

基于大数据的水利工程水质监测与预警技术研究

叶劲然 刘端婧

长江河湖建设有限公司 湖北 武汉 430000

摘 要：水利工程水质安全是保障生态平衡与人类健康的重要基础。当前，传统监测手段受限于数据采集频率低、分析维度单一等问题，难以及时响应突发性水污染事件。大数据技术凭借其海量数据处理、实时分析及模式挖掘能力，为水质监测与预警提供了新的技术路径。本文以水利工程为场景，探索大数据技术在污染物溯源、水质动态评估及风险预测中的应用机制，旨在构建智能化监测预警体系，提升水环境管理的精准性与主动性，为水利工程安全运行提供科学依据。

关键词：水利工程；水质监测；预警技术；大数据分析

随着流域开发强度增加与极端气候事件频发，水质参数的非线性波动特征愈发显著，常规监测体系在应对复合型污染和跨区域风险传导时存在响应迟滞。当前，水利工程水质管理亟需突破数据孤岛壁垒，强化多尺度、多维度环境信息的协同解析能力。大数据技术通过融合物联网感知、分布式计算与机器学习算法，能够构建水质参数的动态感知网络，深度解析污染物迁移规律与环境因子耦合关系。在此背景下，探索数据驱动的预警模型优化路径，对于提升水利工程水污染防治的预见性与决策科学性具有现实意义。

1 大数据技术的定义及特点

大数据技术是指通过新型计算架构与智能算法，对海量、多源、动态增长的数据进行采集、存储、处理与分析的技术体系。核心在于从复杂数据中提炼价值信息，支持决策优化。在水利工程场景中，这类数据可涵盖水质传感器实时读数、气象水文数据、历史污染事件记录等结构化与非结构化信息。

大数据技术的特点主要体现在三个方面：一是高效的数据处理能力，依托分布式计算框架，能够并行处理TB级甚至PB级数据，满足水利工程水质监测的时效性需求；二是多维度关联分析，通过数据融合技术整合水质参数、环境变量与工程运行数据，挖掘污染物浓度变化与外部因素的潜在关联；三是智能预测功能，基于机器学习模型对水质趋势进行模拟，识别异常波动并提前预警，为主动式水环境管理提供技术基础^[1]。

2 基于大数据的水利工程水质监测技术分析

2.1 水利工程水质数据整合与多源信息共享机制

在当前水利工程水质监测工作中，数据整合与信息共享已成为提升管理效能的核心环节。水利工程覆盖的水域范围广、监测对象复杂，传统分散化的数据管理模式

式难以满足精准化需求。依托大数据技术，水利部门可系统梳理水库、河流、湖泊、闸坝等不同工程的水质监测数据，将水文站点自动采集的pH值、溶解氧、浊度等基础指标，与人工巡检记录的生物多样性、水体富营养化特征相结合，同时接入气象降雨、工农业用水量等关联信息，形成覆盖“源头-过程-末端”的全要素数据资源池，打破了水利、环保、气象等部门间的数据壁垒，为跨领域协同分析奠定基础。

为实现数据的高效流转与应用，需建立标准统一的水质数据共享架构。针对不同工程监测设备产生的异构数据，通过制定统一的编码规则和传输协议，对传感器实时数据、实验室检测报告、视频监控画面等多元信息进行标准化清洗与结构化存储。在此基础上搭建水利工程水质数据中心，依托云平台实现监测数据的动态汇聚与权限分级管理。流域管理机构可通过该平台实时调取上下游闸坝、泵站的水质关联数据，快速识别污染物迁移路径；地方水务部门则能结合共享数据优化取水口布设方案，规避因局部水质波动引发的供水风险。水利工程水质数据的深度整合与共享，直接推动了监测模式的转型升级。以往需要数日才能完成的跨区域水质对比分析，如今通过数据平台的智能匹配功能，可在数小时内生成多工程联动分析报告。当某水库出现重金属异常信号时，系统可自动关联周边工业园区排污数据与水文动力模型，辅助管理者追溯污染源头并评估扩散风险。

2.2 重点水域实时动态监测与预警平台建设

在当前水利工程水质监测体系中，重点水域的动态感知能力直接关系到水安全保障水平。水利工程覆盖的水库核心区、城市供水取水口、跨流域调水通道等关键节点，往往需要全天候、高密度的水质跟踪。依托大数据技术构建的实时动态监测网络，通过在水域断面部署

智能感知设备,对水温、电导率、氨氮、总磷等关键指标进行分钟级采集,同时集成卫星遥感反演的水体叶绿素浓度、热红外成像等宏观数据,形成“空-天-地”一体化的立体监测矩阵,使管理者能够精准掌握重点水域的水质波动规律,及时捕捉异常信号^[2]。

根据历史监测数据与实时采集信息,系统可对各类水质参数的正常波动区间进行机器学习训练,结合水文气象条件、工程调度规律等外部变量,构建多维度的水质健康评价指标体系。当监测数据突破阈值或出现异常波动趋势时,平台自动触发分级预警机制,通过空间叠加分析锁定污染影响范围,并依据污染物扩散模型预判未来72小时水质演变态势。对于承担供水任务的水库,平台可同步关联水厂处理工艺参数,为预处理系统提前启动提供决策支持。动态监测与预警平台的运行,显著提升了水利工程水质风险的防控效能。在大型调水工程中,平台实时追踪数百公里输水渠道的水质变化,当某段渠道因突发污染出现指标异常,系统即刻生成包含上下游闸坝联动调度、应急净化设施启闭在内的处置方案。针对湖泊生态补水工程,平台通过融合补水流量、水体置换速率等数据,动态优化生态基流调度策略,防止补水过程中出现二次污染。

2.3 污染源精准识别与水质异常快速响应体系

在水利工程水质异常事件处置过程中,污染源追溯效率直接影响风险防控效果。水利工程涉及的水体往往横跨城乡、串联工农业区域,传统人工排查污染源的方式存在滞后性。依托大数据技术构建的污染源识别体系,将水文站点实时监测数据、沿岸工业企业排污许可证信息、农业面源污染普查数据等多元信息进行时空关联,结合水文动力模型与污染物扩散规律,建立污染贡献度计算框架。当某河段出现化学需氧量突增时,系统自动筛选上游10公里范围内所有潜在污染源,依据污染物浓度梯度、水流速度及扩散轨迹,快速锁定排污概率最高的企业或农田片区,实现污染源定位精度从“公里级”向“百米级”提升。

水利工程管理单位在接收预警信息后,依托共享数据平台同步调取污染源周边闸坝运行状态、水体自净能力、下游取水口位置等关键参数,自动生成包含应急截污、生态调水、水源切换等组合措施的处置方案。例如,针对输水渠道突发油类污染事件,系统可联动控制上游节制闸降低流速,启动下游吸附坝拦截装置,同时推送备用水源切换指令至沿线水厂。在跨流域调水工程中,系统通过实时监测输水干线水质变化,结合沿岸污染源动态数据库,可预判雨季农业面源污染对水体的冲

击,提前调整生态补水流量以增强水体稀释能力。对于城市水源水库,当监测到藻类异常增殖趋势时,平台可综合气象预报、水体分层数据,自动生成分层取水、曝气增氧等针对性调控指令。

3 基于大数据的水利工程水质监测技术分析

3.1 水库流域水质安全智能评估与趋势预测

传统水质评价方法依赖人工采样与实验室分析,难以应对流域内多要素耦合影响的复杂性。依托大数据技术构建的智能评估体系,整合水库坝前、支流入口、库区纵深等不同断面的实时监测数据,将溶解氧、总氮、重金属等常规指标与浮游生物群落结构、底泥污染物累积量等生态参数深度融合,结合流域内降雨径流、农业面源污染负荷、污水处理厂排放动态等外部数据,形成覆盖“水量-水质-水生态”的立体化评价数据库^[3]。

基于历史十年以上的水库运行数据,系统对丰水期与枯水期的污染物迁移规律、富营养化触发阈值进行机器学习训练,结合实时入库流量、水温分层变化等特征参数,构建具有时空适应性的水质安全指数。当春季融雪导致入库水体总磷浓度升高时,模型可自动关联上游耕地施肥数据与水文情势,预判藻类暴发的风险等级,并生成涵盖生态调度、人工曝氧等干预措施的评估报告。此外,水库水质数据中心持续接入气象预报、土地利用变化、流域发展规划等前瞻性信息,利用时间序列分析与空间插值算法,模拟不同情景下的水质演变路径。例如,在预测未来五年库区水质时,系统可叠加分析城镇化进程中的排污增量、水土保持工程效益、气候变化对水文循环的影响等多重变量,输出涵盖水质类别波动、生态承载力阈值等关键指标的趋势图谱。

3.2 跨区域水利工程水质协同治理数据网络

在水域联通的流域性水利工程水质管理中,行政边界带来的数据割裂往往制约整体治理效能。跨区域水利工程涉及上下游、左右岸的复杂水系关联,传统属地化管理模式难以应对污染物迁移、生态流量协调等全局性问题。依托大数据构建的协同治理数据网络,以流域为单元整合省市县三级监测数据,将水库闸坝运行参数、跨界断面水质指标、支流污染负荷等信息进行标准化编码,通过区块链技术实现监测数据的实时核验与跨域共享,使长江经济带、珠三角城市群等跨区域水利工程群能够同步掌握全流域水质动态,为协同决策提供统一的数据底板。

同时,流域管理机构通过数据中枢平台,实时汇聚南水北调中线工程、太湖流域综合治理工程等大型水利设施的监测数据,构建涵盖水文情势、工程调度、污

染传输的三维数字孪生模型。当上游省份水利枢纽实施生态补水时,下游区域可即时获取补水流量、流速及水质变化数据,动态调整本地闸门开度以优化水体置换效率。对于跨境河流突发水污染事件,数据网络自动触发上下游会商通道,同步共享污染团移动轨迹、应急处置进展等信息,实现工程调度与污染拦截的跨省联动。

在长三角一体化示范区,协同平台整合上海青浦、江苏吴江、浙江嘉善三地河网监测数据,构建覆盖太浦河、淀山湖等重点水域的水质预警地图。系统通过机器学习识别区域间污染传输特征,自动生成涵盖联合清淤、错峰排水、生态修复的协同治理方案。针对珠江口咸潮上溯问题,数据网络实时融合西江梯级水库群下泄流量、河口盐度监测数据,智能推荐压咸补淡调度方案,协调上游天生桥、龙滩等水库实施水量精准对冲^[4]。

3.3 公众参与式水质监测信息可视化平台构建

在水环境治理公众参与需求日益增长的背景下,水利工程水质监测正在探索开放共享的新模式。公众参与式水质监测信息可视化平台依托大数据技术,将专业监测数据与公众观测信息有机融合,构建起覆盖工程全流域的透明化信息窗口。该平台通过整合水利部门部署的自动监测站实时数据、志愿者移动终端上传的河道照片及文字描述、社交媒体舆情抓取的水质异常线索等多源信息,建立统一的空间化数据库。水库管理者可在电子地图上直观查看库区各断面水质类别、污染物浓度热力图,同步呈现公众上传的周边水域生态景观变化影像,形成专业监测与公众感知的双向验证机制。同时,水利工程地理信息系统可将溶解氧、氨氮等专业指标转化为色块分级预警地图,公众可通过滑动时间轴查看历史水质演变过程。针对跨流域调水工程,平台设计水质溯源追踪模块,用动态流向箭头展示南水北调等工程中水体迁移路径与污染物扩散趋势,公众点击任意闸坝节点即可查看该处实时水质数据与周边环境关联分析。为激发公众参与积极性,平台开发简易水质评价工具,引导居民使用手机拍摄水体浑浊度照片,系统自动匹配专业监

测数据生成可视化对比报告,让公众直观理解所处区域水质状况。

最后,平台内置的智能分析模块对海量公众反馈信息进行空间聚类与语义分析,自动识别高频出现的水质异常区域。当某水库周边居民集中反映水体异味时,系统即刻关联该区域专业监测数据,交叉验证后触发异常告警并在地图上标注热点区域。公众在平台提交的生态观测记录,如鱼类死亡、藻类聚集等现象,经过空间位置匹配与时间序列分析,可辅助专业人员判断潜在污染类型与传播路径^[5]。

结束语

大数据技术深度重塑了水利工程水质监测范式,构建起数据整合、实时预警与协同治理的全流程防控体系。通过多源信息融合与智能模型优化,实现了污染源精准溯源、水质异常分钟级响应及跨区域工程联动调度,显著提升了水环境风险防控的预见性与处置效率。数据驱动管理模式在保障供水安全、维护生态平衡中的核心价值,更推动了水利工程管理向数字化、全民共治转型,为构建智能高效的水质安全保障体系提供理论支撑与实践路径,助力我国水利事业可持续发展。

参考文献

- [1] 颜晓晓,李永波.运用大数据分析优化水利工程管理决策的探索与实践[J].珠江水运,2025,(01):117-119.
- [2] 张鑫鑫.基于大数据分析的水利工程水质监测与预警技术研究[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术与施工管理交流论文集(上).黄河水利委员会三门峡库区水文水资源局,2024:271-273.
- [3] 邓聪.基于大数据技术水利工程的动态质量风险管理[J].城市道桥与防洪,2024,(06):222-224+27.
- [4] 邓国民.浅析基于大数据水利工程监管体系构建与应用[J].城市道桥与防洪,2024,(01):175-177+20.
- [5] 李万林,马家林,程洋.大数据技术在水利工程建设中的应用[J].黄河水利职业技术学院学报,2023,35(04):15-18.