引文格式：姜代炜,谭太恒,陈婉莹,等. 流域生态环境治理体系构建研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(3): 55-58. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.03.013

流域生态环境治理体系构建研究

——以南流江为例

姜代炜[1]，谭太恒[1]，陈婉莹[1]，唐长增[1]
（1. 广西壮族自治区自然资源信息中心，广西 南宁 530023）

摘　要：针对河流污染问题，以南流江为例，探讨了流域生态环境信息化治理体系构建方法。阐述了流域生态环境立体监测、三维实景重建、水质时空模拟与预警、信息服务拆分与聚合等关键技术，集成多源时空信息数据，科学布设环境防污设施，提供流域时空信息、水环境预警与污染决策支持服务，为管理者开发流域生态环境监管系统，为调查者开发污染源实时上报系统，建立全要素、全过程、全流域生态环境协同治理模式。该模式已推广至广西钦州江、九洲江流域。

关键词：流域生态环境；立体监测；三维实景；时空信息；协同治理
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）03-0055-04

Governance System Construction of Watershed Eco-environment: A Case Study of Nanliu River

JIANG Daiwei[1], TAN Taiheng[1], CHEN Wanying[1], TANG Changzeng[1]
(1. Natural Resources Information Center of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530023, China)

Abstract: Aiming at the problem of river pollution, taking Nanliu River as a pilot, we studied the informatization governance system construction method of watershed eco-environment. We described the key technologies such as tridimensional monitoring of watershed eco-environment, 3D real scene reconstruction, spatio-temporal simulation of water quality, separation and aggregation of information services, to lay out environmental anti-pollution facilities scientifically, and to provide spatio-temporal information, water environment warning and decision support services by integrating multi-source spatio-temporal information data, which also provided a watershed eco-environment supervision system for managers and a pollution source enforcement monitoring system for investigators in order to establish a whole-factor, whole-process and whole-regional collaborative governance model for watershed ecosystems. The model has been extended to Qinzhou River and Jiuzhou River in Guangxi.

Key words: watershed eco-environment, tridimensional monitoring, 3D real scene, spatio-temporal information, cooperative governance

生态环境监测是生态环境保护的基础，是生态文明建设的重要支撑[1]。近年来，随着位置服务[2-3]、边缘感知[4]、物联网[5-6]和云雾计算[7]等技术融合发展，生态环境监测正在向立体化、实时化、智能化方向发展[8-12]，生态环境监测支撑能力明显加强。当前生产、生活污水排放飙升，河流污染已成为生态环境治理的一个重要问题。针对该问题，相关部门开展了长江、黄河、珠江等七大流域的生态环境监测工作，组建了覆盖面广的稀疏水质站点监测体系[1]，建立了综合性较强的流域生态环境管理平台[13-17]，在水环境、水生态和水资源“三水共治”方面取得了较好的工作成效[18]。由于流域具有空间跨度大、监测时间持续长、污染来源复杂等特性，流域生态环境总体监测服务供给不足、支撑水平有待提高的局面没有改变[19]，在精准监控、科学预警与协同治理等方面还有进一步完善的空间。本文以广西南流江为例，开展流域生态环境治理体系建设，从时空信息角度构建流域生态环境监测、模拟、预警和治理的全链条技术栈，为流域生态环境监管赋能，提供可借鉴的中小流域生态环境治理经验。

1　流域生态环境治理体系建设

流域治理是区域统筹、部门合作、协同推进生态环境治理的重要场所，现代流域治理逐渐从单一要素向全要素、全过程、全流域协同治理模式转变。运用系统论思想，以水环境改善和水生态修复为目标，构建水污染整治、水资源利用和水生态保护有机结合的流域治理体系；以信息协同为纽带，理顺流域上下游与执法主体的衔接关系，推动流域治理由“九龙治水”向“系统治

收稿日期：2022-11-10。
项目来源：高分辨率对地观测系统重大专项省（自治区）域产业化应用项目（84-Y40G07-9001-15/18）；玉林市南流江流域污染防治三维地理信息系统资助项目（YLYLG20204013-YL）。
第一作者简介：姜代炜（1985—），硕士，高级工程师，主要研究方向为GIS研发，E-mail：1031635970@qq.com。

水”升维，形成“三水统筹”治理格局。

1）建立“天—空—地—人—网”流域立体监测技术手段。利用遥感、物联网、位置服务等技术手段进行全流域要素监测，获取水色、水温、pH值、总磷、总氮、蓝绿藻等水环境、水生态参量信息。

2）建立水生态健康和水环境总量控制评价指标。评估流域水生态承载力，确立水环境质量基准指标，明晰污染削减与水环境总量控制的关系。

3）建立水循环时空模拟和水环境风险预警系统。空间识别重点风险源，对水环境进行时空模拟和风险预警，为日常监管、依法查处水污染提供支持。

4）建立流域点面污染源防治和水生态修复耦合的多元治理模式。划分流域生态功能区，优化生产生活空间布局，重点开展流域工业污染控制、农业面源治理和生物技术工程，系统性修复水生态。

2 总体思路

南流江流经玉林、钦州、北海3市6县，是广西南部独流入海河流中流程最长、流域面积最广、水量最丰富的河流[20]，需要综合考虑治理主体、治理对象、治理工具与治理过程之间的有机联系，以时空信息流贯通立体监测、精细管理、预报预警和协同治理全过程，形成流域生态环境治理闭环，南流江流域生态环境信息化治理思路为：

1）扩充现有监测装备，立体监测流域生态环境，集成基础地理信息、水文水质、污染源等数据，构建流域时空信息数据库，重建流域三维实景，提供多维度时空信息服务，解决“数出多门”“标准不一”“难以共享”等问题，实现流域信息的统一存储、统一管理、统一应用和统一展示。

2）结合多源时空信息，通过流域水污染总量控制指标对污染源、水环境容量和水环境风险等进行时空分析，构建多模态水质时空演化模型，计算水环境的纳污承载力，以GIS可视化手段提供点面源污染分析、水质预报预警和环境治理决策等服务。

3）开发边缘端应用系统，为管理者提供流域环境直观展现、水环境质量精准预测、生态环境科学决策的管理系统，为调查者提供污染源精确发现、环境污染事件查处的监察系统，协同开展流域生态环境治理工作，构建全流域生态环境治理体系。南流江生态环境治理系统总体架构见图1。

3 关键技术

3.1 多层次立体监测

扩充现有装备，合理布设流域防污设施，构建立体监测体系，多层次采集流域治理对象信息，整体掌握流域水资源分布、污染源情况等。

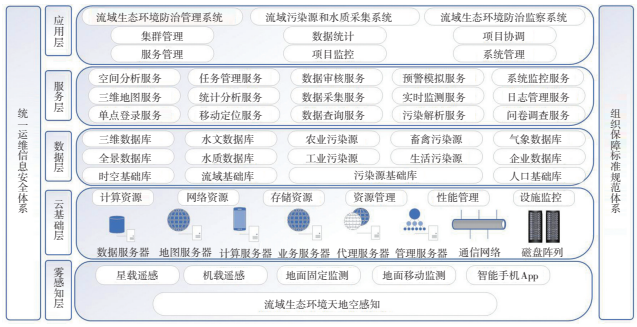


图1 南流江生态环境治理系统总体架构

1）建立星载遥感、机载遥感、地面自动监测站和和移动监测设备等多层次立体监测体系，大范围获取国产高分辨率遥感影像，中范围获取无人机航空影像，小范围获取水文、水质和污染源数据，兼顾周期性、应急性和实时性监测，通过有线或无线网络数据传输，将流域治理对象纳入到整体监测视野中（表1）。

表1 南流江生态环境监测方式

数据来源	监测方式	主要监测内容	传输方式
空天监测	星载遥感、机载遥感	地形地貌、叶绿素、悬浮物、有色有机物、透明度、营养状态指数等	天基卫星网络+物联网+GNSS
地面监测	水质监测站、排污口终端等	pH值、水温、溶解氧、电导率、浊度、氨氮、总磷、总氮、重金属、蓝绿藻等	互联网+物联网+以太网+GNSS
人工监测	便携式监测仪、移动监测船	水质样本、工业废水排放企业、污水处理企业、垃圾处理站、畜禽养殖等	移动网络+物联网+以太网+GNSS

2）使用空间分析方法合理布设自动监测站、污水处理厂和垃圾处理站等防污设施，划定流域畜禽限养区、农药化肥严管区，在密集养殖区建立粪污集中处理中心，提供高精度、定量化的产品服务。

3）规范数据采集、加工和建库流程，构建流域时空数据库，实现多源时空数据的有效整编。其中，App采集端重点调查工业废水、生活污水和畜禽养殖等信息，质量合格后传入污染源数据库中。

3.2 多维度流域对象精细管理

集成基础地理信息、水文水质和污染源等数据，阐释多类型时空数据的语义关联和时空尺度约束关系[21]，为流域生态环境精确画像（图2）。

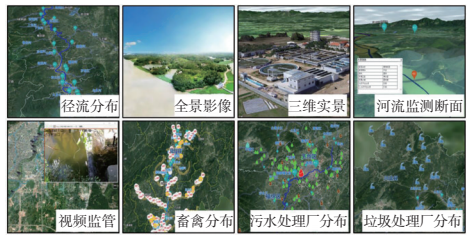


图2 南流江多维度精细管理

1）利用基础地理信息构建地形级、对象级流域管理单元；基于空间数据组织，解决数据规模过大引起的图形冲突、属性不一致和版本迭代等问题；基于空间数据索引，以流数据的方式进行网络传输，采用多级网格模型重建南流江三维实景。

2）顾及自动监测站的空间表达需要，对物联网设备进行识别和认证，通过控制层、传输层汇聚至三维实景，“一张图”展示联网监测终端，实现对物联网终端的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。

3）针对重点目标、重大污染源，开展全景影像、倾斜摄影测量工作，以二三维一体化方式展示重要河段、防污设施和畜禽养殖等信息，提供点面源污染分析、水质预报预警和环境治理决策等服务。

3.3　多模态水质时空模拟与预警

为描述水体中污染物随时间、空间的运动变化规律，国内外学者利用河流水文、流体动力学等理论进行了大量水质模型研究工作[22]（表2），并应用于水质模拟评价、预报预警等领域，随着实时监测数据的丰富、空间并行计算能力的增强，以Delft3D、SWAT为代表的空间插值方法弥补了传统水质模型的缺陷[23-26]，较大程度地提升了污染物组分的时空计算精度。

表2　常用水质模型

模型	适用范围	污染物类型	模型特点
S-P	河流	BOD、DO等	一维模型，不适用复杂水域
QUAL	河流	BOD、DO、氮、磷	一维模型，适用于点面源分析
QUASAR	河流	BOD、DO、氨氮	一维模型，适用于大型河流
WASP	河流、湖库	BOD、DO、氨氮、氮磷、硝酸盐等	多维模型，能与其他模型结合
MIKE	河流、湖泊	BOD、DO、水温、细菌、氮磷、藻类	多维模型，适用于复杂水域
流体动力学	河流、湖泊	COD、氨氮、磷等	通用性好，实用性强，模拟精度高

1）根据《第一次全国污染源普查工作手册》的相关标准，换算工业废水、生活污水、畜禽养殖和农业面源等污染系数，建立南流江水污染总量控制指标体系。

2）结合地形因子、水文因子、气候因子和实时监测数据等，采用空间插值构建多模态水质时空演化模型，核算水环境容量和纳污承载力，以时空演化的视角模拟流域污染物的空间分布、历史过程和演变趋势等，识别优先管控的河段和污染因子，进行水质污染溯源分析，为监管者制定环境风险评估、治理决策和污染事故处突方案，提供水环境预警与决策支持服务。

3）建立污染实时发现、信息上传下达、任务快速执行和治理全程监督的协同工作机制，当系统触发水污染预警时，能及时地将相关信息传递给执法人员，执法人员依法查处环境污染事件。南流江水污染精准治理应用见图3。

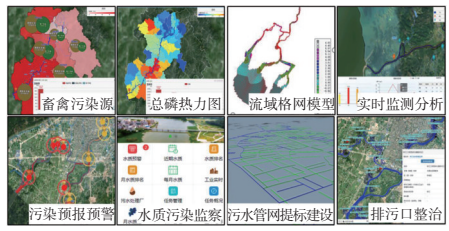


图3　南流江水污染精准治理

3.4　多类型信息服务切分与聚合

为满足多维度、多场景和多功能的应用需求，采用微服务架构对流域信息服务进行拆分与聚合（图4），提高信息服务的利用率和整体质量。

1）在服务端将大型单体应用切分为细粒度、灵活组装的服务，服务间通过轻量级通信机制相互协作，利用“天地图·广西”地理信息服务引擎进行信息服务发布，根据信息服务访问的多寡动态调整计算资源，扩充单个微服务集群的规模，不会因单一数据或功能失灵而导致系统整体宕机。

2）在边缘端按业务需求调用信息服务，将分散、简单的细粒度服务聚合成复杂、具有新功能的信息服务，灵活组装应用系统，即便有新的信息服务需求，也能反馈给服务端开发新的服务，系统能从服务链中挑选可用信息服务，保障应用层业务的连续性。

4　实践效果

通过应用生态环境管理系统、微信版污染防治监察系统、污染源和水质采集系统App等，工作人员共采集相关企业231家，畜禽养殖点26 129个，在40条干支流设置监控点位110个，全面掌握流域水质变化、污染排放和治理情况。系统一旦触发水污染预警，立即锁定污染源范围，派出水污染防治攻坚队伍协同作战，依法查处污水、养殖场乱建等环境违法行为。

南流江横塘国家考核断面水质从2018年年初的劣Ⅴ类提升至2019年12月的Ⅲ类，水质持续好转，110个自动监测站点中江口大桥近4年来平均水质断面监测情况见表3，各项指标均在Ⅰ～Ⅲ类之间。

表3　近4年江口大桥水质断面监测情况表

年份	pH值	溶解氧	高锰酸钾	氨氮	总磷
2019	7.75	6.96	1.29	0.04	0.12
2020	7.37	8.19	3.37	0.11	0.17
2021	7.18	7.58	3.53	0.05	0.15
2022	7.16	7.65	4.23	0.13	0.16

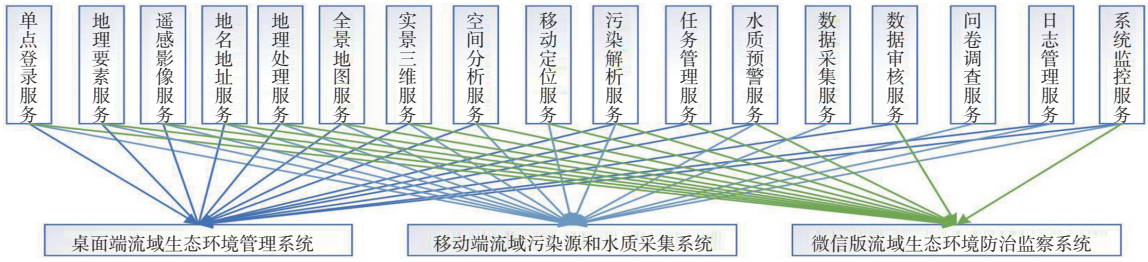


图4 系统信息服务切分与聚合示意图

5 结 语

为较好地配合南流江生态环境治理工程，通过南流江生态环境治理系统建立区、市、县、乡4级协同机制，对流域生态环境进行精细管理，建立了一批污水处理厂、养殖废弃物收运合作社和有机肥加工厂，整体治理效果明显提升。该模式已推广至广西钦州江、九洲江流域。同时，流域生态环境治理是一项长期任务，更是一项复杂的系统工程，需要多方面着手才能治本清源。

1）对工业废水排放严重的企业进行重点整治，提高工业废水处理设备的使用率，安装环保部门规定的在线联网水污染物自动监测设备，严查私设排污口、超标排放物的环境违法行为。

2）对城镇污水处理厂进行提标改造，提高污水处理厂进水量，提升污水处理厂运行负荷率，减少城镇径流污染物的排放量。

3）划定流域畜禽禁养区和限养区，杜绝粪污和沼液直排现象，对传统养殖场进行生态养殖模式改造，在密集养殖区建立粪污集中处理中心，将粪污转化为有机粪肥，提高流域畜禽粪污综合利用率。

4）开展农业面源污染防治工程，划定农药化肥严管区，建设初排径流水回用系统、水田生态沟渠和面源拦截生态沟，推广有机肥和生态农药的使用。

参考文献

[1] 生态环境部.“十四五”生态环境监测规划[S].

[2] 龚健雅,黄文哲,陈泽强,等.全球位置信息叠加协议与位置服务网技术研究进展与展望[J].地球信息科学学报,2022,24(1):2-16

[3] 闵士权.国之重器出版工程天地一体化信息网络[M].北京:电子工业出版社,2021

[4] 徐恩庆,董恩然.云计算与边缘计算协同发展的探索与实践[J].通信世界,2019(9):46-47

[5] [美]William Stallings.现代网络技术SDN、NFV、QoE、物联网和云计算[M].胡超,等译.北京:机械工业出版社,2021

[6] 袁武彬,廖明.基于物联网技术的鄱阳湖生态监测服务研究[J].地理空间信息,2020,18(2):24-27

[7] 李磊.云雾计算系统中任务调度与计算资源分配优化关键技术研究[D].广州:华南理工大学,2020

[8] 王权,尤淑撑.陆地卫星遥感监测体系及应用前景[J].测绘学报,2022,51(4):534-543

[9] 吴琳琳,侯嵩,孙善伟,等.水生态环境物联网智慧监测技术发展及应用[J].中国环境监测,2022,38(1):211-221

[10] 张万顺,王浩.流域水环境水生态智慧化管理云平台及应用[J].水利学报,2021,52(2):142-149

[11] 刘文清,杨靖文,桂华侨,等.“互联网+”智慧环保生态环境多元感知体系发展研究[J].中国工程科学,2018,20(2):111-119

[12] 汪先锋.生态环境大数据[M].北京:中国环境出版集团,2020

[13] 刘柏音,王维,刘孝富,等.长江流域水环境监测与智慧化管理策略[J].中国环境监测,2022,38(1):222-229

[14] 王家耀,秦奋,郭建忠.建设黄河“智能大脑”服务流域生态保护和高质量发展[J].测绘通报,2021(10):1-8

[15] 甘郝新,王之龙.流域水利一张图设计与实现[J].人民珠江,2021,42(12):137-142

[16] 马蕴洁,李贺.大数据在太湖流域生态环境治理中的应用[J].中国资源综合利用,2021,39(1):36-39

[17] 田恬,李红华,郭晓,等.松花江流域水污染防治规划决策支持系统构建与应用[J].环境保护,2016,44(21):63-66

[18] 生态环境部.2021中国生态环境状态公报[R].

[19] 生态环境部.生态环境监测规划纲要(2020—2035年)[S].

[20] 胡波,罗小莹.GIS在南流江流域水体污染防治规划中的应用[J].南宁师范大学学报(自然科学版),2019,36(4):71-75

[21] 殷红梅.空间尺度与语义尺度联合控制下的地理国情地图综合[D].武汉:武汉大学,2019

[22] 申明.流域水环境遥感监测模型研究[D].北京:中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所),2018

[23] 李茜,张鹏,彭福利,等.国家水环境质量预报预警研究进展及业务发展思路[J].中国环境监测,2019,35(1):8-16

[24] 黄彤辉,夏瑞,后希康,等.GIS和RS技术应用于流域水生生物时空分析的研究进展[J].环境科学研究,2021,34(11):2 674-2 685

[25] 李翔宇,李墨,包艳英,等.基于反距离加权插值法评价海域水质类别空间分布[J].中国环境监测,2019,35(6):70-77

[26] 李强.基于Web GIS的水环境监测预警系统研究:以清溪河为例[D].郑州:郑州大学,2016