

普通高等教育“十二五”规划教材

单元机组集控运行

赵星海 主编

普通高等教育“十二五”规划教材

单元机组集控运行

主 编 赵星海
副主编 钱 进 王升龙
参 编 张炳文 李 宽
主 审 辛国华



机械工业出版社

本书以 600MW 及以上机组的系统、控制、保护及运行为基础来编写,并紧密结合国家能源发展规划和电力工业技术发展方向,且针对当前高等工程教育的“卓越工程师教育培养计划”,突出单元机组的设备和系统的特点,注重理论与实践相结合,注重知识的深度与广度相结合。

本书共分为六章,重点介绍了单元机组的启动与停运、单元机组运行维护、单元机组的控制与保护、单元机组试验及机组事故处理等相关知识内容。

本书可作为高等院校热能与动力工程专业教材、高职高专火电集控运行专业教材,也可作为大型火电厂运行人员的培训教材,或供相关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

单元机组集控运行/赵星海主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-41702-6

I. ①单… II. ①赵… III. ①火电厂-单元机组-集中控制-高等学校-教材
IV. ①TM621. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 040903 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 孙 阳

版式设计:霍永明 责任校对:卢惠英 刘怡丹

封面设计:张 静 责任印制:张 楠

北京玥实印刷有限公司印刷

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 384 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-41702-6

定价: 32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国电力工业的高速发展，我国的电网规模已超过美国跃居世界第一位，而发电装机容量继续位列于世界第二位。近年来，我国电力供应不足的矛盾基本得到解决，且电力系统的安全性、可靠性、经济性和资源配置能力得到大幅度提高，基本满足了我国经济快速发展的需要。

到2011年底全国装机容量达到10.56亿kW，大容量的超临界（或超超临界）火电机组已成为电网的主力机型，且随着机组容量的提高，其热力系统更加庞大、复杂，热力设备的数量众多且热力循环的生产过程复杂，只有保证单元机组的各系统和设备之间高效协调配合及快速有效的连锁保护，才能确保火电厂生产的安全性、可靠性、可用性和经济性。此外，大型火电机组采用集控运行方式，要求运行人员的专业知识面广，且运行技术水平高。现代大型火电厂要求运行值班员必须全面掌握热能与动力工程、电力系统及自动化、自动控制、化学、暖通、输煤及外语等专业的相关知识，真正达到全能值班员的标准要求。

本书以火电超临界、超超临界机组为重点，紧密结合国家的能源发展规划和电力工业技术发展方向，并结合当前国家提出的高等工程教育“卓越工程师教育培养计划”，突出单元机组运行的特点，注重理论和实践结合，注重知识的深度和广度。

本书编者均有多年从事火电厂工程设计、技术改造、调试及培训的经历，且对火电厂的生产过程、主辅热力设备、热力系统及运行方式等方面有丰富的理论和实际经验。本书重点介绍了单元机组的启动与停运、运行维护、控制与保护、试验及事故处理等相关知识内容。

本书由东北电力大学赵星海副教授担任主编并统稿，贵州大学钱进副教授和东北电力大学王升龙副教授担任副主编，东北电力大学张炳文教授和吉林省电力有限公司电力科学研究院李宽工程师参加编写。第1章、第2章由赵星海编写，第3章由钱进编写，第4章由王升龙编写，第5章由李宽、赵星海编写，第6章由张炳文编写。

本书由辛国华教授主审。辛国华教授在百忙之中详细审阅了书稿，并提出了许多宝贵意见，使编者受益匪浅。本书在编写过程中，得到宁夏京能宁东发电有限责任公司郑广庆、国电东北电力有限公司吉林热电厂王国旭、中国电力工程顾问集团东北电力设计院赵立业、长春工程学院张子蝉等人的大力支持及配合，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 单元机组概述 1

- 1.1 单元机组的特点及其运行方式 1
 - 1.1.1 单元机组的特点 1
 - 1.1.2 单元机组的运行方式 1
 - 1.1.3 单元机组集控运行管理制度 2
- 1.2 单元机组设备及系统 7
 - 1.2.1 锅炉设备及系统 7
 - 1.2.2 汽轮机设备及系统 15
 - 1.2.3 电气设备及系统 25

思考题 29

第 2 章 单元机组的启动与停运 30

- 2.1 单元机组的启动 30
 - 2.1.1 单元机组启动方式分类 30
 - 2.1.2 单元机组启动前的检查 31
 - 2.1.3 单元机组冷态启动 37
 - 2.1.4 单元机组的热态和极热态启动 48
- 2.2 单元机组的停运 50
 - 2.2.1 单元机组停运方式分类 50
 - 2.2.2 单元机组正常停机 51
 - 2.2.3 单元机组事故停机 55
 - 2.2.4 单元机组停运后的保养 57

思考题 58

第 3 章 单元机组运行维护 59

- 3.1 锅炉运行调节 59
 - 3.1.1 锅炉汽压调节 60
 - 3.1.2 锅炉汽温调节 63
 - 3.1.3 锅炉燃烧调节 71
 - 3.1.4 制粉系统运行 77
 - 3.1.5 空气预热器运行 78
 - 3.1.6 锅炉吹灰系统的运行 80
- 3.2 汽轮机运行监视 83
 - 3.2.1 主、再热蒸汽压力的监视及调节 83
 - 3.2.2 主、再热蒸汽温度的监视及调节 84
 - 3.2.3 真空的监视 85
 - 3.2.4 监视段压力的监视 87
 - 3.2.5 轴向位移的监视 88
 - 3.2.6 胀差监视 89

3.2.7 机组振动监视 89

3.2.8 轴瓦温度监视 93

3.3 电气运行监视 93

3.3.1 发电机监视 93

3.3.2 主变压器监视 101

3.3.3 厂用电气设备运行监视 102

3.4 单元机组变工况和调峰运行 105

3.4.1 单元机组变工况运行 105

3.4.2 单元机组调峰运行 109

3.5 汽轮机寿命管理 113

3.5.1 金属材料温度特性 113

3.5.2 汽轮机寿命 115

3.5.3 汽轮机寿命管理 115

思考题 118

第 4 章 单元机组的控制与保护 119

4.1 分散控制系统 119

4.1.1 DCS 的组成 119

4.1.2 DCS 的特点 122

4.2 数据采集系统 123

4.2.1 DAS 的组成 123

4.2.2 DAS 的功能 124

4.3 协调控制系统 131

4.3.1 CCS 的组成 131

4.3.2 单元机组主控制系统 133

4.3.3 机炉子控制系统 135

4.4 顺序控制系统 143

4.4.1 SCS 的组成 144

4.4.2 SCS 的控制范围 146

4.4.3 SCS 的设备保护和条件闭锁 147

4.5 锅炉炉膛安全监控系统 147

4.5.1 FSSS 的组成 148

4.5.2 FSSS 的主要功能 150

4.5.3 FSSS 的控制与操作 151

4.6 汽轮机数字电液控制系统 155

4.6.1 DEH 的组成 155

4.6.2 DEH 的运行方式 156

4.6.3 DEH 的基本功能 158

4.6.4 旁路控制系统 BPC 161

4.7 单元机组联锁保护	163	思考题	201
4.7.1 单元机组大联锁保护	164	第6章 单元机组事故处理	202
4.7.2 锅炉保护系统	167	6.1 事故处理原则	202
4.7.3 汽轮机保护系统	168	6.1.1 单元机组事故特点	202
4.7.4 发电机、变压器的保护	171	6.1.2 单元机组事故处理原则	203
思考题	178	6.2 锅炉典型事故诊断及处理	204
第5章 单元机组试验	180	6.2.1 锅炉锅筒水位事故	204
5.1 单元机组联锁试验	180	6.2.2 锅炉受热面损坏事故	207
5.2 锅炉试验	181	6.2.3 蒸汽温度异常事故	209
5.2.1 锅炉水压试验	181	6.2.4 锅炉燃烧事故	210
5.2.2 锅炉漏风试验	183	6.2.5 制粉系统事故	214
5.2.3 锅炉联锁及保护试验	184	6.2.6 锅炉主要辅机事故	217
5.2.4 安全门试验	185	6.3 汽轮机典型事故诊断及处理	219
5.3 汽轮机试验	187	6.3.1 汽轮机振动及转子弯曲事故	219
5.3.1 DEH 静态试验	188	6.3.2 汽轮机水冲击事故	223
5.3.2 汽轮机超速保护试验	189	6.3.3 汽轮机叶片损坏和脱落事故	224
5.3.3 主汽门、调节汽门严密性试验	190	6.3.4 汽轮机油系统火灾事故	227
5.3.4 汽轮机甩负荷试验	192	6.3.5 汽水管道事故	228
5.3.5 凝汽器真空严密性试验	194	6.3.6 真空度下降事故	230
5.3.6 水泵联锁试验	194	6.4 电气典型事故诊断及处理	231
5.4 电气试验	195	6.4.1 发电机故障及处理	231
5.4.1 电力系统稳定器现场整定试验	195	6.4.2 变压器故障及处理	237
5.4.2 AVC 系统试验	197	6.4.3 厂用电系统故障及处理	240
5.4.3 励磁系统试验	197	思考题	241
5.4.4 励磁系统建模测试试验	198	参考文献	243
5.4.5 蓄电池组带大负荷试验	200		

第 1 章 单元机组概述

1.1 单元机组的特点及其运行方式

1.1.1 单元机组的特点

大型火力发电厂（火电厂）为提高机组运行的经济性，热力系统设计时均采用了回热加热系统和蒸汽中间再热系统。对于采用中间再热的机组，应采用单元制方式运行，即一台锅炉直接向与其配合的一台汽轮机供汽，汽轮机旋转带动发电机做功，发电机所发出的电功经一台升压变压器送往电力系统，即组成了锅炉、汽轮机、发电机的纵向联系独立单元。各独立单元之间除了机组启、停需要公用全厂蒸汽系统和厂用电外，机组之间无其他横向联系。正常运行时，各独立单元所需的蒸汽和厂用电均取自本单元，这种系统称为单元系统。具备独立单元和单元系统特点的机组称为单元机组。随着我国电力工业的快速发展，单元机组的容量和参数不断提高，热力系统更加庞大复杂，热力设备数量众多且热力循环的生产过程复杂，只有通过单元机组的各系统、设备之间高效协调配合及快速有效的联锁保护，才能确保机组生产的安全性、可靠性、可用性和经济性。

与非单元机组相比，单元机组具有系统简单、投资少、操作方便、自动化程度高，以及安全、稳定、可靠等优点，有利于机、炉、电实现分散控制与集中管理的生产方式。但与非单元机组相比，单元机组响应外界负荷变化的速度较慢而且有较大的延迟，当本单元任意主要设备或主要辅助设备发生故障时，本单元机组则需降负荷运行或被迫停运，此时相邻单元之间不能相互支援。

1.1.2 单元机组的运行方式

为保证单元机组的安全、经济运行，火电厂在生产过程中同时需要监视和控制的参数，及在规定时间内需完成的各项操作项目数量众多。同时，各控制对象之间既相互联系又互相影响，因此对单元机组自动控制的要求也日益提高。现代大型机组采用分散控制系统或集散控制系统（DCS），其特点为分散控制、集中管理、分级管理、分而治之，是一套综合协调控制系统。该系统分散了火电厂控制任务的同时，也分散了火电厂运行的风险，同时对火电厂生产过程的管理和监视进行有效集中，进一步提高火电厂运行的安全性。

机组采用集控运行方式，要求运行人员的专业知识面广且运行技术水平高。现代大型火电厂要求运行值班员，必须全面掌握热能与动力工程、电力系统及自动化、自动控制、化学、暖通、输煤及外语等专业的相关知识，达到全能值班员的标准。

下面从单元机组集控运行的角度，对自动控制的相关知识进行简要介绍。

1. 自动控制

自动控制是指在没有人直接参与的情况下，控制装置使生产设备或生产过程按预定的目

标进行的一切技术手段。其主要内容包括检测、控制、报警和保护四方面。火电厂自动控制的主要内容为自动检测、自动控制、顺序控制和自动保护四部分。

(1) 自动检测 是指自动检查和测量,反映机组生产过程和运行情况的各种参数以及生产设备的工作状态。

(2) 自动控制 是指自动和连续的调节、控制机组的运行工况,使机组的运行参数维持在规定的范围内或按一定的规律变化。

(3) 顺序控制 是指根据预先设定的步骤、条件或时间,对生产过程中的设备和系统自动的依次进行一系列操作,以改变设备和系统的工作状态。

(4) 自动保护 是指当机组在启停、甩负荷或运行中发生危机人身、设备安全的工况时,为防止事故的发生和避免事故的扩大,监控设备应自动采取的保护动作。

2. 分散控制系统 (DCS)

所谓分散控制系统是指以多台计算机为基础,采用数据通信技术和显示技术,对生产过程进行分散控制、集中管理、分级管理的综合协调控制系统。DCS 主要包括:数据采集系统 (DAS)、机组协调控制系统 (CCS)、辅机顺序控制系统 (SCS)、锅炉炉膛安全监控系统 (FSSS)、汽轮机旁路控制系统 (BPC)、汽轮机数字电液控制系统 (DEH) 等。DCS 结构功能图如图 1-1 所示。

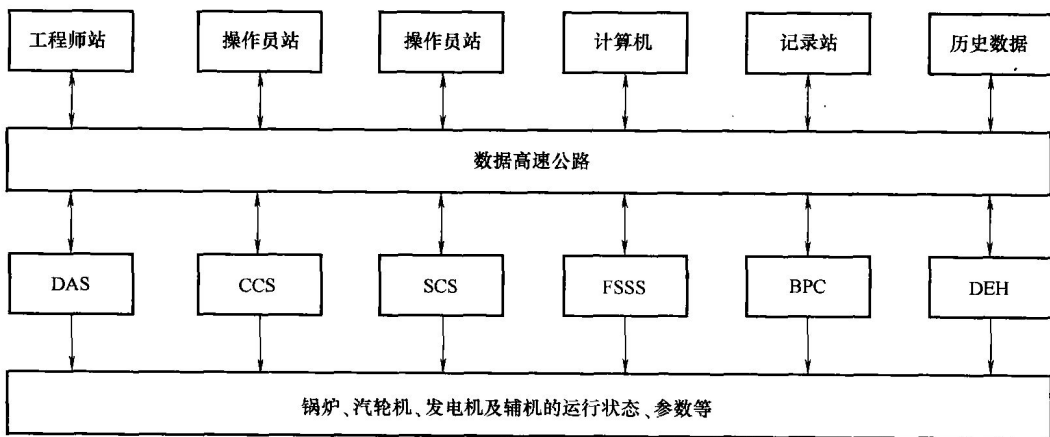


图 1-1 DCS 结构功能图

1.1.3 单元机组集控运行管理制度

为规范火电厂生产运行的管理工作,提高运行和管理水平,健全生产责任制,逐步推行现代化企业的管理理念,保证发电设备能够在安全、经济、可靠、环保的良好状态下运行,火电厂针对单元机组集控运行,制订了大量的相关管理制度。

下面对单元机组运行中涉及的重要管理制度,进行简要介绍。

1. 操作票管理制度

操作票是按照规程形成的操作规范,是具有正确顺序的书面操作程序。严格执行操作票制度,能有效防止误操作事件的发生,确保工作现场人身和设备的安全,火电厂要求完成操作票的执行率为 100% 且合格率为 100%。火电厂运行操作票管理制度的主要内容,包括以

下几方面:

1) 加强运行操作票的管理,是做好火电厂生产管理基础工作的重要条件之一。机组启停、系统倒换、定期试验、线路停送电等操作,均应全部填写操作票。必须认真执行操作票制度,严禁无票操作。

2) 运行操作票分为两类,即电气倒闸操作票和热力操作票。

3) 运行操作票实行“一票一卡”制:“一票”即操作票、“一卡”即危险因素控制卡,“一票”必须附有针对该项操作的“一卡”。

4) 运行操作票应按规定的编号方法统一编号,用黑色墨水钢笔或中性笔填写。填写内容应清楚、干净,不准用红笔或铅笔填写。填写操作票必须使用专业术语,不准简化和字迹潦草。操作票中的设备名称、编号、接地线位置、日期以及人员姓名不得改动。严禁错、漏字,审查时发现错漏字,应重新填写操作票。

5) 凡遇有重要操作(机组并网、投退重要系统等),在操作任务未完成之前或操作中发生事故,现场不得进行交接班工作。交班前半小时不进行主要或重大操作,但一些试投、试转工作应照常进行。

6) 在事故处理时,可以不填写操作票,但必须要执行操作监护制度,操作任务必须明确,且在运行日志上详细记录。

7) 填写好的操作票由操作人签字,然后由监护人、机组长、值长审核签字。

8) 现场实际操作前,应由监护人和操作人共同检查操作票,发现问题及时改正。

9) 操作时需要两人共同进行,操作中应严格执行“唱票、对照、复诵”的监督、保护操作制度。

10) 各专工每天要对操作票进行检查,重大操作要到现场把关,发现问题应及时指出。

11) 各专工每月将操作票收回,进行统计、检查、总结和考核。

12) 已执行的操作票,应保存三个月。

2. 工作票管理制度

工作票是指在电力生产的设备检(维)修、安装、试验等工作中,为确保工作范围与运行设备的可靠隔离,保证工作过程中的人身安全和设备安全,明确运行方与作业方各自的安全责任,双方共同签订的书面安全协议。工作票是正确实施安全措施、准许工作的书面依据。

下面简要介绍一下,火电厂工作票管理制度的主要内容:

1) 当工作负责人填写好工作票时,应交给工作票签发人审核,由工作票签发人对票面内容、危险点分析和控制措施进行审核,确认无误后签发。签发工作票的同时,要签发“危险点控制措施票”,不得签发没有“危险点控制措施票”的工作票。

2) 值班人员接到工作票后,应及时审查工作票的全部内容,必要时需填写补充安全措施,确认无问题后填写收到工作票的时间,并在接票人处签字。

3) 根据工作票计划的开工时间、安全措施内容、机组启停计划和值长意见,由机组长安排运行人员执行工作票所列安全措施。运行人员根据工作票的要求填写操作票,依据操作票做好现场的安全措施。

4) 检修工作开始前,工作许可人须会同工作负责人到场,对照工作票逐项进行检查。确认所列安全措施已完善并正确执行。工作许可人需向工作负责人详细说明哪些设备带电、

有压力、高温、爆炸和触电危险等，双方共同签字完成工作票许可手续。工作票一份由工作负责人持有，一份保存在运行人员处。工作负责人和工作许可人不允许在开工后，单方面变动安全措施。

5) 工作间断时，工作人员应从现场撤出，所有安全措施保持不动，工作票仍由工作负责人执存。间断后继续工作，无须通过工作许可人，但开工前工作负责人应重新认真检查安全措施是否符合工作票的要求。针对危险点所列，工作负责人应分析和落实相应控制措施，并将危险点分析、控制措施以及注意事项向全体工作人员交代清楚方可工作。若无工作负责人带领，工作人员不得进入工作地点。

6) 工作结束后，工作负责人应全面检查并组织清扫、整理工作现场，确认无问题后，带领工作人员撤离现场，在检修交代本上详细记录检修项目、发现的问题、试验结果以及有无设备变动等。工作许可人和工作负责人应共同到现场验收，检查设备状况（有无遗留物件、是否清洁等），然后在工作票上填写工作结束时间、双方签名，工作方告终结。对于点检定修的设备，还应由管理该设备的点检员对检修质量进行确认后在“点检验收人”处签名。运行值班人员应拆除临时围栏，取下标示牌，恢复安全措施，汇报值长（或机组长）。对未恢复的安全措施，运行值班人员应汇报值长（或机组长）并作好记录，然后在工作票右上角加盖“已执行”章，工作票方告终结。

3. 运行交接班管理制度

运行交接班是指运行各岗位工作的移交和接替工作。

下面简要介绍火电厂运行交接班管理制度的主要内容：

1) 交班前按照巡检规定时间，巡检人员需对就地设备进行全面巡回检查。交班前 1h 主值全面检查 CRT 画面参数，交班前 50min 主值、副值向机组长汇报检查情况。辅控副值向辅控主值汇报检查情况，机组长及辅控主值向值长汇报设备运行情况。

2) 交班前 40min 值长填写值长日志。

3) 交班前 50min，机组长及辅控主值安排本机组人员查看设备缺陷消除、验收及注销工作的完成情况，同时安排本机组人员清扫专责区及表盘卫生，填写日志、设备定期试验倒运等台账记录。

4) 接班前 30min 接班人员进入现场，按接班巡回检查分工对现场设备进行检查，控制室检查 DCS、CRT 运行参数、日志、表单记录、管辖区域及表盘卫生，并向交班人员了解运行方式、设备定期试验倒运、设备缺陷情况。

5) 接班前 5min 由交班值长主持班前碰头会。

6) 交班值长向接班人员进行运行操作及机组运行工况交底。

7) 接班机组长、辅控主值向本值值长汇报班前检查情况。

8) 接班值长布置上级有关文件精神、本班工作重点及注意事项。

9) 按照规定的时间正点交接班，双方值长、机组长及辅控主值在运行日志上共同签字，正式交接完毕，交班人员退出现场。

10) 接班后机组长及辅控主值向本机组人员布置本机组的重点工作、操作注意事项及针对设备缺陷等情况需作的事故预想。

11) 交班后由值长主持班后碰头会，对本班安全工作、生产任务及优缺点进行总结，明确责任、吸取教训、制定防范措施。

4. 设备定期试验及轮换管理制度

定期试验是指对运行设备或备用设备进行动态或静态启动、转动，以检测运行或备用设备的健康水平；定期轮换是指在规定的时间内对运行设备与备用设备进行倒换运行的方式。

定期试验与定期轮换的工作，应按照运行规程、检修规程的规定，在规定时间内由岗位主值班员负责组织进行。火电厂设备定期试验及轮换工作流程图，如图 1-2 所示。

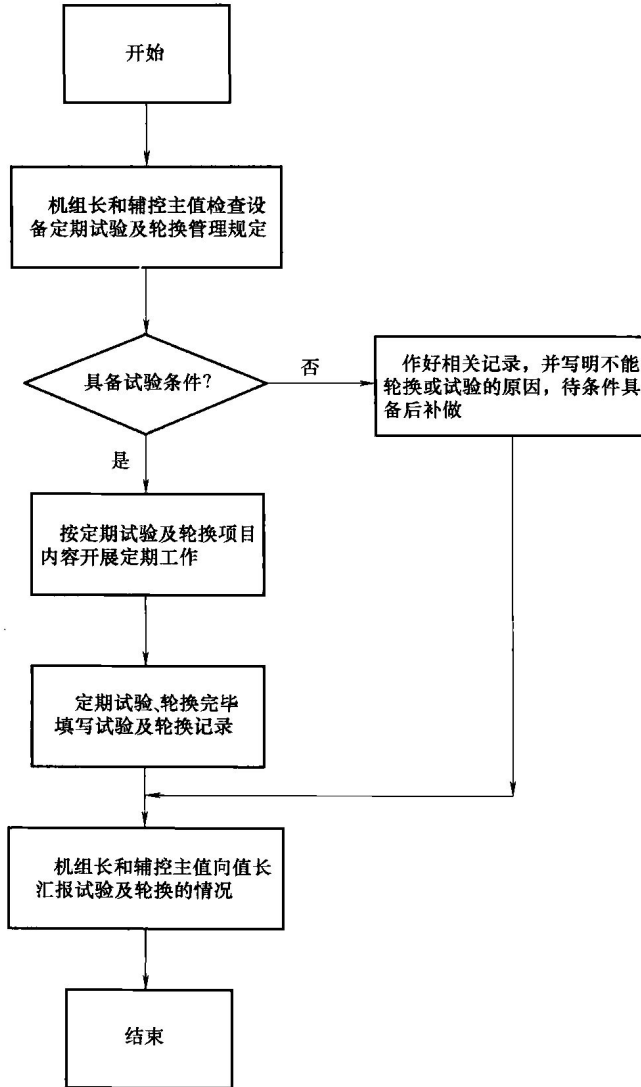


图 1-2 火电厂设备定期试验及轮换工作流程图

5. 巡回检查管理制度

巡回检查是指能及时发现运行设备缺陷并能采取有效措施，确保发电设备连续、安全运转的检查工作。巡回检查的流程图，如图 1-3、图 1-4 所示。图中 A 类事故为巡回检查发现的一般性事故，该事故不影响机组正常运行；B 类事故为巡回检查发现的辅机类事故，一般需要进行投、停辅机操作；C 类事故为巡回检查发现的重大事故，该事故会影响机组的正常生产运行。

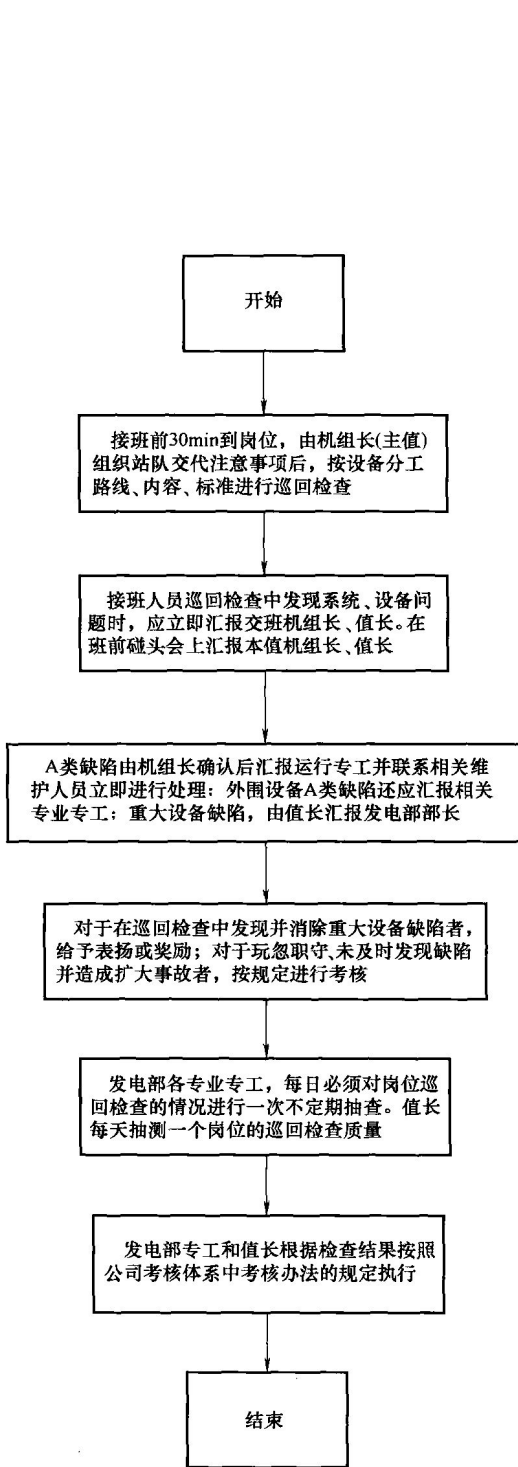


图 1-3 班前巡回检查流程图

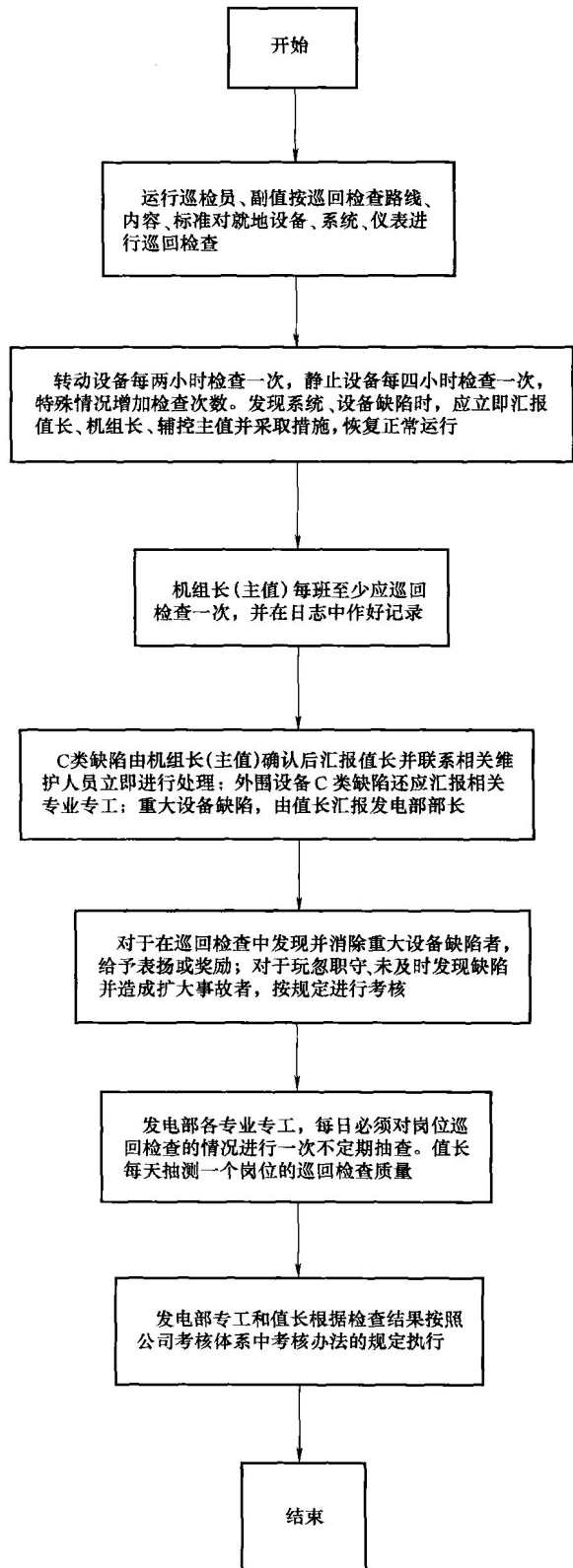


图 1-4 班中巡回检查流程图

6. 运行分析管理制度

运行分析管理是指生产人员及生产管理人员对设备及系统的运行、检修工作、运行操作、试验及安全经济性进行的岗位分析、专业分析、专题分析、异常分析和综合分析的管理。

其主要内容包括：

- 1) 对设备的运行参数和运行方式的安全性、合理性及偏离运行规程规定值的分析。
- 2) 对运行、生产的技术经济指标完成情况的分析。
- 3) 对点检中、巡检中、运行中发现的设备和参数异常情况的分析。
- 4) 对机组启、停及设备、系统试验倒运过程中，运行人员操作情况的分析。
- 5) 对交接班、巡回检查、设备定期试验及轮换标准执行情况的分析。
- 6) 对工作票、操作票执行情况的分析。
- 7) 对设备检修、试验质量及自动装置运行情况、仪表指示情况的分析。

7. 台账记录管理制度

台账是反映生产运行管理活动的历史记录。通过对台账的管理，可提高火电厂运行的规范化。一般火电厂发电部的台账设置分为值班班务台账、集控室公用台账及专业管理台账三类。清晰、细致的台账记录，可以使运行人员对设备及系统运行情况有更加深入地地了解，对机组的突发事故能准确、快速地分析，对提高机组运行的安全性和经济性有很大帮助。

1.2 单元机组设备及系统

1.2.1 锅炉设备及系统

锅炉设备包括锅炉本体和辅助设备两部分，锅炉本体由“锅”和“炉”两大部分组成。“锅”是指锅炉的汽水系统，由省煤器、启动分离器（或锅筒）、下降管（亚临界及以下机组）、水冷壁、过热器、再热器等设备组成。“炉”是指锅炉的燃烧系统，由炉膛、烟道、燃烧器及空气预热器等设备组成。

锅炉辅助设备包括锅炉本体以外的全部设备，主要有输煤、制粉、通风、给水、除尘、除灰、水处理及热工仪表等设备。

为了保证锅炉本体汽、水、风、烟、燃料系统的连续、稳定工作，还需其他辅助装置的配合工作，如：

- (1) 输煤设备 由卸煤、贮煤、碎煤及输送设备等组成，用以保证燃料的供应。
- (2) 制粉设备 由给煤、磨煤、干燥及分离设备等组成，用以磨制并供应合格的煤粉。
- (3) 通风设备 由送风机、引风机、烟风调节装置、烟风道及烟囱等组成，用以保证燃料燃烧所需空气的连续供应及所产烟气的顺利排出。
- (4) 给水设备 由给水泵、管道及附件组成，用以保证向锅炉连续、可靠地供水。
- (5) 除尘、除灰设备。燃料燃烧后，其灰分一部分随烟气飞出称为飞灰，另一部分从炉底排出称为灰渣。除尘设备用来清除烟气中的飞灰，防止造成环境污染，并可减轻引风机的磨损。除灰设备则用来清除燃烧剩余的灰渣，并将其送往灰场。
- (6) 水处理设备 为确保蒸汽的品质及防止锅炉结垢和腐蚀，电站锅炉都设有水处理

设备,用以清除水中的悬浮物、油类、溶解性气体以及各种盐类等。

(7) 热工仪表及其他 为了保证锅炉安全、经济地运行,需配备安全门、水位表及温度、压力、流量计、氧量等多种仪表。

综上所述,锅炉设备是由锅炉本体和大量辅助设备所构成的。

1. 锅炉的分类

1) 按容量可分为小型、中型和大型,但它们之间无固定的分界。随着锅炉技术的发展,锅炉的容量也在不断提高,以往的大型锅炉现今只能划归为中型甚至小型锅炉。

2) 按蒸汽参数可分为低压(小于1.3MPa)、中压(3.8MPa)、高压(9.8MPa)、超高压(13.7MPa)、亚临界压力(16.7MPa)、超临界压力(22MPa以上)及超超临界压力等类型。

3) 按燃烧方式可分为层燃炉、室燃炉和旋风炉。按所用燃料的不同,室燃炉又可分为燃气炉、燃油炉和煤粉炉。室燃炉是火电厂锅炉的主要燃烧方式,在煤粉炉中由于排渣方式不同,又可分为固态排渣炉和液态排渣炉。

4) 按工质在蒸发受热面中流动的方式,可分为自然循环锅炉、控制循环锅炉、直流锅炉和复合循环锅炉。

2. 锅炉的循环方式

流经锅炉蒸发受热面的工质为汽和水的混合物,汽水混合物可能一次或多次流经蒸发受热面,对于结构不同的锅炉,推动汽水混合物流动的方式也不一样。按此特点可把锅炉分为自然循环锅炉、控制循环锅炉、直流锅炉及复合循环锅炉。

(1) 自然循环锅炉 锅炉给水经给水泵送入省煤器,受热后进入蒸发系统。蒸发系统包括不受热的下降管、受热的蒸发管、集箱和锅筒。当水在蒸发管中受热时,部分水转变为蒸汽,故蒸发管中为汽水混合物,而在不受热的下降管中则全部为水。水的密度大于汽水混合物的密度,故在下集箱两侧有不平衡的压差,以推动汽水混合物在蒸发系统中循环流动,水在下降管中向下流动,汽水混合物在蒸发管中向上流动。汽水混合物进入锅筒后进行汽水分离,锅筒的上半部为蒸汽而下半部为水。分离出的蒸汽流经过热器送出,分离出的水汇同省煤器来水混合后,流入下降管往复循环。单位质量的水每循环一次只能有一部分转变为蒸汽,或者说单位质量的水要循环多次才能完全汽化,这种循环流动是由于蒸发管受热而形成的,故称为自然循环。自然循环锅炉的循环水量大于生成的蒸汽量,单位时间内循环水量同生成蒸汽量的比值称为循环倍率。自然循环锅炉的循环倍率约为4~30。

(2) 控制循环锅炉 如果在循环回路中加装循环水泵,就可增强工质的流动能力,这种循环方式称为控制循环,或称多次强制循环。在控制循环锅炉的循环回路中,循环流动压头要比自然循环时增大很多,故可更自由的布置蒸发受热面。在自然循环锅炉中为了维持蒸发受热面中工质的良好流动,常使蒸发段管道为垂直或近于垂直布置。但在控制循环锅炉中,蒸发段管道既可垂直布置也可水平布置,其中的汽水混合物既可向上、也可向下流动,因而能更好地适应锅炉结构的要求。控制循环锅炉的循环倍率约为3~10。

(3) 直流锅炉 直流锅炉没有锅筒,工质一次性通过蒸发段和过热段变为过热蒸汽,其循环倍率为1。直流锅炉的主要特点是:在省煤器、蒸发段和过热段之间没有固定不变的分界面,水在蒸发受热面中全部转变为蒸汽,工质沿整个行程的流动阻力均由给水泵克服。

(4) 复合循环锅炉 在锅炉低负荷时循环倍率大于1,在锅炉高负荷时循环倍率等

于1。

3. 直流锅炉的特点

1) 直流锅炉的结构特点。直流锅炉无锅筒,工质一次性通过各受热面,各受热面之间无固定的界限,且随着锅炉负荷的变化而变化。直流锅炉的结构特点主要表现在蒸发受热面和汽水系统上。直流锅炉的省煤器、过热器、再热器、空气预热器及燃烧器等与自然循环锅炉相似。

2) 直流锅炉适用于压力等级高的锅炉。根据其工作原理,任何压力的锅炉在理论上都可采用直流型。但实际制造过程中,中、低压锅炉不采用直流型,高压锅炉采用直流型的也较少,超高压、亚临界压力等级的锅炉较广泛地采用直流型,而超临界压力的锅炉只能采用直流型。中、低压锅炉容量较小、仪表较简单、自动化控制水平较低、对给水的品质要求不高,自然循环方式工作可靠,因此通过技术经济对比采用自然循环较合理。当压力超过14MPa时,由于汽水密度差越来越小,采用自然循环方式的可靠性大大降低。而超临界压力的锅炉,由于蒸汽与水的密度一致,汽水不能靠密度差进行自然循环,故只能采用直流形式。

3) 直流锅炉需布置小直径蒸发管。直流锅炉采用小直径蒸发管会增加水冷壁的流动阻力,但由于水冷壁内工质的流动为强制流动,故对其影响不大;且采用小直径蒸发管大大降低了水冷壁的截面积,提高了管内汽水混合物的流速,保证了水冷壁工作的安全。在工作压力相同的条件下,水冷壁管道的壁厚与管径成正比,直流锅炉采用小管径蒸发管且无锅筒,可以降低锅炉的金属耗量,与自然循环锅炉相比直流锅炉通常可节省20%~30%的钢材。

4) 直流锅炉的给水品质要求高。直流锅炉无锅筒,不能进行锅内水处理,给水带来的盐分除一部分被蒸汽携带外,其余部分将沉积在受热面上影响传热,因此为确保直流锅炉受热面的工作安全,其给水品质要求高。

5) 直流锅炉的自动控制水平高。由于直流锅炉无锅筒且蒸发受热面管径小、金属耗量少,使得直流锅炉的蓄热能力较低。当负荷变化时,依靠自身锅水和金属蓄热来减缓汽压波动的能力较低。当负荷发生变化时,直流锅炉必须同时调节给水量和燃料量,以保证物质平衡和能量平衡,才能稳定汽压和汽温,所以直流锅炉对燃料量和给水量控制系统要求高。

4. 制粉系统

将原煤仓中的煤输送到磨煤机,干燥、磨制成煤粉并送往锅炉燃烧器的全部设备及其管道统称为制粉系统。

制粉系统可分为直吹式和中间储仓式两种。直吹式制粉系统,是指原煤经磨煤机磨制成煤粉后,直接吹入炉膛燃烧;而中间储仓式制粉系统,是指将磨好的煤粉先储存在煤粉仓中,然后再根据锅炉运行负荷的需要,从煤粉仓经给粉机通过一次风送入炉膛燃烧。

制粉系统中,燃料的干燥及煤粉的输送需一定的风量,而燃料在炉内的燃烧也需要一定的空气量。根据燃烧的需要,通常把入炉的总风量划分为一次风、二次风和三次风。输送煤粉进入炉膛的空气称为一次风,它的作用是输送煤粉和供燃料着火用氧;只起助燃作用而不携带煤粉,经燃烧器喷口直接送入炉膛的空气称为二次风。直吹式制粉系统用磨煤乏气作为一次风,而中间储仓式制粉系统有的用磨煤乏气作为一次风,有的用热风送粉,即用热空气作为一次风,此时将磨煤乏气作为三次风从主燃烧器上部的乏气喷口高速吹入炉内,以回收乏气中夹带的少量细粉并对火焰起扰动作用。

1) 直吹式制粉系统中, 磨煤机磨制的煤粉全部直接送入炉膛燃烧, 运行中的制粉量在任何时刻均等于炉内燃烧的消耗量, 即制粉量是随锅炉负荷变化而变化的。制粉系统的工作情况直接影响锅炉的运行工况。

直吹式制粉系统大都配以中、高速磨煤机。如果钢球磨煤机采用直吹式系统, 那么在机组低负荷或变负荷运行时将是不经济的, 所以只有带基本负荷的锅炉才考虑采用钢球磨煤机直吹式制粉系统。

直吹式制粉系统无中间储仓式制粉系统的细粉分离器、煤粉仓、螺旋输粉机及给粉机等设备, 系统简单。图 1-5 所示为风扇磨煤机直吹式制粉系统。由图可知, 风扇磨煤机本身代替了排粉机, 使制粉系统大大简化。国内磨制烟煤的风扇磨煤机大多采用图 1-5a 所示的热风干燥直吹式制粉系统。而磨制高水分褐煤的风扇磨煤机, 一般采用图 1-5b 所示的热风和炉烟混合物作为干燥剂的直吹式制粉系统。

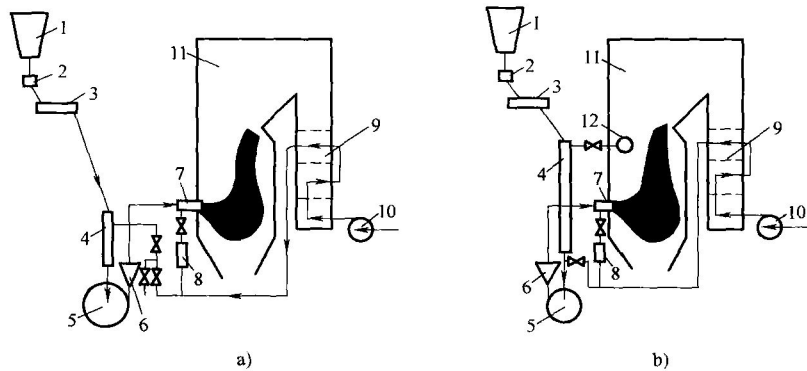


图 1-5 风扇磨煤机直吹式制粉系统

a) 热风干燥 b) 热风 and 炉烟干燥

1—原煤仓 2—自动磅秤 3—给煤机 4—下行干燥管 5—磨煤机 6—粗粉分离器
7—燃烧器 8—二次风箱 9—空气预热器 10—送风机 11—锅炉 12—抽烟口

如图 1-5 所示, 原煤由原煤仓落下, 经过记录煤量的自动磅秤后, 通过给煤机均匀地落入风扇磨煤机, 被磨成煤粉。由送风机来的空气在空气预热器中加热后分成两部分: 一部分作为二次风经二次风箱分配, 再经燃烧器进入炉膛; 另一部分进入磨煤机, 用以干燥和输送煤粉。空气携带煤粉离开磨煤机后进入煤粉分离器, 过粗的煤粉被分离出来送回磨煤机重新磨制, 而携带煤粉的空气则作为一次风, 通过燃烧器送入炉膛。下行干燥管是用来对煤进行预热干燥的。

我国的褐煤一般水分不高 (大部分煤的水分在 15% ~ 30%), 因此最初设计的风扇磨煤机直吹式制粉系统基本采用热风干燥方式。现在直吹式制粉系统多采用三介质干燥方式, 即干燥剂由高温炉烟、低温炉烟和热风三种介质组成。该种干燥方式有以下优点:

① 由于干燥剂内炉烟占有一定的比例, 降低了氧气的浓度, 有利于防止高挥发分的褐煤煤粉发生爆炸。

② 炉烟较多, 可以降低燃烧器区域的温度, 避免燃用低灰熔点褐煤时炉内结渣。

③ 当燃煤水分变动幅度较大时, 只改变高、低温炉烟的比例, 就能满足制粉系统干燥的需要, 而且一次风温和一、二次风量之间的比例关系可保持相对稳定, 减轻了水分变动对

炉内燃烧的影响。

2) 中间仓储式制粉系通常配以钢球磨煤机,且多为负压系统。由原煤斗来的煤,经自动磅秤、给煤机,在下行干燥管中与干燥用热风相遇后,一同进入钢球磨煤机。磨制好的煤粉由干燥剂从磨煤机内带出,输送至粗粉分离器,经分离后粗粉返回磨煤机重新磨制,而合格的煤粉则由干燥剂送至细粉分离器。在细粉分离器中,质量分数约为90%的煤粉被分离出来,经锁气器和筛网(防止木质纤维落入煤粉仓,造成给粉机堵塞)落到煤粉仓或经螺旋输粉机送到邻近制粉系统的煤粉仓中,再按锅炉的需要由可调节的给粉机送入一次风管,由一次风送入炉内燃烧。

由细粉分离器上部出来的干燥剂(也称磨煤乏气)还含有质量分数约为10%的细煤粉,为了回收这部分煤粉,一般由排粉风机提高压头后送入炉膛中燃烧。磨煤乏气可作为一次风输送煤粉进入炉膛,这种系统称为乏气送粉系统。乏气送粉系统的主要特点是一次风温度低,对燃料的着火燃烧不利。当燃用无烟煤、贫煤和劣质烟煤时,为稳定着火燃烧,常用热空气作为一次风输送煤粉,这种系统称为热风送粉系统。如此时携带煤粉的磨煤乏气由燃烧器中专门的喷口送入炉内燃烧,即为三次风。

3) 与中间仓储式制粉系统相比,直吹式制粉系统的优点为系统简单、布置紧凑、省钢材、投资少、运行电耗小、爆炸的危险性也小。但直吹式制粉系统对锅炉来说,其工作的可靠性和可用性差。

如果制粉系统出现故障,则会威胁到锅炉的正常运行甚至被迫停炉。锅炉负荷变化时,直吹式制粉系统燃煤量的调节只能在给煤机上进行,因此系统调节的延迟性大。直吹式制粉系统的磨煤机与其供粉的各燃烧器之间,在运行中无法调整燃料和空气的分配比例,容易出现风粉不均现象。由此可见,直吹式制粉系统要求有较高的运行水平。

中间仓储式制粉系统可靠性好,与直吹式制粉系统相比,该制粉系统出现故障时不会立即影响锅炉的正常运行,磨煤机的工作和锅炉的运行负荷之间互不牵制,因此磨煤机可以经常保持在最经济的负荷下工作,这对于在低负荷下经济性很差的钢球磨煤机来说尤为有利。锅炉负荷变化时,只需要调节给粉机转速或投停给粉机台数,制粉系统就会迅速适应负荷变化,系统延迟性小。但中间仓储式制粉系统复杂,建筑尺寸大,初投资费用大,运行电耗高,有爆炸的危险。

磨煤机及相应制粉系统的选择,关键在于燃料的种类。当燃用挥发分很低或较硬的煤种时,以采用钢球磨煤机中间仓储式制粉系统为好;当燃用挥发分较高且较软的煤种时,以采用直吹式制粉系统为好。由于中、高速磨煤机及其对应的直吹式制粉系统初投资(包括厂房、地基在内)和运行费用都大为节省,在煤种适应的情况下应优先考虑使用。

5. 燃烧系统

燃烧系统是组织煤粉燃烧的系统,应合理组织炉内燃烧工况,保证煤粉燃烧各阶段的温度、氧气等供应条件充足。燃烧过程除煤粉气流能迅速着火和稳定燃烧外,还要使燃烧的煤粉与空气充分混合,才能使煤粉燃烧完全,提高燃烧效率,保证锅炉的安全、经济运行。

在煤粉锅炉中,燃料和空气都是通过燃烧器以射流的形式送入炉膛。煤粉燃烧器按其出口气流特征,可分为直流燃烧器和旋流燃烧器两大类。

出口气流为直流射流或直流射流组的燃烧器,称为直流燃烧器。出口气流中含有旋转射流的燃烧器称为旋流燃烧器,旋流燃烧器的出口气流可以是几个同轴旋转射流的组合。