

基于“业务-数据”双闭环管理的道路基础设施运维技术与模式

刘 伟

(上海城建养护管理有限公司, 上海市 200135)

摘 要: 随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展,道路基础设施的数字化建设已成为提升交通系统安全性、效率和可持续性的关键途径。为给道路设施养护精细化、数字化的进一步发展提供相关依据,首先通过分析传统道路养护现状的不足,提出了以精细化养护业务管理与设施性能数据管理交互闭环的新型基础设施运维管理新模式,阐述了实现“业务-数据”双闭环式管理模式的支撑技术和实施路径;其次深度剖析了道路基础设施性能数字化感知采集技术和数据智能分析技术在道路设施养护管理和作业中的应用情况,归纳分析了数据驱动下的主要新型养护技术;最后围绕未来道路设施性能评价和预测方法,在技术和标准上提出了发展期望。

关键词: 道路设施养护;双闭环式管理;全息感知;数据驱动

中图分类号: U495

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)10-0015-07

Technology and Model for Operation and Maintenance of Road Infrastructure Based on “Business-Data” Dual Closed-loop Management

LIU Wei

(Shanghai Urban Construction Maintenance Management Co., Ltd., Shanghai 200135, China)

Abstract: With the rapid development of technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence, the digital construction of road infrastructure has become a key approach to enhance the safety, efficiency and sustainability of the transportation system. To provide relevant basis for the further development of refined and digitalized road facility maintenance, first, by analyzing the deficiencies of the current situation of traditional road maintenance, a new model of infrastructure operation and maintenance management featuring an interactive closed loop between refined maintenance business management and facility performance data management has been proposed, and the supporting technologies and implementation paths for realizing the “business-data” dual closed-loop management mode are expounded. Secondly, a deep analysis is conducted on the application of digital perception and collection technology for road infrastructure performance and intelligent data analysis technology in the maintenance management and operation of road facilities, and the main new maintenance technologies driven by data are summarized and analyzed. Finally, the development expectations are put forward in terms of technology and standards regarding the performance evaluation and prediction methods of future road facilities.

Keywords: maintenance of road facilities; double closed-loop management; holographic perception; data-driven

0 引 言

截至 2024 年末,我国道路综合交通网络总里程已超 600 万 km,全国公路总里程已达 549.04 万 km,公路密度达 56.63 km/(10² km²),累计道路固定资产已超 250 000 亿元^[1-2]。国家公路的快速发展总体适应经济社会发展需要,极大便利了人民群众出行,构

建了公路交通新发展格局,推动了公路交通高质量发展。

国家道路综合交通设施经过数十年的发展,其存量基础设施体量已非常庞大,但大量设施已经进入老龄化阶段。以上海市为例,城市快速路设施最长服役年限已达 31 a(内环高架),越江大桥设施最长服役年限已达 34 a(南浦大桥),高速公路设施最长服役年限已达 37 a(S5 沪嘉高速)。因此,道路基础设施的发展正步入从“增量扩张”到“存量优化”的轨道。

收稿日期: 2025-02-24

作者简介: 刘伟(1992—),男,硕士,工程师,从事工程施工、设施养护等领域运营管理工作。

国家面对如此庞大的道路交通设施存量,每天都投入巨额的养护运维费用,用以满足社会公众美好出行新期待和公路交通高质量发展要求。根据国家《“十四五”公路养护管理发展纲要》,为保障我国公路技术状况处于良好水平,维护国家公路资产的正常运转,我国在公路养护方面,年度日常养护投入已达2 587亿元,年度养护工程投入已达7 898亿元^[2]。

然而面对如此庞大的道路综合交通设施养护运维需求,其设施养护管理无法避免地存在着短板和弱项,诸如:(1)“以建代养”的现象仍比较普遍;(2)公路养护管理资金保障能力不足,管养资金持续投入呈现较大压力;(3)道路桥梁面临危病桥梁多、老旧桥梁多、低荷载桥梁多等问题;(4)道路“一张网”运行监测体系尚不健全,路网运行精准感知与精确分析能力不强,出行信息发送、交互式体验等出行服务高品质供给有待加强。以上问题主要归因于我国大部分区域现阶段仍以传统养护管理措施开展设施养护管理与作业,导致养护覆盖不全面,养护措施不及时。

近年来,交通运输部等持续印发《交通强国建设纲要》、《公路养护管理发展纲要》、《交通领域科技创新专项规划》等,对新时代下的道路设施养护提出了明确要求:一是加强基础设施运行监测检测,及时发现问题;二是强化交通基础设施养护,确保运营;三是依托大规模检测数据推行养护科学决策,实现检测养护数据与养护管理科学交互^[3]。

因此,本文响应国家政策要求,针对传统道路养护存在的不足,提出基于“业务-数据”双闭环管理的道路基础设施运维新模式及其实施路径,并深度剖析道路基础设施性能数字化感知采集技术和智能分析技术在道路设施养护管理和作业中的应用前景,为道路设施养护的精细化、数字化的进一步发展提供相关依据。

1 道路养护现状模式及其问题分析

1.1 传统道路养护模式^[3-4]

1.1.1 养护时机与方式

滞后性:传统道路养护模式通常是在道路已出现病害或破损后才进行养护,这种滞后性导致养护工作量大、费用高、周期长,且难以延长路面的使用寿命。

被动性:传统养护模式属于事后弥补的被动行

为,错过了最佳的养护时机,难以适应现代道路养护的需求。

1.1.2 养护效率与质量

依赖人力:传统道路养护主要依赖人工操作,工作效率低下,巡检覆盖面较低,养护信息的收集和处置受人为因素影响大,养护管理数据难以得到有效及时的利用,最终导致养护质量难以保证。

缺乏精准性:缺乏先进的监测和数据分析手段,传统养护模式往往难以精准定位病害位置和程度,养护决策依据不充分,导致养护措施不够精准,养护效果不佳。

1.1.3 养护管理与监督

管理粗放:传统养护模式在管理上较为粗放,缺乏科学的管理方法和手段,未有效利用日常养护数据进行深度分析,导致养护资源分配不合理,养护效果难以评估。

监督困难:由于道路养护工作涉及多个环节和多个部门,传统养护模式在监督上往往存在困难,难以实现对养护工作全过程的实时监控和有效管理。

1.2 道路养护所存在的问题分析

1.2.1 养护管理数据更新频率低

面对全国庞大的综合道路交通设施量,全国各区域存在不同程度上的养护覆盖不全面现象,如全国道路性能年检覆盖比例低于10%,全面更新一次路面性能需长达10年,甚至道路网络发达的上海,全面更新一次路面性能也需3 a。而现阶段道路路面养护管理数据整体呈现出的时效性差特征,致使实际养护措施不及时。

1.2.2 养护结果检测维度单一,决策支持有限^[4-5]

一方面,现阶段大部分区域的道路设施养护检测装备功能较为单一,检测数据粒度粗糙,导致所形成的养护数据维度单一,无法对养护方案进行有效优化,从而造成养护资金的分配不合理。

另一方面,现阶段大部分设施采用的养护分析信息维度单一,无法更多层地支撑养护对策的决策,加之能为养护提供决策的数据更新频率低,致使养护数据对养护决策的支持有限。

1.2.3 管养流程缺乏交互

(1)养护检测数据更新周期长。现阶段行业要求对道路性能开展检测的周期一般为1~2次/a,对应的检测报告生成需30~120 d,导致道路性能数据更新频率难以支撑养护决策。

(2)道路设施精细化养护匮乏。养护检测内容

主要以道路养护运行累计静态的 IRI, PCI 等加权指标为主,缺乏动态数据支撑,同时检测数据的应用管理未与实际的养护作业形成科学交互,导致养护作业及时性不足。

(3) 养护效益跟踪未落实。养护作业主要以表面病害发生为依据,缺少对病害成因分析,导致病害频发,难以综合定量评价养护作业效益,致使养护效益无法落实有效跟踪。

综上所述,利用智能技术(设备)实现道路交通基础设施数字化多维层级数据感知采集,提升精细化养护管理,落实养护业务管理与数据管理双闭环和科学交互,是未来道路基础设施智慧化管养的大趋势^[6]。

2 “业务-数据”双闭环式管理模式构建

2.1 模式框架的构建

“业务-数据”双闭环式管理模式,是充分利用养护作业管理和养护数据的高效交互,使养护数据及时有效地指导养护作业,再通过对养护作业效益的跟踪,形成新养护数据供管理者实施养护决策,实现业务形成数据,进而以数据指导业务的双闭环管理,推动道路设施的精细化养护。

“业务-数据”双闭环式管理解决方案主要包括业务管理闭环和数据管理闭环两部分。图 1 为“业务-数据”双闭环式解决方案基本框架的示意图。

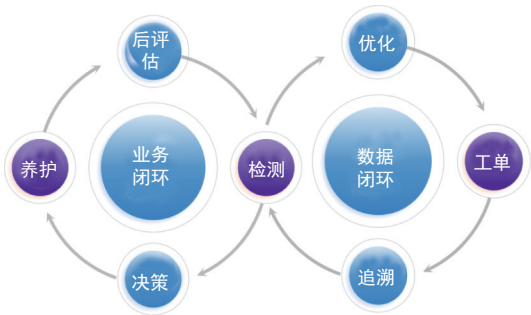


图 1 “业务-数据”双闭环基本框架示意图

2.1.1 业务管理闭环

以养护检测(监测)业务作业(管理)作为业务管理和数据管理的交互基准点,利用检测(监测)设施实时数据来表征设施状况、实施养护决策;养护管理者将决策落实到道路养护现场的施工(养护)作业;通过数字化技术对养护作业开展后评估(效益分析),所得到的分析结果又回归形成检测(监测)数据,从而实现业务管理闭环,不断为养护管理者提供科学、客观的决策分析,指导设施养护。

2.1.2 数据管理闭环

以养护检测(监测)业务作业(管理)作为业务管理和数据管理的交互基准点,该养护检测(监测)业务所形成的数据结果能持续优化数字化管理模块;优化后的模块形成新的管理和作业工单;设施养护管理者(感知设备)通过新的工单录入(采集)设施状况信息和养护管理(作业)信息;所有工单汇集而成的数据均能通过数字化技术实现时空追溯^[7];养护管理过程中的数据最终又反哺养护检测(监测)业务,用以支撑养护检测因果分析,形成数据管理闭环,激发数据流周而复始。

2.2 相关支撑技术

2.2.1 多维设施性能全息感知技术

全息感知技术是一种基于光学原理,结合现代传感器、物联网、云计算和大数据分析等先进技术,实现对物体或场景的三维信息记录和再现的技术。其技术原理主要包括以下几个方面:

(1) 全息记录。利用激光等相干光源的干涉原理,将物体的光波信息(包括振幅和相位)记录在感光介质上相交,形成干涉条纹,这些干涉条纹包含了物体的全部光波信息,实现对物体或场景的全面感知。

(2) 全息重建。通过适当的再现条件(如光源、角度等),利用与记录时相同的参考光照射感光介质,使记录在感光介质上的干涉条纹发生衍射,从而重建出物体的三维图像。

(3) 信息融合与分析。全息感知技术不仅记录物体的三维信息,还结合现代传感技术和物联网、云计算及大数据分析等技术,实现对物体或场景的实时监测和预警。

表 1 列举了道路设施主要感知技术。通过多维设施性能全息感知技术,可开展道路交通基础设施状况信息数据采集^[8-11]。

表 1 道路设施主要感知技术

主要适用设施部位	主要感知技术	采集设施信息
道路上层空间	LiDAR 三维激光点云、三维纹理检测	路侧环境、病害尺寸、纹理特征等
道路表层	轻量化多维性能感知	平整度、路面病害、桥头跳车等
道路内部结构	GPR 探地雷达探测	路内脱空、基层富水、层间滑移等

2.2.2 数据驱动养护决策技术

数字驱动决策技术,也称智能决策、数据决策或

数字化决策,是一种基于大数据、人工智能、物联网和云计算等技术,为管理者提供科学决策支持的技术体系。其技术原理如下:

(1)数据采集(大数据)。通过物联网、传感器网络等手段,实时采集并存储各类数据,包括政务数据、行业数据、第三方研究数据等,为数据分析提供基础。

(2)数据智能分析。利用大数据分析和人工智能技术,对采集到的海量数据进行深度挖掘和智能分析,发现数据中的规律和趋势。

(3)决策支持。基于数据的人工智能分析结果,为政府和企业提供科学决策支持,包括可视化平台、决策智慧体系、风险研判体系等。

全息感知技术与数字决策技术是两种不同的技术体系,但它们都体现了现代科技在数据采集、处理和分析方面的强大能力,利用这2种技术体系,构建“业务-数据”双闭环管理模式,打造拥有数据交互、养护运营智慧决策、道路状况时空追溯等一系列智慧化养护的新面貌,为道路设施的精细化养护赋能。

3 双闭环式管理模式下的新技术与新模式

3.1 基于高频多维道路性能全息数字化感知

3.1.1 道路交通基础设施数字化多维层级分析

根据道路基础设施状况信息的变化规律,在对道路交通基础设施的状况信息开展数字化收集时,可将道路交通基础设施分为以下3个多维层级:

(1)快变量信息。以道路交通运行状态为主要代表,如车辆状态、行人状况、信号控制等状态信息短期突变为主,主要表现为变化迅速、随机性强等特点,可通过路侧外加车端等感知设备实现实时感知。

(2)中变量信息。以道路设施性能为主要代表,如路面湿滑、车辙、坑塘、标志标线等状况信息中期渐变为主,主要表现为变化较为稳定,具有一定的规律性,可通过轻量化设备实现群智感知。

(3)慢变量信息。长期微变的设施状况,如设施的几何形态(道路线性、附属设施等)等信息变化有限,具有一定的长期稳定性,可通过专业检测设备实现定期感知。

3.1.2 高频多维道路设施性能数字感知体系的构建

高频多维道路性能数字化感知体系主要依托不同类型监测(检测)设备,配合其多类别作业模式,面向不同道路设施养护检测巡查要求,实施道路设施性能全息数字化感知,配合养护需求可制定更科学、更精细的评价机制^[7-11],见表2。

3.1.3 高频多维道路设施性能全息数字化技术应用原则

高频多维道路设施性能全息数字化技术在道路设施养护管理中的应用逻辑可划分成以下4个阶段:

(1)单一病害快速识别。如路/桥面破损人工智能识别,路/桥面异常颠簸判别,深层隐性病害识别(破损、不均匀沉降,层间黏结不良,层间松散)和表面性能精细化识别等。

(2)复杂病害缺陷甄别。通过成熟数据库和图像识别等技术,实现设施复杂病害缺陷甄别,如伸缩缝、窨井损坏评估、铰缝损坏评估、病害缺陷尺寸(程度)计算和表观性能评估等。

(3)病害缺陷诱因判别。路面病害缺陷频发路段多源于深层、环境、交通等多因素耦合影响。因此利用多维高频数据融合,研判病害频发路段实际致因对于养护管理至关重要,常规的病因有路/桥面反射裂缝、疲劳开裂、伸缩缝损坏形式、路面结构与道路交通流不匹配等。

(4)养护决策。首先日常养护优化决策,日常养护区段养护计划安排、日常养护时机优化;然后大病害预警,依据病害分布状态、程度,对大病害的形成和发展趋势进行及时有效的预警;最后专项养护支持,为大中修养护提供养护数据。

利用高频多维道路设施全息数字化技术,助力

表2 高频多维道路性能数字化感知体系

项目	智能巡查			多维精检		长期监测
常用场景	日常病害缺陷判别			病害频发路段判别		低结构评级桥梁
主要技术类别	车载感知设备		人工目测	探地雷达	激光扫描	分布式监测
主要感知对象	路桥面病害,伸缩缝病害、桥头病害等		支座损坏、桥底板横向裂缝,桥底渗水等	铰缝渗水,设施隐形病害、内部脱空、接续段损坏等	病害精细化尺寸,表观性能评估,局部不平整等	铰缝变形状态,桥底板开裂,危险边坡状态等
范围和频次	3~7 d全路段覆盖(高频)			1~3月全路段或频发路段覆盖(中低频)		5~60 min 针对4类桥或特殊桥梁全覆盖(超高频)
优势分析	更科学更精细的评价机制,更高效更便捷的数字化手段					

科学决策养护维修时机,减少封交养护次数,减轻因养护作业或养护不当造成的交通拥堵现象,保障养护作业安全。

3.2 基于数据驱动新型养护

3.2.1 数据驱动精细化养护基本特征

道路设施传统的养护模式主要依托传统养护维修规范和行业等考核监管,驱动设施开展的日常养护、专项养护、综合整治及大修养护等养护行为。主要体现为以人工巡查为主、养护及时性不足、养护粗放、养护作业对交通影响较大等负面特征。

现代化数据驱动的精细化养护是基于数据驱动来重新定义养护模式,提升道路设施养护能级,推动设施由被动养护向主动养护转型升级。

数据驱动的精细化养护综合了自动化装备、数据驱动技术、高性能养护材料及高质量施工工艺等措施,以多维巡查数据和精细化养护数据驱动主动预防性养护、分类分级(应急/专项)的新型智慧化、精细化养护。主要体现智能化高频巡查、基于数据驱动的疾病及时发现、精细化养护、新材料应用、降低养护作业对交通通行的影响等优势特征。

以高效、安全运行为驱动,降低交通影响,减少长周期(超 60 d)大修养护作业。

3.2.2 数据驱动精细化养护管理体系架构

图 2 展示了数据驱动下精细化养护管理体系架构。该架构主要涉及 5 个层面:设施数据获取,数据信息收集,状态推演、策略评估、智能优化^[12-14]。

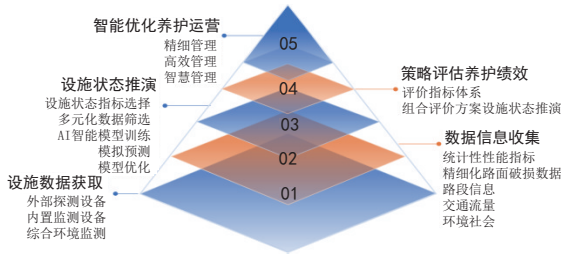


图 2 数据驱动下精细化养护管理体系架构图

(1)设施数据获取。通过外部探测设备、内置监测设备和综合环境监测设备获取海量不同制式、来源、结构的感知数据。

(2)数据信息收集。通过高效汇聚、快速存储及灵活更新的数据存储结构,建立集统计性性能指标、精细化路面破损数据、路段信息、交通流量及环境社会等多源数据的数据库,同时赋予每个数据特有的数据标签、地理坐标、时间戳,使数据具备时空追溯性。

(3)设施状态推演。依托所收集的数据信息和

养护运营管理要求,建立一套可泛化、多维、更精准的道路设施状态预测模型。该模型可通过设施状态指标选择、数据筛选等多元化选择,借助 AI 智能模型训练,不断进行模拟预测,验证对设施状态推演的精度,同时对精度较差的模块通过数据补充和算法调整等措施不断优化。

(4)策略评估养护绩效。建立多主体、多层次、长周期的评价指标,形成一套多目标组合评价指标体系。评价目标包括安全、功能、品质、生态、经济等多维度。

(5)智能优化养护运营。在策略评估设施养护状况的基础上,利用 AI 大数据分析,为养护管理者提供更为精细、高效、智慧的养护管理优化策略、思路或方案。其中的精细管理意味着鲜度高,即处置时间短;精度高,即处置空间小,从而可实现管理目标和策略评估方向一致、管理方向和策略优化方向一致的目标。智慧管理则包括智能反馈优化策略算法和管理策略的动态更新。

3.2.3 数据驱动的新型养护工艺

数据驱动的新型养护工艺是基于养护资金、道路使用、业主考核等综合需求,以客观的数据表征为依据,为各等级公路、桥隧、白加黑、农村公路优选的一站式、定制化养护方案。例如以数据表征形成的路面病害缺陷,可按照病害缺陷物理意义上的尺寸大小(严重程度)为其做最基本的养护工艺适配:

(1)“点状”病害缺陷。采用袋易补、井框差等工艺进行快速修复,是针对路面“点状”缺陷快速修复和应急养护的“特效药”。

(2)“线状”病害缺陷。采用高差修复、裂缝紧急防治或高压注浆等工艺,是针对路面“线状”缺陷快速修复和应急养护的“特效药”。

(3)“面状”病害缺陷。采用抗滑封层、ETS 极薄碎石封层、CTO 冷铺薄层、UTACS 超薄罩面等工艺,既可对路面进行预养护,又可阻止微小病害进一步发育,是针对“面状”路面预防性养护的“保健品”。

基于上述原则,表 3 综合了数据驱动对应的新型养护工艺基本解决方案,可为养护标准智慧决策化数据库的建立提供参考^[6, 8, 14-15]。

4 数据驱动道路设施精细化养护中的创新实践应用案例

上海市某片区道路通过前端形成了电瓶车、轻量化设备及 Pathway 等相结合的多维数字感知体系,

表3 数据驱动下主要新型养护工艺

设施病害缺陷	高频多维巡检指标	养护维修工艺(材料)	工艺特点	适用场景
坑槽	异常颠簸感应	袋易补	全天候修补,施工便捷,早强、使用寿命长	快速修复/应急养护
错台、车辙、桥头高差	异常颠簸+图像识别	路易通(REP)高性能冷补料	即铺即压即通行、黏结性优良,可常温施工	
频发损坏,有脱空迹象	图像识别+历史统计分析	高压注浆	修补范围小、美观,强度形成快、寿命长,专治道路深层病害	
早期老化、抗滑不足	图像识别=颠簸程度+三维纹理特征甄别	撒布砂抗滑封层(0~1 mm)	防水、防滑、防老化,一次多效、经济美观,高耐久性(3 a),可有效提高路面抗滑性能,重构微观、宏观构造深度	中、较重交通量的预防性养护
早期老化、表面损坏发育		降噪碎石封层(1~5 mm)	成本低、耐久性4~6 a,2~3 h可开放交通,二次压密、噪声小、无飞石	
老化、平整度下降		CTO冷拌冷铺薄层(5~12 mm)	防水、防滑、防老化,细腻美观,工期短,开放交通快,轻微病害的纠正	
泛油、抗滑不足、平整度下降		热拌超薄罩面(沥青 10~15 mm,水泥 12~18 mm)	无需专用生产设备、水泥路面亦可用,可有效降噪 4~8 dB,保持长久黑化美观,有效抵制反射裂缝和早期裂缝	重交通量的预防性养护

打造基于病害与资产自动化获取、维修策略专业化自动匹配、短期和长期多维评价的新型养护管理模式。

4.1 技术架构

如图3所示,在该养护模式下,依托巡检资源的

统筹管理,优化巡视路线和布设多维采集前端,实现设施病害的精准发现;同时,基于巡检中心多维专业分析能力,实现设施项目的短期和长期运维策略分析,提高设施管理单位养护作业决策能力。

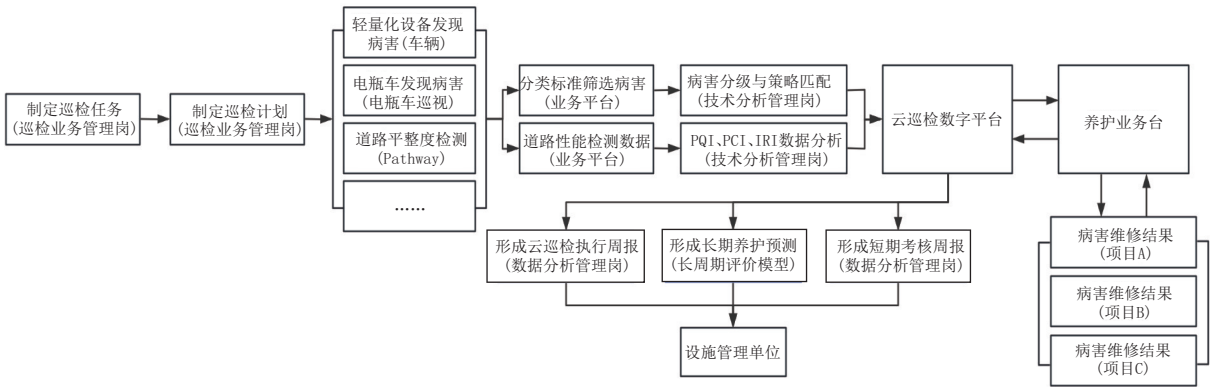


图3 上海某片区道路多维数字感知精细化养护原理

(1)全要素感知层。除了利用巡检资源外,项目在该片区区域内布设传感器,包括光纤光栅应变传感器、激光位移计、气象监测仪等,覆盖数十条道路及桥梁的结构健康、环境参数及交通流量,形成日均10万条数据的感知网络。利用收集的感知数据,搭建设施数字档案,通过物联网实时监控机电设施的完好率及故障位置,定位精度达0.5 m。

(2)智能决策层。开发“五位一体”管理系统,整合市政、绿化、排水、照明、环卫业务。暴雨期间自动触发积水点预警,联动排水系统。

4.2 功能及效益

依托多维养护数据采集管理模式,通过前端多维采集、数字巡检平台和数字大屏管理,聚焦核心功能,提升项目运维管理综合效益,实现城市片区数字化运维新模式。图4展示了上海某片区道路通过数

据驱动道路设施精细化养护的关键核心功能和主要管理效益。

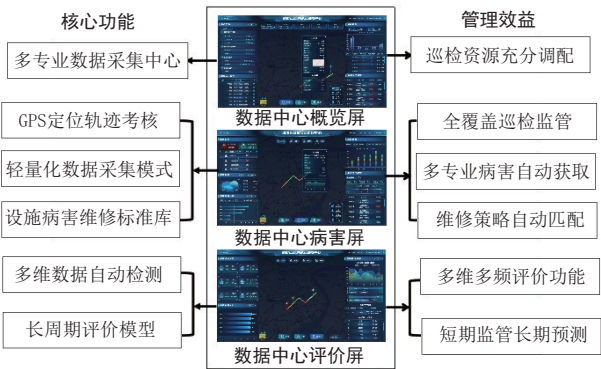


图4 数据驱动道路设施精细化养护功能及综合效益

4.3 业务场景

4.3.1 日常养护——桥梁全生命周期智慧运维

(1)病害检测。利用上述感知前端,实现每季度

桥梁全覆盖巡检,识别裂缝精度达 0.1 mm。相比传统人工巡检,效率提升 5 倍,成本降低 60%。

(2)养护决策。基于历史病害数据挖掘,预测桥面铺装破损高发区域。2023 年通过预防性养护减少大修需求,节省维护费用 200 万元。

(3)作业监管。采用数字地图实时追踪 300 余台养护车辆位置,自动生成最优路径。例如,在沪闵路养护中,工单处置时间从 48 h 压缩至 12 h。

4.3.2 应急处置——城市隧道及快速路智能管控

(1)事件监测。部署 AI 视觉识别系统,毫秒级检测火灾、抛洒物等事件,准确率达 99%。

(2)联动响应。边缘计算单元实时分析数据,联动消防、诱导灯等设备。例如,一级火情触发全隧道疏散预案,同步通知交警、消防部门,处置效率提升 80%。

(3)事后评估。区块链技术存证处置过程,为责任认定提供了不可篡改的证据链。

“全要素感知-智能决策”技术架构,实现了道路设施运维的“业务-数据”双闭环管理。高频多维数字感知体系通过“业务-数据”的双闭环管理,推动道路设施运维从“被动响应”向“主动预防”转型。以上相关案例表明,该模式在提升安全预警能力、降低养护成本、优化资源配置等方面成效显著。未来,随着数字孪生、AI 等技术的深度融合,道路运维将向全生命周期管理、低碳化、智能化方向持续演进。

5 结 语

(1)智能化监测、高精度预测模型等技术驱动创新,将进一步提高对道路性能实时监测的准确性和数据收集、分析的效率。

(2)评价标准将涵盖更多方面,如耐久性、抗滑

性、平整度、噪声、结构强度等,以全面评估道路的性能状况,同时利用智能化技术使得评价数据更加客观、科学,减少人为因素的影响。

(3)多源数据融合和数据动态调整,将进一步提高道路性能预测的准确性、可靠性和及时性,为道路和管理提供及时、准确的决策支持。

参考文献:

[1] 交通运输部. 国家公路网规划[EB]. 北京:交通运输部,2022.

[2] 交通运输部.“十四五”公路养护管理发展纲要[EB]. 北京:交通运输部,2022.

[3] 交通运输部.2024 年交通运输行业发展统计公报[R]. 北京:交通运输部,2025.

[4] 杨书仁.公路养护管理科学决策的现状和问题[J].中国公路,2023(3): 20-25.

[5] 李星宇.市政道路施工技术管理及道路养护研究[J].工程技术究, 2024,9(24): 139-141.

[6] 赵莹.面向城市道路养护的管理模式优化及对策研究[J].工程建设与设计,2024(12):233-235.

[7] 李亦舜,刘成龙,曹静,等.基于深度学习的路面病害检测与时空追溯方法[J].长安大学学报(自然科学版),2022,42(6):53-65.

[8] 戴建华.基于养护需求的公路路面检测技术[J].中国公路,2020(15):34.

[9] 杜豫川,岳光华,刘成龙,等.探地雷达多特征融合的城市空洞自动识别方法[J].中国公路学报,2023,36(3):108-119.

[10] 刘成龙,魏斯瑀,高倩,等.基于 LiDAR 三维数据的路面平整度横向分布差异特性评估方法[J].交通运输研究,2023,9(1):134-142.

[11] 翁梓航,古丽妮孜尔·阿卜来提,杜豫川,等.基于三维纹理特征的沥青路面级配预估方法[J].同济大学学报(自然科学版),2022,50(6):879-890.

[12] 马圣昊,张琪峰,袁超.基于 CIM 的市政交通设施数字底板构建方法[J].城市道桥与防洪,2024(4):286-289.

[13] 赵海云.基于 GIS+BIM 交通基础设施智慧管养技术的应用研究[J].交通与运输,2022,35(增刊1):228-234.

[14] 贾俊超.道路养护中的智能化技术应用探索[J].工程与建设, 2024,38(5):1215-1216;1219.

[15] 张瑛.城市道路病害分析及养护决策优化研究[J].工程技术研究,2024,9(24):151-153.

~~~~~

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:[roadbridgeflood@163.com](mailto:roadbridgeflood@163.com)

