

# 水性丙烯酸快干防腐涂料的制备

谷金<sup>1</sup>, 李兰<sup>2</sup>, 谷亚新<sup>3</sup>, 王晓丹<sup>3</sup>, 范兆荣<sup>3\*</sup>

(1. 中铁九局集团工程检测试验有限公司, 沈阳 110025; 2. 沈阳金海韵涂料有限公司, 沈阳 110000;  
3. 沈阳建筑大学材料学院, 沈阳 110168)

**摘要:** 选择丙烯酸乳液作为成膜物质, 磷酸锌和氧化铁红作为防锈颜料, 研究了乳液种类及用量、磷酸锌用量对水性丙烯酸防腐涂料性能的影响。加入丁醚作为快干剂, 研究其用量对水性丙烯酸防腐涂料干燥速度的影响。结果表明: 当苯丙乳液用量为 40%、磷酸锌与氧化铁红比例为 1:1 且用量为 5%、丁醚用量为 0.3% 时, 所制得的水性丙烯酸快干防腐涂料综合性能最优。

**关键词:** 丙烯酸乳液; 快干; 防腐涂料

**中图分类号:** TQ637      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1007-9548(2025)03-0014-04

## Preparation of Waterborne Quick Drying Acrylic Anti-corrosion Coating

GU Jin<sup>1</sup>, LI Lan<sup>2</sup>, GU Ya-xin<sup>3</sup>, WANG Xiao-dan<sup>3</sup>, FAN Zhao-rong<sup>3\*</sup>

(1. China Railway Ninth Bureau Group Engineering Inspection and Testing Co., Ltd., Shenyang 110025, China;  
2. Shenyang Jinhaiyun Coatings Co., Ltd., Shenyang 110000, China; 3. School of Material Science and Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** Acrylic emulsion was selected as film-forming material, zinc phosphate and iron oxide red were used as antirust pigments, and the effects of the type and amount of lotion and the amount of zinc phosphate on the performance of waterborne acrylic anti-corrosive coatings were studied. Add butyl ether as a quick drying agent and study the effect of its dosage on the drying rate of waterborne acrylic anti-corrosion coatings. The results showed that when the content of styrene acrylic lotion was 40%, the ratio of zinc phosphate to ferric oxide red was 1:1 and 5%, and the content of butyl ether was 0.3%, the comprehensive performance of the waterborne acrylic fast drying anti-corrosion coating was the best.

**Key words:** acrylic lotion; quick drying; anti-corrosion coating

## 0 引言

金属材料的使用使得人类社会文明得以进步, 而金属材料容易被腐蚀, 全世界每年都因为金属材料的腐蚀损失 8 500~9 500 亿美元, 而我国每年的损失也达到了 3 000 亿元以上。正因如此, 各个国家都不断开发

新材料应对材料的腐蚀, 与此同时防腐涂料也被逐渐被重视起来。目前常用的防锈漆有油性和水性两种, 二者各有优缺点。油性防腐涂料虽然防腐效果好, 但 VOC 排放高, 逐渐被限制使用<sup>[1]</sup>。溶剂型涂料水性化是涂料降低 VOC 排放、减少大气污染的主要措施之一<sup>[2]</sup>。

水性涂料以高分子树脂为成膜物质, 加入各种助剂使高分子树脂顺利成膜。水性涂料施工时只需要往其中加入水稀释, 施工前和施工后都不会污染环境和危害人体健康。水性涂料拥有较低的 VOC 含量, 对人体的危害极小, 具有生产过程耗能少、节约资源、不易燃等特点, 已经成为一个重点研究领域。水性防腐涂料目前已广泛应用于建筑、桥梁、隧道、船舶、铁路等领

收稿日期: 2024-01-21

基金项目: 辽宁省教育厅项目 JYTMS20231574、LJ212410153030。

作者简介: 谷金(1993—), 男, 本科, 工程师, 主要从事建筑材料检测技术研究工作。E-mail: 1538772675@qq.com。

\* 通讯作者: 范兆荣(1971—), 女, 本科, 高级实验师, 主要从事高分子建筑材料的研究工作。E-mail: 13644004218@163.com。

域<sup>[3-6]</sup>,然而水性防腐涂料在使用过程中仍然存在挥发速度慢、施工效率低、附着力差等问题。

本文选用丙烯酸类乳液作为主要成膜物质,通过优化颜填料、助剂和配方,实现干燥快、附着力好,防腐性能优的水性丙烯酸快干防腐涂料的制备工艺,对工业化生产具有一定的借鉴意义。

## 1 试验部分

### 1.1 主要原材料

丙烯酸乳液,工业品,广东巴德富股份有限公司;湿润剂 SN-996、分散剂 SN-5040、触变剂 SN-621N、消泡剂 SN-NXZ,工业品,日本诺普科助剂有限公司;调节剂 HY-95、丁醚、磷酸锌、颜料、增稠剂(聚氨酯类)、氨水、氧化铁红、沉淀硫酸钡,工业品,上海优涂化工有限公司;BIT10W 杀菌剂,工业品,科莱恩化工(中国)有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

SDF400 高速分散机,浙江龙鑫化工有限公司;BGD-505 组合铅笔硬度计、BGD-302 涂膜冲击器、BGD-263 涂膜干燥时间测定仪、BGD-504 涂膜划格器,广州标格实验室仪器用品有限公司;OTX 型涂膜冲击器,中国天津伟达试验机厂;S-4800 冷场发射扫描电子显微镜,日本日立集团。

### 1.3 制备工艺

先将颜填料进行充分研磨,保证颜填料的细度 $\leq 100 \mu\text{m}$ 。然后在高速分散机中,依次加入去离子水、分散剂、触变剂、润湿剂、杀菌剂、调节剂、消泡剂、氧化铁红和沉淀硫酸钡,保持转速在 800~1 000 r/min。每一组分别加入不同量的磷酸锌继续搅拌 30 min,得到色浆。然后在调配好的色浆中分别加入丙烯酸乳液、成膜助剂和快干剂,提高转速至 1 400~1 600 r/min,加入增稠剂和适量水,搅拌 30 min 后加入氨水调节 pH 至 8~9,过滤,即得到水性丙烯酸快干防腐涂料。

### 1.4 性能测试

涂膜干燥时间:按照 GB/T 1728—1989 进行测试;

贮存稳定性:取一定量的样品放入玻璃瓶中,密封后定期检查,观察有无结块、聚合、沉淀、分层等现象;

铅笔硬度:按照 GB/T 6739—2006 进行测试;

附着力:按照 GB/T 9286—1998 进行测试;

耐冲击性:按照 GB/T 1732—1993 进行测试;

弯曲性能:按照 GB/T 6742—2007 进行测试;

耐水性:按照 GB/T 1733—1993 进行测试;

耐化学试剂:按照 GB/T 1763—1989 进行测试;

湿热老化性能:按照 GB/T 1740—2007 进行测试;

涂膜表面微观形貌:从干燥后的待测试件上切下 10 mm×10 mm 小块试样,表面喷金后于扫描电镜下观

察涂层表面的微观形貌。

## 2 结果与讨论

### 2.1 成膜物质对涂料性能的影响

在配方相同条件下,分别采用苯丙乳液和纯丙乳液作为成膜物质,制得的水性防腐涂料的力学性能和防腐性能见表 1。

表 1 成膜物质对涂料性能的影响

项目	纯丙乳液	苯丙乳液
铅笔硬度	H	HB
附着力/级	1	1
弯曲测试	180°无裂痕	180°无裂痕
耐冲击性/cm	45	40
耐水性(7 d)	较好	完好
耐盐水性(5 d)	大量小泡	完好
耐 5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (48 h)	微量小泡,变色	微量小泡,略微变色
耐 5% NaOH(48 h)	完好	完好
湿热老化	完好	完好

从表 1 可以看出,乳液种类对防腐涂料的性能有一定的影响,纯丙烯酸乳液作为成膜物质的铅笔硬度和冲击强度优于苯丙乳液,但苯丙乳液作为成膜物质做成的涂料的耐水性、耐盐水等性能都优于纯丙烯酸乳液。这可能是因为苯丙乳液合成中加入了苯乙烯,苯环是强的疏水基团,同时也是稳定的结构,所以苯丙乳液的耐水、耐盐水等性能优于纯丙烯酸乳液。而耐酸、耐碱以及湿热老化的性能相差不大,可能和加入了相同含量的防腐颜料有关。综合性能考虑,本次试验选用苯丙乳液作为成膜物质。

### 2.2 磷酸锌用量对涂料性能的影响

磷酸锌是新一代化学防腐颜料,其对涂膜的防腐性能起着非常重要的作用,将磷酸锌与氧化铁红搭配使用会明显改变涂膜性能。不同磷酸锌与氧化铁红搭配比例对涂膜力学和防腐性能的影响见表 2~3。

表 2 磷酸锌用量对涂膜力学性能的影响

磷酸锌:氧化铁红	铅笔硬度	附着力/级	弯曲测试	耐冲击性/cm
a(0)	HB	2	180°弯曲无开裂	40
b(1:2)	HB	2	180°弯曲无开裂	45
c(1:1)	HB	1	180°弯曲无开裂	45
d(3:2)	H	2	180°弯曲无开裂	40
e(2:1)	H	3	180°弯曲无开裂	40

注:a(0)代表只有氧化铁红,b、c、d、e 组括号内比例为磷酸锌与氧化铁红之比,加入量均为 5%,下同。

由表 2 可知,改变磷酸锌与氧化铁红二者比例,涂膜力学性能会发生变化。当磷酸锌与氧化铁红比例

表3 磷酸锌用量对防腐性能的影响

磷酸锌:氧化铁红	耐水性(7 d)	耐盐水(5 d)	耐 5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (48 h)	耐 5% NaOH(48 h)	湿热老化(7 d)
a(0)	少量鼓泡	明显鼓泡	明显鼓泡	微量小泡	完好
b(1:2)	微量小泡	少量鼓泡	轻微鼓泡	完好	完好
c(1:1)	完好	完好	微量小泡	完好	完好
d(3:2)	完好	完好	微量小泡	完好	完好
e(2:1)	微量小泡	完好	明显鼓泡	完好	完好

为 1:1 时,附着力最佳为 1 级,这可能是因为磷酸锌的加入,有利于氧化铁红的分散,改变单一使用氧化铁红易于团聚的弊病。由表 3 可知,磷酸锌的加入对改善涂膜防腐性能非常显著,当磷酸锌与氧化铁红比例为 1:1(c 组)和 3:2(d 组)时防腐性能最优。

c 组和 e 组涂膜的 SEM 电镜照片见图 1。

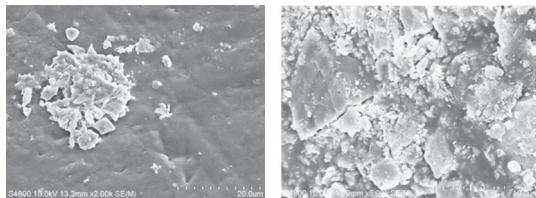


图1 c组和e组SEM图

由图 1 可知,c 组(磷酸锌与氧化铁红比例为 1:1)涂膜表面有少许的磷酸锌,形成的膜连续且较平整,涂膜的封闭性好。这样的结构能够提供涂膜良好的附着力,以及优秀的耐水、耐盐水、耐酸碱能力。而 e 组(磷酸锌与氧化铁红比例为 2:1)形成的涂膜,其表面有大量的磷酸锌沉积,影响了涂膜的完整性,且涂膜表面凹凸不平。所以涂膜的力学性能都很差,同时耐腐蚀的性

能也很差。结构决定性质,二者涂膜不同的表面形貌,导致两组性能差异较大,表面平整能够隔绝大部分腐蚀性介质,大大减缓介质进入涂膜的时间,而 e 组涂膜表面有大量的磷酸锌,涂膜不连续,存在一些细小裂纹,水等腐蚀性介质能够较为顺利地进入其中,使得防腐涂料的保护作用失去效果,金属基材被腐蚀。

综合考虑力学性能和防腐性能,磷酸锌与氧化铁红的配比宜选择 1:1,加入量为 5%。

### 2.3 苯丙乳液含量对涂料防腐性能的影响

固定磷酸锌与氧化铁红比例为 1:1 且加入量为 5%,改变苯丙乳液含量分别为 25%、30%、35%、40%、45%,苯丙乳液用量对涂膜性能的影响见表 4~5。

表4 苯丙乳液含量对力学性能的影响

苯丙乳液含量/%	铅笔硬度	附着力/级	弯曲测试	耐冲击性/cm
25	HB	2	180°无裂痕	40
30	HB	2	180°无裂痕	45
35	H	1	180°无裂痕	45
40	H	1	180°无裂痕	45
45	H	2	180°无裂痕	40

表5 苯丙乳液含量对防腐性能的影响

苯丙乳液含量/%	耐水性(7 d)	耐盐水性(5 d)	耐 5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (48 h)	耐 5% NaOH(48 h)	湿热老化
25	少量鼓泡	少量鼓泡	明显鼓泡	完好	完好
30	微量小泡	微量小泡	少量鼓泡	完好	完好
35	完好	微量小泡	微量小泡	完好	完好
40	完好	完好	微量小泡	完好	完好
45	完好	完好	明显鼓泡	完好	完好

由表 4 可知,随着乳液含量的增加涂膜硬度逐渐增加,涂膜的附着力和冲击强度都是先增强后又下降。苯丙乳液含量达到 35%时,涂膜的附着力达到了 1 级,而增加到 45%时又下降到了 2 级。这可能和乳液的含量过多,完全包裹住了颜填料,限制了颜填料发挥作用导致。

由表 5 可知,涂膜的耐碱性非常好。随着苯丙乳液的用量增加,涂膜的耐水、耐盐水的性能变好。耐酸测试后,涂膜出现明显的变色现象。苯丙乳液含量为 25%

的试验组涂膜变色明显,且浸泡在酸中的涂膜明显比未浸泡的涂膜要薄一层。原因可能是因为乳液含量不够,还有很多磷酸锌没有被包裹,与硫酸发生反应,脱离涂膜,导致涂膜变薄。而苯丙乳液含量为 45%的试验组涂膜有明显的鼓泡。原因可能是因为乳液含量过多,将磷酸锌等颜填料完全包裹在其中,而剩余的乳液成膜的连续性受到影响。当涂膜浸泡在硫酸中时,硫酸锌等颜填料无法发挥相应的作用,得等表层乳液被腐蚀掉后才能起作用。而没有包裹住磷酸锌等颜填料的乳

液成膜后,很容易就被腐蚀掉,造成涂膜有明显鼓泡。

涂膜耐水和耐盐水的性能都随着苯丙乳液含量增加而逐渐变好,当苯丙乳液含量达到 40%时,涂膜耐水、耐盐水前和后基本没有变化。可能乳液含量越多,涂膜表面越平整,面对水、盐水这种腐蚀性较小的介质时,能够起到很好的隔绝作用。

涂膜的颜色也与乳液的含量有关,苯丙乳液含量越多,涂膜的颜色也越红,光泽度也高。这可能与乳液包裹氧化铁红有关,乳液含量不够,游离在外的氧化铁红粉末会团聚,导致成膜后涂膜的颜色为深红,光泽度低,影响涂膜的外观。

图 2 从左往右分别为湿热老化前样板、湿热老化 168 h 后刚拿出来样板,以及湿热老化后放置一段时间后的样板。经过湿热老化后,涂膜刚从湿热老化箱拿出来颜色变得鲜艳,可能是因为湿热老化箱中的温湿度都远高于室温和空气中的湿度,导致涂膜中渗透入的水增加,使得涂膜表面颜色更加有光泽。5 组试样经湿热老化变色后,恢复颜色的时间相差不大,可能是因为测试的时间还不够,远没有达到涂膜的极限。



图 2 涂膜湿热老化试验照片

35%和 40%苯丙乳液含量涂膜 SEM 图见图 3。

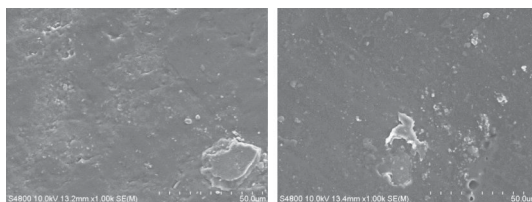


图 3 35%和 40%苯丙乳液含量涂膜 SEM 图

由图 3 可知,苯丙乳液含量增加后涂膜的表面变得更为平整,35%乳液含量形成的涂膜表面较平整,但还是存在一些小裂痕以及一些凸起;而 40%乳液含量的涂膜表面只有些许小孔,并没有明显的凸起。

综上,随着苯丙乳液加入量的增加,涂膜的铅笔硬度增加,附着力先增加而后又下降,冲击强度也是先增加后下降。苯丙乳液加入量为 35%、40%时力学性能相对较好。而耐水、耐盐水等测试时,在防锈颜料量一定的情况下,苯丙乳液用量增加,耐水性能和耐盐水性能都得到提高。但是耐酸测试时,随着苯丙乳液用量增加,涂膜耐酸性能先增强后下降。当苯丙乳液含量为 35%、40%时性能较好。随着苯丙乳液加入量的增加,防锈颜料所占的质量分数下降,使得涂层的防腐性能变差。所以在磷酸锌与氧化铁红比例为 1:1 时,苯丙乳液含量宜选择 40%。

#### 2.4 丁醚的用量对涂膜性能的影响

丁醚的用量对涂膜性能的影响见表 6。

表 6 丁醚的用量对涂膜性能的影响

丁醚用量/%	表干时间/min	铅笔硬度	附着力/级	弯曲测试	耐冲击性/cm	耐水性(7 d)	耐盐水性(5 d)
0	40	HB	2	180°无裂痕	45	完好	完好
0.3	26	HB	1	180°无裂痕	45	微量小泡	微量小泡
0.6	24	H	1	180°无裂痕	45	微量小泡	微量小泡
0.6	23	H	2	180°无裂痕	40	少量鼓泡	少量鼓泡
1.2	22	H	2	180°无裂痕	40	少量鼓泡	少量鼓泡

水性丙烯酸防腐涂料分散介质为水,水的挥发速度受温度影响较大,相比传统溶剂型丙烯酸防腐涂料,干燥速度比较慢。通过加入快干剂,可以有效调整水性丙烯酸防腐涂料的表干时间。丁醚为水性涂料常用的快干剂。由表 6 可知,随着快干剂丁醚用量的增加,干燥时间逐渐缩短,但当丁醚的用量超过 0.3%后,干燥时间变化不大,其原因可能是涂料涂布在铁板上,其含水量是一定的。快干剂挥发时带走水的速度也会慢慢降低,所以导致快干剂的量增加后,干燥时间的变化不是很明显。同样,随着丁醚用量的增加,涂膜的铅笔硬

度增加,附着力也先提升而后下降,耐冲击性也不断下降,原因可能和涂膜干燥时间有关。涂膜干燥速度快,形成的膜连续性好,涂膜硬度高,不容易脱落。丁醚的加入会导致涂膜的耐水、耐盐水性性能下降,且随着加入量的增加,性能下降的越多。可能是因为,表层干燥速度太快,涂膜表面已经干燥,而涂膜内部还有一部分水被表面形成的连续涂膜包裹在内部,使得涂膜的耐水、耐盐水性性能下降。

丁醚用量对涂料贮存时间的影响见表 7。

由表 7 可知,随着丁醚用量增加,(下转第 22 页)