

# “广西水利工程项目建设管理系统”在环北部湾广西水资源配置工程中的应用

刘功钦 欧 贵 卢梓浩 莫昔洁 张 彤  
广西桂禹工程咨询有限公司 广西 南宁 530012

**【摘要】**：为提升大型水资源配置工程的管理水平，环北部湾广西水资源配置工程引入“广西水利工程项目建设管理系统”，构建了覆盖工程全流程的数字化管理体系。本文介绍了该系统的技术架构与功能模块，阐述了其在信息采集、通信传输、数据处理及业务应用等方面的实践应用，分析了系统应用产生的技术、经济、社会及环境效益。实践表明，该系统实现了工程的数字化转型，为大型水利工程的智能化管理提供了可推广的应用方案。

**【关键词】**：水利工程；项目管理系统；水资源配置；数字化管理

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.004

## 前言

环北部湾广西水资源配置工程作为国家重大水利工程，具有线路长、涉及面广、技术复杂等特点，其建设管理对监理工作的效率、精度与协同性提出了极高要求。传统水利工程监理模式存在信息孤岛严重、数据传递滞后、决策依据不足等问题，难以满足大型跨区域水资源配置工程的管理需求。“广西水利工程项目建设管理系统”基于数字孪生技术与水利业务“四预”（预报、预警、预演、预案）标准，构建了全方位的工程管理数字化平台，旨在通过技术创新突破传统管理瓶颈。本文结合该系统在环北部湾广西水资源配置工程多个标段的应用实践，从技术实现、应用成效、效益分析等方面展开研究，总结系统在大型水利工程管控中的应用经验，为同类工程的数字化管理提供参考。

## 1 广西水利工程项目建设管理系统技术架构与功能设计

### 1.1 总体架构

系统采用“云-边-端”三层架构设计，终端层部署水位监测传感器、管网流量计、高清摄像头、无人机巡检设备等感知终端，实现工程现场数据的实时采集；边缘层在各标段设置边缘计算节点，对采集数据进行预处理（如异常值剔除、格式转换），降低云端计算压力；云端层由调度中心云平台与超融合架构组成，提供弹性计算、分布式存储及大数据分析服务，支撑全工程的数据整合与业务应用。

### 1.2 核心功能模块

#### 1.2.1 信息采集与整合模块

构建多维度采集体系，工程安全监测包括坝体沉降（精度 $\pm 0.1\text{mm}$ ）、边坡位移（采样频率1次/分钟）、结构应力等参数；水文水资源监测实时采集河道水位（量程0-30m）、流量（测量误差 $\leq 2\%$ ）、水质（pH值、溶解氧等12项指标）；施工过程监控通过视频图像（分辨率4K）、无人机巡检（续航

30分钟/架次）实现施工现场可视化管理；业务数据采集集成监理日志、工程文件、审批流程等管理数据，形成完整的工程数据库。

#### 1.2.2 通信与数据传输模块

采用混合传输网络架构，骨干网租用点对点专线（带宽1000Mbps）连接各标段与调度中心，保障关键数据传输；接入网结合4G/5G无线网络（传输速率 $\geq 100\text{Mbps}$ ）与光纤接入，实现终端设备的灵活联网；部署防火墙、入侵检测系统（IDS）及数据加密传输（AES-256算法），确保数据传输安全。

#### 1.2.3 数据处理与分析模块

采用流计算框架（Flink），对监测数据进行实时解析与异常检测，处理延迟 $\leq 30$ 秒；基于Hadoop生态系统，对历史数据进行挖掘，支持工程进度预测、质量风险评估等模型运算；通过BIM+GIS融合技术，将数据以三维模型、动态图表等形式直观呈现，支持多终端访问。

#### 1.2.4 业务应用模块

围绕水利工程“四预”需求开发，综合监控支持系统：实现工程全景监测、设备状态预警、应急指挥调度等功能；水资源调配决策系统基于来水预测与用水需求，生成优化调度方案，支持多场景模拟；远程控制系统对闸门、泵站等设备进行远程操作（响应时间 $\leq 1$ 秒），实现无人值守；协同管理系统提供工程文件在线审批、进度跟踪、多方协同沟通等功能，支持移动办公。

## 2 广西水利工程项目建设管理系统在环北部湾工程中的应用实践

### 2.1 信息采集与整合的全方位覆盖

#### 2.1.1 多维度监测网络部署

在环北部湾工程15个标段构建了“空天地”一体化采集体系，累计部署各类监测设备2300余套。其中，水文监测设

备 450 套，工程安全监测设备 860 套，视频监控设备 680 套，无人机巡检设备 30 架，移动端采集终端 280 台（专用平板电脑与智能手机）。设备布设密度达到每公里工程线 15 套，实现了关键区域的无死角覆盖。

### 2.1.2 核心监测数据应用成效

项目建成后，对 6 条主要干线、12 条支线的水位监测采集，采集准确率稳定在 97%，较传统人工每周 2 次的监测频率，实现了数据实时更新（1 分钟/次），为水源调度提供了精准依据。管网流量监测覆盖 491.1 余公里输水干线，通过电磁流量计与超声波流量计的组合应用，测量误差控制在 2% 以内。

### 2.1.3 业务数据整合效能

手机端应用通过标准化表单与拍照上传功能，累计收集各参建方处理程序约 50000 余条、监理日志约 1.2 万条、工程验收照片约 3.5 万张。系统内置的 OCR 文字识别模块对监理通知单、检测报告等纸质文件的识别准确率达 95%，自动完成归档分类，文档检索时间从传统人工翻查的 30 分钟缩短至 10 秒，实现了“纸质文件电子化—电子文件结构化—结构化文件可追溯”的全流程管理。

## 2.2 通信网络与数据传输的高效稳定

### 2.2.1 多级通信网络架构搭建

骨干传输网采用“双链路冗余”设计，租用 2 条 1000Mbps 点对点专线连接工程调度中心与 15 个标段，形成环形传输网络，单条链路中断时自动切换至备用链路，切换时间 $\leq 3$ 秒。针对偏远区域的监测设备，采用 4G/5G 无线网络（传输速率 $\geq 100$ Mbps）覆盖，结合光纤接入（覆盖 85% 的监测点），实现终端设备的无缝联网。在信号盲区部署 15 座中继基站，保障了数据传输的连续性。调度中心、各标段管理区分别构建独立局域网，通过防火墙与核心交换机实现网络隔离，局域网内数据传输延迟 $\leq 50$ ms，支持 4K 视频的流畅传输。

### 2.2.2 传输性能与安全保障

系统全面适配 IPv6 协议，支持 1000 个以上终端的并发接入，调度中心与各标段间的专线传输延迟平均 0.5 秒，满足实时控制需求。互联网服务区通过负载均衡技术，将页面响应时间控制在 2 秒以内，高峰期同时在线用户达 1200 人时仍保持稳定运行。安全防护体系采用“三层防御”策略，网络层部署防火墙与入侵检测系统（IDS），拦截异常访问请求；数据层采用 AES-256 加密算法对传输数据进行加密；应用层实施账号权限分级管理，累计拦截越权访问尝试 320 次。全年网络运行数据显示，通信中断时间累计不足 1 小时，丢包率仅 0.05%。

### 2.2.3 跨部门数据共享成效

系统开发阶段基于历史水利工程数据融合天气因素、资源投入（人员、设备数量）、施工工艺等 12 项特征变量，开发

基于随机森林的预测模型，对隧洞贯通、节制闸完工等关键节点的预测误差 $\leq 3$ 天。系统决策大屏进行监测各标段施工进度计划、施工节点、完成节点，其中大庄支线（穿越专项）分部工程于 2024 年 11 月完工，实际完工时间与预测时间仅相差 2 天，为施工单位调整资源配置提供了科学依据；通过机器学习识别钢筋间距不足、模板变形、保护层厚度不够等 20 类常见质量问题，开发阶段累计训练样本 5 万组，模型准确率达 92%。应用阶段累计预警安全隐患 156 起，整改率 100%，系统自动收集整改及监控信息，确保工程安全隐患及时发现、及时整改，避免了后续结构安全风险。

## 2.3 计算存储与数据处理的高效响应

### 2.3.1 计算存储资源配置

调度中心采用“混合云”架构，信息管理区部署 80 台云服务器（总算力 1024cores），形成弹性计算资源池，可根据数据处理需求自动扩容；互联网服务区采用超融合架构（15 台节点服务器），提供 500TB 分布式存储容量，支持数据的多副本存储（默认 3 副本），确保数据可靠性达 99.999%。针对工程高峰期（如混凝土浇筑阶段）的数据处理需求，系统启用计算资源调度机制，将非关键任务（如历史数据备份）优先级下调，保障实时监测数据的处理资源，峰值处理能力达 10 万点/秒。

### 2.3.2 数据处理时效与精度

采用 Flink 流计算框架对水位、流量、设备运行参数等实时数据进行解析，处理延迟 $\leq 30$ 秒。例如，当泵站电机电流超过额定值 10% 时，系统在 20 秒内完成数据校验、异常判定并触发预警，较传统人工巡检的发现时效（平均 2 小时）提升 360 倍。在工程高峰期（日均产生 5TB 数据），系统对混凝土试块强度、土方填筑压实度等指标的批量分析时间 $\leq 10$ 分钟，较传统人工计算（200 组数据需 2 小时）提升 12 倍，且计算误差率从 3% 降至 0.5%。

### 2.3.3 智能模型应用效果

基于历史数据训练的工程进度预测模型，融合了天气因素、资源投入、施工工艺等 12 项特征变量，对各标段关键节点（如隧洞贯通、泵站投产）的预测误差 $\leq 3$ 天，为资源调配提供了科学依据。

## 2.4 业务应用的深度融合

### 2.4.1 综合监控与智能预警功能开发应用

系统开发重点整合节制闸、在建泵站（9 座均处于建设阶段，暂未启用运行监控）及输水干线的监测数据，开发“BIM+GIS”数字孪生模块与智能预警功能。基于工程设计图纸与现场实测数据，构建 1:1 高精度数字孪生模型，集成 36 座节制闸、输水干线（总长 480km）的三维模型，支持缩放、

漫游、属性查询（如闸室尺寸、材质），监理人员可通过模型直观查看工程建设进展；设置三级预警阈值（注意值、警戒值、极限值），针对水位骤升、设备振动超标（如隧洞盾构机）、混凝土温度异常等情况，开发自动预警逻辑，预警响应时间 $\leq 10$ 秒，支持声光报警、短信推送（覆盖项目负责人、监理、施工单位关键人员）。

### 2.3.2 水资源调配与协同管理功能开发应用

针对工程建设阶段的水资源调度需求与管理流程优化，系统开发两类核心业务功能。基于气象预报（未来7天降水）、沿线临时用水需求（如施工用水、沿线农田灌溉），开发动态规划算法，生成“丰蓄枯放”调度方案；重构工程监理业务流程，开发在线审批、进度跟踪模块。在线审批模块支持开工报告、验收申请等文件的电子流转与电子签章，将原“纸质传递+人工签字”的5天审批周期缩短至1天内，累计处理审批事项8000余项，审批效率提升80%；进度跟踪模块自动对比计划进度与实际完成量，生成偏差分析报告（如某标段隧洞开挖滞后原因），监理指令传达与反馈时间从24小时缩短至4小时。

### 2.4.3 协同管理与流程优化

协同管理系统重构了工程监理业务流程，将工程文件审批（如开工报告、验收申请）从“纸质传递+人工签字”的5天周期，缩短至“在线流转+电子签章”的1天内完成，累计处理审批事项8000余项，审批效率提升80%。系统内置的进度跟踪模块通过对比计划进度与实际完成量，自动生成偏差分析报告，监理人员可针对性下达整改指令，指令传达与反馈时间从24小时缩短至4小时。

## 参考文献：

- [1] 黄强.水利枢纽工程项目建设管理研究[D].广西大学,2018.
- [2] 于亚东,刘翔,周衍银.数字孪生技术在水利工程项目中的应用研究——以西险大塘工程为例[J].建筑经济,2025,46(08):43-50.
- [3] 曾湘民.红色资源视域下思想政治工作是水利工程项目建设管理中心推进伟大复兴的生命线[J].中国军转民,2025,(09):168-170.
- [4] 盖云亮,孙静芳,刘骁枫.水利工程建设项目常见管理问题及处理措施[J].中华建设,2025,(04):72-74.
- [5] 盖云亮,孙静芳,刘骁枫.水利工程建设项目常见管理问题及处理措施[J].中华建设,2025,(04):72-74.

## 3 系统应用的效益分析

### 3.1 技术效益

构建覆盖工程全要素的采集体系，数据采集准确率达97%，超越任务书95%的指标要求；实现了高速稳定的通信网络，传输延迟0.5秒、丢包率0.05%，满足实时管理需求；分钟级数据处理时效与98%的功能模块可用性，为工程监理提供了高效的技术支撑。

### 3.2 社会效益

系统应用确保工程建设有序推进，为建成后保障用水安全奠定基础；通过50人次的系统操作培训，培养了一批掌握数字化监理技术的专业人才，提升广西水利行业数字化管理水平。集成数字孪生、物联网、大数据分析等技术，形成“水利工程全周期数据管理”“基于BIM的可视化监理”“智能风险预警”3项技术创新点，为后续同类工程提供技术参考。

## 4 结论

“广西水利工程项目建设管理系统”在环北部湾广西水资源配置工程中的应用，构建了“感知-传输-处理-应用”的完整数字化管理链条，实现了工程监理从传统模式向智能化模式的转变。系统在提升监理效率、保障工程质量、节约建设成本等方面成效显著，其技术架构与应用方案可为同类大型水利工程提供参考。未来系统将进一步深化数字孪生技术的应用，构建全生命周期的工程数字模型；加强人工智能算法研发，提升风险预测与决策支持能力；拓展移动应用与智能终端的融合，实现工程管理的“随时随地、精准高效”，为水利工程的数字化、智能化发展持续赋能。