

# 双组分水性厚涂型标线涂料的应用研究

王川<sup>1</sup>, 刘世亮<sup>2</sup>, 马川义<sup>1</sup>, 彭硕<sup>2</sup>, 李辉<sup>3</sup>, 周凯<sup>2</sup>

(1.山东高速集团有限公司, 济南 250101; 2.山东高速交通科技有限公司, 济南 250022;

3.山东高速交通建设集团有限公司, 济南 250014)

**摘要:** 结合热熔型与水性标线涂料的相关规范要求, 对水性涂料进行改性, 从而研发出性能优良的新型标线涂料——双组分水性厚涂型道路标线, 并对技术创新点、视认效果、厚涂耐磨特点、抗压强度、干燥性能等方面进行详细的阐述。

**关键词:** 标线涂料; 水性标线; 水性厚涂; 逆反射亮度系数

中图分类号: TQ637 文献标志码: B 文章编号: 1007-9548(2024)05-0030-04

## Research on the Application of Two Component Waterborne Thick Coating Marking Coatings

WANG Chuan<sup>1</sup>, LIU Shi-liang<sup>2</sup>, MA Chuan-yi<sup>1</sup>, PENG Shuo<sup>2</sup>, LI Hui<sup>3</sup>, ZHOU Kai<sup>2</sup>

(1.Shandong High-Speed Group Co., Ltd., Jinan 250101, China; 2.Shandong Hi-Speed Transportation Science and Technology Co., Ltd., Jinan 250022, China; 3.Shandong Hi-Speed Transportation Construction Group Co., Ltd., Jinan 250014, China)

**Abstract:** Based on the requirements of hot-melt and waterborne marking coatings, our company modified waterborne coatings to develop a new type of marking coating with excellent performance—two-component waterborne thick coating road marking. The technical innovation, visual recognition effect, thick coating wear resistance, compressive strength, drying performance and other aspects are described in detail.

**Key words:** marking coating; waterborne markings; waterborne thick coating; retroreflection coefficient

## 0 引言

我国的道路标线涂料主要有热熔型和溶剂型两种, 其中热熔型标线涂料应用更为广泛。热熔型标线涂料有着干燥速度快、干膜涂层厚等优点, 但在施工过程中, 热熔型涂料需要对涂料进行加热, 施工温度较高, 对环境和工人要求比较高; 溶剂型标线涂料通过溶剂的挥发成膜, 但干膜厚度较薄, 相对使用寿命较短, 同时挥发性物质对环境和工人造成一定的危害。为响应国家双碳目标发展愿景, 水性道路标线施工便捷、绿色环保、VOC 排量较低, 具有广阔的发展前景。

传统水性道路标线涂料干膜厚度较薄, 采用的玻璃珠粒径较小, 存在耐磨性差、对施工环境要求高等问

题。在水性道路标线的基础上研发的双组分水性厚涂标线涂料施工方便, 可采用热熔型标线划线设备快速施工。有机和无机组分反应后的整体性能稳定, 成膜厚度远大于常规水性道路标线, 同时采用内混玻璃珠工艺, 在增强耐磨基础上提高了全寿命周期内的视认性效果, 具有与路面附着力较强、持续逆反射系数高、经济性强以及绿色低碳环保等优点。

## 1 涂料的技术创新点

对道路标线涂料的技术性能要求, 简单来说可以概括为以下几点, 分别是: 鲜明的视认效果、材料耐候性好、抗压性能良好、施工后干燥迅速。在实际涂料应用过程中, 结合施工现场本身情况和经济条件等, 尽可能考虑到上述的各种要求, 研发出双组分水性厚涂标线涂料, 寻求使用效果和经济效益的平衡点, 该涂料的主要技术创新点如下:

1) 有机和无机组分反应后显著提高了与路面材料的结合力, 与沥青混凝土路面具有极佳的附着力以及

收稿日期: 2023-07-25

作者简介: 王川(1978—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事高速公路建设、管理、养护及运营等相关的科技创新工作。E-mail: 532399093@qq.com。

杰出的玻璃珠粘结力,增强了整体韧性。

2)施工方便,在清理旧标线层后可直接在旧标线层上覆盖施工,显著提高了施工效率。

3)该标线具有水性标线涂料本身的优点,在 30 min 内具有良好的施工性能,不会出现明显凝结情况,在 1 h 左右即可达到表面干燥状态。

4)面撒与内混玻璃珠工艺相结合,同时加入胶凝材料,改善了全寿命周期性能,提高了耐磨性与强度。

5)操作过程安全环保不易燃,用水易清洗,降低了处理成本,施工设备可与热熔型共用,无需专用设备。

## 2 涂料的视认效果

逆反射亮度系数通常用来评价反光型道路交通标线的可视性,该指标决定了标线在夜间及雨天的可辨识度,对夜间行车安全至关重要。采用面撒玻璃珠的方式是增强道路标线可视性的常见方法,同时优质的玻璃微珠还能够起到保护标线涂层的作用。不同道路标线逆反射系数测试结果见表 1。

表 1 不同道路标线逆反射系数测试结果

玻璃珠 掺量/%	逆反射系数/( $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ )		
	A 面撒玻璃珠标线	B 面撒玻璃珠标线	国标 1 号热熔标线
17	213	647	142
20	267	681	164
23	279	698	172
26	291	713	184

使用双组分水性厚涂配方配制两组样板,控制材料用量、面撒玻璃珠工艺、撒播量等因素不变,分别面撒配方 A 和配方 B 玻璃珠,同时选择相同用量的热熔标线面撒国标 1 号玻璃珠作为对照组。通过表 1 可以明显看出,采用两种面撒玻璃珠的厚涂标线逆反效果均显著大于同撒播量的国标 1 号热熔标线,同时,在原材料配方一定的情况下,面撒玻璃珠本身的折射也显著影响制备样板的逆反率。使用 A 面撒玻璃珠标线,测试的初始逆反射系数在 200~300  $\text{mcd}/(\text{m}^2\cdot\text{lx})$  之间,使用 B 面撒玻璃珠标线,测试的初始逆反射系数在 650~720  $\text{mcd}/(\text{m}^2\cdot\text{lx})$  之间。双组分水性厚涂型标线整体厚度大,可以使用粒径更大的面撒及内混玻璃珠,玻璃珠的厂家及种类选择范围也较宽泛。此外,玻璃珠掺量在大于 20% 后,随着玻璃珠掺量的增加,逆反效果增加并不明显,整个曲线变得相对平缓,分析原因在于过大的撒播量也会造成玻璃珠之间的重叠,影响整体逆反效果。由于玻璃微珠造价较为昂贵,以经济适用性及逆反射性能为指标综合考虑,推荐玻璃微珠的添加量为 20%。

规定要求新划标线的初始逆反射系数  $\geq 150 \text{ mcd}/(\text{m}^2\cdot\text{lx})$ ,由前述分析可知,双组分水性厚涂标线材料的逆反射系数远大于相应的最低初始逆反射系数。如表 2 所列,根据《热熔型 III 级反光标线专家研讨会意见》规定,热熔型 III 级持续反光标线的逆反射亮度系数(白色标线),在施划完成干态的情况下  $R_1 \geq 350 \text{ mcd}/(\text{m}^2\cdot\text{lx})$ 。试验得到的逆反射亮度系数,面撒 B 玻璃珠的双组分水性厚涂标线涂料反光性能更好,可以达到热熔 I 级持续反光标线的 3 倍以上,也远大于热熔 III 级持续反光标线。原因在于双组分水性厚涂标线涂料独特的组分配比和生产工艺,以及远超普通水性及热熔型标线的漆膜厚度,可以使玻璃微珠更好地在标线内沉降,即使面撒珠磨掉后,内混珠仍能继续提供逆反射亮度,使得标线在全寿命周期内具有良好的逆反效果。

表 2 热熔型 III 级持续反光标线逆反射系数技术要求

项目	白色标线涂料逆反射系数/( $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ )
施划完成 $R_1$ 干态	$\geq 350$
通车 15 d 后 $R_1$ 干态	$\geq 350$
正常使用 1 a 后 $R_1$ 干态	$\geq 150$
正常使用 2 a 后 $R_1$ 干态	$\geq 100$

双组分水性厚涂道路标线涂料中的有机和无机组分在刮涂后发生反应,完全固结后整体形成均一稳定的结构,将面撒和内混的玻璃微珠牢固包裹在涂膜内,并非普通水性标线涂料简单的物理共混,从而能够有效改善标线涂膜与玻璃珠间的黏结强度,减少玻璃珠在车辆轮胎反复作用下的松散剥落。这种利用组分内化学反应来粘接玻璃微珠的方式,可以极大提升玻璃微珠在厚涂标线面层和内部的留存时间,提高标线全寿命周期的持续反光性能。

在使用过程中标线受行驶车辆及环境的影响,玻璃微珠在车辆轮胎摩擦力或者其他外力及侵蚀作用下逐渐从涂料中剥落,逆反射系数不断下降。对于标线持续反光性能的评价,目前国内依然缺乏相应的试验检测方法,双组分水性厚涂标线涂料也并未进行持续耐久性能的评价,作为新研发的涂料类型,初步在淄博试验段上使用,后续观测逆反效果下降情况以评价耐久性能。

## 3 涂料的厚涂耐磨性能

### 3.1 涂料的厚涂特点

根据 GB/T 16311—2009 规定,道路水性涂料的标线厚度范围在 0.3~0.8 mm,实际施工中水性涂料的标线厚度一般在 0.4~0.8 mm,见表 3。双组分水性厚涂标

线的厚度在 2 mm 左右,厚度远大于普通水性标线涂料的 0.3~0.8 mm。通过对比表 3 中的标线厚度可以得出,双组分水性厚涂标线涂料成膜厚度接近于大部分涂料标线的厚度上限,这就使得该标线相对同类型的水性标线,具有更大的磨耗允许厚度。同时,采用内混与面撒玻璃珠相结合的施工工艺,在面层玻璃珠磨掉后,内部内混珠仍可继续提供逆反效果以及足够的防滑性,保证行车的安全,在全寿命周期可以取得良好的效果。

表 3 道路标线厚度规范

标线种类	标线厚度范围/mm	备注
溶剂型涂料标线	0.3~0.8	湿膜
热熔型涂料标线	0.7~2.5	干膜
水性涂料标线	0.3~0.8	湿膜
双组分涂料标线	0.4~2.5	干膜
预成型标线带标线	0.3~2.5	干膜

### 3.2 耐磨性能分析

将试验用双组分水性厚涂标线材料按照配方配制试样,在试验前放置在温度为(23±1)℃、相对湿度为(65±2)%环境中 24 h 后脱模,再放入 50℃烘箱内保温 24 h,最后在试验条件下放置 24 h。按照耐磨性试验规定,采用制样器制备外径为 100 mm、内径约 7 mm、厚度 5 mm 的圆饼试件,将磨耗试验仪器设定转速为 200 r/min。

根据 JT/T 280—2022《路面标线涂料》规定要求,各种类型涂料的耐磨性要求见表 4,考虑双组分水性厚涂材料属于水性涂料大类,但性能远优于水性涂料。目前大面积使用的涂料类型为热熔型涂料,因此,为更好地表述材料的性能优势,试验参照规范不完全以热熔型涂料最低要求为控制指标,选择以水性涂料与热熔型涂料中性能较好的控制值为双组分水性厚涂涂料的控制指标。

表 4 各类型涂料的耐磨性要求

涂料类型	耐磨性要求/mg
热熔型涂料	≤80
溶剂型涂料	≤60
双组分涂料	≤40
水性涂料	≤60

按照规范要求,选择 3 组试件进行耐磨性试验,分别采用分析天平计量试验前后的质量,计算质量损失率,试验结果见表 5。测试获得的耐磨性平均值为 45

mg,对比表 4 道路标线规范中对耐磨性的要求,可以看出该双组分水性厚涂涂料的耐磨性能优于热熔型标线和水性标线涂料的耐磨性要求。

表 5 耐磨性测试结果

试验组	耐磨性测试值/mg
1	43
2	55
3	37
平均值	45

### 4 涂料的抗压强度分析

抗压强度用来表征涂料抵抗车轮碾压变形的能力,普通的水性标线干膜厚度小于 0.5 mm,相关规范也并无抗压强度的规范要求。根据 JT/T 280—2022《路面标线涂料》规定,热熔涂料的抗压强度要求在(23±1)℃条件下≥12.0 MPa,在(60±2)℃条件下≥2.0 MPa。理解为热熔涂料在未完全固化条件下抗压强度需大于 2 MPa,在完全固化后抗压强度需大于 12 MPa。参照热熔型涂料规范要求,制备双组分水性厚涂型标线涂料试件,以评价相应性能。抗压试验结果见表 6。

表 6 抗压试验结果

试验组	测试时间/h	最大力/N		抗压强度/MPa	
1	24	457.75	411.28	1.14	1.03
2	24	364.81		0.91	
3	48	3 920.31	4 145.80	9.80	10.05
4	48	4 371.28		10.93	
5	72	3 870.88	4 057.89	9.68	10.15
6	72	4 244.91		10.61	

如表 6 所示,通过对双组分厚涂标线制备的抗压试验进行养护,考虑到整体黏度较大且干燥时间略长,将制备好的抗压试块置于模具内,在室温下静置 24 h 后脱模,然后测试其抗压强度。试块在 24 h 常温条件下,内部并未能达到完全干燥固化,测试的最大力仅为 411.28 N,抗压强度在 1.03 MPa。后将剩余试块放入烘箱内保存,设置温度在 50℃,保温 24 h 后取出,试件已经基本固化,最大力达到 4 145.8 N,抗压强度达到 10.05 MPa。参考热熔材料的常温干燥抗压强度≥12 MPa,材料在 48 h 后接近于热熔抗压强度要求。再继续保温 24 h,即试块制备 72 h 后,最大力达到 4 057.89 N,抗压强度达到 10.15 MPa,因此,可以得出材料在完全固化后抗压强度相对趋于稳定,大约在 10 MPa。

## 5 涂料的干燥性能分析

用无纺布蘸取酒精将水泥石棉板(200 mm×150 mm×5 mm)表面浮尘清理干净,涂抹封闭底漆后刮涂 2 mm 双组分水性厚涂标线涂料,保持涂料配方不变制备多个试板。采用不粘胎时间测定仪,在室温条件下测定涂料的不粘胎干燥时间,规范规定水性标线涂料的不粘胎干燥时间≤15 min,热熔型涂料的不粘胎干燥时间≤5 min。双组分厚涂型标线涂料整体为水性产品,但又有和热熔型标线相似的厚度,同时内部有组分的反应过程,因此干燥时间需要后续再讨论相关的规范。不粘胎测试结果见表 7。

表 7 不粘胎测试结果

测试组	测试时间/h	是否粘胎
1	1.0	是
2	2.0	是
3	3.0	是
4	4.0	是
5	4.5	轻微
6	5.0	否
7	5.5	否

分析表 7 可得,双组分水性厚涂型标线涂料由于并非简单的物理共混,而是组分内有机和无机物质反应形成涂膜,同时整体厚度与水性标线相比较厚,导致该标线涂料的干燥时间会有所延长。通过对不同时间的试件进行不粘胎时间测试,可以得出:在室温 25℃条件下,30 min 内具有良好的施工流动性,1 h 左右达到面干状态,但内部并未完全干燥,仍有明显的轮胎粘漆痕迹,5 h 后内部基本完全干燥,无粘胎情况发生。

(上接第 29 页)结构、汽车零部件、农用机械、小型电子设备等领域得到广泛应用。未来随着环保意识的提高和人们对化学品安全性的关注,该类产品的应用将会越来越受到人们的重视和广泛应用。同时,开发者也需要从多个方面考虑,包括产品性能、生产工艺、环保安全等方面,以满足人们对高性能、环保、安全、可持续发展的需求。

### 参考文献:

[1] 李海微.工程机械水性涂料涂装实施方案探讨[J].建设机械

结合前述抗压强度分析结果,标线涂料在 2 h 内虽处于面干状态,但并未有足够的强度,刮刀可以轻易进行划出划痕。因此,该标线涂料刮涂 2 h 内不建议受到雨水的冲刷,容易因整体未完全干燥而发生组分的溶解,导致与基材附着力变差,进而影响标线的使用寿命。标线干燥及强度上升过程,并不完全取决于水分的蒸发,而是内部组分反应的过程,考虑到室外施工环境温度湿度等因素,可以做到 5~6 h 完全固化抢修开放交通,冬季相应有所延长,2~3 d 达到最佳状态,在条件允许的情况下,不建议较快开放交通。

## 6 结语

双组分水性厚涂型标线涂料作为一种新型的道路标线涂料,具有逆反效果好、厚涂耐磨性好、抗压强度高、干燥时间适中等特点,同时能良好地实现玻璃珠在标线材料内的沉降,提高了全寿命周期的使用效果。虽然目前该标线涂料仍存在一些不足,需进一步研究与改善,但兼具水性和热熔型涂料优点的双组分水性厚涂型标线涂料对交通标线行业的高质量发展具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 陆益锋.水性丙烯酸道路标线涂料的发展历史和优势[J].中国涂料,2011(1):28-30.
- [2] 唐国荣,钟萍.水性道路标线漆的性能特点及其应用[J].城市道桥与防洪,2012(9):279-282.
- [3] 谢邦柱,杜素军,蔡丽娜,等.水性涂料在公路工程行业中的典型应用及研究进展[J].中国涂料,2017(4):6-9.
- [4] 丁彩凤,王海亭,陈磊,等.水性道路漆的研制[J].青岛科技大学学报(自然科学版),2003(9):53-55.
- [5] 肖龙,鄢冬茂,胥维昌.耐磨水性路标涂料的制备研究[J].染料与染色,2017(4):18-22.

技术与管理,2022,35(6):82-84.

- [2] 朱远,刘艳,朱小勇.水性工程机械涂料“湿碰湿”配方设计及应用研究[J].中国涂料,2022,37(6):44-49.
- [3] 于伟,江丽,刘赛.工程机械水性涂料工艺研究及应用分析[J].现代涂料与涂装,2020,23(4):7-10.
- [4] 张瑞,乔锐,王萌,等.影响水性涂料在工程机械行业应用的因素分析[J].现代涂料与涂装,2019,22(10):25-30.
- [5] 杨汉才,张怀洪.水性涂料在工程机械上应用的可行性分析[J].物流技术与应用,2019,24(5):157-158.