

pH 值对 N80 钢固液两相冲刷腐蚀的影响

李涌泉<sup>1</sup>, 田进<sup>2</sup>

(1. 西安航空学院, 西安 710077; 2. 中联西北工程设计研究院, 西安 710082)

[摘 要] 在加入 10% 石英砂的 3.5% NaCl 溶液中, 对 N80 钢进行了冲刷腐蚀试验。通过失重法计算了腐蚀速率, 观察了宏观、微观腐蚀形貌, 对腐蚀后的表面进行了 EDS 分析, 据此研究了 pH 值对冲刷腐蚀的影响和冲刷腐蚀机理。结果表明: 随着 pH 值的升高, N80 钢的冲刷腐蚀速率降低; pH 较低(2 或 3) 时, 为均匀腐蚀, pH 值升高后, 出现了氧化。

[关键词] pH 值; N80 钢; 冲刷腐蚀; 微观形貌

[中图分类号] TG172

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2013)05-0029-03

Influence of pH on Erosion-corrosion of N80 Steel in Fluids with Solid Particles

LI Yong-quan<sup>1</sup>, Tian Jin<sup>2</sup>

(1. Xi'an Aeronautical University, Xi'an 710077, China;

2. China United Northwest Institute for Design and Research, Xi'an 710082, China)

[Abstract] The erosion and corrosion resistance and behavior of the N80 steel in 3.5wt. % NaCl and 10 wt. % solid particle solutions were investigated. The corrosion rate of the N80 steel was studied by weight-loss method, the macrography and micromorphology were observed, and the corrosion surface was analyzed by EDS. Based on the above the effect of pH value on erosion and corrosion and mechanism of erosion and corrosion were studied. The results show that the corrosion rate of N80 steel decrease, with increasing pH values. And the corrosion mechanism are uniform corrosion when pH=2,3. And oxidation appears when pH value increases.

[Key words] pH value; N80 steel; erosion and corrosion; microstructure

在油气开采运输过程中, 石油套管的消耗一般占整个石油管的 73% ~ 76%, 其成本约占油井开发生产成本的 20% ~ 30%<sup>[1]</sup>。腐蚀(尤其是管内腐蚀)是石油套管失效的主要原因, 其显著特点是由气、水、固共存的多相流腐蚀介质引起<sup>[2-3]</sup>, 即冲刷腐蚀。一般认为, 冲刷腐蚀是机械性冲刷和电化学腐蚀的交互作用<sup>[4]</sup>, 该过程会显著加速材料的破坏。赵会友等人的研究表明, 交互作用下的腐蚀速率是纯腐蚀率与纯磨损率代数值的几倍甚至十几倍<sup>[5]</sup>。固体颗粒、温度、冲刷速度及 pH 值等是冲刷腐蚀的主要影响因素, 揭示这些因素的作用机理对预防油管钢的腐蚀破坏有重要意义, 文中研究了 pH 值的影响。

1 试验

材料选择 N80 钢, 其成分见表 1, 试样尺寸为 40 mm×10 mm×4 mm。试样经 200#—1000#SiC 砂纸逐级打磨, 再经酒精清洗后, 烘干, 备用。

冲蚀试验采用自制的装置, 如图 1 所示。浆料组成为 10% 棕刚玉+3.5% NaCl+蒸馏水(均为质量分数, 全文同), 用冰乙酸调整 pH 值分别为 2, 3, 4, 5。棕刚玉(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 粒径为 180 ~ 240 μm, 硬度为 2000 ~ 2300HV, 微观形貌如图 2 所示。冲蚀实验条件为: 温度 20 ℃, 冲蚀时间 10 h, 冲蚀角 α=90°, 转轴转速 250 r/min。平行试样为 3 个。

表 1 N80 钢的化学成分

Tab.1 Chemical composition of N80 steel

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Fe
质量分数/%	0.240	0.220	1.190	0.013	0.004	0.036	0.021	0.028	余量

[收稿日期] 2013-05-05; [修回日期] 2013-06-16

[作者简介] 李涌泉(1985—), 男, 陕西西安人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为材料表面处理及腐蚀与防护技术。

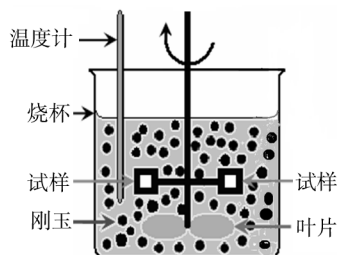


图1 冲刷腐蚀试验示意图

Fig. 1 The diagram of erosion-corrosion tests

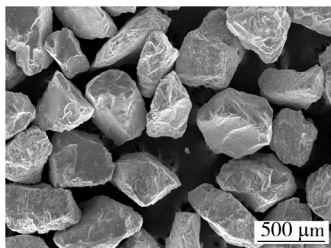


图2 刚玉的SEM照片

Fig. 2 The SEM image of corundum

冲刷前后,用酒精清洗试样,采用 TG328A 型分析天平(精度 0.1 mg)对试样进行称量,并计算腐蚀速率  $V^{[6]}$ :

$$V = \frac{m_1 - m_2}{S \times t}$$

式中:  $m_1$  和  $m_2$  分别为试样冲刷腐蚀前、后的质量(g);  $S$  为试样的暴露面积( $m^2$ );  $t$  为冲刷腐蚀的测试时间(h)。

## 2 结果及讨论

### 2.1 pH 值对冲刷腐蚀速率的影响

如图3所示,N80钢在 pH=2 的浆料中的腐蚀速率最高,约为  $3.6392 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,随着 pH 值的增大,N80钢的腐蚀速率降低。这是由于随着溶液 pH 值的升高,N80钢自腐蚀电位正移<sup>[7]</sup>,腐蚀电流减小,因此腐蚀速率降低。

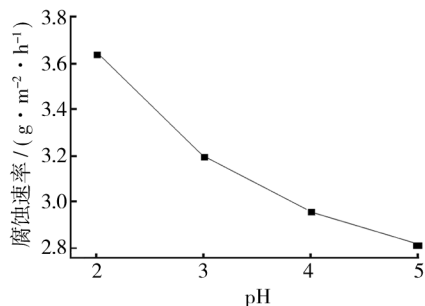


图3 N80钢的腐蚀速率随浆料 pH 的变化

Fig. 3 The corrosion rate of N80 steel in solutions with various pH values

图4为 N80 钢冲蚀后的宏观腐蚀形貌。可见经 pH 值 2 或 3 的浆料冲刷腐蚀后,试样表面光滑,分别呈暗红色和黑灰色,无粘附物;随着 pH 值的增加,试样表面局部出现褐色的腐蚀产物;当 pH 值达到 5 时,基体呈现大面积的腐蚀,并有显著的腐蚀产物。

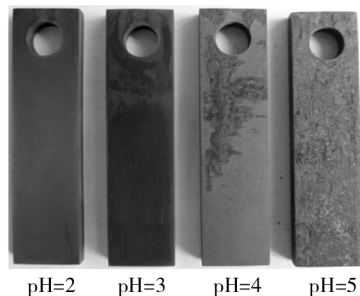


图4 N80 钢在不同 pH 浆料中冲蚀后的宏观形貌

Fig. 4 The macroscopical corrosion configuration of N80 steel in solutions with various pH values

### 2.2 冲刷腐蚀微观形貌及冲蚀机理

图5为 N80 钢冲蚀后的微观腐蚀形貌。当 pH 值为 2 和 3 时,冲蚀表面的微观形貌相似,表面光滑,伴有大量密集的冲蚀坑,但未观察到明显的腐蚀产物。当 pH 值为 4 和 5 时,冲蚀表面粗糙,腐蚀产物增多。

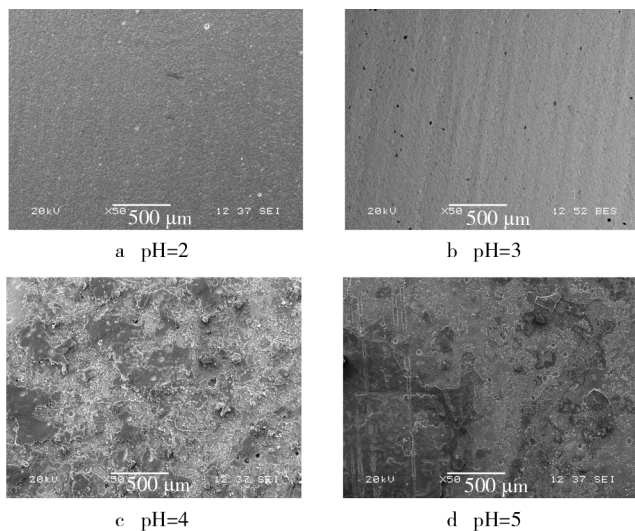
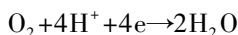
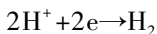
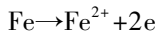


图5 N80 钢在不同 pH 值浆料中冲蚀后的微观形貌

Fig. 5 The microstructures of N80 steel in solutions with various pH values

分析认为,在冲刷的起始阶段,刚玉颗粒将试样表面的氧化膜冲刷(切削)掉,露出基体,液相介质对基体产生腐蚀作用。当浆料中  $H^+$  的浓度较高时,发生如下反应:



该过程中,阴极主要是  $H^+$  的去极化反应,而基体发生阳极溶解,并且在酸性体系中,基体表面不易形成保

护性膜层<sup>[8]</sup>,同时固体颗粒的冲击使表面不断裸露出新基体,进一步加速了腐蚀的进行,因此该条件下为均匀的全面腐蚀。当 pH 值增大时,浆料中 OH<sup>-</sup> 浓度增加,基

体表面有机会形成 Fe(OH)<sub>2</sub> 保护性膜层,使基体的腐蚀速率降低。图 6 中的 EDS 分析亦表明,随着 pH 值的升高,腐蚀表面的 O 含量增高,表明发生了氧化。

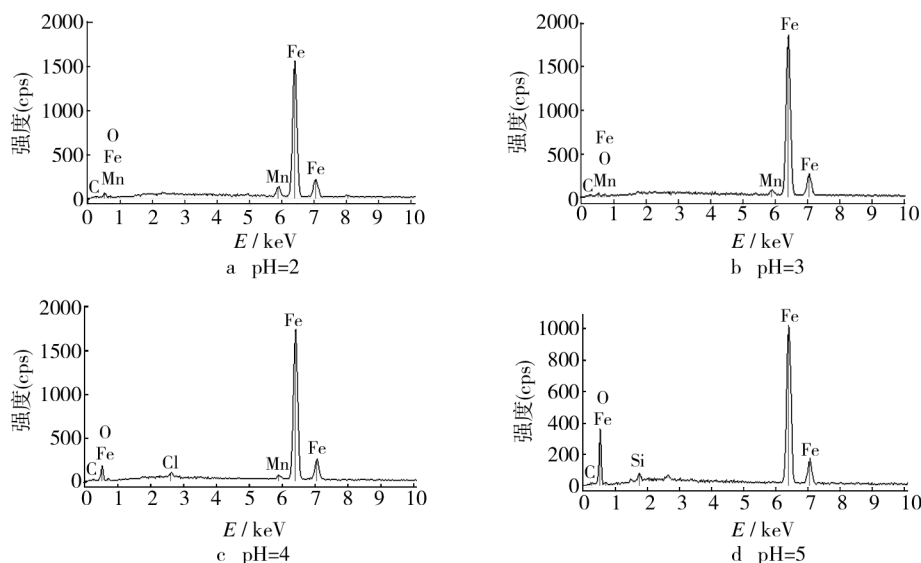


图 6 各腐蚀表面的 EDS 分析

Fig. 6 The EDS analysis of the corrosion surfaces

### 3 结论

1) 在含有 10% 石英砂的 3.5% NaCl 溶液中,随着溶液 pH 值的升高,N80 钢的冲刷腐蚀速率降低。

2) 当冲蚀料浆的 pH 值为 2 和 3 时,N80 钢的腐蚀主要为均匀腐蚀;随着 pH 值的升高,N80 钢表面发生了氧化。

#### [参 考 文 献]

[1] 张业圣,赵明亮. 石油管市场前景展望(上)[J]. 钢管, 2007, 36(2): 1—6.  
[2] 杨武. 腐蚀科学技术的应用和实效案例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

[3] 李平全. 油气田生产开发期套管的损坏原因分析《油套管标准研究、油套管失效分析及典型案例-2》[J]. 钢管, 2006, 35(5): 53—59.  
[4] MSDSEN B W. Measurement of Erosion-corrosion Synergism with a Slurry Wear Test Apparatus [J]. Wear, 1988, 123 (2): 127—142.  
[5] 赵会友,陈华辉,邵荷生,等. 几种钢的腐蚀冲蚀磨损行为与机理研究[J]. 摩擦学学报, 1996, 16(2): 112—119.  
[6] 李平. 酸性液固两相流中不锈钢冲刷腐蚀行为的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.  
[7] 李宝彦,朱晏莹,毕启玲. 油管钢在 H<sub>2</sub>S 溶液中的腐蚀研究[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(2): 23—26.  
[8] 张红,杜翠薇,齐慧滨,等. pH 值对热镀锌汽车板和 IF 钢基板在 NaCl 溶液中电化学行为的影响[J]. 腐蚀与防护, 2009, 30(7): 45—48.

(上接第 18 页)

[15] YUE Guang-hui, YAN Peng-xun, LIU Jin-zhang. Copper Nitride Thin Film Prepared by Reactive Radio-frequency Magnetron Sputtering [J]. Journal of Applied Physics, 2005, 98 (10): 103506—103513.  
[16] GHOSH S, SINGH F, CHOUDHARY D, et al. Effect of Substrate Temperature on the Physical Properties of Copper Nitride Films by R. F. Reactive Sputtering [J]. Surface and Coatings Technology, 2001, 142/143/144: 1034.  
[17] 肖剑荣,徐慧,李燕锋,等. 氮分压对氮化铜薄膜结构及光学带隙的影响[J]. 物理学报, 2007, 56(7): 4169—4173.  
[18] 肖剑荣,蒋爱华. 氮化铜薄膜的研究[J]. 材料导报, 2009, 23(11): 115—117.  
[19] 袁晓梅,王君,吴志国,等. 射频磁控溅射法制备 Cu<sub>3</sub>N 薄

膜及其性能研究[J]. 人工晶体学报, 2006, 35(3): 635—640.  
[20] 岳光辉,闫鹏勋. 氮化铜薄膜的制备及其物理性能[J]. 人工晶体学报, 2005, 34(1): 149—154.  
[21] PIERSON J F. Structure and Properties of Copper Nitride Films Formed by Reactive Magnetron Sputtering [J]. Vacuum, 2002, 66: 59—64.  
[22] OLIVER W C, PHARR G M. An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments [J]. Journal of Materials Research, 1992, 7(6): 1564—1583.  
[23] 张天林. 纳米压入技术中基底和针尖效应的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2008.