

反应型标线涂料在云南山区高速公路标线修复中的应用

苟海波¹,袁明园²,周启伟²

(1.招商中铁控股股份有限公司,广西 南宁 530000; 2.招商局重庆交通科研设计院有限公司,重庆市 400067)

摘要:在对云南某高速公路旧路标线进行评定的基础上,提出采用反应型标线涂料喷涂工艺对旧标线进行修复,分析了玻璃珠粒径、不同共混比例、不同用量对喷涂后标线逆反射系数的影响,得出玻璃珠撒布量为450 g/m²,A型(细型)玻璃珠和B型玻璃珠(粗型)质量比例为1:2时,逆反射系数最佳;通过工后检测,修复后标线逆反射系数均值不小于400 mcd·m⁻²·lx⁻¹;工程实践表面反应型标线涂料能有效修复高速公路旧标线的功能。

关键词:旧路标线;反应型涂料;逆反射系数

中图分类号: U491.5+23

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0280-04

0 引言

标线作为道路安全的主动设施,在车辆安全通行中发挥着重要作用,研究表明标线与交通事故的相关概率高达70%,且科学合理的设计和布局可提高30%的通行效率^[1-2]。我国现有标线热熔型占比达90%以上^[3],据不完全统计,传统的热熔标线施工每年消耗燃气约4万t,排放CO₂和粉尘约60万t,严重制约了交通行业的碳达峰,加之热熔型标线在服役过程中易出现开裂、剥落等早期病害,影响交通安全通行^[4-8]。同时,目前标线修复技术存在一些问题,如耐久性差、反光效果差、施工工艺复杂,施工效率低等问题,因此绿色环保耐久型标线快速复用技术随之诞生。反应型标线技术是对旧标线进行技术评估的基础上,直接采用反应型标线涂料在旧标线表面进行快速喷涂,提高旧标线的逆反系数、反光度等性能,施工过程无需加热、零排放,是当前公路标线修复技术的研究热点。鉴于此,通过对云南某高速旧标线进行评估的基础上,提出覆原标线修复技术的材料指标,并分析维护前后标线的性能,施工工艺,以期为我国公路、城市道路的旧标线复用提供数据

依据。

1 原路面标线现状评估

1.1 项目概况

本次标线修复项目位于云南富砚高速公路。富砚高速全长142.139 km,是国家高速公路网十八条东西横线中的重要组成部分,于2008年4月建成通车,通车至今已15 a。富砚高速位于山岭重丘区,全线桥隧比高,富宁至砚山海拔落差大,急弯长下坡、隧道群路段多,通行车辆多为重载货车甚至超宽超限车辆。现有路段标线存在老化开裂、脱落和反光效果差等问题。为了恢复标线使用功能,提高行车安全性,对普通热熔反光标线采用反应型标线涂料进行修复处理,实施面积共11 000 m²。施工前对富砚高速局部路段路面标线进行了逆反射系数检测检测,具体结果见图1。

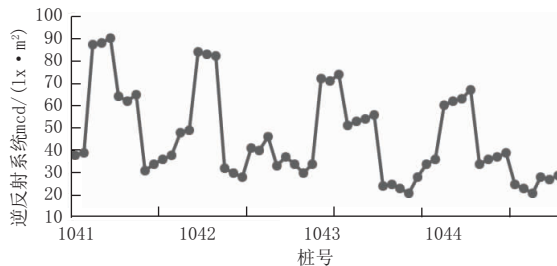


图1 标线测试结果

由图1测试结果得出:测试路段标线逆反射系数已经出现明显降低,依据《道路交通标线质量要求和

收稿日期:2023-12-28

作者简介:苟海波(1973—),男,硕士,高级工程师,从事交通运输工程建设管理工作。

通信作者:袁明园(1986—),女,硕士,高级工程师,从事道路设计工作。电子信箱:381387721@qq.com

检测方法》(GB/T 16311—2009)规定,白色反光标线的逆反射亮度系数不应低于 $80 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, 该路段逆反射系数平均值在 $46 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ 左右, 标线性能已难以满足现有交通安全通行的要求, 需进行标线性能提升维护。

1.2 旧标线现状

该路段标线外观性能见图 2、图 3。



图 2 旧标线老化开裂



图 3 旧标线脱落

结合现场标线外观分析得出:(1)旧标线在自然老化和行车荷载作用下,出现了以树脂老化开裂和玻璃珠磨耗为主的病害,进而导致旧标线逆反射系数衰减严重;(2)旧标线中局部出现露底等病害其原因为树脂老化后基面粘结力降低,进而导致标线局部被带走。

结合上述病害,提出了采用反应型标线涂料直接覆盖的工艺对旧标线进行功能性修复。

2 反应型标线涂料组成

2.1 标线涂料材料组成

本次标线修复采用招商交科自主研发的反应型标线涂料进行施划,施划前不用清除旧标线,清理后直接进行喷涂处治。反应型标线涂料主要由反应型树脂、填料、钛白粉、分散剂等组分组成,树脂在引发剂的作用下进一步的聚合交联反应,是由液态转化成固态的不可逆固化过程,其能将玻璃珠牢牢粘结于路面,从而提供更为耐久的逆反射系数。按照《路

面标线涂料》(JT/T 280—2022)中的相关规定进行测试,涂料技术指标见表 1。

表 1 反应型树脂涂料测试结果

序号	检测项目	测试结果	指标要求
1	固体含量 wt/%	99	≥ 95
2	凝胶时间[($23 \pm 2^\circ\text{C}$), min]	10	5 ~ 40
3	表干时间 ($23 \pm 2^\circ\text{C}$)	15	10 ~ 30
	/min ($0 \pm 2^\circ\text{C}$)	25	20 ~ 50
4	实干时间 ($23 \pm 2^\circ\text{C}$)	30	15 ~ 35
	/min ($0 \pm 2^\circ\text{C}$)	50	25 ~ 60
5	不粘胎干燥时间 /min	11	≤ 35
6	耐磨性 (mg, 200 γ /1 000 g 后减重)	21	≤ 40 (JM-100 橡胶砂轮)
7	耐水性	在水中浸 24 h 无异常现象	在水中浸 24 h 无异常现象
8	耐碱性	在氢氧化钙饱和溶液中浸 24 h 无异常	在氢氧化钙饱和溶液中浸 24 h 无异常
9	柔韧性 /mm	2	≤ 5
10	人工加速耐候性	涂层不产生龟裂、剥落	涂层不产生龟裂、剥落

由上述测试数据表明:反应型标线涂料具有开发交通时间短,耐磨、耐碱性能优,粘结强度高等特点,能有效延长标线服役寿命,降低逆反射系数衰减速率等。

2.2 玻璃珠性能及配比

(1)玻璃珠的基本特性

选用两种不同类型的路面标线专用玻璃珠 A (细玻璃珠)、玻璃珠 B (粗玻璃珠),按照《路面标线用玻璃珠》(GB/T 24722—2020)要求进行测试,具体测试结果见表 2、表 3。

表 2 A 型玻璃珠测试结果

检测项目	技术指标	检测结果
外观	玻璃珠应为无色、白色或淡黄色;在显微镜或投影仪下:非集合体形状玻璃珠应为透明的球体,光洁圆整,玻璃珠内无明显气泡或杂质	符合要求
粒径分布	/	20 ~ 30 目
成圆率(低折射率玻璃珠)/%	对于低折射玻璃珠,不小于 80%	83
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	2.4 ~ 4.6	2.51
折射率 RI	$1.5 \leq \text{RI} \leq 1.7$	1.5 ~ 1.51
耐水性	中和 0.001 $\text{m} \cdot \text{L/L}$ 盐酸溶液的最终用量不大于 10 mL	4.2

综合上述检测结果可知:A 型、B 型玻璃珠的各项指标均满足现有规范要求。

表 3 B 型玻璃珠测试结果

检测项目	技术指标	检测结果
外观	玻璃珠应无色、白色或淡黄色； 在显微镜或投影仪下：非集合体形状 玻璃珠应为透明的球体，光洁圆整， 玻璃珠内无明显气泡或杂质	符合要求
粒径分布	/	30 ~ 50 目
成圆率(低折射率 玻璃珠)/%	≥95%	86
密度/(g·cm ⁻³)	2.4 ~ 4.6	2.47
折射率 RI	1.5 ≤ RI ≤ 1.7	1.5 ~ 1.52
耐水性	中和 0.001 m·L/L 盐酸溶液的最终 用量不大于 10 mL	4.3

(2)玻璃珠比对逆反射系数的影响

经过筛选确定玻璃珠用量范围为 400 ~ 500 g/m², A 型玻璃珠和 B 型玻璃珠按照三个不同质量比例,反应性涂料用量为 1.2 kg/m²,均匀喷涂于路表面,测试其逆反射系数,并确定最佳玻璃珠比例,具体试验结果见图 4。

由图 4 结果可以得出:(1)随着玻璃珠撒布量的增加,逆反射系数先增加后减小,撒布量的最佳值为 450 g/m²。分析其原因,当玻璃珠撒布量少时,入射光源无法形成集中的回归反射,体现为逆反射系数值偏小;当撒布量过多时易产生微珠堆积、重叠等问题,降低反光微珠在标线涂膜中嵌入程度,造成入射光线在反光微珠之间反复折射,从而大幅度降低入射光线的有效反射率,因此逆反射系数也会降低。(2)在同一撒布量情况下,随着 B 型珠掺量的增加,逆反射系数先增加后减小,当 A 型珠 : B 型珠为 1 : 2 时,逆反射系数最大,分析其原因为 A 型玻璃珠粒径较小,易于沉入标线底部,主要起延长标线逆反射系数抗衰减能力,而标线的初始逆反射系数主要由粒径较大的 B 型玻璃珠提供,同时,玻璃珠的喷洒顺序为先粗后细,有序分布能更有效保障反应型标线的耐久性,具体见图 5。综上确定的玻璃珠最佳用量为 450 g/m²,A 型珠 : B 型珠最佳比例为 1 : 2。

3 实施概况

3.1 工后检测

本次覆原标线施工累计面积 11 000 m²,采用 GRACO250DC 自动行走式设备进行施工,施工效率约 150 m²/h,分别对边线、震动边线和中线进行修复,具体工后测试结果见表 4。

由表 4 图和 6、图 7 分析得出,反应型标线涂料

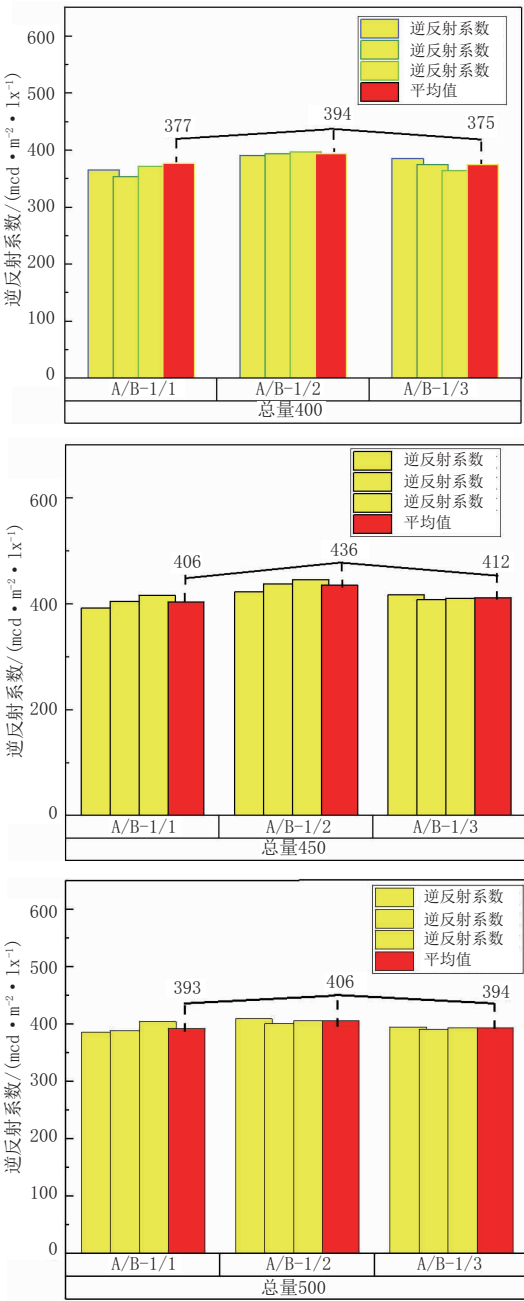


图 4 玻璃珠洒布量及比例对逆反射系数的影响

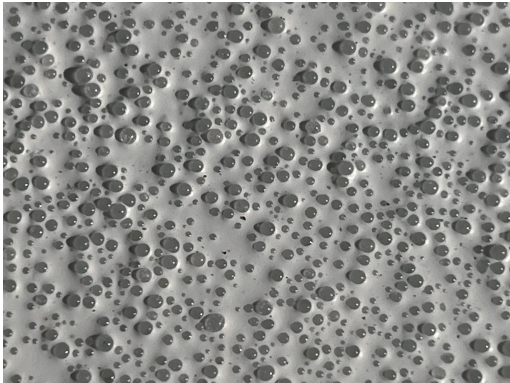


图 5 玻璃珠比例为 1 : 2 的俯视图

可实现对旧标线的直接复用,且反应型标线喷涂工艺不仅能完整修复震动标线,同时能修复路中线中

表 4 反应型标线工后检测结果

类型	喷涂厚度/mm	逆反射系数/($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)		
中央分隔带边线	0.8	403	4 405	408
路中虚线	0.8	414.9	425	431
路侧边线	0.8	424	465	408

露骨部分,在提升旧标线逆反射系数的同时进一步改善了旧路热熔标线的抗剥落性能。



图 6 修复前、修复后标线外观



图 7 逆反射系数前后对比

3.2 施工质量控制要点

(1) 喷涂厚度控制

耐久型覆原标线的喷涂厚度在 $0.6 \sim 0.8 \text{ mm}$ 之间,施工前根据路段交通量、旧标线破损状况等确定合理的喷涂厚度;施工过程中随时测量喷涂厚度,厚度不合适时及时通过调整设备的行走速度、喷嘴压力等进行控制。

(2) 玻璃珠沉降量

玻璃珠沉降量对标线逆反射系数有明显的影响,当沉降量过大时不能起到很好的反光作用,当沉降量过小时,嵌入深度不够,悬浮的玻璃珠容易被磨损掉,标线耐久性受到影响,施工中控制玻璃珠嵌入深度 $50\% \sim 60\%$ 为宜。

(3) 玻璃珠的撒布量

玻璃珠撒布不均匀、撒布量不合适对标线的逆反射系数均不利。施工时注意控制撒布车的行走速度、撒布压力,以使大小玻璃珠分布均匀,撒布量控制在最佳范围内。

4 结 论

(1) 采用反应型标线涂料喷涂技术能有效提升高速公路旧标线逆反射系数,且无需清除旧热熔标线,具有良好的环保效益和经济效益。

(2) 反应型标线涂料中玻璃珠采用 A、B 型复配工艺,逆反射系数能有效提升,当 A、B 型比例为 $1:2$ 时,逆反射系数最佳。

(3) 利用反应型涂料修复后的旧路标线,喷涂厚度为 0.8 mm ,逆反射系数均值均大于 $400 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] 王建波.公路交通标线应用的选型分析[J].建设,2020(5):66-68.
- [2] 郝晓燕,郭忠印,宋灿灿,等.基于可视性衰减的高速公路标志标线安全养护[J].公路,2019(1):271-277.
- [3] 薛晓东.从全寿命周期成本分析标线产品的发展趋势[J].交通节能与环保,2017(1):65-68.
- [4] 高匡宇,高尔雅.从经济效益分析道路标线材料的发展方向[J].中国建材科技,2022,29(4):47-49.
- [5] Vyankatesh N, Naidu V, Bhaiswar V. Review on road marking paint machine and material [J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 954(1):12-16.
- [6] 杜玲玲.德国、法国道路标线涂料的应用考察[J].中国涂料,2004(5):38-40.
- [7] 张文才,乔忠浩.双组分涂料及其在道路交通标线中的应用[J].中国涂料,2014,29(9):40-43.
- [8] 张子健.PMMA 树脂的力学性能及热稳定性研究[D].长春:长春工业大学,2012.
- [9] 窦小燕,潘峰.双组分道路交通标线涂料的制备与应用[J].中国涂料,2009,24(2):40-43.
- [10] 顾东海.探析双组分道路交通标线涂料的应用及其特点[J].建材与装饰,2017(19):268-269.
- [11] 钱华信,梁映平,吴晓明,等.双组分道路交通标线研究进展[J].科学技术与工程,2021,21(35):14892-14900.