

660MW锅炉水冷壁管道泄漏分析

杜俊伟^{1, 2}, 李霄¹, 吕品正², 张正华¹, 肖世俊¹, 薛海洋¹

1. 西安石油大学材料科学与工程学院 陕西西安 710016

2. 陕西君创智盈能源科技有限公司 陕西西安 710016

摘要: 火电厂锅炉材料失效泄漏是机组非计划停运的主要原因之一, 导致因材料失效而泄漏的原因错综复杂, 但鳍片焊接引起的失效泄漏相对较少。以某电厂660MW机组锅炉侧墙垂直水冷壁泄漏为基础, 通过金属材料宏观分析、力学分析、金相检测等方法对失效管道进行试验, 并结合现场实际情况分析泄漏原因。试验结果表明: 本次管道泄漏为管道鳍片拉裂, 裂纹扩展至水冷壁管道, 导致管道在高温、高压下爆管泄漏。

关键词: 水冷壁; 鳍片; 裂纹; 泄漏分析

Leak analysis of 660MW boiler water wall pipeline

DU Jiaowei^{1, 2}, LI Xiao¹, LÜ Pinzheng², ZHANG Zhenghua¹, XIAO Shijun¹, XUE Haiyang¹

1. School of Materials Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710016, Shaanxi, China

2. Shaanxi Junchuang Zhiying Energy Technology Co., Ltd., Xi'an 710016, Shaanxi, China

Abstract: The failure and leakage of boiler materials in thermal power plants is one of the main reasons for the unplanned shutdown of units, and the causes of material failure and leakage are complex. However, there is relatively little failure leakage due to fin welding. Based on the leakage of vertical water wall of the side wall of the boiler of a 660MW unit of a power plant, this paper tests the failed pipeline by methods such as macroscopic analysis, mechanical analysis and metallographic inspection of metal materials, and analyzes the causes of leakage based on the actual situation on site. The test results found that the leakage of the pipeline was the cracking of the pipe fin, and the crack extended to the water-cooled wall pipeline, resulting in the pipe bursting under high temperature and high pressure. This research and analysis aims to put forward a new analysis idea for the leakage failure of boilers in power stations, and provide a technical basis for reducing the number of non-stop units.

Keywords: water-cooled wall; fins; crack; leakage analysis

1 序言

火电厂机组非计划停运(以下简称“非停”)事件直接影响机组安全与经济性。而锅炉四管(省煤器管、水冷壁管、过热器管、再热器管)的失效泄漏是机组非停的主要因素之一^[1, 2]。事实上, 大多数电厂运维时也在积极进行防磨、防爆检查, 以减少机组运行过程中由于管道泄漏造成的非停次

数。因此, 对锅炉四管泄漏原因的进一步研究具有重要的意义。

通常, 锅炉四管失效原因需根据管道运行工况不同做单独分析。如过热器泄漏原因有管道材质错误、管道内氧化皮堆积、蒸汽流速、焊接热处理工艺不当、锅炉膨胀拉裂、锅炉变工况运行, 以及内外表面腐蚀、磨损等^[3]; 水冷壁泄漏原因有煤粉燃

第一作者: 杜俊伟, 工程师, 硕士, 主要从事高温材料相关研究工作, E-mail: dujiaowei01@163.com。

烧器磨损、热态煤粉气流的冲刷、燃烧器安装未校而存在的气流偏差、燃烧器各角动量分配不均造成的切圆/气流偏斜,以及出现冲刷水冷壁、吹灰器区域磨损等^[2];省煤器泄漏原因有工质发生变化,导致下降管带气,进而影响或破坏水循环,引起局部超温泄漏^[4];再热器泄漏原因有锅炉水平烟道后温度下降,烟气和煤灰形成固体颗粒对低温受热面造成冲刷,以及吹灰汽的吹损等。另外,其他非运行磨损也可导致泄漏,如异物堵塞导致局部过热^[5]、锅炉启动时水塞引起局部过热^[6, 7],氯化物、硫化物及硫酸盐等的腐蚀^[8],循环流化床锅炉的密相与稀相之间煤粉磨损^[9],以及加药操作不当造成碱性腐蚀^[10]、焦块砸伤^[11]等。

综上所述,虽然导致锅炉材料失效而泄漏的原因错综复杂,但因鳍片焊接质量引起泄漏的研究较少。本文针对某火力发电厂660MW机组锅炉侧墙垂直水冷壁泄漏开展失效分析,进一步探究引起锅炉水冷壁泄漏的原因,目的在于提高电厂锅炉运维质量,为检修施工提供思路,为电力企业减少非停次数提供依据。

2 管样概述

电厂机组为660MW高效超超临界(蒸汽压力 $\geq 25\text{MPa}$,蒸汽温度 $> 580^\circ\text{C}$)燃煤发电机组。泄漏点为锅炉侧墙垂直水冷壁标高60m,管道材质为12Cr1MoVG低合金珠光体耐热钢,规格为 $\phi 31.8\text{mm} \times 6.5\text{mm}$ 。泄漏位置如图1所示,水冷壁结构如图2所示。

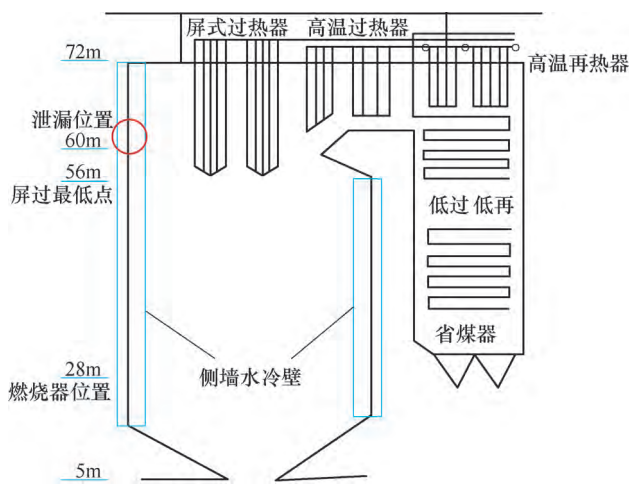


图1 泄漏位置示意

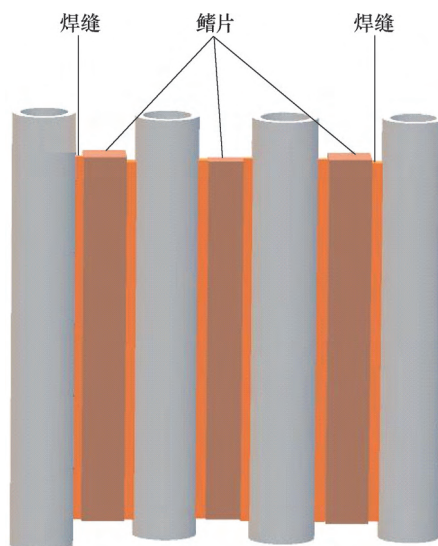


图2 水冷壁结构示意

3 宏观分析

在管道裂纹处沿裂纹切断,取厚度为10mm左右的环向试样J1,在远离裂纹端取厚度为10mm左右的环向试样J2,J2作为J1的对比部位,如图3所示。



图3 管道取样位置

1) 通过游标卡尺测量,裂纹处管件直径为32.22mm,远离裂纹处管件直径为31.98mm。相比裂纹处涨粗0.75%,裂纹处管道涨粗不明显。管件焊缝处旁侧有一长约20mm的环向裂纹,延伸到管件母材,环向裂纹扩展至管件的一半左右,如图4所示。该裂纹处焊缝外观成形不良,存在应力集中倾向。

2) 在管道裂纹缺陷处取环形试样,环形试样截面发现3条由管道外壁至内壁的内部纵向裂纹(不同于管道外表面裂纹),如图5a所示。裂纹1长度纵深为2~3mm,由管道外表面延伸至管壁中间部位;裂纹2纵深9mm,由管道与鳍片之间焊缝外表面延伸至管道内壁;裂纹3纵深4mm,由管道与鳍片之

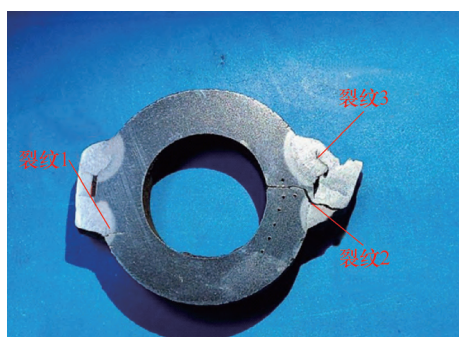


图4 管道裂纹处宏观形貌

间焊缝内部延伸至中间空隙处。

3) 管道整体无减薄现象, 管体内部无腐蚀现象, 外壁轻微氧化。

综上所述, 对管道宏观分析发现, 管道无明显胀粗情况, 无内部腐蚀特征, 管道泄漏主要由于贯穿管道内外壁裂纹引起, 如图5b所示。但不排除管道外部环形裂纹的作用。



a) 管道外壁至内壁的内部纵向裂纹



b) J1裂纹2宏观形貌

图5 裂纹处管道截面宏观形貌

4 金相检测

通过宏观分析结果, 重点对内部纵向裂纹处进行金相检测, J1为焊缝外部环形裂纹处截面, J2为远离J1截面(截面取样部位见图3, 截取的J1试样正面为裂纹处界面), J1截面裂纹分布如图6所示。

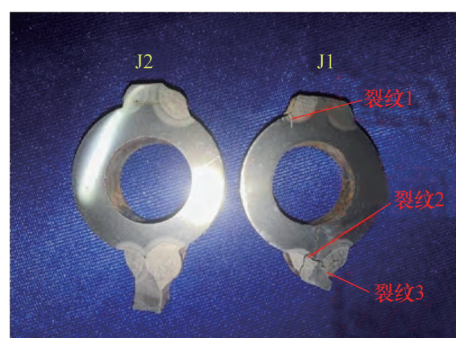
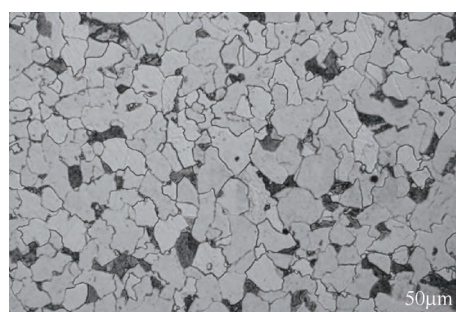


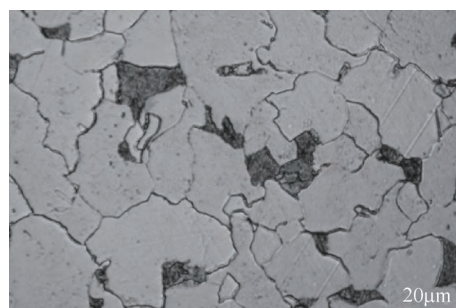
图6 管道横截面裂纹分布

采用80#水磨砂纸磨去J1、J2试样上的线切割纹, 然后通过200#、500#、1000#、1500#、2000#的水磨砂纸, 在金相磨样机上进行打磨, 然后在绒布上面使用金刚石抛光液进行抛光。对样品使用4%的硝酸酒精溶液腐蚀10~15s, 通过金相显微镜观察, 显微组织如图7~图12所示。根据DL/T 773—2016《火电厂用12Cr1MoV钢球化评级标准》评定球化等级。

1) J1截面裂纹处母材金相, 管样组织为铁素体+珠光体, 其中裂纹处母材晶界未出现球化现象, 球化评级为1级, 如图7所示。



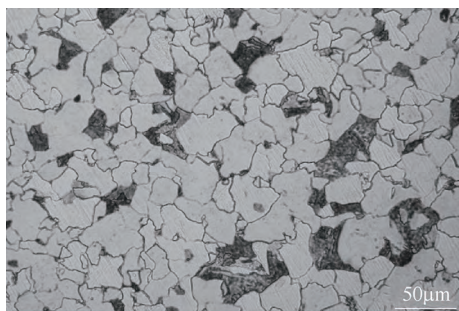
a) 200×



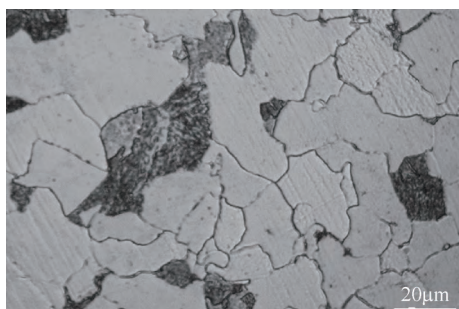
b) 500×

图7 J1截面远离裂纹旁母材金相

2) J2截面远离裂纹处母材金相, 管样组织为铁素体+珠光体, 管样母材晶界未出现球化, 球化评级为1级, 如图8所示。



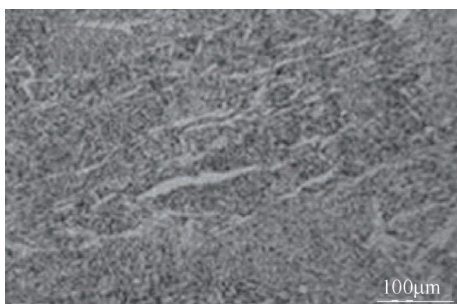
a) 200×



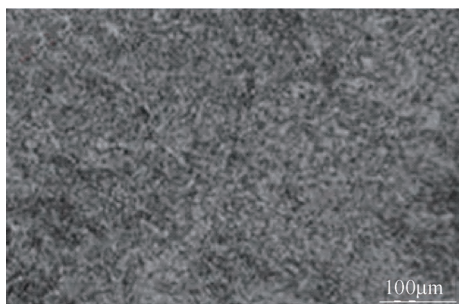
b) 500×

图8 J2截面母材金相

3) J2截面远端焊缝组织呈现柱状晶的生长方向，柱状晶之间形成了片状铁素体，为正常状态；J1截面裂纹处焊缝组织有较多的片状铁素体，这种片状铁素体使得裂纹的生长扩展更加容易，也使得该焊缝组织在应力负荷下更易产生裂纹，如图9所示。



a) J1截面 (100×)

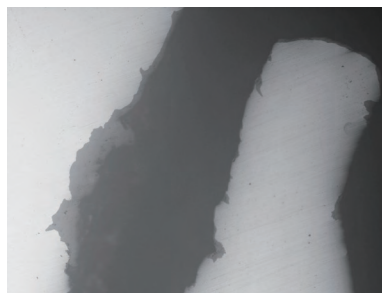


b) J2截面 (100×)

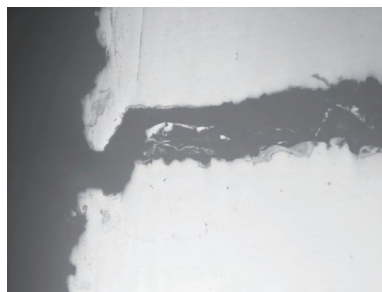
图9 J1、J2焊缝区金相

4) 对比裂纹2管道外侧及管道内侧未侵蚀显微组织，可知裂纹外宽内窄，裂纹由管道外侧开始传递至管道内侧，如图10所示。对比裂纹初始端与末端金相组织，裂纹起始处有部分细晶组织，该细晶组织为焊缝区域，裂纹由焊缝引出传至管道，如图11（红线为焊缝熔合区）、图12所示。

综上分析，由金相照片对比显示，母材金相组织均为铁素体+珠光体，球化评级为1级。管道及鳍

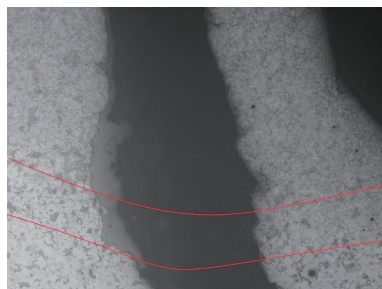


a) 裂纹起始 (管道外侧)



b) 裂纹末端 (管道内侧)

图10 裂纹2 未侵蚀显微组织 (100×)

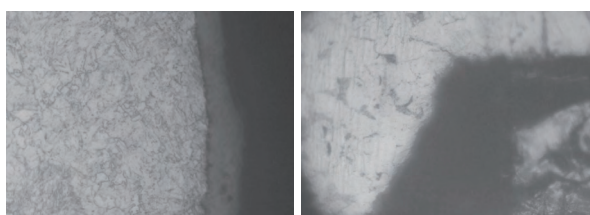


a) 裂纹起始 (管道外侧)



b) 裂纹末端 (管道内侧)

图11 裂纹2侵蚀后显微组织 (100×)



a) 裂纹起始(管道外侧) b) 裂纹末端(管道内侧)

图12 裂纹2侵蚀显微组织(500×)

片裂纹处金相组织未出现超温过烧组织形貌。裂纹走向为由管道外侧鳍片焊缝产生扩展至管道内侧。试样J1焊缝金相组织存在大量片状铁素体组织,也是焊缝内部产生较多纵向裂纹的原因。

5 硬度检测

对两个环形试样进行维氏硬度检测,试验载荷30kgf(294N),加载时间15s。DL/T 438—2016《火力发电厂金属技术监督规程》中对12Cr1MoV钢的硬度值要求为118~195HBW,焊缝硬度值要求≤270HBW。根据ISO 18265—2013《金属材料 硬度值的换算》,转换为维氏硬度为125~205HV,焊缝硬度值要求≤285HV。试验结果见表1。

管样的硬度值符合相关标准要求,裂纹处母材与远端基体母材的硬度值无明显差异,水冷壁管道与鳍片之间的焊缝硬度值较高,焊缝硬度最低297HV,最高为308HV,换算为布氏硬度后,仍高于DL/T 869—2012《火力发电厂焊接技术规程》的要求。因此,管道与鳍片处硬度值超标,焊接时热输入大。

表1 样品各处硬度 (HV)

样品 编号	检测点					标准值
	1	2	3	4	5	
	硬度					
J1母材	180.87	179.91	176.80	176.26	175.95	125~205
J2母材	175.34	176.13	174.50	176.49	176.89	125~205
J1焊缝	308.25	299.46	298.32	297.41	298.42	≤285
J2焊缝	286.51	288.91	297.56	286.97	287.42	≤285

6 综合分析

综上宏观分析、金相分析及硬度检测结果,得出如下结论。

1) 水冷壁管道泄漏处无明显涨粗现象,金相组织球化程度不严重,管道母材硬度正常。其整体结果显示,管道泄漏不是局部超温导致的。

2) 内部3条纵向裂纹发生部位与延伸方向表明

存在垂直于管道方向的应力,且裂纹2由鳍片焊缝产生并扩展至管道内侧。裂纹1与裂纹3未贯穿管壁,而内部纵向裂纹2贯穿至管道内部是导致本次泄漏的直接原因。

7 结束语

通过对试验管样失效分析,本次水冷壁管道泄漏为鳍片焊接产生应力集中,在锅炉运行时将鳍片拉裂,产生多条裂纹,较严重裂纹扩展至水冷壁管道,使管道失效泄漏。

鳍片的焊接通常在锅炉检修时的收尾阶段,常由于工期紧张或者对鳍片焊接工艺不重视而忽视对焊缝质量的检测,最终导致金属材料失效。因此,锅炉建设及检修时应加强对每道工序的监督检测,从而避免泄漏事件的发生。

参考文献:

- [1] 关怀,王建,王志浩,等. 350MW亚临界锅炉屏式过热器爆管分析及预防[J]. 发电设备, 2023, 37(4): 269-272.
- [2] 陶林,杨秀军,聂怀平. 煤粉锅炉磨损问题分析与研究[J]. 锅炉制造, 2023(2): 16-17, 21.
- [3] 徐强,赵天会,肖忠仰. 电站锅炉过热器爆管成因及防控[J]. 金属加工(热加工), 2023(7): 90-92.
- [4] 时彬. 电厂燃气锅炉水冷壁爆管的原因分析及处理措施[J]. 中国设备工程, 2023(10): 186-187.
- [5] 徐亮,王海琦. 某电厂2号锅炉低温再热器悬吊管泄漏原因分析[J]. 锅炉制造, 2023(4): 18-20.
- [6] 肖哲民. 锅炉对流过热器水塞的形成与消除[J]. 华北电力技术, 2001(4): 55-58.
- [7] 鲁忠科. 锅炉立式过热器、再热器水塞的形成与消除[J]. 电力安全技术, 2011, 13(3): 59-61.
- [8] 张忠胜. 锅炉过热器管和水冷壁管爆裂失效原因分析[J]. 内蒙古石油化工, 2023, 49(3): 60-63.
- [9] 李红春. 循环流化床锅炉水冷壁磨损原因分析及防磨措施实践与应用[J]. 盐科学与化工, 2023, 52(6): 52-54.
- [10] 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, 28.
- [11] 邵松伟,王耀军. 锅炉冷灰斗水冷壁爆管原因分析及治理[J]. 电力安全技术, 2023, 25(3): 46-48.

MW 20240107