

# 流域水资源可持续管理的多目标优化模型构建与应用

张鑫厚 杨瑞锋

南京水科院瑞迪科技集团有限公司 江苏 南京 210000

**摘要:** 随着流域水资源供需矛盾的日益突出,实现水资源的可持续管理成为迫切需求。本文针对流域水资源管理的复杂性,构建了一个多目标优化模型,旨在综合考虑经济、社会和生态环境等多个方面,实现水资源的合理分配、水质保护、生态环境保护以及政策制定的科学化。模型通过确定决策变量、设定优化目标、建立目标函数和约束条件,并选择合适的求解算法进行求解。随后,本文详细探讨了该模型在水量分配、水质保护、生态环境保护和政策制定等方面的具体应用,为流域水资源可持续管理提供了科学依据和实践指导。

**关键词:** 流域水资源; 可持续管理; 多目标优化模型

## 引言

流域水资源是人类生存和发展的基础,然而随着人口增长、经济发展和城市化进程的加快,流域水资源供需矛盾日益尖锐,水资源短缺、水污染和生态环境恶化等问题日益突出。为了实现流域水资源的可持续管理,需要综合考虑经济、社会和生态环境等多个方面的因素,制定科学合理的管理策略。传统的单一目标优化模型往往难以全面反映流域水资源管理的实际情况,因为流域水资源管理涉及多个相互冲突的目标,如经济效益最大化、生态环境保护最优化和社会公平保障等。因此,构建多目标优化模型成为解决流域水资源可持续管理问题的有效途径。

## 1 流域水资源可持续管理的多目标优化模型构建

### 1.1 模型构建背景与意义

流域水资源可持续管理是一个涉及经济、社会和生态环境等多维度的复杂系统工程。随着人口增长、经济发展和气候变化的影响,水资源短缺、水质污染和生态退化等问题日益凸显,对流域水资源的可持续利用提出了严峻挑战。传统的单一目标优化模型往往只关注经济效益或某一方面的环境目标,难以全面反映流域水资源管理中的多方面因素和它们之间的相互作用与冲突<sup>[1]</sup>。因此,构建流域水资源可持续管理的多目标优化模型显得尤为重要。通过多目标优化,可以在保障经济持续发展的同时,兼顾生态环境保护和社会公平,实现水资源的合理配置和可持续利用。

### 1.2 模型构建思路

#### 1.2.1 确定决策变量

决策变量是模型构建的基础,它们代表了决策者在流域水资源管理中可以调整和控制的因素。在本文中,我们根据流域水资源管理的实际情况,确定了以下几类

决策变量:

#### (1) 各用水部门的用水量

包括农业、工业、生活等各个用水部门的用水量,这些用水量是可以通过政策、技术和管理手段进行调整和控制的。

#### (2) 水源地的开发利用程度

水源地是流域水资源的重要来源,其开发利用程度直接影响到水资源的可供水量和水质状况。因此,将水源地的开发利用程度作为决策变量,可以反映决策者在水资源开发利用方面的决策空间。

#### (3) 污水处理和回用率

污水处理和回用是提高水资源利用效率的重要手段。将污水处理和回用率作为决策变量,可以考察不同污水处理和回用策略对流域水资源管理的影响。

### 1.2.2 设定优化目标

优化目标是模型构建的核心,它们代表了决策者在流域水资源管理中希望达到的效果。根据流域水资源可持续管理的需求,本文设定了以下三个优化目标:

#### (1) 经济效益最大化

流域水资源管理需要充分考虑经济发展的需求,通过合理分配水资源,提高水资源利用效率,促进区域经济的持续发展。经济效益最大化目标可以通过构建经济效益目标函数来实现,该函数可以表示为用水量与经济效益之间的函数关系,如通过增加农业灌溉水量提高农作物产量,从而增加农业收入等。

#### (2) 生态环境保护最优化

流域水资源是生态环境的重要组成部分,保护水质和水生生态系统对于维护区域生态平衡具有重要意义。生态环境保护最优化目标要求确保水质达标,保护水生生态系统和湿地等生态环境敏感区域<sup>[2]</sup>。为此,可以构建

生态环境保护目标函数,如通过限制污染物排放量来保持水质在一定范围内等。

### (3) 社会公平保障

流域水资源管理需要关注社会公平问题,确保各用水部门的基本需求得到满足。社会公平保障目标要求在水资源分配过程中考虑各用水部门的实际需求和利益诉求,确保水资源分配的公平性。可以通过构建社会公平目标函数来实现这一目标,如通过设定最低用水量保障线来确保生活用水的基本需求等。

#### 1.2.3 建立目标函数和约束条件

针对上述优化目标,本文建立了相应的目标函数和约束条件。目标函数用于描述决策变量与优化目标之间的关系,是模型优化的基础。约束条件则用于确保决策变量的合理性和可行性,是模型求解的约束条件。

#### (1) 目标函数

根据经济效益最大化、生态环境保护最优化和社会公平保障三个优化目标,分别建立相应的目标函数。经济效益目标函数可以表示为用水量与经济效益之间的函数关系,如通过增加用水量来提高农业、工业等产业的产产值。生态环境保护目标函数可以表示为水质指标与生态环境保护效果之间的函数关系,如通过减少污染物排放量来改善水质状况。社会公平目标函数可以表示为各用水部门的用水量与基本需求之间的函数关系,如通过确保各用水部门的用水量不低于其基本需求来保障社会公平。

#### (2) 约束条件

为了确保决策变量的合理性和可行性,需要建立一系列约束条件。这些约束条件包括水量平衡约束、水质保护约束、生态环境保护约束等。水量平衡约束要求流域内的水资源总量在各用水部门之间进行合理分配,确保水资源的供需平衡。水质保护约束要求水质指标控制在一定范围内,防止水质恶化对生态环境和人类健康造成危害。生态环境保护约束要求保护水生生态系统和湿地等生态环境敏感区域,防止人类活动对这些区域造成破坏。

#### 1.2.4 选择求解算法

多目标优化模型是一个复杂的非线性规划问题,需要选择合适的求解算法进行求解。本文选择了遗传算法作为求解算法,原因如下:遗传算法是一种基于自然选择和遗传机制的优化算法,具有全局搜索能力强、鲁棒性好等优点。它能够在复杂的解空间中快速找到一组非劣解集,为决策者提供多种可能的决策方案。同时,遗传算法对问题的性质和规模没有严格要求,适用于解决各种复杂的多目标优化问题。在流域水资源管理的多目标优化模型中,遗传算法能够有效地处理决策变量与优

化目标之间的复杂关系,找到满足所有约束条件且在不同目标之间达到平衡的一组解。

### 1.3 模型构建步骤

#### 1.3.1 数据收集与预处理

数据是模型构建的基础,为了准确反映流域水资源管理的实际情况,需要收集大量相关数据。这些数据包括水文数据、社会经济数据和生态环境数据等。

#### (1) 水文数据:

主要收集流域内的降雨量、径流量、蒸发量等水文要素数据。这些数据是描述流域水资源状况的重要基础,对于确定水资源的可供水量和水质状况具有重要意义。

#### (2) 社会经济数据

主要收集流域内的人口、GDP、产业结构等社会经济指标数据。这些数据是反映流域经济发展状况的重要依据,对于确定各用水部门的需求量和经济效益具有重要意义。

#### (3) 生态环境数据

主要收集流域内的水质指标、生态系统状况、湿地分布等生态环境数据。这些数据是描述流域生态环境状况的重要基础,对于确定生态环境保护目标和约束条件具有重要意义。

在收集到数据后,需要进行预处理工作。预处理工作包括数据清洗、数据转换和数据标准化等步骤。数据清洗主要是去除异常值和缺失值,确保数据的准确性和完整性<sup>[3]</sup>。数据转换主要是将定性数据转化为定量数据,便于后续模型构建和求解。数据标准化主要是将不同量纲的数据进行归一化处理,消除量纲差异对模型结果的影响。

#### 1.3.2 模型构建与参数设置

在数据预处理完成后,需要根据决策变量、优化目标、目标函数和约束条件等要素构建流域水资源可持续发展的多目标优化模型。模型构建过程中需要注意各要素之间的逻辑关系和相互作用,确保模型的准确性和可行性。在模型构建完成后,需要设置模型的参数。这些参数包括遗传算法的种群大小、交叉概率、变异概率等算法参数,以及迭代次数、收敛条件等求解参数。这些参数的设置将直接影响到模型的求解效率和结果质量,因此需要根据实际情况进行合理设置。

#### 1.3.3 模型求解与结果分析

在模型参数设置完成后,可以选择遗传算法对模型进行求解。求解过程中需要关注算法的收敛性和稳定性,确保得到一组可靠的非劣解集。非劣解集是满足所有约束条件且在不同目标之间达到平衡的一组解,为决策者提供了多种可能的决策方案。在得到非劣解集后,

需要对解集进行分析和评价。分析过程中可以关注各目标之间的权衡关系和相互影响,以及不同决策变量对模型结果的影响程度。评价过程中可以根据实际情况选择最优解或满意解作为决策方案,为流域水资源管理提供科学依据。同时,为了评估模型的稳定性和可靠性,还需要进行敏感性分析和鲁棒性分析。敏感性分析用于考察模型结果对参数变化的敏感程度,帮助决策者了解模型在不同参数设置下的表现情况。鲁棒性分析则用于评估模型在不确定性和扰动下的表现情况,帮助决策者了解模型在实际应用中的稳定性和可靠性。通过敏感性分析和鲁棒性分析,可以进一步验证模型的准确性和可行性,为流域水资源管理提供更加科学的决策支持。

## 2 流域水资源可持续管理的多目标优化模型应用

### 2.1 在水量分配中的应用

流域水资源的管理核心在于水量的合理分配,这直接关系到水资源的利用效率和流域内各用水部门的正常运作。通过构建流域水资源可持续管理的多目标优化模型,我们可以实现水量的精细化、科学化分配。模型能够全面考虑不同用水部门(如农业、工业、生活等)的实际需求和优先级,确保关键部门的用水得到优先保障。同时,模型还会评估水源地的开发利用程度和可持续性,避免过度开发导致的水资源枯竭问题。在水量分配过程中,模型会综合考虑当前的水资源状况、未来需求预测以及水资源的再生能力,从而制定出既满足当前需求又不损害未来利益的水量分配方案。这种方案不仅有助于缓解流域水资源供需矛盾,还能提高水资源的整体利用效率,促进流域内经济的可持续发展。

### 2.2 在水质保护中的应用

水质保护是流域水资源可持续管理不可或缺的一环。多目标优化模型在水质保护方面的应用,主要体现在其能够综合考虑水质保护、经济效益和社会效益等多个维度。模型可以通过优化污水处理和回用率,减少污染物排放,从而改善水质状况。同时,它还能调整用水结构,鼓励低耗水、低污染行业的发展,限制高耗水、高污染行业的扩张,以减轻对水质的压力<sup>[4]</sup>。此外,模型还能加强水环境监测和预警系统的建设,及时发现并解决水质问题,防止水质恶化对生态环境和人类健康造成威胁。通过模型的优化,我们可以实现水质保护与经济发展的双赢,为流域内居民提供更加安全、可靠的水资源。

### 2.3 在生态环境保护中的应用

生态环境保护是流域水资源可持续管理的核心目标之一。多目标优化模型在生态环境保护方面的应用,主要体现在其能够平衡生态环境保护与经济发展之间的关

系。模型可以优化水源地的开发利用程度,确保开发活动不对生态环境敏感区域造成破坏。同时,它还能调整用水结构,鼓励节水型产业的发展,减少对生态环境的用水需求。

### 2.4 在政策制定中的应用

流域水资源可持续管理的多目标优化模型不仅为水量分配、水质保护和生态环境保护提供了科学依据,还为政策制定提供了有力支持。通过对模型结果的分析 and 评价,决策者可以深入了解不同政策方案对流域水资源可持续管理的影响程度和效果。这有助于决策者制定出更加科学、合理、可行的政策方案,确保政策的有效性和针对性。同时,模型还能为政策实施提供监测和评估手段,帮助决策者及时了解政策实施效果,调整政策方向。通过模型的辅助,我们可以实现政策制定的科学化和精细化,推动流域水资源的可持续利用和管理不断向前发展。

### 结语

本文通过对流域水资源可持续管理的多目标优化模型进行构建与应用研究,得出以下结论:构建多目标优化模型是实现流域水资源可持续管理的有效途径。通过综合考虑经济、社会和生态环境等多个方面的因素,可以制定出科学合理的管理策略。遗传算法适用于解决复杂的多目标优化问题。通过选择合理的算法参数和求解参数,可以得到一组非劣解集,为决策提供依据。多目标优化模型在水量分配、水质保护、生态环境保护和政策制定等方面具有广泛的应用前景。通过具体应用步骤的实施,可以制定出更加科学、合理、可行的管理方案 and 政策措施。未来,应继续加强流域水资源可持续管理的研究和实践,推动流域水资源的可持续利用和管理。同时,应不断探索新的优化算法和应用领域,为流域水资源管理提供更多科学依据和实践指导。

### 参考文献

- [1]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.
- [2]王晓宇,袁汝华,王维.新形势下黄河流域水资源配置SD模型构建与仿真[J].生态经济,2024,40(02):181-190.
- [3]余璐,牛文娟,王丹丹,等.基于奖惩机制的流域生态优先水资源多主体合作配置模型[J].水利经济,2023,41(01):40-46+104.
- [4]陈沛源,李金文,俞巧,等.基于SWAT模型的泾河流域地下水分布特征与水资源评价[J].灌溉排水学报,2021,40(12):102-109+126.