

基于裂缝特性的公路路面裂缝 养护施工技术应用策略探讨

张新磊

(灌南县四通公路养护工程有限公司, 江苏 连云港 222500)

摘要 在公路路面长期承受交通荷载、温度变化和自然老化的条件下, 裂缝逐渐成为影响道路性能与结构安全的主要病害。针对裂缝类型多样、发展机制复杂、修补需求差异明显的特点, 有必要构建一套契合不同病害阶段的养护施工策略。本文在总结裂缝成因的基础上, 探讨具体的养护施工技术措施, 旨在延缓裂缝扩展, 实现路面运营性能的长期稳定, 为公路养护提供技术参考。

关键词 公路路面; 裂缝; 公路养护; 再生材料

中图分类号: U418

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.035

0 引言

随着交通运输需求不断增长, 公路路面的使用强度持续攀升, 结构层在高温、低温、降雨与重载叠加作用下呈现复杂应力状态, 裂缝病害因此具有高频出现、扩展迅速、治理难度大等特征。裂缝不仅破坏路面平整度, 也会形成水损害的渗入通道, 进一步诱发松散、坑槽和反射裂缝等一系列深层次结构问题, 使道路的全生命周期成本显著增加。在当前公路养护体系加速向精细化、智能化转型的背景下, 单一的修补方式已难以满足复杂病害的治理需求, 亟需寻找更加有效的应对模式。

1 公路路面的裂缝成因

1.1 材料性能衰退引发结构抗裂能力下降

在公路路面中, 沥青混合料需要具备足够的黏结性, 才能在温度波动和车辆荷载作用下保持结构完整性^[1]。然而, 在实际工程中, 由于材料生产过程控制不严、级配结构不合理或含泥量偏高, 面层常会形成较大的空隙率, 使路面内部的力传递路径变得松散而不稳定。当空隙过大时, 路面抵抗弯拉应力的能力明显下降, 裂缝便容易沿薄弱区域萌发。此外, 基层和底基层中水泥用量不足或超量, 也会导致材料出现不同程度的干缩, 水化反应释放的热量在短时间内使结构产生不均衡收缩, 等到材料失水后, 收缩应力不断累积并最终超过抗拉能力, 引起基层开裂。沥青材料在长期日晒、氧化和反复荷载下会逐渐老化, 轻质组分挥发后, 材料变得脆硬, 一旦遇到低温, 很难抵御温缩作用;

遇到高温, 又容易发生流动变形, 最终形成贯通裂缝。

1.2 气候环境作用导致温度裂缝不断扩展

由于公路路面暴露在外环境中, 昼夜温差、季节气候变化及冻融循环都会持续影响材料结构, 从而造成不可忽视的温度裂缝。许多地区昼夜温度差超过十几摄氏度, 当温度骤降时, 面层材料迅速收缩, 而基层和底基层的收缩响应较慢, 层间温缩差异导致应力集中, 裂缝便沿横向或纵向显现。在冬季持续低温条件下, 缩裂会进一步加深, 使原本微小的裂纹不断向纵深和宽度方向扩展。高温季节同样会对路面造成损伤, 沥青在高温环境中处于软化状态, 容易丧失应力松弛能力, 在重载反复碾压中形成不可恢复的塑性变形^[2]。当高温与强日晒并存时, 材料中的轻质成分加速挥发, 使路面更加脆化, 进入秋冬温差再次加大后, 裂缝很容易在之前的老化位置上重复出现。降雨与温度叠加作用也会加剧裂缝发展, 雨水沿裂缝渗入后, 使面层湿度增加, 在阴晴交替中引发新的体积变化, 最终导致裂缝呈现持续扩展状态。

1.3 交通荷载作用下的疲劳损伤导致裂缝生成

随着公路交通量快速增长, 重载车辆占比不断提升, 路面在全寿命周期内承受的疲劳荷载累积远高于设计水平。当车辆频繁经过同一轮迹带区域时, 面层和基层反复受到弯拉应力作用, 材料内部的疲劳损伤逐渐累积。从微观结构来看, 每一次荷载都会在材料内部产生细小的位移差, 当累积效应超过材料允许范围后, 裂缝便沿应力最大处开始显现^[3]。若路段存在

作者简介: 张新磊 (1986-), 男, 专科, 助理工程师, 研究方向: 公路养护施工。

超载车辆通行现象,疲劳破坏的发生速度会成倍增加,尤其是在长坡路段、货车集中路段和临近匝道的转向区更为明显。不均匀沉降同样使路面无法有效分散荷载,当基层因承载不足而发生微小下陷时,面层便出现随之弯曲的现象,在弯矩作用集中的区域形成纵向裂缝。在沥青逐渐老化后,材料抵抗剪切力与拉伸力的能力明显下降,使疲劳裂缝从最初的单线裂纹逐渐演变成网裂或龟裂的结构性破坏,严重影响路面整体稳定性(见图1)。

1.4 施工质量缺陷埋下早期裂缝隐患

施工阶段的控制水平直接决定了路面是否具备良好的初始抗裂性能。若基层压实度达不到要求,内部会产生许多不可见的松散区,在干缩、湿胀或荷载反复作用下,容易形成早期裂缝并向上反射至面层。在混合料摊铺过程中,如果料温不稳定或运输延误导致温度下降,材料之间的黏附力会显著减弱,使面层内部留下结合不牢的接触面,后期便会在车辆荷载下沿此界面迅速产生剥离裂缝。在旧路加铺过程中,如果未彻底清除松散部位,或未在接缝处涂刷黏层油,新旧材料结合不密实,接缝便成为未来裂缝的首发部位^[4]。施工组织不合理也会带来隐患。例如:在低温环境下摊铺导致混合料无法正常成型,在强风环境下碎石等基层混合料表面水分蒸发过快造成早期干缩,从而导致原本坚固的结构出现裂缝,并随时间不断扩大。

2 公路路面裂缝养护施工技术应用策略

2.1 基于病害特征提高修补区域稳定性

裂缝的自然发展往往会呈现边缘破碎、剥落、松散等特征,如果未经切割便直接填补,修补材料与旧路表无法形成可靠结合,后期在车辆荷载反复作用下极易产生二次开裂。因此,在路面裂缝进入处理阶段之前,施工单位需要对病害形态进行细化分类,并

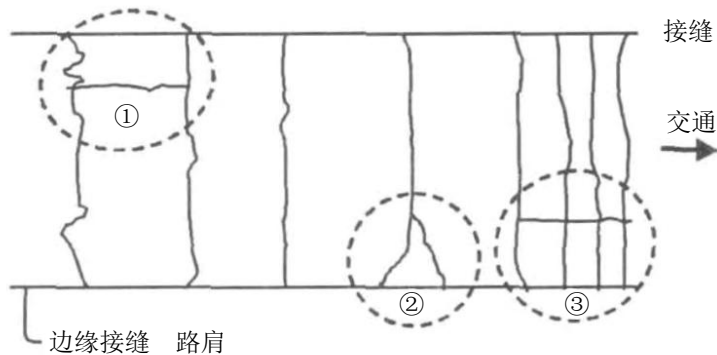
据此选择合适的切割方式,使修补区域获得几何可控的槽口结构。切割整形的常见做法是对病害区域进行8~10 cm深度的线切割划槽,将病损部分切割成规则的块体,再通过机械碎化方式得到合适粒径的材料。切割过程中不仅要保证切缝直顺,而且要保证槽壁平整,使后续的黏结界面具有良好的咬合作用。切割后还需及时清除碎屑与粉尘,保持槽口干燥,避免潮气影响材料浸润。对槽口进行热风或机械吹干处理,以提升新材料的填充质量,从而为后续施工提供坚实的基础,减少由于界面几何不均匀而引发的早期破坏,使修补层在服役期内保持稳定性能。

2.2 采用再生材料重构结构层

在裂缝处于结构性损伤阶段时,仅依靠浅层封缝已无法阻止破坏扩展,此时就需要采用深层碎化再生技术,通过重新编织结构层来恢复路面整体的承载能力^[5]。针对结构疲劳严重的路段,施工中通常会先将表层进行8~10 cm深度的碎化处理,使表层形成便于再生的碎料,再加入比例合适的新拌混合料进行重构。例如:将旧料与新混合料按3:7至4:6的比例混合,其中矿粉或粉煤灰置换比例为15%~20%,骨料粒径控制在0.075~16 mm范围内,从而使新旧料混合后重新形成稳定骨架,使结构层的抗压、抗弯与抗剪能力都有明显恢复。此外,再生层通过压实、整形等工序,可形成紧密的嵌固状态,使结构层内部的微裂纹得到封闭,消除隐形薄弱点,避免裂缝在后期发展为贯穿性病害,不仅降低材料成本,也通过提高材料利用率减少运输与堆放压力,尤其适用于深度结构病害集中出现的中重交通路段。

2.3 应用规范化灌缝与封缝工艺

在裂缝规模较小、尚未出现大面积结构破坏的情况下,灌缝与封缝是最常见且最具经济性的养护工艺。



①单个冲断;②剥落以及“Y”形裂缝;③3个冲断

图1 公路路面裂缝示意图

其核心目标是阻断水分进入基层的路径,延缓因湿胀、冻融、剥离等造成的进一步损害。在施工环节中,裂缝通常需要进行机械开槽,使其形成一定的宽度和深度,确保填缝材料深入缝底并保持稳定嵌固^[6]。常用的开槽宽度一般控制在 15 mm 左右,根据裂缝深度可进行逐层填补。在材料选择方面,需要保证填缝胶具有良好的高温抗流动性、低温抗脆裂性及长期黏结能力。沥青路面灌缝流程如图 2 所示。

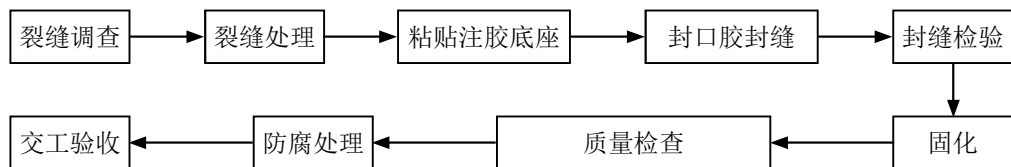


图 2 沥青路面灌缝流程

修补区在外观上与原路面保持一致,并减少车辆行驶时的冲击感。

2.4 利用机械设备提高施工精度

裂缝养护施工是否稳定取决于过程控制是否规范,而机械化施工正是提高施工一致性的重要手段。传统依靠人工进行清缝、填补、压实等操作,不仅施工效率低,质量也容易因操作差异造成波动。随着机械设备的普及,裂缝处理流程实现了更高的标准化。例如:在开槽过程中使用专业切割机,可以确保槽体深度和宽度按照既定要求保持一致,避免出现偏差。碎化作业设备能够稳定输出目标粒径,使 15 mm 左右的碎块更加均匀,便于再生处理。灌封设备能够稳定控制材料温度,使其在适宜范围内进行灌注,避免出现材料流动性不足或过度渗透的现象。在压实环节,采用振动压实设备可以在单位时间内产生更高的压实力,使新旧材料界面更紧密,密实度更均匀。此外,机械化作业可以显著降低施工过程中的人为误差,提高路面修补区域的质量均衡性,使修补后路段在荷载作用下表现更稳定、更耐久。尤其是对于大面积裂缝密集路段,通过机械化施工还能提升整体施工效率,使施工过程对交通影响更小,更适合国省干线等运输强度大的道路。

2.5 构建全过程质量监管体系

裂缝修补若仅依靠单点施工技术,很难形成可持续的养护效果,因此从施工前期到后期评估建立全过程监管机制具有重要意义。施工前,管理单位应根据病害分布、裂缝类型、病害等级等数据制定科学的养护方案,明确哪些路段适合灌缝,哪些路段需要碎化再生或槽化补筑。在施工过程中,需要对材料进场进行严格检测,核查沥青、胶料、水泥基材料是否达到设计要求;对施工环境进行监控,包括温度、湿度、风速等因素

在具体施工中,灌缝前必须对缝内进行彻底清洁,清除砂粒、粉尘和松散物,保持干燥状态。如果缝内残留水分或污染物,会显著降低材料附着性,使早期脱槽风险增加。灌缝温度也需严格控制,过低会导致材料无法流动到缝底,过高则会产生过度分散,使胶料出现气泡甚至烫伤槽壁。施工时应采用分层灌注方式,使材料与槽壁完全接触,以提升材料的密实状态。封缝工序完成后,还需在裂缝周围进行表面抹平,使

是否适合施工;对压实度、平整度等指标进行抽检,确保施工质量达到预期。施工结束后,还需建立长期追踪制度,通过巡查设备、三维路表扫描等方式,动态记录裂缝的变化趋势,为未来的养护决策提供数据基础,使公路结构性能在全生命周期内保持稳定状态。

3 结束语

综合各项技术实践可以发现,公路路面裂缝治理的关键不在于单一工艺的优劣,而在于能否根据裂缝的发展阶段与病害特征形成科学稳定的综合施工体系。多工序协同下的养护体系能够有效延缓裂缝扩展速度,降低后续大修风险,使公路在长期运营中保持较高的结构稳定性。未来,随着材料技术与智能检测能力不断提升,施工单位应进一步优化养护技术措施,使裂缝养护逐步向预测性方向发展,为实现公路的安全耐久、经济运行提供更有力的支撑。

参考文献:

- [1] 王倩.公路路面裂缝养护措施及施工技术[J].工程建设与设计,2025(01):216-218.
- [2] 陈永亮.高速公路路面裂缝养护施工技术研究[J].交通世界,2024(36):38-40.
- [3] 刘敏,瞿隆钰.高速公路路面病害成因及养护施工技术[J].云南水力发电,2024,40(S2):32-34.
- [4] 李文海.公路路面裂缝养护措施与施工技术研究[J].产品可靠性报告,2024(03):107-109.
- [5] 康馨月.农村公路沥青路面病害与养护施工技术关键探析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(31):154-156.
- [6] 熊承桥.公路路面裂缝的养护施工技术研究[J].运输经理世界,2023(17):154-156.