

高性能低表面处理环氧涂料的制备和性能研究

徐 科, 方健君, 廉兵杰

(中海油常州涂料化工研究院有限公司, 江苏常州 213016)

摘 要:开发了一种用于表面处理达不到Sa2.5级钢结构表面的高性能防腐涂料,探讨了环氧树脂种类、C9石油树脂用量、固化剂种类和复配用量以及颜基比对涂层干燥时间、基本物理性能和低表面处理底材的附着力的影响。研究表明:以C9石油树脂替换20%的环氧树脂E-20的树脂体系,聚酰胺115和N-(3-氨丙基)吗啉以相等活泼氢量复配作为固化剂体系,颜基比控制在1.8:1时,涂层综合性能最佳,涂料各项性能均明显高于HG/T 4564—2013《低表面处理容忍性环氧涂料》的要求,潮湿表面附着力16.4 MPa,带锈表面附着力15.7 MPa,长效防腐性能优异。该涂料在各类低表面处理底材上进行涂装性能试验,具备一次施工干膜厚度250 μm 以上,漆膜表面无异常,满足厚浆型涂料的涂装要求,施工性能优异。

关键词:环氧树脂;固体石油树脂;聚酰胺;N-(3-氨丙基)吗啉;低表面处理

中图分类号:TQ630.4 文献标识号:A 文章编号:0253-4312(2019)04-0027-07

doi:10.12020/j.issn.0253-4312.2019.4.27

Study on Preparation and Properties of High Performance Surface-Tolerant Epoxy Coating

Xu Ke, Fang Jianjun, Lian Bingjie

(CNOOC Changzhou Paint and Coatings Industry Research Institute Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213016, China)

Abstract: A kind of high performance anti-corrosive coating for steel structure with its surface treatment level below Sa 2.5 has been prepared. The effects of different kinds of epoxy resin, different amounts of C9 petroleum resin, different kinds of curing agents and their mixture as well as pigment/binder ratio on the drying time, basic physical properties and adhesion of the surface-tolerance substrates are investigated. The result shows that the coating has the best comprehensive performance when 20% of epoxy resin E-20 is replaced by C9 petroleum resin, and the curing agent system is mixed wherein the polyamide 115 and 3-morpholinopropylamine is mixed at an equal equivalent of active hydrogen and the pigment/binder ratio is controlled at 1.8:1. Meanwhile, the performance of the coating is obviously better than the requirements of "HG/T 4564—2013 surface-tolerant epoxy coatings". The adhesion on wet surface is up to 16.4 MPa and the adhesion on rust surface is up to 15.7 MPa. It has excellent long-lasting corrosion resistance. The coating performance test on surface-tolerance surface shows that it can be applied at a dry film thickness of 250 μm or more, and the surface of the paint film is free of abnormalities. It meets the coating requirements of high-build coatings and has

作者简介:徐科(1985—),男,硕士,工程师,主要从事重防腐涂料的开发研究。

excellent construction performance.

Key words: epoxy resin; solid petroleum resin; polyamide; 3-morpholinopropylamine; surface-tolerance

低表面处理涂料主要针对在不可能完全达到喷砂级别 Sa2.5 (ISO 8501-1:1988) 时,可以涂覆在手工或动力工具打磨到 St2 和 St3 级别的表面和高压水喷射除锈表面以及在潮湿环境下或含有水膜表面的涂料^[1]。该类涂料作用的基本原理是采用渗透性较好的树脂为基料,配合渗透剂、极性溶剂使涂料具有良好的渗透性,能充分浸润和渗透锈层,并将其封闭,形成稳定的涂层。该类涂料必须具有良好的附着力和渗透性,足够的柔韧性,对旧涂层影响较小并且可以容忍较差的气候条件等特点^[2]。环氧树脂涂料体系是目前应用量最多、范围最广的重防腐涂料体系,尤其是低相对分子质量的液体环氧树脂,是高固体分及无溶剂重防腐涂料的常用树脂。在带锈涂装方面,环氧带锈涂料的制备是较成熟的技术,而带水涂装方面,双酚 A 型环氧树脂的结构中带有大量含有极性的羟基和醚键,即使在含水表面,也有较高的附着力,是带湿带锈涂料基体树脂的最好选择^[3]。随着社会经济的发展,对低表面处理涂料性能的要求进一步提高,逐渐向高性能长效防腐、高固含无溶剂化、绿色环保化、多底材通用性和多功能化方向发展^[4]。20 世纪末,国外就开发出成熟的多功能低表面处理环氧涂料产品,如:IP 的 Interseal 670HS、Jotun 的 Jotamastic 87、PPG 的 Ameron 400 和 Sigmacover 620 等。

我国从 20 世纪 70 年代就出现了带锈涂料,开始发展一直很缓慢,自主研发的带水带锈低表面涂料大多产品功能单一,应用局限性大,防腐效果不持久。随着近几年环保压力的加大,很多新建或维保的钢结构设施不允许或不适合采用喷砂进行表面处理,对低表面处理涂料的需求逐渐增大,国内学者也在不断积极探索低表面处理涂料领域。伍小军等^[5]以双酚 A 型 828 树脂为基本树脂,采用腰果壳油改性胺类环氧固化剂和酮亚胺类固化剂进行有机结合,配以碳氢石油树脂、疏水性气相二氧化硅和硅烷偶联剂制备了可在飞溅区施工应用的环氧湿固化涂料。陈伟胜等^[6]以环氧树脂 E-51 为主剂,以自制改性多胺为固化剂,辅以增韧剂制备了潮湿基面用无溶剂环氧封闭底漆。方健君等^[7]以双酚 F 环氧树脂、活性稀释剂、非活性稀释剂、特定的填料和助剂作为 A 组分,以改性酰胺基胺和酚醛胺作为固化剂,研制一种可水下施工固化的环氧涂料,该涂料在水下施工

固化后具有优异的湿态附着力、防腐性能和抗阴极剥离性能,能够满足水下使用的要求。方倩等^[8]以低黏度环氧树脂和腰果油改性胺固化剂为成膜物,选择合适的防锈颜填料、溶剂、助剂,制备了一种能够在含有少量锈、水(湿气)、油的底材表面上使用的涂料,该涂层不仅能够直接在带锈带湿带油的底材表面上进行良好的施工,而且具有长效的防腐性能。虽然之前学者们研制的低表面涂料性能优异,但其适用的低表面种类均存在一定局限性,本研究的低表面环氧涂料具备较为广泛的低表面适用性,能满足多种低表面特异性,同时配方成本较低,具有较高的应用推广价值。本研究立足环氧树脂体系,以 HG/T 4564—2013《低表面处理容忍性环氧涂料》为基础参照,从固体石油树脂的用量、环氧树脂筛选和相容性考察、环氧固化剂的选择和复配,到涂层颜基比的确定,制备了一种综合性能与国外同类低表面处理环氧涂料相当,而长效防腐性能尤其是带锈表面的防腐性能更为优异的低表面处理环氧涂料,其涂装施工性能优异,满足厚浆型涂料要求。

1 实验部分

1.1 原料和仪器

环氧树脂 E-20(75%)、环氧树脂 E-44(100%)、环氧树脂 E-51(100%):工业级,江苏三木;聚酰胺(115、125、140):工业级,亨斯曼;酚醛胺:工业级,卡德莱化工;分散剂 ANTI-TERRA-U:工业级,毕克助剂(上海)有限公司;触变剂:工业级,浙江青虹新材料有限公司;体质填料(滑石粉、硫酸钡):工业级,山东淄博雍滨矿石;铁红:工业级,上海一品颜料有限公司;铝粉:工业级,章丘金属颜料有限公司;钛白粉:工业级,中国攀钢集团钛业有限公司;N-(3-氨基丙基)吗啉(CAS:123-00-2):工业级,武汉远成共创科技有限公司;二甲苯、丙二醇甲醚:工业级,市售。

数显分散机:T25, IKA;盐雾箱:CCT/600,美国 Q-LAB 公司;无空气喷涂机:QPT6525K,中国船舶重工集团长江科技有限公司。

1.2 实验部分

1.2.1 涂料的制备

按表 1 配方预先将 C9 石油树脂用部分二甲苯制

表1 低表面处理环氧涂料A组分基础配方

Table 1 Basic formula of surface-tolerant epoxy coating component A

原料	w/%
环氧树脂	20~30
C9石油树脂	5~15
分散剂	0.5~1
防锈颜料	5~20
填料	35~45
触变剂	1~5
二甲苯	5~10
丙二醇甲醚	5~10

成石油树脂液,将环氧树脂、石油树脂液、分散剂、触变剂、防锈颜料、填料、剩余二甲苯和部分丙二醇甲醚混合均匀后,研磨至细度不大于 $60\text{ }\mu\text{m}$,加入剩余丙二醇甲醚,高速搅拌均匀后即低表面处理环氧涂料的A组分。

1.2.2 低表面样板的制备

(1)带锈表面样板的制备

取3 mm厚冷轧钢板除油清洗后喷砂至表面清洁度达到Sa2.5,按GB/T 1771—2007的规定进行14 d盐雾试验,取出后用约 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水边冲边用尼龙刷刷洗3 min后,再用自来水边冲边用尼龙刷刷洗5 min,然后在 $(105\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 条件下烘1 h,用气动旋转钢丝刷打磨,尽可能除去钢板表面锈迹,保留牢固附着的锈迹,用压缩空气吹去表面浮灰后,即制得带锈表面样板。

(2)潮湿表面样板的制备

取3 mm厚冷轧钢板除油清洗后喷砂至表面清洁度达到Sa2.5,用自来水冲洗喷砂表面1 min,用压缩空气吹去表面多余水分,即制得潮湿表面样板。

将固化剂B组分按A与B质量比8:1加入到A组分中,混合均匀后,空气喷涂在上述制备的低表面样板上,分2道喷涂,控制每道涂层干膜厚度 $100\sim 125\text{ }\mu\text{m}$,总膜厚 $200\sim 250\text{ }\mu\text{m}$ 。

1.3 测试与表征

1.3.1 耐盐雾试验

按GB/T 1771—2007将制备的低表面样板放入盐雾箱中,1 000 h后取出,表面用水冲洗干净,自然晾干后,根据ISO 4628—2003《色漆和清漆涂层破坏的评定》的要求对涂层进行评定。

1.3.2 耐水试验

按GB/T 1733—1993将制备的低表面样板放入

去离子水中,240 h浸水试验后,取出样板用滤纸擦干,在散射日光下目视观察漆膜,未出现起泡、起皱、脱落、生锈、明显失光和明显变色等漆膜异常现象,则评为“无异常”。

1.3.3 低表面涂装试验

(1)St2表面涂装性能:选择表面有锈蚀的 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 冷轧钢板,手动打磨至表面清洁度到St2等级,作为涂装试验面,用无空气喷涂方法涂装施工1道。如果漆膜表面平整,外观正常,并且与底材的拉开法附着力 $\geq 3\text{ MPa}$,则评为“无异常”。

(2)潮湿表面涂装性能:取 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 冷轧钢板除油清洗后喷砂至表面清洁度达到Sa2.5,用自来水冲洗喷砂表面1 min,用压缩空气吹去表面多余水分,作为涂装试验面,用无空气喷涂方法涂装施工1道。如果漆膜表面平整,外观正常,并且与底材的拉开法附着力 $\geq 3\text{ MPa}$,则评为“无异常”。

(3)旧涂层表面涂装性能:取户外暴晒2 a以上的与底材附着良好的环氧涂料样板,样板大小 $500\text{ mm}\times 500\text{ mm}$,用刷子将表面清理干净,用砂纸手动打磨去除旧漆膜表面粉化层作为涂装试验面,采用无空气喷涂方法涂装施工1道。如果漆膜表面平整,无咬起、起皱等异常现象,并且与旧漆膜间划格试验 ≤ 1 级,则评为“无异常”。

1.3.4 其他性能测试

按GB/T 1728—1979测试干燥时间,表干按乙法,实干按甲法;按GB/T 6742—2007测试柔韧性;按GB/T 1732—1993测试耐冲击性;按GB/T 5210—2006测试附着力(拉开法);按GB/T 9286—1998测试附着力(划格法)。

2 结果与讨论

2.1 树脂的选择

本研究选用双酚A型环氧树脂E-51、E-44、E-20混合一定量的C9石油树脂作为基体树脂。取10%总树脂量的C9树脂先制成溶液再加入到环氧树脂中,以聚酰胺115作为基础固化剂,分散均匀制成清漆,用混合溶剂兑稀到合适黏度,采用空气喷涂法制成清漆漆膜,根据相容性初步筛选合适的基体树脂体系,结果见表2。

由表2可以看出,在同一固化剂下,从清漆固化前后状态和固化后漆膜状态可以看出,E-20与C9石油

表2 C9石油树脂与环氧树脂的相容性

Table 2 Compatibility of C9 petroleum resin and epoxy resin

项目	E-51	E-44	E-20
相容性	清漆浑浊,放置 25 min 后开始分层;固化后明显可见 2 层,上层树脂颜色深,下层透明。	清漆浑浊,放置 30 min 后开始分层;固化后明显可见 2 层,上层树脂颜色深,下层透明。	清漆微浑浊,放置 1 h 未见分层;固化后分层不明显,整体颜色澄清均一。
漆膜状态(固化)	干漆膜明显可见树脂分相	干漆膜明显可见树脂分相	干漆膜未见树脂分相,漆膜略微浑浊但整体颜色澄清均一

树脂相容性较E-51和E-44好,这与环氧树脂E-20本身的分子极性比E-51和E-44小有关。选择与C9石油树脂相容性更好的环氧树脂E-20作为基体树脂对涂层本身的性能有一定提高,同时环氧树脂E-20的分子链段较E-44、E-51长,交联密度低,其制备的涂层柔韧性更好,能较好地润湿低表面底材,提供优异的附着力,对旧涂层和带锈表面的适应性更优异。

参照 1.2.1 基础配方,以环氧树脂E-20与不同用量(占树脂总质量)的C9石油树脂制备A组分,以聚酰胺115作为基础固化剂,采用空气喷涂法制成样板,根据涂层干燥时间、附着力(划格法)、柔韧性和耐冲击性测试筛选合适的树脂体系,结果见表3。

由表3可以看出,随着C9石油树脂用量的增加,涂层的干燥时间缩短,但附着力、柔韧性和耐冲击性均有一定程度的下降。根据HG/T 4564—2013各项物理性能指标,C9树脂占树脂总量20%以下时均满足要求,超过20%时其耐冲击性不满足要求。结合考虑配方成本因素,选择C9石油树脂占树脂总量20%这一比例。

2.2 固化剂的选择

对低表面处理底材的润湿、渗透性是低表面处理涂料配方设计的关键要点,也是低表面处理涂料发生作用的基础。在确定树脂体系的基础上,固化剂体系选择主要依据涂层在低容忍性表面上的润湿程度和附着力大小。参照 1.2.1 基础配方制备A组分,选用常用的综合性能较优异的聚酰胺115、125、

表3 不同用量C9石油树脂对涂膜性能的影响

Table 3 Effect of different dosage of C9 petroleum resin on coating properties

项目	C9石油树脂用量/%					
	10	15	20	25	30	35
表干时间/h	2.5	2.5	2	2	1.5	1
实干时间/h	6.5	6	6	6	5	4
附着力(划格法)/级	0	0	0	0	1	2
柔韧性/mm	1	2	2	2	3	3
耐冲击性/cm	50	50	50	40	40	30

140和酚醛胺作为固化剂,按 1.2.2 要求制样,进行涂层外观和附着力性能测试,结果见表4。

从表4可以看出,聚酰胺115由于分子链链段最长,与环氧树脂E-20固化后形成网络结构空间结构最大,交联大分子极性相对较小,潮湿表面的水分子在涂层固化过程中易于迁移,同时其分子柔性最好,在表面能低的带锈表面能较好的润湿铺展,可以提高对低容忍性表面的附着力。聚酰胺125、聚酰胺140其链段较短,极性较115强,对低表面能的带锈表面难以润湿,同时对水分子的亲和力较高,不利于水分子迁移,所以在低表面底材上的涂层外观均存在一定缩孔,附着力下降得极为明显。酚醛胺是环氧固化剂中应用较为广泛的一种,分子结构中含有大量刚性苯环,固化后分子结构柔韧性差、刚性强,交联密度高,不利于潮湿表面水

表4 固化剂种类对涂层性能的影响

Table 4 Effect of different kinds of curing agents on coating properties

项目	表面状态	固化剂			
		聚酰胺 115	聚酰胺 125	聚酰胺 140	酚醛胺
涂层外观	Sa2.5 表面	表面平整	表面平整	表面平整	表面平整
	潮湿表面	表面平整	表面平整	少量缩孔	表面平整
	带锈表面	表面平整	少量缩孔	大量缩孔	少量缩孔
附着力(拉开法)/MPa	Sa2.5 表面	16.0	16.6	17.1	15.8
	潮湿表面	14.1	11.7	9.4	12.6
	带锈表面	13.3	9.4	5.6	6.8

分子的迁移,对带锈表面润湿较差,在带锈表面附着力较差。综合考虑固化剂选用聚酰胺 115。

聚酰胺 115 在高湿度条件下涂层表面容易发黏,在低温条件下固化速度会大幅下降,不利于涂料的推广应用。聚酰胺 115 的相对分子质量大、体系黏度大,在生产厚浆型或高固含涂料存在一定的不便。为改善上述弊端,考虑再选用一种低黏度、能参与环

氧树脂固化,并具备一定催干作用的 *N*-(3-氨丙基)吗啉与聚酰胺进行复配。参照 1.2.1 基础配方制备 A 组分,聚酰胺 115 和 *N*-(3-氨丙基)吗啉以不同比例复配作为固化剂,该配比指理论上聚酰胺 115 和 *N*-(3-氨丙基)吗啉各自固化涂层中环氧树脂量的比例,即各自与环氧官能团反应的活泼氢数量比例,按 1.2.2 要求制样,进行涂层性能测试,结果见表 5。

表 5 不同配比固化剂对涂层性能的影响

Table 5 Effect of different proportion of curing agent on coating properties

项目		固化剂 ⁽¹⁾				
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
表干时间/h		2	2	1.5	1.25	1.2
实干时间/h		6	6	6	5.5	4.5
柔韧性/mm		1	2	2	2	3
耐冲击性/cm		50	50	50	50	40
附着力(划格法)/级		0	0	0	1	2
外观状态	Sa2.5 表面	表面平整	表面平整	表面平整	表面平整	表面平整
	潮湿表面	表面平整	表面平整	表面平整	表面平整	少量缩孔
	带锈表面	表面平整	表面平整	表面平整	表面平整	表面平整
附着力 (拉开法)/MPa	Sa2.5 表面	16.0	19.3	19.7	18.1	16.0
	潮湿表面	14.1	12.6	16.4	11.7	10.8
	带锈表面	13.3	14.4	15.7	14.1	5.2

注:(1)—1[#]:聚酰胺 115;2[#]:聚酰胺 115/*N*-(3-氨丙基)吗啉=3/1;3[#]:聚酰胺 115/*N*-(3-氨丙基)吗啉=1/1;4[#]:聚酰胺 115/*N*-(3-氨丙基)吗啉=1/3;5[#]:*N*-(3-氨丙基)吗啉。

从表 5 可以看出,聚酰胺 115/*N*-(3-氨丙基)吗啉配比 1/1 时涂层的综合物理性能最佳,低容忍性表面附着力最优。*N*-(3-氨丙基)吗啉分子中含有 1 个叔胺、1 个伯胺,具备一定的水溶性,在降低固化剂体系黏度、提高干燥速度的同时,提高涂层对水和湿气容忍性,从干燥时间可以看出其有提高固化速度的作用。从 Sa2.5 表面拉开法附着力可以看出单一 *N*-(3-氨丙基)吗啉作固化剂与单一聚酰胺 115 作固化剂的附着力相当,这与单一固化剂 *N*-(3-氨丙基)吗啉的小分子极性大以及交联密度高有关,带锈表面的超低表面能不利于极性大的分子润湿,导致附着力很低,其水溶性导致涂层在潮湿表面出现缩孔状态。聚酰胺 115 和 *N*-(3-氨丙基)吗啉混合作为固化剂时,涂层在各类表面的附着力均有所提高,大分子聚酰胺 115 给涂层增加柔韧性,小分子 *N*-(3-氨丙基)吗啉给涂层增加强度,综合提升涂层性能。根据 HG/T 4564—2013 各项物理性能指标和低容忍性表面的附着力数据,最佳固化剂体系选用聚酰胺 115/*N*-(3-氨丙基)吗啉=1/1(即聚酰胺 115 和 *N*-(3-氨丙基)吗啉以相等活泼氢量复配)。

2.3 颜基比的确定

以 *m*(环氧树脂 E-20):*m*(C9 石油树脂)=4:1 为树脂体系,聚酰胺 115 和 *N*-(3-氨丙基)吗啉以相等活泼氢量复配作为固化剂体系,改变颜基比,参照 1.2.1 基础配方制备 A 组分,考察不同颜基比对低表面处理环氧涂料性能的影响,结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出,随着颜基比的逐渐增大,涂层综合性能先提高后降低,其中颜基比为 1.8:1 时综合性能最为优异,此时涂层中颜填料体积浓度(PVC)达到或接近临界颜填料体积浓度(CPVC)。根据 HG/T 4564—2013 各项物理性能指标,颜基比为 1.6:1 和 1.8:1 时均满足要求,但 1.8:1 时性能更优异,因此,选择低表面处理环氧涂层最佳颜基比为 1.8:1。

2.4 低表面处理环氧涂料综合性能对比

以 *m*(环氧树脂 E-20):*m*(C9 石油树脂)=4:1 为树脂体系,聚酰胺 115 和 *N*-(3-氨丙基)吗啉以相等活泼氢量复配作为固化剂体系,颜基比为 1.8:1,制得低表面处理环氧涂料,按 1.2.1、1.2.2 要求制样,

表6 不同颜基比对涂层性能的影响

Table 6 Effects of different pigment/binder ratios on coating properties

项目		颜基比			
		1.4:1	1.6:1	1.8:1	2.0:1
表干时间/h		2	2	1.5	1
实干时间/h		8	6.5	6	5
柔韧性/mm		1	1	2	2
耐冲击性/cm		40	50	50	40
附着力(划格法)/级		2	1	1	2
附着力 (拉开法)/MPa	Sa2.5 表面	18.9	19.4	19.7	16.7
	潮湿表面	14.2	14.6	16.4	12.8
	带锈表面	10.1	12.7	15.7	11.6

以 HG/T 4564—2013 指标要求作为基准,同时选用国外同类低表面处理环氧涂料产品进行性能对比,结果见表7。

从表7的数据可以看出,本研究制备的低表面处理环氧涂料与国外同类低表面处理环氧涂料相当,均满足 HG/T 4564—2013 的要求。对比2种涂料在潮湿表面和带锈表面4 200 h耐盐雾、耐盐水性,结果如表8所示。由表8可以看出,2种涂料在潮湿表面的长效防腐性能相近;在带锈表面本品的耐5%盐水的性能比国外同类好。综合对比以上数据,本研究制备的低表面处理环氧涂料性能全面优于 HG/T 4564—2013 要求,各项指标不比国外同类低表面处理环氧涂料差,长效防腐性能更好。

表7 低表面处理环氧涂料综合性能对比

Table 7 Comparison of comprehensive performance of surface-tolerant epoxy coating















项目		性能指标		
		标准	本品	同类产品
不挥发物含量/%		≥80	85	90
表干时间/h		≤4	1.5	1.5
实干时间/h		≤24	6	6
柔韧性/mm		≤2	2	1
耐冲击性/cm		50	50	50
耐水性(240 h)		无异常	无异常	无异常
耐盐雾(1 000 h)		无起泡、生锈、开裂、剥落等现象	无起泡、生锈、开裂、剥落等现象	无起泡、生锈、开裂、剥落等现象
与旧漆膜相容性		无异常	无异常	无异常
附着力 (拉开法)/MPa	Sa2.5 表面	≥3	19.7	15.2
	潮湿表面	≥3	16.4	11.6
	带锈表面	≥3	15.7	12.3

表8 涂层低表面的长效防腐性能对比

Table 8 Comparison of long-term corrosion resistance of surface-tolerance of coating

项目	耐盐雾试验(4 200 h)				耐5%盐水试验(4 200 h)			
	潮湿表面		带锈表面		潮湿表面		带锈表面	
产品	本品	同类产品	本品	同类产品	本品	同类产品	本品	同类产品
表面状态	板面未见异常,板面剥离后未见明显锈蚀	板面未见异常,板面剥离后未见明显锈蚀	板面未见异常,板面剥离后未见明显锈蚀	板面出现鼓泡;整个板面漆膜剥离后有明显锈蚀	划槽处未见异常,板面未见异常,板面剥离后未见明显锈蚀	划槽处未见异常,板面未见异常,板面剥离后未见明显锈蚀	划槽处未见异常,板面未见异常;离划槽处近的较易剥离,并出现明显锈蚀	板面边缘出现鼓泡,划槽处未见异常;整个板面漆膜较易剥离并出现明显锈蚀

(续表8)

项目	耐盐雾试验(4 200 h)				耐5%盐水试验(4 200 h)			
	潮湿表面		带锈表面		潮湿表面		带锈表面	
图片	未剥离							
	剥离							

2.5 低表面涂装性能

以 $m(\text{环氧树脂 E-20}):m(\text{C9 石油树脂})=4:1$ 为树脂体系,聚酰胺 115 和 $N-(3\text{-氨丙基})$ 吗啉以相等

活泼氢量复配作为固化剂体系,颜基比为 1.8:1,制得低表面处理环氧涂料,按 1.3.3 要求在各类低表面进行无气喷涂涂装试验,试验结果见表 9。

表 9 低表面处理环氧涂料涂装性能试验

Table 9 Coating performance test of surface-tolerance epoxy coating

项目	涂装性能		
	St2 表面涂装	潮湿表面涂装	旧涂层表面涂装
无气喷涂试验	进气压 0.3 MPa, 漆液雾化效果好	进气压 0.3 MPa, 漆液雾化效果好	进气压 0.3 MPa, 漆液雾化效果好
涂层表面状态	漆膜平整,无异常,干膜厚度 250 μm 不流挂	漆膜平整,无异常,干膜厚度 300 μm 不流挂	漆膜平整,无异常,干膜厚度 300 μm 不流挂
附着力	拉开法附着力 10.4 MPa	拉开法附着力 12.7 MPa	划格法附着力 1 级

从表 9 可以看出,低表面处理环氧涂料在 St2 表面、潮湿表面、旧涂层表面这 3 类低表面处理底材表面具备一次施工膜厚可达 250 μm 以上,漆膜表面无异常,附着力较高,满足厚浆型涂料的涂装要求。这说明该涂料具备良好的低表面处理的施工性能,具备一定的推广应用基础。

3 结 语

(1)以 $m(\text{环氧树脂 E-20}):m(\text{C9 石油树脂})=4:1$ 为树脂体系,聚酰胺 115 和 $N-(3\text{-氨丙基})$ 吗啉以相等活泼氢量复配作为固化剂体系,颜基比为 1.8:1,制得低表面处理环氧涂料。该涂料各项性能指标明显优于 HG/T 4564—2013 的要求,且与国外同类产品相近,长效防腐性能同比更优异。

(2)该涂料在 St2 表面、潮湿表面、旧涂层表面具备一次施工膜厚可达 250 μm 以上,漆膜表面无异常,附着力高,满足厚浆型涂料的涂装要求,施工性能优异。

(3)配方选用 C9 石油树脂替代部分环氧树脂,降低环氧固化剂用量,颜基比较高,综合配方成本相对同类型低表面处理环氧涂料较低,该涂料的使用可

以降低钢结构防腐涂层涂装的前处理成本,满足钢结构设施维保需求,具备较好的市场前景。

参考文献

- [1] 刘新. 高性能低表面涂料[J]. 中国涂料, 2004, 19(11): 42-45.
- [2] 杨万国, 贾思洋, 张波, 等. 低表面处理涂料的研究现状与发展前景[J]. 现代涂料与涂装, 2011, 14(2): 24-27.
- [3] 李伟华, 田惠文, 宗成中, 等. 低表面处理涂料的配方设计和研究进展[J]. 涂料工业, 2008, 38(2): 50-54.
- [4] 常道阳, 黄晓峰, 李运德. 浅谈低表面处理涂料的现状与发展方向[J]. 中国涂料, 2016, 31(2): 7-9.
- [5] 伍小军, 曾超, 王意松. 环氧湿固化涂料的研制与应用[J]. 中国涂料, 2016, 31(1): 42-45.
- [6] 陈伟胜, 刘一鸣, 刘秉涛. 潮湿基面用环氧封闭底涂料的性能研究[J]. 中国建筑防水, 2016(1): 1-5.
- [7] 方健君, 覃远斌, 马胜军, 等. 水下施工固化环氧涂料的研究[J]. 涂料工业, 2014, 44(8): 1-6.
- [8] 方倩, 郭常青, 张善贵, 等. 新型带锈带湿带油涂装涂料的研制[J]. 涂料工业, 2014, 44(2): 1-6.

收稿日期 2019-02-20(修改稿)