

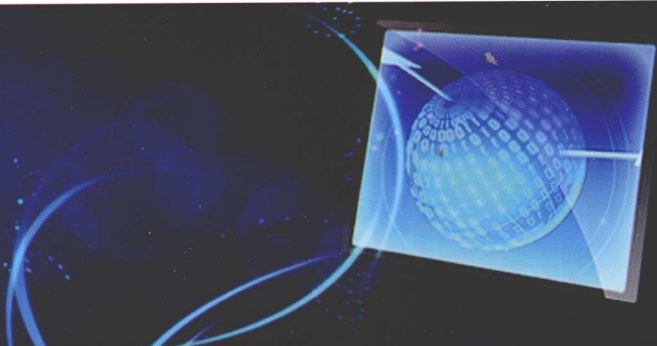


全国高等职业教育示范专业规划教材
热能动力类专业

热力设备运行

RELI SHEBEI YUNXING

谢冬梅 李心刚 编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

配电子课件

全国高等职业教育示范专业规划教材
(热能动力类专业)

热力设备运行

谢冬梅 李心刚 编



机械工业出版社

本书以大中型火力发电机组的热力系统为例,讲述了锅炉、汽轮机等主辅热力设备的起动、运行维护、停止及事故处理的基本操作技能,并在基础知识、资料链接和知识拓展模块中讲述了操作中必需的理论知识和跨专业的拓展知识。以讲述锅炉、汽轮机等主辅热力设备运行岗位实践操作技能为重点,同时又将实践上升到理论,理论与实践紧密结合。本书适合作为高、中等职业院校热能动力类专业课教材,也适合作为火力发电厂锅炉、汽轮机运行岗位培训用教材,及火力发电厂有关技术人员学习的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

热力设备运行/谢冬梅,李心刚编. —北京:机械工业出版社,2009.8
全国高等职业教育示范专业规划教材
ISBN 978-7-111-27825-2

I. 热… II. ①谢…②李… III. 火电厂-热力系统-运行-高等学校:技术学校-教材 IV. TM621.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第125314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:王海峰 责任编辑:王海峰
版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云
封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2009年9月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·13印张·318千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-27825-2
定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379756
封面无防伪标均为盗版

前 言

随着国家能源工业的迅速发展，高参数、大容量火电机组成为各大电网的主力机组，因此大中型电站锅炉和汽轮机的运行技术成为热能动力设备与应用专业人才必须掌握的核心技术。

为适应高职高专培养高素质技能型职业岗位专门人才培养目标要求，本书基于热电厂的生产过程归纳典型工作任务，并将行动领域的典型工作任务教学化处理，设计了学习情境，编写出本套理论与实践一体化的工学结合教材。本书打破了原有学科系统化模式，使学生在在工作过程系统化的学习性工作过程中学习职业岗位操作技能，在发现问题、解决问题的自主学习中学习理论知识。

本书在学习任务和目标中明确了必须掌握的技能 and 知识；在操作技能中以大中型火电机组现场操作为原型，给出基本操作技能要求和操作顺序要求，作为学生行动领域工作的指导性操作规程；在基础知识中深入浅出地叙述了完成任务必须知道的理论知识，理论知识以够用为度；在资料链接中为学生提供了完成工作任务过程中遇到的一些跨专业的相关知识，为学生的职业发展留有一定空间；在知识拓展中提供了完成工作任务过程中必须特别注意的关键点，或易出现误操作的环节，以一问一答的形式讲清为什么，挖掘理论根据，强化理论与实践的紧密结合；在标准链接中提供了热力设备运行中遇到的相关技术标准。本书实践注重技能操作，理论突出重点和难点，内容上注意引入本领域中的新工艺和新技术，体现创造性和应用性人才培养的要求。

李心刚设计编写了本书的情境一和情境二，谢冬梅设计编写了本书的情境三、情境四和情境五。本书在编写过程中，参考了一些同行的编著和一些电厂的现场实际运行资料，并得到了承德石油高等专科学校热能工程系许多老师的帮助，编者在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，且大型电站锅炉和汽轮机形式多样，运行技术复杂性增大，撰编难度较大，书中错误不当之处在所难免，恳请大家批评指正。

编 者

目 录

前言	
情境一 煤粉炉的运行	1
任务 1.1 制粉系统运行	1
任务 1.2 煤粉炉的起动	8
任务 1.3 煤粉炉的运行调节	21
任务 1.4 煤粉炉的停运	38
任务 1.5 煤粉炉常见事故的处理	46
情境二 循环流化床锅炉的运行	54
任务 2.1 循环流化床锅炉的起动	54
任务 2.2 循环流化床锅炉的起动	63
任务 2.3 循环流化床锅炉的运行调节	73
任务 2.4 循环流化床锅炉的停止	85
任务 2.5 循环流化床锅炉的事故处理	90
情境三 汽轮机运行	99
任务 3.1 汽轮机起动前的准备工作	99
任务 3.2 汽轮机在额定参数下的冷态起动	106
任务 3.3 汽轮机在额定参数下的热态起动	116
任务 3.4 汽轮机的滑参数起动	120
任务 3.5 汽轮机的运行调节	127
任务 3.6 额定参数下的正常停机	137
任务 3.7 滑参数停机	143
情境四 汽轮机的事故处理	148
任务 4.1 汽轮机真空度下降	148
任务 4.2 汽轮机水冲击	151
任务 4.3 汽轮机油系统漏油和着火	153
任务 4.4 汽轮发电机轴瓦损坏	154
任务 4.5 汽轮发电机甩负荷	156
任务 4.6 汽轮发电机组的振动和异音	159
情境五 汽轮机的辅助设备运行	166
任务 5.1 凝结水系统的运行	166
任务 5.2 除氧系统运行	173
任务 5.3 给水系统运行	182
任务 5.4 回热加热器及系统的运行	191
参考文献	202

情境一 煤粉炉的运行

任务 1.1 制粉系统运行

学习任务

1. 学习制粉系统的起动。
2. 学习制粉系统的停止。
3. 学习制粉系统的故障处理。

学习目标

1. 能独立完成制粉系统起动前的准备工作。
2. 能够根据设备初始状态，制定起动方案。
3. 小组合作完成制粉系统的起动操作、正常运行的维护工作、故障处理操作、系统的停运操作。
4. 通过监视运行参数、定时循回检查，发现事故隐患。
5. 能够独立完成运行中设备的定期试验和切换。

操作技能

一、制粉系统运行

煤粉制造是煤粉炉的重要工作之一。它的任务是将煤干燥并制成合格的煤粉，然后送入炉膛。目前国内中小型电站煤粉炉采用的制粉系统主要有中间储仓式制粉系统和直吹式制粉系统两种型式。本部分内容只介绍中间储仓式制粉系统的运行。

（一）中间储仓式乏气送粉制粉系统起动和停运

1. 起动前的检查

在制粉系统检修后的起动或运行中备用磨煤机的重新起动之前，都必须对所属设备进行全面检查，确认具备起动条件后方可进行起动。

- （1）工作现场清洁，照明良好，检修后脚手架拆除。
- （2）设备周围及管道上无积粉、自燃现象。

（3）系统各防爆门完整严密，无杂物，管道保温良好，无漏风、漏粉。各入孔门，粗粉分离器调节挡板装置完整。各锁气器能关闭严密，动作灵活，锥形帽与下粉管同心，不得卡住和偏离。

（4）旋风分离器下粉筛子完整，无积粉及杂物，并在投入位置。旋风分离器保温良好，其下部导向挡板位置正确。

- (5) 煤粉仓封闭严密。煤粉漂子完好，指示与实际相符。吸潮管无堵塞及泄漏现象。
- (6) 全部表计齐全，指示正确。
- (7) 润滑油系统正常，油泵出、入口门应开启，并开启磨煤机出入口大瓦供油门。油箱油为油箱高度的 $1/2 \sim 2/3$ 。
- (8) 冷却水系统畅通，回水无堵塞和溢流。
- (9) 减速传动装置完好，安全罩齐全牢固。
- (10) 木屑分离器完好可靠并投入运行。
- (11) 给煤机各部件完好，操作调理灵活。
- (12) 各风门挡板开关灵活，传动装置完整。标志明确，开关方向与实际指示一致。
- (13) 原煤仓煤量充足，振动器完好，连接牢固。
- (14) 蒸汽消防系统完好，各阀门关闭严密。

2. 起动操作

该系统是排粉机，兼作一次风机。制粉系统起动（停机）的操作与锅炉和制粉系统所处的状态有关。不同的状态，制粉系统的起动（停机）操作不同，下面仅介绍磨煤机备用时制粉系统的起动和停机操作。

(1) 起动油泵，待油压正常后投入制粉系统联锁。

(2) 切换排粉机入口风路：在确保排粉机出口风压稳定的前提下，逐渐开启排粉机入口乏气门及磨煤机入口的热风门，同时缓慢关小排粉机入口热风门直至全关。

(3) 待磨煤机出口气粉混合物温度升至额定值后起动磨煤机和给煤机。

3. 停机操作

(1) 停止给煤机，待磨煤机空载后停止磨煤机。

(2) 切换排粉机风系统：缓慢开启排粉机入口热风门的同时，逐渐关小磨煤机入口热风门和排粉机入口乏气门，直至关闭严密，注意保持排粉机出口风压稳定。

(3) 停止磨煤油泵，拉开制粉系统联锁。

(二) 中间储仓式热风送粉制粉系统的启停

该系统的启、停操作亦随锅炉和制粉系统的状态不同而不同。现仅对磨煤机、排粉机备用时的起动和停机操作介绍如下。

1. 起动操作

(1) 制粉系统起动前各阀门、挡板位置如下：

旋风分离器下粉管导向挡板倒至粉仓。

粉仓及输粉螺旋吸潮气管挡板关闭。

原煤仓插板开启。

排粉机入口挡板关闭。

排粉机出口三次风门关闭。

三次风冷却风门开启。

磨煤机入口总风门关闭。

磨煤机入口热风门关闭。

磨煤机入口再循环风门关闭。

磨煤机入口冷风门开启。

起动前的检查同中间储仓式乏气送粉制粉系统。

(2) 起动油泵，投入油泵联锁。

(3) 开启排粉机出口三次风门。起动排粉机，缓慢开启排粉机入口挡板，注意保持炉膛负压稳定。

(4) 开启磨煤机入口总风门，稍开热风门，进行暖管。

(5) 当磨煤机出口气粉混合物温度升至额定，起动磨煤机和给煤机。

(6) 开大热风门，关小冷风门，逐渐增加给煤量，调整系统风压（根据需要可投入再循环）控制磨煤机出口温度，投入制粉联锁。

2. 停止操作

(1) 开启冷风门，减少给煤量，关闭磨煤机入口再循环门。

(2) 停止给煤机，关小热风门，控制磨煤机出口温度不高于70℃。

(3) 待磨煤机空载后停止磨煤机，同时停止磨煤机入口热风门。

(4) 抽净存粉，当磨煤机出口温度低于60℃时，缓慢关闭排粉机入口挡板及磨煤机入口总风门，注意保持炉膛负压不应变化过大。

(5) 停止排粉机，关闭排粉机入口挡板。

(6) 关闭排粉机出口三次风门，关闭粉仓吸潮门。

(7) 开启三次风冷却风门。

(8) 停止磨煤机油泵，拉开油泵联锁和制粉系统联锁。

二、制粉系统的故障处理

1. 磨煤机满煤

(1) 现象：球磨机入口负压变正，出口温度下降，压差值到最大；排粉机及三次风压减小；磨煤机罐内声音沉闷；大罐两头向外冒粉。

(2) 原因：磨煤机满煤多为运行控制不当所致。如给煤不均或给煤量过大，通风量过小，风煤比例失常又未及时调整；原煤自流以及自动调节装置失灵等，都可能造成磨煤机满煤。此外，煤的水分过高，干燥能力不足，煤和制粉之间平衡受到破坏，也会造成磨煤机满煤。

(3) 处理：满煤故障处理的原则是，停止给煤；加大通风量，必要时，停止磨煤机的运行，打开入孔门，将煤清理出来。

2. 磨煤机跳闸

(1) 现象：磨煤机、给煤机电流到零，发出跳闸报警，事故喇叭响；操作开关红灯熄灭，绿灯闪烁；直吹式系统锅炉负荷下降。

(2) 原因：润滑油系统故障，致使油压低于规定值，自动跳闸；磨煤机过负荷，自动跳闸；由于其他故障，值班人员就地用事故按钮紧急停止磨煤机。

(3) 处理：将操作开关转到停止位置，解列自动，切换风路，迅速查明原因，准备重新起动，必要时起动备用磨煤机。处理过程中要注意严密监视磨煤机出口温度，以防超温。

3. 磨煤机内部着火

(1) 现象：磨煤机出口温度不正常地升高，周围有灼热感，磨煤机入口铁皮烧红或从检查孔处向外冒烟火。

(2) 原因：磨煤机出口温度过高；原煤斗自燃的煤进入磨煤机；前一次停磨煤机时，机内残留的煤粉未抽净且间隔时间较长，引起自燃；检修时因焊接等原因点燃了磨煤机内的煤粉。

(3) 处理：立即停止制粉系统运行，严密关闭各风门，开启蒸汽灭火门灭火或用水喷成雾状灭火，确认火已熄灭，即可清理内部，重新启动。

4. 润滑油压低

(1) 原因：油箱内油位过低，滤油器堵塞严重，压力油管泄漏，油质劣化，油泵故障，检修质量不良使齿轮泵间隙过大等，均可导致油压低。此外，一个母管同时供给两台以上磨煤机的润滑油系统，调整其中一台磨煤机的油压，也可能导致另外磨煤机油压的波动和降低。

(2) 处理：油箱油位过低，要及时补油；过滤器堵塞，要进行清除；油泵故障，要启动备用油泵；调整油压时要注意协调和缓慢。

5. 中间储仓式制粉系统粗粉分离器回粉管堵塞

(1) 现象：回粉管锁气器不动作；排粉机电流上升；煤粉颗粒明显变粗；在旋风分离器下粉筛子上有大颗粒煤粉；回粉管温度降低。

(2) 原因：木屑分离器未投入运行，或分离格栅大面积磨损，丧失分离作用；锁气器锥形帽脱落或工作失常等。

(3) 处理：恢复锁气器或木屑分离器工作，取出卡塞杂物，疏通回粉管。

6. 中间储仓式制粉系统旋风分离器堵塞

(1) 现象：锅炉气温、气压急剧上升，排粉机电流增大并摆动；三次风压增大，排粉机入口负压增大；旋风筒下粉锁气器不动作或动作不灵活；从下粉筛子处向外冒粉；粉位下降。

(2) 危害：旋风分离器堵塞是中间储仓式制粉系统常见的故障之一，后果比较严重，直接影响锅炉燃烧的稳定，破坏正常的燃烧调整，排粉机大量带粉，直接送入炉膛上部燃烧，使高温对流过热器的工作受到很大威胁。

(3) 原因：堵塞的原因是多方面的，如未及时清理下粉管筛子上的杂物；启动时未充分暖管，致使煤粉在旋风筒内粘结；粉仓满粉以及粗粉分离器工作失常；下粉管锁气器卡住；运行中输粉螺旋跳闸等。

(4) 处理：当发现旋风分离器堵塞时，要立即停止给煤，停止磨煤机运行，关小磨煤机入口风门及排粉机出口风门，开大再循环门，减小三次风压，清除下粉管筛子杂物，活动锁气器，振动下粉管，使旋风分离器内堵塞的煤粉落入粉仓内，然后恢复制粉系统运行。若输粉螺旋跳闸，应立即将下粉导向挡板导至粉仓位置，将输粉螺旋开关拉回停止位置，打开粉仓下粉的挡板。

7. 制粉系统煤粉爆炸

(1) 现象：制粉系统煤粉爆炸时，系统负压变正，从不严密处向外冒烟、冒火；有巨大响声，防爆门破裂，排粉机电流增大。煤粉仓煤粉自燃时，粉仓温度升高，粉仓上部盖板灼热并有瓦斯气味；从不严密处向外冒烟；给粉机来粉不正常；燃烧不稳定，严重时将一次风管烧红或燃烧器烧坏。

(2) 原因：煤粉易自燃和爆炸是煤粉的特性之一。在风粉气流当中，当煤粉在空气中的浓度达到 $1.2 \sim 2.0 \text{ kg/m}^3$ 时；制粉管道空气中氧含量大于 17.3%（体积）时；煤粉过细，

煤的挥发分较大时；运行中出现断煤或调整不当使磨煤机出口温度过高时；管道内部积粉自燃或有外来火源时；未定期降粉，致使煤粉仓壁粘粉自燃等，均有可能使制粉系统发生煤粉爆炸。

(3) 处理：发生制粉系统爆炸时，要立即停止制粉系统运行。乏气送粉系统可先停止球磨机运行，连锁装置使给煤机自动停止、冷风门自动开启。手动限制排粉机入口乏气门开度，保持一次风稳定，使锅炉恢复正常运行，然后进行风路切换。

对于热风送粉系统，先停止排粉机运行，连锁装置使球磨机、给煤机停止，冷风门自动开启。手动关闭排粉机入口挡板，保持锅炉正常运行。

查找煤粉爆炸原因，彻底进行消除，确认消除火源后，可重新启动制粉系统。

基础知识

一、制粉系统的分类（见表 1-1）

表 1-1 制粉系统的分类

分类名称		概念	特点
按乏气排出方式分	开式制粉系统	从细粉分离器上部出来的气粉混合物直接排入大气	乏气排入大气污染环境 燃用的煤很湿(折算水分(质量分数)为10%~20%)时采用
	闭式制粉系统	从细粉分离器上部出来的气粉混合物作为一次风或三次风送入炉膛	乏气送入炉膛被利用 乏气作为再循环调整磨煤机出口温度
按工作压力分	正压制粉系统	排粉机在制粉系统之前,使制粉系统在正压下工作	排粉机不受煤粉的磨损,使用寿命长,冷空气不漏入制粉系统 煤粉易泄漏,现场工作条件差;排粉机工作温度高,耗电量
	负压制粉系统	排粉机在磨煤机之后,使制粉系统在负压下工作	煤粉不会向外泄漏,通过排粉机的是温度较低的气粉混合物,轴承工作条件好,排粉机耗电低 排粉机磨损严重,冷风易漏入制粉系统
按煤粉排出方式分	直吹式制粉系统	磨煤机磨好的煤粉不是送入煤粉仓储存,而是直接送入炉膛燃烧	系统简单,设备投资少,发生爆炸的可能性小,水分较大的褐煤和挥发分及可磨系数较高的烟煤采用
	储仓式制粉系统	磨煤机磨好的煤粉经过细粉分离器分离后将煤粉送入粉仓储存,然后由给粉机送入炉膛	制粉系统工作安全可靠,制粉耗电下降,有利于制粉系统的维修保养,改善了排粉机的工作条件,易于调节负荷
按送粉介质分	干燥剂送粉制粉系统	从细粉分离器出来的含10%~15%(体积)煤粉的气粉混合物,经排粉机升压后作为一次风输送煤粉	省掉一次风机,系统简单。但因为干燥剂温度低、含水分高、含氧量低,所以燃用挥发分高、易着火的煤总是采用干燥剂送粉
	热风送粉制粉系统	从细粉分离器出来的含10%~15%(体积)煤粉的气粉混合物,经排粉机升压后作为三次风喷入炉膛,采用一次风机将空气预热器来的热风升压后作为一次风输送煤粉	增加一次风机,系统复杂燃用挥发分低、不易着火的煤总是(如无烟煤、贫煤)采用热风送粉

二、我国常见的制粉系统类型

我国常见的制粉系统类型有：

- (1) 钢球磨煤机中间仓储式乏气送粉系统。
- (2) 钢球磨煤机中间仓储式热风送粉制粉系统。
- (3) 钢球磨煤机中间仓储式开式制送粉系统。
- (4) 双进双出钢球磨煤机中间直吹式乏气送粉系统。
- (5) 中速磨煤机正压直吹式热一次风机制粉系统。
- (6) 中速磨煤机正压直吹式冷一次风机制粉系统。
- (7) 风扇磨煤机直吹式二介质干燥制粉系统。
- (8) 风扇磨煤机直吹式三介质干燥制粉系统。

本节以中间储仓式制粉系统的干燥剂送粉系统和热风送粉系统为例进行分析，其系统图如 1-1 所示。

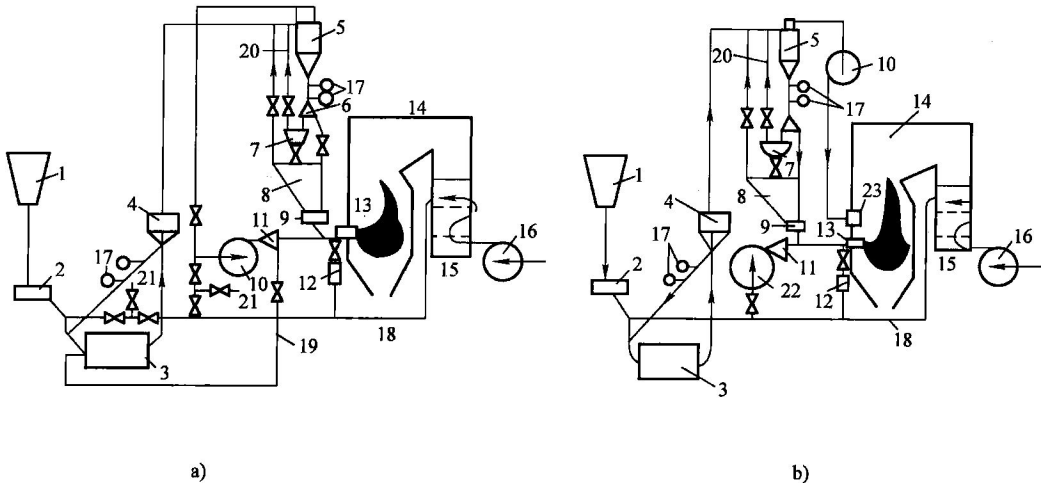


图 1-1 中间储仓式制粉系统

a) 干燥剂送粉系统 b) 热风送粉系统

- 1—原煤仓 2—给煤机 3—磨煤机 4—粗粉分离器 5—旋风分离器 6—切换挡板 7—螺旋输粉机
 8—煤粉仓 9—给粉机 10—排粉机 11—一次风箱 12—二次风箱 13—喷燃器 14—锅炉
 15—空气预热器 16—送风机 17—锁气器 18—热风管道 19—再循环管 20—吸潮管
 21—冷风门 22—一次风机 23—三次风喷口

资料链接

1. 如何表示煤粉的细度？

答：由于煤粉是由尺寸不同的颗粒组成的，无法用煤粉尺寸来表示煤粉的细度，所以煤粉的细度是用特别的筛子来测定的。

取 25 ~ 50g 煤粉试样，在筛子上筛分，如有 a 克留在筛子上，有 b 克经筛孔落下，则筛子上剩余百分量 R 为：
$$R = \frac{a}{a+b} \times 100\%$$
显然，留在筛子上的煤粉越多，表示煤粉越粗，反之表示煤粉越细。

筛子的编号数就是每厘米长度中的孔眼数。例如 30 号筛子，就是每厘米长度内有 30 个孔，这种筛子的孔眼长度为 $200\mu\text{m}$ 。我国常用的试验筛见表 1-2。用 30 号筛子筛分时，筛子上的剩余重量百分量用 R_{200} 表示。例如某煤粉试样在 30 号筛子上的剩余重量百分量为 30%，则可用 $R_{200} = 30\%$ 来表示煤粉试样的细度。发电厂常用 30 号和 70 号两种筛子，换言之，常用 R_{200} 和 R_{90} 表示煤粉的细度。如果只用一个数值来表示煤粉细度，则常用 R_{90} 。

但是，只用一种筛子来测定煤粉的细度，不能全面反映煤粉颗粒的特性。对于 R_{90} 相同的煤粉，如 R_{200} 不同，则表明两种煤粉试样中的大颗粒煤粉含量不同， R_{200} 较大者，含大颗粒的煤粉比例较大，燃烧时容易形成较大的机械不完全燃烧损失。

因此，同时用 R_{90} 和 R_{200} 来表示煤粉细度，不但说明了煤粉的细度，又说明了煤粉颗粒大小的均匀性。对于颗粒较均匀的煤粉，煤粉的经济细度 R_{90} 之值较大。

表 1-2 我国常用的试验筛规格

筛号	每平方厘米筛孔数	筛孔的内边长/ μm	金属丝直径/ μm	筛号	每平方厘米筛孔数	筛孔的内边长/ μm	金属丝直径/ μm
10	100	600	400	70	4900	90	55
30	900	200	130	80	6400	75	50
50	2500	110	80	100	10000	60	40

2. 什么是煤粉的经济细度？

答：煤粉越细，由于单位质量煤粉的表面积越大，煤粉燃烧越迅速，机械不完全燃烧热损失 q_4 越小，但是煤粉越细，电能 q_N 消耗越多，磨煤机和钢球的磨损等运行消耗 q_m 越大；反之，煤粉越粗， q_N 和 q_m 越小，但 q_4 越大。显然煤粉过粗和过细都是不经济的。

将 q_4 和 $(q_N + q_m)$ 相加得到的和最小时所对应的煤粉细度即是煤粉的经济细度。

由于不完全燃烧损失除了与煤粉的细度有关外，还与燃料的挥发分含量和燃烧设备的型式有很大关系。用相同的煤生产相同细度的煤粉，因采用不同的制粉设备，磨煤损耗也是不同的，所以，煤粉的经济细度并不是固定不变的，而是取决于煤种、制粉设备、燃烧器的型式和运行工况等多种因素。对于某台锅炉来说，燃用不同煤种时的经济细度一般要通过燃烧调整试验来确定。

对一般煤粉炉而言，根据经验，煤粉的经济细度，无烟煤： $R_{90} = 6\% \sim 7\%$ ；烟煤： $R_{90} = 10\% \sim 14\%$ ；对于褐煤： $R_{90} = 40\% \sim 60\%$ 。即对于挥发分含量高，易于燃烧的煤，煤粉可以磨得较粗，反之，对于挥发分含量低，难于燃烧的煤，煤粉应该磨得较细。

3. 气粉混合物的浓度达到多少时具有爆炸的危险性？

答：挥发分含量较高的煤粉与空气混合物的浓度在一定范围内时具有爆炸性。当煤粉的浓度在 $0.3 \sim 0.6\text{kg}/\text{m}^3$ 时，爆炸性最强，当煤粉浓度大于 1 时，爆炸性反而减小，当煤粉的浓度小于 $0.1 \sim 0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 时，通常就没有爆炸危险了。具体数值与煤粉的细度、挥发分和水分含量有关。当煤粉的挥发分含量小于 5%（体积）时，就没有爆炸危险了。

知识拓展

1. 为什么在起动过程中要控制磨煤机出口温度不超过规定值？

答：磨煤机在起动过程中，工况变动很大。此时，出口温度若控制不当，很容易使温度

超过规定值而导致煤粉爆炸。因为在停运时系统中残存的煤粉没有抽净会发生缓慢氧化，这样再启动通风就会搅动和扬起自燃的煤粉，在温度适当和气粉浓度达到一定值时就会引起爆炸。因此，在启动过程中，当磨煤机出口气粉混合物温度达到规定数值时就要向磨煤机内给煤；在停用过程中，随着给煤量的减少应逐渐减少热风。

2. 为什么制粉系统启动时必须要进行暖管？

答：中间储仓式制粉系统设备较多，管道较长，启动时煤粉空气混合物中的水蒸气很容易在旋风分离器等管壁上结露，造成煤粉粘结，流动阻力增加，甚至引起旋风分离器堵塞，特别是在气候较冷和保温不完善时更是如此。因此在启动过程中要注意磨煤机出口温度和排粉机入口温度的差值，进行必要的暖管后方可给煤。

3. 制粉系统停运时为什么必须抽净存粉？

答：制粉系统停运时将磨煤机内余粉抽净，既是防止自燃和爆炸的一种重要措施，也是为重新启动创造良好条件。因为磨煤机内留粉过多，会加剧煤粉氧化自燃的形成。同时，长时间停运，当煤粉放热降温后，又会吸收空气中的水分而使煤粉变潮湿，再启动时，若暖管不充分，大量湿煤粉会粘结在旋风分离器下粉筛子上而造成旋风分离器堵塞等故障，使制粉系统正常运行遇到很大困难。

4. 煤粉仓为什么要定期降粉？

答：挥发分含量较高的煤粉，如果积存在粉仓某些部位时间较长，可能因氧化和散热条件不好，温度升高而发生自燃。

粉仓的粉位较高时，不能保证粉仓里的所有煤粉按顺序进入给粉机，有部分煤粉积存和附着在粉仓壁和其他死角处，时间长了有可能发生自燃。如果定期将粉仓的粉位降低到能保证安全生产的最低允许粉位，积存和附着在粉仓壁的煤粉在重力的作用下脱落下来，经给粉机输出，即可避免因部分煤粉在粉仓内停留时间过长而自燃的情况。定期降粉可以改善煤粉仓的散热条件，对降低煤粉仓的温度、防止煤粉自燃是有利的。所以，规程规定中间储仓式制粉系统的煤粉仓要定期降粉。降粉时磨煤机停止工作，没有煤粉进入粉仓。当粉仓粉位降至预定的高度时，启动制粉系统，重新向粉仓送粉。

5. 如何使用再循环调节磨煤机入口风温？

答：在需要降低磨煤机入口温度时，应开大再循环风门并相应关小热风门，在保持风量不变的情况下，使入口温度降低。当需要提高入口温度时，应关小再循环风门并相应开大热风门，使入口温度升高。为保证锅炉运行的经济性，不宜使用冷风门进行正常调节。因为冷风量加入系统后，会使流经空气预热器的风量减少，导致排烟温度升高。只有在需急速降低磨煤机出口温度的情况下，才允许开启冷风门调节。

任务 1.2 煤粉炉的启动

学习任务

1. 学习煤粉炉启动前的检查与准备。
2. 学习锅炉的上水操作。
3. 学习锅炉的点火升压操作。

4. 学习启炉中的暖管并汽操作。
5. 学习升压期间对设备的保护基本操作。

学习目标

1. 能独立完成煤粉炉起动前的检查与准备工作。
2. 能够根据设备初始状态和系统布置情况，制定起动方案。
3. 小组合作完成锅炉的上水、点火升压、暖管并汽等一系列起动操作。
4. 在起动中能够对锅筒、过热器、省煤器等设备实施正确的保护。
5. 通过监视运行参数、定时巡回检查，发现事故隐患。

操作技能

一、母管制自然循环锅炉的冷态起动

(一) 起动前的检查与准备

锅炉点火前，必须进行详细的全面检查工作，做到对设备心中有数，明确设备是否具备起动条件，以及应该采取的措施。锅炉起动前的检查项目很多，一般从下列几个方面进行检查：

(1) 炉膛内应无人工作、无结焦、无杂物，喷燃器完好，油枪位置正确，喷燃器口及油枪头无焦渣堵塞，排管或水冷壁管无变形，炉墙完整无裂缝，脚手架全部拆除，受热面管上无渣块、堵灰、裂纹、明显的凹凸、变形和磨损。

(2) 尾部受热面及烟道应完整，无严重磨损和腐蚀现象，应无堵灰、杂物及遗留工具，无工作人员。

(3) 检查所有炉门、看火孔、检查孔、人孔、防爆门和除灰门，应完整、灵活，并全部关闭，防爆门上应无影响其动作的杂物，保温层应完整无脱落现象。

(4) 所有膨胀指示器应完整并无卡住和顶碰现象。

(5) 平台通道和楼梯应完整、无杂物堆积、照明充足。

(6) 检查所有风门及挡板，开度指示应与实际相符合，连接销子应完整，传动装置动作灵活，检查后将各挡板调整至起动位置。

(7) 检查转动机械，应无杂物影响转动，靠背轮应有安全罩，转动机械及其电动机地脚螺钉无松动，转动部分能用手盘车并无摩擦和碰撞。轴承内油位正常，油质合格。冷却水畅通，无漏油、漏水现象。

(8) 检查汽水系统，各阀门应完整、动作灵活、方向正确。远方控制机构应灵活。对电动阀门应进行遥控试验，证实其电气和机械部分完整可靠。各阀门应调整至起动位置，如空气门、向空排汽门、给水总门、省煤器再循环门、蒸汽管道上的疏水门等应开启；主给水和旁路给水的隔绝门、给水管和省煤器的放水门，水冷壁下联箱的放水门、连续排污二次门、事故放水二次门等应关闭。水位计汽水门应开启、放水门关闭，压力表门均应处于投入状态，所有安全门应完好，无影响动作的障碍物。

(9) 检查锅炉操作盘，操作盘上各电气仪表、热工仪表、信号装置、指示灯、操作开关等应完整好用。

(10) 制粉系统、除尘器、燃油系统和点火设备，应符合现场有关设备和规程的规定，可以随时起动投入。

(11) 联系化学工作人员，准备充足的化学除盐水，供起动时使用。

(12) 联系燃料工作人员，将原煤斗上满煤。

(13) 联系热工工作人员，将各仪表及操作装置置于工作状态。

(14) 联系电气工作人员，对电气设备送电。

(15) 从邻近的锅炉向起动的锅炉煤粉仓送粉至 2~3m 粉位，以备点火过程中投用。

(16) 起动点火燃油系统，使油在系统内循环，处于随时点火状态。

(17) 填写好各项操作票（或操作卡片）和准备起动所需的记录簿。

(二) 上水

当检查工作完毕，确认整个机组完好，具备起动条件时，就可以进行锅炉上水工作。但是，实际工作中，对冷炉的上水往往在水压试验前就已进行。

1. 上水方式

根据锅炉设备的条件不同，可以有不同的上水方式。

(1) 用给水泵通过给水管道经省煤器上水。

(2) 使用凝结水泵向锅炉上水。

(3) 使用疏水泵向锅炉上水。

(4) 锅炉内原来已有水，且水质合格，则通过给水泵经给水旁路门缓慢上水。

2. 上水温度和上水时间

(1) 锅炉上水温度一般不超过 90~100℃，与锅筒温度差不超过 50℃。

(2) 给水应该经过除氧，水质要达到合格。

(3) 上水的速度应缓慢，上水的时间一般规定：中、低压锅炉，夏季不少于 1h，冬季不少于 2h；高压锅炉，夏季不少于 2h，冬季不少于 4h。如上水温度和锅筒温度接近时，可以适当缩短上水时间。

(4) 上水时环境温度不能低于 5℃，否则应该有可靠的防寒、防冻措施。

3. 上水水位

待水位至锅筒最低可见水时，即为点火水位，停止上水。这是因为锅炉点火后炉水受热膨胀、汽化，水位会逐渐上升，因此锅炉上水至锅筒水位计的 -100mm 处即可。

锅炉上水完毕后，应检查锅筒水位有无变化。若锅筒水位继续上升，则说明进水阀门未关严；若水位下降，则说明有漏泄的地方（如放水门、排污门漏泄或未关），应查明原因并采取措施及时消除。

上水前、后，均应记录各部膨胀指示器，比较上水前后设备的膨胀指示值，若有异常情况，必须查明原因并予以消除。

(三) 锅炉的点火与升压

1. 锅炉点火

准备工作结束后，就可以点火。

(1) 在点火前必须对炉内进行通风，通风时间应不少于 5min。

(2) 通风的方法是先起动吸风机，维持炉膛负压 50~100Pa，再起动送风机并调整好风压，吹扫一次风管 3~5min（对排粉机供一次风的系统，则需起动排粉机运行）。

(3) 待吹扫工作结束后,关小吸、送(排粉)风机调节挡板,并调整有关喷燃器的一、二次风门开度,使其保持在点火所需要的位置,准备进行点火。

(4) 燃油点火。将点火棒点着后,放在油枪喷油口处,开启油门引燃燃油(如果是蒸汽雾化的油枪,在投油之前还需开启汽门,排尽疏水),调整至适当开度。

(5) 另一种比较先进的点火方法是采用高能电火花点燃点火油枪,再用点火油枪点燃助燃油枪,然后小油枪退出。

(6) 冷炉点火易熄灭,点火油枪一般同时使用两只。如点火油枪和喷燃器为四角布置时,应对角投入油枪,并定期切换另外对角的两只油枪,使锅炉各部分受热均匀。

(7) 油枪点燃后,使炉膛和水冷壁逐渐受热,待过热器后烟温和热风温度上升到一定数值后,可投入主喷燃器。投粉时应先投入油枪上面的喷燃器,这是因为这里的温度较高,容易引燃煤粉。但喷粉量与喷油量不宜增加过快,以免锅炉各部位温差太大。

(8) 投粉后,由于炉膛温度低,也可能会灭火。如一旦发生灭火,或投粉5s后燃料在炉膛内还未点燃,应立即切断煤粉,并按点火前的要求对锅炉进行通风。

(9) 点火时,喷燃器出口的一、二次风都应较小,否则不利于煤粉的点燃。

(10) 煤粉着火后,应适当开大一次风,以免煤粉管内由于风速过低,使气流中的粉粒分离出来而发生堵塞现象。同时调整二次风,以适应燃烧的需要。

(11) 当炉膛温度低于投煤粉喷燃器时,对于直吹式制粉系统,可先关小热风门,让磨煤机内积聚一些煤粉后再适当开大热风门,以增大点燃时的煤粉浓度,有利于煤粉着火。

(12) 在锅炉点火过程中,起吸、送风机和排粉机时,必须先关闭其入口挡板,在空负荷下起动,并注意起动电流的大小及其返回时间。转动正常后,再逐渐开启入口挡板,并根据风量需要适当进行调整。

2. 升压过程

锅炉机组升压过程,就根据规程规定的升压速度进行。锅炉冷态从点火至并汽的时间,中压炉一般为2~3h,高压炉一般为4~5h,切不可赶火升压,以防炉内温度急剧升高而使受热面升温过快,使金属部件产生较大的热应力而损坏。为满足炉膛温度均匀升高,控制升压速度,需要及时地控制进入炉内的燃料量。

升压过程中,还有其他一些操作,需认真做好,这对保证锅炉顺利起动和投入正常运行都非常重要。

(1) 汽压升至0.1~0.2MPa时,锅炉内的蒸汽足以将锅筒内的空气赶走,此时需关闭空气门。

(2) 在空气门关闭后,可进行锅筒水位计的冲洗工作,以检查水位计指示的可靠性。为保证锅筒水位计指示正确,在整个升压过程中,要多次进行冲洗。每次冲洗完水位计,应对照锅筒两端水位计的指示,如有误差,应找出原因予以消除,然后方可继续升压。

(3) 为防止热工仪表的导管堵塞,在汽压升至0.2~0.3MPa时,就应通知热工人员冲洗仪表导管。

(4) 当汽压升至0.2~0.3MPa时,可进行定期排污,开启水冷壁下联箱各放水门,以排除锅筒内杂质。

(5) 在整个升压过程中,应进行多次排污、放水操作,使锅炉在低压阶段水冷壁各处受热均匀,尽快建立正常水循环。同时,也可保证并汽前达到合格的汽水品质要求。

(6) 检修后的锅炉起动,当汽压升到 $0.3 \sim 0.4\text{MPa}$ 时,应通知检修人员热紧螺钉。因为检修工作是在冷状态下进行的,当锅炉点火起动后,各部件逐渐受热膨胀,会使锅筒入孔门、各联箱手孔门、汽水管路连接法兰处的螺钉松动,如不紧螺钉,可能会使结合处泄漏。

(7) 在点火前、点火过程中和并汽前各记录一次膨胀指示器,比较各受热面的膨胀情况。如有异常,应停止升压,找出原因,采取措施予以消除,然后方可继续升压。

(8) 升压过程中,应当力求炉膛热负荷均匀,逐渐升高。逐渐增加进入炉内的燃料量,避免过多过快,以防引起燃烧工况的剧烈变化,使设备膨胀不均。

(9) 升压中,禁止采用停火降压的办法来控制升压时间,也禁止用关小疏水门或向空排汽门的方法来提高气压。

(10) 升压中,应随时注意锅炉气压的变化。在此期间,对于气压的稳定上升,主要是从控制燃烧上实现的。

(11) 关于水位,必须特别加以重视。因为工况变动的本身就会使水位发生经常的波动,而很多必要的操作,也会引起水位频繁波动。如果掉以轻心,往往会造成严重的水位故障。

(12) 加强水位监视,特别应认真执行锅筒水位计的冲洗及与低位水位计的对照工作,使锅筒水位计指示可靠。

(13) 点火、升压过程中,应特别注意人身安全。如点火、投入喷燃器运行、冲洗水位计、排污放水等,要注意防止烧伤、烫伤。操作时,不可面对设备,以防有意外情况发生,做好能及时进行躲避的准备。

(14) 锅炉升温要缓慢,控制饱和蒸汽温升小于 $50^\circ\text{C}/\text{h}$,锅筒上下壁温差小于 50°C 。

(15) 经过检修的安全门,在锅炉并列前应进行调整与试验,以确保动作安全准确可靠。

(16) 锅炉安全门的调整过程中,一般应注意以下几点:

1) 调整安全门时,锅炉运行、检修及安全监察负责人应在场。

2) 调整安全门时,应有防止安全门动作的措施。

3) 调整安全门时,应保持锅炉压力稳定,并注意监视锅筒水位。

4) 调整安全门的压力以就地压力表的指示为准。必要时,应使用精度为 0.5 级以上的压力表。

5) 调整安全门应逐台进行,一般先调整工作安全门,后调整控制安全门。

6) 安全门调整后,应进行动作试验,若动作正常,则记录运行值和回座值。如锅炉压力超过动作压力尚未动作时,应降至低于工作压力 $0.3 \sim 0.4\text{MPa}$,再重新调整。

7) 安全门调整完毕后,应装好防护罩,加铅封,撤除防止动作的措施。调整汽温汽压至正常参数。

8) 将安全门的调整试验结果记录在有关的记录簿内,并由参加试验人员签字。

(四) 暖管与并汽

1. 暖管

主蒸汽管道在投用之前,先以少量的蒸汽对其进行预热,使管道温度缓慢地上升,称之为暖管。如果不进行暖管,则当高温蒸汽突然涌入时,将会使蒸汽管道温度很快上升,因膨胀的不同而使金属管子和其他附件产生过大的热应力和水冲击,损坏设备。