

抗流挂性水性环氧富锌底漆的制备

李德斌, 贺玉平, 陈翔宇, 袁 骥, 冯铮钢

(株洲飞鹿高新材料技术股份有限公司, 湖南 株洲 412005)

[摘 要] 为制备防腐性能和抗流挂性能优良的水性环氧富锌底漆,以环氧树脂、水性环氧固化剂、固化剂促进剂、锌粉、有机膨润土、气相二氧化硅和聚酰胺蜡等制备了水性环氧富锌底漆。研究了环氧树脂、固化剂促进剂对涂料防腐性能的影响,通过三水平三因素正交试验研究了有机膨润土、气相二氧化硅和聚酰胺蜡用量对水性环氧富锌底漆抗流挂性能的影响。结果表明:采用 E51 环氧树脂、固化剂促进剂添加量 1.0%、聚酰胺蜡添加量 0.8%、有机膨润土添加量 1.5%、气相二氧化硅添加量 0.4%时,各项性能达到了溶剂型环氧富锌涂料的指标。

[关键词] 水性环氧富锌底漆; 抗流挂性; 防腐性能; 制备

[中图分类号] TQ632.1 **[文献标识码]** A **doi:** 10.16577/j.issn.1001-1560.2023.0015

[文章编号] 1001-1560(2023)01-0094-04

Preparation of Anti-Sagging Waterborne Epoxy Zinc-Rich Primer

LI De-bin, HE Yu-ping, CHEN Xiang-yu, YUAN Su, FENG Zheng-gang

(Zhuzhou Feilu High-tech Materials Co., Ltd., Zhuzhou 412005, China)

Abstract: In order to prepare a waterborne epoxy zinc-rich primer with excellent corrosion resistance and sagging resistance, a waterborne epoxy zinc-rich primer was prepared using epoxy resin, waterborne epoxy curing agent and relevant accelerator, zinc powder, organic bentonite, fumed SiO_2 and polyamide wax. The effects of epoxy resin and waterborne epoxy curing agent accelerator on the corrosion resistance of coating were studied, and the orthogonal test with three factors and three levels was used to analyze the influences of different dosages of organic bentonite, fumed SiO_2 and polyamide wax on the sagging resistance of the waterborne epoxy zinc-rich primer. Results showed that when E51 epoxy resin was used, the curing agent accelerator was 1%, polyamide wax was 0.8%, organic bentonite was 1.5%, and fumed SiO_2 was 0.4%, all performance index met the requirements for solvent zinc-rich primer.

Key words: waterborne epoxy zinc-rich primer; sagging resistance; corrosion resistance; preparation

0 前 言

溶剂型环氧富锌底漆具有优异的耐腐蚀性能,对钢材具有优异的保护作用,广泛应用于钢结构防腐蚀领域^[1,2]。但是,溶剂型环氧富锌底漆挥发性有机物(VOC)含量高,在施工和干燥固化过程中释放出大量的 VOC,对环境污染严重,对施工人员造成伤害。因此,低污染、环保型涂料的开发和应用受到普遍关注^[3]。水性环氧富锌底漆不但具有溶剂型环氧富锌底漆的耐腐蚀性能,而且具有 VOC 含量低、环保安全等优点,逐渐替代溶剂型环氧富锌底漆成为钢结构防腐的主导产品^[4]。目前,对水性环氧富锌底漆防腐性能的研究比较多,通过石墨烯、碳纳米管等新材料加入到水性环氧富锌底漆中^[5,6],减少锌粉含量,涂膜依然有很好的防腐蚀性能,提高了锌粉利用率,减少了锌资源

的浪费和环境污染;对水性环氧富锌底漆的施工性能研究较少,水的挥发速度比溶剂慢,锌粉比重大容易沉降,因此,水性环氧富锌底漆的抗流挂性能也是配方设计中的一大难题。

本工作以环氧树脂、水性环氧固化剂、片状锌粉和其他组份,通过设计正交试验优选出最佳抗流挂性的水性环氧富锌底漆配方,考察了涂膜的附着力、耐冲击性、早期耐水性和耐盐雾性等性能,制备出的水性环氧富锌底漆,既满足环保要求,又能达到传统溶剂型环氧富锌底漆的防腐蚀性能。

1 试 验

1.1 材 料

主要原材料包括 BANCO 903 水性环氧固化剂、乙

[收稿日期] 2022-07-20

[通信作者] 李德斌(1983-),工程师,主要从事工业防腐涂料及环保涂料的研发与应用, E-mail: allen0925@126.com

二醇丁醚、ADDITTOL VXW 6208/60 分散剂、DMP - 30 固化剂促进剂、AEROSIL R-972 气相二氧化硅、Bentone SD-2 有机膨润土、1000 目片状锌粉(包膜)、E51 环氧树脂、丙二醇甲醚。

1.2 分析测试

按表 1 中的检测项目,根据 GB/T 1727-1992 中 6.2 喷涂法制备测试板,附着力和耐盐雾性能用喷砂钢板检测,在 GB/T 9278-1998 规定的温度和湿度下干燥 7 d 后进行各项性能测试。

表 1 漆膜性能检测项目				
Table 1 Test items of paint film performance				
检测项目	干膜厚度/ μm 或双组分混合	底材类型	样板尺寸/mm	检测标准
实干时间	45 $\pm$ 5	钢板	150.0 $\times$ 70.0 $\times$ (0.8~1.5)	GB/T 1728
附着力	90 $\pm$ 10	喷砂钢板	150.0 $\times$ 70.0 $\times$ (3.0~6.0)	GB/T 1720
耐冲击性	45 $\pm$ 5	马口铁板	120.0 $\times$ 50.0 $\times$ (0.2~0.3)	GB/T 1732
早期耐水性	45 $\pm$ 5	钢板	150.0 $\times$ 70.0 $\times$ (0.8~1.5)	HG/T 3668 中 5.4.13
耐盐雾性	90 $\pm$ 10	喷砂钢板	150.0 $\times$ 70.0 $\times$ (3.0~6.0)	GB/T 1771
适用期	甲乙组分混 合 300 mL	-	-	GB/T 31416
不挥发物含量	甲乙组分混合	-	-	GB/T 1725
流挂性	甲乙组分混合	-	-	GB/T 9264

1.3 涂料制备

水性环氧富锌底漆配方见表 2。

表 2 涂料配方		
Table 2 Paint formula		
组分	原材料名称	质量分数/%
甲组分	BANCO 903 水性环氧固化剂	2.0~20.0
	乙二醇丁醚	2.0~10.0
	去离子水	5.0~15.0
	ADDITTOL VXW 6208/60 分散剂	1.0~4.0
	DMP - 30 固化剂促进剂	0.5~2.0
	AEROSIL R-972 气相二氧化硅	0.2~1.0
	Bentone SD-2 有机膨润土	0.5~3.0
	聚酰胺蜡	0.2~2.0
	1000 目片状锌粉	30.0~85.0
乙组分	环氧树脂	60.0~90.0
	丙二醇甲醚	5.0~40.0

甲组分的制备:将 BANCO 903 加入搅拌釜中,在搅拌状态下依次加入乙二醇丁醚、ADDITTOL VXW 6208/60、DMP - 30、AEROSIL R-972、Bentone SD-2 和锌粉,然后以 800 r/min 搅拌 20 min,即得均匀水性环氧

富锌底漆甲组分;

乙组分的制备:将环氧树脂、丙二醇甲醚加入搅拌釜中,以 500 r/min 搅拌 20 min,搅拌均匀后,即得水性环氧富锌底漆乙组分。

2 结果与讨论

2.1 环氧树脂的选择

环氧树脂对漆膜的耐腐蚀性能和干燥时间起着至关重要的作用。不同分子量的环氧树脂对涂料的适用期、干燥时间、漆膜的交联密度和防腐蚀性性能有不同的影响。液体环氧树脂分子量小,较容易被水性环氧固化剂乳化,与固化剂混合成膜交联密度大,脆性大,适用期长,防腐性能好,但是存在干燥时间长的缺陷;环氧树脂分子量大,不容易被水性环氧固化剂乳化,与固化剂混合成膜交联密度小,柔韧性好,但是适用期短。实验采用 E51、E44、E20 3 种不同环氧树脂与水性环氧固化剂配比,测试漆膜的适用期、实干时间和盐雾性能,见表 3。由表 3 可知,采用 E51 环氧树脂与水性环氧固化剂搭配,涂料的适用期最长,耐盐雾性能最好,但是存在实干时间长的缺陷,不方便施工。

表 3 不同环氧树脂与水性环氧固化剂搭配对漆膜性能的影响

Table 3 Effect of different epoxy resin and waterborne epoxy curing agent on the properties of paint film

环氧树脂型号	E51	E44	E20
环氧树脂与固化剂质量配比	0.82 : 1.00	1.00 : 1.00	2.10 : 1.00
双组分适用期/h	8	5	1
实干时间/h	48	24	5
耐盐雾性能/h	1 000	480	96

2.2 固化剂促进剂用量的选择

液体环氧树脂与水性环氧固化剂搭配,漆膜具有较好的防腐性能,但是存在实干时间长的缺陷,不利于施工。可以采用在配方中加入 DMP - 30 固化剂促进剂加速树脂与固化剂的反应,缩短实干时间,实验测试了 E51 : 水性环氧固化剂 = 0.82 : 1.00 时,在配方中加入不同量的 DMP - 30 固化剂促进剂对涂料适用期、实干时间的影响,见表 4。由表 4 可知,DMP-30 固化剂促进剂在配方中加量为 1.0%时,涂料的双组分适用期 6 h,实干时间 12 h,方便施工。DMP - 30 固化剂促进剂加量多,能缩短漆膜的实干时间,但是也缩短了涂料的双组分适用期,不利于施工;DMP - 30 固化剂促进剂加量少,实干时间长,不利于后面工序的施工。因此,DMP - 30 固化剂促进剂在配方中的最佳用量是 1.0%。

表 4 固化剂促进剂用量对漆膜性能的影响

Table 4 Effect of the amount of curing agent and accelerator on the properties of paint film

DMP-30 固化剂促进剂用量/%	0.5	1.0	1.5
双组份适用期/h	7	6	2
实干时间/h	36	12	4

2.3 防流挂体系的选择

水性环氧富锌底漆施工过程中的抗流挂性能是一个普遍问题^[1],主要是因为漆膜中水分的挥发性比溶剂慢,且与施工环境的温度、湿度影响较大,锌粉比重也大,容易出现流坠。本试验采用有机膨润土、气相二氧化硅和聚酰胺蜡作为防流挂体系,并通过正交试验考察了有机膨润土、气相二氧化硅和聚酰胺蜡的不同用量对对漆膜抗流挂性能的影响。三因素三水平的正交试验因素水平表见表 5,以流挂性作为考核性能指标,试验结果见表 6。

表 5 三因素三水平的正交试验表 $L_9(3^3)$

Table 5 Orthogonal test table of three factors and three levels $L_9(3^3)$

因素	A 有机膨润土/%	B 气相二氧化硅/%	C 聚酰胺蜡/%
水平 1	0.5	0.4	0
水平 2	1.0	0.6	0.4
水平 3	1.5	0.8	0.8

表 6 正交试验结果

Table 6 Orthogonal test results

试验号	A	B	C	流挂性/ μm
1	1	1	1	25
2	1	2	2	25
3	1	3	3	150
4	2	2	3	150
5	2	3	1	25
6	2	1	2	50
7	3	3	2	75
8	3	1	3	200
9	3	2	1	25
K_1	200	275	75	
K_2	225	200	150	
K_3	300	250	500	
k_1	66.67	91.67	25.00	
k_2	75.00	66.67	50.00	
k_3	100.00	83.33	166.67	
极差 R	33.32	25.00	141.67	
优水平	A3	B1	C3	
优组合	A3B1C3			

由表 6 可知,有机膨润土、气相二氧化硅和聚酰胺蜡对水性环氧富锌底漆的抗流挂性能影响依次是:聚酰胺蜡、有机膨润土、气相二氧化硅。甲组分中最佳添加量是:有机膨润土 1.5%、气相二氧化硅 0.4%、聚酰胺蜡 0.8%,漆膜的抗流挂性能最好。

2.4 水性环氧富锌底漆性能测试

优化后的配方见表 7,按照表 7 制备水性环氧富锌底漆,与公司溶剂型环氧富锌底漆性能对比见表 8,由表 8 结果可知,水性环氧富锌底漆的性能达到了溶剂型环氧富锌底漆指标,且在施工状态下,水性环氧富锌底漆溶剂挥发少。

表 7 优化后配方

Table 7 Formula after optimization

组分	原材料名称	质量分数/%
甲组分	BANCO 903 水性环氧固化剂	13.0
	乙二醇丁醚	2.0
	去离子水	9.3
	ADDITOL VXW 6208/60 分散剂	2.0
	DMP-30 固化剂促进剂	1.0
	AEROSIL R-972 气相二氧化硅	0.4
	Bentone SD-2 有机膨润土	1.5
乙组分	聚酰胺蜡	0.8
	1 000 目片状锌粉	70.0
	E51 环氧树脂	85.0
	丙二醇甲醚	15.0

表 8 环氧富锌底漆性能对比

检测项目		性能测试结果		检测标准
		水性环氧富锌底漆	溶剂型环氧富锌底漆	
不挥发物含量/%	≥ 70	79	83	GB/T 1725
适用期/h	≥ 5	6	6	HG/T 31416
实干时间/h	≤ 24	12	16	GB/T 1728
抗流挂性/ μm	≥ 150	200	200	GB/T 1723
附着力/MPa	≥ 5.0	9.8	9.0	GB/T 5210
耐冲击性/($\text{N}\cdot\text{cm}$)	≥ 500	500	500	GB/T 1732
早期耐水性/h	无异常	无异常	无异常	HG/T 3668 中 5.4.13
耐盐雾性/h	600 h 不生锈不开裂不剥离	1 000 h 不生锈不开裂不剥离	1 000 h 不生锈不开裂不剥离	GB/T 1771

3 结 论

(1) 本试验采用水性环氧固化剂乳化 E51 环氧树

脂,添加 1.0%的固化剂促进剂制备的水性环氧富锌底漆具有优异的物理性能和防腐蚀性能,各项性能指标达到了溶剂型环氧富锌涂料的指标。

(2)当聚酰胺蜡用量 0.8%、有机膨润土用量 1.5%、气相二氧化硅用量 0.4%时,水性环氧富锌底漆抗流挂性能最好。

[参 考 文 献]

- [1] 刑宏楠,顾广新,武 玲,等. 水性环氧富锌底漆抗流挂性的研究[J]. 涂料工业,2017,47(2):1-6.
XING H N, GU G X, WU L, et al. Study on Sag Resistance of Waterborne Epoxy Zinc-Rich Primer[J]. Paint & Coatings Industry, 2017, 47(2): 1-6.
- [2] 雷亚红,吴 荣,吴四伍,等. 水性环氧富锌防腐涂层的研制[J]. 材料保护,2015,48(9):45-46.
LEI Y H, WU R, WU S W, et al. Preparation of waterborne epoxy zinc - rich coatings[J]. Materials Protection, 2015, 48(9): 45-46.
- [3] 袁朝阳,乌良汉,黄训文,等. 水性环氧富锌防腐底漆的制备[J]. 材料保护,2020,53(2):88-92.

YUAN Z Y, WU L H, HUANG X W, et al. Preparation of waterborne epoxy zinc - rich anticorrosive primer[J]. Materials Protection, 2020, 53(2): 88-92.

- [4] 李志杰,杨 鹏,谢 飞,等. 新型高耐盐雾水性环氧富锌底漆的制备[J]. 中国涂料,2019,34(11):24-28.
LI Z J, YANG P, XIE F, et al. Preparation of a new waterborne epoxy zinc - rich primer with high salt fog resistance[J]. China Coatings, 2019, 34(11): 24-28.
- [5] 刘佳明,洪 研,吴雨晨,等. 石墨烯对水性环氧富锌涂料中锌粉的取代能力研究[J]. 涂料工业,2020,50(1):14-19.
LIU J M, HONG Y, WU Y S, et al. The study on the corrosion resistant property of graphene modified waterborne zinc-rich epoxy coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2020, 50(1): 14-19.
- [6] 刘恒豪,孙 静,江 拥. 碳纳米管对水性环氧富锌防腐涂料防腐性能的影响[J]. 涂料工业,2019,49(8):23-28.
LIU H H, SUN J, JIANG Y. Effect of carbon nanotubes on corrosion resistance of waterborne epoxy zinc rich anticorrosive coatings[J]. Paint & Coatings Industry, 2019, 49(8): 23-28.
- [编校:董 雪]

(上接第 93 页)

- [14] BAE S, KIM H, LEE Y, et al. Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes[J]. Nature Nanotechnology, 2010, 5(8): 574-578.
- [15] BUBNOVA O. A decade of R2R graphene manufacturing[J]. Nature Nanotechnology, 2021, 16(10): 1 050.
- [16] 张朝华,付 磊,张艳锋,等. 石墨烯催化生长中的偏析现象及其调控方法[J]. 化学学报,2013,71(3):308-322.
ZHANG Z H, FU L, ZHANG Y F, et al. Segregation Phenomenon and Its Control in the Catalytic Growth of Graphene[J]. Acta Chimica Sinica, 2013, 71(3): 308-322.
- [17] 魏博远. 高熵合金基底 CVD 石墨烯生长规律及微观机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
WEI B Y. Research on the microscopic mechanism of graphene growth by high entropy alloy based CVD[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.
- [18] YE X, LONG J, LIN Z, et al. Direct laser fabrication of large-area and patterned graphene at room temperature[J]. Carbon, 2014, 68: 784-790.
- [19] YE X, LIN Z, ZHANG H, et al. Protecting carbon steel

from corrosion by laser in situ grown graphene films[J]. Carbon, 2015, 94: 326-334.

- [20] YE X H, YU F, CURIONI M, et al. Corrosion resistance of graphene directly and locally grown on bulk nickel substrate by laser irradiation[J]. Rsc Advances, 2015, 5(45): 35 384-35 390.
- [21] CHAE S J, Güneş F, KIM K K, et al. Synthesis of large-area graphene layers on polynickel substrate by chemical vapor deposition: wrinkle formation[J]. Advanced Materials, 2009, 21(22): 2 328-2 333.
- [22] 叶晓慧. 激光快速原位制备石墨烯及其耐腐蚀性研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.
YE X H, Rapid Laser In-situ Growth of Graphene and Its Anti-corrosion Performance[D]. Beijing: Tsinghua University, 2015.
- [23] 王矜奉. 固体物理教程[M]. 济南: 山东大学出版社, 2013: 140-148.
WANG J F. Solid State Physics Course[M]. Jinan: Shandong University Press, 2013: 140-148.

[编校:董 雪]