

# 高速公路沥青路面预防性养护技术应用研究

苏宾

天津市益路工程检测技术发展有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i4.8842

**[摘要]** 在高速公路长期运营过程中, 沥青路面易受交通荷载、自然环境、材料老化等多重因素影响, 逐步出现性能衰减与早期病害, 传统事后养护模式存在成本高、修复周期长、影响交通通行等弊端。预防性养护以“主动防控、延缓病害、延长寿命”为核心, 在路面未出现大面积结构性病害、性能处于衰减临界阶段实施针对性养护, 可有效遏制路面病害恶化, 提升路面服役性能。本文结合高速公路沥青路面运营现状与病害发展规律, 梳理主流预防性养护技术的应用场景与施工要点, 融入智能化监测、绿色新材料、数字化管控等创新手段, 优化养护技术选型与实施流程, 探析预防性养护技术落地难点与解决路径, 为高速公路沥青路面长效养护提供技术参考, 助力高速公路运维提质增效、降低全生命周期养护成本。

**[关键词]** 高速公路; 沥青路面; 预防性养护; 养护技术; 智能化养护; 绿色养护

## Research on the Application of Preventive Maintenance Technologies for Highway Asphalt Pavements

Su Bin

Tianjin Yilu Engineering Testing Technology Development Co., Ltd.

**[Abstract]** During long-term highway operation, asphalt pavements are susceptible to multiple factors such as traffic loads, environmental conditions, and material aging, leading to gradual performance degradation and early-stage pavement damage. Traditional post-construction maintenance approaches suffer from high costs, prolonged repair cycles, and traffic disruptions. Preventive maintenance, centered on "proactive prevention, delayed damage onset, and extended service life," involves targeted interventions before large-scale structural damage occurs or performance reaches critical deterioration thresholds, effectively curbing pavement deterioration and enhancing service performance. This study examines current operational practices and damage progression patterns of highway asphalt pavements, outlines application scenarios and key implementation principles for mainstream preventive maintenance technologies, and integrates innovative approaches such as intelligent monitoring systems, sustainable materials, and digital management platforms. By optimizing technology selection and implementation workflows while identifying implementation challenges and solutions, this research provides technical references for sustainable highway pavement maintenance, enhancing operational efficiency and reducing lifecycle maintenance costs.

**[Key words]** Expressway; Asphalt pavement; Preventive maintenance; Maintenance technology; Intelligent maintenance; Green maintenance

### 一、引言

随着我国高速公路路网不断完善, 路面养护已成为运维管理的核心工作, 沥青路面凭借行车舒适、抗滑性好等优势, 成为高速公路主流路面形式, 但在长期重载碾压、高低温交替、雨水侵蚀、紫外线老化等作用下, 路面易出现细微裂缝、渗水、抗滑性能下降、轻微车辙等早期病害。若未能及时处置, 病害会快速扩展, 最终形成坑槽、大面积开裂、结构性沉陷等严重病害, 不仅大幅增加养护成本, 还会影响行车安全与路网通行

效率。

预防性养护区别于传统矫正性养护, 核心是在路面结构完好、病害处于萌芽状态时, 采取科学的养护技术, 阻断病害发展通道, 恢复路面使用性能, 延长路面大修周期。相较于事后大修, 预防性养护可节约 40%以上养护成本, 延长路面使用寿命 5-8 年, 具备显著的经济与社会效益。现阶段我国高速公路预防性养护仍存在技术选型不合理、实施时机把控不准、智能化水平不足、绿色技术应用不充分等问题, 基于此, 本文深入

研究预防性养护技术应用要点与创新路径，推动高速公路养护向精细化、智能化、绿色化转型。

## 二、高速公路沥青路面预防性养护核心技术及应用

### (一) 裂缝密封与灌缝技术

裂缝是高速公路沥青路面最早期的病害，也是水损害的主要诱因，裂缝密封与灌缝是预防性养护的基础技术，适用于宽度 2-15mm 的线性裂缝。该技术通过专用开槽设备对裂缝进行规整处理，清除缝内杂物与粉尘，选用改性沥青、聚氨酯、硅酮类高弹性密封材料，采用热灌或冷灌方式填充裂缝，实现密封防水、阻止裂缝扩展的目的。

施工中需把控裂缝清理、材料加热、灌缝压实三大要点，低温季节施工更利于密封材料充分填充裂缝，避免后期温度回升出现材料收缩。创新采用高粘改性橡胶密封材料，提升密封层的低温延展性与高温稳定性，适配不同气候区域，同时搭配小型自动化灌缝设备，提升施工精度与效率，避免人工施工导致的填充不密实、溢料等问题，有效阻断雨水下渗侵蚀路基基层，从源头遏制裂缝扩展与次生病害。

### (二) 雾封层与还原剂封层技术

雾封层适用于路面出现轻微老化、渗水系数增大、表面贫油但无明显裂缝的路段，通过将稀释乳化沥青、改性沥青乳液均匀喷洒在路面表面，渗透填充路面微小空隙，形成致密防护膜，延缓沥青老化、提升路面防水性能。该技术施工快捷、成本低廉，施工后短时间即可开放交通，适合大面积常态化预防性养护。

还原剂封层是新型预防性养护技术，针对沥青路面老化、沥青结合料性能衰减问题，通过喷洒沥青再生还原剂，补充路面流失的油分，恢复老化沥青的活性与粘结性能，无需改变路面结构与厚度，即可改善路面脆性、提升抗裂性能。相较于雾封层，还原剂封层更注重路面材料性能修复，环保性更佳，施工后不影响路面抗滑性能，适合高等级高速公路早期老化路面养护。

### (三) 微表处与稀浆封层技术

微表处是采用聚合物改性乳化沥青、优质集料、填料、水按比例拌合而成的稀浆混合料，采用专用设备摊铺在路面表面，形成厚度 6-10mm 的耐磨封层，适用于路面出现轻微车辙、裂缝密集、抗滑性能下降的路段。其具备强度高、耐磨抗滑、防水性能优、施工速度快等优势，可快速修复路面表层缺陷，延长路面使用寿命。

稀浆封层采用普通乳化沥青拌合料，厚度 3-6mm，造价更低，适用于路面轻度老化、渗水严重的路段。施工中需严控混合料配合比、摊铺厚度与施工温度，微表处采用间断级配集料，提升封层抗车辙与抗裂性能，同时优化施工工艺，减少混合料离析，保证封层与原路面粘结牢固，避免出现起皮、脱落等问题，适合高速公路车行道、长下坡路段预防性养护。

### (四) 超薄磨耗层养护技术

超薄磨耗层是新型高效预防性养护技术，采用热拌改性沥青间断级配混合料，摊铺厚度 15-25mm，具备抗滑、降噪、防

水、抗车辙等多重优势，适用于路面轻度车辙、裂缝较多、抗滑性能不足的路段。该技术采用专用摊铺机一次性摊铺成型，混合料粘结强度高、成型速度快，施工后 1-2 小时即可开放交通，对高速公路交通通行影响极小。

创新采用高粘改性沥青与硬质玄武岩集料，提升超薄磨耗层的耐磨性能与低温抗裂性，同时优化级配设计，增强封层排水性能，避免路面积水；搭配智能摊铺设备，精准控制摊铺厚度与平整度，超薄结构不会增加桥梁荷载，适配高速公路桥梁路段、互通立交等特殊路段预防性养护，养护后路面行车舒适性与安全性大幅提升。

### (五) 就地热再生预防性养护技术

就地热再生适用于路面出现轻度老化、表层松散、轻车辙的路段，通过专用加热设备对路面表层加热软化，添加再生剂与少量新沥青混合料，现场拌合、摊铺、碾压成型，实现旧路面材料 100% 回收利用。该技术绿色环保、减少废料排放，同时修复路面表层病害，恢复路面性能，避免传统铣刨重铺的材料浪费。

施工中精准控制加热温度与深度，避免过度加热导致沥青老化，通过再生剂优化旧沥青性能，保证再生路面强度与平整度达标，适合高速公路长路段预防性养护，契合绿色低碳养护理念，降低养护材料运输成本与碳排放，实现养护与环保协同发展。

## 三、高速公路沥青路面预防性养护技术创新优化

### (一) 智能化养护决策与监测技术

创新构建“智能检测+大数据分析+动态决策”的预防性养护体系，采用车载激光检测、无人机巡检、探地雷达等智能化设备，快速采集路面裂缝、车辙、平整度、渗水系数等数据，实时上传至养护大数据平台。通过 AI 算法分析路面性能衰减规律，精准判断最佳养护时机，自动匹配适宜的养护技术，改变传统经验化决策模式，实现养护决策科学化、精准化。

同时搭建路面性能长期监测网络，在重点路段布设传感器，实时监测路面温度、应变、沉降等数据，提前预判病害发展趋势，实现预防性养护的超前部署，避免养护时机滞后或过度养护，提升养护资源利用效率。

### (二) 绿色新型养护材料应用

突破传统养护材料局限，推广纳米改性沥青、橡胶改性密封材料、温拌再生沥青等绿色新型材料，提升预防性养护效果。纳米改性材料可增强沥青的抗老化、抗裂性能，延长养护层使用寿命；废旧轮胎橡胶粉改性密封材料，实现固废资源化利用，提升密封层的弹性与耐久性；温拌再生材料降低施工温度，减少能耗与废气排放，契合“双碳”战略要求。

同时研发环保型再生还原剂、水性密封胶，降低养护材料有害物质排放，减少施工对周边生态环境的影响，实现高速公路预防性养护绿色化、生态化转型。

### (三) 精细化施工与全过程管控

优化预防性养护施工工艺，推行标准化、精细化作业，针对不同养护技术制定专项施工流程，严控原材料质量、配合比、

施工温度、压实度等关键指标。针对裂缝处理、封层摊铺、再生施工等环节,采用小型自动化、智能化施工设备,减少人工操作误差,提升施工质量均匀性。

建立施工全过程数字化管控体系,实时记录施工数据、质量检测结果,实现养护施工全程可追溯,加强施工过程质量抽检与成品验收,确保预防性养护施工质量达标,避免因施工粗放导致养护失效、病害反复等问题。

#### 四、预防性养护技术实施要点与注意事项

##### (一) 精准把控养护实施时机

预防性养护的核心是把握最佳实施时机,需在路面性能出现轻微衰减、早期病害萌芽阶段实施,一般在高速公路通车3-5年、路面PCI优良率 $\geq 85\%$ 、无结构性病害时开展。过早养护会造成资源浪费,过晚养护则无法遏制病害扩展,失去预防性养护意义,需结合路面监测数据与性能评估结果,科学确定养护时间。

##### (二) 合理选型养护技术

根据路面病害类型、气候条件、交通流量,针对性选择预防性养护技术:轻微老化、渗水路段选用雾封层、还原剂封层;裂缝密集、轻度车辙路段选用微表处、超薄磨耗层;路面表层老化松散路段选用就地热再生。同时兼顾养护成本与交通通行影响,优先选择施工快、开放交通早、性价比高的技术,实现养护效果与经济效益最优。

##### (三) 强化原路面预处理

预防性养护施工前,必须对原路面进行全面预处理,清理路面杂物、油污,填补坑槽、处理宽大裂缝,对路面松散、脱空部位提前加固,保证原路面结构稳定、表面平整。若原路面预处理不到位,会导致养护层粘结不牢、快速破损,降低预防性养护效果,因此预处理是保障养护质量的关键前提。

##### (四) 注重施工环境与交通管控

预防性养护施工对环境温度、湿度要求较高,一般选择5-35℃、无雨雪天气施工,避免低温、高温、雨雪天气影响施工质量。同时结合高速公路交通流量,优化施工时段,采用半幅施工、半幅通行模式,设置完善的交通警示标识,做好交通疏导,减少施工对路网通行的影响,保障施工与行车安全。

#### 五、工程应用实例

某双向六车道高速公路,通车运营6年,路面出现轻微老化、局部细微裂缝、抗滑性能略有下降,经检测路面结构完好、无结构性病害,适合实施预防性养护。项目结合路面病害状况,采用“裂缝密封+超薄磨耗层”组合养护技术,先对路面裂缝进行自动化灌缝处理,再摊铺20mm厚高粘改性沥青超薄磨耗层。

施工中采用智能化检测设备精准定位病害,选用绿色改性沥青材料,实施精细化施工与全过程质量管控,施工后快速开放交通。经检测,养护后路面渗水系数、抗滑性能、平整度均达到设计标准,路面病害得到有效遏制,通车2年跟踪监测,路面性能保持优良,无新增明显病害,养护成本较传统大修降低50%以上,充分验证了预防性养护技术的可行性与优越性。

#### 六、结论与展望

##### (一) 结论

高速公路沥青路面预防性养护是延缓病害、提升路面性能、降低运维成本的有效手段,裂缝密封、微表处、超薄磨耗层、就地热再生等技术,可针对性解决路面早期病害问题。通过精准把控养护时机、合理选型养护技术、强化原路面预处理、实施精细化施工,能充分发挥预防性养护的技术优势。

融入智能化监测、绿色新型材料、数字化管控等创新手段,可进一步优化预防性养护效果,推动养护模式从“被动修复”向“主动预防”转型,实现高速公路沥青路面长效稳定运营,具备显著的经济、社会与生态效益。

##### (二) 展望

未来高速公路沥青路面预防性养护将朝着智能化、绿色化、一体化方向发展,AI大数据、数字孪生、物联网技术将深度应用于养护决策、施工管控与性能监测,实现养护全流程智能化管理;低碳再生、纳米改性、生态环保型养护材料将全面推广,助力绿色养护升级;一体化预防性养护设备、微创快速施工工艺将不断革新,进一步降低施工对交通的影响。同时,全生命周期预防性养护体系将逐步完善,实现路面设计、施工、运维、养护全流程协同,为高速公路高质量、可持续运营提供坚实技术支撑。

#### [参考文献]

- [1]交通运输部公路科学研究院.公路沥青路面养护技术规范:JTG 5142-2019[S].北京:人民交通出版社,2019.
- [2]黄晓明.高速公路沥青路面预防性养护决策与技术应用[J].中国公路学报,2023,36(02):67-78.
- [3]张健.超薄磨耗层技术在高速路面预防性养护中的应用[J].公路工程,2024,49(01):189-194.
- [4]刘浩.沥青路面裂缝密封预防性养护材料及工艺研究[J].中外公路,2023,43(06):89-93.
- [5]王雪.就地热再生技术在高速公路预防性养护中的应用[J].施工技术,2024,53(08):145-148.
- [6]李扬.智能化技术在高速公路路面预防性养护中的应用[J].公路,2023,68(12):245-249.
- [7]周明.绿色养护材料在沥青路面预防性养护中的应用研究[J].交通节能与环保,2023,19(07):167-170.
- [8]赵宇.高速公路沥青路面预防性养护时机确定方法[J].路基工程,2024(02):156-160.
- [9]陈明.微表处养护技术在高速公路中的应用及质量控制[J].城市道桥与防洪,2024(03):211-214.
- [10]吴迪.高速公路沥青路面预防性养护全过程管控技术[J].工程技术研究,2023,8(18):156-158.
- [11]董亮.新型再生还原剂在路面预防性养护中的应用[J].交通科技,2024(01):78-81.
- [12]马忠云.高速公路沥青路面预防性养护技术经济性分析[J].公路交通科技,2024,41(05):92-97.