

港口起重机设备面漆人工加速老化试验方法的研究

熊章吉, 刘冰, 叶勇

(上海振华重工(集团)股份有限公司, 上海 200125)

摘要: 港机使用的面漆对于涂层体系十分重要, 面漆不仅需要有良好的耐污性, 还需要拥有良好的保光保色性, 保证面漆能对抗自然界的老化影响, 因此, 研究重防腐面漆老化的影响因素就非常重要。本文主要针对重防腐面漆老化影响因素的分析, 对面漆老化人工加速试验方法进行研究。

关键词: 重防腐面漆; 人工加速; 老化

中图分类号: TQ639 **文献标志码:** B **文章编号:** 1007-9548(2025)03-0026-04

Research on Experimental Method of Artificial Accelerated Aging for the Top Coating of Port Machinery

XIONG Zhang-ji, LIU Bing, YE Yong

(Shanghai Zhenhua Heavy Industries Company Limited, Shanghai 200125, China)

Abstract: The top coating is very important for the coating system in port machinery. The top coating not only needs good stain resistance, but also needs good light and color retention to ensure that top coating can resist the aging effects of nature. Therefore, it is very important to study the influencing factors of the heavy corrosion top coating aging. This paper mainly aims at the analysis of the influencing factors of the heavy corrosion top coating aging and studies the artificial accelerated experimental methods of top coating aging.

Key words: the heavy corrosion top coating; artificial accelerated; aging

0 引言

在现代工业发展中, 伴随着经济的发展, 各行各业造成的环境污染也越来越严重, 这些污染导致大气环境的腐蚀性发生了显著的改变。据统计, 我国每年因为腐蚀问题造成的经济损失达到数千亿元。在众多的防腐领域中, 重防腐相较于其他防腐领域有更高的要求。港口机械应用环境恰恰是重防腐领域最有特点的一块。重防腐涂装保护是目前使用最广、经济性最好、效率最高的一种防腐处理方法。为了提升涂层体系防护性, 涂层体系从最初的单一涂料防腐发展到了现在的多重防腐涂装体系。在最近 20 年, 重防腐领域涂层体系已经发展为底中面三道涂层防腐的体系。

面漆作为重防腐涂层体系的最后一环, 其主要作

用就是阻挡阳光以及污染大气、污染物等对构件涂层体系表面的破坏, 还需要具有良好的装饰性。换言之, 面漆不仅需要有良好的耐污性, 还要有极好的保光保色性, 足以对抗自然界的老化影响。因此, 研究重防腐面漆老化的影响因素就非常重要。

1 重防腐面漆老化影响因素分析

在重防腐领域, 面漆的发展是从原材料发展更迭而来。从 20 世纪 60、70 年代开始, 醇酸面漆被广泛应用到重防腐领域, 醇酸面漆由于其在紫外光照射下容易变黄和粉化, 且不宜与环氧漆配套, 逐渐被淘汰。此后数年应用的丙烯酸面漆、环氧面漆, 由于它们施工性、耐老化性、经济性的限制, 也逐渐退出主流市场。

目前市场在用的重防腐面漆主要是聚氨酯面漆、氟碳面漆以及聚硅氧烷面漆。环氧富锌底漆+环氧中间漆+聚氨酯面漆的配套体系, 是目前港机应用最为广泛的配套体系。氟碳面漆从 20 世纪 80 年代开发以来, 数十年的时间, 得到高速发展。目前市面上主要是

收稿日期: 2023-12-04

作者简介: 熊章吉(1991—), 男, 本科, 工程师, 主要从事涂料检验检测及研发工作。E-mail: xiongzhangji@zpmc.com。

四氟和三氟树脂为主的氟碳面漆，三氟树脂相较于四氟树脂，其耐老化性相对较差。由于氟树脂中 C—F 键拥有很高的键能，氟碳面漆的耐候性十分好，超过了聚氨酯面漆。常用的重防腐涂层防护体系是环氧富锌底漆+环氧中间漆+氟碳面漆，此涂层体系一般使用在老化环境更加恶劣的地方，其相较于聚氨酯面漆体系成本更高。聚硅氧烷是以 Si—O 键为主的聚合物，聚硅氧烷的 Si—O 键键能高达 445 kJ/mol，与氟树脂 C—F 键的 484 kJ/mol 相近^[1]。因此，聚硅氧烷面漆的耐候性能也十分优异。聚硅氧烷面漆相较于氟碳面漆，其体积固含量更高，涂装施工可一道成膜，由于不含有毒的异氰酸酯，更符合环保要求。但是聚硅氧烷面漆成本更高，其在市场应用方面略逊于氟碳面漆。

在重防腐涂料的现实应用环境中，面漆的老化主要受到大气中的光照、温度、湿度等因素影响。

1.1 光照

在重防腐面漆老化中，光照强度对于面漆的树脂及色粉有直接的影响，阳光中的紫外线能加速面漆的老化，光照时间越久，面漆老化越快。在港机面漆的老化过程中，光照会造成涂层的粉化、开裂、剥落、变色、失光等缺陷。

1.2 温度

环境温度的变化是影响面漆老化的又一重要因素，温度越高，面漆所受光辐射的能量相应更高。根据化学反应分析，温度每升高 10 ℃，光化学反应速度就加快 1 倍。

1.3 湿度

空气中的湿度变化直接影响到水蒸气与面漆接触凝结形成水膜的量。同时，湿度大小的波动还影响着水膜厚度和干湿交替的变化频率，经过光照和温度的提升，水膜对面漆老化产生影响，造成面漆树脂的老化加剧^[2]。

2 试验部分

2.1 面漆老化试验检测指标

在港机面漆老化试验中，面漆老化评定标准一般参考 ISO 4628 或者 GB/T 1766，老化的主要评定项目有：面漆的变色、失光、粉化、开裂、起泡、长霉、生锈、剥落等 8 项。相较于粉化、开裂、起泡、长霉、生锈、剥落这 6 项可直接目测(可用放大镜)的评定准则，变色和失光是需要精准仪器进行检测的项目，也是可以直接量化体现面漆老化的具体变化。变色和失光的评定等级如表 1~2 所列。

色差 ΔE 由老化前和老化后样板的色差值算出，可用色差仪 Lab 值检测出， $\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$ ，其中 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* 为试验前后检测的明度、

红绿度、黄蓝度的检测差值。

表 1 变色程度和变色等级

等级	色差(ΔE)	变色程度
0	≤ 1.5	无变色
1	1.6~3.0	很轻微变色
2	3.1~6.0	轻微变色
3	6.1~9.0	明显变色
4	9.1~12.0	较大变色
5	>12.0	严重变色

表 2 失光程度等级

等级	失光程度	失光率/%
0	无失光	≤ 3
1	很轻微失光	4~15
2	轻微失光	16~30
3	明显失光	31~50
4	严重失光	51~80
5	完全失光	>80

其中，失光率= $(A_0 - A_1)/A_0 \times 100\%$ ，式中： A_0 为老化前光泽测定值， A_1 为老化后光泽测定值。

2.2 试验方法

根据前文所述，聚氨酯面漆和氟碳面漆是港机面漆使用最多的面漆类型，此次试验将采用聚氨酯面漆和氟碳面漆进行相关检测。目前，关于面漆老化的主流试验有，自然曝晒老化和人工模拟加速老化。主流的人工加速老化主要分为氙灯老化、UVB-313 老化和 UVA-340 老化。

经过各类人工光源试验的结果，目前认为氙灯光谱较接近太阳光谱，模拟性能最好，是一种较理想的人工光源，图 1 所示为氙灯与太阳光的能量谱线。

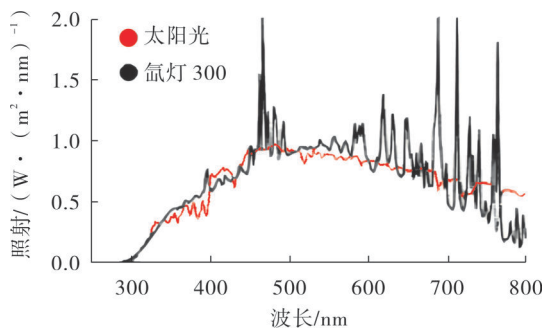


图 1 氙灯与太阳光的能量谱线

在人工加速老化试验中，氙灯老化最接近于自然光老化，但是成本最高，经济性相对较差。从老化机理

上看,紫外光是自然光中破坏有机化合物化学键的主要原因之一,波长越短,能量越大,破坏就越严重。因此,紫外光老化是更经济的试验方法。UVB-313 老化采用 313 nm 波长的紫外光进行老化,但是这种波长的紫外光在太阳辐射中是不存在的,它所进行的紫外光老化过程在自然环境下也是不存在的,这种老化方式仅仅是模拟紫外光加速老化,而且 313 nm 的紫外光能量更强,老化加速更快,试验参考价值不大。UVA-340 老化采用与太阳光辐射一致的 340 nm 波长的紫外光,UVA-340 老化方式有更好的参考价值。

2.3 试验材料及试验方案

为保证试验的准确性,本试验将控制变量,聚氨酯面漆、氟碳面漆(使用四氟树脂,氟含量≥21%)均采用同一厂家,同一色号(RAL1028 黄色)面漆进行老化试验。考虑到板材抗腐蚀性,涂装板材采用 316 不锈钢板材,尺寸为 150 mm×75 mm×2 mm,涂装前使用 200 目砂纸对板材进行表面拉毛处理,然后喷涂聚氨酯面漆和氟碳面漆,面漆厚度均为 80 μm,试验材料准备如表 3 所列。聚氨酯面漆和氟碳面漆均进行氙灯老化和 UV 老化试验。

表 3 试验材料准备

项目	要求
试板	316 不锈钢(150 mm×75 mm×2 mm) 两种面漆各 8 块样板
试板表面处理方式	表面砂纸拉毛处理
涂层厚度	80 μm(两道喷涂 40 μm+40 μm)

注:涂层喷涂完毕后,常温(相对湿度≤85%)下保养 7 d 以上。

氙灯老化试验采用 GB/T 1865—2009 标准进行,UVA-340 老化试验采用 GB/T 23987—2009 标准进行。为方便对比,氟碳和聚氨酯面漆均进行 2 000 h 试验(氙灯和 UV 时长均为 2 000 h)。试验完成后,对相同面漆在不同光源下的失光失色进行检测对比,分析不同光源下老化试验数据的差别。对不同面漆在相同光源下的失光失色进行检测对比,验证聚氨酯面漆和氟碳面漆耐老化性的区别。

3 试验结果

3.1 面漆老化表现状态

面漆老化前后外观对比如图 2~3 所示。

3.2 两种面漆的老化表现

3.2.1 UV 老化对比

UV 老化的失光对比如图 4 所示,UV 老化的失色对比如图 5 所示。

由图 4~5 可知,在 UVA-340 的光源老化试验下,氟碳面漆与聚氨酯面漆的失光率差别不大,从老化试

验的 500 h、1 000 h、1 500 h、2 000 h 节点看,失光率都是随着时间的推移而逐渐增大。两种面漆的失色率由于在 1 500 h 差距逐渐拉大,氟碳面漆相较于聚氨酯面漆,失色率更低,保色性更好。

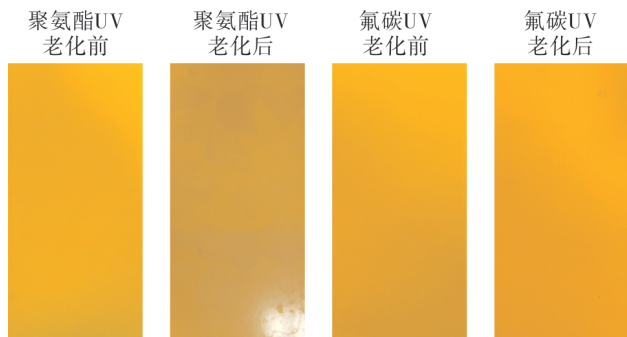


图 2 UV 老化试验对比

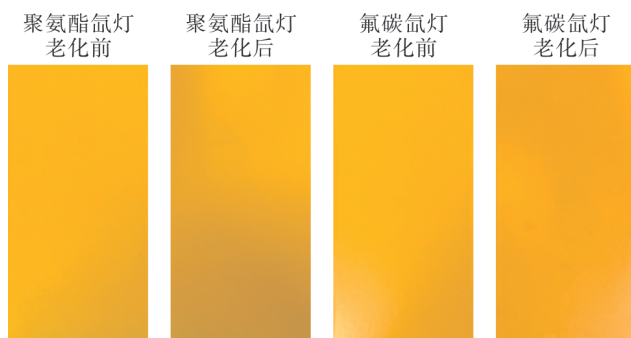


图 3 氙灯老化试验对比

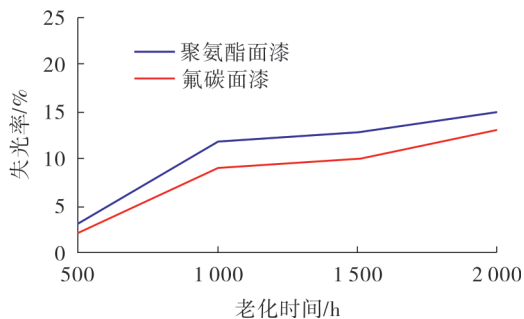


图 4 两种面漆在 UV 老化下的失光对比

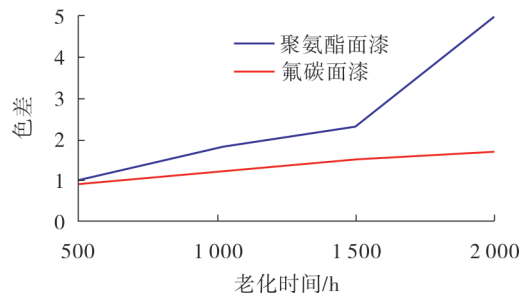


图 5 两种面漆在 UV 老化下的失色对比

3.2.2 氙灯老化对比

氙灯老化的失光对比如图 6 所示,氙灯老化的失

色对比如图 7 所示。

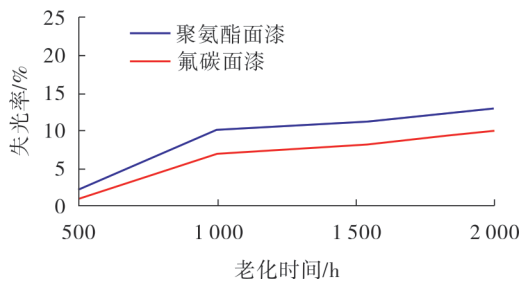


图 6 两种面漆在氙灯老化下的失光对比

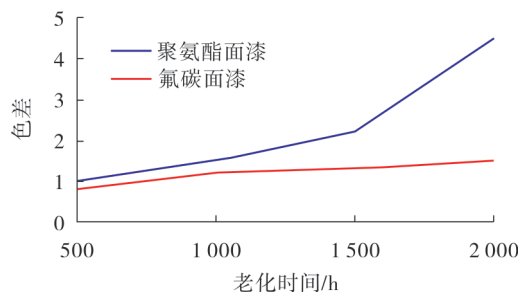


图 7 两种面漆在氙灯老化下的失色对比

由图 6~7 可见,在氙灯老化试验下,聚氨酯面漆和氟碳面漆的失光失色耐老化性与 UV 试验结果一致。氟碳面漆相较于聚氨酯面漆有更好的保色性,两种

面漆保光性相差不大。

根据图 4~7 的结果,UVA-340 光源和氙灯光源进行老化试验时,由于紫外光具有更强的能量,老化加速能力更强。氙灯由于更贴近自然光,老化加速能力较慢,相关老化试验论证时长应该相应增加。

4 结语

1)在人工加速老化试验中,紫外光老化试验比氙灯老化试验加速能力更强,但是氙灯老化试验更贴近自然光老化,老化周期更长。

2)聚氨酯面漆和氟碳面漆在同一厚度下,两种面漆的保光性差别不大,氟碳面漆的保色性要优于聚氨酯面漆。

3)在现场应用环境不同时,应综合考虑涂层体系的经济性和防护性能。在考虑到经济性时,聚氨酯面漆优于氟碳面漆,在考虑到面漆需具有优异的保光保色性时,氟碳面漆优于聚氨酯面漆。

参考文献:

[1] 刘攀.桥梁钢结构防腐涂层的老化失效机理和寿命预测研究[D].西安:长安大学,2008: 21-22.
 [2] 庞启财.桥梁防腐涂装和维修保养[M].北京:化学工业出版社,2003.

(上接第 25 页)通过垂直作用于涂层表面的拉力,使涂层与基材或层间发生剥离,记录涂层破坏时的最大载荷,拉拔试验通过定量表征涂层附着力强度,提升了试验结果的科学性与可靠性。实际应用中需严格把控对基材的表面处理、各涂层的固化条件及其参数,结合涂层失效模式分析可精准定位涂层缺陷。3.9 MPa 是绝缘涂层聚氨酯面漆的拉拔强度,100%面漆内聚破坏说明样板基材、底涂、聚氨酯胶黏剂之间都没有附着破坏和涂层内聚破坏。附着力结果为 0 级,说明绝缘涂层聚氨酯面漆附着力合格。

聚氨酯涂层以其高交联密度和化学惰性,在通过中性盐雾环境试验中表现出 2 mm 范围无可见起泡和锈蚀情况来看,该聚氨酯复合涂层可以成为受电弓平顶绝缘防腐材料的重要选择,同时聚氨酯涂层的柔韧性(圆柱轴弯曲性能)测试结果为无可见开裂和剥离,满足技术要求。在地铁运营过程中,受电弓平顶会偶尔暴露在外,接受紫外线辐射引发氧化反应,通过模拟自然紫外环境进行测试,该复合涂层综合老化性能等级为 1 级,耐候性能良好。

7 结语

测试结果表明,聚氨酯复合涂层体系整体性能较

好,能够满足地铁受电弓平顶绝缘的应用需求,可以为绝缘设计和工艺改进提供数据支持,成为适用于地铁受电弓平顶绝缘的产品。本研究推动了地铁车辆的更新改造,提升产品全寿命周期服务能力,确保地铁运营安全可靠。

在特殊工况应用中,如航空航天、特高压电网等,对绝缘耐压的要求更高,因此会有专门设计的产品来满足瞬时耐高电压的绝缘保护要求。随着材料学、电气工程与信息技术的不断融合与发展,未来将会有更多高性能的材料被开发出来,以满足各行业对耐压绝缘性能的不断提升需求。

参考文献:

[1] 田小雨.上海地铁 11 号线车顶冒火光! 乘客“11 路”上班![EB].新民晚报官方账号,2022-11-11.
 [2] 张伟超,乔腾波.耐电弧绝缘涂料在轨道交通上的应用[J].现代涂料与涂装,2021(11):27-28.
 [3] 曾书豪,陈宪宏,曾凡辉,等.铁道车辆抗侧滚扭杆用耐磨绝缘涂料的研究[J].现代涂料与涂装,2022(12):6-7.
 [4] 李超宇,王聃,田继斌,等.橡胶风挡保护涂料的研制和应用[J].现代涂料与涂装,2024(9):3-4.