

# 一种无毒水基防锈剂的研制及其性能

钟雪丽<sup>1</sup>, 杨志霞<sup>1</sup>, 郭培宽<sup>2</sup>

(1. 河南科技学院, 河南 新乡 453003; 2. 河南新飞集团十六厂, 河南 新乡 453002)

**摘要:** **目的** 研制一种无毒、高效的水基防锈剂。 **方法** 以植酸、聚天冬氨酸为主要成分, 添加钼酸钠和苯甲酸钠作为助剂, 筛选出聚乙二醇和聚乙烯醇作为高分子成膜剂, 配制防锈剂。通过单因素实验和正交试验确定防锈剂的最佳配方, 并与亚硝酸盐型防锈剂进行防锈效果对比。 **结果** 植酸与聚天冬氨酸有较好的复配作用, 助剂和高分子成膜剂的存在可有效增强防锈膜的耐蚀性。防锈剂最佳配方为: 植酸 60 mL/L, 聚天冬氨酸 25 mL/L, 钼酸钠 6 g/L, 苯甲酸钠 22 g/L, 聚乙二醇 4 g/L, 聚乙烯醇 5 g/L。该防锈剂成膜后, 平均  $\text{CuSO}_4$  点滴时间达 75 s, 耐盐水浸泡 23 h, 耐中性盐雾 28 h, 防锈效果良好。 **结论** 无毒型防锈剂的防锈效果与亚硝酸盐型相比, 存在一定差距, 但其不含有毒物质, 值得推广使用。

**关键词:** 水基防锈剂; 植酸; 聚天冬氨酸; 无毒; 耐蚀性

中图分类号: TG174.42

文献标识码: A

文章编号: 1001-3660(2014)03-0115-05

## Preparation and Antirust Performance of a Nontoxic Water-based Rust Inhibitor

ZHONG Xue-li<sup>1</sup>, YANG Zhi-xia<sup>1</sup>, GUO Pei-kuan<sup>2</sup>

(1. Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2. Sixteen Plant, Henan Xinfeng Group, Xinxiang 453002, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To develop a new nontoxic and efficient water-based rust inhibitor. **Methods** Phytic acid and polyaspartic acid were used as the main components of rust inhibitor, in which sodium molybdate and sodium benzoate were added as promoter, and the polymer film forming agents polyethylene glycol and polyvinyl alcohol were screened. The optimal formulation was determined via single factor experiment and orthogonal test, and the corrosion resistance was contrasted with nitrite rust inhibitor. **Results** The longer copper sulfate spot time showed the better synergistic effect between phytic acid and polyaspartic acid. The promoters and polymer film forming agents effectively enhanced the corrosion resistance of antirust film. The optimal formulation of rust inhibitor was 60 mL/L of phytic acid, 25 mL/L of poly aspartic acid, 6 g/L of sodium molybdate, 22 g/L of sodium benzoate, 4 g/L of polyethylene glycol, 5 g/L of polyvinyl alcohol; the average copper sulfate spot time was 75 s, the salt solution immersion resistant time was 23 h, and the neutral salt spray test time was 28 h. Under the above conditions, excellent antirust performance was achieved. **Conclusion** The new nontoxic and water-based rust inhibitor was worth promoting despite the little gap between the two types of rust inhibitor in rust resistance.

**KEY WORDS:** water-based rust inhibitor; phytic acid; polyaspartic acid; nontoxic; corrosion resistance

收稿日期: 2013-12-27; 修订日期: 2014-02-17

Received: 2013-12-27; Revised: 2014-02-17

作者简介: 钟雪丽(1982—), 女, 河南登封人, 硕士, 讲师, 主要从事金属的腐蚀与防护研究。

**Biography:** ZHONG Xue-li(1982—), Female, from Dengfeng, Henan, Master, Lecturer, Research focus: metal corrosion and protection.

钢铁的锈蚀在储存、使用过程中十分常见。钢铁的工序间防锈目前多采用水基防锈剂,以避免因防锈油去除难度大而造成的生产和环境问题。工业上广泛使用的水基防锈剂通常含有亚硝酸盐、磷酸盐或铬酸盐,此类防锈剂毒性较强,废水排放易造成水体富营养化,使用和排放均受到严格限制<sup>[1-4]</sup>。环保型水基防锈剂的研制已受到国内外广泛关注<sup>[5]</sup>。

植酸是一种从粮食作物中提取的天然无毒化工产品,具有极强的螯合性,能有效防止金属的腐蚀<sup>[6-7]</sup>。文中以植酸为主要原料,复配生物降解性好且性能优良的绿色水处理剂——聚天冬氨酸,同时添加其他助剂,优选了防锈剂的配方,并考察了其防锈性能,获得了一种不含亚硝酸盐的新型无毒水基防锈剂。

## 1 实验

### 1.1 防锈剂的研制

取一定量的植酸、聚天冬氨酸、钼酸钠、苯甲酸钠、聚乙二醇、聚乙烯醇,用自来水溶解,稀释至一定的体积,搅拌均匀。通过单因素实验和正交实验,以成膜后的防锈性能—— $\text{CuSO}_4$  点滴时间为依据,确定各成分的用量。

### 1.2 性能评价

将防锈剂涂覆在试片上,成膜后进行性能评价。具体流程为:试片除油、除锈→水洗→防锈液浸泡→晾干→成膜→性能测试。除油、除锈采用公司自制除油剂和除锈剂,在常温下进行。性能评价包括目测外观及防锈性能检测。

外观检测方法为:试片经防锈处理后,室内挂放 18 h,观察防锈膜的完整性、透明性和流挂情况,以膜均匀、透明、边缘无收缩、无明显流挂为合格。

防锈性能检测采用三种方法:1)  $\text{CuSO}_4$  点滴试验,即在经防锈处理的试片上滴一滴  $\text{CuSO}_4$  点滴液(41 g/L  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ +13 mL/L HCl (0.1 mol/L)+35 g/L NaCl),记录出现第一个红色斑点的时间。2) 盐水浸泡实验,即将成膜试样浸泡于 3% (质量分数,下同) NaCl 溶液中,实验温度为 15~25℃,记录出现锈迹的时间。3) 中性盐雾试验,按 GB/T 6458—1986 方法进行,喷雾介质为 3% NaCl 溶液,采用连续喷雾模式。

## 2 结果与讨论

### 2.1 单一植酸或聚天冬氨酸的防锈性能

植酸分子含有能同金属配合的 24 个氧原子、12 个羟基和 6 个磷酸基<sup>[8]</sup>,是一种少见的金属多齿螯合剂,可与金属形成稳定的配合物<sup>[9]</sup>。用植酸溶液处理金属表面时,易在金属表面形成一层致密的单分子保护膜,能有效阻止  $\text{O}_2$  等到达金属表面,从而抑制金属的腐蚀<sup>[10]</sup>。图 1 为经植酸防锈处理的钢板试样的  $\text{CuSO}_4$  点滴实验结果。可以看出,植酸添加量较小时,防锈膜防锈性能较弱,超过 30 mL/L 时,防锈性能大大提高。综合考虑,植酸的添加量控制在 40~60 mL/L 较为合适。

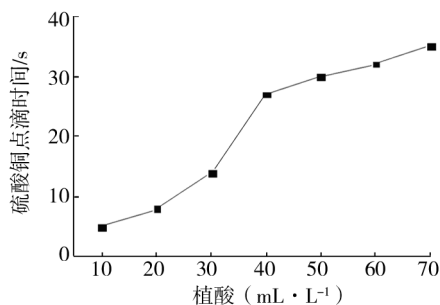


图 1 植酸添加量对其防锈性能的影响

Fig. 1 The effect of phytic acid concentration on the antirust property

聚天冬氨酸作为一种新型非磷化水处理剂,是一种可生物降解的环保型缓蚀剂<sup>[11]</sup>。其极性基团吸附于金属表面,改变双电层的结构,提高金属离子化的活化能;非极性基团则远离金属表面作定向排布,形成一层疏水膜,成为腐蚀反应物扩散的屏障,抑制腐蚀反应<sup>[12]</sup>。图 2 为单一聚天冬氨酸的防锈性能测

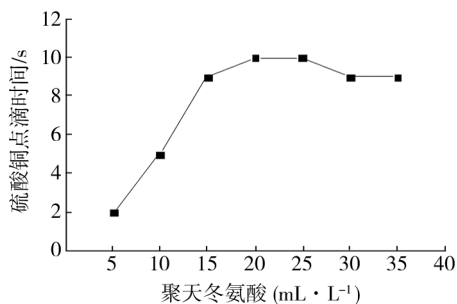


图 2 聚天冬氨酸添加量对其防锈性能的影响

Fig. 2 The effect of polyaspartic acid concentration on the antirust property

试结果。可以看出,随着聚天冬氨酸添加量的增加,防锈性能逐渐增强,超过 25 mL/L 后,防锈性能变化不大。基于成本考虑,聚天冬氨酸的添加量宜控制在 15 ~ 25 mL/L。

2.2 植酸与聚天冬氨酸的复配效果

单一成分的防锈液往往很难达到较好的防锈效果,而多种成分复配时,由于存在协同作用,往往比单独使用某种防锈剂效果更佳<sup>[13]</sup>。调整植酸添加量为 50 mL/L,改变聚天冬氨酸的添加量,考察不同量聚天冬氨酸与植酸复配的效果,结果见图 3。可以看出,植酸与聚天冬氨酸复配,防锈效果明显增强,防锈膜耐CuSO<sub>4</sub>点滴时间延长至 43 s,说明聚天冬氨酸的加入可有效提高防锈膜的防锈性能。

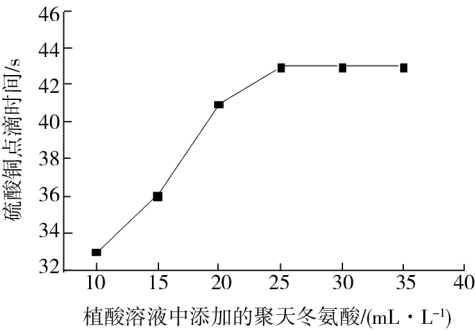


图 3 植酸与聚天冬氨酸复配比例对其防锈性能的影响  
Fig. 3 The effect of proportion of phytic acid and polyaspartic acid on the antirust property

2.3 其他助剂的影响

选定植酸和聚天冬氨酸为基本成分,同时添加其他助剂,以提高防锈剂的综合性能。配制 50 mL/L 植酸+25 mL/L 聚天冬氨酸的防锈液,分别添加钼酸钠、苯甲酸钠助剂,考察助剂对防锈液防锈能力的影响。

钼酸盐属阳极钝化型缓蚀剂,通过在金属表面吸附、沉积,或利用自身氧化性来改变金属表面膜的性质<sup>[14]</sup>。图 4 为植酸和聚天冬氨酸复配防锈液中添加钼酸钠后,防锈膜的防锈性能。分析图 4 可知,随着钼酸钠含量的提高,防锈膜耐蚀性逐渐增强。考虑到钼酸钠价格较贵,控制其含量在 4 ~ 8 g/L 较为合适。

苯甲酸钠是阳极型水溶有机缓蚀剂,适用于钢、铜、铅的防锈<sup>[15]</sup>。图 5 为植酸和聚天冬氨酸复配防锈液中添加苯甲酸钠后,防锈膜的防锈性能。由图 5 可知,随苯甲酸钠含量的升高,防锈膜耐蚀性增强,但

苯甲酸钠含量超过 18 g/L 后,耐蚀性又有所下降。适宜的苯甲酸钠含量为 14 ~ 22 g/L。

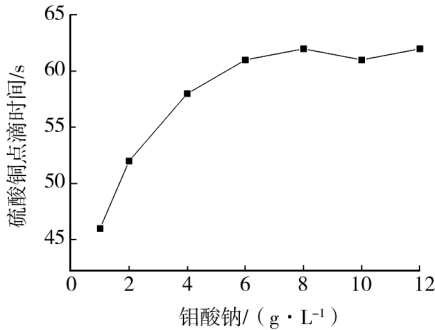


图 4 钼酸钠含量对复配防锈液防锈性能的影响  
Fig. 4 The effect of sodium molybdate content on the antirust property of composite rust inhibitor

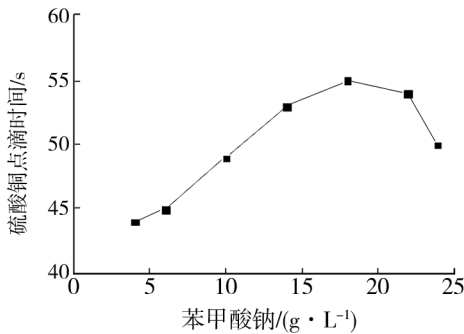


图 5 苯甲酸钠含量对复配防锈液防锈性能的影响  
Fig. 5 The effect of sodium benzoate content on the antirust property of composite rust inhibitor

2.4 高分子成膜剂的选择

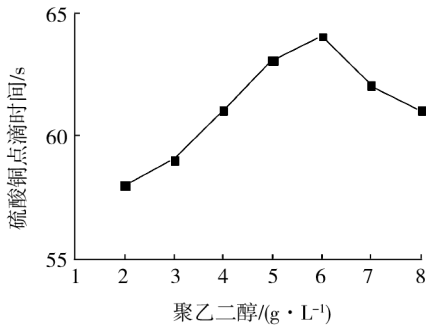
高分子成膜剂可促使防锈膜的形成,使防锈剂牢固附着在金属表面,从而提高防锈剂的防锈效果<sup>[16]</sup>。作为水基防锈剂的成膜剂必须具备能溶于水、成膜均匀、原料易得、无毒等条件。实验中选择聚乙二醇、聚乙烯醇、聚马来酸酐、聚丙烯酸钠等成膜剂作为备选,添加至防锈液中,依据膜外观和防锈性能选出最好的成膜剂,并进一步研究成膜剂的最佳用量。防锈液基本组成为:植酸 50 mL/L,聚天冬氨酸 25 mL/L,钼酸钠 6 g/L,苯甲酸钠 18 g/L。结果见表 1。

分析表 1,综合膜外观及防锈性能,选择聚乙二醇和聚乙烯醇复配作为高分子成膜剂,二者含量对防锈膜防锈性能的影响见图 6。由图 6a 可知,加入 5 ~ 7 g/L 聚乙二醇的效果较好。由图 6b 可以看出,随着聚乙烯醇含量的增大,耐蚀性能逐渐增强,大于 5 g/L 时,耐蚀性能变化不大,聚乙烯醇的含量应控制在 4 ~ 6 g/L。

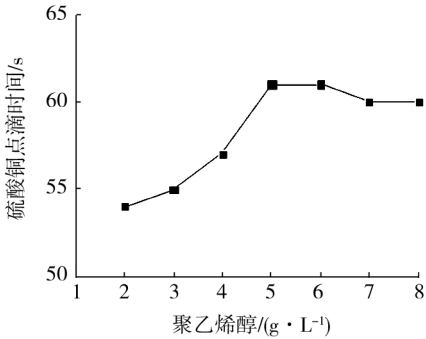
表 1 高分子成膜剂对防锈性能的影响

Tab.1 The effect of film-forming agents of high polymers on the antirust property

成膜剂用量/(g·L <sup>-1</sup> )				膜外观	CuSO <sub>4</sub> 点滴时间/s
聚乙 二醇	聚乙 烯醇	聚马来 酸酐	聚丙烯 酸钠		
20				均匀,湿膜	64
	20			均匀,湿膜	61
		20		均匀,干膜	59
			20	均匀,湿膜	54
20	4			均匀,干膜	68
20		4		均匀,干膜	62



a 聚乙二醇



b 聚乙烯醇

图 6 高分子成膜剂含量对防锈性能的影响

Fig.6 The effect of film-forming agents of high polymers content on the antirust property

2.5 正交试验

在单因素实验优选结果的基础上,按 L<sub>18</sub>(3<sup>7</sup>) 正交表进行正交试验,各因素水平设计及试验结果见表 2—4。

由于空列极差很小,对实验的影响可不考虑。各组均值最大者分别为 A3,B3,C2,D3,E1,F2,各因素极差由大到小依次为 A>B>C>E>F>D。最终确定

表 2 因素水平表

Tab.2 Table of factors and levels

水平	用量/(mL·L <sup>-1</sup> )		用量/(g·L <sup>-1</sup> )			
	植酸 (A)	聚天冬 氨酸(B)	钼酸钠 (C)	苯甲酸 钠(D)	聚乙二 醇(E)	聚乙烯 醇(F)
1	40	15	4	14	4	4
2	50	20	6	18	6	5
3	60	25	8	22	8	6

表 3 正交试验结果

Tab.3 Result of orthogonal test

编号	各因素水平							CuSO <sub>4</sub> 点 滴时间/s
	A	B	C	D	E	F	空列	
1	1	1	1	1	1	1	1	42
2	1	2	2	2	2	2	2	54
3	1	3	3	3	3	3	3	49
4	2	1	1	2	2	3	3	45
5	2	2	2	3	3	1	1	59
6	2	3	3	1	1	2	2	64
7	3	1	2	1	3	2	3	60
8	3	2	3	2	1	3	1	59
9	3	3	1	3	2	1	2	62
10	1	1	3	3	2	2	1	53
11	1	2	1	1	3	3	2	44
12	1	3	2	2	1	1	3	65
13	2	1	2	3	1	3	2	62
14	2	2	3	1	2	1	3	46
15	2	3	1	2	3	2	1	57
16	3	1	3	2	3	1	2	46
17	3	2	1	3	1	2	3	71
18	3	3	2	1	2	3	1	67

表 4 极差分析结果

Tab.4 Result of variance analysis

项目	A	B	C	D
k <sub>1</sub> /s	51.167	51.333	53.500	53.833
k <sub>2</sub> /s	55.500	55.500	61.167	54.333
k <sub>3</sub> /s	60.833	60.667	52.833	59.333
R/s	9.666	9.334	8.334	5.500
项目	E	F	空列	
k <sub>1</sub> /s	60.500	53.333	56.167	
k <sub>2</sub> /s	54.500	59.833	55.333	
k <sub>3</sub> /s	52.500	54.333	56.000	
R/s	8.000	6.500	0.834	

防锈剂配方为:植酸 60 mL/L,聚天冬氨酸 25 mL/L,钼酸钠 6 g/L,苯甲酸钠 22 g/L,聚乙二醇 4 g/L,聚乙烯醇 5 g/L。

2.6 防锈剂性能检测

依据 2.5 小节得出的配方配制一定量的防锈剂,对钢板样品进行处理,多次平行测定,检测防锈膜的综合性能,并与生产中使用的亚硝酸盐型防锈剂(公司自制)进行对比,结果见表 5。由表 5 可知,虽然无毒防锈剂的防锈效果较好,但与亚硝酸盐型防锈剂相比,还有一些差距,但其不含有毒物质,对操作者和环境都不会造成危害,具有一定的应用价值。

表 5 防锈膜综合性能

Tab.5 Comprehensive properties of the antirust film

类型	膜外观	CuSO <sub>4</sub> 点滴时间/s	NaCl 溶液浸泡时间/h	中性盐雾时间/h
无毒型	均匀,干膜	75	23	28
亚硝酸盐型	透明,湿膜	83	26	31

3 结论

1) 植酸分子含有多个配原子,能与金属形成稳定的配合物,附着在金属表面,起到抵抗腐蚀的作用;聚天冬氨酸作为一种无毒的水处理剂,与植酸具有较好的复配效果。

2) 将钼酸钠和苯甲酸钠作为助剂,可明显提高防锈膜的耐蚀性。筛选出的高分子成膜剂聚乙二醇和聚乙烯醇分子链中都含有极性基团,可在金属表面形成一层致密的薄膜,有效起到防锈的作用。

3) 无毒型防锈剂的最佳配方为:植酸 60 mL/L,聚天冬氨酸 25 mL/L,苯甲酸钠 22 g/L,聚乙二醇 4 g/L,钼酸钠 6 g/L,聚乙烯醇 5 g/L。其防锈膜综合性能虽与亚硝酸盐型防锈剂相比有一定的差距,但配方无毒,对操作者和环境均无害,具有一定的应用价值。

参考文献

[1] 张迎平,刘兰轩,杨承凤,等. 一种环保型水基防锈剂的性能研究[J]. 材料保护,2012,45(10):56—58.  
ZHANG Ying-ping, LIU Lan-xuan, YANG Cheng-feng, et al. Preparation of an Environmentally Acceptable Water-borne Antirust Agent and Evaluation of Its Performance [J]. Materials Protection,2012,45(10):56—58.

[2] 陈泽民,路品,苏艳丽,等. 钢铁水基防锈剂的研制及其性能[J]. 材料保护,2011,44(6):58—59.  
CHEN Ze-min, LU Pin, SU Yan-li, et al. Preparation and Per-

formance Evaluation of Water-based Rust Inhibitor for Iron and Steel[J]. Materials Protection,2011,44(6):58—59.

[3] 郭侃,刘慧丛,王培鹏,等. 一种用于工序间防锈的含有稀土成分的硅烷水溶液[J]. 表面技术,2010,39(6):101—103.  
GUO Kan, LIU Hui-cong, WANG Pei-peng, et al. A Silane Solution with Rare Earth Composition for Interprocess Rust-proof of the Steel Parts [J]. Surface Technology, 2010, 39(6):101—103.

[4] 范洪波,胡勇有. 一种新型水基防锈剂的研究[J]. 新技术新工艺,2004(11):62—64.  
FAN Hong-bo, HU Yong-you. Research of a New Type Aqueous Rust Preventive [J]. New Technology & New Process, 2004(11):62—64.

[5] 李志林,韩立兴,陈泽民. 水基防锈剂的研究进展[J]. 表面技术,2006,35(5):51—53.  
LI Zhi-lin, HAN Li-xing, CHEN Ze-min. Study Advance about Aqueous Rust Inhibitor [J]. Surface Technology, 2006,35(5):51—53.

[6] 周和平. 植酸在金属表面处理中的应用[J]. 电镀与环保,2003,23(2):23—25.  
ZHOU He-ping. Application of Phytic Acid in Surface Treatment[J]. Electroplating & Pollution Control,2003,23(2):23—25.

[7] 赵地顺,刘会茹,徐智策,等. 植酸盐缓蚀剂及其机理研究[J]. 高等学校化学学报,2005,26(2):334—336.  
ZHAO Di-shun, LIU Hui-ru, XU Zhi-ce, et al. Plant Acid Salt Inhibitor and Its Inhibiting Mechanism [J]. Chemical Journal of Chinese Universities,2005,26(2):334—336.

[8] NOTOYA T, OTIENO-ALEGO V, SCHWEINSBERG D P. Corrosion and Polarization Behavior of Copper in Domestic Water in the Presence of Ca, Mg and Na-salts of Phytic Acid[J]. Corrosion Science,1995,37(1):55—65.

[9] BEBOT-BRIGAND A, DANGE C, FAUCONNIER N, et al. 31P NMR, Potentiometric and Spectrophotometric Studies of Phytic Acid Ionization and Complexation Properties Toward Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> [J]. Journal of Inorganic Biochemistry, 1999, 75(1):71—78.

[10] LIU J R, GUO Y N, HUANG W D. Study on the Corrosion Resistance of Phytic Acid Conversion Coating for Magnesium Alloys[J]. Surface and Coatings Technology,2006,201(3/4):1536—1541.

[11] LOUIS L, GARY J. Continuous Process for Polyaspartic Acid Synthesis:US,5610264[P]. 1997-03-11.

[12] 霍宇凝,蔡张理,赵岩,等. 聚天冬氨酸及其与锌盐的复配物对碳钢缓蚀性能的影响[J]. 华东理工大学学报,2001,27(6):669—672.



- Comparison on Tribological Mechanisms of Sulfide Layer and FeS Powders in Lithium Grease[J]. Tribology, 2010, 30(3): 296—302.
- [48] 乔玉林, 胡春华, 赵玉强, 等. 连续加载条件下纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeS}$  固体润滑复合涂层的摩擦学性能[J]. 摩擦学学报, 2010, 30(6): 561—566.
- QIAO Yu-lin, HU Chun-hua, ZHAO Yu-qiang, et al. Tribological Properties of Nano- $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeS}$  Solid Lubricant Composite Coatings Under a Continuous Loading at Elevated Temperature[J]. Tribology, 2010, 30(6): 561—566.
- [49] 易小勇. 复合固体润滑膜的试验研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
- YI Xiao-yong. Experimental Study of Composite Solid Lubricating Film[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010.
- [50] 胡春华, 杨春燕, 刘庆存, 等. 纳米  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4/\text{FeS}$  固体润滑复合层减摩润滑机理[J]. 材料热处理学报, 2013, 34(6): 130—135.
- HU Chun-hua, YANG Chun-yan, LIU Qing-cun, et al. Mechanism of Friction Reduction and Lubrication of Nano- $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4/\text{FeS}$  Solid Lubrication Duplex Layer[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2013, 34(6): 130—135.
- [51] 刘洋. 等离子喷涂  $\text{Ni60A}/\text{MoS}_2$  复合润滑涂层摩擦学特性的研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2009.
- LIU Yang. Tribological Properties of Plasma Spraying  $\text{Ni60A}/\text{MoS}_2$  Composite Lubrication Coating[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2009.
- [52] 陈东, 罗明波, 陈晓琴, 等. 等离子喷涂  $\text{NiCr-Cr}_3\text{C}_2$  基复合自润滑涂层的组织及摩擦学性能[J]. 表面技术, 2013, 42(3): 52—55.
- CHEN Dong, LUO Ming-bo, CHEN Xiao-qin, et al. Microstructure and Frictional Behaviour of Plasma-sprayed  $\text{NiCr-Cr}_3\text{C}_2$  Based Self-lubricating Composite Coatings[J]. Surface Technology, 2013, 42(3): 52—55.

(上接第 114 页)

- [12] 陈海朝, 于森. PLC 在达克罗生产线浸涂工艺中的应用[J]. 表面技术, 2008, 37(4): 73—75.
- CHEN Hai-chao, YU Miao. Application of PLC in Dacromet Smearing Process Line[J]. Surface Technology, 2008, 37(4): 73—75.
- [13] 张俊敏, 李瑛培. 达克罗技术及其发展前景[J]. 表面技术, 2000, 29(3): 20—22.
- ZHANG Jun-min, LI Ying-pei. Dacromet Technology and the Development Prospect[J]. Surface Technology, 2000, 29(3): 20—22.
- [14] 张俊敏, 张宏, 文自伟, 等. 达克罗技术的现状与发展方向[J]. 表面技术, 2004, 33(6): 11—12.
- ZHANG Jun-min, ZHANG Hong, WEN Zi-wei, et al. Status and Development Direction of Dacromet Technology[J]. Surface Technology, 2004, 33(6): 11—12.
- [15] 苏红军, 赵旗, 陈小平. 水系锌铬膜涂层组成结构的研究[J]. 表面技术, 2002, 31(5): 12—15.
- SU Hong-jun, ZHAO Qi, CHEN Xiao-ping. Research on Composition and Structure of Zn-Cr Coating[J]. Surface Technology, 2002, 31(5): 12—15.
- [16] 穆山, 李军念, 王玲, 等. 海洋大气环境金属防护涂层技术与工艺研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(2): 81—84.
- MU Shan, LI Jun-nian, WANG Ling, et al. Corrosion Protection Coating Technologies of Metal in Marine Atmosphere[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(2): 81—84.

(上接第 119 页)

- HUO Yu-ning, CAI Zhang-li, ZHAO Yan. Effect of the Corrosion Inhibition Behavior of Polyaspartic Acid and Its Mixture of Zinc Ion on Carbon Steel[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2001, 27(6): 669—672.
- [13] 孙鹏程, 任晓光, 荆雷. 多种缓蚀剂的复配对 10 号碳钢在酸性体系中的缓蚀作用研究[J]. 石油炼制与化工, 2010, 41(2): 69—72.
- SUN Peng-cheng, REN Xiao-guang, JING Lei. Corrosion Inhibition Performance of Various Corrosion Inhibitor Compounds to 10<sup>#</sup> Carbon Steel in Acidic System[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2010, 41(2): 69—72.
- [14] 高辉庆, 贺涛. 绿色缓蚀阻垢剂的研究进展[J]. 精细与专用化学品, 2006, 14(9): 13—15.
- GAO Hui-qing, HE Tao. Research Progress on Green Corrosion and Scale Inhibitors[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2006, 14(9): 13—15.
- [15] 王秋景, 唐耀胜. 弱碱性介质中钼酸盐系缓蚀剂的研制[J]. 电镀与精饰, 2002, 24(6): 22—26.
- WANG Qiu-jing, TANG Yao-sheng. Development of Molybdate System Corrosion Inhibitor in Weak Alkaline Medium[J]. Plating & Finishing, 2002, 24(6): 22—26.
- [16] 韩立兴. 金属水基防锈剂的制备与应用[D]. 保定: 河北大学, 2011.
- HAN Li-xing. Preparation and Application of Metal Aqueous Antirusting Agent System[D]. Baoding: Hebei University, 2011.