

某 600 MW 超临界锅炉屏式过热器爆管原因分析

徐巧生,张辉涛

(华润电力(常熟)有限公司,江苏常熟 215536)

摘要:针对某超临界 600 MW 锅炉屏式过热器的 3 次爆管问题,详细介绍了爆管发生的过程、现场设备检查结果和运行控制特征,在此基础上分析了爆管的原因,并提出了相应的爆管预防技术措施。

关键词:屏式过热器;超温;爆管;预防

中图分类号:TK223.3⁺2

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)05-0072-04

华润电力(常熟)有限公司 2 号锅炉屏式过热器于 2011 年 7 月 22 日、26 日、30 日连续 3 次发生爆管泄漏。分析了爆管原因,并提出了预防爆管的措施。

1 设备基本情况

该锅炉型号为 HG1980/25.4-YM1,系哈尔滨锅炉厂有限责任公司引进三井巴布科克能源公司技术生产的第二台超临界锅炉,于 2005 年 6 月投产。屏式过热器布置在上炉膛,沿炉宽方向共有 30 片管屏,屏间距为 690 mm。根据管子的壁温不同,入口段的管子为 D38×7 mm、SA-213 T91,屏底部为 D38×7 mm、SA-213 TP347H,出口段采用 D38×8 mm、SA-213 T91。出入口温度分别为 438.9 °C 和 512 °C,每片屏式过热器均连接有出口和入口集箱各 1 只。入口集箱设有节流孔,节流孔尺寸如表 1 所示。

表 1 屏过单排节流孔尺寸

管排入口	管子编号	管子内径 d /mm	节流孔内径 d_t /mm
	1-2	22.5	22.5
按烟气方向 管子排列	3-13	22.5	14
	14-28	22.5	12

为了防止屏底管子翘出而挂焦,屏过底部尖端的 15 根管子通过加焊方钢而成膜式结构,确保热态运行时的平整,并且在管屏的入口和出口段沿高度方向均采用 3 层环绕管;同时,为保持屏间的间距而采用汽冷的间隔管沿宽度方向分别穿过屏过的入口和出口段。管壁报警温度 516 °C。

2 爆管情况及检查结果

2.1 爆管情况

2011 年 7 月 22 日 20:15 左右 2 号锅炉屏式过

热器发生第 1 次爆管,23 日 01:55 停机。爆管位置为左数第 7 排内圈第 1 根出口段,距离顶棚约 3 m 距离,根据爆口形状判断为长期超温爆管,如图 1 所示,爆管吹损与其相邻另外 2 根管子,打开第 7 排入口集箱检查,发现内圈第 1 个管口存在一直径约 15 mm 的异物。



图 1 第一次爆口形状

第 1 次爆管处理结束后于 7 月 26 日 04:57 锅炉点火,09:58 机组并网,14:10 发生第 2 次爆管(机组负荷 313 MW),16:48 机组打闸。第 2 次爆管距离并网仅 4 h,据锅炉点火也仅 9 h。检查发现屏过第 19 屏,第 1 根(编号 19-1)换热管下弯头(材质为 TP347H)向火侧爆管,同时下弯头上方垂直段(材质为 TP347H)一处纵向开裂。爆口呈菱形,变形较大。

第 2 次爆管检查发现屏过 24 屏第 1 根(编号 24-1)换热管下弯头处 TP347H 外壁发黑,存在严重的超温现象。

第 2 次爆管处理结束后于 7 月 30 日 06:30 锅炉点火,12:48 机组并网,20:37 发生第 3 次爆管(即组负荷 470 MW),此时主/再热蒸汽温度控制在 530/560 °C 运行。停炉后检查发现屏过第 29 排第 28 根(内圈第 1 根)出口段 T91 爆管,爆口距顶棚 3 m 处。爆口呈菱形,变形较大,明显减薄。检查发现爆口上方存在严重鼓包;爆口下方也轻微地鼓包,爆口如图 2 所示。

2.2 设备检查结果

第 1 次爆管后,对发生爆管和吹损的换热管进



图 2 第三次爆口形状

行了处理。检查发现发生爆管的管屏小集箱内第 28 根换热管管口存在一个直径约 15 mm 的金属异物,原因比较清楚。通过对异物进行成分分析,材质为 15CrMo,该材质并非来源于屏过系统,最有可能来自一级减温器和低温过热器系统。

第二次的检查情况。(1) 打开全部 30 排入口集箱手孔、2 只汇集集箱放空气管,用内窥镜进行内部检查,未发现异物,集箱内壁氧化皮生成量较大,局部鼓起。(2) 外观检查整个屏过的外部超温情况,发现左数第 24 排最外圈管不锈钢管段外壁发黑,对该管进行割除,用内窥镜逐段检查,无外来异物,发现该管管壁氧化皮脱落严重,并在底部弯头处有少量堆积情况。(3) 对 30 排全部屏底弯头进行磁通量氧化皮检查,无明显氧化皮堆积;(4) 对 30 排管屏进行管子涨粗检查,外径均在 38.5 mm 范围以内,无明显涨粗。(5) 对 19 排和 24 排管子焊口进行了检查,发现异种钢焊口内部焊瘤。(6) 取样化验 19-1 管 TP347H 管爆管处与开裂处组织严重老化,24-1 管 TP347H 未见明显老化现象;19-1 管爆口前(下行)T91 管已发生完全相变,内壁氧化皮厚 0.26 mm;爆口后(上行)T91 管严重老化,内壁氧化皮厚 0.21 mm。

第三次爆管检查情况。(1) 第 3 次爆管 29-28 管爆口与上部及下部的鼓包处都存在明显涨粗,其中严重鼓包处直径涨粗至 42.2 mm,轻微鼓包处直径 40.3 mm,其余区域存在一定程度地涨粗。爆管处及鼓包处 T91 都已严重老化。外观未异常的第 3 屏第 1 根管下弯头处 TP347H 已发生中度老化;其余顶棚下部 T91 直管组织未老化。(2) 屏过出口段 T91 管内壁氧化皮厚度见表 2。可见除已爆管外其他屏过出口 T91 管内壁氧化皮都未超过 100 μm 。(3) 用内窥镜检查已爆换热管未发现异物,管底部以上 4~5 m 范围内氧化皮脱落 80% 以上,与其相邻的 29-27 管内壁也存在氧化皮脱落现象。(4) 30 个入口小集箱采用内窥镜检查未发现异物;屏过出口 T91 管检测不存在明显胀粗;屏过入口 A 侧一级减温器用内窥镜检查正常(对应屏过 B 侧汇集集

箱);屏过 B 侧汇集集箱用内窥镜检查正常。(5) 磁通量检查屏过底部氧化皮堆积情况以及异种钢焊口射线检查情况如表 3 所示。(6) 该次对其他部位管子取样 5 根,送检验,内壁存在明显地结垢,存在不太严重地腐蚀痕迹。没有氧化皮脱落疤痕,无残留氧化皮痕迹,无氧化皮开裂、起皮的痕迹。

表 2 屏过换热管样品内壁氧化皮厚度

检测位置	氧化皮厚度 / μm
29-28 爆口处	无
29-28 爆口旁鼓包处	114
29-28 爆口旁未鼓包处	109
29-27(1)	65
29-19(2)	42
29-19(2)	51
12-28(3)	86
12-2(3)	74
3-1(2)	65

注:(1) 出口段顶棚下 5.5 m;(2) 出口段顶棚下 13 m;(3) 出口段顶棚下 3 m。

表 3 第 3 次爆管后焊瘤和氧化皮堆积情况

项目	位置	位置	数量 / 只
磁通量检查氧化皮堆积有信号	下弯头附近	9-4, 29-19, 29-1, 19-2, 19-5, 7-4, 3-1, 1-1	8
异种钢焊瘤较大	第一层吹灰器附近	30-1, 27-2, 25-2, 24-1, 16-1(出口侧), 15-1, 15-2, 15-1(出口侧), 14-1, 11-2, 11-2(出口侧), 7-1, 7-2	13
异种钢焊瘤稍大	第一层吹灰器附近	29-1, 28-2, 26-1, 23-2, 22-2, 21-1, 21-1(出口侧), 19-1, 19-2(出口侧), 19-1(出口侧), 17-1(出口侧), 16-1, 14-1(出口侧), 13-1, 13-2, 13-1(出口侧), 12-1, 11-1, 11-1(出口侧), 10-1, 10-1(出口侧), 9-1	22

注:未注明出口侧则为入口侧。

2.3 锅炉运行控制

从锅炉运行参数分析,屏过出口汽温一般控制在 510 $^{\circ}\text{C}$ 左右,个别时段负荷波动时屏过出口汽温在 530 $^{\circ}\text{C}$ 以上,极个别时候甚至达到 540 $^{\circ}\text{C}$ 以上。在机组低负荷时屏过汽温也在 510 $^{\circ}\text{C}$ 左右。

从 2 号炉几次爆管的停炉与启动参数控制分析,存在以下问题,容易引起受热面内壁氧化皮大面积脱落。

(1) 通风冷却时间长。7 月 22 日第 1 次爆管后停炉,熄火后吹扫 30 min 才停机,(一般吹扫 5~10 min)。

(2) 熄火后焖炉时间较短,为 3 h 35 min。

(3) 停炉时屏过进出口汽温都存在较大幅度地瞬时波动,大的温度波动幅度稍高于 30 $^{\circ}\text{C}$,超过 40

℃的很少,但明显是瞬间波动,个别升温速率达到 $21.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

(4) 停炉后存在一级减温器出口汽温明显突升,减温水完全关闭后汽温大幅度回升现象。二级减温器A侧出口汽温也存在回升现象。停炉时,主、再热器减温水手动门都是在锅炉MFT后关闭,这与MFT后一级减温器后汽温较大幅度地回升相关。

(5) 锅炉启动时,在机组冲转前减温水调门已开启,但减温水流量无反应,减温器出口温度反应有时明显,有时不明显。此时蒸汽流量低,投减温水很容易引起汽温和受热面壁温波动。

(6) 锅炉启动时,一级减温器与二级减温器出口汽温都存在较大幅度地波动,波动幅度均在 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,从几次启动参数变化曲线看,二减出口汽温波动幅度大于一减出口汽温。

(7) 机组启动后,很快地关闭旁路,引起负荷较大幅度地波动。一般应该与机组升负荷配合,缓慢关闭,使得机组负荷平稳增长。

从以上运行控制过程来看,有可能造成管子内壁氧化皮的脱落。

3 爆管原因分析

(1) 内圈第一个管口存在的异物是造成第一次爆管的直接原因,异物来源可能是屏过以前的一级减温器、低温过热器等。

(2) 从第2次、第3次爆管分析,都属于短期过热爆管,过热的原因是管子内部工质流量降低。其原因可能是换热管发生堵塞,可能是工质流量分配不均。引起堵塞的原因可能有内壁氧化皮大面积脱落堵塞,节流孔异物堵塞,从机组启停过程的运行控制来看,具备氧化皮脱落的条件,而且管子内部内窥镜检查有氧化皮脱落的痕迹,由于屏过管子内径较小(22 mm),少量的氧化皮脱落即可造成通经大幅度减小,而且通经降低进一步影响流量降低,使脱落的氧化皮更加难以带走,进而加剧堆积。

(3) 壁温检测。为了监视机组启动过程管壁温度的变化,第3次检修过程中在屏过出口管增加了30只温度测点,最后一次启动过程中发现在1台磨煤机和2台磨煤机运行时,各管壁温度非常不稳定,尤其是最外圈管,个别管管壁温度在短时间内达到了 $585\text{ }^{\circ}\text{C}$,远远超过其他管壁温度,并有进一步升高的趋势,此时通过调整得到缓解。发生这种现象与个别管子内氧化皮的脱落堆积有关,一般情况下T91氧化皮是不容易脱落的,但是在锅炉停运过程吹扫冷却时间过长和启动过程减温水投入过早和流量过大,造成壁温大幅度波动等情况下,养化皮会发

生开裂,在条件具备时发生脱落。另外一个原因是,出现严重的壁温偏差可能与低负荷时工质流量低、在每根管子内的分布不稳定有关系。

第2、第3次爆管由于爆管管未安装温度测点,可能在启动过程中发生与最后一次启动相似的情况,管壁温度在没有检测手段的情况下迅速升高,发生爆管。

(4) 异种钢接头焊瘤。2号炉屏过下弯头区T91与TP347H的异种钢接头焊缝存在较严重地焊瘤。第2次爆管时,爆破与超温管的异种钢接头存在较严重的焊瘤,其中1只接头焊瘤高度在 $2\sim 3\text{ mm}$;抽查98只接头发现,35只有较严重焊瘤,其中13只有严重焊瘤,存在严重焊瘤的比例很高。

焊瘤的存在对换热管的冷却相当不利,一是形成局部节流,增加局部流动阻力,如焊瘤高 2.5 mm ,局部流通面积减少 40% ,会使流经该管的冷却蒸汽流量降低,出口汽温与换热管壁温升高。

4 爆管预防措施

为了避免过热、再热蒸汽系统发生爆管,应从设备和运行两方面进行预防和控制。

(1) 定期彻底清理系统可能存在的异物,7月22日发生的屏过爆管,即为节流孔堵塞异物所致,虽然在机组投产后进行过彻底的异物清理,但是在运行过程中其他设备中的焊渣、焊瘤仍然有可能进去系统,尤其是屏过入口集箱节流孔孔径较小,极易发生堵塞,定期清理十分必要。

(2) 增加屏过壁温测点,通过观察和历次爆管分析,屏过管排最外圈管与最内圈管爆管的可能性较大,应在每排最外圈和最内圈增加壁温测点。

(3) 增加测点后,启动过程中要行监视壁温变化,出现异常情况要迅速调整,可有效防止以下2种危害工况的发生:低负荷工况下各管排工质流量分配偏差,或氧化皮脱落堵塞;由于升负荷速率过快,造成管排整体壁温升高。

(4) 严格控制升温升压过程。按锅炉升温升压要求控制燃烧率,每次增加燃烧率幅度:负荷风开度不大于 5% ,磨煤机入口风量不大于 5 t ,给煤机煤量不大于 5 t ,增加燃烧率频次,每调整1次,要等待 5 min ,才能进行下一次调整。锅炉点火后开启高压旁路开度至少到 15% (关注高旁减温水调节阀内漏情况,否则关闭减温水截止阀),低压旁路开启 100% ,以建立较大蒸汽流量;锅炉升温、升压期间,分离器蒸汽温度温升速率 $\leq 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,各金属壁温升温率 $\leq 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,主蒸汽升压速率 $\leq 0.05\text{ MPa}/\text{min}$ 。在升温升压过程中不允许投入减温水运

行,当主/再汽温温升 $\geq 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 、受热面壁温温升 $\geq 2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 时,应适当降低燃烧率,或开大高压旁路来控制温升速率;密切监视屏过的壁温测点,及时调整煤水比。当主汽压力升至 7.0 MPa、高旁开度大于 40%以上时,利用旁路对受热面进行大流量冲洗 3~5 次。

(5) 锅炉启动过程中大流量冲洗。主汽冲洗方法为:每次将高旁开度开大,放置在 100%位置,将高旁迅速关至 15%,当末级过热器或高温再热器壁温有上升趋势,再迅速开启高压旁路至 100%,进行大流量冲洗 20 min。再热器冲洗方法:维持高旁 60~80%开度,逐渐关小低压旁路至再热汽压力 1.0~1.2 MPa,然后迅速开启低旁至 100%,反复冲洗 3~5 次。维持低压旁路全开长时间冲洗 20 min,直至凝结水水质化验合格或锅炉各级受热面金属壁温无偏差。

(6) 机组冲动并网后的控制。在机组并网后注意监视屏过出口汽温不大于 490 $^{\circ}\text{C}$,调整升降负荷速率(不大于 6 MW/min)和负荷变化量控制锅炉金属壁温度变化速率不大于 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。机组并网、切缸后,可开启减温水手动阀,减温水使用方式:每次开启开度变化幅度不大于 5%,保证减温器后温度高于主汽压力对应下的饱和温度 50 $^{\circ}\text{C}$,每调整 1 次,要等待 5 min 后,才能进行下次调整(汽温调整要看趋势图调整,切忌大开大关减温水,防止汽温、金属壁温剧烈波动,造成氧化皮脱落。启动第 2 台磨煤机加负荷,目标负荷,保持 3 台或 4 台磨煤机运行,机组负荷 500 MW,主汽温稳定在 515~525 $^{\circ}\text{C}$ 、再热汽温稳定在 535~545 $^{\circ}\text{C}$,稳定 4 h;在启动第 2 或第 3 台磨煤机料位正常出粉时,尽量减少运行磨煤机给煤量,使机组负荷以稳定速率上升,避免启动磨煤机过程中,由于燃烧不稳定导致机组负荷波动过大,而导致主、再热汽温出现大幅扰动。在机组升负荷过程中,锅炉直流工况后,机组主汽温控制以控制煤水比为主,减温水为辅,严格控制锅炉温升率 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,

尽可能控制中间点温度低工况运行,保持 5~10 $^{\circ}\text{C}$ 过热度,尽量少使用减温水。再热器温度以烟气调节挡板及风量调整为主,尽可能不投减温水。当机组负荷 500 MW 稳定期间,对锅炉进行全炉膛吹灰 1 次。当机组保持主汽温在 520~530 $^{\circ}\text{C}$ 、再热汽温在 540~550 $^{\circ}\text{C}$ 稳定运行 24 h 后,缓慢提升主再汽温至额定参数运行。

(7) 检修中对高温受热面(包括屏过)氧化皮厚度和材质老化情况结合状态进行全面检查,了解锅炉高温受热面氧化皮生成状况和材质老化情况,以便及时处理。

(8) 严格检修工艺,在检修过程中割管必须采用砂轮切割机进行,严禁火焰切割,割开后管口必须做好可靠封堵,在制作破口过程中应做好防止刨花落入管口的措施,必要时在焊管前对下部管子用内窥镜进行检查,确认无异物后进行对口焊接。若需要应采用易溶纸做成漏斗形状封堵;若管道内正压或者负压较大,应对系统压力进行必要的调节。严禁将易溶纸捣实填充。

5 结束语

第 1 次爆管的原因是由于节流孔异物所致。锅炉厂原有温度测点安装不合理,数量过少,不能监视工况最恶劣管子的壁温情况。第 2、3 次爆管原因是由于在机组启动过程种发生流量分配不均,进而造成低流量管管壁超温爆管,从最后一次启动过程来看,这种流量不均通过运行及时发现和调整是可以消除的。

参考文献:

- [1] 岑可法,周 昊,池作和.大型电站锅炉安全及优化运行技术[M].北京:中国电力出版社,2003.

作者简介:

徐巧生(1971),男,江苏常熟人,工程师,从事技术管理工作;
张辉涛(1973),男,陕西渭南人,工程师,从事电厂锅炉专业技术工作。

Analysis on Tube Rupture Issues of Platen Superheater in One 600 MW Supercritical Boiler

XU Qiao-sheng, ZHANG Hui-tao

(Huarun Changshu Power Generation Co., Ltd., Changshu 215536, China)

Abstract: The platen superheater tubes in one 600 MW supercritical boiler have ruptured for three times. In this paper, the tube rupture processes, field inspection results and the operational features are introduced in detail. Further, analysis on failure reasons is implemented and several precautionary measures are also presented.

Key words: platen superheater; overheating; tube rupture; prevention