

干旱区水资源优化配置的多目标决策模型构建与应用

武守业

昭平台水库南灌区叶县管理所 河南 平顶山 467200

摘要：本文聚焦干旱区水资源优化配置的多目标决策模型构建与应用。先分析干旱区水资源特征与配置需求，阐述多目标决策必要性。接着构建模型，包括假设与变量定义、目标函数设置、约束条件设计。以我国西北某干旱区为案例应用模型，分析结果、比较不同目标偏好方案，并处理敏感性及不确定性。最后提出政策制度、技术工程、公众参与、信息化智能化等保障机制，旨在实现干旱区水资源科学配置与高效利用。

关键词：干旱区；水资源优化配置；多目标决策模型

引言：干旱区降水稀少、蒸发强烈，水资源总量匮乏、时空分布不均、质量参差不齐且开发利用难度大，而农业、工业、生活和生态等多方面对水资源配置需求不断增长，矛盾日益凸显。单一目标决策难以满足实际需求，多目标决策能综合考虑经济、社会、生态等多方面目标，寻求最优配置方案。因此，构建干旱区水资源优化配置的多目标决策模型具有重要的现实意义，有助于实现水资源的可持续利用。

1 干旱区水资源特征与配置需求分析

1.1 干旱区水资源特征

干旱区降水稀少、蒸发强烈，水资源特征独特。其一，总量匮乏，年降水量普遍较低，部分地区不足200毫米，蒸发量却超2000毫米，水资源自然补给严重不足。像我国西北塔克拉玛干沙漠周边，多年平均降水量50-100毫米，蒸发量超2500毫米，供需矛盾突出。其二，时空分布不均，时间上，降水多集中在夏季且多为暴雨，难以有效利用；空间上，水资源集中在少数河流或湖泊，广大地区匮乏。如塔里木河流域，上游山区水资源集中，中下游相对较少，下游生态用水不足，生态环境恶化。其三，质量参差不齐，部分地区因工业废水、生活污水排放及农业面源污染，水资源受不同程度污染，一些河流、湖泊水质恶化，影响可利用性，如某些干旱地区河流因工厂废水排放，重金属超标，无法满足农业灌溉和居民生活用水需求。其四，开发利用难度大，地形复杂、地质条件差，开发需大量资金和技术，且易引发地下水位下降、土地沙化等生态环境问题。

1.2 水资源配置需求与矛盾

干旱区水资源配置需求来自农业、工业、生活和生态等多方面。农业是用水大户，灌溉用水占比大，为保障粮食安全和可持续发展，需合理配置并提高灌溉水利用效率^[1]。工业发展需大量水资源，随着工业化进程加

快，用水需求不断增加。生活用水方面，人口增长和城市化推进使居民生活用水量逐年上升。生态用水对维护生态平衡至关重要，能维持河流、湖泊、湿地等生态系统稳定，保护生物多样性。然而水资源配置面临诸多矛盾，一方面，总量有限，难以满足各部门需求，干旱年份短缺更严重，部门间争水现象频发，如农业灌溉高峰期会限制工业和生活用水，生态用水紧张时威胁生态系统健康。另一方面，配置不合理且存在浪费，部分地区灌溉方式落后，大水漫灌普遍，工业用水重复利用率低。

1.3 多目标决策的必要性

多目标决策能够综合考虑经济、社会、生态等多个方面的目标，寻求最优的水资源配置方案。从经济目标来看，要实现水资源的合理利用，提高水资源利用效率，促进经济发展。从社会目标来看，要保障居民生活用水安全，促进社会公平。确保不同地区、不同阶层的居民都能获得基本的生活用水，减少因水资源短缺引发的社会矛盾。从生态目标来看，要维护干旱区生态平衡，保护生态环境。合理配置生态用水，恢复和改善河流、湖泊、湿地等生态系统的功能，保护生物多样性。多目标决策可以协调这些目标之间的矛盾，实现水资源的可持续利用。

2 干旱区水资源优化配置的多目标决策模型构建

2.1 模型假设与变量定义

在构建干旱区水资源优化配置的多目标决策模型时，需要进行一些合理的假设。假设水资源系统是一个相对稳定的系统，在一定时期内，水资源总量和用水需求的变化在可预测范围内。假设各部门用水需求可以通过一定的方式进行调整，以适应水资源的变化。同时假设模型中的参数和数据是准确可靠的，能够反映实际情况。模型中的变量主要包括决策变量、状态变量和参数变量。决策变量是指在水资源配置过程中可以人为控制

的变量,如各部门的水资源分配量。状态变量用于描述水资源系统的状态,如水库蓄水量、地下水位等。参数变量包括水资源总量、各部门用水定额、水资源利用效率等。

2.2 目标函数设置

多目标决策模型的目标函数通常包括经济目标函数、社会目标函数和生态目标函数。经济目标函数旨在最大化经济效益,可以通过各部门用水产生的经济效益来表示。例如,农业用水产生的经济效益可以用农业产值来表示,工业用水产生的经济效益可以用工业增加值来表示。设农业用水产生的经济效益为 $f_1(x_1)$,工业用水产生的经济效益为 $f_2(x_2)$,则经济目标函数可以表示为 $F_1 = f_1(x_1) + f_2(x_2)$ 。社会目标函数主要考虑社会公平和居民生活用水保障。可以通过最小化不同地区或不同阶层居民用水差距来表示社会公平,同时确保居民生活用水需求得到满足。例如,设居民生活用水满意度为 $f_3(x_3)$,则社会目标函数可以表示为 $F_2 = f_3(x_3)$,并在约束条件中考虑不同地区居民用水量的均衡。生态目标函数旨在维护生态平衡,保护生态环境。可以通过最大化生态系统的服务功能来表示,如河流、湖泊、湿地的生态功能。设生态用水产生的生态效益为 $f_4(x_4)$,则生态目标函数可以表示为 $F_3 = f_4(x_4)$ 。

2.3 约束条件设计

约束条件是模型的重要组成部分,用于保证水资源配置方案的可行性和合理性。水资源总量约束是指各部门用水分配量之和不能超过水资源总量。设水资源总量为 W ,则有 $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \leq W$ 。各部门用水需求约束是指各部门用水分配量应满足其最低用水需求。设农业最低用水需求为 $x_{1\min}$,工业最低用水需求为 $x_{2\min}$,生活最低用水需求为 $x_{3\min}$,生态最低用水需求为 $x_{4\min}$,则有 $x_1 \geq x_{1\min}$, $x_2 \geq x_{2\min}$, $x_3 \geq x_{3\min}$, $x_4 \geq x_{4\min}$ 。水资源利用效率约束是指各部门用水应达到一定的利用效率标准^[2]。

3 干旱区水资源优化配置的应用案例

3.1 案例区域选择与数据基础

选择我国西北某干旱区作为案例区域。该区域气候干旱,降水稀少,水资源短缺问题突出。收集该区域的气象数据,包括降水量、蒸发量等;水资源数据,如河流径流量、水库蓄水量、地下水位等;社会经济数据,如人口数量、产业结构、各部门用水量等;生态环境数据,如河流、湖泊、湿地的面积和生态功能等。通过对这些数据的整理和分析,为模型的应用提供基础。

3.2 模型应用与结果分析

将收集到的数据代入构建的多目标决策模型中,运用合适的优化算法进行求解。通过计算,得到各部门的最优水资源分配量。分析结果发现,在经济目标下,工业用水分配量相对较高,以促进经济发展;在社会目标下,生活用水分配量得到保障,不同地区居民用水差距有所缩小;在生态目标下,生态用水分配量增加,河流、湖泊等生态系统的功能得到改善。同时,对不同目标偏好下的水资源配置方案进行比较分析。当更注重经济目标时,工业用水分配量增加,但生态用水分配量相对减少;当更注重生态目标时,生态用水分配量增加,可能会对经济发展产生一定的影响。这表明在实际应用中,需要根据当地的实际情况和发展需求,合理调整目标偏好,寻求最优的水资源配置方案。

3.3 敏感性分析与不确定性处理

对模型中的关键参数进行敏感性分析,如水资源总量、各部门用水定额等。分析结果表明,水资源总量的变化对各部门用水分配量和目标函数值的影响较大。当水资源总量增加时,各部门用水分配量都有所增加,经济效益、社会效益和生态效益也相应提高;反之,当水资源总量减少时,各部门用水分配量减少,目标函数值下降^[3]。针对模型中的不确定性因素,如气象变化、社会经济波动等,采用蒙特卡洛模拟等方法进行处理。通过多次模拟,得到不同情景下的水资源配置方案和目标函数值,为决策提供更全面的参考。

4 水资源优化配置的保障机制

4.1 政策与制度保障

政策与制度是干旱区水资源优化配置的重要基石。为保障水资源合理配置,需制定和完善全面且细致的水资源管理政策法规。这些法规要清晰界定农业、工业、生活及生态等各部门在水资源配置中的权利与义务,避免因职责不清引发用水纠纷。建立健全水资源产权制度,明确水资源的所有权归国家所有,使用权和经营权可通过合理方式赋予相关主体,以此激发市场活力,促进水资源的合理开发和高效利用。加强水资源管理的监督和执法力度至关重要,组建专业的执法队伍,运用先进的监测技术,对非法取水、浪费水资源等行为进行严厉打击,情节严重者依法追究法律责任。制定水资源有偿使用制度,根据水资源稀缺程度、开发利用成本等因素合理确定水价,通过经济杠杆调节水资源的供需关系,促使各部门节约用水,提高水资源利用效率,实现水资源的可持续利用。

4.2 技术与工程措施

在技术研发方面,政府和企业应加大对水资源开发

利用技术的研发投入,鼓励科研机构与企业合作,开展节水技术、水资源高效利用技术等方面的研究。推广应用先进的节水技术,如在农业领域,大力推广滴灌、喷灌等高效灌溉技术,这些技术可根据作物生长需求精准供水,减少水分蒸发和渗漏,显著提高农业用水利用效率;在工业领域,推广工业节水技术和设备,如循环冷却水处理技术、反渗透膜分离技术等,提高工业用水重复利用率。加强水资源工程建设,修建水库可调节水资源的时空分布,在丰水期蓄水,枯水期放水,保障供水稳定;引水工程可将水资源从丰富地区调配到匮乏地区。同时开展水资源保护和生态修复工程,如河流生态治理,通过清淤、护岸等措施恢复河流生态功能;湿地保护可维护湿地生态系统的稳定,为生物提供栖息地,改善生态环境。

4.3 公众参与与协同治理

公众参与与协同治理是干旱区水资源优化配置不可或缺的环节。加强水资源保护的宣传教育,通过电视、广播、网络等多种媒体渠道,广泛宣传水资源短缺的现状、节水的重要性和方法,提高公众的节水意识和环保意识,使节约用水成为公众的自觉行动。鼓励公众参与水资源管理和决策过程,政府在制定水资源管理政策、规划水资源配置方案时,通过听证会、座谈会等形式,广泛听取公众的意见和建议,让公众参与到决策中来,增强决策的科学性和民主性^[4]。建立政府、企业、社会组织和公众共同参与的协同治理机制,政府发挥主导作用,制定政策、加强监管;企业加强自身的节水管理,采用节水技术和设备,提高水资源利用效率;社会组织发挥监督和宣传作用,开展水资源保护公益活动;公众监督水资源的使用情况,对浪费水资源、破坏水资源环境的行为进行举报。各方形成合力,共同推动水资源的优化配置,实现干旱区水资源的可持续利用。

4.4 信息化与智能化管理

信息化与智能化管理是干旱区水资源优化配置的现

代技术支撑。建立水资源信息化管理系统,利用传感器、物联网等技术,实现对水资源的实时监测、数据采集和分析。在河流、水库、地下水等关键区域安装监测设备,实时获取水位、流量、水质等数据,并将数据传输到信息化管理平台。利用大数据、云计算等技术,对采集到的数据进行深度挖掘和分析,掌握水资源的分布、变化规律和供需情况,对水资源供需情况进行预测和预警,为水资源决策提供科学依据。同时推广应用智能化水资源管理设备,如智能水表可实时监测用户的用水量,实现用水量的精准计量和收费;智能灌溉系统可根据土壤湿度、气象条件等因素自动调节灌溉水量和灌溉时间,提高灌溉效率。

结束语

本文通过构建干旱区水资源优化配置的多目标决策模型,并结合实际案例进行分析,验证了模型的有效性。同时提出了政策与制度、技术与工程、公众参与与协同治理、信息化与智能化管理等多方面的保障机制。未来,需进一步深入研究,不断完善模型和保障机制,以更好地应对干旱区水资源面临的挑战,实现水资源的合理配置和高效利用,促进干旱区经济社会的可持续发展。

参考文献

- [1]卢瑶,马真臻,贺华翔,等.基于缺水量与保证率“双控”的水资源优化配置模型及应用[J].水利水电技术(中英文),2023,54(8):91-103.
- [2]冉卢瑶,马真臻,贺华翔,等.基于缺水量与保证率“双控”的水资源优化配置模型及应用[J].水利水电技术(中英文),2023,54(8):91-103.
- [3]小丽.干旱区农田水利工程水资源优化配置技术研究[J].新疆农机化,2025(1):45-47.
- [4]陈宝山,麻芦苇,姜贺天,等.中国干旱区水资源管理制度结构优化与体系完善[J].中国农村水利水电,2024(7):26-34,44.