

高速公路工程中微表处工程技术应用

马 辉¹ 薛通君²

1. 陕西交通控股集团有限公司西延分公司 陕西 渭南 710021

2. 陕西交通建设养护工程有限公司 陕西 渭南 710015

摘 要：微表处工程技术是一种高效的预防性路面养护方法，特别适用于高速公路的养护和维修。该技术通过使用聚合物改性乳化沥青、集料、填料等材料，形成一层耐磨、防滑、防水的薄层结构。微表处不仅能有效处理裂缝、坑槽等路面病害，还能提升路面平整度与抗滑性能，延长道路使用寿命，具有显著的经济效益和社会效益，是高速公路养护中的重要技术手段。

关键词：高速公路工程；微表处工程技术；应用

引言：随着高速公路交通量的持续增长，路面养护成为保障道路安全与畅通的关键。微表处工程技术，作为一种先进的预防性养护手段，以其优良的封层效果、快速施工能力及成本效益，在高速公路工程中展现出重要价值。该技术不仅能够有效修复路面病害，提升路面性能，还能显著延长道路使用寿命，为高速公路的长期安全运营提供坚实保障。

1 微表处工程技术概述

1.1 微表处工程技术的定义与原理

1.1.1 微表处技术的概念

微表处是一种先进的路面预防性养护技术，主要应用于高速公路、城市干线等重要交通道路的养护工作。它通过在稀浆封层的基础上发展而来，使用具有一定级配的石屑或砂、填料（如水泥、石灰、粉煤灰等）与聚合物改性乳化沥青、外掺剂和水，按一定比例拌制成流动型混合料，再均匀洒布于路面，形成一层封层，达到养护效果。

1.1.2 工作原理及施工过程描述

微表处的工作原理是利用聚合物改性乳化沥青的粘结性和流动性，将集料、填料等与原路面紧密粘结，形成一个耐磨、防滑、防水的薄层结构。施工过程包括材料准备、混合料拌合、摊铺、压实和养护等步骤。其中，混合料拌合是关键环节，需要精确控制各种材料的配比和拌合温度。摊铺过程则要求均匀、连续，确保混合料能够紧密贴合原路面。

1.2 微表处工程技术的材料组成

微表处工程技术的主要材料包括乳化沥青、集料、填料、水和添加剂。乳化沥青是粘结剂，负责将集料和填料粘结在一起。集料和填料则构成混合料的骨架，提供路面的强度和耐磨性。水用于调节混合料的稠度和施

工性。添加剂则用于改善混合料的性能，如提高抗水损坏能力、增强粘结性等。这些材料的选择应严格遵循相关标准，确保施工质量和路面性能。

2 高速公路路面病害成因分析

2.1 波浪路面的成因

（1）铺设沥青过程中的技术问题：沥青铺设过程中，如果摊铺不均匀、压实不充分，或者摊铺机行走速度不稳定，都会导致路面在压实后呈现波浪状。此外，沥青混合料的温度控制也是关键，温度过高或过低都会影响其压实效果和最终的路面平整度。（2）下层路面处理不当的影响：下层路面的平整度是上层沥青铺设的重要基础。如果下层路面存在不平整、裂缝或软弱层，那么在铺设沥青时，这些缺陷将会被进一步放大，形成波浪路面。

2.2 路面裂缝的成因

（1）纵向裂缝与网状裂缝的形成原因：纵向裂缝通常是由于地基或路基沉降不均导致的，特别是在地基或路基存在软弱层或不良地质条件的情况下，更容易发生。网状裂缝则多是由于路面材料老化、沥青与集料间的粘附力减弱，以及极端气候条件下的冻融循环作用等因素导致的。这些因素共同作用，使路面整体强度下降，从而在行车荷载的作用下产生裂缝。（2）路基材料不合格及沉降问题：路基材料的性质和质量直接影响路面的稳定性。如果路基材料含水量过高、压实度不足或存在软弱层，都会导致路基在行车荷载下产生变形和沉降，进而引发路面裂缝^[1]。

2.3 路面坑槽的成因

（1）车辆快速行驶导致的液体侵蚀：在高速公路上，车辆快速行驶产生的冲击力会使路面材料受到磨损和侵蚀。如果路面存在积水或油污等液体，这些液体将

会加速路面的侵蚀过程,导致沥青与集料间的粘附力减弱,从而在行车荷载的作用下产生坑槽。(2) 沥青铺设施工中的温度控制问题:沥青铺设过程中,温度控制是关键。如果沥青混合料的温度过高,会使其变得过于柔软,难以压实;而温度过低,则会使沥青混合料变得僵硬,难以与下层路面形成良好的粘结。这两种情况都可能导致路面在使用过程中产生坑槽。

3 微表处工程技术在高速公路工程中的应用

3.1 应用于路面封层工程

3.1.1 原有裂缝的处理与封层作用

在高速公路路面封层工程中,微表处技术优势显著。高速公路受重载交通与环境因素影响,易产生横向、纵向及网状等裂缝,微表处技术利用聚合物改性乳化沥青与精选集料复合系统,可有效填充5mm以下裂缝,形成柔性密封层,不仅能阻隔水、空气侵入,还凭借材料自愈合特性动态修复微小裂缝。

其封层作用通过三方面实现:一是物理屏障,致密表层抵御外界侵蚀;二是应力分散,高弹性改性乳化沥青分散车轮荷载应力;三是防水粘结,乳化沥青活性成分渗透裂缝形成化学粘结并防水。研究表明,经微表处处理后,路面防水性能提升超70%,裂缝发展速度降低60%。

3.1.2 提升路面使用寿命

微表处技术从多方面延长路面使用寿命。它能恢复路面平整度与抗滑性能,使国际平整度指数改善30%-50%,摩擦系数提高20%-30%,提升行车安全与舒适。同时,微表处层作为牺牲层,抵御紫外线、温度变化与轮胎磨损,保护主体结构层。长期数据显示,适时处理可延长路面大修周期4-6年。

经济效益上,微表处初期投资仅为传统铣刨加铺的1/3-1/2,单位成本使用寿命延长效果却高出40%以上。在交通量大的路段,夜间分段施工可减少通行的影响,社会效益突出。值得注意的是,路面PCI指数处于60-80的早期损坏阶段且结构强度充足时,实施微表处效果最佳^[2]。

3.2 损坏路面的维修

3.2.1 水侵蚀路面的维修

高速公路路面在水侵蚀作用下常出现松散、坑槽和基层软化等病害。微表处技术在此类维修中展现出独特优势。对于表面层水损害,采用掺加2%-3%水泥的微表处混合料,可显著提高材料的早期强度和抗水损害能力。维修时首先使用高压水射流(压力15-20MPa)清除松散颗粒和污染物,然后喷洒专用界面粘结剂(用量0.3-0.5kg/m²),最后摊铺微表处混合料。

抗水侵蚀机理在于:微表处混合料中的改性乳化沥青形成三维网络结构,集料间的空隙率控制在5%-8%,既保证了排水又防止水渗透;添加的硅烷类抗剥落剂使集料-沥青界面能抵抗水分子置换作用。实践表明,这种维修方式处理的水损害路面,在模拟加速加载试验中可承受标准轴载100万次以上而不出现明显损坏。

3.2.2 路面平整与填充施工

对于车辙、波浪等平整度问题,微表处技术采用多层施工或掺加纤维的方法进行修复。深度在10-25mm的车辙,通常先用车辙摊铺箱进行底层填充,再整体覆盖一层平整微表处。关键控制点包括:车辙部位的超厚摊铺系数(1.2-1.3)、混合料的可压实性(压实度 $\geq 97\%$)以及接缝处的温差控制(基层与混合料温差 $< 10^{\circ}\text{C}$)。

平整度控制技术方面,现代微表处施工已引入激光导引系统,可实现3mm/3m的平整度精度。对于高速公路的特殊要求,建议采用MS-3型微表处(集料最大粒径8mm)进行精细修复。施工时环境温度需在10 $^{\circ}\text{C}$ 以上,路面温度高于15 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度不超过85%。完工后2小时内开放交通的特性,使其特别适合高速公路的快速维修需求^[3]。

3.3 施工准备工作与注意事项

3.3.1 材料检查与路面预处理

微表处施工前的材料检查是保证工程质量的首要环节。集料需满足以下关键指标:洛杉矶磨耗值 $\leq 25\%$,砂当量 $\geq 65\%$,扁平颗粒含量 $\leq 15\%$ 。改性乳化沥青应检测:恩格拉粘度(25-100s)、筛上剩余量($\leq 0.1\%$)和贮存稳定性(1天 $\leq 1\%$)。特别重要的是进行配伍性试验,确保乳化沥青与集料组成的混合料能达到:初凝时间10-20分钟,开放时间 ≤ 2 小时。

路面预处理包括四个关键步骤:病害定位标记(采用GIS系统记录)、表面清洁(残留物 $\leq 50\text{g/m}^2$)、局部缺陷修补(使用专用修补料)和界面活化(喷洒pH值2.5-4.0的酸性活化剂)。对于水泥混凝土桥面,还需进行喷砂处理(粗糙度0.5-1.0mm)以提高层间粘结。

3.3.2 施工环境考虑与交通管理

高速公路微表处施工的环境控制要素包括:施工时段选择(避开雨季和极端温度)、风速限制($\leq 10\text{m/s}$)和湿度窗口(40%-80%)。交通管理采用三级分流方案:上游2km处设置预警区,1km处布设过渡区,施工区采用移动式防撞缓冲车保护。特别对于长纵坡路段,应添加3%-5%的橡胶粉提高抗剪能力,并设置振动减速标线提醒驾驶员。

环境适应性措施方面,在温差大的地区推荐采用温

拌微表处技术,施工温度可降低15-20℃;多雨地区应添加速凝剂(0.5%-1%CaCl₂)缩短成型时间。空气质量敏感区需使用低挥发性有机化合物(VOC)的乳化剂,减少施工过程中的气味排放^[4]。

3.3.3 材料配比与混合的关键性

微表处混合料设计采用“三阶段法”:实验室初试配比(正交试验确定参数范围)、现场试拌调整(验证工作性和成型效果)、生产配合比确认(大规模施工前最终确定)。关键配比参数包括:油石比(6.5%-8.5%)、含水率(5%-9%)和外掺剂剂量(精确到0.1%)。

混合工艺控制点:拌和时间30-45秒(避免破乳或离析)、出料温度40-60℃、运输时间≤40分钟。采用双轴强制式拌和机,搅拌能力应比摊铺能力高15%-20%作为安全余量。对于高速公路的连续施工,建议配置在线粘度计实时监控乳化沥青状态,确保混合料质量稳定。

3.4 施工实施步骤

3.4.1 基本工作步骤与流程

微表处标准化施工流程包括八个关键环节:施工放样(全站仪坐标定位)→设备联机调试(摊铺箱高度校准)→界面处理(同步喷洒粘结层)→混合料摊铺(速度1.5-3.0m/min)→表面修整(橡胶耙人工辅助)→初期养护(防水分蒸发措施)→质量检测(厚度、平整度等)→开放交通(强度达到设定值)。整个流程实施PDCA循环管理,每个环节都有可量化的验收标准。

过程控制技术方面,引入BIM模型进行施工模拟,提前发现可能的问题;采用红外热成像仪监测摊铺均匀性;使用摩擦系数测试车在施工后24小时内检测抗滑性能。对于高速公路的特殊要求,纵向接缝应设置在车道标线位置,横向接缝采用45°斜接缝处理,确保行车平顺。

3.4.2 集料准备与摊铺工作

集料准备采用“分级储存、精确计量”的工艺。不同粒径(3-5mm、5-8mm)的集料分开堆放,含水率控制在3%-5%之间。摊铺工作前需进行:摊铺箱预加热(50-60℃)、刮板高度调整(考虑1.1-1.3的松铺系数)和螺旋分料器速度匹配(与摊铺速度同步)。

摊铺质量控制关键点:厚度误差控制在设计值的±10%以内,采用非接触式激光测厚仪每50m检测一次;横向平整度用3m直尺检测,间隙≤5mm;纵向纹理深度采用铺砂法测定,范围0.8-1.2mm。对于高速公路超车道,应适当提高油石比(增加0.3%-0.5%)以增强抗剪切能力。

3.4.3 施工后的养护与检查

微表处施工后的养护分为三个阶段:初期(0-4h)防止水分快速蒸发,采用雾状洒水养护;中期(4-24h)监控交通荷载影响,限制急刹车和转弯;长期(1-12月)跟踪观测使用性能。检查内容包括:外观(无泛油、无脱落)、粘结状况(拉拔强度≥0.5MPa)和功能指标(渗水系数≤10ml/min)。

长期性能监测方案:第一个月每周检测一次,之后每月一次直至雨季结束。建立数字化档案记录:裂缝发展情况(图像分析)、抗滑性能衰减率(每年下降不超过5%)和表面破损率(三年内≤2%)。根据监测结果,可以预测下一次养护时机并优化后续养护策略。

结束语

综上所述,微表处工程技术在高速公路工程中的应用,不仅实现了路面病害的有效治理,更在提升路面整体性能、延长使用寿命方面发挥了重要作用。其高效、环保、经济的施工特点,符合现代高速公路养护的发展趋势。未来,随着技术的不断创新与完善,微表处工程技术在高速公路养护领域的应用前景将更加广阔,为推动交通事业的高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1]谢巧玲.微表处工程技术在高速公路工程中的应用[J].科技与创新,2024,(11):182-183.
- [2]任富强.高速公路养护工程中微表处技术的应用[J].运输经理世界,2023,(15):149-150.
- [3]高强.微表处养护技术在公路工程中的应用[J].交通世界,2022,(05):44-45.
- [4]刘锦玮.微表处工程技术在高速公路工程中的应用[J].住宅与房地产,2021,(16):198-199.