

BIM+GIS+IoT 技术融合的智慧建造系统在水利工程中的实证研究

文 / 李 晋 深圳市深水水务咨询有限公司

王继文 深圳市深水水务咨询有限公司

魏 栋 深圳市深水水务咨询有限公司

摘要：近年来大型水利工程在施工管理与质量控制方面面临结构复杂、工序密集与信息交互不畅等问题，亟需借助多源数字技术构建高效协同的智慧建造体系。针对该背景，本文围绕BIM、GIS与IoT技术的融合应用展开研究，构建了涵盖物联感知、数据资源、支撑服务、应用系统与智能驾驶舱的系统架构，分析了三类关键技术在隧洞与碾压混凝土坝体施工阶段的集成应用路径，提出了基于融合平台的安全预警、进度模拟与数据溯源管理机制。研究成果验证了多源技术协同在全过程数字化管控中的可行性与适配性，为复杂水利工程的技术升级与管理模式优化提供了实践参考。

关键词：智慧建造；BIM；GIS；物联网；水利工程；施工监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.068

引言

近年来，水利工程施工在全周期数字化管控领域的研究不断深入，BIM技术在三维建模与工艺模拟、GIS技术在空间信息管理、IoT技术在实时监测与数据采集等方面的应用均取得了较为成熟的成果，部分项目已实现模型与监测数据的初步融合，支持质量、安全与进度的可视化管理。但在多源技术的深度集成、不同数据类型的标准化管理以及多工区、多工序的协同调度等方面仍存在体系不完善、功能割裂等问题，制约了数字化手段在复杂水利工程中的整体效能发挥。文章基于此以深汕西部水源工程为研究对象，构建BIM、GIS与IoT融合的智慧建造系统，探索多源技术在大型水利工程施工阶段的集成应用路径与管理机制。

一、工程概况

深汕西部水源及供水工程主体位于深汕特别合作区，工程由水底山水库及至西部水厂供水线路组成，水库总库容1929.2万 m^3 ，正常蓄水位140m，坝型为碾压混凝土重力坝，坝顶高程145m，最大坝高69m，坝长293m，顶宽10m。输水系统设计规模35万 m^3/d ，线路总长7.043km，其中隧洞6.201km、管道0.842km，采用隧洞与管道联合布置。配套建设交通、建筑用房、隔离围网、海绵城市设施、环境保护、监测与景观工程。施工范围

覆盖大坝枢纽、输水工程及临建设施，实施全专业BIM模型创建与深化，结合BIM+GIS+IoT融合的智慧建造系统，实现质量、安全、进度、投资、人员与监控等模块的设备布设、数据集成与模型联动，构建覆盖全工序的数字化施工管理体系。

二、融合技术架构设计与系统构成

（一）系统功能层级的模块划分

智慧建造系统架构基于BIM、GIS与IoT融合技术，划分为物联感知层、数据资源层、支撑服务层、应用系统层与智能驾驶舱五个功能层级。物联感知层覆盖施工现场各类监测设备，实现人员、机械、环境等对象的数据采集；数据资源层统一汇聚多源结构化与非结构化数据，并进行标准化建库；支撑服务层提供数据处理、模型计算与任务调度等基础服务能力；应用系统层整合质量管理、安全监测、施工进度等核心功能模块，实现施工过程各环节数字化建管；智能驾驶舱基于数据可视化与交互逻辑构建全局界面，用于项目综合状态展示与辅助决策。各层之间以系统接口和数据逻辑关联为纽带，构建高效的数字化施工协同体系，提升复杂工序间的信息传导效率与调度精准度。

该系统的功能层级划分如图1所示，展示了智慧建造系统在各层级及其核心功能模块的构成关系。

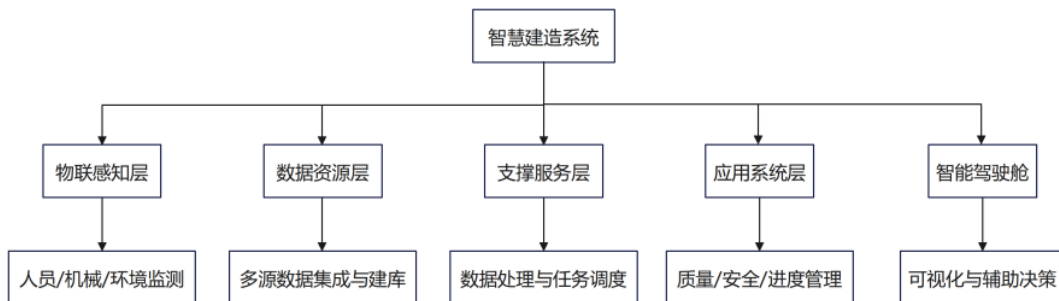


图1：智慧建造系统功能层级结构图

图1中展示了智慧建造系统的五个功能层级，包括物联感知层、数据资源层、支撑服务层、应用系统层和智能驾驶舱，各层分别承担现场监测、多源数据集成、数据处理与调度、质量安全进度管理以及可视化与决策支持等核心功能。

(二) 平台核心功能的研发内容

项目智慧建造平台以原协同管理系统为基础框架，扩展开发五项核心功能模块，分别为项目驾驶舱、第三方检测、工程安全监测、无人机远程控制系统与多源数据集成工具^[1]。项目驾驶舱作为数据综合展现中心，整合人员、质量、进度、设备等多维数据；三方检测模块接入独立质量检测机构结果，支持实时反馈与问题协同处理；工程监测模块对大坝、边坡、洞身等关键部位进行沉降与变形实时监控；无人机远程控制系统结合航线规划与自动起降，实现固定区域的高频巡检与视频上传；多源数据集成工具支持BIM模型与施工进度、传感器数据联动，形成BIM4D/5D数据底板，支持项目整体动态分析与模拟优化。各模块基于统一平台架构搭建，完成数据闭环与功能协同。

(三) 现场感知设备的布设方案

项目现场根据施工场景复杂程度与监测需求分区部署IoT感知设备，构建全场景数据采集网络。在入口区域部署人脸识别门禁与实名制考勤终端，记录劳务人员考勤与作业时段；在重点施工面设立高清视频摄像头，实现对进出口、机械作业面、隧洞内部的24小时动态监

控；在1#、2#、3#、4#、5#渣场及大坝枢纽设置无人机巢，支持自动起降、定时巡检及远程航拍，生成720°全景影像用于进度对比与环境检查；在隧洞掌子面、边坡、施工基坑等高风险区域安装环境监测终端，实时监测氧气、一氧化碳、风速、噪声、粉尘等数据；在大坝碾压与灌浆区布设温控与压力传感器，支持施工参数监测、报警与数据上链。各类设备采集的数据统一接入智慧建造平台，支撑系统功能层级运行。

三、关键技术在施工阶段的集成应用

(一) BIM模型在隧洞与坝体施工中的应用

隧洞与坝体施工全过程采用BIM模型进行工艺模拟与任务推演，涵盖地形、作业路径、设备布置与节点构造。隧洞开挖基于技术交底开发多套模拟视频，分阶段展示爆破与关键流程；坝体区域依托碾压方案建模，模拟浇筑、压实轨迹与资源配置。BIM模型统一接入智慧建造平台，供施工人员移动端学习。场地布置完成重点区域多版本优化，输出渲染图与三维漫游，实现大型设备与临建布设可视化。进度模拟基于4D体系生成构件状态模型，以颜色标识施工节点并自动对比计划与实际时间，形成偏差视图，支持资源调整。项目周期内定期更新模型状态，推动施工控制由静态图纸向动态模型转变。各关键施工区域的模型任务数量、工期执行情况与模拟完成度统计如下表1所示，用于分析BIM建模与施工进度之间的协调效率。

表1：典型构件施工模拟与进度偏差统计表

区域位置	模拟任务数	完成模型版本	计划开始日	实际开始日	计划工期(天)	实际工期(天)
1# 隧洞出口	3	2	2024/9/12	2024/9/14	30	37
2# 隧洞进口	4	3	2024/10/1	2024/10/1	26	26
上坝路施工区	2	2	2024/11/5	2024/11/10	20	23
坝体压实段	5	5	2025/1/8	2025/1/10	40	42

(二) GIS数据在现场环境建模中的作用

项目通过无人机倾斜摄影建立高精度实景模型（分辨率优于5cm），并经空三加密与正射融合导入GIS平台，与BIM构件实现坐标对齐，形成统一三维施工场景。施工人员可在GIS中查看地形起伏、水系分布与构筑物关系，定位风险区与干涉点，提升管理效率。倾斜摄影模型随施工阶段动态更新，2024年已完成3版，覆盖进度节点与场布调整。系统具备标注、剖面分析与遮挡测量功能，可评估运输路线坡度与风险布设，辅助优化运输与通行方案。GIS与BIM数据同步由中间件完成，支持多用户协同^[3]。下图2展示了项目输水线路沿线地形特征及主要构筑物位置，为GIS倾斜摄影模型与BIM施工布局融合提供了精确的空间基础。

(三) IoT监测系统在施工质量控制中的实现

碾压混凝土大坝区域建设智能碾压、智能温控与智能灌浆系统，统一纳入智慧建造平台，数据接入IoT感知层

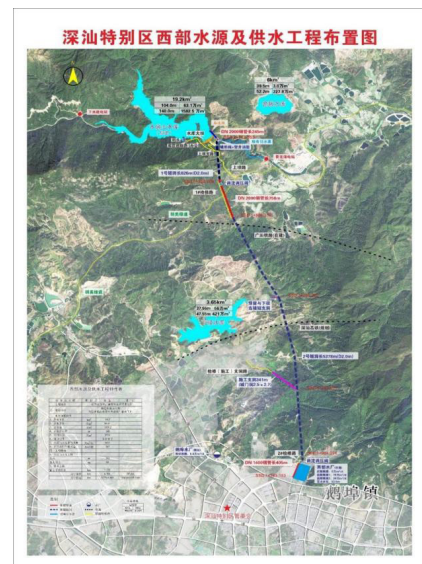


图2：水底山水库至西部水厂输水线路GIS实景图

分专业解析关键指标。智能碾压系统通过车载终端记录轨迹、振动频率、碾压遍数与层厚，并生成覆盖图引导作业，避免漏压或超压；温控系统利用热电偶与环境传感器实时监测内部及出机口温度，计算温度梯度评估开裂风险并支持策略调整；智能灌浆系统接入自动制浆装置与记录仪，采集压力、浆液密度、抬动量与流量并具备自动报警功能。

所有监测参数均绑定施工节点并记录时间序列，与模型构件关联，便于质量追溯，系统支持数据上链，确保全过程不可篡改，并可输出报表和历史工况回放用于验收分析与问题定位。智慧质量监测系统在碾压、温控与灌浆三类关键工艺中的参数采集与预警设置详见下表 2，体现其在全过程质量控制中的技术支撑能力。

表 2：智慧质量监测系统关键参数采集统计表

系统类型	监测对象	主要参数	报警触发条件	上链状态	数据记录周期
智能碾压	压实作业段	轨迹、遍数、频率	漏压 / 错压	已上链	每 2 分钟一次
智能温控	混凝土内部层位	温度、梯度、通水温度	温升超差或骤降	已上链	每 5 分钟一次
智能灌浆	堤基与坝体灌浆孔	压力、密度、流量	流量异常或压力突变	已上链	实时采集

碾压系统的数据以高频采样记录轨迹覆盖率，对振动频率异常可实现车载实时纠偏。温控系统因坝体区温差剧烈变化而具备梯度异常报警能力，对早龄期开裂风险有前置干预价值。灌浆系统基于实时压力曲线监控密封性与渗透状态，一旦出现密度波动或抬动迟缓，系统立即触发报警机制，并形成数字记录用于验后比对与责任划分。

平台已实现碾压区模型与碾压参数挂接、隧洞段与环境监测同步、场布模型与视频流映射，施工人员可查询构件历史与实时状态。数据更新采用“传感器自动上传 + 人工同步填报”双通道机制，系统解析参数写入数据库，人工端记录任务结果与问题反馈，形成时序数据。平台每日生成模型快照，在驾驶舱以图层展示施工演变轨迹，支持溯源、对比与分析，为过程控制和调度决策提供支撑。

四、数字平台赋能下的管理效能提升

(一) 安全问题的闭环处理流程

智慧建造系统将安全管理嵌入数字平台，构建基于 BIM 模型的隐患识别、上传、派发与整改闭环流程^[5]。现场管理人员通过移动端 APP 拍摄隐患并定位至模型构件，数据实时上传至后台完成派发、整改、复查，问题状态可在平台界面实时查看，并自动生成统计图与台账用于分析与考核。无人机巢在核心区域布设并执行固定航线巡检，视频流上传存档，支持隐患回溯与图像比对。平台安全模块与 BIM 模型挂接，隐患记录关联至具体作业面，提升整改复核与反馈精度。

结语

深汕西部水源项目构建了基于 BIM、GIS 与 IoT 融合的智慧建造系统，形成分层清晰、功能集成的数据平台架构，在隧洞与坝体等关键结构施工中实现了 BIM 模型的工艺模拟与进度联动，GIS 实景模型支撑了施工区的空间建模与方案决策，智能碾压、温控与灌浆系统实现了全过程施工参数的动态监测与质量闭环控制。平台集成安全预警、进度可视化与数据实时联动等功能，构建了多维数据驱动的协同调度体系。该系统具备工程适配性与可推广性，为复杂水利工程提供了智慧建造的实践范式。

(二) 工程进度的可视化管控方式

项目进度管控模块基于 BIM 构件与施工计划任务绑定构建 4D 可视化体系，模型状态与任务时间同步联动，以颜色区分计划、实际与偏差。平台支持时间维度播放工程演进，管理人员可查看任务完成情况、未完成位置及关键线路瓶颈。系统按工序分级设定任务，每日更新进度生成偏差曲线、甘特图与高亮偏差视图。平台还接入无人机航拍影像，构建 720° 场景浏览，实现模型与影像比对，每周更新并生成对比标记。隧洞段已应用进度对比模型与偏差分析图，覆盖开挖、支护及掌子面布设，提升调度与计划优化能力。

参考文献

(三) 施工数据的实时更新机制

智慧建造平台基于 BIM、IoT 传感终端与人工填报建立统一数据集成功能，实现多源信息实时更新。BIM 构件模型作为数据容器，与施工任务、质量、安全与监测参数建立映射，支持进度、质量与传感数据存储。

[1] 葛冬冬, 张文慧, 吕松涛, 等. 智慧道路设计建造运维中的数字化技术综述 [J]. 中国公路学报, 2024, 37(12): 294-309.

[2] 张剑, 邹德兵, 傅兴安, 等. 超大城市水网深隧绿色建造与智慧工程设计 [J]. 水利水电技术 (中英文), 2024, 55(S2): 250-254.

[3] 詹新彬, 刘成, 蔡永鑫, 等. 基于智慧建造的预制管桩全生命周期管理系统应用研究 [J]. 建设科技, 2023, (22): 32-34.

[4] 费腾, 陈玉婷. 基于智慧协同的复杂形体建筑建造体系研究——以郑州市博物馆新馆项目为例 [J]. 建筑学报, 2022, (S2): 227-232.

[5] 盛晓波, 左仲元. BIM 技术在湖南省智慧水利中的应用研究 [J]. 湖南水利水电, 2019, (05): 8-11.