

沥青路面坑槽修补技术及效果评价

刘笑薇 宝永刚

克什克腾旗公路管护和运输保障中心 内蒙古 赤峰 025350

摘要：沥青路面长期受自然环境侵蚀与车辆反复荷载作用，坑槽是最常见的路面病害，不仅降低行车舒适度，易引发车辆颠簸、打滑等安全隐患，还会大幅缩减道路服役年限，增加养护成本。为提升坑槽修补质量与长效稳定性，本文结合道路养护工程实际，探究坑槽病害的形成机理与分类特征，对比分析热修补、冷修补及新型复合修补技术的工艺特点与适用场景，梳理开槽清理、粘层涂刷、填料压实等关键施工要点。同时构建集外观、平整度、压实度、耐久性于一体的综合评价体系，剖析施工不规范、粘结性能差、病害复发率高等突出问题，提出针对性优化对策，可为沥青路面高效长效修补施工提供参考。

关键词：沥青路面；坑槽修补；修补技术；效果评价；使用寿命

引言：沥青路面凭借行车舒适、降噪性好、施工便捷等优势，广泛应用于我国高等级公路与城市道路。在车辆反复碾压、雨水冲刷、温变冻融等多重因素耦合作用下，路面易出现松散、剥落问题，进而形成坑槽病害。坑槽随机性强、扩散速度快、复发率高，处置不及时会持续破坏路面结构稳定性，影响通行安全与道路服务质量，大幅提升养护成本。当前路面坑槽养护存在技术选型不合理、施工工艺管控松散、质量评价体系不完善等问题，导致修补后易二次破损。基于工程实际，本文系统探究坑槽成因、主流修补技术、施工要点及评价方法，旨在优化养护工艺，提升路面修补耐久性与通行品质。

1 沥青路面坑槽成因及病害特征

1.1 坑槽形成机理

坑槽的形成是一个渐进发展的过程，涉及多种因素的耦合作用。水损害是最主要的诱因，降水渗入路面结构层后，在车辆荷载产生的动水压力作用下，沥青膜逐渐从集料表面剥离，导致沥青与集料之间的粘结力丧失，混合料失去整体性，松散颗粒被车轮带走形成坑槽。水损害在孔隙率较大、沥青含量偏低的沥青混合料中尤为突出。疲劳开裂也是坑槽形成的重要机制，路面在反复荷载作用下，沥青层底部产生疲劳裂缝，裂缝逐渐向上扩展至表面，雨水沿裂缝渗入后加剧病害发展，最终形成坑槽。材料本身的问题不可忽视，沥青含量偏低、矿料级配不良、沥青标号选择不当等设计缺陷，以及施工过程中的压实度不足、接缝处理不当等施工缺陷，都会降低路面的抗水损害能力和抗疲劳能力，为坑槽形成埋下隐患。此外，养护不及时也是坑槽恶化的重

要因素，裂缝、松散等初期病害未得到及时处治，在车辆荷载和环境因素持续作用下迅速发展为坑槽。理解坑槽的形成机理，是选择恰当修补技术、制定合理修补方案的前提^[1]。

1.2 坑槽分类

坑槽的类型多样，不同分类标准下其修补策略存在显著差异。按深度分类，可将坑槽分为表层坑槽和深层坑槽。表层坑槽局限于沥青面层上部，深度一般在 2-5 厘米之间，未触及下面层或基层，修补时只需处理面层范围即可。深层坑槽深度超过 5 厘米，已穿透面层到达下面层甚至基层，这类坑槽修补时需要开挖至稳定层位，必要时需对基层进行补强处理，修补工作量和难度显著增加。按形态分类，坑槽可分为圆形坑槽、条状坑槽和不规则坑槽。圆形坑槽边界较为规整，便于机械切割和材料填补；条状坑槽多沿轮迹带分布，往往与车辙、裂缝等病害伴生；不规则坑槽形态复杂，清理和界面处理难度较大。按成因分类，水损害型坑槽是最常见的类型，多发生在雨季或排水不良路段；疲劳型坑槽多见于老化的路面，与路面结构强度衰减密切相关；基层反射型坑槽由基层裂缝或松散反射至面层，修补时需要同时处理基层问题。明确坑槽类型是选择修补技术、确定修补范围、制定施工方案的基础，不同类型坑槽对修补材料、施工工艺和质量要求各有不同。

2 主流坑槽修补技术解析

2.1 热修补技术（热料热补）

热修补技术是传统且成熟的沥青路面坑槽修补工艺，核心原理为采用与原路面材质一致的热拌沥青混合

料,在高温状态下完成填料、摊铺与压实作业。该技术施工时需提前加热修补区域路面,软化原有沥青结构,使新旧沥青混合料实现热粘结融合,有效保障修补区域与原路面的整体性、密封性和平整度。热修补技术优势显著,粘结强度高、压实度好、修补痕迹小、耐久性强,成型后路面通行质量佳,适用于主干道、高速路面等高标准道路的永久性坑槽修复。但其短板同样突出,施工需专用加热设备、受环境温度限制大,低温雨雪天气无法施工,且工序繁琐、施工周期长、交通封闭时间久,不适用于应急抢修作业,整体施工成本相对偏高。

2.2 冷修补技术(冷料冷补)

冷修补技术采用预制冷补沥青混合料开展施工,无需现场加热,是目前道路应急养护的主流技术。冷补混合料添加专用改性助剂与抗剥落剂,具备低温不凝固、粘结性稳定、储存周期长的特点,可在雨雪、低温、高寒等复杂天气条件下随时施工。该技术施工流程简单、设备需求少、作业速度快、交通封闭时间短,能够快速完成坑槽填充修复,及时恢复道路通行能力,极大降低病害对交通安全的影响^[2]。但冷修补技术存在先天性能短板,冷料与原路面粘结强度低于热料,混合料密实度、稳定性相对较差,长期车辆荷载作用下易出现松散、渗水、二次破损,使用寿命较短,多适用于临时应急修补、低等级道路养护及冬季低温无法热施工的场景。

2.3 新型修补技术

随着道路养护技术迭代升级,各类新型高效坑槽修补技术逐步应用于工程实践,主要包括微波热再生修补技术、超快凝沥青修补技术、树脂复合修补技术等。微波热再生技术利用微波定向加热原理,实现坑槽原位路面快速加热再生,无需大量更换新料,节能环保且新旧路面融合性极佳。超快凝沥青修补技术依托改性沥青材料,具备快速固化、早期强度高的优势,施工后短时间内即可开放交通,兼顾效率与耐久性。树脂复合修补技术采用高强度树脂粘结材料,防水性、抗剥落性、抗压性优异,可有效解决水损型坑槽反复破损难题。新型技术有效弥补了传统冷热修补的短板,适配不同工况、不同等级道路的修补需求,但部分技术设备成本高、材料单价贵,暂未实现全域普及应用。

3 坑槽修补施工工艺控制要点

3.1 开槽与清理(关键步骤)

开槽与清理是决定坑槽修补质量与耐久性的核心前置工序,直接影响新旧路面的粘结效果。施工时需遵循“规则开槽、彻底清理、坚实基底”的原则,摒弃直

接填充的粗放施工方式。根据坑槽大小、深度及破损范围,采用切割机进行矩形或方形规整开槽,切除边缘松散、老化、破损的路面结构,保证槽壁垂直、槽底平整坚实,杜绝不规则斜边与松散夹层。开槽完成后,采用高压吹风、清扫、吸尘相结合的方式,彻底清除槽内灰尘、松散集料、积水、淤泥及杂物,确保槽底、槽壁干净干燥、无松动颗粒。若槽内存在积水,需彻底烘干处理,严禁带水施工。该工序可彻底消除病害隐患,避免残留松散物料导致后期粘结失效、再次破损。

3.2 涂刷粘层油

粘层油涂刷是强化新旧路面层间粘结、防止渗水脱空的关键工序,对提升修补结构整体性至关重要。开槽清理完成并确认基底干燥洁净后,需均匀涂刷改性乳化沥青粘层油,严格控制涂刷用量与均匀度,用量过少易导致粘结力不足、层间脱空,用量过多则会出现泛油、软化、滑移等问题。涂刷范围需覆盖槽底与全部槽壁,做到均匀薄涂、无漏涂、无堆积,确保新旧混合料能够紧密粘结为整体。粘层油涂刷完成后需静置适宜时间,待乳液破乳、水分蒸发、表面形成均匀粘结膜后,方可开展填料施工,禁止未破乳直接填料。规范的粘层油施工能够有效提升层间粘结强度,阻断水分渗透,大幅降低修补区域二次水损破损概率^[3]。

3.3 填料与压实

填料与压实是保障修补路面平整度、密实度与结构稳定性的核心工序。填料阶段需根据坑槽深度分层填充、分层摊铺,单次填充厚度控制在合理范围,避免一次性厚层填料导致压实不密实、内部空隙过大。热料施工需保证混合料摊铺温度达标,冷料施工需均匀摊铺、初找平,预留合理压实沉降量。压实作业优先采用小型振动压路机或平板振动夯,遵循“先边缘后中间、先轻后重、慢速稳压”的压实原则,重点强化槽壁边缘压实,杜绝边缘空隙、压实不足问题。压实完成后及时找平收面,保证修补区域与原路面平顺衔接,无明显高差、凸起、凹陷。压实度需达标合格,有效降低混合料空隙率,提升结构强度、防水性与抗碾压性能,保障修补路面长期稳定运行。

4 修补效果评价体系与方法

4.1 评价指标

为全面、科学评判坑槽修补施工质量与长期使用效果,需构建多维度、全方面的综合评价指标体系,涵盖外观质量、几何指标、结构性能、耐久性能四大核心维度。外观质量指标包括修补界面平整度、衔接平顺

度、有无裂缝、泛油、松散、掉粒等表观病害；几何指标主要为路面高程差、横坡度、修补区域规整度，保障行车舒适度；结构性能指标以混合料压实度、层间粘结强度、空隙率为核心，决定修补结构稳定性；耐久性指标涵盖抗水损性、抗碾压性、低温抗裂性及后期复发率，评判长期使用效果。多指标体系可全方位覆盖短期施工质量与长期服役性能，规避单一评价指标的片面性，精准反映不同修补技术的实际应用效果。

4.2 评价方法

坑槽修补效果采用现场检测、目视检查、跟踪观测相结合的综合评价方法，兼顾便捷性与准确性。外观与几何指标采用现场目视排查、直尺测量、高程测量等常规方法快速检测，判定表观质量与通行平顺性。压实度、空隙率等结构指标采用钻芯取样、无损检测设备开展精准检测，验证施工内在质量。粘结强度通过现场取样试验获取数据，评判层间结合性能^[4]。耐久性评价采用长期跟踪观测法，定期记录修补区域半年、一年及长期的病害复发情况，统计破损率、脱落率、渗水情况。同时结合层次分析法对各项指标进行权重赋值，开展量化评分，实现修补效果从定性评价向定量评价转变，为技术选型与工艺优化提供数据支撑。

5 存在问题与改进对策

5.1 当前存在的主要问题

当前沥青路面坑槽修补工程中普遍存在施工不规范、质量管控薄弱、长效性不足等突出问题。一是基层施工流程简化严重，部分养护作业跳过规整开槽、彻底清理工序，直接填料修补，槽内残留松散物料与积水，导致新旧路面粘结差、极易二次破损。二是粘层油涂刷不规范，存在漏涂、厚涂、未破乳施工等问题，造成层间脱空、渗水病害。三是压实工艺把控不到位，边缘压实不足、厚层虚铺压实不彻底，混合料空隙率偏大、密实度不足。四是技术选型盲目，未根据季节、路况、道路等级合理选择冷热修补技术，应急修补与永久修复混用。五是质量评价机制不完善，多侧重外观验收，忽视结构性能与长期耐久性评价，导致大量修补工程短期失效，养护重复投入问题突出^[5]。

5.2 改进对策与建议

针对当前坑槽修补施工存在的各类问题，结合工程实际提出系统性改进对策。首先，规范标准化施工流程，严格执行开槽、清理、烘干、粘层涂刷、分层填料、分层压实全流程工序，杜绝简化施工、粗放作业，明确各工序质量标准与验收要求。其次，科学选型修补技术，高温干燥季节优先采用热修补技术保障长效性，低温雨雪天气采用冷修补技术应急处置，高等级道路优先选用高性能新型修补材料。再次，强化施工过程质量管控，落实工序交接验收制度，重点把控槽体清理、粘层施工、压实成型关键环节。最后，完善长效评价与养护机制，建立修补台账与长期跟踪观测制度，将耐久性、复发率纳入质量考核，持续优化施工工艺与技术方案，全面提升坑槽修补质量与道路服役寿命。

结束语

沥青路面坑槽病害的频发多发，是影响道路通行安全、降低道路服务品质、增加养护成本的重要因素，规范开展坑槽修补施工、提升修补质量是道路日常养护的核心工作。本文系统分析了沥青路面坑槽的形成机理与病害分类，对比阐释冷热修补及新型修补技术的优劣与适用场景，梳理开槽清理、粘层涂刷、填料压实的核心施工控制要点，构建多维度修补效果评价体系，并总结当前施工短板与优化对策。未来应持续推广标准化、精细化施工模式，积极应用新型修补材料与技术，完善长效质量评价机制，全面提升沥青路面坑槽修补耐久性，保障道路安全、平稳、长效运行。

参考文献

- [1] 周健楠, 赵颖, 赵宏天, 等. 基于高掺量 RAP 的耐久可流动沥青路面坑槽修补技术在辽宁高速公路中的应用研究 [J]. 北方交通, 2025(8): 29-32, 36.
- [2] 陈洁华, 沈轩. 微波加热快速再生修补沥青路面坑槽施工技术 [J]. 公路交通技术, 2023, 39(4): 41-46.
- [3] 帖向龙. 沥青冷补料在水泥路面坑槽修补中的应用 [J]. 交通世界, 2026(11): 109-111, 115.
- [4] 王健, 吴雨枫. 基于微波加热的沥青路面坑槽热再生修补施工技术应用 [J]. 交通世界 (上旬刊), 2021(10): 35-36.
- [5] 黎敏龙. 沥青路面坑槽病害检测与修补材料性能研究 [J]. 四川建材, 2025, 51(8): 206-208.