

智慧河湖建设与生态环境可持续发展的协同路径

武广军, 孙婕

(黄河水利委员会山东水文水资源局 山东 济南 250100)

摘要: 智慧河湖建设通过整合物联网、大数据、云计算等现代信息技术, 实现了河湖管理的信息化、智能化和精细化, 更好地提升了水资源利用效率、环境监测能力和生态保护水平。在河湖管理中, 智慧河湖建设不仅提高了水资源的管理和利用效率, 减少了浪费, 还通过智能监测系统和预警机制, 有效应对环境污染和生态破坏。同时, 数字孪生技术和智能化流域治理模式的应用, 推动了河湖生态系统的修复和保护, 增强了生态环境的可持续发展能力。通过全面实施智慧河湖建设, 可以为河湖长制的深化实施提供有力支撑, 促进河湖健康与生态环境的长效保护。

关键词: 智慧河湖建设; 生态环境; 可持续发展; 水资源管理; 数字孪生技术

A collaborative path between the construction of smart rivers and lakes and the sustainable development of ecological environment

Wu Guangjun, Sun Jie

(Yellow River Conservancy Commission Shandong Hydrology and Water Resource Bureau, Jinan China 250100)

Abstract: Through the integration of modern information technologies such as the Internet of Things, big data and cloud computing, the construction of smart river and lake realizes the informatization, intelligence and refinement of river and lake management, and better improves the efficiency of water resources utilization, environmental monitoring ability and ecological protection level. In river and lake management, the construction of smart river and lake not only improves the management and utilization efficiency of water resources, reduces waste, but also effectively responds to environmental pollution and ecological damage through intelligent monitoring systems and early warning mechanisms. At the same time, the application of digital twin technology and intelligent basin governance model has promoted the restoration and protection of river and lake ecosystems, and enhanced the sustainable development of ecological environment. Through the comprehensive implementation of the construction of smart rivers and lakes, it can provide strong support for the deepening of the implementation of the river and lake chief system, and promote the long-term protection of river and lake health and ecological environment.

Key words: smart river and lake construction; Ecological environment; Sustainable development; Water resources management; Digital twin technology

引言：随着经济社会的快速发展，河湖生态环境面临着前所未有的压力，传统管理模式已无法应对复杂多变的生态挑战。智慧河湖建设作为一种全新的管理模式，通过现代信息技术的普遍应用，实现了河湖管理的智能化。通过提高水资源管理效率、加强环境监测和生态修复，智慧河湖建设为实现生态环境的可持续发展提供了重要保障。研究探讨智慧河湖建设的核心技术及其与生态环境可持续发展的协同路径。

1 智慧河湖建设的内涵与现状分析

智慧河湖建设是一种基于现代信息技术的河湖管理新模式，通过信息化手段提升河湖管理的智能化水平，实现河湖生态环境的可持续发展。该建设的内涵主要体现在两个方面：一是通过物联网技术实现河湖数据的实时采集与监控，二是通过大数据和云计算技术对采集的数据进行深度分析和智能处理，从而支持科学决策^[1]。

现阶段，智慧河湖建设在全球范围内已逐渐兴起，尤其是在中国，得益于国家政策的大力支持和技术的快速发展，智慧河湖建设取得了很好的进展。目前，通过搭建涵盖水质监测、水资源调度、洪水预警、污染防治等多功能的综合管理平台，智慧河湖建设不仅大幅提升了河湖管理的效率，还增强了管理的精准性和预见性。通过这一平台可以实时掌握河湖的各类动态信息，快速响应突发事件，及时采取应对措施，避免或减少灾害损失。此外，智慧河湖建设还涉及数据的多源融合与共享，推动了河湖管理的跨部门协作，提高了信息的透明度和管理的协同性，逐步形成了一套科学、系统、可持续的河湖管理模式，为生态环境的长效保护奠定了坚实基础。

2 智慧河湖建设的关键技术及应用策略

2.1 物联网技术的应用

物联网技术通过在河湖区域部署大量的传感器，能够实时监测水质、水量、水位等关键环境参数。这些传感器通过无线网络将数据传输至云端平台，实现数据的集中管理和分析。基于物联网技术的应用，可以实现对河湖生态环境的全方位监控，及时发现和处理异常情况，有效防止生态灾害的发生。为了更直观地展示物联网技术在河湖管理中的应用场景，如表 1 所示了物联网在不同河湖管理领域中的关键应用和技术参数。

在水质监测中，化学传感器可以实时监测水体的 pH 值、溶解氧含量和浊度，通过 LoRa 或 NB-IoT 通信技术将数据传输至云端平台，为水质管理提供科学依据。在水位监测中，超声波传感器能够精确测量水位高度，通过 4G 或 5G 网络实时更新监测数据，确保水位变化能够被迅速识别和处理。在流量监测中，电磁流量计用于测量水流速度和流量，结合 ZigBee 通信技术，支持广域覆盖和低功耗运行。气象监测则通过气象传感器收集温度、湿度、降雨量等气象数据，利用 Wi-Fi 技术实现数据传输，为河湖管理的综合决策提供支持。此外，水污染监测中的光谱传感器能够检测水体中的重金属离子浓度，实时监控污染情况，保障河湖生态安全。

表 1: 物联网技术在智慧河湖管理中的应用场景与技术参数

应用场景	监测指标	传感器类型	通信技术
水质监测	PH 值、溶解氧、浊度	化学传感器	LoRa、NB-IoT
水位监测	水位高度	超声波传感器	4G、5G
流量监测	流速、流量	电磁流量计	ZigBee
气象监测	温度、湿度、降雨量	气象传感器	Wi-Fi
水污染监测	重金属离子浓度	光谱传感器	LoRa、NB-IoT

2.2 大数据与云计算的整合

大数据与云计算技术是通过整合来自物联网、遥感监测、气象预报等多源数据,实现对河湖管理的全面数据分析和智能决策支持。大数据技术能够处理海量、复杂的河湖环境数据,采用先进的数据挖掘算法和模型,提取出对河湖管理至关重要的规律和趋势,帮助管理者提前预判可能出现的生态问题,并制定相应的防范措施。云计算技术则提供了强大的计算能力和存储资源,支持大数据分析的高效运行,并确保数据的安全性和可靠性。通过云计算平台,河湖管理系统可以实现对全国乃至全球范围内的河湖数据进行集中处理和统一管理,极大提升了河湖管理的协同效能。大数据和云计算的结合,还推动了智慧河湖建设中的智能化应用,例如基于历史数据的机器学习模型可以预测河流的洪水风险,并为不同情境下的应对措施提供建议。此外,云计算平台还支持数据的共享和开放,促进了河湖管理的跨部门合作和信息透明化。通过大数据与云计算的深度整合,智慧河湖建设能够实现对河湖生态环境的精准监控和科学治理,为河湖生态系统的可持续发展提供强有力的技术支撑^[2]。

2.3 智能预警与决策支持系统的建设

智能预警与决策支持系统利用人工智能算法和机器学习模型,对河湖的历史数据和当前动态进行分析,预测潜在的生态风险,并生成相应的预警信号。例如,通过对水质、水位、水流量等多项指标的综合分析,系统可以提前预判洪水、污染物超标等危机事件,并及时向管理部门发出警报,确保应急响应的及时性和有效性。此外,智能预警系统还可以结合气象预报信息,动态调整河湖管理策略,优化水资源调度,避免因气候变化引发的生态问题。决策支持系统在这一过程中发挥着辅助决策的关键作用,通过提供多种情景模拟和应对方案,帮助管理者在复杂多变的环境中做出科学合理的决策。这一系统不仅依赖于高精度的数据分析和模型预测,还要结合河湖管理的实际需求,确保提出的决策建议具有可操作性和实用性。智能预警与决策支持系统的建设,使河湖管理从被动应对转向主动防控,大幅提升了管理效率和科学性,为河湖生态环境的长效保护提供了重要的技术保障。

3 智慧河湖建设与生态环境可持续发展的协同路径

3.1 提升水资源利用与管理效率

水资源的有效利用是通过现代信息技术的应用,水资源管理正在从传统的经验管理模式向科学数据驱动的精准管理模式转变。物联网技术的应用,使得水资源的实时监控成为可能,各类传感器不仅能够监测水位、水量等常规参数,还能够检测水质、污染物浓度等关键指标,为水资源管理提供了全面的数据支持。通过大数据分析,这些监测数据可以被深度挖掘和利用,帮助管理者识别出水资源利用中的潜在问题,如某些区域的水资源利用率偏低、某些时间段的水资源浪费严重等。基于这些分析结果,可以制定更加精确的水资源调度方案,提高水资源的利用效率,减少浪费。同时,通过智能调度系统,可以动态调整水资源的分配,确保在不同的季节和气候条件下,水资源得到合理利用,避免因资源分配不当造成的浪费和环境压力。

在管理效率的提升方面,智慧河湖建设提供了全新的管理工具和平台。传统水资源管理往往依赖人工巡查和经验判断,效率低下且易出现人为错误。智慧河湖建设通过集成管理平台,将物联网采集的数据、历史数据、气象数据等进行整合,构建起全面、实时的水资源管理体系。该体系自动分析处理数据,生成直观的可视化报告,并通过智能算法提供优化的管理建议。例如,系统可以根据实时

监测数据自动调整水库的泄洪量，防止洪水泛滥，同时保障下游地区用水需求。这种基于数据的管理模式，大幅提升了管理的科学性和精度，减少人为干预的失误，提高了整体管理效率。此外，智慧河湖建设推动了水资源管理的自动化和智能化，实现对复杂水资源系统的高效管理，明显缩短决策周期，加快响应速度，为应对突发事件提供技术保障。

3.2 加强环境监测与治理

环境监测与治理通过现代技术手段对河湖生态环境进行实时监测，为治理提供科学依据。利用物联网技术，在河湖关键节点布设监测设备，实时收集水质、水温、溶解氧、污染物浓度等环境指标，并将数据上传至云端，形成动态环境数据库。这些数据不仅反映当前环境状况，还通过大数据分析预测潜在问题，提前制定治理方案。智能预警系统在监测数据异常时发出警报，及时传递信息给管理部门，确保问题早期发现和处理，减少生态负面影响。此外，结合遥感技术进行宏观生态监测，识别环境变化趋势，为环境治理提供全面数据支持。

在治理方面，智慧河湖建设通过数据驱动的决策支持系统，实现治理措施的精准化和高效化。治理系统根据实时数据动态调整策略，如控制污染源、优化生态补水，确保治理效果最大化。智能治理系统支持跨部门协作，整合治理资源，实现综合治理，改善当前环境问题，为未来环境保护奠定基础^[3]。

3.3 推动河湖生态修复与保护

生态修复的核心在于恢复河湖的自然生态功能，包括水质净化、生物多样性保护、水土保持等方面。智慧河湖建设通过实时监测和数据分析，精准识别生态退化区域，为生态修复提供科学依据。例如，利用遥感技术和无人机监测，可以识别出河岸侵蚀、湿地退化、水体富营养化等生态问题，并通过模型预测这些问题的扩展趋势，从而制定针对性的修复计划。生态修复措施包括植被恢复、湿地重建、河道清淤等，通过这些措施，可以逐步恢复河湖的自然环境，使其重新具备自净能力和生态平衡。

在保护方面，智慧河湖建设不仅依赖于技术手段，还强调管理策略的制定与执行。生态保护的关键在于预防与控制污染源，确保河湖生态系统不再受到新的破坏。智慧河湖系统通过整合环境监测数据，实时监控污染源排放，并结合大数据分析，识别潜在的污染风险。例如，通过分析工业排放数据和水质监测数据，可以发现污染物的来源和传播路径，从而采取相应的防控措施，如调整排放标准、加强执法监管等。此外，智慧河湖系统还能够支持生态补偿机制的实施，促进污染企业与生态环境的良性互动，推动生态保护的可持续发展。生态修复与保护工作还涉及社会公众的普遍参与，智慧河湖建设通过信息公开和社会监督机制，增强公众的环保意识，鼓励社会力量参与到河湖生态保护中。

3.4 利用数字孪生技术和智能化流域治理模式

数字孪生技术通过建立河湖的数字化模型，实现对物理环境的虚拟复制和动态仿真。数字孪生技术能够实时反映河湖的各种状态，包括水位变化、水质情况、流域降雨等，并与实际环境中的数据进行同步更新。这种技术的应用，使得管理者能够在虚拟环境中模拟各种治理方案的效果，从而在实施前对其可行性和潜在风险进行评估。例如，通过数字孪生技术，可以模拟洪水的形成和传播过程，评估不同防洪措施的有效性，优化防洪预案，减少灾害带来的损失。此外，数字孪生技术还可以用于生态环境的模拟与预测，如预测水体富营养化的进程，评估生态修复措施的长期效果等，为河湖治理提供科学的决策依据。

智能化流域治理模式则是基于数字孪生技术和大数据分析，综合考虑流域内

的各类资源、环境、社会因素，实现流域的精细化管理。智能化流域治理模式通过构建综合管理平台，整合流域内各类数据，建立起从源头到末端的全链条管理体系。这一模式强调流域内的协调与联动，尤其是在跨行政区域的流域治理中，智能化管理平台能够打破行政区划的限制，实现数据共享与联合决策。通过智能化流域治理模式，可以动态调整水资源配置，优化流域内的水量调度，保障上下游的用水需求平衡，并降低因水资源争夺导致的环境问题。同时，智能化流域治理还支持实时监测与预警功能，通过大数据分析，及时识别并处理潜在的环境风险。例如，在干旱季节，系统可以预测流域内可能出现的水资源短缺问题，提前制定应对措施，避免严重的生态损害。数字孪生技术与智能化流域治理模式的结合，使得河湖治理从单一要素管理向综合管理转变，大幅提升了河湖治理的科学性、协调性和效能^[4]。

结论

智慧河湖建设通过整合现代信息技术和科学管理方法，实现了河湖管理的智能化、精细化和系统化，为生态环境的可持续发展提供了坚实保障。水资源利用效率的提升、环境监测与治理的加强，以及生态修复与数字孪生技术的应用，全面推动了河湖生态系统的健康与稳定。智能化流域治理模式的推广进一步优化了河湖管理的协调性和效能。未来，智慧河湖建设将在更大范围内推动生态保护与治理，为实现人与自然和谐共生奠定坚实基础。

参考文献

[1]彭晓成, 吴小平, 刘焱明, 等. 加强美丽河湖保护与建设, 以高品质生态环境支撑高质量发展[J]. 环境保护, 2024, 52(13):41-43.

[2]王冠军, 刘卓, 戴向前, 等. 河湖长制背景下复苏河湖生态环境路径探析[J]. 中国水利, 2024, (10):42-46.

[3]赵巧玲. 黄河流域环境保护与产业协同发展路径研究[D]. 西安理工大学, 2023.

[4]邱安民, 陈洋庚. 江西省“河长制”建设改革与未来发展路径[J]. 老区建设, 2020, (18):49-55.