

# 水性钢结构底面合一防腐涂料的开发及应用

肖菲, 孙学军, 史芳沅, 姚兆鹏, 胡珺清, 王鸿忠

(西北永新涂料有限公司, 兰州 730046)

**摘要:** 介绍了水性钢结构底面合一防腐涂料的开发及应用, 主要包括原材料的选择、配方设计、工艺制备、性能测试、优化调整、应用验证和产品推广。其具有环保、易施工、低 VOC 排放等优点, 已经成为工程领域涂料的重要选择。

**关键词:** 钢结构防腐; 水性涂料; 性能; 工艺

中图分类号: TQ637 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)05-0026-04

## Development and Application of Bottom Integrated Waterborne Anti-corrosive Coating for Steel Structure

XIAO Fei, SUN Xue-jun, SHI Fang-yuan, YAO Zhao-peng, HU Jun-qing, WANG Hong-zhong

(Northwest Yongxin Coating Co., Ltd., Lanzhou 730046, China)

**Abstract:** This article introduces the development and application of bottom integrated waterborne anti-corrosion coating for steel structure, mainly including the selection of raw materials, formula design, process preparation, performance testing, optimization adjustment, application verification and product promotion. It has the advantages of environmental protection, easy construction and low VOC emissions, and has become an important choice for coatings in the engineering field.

**Key words:** steel structure anti-corrosion; waterborne coatings; performance; technology

### 0 引言

随着我国经济不断的发展, 基础设施建设也在飞速更新。涂料为满足各行业在发展中的需求, 不断完善产品性能和体系。在钢结构领域中, 伴随着施工单位环保意识的提高和对化学品安全性的关注, 水性涂料产品的应用也越来越广泛。本文围绕钢结构用水性底面合一防腐涂料进行讨论, 论证部分产品的开发过程和实际应用。

### 1 水性钢结构工程涂料前景

根据市场调研, 2019~2023 我国钢结构产量整体呈现稳步增长, 产量从 0.5 亿 t 增长到近 1 亿 t, 年复合增速约 12%。因疫情和整体环境影响, 2021 年我国钢产量同比下降约 2 000 万 t, 降幅 2.1%。2022 年我国钢结构的产量为 10 445 万 t, 占粗钢产量的比例为

10.31%。2023 年我国粗钢产量为 101 908 万 t, 钢材产量为 136 268 万 t。2023 年的钢结构产量预计将达到 1.17 亿 t, 比 2022 年增加约 0.12 亿 t<sup>[1]</sup>。具体来看, 2023 年房屋钢结构的产量约为 7 245 万 t, 桥梁钢和交通结构钢的产量约为 2 100 万 t, 塔桅钢结构的产量约为 935 万 t, 而其他钢结构的产量约为 1 400 万 t。此外, 2023 年的钢结构生产还增加板材的需求约 710 万 t。同时, 很多工程都开始使用可循环利用的钢结构产品, 如移动大棚、工程支架、工程彩钢瓦等材料都是使用完之后重新喷涂再利用。按照这类钢结构产品的喷涂施工需求, 开发相对应的产品, 满足施工和客户需求。此类产品较传统的水性钢结构涂料需具有更好的干性、闪锈抑制性、抗流挂性和耐候性等优点, 同时在价格方面满足客户高性价比的要求。

### 2 水性钢结构涂料的性能需求

钢结构用水性涂料在施工过程中首先要满足无闪锈、无流挂、一次成膜厚度达标等施工要求。其次是干燥快, 能够满足在较短的时间内打捆包装或者施涂第二道

收稿日期: 2023-10-10

作者简介: 肖菲(1884—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事水性涂料研发工作。E-mail: xiaofeix1314@163.com。

涂层的要求<sup>[2]</sup>。最后,市场上缺乏针对水性钢结构涂料性能和施工相关的评价标准,致使产品几乎都按照低价竞争,忽略了产品在施工后对于基材的保护和装饰功能。

### 3 水性底面合一防腐涂料的开发

#### 3.1 成膜物质的选择

众所周知,水性涂料按照成膜物分为两大类型,即水稀释型树脂涂料和水性乳液涂料。市场上现有的水性双组分聚氨酯在耐候方面性能极佳,但是施工时产品干燥时间较长,满足不了快速打包运输的需求,并且价格较高;双组分水性环氧在耐候方面相对较差,不能做面漆,且产品在混溶后固化时间难以掌控。根据钢结构需要可持续循环利用的产品特性,同时满足施工时干燥快、容易上厚度等需求,选择水性改性醇酸树脂和水性丙烯酸乳液搭配使用或者单独选用水性丙烯酸乳

液制备产品。

选择不同类型的水性树脂和乳液各两款,同时制备清漆考察产品的干燥性。选择产品的性能见表 1。

表 1 4 款不同的水性成膜物

项目	树脂 A	树脂 B	树脂 C	树脂 D
产品类型	水性醇酸树脂	水性改性醇酸树脂	丙烯酸乳液	丙烯酸共聚物
固体含量/%	75	72	40	38
pH	7.0~9.0	7.0~9.0	7.0~9.0	7.0~9.0

分别采用树脂 A 和 C、树脂 A 和 D、树脂 B 和 C、树脂 B 和 D、树脂 C、树脂 D 制备清漆,按照 HG/T 4758—2014 进行检测,结果见表 2。

表 2 不同树脂制备清漆性能检测结果

项目	指标	A+C	A+D	B+C	B+D	C	D
在容器中状态	搅拌混合后无硬块,呈均匀状态	符合	符合	符合	符合	符合	符合
贮存稳定性((50±2)℃/7 d)	无异常	无异常	无异常	无异常	无异常	无异常	无异常
不挥发物含量/%	≥35	43	38	40	38	45	49
细度/μm	≤40	25	25	25	25	25	25
表干时间/h	2	1.3	1.5	1.3	0.7	0.5	0.5
实干时间/h	24	24	24	22	22	18	18
涂膜外观	正常	正常	正常	正常	正常	正常	正常
耐冲击性/cm	≥40	50	50	50	50	40	50
弯曲试验/mm	2	1	1	1	1	1	1
划格试验/级	≤1	1	1	1	1	2	1
铅笔硬度	≥H	2B	H	H	H	B	H
光泽(60°)/%	商定	23	52	31	61	19	35
耐水性	168 h 不起泡,不脱落,允许轻微变色	符合	符合	符合	符合	24 h 起泡	符合
耐盐水性(3%NaCl 溶液)	96 h 不起泡,不生锈,允许轻微变色	24 h 起泡	符合	24 h 起泡	符合	6 h 起泡	符合
耐人工气候老化性	500 h 不起泡、不开裂、不脱落	符合	符合	符合	符合	200 h 开裂	符合
耐盐雾性	120 h 无起泡、生锈、开裂、剥落等现象	12 h 起泡	72 h 起泡	72 h 起泡	符合	24 h 起泡	48 h 生锈

注:表中产品按照 HG/T 4758—2014 标准检测,并加入了硬度、光泽和盐雾性能指标。

由表 2 可以看出,树脂 A 和 C 搭配制备的清漆硬度、耐盐水性和耐盐雾性能不满足标准要求;树脂 A 和 D 搭配制备的清漆虽然干燥速度达到了标准要求,但是在使用过程中干燥达不到客户要求,同时盐雾性也不达标;树脂 B 和 C 搭配制备的清漆耐盐水性和耐盐雾性能不符合要求;树脂 C 制备的清漆耐水性、耐盐水性和耐人工老化均不达标;树脂 B 和 D 的搭配各项性能满足要求;单独使用树脂 C 制备的清漆在耐水性、耐盐水性和耐人工老化性能方面均不达标;单独使用树脂 D 制备的清漆除耐盐雾性不达标外,其余性能均能达标,可以作为临时防腐涂料使用。因此可

以看出,水性丙烯酸乳液虽然干燥速度快,但是防腐性能较差,但是通过引入改性醇酸树脂可以提升产品的整体防腐性。

#### 3.2 产品助剂的选择

相对于溶剂型产品,水性产品需要的助剂种类较多且复杂。根据筛选出的配套体系、助剂作用原理、相容性、客户要求等,搭配成膜助剂、pH 调节剂、分散剂、消泡剂等不同的助剂。

##### 3.2.1 分散剂

分散剂在涂料生产中至关重要,是影响涂料贮存稳定性、构建理想的涂层微观结构的重要因素。具体的

作用有:增加产品的流平效果、防止涂膜浮色发花、减少絮凝、防止返粗、防止沉降等,可以减少体系中防沉剂的加量。在树脂 B 和 D 配套体系中,因为有水溶型树脂参与前期研磨,因此需要的分散剂加量较小,可以选择水溶性高分子聚电解质类分散剂和高分子疏水性共聚物分散剂搭配,前者 HLB 较高,制备的浆液触变性好;后者的 HLB 相对较低,对于大部分颜填料具有更好的润湿分散效果,两者搭配既能满足产品需求,更有利于产品整体成本的控制。

### 3.2.2 消泡剂

消泡剂是一种具有较低表面张力和较高表面活性、能抑制或消除体系中泡沫的物质。消泡剂具有消泡或抑泡能力,是由于其具有很低的表面张力,进入并破坏了泡膜,产生消泡的效果。现用的消泡剂大部分为有机硅类产品,本试验两个体系中均采用聚醚硅氧烷类消泡剂,分别在研磨阶段和兑稀阶段加入。

### 3.2.3 闪锈抑制剂

闪锈是指在铁基材表面涂覆水性涂料后,涂膜表面出现不规则的锈迹,其形成机理与铁的电化学腐蚀有关。闪锈抑制剂主要通过形成保护膜、改变涂料的 pH、吸附作用、化学反应等方式来防止金属表面的氧化反应,从而防止闪锈的产生。本试验中选用的闪锈抑制剂是由有机络合物和多种有机化合物组合而成,与防腐颜料协同起到防闪锈的效果。

### 3.2.4 流变助剂

流变助剂在涂料中形成高分子网络结构,增加涂料的黏度和稠度,从而使得涂料更容易施工和涂覆。不同种类的增稠剂搭配使用不仅能够改变体系的流变性质,还可以提升产品整体的防沉和防飞溅。本试验中采用不同类型的非离子型聚氨酯增稠剂搭配使用,调整产品的触变性、防沉性和流挂性。

## 3.3 水性底面合一防腐漆(树脂 B 和 D 配套)配方及工艺

水性底面合一防腐漆(树脂 B 和 D 配套)配方见表 3。

生产工艺:先将水性改性醇酸树脂、助溶剂、复合型催干剂在 800~1 000 r/min 的转速下搅拌 15~20 min,充分搅拌均匀后加入中和剂和蒸馏水将树脂中和并稀释至半透明状态。在搅拌状态下依次加入消泡剂、分散剂、颜填料,投料完毕后在 300~500 r/min 的转速下搅拌 10~20 min,移交至研磨岗位进行研磨。研磨至细度合格后兑稀,按配方量依次加入流平剂、闪锈抑制剂等,搅拌 20 min 以上后检测产品细度,合格后在搅拌状态下加入丙烯酸乳液并充分搅拌均匀。最后加入流变助剂和蒸馏水调整黏度至合格,检验产品性能达

标后包装<sup>[3]</sup>。

表 3 水性底面合一防腐漆配方(树脂 B 和 D 配套)

原料名称	用量/%
水性改性醇酸树脂	25.0~26.0
助溶剂	2.0~3.0
复合型催干剂	0.8~1.0
中和剂	0.1~0.3
蒸馏水	15.0~15.8
分散剂 A	0.4~0.6
分散剂 B	0.1~0.2
消泡剂	0.1~0.2
炭黑	3.0~3.5
高光钡、滑石粉	13.0~15.0
防锈颜料	8.0~10.5
防沉剂	0.2~0.5
流平剂	0.2~0.5
基材润湿剂	0.1~0.2
消泡剂	0.1~0.3
闪锈抑制剂	0.3~0.5
中和剂	0.1~0.3
水性丙烯酸乳液	15.0~18.0
流变助剂 A	0.1~0.2
流变助剂 B	0.1~0.2
蒸馏水	4.7~5.2

## 3.4 水性底面合一防腐漆(树脂 D)配方及工艺

水性底面合一防腐漆(树脂 D)配方见表 4。

表 4 水性底面合一防腐漆(树脂 D)配方

原料名称	用量/%
蒸馏水	15.0~18.2
中和剂	0.3~0.5
分散剂	0.8~1.2
消泡剂	0.1~0.3
防冻剂	1.0~1.8
炭黑	2.5~3.5
高光钡、滑石粉	9.1~15.3
防锈颜料	7.0~15.0
防沉剂	0.1~0.3
水性丙烯酸乳液	50.0~60.0
成膜助剂 A	1.5~2.0
成膜助剂 B	3.0~4.5
基材润湿剂	0.1~0.2
闪锈抑制剂	0.5~0.8
消泡剂	0.1~0.3
防腐剂	0.1~0.2
流变助剂	0.2~0.5
蒸馏水	1.4~5.2

生产工艺：在搅拌状态下依次加入蒸馏水、中和剂、颜填料等原料，投料完毕后在 300~500 r/min 的转速下搅拌 15~20 min，搅拌至无结块后移交至研磨岗位进行研磨。研磨至细度合格后进行兑稀，按照配方量依次加入水性丙烯酸乳液、成膜助剂和闪锈抑制剂、消泡剂等，调整黏度在合格范围内，检测产品性能合格后过滤、包装。

### 3.5 性能检测

通过验证不同加水量、不同环境下的雾化效果、出漆量、一次性成膜厚度和流挂性等性能，避免产品在使用过程中出现施工问题及涂膜弊病。

试验环境：室温(12~17℃)，相对湿度 27%~70%，在检测产品闪锈抑制性时室内需要加湿降低温度。按照行业标准进行检测，结果见表 5。

表 5 性能检测结果

项目	技术要求	1 <sup>#</sup> (树脂 B+D)	2 <sup>#</sup> (树脂 D)
容器中状态	搅拌混合后无硬块、呈均匀状态	符合	符合
贮存稳定性((50±2)℃/7 d)	无异常	符合	符合
不挥发物含量/%	≥35	符合	符合
细度/μm	≤40	40	40
表干时间/h	≤2	0.5	0.5
实干时间/h	≤24	20	15
涂膜外观	正常	正常	正常
耐冲击性/cm	40	40	50
弯曲试验/mm	2	1	1
划格试验/级	1	1	1
铅笔硬度(擦伤)	H	H	H
光泽(60°)/%	商定	46	23
耐水性	24 h 不起泡,不脱落,允许轻微变色	符合	符合
耐盐水性(3%NaCl 的溶液)	96 h 不起泡,不生锈,允许轻微变色	符合	符合
耐人工气候老化性	500 h 不起泡、不开裂、不脱落;粉化≤1 级;变色≤2 级失光≤2 级	600 h	540 h
在锈板上的闪锈抑制性		无锈斑	无锈斑
流挂性/μm		475	625
耐盐雾性	120 h 无起泡、生锈、开裂、剥落等现象	192 h	96 h

由表 5 可以看出,1<sup>#</sup> 产品性能均能达到标准要求,2<sup>#</sup> 产品盐雾性能相对较差,因此可以根据产品的性能或者客户要求,在不同领域的选用不同的产品<sup>[4]</sup>。如产品使用在短期防护且施工要求快干的领域,可使用 2<sup>#</sup> 产品;使用在大型钢结构、小型农用工具等轻防腐环境下可推荐使用 1<sup>#</sup> 产品。

## 4 水性钢结构底面合一防腐漆的发展要求

1) 环保要求:环保安全性的好坏直接关系到产品的可持续性和用户的健康安全。水性钢结构涂料产品在以上两个方面达到国家和相关标准要求,但是在某些特定的标准和未来可持续发展的道路上,水性产品还待深入开发。如欧盟 REACH 法规、美国 EPA 等标准中产品还需要具备一定的生物降解性和可再生性,以保证产品的可持续性和环保性。

2) 高性能要求:随着技术的不断进步和应用领域

的拓展,水性钢结构底面合一漆的性能要求也越来越高。例如在大型桥梁、农用机械、重型设备等钢结构中要求涂料具有高耐久性、高光泽、高抗刮擦性、高耐盐雾等特性;在电厂、化工厂等特殊环境下的钢结构领域,要求涂料具有高绝缘性、高导热性、耐化学品腐蚀等特性<sup>[5]</sup>。

3) 多功能化要求:随着人们对便捷性的需求增加,水性钢结构涂料的多功能化也成为一种趋势。例如在建筑用钢结构领域,要求涂料不仅具有美观性和保护性,还要具有保温、隔热、防火等功能;在汽车零部件涂料领域,要求涂料不仅能美化底盘外观,还能起到保护车身、减少气动阻力等作用。

## 5 结语

水性钢结构底面合一防腐涂料具有环保、安全、易施工、价格适中等优点,已经在建筑钢(下转第 33 页)