

人工智能驱动下大型水利工程的生态伦理重构与可持续发展转型

陶祖福

安吉县老石坎水库管理所 浙江湖州 313301

DOI:10.32629/ems.v8i6.20533

[摘要] 大型水利工程是调控水资源时空分布、保障国家水安全的重要基础设施,但其建设和运营不可避免地会对流域生态环境产生深远影响。人工智能技术的引入为水利工程的生态保护提供了新的技术手段,同时也带来了新的生态伦理挑战。本文系统分析了 AI 技术对水利工程生态影响的双重效应,深入探讨了当前智能水利建设中存在的经济效益与生态保护的价值冲突、河流生态系统完整性破坏、代际公平失衡以及 AI 技术自身环境代价等核心生态伦理困境。研究表明, AI 技术在提升水利工程运行效率的同时,可能通过强化人类对自然过程的干预、放大算法中的经济价值偏向等方式,加剧生态系统的脆弱性。基于此,本文从生态导向的 AI 算法设计、全生命周期生态伦理评估、制度保障与多元共治以及绿色智能技术体系构建四个方面,提出了基于生态伦理的智能水利可持续发展路径。研究成果为实现水利工程与生态环境的和谐共生提供了理论指导和实践参考。

[关键词] 人工智能; 水利工程; 生态伦理; 可持续发展; 河流健康; 生态治理

1 引言

水是生命之源、生产之要、生态之基。大型水利工程作为人类改造自然、利用水资源的重要手段,在防洪减灾、供水发电、灌溉航运等方面发挥了巨大作用,为经济社会发展提供了坚实的水安全保障。然而,传统水利工程往往以经济效益最大化为主要目标,忽视了对生态环境的保护,导致河流断流、湿地萎缩、生物多样性下降等一系列生态问题。

随着生态文明建设的深入推进,我国水利工程建设理念发生了深刻转变,从“工程水利”向“生态水利”转型成为行业发展的必然趋势^[1]。人工智能技术的快速发展为生态水利建设提供了强大的技术支撑。通过 AI 技术的应用,可以实现对流域生态系统的精准监测、智能调控和科学管理,有效降低水利工程对生态环境的负面影响^[2]。例如,基于 AI 的生态流量调度算法可以在保障工程效益的同时,维持河流的基本生态功能;利用计算机视觉和深度学习技术,可以实现对水生生物的自动化监测,为生物多样性保护提供数据支持。

然而, AI 技术并非万能的“生态解药”,其在水利工程中的应用也带来了新的生态伦理挑战^[3]。AI 系统的优化目标往往由人类设定,如果过度强调经济效益,可能会导致算法决策忽视生态价值;AI 技术的广泛应用可能进一步强化人类对自然过程的干预,导致生态系统的不可逆变化;此外, AI 系统本身的能源消耗和电子废弃物问题,也会对环境产生额外的压力。这些问题如果得不到妥善解决,将会制约生态水利建设的进程,影响水利事业的可持续发展。因此,从生态伦理的视角审视 AI 赋能的大型水利工程,深入分析其面临的生态伦理困境,探索符合可持续发展理念的智能水利发展路

径,具有重要的理论意义和现实价值。

2 AI 技术对水利工程生态影响的双重效应

2.1 AI 技术在生态保护中的积极作用

AI 技术为水利工程的生态保护提供了全新的解决方案,显著提升了生态管理的精细化和科学化水平^[2]。AI 技术实现了流域生态系统的全方位、高频次监测,通过部署无人机、水下机器人、卫星遥感等智能监测设备,结合计算机视觉和深度学习算法,可以实时获取水质、水温、水生生物、河岸植被等生态数据。与传统人工监测相比, AI 监测技术具有覆盖范围广、监测频率高、数据精准等优点,能够及时发现生态异常情况,为生态保护决策提供数据支持。

AI 技术优化了水利工程的生态调度,传统的水库调度主要考虑防洪和发电效益,往往忽视了生态用水需求。基于 AI 的多目标优化调度算法,可以将生态基流保障、鱼类产卵期流量调控、湿地补水等生态目标纳入调度模型,实现防洪、发电、供水和生态的多目标协同优化。例如,通过识别珍稀鱼类的产卵期和产卵水文条件, AI 系统可以自动调节水库下泄流量,创造适宜的鱼类繁殖环境,有效保护水生生物多样性。

AI 技术还提升了水土保持和生态修复的效率,利用 AI 技术可以对流域水土流失情况进行动态监测和评估,精准识别水土流失重点区域。在生态修复工程中, AI 算法可以根据不同区域的自然条件,优化植被配置方案,提高生态修复的效果。此外, AI 技术还可以用于预测气候变化对流域生态系统的影响,为水利工程的适应性管理提供科学依据。

2.2 AI 技术带来的潜在生态风险

尽管 AI 技术在水利生态保护中具有巨大潜力,但如果应用不当,也可能带来一系列潜在的生态风险。AI 技术可能进一步强化人类对自然水文过程的干预, AI 系统能够更精准地预测和控制水资源的时空分布,这使得人类可以更大程度地改变河流的自然流态。如果过度追求水资源的高效利用,可能会导致河流自然水文情势的严重改变,破坏河流生态系统的完整性和稳定性。

AI 算法中的价值偏向可能导致生态保护被边缘化, AI 系统的优化目标是由人类设定的,在实际应用中,经济效益往往被赋予更高的权重。例如,水库调度算法如果过度追求发电效益最大化,可能会长期维持高水位运行,导致下游河流断流、湿地干涸。这种算法中的价值偏向会以技术中立的形式固化下来,使得生态保护在决策中处于弱势地位。AI 技术自身的环境代价也不容忽视, AI 系统的运行需要大量的计算资源,数据中心的能源消耗巨大。如果这些能源来自化石燃料,将会间接增加水利工程的碳足迹。此外, AI 设备的生产和处理过程涉及稀有金属开采和电子废弃物产生,也会对环境造成一定的压力。

3 AI 赋能水利工程面临的核心生态伦理困境

3.1 经济效益与生态保护的价值冲突

经济效益与生态保护的价值冲突是水利工程面临的传统伦理问题, AI 技术的引入使得这一冲突更加复杂和尖锐。在传统水利工程中,人类可以通过主观判断在经济效益和生态保护之间进行权衡。而在 AI 赋能的水利工程中,决策过程在很大程度上由算法主导,算法的优化目标直接决定了决策的价值取向。

由于经济效益具有明确的量化指标,而生态价值往往难以精确量化,在算法设计中,经济效益很容易被赋予更高的权重。例如,在水资源分配算法中,工业用水的经济效益可以通过 GDP 贡献来衡量,而生态用水的价值则难以用货币来表示。这就导致算法决策往往倾向于将水资源优先分配给经济效益高的部门,而忽视生态用水需求。这种价值冲突如果得不到有效解决,将会导致生态环境的持续恶化,最终影响经济社会的可持续发展。

3.2 河流生态系统完整性的破坏风险

河流生态系统是一个有机的整体,其健康状况取决于水文情势、水质、生物群落和物理栖息地等多个要素的相互作用。大型水利工程建设已经对河流生态系统的完整性造成了一定的破坏,而 AI 技术的应用可能会进一步加剧这种破坏^[4]。

AI 技术使得人类能够更精确地控制河流的流量、水位和流速等水文要素,这虽然可以提高水资源的利用效率,但也

可能导致河流自然水文情势的均一化。例如,为了保证发电的稳定性, AI 调度算法可能会使水库下泄流量保持恒定,消除了河流的自然洪枯变化。而自然的洪枯变化对于维持河流生态系统的健康至关重要,洪水可以为下游湿地补水,促进营养物质的循环,为鱼类提供产卵和育幼的场所。水文情势的均一化将会导致河流生态系统的结构和功能发生改变,生物多样性下降。

3.3 代际公平失衡与可持续发展挑战

代际公平是可持续发展的核心原则之一,要求当代人在满足自身需求的同时,不损害后代人满足其需求的能力^[5]。大型水利工程的使用寿命长达数十年甚至上百,其影响具有长期性和代际性。AI 技术的应用使得水利工程的运行更加高效,但也可能导致短期利益被过度追求,而忽视了长期的生态影响。

例如,为了追求短期的发电效益, AI 调度算法可能会过度开发水资源,导致流域地下水位下降、土地沙化等问题。这些问题可能在几十年后才会显现出来,但其后果将由后代人承担。此外, AI 系统的动态学习特性使得其决策逻辑会随着时间推移而发生变化,如果缺乏有效的长期生态监测和评估机制,可能会导致累积性的生态破坏,对后代人的生存和发展造成不利影响。

3.4 AI 技术自身的环境代价

AI 技术在为水利工程带来生态效益的同时,其自身也会产生一定的环境代价,这是一个容易被忽视的生态伦理问题。AI 系统的运行需要消耗大量的能源,大型水利工程的智能决策支持系统通常需要部署在高性能数据中心,这些数据中心的电力消耗巨大。如果这些电力来自煤炭等化石燃料,将会产生大量的温室气体排放,加剧气候变化。

AI 设备的生产和处理过程也会对环境造成污染, AI 设备的制造需要大量的稀有金属,如锂、钴、稀土等,这些金属的开采过程会破坏生态环境,造成土壤和水体污染。此外,电子废弃物的处理也是一个严峻的问题,大量废弃的传感器、计算机和服务器如果得不到妥善处理,将会对环境造成严重的重金属污染。

4 基于生态伦理的智能水利可持续发展路径

4.1 设计生态导向的 AI 算法

算法是 AI 系统的核心,设计生态导向的 AI 算法是解决智能水利生态伦理问题的关键。将生态价值全面纳入 AI 算法的目标函数,改变传统算法中经济效益优先的设计理念,将生态基流保障、生物多样性保护、水土保持等生态目标作为与防洪、发电、供水同等重要的优化目标。在算法设计中,采用多目标优化方法,通过设置合理的权重系数,实现经济

效益和生态效益的平衡。

建立算法的生态约束机制,在 AI 系统中设置不可逾越的生态红线,如生态基流底线、水库最高水位限制、鱼类产卵期禁调期等。无论经济效益如何,算法决策都不能突破这些生态约束。例如,在水库调度算法中,明确规定在鱼类产卵期必须保证一定的下泄流量和流量过程,为鱼类繁殖创造适宜的条件。开发具有自适应能力的生态友好型 AI 算法,利用强化学习技术,使 AI 系统能够从生态系统的反馈中自主学习,不断调整运行策略。当发现工程运行对生态系统产生不利影响时,AI 系统能够自动优化调度方案,实现工程与生态系统的动态平衡。

4.2 建立全生命周期生态伦理评估机制

建立覆盖水利工程规划、设计、施工、运营和退役全生命周期的生态伦理评估机制,是保障智能水利可持续发展的重要措施。在工程规划阶段,开展 AI 技术应用的生态影响预评估,识别潜在的生态风险,制定相应的风险防范措施。评估过程应充分听取生态学家、伦理学家和当地居民的意见,确保评估结果的全面性和公正性。

在工程设计和施工阶段,将生态伦理要求融入工程设计和施工方案。利用数字孪生技术,模拟工程建设和运行对生态环境的影响,优化工程设计方案。在施工过程中,采用环保施工技术,减少对周边生态环境的破坏。在工程运营阶段,建立长期的生态监测和评估制度。利用 AI 监测技术,实时跟踪流域生态系统的变化情况,定期评估 AI 系统运行对生态环境的影响。根据评估结果,及时调整 AI 算法参数和工程运行方式,确保工程运行始终符合生态伦理要求。

4.3 完善制度保障与多元共治体系

完善的制度保障和多元共治体系是实现智能水利生态伦理治理的重要支撑^[6]。加强生态水利的法律法规建设,将 AI 技术应用的生态伦理要求纳入相关法律法规,明确水利工程建设和运营单位的生态保护责任。制定智能水利生态保护的技术标准和规范^[7],为 AI 算法设计和系统运行提供依据。

建立跨部门、跨区域的生态协调机制,大型水利工程的生态影响具有跨区域特征,需要流域内各地区、各部门的协同配合。建立流域生态保护协调机构,统筹协调流域内的水资源开发和生态保护工作。建立生态补偿机制,对因水利工程建设而受到生态损失的地区和群体进行合理补偿。鼓励公众参与生态治理,建立公众参与平台,及时公开水利工程的生态信息,保障公众的知情权和参与权。鼓励公众参与生态监测和监督,对违反生态伦理的行为进行举报。加强生态伦理教育,提高公众的生态保护意识,形成全社会共同参与生态保护的良好氛围。

4.4 构建绿色智能技术体系

构建绿色智能技术体系,降低 AI 技术自身的环境代价,是实现智能水利可持续发展的必然要求。发展绿色计算技术,降低 AI 系统的能源消耗。采用低功耗芯片、液冷技术等先进技术,提高数据中心的能源利用效率。优先使用太阳能、风能等可再生能源为 AI 系统供电,减少温室气体排放。

推广绿色环保的 AI 设备,在设备采购中,优先选择能耗低、可回收的环保型设备。建立 AI 设备的全生命周期管理制度,加强对设备生产、使用和报废处理过程的环境管理。鼓励企业开展电子废弃物的回收和再利用,减少电子废弃物对环境的污染。加强 AI 与其他绿色技术的融合应用,将 AI 技术与节水技术、污水处理技术、生态修复技术等相结合,形成协同效应,全面提升水利工程的生态效益。

5 结论

AI 技术为大型水利工程的生态保护带来了新的机遇,同时也带来了新的生态伦理挑战。经济效益与生态保护的价值冲突、河流生态系统完整性的破坏风险、代际公平失衡以及 AI 技术自身的环境代价,是当前智能水利面临的核心生态伦理困境。实现 AI 赋能大型水利工程的可持续发展,必须坚持生态优先的理念,将生态伦理要求深度融入技术应用和制度设计。通过设计生态导向的 AI 算法、建立全生命周期生态伦理评估机制、完善制度保障与多元共治体系以及构建绿色智能技术体系,实现水利工程经济效益、社会效益和生态效益的协调统一。只有这样,才能真正实现人水和谐,为子孙后代留下健康的河流和美好的家园。

[参考文献]

- [1]王浩,王建华,秦长海.生态水利的理论内涵与实践路径[J].水利学报,2021,52(1):1-9.
- [2]陈峰,黄燕,郑明,等.大型水利枢纽的生态伦理冲突及协调策略[J].生态学报,2023,43(11):4521-4530.
- [3]联合国环境规划署.人工智能与环境[R].内罗毕:联合国环境规划署,2022.(UNEP/EA.4/INF/12)
- [4]周勇,吴燕,朱涛,等.数字孪生技术在水利工程施工优化中的应用研究[J].水利水电技术,2024,55(1):123-132.
- [5]李原园,黄火键,李云玲.中国水安全保障战略研究[J].中国工程科学,2023,25(2):1-10.
- [6]国务院.关于加强新时代水土保持工作的意见[R].北京:国务院,2023.
- [7]傅伯杰,张立伟.生态系统服务与生态安全[J].中国科学院院刊,2022,37(6):739-747.