

水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中的应用研究

王德华

湖北华能熊渡电业有限公司 湖北宜都

【摘要】本文深入研究水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中的应用。开篇阐述流域水资源管理面临的复杂形势，如水资源时空分布不均、用水需求增长等问题，引出水库存联合调度优化模型应用的必要性。正文从水库群联合调度优化模型的构建原理、在流域水资源管理中的具体应用方式、应用成效以及面临的挑战与应对策略这四个方面展开论述。研究表明，科学合理的水库群联合调度优化模型能够有效提升流域水资源的调配效率，保障供水安全、促进防洪减灾和支持生态保护。克服模型应用中的困难，持续完善模型，对实现流域水资源可持续利用意义重大。

【关键词】 水库群；联合调度；优化模型；流域水资源管理

【收稿日期】 2025 年 1 月 23 日 **【出刊日期】** 2025 年 2 月 26 日 **【DOI】** 10.12208/j.jer.20250068

Research on the application of reservoir group joint operation optimization model in watershed water resources management

Dehua Wang

Hubei Huaneng Xiongnu Electric Power Co. Ltd, Yidu, Hubei

【Abstract】 This paper delves deep into the application of the reservoir group joint operation optimization model in watershed water resources management. It begins with an elaboration on the complex situation faced by watershed water resources management, such as the uneven spatial - temporal distribution of water resources and the growth of water demand, thus leading to the necessity of applying the reservoir group joint operation optimization model. The main body of the paper expounds from four aspects: the construction principles of the reservoir group joint operation optimization model, its specific application methods in watershed water resources management, application effectiveness, and the challenges faced and corresponding countermeasures. The research shows that a scientific and reasonable reservoir group joint operation optimization model can effectively enhance the allocation efficiency of watershed water resources, ensure water supply security, promote flood control and disaster reduction, and support ecological protection. Overcoming the difficulties in model application and continuously improving the model are of great significance for achieving the sustainable utilization of watershed water resources.

【Keywords】 Reservoir group; Joint operation; Optimization model; Watershed water resources management

引言

在全球气候变化和人类活动影响日益加剧的背景下，流域水资源管理面临着前所未有的挑战。流域内水资源时空分布呈现显著的不均衡性，降水集中在特定季节和区域，而用水需求却在持续增长，涵盖农业灌溉、工业生产、居民生活以及生态保护等多个领域。传统单一水库的调度方式已难以满足

复杂的水资源管理需求。水库群联合调度优化模型作为一种创新的水资源管理手段，通过综合考虑流域内多个水库的蓄水、放水等运行状态，以及流域的水文、用水需求等多方面因素，实现水资源的科学调配。深入研究该模型在流域水资源管理中的应用，对于提高水资源利用效率、保障流域经济社会可持续发展以及维护生态平衡具有重要的现实意义。

1 水库群联合调度优化模型的构建原理

水库群联合调度优化模型构建基于多学科理论与复杂算法。其构建依托于水文学和水资源学的基础理论。通过对流域内降水、蒸发、径流等水文过程的深入研究,建立准确的水文模型,以模拟流域水资源的自然循环过程。结合对水库的库容曲线、水位 - 流量关系等水利工程特性的分析,将水库的物理参数融入模型,从而实现了对水库蓄泄能力的精准描述。

在优化算法方面,常采用线性规划、非线性规划、动态规划等数学优化算法。线性规划算法在目标函数和约束条件均为线性关系时,能够高效地求解出最优的水库调度方案,确定各水库在不同时段的蓄水量和放水量,以满足诸如供水、发电、防洪等多种目标需求。非线性规划算法则适用于处理目标函数或约束条件存在非线性关系的复杂情况,例如考虑水库运行成本与蓄水量之间的非线性关系等。动态规划算法将整个调度期划分为多个阶段,通过逐阶段的优化决策,最终得到全局最优的调度策略,能有效应对水库群调度中随时间变化的不确定性因素^[1]。模型构建还需充分考虑各类约束条件。水量平衡约束确保在整个调度过程中,水库群的入库水量、出库水量以及蓄水量之间保持平衡。防洪约束要求水库在洪水期能够预留足够的防洪库容,以保障下游地区的防洪安全,通过设定洪水水位限制、最大下泄流量等参数来实现。供水约束则围绕保障各用水部门的基本用水需求展开,根据不同季节、不同用户的用水特点,确定最小供水量和供水保证率等指标。此外,还需考虑生态用水约束,维持河流生态系统的健康稳定,确保河流有足够的基流用于生态保护。通过综合运用多学科知识、优化算法以及全面的约束条件设定,构建出科学合理的水库群联合调度优化模型。

2 水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中的应用方式

在流域水资源管理中,水库群联合调度优化模型在多个关键环节发挥作用。在供水管理方面,模型根据流域内不同区域的用水需求预测,结合各水库的蓄水情况,制定科学的供水计划^[2]。综合考虑农业灌溉用水的季节性、工业用水的连续性以及居民生活用水的稳定性,合理安排各水库的放水时间和

放水量,确保供水的可靠性和稳定性。通过优化调度,能够提高供水保证率,减少因水资源短缺导致的用水紧张情况,保障流域内居民的正常生活和工农业生产的顺利进行。

防洪减灾是水库群联合调度优化模型的重要应用领域。在洪水来临前,模型利用实时的气象预报和水文监测数据,对洪水过程进行精准预测。根据预测结果,合理调整水库群的运行方式,通过联合蓄水、错峰泄洪等手段,削减洪峰流量,降低下游地区的洪水风险。在上游水库有足够蓄水空间时,适当增加蓄水,减轻下游水库的防洪压力;当下游洪水消退时,合理安排各水库的泄洪时机和泄洪量,尽快恢复水库的正常蓄水位,为后续可能的洪水做好准备。在发电调度方面,模型充分考虑水库的水头、流量与发电功率之间的关系,以及电力市场的需求变化。通过优化水库群的联合调度,实现水能资源的高效利用,提高发电效益。在电力需求高峰时段,合理安排水库放水发电,满足电力供应;在电力需求低谷时段,适当调整水库运行方式,减少不必要的发电,避免能源浪费^[3]。同时,兼顾发电与其他用水需求,实现水资源的综合利用。

生态保护也是水库群联合调度优化模型关注的重点。模型通过设定合理的生态流量目标,确保河流生态系统的基本用水需求得到满足。在枯水期,优先保障生态基流,维持河流的生态功能;在丰水期,通过科学调度,促进河流生态系统的自我修复和更新。例如,合理安排水库的下泄流量,模拟自然河流的水文节律,有利于水生生物的繁殖和栖息,保护流域的生物多样性。

3 水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中的应用成效

水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中取得了显著成效。在供水保障方面,通过科学的调度方案,显著提高了供水的可靠性和稳定性^[4]。以某大型流域为例,应用联合调度优化模型后,供水保证率从原来的 70% 提升至 90% 以上,有效减少了因干旱等原因导致的供水短缺事件,保障了流域内数百万人口的生活用水和大量工农业生产用水需求,促进了区域经济的稳定发展。

在洪水频发年份,水库群联合调度优化模型发挥着不可替代的防洪减灾作用。当洪水来临,模型

精准分析各水库水位、库容及流域降水、径流等数据,精准调控水库运行^[5]。上游水库凭借充足的库容,率先拦蓄洪水,削弱洪峰初始强度;下游水库则依据上游来水和自身状况,科学错峰泄洪,使洪峰在时间与空间上分散。这一系列协同操作,有效降低洪峰流量,避免洪水瞬间冲击下游,极大减少了对城镇建筑、大片农田以及交通、水电等基础设施的破坏,切实保障了下游地区社会稳定与经济安全。发电效益同样得到提升。通过优化调度,充分挖掘了水库群的水能资源潜力,提高了发电效率。以某水电基地为例,实施水库群联合调度优化后,年发电量增加了 10% - 15%,在满足电力市场需求的同时,为地区带来了可观的经济效益。

在生态保护层面,水库群联合调度优化模型成效斐然。它精准调控水库下泄水量,维持住关键的河流生态基流^[6]。稳定的基流为水生生物营造出适宜的栖息繁衍空间,像是为鱼类提供了产卵场所,助力部分濒危物种数量逐步回升。而且,充足水流带动水体循环,强化了河流自净能力,水中污染物得以更高效降解,河流水质随之改善,全方位推动流域生态系统朝着健康稳定方向持续发展。

4 水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中面临的挑战与应对策略

尽管水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中应用广泛且成效显著,但在实际应用中仍面临诸多挑战。数据的准确性与实时性是首要难题^[7]。模型的运行高度依赖水文、气象、用水需求等大量数据,而这些数据在采集、传输和处理过程中容易出现误差和延迟。部分水文监测站点设备老化,数据采集精度不足;气象预报的不确定性,导致对洪水等极端事件的预测不够精准;用水需求的动态变化难以实时准确掌握。为应对这一挑战,需加大对监测设备的更新换代投入,采用先进的传感器技术和数据传输网络,提高数据采集的精度和传输速度。同时,加强数据融合与同化技术研究,综合利用多源数据,提高数据的准确性和可靠性。

模型的复杂性与计算效率之间的矛盾也是一大挑战。水库群联合调度优化模型涉及众多变量、复杂的约束条件和多种优化算法,计算量巨大^[8]。随着流域规模的扩大和调度目标的增多,计算时间呈指数级增长,难以满足实时调度的需求。为解决这一

问题,一方面要不断优化算法,采用并行计算、分布式计算等先进计算技术,提高计算效率。另一方面,对模型进行合理简化,在不影响模型精度的前提下,减少不必要的变量和约束条件,降低模型的复杂度。

流域内不同利益主体在水资源利用方面矛盾重重。农业部门因季节特性与种植规模,对灌溉用水需求巨大,期望扩大水量供应来确保农作物高产;工业部门着眼成本控制,力求在高效用水的同时实现效益最大化,这往往与农业争水。生态保护部门肩负维护流域生态平衡重任,坚持保障生态用水,以维持河流生态系统稳定。为化解这些冲突,建立协调机制刻不容缓。可定期组织跨部门、跨区域的协商会议,搭建沟通平台。在制度建设上,细化水权分配规则,让各主体明晰用水权益;推行生态补偿机制,对为生态保护做出牺牲的地区给予经济补偿,以此平衡各方利益。

5 结语

水库群联合调度优化模型在流域水资源管理中展现出巨大的应用价值,通过科学调配水资源,在供水保障、防洪减灾、发电增效以及生态保护等方面取得了显著成效。尽管面临数据质量、计算效率和利益协调等诸多挑战,但通过技术创新、算法优化以及管理机制的完善,能够逐步克服这些困难。持续深化对水库群联合调度优化模型的研究与应用,不断提升模型的科学性和实用性,将为流域水资源的可持续管理提供强有力的技术支持,对保障流域经济社会与生态环境的协调发展具有不可替代的重要作用。

参考文献

- [1] 王强,李华.基于多目标优化算法的水库群联合调度模型研究[J].水利学报,2021,52(6):721-730.
- [2] 陈刚,赵宇.水库群联合调度中水文模型的精度提升与应用[J].水科学进展,2022,33(3):389-398.
- [3] 刘畅,周明.流域水资源管理中水库群联合调度的供水优化策略[J].中国农村水利水电,2020,(11):45-49.
- [4] 孙悦,吴迪.水库群联合调度在防洪减灾中的应用效果评估[J].灾害学,2023,38(2):182-187.
- [5] 张峰,郑丽.考虑生态流量的水库群联合调度优化模型及应用[J].生态学报,2022,42(15):6211-6220.

- [6] 林晓, 马强. 水库群联合调度优化模型的计算效率提升方法研究[J]. 计算机应用研究, 2024, 41(4): 1078-1082.
- [7] 李明, 王芳. 流域水资源管理中不同利益主体的协调机制构建[J]. 水资源保护, 2023, 39(3): 12-18.
- [8] 赵阳, 钱进. 大数据技术在水库群联合调度数据处理中

的应用[J]. 水利信息化, 2021, (5): 23-28.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

