

GUOLU FANGMO FANGBAO PEIXUN JIAOCAI

锅炉防磨防爆

培训教材

大唐国际防磨防爆培训基地 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

GUOLU FANGMO FANGBAO PEIXUN JIAOCAI

锅炉防磨防爆 培训教材

大唐国际防磨防爆培训基地 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以作者多年在火力发电厂从事锅炉运行、检修、金属及化学监督工作中积累的经验 and 解决实际出现问题取得的成果为基础,结合电厂锅炉防磨防爆中需要掌握的相关知识,理论联系实际,介绍了电厂锅炉类型及锅炉原理、锅炉安全运行、锅炉水处理、压力容器焊接等基础知识,重点介绍了电厂锅炉防磨防爆检查和锅炉“四管”失效分析及预防等相关知识。

本书内容翔实,实用性较强,适用于电厂锅炉运行人员、金属及化学监督人员使用。也可供石油、冶金、化工企业中,从事锅炉防磨防爆专业工作的技术人员培训和自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉防磨防爆培训教材/大唐国际防磨防爆培训基地编. —北京:
中国电力出版社, 2016. 2

ISBN 978-7-5123-8517-7

I. ①锅… II. ①大… III. ①锅炉-安全技术-技术培训-教材
IV. ①TK223. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 261727 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 2 月第一版 2016 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 467 千字
印数 0001—2000 册 定价 59.00 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

《锅炉防磨防爆培训教材》

编 委 会

主 任 李建东

副 主 任 代 东 闫 青 刘永涛 张晓明

张 鑫

委 员 张伟卿 张达勋 袁彦伟 王 飞

杨晓松 武利军 郝朝宗

编写人员 杨晓松 禹庆明 王 位 李 荣

李 岩 姜海峰 唐晓飞 王 潇

武震兴 翁秋阳 王志刚 杨伟华

前言

安全生产是生产企业的发展之本,提高生产设备可靠性则是安全生产的基础。对于电力企业而言,随着工业生产现代化水平的不断提高和科技的进步,亚临界、超临界、超超临界发电机组日益增多,锅炉的工作状况对整个机组的安全稳定运行影响更加突出,锅炉的防磨防爆作为预防与控制锅炉“四管”泄漏的第一步,其作用也显得越发重要。

锅炉防磨防爆涉及材料、化学、锅炉以及自动化等多个学科和专业领域,又与锅炉的设计、制造、安装、运行和维护等过程密切相关。锅炉“四管”泄漏问题的复杂性和困难性,使防磨防爆工作始终处于不断研究、探索中。

大唐国际张家口发电厂一直高度重视防磨防爆检查工作,其防磨防爆作业组在出色完成厂内检查任务的同时,先后完成了全国 15 个省份 30 余家电厂 200 余次的防磨防爆检查任务,积累了丰富的专业知识和经验。大唐国际防磨防爆培训基地依托于大唐国际张家口发电厂于 2012 年成立,自成立以来一直致力于防磨防爆专业培训,在培训中积累了丰富的经验和许多宝贵的资料。为更好地服务防磨防爆培训工作,更加广泛地传播锅炉“四管”泄漏预防与控制的经验,进行学术交流,特组织专业骨干编写本书。

本书是针对防磨防爆相关从业人员编写的,在编写中特别注重理论知识与实际的结合。本书在总结大唐国际防磨防爆培训基地相关课程和教材建设的基础上,本着“务求实用、突出重点”的原则,对防磨防爆涉及运行、金属、化学及焊接等方面知识进行了整合,以满足大家的需要。

本书共计七章,杨晓松担任本书的主编,并负责编写其中的防磨防爆检查部分,由姜海峰负责统稿。禹庆明负责编写书中的运行部分,王位负责编写书中的金属部分,李岩负责编写书中的化学部分,李荣负责编写书中的焊接部分。本书在编写过程中,得到了多位业内专家和朋友提供的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

鉴于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者谅解,并提出宝贵意见和建议。

编委会

2015 年 10 月

目 录

前言

第一章 锅炉简介及燃料	1
第一节 锅炉简介及分类	1
第二节 锅炉燃料及燃烧特性	3
第二章 锅炉安全运行	9
第一节 锅炉冷态启动控制	9
第二节 锅炉正常运行中参数的调整控制	21
第三节 锅炉“四管”泄漏事故处理	30
第四节 锅炉停炉操作	33
第五节 锅炉停炉后的冷却与保养	36
第三章 锅炉防磨防爆检查	43
第一节 防磨防爆工作	43
第二节 锅炉防磨防爆检查的重点部位	46
第三节 关于磨损减薄与壁厚计算	57
第四节 关于超温爆管与寿命消耗计算	61
第五节 锅炉主要部件的失效	68
第四章 锅炉“四管”失效分析及预防	76
第一节 加强金属监督工作	76
第二节 锅炉腐蚀失效形式的变化及分析	83
第三节 腐蚀失效判断及水质处理的实例	88
第四节 奥氏体不锈钢的腐蚀	92
第五节 酸腐蚀与碱腐蚀引起的失效	96
第五章 锅炉水处理化学知识	97
第一节 锅炉防磨防爆相关的化学知识	97
第二节 火力发电厂中的水处理	101
第三节 热力设备在运行期间的腐蚀与防止	103
第四节 热力设备在停（备）用期间的腐蚀与防止	114
第五节 锅炉设备的化学监督	116

第六节 锅炉的化学清洗..... 122

第六章 防磨防爆相关的压力容器焊接知识..... 134

第一节 锅炉压力容器焊接知识..... 134

第二节 焊接缺陷与检验..... 146

第三节 锅炉压力容器焊接材料及其选用..... 153

第四节 焊接安全技术..... 157

第五节 锅炉常用材料的焊接..... 159

第六节 锅炉焊接技术的现状及发展方向..... 166

第七节 锅炉上常用材料的焊接工艺..... 172

第七章 锅炉用钢在高温长期运行过程中的变化..... 186

第一节 失效分析的意义和作用..... 186

第二节 锅炉主要部件的失效形式..... 189

第三节 失效分析的主要分析方法和主要分析设备..... 200

第四节 失效分析步骤..... 208

第五节 机组主要部件的失效..... 211

附录 A 摘录 DL 612—1996《电力工业锅炉压力容器监察规程》..... 224

附录 B 摘录 DL/T 438—2009《火力发电厂金属技术监督规程》..... 241

附录 C 摘录中国大唐集团公司防止火电厂锅炉“四管”泄漏管理办法..... 271

附录 D 防止锅炉“四管”泄漏检查表..... 280

附录 E 锅炉“四管”泄漏失效情况统计表..... 293

附录 F 锅炉设计、选型、监造和安装的技术要求..... 294

参考文献..... 298

锅炉简介及燃料

第一节 锅炉简介及分类

锅炉在火力发电厂中是提供动力的关键设备，是火力发电厂三大主设备之一，由锅炉本体和辅助设备构成。它利用燃料（如煤、重油、天然气等）燃烧时产生的热量使水变成具有一定温度和压力的过热蒸汽，以驱动汽轮发电机发电，电厂锅炉以其容量大、参数（压力、温度）高区别于一般工业锅炉。

一、锅炉的基本概念

（一）锅炉的定义

锅炉是指利用燃料（固体燃料、液体燃料和气体燃料）燃烧释放的化学能转换成热能，且向外输出热水或蒸汽的换热设备。

（二）锅炉的组成

锅炉由“锅”和“炉”两大部分组成。“锅”是指汽水流动系统，包括汽包、联箱、水冷壁以及对流受热面等，是换热设备的吸热部分；“炉”是指燃料燃烧空间及烟风流动系统，包括炉膛、对流烟道以及烟囱等，是换热设备的放热部分。

（三）燃煤锅炉

燃煤锅炉是指燃料煤燃烧释放的热能通过受热面的金属壁面传给其中的工质（水），将水加热成具有一定压力和温度的蒸汽。但并不是燃料燃烧释放的所有热能全部有效转化，会有一部分无功消耗，这样就存在效率问题，一般参数较大的锅炉效率较高，锅炉效率通常在60%~95%之间。

二、燃煤锅炉的分类

燃煤锅炉有多种类型，可按用途、燃烧方式、除渣方式以及结构安装方式等分类。

（一）按用途分类

1. 电厂锅炉

电厂锅炉是指用于火力发电的锅炉。火力发电机组由锅炉、汽轮机、发电机三大动力设备构成。锅炉产生的高温、高压蒸汽经过汽轮机做功，使蒸汽的热能转换为机械能，汽轮机带动发电机高速旋转发电，此时机械能转换成电能。

2. 工业锅炉

工业锅炉是指锅炉产生的高温热载体（蒸汽、高温水以及有机热载体）供工业生产过程中应用，如酿酒、造纸、纺织、木材、食品、化工等。

3. 热水锅炉

热水锅炉是指锅炉产生的热水、蒸汽供人们生活之用，如取暖、洗浴、消毒等。

(二) 按燃烧方式分类

1. 层燃炉

层燃炉是指原煤经破碎成粒径为 25~40mm 的碎块后，用炉前煤斗的煤闸板或播煤机平铺在链条炉排上作层状燃烧的锅炉。

2. 室燃炉

室燃炉是指原煤经筛选、破碎及研磨成大部分粒径小于 0.1mm 的煤粉后，经燃烧器喷入炉膛作悬浮状燃烧的锅炉。

煤粉喷入炉膛后能很快着火，烟气能达到 1500℃ 左右的高温。但煤粉和周围气体间的相对运动很微弱，煤粉在较大的炉膛内停留 2~3s 才能基本上烧完，因此，室燃炉的炉膛容积常比同蒸发量的层燃炉的炉膛容积约大一倍。

3. 旋风炉

旋风炉是指将粒径小于 10mm 的碎煤粒或粗煤粉先在前置式旋风筒内作旋风状燃烧，所产生的高温烟气再进入主炉膛（冷却室）内进行辐射换热的锅炉。

4. 沸腾燃烧炉

沸腾燃烧炉是指利用风室中的空气将固定炉算或链条炉排上的灼热料层（主要是灰粒）吹成沸腾状态，使其与煤粒一起上、下翻滚燃烧的燃煤锅炉。

(三) 按除渣方式分类

1. 固态除渣炉

炉膛中熔渣经炉底冷灰斗或凝渣箱凝固后排出。适用于燃用灰熔点较高的煤。

2. 液态除渣炉

炉底有保温熔液池，熔渣经排渣口流出（或经冷水凝固后排出）或用蒸汽吹拉成炉渣绵排出（可作保温材料）。

(四) 按结构安装方式分类

1. 悬吊式锅炉

锅炉炉膛和转向烟室均用吊杆悬吊于架设在钢筋混凝土立柱上的大板框架梁上，悬吊式锅炉优点是炉体可自由膨胀，易于防振，节省钢材，炉底下方的空间较大，便于布置送风机及除灰设备，但安装技术要求高。

2. 支承式锅炉

锅炉整体支撑于框形骨架上，特点是便于安装、占地少，但耗用钢材多。

(五) 按压力参数分类

1. 低压锅炉

低压锅炉是指出口额定蒸汽压力小于 2.5MPa 的锅炉。

2. 中压锅炉

中压锅炉是指出口额定蒸汽压力约为 3.9MPa 的锅炉。

3. 高压锅炉

高压锅炉是指出口额定蒸汽压力约为 10.8MPa 的锅炉。

4. 超高压锅炉

超高压锅炉是指出口额定蒸汽压力约为 14.7MPa 的锅炉。

5. 亚临界压力锅炉

亚临界压力锅炉是指出口额定蒸汽压力为 16.8~18.6MPa 的锅炉。

6. 超临界及超超临界压力锅炉

超临界及超超临界压力锅炉是指出口额定蒸汽压力超过临界压力、为 24~35MPa 的锅炉。

(六) 按工质(水)在锅炉中的流动方式分类

1. 自然循环锅炉

在水循环回路中,介质流动的动力来自不受热的下降水管中的水柱与受热的上升管中汽水混合物水柱的密度差。

2. 强制循环锅炉

在水循环回路中介质流动的动力除水和汽水密度差外,主要依靠炉水循环泵的压头。

3. 直流锅炉

给水依靠给水泵压头使给水经预热、蒸发、过热一次通过产生蒸汽的锅炉,因此,直流锅炉也属于强制循环锅炉。

4. 复合循环锅炉

由直流锅炉改进而成,除有给水泵外,还装有再循环泵。

第二节 锅炉燃料及燃烧特性

燃料是可以用来取得大量热能的物质。目前,所用的燃料可以分成两大类,一类是核燃料,另一类是有机燃料。电厂锅炉大都使用有机燃料。有机燃料是指可以与氧化剂发生强烈的化学反应(燃烧)而放出大量热量的物质。

有机燃料按其物态可分为固体燃料(煤、木材等)、液体燃料(石油及其产品)和气体燃料(天然气、高炉煤气、焦炉煤气等)三种。按照我国的燃料政策,电厂锅炉要以煤为主要燃料,并尽量利用水分和灰分含量高、发热量低的劣质煤。

煤是由多种有机物质和无机物质混合组成的复杂的固体碳氢燃料。它是远古植物遗体随地壳的变动被埋入地下,长期处于地下温度、压力较高的环境中,植物中的纤维素、木质素经脱水腐蚀,含氧量不断减少,碳质不断增加,逐渐形成化学稳定性强、含碳量高的固体化合物。由于埋入地下的时间和深度不同,地质作用的强弱不同,就会形成不同的煤种。

一、煤炭的分类

(一) 按照用途分类

随着社会的发展,科学的进步,煤的用途越来越广泛,可以根据其使用目的总结为两大主要用途,即作为动力煤和炼焦煤。

1. 我国动力煤的主要用途

(1) 发电用煤。我国约 1/3 以上的煤用来发电,电厂利用煤的热值,把热能转变为电能。

(2) 建材用煤。约占动力用煤的 10%以上,以水泥工业用煤量最大,其次为玻璃、砖、

瓦等。

(3) 一般工业锅炉用煤。除热电厂及大型供热锅炉外, 一般企业及取暖用的工业锅炉型号繁多, 数量大且布置分散, 用煤量约占动力煤的 30%。

(4) 生活用煤。生活用煤的数量也较大, 约占燃料用煤的 20%。

(5) 冶金用动力煤。冶金用动力煤主要为烧结和高炉喷吹所用的无烟煤, 其用量不到动力用煤量的 1%。

2. 炼焦煤

我国虽然煤炭资源比较丰富, 但炼焦煤资源还相对较少, 炼焦煤储量仅占我国煤炭总储量的 27.65%。炼焦煤的主要用途是炼焦炭, 焦炭由焦煤或混合煤高温冶炼而成, 一般 1.3t 左右的焦煤才能炼 1t 焦炭。焦炭多用于炼钢, 是目前钢铁等行业的主要生产原料。

(二) 针对不同的侧重点分类

人们对煤的性质、组成结构和应用等方面的认识越来越深入, 逐渐发现各种煤炭既有相同的地方, 又有不同的特性。根据各种不同的需要, 把各种不同的煤归纳和划分成性质相似的若干类别。这样, 就形成针对不同的侧重点对煤进行分类的概念。

1. 煤的成因分类

按煤的原始物料和堆积环境分类, 称为煤的成因分类。

2. 煤的科学分类

按煤的元素组成等基本性质分类, 称为煤的科学分类。

3. 煤的实用分类

煤的实用分类又称煤的工业分类。按煤的工艺性质和用途分类, 称为实用分类。我国煤分类和各主要工业国的煤炭分类均属于实用分类, 以下详细介绍我国煤实用分类的情况。

根据煤的煤化度, 将我国所有的煤分为褐煤、烟煤和无烟煤三大煤类。又根据煤化度和工业利用的特点, 将褐煤分成 2 个小类、无烟煤分成 3 个小类。烟煤比较复杂, 按挥发分分为 4 个档次, 即 $V_{daf} > 10\% \sim 20\%$ 、 $V_{daf} > 20\% \sim 28\%$ 、 $V_{daf} > 28\% \sim 37\%$ 和 $V_{daf} > 37\%$, 分为低、中、中高和高四种挥发分烟煤。按黏结性可以分为 5 个或 6 个档次, 即 $G_{R.L.}$ 为 0~5, 称不黏结或弱黏结煤; $G_{R.L.} > 5 \sim 20$, 称弱黏结煤; $G_{R.L.} > 20 \sim 50$, 称为中等偏弱黏结煤; $G_{R.L.} > 50 \sim 65$, 称中等偏强黏结煤; $G_{R.L.} > 65$, 称强黏结煤。在强黏结煤中, 若 $Y > 25\text{mm}$ 或 $B > 150\%$ (对于 $V_{daf} > 28\%$ 的肥煤, $B > 220\%$) 的煤, 则称为特强黏结煤。

二、我国煤的分类

我国煤的分类方法是采用表征煤化程度的干燥无灰基挥发分 V_{daf} 作为分类指标, 并将煤分为褐煤、烟煤和无烟煤。一般 $V_{daf} \leq 10\%$ 的煤为无烟煤, $10\% < V_{daf} < 20\%$ 为贫煤, $20\% \leq V_{daf} \leq 37\%$ 的为烟煤, $V_{daf} \geq 37\%$ 的煤为褐煤, 参见 GB/T 5751—2009《中国煤炭分类》。

无烟煤挥发分产率低, 固定碳含量高, 密度大 (密度最高可达 1.90g/cm^3), 硬度大, 燃点高, 燃烧时不冒烟。无烟煤主要是民用和合成氨的造气原料, 而且还可以制造各种碳素材料, 某些优质无烟煤制成的航空用型煤可用于飞机发动机和车辆电动机的保温。无烟煤的分类见表 1-1。

表 1-1 无烟煤的分类

亚 类	代 号	编 码	分类指标	
			$V_{daf}(\%)$	$H_{daf}(\%)$
无烟煤一号	WY1	01	≤ 3.5	≤ 2.0
无烟煤二号	WY2	02	$>3.5\sim 6.5$	$>2.0\sim 3.0$
无烟煤三号	WY3	03	$>6.5\sim 10.0$	>3.0

注 V_{daf} 表示干燥无灰基挥发分； H_{daf} 表示干燥无灰基氢含量。

烟煤含碳量较无烟煤低，挥发分含量较多，易点燃，燃烧快，因其含氢量较高，发热量也较高。烟煤除用干燥无灰基挥发分划分外，还用工艺性能的指标参数作为划分指标，见表 1-2。

表 1-2 烟煤的分类

类 别	符号	数 码	分 类 指 标			
			$V_{daf}(\%)$	$G_{R.L}$	$Y(mm)$	$B(\%)$
贫 煤	PM	11	$>10.0\sim 20.0$	≤ 5		
贫瘦煤	PS	12	$>10.0\sim 20.0$	$>5\sim 20$		
瘦 煤	SM	13	$>10.0\sim 20.0$	$>20\sim 50$	≤ 25.0	≤ 150
		14	$>10.0\sim 20.0$	$>50\sim 65$		
焦 煤	JM	15	$>10.0\sim 20.0$	>65		
		24	$>20.0\sim 28.0$	$>50\sim 65$		
		25	$>20.0\sim 28.0$	>65		
肥 煤	FM	16	$>10.0\sim 20.0$	>85	>25.0	>150
		26	$>20.0\sim 28.0$	>85	>25.0	>150
		36	$>28.0\sim 37.0$	>85	>25.0	>220
1/3 焦煤	1/3JM	35	$>28.0\sim 37.0$	>65	≤ 25.0	≤ 220
气肥煤	QF	46	>37.0	>85	>25.0	>220
气 煤	QM	34	$>28.0\sim 37.0$	$>50\sim 65$	≤ 25.0	≤ 220
		43	>37.0	$>35\sim 50$		
		44	>37.0	$>50\sim 65$		
		45	>37.0	>65		
1/2 中黏煤	1/2ZN	23	$>20.0\sim 28.0$	$>30\sim 50$		
		33	$>28.0\sim 37.0$	$>30\sim 50$		
弱黏煤	RN	22	$>20.0\sim 28.0$	$>5\sim 30$		
		32	$>28.0\sim 37.0$	$>5\sim 30$		
不黏煤	BN	21	$>20.0\sim 28.0$	≤ 5		
		31	$>28.0\sim 37.0$	≤ 5		
长焰煤	CY	41	>37.0	≤ 5		
		42	>37.0	$>5\sim 35$		

注 V_{daf} 表示干燥无灰基挥发分； $G_{R.L}$ 表示烟煤的黏结指数； Y 表示烟煤的胶质层最大厚度； B 表示烟煤的奥亚膨胀体。

褐煤煤龄短，挥发分含量较高，着火和燃烧都比较容易，但因其碳化程度低，发热量也较低。褐煤除用挥发分分类外，还用透光率 PM 和含最高内在水分的无灰高位发热量 $Q_{gr.m.af}$ 作为区分褐煤和烟煤的指标，见表 1-3。

表 1-3 褐 煤 的 分 类

类 别	符 号	分 类 指 标	
		PM (%)	$Q_{gr.m.af}$ (MJ/kg)
褐煤一号	HM1	0~30	
褐煤二号	HM2	>30~50	≤24

三、煤炭的燃烧特性

1. 无烟煤 (WY)

无烟煤是煤化程度最深的煤，它有明亮的黑色光泽，硬度高不易研磨。它的含碳量很高，杂质少而发热量较高，为 21 000~25 000 kJ/kg。

2. 贫煤 (PM)

贫煤是煤化度最高的一种烟煤，不黏结或微具黏结性，在层状炼焦炉中不结焦，燃烧时火焰短、耐烧，主要是用为发电燃料，也可作为民用和工业锅炉的配煤。

3. 贫瘦煤 (PS)

贫瘦煤是高变质、低挥发分、弱黏结性的一种烟煤。结焦性较典型瘦煤差，单独炼焦时，生成的焦粉较多。

4. 瘦煤 (SM)

瘦煤是低挥发分的中等黏结性的炼焦用煤。在炼焦时能产生一定量的胶质体，单独炼焦时，能得到块度大、裂纹少、抗碎性较好的焦炭，但焦炭的耐磨性较差，作为炼焦配煤使用时效果较好。

5. 焦煤 (JM)

焦煤是中等及低挥发分的中等黏结性的一种烟煤。能产生热稳定性很高的胶质体，单独炼焦时能得到块度大、裂纹少、抗碎强度高的焦炭，其耐磨性也好。但单独炼焦时，产生的膨胀压力大，使推焦困难，作为炼焦配煤使用，效果较好。

6. 肥煤 (FM)

肥煤是中等、中高挥发分的强黏结性烟煤，加热时能产生大量的胶质体。单独炼焦时能生成熔融性好、强度较高的焦炭，其耐磨性有的也较焦煤焦炭好。缺点是单独炼出的焦炭，横裂纹较多，焦根部分常有蜂焦。

7. 1/3 焦煤 (1/3JM)

1/3 焦煤是新煤种，它是中高挥发分、强黏结性的一种烟煤，是介于焦煤、肥煤、气煤三者之间的过渡煤。单独炼焦能生成熔融性较好、强度较高的焦炭。焦炭的抗碎强度接近肥煤生成的焦炭，焦炭的耐磨强度又明显高于气肥煤、气煤生成的焦炭。

8. 气肥煤 (QF)

气肥煤是一种挥发分和胶质层指数都很高的强黏结性肥煤，有的称为液肥煤。炼焦性能介于肥煤和气煤之间，单独炼焦时能产生大量的气体和液化产品。气肥煤最适合于高温干馏制造煤气，也可用于炼焦配煤，以增加化学产品产率。

9. 气煤 (QM)

气煤是一种煤化度较浅的炼焦用煤，加热时能产生较高的挥发分和较多的焦油，胶质体的热稳定性低于肥煤，能够单独炼焦，但焦炭多呈细长条而易碎，有较多的纵裂纹，因而焦炭的抗碎强度和耐磨强度均较其他炼焦煤差。在配煤炼焦时加入气煤，可增加煤气和化学产品的回收率。

10. 1/2 中黏煤 (1/2ZN)

1/2 中黏煤是一种中等黏结性的中高挥发分烟煤。其中有一部分在单独炼焦时能形成一定强度的焦炭，可作为炼焦配煤的原料。黏结性较差的一部分煤在单独炼焦时，形成的焦炭强度差、粉焦率高。因此，1/2 中黏煤主要用于气化用煤球和动力用煤，在配煤炼焦中也可适量配入。

11. 弱黏煤 (RN)

弱黏煤是一种黏结性较弱的从低变质到中等变质程度的烟煤。加热时，产生较少的胶质体。单独炼焦时，有的能结成强度很差的小焦块，有的则只有少部分凝结成碎焦屑，粉焦率很高。

12. 不黏煤 (BN)

不黏煤是一种在成煤初期已经受到相当氧化作用的从低变质程度到中等变质程度的烟煤，加热时，基本上不产生胶质体。煤的水分大，有的还含有一定的次生腐殖酸，含氧量较高，有的不黏煤氧含量高达 10% 以上。

13. 长焰煤 (CY)

长焰煤是变质程度最低的高挥发分烟煤，煤的燃点低，纯煤热值也不高，从无黏结性到弱黏结性的均有。其中最年轻的还含有一定数量的腐殖酸，储存时易风化碎裂。煤化程度较高的年老煤，加热时能产生一定量的胶质体，单独炼焦时也能结成细小的长形焦炭，但强度极差，粉焦率很高。

14. 褐煤 (HM)

褐煤分为 $PM < 30\%$ 的年轻褐煤和 $PM > 30\% \sim 50\%$ 的年老褐煤两类，褐煤的特点为含水量高、密度较小、无黏结性，并含有不同数量的腐殖酸，煤中氧含量高（氧含量常达 $15\% \sim 30\%$ ），化学反应性强，热稳定性差，块煤加热时破碎严重。存放在空气中易风化变质，易破碎成小块甚至粉末状，发热量低，煤灰熔点也低，其灰中含有较多的 CaO ，而有较少的 Al_2O_3 。褐煤多作为发电燃料，也可作气化原料和锅炉燃料。褐煤有的可提取蜡，制造磺化煤、活性炭，年轻褐煤可提腐殖质等有机肥料。

四、发电厂用煤质量标准

发电厂用煤质量标准是根据对锅炉设计、运行等方面有较大影响的煤质特性制定的，包括干燥无灰基 V_{daf} 、干燥基 A_d 和 S_d 、收到基水分 M_{ar} 、灰的软化温度 (ST) 作为主要指标，见表 1-4。

表 1-4 发电煤粉锅炉用煤质量标准^①

分类指标	煤种名称	等级	代号	主分类指标界限值	辅助分类指标界限值
挥发分 V_{daf}	低挥发分无烟煤		V0	$V_{daf} \leq 6.5\%$	$Q_{net,ar} > 23.0 \text{ MJ/kg}$
	无烟煤	1 级	V1	$6.5\% < V_{daf} \leq 9\%$	$Q_{net,ar} > 21.0 \text{ MJ/kg}$
	贫煤	2 级	V2	$9\% < V_{daf} \leq 19\%$	$Q_{net,ar} > 18.5 \text{ MJ/kg}$
	中挥发分烟煤	3 级	V3	$19\% < V_{daf} \leq 27\%$	$Q_{net,ar} > 16.5 \text{ MJ/kg}$
	中高挥发分烟煤	4 级	V4	$27\% < V_{daf} \leq 40\%$	$Q_{net,ar} > 15.5 \text{ MJ/kg}$
	高挥发分烟褐煤	5 级	V5	$V_{daf} > 40\%$	$Q_{net,ar} > 11.5 \text{ MJ/kg}$

① 摘自 GB/T 7562—2010《发电煤粉锅炉用煤技术条件》。

续表

分类指标	煤种名称	等级	代号	主分类指标界限值	辅助分类指标界限值
灰分 A_d	常灰分煤	1 级	A1	$A_d \leq 24\%$	
	中灰分煤	2 级	A2	$24\% < A_d \leq 34\%$	
	高灰分煤	3 级	A3	$34\% < A_d \leq 46$	
	超高灰分煤		A4	$A_d > 46$	
水分 M_f	常水分煤	1 级	M1	$M_f \leq 8\%$	$V_{daf} \leq 40\%$
	高水分煤	2 级	M2	$8\% < M_f \leq 12\%$	
水分 M_t	常水分高挥发分煤	1 级	M1	$M_t \leq 22\%$	$V_{daf} > 40\%$
	高水分高挥发分煤	2 级	M2	$22\% < M_t \leq 40\%$	
	超高水分褐煤		M3	$M_t > 40\%$	
硫分 $S_{t,d}$	低硫煤	1 级	S1	$S_{t,d} \leq 1\%$	
	中高硫煤	2 级	S2	$1\% < S_{t,d} \leq 3\%$	
	特高硫煤		S3	$S_{t,d} > 3\%$	
灰熔融性 ST	不易结渣煤	1 级	ST1	$ST > 1350^\circ\text{C}$	$Q_{\text{net,ar}} > 12.5\text{MJ/kg}$
				不限	$Q_{\text{net,ar}} \leq 12.5\text{MJ/kg}$
	易结渣煤		ST2	$ST \leq 1350^\circ\text{C}$	$Q_{\text{net,ar}} > 12.5\text{MJ/kg}$

锅炉安全运行

第一节 锅炉冷态启动控制

锅炉冷、热态启动原则是按照汽轮机高压内缸上内壁调节级处金属温度划分,当汽轮机高压内缸上内壁调节级处金属温度在 150°C 以下时为冷态启动。各种类型锅炉冷态启动的方式有所不同,本节主要以东方锅炉厂生产的 DG1025/177-2 型亚临界压力、中间再热、自然循环、单炉膛、全悬吊、平衡通风、燃煤汽包炉为例进行简单介绍。

一、锅炉冷态启动前的准备工作

(一) 禁止锅炉冷态启动的情况

锅炉存在下列问题之一时,禁止锅炉点火启动。

- (1) 影响锅炉启动的系统和设备检修工作未结束、工作票未注销时。
- (2) 锅炉主系统和主要辅机检修工作虽结束,但传动试验不合格时。
- (3) 锅炉主蒸汽、再热蒸汽的温度表、压力表,炉膛负压表,锅炉水位表,给水流量表等主要仪表不能投入时。
- (4) 锅炉保护、炉膛火焰监视装置不能投入时。
- (5) 两台火焰检测冷却风机均不能启动时。
- (6) 锅炉的排大气门、安全门、事故放水门、燃油速断阀等安全保护性阀门传动试验不正常时。
- (7) 高、低压旁路系统不能正常投入,且无可靠的再热器保护措施时。
- (8) 汽包两侧就地水位计不能正常投入或运行不正常时。

(二) 启动前的检查

当机组长接到机组的启动命令后,应核查影响锅炉启动的检修工作已结束,工作票已注销,并及时安排机组人员对设备进行全面详细的检查,做好启动前的准备工作。锅炉检查应由专人负责,并按启动检查票项目进行,同时做好详细记录,对检查中发现的设备缺陷,应立即通知检修及时消除,在影响设备启动的缺陷未消除前,严禁锅炉机组启动。

锅炉启动前的检查项目如下:

- (1) 各受热面处无人工作,人孔门关闭,各平台、楼梯及地沟盖板坚固且完整无损,现场卫生清洁,通道无杂物,现场照明充足。
- (2) 各系统支吊架完整、牢固,系统管道保温良好,各膨胀指示器刻度清晰,各系统的截门外形完整,传动装置牢固,标示牌名称正确、齐全。
- (3) 燃烧器设备外形完好,摆动机构正常,摆角在水平位置,汽包双色水位计清晰完

好，照明正常，工业水位电视装置齐全、完好，安全门各部件完好。

(4) 回转式空气预热器外形完整，轴承油位正常，冷却水畅通，密封调整装置在上限，蒸汽吹灰器及烟气温度探针各部件完整、齐全，就地开关在远方位置，升缩式吹灰器在退出位置。

(5) 火焰检测冷却风机系统完整，具备启动条件；控制气源系统及杂用气源系统压力正常，压力不低于 0.6MPa。

(6) 锅炉的消防设备应完整、齐全；主要辅机、电气设备、燃油系统及容易起火的地方，具有足够的消防器材。

(7) 锅炉控制及保护系统可靠投入，CRT 显示正常。

(8) 控制盘、台上所有仪表、开关、按钮、指示灯、记录表纸应配备齐全，指示正确，并送电投入运行；各热工信号及声光报警正常。

(三) 锅炉水压试验

1. 水压试验的目的

锅炉机组应定期进行锅炉水压试验，正常情况下只做工作压力试验，每次试验时间间隔结合锅炉大修进行，一般两次大修进行一次超压试验。根据设备具体技术状况，经锅炉压力容器安全监察机构同意，可适当延长或缩短超压试验间隔时间。进行超压试验时，过热系统做汽包工作压力的 1.25 倍水压试验，再热系统做再热器入口压力的 1.5 倍水压试验；必须制定由总工程师批准的严格措施，锅炉除定期进行水压试验外，发生下列情况之一时，也必须进行锅炉水压试验。

(1) 停运一年以上的锅炉恢复运行时。

(2) 锅炉改造、受压元件经重大修理或更换后，如水冷壁更换管数在 50% 以上，过热器、再热器、省煤器等部件成组更换，汽包进行了重大修理时。

(3) 锅炉严重超压达 1.25 倍工作压力及以上时。

(4) 锅炉严重缺水后受热面大面积变形时。

(5) 根据运行情况，对设备安全可靠有怀疑时。

(6) 水压试验前，由压力容器监察工程师制定水压试验措施，运行人员应按措施和机组水压试验检查票进行检查，并做好记录；试验由锅炉专业工程师监督，值长（单元长）指挥，运行人员操作，检修及有关人员参加。

2. 水压试验范围

(1) 锅炉水压试验。高压加热器、省煤器、水冷壁、过热器及其各部分的管道附件，即给水泵出口至汽轮机电动主汽门前。

(2) 再热器水压试验。再热器及其管道附件，即汽轮机高压缸排汽止回阀后至再热器出口。

(3) 汽包就地水位计只参加工作压力水压试验。

3. 水压试验方法

水压试验分再热器水压试验和过热器水压试验两种，过热器及再热器系统均需做水压试验时，应先做再热器系统水压试验，后做过热器系统水压试验。

(1) 再热器水压试验。一般情况下不做水压试验，若确实需要试验，应由压力容器监察工程师制定专业措施，在汽轮机高压缸排汽止回阀后以及再热器出口法兰盘处加装堵板，加