

电站锅炉氧化皮的防治研究

严晓哲¹, 杨平²

(1. 广东省特种设备检测研究院, 广东 佛山 528251; 2. 广东省特种设备检测研究院 佛山检测院, 广东 佛山 528251)

摘要: 锅炉受热面管氧化皮问题严重影响电站机组的安全经济运行。基于氧化皮的生成及剥落机理, 介绍了氧化皮的防护和治理技术, 具体包括运行控制、氧化皮测厚、堆积情况检测/评估/预测、化学清洗和换管等内容, 为受热面管氧化皮的防治工作提供参考, 对电站机组的安全运行具有一定的指导意义。

关键词: 电站锅炉; 氧化皮; 爆管事故; 防护; 治理; 化学清洗

中图分类号: TK 228 **文献标志码:** B **文章编号:** 1674 - 1951(2018)04 - 0042 - 03

0 引言

随着电站机组技术的发展, 国内超临界、超超临界机组日益增多。高温受热面管氧化皮问题也随着管内蒸汽压力与温度的提高而不断加剧。

氧化皮问题对电站机组主要有以下危害: (1) 在机组启停过程中, 受热面管内的氧化皮会剥落, 导致蒸汽流通面积减小, 管子局部过热、变形甚至爆管(通常发生在高温过热器 U 型管屏底部弯头附近); (2) 剥落的氧化皮碎屑会被蒸汽带入汽轮机, 损伤喷嘴、叶栅等汽轮机通流部分; (3) 剥落的氧化皮可能会造成蒸汽阀门卡涩, 影响阀门的正常关闭。这些问题都会给电站机组的安全、经济运行造成重大影响。

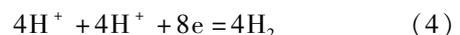
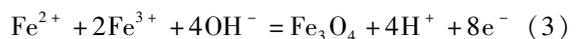
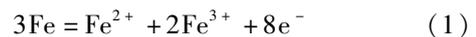
某发电公司 #2 锅炉采用上海锅炉厂的 1913 t/h 超临界压力 Π 型直流锅炉。其额定工况下主蒸汽压力 25.4 MPa, 温度 571 °C; 再热蒸汽热段压力 4.17 MPa, 温度 569 °C。其末级过热器管屏底部在检修结束启炉运行后不久即发生了一次爆管事故。此次事故是 2013 年 ~ 2017 年累计发生的第 4 次爆管事故, 且吹损、吹伤多根临近的过热器管, 给电厂带来严重的经济损失。因此, 对受热面管氧化皮的生成机理、防护与治理技术的研究非常重要。

1 氧化皮生成及剥落机理

朱朝阳等^[1~4]研究了锅炉高温受热面管蒸汽氧化皮的生长与剥落特性; 徐洪^[5]在“环境破坏说”的基础上阐释了锅炉高温受热面氧化皮剥落的理论; 张志远等^[6]从基建、调试及生产方面提出了对氧化皮的防治措施。

通过上述研究和理论表明, 锅炉受热面管内氧

化皮的生成, 是金属管子与高温蒸汽发生化学反应的结果, 其反应式如下。



通常, 当蒸汽温度超过 400 °C 时, 金属管的氧化反应速率会因高压、高温蒸汽环境而加速; 在 570 °C 以下, 管子形成的氧化皮主要是由 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 组成的较致密的氧化膜, 可以避免金属被进一步氧化; 当温度超过 570 °C 时, 氧化膜主要由 FeO 、 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 组成, FeO 处于最内层且致密性差, 会破坏氧化膜的稳定性, 使金属与蒸汽持续发生反应^[5]。

由于氧化皮各层氧化物与管子基体金属热膨胀系数的差异, 产生的热应力会导致氧化皮开裂和剥落。受热面管长期在接近或超过材料使用温度限值的环境中使用, 会导致管内壁氧化皮快速形成。在机组启停过程中, 受热面管壁温度大幅变化, 产生的热应力会促使氧化皮发生剥落。

温度变化引起的应变一旦超过管子允许应变, 氧化皮就会剥落^[7]。氧化皮受应力作用发生剥落时对应的临界温度降幅如下式。

$$\Delta T_c = \left[\frac{\gamma_F}{\xi E_{\text{OX}} (\alpha_m - \alpha_{\text{OX}})^2 (1 - \nu)} \right]^{0.5} \quad (6)$$

式中: ΔT_c 为临界温度降幅, °C; γ_F 为界面间断裂能, kJ, 取决于管材和氧化皮的机械性能; ξ 为氧化皮厚度, mm; E_{OX} 为弹性模量, GPa; α_m 、 α_{OX} 分别为金属基体、氧化皮的线膨胀系数, 1/°C; ν 为泊松比。

金属氧化皮的剥落受多种因素影响, 除其物性参数外, 与受热面管运行中氧化皮的厚度和温度变化幅度密切相关。

2 氧化皮预防

2.1 运行控制

(1)避免机组的局部或整体超温运行,是防止锅炉高温受热面管氧化皮快速形成的主要措施。主蒸汽温度和再热蒸汽温度都应控制在管材允许使用温度范围内。当发生超温情况时,应当及时进行燃烧调整,降低主、再热蒸汽运行温度。当受热面管壁持续超温时,则应采取相应紧急措施,并记录备案。

(2)减少炉膛出口烟温偏差,防止过热器出口蒸汽温度差过大。加强高温段过热器、再热器等管壁温度监控,对超温情况进行分析和统计,判断是否需要缩短检验周期。

(3)启、停炉时严格控制温度变化幅度,按照启、停机曲线操作。对于因氧化皮问题引起频繁爆管的机组,应适当降低锅炉启、停温度控制速率,减缓氧化皮的剥落。

(4)调整蒸汽参数时,先做燃烧调整,尽量控制减温水的投用。

(5)加强对水处理设备的监控与管理。依据 GB/T 12145—2016《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量标准》严格控制汽水质量。

2.2 定期检验

(1)加强停炉后对锅炉部件的检查,定期清理过热器和再热器集箱的泥垢、异物等。建议根据电厂实际运行情况,对高温过热器(以下简称高过)出口集箱和高温再热器(以下简称高再)出口集箱进行定期金相组织分析。

(2)加强对炉内高过和高再管的检查,定点监测高温段过热器和再热器的高温出口段管子的氧化皮厚度、胀粗量及金相组织情况,必要时割管分析。

(3)可采用射线或磁性检测技术,对过热器和再热器管屏底部弯头部位采取重点检查,必要时进行割管与化验分析。

2.3 氧化皮检测

目前常用的氧化皮检测方法有射线检测、磁性检测、高频超声检测、声振检测等方法,其中磁性检测技术与高频超声检测方法应用较普遍。

(1)射线检测方法,依据 X 射线或 γ 射线在穿透被检物各部分时强度衰减不同的原理进行检测。底片显示直观、易于观察、记录性好;但成本高、操作不便、对氧化皮厚度测量分辨率低。

(2)高频超声检测方法,依据钢管和氧化皮界面两侧物质密度和声阻抗不同的原理进行检测。操作方便、效率高,精度可达到 0.01 mm,可对管内壁氧化皮厚度进行测量;但由于声波在粗晶材料中衰

减较大,在晶界处易发生反射、折射等现象,不适用于粗晶管材的氧化皮检测。采用 T91 管材的锅炉常使用该方法进行氧化皮检测。

(3)声振检测方法,根据声振动信号的特征参数——衰减系数的变化来判别管内氧化皮堆积程度。该方法不受钢材材质和磁性因素影响,可用来测量弯管内氧化皮堆积程度;但操作过程容易受噪声干扰,测量装置有待进一步研究^[8]。

(4)磁性检测方法,依据奥氏体钢与其内壁氧化皮的磁性不同的原理进行检测。该方法可对管内堆积氧化皮情况进行检测,操作灵活、方便、效率高;但仅适用于奥氏体不锈钢管的检测,对铁素体钢管无法检测,也无法对未脱落的氧化皮进行厚度测量。

使用单位应根据锅炉高过和高再的管材情况和使用情况制定合理的检验方案。对于常发生爆管的部位,应根据现场条件选择合适的单项检验或组合检验方法,必要时扩大检验范围。氧化皮的检测新技术、新装置有待进一步研究。

2.4 评估与预测

孙玺等^[9]开发了基于 B/S 结构的火电厂锅炉管氧化皮脱落风险预警系统,可用于锅炉管内壁氧化皮脱落倾向较大的机组。黄鑫等^[10]对有氧化皮堆积的过热器管进行寿命预测,依据 Robinson 法则确立管材失效准则,将管内氧化皮堵塞程度分类,并提出相应处理办法。使用单位应根据锅炉运行情况 & 定期检验数据,对锅炉过热器、再热器管子进行安全评估及预测,对于减少锅炉事故及非计划正常停机具有重要意义。

3 氧化皮治理

3.1 化学清洗

锅炉的过热器与再热器结构复杂、材质种类多(包括 T22、T23、12Cr1MoVR、T91、TP347、Super304 等)。由于这些材料在高温过热蒸汽中生成的氧化物形态各不相同,化学清洗存在诸多难点。锅炉的化学清洗试剂应具备对氧化皮的剥离量小、溶解效果好、对材料的腐蚀速度低、对奥氏体不锈钢材质无晶间腐蚀等特点。邓宇强^[11]等自制的复合有机酸清洗剂,对 T22、12Cr1MoVR、T91 和 TP347 四种过热器管子的氧化皮有良好的清洗效果。

3.2 换管

对氧化皮问题严重的机组,建议根据 DL/T 715—2015《火力发电厂金属材料选用导则》,选择抗高温氧化性能和抗高温腐蚀性能良好的管材;超临界机组的高过与高再温度较高区段可选择 TP347HFG 或经内壁喷丸处理的 18-8 奥氏体耐热

钢; 温度较低段可选择 TP304H、TP347 HFG、TP316H、T91 等材料; 超超临界机组的高温过热器、再热器管可选择 TP310HcbN、HR3C 或内壁喷丸处理的 S30432、Super304H 等材料。换管过程中, 应注意控制焊接及热处理工艺, 并对焊口进行射线检测及表面无损检测, 确保焊接质量。

4 结论

(1) 金属管与高温蒸汽发生化学反应会产生氧化皮, 严重危害锅炉设备的安全生产, 应加强运行监控, 避免机组超温、超压运行。

(2) 应对高温过热器管、再热器管定期检验, 重点位置定点监测胀粗情况、氧化皮厚度及堆积情况, 并依据检测情况对管子进行安全评估、预测, 必要时割管分析。

(3) 当受热面管内氧化皮达到一定厚度时, 应选择合适的清洗介质进行酸洗。

(4) 氧化皮的检测新技术、新装置有待进一步研究。

参考文献:

[1] PENG X, YAN J, ZHOU Y, et al. Effect of grain refinement on the resistance of 304 stainless steel to breakaway oxidation in wet air[J]. Acta Materialia, 2005, 53: 5079 - 5088.
 [2] 朱朝阳, 刘绍强. 超超临界机组过/再热器氧化皮生长试

(上接第 41 页)

3.4 舱顶拼接

预制舱舱体顶部主框架梁的拼接, 采用与舱底类似的工艺。

舱顶屋面的处理方面: 在舱顶中间拼缝处打胶, 在空腔中填充保温材料, 并在拼缝上方增加盖板; 最后在盖板的拼接处再加装盖板; 全部满焊完成后对焊缝进行喷漆处理。

4 结束语

组合式预制舱是在预制舱基础上衍生而来, 遵循国家电网公司提出的“标准化设计、工厂化加工、模块化建设、机械化施工”建设原则。组合式预制舱, 合理提高了变电站的土地利用率, 加快变电站建设进程, 已通过实践验证, 并在部分智能变电站示范工程试点站中应用。

今后, 应进一步研究优化组合式预制舱技术, 尽快构建起模块化的划分原则, 形成通用设计, 实现方

验研究[J]. 热力发电, 2016, 45(07): 120 - 124.
 [3] 赵永宁, 刘爽, 魏玉忠. 超(超)临界锅炉管用材料的缺陷和失效分析[J]. 热力发电, 2010, 39(4): 36 - 41.
 [4] 杨景标, 郑炯, 李树学, 等. 锅炉高温受热面蒸汽侧氧化皮的形成及剥落机理研究进展[J]. 锅炉技术, 2010, 41(06): 44 - 50.
 [5] 徐洪. 基于“环境破坏说”的氧化皮剥落理论[J]. 动力工程学报, 2012, 32(09): 733 - 740.
 [6] 张志远, 丁明青. 660 MW 超临界锅炉氧化皮防治介绍[J]. 锅炉技术, 2011, (03): 63 - 66.
 [7] 唐海宁. 大容量电站锅炉金属氧化皮问题综合分析[D]. 南京: 东南大学, 2006.
 [8] 彭啸, 李晓红, 刘云, 等. 高温受热面弯管氧化皮堆积的声振法检测研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, (08): 104 - 107.
 [9] 孙玺, 杜保华, 王大鹏, 等. 火电厂锅炉管内壁氧化皮脱落风险预警系统研发与应用[J]. 热力发电, 2013, (08): 90 - 93.
 [10] 黄鑫, 丁克勤, 赵军. 蒸汽侧有氧化皮堆积的过热器管寿命预测[J]. 热力发电, 2013, (07): 88 - 91.
 [11] 邓宇强, 曹杰玉, 张祥金, 等. 火电厂过热器化学清洗配方及工艺研究[J]. 中国电力, 2013, 03(46): 78 - 80.

(本文责编: 陆华)

作者简介:

严晓哲(1989—), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 从事电站锅炉安全检验工作(E-mail: hdyanzx@163.com)。

案设计、物资采购、施工等过程的标准化, 进而实现组合式预制舱的标准化配送。

参考文献:

[1] 罗江怡. 智能变电站中预制舱式组合二次设备的运用[J]. 硅谷, 2014(21): 100, 106.
 [2] 预制舱式二次组合设备技术规范: Q/GDW 11157—2014[S].
 [3] 丁丽平, 韩付申, 丁妍妍, 等. 预制舱并舱结构及仿真分析[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2014(11): 40 - 42.

(本文责编: 白银雷)

作者简介:

顾铭飞(1987—), 男, 江苏靖江人, 助理工程师, 从事电力系统电子设备结构设计研究、开发方面的工作(E-mail: mingfei-gu@sac-china.com)。

袁涤非(1976—), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 工学硕士, 从事电力系统电子设备结构设计研究、开发方面的工作(E-mail: difei-yuan@sac-china.com)。