

# 电厂水汽取样管泄漏原因分析

王温银 马彦忱\* 朱敦伦

(中国矿业大学机电工程学院 徐州 221008) (\* 徐州商检局 徐州 221000)

**摘要** 应用金相、SEM、X射线衍射仪和能谱分析技术分析了1Cr18Ni9Ti不锈钢取样管泄漏的原因。结果表明,取样管泄漏是由于取样管运行时的工作应力和冷却时的收缩阻力与微量的Cl<sup>-</sup>导致的应力腐蚀开裂。

**关键词** 1Cr18Ni9Ti 应力腐蚀 拉应力

**学科分类号** TG172.9

电厂水汽集中取样管,是为了便于对运行水质进行化学分析取样,将每台机组的取样管集中到一处,形成集中取样管。水汽集中取样管材料为1Cr18Ni9Ti钢,规格为 $\varnothing 12 \times 2$  mm,用于输送水及水汽,水温235℃,水汽温度最高540℃,工作压力13.7~15.2 MPa。化学分析定期取样时,需将管内水汽降温、降压至压力 $< 0.6$  MPa,温度 $< 30$ ℃。管外均用硅酸盐耐火纤维包裹。水汽集中取样管在使用约1年后,连续发生泄漏,曾对泄漏处进行补焊,效果不佳。为查明其泄漏原因,进行了以下检验及分析。

## 1 宏观分析

取样管的泄漏部位不固定,直管段及弯管段均有发生。近期发生泄漏的取样管长约80 cm,外表面有大量的白色粉状物及多处大片黑色的腐蚀锈斑。泄漏管有4处可见表面裂纹,每处均有数条与管子的轴向垂直的横向裂纹。裂纹开口宽度 $< 0.1$  mm,开裂部位的管壁无宏观塑性变形及胀粗现象,裂纹的性质为宏观脆性的横向开裂。

## 2 化学成分及力学性能测试

取样管化学成分(质量分数,%)为:  
C 0.055, S 0.018, P 0.030, Si 0.580,  
Mn 1.180, Ni 9.260, Cr 17.82,  
Ti 0.320。化学成分符合GB/T14976-94  
标准要求。

Table 1 Tensile test

	max. load/KN	$\sigma_b$ /MPa	$\delta^*$ /%	HV <sub>0.100</sub>
tested tube	36.5	540	65	/
leaked tube	22.0	325	10	250

\*  $t = 120$  mm

该批钢材在使用前曾对其力学性能进行过复检,其力学性能指标符合GB/T14976-94标准要求(见表1)。泄漏管的力学性能测试结果,列于表1。

由测试结果可知,泄漏管的延伸率及强度明显降低,试样的脆性显著加大. 泄漏管的拉伸试件取自表面有黑斑,但无可见裂纹的管材,在拉伸断裂后,与表面腐蚀黑斑对应的部位出现众多横向的脆性裂纹. 该裂纹形态与泄漏管可见裂纹形态是一致的,只是裂纹开口宽度较大,是因轴向拉应力大而造成的. 同时也说明了宏观分析中的横向裂纹应是在轴向拉应力作用下的结果. 根据取样管的工况条件可知,轴向拉应力是在取样管降温减压时,随工作温度升高后,金属膨胀,冷却时收缩,由于管壁受到两端固定的牵制,不能自由收缩而产生的. 1Cr18Ni9Ti 不锈钢具有良好的塑性,正常情况下应完全可以承受该拉应力. 但该管却出现了宏观脆性的横向裂纹,由此可见,必有其内在因素的影响. 从宏观断口上可知,与腐蚀黑斑对应处存在着大量肉眼不可见的内部损伤裂纹,其表面呈点腐蚀状.

### 3 断口微观形貌

泄漏管拉伸试样宏观断口具有明显的腐蚀区与未腐蚀区. 腐蚀区的微观形貌是典型的解理断裂,可看到明显的河流花样,如图 1(a)所示;未腐蚀区则表现出明显的微孔机制,典型的韧窝状,如图 1(b)所示.

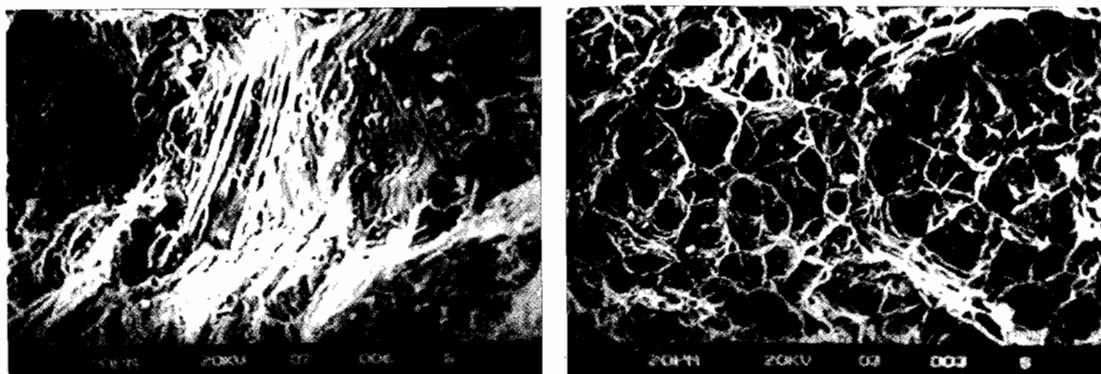


Fig. 1 Micrograph of fracture surface

(a) corroded area of fracture surface; (b) non-corroded area of fracture surface

### 4 金相分析

对泄漏管与非泄漏管分别按横截面、纵截面大量取样,进行金相组织观察,泄漏管与非泄漏管的组织(奥氏体晶粒)无明显差异,其典型组织示于图 2. 晶粒间界看不到有明显的晶界析出现象,可见泄漏管的开裂不应是晶界析出铬的碳化物导致的晶间腐蚀机制.

金相观察到的微裂纹,均具有以下三个特点:(1) 起始裂纹均源于管材的外表面;(2) 裂纹扩展的分枝现象极为明显,如



Fig. 2 Microstructure of leaked tube (cross)  $\times 400$

图 3 所示;(3)裂纹的扩展途径以穿晶为主。

由上述分析可知,导致取样管泄漏的原因极有可能是金属材料发生了应力腐蚀。在管壁表面可见的点蚀坑下面存在大量肉眼不可见的内部损伤裂纹。奥氏体不锈钢产生应力腐蚀的必要条件是钢中存在拉应力和处于特定的介质环境。由前述取样管的工况条件可知,取样管承受管内高压蒸气形成的拉应力,同时,取样管在热处理、安装和使用(如降温导致的收缩)中,不可避免地产生残余应力。为了进一步确定应力腐蚀产生的介质条件,进行了如下微区分析。



Fig. 3 propagating path of crack  $\times 400$

## 5 微区成分分析

通过波谱分析,在表面的腐蚀黑斑区及缝隙、断口处,均发现有  $\text{Cl}^-$  存在。测试结果见表 2。

Table 2 Results of spectrum analysis results

tested tube		results			
leaked tube	black pots	peak P	14.2	17.3	20.1
		base B	5.3	6.3	6.7
		P/B	2.8	2.7	3.0
	surface crack	peak P	13.1	/	/
		base B	6.8	/	/
		P/B	1.9	/	/
	fracture	peak P	36.3	32.5	24.8
		base B	11.6	7.5	10.1
		P/B	3.1	4.3	2.4
		smooth surface	$\text{Cl}^-$ -free		
unleaked tube	smooth surface	$\text{Cl}^-$ -free			

从上表中证实,发生应力腐蚀的介质条件  $\text{Cl}^-$  已经存在。即构成了对不锈钢来说发生应力腐蚀的特定的介质系统。由此可以确定:该取样管的泄漏原因,是接触了含有  $\text{Cl}^-$  的介质,在高温和拉应力的工况条件下,即使痕量的  $\text{Cl}^-$ ,即可导致发生应力腐蚀开裂。

虽然通过 X-衍射仪及能谱仪对取样管外白色物质进行检测后,并未发现明显的腐蚀介质,并不能说明取样管未接触过氯盐.今后应严格控制运输、保管及使用中不接触氯盐,这是防止应力腐蚀的必要条件之一.

## 6 结 论

取样管泄漏的原因是发生了应力腐蚀开裂(SCC),在轴向应力作用下,裂纹扩展导致宏观脆性开裂.导致应力腐蚀产生的力学条件是取样管内的高压蒸气形成的管壁拉应力以及由工作温度冷却时,管壁收缩受阻而产生的轴向拉应力.导致应力腐蚀产生的环境介质是  $\text{Cl}^-$ .

### 参考文献

- 1 肖纪美编著.应力作用下的金属腐蚀,北京:化学工业出版社.1990,131
- 2 陆世英等著.不锈钢应力腐蚀事故分析与耐应力腐蚀不锈钢.北京:原子能出版.1985,56

## LEAKAGE ANALYSIS OF A STEAM SAMPLING TUBE IN A POWER PLANT

WANG Wenyin, MA Yanchen\*, ZHU Dunlun

(College of Electromechanical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008)

(\* Xuzhou Commodity Inspection and Testing Bureau, Xuzhou 221000)

**ABSTRACT** The leakage of a steam sampling tube made of 1Cr18Ni9Ti stainless steel in a power plant was analyzed using optical microscope, SEM, X-Ray and chemical analysis. The results showed that the loading stress during service at high temperatures and the axial tensile stress due to the resistance to the contraction of the tube during cooling and trace element of  $\text{Cl}^-$  lead to the SCC of the tube.

**KEY WORDS** 1Cr18Ni9Ti, SCC, Tensile stress,  $\text{Cl}^-$