

公路路面微表处养护技术优化及路用性能提升研究

马福艳

云南华怡道桥技术工程公司, 云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ERA.2026050017

摘 要 : 微表处作为预防性养护关键技术, 对于延缓高速公路路面性能衰减具有重要作用。基于此, 本文以某公路工程为实证对象, 系统分析微表处施工中乳化沥青破乳速度调控、矿料级配优化、摊铺厚度控制、开放交通时机等环节, 强调原材料适配性、气候条件给成型质量带来的影响。通过规范关键工序衔接、压实工艺, 有效保障罩面层、原路面的粘结强度, 为提高微表处路用性能提供可行性的技术路径。

关 键 词 : 公路路面; 微表处养护技术; 优化; 路用性能提升

Optimization of Micro-Surfacing Maintenance Technology for Highway Pavements and Improvement of Pavement Performance

Ma Fuyan

Yunnan Huayi Road and Bridge Technology Engineering Company, Kunming, Yunnan 650000

Abstract : As a key preventive maintenance technology, micro-surfacing plays an important role in delaying the deterioration of highway pavement performance. Based on this, this paper takes a certain highway project as an empirical object, systematically analyzes aspects such as the control of the demulsification rate of emulsified asphalt, optimization of aggregate gradation, paving thickness control, and traffic opening timing during micro-surfacing construction, emphasizing the suitability of raw materials and the impact of climatic conditions on the formed quality. By standardizing the connection of key processes and compaction methods, the bonding strength of the surface layer and the original pavement can be effectively ensured, providing feasible technical pathways to improve the service performance of micro-surfacing.

Keywords : highway pavement; micro-surfacing maintenance technology; optimization; improvement of pavement performance

一、工程概况

某高速公路 K30+300 ~ K32+300 试验段总长度 2 km, 双向六车道, 设计速度 100 km/h。经过调查公路路况, 该路段路面整体结构完好, 但表层出现轻度磨光、集料松散等早期功能性病害, 局部存在深度小于 15 mm 的车辙、宽度不足 0.5 mm 的细微裂缝, 尚未影响结构承载能力, 但已经造成抗滑性能下降、水损害风险上升。基于预防性养护理念, 采用全幅 1 cm 厚微表处罩面进行功能恢复, 微表处作为冷拌薄层技术, 通过聚合物改性乳化沥青、级配良好的细集料、填料、添加剂在常温下拌和摊铺, 可在不中断交通前提下快速封闭表面孔隙、修复微裂缝、提高宏观构造深度。该方案具有针对性强, 施工周期短等特征, 符合该路段“结构尚好、功能衰退”的典型特征, 为后续路用性能评估提供真实工程载体。

二、技术可行性分析及预处理

(一) 可行性分析

依据《公路沥青路面养护技术规范》(JTG 5142-2019), 实施微表处前须对既有路面开展弯沉检测、结构强度评估, 如果代表弯沉值超过设计容许限值, 则不具备直接加铺条件, 强行施工将导致反射裂缝加速扩展、罩面层早期剥落。本工程经过 FWD 落锤式弯沉仪检测, 全线代表弯沉均小于 20 (0.01 mm), 满足微表处应用门槛; 仅局部车辙区域存在轻微面层剪切变形, 并未波及基层, 故无需结构性补强。针对少数集料松散点位, 采用乳化沥青灌注封边处理, 确保基层稳定、表面洁净干燥后才能组织微表处施工。该技术路径严格遵循“结构先行、功能后置”原则, 避免将微表处误用于承载力不足路段, 从源头保障养护措施的有效性, 充分体现预防性养护的科学性。

（二）预处理

针对车辙病害，依据深度分级实施处理措施：5 mm 以下轻微车辙由于并未影响结构平整度，可直接实施1 cm 微表处；5 ~ 20 mm 中度车辙需要先采用专用摊铺箱铺设调平层，恢复横坡、纵面线形后再加罩；20 mm 以上重度车辙则必须先铣刨清除拥包及变形层，确保基面平整，再通过车辙摊铺箱分层铺筑；针对超过40 mm 的极深车辙，应开挖至稳定层，进行结构性挖补后才能实施微表处，且所有填补作业均要求环境温度不低于15℃，有助于保证聚合物改性乳化沥青充分破乳、粘结。裂缝处理方面，宽度大于5 mm 的裂缝采用橡胶沥青灌缝材料密封，防止水分下渗引发基层软化。

对于坑槽、松散、局部沉陷等复合型病害，处置策略取决于基层承载状态。如果 FWD 弯沉检测表明基层、底基层结构完好、承载力充足，则仅对沥青面层进行矩形切割、清理后热拌沥青混合料挖补，并压实至原路面高程；如果基层存在强度不足，则需要开挖至基层顶面，回填水泥稳定碎石并养生达标后，逐层恢复中、上面层，最终统一加铺1 cm 微表处，避免将微表处作为结构性补强手段，从根源上杜绝早期剥落、脱空等失效模式，为微表处发挥防水、抗滑、表面功能恢复作用奠定坚实基础。

三、公路路面微表处养护技术优化及路用性能提升

（一）施工准备

在微表处施工前，施工人员应彻底清除待施工区域内的浮尘、松散集料、油污、杂物，确保界面洁净干燥；可采用机械清扫车配合人工扫帚初步清理，对于污染严重区段辅以高压水冲洗，但必须等到裂缝、孔隙完全干燥后才能作业，避免残留水分阻碍乳化沥青破乳。同时，依据设计宽度精准放样划线，沿行车方向设置摊铺控制基准线，有助于保障微表处边缘顺直、厚度均匀；在标线清晰、路缘石完整的路段，可直接将其作为参照，有效简化测量流程，全面提高施工效率。针对高速公路车速高、流量大等特征，必须设置规范的临时交通管制区，包括上游警告区、过渡区、缓冲区、工作区，配备锥形桶、警示灯、专职安全员，实现施工区全封闭隔离，杜绝社会车辆穿行干扰。所有准备工序需要在摊铺前2小时内完成，确保界面状态最佳，为后续乳化沥青喷洒、混合料摊铺、初期碾压创造连续的作业条件，最大限度缩短占道时间，提高施工质量。

（二）混合料搅拌

根据工程规范要求，典型配合比宜控制为水：水泥：集料：改性乳化沥青 = 7:2:11.1:100（质量比），该比例满足施工和易性、早期强度形成、破乳速率协调性要求。在搅拌过程中，工作人员须采用专用连续式微表处拌合设备，严禁使用大粒径集料，通常最大粒径不超过9.5 mm，避免摊铺不均、表面纹理异常。搅拌站选址要综合考虑运距、交通条件，运输时间应控制在乳化沥青破乳前的有效作业窗口内，防止混合料在运输途中发生浆体析出、骨料沉降等离析现象。同时，搅拌场地要设置完善的排水系统，避免冲洗废水积聚导致的含水率波动，进而影响配比精度、混合

料稳定性。搅拌过程中应严格监控投料顺序、搅拌时长，通常先将水、水泥、部分添加剂预混，形成稀浆基液，再缓慢加入改性乳化沥青，最后投入级配合格的细集料，持续搅拌至色泽均匀、无结团、无花白料为止。一旦达到均匀状态，应立即停止搅拌并迅速出料，避免过度剪切引发乳液提前破乳。

（三）微表处摊铺

施工时，聚合物改性乳化沥青、级配集料、填料及水按照设计比例通过智能计量系统进入车载拌和器，初期排出的混合料由于配比不稳定，需要利用铁锹接出作废料处理；等到拌合均匀后，摊铺车驶入作业面，依据路面宽度、设计厚度精准调节摊铺槽开口尺寸。另外，精细调控螺旋分料器转速和出料口角度，控制混合料在槽内分布均匀；当槽内料位达到容积1/2时，摊铺车采用1.5 ~ 3.0 km/h 匀速前行，过程中实时根据料位动态调整行进速度，料位下降则减速以维持供料连续，料位上升则适度提速，避免堆积，有利于保障摊铺厚度一致性和表面平整度^[1]。

等到摊铺完成后，局部缺陷要立即人工干预，对由于超粒径集料引起的凸起，采用专用工具剔除，并均匀补抹细料；施工末期，当任何原材料即将耗尽，应同步关闭所有供料阀门，将摊铺槽内残余混合料完整铺出后终止作业，并将末端1 ~ 2 m 未充分压实段清除，防止形成薄弱接缝。下一作业段起点设置在前段终点后4 ~ 5 m 处，确保搭接区域处于良好成型区。摊铺结束后，及时提高摊铺箱，及时转移至路外，彻底清洗内部残留混合料，防止乳化沥青破乳固化造成设备堵塞，有效规避厚度不均、骨料离析、接缝缺陷等常见问题，为微表处发挥防水、抗滑、表面功能恢复作用提供工艺保障^[2]。

（四）碾压施工

微表处碾压施工并不是传统意义上的压实作业，而是通过轻型胶轮压路机整平新铺混合料表面，有效消除摊铺纹理不均，促进集料嵌挤，加速乳化沥青破乳成膜。由于微表处混合料将改性乳化沥青作为黏结相，具有冷拌冷铺特性，过度碾压容易导致沥青浆体上浮、集料被压碎、表面泛油，故严禁使用振动压路机。通常在摊铺后5 ~ 10分钟，采用25 ~ 30吨胶轮压路机静压1 ~ 2遍，碾压速度控制在2 ~ 5 km/h，保证轮胎清洁无粘附。碾压时机则要结合环境温度、湿度、混合料开放时间进行综合判断，气温高、风速大时应适当提前，避免过早失水产生的压实不足；相反则延后操作，防止轮胎痕迹残留。同时，碾压路径应与行车方向一致，避免原地转向造成表面扰动。该工序虽然不是主要控制强度形成环节，但对于提高表层平整度、抗滑性能、初期耐久性具有重要作用，是实现“薄层罩面、功能恢复”目标不可或缺的精细化施工步骤。

（五）质量检查

微表处施工完成后，要开展系统性质量检验，保证功能层性能达标。稠度作为现场施工和易性的关键指标，主要通过经验法进行快速判别，要求混合料呈均匀浆状、无泌水、泌现象，有助于保障摊铺可操作性；油石比控制较为严格，允许偏差不超过配合比 $\pm 0.2\%$ ，应每日采用“三控法”（即原材料称量校核、拌合过程监控、成品抽样复算）进行闭环验证；矿料级配每日在输

送带末端取样筛分，确保细集料分布符合设计级配曲线，避免因粗细料离析影响嵌挤结构、抗滑性能。外观质量通过目测全面检查，重点识别表面是否平整、纹理均匀，杜绝划痕、条带、露白、局部堆积等缺陷，摊铺厚度按照每200米设一检测断面，在单幅车道中线及两侧各布设测点，采用激光测厚仪测量后取平均值，厚度偏差禁止超过设计值的 ±10%。

（六）微表处技术路用性能提升效果

1. 抗滑性能对比

本文依据《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450—2019），采用摆式摩擦系数测定仪对试验段进行多点检测^[3]。数据显示，原路面由于集料磨光导致抗滑性能衰减，平均摆值仅为40.0 BPN，低于高速公路运营期最低限值45 BPN，存在雨天行车安全隐患。在实施1 cm 微表处后，显著增加表面宏观构造深度，新铺层采用高磨耗值玄武岩细集料和聚合物改性乳化沥青，形成致密的耐磨表层，平均摆值增加为62.9 BPN，增幅达到57.3%，且所有测点均满足规范要求^[4]。但值得注意的是，第2次测值（53 BPN）相对较低，可能受到局部摊铺厚度不均、初期交通磨合影响，但整体数据离散性小，表明施工质量稳定。该结果充分验证微表处技术在恢复、提升沥青路面抗滑性能方面的有效性，进一步增强行车安全性，也通过封闭表面孔隙延缓水损害、氧化老化，间接提高路面结构耐久性，为预防性养护提供可靠技术支撑^[5]。

表1 微表处施工前后路面抗滑性能对比分析（单位：BPN）

检测阶段	施工前	施工后
第1次	41	65
第2次	39	53
第3次	42	62
第4次	39	64
第5次	40	61
第6次	41	65
第7次	38	61
第8次	40	62
平均值 (BPN)	40	62.9
规范要求 (≥)	45	45
达标判定	× 不达标	√ 达标

2. 车辙深度对比

依据《公路沥青路面设计规范》（JTG D50—2017），采用

3 m 直尺配合钢尺，多点检测试验段车辙深度。施工前平均车辙深度达10.8 mm，部分测点接近13.1 mm，虽然并未超过规范限值，但已经影响行车舒适性，并存在进一步发展的风险。实施微表处后，表面不平整区域被功能性罩面层有效调平，平均车辙深度下降为2.7 mm，且数据离散性显著降低，标准差由1.35减少到0.34，表明罩面层厚度控制均匀、摊铺平整度良好^[6]。微表处虽然为薄层（1 cm），但其高粘结性聚合物改性乳化沥青、密实级配细集料共同形成抗剪切表层，有效抑制轮载反复作用下的塑性流动，同时填补原有车辙凹陷，恢复横坡、纵面线形^[7]。该结果证实，微表处具备良好的表面功能修复能力，也能显著改善路面平整度，全面提高行车安全性，为中轻度车辙病害提供经济的预防性养护解决方案^[8]。

表2 微表处施工前后车辙深度对比分析（单位：mm）

第1次	9.8	3.1
第2次	10.1	2.7
第3次	11.2	2.2
第4次	9.6	3
第5次	10.8	2.1
第6次	12.7	2.6
第7次	9.4	2.9
第8次	13.1	2.9
平均值 (mm)	10.8	2.7
规范限值 (≤)	15 mm	15 mm
达标判定	√ 合格	√ 优等

四、结语

微表处作为高效预防性养护技术，在高速公路沥青路面应用中展现出较强的路用性能提升效果。实测表明，其可将抗滑摆值由40.0 BPN 提升至62.9 BPN，车辙深度从10.8 mm 下降至2.7 mm，有效恢复表面功能与平整度。该技术成功关键在于严格把控原材料品质、精准控制施工窗口期、采用高性能摊铺设备。在原路面结构强度充足的条件下，规范实施微表处不仅能延缓性能衰减、延长服役周期，还可降低全寿命周期养护成本，为高速公路绿色、智能、可持续养护提供可靠技术路径。

参考文献

[1] 张俊豪. 高速公路路面微表处养护施工工序及技术要点 [J]. 四川建材, 2022, 48(8): 152–153, 155.
[2] 张瑞. 微表处施工技术在高海拔地区沥青路面预防性养护中的应用 [J]. 交通世界, 2025(29): 118–120.
[3] 曾全, 金钊. 微表处技术在高速公路沥青路面养护施工中的应用研究 [J]. 科技资讯, 2025, 23(16): 151–153.
[4] 曾志勇. 微表处与薄层罩面在公路沥青路面养护中的应用 [J]. 黑龙江交通科技, 2025, 48(9): 1–4.
[5] 金胜. 微表处技术在高速公路沥青路面养护施工中的应用研究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2025(8): 178–180.
[6] 韩含予彤. 微表处技术应用于高速公路沥青路面养护的研究 [J]. 散装水泥, 2024(3): 22–24.
[7] 杨茜. 微表处技术在公路沥青路面养护中的应用研究 [J]. 交通世界, 2024(7): 118–120.
[8] 陈孟巧. 微表处技术在高速公路沥青路面养护施工中的应用 [J]. 交通世界, 2023(10): 108–110.