

市政道路路基路面病害成因分析与预防性养护技术研究

章泽浩

宇航交通建设集团有限公司

摘 要：本文对市政道路路基路面病害成因进行系统性分析，并探讨了相应的预防性养护技术体系，研究首先从内部设计、外部环境及管理维护三个维度，深入剖析了导致道路结构性能衰退的关键诱因，进而针对性地阐述了路基排水、边坡防护以及路面裂缝密封、表面封层与薄层罩面等预防性养护核心技术的原理与应用要点，旨在为市政道路的科学养护提供理论依据与实践指引，以通过前瞻性的干预措施延缓病害发展、优化全生命周期养护成本并提升道路服务品质。

关键词：市政道路；病害成因；预防性养护

引言

市政道路作为城市基础设施的核心组成部分，其服役性能直接关系到交通安全、通行效率与运营经济性，然而在交通荷载与环境因素的长期耦合作用下，路基路面结构不可避免地会出现各类病害，导致其功能性与结构性持续衰减，传统“重建轻养”或“反应式维修”的模式已难以适应现代城市道路高效、经济、可持续运营的需求，本文旨在对此进行深入探讨，以期提升市政道路的养护管理水平与长期服役性能提供有益参考。

1 市政道路路基路面病害成因系统性分析

1.1 内部因素分析

市政道路病害产生的内部根源首先在于其自身材料与结构在设计寿命期内存在的固有缺陷或性能衰减，材料层面的不足是核心诱因之一，无论是路基填土因压实度不均或选用不当导致的先天强度不足与水稳定性差，还是路面沥青混合料因其配合比设计不合理或沥青老化而表现出的抗疲劳与抗变形能力衰退，这些材料性能上的短板都直接决定了结构在荷载与环境作用下的薄弱环节，进而为各类病害的发生埋下了伏笔。与之紧密相关的另一关键内部因素则在于道路结构体系在设计构想与组合上可能存在的局限性，例如路面各结构层之间模量不匹配所造成的应力集中现象，或是路基内部排水路径设计不畅使得孔隙水压力无法及时消散，这类设计层面的欠考虑往往使得道路结构在复杂受力状态下难以维持整体协调工作，故而其抵抗外部干扰的冗余能力被大幅削弱，导致结构在服役早期便可能显现出非正常的变形或损伤迹象。

1.2 外部因素分析

道路结构在其漫长的服役期内持续承受着来自外部环境的多样化侵袭，其中交通荷载的重复与动态效

应是最主要且直接的力学诱因，日益增长的车流量特别是重载与超载车辆的反复作用，使得路面结构层与路基土体承受远超其设计疲劳极限的应力应变循环，这种累积性损伤会不断加剧材料内部的微裂纹扩展并引发不可恢复的永久变形，所以车辙、疲劳裂缝等典型病害往往在交通繁重的路段率先出现并快速发展。另一类不可忽视的外部因素源于自然气候与环境条件的长期性与周期性影响，剧烈的温度变化会引发沥青面层材料的收缩与膨胀并产生温度应力，而反复的冻融循环则对路基土体与路面材料的内部结构造成物理性破坏，同时大气降水与地下水的共同作用会持续软化路基并侵蚀路面材料间的黏结，这些环境因素与交通荷载的耦合作用极大地加速了道路结构性能的退化进程^[1]。

1.3 管理与维护因素分析

在道路全生命周期中，人为的管理与维护活动对其健康状况的影响具有决定性意义，而施工阶段的质量控制疏漏是诸多后续病害的起始点，倘若路基压实作业未能达到设计要求的密实度与均匀性，或是路面各结构层摊铺时温度控制失当与碾压工艺不规范，这些施工环节的瑕疵都会在道路结构中留下初始缺陷，使得其整体承载能力与耐久性远低于设计预期，因而在后续使用中更易发生各种早期损坏。另一方面，运营期养护策略的科学性与及时性同样是左右道路技术状况演变方向的关键管理因素，缺乏系统性的定期检测与评价将导致无法准确掌握路况的衰变规律与潜在风险点，而预防性养护理念的缺失或资金投入不足则会使道路长期处于“小病不治、大病难医”的被动状态，致使一些原本可通过低成本干预得以控制的轻微病害迅速发展为严重的结构性破坏，这实质上是管理决策滞后性所导致的使用寿命与经济性双重损失。

2 市政道路路基路面预防性养护技术

2.1 路基预防性养护关键技术

2.1.1 排水系统维护与优化

市政道路路基的长期稳定与耐久性能在很大程度上依赖于其排水系统的有效运作,因而针对排水系统的系统性维护与持续性优化便构成预防性养护的核心环节,这一技术范畴的关注重点首先在于对既有排水设施的功能状态进行定期评估与针对性修复,因为路基内部水分的积聚往往是引发多种病害的根源。具体而言,维护工作需确保边沟、截水沟、排水管及渗沟等构造物始终处于畅通无阻的状态,防止因泥沙淤塞、杂物堆积或结构破损导致排水功能失效,同时对于地下水位较高或水文地质条件复杂的路段,优化设计则显得尤为重要,其方向侧重于提升排水系统的主动干预与导流能力,例如通过增设盲沟、渗井或深层排水设施来降低路基内部的地下水位,以此有效阻隔水分向路基土体的持续渗透,避免土基强度因含水率升高而出现显著衰减。进一步地,排水系统的优化还需与道路的整体设计及周围环境演变相结合,特别是随着城市发展导致的地表径流模式改变,原有的排水能力可能无法满足现行需求,故而需要在养护过程中结合实时监测数据,对排水网络的布局与容量进行动态调整与升级,这种优化并非单一工程措施,而是一个涵盖水文分析、材料性能与结构设计的综合性过程,其根本目的是在水分对路基材料造成不可逆的损害之前便将其有效疏导,以此维持路基土体处于相对干燥与密实的稳定状态,从源头上遏制翻浆、沉陷与边坡滑塌等病害的发生与发展^[2]。

2.1.2 边坡防护与加固技术

路基边坡的稳定性是保障道路整体安全与通行能力的关键前提,故而其预防性养护技术主要围绕表层防护与内部加固两个层面展开,旨在抵御自然营力与行车荷载的长期共同作用,表层防护技术的首要目标是防止坡面材料因雨水冲刷、风化剥蚀或冻融循环而流失,常用的工程措施包括植草护坡、骨架护坡以及铺设各类防护网或土工材料,这些防护形式能够有效分散并减弱雨滴对坡面的溅蚀动能,其深层价值在于通过植被根系的加筋作用或人工材料的覆盖隔离,使坡面形成一个相对稳固且具有连续性的表层结构,进而显著降低坡面径流形成集中冲刷的可能性。与此同时,对于已存在潜在失稳风险或处于特殊地质条件下的高陡边坡,则需要引入更为积极的内部加固技术,其核心理念是通过增强边坡土体自身的力学性能来提高其抗剪强度与整体稳定性,此类技术通常涉及柔性

防护系统如主动网与被动网的安装,或者采用土钉、锚杆等构件对潜在滑移体进行深层锚固,这些加固措施的作用机理在于通过人为引入的加强元件与岩土体共同工作,形成一个能够承受更大拉应力和剪应力的复合结构体系,从而约束坡体的变形发展趋势,提高其安全储备,实施边坡防护与加固是一个需要综合考虑地质勘察、稳定性计算与长期性能监测的系统性工程,其成功应用能够显著延长边坡的服务寿命,避免因局部失稳演变成大规模路基损毁,因而在路基预防性养护策略中占据着不可替代的地位。

2.2 路面预防性养护关键技术

2.2.1 裂缝密封技术

路面裂缝作为最常见且具有发展性的早期病害,其及时有效的密封处理是阻断水分与异物侵入路面结构内部、延缓病害扩展的关键性预防养护措施,裂缝密封技术依据裂缝的宽度、深度及活跃程度差异,主要可分为两种针对性的处置思路,对于非结构性的、相对稳定的细小裂缝,例如温度收缩裂缝,通常采用普通密封胶进行表面封闭处理,其工艺核心在于通过专用设备将加热成流态的密封材料灌入或刮抹至裂缝中,待其冷却固化后形成一道具有黏弹性且与旧路面紧密黏结的防水屏障。这道屏障的意义不单单在于封堵表面开口,更在于其材料自身具备良好的追随变形能力,能够适应路面因温度变化而产生的有限胀缩,从而在较长时间内保持密封的完整性,防止因水分下渗而引发基层软化、粒料流失乃至坑槽等次生病害。另一方面,对于宽度较大、可能伴随轻微板块活动或反射上来的结构性裂缝,则需要采用更具柔韧性和抗位移能力的材料与技术,例如使用高分子改性沥青制备的高性能密封胶或采用开槽后填充的处置方式,此类技术着重强调密封材料在较大变形条件下仍能保持不破裂并与裂缝壁保持牢固黏结的性能,其施工过程往往涉及对裂缝的规范化开槽清理以提供更佳的黏结界面与材料容纳空间,通过实施与裂缝类型相匹配的密封技术,可以有效维持路面结构的整体性与连续性,阻止局部损伤的进一步蔓延,这实质上是以较小的经济投入来避免未来可能产生的大规模维修,是延长路面使用寿命最为经济有效的策略之一^[3]。

2.2.2 表面封层技术

表面封层技术是在原有路面结构性能基本完好的基础上,为提升其表面功能特性、改善防水抗滑性能并封闭细微缺陷而施加的一层薄层处理,其作为预防性养护手段的核心价值在于以非加铺的方式显著恢复路面服务品质,雾状封层与稀浆封层是此技术范畴内

两种具有代表性的应用形式,它们均通过在老路面上洒布或摊铺一层特殊的沥青混合料来达到养护目的,雾状封层主要是将经过特殊稀释的乳化沥青以雾状形式均匀洒布于路面,其作用机理在于这种流动性极佳的沥青材料能够渗入路面细微孔隙及发丝裂缝中,起到良好的封闭与黏结作用,同时为因老化而贫油的路面表面补充结合料,恢复其柔韧性,并在表面形成一层极薄的保护膜,从而改善路面防水性能并延缓氧化老化进程。相较之下,稀浆封层则是将乳化沥青、级配集料、水及添加剂按设计配比拌和成稀浆状的混合料,然后采用专用设备进行摊铺,形成一层厚度通常为数毫米的封层,这层封层在破乳成型后能够有效填充路面表面的不规则处与微小坑洞,提供一个全新、致密且抗滑的表层,它封闭了路表裂缝与孔隙,同时显著改善了行驶舒适性与轮胎附着力,无论是雾状封层还是稀浆封层,其成功应用的前提均是对原路面状况的准确评估与对材料配比的精细控制,它们的共同目标并非结构补强,而是通过改善路面表层的功能属性来保护下层结构免受环境因素的侵害,进而延长道路的整体服役周期,这是一种典型的经济型养护策略。

2.2.3 薄层罩面技术

薄层罩面技术是在现有路面上加铺一层厚度较薄的热拌沥青混合料面层,其主要目标是矫正路面的轻微车辙与平整度缺陷,恢复并提升表面纹理与行驶质量,同时为下层结构提供额外的保护,属于一种功能恢复与轻度结构补强相结合的预防性养护措施,超薄磨耗层与常规薄层罩面是该项技术的两种主要实现方式,它们在材料设计与施工工艺上各有侧重,超薄磨耗层通常采用间断级配或改性沥青混合料,其铺筑厚度一般较小,施工时多采用专用设备实现黏结层喷洒与热混合料摊铺的同步进行,这种工艺确保了新铺层与原路面之间形成极其牢固的黏结界面。超薄磨耗层

的突出优势在于能够快速提供一个高抗滑、低噪音且平整耐久的全新行驶表面,同时对原路面的几何线形影响极小,施工开放交通迅速,非常适用于交通流量大、对运营干扰要求高的城市道路。而常规薄层罩面的厚度范围相对更广,其所采用的混合料类型也更为多样,从细粒式到砂粒式均有可能,它的实施除了能够有效消除表面病害、改善平整度外,还因其具有一定的厚度而能贡献些许结构承载力,并对原路面起到更好的隔绝与保护作用。薄层罩面技术应用的关键在于对原路面结构强度的充分调查与对界面黏结处理的严格控制,确保新老层间结合良好,避免出现推移或脱层等早期损坏,在不进行大规模结构性重建的前提下,使路面外观与使用性能得到显著且持久的恢复,是实现道路资产保值与延寿的重要手段^[4]。

3 结束语

市政道路的耐久性与服务性能是多重因素共同作用的复杂结果,其病害防治工作必须建立在系统性成因分析的基础之上,本文通过整合内部设计、外部环境及管理维护等多维度视角,构建了一个更为全面的病害成因分析框架,并据此梳理了以主动干预为核心特征的预防性养护关键技术体系,实践表明,将养护决策从被动应对转向主动预防,是优化道路全生命周期成本、延长其使用寿命并保障服务品质的必然选择。

参考文献:

- [1] 马学源. 市政工程中沉降段路基路面施工技术研究[J]. 山西建筑, 2025, 51(21): 151-154.
- [2] 万君伟. 市政道路桥梁沉降段路基路面施工技术要点[J]. 工程建设与设计, 2025, (19): 206-208.
- [3] 孙宇杰. 市政道路路基路面病害现象的应对探讨[J]. 产业科技创新, 2023, 5(02): 92-94.
- [4] 杜海博, 张青. 市政道路路基及其路面设计技术[J]. 居业, 2018, (04): 19+21.