

某电厂锅炉水冷壁管壁厚异常减薄原因

高大伟

(中国大唐集团科技创新有限公司, 保定 071703)

摘要: 在某电厂水冷壁管的防磨、防爆检查过程中,发现大批量水冷壁管壁厚发生异常减薄现象。采用宏观观察、化学成分分析、力学性能测试、金相检验、扫描电镜和能谱分析等方法对壁厚异常减薄原因进行分析。结果表明:水冷壁管向火侧管壁异常减薄的主要原因是向火侧管壁发生硫化物高温腐蚀,最终导致水冷壁管壁厚异常减薄。

关键词: SA-210C 钢; 水冷壁; 高温腐蚀; 壁厚减薄; 硫化物

中图分类号: TK223; TG115.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-4012(2024)06-0042-04

Causes of abnormal wall thickness thinning of boiler water wall in a power plant

GAO Dawei

(China Datang Group Technology Innovation Co., Ltd., Baoding 071703, China)

Abstract: In the process of anti-wear and explosion-proof inspection of water wall tubes in a power plant, it was found that the wall thickness of a large number of water wall tubes was abnormally thinned. The causes of abnormal wall thickness thinning were analyzed by means of macroscopic observation, chemical composition analysis, mechanical property test, metallographic examination, scanning electron microscopy and energy spectrum analysis. The results show that the main reason for the abnormal thinning of the water wall tube to the fire side was the high temperature corrosion of the sulfide on the fire side tube wall, which eventually led to the abnormal thinning of the water wall tube wall thickness.

Keywords: SA-210C steel; water wall; high temperature corrosion; wall thickness thinning; sulfide

水冷壁管是锅炉的主要受热部分,用于吸收炉膛中高温燃烧产物的辐射热量,也是实现锅炉热量传递与交换的最核心部件^[1-4]。由于锅炉运行工况复杂,水冷壁管长期处于高压水汽和高温烟气环境中,壁厚异常减薄给锅炉的安全运行造成重大安全隐患,因此分析其减薄原因,并采取必要的预防措施,对锅炉的安全运行至关重要^[5-7]。

在对某电厂300 MW亚临界机组锅炉进行防磨防爆检查过程中,发现其大批量水冷壁管壁厚异常减薄,水冷壁管材料为SA-210C钢,规格为63.5 mm×7.5 mm(外径×壁厚)。笔者采用宏观观察、化学成分分析、力学性能测试、金相检验、扫描电镜(SEM)和能谱分析等方法对壁厚异常减薄原因进行分析,以消除该类安全隐患。

1 理化检验

1.1 宏观观察

水冷壁管向火侧外壁宏观形貌如图1所示。由图1可知:水冷壁管向火侧外壁有较多灰黑色的附着物,附着物厚度已超过1 mm,附着物分为多层,最外层坚硬而易碎,多处附着物存在不同程度的剥离和脱离。



图1 水冷壁管向火侧外壁宏观形貌

收稿日期: 2023-12-28

作者简介: 高大伟(1990—),男,硕士,工程师,主要从事电站金属监督检验、金属材料失效分析工作,854868623@qq.com

水冷壁管横截面宏观形貌如图2所示。水冷壁管未见明显变形,背火侧壁厚较为均匀,向火侧壁厚不均匀,局部减薄非常明显。对水冷壁管进行壁厚测量,实测水冷壁管背火侧壁厚约为7.6 mm,壁厚正常;向火侧管壁减薄最严重位置的壁厚仅为4.5 mm,减薄量仅有原壁厚的40%左右,不符合DL/T 438—2016《火力发电厂金属技术监督规程》中“锅炉受热面管壁厚应无明显减薄”的要求。对于水冷壁、省煤器、低温段过热器和再热器管,壁厚减薄量应不超过设计壁厚的30%。

1.2 化学成分分析

在水冷壁上截取试样,采用直读光谱仪对试

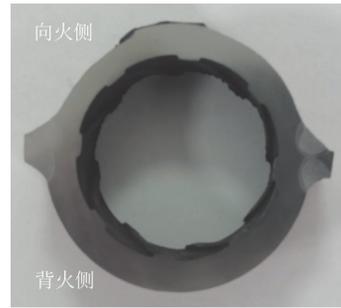


图2 水冷壁管横截面宏观形貌

样进行化学成分分析,结果如表1所示。由表1可知:试样材料的各元素含量均符合ASME SA-210/SA-210M—2023《锅炉和过热器用无缝中碳钢管子》对SA-210C钢的要求。

表1 水冷壁管的化学成分分析结果 %

项目	质量分数				
	C	Mn	P	S	Si
实测值	0.26	0.82	0.011	0.007	0.22
标准值	≤0.35	0.29~1.06	≤0.035	≤0.035	≥0.10

1.3 力学性能测试

在水冷壁管背火侧取样,对试样进行拉伸试验及硬度测试,结果如表2所示。由表2可知:水冷壁管的抗拉强度、屈服强度、断后伸长率及布氏硬度均符合ASME SA-210/SA-210M—2023的要求。

表2 水冷壁管力学性能测试结果

项目	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	断后伸长率 /%	硬度/HB
实测值	292	516	32.0	169
标准值	≥275	≥485	≥30	≤179

1.4 金相检验

在水冷壁上取样,对试样进行金相检验,结果如图3所示。由图3可知:水冷壁管向火侧和背火侧的组织形态无明显差异,显微组织为铁素体+珠光体,晶粒度为10级,珠光体形态较为清晰,边界模糊,晶界上开始有颗粒状碳化物析出,珠光体球化级别为2级,球化程度较轻,未发现异常或明显的过热组织,向火侧外表面残留腐蚀附着物,最厚达1.16 mm。

1.5 扫描电镜及能谱分析

对水冷壁管外壁附着物外表面、中间层、内表面进行扫描电镜及能谱分析,结果如图4~6所示。由图4~6可知:水冷壁管外壁附着物外表面元素种类较多,含Fe、O、S、Zn、Si、Al、Ca、Mn等元素;附着物内表面元素种类较少,几乎全部为Fe、O、S元素,

应为水冷壁管母材的氧化腐蚀产物。

2 综合分析

2.1 试验结果分析

该水冷壁管的化学成分、力学性能均符合ASME SA-210/SA-210M—2023对SA-210C钢的要求。水冷壁管管径无明显变形,向火侧母材显微组织中珠光体球化级别为2级,组织老化不明显,这说明水冷壁管在运行过程中壁温正常,无过热现象。水冷壁管向火侧存在不均匀减薄,外径随向火侧壁厚减薄量的增加而减小,表明水冷壁向火侧壁厚减薄为外壁腐蚀所致。水冷壁管外表面附着物坚硬且易碎,能谱分析结果表明附着物为铁的氧化物和硫化物,从而判断水冷壁管向火侧发生的腐蚀形式为高温硫腐蚀。

2.2 腐蚀原因分析

高温腐蚀与煤的种类有很大关系,煤中的硫元素和硫化物是形成腐蚀的主要原因,而煤的燃烧特性又是影响腐蚀速率的主要因素之一。锅炉水冷壁腐蚀发生在不完全燃烧中形成的一氧化碳还原性气氛中,同时有硫化氢存在,使水冷壁管发生硫化物型高温腐蚀^[8-10]。煤中的黄铁矿是引起硫化物型高温腐蚀的主要原因,其反应机制如下所述。

黄铁矿粉末随高温烟气到达水冷壁管附近,在还原性气氛下黄铁矿粉末受热分解出自由原子硫和

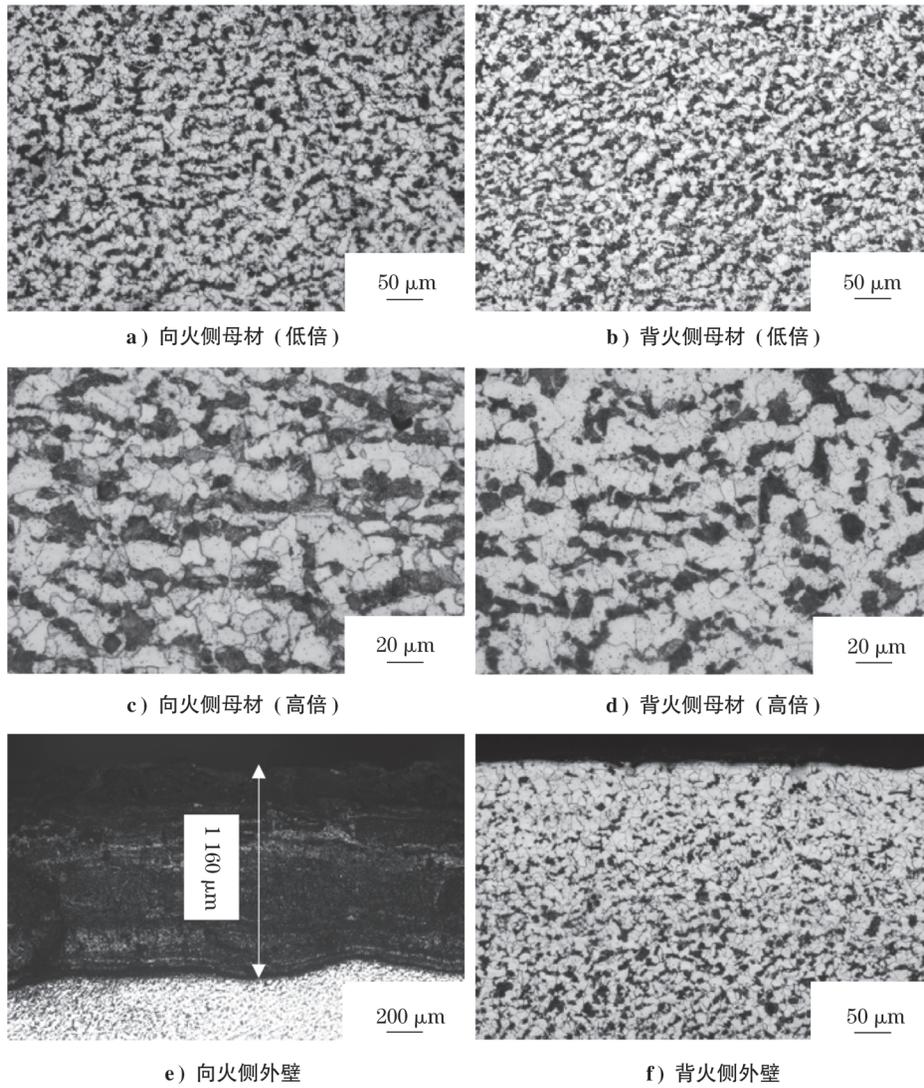


图3 水冷壁管的显微组织形貌

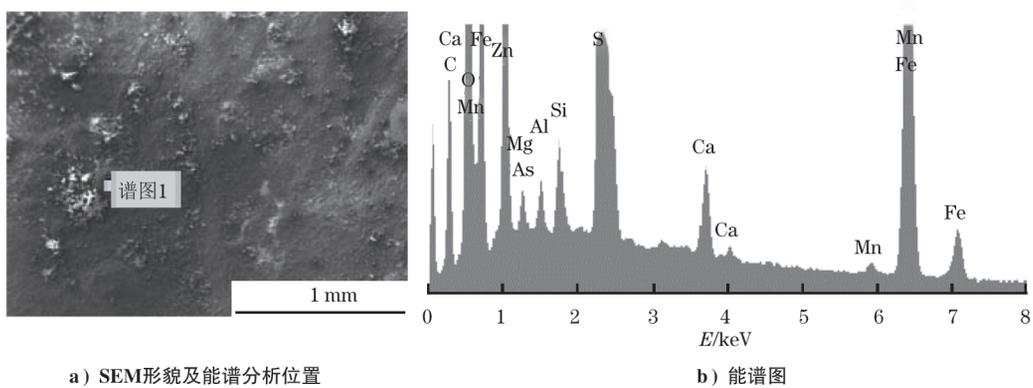


图4 水冷壁管外壁附着物外表面 SEM 形貌及能谱分析结果

硫化亚铁。当水冷壁管附件存在 H_2S 和 SO_2 时,也可能发生如下反应。



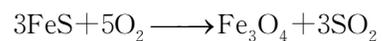
在还原性气氛中,由于缺氧,硫原子可以独立存在,当管壁温度超过 $350\text{ }^\circ\text{C}$ 时,会发生硫化反应。



H_2S 还能和 FeO 作用,发生如下反应。



FeS 会继续氧化生成 Fe_3O_4 ,反应方程式为



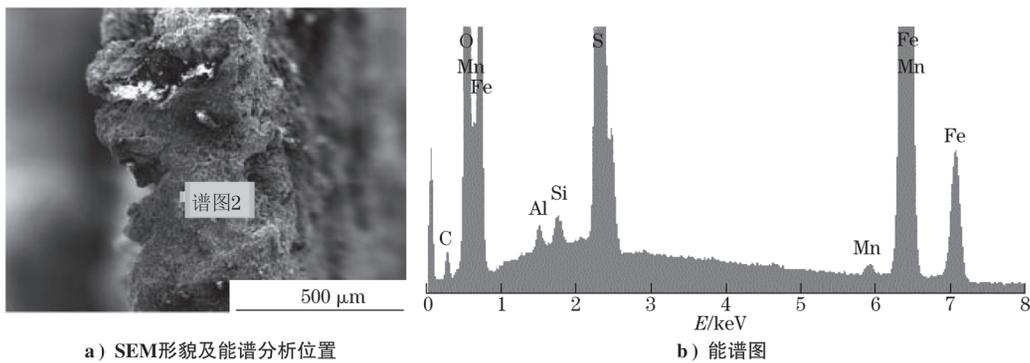


图5 水冷壁管外壁附着物中间层 SEM 形貌及能谱分析结果

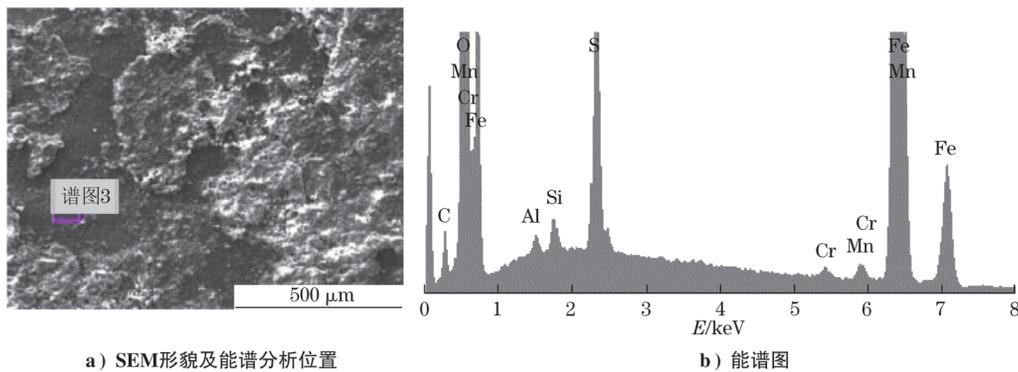


图6 水冷壁管外壁附着物内表面 SEM 形貌及能谱分析结果

综上所述,煤中硫元素含量高,未充分燃烧的煤粉冲刷水冷壁并形成局部还原性气氛,在温度较高的水冷壁产生高温腐蚀。

3 结论与建议

(1) 水冷壁管减薄的主要原因是硫化物型的高温腐蚀。

(2) 水冷壁管产生高温腐蚀的主要因素有水冷壁区还原性气氛、水冷壁管壁温、煤质品级及燃烧状况等。

(3) 建议电厂加强对水冷壁管的监督检查,重点关注历史发生腐蚀部位,尤其是近期存在煤质波动、锅炉运行调整等情况时,须利用临停、检修等机会增加割管频次、扩大割管范围,检查相应管系的腐蚀情况,并根据腐蚀情况采取针对性处理措施,及时更换腐蚀减薄导致强度不足的管子,对易发生腐蚀减薄的区域采取加装防护瓦或喷涂等防护措施。

(4) 建议电厂在煤质含硫量和水冷壁壁温保持不变的情况下,通过燃烧调整优化,控制好氧元素含量,避免燃烧区域因局部缺氧而形成还原性气氛,可以有效减少水冷壁硫化物型高温腐蚀减薄现象的发生次数。

参考文献:

[1] 季文波,康龙基,王硕. 某电厂锅炉水冷壁管减薄原因

分析[J]. 锅炉制造, 2023(2): 43-45.

[2] 关鑫源,姚学会,李鑫杰,等. 超临界锅炉水冷壁厚减薄原因分析及预防[J]. 锅炉技术, 2021, 52(6): 48-54.

[3] 韩志远. 某热电厂600 MW 锅炉水冷壁管开裂原因[J]. 理化检验(物理分册), 2021, 57(2): 60-62.

[4] HU W, XUE S, GAO H C, et al. Leakage failure analysis on water wall pipes of an ultra-supercritical boiler[J]. Engineering Failure Analysis, 2023, 154: 107670.

[5] HONG M ,CHAE H ,KIM W C, et al. Failure analysis of a water wall boiler tube for power generation in a district heating system[J]. Metals and Materials International, 2019, 25(5):1191-1201.

[6] 梁宝琦. 锅炉水冷壁管横向裂纹形成原因分析[J]. 理化检验(物理分册), 2018, 54(7): 536-539.

[7] 张志达,张炜,许龙发,等. 锅炉水冷壁腐蚀爆管原因[J]. 理化检验(物理分册), 2023, 59(4): 19-22.

[8] 蔡煜,张伟,戴敏明,等. SA210C无缝中碳钢管带状组织的评定方法[J]. 理化检验(物理分册), 2017, 53(5): 322-324.

[9] 李宪爽,高成龙,王硕. 亚临界锅炉水冷壁管局部减薄原因分析[J]. 发电设备, 2021, 35(4): 227-230.

[10] 马国伟,马彪,张明杰,等. 电站锅炉水冷壁减薄原因分析及解决办法[J]. 电站系统工程, 2019, 35(5): 28-31.