材料选择与路面修复技术在公路养护中的应用

张 鹏

（中国能源建设集团广西水电工程局有限公司，广西 南宁 530001）

摘 要 公路作为交通基础设施的核心，其养护质量直接关系到行车安全、运营效率与使用寿命。本文以某省道养护工程为实例，探讨公路养护中的材料选择与路面修复关键技术。针对该路段因重载交通与气候影响产生的车辙、裂缝等典型病害，系统分析了SBS改性沥青、高模量混合料及泡沫沥青冷再生等材料的适用性与经济性，并详细阐述了铣刨重铺、就地热再生、裂缝密封及基层补强等修复工艺。通过材料与技术的科学匹配，结合绿色施工与智慧化管理，可有效恢复路面性能、提升结构承载力并延长使用寿命。

关键词 公路养护；材料选择；路面修复技术

中图分类号：U418 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2025.35.033

0 引言

随着我国公路网规模的扩张以及车辆的增加，交通承载压力也越来越大，公路设施存在较严重的路面破损问题且病害呈现多元化的发展趋势。其中，重载交通量大和路面温差较大是导致沥青路面产生车辙、裂纹、龟裂等病害的重要原因，如果不及时修复还会导致更加严重的路面病害，影响公路使用寿命[1]。公路养护工作可以保证路面使用安全，延长公路使用寿命。养护工作质量和效果与选择的材料类型以及应用的修复技术工艺息息相关。因此，根据路面病害类型选择合适的养护材料和修复方式并开展相应的处治工作，对于增强公路路面的养护管理水平具有重要意义。

1 工程概况

某省道S205线K50+000～K55+000段养护工程线路长5 km，为二级双向两车道公路，设计速度80 km/h，路基宽度为12 m，路面结构为沥青混凝土面层（5 cm）+水泥稳定碎石基层（20 cm）+级配碎石底基层（30 cm）。2015年完工通车以来，因该路段日均通过车辆达到6 000辆，且重载车占总通行量的30%，经受自然环境影响后，路面破损比较严重，出现较多横向裂缝、纵向裂缝、网裂、车辙及坑槽等，其中车辙最深处达4～6 cm。此外，部分路段出现基层部分松散、强度减小现象，应针对薄弱点位进行相应处治。

工程的主要养护目标涵盖提高道路平整度、增强结构承载力、延长使用寿命等。基于此目标，考虑到项目地属于温带季风气候区，夏季高温多雨，冬季寒冷干燥，温差变化大，要求路面材料具有良好的抗疲劳、水稳和温稳性能。因此，在选材上要兼顾材料本身的功能性和经济性以及环保的可持续性问题，从而有利于保证日后工程的长久寿命。另外，还应该根据不同病害类型、病害程度采用分层处治的方式开展养护工作，养护工艺采取铣刨重铺、就地热再生、开槽补强、裂缝灌浆和局部基层补强等技术和方法，注重环保、经济及施工效率的平衡[2]。

2 公路养护中的材料选择

公路养护材料的选择直接影响路面的耐久性、使用性能及经济性。科学的材料选择需结合病害类型、交通荷载、气候条件及施工工艺等因素，确保养护工程的质量和长期效益。结合某省道S205线养护工程实际情况，分析沥青混合料、基层材料、裂缝修补材料及新型环保材料的选用技术要点。

2.1 沥青混合料的选择

沥青混合料是路面养护中最常用的材料，其性能直接影响路面的抗车辙、抗裂及防水能力。根据本工程的病害特点（车辙、裂缝为主）及气候条件（温差大、多雨），主要考虑普通沥青混合料（AC型）、高模量沥青混合料（EME）和温拌沥青混合料（WMA）。普通沥青混合料适用于一般性修补及铣刨重铺路段，其中AC-16C用于中面层以提高抗车辙能力，AC-13C用于上面层以提升平整度和抗滑性，重载路段（如K52+300～K53+100）则采用SBS改性沥青增强高温抗车辙和低温抗裂性能。高模量沥青混合料（EME）适用于车辙严重路段，采用高硬度沥青或聚合物改性沥青提高抗永久变形能力。温拌沥青混合料（WMA）则在环保

要求较高区域使用，施工温度比热拌沥青低20～30 ℃，减少能耗和排放，同时保持良好的压实性能。

2.2 基层补强材料选择

部分路段基层松散、强度不足，需采用补强材料恢复承载力。水泥稳定碎石（CTB）适用于局部基层损坏修复，具有强度高、水稳定性好的特点，但易开裂，需配合应力吸收层使用，其水泥掺量控制在5%～6%，7天无侧限抗压强度≥3 MPa。泡沫沥青冷再生混合料适用于旧料利用率高的路段，通过将铣刨的旧沥青混合料与泡沫沥青、水泥重新拌和形成柔性基层，具有节约材料、减少废料的优点，但初期强度较低，需养生3～7天。级配碎石则用于底基层局部补强，要求CBR值≥80%，压实度≥96%，以保证结构稳定性。

2.3 裂缝修补材料选择

裂缝是沥青路面的常见病害，修补材料要根据其裂缝宽度、深度情况来进行选择。裂缝宽度小于5 mm时可以采用热沥青灌缝的方法进行处理，推荐使用橡胶改性沥青作为修补材料，可以更好地发挥其弹性恢复能力；裂缝宽度在5～20 mm之间可选择聚合物改性密封胶，因为它的黏结性能好，具有一定的耐候性，抗温度变化能力强；贴缝带主要用于表面裂缝的临时修补或应急养护，在短时间内黏结稳定方便快捷，但耐久性差；裂缝宽度大于20 mm的结构性裂缝，需采用高强度聚合物砂浆或环氧沥青进行填充修复，必要时还需对基层进行加固处理，以防止水分下渗和病害进一步发展[3]。所有裂缝修补作业前均需进行彻底清缝，并确保施工时基面干燥、温度适宜，以保证材料与旧路面间的黏结效果与修复耐久性。

2.4 新型环保材料应用

为满足可持续发展要求，本工程尝试应用橡胶沥青混合料（ARAC）、再生沥青混合料（RAP）、生物沥青等环保材料作为路面修复材料。其中，橡胶沥青混合料利用废轮胎橡胶粉改性形成，具有较好的抗裂性能与降噪性能，适用于上面层，特别适用在城市周围路面的修补。再生沥青混合料通过掺入30%～50%的旧料并结合再生剂使用，可以降低新料费用并节约资源。生物沥青则用于试验路段，用植物基改性剂代替部分石油沥青，利用其降碳的特点推动绿色养护技术发展[4]。此外，本工程还积极探索使用建筑垃圾再生骨料等新型材料，在保证路用性能的前提下，进一步拓宽了固废资源化利用途径，为公路养护行业的绿色转型提供了有益参考。

2.5 材料选择的经济性与适用性分析

不同材料的成本、性能及施工要求差异较大，需综合比选，材料优缺点与适用场景如表1所示。

因此，在某省道S205线养护工程中，应选择SBS改性沥青用于重载车辙严重路段（K52+300～K53+100）上面层，配合高模量沥青混合料增强抗变形能力；基层补强采用泡沫沥青冷再生技术以提升旧料利用率；一般路段选用AC-13C普通沥青混合料平衡成本与性能；裂缝修复采用聚合物改性密封胶确保耐久性。同时，在环境敏感路段试点橡胶沥青混合料，实现技术经济性与生态效益的统一。

3 公路养护中路面修复技术的应用

公路养护工程需应用科学合理的修复技术恢复路面性能，延长使用寿命，其中，某省道S205线K50+000—K55+000段产生的车辙、裂缝、网裂以及局部基层破损等各类型病害，均由于该路段交通荷载增长与自然条件等因素的影响所导致。实际的修复作业中，应该对路面病害进行分层处置和分类修复，综合使用铣刨重铺、就地热再生、裂缝处治、局部补强等技术手段，使修复效果、施工效率及经济效益等方面均符合规范要求，也需要满足环境保护的相关规定。

3.1 车辙修复技术

车辙是重载路段最主要的病害之一，此段落的车辙深度达到了4～6 cm，影响了车辆的行驶安全性。路面修复作业中，要依据不同的深度进行分级处治，深度小于2 cm的车辙部分，用微表处或者超薄磨耗层对车辙处的路面进行翻修，增加防滑性和平整度；对于深度在2～4 cm之间的中度车辙，使用铣刨法后加

表1 材料优缺点与适用场景

材料类型	优点	缺点	适用场景
SBS改性沥青	高低温性能好，抗车辙强	成本较高	重载、高温多雨路段
泡沫沥青冷再生	节约成本，环保	初期强度低，需养生	旧料利用率高的基层修复
橡胶沥青	抗裂性好，降噪	施工温度控制严格	城市周边、噪声敏感路段
普通热拌沥青	成本低，施工成熟	高温易变形，低温易裂	一般性修补

入高模量沥青混合料或 SBS 改性沥青混合料的方式进行修补；对于深度大于 4 cm 以上的严重车辙，使用全厚度铣刨处治加铺新的结构层，同时将损坏的基础部分处治后再次进行填平处理，确保整个路基基础牢固。施工时严格控制碾压工序，运用智能化压实检测设备随时检测路面施工密实度情况，避免二次车辙的产生[5]。在重载路段上采用 SBS 改性沥青混合料以及通过调整其级配组成、加大粗集料的比例等方法来提高混合料的抗车辙能力，延长修复后的使用寿命。

3.2 裂缝处治技术

裂缝是沥青路面最常见的病害之一，若不及时修复，水分渗入将加速基层和路基的损坏。本工程根据裂缝类型和宽度采用了差异化的处治措施：对于宽度＜5 mm 的非结构性裂缝，采用高压空气清理后灌注橡胶改性沥青，确保密封性和弹性恢复能力；对于 5 ～ 20 mm 的较宽裂缝，先进行扩缝处理，再填入聚合物改性密封胶，提高粘结力和耐候性；对于伴随基层损坏的反射裂缝，则采用贴缝带 + 局部基层注浆的综合处治方式，阻断裂缝向上扩展。针对网裂区域，视损坏程度采取局部铣刨重铺或整体罩面处理，并在新铺层与旧路面之间设置应力吸收层，减少反射裂缝风险。施工中特别注重环境温度的影响，确保修补材料在适宜条件下固化，提高修复耐久性。

3.3 坑槽与局部损坏修复技术

坑槽多由水损害或重载冲击导致，本工程采用冷补料应急修复与热拌沥青混合料永久修复相结合的方式。对于应急抢修，采用高性能冷补沥青混合料快速填补，保证临时通行安全；对于永久性修复，则彻底清除松散材料至稳定基层，采用分层回填热拌沥青混合料（AC-13C 或改性沥青混合料），每层压实厚度不超过 5 cm，确保界面黏结质量。对于伴随基层损坏的坑槽，先采用快硬水泥稳定材料修补基层，再恢复面层结构。施工中引入红外热成像技术检测层间黏结状况，避免隐性缺陷影响长期性能。

3.4 基层补强与再生技术

部分路段基层出现松散、强度衰减现象，本工程创新应用了泡沫沥青冷再生技术。将铣刨的旧沥青混合料与 3% 泡沫沥青、1.5% 水泥现场拌和，形成柔性基层材料，既解决了旧料处置难题，又显著降低了材料成本。对于局部强度严重不足区域，则采用水泥稳定碎石（CTB）进行置换补强，补强层厚度根据 FWD 弯沉检测数据动态调整。施工中通过振动拌和工艺确保再生料均匀性，并采用土工格栅增强层间联结，防止反射裂缝。补强完成后进行 7 天保湿养生，强度达标后方可铺筑面层。

3.5 预防性养护技术集成

除病害修复外，本工程还系统性应用了预防性养护技术。对整体状况较好的路段实施碎石封层防护，延缓老化；在纵坡路段采用抗滑薄层处理，提高雨天安全性；特别在桥头跳车路段应用了高分子聚合物注浆技术，精准调平差异沉降。所有技术应用均通过三维探地雷达检测指导，确保处治措施的精准性和经济性。通过建立修复后性能监测系统，定期采集平整度、抗滑等指标，为后续养护决策提供数据支撑。

3.6 绿色施工与智慧化管理

为降低养护工程的环境影响，本工程采用温拌沥青技术减少 30% 的碳排放，使用橡胶沥青实现废轮胎资源化利用。通过 BIM 技术优化施工组织，将交通封闭时间缩短 20%。现场配备智能压实监控、无人摊铺等数字化设备，提升施工质量可控性。旧料回收率达 95%，真正实现了全生命周期绿色养护。修复后跟踪评估显示，路面使用性能指数（PPI）提升 45%，预计使用寿命延长 8 年以上，验证了技术应用的显著成效。

4 结束语

某省道 S205 线养护工程通过精准诊断病害、科学匹配材料与工艺，构建了全结构层协同修复的技术体系。结果证明，分层分类处治可以大大提高处治精准度与效率，再生技术的应用具备良好的经济价值和环境价值。随着智能检测设备精度提升、低碳材料（如生物基沥青、再生骨料）技术成熟，公路养护正朝着“数据驱动决策、资源循环利用、全生命周期低碳”的方向发展，为保障公路行车安全与可持续交通发展提供技术支撑。

参考文献：

[1] 王哲 . 公路路面的维护和修复策略 [J]. 中国储运 ,2024(10):121-122.
[2] 任云龙 . 沥青混凝土公路路面裂缝修复施工技术研究 [J]. 时代汽车 ,2024(18):185-187.
[3] 刘金鑫 , 刘猛 . 基于高速公路特征的沥青路面成套修复技术探析 [J]. 交通科技与管理 ,2024,05(17):101-103.
[4] 唐贡辉 , 高天 . 公路养护中的材料选择与路面修复技术 [J]. 运输经理世界 ,2024(17):126-128.
[5] 代启胜 , 武杨 . 高速公路 ALGSZX 连续路段修复路面接缝技术影响因素研究 [J]. 科技创新与生产力 ,2023,44(07):78-80,83.