

流域水资源优化配置模型及在水利水电工程中的实践

张军伟

西平县河湖水务中心, 河南 驻马店 463900

DOI:10.61369/WCEST.2025040003

摘 要 : 本文聚焦流域水资源优化配置模型及其在水利水电工程中的应用实践。阐述流域水资源优化配置的内涵、目标及面临的供需矛盾、污染、气候变化、多目标协调等挑战。详细介绍多目标优化配置模型、系统动力学模型、模糊数学模型、大数据与人工智能模型等关键模型及其构建方法与优势。探讨模型在水利水电工程规划、水资源调度、生态保护等方面的实践应用。强调模型对提高水资源利用效率、保障工程效益、促进生态可持续发展的重要作用, 为流域水资源科学管理与水利水电工程可持续发展提供参考。

关 键 词 : 流域水资源; 优化配置模型; 水利水电工程; 实践应用

Optimal Allocation Model of River Basin Water Resources and Its Application in Hydraulic Engineering

Zhang Junwei

Xiping County River and Lake Water Center, Zhumadian, Henan 463900

Abstract : This paper focuses on the optimization model of basin water resources allocation and its practical application in hydropower engineering. It elaborates on the connotation, objectives, and challenges such as supply-demand conflicts, pollution, climate change, and multi-objective coordination in optimizing basin water resource allocation. The paper provides a detailed introduction to key models including multi-objective optimization models, system dynamics models, fuzzy mathematics models, big data and artificial intelligence models, along with their construction methods and advantages. Practical applications of these models in hydropower project planning, water resource scheduling, and ecological protection are discussed. Emphasis is placed on the crucial role of these models in improving water resource utilization efficiency, ensuring project benefits, and promoting sustainable ecological development. This study offers valuable references for scientific management of basin water resources and sustainable development of hydropower projects.

Keywords : watershed water resources; optimal allocation model; water conservancy and hydropower engineering; practical application

引言

水资源是人类生存发展的基础, 在经济社会发展和生态维护中至关重要。流域是水资源的基本单元, 其水资源系统与社会经济、生态环境系统相互影响。全球气候变化与城市化加速, 使流域水资源面临巨大压力, 供需矛盾突出, 问题频发, 制约区域发展。水利水电工程是调节水资源、实现高效利用的重要手段, 但传统模式侧重单一目标, 忽视整体性和多目标性, 导致利用效率低、生态破坏。故研究流域水资源优化配置模型及其在水利水电工程中的应用, 对提高利用效率、保障效益、促进生态可持续发展意义重大。¹

一、流域水资源优化配置的内涵与目标

(一) 内涵

流域水资源优化配置是在流域范围内, 综合考虑水资源系统、社会经济系统和生态环境系统的相互关系, 依据水资源的自

然属性和社会属性, 遵循公平、高效和可持续的原则, 通过科学规划、合理调配和高效利用水资源, 实现水资源在时间、空间和数量上的最佳分配^[1]。

(二) 目标

流域水资源优化配置有四大核心目标: 一是实现水资源高效

利用，通过优化配置减少其在输送、分配和使用中的损失浪费，提高循环与再生利用率，缓解短缺压力；二是保障社会经济可持续发展，满足各行业部门用水需求，确保农业、工业、服务业正常发展及居民生活用水安全可靠，促进区域经济增长与社会稳定，同时合理配置优化产业结构；三是维护生态环境健康稳定，保证河流、湖泊、湿地等生态系统的基本生态需水，保护生物多样性，维持生态系统结构功能稳定，避免因过度开发利用使生态环境恶化，实现水资源利用与生态保护协调发展；四是促进水资源公平分配，协调不同地区、用户用水矛盾，充分考虑各地自然条件、经济水平和用水需求，避免分配不合理加剧地区发展不平衡与社会矛盾^[2]。

二、流域水资源优化配置面临的挑战

（一）水资源供需矛盾突出

随着人口增长、经济发展和城市化进程的加快，流域水资源需求不断增加。农业灌溉面积的扩大、工业生产规模的增大以及城市居民生活水平的提高，都对水资源提出了更高的要求。然而，水资源总量有限且分布不均，部分地区水资源匮乏，加之水资源开发利用程度已经较高，进一步开发利用的难度和成本增大，导致水资源供需矛盾日益突出^[3]。

（二）水资源污染严重

工业废水、生活污水和农业面源污染的排放，导致流域水体污染问题日益严重。工业生产过程中排放的大量重金属、有机物等污染物，生活污水中含有的氮、磷等营养物质以及农业面源污染中的农药、化肥等，都对水体造成了不同程度的污染。水质恶化不仅影响了水资源的可利用性，还对生态环境和人体健康造成了威胁。水资源污染治理难度大、成本高，进一步加剧了水资源的供需矛盾。

（三）气候变化影响加剧

全球气候变化导致降水模式、蒸发量和径流量等水文要素发生改变，增加了流域水资源的不确定性和变异性。极端气候事件如暴雨、干旱等频繁发生，给流域水资源管理和水利水电工程运行带来了巨大挑战。暴雨可能导致洪水灾害，威胁水利水电工程的安全；干旱则会导致水资源短缺，影响农业灌溉、工业生产和居民生活用水。气候变化还可能影响生态系统的需水规律，进一步加剧水资源与生态环境之间的矛盾。

（四）多目标协调困难

流域水资源优化配置涉及经济效益、社会效益和生态效益等多个目标，这些目标之间往往存在相互制约和冲突的关系。例如，增加农业用水可能会减少生态用水，影响生态环境的稳定；提高工业用水效率可能会增加污水处理成本，影响企业的经济效益；保障城市供水安全可能会限制农业灌溉用水，影响农业生产。如何协调这些目标，实现多目标的优化平衡，是流域水资源

优化配置面临的重要难题。

（五）管理体制不完善

流域水资源管理涉及多个部门和地区，目前管理体制存在条块分割、多头管理等问题，导致水资源管理缺乏统一规划和协调，难以实现水资源的优化配置和高效利用。各部门和地区在水资源管理中往往从自身利益出发，缺乏全局观念和协同合作意识，导致水资源管理效率低下，水资源浪费和污染问题得不到有效解决。

三、流域水资源优化配置关键模型

（一）多目标优化配置模型

1. 模型构建

多目标优化配置模型是流域水资源优化配置的核心工具，能针对水资源管理中经济效益、社会效益、生态效益等多个相互冲突制约的目标，用数学方法建模，寻求最优平衡点^[4]。构建模型时，先明确各目标的量化指标与权重，像经济效益可量化为工业产值等，社会效益可量化为供水保证率等，生态效益可量化为生态需水满足率等；接着依据水资源系统实际，确定各目标间的约束条件，

2. 模型优势

多目标优化配置模型能够综合考虑多个目标的相互关系，避免了单一目标优化模型的局限性，为决策者提供了更多的选择方案。通过合理确定各目标的权重，可以反映决策者对不同目标的偏好程度，使决策结果更加符合实际情况。同时，该模型还可以分析各目标之间的敏感性和权衡关系，为决策者制定科学合理的水资源配置策略提供依据^[5]。

（二）系统动力学模型

1. 模型构建

系统动力学模型为流域水资源管理提供科学预测与调控依据。它将流域水资源系统看作复杂整体，综合考量水资源、社会经济、生态环境等子系统的相互作用与反馈机制。构建模型时，先划分系统边界，明确主要变量和参数；接着依据子系统间的因果关系绘制流程图，建立系统动力学方程，这些方程涵盖水量平衡、水质变化、经济发展等，描述变量随时间的变化规律；最后借助计算机软件仿真模拟，分析不同政策、气候变化及人类活动等因素对水资源系统产生的影响。

2. 模型优势

系统动力学模型能够反映流域水资源系统的动态性和复杂性，考虑了系统内部各因素之间的反馈作用和延迟效应，可以更准确地预测水资源系统的未来发展趋势。通过模拟不同情景下的水资源变化情况，决策者可以提前制定应对策略，提高水资源管理的预见性和灵活性。此外，该模型还可以用于政策分析和评估，帮助决策者选择最优的水资源管理政策^[6]。

（三）模糊数学模型

1. 模型构建

模糊数学模型可处理水资源管理中的不确定与模糊信息，提升决策稳健性。流域水资源优化配置中，存在诸多不确定因素，像水文数据误差、需求预测不精准、政策目标多目标性等，给配置带来困难^[7]。该模型引入模糊集合与模糊逻辑概念，把不确定信息转为模糊量处理，更贴合实际复杂情况。构建时，先确定模糊变量和集合，如用“短缺”“平衡”“充裕”表示水资源供需状况；接着建立模糊规则，描述变量关系；最后利用模糊推理，依据输入模糊信息得出模糊决策结果，再经解模糊化转为具体决策方案。

2. 模型优势

模糊数学模型不需要精确的数学模型和大量的历史数据，能够处理一些难以用精确数学方法描述的问题。它可以充分考虑决策过程中的不确定性和模糊性，使决策结果更加符合实际情况。同时，该模型还具有较强的灵活性和适应性，可以根据实际情况对模糊规则进行调整和优化。

（四）大数据与人工智能模型

1. 模型构建

随着大数据和人工智能技术的快速发展，其在流域水资源优化配置中的应用也越来越广泛。大数据技术可以挖掘和分析海量水资源数据中的规律和趋势，发现隐藏的水资源利用问题和潜在风险。人工智能技术，如机器学习、深度学习等，可以基于历史数据和预测模型，对复杂的水文、气候和经济社会变量进行高级分析，生成最优的水资源调度策略。在构建大数据与人工智能模型时，首先需要收集和整理大量的水资源数据，包括降水量、蒸发量、河川径流量、地下水储量、水质状况以及各类用水需求等。然后，利用数据挖掘和机器学习算法，对数据进行预处理、特征提取和模型训练^[8]。

2. 模型优势

大数据与人工智能模型具有强大的数据处理和分析能力，能够处理大规模、高维度的水资源数据，发现数据中的潜在规律和模式。它可以实现对水资源系统的实时监测和动态调控，提高水资源管理的效率和精度。同时，该模型还可以不断学习和优化，随着数据的积累和算法的改进，其预测和决策能力将不断提高。

四、流域水资源优化配置模型在水利水电工程中的实践应用

（一）水利水电工程规划中的应用

1. 工程选址与规模确定

水利水电工程规划阶段，流域水资源优化配置模型能为工程选址、规模确定与布局优化提供科学支撑。构建多目标优化配置模型，综合考量工程的经济、社会、生态效益，评估不同规划方

案。以水库规划为例，模型可分析不同库容、水位和调度方案对供水、发电、防洪及生态的影响，大库容虽能提升调节能力，但可能破坏生态、增加移民成本，经模拟优化可确定合理参数与调度规则。此外，系统动力学模型能模拟工程建成后流域水资源系统动态变化，预测其对水资源、生态、社会经济的影响，助力工程可行性研究与决策^[9]。

2. 工程布局优化

流域水资源优化配置模型还可以用于优化水利水电工程的布局。在流域内规划多个水利水电工程时，需要考虑各工程之间的相互影响和协调关系。通过模型分析不同工程布局方案下的水资源调配效果和综合效益，选择最优的工程布局方案。

（二）水资源调度中的应用

1. 实时动态调度

流域水资源优化配置模型在水利水电工程水资源调度中发挥着重要作用。通过实时监测和收集流域水资源信息，利用模型进行动态调度和优化配置，实现水资源的合理调配和高效利用。例如，在干旱季节，模型可以根据水资源供需状况和生态需水要求，合理调整水库的蓄水和放水策略，保障城市供水、农业灌溉和生态用水的需求。在洪水季节，模型可以模拟洪水的演进过程，优化水库的防洪调度方案，减轻下游地区的洪水灾害。大数据与人工智能模型可以实现对水资源调度的智能化决策，根据实时数据和预测信息，自动生成最优的调度策略，提高调度的及时性和准确性^[10]。

2. 长期水资源规划

除了实时动态调度，流域水资源优化配置模型还可以用于长期水资源规划。通过对历史水资源数据和未来经济社会发展趋势的分析，模型可以预测未来不同时间段的水资源供需状况，制定相应的水资源调配方案和工程建设计划。

（三）生态保护中的应用

1. 生态需水保障

流域水资源优化配置模型有助于协调水利水电工程建设与生态保护之间的关系，实现水资源的可持续利用。在工程建设和运行过程中，模型可以评估工程对生态系统的影响，制定相应的生态保护措施和补偿机制。例如，通过确定河流生态基流和湖泊生态水位，保障生态系统的基本生态需水，维护生物多样性。模型可以根据不同季节和生态系统的需求，动态调整水资源调配方案，确保生态用水的优先满足。

2. 生态修复方案优化

模型还可以模拟生态修复工程的效果，优化生态修复方案，提高生态修复的效率和效益。例如，在湿地生态修复中，利用模型分析不同补水方案和水生植物配置方案对湿地水质改善和生物多样性恢复的影响，选择最优的生态修复方案。通过模型的模拟和优化，可以避免盲目修复造成的资源浪费和生态破坏，实现生态修复的科学化和精准化。

五、结论与展望

流域水资源优化配置模型是科学管理水资源、推动水利水电工程可持续发展的关键。多目标优化、系统动力学、模糊数学及大数据与人工智能等模型，为流域水资源优化配置提供多样方法，在工程规划、调度、生态保护上作用显著，可提升水资源利用效率，保障工程效益，促进生态与社会公平。

未来，科技与管理需求进步将促使模型完善。要加强模型集成创新，融合不同模型优势，构建更综合高效智能的模型；加强模型与实际工程结合，提高实用性。同时，加强国际合作交流，借鉴国外经验。此外，改革完善水资源管理体制，建立统一高效机制，加强法规建设，严惩污染浪费，保障模型实施。

参考文献

[1]张帆. 水资源优化配置研究综述 [J]. 合作经济与科技, 2020, (20): 36-37.
[2]毛广元, 李宁, 赵莹. 水资源优化配置研究的进展与展望 [J]. 内蒙古水利, 2009, (06): 27-28.
[3]唐德善, 王霞, 赵洪武, 等. 流域水资源优化配置研究 [J]. 水电能源科学, 2005, (03): 38-40+91.
[4]谭安琪, 穆振宇, 艾学山, 等. 流域精细化水资源优化配置模型及应用 [J]. 中国农村水利水电, 2023, (02): 28-34.
[5]王化月, 张红侠. 水资源多目标优化配置模型及其应用 [J]. 吉林水利, 2014, (06): 41-43.
[6]王艳芳, 崔远来, 顾世祥, 等. 系统动力学在水资源优化配置中的应用 [J]. 水电能源科学, 2006, (05): 8-11+97.
[7]钟金鸣, 苏爱文, 武雪静, 等. 基于模糊多目标规划模型的水资源优化配置 [J]. 人民珠江, 2018, 39(07): 27-33.
[8]齐龙滔, 李欣泽. 数字孪生流域模型在跨区域水资源优化配置中的应用与拓展 [C]//2025中国水利信息化技术交流会论文集. 2025: 1086-1105.
[9]谭安琪, 穆振宇, 艾学山, 等. 考虑破坏程度的流域水资源优化配置模型及应用 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2024, 57(11): 1531-1538.
[10]席海潮, 解阳阳, 刘赛艳, 等. 基于 IMOCS 算法的跨流域水资源多目标优化调配 [J]. 南水北调与水利科技 (中英文), 2024, 22(05): 946-958.