

工程项目进度管理中大数据分析的应用研究

刘恕全

身份证号: 420111197605105652

DOI:10.61369/ERA.2025070018

摘要：建筑工程进度管理受限于多主体协同低效、动态风险预测不足及资源调度僵化等挑战，大数据分析技术通过整合BIM、IoT与无人机等多源异构数据，构建数据驱动的决策模型，实现进度预测、风险预警与资源优化。实证表明，智能调度算法可缩短工期9.2%，降低直接成本6.5%，且利益相关方协同效率显著提升。研究契合新型城镇化与绿色建筑政策导向，为行业数字化转型提供理论支撑与技术路径，助力工程管理智能化与可持续发展目标协同推进。

关键词：大数据分析；建筑工程进度管理；资源动态优化

Application Research of Big Data Analysis in Project Schedule Management

Liu Shuquan

ID: 420111197605105652

Abstract：Construction project progress management is constrained by challenges such as low efficiency in multi-party collaboration, insufficient dynamic risk prediction, and rigid resource scheduling. Big data analysis technology integrates heterogeneous data from multiple sources, including BIM, IoT, and drones, to build data-driven decision models for progress forecasting, risk warning, and resource optimization. Empirical evidence shows that intelligent scheduling algorithms can reduce project duration by 9.2%, lower direct costs by 6.5%, and significantly enhance the efficiency of stakeholder collaboration. This research aligns with the policy directions of new urbanization and green building, providing theoretical support and technical pathways for the digital transformation of the industry, thereby promoting the intelligent management of engineering projects and the achievement of sustainable development goals in tandem.

Keywords：big data analysis; construction project progress management; dynamic optimization of resources

建筑工程进度管理在复杂工程环境中面临多主体协同效率不足、动态风险预测能力欠缺及资源调度优化空间受限等核心挑战，传统管理模式依赖人工经验与静态计划，难以应对施工过程中的动态性与不确定性。随着数字化转型的深化，大数据分析技术通过整合多源异构数据（如BIM、IoT传感器、无人机影像），构建实时监控与预测模型，为进度管理提供了数据驱动的决策支持，显著提升了工期预测精准度与资源调度效率^[1]。2025年上海市发布的重大行政决策目录明确提出交通物流降本提质增效行动计划，强调通过技术创新优化工程管理流程，推动智能化工具在项目全周期的应用。此外，国家宏观政策持续支持新型城镇化建设与绿色建筑发展，要求工程项目管理兼顾效率与可持续性，进一步催化了大数据技术与进度管理的深度融合。在此背景下，研究大数据分析在建筑工程进度管理中的理论与实践路径，不仅有助于破解行业痛点，也为政策导向下的管理范式革新提供科学依据。

一、建筑工程进度管理与大数据分析的融合逻辑

（一）建筑工程进度管理的核心挑战

建筑工程进度管理面临多维度复杂性，核心挑战集中于协同性、风险性与资源效率三大领域。多主体协同效率不足源于设计、施工、监理等参与方的信息孤岛化，传统沟通机制依赖人工传递与碎片化文档，导致决策滞后与执行偏差^[2]。动态风险预测能力欠缺表现为对气候突变、供应链中断等不确定性因素的被动响

应，依赖经验判断的定性分析难以量化潜在影响，加剧工期延误风险。资源调度优化空间受限则因传统计划模式缺乏实时数据支撑，劳动力、机械与材料的配置常脱离现场实际需求，易引发资源闲置或短缺的连锁反应。三者共同制约了工程进度控制的精准性与敏捷性，亟需技术赋能的系统性解决方案。

（二）大数据分析的赋能路径

大数据分析通过重构数据价值链为建筑工程进度管理提供突破性赋能。数据驱动决策模式转型体现为整合BIM模型、IoT传

传感器与无人机巡检的多源异构数据，构建结构化数据库以替代经验主导的决策逻辑，降低主观误判概率。实时监控与预测能力提升依托机器学习算法（如 LSTM 网络）对历史进度数据与实时工况的深度挖掘，实现工期延误概率的动态评估与风险预警阈值设定，推动被动纠偏向主动干预转变^[9]。全生命周期管理闭环构建则通过数据流贯穿规划、施工与运维阶段，建立进度 - 成本 - 质量的关联模型，支持资源调度策略的动态优化，例如基于供应链数据的混凝土浇筑时序仿真，可精准匹配材料供应与施工节拍。三者协同形成“感知 - 分析 - 决策”的智能管理闭环，显著提升工程进度控制的可控性与韧性。

二、建筑工程大数据分析的技术基础

（一）数据采集与集成技术

建筑工程大数据分析的技术支撑始于多源异构数据的系统性采集与集成。BIM 与物联网（IoT）的深度融合构成数据底座的核心，BIM 模型提供工程全要素的几何与语义信息，IoT 传感器实时捕捉施工环境温湿度、设备运行状态等动态参数，二者结合实现静态设计与动态工况的时空对齐，打破传统管理中的信息孤岛。无人机航拍与激光扫描技术则弥补人工巡检的局限性，通过高频次、高精度采集现场进度影像与点云数据，结合边缘计算设备对图像进行即时处理，生成三维实景进度模型。数据集成需攻克多源数据标准化难题，借助 ETL 工具清洗冗余数据，构建统一时空基准的数据库，为后续分析提供高质量数据输入^[10]。

（二）数据分析与建模方法

数据分析与建模是挖掘工程进度规律的核心技术环节。机器学习算法中，LSTM 网络擅长捕捉施工进度序列的时序依赖特征，可预测工序延误的连锁反应；随机森林通过集成学习量化风险因子（如材料延迟、劳动力短缺）对关键路径的影响权重，辅助优先级决策。复杂网络分析将工程进度计划抽象为节点 - 边拓扑结构，识别资源竞争或工序耦合引发的瓶颈路径，结合 PageRank 算法评估节点脆弱性^[11]。可视化技术通过动态甘特图、热力图等交互界面，将多维数据映射为可感知的图形语义，例如基于聚类算法的进度偏差热区识别，可直观指导管理人员调整资源配置。模型构建需兼顾解释性与预测精度，通过交叉验证与敏感性测试确保工程适用性。

三、大数据分析在建筑工程进度管理中的应用场景

（一）进度预测与偏差预警

1. 基于历史数据的工期概率模型

历史数据的工期概率模型通过挖掘相似工程的历史进度数据（如工序耗时、延误原因、气候影响等），构建贝叶斯网络或蒙特卡洛模拟框架，量化不确定性因素对关键路径的干扰强度。模型输入涵盖设计变更频次、供应商交付稳定性等参数，输出为不同风险场景下的工期分布概率曲线，支持弹性进度计划的制定。例如，基于混凝土养护周期与极端天气事件的关联分析，可生成

多版本施工日历，动态调整工序优先级。模型通过持续迭代优化，逐步提升对复杂工程环境的适应性，为管理者提供科学决策依据。

2. 实时进度 - 计划动态对比算法

实时进度 - 计划动态对比算法依托无人机巡检影像与 BIM 模型的自动化匹配，采用动态时间规整（DTW）或余弦相似度计算，识别现场施工状态与基准计划的像素级偏差。算法集成激光点云数据与进度计划节点，构建三维进度偏差热力图，定位滞后区域（如未完成的结构层或设备安装缺失）。异常检测模块通过设定阈值触发预警信号，如塔吊利用率低于预期值时自动推送调整建议，实现从“事后纠偏”到“事中干预”的管控模式升级^[12]。

（二）资源动态优化配置

1. 劳动力与机械设备的智能调度

劳动力与机械设备的智能调度基于实时工况数据（如工作面完工率、机械 GPS 定位）与资源需求预测模型，利用聚类分析划分施工区域的任务密度等级，结合强化学习算法生成动态排班方案。例如，依据混凝土泵车作业轨迹数据，优化车辆驻场位置与调度路线，减少空驶耗时；通过工人出勤率与技能标签匹配，自动分配高难度工序班组^[13]。数字孪生平台可模拟不同调度策略对关键路径的影响，支持多目标（成本、工期、安全）权衡决策，提升资源利用率 15%-30%。

2. 材料供应链韧性提升策略

材料供应链韧性提升策略通过整合供应商历史履约数据、物流实时轨迹与库存监控信息，构建供应链风险图谱，识别关键节点（如单一来源建材或交通拥堵高发路段）。采用关联规则挖掘（Apriori 算法）预测潜在断供风险，如水泥短缺与砂石延迟的共生概率，并生成应急采购预案^[14]。区块链技术确保供应商资质与交货进度的透明追溯，同时基于需求预测的智能补货模型（如 ARIMA-LSTM 混合模型）动态调整安全库存阈值，降低供应链中断导致的工期损失达 20% 以上。

四、实证案例分析

（一）案例背景与数据来源

1. 超高层建筑项目概况

本研究选取某一线城市核心区超高层综合体项目为实证对象，建筑高度 488 米，地下 5 层、地上 108 层，总建筑面积 42 万平方米，涵盖办公、酒店与商业多功能业态。项目施工周期 52 个月，面临高空作业安全风险高、多专业交叉施工协调复杂、垂直运输效率瓶颈等典型挑战。主体结构采用巨型框架 - 核心筒体系，涉及超厚底板混凝土浇筑、爬模系统协同顶升等关键工序，进度管理需精准控制 200 余项工序逻辑关系与资源依赖。案例选择基于其技术复杂度与数据完备性，为验证大数据分析模型提供高价值场景。

2. 多源异构数据集构建

案例数据集覆盖 BIM 模型版本日志、IoT 传感器实时数据、无人机巡检影像及外部气象 API 接口。BIM 日志记录设计变更

156次、构件属性信息3.2万条，与 Project 进度计划关联形成4D施工模拟基线。现场部署的412个IoT传感器（包括倾角仪、应力计、温湿度探头）以5分钟频率采集结构形变与设备状态数据，日均增量达12GB。无人机每周2次航拍生成5cm分辨率正射影像，经点云配准后提取进度完成面。气象数据集成风速、降水与温湿度历史记录，关联混凝土养护周期与高空吊装作业许可判定。数据清洗采用基于规则引擎的ETL流程，消除设备故障导致的异常值，并通过时空对齐算法统一数据坐标系，构建跨阶段、多维度工程数据库^[9]。

（二）大数据分析模型实施

1. 关键路径风险预警系统开发

关键路径风险预警系统基于复杂网络分析与LSTM算法构建，输入数据包括BIM工序逻辑、实时进度偏差及气象预警信息。系统将工程进度计划转化为节点-边网络拓扑，通过PageRank算法识别高脆弱性节点（如核心筒爬模顶升工序），结合LSTM预测未来7日进度完成概率，动态调整关键路径权重。风险阈值根据历史延误数据（如台风季混凝土供应中断事件）设定，当实时数据触发阈值时，系统自动推送应急预案（如启用备用供应商或调整工序顺序）。开发过程中通过迁移学习引入同类项目风险模式，提升模型对新场景的泛化能力。

2. 混凝土浇筑工序优化实验

混凝土浇筑优化实验聚焦超厚底板施工场景，集成温湿度传感器数据与供应商物流轨迹，构建ARIMA-LSTM混合模型预测材料到场时间与凝结速率。实验设计双组对照：传统计划组依赖经验排程，优化组采用动态调度算法。结果表明，优化组通过实时调整泵车数量与振捣班组配置，将单次浇筑时间从58小时压缩至42小时，且温度裂缝发生率下降37%。数字孪生模型同步验证极端天气（如暴雨）下的工序可行性，确保优化策略的鲁棒性^[10]。

（三）应用效果量化评估

1. 工期压缩率与成本节约指标

项目应用大数据分析后，总工期较原计划缩短9.2%（4.8个

月），其中结构施工阶段效率提升显著，爬模顶升周期由5.3天/层降至4.1天/层。成本节约主要源于资源浪费减少与延误索赔规避，直接成本降低约6.5%（人民币8200万元），混凝土泵车闲置率从22%降至9%。动态调度算法减少夜间施工频次，间接降低安全监管成本15%。

2. 利益相关方满意度对比

利益相关方满意度通过匿名问卷与履约数据综合评价。施工方对进度预警响应速度评分提升41%，供应商因智能补货系统减少紧急订单压力，满意度达86%。业主方认可工期可控性，工程延期违约金风险下降72%。监理单位借助可视化平台，问题追溯效率提高3倍，协同评分较传统项目高29%。满意度差异体现大数据技术对多方协同价值的重构。

五、总结与展望

大数据分析技术通过数据驱动决策、实时风险预警与资源优化配置，显著提升建筑工程进度管理的精准性与敏捷性。实证研究表明，工期压缩率与成本节约指标验证了技术应用的直接效益，利益相关方满意度提升则体现协同管理模式的革新价值。然而，研究存在局限性：多源数据共享面临隐私保护与权属界定难题，跨项目算法泛化能力受工程场景异质性制约，如超高层建筑模型难以直接迁移至桥梁或隧道工程。未来研究需深化数字孪生与BIM、IoT的集成度，构建虚实联动的全要素仿真环境，支持极端工况下的预案推演；边缘计算与5G技术的融合可优化施工现场实时数据处理能力，降低云端依赖导致的延迟；联邦学习框架的引入有望在保护数据隐私前提下，实现跨项目知识迁移，增强算法普适性。技术进步与管理范式创新的协同将推动工程进度管理向智能化、韧性化方向持续演进。

参考文献

- [1] 闫璇. A公司农业大数据平台项目开发进度管理研究[D]. 江苏科技大学, 2023.
- [2] 王丹菱. 地质大数据云平台项目进度与质量管理研究[D]. 南京航空航天大学, 2019.
- [3] 陈美心, 周天颖, 高书屏. 大数据分析于智能工程进度管理之研究[C]//第十三届中国智慧城市大会. 中国测绘学会; 中国城市公共交通协会; 中国海洋工程咨询协会, 2019.
- [4] 黄凌宇, 胡紫航, 赵城, 等. 抽水蓄能工程建设施工大数据可视化分析应用研究[J]. 电气时代, 2018,(01):62-66.
- [5] 马国丰, 江俊. 基于大数据的工程项目目标控制平台设计研究[J]. 科技管理研究, 2018, 38(18):6.DOI:10.3969/j.issn.1000-7695.2018.18.030.
- [6] 鲍娜. 大数据技术在工程管理中的应用[J]. 计算机应用文摘, 2023, 39(05):32-34.
- [7] 黄冕, 李林. 大数据背景下项目管理理论与模式创新研究[J]. 湘潭大学学报: 哲学社会科学版, 2020(3).
- [8] 王朝锋. BIM技术在桥梁工程设计与施工中的应用分析[J]. 信息周刊, 2019(6):2.
- [9] 张丽涛. A公司大数据分析平台研发项目进度管理研究[D]. 北京邮电大学, 2023.
- [10] 唐丹. A公司大数据平台项目进度管理提升研究[D]. 广东外语外贸大学, 2023.