

水性涂料的研究现状及其在钢结构桥梁行业的应用

张雅婕

(中铁山桥集团有限公司, 河北 秦皇岛 066200)

摘要: 主要介绍了不同类型水性涂料的研究现状, 分析了水性涂料在大型钢结构桥梁的应用现状及面临问题, 并对钢桥用水性涂料的未来发展提出了相关见解。

关键词: 水性涂料; 应用现状; 钢结构桥梁

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2024)10-0035-04

Research Status of Waterborne Coatings and Its Application in Steel Structure Bridge Industry

ZHANG Ya-jie

(China Railway Shanhaiguan Bridge Group Co., Ltd., Qinhuangdao 066200, Hebei, China)

Abstract: This paper introduces the research status of different types of waterborne coatings, analyzes the application status and problems of waterborne coatings in large steel structure bridges, and puts forward relevant opinions on the future development of waterborne coatings for steel bridges.

Key words: waterborne coatings; application status; steel structure bridge

0 引言

金属的防腐性能好坏不仅直接影响着其服役寿命及安全性能, 同时, 金属每年因腐蚀也给国民经济带来了巨大的损失, 因此, 良好的防护在金属的使用过程中是至关重要的。以有机防腐涂料为代表性的表面涂装, 由于其制备技术已成熟, 适应性强^[1-2]等特点, 是众多行业中的首选防腐材料。然而, 近年来随着各类环保法规及可持续发展理念的深入人心^[3], 环保型涂料受到了各行业的关注。其中, 水性涂料以水作为溶剂或分散介质, 挥发性有机化合物的排放显著减少, 成为当今涂料行业的关注热点。

1 水性涂料的研究现状

国内在水性涂料的研究应用中, 主要研究方向包含对如下问题的解决: 1) 由于亲水性基团的引入, 漆膜形成过程中存在非均相间的相互交联固化, 导致形成的漆膜在耐水性、耐腐蚀性、密实性能等方面较差, 涂

层易出现闪锈、针孔、流挂、脱落等问题; 2) 随着应用环境的日益复杂, 加之有机防腐涂料技术的日益成熟, 相应的, 水性涂料在使用标准、品质需求方面也面临较大的挑战。因此在现阶段, 研制高性能水性防腐涂料以替代重防腐长寿命周期涂料、改善施工性能以适应更普遍的施工环境是水性涂料面临的技术难点。

1.1 水性环氧涂料

环氧树脂是水性环氧涂料的主要成膜物质, 其结构中含有醚基、羟基、环氧基团等活性较大的极性官能团, 对基材表面具有较强的黏结性和附着力。目前, 在对水性环氧涂料的改善研究主要包括以下几个角度。

1) 通过加入阻隔性能较强的材料来延长腐蚀因子进入基材的腐蚀路径, 如常见的石墨烯纳米材料。石墨烯具有二维片层结构, 可延缓金属被腐蚀的周期, 然而, 石墨烯优良的导电性增大了其与金属形成电化学反应的风险, 且石墨烯因具有较强的疏水性而导致在水性涂料中不易分散, 因此, 研究者通过对石墨烯的结构进行修饰来掩盖其缺陷, 以更好地应用于水性环氧涂料中。朱科等^[4]利用三乙烯四胺对氧化石墨烯进行改性并加入水性环氧涂料中, 获得了一种具有高相容、

收稿日期: 2024-01-12

作者简介: 张雅婕(1995—), 女, 硕士, 助工, 主要从事钢结构桥梁腐蚀及防护的研究工作。E-mail: 1055568784@qq.com。

高分散、高屏蔽性的水性环氧涂料及涂层。刘巧宾等^[5]利用具有良好分散性能的石墨烯浆料并复配分散剂的方法,制备了在硬度、耐冲击等力学性能及耐蚀性能方面均有效提升的新型水性环氧涂料。季东等^[6]利用石墨烯量子点非共价键功能化成功地制备出了具有良好分散能力的石墨烯纳米片,改善了石墨烯与水性环氧涂料之间的界面相容性,通过石墨烯在涂料中的均匀分散,有效阻碍了电解质渗透于涂层中,大大提升了水性环氧涂层的耐蚀性能。此外,除采用石墨烯纳米改性材料外,张萌等^[7]将改性后的蒙脱土加入涂料中制备了一种水性环氧纳米复合涂料。刘雷等^[8]利用修饰后的 SiO₂ 助剂制备了一种新型水性环氧涂料。

2) 通过加入功能性助剂来消除水性环氧涂料在应用过程中一些漆病的产生。左慧明等^[9]通过在水性环氧涂料中加入 1.2% 的有机锌螯合物类型的闪锈抑制剂,有效提高了涂层的防闪锈性。吕欣妍等^[10]在水性环氧涂料加入不同类型的消泡剂,在不影响涂层附着力及硬度下,对消泡及提升光泽度均有改善作用。

3) 通过对水性环氧涂料中的主要防腐成分进行改性,进一步增强其防腐性。曾凡辉等^[11]对水性环氧涂料中的防锈颜料磷酸锌利用钼酸锌改性后,其防腐性能增强。祝宝英等^[12]采用改性防锈颜料并通过控制组分的添加量、配比等方法,制备了新型水性环氧涂料,在早期耐水性方面有所改进。

1.2 水性无机富锌底漆

水性无机富锌涂料的成膜物质通常为无机硅酸盐,交联固化过程主要是活性硅酸与锌粉、铁原子之间发生络合反应,形成一种络合结构,漆膜以化学键的形式与钢结构表面结合为一个整体。

目前的研究中主要以钾、锂及钠硅酸盐为成膜物质^[13],并通过对成膜物质的进一步改进创新来提升水性无机富锌涂料的耐水性、干燥时间、抗闪锈性能、施工性能等。倪维良等^[14]研究制备了一种高模数硅酸钾成膜物质,并复配聚二甲基硅氧烷分散体加入水性无机富锌底漆涂料中,该制备方法有效抑制了水分渗入并侵蚀漆膜的行为,极大改善了水性无机富锌涂料的耐水性能。姜勇等^[15]利用还原氧化后的石墨烯对水性无机富锌底漆进行改性,显著提高了水性无机富锌涂层的耐腐蚀性。

将具有小尺寸效应和电子效应的电气石粉通过一种特殊方式引入成膜物质中。刘雪梅等^[16]合成了一种新型有机成膜物质硅丙乳液并加入无机硅酸钾溶液中,制备得到了一种在防锈性、附着力等方面性能更优的新型无机富锌涂料。陈刚等^[17]也合成了一种新型的硅丙乳液作为无机富锌涂料中的成膜物质,合成的无

机富锌防腐底漆在致密性、耐腐蚀性能方面均有所改进。

1.3 水性丙烯酸树脂涂料

水性丙烯酸树脂的主链结构为 C—C 键,具有较强的耐酸性、耐碱性以及耐候性等化学稳定性,常用于面漆涂层。

在对丙烯酸树脂涂料的改性研究中,主要通过改变乳液的组分、引入功能性助剂等方式,来提高涂料的交联反应性及交联密度^[18]。刘倩等^[19]采用有机硅改性丙烯酸酯乳液,并加入水性助剂等制得水性丙烯酸树脂涂料,涂层在硬度、附着力、耐冲击性、耐试剂性和耐水性能等方面均表现出了良好的特性。李明华等^[20]将改性后具有良好分散稳定性的纳米氧化铝颗粒加入水性丙烯酸树脂涂料后,改善了其物理性能。彭盼盼等^[21]利用二氧化硅纳米粒子与丙烯酸酯类单体聚合,制备得到了具有良好疏水性、附着力强的水性丙烯酸树脂涂料。

1.4 水性聚氨酯涂料

水性聚氨酯涂料因其优异的耐候性被广泛应用于面漆涂层。然而,双组分水性聚氨酯涂料固化过程中,固化剂与水之间会不可避免地发生副反应,产生二氧化碳气体,严重劣化了膜的外观,降低了膜的性能,无法进行复涂以增加膜厚,限制了其使用。为改进其性能,主要通过纳米粒子填补缩孔、自修复破损涂层、改变合成原料等方式^[22]。廖国胜等^[23]采用甲苯二异氰酸酯等原料制备了水性聚氨酯乳液,并通过加入硫酸钡及其他助剂来改善其防水性能。吴国民等^[24]将制备得到的环氧树脂基水性多元醇与多异氰酸酯混合,得到一种双组分水性聚氨酯涂料,由于新型结构的引入加速了交联反应的速度,使涂料在耐冲击、附着力等众多性能方面更具优异性。王亚鑫等^[25]通过加入环氧基多元醇的方式,对水性聚氨酯性能进行优化,制备的改性水性聚氨酯漆膜具有更加优异的性能。

1.5 小结

综上研究现状分析,在现阶段,针对水性涂料存在的漆膜缺陷,通过大量的改性研究,已取得了较大的突破,推动了涂料水性化的进一步发展,但部分涂料所适用的腐蚀环境等级范围仍不及溶剂型涂料,另外,涂料研究者大多也仅关注了涂料自身的性能优化,而对于其配套性能及实际施工应用方面的关注较少,市面上各类水性涂料的质量也良莠不齐,均阻碍了水性涂料的进一步推广与应用。

2 水性涂料在大型钢结构桥梁的应用及问题分析

目前,钢桥的防腐仍以技术相对成熟的重防腐涂装体系为主,而水性涂料在大型钢结构桥梁行业还未

实现规模化应用,问题主要体现在以下几个方面。

钢桥因所处气候环境恶劣、地势特殊、结构复杂多样、维修难度系数高、服役寿命周期长、安全系数要求高等特点,因此对钢材的防护等级要求较高,对涂料的耐蚀标准较高。同时,钢桥的腐蚀主要发生在焊缝、孔隙、缝隙、栓接、应力作用等部位,容易出现点蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳等^[26]现象,因此,能够同时满足这些特殊部位的防腐也是涂料能够应用于钢桥的最基本的要求之一。

另外,从水的特性分析,与有机溶剂相比,由于水自身的蒸发潜热大、表面张力大、熔点低、比热容大等特性,导致其对环境的温湿度较为敏感,因此,水性涂料在应用时会出现施工窗口窄、对基材的清洁度要求高、在固化期间易发生闪锈现象等问题,而对于现代钢桥,随着钢桥体量的越来越大,制造周期往往需要1年甚至更长的时间跨度,因此,水性涂料的施工窗口也限制了其在钢桥行业的应用。图1~2展示了环境的温湿度对水性涂料干燥时间的影响以及水性涂料的施工环境要求^[27-28]。

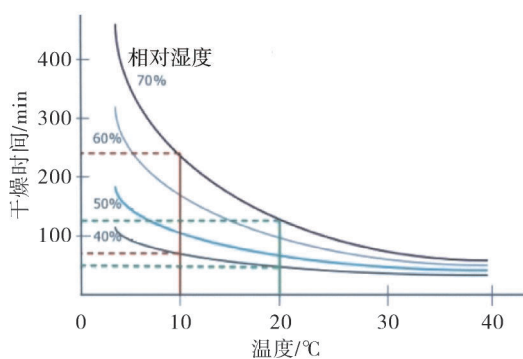


图1 环境温湿度对水性涂料干燥时间的影响

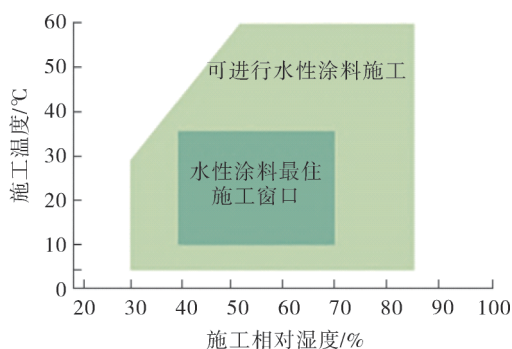


图2 水性涂料施工环境要求

除上述问题外,从大型钢结构桥梁的发展趋势及建设特点分析,水性涂料在钢桥行业的应用中也面临以下方面的挑战:1)钢桥的设计体量越来越大、跨度

增加,要求水性涂料施工过程中在配套资源的投入相应增大。2)钢桥的架设环境越来越复杂且严苛,位于沿海、高湿热环境中的钢结构桥梁越来越多,腐蚀环境等级一般在很高的级别,因此使钢材的服役寿命受到挑战,对涂料的耐蚀性要求更高,对涂层配套体系的腐蚀环境等级要求更高。3)钢桥的制造周期有限,而涂装作为最后一道工序,往往给定的施工期限紧张,因此对水性涂料的施工性能要求较高。

3 结语

水性涂料以水作为溶剂或分散剂,具有安全、环保、原料易得等优势,是未来涂料行业的发展方向。而从当前研究现状分析,部分水性涂料的性能已实现了较大的突破,但应用防腐等级较溶剂型相比,仍具有一定差距,市面上现有的产品质量也良莠不齐。此外,涂料研发者对配套性涂层体系及施工性能方面的研究较少,加之因钢结构桥梁在结构、施工等方面的复杂性、防腐要求的高标准性,且在施工中需考虑设备投入、所处气候环境、钢桥制造周期等因素,导致水性涂料在钢桥行业中无法实现规模化的应用。因此,为推动水性涂料在钢桥行业的应用,涂料开发者应将涂料的研究方向与钢桥的实际生产制造紧密结合,应更多关注全配套水性涂层体系的性能及应用,重点推进高腐蚀环境下的涂料性能研究,重点关注水性涂料的施工性能及适应性,以推动钢结构用防腐涂料的水性化发展。

参考文献:

- [1] 曹辉,刘阳,黄昌东,等.车站钢结构涂料涂装体系失效问题及分析[J].现代涂料与涂装,2022(9):39-44.
- [2] 宋振,刘书法,孙德光,等.浅谈“双碳”经济下海洋钢结构绿色涂装发展[J].现代涂料与涂装,2023(1):62-64.
- [3] 胡红兵,林强,胡文祥.环氧树脂流变学的研究进展[J].武汉工程大学报,2021(3):248-255.
- [4] 朱科,李菁熠,王永强,等.氧化石墨烯-水性环氧树脂固化剂的制备及性能[J].精细化工,2023(8):1849-1856.
- [5] 刘巧宾,刘康,范俊梅.石墨烯浆料对水性环氧涂料防腐性能的影响[J].北华航天工业学院学报,2023(2):1-3.
- [6] 季东,赵红冉,丁纪恒,等.石墨烯水分散液:增强水性环氧涂料的耐蚀性[J].功能材料,2019(4):4130-4135.
- [7] 张萌,向艳丽,张磊,等.咪唑啉季铵盐缓蚀剂改性蒙脱土/水性环氧纳米复合涂料[J].精细化工,2024(5):981-989.
- [8] 刘雷,杨建军,曹忠富,等.苯胺三聚体修饰纳米SiO₂改性水性环氧涂料的制备及防腐性能[J].涂料工业,2022(5):30-38.
- [9] 左慧明,刘明,张汉青,等.双组分水性环氧涂料中防闪锈性的研究[J].涂层与防护,2020(11):26-30.

- [10] 吕欣妍, 尤莱, 申亮, 等. 消泡剂对双组分水性环氧涂料耐介质性能的影响[J]. 电镀与涂饰, 2022(10): 728-734.
- [11] 曾凡辉, 董中华. 改性磷酸锌在水性环氧防腐涂料中的应用[J]. 中国涂料, 2019(2): 33-35.
- [12] 祝宝英, 胡中, 刘明, 等. 一种具有早期耐水性性能的双组分水性环氧涂料的制备[J]. 涂层与防护, 2022(2): 7-13.
- [13] 简彦红, 陈炳耀, 陈明毅. 水性无机富锌涂料的研究进展[J]. 山东工业技术, 2019(7): 22.
- [14] 倪维良, 李静静, 郭亮亮, 等. 改性高模数硅酸钾水性无机硅酸锌涂料的制备[J]. 涂料工业, 2023(7): 34-41.
- [15] 姜勇, 姜洪义, 熊思鹏. 还原氧化石墨烯对水性无机富锌涂料防腐性能的影响[J]. 涂料工业, 2023(7): 68-72.
- [16] 刘雪梅, 陈刚, 吴帅, 等. 新型硅丙乳液在水性无机富锌涂料中的应用[J]. 电镀与涂饰, 2021(6): 437-441.
- [17] 陈刚, 樊立春, 阮红梅, 等. 高附着力高柔韧性水性无机富锌涂料的制备[J]. 涂料工业, 2019(5): 51-55.
- [18] 李庆鲁, 安成强, 郝建军. 改性水性丙烯酸防腐涂料的研究进展[J]. 电镀与涂饰, 2019(11): 555-560.
- [19] 刘倩, 安秋凤, 胡晶晶. 有机硅改性丙烯酸树脂的制备及性能研究[J]. 涂料工业, 2020(12): 37-42.
- [20] 李明华, 高杰, 蒋东明, 等. 纳米氧化铝修饰及其增强水性丙烯酸涂料物理性能的研究[J]. 材料保护, 2023(11): 88-93.
- [21] 彭盼盼, 杨建军, 吴庆云, 等. 功能化介孔 SiO₂ 改性水性丙烯酸树脂的制备与性能[J]. 化工新型材料, 2023(9): 128-133.
- [22] 杨建军, 陈虹雨, 吴庆云, 等. 改性水性聚氨酯防腐涂料的最新研究进展[J]. 精细化工, 2021(10): 1981-1987.
- [23] 廖国胜, 谢文彦, 张涛, 等. 新型水性聚氨酯防水涂料的制备与性能研究[J]. 中国建筑防水, 2023(12): 11-15.
- [24] 吴国民, 孔振武, 黄煊, 等. 环氧树脂/聚氨酯复合改性水分散体系的研究进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2007(3): 21-24.
- [25] 王亚鑫, 汪辉辉, 饶兴兴, 等. 环氧基多元醇改性水性聚氨酯的合成与性能研究[J]. 涂料工业, 2022(7): 54-59.
- [26] 朱福, 尹佳兴, 冉贵营, 等. 桥梁钢结构腐蚀特点与防腐涂料研究进展[J]. 涂层与防护, 2023(8): 55-62.
- [27] 黄嵘. 水性涂料在高铁车体上的应用[J]. 涂层与防护, 2022(7): 16-20.
- [28] 刘风华, 李秀春, 刘训翔. 客站钢结构雨棚用水性涂料耐候性、施工因素及维修试验研究[J]. 高速铁路新材料, 2022(6): 63-66. ◆

《现代涂料与涂装》征稿启事

征稿范围:

- ★ 涂料涂装行业关键核心技术自主创新及进口替代进展
- ★ 最新涂料涂装政策、标准解读及应对措施
- ★ 环境友好型涂料及特种功能型涂料的研发及创新应用
- ★ 涂装行业 VOC 源头控制、过程管理、末端治理技术及设备, 涂料涂装废水处理技术及设备
- ★ 涂料涂装行业安全生产管理创新
- ★ 传统制造业(汽车、工程机械、轨道交通、船舶)、战略性新兴产业和新型基础设施涂装智能化及新工艺、新材料和新设备

征稿要求:

- (1) 来稿涉及技术保密问题需通过作者单位审查; 来稿请注明作者单位(中英文)、地址及邮编。
- (2) 请勿一稿多投, 如欲改投, 请提前告知本编辑部。稿件收到后即发回执, 稿件一经刊发, 即按规定付给稿酬, 并赠送期刊 3 本。来稿一般不退, 请作者自留底稿, 半年内未接到通知, 作者可自行处理。
- (3) 稿件要求内容新颖、主题明确、逻辑严谨、文字精炼、格式规范、数据真实, 正文字数不少于 3 000 字, 相似度不高于 10%, 附 100~200 字的摘要并列关键词(3~8 个)及相应的英文; 附作者简介, 内容包括: 姓名(出生年)、性别、职称、学历、主要从事的工作或研究方向、联系方式及身份证号。
- (4) 稿件用电子文档投稿, 一律采用法定标准计量单位名称和符号。
- (5) 文章标题以 3 级为限, 文题简洁, 表格一律为三线表, 文中插图要清晰。
- (6) 参考文献勿省略, 置于文末, 并在文中注明序号、排好次序。