

GIS 地图在水质监测站运行状态监控中的可视化应用

朱玉东¹ 邹召军² 王宏俊³

1. 太湖流域水文水资源监测中心（太湖流域水环境监测中心），中国·江苏 盐城 214024

2. 无锡瀚澜水利科技有限公司，中国·江苏 无锡 214000

3. 蓝深远望科技股份有限公司，中国·江苏 无锡 214125

摘 要：随着水环境监测需求的复杂化与智能化，传统水质监测站运行状态监控手段在空间数据整合、实时可视化及动态预警方面存在局限。论文提出基于 GIS 地图的可视化应用框架，通过融合多源监测数据与地理空间信息，构建水质监测站运行状态的动态监控系统。研究分析了监测站数据采集技术、GIS 可视化技术原理及典型应用场景，验证了该方法在提升监测效率、辅助决策支持方面的有效性，为水质监测智能化提供理论与技术参考。

关键词：地理信息系统；空间分析；水污染监测

Visualization Application of GIS Maps in Monitoring the Operation Status of Water Quality Monitoring Stations

Yudong Zhu¹ Shaojun Zou² Hongjun Wang³

1. The Taihu Lake Lake Basin Hydrology and Water Resources Monitoring Center (the Taihu Lake Lake Basin Water Environment Monitoring Center), Yancheng, Jiangsu, 214024, China

2. Wuxi Hanlan Water Conservancy Technology Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

3. Lanshen Yuanwang Technology Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214125, China

Abstract: With the increasing complexity and intelligence of water environment monitoring requirements, traditional water quality monitoring station operation status monitoring methods have limitations in spatial data integration, real-time visualization, and dynamic warning. The paper proposes a visualization application framework based on GIS maps, which integrates multi-source monitoring data and geographic spatial information to construct a dynamic monitoring system for the operation status of water quality monitoring stations. The research analyzed the data collection technology of monitoring stations, the principles and typical application scenarios of GIS visualization technology, and verified the effectiveness of this method in improving monitoring efficiency and assisting decision support, providing theoretical and technical references for the intelligence of water quality monitoring.

Keywords: geographic information system; spatial analysis; water pollution monitoring

0 前言

水，作为生命之源，是人类社会赖以生存和发展的基础性自然资源。随着工业化、城市化进程的加速推进，水污染问题日益严峻，对生态环境、人类健康以及社会经济的可持续发展构成了重大威胁。传统的水质监测站运行状态监控方式，主要依赖人工定期巡检以及离散的数据报表记录。

地理信息系统（Geographic Information System，简称 GIS）作为一门融合了地理学、计算机科学、测绘遥感学、空间科学等多学科理论与技术的新兴学科，具有强大的空间数据处理、分析和可视化表达能力

1 国内外研究现状

国外在 GIS 技术应用于水质监测领域的研究起步较早，取得了一系列具有重要影响力的成果。早在 20 世纪 90 年代，美国环境保护署（EPA）就开始利用 ArcGIS 软件构建流域

水质监测模型，通过整合地形、土地利用、水文等多源空间数据，对流域内的水质状况进行模拟和预测，为水环境管理提供了科学依据。欧盟各国也积极开展相关研究，将 GIS 技术广泛应用于水质监测网络的优化布局、污染源追踪以及水环境质量评价等方面，显著提高了水环境监测与管理的精细化程度。

中国在 GIS 技术应用于水质监测方面的研究虽然起步相对较晚，但近年来发展迅速，取得了丰硕的成果。特别是在智能传感器技术与 GIS 技术融合应用方面，取得了一系列突破性进展。

然而，当前国内外的研究仍存在一些不足之处。现有研究大多侧重于对水质监测数据的静态展示和分析，对监测站运行状态的动态变化过程，尤其是设备运行参数与水质变化之间的实时联动关系分析不够深入。

2 水质监测站运行状态监控现状分析

2.1 传统监控模式的局限性

在过去相当长的一段时间里,水质监测站运行状态监控主要依赖传统的人工巡检与简单的数据记录方式。这种模式虽然在一定程度上能够获取监测站的基本运行信息,但随着水环境监测需求的不断提高,其局限性日益凸显。

传统监控模式下,数据存在严重的孤立化问题。人工巡检周期通常较长,一般为 1~2 天进行一次巡检。在如此长的时间间隔内,监测数据与地理空间位置的关联性往往被忽视,数据之间相互孤立,难以从宏观层面识别不同监测站点间的空间相关性。例如,在一个包含多个监测站的流域中,当某个站点出现水质异常时,由于缺乏对各站点空间位置关系的综合分析,很难迅速判断该异常是否会对周边站点产生影响,以及影响的范围和程度如何。这使得监测数据的利用价值大打折扣,无法为水环境管理提供全面、深入的决策支持。

预警滞后性也是传统监控模式的一大弊端。传统的预警机制主要依赖阈值报警的单品触发方式,即当某个监测站点的某个参数超过预设阈值时,才会触发报警。这种方式缺乏对污染扩散的空间分布模拟,无法提前预测污染可能的传播路径和影响范围。一旦发生水污染事件,往往在污染已经扩散到较大范围后才发出预警,导致应急响应时间大幅延迟,错过了最佳的处理时机。在这期间,监测站无法正常采集数据,导致数据连续性中断,影响了对水质变化趋势的准确分析。而且,人工巡检需要投入大量的人力、物力资源,包括巡检人员的薪酬、交通费用以及检测设备的购置和维护费用等,使得水质监测的整体成本大幅增加。

2.2 自动化监测技术的发展

随着科技的飞速发展,自动化监测技术在水质监测领域得到了广泛应用,为解决传统监控模式的弊端带来了新的契机。

智能设备的应用是自动化监测技术发展的重要体现。以潜江市为例,该市采用的水质自动监测站集成了水温、pH、溶解氧等 9 项传感器,实现了数据的分钟级采集。这些智能传感器能够实时、准确地获取水质参数,并通过网络与国家平台联网,将数据及时上传。这种自动化的数据采集方式,极大地提高了监测效率,解决了人工监测耗时长、效率低的问题。通过分钟级的数据采集,能够更加及时地捕捉到水质的微小变化,为水环境管理提供更加实时、准确的数据支持。同时,与国家平台的联网也实现了数据的共享与整合,方便了不同部门之间的协同工作。

远程运维支持在自动化监测技术中也发挥着重要作用。

3 水质监测站数据采集与预处理技术

3.1 多源数据采集方法

在水质监测站的运行过程中,为了全面、准确地获取

水质信息,需要采用多源数据采集方法,以适应不同类型的数据采集需求。

数字信号的采集在水质监测中占据重要地位。氨氮、总磷分析仪等先进的监测设备,通过 RS485 接口直接传输数据,这种传输方式能够有效地控制误差在 0.5% 以内。

开关量信号在水质监测站中主要用于监测沉砂池液位、预处理样品罐状态等关键设备的运行状态。这些信号通过 PLC 模块进行采集,当出现异常状态时,能够实现秒级响应报警。PLC 模块作为一种专门用于工业自动化控制的设备,具有可靠性高、响应速度快等优点。在某水质监测站中,PLC 模块实时采集沉砂池液位开关量信号。当液位超过预设的上限或下限值时,PLC 模块能够在 1 秒内检测到异常,并立即触发报警信号,通知工作人员及时采取措施,保障了监测站的正常运行。

3.2 数据预处理与质量控制

在水质监测站采集到大量的数据后,为了确保数据的准确性和可靠性,需要对数据进行预处理和质量控制。

异常值检测是数据预处理的关键环节。标记率达到 95% 以上,为后续的数据处理和分析提供了可靠的数据基础。

对于数据缺失的情况,采用反距离加权(IDW)与克里金插值法,结合 GIS 网格划分,能够有效地对缺失数据进行时空插值补全。反距离加权插值法是一种基于距离的插值方法,它假设未知点的值由离它最近的已知点的值加权得到,权重与距离的倒数成正比。

4 GIS 地图可视化技术架构与实现

4.1 技术原理与架构设计

本研究采用了一种基于三层架构模型的 GIS 地图可视化技术,该模型涵盖数据层、服务层和应用层,各层之间相互协作,共同实现了对水质监测站运行状态的高效监控与可视化展示。

在数据层,我们致力于整合多源数据,构建一个全面、准确的时空数据库。监测站的空间坐标采用 WGS84 坐标系进行精准定位,确保了地理位置信息的一致性和通用性。

服务层是整个技术架构的核心枢纽,它通过 RESTful API 为应用层提供了丰富的服务接口。

应用层主要负责与用户进行交互,为用户提供一个便捷、直观的 Web 端可视化界面。

4.2 可视化方法创新

为了更直观、准确地展示水质监测站的运行状态和水质参数的空间分布特征,本研究在可视化方法上进行了一系列创新。

动态符号化表达是其中的一项重要创新。对于监测站的运行状态,我们采用了符号颜色编码的方式进行直观展示。当监测站处于正常运行状态时,用绿色符号表示,给人一种安全、稳定的视觉感受;当监测站进入预警状态,即某

些关键参数接近或略超过正常范围时,用黄色符号表示,提醒管理人员需要关注该站点的运行情况;而当监测站出现故障,相关参数严重偏离正常范围时,则用红色符号表示,以强烈的视觉冲击引起管理人员的高度重视。

在水质参数的可视化方面,我们采用了热力图叠加的方法。以氨氮浓度为例,当氨氮浓度超标的水域,在地图上会显示红色渐变效果,颜色越深,表示氨氮浓度越高,污染越严重。

时空联动分析是本研究的另一大创新点。基于 ECharts 开发的时间轴组件,实现了时间与空间的深度融合。通过该组件,用户可以同步查看某站点的历史数据曲线与对应时段的空间分布特征。

5 典型应用案例分析

5.1 固定式监测站集群监控——以文昌市国家水站为例

文昌市作为海南省的重要生态区域,其水环境质量对于维护当地生态平衡和保障居民生活用水安全至关重要。这些监测站犹如水环境的“哨兵”,时刻关注着水质的动态变化,其稳定运行对于准确获取水质信息、及时发现水质问题具有不可替代的作用。

在实际运行过程中,这些监测站面临着诸多挑战。试剂余量的监测是确保监测站持续稳定运行的关键因素之一。一旦试剂余量不足,监测设备将无法正常工作,导致数据采集中断,影响对水质变化的实时监测。

为了应对这些挑战,GIS 技术在文昌市国家水站的运行监控中发挥了重要作用。通过构建站点空间网络,将国控监测站的地理位置信息进行整合,利用最短路径算法,能够根据各监测站的位置以及路况等因素,为运维人员规划出最优的巡检路线。通过合理规划路线,巡检时间缩短至半天左右,大大提高了运维效率。

5.2 漂浮式监测站动态布控——河道突发污染应急场景

在河道突发污染应急场景中,传统的监测手段往往难以满足快速响应和精准定位的需求。漂浮式监测站作为一种新型的监测设备,集成了多参数传感器与侧扫声呐等先进技术,能够在复杂的水域环境中发挥重要作用。以无人船搭载多参数传感器与侧扫声呐的漂浮式监测站为例,其在暗管排查和水质监测方面展现出了卓越的性能。

在暗管排查中,无人船利用侧扫声呐技术,能够对水下水地形和物体进行高精度的探测。无人船迅速对其坐标进行标注,并将相关数据传输至监控中心。工作人员根据标注的坐标,对该疑似排污口进行了实地核查,最终确认了其为一处非法排污口。

无人船搭载的多参数传感器能够实时监测水质参数,如氨氮浓度、溶解氧、pH 值等。经过进一步调查,证实了

该暗管为污染源,及时采取了封堵措施,有效遏制了污染的扩散。

相比传统人工排查方式,漂浮式监测站的应用成效显著。传统人工排查需要大量的人力投入,工作人员需要徒步沿着河道进行巡查,不仅效率低下,而且受限于人的视野和体力,很难全面、准确地发现暗管和水质问题。而漂浮式监测站采用无人船搭载先进设备的方式,能够快速、全面地对河道进行监测。

在河道突发污染应急场景中,漂浮式监测站能够实现“污染源定位—污染扩散模拟—应急处置方案生成”的全流程可视化。在某河道突发污染事件中,漂浮式监测站迅速定位了污染源,并对污染扩散进行了模拟。根据模拟结果,环保部门制定了合理的应急处置方案,及时采取了拦截、净化等措施,有效减少了污染对周边环境的影响。

6 系统设计与关键技术验证

6.1 功能模块设计

为了满足水质监测站运行状态监控的多样化需求,本系统设计了多个功能模块,每个模块都具有明确的功能和特点,它们相互协作,共同为用户提供全面、高效的服务。

实时监控模块是系统的核心功能之一,用户可以根据自己的需求,按照日、月、年等不同的时间范围查询站点的运行日志。

运维管理模块基于 GIS 工单系统,实现了对运维任务的高效管理。当监测站需要进行设备校准、试剂更换等维护工作时,系统会根据预设的规则和算法,自动分配任务给合适的运维人员。

6.2 性能测试与优化

为了确保系统能够稳定、高效地运行,满足实际应用的需求,对系统进行了全面的性能测试与优化。

在数据吞吐量方面,系统进行了严格的测试,以验证其能够支持大量监测站的并发数据接入。可视化效率是衡量系统性能的另一个重要指标。系统对地图加载时间和空间分析响应时间进行了优化,以提高用户体验。

7 结论与展望

7.1 研究结论

论文围绕 GIS 地图在水质监测站运行状态监控中的可视化应用展开深入研究,成功构建了基于 GIS 技术的可视化应用框架,有效解决了传统水质监测站运行状态监控中存在的空间数据割裂问题,实现了多源数据的深度融合与高效管理。通过创新的动态符号化表达和时空联动分析等可视化方法,显著提升了水质监测数据的可视化效果,使监测站的运行状态和水质变化情况能够更加直观、准确地呈现给用户,极大地提高了异常识别速度和决策支持能力。

7.2 未来展望

未来,随着科技的不断发展,将进一步探索 AI 算法与

GIS 的深度融合,为水质监测站运行状态监控带来更强大的功能和更高效的服务。LSTM 神经网络作为一种强大的时间序列预测模型,能够对水质监测站的运行状态数据进行深入分析和学习,挖掘数据中的潜在规律和趋势,实现对设备故障和水质异常的精准预测。通过建立基于 LSTM 神经网络的预测模型,可以提前预测设备可能出现的故障,及时安排维护工作,避免设备故障对监测工作的影响;同时,能够预测水质的变化趋势,提前发出预警,为水环境管理部门提供更充足的时间制定应对措施,有效保障水环境质量。

参考文献:

- [1] 索荣遥,王玄,张波,等.多源水质监测数据融合评价及可视化系统[J].水利信息化,2025(2):82-87.
- [2] 薛伟锋,褚莹倩,刘强,等.主成分分析和模糊综合评价法在大连市地下水水质评价中的应用研究[J].辽宁大学学报(自然科学版),2020,47(3):218-226.
- [3] 吴嘉鹏,许亚璐,楼振纲.基于GIS的地表水水质走航监测研究[J].环保科技,2024,30(5):18-23.
- [4] 李世燕.水质监测质量管理中存在的问题及对策探究[J].清洗世界,2024,40(1):117-119.
- [5] 熊鑫,王微.基于GIS的水质监测分析系统设计与实现[J].测绘与空间地理信息,2022,45(4):154-156.
- [6] 陈育斌.地理信息技术在地下水监测中的应用探析[J].西部资源,2022(2):80-81+84.
- [7] 田恒.浅析水质自动监测技术在水环境保护中的应用[J].资源节约与环保,2020(7):84.
- [8] 张黎希.GIS技术在水利工程规划与管理中的应用[J].中国高新科技,2024(17):143-145.
- [9] 杨拂晓,王媛,费龙,等.基于神经网络的饮马河流域水质监测系统设计与实现[J].长春师范大学学报,2024,43(6):106-110.
- [10] 吴颢,郑清星,宋心语,等.面向农业灌溉的小型水库三维GIS智慧管理平台研究[J].安徽农业科学,2022,50(6):215-221.

作者简介:朱玉东(1980-),中国江苏盐城人,从事水文分析评价和水利信息化研究。