

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

发电厂集控运行

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**

燃料设备运行
 燃料设备检修
 电厂化学设备运行
 电厂化学设备检修
 锅炉设备运行
 锅炉设备检修
 汽轮机设备运行
 汽轮机设备检修
 电气设备运行
 电气设备检修
 热工仪表及自动装置
 ● **发电厂集控运行**
 继电保护
 电测仪表
 电气试验

**火力发电职业
技能培训教材 复习题与题解**

燃料设备运行 复习题与题解
 燃料设备检修 复习题与题解
 电厂化学设备运行 复习题与题解
 电厂化学设备检修 复习题与题解
 锅炉设备运行 复习题与题解
 锅炉设备检修 复习题与题解
 汽轮机设备运行 复习题与题解
 汽轮机设备检修 复习题与题解
 电气设备运行 复习题与题解
 电气设备检修 复习题与题解
 热工仪表及自动装置 复习题与题解
 发电厂集控运行 复习题与题解
 继电保护 复习题与题解
 电测仪表 复习题与题解
 电气试验 复习题与题解

ISBN 7-5083-2446-3



9 787508 324463 >

定价：42.00 元

销售分类建议：电力工程

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

发电厂集控运行

成刚 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《发电厂集控运行》分册,包括集控巡视和集控值班工种的培训内容。主要内容有:单元机组主机的工作原理、形式及结构,单元机组的辅助设备及系统,单元机组的泵与风机、常用的阀门、启动程序,单元机组启动前辅助设备及系统的检查与操作,单元机组辅助设备及系统的正常维护和试验工作、异常原因及处理原则,锅炉的结构及特点,单元机组与电力系统,汽轮机组的结构及特点,发电机及变压器的结构特点、保护配置,单元机组的计算机控制系统、启动特性和变工况、启动和停止、运行维护和运行管理、事故处理等。

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

发电厂集控运行/《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 7-5083-2446-3

I. 发... II. 火... III. 火电厂—集中控制—运行—技术培训—教材 IV. TM621

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第089524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 22.125印张 760千字
印数0001—4000册 定价42.00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 朱良锺

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、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

随着国民经济的稳定快速发展,我国电力工业又迎来了飞速发展的黄金时期。大容量、高参数的发电机组越来越多,300MW、600MW 机组已成为我国主力机型,900MW 机组也开始崭露头角,机组对电力生产人员的素质要求越来越高。在人才竞争空前激烈的今天,加强岗位培训工作、建设技术过硬的运行队伍成为电力企业稳定与发展的首要战略任务。

本书以 300MW、600MW 火电机组设备系统的结构、原理、功能为框架,以实际设备、系统及其运行操作过程和集控运行知识为主线,力求突出 300MW、600MW 火电机组的技术特点,以从事电力生产的运行人员或全能值班员为对象,全面系统地概括和阐明了运行人员应该具备的基础知识。

本书含盖了 300MW、600MW 机组的典型机型,而且从目前运行人员技术培训的新趋势出发,突出理论联系实际的原则,将设备构造原理、技术性能指标与实际运行经验、操作方法技能有机的相结合,书中内容力求先进性和普遍适用性,是从事集控运行操作和集控管理人员的技术指南,是 300MW、600MW 机组投运上岗培训、岗位升级培训、在职技能鉴定的实用教材,也可供电厂集控运行技术人员和高等院校热能动力及相关专业师生使用。

本书为两篇,第一篇为《集控巡视》,即第一章至第九章;第二篇为《集控值班》,即第十章至第十八章。其中,成刚负责编写第一、四、十章,任龙彦负责编写第二、八、十一、十七章,杨世斌负责编写等三、五、六、十二、十五、十六章,牛继成负责编写第七、九、十三、十八章。由于集控运行的特点和章节内容的结构,任龙彦、杨世斌、牛继成除主编了各自的章节外,还参与了其他章节内容的撰稿工作。杨劲松在第三、九、十七、十八章中参与了 4 节内容的编写,雷金海负责编写第八章第五节和第十四章,本书由成刚担任总编,由杨劲松负责本书的统稿和校对,由刘进海和成刚对全书进行了主审。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

二〇〇四年九月

目 录

前言

编者的话

第一篇 集 控 巡 视

第一章 机组及系统简介····· 3	设备及系统····· 78
第一节 火力发电厂主要生 产过程····· 3	第一节 主蒸汽、再热蒸汽 系统····· 78
第二节 集中控制方式与单 元制机组····· 5	第二节 凝结水及给水回热 系统····· 80
第三节 单元机组及系统简 介····· 16	第三节 锅炉风烟系统及设 备····· 94
第二章 单元机组主机的工作 原理、形式及 结构····· 25	第四节 锅炉制粉系统及设 备····· 97
第一节 锅炉的工作原理、分 类及型式····· 25	第五节 冷却水系统及辅助 蒸汽系统····· 108
第二节 锅炉的基本结构及 特点····· 35	第六节 循环水系统····· 108
第三节 汽轮机的工作原理 及型式····· 44	第七节 发电机氨油水 系统····· 111
第四节 汽轮机的基本结构 及特点····· 49	第八节 汽轮机油系统····· 120
第五节 发电机、变压器 的工作原理及 分类····· 65	第九节 厂用电动机及负荷 开关····· 126
第六节 单元制发电机、变压 器的基本结构 及特点····· 71	第十节 厂用电系统及负荷 分配原则····· 130
第三章 单元机组的辅助	第四章 单元机组的泵 与风机····· 138
	第一节 泵与风机的分类、 工作原理及 型号····· 138
	第二节 泵与风机的

结构	153	第二节 高、低压动力负荷 开关的停、 送电	256
第三节 系与风机的主要性 能参数	161	第三节 辅助设备及系统检 修隔离	258
第四节 系与风机的 运行	165	第四节 单元制发电机组辅 助设备系统的 停运	260
第五节 离心泵密封装置的 种类及原理	184	第八章 辅助设备及系统的 正常维护和试验 工作	262
第六节 系与风机的汽蚀与 喘振	188	第一节 辅助设备的运行 调整操作及 维护	262
第五章 单元机组常用的 阀门	196	第二节 辅助设备及系统的 定期工作	276
第一节 阀门的工作原理 及分类	196	第三节 工作票及电气系统 倒闸操作	277
第二节 单元机组中常用 的阀门及结构	199	第四节 火力发电厂常用油 脂的种类 及特性	280
第三节 阀门操作要求及 故障处理	205	第五节 热工仪表及自动装 置的巡检	286
第六章 单元机组的启动程 序	208	第九章 辅助设备及系统的异 常原因及处理 原则	304
第一节 单元机组启动概 述	208	第一节 交流系统的接地 监察	304
第二节 单元机组启动程 序	212	第二节 直流系统的接地 监察	308
第三节 锅炉和汽轮机启动 前的检查	230	第三节 典型辅助设备异 常的原因分析及 处理	312
第四节 发电机启动前的 检查	234		
第七章 单元机组启动前辅 助设备及系统的检 查与维护	237		
第一节 辅助设备及系统启 动前的检查及准备 工作	237		

第四节 转动机械润滑油
恶化 331

第五节 辅助设备紧急停
运和自动跳闸
的条件 333

第二篇 集 控 值 班

第十章 单元机组与电力系
统 339

第一节 单元机组与电力系
统简介 339

第二节 电力系统安全经济
运行与调度管理基
本知识 342

第三节 单元机组与电力系
统的协调运行 345

第十一章 锅炉的结构及
特点 347

第一节 单元机组锅炉的结
构特点及技术
规范 347

第二节 锅炉的燃烧理论及
燃烧设备 355

第三节 煤粉的性质及制粉
系统 361

第四节 锅炉的受热面 381

第五节 风机设备 399

第六节 电除尘器的
构造 409

第十二章 汽轮机组的结构及
特点 423

第一节 汽轮机的类型、结
构特点及技术
规范 423

第二节 汽轮机本体及其凝
汽设备 428

第三节 汽轮机的调节控制
及油系统 442

第四节 汽轮机组的热力系
统及给水泵组 458

第十三章 发电机和变压器的
结构特点及继电保
护配置 476

第一节 单元制发电机和
变压器的结构
特点 476

第二节 发电机、变压器组
保护的配置和
原理 484

第三节 单元制发电机组励
磁系统 492

第十四章 单元机组的计算机
控制系统 499

第一节 单元机组自动控
制系统的总体
结构 499

第二节 单元机组的控制
方式 504

第三节 炉膛安全监控系
统 515

第四节 连锁保护逻辑系
统 521

第五节	单元机组自启停的 计算机控制·····	529	第十七章	单元机组的运行与 维护·····	601
第十五章	单元机组的启停和 工况变化·····	535	第一节	锅炉运行调节·····	601
第一节	锅炉启动中的热力 特性·····	535	第二节	汽轮机运行监视和 调整·····	609
第二节	汽轮机启动状态主 要指标·····	538	第三节	发电机运行调整和 维护·····	616
第三节	汽轮机启动中的热 力特性·····	542	第四节	单元机组的负荷调 节和变压运行·····	623
第四节	汽轮机热膨胀与热 弯曲·····	545	第五节	单元机组的经济运 行·····	627
第五节	发电机变工况主要 监控指标·····	556	第六节	单元机组的报表分 析和运行中的 诊断·····	634
第十六章	单元机组的 启停·····	564	第七节	单元机组的运行管 理·····	637
第一节	单元机组启停 概述·····	564	第十八章	单元机组的事故 处理·····	641
第二节	单元机组启停方式 及旁路系统·····	566	第一节	单元机组的事故特 点和处理原则·····	641
第三节	单元机组冷态滑参 数启动·····	571	第二节	单元机组故障 处理·····	642
第四节	单元机组热态滑参 数启动·····	581	第三节	电力系统运行异常 或故障对单元机组 的影响·····	666
第五节	单元制发电机组停 机·····	585	第四节	单元机组事故 案例·····	672
第六节	单元制发电机组停 机后的保养·····	596			

火力发电职业技能培训教材

第一篇
集 控 巡 视



第一章

机组及系统简介

第一节 火力发电厂主要生产过程

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、核能以及水力能等）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，火电更是占主要地位。

一、火电厂主要设备

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，供热式机组的综合效率高达60%~80%，凝汽式机组的综合效率在40%以下（25%~35%）。目前国内已投产的供热汽轮机最大容量为900MW。

2. 发电机

发电机是以汽轮机为原动机的三相交流发电机。它由三部分组成：发电机本体、励磁系统、冷却系统。

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、锅炉附件和辅助机械组成。其中水冷壁、过热器、再热器、省煤器和空气预热器组成锅炉本体的燃烧室和受热面。

二、生产流程

火力发电厂的主要生产流程包括燃烧系统、汽水系统和电气系统。燃烧系统由锅炉燃料加工部分、炉膛燃烧部分和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、燃料加工部分和除灰部分组成。燃料加工简单地讲也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的木块、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粉,一部分随炉膛尾气进入除尘设备,一部分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。实际上,锅炉燃烧系统是一个庞大而复杂的系统,辅机设备的复杂程度也是可想而知的,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,采取集中控制方法以提高锅炉运行的自动化程度。

(二) 汽水系统

汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器、除氧器和给水泵等组成。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,蒸汽推动汽轮机把内能转变为机械能,做功后的乏汽凝结成水。水是一种能量转换物质,它在汽水系统中是如何运行的呢。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,加热后产生的沉淀物会腐蚀和损坏锅炉管道和汽轮机通流部分,从而降低设备的使用寿命。所以水必须经过专门的化学水处理后才能使用。

化学补水先进入凝汽器将水中的固体杂质除去,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,使水质达到锅炉使用要求的除盐水。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允许进入锅炉,以防止氧化而腐蚀锅炉管道和影响正常运行。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做功，做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，在汽水系统中循环使用。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做了功的蒸汽加热（即高压、低压加热器）给水温度，以提高热效率。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、低压缸继续做功，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，蒸汽被凝结后其容积减少，于是在凝汽器内形成了高度真空。为了保证排汽的冷凝效果，发电厂必须设有循环水系统。电厂循环水一般利用河流、大海以及水库做水源，这样就有充足的水源，设备投资也较少。在水资源缺乏的地方，广泛采用冷却水塔（或冷却池）组成闭式冷却水循环系统。

（三）电气系统

电气系统由发电机、升压变压器、高压配电装置、厂用变压器、厂用配电装置组成。发电机发出的电能一部分供发电厂连续运行的厂用电，另一部分通过升压变压器和配电装置源源不断地输入电网。

第二节 集中控制方式与单元制机组

单元机组控制要解决的主要问题是机组的功率自动调节，也就是说要将锅炉和汽轮机（又称动力机组）作为一个电能生产的整体来适应外界负荷的变化，这就涉及锅炉、汽轮机的调节性能。

从电力系统的角度来看，动力机组负荷调节的首要要求是快速适应性。但从动力机组运行角度来看，动力机组快速适应负荷变化时必须不危及动力机组本身运行的稳定性。机、炉的调节特性有相当大的差别。锅炉热惯性大、反应很慢；而汽轮机相对地讲惯性小、反应快。当外界负荷通过负荷调节系统使汽轮机快速进行调节（汽轮机调速汽门开度变化）时，就会引起机前压力产生较大的波动，从而影响动力机组的稳定和安全运行。因此在设计单元机组的负荷调节系统时，必须要充分考虑到机、炉特性的差异，以使动力机组在适应负荷变化时两者协调动作。