

# 省煤器连接管集箱管座位置开裂原因分析

尚 伟 路 昆 夏晓涛 李 根

华电电力科学研究院有限公司 中国杭州 250000

**摘 要:** 省煤器是电厂锅炉的重要组成部分,和高温废气的直接接触导致它的工作环境异常恶劣,加之维护和工作过程中的其他原因,往往会引起管道破裂,对省煤器的正常工作造成极大的不利影响,影响到电厂的正常电力输送,进而危害用电企业和居民的正常生活。对此,如何根据省煤器管道爆裂的原因,改善省煤器的工作环境、预防管道破裂就成为一项比较重要的工作。目的是为了确保护电厂锅炉的正常运行,保障电力的正常开发和输送,保障用电企业和居民的正常用电。

**关键词:** 省煤器; 连接管; 开裂原因

## 引言

某公司2号机组为三菱公司F级475MW燃气联合循环机组,余热锅炉为三压、再热、无补燃、卧式、自然循环锅炉,机组运行约9000小时后,发现高压省煤器下集箱连接管管座位置发生泄漏,开裂位置均位于距高压省煤器集箱连接管座角焊缝约9mm处,管子规格 $\varnothing 32 \times 2.6\text{mm}$ ,材质为SA210-C,运行温度约 $350^\circ\text{C}$ ,运行压力约15MPa。

## 1、依据标准

DL/T 438-2016 火力发电厂金属技术监督规程

GB/T 231.1-2018 金属材料 布氏硬度试验 第1部分: 试验方法

GB/T 13298-2015 金属显微组织检验方法

DL/T 991-2006 电力设备金属光谱分析技术导则

ASTM A210/A210M-2019 Standard Specification For Seamless Medium-Carbon Steel Boiler And Superheater Tubes

## 2、检测结果

### 2.1 外观检查



图1 管子宏观照片

送检样管共6根,编号依次为#1~#6,如图1所示。其中,#1~#4管发生泄漏,泄漏位置距管座角焊缝约9mm处,裂纹呈环向扩展趋势,贯穿管壁。#1管外壁裂纹宽度约6mm,#2~#4管外壁裂纹长度约10mm,如图2

所示。内壁裂纹均长于外壁裂纹,且内壁存在多道平行的浅层未穿透裂纹,说明裂纹自内壁萌生,向外壁扩展。泄漏管样管径无明显胀粗,壁厚无明显减薄。管子内壁呈红褐色,且内壁裂纹处存在多个点状鼓包腐蚀产物。



图2 管子宏观照片

### 2.2 光谱分析

对取样管的化学成分进行了光谱分析,分析结果见表1。可见,其化学成分符合ASTM A210/A210M-2019标准要求。

表1 光谱分析结果, wt%

样品编号	C	Si	Mn	P	S
检测值	0.21	0.22	0.86	0.011	0.005
标准要求 (ASTM A210/ A210M-2019)	$\leq 0.35$	$\geq 0.10$	0.29~1.06	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$

### 2.3 金相检测

采用Leica DMI 5000M型金相显微镜对样管进行了金相观察。对送检样管切割取样进行了显微组织分析

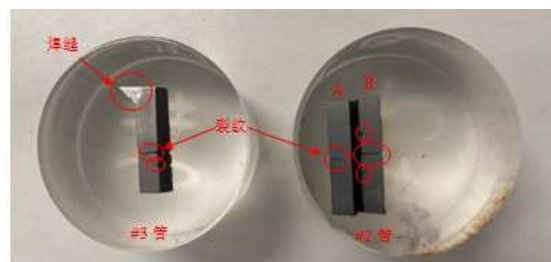


图3 金相检测试样

从管材截面照片可以看出，裂纹沿壁厚方向自内壁向外壁扩展，贯穿整个管壁。内壁主裂纹附近存在多道平行的微裂纹。

(1) #2管A样品金相检测结果

金相照片可以看出，管材显微组织为铁素体加带状珠光体。

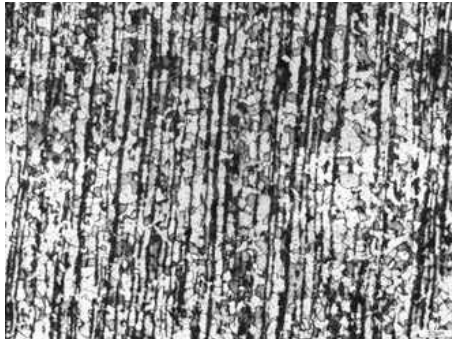


图4 #2管母材金相组织

#2-A样品管材截面裂纹自内壁向外壁扩展，裂纹呈楔形，内部充满腐蚀产物。主裂纹和二次裂纹尖端均较为圆钝，且具有穿晶扩展特征。#2-A试样内壁可见多处微裂纹，裂纹内部充满腐蚀产物，裂纹深度约65 μm。管子内壁可见厚度约85 μm的脱碳层。管材外壁可见深度约40~50 μm的腐蚀凹坑，并被腐蚀产物所覆盖。

(2) #2管B样品金相检测结果

#2-B试样裂纹贯穿管壁，裂纹截面平整。管材内壁可见直径约50 μm的点蚀坑。#2-B试样内壁可见微裂纹，裂纹深度约280 μm，裂纹内部充满腐蚀产物。

(3) #3管金相检测结果

#3管#6样金相检测结果如下所示，裂纹贯穿管壁，表面平整。裂纹附近金相组织与母材无明显差异。

(4) #5管金相检测结果

#5管金相检测结果如下所示，可见管材内壁局部有腐蚀坑，深度约55 μm；管材内壁存在深度约76~80 μm的脱碳层。管材外壁存在深度约50 μm的点蚀坑。

2.4 SEM分析

将#3管样沿裂纹处打断，观察断口形貌。可见断口

表面粗糙，呈黑褐色，无明显塑性变形，具有脆性断裂特征。断口表面被腐蚀产物所覆盖，疲劳特征不明显。局部可见疲劳条纹。

2.5 硬度检测

利用400HBS-3000A电子布氏硬度计，对#2、#3、#5取样管进行了布氏硬度检测，检测结果如表2所列。检测结果表明，3根取样管的布氏硬度值均低于标准DL/T 438-2016的要求下限。

表2 管样布氏硬度检测结果 /HBW

检测位置	测点1	测点2	测点3	测点4	标准要求 (DL/T 438-2016)
#2管样	116	114	115	116	130~180
#3管样	133	129	127	127	
#5管样	124	123	128	131	

3、失效原因分析

综合以上检测结果，本次检测管样开裂位置距高压省煤器集箱连接管座角焊缝约9mm处，裂纹呈环向扩展趋势，贯穿管壁。裂纹由内壁萌生，向外壁扩展。泄漏管样无明显胀粗，壁厚无明显减薄。管子内壁呈红褐色，且内壁裂纹萌生处存在多个点状鼓包状腐蚀产物。取样管化学成分符合标准要求；管材显微组织为铁素体加带状珠光体，内壁存在深度约76 μm~85 μm的脱碳层，内壁存在点蚀坑，且腐蚀坑处萌生微裂纹；管样硬度值低于标准要求下限。从管材截面金相照片可以看出，裂纹沿壁厚方向自内壁向外壁扩展，主裂纹附近存在多道平行的微裂纹，裂纹呈楔形，内充满腐蚀产物。裂纹尖端圆钝，有分叉的二次裂纹，且具有穿晶扩展特征。#3管样断口表面粗糙，呈黑褐色，覆盖有腐蚀产物，无明显塑性变形，具有脆性断裂特征。断口表面局部可见疲劳条纹，具有典型的热疲劳开裂特征。

在机组启停或者负荷发生变化时，管材内壁因工质温度变化，而且膨胀和收缩又受到约束时，会使其内壁承受热应力。壁温不均产生的温度梯度可能引起很高的轴向应力，而靠近省煤器集箱管座处可能因结构限制而使膨胀受限，从而产生局部应力集中，从而导致裂纹萌生。另外，管材内壁裂纹局部分布有点蚀坑，裂纹内部充满腐蚀产物，且管材内壁发生脱碳，进一步加速了裂纹萌生。裂纹一旦萌生，省煤器管系中的交变热应力，使管系在轴向受到拉-拉或者拉-压交变应力，也由此促进了裂纹的扩展，最终导致横向裂纹出现。当裂纹扩展到某一有限尺寸之后，便成为宏观应力集中点，它比其它应力易集中部位的应力更大，尤其是在其裂纹顶端存在一个应力场。由于应力较大，产生了二次裂纹，且

具有穿晶扩展特征。随着裂纹的扩展和应力强度的提高,裂纹最终穿透管壁,导致管材发生泄漏。

#### 4、总结

1、送检管样的检测结果表明,其化学成分符合标准要求;显微组织为铁素体加带状珠光体,内壁存在脱碳层及腐蚀凹坑;管样硬度值低于标准要求下限。裂纹沿壁厚方向自内壁向外壁扩展,裂纹呈楔形,内部充满腐蚀产物,尖端圆钝,具有穿晶扩展特征。断口表面粗糙,呈黑褐色,覆盖有腐蚀产物,无明显塑性变形,具有脆性断裂特征。断口表面局部可见疲劳条纹,具有典型的热疲劳开裂特征。综合分析可知,本次管材开裂的主要

原因为热疲劳,且内壁腐蚀对于热疲劳裂纹萌生具有促进作用。

2、建议机组在相对稳定的工况下运行,应尽量避免超温,并合理控制启停和调峰过程,同时继续做好水化学监测和控制。

#### 参考文献

[1]孙安超,魏志瑞.1000MW超临界燃煤锅炉省煤器悬吊管爆管分析[J].锅炉制造,2022,(01):18-19.

[2]杨希刚,金保昇,古世军,李昌松,陈国庆.燃烧调整对W火焰锅炉省煤器出口烟气组分分布的影响[J].东南大学学报(自然科学版),2021,51(05): 896-904.