低 NO_x 燃烧器改造后水冷壁横向裂纹原因及治理

马新立,徐颂梅
(江苏方天电力技术有限公司,江苏 南京 211102)

摘　要:随着锅炉新排放标准的实施,火电厂锅炉普遍进行了低 NO_x 燃烧器改造,改造后不少电厂出现了水冷壁横向裂纹问题。通过分析,指出了水冷壁发生横向裂纹的主要原因是锅炉低 NO_x 燃烧器改造后水冷壁还原性气氛增强,并提出低 NO_x 燃烧器改造优化方法和运行技术手段,可供相关电厂借鉴。

关键词:低 NO_x 燃烧器;水冷壁;横向裂纹
中图分类号:TK223.3　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1009-0665(2015)02-0072-03

根据 GB13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》,自 2014 年 7 月 1 日起,火电厂锅炉执行新的 NO_x 排放限值。在此之前,大部分电厂进行了低 NO_x 燃烧器改造。改造后,锅炉出口 NO_x 排放浓度明显下降,但很多电厂锅炉水冷壁出现横向裂纹问题。横向裂纹缩短了水冷壁寿命,严重时会导致水冷壁泄漏。必须对水冷壁横向裂纹产生原因进行分析,并制定相应对策,防止水冷壁发生横向裂纹[1-3]。

1 锅炉简介

某厂 1 号锅炉为 FW 西班牙公司制造的亚临界自然循环汽包锅炉,最大连续蒸发量 1160 t/h,主蒸汽压力 17.3 MPa,主蒸汽温度 541 ℃。单炉膛、一次中间再热、平衡通风、固态排渣、全悬吊结构 Π 型锅炉。燃烧器采用旋流燃烧器、前墙布置,冷一次风机直吹式制粉系统,配套 4 台 MBF-23 中速磨煤机,设计燃用煤种为低位发热量 22.26 MJ/kg 的烟煤。于 1993 年 5 月 20 日投入商业运行。

锅炉前墙上布置 4 层燃烧器,每层各有 4 只轴向旋流燃烧器,共 16 只燃烧器,由上至下编号依次为 ABCD。1 号炉在 2005 年进行低 NO_x 燃烧器改造,将燃烧器改造为 ABT 公司的 Opti-FlowTM 燃燃器,改造的主要内容是保留前墙大风箱结构,保留每只燃烧器原有的风量套筒挡板和径向调整的外调风器叶片,将原有燃燃器一次风和内二次风部分更换为具有更低 NO_x 功能的 Opti-FlowTM 燃燃器。在燃燃器的上方增加 4 只燃烬风喷口,在上层燃燃器靠二侧墙处增加 2 只防止高温腐蚀的侧翼风喷口,对原来的大二次风箱增加了均流装置,减小了中间二列燃烧器通风面积并调小其调风器全开的定位,以提高各燃燃器二次风配风的均匀性。

改造后燃烧器仍维持内外二次风双可调结构,外二次风喷嘴喉部 D 为 119 3.8 mm,内二次风喉部 D 为 914.4 mm;一次风从原涡壳切向进风改造为弯头进入,基本无旋流;在一次风管近喷口处设置煤粉偏向器,将一次风射流分为内外二部分;一次喷嘴离水冷壁平面距离 439.7 mm。燃尽风喷嘴离上层燃烧器距离 2905 mm,燃尽风喷嘴为旋流式。

2 横向裂纹特点

现场检查发现,锅炉水冷壁存在高温腐蚀,集中在后墙以及侧墙后部区域,高度在下层燃烧器至燃尽风区域,其中在后墙燃尽风区域高温腐蚀最严重,剥落的腐蚀产物厚度在 1.5～2.0 mm。高温腐蚀产物已部分剥落,剥落严重的区域在水冷壁朝炉膛方向,高温腐蚀产物可以成片剥落;部分成片剥落的高温腐蚀产物背面存在着类似横向裂纹的纹路。水冷壁管存在明显地减薄,减薄严重的为水冷壁侧面 45° 区域,减薄量约 1.2 mm;鳍片焊缝外部区域也存在较严重减薄,减薄约 1.0 mm;水冷壁向火面 90° 处减薄约 0.6 mm。

水冷壁管存在较广泛的密集横向裂纹,横向裂纹发生在水冷壁管向火面的正面,背火面不存在横向裂纹的现象;横向裂纹如丝状,大致与水冷壁管轴线垂直。水冷壁管出现横向裂纹的区域与存在高温腐蚀的区域基本重合,存在横向裂纹的水冷壁管在很大的高度范围内都有,高温腐蚀区域也有部分管不存在横向裂纹。

打磨去除管子向火面外壁的氧化皮及灰渣,可见清晰的密集横向裂纹,如图 1 所示。裂纹的周向长度约 1/4 圆周,周向位置如图 2 所示。

图 1 水冷壁横向裂纹形貌

收稿日期:2014-10-21;修回日期:2014-12-02

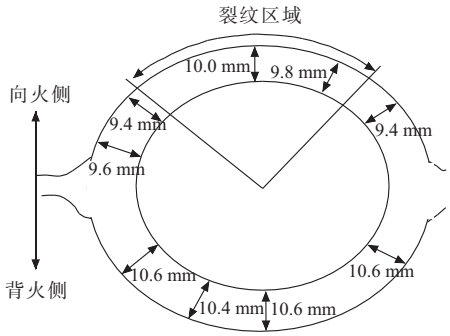

图 2 裂纹区域及腐蚀减薄区域

在向火面裂纹处取一只金相试样,磨制、抛光后裂纹形貌如图 3 所示, 取样区域裂纹最深处约 1.5 mm,开裂内部充满灰色氧化物。经浸蚀后观察显微组织,裂纹处显微组织为铁素体+珠光体,组织有轻度的球化。

图 3 外壁裂纹形貌

3 向裂纹原因分析

从 1 号锅炉水冷壁密集横向裂纹产生环境分析,水冷壁横向裂纹产生的主要原因是应力腐蚀。在应力和腐蚀介质作用下,材料表面的氧化膜被腐蚀破坏,破坏的表面和未破坏的表面分别形成阳极和阴极, 阳极处的金属成为离子而被溶解,产生电流流向阴极。由于阳极面积比阴极的小得多,阳极的电流密度很大,进一步腐蚀已破坏的表面。加上拉应力的作用,破坏处逐渐形成裂纹,裂纹随时间逐渐扩展直到断裂。这种裂纹不仅可以沿着金属晶粒边界发展, 而且还能穿过晶粒发展。裂纹的形成和扩展大致与拉应力方向垂直。导致应力腐蚀开裂的应力值, 比没有腐蚀介质存在时材料断裂所需要的应力值小得多。影响应力腐蚀的主要因素有腐蚀性气体与应力。

3.1 烟气还原性气氛强

锅炉燃烧器改造后,一次风消除了旋流,增加了一次风射流的刚度。增加了燃尽风和前墙的侧翼风喷嘴,减少了二次风量; 而燃烧器改造时保留了原燃烧器的二次风风量套筒挡板与外二次风旋流调节叶片。二次风速下降,二次风旋流强度降低。由于一次风射流刚度增强、二次风旋流强度降低,二次风卷吸一次风的能力减弱,一次风扩散度减小,火焰保持形状完整性能力增强;且炉膛深度不大,仅 11.049 m,由于燃烧器采用前墙布置,L 型火焰, 刚度大的一次风使得火焰吹向后墙。导致后墙区域热负荷高,火焰直接冲向后墙、引起后墙处煤粉浓度较高,贴墙处烟气还原性气氛很强。

增加燃尽风与侧翼风后, 燃烧器域二次风供应不足, 造成燃烧器区域缺氧燃烧, 整体呈现出还原性气氛。由于二次风旋流作用以及侧翼风影响,前墙及侧墙前部壁面处氧气浓度较高; 无侧翼风的下部燃烧器也不发生高温腐蚀,说明炉膛前部整体烟气氧浓度较高,还原性气氛不强。前墙处烟气氧气浓度较高会影响到后墙及侧强后部水冷壁处烟气氧量更低。

3.2 热应力高

由于火焰直接冲向后墙, 导致炉膛后半部热负荷偏高;炉膛存在结焦,结焦覆盖的水冷壁区域吸热量减少,使得不结焦区域局部热负荷升高,水冷壁壁面温度上升;当高温腐蚀产物剥落时,未剥落区有腐蚀产物覆盖,吸热减少,剥落区域壁面吸热量增加,壁面温度上升; 防腐防磨涂层剥落与高温腐蚀产物剥落影响基本相同,当喷涂质量不好,运行中出现剥落时,一部分直接剥落,另一部分未完全剥落,裂开的喷涂层内部水冷壁产生氧化,具有较大的热阻,减少了该部分水冷壁的吸热,导致完全剥落部分吸热增加,壁面温度升高。

对于应力的产生根源主要是炉墙水冷壁热膨胀以及膨胀受阻, 水冷壁热膨胀产生应力主要有水冷壁管存在较大壁温分布,如向火面吸热壁温高,背火面不吸热壁温低;鳍片处热流密度大,壁温高;有结焦的水冷壁管吸热量少、壁温低,不结焦的水冷壁管吸热量多、壁温高; 高温腐蚀产物未剥落的壁面吸热量少、壁温低,高温腐蚀产物剥落的壁面吸热量多、壁温高;防腐防磨喷涂层完全剥落的壁面吸热量多、壁温高,未完全剥落的壁面吸热量少、壁温低。壁温偏差会产生热膨胀偏差,壁温高、膨胀大的对周围材料产生拉应力,其受到周围材料的压应力。向火面与背火面壁温差会使水冷壁管产生鼓突变形, 吸热量大的水冷壁管会使得相邻水冷壁产生拉应力,本身产生压应力。

对于水冷壁膨胀受阻, 有刚性梁束缚和水冷壁刚度束缚,1 号锅炉水冷壁管管径粗、壁厚厚,具有较大的刚度,不易发生鼓突变形,也是束缚水冷壁变形的重要因素,如果水冷壁不能发生鼓突变形时,向火面材料受到压应力,背火面材料受到拉应力作用。在水冷壁结焦与不结焦,高温腐蚀的产生与剥落,都会使水冷壁管存在低周交变应力,也会促使横向裂纹快速发展。

4 横向裂纹防止对策

(1) 进行锅炉低 NO_x 燃烧器改造时注意对水冷壁管高温腐蚀和横向裂纹防治。适当增加一次风的旋流强度,降低喷口处一次风速,减少一次风射流刚度,防止火焰直接冲刷后墙水冷壁。减少水冷壁后部热负

荷和减轻烟气还原性气氛。

（2）在燃烧器改造中，根据燃尽风量和侧翼风量的影响，对燃烧器二次风喷口直径进行优化，保证二次风风速以及二次风旋流强度，以保证旋流二次风对一次风射流的卷吸作用，适当增加一次风射流的扩散性，适当增强一、二次风混合，减弱一次风射流动量，减小一次风射流的有效喷射距离。降低水冷壁处煤粉浓度，减少水冷壁后部热负荷和减轻烟气还原性气氛。

（3）燃烧器改造时控制合适的燃尽风率以及侧翼风量，在满足燃烧器生成的 NO_x 浓度要求条件下，增加减轻主燃烧器区域的燃烧空气，减轻主燃烧器区域烟气的整体还原性气氛。

（4）在燃烧器改造中优化侧翼风布置，减少前墙侧翼风量，或者取消前墙的侧翼风喷嘴，在侧墙后部贴近后墙水冷壁区域布置侧翼贴壁风，在后墙区域形成局部富氧的烟气环境，与后墙煤粉浓度匹配，减轻后墙水冷壁的还原性气氛。

（5）对水冷壁防腐防磨喷涂工艺与材料进行改进，提高喷涂层与母材结合的牢固性。选择能长久不破坏的喷涂材料与喷涂工艺，防止喷涂层过快脱落。

（6）在进行水冷壁防腐防磨喷涂前应将水冷壁表面打磨干净，已有横向裂纹的，应将横向裂纹打磨消除裂纹后再进行喷涂，防止喷涂后已有裂纹进一步发展，造成水冷壁失效。

（7）控制燃煤的硫分。从 2 个方面控制硫分，一方面是从整体上控制燃煤硫分，使得锅炉燃煤平均硫分降低；另一方面是控制个别硫分较高的燃煤。

（8）对燃烧硫分较高煤种的燃烧器，可以适当增加二次风量，减轻局部烟气的还原性气氛。

（9）利用大小修机会进行磨煤机出口管一次风速调平试验，降低各管一次风速分布偏差。为保证制粉系统运行安全的前提下降低喷口一次风速打好基础，同时保证各管煤粉浓度分布偏差处于较小的范围。

（10）当出现燃烧器的一次风量不一致时，对每层燃烧器的二次风量进行优化调整，一次风量偏大的燃烧器可以适当增加二次风量。

（11）热工对自动控制进行优化调整，降低运行中炉膛出口烟气氧量的波动幅度，减少炉膛出口氧量偏低的运行时间。

（12）每次检修对炉膛高温腐蚀和横向裂纹进行重点检查，同时做好腐蚀速率及裂纹深度发展的纪录，进行定点测量，监测高温腐蚀与横向裂纹的发展速率。

5 横向裂纹治理效果

从现场实际情况出发，将横向裂纹治理分 2 步进行，先进行运行调整，再利用检修机会对燃烧器结构进行优化。目前采用的措施包括降低喷口处一次风速、降低燃尽风量和侧翼风量、控制燃煤的硫分、热态一次风速调平试验和优化送风自动 PID 参数。

通过上述运行调整，燃烧器附近水冷壁处的氧化性气氛大大增强，氧量由调整前的 1%以下提高到 2%以上；同时，还原性气氛比调整前大大减弱，CO 含量由调整前的 5.0%左右减少到 2.8%，从而有力地降低了水冷壁横向裂纹发展的速度。

6 结束语

锅炉低 NO_x 燃烧器改造后水冷壁产生横向裂纹的主要原因是水冷壁附近还原性气氛大大加强，水冷壁发生应力腐蚀。通过控制燃煤硫分和运行调整，大大降低了水冷壁附近 CO 含量，取得了良好效果。建议利用锅炉检修机会，优化燃烧器结构，进一步降低水冷壁还原性气氛，达到根治水冷壁横向裂纹的目的。

参考文献：

[1] 严 方. 火电机组水冷壁管横向裂纹失效机理分析与热应力数值模拟[J]. 热加工工艺，2013，42(10)：83-86.

[2] 张家维，张忠华，张振杰，等. 超超临界锅炉内螺纹管垂直上升水冷壁横向裂纹原因分析及治理[J]. 东北电力技术，2013(10)：24-30.

[3] 杨庆旭，杨 超，孙 雄，等. 1025 t/h CFB 锅炉屏式过热器管失效分析[J]. 江苏电机工程，2013，32(1)：71-73.

作者简介：

马新立(1969)，男，江苏常州人，高级工程师，从事大型锅炉调试、试验及改造工作。

徐颂梅(1971)，男，江苏无锡人，高级工程师，从事火力发电厂的基建调试工作。

Cause and Countermeasures of Transverse Cracks on Water Wall Tubes After Low NO_x Burner Rebuilding

MA Xinli, XU Songmei

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co.Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Along with the implementation of the new boiler emission standard, low NO_x burner alteration was generally carried out on coal-fired power plant boilers. After transforming, water wall transverse crack issues were encountered in many power plants. The main cause of transverse cracks is severe reducing atmosphere near the water wall tubes after reforming low NO_x burners. The operation technology measures and the low NO_x burner retrofit optimization method were put forward, which can provide valuable reference for related power plants.

Key words: low NO_x burner; water wall; transverse crack