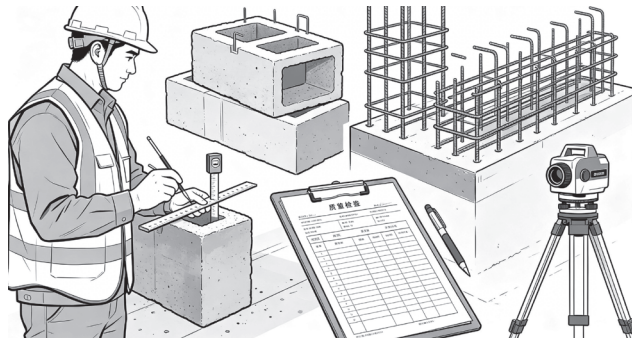


基建施工现场质量进度管控的大数据应用

文 | 赵俊杰 付洪盛 武翔宇

基础设施建设的施工质量和进度会直接影响工程效益与社会效益。传统施工管理依靠人工巡检和经验判断存在诸多局限，像信息滞后、监控有盲区以及决策较主观等情况，在数字经济背景下海量施工数据成为可开发的战略资源。大数据技术凭借强大的数据处理和分析能力，为破解管控难题提供技术路径，推动施工过程朝着可量化、可追溯的数字化管理方向转型。



(配图由 AI 生成)

施工现场质量管控的大数据技术体系

全要素数据采集的感知网络架构

施工现场进行数据采集得构建多层次感知体系，该体系要覆盖物理空间、作业过程和环境参数。物联网传感器被部署在关键结构节点处，用于持续监测混凝土养护温湿度、钢结构应力应变、基坑位移沉降等工程参数，其采样频率根据施工工艺危险等级动态调节。北斗高精度定位系统能追踪大型机械设备运行轨迹，同时记录作业的时空坐标，工业相机阵列可实施全天候影像采集，捕捉浇筑振捣、焊接成型、模板拼装等操作细节，边缘计算网关会对海量感知数据执行初步过滤，将冗余信息剔除掉，数据采集协议遵循工业互联网标准体系，以此确保异构设备间的互操作性。分布式存储架构会将结构化施工记录、半结构化检测报告、非结构化影像资料分类归档，并且建立统一时间戳索引。

质量异常识别的智能分析模型

基于深度神经网络构建多模态融合分析框架来实现质量异常识别。卷积神经网络负责处理施工影像，并从中提取裂缝纹理、钢筋暴露状态及蜂窝麻面分布等缺陷特征，借助迁移学习技术，即便样本量有限也能确保识别精度达到工程应用要求，循环神经网络用于分析时序监测数据，通过追踪参数变化趋势，在混凝土水化热曲线偏离标准范围时及时发出预警，集成学习算法把材料检验结果、工艺执行记录与环境监测数据相结合，计算出综合质量风险指数。异常判定依据是由国家标准强制条文、行业技术规范及企业内控标准共同构建的分级阈值体系，模型训练过程采用主动学习策略，优先将质检人员标注的疑似案例纳入样本集。特征工程方面纳入施工队伍资质、管理人员配置等隐性变量，通过注意力机制提升模型输出的可解释性。

质量数据溯源的区块链应用

区块链技术为质量数据提供了不可篡改的分布式账本解决方案。施工阶段产生的检验批验收文件、材料进场证明、隐蔽工程影像等核心资料，经过数字签名处理后存进区块链里面，智能合约设定好数据录入规则，只允许授权节点发起相关操作，验证节点按照共识机制来校验数据的有效性，每条质量记录都会标注时间戳、操作人员、关联工序等关键信息，构成不可逆转的时序档案资料，出现质量争议情况时，责任追溯系统能够沿着区块链追溯到问题根源，精准锁定责任班组、材料批次及施工时段。哈希指针把各工序数据块串联起来，任何对历史记录的非法篡改都会破坏链式验证，联盟链架构在保障数据开放性时兼顾商业秘密保护，监理、施工、建设各方按照职能获得分级访问权限。链上数据和 BIM 模型的空间坐标相互关联，支撑质量信息进行三维立体展示。

基于大数据的施工进度精准控制

进度风险的多因子预测模型

进度偏差预测将工程内部变量和外部环境要素融合并构建多维度特征体系。通过关键路径识别算法解析工序网络拓扑结构，计算各作业节点总时差与自由时差来量化延误传导路径，气象数据接口实时获取降水概率、风速等级以及极端天气预警信息，评估自然条件对土方开挖、高空作业、混凝土浇筑等关键工序影响程度，人力资源画像系统记录工班技能等级、出勤波动率以及历史产值数据，测算实际施工能力和计划配置之间的偏差。机械设备运行日志采集启停时间、故障频次以及维保周期等状态信息，量化设备可靠性对工期的制约作用。多元回归方程对历史进度数据进行拟合，挖掘各影响因子边际贡献率，生成工期延误的概率分布函数。该

模型整合材料供应周期、审批流程耗时等管理参数，输出未来四周的工期预警等级。

动态资源配置的智能优化

资源调度优化主要聚焦在多目标约束求解方面，其目的是统筹工期、成本与质量三大要素，采用整数规划模型来构建决策变量体系，其中涵盖各工种人力配置、机械选型以及物料库存等参数，同时设定劳动定额、场地承载能力和资金流动等限制条件。通过粒子群算法在可行域内开展迭代搜索工作，最终收敛到帕累托最优解集，基于工序并行度分析能够定位关键路径上的可压缩工序组合，在确保工程品质的前提条件下，通过增加夜间作业班次、采用速凝材料等措施来实现工期压缩。实施资源均衡化策略以平抑需求波动情况，有效规避因资源集中采购造成的供应瓶颈以及闲置浪费问题，建立应急资源储备机制，依据风险预测动态调整备用规模大小，当进度指标突破警戒阈值时及时调用储备资源。构建供应链协同平台对接钢材加工、混凝土预制等上游供应商，推行按需拉动式的精准配送模式。

进度计划调整的决策支持

进度纠偏决策依托数字孪生技术构建虚拟施工推演环境。三维施工模拟引擎通过导入实际进度数据，在虚拟环境还原工程当前进展，明确标识滞后工序空间分布及关联逻辑，赶工方案生成模块涵盖资源补充、工艺改进、工序重组等多种调整策略，测算各类方案对总工期的缩减幅度，成本效益评估函数将赶工措施引发的直接费用增量、质量风险成本及合同违约损失进行量化后，按投入产出比高低输出排序结果。多准则决策分析把业主意愿、合同条款以及资源条件等非量化要素融合，针对备选方案开展全面可行性质检，蒙特卡洛模拟通过引入随机波动的方式，对修订后的进度方案实施压力测试，以此验证其抗干扰能力，决策结论运用甘特图、网络图以及资源分配图谱等多维度进行可视化展示。动态监控体系对整改措施的执行成效进行实时追踪，把现场运营数据反馈到预测模型，构建持续改进的闭环管理。

质量进度耦合管控的数据协同机制

质量进度关联的数据建模

质量和进度之间的交互作用具备高度非线性特征，需要构建能反映二者相互作用的数学模型。结构方程模型可用于刻画质量投入对工期延误的传导过程，通过量化检验频次、优化返工处理等质量管控措施，测算其对工期的消耗系数，时滞效应分析能够揭示质量缺陷在后续工序中的累积放大机制，贝叶斯网络可以建立质量事件与进度节点的概率依赖关系图，进而推算隐蔽工程验收不合格对主体结构封顶时间的影响概率分布。关联规则挖掘能够从历史项目中提取频繁出

现的模式，从而识别特定质量问题与进度偏差的关联规律，弹性系数可用于评估质量标准调整对工期的敏感程度，动态面板数据模型则能够捕捉质量与进度关系的动态变化特征。

冲突消解的协同决策算法

质量与进度目标之间的矛盾，从本质上来说是源于资源不足和时间方面的限制，需要构建一个多方协同的协调机制。博弈论模型明确了质量管控和进度管理部门的策略选择范围，通过纳什均衡分析能够找到双方利益最优的稳定解，约束松弛方法可以在保证质量基准和工期的刚性要求之间，探寻出可行的调整空间，分阶段决策流程中设置了质量优先级的判断准则，关键结构部分要坚持质量优先的原则，而装饰装修环节则允许适当向进度进行倾斜。情景分析生成严格质控、加速赶工以及平衡折中这三种典型方案，层次分析法用于确定质量与进度的相对权重，配合冲突检测算法实时跟踪两者的偏差情况。

管控效能的数据价值评估

管控效能量化得构建能反映数据应用产出的多维指标体系。直接经济效益要通过对传统管理模式和大数据管控模式下质量成本、工期损失、资源浪费等财务指标来测算，让技术投入的投资回报率以货币化形式呈现。返工率下降幅度、进度偏差缩小比例、决策响应时间缩短幅度等业务指标，可反映数据驱动管理带来的运营改善效果，数据资产价值评估需引入期权定价思想，把历史积累的施工数据作为可产生未来收益的无形资产。知识沉淀效应可通过案例库规模增长、算法模型精度提升等指标体现，组织能力成熟度评价要从数据治理水平、技术平台完备性等维度来诊断企业发展阶段。

结束语

大数据技术给基建施工质量进度管控添上智能化动力，达成从被动应对到主动预防的转变。多源数据融合打造出全景监控视图，智能算法挖掘潜藏风险的内在规律，协同平台打破“信息孤岛”存在的重重壁垒，技术应用促使施工管理从经验判断往数据智能方向转型，不断积累行业相关的知识资产，未来要强化数据治理方面的能力建设，深化人工智能算法领域的研究探索，提升模型在实际应用中的适应能力。5G和边缘计算等新技术会进一步增强数据实时处理能力，数字孪生技术可实现虚实融合的全生命周期管理，持续释放数据所蕴含的巨大价值，有力推动建筑业实现高质量的发展。

作者简介：赵俊杰 山西和顺天池能源有限责任公司

付洪盛 武翔宇 山东能源集团建工集团有限公司

责任编辑：杨佳宇 **投稿邮箱：**zhouhl@staff.ccidnet.com