

基于大数据的水利工程运行管理决策支持系统构建

徐湘红 冯毅峰 陈婷婷 李 珊

昆山市水事综合管理中心 江苏 昆山 215300

摘 要：传统水利工程运行管理多依赖人工经验，存在数据利用不足、决策主观性强、风险预判滞后等问题，难以适配现代水利精细化、智能化管控需求。本文以大数据技术与水利运行管理的融合理论为基础，构建水利工程运行管理决策支持系统。通过梳理融合理论框架，从业务、功能、安全多维度完成需求分析，设计系统总体架构、数据架构与技术架构，并整合多源数据融合、智能决策算法、工况模拟推演等关键技术，落地实现监测预警、水资源调度、设施运维等核心功能。研究成果可有效弥补传统水利管理短板，提升工程安全管控与水资源优化配置水平，为水利智能化转型提供实践参考。

关键词：大数据；水利工程；运行管理；决策支持系统；架构设计；关键技术；功能模块

引言：随着我国水利工程规模化、系统化发展，水库、堤防、泵站等水利设施运维管控难度持续提升，水旱灾害防控、水资源调度利用的工作要求不断提高。传统人工巡检、经验研判的管理模式，已无法适配现代水利动态化、精准化的运行管理场景，数据碎片化、决策科学化不足等问题日渐凸显。为破解行业管理痛点，推动传统水利向智慧水利转型，本文依托大数据前沿技术，结合水利工程运行管理现有理论体系，开展决策支持系统的架构设计、技术研发与功能实现研究，旨在通过数据赋能提升水利工程运维与决策的智能化水平。

1 大数据与水利工程运行管理融合的理论基础

1.1 大数据技术核心原理剖析

大数据技术包含数据采集、存储、处理与分析四大核心环节，是水利工程智能化运行管理的核心支撑。水利工程运行产生的水文监测、工程结构、气象环境等数据，具备体量大、类型多、更新快的特点，传统数据处理模式无法适配其实时监测、精准分析的需求。其中，分布式存储技术可分类收纳水库、堤防、泵站等各类水利运行数据，解决了传统存储数据分散、容量有限、易丢失等弊端。实时计算与流式处理技术，能够快速解析水位、流量、结构沉降等动态监测数据，适配水利工程全天候连续监测场景。

1.2 水利工程运行管理理论体系梳理

水利工程运行管理以保障工程安全稳定、优化水资源配置、防控水旱灾害为核心目标，涵盖日常巡检、状态监测、隐患排查、调度运维、应急处置等核心业务，现已形成以安全运行规范、水资源调度标准、运维管

理制度为核心的成熟理论体系，明确了各项管控关键指标。但传统管理模式依赖人工巡检、定期检测和经验研判，存在数据采集滞后、分析维度单一、决策主观性强等短板，难以满足现代水利工程规模化、动态化、精细化的管理需求，这也为大数据技术与水利管理的融合应用提供了优化空间与实践切入点。

1.3 融合理论框架构建

依托大数据技术原理与水利运行管理理论，可搭建数据驱动、技术赋能的融合理论框架。该框架以水利工程全生命周期运行数据为核心载体，以大数据技术为核心工具，以智能化、精细化管理为目标，打通数据采集、处理、分析、应用全业务链条。框架明确了数据驱动决策的核心逻辑，理顺了技术应用与传统管理的协同关系，将大数据实时运算、深度挖掘的优势，与工程安全管控、水资源调度、风险预警等核心业务深度融合，弥补了传统管理数据支撑不足、决策精度偏低的问题，实现技术体系与管理体系深度适配，为水利工程智能化管理系统搭建筑牢理论根基^[1]。

2 水利工程运行管理决策支持系统需求分析

围绕水利运维、调度、管控全业务场景，参照行业规范与工程运行特点，从业务、功能、性能安全三方面开展需求分析，为系统开发划定标准依据。（1）业务需求调研与梳理。结合防洪调度、水资源调配、设施运维业务实地调研，现有管理存在业务衔接不顺、数据互通性差、决策偏重经验化等问题，隐患排查、应急处置等工作缺少完整数据支撑。梳理各环节工作流程与决策要点，紧扣工程安全管控、水资源利用、灾害防控核心痛

点,契合基层水利实际管理工作要求。(2)功能需求界定与细化。依照业务实际划定系统功能,设置数据可视化、风险预警、调度推演、统计分析核心模块,模块间协同配合。借助可视化直观展示运行数据,依靠预警排查安全隐患,通过方案推演辅助决策,满足水利智能化应用要求。(3)性能与安全需求把控。针对工程全天候运行、突发状况频发的现状,要求系统运算高效、运行平稳、响应迅速,可承载海量监测数据实时更新。水利数据具备涉密属性,需落实保密管控、权限划分、数据备份举措,防范数据泄露丢失与系统故障,保障系统长效平稳运转^[2]。

3 水利工程运行管理决策支持系统架构设计

3.1 总体架构规划与布局

结合水利工程运行管理业务特征与智能决策需求,遵循实用性、稳定性与可扩展性原则,完成系统总体架构规划设计。架构设计聚焦防洪调度、设施运维、风险管控等核心场景,采用分层化、模块化布局,有效解决传统管理系统功能混杂、耦合度高、拓展性差的问题。系统总体划分为数据层、技术支撑层、功能业务层、应用展示层四大层级,各层级权责清晰、独立运行且互联互通,构建起从数据接入、处理分析到业务应用、决策落地的完整闭环体系。架构布局充分适配水利工程运行特点,兼顾日常精细化运维与突发工况应急调度双重场景,可满足常态化管理与突发性应急快速决策需求,适配水利行业特殊的运行管理模式。

3.2 数据架构搭建与优化

数据架构是系统实现精准分析与科学决策的核心基础。针对水利数据多源异构、分散杂乱的行业特性,搭建专业化水利数据架构并完成针对性优化。架构全面整合水文监测、工程结构、环境气象、运维台账等各类核心数据,统一各类数据的接入标准、存储格式与统计口径,彻底解决传统数据碎片化、格式不统一、无法联动分析的痛点。构建分层分类的存储管理体系,区分实时动态监测数据与静态基础资料的存储模式,大幅提升数据调取、运算与分析效率。系统增设数据校验、动态更新、冗余剔除等优化机制,规范数据全流转流程,保障接入数据真实准确、实时同步,为后续智能分析、风险预警、调度推演提供可靠的数据支撑。

3.3 技术架构选型与集成

结合水利大数据处理与智能决策业务需求,完成技术架构的科学选型与一体化集成,保障系统高效稳定运行。在数据处理环节,采用成熟的分布式计算与流式处

理技术,适配海量水利实时数据的高速运算需求,显著提升系统数据处理效率与响应速度。平台开发选用轻量化、高兼容性的技术框架,适配多类终端设备接入,同时预留功能拓展空间,有效降低系统后期运维与升级改造成本。系统统一各技术模块接口标准,对数据采集、智能分析、风险预警、可视化展示等功能模块进行深度集成,打破各业务环节的技术壁垒,实现全域数据共享、功能联动与业务协同,全面保障系统运行的稳定性、实用性与拓展性^[3]。

4 水利工程运行管理决策支持系统关键技术

4.1 多源数据采集与融合技术

水利工程运行数据来源广泛、类型复杂,涵盖结构化、半结构化与非结构化数据,统一的数据采集与融合技术是系统稳定运行的基础。针对水利工程监测场景分散、数据标准不统一的行业现状,采用多源一体化采集与深度融合技术,解决传统数据碎片化、同步性差、利用率低的问题。(1)多源异构数据同步采集。依托现场监测传感器、自动测报终端、人工巡检终端及气象共享平台,实现水库水位、河道流量、坝体沉降、渗压、雨量、风速等实时监测数据的全天候采集。同时接入工程运维台账、历史调度记录、隐患排查档案等静态业务数据,实现动态监测数据与静态管理数据的全覆盖采集。(2)数据标准化预处理。针对不同设备、不同平台输出的数据格式差异问题,统一数据编码、时间尺度与计量单位。通过缺失值补全、异常数据剔除、时序数据校准等预处理方式,消除设备误差、环境干扰带来的数据失真问题,保障原始数据的准确性与规范性。(3)跨维度数据融合处理。采用层级融合算法对水文数据、结构安全数据、环境气象数据进行关联融合,打破各业务数据独立存储、互不联通的壁垒。通过数据关联匹配,构建一体化水利工程数据集,为后续数据分析与状态研判提供完整、统一的数据基础。

4.2 大数据分析 with 智能决策算法

大数据分析 with 智能决策算法是系统实现智能化管控的核心核心,替代传统人工经验判断模式,提升水利工程运行决策的科学性与精准度,适配工程安全监测、风险预警、调度管控等核心业务需求。(1)工程运行状态智能分析算法。基于时序大数据分析模型,对水利工程长期监测数据进行趋势分析与规律挖掘,精准捕捉水位变幅、结构形变、渗流变化等数据的异常特征,实现对工程运行状态的常态化研判,及时识别工程轻微隐患与潜在病害。(2)风险分级预警算法。结合水利工程安全运行规范标准,构建阈值预警与趋势预警相结合的

双层预警模型。通过设置分级预警阈值,区分一般、较重、严重三个风险等级,针对暴雨、高水位、结构异常等危险工况实现自动预警,解决传统预警滞后、判定模糊的问题。(3)水利调度智能决策模型。依托历史调度数据与实时工况数据,构建水资源调度、防洪调度优化算法。结合流域水情、工程承载能力、用水需求等多重因素,自动生成最优调度方案,为管理人员开展防汛调度、水资源配置等工作提供量化决策依据,提升水利工程运行管控效率。

4.3 可视化交互与模拟推演技术

可视化交互与模拟推演技术承担系统数据展示、工况仿真、方案验证的功能,实现抽象数据、复杂工况的直观呈现,降低水利管理决策的操作门槛,提升决策的直观性与可行性。(1)全维度数据可视化技术。整合图表可视化与空间可视化技术,搭建水利工程全景展示界面。对实时水情、工程运行参数、隐患点位、设备状态等数据进行动态展示,以时序曲线、数据看板、空间点位标注等形式呈现数据变化规律,实现工程运行状态一目了然、实时可控。(2)人机交互适配技术。结合水利基层管理工作需求,优化系统交互逻辑,支持数据查询、工况调取、预警查看、方案调用等快捷操作。适配电脑端与移动端多终端访问模式,满足现场巡检、远程管控、应急处置等不同场景的操作需求,提升系统实操性。(3)工况模拟与方案推演技术。基于历史水文数据与工程运行参数,构建水利工况仿真模型,可模拟不同降雨、不同水位工况下的工程运行状态、河道水流变化情况。针对各类调度方案、应急处置方案进行提前推演,预判方案实施效果与潜在风险,提前优化处置流程,有效规避工程运行安全隐患,为水利工程精细化、智能化管理提供技术支撑^[4]。

5 水利工程运行管理决策支持系统功能模块设计与实现

结合水利工程运行管理实际业务需求,依托前文架构与关键技术支撑,完成系统核心功能模块的设计与落地实现。各模块相互独立又协同联动,覆盖以下方面核心业务:(1)工程运行监测与预警模块。该模块为系统基础核心模块,主要实现水利工程运行状态的实时监测与风险预警。通过接入现场各类监测设备数据,实时采

集水位、渗流、沉降、雨量等关键参数,完成数据实时更新与动态展示。模块内置分级预警机制,结合行业安全标准设定阈值,当监测数据出现异常波动时,系统自动触发预警信息,精准定位隐患位置,提醒管理人员及时核查处置,有效防范工程安全事故发生。(2)水资源优化调度模块。模块立足流域水资源供需平衡需求,整合实时水情、气象预报、用水计划等数据,依托智能调度算法完成水资源优化配置。可根据不同水期工况,自动测算供水、蓄水、泄水最优方案,替代传统人工经验调度模式。同时支持调度方案模拟推演,对比不同调度模式的实施效果,为防汛抗旱、日常水资源调配提供科学、精准的决策支撑,提升水资源利用效率。(3)工程设施运维管理模块。模块聚焦水利设备与工程本体全周期运维管控,整合巡检记录、设备台账、隐患整改、维修保养等业务数据。实现运维任务线上派发、巡检过程全程记录、隐患问题闭环管理的数字化流程^[5]。

结束语: 本文完成了基于大数据的水利工程运行管理决策支持系统的全套研究,明确了技术与管理的融合理论基础,完成系统需求分析、架构设计、关键技术研究及功能模块落地。系统有效解决了传统水利管理数据联动弱、决策精度低、运维管控不闭环的核心问题,实现工程状态实时监测、风险智能预警、调度科学推演。后续可结合流域水利工程实际运行工况,持续优化智能算法与模拟推演能力,拓展系统适配场景,进一步提升水利工程智慧化管理的实用性与普适性。

参考文献

- [1] 李鑫. 大数据驱动的水利工程管理决策优化模型构建与应用[J]. 移动信息,2026,48(1):163-165.
- [2] 蒋进礼. 水利工程管理中的信息化应用与智能决策支持系统的构建研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024(10):0001-0005.
- [3] 王顺,王学强,丁衍. 基于GIS的水利工程管理与决策支持系统研究[J]. 水上安全,2025(3):137-139.
- [4] 刘玉峰,于海梁. 基于大数据的水利工程管理决策支持系统研究[J]. IT经理世界,2025,28(4):245-247.
- [5] 徐彬. 农田水利设施运行管理中的大数据应用与决策支持[J]. 中国高新科技,2025(19):148-149+155.