

铵态氮在前段单元中快速下降,削减比例接近40%,中后段通过硝化与反硝化过程进一步转化,使硝态氮浓度由12 mg/L降至4 mg/L左右。在水力停留时间为36~72 h条件下,单位面积总氮削减负荷达到1.2~2.0 g/(m²·d)。当进水氮负荷短期升高至40 mg/L时,系统仍可维持60%左右的削减水平,出水氮浓度波动幅度控制在±3 mg/L以内,反映出复合结构对氮素去除过程的良好适应性。

5.2 系统对磷污染物迁移转化与削减能力分析

复合型人工湿地系统在磷污染物控制方面主要依赖吸附、沉积与生物同化过程。进水总磷浓度一般处于1.5~3.5 mg/L区间,出水浓度可稳定在0.4~1.0 mg/L范围,总体削减率为60%~80%。颗粒态磷在前段单元中通过沉降作用实现约30%的削减,溶解性磷在潜流单元中与填料表面发生吸附反应,削减比例达到25%~35%。植物生长旺盛阶段,生物吸收贡献约占总削减量的10%~15%。连续运行200 d后,系统对磷的削减能力下降幅度小于10%,单位体积磷削减负荷维持在0.08~0.15 g/(m³·d),显示复合湿地在磷控制方面具备较好的持续性^[4]。

5.3 湿地组合结构对氮磷协同削减的影响

不同湿地单元的组合结构对氮磷协同削减效果具有显著影响。表流与潜流湿地串联条件下,总氮与总磷同步削减率可达到65%和72%,较单一潜流湿地分别提高约15%和18%。当系统采用三段式组合结构时,氮磷协同削减效率进一步提升,出水总氮与总磷浓度稳定低于10 mg/L和0.8 mg/L。水力停留时间在48 h左右时,氮磷削减效率达到相对高值,延长至72 h后提升幅度趋缓。复合结构通过调节氧化还原环境分布,使硝化、反硝化与磷吸附过程在不同空间单元内顺序发生,从而形成较为稳定的协同削减机制。

6 复合型人工湿地系统削减效果的综合评价与影响因素

6.1 不同污染物削减效率的综合对比分析

从系统整体运行结果看,复合型人工湿地对不同类别污染物的削减效果存在明显差异,有机污染物削减水平整体高于营养盐类污染物,颗粒态污染物高于溶解态污染物。在相同运行周期内,COD削减率长期保持在70%以上,总氮削减率集中分布在55%~75%区间,总磷削减率多处于60%~80%范围,悬浮物削减率普遍超过80%。不同污染物在系统中的削减路径与控制环节存在差别,有机污染物主要依赖生物降解与吸附过程,氮素削减受限于硝化反硝化环境配置,磷削减则对填料性质与沉积条件依赖程度较高。综合对比表明,复合结构通过多单元协同作用,在污染物削减的广度与深度方面均优于单一湿地形式,有助于实现多类污染物的同步控制。

6.2 水力负荷与停留时间对削减效果的影响

水力负荷与停留时间是影响复合型人工湿地削减效果的关键运行因素。水力负荷在0.2~0.35 m³/(m²·d)范围内变化时,系统对有机污染物与营养盐的削减效率呈现缓慢下降趋势,过高负荷条件下易出现水流短路现象,降低污染物与介质的接触效率。停留时间在36~60 h区间内,系统削减效果相对稳定,COD与总氮出水浓度波动幅度较小,当停留时间压缩至24 h以下时,部分污染物去除不完全,出水指标出现上升。延长停留时间至72 h以上,削减效率提升幅度趋于平缓,单位处理能力下降。合理匹配水力负荷与停留时间,有助于在保证处理效果的同时维持系统运行效率。

6.3 系统运行稳定性与长期削减能力评价

在连续运行条件下,复合型人工湿地系统表现出较好的运行稳定性与长期削减能力。运行周期超过300 d后,有机污染物与氮磷削减率下降幅度控制在10%以内,出水水质整体保持稳定。季节温度变化对系统削减能力产生一定影响,但通过复合结构的缓冲作用,削减效果波动幅度明显小于单一湿地系统。填料性能衰减主要体现在磷吸附能力下降,但对有机污染物与氮素去除影响相对有限。植物生长更新过程为系统提供持续的生物调节功能,有助于维持微生物活性。综合评价表明,复合型人工湿地在长期运行条件下具备较强的抗扰动能力和持续削减潜力,适用于稳定性要求较高的水环境治理场景。

7 结语

复合型人工湿地系统通过多类型湿地单元的合理组合与运行参数的协同调控,形成了多过程耦合的污染物削减体系。在连续运行条件下,该系统对有机污染物、氮磷营养盐及悬浮物均表现出较为稳定的削减能力,能够有效缓解单一湿地结构在处理深度与运行适应性方面的限制。研究结果表明,系统结构配置、水力条件与长期运行管理对削减效果具有决定性影响。通过优化湿地单元组合方式与运行控制策略,复合型人工湿地可在保障处理效率的同时提升运行稳定性,为水环境治理提供具有实践价值的技术路径。

参考文献

- [1] 肖云.复合型人工湿地在污水处理厂尾水深度处理中的应用[J].清洗世界,2023,39(11):127-129.
- [2] 孙俊楠.复合型人工湿地在北方河流水体净化中的设计与应用[J].给水排水,2020,56(S1):273-276.
- [3] 刘晶,陈新永,姜甜甜,李洪波,田在锋.复合型人工湿地在河流治理中的应用[J].安徽农业科学,2020,48(11):210-212.
- [4] 叶振坤,陈晓林,赵培爵,郭银杰,王伟.复合型人工湿地系统设计及其处理技术开发[J].山西建筑,2020,46(01):151-153.

Research on the Transformation and Capability Enhancement of Environmental Monitoring Technology in the Context of Smart Environmental Protection

Jiamin Zhu

Foshan Zhonghuan Environmental Testing Center, Foshan, Guangdong, 528000, China

Abstract

Against the backdrop of the continuous deepening of ecological civilization development and the accelerated advancement of digital governance systems, environmental monitoring, as a critical technical support for ecological and environmental management, is facing pressing demands to transform from traditional modes to intelligent ones. The concept of smart environmental protection has driven environmental monitoring to evolve from single-factor observation, discrete monitoring points, and ex post evaluation toward multi-source collaboration, full-process sensing, and dynamic analysis, placing higher requirements on monitoring technology systems and capability structures. Focusing on the transformation of environmental monitoring technologies and the enhancement of monitoring capabilities under the smart environmental protection framework, this paper conducts a systematic analysis from the perspectives of the contemporary background, technological system evolution, identification of key capability shortcomings, and pathways for comprehensive capacity improvement. Particular attention is given to the functional mechanisms of multi-source sensing, data integration, intelligent analysis, and business process restructuring in environmental monitoring, with the aim of providing theoretical support and practical references for advancing technological upgrading and strengthening the role of environmental monitoring in supporting the modernization of ecological environmental governance.

Keywords

Smart environmental protection; Environmental monitoring technology; Technological transformation; Monitoring capability; Ecological governance

智慧环保背景下环境监测技术转型与能力提升研究

朱嘉敏

佛山市中环环境检测中心, 中国·广东 佛山 528000

摘要

在生态文明建设持续深化和数字化治理体系加快推进的背景下, 环境监测作为生态环境管理的重要技术支撑, 正面临由传统模式向智慧化模式转型的现实要求。智慧环保理念的提出, 使环境监测从单一要素、离散点位和事后评价逐步转向多源协同、全过程感知和动态分析, 对监测技术体系和能力结构提出了更高标准。本文围绕智慧环保背景下环境监测技术转型与能力提升问题, 从时代背景、技术体系演进、能力短板识别以及综合能力提升路径等方面展开系统分析, 重点探讨多源感知、数据集成、智能分析与业务流程重构在环境监测中的作用机理, 旨在为推动环境监测技术升级、提升监测支撑生态环境治理现代化的能力提供理论依据和实践参考。

关键词

智慧环保; 环境监测技术; 技术转型; 监测能力; 生态治理

1 引言

随着生态环境治理体系不断完善, 环境问题呈现出结构复杂化、风险隐蔽化和影响区域化等特征, 传统以人工采样和定期监测为主的环境监测模式已难以满足精细化监管和科学决策的现实需求。在此背景下, 智慧环保理念应运而生

生, 通过融合信息技术与环境管理实践, 为环境监测技术转型提供了重要方向。环境监测不再局限于数据获取层面, 而是逐步向感知、分析、研判和支撑决策等综合能力延伸。如何在智慧环保框架下重构环境监测技术体系、补齐能力短板、提升监测结果对生态环境治理的支撑效能, 已成为当前环境管理领域亟需研究的重要课题。围绕这一问题展开系统探讨, 对于推动环境监测技术高质量发展、提升生态环境治理现代化水平具有现实意义。

【作者简介】朱嘉敏(1986—), 女, 中国广东人, 硕士, 工程师, 从事生态环境监测技术发展与管理、生态环境管理与咨询研究。

2 智慧环保背景下环境监测技术转型的时代背景

2.1 生态环境治理现代化对监测技术提出的新要求

生态环境治理进入系统化、法治化和精细化并行推进的新阶段，对环境监测的功能定位和技术能力提出了更高层次的要求。环境监测不再局限于污染物浓度的静态获取，而是被赋予支撑监管执法、风险研判和治理评估的重要职责。这一转变要求监测技术具备连续感知、动态跟踪和综合分析能力，能够真实反映环境质量变化过程和污染演变趋势。同时，治理目标从末端达标控制转向全过程管理，促使监测技术向多要素协同、多尺度覆盖和多场景适配方向延伸。监测结果的时效性、完整性和可解释性成为衡量技术水平的重要标准，推动环境监测技术体系加快向智慧化和集成化方向升级。

2.2 环境风险精细化管控对监测能力结构的实施作用

环境风险呈现出来源多样、传播路径复杂和影响范围扩大的特征，对环境监测能力结构形成持续性压力。风险管控强调对潜在问题的提前识别和过程预警，这要求监测体系能够覆盖重点区域、关键环节和敏感要素，实现对异常变化的快速捕捉。在此背景下，单一指标监测已难以满足风险识别需求，监测能力结构需要向综合感知、关联分析和趋势判断转变。监测数据不仅用于描述环境现状，更需要服务于风险分级、管控措施制定和效果评估。风险导向的管理逻辑推动监测能力从以采样分析为主转向以信息获取和决策支撑并重的复合型结构^[1]。

3 智慧环保框架下环境监测技术体系的转型方向

3.1 多源感知与自动化监测技术体系的构建方向

在智慧环保框架下，环境监测技术体系呈现出由单点采样向多源感知转变的发展趋势。固定站点监测、移动监测和遥感监测等技术手段逐步形成互补关系，共同构建覆盖广泛、层次清晰的感知网络。自动化监测设备的应用，使数据获取过程更加稳定和连续，有效降低人为因素对监测结果的影响。多源感知体系强调不同技术手段之间的信息协同，通过空间互补和时间衔接提升环境信息获取的完整性，为后续分析和决策提供可靠基础^[2]。

3.2 监测数据集成与智能分析技术的演进路径

环境监测数据类型和规模的快速增长，对数据处理和利用方式提出了新的要求。监测数据逐步由分散管理转向集中整合，通过统一的数据架构实现跨区域、跨要素的协同应用。在此过程中，数据分析由简单统计向关联分析和趋势研判转变，数据价值从结果呈现延伸至决策支撑。智能分析技术的引入，使监测数据能够服务于污染溯源、变化识别和风险研判等复杂任务，推动环境监测由数据生产环节向信息服务环节拓展。

3.3 环境监测业务流程的数字化与平台化转型

智慧环保背景下，环境监测业务流程不断向数字化和平台化方向演进。监测任务管理、数据采集、质量控制和成果应用等环节逐步实现在线化和协同化，打破传统流程中信息分散和衔接不畅的问题。平台化运行模式强化了监测业务的规范性和透明度，使技术运行状态和数据流转过程更加可控。通过流程重构，环境监测从以单项任务完成为目标，转向以整体运行效率和支撑能力提升为导向，为智慧环保体系稳定运行提供重要保障。

4 环境监测技术转型过程中面临的关键能力短板

4.1 监测技术协同应用能力不足的问题表现

在环境监测技术由单一手段向多元化体系转型的过程中，监测技术之间协同应用能力不足的问题逐步显现。固定站点监测、移动监测和遥感监测在实际运行中多以独立系统存在，技术接口和数据格式缺乏统一规范，造成信息整合难度较大。以空气环境监测为例，常规自动站点小时数据完整率普遍达到98%以上，而移动监测设备受运行条件限制，日均有效数据完整率约为75%，两类数据在时间连续性和空间覆盖上的差异明显，难以形成有效互补。在水环境监测中，在线监测设备覆盖率约为60%至70%，人工采样点位仍占较大比例，不同技术手段在任务分工和结果应用上缺乏协同设计，导致综合分析效率偏低^[3]。协同应用能力不足使多源监测优势未能充分释放，制约了环境监测技术转型的整体成效。

4.2 数据质量控制与结果可信度保障能力不足

随着自动化和连续监测设备的大量应用，数据规模快速增长，但数据质量控制能力未能同步提升。部分监测设备长期连续运行，校准和维护周期偏长，设备漂移和老化问题逐渐累积。相关运行统计表明，部分水质在线监测仪在连续运行9个月后，关键参数偏差率可达到10%以上，若未及时校正，将直接影响监测结果的准确性。在空气自动监测中，异常值和缺测数据占比在部分站点仍高于5%，对趋势分析和评价结论产生干扰。同时，不同监测系统在质量控制标准和审核规则上存在差异，数据一致性和可比性不足，削弱了结果的公信力。数据质量控制能力不足，使监测结果在支撑监管执法和决策评估时面临可信度挑战。

4.3 技术转型与管理机制衔接不畅的现实约束

环境监测技术转型不仅是技术问题，也受到管理机制适配程度的制约。在部分地区，监测管理制度仍以传统人工监测模式为基础，对自动化和信息化技术的应用缺乏针对性规范，导致技术运行与管理要求之间存在脱节现象。以人员配置为例，某些监测机构中信息化技术岗位人员占比不足15%，难以支撑复杂系统的长期运行维护。经费投入结构也存在不匹配问题，部分项目中设备采购费用占总投入的

70%以上,而运行维护和数据管理经费占比不足30%,影响系统稳定性。同时,绩效考核指标仍以任务完成量为主,对数据质量和综合应用成效关注不足,限制了技术转型潜力的发挥。管理机制与技术发展节奏不协调,成为制约环境监测能力提升的重要现实因素^[4]。

5 智慧环保背景下环境监测综合能力提升的实现路径

5.1 面向智慧监管需求的监测技术能力重构

在智慧环保背景下,环境监管方式由事后处置逐步转向过程管控和风险预警,对环境监测技术能力结构提出了系统性重构要求。监测技术能力重构应围绕监管需求展开,从单一要素监测向多要素协同感知转变,从阶段性监测向连续性监测延伸,使监测结果能够真实反映环境质量变化过程。通过优化监测点位布局和技术组合方式,实现对重点区域、重点行业和关键时段的精准覆盖,提升监测体系对异常变化的响应能力。同时,监测技术应强化对监管业务的支撑功能,使数据获取、分析和反馈形成闭环运行机制,确保监测成果能够直接服务于执法监管、风险研判和治理评估。以监管需求为导向推进监测技术能力重构,有助于提升环境监测在智慧环保体系中的基础性和支撑性作用。

5.2 以数据价值挖掘为核心的分析与应用能力提升

在环境监测数据规模持续扩大的背景下,综合能力提升的关键在于数据价值的深度挖掘和有效应用。环境监测数据不应停留在指标统计和结果发布层面,而应向趋势分析、关联识别和综合研判拓展。通过整合不同时间尺度和空间尺度的数据资源,强化对环境变化规律和污染演变特征的系统分析,提高监测结果的解释能力和应用深度。数据分析能力的提升还体现在服务决策层面的延伸,使监测数据能够为监管重点确定、治理措施调整和效果评估提供依据。围绕数据全生命周期管理,加强数据整理、分析和成果转化,有助于推动环境监测由数据采集导向向价值创造导向转变,显著提升智慧环保运行效能。

5.3 监测技术转型与制度规范协同推进机制构建

环境监测技术转型的顺利实施,离不开制度规范的同步完善和协同推进。制度层面需要围绕新型监测技术应用特点,对监测流程、质量控制和成果应用等环节进行系统梳理,使技术运行有章可循。通过完善技术标准和管理规范,增强不同监测手段之间的衔接性和可比性,保障监测结果在监管和决策中的权威性。同时,应在管理机制中强化对技术应用成效的评价,引导资源配置向运行维护和能力建设倾斜。技

术转型与制度规范的协同推进,有助于形成稳定、高效的环境监测运行体系,为智慧环保长期实施提供制度保障。

5.4 面向智慧环保目标的环境监测能力持续优化路径

在智慧环保长期推进过程中,环境监测能力提升不应局限于阶段性技术升级,而应形成可持续优化的运行路径。监测能力持续优化需要围绕生态环境治理目标变化进行动态调整,使监测体系具备自我适应和持续改进能力。通过对监测数据长期积累和应用成效的系统评估,及时发现监测布局、技术配置和业务流程中存在的薄弱环节,推动监测能力结构不断迭代完善。与此同时,应强化环境监测与治理实践之间的反馈联动,使监测结果能够反向引导技术选型和能力建设方向,避免技术投入与实际需求脱节。持续优化路径还体现在对新型环境问题和复合风险的响应能力提升,使环境监测在面对污染形态变化和治理要求提升时,能够保持稳定支撑作用^[5]。通过构建以目标导向、问题导向和应用导向相结合的能力优化机制,环境监测综合能力可在智慧环保体系中实现长期、稳健的发展,为生态环境治理高质量推进提供持续保障。

6 结语

在智慧环保持续推进的背景下,环境监测已成为支撑生态环境治理现代化的重要基础能力。环境监测技术的转型不仅体现为技术手段的更新,更体现为监测理念、能力结构和运行机制的系统重塑。通过推进多源感知体系建设、强化数据分析与应用能力、完善技术与制度协同机制,环境监测在风险识别、监管支撑和决策服务中的作用将不断增强。持续提升环境监测综合能力,有助于提高生态环境治理的科学性和精准性,为智慧环保体系稳定运行和高质量发展提供坚实技术保障。

参考文献

- [1] 王阳,胡美臣,邓璐帆,白威,钟奇峰,邓良宇,付洋.基于物联网技术的智慧农业灌溉系统的设计与实现[J].南方农机,2025,56(23):46-49.
- [2] 张国平.智慧工地环境监测技术的案例分析及经验借鉴[J].居业,2025,(10):127-129.
- [3] 钟华瑶,周训宇,杨昭.环境监测技术在县域生态管理中的应用路径研究[J].环境与生活,2025,(10):86-89.
- [4] 周莉娟.移动式环境监测技术在智慧环保中的应用与实践研究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(15):143-145.
- [5] 徐勇航,曹兴芹.基于MQTT协议的智慧农业培养室土壤监测系统的设计[J].物联网技术,2025,15(12):24-27.