沥青混凝土路面加固方法对比研究

宋利春
中都工程设计有限公司，四川 成都 610000
DOI:10.61369/ETQM.2026080028

摘　　要： 本研究全面梳理沥青混凝土路面的多种加固技术体系，包含传统物理加固方法与新型复合材料加固工艺这两大主要类别，详细说明地质雷达和钻孔取样相结合的勘察技术、路基与面层参数协同优化的关系，搭建包括结构稳定性评估、全寿命周期成本分析、环境影响评价的综合决策方案。经由高速公路的改扩建、城市主干道的整治、特殊地质路段的处理等典型工程实例的对比验证，确定不同加固方式的适用范围与性能差别，为工程实践里加固方案的科学选择提供量化的根据，还对新型智能加固技术的发展趋向进行展望。

关 键 词： 沥青混凝土路面；加固技术；勘察设计；性能评价；案例对比

Comparison of Reinforcement Methods for Asphalt Concrete Pavement

Song Lichun
Zhongdu Engineering Design Co., LTD., Chengdu , Sichuan 610000

Abstract: This study comprehensively reviews various reinforcement technology systems for asphalt concrete pavement, including two main categories: traditional physical reinforcement methods and new composite material reinforcement techniques. It elaborates on the surveying technology combining ground-penetrating radar and drilling sampling, as well as the relationship between subgrade and surface layer parameter optimization. It also builds a comprehensive decision-making plan including structural stability assessment, life cycle cost analysis, and environmental impact assessment. Through the comparative verification of typical engineering cases such as highway expansion and renovation, urban main road improvement, and special geological section treatment, it determines the applicable scope and performance differences of different reinforcement methods, providing quantitative basis for the scientific selection of reinforcement schemes in engineering practice. It also looks forward to the development trend of new intelligent reinforcement technologies.

Keywords: asphalt concrete pavement; reinforcement technology; investigation and design; performance evaluation; case comparison

引言

随着我国基础设施建设朝着高质量发展转变，《交通强国建设纲要》清晰提出建立 安全、便捷、高效、绿色、经济 的现代化综合交通运输系统，对交通基础设施的耐久性、可靠性以及服务水平提出更高标准。我国早期建成的沥青混凝土路面已渐渐进入服役中后期，受当时设计标准、施工工艺、材料性能的约束，再加上长期交通荷载的作用以及极端气候的影响，裂缝、车辙、沉降、松散等病害更加明显，路面结构的强度和耐久性不断降低，直接对通行安全和路网运行效率构成威胁。

根据交通运输部统计的信息，我国公路网络的总里程已经突破 530 万公里，其中高速公路的里程超过 17 万公里，存量路面的养护与加固已然成为国家基础设施 存量优化 战略的主要领域。沥青混凝土路面身为公路网的核心承载部分，其服役状况直接影响交通网络的通行品质，而加固工艺是解决路面病害、延长服役时长、保障通行安全的主要办法，更是交通强国建设里 提质增效 的重要技术保障。

沥青混凝土路面的加固要遵循 基础加固、面层加强、精准适配 的技术准则，根据已有的路面病害调查成果，分辨路基病害和路面病害的不同成因，严格按照《公路路基设计规范》（JTG D30-2015）、《城市道路路基设计规范》（CJJ 194-2013）、《公路沥青路面养护技术规范》（JTG 5142-2019）等现行标准，有针对性地实施加固措施。其中针对路基病害主要采用传统物理加固技术，而对于路面病害，可通过新型复合材料加固工艺来实现性能提高。另外勘查技术改革、参数关联耦合研究、动态响应模式搭建为加固技术的优化提供理论根据，而全寿命周期成本分析与环境影响评价则进一步健全加固方案的决策系统。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

一、典型加固方法分类及原理

（一）传统物理加固技术

传统的物理加固工艺以改善路基力学性能为核心，通过物理效应重构地基结构或者形成复合地基，加强路基的承载能力与稳定性，这是道路基础加固的经典技术系统，主要包括以下 5 种主要技术：

1. 软基换填

技术原理：改为 通过开挖操作清除路基范围里承载能力不够、压缩变形明显且稳定性较差的软弱土体（像淤泥、淤泥质土、泥炭土、杂填土等），回填强度大、密实度好、渗透性合适且工程性质稳定的优质填料（级配碎石、砂砾石、灰土、水泥稳定土等），并且分层压实到设计规定的密实度标准，用优质填料直接替换原本的软弱土层当作路基持力层，从根本上提高地基整体承载性能。

主要优势：通过物理置换全面消除软弱土层的负面效应，加固成效直接且明显，沉降管控精度高，工程质量便于掌控，能够大幅减少后续路面病害的发生风险；填料选择灵活，可根据软弱土层的特性和工程需求精确适配，材料来源广泛且容易获取；成本结构清晰，主要包括开挖费用、填料费用、运输费用以及压实费用，预算编制和成本控制的难度较低，在特定情形下性价比优势明显。

适用情形：适用于高速公路、城市主要干道、桥梁引道、互通式立交等对路基稳定性和沉降管控要求严格的主要路段，特别适合交通流量大、荷载等级高，并且不允许后期出现较大沉降（如桥头跳车、路面开裂）的工程情形。

2. 压密注浆

技术原理：通过专业钻孔装置向路基软弱土层注入水泥浆、化学浆液等固化物质，浆液在高压条件下挤压周围土体、填充空隙并置换部分松散土体，同时与土体产生化学反应形成稳固固化体，通过 物理挤密、化学固化 双重效应，提高土体密实度、抗压强度与抗剪强度，限制土体变形。

核心长处：施工装备较为简易，操作程序便利；对地基处理深度的适应能力强，可针对不同深度的软弱土层精确施策；能够有效填充土体隐蔽的孔隙和裂隙，明显提高地基整体的稳定性。

适用情形：可用于砂土、粉土、粉质黏土这类松散或者软弱的地基加固，特别是针对因路基孔隙率大、承载力不够而引发的路面沉降、不均匀变形等状况有着明显的治理成效。

3. 碎石桩

技术原理：运用振动沉管机、冲击钻机这类专用器械，把碎石、卵石等骨料通过振动、冲击手段挤入软弱土层，建立成圆柱形的碎石桩体。桩身和周边未加固的土体一同形成复合地基，共同承担上部的荷载；并且桩身具有高透水性，能够加快地基排水的速度，推动土体固结，降低沉降变形。

主要优势：对地基排水状况的改善成效明显，可迅速提高地基承载能力；对软土、淤泥质土这类软弱地基的适用性强，施工效率比较高。

适用情形：普遍用于软土、淤泥质土、杂填土等路基加固项目，特别适合应对沉降量大、稳定性欠佳的路段，能够有效控制路基不均匀沉降。

4. 真空预压（特殊软基专项技术）

技术原理：于软土地基表面铺设密封薄膜，通过专业的抽真空设备营造负压环境，促使地基土中的水分经由预先设置的排水通道排出，推动土体逐步固结、密实，从而提高地基的强度与承载能力，降低工后沉降数值。

主要优势：无需大型压实器械，施工流程较为简便；对周边环境的干扰小，噪声与扬尘污染低；适用于大面积软基集中处理情形，施工效率高。

适用情形：主要应用于滨海软土地基、沼泽区域等超软弱的路基路段，要与排水板等排水体系配套运用，建立 排水、固结、强化 的完整技术链条。

5. 水泥搅拌桩（特殊软基专项技术）

技术原理：通过搅拌桩机把水泥等固化剂和软土进行强制搅拌使其均匀，固化剂和软土产生水化反应，形成具备一定强度的复合地基，直接加强地基承载能力，抑制沉降形变。

核心长处：施工后沉降数值小，地基稳固性提高速度快；固化成效明显，可快速建立高强度复合地基，符合工程对沉降管控的严格标准。

适用情形：可用于滨海软基、淤泥质土路基这类特殊地质状况，特别是对控制工后沉降要求较高的工程具备不可取代的优势。

上述传统物理加固技术于道路基础加固领域应用普遍，对其力学作用机理开展深入研究是优化加固参数、提高加固成效的主要。

（二）新型材料加固工艺

新型材料加固工艺专注路面面层与结构层性能提高，凭借土工合成材料、高分子复合材料的出色力学特性，加强路面结构整体性、抗裂性能与耐久性能，为沥青混凝土路面加固提供高效且环保的技术途径，主要包括以下两类核心技术：

1. 土工格栅

主要原理：土工格栅是一类拥有高强度网格构造的土工合成材料，把它铺设在沥青混凝土面层的底部或者基层和面层的中间，通过网格与沥青混凝土集料的嵌锁咬合效应，建立稳固的复合结构，强化路面结构的整体性以及协同工作效能。

作用原理：土工格栅具备高强度特性，能够有效分散车辆荷载所产生的应力，减轻面层局部应力的集中情况，延缓或者阻止路面裂缝的产生与扩展；格栅对沥青混凝土集料起到约束作用，可限制其侧向移动，减少路面车辙、拥包之类的变形病害，大幅提高路面抗疲劳性能以及服役时长。

适用情形：可用于旧路面改造加铺、新建路面面层强化、桥头跳车治理等工程状况，特别是在处理路面反射裂缝、提高路面抗变形性能方面具有明显成效。

2. 聚酯纤维布

主要原理：聚酯纤维布属于一种具备高抗拉强度、不错柔韧

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

性以及耐腐蚀性的高分子复合材料，把它铺设在沥青混凝土面层里，通过纤维和沥青的界面粘结作用，建立纤维加强沥青混凝土复合体系，全方位提高路面面层的力学性能和耐久性。

作用原理：聚酯纤维布具备较高的抗拉强度，能够有效分担路面面层的应力，对裂缝的扩展起到抑制作用；它拥有良好的柔韧性，可适应路面的微小形变，降低因温度变化和荷载作用而产生的裂缝；并且纤维与沥青紧密结合，能够提高沥青混合料的黏结力，加强路面抵抗水损害的能力以及抗老化性能。

应用场景：可用于沥青混凝土路面表层抗裂强化、旧路面缝隙修复、高等级公路路面耐久性加强等项目，特别是适合气候温差较大、交通流量较大的路段，能够明显提高路面抗裂性能与使用年限。

新型复合材料的创新性运用为沥青混凝土路面加固提供多样化思路，对提高路面使用性能、延长服役时长具有主要意义。

二、勘察设计要素体系构建

勘测设计为沥青混凝土路面加固项目的基础与主要，直接影响加固策略的针对性、科学性和有效性。本研究根据 精准勘察、科学优化 的思路，搭建包含地基条件勘查与结构参数优化的完备要素体系，为加固工程的精确施行提供技术保障。

（一）地基条件勘察体系

地基土体的物理力学性质是加固方案设计的主要根据，单一的勘察手段难以全方位显示地基的实际状况。为此建立地质雷达探测和钻孔取样相融合的多层次勘察技术方案，实现地基信息的宏观覆盖与微观精确的双重保障。

地质雷达检测依靠高效、无损、连续检测的技术长处，能够迅速对加固区域开展大面积扫描，通过电磁波反射信号解析，确定地下土体的分层方案、厚度分布以及潜在异常地段（像软弱夹层、隐蔽裂隙、地下空洞等），为后续勘查工作圈定重点区域，明显提高勘查效率 [3]。钻孔采样重点于主要区域，通过专业钻探装置取得原状土体标本，再结合室内土工测试，精准测定土体的含水量、孔隙比、压实度、抗剪强度、压缩模量等核心物理力学指标，为加固方案的设计提供量化的数据根据。

把两种方法进行有机结合，既能够利用地质雷达探测来掌握地基整体的分布特性，又可以依靠钻孔取样精确获取局部的主要参数，从而有效识别出土体参数的空间变异性。这种空间的变异性或许会导致同一加固区域里不同位置的地基承载能力、压缩性出现明显差异，要是忽略此特性运用统一的加固参数，容易造成局部加固不够或者过度加固。所以根据耦合勘察的成果，有针对性地对加固措施的种类、强度以及范围加以调整，能够保证加固效果的均匀性和可靠性，从根源上避免后期路面出现沉降、开裂等病害问题的风险。

（二）结构设计参数优化

沥青混凝土路面加固的结构设计要实现路基和面层的协同匹配，主要在于明确路基回弹模量和沥青面层厚度的参数关联，并根据工程实际状况开展科学优化。

路基回弹模量为体现路基承载能力的重要指标，其数值高低直接影响路面结构在荷载作用时的变形状况 —— 回弹模量越大，路基抵抗变形的能力越强，路面受力情形越稳定；沥青面层厚度和路面耐久性、抗疲劳性能紧密相连，合理增加面层厚度能够延长路面在循环荷载作用下的使用年限，但过度增厚会造成成本增加且可能引发层间结合方面的问题。二者彼此作用、彼此约束，要通过系统分析实现动态均衡。

运用有限元分析手段，搭建包括路基、基层、面层以及加固层的一体化数值模型，全面考虑交通荷载等级、环境气候状况、原路面结构情形等影响要素，模拟不同路基回弹模量和沥青面层厚度搭配下的路面力学反应（像应力分布、应变峰值、弯沉值等）[4]。经多方案对比分析，明确不同加固目标（像承载能力提高、抗疲劳性能改进、沉降管控等）下的最佳参数搭配，既确保路面结构实现长期服役标准，又防止资源耗费，实现加固成效与经济性的符合。同时根据此模型能够预估不同工况时路面的长期性能演变趋向，为加固层材料的选择、施工工艺的优化提供额外的技术支撑，进一步提高加固工程设计的科学性与前瞻性。

三、关键性能参数对比分析

为科学评测不同沥青混凝土路面加固方式的综合效能，搭建结构稳定性、经济技术、环境影响 三维对比方案，从核心性能、经济收益、生态适配度三个方面开展量化分析，为加固方案的精确选型提供客观参照。

（一）结构稳定性评价

结构稳固性是路面加固的核心目的，直接影响路面长期使用的安全性和可靠性，主要通过疲劳寿命与差异沉降这两个主要指标来开展对比。

1. 疲劳寿命预测模型

根据实际交通流特性建立车辆轴载谱，结合加固结构的力学性能建立动态响应模型，重点比较不同加固方式在 10? 次循环荷载作用时的累积损伤程度。评估过程里应重点关注两个主要要素：其一为加固材料和原路面结构的协同作业性能，也就是加固层和路基、面层的界面黏结效果以及应力传导效率，防止因层间分离造成局部应力集聚；其二是长期荷载与环境耦合作用时的结构变形特征，像温度改变引发的热胀冷缩、雨水侵蚀导致的材料劣化等对疲劳寿命的作用 [5]。

运用有限元分析等数值模拟手段，精确模拟不同加固策略在实际工作状况下的应力应变分布情况，确定裂缝产生、扩展的主要部位与演变规律。在疲劳寿命预估模型搭建时，全面融入荷载频率、荷载幅值、环境温湿度、材料疲劳强度等多方面参数，实现对不同加固方式长期性能的量化评价，为高交通流量、重荷载路段的方案挑选提供数据根据。

2. 差异沉降控制指标

运用三维非线性本构模型，全面分析不同加固工艺对于路基不均匀沉降的抑制成效，此指标为衡量加固技术适配性的主要准则。从结构稳固性方面来看，优良加固工艺要通过改善地基土体

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

力学特性或者强化路面结构整体性，保证路基在长时间荷载作用下维持稳定，确实避免裂缝、沉陷、桥头跳车等病害[6]；从沉降均衡性角度而言，要通过对比路基主要断面（像路面中心、路肩、桥涵衔接处）的沉降量差别，评估加固方法对沉降的调节能力。

理想的加固措施需把差异沉降把控在规范所允许的区间内（一般不超过 5mm），确保路面的平整度以及行车的舒适性。经对不同加固方式的沉降监测数据比较可知，传统物理加固技术（像水泥搅拌桩、软基换填）在差异沉降管控方面成效明显，特别适合对沉降敏感的主要路段；新型材料加固工艺（例如土工格栅）通过加强结构协同性，有力缓解局部沉降差异，适用于路面结构层变形所引发的沉降问题。

（二）经济技术对比研究

经济技术可行性为加固方案落地执行的主要限制，通过全寿命周期成本分析与技术适配性评测，实现经济效益与技术合理性的均衡。

1. 全寿命周期成本分析

运用现值分析法（NPV）对各个加固方案的全寿命周期成本开展量化比较，成本组成包含建设期投入和后期养护开支两方面。建设期间的投资主要包括材料采购费用、设备租赁费用、人工成本以及施工辅助费用，不同方案的成本存在明显差异：传统的物理加固技术（例如碎石桩、压密注浆）在初期的投资相对较少，不过材料的耐久性和抗老化性能存在局限，后期需要经常开展局部修补和养护工作，使得长期成本增加[7]；新型材料加固工艺（像土工格栅、聚酯纤维布）虽然在初期的材料和施工成本较高，但是加固效果持久，可以明显降低后期的养护频率和费用，在全寿命周期内综合效益更佳。

通过现值换算把后期养护成本折算成当下价值，比较不同方案的总成本现值，能为不同预算状况下的方案挑选提供参考：预算不足、有短期服役需求的工程可优先选用传统物理加固技术；高等级公路、有长期服役需求的工程则建议运用新型材料加固工艺，实现长期经济效益的最大化。

2. 施工技术适配性评估

施工技术的适配性主要从施工工期、场地条件、工艺复杂程度这三个方面展开对比。在传统物理加固方法里，像软基换填、真空预压这类工艺的施工时长较久，并且对施工场地的面积以及运输条件有较高要求，适合用在场地较为开阔、交通管制较为宽松的路段；而压密注浆、碎石桩的施工周期相对短一些，设备便于携带，适合应用于城市主干道等场地受限的场景。新型材料加固技术（像土工格栅、聚酯纤维布）施工步骤简便，能够和沥青混合料铺设同时开展，工期一般仅为传统技术的 1/3 至 1/2，并且对交通疏导影响不大，特别适用于城市核心区域、交通流量大的道路。

另外工艺复杂程度直接影响到施工质量的控制难度：传统的物理加固技术依靠施工人员的经验，质量波动相对较大；新型材料加固工艺的标准化程度较高，施工质量容易把控，能够有效降低工程返工的风险。

（三）施工环境影响评估

在 双碳 目标以及生态保护政策的指引下，环境影响变成加固方案选择时的主要考量要素，通过建立碳排放计算模型和生态扰动评价系统，实现环保性能的量化比较。

1. 碳排放与能源消耗分析

搭建全流程的碳排放计算模式，包含材料生产、运输、施工以及后期养护等各个阶段的碳排放量核算。在传统的物理加固技术里，像水泥搅拌桩、压密注浆这类工艺，由于水泥、化学浆液等材料在生产时能耗较高，并且施工设备功率较大，其碳排放强度相对偏高；软基换填工艺尽管不存在高能耗材料，不过在土方开挖、运输环节柴油的消耗量较大，碳排放同样不可轻视[8]。在新型材料的加固工艺里，像土工格栅、聚酯纤维布这类材料，其生产流程能耗相对较低，并且施工时不需要大型高能耗的设备，碳排放强度明显低于传统的物理加固工艺。

在能源消耗领域，传统物理加固技术平均每单位面积的能耗是新型材料加固工艺的 2 至 3 倍，特别是在开展大面积加固工程时，新型材料工艺的节能优势更为明显。

2. 生态扰动程度评价

生态干扰主要包括噪声污染、扬尘排放、土壤扰动这三个方面。在传统的物理加固工艺里，碎石桩振动作业、软基换填时土方挖掘过程所产生的噪声能达到 85~95dB，对周边的居民住宅区干扰较为严重；压密注浆、水泥搅拌桩施工作业期间容易产生扬尘污染，对空气质量造成影响。新型材料加固技术在施工期间无剧烈振动与大规模土方施工，噪音强度能够控制于 60dB 以内，并且无明显粉尘排放，对周边生态环境的干扰极小[8]。

在土体扰动情况上，传统的物理加固技术要深入到路基内部开展钻孔、搅拌或者开挖操作，这或许会破坏周边土体结构的完整度；新型材料加固工艺主要是对路面结构层起作用，对路基以及周边土体的扰动较小，更适宜用于生态敏感区域、河道周边等对土体稳定性要求较高的路段。

四、典型工程案例对比验证

（一）高速公路改扩建项目

1. 方案组合优化试验

选取某高速公路改扩建工程作为研究对象，运用蒙特卡洛模拟方法对比注浆加固和土工合成材料联合运用的可靠性指标。通过搭建路面结构数值模型，全面考虑材料性能起伏、荷载分布不匀等多个不确定因素，仿真两种加固方式在不同工况时的力学反应。分析显示特定工作状况下土工合成材料协同加固方案的可靠度指标稍高于注浆加固，不过注浆加固在局部应力集中的区域能够提供更具成效的结构支撑。此对比结果为高速公路改扩建工程加固方案组合的优化提供主要参考，对提高路面加固成效有所助益[9]。

2. 现场检测数据验证

运用 FWD（落锤式弯沉仪）弯沉测试与三维路面探地雷达相融合的现场检测手段，对该高速公路改扩建工程的加固成效予以验证。FWD 弯沉测试能够精确得到路面弯沉数值，直观展现路面结构承载水平，通过与设计弯沉数值对比，评判加固成效是否实

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

现预期准则 [10]；三维路面探地雷达可清晰探查路面内部构造，包括各结构层厚度、病害分布等数据，通过和设计参数比较，检验结构施工质量。两种检测手段相互补充优势，能够全方位判定路面加固之后实际工程成效和设计参数的相符性，为加固技术的评估提供可靠的数据支持。

（二）城市主干道整治工程

1. 交通导改影响分析

在城市主要干道整治项目里，交通疏导改造的影响是加固方案选择的主要限制要素。在有限封闭的施工状况下，不同加固工艺的技术特点对交通导改产生的影响差别明显：传统的大面积翻修加固工艺施工程序繁杂、周期较长，需要长时间封闭部分车道，容易使周边道路拥堵情况加剧；新型的局部加固技术（像土工格栅、聚酯纤维布加固）施工流程简单、工期较短，对交通导改的影响相对较小。经由典型工程实例对比，明确划分不同加固工艺在交通疏导方面的好坏，为城市主干道治理工程的方案抉择提供实践根据。

2. 社会效益综合评价

搭建包括噪声污染、工程周期影响、通行效能等指标的多方面社会效益评估体系，对城市主干道整治项目的加固措施开展综合评测。在噪声污染方面，比较不同加固手段在施工阶段与运营阶段的噪声水准，评估其对周边居民生活的干扰状况；在工期影响方面，分析不同方案的施工时长对城市交通运行与居民出行的影响 —— 比如，一些加固方法施工进度快但噪声污染较明显，另一些则噪声小但工期相对较久。经过多指标的综合考量，能够实现经济效益和社会效益的均衡，为城市主干道整治项目挑选出最佳加固方案。

（三）特殊地质路段应用

1. 软土路基处理对比

以邻水县软基路段加固项目为实例，比较真空预压和水泥搅拌桩在工后沉降控制方面的成效。真空预压工艺通过建立排水通道与营造负压条件，推动地基土中水分排出并实现固结；水泥搅拌桩工艺是利用固化剂和软土发生水化反应，建立高强度的复合地基。从工程实际情况来看，采用真空预压处理的路段，其工后沉降在运营阶段会逐步趋于稳定，不过沉降数值相对偏大；运用水泥搅拌桩处理的路段，工后沉降量较小，且稳定的速度较快，这主要是因为水泥搅拌桩能够迅速加强地基的强度与稳定性，对土体的压缩变形起到抑制作用。此对比结果显示，水泥搅拌桩于工后沉降管控方面具备明显优势，不过实际运用时要全面权衡工程成本、施工条件等要素。

2. 冻融循环适应性研究

运用 CT 扫描手段研究不同加固物料在冻融循环影响下的微观构造演变规律，通过特殊地质路段的工程实例加以验证。针对不同冻融循环次数的加固材料样本开展 CT 扫描，获取微观结构图像并分析后可知：随着冻融循环次数的增多，部分加固材料内部孔隙逐步扩大、结构趋于松散；而优质加固材料能够较好地维持微观结构的完整性。研究显示加固材料的成分配比、和沥青混凝土的界面结合形式等要素，直接作用于其冻融循环适应性。全面权衡这些影响要素，能够为特殊地质路段挑选耐冻融、耐久性佳的加固材料与方式提供科学支撑。

五、总结

本文开展对沥青混凝土路面加固技术的全面研究，得到如下主要结论：第一不同加固手段的勘察设计重点有所不同，有些方法重点于承载能力的加强，有些则重点于结构完整性的改善；第二在结构性能方面，传统物理加固技术在提高地基稳定性上具有明显优势，新型材料加固工艺则在抗疲劳、抗裂性等方面展现出卓越表现；第三经济适用性根据技术特点而有所不同，需要结合工程实际情况综合考量成本与效益。

根据上述研究，沥青混凝土路面加固方案的选型需遵循 精准适配 原则：交通流量较大的路段优先选取能快速提高承载能力的加固办法；预算有限的工程项目可重点考虑性价比高的传统物理加固技术；特殊地质的路段要针对性地挑选专项加固方案（例如滨海软基路段运用水泥搅拌桩、冻融区采用耐冻融复合材料）。

未来沥青混凝土路面加固技术会朝着新型智能化方向迈进，通过嵌入传感器搭建实时监测系统，联合自适应加固技术实现 监测、预警、修复 全流程自动化，明显提高加固工程的精准度与有效性，为交通基础设施的高质量发展提供技术保障。

参考文献

[1] 李驰 . 中刚沥青路面设计方法与对比 [D]. 西安：长安大学，2022.

[2] 王鹏 . 层间非完全连续沥青路面动力响应研究 [D]. 秦皇岛：燕山大学，2021.

[3] 徐志远 . 在役钢筋混凝土渡槽安全性评估与治理加固决策研究 [D]. 郑州：中原工学院，2021.

[4] 李耀 . 纤维编织网增强混凝土 (TRC) 加固损伤混凝土柱约束模型及轴压、抗震性能研究 [D]. 徐州：中国矿业大学 (江苏)，2022.

[5] 程思胜 . 旧水泥混凝土路面加铺沥青面层设计方法及应用研究 [D]. 徐州：中国矿业大学 (江苏)，2021.

[6] 毕玮 . 沥青混凝土路面交工验收质量检测方法 [J]. 运输经理世界，2024 (9):25-27.

[7] 蔺应旭 . 沥青混凝土路面病害防治及处理方法 [J]. 低碳世界，2021,11 (3):178-179.

[8] 谢家琪 . 沥青混凝土路面施工技术 [J]. 设备管理与维修，2024 (6):165-167.

[9] 曹明辉 . 公路沥青混凝土路面施工技术 [J]. 建材发展导向（下），2022,20 (5):121-123.

[10] 靳强 . 市政沥青混凝土路面施工技术 [J]. 建材与装饰，2022,18 (30):156-158.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.