

Research on the spatiotemporal differentiation characteristics and warning threshold of water environment risks in river basins

Lixian Chen

Zhaoqing Ecological Environment Monitoring Station, Zhaoqing, Guangdong, 526060, China

Abstract

As industrialization and urbanization continue to advance, the water environment in river basins is facing increasingly severe risk tests. This study takes typical watersheds as the object of investigation, constructs a water environment risk assessment index framework, and examines the temporal and spatial differentiation characteristics of water environment risks based on geographic information systems (GIS) and principal component analysis (PCA). Meanwhile, by combining the BP neural network model with historical monitoring data, a scientifically reasonable approach for setting warning thresholds is proposed. The water environment risk in the watershed presents a spatial differentiation pattern of “low upstream, high midstream, and fluctuating downstream”, and shows significant temporal heterogeneity during the wet and dry seasons. The proposed warning threshold model can efficiently identify high-risk areas, providing theoretical support and technical reference for the refined management of watershed water environment and risk warning.

Keywords

watershed management; Water environmental risks; Spatiotemporal differentiation; Warning threshold; BP neural network; GIS

流域水环境风险时空分异特征与预警阈值研究

陈丽娴

广东省肇庆生态环境监测站, 中国 · 广东 肇庆 526060

摘 要

在工业化及城镇化进程不断推进之际, 流域水环境正遭遇愈发严峻的风险考验。本研究以典型流域作为考察对象, 构建起水环境风险评价指标架构, 以地理信息系统 (GIS) 和主成分分析法 (PCA) 为基础, 审视了水环境风险的时间与空间分异特征。同时, 利用BP神经网络模型与历史监测数据相结合, 推出科学合理的预警阈值设定途径。流域水环境风险呈现“上游低、中游高、下游波动”的空间分异格局, 并在丰水期和枯水期表现出明显的时间异质性。提出的预警阈值模型可高效辨别高风险区域, 为流域水环境的精细化管理及风险预警提供理论支持与技术参照。

关键词

流域管理; 水环境风险; 时空分异; 预警阈值; BP神经网络; GIS

1 引言

伴随生态文明建设的逐步推进, 水环境安全作为重要目标纳入流域综合管理。受自然条件跟人类活动的双重扰动, 流域水环境的难题日益繁杂, 其风险特征呈现出明晰的时空分异特征, 传统的静态管理举措难以满足现代水环境治理期望。当前, 国内外在流域水环境研究多把重点放在污染源识别、水质模拟及治理对策等方面, 但对风险时空演化特点及预警阈值设置关注欠缺, 尤其在定量预警机制建设方面缺乏系统的钻研。因此, 开展对流域水环境风险时空分异及

预警阈值的研究, 不仅对加强流域治理的科学性和前瞻性有积极作用, 对国家水安全战略的贯彻落实具有现实意义。

2 研究区域与数据来源

以西江流域中下游区域为研究对象, 选取广西壮族自治区梧州市至广东省肇庆市段作为典型代表区域。该流域地跨广西壮族自治区与广东省, 此区域大量集聚着化工、造纸、电镀、制药及食品加工企业, 产业结构复杂状况较为明显, 农业面源污染问题突出, 水资源开发利用的程度偏高, 成为典型的工农业复合型高风险的流域。根据两省 (区) 生态环境厅的官方数据显示, 该区域工业废水排放总量约 9.09 亿吨/年, 农业面源污染强度达到中高水平, 年均施氮肥 38 万吨, 施磷肥 14 万吨, 远超全国平均的水平值。

【作者简介】陈丽娴 (1990–), 女, 中国广东郁南人, 本科, 工程师, 从事水环境监测研究。

为完整掌握该流域水环境风险属性,论文系统收集了2010—2022年间共计13年的水质监测数据,涵盖主要监测断面(如开封城上、古封、六都水厂上游、黄冈和永安等)中COD、氨氮、总磷、总氮等关键指标,监测频率为每月一次,数据完整性和连续性良好。还拿到了同期(2010、2015、2020年三个特定时间节点)的土地利用数据,由中国科学院资源环境科学数据中心处获取),并结合地级市人口密度、城镇化率、第二产业产值、工业园区分布等社会经济数据(来自《中国城市统计年鉴》)^[1]。

3 水环境风险评价体系构建

3.1 指标选取

为实现流域水环境风险的科学评价,于构建评价指标体系之际,借鉴了国际上通用的DPSIR模型框架(Driving forces-Pressures-State-Impact-Response),主要从“压力(P)—状态(S)—响应(R)”三个维度筛选核心指标,保证评价体系呈现系统性与可操作性。在“压力”维度中,选取了人口密度(人/km²)、工业废水排放量(万吨/年)、农业化肥施用强度(kg/hm²)等反映人类活动对水环境施加压力的指标;在“状态”维度,选取氨氮(NH₃-N)浓度(mg/L)、化学需氧量(COD, mg/L)、总磷(TP, mg/L)、总氮(TN, mg/L)等反映水体本底状况和污染物浓度的典型水质指标;在“响应”维度,则包括污水集中处理率(%)、环保投资强度(万元/km²)水资源开发利用效率(%)以及生态环境监管频次(次/年)等,体现着政府治理与社会响应能力。

3.2 权重确定

在进行多指标的水环境风险综合评价体系构建时,各指标重要性的差异十分显著,直接进行指标赋权易带进主观方面偏差。为提高评价的科学性与客观水平,在本文中采用了主成分分析法Principal Component Analysis, PCA),采用PCA对所选择的12项指标进行降维、提取权重^[2]。对原始数据做标准化处理工作,为消除量纲造成的影响,然后针对各指标间相关性展开分析,筛选出方差贡献率较高的主成分。在提取出来的前3个主成分里,解释方差的累计超过85%,呈现优良的代表性,借助主成分系数矩阵与原始变量相关系数进行转换,得出每一项指标的综合权重。

3.3 风险等级划分

完成风险综合得分的核算后,为生动表达不同区域水环境风险的等级差异,得对风险水平做分级处理。本文采用模糊隶属度函数法对综合得分结果进行等级划分,结合统计学分布特征与环境标准,划分出五级风险等级:若得分在0.00~0.20,判定为Ⅰ级极低风险,得分0.21~0.40的较低风险被归为Ⅱ级,若得分处于0.41~0.60,那么属于Ⅲ级中等风险,Ⅳ级所对应的是较高风险水平,得分区间为0.61~0.80,Ⅴ级定义为极高风险,其得分是0.81~1.00。通过构建S型隶属度函数曲线,分辨各区域风险得分的归属属性,兼顾

风险的连续特性与等级界限的清晰界定。在空间展示的实施过程中,借助GIS分级制图法,把各等级用不同色彩呈现,便于识别高风险区段。

4 时空分异特征分析

4.1 空间特征

为探究流域内水环境风险的空间分布特征,依靠ArcGIS 10.8平台,对2010—2022年各个年份的水环境风险等级开展空间可视化分析。运用IDW空间插值及栅格化制图手段,结合典型断面的综合风险分值,实施全流域的分区评估事宜。研究结果显示,流域水环境风险等级总体形成“上游低、中游高、下游波动”的空间分异模式^[3]。因上游区域人口分布的密度偏低,工业分布稀疏且分散,污染输入的强度不算大,风险等级多数处于Ⅰ级、Ⅱ级这种极低至较低的水平。而中游的部分区域由于城市化程度高,工业的集中程度甚高,水体自我净化功能出现下降,风险等级大多偏高态势,长时间维持在Ⅲ级到Ⅳ级,个别年份风险甚至飙至Ⅴ级。下游地方受工业、农业及航运污染风险跟潮汐回流的波及,风险等级展现出较大的波动起伏,少数年份受洪水、农田排灌影响,风险急剧地升高。

4.2 时间特征

为揭示水环境风险的时间变化规律,将年度划分为三种典型水文期:枯水期(1—3月、11—12月)、平水期(4—6月、10月)与丰水期(7—9月),并对2010—2022年各期的风险指数进行分类统计与对比分析。结果表明,水环境风险水平呈现显著的季节性波动情形。丰水期内降雨强度大、地表径流丰富,导致农田施肥残留、禽畜粪污、农村生活污水等面源污染物被大量冲刷入河,再配合部分城市区域雨污合流系统的溢流现象,引起污染瞬间猛增现象,引发风险指数明显提升;其中2013年、2020年这两年受强降雨现象影响,丰水期平均风险等级攀升一个等级。枯水期则由于水体流量低、稀释能力差,污染物浓度显著升高,特别是工业废水和生活污水排放未减的背景下,水质恶化的趋势十分显著,风险水平依旧处在较高的水准。

5 预警阈值设定方法

在流域水环境风险管理期间,设定预警阈值这一环节,是把评估结果转化为具体管理行动的关键。科学且合理的阈值设定可增进风险识别的精确性,也能增进环境管理的及时程度与前瞻能力^[4]。针对流域水环境问题体现出的复杂性及时空动态属性,本文整合成一套系统的预警阈值设定方法体系,借此实现水环境风险的分级管理及精准预警功能。

本研究把多源异构数据当作基础,一开始就建立了包含压力、状态、响应三大维度的风险指标体系,通过主成分分析法去除冗余成分、优化权重分布,最终构建起多维度风险指数的表征体系。基于这一基础,本文借助BP神经网络模型对历史数据加以训练,进而实现对未来风险等级的预

判。该模型把风险指标当作输入项,基于多层神经网络结构把握指标间的非线性关系态势,输出一个连贯的风险数值。因为BP神经网络拥有良好的自适应及泛化能力,可相对精准地模拟复杂环境系统风险的演化态势。

选定预警的阈值,重点是怎样对模型连续输出的风险值进行等级区间的若干划分。本文依据风险管理的实用需求而起始,把水环境风险分为五个级别:极微弱、较微弱、中等级、较强烈、极强烈,为让等级划分在科学与可操作上达标,本文舍去了依靠主观经验划分的做法,转而借助数据驱动的方法搭建阈值划分逻辑。具体流程包括模型输出值分布的剖析、置信度的测定、聚类分析以及分类性能的评估等环节,为保障划分标准在统计意义上具备合理性。

在开展模型输出值分布情况分析的阶段,研究借助概率密度函数估计、箱型图这类统计图形式来识别风险值的密集区域与突变点,为初步划定等级界限给予支撑。采用置信度评估体系,凭借模型对不同等级样本的分类确信水平,对等级间边界做进一步的优化处理,让划分不只是把风险数值的间距纳入考量,还包含有模型判断方面的稳定性。聚类分析方法可对样本在指标空间中的自然分布特征进行剖析,辨别或许存在的等级边界模糊地带,以此规避人为分段造成的错误判断与数据遗漏。

同时,顾及阈值划分在实际应用里的需求,本文又引入了ROC(受试者工作特征)曲线分析以及AUC(曲线下面积)相关评估指标,对各等级划分的分类精度与可分特征实施量化检验。通过比对不同划分策略下ROC曲线的样子,选定最恰当的风险等级边界节点,促使模型在保证高识别率的期间,也兼顾对误判率进行管控,以此实现风险等级划分在平衡与高效上的统一。

最终阈值划分方案形成完毕后,研究又把该内容嵌入整个风险预警系统里,使其在实时监测时可自动辨认当前的风险等级,若达到特定阈值,会触发相匹配的管理响应机制。基于模型驱动、凭借数据支撑的预警机制,有效提升了应对风险的时效水平,更为政府及管理部门提供了有实际效用的决策工具。

此外,为增强阈值设定方法的适应水平与长期适用效能,本文也纳入了阈值动态更新的相关机制。伴着时间的演进,流域的水环境状况也许会出现显著的变化,比如污染源

结构进行调整、生态修复措施加以实施,或者是气候变化等要素,都有影响风险评估模型预测精度的可能^[5]。研究主张在后续应用阶段里,要定期把最新监测数据相结合,对模型及阈值实施校准与优化,保证预警系统长久高效地运行。该方法系统性的体现是从数据获取开始,经模型预测,到阈值划分与应用,构建出一套全面的技术流程架构;科学性展现为采用多种统计与智能分析方法,确保阈值划分合理而可靠;其实用性体现为具备出色的扩展性与可嵌入性,可适配多种流域环境管理情形。

该途径不仅拓展了流域水环境风险管理的理论范畴,更为其他区域的相似研究给出了借鉴的方向。未来,伴随遥感、物联网及人工智能等技术不断发展,该方法也可跟多源数据融合技术和动态模拟工具相结合,进一步提高水环境预警系统的智能程度与前瞻能力,为生态文明的构建与流域治理现代化达成给予技术支撑。

6 结论

本文以流域整体视角为切入点,全面剖析了水环境风险在时空上的分异特性,创新性地构建起基于BP神经网络的预警阈值设定办法。研究成果表明:流域水环境风险呈现出显著的区域集中特征与季节变动特性,预警阈值模型可为流域水环境动态管理给予科学层面的支持。未来应进一步结合遥感、大数据等技术进行结合,实现水环境风险管理朝智能、精细、前瞻方向发展,为流域生态安全铸就坚实护盾。

参考文献

- [1] 王守文,郭蕊,王树斌.中国能源韧性与科技创新的协调演化及影响因素研究[J].中国软科学, 2025(1):208-224.
- [2] 李双双,刘青雯,何锦屏,等.湿球温度动态阈值法在秦岭南北降雪时空规律分析的适用性研究[J].冰川冻土, 2023, 45(5):1490-1500.
- [3] 鄢垚,夏既胜,王宇彤.云南金沙江流域城市建成区核心度与人居环境质量耦合关系分析[J].长江流域资源与环境, 2023(7).
- [4] 高超.时空大数据视角下建成环境对城市新兴交通出行的影响机理研究[D].长安大学,2024.
- [5] 穆月英,张精.环境友好型政策演进中粮食生产效率及分异特征研究——基于保护性耕作政策的验证[J].华东经济管理, 2024, 38(6):1-11.