

# 供热系统中碳钢管的腐蚀原因分析

朱国文<sup>1</sup> 高立群<sup>2</sup> 林建<sup>1</sup> 李洪锡<sup>2</sup> 孙成<sup>2</sup> 孙玉莹<sup>3</sup>

(1. 大庆油田有限责任公司储运销售分公司 大庆 163453;

2. 金属腐蚀与防护国家重点实验室 中国科学院金属研究所 沈阳 110016;

3. 沈阳鼓风机厂设计处 110021)

**摘要** 对城市供热系统中碳钢管腐蚀失效进行了分析.结果显示,在热水中的溶解氧、Cl<sup>-</sup>等作用下焊缝发生强烈的局部腐蚀,造成钢管穿孔;分析了钢管腐蚀的原因和机理.

**关键词** 腐蚀机理 钢管 失效

**中图分类号** TG174.5 **文献标识码** A **文章编号** 1002-6495(2001)05-0302-03

## ANALYSIS OF CORROSION CASE OF CARBON STEEL PIPE IN HEAT SUPPLY SYSTEM

ZHU Guowen<sup>1</sup>, GAO Liqun<sup>2</sup>, LIN Jian<sup>1</sup>, LI Hongxi<sup>2</sup>, SUN Cheng<sup>2</sup>, Sun Yuying<sup>3</sup>

(1. The Sales Storage and Transportation Sub - Company of Daqing Oilfield Limited Company, Daqing 163453;

2. State Key Laboratory for Corrosion and Protection,

Institute of Metal Research, The Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016;

3. Shenyang Blower Works, Design Department, Shenyang 110012)

**ABSTRACT** Corrosion cases of carbon steel pipe for hot water supply are analyzed, it is shown that serious localized corrosion occurred on welded seam which caused by O and Cl<sup>-</sup> in the hot water, and then which results in perforation of the pipe rapidly.

**KEY WORDS** corrosion, carbon steel, failure

在城市供热系统中,碳钢管的应用十分普遍,但碳钢管在热水中存在着严重的腐蚀问题.为了考察其在热水中的腐蚀原因,我们在某宾馆的供热管道中对几段腐蚀后的碳钢管段进行了分析.

### 1 腐蚀状况

钢管内布满红褐色腐蚀产物,锈层较薄.沿焊缝处可见许多不连续分布的瘤状鼓包,易剥落,外表面呈红褐色,内部呈深褐色.非焊缝处仅有少量鼓包.去除产物后管内壁呈大面积坑蚀形态,截断钢管后,在管剖面的焊缝处发现有深浅不一的V形沟缝,有的已经贯穿管壁.V形沟较窄,在1 mm以内.在其上部均有较大的鼓包.由于腐蚀主要集中在焊缝位置,因此重点对焊缝处的腐蚀原因进行了考察.

### 2 腐蚀原因分析

#### 2.1 钢管化学成分

符合中华人民共和国国家标准 GB 700 - 88, 钢管的牌号为:Q215 - B.

#### 2.2 机械压扁实验

为检验钢管焊接质量,取同一批但未经使用过的钢管样品进行压扁试验,按国家标准 GB/T 3092 - 93 进行压扁试验.结果显示,当钢管被压扁至管外径的 3/4 时,钢管的焊缝没有出现裂纹,表明钢管的焊接符合 GB/T 3092 - 93 标准的要求.

#### 2.3 钢管金相组织

图 1 为钢管基体的金相显微组织,可以看出为分布较均匀的铁素体和珠光体,珠光体的数量较少.

图 2 为焊缝处的金相组织,其中,亮部区为熔和区,两边较为密集的黑色相是热影响区.与图 1 相比,焊缝热影响区的组织比较粗大,溶和区晶粒细小.

国家自然科学基金项目(No. 599143 - 1)和国家重点基础专项经费(G19990650)资助

收到初稿:2000-05-29;收到修改稿:2000-11-30

作者简介:高立群,男,1974年生,硕士,实习研究员

Tel:024 - 23915867 E-mail:lqgao@icpm.syb.ac.cn

Table 1 Chemical composition of pipe steel(mass%)

Element	C	Si	Mn	P	S
Content	0.13	0.20	0.46	0.011	0.016

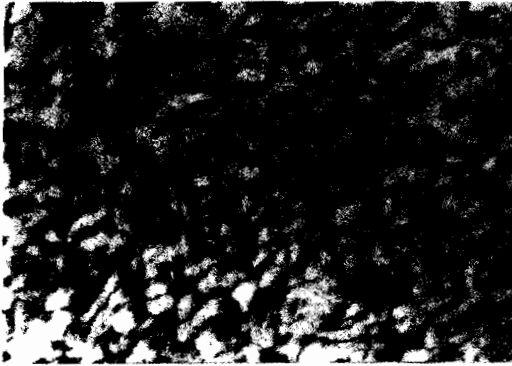


Fig.1 The photomicrograph of base of the pipe(×400)

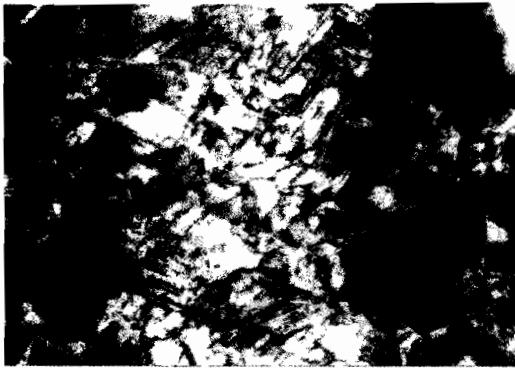


Fig.2 The photomicrograph of welded seam of the pipe(×400)

取一带腐蚀坑的管段,截断后,观察 V 型沟尖端下方焊缝处,可以看出焊缝及热影响区组织同图 2 无腐蚀管段焊缝相同,并无组织缺陷.造成钢管漏水的 V 型沟是沿着焊缝与热影响区交界处发展的.综合上述试验结果,基本可以排除由于钢管的焊接质量问题造成焊缝处出现沟缝的可能.

#### 2.4 产物的 X 射线分析

取管内壁非焊缝表面粉状和焊缝处瘤状产物进行 X 射线衍射分析,结果见表 2.非焊缝表面产物的大部分为非晶体,仅有少量的晶体,可能是由钢管的腐蚀产物及水垢组成;而焊缝处的瘤状物则主要是由铁的腐蚀产物组成,这说明,在焊缝处主要发生了铁的氧腐蚀.

#### 2.5 V 型沟内腐蚀产物的电子探针分析

图 3(a)、(b)是钢管内壁焊缝处腐蚀区的横断面扫描电子图象,这是一段未穿孔的 V 型沟,腐蚀产物充满 V 型沟内,并在沟外堆积成产物瘤.对其进行电子探针微区定点分析,(c)、(d)为腐蚀产物中 O 元素的分布,(e)、(f)为腐蚀产物中 Cl 元素的分布.

Table 2 XRD analysis result of corrosion products

Species	Composition
Surface of pipe	Fe(OH) <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> FeO(OH)
Welded seam	Fe(OH) <sub>3</sub>

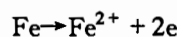
从图 3 中可以看到,(a)和(b)中 O 元素的含量较高,说明了 V 型沟内外的腐蚀产物是由于 Fe 的氧腐蚀形成的.在(b)处,由于腐蚀产物层靠近水介质,因此存在 S 及 Cl 等外来元素.可能是水中的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 及 Cl<sup>-</sup> 参与了腐蚀过程;由于(a)处处在 V 型沟的沟底,水中的离子很难渗透进去,但 Cl<sup>-</sup> 则不然,Cl<sup>-</sup> 的穿透性非常强,它可以容易地进入沟底.从(a)处的分析结果看,其 Cl 元素的含量要远远高于(b)处上 Cl 的含量.如此多的 Cl 富集在 V 型沟的末端,极易诱发缝隙腐蚀、点蚀等局部腐蚀,使该处高速腐蚀,直至穿孔.

### 3 腐蚀机理分析

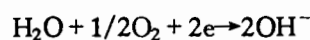
在钢管的金相分析中并未发现焊缝有组织缺陷,而且根据产物的 X 射线及电子探针的分析结果可知,钢管内壁及焊缝处的产物是铁的腐蚀产物,因此可以认为钢管的穿孔原因是由于水介质的腐蚀造成的.钢管的焊缝位置由于其特殊的电化学性质而被优先腐蚀,进而会诱发强烈的局部腐蚀行为,而使焊缝位置在短时间内腐蚀穿孔.其腐蚀原因和机理可能如下:

1. 钢管的焊缝位置由于冷却速度较快,容易析出大量的马氏体,(见图 2)由于马氏体的含 C 量较高,因此其自然电位会较基体金属更负,钢管在制造的过程中焊缝处会形成较高的内应力,这也会使焊缝位置的金属电位降低.由于焊缝金属与基体金属的初始电位差,在腐蚀介质——热水的作用下形成危险的大阴极——小阳极的腐蚀电池,焊缝金属作为阳极加速腐蚀,基体金属为阴极,受到一定程度的保护.具体的腐蚀过程为:

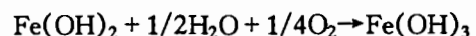
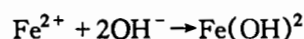
阳极过程:



阴极过程:



二次反应:



热水中由于温度较高,更加速了上述反应的进行.

2. 在内应力的作用下,焊缝处金属的腐蚀速度加快,由于焊缝区的范围很小,腐蚀坑的面积也非常

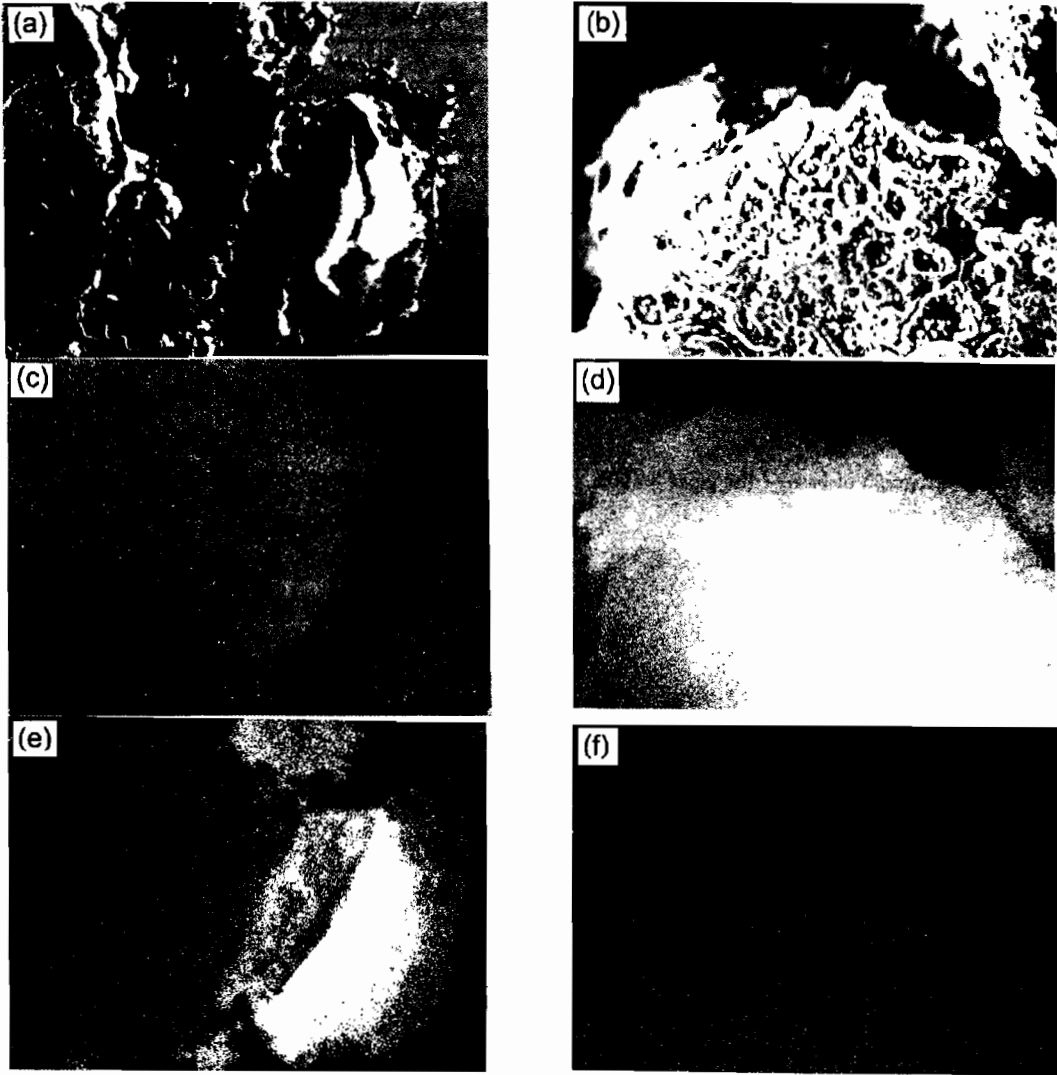


Fig. 3 The analysis results of electron probe

(a): Micro - appearance of the bottom of the groove; (b): Micro - appearance of the top of the groove; (c) (d): Distribution of O; (e) (f): Distribution of Cl

小,二次反应形成的产物不断堆积在焊缝处金属的表面,这样在腐蚀坑中就形成一闭塞的空间,水中 $\text{Cl}^-$ 具有非常强的穿透性,它可以渗透入这个闭塞空间,参与铁的腐蚀进程,使 $\text{Cl}^-$ 能进入腐蚀产物中,并能够不断的从水中通过扩散补充.形成如我们在图3中看到的a区中Cl富集的现象.进而非常容易诱发缝隙腐蚀、点蚀等局部腐蚀,使腐蚀沿着深度方向不断发展,形成深而窄的沟缝,直至钢管腐蚀穿孔.腐蚀进程的示意图见图4.

#### 4 结论

1. 钢管腐蚀的原因主要是由于水介质中的溶解氧以及 $\text{Cl}^-$ 等有害阴离子对金属的联合作用而形成的.而且由于热水系统中的介质温度高,更加速了对钢管的腐蚀.

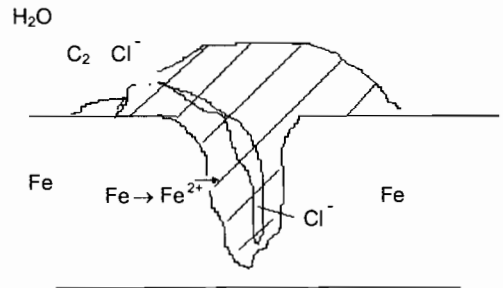


Fig. 4 Schematic diagram of corrosion process of pipe steel hot in water

2. 钢管的焊缝处由于组织结构及应力状态的不同,成为腐蚀的敏感区,在 $\text{Cl}^-$ 的作用下极易诱发缝隙腐蚀、点蚀等局部腐蚀,使焊缝处的腐蚀速度远远高于基体的腐蚀速度,从而在焊缝处首先穿孔.