

超超临界锅炉高温受热面管氧化皮清理措施

王力强

(江苏大唐国际吕四港发电有限责任公司, 江苏省启东市吕四港镇 224624)

摘 要: 江苏大唐国际吕四港发电有限责任公司 2011 年 3 月 25 日-2012 年 3 月, #1-#4 机组锅炉高温受热面管在启动后数次发生氧化皮剥落而造成后屏过热器、末级过热器超温爆管, 本文针对高温受热面氧化皮剥落的机理及剥落后进行氧化皮清理进行分析, 并提出一些防止机组启动后再次发生连续爆管的方案、清理氧化皮过程中需要注意的事项, 以及保证机组安全稳定运行的措施等。

关键词: 锅炉; 高温受热面; 氧化皮剥落; 清理

0 引言

吕四港发电有限责任公司#1-#4机组是哈锅生产的660MW超超临界机组, 投产运行一年后, 后屏过热器、末级过热器便接连发生多起超温爆管事件, 经检查分析直接原因是高温受热面管内壁氧化皮脱落, 聚集在U型弯的底部, 一旦氧化皮堵塞量达到管内径的1/3, 且达到一定的长度, 便极易引起氧化皮堵塞管子, 导致超温爆管。下面就氧化皮检查治理过程中, 积累的一些经验和教训, 仅供大家研究参考。

对于超超临界机组锅炉高温受热面管内壁氧化皮剥落后, 会产生很多危害, 严重影响机组安全稳定运行:

1) 高温受热面管内壁氧化皮剥落后, 会堵塞后屏过热器、末级过热器、高温再热器的U型管弯头部位, 堵塞蒸汽流通, 引起超温爆管;

2) 超超临界机组启机过程中, 后屏过热器、末级过热器脱落的氧化皮会严重影响高旁门的严密性。

3) 机组运行过程中, 脱落的氧化皮容易堵塞主蒸汽、再热蒸汽管道疏水管路, 甚至引起疏水阀门卡涩、关不严, 造成阀门内漏, 导致阀门后管道及弯头吹损, 容易引起爆管, 严重危及人身安全。

4) 脱落的氧化皮碎片夹杂在蒸汽中会对高压主汽阀阀体密封面、阀杆、阀套等产生磨损现象, 甚至造成主汽门卡涩。

5) 氧化皮脱落产生的碎片会造成汽机喷嘴、叶片的侵蚀损坏, 尤其对末级叶片产生危害更大; 同时也严重影响水汽品质。

由此可见, 高温受热面内壁氧化皮大量剥落会给发电机组安全经济稳定运行带来众多严重的不利影响, 其中最需要解决的是氧化皮大量脱落导致的超温爆管问题, 需要制定周密措施防止爆管发生。但由于氧化皮产生和剥落影响因素较多, 因此防治高温受热面内壁氧化皮问题也是一个系统工程, 牵涉到锅炉、运行、金属、化学等较多专业, 需多方面配合研究分析, 重点从机组运行方式、水汽品质控制、金属管材使用及设备检修治理等方面综合进行考虑。

1 设备概况

吕四港电厂 4×660MW 超超临界机组, 锅炉型号: HG-2000/26.15-YM3 (超超临界压力直流锅炉), 采用 II 型布置、单炉膛、改进型低 NO_x PM (Pollution Minimum) 主燃烧器和 MACT (Mitsubishi Advanced Combustion Technology) 型低 NO_x 分级送风燃烧系统、墙式切圆燃烧方式, 炉膛采用内螺纹管垂直上升膜式水冷壁、带再循环泵的启动系统、一次中间再热。锅炉采用平衡通风、紧身封闭布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构。

锅炉的汽水流程从水冷壁入口集箱到汽水分离器为水冷壁系统, 从分离器出口到过热器出口集箱为过热器系统, 另有省煤器系统、再热器系统和启动系统。高温受热面材质情况如下: 分隔屏过热器 (出口侧) 主要材质为 SA-213TP347H; 后屏过热器入口侧主要材质为 SA-213TP347H, 出口侧主要材质为 A-213S30432; 末级过热器入口侧主要材质为 SA-213TP347H, 出口侧主要材质为

A-213S30432，外圈管为 A-213S30432 及 SA-213TP310HCbN；高温再热器入口段主要材质为 SA-213TP347H，中间交叉段主要材质为 A-213S30432，出口侧主要材质为 SA-213TP310HCbN。以上管材均为奥氏体不锈钢。

根据锅炉温度场分布及受热面设计管材情况，容易产生氧化皮的管圈分别为后屏过热器、末级过热器及高温再热器，氧化皮剥落后往往沉积在底部 U 型弯头处，具体部位数量分布如下：

后屏过热器管圈下弯（共35屏、每屏19圈，计665个U型弯）

末级过热器底部下弯检查（共56屏、每屏15圈，计840个U型弯）

高温再热器入口段下弯检查（共70屏、每屏11圈，计770个U型弯）

高温再热器出口段下弯检查（共70屏、每屏11圈，计770个U型弯）

以上共计3045个U型弯，为此需对所有底部弯

头6090个进行氧化皮检测，目前现场首先采用针对奥氏体不锈钢内壁氧化皮脱落进行专项电磁波检测，然后利用射线拍照抽检确认、最后割管进行清理工作。

2 机组运行情况

机组运行情况见表1。

表1 机组运行情况

调试项目	1 号炉	2 号炉	3 号炉	4 号炉
酸洗	2009-03-18	2009-06-11	2009-11-04	2010-01-29
吹管	2009-04-10	2009-07-04	2009-11-28	2010-03-06
168 小时结束	2010-03-14	2010-03-06	2010-03-31	2010-06-06
凝结水加氧时间	2010-11-28	2010-11-30	2010-12-16	2010-12-16
给水加氧时间	2010-11-30	2010-12-04	2010-12-22	2010-12-23
运行小时/h	9567	10975	7108	9777

注：运行小时为投产至首次出现氧化皮爆管的时间。

3 锅炉氧化皮脱落及爆管情况

3.1 超温爆管情况一览表

超温爆管情况见表2。

表2 超温爆管情况

序号	日期	机组 编号	失效 部件	失效部位	失效原因	备注
1	2011.02.26	#3	后屏过热器	后屏过热器左向右第 25 排，外向内数第 8 圈后弯前水平段 400mm 处，爆口管材料为 A-213S30432；规格：Φ51*9.5。爆口宽 125mm，长 105mm，爆口呈喇叭状，呈典型的短时过热特征	氧化皮堵塞泄露	氧化皮堵塞超温爆管
2	2011.05.28	#4	末级过热器	末过热器左数第 27 屏，前数第 7 根前弯头爆管泄露	异物堵塞导致过热爆管	异物堵塞超温爆管
3	2011.06.07	#4	末级过热器	末过热器左数第 27 屏，前数第 7 根前弯头上侧爆管泄露	超温过热爆管	异物堵塞超温爆管
4	2011.7.15	#1	末级过热器	末级过热器管屏左数第 30 屏，炉前向炉后数第 7 根弯头处爆管	怀疑异物堵塞导致过热爆管，射线检测发现节流孔堵塞情况如下：末级过入口堵塞有：26 屏--9；27 屏--8、9、10、11、12；28 屏--7、8、9、10、11、12；29 屏--8、10.后屏过第 19 屏--10 根堵塞。检查节流孔，发现末级过节流孔堵塞现象，有：27 屏--8；28 屏--8；29 屏--7，10；30 屏--10，本次异物堵塞基本是非金属夹杂物和氧化皮。	异物堵塞
5	2011.7.26--7.31	#2	末级过热器	末级过热器管屏左数第 29 屏，炉前向炉后数第 8 根前弯头处爆管	本次爆管是 27 屏--7，把 27 屏-3,4,5,6 根吹漏，28 屏--3 吹薄，跟以前堵塞现象相比，没有发现末级过管子明显变色现象，但是爆口类型明显是短时过热爆管，爆口宽度 115mm，宽度 64mm，爆口边缘无涨粗及减薄现象。对炉前间隔管（TP347）变形更换 3 道焊口；炉后间隔管变形，更换 1 段，2 道焊口。	异物堵塞
6	2011.8.3--8.8	#1	末级过热器	末级过热器管屏左数第 27 屏，炉前向炉后数第 7 根弯头处爆管		
7	2012.2.20-26	#3	后屏过热器	后屏过管屏左数第 13 屏--11 根（外向内），炉前弯水平段爆破，张口较大，但爆口处周长增大不明显，爆口边缘较钝，爆口附近密集的纵向开裂；爆口 4 形貌见图 3，外表面纵向开裂，主开裂旁有密集的纵向开裂；现场停炉检查发现，在下弯水平段还有 2 个与爆口 4 形貌类似的爆口，见图 4；另外在出口侧弯头背弧也发现氧化皮纵向开裂，见图 5。	后屏下弯水平段爆管为管壁超温过热所致。爆口附近组织老化较严重，在内应力作用下晶界出现较多裂纹及孔洞，硬度明显下降，远离爆口的进口垂直段轻度老化，过热不明显。本次更换管 13-11(6 只焊口)，13-10（4 只焊口），14-8,14-9,14-10(各 2 只焊口)，施工合计 18 只焊口。	（本次临检还发现末级过节流孔堵塞 3 根，28-8,28-9,31-9；同时在末级再入口异种钢焊缝热影响区检查发现 60-5 存在表面裂纹一处，已更换）

3.2 后屏过、末级过热器爆管的特征

(1)后屏过、末级过热器爆管发生有特定时段，即均在机组启动后较短的时间内发生，一般均在并网后 1~5 天机组带高负荷时发生，而在机组正常运行中未发生后屏过、末级过热器爆管。

(2)过热器爆管的爆口类型均带有明显的短期超温迹象，爆口胀粗显著，边缘减薄明显（见图 1）。

(3)除发生爆管的管屏外，其周围管屏并无明显的超温迹象。

(4)爆管位置一般在入口弯头处及出口水平段。

(5)末级过热器下弯头发现聚集氧化皮现象（见图 2）。



图 1 典型爆口照片

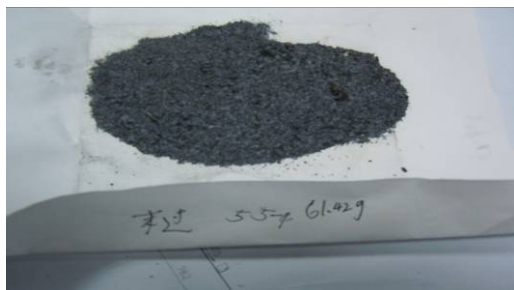


图 2 下弯头发现的氧化皮照片

3.3 氧化皮检测及处理情况

3.3.1 检测割管原则

根据氧化皮检测科技公司长期检测积累经验，对管内横截面积堵塞超过三分之一的弯头必须割管清空，对应的检测割管数据如下：

后屏：外 1 圈：63.5*11mm，割管数值：2000；

外 2、3 圈：51*11mm，割管数值：1200；

外 4-19 圈：51*9.5mm，割管数值：1200；

高过：外 1 圈：60*13.5mm，割管数值：1800；

外 2、3 圈：51*10mm，割管数值：1200；

外 4-12 圈：51*9mm，割管数值：1200；

高再：外 1、2、3 圈：63.5*4mm，割管数值：4500；

外 4-8 圈：60*4mm，割管数值：4500；

3.3.2 射线检测抽查

在对氧化皮专项检测同时，还进行了射线部分复核抽查，确认氧化皮堵塞情况为：超过管子通径 1/3（见图 3），均已存在氧化皮堵塞爆管风险。清理出的氧化皮如图片 4~5。



图 3 射线检测氧化皮堵塞



图 4 高再入口管屏 3—10 称重 621 克



图 5 高再入口管屏氧化皮脱落

4 锅炉高温受热面氧化皮检修措施

4.1 氧化皮检测

4.1.1 高温受热面下弯头检测

停炉后加强对后屏式过热器、末级过热器、末级再热器不锈钢管内壁剥落氧化皮堆积量的检测，并坚持逢停必检的原则。每次停炉后第三天开始，对后屏过热器、末级过热器、末级再热器入口不锈钢管下弯头全部进行氧化皮专项检测，对氧化皮脱落堵塞超标的及时清理。清理完氧化皮焊接结束后，还要求进行一次下弯头氧化皮检测，防止坡口打磨对接时，拉动管排使附近管屏晃动，内壁氧化皮大面积脱落，堵塞管子，引起爆管。

4.1.2 集箱下节流孔检查

每次停炉，根据停炉时间长短，来安排对后屏过、末级过入口节流孔异物堵塞射线检查。若停炉时间 5-7 天左右，也必须安排对后屏过入口节流孔

左数第 16 屏—第 21 屏中间 6 屏进行射线抽检;对末级过入口节流孔中间易堵塞异物的第 24 屏—33 屏进行射线抽检。

停炉时间超过 10 天,安排对后屏过、末级过入口所有节流孔都进行射线检查,消除节流孔异物堵塞现象,防止爆管发生。

尤其超超临界机组,末级过、后屏过入口都有节流孔,孔径很小,极易堵塞异物,需要特别注意集箱中间 10 屏左右节流孔的堵塞检查。一般每次停炉后检查,都会查到异物堵塞情况,这是检查重点部位。

4.1.3 集箱检查

每次 C 级修以上,都要分别安排对分隔屏集箱、后屏集箱、末级过集箱出入口进行各手孔抽查,检查集箱内是否存有异物现象 加强对联箱及节流孔圈的检查及异物清理,有效避免剥落氧化皮堆积堵塞所造成的启炉后过热器过热爆管。

4.2 氧化皮清理技术措施

(1)设备部成立防磨防爆检查小组和检修人员对受热面进行全面检查,针对检查出的问题,检修处理后再进行验收复查。

(2)对需要割管清理氧化皮的工作安排专人负责。

(3)割卸旧管:按照换管的位置,将待更换的管子一一作出位置、尺寸标记,核查无误后,割下需更换的旧管(注意:拆除定位卡及梳形卡);测量割下的旧管尺寸并记录,以备配管时参考,将旧管及时运出检修现场;用坡口机对管口进行坡口制做时,坡口形式一般为“V”型坡口,角度 $32\pm 2^\circ$,钝边 $0.5\sim 1.0\text{mm}$,管口内外壁磨光 $10\sim 15\text{mm}$,露出金属光泽,管口偏斜值小于 0.5mm ;坡口制做完后,在坡口附近用记号笔进行编号,此编号应与割下的旧管编号一一对应。

(4)新管检验

1)按换管通知单的要求,领取规定材料和数量的新管。新管应查验出厂合格证、材质单,入厂检验合格证,新管领取后外观检查,新管内外壁表面无划痕、裂纹、锈垢及重皮等缺陷,管径偏差及椭圆度偏差小于公称外径的 1%,壁厚偏差小于壁厚的 $\pm 10\%$;将所领新管送金属组进行光谱检查合格后,方可使用;同时将新管出厂合格证、材质单、入厂检验合格证复印件放入检修记录。

2)检查异种钢焊口外观成形及内壁有无气孔夹杂等现象,并对新短节焊口进行金属抽检。

(5)焊接新管

1)根据旧管尺寸测量记录,对新管进行配管下料及坡口制做,新管应保证 $2\sim 3\text{mm}$ 的对口间隙;坡口制做完成后,再进行编号,同前两次编号一一对应。

2)焊工应由考试合格的人员担任;焊接所使用的焊条及焊丝应进行焊前的烘焙和打磨;焊条、焊丝出厂合格证、入厂检验报告,同时将复印件存入检修记录。

3)焊接和热处理工艺及技术要求具体见金属焊接工艺卡。

(6)换管后检验

1)对更换焊好的管子进行复检,并核对位置和尺寸,确定无漏换;检修负责人及焊工应对所换管子做好详细、真实、准确的记录,做到有据可查。

2)复检合格后,通知金属组对焊缝进行探伤检验。

3)将金属组反馈的探伤检验结果及时核实,对不合格的焊缝,工作人员及焊工应查明原因,进行有效的返修,返修后的焊缝要重新探伤检验。

4)全部焊缝检验合格后,恢复定位卡及梳型卡(炉墙受热面恢复密封鳍片、保温和墙皮),损坏的应予以换新;恢复工作结束后,清理检修现场杂物,将行灯线、电源线、行灯变压器解除并收回。

5)与施工无关物品不准带入炉内。

6)进入炉人员及工器具必须履行出入登记制度。

7)送饭不准送馒头、面包等面食且不得在检修现场用餐。

8)现场使用电源线、电焊线悬挂并装好护套。

9)如果管内残留金属刨花和其他的检修时留下的杂物而导致爆管,将对检修公司进行考核,并将该条款列入检修合同书内,促使检修公司加强自我监督。

10)割管清理氧化皮期间设备部、监理、检修公司质检员要保证 24 小时有人在现场监督。

11)如果检修施工人员违反上述相关条款视情节轻重给予 300-500 元罚款,情节特别严重者将清除出厂。

12)焊口焊接必须认真填写焊接质量验评表、

焊口记录表,焊接结束后进行工程竣工验收。

13) 进行多次电磁波检测和氧化皮清理,直至管内氧化皮不超标为止,同时对管子下弯处进行拍片抽查、确认。

进行每一道工序,如进行氧化皮清理、压缩空气吹扫、坡口修理、通球实验、塞漏斗形易溶纸、加装封堵等等,都有监理和点检员专人签字验收后,达到对口所有标准要求才允许把弯管运进炉内进行对口焊接,保证施工过程质量控制。

5 目前正在进行工作及下一步工作计划

根据大唐国际多次召开锅炉氧化皮专题会议精神,正在进行高温受热面管屏中 TP347H 管材更换为 TP347HFG 管材准备工作(改造方案、技术规范、管材招投标文件编写等)。

通过对 1、4 锅炉增加壁温测点分析,在 2012 年 2 月份 3 号机组检修期间对 3 号炉壁温测点进行优化,见表 3。

表 3 3 号机组高温受热面增加测点统计

后屏(35 屏, 19 根/屏)	末过(56 屏, 15 根/屏)	末再(70 屏, 11 根/屏)
1-8 屏 (11)	2、4、...26 屏 (7)	2、4...16 屏 (6)
9 屏 (1-19)	28 屏 (1-15)	18 屏 (1-11)
10-26 屏 (11)	30、32...42 屏 (7)	20、22...50 屏 (6)
27 屏 (1-19)	44 屏 (1-15)	52 屏 (1-11)
28-35 屏 (11)	46、48...56 屏 (7)	54、56...70 屏 (6)

同时联系大唐国际锅炉专家对 3 号机组运行实际运行壁温进行计算分析:后屏过热器热偏差系数最小为 0.556,最大为 1.556,水力不均匀系数最小为 0.7,最大为 1.49;末级过热器热偏差系数最小为 0.41,最大为 1.21,水力不均匀系数最小为 0.82,

最大为 1.42。从热偏差系数和水力不均匀系数分析,高温受热面节流孔设置存在较大偏差,下一步将通过计算校核、试验等工作,对节流孔进行优化。

6 结论

检修方面坚持逢停必检原则,按照流程严格做好氧化皮清理过程的质量控制,确保机组修后一次点火成功,长周期安全稳定运行。

氧化皮治理工作是一个长期的工作,通过检修与运行密切配合,进行技术攻关研究,锅炉高温受热面氧化皮将得到有效控制。

参考文献:

- [1] 江苏方天电力技术有限公司. #1 锅炉高温过热器爆管现场分析报告[R].2009.
- [2] 江苏方天电力技术有限公司.张家港沙洲发电有限公司 #1 锅炉高温过热器爆管(219)现场分析报告[R].2009.
- [3] 江苏省电力科学研究院.扬州第二发电有限责任公司#1、#2 炉高温过热器管壁温度分布试验报告[R].2003.
- [4] 上海发电设备成套设计研究院.国华太仓电厂超临界锅炉 600MW 末级过热器炉内壁温运行状态及在线监测系统研制之 8 号炉热偏差燃烧调整试验报告[R].2008.
- [5] 王孟浩.高参数大容量电厂锅炉过热器再热器的超温问题[A].清洁高效燃煤发电技术协作网 2008 年论文集[C].2008.

作者简介:

王力强,工程师,长期从事电站锅炉检修、热力试验、调试、改造与技术监督工作。