

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2019.02.008

超临界锅炉高温过热器爆管原因分析及对策

Cause analysis and countermeasures for tube burst of high-temperature superheater in supercritical boiler

柯浩,李振梁,王曦
KE Hao, LI Zhenliang, WANG Xi

(华电电力科学研究院有限公司,杭州 310030)
(Huadian Electric Power Research Institute Company Limited, Hangzhou 310030, China)

摘要:对仅运行12 079 h的某电站超临界锅炉T91钢高温过热器爆管进行试验分析,通过爆口宏观形貌分析、化学成分分析、显微组织观察、力学性能试验,认为T91钢高温过热器早期失效的原因是管子内存在异物堵塞,管子长期过热后加速老化,性能下降,最终导致爆管,分析堵塞原因并提出了相应对策。

关键词:超临界锅炉;T91钢;高温过热器;爆管;堵塞;长时过热

中图分类号:TK 223.3⁺2 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2019)02-0028-04

Abstract: The supercritical boiler high-temperature superheater burst tube in T91 steel was tested and analyzed after 12 079 h operation. Through the macroscopic morphology analysis, chemical composition analysis, microstructure observation and mechanical property test, the early failure reason for super heater burst tube in T91 steel is considered to be foreign matter clogged in the pipe. Long-term overheating accelerates the aging of pipe. The pipe's performance degrades, which finally results in pipe burst. The cause of the blockage is analyzed and corresponding countermeasures are proposed.

Keywords: supercritical boiler; T91 steel; high-temperature superheater; tube burst; blockage; long-term overheating

0 引言

过热器是电站锅炉受热面的重要组成部分,工作压力、温度均最高,是受热面中工作条件最为恶劣的部件。由于压力等级的提高,超超临界机组的承压部件在结构上发生了很大的变化,尤其是锅炉受热面管径急剧变小,使异物很容易在内径较小的水冷壁、过热器区域堵塞而造成爆管,特别是双U布置的过热器,异物更不易被蒸汽带走,造成流通面积减少,导致部分管子因冷却不足而发生爆管。

1 爆管情况

某电站超临界机组锅炉运行中分散控制系统(DCS)发出锅炉四管泄漏报警,就地检查发现锅炉水平烟道上部标高71 m处有明显泄漏声,初步判断为末级过热器泄漏,随即申请停机。停机冷却后进入炉内检查,发现初始泄漏点为末级过热器出口段

右数第10屏前数第11根管,泄漏点距离下弯头9.0 m,距离顶棚2.8 m,泄漏的蒸汽将附近12根管吹损泄漏。

该锅炉为SG-2080/25.4-M969型变压运行直流炉,四角切向燃烧方式、一次中间再热、单炉膛平衡通风、固态排渣、半露天布置、全钢构架Π形结构;额定蒸发量为2 080 t/h,过热器出口压力为25.40 MPa,再热器出口压力为4.41 MPa,过热器出口温度为571℃,再热器出口温度为569℃。至此次停机,累计运行仅12 079 h。

末级过热器横向布置82屏,分前后两片,逆流布置;横向节距为224.0 mm,纵向节距为76.2 mm;每片13根管。初始泄漏管子规格为 $\phi 38.1\text{ mm}\times 8\text{ mm}$,材质为SA213-T91。

2 试验分析

对初始泄漏点爆口及附近被吹损管子进行化学成分分析、金相分析及力学性能检验,取样位置见表1。

表 1 取样位置
Tab.1 Sampling location

试样编号	位置
10-11-1	末级过热器出口段右数第 10 屏前数第 11 根管,爆口上部 50 mm 位置
10-11-2	末级过热器出口段右数第 10 屏前数第 11 根管,爆口上部 800 mm 位置
10-10	末级过热器出口段右数第 10 屏前数第 10 根管,吹损部位上部 400 mm 位置

2.1 爆口宏观检查

对末级过热器出口段右数第 10 屏前数第 11 根管初始爆口进行宏观检查(如图 1 所示):爆口处管径明显胀粗,最大为 $\phi 41.6$ mm;爆口狭小,长 50 mm,宽 5 mm,未完全张开,呈纺锤状;爆口部位管壁无明显减薄,爆口周围有较多纵向树皮状裂纹;爆口位于迎火侧。从爆口的宏观情况看,该爆管具有长时过热的特征。



图 1 初始爆口宏观照片
Fig.1 Macro photo of initial fracture

在进一步的检查中发现,沿管子向上 500 mm 处还存在一个明显的胀粗部位,最大胀粗为 $\phi 41.2$ mm,表面也存在明显的纵向树皮状裂纹,如图 2 所示。

对该屏管组前一根管子进行宏观检查,未发现异常,表面光滑,无明显胀粗。

2.2 化学成分分析

使用 3460 直读光谱仪对管材进行化学成分分析(见表 2),分析结果符合 ASME SA-213—2010《锅炉、过热器和换热器用无缝铁素体和奥氏体合



图 2 爆口上部 500 mm 处的胀粗
Fig.2 Inflation at 500 mm from the top of fracture

金钢管子》^[1]的要求。

2.3 金相组织分析

使用 OLYMPUS-GX71 金相显微镜对爆管进行金相分析,侵蚀剂为盐酸 FeCl₃ 水溶液,分析结果如图 3~图 5 所示。试样 10-11-1 金相组织为回火马氏体,组织严重老化,马氏体位相完全消失,碳化物在晶界析出、聚集长大,形成链状,管内壁氧化皮厚 0.39 mm;试样 10-11-2 金相组织为回火马氏体,组织严重老化,马氏体位相隐约可见,碳化物在晶界析出、聚集长大,管内壁氧化皮厚 0.32 mm;试样 10-10 金相组织也为回火马氏体,组织老化程度较轻,管内壁氧化皮厚 0.15 mm。

2.4 力学性能检验

使用 CMT5205 电子万能试验机对管材进行拉伸试验,试验结果见表 3。由表 3 可见,试样 10-11-1 和 10-11-2 的屈服强度、抗拉强度均低于 ASME SA-213—2010《锅炉、过热器和换热器用无缝铁素体和奥氏体合金钢管子》的要求,其他结果也符合该标准要求。

3 爆管原因分析

末级过热器出口段右数第 10 屏前数第 11 根为最初泄漏点,泄漏点距离下弯头 9.0 m,距离顶棚 2.8 m,该位置是过热器运行工况最为恶劣的位置。

宏观检查显示,爆口狭小、窄长,管壁无明显减薄,管径发生明显的胀粗,爆口位于迎火侧,爆口周围存在许多纵向树皮状裂纹,存在明显的长时过热

表 2 管材化学成分分析
Tab.2 Analysis on chemical composition of pipes

试样编号及标准	w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(S)	w(P)	w(Cr)	w(Mo)	w(V)	w(Nb)
10-11-1	0.11	0.22	0.37	0.007	0.013	8.68	0.93	0.20	0.06
10-10	0.11	0.26	0.39	0.004	0.014	8.97	0.88	0.22	0.06
ASME SA-213—2010	0.08 ~ 0.12	0.20 ~ 0.50	0.30 ~ 0.60	≤0.010	≤0.020	8.00 ~ 9.50	0.85 ~ 1.05	0.18 ~ 0.25	0.06 ~ 0.10

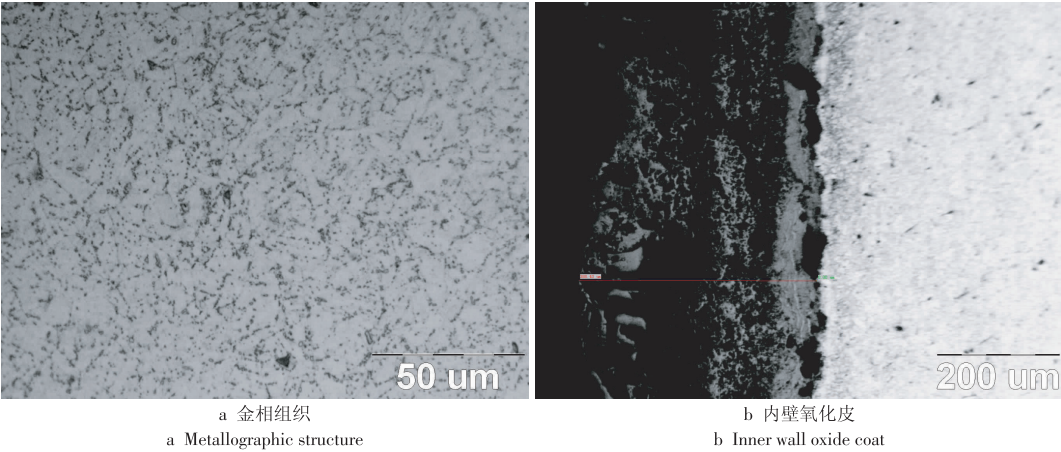


图 3 10-11-1 试样金相分析结果

Fig. 3 Metallographic analysis results of 10-11-1 sample

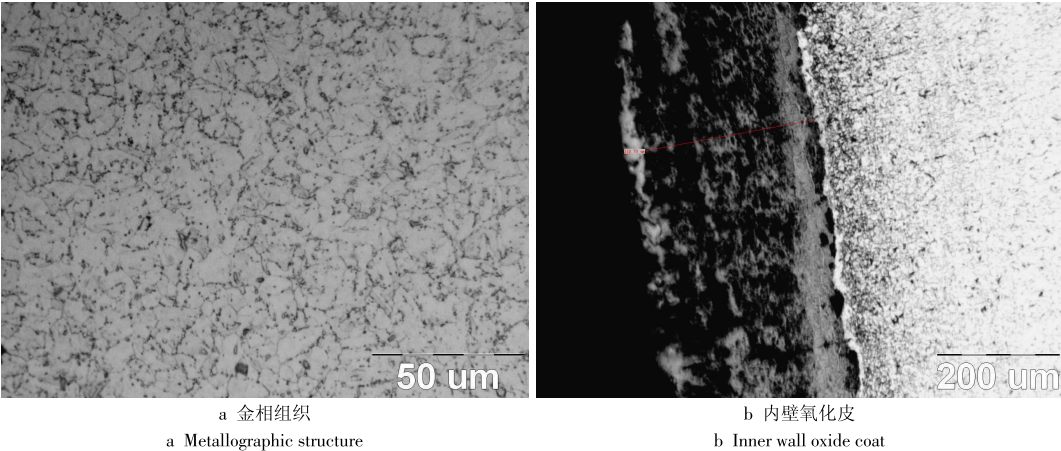


图 4 10-11-2 试样金相分析结果

Fig. 4 Metallographic analysis results of 10-11-2 sample

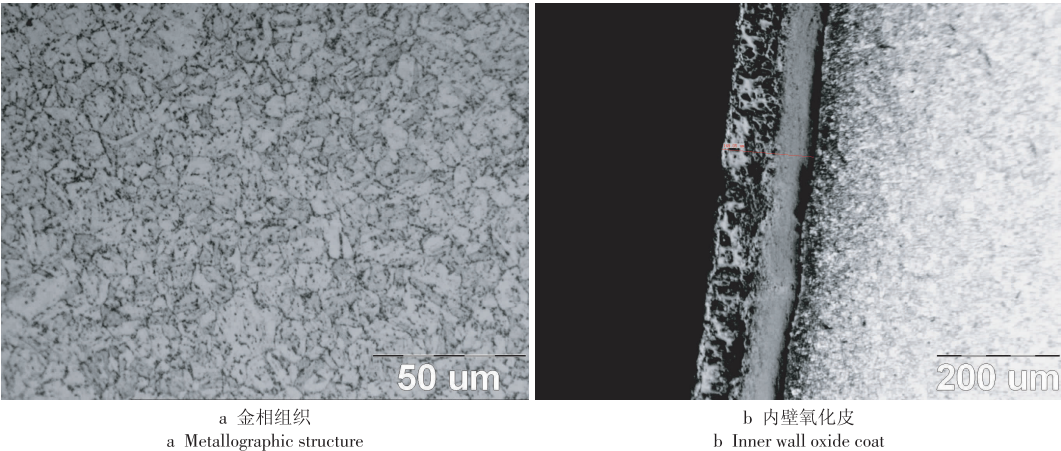


图 5 10-10 试样金相分析结果

Fig. 5 Metallographic analysis results of 10-10 samples

爆管的宏观特征。

爆口附近及沿管子向上 800 mm 处金相组织严重老化,碳化物在晶界析出、聚集、长大,管内壁氧化皮明显增厚,最厚达 0.39 mm,爆口附近金相组织比远离爆口的 10-11-2 老化更为严重,马氏体位相完全消失,碳化物在晶界形成链状。爆口附近及沿管子向上 800 mm 处,管子的屈服强度、抗拉强度明显下降,已低于 ASME SA-213—2010《锅炉、过热器和换热器用无缝铁素体和奥氏体合金钢管子》的要求,说明组织和力学性能严重劣化。

管子的化学成分符合标准要求。爆口附近试样 10-10 的外观、金相组织、力学性能良好,均满足标

表 3 管材力学性能试验结果

Tab.3 Test results of mechanical properties of pipes

试样编号及标准		屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%
试样	10-11-1(背火)	375	560	30.0
	10-11-1(向火)	345	535	35.0
	10-11-2(背火)	380	575	32.0
	10-11-2	340	545	33.0
	10-10(背火)		725	24.0
	10-10(向火)		690	22.0
ASME SA-213—2010		≥415	≥585	≥20.0

标准要求,组织老化较轻,说明不是炉膛燃烧超温引起的过热。

综上所述,此次爆管泄漏的主要原因是长时过热,并且整段管子均存在过热,组织老化,性能下降。分析认为,末级过热器出口段右数第 10 屏前数第 11 根管内部由于某些原因导致汽水流通面积减小,介质流量减小,从而影响了传热效果,管子长时间处于超温运行状态,加速了氧化皮的生成,进一步影响传热,形成恶性循环,经过一段时间运行后,引起材料蠕变损伤,导致长时过热爆管。

4 对策

运行仅 12 079 h 的 T91 高温过热器发生长时过热爆管,期间未进行检修换管,下部弯头检查发现氧化皮数量不多,说明异物堵塞发生在制造或安装阶段。由于过热器管子较长,管径较小,异物未将管子堵死,对于异物的查找存在困难。鉴于抢修时间较

短,对该管子进行解列,待到检修时更换整根管子。此次事故给我们以下警示^[2]。

(1)制造阶段应注重主联箱内部清洁度的检查,封堵前应仔细检查和清理联箱内部,彻底清除“草帽圈”铁丝、棉纱、工具等杂物,特别是块状金属;加强对受热面管焊接质量的检查,防止产生焊瘤等超标缺陷,避免因焊口局部途径过小而造成异物堵塞。

(2)安装阶段应采取措施防止异物落入联箱和管子,严格进行通球检查,加强成品保护意识。

(3)严格控制机组的蒸汽吹管工艺。超临界锅炉吹管宜采取稳压与降压吹管相结合的方式,以提高吹管效果;吹管后应对各锅炉各集箱和受热面进行全面检查,将未吹出系统的杂物进行彻底清理,保证系统内部清洁。

(4)适当增加过热器和再热器的壁温测点,掌握管屏的温度分布,为运行控制提供依据。

参考文献:

[1]锅炉、过热器和换热器用无缝铁素体和奥氏体合金钢管子:ASME SA-213-2010[S].
[2]蔡文河,严苏星.电站重要金属部件的失效及其监督[M].北京:中国电力出版社,2009.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

柯浩(1980—),男,湖北武汉人,高级工程师,从事电力工业金属材料性能检测及失效分析工作(E-mail:56356643@qq.com)。

(上接第 27 页)

使用继电保护测试仪的状态序列模拟 F002, F003 的故障处理过程,在电压为 30% U_n ,电流为 I_n ,持续时间为 50 ms 时,测试 10 次,残压模块都能顺利完成残压信息的判断及存储,终端主 CPU 能正确执行闭锁合闸逻辑,测试结果优于测试标准的 80 ms。

4 结束语

就地型馈线自动化不依赖主站,不依赖配电终端之间的相互通信,通过线路重合器与分段器之间的逻辑配合和时序配合,实现线路故障的就地识别,隔离和非故障线路的恢复供电,具有简单可靠的特点。但为了保证识别某些故障,终端需要更多的判据去识别故障特点。本文主要论述了一种残压模块的软硬件的实现方案,用来给终端提供残压信息这个判据,来实现就地自动化中闭锁合闸的逻辑,从而加速故障隔离的过程。

参考文献:

[1]盛万兴,孟晓丽,宋晓辉.智能配电网自愈控制基础[M].北京:中国电力出版社,2012.
[2]徐丙垠.馈线自动化技术[J].电网技术,1998,22(22):54-60.
[3]国家电网有限公司.就地型馈线自动化技术原则[Z].2017.
[4]中国电力科学研究院.国家电网公司一二次融合成套柱上开关及环网箱入网专业检测大纲[Z].2017.
[5]刘健,赵树仁,张小庆.中国配电自动化的进展及若干建议[J].电力系统自动化,2012,36(19):6-10.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

秦凯(1983—),男,江苏启东人,高级工程师,从事研究配电自动化方面的工作(E-mail:kai-qin@sac-china.com)。
高志勇(1979—),男,江苏涟水人,高级工程师,从事研究配电自动化方面的工作(E-mail:zhuyong-gao@sac-china.com)。