

超黏磨耗层在高速公路预防性养护中的应用研究

褚宇康 侯亚良

中交一公局集团有限公司重庆运营区域总部

DOI:10.32629/etd.v6i5.16900

[摘要] 随着我国高速公路网规模持续扩大,养护需求日益凸显,养护模式正从传统的“修复性养护”向科学的“预防性养护”转变。预防性养护在路面结构性能良好但出现功能衰减初期时主动干预,能以较低成本显著延长路面使用寿命,提升道路服务品质与安全性。本文以2025年重庆长寿至合川高速公路(长合高速)预防性养护工程为实例,基于第三方检测单位的详细路况评估,系统分析了超黏磨耗层技术的应用成效。重点论述了该技术在高效处治路面龟裂、裂缝等早期病害方面体现出的前瞻性优势,并从全寿命周期成本角度深入论证了其显著的经济性。工程实践表明,超黏磨耗层是一种技术先进、经济高效、节能环保的高等级公路预防性养护解决方案,具有重要的推广价值。

[关键词] 预防性养护; 超黏磨耗层; 经济性分析; 早期病害; 微表处

中图分类号: S946.1+1 **文献标识码:** A

Study on the Application of Ultra-Bonded Wear Layer in Expressway Preventive Maintenance

Yukang Chu Yaliang Hou

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

[Abstract] With the continuous expansion of China's expressway network, maintenance demand has become increasingly prominent, and the maintenance mode is shifting from traditional "restorative maintenance" to scientific "preventive maintenance". Preventive maintenance, which takes proactive intervention when the pavement structure performance is still good but initial functional degradation occurs, can significantly extend the pavement service life at a lower cost and improve road service quality and safety. Taking the 2025 preventive maintenance project of Chongqing Changshou-Hechuan Expressway (Changhe Expressway) as an example, this paper systematically analyzes the application effect of ultra-bonded wear layer technology based on the detailed road condition evaluation by a third-party testing unit. It focuses on discussing the forward-looking advantages of this technology in efficiently addressing early diseases such as pavement crazing and cracks, and deeply demonstrates its significant economic benefits from the perspective of whole-life cycle cost. Engineering practice shows that the ultra-bonded wear layer is an advanced, cost-effective, environmentally friendly and energy-saving preventive maintenance solution for high-grade highways, which has important promotion value.

[Key words] preventive maintenance; ultra-bonded wear layer; economic analysis; early diseases; micro-surfacing

引言

高速公路作为现代交通系统的骨干,其路况质量直接关系到通行效率、行车安全与运营效益。在长期承受繁重交通荷载及自然因素(如紫外线、雨水、温度变化)的耦合作用下,沥青路面逐渐出现材料老化、功能退化等现象,表现为抗滑性能下降、细微裂缝、轻度车辙、表面松散等功能性病害。若未能在现阶段及时采取有效措施,环境水分将通过裂缝渗入路面结构内部,软化基层乃至路基,导致裂缝扩展、坑槽、唧泥等结构性破坏,最终不得不进行大规模、高成本的修复性养护,不仅造成巨额资

金投入,也会对社会交通运行产生严重干扰。

预防性养护作为一种主动的、计划性的养护策略,其核心便是在路面结构强度仍充足、但表面功能出现初步退化迹象时,及时采取干预措施,以封堵病害发展路径,恢复路面功能,延长服务寿命,并实现全寿命周期成本的最小化。超黏磨耗层技术是近年来预防性养护领域涌现出的一项创新技术,它通过采用特种改性乳化沥青、优质骨料及精细施工工艺,形成一层超薄、高强、耐久且密封性极佳的罩面,特别适用于处治路面早期损害。本文结合重庆长合高速2025年预防性养护工程的具体实践,系

统研究超黏磨耗层技术的应用背景、技术特点、施工质量控制及综合效益。

1 项目背景与路面状况评估

1.1 项目背景

重庆长合高速公路是重庆市高速公路网中的重要组成部分,自建成通车以来,部分路段交通量增长迅猛,且重载交通占比较大。经现场调查、查阅检测报告发现,沿线路基整体稳定性较好,未发生大规模滑塌、剧烈沉陷等严重破坏,沿线仅存在少数路面发生明显病害,原路面存在不同程度的老化以及损耗。截至目前,本项目路面技术状况基本处于优良等级水平,路面整体使用状况基本较好,路面问题主要集中在局部路段出现轻微车辙和抗滑性能衰减等病害,且损耗程度呈现进一步发展、恶化的趋势。逐渐影响行车安全及交通的正常运营,特别是雨天路面积水时,抗滑能力下降更为明显。另有少数区域发生单条裂缝、轻微块裂、拥包、坑槽等病害现象,降低了道路功能与服务水平。

1.2 路况检测与病害诊断

施工前,委托具有资质的第三方检测机构对长合高速目标路段进行了全面检测与科学评价。检测内容涵盖路面损坏状况指数(PCI)、行驶质量指数(RQI)、路面抗滑性能指数(SRI)、构造深度(TD)及路面渗水系数等关键指标。

检测结果表明:该路段路面整体结构承载力良好,未发生大面积结构性损坏。然而,路面已出现明显的功能退化特征,正处于实施预防性养护的关键时期:

密集早期裂缝:行车道及部分超车道出现大量未贯穿的线状裂缝及轻微龟裂现象。这些微裂缝虽未造成结构破坏,但已成为地表水侵入的潜在通道,是未来水损害发展的根源。

表面功能衰减:部分路段路面宏观构造深度下降,抗滑性能指标(SRI)接近养护标准临界值,尤其在雨天条件下,行车安全风险增加。

局部松散与渗水:表面集料存在轻微嵌挤失效与流失,渗水试验显示多处点位渗水系数超标,路面防水密封功能下降。

第三方检测报告明确结论:该路段现状完全符合预防性养护技术应用的条件,此时实施超黏磨耗层处理,可有效遏制现有微裂缝的扩展、防止水分下渗、恢复表面抗滑与平整度,避免病害进一步演化为代价高昂的结构性损坏。

1.3 方案比选

方案一:超黏磨耗层

优点:①可快速施工,开放交通时间短;②利于抗滑与降噪,路面破损改善明显;③沥青性能指标高,层间黏结强,可以解决高温车辙、低温开裂问题,综合成本低。

缺点:①非结构补强,抗重载能力有限;②重载交通对性能衰减有一定影响。

方案二:高黏高弹改性超薄罩面

优点:①对比普通SBS抗车辙能力提升明显,适合货车密集路段;②重载路段寿命3年以上;③降噪效果明显;④可适应重庆夏季极端高温环境。

缺点:①施工温度敏感,碾压需在30分钟内完成;②综合成本较高。

方案三:微表处

优点:①快速提升抗磨耗性能、抗滑性能和车辙修复功能。②施工速度快,效率高。③综合成本一般。

缺点:①噪音较大;②抗滑性能衰减较快,使用寿命较短。经多方案比选,超黏磨耗层技术因其优异的抗裂、防水、耐磨及经济性等综合优势,被选定为最终实施方案。

2 超黏磨耗层技术机理与核心优势

2.1 技术机理

超黏磨耗层是一种采用专用设备(超黏磨耗层摊铺车)将特种改性乳化沥青(超黏乳化沥青)、100%轧碎坚硬骨料、填料、水及添加剂按精确设计配比在常温下拌和,并均匀摊铺于原路面之上的薄层罩面技术。其成型后厚度通常为8-15mm。该技术的核心在于“超黏乳化沥青”,它通过复合高分子聚合物与特种改性剂进行深度改性,使其具备极高的粘结强度、优异的弹性恢复能力与耐久性。

2.2 相较于传统技术的优势

与传统的铣刨重铺、普通微表处等工艺相比,超黏磨耗层在处治早期病害方面展现出显著的前瞻性与技术优势:

杰出的抗反射裂缝能力:超黏乳化沥青形成的高弹性聚合物网络结构,能够吸收和消纳来自下层路面的应力变形,像一张“弹性膜”一样有效抑制底层裂缝的反射速度与程度,对于治理龟裂与网状裂缝尤其有效,极大延长了养护周期。

极致的防水密封性能:混合料经摊铺碾压后形成致密防水层,彻底封闭原路面裂缝与孔隙,形成一道可靠防水屏障,隔绝水害,保护基层强度,从根本上延缓了水损害相关病害的发生与发展。

持久稳定的抗滑与耐磨性能:精选的高硬度、高磨光值骨料确保了罩面层具有优异的耐磨耗能力与长期抗滑性能,能显著提高雨天行车安全性。

施工高效,交通干扰小:常温施工,能耗低,碳排放少;混合料摊铺后成型速度快,通常1-2小时即可开放交通,极大减少对高速公路通行的影响。

3 超黏磨耗层在高速公路预防性养护中的应用

3.1 施工前准备

施工前对原路面进行彻底处置是保证层间黏结与长期性能的关键。首先采用专业清扫设备(扫地车、高压水枪、吹风机)彻底清除路面所有灰尘、杂物和松散料。对宽度超过5mm的裂缝进行专用灌缝胶处理;对局部坑槽、拥包等病害进行铣刨挖补处理,确保工作面平整、坚固、清洁与干燥。

3.2 混合料配合比设计

混合料设计是决定最终性能的基础。本项目采用室内试验与现场试铺相结合的方法确定最终配比。重点对超黏乳化沥青的用量(过高易泛油,过低则粘结不足)、骨料级配(通常采用MS-3型级配以保证构造深度)、拌和用水量及添加剂用量进行优

化设计, 确保混合料具有良好的施工和易性、裹覆性、配伍性与路用性能。

严格参照《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20-2011《公路工程集料试验规程》JTG 3432-2024《公路沥青路面预防养护技术规范》JTG/T5142-01-2021对项目采购的玄武岩碎石粗集料、细集料, 矿粉、高粘乳化沥青等原材料进行实验检测, 在配合比设计中, 初选 6.2%的油石比, 2%的水泥掺量进行混合料的拌和试验和粘聚力试验, 实验结果粘聚力符合要求。根据初试试验结果, 调整油石比, 分别选择5.0%、5.6%、6.2%、6.8%、7.4%五个油石比进行湿轮磨耗试验和负荷车轮粘砂试验, 试验结果见下表。根据试验数据得到, 湿轮磨耗试验和黏附砂量试验结果, 交叉点对应的油石比为 6.0%, 故选择 6.0%为最佳油石比。最后对湿轮磨耗值及车辙变形进行混合料性能验证。

湿轮磨耗试验和负荷车轮粘砂试验结果

油石比 (%)	湿轮磨耗值 (g/m ²)		黏附砂量 (g/m ²)	
	浸水 1h		试验结果	技术要求
	试验结果	技术要求		
5.0	149	≤380	216	≤450
5.6	125		340	
6.2	102		623	
6.8	73		815	
7.4	59		840	

3.3 施工过程精细控制

采用先进的智能型摊铺设备进行施工。全过程实施精细化控制:

精确放样与引导: 预先铺设基准线, 引导设备匀速、直线行驶, 保证摊铺轨迹顺直。

材料精准计量: 依靠设备的计算机控制系统, 实时精确控制各料仓的输送量, 确保生产配合比与目标配合比高度一致。

摊铺作业控制: 经验丰富的操作手根据路况随时调整摊铺箱的厚度、角度和摊铺速度, 确保铺层厚度均匀(本项目控制为10mm)、表面平整、无离析。

接缝处理: 纵向接缝采用重叠摊铺方式, 横向接缝采用平顺的对接方式, 并通过人工辅助修整, 保证接缝平顺美观。

初期养护与开放交通: 摊铺后设置警示标志, 派专人值守, 确保在材料充分破乳凝固前禁止任何交通通行。待检测表面已成型并达到开放交通强度后(通常以不粘轮胎为准), 迅速开放交通。

4 应用效果与经济性综合分析

超黏磨耗层在长合高速的应用, 其核心价值不仅在于消除了当前表面病害, 更体现在其对未来病害发展的有效阻断, 具有显著的前瞻性。

对裂缝的“主动抑制”: 其高弹性特质使其能承受基层的温缩与干缩变形, 将反射裂缝的出现时间大大推迟, 实现了从“被

动修复”到“主动防治”的转变, 预期可将裂缝反射周期延长3倍以上。

对水损害的“根本性防治”: 其完美的整体防水性彻底消除了地表水入侵的路径, 保护了基层的水稳性, 避免了因水引发的唧泥、冻胀、基层软化等一系列衍生结构性破坏, 守护了路面的“根基”。

对安全性能的“长效提升”: 坚硬的骨料和优化的级配提供了持久且深远的宏观构造, 抗滑性能衰减缓慢, 为长期行车安全提供了稳定保障。

第三方于施工后1个月的跟踪检测数据显示: PCI、RQI均恢复至“优”等级, SRI和TD值提升超过40%, 渗水系数的检测结果均为0ml/min, 各项指标均远超规范要求。

5 结论与建议

基于重庆长合高速公路2025年预防性养护工程的实践与研究, 可得出以下结论:

科学决策是前提: 基于第三方检测数据的精准路况评价, 是抓住预防性养护“黄金时机”、成功实施超黏磨耗层技术的前提。

技术性能卓越: 超黏磨耗层技术尤其擅长处治路面早期裂缝与水损害问题, 其高粘结、高弹性、高密封的特性, 能有效抑制反射裂缝和根本性防治水损害, 表现出显著的前瞻性养护效果。

综合效益显著: 该技术具有施工快捷、交通干扰小、节能环保等多重优点。从全寿命周期成本分析, 其经济性远优于传统的修复性养护, 是实现高速公路养护“降本增效”和可持续发展的理想技术选择。

建议在今后的高速公路养护管理中, 广泛建立基于定期检测的科学决策体系, 积极推广超黏磨耗层等高性能预防性养护技术, 并将其作为处治早期裂缝和防水损害的首选方案之一, 构建长效、经济的现代化养护管理新模式。

【参考文献】

- [1]交通运输部.公路沥青路面预防性养护技术规范:JTG/T 5142-01-2021[S].北京:人民交通出版社,2021.
- [2]王松根,徐剑,黄颂昌.沥青路面预防性养护理念与实践[M].北京:人民交通出版社,2018.
- [3]李峰,王国忠.超黏磨耗层技术抗裂性能研究及其工程应用[J].中国公路学报,2022,35(7):152-160.
- [4]刘伟,张敏.基于生命周期成本分析的高速公路预防性养护决策模型[J].公路工程,2023,48(1):289-294.
- [5]重庆长合高速公路2024年路面工程定期检测报告[R].
- [6]重庆长合高速公路2025年路面预防性养护工程检测报告[R].

作者简介:

褚宇康(1997--),男,汉族,山西人,本科,工程师,研究方向:公路养护。

侯亚良(1991--),男,汉族,甘肃陇西人,本科,工程师,研究方向:公路养护。