

# 醇胺复合缓蚀剂制备方法 及缓蚀性能影响因素研究

任屹<sup>1,2\*</sup>, 李勇明<sup>1</sup>, 高文明<sup>2</sup>, 王永强<sup>2</sup>, 郝建华<sup>2</sup>

(1.西南石油大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610500;

2.中国石油冀东油田分公司, 河北 唐海 063200)

**摘要:**在石油输送过程中,金属管道腐蚀问题不仅给石油化工企业带来巨大的经济损失,同时严重威胁企业的安全生产,因此,研究金属防腐缓蚀剂变得尤为迫切。针对冀东油田金属管道腐蚀问题,通过优化合成工艺制备了性能优良的缓蚀剂,以N-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,配比不同的辅助剂,得到二元复配和三元复配缓蚀剂,并对缓蚀性能影响因素进行分析。结果表明,以N-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,钼酸钠和硫脲质量浓度分别为65 mg/L和35 mg/L时,3种缓蚀剂分子协同效应最佳,平均腐蚀速率为0.028 7 mm/a,缓蚀率达到极值94.22%。

**关键词:**醇胺;复配型缓蚀剂;泡排剂;缓蚀性能

**中图分类号:**TG174

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2017)09-0102-05

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2017.09.023

## Study on preparation method and corrosion inhibition performance of alcohol amine compound corrosion inhibitor

REN Yi<sup>1,2\*</sup>, LI Yong-ming<sup>1</sup>, GAO Wen-ming<sup>2</sup>, WANG Yong-qiang<sup>2</sup>, HAO Jian-hua<sup>2</sup>

(1.State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Development Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2.Jidong Oilfield Company, PetroChina Company Limited, Tanghai 063200, China)

**Abstract:** In the process of oil transport, the corrosion problems for metal pipe not only bring huge economic loss to petrochemical enterprises, but also threaten seriously the safety of production. Therefore, the research on corrosion inhibitor for metal has become particularly urgent. In order to solve the corrosion problems of metal pipe in Jidong Oilfield, the corrosion inhibitors with excellent performance are prepared through optimizing synthesis process. *N*-methyl diethanolamine, as the main corrosion inhibitor, is matched with different auxiliary agents to make binary compound corrosion inhibitor and ternary compound corrosion inhibitor. The influence factors on corrosion inhibition performance are analyzed. The results show that when *N*-methyl diethanolamine is used as the main corrosion inhibitor and the concentration of sodium molybdate and thiourea is 65 mg·L<sup>-1</sup> and 35 mg·L<sup>-1</sup> respectively, the synergistic effect of these three corrosion inhibitors is the best, which gives the average corrosion rate at 0.028 7 mm·a<sup>-1</sup>, the corrosion inhibition rate reaches 94.22%, the extreme value.

**Key words:** alcohol amine; compound type corrosion inhibitor; bubble drainage agent; corrosion inhibition performance

天然气输送管道所面临的严重腐蚀问题,不仅增加了维修检查费用,缩短管道的使用寿命,同时对企业的安全稳定生产造成了严重威胁<sup>[1]</sup>。缓蚀抑制剂具有操作简单、成本低、高效率等优点,将其应用在石油化工领域,可有效延长金属管道的寿命,降低腐蚀损坏。因此,开发高效、绿色的缓蚀剂成为当今学者迫切需要解决的热点问题<sup>[2]</sup>。

我国对于缓蚀剂的研究起步较晚,在天然气输送过程中,醇胺缓蚀剂可以有效除去硫化氢和二氧化碳气流,受到广泛关注。王永垒等<sup>[3]</sup>提出了复配胺的方法来增强CO<sub>2</sub>吸收率,但对体系的动力学现象没有给出具体分析。郭茹辉<sup>[4]</sup>采用连续气流搅拌反应器,利用乙醇胺复配椰子油脂醇进行CO<sub>2</sub>

吸收率的实验研究,提出乙醇胺对CO<sub>2</sub>吸收速率常数的影响较大。吴宇峰等<sup>[5]</sup>对活化剂哌嗪的加入量进行实验研究,结果表明,pH=3.9~6.5时,活化剂哌嗪更有利于CO<sub>2</sub>的吸收,在pH较大时,季铵盐抗腐蚀效果要优于叔胺。

针对冀东油田金属管道腐蚀问题,笔者对醇胺复配缓蚀剂进行了研究。以N-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,配比不同的辅助剂(乙醇胺、二乙烯三胺、硫脲、钼酸钠),得到二元复配和三元复配缓蚀剂,并进行了失重试验,动态接触角、流阻抗测试,探究乙醇胺、二乙烯三胺、硫脲、钼酸钠对醇胺复配缓蚀剂协同效应的影响,制备得到缓蚀效果优良的复配缓蚀剂。

收稿日期:2017-05-27

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-1062);四川省杰出青年学术技术带头人资助计划(2012JQ0010)

作者简介:任屹(1988-),男,硕士,工程师,研究方向为油气田开发,renyi0072@163.com。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 主要试剂

*N*-甲基二乙醇胺、乙醇胺、二乙烯三胺、硫脲、钼酸钠、氢氧化钠、盐酸、椰子油脂肪酸二乙醇酰胺,均为分析纯。

### 1.2 仪器设备

实验所需的仪器设备如表1所示。

表1 仪器设备

名称	型号
高温水浴锅	DHG-9075A 型
磁力搅拌加热套	BSH 型
真空泵	MHH-5 型
恒温鼓风干燥箱	MAT-B+50 型
电子天平	6XZ-4 型
CHI 电化学分析仪	600D 型

### 1.3 醇胺缓蚀剂的合成方法

以 *N*-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,通过加入不同的辅助缓蚀剂来制备醇胺复配缓蚀剂,并对影响复配缓蚀剂缓蚀性能的因素进行分析。醇胺缓蚀剂的合成方法<sup>[6-7]</sup>:室温常压下,向两口烧瓶中加入 *N*-甲基二乙醇胺、泡排剂,搅拌溶解,复配不同质量浓度的乙醇胺、二乙烯三胺,对缓蚀性能进行测试,选出最优配比,为醇胺复配缓蚀剂 A。室温常压下,向两口烧瓶中加入 *N*-甲基二乙醇胺、泡排剂,搅拌溶解,复配不同浓度的硫脲、钼酸钠,对缓蚀性能进行

测试,选出最优配比,为醇胺复配缓蚀剂 B。

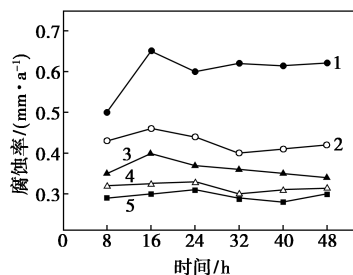
### 1.4 泡排剂的合成方法

常温常压下醇胺缓蚀剂为液相,但重力作用导致其无法实现大面积的金属吸附作用,泡排剂作为高效的表面活性剂,能够降低金属表面的势能壁垒,增强醇胺分子的渗透能力,促使缓蚀剂分子覆盖在金属表面。由 10 mg/L 的脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸钠以及 2 mg/L 椰子油脂肪酸二乙醇酰胺复配为醇胺缓释剂的表面活性剂。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 *N*-甲基二乙醇胺质量浓度对缓蚀性能的影响

制取 3% 氯化钠的二氧化碳饱和溶液,向溶液中加入不同质量的 *N*-甲基二乙醇胺,研究 *N*-甲基二乙醇胺质量浓度对碳钢缓蚀速率的影响,测试时间为 48 h,时间间隔为 8 h。*N*-甲基二乙醇胺质量浓度对腐蚀速率的影响如图 1 所示。



1—0 mg/L; 2—45 mg/L; 3—95 mg/L; 4—145 mg/L; 5—195 mg/L

图1 *N*-甲基二乙醇胺质量浓度对腐蚀速率的影响

(上接第 101 页)

## 3 结论

(1) 以  $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和 FAB 为原料,以乙醇为溶剂,合成 FAB-La 配合物的最佳工艺条件是:反应温度为 50℃,FAB 和氯化镧的摩尔比为 1:1.1,反应体系 pH 为 7~8。

(2) 红外光谱分析结果表明,氯化镧和 FAB 发生了一定的物理化学作用。

(3) 5% FAB-La 配合物可提高 SBR 混炼胶的硫化速率、硫化胶的交联密度以及硫化胶的物理机械性能。

### 参考文献

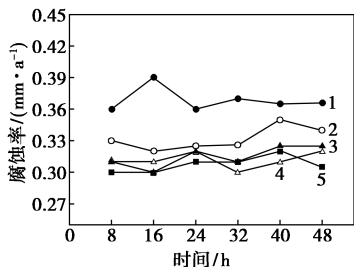
[1] 许春华.以清洁生产为中心发展绿色橡胶助剂[J].橡塑技术与装备,2010,8(36):16-22.  
[2] 王仰东,孙德江,许春华.创新科技引导橡胶助剂企业绿色发展

[J]橡胶工业,2007,54(7):314-317.  
[3] 肖久梅.橡胶助剂行业发展形势分析[J].化学工业,2011.10(29):14-18.  
[4] Rosca L D, Vernaud J M. Assessing food safety of polymer packaging[M].Switzerland:Smithers Rapra Press,2006:57-94.  
[5] 林雅铃,张安强,王炼石.稀土掺杂炭黑填充型非硫调节型粉末氯丁橡胶的性能与结构[J].弹性体,2008,18(4):52-56.  
[6] 章伟光,朱初耀,黎高明,等.橡胶硫化稀土促进剂的硫化性能研究[J].化学工程师,1992,27(3):7-10.  
[7] 黄庙由,范毅,章伟光,等.新型稀土促进剂在天然橡胶配合物中的性能研究[J].世界橡胶工业,2005,07:3-6,25.  
[8] 田晓溪,张勇,任文坛.稀土氧化物/羧基丁苯橡胶复合材料的制备和性能研究[J].特种橡胶制品,2009,30(2):7-10.  
[9] Alias B O. Property profile of a laminated rubber bearing[J]. Polymer Testing,2001(20):159-166.  
[10] Qiu Guanming, Dai Shaojun, Zhang Ming, et al. Modification research on polypropylene with acrylic-silicon oil lanthanum[J].Journal of Rare Earth,2007,25:46-48.  
[11] Shanguan Qianqian, Cheng Xianhua. Effect of rare earths on tribological properties of carbon fiber reinforced PTFE composites[J].Journal of Rare Earth,2007,25:469-473. ■

由图 1 可以看出,前 8 h 内 *N*-甲基二乙醇胺分子游离在溶液中,未完全吸附在金属表面,吸附作用比较缓慢,缓蚀效果较差;8 h 后 *N*-甲基二乙醇胺分子逐渐覆盖在金属表面,减缓了腐蚀作用。同时,缓蚀剂 *N*-甲基二乙醇胺的质量浓度对碳钢的腐蚀速率影响较大,加入 *N*-甲基二乙醇胺的体系缓蚀效果明显好于未加 *N*-甲基二乙醇胺的体系。*N*-甲基二乙醇胺的质量浓度在 145~195 mg/L 时,随着质量浓度的增加,*N*-甲基二乙醇胺在钢片表面覆盖度达到极限值,缓蚀速率变化不大,*N*-甲基二乙醇胺质量浓度为 95 mg/L 时,碳钢的缓蚀速率比较显著。

### 2.2 泡排剂质量浓度对缓蚀性能的影响

以 95 mg/L 的 *N*-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,研究泡排剂质量浓度对腐蚀速率的影响,结果如图 2 所示。



1—0 mg/L;2—5 mg/L;3—15 mg/L;4—25 mg/L;5—35 mg/L

图 2 泡排剂质量浓度对腐蚀速率的影响

由图 2 可以看出,未添加泡排剂的体系在 8~16 h 内钢片腐蚀严重,在 16 h 时腐蚀速率最大为 0.386 1 mm/a。加入泡排剂后,腐蚀速率显著降低,缓蚀效果得到明显改善,由于泡排剂对缓蚀剂分子的活性作用,降低了分子在金属表面吸附的势能,利于基体表面覆盖率的增加,同时增强了分子的渗透能力,加快了分子的运动速度。当泡排剂质量浓度为 15 mg/L,泡排剂中微量的 *N*-甲基二乙醇胺对 CO<sub>2</sub> 的吸收达到饱和,缓蚀效果最佳。

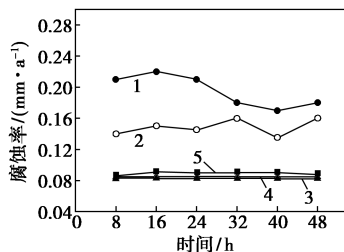
### 2.3 醇胺复配缓释剂对缓蚀性能的影响

#### 2.3.1 *N*-甲基二乙醇胺复配乙醇胺对腐蚀速率的影响

向体系中加入 15 mg/L 泡排剂,以 95 mg/L 的 *N*-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,复配不同质量浓度的乙醇胺,考察 *N*-甲基二乙醇胺+乙醇胺对碳钢腐蚀速率的影响,结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,乙醇胺质量浓度小于 35 mg/L 时,随着乙醇胺质量浓度的增加,缓蚀效率逐渐增加;乙醇胺质量浓度大于 35 mg/L 时,缓蚀效率有所

减小。主要由于乙醇胺与二氧化碳反应生成质子化产物和氨基甲酸根离子,同时乙醇胺在水溶液中与碳酸反应生成氨基甲酸酯离子,随着反应的进行, H<sup>+</sup> 浓度增大使得溶液的 pH 下降,加剧了对金属的腐蚀程度,乙醇胺质量浓度为 35 mg/L 时,对碳钢材料的腐蚀速率最低,约为 0.083 1 mm/a,缓蚀率为 85.15%。

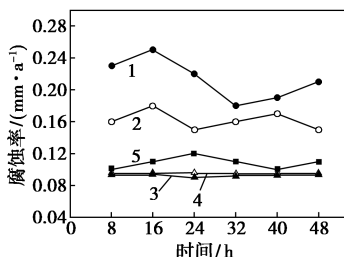


1—15 mg/L;2—25 mg/L;3—35 mg/L;4—45 mg/L;5—55 mg/L

图 3 乙醇胺质量浓度对腐蚀速率的影响

#### 2.3.2 *N*-甲基二乙醇胺复配二乙烯三胺对腐蚀速率的影响

向体系中加入 15 mg/L 的泡排剂,以 95 mg/L 的 *N*-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,复配不同质量浓度的二乙烯三胺,考察 *N*-甲基二乙醇胺复配二乙烯三胺对碳钢腐蚀速率的影响,结果如图 4 所示。

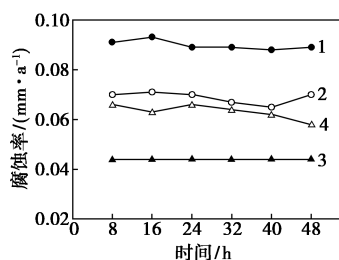


1—15 mg/L;2—25 mg/L;3—35 mg/L;4—45 mg/L;5—55 mg/L

图 4 二乙烯三胺质量浓度对腐蚀速率的影响

由图 4 可以看出,二乙烯三胺的质量浓度小于 35 mg/L 时,随着二乙烯三胺质量浓度的增加,缓蚀效率逐渐增加;当二乙烯三胺质量浓度大于 35 mg/L 时,缓蚀效率有所减小,主要由于二乙烯三胺吸收 CO<sub>2</sub> 的过程中, H<sup>+</sup> 质子数量不断增加,同时在氧化条件下二乙烯三胺易分解为酸性物质,使得溶液酸性增强,进而加剧对金属的腐蚀程度。质量浓度为 35 mg/L 时,对碳钢材料的腐蚀速率最低,约为 0.094 1 mm/a,缓蚀率为 83.33%。

向体系加入 15 mg/L 泡排剂,以 95 mg/L 的 *N*-甲基二乙醇胺为基础,复配相同质量浓度的乙醇胺、二乙烯三胺,考察三元复配条件对碳钢缓蚀效果的影响,结果如图 5 所示。



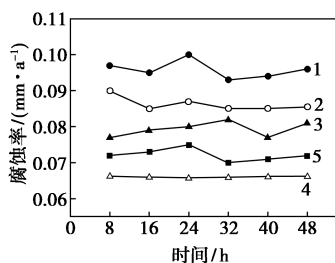
1—乙醇胺 15 mg/L+二乙烯三胺 15 mg/L;2—乙醇胺 25 mg/L+二乙烯三胺 25 mg/L;3—乙醇胺 35 mg/L+二乙烯三胺 35 mg/L;4—乙醇胺 45 mg/L+二乙烯三胺 45 mg/L

图5 乙醇胺+二乙烯三胺对腐蚀速率的影响

由图5可以看出,当乙醇胺和二乙烯三胺的质量浓度在15~35 mg/L时,随着质量浓度的增加,缓蚀效率逐渐增加;当乙醇胺和二乙烯三胺质量浓度在35~45 mg/L时,随着两者质量浓度的增加,缓蚀效率逐渐降低。当乙醇胺和二乙烯三胺质量浓度为35 mg/L时,缓蚀效率最高为91.74%。

### 2.3.3 *N*-甲基二乙醇胺复配硫脲对腐蚀速率的影响

向体系中加入15 mg/L泡排剂,以95 mg/L的*N*-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,复配不同质量浓度的硫脲,对腐蚀速率进行研究,结果如图6所示。



1—15 mg/L;2—25 mg/L;3—35 mg/L;4—45 mg/L;5—55 mg/L

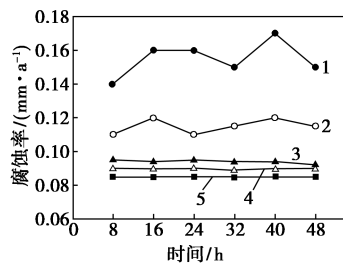
图6 硫脲质量浓度对腐蚀速率的影响

由图6可以看出,随着时间的增加,腐蚀速率数值变化较小。硫脲质量浓度小于45 mg/L时,随着质量浓度的增加,缓蚀效率逐渐增加。主要由于随着质量浓度的增加,硫脲中硫、氮原子与金属共价键配位作用增强。当硫脲的质量浓度在45~55 mg/L时,随着质量浓度的增加,*N*-甲基二乙醇胺与硫脲分子间相互排斥作用增加,腐蚀速率反而升高。硫脲质量浓度为45 mg/L时,对碳钢材料的腐蚀速率最低,约为0.0663 mm/a,缓蚀率为87.94%。

### 2.3.4 *N*-甲基二乙醇胺复配钼酸钠对腐蚀速率的影响

向体系中加入15 mg/L的泡排剂,以95 mg/L的*N*-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,复配不同质量浓度

的二乙烯三胺,考察*N*-甲基二乙醇胺复配钼酸钠对碳钢腐蚀速率的影响,结果如图7所示。

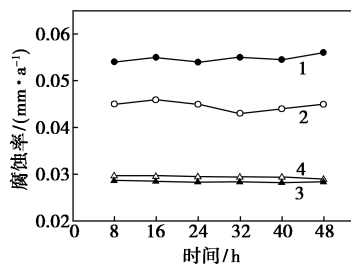


1—25 mg/L;2—45 mg/L;3—65 mg/L;4—85 mg/L;5—105 mg/L

图7 钼酸钠质量浓度对腐蚀速率的影响

由图7中可以看出,当钼酸钠质量浓度小于45 mg/L时,腐蚀速率变化幅度较大;钼酸钠质量浓度大于65 mg/L时,缓蚀效率有所提高,腐蚀速率数值变化幅度较小。由于碱性环境下,钼酸钠主要以 $\text{MoO}_4^{2-}$ 的形式存在, $\text{MoO}_4^{2-}$ 以静电吸附的形式与金属表面的正电荷相结合,减缓了腐蚀的发生。同时基体金属与钼酸钠分子发生化学反应,形成络合钝化保护膜覆盖在金属表面,提高了金属抗腐蚀能力。钼酸钠质量浓度为105 mg/L时,对碳钢材料的腐蚀速率最低,约为0.0851 mm/a,缓蚀率为84.81%。

向体系中加入15 mg/L泡排剂,以95 mg/L *N*-甲基二乙醇胺为基础,复配不同质量浓度的钼酸钠和硫脲,考察三元复配条件对碳钢缓蚀效果的影响,结果如图8所示。



1—硫脲 15 mg/L+钼酸钠 25 mg/L;2—硫脲 25 mg/L+二钼酸钠 45 mg/L;3—硫脲 35 mg/L+钼酸钠 65 mg/L;4—硫脲 45 mg/L+钼酸钠 85 mg/L

图8 钼酸钠+硫脲质量浓度对腐蚀速率的影响

由图8可以看出,复配后对钢片的缓蚀效果比较显著,不同质量浓度复配下的腐蚀速率数值均较为平稳。随着钼酸钠和硫脲质量浓度增加,碳钢的腐蚀速率逐渐下降,在钼酸钠和硫脲质量浓度分别为65 mg/L和35 mg/L时,3种缓蚀剂分子协同效应最佳,平均腐蚀速率为0.0287 mm/a,缓蚀率达到极值94.22%。由于分子间竞争吸附的作用,继续增加钼酸钠和硫脲质量浓度,金属的缓

蚀率有所降低。

### 2.4 交流阻抗分析

为鉴定缓蚀剂的缓蚀特性,采用正弦交流电对电极系统进行干扰,得到对应的电极阻抗图。向 3%氯化钠的二氧化碳饱和溶液中加入不同种类的醇胺复配型缓蚀剂,施加 6 mV 扰动信号,模拟得出交流阻抗图,结果如图 9 所示。

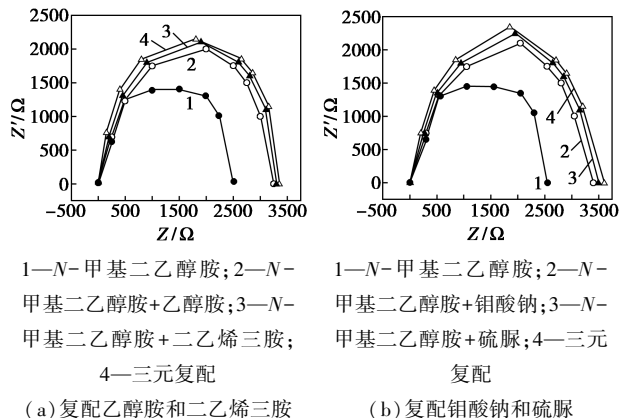


图 9 复配缓蚀剂的交流阻抗图

由图 9(a)可以看出,随着复配的多元化,抗弧的直径也随之增大,复配型缓蚀剂对钢片的缓蚀效果较好。说明 *N*-甲基二乙醇胺复配乙醇胺和二乙烯三胺均对钢片表面吸附和 CO<sub>2</sub> 的吸收有着较大贡献,体系中加入仲胺和伯胺提高了 CO<sub>2</sub> 的吸收能力,三复配的结果要强于其他复配方式,*N*-甲基二乙醇胺与乙醇胺的复配对金属的保护能力高于二乙烯三胺。由图 9(b)可以看出,*N*-甲基二乙醇胺复配硫脲和钼酸钠对缓蚀效率有所提高,复配硫脲的缓蚀效果优于复配钼酸钠。与 *N*-甲基二乙醇胺+乙醇胺+二乙烯三胺相比,*N*-甲基二乙醇胺+硫脲+钼酸钠能较好地吸附在金属表面,协同效应较好,抑制腐蚀作用更强。

### 2.5 动态接触角测试分析

为直观地对比不同配比的缓蚀剂在碳钢表面的吸附状态,通过动态接触角测试法进行分析。单一投 *N*-甲基二乙醇胺后,液滴在材料表面接触角为 14.56°,表明分子结构使得非极性基团背离金属,极性基团与金属表面吸附,分子中 N 原子与金属轨道配位使液滴更好地在金属表面进行铺展,形成一层疏水保护膜。

随着缓蚀剂中钼酸钠、硫脲、乙醇胺、二乙烯三胺的复配,为浸润提供了活性吸附分子,乙醇胺的接触角为 12.29°,二乙烯三胺的接触角为 14.11°,表

明乙醇胺对金属表面吸附强度更好,而硫脲的接触角为 13.50°,钼酸钠的接触角为 13.29°。*N*-甲基二乙醇胺+硫脲+钼酸钠三元复配中,接触角为 10.06°,小于 *N*-甲基二乙醇胺+乙醇胺+二乙烯三胺三元复配的接触角 11.90°。证明 *N*-甲基二乙醇胺+硫脲+钼酸钠能较好地吸附在金属表面,协同效应较好,与交流阻抗分析结果一致。因此,最佳的醇胺复配缓蚀剂配比为:*N*-甲基二乙醇胺+钼酸钠+硫脲=95 mg/L+65 mg/L+35 mg/L,平均腐蚀速率为 0.028 7 mm/a,缓蚀率达到极值 94.22%。

### 3 结论

针对冀东油田金属管道腐蚀问题,对醇胺复配缓蚀剂进行了研究,以 *N*-甲基二乙醇胺为主缓蚀剂,配比不同的辅助剂,得到二元复配和三元复配缓蚀剂,并进行了失重试验,动态接触角、流阻抗测试,探究不同辅助剂对醇胺复配缓蚀剂协同效应的影响,主要得出以下结论:①*N*-甲基二乙醇胺质量浓度为 95 mg/L,泡排剂质量浓度为 15 mg/L,缓蚀效果最佳;②当乙醇胺和二乙烯三胺质量浓度为 35 mg/L 时,缓蚀效率最高为 91.74%;③钼酸钠和硫脲质量浓度分别为 65 mg/L 和 35 mg/L 时,3 种缓蚀剂分子协同效应最佳,平均腐蚀速率为 0.028 7 mm/a,缓蚀率达到极值 94.22%;④*N*-甲基二乙醇胺复配硫脲和钼酸钠对缓蚀效率有所提高,复配硫脲的缓蚀效果优于复配钼酸钠,最佳的醇胺复配缓蚀剂配比为:*N*-甲基二乙醇胺+钼酸钠+硫脲=95 mg/L+65 mg/L+35 mg/L。

### 参考文献

- [1] 王博,孟祖超,李成希,等.一种油田采出水用复合阻垢缓蚀剂的研究[J].表面技术,2016,(11):87-92.
- [2] 陈长伟,赵霞,金祖权,等.玻璃纤维和硫脲缓蚀剂对涂层缓蚀行为的影响[J].腐蚀与防护,2016,37(11):881-886,891.
- [3] 王永全,李海云,方红霞,等.新型固体缓蚀剂对 45 钢的缓蚀性能[J].电镀与精饰,2015,37(11):31-33.
- [4] 郭茹辉.环保型缓蚀剂的研制及性能研究[J].河北省科学院学报,2004,21(3):51-53,61.
- [5] 吴宇峰,唐同庆,周坤坪,等.磷酸醇胺的制备及其在低硬度强腐蚀性高温采暖水配方中的应用[J].工业水处理,1999,19(4):24-25.
- [6] 蒋惠亮,翟兆凯,莫莹,等.聚醚多元醇胺化催化剂的研究[J].现代化工,2013,33(12):63-66.
- [7] 赵小红.油酸单乙醇酰胺羧基活化处理重质碳酸钙的研究[J].应用化工,2010,39(4):529-531.■