

智能化技术在公路工程中的应用

张金燕

新疆公路建设（集团）有限责任公司，中国·新疆 昌吉 831100

摘要：随着新一轮科技革命与产业变革的深入发展，智能化技术已成为推动公路工程行业转型升级的核心驱动力。本文旨在系统综述智能化技术在公路工程全生命周期中的应用现状与发展趋势。文章首先构建了基于 BIM、GIS、物联网及人工智能的智能化技术理论框架，随后深入剖析了这些技术在勘察设计、施工建设、运营养护等关键环节的具体应用场景与实践成效。研究表明，通过构建数字化底座与多源异构数据融合平台，智能化技术能够有效解决传统公路工程中信息孤岛、管理粗放及决策滞后等痛点，显著提升工程的建设质量、安全水平与运营效率。最后，本文探讨了当前面临的数据标准不统一、跨平台集成困难等挑战，并对未来车路协同与全面数字化转型的前景进行了展望。

关键词：智能化技术；公路工程；BIM+GIS；数字孪生；全生命周期管理

Application of Intelligent Technology in Highway Engineering

Zhang Jinyan

Xinjiang Highway Construction (Group) Co., Ltd., China Xinjiang Changji 831100

Abstract: With the deepening development of a new round of technological revolution and industrial transformation, intelligent technology has become a core driving force for the upgrading and transformation of the highway engineering industry. This paper systematically reviews the current status and development trends of intelligent technology applications throughout the entire lifecycle of highway projects. First, a theoretical framework based on BIM, GIS, Internet of Things, and artificial intelligence is established. Then, specific application scenarios and practical outcomes of these technologies in key stages—such as surveying and design, construction, operation, and maintenance—are thoroughly analyzed. Research shows that by building a digital foundation and a platform for integrating multi-source and heterogeneous data, intelligent technologies can effectively address long-standing challenges in traditional highway engineering, including information silos, coarse management, and delayed decision-making, significantly improving project quality, safety levels, and operational efficiency. Finally, this paper discusses current challenges such as inconsistent data standards and difficulties in cross-platform integration, and looks ahead to future prospects in vehicle-road coordination and comprehensive digital transformation.

Keywords: Intelligent technology; Highway engineering; BIM+GIS; Digital twin; Lifecycle management

0 引言

公路工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，长期以来面临着建设周期长、投资规模大、工点分散、参建单位众多以及环境复杂多变等挑战。传统的工程建设与管理模式往往依赖于人工经验与离散的数据记录，难以实现对工程全貌的精准把控与实时响应，导致资源浪费、安全隐患及后期运维成本高昂等问题频发。在“交通强国”战略背景下，如何利用大数据、云计算、物联网、人工智能及建筑信息模型等新一代信息技术，对传统公路工程进行全方位、全链条的数字化改造，已成为行业关注的焦点。智能化技术不仅仅是工具的升级，更是管理理念与生产方式的重塑。它通过构建物理世界与数字世界的映射关系，

实现了工程要素的数字化、业务流程的在线化及决策管理的智能化。本文将围绕智能化技术在公路工程中的应用展开深入探讨，分析其技术架构、应用场景及实施价值，以期为推动公路交通高质量发展提供理论参考与实践借鉴。

1 公路工程智能化技术体系架构

1.1 数字化底座：BIM 与 GIS 的深度融合

在公路工程的智能化转型中，BIM 与 GIS 技术的融合构成了最核心的数字化底座。BIM 技术侧重于微观层面的工程实体信息表达，能够精确描述道路、桥梁、隧道等构造物的几何尺寸、材料属性及拓扑关系，实现工程对象的参数化建模。而 GIS 技术则擅长处理宏观层面的地理空间数据，提供地形地貌、地质水文及周边环境的空间坐标参

考。将二者结合,能够打破微观建筑模型与宏观地理环境的壁垒,在统一的时空基准下构建高保真的三维数字场景。这种融合不仅解决了复杂地形条件下大场景渲染的性能瓶颈,还为路线方案比选、土方平衡计算及施工场地布置提供了直观、量化的分析环境,是实现公路工程全生命周期数据共享与协同的基础。

1.2 感知神经网络:物联网与智能传感技术

如果说 BIM+GIS 构建了工程的骨骼与肌肉,那么物联网技术则赋予了工程敏锐的感知能力。在公路工程中,物联网通过部署各类高精度传感器、射频识别标签、智能监控摄像头及无人机等设备,构建起一张覆盖人、机、料、法、环的感知神经网络。这些感知设备能够实时采集施工现场的应力应变、温湿度、扬尘噪音等环境数据,以及机械设备的运行状态、车辆轨迹、人员位置等行为数据。通过无线通信网络,这些海量异构数据被实时传输至云端处理中心,实现了物理施工现场与数字管理平台的同步映射。这种实时感知能力使得管理者能够突破时空限制,对施工现场进行全天候、无死角的监控,为后续的智能化管理与决策提供了翔实的数据支撑。

1.3 智慧大脑:大数据分析 with 人工智能算法

面对物联网采集的海量多源数据,大数据分析 with 人工智能技术扮演了“智慧大脑”的角色。传统的工程管理往往依赖人工查阅报表,难以从海量数据中挖掘出潜在规律。而基于机器学习与深度学习的算法模型,能够对历史施工数据、质量检测记录及气象水文信息进行深度挖掘与关联分析。例如,利用计算机视觉技术,系统可以自动识别监控视频中的未戴安全帽、违规闯入等不安全行为,或识别路面裂缝、坑槽等病害特征;利用预测性算法,可以基于当前进度与资源消耗情况,推演未来的工期风险与成本偏差。人工智能将被动的事后补救转变为主动的事前预警,极大地提升了工程管理的科学性与预见性。

2 智能化技术在勘察设计阶段的应用

2.1 复杂环境下的选线优化与方案比选

在勘察设计阶段,智能化技术的应用彻底改变了传统“跑点、拉线、定面”的作业模式。基于高精度数字高程模型与卫星遥感影像,设计人员可以在三维虚拟环境中进行多方案的选线比选。系统能够自动分析不同路线方案对地形地貌的切割程度、土方开挖量、拆迁工程量以及对生态敏感区(如水源保护区、自然保护区)的影响。通过设定权重指标,算法可以辅助计算出综合成本最低、环境影响最小、技术指标最优的推荐路线。特别是在山区高速公路

设计中,智能化选线能够有效避开不良地质区域,优化平纵断面组合,从源头上提升设计方案的安全性与经济性。

2.2 协同设计与碰撞检查

公路工程涉及路线、路基、路面、桥梁、隧道、交通工程等多个专业,各专业间的设计协同至关重要。基于云平台的协同设计系统,允许多个专业的设计人员在同一模型上并行工作,实时同步修改信息。系统内置的碰撞检查功能,能够自动检测不同专业模型之间的空间冲突,如桥梁桩基与地下管线的冲突、隧道衬砌与排水设施的干涉等。通过在设计阶段提前发现并解决这些“错漏碰缺”问题,避免了施工阶段的返工与变更,显著减少了资源浪费。此外,参数化设计工具的应用,使得设计修改能够实现联动更新,大幅提高了设计效率与图纸质量。

2.3 地质勘察的数字化与可视化

传统的地质勘察数据多以钻孔柱状图、地质剖面图等二维图表形式呈现,难以直观反映地下空间的复杂地质构造。智能化技术通过三维地质建模软件,将钻探、物探、测绘等多源地质数据进行融合,构建出透明化的三维地质模型。设计人员可以任意剖切、旋转模型,直观查看地层分布、断层破碎带、溶洞等不良地质的空间位置与形态。这不仅有助于设计人员更准确地制定地基处理方案与隧道开挖工法,还能结合 BIM 模型进行虚拟钻探与施工模拟,评估施工风险,为后续工程的顺利实施奠定坚实的地质基础。

3 智能化技术在施工建设阶段的应用

3.1 施工进度与资源的智能管控

在施工阶段,智能化技术实现了从“粗放式管理”向“精细化管控”的跨越。通过引入 4D-BIM 技术,将三维模型与时间进度计划关联,管理者可以直观地模拟施工全过程,优化施工工序与资源配置。施工现场安装的智能门禁系统与视频监控系统,结合人脸识别技术,能够实时统计劳务人员数量、工种分布及考勤情况,杜绝无关人员进入危险区域。对于大型机械设备,如架桥机、塔吊、摊铺机等,安装黑匣子与定位系统,可实时监控其运行轨迹、载重状态及操作规范,防止违章作业。这种对人员与机械的实时管控,确保了施工资源的合理调度,有效避免了窝工与怠工现象,保障了工程按计划推进。

3.2 质量管理的数字化与可追溯

质量是公路工程的生命线。智能化技术通过构建质量追溯体系,实现了对工程实体质量的全方位把控。在沥青路面施工中,无人驾驶压路机与摊铺机协同作业,通过高

精度定位与温度传感器,实时监控摊铺温度、碾压遍数及碾压速度,确保压实度与平整度符合规范要求,数据实时上传至管理平台,杜绝了漏压、过压现象。在混凝土拌和站,生产数据自动采集系统实时监测水泥、砂石、水及外加剂的配比,一旦出现偏差立即报警,从源头保障混凝土质量。此外,利用移动端应用,质检人员可现场录入检查数据与照片,系统自动生成质量评定报表,实现了质量数据的无纸化流转与永久性追溯。

3.3 智慧工地与安全风险预警

智慧工地平台集成了视频监控、环境监测、人员定位等多种功能,是施工现场的安全卫士。针对高边坡、深基坑、高墩大跨桥梁等高风险工点,部署自动化监测机器人或传感器,实时采集位移、沉降、应力等关键指标。一旦数据超过预警阈值,系统立即通过短信、声光报警等方式通知相关人员撤离并启动应急预案。在隧道施工中,人员定位系统结合气体监测设备,能实时掌握洞内人员分布及空气质量,防止坍塌或中毒窒息事故。此外,利用VR技术开展安全教育培训,让工人在虚拟环境中体验高空坠落、触电等事故场景,极大地提升了安全意识与应急避险能力。

4 智能化技术在运营养护阶段的应用

4.1 道路技术状况的智能巡检与评估

公路投入运营后,漫长的服役期内面临着繁重的养护任务。传统的“人工目测+尺量”巡检方式效率低、主观性强且存在安全隐患。智能化技术引入了搭载高清摄像头、激光雷达及探地雷达的智能巡检车,以正常行车速度采集路面图像与三维数据。后台利用深度学习算法,自动识别并量化裂缝、坑槽、车辙、标线磨损等病害信息,识别率与精度均已达到实用水平。结合地理信息系统,系统自动生成路面病害分布图与技术状况评定报告,为养护决策提供客观依据。这种自动化巡检模式将检测效率提升了数十倍,且数据更加标准统一,便于长期趋势分析。

4.2 预防性养护决策支持系统

基于大数据的养护决策支持系统,改变了过去“坏了再修”的被动养护模式,转向“未坏先养”的预防性养护。系统汇集了道路历史检测数据、交通流量数据、气象环境数据及养护工程记录,构建路面性能衰变模型。通过分析不同路段在不同环境与荷载下的衰变规律,系统能够预测未来一段时间内路面性能的变化趋势,并计算最佳养护时机。在此基础上,结合养护资金预算与工程成本,算法推荐最优的养护方案(如微表处、稀浆封层或罩面),以实现全寿命周期内的成本效益最大化。这种科学的决策机制,

有效延长了道路使用寿命,避免了因小病拖成大病而造成的巨额修复成本。

4.3 应急救援与交通诱导

在应对突发公共事件与自然灾害的关键时刻,智能化技术正逐步成为保障道路生命线畅通的核心力量。当遭遇严重交通事故、极端天气或地质灾害导致道路中断时,基于数字孪生技术的应急指挥平台能够迅速响应,利用高精度地图与实时感知数据,在虚拟空间中重构事故现场。系统不仅能精准模拟事故蔓延趋势与交通拥堵波及范围,还能通过算法快速推演多种交通分流方案与救援路径,辅助决策者在黄金时间内制定出最优调度策略,为生命救援争取宝贵时间。与此同时,多维度的信息发布渠道构建了全方位的安全防护网。路侧的可变情报板、应急广播系统与主流导航软件接口实现无缝联动,将路况预警、封路信息及绕行建议以毫秒级速度精准推送至每一位驾驶员。这种即时交互有效打破了信息孤岛,大幅降低了因信息滞后导致的二次事故风险,确保了区域交通流的有序疏导。

更为前沿的是,车路协同技术的深度应用正在重塑道路安全体系。道路基础设施化身智能感知终端,与智能网联汽车进行高频信息交互。无论是红绿灯的实时状态、视觉盲区内的突发行人,还是前方隐蔽的施工障碍,系统均能实现超视距感知,并将风险数据实时推送至车载终端。这种“上帝视角”的辅助驾驶能力,极大弥补了单车智能的感知短板,在复杂多变的突发事件场景下,显著提升了道路通行的安全性与整体运行效率。

5 结语

综上所述,智能化技术已深度融入公路工程的勘察设计、施工建设及运营养护全过程,正在深刻重塑传统交通基础设施的建设与管理模式。从BIM+GIS构建的数字化底座,到物联网编织的感知网络,再到人工智能驱动的智慧决策,技术的融合应用不仅解决了工程实践中效率低下、监管困难、安全隐患多等痛点,更为公路工程的高质量发展注入了强劲动力。

然而,我们也要清醒地认识到,当前公路工程智能化发展仍面临数据标准不统一、跨平台集成壁垒高、复合型人才短缺等挑战。未来,随着5G、区块链及边缘计算等新技术的进一步成熟,公路工程将向着更加全面感知、泛在互联、智能协同的方向演进。行业各方应加强协同创新,打破信息孤岛,构建开放共享的技术生态,让数字化底座真正成为支撑交通强国建设的新型基础设施,推动公路工程行业迈向智慧化新时代。

参考文献:

- [1] 徐梦超. 智能化公路施工技术运用分析[J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026(14): 153-155.
- [2] 陈炆阳, 夏胜惠. 智能机械设备在公路工程施工中的应用研究[J]. 智能制造研究与应用, 2026, 2(2): 44-46.
- [3] 张永国. 智能化监控系统在公路工程安全管理中的应用分析[J]. 运输经理世界, 2026(3): 19-21.
- [4] 闫鹏飞. 新时期公路建设质量安全监管发展研究[J]. 汽车周刊, 2026(2): 157-159.
- [5] 高荣根. 智能化公路施工技术的应用与发展趋势研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(6): 137-139.