

雨夜标线标准化与性能优化研究进展

王 珍^{1,2}

(1. 广东交科技术研发有限公司, 广东 广州 510550; 2. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420)

摘要: 雨夜反光标线是保障雨夜交通安全的关键设施, 对于提高驾驶员的视觉辨识度和降低交通事故风险具有重要的作用。系统综述了雨夜反光标线的标准规范、反光性能, 以及抗滑性能的测试方法与提升策略, 并结合雨夜反光标线的实际应用, 分析了其在工程实践中的表现。研究发现, 现有雨夜反光标线在长期耐久性和性能稳定性方面存在不足, 且现行标准对性能指标的要求尚不完善。基于此, 提出未来研究方向, 包括材料创新和标准体系的优化, 旨在为雨夜反光标线技术的发展提供理论支持和实践参考, 进一步提升反光标线在雨夜交通安全中的应用效果。

关键词: 雨夜反光标线; 反光性能; 抗滑性能; 应用实例

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)02-0016-05

Research Progress on Standardization and Performance Optimization of Rainy Night Markings

WANG Zhen^{1,2}

(1. Guangdong Transportation Science Technology R&D Co., Ltd., Guangzhou 510550, China; 2. Guangdong Hualu Transport Technology Co., Ltd., Guangzhou 510420, China)

Abstract: Rainy-night reflective markings are the critical infrastructure for ensuring the traffic safety during rainy nights, playing a vital role in improving the visual recognition of the drivers and reducing the risk of traffic accidents. A systematic review has been conducted on the standard specifications and reflective performances of the rainy-night reflective markings, and the testing methods and enhancement strategies of anti-skid performances. Combined with the practical application of rainy-night reflective markings, the performances of the markings are analyzed. The research shows that the existing reflective markings for rainy nights have deficiencies in terms of long-term durability and performance stability, and the requirements for performance indicators in the current standards are still not perfect. Based on the above analysis, the future research directions are proposed, including the material innovation and the optimization of standard systems. The aim is to provide the theoretical support and practical references for the development of rainy-night reflective marking technology in order to further enhance the application effects of reflective markings in the traffic safety during rainy nights.

Keywords: rainy-night reflective marking; reflective performance; skid resistance; application example

0 引言

雨夜交通安全是道路交通安全领域的重要研究课题之一。在夜间及雨夜条件下, 由于光线反射特性变化和能见度显著降低, 驾驶环境变得复杂且危险。在此条件下, 车道标线的清晰可见和路面的抗滑性能对于驾驶员的道路感知和车辆控制能力具有决定性的作用。作为道路交通安全的重要辅助设施, 雨夜反光标线在提升驾驶员视觉识别能力和保

障行车安全方面发挥着不可替代的作用。现有研究表明^[1-2], 雨夜标线的反光系数在湿润状态下可能降低 30%~50%, 这一性能的衰减, 严重影响了驾驶员对道路标线的识别距离和时间。此外, 在湿滑路面条件下, 标线的抗滑性能容易不足, 增加了车辆失控和发生交通事故的风险。目前, 现有的标线材料和制作工艺在耐久性和功能性方面存在明显的局限性, 难以满足长期使用的需求。

当前, 关于雨夜反光标线的研究主要集中在 2 个方面: 一是通过改进材料配方和优化表面纹理设计来提升反光性能; 二是通过调整材料特性和表面处理技术来改善反光标线的抗滑性能。然而, 现有研

收稿日期: 2025-09-02

作者简介: 王珍(1994—), 女, 硕士, 工程师, 从事路面材料研发工作。

究普遍存在以下问题:一是研究对象聚焦短期性能评估,缺乏对标线长期耐久性和性能衰减机制的系统性研究;二是雨夜反光标线的相关标准和规范尚不完善,尤其是对反光性能和抗滑性能的指标要求存在模糊性和不明确性。

本文旨在系统性地分析雨夜反光标线的标准化要求、反光性能及其影响因素、抗滑性能及其提升方法,并通过实际应用案例,探讨反光标线性能优化的实现路径。通过对雨夜反光标线的全面研究,总结当前的研究成果与不足,提出未来的研究方向和改进建议,以期雨夜交通安全提供更有力的技术支持。

1 雨夜反光标线相关标准规范

1.1 反光性能标准

我国雨夜反光标线的标准体系经历了从地方性探索到全国性规范的发展过程。《道路交通标线质量要求和检测方法》(GB/T 16311—2009)作为基础性的国家标准,首次明确了雨夜反光标线的基本性能要求,但在检测方法和量化指标上仍有改进空间。

近年来,标准体系逐步完善,修订版《道路交通

标线质量要求和检测方法》(GB/T 16311—2024)对检测体系进行了优化,体现了标准与技术发展的动态更新特性。在地方标准层面,各省结合自身的区域特点进行了有益的探索,例如,四川省发布的《雨夜公路交通反光标线质量要求和检测方法》(DB 51/T 2429—2017),构建了包含初始和使用期性能要求的完整指标体系;湖南省发布的《微陶颗粒热熔型高梁道理交通标线技术要求》(DB 43/T 1719—2019),通过采用微晶颗粒——高亮玻璃珠复合反射体,显著提升了连续降雨条件下的标准适用性。

行业标准《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1—2017)虽然规定了初始逆反射性能要求,但对长期使用性能缺乏约束,影响了工程质量的可持续性保障。广东省 2022 年发布的技术规程,通过细化技术参数,构建了涵盖材料、施工与养护的全链条标准体系,代表了当前国内标准的先进水平,显著提升了雨夜标线的服役性能要求,对标线的长期使用性能提出更严格的要求,如 1 年后连续降雨下,白色标线 $R_L \geq 150 \text{ (mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1})$, 3 年后连续连续降雨下,白色标线 R_L 仍需 $\geq 50 \text{ (mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1})$, 比国标的要求更加严格,具体要求如表 1、表 2 所示。

表 1 雨夜标线逆反射亮度系数的标准要求 单位: mcd/m²/lx

标准	《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》		《微陶颗粒热熔型高梁道理交通标线技术要求》				《道路交通标线质量要求和检测方法》	
	初始		初始		正常使用		初始	
	白色	黄色	白色	黄色	白色	黄色	白色	黄色
干燥	≥350	≥200	≥480	≥280	≥280	≥150	≥350	≥200
潮湿	≥175	≥100	≥240	≥160	≥150	≥100	≥175	≥100
连续降雨	≥75	≥75	≥150	≥120	≥100	≥75	≥75	≥75

表 2 广东省雨夜标线逆反射亮度系数的
规程要求 单位: mcd/m²/lx

路面状况	初始 R_L (交工时)		持续 R_L (1 年后)		持续 R_L (2 年后)		持续 R_L (3 年后)	
	白色	黄色	白色	黄色	白色	黄色	白色	黄色
	白色	黄色	白色	黄色	白色	黄色	白色	黄色
干燥	≥450	≥350	≥350	≥200	≥250	≥150	≥150	≥100
潮湿	≥250	≥150	≥150	≥125	≥125	≥100	≥100	≥80
连续降雨	≥150	≥125	≥125	≥100	≥80	≥80	≥50	≥50

在国际标准方面,欧盟标准《道路标线材料 道路使用者的道路标线性能和测试方法》(BS EN 1436—2018),将潮湿/连续降雨条件下最高等级公路的雨夜逆反射系数统一规定为 150 (mcd/m²/lx),这一要求显著高于国内多数标准的要求。

总之,相较于国际标准,国内的雨夜反光标线标准在完善性和先进性方面仍存在差距,未来需要进一步优化检测方法、细化长期性能要求,并推动标准

化与技术发展同步更新。

1.2 抗滑性能标准

在道路标线抗滑性能标准化领域,国际标准与国内规范存在显著的技术差距。欧盟发布的《道路标线材料道路使用者的道路标线性能和测试方法》(BS EN 1436—2018),将动态摩擦系数(DFT)作为核心评价指标,并通过防滑测试仪值(SRT),对道路标线进行分级管理,建立了基于道路等级和使用场景的动态分级体系,体现了先进测试技术在交通安全中的应用。

相比之下,我国现行的标准《道路交通标线质量要求和检测方法》(GB/T 16311—2024)和《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》(JTG F80/1—2017)仍主要将静态的摆值(BPN)作为评价方法(见表 3)。目前,国内仅有约 60% 的地方标准明确纳入

抗滑性能要求(如江西省、湖南省等),反映出区域间技术规范的不均衡发展。

表 3 不同标准对标线抗滑性能的要求

《道路标线材料道路使用者的道路标线性能和测试方法》		《道路交通标线质量要求和检测方法》		《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》	
等级	最小防滑测试值(SRT)	类型	抗滑值(BPN)	类型	抗滑值(BPN)
S ₀	无要求	普通抗滑型	≥ 45	抗滑标线	≥ 45
S ₁	≥45	高抗滑型	≥ 55	—	—
S ₂	≥50	—	—	—	—
S ₃	≥55	—	—	—	—
S ₄	≥60	—	—	—	—
S ₅	≥65	—	—	—	—

1.3 标准的差异与发展趋势

国内各地方标准在性能指标、环境适应性和耐久性要求等方面存在显著的差异。在性能指标方面,部分省份(如江西省和湖南省)已统一抗滑值要求,但整体标准尚不完全一致;在环境适应性方面,各地标准考虑了干燥、潮湿和连续降雨等工况,但在实际检测中,对潮湿和降雨条件的测量仍不足;在耐久性要求方面,部分区域(如广东省)提出了更加严格的要求,体现了区域间对长期性能关注的差异性。

未来,雨夜反光标线标准的发展将呈现以下 4 种趋势:一是性能指标体系将更加精细化,逐步建立针对不同气候区的分级标准;二是检测方法将逐步由静态检测向动态检测转变,并引入加速老化试验等现代化技术;三是全生命周期管理理念将得到进一步深化,涵盖材料、施工与养护全过程;四是智能化发展将成为重要的方向,探索智能标线技术的标准化路径。这些趋势反映了区域差异的多样性与标准协调统一的必要性。

2 雨夜反光标线的反光性能

2.1 测试方法

根据《道路交通标线质量要求和检测方法》(GB/T 16311—2009),雨夜反光标线需具备潮湿状态下的逆反射性能。该标准是国内首个对雨夜标线性能提出明确要求的国家标准,要求标线在雨夜条件下保持良好的视认效果。《逆反射体光度性能测量方法》(JT/T 690—2022)和《水平涂层逆反射亮度系数测试方法》(JT/T 691—2007)是目前常用的测试标准,主要用于衡量标线材料在光线照射下的反射能力,其测试条件参照欧盟标准《道路标线材料 道路使用者的道路标线性能和测试方法》(BS EN 1436),设定眼睛高度为 1.2 m、前照灯高度为 0.65 m 的客车驾驶员在 30 m 距离时对应的角度,入射角和观测角

分别为 88.76°和 1.05°。测试结果通过反光性能测试来评估标线在雨夜中的反光效果^[3-6]。

李大茂等^[7]和杜伟传等^[8]对雨夜和潮湿条件下的反光测试方法进行深入研究。《潮湿条件下道路标线逆反射系数的标准测试方法》(ASTM E2177)已作进一步更新,提出《在潮湿恢复条件下用桶法测量路面标线反射亮度系数(R_L)的标准试验方法》(ASTM E2177—20)。此外,美国材料与试验协会(ASTM)还制定了《连续浸润标准条件下路面标记反射亮度系数测量的标准试验方法(R_{L-2})》(ASTM E2832—12),利用标准化的连续润湿装置和便携式的反射仪,测量路面标线的湿回射特性。

2.2 提升方法

提升雨夜反光标线的反光性能^[9-10]主要有 2 种技术路径:高折射率材料和特殊表面涂层。

2.2.1 高折射率材料

高折射率材料是提升雨夜反光标线性能的重要手段。这些材料如微玻璃珠^[11]、聚碳酸酯等,具有较高的折射率和良好的透光性,在光线照射下表现出优异的反光效果。

玻璃珠是雨夜反光标线的核心材料。雨夜反光珠^[12]在水下和潮湿条件下表现出明显优于普通反光珠的性能(见表 4)^[13]。微晶陶瓷玻璃珠常用作雨夜反光珠,相较于传统的普通玻璃珠(折射率为 1.5),其优势主要体现在以下 3 个方面。

(1)高折射率(可达 2.2 以上)使其具备优异的光学回归反射能力。光线进入珠体后,能更精准地聚焦于后方的反射层,显著地减少散射损失,从而大幅提升初始逆反射亮度。

(2)微晶化处理赋予其陶瓷级硬度和机械强度。该结构能有效抵抗车轮碾压造成的磨损,长期保持球形完整与表面光滑,确保反光性能持久稳定。

(3)微晶陶瓷玻璃珠具有良好的耐化学腐蚀性

和自清洁效应。其表面光滑疏水,雨水可冲刷积尘,维持透光率,保障雨夜环境下的可视性,克服传统玻璃珠在湿滑条件下反光骤减的弱点。研究表明,采用高折射率材料不仅提高了标线的耐久性和稳定性,还能在各种恶劣气候条件下保持良好的反光效果,是提升雨夜标线性能的可行技术手段。

表 4 雨夜与普通反光标线逆反射亮度

路面情况	系数对比	
	传统的反光标线 (玻璃珠)	雨夜反光标线 (雨夜反光珠)
晴天反光性能	白色 ≥ 150	白色 ≥ 400
	黄色 ≥ 100	黄色 ≥ 300
细雨或潮湿状态	0 ~ 20	白色 ≥ 300
		黄色 ≥ 200
水下反光性能	0	白色 ≥ 100
		黄色 ≥ 75

2.2.2 特殊表面涂层

特殊表面涂层也是提升雨夜反光标线性能的重要方法。郑桂兰等^[14]通过改变钛白粉的加入量,研究了其对涂料光反射比和逆反射系数的影响。研究表明,随着钛白粉加入量的增加,光反射比显著提升,但达到一定量后,光反射效果趋于饱和。此外,采用夜光效应材料也是提升反光性能的有效方法。

2019 年,曹鹏乾等^[15]发明了一种集湿致变色和夜光功能于一体的道路标线,显著提高了雨夜标线的识别度。该标线在干燥时呈现白色,在雨天遇水后颜色发生变化,提升了辨识度;夜间则具有夜光效果,进一步提升了道路的可见性。同年,杨传光和张爱华^[16]开发了一种新型夜光道路标线结构,采用耐磨软胶层和双组分涂料层,表面撒布玻璃微珠和夜光粉混合物,显著增强了标线的耐磨性能和反光效果,同时降低了噪声,提高了行车平稳性。

3 雨夜反光标线的抗滑性能

3.1 测试方法

抗滑性能的测试方法主要包括湿滑摩擦系数仪测试(摆式仪)和湿滑刹车距离测试(实际车辆测量)。国家标准《道路预成形标线带》(GB/T 24717—2009)和《道路和机场表面特性—测试方法—第 4 部分:测量表面滑动/抗滑性的方法:摆锤试验》(BS EN 13036—4—2011)均采用摆式仪进行测试。

3.2 提升方法

提升标线的抗滑性能主要从 2 个方面着手:一是选择高摩擦系数或高耐磨的标线材料^[17];二是优化

标线表面的纹理。

3.2.1 材料选择

采用具有优异抗滑性能的材料是提升标线抗滑性能的关键手段。

高摩擦系数材料:如玻璃颗粒、陶瓷颗粒等,可以增加标线表面的粗糙度,增强标线与车辆轮胎之间的摩擦力,从而提高其抗滑性能。

耐候涂料^[18]:如硅酮材料、聚氨酯涂料等,具有较好的耐磨性和稳定性,能保证标线在不同环境条件下保持优异的抗滑性能。

橡胶基材料:具备较好的柔韧性和摩擦性能,同时能有效降低噪声,提升行车的平稳性。

3.2.2 表面纹理

表面纹理的优化对于提升标线的抗滑性能具有重要的意义。

宏观纹理设计:通过在标线表面刻槽、雕凸或形成格栅等方式,增加标线与车辆轮胎的接触面积,增强摩擦力。研究表明,路面摩擦力的改善,可使湿路面事故率降低 68%^[19]。

微观纹理设计:标线表面的微小纹理(纹理波长 < 0.5 mm,振幅 < 0.2 mm)和宏观纹理(波长 0.5 ~ 50.0 mm,振幅 0.1 ~ 20.0 mm)协同作用^[20],进一步降低水膜的润滑效果,提升标线的抗滑性能。

特殊结构设计:2015 年,周建民等^[21]发明了一种道路交通反光标线,其特点是在表面保护层中加入消光剂,形成粗糙表面,增大轮胎与标线间的摩擦力,同时避免玻璃微珠的眩光效应,有效提高了雨夜行车的安全性。

4 雨夜反光标线应用实例

雨夜反光标线在实际应用中表现出显著的性能优势,以下通过典型案例,分析其效果并总结优缺点。

杭州湾跨海大桥采用冷塑型防滑雨夜标线^[22],在雨夜条件下,实现了高逆反射亮度系数,显著优于热熔型标线和振动型标线,同时,避免了振动型标线存在的安全隐患。福泉高速^[23]采用热熔型雨夜标线,标线使用半年后,湿态逆反射系数为 84 mcd/m²/lx,仍满足要求,优于普通标线 6 mcd/m²/lx。热熔型雨夜标线在降雨条件下的逆反射亮度系数^[24]为 36 ~ 107 mcd/m²/lx,也显著高于普通标线,且边缘线的性能更持久。

江西澎湖高速^[12]采用微晶陶珠,解决传统热熔

型标线雨夜不反光的问题;安定高速^[25]通过混掺陶瓷珠与玻璃珠,实现湿态逆反射系数达232 mcd/m²/lx,显著优于单一的陶瓷珠;福建G76高速^[26]采用高折射率微晶陶瓷珠,使潮湿条件下标线的反射系数为普通标线的2.5~5.0倍。

在杭州湾案例中使用的冷塑型标线,显著提升了雨夜行车的安全性。江西澎湖高速通过优化材料(微晶陶珠与热熔涂料)和表面设计(如采用高摩擦系数材料和纹理优化),同步提升了反光与抗滑性能。材料优化和表面纹理设计,在提升标线抗滑性能方面发挥了关键作用。

当前,热熔型雨夜反光标线表现出良好的短期性能,但长期使用后,反光效果和耐久性仍需进一步研究验证。不同类型的雨夜反光标线(如双组分、水性和预成型标线)各有优、缺点,适用于不同的场景。材料优化是提升标线整体性能的关键。未来应着重研究不同类型标线的长期性能、材料选择和工艺优化,为雨夜反光标线的推广提供更坚实的技术支持。

5 结 语

通过对雨夜反光标线的相关标准、性能指标和实际应用情况的系统梳理,研究得出以下主要结论,并提出未来的研究方向。

(1)当前,雨夜反光标线存在标准化不足的问题,主要体现为对反光性能、抗滑性能和耐久性指标的明确规定仍需完善。反光性能可通过高折射率材料和特殊表面涂层实现有效提升,但耐久性仍需进一步研究;抗滑性能可通过高摩擦系数材料或表面纹理设计优化。热熔型雨夜反光标线短期内性能表现优异,但长期耐久性和性能衰减机制尚需深入研究。

(2)针对现状,需制定统一的测试方法和评定标准,明确雨夜反光标线的反光性能、抗滑性能和耐久性指标;开发高性能材料(如新型高折射率材料或自清洁涂层),以提升标线的反光性能和抗滑性能;优化工艺(如采用纳米材料涂层或激光刻纹技术),提高标线的耐久性;深入研究影响标线耐久性的因素(如车速、车流量、降雨频率等),制定科学的养护周期和更新标准;开展不同类型标线的对比研究,明确其适用场景和技术局限性。

参考文献:

[1] GIBBONS R, ANDERSEN C, HANKEY J. Wet Night Visibility of Pavement Markings: A Static Experiment[J]. Transportation Research

Record: Journal of the Transportation Research Board, 2005 (9): 113-122.

[2] 欧艳. 设置雨夜道路反光标线的必要性及其选用分析[J]. 安徽建筑, 2020, 27(11): 175-177.

[3] KANG H J, KWON S J. A Study on the Night Visibility Evaluation Method of Color Temperature Convertible Automotive Headlamps Considering Weather Conditions[J]. Applied Sciences, 2021, 11 (18): 8661.

[4] TREMBLAY M, HALDER S S, CHARETTE R, et al. Rain Rendering for Evaluating and Improving Robustness to Bad Weather[J]. International Journal of Computer Vision, 2020, 129(2): 341-360.

[5] 梁树英, 杨春宇, 张青文. 材料光反射特性测定装置的研制与应用[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(10): 76-79.

[6] 陈冬青. 道路交通标线逆反射亮度系数动静态测量对比分析[J]. 福建交通科技, 2022(9): 102-106.

[7] 李大茂, 张国辉, 冯志秀, 等. 道路交通标线雨夜可视性测试方法国内外研究进展[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017(2): 241-244; 307.

[8] 杜伟传, 张建荣, 顾少卿, 等. 解读美国 ASTM E2177《潮湿条件下道路标线逆反射系数的标准测试方法》[J]. 交通标准化, 2010(213): 27-28.

[9] 李锋. 如何提高热熔型交通标线逆反射亮度系数[J]. 黑龙江交通科技, 2021(12): 167-168; 172.

[10] 许娟, 邸义. 新型热熔反光标线逆反射亮度系数耐久性研究[J]. 公路, 2023(5): 319-321.

[11] 解瑞松, 鲁孝松, 张伟, 等. 道路标线视认性提升技术研究进展[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2023, 47(2): 317-322.

[12] 戚华庭, 叶蓉. 雨夜反光标线和雨夜反光珠应用研究[J]. 交通标准化, 2011(19): 80-84.

[13] 王艺颖, 姚宾, 李亚林. 新型道路交通安全设施[J]. 交通与运输, 2014(1): 196-198.

[14] 郑桂兰, 关瑞芳, 隋肃, 等. 反应型反光型道路标线涂料识别效果研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2007, 37(1): 86-89; 124.

[15] 曹鹏乾, 陈琛, 曾卓, 等. 一种道路标线: 中国, CN201920779813.3[P]. 2020-07-28.

[16] 杨传光, 张爱华. 一种新型夜光道路标线结构: 中国, CN201920508453.3[P]. 2020-01-21.

[17] 杜利民, 郑家军. 道路标线在设计中的材料选择与应用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2014(5): 321-323.

[18] 姜世杰. 自行车道防滑耐磨涂料的开发与应用[J]. 石化技术, 2018(6): 193; 161.

[19] MKWATA R, CHONG EEM. Effect of Pavement Surface Conditions on Road Traffic Accident: A Review[J]. E3S Web of Conferences, 2022 (347): 01017.

[20] BASKARA S N, YAACOB H, HAININ M, et al. Accident due to Pavement Condition: A Review[EB/OL]. (2016-07-26) [2025-08-09]. <https://www.semanticscholar.org/paper/ACCIDENT-DUE-TO-PAVEMENT-CONDITION-%E2%80%93A-REVIEW-Baskara-Yaacob/357c851f09c65c5106808b7a877d5ece73eb8cec>.

[21] 周建民, 罗艳春, 蒋洪敏, 等. 一种道路交通反光标线: 中国, CN201520961019.2[P]. 2016-05-11.

[22] 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.

(下转第29页)