

冷涂锌及其配套涂层在钢结构桥梁上的施工分析和研究

高冬¹, 唐宇宽², 郑辉³

(1.常州市特种涂料有限公司, 江苏 常州 213119; 2.江苏振华造漆有限公司, 江苏 无锡 214253;

3.大金氟化工(中国)有限公司上海分公司, 上海 200040)

摘要: 主要介绍了冷涂锌的附着机理以及防腐机理, 并针对近年来在钢结构桥梁施工中存在的问题进行了原理分析和研究, 为以后冷涂锌及其配套涂层的施工提供一些建议和帮助。

关键词: 冷涂锌; 配套涂层; 钢结构桥梁; 防腐机理

中图分类号: TQ637 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2025)02-0030-04

Application and Research of Cold Galvanizing and Its Matching Coating on Steel Structure Bridge

GAO Dong¹, TANG Yu-kuan², ZHENG Hui³

(1.Changzhou Special Paint Co., Ltd., Changzhou 213119, Jiangsu, China; 2.Jiangsu Zhenhua Paint Co., Ltd., Wuxi 214253,

Jiangsu, China; 3.Dakin Fluorochemicals (China) Co., Ltd., Shanghai Branch, Shanghai 200040, China)

Abstract: This paper introduces the adhesion mechanism and anti-corrosion mechanism of cold coating zinc, and also it analyzes and studies the problems existing in the construction of steel structure bridge in recent years, it expects that provide some suggestions and help for the construction in the future.

Key words: cold galvanizing; matching coating; steel structure bridge; anti-corrosion mechanism

0 引言

冷涂锌涂料是由分子量达十万以上的高分子树脂、超细高纯度锌粉、功能性单体以及芳烃溶剂组成的一种全锌含量高达95%以上的单组分涂料。与常规的环氧富锌底漆以及无机富锌底漆相比,冷涂锌涂料中仅需3%~4%的树脂就能在钢板表面提供优异的附着力,而环氧富锌底漆和无机富锌底漆中至少需要7%以上的成膜物质才能提供较好的附着力,因此常规的环氧富锌底漆和无机富锌底漆不挥发物中全锌含量最高只能达到90%左右,无法与冷涂锌涂料媲美。

冷涂锌涂层在干燥过程中可与钢铁表面形成氢键,氢键的作用力远大于分子之间的范德华力,有利于涂层与基材的结合,同时冷涂锌涂料中功能性单体的加入也可以大大提高树脂对锌粉的包裹和对基材的附

着;在施工过程中,钢板表面一般采用喷砂处理,冷涂锌涂层可以与钢铁基材表面更好“啮合”,产生锚固效应,这样冷涂锌中的锌粉更能牢固地附着在钢材基体上面,产生作用力很强的金属键,因此冷涂锌涂料在钢板上具有极佳的附着力。

冷涂锌涂膜中的锌粉含量很高,锌粉之间能紧密排列并形成一种导电网络,如果腐蚀介质渗透到涂膜表面,就形成了一个由电解液、金属锌和金属铁组成的原电池,由于金属锌的电极电位比金属铁低,金属锌粉作为阳极被腐蚀,金属铁作为阴极则受到保护。而作为阳极的金属锌会和腐蚀介质中的水、二氧化碳以及氧气发生化学反应,生产白色的氧化锌、碱式碳酸锌等腐蚀产物,即发生所谓的阴极保护作用,这些腐蚀产物填充到涂膜中的孔隙中,提高了涂膜的屏蔽性,增强了涂膜的抗渗透性能^[1]。同时,腐蚀产物由于是不导电的金属氧化物,降低了涂膜的导电性,使电化学反应的电流强度降低,从而使锌粉的消耗速率也降低,因而涂膜的耐腐蚀性增强;冷涂锌涂料中由于树脂含量极少,主要

收稿日期: 2024-06-27

作者简介: 高冬(1983—),男,硕士,高级工程师,主要从事重防腐涂料的研发和涂装等工作。E-mail:442166636@qq.com。

为锌粉的堆积,因此涂膜呈现多孔的结构,当腐蚀介质如氯离子进入到冷涂锌涂膜表面后,不会像环氧富锌底漆那样造成渗透压起泡,同时也不会降低涂膜的附着力,因此冷涂锌的防腐效果比较优异。

在我国,冷涂锌涂料最开始仅作为单道涂层应用在电力行业,代替热镀锌使用或者在热镀锌损伤部位做修补使用。2015年以后,冷涂锌及其配套涂层开始在大型钢结构桥梁上应用^[2],由于冷涂锌为单组分热塑性涂料,后道涂层配套双组分环氧热固性涂料,很容易造成后道涂层溶解前道热塑性涂层的现象,加上人们对其认识不足,以至于在涂装施工过程中出现了不少的问题。

1 冷涂锌及配套涂层在涂装施工中的问题分析

2019年之前,冷涂锌及配套涂层在钢结构桥梁上的应用一直没有标准及规范可依,为了规范冷涂锌及配套涂层在钢结构桥梁上的防腐涂装,促进行业的技术进步,中华人民共和国交通部于2019年5月发布了JT/T 1266—2019《桥梁钢结构冷喷锌防腐技术条件》,标准规定了桥梁钢结构表面冷涂锌防腐涂装的分类、技术要求、试验方法及质量检验等。

在桥梁方面,冷涂锌作为一种新型材料受到了很多业主和设计院的青睐,越来越多的冷涂锌案例应用在钢结构桥梁上,如安徽池州长江大桥、宁波三官堂大桥、宝鸡联盟路大桥、珠海金海特大桥、广州万龙大桥等,现就冷涂锌及配套涂层涂装过程中常见的问题予以分析探讨。

1.1 冷涂锌的施工控制

由于冷涂锌是一种单组分涂料,是靠溶剂挥发的物理干燥方式成膜,因此冷涂锌在涂装后溶剂释放性很好,涂膜干燥速度很快,常温下涂装后10 min即可表干,若钢梁暴露在室外,夏季钢板表面温度高达50~60℃,干燥速度更快,如不注意施工方法,很容易造成干喷现象,这是其他双组分富锌涂料没有的特性。为了保证冷涂锌涂层有一个较好的涂膜外观,防止干喷,降低孔隙,减少漆雾,提高附着力,需采用挥发速率较慢的稀释剂进行稀释,常用的稀释剂是高沸点芳烃溶剂油,添加量一般为5%~12%。

冷涂锌可以采用刷涂、辊涂、有气喷涂以及无气喷涂等多种方式进行施工,为了较好地控制膜厚,一般采用高压无气喷涂进行涂装,通常选用压力比32:1的重庆长江9C泵,喷嘴为富锌常用的Z型喷嘴。在涂装过程中,应随时注意喷嘴孔径及喷幅的变化,一旦孔径变大,喷幅扇面面积小于25%时,需及时更换喷嘴。

冷涂锌一般设计厚度为60~100 μm,但冷涂锌体积固含量较低,约52%,密度较大,约2.80 g/cm³,只喷

涂一道,很难达到60 μm以上,要达到设计厚度,一般需要喷涂2道。由于冷涂锌具有层间互溶性,后道冷涂锌涂装时,也会完全溶解前道涂层,因此冷涂锌无最大涂装间隔的限制,若考虑更好地保证涂层质量应在涂膜表面未形成锌盐前尽快完成涂覆。若第一道涂层涂覆时间较长,应在涂覆前进行清洁、除盐处理,否则会影响附着力。

1.2 冷涂锌封闭漆的涂装控制

冷涂锌干膜中的有机树脂仅在4%左右,剩余的95%~96%为锌粉,由于树脂不能完全包裹锌粉,这种运用超临界颜料体积浓度(CPVC)的配方设计决定了涂膜中存在较多的孔隙,这些孔隙如不能充分被渗透和封闭,整个防腐涂层的质量将会大大降低。同时由于冷涂锌是单组分热塑性涂料,冷涂锌封闭剂为双组分热固性环氧涂料,热固性涂料涂装在热塑性涂料上面,会造成热塑性涂料涂层的完全溶解,因此冷涂锌封闭漆的涂装对整个涂层的耐久性起着至关重要的作用,若冷涂锌封闭漆涂装不好,不仅会造成涂层起泡、附着力下降、涂层局部开裂、脱落等现象,严重的更会造成整个涂层的防腐失效。根据实际涂装案例及经验,冷涂锌封闭漆涂装时需要严格控制以下几点。

1.2.1 间隔时间的控制

冷涂锌涂装完成后,常温下建议至少间隔24 h后再涂装冷涂锌封闭漆,这可以使冷涂锌涂层中的慢干溶剂得到充分释放。如环境温度较低,通风效果不佳,尤其是在钢箱梁内部涂装冷涂锌时,建议适当延长间隔时间或采用防爆鼓风机进行强制通风。图1为某项目钢箱梁内表面涂装冷涂锌的情况。



图1 某项目钢箱梁内表面涂装冷涂锌

1.2.2 冷涂锌封闭漆的性能要求

冷涂锌封闭漆必须要具备渗透性好、黏度低等特点。在施工现场第一道雾喷时可以用稀释剂进行黏度调节,而渗透性则是涂料生产商的技术体现。有些涂料生产商采用大分子环氧为主要基体树脂,片状填料为颜料,这种封闭漆只能对冷涂锌孔隙的表面进行物理屏蔽,成膜物质及填料不能充分渗透到涂层的孔隙中,

即使涂层表面外观良好,无起泡和针孔,一旦外界腐蚀介质渗透到涂层或热胀冷缩,很容易造成涂膜中的渗透压起泡,导致整个涂层防腐年限下降或失效。

1.2.3 冷涂锌封闭漆气泡、针孔的控制

由于冷涂锌涂膜疏松多孔,因此第一道冷涂锌封闭漆必须要雾喷,涂膜厚度能遮盖住孔隙即可,不可过厚,建议涂料黏度控制在 20 s(ISO-6 号杯)以下,以便让冷涂锌封闭漆充分渗透到冷涂锌的孔隙中,涂膜过厚容易出现起泡、针孔等涂层缺陷。建议第一道封闭漆完全干燥后再进行后道涂层的喷涂。

1.2.4 冷涂锌封闭漆干燥速度的控制

冷涂锌封闭漆的干燥速度也是影响涂层附着力的关键因素。如果冷涂锌封闭漆表干时间过快,涂层中残留的溶剂完全挥发出去将会比较困难,而冷涂锌封闭漆的残留溶剂量是影响涂层附着力至关重要的因素,因此冷涂锌封闭漆的干燥速度在施工进度允许的情况下可以适当延长,以利于涂层中的溶剂完全释放。而环氧富锌、醇溶性无机富锌以及水性无机富锌涂层具有一定的耐溶剂性,后道涂层适当的溶剂残留不会影响整个涂层的附着力。

1.2.5 冷涂锌封闭漆干膜厚度的控制

在实际施工过程中,我们发现若冷涂锌封闭漆干膜厚度过高,涂膜开裂或脱落的风险较大,分析认为涂膜干膜厚度过厚,首先是涂层中残留的溶剂不能完全挥发出来,其次是涂层太厚导致涂层收缩应力较大,再者由于冷涂锌是热塑性涂料,玻璃化温度(T_g)较低,冷涂锌封闭漆是热固性涂料, T_g 相对较高,涂膜柔韧性变差,随着冷涂锌封闭漆干膜厚度的增加,其内应力也增加,涂膜的抗冲击能力下降,线性分子结构的冷涂锌涂层在受热或受力情况下分子间可相互移动,导致冷涂锌附着力下降从而出现涂层局部鼓包或脱落的现象。

1.2.6 后道涂层的控制

冷涂锌封闭漆是决定整个冷涂锌及配套体系质量好坏非常重要的一环,冷涂锌封闭漆涂层外观好,干膜厚度符合设计规范要求或标准要求,附着力合格,后续涂层的涂装按照常规配套方案涂装即可,这样后续涂层脱落、鼓包的概率将会大大降低甚至不会出现。

2 高温下冷涂锌或配套涂层的分析和研究

目前市面上冷涂锌中的成膜物质主要是分子量高达 10 万以上的高分子热塑性树脂,玻璃化温度 T_g 是衡量高分子树脂在温度转变时性能变化(体积变化、热力学性质)的一个重要指标。热塑性冷涂锌涂料具有一定的 T_g ,并且成膜物质中的 T_g 一般远高于常温(23 ℃),否则涂层没有一定的强度^[9]。而其他双组分富锌涂料在没有与固化剂混合前,是一种低分子量的低聚物, T_g

很低,混合后随着时间的延长,交联密度增加,自由体积减少, T_g 增高至 100 ℃以上,生成连续均一的热固性涂层。一般情况下热固性涂层的 T_g 比热塑性涂层的 T_g 高很多,因此,热固性涂料耐热性也相对好很多。

2.1 焊缝热影响区及正交异性桥面系的涂装分析

钢结构桥梁的梁段在钢结构制造厂完成涂装后,运至桥位现场进行拼装焊接。在焊接现场我们发现,对于冷涂锌单道涂层来说,焊缝热影响区范围较小(图 2),而对于冷涂锌及复合配套涂层来说,涂层热影响区范围很大(图 3),在焊接时涂层鼓包、开裂及剥落的现象比较严重(图 4),对受损涂层进行彻底打磨后,发现焊缝热影响区单侧范围在 150~200 mm,而采用双组分环氧富锌或无机富锌,焊缝单侧热影响范围在 100 mm 以内,建议采用冷涂锌及复合涂层配套的体系,单侧焊缝距离预留 200 mm 以上。



图 2 冷涂锌单道涂层焊接热影响范围



图 3 冷涂锌配套涂层焊接热影响范围



图 4 某项目焊缝反面热影响区

在正交异性桥面系的钢板反面涂装冷涂锌及复合配套涂层,在铺装沥青时由于沥青的温度高达 200 ℃以上,传导到桥面钢板后温度至少在 150 ℃以上,此温度远高于冷涂锌成膜物质的 T_g ,因此涂层出现开裂、脱落的风险很大(图 5)。



图5 某项目正交异性桥面沥青铺装后

对于以上两种情况,分析认为:冷涂锌作为单一涂层经受高温时,虽然热塑性树脂的体积会膨胀,但温度下降后,体积又会恢复原状,并且整个涂层都是同种热塑性涂层,应力分布均匀,只要最高温度不高于成膜物质的分解温度,对涂层的附着力以及防腐性能影响有限。而冷涂锌及复合配套涂层经受焊接及沥青铺装高温时,底材的冷涂锌成膜物质属于热塑性树脂,体积膨胀相对于后道涂层的热固性成膜物质体积膨胀大很多,这就造成了应力分布不均匀,并且在经受高温过程中,热塑性底漆处于高弹态或黏流态,涂层变软,附着力也随着降低,从而导致涂层鼓包、开裂等风险。

2.2 桥面系冷涂锌的分析

在浇筑沥青混合料之前,一般要对钢结构桥面进行防腐保护,要求涂层防腐性能好,抗高温变形以及抗裂耐久性好,同时要与防水层黏结良好,使用环氧富锌底漆居多,应用也比较成熟。但目前也有少部分案例采用冷涂

锌涂装,设计厚度在 80~100 μm,并无不良现象发生。

3 结语

冷涂锌作为一种单组分热塑性且全锌含量极高的涂料,近几年来受到越来越多的业主和设计院的青睐,但在涂装过程中也存在一些问题,笔者对其进行了机理分析和研究,同时也给出了一些建议,希望广大的钢结构厂在进行冷涂锌及配套涂层项目涂装时,严格按照冷涂锌产品的特性及施工规范进行涂装,方能获得较好的涂层质量和较长的使用寿命。目前市面上也出现了一些互穿网络型冷涂锌,干燥成膜后有一定的耐溶剂性,这在很大程度上解决了后道冷涂锌封闭漆和冷涂锌涂层层间附着力的问题,并且在实际案例中应用效果良好。目前市面上的冷涂锌产品还存在 VOC 过高等缺点,在施工状态下,冷涂锌 VOC 高达 500 g/L 以上,比环氧富锌底漆的 VOC 高出很多,为了贯彻国家大气污染防治法和“十三五”节能减排等政策,期望冷涂锌研发人员能够对此进行改善和优化。

参考文献:

- [1] 肖斌,刘保磊,杨兆宇,等.水性无机富锌底漆研制及其在重防腐领域的应用[J].现代涂料与涂装,2013(5):7-8.
- [2] 高冬.大型钢结构桥梁配套涂层的分析与探讨[J].现代涂料与涂装,2021(6):15-18.
- [3] 刘登良.涂料工艺[M].北京:化学工业出版社,2010:15. ◆



(上接第 29 页)



a. 2021年6月



b. 2024年5月

图7 严家埭立交桥涂装维修工程运行3年后对比

桐乡市所属的嘉兴地区为沿海区域,其东侧濒临

中等含盐度的东海,按照 ISO 12944-2 环境分类标准,本项目腐蚀环境属于 C4 等级,严家埭立交桥等户外整治提升工程证明,在 C4 腐蚀环境下其采用的水性涂料涂层体系取得了良好的防护效果。因此,后续还可以在提高水性涂料内在质量、适度降低工程涂装成本等方面深入研究,以促进水性涂料在广大户外钢结构、混凝土结构上进一步的推广应用。

参考文献:

- [1] 桐乡市人民政府.2019年桐乡市区域概况[R].2023-03-07.
- [2] 永嘉县交通工程公司.桐乡市过境公路及高桥连接线工程第七合同段竣工图(第6册)[Z].2007:3-4.
- [3] 浙江求真工程管理咨询有限公司.桐乡市严家埭立交桥整治提升工程(涂装部分)施工招标文件[Z].2021:56.
- [4] 周建龙,赵博,刘研,等.水性工业涂料的若干问题研究[J].中国涂料,2021(5):58-62.
- [5] 谭卉文,张政,曾逸,等.双组分水性聚氨酯材料的研发进展[J].广东化工,2021(13):96-97. ◆