

人工智能在水资源管理中的应用研究

丛连滨

内蒙古自治区呼伦贝尔市扎兰屯市水利局 内蒙古 呼伦贝尔 162650

摘要: 人工智能正深刻改变水资源管理领域。通过机器学习、深度学习等技术, AI可实现水资源监测预警、需水预测与供需平衡优化、水质净化与污染治理及洪涝灾害防控等功能。然而, 数据质量、模型可解释性、技术成本等问题仍待解决。未来, 需优化轻量化模型部署、构建大数据平台、制定应用标准, 并培养复合型人才。同时, 探索区块链+AI水权交易、量子计算水文模拟等前沿应用, 以提升水资源管理效率与可持续性。

关键词: 人工智能; 水资源管理; 应用

引言: 水资源管理作为保障人类生存与发展的关键环节, 正面临气候变化、人口增长等多重挑战。传统管理方式难以应对复杂多变的水资源系统, 而人工智能技术的崛起为其提供了新的解决方案。通过智能分析、预测与优化, 人工智能能够显著提升水资源管理的精准度与效率, 实现从经验判断到数据驱动的转变。本文旨在探讨人工智能在水资源管理中的具体应用, 分析其面临的挑战, 并提出相应的发展对策与未来展望。

1 人工智能技术基础与水资源管理适配性分析

1.1 核心AI技术概述

(1) 机器学习: 监督学习通过历史数据训练模型, 可用于水资源需求预测, 如基于过往用水量数据预测未来供需; 无监督学习能挖掘数据隐藏规律, 助力识别水质异常模式; 强化学习通过与环境交互优化策略, 适用于水库调度等动态决策场景。(2) 深度学习: CNN擅长提取空间特征, 可处理卫星遥感的水资源空间分布数据; RNN能捕捉时序关联, 用于水文序列预测; GAN可生成模拟数据, 弥补水资源监测数据不足, 提升模型泛化能力。(3) 物联网与大数据技术: 传感器网络实现水位、水质等实时监测, 边缘计算在数据采集端快速处理信息, 减少传输延迟, 为水资源管理提供实时数据支撑。(4) 数字孪生与仿真模拟技术: 构建水资源系统虚拟模型, 模拟不同气候、用水场景下的系统响应, 辅助规划水利工程与制定应急方案。

1.2 AI技术与水资源管理的耦合机制

(1) 数据驱动决策: 打破传统经验管理局限, AI分析海量监测数据, 生成精准决策建议, 如动态调整供水方案, 实现从“经验判断”到“数据支撑”的智能决策转变。(2) 多源数据融合: 整合气象数据(降水、气温)、水质数据(污染物浓度)、用水量数据等异构信息, 消除数据孤岛, 构建全面的水资源状态感知体系,

提升管理精准度。(3) 动态优化能力: 实时响应突发水污染、极端天气等情况, 调整水资源调配策略; 同时结合长期水文趋势, 优化水库蓄水、跨区域调水规划, 平衡短期应急与长期发展需求。

2 人工智能在水资源管理中的应用

2.1 水资源监测与预警系统

(1) 基于卫星遥感与AI的流域水量动态监测: 通过卫星获取流域植被覆盖、地表温度等多源数据, 结合AI图像分割算法提取水体边界, 实时计算流域内湖泊、河流蓄水量变化。同时, 利用时序分析模型捕捉水量动态规律, 及时发现异常减水或积水情况, 为流域水资源调配提供实时数据支撑。(2) 地下水位智能预测模型: 针对地下水位受降水、开采、地质条件等多因素影响的复杂性, 采用LSTM神经网络构建预测模型。该模型能有效捕捉地下水位变化的长时序依赖关系, 输入历史水位数据、降水数据及地下水开采量等信息, 实现未来1-3个月地下水位精准预测, 提前预警超采风险, 指导地下水开采管控^[1]。(3) 突发水污染事件预警与溯源: 利用图神经网络构建流域水质监测点关联模型, 将各监测点水质数据、水文流向数据转化为图结构数据。当某监测点出现污染物超标时, 模型可快速分析污染扩散路径, 结合污染物浓度变化趋势实现污染溯源, 定位污染排放源头, 为应急处置争取时间。

2.2 需水预测与供需平衡优化

(1) 城市用水量预测: XGBoost模型具备处理高维特征的优势, 整合城市人口规模、气温、降水量、GDP等多维度影响因素, 构建城市日用水量、月用水量预测模型。通过模型迭代优化, 预测准确率可达90%以上, 为水厂生产调度、供水管网压力调节提供依据, 避免水资源浪费或供水不足。(2) 农业灌溉用水智能调度: 以农田土壤墒情、作物生长阶段、气象预报数据为输入, 构

建强化学习模型。模型通过不断与灌溉环境交互,优化灌溉时间、灌溉量及灌溉方式,在保证作物产量的前提下,减少灌溉用水量。例如,在干旱地区应用该策略,可使农业灌溉用水效率提升15%-20%。(3)跨区域水资源调配决策支持系统:整合各区域水资源供需数据、输水工程能力数据,利用多目标优化算法,在满足各区域基本用水需求、保障生态用水的前提下,制定跨区域水资源调配方案。系统可实时响应区域用水需求变化,动态调整调配计划,平衡生产、生活、生态用水关系^[2]。

2.3 水质净化与污染治理

(1) 污水处理工艺智能控制:在污水处理过程中,通过传感器实时采集进水水质(COD、氨氮浓度等)、水量及处理后水质数据,输入AI控制模型。模型基于历史运行数据学习药剂投加量与水质达标率的关联关系,动态调整混凝剂、消毒剂等药剂投加量,在确保出水达标的同时,降低药剂消耗成本,减少污泥产生量。(2) 微塑料污染检测与识别:利用高倍显微镜获取水体样本图像,结合计算机视觉中的目标检测算法(如YOLO系列),自动识别图像中的微塑料颗粒,统计微塑料的数量、尺寸及形态特征。该技术相比传统人工检测,效率提升数十倍,可快速掌握水体微塑料污染分布情况,为污染治理提供数据支持。(3) 生态修复方案智能生成:针对河流、湖泊生态修复需求,以水质改善、生物多样性恢复、成本控制为目标,构建多目标优化模型。模型结合流域水文特征、污染现状及生态修复技术参数,自动生成多种修复方案,如人工湿地建设、水生植物种植等,并对方案效果与成本进行评估,为决策者提供最优选择。

2.4 洪涝灾害防控与应急管理

(1) 基于AI的降雨-径流模拟与洪水预报:整合气象部门降雨预报数据、流域地形数据及历史洪水数据,利用AI模型(如深度学习水文模型)模拟降雨转化为径流的过程,预测流域内各河段洪峰流量、出现时间及洪水淹没范围。预报时效可从传统几小时延长至1-3天,为防洪工程调度(如水库泄洪)提供提前量。(2) 城市内涝风险地图动态绘制:利用U-Net语义分割算法对城市遥感图像、地形数据及排水系统数据进行处理,识别城市易涝区域。结合实时降雨数据与积水监测数据,动态更新内涝风险地图,标注不同降雨强度下的积水深度与影响范围,为市民避险疏散与城市排水调度提供指引^[3]。

(3) 应急资源调度路径规划:在洪涝灾害发生后,以应急物资(如救生设备、饮用水)调配效率最高、覆盖受灾区域最广为目标,利用遗传算法优化运输路径。算法综合考虑道路通行状况、受灾点优先级等因素,快速生

成最优运输路线,确保应急资源在最短时间内送达受灾区域,提升灾害应急响应效率。

3 人工智能在水资源管理中的关键挑战与技术瓶颈分析

3.1 数据层面挑战

(1) 数据质量与标注问题:水资源监测数据常因传感器故障、极端天气导致缺失,且野外监测易受环境干扰产生噪声。同时,水质、水文数据标注需专业人员完成,耗时耗力,导致高质量标注数据稀缺,直接影响AI模型训练精度。(2) 跨部门数据共享机制缺失:水资源管理涉及水利、气象、环保等多部门,各部门数据格式、存储标准不一,且存在数据壁垒,难以实现高效共享。这导致AI模型无法获取全面数据,如气象数据与水文数据割裂,影响洪水预报准确性。(3) 小样本场景下的模型泛化能力:部分极端场景(如罕见水污染事件、特大洪水)数据样本极少,AI模型难以学习到有效规律,面对此类新场景时,模型泛化能力不足,易出现误判或漏判。

3.2 模型层面挑战

(1) 黑箱模型可解释性不足:深度学习等AI模型决策过程复杂,如LSTM预测地下水位时,无法清晰解释各影响因素的权重,导致管理人员对模型结果信任度低,难以应用于关键决策。(2) 多模态数据融合技术待突破:水资源管理中的卫星遥感图像、传感器实时数据、文本化气象报告等多模态数据,现有技术难以深度融合,无法充分挖掘数据间关联,限制了AI模型的综合分析能力。(3) 长期预测中的误差累积效应:在长期水资源供需预测中,AI模型的微小误差会随时间推移不断累积,导致长期预测结果偏差较大,无法为长期水资源规划提供可靠依据。

3.3 应用层面挑战

(1) 技术成本与基层管理能力不匹配:AI系统的硬件部署、模型维护需较高成本,而部分基层水利部门资金有限,且缺乏专业技术人员,难以承担系统运营维护工作,导致AI技术落地困难。(2) 传统管理流程与AI系统的兼容性:传统水资源管理依赖人工审批、经验决策,与AI系统的自动化、数据驱动流程冲突,若强行整合易导致流程混乱,影响管理效率。(3) 公众接受度与伦理风险:AI系统需收集大量用户用水数据、区域水文数据,存在数据隐私泄露风险;同时,公众对AI决策的可靠性存疑,接受度较低,阻碍技术推广。

4 人工智能在水资源管理中的发展对策与未来展望

4.1 技术优化方向

(1) 轻量化模型部署：针对基层设备算力有限问题，将AI模型轻量化处理，结合边缘计算在监测终端本地完成数据分析，减少数据传输成本与延迟；采用联邦学习技术，在不共享原始数据的前提下实现多部门模型协同训练，破解数据壁垒，提升模型精度的同时保护数据隐私。(2) 物理约束的混合建模：将传统水文机理模型（如SWAT模型）的物理规律作为约束条件，融入AI模型训练过程，如在洪水预报中用水文方程限定AI预测的合理范围，避免纯数据驱动模型的“过拟合”问题，提升模型可靠性与可解释性。(3) 自主进化型AI系统设计：构建持续学习框架，使AI系统能实时吸收新监测数据、极端事件案例，动态更新模型参数与决策逻辑，无需人工重新训练即可适应水资源系统的变化，如应对气候变化导致的水文规律改变^[4]。

4.2 政策与管理建议

(1) 构建国家级水资源大数据平台：由国家统筹，整合水利、气象、环保等部门数据资源，统一数据格式与存储标准，建立跨区域、跨部门的共享机制，为AI模型提供全面、高质量的数据支撑，同时设置数据安全访问权限，保障数据安全。(2) 制定AI应用标准与伦理规范：明确AI在水资源管理中的应用边界，如模型精度阈值、数据采集范围等技术标准；出台伦理规范，界定数据隐私保护范围，禁止滥用用户用水数据，建立AI决策追溯机制，提升技术应用的合规性与公信力。(3) 培养复合型水利人才队伍：在高校开设“水利工程+人工智能”交叉专业，开展在职人员AI技能培训，培养既懂水文机理又掌握AI技术的复合型人才，解决基层技术人才短缺问题，推动AI技术落地应用。

4.3 未来研究趋势

(1) 区块链+AI的水权交易系统：利用区块链的去中

心化、不可篡改特性，记录水权分配与交易信息，结合AI实时分析水资源供需情况，动态调整水权交易价格，优化水资源配置效率，实现水资源市场化。 (2) 量子计算在水文模拟中的潜在应用：量子计算具备超强并行计算能力，可快速处理水文模拟中的海量数据与复杂方程，突破传统计算的算力瓶颈，提升长期水文预测、大范围流域模拟的效率与精度。(3) 气候韧性城市中的智能水循环设计：结合AI与物联网技术，构建城市“取水-用水-排水-再生水利用”智能水循环系统，实时调控再生水回用比例、雨水收集量，提升城市应对极端气候的能力，实现水资源循环利用与城市可持续发展。

结束语

人工智能在水资源管理中的应用研究展现了广阔的前景与巨大潜力。通过智能技术的赋能，我们能够更精准地监测、预测与优化水资源的使用与分配，有效应对各种挑战。然而，技术的推广与应用仍需克服数据、模型、成本等多重障碍。未来，需持续技术创新，完善政策支持，培养专业人才，共同推动人工智能与水资源管理的深度融合，为实现水资源的可持续利用与人类社会的和谐发展贡献力量。

参考文献

- [1]梁克,靳春寒.基于水文水资源标准化管理在水利工程中的实践研究[J].水上安全,2024,(13):32-34.
- [2]席嘉琦,刘雪颖,王津莹.简析信息化技术在水文水资源领域的应用[J].内蒙古水利,2024,(06):77-79.
- [3]陈董迎.水文水资源环境管理与防洪减灾工作要点思考[J].农业灾害研究,2024,14(02):283-285.
- [4]宁学鹏.水文水资源环境管理与防洪减灾措施研究[J].水上安全,2023,(16):130-132.