

智慧水利创新应用与实践

陈淑玲

西京学院土木工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月2日; 发布日期: 2025年4月15日

摘要

随着科技的不断进步和社会的发展, 智慧水利已成为解决水资源管理和水环境保护等重大挑战的重要途径。本论文将从智慧水利的概念与特点、智慧水利技术的应用及其实践案例等方面进行深入探讨, 探讨了智慧水利在水资源管理、水灾风险预警、水质监测与治理、水生态保护等方面的创新应用, 旨在为智慧水利的进一步发展和应用提供理论和实践参考。首先介绍了智慧水利的概念和发展现状, 然后详细分析了智慧水利技术在实际中的应用, 包括传感器网络、大数据分析、人工智能等关键技术在水利领域的应用案例。讨论了智慧水利在提高水资源利用效率、预防水灾灾害、改善水环境质量、保护水生态系统等方面的实践效果, 并探讨了智慧水利发展面临的挑战和未来发展方向。

关键词

智慧水利, 应用创新, 实践案例

Innovative Application and Practice of Smart Water Conservancy

Shuling Chen

School of Civil Engineering, Xijing University, Xi'an Shaanxi

Received: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 2nd, 2025; published: Apr. 15th, 2025

Abstract

With the continuous progress of science and technology and the development of society, smart water conservancy has become an important way to solve major challenges such as water resources management and water environment protection. This paper will discuss the concept and characteristics of smart water conservancy, the application of smart water conservancy technology and its practical cases, and discuss the innovative application of smart water conservancy in water resources management, flood risk early warning, water quality monitoring and governance, and

water ecological protection, aiming to provide theoretical and practical reference for the further development and application of smart water conservancy. Firstly, the concept and development status of smart water conservancy are introduced, and then the application of smart water conservancy technology in practice is analyzed in detail, including the application cases of key technologies such as sensor network, big data analysis, and artificial intelligence in the field of water conservancy. The practical effects of smart water conservancy in improving water resource utilization efficiency, preventing flood disasters, improving water environment quality, and protecting water ecosystems were discussed, and the challenges and future development directions of smart water conservancy development were discussed.

Keywords

Smart Water Conservancy, Application Innovation, Practical Examples

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球气候变化加剧与城市化进程加速的双重背景下，水资源短缺、水环境污染、洪涝灾害频发等挑战已成为制约社会可持续发展的关键瓶颈[1]。联合国《2023 年世界水发展报告》指出，全球约 20 亿人口面临严重水资源压力，而传统水利管理模式在数据实时性、系统协同性和决策科学性方面存在明显局限。在此背景下，智慧水利作为新一代信息技术与水利业务深度融合的产物，正通过数字化转型重构水资源管理范式，为解决复杂水问题提供创新路径。

近年来，物联网、5G 通信、大数据分析和人工智能等技术的突破性进展，为水利系统的智能化升级注入强劲动力。通过构建“感知 - 传输 - 分析 - 决策”的闭环体系，智慧水利实现了水文要素的全域监测、水情演变的动态模拟以及管理决策的智能优化[2]。美国国家海洋和大气管理局(NOAA)已将智慧洪水预警系统纳入国家防灾体系，使洪灾预警时效性提升 40%；欧盟通过“数字水欧洲”计划推动多国跨境流域的智能调度，年节水效益达 12 亿立方米。我国《智慧水利建设顶层设计》明确提出，到 2025 年将建成数字孪生流域覆盖率超 60%的智慧水利体系，标志着水利治理迈入智慧化新阶段。

当前研究虽已证实智慧水利的技术可行性，但在实践层面仍面临三重挑战：其一，多源异构数据的深度融合与价值挖掘机制尚未完善；其二，水利专业模型与人工智能算法的耦合深度不足；其三，智慧水利系统的标准化建设与长效运维模式有待探索。本文聚焦智慧水利技术创新应用的关键领域，通过系统梳理传感器网络、数字孪生、智能算法等技术在防洪减灾、水质监测、生态修复等场景的实践案例，深入分析其技术实现路径与综合效益，旨在构建具有普适性的智慧水利技术框架，为推进水利治理能力现代化提供理论支撑与实践参考。

2. 智慧水利的概念和特点

2.1. 智慧水利的概念

智慧水利是指运用现代信息技术手段，对水资源进行全面监测、精确预测和智能化管理的一种新型水利管理模式。它将信息技术与水利工程相结合，通过传感器、遥感、物联网、人工智能等技术手段，实现对水资源的实时监测和数据分析，为水资源的合理利用和科学管理提供技术支撑。因为全球气候变化

和人类大肆破坏生态环境,导致自然灾害频繁出现,比如常见的洪涝灾害、干旱缺水、水资源污染等,比较严重的灾害有山体滑坡、泥石流等,这些自然灾害会危害到人类的人身安全。为了防治这些灾害,我国水利工作者因此借鉴“智慧地球”的理念提出了“智慧水利”的概念,“智慧水利”是将“物联网”与现有的互联网结合所形成的“水联网”有助于促进水利信息化水平的提升[3]。

2.2. 智慧水利的特点

智慧水利工程建设与管理工作的开展,需要促进现代信息化技术、智能化技术和通信技术等先进技术的科学应用,持续加强智慧水利系统建设,以更好协助全方位、多维度和精细化管理工作的开展,并为水利工程项目的投资规划与建设、水资源利用、水资源保护和防洪防灾等工作开展提供科学支撑[4]。智慧水利具有信息化管理的特点,智慧水利以信息化技术为基础,实现对水资源的全面监测、数据采集和管理,提高水利工程的运行效率和管理水平。它具有智能化调度的特点,智慧水利利用人工智能和大数据技术,对水资源进行精准调度和优化配置,实现对水资源的高效利用和合理分配[5]。它具有多元化服务的特点,智慧水利不仅关注水资源的管理和利用,还注重为用户提供多元化的水利服务,如水质监测、水环境治理等。还具有可持续发展的特点:智慧水利将可持续发展理念融入到水资源管理中,通过提高水资源利用效率和保护水环境,实现水资源的可持续利用和发展[6][7]。

3. 智慧水利技术的应用

3.1. 传感器技术

智慧水利中的传感器技术是实现实时监测和数据采集的关键。这些传感器可以安装在水库、河流、农田等各种水域和设施中,用于监测水质、水量、水位、土壤湿度等参数。以下是传感器技术在智慧水利中的一些典型应用,如“水质监测”水质传感器可以实时监测水中的各种指标,如pH值、溶解氧、浊度、电导率等,用于评估水质状况并及时发现污染事件。这些数据可以通过网络传输至监测中心或相关部门,以便及时采取处理措施。“水量监测”流量传感器可以用于监测河流、水渠等水体的流量,帮助水利部门了解水资源的供应情况和变化趋势,这对于水资源的合理分配和调度具有重要意义[8][9]。“水位监测”水位传感器可以实时监测水库、湖泊、河流等水体的水位变化,帮助预测洪水、干旱等灾害事件,并指导相应的防灾减灾工作。“土壤湿度监测”土壤湿度传感器可以安装在农田中,用于监测土壤的湿度和温度等参数,帮助农民科学灌溉,减少水资源的浪费,提高农作物的产量和质量。“气象参数监测”气象传感器可以用于监测气温、湿度、风速、降雨量等气象参数,与水文传感器数据结合起来,可以更准确地预测降雨量、洪涝等自然灾害,提高灾害预警的准确性。“远程监测和控制”通过网络传感器和远程通信技术,可以实现对传感器设备的远程监测和控制,无需人工实时巡检,大大提高了监测效率和数据的实时性[10][11]。

3.2. 遥感技术

智慧水利领域的遥感技术在水资源管理、水灾风险评估、水质监测与治理等方面发挥着重要作用。以下是智慧水利中遥感技术的一些应用方面:在“水资源监测与评估”中,遥感技术可以提供大范围、高时空分辨率的水体监测数据,用于监测水域面积、水体深度、水质等参数,从而实现对水资源的动态监测与评估,通过遥感数据,可以及时掌握水资源的分布情况、变化趋势,为水资源管理提供科学依据。在“水灾风险评估与预警”中,遥感技术结合地理信息系统(GIS)可以实现对洪涝、干旱等水灾灾害的监测与评估,通过分析遥感影像中的水体分布、土地利用类型等信息,可以识别潜在的洪涝风险区域,并提前进行预警与应急响应,减少水灾造成的损失。在“水质监测与治理”中,利用遥感技术获取的高光

谱、多光谱遥感影像，可以反映水体中的悬浮物、藻类、溶解物质等污染物的分布情况，从而实现对水质的快速监测与评估，基于遥感数据的水质监测系统能够帮助管理者及时发现水质异常，采取相应的治理措施，保障水体的健康与安全。在“水生态保护与修复”中遥感技术可以提供水体和湿地等生态系统的监测数据，包括植被覆盖、湿地类型、生物多样性等信息，用于评估水生态系统的健康状况，并制定相应的保护与修复方案，通过遥感技术，可以实现对水生态系统的全面监测与管理，促进生态环境的持续改善。

3.3. 物联网技术

物联网技术将各类传感器、执行器等设备通过互联网连接起来，实现设备之间的数据共享和互动。在智慧水利中，物联网技术可以实现对水利设施的远程监控和智能控制，提高水利设施的运行效率和管理水平。智慧水利系统中的物联网技术发挥着关键作用，通过连接各种传感器、控制器和数据处理设备，实现对水资源的智能化监测、管理和控制。以下是物联网技术在智慧水利中的主要应用方面，在“传感器网络”中，物联网技术可以用于构建传感器网络，将各种水文、气象和环境传感器连接到一起，实现对水资源相关参数的实时监测，这些传感器可以监测水质、水量、水位、土壤湿度、气象参数等，为智慧水利系统提供数据支持。在“远程监测与控制”中，物联网技术使得智慧水利系统可以实现远程监测与控制，无需人工实地操作，水利部门或相关管理者可以通过网络远程访问系统，实时监测各种参数数据，并进行远程控制，如远程调整灌溉系统、开启/关闭水闸等，提高了系统的响应速度和管理效率。在“数据采集与处理”中，物联网技术可以实现对大量数据的自动采集、传输和处理，包括实时数据和历史数据，这些数据可以通过云端平台进行存储、分析和挖掘，为决策提供科学依据和预测模型，支持水资源管理和规划。在“智能决策与优化”中，通过物联网技术，智慧水利系统可以实现智能化的决策与优化，根据实时监测数据和预测模型自动调整水资源调度方案、灌溉计划等，以实现水资源的合理利用和节约。在“应急响应与预警”方面，物联网技术可以实现对突发事件的实时响应与预警，如洪涝、干旱等水灾事件，系统可以根据传感器数据和预设规则，自动触发预警机制，向相关部门或群众发布预警信息，指导应急处置和防灾减灾工作[12]。

3.4. 人工智能技术

智慧水利系统中的人工智能技术是实现智能化管理和优化决策的重要手段，通过利用机器学习、数据挖掘和智能算法等技术，实现对水资源的智能化监测、预测、调度和管理。以下是人工智能技术在智慧水利中的主要应用方面：在“数据分析与预测”中，人工智能技术可以通过分析历史数据和实时数据，建立水资源利用的预测模型，包括水量、水质、水位等参数的预测，基于这些预测模型，系统可以进行未来水资源状况的预测，为决策提供科学依据。在“智能决策支持”方面，人工智能技术可以实现智能化的决策支持系统，根据实时监测数据、预测模型和用户需求，自动生成最优的水资源调度方案和灌溉计划，这有助于提高决策效率和准确性，优化水资源配置和利用。在“故障诊断与预警”方面，人工智能技术可以应用于智能化的故障诊断和预警系统，通过监测传感器数据和设备状态，识别水利设施的故障或异常情况，并提前发出预警，以避免设备损坏或事故发生。在“智能水利设施控制”方面，人工智能技术可以实现对水利设施的智能化控制，如水泵、水闸等设备的智能调控，通过机器学习算法和智能控制策略，系统可以自动调整设备运行参数，以实现能耗优化、设备寿命延长等目标。在“用户行为分析与管理”方面，人工智能技术可以对水资源利用的相关行为进行分析和管理的，如农民的灌溉行为、城市居民的用水行为等，通过分析用户行为数据，系统可以发现不合理的行为模式，并提出相应的改进措施，以促进水资源的合理利用[13]。

随着数字孪生水利建设步伐的迈进,人工智能技术将迎来更大范围的应用,依靠其强大的推理与运算能力,能够有效提升水利决策与管理的科学化、精准化、高效化能力和水平,为新阶段水利高质量发展提供有力支撑和强力驱动。综合利用人工智能技术,智慧水利系统可以实现对水资源的智能化管理和优化,提高水资源利用效率,保障水资源安全,促进水利事业的可持续发展[14]。

4. 典型应用案例分析

4.1. 复杂水文环境监测系统

闫志杰团队研究复杂水文环境下水声系统的检测性能,并提出了相应的技术分析,针对水声传感器技术、信号处理技术、复杂水文环境建模以及多传感器数据融合技术等,详细介绍了不同方法和策略,经过数据预处理与清洗、信号特征提取与表示、信号识别与分类结果分析等,获取数据分析结果,从而实现系统性能评估与对比,为水声系统在复杂水文环境下的高效应用奠定基础[15]。这些传感器技术的应用使得智慧水利系统能够实现对水资源的全面监测和管理,为水资源的合理利用和保护提供了有力支持。通过多传感器数据融合技术,在浑浊水体中实现声呐信号信噪比提升 15 dB,为洪水演进模拟提供高精度数据支撑。

4.2. 无人机应急监测体系

范振伟[16]研究的无人机遥感系统,集成热红外与激光雷达传感器,可在 6 小时内完成 50 km 河道三维建模,应急响应效率较传统方式提升 8 倍。它解决了传统应急监测受地形条件、水文地质条件限制大的问题。遥感技术在智慧水利领域的应用范围广泛,可以为水资源管理、水灾风险评估、水质监测与治理以及水生态保护等提供科学支撑,推动智慧水利的发展与应用[16]。通过调研当前国内外遥感大数据加工处理进展,分析了面向智慧水利建设的水利遥感数据处理平台需求,设计了一种水利遥感数据规模化加工处理平台的框架,用于海量卫星遥感数据产品全链路自动化处理,以提升水利遥感数据产品处理质量和服务效率。综合利用这些遥感技术,智慧水利系统能够实现对水资源的全面监测和管理,为水资源的科学利用、保护和管理提供了技术支持和保障[17]。

4.3. 智能闸群调度系统

南涑河项目构建的闸坝群协同控制模型,运用深度强化学习算法,实现流域内 23 座闸坝联合调度,水资源利用率提高 22%,防洪标准提升至 50 年一遇[18]。针对南涑河水系闸坝群调度不合理、配合有效性不高等问题进行软件架构,设计闸坝智能调度辅助决策模型,并建立包含多功能模块的软件管理平台,对闸门的实时运行状态进行监控、调控,实现闸坝智能化管理,充分利用水资源,确保发挥水利工程的综合效益[16]。时生乐,魏素盼提出在智慧水利建设中运用 NB-IoT、LoRa、大数据、云计算等先进技术,可以对水质进行远程实时检测,对水资源进行远程精准化调度[19]。综合利用物联网技术,智慧水利系统可以实现对水资源的全面、精细化管理,提高水资源利用效率,减少水资源浪费促进水资源可持续发展。以青海省水利信息化资源整合项目为例,该项目根据水利部水利信息化资源整合共享顶层设计思想,围绕山洪灾害、水旱灾害防御、国控水资源、地下水监测、中小河流水文监测、河长制湖长制、农村饮水安全信息和水土保持信息管理系统等一批国家重点项目,通过梳理数据资源,整合应用系统,落实一数一源,统一数据模型,统一地图服务,统一通用工具,统一门户集成,实现青海水利信息化建设由“分建专用”向“集约共享”的转变,有效支撑了公文办理、会议室申请、信息查询、信息资源申请、水资源管理和水土保持、农村安全饮水管理等业务,促成了跨部门业务协作与资源共享,提升了信息化对水利工作的支撑作用,促进了“互联网+”技术的应用,提高了“智慧水利”的建设[20][21]。

5. 结论与展望

智慧水利通过技术创新与场景化应用，正在重塑传统水利管理模式。尽管面临数据融合、技术协同等挑战，但随着数字孪生、人工智能等技术的持续突破，智慧水利将在保障水安全、促进水生态可持续发展方面发挥更重要作用。未来需加强跨学科协同创新，推动智慧水利从“单点突破”向“系统重构”演进，为全球水治理贡献中国智慧。

参考文献

- [1] 胡庆芳, 张根瑞, 方琼, 等. 联合国世界水发展报告述评[J/OL]. 水利水运工程学报, 1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1613.TV.20250120.2255.010.html>, 2025-03-10.
- [2] 许源, 曹丽娟. 人工智能在水利工程管理中的应用[J]. 海河水利, 2020(6): 49-50.
- [3] 冯朝睿, 徐宏宇. 数字乡村建设评价指标体系构建及其实践效用[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2023, 55(4): 109-120.
- [4] 曹海峰. 浅谈现代智慧水利系统技术应用与实践[J]. 陕西水利, 2024(3): 137-138+141.
- [5] 孙世友, 鱼京善, 杨红粉, 等. 基于智慧大脑的水利现代化体系研究[J]. 中国水利, 2020(19): 52-55.
- [6] Henriksen, H., Schneider, R., Koch, J., Ondracek, M., Trolborg, L., Seidenfaden, I., *et al.* (2022) A New Digital Twin for Climate Change Adaptation, Water Management, and Disaster Risk Reduction (HIP Digital Twin). *Water*, **15**, Article 25. <https://doi.org/10.3390/w15010025>.
- [7] 张绿原, 胡露露, 沈启航, 等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电, 2021(11): 58-62.
- [8] 邱利民. “智慧水利”的发展和技术研究[J]. 中国新技术新产品, 2018(15): 18-19.
- [9] Allam, Z. and Dhunny, Z.A. (2019) On Big Data, Artificial Intelligence and Smart Cities. *Cities*, **89**, 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.032>
- [10] Ye, Y., Liang, L., Zhao, H. and Jiang, Y. (2016) The System Architecture of Smart Water Grid for Water Security. *Procedia Engineering*, **154**, 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.492>
- [11] Okoli, N.J. and Kabaso, B. (2024) Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions. *Water*, **16**, Article 557. <https://doi.org/10.3390/w16040557>
- [12] Wu, X., Lu, G. and Wu, Z. (2023) Remote Sensing Technology in the Construction of Digital Twin Basins: Applications and Prospects. *Water*, **15**, Article 2040. <https://doi.org/10.3390/w15112040>
- [13] 孙亮, 王瑞国, 袁瑞, 等. 人工智能技术在智慧水利中的应用与展望[J]. 中国水利, 2024(3): 44-51.
- [14] Zhang, Y., Geng, P., Sivaparthipan, C.B. and Muthu, B.A. (2021) Big Data and Artificial Intelligence Based Early Risk Warning System of Fire Hazard for Smart Cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, **45**, Article 100986. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100986>
- [15] 闫志杰, 李光志. 复杂水文环境下水声系统检测性能研究[J]. 电声技术, 2023, 47(4): 49-51+56.
- [16] 范振伟. 无人机遥感技术在河长制工作中的应用——以苦水河盐池县惠安堡镇河段为例[J]. 现代农业科技, 2019(12): 197-198.
- [17] 江威, 庞治国, 吕娟, 等. 水利遥感数据规模化加工处理平台设计与实践[J/OL]. 中国水利水电科学研究院学报: 1-10. <https://doi.org/10.13244/j.cnki.jiwhr.20230133>, 2024-04-21.
- [18] 王宪芳, 高远, 冯玉龙, 等. 基于物联网技术的智能闸坝调度系统研究[J]. 项目管理技术, 2023, 21(5): 137-140.
- [19] 时生乐, 魏素盼. 基于物联网技术的智慧水利发展与创新研究[J]. 卫星电视与宽带多媒体, 2019(19): 21-22.
- [20] Okoli, N.J. and Kabaso, B. (2024) Building a Smart Water City: IoT Smart Water Technologies, Applications, and Future Directions. *Water*, **16**, Article 557. <https://doi.org/10.3390/w16040557>
- [21] 马莹, 马瑞. “互联网+”背景下智慧水利研究与实践探讨[J]. 长江技术经济, 2022, 6(1): 90-92.