

文章编号: 1673-9981(2007)03-0234-03

# 过热器爆管的分析

孙慎超<sup>1</sup>, 吴勇<sup>2</sup>

(1. 广州有色金属研究院, 广东 广州 510650; 2. 华北电力科学研究院有限责任公司, 北京 100045)

**摘要:** 对某电厂1号炉高温过热器爆管的管段进行了宏观特征分析、金相分析、爆口附近管材力学性能测定。综合分析结果表明, 该过热器管的组织严重老化, 存在较多的蠕变孔洞和微裂纹, 爆口附近材料的抗拉强度明显降低, 爆口边缘较钝, 无明显胀粗, 呈脆性破坏特征, 爆管的原因为长期超温运行。

**关键词:** 电站锅炉; 过热器; 爆管

**中图分类号:** TG113.25; TK223.3

**文献标识码:** A

某电厂1号锅炉的高温过热器管于2003年12月19日发生爆管泄漏。水压试验确定泄漏位置在高温二段过热器, 即从锅炉乙侧数第30排, 从炉后侧向后数第8根管子。该管至本次爆管泄漏共运行了约26235 h。过热器出口温度540℃, 压力9.8 MPa。高温二段过热器管子的材质为12Cr1MoV, 管径38 mm, 壁厚5.0 mm。

发生泄漏的过热器管及爆口的全貌如图1所示。爆口中心距离管子对接焊缝约65 mm。管子的外壁覆盖着致密的暗红色氧化皮, 内壁有致密的黑褐色氧化皮。

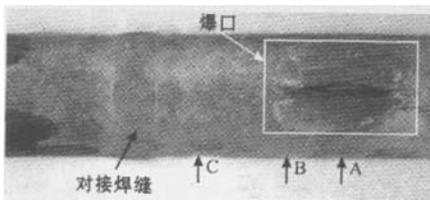


图1 过热器管及爆口全貌

Fig. 1 Panorama of Superheater tubes and burglary mouth

## 1 实验方法

在紧邻爆口的母材上沿管子轴向截取试样, 进

行拉伸试验。在爆口开口最大处(图1 A处)、爆口端部(图1 B处)、有纵向裂纹的部位(图1 C处)以及距离爆口端部约300 mm处, 分别沿管子的横截面截取金相试样, 在Leica MEF4A金相显微镜下观察管材基体和氧化皮的金属组织。

## 2 结果与讨论

### 2.1 力学性能测定

在室温下进行拉伸试验, 结果列于表1。由表1可见, 无论是向烟气侧还是背烟气侧, 爆口附近材料的抗拉强度均低于国标下限。

表1 室温拉伸试验结果

Table 1 Results of tensile test at room temperature

试样	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率/%
向烟气侧	285	420	31
背烟气侧	290	440	33
GB5310-1995	≥245	470~640	≥21

### 2.2 金相分析

由图1可见, 爆口沿管子轴向, 张口最大处约为

收稿日期: 2006-11-06

作者简介: 孙慎超(1971-), 男, 内蒙古乌兰浩特人, 工程师, 学士。

5 mm,边缘较钝,表面粗糙。爆口附近硬而脆的氧化皮已经部分崩脱,氧化皮下隐约可见数条与爆口方向一致的小裂纹。爆口两端附近的氧化皮上也有几条沿管子轴向的裂纹,有的较深,穿透了氧化皮深入到管材基体。爆口的这些宏观特征表明,管子失效具有脆性蠕变断裂的形貌和特征<sup>[1-2]</sup>。

在A截面爆口主裂纹边缘靠外壁的部分覆盖

有氧化皮,爆口附近轴向裂纹上也覆盖有氧化皮(图2);在B截面爆口侧也观察到带有氧化物的轴向裂纹,而且在内壁上也发现细小的带有氧化物的轴向裂纹(图3);在C截面爆口侧轴向裂纹中也有氧化皮覆盖。在爆口主裂纹附近的金相组织中,观察到大量的蠕变孔洞及孔洞链,有些已经形成了沿晶微裂纹。

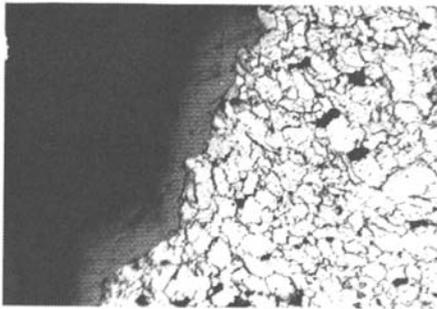


图2 主裂纹部分覆盖氧化皮,200×

Fig.2 Some of the main crack coverage oxidation paper

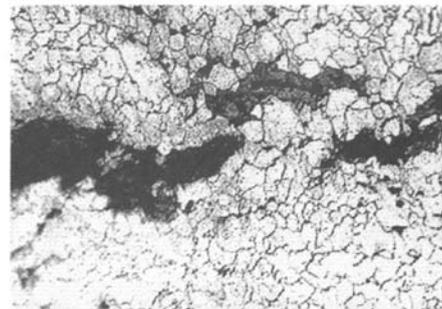


图3 轴向裂纹带氧化皮,200×

Fig.3 Axial crack with oxidation paper

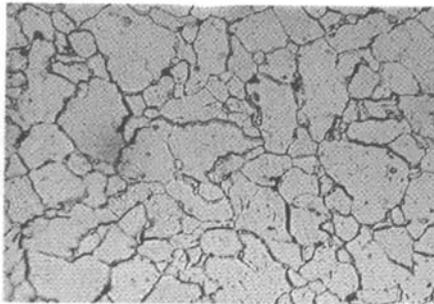


图4 向烟气侧金相组织,500×

Fig.4 Microstructure at flue gas side

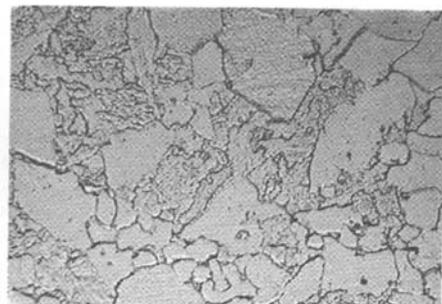


图5 背烟气侧金相组织,500×

Fig.5 Microstructure at back to flue gas side

图4为向烟气侧的金相组织,由图4可知,向烟气侧的金相组织为铁素体+碳化物,碳化物粒子在晶界主要呈链状分布,并且观察到双晶界、蠕变孔洞、铁素体再结晶等组织老化的现象(图4)。按DL/T773-2001《火电厂用12Cr1MoV钢球化评级标准》判定向烟气侧基体的组织为5级球化,属严重球化。背烟气侧的金相组织如图5所示,由图5可见,珠光体区域形态仍保留,但区域内的碳化物已全部变为小球状,按DL/T773-2001标准判定为3级球化,属中度球化。由此可知,背烟气侧的组织老化和蠕变损

伤程度比向烟气侧的轻。

微观分析结果证实,管子材质发生了严重的老化,合金元素由固溶态向晶界碳化物转移,晶界上呈链状分布的碳化物进一步降低了晶界的结合力,导致抗拉强度下降,低于国标下限(表1)。材质的严重老化还降低了钢的热强性,促进了蠕变孔洞和微裂纹的形成,最终导致高温脆性断裂<sup>[2]</sup>。

从爆口的蠕变断裂特征、力学性能下降和严重球化,以及出现蠕变孔洞等材质老化的现象可知,发生爆管的过热器已达到其使用寿命,但远低于其设计温

度下的寿命,这表明该过热器管的实际服役温度肯定高于其设计使用温度。由于在爆口附近没有观察到变形晶粒、淬硬组织,所以发生爆管前的实际服役温度低于  $A_1$  相变温度<sup>[3]</sup>。由修正的拉-米公式:  $T = 33500 / (\ln t + 26.9409)$ , 可以估算出运行时管壁的平均温度为 629℃, 高于过热器出口的设计温度 540℃。

另一方面,过热器管长期超温运行,使管材的珠光体球化和管子的蠕变均比设计运行温度下的球化和蠕变速度快,而组织的球化又进一步加速管子的蠕变,过热的管子在蠕变过程中产生大量的蠕变孔洞,孔洞长大并相互连通成晶间微裂纹。在蠕变后期,这些裂纹都有可能逐步发展成大裂纹,形成宏观轴向裂纹,最终引起爆管。

### 3 结论

过热器爆管的原因是长期超温运行,使管材基

体组织发生了严重的老化,向烟气侧基体的珠光体球化级别为 5 级(属严重球化),背烟气侧基体的珠光体球化级别为 3 级(属中度球化)。基体中有较多的蠕变孔洞、孔洞链和微裂纹,材料的抗拉强度低于 GB5310-1995 的要求。针对以上问题,应对该区域的管道割管替换,并在以后的运行中定期检测,以防管道因老化而爆裂。在管道的材料方面,应改用 T91 或 374 这两种材料。

#### 参考文献:

- [1] 刘尚慈. 火力发电厂金属断裂与失效分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [2] 李彦林. 锅炉热管失效分析及预防[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [3] 吴非文. 火力发电厂高温金属运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1979.

## Analysis of superheater tubes burst

SUN Shen-chao<sup>1</sup>, WU Yong<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China; 2. North China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100045, China)

**Abstract:** This report gives comprehensive analyses on the superheater tube-exploration at some power station by means of mechanical testing, macrofractographic and metallographic examination. The results show that the microstructure was serious ageing and tensile properties are deteriorated near the brittle fracture zone. The tube-bursting is caused by long-time overheating.

**Key words:** power plant boiler; superheater; tube-bursting