

# 热采注汽管线的腐蚀与安全性分析

温建萍<sup>1</sup>, 冯庆伟<sup>2</sup>, 温涛<sup>2</sup>, 卢鑫<sup>2</sup>

1. 南京航空航天大学材料学院 南京 210016; 2. 胜利石油股份有限公司, 东营 257000

**摘要:**对两段注汽管材料进行了宏观检查、化学成分、壁厚与管径测量、光学金相组织、常温机械性能、断口扫描电镜、能谱元素等试验分析。结果表明,注汽管材料的局部腐蚀主要是氧化-氯化腐蚀。强度校核表明,两段注汽管目前的壁厚已不能满足内压  $P = 17.2 \text{ MPa}$ 、温度  $T = 354$  的使用条件。

**关键词:**注汽管;氧化-氯化腐蚀;断口分析

**中图分类号:** TG172.82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6495(2003)05-0304-03

## ANALYSIS OF CORROSION AND SAFETY FOR STEAM - INJECTING PIPES

WEN Jian-ping<sup>1</sup>, FENG Qing-wei<sup>2</sup>, WEN Tao<sup>2</sup>, LU Xin<sup>2</sup>

1. College of Material Science and Engineering, Nanjing University of

Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Shengli Petroleum Co. Ltd., Dongying 257000, China

**ABSTRACT:** In this paper, a failure analysis was performed for materials of two section steam - injecting pipes, by means of examinations such as: macro - morphology, wall thickness and diameter, chemical composition, optical micrography, mechanical properties, scanning electron microscope (SEM) and EDS. The results show that the pipes suffered from an oxidation - chlorination corrosion. Residual strength calculation shows that the wall thickness of the corroded two section steam - injecting pipes is below the requirement for further use according to the following designing criterion:  $P = 17.2 \text{ MPa}$  and  $T = 354$ .

**KEY WORDS:** steam - injecting pipe; oxidation - chlorination corrosion; failure analysis

胜利油田某注汽站外部注汽管线已经安全运行了近 10 万小时。随着运行时间的延长,材料的组织和性能发生变化是必然的,为了消除事故隐患,有必要对运行多年的注汽管线进行一次全面的检测,对其运行安全性进行分析,为热采注汽生产的顺利进行提供一定的依据。

### 1 实验与结果分析

取已运行近 100000 小时的两段 16Mng 注汽管线,分别记为 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 样。管内流动着高压状态的湿蒸汽,管外壁用保温材料包覆。注汽管线的规格为 127 mm  $\times$  14 mm。设计压力  $P = 17.2 \text{ MPa}$ ,工作温度  $T = 354$ 。

**宏观检查:** 宏观检查看出,两段管线外表面均有

约 2 mm、深 0.2 mm 的腐蚀点。2<sup>#</sup> 管内壁个别部位有约 8 mm、深 1 mm 的腐蚀坑。3<sup>#</sup> 管内壁有约 0.1 mm ~ 0.2 mm 厚较疏松的氧化层,氧化层下个别部位有约 10 mm、深 1 mm 的腐蚀坑。两段管线内壁的局部腐蚀较严重。

**壁厚与管径:** 测得 2<sup>#</sup> 管的最小壁厚 9.28 mm,最大管径 128.5 mm,膨胀率 1.18%。3<sup>#</sup> 管的最小壁厚 9.42 mm,最大管径 128.9 mm,膨胀率 1.50%。从测量值看出,其最小壁厚与原始壁厚相比减小了 4.72 mm。这必然使管壁内承受的应力增加。当壁厚减薄至一定程度时,管壁内应力必将

Table 1 Chemical composition of test material (mass %)

element	C	Si	Mn	P	S
2 <sup>#</sup>	0.19	0.25	1.48	0.006	0.010
3 <sup>#</sup>	0.17	0.26	1.25	0.009	0.013
16Mng <sup>[1]</sup>	0.12 ~ 0.20	0.20 ~ 0.60	1.20 ~ 1.60	0.035	0.035

收稿日期:2002-07-07 初稿;2002-10-08 修改稿

作者简介:温建萍(1956-),女,学士,副教授。

Tel: 025 - 4892952 E-mail: zlmwjp@nuaa.edu.cn

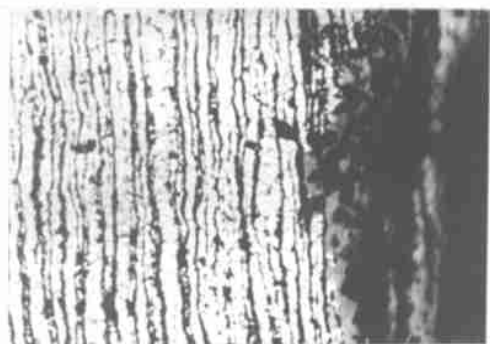


Fig. 1 Cross sectional microstructure of internal wall of 2# pipe  
×100

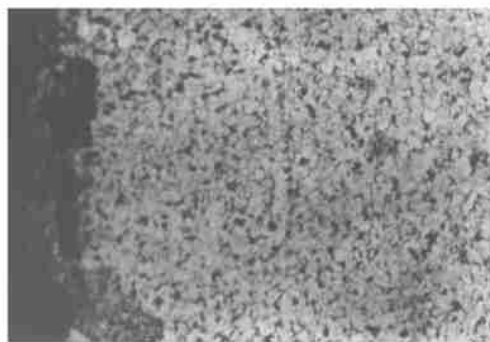


Fig. 2 Cross sectional microstructure of internal wall of 3# pipe  
×100

Table 2 Mechanical properties of steam - injecting pipes

mechanical properties	$s_s$ ,MPa	$s_b$ ,MPa	$\delta_{10}$ , %	$k_u$ ,J/cm <sup>2</sup>
16Mng standard	345	510 ~ 655	21	59
3# pipe	389.27	520.78	22.2	218.18
2# pipe	416.05	606.95	23.0	187.63

超过管材的强度,使得管材失效.壁厚减薄的原因,一是管线内、外壁的氧化腐蚀;二是管线内壁流动湿蒸汽的冲刷(蒸汽流速约 0.8 m/s)和腐蚀.

**化学成分.**两段注汽管线化学成分检测结果如表 1 所示.可见,2# 和 3# 管的化学成分均符合 GB713 - 86 锅炉用 16Mng 的成分要求.但是 3# 管的 S、P 含量较 2# 管高.

**金相组织.**从 2#、3# 管上分别截取试样经过纵向磨制抛光后,在 100 倍的金相显微镜下进行观察,可以看到 2# 管集中分布的脆性夹杂物较多,达 2.5 级<sup>[2]</sup>.3# 管集中分布的塑性夹杂物较多,达 4 级<sup>[2]</sup>.这种集中分布的夹杂物一方面使材料产生应力集中及裂纹的倾向增大.另一方面,使材料产生局部腐蚀

的可能性增大.文献[3]认为,硫化物夹杂类型对低碳钢孔蚀扩展的影响不同,平行于轧向的长条状硫化物其相界面远大于土豆状、雪茄状硫化物,因而对蚀孔扩展的作用显著增大.

用 4%硝酸酒精溶液腐蚀,在 100 倍金相显微镜下观察,可以看到 2# 管组织呈明显的带状分布,带状级别约 4 级<sup>[2]</sup>,见图 1.3# 管的带状组织不明显,见图 2.这种带状组织是由于枝晶间 S、P 偏析或夹杂物在压力加工过程中被拉长所造成的.低中碳钢如果单具有带状组织而不存在较多的拉长非金属夹杂物时,对钢的横向机械性能没有太大的影响.如果出现带状组织同时有较多的非金属夹杂物存在,则会使钢的塑性和冲击韧性明显下降.从夹杂物的观察可知,2# 管的脆性夹杂物较多,因此带状组织对 2# 管的横向机械性能会有影响.

2# 和 3# 管的组织均为块状铁素体和珠光体,晶粒细小,晶粒度约 8 级,内壁腐蚀层深约 0.2 mm,分别见图 1、图 2.放大到 500 倍观察,珠光体都有轻微的球化.因为是轻微球化,所以对机械性能影响不大.两段管子的内外壁均无脱碳现象.

**机械性能测定与分析.**用布氏硬度计测得 2# 管的平均硬度值为 HB184,3# 管为 HB153.将两段管子分别加工成标距长度为 50 mm,标距内直径为 5 mm 的标准拉伸试样,测得的屈服强度  $s_s$ 、抗拉强度  $s_b$ 、延伸率  $\delta_{10}$  值如表 2.

由于两段注汽管线的壁厚较薄,只能加工成非比例冲击试样(U 型),尺寸为 5 mm × 10 mm × 55 mm,测量冲击韧性  $k_u$  值,并与 GB713 - 86 锅炉用 16Mng 机械性能指标比较<sup>[2]</sup>,见表 2.

**断口扫描电镜观察与能谱元素分析.**对 2# 管的拉伸与冲击断口进行扫描电镜观察,看出断口均为等轴韧窝-宏观塑性断裂特征(图 3).对拉伸断口局部)进行能谱分析,结果见表 3.拉伸断口局部区域除铁、氧外,主要是氯、硅、钙、镁、硫和钠.说明断口局部除氧化物外,还有较多的氯化物、硫化物及盐

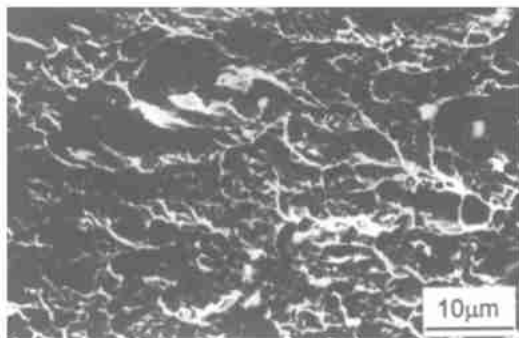


Fig. 3 While area of tensile fracture (SEM)

Table 3 Chemical compositions of dark area and white area of fracture surface

	2# pipe	O	Fe	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Zn	Ba	K	Na
dark	mass %	9.26	56.16	3.15	0.33	6.68	2.17	12.36	1.33	4.21	4.34	3.29	6.74
area	at %	23.07	40.06	5.16	0.49	9.48	2.70	13.90	1.32	2.57	1.26	2.09	7.27
white	mass %	35.08	11.43	1.46	1.01	2.82	12.33	8.56	17.29				
area	at %	54.42	5.08	1.49	0.92	2.49	9.54	5.99	10.70				

类.其原因可能是水处理指标不稳定造成的.热采锅炉目前用水是原油开采后分离出的污水,经过处理后循环使用.由于生产中除氧设备的完好程度及油田污水水质复杂,氯化物和硫化物含量高,处理后的水质含氧量不稳定(0.32 mg/L ~ 8.625 mg/L),且  $\text{Cl}^-$  离子含量高(3150 mg/L)<sup>[4]</sup>.由于  $\text{Cl}^-$  离子半径小,穿透力强,通过吸附到氧化物表面而产生孔隙,降低氧化物-溶液的界面能,使溶液润湿氧化物晶界,并阻止晶间的充分连结,破坏金属表面的保护膜<sup>[5]</sup>,而使管内壁发生局部氧化-氯化腐蚀.另外,从化学成分检测知 3# 管的含 S 量较高,从金相组织看 3# 管塑性硫化夹杂物多,这都为点蚀形核创造了条件.

管材强度校核.注汽管线壁厚的大小应根据周向(环向)应力来决定,计算公式<sup>[6]</sup>:

$$t = t_0 + C = \frac{pD}{2[\sigma]} + C$$

式中:  $t_0$  为管子的计算壁厚;  $p$  为管子的工作压力;  $D$  为管子的外径;  $[\sigma]$  - 管材的许用应力,  $[\sigma] = (0.6 \sim 0.72) \sigma_s$  根据管子的重要性决定,重要处取较低值;  $\sigma_s$  - 管子的最小屈服强度,考虑到温度的影响,工作温度是 354 °C. 16Mn 在 354 °C 时的最小屈服强度为 201 MPa<sup>[2]</sup>. 式中,  $\beta$  - 焊缝系数. 无缝钢管  $\beta = 1$ , 直缝管  $\beta = 0.8$ ;  $C$  - 壁厚附加量;  $C$  本应包括管子壁厚负偏差和腐蚀裕量两项,但计算中取  $[\sigma] = (0.6 \sim 0.72) \sigma_s$  是参照美国 API 规范<sup>[7]</sup>,已考虑到 8% 壁厚负偏差在内.因此,此处壁厚附加量  $C$  值,仅取腐蚀裕量一项.视输送介质的腐蚀性能取 0 ~ 1 mm.

2#、3# 管强度校核得:  $t_2 = 9.16 \text{ mm} \sim 7.64 \text{ mm}$ ,  $t_3 = 9.19 \text{ mm} \sim 7.66 \text{ mm}$ . 目前 2# 管的最小壁厚为  $9.28 \text{ mm} - 1.2 \text{ mm} = 8.08 \text{ mm}$ ; 3# 管的最小壁厚为  $9.42 \text{ mm} - 1.2 \text{ mm} = 8.22 \text{ mm}$ . 1.2 mm 是目前 2# 和 3# 管的内外壁已经存在的局部腐蚀坑深.可见, 2#、3# 管目前的壁厚已经低于 16Mn 钢在内压  $P = 17.2 \text{ MPa}$ 、温度  $T = 354 \text{ °C}$  的工作条件所要求的上限壁厚.

## 2 结论与建议

1 2# 和 3# 管的化学成分符合 GB713 - 86 锅炉用 16Mn 的成分要求.

2 两段管子的金相组织均为块状铁素体和珠光体,晶粒较细小,晶粒度约 8 级. 2# 管的脆性夹杂物达 2.5 级,带状组织达 4 级. 3# 管的塑性夹杂物达 4 级; 两段管子的各项机械性能指标都符合 GB713 - 86 锅炉用 16Mn 标准要求.但是, 3# 管的强度与塑性值均在标准的下限.

3 2# 管的拉伸与冲击断口均为等轴韧窝 - 宏观塑性断裂特征.宏观检查和能谱分析表明: 2# 管线的局部腐蚀为氧化 - 氯化腐蚀.

4 目前 2# 与 3# 管的壁厚已不能满足在内压  $P = 17.2 \text{ MPa}$ 、温度  $T = 354 \text{ °C}$  的条件下使用.

5 建议更换壁厚小于 9.2 mm 的管线,目前管线的壁厚只能在 15 MPa 以下运行.由于注汽管线的内壁腐蚀主要是氧化 - 氯化腐蚀,所以应加强水质检测与水质指标的控制.

## 参考文献:

- [1] 万嘉礼主编. 机电工程金属材料手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [2] 刘羽辉. 金属材料物理性能检验标准工作手册[M]. 北京: 技术标准出版社, 1982.
- [3] 陈学群, 孔小东, 杨思诚. 硫化物夹杂对低碳钢孔蚀扩展的影响[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2000(2): 65.
- [4] 温建萍, 李文戈, 李海, 等. 处理后的油田污水对热采锅炉 20G 腐蚀性的研究[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2001(3): 182.
- [5] J Robertson, J E Forrest. Corrosion of Carbon Steel in High Temperature Acid Chloride Solutions[J]. Corrosion Science, 1991, 32(5/6): 521.
- [6] 潘家华, 郭光臣, 高锡祺. 油罐及管道强度设计[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986.
- [7] 中国石油天然气总公司石油管材研究中心译. 套管和油管规范(美国石油学会标准 API SPEC 5CT)[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1988.