

DOI: 10.12164/j.issn.1003-8965.2022.02.022

隧道水性防污涂料研发及应用

Development and application of water-based antifouling coating for highway tunnels

魏小龙¹, 丁攀², 许辉³, 吴祥海⁴, 张强⁴, 侯孝斌³, 孙强盛¹, 陈鹏¹, 任国斌¹, 张青¹, 武旭¹, 郝金迎⁵
(1. 甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃 兰州 730010; 2. 甘肃省兰州公路事业发展中心, 甘肃 兰州 730010; 3. 云上甘肃科技有限公司, 甘肃 兰州 730000; 4. 甘肃省公路事业发展中心, 甘肃 兰州 730010; 5. 陕西中盛道路养护工程技术有限公司, 陕西 西安 710075)

WEI Xiaolong¹, DING Pan², XU Hui³, WU Xianghai⁴, ZHANG Qiang⁴, HOU Xiaobin³, SUN Qiangsheng¹, CHEN Peng¹, REN Guobin¹, ZHANG Qing¹, WU Xu¹, HAO Jinying⁵

(1. Gansu Transportation Planning, Survey and Design Institute Co., Ltd., Lanzhou 730010; 2. Gansu Lanzhou Highway Development Center, Lanzhou 730010; 3. Yunshang Gansu Technology Co., Ltd., Lanzhou 730000; 4. Gansu Highway Development Center, Lanzhou 730010; 5. Shaanxi Zhongsheng Road Maintenance Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an 710075)

摘要: 针对当前隧道内墙装饰材料耐污性差、影响行车安全的问题, 研发了一款水性防污涂料, 阐述了其工艺配方, 并对其漆膜性能进行性能研究。结果表明, 水性防污涂料的各项性能均满足指标要求, 耐污性能达到1级标准, 阻燃性达到B1级, 产烟毒性满足ZA3级标准要求, 是一款性能优良的隧道内墙涂料。

关键词: 防污涂料; 水性涂料; 隧道工程

Abstract: In view of the poor fouling resistance of current tunnel interior wall decoration materials which affects driving safety, this study develops a water-based antifouling coating, expounds its technological formula, and studies the performance of its paint film. The results show that the properties of the water-based antifouling coating meet the requirements. Its antifouling performance reaches grade 1, its flame retardancy reaches grade B1, and its smoke production toxicity meets grade ZA3. It is proved to be a tunnel interior wall paint with excellent performance.

Key words: antifouling coating; water-based coating; tunnel engineering

中图分类号: U214.6 文献标志码: A 文章编号: 1003-8965(2022)02-0085-05

0 引言

我国公路里程不断增加, 已建成隧道数量为世界之最^[1]。隧道内部空间相对封闭, 汽车尾气和车辆行驶产生的扬尘难以排出隧道。尾气形成的炭黑、机油和扬尘带来的灰尘混合并沉积于隧道内墙, 日积月累形成了明显的污渍, 导致隧道内照明效果劣化, 影响行车安全^[2-3]。定期清洗内墙材料是一种改善运营隧道照明状况的措施, 但是清洗作业会对交通造成影响, 且有一定的安全风险, 同时也增加了隧道运营维护成本^[4-5]。因此, 研发一种隧道内墙防污涂料对于提高隧道内行车安全及降低隧道运营成本有重要意义^[6]。

基于此, 本文研发了一种适用于隧道内墙涂装的水性防污涂料, 不仅具有耐污、高光泽、易清洗和耐久性能, 同时具有良好的阻燃性能。

1 原材料及试验

1.1 原材料

本涂料涂装材料体系包含水泥基柔性腻子、无机阻燃底漆和水性瓷化防污面漆等不同材料。除水性瓷化防污面漆为试验研发外, 其余原料均为市售成熟产品。

1.2 涂料制备

水性瓷化防污涂料分为A、B两个组分。其中, B组分为水性聚氨酯固化剂, 成品外购, 无需二次生产加工。水性瓷化涂料的制备指A组分的生产, 其工序包含钛白浆的制备、关键性助剂的混合分装以及成品漆的生产, 配方参考表1。

钛白浆的制备: 按配方称取水、湿润剂和钛白浆, 加入分散缸充分分散至细度 $\leq 30\text{mm}$ 后包装出料。

关键性助剂的混合分装: 按配方称取成膜助剂1、成膜助剂2、润湿剂和流平剂后加入混合罐中搅拌均匀, 过200目滤布后包装出料。

成品漆制备: 称取羟基丙烯酸乳液后加入混合釜中, 边搅拌边加入pH调节剂, 调整pH值至7~8, 将制备好的关键性助剂和钛白浆、增稠剂、消泡剂、水按配比加入, 充分

基金项目: 甘肃省交通运输厅科研项目“公路隧道水性易清洗瓷化涂装技术应用研究”(2020-02); 甘肃省科技厅重点研发项目“硅烷浸渍技术在混凝土防腐中的应用研究”(21YF11GA010)

第一作者: 魏小龙(1984.3-), 本科, 工程师, 从事道路工程材料研究。

分散后完成成品漆的制备。成品漆体系粘度控制在 15000-20000mPa.s。

表1 水性瓷化防污涂料配方

工序	物料名称	w/%
钛白浆的制备	水	4
	润湿剂	1.5
	钛白浆	24
关键性助剂的混合分装	成膜助剂 1	2.5
	成膜助剂 2	2.5
	润湿剂	0.3
	流平剂	0.2
	羟基丙烯酸乳液	58
成品漆生产	pH 调节剂	0.3
	消泡剂	0.3
	增稠剂	0.5
	水	5.9

1.3 产品主要性能检测

涂料性能检测中的干燥时间、漆膜柔韧性、漆膜硬度、耐冲击性、光泽度、附着力、耐盐性及耐人工老化等参照现行涂料标准规范进行；涂料的耐酸、碱、湿热性及耐冻融循环参照GB 28375-2012《混凝土结构防火涂料》进行测试；涂料耐污性的检测方法根据GB/T 9780-2013《建筑涂料涂层耐沾污性试验方法》中外墙涂料层耐沾污性试验方法进行；涂料的阻燃性能参照规范GB/T 20284-2006《建筑材料或制品的单体燃烧试验》、GB/T 8626-2007《建筑材料可燃性试验方法标准》以及GB/T 20285-2006《材料产烟毒性危险分级》进行测试。

色差值根据式(1)计算：

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2} \quad (1)$$

其中， ΔE 表示色差值； L_0 、 a_0 、 b_0 为老化前颜色参数； L_1 、 a_1 、 b_1 老化后颜色参数。

失光率根据式(2)计算：

$$\text{失光率} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

其中， A_0 表示老化前光泽测定值； A_1 表示老化后光泽测定值。

2 结果与讨论

2.1 水性瓷化防污涂料漆膜性能检测

隧道水性耐污瓷化涂料的所有性能检测均在涂料完成涂装并养护7d后进行。涂料的漆膜性能检测结果如表2、图1所示。

隧道水性耐污瓷化涂料完成涂装后首先进行外观形貌的目视检测(图1(a))，表面色调均匀一致，漆膜平整，说明产品具有良好的流平性和成膜性。

漆膜柔韧性测试(图1(b))采用柔韧性测定器1mm厚度7号轴棒测试，弯折后，漆膜表面完整无裂纹，说明漆膜具有良好的延展性，可抵消隧道表面产生的微小形变和裂纹对漆膜的影响。

漆膜硬度测试(图1(c))先采用硬度为1H的铅笔进行试验，漆膜表面无划痕，说明漆膜的硬度大于1H，继续用2H铅笔进行试验，漆膜表面出现轻微划痕，继续用3H铅笔进行试验，漆膜表面出现明显划痕，说明项目产品的漆膜硬度可达2H。

漆膜耐冲击性测试(图1(d))在温度为23℃和相对湿度为95%的环境条件下调节16h进行，将涂漆试板漆膜朝上平放在铁砧上，将1000g的重锤从50cm的高度自由落于冲头上，提起重锤取出试板，观察冲击部位，漆膜无裂纹皱纹及剥落等现象，继续将重锤的高度提升到100cm进行冲击

表2 水性瓷化防污涂料性能检测结果

检验项目	技术指标	检测结果	检测方法
外观	均匀，无结块，无杂质	均匀，无结块，无杂质	目测
干燥时间	表干/h	≤ 2	0.5
	实干/h	≤ 24	16
附着力/MPa	≥ 1.5	3.21	GB/T 5210
漆膜硬度	≥ 2H	2H	GB/T 6739
柔韧性/mm	1	1	GB/T 1731
光泽度/60°	≥ 65	78.3	GB/T 9754
接触角(°)/水	≥ 90	95	GB/T 30693
耐冲击性/cm	≥ 50	100	GB/T 1732
耐水性/h	720h，试验后涂层不开裂、起层、脱落	720h，涂层无开裂、起层、脱落	GB/T 1733
耐酸性/h(3%盐酸溶液)	360h，试验后涂层不开裂、起层、脱落	360h，涂层无开裂、起层、脱落	GB/T 28375
耐碱性/h(饱和氢氧化钙)	360h，试验后涂层不开裂、起层、脱落	360h，涂层无开裂、起层、脱落	GB/T 28375
耐盐性/h(5%氢氧化钠溶液)	360h，试验后涂层不开裂、起层、脱落	360h，涂层无开裂、起层、脱落	GB/T 9274
耐湿热性/h	720h，试验后涂层不开裂、起层、脱落	720h，涂层无开裂、起层、脱落	GB/T 28375
耐冻融循环实验/次	15，试验后涂层不开裂、起层、脱落	15次循环涂层无开裂、起层、脱落	GB 28375
耐人工老化/h	1000h，试验后涂层不开裂、起层、脱落，失光0级，色差无变化	1000h，涂层无开裂、起层、脱落，失光0级，色差无变化	GB/T 1865

试验,观察冲击部位,漆膜无裂纹、皱纹及剥落等现象,说明漆膜具有良好的耐冲击性,可有效抵御飞溅砂石对涂装漆膜表面的冲击。

附着力测试(图1(c))是将铝合金圆柱用胶黏剂胶在涂层表面,放置24h,用拉开法测试仪器进行,根据测试结果,水性防污瓷化涂料的平均附着力为3.21MPa,远高于标准要求的1.5MPa。

耐湿热性能测试(图1(f))是将涂料试板于湿度为95%、温度为45℃的恒温恒湿箱中放置28d后,观察漆膜表面、样板,均未出现涂层开裂、起层、脱落的现象,说明水性防污瓷化涂料具有良好耐湿热性,可有效抵御高温高湿环境对漆膜的破坏。

耐溶剂性能测试(图1(g))是将涂料试板浸泡在相应的酸、碱、盐溶液中,劣化结束后观察漆膜表面,均未出现涂层开裂、起层、脱落的现象,说明水性防污瓷化涂料具有良好的耐酸性、耐碱性及耐盐性,可以有效抵御隧道中汽车尾气、隧道混凝土的碱性环境及冬季撒布的融冰雪盐等对漆膜的破坏。



(a)外观形貌

(b)柔韧性测试

(c)铅笔硬度测试

(d)耐冲击测试(100cm)

(e)附着力测试

(f)耐湿热性能测试

(g)耐溶剂性能测试

图1 水性防污瓷化涂料性能检测

2.2 水性防污瓷化涂料隧道使用性能测试

本涂料的研发基于隧道内墙涂装特殊使用场景,要求涂料具有防污、高光泽、易清洗、耐久性好等特点,从而提高隧道内的照度和亮度,提高行车安全性。由图2可见,水性防污瓷化涂料的光泽度较高,对光的反射能力优于普通瓷砖,远远优于普通涂料。

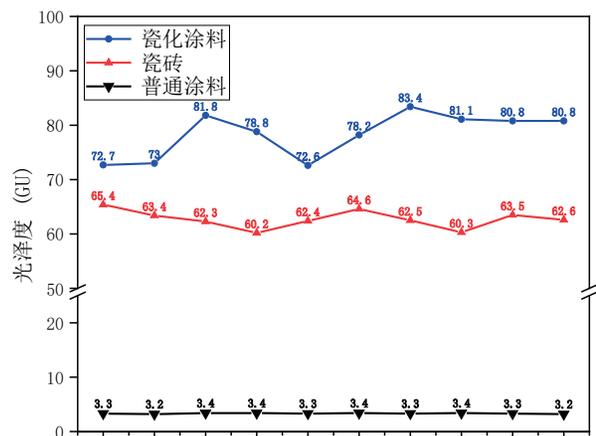


图2 水性防污瓷化涂料与瓷砖和普通涂料的光泽度对比

选取隧道内墙常用瓷砖和普通涂料作为对比样,与水性防污瓷化涂料进行冻融循环和人工老化后色差和光泽度的对比研究。

涂料冻融循环测试,先将封边后试件放入23℃自来水浸泡18h,取出后置入-20℃低温箱3h,再取出置入50℃烘

箱3h,共进行15次冻融循环试验,结果如图3所示。从图3(a)可以看出,经过15次冻融循环后,样板漆膜的色差值为0.47,小于1.5,可判定为色差无变化;从图3(b)可以看出,经过15次冻融循环后,样板漆膜的失光率为1.08,小于3,可判定为漆膜无失光。结果说明,水性防污瓷化涂料具有良好的抗低温性能,适用于高寒大温差环境。

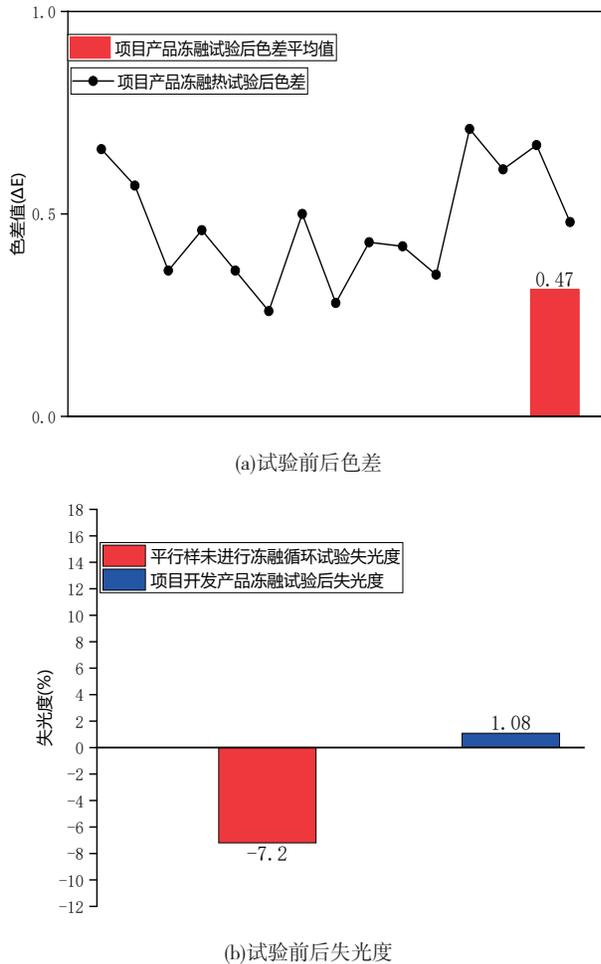


图3 水性防污瓷化涂料冻融循环试验

涂料的耐人工老化测试条件为辐射强度550w/m²,温度25℃,湿度50%。完成1000h人工老化试验后对漆膜的色差和光泽度的变化进行研究,结果如图4所示。从图4(a)可以看出,经过1000h人工老化后,样板漆膜的色差值为0.28,小于1.5,可判定为色差无变化;从图4(b)可以看出,经过1000h人工老化后,样板漆膜的失光率为1.05,小于1.5,可判定为色差无变化。结果说明,水性防污瓷化涂料具有良好的抗老化能力。

通过测试漆膜与水与甘油的接触角来表征涂料的抗污性能,结果如图5所示。漆膜与水的接触角为95°,与甘油的接触角为86°,说明项目产品具有良好的疏水疏油性,可有效减少水汽和油污的附着,具备一定的抗污性。

为保证水性防污瓷化涂料的防火性能满足隧道防火要求,按相关规范对项目产品进行了防火性能检测,结果如表3所示。从表3可以看出,水性瓷化防污涂料的阻燃性达到B1级,产烟毒性满足ZA3级,其防火性能符合相关规范要求,满足隧道内墙涂装的阻燃需要。

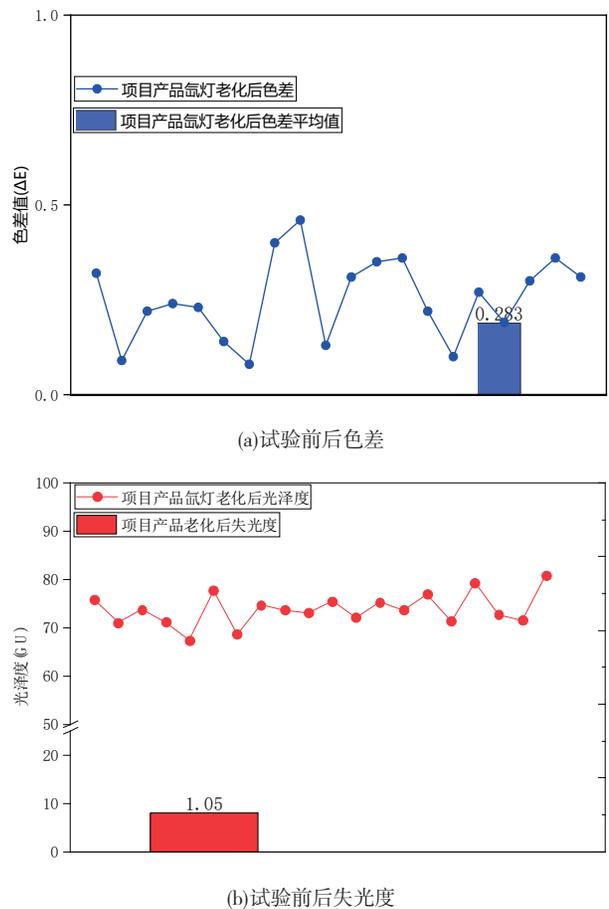


图4 水性防污瓷化涂料耐人工老化试验

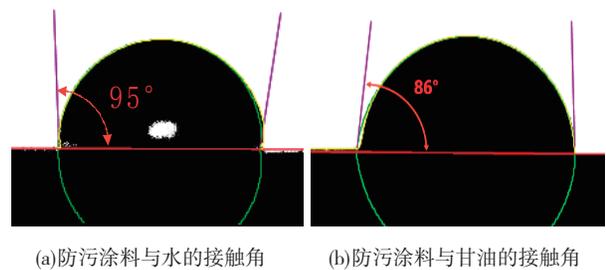


图5 水性防污瓷化涂料接触角试验

2.3 水性瓷化防污涂料长期性能观察

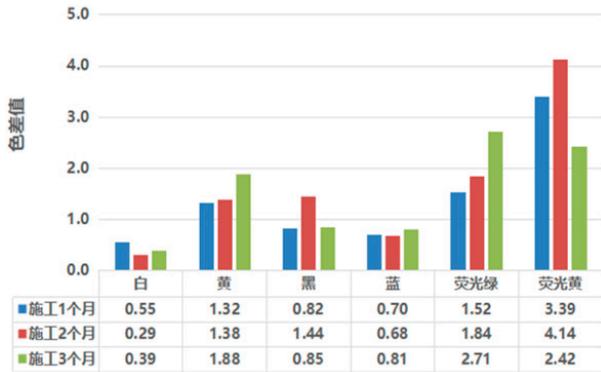
在室内试验的基础上,进一步在室外环境喷涂制作样板墙,对项目产品的长期性能进行观察,分别用色差仪和光泽度仪测试漆膜颜色和光泽变化。



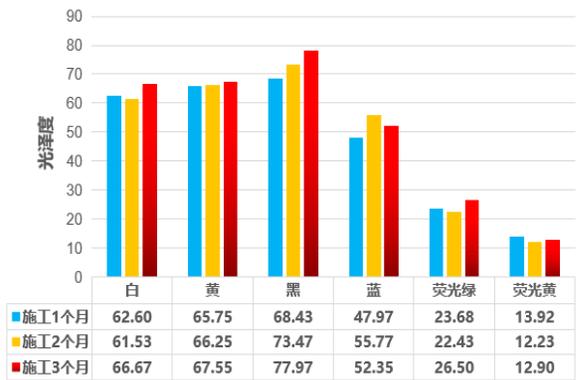
图6 水性防污涂料样板墙(x表示测点)

表3 水性瓷化防污涂料阻燃性能检测结果

检测项目		检测方法	技术指标	检测结果	
燃烧性能 B1(C) 级(平板状建筑 材料及制品)	燃烧增长速率指数 /W/s		≤ 250	114	
	单体燃烧	火焰横向蔓延长度	GB/T 20284-2006	未到达试样长翼边缘	
		600s的总放热量 /MJ		≤ 15	3
	可燃性 (点火时间 30s)	燃烧长度 /mm	GB/T 8626-2007	60s内无燃烧滴落物引燃 滤纸现象	60s内无燃烧滴落物
产烟毒性		GB/T 20285-2006	准安全三级 ZA3 级	ZA3	



(a)水性防污涂料漆膜色差变化



(b)水性防污涂料漆膜光泽度变化

图7 水性防污瓷化涂料长期性能检测

从图7可以看出,经过3个月的室外暴晒,水性瓷化防污涂料在不加入色浆调色的情况下,漆膜的色差变化较小(ΔE值小于1.5),光泽度变化不大(失光率小于3),说明其具有较好的耐候性。在加入色浆后,色浆会对涂料的性能产生影响,尤其是加入耐候性较差的荧光色浆后,漆膜的色差变化较大。

3 隧道水性瓷化防污涂料施工工艺

本文研发的隧道水性瓷化防污涂料具有良好的使用性能,基于隧道应用的特殊需求制定合理的施工工艺可以更好表现其使用性能。隧道内墙喷涂工艺如下:1)隧道基层处理:对隧道墙壁进行冲洗,将脱落、开裂、鼓包的旧涂层铲除,墙体孔洞和裂缝使用专业高强修补料填补,修补料干燥后使用耐水腻子找平;2)界面剂喷涂:待找平腻子彻底

干燥后进行界面剂喷涂,所选界面剂为乳液型,在墙面具有良好的附着力和成膜性,可改善墙面的粘结效果;3)腻子批刮:界面剂彻底干燥形成良好界面后,满刮耐水腻子,批刮两道,第一道腻子彻底干燥后批刮第二道腻子,腻子层彻底干燥后使用400目砂纸打磨平整;4)底漆喷涂:完成腻子层打磨清理后喷涂两道防火底漆,第二道底漆在第一道底漆彻底干燥后施工;5)面漆喷涂:底漆彻底干燥后喷涂面漆,以喷涂方式施涂两道,为避免流挂等现象,第一道面漆喷涂4~6h后进行第二道面漆喷涂;6)腰线涂装:施工前严格按照20cm宽度做好美纹胶粘贴,确保腰线宽度均匀一致,腰线辊涂10min后将胶带撕除。

4 结论

本文基于隧道内墙的防污需求,针对现有材料耐污性差、施工工艺复杂等问题,研发了一款耐污、高光泽、易清洗和耐久好的高性能隧道水性瓷化防污涂料,并对其漆膜性能进行了测试,各项性能均满足指标要求。为验证其在隧道内墙涂装中的适用性,对其防污性能、阻燃性能和产烟毒性进行了检测,结果表明,隧道水性瓷化防污涂料的耐污性能达到1级标准,阻燃性达到B1级,产烟毒性满足ZA3级的标准要求,是一款性能优良的隧道内墙涂料。

参考文献

[1]蒋树屏.公路隧道工程品质与技术对策[J].现代隧道技术,2017,54(04):1-12.
 [2]张国栋,冯守中.多功能蓄能发光涂料降解公路隧道壁面污染的模型试验研究[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(08):143-145.
 [3]何世永,梁波,罗红.不同隧道侧壁涂料对汽车司机视觉反应的研究[J].现代隧道技术,2017,54(01):48-54.
 [4]罗骏鸣.高速公路桥隧养护管理工作思考[J].黑龙江交通科技,2021,44(07):181+183.
 [5]崔锴.超疏水自清洁涂料在隧道工程中的应用[J].青海交通科技,2021,33(01):128-135.
 [6]梁云龙,张彩明,侯建.隧道照明方式及节能措施研究[J].交通世界,2021(34):103-104.