

锅炉末级过热器在同一位置频繁爆管原因分析及预防

李 健, 刘芳柱

(山东华能莱芜热电有限公司, 山东 莱芜 271102)

摘 要: 某电厂2×330 MW 两台亚临界锅炉自2012年下半年以来连续在同一位置发生三次末级过热器爆管事故(累计运行仅3万小时/台),造成了很大经济损失。该厂为查明原因做了大量工作,检查Ⅱ级喷水减温器、末级过热器入口联箱与管子(异物和氧化皮)、管材等均未发现异常,使爆管原因分析工作陷入困境。本研究从运行调整入手,通过对大量运行参数和末级过热器入口联箱结构展开深入分析,得出这几次事故是在特定条件下氧化皮短时大量脱落造成爆管的结论,并制定出针对性预防措施。

关 键 词: 亚临界锅炉; 末级过热器; 爆管; 原因

中图分类号: TK223.3 文献标识码: B

1 基本概况

某电厂两台2×330 MW 锅炉为上海锅炉厂生产的亚临界压力中间一次再热控制循环汽包锅炉,累计运行时间均达到3万h。锅炉点火方式是等离子点燃A层煤粉,再逐级投入上层喷燃器。过热蒸汽汽温调节主要靠喷水减温器,Ⅰ级喷水减温器布

置在低温过热器与分隔屏之间的管道上,Ⅱ级喷水减温器布置在后屏与末级过热器之间管道上。末级过热器共81排,每排4根管子,如图1所示,呈“W”布置,管材入口侧为T23($\phi 51 \times 6.5$),出口侧为T91($\phi 51 \times 7.0$)、T23($\phi 51 \times 7.0$)。自2012年下半年以来连续发生三次末级过热器爆管事故,造成很大经济损失。

1.1 三次事故概况

1.2 三次泄漏事件共性点分析

(1) 爆口均发生在末级过热器入口三通正下方管排(A侧数第41、42排)向火侧第2或第3根,距离下弯头不远处(200至400mm)。

(2) 三次泄漏均发生在机组冷态启动各项参数正常后的几天内。

(3) 经过对大量未爆管弯头割管、射线拍片检查,管子下弯头均未发现氧化皮存积现象。

(4) 对末级过热器入口联箱三通底部及Ⅱ级减温器进行检查均未见异常。

表1 4号、5号炉三次事故统计表

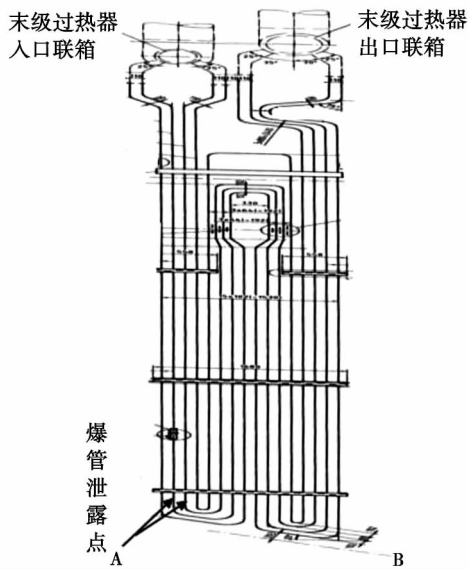
Tab. 1 Statistics of the three accidents occurred to the boiler No. 4 and 5

炉号	爆管时间	爆口位置(末级过热器入口)	爆管材质	爆口特征
4号	冷态开机6天	A侧数第41排下弯头向火侧第2根	T23	泄漏管特征为长时过热,组织老化评级5级,表明因异常原因管子内介质流量减少,导致管子金属温度升高,但不超过T23钢Ac1相变温度(图2)。
5号	冷态开机2天	A侧数第42排下弯头向火侧第3根	T23	泄漏管特征为短时过热,组织老化评级2-3级,表明因异常原因管子内介质流量严重减少,导致管子金属温度升高,超过T23钢Ac1相变温度(图3)。
4号	冷态开机2天	A侧数第42排下弯头向火侧第3根	T23	泄漏管特征为短时过热,组织老化评级2-3级。原因同上(2)。

收稿日期:2013-08-26; 修订日期:2013-12-16

作者简介:李 健(1975-),男,山东泰安人,山东华能莱芜热电有限公司助理工程师。

此外壁温测点按照设计要求安装在末级过热器出口向火侧 因此无法监测泄漏管壁温。出口向火侧管壁温度均未见异常。



注: A 侧是指正面对锅炉横向布置 81 排末级过热器左侧 右侧为 B 侧。

图 1 末级过热器泄漏管排位置示意图
Fig. 1 Schematic drawing of the location of the tube bank leaked in the last-stage superheater

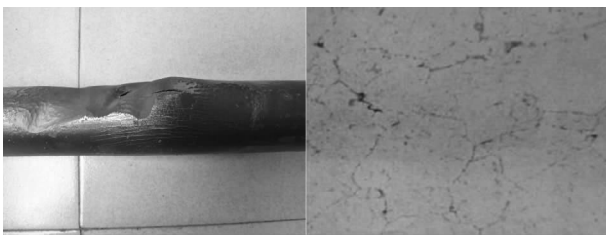


图 2 4 号炉末级过热器爆口及爆口边缘处金相组织(500 ×)

Fig. 2 Metallurgical structure at the fracture and its rim in the last-stage superheater of the boiler NO. 4(500 ×)

2 分析讨论

2.1 水塞过热

锅炉点火启动前或启动过程中,可能因异常原因造成末级过热器入口的管束内存有积水而形成水塞。水塞的特点之一是导致管内介质流通停滞,管子因冷却异常而壁温升高,当达到管材允许极限将很快发生爆管,一般爆管发生在机组启动初期十几

个小时内。

调取 4 号、5 号机组冷态开机历史曲线,发现爆管前都存在 II 级减温水在主蒸汽流量(负荷)较低时投入并且引起蒸汽温度突然大幅波动的问题。例如:2013 年 3 月 19 日 4 号炉冷态开机,II 级减温器出口汽温由 390 °C 下降至 340 °C。分析认为:一是 II 级减温器喷口距离末级过热器入口较近如图 4 所示;二是减温水隔绝阀、调整阀在给水管平台,距离炉顶大包 II 级减温联箱 35 m,当开启严密性差的截止阀或调节阀时,管道中大量温度较低的水会突然进入减温器联箱,造成减温器出口温度瞬间降低。

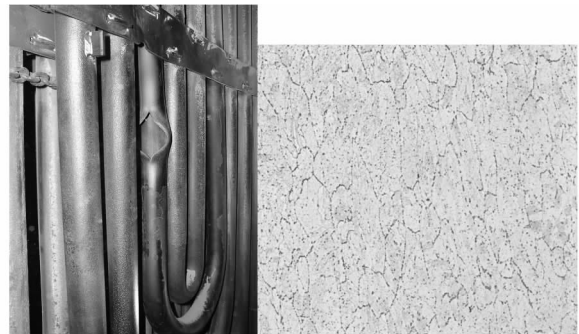


图 3 5 号炉末级过热器爆口及爆口边缘处金相组织(400 ×)

Fig. 3 Metallurgical structure at the fracture and its rim in the last-stage superheater of the boiler NO. 5(400 ×)

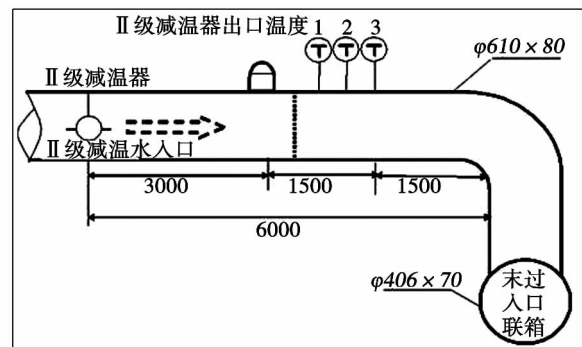


图 4 II 级减温器至末级过热器入口联箱示意图(mm)

Fig. 4 Schematic drawing of the second-stage desuperheater to the header at the inlet of the last-stage superheater

减温水的短暂涌入,并不能说明在末级过热器入口一定形成了水塞。这几次爆管均发生在机组以额定负荷运行较长时间以后,此时该部位烟温远远超过管材允许使用温度极限,如果发生水塞,不可能

坚持这么长时间。因此发生水塞爆管的可能性不大。

2.2 氧化皮脱落堵塞过热

锅炉金属管在高温水蒸汽环境下产生的氧化皮由 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 、 FeO_3 部分组成, 由于管子金属材料的线膨胀系数比氧化皮线膨胀系数大得多, 当氧化层达到一定厚度的临界值或温度变化幅度大时就会发生脱落^[1]。经过对大量未爆管弯头割管、射线拍片检查, T23 管子内部虽然发现了氧化皮形成现象, 如图 5 所示, 但在管子下弯头均未发现氧化皮任何存积现象。



图 5 4 号炉末级过热器管子内部氧化皮“鼓包”情况(T23)

Fig. 5 Scaling inside the tubes of the last-stage superheater of the boiler No. 4

2.3 “三通效应”造成末级过热器入口介质分布不均, 第 41、42 排蒸汽流量过小

通过调取大量开机曲线, 在锅炉启动初期, 第 41 排管壁温度均大大低于两侧其它管壁温度, 随着流量增加, 这种偏差很快减小。这说明在锅炉启动初期, 正对着末级过热器入口联箱三通的第 41、42 排管子里面的介质流量大于其它管子, 随着蒸汽流

量不断加大, 蒸汽在各管子内的流量趋于平均;

“三通效应”是运行中流动介质发生的二次涡流现象^[2]。如存在“三通效应”, 则对着三通的管子将普遍存在长期超温老化问题, 但对附近管子机械性能试验结果表明, 管子性能良好。因此由于管子“三通效应”存在介质流量不均导致吸热介质过少的因素可以排除。

3 原因分析

针对末级过热器图纸、历史运行曲线, 结合末级过热器系统实际布置情况, 对这三起事故的原因进行全面分析。

(1) 末级过热器管子内壁已经产生氧化皮, 并且达到了一定厚度(T23 管比 T91 管严重), 具备了脱落的条件之一。

(2) 锅炉冷态启动采取的是等离子点火直接投粉的方式, 实际运行操作中, 因为等离子能量比较油枪点火能量小得多, 煤粉燃烧强度和稳定很难操控, 烟温波动较大, 此时需要反复投停(调整)减温水来控制汽温升速率。如果减温水调整不当引起 II 级减温器出口汽温变化较大, 就会促使氧化皮从金属基体剥离。但由于 4 号、5 号机组累积运行时间短, 管子内部氧化皮远未达到大量脱落的地步, 就是有少量脱落, 随着蒸汽流量增加也被及时带走。这是爆管事故的次要原因。

(3) 由于 II 级减温器喷口距离末级过热器入口很近, 如果在主蒸汽流量较小时投入大量低温度 II 级减温水, 这些减温水将无法迅速完全吸热变为蒸汽, 而是以无数细小水滴的形式与蒸汽一起进入末级过热器入口联箱。

表 2 冷态启动中初投 II 级减温水与 II 级减温器入口蒸汽参数比较

Tab. 2 Comparison of the parameters of the second-stage desuperheating water with those of the steam at the inlet of the second-stage desuperheater during the cold-state start-up when the boiler are first put into operation

序号	炉号	蒸汽流量/ $t \cdot h^{-1}$	减温水初投水量/ $t \cdot h^{-1}$	减温水温度/ $^{\circ}C$	II 级减温器入口汽温/ $^{\circ}C$	减温水与减温器入口蒸汽温差/ $^{\circ}C$
1	4 号	166	3.7	74	508	434
2	5 号	136	5.3	68	483	415
3	4 号	143	4.9	53	450	397

从表 2 可以看出, 末级过热器三次爆管发生前的冷态启动过程中, 均存在主蒸汽流量较低时投入低温度 II 级减温水的现象, 并且减温水与减温器入口蒸汽温差很大。

从图 6 看出, 末级过热器入口三通下部结构呈“凹”形, A 侧数第 40、41、42 排向火侧第 2、3 根管子正好布置在最低部。因为水滴的重度大, 惯性也大, 很大部分细小水滴随着蒸汽直接进入这些正对末级

过热器入口三通下部的管子。当这些水滴溅在垂直高温管段的内壁时迅速吸热变为蒸汽,造成该部位的温度急冷急热,对此处的氧化皮特别是“鼓包”部位产生剧烈激振作用,最终造成大量细碎氧化皮迅速大量脱落。又由于启动初期蒸汽流量小,不能将剥落的氧化皮带走,等到大流量时,已经在下部弯头处形成堆积堵塞。锅炉正常运行工况下,末级过热器中间管排下弯头部位热负荷最高,因此造成该部位管壁超温过热而爆破。这是在同一位置发生三次爆管事故的主要原因。

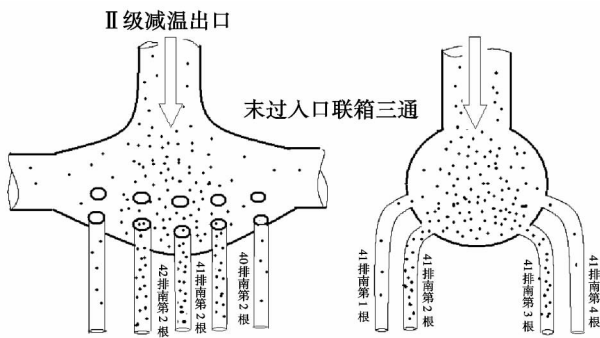


图6 大量低温减温水滴进入A侧数第39-43排向火侧第2、3根管子示意图

Fig. 6 Schematic drawing of the situation when a large quantity of low temperature desuperheating water drops enter into tube bank No. 39-43 at the A side to the tube No. 2 and 3 at the firing side

4 结论与预防措施

这三次爆管事故的原因是:锅炉在冷态启动初期,由于在主蒸汽流量较小时投入大量低温度II级减温水,造成未及时吸热蒸发的细小水滴随着蒸汽直接进入正对末级过热器入口三通下部的管子,从而引起入口垂直管段内的氧化皮短时大量脱落引起管子堵塞,最终造成了过热爆管。

氧化皮是金属在高温水汽中发生氧化的结果,它的生成速度与温度、介质中氧的分压等因素有关,它的剥离与机组采用材质、锅炉燃烧工况、机组启停速率等因素有关。高参数大容量机组炉管氧化皮生成与脱落是一个不可避免的现象,只能采取措施延缓氧化皮的生成速度,避免氧化皮突然脱落造成的危害。

针对4号、5号锅炉末级过热器现阶段经常爆管提出如下措施:

(1) 保证锅炉冷态启动点火初期煤粉燃烧良好,防止等离子启动初期烟气及蒸汽温升难以控制:

- ① 做好A煤仓煤质掺配和化验工作(煤质低位发热量 > 20 MJ/Kg、挥发份 > 20%、水分 < 10%、灰分 < 30%)。
- ② 对A磨煤机充分暖磨,待A磨出口风温达80℃以上后,等离子拉弧,检查等离子起弧正常后,再启动A制粉系统。
- ③ A制粉系统调整过程中,控制好风煤比,保持较高煤粉浓度。
- ④ 冬季气温较低,首先对炉子投油预热,待尾部烟温达到120℃以上时再投入等离子系统。

(2) 锅炉启动初期减温水投入的时机和量的多少尤为重要,应根据烟温和蒸汽温度变化情况,提前投入I级减温水,控制好减温水调整门的开度,保证减水量平稳变化,使蒸汽温度尽快进入稳定阶段。在负荷60 MW之前尽可能不投II级减温水,防止引起汽温大幅波动。

(3) 提高检修质量,保证减温水截门和调门的严密性。在投入前,先对减温水道充分疏水暖管,防止冷水突然进入减温器,引起蒸汽和管壁温度剧烈变化。

(4) 定期对减温器检查,防止喷嘴发生问题影响减温水雾化效果。

(5) 利用检修机会,将末级过热器入口材质为T23的中间管排更换为抗高温蒸汽氧化能力强的T91管。

(6) 建立长效的炉管监视体制,利用停炉机会进行射线检查,特别是对中间管排垂直管屏割管检查氧化物生成情况。

(7) 现在电厂锅炉启动均采用微油或等离子点火方式,建议锅炉设计单位深入研究这种点火方式下烟温控制困难,为保证温升率需提前投入减温水对受热管束带来的不利影响。

参考文献:

[1] 李耀君. 氧化皮脱落导致的过热器爆管原因分析[J]. 热力发电 2005 34(6): 56-59.
 LI Yao-jun. Analysis of the causes leading to the tube rupture of the superheater from falling-off of the scale [J]. Thermal Power Generation 2005 34(6): 56-59.

(陈滨 编辑)

of CAP 1400 conventional island feedwater pumps. **Key Words:** tilting-pad bearing ,rotor system ,critical rotating speed ,conventional island ,CAP1400

锅炉末级过热器在同一位置频繁爆管原因分析及预防 = **Analysis of the Causes for Frequent Tube Rupture at a Same Location in the Last-stage Superheater of a Boiler and Its Prevention** [刊 汉] LI Jian ,LIU Fang-zhu (Planning Department ,Shandong Huaneng Laiwu Thermal Power Generation Co. Ltd. ,Laiwu ,China ,Post Code: 271102) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(4) . -445 -448

Three tube rupture accidents (accumulatively operated only for 30000 hours/set) happened continuously at a same location of the last-stage superheaters of two 330 MW subcritical boilers in a thermal power plant since the lower half of the year 2012 and created a great economic loss. The power plant has done a great deal of work to identify the causes and inspected the headers ,tubes and tube materials at the inlet of the stage II water sprayed desuperheater and the last-stage superheater (foreign matters and mill scale) finding no abnormalities and forcing the analytic work of the tube rupture causes falling in a plight. Beginning from the adjustment in operation and through an in-depth analysis of a great deal of operation parameters and the structure of the headers at the inlet of the last-stage superheaters ,the authors have arrived at a conclusion that these tube rupture accidents are caused by a short-time falling-off of mill scale under the specific conditions and formulated preventive measures for this special purpose.

Key Words: subcritical boiler ,last-stage superheater ,tube rupture ,cause

汽轮发电机组自激振动的激振源分析 = **Analysis of the Self-excited Vibration Source of a Turbo-generator Unit** [刊 汉] HE Guo-an (Xi'an Thermodynamics Academy Co. Ltd. ,Xi'an ,China ,Post Code: 710032) ,LIU Kun ,WANG Wei-min (Qinhuangdao Qinre Power Generation Co. Ltd. ,Qinhuangdao ,China ,Post Code: 066003) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(4) . -449 -454

The self-excited vibration is regarded as a fault often taking place in turbo-generator units. Although the self-excited vibration can be attributed to the following two aspects: insufficient stability of bearings and steam flow excited vibration ,yet it is very sophisticated to identify any specific excitation vibration source. In combination with four cases ,various self-excited vibration sources such as poor self-alignment ability of bearings ,dropping of the elevation of the bearings ,clearance and seal excitation vibration etc. were analyzed and corresponding countermeasures were given to solve the practical problems in engineering projects ,thus offering reference for diagnosing and disposing the self-excited vibration faults happening in turbo-generator units. **Key Words:** turbo-generator unit ,self-excited vibration source ,bearing stability ,steam flow excited vibration ,vortex momentum