

AI 技术赋能下传统建筑工程数字化转型路径与落地难点研究

程 琦

四川国际标榜职业学院 四川 成都 610000

摘要：传统建筑工程行业长期面临管理粗放、效率低下、安全事故频发等痛点，数字化转型已成必然选择。本文分析了建筑工程数字化转型的现状与需求，探讨了AI技术在智能设计、智慧工地、施工管理等环节的应用场景，构建了“数据采集—智能分析—协同管理—决策支持”的四层技术架构，提出了分阶段转型路径，并深入分析了数据孤岛、标准缺失、人才短缺、成本压力等落地难点及应对策略，为建筑工程企业数字化转型提供参考。

关键词：人工智能；建筑工程；数字化转型；智慧工地；落地难点

引言：传统建筑工程长期依赖人工经验、粗放式管理，导致资源浪费、效率低下、安全事故频发。随着劳动力成本上升、质量要求提高、绿色建造标准趋严，传统模式难以为继，数字化转型迫在眉睫。人工智能在图像识别、数据分析、智能决策等方面的突破，为建筑工程数字化转型提供了全新路径。本研究旨在系统分析AI技术赋能的应用场景与技术架构，梳理转型路径，剖析落地难点，为行业转型提供指导。

1 建筑工程数字化转型的现状与需求

1.1 建筑工程行业数字化发展现状

当前，建筑工程行业数字化水平整体偏低，呈“点状应用、局部优化”特征。设计阶段，BIM技术在一线城市大型项目中逐步推广，但应用深度不足，多数停留在三维可视化展示层面。施工阶段，部分企业尝试物联网传感器、无人机巡检等技术，但系统分散、数据孤岛严重，缺乏统一平台。项目管理仍以人工经验为主导，各管理模块相互割裂。约65%的建筑企业尚未制定系统的数字化转型战略，数字化投入占营收比重不足1%，远低于制造业平均水平。中小企业数字化基础尤为薄弱。

1.2 传统建筑工程面临的核心痛点

传统建筑工程管理存在四大痛点。一是管理粗放，项目进度依赖个人经验，工期延误率高达30%以上。二是安全风险突出，高处作业、深基坑等高风险点多，人工巡查隐患发现不及时，安全事故时有发生。三是质量管控困难，隐蔽工程主要依靠人工抽检，覆盖率低，问题后期发现整改成本高昂。四是协同效率低下，设计、施工、监理等多方信息传递依赖纸质文档或微信，版本混乱、信息滞后、责任不清，严重影响项目推进效率^[1]。

1.3 数字化转型的核心需求

基于上述痛点，数字化转型提出四个层面需求。数据采集层面，需要实现对施工现场人、机、料、法、环全要素的实时感知，解决“看不见”问题。数据分析层面，需要将海量异构数据转化为可用管理信息，解决“用不上”问题。协同管理层面，需要打通各方信息壁垒，实现多方实时协同，解决“对不上”问题。决策支持层面，需要利用数据驱动替代经验决策，提供进度预测、风险评估等智能支持，解决“算不准”问题。这些需求层层递进，需要系统性方案予以回应。

1.4 AI技术赋能的可行性分析

人工智能在感知、认知、决策三个层面的能力与数字化转型需求高度契合。感知层面，计算机视觉可替代人眼，实现对安全帽佩戴、边界入侵等行为的自动识别预警。认知层面，自然语言处理可自动解析图纸、规范、合同等非结构化文档，实现文档智能管理。决策层面，机器学习可建立工期预测、成本估算、风险评估模型，为决策提供量化依据。生成式AI可辅助完成方案设计等知识密集型工作。AI技术成熟度和成本已逐步满足工程应用要求，提供了可行技术路径。

2 AI技术在建筑工程中的核心应用场景

2.1 智能设计与BIM增强

AI技术正在重塑建筑设计流程。生成式设计利用对抗生成网络和强化学习，在给定场地条件、规范约束下自动生成多个方案，设计师优化调整，大幅缩短设计周期。智能审图利用计算机视觉和知识图谱，自动识别图纸中的“错、漏、碰、缺”问题，审图效率提升50%以上，错误检出率提高至95%。BIM模型智能增强方面，AI算法可自动完成构件分类、属性补全、模型轻量化等任务，解决BIM模型“建而不用”的困境。管线综合碰撞检

测从人工逐项排查升级为AI自动扫描,数小时内完成传统数周工作量,显著提升设计协同效率。

2.2 智慧工地与现场管理

智慧工地是AI应用最集中的场景。人员管理方面,人脸识别实现劳务实名制考勤,与工资系统联动,解决欠薪纠纷。安全帽佩戴检测算法自动识别未佩戴人员并语音提醒,某试点项目佩戴率从78%提升至99%以上。机械管理方面,塔吊等大型设备加装传感器,实时监测荷载、幅度等参数,超限自动报警。车辆管理方面,车牌识别与地磅系统联动,实现材料进场自动计量。环境监测方面,扬尘、噪声传感器与喷淋系统联动,超标自动启动降尘措施,满足绿色施工要求。

2.3 智能施工与质量管理

AI技术在施工过程控制和质量检测环节发挥重要作用。混凝土养护温度自动监测系统通过无线温度传感器实时采集数据,超限推送预警,确保养护质量。钢筋智能加工采用机器视觉识别钢筋型号、规格、数量,与加工指令自动比对,杜绝错用、混用。预拌混凝土质量追溯利用二维码/RFID技术,实现从出厂、运输、泵送到浇筑的全过程数据采集与溯源^[2]。无人机巡检搭载高清相机和红外热像仪,可快速完成大面积场地巡查、土方量测算、外立面检查等任务,单次巡查覆盖面积达10万平方米,效率是人工巡查的5倍以上。隐蔽工程影像记录通过AI自动识别关键工序并触发拍照留存,形成可追溯的电子档案。

2.4 安全风险智能管控

安全管理是AI技术应用价值最突出的领域。高风险区域电子围栏利用UWB定位或视频分析技术,划定塔吊作业半径、基坑边沿等危险区域,人员闯入即时报警并联动广播喊话。行为安全分析算法可识别攀爬、跌倒、违规操作等异常行为,某工地应用后跌倒响应时间从人工发现的平均8分钟缩短至15秒。基坑变形预测模型基于历史监测数据训练,可预测未来72小时变形趋势,提前发出预警,为采取加固措施争取时间。火灾智能预警系统通过感烟、感温、火焰识别多传感器融合,实现火情早期发现与自动报警,与传统消防系统联动启动应急广播和疏散指示,显著提升应急响应能力。

3 建筑工程数字化转型的技术架构

3.1 总体架构设计

本文构建“四层两体系”的建筑工程数字化转型技术架构。四层包括感知层、数据层、平台层、应用层。感知层负责现场数据采集,部署各类传感器、摄像头、定位终端、智能穿戴设备,实现全要素感知。数据层负

责数据存储与管理,建立数据标准、清洗异构数据、构建数据仓库与数据湖。平台层负责数据处理与分析,集成AI算法引擎、BIM引擎、GIS引擎、工作流引擎,提供通用技术服务。应用层负责业务功能实现,面向进度、成本、质量、安全、环境等管理模块提供智能化应用。两体系包括标准规范体系(数据标准、接口标准、安全标准)和运维保障体系(组织架构、人员培训、运维流程),为架构稳定运行提供支撑。

3.2 数据采集与感知层

感知层是数字化转型的基础,需实现对施工现场人、机、料、法、环全要素的实时感知。人员感知包括智能安全帽(内置定位、姿态、心率传感器)、人脸识别闸机、可穿戴体征监测设备。机械感知包括塔吊、升降机、桩机等设备的荷载、倾角、转速传感器,以及工程车辆的GPS/北斗定位终端。物料感知包括钢筋、混凝土、预制构件的RFID电子标签、二维码追溯系统。环境感知包括扬尘、噪声、风速风向、温湿度传感器^[3]。感知数据通过5G、物联网网关、边缘计算节点上传,边缘计算实现数据预处理、异常过滤、本地报警,减轻云端压力,提高响应速度。

3.3 数据处理与平台层

平台层是数字化转型的核心,承担数据融合、智能分析、协同管理功能。数据融合模块将多源异构数据(结构化、半结构化、非结构化)统一存储,建立以项目为单位的数字孪生数据底座。AI算法引擎集成计算机视觉(目标检测、姿态识别)、自然语言处理(文档解析、合同审核)、机器学习(预测模型、优化算法)等算法模型,提供API接口供上层调用。BIM引擎支持模型轻量化展示、构件级数据关联、4D/5D扩展(时间维度、成本维度)。工作流引擎实现变更审批、质量验收、安全检查等流程的线上化、自动化流转。平台层还应提供统一身份认证、权限管理、日志审计等基础服务。

3.4 应用层与决策支持

应用层面向工程管理各业务场景提供智能化功能。进度管理模块利用计算机视觉自动识别工程进度(如楼层数、混凝土浇筑面积),与计划进度比对,偏差自动预警,推荐赶工措施。成本管理模块基于物资消耗数据、机械台班数据、劳务用工数据自动生成成本台账,偏差超限推送预警。质量管理模块支持隐蔽工程影像留存、实测实量数据自动上传、质量问题闭环跟踪。安全管理模块实现隐患AI识别、违章行为抓拍、安全教育培训在线管理。决策支持模块面向管理层提供项目健康度指数、风险热力图、资源投入优化建议等智能分析报告,辅助

管理者科学决策。

4 数字化转型落地难点与应对策略

4.1 数据孤岛与标准缺失

数据孤岛是数字化转型面临的首要障碍。施工现场的监控系统、塔吊监测系统、地磅系统、环境监测系统往往来自不同供应商,数据格式各异、接口不开放,难以实现系统集成。行业层面缺乏统一的工程数据标准,企业间、项目间数据难以互通共享。应对策略:企业层面应制定统一的数据采集与交换规范,要求供应商开放API接口,优先选择支持标准化协议的设备;行业层面应推动建立建筑工程数据标准体系,包括主数据标准、业务数据标准、接口技术标准。政府主管部门可将数据互联互通纳入智慧工地验收考核指标,倒逼企业推进系统集成。

4.2 人才短缺与组织阻力

既懂工程又懂数字化的复合型人才严重短缺,是数字化转型的深层制约。传统工程技术人员缺乏数据思维和AI工具应用能力,IT技术人员不了解工程业务逻辑,两类人才难以有效协作。同时,数字化转型打破了既有利益格局和工作习惯,部分员工存在抵触情绪。应对策略:企业应建立“内部培养+外部引进”的双轨人才机制,从现有技术骨干中选拔数字化转型种子选手,与高校合作开设定向培养班。应设立数字化转型专项激励,将数字化应用成效纳入绩效考核。管理上应推行“试点先行、以点带面”策略,先在标杆项目验证成效,再逐步推广,降低变革阻力^[4]。

4.3 投入成本与回报周期

数字化转型初期投入较大,硬件设备采购、软件平台开发、系统集成实施均需可观的资金投入,而效益释放需要一定周期,中小企业面临资金压力。部分企业对数字化投入产出存在疑虑,持观望态度。应对策略:企业可采取“分步实施、急用先行”策略,优先在安全管理、劳务实名等见效快、痛点集中的领域切入,快速形成示范效应,用局部收益反哺后续投入。可探索“按需付费”的云服务模式,降低一次性投入压力。大型集团

企业可集中建设数字化平台,下属项目按需接入,摊薄单项目成本。政府可出台数字化转型专项补贴、税收优惠等支持政策。

4.4 数据安全和法律风险

施工现场数据涉及人员隐私、企业商业秘密、项目关键信息,数据采集、传输、存储环节存在泄露风险。AI决策的“黑箱”特性导致责任边界模糊,当系统推荐的方案出现偏差导致损失时,责任归属难以界定。应对策略:企业应建立数据安全管理体系,对敏感数据进行脱敏处理,严格权限控制,传输过程加密,重要数据本地化存储。应制定AI辅助决策的使用规范,明确“系统建议、人工确认”的权责边界,保留人工干预通道。可引入第三方安全评估机构定期开展数据安全审计,确保系统合规运行^[5]。

结束语

AI技术为传统建筑工程数字化转型提供了强大的技术动能,在智能设计、智慧工地、施工管理、安全管控等环节展现出显著的应用价值。本文构建的“四层两体系”技术架构为行业数字化转型提供系统性参考框架。建筑工程企业应立足自身实际,制定分阶段转型规划,优先在安全、劳务等高痛点领域切入,逐步扩展至全要素、全流程数字化,最终实现从“经验驱动”向“数据驱动”的管理范式转变,推动建筑工程行业高质量发展。

参考文献

- [1]尚超.5G与AI技术助力建筑工程项目管理数字化转型[J].砖瓦;2021(2):139-140,142.
- [2]陈祥坤.AI+BIM技术驱动工程数量精准管控的数字化转型与实践研究[J].科技与创新;2026(4):85-87,91.
- [3]张珍瑜.建筑工程的数字化转型路径与管理策略[J].四川建材;2026;52(3):204-206,222.
- [4]辛楠."BIM+AI"双核驱动下建筑装饰工程教学改革路径研究[J].佳木斯职业学院学报;2026,42(2):209-211.
- [5]王卫东.智能决策技术在建筑工程质量管理中的应用与优化[J].广州建筑;2026,54(2):84-88.