

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

火力发电职业技能培训教材

HUOLIFADIAN ZHIYE JINENG PEIXUN JIAOCAI

热工仪表及自动装置

《火力发电职业技能培训教材》编委会

紧贴职业技能鉴定
体现火电技术发展
突出实际操作技能



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

火力发电职业技能培训教材

热工仪表及自动装置

张建华 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本教材是根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》对火力发电职业技能鉴定培训的要求编写的。教材突出了以实际操作技能为主线,将相关专业理论与生产实践紧密结合的特色,反映了当前我国火力发电技术发展的水平,体现了面向生产实际的原则。

本教材基本上按《鉴定规范》中的火力发电运行与检修专业进行分册。全套教材总共15个分册,内容包括了《鉴定规范》中相关的近40个工种的职业技能培训。针对教材中的重点和难点,还将配套出版各分册的《复习题与题解》。

本教材的作者和审稿人均为长年工作在生产第一线的技术人员,有较好的理论基础和丰富的实践经验和培训经验。

本书为《火力发电职业技能培训教材》分册,包括热工仪表检修、热工自动装置检修、热工程控保护、热工仪表及控制装置安装和试验工种的培训内容。主要内容有:分散控制系统的原理和应用、热工温度的显示和记录仪表的校验与安装、压力和流量测量仪表的安装、自动调节设备及系统工作原理、单元机组负荷自动控制系统、锅炉与汽轮机设备的保护和连锁,以及火电厂常见程序控制系统的调试与维护等。

本教材为火力发电职业技能鉴定培训教材、火力发电现场生产技术培训教材,也可供火电类技术人员及技术学校教学使用。

图书在版编目(CIP)数据

热工仪表及自动装置/《火力发电职业技能培训教材》编委会编. —北京:中国电力出版社,2005

火力发电职业技能培训教材

ISBN 7-5083-2453-6

I. 热... II. 火... III. ①热工仪表-技术培训-教材②电力系统-自动装置-技术培训-教材
IV. ①TH10.7②TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第089512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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005年1月第一版 2006年3月北京第二次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 17.625印张 606千字
印数4001—8000册 定价30.00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)

前言

近年来,我国电力工业正向着大机组、高参数、大电网、高电压、高度自动化方向迅猛发展。随着电力工业体制改革的深化,现代火力发电厂对职工所掌握知识与能力的深度、广度要求,对运用技能的熟练程度,以及对革新的能力,掌握新技术、新设备、新工艺的能力,监督管理能力,多种岗位上工作的适应能力,协作能力,综合能力等提出了更高、更新的要求。这都急切地需要通过培训来提高职工队伍的职业技能,以适应新形势的需要。

当前,随着《中华人民共和国职业技能鉴定规范》(简称《规范》)在电力行业的正式施行,电力行业职业技能标准的水平有了明显的提高。为了满足《规范》对火力发电有关工种鉴定的要求,做好职业技能培训工作,中国国电集团公司、中国大唐集团公司与中国电力出版社共同组织编写了这套《火力发电职业技能培训教材》,并邀请一批有良好电力职业培训基础和经验、并热心于职业教育培训的专家进行审稿把关。此次组织开发的新教材,汲取了以往教材建设的成功经验,认真研究和借鉴了国际劳工组织开发的 MES 技能培训模式,按照 MES 教材开发的原则和方法,按照《规范》对火力发电职业技能鉴定培训的要求编写。教材在设计思想上,以实际操作技能为主线,更加突出了理论和实践相结合,将相关的专业理论知识与实际操作技能有机地融为一体,形成了本套技能培训教材的新特色。

《火力发电职业技能培训教材》共 15 分册,同时配套有 15 分册的《复习题与题解》,以帮助学员巩固所学到的知识和技能。

《火力发电职业技能培训教材》主要具有以下突出特点:

(1) 教材体现了《规范》对培训的新要求,教材以培训大纲中的“职业技能模块”及生产实际的工作程序设章、节,每一个技能模块相对独立,均有非常具体的学习目标和学习内容。

(2) 对教材的体系和内容进行了必要的改革,更加科学合理。在内容编排上以实际操作技能为主线,知识为掌握技能服务,知识内容以相应的职业必须的专业知识为起点,不再重复已经掌握的理论知识,以达到再培训,再提高,满足技能的需要。

凡属已出版的《全国电力工人公用类培训教材》涉及到的内容,如识绘图、热工、机械、力学、钳工等基础理论均未重复编入本教材。

(3) 教材突出了对实际操作技能的要求,增加了现场实践性教学的内容,不再人为地划分初、中、高技术等级。不同技术等级的培训可根据大纲要求,从教材中选取相应的章节内容。每一章后,均有关于各技术等级应掌握本章节相应内容的提示。

(4) 教材更加体现了培训为企业服务的原则,面向生产,面向实际,以提高岗位技能为导向,强调了“缺什么补什么,干什么学什么”的原则,内容符合企业实际生产规程、规范的要求。

(5) 教材反映了当前新技术、新设备、新工艺、新材料以及有关生产管理、质量监督和专业技术发展动态等内容。

(6) 教材力求简明实用,内容叙述开门见山,重点突出,克服了偏深、偏难、内容繁杂等弊端,坚持少而精、学则得的原则,便于培训教学和自学。

(7) 教材不仅满足了《规范》对职业技能鉴定培训的要求,同时还融入了对分析能力、理解能力、学习方法等的培养,使学员既学会一定的理论知识和技能,又掌握学习的方法,从而提高自学本领。

(8) 教材图文并茂,便于理解,便于记忆,适应于企业培训,也可供广大工程技术人员参考,还可以用于职业技术教学。

《火力发电职业技能培训教材》的出版,是深化教材改革的成果,为创建新的培训教材体系迈进了一步,这将为推进火力发电厂的培训工作,为提高培训效果发挥积极作用。希望各单位在使用过程中对教材提出宝贵建议,以使不断改进,日臻完善。

在此谨向为编审教材做出贡献的各位专家和支持这项工作的领导们深表谢意。

《火力发电职业技能培训教材》编委会

编者的话

为配合我国火力发电职业技能鉴定培训工作的开展,由中国电力出版社和山西省电力局共同组织编写了《火力发电职业技能培训教材》。编写前已经对编写人员提出了较高的要求,尽量体现新技术、新设备、新工艺、新经验、新方法,必须具备一定的交流学习价值。根据火力发电厂工人技术等级标准中的规定,以及现今电力学校的教材的要求,结合火力发电厂生产的实际,经过调查、研究,广泛征求各方面专家的意见,认真修订形成正式的编写提纲。又经过一年的时间,终于写成初稿。由于本教材紧扣标准提出的知识要求和技能要求,做到了理论和实际相结合,相信具有较强的实用性和广泛的适用性。

本册《热工仪表及自动装置》分为五篇,共二十一章,包括热工仪表检修与维护,热工自动装置检修与调试,热工程控保护的检修与试验等。主要内容有:热工温度、压力、流量以及特殊仪表的安装、检修与维护;自动调节设备的安装调试和系统工作原理;单元机组负荷自动控制系统;锅炉、汽轮机、发电机主要设备的保护和连锁等。主编张建华,参编人员黄云峰、张贵文、张小毛、闫向勇、许力宁、靳桂珍、张慧琴。

各单位和广大读者在使用本套教材中,应根据实际情况灵活处理。如发现有不妥之处,欢迎批评指正。

编者

2004年3月

目 录

前言

编者的话

第一篇 基本知识

第一章 计量基础知识	3	第一节 测量误差的定义	8
第一节 计量单位	3	第二节 测量误差的来源	9
第二节 质量指标	6	第三节 误差的分类	10
第二章 测量误差	8		

第二篇 分散控制系统

第三章 分散控制系统	15	第四章 分散控制系统的 应用	36
第一节 分散控制系统 概念	15	第一节 概述分散控制系统 的工程设计	36
第二节 分散控制系统 结构	18	第二节 分散控制系统的 安装与调试	42
第三节 网络结构	20	第三节 MACS 系统应用 实例	45
第四节 基本控制器	23	第四节 FOXBORO 系统应 用实例	48
第五节 基本控制器的软件 及组态	24	第五节 分散控制系统的 运行与维护	50
第六节 分散控制系统的人 机联系	28		
第七节 系统历史数据保存 及报表追忆	33		

第三篇 热工仪表

第五章 热工温度测量	55	第三节 双金属、压力式 温度计	63
第一节 热电偶	55		
第二节 热电阻	60		

第四节 热电偶测量的 冷端补偿	66	第五节 飞灰含碳量分析检 测仪	141
第五节 热工温度测量的校验 及常用设备	68	第九章 压力测量仪表	149
第六章 热工温度显示仪表 ..	71	第一节 压力测量仪表 概述	149
第一节 动圈式仪表	71	第二节 弹性压力表	151
第二节 数字显示仪表及智 能温度巡测仪	73	第三节 压力显示仪表	157
第三节 DY 系列远程 I/O 采集盒	79	第四节 压力(差压)变 送器	162
第七章 热工温度记录仪表 ..	88	第五节 压力测量仪表 的安装	179
第一节 ER-10X 型长图电子 记录仪	88	第十章 流量测量仪表	181
第二节 ER-18X 型长图电子 记录仪	94	第一节 流量测量仪表 概述	181
第三节 无笔记录仪	101	第二节 流量显示仪表	187
第八章 热工分析仪表	104	第三节 积算式显示 仪表	191
第一节 氧化锆氧量分 析仪	104	第四节 流量测量仪表的 安装	214
第二节 发电机氢纯度在线 分析系统	116	第五节 水位测量仪表	216
第三节 发电机组冷却氨泄 漏检测报警 系统	120	第十一章 特殊仪表测量	230
第四节 二氧化硫气体分析 检测系统	126	第一节 转速测量仪表	230
		第二节 料位测量仪	241
		第三节 微机皮带秤	242
		第四节 燃煤连续采 样器	253

第四篇 热 工 自 动

第十二章 自动调节的基础 知识	263	特性	263
第一节 调节对象的基本 特性		第二节 自动调节规律	264
		第三节 调节系统的	

整定	268	第四节	汽包锅炉燃烧过程 调节系统	365
第四章	调节系统的 试验	272	第五节	除氧器压力、水位 自动调节系统
第五节	调节系统的质量 指标	275	第六节	加热器水位和轴封压力 自动调节系统
第十三章	自动调节设备	278	第十五章	DEH 纯电调系 统
第一节	调节设备分类	278	第一节	汽轮机的基本 控制
第二节	工业调节器 简介	280	第二节	DEH 调节系统概 述
第三节	STB-1100 型调节 器的应用 (VI88M 增强型)	294	第三节	高压抗燃油纯 电调
第四节	执行机构	309	第四节	DEH 系统的安装、调 试、运行、维护
第五节	TKZ-2 系列调速 控制组合装置	331	第十六章	单元机组负荷自动 控制系统
第六节	调节阀的类型与 选择	335	第一节	概述
第七节	KF 系列现场型指示 调节仪	342	第二节	单元机组负荷控制 的基本方案
第十四章	自动调节系统	347	第三节	单元机组负荷控制 系统
第一节	汽包锅炉给水自动 调节系统	347	第四节	单元机组滑压运行的 控制系统
第二节	给水全程调节系 统	352		
第三节	主蒸汽温度自动调 节系统	359		

第五篇 热工程控保护



第十七章	基础知识	461	第二节	程控保护回路的基本 知识	464
第一节	程控保护回路的 常用部件	461	第十八章	锅炉设备的保护	

	和连锁	466		护装置	501
第一节	锅炉保护连锁的		第二十章	程序控制	515
	作用	466	第一节	程序控制的作用及	
第二节	炉膛安全监控			常见类型	515
	系统	466	第二节	火电厂常见的程序	
第三节	锅炉安全门保护			控制系统	519
	系统	489	第三节	程序控制系统的设计、	
第四节	锅炉设备的热机			调试、维护	524
	连锁	492	第四节	可编程序控制	
第十九章	汽轮机设备的保护			器	540
	和连锁	496	第二十一章	热工信号	549
第一节	汽轮机保护连锁的		第一节	热工信号的作用及	
	作用	496		发信部件	549
第二节	汽轮机主保护		第二节	热工信号的	
	系统	496		分类	552
第三节	汽轮机轴系监测保				

第一篇 基 本 知 识

第一章

计量基础知识

第一节 计量单位

根据中华人民共和国计量法规定,国家法定计量单位采用国际单位制单位。法定计量单位的名称和符号,使用 GB3100—3102—1993 规定的名称、符号。我国法定计量单位的内容包括:

- (1) SI 基本单位(表 1-1)。
- (2) 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位(表 1-2)。
- (3) 由于人类健康安全防护上的需要而确定的具有专门名称的 SI 导出单位(表 1-3)。
- (4) 国家选定的非国际单位制单位(表 1-4)。
- (5) 由以上形式构成的组合形式的单位。
- (6) 由 SI 词头(表 1-5)和以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

表 1-1

SI 基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

表 1-2 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例
平面角	弧度	rad	
立体角	球面度	sr	
平 率	赫[兹]	Hz	s^{-1}

续表

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例
力	牛[顿]	N	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
压力; 压强; 应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2
能[量]; 功; 热量	焦[耳]	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
功率; 辐[射能]通量	瓦[特]	W	J/s
电荷[量]	库[仑]	C	$\text{A} \cdot \text{s}$
电压; 电动势; 电位(电势)	伏[特]	V	W/A
电 容	法[拉]	F	C/V
电 阻	欧[姆]	Ω	V/A
电 导	西[门子]	S	A/V
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$
磁通[量]密度; 磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m^2
电 感	亨[利]	H	Wb/A
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	
光通量	流[明]	lm	$\text{cd} \cdot \text{sr}$
光照度	勒[克斯]	lx	lm/m^2

表 1-3 由于人类健康安全防护上的需要而确定的
具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	其他表示示例
[放射性] 活度	贝可[勒尔]	Bq	s^{-1}
吸收剂量; 比授[予]能; 比释动能	戈[瑞]	Gy	J/kg
剂量当量	希[沃特]	Sv	J/kg

表 1-4 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	[小]时	h	$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$
	天(d)	d	$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86400 \text{ s}$
[平面]角	[角]秒	($''$)	$1'' = (\pi/648000) \text{ rad}$ (π 为圆周率)
	[角]分	($'$)	$1' = 60'' = (\pi/10800) \text{ rad}$
	度	($^{\circ}$)	$1^{\circ} = 60' = (\pi/180) \text{ rad}$
旋转速度	转每分	r/min	$1 \text{ r/min} = (1/60) \text{ s}^{-1}$

续表

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
长度	海里	n mile	1n mile = 1852m (只用于航程)
速度	节	kn	1kn = 1n mile/h = (1852/3600) m/s (只用于航行)
质量	吨 原子质量单位	t u	1t = 10 ³ kg 1u ≈ 1.6605655 × 10 ⁻²⁷ kg
体积	升	L (l)	1L = 1dm ³ = 10 ⁻³ m ³
能	电子伏	eV	1eV ≈ 1.6021892 × 10 ⁻¹⁹ J
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	1tex = 10 ⁻⁶ kg/m
面积	公顷	hm ²	1hm ² = 10 ⁴ m ²

表 1-5 用于构成十进倍数和分数单位的 SI 词头

所表示的因数	词头名称	词头符号
10 ²⁴	尧[它]	Y
10 ²¹	泽[它]	Z
10 ¹⁸	艾[可萨]	E
10 ¹⁵	拍[它]	P
10 ¹²	太[拉]	T
10 ⁹	吉[咖]	G
10 ⁶	兆	M
10 ³	千	k
10 ²	百	h
10 ¹	十	da
10 ⁻¹	分	d
10 ⁻²	厘	c
10 ⁻³	毫	m
10 ⁻⁶	微	μ
10 ⁻⁹	纳[诺]	n
10 ⁻¹²	皮[可]	p
10 ⁻¹⁵	飞[母拖]	f
10 ⁻¹⁸	阿[拖]	a
10 ⁻²¹	仄[普托]	z
10 ⁻²⁴	幺[科托]	y

- 注 1 周、月、年(年的符号为 a)为一般常用时间单位。
 2 [] 内的字,是在不致混淆的情况下,可以省略的字。
 3 () 内的字为前者同义语。
 4 角度单位度、分、秒的符号不处于数字后时,用括弧。
 5 “升”的符号中,小写字母 l 为备用符号。
 6 r 为“转”的符号。
 7 人民生活和贸易中,质量习惯称为重量。
 8 公里为千米的俗称,符号为“km”。
 9 “10⁴”称为万,“10⁸”称为亿,“10¹²”称为万亿,这类数词的使用不受词头名称的影响,但不应与词头混淆。

第二节 质量指标

仪表的质量指标,是评价仪表质量的标准。任何仪表在进行测量时,必定存在着不同程度的测量误差。因此,为了保证测量的精确和可靠,保证仪表能很好地为生产服务,国家计量行政管理部门和仪表制造管理部门在有关规程中详细规定了各类仪表的质量指标。制造厂家将仪表的质量指标印在表盘、铭牌和产品说明书中,以便用户了解仪表性能,选择适用的仪表。常见的仪表质量指标有精确度等级、回程误差(变差)、灵敏度、指示值稳定性、动态特性等。

一、仪表的精确度

精确度用来反映仪表测量误差偏离真值的程度。仪表的精确度越高,测量的误差越小;反之,测量的误差就大。它的数值等于引用误差去掉百分号以后的绝对值,并将此值作为精确度等级指标。

一般工业仪表的精确度等级系列有0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4等。各种仪表的表盘上均标明精确度等级数值。根据精确度等级可以确定该仪表的最大测量误差。

二、回程误差

对同一检测点,上升指示值与下降指示值之差称为回程误差。

三、灵敏度

灵敏度是衡量仪表质量的重要指标之一。它的定义是:仪表的输出量变化与引起该变化的输入变化量的比值,即

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

式中 Δx ——输入量的变化量;

Δy ——输出量的变化量。

四、指示值稳定性

几乎所有仪表的指示值都受使用条件的影响。为了表示仪表指示值受使用条件影响程度的大小,引用了仪表指示值稳定性的概念。指示值稳定性多用影响系数来表示,例如温度变化引起指示值变化的影响,可以用温度系数表示。

五、动态特性

仪表能否尽快反映出被测物理量的变化情况,是一项很重要的技术指标。它可以用仪表的动态特性来表示。仪表的动态特性有两种情况:一种

是当被测量突变化时，仪表不能立刻指示出被测参数值，而要经过一段时间才能指示出被测值，这可用“时间常数”来表达。时间常数小，反映短；时间常数大，反映时间长。另一种情况是当被测量突然发生变化时，仪表指示值迅速改变，但需经过几次摆动后才能指示出被测值，这可用“阻尼时间”来表达。仪表的阻尼时间，是指从给仪表突然输入其标尺中间刻度相应的参数值时开始，到仪表指示值与输入值之差为该仪表标尺范围的 $\pm 1\%$ 时的时间间隔。

提示 本章内容适用于中级人员。