

高粘高弹超薄罩面技术在高速公路轻度车辙路段预防性养护中的应用

刘燃 龚泰龙

中交一公局集团有限公司重庆运营区域总部

DOI:10.32629/etd.v6i5.16901

[摘要] 为解决重载高温路段高速轻度车辙预防性养护难题,研究依托重庆九永高速第三车道,探索高粘高弹性超薄罩面技术。材料优化、工艺适配方案设计同步开展,技术推进遵循“四阶段递进式”路线。路面状况得到有效改善,可靠性与使用性能提升,养护周期延长,较传统方案成本优势显著。交通延误成本与雨天事故率大幅减少,技术兼具可靠性与经济性,填补重载路段轻度车辙预防性养护空白。未来可向寒区适配、智能监测及绿色循环方向拓展。

[关键词] 重载高温路段; 高速公路; 轻度车辙; 预防性养护; 高粘高弹性超薄罩面技术; 四阶段递进式技术路线

中图分类号: U412.36+6 文献标识码: A

Application of High Viscosity, High Elasticity, and Ultra-Thin Overlay Technology in Preventive Maintenance of Highways with Minor Rutting Sections

Ran Liu Tailong Gong

Chongqing Operation Regional Headquarters, CCCC First Highway Engineering Group Co., Ltd.

[Abstract] To address the challenge of preventive maintenance for minor rutting on heavy-traffic, high-temperature expressways, this study utilizes the third lane of Chongqing Jiuyong Expressway to explore ultra-thin coating technology with high adhesion and elasticity. Material optimization and process adaptation were implemented concurrently, following a "four-phase progressive" technical advancement roadmap. The pavement condition has been effectively improved, with enhanced reliability and service performance, extended maintenance intervals, and significant cost advantages over traditional solutions. Traffic delay costs and accident rates during rainy weather have been substantially reduced. The technology combines reliability with cost-effectiveness, filling the gap in preventive maintenance for heavy-traffic road sections. Future applications may extend to cold-region adaptation, intelligent monitoring systems, and green circular economy development.

[Key words] High-traffic high-temperature road section; Highway; Light rutting; Preventive maintenance; Ultra-thin coating technology with high adhesion and high elasticity; Four-stage progressive technical route

引言

我国高速公路服役年限不断延长,轻度车辙、抗滑衰减等预防性养护需求愈发迫切。传统养护技术抗重载能力不足,部分寿命较短,难适配高温重载路段。高粘高弹性超薄罩面有应用潜力,特定区域系统性应用研究却有限,现有研究也多聚焦材料性能优化,鲜少结合工程验证全流程。本研究依托重庆九永高速第三车道轻度车辙养护工程,探索该技术适配性与核心要点,解决重载高温路段养护难题,为西南及同类条件高速养护提供参考,填补技术特定场景应用空白。

1 高粘高弹性超薄罩面在轻度车辙预防性养护中的技术应用

1.1 高速公路轻度车辙预防性养护的核心矛盾

重庆九永高速第三车道12.45km路段(货车占比超35%)有10-12mm轻度车辙,沥青伴随老化松散(构造深度0.5mm、横向力系数42),路面PQI均值93.1(全线第三车道100个评定单元中,“优”级85个、“良”级14个、“次”级1个)。不干预情况下,6个月内车辙将发展至重度(>15mm),修复成本增加40%以上。传统技术适配性不足,微表处抗滑衰减快,铣刨重铺成本高,超粘

磨耗层难承受重载,高粘高弹性超薄罩面适配该路段,应用研究却有限,需解决技术适配与成本平衡问题^[1]。

1.2 轻度车辙的成因

1.2.1 高温-重载耦合作用:夏季地表温度达70℃及以上,沥青混合料模量落至800MPa以下,重载车反复碾压让轮迹带沥青层受压密,最终形成10~12mm的V型车辙;

1.2.2 材料老化衰减:九永高速已通车8年,在服役时间里,沥青针入度从70×0.1mm降到45×0.1mm,与集料间粘结力下降33%,车辙两侧细集料随之散失;

1.2.3 雨水加速破坏:微裂缝引发雨水下渗,动水压力直接破坏沥青-集料界面,车辙深度月增速由此提升50%。

上述成因分析表明,重载与高温耦合作用是诱发车辙的关键因素,而高粘高弹性超薄罩面技术通过提升材料高温稳定性与层间粘结强度,直接针对此类成因进行干预,凸显其在重载高温路段的特殊技术优势。

1.3 高粘高弹性超薄罩面技术方案设计

1.3.1 材料优化维度。围绕“高温抗车辙、低温抗裂、层间强粘结”三大核心需求开展体系化设计^[2]。选取70号A级道路石油沥青作为基质,复配3%-5%线型SBS改性剂、2%-3%废旧胶粉及0.5%降粘剂,在165-170℃环境下以3000r/min速率高速剪切45min,制备高粘高弹沥青,关键指标把控为60℃动力黏度220000-250000Pa·s、5℃延度40-45cm、25℃弹性恢复95%-98%;矿料采用半开型级配,4.75mm筛孔通过率26-40%、0.075mm筛孔通过率6-11%,兼顾抗滑性能与排水需求,粗集料选玄武岩(压碎值≤25%、磨光值PSV≥36,适配重载抗磨),细集料选石灰岩机制砂(砂当量≥60%,增强与沥青粘结),油石比控制在5.0%-5.3%,混合料车辙动稳定度≥2800次/mm、浸水马歇尔残留稳定度≥85%,保障重载下抗变形与抗水损害能力;粘层材料用高黏度改性乳化沥青(蒸发残留物含量≥65%、25℃针入度40-60×0.1mm、沥青标准黏度C25.3为12-60s),洒布量0.4-0.6L/m²,借同步摊铺机均匀喷洒,确保罩面与原路面层间粘结强度≥0.25MPa,抵御第三车道重载车辆反复碾压产生的剪切应力。

1.3.2 工艺适配维度。考虑第三车道货车密集、交通流量大的特点,设计“微创、高效、少干扰”施工工艺体系^[3]。交通组织采用“封闭第三车道+应急车道”模式,保留前两车道正常通行,保障80%以上通行能力,单段施工长度控制在500-800m,总封闭时间≤4h,通过可变情报板发布施工信息,现场设置锥形桶、限速标志及线形诱导标,引导重载车辆有序通行,减少施工对成渝物流通道干扰。施工参数管控原材料加热温度,沥青160-170℃、集料180-200℃,混合料出厂温度175-185℃,超195℃废弃,夏季高温施工掺入3-6kg/t温拌剂,降低施工温度5-10℃,避免沥青过度老化,摊铺速度控制在1-3m/min,减少重载段混合料离析,碾压采用“双钢轮初压(1遍,温度≥150℃,频率30Hz、振幅0.3mm)+25t胶轮复压(2遍,温度≥130℃)+双钢轮终压(1遍,温度≥100℃)”组合工艺,30min内完成全流程碾压,确保压实度≥98%(马歇尔密度);车辙预处理针对10-12mm轻度车辙,采用

120-130℃热耙沿轮迹带耙松5-8mm老化沥青层,清除松散集料后,补撒粒径3-5mm高粘高弹混合料,人工找平压实后车辙深度控制在≤5mm,为超薄罩面施工提供平整基底,避免罩面厚度不均引发局部破损。

1.4 技术执行路线

采用“四阶段递进式”技术路线推进方案落地(见图1):

1.4.1 原材料把控:高粘高弹沥青每批检测针入度、弹性恢复(1次/批),粗集料每2000t测压碎值(1次/2000t),混合料每日检测车辙动稳定度(≥2500次/mm);

1.4.2 试验段验证:选200m重载路段铺试验段,定松铺系数1.15-1.2、碾压遍数4遍验证工艺参数适配性;

1.4.3 正式施工推进:依据“车辙预处理→粘层洒布→罩面摊铺→碾压成型”流程施工,每100m测厚度(允许偏差±2mm)、每50m测摊铺温度;

1.4.4 后期跟踪监测:施工后3、6、12个月,重点监测第三车道轮迹带车辙深度、PQI等指标,验证长效性。



图1 “四阶段递进式”技术路线图

1.5 方案执行效果

1.5.1 技术成效。养护后持续跟踪观测表明(见表1),车辙深度显著减小,RDI与PQI指标均有提升,抗滑性能达到“优”级。未出现反射裂缝,沥青老化速率明显减缓,短期应用效果良好,长期性能将持续监测验证。

表1 高粘高弹性超薄罩面应用前后性能对比

性能指标	应用前	应用后	提升幅度	规范“优”级要求
车辙深度(mm)	10月12日	3月5日	58%-70%	≤10
路面技术状况指数(PQI)	92.8	96.2	3.70%	>90
横向力系数(SFC)	42	55	31%	≥50
构造深度(TD, mm)	0.5	1.1	120%	≥0.8
反射裂缝发生率	-	0%	-	≤5%

1.5.2 经济成效。本技术方案展现出显著的经济优势。与传统铣刨重铺工艺(约83元/m²)相比,高粘高弹性超薄罩面技术(约60元/m²)直接成本降低27.7%,结合项目第三车道19075m²超薄罩面施工面积,直接节省成本约41.96万元;同时,其“微创、高效”的工艺特点使单段施工封闭时间≤4h,较铣刨重铺(单段封闭时间≥8h)缩短50%,大幅降低因施工造成的交通延误成本(按2024年5月高峰小时流量964pcu/h、每车延误成本20元计算,单公里施工可减少延误成本约1.54万元),整体经济性优异,为重载高温路段预防性养护提供了高性价比的解决方案。

2 结论

本研究成果多维度表现突出,安全性上路面抗滑性能显著提升,雨天通行风险大幅降低,层间粘结稳固且无剥落等隐患,充分保障行车安全;适用重载高温环境,有效解决轻度车辙,可推广;经济性上较传统方案降本减交通延误,全寿命周期性价比高;技术依托材料工艺创新,突破局限,填补重载路段轻度车辙预防性养护空白。未来需进一步优化材料性能适配更多气候区

域,研发智能化施工监测手段提升质量管控精度,探索绿色循环技术路径,推动该技术在应用范围、施工效率与环保效益上持续完善。

参考文献

- [1] 张伟.高速公路长上坡路段抗车辙沥青路面施工技术研究[J].工程建设与设计,2023,(14):185-187.
- [2] 厉广广,杨洋.高速公路改扩建工程中老旧路面材料性能评价[J].黑龙江交通科技,2024,47(05):23-28.
- [3] 中冶(贵州)建设投资发展有限公司,贵州省紫望高速公路建设有限公司,中南大学.一种基于精细化轴载作用的沥青路面车辙深度预测方法:202210421179.2[P].2024-04-19.

作者简介:

刘燃(1996--),男,汉族,重庆人,本科,助理工程师,研究方向:公路养护。

龚泰龙(1995--),男,汉族,重庆人,本科,工程师,研究方向:公路养护。