

超临界机组锅炉末级过热器爆管原因分析及控制措施

李志刚

朝阳燕山湖发电有限公司, 辽宁 朝阳 122000

摘要 : 2010年以来, 随着超(超)临界机组的大量投产, 锅炉高温受热面过热爆管事件便屡见不鲜, 并且呈普遍现象, 已经成为锅炉“四管”漏泄的重要原因之一。朝阳燕山湖发电公司2×600MW超临界机组投产以来, 共发生了7次锅炉末级过热器爆管事件, 直接原因均为短时过热爆管。本文通过对7次末级过热器爆管部位宏观外貌、内窥镜检查、光谱检验、力学性能、金相检验等多个维度的对比和深入分析, 查明导致受热面过热爆管的根本原因, 并提出应对措施。

关键词 : 末级过热器; 爆管; 超温; 氧化皮

Analysis and Control Measures for Tube Explosion of Last Stage Superheater in Supercritical Unit Boiler

Li Zhigang

Chaoyang Yanshan Lake Power Generation Co., Ltd., Chaoyang, Liaoning 122000

Abstract : Since 2010, with the large-scale production of ultra (supercritical) units, incidents of boiler high-temperature heating surface overheating and tube explosion have become common and have become one of the important reasons for boiler “four tube” leakage. Chaoyang Yanshan Lake Power Generation Company 2×600MW supercritical unit, there have been a total of 7 incidents of boiler final stage superheater tube explosions, all of which were directly caused by short-term overheating tube explosions. This article compares and deeply analyzes the macroscopic appearance, endoscope inspection, spectral inspection, mechanical properties, metallographic inspection, and other dimensions of the 7 last stage superheater tube explosions, identifies the root cause of overheating tube explosions on the heating surface, and proposes countermeasures.

Keywords : final stage superheater; burst tube; over temperature; oxide skin

引言

朝阳燕山湖发电公司2×600MW机组分别于2012年03月和2011年12投产。自2015年08月份以来, 共发生了7次末级过热器爆管事件: 2015年2次, 2018年1次, 2019年3次, 2020年1次。通过对7次爆管事件爆口宏观查看、数据测量、金相分析等检查, 发现7起事件具有共同的特点, 相近的原因, 并非偶然性事故。

经调查, 锅炉类型相近的清河厂1、9号锅炉也发生过类似事件, 系统外同类锅炉也多次发生过类似的高温受热面爆管事件。

一、设备概述

燕山湖发电公司2×600MW机组锅炉为哈尔滨锅炉厂有限公司生产的一次中间再热、超临界压力、变压运行、带内置式再循环泵启动系统的直流锅炉, 锅炉采用 π 型布置, 单炉膛, 尾部双烟道, 全钢架, 悬吊结构。炉膛断面尺寸为22.187m宽、16.8398m深, 水平烟道深度为5.322m, 尾部前烟道深度为6.555m, 尾部后烟道深度为10.235m, 水冷壁下集箱标高为8.0m, 顶棚管标高为70.525m。设计煤、校核煤种均为白音华煤矿褐煤。35只低NOX轴向旋流燃烧器采用前后墙布置、对冲燃烧, 7台(6台运行, 1台备用)中速磨煤机配正压冷一次风直吹制粉系统^[1]。

(一) 锅炉主要设计参数

锅炉主要设计参数, 见表1。

表1 燕山湖发电公司1、2号锅炉主要设计参数

名称	单位	BMCR	TRL
过热蒸汽流量	t/h	1930	1829
过热器出口蒸汽压力	MPa(g)	25.4	25.27
过热器出口蒸汽温度	°C	571	571
再热蒸汽流量	t/h	1635	1546
再热器进口蒸汽压力	MPa(g)	4.45	4.20
再热器出口蒸汽压力	MPa(g)	4.26	4.02
再热器进口蒸汽温度	°C	314.9	309.1
再热器出口蒸汽温度	°C	569	569

作者简介: 李志刚(1980-)男, 汉族, 中国辽宁喀左人, 本科, 高级工程师, 从事火电厂锅炉设备安装、检修、改造等(E-mail:zglee1980@126.com)。

名称	单位	BMCR	TRL
省煤器进口给水温度	°C	281.1	277.3

(二) 末级过热器

末级过热器位于折焰角上方，顺流换热布置，沿炉宽排列30片，横向节距为690mm。每排管组采用20根蛇形管，管子规格 $\phi 44.5 \times 8.5\text{mm}$ ，沿蒸汽流程方向材料依次为SA-213T91、SA-213TP347H钢，蒸汽入口侧顶棚管中心线以下12565mm为材料分段点（异种钢焊口）。末级过热器总图，见图1。

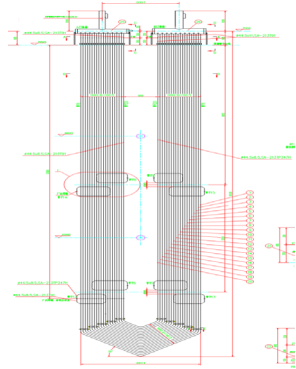


图1 末级过热器总图

二、末级过热器爆管情况及原因分析

(一) 末级过热器爆管情况

自2015年以来，1、2号锅炉共发生末级过热器爆管事件7次，其中1号锅炉2次，2号锅炉5次，按爆管时间排列，具体情况如下：

1. 2015年08月28日，2号锅炉末级过热器左向右数第6屏，管屏前半部，外向内数第10根管，异种钢焊口上部约300mm直管段爆管（材质SA-213T91）。见图2。

2. 2015年11月02日，1号炉末级过热器右向左第3屏，管屏前半部，外向内数第11管圈，异种钢焊口上部约350mm直管段爆管（材质SA-213T91）。见图3。

3. 2018年05月28日，2号锅炉末级过热器右向左数第19屏，管屏前半部，外向内数第2和第5根管，异种钢焊口上部约1000mm和150mm直管段爆管（材质SA-213T91）。见图4。

4. 2019年06月14日，2号锅炉末级过热器左向右数第15屏，管屏前半部，外向内数第3根管，异种钢焊口上部约1500mm直管段爆管（材质SA-213T91）。见图5。

5. 2019年11月15日，2号锅炉末级过热器左向右数第14屏，管屏前半部，外向内数第3根管，异种钢焊口上部约1000mm直管段爆管（材质SA-213T91）。见图6。

6. 2019年12月01日，2号锅炉末级过热器左向右数第14屏，管屏前半部，外向内数第3根管，系2019年12月15日爆管的同一管圈，换管后的异种钢接头上约500mm直管段爆管（材质SA-213T91）。见图7。

7. 2020年04月26日，1号锅炉末级过热器左向右数第18屏，管屏前半部，外向内数第18根管，异种钢焊口上部约

2000mm直管段爆管（材质SA-213T91）。见图8。



图2 2015.08.28 2号炉末过爆管



图3 2015.11.02 1号炉末过爆管



图4 2018.05.28 2号炉末过爆管

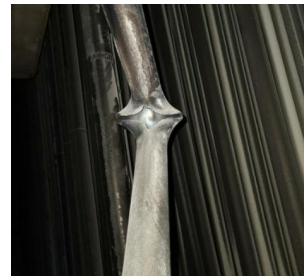


图5 2019.06.14 2号炉末过爆管



图6 2019.11.15 2号炉末过爆管

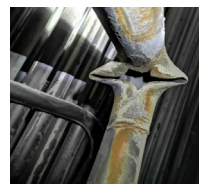


图7 2019.12.01 2号炉末过爆管



图8 2020.04.26 1号炉末过爆管

(二) 爆管原因分析

对比7次末级过热器爆管事件，爆口位置大致相同：基本都位于管屏前半部异种钢焊口的上部约2000mm范围内，爆口外形相似，爆口部位管材均为SA-213T91钢。爆管后委托电科院对爆口管段进行相关检验、试验，得到的结果基本一致，具体如下：

1. 宏观形貌分析

爆口呈开口状，爆口边缘尖锐，壁厚减薄明显，爆口两端都有沿纵向分布的树皮状微裂纹，管子胀粗明显。爆口宏观呈短时过热特征。

2. 光谱检验

光谱检验结果，过热器管化学成分符合SA-213T91钢要求。

3. 力学性能试验

爆管管段除断后延伸率满足标准要求外，抗拉强度、屈服强度及布氏硬度值均低于标准要求，爆管管段综合力学性能值不合格。

4. 金相检验

在爆口处取样进行金相组织检验，爆口边缘马氏体板条组织基本消失，形成大量块状铁素体，形态老化严重，碳化物大量析出，并在晶界上聚集，晶粒可见明显的塑性变形。

结论：发生爆管的过热器管化学成分符合SA-213T91钢标准

要求；常温抗拉强度、屈服强度、布氏硬度值均低于标准要求；宏观上，爆口呈开口状，边缘尖锐，呈短时过热特征；微观上，爆口边缘晶粒塑性变形明显，组织老化严重，但并未发生相变。综合考虑，爆口管段具有先经历长时间的过热超温，最后瞬间发生短时过热爆管的特征。长时间的过热状态使得管壁局部区域发生微观组织变化，马氏体位向消失，组织严重老化，碳化物在晶界聚集，晶界强度下降。在管子还未形成蠕变孔洞，发生长时过热爆管前某一瞬间突然经历短时过热，形成边缘尖锐的开口状爆口^[2]。

7次末级过热器爆管，对爆管管圈内部进行检查，情况如下：用内窥镜沿管圈检查出、入口小集箱，管口无异物堵塞（见图9）；爆口上游管段管内壁氧化皮脱落严重（见图10）；除2015年08月28日，2号锅炉爆管在管圈下部弯管区域发现的少量氧化皮外，其余6次检查未见异常。

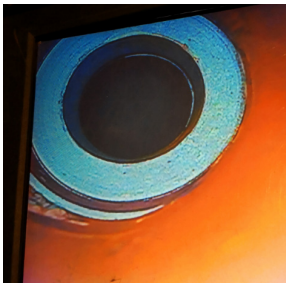


图9 内窥镜检查未过小集箱照片

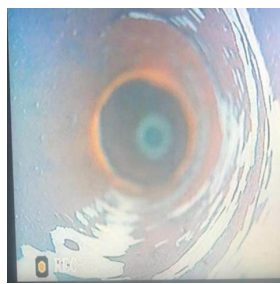


图10 内窥镜检查管内壁氧化皮照片

综合原因分析：经电科院对7次爆管管段的综合检验，爆管直接原因均为短时过热爆管，但又有长时过热的特征。通过内窥镜检查，爆口上游管内壁氧化皮脱落严重，再综合相关检查的结果，可确定管子过热是由于管内壁氧化皮脱落堵管导致的。锅炉长期运行，管内壁生成的氧化皮局部脱落，堆积在管屏下部V形弯内，管内蒸汽被节流，致使管壁超温。特别是2015年以后，机组参与深度调峰，在锅炉不转态的工况下，最低深调至160MW。所以在实际运行时经常会出现锅炉负荷很低，但主蒸汽温度很高的工况。在这种工况下，蒸汽总体流量低，末级过热器各管屏管圈内蒸汽流量分布不均，个别管圈便会因蒸汽流量低而发生超温运行，而管屏上的壁温测点数量有限，不能全面监视到每根管的壁温，管壁超温的问题未能被及时发现，致使个别过热器管长期超温运行。处在末级过热器管屏前半部异种钢焊口上部的SA-213T91钢管材耐热性较SA-213TP347H钢管材差，而该区域热负荷还相对较高，因此，该区域长时间超温运行的管子，氧化皮生成量增加，管壁长期超温使管子发生蠕胀，导致管内壁的氧化皮变的疏松，在机组快速变负荷的某一时段，氧化皮大面积集中脱落，造成管子被全部或大部分被堵死，传热迅速恶化，发生短时过热爆管。爆管后大量蒸汽在爆口部位泄出，将管内的氧化皮也随之喷走，因此在对爆管的管圈内部检查仅发现少量的氧化皮或没有发现氧化皮。爆管后对末级过热器其他管屏进行氧化皮检测，每次都能发现个别管圈下部氧化皮堵管比较严重（见图11），进行人工割管清理。另外，由于管屏下部设计成V形结构，氧化皮脱落后全部集中于一点，管子更易被氧化皮堵塞，使得事故更易于发生。

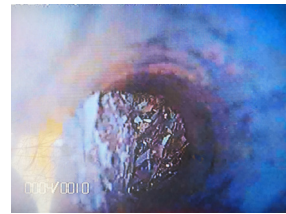


图11 氧化皮堵管照片

三、控制措施

（一）运行过程中，高温过热器、高温再热器出口蒸汽温度不能高于设计值。加强壁温监视，做好燃烧调整工作，减少受热面管屏间的壁温偏差。严格控制各段金属壁温，禁止超限。

（二）控制锅炉启停速度，严格控制锅炉启停过程中的升温、降温速度，避免引起氧化皮的大量剥落。

（三）控制减温水的投用，锅炉运行及停炉时减温水与高温受热面蒸汽的温差很大，会加速受热面氧化皮的生成与剥落。锅炉运行中应尽量减少减温水特别是高温过热器、高再减温水的投用量。

（四）深调期间，要按照机组工况设计要求，开展滑参数运行，适当降低主汽和再热蒸汽温度，不能刻意提高中间点温度，同时监视好屏间壁温偏差，偏差过大时需进行燃烧调整。

（五）控制锅炉水质，做好化水处理，保证汽品质，加氧处理的要关注氧量的控制及化学仪表的校验。

（六）停炉时不能进行强制冷却，做好锅炉保养，冬季注意引风机的开度和时间，特别注意减温水在停炉过程的用量。

（七）坚持“逢停必检、专业清理”的原则，只要停机时间允许，委托专业队伍对末级过热器、高温再热器等高温受热管内壁氧化皮脱落堵管的情况进行检查，堵管超过1/2管径的人工割管清理。

（八）根据炉内热负荷分布情况，适当增加高温受热面壁温测点，减少监视盲区，方便运行人员监视壁温，减少超温运行。

（九）对末级过热器、屏式过热器等高温受热面相关管子进行取样分析，沿炉膛宽度涵盖高温区、低温区，材质涵盖SA-213T9、SA-213TP347H，进行金属寿命评估。根据评估结果，对管屏全部或局部进行更换，或者进行酸洗。

四、结语

氧化皮脱落堵管是超（超）临界机组锅炉的常见问题，每年都有锅炉因之发生爆管事件，是影响锅炉安全运行的一个重要因素。经过近几年电厂专业人员的经验积累和不断摸索，通过运行控制、专业检查和技术改造等多种措施综合治理，可以有效的抑制氧化皮脱落导致的锅炉爆管事件，保障机组安全运行。

参考文献：

- [1] 哈尔滨锅炉厂有限责任公司《HG-1930/25.4-HM2型锅炉说明书》。
- [2] 张磊、廉根宽，《电站锅炉四管泄漏分析与治理》[M] 四川：水利水电出版社，2009。