

树脂对热熔型标线涂料力学性能的影响

张洪光¹, 吴闻秀¹, 骆晓凌¹, 王旭东², 于迪尔³

(1. 金华市公路港航与运输管理中心, 浙江 金华 321000; 2. 河海大学土木与交通学院, 南京 210098;
3. 南京审计大学工程审计学院, 南京 211815)

摘要: 热塑性树脂作为热熔型标线涂料主要成膜物质, 保障了热熔型标线的力学性能和使用寿命。通过改变树脂的种类和含量, 研究其对热熔型标线涂料系列力学性能的影响。结果表明: 树脂种类对抗压性能、磨耗性能的影响较小, 对附着性能、抗剪性能以及黏附性能影响大; 随树脂含量的增加, 抗压强度先增大后减少, 磨耗性能、附着性能、抗剪性能和黏附性能呈增长趋势。当树脂种类为 C5 石油树脂、含量高于 20% 时, 热熔型标线具备优异的力学性能。

关键词: 热熔型标线; 标线涂料; 热塑性树脂; 力学性能

中图分类号: TQ631.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)13-0133-07

道路标线能够引导道路上的各种车辆安全行驶, 对车流的分道行驶、导流等具有重要作用, 同时也有美化道路的效果^[1]。良好的道路标线可提高 30% 以上的运输效率^[2]。截至 2022 年底, 全国公路运行总里程达到 535 万 km, 道路标线用量达到 5 亿 m² 以上。随着公路总里程的大幅度增长以及既有公路老旧标线重新施划, 每年需消耗大量的标线涂料^[3]。道路标线根据采用的涂料种类不同分为 4 种: 热熔型标线、溶剂型标线、双组分标线和水性标线, 最早使用的道路交通标线是溶剂型和热熔型标线, 其中热熔型标线应用占比达到 80% 以上^[8]。

目前, 热熔型标线存在的主要问题为使用寿命短, 在交通量较低的路段为 2~3 年, 重交通路段仅有 0.5~1 年, 远短于路面的养护周期。频繁的标线养护需要多次交通管制, 浪费人力, 且造成拥堵。热熔型标线的主要病害为玻璃珠掉落、涂料开裂、涂料脱落、涂料磨耗, 如图 1 所示。热熔型标线的病害原因主要是涂料与玻璃珠的黏附性能、涂料的抗剪性能、抗压性能、附着性能和磨耗性能等力学性能不足。树脂作为热熔型标线涂料主要的成膜物质, 一方面保证涂料与路面的附着性, 另一方面, 保证对颜料、填料和玻璃珠的黏合作用, 是热熔型标线涂料力学性能的主要影响因素。为保证标线的功能, 热熔型道路标线应具有以下性能: ①鲜明的

标识性, 规范和引导车辆和行人; ②良好的反光性, 在夜间指明方向; ③较短的不粘胎干燥时间, 以便快速开放交通; ④与路面的附着性能、耐磨性能, 保证标线的使用寿命; ⑤良好的耐候性能, 经受各种环境的考验; ⑥足够的抗压强度, 防止重载车辆碾压下发生的碎裂、脱落等病害; ⑦与玻璃珠良好的黏附性能, 保证高逆反射亮度系数^[9-10]。热熔型标线要具备以上性能, 需要其具备优异的力学性能。因此, 研究树脂对热熔型标线涂料力学性能的影响, 有利于提高标线的路用性能和使用寿命。

针对以上问题, 本文研究了树脂种类和含量对热熔型标线涂料力学性能的影响, 其中力学性能包括涂料与玻璃珠的黏附性能、抗压性能、抗剪性能、附着性能和磨耗性能。通过力学性能研究确定最佳树脂种类和含量, 提升热熔型标线的力学性能和使用寿命。

1 原材料及试验介绍

1.1 原材料

热熔型标线涂料通常由热塑性树脂、玻璃珠、颜料、填料、助剂等组成。树脂将各种组分结合在一起, 以形成均匀的涂层, 并对路面产生附着力。热塑性树脂通常选用松香树脂、C5 石油树脂、C5/C9 共聚树脂, 其性能指标见表 1。颜料为金红石型钛白粉, 填料选用石英砂与重质碳酸钙, 流平剂选择

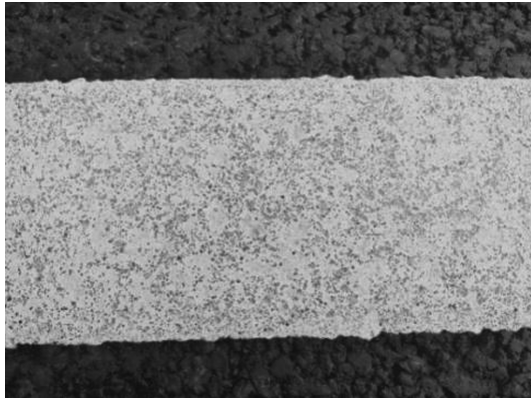
收稿日期: 2024-12-12

基金项目: 金华市科技计划(2022-3-057); 江苏省高等学校自然科学研究面上项目(22KJB580007)

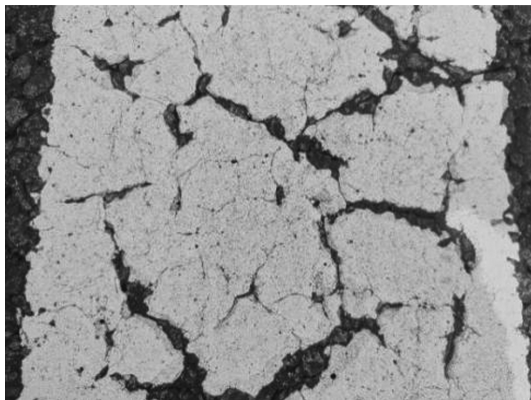
作者简介: 张洪光(1978—), 男, 浙江磐安人, 主任, 研究方向为公路养护新材料、新技术; 吴闻秀(1986—), 男, 江西玉山人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为公路建设、养护新材料、新技术; 骆晓凌(1971—), 男, 浙江金华人, 高级工程师, 研究方向为公路与水路运输; 王旭东(2000—), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向为路面路基工程; 于迪尔(1987—), 男, 江苏南京人, 博士, 研究方向为道路工程。

表 1 热塑性树脂性能指标

种类	软化点/ ℃	加德纳 色度	酸值/ (mgKOH·g ⁻¹)	厂家
松香树脂	84.5	5	≤40	南京源港精细化工有限公司
C5 石油树脂	96.7	4	≤2.0	上海金森石油树脂有限公司
C5/C9 共聚石油树脂	106.9	7	≤0.5	濮阳市中德石油树脂有限公司



(a) 玻璃珠掉落



(b) 涂料开裂



(c) 涂料脱落



(d) 涂料磨耗

图 1 热熔型标线的主要病害类型

聚乙烯蜡, 塑化剂选择白油。

热熔型标线所用的玻璃珠主要包括内混玻璃珠和面撒玻璃珠, 分别为国标 1# 和国标 2# 玻璃珠^[1], 其粒径分布及其他指标参照《路面标线用玻璃珠》(GB/T 24722—2020)。

1.2 试样制备

热熔型标线涂料是由以热塑性树脂为主要成膜物, 配以颜料、填料、反光材料、助剂等充分混匀制成。热熔型标线涂料需要对其进行加热熔融方可具备流动性和操作性, 其加热熔融的温度为 210 ℃, 搅拌速率为 200~500 r/min, 搅拌熔融时间为 30 min。本文选用 C5 石油树脂、C5/C9 共聚石油树脂和松香树脂研究树脂种类对涂料力学性能的影响, 并选用 C5 石油树脂研究树脂含量对涂料力学性能的影响。

1.3 力学性能测试

1.3.1 抗压性能

将熔融的热熔型涂料倒入预先准备的 20 mm×20 mm×20 mm 的模具中, 每组试样的数量不宜少于 3 块。将试模放置于水平桌面, 待其降至室温后取出试样于室温条件下放置 24 h, 采用万能试验机测试其抗压强度, 测试试件如图 2 所示。

1.3.2 磨耗性能

首先, 在模具内部涂覆脱模剂。然后, 将熔融

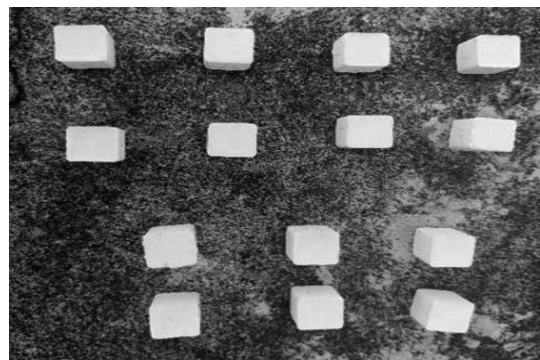


图 2 抗压性能测试试件

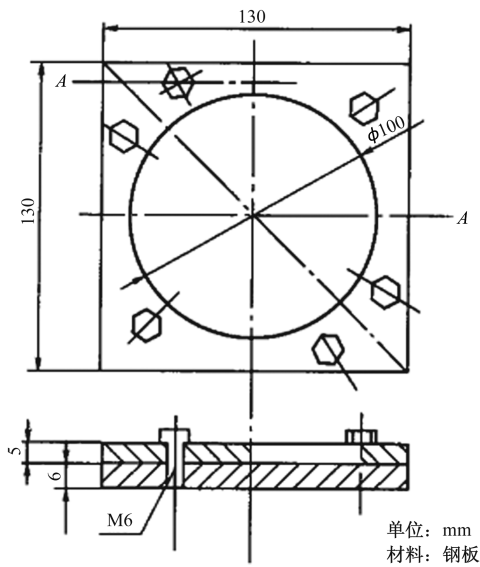
后的热熔型标线涂料注入模具空腔内,使其自流平,并在模具的中心位置开设一直径约 7 mm 的孔洞。待其冷却至室温后,取出试样。将试样于室温下放置 24 h 后进行磨耗性能测试(图 3)。磨耗测试条件为荷载 1 000 g,磨耗 200 转。每组试验不少于 3 块试样,试验结果取其平均值。

1.3.3 抗剪性能

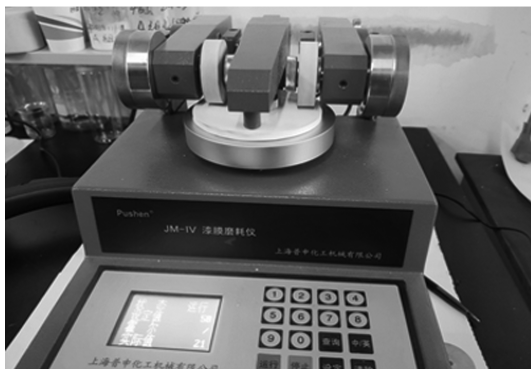
将熔融的热熔型标线涂料涂抹在剪切模具上,并将其黏合、冷却、养护 24 h。采用万能试验机测试其抗剪强度(图 4)。每组为 3 个试样,试验结果取其平均值。

1.3.4 附着性能

附着性能按标准《漆膜划圈试验》(GB/T 1720—2020)进行拉拔强度测试(图 5)。通过设置指定拉拔头的接触面积、拉拔速率,采用附着力拉拔仪测试附着力大小及破坏面积。预先采用砂纸对钢板进行打磨处理,并在其表面涂抹熔融的热熔型标线涂料,待其冷却至室温并养护 24 h 后将拉拔

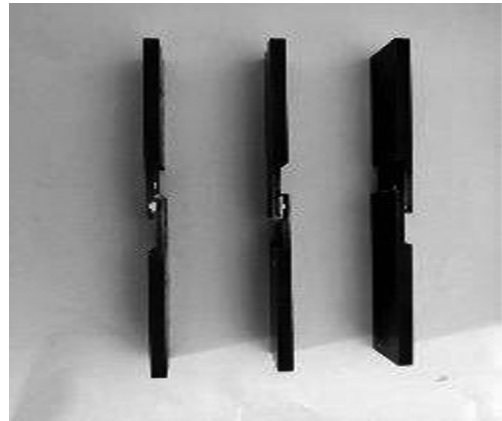


(a) 磨耗设备尺寸



(b) 磨耗测试过程

图 3 磨耗性能测试



(a) 剪切测试试件

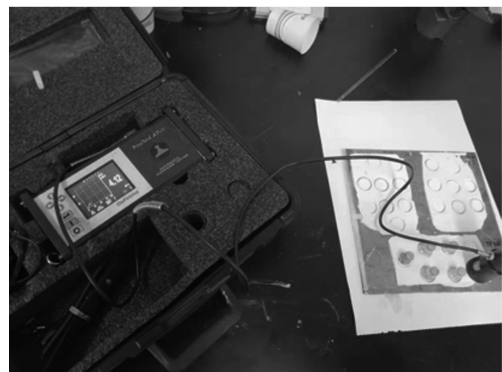


(b) 剪切测试

图 4 抗剪性能测试



(a) 拉拔测试试件



(b) 拉拔测试

图 5 附着性能测试

头黏附于其上方,待放置 4 h 后,进行拉拔测试。每个样品测试 3 次拉拔强度,并计算其平均值。

1.3.5 黏附性能

按照《漆膜耐磨性测定法》(GB/T 1768—1979)的要求制作磨耗性能试样。首先,在模具模腔涂脱模剂。然后,将熔融试样注入内腔,并立刻在距离涂料表面垂直方向约 30 cm 高度位置撒布玻璃珠(国标 1# 玻璃珠),使其自由落体,要求撒布全部覆盖涂层,玻璃珠用量约 50 g。待其冷却至室温后,取出试样。将试样于室温下放置 24 h 后进行磨耗性能测试(图 6)。测试条件为荷载 1 000 g,磨耗 500 转,测试玻璃珠的质量损失。每组试验不少于 3 次,试验结果取其平均值。

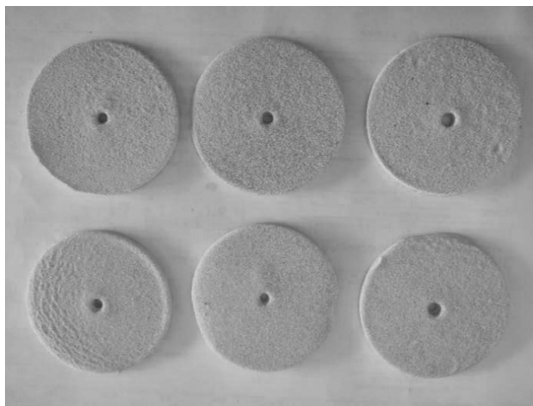


图 6 黏附性能测试试样

2 结果与讨论

2.1 抗压性能

如图 7 所示,3 种树脂制备的标线涂料在 25 ℃ 的抗压强度在 19.0 MPa 附近,显著高于标准要求(12 MPa)^[12]。其中,C5 石油树脂制备的涂料抗压强度最大,为 19.0 MPa;C5/C9 共聚树脂制备的涂料次之,为 18.9 MPa,松香树脂制备的涂料抗压强度最小,为 18.6 MPa,最小值与最大值差异仅 0.4 MPa。3 种树脂制备的标线涂料在 60 ℃ 的抗压强度差异也很小,最大值与最小值仅相差 0.7 MPa。因此,石油树脂的种类对热熔型标线涂料的抗压强度影响不显著。

以 C5 石油树脂含量对标线涂料抗压性能的影响为例。不同树脂含量的标线涂料在 25 ℃ 的抗压强度均超过 17 MPa,显著高于标准要求。抗压强度随树脂含量的增加呈先增大后减小的趋势,峰值(21.7 MPa)出现在树脂含量为 17% 时。当树脂含量增至 25% 时,抗压强度最小,为 17.7 MPa,较峰值下降了 18.4%。因此,制备涂料的树脂含量并非

136

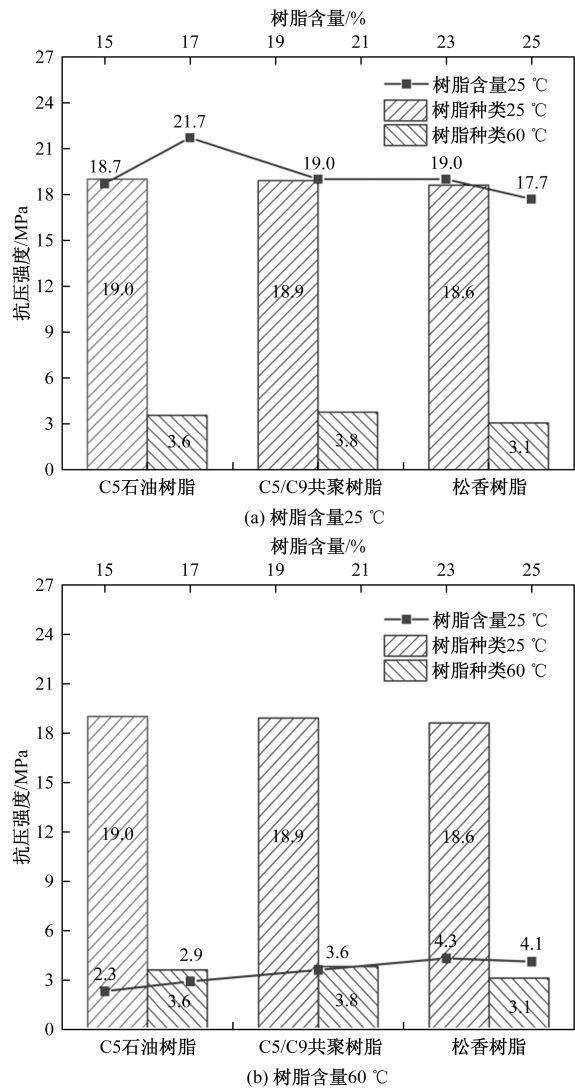


图 7 不同树脂种类和含量的涂料抗压强度

越高越好,这可能是由于当树脂含量增加到一定程度时,树脂的脆性导致涂料整体的抗压强度降低。在 60 ℃ 条件下,涂料的抗压强度随树脂含量的增加而提高,表明树脂能提高涂料在高温下的抗压性能。为确保涂料在常温和高温条件下良好的抗压性能,推荐树脂含量范围为 17%~23%。

2.2 磨耗性能

树脂的种类对标线涂料的耐磨性能影响较大,如图 8 所示,均显著低于标准要求(80 mg)^[12]。由 C5/C9 共聚树脂制备的涂料磨耗质量最低,仅为 17.65 mg;C5 石油树脂制备的涂料次之,为 24.8 mg;松香树脂制备的涂料磨耗质量损耗最高,为 25.75 mg。虽然由 C5/C9 共聚树脂制备的涂料抗磨耗性能最佳,但涂料颜色深,为保证标线涂料内混玻璃珠的有效裸露和标线持续的逆反射亮度系数,首选 C5 石油树脂作为热熔标线涂料的树脂。

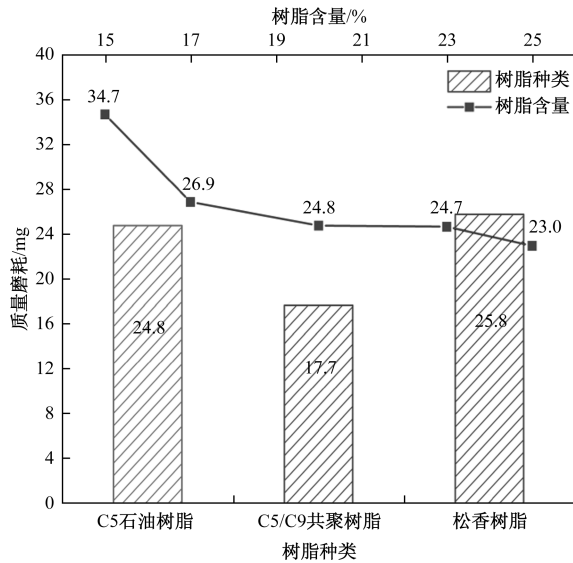


图 8 不同树脂种类和含量的涂料磨耗性能

以 C5 石油树脂含量对标线涂料磨耗性能的影响为例,不同树脂含量的标线涂料质量磨耗介于 23~36 mg,均显著低于标准要求(80 mg)。标线涂料的质量磨耗随树脂含量的增加而逐渐降低。当树脂含量为 15% 时达到最大值(34.7 mg);当树脂含量为 25% 时降至 23.0 mg。这可能是因为树脂含量的增加增强了对填料(重钙粉和石英砂)和玻璃珠的裹覆性和黏附性,使其更难因磨耗而脱落。当树脂含量从 15% 增加至 17% 时,质量磨耗值下降比例最大,为 22.5%,涂料磨耗性能显著提升;当树脂含量从 20% 增加至 25% 时,质量磨耗值下降幅度减缓,仅为 7%。因此,如需提高涂料的磨耗性能,可适当提高树脂含量,当树脂含量达到 20% 时,涂料具备优异的磨耗性能。

2.3 附着性能

如图 9 所示,C5/C9 共聚树脂和 C5 石油树脂制备的涂料的附着性能相当,拉拔强度分别为 2.01 MPa 和 1.97 MPa,松香树脂制备的涂料拉拔强度最差,为 1.58 MPa,相比 C5/C9 共聚树脂下降了 23%。因此,树脂种类对标线附着性能的影响较小。

以 C5 石油树脂含量对标线涂料附着性能的影响为例,涂料拉拔强度随树脂含量的增加整体呈增大趋势。这可能是因为随着树脂含量的增加,涂料的流动性增强,进入基面空隙的涂料更多,与界面黏附得更为牢靠。其中,树脂含量为 23% 时,涂料的附着性能最好,拉拔强度达 2.13 MPa;当树脂含量为 15% 时附着性能最差,仅为 1.76 MPa,较最大值减少 17.4%。因此,树脂含量的增加能显著提高

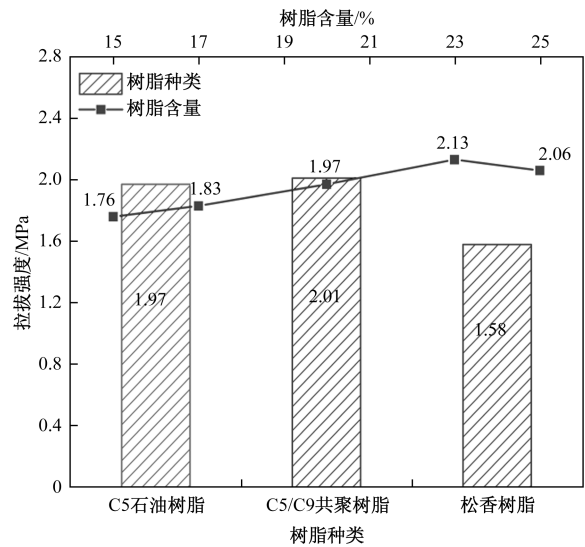


图 9 不同树脂种类和含量的涂料拉拔强度

涂料与基面的黏附性能。当树脂含量达到 20% 时,涂料具备优异的附着性能。

2.4 抗剪性能

如图 10 所示,C5/C9 共聚树脂制备的涂料抗剪性能最优,抗剪强度为 0.33 MPa;松香树脂制备的涂料次之,为 0.26 MPa;C5 石油树脂制备的涂料最差,抗剪强度仅为 0.18 MPa。因此,树脂的种类对标线涂料抗剪性能的影响很大。

以 C5 石油树脂含量对标线涂料抗剪性能的影响为例,不同树脂含量的标线涂料所测抗剪强度分布介于 0.2~1.0 MPa,且随树脂含量的增加整体呈上升趋势,这可能是因为树脂含量的增加提高了涂料内部的黏结性,从而增强了整体的抗剪性能。当树脂含量为 25% 时,涂料的抗剪强度最大,为 1.0 MPa。此外,当树脂含量由 20% 增加至 23% 时,涂料的抗剪性能提升显著,抗剪强度增加了 0.25 MPa,增长了 139%,从 23% 增加至 25% 时,增加了 0.57 MPa,增长了 133%。因此,树脂含量对涂料抗剪强度有显著影响,尤其树脂含量超过 20% 时,抗剪性能增强较为明显。

2.5 黏附性能

树脂的种类对涂料黏附性能影响显著,C5 石油树脂制备的涂料黏附性能最优(图 11)。C5 石油树脂制备的涂料玻璃珠磨耗质量最低,仅为 209 mg;C5/C9 共聚树脂制备的涂料次之,为 312 mg;松香树脂制备的涂料最差,玻璃珠磨耗质量高达 398 mg,相比 C5 石油树脂组增加了近 1 倍。

涂料的玻璃珠磨耗质量随 C5 石油树脂含量的增加呈下降趋势(图 11)。这可能是因为树脂含量

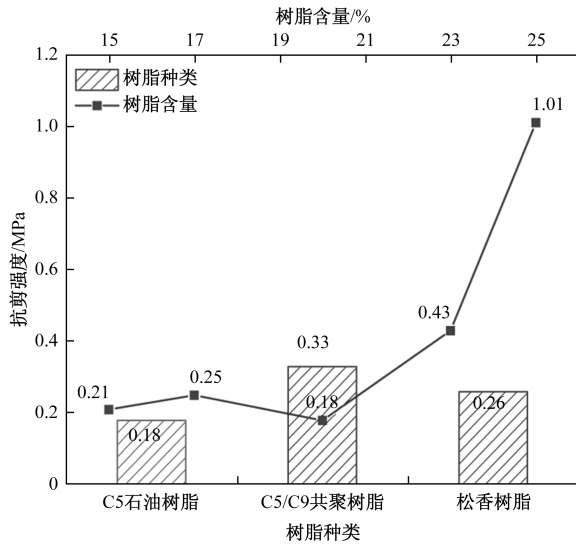


图 10 不同树脂种类和含量的涂料抗剪性能

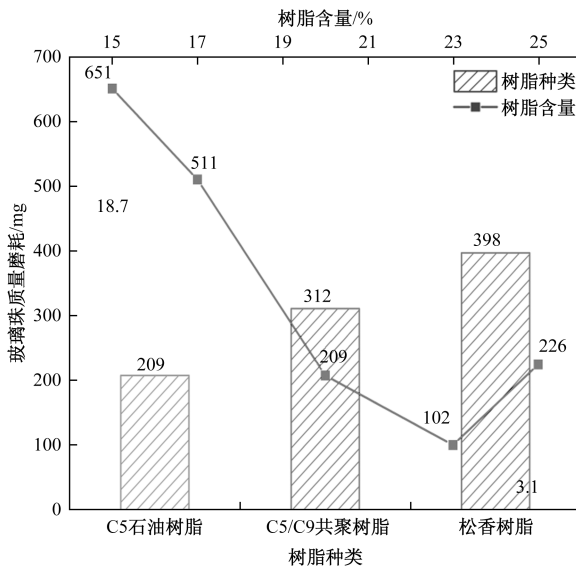


图 11 不同树脂种类和含量的涂料玻璃珠磨耗质量

的增加增强了涂料与玻璃珠的黏附力,提高了涂料的流动性,使玻璃珠嵌入涂料的深度更深、树脂对玻璃珠的裹覆面积更大,从而玻璃珠能更牢固地黏附在涂料上而不掉落。其中,当树脂含量为 23% 时,涂料黏附性能最佳,玻璃珠磨耗质量最低,仅为 102 mg;含量为 15% 时,涂料黏附性能最差,玻璃珠磨耗质量为 651 mg,较最小值增加了 550%。说明树脂含量对涂料黏附性能影响显著,当树脂含量达到 20% 时,涂料表现出优异的黏附性能。

3 应用效果评价

为验证以上研究的实际应用效果,在溧马高速(K259+262-K260+762)一车道虚线开展热熔型标线试验段并跟踪观测,结果见表 2。

表 2 溧马高速热熔型标线逆反射亮度系数跟踪数据

时间	逆反射亮度系数/ ($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$)
新建	357
8 个月后	154
1 年后	194

本文的热熔型标线在施工初期逆反射亮度系数达到了 $357 \text{ mcd}/(\text{m}^2\cdot\text{lx})$,远高于设计要求,甚至达到 III 级标线标准。尽管在 1 年后出现亮度衰减,但仍保持在 $190 \text{ mcd}/(\text{m}^2\cdot\text{lx})$ 以上,表现出优异的亮度稳定性。普通热熔标线在交通量大的路段使用寿命仅为 0.5~1 年,而本文优化后的热熔标线实现了 1 年以上的无养护使用,这使得交通管制频率减少,降低了维护成本。

4 结论

综合分析树脂种类和含量对热熔型标线力学性能的影响和实际工程应用效果,得出以下主要结论。

(1)由 C5 石油树脂和 C5/C9 共聚石油树脂制备的涂料的力学性能较优,且差异较小。C5 石油树脂的颜色更浅,因此,C5 石油树脂为热熔型标线涂料的首选树脂种类。

(2)当树脂含量在 20% 以上时,热熔型标线涂料表现出优异的力学性能,有利于延长标线的使用寿命。

(3)提高了热熔型标线的路用性能和使用寿命,使热熔型标线在高交通量条件下依然能够保持良好的性能,对热熔型标线涂料的开发和推广具有重要意义。

参考文献

- [1] 王珍, 邓星鹤, 陈凯军. 双疏长效反光标线质量控制因素[J]. 科技与产业, 2023, 23(23): 243-248.
- [2] 马静洁, 黄磊. 热熔型道路反射标线漆性能研究[J]. 中国标准化, 2018(20): 169-173.
- [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, 13(1): 65-68.
- [4] 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.
- [5] 孔佩佩. 道路交通标线涂料的研究进展[J]. 涂层与防护, 2019, 40(1): 48-52.
- [6] VACEK S, SCHIMMEL C, DILLMANN R. (2007, September). Road-marking Analysis for Autonomous Vehicle Guidance[C]//3rd European Conference on Mobile Robot. Freiburg, Germany: Autonomous Intelligent Sys-

- tems Group University of Freiburg, 2007: 1-6.
- [7] 杜玲玲. 我国道路标线涂料在改革开放中奋起[J]. 中国涂料, 2019, 34(2): 26-29.
- [8] 王建波. 公路交通标线应用的选型分析[J]. 中国公路, 2020(5): 66-68.
- [9] 赵娇娇. 热熔型改性松香-醇酸树脂路标涂料的研制[D]. 太原: 中北大学, 2007.
- [10] 孟庆翰. 热塑性反光道路标线涂料[J]. 涂料工业, 2000(2): 31-37, 46.
- [11] 道路标线用玻璃珠: GB/T 24722—2020[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2009.
- [12] 路面标线涂料: JT/T 280—2004 [S]. 北京: 全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会, 2004.

Effect of Resin on the Mechanical Properties of Hot-melt Marking Coatings

ZHANG Hongguang¹, WU Wenxiu¹, LUO Xiaoling¹, WANG Xudong², YU Di'er³

(1. Jinhua Highway and Transportation Management Center, Jinhua 321000, Zhejiang, China;

2. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. School of Engineering Auditing, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China)

Abstract: Thermoplastic resin is the main film-forming material of hot-melt marking coating, and it can guarantee the mechanical properties and service life of hot-melt marking. By changing the type and content of the resin, the influence of the resin on the mechanical properties of the hot-melt marking coating series was studied. The results show that the resin type has little influence on compressive property and wear property but has a significant impact on adhesion property, shear property, and adhesion property. At the same time, with the increase of resin content, the compressive strength increased first and then decreased, and the wear property, adhesion property, shear property, and adhesion property showed an overall increase trend. When the resin type is C5 petroleum resin and the content is not less than 20%, the hot-melt marking line has excellent mechanical properties.

Keywords: hot-melt marking line; marking coating; thermoplastic resin; mechanical properties