

水利工程施工进度管理中的信息化技术应用研究

张 雷

滨州黄河水务局滨开黄河水务局 山东 滨州 256600

摘 要：水利工程施工进度管理中，信息化技术应用显著提升管理效能。通过BIM+GIS集成，实现三维可视化进度规划与4D动态模拟，精准识别工序冲突；卫星定位与物联网协同，实时追踪设备位置与施工参数，优化资源调度；大数据分析 with 智能决策系统，预测进度风险并动态调整资源分配；无人机与数字孪生融合，快速核查地形与进度偏差，确保工程按计划推进，有效缩短工期并降低成本。

关键词：水利工程；施工进度管理；信息化技术；应用

引言：水利工程建设规模宏大、施工周期长且受自然因素影响显著，传统进度管理模式依赖人工统计与经验判断，存在信息滞后、决策偏差等问题。随着信息技术快速发展，BIM、GIS、物联网、大数据等技术在施工领域深度渗透，为进度管理提供实时数据支撑、智能决策支持与可视化管控手段。研究信息化技术在水利工程施工进度管理中的应用，对提升工程效率、缩短工期、降低成本具有重要实践价值，是推动水利行业数字化转型的关键方向。

1 信息化技术在水利工程施工进度管理中的应用基础

1.1 信息化技术体系构成

(1) 感知层：作为数据采集核心，卫星定位（如北斗、GPS）可实时获取施工机械、人员位置信息，精度达厘米级，保障施工坐标精准；物联网传感器（如水位、压力、振动传感器）能24小时监测基坑水位、混凝土强度等关键指标；无人机巡检则通过高清航拍快速覆盖大坝、渠道等大范围施工区域，高效排查进度滞后区域。

(2) 传输层：5G网络凭借低延迟（毫秒级）、高带宽特性，实现现场数据实时回传；光纤通信为海量BIM模型、视频数据提供稳定传输通道；边缘计算节点可在施工现场就近处理部分数据，减少云端传输压力，提升响应速度。(3) 平台层：BIM建模平台能构建水利工程三维可视化模型，清晰呈现闸室、隧洞等结构细节；GIS空间分析系统整合地形、水文数据，辅助规划施工路线；项目管理云平台支持多部门实时共享进度数据，打破信息孤岛。(4) 应用层：进度模拟软件（如PrimaveraP6）可模拟不同施工方案的进度曲线；风险预警系统通过阈值设定，自动预警材料短缺、天气延误等风险；资源调度算法能根据进度需求，优化挖掘机、混凝土罐车等设备的调配方案^[1]。

1.2 技术应用核心逻辑

(1) 数据驱动：通过感知层设备实时采集施工进度（如土方开挖量、混凝土浇筑量）、质量（如混凝土强度检测数据）、安全（如施工现场人员安全帽佩戴情况）等多维度数据，经传输层上传至平台层，为进度管理提供实时、准确的数据支撑，避免因数据滞后导致的决策偏差。(2) 模型支撑：依托BIM建模平台构建的三维可视化模型，将施工图纸转化为直观的三维模型，可模拟施工全过程（如施工工序衔接、设备运行路径），直观呈现施工进度计划与实际进度的差异，帮助管理人员快速发现进度滞后问题，及时调整施工方案。(3) 算法优化：基于平台层积累的历史施工数据，运用机器学习算法（如回归分析、神经网络算法）分析影响进度的关键因素（如天气、人员效率），预测未来可能出现的进度偏差，并自动生成纠偏方案（如调整施工人员配置、优化施工工序），提升进度管理的科学性与前瞻性。

2 水利工程施工进度管理中的信息化技术应用

2.1 BIM+GIS技术集成应用

(1) 应用场景：大型水库枢纽工程进度规划。此类工程涵盖大坝、发电厂房、泄洪设施等多结构协同施工，施工区域地形复杂（常涉及峡谷、河道），且工期长达3-5年，传统二维图纸难以直观呈现各工序空间衔接关系，易因施工顺序规划不当引发设备交叉作业冲突，导致工期延误。(2) 实施效果：1) 通过BIM模型与GIS地形数据融合，将水库枢纽的建筑物模型（如大坝坝体、闸门构件）与周边山脉、河流、道路等地理信息精准叠加，生成施工区域三维可视化场景。管理人员可清晰查看不同施工分区的空间布局，如混凝土拌合站与大坝浇筑区的距离、材料运输路线与施工区域的位置关系，避免因地形认知偏差导致的规划失误。2) 利用4D进度模拟功能（在3D模型基础上加入时间维度），按照施工计划逐天模拟各工序推进过程，如大坝基础开挖、混

凝土分层浇筑、闸门安装等环节的时间节点与空间占用情况。模拟过程中可自动识别工序冲突，如挖掘机开挖作业与运输车辆通行路径重叠，提前7-10天优化工序顺序，调整设备作业时间与路线^[2]。3) 案例：新疆塔里木河流域某水库工程应用该技术后，通过三维可视化规划减少了2次大型施工方案调整，4D模拟规避了3处关键工序冲突，原本计划48个月的工期缩短至42.24个月，工期缩短12%，同时降低了因返工产生的成本损耗约800万元。

2.2 卫星定位与物联网技术协同

(1) 应用场景：跨流域调水工程渠道施工监测。跨流域调水工程渠道线路长（多为数百公里）、施工点分散（平均每10公里设1个施工段），且渠道施工对线性精度（误差需控制在5厘米内）、混凝土质量要求极高，传统人工巡查难以实时掌握设备动态与施工参数，易出现设备闲置、混凝土养护不当等问题，影响施工进度。

(2) 实施效果：1) 通过北斗卫星定位系统实时追踪挖掘机、运输车等施工设备的位置与作业轨迹，生成设备运行热力图与工时统计报表。管理人员可远程监控设备闲置情况，如发现某施工段挖掘机闲置超2小时，立即调度至土方开挖紧张区域，避免资源浪费。2) 结合物联网传感器监测混凝土浇筑温度、土方压实度等参数：在渠道混凝土浇筑模板内布置温度传感器，实时采集浇筑温度，当温度超过35℃时自动触发预警，及时启动降温措施；在土方回填区域布置压实度传感器，每填筑1层自动检测压实度，确保符合设计标准，减少因质量问题导致的返工。3) 案例：南水北调中线工程应用该协同技术后，设备调度响应时间从传统的1小时缩短至15分钟内，设备闲置率从30%降至5%，设备利用率提升25%，渠道施工线性误差控制在3厘米内，混凝土养护达标率从85%提升至98%。

2.3 大数据分析 with 智能决策系统

(1) 应用场景：防洪堤坝抢险工程进度管控，涵盖黄河流域堤防加固专项场景。黄河堤防抢险除应急性强（需10-15天完成加固）、受自然因素影响大外，还面临泥沙淤积导致的河床抬高、凌汛等特殊风险，传统经验决策易因数据不全导致资源调配不合理，延误抢险进度。(2) 实施效果：1) 整合气象（降雨量、风速）、水文（黄河水位、流速、含沙量）、施工日志（人员出勤、设备数量、材料消耗）等多源数据，构建动态数据库。系统通过大数据分析识别影响进度的关键因素，如降雨量每增加50mm或含沙量超30kg/m³，土方作业效率下降25%，并基于此构建进度风险预警模型，提前24小时预测可能出现的延误风险^[3]。2) 基于强化学习算法动态

调整施工资源分配：当预警模型预测未来2天有暴雨或凌汛风险时，系统自动增加排水泵、防雨棚、防凌设备投入，调配具备雨天及防凌作业经验的施工班组，同时优化工序顺序，优先完成堤坝迎水面加固等关键作业，确保抢险施工连续推进。3) 案例：2024年黄河下游某堤防加固工程应用该系统后，风险预警准确率达92%，资源调配响应速度提升50%，原本可能出现20天的工期延误缩短至12天，延误率降低40%，成功在汛期及凌汛期前完成加固作业，保障了沿岸居民安全。

2.4 无人机与数字孪生技术融合

(1) 应用场景：广泛用于山区水利工程地形勘测与进度核查，特别是黄河流域的防洪工程。黄河沿线部分区域地形复杂，坡度常超30°，交通极为不便。传统人工勘测效率低下，单日勘测面积不足0.5平方公里，且存在高空坠落风险。黄河工程受河势变化、泥沙淤积影响大，施工进度与计划偏差难以及时核查，导致进度管控滞后。(2) 实施效果：1) 无人机倾斜摄影生成高精度三维地形模型：无人机搭载高清相机与激光雷达，沿黄河施工区域飞行，单日可完成6-8平方公里的勘测任务，生成精度达0.1米的三维地形模型，清晰展现河岸坡度、沟壑分布、泥沙淤积位置等，为堤坝加固、险工整治等方案设计提供精准地形数据。2) 通过数字孪生平台对比实际进度与计划偏差：将无人机获取的实际地形数据、施工影像与BIM进度计划模型导入数字孪生平台，自动叠加分析生成进度偏差热力图，精准标注堤坝加固缓慢、河道清淤滞后等问题区域并计算偏差率，便于管理人员及时制定整改措施。3) 案例：在黄河中游某段防洪工程中应用该融合技术，前期地形勘测时间从45天缩短至15天，效率提升3倍；施工阶段进度偏差核查从每周1次变为每日1次，偏差发现及时率提升80%，有效避免因地形复杂和河情变化导致的进度滞后，保障工程按时完工，增强了黄河防洪能力。

3 水利工程施工进度管理中信息化技术应用面临的挑战与对策

3.1 数据孤岛问题

(1) 表现：水利工程施工涉及设计、施工、监理等多主体，各主体使用的BIM建模软件、进度管理系统、监测设备等数据格式差异显著（如BIM模型多为IFC格式，进度数据常为Excel表格，传感器数据为JSON格式），导致数据无法直接互通。例如，施工单位的进度系统无法实时获取监理单位的质量检测数据，需人工录入后才能分析进度影响，信息传递滞后时长可达2-3天，易错过进度调整最佳时机。(2) 对策：一方面，由行业主管部门

牵头,联合高校、企业制定《水利工程信息化数据接口标准》,明确BIM模型、进度数据、监测参数等核心数据的格式规范与交互协议;另一方面,开发跨平台数据转换工具,支持IFC、Excel、JSON等多种格式一键转换,并嵌入自动校验功能,确保数据转换后准确性,实现设计、施工、监理等多系统数据实时同步,消除信息传递滞后问题。

3.2 技术集成难度

(1)表现: BIM、GIS、物联网等技术虽在水利工程中单独应用成熟,但技术间协同性不足。例如,物联网传感器采集的施工区域温湿度数据,难以直接导入BIM模型用于进度模拟; GIS系统的地形数据与BIM模型叠加时,常出现坐标偏差,导致4D进度模拟与实际地形脱节,无法精准预判施工冲突,影响技术集成应用效果。

(2)对策: 构建模块化技术中台,将BIM建模、GIS空间分析、物联网数据采集等功能拆解为独立模块,各模块通过标准化接口对接;同时,开发标准化API接口,实现不同技术间数据无缝流转,如让物联网传感器数据通过API自动同步至BIM模型, GIS地形数据经API校准后与BIM模型精准融合,提升技术协同效率,确保多技术集成后能高效支撑施工进度管理^[4]。

3.3 人员能力短板

(1)表现: 水利工程一线技术人员多长期从事传统施工管理,对信息化工具操作不熟练。例如,部分人员仅能完成BIM模型基础查看,无法运用4D进度模拟功能分析工序冲突;面对物联网传感器异常数据,不知如何通过系统溯源排查问题,导致信息化技术无法充分发挥作用,甚至因操作失误引发进度数据记录偏差。(2)对策: 构建分级培训体系,针对管理人员开展“信息化决策应用”培训,聚焦数据解读与进度优化;针对一线技术人员开展“工具实操”培训,涵盖BIM建模、传感器数据查看等基础操作,培训后通过实操考核方可上岗。同时,建立“技术导师”制度,从企业内部选拔信息化操作能手,每人对接3-5名一线人员,提供一对一实操指导,实时解决技术应用难题,逐步提升全员信息化操作

水平。

3.4 安全风险防控

(1)表现: 水利工程施工数据包含工程坐标、进度计划、设备参数等敏感信息,若遭遇网络攻击,易发生数据泄露。例如,某水利工程曾因施工管理云平台防护不足,被黑客入侵导致关键进度计划与设备调度数据泄露,不仅影响施工部署,还可能被竞争对手利用,造成经济损失与工期延误风险。(2)对策: 部署区块链加密技术,对施工进度、设备位置、质量检测等核心数据进行上链存储,利用区块链不可篡改特性确保数据完整性;建立分级权限管理系统,将人员权限划分为决策层(查看全量数据)、管理层(查看分管区域数据)、操作层(仅录入数据),并设置操作日志实时记录数据访问与修改痕迹,一旦发现异常操作立即锁定账号,有效防范网络攻击与数据泄露风险。

结束语

信息化技术为水利工程施工进度管理赋予了精准感知、智能分析与动态调控能力,有效破解了传统模式下的信息孤岛、资源错配与决策滞后难题。未来,随着数字孪生、人工智能等技术的深度融合,施工进度管理将迈向全生命周期智能化。持续强化技术标准统一、人才能力建设与安全风险防控,是推动水利工程信息化从“局部应用”向“系统集成”跃升、实现高质量发展的核心路径。

参考文献

- [1]田志刚,孙洪秀.现代信息技术在水利施工中的应用[J].中国新技术新产品,2021,(06):62-64.
- [2]耿振云,李端阳,刘珊.水利工程BIM+GIS与施工进度动态计划关联方法及实现[J].水资源与水工程学报,2020,(12):139-140.
- [3]赵宁.水利工程施工管理中信息化技术的应用[J].河北水利,2024,(09):83-84.
- [4]黄池胜.水利堤防工程施工管理优化措施[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(09):71-73.