

中小流域水资源优化配置与水利工程规划的适应性研究

纪伟

DOI:10.12238/hwr.v9i4.6302

[摘要] 随着水资源短缺和气候变化的日益严重,如何在中小流域中实现水资源的优化配置与水利工程规划的协同作用,成为解决水资源供需矛盾、促进可持续发展的重要课题。本文探讨了中小流域水资源的特点与挑战,分析了水资源优化配置的基本原理与方法,提出了在水利工程规划中实现适应性设计的重要性。通过具体的案例分析,详细论述了水资源优化配置与水利工程规划在多目标优化、灵活性设计和协同效益方面的实际应用,旨在提高水资源的利用效率,降低建设和运营成本,在面对气候变化等不确定性因素时,提升水利设施的适应性和灵活性。

[关键词] 中小流域; 水资源优化配置; 水利工程规划; 适应性设计

中图分类号: TV213 文献标识码: A

Study on the adaptive relationship between optimal allocation of water resources and planning of water conservancy projects in small and medium-sized basins

Wei Ji

[Abstract] With the increasing severity of water resource shortages and climate change, how to achieve optimal allocation of water resources and synergistic effects in small and medium-sized watersheds has become an important issue for addressing the contradiction between supply and demand of water resources and promoting sustainable development. This paper explores the characteristics and challenges of water resources in small and medium-sized watersheds, analyzes the basic principles and methods of optimal water resource allocation, and highlights the importance of adaptive design in water engineering planning. Through specific case studies, it elaborates on the practical applications of optimal water resource allocation and water engineering planning in multi-objective optimization, flexible design, and synergistic benefits. The aim is to improve the efficiency of water resource utilization, reduce construction and operation costs, and enhance the adaptability and flexibility of water facilities in the face of uncertainties such as climate change.

[Key words] small and medium-sized river basin; optimal allocation of water resources; water conservancy project planning; adaptive design

引言

随着全球气候变化加剧和水资源的日益短缺,水资源的合理配置与管理成为了各国可持续发展面临的重要挑战之一。特别是在中小流域地区,由于流域面积较小、水资源分布不均、社会经济发展水平差异明显,水资源的有效配置和合理利用问题愈加突出。在这些区域,如何高效地配置水资源,既满足农业、工业和城市生活用水需求,又保护生态环境,成为了水资源管理的核心任务。

1 中小流域水资源的现状与挑战

1.1 中小流域水资源的分布特征

中小流域的水资源分布呈现出显著的地域差异性。大部分中小流域分布在山地、丘陵等复杂地形区域,这些区域的降水量通常较大,但由于地形因素的影响,水流往往易分散,水资源的

利用效率相对较低。与此相反,平原地区的中小流域,虽然降水量相对较少,但由于土地平坦,水资源的蒸发和渗透损失较低,因此水资源的有效利用率较高。然而,这些地区也面临着水资源过度开发、用水效率低、生态退化等问题。中小流域由于其流域面积较小,水资源的时空分布差异大,加之局部地区的水文特征不同,导致水资源的开发和调配更加复杂。流域内上游和下游的水资源供应差异,以及不同区域水需求的变化,使得水资源的平衡与合理分配成为重大挑战。

1.2 中小流域水资源短缺问题

在当前的气候变化背景下,中小流域普遍面临水资源短缺的挑战。尤其是一些干旱和半干旱地区,由于降水量低、蒸发量大,水资源的供给严重不足,导致了流域内水资源的供需矛盾加剧。例如,某些中小流域的年降水量远低于流域的水需求量,尽

管有较为丰富的地下水资源,但过度开采已经使得地下水位逐年下降,水质恶化。此外,过度开垦和人口密集的区域用水需求不断增加,进一步加剧了水资源的紧张状态。水资源短缺不仅影响了农业灌溉、工业用水和生活用水的供给,还可能对生态环境造成严重影响,导致水质污染、水生生物栖息地破坏等问题,最终形成恶性循环。

1.3 水资源过度开发与污染问题

中小流域的水资源过度开发和水污染问题是流域水资源管理中的一大挑战。许多中小流域在经济发展初期,由于对水资源的认识不足,过度依赖水资源进行农业灌溉和工业生产。水资源的过度开采导致了水位下降、河流断流等现象,严重影响了生态环境的可持续发展。与此同时,工业、农业以及城市化进程中产生的污染物排放,造成了水质的恶化。在农业上,过量的化肥、农药使用使得水体富营养化,工业废水和生活污水的排放也未得到有效处理,水源污染问题日益严重。流域内水资源的质量下降不仅影响了供水的安全性,还对流域的生态系统造成了威胁,甚至对下游水源的水质造成影响。所以,加速进行水资源的维护和治理已然刻不容缓。

2 水资源优化配置的基本原理与方法

2.1 水资源优化配置的基本原理

水资源优化配置的基本原理旨在通过科学的分配和调度,使有限的水资源得到最大化的效益。优化配置的核心目标是实现水资源的供需平衡。根据不同区域的用水需求、时空变化及水资源的供给能力,合理安排各类用水需求,包括农业灌溉、工业用水和生活用水等。其次,优化配置还应考虑到环境保护的需求,确保生态用水的充足,并通过合理配置实现水资源的可持续利用。此外,优化配置还需要综合考虑社会经济发展水平和区域发展战略,合理安排水资源在不同用水部门之间的分配比例,既满足经济发展需求,又避免过度开采引发的水资源短缺与生态破坏问题。

2.2 水资源优化配置中的数学模型

在水资源优化配置中,数学模型是实现合理分配和高效调度的主要工具。常用的数学模型包括线性规划、动态规划和最优控制模型等。线性规划模型通过建立目标函数和约束条件,求解最优解,实现资源的最优分配。动态规划则主要用于处理具有多阶段决策过程的问题,如考虑未来时段的水资源调度,以优化长期水资源的使用。最优控制模型则适用于那些具有连续时间变量的复杂系统,例如在流域水资源调度中,如何根据流域的水量变化进行实时调度。这些模型通过对水资源的动态变化进行模拟和预测,帮助决策者在多种不确定性条件下做出科学合理的水资源配置决策。此外,水文模型和气候变化预测模型的结合也在水资源优化配置中发挥着重要作用,能够提供更加精确的水资源供应数据,进一步提高优化配置的精确性。

2.3 数据分析与模拟技术在水资源优化配置中的应用

随着信息技术和数据分析技术的发展,数据分析与模拟技术已成为水资源优化配置中的关键手段。通过对历史水文数据、

气候变化数据以及水资源使用情况的深入分析,能够为水资源配置提供科学依据。例如,基于水文模拟和气候模型的结果,可以对水资源的时空分布和可利用性进行预测,从而制定合理的资源调配计划。此外,借助计算机仿真技术,可以模拟不同水文情景下的水资源调度效果,评估不同配置方案的可行性。这些模拟技术能够有效减少不确定性,提供多种优化配置方案供决策者选择。数据分析不仅能帮助识别水资源的潜在问题,还能通过实时监控和动态调整优化配置方案,以适应不断变化的气候和社会需求,从而提高水资源的利用效率和可持续性。

3 水利工程规划的适应性分析

3.1 适应性水利工程的设计理念与原理

适应性水利工程的设计理念是基于流域水资源的时空变异性 and 未来可能发生的气候变化,进行灵活、可调节的规划设计。传统的水利工程设计多侧重于解决当前的水问题,如防洪、灌溉等,但随着气候变化的加剧,水资源的供需状况不断变化,传统设计方法面临很大挑战。适应性水利工程的核心目标是保持水利工程在面对不同环境条件 and 需求变化时的高效性和灵活性。例如,某些地区水利设施建设时,考虑到长期气候变化的影响,水库设计时会适当增加蓄水能力,以应对未来可能出现的水源不足情况。此外,适应性水利工程还强调对环境因素的保护,尤其是在生态用水方面的需求,如自然湿地和水生态系统的维持。适应性水利工程通过对流域的水文气候数据、土地利用情况等进行分析,确保水利设施可以在多变的环境下持续稳定地运行。

3.2 基于气候变化的水利工程适应性分析

气候变化的加剧给水资源的调度和利用带来了巨大挑战。近年来,不少地区已出现明显的气候变化趋势,如降水量的波动加大、干旱和洪水的频率增加,导致水利工程在应对极端气候事件时表现出适应性不足。因此,在进行水利工程规划时,必须考虑未来气候变化的影响。例如,某地中小流域的水资源利用和气候变化数据分析表明,未来20年内,年降水量的变化趋势可能达到 $\pm 15\%$ 的波动范围,这将导致传统水利工程规划失效。通过气候变化预测模型,可以为水利工程设计提供更具前瞻性的方案。结合气候变化数据进行水库蓄水量和流量调度的优化调整,将大大提升水利工程的适应性和应对极端天气事件的能力。

3.3 适应性水利工程的综合评价与改进建议

适应性水利工程的综合评价不仅需要考虑其水资源调配效益,还要评估其生态保护效益和经济效益。综合评价过程中,常通过构建多目标优化模型,对水利工程的设计进行全方位的评估。以某中小流域的适应性水利工程为例,该工程包括了水库蓄水、灌溉、供水、洪水控制等多项功能,并采用了最优控制模型进行水资源调度。在实际运行中,结合水文数据和生态需求,该水利工程的综合评价指标显示出显著的适应性优势。通过调整水库的调度方案,该水利工程在干旱年和丰水年分别优化了水资源的利用效率,提高了生态用水的保障比例。

4 中小流域水资源优化配置与水利工程规划的协同作用

4.1 水资源优化配置与水利工程规划的相互依赖性

中小流域的水资源优化配置和水利工程规划具有高度的相互依赖性。水资源优化配置能够为水利工程规划提供科学依据,帮助确定水利设施的设计标准和容量;而水利工程的规划设计则为水资源的高效利用提供基础设施和调度手段。以某中小流域的水库建设为例,在进行水资源优化配置时,首先需要通过水文模型和气候变化预测来评估水资源的可供量和未来的需求波动,然后根据这些数据来规划水利工程的规模、类型以及调度方式。反过来,合理的水利工程规划可以提高水资源的存储和输送能力,从而提升水资源优化配置的效率。例如,某流域通过结合水资源需求预测和水库的蓄水容量,调整水库设计,优化了水资源的分配,显著提高了灌溉和生活用水的保障率。

4.2 优化配置与水利工程规划的多目标优化方法

在水资源优化配置与水利工程规划过程中,多目标之间往往存在相互制约的关系,例如在保障用水供需平衡的同时,必须兼顾生态环境保护、社会公平性和经济效益等因素。多目标优化方法正是协调这些矛盾、提升整体系统效能的重要工具。通过构建多目标函数,可以将水资源系统中不同维度的优化目标进行量化表达,并结合约束条件求解最优解集,形成满足综合效益要求的配置与规划方案。常用的技术路径包括线性规划、目标规划、权重法、模糊多目标决策等,能够处理不同目标之间的优先顺序、弹性容忍度及协调机制。在建模过程中,需充分考虑水资源的时空变化特征、水利设施的调蓄能力、用水部门的需求弹性以及气候与政策不确定性因素。多目标优化不仅提升了系统配置效率,还增强了规划方案在复杂外部环境下的适应能力与实施可行性,为科学配置水资源与规划水利工程提供了系统化的理论基础与决策支持。

4.3 水利工程设计的灵活性提高水资源配置的适应性

在气候变率和极端水文事件频发的背景下,灵活性已成为现代水利工程设计的重要导向之一。灵活设计不仅体现在水库等工程设施的结构层面,更体现在调度系统的智能化与动态化上。以某典型中小流域为例,该区域实施了以“分区控制+分时

调度”为核心的灵活水利系统。其水库采用模块化闸门结构,具备可变蓄水能力,通过液压控制系统根据上游来水预测值自动调整蓄水策略。同时,该流域配套建设了水资源智慧管理平台,集成了实时水文监测、天气预报与用户用水反馈数据,实现了对农业、工业、生活用水的“需-供-调”闭环管理。平台内嵌基于线性目标规划的调度算法,可根据不同用水优先级和生态红线要求,快速生成应急调配方案,显著提高了干旱年份的水资源保障率。在极端降雨情形下,该系统还能自动判断超量来水风险,优先排空下游易涝区域的调蓄池,有效降低洪涝灾害风险。

5 结束语

随着水资源紧张和气候变化压力加剧,水资源优化配置与水利工程规划的协同作用变得尤为重要。通过本研究,我们提出了基于多目标优化、灵活设计和智能调度的管理模式,强调二者的结合能够提高水资源利用效率,并增强水利工程对极端气候事件和水资源不确定性的适应能力。案例分析表明,科学的协同规划不仅能提高水资源保障能力,降低成本,还能实现生态、社会和经济的协调发展。然而,仍需解决一些区域的水资源短缺问题,未来应加强技术创新和智能决策系统的应用,以进一步提升水资源管理的精准度和适应性。

【参考文献】

- [1]屠田霖,谢坤,王梅馨.高原湖泊异龙湖流域水资源配置分析[J].人民珠江,2024,45(S1):162-165+169.
- [2]魏婷婷.基于SWAT-MODFLOW-RT3D耦合模型的宁夏引黄灌区典型排灌面源污染防治防控研究[D].西北农林科技大学,2024.
- [3]陈心怡.南方丘陵区水库—泵站系统水资源多目标优化调配研究[D].扬州大学,2024.
- [4]符湘杭.基于非一致性条件下的流域洪水过程模拟与灾害风险评估研究[D].长安大学,2024.
- [5]郑丽.巴音河中下游草地灌溉对生态水文过程的影响[D].青海师范大学,2024.

作者简介:

纪伟(1980—),男,汉族,天津市蓟州区人,专业总工,研究方向:水利规划、智慧水利。