



循环流化床锅炉 机组典型事故分析与处理

XUNHUAN LIUHUACHUANG
GUOLU JIZU DIANXING SHIGU
FENXI YU CHULI

上海大屯能源股份有限公司发电厂 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

循环流化床锅炉

机组典型事故分析与处理

XUNHUAN LIUHUACHUANG
GUOLU JIZU DIANXING SHIGU
FENXI YU CHULI

上海大屯能源股份有限公司发电厂 编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分三大部分：锅炉、汽轮机和电气。而锅炉分为本体、辅机和运行调整部分的常见事故、异常现象、原因和处理；汽轮机分为主机、辅机、单元主控和人为因素引起的常见事故、异常现象、原因和处理；电气分为发电机、变压器、开关、直流系统、UPS、厂用电系统、电动机的常见事故、异常现象、原因和处理。

本书是根据 135MW 等级循环流化床锅炉及配套汽轮机和发电机变压器组在调试和运行中经常出现的问题，组织专业人员进行分析、处理并归纳总结，结合相同类型机组出现的异常问题按锅炉、汽轮机、电气的顺序进行统一编排，以便循环流化床锅炉机组运行人员形成完整的概念，处理问题时能够全面考虑、相互配合，迅速正确地完成事故处理过程。

本书是供发电企业运行管理人员学习的专业教材，并可供输配电企业工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

循环流化床锅炉机组典型事故分析与处理/上海大屯能源股份有限公司发电厂编. —北京：中国水利水电出版社，2007

ISBN 978 - 7 - 5084 - 4343 - 0

I. 循… II. 上… III. 流化床—循环锅炉—锅炉运行—事故分析 IV. TK229.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 163944 号

书 名	循环流化床锅炉机组典型事故分析与处理
作 者	上海大屯能源股份有限公司发电厂 编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 19.5 印张 462 千字
版 次	2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	38.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着我国“十一五”规划的实施以及构建和谐社会的需要，我国对环保的要求越来越高。循环流化床锅炉机组因其特有的新型、高效、低污染、可靠、环保等性能，正被发电企业广泛采用。电站循环流化床锅炉机组已经进入了新的发展时期，它在数量上迅速扩大，单机容量也稳步增大。目前 135MW 级的循环流化床发电机组技术已经成熟。更大容量的循环流化床机组也将陆续投入运行中。

针对目前广大运行人员对循环流化床锅炉机组在机组运行的长周期和事故处理上存在的困惑，作者从实际出发，结合生产现场的典型案例，并重点就循环流化床锅炉发电机组常见故障和事故处理进行了较详细的分析和阐述，对提高机组运行的长周期和运行人员的事故处理能力，都将有很大的促进作用。

本书作为循环流化床发电机组运行人员事故处理的专业教材，也可供发电企业运行管理人员及有关工程技术人员参考、阅读。

本书在编写过程中，参考了相关已发表的文献和有关专家的专著，并得到了上海大屯能源股份有限公司发电厂各级领导和工程技术人员的全力支持和帮助，也得到了山东电力研究院、徐州电力书店等单位的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

鉴于时间和作者的水平有限，书中难免出现疏漏和不妥之处，敬请各位专家、读者批评指正。

编 者

2006 年 12 月

本书编撰委员会

主任 姜 华

副主任 马振欣 刘 潮 苗在宽

委 员 卫荣章 蓝箭增 朱淮柏 张玉党 肖心治
闵建中 吉 南 张新军 葛海平 刘广朝
迟贵森 周双庆 罗贤飞 朱叶卫 鹿盖清
程开献 杨雪彬 殷 政 杨光明

本书编审人员

主 编 姜 华 马振欣

副主编 周双庆 罗贤飞

编 写 周双庆 张定台 郭 伟 何 勇 罗贤飞
张 栋 王 锬 杨增强 马沛华 王 健
段提纲 王春喜 焦云美 张建华 刘东海

主 审 卫荣章 苗在宽 王立志

目 录

前言

锅 炉 部 分

第 1 章 锅炉本体	3
1.1 循环流化床锅炉受热面磨损	3
1.2 循环流化床锅炉水冷风室漏渣	7
1.3 循环流化床锅炉旋风分离器分离效果下降	9
1.4 循环流化床锅炉部件膨胀不均匀	11
1.5 循环流化床锅炉回料器结焦及堵塞	12
1.6 循环流化床锅炉过热器爆管	13
第 2 章 锅炉辅机	16
2.1 循环流化床锅炉给煤系统常见故障	16
2.2 循环流化床锅炉风水冷联合式冷渣器堵塞	18
2.3 循环流化床锅炉石灰石系统故障	22
2.4 循环流化床锅炉气力除灰或除渣系统故障	24
2.5 循环流化床锅炉风机常见故障	28
2.6 循环流化床锅炉电除尘故障	34
2.7 滚筒式冷渣器常见故障	37
第 3 章 运行调整	40
3.1 循环流化床锅炉床面结焦	40
3.2 循环流化床锅炉飞灰含碳量大	44
3.3 循环流化床锅炉蒸汽参数不合格	46
3.4 循环流化床锅炉厂用电率高	48
3.5 循环流化床锅炉排烟温度过高	51
3.6 循环流化床锅炉汽包水位事故	52
3.7 氧量高低对循环流化床锅炉燃烧的影响	59
3.8 循环流化床锅炉起动中常见的问题	61
3.9 循环流化床锅炉脱硫效率下降	68
3.10 循环流化床锅炉机械不完全燃烧	69
3.11 循环流化床锅炉熄火	70

3.12 循环流化床锅炉尾部烟道二次燃烧	71
3.13 循环流化床锅炉厂用电消失	73

汽轮机部分

第 4 章 汽轮机主机事故	79
4.1 汽轮机过水事故	79
4.2 汽轮机大轴弯曲事故	81
4.3 汽轮机高压差胀事故	85
4.4 汽轮机油系统事故	87
4.5 汽轮发电机组轴系断裂事故	93
4.6 动静摩擦事故	96
4.7 轴向位移增大事故	102
4.8 汽轮机强烈振动事故	103
4.9 叶片损坏断落事故	107
4.10 轴承损坏事故	109
4.11 汽轮机超温及温度变化失控事故	112
4.12 凝汽器真空跌落事故	114
4.13 机组超速事故	117
4.14 调节保安系统故障	121
第 5 章 汽轮机辅助设备事故	125
5.1 循环水泵常见故障分析与处理	125
5.2 电动给水泵常见故障分析与处理	128
5.3 凝结水泵常见故障分析与处理	130
5.4 凝结器常见典型故障	132
5.5 除氧器常见故障	143
5.6 高低压加热器常见故障	146
5.7 高低压旁路系统常见故障	154
5.8 射水泵、射水抽汽器、疏水泵、轴加风机常见故障	157
5.9 管道、阀门常见故障	157
第 6 章 单元主控事故	159
6.1 热控电源消失	159
6.2 UPS 电源消失	159
6.3 DEH 故障	160
6.4 DCS 系统死机	160
6.5 误发信号跳机、跳泵	161
6.6 DCS、DEH 逻辑组态不合理	161
6.7 RB 事故	163

6.8	FCB 事故	163
6.9	MFT 事故	164
6.10	OPC 事故	167
6.11	热工联锁保护故障	169
6.12	DCS 典型故障	172
6.13	DCS 系统测量模件故障	178
第 7 章	人为因素引起的事故	180
7.1	因运行人员疏忽大意因素引起的事故	180
7.2	因运行人员反应迟钝、思想麻痹引发的事故	182
7.3	因运行人员工作失责、责任心不强引发的事故	183
7.4	因运行人员违反运行规程引发的事故	184
7.5	因运行人员判断失误技术水平差引发的事故	186

电 气 部 分

第 8 章	发电机事故	191
8.1	发电机 TV1 断线	191
8.2	发电机 TV2 断线	192
8.3	发电机 TV3 断线	193
8.4	发电机各部温度高于规定值	193
8.5	发电机升不起电压的处理	194
8.6	发电机过负荷	195
8.7	发电机三相不平衡电流超过规定值	196
8.8	励磁回路一点接地	197
8.9	励磁变超温	198
8.10	调节器装置电源故障	198
8.11	调节器过励 (发电机强励)	199
8.12	微机励磁调节器低励	200
8.13	整流柜脉冲消失	201
8.14	整流桥超温	203
8.15	发电机变成同步电动机运行	204
8.16	发电机振荡失去同步	204
8.17	发电机失磁	207
8.18	发电机非全相运行	211
8.19	发电机着火	213
8.20	13.8kV 系统接地	213
8.21	发电机故障跳闸	214
8.22	发电机非同期并列	219

8.23	发电机匝间故障	221
8.24	发电机定子单相接地	225
第9章	变压器异常及事故处理方法	227
9.1	变压器温度异常升高	227
9.2	变压器油位不正常的处理	227
9.3	主变压器冷却装置工作电源故障	228
9.4	轻瓦斯信号发出的处理	230
9.5	主变压器重瓦斯保护动作跳闸的处理	231
9.6	主变压器其他保护动作跳闸	235
9.7	变压器着火	239
9.8	变压器铁芯多点接地故障	241
9.9	大型变压器渗漏油	243
第10章	配电装置的异常及事故处理	246
10.1	SF ₆ 开关气体压力异常事故处理	246
10.2	开关操作机构油压异常事故处理	247
10.3	开关拒绝合闸的处理	251
10.4	开关拒绝跳闸的处理	252
10.5	开关指示灯熄灭的处理	253
10.6	母线或刀闸过热的事事故处理	254
10.7	刀闸电动分、合闸失灵的处理	255
10.8	TV 二次电压消失的处理	256
10.9	TA 二次开路的处理	257
10.10	互感器着火的事事故处理	260
10.11	电缆着火的处理	261
第11章	220V 直流系统异常及事故处理	268
11.1	蓄电池组熔断器熔断	268
11.2	220V 直流接地	268
11.3	220V 直流馈线开关脱扣	271
11.4	220V 直流充电装置失压	272
11.5	充电模块故障	272
第12章	交流不间断电源系统 (UPS) 异常处理	273
12.1	整流器不起动的原因	273
12.2	逆变器不起动的原因	273
12.3	故障 LED 亮及蜂鸣器一直响	273
12.4	UPS 控制电路无电源	278
12.5	交流电停电时 UPS 仍然锁机	278
12.6	充电器故障	278
12.7	逆变器故障	279

12.8 静态开关闭锁	279
第 13 章 交流系统的异常及事故处理	280
13.1 6kV 系统接地	280
13.2 6kV TV 一次保险熔断	281
13.3 6kV 母线故障	283
13.4 400V 母线 TV 保险熔断	285
13.5 400V 母线故障	285
13.6 “备用电源无电压”和“备用自投闭锁”处理	286
13.7 220kV 线路故障	287
13.8 220kV 双母线运行, # I (或# II) 母线故障 (母差投入)	287
13.9 220kV 单母线运行时母线故障	289
13.10 220kV 双母线运行, # I 母线或# II 母线故障 (母差保护未投入)	291
13.11 220kV 开关失灵	292
13.12 110kV 线路故障	294
13.13 无 BZT 装置的 400V 母线工作电源开关跳闸	294
第 14 章 电动机的异常及事故处理	295
14.1 电动机跳闸的处理	295
14.2 电动机启动时只发响声不转动或转速不正常的原因及处理	295
14.3 运行中的电动机定子电流发生周期性摆动的原因及处理	296
14.4 电动机冒烟着火、有焦臭味	296
14.5 电动机发生剧烈振动的原因及处理	298
14.6 运行中电动机温度异常的处理	299
14.7 运行中电动机轴承温度升高的处理	300
参考文献	302

锅炉部分

循环流化床锅炉机组典型事故分析与处理

第 1 章 锅 炉 本 体

1.1 循环流化床锅炉受热面磨损

【简述】

循环流化床锅炉受热面磨损是对循环流化床锅炉正常运行的三大威胁（磨损、给煤、排渣）之一，由于磨损（受热面、耐火材料、风帽等）造成的停炉事故接近停炉事故总数的 50%，在很长时间内成为影响循环流化床锅炉推广应用的主要障碍。

循环流化床锅炉受热面磨损可分为以下几种类型。

1.1.1 炉膛内水冷壁管磨损

【故障现象】

炉膛内水冷壁管磨损主要表现在水冷壁管与耐磨材料交接处及以上 1~5m 处、炉膛四角、返料口上部及炉膛出口烟气转弯等处。炉膛内水冷壁管磨损情况如图 1-1 所示。

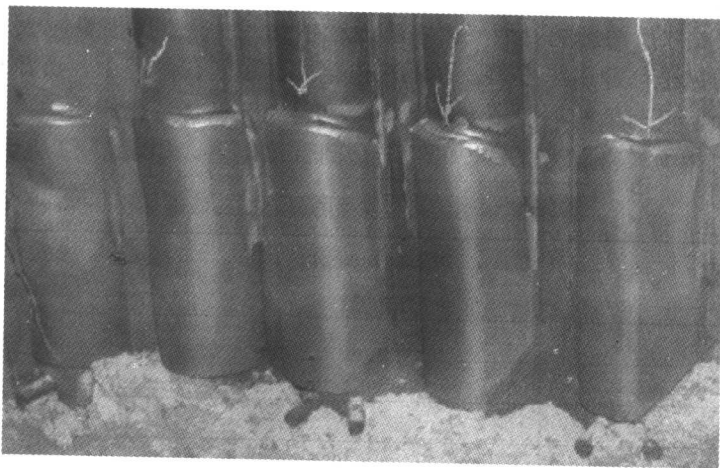


图 1-1 炉膛内水冷壁管防磨管上部的磨损情况

水冷壁管磨损后造成水冷壁管泄漏，高压汽水混合物直接剧烈冲刷造成更多邻近水冷壁管泄漏，有时汽包水位都很难维持，泄漏处床温急剧下降，两侧床温差大，被迫停炉。现在运行的循环流化床锅炉机组中受热面因磨损爆管的次数为煤粉炉的 3~5 倍，受热面爆管后处理起来难度较大，而且还要组织人员清理床料、重新加入床料，往往要付出更大的人力、物力才能处理好，这是各发电企业最为头疼的难题。循环流化床锅炉的防磨措施

正确与否，直接影响循环流化床锅炉机组的可用率，对机组的安全运行也具威胁性。以美国纽克拉电厂为例，循环流化床锅炉运行事故统计如表 1-1 所示。

表 1-1 美国纽克拉电厂 (Nucla) 420t/h 循环流化床锅炉运行事故率统计

事故位置	事故率 (%)	事故位置	事故率 (%)
耐火材料层	15.0	石灰石系统	2.4
灰渣系统	8.2	受热面管道	27.9
给水泵	10.7	风机	10.6
风帽	3.9	控制系统	1.1

【原因分析】

循环流化床锅炉水冷壁管磨损机理与煤粉炉水冷壁管的磨损机理有很大的不同，这是因为：①大量烟气和固体颗粒在上升过程中对水冷壁管进行冲刷；②由于内循环的作用，大量固体颗粒沿炉膛四壁重新回落，对水冷壁管进行剧烈冲刷，特别在水冷壁管和耐火材料层过渡区的凸出部位，由于没有上行气流，沿水冷壁管下来的固体颗粒形成涡流，对局部水冷管壁起到一种刨削作用。

影响水冷壁磨损的主要因素有：

(1) 烟气流速的影响。烟气流速越高磨损越严重，磨损量与烟气流速的三次方成正比。一次风量越大，磨损量越大。另外二次风量越大，对炉内燃烧情况的扰动越剧烈，水冷壁磨损量也越大。

(2) 烟气颗粒浓度的影响。烟气内颗粒浓度越大，水冷壁磨损量越大。因为颗粒数目越大，对管壁的撞击和冲刷越强烈。在循环流化床锅炉运行过程中，负荷越高，床层密度及床层差压越大，说明颗粒浓度越大，磨损量也越大。循环流化床锅炉由于其特定的燃烧方式，炉内的固体物料密度为煤粉炉的几十倍到百倍以上，如表 1-2 所示。

表 1-2 各种锅炉的典型固体物料密度及烟速

锅炉区域	固体物料密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	烟气流速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
循环流化床燃烧室密相区	100~1000	4.5~7
循环流化床燃烧室稀相区	5~50	4.5~7
循环流化床对流烟道	<4	12~16
鼓泡流化床密相区	200~1000	1~3.5
煤粉炉对流烟道	<2	20~25
燃气炉对流烟道	0	30 以上

(3) 燃料性质的影响。燃料颗粒硬度、灰分越大，对水冷壁管壁的切削作用越强烈，磨损量越大。尤其在掺烧煤矸石或其他高硬度燃料时，会大大缩短水冷壁管爆管的运行时间。

(4) 安装及检修质量的影响。锅炉安装及检修质量不好，例如：受热面鳍片没有满

焊，造成大量颗粒外漏，导致水冷壁管侧面的磨损；或管屏表面留下大量焊接后的凸起部位，形成颗粒涡流加剧磨损。

(5) 耐磨材料脱落。在炉膛密相区排渣口、二次风口处的异型管、过热器及再热器穿墙管密封盒处管壁都会因耐磨材料脱落造成磨损。风水联合冷却式流化床冷渣器回风口处由于风速过快，将耐磨材料吹落造成磨损。

(6) 锅炉本身动力场的影响。由于炉膛内烟气流速分布不均匀，四角处的烟气流速比中间大许多，所以磨损情况比其他部位严重。

【处理及改造方法】

(1) 运行调整方面。在保证床料充分流化的前提下，尽量降低一次风量；在维持氧量的前提下适当调整二次风量，合理搭配上下二次风量，保持合适的过剩空气量。适当降低密相区高度，延长燃煤颗粒在炉内的停留时间，减小对水冷壁管的冲刷，同时也会降低飞灰含碳量。根据负荷变化选择合适的床层差压、床层密度及烟气流速。提高旋风分离器分离效率，延长固体颗粒在炉内的停留时间。

(2) 加强来煤管理，控制矸石含量。及时进行煤质化验，控制来煤的筛分粒度，经常根据燃料颗粒度分布情况调整碎煤机锤头间隙，尽量采用二级破碎系统，提高煤颗粒的均匀度，减小大颗粒在来煤总量中的比例。

(3) 检修改造方面。杜绝水冷壁管屏表面的凸起现象，检修结束后将水冷壁管焊口打磨圆滑，水冷壁管鳍片应该满焊，不能留下缝隙或漏洞。在水冷壁管加装防磨护板，应注意防磨护板与水冷壁管间的间隙不能太大以防形成凸台。采用让管技术，如图 1-2 所示。选择质量较好的耐磨浇注料和技术水平高的施工队伍，浇注料软着陆时不能形成斜坡，以免附近水冷壁管的磨损加剧。规范施工工艺，确保耐磨浇注料在机组正常运行时不脱落。

(4) 对密相区埋管以上的裸露水冷壁管进行热喷涂。由于循环流化床锅炉受热面磨损问题比较严重，而一时难以找到有效的手段去彻底解决，目前热喷涂成为一种有效的方法来降低磨损。热喷涂是利用一定热源如高温电弧将

用于喷涂的材料加热至熔化，以高速度喷射沉积到经过预处理的工件表面，形成具有较强耐磨功能并与基体牢固结合的覆盖层的一项表面加工技术。按热源分类，基本上可分为火焰喷涂、电弧喷涂和等离子喷涂。热喷涂技术具有以下特点：

- 1) 涂层的致密性好。
- 2) 涂层硬度高。
- 3) 涂层耐磨性能高。

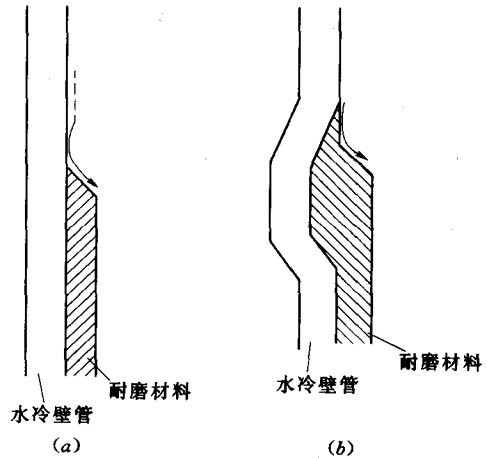


图 1-2 让管技术

(a) 没采用让管技术结构图；(b) 采用让管技术结构图

4) 涂层与管道基体结合强度大。

进行过热喷涂的水冷壁管抗磨损和抗腐蚀寿命可以提高2~4倍。其施工工艺过程为：首先将水冷壁管壁减薄的部位先进行堆焊，然后打磨圆滑，使处理后的水冷壁管壁厚度与正常管壁相同，再对处理过的部位焊缝进行圆滑过渡。最后进行喷沙处理，对管壁进行清理和粗化，喷沙处理后短时间内进行电弧喷涂即可完成整个喷涂过程。

(5) 在不影响锅炉吸热量的前提下对水冷壁管进行埋管处理。水冷壁衬里是用焊在管子表面上的金属销钉将较密的耐磨耐火材料固定在烟气侧的锅炉管件上，其结构见图1-3。

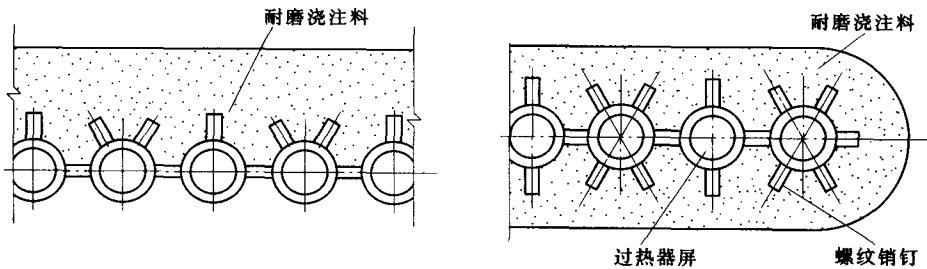


图 1-3 水冷壁管表面耐磨耐火材料

1.1.2 屏式过热器、再热器及旋风分离器过热器的磨损

【故障现象】

屏式过热器、再热器布置在炉膛稀相区内，旋风分离器布置在炉膛出口后，虽然所在空间颗粒浓度比密相区要低，但仍然会造成磨损，尤其是迎风面部位；并且旋风分离器受热面所处位置烟气流动方向发生转变，速度增加，加快了耐磨浇注料的磨损速度，当外面的耐磨浇注料因各种原因脱落后会迅速提高磨损速度。炉膛内屏式过热器、屏式再热器管屏的磨损机理与炉内水冷壁管的磨损机理相似，主要取决于受热面的具体结构和固体物料的流动特性。屏式过热器、再热器及旋风分离器过热器因磨损爆管后对床温、烟温影响很大，检修困难，是循环流化床锅炉运行急需解决的难题。

【原因分析】

(1) 屏式受热面穿墙管膨胀受阻，产生热应力造成受热面管屏变形，耐磨浇注料大量脱落。这是屏式受热面最经常碰到的问题。

(2) 炉膛内床温变化大对耐磨材料的影响主要有：①由于温度循环波动和热冲击以及机械应力造成耐磨材料产生裂缝和剥落；②由于固体物料对耐磨材料的冲刷而造成耐磨材料的破坏。

(3) 烟气流速控制不合理，一、二次风量太大，对耐磨材料起到强烈冲刷及切削作用。

1.1.3 对流烟道内受热面的磨损

对流烟道受热面的磨损主要发生在省煤器和低温再热器两端，磨损部位主要集中在迎风面。这是所有锅炉包括煤粉锅炉避免不了的问题。

【处理及改造方法】

(1) 采用在受热面迎风面加装金属防磨盖板的方法, 如图 1-4 所示。

(2) 在易磨损的部位采用耐磨性能高的钢材。

(3) 将设计省煤器时, 将其设计成为鳍片式, 一方面可减小磨损程度; 另一方面可增加省煤器的吸热量, 以弥补循环流化床锅炉床温较低、总吸热量不足的缺点。

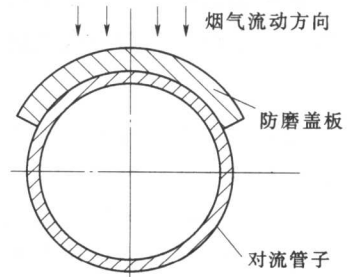


图 1-4 受热面迎风面加装防磨盖板

【事故案例 1】

2006 年 5 月 28 日中班 23:45 左右, 某厂 #6 炉负荷 135MW, 运行正常, 突然炉膛正压力增大, 汽包水位下降, 给水流量不正常地大于蒸汽流量, 西侧床温下降速度为 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 而东侧床温基本不变, 锅炉蒸发量下降, 负荷快速下降至 90MW 左右, 并且有继续下降趋势。

24:00 西侧床温已经下降到 500°C 时, 锅炉运行人员判断为水冷壁管爆破, 汇报值长, 值长令 #6 炉停运。

事后检查发现: #6 炉西侧 17.5m 层处有两根水冷壁管爆破, 其余四根水冷壁管被吹破。经分析原因为: 由于这两根水冷壁管鳍片没有满焊, 造成大量固体颗粒从漏缝处泄漏, 对水冷壁管侧面进行冲刷, 管壁减薄, 引起管子泄漏。

处理: 更换损坏水冷壁管, 全面检查其他鳍片, 满焊所有鳍片。

【事故案例 2】

2005 年 7 月 4 日某厂 100MW 循环流化床锅炉水冷壁管泄漏。

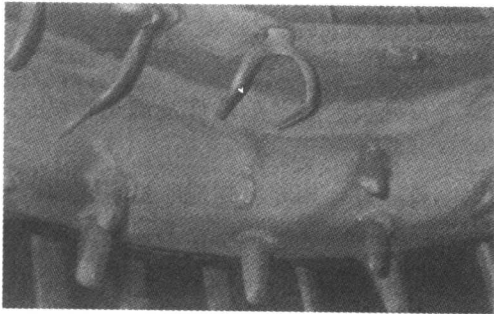


图 1-5 异型管磨损情况

经检查发现: 泄漏点为 #3 冷渣器 (风水联合冷却流化床式) 回风口炉膛出口处上部。经分析原因为: 长时间运行 #3 冷渣器, 造成冷渣器需要大量流化风, 严重超过设计值, 回风口风速增高冲刷异型管壁的耐磨浇注料, 浇注料脱落后直接冲刷水冷壁管造成泄漏, 如图 1-5 所示。

处理: 打磨堆焊, 制作回风防磨套, 重新制作浇注料。

预防措施: 排渣时要均匀排渣, 不可大流量排渣, 一方面防止冷渣器堵塞; 另一方面防

止异型水冷壁管泄漏。所有冷渣器应保持完好并轮换排渣, 这样可以使床料颗粒不致过大, 否则会影响流化状态, 降低锅炉机械不完全燃烧损失。

1.2 循环流化床锅炉水冷风室漏渣

【简述】

东锅 440t/h 级循环流化床锅炉采用 Γ 形定向风帽, 锅炉布风板风帽磨损和漏渣较严