

智慧水务背景下河道水质监测与预警机制构建及应用研究

杨钰

上海普适导航科技股份有限公司

DOI:10.32629/eep.v9i2.3087

[摘要] 针对河道水质动态变化特征及污染风险防控需求,本文构建了涵盖在线监测、遥感感知与数据分析为一体的综合监测体系。在此基础上,提出了融合阈值判定、趋势分析及多源数据耦合的水质预警机制,实现对异常水质的快速识别与提前预警。研究结果可提升水环境风险识别能力与响应效率,为城市河道水环境精细化管理提供技术支撑。

[关键词] 智慧水务; 河道水质监测; 预警机制; 多源数据融合; 数据分析

中图分类号: F550 **文献标识码:** A

Research on the Construction and Application of River Water Quality Monitoring and Early Warning Mechanism in the Context of Smart Water Management

Yu Yang

Shanghai Puji Navigation Technology Co., Ltd.

[Abstract] In response to the dynamic changes of river water quality and the demand for pollution risk prevention and control, this paper has constructed an integrated monitoring system covering online monitoring, remote sensing perception and data analysis. On this basis, a water quality early warning mechanism integrating threshold determination, trend analysis and multi-source data coupling has been proposed to achieve rapid identification and early warning of abnormal water quality. The research results can enhance the ability to identify water environment risks and response efficiency, and provide technical support for the refined management of urban river water environment.

[Key words] Smart Water Management; River Water Quality Monitoring; Early Warning Mechanism; Multi-source Data Fusion; Data analysis

引言

随着城市化进程的加快,河道水环境问题日益突出,表现为污染源头多样、污染源变化频繁、污染持续影响范围广等特点。传统水质采样以周期性人工采样与实验室分析为主,存在着周期长、时效性差等不足,难以满足当前精细化水环境管理需求。近年来,物联网、大数据及云计算等技术的快速发展,与水务管理的深度融合推动了智慧水务体系的建设,多类型在线监测设备与空间信息技术逐步应用于水环境感知系统,实现了水质数据的连续获取与实时传输。在此基础上,水质管理模式正由“事后分析”向“实时监测+风险预警”转变。

1 河道水质监测体系构建

在智慧水务体系下,河道水质监测系统通常由感知层、传输层、平台层及应用层构成。感知层主要包括水质在线监测设备、流量计、液位计及视频监控设备等,主要用于对水质数据以及水动力要素的实时采集;传输层依托4G/5G或NB-IoT等通信技术,实现数据的稳定传输;平台层对多源数据进行统一存储与处理,

并支撑模型分析与预警判定;应用层面向管理人员提供数据展示、报警提示及决策支持功能。

该体系实现了从数据采集到业务应用的全流程贯通,为水质预警机制的构建提供基础支撑。智慧监测体系的构建与智慧水务平台的深度融合,实现了数据处理模式从离线分析向实时处理的转变,有效提升了对突发水质异常变化的快速响应能力。在数据驱动模式的支撑下,系统引入模型分析与趋势预测功能,使监测结果的呈现形式从传统的静态描述,转变为动态研判。同时,系统具备异常数据自动识别与标记功能,能够捕捉潜在水质风险,进而全面提升整个监测体系的智能化水平,为水务管理决策提供更为科学、可靠的技术支撑。

2 河道水质监测技术及其应用路径

2.1 水质在线监测技术应用

水质在线监测技术是智慧水务体系中实现连续感知与实时分析的关键手段。该技术以多参数传感器为核心,通过在河道断面、排口及关键节点布设在线监测设备,对COD、氨氮、pH、电

导率及浊度等指标进行高频采集并结合无线通信技术实现数据的实时传输与集中管理。相较于传统人工采样方式,在线监测能够显著提升数据时效性与连续性,为水质动态变化分析提供可靠数据基础。在工程应用中,通过引入自动校准、远程运维及异常数据自动识别机制,可有效降低设备运维成本并提高数据可靠性。同时,在线监测数据可与流量、降雨等信息进行融合分析,为水质异常识别及预警判定提供关键支撑,是实现水环境精细化管理的重要技术路径。

2.2 遥感监测与无人机巡测技术集成应用

遥感监测技术与无人机巡测技术的集成应用,为河道水质监测提供了多尺度、多源信息获取手段。遥感监测依托卫星影像数据,可在宏观尺度上获取大范围水体信息,用于分析水质空间分布特征及其变化趋势;无人机巡测则具备机动性强、分辨率高、可搭载多光谱或高光谱传感器等优势,可在局部区域开展精细化监测,对重点河段及异常区域进行快速识别与定位。

在数据处理方面,通过对不同尺度数据进行配准与融合处理,实现遥感数据与无人机数据的统一表达。结合数据融合算法,可提升多源信息的一致性与完整性,从而增强对水质变化过程的解释能力。该技术路径在复杂地形条件或固定监测站点难以覆盖的区域具有明显优势,可有效弥补传统监测方式的不足。

3 河道水质数据分析与识别方法

3.1 多源异构数据融合与质量控制方法

在智慧水务体系下,河道水质监测数据呈现出来源多样、结构异构及时空分辨率不一致等特征,主要包括在线监测数据、水动力数据、气象数据及辅助观测数据等。为提升数据利用效率与分析可靠性,有必要构建统一的数据融合与质量控制方法体系。

首先,在数据融合层面,采用“时空对齐+统一建模”的处理思路。针对不同数据源采样频率不一致的问题,通过时间尺度统一方法如重采样与时间窗口聚合等,将各类数据映射至统一时间序列;空间维度上,结合监测点位分布与河道拓扑关系,对多源数据进行关联匹配,形成统一的数据表达结构。由此构建多源数据融合模型,将水质指标、水动力参数及气象因子进行协同表征,为后续预警分析提供输入。

其次,在数据质量控制方面,构建“异常识别—数据修正—质量评估”的三级控制流程。针对传感器数据可能存在的漂移、噪声及突变问题,采用统计方法与规则判定相结合的方式进行异常识别,例如基于Z-score或箱线图方法识别离群值,并结合变化率约束剔除不合理突变数据。对于缺失或异常数据,可采用滑动平均或插值方法进行修复,以保证时间序列连续性。

进一步引入数据质量评价指标,对数据完整性、一致性及有效性进行量化评估,并建立动态质量标识机制,对不同质量等级的数据进行分类管理,从而提升数据在分析与决策中的可靠性。

3.2 水质时空变化特征识别与趋势分析

水质时空特征分析是揭示河道水环境演变规律的重要手段。本文基于时间序列分析与空间统计方法,对水质变化过程进行系统识别。在时间维度上,采用滑动平均与季节分解方法,对COD、氨氮及总磷等关键指标进行分解,将原始序列拆分为趋势项、周期项及随机项,从而识别水质变化的长期演变趋势及季节性波动特征。分析结果表明,部分河段氨氮浓度呈现明显季节性变化,其波动幅度可达0.5 mg/L以上。

在空间维度上,采用统计学方法构建水质空间分布模型,通过半变异函数分析水质指标的空间相关性,识别污染扩散范围及空间集聚特征。结合GIS平台对监测断面数据进行空间插值与可视化表达,实现污染热点区域的识别与定位。

此外,引入多变量分析方法,如主成分分析(PCA)与聚类分析,对多指标数据进行降维处理与关联性分析。在高维数据条件下,可将原始指标压缩为3~4个主成分,同时保留85%以上的信息量,从而提升数据解释能力。上述分析结果为水质变化趋势判断及预警机制构建提供了定量依据。

4 河道水质预警机制的构建与应用模式

在智慧水务体系下,传统基于固定阈值的预警方法难以适应复杂水环境条件。为提升预警的前瞻性与准确性,本文构建基于模型驱动的水质预警算法与决策机制,将时间序列预测与多源数据分析相结合,实现对水质变化的动态预判,详见图一所示。

4.1 预警算法构建

在预警算法层面,采用时间序列模型对水质指标进行短期预测。以COD和氨氮为主要对象,构建基于历史监测数据的预测模型(如ARIMA或LSTM),实现对未来一定时间窗口内水质变化趋势的估计。在此基础上,引入多变量输入机制,将流量、降雨等外部影响因素纳入模型参数,以增强模型对复杂工况的适应能力。

为实现预警判定的量化表达,定义预测偏差函数:

$$E(t) = X_{\text{pred}}(t) - X_{\text{obs}}(t)$$

其中, $X_{\text{pred}}(t)$ 为预测值, $X_{\text{obs}}(t)$ 为观测值。当预测结果接近或超过预警阈值,或预测偏差持续扩大时,判定为潜在异常状态,从而触发预警信号。

4.2 决策机制设计

在决策机制层面,构建“预测判定—风险分级—响应触发”的联动流程。系统基于模型输出结果,对预警等级进行动态划分,并通过规则引擎将不同级别预警与相应处置措施进行匹配。例如,当预测值持续超过阈值且趋势呈上升状态时,系统自动升级预警等级,并触发现场核查或应急响应流程。

相较于传统方法,该模型驱动机制能够实现从“事后响应”向“事前预判”的转变,提高水质异常识别的及时性与准确性,同时增强预警结果的科学性与可解释性。

5 智慧水务驱动下河道水质监测与预警系统优化路径

表1 某河道水质预警机制关键数据分析表

指标类别	数据来源	关键指标数值	分析方法	预警阈值设定	预警判定结果
水质基础指标监测	在线监测站	COD 28 mg/L; 氨氮 1.6 mg/L; DO 4.2 mg/L	时间序列分析与均值对比	COD \geq 30 mg/L; 氨氮 \geq 1.5 mg/L	氨氮触发III级预警
水质变化趋势分析	历史监测数据库	氨氮月均波动幅度0.6 mg/L; COD波动5.2 mg/L	季节分解与趋势拟合	波动幅度 \geq 0.5 mg/L	存在持续升高趋势
模型预测数据	AI预测模型(LSTM)	未来24h氨氮预测值1.8 mg/L; COD预测31 mg/L	深度学习预测模型	氨氮 \geq 1.5 mg/L; COD \geq 30 mg/L	达到II级预警标准
风险识别结果	多源融合数据	水质指数(WQI)78; 污染贡献率工业源45%	随机森林与受体模型分析	WQI \geq 75判定风险状态	判定为中度污染风险
预警响应评估	平台运行数据	响应时间0.8 h; 处置后COD降至24 mg/L	对比分析与效果评估	响应 \leq 1 h为达标	预警响应有效

5.1 监测网络优化与空间布局策略

监测网络优化应围绕河道功能分区及污染特征展开,通过对监测断面布设密度及空间位置进行科学调整,实现监测资源的合理配置。基于历史监测数据及污染分布特征,可针对重点污染河段、入河排口及水质敏感区域实施加密布点,从而提高关键区域的监测覆盖水平。

在空间布局方面,可采用“主干河道—支流节点—关键排口”相结合的布设方式,构建多层次监测网络体系,增强对污染扩散路径的识别能力。同时,结合水动力条件及流域特征,通过模拟分析优化监测站点间距,使监测数据在空间上具有更好的代表性。

此外,移动监测设备及无人机巡测可作为固定监测网络的有效补充,用于覆盖监测盲区并实现动态巡查。在兼顾建设成本与运维效率的前提下,通过设备集约化配置及智能化运维手段,有助于降低单站点运维成本并提升系统整体运行稳定性。

5.2 预警机制协同与管理体系完善

预警机制的有效运行依赖于多部门协同与管理体系的规范化建设。通过整合水务、生态环境及应急管理等相关资源,建立跨部门联动机制,实现信息共享与协同响应。

在预警管理过程中,可根据风险等级对预警信息进行分级管理,并自动匹配相应的处置流程,从而提升管理效率与响应速度。同时,通过制定标准化操作规程,对预警发布、现场核查及应急处置等关键环节进行规范,确保各类响应措施具有一致性与可操作性。

在数据层面,应通过系统接口实现多平台互联互通,减少信息孤岛现象,提高数据利用效率。此外,可建立基于响应时间及处置效果的绩效评估机制,对预警运行效果进行量化分析,从而持续优化管理体系。通过定期培训与技术支持,进一步提升相关人员的系统应用能力与应急处置水平。

5.3 数字化平台建设智能化应用提升

数字化平台建设应以数据集成与功能拓展为核心,通过构建集监测、分析与决策于一体的综合管理平台,实现水质信息的集中管理与实时展示。平台可采用分布式架构与云计算技术,对海量监测数据进行高效存储与处理,从而提升系统运行效率。

在智能化应用方面,可引入机器学习及数据分析方法,对水质变化进行自动识别与趋势预测,提升系统对复杂工况的适应能力。同时,通过可视化技术将监测数据转化为图表及空间分布信息,增强数据表达效果,提高决策直观性。

此外,平台可集成移动端应用,实现现场数据上传与远程监控,提升系统的灵活性与响应能力。随着数据的持续积累与模型不断优化,系统分析能力将逐步提升,推动水质管理模式由经验驱动向数据驱动转变。

6 结语

本文在智慧水务背景下,构建了河道水质监测体系,并提出了融合多源数据的预警机制。通过工程应用分析,验证了该机制在水质异常识别中的有效性。研究表明,该方法能够提升水环境风险识别能力与管理效率,对城市水环境精细化治理具有一定参考价值。

[参考文献]

- [1]李江.基于智慧水务系统下的坪山河干流水质提升改造实践[J].云南水力发电,2025,41(07):139-142.
- [2]赖敏达.水务大数据背景下的城市智慧水务物联设计研究[J].水利技术监督,2025,(02):66-69+102.
- [3]刘建军.城市内河生态感知的智慧水务平台及应用[J].给水排水,2021,57(S2):501-504.

作者简介:

杨钰(1997—),女,汉族,辽宁省锦州市人,硕士,助理工程师,研究方向:智慧水务。