

数字化时代建筑工程项目全过程管控技术探究

刘勇军

441481*****2937

摘要: 随着信息技术的迅猛发展,数字化浪潮正深刻改变着建筑工程项目的管理模式与实施路径。本文以建筑工程项目全过程管控为研究对象,探讨了以建筑信息模型(BIM)、物联网(IoT)、大数据、云计算与人工智能为代表的数字化技术在项目全生命周期中的综合应用。文章系统分析了数字化技术在规划、设计、施工、供应链及运维等关键环节的赋能机制,并通过案例研究,验证了数字化全过程管控技术在提升效率、降低成本、优化决策和保障质量安全方面的显著成效。最后,本文对未来建筑工程领域数字化融合发展的趋势与挑战进行了展望,旨在为推动行业转型升级提供理论参考与实践借鉴。

关键词: 数字化技术; 建筑工程; 全过程管控; BIM; 物联网; 大数据

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.015

引言

进入21世纪,以数字化、网络化、智能化为特征的新一轮科技革命蓬勃兴起,为建筑行业的变革注入了强劲动力。数字化技术通过创建虚拟模型、实时采集数据、智能分析决策和云端协同共享,正在重塑建筑工程项目的实施方式与管理范式。建筑信息模型(BIM)从最初的三维设计工具,发展为贯穿项目全生命周期的信息集成平台;物联网(IoT)使得工地万物互联,实现了对人员、机械、材料和环境的实时感知;大数据与人工智能技术能够从海量工程数据中挖掘规律,为风险预警和优化决策提供支持;云计算与边缘计算则构建了弹性、可靠的数据存储与处理基础设施,保障了多方协同的高效与安全。在此背景下,探究数字化技术在建筑工程项目全过程管控中的应用逻辑、实施路径与价值效益,具有重要的理论意义与现实紧迫性。本文旨在系统梳理相关技术体系,剖析其赋能关键环节的作用机理,并结合实际案例总结成功经验与面临的挑战,以期为行业实践提供系统的技术参考与管理思路。

1 数字化技术在建筑工程项目全过程管控中的应用

1.1 建筑信息模型(BIM)

超越了传统二维图纸的局限,通过创建包含几何信息、物理属性和功能特性的三维数字化模型,实现了对建筑实体与过程的虚拟仿真。在工程管理中,BIM的应用已从设计阶段延伸到施工和运维阶段。在设计阶段,BIM支持多专业协同设计,进行碰撞检测和性能模拟,优化设计方案,减少后期变更。在施工阶段,基于BIM

的4D(时间)和5D(成本)管理能够实现施工进度模拟与资源计划优化,辅助施工交底和现场管理。更重要的是,BIM作为一个集中式的信息库,确保了从设计到施工、运维的数据传递的一致性和连续性,打破了信息孤岛^[1]。

1.2 物联网(IoT)技术

通过在施工现场广泛部署传感器、RFID标签、摄像头、GPS定位设备等智能终端,可以实时采集人员位置、机械设备运行状态、材料进场与消耗、环境温度、噪音扬尘、结构应力变形等海量数据。这些数据通过无线网络传输至管理平台,实现了对施工过程的透明化、可视化监控。例如,通过佩戴智能安全帽,可以实时监测工人的活动轨迹与生理状态,及时预警危险区域闯入或健康异常;通过安装在塔吊、升降机上的传感器,可以监控其运行参数,预防超载或违规操作。物联网使得管理从被动响应转向主动预警,极大地提升了施工现场的安全管理水平和作业效率。

1.3 大数据分析技术

建筑工程在生命周期中产生的数据量巨大、类型繁多,包括设计模型数据、物联网监测数据、项目管理数据、市场材料价格数据等。利用大数据处理与分析技术,可以对异构数据进行清洗、整合与挖掘,发现潜在的模式、关联与趋势。在成本管控中,可以分析历史项目的成本数据,预测当前项目的成本走势与风险点;在进度管理中,可以结合天气、供应链等多源数据,动态预测工期延误概率并推荐优化方案;在质量管理中,可以通

过对大量缺陷数据的分析,找出质量问题的常见类型、发生部位和根本原因^[2]。人工智能与机器学习算法的引入,进一步提升了数据分析的深度,能够实现更精准的预测、诊断和自动化决策。

1.4 云计算与边缘计算

云计算提供了强大的弹性计算能力和海量存储空间,项目各方可以通过网络按需访问共享的 BIM 模型、文档资料和应用程序,实现了数据的集中管理和高效的跨组织协同。基于云平台的协同工作模式,使得设计方、施工方、监理方和业主可以随时随地在同一数据源上开展工作与审批,显著提升了沟通效率。然而,对于施工现场需要实时快速响应的应用(如安全预警、设备自动控制),将全部数据上传至云端处理可能会因网络延迟而影响时效性。边缘计算则将部分计算任务下沉到网络边缘的设备或本地服务器,对实时性要求高的数据进行就近处理与分析,快速做出反应,再将处理后的结果或重要数据上传至云端。云边协同的架构,兼顾了全局协同的效率与本地响应的实时性,是未来智慧工地数据处理的主流模式。

2 数字化技术赋能建筑工程项目全过程管控的关键环节

2.1 规划与设计阶段

数字化管理实现了项目前期的精准谋划与方案优化。利用 GIS(地理信息系统)与 BIM 结合,可以在规划阶段对项目选址、场地环境、交通影响等进行综合分析。基于 BIM 的参数化设计,能够快速生成和比选多个设计方案。通过能耗模拟、光照模拟、风环境模拟等性能分析工具,可以在设计早期评估建筑的可持续性表现,优化建筑形态与围护结构。数字化协同设计平台使得建筑、结构、机电等各专业设计师能够在统一的模型上并行工作,实时更新和同步设计变更,彻底改变了传统的“串行”设计模式与繁琐的图纸会审流程,从源头上减少了错漏碰缺,提高了设计质量和效率。

2.2 施工阶段

智慧工地系统集成 BIM、IoT、移动互联网等技术,构建了数字孪生施工现场。管理者可以在指挥中心大屏或移动终端上,实时查看工地的三维全景、人员分布、机械运行、进度对比、安全风险等信息。在质量管理方面,通过移动 APP,质检人员可以随时随地依据 BIM

模型中的标准工序和验收规范进行现场检查,并实时拍照、录入数据,自动生成检验批资料,质量缺陷可定位到具体模型构件,实现质量问题可追溯、可统计^[3]。在安全管理方面,AI 视觉识别技术可自动分析监控视频,识别未佩戴安全帽、未系安全带、危险区域闯入等违规行为并实时报警。无人机定期航拍,通过图像比对可以快速、准确地计算土方工程量或检查高危区域施工状况。

2.3 供应链协同与数字化管理

传统的建筑材料与设备管理存在信息不透明、流转效率低、库存成本高等问题。通过构建数字化的供应链管理平台,将供应商、物流方、施工方信息打通,可以实现从采购订单、生产进度、物流运输到现场验收的全过程跟踪。RFID 或二维码技术应用于主要构件和材料上,扫描即可获取其生产信息、质量证明、运输轨迹和安装位置,实现物资的可追溯管理。基于大数据分析,可以预测材料需求,优化采购计划与库存水平,降低资金占用。区块链技术在供应链金融和合同管理中的应用,也增强了交易的透明性与可信度,有助于建立健康的产业生态。

2.4 运营维护阶段

在项目竣工时,将包含完整竣工信息的 BIM 模型(即“数字资产”)移交至运维方,与物联网系统集成,就构成了智慧运维的基础。运维人员可以在三维可视化界面中,直观地管理所有的设施设备,点击某个设备即可查看其型号、参数、安装日期、维修记录、供应商信息等。传感器实时监测设备的运行状态(如电梯运行数据、空调能耗、水管压力),数据分析平台进行预测性维护分析,在设备发生故障前提前预警并生成维修工单,变“被动检修”为“主动维护”。此外,基于 BIM 的空间管理、能源管理和应急管理等功能,都能显著提升大型复杂建筑(如机场、医院、商业综合体)的运营效率、降低能耗成本并增强安全韧性。真正实现了从“建造”到“建用一体”的全生命周期数据贯通和价值最大化^[4]。

3 案例分析

3.1 背景概况

某项目总建筑面积约 45 万平方米,包含超高层写字楼、五星级酒店、大型购物中心和地下综合交通枢纽,结构复杂,专业分包多,工期紧,质量标准高,且位于城市核心区,施工场地狭窄,安全和环保要求极为严格。

传统管理模式难以应对如此复杂的挑战,项目决策层决定引入系统的数字化管控体系,打造智慧工地示范项目。

3.2 数字化全过程管控技术实施方案

项目组建了专职的数字化管理团队,并制定了“一个平台、三项融合”的总体技术路线,即构建统一的数字化项目管理平台,深度融合 BIM、IoT 与大数据、云计算技术。

基于 BIM 的施工管理优化是项目实施的数字底盘。项目从设计阶段就采用全专业 BIM 正向设计,建立了高精度的 LOD 350 以上等级的综合模型。施工阶段,利用该模型进行全面的 4D 施工模拟,提前发现并解决了上千处管线碰撞和工序冲突问题,避免了大量返工。通过将 BIM 模型与进度计划关联,每周生成实际进度与计划进度的三维对比视图,进度滞后部位在模型中高亮显示,管理重点一目了然。在复杂节点施工前,利用 BIM 模型制作三维动画和可视化交底文件,通过二维码张贴在现场,工人扫描即可观看,显著提高了交底效率和施工准确性。

基于 IoT 与 AI 的施工监测与安全管理构建了项目的“神经末梢”。项目在工地周界、塔吊、深基坑、高支模、施工电梯等重点部位部署了近千个各类传感器和 200 余个高清摄像头。深基坑的位移、沉降、支撑轴力数据实时上传,一旦超过阈值系统自动报警。塔吊安装防碰撞系统和吊钩可视化系统,操作员在驾驶室内可清晰看到吊钩周围状况,系统自动计算相邻塔吊距离并预警。AI 视频分析系统 7×24 小时工作,自动识别烟火、人员聚集、未戴安全帽等十余种风险场景,报警信息直接推送至安全员手机。所有人员、车辆实行实名制与闸机进出,并与定位系统结合,可实时掌握场内各类人员分布与动态。

基于云计算与大数据的施工协同管理打造了项目的“智慧大脑”。项目采用了基于云架构的协同管理平台,所有设计图纸、BIM 模型、施工方案、审批流程、质量安全巡检记录、材料进场验收单等均在线生成、流转与归档。业主、监理、总包、各分包单位均通过统一账号在平台上协同工作,任何一方的设计变更或指令都需通过平台发起并记录留痕,确保了信息传递的唯一性和可追溯性。大数据模块整合了进度、成本、质量、安全、物料等各类数据,通过可视化仪表盘为项目经理提供全方位的项目健康度报告。系统还能基于历史数据与当前

进展,对项目总成本超支风险和最终竣工日期进行动态预测,辅助管理层进行科学决策。

3.3 应用成效与经验总结

通过实施系统的数字化全过程管控,“星城国际中心”项目取得了显著成效。在经济效益方面,通过 BIM 优化减少设计变更和返工,预计节约成本约 2.5%;通过精准的材料管理和供应链优化,减少材料浪费约 8%;通过进度精细化管理,项目总体工期比原计划提前了约 45 天。在管理效益方面,实现了管理流程的在线化、标准化,文档协同效率提升 40%以上;安全隐患的自动识别与闭环整改率大幅提高,项目全程未发生重大安全事故;质量一次验收合格率达到 99.2%,远高于行业平均水平。项目竣工后,交付了完整、准确的竣工 BIM 模型和数字化运维手册,为业主的智慧运营奠定了坚实基础。

该项目成功的关键经验在于:第一,管理层的高度重视与清晰的数字化战略是前提;第二,技术与管理的深度融合是核心,不能为技术而技术,必须以解决管理痛点为目标;第三,统一的平台和数据标准是基础,必须打破数据壁垒;第四,需要配套的组织变革与人员技能培训,培养既懂工程又懂数字化的复合型人才。

4 结语

数字化时代为建筑工程项目管理带来了前所未有的机遇与挑战。本文的探讨表明,以 BIM、物联网、大数据、云计算等为代表的数字化技术,通过在全过程、全要素、全参与方中的深度集成应用,能够有效破解传统管理模式中的信息割裂、协同低效、决策粗放等顽疾,推动工程项目管控向可视化、精细化、智能化方向跃升。

参考文献

- [1] 盛连才. 数字化时代建筑工程项目全过程管控技术探究[J]. 建材发展导向, 2025, 23(22): 85-87.
- [2] 毛伟. 工程预付款与进度款支付问题的数字化路径探索——以甘肃电力项目全过程数智管控平台为例[J]. 商业 2.0, 2025, (21): 121-123.
- [3] 钟琴. 工程项目管理探析——以 A 市重点项目 DC 建筑工程为例[J]. 房地产世界, 2025, (08): 68-70.
- [4] 应宇垦, 李文, 徐勇敏, 等. 基于 BIM 的既有地铁车站改扩建数字化全过程管控技术[J]. 重庆建筑, 2021, 20(03): 30-32.