

2-十一烷基-N-羧甲基-N-羟乙基咪唑啉在柠檬酸溶液中对碳钢的缓蚀作用

廖强强^{a*} 陈亚琼^a 闫爱军^b 董万田^c 葛红花^a

(^a上海电力学院,上海高校电力腐蚀控制与应用电化学重点实验室,

上海热交换系统节能工程技术研究中心 上海 200090;^b陕西电力科学研究院 西安;^c上海发凯化工有限公司 上海)

摘 要 采用失重实验、极化曲线和交流阻抗等方法研究了缓蚀剂 2-十一烷基-N-羧甲基-N-羟乙基咪唑啉在质量分数为 2% 柠檬酸溶液中对碳钢的缓蚀性能。失重实验表明,该缓蚀剂在柠檬酸溶液中能够有效地抑制碳钢的腐蚀,当其质量分数为 0.4% 时,缓蚀效率达到 86.4%。极化曲线表明,该缓蚀剂为混合型缓蚀剂,Nyquist 图中单一的容抗弧变化表明碳钢电极表面的腐蚀过程主要由电荷转移步骤控制。该缓蚀剂的吸附行为符合 Langmuir 吸附等温式,吸附机理是介于物理吸附和化学吸附之间的一种吸附。

关键词 咪唑啉,缓蚀剂,柠檬酸,碳钢

中图分类号:O646.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2011)03-0314-06

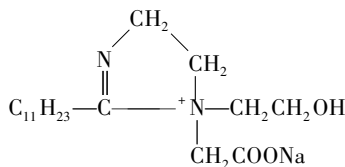
DOI:10.3724/SP.J.1095.2011.00270

锅炉的化学清洗非常重要。随着大容量火电机组的建设,设备材质的复杂化,对锅炉化学清洗工艺的要求也越来越高,传统的无机酸如盐酸对钢铁腐蚀性强,对贵重设备、特种金属材料清洗时受到限制,废液排放污染环境,而有机酸如柠檬酸,无毒、无味和不污染,属于安全型清洗剂。由于柠檬酸对氧化铁垢有很强的溶解能力^[1],清洗效率高、对钢铁腐蚀性较小,非常适合用于清洗铁垢含量高的热力设备。柠檬酸毕竟是酸,对金属材料还是要产生一定的腐蚀作用,而添加缓蚀剂,特别是高效、环保型缓蚀剂是一种工艺简单、成本低廉、适应性强的腐蚀控制方法。咪唑啉型缓蚀剂一般具有 1 个含氮的五元杂环,碳支链 R 和与杂环上 N 成键的含有官能团的支链 R₁,其突出优点是,当金属与酸性介质接触时,它可以在金属表面形成单分子吸附膜,以改变 H⁺ 的氧化还原电位,也可以络合溶液中的某些氧化剂,降低其电位以达到缓蚀的目的。咪唑啉型缓蚀剂在无机酸中的缓蚀行为有较多报道^[2-4],但在有机酸中的缓蚀作用研究不多。2-十一烷基-N-羧甲基-N-羟乙基咪唑啉为黄棕色溶胶,总固体含量为(40±2.0)%,低毒无味,pH 值为 7.0~9.5,具有良好的润湿性、抗静电性及生物降解性,且对人的皮肤刺激性极小^[5],是一种优良的环境友好性缓蚀剂。本文研究了在 2% 柠檬酸溶液中 2-十一烷基-N-羧甲基-N-羟乙基咪唑啉对 45 号碳钢的缓蚀和吸附行为。

1 实验部分

1.1 咪唑啉缓蚀剂结构及碳钢成分

本实验所使用的 2-十一烷基-N-羧甲基-N-羟乙基咪唑啉缓蚀剂来自上海发凯化工有限公司,是一种钠盐,相对分子质量为 349,结构式如 Scheme 1 所示。



Scheme 1 Structure formula of 2-undecyl-N-carboxymethyl-N-hydroxyethyl imidazoline

2010-05-10 收稿,2010-07-02 修回

上海市重点学科建设项目(P1304),上海高校电力腐蚀控制与应用电化学重点实验室开放基金资助项目(09KLSU01),上海热交换系统节能工程技术研究中心开放基金资助项目(09SERC03),上海市科委项目资助课题(08DZ2210800)

通讯联系人:廖强强,副教授;Tel/Fax:021-65700719;E-mail:liaoqq1971@yahoo.com.cn;研究方向:金属腐蚀与防护

本实验使用的 45 号碳钢名义成分(质量分数)为: C 0.42% ~ 0.50% , Si 0.17% ~ 0.37% , Mn 0.50% ~ 0.80% , Cr≤0.25% , Ni≤0.30% , Cu≤0.25% , 其余为 Fe。

1.2 测试介质的制备

测试介质根据《火力发电厂锅炉化学清洗导则 DL/T 794-2001》制备,用去离子水配置 2% 柠檬酸溶液,添加氨水调节 pH 值至 3.72。

1.3 失重实验

将碳钢试片经 0# ~ 6#金相砂纸逐级打磨抛光,依次用去离子水、无水乙醇、去离子水冲洗,最后将试片放在干燥箱中烘干,取出测量尺寸并称重。然后将试片分别浸入含不同缓蚀剂浓度的柠檬酸溶液中,8 h 后取出试片,用软橡皮擦去表面附着物并用乙醇、去离子水洗净,干燥、精确称重。利用金属腐蚀前后的质量变化来表征金属腐蚀速率,缓蚀剂的缓蚀效率可表示为:

$$\eta_1 = \frac{v_0 - v}{v_0} \times 100\%$$

(1)

式中, v_0 和 v 分别为未加缓蚀剂和加缓蚀剂后金属的腐蚀速率($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)。

1.4 电化学测试

电化学测试采用经典的三电极体系,仪器为美国普林斯顿应用研究公司的 VersaSTAT3 电化学工作站。工作电极为碳钢材料,工作面积为 0.78 cm^2 ,非工作表面以环氧树脂密封,电极表面经 1# ~ 6#金相砂纸逐级打磨抛光,清洗,用无水乙醇除油,再经去离子水冲洗干净后浸泡在溶液中,饱和甘汞电极和铂电极分别作为参比电极和辅助电极。交流阻抗测量频率范围为 $100 \text{ kHz} \sim 0.05 \text{ Hz}$,交流激励信号峰值为 5 mV ;极化曲线扫描速率为 10 mV/s ,扫描电位为 $-1.2 \sim -0.4 \text{ V}$ 。本文所示电位均相对于 SCE,所有实验均在室温下测试。

1.5 扫描电子显微镜分析

将 2 个碳钢电极样品分别在空白柠檬酸溶液和含质量分数 0.4% 缓蚀剂的柠檬酸溶液中浸泡 4 h,取出样品用滤纸吸干后,采用日立公司 SU-1500 型扫描电镜对其表面形貌进行分析。

2 结果与讨论

2.1 失重法测试

碳钢试片分别浸泡在含质量分数为 0%、0.05%、0.4% 和 0.6% 缓蚀剂的柠檬酸溶液中浸泡 8 h 后,由失重法计算得出的腐蚀速率和缓蚀效率数据列于表 1。由表 1 可知,碳钢试片在 2% 的柠檬酸溶液中的腐蚀速率为 $0.54 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,说明柠檬酸介质本身对碳钢的腐蚀较轻;当加入咪唑啉缓蚀剂后,碳钢的腐蚀速率明显减小,在质量分数为 0.4% ~ 0.6% 时缓蚀效果可达到 82% 以上。

表 1 经失重法测试计算的腐蚀速率和缓蚀效率

Table 1 Calculated corrosion rates and inhibition efficiencies through mass-loss tests

$w(\text{corrosion inhibitor})/\%$	$v/(\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	$\eta_1/\%$	$w(\text{corrosion inhibitor})/\%$	$v/(\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	$\eta_1/\%$
0	0.540	—	0.4	0.074	86.4
0.05	0.180	66.6	0.6	0.095	82.4

2.2 极化曲线测量

图 1 显示的是碳钢电极分别在无缓蚀剂、含 0.05% ~ 0.6% 咪唑啉的柠檬酸溶液中浸泡 4 h 的极化曲线。不同浓度缓蚀剂的极化曲线数据经 Versa3 软件拟合得出的腐蚀电位 E_{corr} 、腐蚀电流密度 I_{corr} 列于表 2。缓蚀效率 η_2 按下式^[6]计算:

$$\eta_2 = \frac{I_{\text{corr}}^0 - I_{\text{corr}}}{I_{\text{corr}}^0} \times 100\%$$

(2)

式中, I_{corr} 和 I_{corr}^0 分别为在含缓蚀剂和空白柠檬酸溶液中浸泡 4 h 的腐蚀电流密度。

表 2 在无缓蚀剂和含不同浓度缓蚀剂的柠檬酸溶液中浸泡 4 h 电极的电化学参数
Table 2 Electrochemical parameters of the carbon steel electrodes in 2% citric acid solution containing different concentrations of inhibitor after 4 h immersion

$w(\text{corrosion inhibitor})/\%$	$E_{\text{corr}}/\text{V}(\text{vs SCE})$	$10^6 I_{\text{corr}}/(\text{A}\cdot\text{cm}^{-2})$	$\eta_2/\%$
0	-0.792	176	—
0.05	-0.789	43.6	75.3
0.1	-0.788	37.5	78.7
0.2	-0.787	30.5	82.7
0.3	-0.770	30.3	82.8
0.4	-0.790	22.6	87.2
0.5	-0.785	29.2	83.4
0.6	-0.787	36.9	79.1

从图 1 可见,在相同电位下,含缓蚀剂的碳钢电极阴、阳极电流密度均比不含的要小,因此,可认为该咪唑啉缓蚀剂的添加既抑制了碳钢电极的阳极氧化过程,也抑制了阴极还原过程,说明在 2% 柠檬酸溶液中该缓蚀剂是碳钢的混合型缓蚀剂。由表 2 可见,在添加缓蚀剂后碳钢电极的腐蚀电位 E_{corr} 与空白电极相比并无明显变化,但腐蚀电流密度明显减小,表明该缓蚀剂在碳钢表面吸附成膜,缓蚀机理系几何覆盖效应。加入缓蚀剂后,刚开始随缓蚀剂浓度增加, I_{corr} 逐渐减小,缓蚀效率 η_2 逐渐增大,当浓度为 0.4% 时, η_2 值达到最大,为 87.2%,随后浓度进一步增加, η_2 值反而逐渐降低。由于咪唑啉类缓蚀剂分子在浓度超过其临界胶束浓度^[7]时,易发生分子聚集而形成团簇结构,从而导致其缓蚀能力下降^[8]。

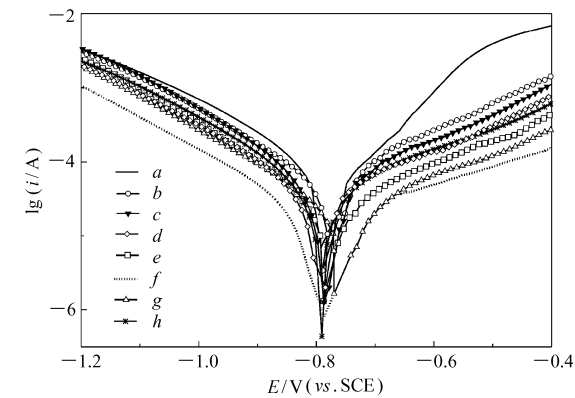


图 1 碳钢电极在含不同浓度缓蚀剂的柠檬酸溶液中浸泡 4 h 后的极化曲线图

Fig. 1 Polarization curves of carbon steel electrodes in 2% citric acid solution containing different concentrations of inhibitor after 4 h immersion
a. blank; b. 0.05%; c. 0.1%; d. 0.2%; e. 0.3%; f. 0.4%; g. 0.5%; h. 0.6%

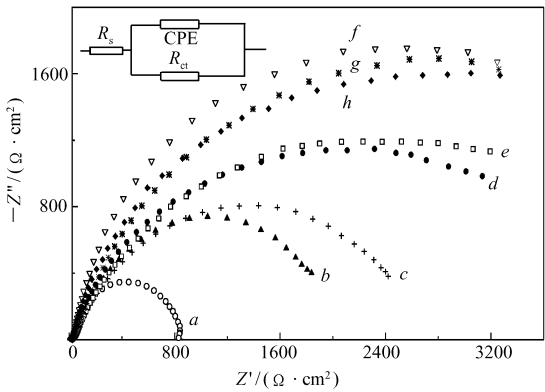


图 2 碳钢电极在含有不同浓度缓蚀剂的柠檬酸溶液中浸泡 4 h 的 Nyquist 图

Fig. 2 Nyquist plots of carbon steel electrodes in 2% citric acid solution containing different concentrations of inhibitor after 4 h immersion
a. blank; b. 0.05%; c. 0.1%; d. 0.2%; e. 0.3%; f. 0.4%; g. 0.5%; h. 0.6%

2.3 交流阻抗测量

碳钢电极在含有不同浓度缓蚀剂的柠檬酸溶液中浸泡 4 h 的阻抗谱如图 2 所示。该阻抗谱图均呈一压扁的半圆形。半圆与 Z' 轴上的弦长对应于电极的电荷传递电阻 R_{ct} , R_{ct} 越大,说明缓蚀效果越好。

电极的电荷传递电阻及其双电层电容容抗弧的大小和形状与电极的表面状态密切相关^[9],其半圆的偏离程度常被称为“弥散效应”^[10]。由图 2 可见,各容抗弧的形状大体相似,均呈现单一的容抗弧变化,表明在所研究的体系中碳钢的腐蚀主要由电荷传递控制,缓蚀剂的加入并没有改变碳钢酸性溶解的机理,因此图 3 中的数据采用图右上角中的等效电路分析,等效电路由常相角元件 CPE 和电荷转移电阻 R_{ct} 并联后再与溶液电阻 R_s 串联组成。考虑到弥散效应存在时双电层电容的行为并不等同于纯电容,因此采用常相位角元件 CPE 代替电容^[11-12],更精确地去拟合双电层电容的阻抗行为。缓蚀效率 η_3 (覆

盖度 $\theta = \eta_3$) 可用下式计算^[13]:

$$\eta_3 = \frac{R_{ct} - R_{ct}^0}{R_{ct}} \times 100\%$$

(3)

式中, R_{ct} 和 R_{ct}^0 分别为在含缓蚀剂和空白柠檬酸溶液中浸泡 4 h 的电荷传递电阻。用 Zsimpwin 软件拟合后的相关数据列于表 3 中。从表 3 可看出, 溶液电阻 R_s 值变化不大, 与空白电极相比, 含缓蚀剂的碳钢电极的电荷转移电阻 R_{ct} 值远大于空白电极的, 常相角元件 CPE 值远小于空白的, 而且随着缓蚀剂浓度的增加, R_{ct} 值逐渐增大, CPE 值逐渐减小, 在 0.4% 时缓蚀效率达到最大, 以后随着缓蚀剂浓度的进一步增加, 由于咪唑啉分子的聚集, 导致其缓蚀能力有所下降。

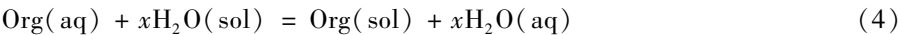
表 3 碳钢电极的交流阻抗数据拟合值

Table 3 The fitting results of AC impedance data of carbon steel electrodes

<i>w</i> (corrosion inhibitor)/%	<i>R_s</i> /(Ω·cm ²)	<i>R_{ct}</i> /(Ω·cm ²)	10 ⁶ CPE/(F·cm ⁻²)	<i>η</i> ₃ /%	<i>θ</i>
0	22.45	843.0	154.90	—	—
0.05	20.98	2404	38.62	64.93	0.6493
0.1	25.42	2842	35.58	70.34	0.7034
0.2	19.32	4089	35.47	79.38	0.7938
0.3	18.34	4695	31.20	82.04	0.8204
0.4	20.37	5814	49.69	85.50	0.8550
0.5	20.72	4702	35.58	82.07	0.8207
0.6	24.09	4563	37.98	81.52	0.8152

2.4 吸附行为

有机物在金属表面的吸附过程一般被认为是溶液中的有机物分子 Org(aq) 与吸附在金属表面的水分子 H₂O(sol) 之间通过取代吸附方式进行的, 可假定为^[14]:



将有机分子的覆盖度 θ ($\theta = \eta_3$) 分别代入 Temkin、Langmuir 和 Freundlich 吸附等温式^[15] 拟合, 结果表明 Langmuir 吸附等温式与实验结果符合良好。

根据 Langmuir 吸附等温式有:

$$c\theta^{-1} = K_a^{-1} + c$$

(5)

式中, c 为缓蚀剂浓度, K_a 为吸附平衡常数, θ 为覆盖度。将 $c\theta^{-1}$ - c 作图(见图 3), 可以看出 $c\theta^{-1}$ - c 呈很好的线性关系, 线性相关系数 R^2 为 0.9992, 斜率为 1.178, 说明咪唑啉分子在碳钢表面的吸附符合 Langmuir 等温式模型, 每一个咪唑啉分子大约占据 1.178 个吸附点, 是单分子层吸附。同时可得到

Langmuir 吸附平衡常数 k_a 为 2.108×10^3 L/mol。
 K_a 与吸附吉布斯自由能 ΔG_m 关系^[16] 如下:

$$K_a = \frac{1}{55.5} \exp\left(\frac{-\Delta G_m}{RT}\right)$$

(6)

式中, 55.5 为 1 L 溶液中 H₂O 的物质的量, R 为摩尔气体常数(8.314 J/(mol·K)), T 为热力学温度(K)。

通过计算得 $\Delta G_m = -28.91$ kJ/mol, $\Delta G_m < 0$ 说明咪唑啉分子在碳钢表面的吸附过程是一种自发行为。通常情况下, 当 ΔG_m 在 -20 kJ/mol 左右时, 表示带电荷的缓蚀剂分子和带电荷的金属之间的静电作用, 为物理吸附; 当 ΔG_m 在 -40 kJ/mol 左右时, 表示带电荷的缓蚀剂分子通过与金属共用电子成键, 为化学吸附^[15-16], 因此可认为, 该咪唑啉分子在碳钢表面的吸附是介于物理吸附和化学吸附之间的一种吸附。

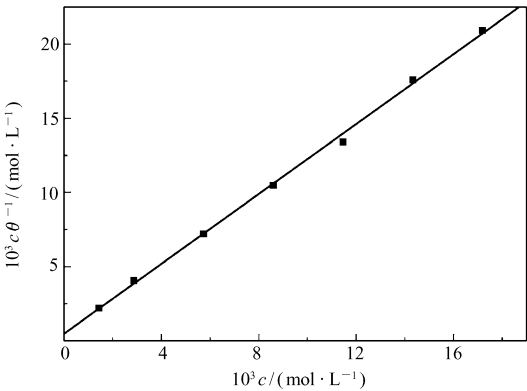


图 3 根据 Langmuir 等温式模型拟合电极腐蚀数据的吸附曲线

Fig. 3 Simulated adsorption curve based on the corrosion data of carbon steel electrode using Langmuir isothermal equation

2.5 扫描电子显微镜分析

用扫描电子显微镜(SEM)观察了浸泡在空白柠檬酸溶液和含0.4%烷基咪唑啉的柠檬酸溶液中电极的表面形貌,结果如图4所示。从图4A和4B可看出,在空白柠檬酸溶液中,碳钢表面由于酸的腐蚀作用而表现粗糙,而在含缓蚀剂的柠檬酸溶液中,碳钢表面光滑,表明碳钢表面吸附了一层缓蚀剂膜,由于缓蚀剂保护层的形成,给大规模电荷的转移制造了障碍^[17],从而减缓了碳钢的腐蚀。

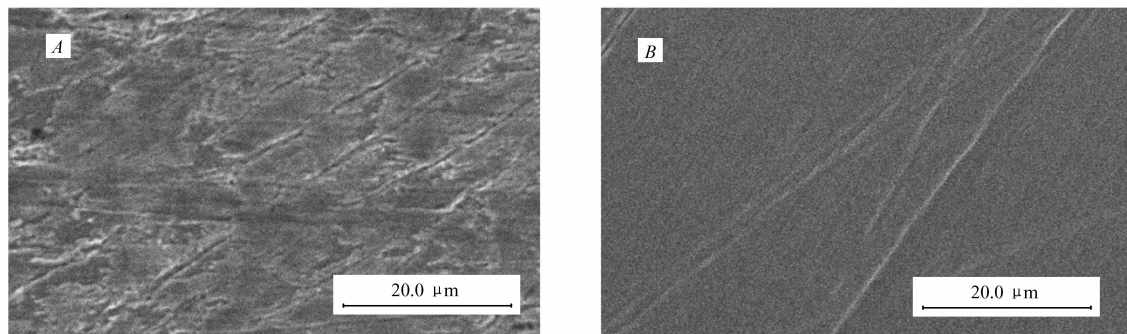


图4 在空白(A)和含缓蚀剂(B)的柠檬酸溶液中浸泡4 h的碳钢电极的SEM图

Fig.4 SEM images of the surfaces of carbon steel electrodes in 2% citric acid solution without(A) and with inhibitor(B) after 4 h immersion

3 结 论

2-十一烷基-N-羧甲基-N-羟乙基咪唑啉能够有效抑制柠檬酸对碳钢的腐蚀作用;在2%的柠檬酸溶液中,2-十一烷基-N-羧甲基-N-羟乙基咪唑啉在质量分数为0.4%时缓蚀效率 η 达到最大,为85.5%;该烷基咪唑啉在碳钢表面的吸附符合Langmuir吸附等温式,吸附过程的吉布斯自由能 ΔG_m 为-28.91 kJ/mol,其吸附类型介于物理吸附和化学吸附之间。

参 考 文 献

- [1] LI Bo, LIU Yanbo. Development and Application of DDN-001 Lemon Acid Corrosion Reducer[J]. *Heilongjiang Electric Power*, 2001, **23**(1): 49-51 (in Chinese).
李波, 刘彦博. DDN-001 柠檬酸缓蚀剂的研制和应用[J]. 黑龙江电力, 2001, **23**(1): 49-51.
- [2] Zhang X Y, Wang F P, He Y F, et al. Study of the Inhibition Mechanism of Imidazoline Amide on CO₂ Corrosion of Armco Iron[J]. *Corro Sci*, 2001, **43**(8): 1417-1431.
- [3] Okafor P C, Zheng Y G. Synergistic Inhibition Behaviour of Methylbenzyl Quaternary Imidazoline Derivative and Iodide Ions on Mild Steel in H₂SO₄ Solutions[J]. *Corro Sci*, 2009, **51**(4): 850-859.
- [4] ZHANG Jun, HU Songqing, WANG Yong, et al. Theoretical Investigation on Inhibition Mechanism of 1-(2-Hydroxyethyl)-2-alkyl-imidazoline Corrosion Inhibitors[J]. *Acta Chim Sinica*, 2008, **66**(22): 2469-2475 (in Chinese).
张军, 胡松青, 王勇, 等. 1-(2-羟乙基)-2-烷基-咪唑啉缓蚀剂缓蚀机理的理论研究[J]. 化学学报, 2008, **66**(22): 2469-2475.
- [5] FENG Jincheng, WEN Shaoying, ZHAO Erru, et al. Synergy of 2-Undecyl-N-carboxymethyl-N-propyloic-imidazoline and Anionic Surfactant[J]. *Daily Chem Ind*, 2001, **31**(1): 9-10 (in Chinese).
冯金城, 温绍颖, 赵二茹, 等. 2-十一烷基-N-羧甲基-N-羧乙基咪唑啉与阴离子表面活性剂的协同效应[J]. 日用化学工业, 2001, **31**(1): 9-10.
- [6] CAO Chunan. Principles of Erosive Electrochemistry[M]. 3rd Edn. Beijing(): Chemical Industry Press, 2008: 198 (in Chinese).
曹楚南. 腐蚀电化学原理[M]. 第3版. 北京: 化学工业出版社, 2008: 198.
- [7] QIN Baoluo, ZHAO Erru, YANG Yuhuan, et al. 2-Undecyl-1-carboxymethyl-1-hydroxyethyl Imidazoline Surfactant[J]. *Surfact Ind*, 1995, (2): 29-32 (in Chinese).
秦保罗, 赵二茹, 杨玉恒, 等. 2-十一烷基-1-羧甲基-1-羟乙基咪唑啉的表面活性[J]. 表面活性剂工业, 1995, (2): 29-32.

- [8] ZHANG Daquan, GAO Lixin, WANG Zhien. Study of Inhibition Effects of 2-*n*-Undecylimidazole on Copper in 3% NaCl Solution[J]. *J Chinese Soc Corro Protec*, 2002, **22**(4): 237-240 (in Chinese).
张大全, 高立新, 汪知恩. NaCl 溶液中烷基咪唑对铜的缓蚀作用研究[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2002, **22**(4): 237-240.
- [9] McCafferty E. On the Determination of Distributed Double-layer Capacitances from Cole-cole Plots[J]. *Corro Sci*, 1997, **39**(2): 243-254.
- [10] WANG Fengping, KANG Wanli, JING Hemin, *et al.* Principles, Method and Application of Erosive Electrochemistry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 219 (in Chinese).
王凤平, 康万利, 敬和民, 等. 腐蚀电化学原理、方法及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 219.
- [11] Khaled K F, Hackerman N. Investigation of the Inhibitive Effect of Ortho-substituted Anilines on Corrosion of Iron in 0.5 mol/L H₂SO₄ Solutions[J]. *Mater Chem Phys*, 2003, **82**(3): 949-960.
- [12] Guo W J, Chen S H, Feng Y Y, *et al.* Investigations of Triphenyl Phosphate and Bis-(2-ethylhexyl) Phosphate Self-assembled Films on Iron Surface using Electrochemical Methods Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Molecular Simulations[J]. *J Phys Chem*, 2007, **111**(7): 3109-3115.
- [13] Quan Z L, Chen S H, Li S L. Protection of Copper Corrosion by Modification of Self-assembled Films of Schiff Bases with Alkanethiol[J]. *Corro Sci*, 2001, **43**(6): 1071-1080.
- [14] Hong H G, Park W. A study of Adsorption Kinetics and Thermodynamics of ω -Mercaptoalkylhydroquinone Self-assembled Monolayer on a Gold Electrode[J]. *Electrochim Acta*, 2005, **51**(4): 579-587.
- [15] JIN Jihong. University Chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press(), 2006: 199202 (in Chinese).
金继红. 大学化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 199202.
- [16] Villamil R F V, Corio P, Rubim J C, *et al.* Sodium Dodecylsulfate-benzotriazole Synergistic Effect as An Inhibitor of Processes on Copper/Chloridric Acid Interfaces[J]. *J Electroanal Chem*, 2002, **535**(1/2): 75-83.
- [17] Okafor P C, Liu C B, Liu X, *et al.* Corrosion Inhibition and Adsorption Behavior of Imidazoline Salt on N80 Carbon Steel in CO₂-Saturated Solutions and Its Synergism with Thiourea[J]. *J Solid State Electrochem*, 2009, **11**: 1-10.

The Corrosion Inhibition of 2-Undecyl-N-Carboxymethyl-N-Hydroxyethyl Imidazoline on Carbon Steel in Citric Acid Solution

LIAO Qiangqiang^{a*}, CHEN Yaqiong^a, YAN Aijun^b, DONG Wantian^c, GE Honghua^a

(^aKey Laboratory of Shanghai Colleges and Universities for Electric Power Corrosion Control and Applied Electrochemistry, Shanghai Engineering Research Center of Energy-Saving in Heat Exchange Systems, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090;

^bShaanxi Electric Power Science Research Institute, Xi'an;

^cShanghai Fakai Chemical Industry Co Ltd, Shanghai)

Abstract 2-Undecyl-N-carboxymethyl-N-hydroxyethyl imidazoline was investigated as a corrosion inhibitor for carbon steel in 2% mass fraction of citric acid solution by means of mass loss test, polarization and AC impedance. The mass loss test results showed that the inhibitor was an excellent inhibitor for carbon steel in acid media with an inhibition efficiency of 86.4% at the mass concentration of 0.4%. The polarization curves indicated that the inhibitor behaved as a mixed type inhibitor while the single capacitive loop in the Nyquist plots revealed that the corrosion was a charge transfer controlled process. The adsorption of the inhibitor was found to follow the Langmuir adsorption isotherm and the involved mechanism consisted of a mixed adsorption between chemisorption and physisorption.

Keywords imidazoline, corrosion inhibitor, citric acid, carbon steel