市政道路工程沥青路面病害成因及预防性养护对策研究

周德华

宜昌楚鑫建设有限责任公司 湖北 枝江 443200

【摘　要】：市政沥青路面作为城市交通基础设施的重要组成部分，长期受城市混合交通荷载、温度交替变化、雨水持续侵蚀以及地下管线施工扰动等多重因素影响，极易产生裂缝、车辙、坑槽、局部沉陷等典型病害。本文围绕市政沥青路面三大类核心病害开展研究，系统阐述裂缝病害、变形病害、水损害病害的发育特征与形成机理，结合市政道路实际通行与施工环境，明确预防性养护的实施原则、最佳养护时机与病害分级评价标准。针对城市道路保通要求高、薄弱点位多的特点，制定裂缝分级处治、表层封层补强、排水优化、井周专项养护等成套预防性养护技术方案。研究结论可为市政沥青路面早期病害管控、延长道路服役年限、降低全生命周期养护费用提供可行的技术参考与实践依据。

【关键词】：市政道路；沥青路面；病害成因；预防性养护；道路运维

DOI:10.12417/2705-0998.26.14.028

随着我国城镇化建设持续推进，城市市政沥青路网规模不断扩大，凭借行车舒适、噪音低、施工便捷等优势，成为城市主次干道的主流路面结构。市政道路交通流复杂、车辆启停频繁，长期承受剪切与碾压荷载，加上市政地下管线密集，后期破路开挖、回填修复频繁，路基薄弱点位较多，导致沥青路面病害发育速度远高于普通公路。现阶段市政养护多采用被动抢修模式，存在病害反复、成本偏高、通行干扰大等问题。为此，本文系统分析市政沥青路面各类病害成因，探索适配城市场景的预防性养护技术与实施体系，对提升道路服役质量、实现精细化养护管理具有重要工程意义。

1 市政沥青路面典型病害类型及耦合成因分析

1.1 裂缝类病害及形成机理

裂缝是市政沥青路面出现最早、分布最广的功能性病害，也是诱发水损害、松散、坑槽等次生灾害的主要源头，主要分为横向裂缝、纵向裂缝、网状龟裂和基层反射裂缝四类，各类病害多耦合发育、持续恶化路面结构性能。横向裂缝主要为温度收缩裂缝与基层反射裂缝，沥青材料温度敏感性极强，昼夜及季节温差引发混合料反复收缩膨胀，当内部拉应力超过混合料抗拉极限时，便会产生规则横向发丝裂缝。同时市政道路多采用半刚性基层，其固有干缩、温缩特性极易产生基层微裂缝，在交通荷载反复作用下向上贯穿沥青面层，形成贯通性反射裂缝，在低温、温差较大区域病害更为突出。纵向裂缝多平行于行车方向分布，集中出现在道路边缘、新旧路面搭接段、检查井周边及管线开挖回填区域，核心诱因是路基压实不均与不均匀沉降。市政管线施工开挖后，回填材料粒径混杂、分层压实厚度超标、压实度不足，回填土体后期持续固结沉降，产生竖向沉降差，直接撕裂沥青面层形成纵向裂缝；加之道路边缘排水不畅、路肩积水浸泡路基，进一步软化土体、放大沉降变形，导致纵向裂缝持续加宽、加长。网状龟裂属于典型疲劳病害，多由沥青老化、水损害与重载疲劳荷载耦合作用形成，路面表层沥青长期受紫外线氧化老化，粘结性能大幅下降，雨水渗入后剥离沥青与集料结合界面，在车辆反复碾压下产生密集交错细微裂缝。

1.2 变形类病害及形成机理

变形类病害主要包含车辙、拥包推移、局部沉陷，高发于城市交叉口、公交停靠站、重载通行路段，直接降低行车平顺性，易引发车辆跑偏、打滑等安全隐患，是影响市政道路通行品质的核心病害。车辙分为压密型、失稳型与结构型三类，市政道路以高温失稳型车辙最为常见。夏季高温环境下沥青软化、黏度降低，混合料整体抗剪、抗压强度大幅下降，车辆启停制动产生的水平剪切力，促使轮迹带混合料发生塑性流动、横向推移，长期累积形成永久性轮辙凹槽。压密型车辙多出现于通车初期，为混合料内部空隙压实形成的轻微变形，危害较小；结构型车辙由路基、基层压实不足、承载力偏弱导致，属于不可逆结构性损伤，常规表层养护无法根治。拥包、推移病害集中发生在信号灯路口等频繁制动路段，主要成因是层间粘结失效。施工过程中粘层油、透层油洒布不均匀、漏洒、污染，导致上下沥青层、面层与基层粘结不牢固，车辆紧急制动产生的水平推力带动表层混合料滑移、隆起，形成波浪状拥包病害，严重影响行车平稳性。局部沉陷是市政道路区别于普通公路的特有病害，绝大多数沉陷点位均对应管线开挖回填区域，由于回填工序管控缺失、回填土质不合格、压实标准低于原生路基，回填层存在大量空隙，后期在车辆动荷载与雨水渗透掏空作用下，土体压缩塌陷，造成路面局部下沉，通常伴随裂缝、唧浆现象，病害发展速度快、复发率高。

1.3 水损害类病害及形成机理

水是沥青路面病害持续恶化的关键诱因，绝大多数路面病害的快速扩展均与雨水入渗密切相关，松散、剥落、坑槽等典型病害本质上都是水损害持续发展的最终表现形式。雨水通过路面微裂缝、混合料空隙、施工接缝渗入沥青结构层内部，车辆高速行驶产生的动水压力与真空抽吸效应，会持续冲刷沥青

膜包裹集料的粘结界面，逐步造成沥青剥落、集料裸露松散，彻底破坏沥青混合料整体整体性。随着车辆反复碾压、撕扯，松散集料不断脱落流失，破损区域持续扩大、加深，最终形成不规则坑槽，严重破坏路面平整度与结构完整性。市政道路自身排水体系缺陷进一步加剧水损害问题，部分道路设计路拱坡度偏小、排水效率不足，雨水口堵塞、收水设施淤积，导致雨天路面积水滞留、长期浸泡路面；检查井、雨水口周边高程控制不当，形成局部积水洼地，雨水持续渗入薄弱点位。

2 市政沥青路面预防性养护的原则、时机与评价体系

2.1 预防性养护实施基本原则

预防性养护是路面功能性养护手段，存在明确适用边界，仅适用于路面结构完整、路基基层稳定、弯沉指标合格，病害以表层微裂缝、轻微渗水、抗滑衰减、轻度车辙为主的路段。对于出现大面积沉陷、基层溃散、重度龟裂、连片唧浆的结构性破损路段，必须采用铣刨重铺、基层加固等矫正性维修，不可盲目封层掩盖病害。

市政道路预防性养护需遵循四项核心原则，一是早防早治原则，优先封堵渗水通道，从源头遏制水损害扩散；二是分级施策原则，依据道路等级、病害类型、破损程度匹配差异化工艺，避免过度养护与资金浪费；三是保通优先原则，优先选用快速成型、短时通车的养护工艺，错峰、夜间施工，最大限度降低对城市交通的影响；四是建养协同原则，统筹路面养护与管线改造、管网检修工作，同步严控回填质量，减少新增病害点位。

2.2 预防性养护最佳时机判定

养护时机直接决定养护投入产出比，过早养护造成资金闲置浪费，过晚养护导致病害侵入结构层，预防性措施彻底失效。市政路面养护决策以量化检测指标为核心依据，主要参考路面损坏状况指数 PCI、行驶质量指数 RQI、抗滑性能指数 SRI、车辙深度 RD 及路面弯沉值，结合道路服役年限、交通流量、历年病害台账综合判定。城市主干道在 PCI 降至 80－85、车辙深度小于 10mm、无结构性沉陷、弯沉合格、仅存在表层微损伤时，为预防性养护黄金窗口期；次干道与支路可根据通行条件适度放宽指标阈值。当前部分养护单位仍依赖人工经验目视判定病害，存在漏检、滞后问题，需建立年度常态化检测机制，通过路面性能衰变规律实现科学化、数据化养护决策。

2.3 路面病害分级与评价机制

科学分级评价是差异化养护施工的基础，结合市政道路病害特点，可将路面损伤划分为四个等级，精准匹配养护方案：一级为早期微损伤，以发丝裂缝、轻微渗水、抗滑衰减为主，结构完好，适用于雾封层、再生封层等低成本预养护工艺；二级为轻度表层病害，缝宽 3－10mm 独立裂缝、轻度网状细纹、5－10mm 浅车辙，基层稳定，可采用灌缝、微表处、稀浆封层处置；三级为中度表层病害，密集细裂缝、局部集料松散、轻度老化，无结构性缺陷，适配同步碎石封层、超薄磨耗层等补强封层工艺；四级为结构性病害，大面积龟裂、持续沉陷、唧浆、错台，路基基层受损，直接排除预防性养护方案，转入结构性维修流程。通过分级评价可将有限养护资金精准投入高效养护路段，大幅提升市政道路养护精细化管理水平。

3 适配市政场景的预防性养护技术对策

3.1 裂缝分级精细化处治技术

裂缝处置是市政预防性养护的首要工序，需根据裂缝宽度、形态、分布实行分级专项处置，全程以封水防渗为核心目标。缝宽小于 3mm 的发丝裂缝、大面积表层微裂，采用雾封层养护工艺，喷洒乳化沥青或再生型雾封材料，渗透填充细微空隙与裂缝，补充老化沥青粘结组分，封闭渗水通道，延缓沥青老化，该工艺造价低、施工快、无需长时间封路，适合支路、辅道大面积预防性养护。缝宽 3－10mm 的独立贯通裂缝，采用开槽灌缝工艺，通过专用设备清缝、除尘、烘干，灌注高低温稳定性强的改性密封胶，确保胶体与缝壁紧密粘结，阻断雨水下渗；城区主干道可采用贴缝带工艺，无扬尘、速度快，适配城市环保与通行要求。针对轻度网状开裂、表层集料松散、抗滑不足的公交道、非机动车道，优先采用微表处与稀浆封层工艺，薄层摊铺可同步封闭细纹、修复表层松散、恢复路面抗滑性能，成型速度快、夜间可施工。对于宽度超 10mm、伴随错台、唧浆的重度裂缝，严禁直接灌缝封层，需通过探地雷达、钻孔取芯核查基层状态，基层破损时必须先完成基层加固、沉降处置，再开展面层封闭，避免病害隐蔽发展、造成后期大面积破损。

3.2 表层封层与薄罩面养护技术

表层封层是市政道路中期预防性养护的核心技术，适配路面整体老化、多点渗水、轻度裂缝路段，可在不铣刨原有路面的前提下恢复道路使用性能。同步碎石封层通过同步设备喷洒改性沥青、撒布单粒径碎石，碾压成型后形成耐磨、防水、抗滑的保护层，抗剪切性能优异，适配主干道、公交站台等重载、频繁制动路段，可有效抵抗车辆水平推力，延缓表层老化渗水。纤维封层在沥青层中掺入增强纤维，抗拉、抗反射裂缝性能更强，适合温差大、裂缝复发频繁的城区路段。超薄磨耗层厚度控制在 1.5－2.5cm，采用高黏改性热拌沥青混合料摊铺，平整度高、耐久性好、抗车辙性能优异，适用于主干道轻度车辙、整体老化路段，可显著提升行车舒适度。稀浆封层、微表处为冷拌薄层工艺，施工噪音低、污染小、开放交通快，适配城市次干道、支路日常预防性养护。所有封层、罩面施工前，必须完成裂缝灌缝、松散剔除、病害预处理，保证原路面坚实稳定，杜绝新老面层粘结失效、脱落推移问题。

3.3 排水优化与井周专项预防性养护

水损害防控的关键在于完善排水体系、消除积水隐患，是市政独有的重点养护内容。日常养护中需定期核查路面路拱横坡，对局部倒坡、积水洼地进行铣刨找平；常态化疏通雨水口、收水支管，清理落叶、泥沙淤积，保障雨天雨水快速排出。针对渗水严重、排水不畅路段，增设浅层排水盲沟，导出结构层滞留积水，避免路基长期泡水软化。检查井、雨水井周是市政路面最薄弱的常态化病害点位，需开展专项预防性养护。定期检测井框与路面高差，及时调平检查井，消除跳车病害；对井周开裂、松散区段，挖除劣质回填土，采用早强高强度材料分层压实回填，铺设抗裂贴分散应力，解决井周反复开裂、沉降问题。通过排水优化与井周专项治理，可彻底消除市政路面核心薄弱隐患，大幅提升预防性养护整体成效。

4 结语

本文依托市政道路独特的运行环境与结构特点，系统梳理沥青路面裂缝、变形、水损害三类主要病害的发育规律，剖析城市交通、积水浸泡、管线扰动等因素对路面劣化的影响机制，明确了市政沥青路面预防性养护的基本原则、最优养护窗口及病害分级评价标准，针对性构建了分级治缝、表层封层、排水整改、井周补强的综合预养护技术体系。实践表明，精准实施早期预防性养护可有效遏制路面病害蔓延，规避结构性破损，显著提升道路通行舒适度与安全性，该研究可为城市市政道路常态化养护、精细化管养和降本增效提供可靠的技术参考。

参考文献：

[1] 李昊.城市沥青路面典型病害机理与预防性养护技术研究[J].交通运输工程学报,2020,20(03):56-64.

[2] 王瑞.市政道路沥青路面水损害成因及精细化养护对策[J].市政工程,2021,47(05):112-115.

[3] 刘建军.城市道路沥青路面养护时机决策与工艺优化[J].公路交通科技,2022,39(04):38-43.

[4] 赵天宇.城区管线扰动下沥青路面病害演变及养护技术[J].城市道桥与防洪,2022(07):256-259.

[5] 陈立伟.预防性养护技术在市政沥青道路中的应用研究[J].工程管理学报,2023,37(01):142-146.