# 道路与桥隧工程施工智能化技术应用研究

邢昌开
南京东部路桥工程有限公司　江苏 南京　210000

**摘　要**　伴随着数字化、智能化浪潮深入迈进，智能施工技术正极大地转变着传统道路桥梁工程的建设模式。本文整体分析了道路与桥隧工程施工智能化技术的价值及具体应用手段，采用BIM技术、物联网、无人机航测、智能机器人等先进手段，可以有效提高施工效率与工程质量，降低安全风险与资源消耗程度，推动该行业迈向数字化转型。文章结尾处提出了智能化技术发展的未来方向和应用的相关建议。

**关键词**　道路与桥隧；工程施工；智能化技术应用

**Research on Intelligent Construction Technologies in Road and Bridge-Tunnel Engineering**

Xing Chang-kai
Nanjing Eastern Road & Bridge Engineering Co., Ltd., Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

**Abstract**　With the rapid advancement of digitalization and intelligent technologies, smart construction techniques are fundamentally transforming traditional road and bridge engineering practices. This paper provides a comprehensive analysis of the value and specific applications of intelligent technologies in road, bridge, and tunnel construction. By employing advanced tools such as BIM, the Internet of Things (IoT), UAV aerial surveying, and intelligent robotics, construction efficiency and project quality can be significantly enhanced while reducing safety risks and resource consumption, thereby promoting the industry's digital transformation. The paper concludes by discussing future directions for intelligent technology development and offering relevant recommendations for its application.

**Key words**　Road and Bridge-Tunnel; Engineering Construction; Intelligent Technology Application

当前，我国交通基础设施建设正处在由高速增长向高质量发展的关键转型阶段。随着新一代信息技术的迅速发展，智能化施工已成为提升道路、桥隧等工程质量和效率的关键技术路径。该技术通过数字化、自动化与智能化手段深度融入施工全过程，显著改变传统依赖人工经验的建设模式，为复杂地形地质条件下的桥隧工程提供了创新解决方案。

从自动化监测到智能决策支持，从数字建模到机器人施工，智能化技术正在重塑现代交通基础设施的建设标准，为行业高质量发展注入新动力。尤其在应对山区复杂地形、高桥隧比工程及城市密集区交通枢纽的建设中，智能化技术展现出传统施工方式难以比拟的优势。本研究旨在系统探讨道路与桥隧施工智能化的技术价值与实施路径，以期为行业转型升级提供理论依据与实践参考。

## 1　道路及桥隧工程智能化施工技术应用的意义

### 1.1 提升施工效率与进度管控水平

采用智能化技术显著增进了施工效率与进度管控水平，引领传统依赖人工的粗放式管理往精细化、动态化方向过渡。数字化施工设备利用连续作业及精准协同，极大降低工序交接与等候时长。好比三维激光控制摊铺机应用起来，桥面铺装工序的时间节省了约三分之一。智能梁厂实现预制构件按标准化流水线生产，传统模式里单片箱梁生产周期为10天，现缩短至3天，极大舒缓了项目关键路径的供应压力。智慧工地平台依靠集成进度管理与实时监控功能，使项目管理人员随时掌握各工点的施工实际状态，及时识别进度偏差并运用纠偏手段。特别是借助数字孪生技术对施工过程做全要素模拟，为进度的优化提供了科学依据支撑，防止因工序冲突造成工期延误。效率的提升不只是反映在单一工序里，更体现于项目整体协同性与流畅度的改进上[1]。

### 1.2 降低施工安全风险与事故发生率

采用智能化技术对降低施工安全风险与事故发生率成效斐然。利用机械替代人工与智能监测预警这两种机制增强安全水平。焊接机器人替代人工在强弧光、热辐射、烟尘大等不好的环境里干活，防止了对操作人员健康造成危害。隧道施工中所采用的“八件套”全工序成套机械化设备，让工人远离像开挖面这样的高风险区，切实抵御塌方及岩爆等地质灾害的威胁[2]。智能安全监测系统凭借人员定位、有毒有害气体监测、施工台

车安全步距监测等功能，构建出全面覆盖的防护体系。尤其是面对复杂地质条件时，GTR悬臂掘进机和智能支护设备能有效辨别围岩变化并自动调整施工参数，把传统依赖经验的判断变为数据驱动的精准管控。该智能化安全管控使高风险工程的伤亡事故率显著降低，为从业人员营造出更为安全的工作环境。

### 1.3 节约人力物力成本与资源消耗

智能化施工技术展现出明显的成本节约及资源优化效益。依靠减少人工依赖与材料的浪费达成降本增效目的。无人摊压机组的运用，使单次施工可削减多名熟练操作工人，既减少了直接人工成本，也降低了人员管理的费用。智能检测机器人替换掉传统人工巡检，让路面病害识别效率增加90%以上，有效降低了养护管理工作里的人力投入。混凝土抗压强度自动检测机器人达成了试块搬运、加压测试以及数据记录的全程自动化，使试验检测人员从高强度的检测劳动中解脱。从材料利用的层面，采用BIM模型精准计量与智能下料系统，让钢筋与混凝土等主要材料的无谓损耗有所降低[3]。智能化系统还能利用优化配合比与施工工艺的方式，在保障工程质量的基础上，减少水泥等高能耗材料的使用量，实现资源节约、环境保护的双重成效。

### 1.4 保障工程质量与施工精度

智能化技术是保障工程质量和施工精度的主要手段。采用数字化控制消除人为操作存在的不确定性。智能张拉系统达成了预应力筋束张力控制精度到千牛级，实现了对桥梁结构安全性与耐久性的保证。三维激光摊铺技术以数字化模型直接控制施工的标高，做到路面平整度误差控制在毫米范围之内，大大超过传统施工标准。焊接机器人凭借参数化编程及稳定操作，维持长达200 km焊缝质量的连贯性，杜绝传统人工焊接中的质量上下波动。预制构件生产采用了智能制造理念，让每个产品获有唯一的数字身份识别标签，实现了质量责任在全生命周期里的可追溯。这种凭借数据与算法的质量控制举措，有效攻克了传统质量管理当中的主观随意弊端，让工程品质攀升到新的高度。

## 2 道路与桥隧工程施工阶段智能化技术应用的方式

### 2.1 设计和施工协同过程中BIM技术的应用

BIM技术作为实现设计和施工协同的关键工具，利用构建信息充裕的三维模型，为项目全阶段提供技术保障。BIM模型整合了几何信息与材料属性、施工工艺等非几何信息，让设计意图可直观展现与精准传达。在桥隧工程的施工阶段，BIM模型实施碰撞检测与空间协调，提前发现并处理不同专业之间的矛盾冲突，杜绝现场重复作业。采用4D-BIM技术把模型与施工进度计划联系起来，实现施工过程的可视化仿真与优化调控。BIM模型同样直接与预制构件生产系统实现对接，达成设计信息和制造指令的无缝过渡转换，增进预制精度与效率。处于运维的阶段，基于BIM的资产管理系统为桥隧设施搭建了完整的数字档案体系，切实提升了养护管理的针对性及有效性[4-5]。BIM技术已然是智能建造的核心载体，助力建筑行业实现信息共享并提升协作效率。

### 2.2 设备与环境监测采用物联网技术

物联网技术凭借构建设备及环境监测网络，做到施工要素的全部察觉与实时衔接。在实际施工场所，传感器网络对设备运行状态、环境参数与材料特性进行不断采集，为管理决策提供数据后盾。智能压实系统借助装在压路机上的传感器监测碾压的遍数和压实度，保障路面质量契合设计要求。混凝土拌和站借助物联网技术对每一盘料配合比执行状况进行监控，保证混凝土质量稳定，达到可控要求。在桥梁兴建施工阶段，物联网设备对索力、位移、振动等关键参数实施长时间监测，为结构安全评估给出依据。物联网技术同样达成了施工设备的远程监测与故障排查，减少设备停止工作时间，提升利用水平。尤其是通过无线传感网络和云计算平台的联合，物联网技术让大规模、分布式项目的集中管理得以实现，极大提升了管理的效率与精细水平。

### 2.3 地形勘察与进度巡检采用无人机航测

无人机航测技术为地形勘察以及进度巡检提供了高效方式，采用高空视角获取项目的全景信息。处于道路规划阶段，无人机借助倾斜摄影测量快速搭建精准的地形三维模型，为线路选取与工程量核算提供可靠支撑。施工活动开展期间，无人机按一定时间间隔飞行采集现场影像，借助对比不同时刻的数据自动计算工程进展，替换传统人工巡检的途径。在桥隧建造的施工阶段，无人机能安全抵达人员不易到达的区域，如高墩顶部、隧道洞口的仰坡等区域，开展近距离检测及拍照活动。无人机上搭载的多光谱传感器还可对边坡稳定性实施监测，早期找出变形迹象，预防滑坡隐患。尤其是在大型线性工程项目的具体操作里，无人机航测极大地降低了外业工作的量，缩减了数据采集的时长，同时保障了数据的整体全面性与准确特性。无人机技术和BIM、GIS平台的整合，进一步延伸了其在工程管理当中的应用深度及广度。

### 2.4 智能机器人在高危工序作业中的应用

智能机器人技术用替代人工的途径开展高危工序作业，

显著改善特殊工况下施工的安全与质量水平。在钢结构桥梁制作里应用焊接机器人，可稳定开展多种高难度焊接操作，保障焊缝质量均匀无差。爬索机器人顶替人工开展斜拉桥索力检测事宜，化解高空作业面临的风险与不便，增强数据采集的准确性与效能。混凝土智能施工机器人依靠自动路径规划及精准控制，做到构件的标准化浇筑与表面处理工作。在隧道施工的过程里，三臂凿岩台车让工作人员远离开挖面周边危险区域，同时增进炮眼定位精度与钻进的效率。智能喷浆机器人凭借三维扫描确定喷浆的厚度及范围，保障支护成效的同时减少材料的挥霍。这些智能机器人的应用不光降低了人工劳动强度与安全方面的风险，更凭借工作过程的规范化与程序化，明显提高了施工质量的稳定程度及可靠性。

### 2.5 大数据分析在风险评估及决策优化里的应用

大数据分析技术为风险评估、决策优化提供科学佐证，利用挖掘海量数据里的有价值信息指导工程实践活动。在桥隧工程建设施工阶段，大数据平台将历史项目数据、实时监测的信息与外部环境数据整合在一起，搭建风险知识库与预警模型。采用机器学习算法研判地质勘察数据和隧道掘进参数，预测前方围岩态势及潜在危机，指引施工方案进行动态调整。质量管理系统借助汇总各工序的检测结果，查明质量问题的分布规律与产生缘由，有针对性地革新施工工艺。进度管理系统借助分析历史项目进度数据，创建标准工序工期的数据库，为计划起草提供参考素材。大数据分析还可实现资源配置方案的优化，凭借分析设备运行数据和物料消耗的规律，提出省钱合理的采购与调度策略。随着项目数据不断汇聚，大数据分析的价值会愈发明显，为工程管理提供愈来愈精准的决策指引。

### 2.6 5G+边缘计算在远程控制中的应用

5G通信与边缘计算技术为远程控制系统开辟了高效通道，借助低延迟、高可靠的数据传输达成实时控制。当开展无人摊压施工的时候，5G网络让控制指令能即时传达给现场设备，保障多台机械协同作业达到精准度要求。施工现场处的边缘计算节点进行数据本地处理，降低往云端传输的数据量，减少网络的延迟时长，增强系统响应的速度。远程监控系统借助5G网络传输高清的影像流，让管理人员在指挥中心就可清楚掌握现场态势，实现远程专家的指导和决策。处于复杂桥隧的施工过程中，5G网络使分布于各点位的传感器数据可实时汇聚到分析平台，为集中控制给予数据基础。尤其是针对地下、水下等信号覆盖难的区域，5G网络灵活部署能力保障了通信始终连续。5G和边缘计算的联合，为施工现场搭建出高效可靠的数据神经通路，使分布式智能设备实现协同作业变为现实。

### 2.7 施工全过程模拟采用数字孪生技术

数字孪生技术通过构建施工全过程动态模拟，实现实体工程与虚拟模型间的实时交互。该平台可集成BIM模型、施工进度、资源调配等多源信息，形成与实体同步更新的数字镜像，支持管理人员可视化监控施工状态、预测潜在问题并优化工序。在施工方案验证中，该技术借助虚拟试错避免实际失误与返工；在质量控制环节，通过比对设计值与实测数据，及时识别并纠正偏差。随着施工推进，数字孪生模型持续积累数据，为类似项目提供参考。尤其在大型复杂工程中，其作为集成平台，有效融合多专业、多阶段信息，显著提升了项目管理的整体性与协同效率。

## 3 结束语

道路与桥隧施工智能化是建筑行业转型升级的必然趋势，其发展水平直接影响我国交通基础设施的建设质量与成效。随着BIM、物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术的深度融合，智能化施工已从单一技术应用发展为涵盖感知、传输、平台与应用层的完整技术体系。未来，智慧施工技术将呈现多技术融合的发展方向：人工智能算法将深度应用于施工方案优化与风险预警，数字孪生技术可实现实体工程与虚拟模型的实时交互，而新材料与智能传感技术的结合，则将推动具备自感知能力的新一代结构构件的发展。

## 参考文献

[1]赵涵,王怀杰.道路桥隧工程施工中质量瑕疵与改进措施研究[J].中国品牌与防伪,2025(4):238-240.

[2]宋建花.道路与桥隧工程施工安全管理研究[J].运输经理世界,2025(9):114-116.

[3]李洪永.绿色施工技术在交通建设工程中的难点及策略分析[J].交通节能与环保,2024,20(2):123-126.

[4]杨俊翔.道路桥隧工程施工的技术问题与对策研究[J].运输经理世界,2022(20):83-85.

[5]刘杰.道路桥隧工程施工难点及改进措施分析——以平利至镇坪(陕渝界)公路为例[J].绿色科技,2020(16):214-215.

（本文编辑　吴文博）

