

# 市政道路沥青路面裂缝病害综合治理分析

苏宾

天津市益路工程检测技术发展有限公司 300250

**【摘要】**市政道路沥青路面裂缝是影响道路服役性能与使用寿命的核心病害，其形成是材料老化、温度循环、荷载疲劳、施工缺陷及地下设施扰动等多因素耦合作用的结果。本文立足市政道路高频养护需求，突破传统“重修补、轻预防”的治理局限，从裂缝类型与成因机制切入，融合材料创新、结构优化、绿色施工及智能养护技术，构建“预防-处治-修复-运维”全生命周期综合治理体系。重点剖析超薄微封层、水激活沥青薄层罩面、贴缝带无创修复等创新技术的应用机理与实践路径，提出适配市政场景的裂缝分级治理策略，为降低养护成本、延长道路寿命、提升市政道路服务品质提供理论参考与技术支撑。

**【关键词】**市政道路；沥青路面；裂缝病害；综合治理；创新技术

Comprehensive Management Analysis of Crack Diseases in Municipal Road Asphalt Pavements

Su Bin

Tianjin Yilu Engineering Testing Technology Development Co., Ltd. Postal Code 300250

**【Abstract】** Cracks in municipal road asphalt pavements represent a critical defect that significantly impacts road performance and service life. Their formation results from the combined effects of material aging, temperature cycling, load fatigue, construction defects, and disturbances from underground facilities. Addressing the high-frequency maintenance demands of municipal roads, this study transcends the traditional approach of "emphasizing repair over prevention." By examining crack types and their underlying mechanisms, and integrating material innovations, structural optimization, green construction practices, and intelligent maintenance technologies, the paper establishes a comprehensive lifecycle management system encompassing "prevention, treatment, restoration, and operation and maintenance." It provides detailed analyses of the application mechanisms and practical implementations of innovative techniques such as ultra-thin micro-seal layers, water-activated asphalt surface coatings, and non-invasive joint patching systems. The study proposes tiered crack management strategies tailored for municipal environments, offering theoretical insights and technical support for reducing maintenance costs, extending road lifespan, and enhancing urban road service quality.

**【Key words】** Municipal road; Asphalt pavement; Crack damage; Comprehensive management; Innovative technology

## 一、引言

市政道路是城市交通网络的核心载体，沥青路面因行车舒适、施工便捷、养护可控等优势，成为市政道路的主流路面形式。但在长期服役过程中，沥青路面受环境、荷载、材料及施工等多重因素影响，裂缝病害频发，已成为制约道路使用性能的关键问题。据统计，我国北方地区市政道路沥青路面裂缝发生率高达65%，南方地区虽略低，但也达到40%以上。

随着城市交通流量激增与养护标准提升，亟需探索兼具创新性、经济性与环保性的裂缝综合治理技术体系。本文结合市政道路工程实践，系统分析裂缝病害的类型、成因，创新提出全生命周期综合治理方案，为市政道路沥青路面裂缝治理提供新思路。

## 二、市政道路沥青路面裂缝类型及成因机制

### （一）裂缝主要类型

市政道路沥青路面裂缝形态复杂，按成因与外观特征可分为四类，各类裂缝的表现特征与危害差异显著。

1. 横向裂缝：裂缝走向与道路中线垂直，多呈等间距分布，宽度0.5~5mm，长度贯穿车道。初期为细微发丝状裂缝，后期逐渐扩展贯通，是低温收缩与温度疲劳的典型产物。

2. 纵向裂缝：裂缝走向与道路中线平行，多分布于轮迹带或施工接缝处，宽度1~10mm，长度不等。轮迹带纵向裂缝由行车荷载反复作用引发疲劳开裂；施工接缝裂缝则源于接缝处理不当、压实度不足。

3. 龟裂（块状裂缝）：裂缝呈网状交错分布，将路面分割成不规则块状，块径10~50cm，裂缝宽度2~15mm。多由路面结构强度不足、基层松散或水损害引发，属于严重结构性裂缝，易快速发展为坑槽。

4. 反射裂缝：多出现于旧水泥路面加铺沥青层或半刚性基层沥青路面，裂缝形态与基层裂缝一致，由基层裂缝向上反射至面层形成，是“白改黑”工程与重载路段的高发病害。

### （二）裂缝成因机制

沥青路面裂缝的形成是材料、环境、荷载、施工及养护

等多因素耦合作用的结果,各因素相互影响、相互加剧,形成恶性循环。

1.材料性能缺陷:沥青胶结料低温脆性大、高温稳定性差,低温收缩易产生温缩裂缝,高温软化易在荷载作用下产生疲劳裂缝;集料含泥量高、棱角性差,导致混合料黏结力不足、抗裂性能下降;混合料级配不合理,骨架密实结构缺失,易产生松散与裂缝。

2.环境因素作用:温度循环是诱发裂缝的核心环境因素,北方冬季低温(-10℃以下)使沥青收缩产生拉应力,超过材料抗拉强度即产生温缩裂缝;夏季高温使沥青软化,昼夜温差大加剧温度疲劳,促进裂缝扩展;雨水通过裂缝渗入路面结构层,冲刷基层材料,导致基层软化、强度降低,加速裂缝发展,形成“裂缝-水损害-裂缝扩展”的恶性循环。

3.施工质量隐患:路基压实度不足、不均匀沉降,导致路面基层受力不均,产生反射裂缝;沥青混合料拌和温度过高导致沥青老化、温度过低导致拌和不均,摊铺不连续、接缝处理不当,碾压遍数不足或过压,均会降低路面整体强度,诱发裂缝。

4.养护管理滞后:日常养护不到位,细微裂缝未及时封闭,雨水持续渗入;预防性养护缺失,路面材料老化后未及时修复,导致裂缝从细微扩展为结构性病害;养护技术落后,传统灌缝、铣刨重铺等工艺效率低、效果差,重复病害率高。

### 三、市政道路沥青路面裂缝综合治理创新技术体系

针对市政道路裂缝病害的复杂性与传统治理技术的局限性,本文构建“预防优先、分级处治、绿色修复、智能运维”的全生命周期综合治理体系,融合材料创新、结构优化、工艺升级与管理创新,实现裂缝病害的长效治理。

#### (一)预防性治理技术:从源头抑制裂缝萌生

预防性治理是裂缝综合治理的核心,通过材料升级、结构优化与日常养护,提升路面抗裂性能,从源头减少裂缝产生。

1.高性能抗裂材料研发与应用:优选SBS改性沥青(掺量4%-6%),提升沥青低温延度( $\geq 50\text{cm}$ )与高温稳定性,适配温差较大地区;北方极寒地区采用橡胶粉改性沥青,低温抗裂性能提升70%以上,有效抑制温缩裂缝;添加玄武岩纤维、木质纤维等三维加筋材料,形成空间网状结构,增强混合料抗拉强度与抗疲劳性能;采用自愈合改性沥青,通过内置微胶囊修复细微裂缝,提升路面自愈能力。

2.路面结构优化设计:基层采用半刚性材料时,增设8-12mm厚应力吸收层(SAMI),采用橡胶沥青与玻纤格栅复合铺设,缓冲基层裂缝向上反射,阻断反射裂缝传导路径;长距离直线路段设置伸缩缝,预留形变空间,释放温度应力;路基采用分层压实技术,控制压实度 $\geq 96\%$ ,做好防排水设计,设置横坡与排水盲沟,避免雨水下渗导致路基沉降。

3.日常预防性养护:建立路面病害定期巡查机制,采用红外热成像、无人机航拍等技术,精准识别细微裂缝;对宽

度 $< 2\text{mm}$ 的发丝裂缝,及时采用超薄微封层技术封闭,阻止水分渗入;定期喷洒乳化沥青再生剂,补充表层沥青组分,恢复路面柔韧性,延缓材料老化。

#### (二)裂缝分级处治技术:精准适配不同裂缝类型

根据裂缝宽度、深度、密度及病害等级,采用差异化处治技术,实现“小病快治、大病精治”,提升治理效率与效果。

##### 1.细微裂缝(宽度 $< 2\text{mm}$ ):超薄微封层技术

超薄微封层(含砂雾封层)是新型预防性养护技术,采用专用设备将高渗透性乳化沥青与精选石英砂复合,均匀喷洒于路面,形成1-2mm超薄保护层。技术优势:材料活性组分深入裂缝内部,密封微裂缝,阻止水分下渗;补充沥青组分,恢复路面柔韧性;施工速度快,单车道日施工长度可达5km,施工后可立即开放交通;环保无污染,能耗低,适配市政道路细微裂缝大面积处治。

##### 2.中等裂缝(宽度2-10mm):贴缝带+灌缝胶复合修复技术

贴缝带为高强度SBS防水卷材,厚度 $\geq 2.5\text{mm}$ ,具有高伸长率与黏结性。施工流程:清理裂缝表面灰尘杂物→粘贴贴缝带→滚筒碾压密实→对裂缝深处灌注弹性灌缝胶。技术优势:贴缝带形成防水屏障,阻止雨水渗入;灌缝胶填充裂缝深处,增强黏结力;施工简便,无需大型设备,单人单日可处理裂缝500m;低温施工适应性强,-20℃环境下仍可施工,适用于市政道路中等裂缝无创修复。

##### 3.严重裂缝(宽度 $> 10\text{mm}$ 、龟裂、反射裂缝):绿色再生修复技术

(1)局部就地热再生改性修复技术:针对小范围龟裂、松散病害,采用专用加热设备局部加热路面,使沥青混合料达到塑性流动状态,原位添加改性剂再生旧料,完成病害区域一体化修复。技术优势:激活旧沥青活性,改善老化沥青黏结性;新旧路面结合紧密,无接缝隐患;材料再生利用率达90%以上,低碳环保;施工周期短,适用于市政道路小范围严重裂缝精细化修复。

(2)水激活沥青薄层罩面技术:采用水激活沥青材料,常温下施工,无需加热设备,喷洒后遇水快速固化,形成3-5mm厚高强罩面。技术优势:温度稳定性好,高低温环境下不易开裂;黏结强度高,与原路面结合牢固;施工后30分钟可开放交通,极大缩短道路封闭时间;成本低,适配市政道路大面积严重裂缝快速修复。

#### (三)施工质量控制与绿色环保技术

1.全过程施工质管控:原材料进场严格检验,沥青、集料、改性剂等需符合国家标准;混合料拌和采用红外热成像技术监控拌和均匀性,控制拌和温度与时间;摊铺采用非接触式平衡梁控制平整度,避免接缝缺陷;碾压遵循“初压-复压-终压”流程,控制压实温度与遍数,确保压实度达标。

2.绿色环保施工技术:采用温拌沥青技术,降低拌和与摊铺温度30-50℃,减少沥青烟气排放,降低能耗;旧料再生利用,就地热再生、厂拌热再生技术实现旧沥青混合料循环利用,减少固体废弃物;施工过程采用低噪声设备,设置防尘降噪设施,减少对周边环境与居民的影响。

#### (四) 智能运维管理技术：保障治理效果长效稳定

1. 病害智能监测系统：搭建市政道路沥青路面健康监测平台，埋置传感器实时监测路面温度、应力、变形及裂缝发展情况；结合大数据分析，预测裂缝发展趋势，提前制定养护方案，实现从“被动修补”向“主动预防”转型。

2. 全生命周期档案管理：建立单条道路电子档案，记录设计参数、施工数据、养护历史、病害信息等，实现“一路一档”；利用 BIM 技术构建路面三维模型，直观展示裂缝分布与治理情况，为养护决策提供数据支撑。

### 四、工程应用案例分析

#### (一) 工程概况

某城市主干道为双向四车道市政道路，全长 3.2km，沥青路面结构为 4cm 细粒式沥青混凝土+6cm 中粒式沥青混凝土+20cm 水泥稳定碎石基层。道路服役 5 年后，受重载交通、温度循环及雨水侵蚀影响，裂缝病害频发，横向裂缝、纵向裂缝、龟裂及反射裂缝并存，裂缝发生率达 58%，严重影响行车安全与道路使用寿命。

#### (二) 综合治理方案设计

结合道路病害特征与市政交通需求，采用“预防性养护+分级处治+绿色修复”综合治理方案：

1. 对全线宽度 < 2mm 的细微裂缝，采用超薄微封层技术封闭；

2. 对宽度 2-10mm 的中等裂缝，采用贴缝带+灌缝胶复合修复技术处理；

3. 对交叉口、公交站台等区域的龟裂与反射裂缝，采用局部就地热再生改性修复技术；

4. 全线增设应力吸收层，优化排水系统，提升路面整体抗裂性能。

#### (三) 治理效果评价

工程完工后，通过 6 个月跟踪监测，治理效果显著：

1. 裂缝封闭率达 98%，无新裂缝萌生，原有裂缝无扩展迹象；

2. 路面平整度、摩擦系数等指标显著提升，行车舒适度改善；

3. 施工周期较传统工艺缩短 50%，交通影响大幅降低；  
4. 旧料再生利用率达 92%，低碳环保，养护成本降低 30%

5. 建立智能监测系统，实现路面裂缝实时监测与预警，保障治理效果长效稳定。

### 五、结论与展望

#### (一) 结论

市政道路沥青路面裂缝病害的形成是材料、环境、荷载、施工及养护等多因素耦合作用的结果，传统被动修补技术难以实现长效治理。本文构建的“预防-处治-修复-运维”全生命周期综合治理体系，突破了传统治理模式的局限性，具有显著创新性与实用性：

1. 预防性治理技术从材料与结构源头提升路面抗裂性能，有效抑制裂缝萌生；

2. 裂缝分级处治技术精准适配不同裂缝类型，超薄微封层、贴缝带、水激活沥青薄层罩面等创新技术实现高效、绿色、无创修复；

3. 智能运维管理技术实现裂缝实时监测与养护决策科学化，保障治理效果长效稳定；

4. 工程实践表明，该综合治理体系可有效降低裂缝发生率，延长道路使用寿命，降低养护成本，适配市政道路高频养护与交通保障需求。

#### (二) 展望

随着新材料、新技术与智能化技术的快速发展，市政道路沥青路面裂缝综合治理将朝着“绿色化、智能化、长效化”方向发展：

1. 研发更高性能的自愈合沥青、纳米改性材料等，进一步提升路面抗裂与自愈能力；

2. 融合人工智能、物联网、区块链等技术，构建更精准病害智能监测与养护决策系统；

3. 推广全生命周期绿色养护技术，实现旧料 100% 再生利用，降低碳排放，助力“双碳”目标实现；

4. 加强跨学科融合研究，探索裂缝形成的微观机理与多场耦合作用机制，为裂缝治理提供更坚实的理论基础。

### 参考文献

- [1]张博.市政道路工程沥青路面裂缝成因与防治策略分析[J].大众标准化,2025(79):31-33.
- [2]李丹.沥青路面小范围病害就地热再生改性修复技术可行性研究[J].交通科技,2026(2):45-49.
- [3]刘伯华.公路“白改黑”工程反射裂缝立体防治新技术(OPRC技术)的研发与应用[R].长沙:湖南省公路学会,2025.
- [4]闫玲.市政沥青路面裂缝的形成原因与预防对策的探析[J].建筑安全,2022,37(7):63-66.
- [5]李蒙蒙.市政道路沥青路面面层裂缝产生原因及防治措施[J].智能城市,2021,7(18):90-91.
- [6]魏家丽.干线公路沥青路面裂缝类病害产生原因及预防性养护技术分析[J].智能城市,2020,6(6):111-112.
- [7]陈天峰.甘肃省高速公路沥青路面裂缝类病害不同养护方案效果分析[J].城市道桥与防洪,2019(11):35-37.
- [8]孙志涛.市政道路工程沥青路面裂缝成因与防治策略分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(16):208-210.
- [9]应波.市政道路工程沥青路面裂缝成因与防治策略研究[J].居舍,2018(33):10.
- [10]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.