

高性能路面材料在公路养护中的应用与评估

高秋丽

河南中州路桥建设有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8385

[摘要] 针对传统路面材料在公路养护中存在的承载弱、易破损、运维成本高等问题，本文围绕高性能路面材料展开研究。先分析其承载与适应能力强、抗滑性能优、运维成本低的核心特点，再阐述该类材料在公路养护中的具体应用，包括技术指标确定、环保材料、纳米改性材料及预应力复合材料的实践路径，最后从高性能混凝土、纳米改性材料等四类典型材料的应用效果进行评估。结果表明，高性能路面材料可使公路养护周期延长 5–8 年，全生命周期成本降低 25%–35%，同时提升路面抗滑、排水等功能，为公路养护提质增效提供技术支持。

[关键词] 高性能；路面材料；公路养护；应用于评估

Application and Evaluation of High Performance Pavement Materials in Highway Maintenance

Gao Qiuli

Henan Zhongzhou Road and Bridge Construction Co., Ltd.

[Abstract] In response to the problems of weak bearing capacity, easy damage, and high operation and maintenance costs of traditional pavement materials in highway maintenance, this article focuses on the research of high-performance pavement materials. Firstly, analyze its core characteristics of strong load-bearing and adaptability, excellent anti-skid performance, and low operation and maintenance costs. Then, elaborate on the specific applications of this type of material in highway maintenance, including the determination of technical indicators, environmentally friendly materials, nano modified materials, and prestressed composite materials. Finally, evaluate the application effects of four typical materials, including high-performance concrete and nano modified materials. The results show that high-performance pavement materials can extend the maintenance cycle of highways by 5–8 years, reduce the total lifecycle cost by 25%–35%, and improve the anti-skid and drainage functions of the pavement, providing technical support for improving the quality and efficiency of highway maintenance.

[Key words] high performance; Road surface materials; Highway maintenance; Applied for evaluation

引言

随着公路交通量增长与重载比例提升，传统路面材料养护后常出现车辙、裂缝等病害，导致养护频次增加、资源消耗加剧，难以满足现代公路长期服役需求。当前公路养护面临双重挑战：一方面，重载交通与复杂环境对路面结构与功能提出更高要求；另一方面，绿色交通发展呼吁低耗、环保的养护方案。高性能路面材料凭借差异化性能优势，既能通过结构优化提升承载与耐久性，又能依托改性技术实现环保与功能拓展，成为解决上述问题的关键路径。本文系统探讨高性能路面材料的特点、养护应用及效果评估，旨在为公路养护技术升级提供理论与实践参考。

1 高性能路面材料特点

1.1 承载与适应能力强

在公路养护中，高性能路面材料的承载与适应能力是解决重载交通、复杂环境下路面结构损伤的核心支撑。从材料设计逻辑来看，其通过双维度优化实现性能突破：一方面，采用骨架密实型级配设计，使材料内部形成稳固的受力骨架，抗压强度可达 60MPa 以上，较传统养护材料提升 40%–50%，能直接抵抗货车、工程车等重载车辆产生的瞬时压应力，避免养护后路面出现结构性车辙或基层沉降；另一方面，通过改性技术增强材料变形适应性，例如在沥青类养护材料中掺入 SBS 高分子聚合物或废轮胎橡胶粉，可将沥青低温延度提升 30% 以上，

在 - 20℃低温环境下仍能缓冲温度收缩产生的拉应力，减少横向裂缝；针对水泥路面养护，掺入聚丙烯抗裂纤维的高性能修补材料，能抑制干缩、温缩引发的微裂缝扩展，提升路面抗疲劳开裂能力，使养护后的路面在反复荷载作用下，疲劳寿命延长 3-5 倍，有效避免传统养护材料因承载与适应能力不足导致的“短期修复、频繁破损”问题，为公路长期稳定服役奠定基础。

1.2 抗滑性能强

抗滑性能是公路养护后保障行车安全的关键指标，高性能路面材料通过精细化设计，构建了“宏观排水 + 微观摩擦”双重抗滑体系，显著优于传统养护材料。从宏观层面看，其通过特殊级配设计形成充足的路表空隙与构造深度，例如开级配抗滑磨耗层的空隙率达 15%-25%，养护施工后能快速排走路表雨水，避免雨天形成水膜引发车辆“水漂”；同时，粗骨料的嵌挤排列使路表构造深度维持在 1.2-1.8mm，远高于传统沥青路面的 0.8-1.0mm，增强轮胎与路面的机械咬合作用。从微观层面看，高性能路面材料选用高棱角性、高耐磨性的骨料，并通过优化结合料粘结强度，确保骨料不易脱落，长期保持表面微观纹理的粗糙性。现场检测数据显示，采用高性能路面材料养护后的路面，动态摩擦系数在 60km/h 车速下可达 0.65 以上，较传统养护路面提升 20%-30%，雨天刹车距离缩短 10%-15%，尤其在山区公路、高速公路弯道等事故高发路段，其抗滑性能为行车安全提供了关键保障，有效降低养护后路面的安全隐患。

1.3 降低了运维成本

高性能路面材料通过提升耐久性、优化施工工艺及资源循环利用，从全生命周期视角显著降低公路运维成本，打破传统养护“高频修补、高耗成本”的困境。首先，其优异的耐久性延长了养护周期，因材料抗老化、抗冻融、抗磨损性能提升，养护后的路面服役年限从传统 4-6 年延长至 9-12 年，减少了铣刨、重铺等重复养护作业的频次，以一条双向四车道高速公路为例，采用高性能材料养护可减少每 10 年 2-3 次的大修作业，单次大修成本节约约 40 万元 / 公里。其次，部分高性能材料的施工工艺优化降低了即时成本，例如温拌沥青养护材料的施工温度较传统热拌沥青降低 40-60℃，每公里路面施工可减少燃油消耗 20%-30%，同时减少施工设备损耗，降低人工与能源成本。再生型高性能路面材料实现了工业固废的循环利用，每吨材料可节约原生骨料成本约 80 元，进一步压缩了养护材料的采购成本，为公路养护的经济性与可持续性提供了有力支撑。

2 高性能路面材料在公路养护中的应用

2.1 确定技术指标

在高性能路面材料用于公路养护前，技术指标的确定需以养护路段实际工况为核心，构建“病害适配 + 性能导向”的指标体系，避免盲目套用通用标准。首先，需结合路段交通特征确定承载类指标，例如针对货运通道的沥青路面养护，将高模量沥青混合料的动态稳定度控制在 3000 次 /mm 以上，确保抵抗重载车辙；针对高寒地区水泥路面修补，把高性能混凝土的抗冻等级设定为 F400，以应对频繁冻融循环。其次，依据养护目标明确功能类指标，预防性养护中微表处材料的构造深度需 $\geq 1.0\text{mm}$ 、渗水系数 $\leq 10\text{mL/min}$ ，保障抗滑与防水性能；病害修复时，灌浆材料的初始流动度应 $\leq 30\text{s}$ ，确保填充板底脱空。技术指标需衔接现场检测数据，通过落锤式弯沉仪测出路基承载力、激光平整度仪获取路面破损程度，反向校准材料性能参数，确保材料性能与养护需求精准匹配。

2.2 环保材料

环保型高性能路面材料在公路养护中的应用，聚焦“减碳、再生、低害”三大方向，契合公路养护的绿色发展需求。在旧路铣刨料再生利用方面，将废旧沥青路面铣刨料按 30%-50% 比例掺入新沥青混合料，通过热再生技术激活旧沥青活性，用于路面下面层养护，每公里可消耗 RAP 约 800 吨，减少原生骨料开采与固废堆存。温拌沥青技术是环保材料的核心应用形式，其通过添加降粘剂使施工温度降至 120-140℃，较传统热拌沥青降低 40-60℃，养护施工中 VOCs 排放减少 30% 以上，燃油消耗降低 25%，尤其适用于城区、景区等对环保要求高的路段。透水型环保材料在路肩、人行道养护中应用广泛，其 15%-20% 的空隙率可快速渗透雨水，缓解城市内涝，同时材料中掺入 20% 钢渣骨料，实现工业废渣资源化，形成“养护 - 环保 - 资源循环”的协同效益。

2.3 纳米改性材料

纳米改性材料凭借微观尺度的性能调控优势，在公路养护中解决了传统材料“性能瓶颈”问题，主要通过两种路径应用：一是纳米颗粒改性沥青，将纳米 SiO_2 、纳米 TiO_2 按 2%-5% 比例掺入基质沥青，通过纳米颗粒的界面吸附作用，提升沥青的高温稳定性与抗老化性，改性后沥青软化点提升至 65℃ 以上，老化后延度损失减少 40%，用于沥青路面罩面养护，可有效抵抗高温车辙与紫外线老化，延长路面服役周期。二是纳米改性水泥基材料，在水泥路面裂缝修补中，掺入纳米碳酸钙的修补砂浆，其粒径仅为 10-100nm，能填充水泥水化产物的微观孔隙，使修补材料抗压强度提升 25%、粘结强度提升 30%，且具有优异的抗渗性，可阻止雨水渗入裂缝引发钢筋锈蚀。

2.4 预应力复合材料

预应力复合材料在公路养护中，主要用于解决路面结构“承载力不足、变形过大”的深层病害，尤其适用于旧路升级

改造与危桥桥面铺装养护。在水泥路面基层加固中,采用预应力碳纤维板与混凝土组合体系,通过先张法施加预应力,使碳纤维板提前承受拉应力,养护后基层的抗弯刚度提升 50% 以上,有效抑制基层因荷载引发的弯拉裂缝,避免路面断板。在钢桥面铺装养护中,预应力玻璃纤维增强复合材料与沥青混合料结合,GFRP 具有轻质高强特性,通过施加横向预应力,可抵消车辆荷载产生的横向拉力,减少桥面铺装的推移与开裂,同时降低桥面自重,减轻桥梁结构负担。在旧沥青路面加铺层养护中,铺设预应力玄武岩纤维格栅,其与沥青混合料的相容性好,能通过预应力约束路面的温缩变形,减少加铺层的反射裂缝,提升养护结构的整体稳定性。

3 高性能路面材料在公路养护中的应用效果评估

3.1 高性能混凝土

在公路养护中,高性能混凝土多用于水泥路面断板修复、板底脱空灌浆及基层加固,其应用效果评估需围绕“结构修复精度”与“长期耐久性”展开。从结构性能看,采用高性能混凝土修补断板时,需检测修补界面的粘结强度,通过劈裂试验验证新旧混凝土结合度,现场数据显示,掺入硅灰与聚丙烯纤维的高性能混凝土,修补后界面抗折强度较普通混凝土提升 40%,可避免修补处二次开裂;针对板底脱空,其初始流动度 $\leq 30\text{s}$ 的特性确保灌浆密实度达 95% 以上,通过落锤式弯沉仪检测,脱空路段回弹模量从养护前的 1800MPa 提升至 3200MPa,结构承载能力恢复至设计标准的 110%。耐久性评估需跟踪 3-5 年,在高寒地区,高性能混凝土抗冻等级达到 F400,经 200 次冻融循环后质量损失率 $\leq 2\%$,远低于普通混凝土的 5%;在酸雨地区,其抗渗等级 $\geq \text{P12}$,能阻止酸性水渗入腐蚀钢筋,养护后路面断板发生率从每年每公里 8 块降至 1 块以下。

3.2 纳米改性材料

纳米改性材料在公路养护中的应用效果,需从“微观性能优化”与“宏观功能提升”双维度评估。对纳米改性沥青养护层,高温稳定性通过动态稳定度测试,经检测,掺入 3% 纳米 SiO_2 的沥青混合料,动态稳定度较普通沥青提升 60%,夏季高温车辙深度控制在 3mm 以内;抗老化性通过薄膜烘箱试验,老化后延度损失率 $\leq 25\%$,较普通沥青降低 30%,养护后路面 3 年内无明显老化龟裂。在水泥路面裂缝修补中,纳米碳酸钙改性砂浆的评估聚焦粘结与抗渗性能,其粘结强度达 3.0MPa,较普通修补砂浆提升 50%,能有效抑制裂缝扩展;抗渗系数 $\leq 1 \times 10^{-11}\text{m/s}$,可阻止雨水渗入引发钢筋锈蚀,修补后裂缝渗水率从 80% 降至 5% 以下。

3.3 纤维微表处稀浆混合料

纤维微表处稀浆混合料多用于沥青路面预防性养护与轻

微病害修复,其应用效果评估核心为“抗滑耐久性”“抗裂性”与“施工适配性”。抗滑性能通过动态摩擦系数与构造深度检测,养护后 DF 值在 60km/h 车速下 ≥ 0.65 ,构造深度 $\geq 1.2\text{mm}$,较普通微表处提升 20%,雨天刹车距离缩短 12%,且经 100 万次轴载碾压后,构造深度衰减率 $\leq 15\%$,抗滑性能长期稳定。抗裂性评估采用低温弯曲试验,掺入聚酯纤维的稀浆混合料,低温弯曲应变达 3000 $\mu\epsilon$ 以上,较无纤维微表处提升 50%,在 -15°C 低温环境下,养护路面横向裂缝发生率从每年每公里 12 条降至 3 条以下。

3.4 排水系统新材料铺设

排水系统新材料在公路路肩、边沟及低凹路段养护中应用广泛,其效果评估聚焦“排水效率”“结构稳定性”与“生态效益”。排水效率通过渗透系数与降雨模拟试验检测,透水沥青混合料的渗透系数 $\geq 3 \times 10^{-3}\text{m/s}$,在 50mm/h 降雨强度下,路表无积水,排水速率较传统排水设施提升 3 倍,有效缓解城市内涝;透水水泥混凝土路肩养护后,年径流总量控制率达 80%,契合海绵城市建设需求。结构稳定性评估采用抗压强度与抗折强度测试,透水沥青混合料抗压强度 $\geq 4.0\text{MPa}$,抗折强度 $\geq 0.6\text{MPa}$,经 50 万次轴载碾压后,变形量 $\leq 2\text{mm}$,满足路肩承载要求;透水水泥混凝土抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$,抗冻等级达 F200,在北方冻融地区,养护后材料质量损失率 $\leq 3\%$,结构完好率达 95%。

结束语

综上,高性能路面材料在公路养护中展现出显著的技术、经济与生态效益,其通过结构性能优化解决传统养护材料的短板,借助多元化应用形式适配不同养护场景,且经多维度评估验证了应用价值。未来可进一步深化材料改性技术研究,提升性能稳定性;同时完善评估体系,结合智慧检测手段实现养护效果动态监测,将推动公路养护向长效化、绿色化方向发展,为交通基础设施可持续运维提供有力保障。

[参考文献]

- [1]赵娟.新型材料在公路路基施工中的应用[J].汽车画刊,2024,(11):233-235.
- [2]郑晓光,吴立报,水亮亮.高性能灌注式半柔性路面材料的路用性能[J].建筑材料学报,2023,26(06):638-643+652.
- [3]牛移民.公路工程施工中高性能混凝土的合理应用[J].交通世界,2021,(Z2):197-198.
- [4]虞荣彬.新型桥面防水材料在高速公路桥梁工程中的分析与应用[J].交通科技与管理,2023,(23):148-150.
- [5]左华.新材料在道路桥梁工程中的应用与发展趋势研究[J].葡萄酒,2023,(17):0010-0012.