

304 不锈钢在氯化钠介质中点蚀缓蚀剂的研究

郝震¹, 戴恒彪¹, 李广州¹, 丁毅¹, 孟宪虎²

(1. 南京工业大学 材料科学与工程学院, 南京 210009;

2. 江苏众信绿色管业科技有限公司, 南京 210012)

摘要: 目的 研究钼酸钠、葡萄糖酸钠及其复配物在氯化钠介质中, 对 304 不锈钢点蚀的缓蚀作用。方法 对钼酸钠、葡萄糖酸钠按不同配比进行复配得到不同缓蚀剂, 采用极化曲线法分别测试在这几种缓蚀剂存在的条件下, 304 不锈钢在 3.5% (质量分数, 后同) NaCl 溶液中的点蚀电位。结果 单组分的钼酸钠、葡萄糖酸钠对在 3.5% NaCl 介质中的 304 不锈钢点蚀有一定的抑制作用, 且两种缓蚀剂有明显的协同缓蚀效应。结论 当复配缓蚀剂配比为 $c(\text{钼酸钠}):c(\text{葡萄糖酸钠})=2:1$ 时, 其缓蚀效果达到最佳, 点蚀电位为 436 mV。

关键词: 304 不锈钢; 钼酸钠; 葡萄糖酸钠; 点蚀电位

中图分类号: TG174.42 文献标识码: A 文章编号: 1001-3660(2015)04-0123-04

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.04.022

Study on Inhibitors for the Pitting Corrosion of 304 Stainless Steel in Sodium Chloride Medium

HAO Zhen¹, DAI Heng-biao¹, LI Guang-zhou¹, DING Yi¹, MENG Xian-hu²

(1. College of Material Science and Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 210009, China;

2. Jiangsu Zhongxin Pipe Sci-Tec Co., Ltd, Nanjing 210012, China)

ABSTRACT: **Objective** To investigate the inhibition effect of sodium molybdate, sodium gluconate and their mixtures on 304 stainless steel in sodium chloride medium. **Methods** Sodium molybdate and sodium gluconate were compounded at different proportions to obtain different complex inhibitors, and then electrochemical polarization curve was used to test the pitting potential of 304 stainless steel in 3.5% NaCl solution in the presence of these types of corrosion inhibitors. **Results** One-component sodium molybdate and sodium gluconate exhibited certain inhibitory effects for pitting on 304 stainless steel in 3.5% NaCl medium, and there was significant synergistic inhibition effect between these two corrosion inhibitors. **Conclusion** The best ratio of the compounded inhibitor was 2:1 (27 mmol/L sodium molybdate and 13 mmol/L sodium gluconate), and the pitting potential could reach 436 mV.

KEY WORDS: 304 stainless; sodium molybdate; sodium gluconate; pitting potential

收稿日期: 2014-11-04; 修订日期: 2015-02-27

Received: 2014-11-04; Revised: 2015-02-27

作者简介: 郝震(1989—), 男, 宁夏人, 硕士研究生, 主要研究金属材料的腐蚀与防护。

Biography: HAO Zhen (1989—), Male, from Ningxia, Master graduate student, Research focus: corrosion and protection of metallic materials.

通讯作者: 丁毅(1965—), 男, 江苏人, 副教授, 主要研究方向为金属材料组织分析与性能测试、金属表面处理及腐蚀防护、金属能源材料、金属化工设备材料失效分析等。

Corresponding author: DING Yi (1965—), Male, from Jiangsu, Associate professor, Research focus: the organization analysis and performance testing of metal materials, metal surface treatment and corrosion protection, metal energy materials research, metal chemical equipment and materials failure analysis.

不锈钢因其良好的耐蚀性和抗氧化性,广泛应用于现代工业社会的各个领域,特别是在化工行业的冷却水系统及热交换系统中,不锈钢材质的换热器被大量应用。但由于介质的影响,这些设备常常会发生各种类型的腐蚀^[1-2],特别是在含 Cl⁻ 的溶液中,不锈钢极易发生点蚀,而腐蚀引起的泄漏会引发重大事故,同时会严重污染环境。因此在实际生产中,通常会采取相应措施进行腐蚀防护,其中添加缓蚀剂是一种较为简便、经济的方法,可有效抑制点蚀^[3-6]。

目前,化工行业在冷却水系统中使用最广泛的缓蚀剂为磷酸盐系,但是磷的排放会造成严重的环境污染。随着人们环保意识的增强,对缓蚀剂的环保性要求也越来越高。钼酸盐是一种绿色、无毒的氧化性缓蚀剂,但其单独使用时的缓蚀效率不高。根据安洋等人的研究结果^[7],钼酸钠单独使用时,304 不锈钢在 3.5% (质量分数,全文同) NaCl 溶液中的点蚀电位仅为 230 mV,低于使用同等浓度硝酸钠、硫酸钠时的点蚀电位,故需与其他缓蚀剂配合使用,以使其缓蚀性能得到增强。因此,研究一种钼酸盐缓蚀剂具有重要的应用价值^[8-10]。

电化学测试是一种研究缓蚀剂缓蚀性能的重要手段。文中本着保护环境和节约资源的原则,通过阳极极化曲线确定 304 不锈钢在加入不同配比钼酸钠+葡萄糖酸钠复配缓蚀剂的 3.5% NaCl 溶液中的点蚀电位^[11-12],评价不同配比复配缓蚀剂的缓蚀效果,从而确定最佳缓蚀剂配方。

1 实验

选用的 304 不锈钢主要化学成分(以质量分数计)为: C ≤ 0.08% , Si 0.62% , P 0.01% , S 0.02% , Cr 18.69% , Ni 8.59% , Fe 余量。

测试参照 GB/T 17899—1999《不锈钢点蚀电位测量方法》进行。将试样一端锡焊铜导线,除测试面外,均用环氧树脂封固,测试面积为 1 cm²。表面用 180#—1000#砂纸打磨平整,依次用去离子水、无水乙醇清洗,吹干后放置于干燥皿中,待用。

腐蚀条件为 3.5% NaCl 中性溶液,温度为 25 ℃。钼酸钠、葡萄糖酸钠等试剂均为分析纯,单组分缓蚀剂和复配缓蚀剂均用去离子水配制。单组分和复配缓蚀剂总浓度均为 40 mmol/L,复配缓蚀剂配比 c(钼酸钠):c(葡萄糖酸钠)分别为 3:1,2:1,1:1,1:2,1:3。阳极极化曲线采用上海辰华仪器有限公司生

产的 CHI660D 电化学工作站测定。工作电极为 304 不锈钢,辅助电极为 Pt 电极,参比电极为饱和甘汞电极,用盐桥接通电解池和参比电极。扫描速度为 20 mV/min。以阳极极化曲线上 J_a = 100 μA/cm² 所对应的电位作为点蚀电位(E_b)。

2 结果与讨论

2.1 单组分缓蚀剂的缓蚀效果

图 1 为不锈钢电极在不加缓蚀剂时和分别加入钼酸钠、葡萄糖酸钠后的阳极极化曲线,表 1 为相应的极化曲线特征值。从图 1 可以看出,不加任何缓蚀剂时,不锈钢在氯化钠溶液中的点蚀电位为 115 mV。加入钼酸钠时,其点蚀电位上升到 235 mV;加入葡萄糖酸钠时,其点蚀电位则上升至 164 mV。同时,随着这两种化合物的加入,不锈钢的自腐蚀电位均正移。这表明,单组分的钼酸钠和葡萄糖酸钠对不锈钢在氯化钠溶液中均具有一定缓蚀作用,并且在 40 mmol/L 的浓度条件下,钼酸钠的缓蚀效果好于葡萄糖酸钠。

钼酸钠属于钝化膜型缓蚀剂。陈旭俊等人^[13]研究发现,钼酸钠在不锈钢表面形成的钝化膜主要成分为难溶于水和酸的稳定化合物 MoCl₃。MoCl₃ 是由富

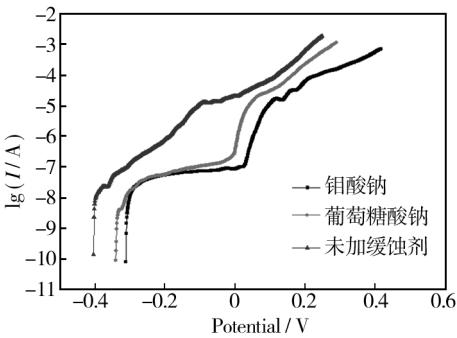


图 1 空白及单组分缓蚀剂条件下的极化曲线

Fig. 1 Polarization curves under blank and one-component inhibitor conditions

表 1 空白及单组分缓蚀剂条件下的极化曲线特征值

Tab.1 Stainless steel pitting potential under blank and one-component inhibitor conditions

| 缓蚀剂 | E_{corr} (vs. SCE) /mV | E_b (vs. SCE) /mV | I_{corr} /μA | η /% |
|-------|-----------------------------|------------------------|-------------------|-----------|
| 空白 | -410 | 115 | 4.342 | |
| 钼酸钠 | -302 | 235 | 2.004 | 54 |
| 葡萄糖酸钠 | -328 | 164 | 3.459 | 20 |

集在膜表面的 Cl^- 与 Na_2Mo_4 的还原产物于接近金属基体处生成的,这层致密并且难溶于酸的钝化膜可以有效阻挡 Cl^- 的侵入,从而达到保护不锈钢不受点蚀的作用。葡萄糖酸钠属于吸附膜型缓蚀剂。在含 Cl^- 的溶液中,葡萄糖酸钠与 Cl^- 会在不锈钢表面竞争吸附,而葡萄糖酸钠较 Cl^- 更容易吸附在不锈钢表面,形成单分子层吸附膜,起到覆盖效应。这种吸附膜可以有效阻挡水、 Cl^- 和溶解氧等腐蚀性物质与不锈钢基体接触,进而对不锈钢起到良好的保护作用^[14—16]。但是这种吸附膜的抗 Cl^- 穿透性差于钼酸钠所形成的钝化膜,且无类似钼酸钠钝化膜自身的耐蚀性。因此,在该浓度条件下,单独使用钼酸钠的缓蚀性能好于葡萄糖酸钠。

2.2 复配缓蚀剂的缓蚀性能

图 2 为不锈钢电极在加入不同配比复配缓蚀剂时的阳极极化曲线,表 2 为相应的极化曲线特征值。可以看出,在氯化钠溶液中,任何配比的缓蚀剂都使不锈钢自腐蚀电位正移,并且提高了不锈钢电极的点蚀电位。其中,当 $c(\text{钼酸钠}):c(\text{葡萄糖酸钠})=1:1$ 时,点蚀电位为 163 mV,与单组分葡萄糖酸钠的缓蚀

效果相近,此时的缓蚀效果最差;当 $c(\text{钼酸钠}):c(\text{葡萄糖酸钠})=2:1$ 时,点蚀电位为 436 mV,表明该配比的缓蚀剂对不锈钢在氯化钠溶液中的点蚀有明显的抑制作用,缓蚀效果达到最佳。值得注意的是,当 $c(\text{钼酸钠}):c(\text{葡萄糖酸钠})=1:2$ 时,点蚀电位仍然达到 414 mV,该配比的缓蚀剂可以减少钼酸钠的用量,从而降低使用成本,具有一定的经济价值。另外,从图中还可以看出,复配缓蚀剂的缓蚀效果并非都好于单组分缓蚀剂。

在 NaCl 溶液中加入复配缓蚀剂时,由于葡萄糖酸钠含有羟基,可以与 FeO 、 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 等络合,在不锈钢表面形成稳定、致密的单分子保护膜,而 MoO_4^{2-} 会吸附于保护膜表面的薄弱处^[17],进一步增加保护膜的致密性;同时,钼酸钠还可以使不锈钢表面生成化学性质稳定的 MoCl_3 ,消耗掉极少的进入保护膜的氯离子,这就更加有效地阻滞了氯离子在不锈钢表面的吸附,从而提高不锈钢的耐点蚀性能。当钼酸钠与葡萄糖酸钠配比为 2:1 时,二者表现出很好的协同缓蚀效应,达到最佳缓蚀效果。

图 3 为单组分缓蚀剂或不同配比复配缓蚀剂存在条件下,304 不锈钢在 NaCl 溶液中所对应的点蚀电位。可以看出,无论是以钼酸钠,还是以葡萄糖酸钠为主要缓蚀剂,随着与另一种缓蚀剂的复配,不锈钢的点蚀电位均具有相似的变化趋势,即先增大,后减小,并且均以主要缓蚀剂(钼酸钠或葡萄糖酸钠)摩尔分数为 67% 时达到最大。此外,单组分钼酸钠的缓蚀性能好于单组分葡萄糖酸钠,以钼酸钠为主要缓蚀剂的复配缓蚀剂的缓蚀性能好于以葡萄糖酸钠为主要缓蚀剂的复配缓蚀剂。

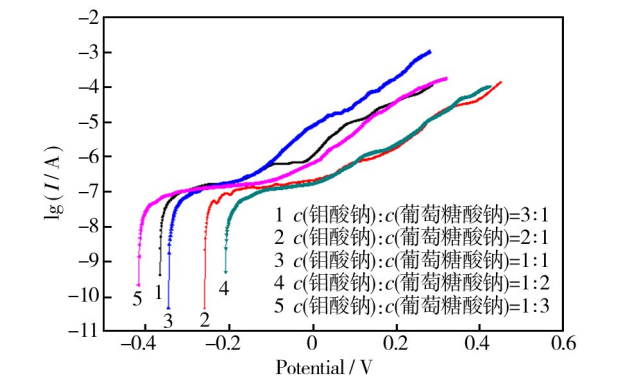


图 2 不同配比复配缓蚀剂条件下的极化曲线
Fig. 2 Polarization curves at different ratios of compounded inhibitor

表 2 不同配比复配缓蚀剂条件下的极化曲线特征值
Tab. 2 Stainless steel pitting potential at different ratios of compounded inhibitor

| $c(\text{钼酸钠}):c(\text{葡萄糖酸钠})$ | $E_{\text{corr}}(\text{vs. SCE})/\text{mV}$ | $E_b(\text{vs. SCE})/\text{mV}$ | $I_{\text{corr}}/\mu\text{A}$ | $\eta/\%$ |
|---------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 3:1 | -361 | 278 | 2.118 | 51 |
| 2:1 | -264 | 436 | 0.827 | 81 |
| 1:1 | -351 | 163 | 2.996 | 30 |
| 1:2 | -201 | 414 | 0.926 | 79 |
| 1:3 | -420 | 260 | 2.606 | 40 |

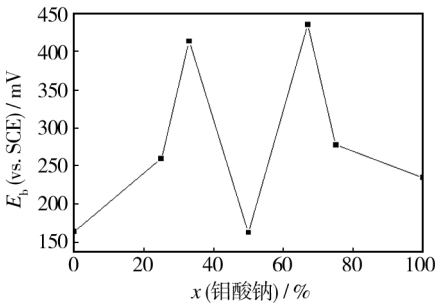


图 3 不同缓蚀剂条件下的点蚀电位变化趋势
Fig. 3 Pitting potential trends under different corrosion inhibitor conditions

3 结论

1) 钼酸钠和葡萄糖酸钠在中性 NaCl 溶液中对

不锈钢均具有良好的缓蚀效果,且它们同时使用具有明显的协同缓蚀效应,对不锈钢的点蚀具有良好的抑制作用。二者的最佳配比为 $c(\text{钼酸钠}) : c(\text{葡萄糖酸钠}) = 2 : 1$ 。该配比的复配缓蚀剂缓蚀效果最佳,点蚀电位达到 436 mV。

2) $c(\text{钼酸钠}) : c(\text{葡萄糖酸钠}) = 1 : 2$ 时,其缓蚀效果未达到最优,点蚀电位为 414 mV,但该配方可降低钼酸钠的使用量,从而降低使用成本,具有一定的经济价值。

3) 无论以何种缓蚀剂为主缓蚀剂,随着另一种缓蚀剂的添加,不锈钢点蚀电位均具有先增大、后减小的变化趋势。单组分钼酸钠的缓蚀性能好于单组分葡萄糖酸钠。对于复配缓蚀剂而言,以钼酸钠为主要缓蚀剂的缓蚀效果好于以葡萄糖酸钠为主要缓蚀剂。

参考文献

- [1] 张欢. 氯化钠介质中 06Cr19Ni10 不锈钢缓蚀剂的研制[D]. 武汉:机械科学研究总院武汉材料保护研究所,2009.
ZHANG Huan. Preparation of 06Cr19Ni10 Stainless Steel Corrosion Inhibitors in Sodium Chloride Medium[D]. Wuhan: China Academy of Machinery Science & Technology Wuhan Research Institute of Material Protection,2009.
- [2] 张欢,余静,徐燕飞,等. 4 种环境友好型缓蚀剂对 304 不锈钢在氯化钠介质中点蚀的抑制作用[J]. 材料保护,2010,43(6):72—74.
ZHANG Huan, YU Jing, XU Yan-fei, et al. 4 Kinds of Environment-friendly Corrosion Inhibitors for 304 Stainless Steel in NaCl Medium Pitting Inhibition[J]. Material Protection, 2010,43(6):72—74.
- [3] KOLTS J H, DELZER G A. Enhanced Ethylene and Ethane Production with Free-radical Cracking Catalysts[J]. Science, 1986,232(4751):744—746.
- [4] 芮玉兰,于静敏,路迈西,等. 盐酸体系不锈钢缓蚀剂的开发[J]. 腐蚀与防护,2007,28(3):109—110.
RUI Yu-lan, YU Jing-min, LU Mai-xi, et al. Development of Corrosion Inhibitors for Stainless Steel in Hydrochloric Acid[J]. Corrosion & Protection, 2007,28(3):109—110.
- [5] FENG Y, SIOWA K S, TEO W K, et al. The Synergistic Effects of Propargyl Alcohol and Potassium Iodide on the Inhibition of Mild Steel in 0.5M Sulfuric Acid Solution[J]. Corrosion Science, 1999,41:829—852.
- [6] 龚洵洁,李宇春,彭珂如,等. 钼酸盐缓蚀剂在自来水中的缓蚀机理研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,2001,13(4):209—210.
GONG Xun-jie, LI Yu-chun, PENG Ke-ru, et al. Electrochemical Behavior of Molybdate Inhibitor in Tap Water[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2001,13(4):209—210.
- [7] 安洋,徐强,任志峰,等. 工业循环冷却水中不锈钢点蚀缓蚀剂的研究[J]. 电镀与精饰,2011,33(7):1—4.
AN Yang, XU Qiang, REN Zhi-feng, et al. Research Industrial Circulating Cooling Water Pitting Corrosion of Stainless Steel[J]. Plating & Finishing, 2011,33(7):1—4.
- [8] 孙彩霞,徐会武,陈燕敏,等. 复合型钼酸盐缓蚀性能研究[J]. 应用化工,2013,42(9):1608—1613.
SUN Cai-xia, XU Hui-wu, CHEN Yan-min, et al. Research of Corrosion Inhibitor Composed by Sodium Molybdate[J]. Applied Chemical Industry, 2013,42(9):1608—1613.
- [9] ILEVBAR G O, BURSTEIN G T. The Inhibition of Pitting Corrosion of Stainless Steels by Chromate and Molybdate Ions[J]. Corrosion Science, 2003,45:1545—1569.
- [10] 李玉明,刘静敏,马志超,等. 钼酸盐与磷酸盐、硅酸盐复配缓蚀剂的研究[J]. 腐蚀与防护,2004(6):248—251.
LI Yu-ming, LIU Jing-min, MA Zhi-chao, et al. Inhibitors of Molybdate Combined with Phosphate or Silicate[J]. Corrosion & Protection, 2004(6):248—251.
- [11] 杨群英. 电化学方法评价缓蚀剂性能的可行性研究[D]. 西安:西安石油大学,2009.
YANG Qun-ying. Relating to Electrochemistry Evaluation of Effectiveness of Inhibitors[D]. Xi'an:Xi'an Shiyou University, 2009.
- [12] 于国俊,汤兵. 缓蚀剂研究中的电化学方法[J]. 中国腐蚀与防护学报,2009,29(1):77—78.
YU Guo-jun, TANG Bing. Electrochemical Methods in Corrosion Research[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2009,29(1):77—78.
- [13] 陈旭俊,王海林,陈振家. 钼酸盐对不锈钢孔蚀抑制作用机理的研究[J]. 中国腐蚀与防护学报,1992,12(3):214—219.
CHEN Xu-jun, WANG Hai-lin, CHEN Zhen-jia. Research Molybdate Corrosion Inhibition Mechanism of Stainless Steel Holes[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 1992,12(3):214—219.
- [14] 杨仁春. 钼酸盐缓蚀剂对 A20 碳钢缓蚀机理与协同效应的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2007.
YANG Ren-chun. Study of the Mechanism & Synergistic Effect for Molybdate as an Inhibitor on A20 Carbon Steel[D]. Urumqi:Xinjiang University, 2007.
- [15] 宋蔚,田禾,张津红. 缓蚀剂的成膜机理分析[J]. 天津理工学院学报,2004,20(4):68—70.
SONG Wei, TIAN He, ZHANG Jin-hong. Analyzing the Mechanism of Protection Membrane of Metals[J]. Journal of Tianjin Institute of Technology, 2004,20(4):68—70.

- [4] 吴宇峰,唐同庆,唐绍儒,等. 冬季采暖水系统用缓蚀剂的研制[J]. 石油化工腐蚀与防护,1998,15(3):35—37.
WU Yu-feng, TANG Tong-qing, TANG Shao-ru, et al. Development of Corrosion Inhibitor for Winter Heating Water System[J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 1998, 15(3):35—37.
- [5] 王超,秦丽娟,陶蕾,等. 无磷缓蚀剂 TS-417F 在软化水中的应用研究[J]. 化工科技市场,2010,33(6):22—24.
WANG Chao, QIN Li-juan, TAO Lei, et al. Application of Non-phosphorus Corrosion Inhibitor TF-417F in Demineralized Water[J]. Chemical Technology Market, 2010, 33(6):22—24.
- [6] 张晶晶,陈莉荣. 异抗坏血酸钠及其复配物的除氧缓蚀性能研究[J]. 工业水处理,2013,33(12):62—65.
ZHANG Jing-jing, CHEN Li-rong. Study on the Deoxidization and Corrosion Inhibition Capacities of Sodium Erythorbate and Its Composites[J]. Industrial Water Treatment, 2013, 33(12):62—65.
- [7] 陈莉荣,张晶晶. 包头某热电厂供热系统的腐蚀特性及防腐蚀措施研究[J]. 腐蚀科学与防护技术,2014,26(1):55—59.
CHEN Li-rong, ZHANG Jing-jing. Corrosion Characteristic and Anticorrosion Measures for Heat Supply System in a Thermal Power Plant at Baotou[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2014, 26(1):55—59.
- [8] 苏金华. 软化水的腐蚀与防护[J]. 石油化工腐蚀与防护,2003(5):39—40.
SU Jin-hua. Corrosion of Demineralized Water and Protection[J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2003(5):39—40.
- [9] GB/T 18175—2000, 水处理剂缓蚀性能的测定-旋转挂片法[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
GB/T 18175—2000, Determination of Corrosion Inhibition Performance of Water Treatment Agents-rotation Specimen Method[S]. Beijing: China Standard Press, 2000.
- [10] 汤久升,刘芳,汤雪川. 浮法玻璃生产线闭式循环软化水中缓蚀剂的应用[J]. 玻璃,2012,41(6):39—42.
TANG Jiu-sheng, Liu Fang, Tang Xue-chuan. Inhibitor Application in Closed Cycle Demineralized Water on Float Glass Line[J]. Glass, 2012, 41(6):39—42.
- [11] 芮玉兰,柳鑫华,梁英华,等. 在自来水中绿色碳钢缓蚀剂的研究[J]. 表面技术,2006,35(3):14—16.
RUI Yu-lan, LIU Xin-hua, LIANG Ying-hua, et al. Study on Green Inhibitor for Carbon Steel in the Tap Water[J]. Surface Technology, 2006, 35(3):14—16.
- [12] 谢建丽,金凯峰,蒋晓斌,等. 带锈碳钢在稀 NaCl 溶液中的腐蚀行为[J]. 表面技术,2014,43(2):55—59.
XIE Jian-li, JIN Kai-feng, JIANG Xiao-bin, et al. Corrosion Behavior of Rusted Carbon Steel in Diluted NaCl Solution[J]. Surface Technology, 2014, 43(2):55—59.
- [13] 丁姗姗,曹顺安,胡家元. 锅炉给水处理中的化学除氧剂[J]. 工业水处理,2010,30(4):17—21.
DING Shan-shan, CAO Shun-an, HU Jia-yuan. Chemical Oxygen Scavenger in the Treatment of Boiler Feedwater[J]. Industrial Water Treatment, 2010, 30(4):17—21.
- [14] 黄葳. 新型电厂锅炉给水除氧剂的探讨[J]. 冶金丛刊,2002,14(2):48—50.
HUANG Wei. A Study on New Deoxidant in Boiler Water in Power Plant[J]. Metallurgical Collections, 2002, 14(2):48—50.
- [15] 芮玉兰,梁英华. 循环冷却水缓蚀剂研究的进展[J]. 化学工程师,2000(3):36—38.
RUI Yu-lan, LIANG Ying-hua. Process in Studying the Inhibitors of Circle Cooling Water[J]. Chemical Engineer, 2000(3):36—38.
- [16] 刘彦,岳学军,李立成. 锌对化工循环水系统的缓蚀性能及其稳定性[J]. 河北化工,2003(1):35—37.
LIU Yan, YUE Xue-jun, LI Li-cheng. The Corrosion Inhibition and Stability of Zinc Sulfate System in the Chemical Circulating Water[J]. Hebei Chemical, 2003(1):35—37.
- [17] 柳鑫华,孙彩云,王庆辉,等. 无磷海水缓蚀剂的开发[J]. 表面技术,2013,42(1):94—97.
LIU Xin-hua, SUN Cai-yun, WANG Qing-hui, et al. Development of Seawater Inhibitors without Phosphor[J]. Surface Technology, 2013, 42(1):94—97.
- [18] 王楷,孔小东,汤丹华,等. 两种缓蚀剂对 10CrSiNiCu 钢的缓蚀效果研究[J]. 装备环境工程,2013,10(5):77—80.
WANG Kai, KONG Xiao-dong, TANG Dan-hua, et al. Corrosion Inhibition Effect of Two Inhibitors on 10CrSiNiCu[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(5):77—80.

(上接第 126 页)

- [16] 汪的华,甘复兴,姚禄安. 缓蚀剂吸附行为研究进展与展望[J]. 材料保护,2000,33(1):29—31.
WANG Di-hua, GAN Fu-xing, YAO Lu-an. Inhibitor Adsorption Behavior Progress and Prospects[J]. Materials Protection, 2000, 33(1):29—31.
- [17] 第五方. 不锈钢表面复合型缓蚀剂的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.
DI Wu-fang. The Study of Corrosion Inhibitor Compound on the Surface of Stainless Steel[D]. Xi'an: Xidian University, 2009.