

闸控河道水污染物通量在线监测系统建设与应用

郭有顺^{1,2}, 许文卿^{1,2}, 张鹏^{1,2}, 杨余维^{1,2}, 姚晨辉^{1,2}

(1. 广东省环境科学研究院, 广东 广州 510045; 2. 广东环科院环境科技有限公司, 广东 广州 510045)

摘要:以练江流域(普宁段)为例,分析了水污染物通量在线监测系统的需求与建设目标,介绍了系统总体架构、数据库、系统功能、监测布点和感知设备配置等设计要点,确定了系统中水污染物通量的计算方法。通过水污染物通量的在线监测与智能分析,实现对河流水质的自动研判和预警,使系统在流域综合治理工作中发挥作用。

关键词: 污染物通量; 在线监测; 流域治理; 闸控河道

中图分类号: X84 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2024)02-0056-04

Construction and Application of On-line Monitoring System for Water Pollutant Flux in Sluice-Controlled River

GUO Youshun^{1,2}, XU Wenqin^{1,2}, ZHANG Peng^{1,2}, YANG Shewei^{1,2}, YAO Chenhui^{1,2}

(1. Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou, Guangdong 510045, China; 2. GDAES Environmental Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510045, China)

Abstract: Taking Lianjiang River Basin(Puning Section) as an example, the requirements and objectives of establishing an on-line monitoring system for water pollutant flux were analyzed. The design points of the system, such as overall architecture, database, system function, monitoring site and sensing device configuration were introduced, and the calculation method of water pollutant flux was determined. By online monitoring and intelligent analysis of water pollutant flux, this system achieved automatic assessment and early warning of river water quality, and played a role in comprehensive watershed management.

Key words: Pollutant flux; On-line monitoring; Watershed management; Sluice-controlled river

在开展流域综合治理的过程中,普遍存在监测网络不完善、水文水量监测数据严重缺失、信息零散碎片化且未实现共享等方面的缺陷。河流水污染物通量在线监测的研究仍处于初级阶段^[1],在研究河流水污染物通量时,采用大时间跨度的径流量(月或年)和对应时段内水质指标均值的乘积为计算结果^[2-4]。李影等^[5]在研究小流域农业面源污染物通量时,将采样频次增加到一二周1次。赵斌等^[6]虽将污染物通量的研究细化到日通量,但不同水期仅连续监测5日,仍达不到精准研判的要求。今以练江流域(普宁段)为例,设计并建成基于GIS技术、无线网络技术、大数据智能技术的闸控河道水污染物通量在线监测系统,初步实现河流断面水量、水质在时间、空间上的统一,并使断面水

污染物通量的计算频率达到每4h1次,提高了计算精度,可为流域综合治理和断面达标提供技术支撑。

1 系统需求与建设目标

研究区域为典型的闸控河道,干支流上水闸众多。此前水质、水量等监测数据分散在水利、生态环境、住建、农业农村等部门,其中水质以人工取样检测为主,监测结果以数据保存为主;水文方面仅

收稿日期:2023-02-16;修订日期:2024-03-01

基金项目:广东省重点领域研发计划基金资助项目(2019B110205003)

作者简介:郭有顺(1987—),男,广东英德人,工程师,硕士,主要从事水环境监测和流域水环境综合治理技术咨询工作。

在涉及防洪排涝的重要闸坝安装监测设备,主要观测水位变化。如何利用 GIS、物联网、无线网络、大数据智能分析等先进技术,实现“互联网+”与环境治理协同管理^[7]成为当务之急。

系统建设目标:①实现河流水质、流量的在线监测,大幅增加数据量;②实现河流水系、基础设施、水文水质数据的整体分析,形成流域污染情况的总体把握;③通过获取实时动态更新的水质、水量数据,实现快速、高效的数据共享和信息互通;④大幅提高河流达标形势研判和水质预测的准确度、排查和治理措施的精准度、流域治理的科学性及系统化水平。

2 系统设计与建设

2.1 总体架构与设计要点

系统总体架构见图 1。感知层通过水质、水量在线监测仪器采集环境数据;传输层以环保专网和 4G 无线网络实现数据传输;支撑层由服务器、工作站、地理信息平台、大数据平台等组成,实现流域信息数据的收集、存储、计算、处理和分析;应用层包含基础信息管理、水量水质在线监测预警等多个应用模块,满足各业务体系的信息化需求;展现层为终端设备,可连接电脑、手机、大屏等多种终端展示和操作。

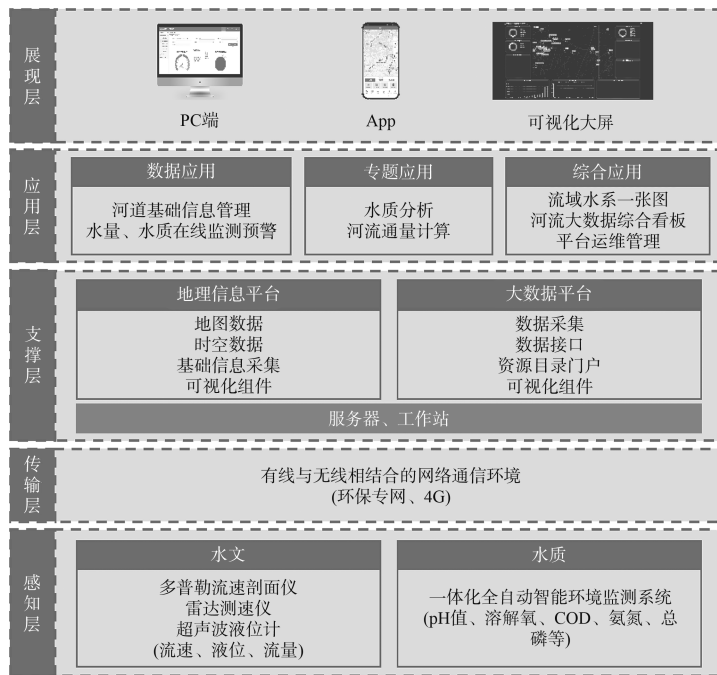


图 1 系统总体架构

Fig. 1 General architecture of the system

2.2 数据库设计

系统数据库按数据采集层、数据存储层、编程模型层、数据分析层 4 层架构设计,主要内容有:

(1) 基础信息数据库,包括流域内的行政区划、城乡居民区、水系等地理要素。

(2) 空间信息数据库,包括水闸分布、重要污染源、入河排污口、城市基础设施、重点工程等。

(3) 业务信息数据库,主要包括水文水质在线监测站数据、手工监测数据、电子档案、设备运维情况等。

2.3 系统功能设计

该系统在功能设计上包括数据应用、专题应用和综合应用 3 大类共 7 个子系统。

数据应用:①河道基础信息管理子系统,包括水系、水闸、在线监测设备分布等,实现属性校验、拓扑校验、基本信息管理、设备信息管理、监测指标管理等功能;②水量、水质在线监测预警子系统,包含实时监测数据接入,超标阈值配置管理,水量、水质超标预警,数据异常自动识别,动态滑窗数据曲线等模块。

专题应用:①水质分析子系统,确定水体中主要污染物的分布状况,为污染物的来源、污染途径、迁移转化和消长规律的追溯,以及水体污染变化趋势的预测提供依据;②河流通量计算子系统,根据在线监测数据和计算模型,分析河流的污染物通量动态变化和空间分布情况。

综合应用:①流域水系一张图子系统,包括专题数据综合展示、空间数据统计分析、水质异常分析、水质时空分布图、污染通量时空分布图等模块;②河流大数据综合看板是系统平台的主界面,包括水质分析、河流通量计算分析、在线监测空间分布、重点监测断面水质变化、超标预警等模块,该应用同步集成到移动端 App 中;③平台运维管理子系统,包括平台用户管理、平台角色管理、平台权限管理、平台运行日志、系统配置管理等模块,由系统管理员使用。

2.4 监测布点

流量监测站点在水闸上游不少于 50 m 且无大流量汇入的平直段上布设,监测断面面积通过累积法计算^[8],水质和流量的监测均设在同一个断面^[9]。研究范围为闸控型、城镇污水厂尾水补给型河道,全部在普宁市辖内,上游无跨辖区来水。将上游 3 条支流交汇点定义为干流起点,国考断面定义为辖内终点,在 3 个干流断面和 7 个一级支流的闸前断面进行监测站点布设,见图 2。

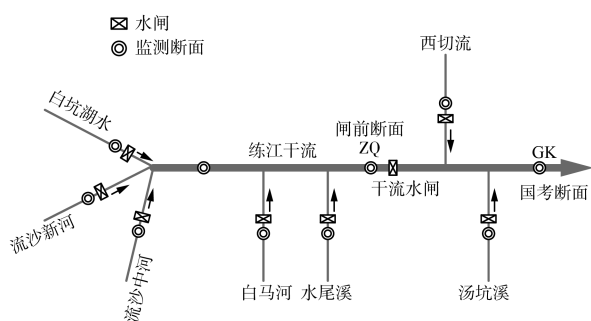


图2 感知设备监测布点示意

Fig. 2 Schematic diagram of sites monitored by sensing devices

2.5 感知设备配置

研究区内原有水质自动站 8 座、水文站 1 座,在此基础上增设水质自动站 2 座、流量监测站 9 座。水质在线监测设备一体化在线全自动智能环境监测系统^[10],监测指标主要有 pH 值、溶解氧

(DO)、化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)等。河道流量的测量方法主要有声学多普勒测流方法和雷达表面流速法^[11],根据干支流断面尺寸和水文情况选择不同设备,干流断面选用测量精度高、运行稳定性好的声学多普勒流速剖面仪^[12],支流选用安装维护方便、环境适应性强的固定式雷达测速仪^[13],两者均辅以超声波液位计。水质数据为每 4 h 产出 1 个,而流量数据则为每小时 1 个,均经数采仪通过 4G 网络传输到数据库中。

3 系统应用

3.1 水污染物通量计算

目前国内对河流污染物通量的估算大多采用 Webb 等^[14]提出的 5 种方法,这些方法适用于监测数据较少的情况。选择不同的时段通量估算式,所得通量值相差较大,其估算结果的精度也较低。上文提出的在线监测方式实现了流量和水质的同步监测,提高了水污染物通量计算的精度。由于监测数据是间断产生的,故参考富国^[15]提出的采用瞬时质量浓度 C_i 与对应时段平均流量 Q_p 之积的估算方法,见式(1)。

$$W = K \sum_{i=1}^n C_i Q_p \quad (1)$$

式中: W 表示时段通量; K 为估算时间转化系数; C_i 为瞬时质量浓度, mg/L; Q_p 为代表时段流量, m³/s; n 为计算时段内的监测数据量, 个。

当以 4 h 为一个基础计算时段时, Q_p 为与 C_i 对应时点及其前 3 个时点流量的平均值,即 $Q_p = (Q_i + Q_{i-1} + Q_{i-2} + Q_{i-3})/4$, $K = 4 \times 3600$ s, 即 14 400 s, 计算日通量时 $n = 6$ 。当计算小时通量时,采用 Q_i 与最近时点的质量浓度值进行估算。

3.2 水污染物通量分析

系统平台实时接收感知设备采集的数据,通过内置模型进行通量分析,可根据需要按年、季、月、周、日甚至小时统计,同时可自动分析各支流的污染贡献占比,有利于帮助相关部门把握治水重点。此外,系统可通过人工智能算法对各断面污染物浓度进行短期预测,支撑相关部门对达标形势进行预先研判,辅助水环境综合治理施策和工作调整。以流沙新河为例,从河流通量计算子系统的应用界面可获知,2022 年 7 月份日均氨氮污染通量为 0.66 t/d,污染贡献占比达 44.9%。由此判断该支

流应为流域治理的重中之重,进而提醒主管部门优先开展该支流范围内的控源截污、入河排污口排查与整改、二三级支流治理等工作。

3.3 水质分析预警

系统实时接收水位、流量数据,分析水闸控制状态和闸前污染总量,通过模型对上游污染团下泄的影响和下游水质变化进行分析和预警,并在合理范围内指导闸控调度,从而降低下游断面的冲击负荷,提高河道水质恢复能力。2021 年 4 月 8 日—21 日干流水闸闸前水位及上下游氨氮质量浓度变化见图 3。

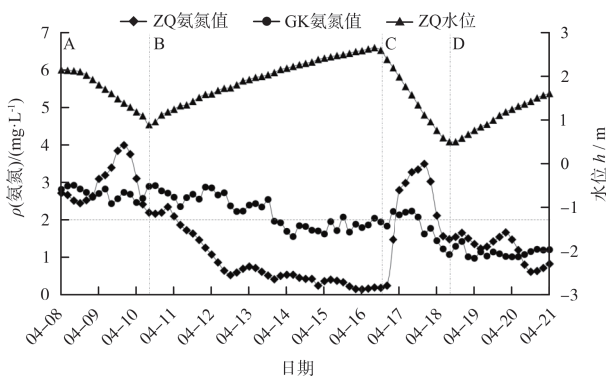


图 3 闸前水位及水闸上下游氨氮值变化

Fig. 3 Water level in front of the gate and changes of $\text{NH}_3\text{-N}$ in upstream and downstream of water sluice gate

由图 3 可见,系统分析 AB 时段内 ZQ、GK 两个断面氨氮均超出地表 V 类水标准且质量浓度相近,ZQ 断面有持续上升趋势,进而发出 GK 断面水质持续恶化的预警。指导通过开启水闸将上游污染团快速下移,再利用 BC 时段关闸存蓄的城镇污水厂尾水以降低上游氨氮质量浓度;C 时点开启水闸,大量低浓度水下泄,快速恢复 GK 断面水质。系统的精准分析与预警,促进了水闸前后水质水量的优化管控,最大限度减少上游污染团带来的冲击波动,为上游的源头治理赢得时间。

4 结语

水污染物通量在线监测系统将分属于不同部门的水文和水质数据有机统一起来,实时连续监测河流污染物通量及支流的贡献占比,为掌握河流污染状况、厘清重点支流等提供有力的数据支撑。该

系统在数据库信息与用户间架起了一座桥梁,使各部门仅须安装一个 App,即可进行信息的浏览、查询和管理,实现信息共享。系统开发过程中,应注意应用模块与流域治理工作的紧密结合,同时须保证感知设备数据获取的准确性和连续性、软件平台的可靠性和可扩展性,以及与各类现有政务系统的有效对接,使系统在流域治理工作中发挥更大作用。

[参考文献]

- [1] 侯二虎,武贺,周庆伟,等. 河流入海通量在线监测方法及标准化工作探讨[J]. 标准科学,2018(10):80-84.
- [2] 郭朝臣,雷坤,李晓光,等. 2017—2020 年长江流域水体污染物通量时空变化特征分析[J]. 环境科学,2023(8):4279-4291.
- [3] 何锡君,孙英军,王贝,等. 浙江省出入太湖河道水量水质及污染物通量变化(2007—2019 年)[J]. 湖泊科学,2021,33(5):1425-1435.
- [4] 汪艳芳,武心嘉,戚晓明,等. 乐安河水体重金属出入河通量探究[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(4):60-63.
- [5] 李影,秦丽欢,雷秋良,等. 小流域农业面源污染监测断面设置与污染物通量估算研究进展[J]. 湖泊科学,2022,34(5):1413-1427.
- [6] 赵斌,吴献花,罗维佳,等. 柴河河道典型断面碳、氮、磷通量年季变化分析[J]. 玉溪师范学院学报,2012,28(12):21-25.
- [7] 郭志达.“互联网+”时代环境污染治理转型发展的问题与对策[J]. 环境监测管理与技术,2017,29(2):4-6.
- [8] 杨永俊,胡展铭,林忠胜,等. 基于在线监测的江河入海径流通量计算方法研究与应用——以辽河口为例[J]. 海洋环境科学,2020,39(5):804-808.
- [9] 聂青,陆小明,高鸣远,等. 太湖入湖污染物通量监测与计算方法研究[J]. 水利规划与设计,2020(7):45-49.
- [10] 李敏,纪映,陈鑫琪,等. 小流域水质预警系统构建研究[J]. 环境与发展,2021,33(3):152-156.
- [11] 金细波,黄树杰. 河流污染物通量在线监测关键技术问题研究[J]. 皮革制作与环保科技,2022,3(23):117-119.
- [12] 刘洋,李伟,田长涛. ADCP 河流流量测量应用实例分析[J]. 科技创新与应用,2018(13):170-171.
- [13] 刘运珊,简正美. 固定式雷达波在线流量监测系统在水文中的应用[J]. 水资源开发与管理,2020(12):71-75.
- [14] WEBB B W, PHILLIPS J M, WALLING D E, et al. Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS(R) programme[J]. Science of the Total Environment,1997,194/195:379-389.
- [15] 富国. 河流污染物通量估算方法分析(I)——时段通量估算方法比较分析[J]. 环境科学研究,2003,16(1):1-4.