

水资源优化配置模型构建与应用

田 姣

山东红石环保科技有限公司 山东 济南 250000

摘要：水资源时空分布不均与供需矛盾突出，制约经济社会与生态环境协同发展，构建科学的优化配置模型是实现水资源高效利用的关键。本文基于系统工程、运筹学等理论，明确模型构建前提与边界，构建经济、生态、社会多目标函数，设定水资源量、用水需求等约束条件，筛选适配求解方法，结合北方半干旱流域实例验证模型可行性。结果表明，模型可有效优化用水结构、控制地下水超采，实现三大效益平衡，为区域水资源可持续利用提供科学支撑。

关键词：水资源；优化配置；模型构建；应用

引言：水资源作为基础性战略资源，其稀缺性与时空分布不均性日益凸显，加之工农业发展与生态保护对水资源需求的提升，水资源分配矛盾愈发突出。当前传统配置方法科学性不足，难以适配复杂的水资源系统需求。基于此，本文立足“节水优先、空间均衡”治水思路，开展水资源优化配置模型构建与应用研究，破解用水竞争难题，为区域水资源高效、公平、可持续配置提供理论与实践参考，助力水安全保障与生态保护协同推进。

1 水资源优化配置相关理论基础

1.1 水资源优化配置核心概念

(1) 水资源的内涵与特征：水资源是指可被人类利用的淡水资源，包括地表水、地下水及再生水等，是支撑经济社会发展和生态环境稳定的基础性资源。其核心特征体现为系统性、稀缺性、时空分布不均性和多功能性，既具有自然属性，受气候、地形等自然因素影响，又具有社会经济属性，与人类生产生活、产业布局密切相关，且不同用途间存在竞争与协同关系。(2) 水资源优化配置的定义与目标：定义为在特定区域内，结合水资源禀赋与社会经济发展需求，通过科学手段合理分配水资源，协调各用水部门、各区域间的用水矛盾。核心目标是实现水资源的高效利用、公平分配，兼顾经济收益、社会公平与生态保护，在保障城乡生活、工农业生产用水的同时，维持生态系统良性循环，提升水资源可持续利用能力。

1.2 水资源优化配置的基本原则与方法

(1) 基本原则：核心包括公平性原则，确保不同区域、不同用水群体享有平等的用水权利；高效性原则，提升水资源利用效率，减少浪费；可持续性原则，统筹当前与长远需求，兼顾生态用水；系统性原则，将水资源、社会、经济、生态作为整体统筹规划，实现多目标协调。(2) 常用配置方法分类与对比：主要分为两类，

一是基于经验的传统配置方法，如比例分配法，操作简便但缺乏科学性；二是基于模型的现代配置方法，包括线性规划法、非线性规划法、系统动力学方法等。其中线性规划法适用于简单约束条件，计算高效；非线性规划法可处理复杂非线性关系；系统动力学方法能模拟水资源系统动态变化，各方法需结合区域实际需求选择^[1]。

1.3 模型构建的理论支撑

(1) 系统工程理论：将水资源系统视为一个复杂的有机整体，通过系统分析、系统设计等方法，梳理系统内各要素的关联的关系，为水资源优化配置模型构建提供整体思维，实现系统整体效益最大化。(2) 运筹学理论：为模型构建提供核心计算方法，通过建立目标函数、约束条件，求解水资源分配的最优方案，解决水资源分配中的多目标、多约束优化问题，是实现水资源高效配置的核心理论工具。(3) 水资源系统模拟理论：通过模拟水资源的形成、转化、分配过程，还原水资源时空分布特征及用水过程，为优化配置模型提供数据支撑和验证依据，确保模型贴合实际，提升配置方案的可行性。

2 水资源优化配置模型构建

2.1 模型构建前提与边界条件

(1) 研究区域概况与数据基础：明确研究区域的地理范围、行政区划及水系分布，梳理区域内水资源禀赋特征，包括地表水、地下水储量及可利用量，掌握区域内城乡生活、工农业生产、生态环境等各类用水需求现状。数据基础需保障全面准确，主要涵盖气象数据、水文监测数据、用水统计数据、工程运行数据等，通过实地调研、权威部门数据调取、遥感反演等方式获取，经数据清洗、校验后，为模型构建提供可靠的数据支撑，确保模型贴合研究区域实际情况。(2) 模型边界与约束条件确定：模型边界分为空间边界和时间边界，空间边界与研究区域范围一致，明确水资源分配的空间范围及

区域内供水、用水节点的划分；时间边界结合研究目的设定，通常以年为基本计算单元，细化至季度或月度，兼顾水资源时空分布差异。约束条件确定需结合区域水资源实际和发展需求，明确模型构建的核心限制因素，为后续目标函数构建和约束条件设定奠定基础，避免模型脱离实际可操作范围。

2.2 目标函数构建

(1) 经济目标函数：以区域水资源利用经济收益最大化为核心，结合各用水部门效益，选取GDP、农业及工业产值为核心指标，量化各部门单位用水效益，通过优化水资源在各部门的分配比例，实现水资源经济价值最大化，同时兼顾产业结构优化，杜绝高耗水、低效益产业过度用水。(2) 生态环境目标函数：以保护生态系统、维持区域生态平衡为核心，重点保障生态基流、湿地补水、地下水超采治理等生态用水需求，量化生态用水保障程度，减少水资源过度开发对生态环境的破坏，推动生态环境质量稳步提升，实现水资源开发与生态保护协调发展^[2]。(3) 社会目标函数：以保障社会公平稳定为核心，聚焦城乡居民生活用水保障、区域用水公平及粮食安全用水，量化居民用水满足率、区域用水均衡度等指标，在水资源分配中兼顾效率与公平，保障低收入群体、偏远区域基本用水需求，促进社会和谐。(4) 多目标综合集成：采用加权求和法、层次分析法等，对经济、生态、社会三大目标进行综合集成，结合区域发展定位确定各目标权重，将多目标优化转化为单目标问题，兼顾三大目标协同平衡，避免单一目标最优损害其他目标，最终实现水资源优化配置综合效益最大化。

2.3 约束条件设定

(1) 水资源量约束：作为核心约束条件，明确研究区域内可利用水资源总量上限，包括地表水可利用量、地下水允许开采量、再生水利用量等，确保各用水部门的总用水量不超过区域可利用水资源总量，同时限制地下水超采，保障水资源可持续利用。(2) 用水需求约束：结合各用水部门的实际需求，设定用水需求上下限约束。下限为各部门的基本用水需求，确保城乡生活、生态环境、粮食生产等基本用水得到保障；上限为各部门的最大允许用水量，控制高耗水部门用水，避免水资源浪费，同时兼顾用水需求的动态变化。(3) 工程运行约束：结合区域内供水工程（水库、泵站、输水管网等）的运行参数，设定工程运行约束，包括工程供水能力、供水范围、调度规则等，确保供水工程的运行符合技术标准，保障水资源分配的可行性和稳定性，避免因工程限制导致配置方案无法落地^[3]。

2.4 模型求解方法选择与实现

(1) 求解方法筛选与对比：结合模型的目标函数类型、约束条件复杂度，筛选合适的求解方法。常用方法包括线性规划法、非线性规划法、遗传算法、粒子群优化算法等。线性规划法适用于目标函数和约束条件均为线性的简单模型，计算高效、结果稳定；非线性规划法可处理复杂非线性问题，贴合实际水资源系统特征；智能优化算法（遗传算法等）适用于多目标、多约束的复杂模型，求解效率高、鲁棒性强，结合模型特点选择最优求解方法^[4]。(2) 求解工具与步骤：选用MATLAB、Lingo、Excel Solver等常用工具实现模型求解，其中MATLAB适用于复杂智能算法求解，Lingo擅长线性和非线性规划问题求解，Excel Solver操作简便，适用于简单模型。求解步骤主要包括：梳理模型参数、输入数据，设定目标函数和约束条件，选择求解方法和工具，运行求解程序，对求解结果进行检验和分析，若结果不符合实际，调整参数和约束条件后重新求解，直至得到合理可行的优化配置方案。

3 水资源优化配置模型应用实例

3.1 实例区域概况

(1) 区域自然地理与水资源禀赋：选取某北方半干旱流域作为实例区域，该区域总面积约5200km²，属温带大陆性季风气候，年平均降水量450mm，年蒸发量达1200mm，气候干旱少雨，水资源禀赋较差。区域内主要河流为季节性河流，地表水可利用量约1.2亿m³，地下水允许开采量0.8亿m³，水资源总量2.0亿m³，人均水资源量仅860m³，远低于全国平均水平，属于水资源短缺区域，水资源时空分布不均，夏季降水集中，冬季水资源匮乏。(2) 区域用水结构与现存问题：区域用水结构以农业用水为主，占总用水量的68%，工业用水占20%，城乡生活用水占10%，生态用水占2%，用水结构不合理，农业高耗水问题突出。现存核心问题包括：农业灌溉方式落后，水资源利用效率低；地下水超采严重，部分区域出现地下水位下降、地面沉降等问题；工业用水重复利用率偏低，浪费现象明显；生态用水保障不足，流域湿地萎缩、河道断流时有发生，水资源分配矛盾突出，制约区域经济社会与生态环境协调发展。

3.2 模型参数校准与验证

(1) 基础数据收集与处理：收集该区域近10年的气象、水文、用水统计、工程运行等基础数据，包括降水量、径流量、地下水埋深、各部门用水量、供水工程参数等。通过实地调研补充缺失数据，采用异常值剔除、插值法等进行数据清洗与预处理，统一数据口径与计算

标准,将处理后的数据录入模型,构建模型数据库,确保数据的准确性、完整性和一致性,为参数校准和模型验证提供可靠支撑。(2)参数校准与模型验证:结合区域实际情况,确定模型中各参数的初始值,包括单位用水效益、用水定额、供水工程效率等,采用试算法、遗传算法对参数进行校准,调整参数直至模型计算结果与区域实际用水数据、水资源量数据的偏差控制在5%以内。选取近3年的实际数据作为验证样本,将模型计算结果与实际值进行对比分析,验证模型的合理性和适用性,确保模型能够准确模拟区域水资源分配过程,为后续模型应用奠定基础^[5]。

3.3 模型应用与结果分析

(1)基准情景下配置结果:基准情景为现状用水模式下的水资源配置,模型计算结果显示,区域总用水量2.1亿 m^3 ,超出水资源可利用总量0.1亿 m^3 ,地下水超采量0.2亿 m^3 。农业用水1.43亿 m^3 ,利用效率仅45%;工业用水0.42亿 m^3 ,重复利用率60%;生态用水仅0.04亿 m^3 ,远不能满足生态保护需求,基准情景下水资源供需矛盾突出,配置方案不合理。(2)不同情景下配置方案对比:设置3种优化情景,情景1侧重经济发展,情景2侧重生态保护,情景3侧重综合效益。对比结果显示,情景1经济收益最高,但生态用水保障不足;情景2生态环境改善明显,但经济收益有所下降;情景3通过优化用水结构,农业用水降至1.2亿 m^3 ,工业用水重复利用率提升至80%,生态用水增至0.12亿 m^3 ,实现了经济、生态、社会效益的平衡,为最优配置方案。(3)配置结果合理性分析:最优配置方案下,区域总用水量控制在1.98亿 m^3 ,未超出水资源可利用总量,地下水超采问题得到有效控制,地下水位趋于稳定。各部门用水需求得到合理保障,农业用水效率提升至65%,工业用水浪费减少,生态用水得到有效补充,流域湿地面积扩大、河道径流恢复,配置结果符合区域发展定位,兼顾了效率与公平,具有较强的可行性和实用性。

3.4 应用效果评价

(1)经济效果评价:最优配置方案实施后,区域农业产值提升12%,工业产值提升8%,GDP同比增长10%。通过优化水资源分配,减少高耗水、低效益产业用水,推动产业结构优化升级,农业灌溉成本降低15%,工业节水成本节约20%,水资源利用的经济价值显著提升,实现了水资源与经济协同推进。(2)生态环境效果评价:生态用水保障水平大幅提升,流域生态基流得到满足,河道断流现象基本消除,湿地面积增加15%,区域植被覆盖率提升8%。地下水超采得到遏制,地下水位平均回升0.5m,地面沉降等生态问题得到缓解,区域生态环境质量明显改善,实现了水资源开发利用与生态保护的协调发展,提升了水资源可持续利用能力。

结束语

本文系统完成了水资源优化配置模型的构建与实例应用,明确了模型构建的理论支撑、核心流程与求解路径,通过实例验证了模型在优化用水结构、平衡多重效益中的有效性,有效缓解了区域水资源供需矛盾,遏制了地下水超采等生态问题。但模型未充分考虑极端气候对水资源禀赋的影响,后续可结合气候变化场景优化模型参数,进一步提升模型适应性,为更复杂水情下的水资源配置提供更精准的技术支撑。

参考文献

- [1]罗伟.基于供水风险的水资源多目标优化配置研究[J].地下水,2024,46(02):97-101.
- [2]于利超,王传平.水文模型在洪水预警与管理中的应用与改进[J].东北水利水电,2024,42(03):47-49.
- [3]王鲁北,李本厚.水文模型在水资源管理中的应用与优化[J].水上安全,2024,(02):46-48.
- [4]马壮壮,雷宇明.库塘水资源优化调度系统的设计与实施[J].价值工程,2024,43(33):130-133.
- [5]陈洁,郑雨翔,刘嘉禾,等.宁波水网水资源优化调度研究与实践[J].水利信息化,2025,(02):12-18.