

1000 MW 二次再热塔式炉塌灰机理及预防

王 祥, 尹凌霄

(江苏省宏源电力建设监理有限公司, 江苏 南京 210096)

摘要:针对某1000 MW二次再热塔式炉塌灰事故,文中主要从其受热面的结构参数、烟气流速、燃用煤质等方面进行了塔式锅炉积灰特性的研究。还分析了此次受热面塌灰的诱因和危害,并解释了塌灰过程中炉膛压力变化的原因。进一步提出了避免锅炉受热面在低负荷运行时积灰严重的措施,可以避免塌灰事故频繁发生,对同类型锅炉运行具有借鉴意义。

关键词:二次再热;塔式锅炉;积灰;塌灰

中图分类号:TK227.3

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2017)04-0155-06

0 引言

对于干排渣燃煤锅炉,煤粉在炉膛内部燃烧后,煤中的灰分约85%以上经过尾部受热面到达除尘器,煤灰会沉积在锅炉各受热面上,严重时造成受热面堵塞^[1]。塔式炉煤种适应性强、烟温偏差小,但其上部受热面易积灰,烟气流速的扰动,可导致受热面塌灰,甚至造成锅炉灭火^[2]。

目前对锅炉频繁塌灰引发灭火的原因分析,主要存在3种观点。一种观点认为,高温灰渣落入炉底冷灰斗内的渣池中,造成水急剧汽化上升而吹灭燃烧器的火焰,但是水汽瞬间强度无法吹灭火焰而使锅炉灭火的程度,且无法解释采用干式捞渣机锅炉塌灰现象^[3]。另一种观点认为,塌灰过程中,灰粒与其携带的气流尾迹一起落至炉膛下部可燃气体浓度较高的区域,引发爆燃造成体积的急剧膨胀,压力波瞬间扩散,吹灭燃烧器火焰,导致灭火保护动作^[4]。主流观点认为,塌灰过程中灰粒沿着炉墙洒落,遮挡住火检探头,使得多个煤粉燃烧器的火检信号丧失,严重时导致跳磨,甚至引发锅炉主燃料跳闸(MFT)^[5,6]。

1 二次再热炉型介绍

某1000 MW二次再热机组锅炉选型为塔式炉,受热面布置方式如图1所示。

沿烟气流向依次分别布置有低过屏管,一、二次高再冷段,高过、一、二次高再热段。此后烟气通道分为前后分隔烟道,前烟道布置有一次低再和部分省煤器,后烟道布置有二次低再和另一部分省煤器。省煤器出口烟道设置烟气挡板,用于调节前后烟道烟气流量,调节再热汽温。

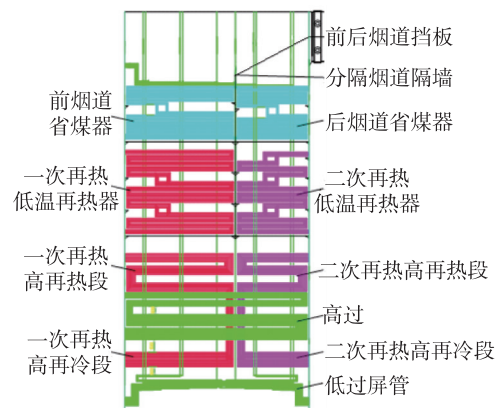


图1 1000 MW 二次再热塔式炉受热面布置图

Fig.1 Heating surface distribution of 1000 MW double-reheat tower type boiler

2 受热面积灰形成机理

煤粉燃烧后,灰分积聚一般以3种形式存在,结渣、干松灰、粘结灰(高温、低温)。塌灰一般是由积聚的干松灰突然破碎洒落而引发。

2.1 受热面积灰

干松灰积聚为物理过程,灰分中无粘性成分,灰粒间呈松散状态,易被吹除。促使飞灰积聚在管壁上的因素主要为:机械网罗,分子间引力,热泳力,静电力^[1]。

干松灰积聚主要发生在受热面管子的背风面,迎风面几乎没有,特别当烟气流速较大时。随着烟气流速的降低,积灰量增加,如图2所示。因此,对于一定的烟气流速,积灰量几乎是一定的,不会无限增大。

气固两相流绕流过管子,由于边界层的分离,在管子背风面产生漩涡区,细微颗粒与烟气具有几乎相等的流速,易随气体改变方向,因此易于被漩涡旋进背风区,形成“灰根”。

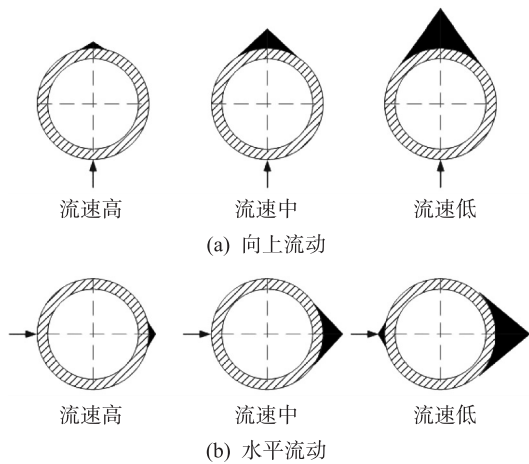


图2 错列布置管束上干松灰积聚形态

Fig.2 Ashformation on the surface of staggered pipes

2.2 导流板积灰

某 1000 MW 二次再热塔式炉采用摆动燃烧器和调整烟气挡板开度进行再热气温调温。燃烧过程中,烟气携带飞灰沿炉膛上行。由于导流板的设置,在导流板处烟气流向改变,烟道上、下部分流速不均匀,靠近导流板处流速明显减小,烟气携带灰的能力变差,导致积灰,而且导流板与水平面夹角仅为 20°,如图 3 所示,小于灰颗粒的堆积角灰颗粒不会自行滑落^[7]。

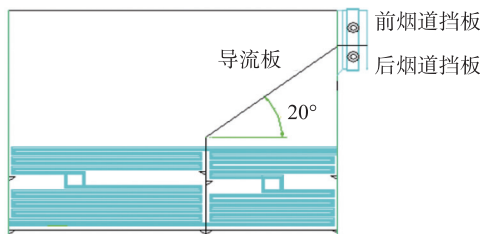


图3 导流板示意图

Fig.3 Diagram of guide plate

运行过程中导流板会大量积灰,如图 4 所示。



图4 导流板积灰

Fig.4 Ashformation on the guide plate

导流板的积灰机理,与常规 π 型炉折焰角及水平烟道积灰机理相似,如图 5 所示,灰颗粒在烟气流向改变处沉积^[8,9]。

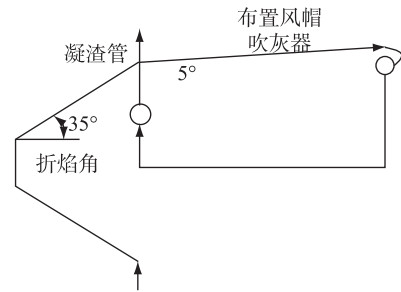


图5 π型炉折焰角示意图

Fig.5 Diagram of furnace arch in π-shaped boiler

2.3 影响干松灰积聚的主要因素

2.3.1 烟气流速

燃用高灰分煤种时,受热面的烟气流速不宜大于 10 m/s,否则将产生严重的管壁磨损。塔式炉烟气中的灰粒平均速度比烟气速度低约 0.8 ~ 1.2 m/s^[10]。当烟气流速 $V < 4$ m/s 时,积灰量增大;当流速 $V > 7$ m/s 时,积灰减轻^[5]。

表 1 为 1000 MW 二次再热机组塔式炉各级受热面不同工况下的烟气流速性能参数。从表 1 可以看出,省煤器区域的烟气流速相对较低,易导致大量积灰;在高负荷工况下,如锅炉最大连续蒸发量 (BMCR) 工况、热耗率验收 (THA) 工况下,烟气流速较大,存在“自吹灰”功能,积灰会自行脱落,积灰量降低,但在 50%THA 及更低的负荷工况下,烟气流速降低到 4 m/s 以下,积灰量增大。

表 1 各级受热面不同工况下烟气流速

Table 1 Flue gas velocity in heating surface under different working conditions $m \cdot s^{-1}$

受热面	BMCR	THA	75%THA	50%THA	30%THA
低过	9.4	8.6	6.4	4.4	2.7
高过	9.4	8.6	6.4	4.4	2.7
一次高再	10.0	9.2	6.9	4.8	3.0
二次高再	9.5	8.7	6.7	4.6	2.9
一次低再	11.3	10.1	7.4	4.6	3.0
二次低再	11.5	11.1	9.4	7.6	4.6
前省煤器	6.6	6.4	5.5	4.5	2.7
后省煤器	6.5	5.9	4.3	2.7	1.8

2.3.2 管径和管束间距及布置方式

受热面积灰程度亦受管径大小、管束间距及布置方式的影响。管径越小,曲率越大,使得灰颗粒与烟气分离的能力越大,灰粒不易进入尾流区,积灰减轻。管排错列布置时,其背风面易受到冲刷,积灰减轻。顺列布置时,其背风面不易受到烟气冲刷,同时第一排之后管排的迎风面受到冲刷较少,积灰严重。错列时,减少纵向节距,背风面受到冲刷更为强烈,积灰减轻;顺列时,减少纵向节距,使

相邻管子间灰粒易于搭桥,积灰更为严重。横向节距在锅炉常用的节距范围内对积灰影响不大^[1]。某 1000 MW 二次再热塔式炉受热面采用顺列布置的方式,管子节距和管束布置方式如表 2 所示。省煤器管屏顺列布置且纵向节距较小,同时烟气流速低,导致省煤器积灰严重。

表 2 管子节距及管束的布置方式

受热面	外径	横向节距	纵向节距	布置方式
低温过热器	48	960	65	顺列
高温过热器	48	480	70	顺列
一次低再	63.5	120	95	顺列
一次高再	63.5	480	90	顺列
二次低再	63.5	120	95	顺列
二次高再	63.5	480	90	顺列
前烟井省煤器	42	120	80	顺列
后烟井省煤器	42	120	80	顺列

2.3.3 灰粒浓度

对应于一定的受热面结构及烟气流速,受热面积灰量存在一个最大量,不能无限增加,只是达到这个量的时间不同。燃用煤种灰分含量的高低将直接影响灰粒的积聚速度。因此,运行过程中需根据燃用煤种的特点调整吹灰方式。

3 塌灰诱因分析及危害

3.1 塌灰诱因

某 1000 MW 二次再热机组甩负荷试验后,停炉放水处理阀门渗漏缺陷,再次上水时发生塌灰事故。直接原因是,锅炉上水时给水温度和金属壁温相差较大,引起省煤器水击,导致省煤器管排振动,如表 3 所示。导流板和省煤器区域积灰破碎向四周洒落,加剧气流扰动,并撞击附件管排的积灰,形成了崩灰的链式反应。灰粒受旋转气流作用,受离心力及重力,向炉底渣井大量洒落^[5]。机组整套启动阶段锅炉长时间低负荷运行,燃烧煤种灰分含量较高含量,如表 4 所示,积灰速率较快;此外,吹灰器系统未能及时投入,导致受热面及导流板积灰严重,是此次塌灰事故的间接原因。

表 3 锅炉上水时省煤器进口给水压力温度变化

Table 3 The temperature and pressure vibration of boiler feedwater in the economizer inlet

时间	温度/℃	压力/MPa
21:33	113	0.29
21:35	138	0.5
21:39	120	0.41

表 4 燃烧煤种灰分含量

Table 4 Ash content of the designed and used coal

煤种	灰分含量-收到基/%
燃用煤种	18.59
设计煤种	8.8
校核煤种	14.1

3.2 炉膛压力波动

此次塌灰过程中,炉膛内部压力和温度剧烈波动,压力和温度变化过程由相关测点测得,部分压力测点和温度测点布置如图 6 所示。

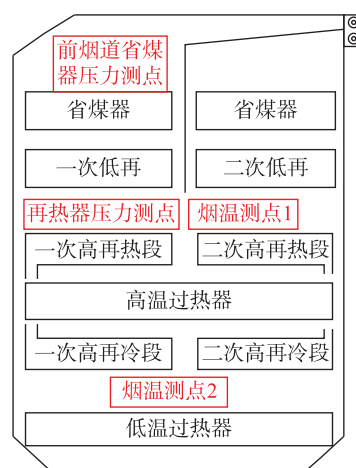


图 6 烟气温度和压力测点布置图

Fig.6 Arrangement diagram of the temperature and pressure measuring points

再热器区域压力总体呈剧烈上升趋势,但省煤器区域压力变化略有差异,呈先降低后急剧上升态势,如图 7、图 8 所示。

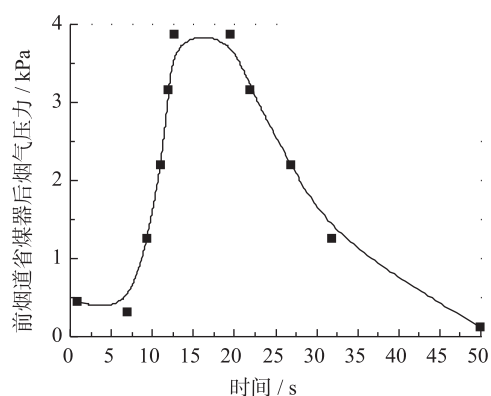


图 7 省煤器区域压力变化

Fig.7 Pressure variation in the economizer region

省煤器发生塌灰,灰分受重力作用下落,导致压力瞬时降低。但存在卷吸现象,将省煤器出口尾部烟道的冷空气卷吸进入省煤器区域,冷空气与热空气混合,温度呈先降低后上升趋势,如图 9 所示。同时还被高温管排和灰颗粒加热,气体体积膨胀,

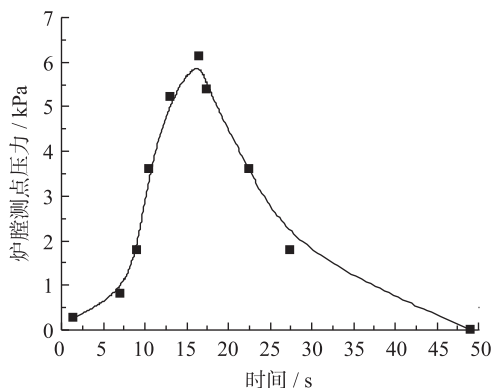


图8 再热器区域压力变化

Fig.8 Pressure variation in the reheater region

最终导致膨胀节破损,可解释省煤器区域压力先降低后急剧上升再逐渐降低的现象。

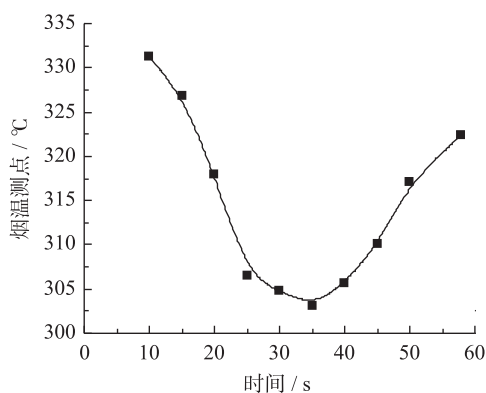


图9 再热器区域空气温度变化

Fig.9 Temperature variation of the air in the reheater region

3.3 塌灰危害

此次塌灰过程中,炉膛内部压力急剧上升,导致省煤器出口尾部烟道膨胀节破损;同时炉膛内部积聚的灰分受重力作用,落入炉底捞渣机,捞渣机跳闸,并造成部分捞渣机钢带转轴弯曲。如图10所示。

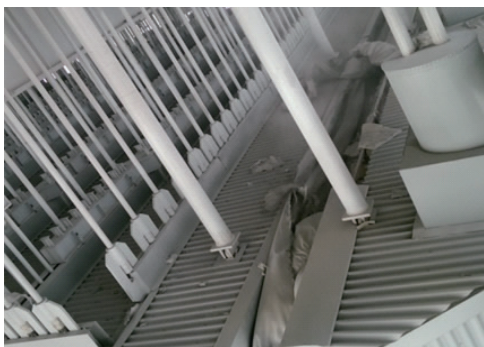


图10 尾部烟道出口膨胀节破损泄漏

Fig.10 Breakage and leakage of the expansion joint rear smoke channel

4 受热面塌灰对策

锅炉运行过程中,各级受热面积灰无法避免。根据干松灰积聚的机理,破坏重点区域灰分累积是避免塌灰的主要途径。

4.1 改善煤质结构

受热面积灰特性主要由煤质结构的性质决定。干松灰积聚的倾向性指标主要是灰分含量,灰分含量越高,灰分积聚速率则越快,此时应适当减少吹灰的时间间隔,或者掺烧灰分含量低的煤种改善煤质结构^[11]。

4.2 改变吹灰方式

新机组在调试阶段长期低负荷运行,受热面积灰严重,但低负荷吹灰会因塌灰引起火焰闪烁,大面积塌灰甚至导致火检丧失,磨组跳闸。改变吹灰方式是防止塔式炉塌灰的最有效的方式^[5]。实际调试过程中将吹灰蒸汽压力降低,并退出程控,一支一支手动吹灰,减少吹灰对气流的扰动,特别是省煤器区域和导流板区域,吹灰效果良好,并未再次出现塌灰事故。

4.3 受热面积灰监测

受热面污染系数可用来评估受热面积灰程度,更加准确地监控受热面积灰情况^[12-17]。基于锅炉热量平衡和质量平衡等,从省煤器出口开始,逆烟气流程逐段进行各级受热面的热平衡和传热计算,得出各级受热面的实际传热系数理想传热系数。两者差异越大,表示受热面积灰污染越严重。运行过程中,根据所测受热面污染情况,及时对积灰严重的受热面进行吹扫,有效避免锅炉塌灰。

5 结语

本文从某塔式炉受热面布置的结构参数、烟气流速、煤质等方面研究了其积灰特性,并分析了其塌灰过程中炉膛压力变化的原因,提出了避免塌灰频繁发生的对策,即优化吹灰方式并对受热面污染程度进行监测,特别是省煤器区域,避免大面积塌灰,确保锅炉的安全稳定运行。本文对国内同类型锅炉具有极大的借鉴价值。

参考文献:

- [1] 车德福,庄正宁,李 军,等. 锅炉[M]. 西安:西安交通大学出版社,2008.
CHE Defu, ZHUANG Zhengning, LI Jun, et al. Boiler[M]. Xian: Xian Jiaotong University Press, 2008.
- [2] 丁尔谋. 发电厂低循环倍率塔式锅炉[M]. 北京:中国电力出版社,1996.

- DING Ermou. Low circulation ratio of tower type boiler in the power plants[M]. Beijing:China Electric Power Press,1996.
- [3] 毛志坚,唐有文. 锅炉掉渣造成炉膛负压和汽包水位波动的分析和改善措施[J]. 华东电力,2008,36(10):114-116.
MAO Zhijian,TANG Youwen. Analysis of furnace negative pressure and drum level fluctuation caused by boiler scaling off and improvement measures[J]. East China Electric Power,2008,36(10):114-116.
- [4] 阎维平,高宝桐. 燃煤电站锅炉塌灰落渣引发灭火的爆燃机理分析[J]. 热能动力工程,1999,14(82):302-303.
YAN Weiping,GAO Baotong. An analysis of the mechanism of flame failure triggered by a sudden collapsing of sizable slag blocks in coal-fired utility boilers[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy & Power,1999,14(82):302-303.
- [5] 王国红,董务明,陈 慧,等. 1000 MW 机组塔式炉塌灰形成机理及对策[J]. 中国特种设备安全,2015,31(11):64-67.
WANG Guohong,DONG Wuming,CHEN Hui,et al. The formation mechanism and the countermeasures of ash collapsing in tower type boiler of 1000 MW unit [J]. China Special Equipment Society,2015,31(11):64-67.
- [6] 董务明,王国红,陈 慧,等. 1000 MW 机组塔式炉塌灰引起MFT的分析及对策[J]. 电力与能源,2015,36(3):381-385.
DONG Wuming,WANG Guohong,CHEN Hui,et al. Analysis and countermeasures of MFT caused by 1000MW tower furnace ash falling[J]. Power and Energy,2015,36(3):381-385.
- [7] 郭慕孙,李洪钟. 流态化手册[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
GUO Musun,LI Hongzhong. Handbook of fluidization [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2007.
- [8] 陆雪强. 锅炉折焰角塌灰原因分析及处理[J]. 发电设备,2011,25(6):444-446.
LU Xueqiang. Cause analysis on ash collapsing at furnace arch in a boiler and the countermeasures [J]. Power Equipment,2011,25(6):444-446.
- [9] 刘志强,董建平,彭望明,等. 燃煤电站锅炉折焰角积灰的原因分析及对策研究[J]. 锅炉技术,2009,40(5):35-37,78.
LIU Zhiqiang,DONG Jianping,PENG Wangming,et al. Study on ash fouling on boiler furnace arch of a coal fired utility [J]. Boiler Technology,2009,40(5):35-37,78.
- [10] 广东电网公司电力科学研究院. 1000 MW 超超临界燃煤发电机组技术丛书(锅炉设备及系统)[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
Guangdong Power Grid Company Electric Power Research Institute. Technology of 1000 MW ultra-supercritical coal-fired power plant units (boiler equipment and systems) [M]. Beijing:China Electric Power Press,2010.
- [11] 许 尧,盛昌栋. 低 NO_x 燃烧锅炉水冷壁腐蚀及其防治[J]. 江苏电机工程,2015,34(1):69-72.
XU Yao,SHENG Changdong. Water-wall corrosion in utility boilers with low NO_x combustion and its mitigation[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2015,34(1):69-72.
- [12] 阎维平,董建聪,高正阳,等. 500 MW 机组塔式锅炉受热面污染特性分析与吹灰系统优化改造[J]. 热力发电,2011,40(8):51-56.
YAN Weiping,DONG Jiancong,GAO Zhengyang,et al. Analysis of heating surface fouling behavior and optimized retrofit of soot-blowing system for tower type boiler of 500 MW unit[J]. Thermal Power Generation,2011,40(8):51-56.
- [13] 阎维平,梁秀俊,周 健,等. 300 MW 燃煤电厂锅炉积灰结渣计算机在线监测与优化吹灰[J]. 中国电机工程学报,2000,20(9):84-88.
YAN Weiping,LIANG Xiujun,ZHOU Jian,et al. Ash monitoring and sootblowing optimization of a 300 MW coal-fired utility boiler[J]. Proceedings of CSEE,2000,20(9):84-88.
- [14] 阎维平,朱予东,谭 蓬,等. 变负荷工况下锅炉对流受热面污染的监测[J]. 动力工程,2007,27(1):58-61.
YAN Weiping,ZHU Yudong,TAN Peng,et al. Ash fouling monitoring of boiler's convective heat-delivery surfaces during variable load operation [J]. Journal of Power Engineering,2007,27(1):58-61.
- [15] 陈宝康,阎维平,朱予东,等. 燃煤电站锅炉对流受热面灰污层增长预测模型的研究[J]. 华北电力大学学报,2005,31(2):32-35.
CHEN Baokang,YAN Weiping,ZHU Yudong,et al. Prediction of ash fouling on heat transfer surface of coal fired utility boiler[J]. Journal of North China Electric Power University,2005,31(2):32-35.
- [16] 方 超. 火电厂经营煤耗率指标分析与应用[J]. 江苏电机工程,2016,35(6):95-97.
FANG Chao. Analysis and application of management-referenced coal consumption rate in thermal power plants[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2016,35(6):95-97.
- [17] 任 为,牛金山,张希光,等. 320 MW 机组锅炉再热器受热面改造实例分析[J]. 江苏电机工程,2016,35(2):98-100.
REN Wei,NIU Jinshan,ZHANG Xiguang,et al. Analysis on retrofit of boiler reheater heating surface in one 320 MW power unit [J]. Jiangsu Electrical Engineering,2016,35(2):98-100.

作者简介:



王 祥

王 祥(1988—),男,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为火电厂建设(E-mail:510162781@qq.com);

尹凌霄(1989—),男,江苏南京人,硕士研究生,研究方向为火电厂建设(E-mail:157987315@qq.com)。

Formation Mechanism and Preventive Countermeasures of Ash Collapsing in 1000 MW Double-reheat Tower Type Boiler

WANG Xiang, YIN Lingxiao

(Jiangsu Hongyuan Electric Power Construction Supervision Co., Ltd, Nanjing 210096, China)

Abstract: Research on the ash deposition characteristics of tower boilers is carried out from the aspects of structural parameters, flue gas flow rate, and burning coal quality of the heating surface, for an ash collapsing accident in 1000 MW double-reheat tower type boiler. The causes and hazards of the heating surface ash deposition is also analyzes, and the reasons for the change of furnace pressure during the process of ash collapsing is explained. Measures to avoid serious ash deposition were put forward when the boiler heating surface operates in the low load, which can avoid frequent occurrence of ash collapsing accidents. It is of reference to the operation of the same type of boiler.

Key words: double-reheat; tower type boiler; ash deposition; ash collapsing

(编辑 徐林菊)