市政道路裂缝病害检测与注浆修补技术实践研究

王　硕

菏泽市市政工程管理处　山东　菏泽　274000

摘　要：市政道路裂缝是影响道路通行安全与使用寿命的核心病害，为精准治理道路裂缝问题，本文系统划分道路裂缝类型，剖析自然环境、交通荷载、施工材料等病害成因及危害。对比分析人工检测与无损智能化检测技术的优劣，规范病害检测流程与数据处理方式。聚焦注浆修补技术，优化注浆材料配比与差异化施工工艺，落实全流程质量管控，通过工程检测验证修补效果，可为市政道路裂缝病害精细化养护提供实践参考。

关键词：市政道路裂缝；病害检测；注浆修补；技术实践

引言：市政道路是城市交通体系的核心载体，长期受环境侵蚀、车辆荷载及施工扰动影响，普遍出现各类裂缝病害，易引发路面渗水、路基沉陷等问题，大幅降低道路通行质量、增加养护成本。当前道路裂缝检测与修补存在精细化不足、针对性不强等问题。基于此，本文结合工程实践，系统探究裂缝病害机理、智能化检测手段及注浆修补工艺，旨在优化病害治理方案，提升市政道路养护质量与结构稳定性。

1 市政道路裂缝病害类型及成因分析

1.1 市政道路裂缝病害主要类型

（1）按裂缝形态分类：横向裂缝多垂直于道路中心线，呈单条或间隔分布，多由温度收缩、基层反射引起；纵向裂缝平行于行车方向，常位于轮迹带、车道接缝或路肩边缘，表现为细长线状并逐渐加宽；网状裂缝呈龟裂、网裂状态，纵横交错，面积较大，多发生于面层老化、基层强度不足区域；不规则裂缝形态杂乱，走向不定，常与沉陷、坑槽伴生，反映结构受力不均。（2）按裂缝深度分类：表面浅层裂缝仅涉及面层，宽度小、深度浅，危害较轻；中层贯穿裂缝延伸至基层顶部，易渗水，需及时封灌；深层基层裂缝已深入基层，削弱承载力，属中等以上病害；路基脱空裂缝伴随路基空洞，路面易沉陷，危害最高，需结构性修复[1]。（3）按病害成因分类：结构性裂缝由荷载、基层承载力不足、路基沉降等引起，持续扩展并破坏道路结构；非结构性裂缝多由温度、干缩、老化等引起，初期以表面裂缝为主，雨水侵入后可转化为结构性病害。二者应分类处置。

1.2 裂缝病害产生的影响因素

（1）自然环境因素：温度骤变使路面产生温度应力，热胀冷缩反复作用引发横向、纵向裂缝；雨水渗透缝隙，在冻融循环中产生冻胀并冲刷基层；干湿交替使材料收缩膨胀，紫外线老化使沥青变脆，降低抗裂能力。（2）交通荷载因素：长期车辆动荷载使面层、基层承受反复弯拉与剪切，超载车辆加大应力集中，导致基层、路基疲劳损伤，裂缝由细变宽、由短变长，形成扩展型裂缝。（3）施工与材料因素：基层压实度不足、混合料配比不合理、摊铺温度控制不当、养护不到位，会留下薄弱界面；原材料性能不达标，如沥青老化、集料含泥量高，也会降低路面强度，诱发早期裂缝。（4）地质与沉降因素：路基土质不均匀、软土压缩、地基沉降、地下管线施工扰动等，使道路结构受力不均，局部产生拉应力与剪应力，最终形成沉降裂缝、错台裂缝[2]。

1.3 裂缝病害的危害分析

（1）影响道路通行性能：裂缝导致路面平整度下降，车辆行驶颠簸、噪声增大，降低通行舒适度，雨天易积水打滑，引发行车安全隐患。（2）加剧道路结构破损：裂缝形成渗水通道，雨水渗入基层与路基，造成基层软化、路基掏空，引发路面沉陷、坑槽和大面积破损，缩短道路寿命。（3）增加道路养护成本：轻微裂缝未及时修复会持续扩展，从小型病害演变为大型结构性病害，大幅提升后期养护、翻新成本，降低道路综合效益。

2 市政道路裂缝病害检测技术应用

2.1 常规人工检测技术

（1）人工目视排查：检测人员沿路段步行或车载低速巡查，借助裂缝观测仪、钢尺、卷尺、塞尺、标记笔等工具，对路面裂缝的位置、长度、宽度、走向、形态

及分布密度进行记录。该方法适用于路面浅层表面裂缝的初步筛查，可快速建立病害台账，判断裂缝大致范围和严重程度。但其受检测人员经验、光照条件、视角差异影响较大，对微小裂缝、隐蔽裂缝及深层病害容易漏判，检测结果主观性较强，通常作为前期普查和辅助复核手段。（2）人工钻孔探测：在典型裂缝或疑似深层病害位置布设钻孔，采用取芯机、钻孔机进行取样，测量裂缝延伸深度、基层完整性、路基含水状态及脱空情况，结合芯样判断裂缝是否贯穿基层、是否存在软弱夹层或路基掏空。该方法可为裂缝病害等级判定和注浆修补设计提供基础数据，但属于有损检测，点位有限，代表性受布孔位置影响较大，不宜大面积使用，通常与无损检测配合验证[3]。（3）常规检测技术优缺点：常规人工检测操作简单、设备成本低廉、人员易于培训，适合日常巡查、局部复核和应急检查。但其检测效率低，主观性强，数据标准化程度不足，难以精准识别深层隐蔽性裂缝、基层脱空和路基空洞等病害。检测结果多依赖经验判断，难以满足精细化养护和数字化管理要求，因此常作为辅助手段，与无损智能化检测技术结合使用。

2.2 无损智能化检测技术

（1）超声波检测技术：利用超声波在道路结构中的传播速度、波幅、频率等变化，识别内部裂缝、脱空区域和疏松部位。当结构存在裂缝、空洞或界面剥离时，声波会产生反射、绕射和衰减异常，据此可判定深层病害位置与破损程度。该技术适用于水泥混凝土路面、桥面铺装及基层局部检测，对裂缝深度和脱空范围有一定识别能力。但道路材料非均质性强，耦合条件要求高，需多点标定和综合解释[4]。（2）地质雷达检测技术：通过发射高频电磁波，接收不同介质界面的反射信号，形成雷达剖面图像。检测时可根据目标深度选择合适频率天线，结合介电常数标定，快速获取道路基层、路基内部结构图像，实现隐蔽裂缝、空洞、脱空及含水异常的全覆盖检测。该方法连续、快速、无损，适合大面积普查和重点路段排查。但图像解释依赖经验，钢筋、管线、含水层等可能形成干扰，需结合钻孔或取芯验证。（3）图像识别检测技术：依托车载高清相机、无人机或手持设备采集路面影像，通过 AI 图像分析技术自动识别、统计路面裂缝病害，提取长度、宽度、面积、密度等指标，并生成病害分布图。该技术可提升检测效率与数据精准度，减少人工误差，便于建立数字化病害档案。但受光照、阴影、积水、油污、标线等影响，需建立样本库并进行人工复核，确保识别结果可靠。

2.3 病害检测流程与数据处理

（1）前期准备工作：梳理检测路段基础资料，包括设计图纸、施工记录、养护历史、交通量及地下管线资料，明确检测目的与范围，划分检测区域和重点路段。调试地质雷达、超声波、摄像、钻孔等设备，开展校准。制定专项检测方案和交通组织方案，准备记录表格、编号规则和影像档案，确保检测过程安全、规范、可追溯。（2）现场检测实施：按照“先表层、后深层，先整体、后局部”的原则，有序开展病害检测、数据记录与影像留存。先进行目视普查和图像采集，再开展地质雷达连续扫描、超声波点测和钻孔验证。对疑似病害进行标记、编号、拍照和测量，记录位置桩号、车道、裂缝宽度深度及周边沉陷积水情况。检测中注意避让交通，保证人员安全，必要时对异常点复测。（3）检测数据整理与病害评级：对检测数据汇总分析，进行去噪、校正、坐标匹配和可视化处理。依据裂缝形态、长度、宽度、深度、密度及基层脱空情况，判定裂缝病害类型、等级，区分表面浅层裂缝、中层贯穿裂缝、深层基层裂缝和路基脱空裂缝。分析病害成因与发展趋势，形成检测报告，为后续注浆修补方案制定提供依据。

3 市政道路裂缝注浆修补技术实践与质量控制

3.1 注浆修补材料选型与配比优化

（1）常用注浆材料特性：水泥基注浆材料强度高、耐久性好、成本低，适合较宽裂缝和深层脱空，但颗粒大、渗透性弱、收缩明显；环氧树脂注浆材料粘结强度高、渗透性好、收缩小，适合细微裂缝和结构补强，但价格高、低温固化慢；聚氨酯注浆材料遇水膨胀、止水快、凝胶时间可调，适合潮湿裂缝和渗漏封堵，但长期强度和耐老化性有限。应结合裂缝状态与工况综合比选。（2）材料选型原则：根据裂缝深度、宽度、病害等级及道路通行要求匹配材料。浅层细微裂缝优先选低黏度环氧或聚氨酯；中层贯穿裂缝可选环氧与水泥基复合浆液；深层基层裂缝和路基脱空宜选水泥基或改性水泥基浆液。同时考虑温度、湿度、开放交通时间和经济性，确保修复强度与施工成本平衡。（3）注浆材料配比优化：通过室内试验调整水灰比、外加剂掺量，优化浆液流动性、凝固速度和抗压强度。水泥基浆液可掺减水剂、膨胀剂、早强剂和粉煤灰；环氧树脂应控制固化剂比例和适用期；聚氨酯应调节发泡倍率和凝胶时间。现场根据温湿度微调，保证浆液可注、饱满、密实。

3.2 差异化注浆修补施工工艺

（1）浅层裂缝注浆工艺：针对路面表层细微裂缝，采用低压渗透注浆。先清理裂缝内灰尘、杂物和积水，必要时用丙酮擦拭；沿缝封闭并预留注浆嘴、排气口；

低压缓慢注浆，使浆液充分渗入；注浆后拆除注浆嘴，表面找平养护。该工艺扰动小，适用于宽度小、深度浅的表面裂缝。（2）中层贯穿裂缝注浆工艺：针对贯穿式裂缝，采用常规压力注浆。沿裂缝设置注浆孔和排气孔，孔距按缝宽、深度确定；钻孔清孔后埋设注浆管；分层分段注浆，压力控制在 0.3～0.8MPa，确保浆液饱满填充；排气孔出浆且压力稳定后停灌，封孔并检查漏浆，必要时二次补灌，避免压力过大造成路面抬升。（3）深层路基裂缝与脱空注浆工艺：针对深层和路基脱空病害，采用高压填充注浆。先通过地质雷达和钻孔确定脱空范围与深度，布设注浆孔；用高压设备将水泥基或改性浆液注入，填充空洞、挤密土体、加固路基；注浆顺序由外向内、由低到高，实时监测压力和路面抬升。结束后稳压闭浆，消除脱空隐患，恢复整体承载力[5]。

3.3 施工全过程质量控制要点

（1）施工前期质量控制：严格核查原材料性能，检查水泥、树脂、固化剂、外加剂等合格证和复试报告；精准定位病害区域，复核裂缝位置、深度和脱空范围；优化施工方案，确定注浆孔位、压力、浆液配比和顺序；做好现场交通疏导、安全围挡与施工准备，确保人员、设备和材料到位。对重点路段应进行试验注浆，验证参数后再全面施工。（2）施工过程质量控制：严控注浆压力、注浆速度、浆液用量，实时监测注浆施工状态。压力过高易造成路面抬升、劈裂和浆液流失，压力过低则填充不密实；注浆速度应与浆液凝固速度匹配，避免漏浆、空鼓、溢浆。安排专人记录孔号、压力、用量和异常情况，发现串浆、冒浆及时停灌处理，确保注浆饱满均匀。同时观察周边路面、管线及构筑物变化，防止次生损伤。（3）施工后期养护控制：完成注浆后做好封闭养护，严控养护温度、时间。根据材料要求保持适宜温度和湿度，禁止车辆提前通行，保障浆液充分凝固成型。养护期满后检查注浆孔封堵、表面平整和裂缝封闭情况，对局部缺陷及时修补，并建立养护记录，为后续检测评价提供依据。

3.4 工程应用效果检测与评价

（1）外观质量检测：检查修补后路面平整度、裂缝封闭完整性，观察有无开裂、脱落、渗水等二次病害。采用目视、尺量和拍照记录，重点检查注浆孔、裂缝边缘和原病害密集区。表面应平整密实，无明显浆液残留、鼓包和错台，裂缝封闭连续，雨天无渗水痕迹。（2）结构性能检测：通过承载力检测、密实度检测，验证注浆修补后道路基层、路基结构稳定性。可采用落锤式弯沉仪、地质雷达、钻孔取芯等方法，对比修补前后弯沉值、密实度和脱空范围。若承载力不足或仍有空洞，应补充注浆或采取其他加固措施，确保结构性能满足通行要求。（3）长期应用效果评价：跟踪观测修补路段长期通行状态，定期检查裂缝是否复发、扩展，路面是否沉陷、坑槽。结合交通量、气候和养护记录，分析注浆修补技术的长效性与工程适用性。通过对比不同材料、工艺和路段的修复效果，总结优化方案，为同类市政道路裂缝病害治理提供参考。

结束语

本文全面梳理了市政道路裂缝病害的类型、成因与危害，整合常规与智能检测技术的应用要点，完善了不同工况下注浆修补的材料选型、施工工艺及质量控制体系。实践表明，差异化注浆技术可高效修复各类道路裂缝病害，有效恢复道路结构承载力。研究总结的施工与检测方案，能够解决道路裂缝治理的实操难题，对提升市政道路养护精细化、规范化水平具有重要工程应用价值。

参考文献

[1] 谢志念. 市政道路沥青路面裂缝早期识别与注浆修复技术分析 [J]. 交通科技,2024,21(03):102-106.

[2] 岳鹏威. 市政道路混凝土裂缝成因及微创注浆修补技术研究 [J]. 工程抗震与加固改造,2024,46(06):195-200.

[3] 郝明. 市政道路沥青路面裂缝病害检测与注浆处置技术 [J]. 中国高新科技,2025,19(09):116-118.

[4] 朱津楠, 朱敏. 非开挖注浆技术在市政道路基层隐性裂缝病害处治中的应用 [J]. 散装水泥,2025,30(04):56-58.

[5] 王磊. 城市道路裂缝病害精细化检测与注浆加固质量控制 [J]. 城市道桥与防洪,2023,27(11):189-192.