



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU

火电厂集控运行

HUODIANCHANG JIKONG YUNXING

张士东 姚昌模 主 编 ●
向 上 徐云清 副主编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）
国家骨干院校重点建设专业教材

火电厂集控运行

HUODIANCHANG JIKONG YUNXING

主 编 张卫东 姚昌模
副主编 向 上 徐云清
编 写 陈统钱
主 审 杨建蒙



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。本书针对火电厂工作过程进行分析，提炼出典型工作任务模块，确定工作任务群，对工作任务进行职业能力分析，然后根据学生的认知过程和教育规律，以工作过程为依据，整合陈述性知识与过程性知识，着眼于蕴含在动态行动体系之中的隐性实践知识的生成与构建，重构课程内容体系，实施项目化的课程开发。按工作过程划分为6个项目，18个任务，其主要内容包括：火电厂集控运行职业基础、单元机组启动（停运）、单元机组正常运行调节与维护、单元机组保护与试验、单元机组事故分析与处理。

本书可作为高职高专院校火电厂集控运行和电厂热动力装置等专业的教材，也可作为电厂运行人员的岗位培训用书。

图书在版编目（CIP）数据

火电厂集控运行/张卫东，姚昌模主编. —北京：中国电力出版社，2013.2

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5123-4028-2

I. ①火… II. ①张…②姚… III. ①火力发电-发电机组-集中控制-运行-高等职业教育-教材 IV. ①TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 023712 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年2月第一版 2013年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 17.5印张 424千字

定价 39.80 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

《火电厂集控运行》经中国电力教育协会和中国电力出版社组织评审,列为普通高等教育“十二五”规划教材(高职高专教育),作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书是一本综合性强、与现场实际运行联系紧密的专业技术课程教学用书。随着我国现代火电机组容量越来越大,集控运行技术水平越来越高,为了确保火电机组的安全、经济运行,必须有一批高技能、高素质的运行人员。为了适应高职高专热能动力工程、火电厂集控运行等专业的教学需要,以及相关技术人员的学习需要,特编写本书。

在编写本书的过程中,编者立足于火力发电厂生产的实际需要,强化理论与实践的结合,对火力发电厂工作过程进行分析,提炼出典型工作任务模块,确定工作任务群。并根据学生的认知过程和教育规律,按工作过程把本书内容划分为6个项目,18个工作任务,使学生在掌握知识和技能的同时,职业素质和职业能力得到进一步提高。本书主要体现以下特点:

(1) 本书采用校企合作方式编写,以当今主力机型为核心,介绍火电厂集控运行的基本知识,单元机组启停、正常运行维护和事故处理的主要工作及技术要求,并力求反映当前火电厂集控运行的新知识、新技术。

(2) 本书为体现高职高专教学“必需”、“够用”和“有用”的原则,对火电厂集控运行的内容进行精炼和整合。

(3) 本书编写过程中结合了火电厂集控运行值班员职业技能鉴定要求。

(4) 为便于读者更好地联系实际,掌握学习内容,本书中加入了电厂机组运行的操作实例及画面,并在各项目中附有任务描述和复习与思考练习。

(5) 本书内容体现了先进性、综合性、实用性,并配有丰富的运行实例和图片资料,以适应多媒体教学的需要。

本书由重庆电力高等专科学校张卫东、姚昌模担任主编,重庆电力高等专科学校向上和四川泸州川南发电有限责任公司徐云清担任副主编,浙江浙能乐清发电有限责任公司陈统钱参编。其中项目一和项目六全部内容由张卫东编写;项目三、项目五全部内容,项目四中任务三以及“知识与能力拓展”,由姚昌模编写;项目二中除了操作实例和“知识与能力拓展2”外,项目四中的任务一、二、四、五,由向上编写;项目二、项目三中的操作实例由徐云清编写;项目二中的“知识与能力拓展2”由陈统钱编写,全书由姚昌模统稿。

本书由华北电力大学杨建蒙教授担任主审,对书稿进行了认真仔细的审阅,并提出了许多宝贵的修改意见和建议,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,还得到了中国电力出版社、相关院校和电厂的一些领导、老师和电力行业的朋友们的支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年12月

目 录

前言

项目一 火电厂集控运行职业基础	1
思考与练习	28
项目二 单元机组启动	29
任务一 单元机组启动前的准备工作	29
任务二 锅炉点火及升温升压	35
任务三 汽轮机冲转及升速	39
任务四 发电机并网与升负荷	42
思考与练习	68
项目三 单元机组停运	70
任务一 单元机组停运前的准备工作	70
任务二 单元机组停运的主要步骤	73
任务三 单元机组停运后的保养	79
思考与练习	85
项目四 单元机组正常运行调节与维护	86
任务一 锅炉正常运行时监视与调节	86
任务二 汽轮机的运行维护	98
任务三 发电机—变压器组与厂用电系统运行监视	108
任务四 单元机组调峰运行	118
任务五 单元机组经济运行	124
思考与练习	133
项目五 单元机组保护与试验	134
任务一 单元机组保护	134
任务二 单元机组试验	151
思考与练习	170
项目六 单元机组事故分析与处理	172
任务一 锅炉典型事故与处理	174
任务二 汽轮机典型事故与处理	191
任务三 电气典型事故与处理	207
思考与练习	214
附录 A 辅助设备及系统投运操作实例	215
附录 B 锅炉点火及升温升压操作实例	237
附录 C 汽轮机冲转及升速操作实例	244
附录 D 发电机并网与升负荷操作实例	246
附录 E 单元机组停运前的准备工作操作实例	255
附录 F 单元机组停运的主要步骤操作实例	257
参考文献	271

项目一 火电厂集控运行职业基础

【任务描述】

通过对本项目的学习,建立火电厂集控运行的职业基础情景,以便更好地学习和掌握火电厂集控运行的知识与技能。理解火电厂集控运行的概念、运行内容、控制对象和主要功能;知道火电厂集控运行的管理制度;知道单元机组控制系统的主要功能和组成;理解单元机组启、停、变工况时产生“三热”问题的原因、危害和解决措施;知道单元机组的寿命管理以及影响机组设备寿命的材料特性。

一、单元机组的构成和特点

随着电力需求的快速增长,科学技术的不断发展以及提高机组经济性的要求,大容量、高参数、高自动化技术的大机组已在我国得以快速应用和发展。大容量机组均采用中间再热方式,因为各机组的再热蒸汽参数受机组负荷的影响不一致,故无法并列运行,再热机组必须采用单元制系统。

1. 单元机组的构成

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(简称主变),构成炉、机、电纵向联系的独立单元。如图1-1所示,单元机组系统中锅炉产生的蒸汽直接供给与其配合的汽轮机,汽轮机驱动发电机,发电机所发的电功率经一台升压变压器送往电力系统,这样组成了炉、机、电纵向联系的独立单元。各独立单元之间除了启停用的公用蒸汽系统外,各独立单元之间无横向联系。

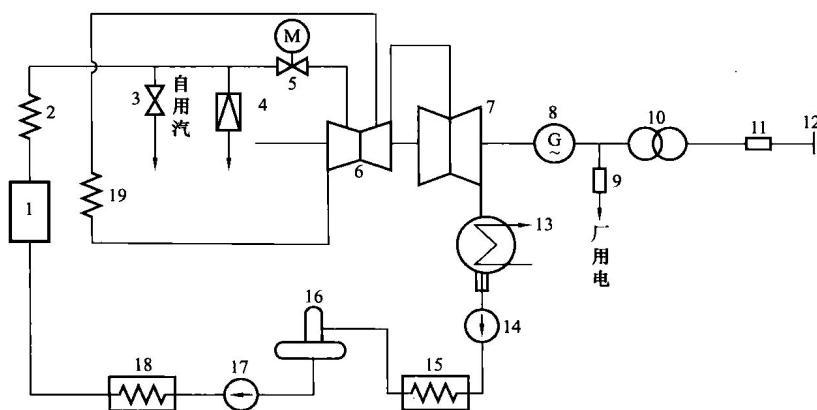


图 1-1 单元机组系统图

- 1—锅炉; 2—过热器; 3—阀门; 4—减压阀; 5—电动主蒸汽阀; 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

2. 单元机组的运行特点

与非单元制机组（母管制系统）相比，单元机组具有系统简单，蒸汽管道短，阀门和管道附件少，发电机母线短，投资少，操作简单，系统事故可能性小，便于机组采用滑参数启停和变压运行，也便于炉、机、电运行集中控制的优点。

但在单元制系统运行中，当任一主要设备停运或者主要辅助设备发生故障导致主要设备停运行时，都可能引起整个单元机组被迫停运，而相邻单元机组之间不能互相支援和切换运行。这就导致单元机组在运行过程中操作灵活性和负荷适应性较差。

二、火电厂集控运行基本概述

1. 火电厂集控运行方式的发展

过去早期的中小容量机组一般都采用单独控制运行方式，即锅炉、汽轮机、发电机都有单独的控制室，各控制室之间通过热工信号、联络信号和电话运行联系。也有些电厂虽然把控制室放在一起，但从控制方式上来讲，各设备之间仍然相对独立。这种旧的控制方式是当时的设备水平相适应的，老电厂热机部分采用母管制，几台并列的锅炉送出的蒸汽进入蒸汽母管，而并列的汽轮机从母管中取用蒸汽，它们之间没有一一对应关系，因此，采用单独控制方式可以满足机组的安全性和经济性要求。

但随着大容量、高参数大型单元机组的不断发展，若把单元机组的主、辅设备的运行操作、控制和监视集中到一个控制室内进行，已远远不能满足要求，这样做仅仅可以称作集中办公或控制的集中，真正的集中控制有着更深刻的内涵。当机组容量从 50MW 增加到 500MW 时，信息量增大了 10 倍，操作量增大了 6 倍。一台 500MW 机组从启动初期开始到带负荷，需要运行人员进行 900 个动作，其中 400 个是操作动作，500 个为监视动作，在最紧张的时候，要求运行人员在 5min 内必须完成 40 个操作动作。因此要求操作人员只依靠双手、双眼去有效地控制机组是不现实的，一旦发生紧急情况也不可能进行完善处理，必须借助自动控制手段，使机组运行监视和操作部分由自动化控制代为执行，这才是机组真正实现集中控制的技术保证。

火电厂集控运行就是指利用“4C”技术（computer 计算机技术、control 控制技术、communication 通信技术、CRT 图形显示技术）对火力发电生产过程进行高度自动化的集中监控，以实现对机组的启停操作、运行状态及参数的监视调整、事故情况下的紧急处理和保护，保证火力发电厂连续、安全、经济运行。如图 1-2 所示为某 2×600MW 机组集控室布置图。

2. 火电厂集控运行的主要内容

（1）在就地配合下对单元机组实现各种方式的启动和停运。

（2）在机组正常运行时，对设备的运行情况进行监视、控制、维护以及对有关参数进行调整。

（3）在机组出现异常情况或者出现事故时进行及时判断处理。

3. 火电厂集控运行的控制对象

火电厂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—变压器组系统及厂用电系统等。各个单元机组的公用系统，如水处理系统、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控制或车间集中控制，现在称为辅控。

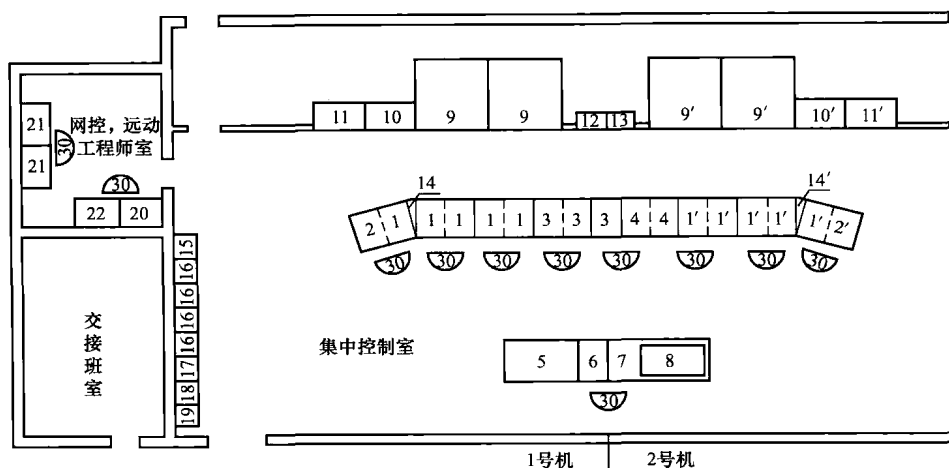


图 1-2 某 2×600MW 机组集控室布置图

- 1—DCS 操作员站；2—DEH 操作员站；3—BOP 操作员站；4—网控操作员站；5—SIS 值长站；
6—MIS 值长站；7—值长台；8—通信调度台；9—大屏幕；10—闭路电视；11—工业电视；
12—消防 CRT 机柜；13—火灾检测与消防控制盘；14—角接板；15—DEH 报警记录打印机；
16—O：S 报警记录打印机；17—BOP 报警记录打印机；18—操作员站；19—NCS 打印机；
20—网控工程师站；21—远动计算机；22—微机工作站

4. 火电厂集控运行的主要功能

(1) 自动检测。自动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, 同时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。根据预先拟定的步骤和条件, 自动地对机组进行一系列的操作。

(4) 自动保护。当机组运行情况发生异常或者参数超过允许值时，及时发出警报或者采取必要的保护动作（如自动切换设备和系统以及机组跳闸），以避免发生设备事故和危及人身安全。

三、火电厂集控运行管理制度

电力行业对火电厂集控运行制定了许多行之有效的管理制度,以保证单元机组的安全、经济运行。

1. 安全规程和管理制度

为了保证机组安全运行，运行人员必须执行“电力生产，安全第一”及“预防为主”的方针，严格遵守《电业安全工作规程》（以下简称《安规》）。《安规》是电力行业法规之一，凡是从事发、供电的电业职工必须学习《安规》，并且定期参加考试；凡是担任独立工作的人员，必须考试合格；新人员和调动到新岗位的人员，必须学习《安规》有关部分，并且考试合格，才能开始工作。

2. 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。

3. 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。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，应先经检修人员检查合格后，再由运行人员验收，质量不合格应该返修直至合格。

4. 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，是保证安全操作时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《安规》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。

5. 作业安全措施票制度（措施票）

《工作票制度》是由运行人员来确保检修人员人身安全的制度，而《措施票》是作业人员确保自身安全的制度。《措施票》是与《工作票制度》、《操作票制度》同等重要的制度，现在很多电厂已把过去的“两票三制”扩展为“三票三制”。

使用《措施票》的目的是为了加强作业中的安全管理，促进安全责任和安全措施的具体落实，进一步强化和明确作业安排人、作业小组负责人和作业班成员的安全责任，提高作业人员的自保、互保意识，防止发生人身伤亡事故。

6. 交接班制度

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

7. 设备巡回检查制度

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。运行人员在值班期间，应该按照岗位分工，定时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确定不同的检查重点。

8. 设备定期试验和轮换制度

设备定期试验和轮换制度是保证设备经常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，在运行中保证执行制度规定，定期进行设备检查、记录、试验、保养，并在执行中要作好事故预想和安全对策。

9. 运行分析制度

运行分析工作一般分为四种：岗位分析、定期分析、专题分析和异常（事故）分析。运行分析制度能够促进运行人员和管理人员掌握设备性能及运行规律，是保证机组安全经济运行的重要措施。

10. 电网调度管理条例

电网运行实行统一调度、分级管理，调度分级管理示意图如图 1-3 所示。

《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。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

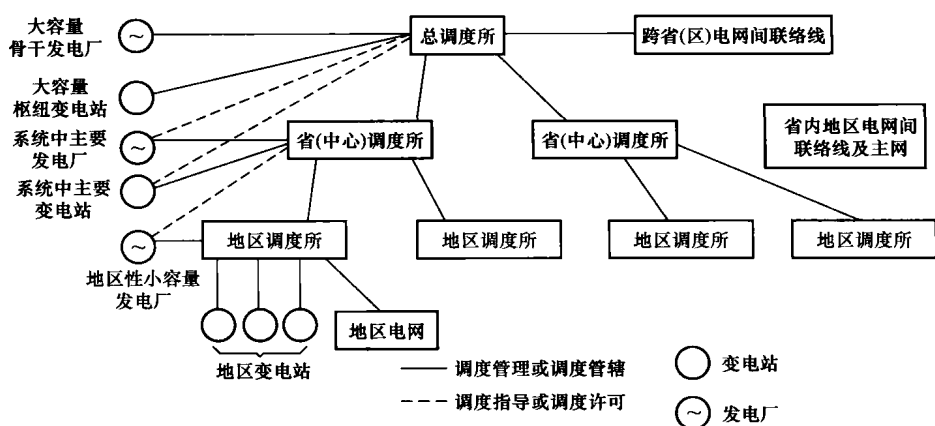


图 1-3 调度分级管理示意图

母线、负荷开关等直接影响发电出力的设备归电网管理。

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大事故、重大事故、一般事故和障碍几类，事故调查和考核按《电业生产事故调查规程》进行。发生各类事故后，必须按照“三不放过”原则认真对待，即事故原因不清不放过、事故责任者和应受教育者没有受到教育不放过、没有采取防范措施不放过。

12. 节能管理制度

机组运行在保证安全生产的基础上，尽可能提高运行的经济性，通过开展运行小指标竞赛活动，促使运行人员认真监盘，合理调整，节约燃料、蒸汽和厂用电。

此外，还有培训管理制度、燃料管理制度、用水管理制度、消防系统管理制度、环保工作管理制度等。

四、单元机组控制系统简介

（一）控制系统主要功能

以 DCS 为实现手段的自动控制系统担负着机组主、辅机的参数控制、回路调节、连锁保护、顺序控制、参数显示、异常报警、性能计算、趋势记录和报表输出的功能，已从辅助运行人员监控机组运行，发展到实现设备的启停功能、过程控制和连锁保护的复合体系。

自动控制主要包括控制（Control）、报警（Alarm）、检测（Monitor）、保护（Protect）四个方面的内容，简称 CAMP。具体来讲就是指自动检测、连续控制、顺序控制、自动保护及其报警，下面分述这几方面的功能。

1. 自动检测

自动检测功能包括对整个机组运行状态和参数的测量、指示、记录、参数计算、参数超限和设备故障时发出报警信号、事故记录和追忆、工业电视监视等。

运行参数的自动检测能及时反映机组生产过程和运行变化趋势，为运行操作提供依据，为自动控制系统提供信号，对保证机组安全、经济运行起着最重要的作用，也是自动控制的基础。

大机组自动检测的主要项目有：

(1) 锅炉方面的主要检测项目：过热蒸汽和再热蒸汽的压力、温度，给水压力、温度、流量，汽包水位（直流炉为中间点温度），炉膛压力，烟气含氧量，排烟温度，一、二次风温、风压、燃料量，以及反映汽水系统各受热段工质状况的压力、温度等参数。

(2) 汽轮机的主要检测项目：主蒸汽压力、温度，真空度，润滑和调速油压，转速，振动，转子轴向位移，转子与汽缸的相对膨胀，主轴偏心度，轴承温度，润滑油温度，推力瓦温度等。

(3) 发电机—变压器主要检测项目：发电机频率（转速），有功功率，无功功率，定子电压、电流，转子电压、电流，功率因数，发电机温度以及冷却介质的工作状态；变压器的电压、负荷、电流、温度及冷却系统等。

为了满足大机组运行监控高度自动化的要求，自动检测的对象还包括机组各主要辅机和各辅助系统等几乎所有可控制操作设备的工作状态。

2. 自动保护

自动保护功能包括主机、辅机和各支持系统及其相互间的连锁保护，以防止误操作。当设备发生故障或危险工况时，自动采取措施防止事故扩大或保护生产设备。大机组设置了许多热工保护项目，以避免因操作控制失误而造成重大设备损坏事故。

(1) 热工保护的三类动作形态。

1) 报警信号。向操作人员提示机组运行中的异常情况。例如某 600MW 机组的报警信号分为 CRT 报警、光示报警和声响报警。

2) 连锁动作。必要时按既定程序自动启动设备或自动切除某些设备及系统，使机组维持原负荷运行或减负荷运行。

3) 跳闸保护。当发生重大故障，危及机组设备或人身安全时，实施跳闸保护，停止机组或某一部分设备运行，避免事故扩大。

(2) 大机组的主要热工保护。大机组的热工保护可大致分为锅炉热工保护，汽轮机热工保护和机、炉、电大连锁保护三部分。

1) 锅炉的主要热工保护有：锅炉主蒸汽压力保护、汽包锅炉水位保护、直流锅炉断水保护、再热器保护、炉膛安全监视、主燃料跳闸保护等。

2) 汽轮机热工保护主要有：超速保护、轴向位移保护、低油压保护、低真空保护、汽缸膨胀保护、胀差保护、振动保护、汽轮机热力系统辅助设备（如给水加热器）保护等。

3) 机、炉、电大连锁保护是锅炉、汽轮机、发电机三大主机之间与给水泵、送风机、引风机等主要辅机之间的连锁保护，大连锁保护的内容是综合三大主机和主要辅机在各自独立发生故障时，对自身和其他主、辅系统所必须实施的热工保护措施。

3. 顺序控制

顺序控制功能是指根据预先拟定的步骤、条件或时间，对生产过程中的机组设备和系统按程序自动进行一系列操作，以改变设备和系统的工作状态（如风机的启停、阀门的开关等）。

顺序控制可以是单个对象（一个阀门或一台电动机）的启停和开关控制，也可以是一个系统，甚至是整个机组的启停顺序控制。顺序控制也常被称为程序控制、逻辑控制。大机组所需控制的设备多，系统复杂，机组操作控制的自动化要求高，每台机组只配备一名主控值

班员和 1~2 名辅控员, 因此, 在机组启动、停机和异常处理等需要频繁操作的运行阶段, 要求顺序控制系统能在人员少量干预甚至不干预下自动完成设备和系统的启停和开关操作。各种机组的顺序控制范围有所不同, 有的是整个机组的自动启停控制, 有的仅是辅机和部分系统的运行操作和事故处理控制。

4. 连续控制

连续控制功能是指自动和连续地调节控制机组的运行工况, 连续控制又称调节控制或自动调节。包括对主机、辅机及各系统中的压力、温度、流量、物位、成分等参数的调节控制, 使机组运行参数维持在规定范围内或按一定的规律变化。例如, 维持汽包水位为给定值, 调整机组出力使之满足电网负荷的要求等。连续控制的主要项目: 锅炉汽包水位自动调节, 燃烧自动调节和汽温自动调节, 汽轮机的转速控制, 机组的负荷控制等。

(二) DCS 控制系统的主要构成

DCS 控制系统功能结构如图 1-4 所示。从应用角度来分析, DCS 应包括下列主要功能系统。

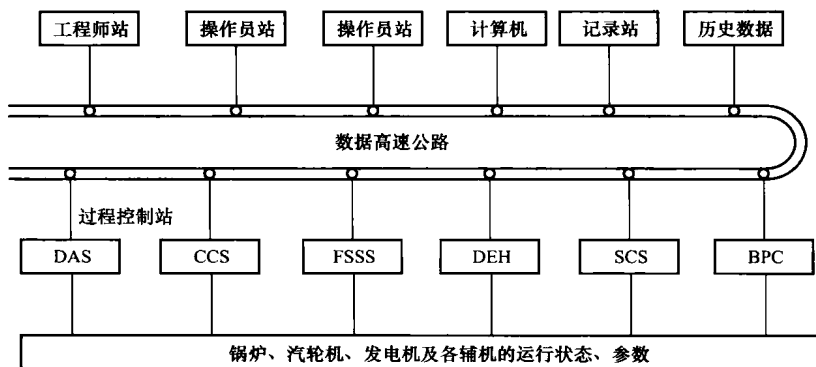


图 1-4 DCS 控制系统的功能结构

(1) 数据采集系统 (DAS)。数据采集系统用于收集现场过程变化信息和控制信息。

(2) 闭环调节系统。闭环调节系统包括机组负荷协调控制系统 (CCS)、给水调节系统、过热汽温和再热汽温控制系统、旁路控制系统 (BPS) 等局部控制系统。

(3) 炉膛安全保护系统 (FSSS)。炉膛安全保护系统包括磨煤机控制系统、燃烧器控制系统、锅炉风门风量控制系统。

(4) 汽轮机控制系统。汽轮机控制系统包括数字电液调节系统 (DEH)、汽轮机监测仪表系统 (TSI) 和危急跳闸系统 (ETS)。

(5) 顺序控制系统 (SCS)。顺序控制系统包括主机、辅机和各支持系统的启停控制, 主要有锅炉烟风系统、化学水处理系统、燃油系统、输煤系统、辅汽系统、汽轮机油系统、凝汽器真空系统、回热加热系统、循环水系统和冷却水系统的设备启停等; 还有锅炉吹灰控制、锅炉定排控制、锅炉补给水处理控制、锅炉点火系统控制等。随着机组控制水平的提高, 顺序控制技术应用范围也越来越大。

(6) 数据通道 (又称数据公路)、主控室的操作员站和维护人员用的工程师站。在分散控制系统中, 人机联系手段得到了根本的改善。运行人员可以随时调用他所关心的显示画面来了解生产过程中的情况, 还可以通过键盘和鼠标输入各种操作命令, 对生产过程进行干

预。因此,对于集控运行人员来说,熟悉分散控制系统的人机界面,了解分散控制系统的基本工作方式,才能进行正确的机组运行操作。

(三) 参与机组负荷控制的系统简介

单元机组负荷控制的功能是通过各种控制系统实现的,主要有计算机监视系统、机炉协调主控制系统、锅炉自动控制系统、汽轮机自动控制系统、发电机和电气控制系统、旁路控制系统、辅助设备及各支持系统的自动控制系统、就地控制系统等。具体内容介绍如下。

1. 数据采集系统

数据采集系统对锅炉、汽轮机、发电机及电气系统生产过程参数和设备运行状态进行监视,它和厂级监视用计算机组成计算机监视系统。该系统联系各仪表控制系统,并取代了大部分常规仪表,主要功能有数据采集与处理、越限报警、屏幕显示、性能计算、操作指导、打印制表、事故追忆打印和事件顺序记录和历史数据存储等。监视系统的监视和数据处理能力强,并有大量的历史数据存储,可供机组运行问题分析。

2. 机组协调控制系统

(1) 单元机组负荷调节方式。单元机组运行调节的主要内容是机组功率(负荷)的自动调节问题,即单元机组作为一个能量提供系统,如何适应电网负荷变化的需要。单元机组负荷调节涉及锅炉、汽轮机的调节性能。从电网要求角度,负荷调节应该快速,但从机组安全运行角度,调节应以机组运行稳定为要求。锅炉是一个热惯性较大的调节对象,相对于汽轮机而言,锅炉的调节相当迟缓。因此,当外界负荷需要汽轮机快速调节时,会引起汽轮机主汽阀前的蒸汽压力发生较大波动,影响机组稳定运行。为了协调单元机组负荷调节,负荷调节方式一般分为三种:

1) 锅炉跟随的负荷调节方式(又称为炉跟机调节方式)。炉跟机调节方式是当负荷指令改变时,首先由汽轮机控制器发出改变汽轮机调节汽阀开度的指令,汽轮机调节汽阀开度的改变使得蒸汽流量变化,机组输出功率的改变。同时汽轮机主汽阀前蒸汽压力也迅速偏离给定值,于是锅炉控制器发出改变锅炉燃烧率的指令,使得锅炉燃烧率跟随改变,最后达到输出功率与负荷指令相同,主汽门前主蒸汽压力与给定值相同。此方式的特点是负荷跟踪迅速,但在较大负荷变化情况下,主蒸汽压力变化较大,使得锅炉运行调节不稳定。

2) 汽轮机跟随的负荷调节方式(又称为机跟炉调节方式)。机跟炉调节方式是当负荷指令改变时,首先由锅炉控制系统发出改变锅炉燃烧率的指令,在锅炉燃烧改变引起蒸汽压力改变后,再由汽轮机控制器发出改变汽轮机调节汽阀开度的指令,从而改变汽轮机进汽流量。调节结束后,机组输出功率等于负荷指令,主汽阀前主蒸汽压力与给定值相同。此方式的特点是主蒸汽压力稳定,但是机组输出功率的变化有较大迟滞,不利于电网的负荷、频率的控制。

3) 机炉协调控制的负荷调节方式。机炉协调控制是把锅炉和汽轮发电机组当作一个被控整体,根据电网的负荷变动要求,同时对汽轮机调节汽阀和锅炉燃烧率进行协调控制,使得整个机组在实发功率迅速跟踪负荷指令的同时,又能维持锅炉输出蒸汽量与汽轮机所需蒸汽量的及时平衡,保持主蒸汽压力基本稳定,保证机组安全运行。

(2) 机组协调控制系统。协调控制系统根据负荷调度命令和电力系统频率,在单元机组所能承担负荷的情况下,对汽轮机自动控制系统和锅炉自动控制系统发出控制指令。系统还可按负荷需求和机组运行状态采用不同的运行方式。该系统不仅有调节功能,还具有逻辑判

断功能,当设备发生故障等异常工况时,系统会发出必要的连锁保护动作指令。

协调控制系统由负荷管理控制中心(LMCC),机炉主控制器和相关的锅炉、汽轮机子控制系统组成如图1-5所示。

1) 负荷管理控制中心。①对于机组的各种负荷请求指令(电网中心调度所负荷自动调度指令AGC、运行操作人员设定的负荷指令)进行选择和处理;②与电网频率偏差信号一起形成机组主、辅设备负荷能力和安全运行所能接受的具有一次调频能力的机组负荷指令,该指令作为机组实际发电功率的给定值信号,送入机炉主控制器。

2) 机炉主控制器。①接受负荷指令、实际电功率、主蒸汽压力给定值和实际主蒸汽压力值等信号;②根据机组当前的运行条件及要求,选择合适的负荷控制方式;③根据机组的负荷偏差(即负荷指令与实际电功率的差)和主蒸汽压力偏差(即主蒸汽压力给定值和实际压力值之差)进行计算,分别产生锅炉负荷指令 P_B 和汽轮机负荷指令 P_T 。作为机炉协调动作的指挥信号,分别送往锅炉和汽轮机的有关子控制系统。

负荷管理控制中心和机炉主控制器是机组控制的协调级,起着上位控制作用,是协调控制系统的核心,有时将其直接称为单元机组主控系统或协调控制系统。

3) 机、炉的各有关子控制系统。机、炉的各有关子控制系统,是对锅炉、汽轮机实现常规控制的有关系统,它们包括燃烧控制系统(包括燃料控制系统、送风控制系统、炉膛压力控制系统、一次风压控制系统、二次风控制系统、燃油压力控制系统)、汽温控制系统(包括过热汽温控制系统、再热汽温控制系统)、给水(汽包水位)控制系统、炉膛安全保护监控系统(FSSS)、汽轮机数字电液控制系统(DEH)、除氧器的水位和压力控制系统、凝汽器的水位和再循环流量控制系统、直吹式磨煤机(一次风量、出口温度、给煤量)控制系统、发电机氢气冷却控制系统、锅炉连续排污控制系统、电动泵的密封水差压和再循环流量控制系统、汽动泵的密封水差压和再循环流量控制系统等辅助系统。这些系统对机、炉主控指令来说,是伺服系统。它们根据 P_B 或 P_T 指令,控制锅炉的燃烧率和汽轮机调节汽阀的开度,维持机炉的能量平衡和参数稳定,保证机组运行的安全性和经济性。

锅炉、汽轮机各子控制系统是机组控制的基础级,起着直接的控制作用,它们的控制质量将直接影响负荷控制质量。只有在保证各子控制系统具备较高控制质量的前提下,才有可能组织好协调控制,达到所要求的负荷控制质量。

(3) 主控系统运行方式。一般设置有四种运行方式:汽轮机手动控制,锅炉手动控制的基本方式(BASE方式);以锅炉为基础的汽轮机跟随方式(TF方式);以汽轮机为基础的锅炉跟随方式(BF方式);机组功率的协调控制方式(CCS方式)。操作员可根据机组的运行情况对这四种运行方式进行选择,一般情况下,大机组适宜在滑压方式和协调控制方式下运行;事故工况时,则通常选择在TF方式和定压方式下运行;负荷自动调度指令必须在

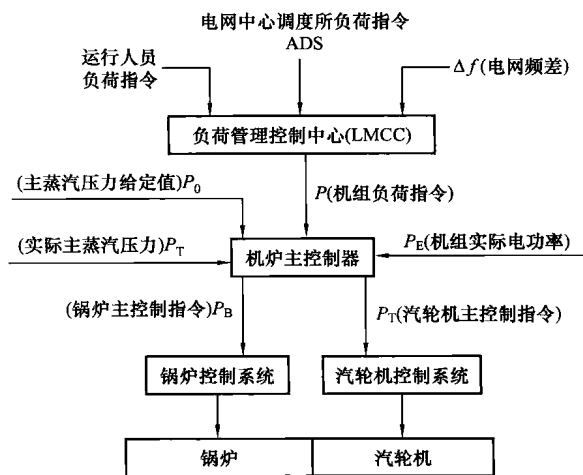


图 1-5 单元机组协调控制系统的组成框图

CCS、BF 或 TF 方式下运行。负荷控制中心负责确定运行方式，机炉主控制器实现不同方式之间的无扰切换。

1) BASE 方式的切换条件。当出现下列情况时，系统将自动切换到 BASE 方式：①燃料量、风量、负荷定值、实际阀位的设定值与实际变量之间偏差过大，且超过规定时间间隔；②甩负荷；③汽轮机阀的阀位偏差大；④第一级压力测量不正常。

2) TF 方式的切换条件。当出现下列情况时，系统将自动切换到 TF 方式：①进汽压力偏差大；②发生辅机故障减负荷（RB）。

3) BF 方式的切换条件。当满足下列条件时，系统将自动投入 BF 方式：①空气流量在自动；②燃料量调节在自动；③给水调节自动。该方式自动运行可使运行人员直接通过“汽轮机主控”或“就地控制”快速改变负荷，而不顾及汽压的变化，进汽压力通过压力控制器调节到定值。

4) CCS 方式的切换条件。当满足下列条件时，系统将自动投入 CCS 方式：①锅炉主控制器处于自动（风量及燃料为自动）；②给水处于自动；③汽轮机主控制器处于自动。

主控系统还设有辅机故障减负荷（Run Back, RB）和机组快速甩负荷（Fast Cut Back, FCB）工况的负荷指令控制回路，机组迫升/迫降负荷指令控制回路和闭锁增/闭锁减负荷指令控制回路。

3. 锅炉控制系统

锅炉自动控制系统包括炉膛安全保护监控系统和锅炉调节系统。

(1) 炉膛安全保护监控系统（FSSS）的主要功能。炉膛安全保护监控系统（又称锅炉燃烧器管理系统），包括燃烧器管理和安全保护两大部分。其主要功能包括锅炉运行安全功能、操作功能和火焰检测功能。

FSSS 主要实现燃油系统泄漏检查、炉膛吹扫、锅炉程控点火、火焰检测、磨煤机组启停和保护及主燃料跳闸（MFT）保护等监视和逻辑控制功能。图 1-6 显示了 FSSS 的逻辑结构。

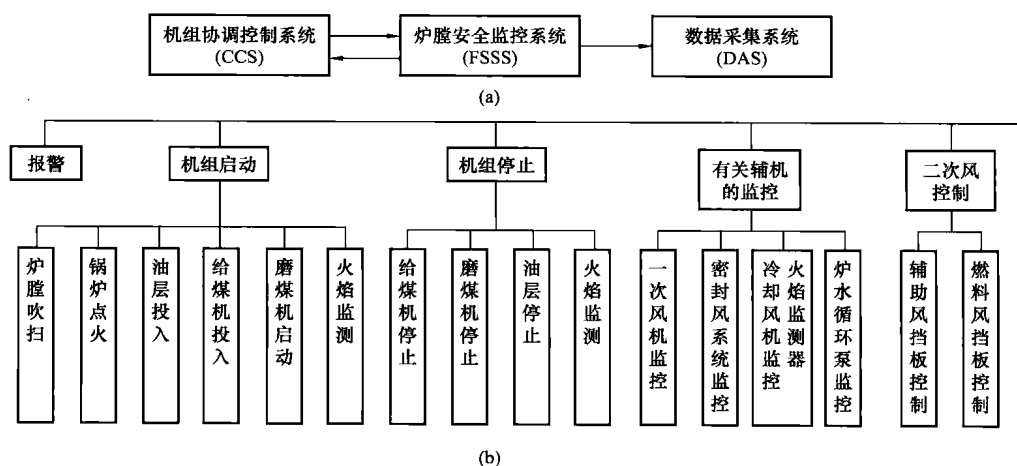


图 1-6 FSSS 的逻辑结构

(a) FSSS 与 CCS、DAS 的连接；(b) FSSS 的逻辑结构

1) 燃油系统泄漏检查。燃油系统泄漏检查的目的是确定燃油系统及各阀门有无泄漏。燃煤大机组通常配有点火用轻油系统和暖炉、助燃用的重油系统, FSSS 应分别提供轻油泄漏试验和重油泄漏试验功能。燃油系统泄漏试验一般应在炉膛吹扫前进行, 燃油系统泄漏试验的成功完成是炉膛吹扫成功的一个条件。

2) 炉膛吹扫。锅炉点火前和停炉后必须对炉膛进行连续吹扫, 必须满足吹扫条件才能进行吹扫, 以保证锅炉炉膛和烟道内不会积聚任何可燃物。吹扫时必须切断进入炉膛的所有燃料源, 并且应至少保证有 30% 额定空气量的通风量, 吹扫时间应不少于 5min, 并根据具体情况发出“正在吹扫”、“吹扫中断”、“吹扫完成”等指令和显示信号。

3) 油枪或油枪组程控点火。吹扫完成后, 炉膛具备点火条件时, 运行人员可在控制室内进行油枪组的程控点火。大机组一般采用高能电子点火器, 它通过高压电极之间的电弧来点燃轻油。轻油也称点火油, 易燃烧, 它由高能电子点火器点着后, 为点燃重油或点燃煤粉服务。轻油控制系统控制轻油系统油枪和各阀门正确协调动作。重油也称暖炉油, 用于点火初期, 使锅炉在启动点火初期平稳地升温、升压。重油控制系统与轻油控制系统相似, 但由于重油的黏度较大, 在运行时要进行重油加热, 一般要求重油温度控制在 150℃ 以上。无论使用轻油还是重油, 都要用蒸汽进行雾化。火焰监测器如发现燃烧不稳, 控制系统将自动退出油枪, 关闭燃油, 保证炉膛安全。

4) 炉膛火焰检测。炉膛火焰检测一般分为“火球”火焰检测和单个燃烧器(油枪或煤燃烧器)火焰检测两种。火焰检测器是实现炉膛火焰检测的装置, 是灭火保护的关键。火焰检测器有紫外线式、红外线式和可见光式。在燃煤炉上特别是低负荷时煤粉火焰中紫外线成分少, 且被粉尘吸收, 因而紫外线式、使用效果差, 燃煤炉已广泛使用红外线式和可见光式火焰检测器, 大机组大都是可见光式。只要燃烧器在投运状态, 相应的火焰检测器便连续监视其燃烧的火焰状态, 并通过 CRT 显示, 向运行人员提供各燃烧层的火焰分布, 当任一燃烧器失去火焰时, 立即报警。当失去火焰的燃烧器个数达到一定数量时, 相应的保护产生连锁动作。

5) 磨煤机组启停和保护。锅炉满足投煤粉许可条件时, 运行人员可在控制室内的 CRT 键盘上按预定程序手动启/停磨煤机组各有关设备, 或磨煤机组按预定的程序成组自动启/停。给煤机、磨煤机均是锅炉重要辅机, 其自身安全也必须保护, 因此必须具备设备自身运行许可条件和保护逻辑才能进行相应的启停操作。

6) 主燃料跳闸(MFT)。主燃料跳闸是 FSSS 的主要组成部分, 它连续监视锅炉是否满足安全运行条件, 若出现危及锅炉安全的危险情况, 如锅炉灭火、失去送风机和引风机、汽包水位过高或过低时, 若运行人员来不及操作处理, FSSS 将实现主燃料跳闸, 快速切断进入锅炉的燃料, 以防止设备损坏事故。

7) 负荷快速返回功能(RB)。若机组在运行中出现某些特殊工况时, 如 RB 工况, 则需要快速地将负荷降低, 使锅炉快速回到较低负荷运行。直吹式制粉系统要迅速跳停一定数量的磨煤机, 保留较少台数磨煤机的调节功能, 使锅炉快速稳定地返回到原定目标负荷, 这些目标负荷可能是 25%、50% 或 75% 等。如某锅炉有四层燃烧器, 在满负荷运行或大于 50% 负荷运行过程中, 某一台引风机、送风机、一次风机或一台给水泵跳闸, 机组只允许带 50% 负荷, 则系统将立即响应, 保留下面两层燃烧器和对应的制粉系统运行。并自动投入相邻油层的油枪, 其余正在运行的制粉系统则按自上而下的顺序跳闸。

8) 在正常情况下, 对炉膛燃烧工况进行连续监测。当有异常情况时发出报警, 提醒运行人员立即进行正确的操作, 以避免可能引起的跳闸事故。在运行人员来不及处理某些异常情况的时候, FSSS 将自动启动跳闸。

(2) 锅炉的调节控制系统。锅炉的调节控制系统主要包括给水调节、燃料量调节、送风量调节、炉膛负压调节、过热汽温和再热汽温的调节系统等。当采用机组协调控制方式时, 习惯上把锅炉调节控制系统作为单元机组协调控制系统的组成部分。

4. 汽轮机控制系统

(1) 汽轮机控制系统组成和工作。汽轮机控制系统包括汽轮机调节系统、汽轮机自启停系统、汽轮机监视保护系统等。现代机组均配备汽轮机数字电液控制系统 (DEH), 实现对汽轮机的监视、控制和保护。DEH 控制系统由下列五个重要部分组成: DEH 控制柜、人机接口、液压伺服机构、EH 供油系统和以六个电磁阀为核心的保护装置组成。DEH 主控制器的指令通过液压伺服系统完成。液压伺服系统包括供油系统和电液执行系统两部分。供油

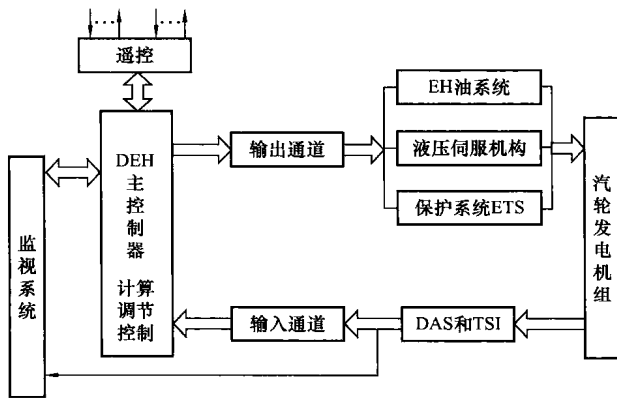


图 1-7 DEH 的组成结构图

系统为独立高压抗燃油系统 (EH 油系统), 为液压伺服机构、执行机构提供 12~16MPa 的压力稳定的压力油; 电液执行机构由油动机、阀位监测器、试验电磁阀和电液转换器组成, 实现对阀门的控制。即液压伺服机构接受 DEH 控制柜送来的阀位指令信号, 通过电液转换, 由伺服机构的油动机控制汽阀的开度, 改变进汽量, 或遮断汽门停机。DEH 的组成及与相关系统的关系结构如图 1-7 所示。

1) 汽轮机调节系统。汽轮机调节系统的作用是对机组的转速和负荷进行连续调节控制。保证机组功率和电网负荷平衡, 并保证机组的转速规定范围。汽轮机调节系统在电力系统中常被称为机组的调速系统, 通过改变调节汽门的位置来控制汽轮发电机的转速。

2) 汽轮机自启停系统。自动完成汽轮机从启动准备开始直至带满负荷为止的全部操作。该系统的作用是保证汽轮机安全启停并缩短启停时间, 延长机组寿命。现代汽轮机设有热应力监视系统, 可在启停过程中控制关键部件的热应力, 并以此为基础实现汽轮机的寿命管理。热应力控制系统主要对高压缸调节级和中压缸第一级处转子和汽缸的热应力进行监视、温度裕量计算和应力限制。

3) 汽轮机危急遮断系统。为了保护机组运行安全, 除了要求调节动作准确可靠处, 还配备必要的危急遮断保护系统。汽轮机危急遮断系统, 分为电气危急跳闸系统、机械超速遮断及手动停机系统三个部分。

DEH 系统的保护装置主要有 6 个电磁阀, 其中四个电磁阀是自动停机遮断电磁阀 (AST), 在正常运行时它们被励磁关闭, 从而封闭了自动停机危急遮断 AST 总管中抗燃油的泄油通道, AST 油压可以建立, 我们简称电气挂闸。当电气危急跳闸装置 (ETS) 动作发讯, 则 AST 电磁阀打开, AST 油总管泄油, 导致所有蒸汽阀关闭而停机。其余二个电磁阀是超速保护控制器电磁阀 (OPC), 它们是受 DEH 控制器的 OPC 部分所控制, 布置成并