

气相防锈技术在电器设备防腐中的应用

阮红梅¹, 吴坤培^{1,2}, 王俊¹, 陈川¹, 黄海军¹, 骆汉英^{1,3}, 揭敢新¹

(1. 中国电器科学研究院有限公司 工业产品环境适应性国家重点实验室, 广州 510663;

2. 广东工业大学, 广州 510663; 3. 威凯检测技术有限公司, 广州 510663)

摘要: **目的** 研究新型气相防锈剂对电器设备的防护效果及电性能的影响, 解决电器设备服役过程中的腐蚀防护问题。 **方法** 采用中性盐雾试验对新型气相防锈剂对电器设备的防护效果进行测试, 并通过绝缘电阻、介电常数、电容、表面电阻、体积电阻、电阻、耐击穿电压等测试了新型气相防锈剂对电器元件、电器设备电性能的影响。 **结果** 中性盐雾试验 240 h 后, 无新型气相防锈剂保护的电器设备锈蚀严重, 有新型气相防锈剂保护的电器设备锈蚀相对微弱; 电路板原材料环氧树脂板、安规电器元件、电器设备与气相防锈剂直接接触 720 h 后, 各自的电性能基本上没有变化, 同时电器设备的正常功能也不受影响。 **结论** 新型气相防锈剂对电器设备有较好的防护效果, 且不影响其电性能, 可将其应用到电器设备实际运行过程中, 解决电器设备服役过程中的腐蚀防护问题。

关键词: 新型气相防锈剂; 电器设备; 电器防腐

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.04.007

中图分类号: TJ05; TG174.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)04-0032-06

Application of the Vapor Phase Corrosion Inhibitor in the Electrical Equipment Corrosion

RUAN Hong-mei¹, WU Kun-pei^{1,2}, WANG Jun¹, CHEN Chuan¹, HUANG Hai-jun¹,
LUO Han-ying^{1,3}, JIE Gan-xin¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Adaptability for Industrial Products, China National Electric Apparatus Research Institute Co., Ltd, Guangzhou 510663, China; 2. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510663, China; 3. Vkan Certification & Testing Co., Ltd, Guangzhou 510663, China)

ABSTRACT: Objective To study the protective effect of a new vapor phase corrosion inhibitor and its influence on the performance of electrical equipment, and to solve the problem of corrosion protection in the service process of

收稿日期: 2015-06-25; 修订日期: 2015-07-06

Received: 2015-06-25; Revised: 2015-07-06

基金项目: 广东省中国电器院风电装备腐蚀控制关键技术院士工作站项目(2013B090400023)

Fund: Supported by the Foundation for Academician Workstation of Wind Power Equipment Corrosion Control Key Technology of Chinese Electronics Institute in Guangdong Province(2013B090400023)

作者简介: 阮红梅(1986—), 女, 湖北随州人, 硕士, 从事工业产品的环境适应性技术研究。

Biography: RAUN Hong-mei(1986—), Female, from Suizhou, Hubei, Master, Research focus: environmental adaptability technology of industrial products.

通讯作者: 揭敢新(1966—), 男, 江西人, 教授级高工, 主要研究方向为工业产品的环境适应性技术。

Corresponding author: JIE Gan-xin(1966—) Male, from Jiangxi, Professor senior engineer, Research focus: environmental adaptability technology of industrial products.

electrical equipment. **Methods** The protective effect of the new vapor phase corrosion inhibitor on electric equipment was analyzed by salt spray test technology. The influence of the new vapor phase corrosion inhibitor on the electrical performance of the equipment was tested by measuring the insulation resistance, dielectric constant, capacitance, surface and volume resistance, resistance and high breakdown voltage. **Results** After 240 h of neutral salt spray test, the electrical equipment without the protection of the new vapor phase corrosion inhibitor was seriously rusted, while the electrical equipment with the protection of the new vapor phase corrosion inhibitor showed relatively weak corrosion. After 720 h exposure to the new vapor phase corrosion inhibitor, the circuit board materials epoxy resin plate, electrical components and electrical equipment showed basically no change in their electrical performance. At the same time, the normal operation of the electrical equipment was not influenced. **Conclusion** The new vapor phase corrosion inhibitor had relatively good protective effect on the electrical equipment, meanwhile, it did not affect the performance of the electrical equipment. It can therefore be effectively applied to the electrical equipment in the process of actual operation to solve the problem of corrosion protection in the service process of electrical equipment.

KEY WORDS: new vapor phase corrosion inhibitor; electrical equipment; electrical equipment anticorrosion

广东地区是典型的高温、高湿、高盐雾亚热带及海洋性气候区域,电器设备长期处于这种恶劣的大气环境中。如果防护措施不到位就会造成设备内部器件的快速污染、腐蚀,进而使这些器件的品质快速下降,大大缩短其使用寿命,严重威胁到电器设施的安全运行。在器件受到污染及腐蚀的同时,也往往意味着电器绝缘性能的严重下降,这都严重威胁到人身与设施的安全。与此同时,电器设备相对精密,一旦出现故障,很难进行维修,严重时甚至需要全部翻新,其环境失效维护成本非常高^[1-2]。因此必须对电器设备采取一定的防护措施,但对于电器防腐来说,既要电器设备进行有效的防护,又要保证不影响电器设备的电性能,这使得很多防护技术的应用受到了限制,同时由于电器设备结构复杂,一般的防护技术并不能满足要求。传统的做法侧重于提高电器产品本身的防护防腐性能,进而提高其本身品质并极力避免将其安装于户外^[3-5]。实际中使用电器的成套设备,避免不了有各种金属器件的存在,在高温、高湿、高盐雾亚热带及海洋性大气环境当中,器件本身很难抵抗这些不利因素。

近些年,气相防锈技术迅猛发展,被广泛应用到车间储存^[6]、包装运输^[7-11]等行业,其防护效果得到行业的广泛认可。气相防锈技术是一种主动防锈技术,只要密封环境许可、防锈剂还在,它就能够将防锈状态继续下去^[12-15]。因此只要及时补充添加气相防锈剂,便可实现对电器设备的长效性防护。同时气相防锈技术无孔不入,面对结构复杂的电器设备,在一般防护方式不能满足要求的情况下,其能够轻而易举地实现防护效果。目前市面上气相防锈剂多是针对黑色金属材料进行防护,对于电器设备这种包含多种金属材料的产品并不能起到有效防护。同时由于电器设备相对精密,一旦防护技术对其电性能造成影响,可能会威胁到电器设施的安全运行,甚至威胁到人身

安全。为此人们前期开发了一款适用于电器设备防护的新型气相防锈剂,文中将通过中性盐雾试验以及绝缘电阻、介电常数、电容、表面电阻、体积电阻、电阻、耐击穿电压等测试研究新型气相防锈剂对电器设备的防护效果及电性能的影响。

1 实验

1.1 材料

实验材料主要为电路板原材料环氧树脂板、电容、电阻、低压电压器、电源变压器等重要电器元件,带电器元件的电路板、电器设备以及用于电器防腐的新型气相防锈剂。

1.2 方法

1) 中性盐雾试验。中性盐雾试验(NSS)采用Atlas的试验箱,喷雾箱内温度设为35℃,盐雾沉降的速度为1~2 mL/(80 cm²·h),氯化钠溶液浓度为5%(质量分数),pH值为6.5~7.2,盐雾箱内湿度在95%以上,试验标准参照GB/T 2423.17—2008 电子电工产品基本环境试验规程—盐雾试验方法。

2) 电性能测试。分别采用ZC-90绝缘电阻测试仪、2821低压电桥、TH2811C型LCR数字电桥、PC68型数字高阻计、Agilent数字多用表对电器元件以及电器设备的绝缘电阻、介电常数、电容、表面电阻、体积电阻、电阻、耐击穿电压等电性能进行测试。

2 结果与讨论

2.1 对电器设备的防护效果

取两组崭新的电器设备开展相关实验,试验前电

器设备电路部分正反面形貌如图1所示,表面崭新完好,未出现任何缺陷。



图1 中性盐雾试验前电器设备的外观形貌

Fig.1 The morphology of the electrical equipment before neutral salt spray test

两组电器设备中,其中一组内部放置新型气相防锈剂,另一组作为空白对照组,不做任何处理,通过螺钉等将其封装好后,再将其统一置于盐雾箱开展中性盐雾试验。试验进行240 h后取出,打开电器设备外壳,发现未放置新型气相防锈剂保护的电器设备内电路部分底部聚集有明水,电路部分背面腐蚀严重,如图2a所示。有新型气相防锈剂保护的电器设备底部无明显的水迹,如图2b所示,电路部分背面只出现轻微的腐蚀,但是新型气相防锈剂吸湿严重,用力挤压会有明水。新型气相防锈剂以毛毡为载体,内部聚集高浓度新型气相防锈剂,在一定湿度范围内,具有一定的吸湿作用。同时在密闭的空间内,常温下自动不断地升华,挥发成气体,吸附在电路部分各电子元器件表面形成致密的保护膜,从而隔离其与水分以及其他腐蚀性介质的接触,进而起到有效的保护作用^[16-17]。

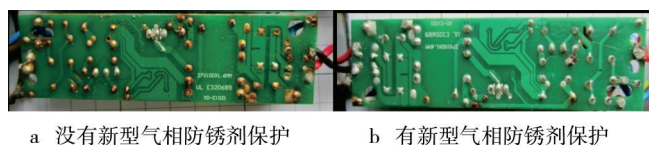


图2 中性盐雾试验240 h后两组电器设备背面形貌

Fig.2 The morphology of two sets of electrical equipment after 240 h of neutral salt spray test

电器设备在实际应用中,为了防止各电路部分供电电压因负载变化而产生变化,在电源的输出端及负载的电源输入端,一般接有数十到数百微法的电解电容。该电容起着非常重要的滤波、稳定电压的作用,一旦出问题,将直接影响电路部分输出端的稳定性。电器设备开展中性盐雾试验时,由于受密封性能的影响,电器设备两端腐蚀性气体容易侵入,造成内部电路部分腐蚀。如图3所示,无新型气相防锈剂保护的电容引脚腐蚀严重,有新型气相防锈剂保护的电容引脚腐蚀相对微弱。有新型气相防锈剂保护时,新型气相防锈剂会在电器设备内部自动不断地升华,挥发

一种特殊气体,该气体分子一般情况下是可溶解于水的,它们附着在金属表面形成一层阻水层防止锈蚀,同时也阻挡了一些加速锈蚀的物质侵蚀金属表面,进而起到有效的保护作用^[18-19]。

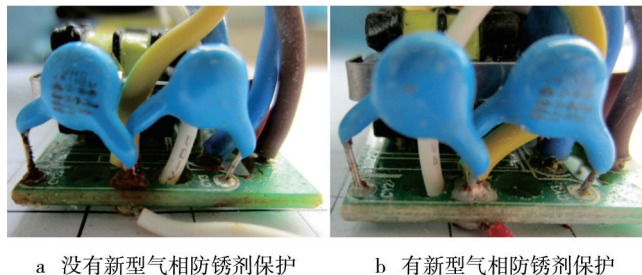


图3 中性盐雾试验240 h后两组电器设备蓝色电容形貌

Fig.3 Morphology of the blue capacitance in the two sets of electrical equipment after 240 h of neutral salt spray test

中性盐雾试验240 h后,有、无新型气相防锈剂保护的两组电器设备红色电容形貌如图4所示。无新型气相防锈剂保护的电容引脚出现明显的锈蚀,有新型气相防锈剂保护的电容引脚基本上没有变化。由此说明新型气相防锈剂对电容有较好的保护效果。

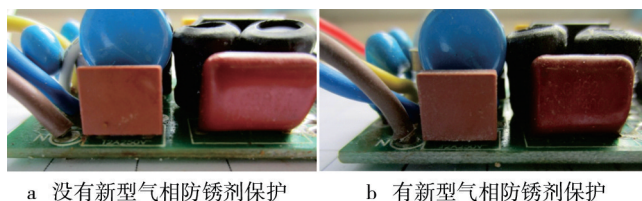


图4 中性盐雾试验240 h后两组电器设备红色电容形貌

Fig.4 Morphology of the red capacitance in the two sets of electrical equipment after 240 h of neutral salt spray test

整流桥模块是电路部分非常重要的模块,该模块主要起到交流变直流的供电作用。两组电器设备开展240 h中性盐雾试验后,如图5a所示,无新型气相防锈剂保护的电器设备电路部分整流桥模块二极管表面出现明显的锈蚀,二极管下面的小电器元件出现严重的锈蚀,而有新型气相防锈剂保护的电器设备电路部分整流桥模块腐蚀非常微弱,基本上没有变化,如图5b所示。由此说明新型气相防锈剂对整流桥模块有较好的保护效果。电器设备结构复杂,一般的防护技术并不能满足要求,而气相防锈技术这种保护无孔不入,正好能够轻而易举地完成防锈措施。另外,新型气相防锈剂是一种主动防锈材料,只要密封环境许可、防锈剂还在,它就能够将防锈状态继续下去^[20-21]。因此只要及时补充添加新型气相防锈剂,便可实现对电器设备的长效性防护。实际应用中可以根据电器

设备内部空间的大小、电器设备的结构、防护要求等合理地选用新型气相防锈剂的数量和安装位置,从而实现对电器设备的有效防护。

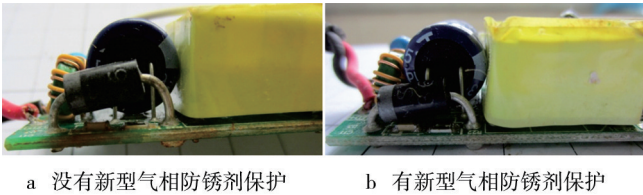


图5 中性盐雾试验 240 h 后两组电器设备整流桥模块形貌
Fig.5 Morphology of the rectifier bridge module in the two sets of electrical equipment after 240 h of neutral salt spray test

2.2 与国外气相防锈产品防护效果对照

为了与国外气相防锈产品的防护效果进行对照,取两组电器设备开展相关实验,试验前电器设备电路部分背面形貌如图 6 所示,表面崭新完好。

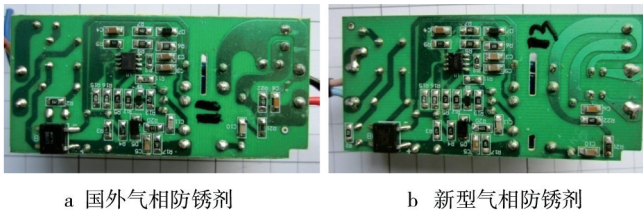


图6 内部放置两种防锈剂的电器设备试验前电路部分背面形貌
Fig.6 The morphology on the back of the electrical equipment with two kinds of vapor phase corrosion inhibitors before the neutral salt spray test

将新型气相防锈剂和国外气相防锈产品分别置于电器设备内部,然后通过螺钉将电器设备封装好,再将其统一置于盐雾箱开展中性盐雾试验。试验进行 240 h 后取出,打开电器设备外壳,发现内部放置新型气相防锈剂以及国外气相防锈产品的电器设备内电路部分背面均出现一定量的锈蚀,如图 7 所示,但内

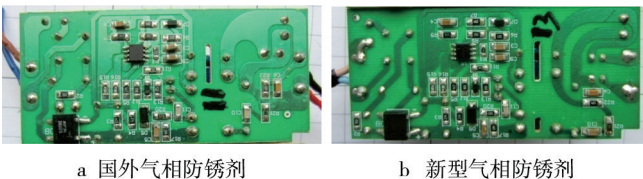


图7 中性盐雾试验 240 h 后两种防锈剂保护的电器设备背面形貌
Fig.7 The morphology on the back of the electrical equipment with two kinds of vapor phase corrosion inhibitor after 240 h of neutral salt spray test

部放置新型气相防锈剂的电器设备腐蚀情况相对微弱,如图 8 所示。由此说明,新型气相防锈剂对电器设备具有更好的防护效果。

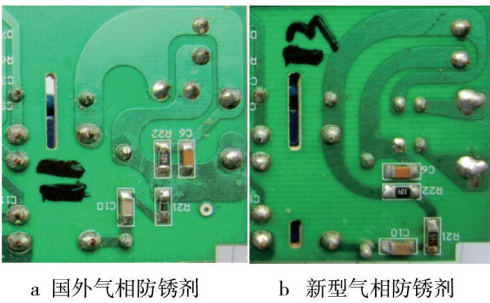


图8 中性盐雾试验 240 h 后两种防锈剂保护的电器设备背面细节形貌
Fig.8 The detailed morphology on the back of the electrical equipment with a foreign vapor phase corrosion inhibitor (a) and the new vapor phase corrosion inhibitor (b) after 240 h of neutral salt spray test

2.3 对电路板原材料、电器元器、电器设备电性能的影响

对于电器设备来说,既要对电器设备进行有效的防护,又要保证不影响电器设备的电性能。为此,从电路板原材料环氧树脂板、电子元器件、电器设备几个不同的角度测试了新型气相防锈剂对其电性能的影响。

2.3.1 对电路板原材料电性能的影响

电路板原材料环氧树脂板是电器设备电路部分的载体,其电性能受到影响,如表面电阻、体积电阻过低将容易引起短路等现象,试验中将新型气相防锈剂与电路板原材料环氧树脂板一同放置在密闭的空间内 720 h。表 1 给出了环氧树脂板在新型气相防锈剂环境下放置 720 h 前后电性能参数的变化,其中环氧树脂板的电容、介电常数基本上没变化,表面电阻、体积电阻、绝缘电阻都略有增大。环氧树脂板在实际使用中主要表现为绝缘性能,表面电阻值、体积电阻、绝缘电阻越大,说明其绝缘性能越好。由此表明新型气相防锈剂对电路板原材料环氧树脂板的电绝缘性能基本上没有影响。

2.3.2 对电器元件电性能的影响

电阻、电感、电源变压器、低压变压器等涉及到安全规范的电子元器件,一旦电性能受到影响,将直接危及到安全问题,因此在应用新型防护技术时一定不容忽视其对电性能的影响。为此将新型气相防锈剂与电阻、电感、电源变压器、低压变压器等一同放置在

表1 环氧树脂板在新型气相防锈剂环境下放置720 h前后电性能参数的变化

Table 1 The change of electrical parameters of epoxy resin board before and after placing in the environment with the new vapor phase corrosion inhibitor for 720 h

PCB板	电容 C_x/F	介电 常数	表面电阻 R_s/Ω	体积电阻 R_v/Ω	绝缘 电阻/ Ω
实验前	1.84	5.04	3.88×10^{10}	8.82×10^{13}	4.75×10^{10}
实验后	1.86	4.97	3.58×10^{11}	9.10×10^{13}	3.60×10^{12}

密闭的空间内720 h。表2给出了电阻、电感、电源变压器、低压变压器等主要电器元件在新型气相防锈剂环境下放置720 h前后电性能参数的变化。从表2中可以看出,电阻、电感、电源变压器、低压变压器等对应的电性能参数基本上没变化,说明新型气相防锈剂对电阻、电感、电源变压器、低压变压器等安规电子元器件的电性能基本上没有影响。

表2 电器元件在新型气相防锈剂环境下放置720 h前后电性能参数的变化

Table 2 The change of electrical parameters of electrical components before and after placing in the environment with the vapor phase corrosion inhibitor for 720 h

电器元件	实验前		实验前	
电阻1/M Ω	9.936	—	9.936	—
电阻2/M Ω	9.923	—	9.923	—
电感1/ Ω	0.412	0.410	0.412	0.410
电感2/ Ω	0.377	0.386	0.377	0.386
电源变压器1/ Ω	红2844	黑4.151	红2844	黑4.151
电源变压器2/ Ω	红2831	黑4.151	红2831	黑4.151
低压变压器1/ Ω	红385	黄1.272	红385	黄1.272
低压变压器2/ Ω	红385	黄1.272	红385	黄1.272

2.3.3 对电器设备电性能的影响

电器设备相对精密,其功能是由多组电路组合实现,往往一个环节出了问题就会导致整个设备停止运转。为此将新型气相防锈剂放置于电器设备内部与电路板直接接触720 h,并对电器设备的绝缘性能、耐击穿电压及其功能等进行了测试,结果见表3。

试验前后四种电器设备绝缘电阻变化微弱,但均不影响电器设备的电绝缘性能。试验前后电器设备均不能被击穿,试验后四组电器设备均能正常工作。由此表明,新型气相防锈剂对电器设备的电性能基本上没影响。

表3 新型气相防锈剂在电器设备内部放置720 h前后电器设备电性能参数的变化

Table 3 The change of electrical parameters of the electrical equipment before and after placing the new vapor phase corrosion inhibitor inside the electrical equipment for 720 h

电器 设备编号	绝缘电阻/($\times 10^9 \Omega$)	
	实验前	实验后
1	188	172
2	2.78	245
3	1.25	242
4	77.6	86.4

3 结论

1) 中性盐雾试验240 h后,未放置新型气相防锈剂保护的电器设备锈蚀严重,有新型气相防锈剂保护的电器设备锈蚀相对微弱,新型气相防锈剂对电器设备有较好的防护效果。

2) 中性盐雾试验240 h后,内部放置国外气相防锈产品以及新型气相防锈剂保护的电器设备内电路部分均出现一定量的锈蚀,但内部放置新型气相防锈剂的电器设备腐蚀情况相对微弱。由此说明,开发的新型气相防锈剂对电器设备具有更好的防护效果。

3) 电路板原材料环氧树脂板、安规电器元件、电器设备与气相防锈散发体直接接触720 h后,各自的电性能基本上没有变化,同时电器设备的正常功能也不受影响,新型气相防锈剂对电器设备的电性能基本上没有影响。

4) 新型气相防锈剂对电器设备有较好的防护效果,且不影响其电性能,可将其应用到电器设备实际运行过程中,解决电器设备服役过程中的腐蚀防护问题。

参考文献:

[1] 梁彩凤,侯文泰. 大气腐蚀与环境[J]. 装备环境工程,2004,1(2):49—52.
LIANG Cai-feng, HOU Wen-tai. Atmosphere Corrosion and Environment[J]. Equipment Environmental Engineering,2004,1(2):49—52.
[2] 杨万均,肖敏,张燕,等. 舰面电子设备机柜防护失效分析与对策研究[J]. 装备环境工程,2012,9(6):83—87.
YANG Wan-jun, XIAO Min, ZHANG Yan, et al. Failure Analysis and Countermeasure Study of Protection for Warship Electronic Equipment Cabinet[J]. Equipment Environmental

- Engineering, 2012, 9(6): 83—87.
- [3] 卓惠荣. 电器产品的防霉、防锈技术[J]. 电工电气, 1995(2): 7—10.
- ZHUO Hui-rong. Mould Proof Anticorrosive Technology of Electrical Products[J]. Electrician Electrical, 1995(2): 7—10.
- [4] 陆锦铭. 电气防腐[J]. 中国井矿盐, 1980(2): 34—35.
- LU Jin-ming. Electric Corrosion[J]. China Well Mineral Salt, 1980(2): 34—35.
- [5] 吴学明. 户内外防腐蚀电工产品防护技术综述[J]. 环境技术, 1992(1): 40—44.
- WU Xue-ming. Review of Anti Corrosion Households inside and outside Electrical Products Protection Technology[J]. Environmental Technology, 1992(1): 40—44.
- [6] 马广强, 毛晓军, 郭四洲, 等. 气相防锈剂在牵引电机制造过程中的应用[J]. 环境技术, 2014(4): 15—19.
- MA Guang-qiang, MAO Xiao-jun, GUO Si-zhou, et al. Application of the VCI in the Manufacturing Process of the Traction Motor[J]. Environmental Technology, 2014(4): 15—19.
- [7] 唐艳秋, 张建伟, 王福成. 防锈防护组合技术在装备器材防锈封存中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 117—122.
- TANG Yan-qiu, ZHANG Jian-wei, WANG Fu-cheng. Application of the Rust Protection Combination Technology in the Equipment Preservation[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 117—122.
- [8] 崔爽. 气相防锈包装技术及其发展[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 90—92.
- CUI Shuang. Vapor Phase Corrosion Inhibitor Packaging Technology and Its Development[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 90—92.
- [9] 李文钊, 田春雷, 李良春. 基于气相防锈技术的弹药包装研究[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 112—114.
- LI Wen-zhao, TIAN Chun-lei, LI Liang-chun. Study of Ammunition Packaging Based on the Technology[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 112—114.
- [10] 陈愚, 蔡建, 罗俊杰. 当前军用包装防锈蚀技术现状[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 81—83.
- CHEN Yu, CAI Jian, LUO Jun-jie. The Current Status of Military Packaging Anticorrosion Technology[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(4): 81—83.
- [11] 刘媛媛, 王萌, 陈鹏宇. 气相防锈在工程机械零配件包装中的应用[J]. 制造与检测, 2012, 11(11): 92—93.
- LIU Yuan-yuan, WANG Meng, CHEN Peng-yu. The Application of VCI on Engineering Mechanical Parts Packing System[J]. Manufacturing and Detection, 2012, 11(11): 92—93.
- [12] 肖怀斌. 气相缓蚀剂的研究与发展[J]. 材料保护, 2000, 33(1): 26—28.
- XIAO Hai-bin. The Study and Development of Vapor Inhibitor[J]. Materials Protection, 2000, 33(1): 26—28.
- [13] 张大全. 气相缓蚀剂研究、开发及应用的进展[J]. 材料保护, 2010, 43(4): 61—64.
- ZHANG Da-quan. Development and Application of Volatile Corrosion Inhibitors[J]. Materials Protection, 2010, 43(4): 61—64.
- [14] 张秋禹, 张军平, 颜红侠, 等. 气相缓蚀剂研究进展[J]. 化工进展, 2002, 21(9): 639—643.
- ZHANG Qiu-yu, ZHANG Jun-ping, YAN Hong-xia, et al. Advance of Vapor Corrosion Inhibitors[J]. Chemical Progress, 2002, 21(9): 639—643.
- [15] 高国, 梁成浩. 气相缓蚀剂的研究现状及发展趋势[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2007, 27(4): 252—255.
- GAO Guo, LIANG Cheng-hao. Present Situation and Development of Volatile Corrosion Inhibitors[J]. Chinese Journal of Corrosion and Protection, 2007, 27(4): 252—255.
- [16] 由庆, 王业飞, 魏勇舟, 等. 咪唑啉型缓蚀剂的合成及其缓蚀机理研究[J]. 腐蚀与防护, 2006, 27(3): 122—125.
- YOU Qing, WANG Ye-fei, WEI Yong-zhou, et al. Synthesis and Inhibition Mechanism of an Imidazoline Corrosion Inhibitor[J]. Corrosion and Protection, 2006, 27(3): 122—125.
- [17] 汪的华, 甘复兴. 缓蚀剂吸附行为研究进展与展望[J]. 材料保护, 2000, 33(1): 29—32.
- WANG De-hua, GAN Fu-xing. The Progress and Prospect of Corrosion Inhibitor Adsorption Behavior Research[J]. Materials Protection, 2000, 33(1): 29—32.
- [18] 何快新, 陈白珍, 张钦发. 气相缓蚀剂的研究现状与展望[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2004, 24(4): 245—248.
- HE Kuai-xin, CHEN Bai-zhen, ZHANG Qin-fa. The Research Status and Prospect of Vapor Phase Corrosion Inhibitors[J]. J Chinese Journal of Corrosion and Protection, 2004, 24(4): 245—248.
- [19] 阮红梅, 董泽华, 石维, 等. 基于电化学噪声研究缓蚀剂对从 6063 铝合金点蚀的影响[J]. 物理化学学报, 2012, 28(9): 2097—2107.
- RUAN Hong-mei, DONG Ze-hua, SHI Wei, et al. Effect of Inhibitors on Pitting Corrosion of 6063 Aluminium Alloy Based on Electrochemical noise[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2012, 28(9): 2097—2107.
- [20] 李志广, 黄红军, 万红敬, 等. 金属气相防锈技术的应用进展[J]. 腐蚀与防护, 2008 29(11): 654—656.
- LI Zhi-guang, HUANG Hong-jun, WAN Hong-jing, et al. The Application of Metal Vapor Phase Corrosion Inhibitor Technology Progress[J]. Corrosion and Protection, 2008, 29(11): 654—656.
- [21] 鞠玉琳, 李焰. 气相缓蚀剂的研究进展[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2014, 34(1): 27—36.
- JU Yu-lin, LI Yan. The Research Progress of Vapor Phase Inhibitors[J]. Chinese Journal of Corrosion and Protection, 2014, 34(1): 27—36.