

道路与桥梁工程中的智能化技术与创新

闫丹

濮阳市公路事业发展中心 河南 濮阳 457000

摘要：在交通基础设施建设需求激增与科技迭代背景下，智能化技术成为道路与桥梁工程高质量发展核心驱动力。BIM技术实现工程全生命周期信息集成，物联网与传感器构建实时监测网络，人工智能辅助决策优化，智能建造机器人提升施工效率与精度。这些技术深度融合于智能桥梁健康监测、智慧高速建设等创新实践，有效增强工程安全性、延长使用寿命、降低运维成本，为交通领域智能化转型提供坚实支撑。

关键词：道路与桥梁工程；智能化技术；创新

引言

随着城市化进程加速与交通网络持续拓展，道路与桥梁工程面临更高质量、效率及安全要求。传统建造模式弊端渐显，智能化转型势在必行。本文聚焦BIM、物联网、人工智能及智能建造机器人等关键技术，深入探讨其在桥梁健康监测、智慧高速建设等创新实践中的应用。通过分析技术原理与实践案例，揭示智能化技术对提升工程建设与运维水平的重要价值，为行业创新发展提供参考。

1 道路与桥梁工程概述

道路与桥梁工程作为交通基础设施建设的核心组成部分，通过系统化设计与工程实践实现空间跨越与线性连接，在促进区域经济融合、提升运输效率方面发挥关键作用。道路工程涵盖路基、路面、排水与防护等多维度建设，其设计需综合考量地形地貌、地质条件及交通流量，以满足不同运输需求。路基作为道路结构的承重基础，需通过分层压实与特殊地基处理技术确保承载力，而路面结构层则依据交通荷载等级，采用沥青混凝土或水泥混凝土等材料组合，构建兼具耐久性与抗滑性能的行车表面。排水系统通过边沟、渗沟及盲沟的协同布局，有效疏导地表与地下径流，避免路基路面因水损害导致结构破坏。桥梁工程以跨越障碍为核心功能，其结构体系包含梁式、拱式、悬索及斜拉等多种类型。设计过程中需对结构受力进行精细化分析，借助有限元模拟技术计算荷载传递路径与应力分布，确保桥梁在车辆、风载及地震作用下的结构安全。桥梁基础作为连接上部结构与地基的关键构件，常采用桩基础、沉井基础等形式，通过增大基础埋深与承载面积，增强结构抗倾覆与抗滑移能力。桥梁上部结构施工技术涵盖预制装配与现浇工艺，前者通过工厂化生产提升构件精度与施工效率，后者则适用于复杂地形条件下的现场浇筑。随着

新材料、新工艺的持续创新，道路与桥梁工程正朝着智能化、绿色化方向发展。高性能改性沥青与纤维增强混凝土的应用，显著提升结构耐久性；BIM技术的引入实现工程全生命周期数字化管理，优化施工流程与资源调配；而装配式桥梁与生态护坡技术的推广，则在保障工程质量的同时，降低环境影响，促进交通基础设施建设与生态环境的和谐共生。

2 道路与桥梁工程智能化的关键技术

2.1 建筑信息模型（BIM）技术

建筑信息模型（BIM）技术在道路与桥梁工程智能化中占据核心地位。它通过数字化手段，将工程项目的各类信息整合至三维信息数据库。在设计阶段，设计师可利用BIM技术进行多方案比选，直观呈现不同设计思路下道路与桥梁的空间形态、结构布局等，提前发现设计冲突与不合理之处，显著提高设计质量与效率。例如，在复杂立交桥的设计中，借助BIM技术能清晰展现各匝道、桥梁结构之间的空间关系，避免碰撞问题。进入施工阶段，BIM技术为施工管理提供强大支持。施工人员依据BIM模型可精准理解设计意图，进行施工进度模拟，合理安排施工顺序与资源调配。通过将实际施工进度与BIM模型关联，实现实时监控与动态调整，有效减少施工延误。基于BIM模型的工程量计算更为精准，有助于成本控制。在运维阶段，BIM模型可集成设施的全生命周期信息，包括材料性能、维护记录等。运维人员通过BIM模型能快速定位设施故障位置，查询相关维护信息，制定科学合理的维护计划，延长道路与桥梁的使用寿命，降低运维成本^[1]。

2.2 物联网（IoT）与传感器技术

物联网（IoT）与传感器技术的融合，为道路与桥梁工程智能化带来了实时感知与数据采集的能力。在道路与桥梁结构的关键部位，如桥梁的桥墩、主梁，道路

的路基、路面等，部署各类传感器，如应变传感器、位移传感器、温度传感器等。这些传感器能够实时监测结构的应力、应变、位移、温度等参数，并通过物联网将数据传输至数据处理中心。以桥梁为例，传感器可实时感知桥梁在车辆荷载、环境温度变化等作用下的结构响应，一旦结构参数超出正常范围，系统立即发出预警，为桥梁的安全评估与维护决策提供依据。在道路方面，传感器能监测路面的平整度、车流量、车辆荷载等信息。通过对车流量的监测，可实现智能交通信号控制，优化交通流，缓解拥堵。对路面平整度的监测，能及时发现路面病害，提前安排养护工作，保障道路的服务性能。物联网技术还可实现对施工设备、材料运输车辆等的实时监控与管理。通过在设备和车辆上安装物联网模块，管理人员能随时掌握其位置、运行状态等信息，提高施工资源的调配效率，保障施工的顺利进行。

2.3 人工智能（AI）与机器学习技术

人工智能（AI）与机器学习技术在道路与桥梁工程智能化中具有强大的数据分析与决策支持能力。利用机器学习算法，可对传感器采集的海量数据进行分析处理，挖掘数据背后的规律，实现结构状态的智能评估与病害预测。例如，通过对桥梁长期监测数据的学习，建立结构健康预测模型，预测桥梁结构在未来一段时间内的病害发展趋势，提前制定维护策略。在交通管理方面，人工智能技术可实现智能交通流量预测与优化控制。通过分析历史交通数据、实时路况信息等，预测不同时段、路段的交通流量，进而优化交通信号灯配时，引导车辆合理行驶，提高道路的通行能力。基于人工智能的图像识别技术，可用于道路与桥梁设施的病害检测，如识别路面裂缝、桥梁表面缺陷等，相比人工检测，具有更高的效率与准确性。在工程设计中，人工智能技术可辅助设计师进行方案生成与优化。通过对大量已建工程案例的学习，根据设计需求自动生成多种可行的设计方案，并利用优化算法对方案进行比选与优化，为设计师提供决策参考，缩短设计周期，提升设计创新能力^[2]。

2.4 智能建造机器人技术

智能建造机器人技术是道路与桥梁工程智能化的重要体现，有效应对了复杂施工环境与劳动力短缺的挑战。在桥梁施工中，如箱梁模板打磨、钢筋搬运、混凝土振捣等工作，以往依赖大量人工，不仅效率低、劳动强度大，而且质量难以保证。如今，智能建造机器人尽显身手。箱梁模板打磨机器人集打磨、吸尘、喷涂、检测四大功能于一体，可实现对模板均匀高效地打磨、除

尘及喷涂脱模剂，通过自动控制技术，能根据模板情况调整打磨参数，确保打磨效果，同时减少粉尘对工人健康的危害。钢筋搬运机器人能够在梁场内高效、安全地搬运钢筋，解决了人工搬运效率低、视野受限易倾覆的问题。混凝土振捣机器人通过在振动棒上安装传感系统，包括红外摄像头、棒头姿态传感器、双激光测距模块、拉线位移计等，可实时监测振捣状态，实现精准振捣，提升混凝土施工的效率与质量，降低人工成本与安全风险。在道路施工中，智能摊铺机器人可实现沥青路面的精准摊铺，保证路面平整度与压实度。智能压实机器人能根据路面材料特性与压实要求，自动调整压实参数，提高压实质量。这些智能建造机器人的应用，极大地提高了道路与桥梁工程的施工效率、质量与安全性，推动了行业的智能化发展。

3 道路与桥梁工程智能化创新实践

3.1 智能桥梁健康监测系统

（1）智能桥梁健康监测系统通过集成传感器网络、数据采集与传输模块以及数据分析平台，实现对桥梁结构状态的实时感知。光纤光栅传感器、应变片传感器等多种类型的传感器被部署在桥梁关键部位，可精准测量桥梁的应力、应变、位移、振动等参数，捕捉结构在车辆荷载、环境因素作用下的细微变化。（2）在数据处理环节，系统运用大数据分析机器学习算法，对海量监测数据进行深度挖掘，能够有效识别桥梁结构损伤特征，如裂缝扩展、构件老化等潜在问题，并建立结构健康状态评估模型，预测桥梁剩余使用寿命，为维护决策提供科学依据。（3）该系统在实际应用中展现出显著优势，相比传统人工巡检，大幅提升监测效率与准确性，降低人力成本与安全风险。通过实时监测与预警功能，可及时发现桥梁突发异常状况，避免重大事故发生，保障桥梁运营安全与交通畅通，为后续桥梁的加固、维修与改造提供数据支撑，促进桥梁全寿命周期管理的智能化发展。

3.2 智慧高速公路建设

（1）智慧高速公路建设以物联网、云计算、5G通信等技术为核心，构建全方位感知、实时化传输、智能化决策的交通管理体系。在道路沿线部署毫米波雷达、激光雷达、高清摄像头等感知设备，实时获取道路通行状况、车辆运行参数、气象环境信息，实现对高速公路交通要素的全面感知与精准识别。（2）基于感知数据，智慧高速公路系统通过智能算法对交通流量进行分析与预测，动态调整交通信号控制策略，优化车道分配，缓解交通拥堵；借助车路协同技术，实现车辆与道路基础设施

施之间的信息交互，为自动驾驶车辆提供高精度地图、实时路况等关键信息，提升行车安全性与通行效率。

(3) 智慧高速公路还配备智能照明、智能收费、智能养护等子系统。智能照明系统根据车流量与环境光线自动调节亮度，降低能耗；电子不停车收费(ETC)系统结合车牌识别等技术，实现快速通行；智能养护系统通过传感器监测路面状况，及时发现病害并规划养护作业，减少养护成本，提高高速公路的服务质量与运营效益，推动高速公路向智能化、绿色化方向迈进^[3]。

3.3 装配式桥梁智能建造

(1) 装配式桥梁智能建造融合BIM技术、自动化加工设备与智能装配工艺，革新传统桥梁建造模式。在设计阶段，借助BIM技术构建逼真且精准的桥梁三维信息模型，从结构安全、施工便捷性等方面，对构件尺寸、连接方式、施工流程细致模拟分析，依据结果优化构件拆分方案，确保设计的合理性与可建造性。(2) 在构件生产环节，通过智能化生产线实现钢筋加工、混凝土浇筑、养护等工序的自动化与信息化控制。数控钢筋加工设备可精准完成钢筋的弯曲、焊接；智能浇筑系统依据构件参数自动调整浇筑速度与方量；蒸汽养护窑通过传感器实时监测温度、湿度，保障构件质量稳定。为每个构件赋予唯一的RFID或二维码标识，实现构件全生命周期信息的追溯与管理。(3) 在桥梁装配施工过程中，运用智能吊装设备与测量机器人，通过北斗定位、激光扫描等技术，实现构件的精准定位与安装。智能监测系统实时监测施工过程中结构的受力与变形情况，确保施工安全与质量。装配式桥梁智能建造有效缩短施工周期，减少现场湿作业与环境污染，提高施工精度与生产效率，推动桥梁建造向工业化、智能化方向发展。

3.4 基于数字孪生的道路养护管理

(1) 基于数字孪生的道路养护管理以道路基础设施为原型，利用GIS、物联网、大数据等技术构建虚拟道路数字模型，实现物理道路与虚拟模型的实时映射与双向交互。通过在道路表面、路基内部埋设传感器，以及

运用无人机巡检、车载激光扫描等手段，获取道路几何参数、路面病害、结构性能等数据，为数字孪生模型提供实时、准确的信息支撑。(2) 数字孪生模型能够直观展示道路的当前状态，模拟不同养护措施对道路性能的影响，预测道路病害发展趋势。养护管理人员可通过该模型进行养护方案的比选与优化，提前规划养护计划，合理安排养护资源，实现精准养护。例如，针对路面裂缝病害，系统可模拟不同修补材料与工艺在不同环境条件下的修复效果，为选择最优养护方案提供决策依据。

(3) 在实际应用中，基于数字孪生的道路养护管理系统可实时跟踪养护作业进度，评估养护效果，形成闭环管理。通过与智能养护设备的联动，实现养护任务的自动化调度与执行，提高养护作业的智能化水平与管理效率。该技术有助于整合道路全生命周期数据，为道路的设计、建设与运营提供数据反馈，促进道路养护管理从被动响应向主动预防转变，提升道路基础设施的可持续性与服务水平^[4]。

结语

综上所述，智能化技术在道路与桥梁工程中的应用，显著革新了传统建设与运维模式。从BIM的全流程协同到智能机器人的精准施工，从实时监测的物联网系统到数字孪生驱动的道路养护管理，这些技术的创新实践有效提升了工程质量与安全性。未来，随着技术持续突破与多学科融合深化，智能化技术将为道路与桥梁工程带来更广阔发展空间，推动交通基础设施建设迈向更高水平。

参考文献

- [1]刘慧娟,楚启明,王丽龙,等.道路与桥梁工程中的智能施工技术探索[J].城市周刊,2025(13):43-45.
- [2]刘昱辰.道路桥梁监测与养护中的智能化系统应用[J].越野世界,2024(19):63-64.
- [3]王江宁.道路与桥梁工程的发展与创新[J].石河子科技,2020(4):51-52.
- [4]蔡高才.道路与桥梁工程技术的创新与发展分析[J].环球市场,2020(17):384.