

基于微表处技术的高速公路预防性养护施工方案

文 / 王 林 上海城建城市运营集团

摘要：微表处技术作为高速公路预防性养护的关键措施，采用乳化沥青混合料薄层摊铺形成功能性罩面层，具有施工效率高、成本效益好及路用性能突出的特点。本研究基于该技术制定系统化施工方案，涵盖材料选型、设备配置与工艺优化三大核心要素，重点解析改性乳化沥青、级配骨料与外掺剂的多维度协同机制。施工流程包含病害预处理至质量监控全过程，突出原基面清洁度控制与裂缝封闭处理等关键工序，通过试验段验证明确摊铺速率与厚度参数的量化关系。质量管控体系构建材料配比、施工均匀性和养护时效的闭环管理模块，创新引入渗水系数与摩擦系数等动态监测指标。该方案通过提升路面服役周期与优化养护成本结构，形成高速公路预防性养护标准化作业范式，为绿色养护技术推广应用提供可操作的实施框架。

关键词：微表处技术；高速公路；预防性养护；施工方案

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.055

引言

我国高速公路网络历经多年建设已形成超 16 万公里的庞大体系，沥青路面作为主要结构形式面临日益严峻的养护压力。传统矫正性养护存在干预滞后、资源浪费等问题，交通运输部《“十四五”公路养护发展纲要》明确提出预防性养护占比应提升至 35% 以上。微表处技术作为预防性养护典型代表，通过 1cm 左右功能性罩面实现封水抗滑、延缓病害发展的双重目标，相较传统铣刨重铺可降低 60% 以上碳排放。当前工程实践中存在材料适配性差、工艺参数粗放等突出问题，导致部分项目出现脱粒、泛油等早期损坏。本文基于实体工程应用，系统研究微表处技术的材料配比优化方法，建立包括级配动态调整、乳化沥青破乳控制等关键工艺的标准化流程。通过构建“预处理-试验验证-过程控制”三位一体的质量保障体系，着力解决层间黏结弱、横向接缝不齐等技术痛点。研究成果可为同类工程提供科学指导，对实现“双碳”目标下的绿色养护转型具有现实意义。

一、工程概况

某高速公路作为区域经济与旅游发展的关键通道，采用双向四车道标准建设，设计时速 80 公里，路基宽 24.5 米。自 2010 年通车以来，受区域经济带动影响，交通流量持续攀升，重载运输车辆占比增幅尤为显著。最新观测数据显示（2023 年 1-5 月），日均通行车辆中，中小型客车占比达 81.4%，中型及特大型货运车辆合计 8.7%。值得注意的是，尽管重载车辆比例不足 10%，其轴载效应已对路面结构产生显著影响^[1]。

道路表面存在多种病害问题：横向与纵向裂缝呈明显规律分布，部分区域还有坑洼和磨损情况。这些结构损伤既影响车辆通行舒适性，也带来安全隐患。建议引入预防性养护技术，制定有针对性的维护措施，逐步修复路面性能，从而延长道路使用寿命，确保交通网络的运行质量。

二、微表处技术分析

（一）技术优势

第一，在既有沥青面层结构强度达标条件下，采用微表处工艺实施路面防水性能改善。通过严格筛选原材料和规范工艺流程，该技术较常规养护措施具有更优的黏结特性与工程实效。其技术原理主要体现在：密封既有路面微裂隙形成连续阻水层，阻断降水渗透通道，显著提升路面抗渗性能。这种防护结构可有效防止积水侵蚀道路基层，降低水损发生概率，切实延长沥青路面服役周期^[2]。

第二，抗滑性能强化。作为区域经济联系的核心交通基础设施，高速公路沥青路面在长期服役过程中易出现表层功能渐进性退化。通过实施厚度为 5-10mm 的微表处罩面层施工工艺，采用聚合物改性乳化沥青混合料形成新型磨耗层。该技术方案可显著提升路表构造深度，使横向力系数（SFC）提升 30%-45%，同步增强表层耐磨耗性能，有效维持路面抗滑性能值（BPN）在 70 以上技术标准，实现道路结构服务年限的延伸。

第三，车辙修复效率优势显著。基于对既有沥青路面状况的系统调研与数据分析，可选用单层或双层摊铺工艺实现高效修复。该工艺能够实现每日单台班 3-5 公里的连续施工进度。相较于铣刨重铺或热沥青混凝土罩面等传统工艺，微表处技术具备施工便捷、效率高、修复质量稳定、交通恢复迅速等优势，特别适用于车辙病害的快速处治，图 1 为微表处技术的一般施工流程。

第四，施工环保性能优异。微表处技术采用常温作业模式，全过程无污染排放源，施工阶段不产生有毒气体及粉尘污染。相较于热拌沥青工艺，该技术具有能耗低（能源消耗量降低 40% 以上）、VOCs 零排放等特点，施工全过程符合环保施工标准，满足道路养护绿色化技术要求^[3]。

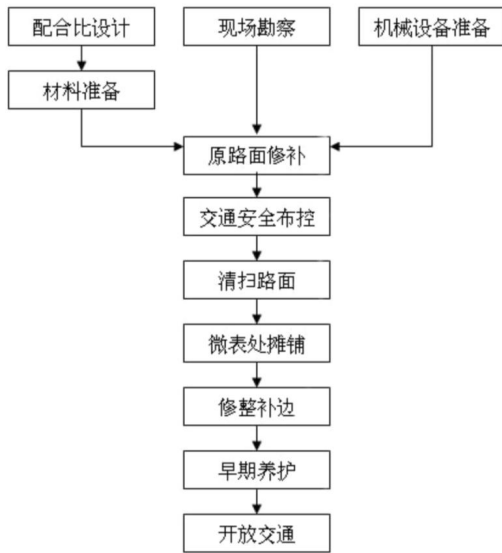


图1 一般施工流程

(二) 材料构成

微表处施工质量核心在于原料的精准配比与过程控制。本工程采用BCR型改性乳化沥青基材，配合SBR型聚合物胶乳进行性能优化，确保沥青组分在复合胶凝体系中的占比超过3%，从而有效提升铺装层的界面黏结力与抗形变能力。改性乳化沥青作为主要胶结材料，其品质参数与路面结构的耐久特性及防滑指标呈显著正相关。在集料质量控制方面，依据JTG F40规范要求实施双重管控：粗集料需满足压碎值 $\leq 22\%$ 、磨耗损失 $\leq 26\%$ 、磨光值 $\geq 42\text{BPN}$ 、坚固性 $\leq 8\%$ 、针片状颗粒含量 $\leq 10\%$ ；细集料控制指标包括含泥量 $\leq 3\%$ 、砂当量 $\geq 65\%$ ，通过严格筛选保障混合料力学稳定性。

(三) 施工设备

微表处工程涉及的主要机械包括稀浆封层机组、精密铣刨装置、清洁设备及裂缝修复系统。稀浆封层机组作为核心设备集成拌和、输送、摊铺与压实功能，可高效完成混合料均匀铺设作业。设备启用前需执行全面调试，重点核查动力系统与液压装置运行状态，排除渗漏隐患。

针对旧路面处理环节，采用数控铣刨设备进行1cm深度铣削，要求作业面保持连续平顺过渡，消除断面突变现象。清洁工序配置机械清扫车配合人工辅助，重点清除基面松散颗粒与粉尘物质。裂缝修复系统包含开槽机械与密封材料灌注装置，通过规范化的开槽-清缝-注胶工艺阻断裂缝延伸路径。施工区域同步配置安全警示装置与质量检测仪器，并配备相应安全防护装置及检测仪器，为工程质量和作业安全提供保障。

(四) 施工工艺

微表处施工工艺主要包含四个步骤：路面预处理、试验段施工、混合料摊铺及养护管理。病害处理阶段需完成原路面坑槽、沉陷与裂缝修复作业，铣刨1cm厚度的旧路面表层，并进行彻底清理。施工前应在代表性路段设置试

验段，通过摊铺验证材料配比与施工参数的可行性。

采用专业稀浆封层设备进行摊铺作业，将严格配比的微表处混合料均匀铺筑于处理基面，精确控制摊铺厚度在 $10\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 范围内^[4]。施工环境温度应达到 15°C 以上，严禁在降雨或 5°C 以下低温环境作业。工程完成后实施48小时封闭养护，待混合料完全成型后开放交通。养护期间应在施工区域设置标准警示标识和隔离设施，确保作业区安全管控。

三、基于微表处技术的高速公路预防性养护

(一) 路面预处理与病害修复

经现场勘察，本路段主要存在纵向/横向开裂、轻度沉降及表层抗滑性能不足等病害。为满足微表处工艺要求，需按规范实施以下修复工序：

第一，坑槽修复作业。对坑槽区域实施12cm深度铣刨，清除损坏基层后分层回填：先浇筑水泥稳定碎石基层，摊铺7cm厚AC-25改性沥青混凝土底层，最后恢复5cm厚AC-16改性沥青混凝土面层。

第二，沉降区域处理。针对轻度沉降路段实施2cm铣刨后，整体加铺5cm厚AC-16面层，恢复路面设计标高与平整度。

第三，裂缝治理工艺。对纵横向裂缝采用精密铣刨设备处理，经彻底清渣后实施开槽密封工艺，形成有效防水屏障。

完成专项修复后，全路段实施1cm精密铣刨处理，采用机械清扫配合人工复检方式，确保工作面达到无松散料、无粉尘的施工标准。上述处理措施使原路面各项指标符合微表处施工规范要求，为后续工序创造了良好条件6。

(二) 试验段施工与参数优化

为保障微表处施工质量，需先进行试验段铺筑验证施工参数。试验段选址应具备典型特征，优先选择交通负荷较大、病害特征显著的路面区域。施工前需对稀浆封层车等设备实施全面检查与调试，重点核查机械运转稳定性及密封性能指标。

参数调整需根据设计要求，重点控制油石比和矿料级配等关键指标。MS-III型微表处矿料级配应符合表1规定的技术参数范围：

方孔筛 mm	质量百分率	级配范围
9.5	100%	-
4.75	70% ~ 90%	100 ~ 70
2.36	45% ~ 70%	70 ~ 90
1.18	28% ~ 50%	45 ~ 70
0.6	19% ~ 34%	28 ~ 50
0.3	12% ~ 25%	19 ~ 34
0.15	7% ~ 18%	12 ~ 25
0.075	5% ~ 15%	7 ~ 18

表1 MS-III型微表处矿料级配

试验段完成施工后,需开展全面质量检测。重点核查表面平整度、黏聚力及磨损损失等关键参数,同步实施砂当量测定、含水率分析、油石比验证等标准试验项目。具体检测项目与频次要求如:改性乳化沥青与矿料需分别进行专项检测^[5]:对于改性乳化沥青,其技术指标须符合设计要求,质量验收按每批次进场材料实施1次检测;矿料质量需重点控制砂当量、级配和含水量三项指标,其中砂当量须满足设计规范,级配与含水量则按实际测量数据核验,检测频率为每日施工前开展1次质量抽检,确保材料性能符合微表处施工技术标准^[6]。

(三) 微表处摊铺施工

在完成施工参数设定后,按规范流程实施微表处摊铺作业。作业前应对封层车的计量系统、搅拌装置等关键部件进行功能验证,保证设备运行正常。作业期间须精准执行既定的沥青-集料配比方案,同步监测混合料的工作性能与均匀程度^[7]。使用专用稀浆封层设备将预配的改性乳化沥青、级配骨料、水及功能添加剂进行动态拌合,形成满足要求的微表处混合料。沥青用量偏差应严格限制在 $\pm 0.2\%$ 范围内,骨料级配实行每日抽样验证制度。摊铺作业需保持厚度均匀性,允许偏差范围为 -5% 至 $+10\%$,按每公里5个点的密度实施厚度测量。操作人员应持续观察摊铺面层状态,及时修正设备参数以消除离析现象。

施工过程实施全过程质量监控体系,具体包括:通过连续目测确保表面平整度与均匀性;每间隔100米采用经验判定法核查混合料稠度;实验室每日进行沥青用量精确检测;按T0754标准每日开展黏聚力测试;每日执行骨料级配筛分验证;摊铺厚度采取每公里5点实测方式监控;湿轮磨耗试验(T0752)和负荷轮试验(T0755/T0756)分别按每5万平方米的施工面积实施周期性检测^[8]。各项质量指标均须符合行业规范要求,形成完整的施工质量追溯记录。

(四) 施工过程质量管控与验证

微表处施工阶段实施全过程质量监控体系,重点采取以下管控措施:1.编制专项质量管控方案,明确各工序验收基准;2.原材料进场执行双重验证制度,改性乳化沥青须完成砂当量测试,集料每日开展颗粒级配分析与含水率测定;3.施工过程严格参照表5技术参数实施动态监控,其中表观质量实施全线连续性目视检测,稠度指标按100m间距抽检,油石比与黏聚力每日取样送检;4.功能性验证包含浸水湿轮磨耗试验及负荷轮碾压测试,按每周或每完成50,000m²铺筑面积的频率实施,验证材料抗车辙性能与耐久特性;5.摊铺层厚实施五断面/km的抽样检测,断面测量密度保持5个/km,厚度误差须符合规范要求。发现质量偏差应立即启动纠正程序。

结语

本研究基于微表处技术核心要素的系统梳理与整合,构建了标准化预防性养护实施体系。在技术体系层面,创新性地纤维增强技术与聚合物改性工艺进行复合应用,显著改善罩面层抗裂性能与耐久性指标。施工管理环节通过智能摊铺装备与在线监测仪器的协同作业,达成工艺参数动态调控目标。工程实践数据显示,应用本方案后路面渗水系数可稳定控制在50ml/min以内,构造深度维持在1.0mm以上技术标准,路面服役周期可延长3~5年。与传统养护模式相比,全寿命周期成本降幅达40%,建筑垃圾产生量减少80%以上,生态效益突出。后续研究应着力突破环保型材料适配性技术瓶颈,深化人工智能在摊铺均匀度实时反馈系统的应用研究,同步完善气候分区差异化施工技术规程。该体系在高速公路养护工程中的成功应用,为基础设施绿色维护提供了可推广的解决方案。

参考文献

- [1] 李彦佳.公路养护工程中微表处技术和预防性养护的有效应用[J].汽车周刊,2025,(03):26-28.
 - [2] 李忠年.玄武岩纤维微表处技术在阿永高速公路养护中的应用[J].石材,2025,(01):116-118.
 - [3] 王涛.高速公路桥梁桥面铺装养护微表处技术研究[J].运输经理世界,2024,(33):121-123.
 - [4] 那振坤.高速公路沥青路面预防性养护技术的应用[J].科学技术创新,2024,(23):159-162.
 - [5] 许鸿泽.微表处技术在高速公路沥青路面养护施工中的运用[J].四川建材,2024,50(11):162-164.
 - [6] 高立波,周健楠,戴康瑜,张伟,齐盛涛.基于RAP精细化分离技术的全比例冷再生微表处技术在高速公路中的应用[A]世界交通运输工程技术论坛(WTC2021)论文集(上)[C].中国公路学会、世界交通运输大会执委会、西安市人民政府、陕西省科学技术协会,中国公路学会,2021:8.
 - [7] 赵瑞,李树勋,李德江.荷兰高性能彩色改性乳化沥青在彩色微表处技术中的应用与环保性能探讨[A]中国公路学会养护与管理分会第九届学术年会论文集[C].中国公路学会养护与管理分会、招商局重庆交通科研设计院有限公司、重庆万桥交通科技发展有限公司,中国公路学会养护与管理分会,2019:7.
 - [8] 余春林,陈晨,聂君超,刘利国,吉永海,邹进忠,胡怡汉,王伟.微表处在内遂高速路面养护工程中的应用[A]中国公路学会养护与管理分会第九届学术年会论文集[C].中国公路学会养护与管理分会、招商局重庆交通科研设计院有限公司、重庆万桥交通科技发展有限公司,中国公路学会养护与管理分会,2019:8.
- 作者简介:王林(1984年-),男,汉,江西鹰潭,本科,工程师,研究方向:高速公路路面养护或者独柱墩改造。