

# 乳化沥青在水性工业涂料中的应用

孙学军, 肖菲\*, 史芳沅, 姚兆鹏, 王鸿忠, 牛斌斌  
(西北永新涂料有限公司, 兰州 730046)

**摘要:** 为解决工业防腐领域对低成本、高性能水性涂料的需求, 本文开发了3种基于乳化沥青的水性防腐涂料体系。该技术利用乳化沥青固有的优异防水性、抗渗透性和化学稳定性, 通过大量试验进行配方优化, 有效克服了其传统应用中的冷脆热黏、耐候性差等缺点。所制备的涂层表现出卓越的屏蔽隔绝效果, 耐盐雾性能可达到360 h, 完全满足重型防腐底漆或中期防护的要求。应用实践证明, 该涂料在钢结构、混凝土基材防护等方面效果显著, 且生产施工安全环保, VOC含量极低, 具有一定的经济效益和环境效益。

**关键词:** 水性工业涂料; 乳化沥青; 防腐; 环保

中图分类号: TQ630.7

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2026)03-0011-05

## Application of Emulsified Asphalt in Water-based Industrial Coatings

SUN Xue-jun, XIAO Fei\*, SHI Fang-yuan, YAO Zhao-peng, WANG Hong-zhong, NIU Bin-bin

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

**Abstract:** To address the demand for low-cost, high-performance water-based coatings in industrial anti-corrosion applications, this paper presents the development of an emulsified asphalt-based water-based anti-corrosion coating system. Leveraging the inherent superior waterproofing, impermeability, and chemical stability of emulsified asphalt, extensive formulation optimization through rigorous testing effectively overcomes traditional drawbacks such as cold brittleness, heat tackiness, and poor weather resistance. The prepared coating demonstrates outstanding barrier isolation properties, with salt spray resistance exceeding 600 hours, fully meeting the requirements for heavy-duty anti-corrosion primers or intermediate protection. Practical application has proven the coating to be highly effective in protecting steel structures and concrete substrates. Its production and application processes are safe and environmentally friendly, featuring extremely low VOC content, delivering significant economic and environmental benefits.

**Key words:** water-based industrial coatings; emulsified asphalt; anticorrosive; environment protection

## 0 引言

水性工业涂料以其无毒、不燃、VOC含量极低等

环境友好特性, 成为替代溶剂型涂料的主流发展方向, 在集装箱、工程机械、钢结构防腐、道路交通等领域展现出广阔的应用前景。然而, 水性防腐涂料在走向大规模工业应用的过程中面临诸多技术挑战。其核心瓶颈在于, 水的高表面张力和缓慢的蒸发速率导致涂膜致密性往往不及溶剂型体系, 且水本身作为腐蚀介质, 会加剧金属基材的电化学腐蚀。因此, 需要提升现有产品在耐水性、耐腐蚀性、抗渗透性及早期防闪锈等关键性能指标, 使其达到甚至超越传统高性能溶剂型涂料的性能指标, 拓展水性防腐涂料在重防腐领

收稿日期: 2025-09-16

基金项目: 兰州市科技计划项目 2023-ZD-196

作者简介: 孙学军(1990—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事工业防腐涂料的研发、生产、施工及验证相关工作。E-mail: 1257619595@qq.com。

\*通信作者: 肖菲(1984—), 女, 硕士, 正高级工程师, 主要从事工业涂料研发及应用工作。E-mail: 286750612@qq.com。

域的应用。

现如今, 寻求一种既能有效增强涂膜屏蔽防护性能, 又兼具经济性的材料, 成为当前水性工业涂料领域的一个重要研究方向。乳化沥青, 作为一种将石油沥青通过乳化剂分散于水相中形成的稳定胶体体系, 因其独特的价值重新进入研究视野。沥青本身具有优异的疏水性、黏附性、耐化学性和无与伦比的抗渗透能力, 这些特性恰好补齐水性涂料的性能短板。将乳化沥青引入水性涂料体系, 有望构建一种致密的、屏障性极强的复合涂膜, 大幅提升其耐水、防腐性能。更为重要的是, 沥青是石油炼制的副产品, 来源广泛、成本极其低廉。将其乳化后应用, 完全符合水性化的环保要求, 为实现高性能、低成本水性工业涂料的开发提供了极具潜力的解决方案。基于以上背景, 本研究旨在系统探讨乳化沥青在水性工业涂料, 特别是水性防腐底漆中的应用可行性。重点研究乳化沥青的添加对涂膜力学性能、耐水性、耐盐雾腐蚀性等关键指标的影响规律, 分析其与水性环氧树脂、丙烯酸乳液、水性醇酸树脂等基料的复合机理, 为拓宽乳化沥青的应用领域和推动水性涂料技术的进步提供理论依据与实践参考。

### 1 乳化沥青在水性丙烯酸乳液体系中的应用

近年来, 水性丙烯酸乳液产品在钢结构防腐领域的应用占比取得了显著提升, 但是其漆膜完全固化需要 7~14 d, 涂膜初期耐水差约束了该体系产品在钢结构防腐领域的大面积应用。研究人员通过引入乳化沥青, 在不影响其他性能指标的前提下提升该体系的初期耐水性, 拓展产品应用场景。

#### 1.1 试验思路

乳化沥青提供优异的防水性、抗渗性、黏附性(特别是对无机基面)和阻尼性。但其缺点也很明显: 耐候性差、耐高温性差(夏天易发软)、颜色单一(只有黑色)。水性丙烯酸乳液提供优异的耐候性、耐紫外线性和弹性、机械强度以及可装饰性(可调色)。但其在防水和成本上可能不如沥青。通过复配, 可以得到一种新材料, 它既具有沥青的防水和黏附优势, 又具备了丙烯酸的耐候和柔韧特性。

#### 1.2 试验部分

试验原材料: YX-0021 乳化剂, 试剂, 永新自制; LO1-1 水性乳化沥青, 永新自制; 中和剂, 工业级, 兰州; 分散剂, 工业级, 深竹; 消泡剂, 工业级, 泰格; 硫酸钡, 工业级, 洛阳; 钛白粉, 工业级, 南阳; 炭黑, 工业级, 山东; 滑石粉, 工业级, 郑州; 丙烯酸乳液, 工业级, 巴德富; 成膜助剂, 工业级, 江苏; 增稠剂, 工业级, 上海。

基于 YX-0021 乳化而成的 LO1-1 水性沥青产品, 具备优异的冷施工性能、快速干燥性和优异的黏附

性能, 其衍生产品具有优异的防水防腐性能。乳化沥青物理性能如表 1 所列。

表 1 乳化沥青物理性能

项目	指标
外观	黑褐色黏稠液体
固含量/%	50±2
pH	9~11
黏度/(mPa·s)	≤1 000
筛余物/%	≤1.0
机械稳定性	通过
钙离子稳定性	通过

#### 1.2.1 相容性测试

乳化沥青通常是阴离子型或非离子型的, 而丙烯酸乳液多为阴离子或阳离子型。如果电荷相反, 混合时会立即导致破乳凝聚, 无法使用。LO1-1 水性沥青产品为阴离子乳化沥青, 因此必须使用阴离子型丙烯酸乳液。采用现有的不同阴离子乳液与 LO1-1 按照不同比例混拼, 考察产品混容后的性能和热贮稳定性。

#### 1.2.2 产品制备

用不同含量乳化沥青搭配 3618 乳液制备水性丙烯酸防腐底漆, 保持产品制作工艺一致。如果色漆贮存稳定性略差, 可以添加少量的表面活性剂或高分子偶联剂, 以降低两相间的界面张力, 使它们稳定共存。乳化沥青按照 3%、5% 和 10% 在兑稀阶段加入, 水性丙烯酸防腐底漆配方如表 2 所列。

表 2 水性丙烯酸防腐底漆配方

原料	质量分数/%
蒸馏水	20.0~25.0
中和剂	0.3~1.0
分散剂	0.5~1.2
消泡剂	0.1~0.2
硫酸钡	10.0~15.0
钛白粉	3.0~5.0
炭黑	0.1~0.8
滑石粉	5.0~10.0
防沉剂	0.1~0.4
丙烯酸乳液	40.0~50.0
乳化沥青	3.0~10.0
成膜助剂	3.8~4.6
闪锈抑制剂	适量
蒸馏水	10.0~13.0
增稠剂	适量

## 1.2.3 产品检测

按照水性钢结构涂料产品标准对喷板进行检测,

重点检测产品干燥、初期耐水、硬度、耐盐水、附着力等性能,结果如表3所列。

表3 水性丙烯酸沥青钢结构涂料检测结果

项目	技术要求	检测结果			
		0 沥青	3% 沥青	5% 沥青	10% 沥青
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
施工性	施工无障碍	符合	符合	符合	符合
不挥发物含量/%	≥40.0	46.4	47.9	48.9	51.4
黏度(斯托默)/KU	80~100	96	92	97	99
结皮性(48 h)	不结皮	不结皮	不结皮	不结皮	不结皮
冻融稳定性 <sup>①</sup>	不变质	不变质	不变质	不变质	不变质
热贮稳定性 <sup>①</sup>	通过	通过	通过	通过	通过
闪锈抑制性	正常	正常	正常	正常	正常
细度/ $\mu\text{m}$	≤30	30	30	30	30
表干时间/h	≤8	0.5	0.6	0.6	0.8
实干时间/h	≤24	10	13	13	18
弯曲试验/mm	≤2	2	2	2	1
划格试验/级	≤1	1	1	1	1
耐冲击性/cm	≥40	40	40	40	50
初期耐水性	5 h 无异常	5 h	72 h	72 h	120 h
耐盐水性	自测	48 h	48 h	48 h	72 h
摆杆硬度	自测	0.20	0.20	0.17	0.11

注:①冻融稳定性为3次循环,热贮稳定性为(50±2)℃环境下贮存7 d,下同。

## 1.3 试验结论

从表3可以看出,加入不同量的乳化沥青后,产品的性能均能够满足标准要求,乳化沥青加量由0%增加至10%,产品表干时间从0.5 h增加至0.8 h,实干从10 h增加至18 h,摆杆硬度从0.20降至0.11,初期耐水从72 h延伸至120 h。试验结果证实,加入乳化沥青可以提高水性丙烯酸乳液产品体系的初期耐水性,但是硬度和干燥性也随之下降。因此,乳化沥青的加量要根据客户现场使用情况和指标要求决定,在提升产品性能的同时不能影响产品使用。

## 2 乳化沥青在水性醇酸体系中的应用

水性醇酸树脂通常呈弱碱性(pH为7.5~9.5),而阳离子型乳化沥青通常呈酸性(pH为2~6),阴离子型乳化沥青呈碱性。如果电荷相反,混合时极易导致破乳、絮凝、结块,使体系报废。必须选择阴离子型或非离子型的乳化沥青,使其电荷性与水性醇酸体系相匹配,确保混合后的贮存稳定性。产品相容性和稳定性测定方法与水性丙烯酸体系相似,不再作详细介绍。

## 2.1 试验部分

## 2.1.1 产品制备

水性醇酸树脂需选择固含量高(≥60%)、粒径细小且分布均匀的产品,有利于稳定性和成膜质量。我公司自制水性丙烯酸改性醇酸树脂固含为75%,干燥速度和耐性优异,与LO1-1水性沥青产品搭制备水性醇酸底漆,考虑到水性醇酸体系整体干燥速度较水性丙烯酸慢,加入乳化沥青后会影响到涂膜干燥性能,因此减少乳化沥青的加量为2%、4%和6%。产品配方为水性醇酸树脂参与研磨,乳化沥青必须在低速搅拌下加入,将乳化沥青缓慢地加入水性醇酸树脂中,反向添加容易导致局部破乳。搅拌速度不宜过快,以免引入过多气泡。

## 2.1.2 产品检测

水性乳化沥青醇酸底漆按照HG/T 4847—2015检测,重点监测产品干燥、硬度和稳定性。水性乳化沥青醇酸调合漆重点性能检测结果如表4所列。

## 2.2 试验结论

从表4可以看出,在水性醇酸中加入乳化沥青后的产品性能与水性丙烯酸乳液产品体系类似。乳化沥

表4 水性乳化沥青醇酸调漆重点性能检测结果

项目	技术要求	检测结果			
		0%沥青	2%沥青	4%沥青	6%沥青
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
结皮性(48 h)	不结皮	不结皮	不结皮	不结皮	不结皮
冻融稳定性	不变质	不变质	不变质	不变质	不变质
热贮稳定性	通过	通过	通过	通过	通过
表干时间/h	≤8	0.7	0.8	1.0	1.5
实干时间/h	≤24	20	23	27	48
弯曲试验/mm	≤2	1	1	1	1
划格试验/级	≤1	1	1	1	1
耐冲击性/cm	≥40	40	40	50	50
耐水性(24 h)	无异常	无异常	无异常	无异常	无异常
光泽/%	商定	73~78	68~70	59~64	37~42
摆杆硬度	0.20	0.21	0.20	0.17	0.15

青加量越大,产品弯曲性、附着力、耐水性有提升,但是光泽度、干燥性、硬度下降至超过标准要求。因此,在现有自制树脂体系中,LO1-1 水性乳化沥青加量不能超过 2%,才能保证产品符合标准要求。

水性醇酸作为面漆具有较强的装饰性,加入乳化沥青后会影响到浅色系产品颜色和耐候性,这也是乳化沥青无法在水性面漆中大面积推广使用的原因之一。乳化沥青推荐用于水性醇酸底漆或中间漆。

### 3 乳化沥青在水性环氧体系中的应用

水性环氧中以水为溶剂“冷拼”乳化沥青,环氧和沥青都是分散相。随着水分减少,环氧树脂颗粒和沥青液滴开始相互靠近、聚集。与此同时,水性环氧的胺类固化剂开始与环氧树脂发生交联固化反应,形成三维网状结构。在这个过程中,未固化的沥青液滴会被“包裹”和“锁定”在正在固化的环氧网络中,最终形成的膜不是单纯的“环氧+沥青”,而是“环氧网络为连续骨架,沥青填充其中”的互穿网络结构。

#### 3.1 试验部分

优先选择阳离子型乳化沥青与水性环氧体系搭配。因为水性环氧的固化剂通常是阳离子型(含胺基),电荷相同,相容性更好。阴离子型乳化沥青极易因电荷中和而导致破乳。因此采用外购 Y-303 水性乳化沥青,该产品机械稳定性高、贮存稳定性好,固含量、筛上剩余物等指标需符合要求。

按不同比例将环氧乳液与乳化沥青混合,搅拌均匀后静置观察 15~30 min,看是否出现絮凝、破乳、结块、分层等现象。相容性良好则表现为均匀的、无明显颗粒的混合物。其次,考察环氧乳液制漆后与乳化沥青

的热贮稳定性和冻融稳定性。

#### 3.1.1 产品制备

采用水打浆的方式制备水性环氧水浆,按照不同比例加入乳化沥青和自制 YEY-03 水性环氧乳液,总成膜物固含量为 55%。根据经验,加入乳化沥青后产品干燥性能和硬度下降,因此搭配 MK-21 自制快干环氧固化剂,尽量保证产品施工性不变。

#### 3.1.2 性能测试

重点测试产品活化期、干燥性、硬度、耐水性和耐盐雾性。

按照 HG/T 4759—2014 水性环氧树脂防腐涂料底漆标准,检测产品表干时间,乳化沥青加量与表干时间关系如图 1 所示。

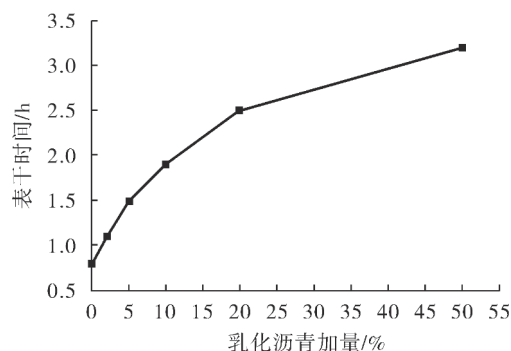


图1 乳化沥青加量与表干时间的关系

### 3.2 试验结论

由图 1 可以看出,乳化沥青加量越大,表干时间越长。主要原因有以下几点:1)乳化沥青本身就是一种高

含水的体系(通常固含量在 50%~60%)。加入越多乳化沥青,就等于向整个体系中引入了越多的“游离水”。这些额外增加的水分需要更多的时间才能完全挥发。2)水分挥发后,沥青颗粒和环氧树脂颗粒需要聚结形成连续致密的膜。大量的沥青颗粒会改变体系的成膜路径,可能会堵塞水分的挥发通道,使得内部水分更难逸出,从而延长了干燥时间。3)沥青是一种惰性有机材料,它不参与环氧树脂的固化反应。它的加入实际上稀释了环氧组分和固化剂组分的浓度。环氧树脂和固化剂分子需要相互碰撞才能发生反应,大量的沥青颗粒就像“障碍物”,物理上隔离了反应物,降低了它们的有效接触概率,从而减缓了交联反应的速率。

乳化沥青加量与活化期的关系如图 2 所示。

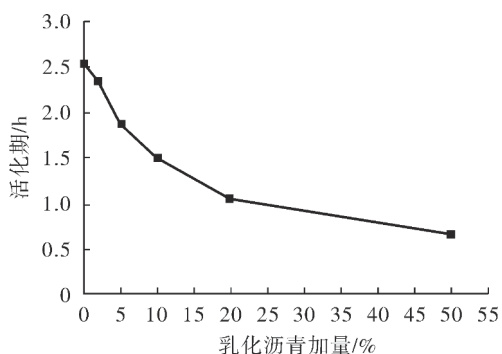


图 2 乳化沥青加量与活化期的关系

由图 2 可以看出,乳化沥青加量越大,产品活化期越短。这是因为大多数水性环氧固化剂是胺类的,它们需要在稳定的碱性或中性环境下才能保持化学稳定性和反应活性。大多数阴离子乳化沥青是靠碱性物质(如 NaOH、KOH)来维持乳化状态的,其通常呈碱性(pH 为 10~12)。而阳离子乳化沥青则呈酸性。

当两者混合时,乳化沥青的引入会剧烈改变混合体系的 pH 环境。如果破坏了胺类固化剂所需的稳定环境,会加速固化剂的失活或直接引发环氧树脂的过早固化,从而导致体系黏度迅速增大,活化期缩短。同时,高添加量的乳化沥青可能会破坏水性环氧体系的稳定性,导致沥青和环氧组分发生破乳,这个过程会迅速增稠,表现为活化期缩短。

乳化沥青改性水性环氧的性能如表 5 所列。

由表 5 可知,加入一定量的沥青后产品耐水性和耐盐雾性明显提升,但是耐碱性下降,这是因为沥青中的酸性成分(如沥青酸)会与碱发生皂化反应,生成可溶性的皂类物质,导致漆膜软化、膨胀、失去强度。

表 5 水性环氧+乳化沥青部分性能检测

项目	试验方法	指标	乳化沥青	
			0%	5%
耐水性 (240 h)	GB/T 1733 —1993	不起泡,不开裂, 不剥落,不生锈	312 h	432 h
耐碱性(5% NaOH, 240 h)	GB/T 1763 —2022	不起泡,不开裂, 不剥落,不生锈	264 h	72 h
耐酸性(5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 24 h)	GB/T 1763 —2022	不起泡,不开裂, 不剥落,不生锈	24 h	48 h 起泡
耐盐雾性 (300 h)	GB/T 1771 —2007	不起泡,不开裂, 不剥落,不生锈	336 h	360 h
铅笔硬度	自检		2H	H

由以上数据分析可以看出,将乳化沥青应用于水性环氧体系并非简单的物理混合,而是形成了一种有机结合的“刚柔并济”的新型复合材料。如果应用环境对耐酸碱有明确要求,不建议在水性环氧中添加乳化沥青。应选择专用的、耐化学腐蚀性更强的水性环氧体系或改用溶剂型环氧体系。如果客户注重产品的耐水性和耐盐雾性,可以加入适量的阳离子型乳化沥青,提升产品性能,解决单一材料的性能缺陷。

## 4 经济效益和环境效益

### 4.1 经济效益

乳化沥青加入不同水性体系制漆,改变了常规沥青的使用方法,使其可以在常温或稍加热的条件下进行施工,而传统沥青需要在 160 ℃左右的高温下进行贮存、运输和施工,这个过程需要持续消耗大量的燃油或电能进行加热保温。相比较而言,乳化沥青可以在稀释剂的用量、施工方式、设备维护等方面节约成本,降低能源的损耗。

### 4.2 环境效益

热沥青在高温下会产生大量的沥青烟,其中含有苯并芘、酚类等多种有害物质,对施工人员健康和周边环境造成严重危害。乳化沥青体系在常温下施工,不会有沥青烟产生,极大地改善了工作环境,保障了工人健康,减少了对大气的污染。

## 5 结语

通过系列试验证明,乳化沥青在水性醇酸中不能应用于面漆,在底漆中加量不超过 2%时可以提升产品的耐水性和弯曲性,可以拓展水性醇酸在高柔韧性和高湿环境下的应用。水性环氧中加入可以改善产品耐盐雾性和耐化学防腐性,关键点在于产品相容性的测试。在水性聚氨酯中目前无法应用,相信随着涂料技术的不断改革突破,环保要求的提高,乳化沥青能应用于各类环保面漆,达到“1+1>2”的协同效应,实现性能与成本的平衡。(下转第 51 页)