



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

单元机组运行

(第二版)

电厂热力设备运行专业

主编 杨 飞



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

单元机组运行

(第二版)

电厂热力设备运行专业

主 编 杨 飞
编 写 石 平 何 鹏
责任主审 孙保民
审 稿 朱 萍 孙海波



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是中等职业教育国家规划教材，是根据中国电力企业联合会教育培训部和电力中等职业学校动力类专业教学委员会组织审定的教学大纲进行编写的。

全书内容有五个部分：绪论、单元机组的启动和停运、单元机组的运行调整、单元机组的控制与保护、单元机组典型事故分析及处理原则。绪论简述了单元机组的构成特点和集控运行的概念，介绍了单元机组运行管理的制度与组织；单元机组的启动和停运主要讲述配置自然循环锅炉和直流锅炉的单元机组的冷、热态启动和停运；单元机组的运行调整介绍了单元机组的运行监视、运行调节、运行维护以及变压运行；单元机组的控制与保护介绍了单元机组的负荷调节方式，单元机组负荷调节系统以及运行方式的控制，并从操作的角度对汽轮机数字电液调节系统、锅炉燃烧管理系统、机组旁路系统等进行了描述，简述了单元机组的各种安全保护方式；单元机组事故处理叙述了单元机组事故特点和处理原则，并且重点分析了几个单元机组事故案例。

本书既可作为电力中等专业学校、电力中等技术学校电厂集控运行专业、电厂热能动力专业的教材，也可作为电厂生产人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

单元机组运行/杨飞主编.—2版.—北京：中国电力出版社，2006

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5083-4460-X

I. 单... II. 杨... III. 火电厂-单元机组-电力系统运行-专业学校-教材 IV. TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 062489 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002年 1 月第一版

2006年 8 月第二版 2006年 8 月北京第六次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9 印张 212 千字

印数 17001—21000 册 定价 12.00 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)

电力中等职业教育国家规划教材

编委会

主任 张成杰

副主任 杨昌元 宗健 朱良镠

秘书长 尚锦山 马家斌

委员 丁雁 王玉清 王宝贵 李志丽 杨卫民

杨元峰 何定焕 宋文复 林东 欧晓东

胡亚东 柏吉宽 侯林军 袁建文 涂建华

梁宏蕴

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

《单元机组运行》是教育部 80 个重点建设专业主干课程之一，是根据教育部最新颁布的中等职业学校电厂热力设备运行专业“单元机组运行”课程教学大纲编写的。

本书以培养学生的创新精神和实践能力为重点，以培养在生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质劳动者和中初级专门人才为目标。教材的内容适应劳动就业、教育发展和构建人才成长“立交桥”的需要，使学生通过学习具有综合职业能力、继续学习的能力和适应职业变化的能力。

本书第一版发行后，经多次重印，读者反映良好，但经过 5 年时间，材料已显陈旧。此次在出版社支持下，保持原书整体结构大体不变，更新了相应资料。

本书由北京交通大学杨飞主编（编写绪论和单元三），江西电力职业技术学院石平（编写单元一），合肥电力职业技术学院何鹏（编写单元二和单元四）参编。

本书可作为中等职业学校（普通中专、成人中专、技工学校、职业高中）教材，也可作为职工培训用书或供热力工程和有关专业的技术人员参考。

限于作者的水平和实践经验，书中难免出现不当之处，在此恳请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 5 月

第一版前言

《单元机组运行》是电力中等专业学校、电力中等技术学校电厂热能动力专业、电厂集控运行专业（四年制）教材，是根据中国电力企业联合会教育培训部和中等职业学校动力类专业教学委员会组织审定的教学大纲进行编写的。

本书在编写过程中努力贯彻以能力为本位的思想，增强了实践知识内容的份量。全书共包括5个部分：绪论、单元一（单元机组的启动和停运）、单元二（单元机组的运行调整）、单元三（单元机组的控制与保护）、单元四（单元机组事故处理）。本书以国产300MW自然循环汽包锅炉机组为主，尽可能引入最新的技术知识，以反映我国电力工业单元机组运行方面的先进水平。

本书由北方交通大学杨飞主编，并编写绪论和单元三；江西电力工业学校石平编写单元一；合肥电力工业学校何鹏编写单元二和单元四。山东电力学校彭德振担任本书主审。

本书在编写过程中，得到中国电力企业联合会中专动力类专业教学研究会、中国电力出版社以及各个方面的领导、老师的支持和帮助，在此特别表示感谢。

限于作者的水平和实践经验，书中难免出现错误和不当之处，在此恳请广大读者批评指正。

编者

2001年8月



中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

第一版前言

绪论	1
一、单元机组的构成和特点	1
二、单元机组集控运行的概念和内容	2
三、单元机组运行管理的制度与组织	2
小结	5
习题	5
上机操作	5
单元一 单元机组的启动和停运	6
课题一 单元机组启、停变工况时锅炉、汽轮机的热状态	6
一、概述	6
二、锅炉的热状态及热应力	6
三、汽轮机主要零部件的热应力、热膨胀和热变形	8
课题二 单元机组启动和停运方式	13
一、单元机组的启动方式	13
二、单元机组的停运方式	16
三、滑参数启停方式的主要优点	17
课题三 汽包炉单元机组启动	18
一、自然循环锅炉单元机组冷态启动	18
二、强制循环锅炉单元机组冷态启动的特点	25
三、汽包炉单元机组的热态启动	27
课题四 直流锅炉单元机组的启动	32
一、直流锅炉单元机组启动特点	32
二、冷态滑参数启动程序	36
课题五 单元机组的停运	40
一、额定参数停机	40
二、滑参数停机	43
三、紧急停机	46
四、停机后的保养	47
小结	48
习题	48
上机操作	49

单元二 单元机组的运行调整	50
课题一 单元机组参数调节	50
一、汽包锅炉的运行调节	50
二、直流锅炉的运行调整	57
课题二 单元机组运行监视	59
一、主蒸汽压力的监视	59
二、主蒸汽温度的监视	61
三、再热蒸汽温度的监视	63
四、凝汽器真空的监视	63
五、汽轮机常规监督	64
六、发电机、主变压器的监视和维护	65
课题三 单元机组的调峰运行	70
一、单元机组调峰运行的方式	70
二、变负荷调峰运行	70
三、单元机组带厂用电运行	74
四、除氧器的变压运行	74
五、切除部分高压加热器时汽轮机的运行	75
课题四 单元机组的经济运行	76
一、单元机组的经济指标	76
二、提高单元机组的经济性的主要措施	77
小结	78
习题	78
上机操作	78
单元三 单元机组的控制与保护	79
课题一 单元机组的负荷调节方式	80
一、单元机组负荷调节方式的种类	80
二、单元机组负荷调节方式的特点	80
课题二 单元机组负荷控制系统	81
一、负荷控制系统的组成及各部分的主要功能	81
二、协调控制系统的基本类型	82
三、负荷管理控制中心的运行分析	82
四、锅炉主控器操作分析	84
课题三 单元机组的运行控制方式	85
一、基础方式 (BASE MODE)	86
二、汽轮机跟随方式 (TF MODE)	86
三、锅炉跟随方式 (BF MODE)	86
四、协调控制方式 (CCS MODE)	87
五、旁路方式 (BY PASS MODE)	87
课题四 汽轮机数字电液控制系统 (DEH)	87
一、数字电液控制系统 (DEH) 的功能	87
二、数字电液控制系统 (DEH) 的操作	88
课题五 锅炉燃烧器管理系统 (BMS)	90
一、燃烧器管理系统 (BMS) 的主要功能	90

二、燃烧器管理系统 (BMS) 的控制区	91
三、燃烧器管理系统 (BMS) 的操作	91
课题六 机组旁路控制系统 (BPS)	93
一、旁路控制系统的组成和作用	93
二、旁路控制系统 (BPS) 的设置	93
三、旁路系统的运行	94
课题七 单元机组的安全保护	95
一、典型锅炉保护	95
二、典型汽轮机保护	97
三、发电机-变压器组保护	99
四、单元机组的连锁保护	99
小结	100
习题	101
上机操作	101
单元四 单元机组事故处理	102
课题一 单元机组事故特点及处理原则	102
一、影响火电机组可用率 (系数) 的因素	102
二、单元机组的事故特点	103
三、单元机组的事故处理原则	104
课题二 单元机组的事故及其处理	105
一、锅炉典型事故及处理	105
二、汽轮机典型事故及处理	110
三、热控装置故障及预防	119
四、发电机-变压器组主要故障及处理	120
五、厂用电故障及处理	122
课题三 电力系统事故对单元机组运行的影响及处理方法	124
课题四 单元机组事故案例	126
一、锅炉缺水事故	126
二、锅炉后屏超温爆管事故	127
三、汽轮机大轴永久变形事故	127
四、汽轮机烧瓦事故	128
五、发电机定子接地事故	128
六、发电机失磁事故	128
七、变压器内短路事故	129
八、MFT 事故	130
小结	130
习题	131
上机操作	131
参考文献	132

绪 论

教学目的

了解单元机组的构成特点和集控运行的概念以及单元机组运行管理的有关知识。

一、单元机组的构成和特点

随着电力需求的不断增长、科学技术的不断进步和对机组经济性要求的不断提高，大容量、高参数、高自动化技术的大机组已经成为我国电力工业发展的主要特点。

(一) 单元机组的构成

现代化大型火力发电厂，为了使机组获得比较高的经济性，对于大容量机组，均采用蒸汽中间再热方式。该种方式要求蒸汽在汽轮机高压缸做功以后，返回锅炉加热，而后又送入汽轮机中、低压缸继续做功。这样一

来，当几台汽轮机承担的负荷不完全一致的时候，要求各台锅炉提供的蒸汽初参数和再热蒸汽参数完全一致是非常困难的。于是出现了单元机组，即由一台锅炉配合一台汽轮机、一台发电机和主变压器构成纵向联系的独立单元。每个单元发出的电功率直接送到变电所的母线，各个单元之间没有大的横向联系（各个单元之间有公用蒸汽系统作机组启动、停运等用）。在正常运行的时候，本单元所需要的蒸汽和厂用电均取自本单元。这种独立单元系统的机组称为单元机组。非再热机组也可以采用单元制系统，构成单元机组。典型单元机组系统见图 0-1。

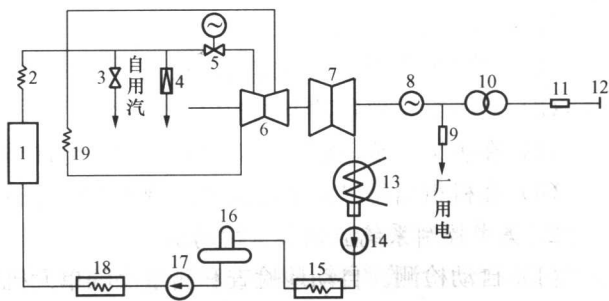


图 0-1 单元机组系统图

- 1—锅炉；2—过热器；3—阀门；4—减压阀；5—电动主汽阀；
- 6—汽轮机高、中压缸；7—汽轮机低压缸；8—发电机；
- 9—厂用电开关设备；10—升压变压器；11—发电机开关设备；
- 12—母线；13—凝汽器；14—凝结水泵；15—低压加热器；
- 16—除氧器；17—给水泵；18—高压加热器；19—再热器

(二) 单元机组的特点

与非单元机组（一般指母管制系统）相比，单元机组系统简单，具有蒸汽管道比较短、阀门和管道附件比较少、发电机母线短等特点，从而使得单元机组投资少、操作简单、系统事故发生机会减少，同时也使得单元机组可以比较好地进行滑参数运行和滑参数启、停。另外，单元机组也便于锅炉、汽轮机、发电机的集中控制和运行。

与非单元制系统机组相比，单元制机组的灵活性相对比较差，即在单元机组中任何一台主要设备停运或者主要辅助设备故障导致主要设备停运时，都可能引起整套单元机组停运，相邻单元机组之间不能互相切换、互相支援。

二、单元机组集控运行的概念和内容

(一) 单元机组集控运行的概念

在单元机组中，锅炉、汽轮机、发电机以及相关辅助设备的联系非常紧密，因此在单元机组的运行中，必须把炉、机、电看成一个整体来进行监视和控制。在实际设计上，通常将炉、机、电的主机、相关辅机、相关系统的各个运行参数及各种控制手段集中在一个控制室内，使得对单元机组的运行操作、控制和监视可以在一个控制室内进行，该控制室称为集中控制室或者单元控制室。此种运行方式称为单元机组集控运行。

集控运行的控制对象一般包括锅炉及其燃料供应系统、汽轮机及其冷却系统、给水除氧系统、抽汽回热加热系统、凝结水系统、润滑油系统、发电机-变压器组系统、厂用电系统等。各个单元机组的公用系统，如循环水系统、水处理系统、燃料运输系统、灰渣处理和输运系统、烟气处理系统等仍然采用就地监视和控制的方式。

单元机组集中控制可以协调各个设备的运行，使得各个设备能够比较好地互相适应，从而使得整套机组的安全性、经济性都比机组分控要高。由于单元机组集控运行要求响应迅速，涉及专业面广，需要不断使用先进的控制技术，因而，要求集控运行人员在热动力、发电和自动控制等各个专业方面有更高的技术水平。

(二) 单元机组集控运行的内容

1. 单元机组集中控制运行的内容

- (1) 对机组实现各种方式的启动。
- (2) 对机组实现各种方式的停运。
- (3) 在机组正常运行时，对设备参数进行调整。
- (4) 在机组出现异常情况或者出现事故时进行及时处理。

2. 集中控制系统应该具有的功能

(1) 自动检测。自动地检查和测量反映单元机组运行情况的各种参数和工作状态，监视单元机组运行的生产情况和趋势。

(2) 自动调节。自动维持单元机组在规定的工况下安全和经济地运行。

(3) 程序控制。根据预先拟订的步骤和条件，自动地对机组进行一系列的操作。

(4) 自动保护。当机组运行发生异常情况或者参数超过允许值时，及时发出警报或者进行必要的动作，以避免发生设备事故和危及人身安全。

三、单元机组运行管理的制度与组织

(一) 运行管理制度

为了保证单元机组的安全、经济运行，电力行业对于单元机组集控运行制定了许多行之有效的管理制度。

1. 交接班制度

交接班制度是保证交班、接班不出现漏洞，以及保证安全发电的重要制度。交接班制度包括班前会、班后会和各个岗位的交接等内容。

2. 巡回检查制度

巡回检查是发现设备隐患、消灭隐性事故、保证设备安全的重要措施。根据巡回检查制度的要求，运行人员在值班期间，应该按照岗位分工的不同，定时地对设备按照固定巡回检查路线进行检查，巡回检查中要按照设备情况的变化有不同的检查重点。

3. 设备定期试验和轮换制度

定期进行设备检查、记录、试验、保养是使设备经常在良好的状态下运行和有效备用的重要措施。对于各种应该列入试验、轮换的设备和系统，试验和轮换的周期，以及执行人、监护人等都应该作出具体规定，在运行中保证执行，执行中要作好事故预想和安全对策。

4. 工作票及设备验收制度

工作票是准许在设备上进行工作的书面命令卡。工作票是明确安全责任，向执行工作的人员进行安全交底，以及履行工作许可手续，工作间断、转移和终结手续，并且实施保证安全技术措施的书面依据。因此，在运行人员管理的设备上进行检修工作，都要办理工作票（事故处理和事故抢修除外），严禁无票作业。运行设备检修完成后，应由检修人员先进行检查，合格后再由运行人员验收，质量不合格应该返修，直至合格。

5. 操作票联系制度

操作票是依据生产计划和上级调度的综合命令，为设备运行和作业安全措施而事先写好的工作程序卡，是保证安全操作具有程序性的操作命令，是避免发生事故的一项组织措施。操作票的填写和执行必须严格遵守《电业安全工作规程》的有关规定，认真填票，确定操作人和监护人，操作时按照操作票步骤逐条进行。

6. 岗位责任制

发电厂根据岗位特点、设备状况、工作量大小划分为不同的运行岗位，根据不同岗位制定相应制度，使每个运行人员清楚本岗位职责，提高工作效率。岗位责任制的内容一般包括岗位职责、工作标准和任职条件。

7. 电网调度管理条例

电网运行实行统一调度、分级管理（见图 0-2），认真执行《电网调度管理条例》是保障电网安全、保护用户利益、适应经济建设的重要措施。《电网调度管理条例》由国务院令发布。

《电网调度管理条例》规定：发电厂必须按照调度机构下达的调度计划和规定的电压范围运行，并且根据调度命令调整功率和电压；发电、供电设备的检修应当服从调度机构的统一安排；任何人不得操作调度机构管辖范围内的设备，但是当电网运行遇有危及人身及设备安全情况时，值班人员可以按照有关规定处理，处理后应立即报告有关调度机构。

设备检修申请应按照设备管理范围申报，锅炉、汽轮机、发电机、主变压器、高压母线、负荷开关等直接影响发电出力的设备归电网管理。

8. 运行规程和临时措施

发电厂运行规程是发电厂运行方面的权威性技术文件，是保证设备安全经济运行的重要规章制度。运行规程由厂发电部有关专业工程师负责，由具有丰富运行经验的工人参加，参照《电力工业技术管理法规》，电力行业颁布的各个专业典型运行规程、安全规程、制造和设计资料、设备特性等有关资料，根据现场具体条件编写。规程由发电厂有关专业专责工程师审查，由总工程师批准公布。全体运行人员在运行工作中应该随时注意规程的正确性，发现问题应该及时向专责工程师、总工程师汇报。专责工程师应做好记录，作为修订规程时的参考依据。对于规程的重要临时修改，应由厂总工程师批准，并作为运行规程的临时条文执行。运行规程一般包括以下内容：

- (1) 机组技术规范;
- (2) 机组启动;

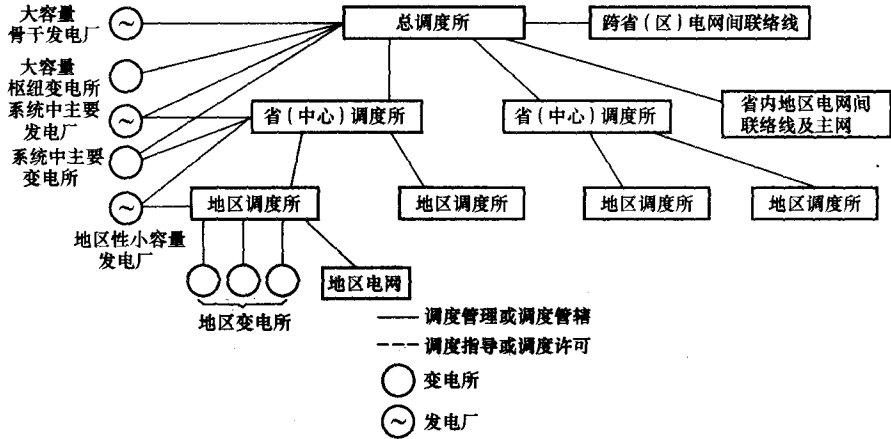


图 0-2 调度分级管理示意图

- (3) 机组正常运行与参数调整;
- (4) 机组停止;
- (5) 机组事故处理;
- (6) 定期工作、保护和连锁。

9. 运行分析制度

运行分析制度能够促进运行人员和各级生产管理人员掌握设备性能及其运行规律，是保证机组安全经济运行的重要措施。运行分析工作一般分为岗位分析、定期分析、专题分析和异常（事故）分析四种。

10. 安全规程和管理制度

《电业安全工作规程》（简称《安规》）是电力行业法规之一，必须严格遵守。凡是从事发、供电的电业职工必须学习《安规》，并且定期考试。凡是担任独立工作的人员，必须考试合格。新参加工作的人员和调动到新岗位的人员，在开始工作前必须学习《安规》有关部分，并且应考试合格。实习人员、临时工等必须经过安全知识教育后，方可下现场随同参加指定工作，但不得独立工作。

《安规》包含的内容有总则、工作票制度、各类设备的运行和维护（安全方面）、各类设备的检修（安全方面）以及其他工作。

11. 事故调查规程

在电业生产（包括电厂运行）中发生的事故，依照事故性质的严重程度及经济损失大小分为特别重大事故、重大事故、一般事故几类。事故调查和考核依照《电业生产事故调查规程》进行。电力生产中发生各类事故后，必须按照“四不放过”原则认真对待，即：事故原因未查清不放过，责任人员未处理不放过，整改措施未落实不放过，有关人员未受到教育不放过。

12. 其他有关运行的制度

这些制度包括节能工作制度、培训管理制度、燃料管理制度、用水管理制度、消防系统管理制度、环保工作管理制度、五项技术监督管理制度等。

13. 设备管理

发电厂设备管理的任务就是保证设备在计划发电期限内做到安全、稳定、可靠、不间断地连续发电。设备管理的相关制度如下：

(1) 点检定修制。点检定修制是以点检人员为责任主体的全员设备检修管理制度，以期使设备在可靠性、维护性、经济性上达到协调优化管理。在点检定修制中，点检人员既要负责设备点检，又要负责设备全过程管理。点检、运行、检修三方面，点检处于核心地位。

(2) 状态检修。状态检修是在设备状态评价的基础上，根据设备的状态和分析诊断结果安排检修时间和项目，并主动实施的检修方式。

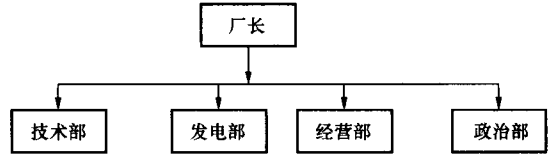


图 0-3 火电厂的生产组织

(二) 火力发电厂的生产组织

火力发电厂的生产指挥系统因工厂的规模不同，机组容量、特性不同，自动控制水平不同而有相当的差异。目前，大型火力发电厂多采用事业部方式，如图 0-3 所示。

小 结

单元机组具有系统简单、事故发生概率小、经济性好的优点，在大容量机组中被采用有其必然性。单元机组集控运行具有更高的安全性和经济性。为了保证单元机组集控运行的正常，应该具有完善的运行管理制度，并确实实行电力行业有关火电厂运行的各种规章制度。

习 题

1. 何为单元机组集控运行，集控运行的主要内容是什么？
2. 单元机组主要的运行管理制度有哪些？
3. 火电厂的生产组织形式是什么？

上 机 操 作

参观单元机组模型、仿真机，并且到火电厂参观单元机组。

单元机组的启动和停运

内容提要

本单元通过对单元机组在启、停变工况时锅炉、汽轮机热状态的分析，介绍了单元机组启、停方式，重点阐述了配汽包锅炉和直流锅炉的单元机组启动和停运过程。

课题一 单元机组启、停变工况时锅炉、汽轮机的热状态

教学目的

掌握单元机组启、停变工况时的热状态。

一、概述

单元机组启动是指从锅炉点火、升温升压、暖管到当锅炉出口蒸汽参数达到要求开始冲转汽轮机，汽轮机由静止状态升速直到额定转速，发电机并网带初负荷直至逐渐带到额定负荷的全过程。停运过程是启动的逆过程，是指机组从带负荷运行状态减负荷，直到负荷减到一定数值后机组解列，汽轮机打闸，锅炉熄火，汽轮机发电机组惰走停转及盘车、锅炉降压和机炉冷却等全过程。

单元机组启、停的实质是冷热态的转变过程。在机组启、停过程中，锅炉、汽轮机各部件与工质温度不断变化，是一个不稳定的过程。启、停工况极为复杂，各部件的温度和承受的压力在启、停过程中变化很大，因此会产生热应力、热变形和热膨胀，特别是大容量高参数单元机组，由于体积庞大、结构复杂，它们的各个部件，如锅炉汽包、各受热面、汽缸、转子、法兰等所处条件不同，火焰及工质对它们的加热或冷却速度不同，因而各部件之间或部件本身沿金属壁厚方向产生明显的温差而导致膨胀或收缩不均，产生热应力，当热应力超过允许的极限时，会使部件产生裂纹乃至损坏。由于汽轮机的“质面比（质量与面积之比）”大，又带有高速旋转的转子，因而在汽缸和转子之间易出现膨胀差（即胀差），使汽轮机本来很小的动静间隙进一步减小，甚至会发生摩擦碰撞，引起事故。实践证明，一些对设备最危险、最不利的工况往往出现在启、停过程中，有一些启、停过程中产生的问题，即使当时未发生设备事故，但却会产生不良后果，留下隐患，降低设备使用寿命。因此通过研究单元机组启、停过程中的热状态和热力特性，寻求合理的启停方式，就成为单元机组集控运行的一项重要任务。

二、锅炉的热状态及热应力

（一）锅炉启、停过程的安全经济性

在锅炉启、停过程中存在着各种矛盾，如由于炉膛温度低引起燃烧不稳定与不经济的问题，各受热部件温升速度与温度均匀性的矛盾，受热面受热与工质对其冷却的矛盾，工质排

放与工质热量损失的矛盾等。

在启、停过程中，各部件的工作压力和温度随时都在变化，且各部件的加热或冷却是不均匀的，金属体中存在着温度场，会产生热应力。对汽包、联箱等厚壁部件的上下壁，内外壁温差要严格控制，以免产生过大热应力而使部件损坏。该温差是随着升（降）压速度与升（降）负荷速度增大而增大的。为减小热应力，必须限制升（降）压和升（降）负荷速度，然而这样势必增加启、停时间。

锅炉点火后就开始加热各受热面和部件。此时，工质尚处于不正常的流动状态，冷却受热面的能力差，会引起局部金属受热面管壁超温，汽包等靠工质间接加热的部件将发生不均匀的温差场。启动初期，水循环尚未建立的水冷壁、未通汽或汽流量很少的再热器、断续进水的省煤器都可能有引起管壁超温损坏的危险。

在启动初期，炉膛温度低，点火后的一段时间内投入燃料量少，燃烧不易控制，容易出现燃烧不完全、不稳定，炉膛热负荷不均匀，可能出现灭火和炉膛爆燃事故；此外，燃烧热损失也较大。炉膛热负荷不均，会使并联管吸热偏差增大，所以，点火后希望快速增加燃料投入量，以加强燃烧，提高炉膛温度，均匀炉膛热负荷，建立稳定、经济的燃烧工况，但是增加燃料投入量受到升温速度与排放损失等限制。

在启、停过程中，所用的燃料除了用以加热工质和部件外，还有一部分消耗于排汽和放水，而后者是一种热量损失，如排汽和放水未能全部回收热量，就必然伴随工质的损失。此外，在低负荷燃烧时，不仅过量空气量较大，而且不完全燃烧损失也较大。这些损失的大小与启动方式、操作方法以及启动持续时间有关。

单元机组启动与停运过程中的运行技术管理工作，就是要处理好启、停过程中的各种矛盾，优化各种工况，建立最佳的安全、经济启动及停运指标。

（二）汽包的温差与热应力

1. 汽包进水时的温差和热应力

冷态启动时，汽包在进水前，其金属温度接近环境气温。进水时，一定温度的给水与汽包内壁接触，由于汽包壁较厚（一般为100mm左右），其内壁温度升高较快而外表温度上升较慢，因而形成内、外壁温差。另外，在汽包水位以下被给水浸没，该部分受热，壁温上升，使汽包下半部壁温高于上部。正是由于汽包内外壁、上下壁温差的存在，温度高的部位金属膨胀量大，温度低的部位金属膨胀量小，而汽包是一个整体，其各部位间无相对位移的自由，因而汽包内侧和下半部受到压缩，外侧和上半部受到拉伸。汽包压缩部位产生压缩热应力，拉伸部位产生拉伸热应力，且温差愈大，所产生的热应力也愈大。该热应力与温差成正比关系。而温差的大小又取决于金属加热或冷却的速度和金属的壁厚。故在进水时，汽包下部内壁产生的压缩热应力由汽包下部的压缩热应力和汽包内外壁温差使内壁产生的压缩热应力叠加而达到最大。为减小该热应力，进水过程中应限制汽包上下壁、内外壁温差，其方法为限制进水温度和进水速度。一般规定冷态启动时，锅炉进水温度不大于 $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，热态进水时，水温与汽包壁温差不大于 40°C ，高压及以上锅炉，进水时间为夏季不小于2h，冬季不小于4h。另外，为安全起见，用常温水向汽包进水时，水温必须高于汽包材料性能规定的脆性转变温度（FATT） 33°C 以上。

2. 升压过程中汽包的温差和热应力

对于自然循环锅炉，在升压初期投入的燃料量很少，炉内火焰充满程度较差，水冷壁受