

沥青路面早期病害成因分析与防治措施研究

邱龙剑

云南畅通工程勘察设计有限公司, 中国·云南 昭通 657000

摘要: 沥青路面因平整度高、施工便捷等优势, 广泛应用于各级公路基础设施。受材料、施工、环境及运营等因素影响, 其易出现早期病害, 未达设计年限即产生结构或功能性损坏, 增加养护成本并缩短使用寿命。本文梳理病害类型与特征, 剖析四大核心成因, 从四维度提出防治措施, 构建全周期防控体系, 为沥青路面工程设计、施工及养护提供参考。

关键词: 沥青路面; 早期病害; 成因分析; 防治措施; 全周期养护; 施工管控

Analysis of Early Damage Causes and Prevention Measures of Asphalt Pavement

Qiu Longjian

Yunnan Changtong Engineering Survey and Design Co., Ltd., China Yunnan Zhaotong 657000

Abstract: Asphalt pavement is widely used in various levels of highway infrastructure due to its high smoothness and convenient construction. Affected by factors such as materials, construction, environment, and operation, it is prone to early disease and structural or functional damage before reaching the design life, increasing maintenance costs and shortening service life. This article summarizes the types and characteristics of diseases, analyzes the four core causes, proposes prevention and control measures from four dimensions, and constructs a full cycle prevention and control system, providing reference for the design, construction, and maintenance of asphalt pavement engineering.

Keywords: Asphalt pavement; Early diseases; Cause analysis; Preventive measures; Full cycle maintenance; Construction control

0 引言

我国沥青路面在公路网中占比超 85%, 是交通通行核心保障, 但“早期损坏”问题突出, 38% 路段在设计年限前 3-5 年出现病害, 部分重载路段通车 1-2 年即产生裂缝、坑槽。早期病害中裂缝类、变形类、表层损坏类占比分别为 42%、28%、30%^[1](见表 1), 隐蔽性强且发展迅速, 若不及时处置, 路面寿命将缩短 30%-50%, 养护成本增加 2-3 倍。因此, 研究其类型、成因及防治措施, 对提升工程质量、保障通行安全意义重大。

1 沥青路面早期病害的主要类型

1.1 裂缝类病害

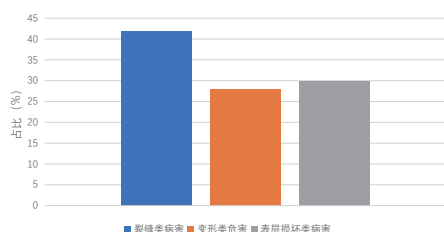


图1 沥青路面早期各类病害占比

裂缝是最常见早期病害, 破坏路面整体性并为杂物侵入提供通道, 主要分为三类。横向裂缝多呈断续状, 由温度变化引发, 年温差超 30°C 的北方地区, 通车 1 年、3 年发生率分别达 20%、50%, 基层干缩冻缩也会诱发此类裂缝。纵向裂缝多连续延伸, 集中在填挖交界、桥梁台背等处, 由路基沉降、接缝处理不当导致, 高等级公路发生率 15%-25%, 对承载能力影响大于横向裂缝。网状裂缝呈不规则交错分布, 是路面老化标志, 由沥青老化、配比不合理等多因素协同作用产生, 若不处置, 1-2 年内会发展为松散、坑槽。

1.2 变形类病害

变形类病害为永久性形变, 影响平整度与行车安全, 主要包括车辙、沉陷、推移, 在高温、重载路段高发。车辙是轮迹带纵向凹陷, 高温季节加剧, 重载路段发生率比普通路段高 40%, 深度超 15mm 会显著降低行车稳定性。沉陷表现为路面局部下沉, 源于路基强度不足与不均匀沉降, 按深度分为三级, 中度及以上易引发行车事故, 修复成本高昂。推移集中在交叉口、陡坡区域, 因层间粘结力

不足、荷载推力大导致，会破坏层间整体性并逐步扩展。

1.3 表层损坏类病害

表层损坏类病害发生在路面 5-10cm 表层，是严重病害的前置因素，主要包括松散、剥落、坑槽，在潮湿、冻融路段高发。松散表现为表层起砂、露骨，由沥青老化、粘结力不足导致，从局部起砂到大面积露骨仅需 3-6 个月。剥落为沥青膜片状脱落，与集料粘附性不足、冻融循环相关，北方冻融地区发生率比南方高 35% 以上。坑槽由松散、剥落发展而成，对行车安全威胁最大，修复成本是早期处置的 5-8 倍，且复发风险高。

2 沥青路面早期病害的核心成因分析

2.1 材料因素：沥青及集料质量不达标、混合料配比不合理

材料是沥青路面质量的核心，沥青、集料及混合料质量直接决定路面强度与耐久性，30% 以上的早期病害与材料因素直接相关，主要问题集中在质量不达标与配比不合理^[2]。沥青质量不达标主要表现为针入度、延度、软化点等指标不合格：针入度过小易低温脆裂，延度不足抗裂性差，软化点过低则高温易软化引发车辙。部分工程违规使用劣质、回收沥青，此类沥青性能不稳定、老化快，使用 1-2 年便会粘结力下降、脆化，引发表层病害。不同质量等级沥青对病害发生率影响显著，具体如下表 1 所示。

表1 不同质量等级沥青对路面早期病害发生率的影响

沥青质量等级	针入度 (25°C, 100g, 5s) /0.1mm	延度 (15°C, 5cm/ min) /cm	通车2年病害发生率 (%)	主要病害类型
A级 (优质)	60-80	≥100	8.2	轻微横向裂缝
B级 (合格)	40-60	≥80	18.5	横向裂缝、 轻微松散
C级 (劣质)	<40	<80	42.3	网状裂缝、 剥落、坑槽

集料质量不达标会直接影响混合料性能：级配不合理时，粗集料过多导致空隙率超 8%，雨水易下渗，细集料过多则降低高温稳定性；含泥量每增加 0.5%，沥青集料粘附性等级下降 1 级，含泥量超 1% 时病害发生率骤升；集料强度不足、磨耗值超标，易在荷载作用下破碎，引发表层松散^[3]。混合料配比不合理会导致路面性能失衡：沥青用量过多易产生车辙，用量过少则粘结力不足引发裂缝、松散；矿粉用量不当影响沥青胶浆性能，过多使胶浆过硬、低温抗裂性差，过少则降低混合料强度。同时，拌和不均、含水率过高，会影响压实度与整体性，使局部路面成为病害高发的薄弱环节。

2.2 施工因素：施工工艺不规范、现场质量管控不到位

施工工艺与质量管控是连接材料与成品路面的关键，40% 以上的早期病害与施工因素密切相关，核心问题为工艺不规范与管控不到位。

施工工艺不规范体现在拌和、运输、摊铺、压实四大环节：拌和温度过高 (> 180°C) 导致沥青老化，过低 (< 140°C) 则混合料不均出现花白料；运输保温不足，混合料到场温度低于 130°C，会影响摊铺压实效果^[4]；摊铺速度与厚度不均，导致路面平整度差、局部受力失衡；接缝处理不当，纵向未采用热接缝、横向压实不密实，易形成接缝裂缝。压实是关键环节，压实度不足会使混合料空隙率过大，每降低 1% 压实度，路面强度下降 5%-8%，大幅增加病害风险。现场质量管控不到位进一步加剧质量隐患：部分工程简化检测流程，对沥青、集料及混合料关键指标检测频次不足，导致劣质材料流入施工环节；对路基压实、基层强度等隐蔽工程管控薄弱，路基压实度不达标易引发后期沉降；施工队伍技术水平参差不齐，操作人员对温度、速度等关键参数把控不当，进一步降低施工质量。

2.3 环境因素：温湿度变化、降水侵蚀、冻融循环影响

自然环境通过物理、化学作用加速路面损坏，主要体现在温湿度变化、降水侵蚀与冻融循环三个方面。

温湿度变化对沥青混合料影响显著：高温使沥青软化、粘度下降，混合料抗塑性变形能力减弱，易产生车辙、推移；低温则使沥青脆化、抗拉强度降低，引发横向裂缝。我国北方年温差大，南方夏季高温持续时间长，均易因温湿度波动诱发病害，调研显示，极端温差区域路面病害发生率比温和区域高 25% 以上^[5]。降水侵蚀通过多重路径破坏路面：雨水经裂缝、空隙下渗，侵蚀路基基层，降低其含水率与强度，引发沉陷、坑槽；长期雨水冲刷，会加速沥青老化与集料脱落，加剧松散、剥落病害；积水路段受车辆碾压，水压力会破坏沥青膜与集料的结合面，形成“水损害”，进一步扩大病害范围。冻融循环是北方地区病害高发的核心环境因素：冬季雨水侵入路面结构后冻结膨胀，产生体积应力破坏沥青膜与集料结合面、基层结构；春季冻土融化，路基含水率骤升、强度下降，在车辆荷载作用下易引发沉降、裂缝。反复冻融循环会使路面结构损伤持续累积，导致病害发生率显著上升，使路面寿命缩短 20%-30%。

2.4 运营因素：交通荷载超标、养护不及时与不到位

路面运营过程中的荷载与养护管理，直接影响服役寿命。交通荷载超标对路面破坏显著：随着物流行业发展，重载、超载车辆频繁通行，使路面承受的应力远超设计值，每超载 10%，路面寿命缩短 15%–20%。重载车辆反复碾压，会加速混合料疲劳损伤，引发裂缝、车辙，同时加剧路基沉降，诱发沉陷病害；车辆制动、转向产生的附加应力，会导致交叉口、急弯区域出现推移、裂缝。养护不及时、不到位会使轻微病害快速恶化：部分路段缺乏常态化巡检机制，早期裂缝、松散等病害未能及时发现处置，逐步发展为坑槽、沉陷；养护方法不当，如裂缝未彻底清理便灌缝、坑槽修补不密实，会导致病害复发；养护资金投入不足，无法开展预防性养护，只能在病害严重后大修，大幅增加养护成本与路面损伤。

3 沥青路面早期病害的针对性防治措施

3.1 源头管控：优化混合料配比，严格材料质量验收

源头管控核心是保障材料质量与混合料性能，从根本上降低病害风险。建立原材料进场双人验收制度，沥青需检测针入度、延度、软化点等核心指标，仅 A 级、B 级沥青可进场使用，杜绝劣质、回收沥青流入施工环节；集料需严格控制级配、含泥量（ $\leq 1\%$ ）及压碎强度，粘附性等级不低于 4 级，不合格材料一律当场清退出场，形成闭环管理。结合区域气候与交通条件优化混合料配比：高温地区选用高软化点沥青，添加 SBS 改性剂提升高温稳定性，避免车辙病害^[6]；低温地区选用高延度沥青，优化间断级配增强抗裂性，防止低温缩裂；重载路段增加粗集料比例，掺入木质素纤维稳定剂提升承载能力。通过马歇尔试验、车辙试验等确定最佳沥青、矿粉用量及拌和参数，精准控制混合料空隙率在 4%–6%，确保拌和均匀、含水率达标，全面提升混合料综合路用性能。

3.2 过程防控：规范各施工环节工艺，强化质量监管

规范施工工艺，精准把控各环节关键参数，筑牢工程质量根基。拌和环节严格控制温度在 140–180℃，监测拌和时长，出场前通过视觉观察与抽样检测核验混合料均匀性，杜绝集料分离。运输采用密闭保温罐车，罐身裹保温层，确保到场温度不低于 130℃，卸料前充分搅拌，规避混合料离析。摊铺保持 2–4m/min 匀速推进，搭配自动找平装置，厚度误差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内，纵向采用热接缝、

横向及时压实，减少接缝裂缝隐患。压实执行“初压+复压+终压”流程，保障压实度 $\geq 96\%$ ，规避空隙率过大引发的破损。强化现场质量管控，建立全流程闭环检测机制^[7]。组建专业检测团队，配备精准设备，加密混合料温度、级配、压实度等核心指标检测频次，每批次必检且数据留存归档，实现可追溯。重点管控路基、基层等隐蔽工程，路基压实度 $\geq 95\%$ ，基层强度抽检达标并签署验收文件后，方可开展面层施工。加强施工队伍技术培训，围绕关键工艺开展专项考核，考核合格者持证上岗，确保操作人员熟练掌握参数标准，规范施工动作，保障工程质量稳定达标。

3.3 后期养护：建立全周期养护机制，开展常态化巡检

构建全周期养护机制，根据通车年限制定针对性计划：通车 1–3 年侧重预防性养护，定期喷洒沥青再生剂，修复轻微裂缝，延缓沥青老化；通车 4–8 年加强日常处置，及时修复松散、剥落，避免发展为坑槽；通车 9 年以上开展大修改造，评估路基基层状况，必要时进行补强处理。开展常态化巡检与智能化检测，建立病害预警机制：组建专职巡检队伍，每日巡查路面状况，每周全面排查；引入无人机、路面雷达等技术，检测路面厚度、压实度及内部损伤，实现病害早发现、早处置；建立养护档案，记录病害位置、类型及处置情况，动态调整养护策略。同时保障养护资金投入，推广微表处、裂缝灌缝等先进养护技术，提升养护效果。

3.4 应急处置：制定针对性病害修复方案，完善快速处置流程

为提升路面病害处置的针对性，按“一类一策”原则制定专项修复方案。裂缝宽度 $< 5\text{mm}$ 时，先高压吹净缝内杂物，热风烘干后注入高弹密封胶，保证粘结与防水；车辙深度 $< 10\text{mm}$ 仅铣刨表层 2cm，SMA-13 改性沥青回填，深度 $> 10\text{mm}$ 则分层铣刨至基层，洒布 SBS 改性乳化沥青粘层，加铺抗车辙 ATB-25 基层补强后再铺面层；沉陷病害先采用探地雷达检测脱空范围，压浆加固路基，复压至压实度 $\geq 97\%$ ，再分层铺筑面层；坑槽按“圆洞方补、斜洞正补”原则切割，真空吸净粉尘，热风烘干后涂刷粘层油，热拌料分层摊铺，双钢轮振动压实，确保新旧界面密贴。同步完善快速处置流程，降低交通影响：组建 24h 应急分队，装备车载铣刨机、微波热补车，接警后 2h 到场；路面修复实行“半幅施工、半幅通行”，错峰作业，夜间集中养生；修复完毕立即采用激光平整度仪、核子密度仪检测，指标不合格返工重处；遇雨、雪、大雾天气，

提前铺设吸水防冻材料,雨后6h内完成积水点排查与处置,冬季每日巡查冻融裂缝,做到“即破即修”,确保道路安全畅通^[8]。

4 结语

沥青路面早期病害由材料、施工、环境、运营多因素协同引发,既影响通行安全,又增加全生命周期成本,制约交通行业高质量发展。防控需立足全周期管理,构建“源头管控、过程防控、后期养护、应急处置”四位一体体系,全方位筑牢病害防线。未来需深化病害机理研究,推广优质材料与智能化技术,优化全生命周期管理模式,实现从“被动修复”到“主动防控”的转变,从根本上减少病害,提升路面耐久性,为公路基础设施高质量发展提供支撑。

参考文献:

[1] 何佩. 公路水泥路面早期病害成因分析与防治措施[J]. 时代汽车, 2025,(12):172-174.

[2] 尹彦锋. 沥青路面病害成因及防治措施分析[J]. 交通世界, 2020,(17):91-92.

[3] 邬振海. 二级公路沥青路面病害成因与防治措施分析[J]. 西部交通科技, 2020,(03):62-64.

[4] 朱琼毅. 城市道路沥青路面病害的成因及防治措施分析[J]. 居业, 2018,(11):121-122.

[5] 陈刚. 城市道路沥青路面常见病害成因及防治措施分析[J]. 低碳世界, 2018,(10):254-255.

[6] 樊娟. 浅谈公路沥青路面常见病害成因分析及防治措施[J]. 四川水泥, 2017,(11):63.

[7] 张荣华, 王玉杰, 沈畅等. 鞍山地区沥青路面裂缝早期病害分析及防治措施[J]. 科技创新与应用, 2016,(16):235.

[8] 马志强. 沥青路面早期病害的成因与防治措施[J]. 四川水泥, 2016,(03):57.

作者简介: 邱龙剑(1988.12-), 男, 汉族, 云南昭通, 本科, 工程师, 研究方向: 公路工程方面工作。