

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

电气设备运行

火力发电职业技能培训教材编委会 编

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

火力发电职业技能培训教材

电气设备运行

韩爱莲 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《电气设备运行》分册,包括电气值班员、厂用电值班员、电机氢冷值班员工种的培训内容。主要内容有:运行值班方面的日常监视、维护、正常的设备操作及设备发生异常及事故时的处理等方面的知识,交直流电路的基本理论知识、制氢的设备工艺以及发电厂的电气主系统和厂用系统的有关知识。

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

电气设备运行/《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, 2004
火力发电职业技能培训教材
ISBN 7-5083-2448-X

I. 电… II. 火… III. 火力厂—电气设备—运行—技术培训—教材 IV. TM621.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第085983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>)
责任编辑:栾广杰 张佳音
北京密云红光印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2004年12月第一版 2004年12月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 17.25印张 591千字
印数0001—4000册 定价33.00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)

《火力发电职业技能培训教材》

编 委 会

主 任：周大兵 翟若愚

副主任：刘润来 宗 健 朱良镭

常 委：魏建朝 刘治国 侯志勇 郭林虎

委 员：邓金福 张 强 张爱敏 刘志勇

王国清 尹立新 白国亮 王殿武

韩爱莲 刘志清 张建华 成 刚

郑跃生 梁东原 张建平 王小平

王培利 闫刘生 刘进海 李恒煌

张国军 周茂德 郭江东 闻海鹏

赵富春 高晓霞 贾瑞平 耿宝年

谢东健 傅正祥

主 编：刘润来 郭林虎

副主编：成 刚 耿宝年

教材编辑办公室成员：刘丽平 郑艳蓉

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的中国国电集团公司、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丰富、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

受中国电力出版社及山西省电力公司的委托编写本书。作为职业技能鉴定培训教材,本书体现了职业技能培训的特点以及理论联系实际的原则,着重讲述了运行值班方面的日常监视、维护、正常的设备操作和设备发生异常及事故时的处理等方面的知识,尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料和新方法,本教材以 200MW、300MW 机组及其辅机为主,有相当的先进性和适用性。

本书为《电气设备运行》分册,全书共分三篇二十六章。其中第一、二、四、五、六章由太原第二热电厂梁瑞廷编写;第三、十、十一章由大唐太原第二热电厂韩爱莲编写;第七、八、九、十二、十三、十四、十五章由大唐太原第二热电厂田刚编写;第十六至二十六章由大唐太原第二热电厂李继云、翟利红、周建梅合作编写。全书由大唐太原第二热电厂韩爱莲担任主编。大唐太原第二热电厂侯志勇主审。

本书在编写过程中得到了山西电力公司有关部门和大唐太原第二热电厂发电二部领导和大唐太原第二热电厂值长室刘强同志的大力支持和帮助,他们为本书提供了咨询、技术资料及许多宝贵建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写过程中时间紧张,作者水平有限,错误和不足之处在所难免,敬请各使用单位和广大读者及时提出宝贵意见。

目 录

前言
编者的话

第一篇 发电厂电气值班

第一章 电力系统简介	3	第五节 同步发电机的异常运行和事故处理	141
第一节 概述	3	第五章 变压器运行规定	167
第二节 电厂的生产流程	4	第一节 变压器的技术规范	167
第二章 电气基础知识、专业知识及相关知识	8	第二节 变压器运行与维护	170
第一节 电气基础知识	8	第三节 变压器的操作及保护	181
第二节 电气专业知识	37	第四节 变压器的异常运行与事故处理	193
第三节 电气相关知识	41	第六章 配电装置运行规定	206
第三章 电力系统运行规定	45	第一节 配电装置设备的技术规范	206
第一节 调度管理	45	第二节 配电装置的正常运行检查维护	212
第二节 电压、频率的管理	47	第三节 配电装置的操作及注意事项	216
第三节 运行方式	48	第四节 配电装置的事故处理	219
第四节 倒闸操作	65	第七章 电动机运行规定	226
第五节 事故处理	91	第一节 电动机设备规范、运行操作、监视与维护	226
第四章 同步发电机的运行	107		
第一节 同步发电机的基本知识	107		
第二节 同步发电机的允许运行方式	114		
第三节 发电机的启动、并列与解列停机	118		
第四节 同步发电机负荷的接带与调整	124		

第二节 电动机异常及事故处理	243	原则	269
第八章 直流系统运行规定	248	第十章 电气运行管理	271
第一节 直流系统运行方式	248	第一节 电气运行管理的特 点、任务和内容	271
第二节 直流系统的异常及 事故处理	252	第二节 运行管理的日常 工作	281
第九章 微机应用	255	第十一章 发电厂电气值班 综述及二次部分 简介	286
第一节 微机基本操作与 技能	255	第一节 发电厂电气值班 综述	286
第二节 利用微机进行 管理	257	第二节 蓄电池	287
第三节 利用微机进行电气 系统的监视、控制 和调整	265	第三节 发电厂的电气监控 系统	296
第四节 DCS 系统发生故障 时的事故处理		第四节 断路器的控制 回路	303
		第五节 信号回路	312
		第六节 同期回路	320

第二篇 发电厂厂用电值班

第十二章 厂用电系统的运行 操作	331	第五节 直流系统的停送 电操作	344
第一节 高低压辅助机械 的电动机的停、 送电操作	331	第六节 UPS 装置的停送电 与切换操作	345
第二节 高低压厂用母线 的停、送电操作	333	第七节 柴油发电机的停送 电启动与校验	348
第三节 变压器的受电、 停电操作	340	第八节 发电机并列 操作	350
第四节 高、低压厂用母 线的备合闸校验 操作	343	第十三章 电气事故分析与 处理	357
		第一节 不接地系统发生单 相接地的分析、判	

断与处理	357	第十四章 运行分析、可靠性管理	379
第二节 不接地系统发生铁磁谐振的现象分析判断与处理	359	第一节 发电厂运行分析及经济指标分析	379
第三节 厂用系统高、低压母线故障跳闸分析判断与处理	360	第二节 发电厂可靠性管理及统计	394
第四节 厂用变压器故障分析处理	361	第十五章 发电厂厂用电值班综述	405
第五节 厂用电动机故障分析处理	366	第一节 发电厂厂用电值班概述	405
第六节 直流系统故障的分析处理	371	第二节 厂用电系统微机保护及自动装置简介	405
第七节 配电装置故障的分析处理	372	第三节 继电保护与自动装置运行	408

第三篇 电机氢冷值班



第十六章 发电厂用氢和氢的基本性质	417	第四节 氢气泄漏的检测	434
第一节 发电厂用氢	417	第十八章 DQ—4 型电解制氢系统	436
第二节 氢气的特性	420	第一节 电解槽	436
第三节 氢气的着火、燃烧与爆炸	421	第二节 DQ4 型电解制氢系统的主要设备	440
第四节 目前我国火电厂用氢概况	422	第三节 DQ4 型电解制氢系统的运行	443
第十七章 氢气常用的化学监督方法	425	第十九章 电解水制氢的原理	447
第一节 监督与取样	425	第一节 电解	447
第二节 氢气纯度的测定	426	第二节 超电压及其造成的因素	449
第三节 氢气湿度的测定	429	第三节 电解水制氢	

原理	450	系统的自动	
第二十章 ZHDQ-32/10 型电		调节	481
解水制氢设备	454	第一节 自动调节的原理 ..	481
第一节 ZHDQ-32/10 型电		第二节 标准气源	484
解水制氢系统	454	第二十四章 氢气的湿度及其	
第二节 电解槽	454	干燥法	486
第三节 电解槽极板	457	第一节 氢气的湿度	486
第四节 镀镍层与镍网活化		第二节 氢气的干燥方法 ..	496
处理	461	第二十五章 发电机的氢冷系	
第二十一章 电解液的配制 ..	464	统及充排氢	509
第一节 电解液的重要性 ..	464	第一节 发电机几种氢冷系	
第二节 电解液的配制	466	统的结构	509
第三节 电解液中的添		第二节 发电机内的气体	
加剂	469	置换	512
第四节 电解液中的杂质		第三节 发电机的体外氢	
对电解工艺的		气系统	514
影响	470	第四节 氢气泄漏与检测 ..	515
第二十二章 ZHDQ-32/10 型		第二十六章 制氢系统常见的	
系统的其他		故障处理	518
设备	472	第一节 DQ4 型异常和事故	
第一节 氢气的分离、洗涤		处理	518
和冷却	472	第二节 ZHDQ-32/10 型系	
第二节 氧气的分离与		统常见的故障及	
冷却	475	处理	520
第三节 电解液的循环与		第三节 正确使用氢气 保	
过滤	477	证安全生产	522
第四节 电解液的冷却与		附录 A	524
补水	479	附录 B	525
第二十三章 ZHDQ-32/10 型		参考资料	540

❖ 火力发电职业技能培训教材

第一篇 发电厂电气值班

第一章

电力系统简介

第一节 概 述

一、电力系统

在火力发电厂中,由锅炉将燃料的化学能转化为热能,再由汽轮机将热能转化为机械能;在水力发电厂中,由水轮机将水能转化为机械能等。再由发电机把机械能转化为电能,通过变压器、输电线路,把电能分配给用户。电动机、电炉、电灯等用电设备消耗电能,并将电能转化为机械能、

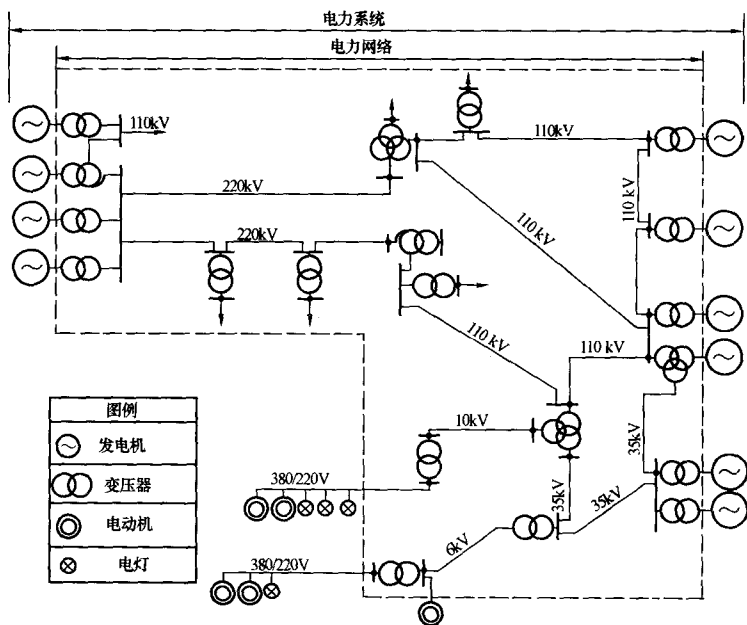


图 1-1 电力系统示意图

热能、光能等。这些生产、输送、分配、消费电能的发电机、变压器、输电线路及各种用电设备联系在一起组成的统一整体就叫电力系统,如图 1-1 所示。

二、电能生产的特点

1. 电能的生产是和消费同时完成的

电能的生产、输送、分配、消费实际上是同时进行的,即发电厂任何时刻生产的电能必须与该时刻消费与损耗的电能平衡。又由于电能目前还无法大量贮存,因此需要电力工业在生产中必须实行统一管理、统一调度,并尽可能实现自动化。

2. 过渡过程非常短促

发电机、变压器、输电线路等在电力系统中投入或切除都是在一瞬间完成的。电能以光的速度进行输送。电力系统从一种运行方式到另一种运行方式的过渡过程也非常短促。

3. 与国民经济各部门联系紧密

由于电能与其他能量形式之间转换方便,宜于大量生产、集中管理、远距离输送和自动控制,所以使用电能具有显著优点。各部门都广泛使用着电能,随着现代化发展,居民家用电器的普及,在生活中对电的依赖便越强。若供电不足将直接影响国民经济的发展以致整个社会的稳定,因此人们形象地把供电线比喻成生产和生活的生命线。

第二节 电厂的生产流程

发电厂是特殊的二次能源加工厂。它是将一次能源如煤、天然气、石油、核能以及水等,转换为二次能源——电能,供我们使用。火力发电厂是利用煤和油进行生产电能的。火力发电厂的发电量目前在世界发电量中占主导地位。在我国,火电占的比例更大,尤其在北方,火电比重更是占主要地位。

一、火力发电厂主要设备

1. 汽轮机

汽轮机按用途分为凝汽式和供热式两种类型,在有热负荷的地区应尽可能采用供热式机组,以提高机组的综合效率,因为供热式机组的综合效率高达 60%~80%,而凝汽式机组的综合效率仅在 40%以下(25%~35%)。目前国内已投产的供热式汽轮机最大容量为 300MW。

2. 发电机

发电机是以汽轮机为原动机的三相交流发电机。它由发电机本体、励磁系统及冷却系统三部分组成。

3. 锅炉

锅炉设备是发电厂通过煤、油的燃烧产生热能将水变成蒸汽的设备。它由锅炉本体、锅炉附件及辅助机械组成,其中水冷壁、过热器、再热器、省煤器及空气预热器组成锅炉本体的燃烧室和受热面。

二、生产流程

火力发电厂的生产过程按生产流程概括起来讲是这样的:先将燃料加工成适合于电厂锅炉燃用的形式(如把煤磨成很细的煤粉, $R90 = 10\% \sim 12\%$),再借助热风送入炉膛充分燃烧,使燃料中的化学能转变为热能。锅炉内的水吸收热能后,变成具有一定压力的饱和蒸汽,饱和蒸汽在过热器内继续加热成为过热蒸汽,然后沿新汽管道进入汽轮机,蒸汽在汽轮机内膨胀做功驱动汽轮发电机组旋转,将蒸汽的内能转变成汽轮发电机转子旋转的机械能;发电机转子旋转时,在发电机转子内由励磁电流形成的磁场也随之旋转,使定子线圈中产生感应电动势发出电能,再将电能沿电力网输送到用户,完成机械能向电能的转换,如上所述,火力发电厂的主要生产流程包括燃烧系统、汽水系统及电气系统。燃烧系统由锅炉燃料加工部分、炉膛燃烧部分及燃烧后除灰部分组成;汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器、给水泵及辅机管道组成;电气系统是由发电机、升压变压器、高压配电装置、厂用变压器及厂用配电装置等组成。本节将重点介绍燃烧系统和汽水系统的生产流程。

(一) 燃烧系统

燃烧系统由锅炉燃烧部分、燃料加工部分及除灰部分组成。简单地讲,燃料加工就是将原煤从煤场经过输煤皮带先输送到碎煤机、筛煤机进行粗加工并且将其中木块、铁件等杂物分离出来,然后进入原煤仓储存;原煤仓的煤由给煤机按负荷要求不断地送入到磨煤机,磨煤机碾磨分离后,把符合锅炉燃烧的煤粉由热风混合送入锅炉喷燃器中,在炉膛进行燃烧释放能量。燃料在锅炉中的燃烧过程较为复杂,它要求按照设计参数,按一定的调整方式、一定的热风温度、一定比例的风、粉配合使煤粉在炉膛内得到充分燃烧。煤粉在燃烧后剩余的灰分,颗粒较小的随炉膛尾气进入除尘设备,颗粒较大的不可燃物在重力作用下落入炉膛底部由除渣设备将其排走。另外,磨煤机中不能碾磨的煤矸石经排矸设备分离排出。以上简单叙述了燃烧系统的生产流程。在实际中,锅炉燃烧系统是一个庞大而

复杂的系统,辅机设备复杂程度也是相当可观的,尤其随着大型机组的发展整个生产过程更复杂,这就要求提高自动化水平,采取集中控制方法使得锅炉运行自动化程度得到提高。

(二) 汽水系统

汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器、除氧器及给水泵等组成。它包括汽水循环、化学水处理和冷却水系统等。其生产流程是用水把燃料燃烧产生的热量转变成蒸汽的内能,蒸汽冲动汽轮机把内能转变为机械能,作功后的乏汽再凝结成水。在这里,水是一种能量转换物质。普通水是不能直接进入锅炉使用的。因为水中含有固体杂质以及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 等碱离子和 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等酸根离子,加热后会产生沉淀物引起对锅炉管道和汽轮机通流部分的腐蚀和损坏,降低设备的使用寿命,所以水必须经过专门化学水处理才能使用。

化学补水先进入凝聚器将水中固体杂质除去,再进入过滤器预处理,此后,经过一级除盐将大部分阴阳离子除掉,再经过二级除盐处理,使水质达到锅炉用除盐水的要求。经过化学水处理后的除盐水由补水泵送入凝汽器,作为汽水系统的水。正常运行中排污、冲洗和泄漏会产生汽水损失,所以汽水系统要不断补充除盐水。化学处理后的除盐水需进行加热除氧后才能进入锅炉,防止氧化腐蚀锅炉管道影响正常运行。凝汽器内的凝结水由凝结泵、经过低压加热器加热,然后进入除氧器除氧。发电厂把凝汽器至除氧器之间的系统称为凝结水系统。除氧后的水由给水泵升压,经过高压加热器进一步加热,达到锅炉需要的给水温度后送至省煤器。给水泵至锅炉省煤器之间的系统称为给水系统。给水通过省煤器加热,进入汽包(或直流锅炉的汽水分离器)进行汽、水分离。饱和水与给水混合后继续在锅炉水冷壁中加热。饱和蒸汽则进入过热器加热,形成一定压力和温度的主蒸汽,通过主蒸汽管道、主汽门进入汽轮机膨胀作功,作功后的蒸汽排入凝汽器凝结成水。凝结水与化学除盐补水混合后,在汽水系统循环使用。为了提高汽水循环的热效率,一般采用从汽轮机的中间级抽出部分作了功的蒸汽加热(即高压、低压加热器)给水温度,提高热效率。在大型的超高压、亚临界机组中还采用蒸汽再热循环,把在汽轮机高压缸全部做过功的蒸汽送到锅炉再热器加热、升温后,再送到汽轮机的中、低压缸继续作功,大大提高了机组效率。

为了保证蒸汽在汽轮机中的膨胀做功维持较高数值,排汽进入凝汽器被冷却水冷却后,蒸汽被凝结,其容积减少,于是在凝汽器内形成了高度真空。为了保证排汽的冷凝结,发电厂必须设有循环水系统。电厂循环水