

煤粉锅炉局部爆燃原因分析及解决措施

田 平 祁博武 罗昌福 杨博闻 李鹏辉 沈 诚
(华电电力科学研究院有限公司 浙江 杭州 310030)

摘 要:以某电厂锅炉局部爆燃事故为例进行原因分析,提出解决措施。此事故原因具有典型局部爆燃的特点,对同类机组有非常重要的指导意义。

关键词:锅炉;局部爆燃;解决措施

中图分类号:TK227.7 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2019)06-0088-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.06.018

Cause Analysis and Solutions for Partial Deflagration of Pulverized Coal Boiler

Tian Ping, Qi Bowu, Luo Changfu, Yang Bowen, Li Penghui, Shen Cheng
(Huadian Electric Power Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310030, Zhejiang, China)

Abstract:In recent years, partial deflagration accidents of boiler occur frequently. Taking a partial deflagration accident of boiler in a power plant for example, the causes are analyzed and the solutions are put forward. The cause of the proposed accident has the characteristics of typical partial deflagration, and has very important guiding significance for similar units.

Key words:boiler; partial deflagration; solutions

0 引 言

近年来,锅炉灭火事故明显增加,燃煤质量下降、运行人员事故判断分析和应急处理能力不强、设备缺陷、锅炉掉渣、塌灰等因素都能引起锅炉灭火事故,特别是煤质因素和上述因素混杂在一起时相互交织,有时很难准确分析各因素的主次及影响程度。

当锅炉由于某种原因已经濒临灭火时会出现炉膛压力急剧下降,绝大多数火检大幅度摆动甚至灭火的现象,在直吹式制粉系统还会出现部分磨煤机由于火检保护而跳闸的现象。在这种情况下,部分运行人员会急于挽救而大量投油助燃,此时炉膛内已经集聚了相当数量的煤粉,这些煤粉在油枪的支持下可能会突然被点燃发生局部爆燃。锅炉灭火前炉膛负压曲线必然出现先负后正的不规则变化,且幅度在瞬间由小变大,尤其在低负荷时特别明显。^[1-5]

以某电厂锅炉发生局部爆燃事故为例,分析原因,制定防范措施。

1 问题描述

1.1 锅炉概况

某电厂锅炉是 B&WB-1025/18.44 M 型亚临界、中间再热、自然循环、单炉膛、平衡通风,前后墙对冲燃烧方式锅炉,并配置有 B&W 标准的双调风 PAX 型旋流煤粉燃烧器,制粉系统为直吹式冷一次风机正压送粉。A 层配置 4 支微油枪,单只出力 200 kg/h。B、D、E 层每层配置 4 只大油枪,每只出力 1000 kg/h。

锅炉配有 20 台 PAX 型燃烧器,燃烧器布置方式前墙从下向上分别为 B 层、D 层和 C 层 C1、C2;后墙从下向上分别为 A 层、E 层和 C 层 C3、C4。除 A 层燃烧器外,B、C、D、E 层设计燃烧器分离出来的约 50% 空气及约 15% 的煤粉,经 $\Phi 377 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 乏气管由相邻两燃烧器之间的喷口送到炉膛燃烧,乏气喷口的尺寸为 $200 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 。燃烧器设计参数见表 1。

炉膛压力 MFT 保护动作值取开关量,低低保护

表1 100% 锅炉负荷下燃烧器设计参数

项 目	数值
一次风温/°C	179
二次风温/°C	368
磨煤机入口风温/°C	272
磨煤机出口风温/°C	85
一次风速/(m·s ⁻¹)	15.7
内二次风速/(m·s ⁻¹)	18.7
外二次风速/(m·s ⁻¹)	36.7
乏气风速/(m·s ⁻¹)	22.4
一次风率/%	18.9
乏气风率/%	9.4
煤粉细度 R ₉₀ /%	16

定值 -2.5 kPa, 三取二, 延时 3 s; 高高保护定值 1.96 kPa, 三取二, 延时 3 s; 模拟量测点量程 ±3.0 kPa。

磨煤机火焰丧失保护逻辑条件为磨煤机运行 60 s 后, 煤火检四取四无火且该层油火检小于 2 个, 或煤火检四取三无火且该层未投油。

1.2 事件过程

事件前机组负荷 168 MW, A、B、D、E 制粉系统运行, 总煤量 91.5 t/h, 主蒸汽压力 13 MPa, 再热蒸汽温度 530 °C, 再热蒸汽压力 2.0 MPa, 炉膛负压 -83 kPa, 协调投入。

4:57:56 时, A 给煤机故障跳闸报警, 给煤量降至 0, 就地检查 A 给煤机显示屏故障报警, 给煤机停运。

4:59:45 时, A1、A2、A3、A4 煤火检失去, A 磨煤机灭火保护条件满足, 但因 A 磨煤机的失去火焰保护未投, A 磨煤机仍然保持运行。

4:59:54 时, 炉膛负压快速降至 -2.048 kPa, 持续时间未超过 3 s, 又快速回升。

5:00:37 至 5:01:12 时, 运行人员为稳定燃烧依次投入 A 层微油枪, 油枪燃烧正常。

5:01:46 时, 炉膛负压快速升至 2.814 kPa, 持续时间未超过 3 s, 又快速下降。

5:01:50 时, E1、E2、E3、E4 煤火检失去, E 磨煤机灭火保护条件满足, 但因 E 磨煤机失去火焰保护未投, E 磨煤机仍然继续运行。

5:06:24 时, 运行人员投入 E1、E3 油枪, E1 油枪故障退出, E3 投入正常。

5:07:09 时, 炉膛压力快速升至 3.031 kPa, 持续时间未超过 3 s, 此后炉膛压力保持在 +0.3 kPa 左右, 通过调整风机出力, 炉膛负压变化不大, 此后 NO_x 排放超标。

5:13:17 时, 停 A 磨煤机。

7:00:00 时, 巡检人员发现脱硝系统甲、乙侧喷氨处至反应器入口烟道共计 4 台膨胀节开裂, 尤其乙侧膨胀节开裂严重。

7:45:00 时, 更换 A 给煤机控制面板, 启动 A 制粉系统, 运行正常, 停 D 制粉系统, 降负荷至 100 MW。

9:22:00 时, 机组负荷 77 MW, 开裂的膨胀节漏风严重, 脱硝系统 NO_x 排放严重超标, 机组无法维持运行, 申请停机处理。

入炉煤配煤方式: 采取炉前配煤, A 煤仓和 C 煤仓为陕北煤和汽车煤, 比例 5:5; B 煤仓为小纪汗煤和汽车煤, 比例 5:5; D 煤仓和 E 煤仓为贫瘦煤。陕北煤热值 23.78 MJ/kg, 小纪汗煤热值 21.00 MJ/kg, 贫瘦煤热值 15.53 MJ/kg, 入炉煤加权热值 17.32 MJ/kg。

2 事故分析

2.1 锅炉局部爆燃原因

事发开始时, A 给煤机故障跳闸后, 炉内燃烧逐步恶化, 约 2 min 后 A 磨煤机煤火检全部失去, 灭火保护条件满足; 但因该磨煤机火焰丧失保护未投入, 锅炉燃烧恶化的情况下, A 磨仍然保持运行, 运行人员为稳定燃烧, 错误投入 A 层油枪, 引起炉膛区域第一次局部爆燃。此后 A 磨煤机一直通风运行, 该磨煤机一、二次风对燃烧造成扰动, 使燃烧进一步恶化。当 A 磨煤机断煤后入炉煤煤质变差, 加剧了炉内燃烧逐步恶化。

第一次发生局部爆燃后, E 磨煤机煤火检相继失去, 灭火保护条件满足; 但因该保护未投入, 导致 E 磨煤机在燃烧恶化的情况下保护无法动作, 锅炉燃烧持续恶化的情况下 E 磨继续进煤粉, 运行人员再次投入 E1、E3 油枪, 引起锅炉第二次爆燃。第二次爆燃之后炉膛压力在 +0.3 kPa 左右, 通过调整风机出力, 炉膛负压变化不大。由此可以推断脱硝反应器入口烟道膨胀节开裂为第二次爆燃引起。膨胀节开裂泄漏后, 大量空气吸入, 引起脱硝系统反应器

入口烟温下降,反应效率降低,造成NO_x排放超标。

2.2 热工保护逻辑排查情况

通过调查,本次机组从启动到灭火停机时间段,锅炉炉膛负压、全炉膛灭火保护、汽包水位MFT保护和磨煤机火焰丧失保护均未投入,并且运行操作平台具备保护投退操作权限,无保护投退相关记录,也未制定相应的防范措施^[3]。检查炉膛压力开关信号,其中一点炉膛压力信号取样管堵塞。查阅磨煤机灭火保护逻辑“煤火检信号四取四全部消失”不合理,煤火检四取四无火时,燃烧恶化时磨煤机保护难以动作,增加了局部爆燃的风险。

2.3 A磨煤机断煤后燃烧恶化的原因

煤粉的着火,实质是风粉气固两相的着火,当一次风粉气流进入炉膛后,受到火焰辐射和高温对流作用,风粉被加热至着火温度,才能稳定着火。将一次风粉混合物加热至着火温度所需的热量叫做着火热,煤粉气流着火热可用式(1)粗略计算。

$$Q_{zh} = (C_{mf} + V_{1k}C_{1k})(T_{zh} - T_{1k}) \quad (1)$$

式中: Q_{zh} 为煤粉着火吸热量, kJ/kg; C_{mf} 为煤粉的比热容, kJ/kg; V_{1k} 为一次风量, m³/kg; C_{1k} 为空气的比热容, kJ/m³; T_{zh} 为煤风气流的着火温度, K; T_{1k} 为一次风的初温, K。较高的一次风速和一次风率,会使着火加大、着火推迟,导致燃烧不稳定,极易造成灭火^[4]。

为了了解A磨煤机断煤后锅炉燃烧恶化的原因,此后机组停机期间对各台磨煤机出口粉管一次风速进行调平试验。通过调整后,A、B、E磨煤机出口一次风粉管风速偏差在±5%以内,符合标准要求,但是B磨煤机与其他磨煤机入口风量的基本相同的前提下,粉管风速较A、E磨煤机偏低;C、D磨煤机粉管一次风速无法调平,表现为C4和D1粉管内静压较其他粉管偏大并且风速偏低。磨煤机一次风调平试验测试数据见表2。

对燃烧器进行检查发现,D1乏气风管堵灰严重,B层燃烧器和C4燃烧器乏气风管因机组运行出现磨穿问题已被封堵。乏气风风管封堵或堵灰后造成的主要问题有:

- 1) B层和C4燃烧器喷口一次风远高于设计风速;
- 2) 造成粉管内一次风速偏低,可能出现B磨煤

机出口粉管、C4和D1粉管因风速较小出现堵煤的情况。

为了进一步了解燃烧器及乏气风喷口一次风速实际数据,相同风量下对各层燃烧器喷口一次风速及乏气风喷口风速进行了测量,测量结果见表3。

表2 一次风调平试验

磨煤机	粉管	气流速度 /(m·s ⁻¹)	平均速度 /(m·s ⁻¹)	相对偏差/%
A	A1	27.92	27.87	0.17
	A2	28.38		1.82
	A3	26.98		-3.18
	A4	28.20		1.18
B	B1	23.01	23.74	-3.06
	B2	23.71		-0.13
	B3	23.96		0.51
	B4	24.38		2.69
C	C1	26.89	26.11	2.99
	C2	27.43		5.02
	C3	26.04		-0.28
	C4	24.10		-7.73
D	D1	25.40	28.72	-11.58
	D2	30.05		4.60
	D3	29.66		3.25
	D4	29.80		3.74
E	E1	28.97	28.94	0.10
	E2	28.10		-2.93
	E3	29.30		1.24
	E4	29.40		1.58

表3 燃烧器喷口风速测量数据 单位:m/s

部位	名称	燃烧器(从上向下)			
前墙	C层	C1	C2		
	一次风速	23	25		
	乏气风速	27.4	29.3		
	D层	D1	D2	D3	D4
	一次风速	39.4	22.2	21	22.4
	乏气风速	堵灰	3.4	24	24.3
	B层	B1	B2	B3	B4
	一次风速	44.6	45.1	45.2	44.8
	乏气风速	封堵	封堵	封堵	封堵
	后墙	C层	C3		C4
一次风速		21.5		32.3	
乏气风速		27.7		封堵	
E层		E1	E2	E3	E4
一次风速		22.3	21.9	22.1	22.5
A层		A1	A2	A3	A4
一次风速		12.5	12.4	11.9	12.9

由表3得知,B层燃烧器喷口一次风风速在44.6~45.2 m/s之间,C4燃烧器喷口一次风风速为32.3 m/s,D1燃烧器喷口一次风风速为39.4 m/s,B

层、C4和D1燃烧器喷口一次风风速远高于设计一次风速15.7 m/s,如此高的一次风速度对燃烧稳定性极为不利。

根据炉内燃烧器喷口一次风速及乏气风管一次风速测量结果,结合磨煤机粉管风速调平数据,C、D磨煤机粉管一次风速无法调平的原因,为C4燃烧器乏气风管封堵和D1乏气风管堵灰造成,并且在磨煤机入口风量与其他磨煤机基本一致的情况下,B层粉管内风速偏低的原因同样为乏气风管封堵造成。

通过一次风调平试验、炉内喷口风速测量试验和同类型机组运行期间燃烧情况可以判断,运行期间当A磨煤机断煤时,B层燃烧器喷口一次风严重风速偏高,如此高的一次风速度对燃烧稳定性极为不利,因此B磨煤机、D1、C4燃烧器喷口一次风速偏高是A磨煤机断煤后锅炉燃烧恶化的主要原因。

3 解决措施

通过以上分析,部分燃烧器乏气风管封堵导致其燃烧器喷口一次风速偏高是A磨煤机断煤后锅炉燃烧恶化的主要原因,同时是锅炉局部爆燃的诱因;入炉煤质较差加剧了炉内燃烧逐步恶化;当炉膛已经灭火或已局部灭火并濒临全部灭火时,运行人员投助燃油枪、部分锅炉MFT保护和磨煤机灭火保护未投入是此次锅炉炉膛局部爆燃引起脱硝入口膨胀节开裂、NO_x排放指标超标的主要原因。

基于以上分析,给出了以下措施:

1) 对保护逻辑进行全面排查,对不合理的保护逻辑进行修订,强化保护投入的重要性,加强保护管理。当锅炉炉膛已经灭火或已局部灭火并濒临全部灭火时,严禁投油稳燃,立即停止燃料供给,严禁用爆燃法恢复燃烧。

2) 锅炉炉膛压力、全炉膛灭火等重要保护装置在机组运行中严禁退出,当其故障被迫退出运行时,应制定可靠的安全措施。

3) 全炉膛灭火保护逻辑中“煤火检信号四取四全部消失”修改为“煤火检信号四取三消失”。

4) 恢复封堵的乏气风管,并进行一次风调平试

验,测量燃烧器喷口内、外二次风量并调整。

5) 热态时进行燃烧调整。

综合采取以上措施后,燃烧器喷口一次风速恢复要求的正常值,锅炉燃烧得到强化,燃烧的稳定性明显提高,解决了A磨煤机断煤后锅炉燃烧恶化和局部爆燃事故的发生,飞灰、炉渣可燃物含量较以前降低明显。

4 结语

通过此次事故分析,入炉煤质量较差、运行人员事故判断分析和应急处理能力不强、设备缺陷、热工保护管理缺失,以上因素混杂在一起时导致此时锅炉局部爆燃事故。

为此针对性地提出恢复封堵的燃烧器乏气风管、全面排查锅炉主保护并修改不合理的保护逻辑、加强运行人员应急处理能力的培训和锅炉主保护管理措施后,避免了锅炉局部爆燃事故的再次发生,对同类机组有重要的指导意义。

参考文献

- [1] 王春昌. 燃煤锅炉常见火灾事故分类研究[J]. 中国电力, 2007, 40(5): 39-42.
- [2] 赵慧聪. 燃煤锅炉灭火原因及预防措施[J]. 科技情报开发与经济, 2011, 21(14): 192-194.
- [3] 张林仙, 何春生. WGZ1004/18.34-1型锅炉灭火原因分析及防范措施[J]. 锅炉技术, 2007, 38(6): 57-59.
- [4] 林树彪, 蔡新春, 车丹. 娘子关电厂3号锅炉频繁灭火原因分析及改进措施的探讨[J]. 电站系统工程, 2007, 23(6): 25-27.
- [5] 徐党旗. 两类锅炉灭火原因诊断及解决对策[J]. 热力发电, 2003(11): 65-66.
- [6] 吕洪炳, 华晓宇, 徐爱民, 等. 火电机组锅炉掺烧长焰煤对机组运行影响的研究[J]. 浙江电力, 2017, 36(2): 47-52.

作者简介:

田平(1977),高级工程师,从事大型火力发电锅炉调试、技术监督、应急服务、非计划停运分析、性能试验。

(收稿日期:2019-08-02)