

市政道桥工程中沥青路面早期病害成因分析与防治对策

文 / 李政委 安徽水安建设集团股份有限公司

摘要：市政道桥工程作为城市基础设施核心构成部分，其路面健康状态对交通运行效率与安全有着直接影响。以优良使用性能而被广泛采用的沥青路面，建成后数年内却频繁出现早期病害，这已成为困扰行业发展的普遍现象，显著降低了路面实际使用年限与服务水平。这些早期破坏，不仅增加了后期维护成本，还对道路通行能力以及公众出行安全构成潜在威胁。因此，深入剖析沥青路面早期病害根源、探索科学有效预防与处治策略，具有现实意义。本文旨在系统性识别病害类型特征、厘清关键成因，进而提出具备可操作性的全链条防治措施，为提升市政道桥沥青路面耐久性与安全性，提供理论支持与技术参照。

关键词：市政道桥工程；沥青路面；早期病害；病害成因；防治对策

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.24.054

引言

承担着繁重交通运输功能的城市市政道桥网络，其路面服务能力作为评价城市基础设施质量的关键指标之一。具有行车舒适性、施工便捷性及良好适应性的沥青材料，成为路面结构表层的主要选择。实践经验显示，投入使用的沥青路面，在水、荷载、温度及施工质量等多因素的耦合作用下，常远未达到设计寿命预期，就显现出各种形式的早期病害。这类普遍发生的病害，不仅致使道路结构承载力过早衰退，引发交通安全隐患，还迫使养护部门投入大量资源进行修复维护。在工程实践中，有效遏制并延缓早期病害发生发展的需求日益凸显。基于此背景，清晰界定沥青路面早期病害的典型模式及其外观特征，深入挖掘其内在诱发机制，分阶段、多层次地制定具有指导价值的防治对策显得尤为迫切，目的是最大限度保障路面结构的完整性与耐久性，延长其有效服役周期。

一、市政道桥工程沥青路面早期病害类型及特征

（一）裂缝类病害

裂缝类病害主要表现为线状或网状结构断裂缺陷，其中横向裂缝多垂直于道路走向，由低温收缩或反射裂缝引发其形成，因缝宽随季节变化而扩展致使路面完整性受损，若渗水还会弱化路基强度^[1]。分布于轮迹带或接缝区域的纵向裂缝，其成因往往关联混合料摊铺离析与基层沉降，因裂缝发展加深引起路面板块化分离，进而削弱结构整体性（见图1）。呈现龟甲状交错形态特征的网状裂缝，表明路面层承受复杂应力作用，沥青材料疲劳失效与其关联性强，密布的细缝加速水分下渗侵蚀内部结构，直接影响行车平稳度。对于上述裂缝形态，若未及时处治，水损害与荷载冲击叠加将诱发更深层次破坏。

（二）变形类病害

具有路面三维形态不可逆改变特征的变形类病害。在重载轮压下呈现带状凹槽的车辙，其主因是混合料高温稳定性不足，轮迹区域车辙加深会致使排水效率降低，雨天容易形成水膜，进而威胁行车安全。表现为轮迹带边缘波浪形鼓胀的推移，主要关联着沥青层与基层间粘

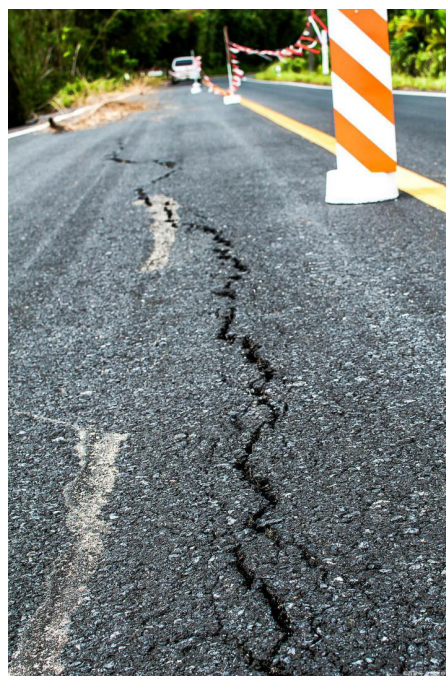


图1 公路路面病害（如裂缝，坑槽等）

结失效，在刹车及转弯区域的重复剪切力作用下，层间滑移造成材料堆积变形，直接对行驶舒适性产生影响。常凸起于路表局部的拥包，多由基层水分膨胀或沥青层内集料嵌挤失效引发，凸起高度增加会导致车辆颠簸，并且加剧轮胎磨损。这些变形使得设计纵断面失准，严重降低道路服务水平。

（三）松散类病害

松散类病害的特征是路面材料局部解体。始于局部沥青膜剥离的坑槽，集料脱落后形成凹坑，因轮胎真空吸附与水力冲刷而加速扩张，深度超两厘米的坑槽，会对车体底盘构成冲击风险。呈现为细密孔洞群的麻面，由于混合料离析或压实不足，使其表面积累微孔，路表构造深度损失，导致摩擦系数下降，尤其在湿滑条件下会增加制动距离。在冻融循环及化学腐蚀下恶化加速的松散区域，最终致使路面有效承载断面缩减。若不立即

修补，可迅速延伸至基层形成结构性损害的局部破坏。

(四) 其他病害

除了上述三类典型病变，部分具有特殊形态的病害，同样值得给予高度关注。关于表面功能衰减现象，存在磨光与泛油这两种相反的状态。其中，路面纹理深度持续降低，致使抗滑性能不足，尤其对弯道安全构成威胁，此为磨光的表现；而在温度升高时，沥青不断上浮，并在轮迹带形成光亮油膜，同样影响轮胎抓地力，这便是泛油的情况。层间脱离虽较为隐蔽，但危害极大，雨水分层滞留在面层与基层界面，形成动水压力，进而诱发大面积网裂和突发性塌陷。至于材料衰变，体现为沥青在长期使用后老化变脆，失去弹性，最终使得路面整体性能呈加速下降趋势。正确识别这些非典型病变的早期特征，有助于制定差异化的处治策略，从而延长路面健康服役的周期^[2]。

二、市政道桥工程沥青路面早期病害成因分析

(一) 设计因素

沥青路面早期病害的形成与设计阶段的决策存在显著关联。在路面结构层组合未能充分契合实际荷载需求时，结构薄弱部位易产生应力集中状况，像基层模量设计值与面层刚度不协调的情形，可能致使反射裂缝快速

出现。要是排水系统规划对地形起伏与降雨强度特征有所忽视，路表水滞留就会渗透到路基，在削弱土基承载力的同时诱发唧浆变形。尤其在纵坡排水路径长度超标或者集水井间距设置过大时，重力排水效率会急剧下降。这些设计方面的局限在后续使用过程中成为引发结构性缺陷的导火索，所以设计阶段需要将地质勘探数据与交通荷载谱分析深入融合，构建起多因素协同验证机制。

(二) 施工因素

施工环节的质量波动对路面耐久性具有决定性影响。首先是原材料品质失格，像沥青针入度偏离设计区间，或者集料含泥量超标时，混合料抗剪强度必然会衰减（见表1）。混合料生产流程里，温度失控同样危险，比如拌合温度过高引发的沥青老化，以及运输过程保温不足导致摊铺时的温度梯度分层，这些都会弱化层间粘结效果。摊铺环节的离析问题不容忽视，粗集料集中区域形成的骨架空洞，细集料富集区产生的软弱带。碾压工艺的执行偏差更为隐蔽，例如振动频率选择不当，或者碾压轨迹重叠不足，会造成压实度分布不均形成的隐性缺陷区。基层处理草率带来连锁反应，要是基层平整度超标，或者压实度未达技术指标，表层沥青层实际上成为覆盖在非均匀支撑体上的薄壳结构，加速疲劳破坏的进程。

表1 市政道桥沥青路面施工阶段关键风险管控要素

风险维度	典型问题表现	核心防治重心
原材料质量	沥青标号错配、集料含泥量超标	建立进场材料多级复验机制
混合料工艺控制	拌合温度偏离区间、摊铺离析	实施全流程温控与级配实时监测
结构层施工缺陷	基层压实度不足、层间粘接失效	强化层间处理工艺与无损检测反馈

(三) 交通因素

以动态交通荷载特性为主导的路面力学响应形态。因持续性重载车辆运行远超设计轴载标准，致使结构层内剪切应力超限，进而出现粒料滑移重组，最终逐步形成深度车辙带。由昼夜交通潮汐流引发的行车间隙不均匀冲击，以及轮载对固定位置的高频加载，诱发微观裂缝萌生，特别是在信号交叉口停启区，反复制动产生的水平推力促使面层材料推移变形。需着重关注不同车型的荷载特性差异，像重型货车双联轴产生的弯拉作用力相比小型客车显著更高，其重复作用深度可至路基顶部，此为产生结构性变形的重要诱因。有效预测交通荷载谱系演变态势，对延长路面服役周期意义重大。

(四) 环境因素

气候条件通过物质能量交换持续干预路面状态。其中，对材料形态改变最为直观的是温度应力，在夏季，连续的高温会使沥青胶浆软化，进而降低其抗变形能力；在冬季，骤冷则会在面层内部形成收缩张力梯度；而昼夜温差的循环次数，又直接关联着温缩裂缝的密度。伴随复杂物理化学效应的水分迁移过程，渗透至层间界面的自由水，在车轮挤压下会产生动水压力，逐步冲刷粘结料并形成空腔；因冻融相变引发的体积膨胀，会将微观空隙撑裂为贯通裂隙。虽然紫外线辐射属于渐变因子，

但其光氧化效应会持续分解沥青质分子链，致使黏附力衰退，从而引发集料裸露松散。这些环境要素通常并非单独发挥作用，比如高温与降水协同起来，会加剧水损害的速率，所以在设计防治体系时，必须综合考量地域气候的耦合特性^[3]。

三、市政道桥工程沥青路面早期病害防治对策

(一) 设计阶段防治对策

设计阶段是防范沥青路面早期病害的战略起点，其科学性性与前瞻性，对路面长期服役性能起着决定性作用。这一阶段工作的关键，在于对拟建道路的服务功能、交通荷载特征以及沿线环境条件进行深入理解，并据此形成针对性方案。依据预估交通量大小和重载车辆比例，合理确定路面结构组合，是核心要求，基层必须具有足够强度支撑和扩散荷载的能力，以避免因结构应力集中，导致裂缝过早发生。沥青混合料类型的选择，需充分考量区域气候条件带来的挑战，比如在严寒地区，要侧重混合料的低温抗裂性能，而在湿热地区，则要提升抗车辙和水损害的能力，同时，沥青结合料性能等级的选择，必须与使用温度区间相匹配。结构设计细节的把控，同样不容忽视，需科学配置横向排水系统，迅速排除路表面积水，防止水分渗入并滞留在结构层内部，损害整体性能，桥头搭板处过渡段的设计，需特别优化，以减少因差异

沉降造成的跳车风险。材料设计环节,通过严格的目标配合比设计,保障混合料路用性能达标,尤其要平衡好高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性之间的相互关系。经过以上全面细致的考量,最终形成的设计方案,才具备坚实的抗病基础,为后续施工环节,奠定明确的技术方向和质量基准。

(二) 施工阶段防治对策

以高水准施工过程,才能将设计方案的优越性,真正转化为路面实体的高质量。施工阶段作为防治早期病害的主战场,操作精度与控制力度的重要性不言而喻。原材料质量作为成功的底线要求,沥青、集料和填料等各项材料,在进场前必须经过严格的抽检与复验,以确保其关键性能指标,如针入度、压碎值等,完全满足设计文件规定值范围^[4]。拌和环节对混合料均匀性有着决定性影响,因此需实时监控拌和楼工作状态,以及油石比和级配的稳定性,保证每一盘料温度在规定区间内,且各种成分混合均匀充分。运输过程中,保温措施必须到位,以防止混合料温度离析,造成施工隐患。摊铺作业时,要精心调整设备,保持稳定的速度和振幅,做到连续匀速作业,并严格控制松铺厚度与初始压实度,以减少离析带。压实工艺作为决定路面最终密实度和耐久性的关键工序,务必根据碾压设备组合,科学制定碾压遍数、速度与路线,特别注重钢轮压路机与轮胎压路机的协同效应,并确保接缝位置得到充分压实,无薄弱点。现场质量管理需贯穿整个建造过程,对压实度、平整度与构造深度等关键指标,进行全过程检测验证,及时发现任何异常波动,并采取干预措施,确保实体质量符合设计目标。只有通过这样一丝不苟的实施,将设计方案高质量落地,才能有效封堵早期病害的滋生空间。

(三) 交通管理措施

即便路面建成并开通,交通荷载的组织方式对早期病害的产生与发展轨迹仍有着深刻影响。科学且有效的交通管理,能为新建路面提供关键的成长保护期。在新铺筑路面刚开放交通的初期,严格实施限速措施极为必要,原因在于较高车速所带来的真空吸力,更容易对尚未完全稳定的面层结构造成破坏并引发损坏。针对处于结构强度增长期的新建道路,或是承载力受限的路段,灵活采取动态的载重管制方案,可有效减少超负荷运营情况的出现。借助电子称重设备等技术手段,精确识别并限制超出设计标准的重载车辆通行,能够防止路面结构性损伤过早发生。交通流的诱导组织同样是重要策略,对于多车道道路,可考虑在最外侧设置重载车专用车道,以此分散轮迹分布,避免车辙过早集中在固定车道。同时,交通管理过程中所积累的车辆通行信息数据,极具价值且值得整合应用,例如利用车载GPS数据,结合道路特性,分析交通流实际的空间与时间分布特征,这有助于在养护决策和设计校核时提供数据支持,进而优化后续工程。因而,将交通管理纳入路面早期维护体系,本质上是一种前置性保护手段,可减轻交通因素对脆弱新路面的不利冲击,延长其健康状态。

(四) 养护措施

对于投入使用后的路面,针对性的养护工作,作为抵御早期病害扩大化影响、维持路面使用性能以及延长寿命的必要保障,极为关键。早期诊断与及时干预,可避免微小损伤发展成重大结构性破坏。建立常态化的周期性巡查与检测机制,乃是有效养护的前提。通过人工巡查与自动化检测设备组合的方式,定期采集路面状况数据并识别潜在异常,尤其要关注微小裂缝、网裂以及初始车辙这类处于可修复阶段的问题征兆。实施预防性养护计划,能起到事半功倍的长期效果,比如在裂缝宽度处于可处理范围时,选择合适季节及时采用高品质密封胶灌缝处理,以阻断水分侵入路径;或者在路面状况尚好但有性能下降趋势的区域,喷洒雾封层或稀浆封层,来密封微小孔隙并增强表面性能,延缓深层病害发展。一旦出现局部坑槽类损坏,必须快速响应并严格按照标准工艺实施热补或冷补程序,恢复路面平整与防水性能,避免缺陷区域加速恶化甚至波及完好结构^[5]。针对雨后或融雪后的路面排水情况,也要安排专门查验,畅通所有排水设施并清理泄水孔,确保排水系统高效运行。持续性的路况监测结果,应当结合历史数据进行系统分析,进而指导未来养护资源的优化配置。这些基于诊断的精准养护措施,构成了延长沥青路面使用寿命成本最低、效益最高的方式。

结语

沥青路面早期病害构成对市政道桥服役性能稳定性的严峻挑战,需要工程实践领域予以高度重视。其根源在于设计构想、施工过程、交通荷载及环境作用的综合影响,呈现出裂缝、变形与松散等多种类型特征。切实可行地遏制此类病害蔓延,要求执行系统性治理方针。即在规划阶段,确保具有针对性的设计方案以及排水通畅性;施工环节,严格把控材料质量、工艺标准与基层性能;运营期间,强化对特殊交通行为的规范管理并执行科学合理的周期性维护计划,整合预防性养护与针对性修复技术手段。从长期角度看,持续加强新材料、新工艺的应用研究与开发力度,不断深化对复杂环境条件下材料劣化机理的理解认识,动态优化病害检测、评估与预警方法体系,将为市政道桥沥青路面的长寿命和高性能提供更有力支撑。

参考文献

- [1] 戴岩. 市政道桥工程路基路面压实技术分析思考[J]. 黑龙江环境通报, 2022, 35(04): 136-139.
- [2] 李威. 市政道桥工程沥青路面裂缝施工处理技术分析[J]. 新城建科技, 2024, 33(10): 148-150.
- [3] 武建飞. 市政道桥路基路面工程施工研究[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(05): 95-96.
- [4] 李志刚. 市政道桥路基路面工程施工研究[J]. 居舍, 2021, (29): 159-160.
- [5] 王海涛. 混凝土技术在市政道桥施工中的应用[J]. 河南科技, 2020, 39(26): 112-114.