

公路工程沥青路面病害成因及预防性养护技术研究

陈富友

隆阳公路分局 云南 保山 678000

摘要：沥青路面是公路工程主流路面形式，长期运营中易受多重因素影响产生各类病害，降低道路通行质量与使用寿命。本文系统梳理裂缝、变形、松散等常见路面病害类型及特征，从材料、设计施工、环境气候、交通荷载及养护多个维度剖析病害核心成因。针对性探究轻量化、中高端各类预防性养护技术，提出科学的养护实施保障策略，旨在提升公路路面耐久性，降低养护成本，保障公路通行安全稳定。

关键词：公路工程；沥青路面；病害成因；预防性养护技术

引言：随着我国公路交通网络不断完善，沥青路面凭借诸多优势被广泛应用。但在长期重载交通、复杂气候环境及施工养护不当等因素作用下，路面极易出现破损病害，不仅恶化行车体验，还易引发交通安全隐患，大幅缩短道路服役年限。传统被动养护模式存在诸多弊端，难以适配现代公路运维需求。基于此，本文深入分析沥青路面病害成因，探究高效可行的预防性养护技术，为公路路面运维工作提供参考。

1 公路工程沥青路面常见病害类型及特征

1.1 裂缝类病害

(1) 横向裂缝：形态特征为沿路面横向分布、走向垂直于道路中线的直线形缝隙，缝宽由数毫米至数厘米不等。分布规律表现为温差较大地区近似等间距出现，多由基层反射裂缝引发。该病害使降水沿缝渗入结构层，引发唧浆、冲刷等次生问题，削弱路面承载能力。(2) 纵向裂缝：表现形式为沿行车方向延伸的纵向开裂，缝面平直，偶见支缝。高发路段集中在车道分界处、新老路拼接带及半填半挖路基过渡段。影响范围通常限于单条车道，严重时扩展至相邻车道，改变荷载传递路径，影响路面结构受力状态。(3) 网状裂缝：发展过程由单条裂缝逐步扩展为互联裂缝网络，最终形成龟裂状破碎区。破损特征表现为裂缝密集成网，将路面分割为多边形块体，块体周边伴有沉落错台。该病害属结构性破坏，标志路面结构层已发生疲劳损伤，整体承载力显著降低^[1]。

1.2 变形类病害

(1) 车辙病害：行车道轮迹带变形呈带状凹陷，两侧隆起，横断面呈“W”形。分级标准按深度划分：轻度 10mm，中度 10~20mm，重度 > 20mm，对应不同养

护处置时机。(2) 路面沉陷：局部沉陷为小范围下凹，面积数平方米，边缘较陡，多因基层强度不足；大面积沉陷呈长距离波浪式起伏，常与路基不均匀沉降相关。表象为平整度恶化、路面积水倾向增加，行车颠簸感明显。(3) 拥包病害：路面凸起呈沿行车方向分布的局部隆起，高度 10~50mm，表面圆滑或呈波浪状。该病害使车辆通过时产生颠簸冲击，高速行驶易致方向失控，严重影响行车安全与舒适性。

1.3 松散类病害

(1) 路面剥落：表现为沥青膜逐渐磨失，集料颗粒暴露，路面粗糙度增大，细集料持续飞散。病害自局部点状扩展为片状，颜色偏灰白，与周围黑色路面形成对比。(2) 坑槽病害：发展过程由裂缝或松散区起始，在荷载反复作用下材料碎裂飞散，形成浅坑并逐步向纵深扩展，最终呈边缘陡峭的坑槽。危害随深度面积增加而加剧，轻则影响平顺性，重则引发交通事故。(3) 松散脱皮：表现为大面积沥青与集料粘结失效，表面层成片掀起剥落，边缘呈不规则锯齿状，骨料持续飞散。路面防渗能力丧失，水分侵入加速基层软化和结构性能劣化。

1.4 其他类病害

(1) 泛油病害：表现为路面沥青过量溢出，色泽油亮，高温季发软粘滞。抗滑性能显著下降，摩擦系数大幅降低，制动距离增加，雨天易发水滑，安全隐患突出。(2) 冻胀翻浆：春融期路面局部隆起开裂，裂缝渗出泥浆，形成不规则鼓包与泥浆带。多发生于含水量大且排水不畅路段，春融期间承载力骤降，车辆碾压后形成沉陷破损。

2 公路工程沥青路面病害核心成因分析

2.1 材料因素成因

(1) 沥青原材料性能不达标: 沥青针入度偏大时路面高温稳定性不足, 易产生车辙和拥包; 针入度偏小则低温抗裂性差, 冬季易发收缩裂缝。软化点指标偏低的路面遇高温季节易软化泛油, 延度不足则导致沥青脆性增大, 在荷载与温度共同作用下加速路面开裂与松散。(2) 集料级配不合理: 粗集料过多时混合料空隙率偏大, 防水性能下降, 水分易侵入引发水损害; 细集料过量则路面高温抗剪强度不足, 易产生车辙变形。集料中含泥量、针片状颗粒含量超标会削弱沥青与集料间的粘附力, 降低路面整体稳定性与耐久性。(3) 混合料配合比缺陷: 油石比偏大时路面高温易泛油、产生车辙, 油石比偏小则混合料粘结力不足, 易出现松散、剥落等病害。拌合不均匀导致局部沥青含量差异明显, 富油区软化变形、贫油区松散开裂, 同时拌合温度控制不当会加速沥青老化或导致粘结失效, 诱发多种路面病害。

2.2 设计与施工因素成因

(1) 路面结构设计缺陷: 基层厚度设计偏薄时承载力不足, 面层在重载作用下易产生结构性破坏; 面层、基层、底基层结构层组合不合理, 如模量匹配不当, 导致层间应力集中, 加速开裂与变形病害的形成与发展。(2) 施工工艺不规范: 摊铺温度过低易产生压实不足、混合料离析, 温度过高则导致沥青老化。碾压遍数不足或压路机组合不当使路面压实度达不到设计要求, 孔隙率偏大加速水损害。接缝处理不到位形成薄弱界面, 成为横向裂缝与纵向裂缝的初始发育点^[2]。(3) 路基施工质量隐患: 路基压实度不足致使工后沉降量过大, 引发路面不均匀沉陷与纵向裂缝。路基填料选择不当、含水量控制不严、分层碾压厚度超标等, 均会在路基内部埋下不均匀沉降隐患, 运营期内逐步表现为路面变形类病害。

2.3 环境气候因素成因

(1) 温度影响: 高温季节路面温度可达 60℃ 以上, 沥青粘度降低, 混合料抗剪强度下降, 在行车荷载作用下易产生车辙、拥包等永久变形。低温季节沥青收缩应力超过材料抗拉强度时即产生低温收缩裂缝, 高低温交替产生的温度应力循环则加速路面疲劳开裂。(2) 降水水文影响: 雨水通过路面裂缝、空隙渗入结构层, 在行车荷载产生的动水压力作用下反复冲刷基层与面层界面, 引发沥青剥落、集料松散。水分滞留在基层内部降低路基承载力, 最终表现为坑槽、唧浆、翻浆等水损害现象。(3) 自然老化影响: 长期阳光紫外线照射使沥青

中轻质组分挥发、氧化, 沥青变硬变脆, 柔韧性下降。风化作用进一步加速沥青表面老化进程, 使路面防水性能和粘结性能逐年衰减, 间接加剧开裂、松散等病害的发生频率与严重程度。

2.4 交通荷载与养护因素成因

(1) 车辆荷载作用: 重载、超载车辆轴载远超设计标准, 单次作用产生的竖向压应力和水平剪应力大幅增加, 导致路面结构层内应力水平超出设计容许范围, 加速车辙加深、拥包形成及结构层疲劳破坏。(2) 交通流量影响: 高频次行车荷载的反复作用使路面材料逐渐累积塑性变形和疲劳损伤, 荷载作用次数增加直接缩短路面疲劳寿命, 特别是在重载交通占比高的路段, 路面病害出现时间明显提前、发展速度显著加快。(3) 养护滞后与不当: 传统被动养护模式往往在病害严重时才予以处置, 错失最佳养护时机, 小修小补无法根治病害成因。养护工艺落后, 如裂缝灌缝材料与工艺不达标、薄层罩面粘结不足等, 不仅难以有效修复既有病害, 反而可能掩盖结构深层问题, 导致病害反复出现并持续恶化。

3 公路工程沥青路面预防性养护关键技术与应用策略

3.1 预防性养护技术应用原则

(1) 预防为主、防治结合原则: 将养护关口前移, 在路面处于轻微病害阶段即主动干预, 通过及时处治早期裂缝、表面功能衰减等问题, 阻止病害向结构性破坏演化。该原则要求建立以路面性能监测数据为基础的预警响应机制, 从源头控制路面性能衰减速率, 延长路面大修周期。(2) 因地制宜、精准施策原则: 我国气候带跨度大, 各地区气温、降水量差异显著, 交通荷载与路面结构形式不尽相同, 养护技术选用须紧密结合当地实际。寒冷地区侧重低温抗裂性能恢复, 湿热地区注重防水抗滑能力提升, 重载路段优先选用抗车辙方案, 确保技术兼具针对性与适用性。(3) 经济高效、长效耐用原则: 技术选择须综合权衡单位面积养护费用与预期使用寿命的比值关系, 优先选用材料来源广、设备通用性高的技术路线, 充分评估养护效果耐久性, 避免短期内重复养护, 实现养护资金投入产出效益最大化。

3.2 常见轻量化预防性养护技术

(1) 灌缝补缝技术: 针对路面早期裂缝采取的精准密封处置工艺, 主要工序包括裂缝开槽扩缝、高压空气吹扫除尘除湿、专用密封胶加热灌入及表面撒布覆盖料等。该技术适用于缝宽 3~20mm 的横纵向裂缝, 关键在于灌缝材料与裂缝壁面的粘结强度及低温柔韧性,

施工中须严格控制灌缝温度与饱满度,确保形成有效防水密封层,防止路表水沿缝下渗引发基层冲刷与唧浆等次生病害^[3]。(2)稀浆封层技术:将乳化沥青、矿料、填料、添加剂和水按设计配合比拌合为稀浆混合料,采用专用摊铺机均匀摊铺于路面形成薄层封面。该技术可有效修复路面表层剥落、松散、老化等浅层破损,通过在表面形成连续防水层显著提升抗渗能力,同时恢复路面抗滑性能。适用于原路面结构强度充足、仅表面功能衰减的路段,施工厚度3~10mm,养生期短、开放交通快,经济实用。(3)微表处技术:在稀浆封层基础上发展的高性能养护技术,采用聚合物改性乳化沥青作为胶结料,具备更强的粘结力与耐磨性能。该技术可一次性填补深度15mm以内的轻微车辙,修复表面磨损与松散,施工后抗滑系数显著提升,封水效果优良。微表处施工速度快、可常温作业、节能环保,特别适用于交通流量大、施工工期要求严格的城市快速路与高等级公路养护工程。

3.3 中高端预防性养护升级技术

(1)薄层罩面养护技术:加铺厚度20~40mm热拌沥青混合料层,消除轻中度车辙、裂缝、平整度不佳等综合性病害,改善行驶质量与抗滑性能。适用于结构强度良好、表面功能严重衰减的路段,延长使用寿命5~8年,关键在于层间粘结与接缝精细施工。(2)沥青再生养护技术:将老化路面材料铣刨回收、破碎筛分,掺加再生剂、新沥青和新集料后重新拌合回铺。实现旧料高值化循环利用,掺配比例30%~70%,降低新材料消耗与运输成本,减少环境压力。包括厂拌热再生、就地热再生、厂拌冷再生等形式,可灵活选用。(3)智能检测预警养护技术:依托三维探地雷达、高精度激光断面仪、红外热成像等无损检测设备,快速探测结构内部隐蔽缺陷与隐性病害。结合大数据分析 with 人工智能算法,建立路面性能衰减预测模型,量化预判发展趋势,实现从被动修补向主动预警转变^[4]。

3.4 预防性养护实施保障策略

(1)建立常态化路面巡查检测机制:构建日常巡

查、定期检测与专项调查相结合的多层级路况信息采集体系,配备专业人员与自动化检测设备,按固定频率对病害类型、数量、严重程度进行系统记录与电子建档,为养护决策提供可靠数据支撑。(2)优化养护施工管理流程:从病害调查、方案设计、材料准备、施工组织到质量验收建立全链条标准化作业流程,编制各类养护作业指导书,明确工序技术参数与质量标准。施工前做好原路面清扫与预处理,施工中严控材料用量、温度、碾压遍数等参数,确保工程一次达标交付^[5]。(3)完善养护管理制度与人员保障:建立健全预防性养护管理制度体系,明确各级机构职责分工与考核标准,统筹安排养护资金预算。定期组织管理和作业人员开展专业技术培训,强化新材料应用、新工艺操作、新设备使用等技能提升,建立质量追溯与责任落实机制,以制度刚性保障养护工作规范有序开展。

结束语

本文全面总结了沥青路面各类病害的特征与危害,明确了材料、施工、环境、荷载等因素对路面病害的影响机制,梳理了多种适配性强的预防性养护技术及应用原则。落实精准、前置的预防性养护理念,可有效遏制路面病害发展,延长道路使用寿命。未来需持续优化养护技术与管理体系,结合智能化手段提升养护精准度,推动公路沥青路面养护工作高质量发展。

参考文献

- [1] 刘浩. 沥青路面裂缝密封预防性养护材料及工艺研究[J]. 中外公路,2023,43(06):89-93.
- [2] 王雪. 就地热再生技术在高速公路沥青路面预防性养护中的应用[J]. 施工技术,2024,53(12):102-106.
- [3] 周明. 绿色养护材料在沥青路面预防性养护中的应用研究[J]. 交通节能与环保,2023,19(07):167-170.
- [4] 刘生源. 高速公路沥青路面预防性养护技术的应用[J]. 运输经理世界,2025,37(17):136-139.
- [5] 李春然,王彪. 沥青混凝土路面的病害形成原因与防治措施分析[J]. 运输经理世界,2023,46(10):148-150.