常见故障与维修方法。第十五章至第十六章讲述感应系电能表、电子式电能表的误差特性，检定装置的检定和电能计量装置接线检查方法。第十七章至第十九章讲述测量用电流互感器、电压互感器的误差和电能计量装置综合误差的计算方法和互感器校验仪的工作原理及正确使用。

本书第一章至第十一章由王在英编写，第十二章至第十四章由曹锐编写，第十五章、第十六章由尹瑞平编写，第十七章至第十九章由仇汴编写。全书由张同福主编，山西省太原供电公司高级工程师阎刘生主审。

在中电联教培部为本套培训教材组织的审定会议上，本书由武汉供电局生技科科长张文莲审定，并被推荐为全国火力发电工人通用培训教材。

在编写这套《全国火力发电工人通用培训教材》的过程中，得到了电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持，同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助，他们为本书进行了审定，提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议，在此一并表示衷心的感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现有不妥之处或需修改的意见，敬请随时函告，以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1996年11月

目 录

序

前 言

第一章 测量误差概述	1
第一节 测量的定义和分类	1
第二节 测量误差的基本概念	3
第三节 测量误差的处理	6
第四节 测量数据的处理	26
复习题	31
第二章 磁电系仪表	36
第一节 常见的磁路系统结构	36
第二节 精密磁电系仪表的结构特点	39
第三节 磁电系仪表的温度误差及其补偿	51
第四节 磁电系仪表的误差调整	60
复习题	65
第三章 电磁系仪表	69
第一节 电磁系仪表的原理结构	69
第二节 电磁系仪表附加误差与补偿	77
第三节 精密型电磁系仪表的误差调整	85
复习题	97
第四章 电动系仪表	100
第一节 电动系仪表的结构特点	100
第二节 电动系仪表的附加误差与补偿线路	105
第三节 电动系仪表的原理线路、技术数据及误差调整	115

第四节	功率表的正确使用	126
复习题		129
第五章	交直流电表的检定	132
第一节	直流补偿法	132
第二节	热电比较法	136
第三节	电表检定装置	140
第四节	数字表法	154
复习题		159
第六章	直流仪表检定装置的检定	163
第一节	技术要求	163
第二节	检定装置的检定项目及方法	167
复习题		183
第七章	交流仪表检定装置的检定	186
第一节	技术要求	186
第二节	检定装置的检定项目及方法	188
复习题		201
第八章	直流电位差计	205
第一节	直流电位差计的工作原理	205
第二节	直流电位差计的分类与线路图的分析	221
第三节	直流电位差计的技术条件及检定	228
复习题		244
第九章	标准电阻	247
第一节	标准电阻的结构原理	247
第二节	标准电阻的主要技术指标	249
第三节	标准电阻的使用	252
复习题		253
第十章	标准电池	256
第一节	标准电池的原理及分类	256
第二节	标准电池的技术特性	258

第三节	标准电池的使用与保管	262
复习题		263
第十一章	电气仪表班组技术管理	266
复习题		276
第十二章	数/模转换器和模/数转换器	278
第一节	转换器的外围电路	278
第二节	数/模转换器与模/数转换器	285
复习题		302
第十三章	常用数字测量仪表原理与分析	305
第一节	数字频率计	305
第二节	直流数字电压表	315
第三节	数字繁用表	321
复习题		329
第十四章	电子测试仪器维修的基本知识	332
第一节	电子测试仪器的日常维护及检修的基本方法	332
第二节	电子示波器的基本检修方法	335
第三节	稳压电源的基本检修方法	337
第四节	电子示波器电源故障检修实例	338
复习题		342
第十五章	感应系电能表	344
第一节	电能表的力矩	344
第二节	电能表的误差特性	354
第三节	电子式电能表	372
第四节	电能表检定装置的检定	384
复习题		397
第十六章	电能计量装置的接线检查	401
第一节	停电检查	401
第二节	带电检查	406
第三节	电能表常见的错误接线及电量更正	429

复习题	443
第十七章 测量用互感器	447
第一节 电流互感器的误差计算公式及其补偿	447
第二节 电压互感器的误差计算公式及其补偿	458
复习题	462
第十八章 电能计量装置的综合误差	464
第一节 互感器合成误差的计算	464
第二节 电压互感器二次回路压降引起的误差	473
第三节 减小电能计量装置综合误差的方法	488
复习题	490
第十九章 互感器校验仪	493
第一节 电位差式互感器校验仪的工作原理	493
第二节 比较仪式互感器校验仪的工作原理	508
第三节 互感器校验仪的应用	520
第四节 互感器校验仪的正确使用方法	529
复习题	530
参考文献	533

第一章 测量误差概述

第一节 测量的定义和分类

一、测量

不论在电力生产过程中还是在科学实验中，测量是必不可少的程序，下面将进一步说明。

1. 测量的定义

测量是通过物理实验的方法，把被测量与其同类的单位量进行比较的过程，或者说为确定被测对象的量值而进行的试验过程。

2. 测量的过程

测量的过程一般分为下面三个阶段。

(1) 准备阶段：首先要明确测量的内容，比如是进行电流或是电压、功率等的测量，通过测量达到什么目的，然后确定测量方法及选择相适应的测量仪器。

(2) 测量阶段：在测量仪器具备所必须的测量条件下进行测量，按规范进行操作，认真记录测量数据。

(3) 数据处理阶段：根据记录的数据进行数据的处理，求得测量结果或测量误差，从而达到测量的目的。

3. 测量工具

测量工具有以下三类。

(1) 量具：量具是体现计量单位的器具。它分两部分，一部分量具可直接参与比较。如直尺、量杯……，另一部分量

具是间接地通过专用设备才能测量。如用标准电阻与被测电阻进行比较时，要通过专用设备“电桥”才能实现。

(2) 仪器：它包括电源设备、指示器、指示仪表等各种辅助设备。

(3) 测量装置：由量具、仪器、线路和开关等所组成，用来实现测量阶段的整体称谓。

4. 测量结果的表示

绝大多数测量结果是用数字表示的，主要内容包含数值、单位及误差，也可用图形及曲线来表示。

二、测量的方式和测量方法的分类

1. 测量方式的分类

测量方式可分为直接测量法、间接测量法和组合测量法。

(1) 直接测量法：直接测量法是可以直接从实际数据中获得测量结果，也就是用直读式的或比较式的量具对被测量进行测量，从而得到被测量的值。例如用频率表测频率，用电桥测电阻等。

(2) 间接测量法：间接测量法是通过对被测量有函数关系的其它量的测量，得到被测量值的测量方法。例如：用电位差计测量直流电流，就是通过电位差计测量了电流在电阻两端的电压降，而获得电流值。

(3) 组合测量法：组合测量法是直接测量与被测量具有一定函数关系的某些量，根据直接测量和间接测量所得的数据，解一组联立方程而求出各未知量值来确定被测量的大小。例如：测量标准电阻的温度系数 α 、 β 值，可以先测出检定时的温度 t_1 ，再根据下面所列电阻—温度公式 (1-1)，列出方程式 (1-2)，再求出电阻温度系数 α 、 β 值。

电阻—温度公式为

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \quad (1-1)$$

则
$$R_{t_1} = R_{20}[1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2] \quad (1-2)$$

2. 测量方法的分类

测量方法可分为比较测量法、替代测量法、微差测量法及零位测量法等。

(1) 比较测量法：它是将被测量直接与已知其值的同类量（或量具）相比较的测量方法。例如用电流表测量电流、用频率表测量频率等。

(2) 替代测量法：替代测量法简称替代法，它用与被测量相同的值替代被测量，在测量装置上有相似的效应，从而确定被测量的大小。例如：用直流电桥检定与其准确度等级相同的直流电阻箱，那么可选用高两个等级的直流电阻箱做标准量具，采用替代法测量来确定被测电阻箱的实际值。

(3) 微差测量法：微差测量法简称微差法，它是测量被测量与已知量之间的差值。例如：用低电势电位差计检定标准电池。使用该方法具备的条件是当作标准量具（已知量）的准确度等级要满足测量要求，且被测量和已知量之间的值很接近，而对于测量装置的准确度等级要求则较低。

(4) 零位测量法：零位测量法简称零位法，它是将被测量与已知量相比较，先固定用一个已知量，通过电气调零，使被测量与已知量之间的差值为零，而零位指示器（检流计）直接参与测量。例如：用直流电桥测量电阻值。

第二节 测量误差的基本概念

测量的目的是确定被测量值的大小，并力求准确无误。而

在实际测量过程中，由于测量仪表的误差、测量方法不完善以及环境条件的影响、计量人员的观察条件和技术素质欠佳、被测对象的不稳定等都会使测量结果失真，即产生测量误差。在大量的测量过程中，已经证实测量误差的产生是必然的，一切测量结果都具有误差，即误差自始至终存在于所有科学实验过程和测量过程中。一般说物理量的真值是测不出来的。

一、研究测量误差的意义

研究测量误差是根据其规律来改进测量方法和测量条件，尽量地减小测量误差，保证测量的质量。但不应无限度地追求测量误差的减小，还应正确与经济地组织测量工作的进行，以达到测量的目的。一个没有标明误差的测量结果，几乎是没有用处的数据，在测量工作中，测量结果与测量误差同等重要。

二、测量误差的分类

根据测量误差的性质，可分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类。

1. 系统误差

(1) 系统误差的定义：在相同测量条件下，多次测量同一被测量时，测量误差的绝对值（大、小）和符号（正、负）保持恒定，或在条件改变时，按某一确定的规律而变化的误差，称为系统误差。

(2) 系统误差的来源：系统误差主要来源于装置误差、方法误差、人员误差及环境误差。

1) 装置误差主要是由标准量具、仪器仪表、装置的辅助设备以及安装位置所引起的误差。如标准量具、仪器仪表的误差，电源失真度等。

2) 方法误差主要由于测量方法在理论上不完善或者采用

近似公式进行计算所造成的。如用电位差计测量低电势值的大小，在一个电流方向下进行测量，从而引入了热电势对测量结果的影响，即因测量方法而造成了测量误差。

3) 人员误差由于测量人员的工作经验、分辨能力、测量速度、能力等个人因素而引起的误差。如记录一个数据的速度，超前读数或滞后读数都会给测量带来误差。

4) 环境误差是在实际测量时，由于环境条件与要求的标准状态不一致而引起的误差。如仪器和仪表等按规定的环境条件下工作所产生的示值误差是基本误差，而在超出规定的环境条件下工作时则会带来附加误差。

2. 随机误差

(1) 随机误差的定义：随机误差亦称偶然误差，它是在相同条件下多次测量同一被测量时，误差的绝对值或符号均发生变化，其值大小，符号正负没有确定的变化规律，也不能事前预定的误差。在测量过程中，尽管测量的一切条件都没有改变，每次都慎重地操作，细心地测量，但多次重复测量都不会出现完全相同的结果，这就是随机误差对测量结果的影响。

(2) 随机误差产生的原因：由于各种独立的互不相关的因素，如空气波动、温度的微量变化、电磁场的微量变化等对测量结果的影响。虽然随机误差是没有规律的不可预定的，但是可以用多次测量法加以消除。

3. 粗大误差

(1) 粗大误差的定义：粗大误差简称粗差，它是明显地歪曲了测量结果的误差。

(2) 粗大误差产生的原因：粗大误差产生的原因是由于测量条件突然改变或测量人员不正确的行动造成的。如温度

的突变,电源的不稳定以及测量人员选用了不合格的仪器,不正确的接线,读错、记错、算错数据等。含有粗大误差的测量结果称为坏值,应予以剔除。

第三节 测量误差的处理

一、各种误差对测量结果的影响

1. 测量数据的数学期望

对于一个被测量在相同测量条件下,进行等精密度多次(n 次)独立测量,得到的值为 x_1 、 x_2 、 x_3 、 $\cdots$ 、 x_n ,被测量的算术平均值被定义为

$$x_{\text{moy}} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \cdots x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-3)$$

当测量次数 $n \rightarrow \infty$ 时,各测量结果的算术平均值被定义为数学期望

$$\alpha_x = \lim_{n \rightarrow \infty} x_{\text{moy}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-4)$$

2. 系统误差的数学表示方式

由于数学期望的测量次数 $n \rightarrow \infty$,此时,随机误差在测量次数 $n \rightarrow \infty$ 中正负误差互相抵消,那么测定值的数学期望即为真值 x_0 ,则测定值的数学期望 α_x 与测定值的真值 x_0 之差被定义为系统误差,即

$$\varepsilon = \alpha_x - x_0 \quad (1-5)$$

3. 随机误差的数学表示方式

在 n 次测量中,各次的测定值 x_i ($i=1 \sim n$)与数学期望