

水库群联合调度模型研究与水资源优化配置

王凤龙

正业设计股份有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150000

摘要 : 本文详细研究了如何利用水库群联合调度模型来实现水资源的优化配置。论文明确了水库群联合调度的定义, 并对不同类型的模型进行了归类, 强调了它们在面对多目标、多约束、动态性和不确定性的复杂情况时的应对能力。随后, 论文逐步解析了构建这些模型的核心环节, 包括如何确定参数、如何设定约束条件以及如何选择合适的求解方法, 从而为读者呈现了一个详尽的模型构建蓝图。

关键词 : 水库群联合调度; 水资源优化配置; 水库调度模型; 水资源管理; 多目标优化

Research on Joint Dispatching Model of Reservoir Groups and Optimal Allocation of Water Resources

Wang Fenglong

Zhengye Design Co., Ltd, Heilongjiang, Harbin 150000

Abstract : In this thesis, how to realize the optimal allocation of water resources by using the joint scheduling model of reservoir groups is studied in detail. The thesis clarifies the definition of joint scheduling of reservoir groups and categorizes different types of models, emphasizing their ability to cope with the complexity of multi-objectives, multi-constraints, dynamics and uncertainty. Subsequently, the paper gradually analyzes the core aspects of constructing these models, including how to determine the parameters, how to set constraints, and how to choose appropriate solution methods, thus presenting readers with an exhaustive blueprint for model construction.

Keywords : joint scheduling of reservoir groups; optimal allocation of water resources; reservoir scheduling model; water resource management; multi-objective optimization

引言

随着经济的快速发展和人口的增长, 水资源的需求不断增加, 水资源的合理开发和高效利用已成为全球面临的重大挑战。特别是在我国, 水资源时空分布不均, 水资源短缺和水环境污染问题日益严重, 如何实现水资源的优化配置和提高水资源的利用效率, 已经成为亟待解决的重要问题。水库群作为重要的水资源调控设施, 通过对水库群的联合调度, 可以在时间和空间上实现水资源的优化分配, 提高水资源的利用效率, 满足供水、发电、防洪等多目标需求。

然而, 水库群联合调度问题是一个复杂的系统工程问题, 涉及水文、气象、地质、工程等多学科知识, 需要综合考虑多种因素, 如水库水位、泄流量、供水量等, 建立合理的数学模型, 选择合适的求解方法, 以实现水库群联合调度的优化。因此, 对水库群联合调度模型的研究具有重要的理论和实践意义。

一、水库群联合调度模型概述

(一) 水库群联合调度概念

随着我国人口增加和社会经济快速发展, 城市用水需求日益增加, 我国水资源短缺的问题也日益严重。以现行用水方式推算, 我国到2030年用水最高峰期将达8800亿 m³, 我国面临的水资源危机将更加严峻。^[1] 水库群联合调度是一项综合性系统工程, 旨在通过统一管理和调度多个水库, 实现水资源在时间和空间上的优化分配, 满足供水、发电、防洪等多目标需求。该系统重视水库群间的相互影响和协同作用, 以实现系统的高效运行和优化调度。在水资源开发利用过程中, 需兼顾水库群与周围环境的相

互作用, 以确保水资源安全, 提高利用效率, 增加发电效益, 降低洪涝灾害风险, 改善生态环境。为实现这些目标, 需建立科学合理的调度规则和决策支持系统, 包括建立水库群联合调度模型, 选择合适的求解方法, 并考虑不确定性和风险, 制定应对措施和应急预案。

(二) 水库群联合调度模型分类

1. 确定性模型: 这类模型假设水库群的水文过程和系统参数是确定的, 不考虑随机性因素的影响。确定性模型适用于水文条件相对稳定、系统参数变化不大的场景。确定性模型通常采用线性规划、非线性规划等方法求解。

2. 随机性模型: 这类模型考虑了水库群水文过程和系统参数

的随机性，通过概率论和随机过程理论描述水库群系统的随机特性。随机性模型适用于水文条件变化较大、系统参数不确定性较高的场景。随机性模型通常采用随机规划、机会约束规划等方法求解。

3. 混合模型：这类模型结合了确定性模型和随机性模型的特点，部分参数采用确定性描述，部分参数采用随机性描述。^[2]混合模型适用于水文条件介于稳定与不稳定之间、系统参数不确定性介于低与高的场景。混合模型通常采用混合整数规划、随机混合整数规划等方法求解。

4. 动态模型：这类模型考虑了水库群系统的动态特性，通过时间序列分析、系统动力学等方法描述水库群系统的动态演变过程。动态模型适用于水文过程和系统参数随时间变化、需要进行长期调度的场景。动态模型通常采用动态规划、多阶段规划等方法求解。

5. 智能优化模型：这类模型采用智能优化算法，如遗传算法、粒子群优化算法、蚁群优化算法等，求解水库群联合调度问题。智能优化模型适用于问题规模较大、求解难度较高、需要快速找到近似最优解的场景。

6. 基于规则的模型：这类模型通过建立一系列规则和准则，指导水库群联合调度。基于规则的模型适用于问题规模较小、求解速度要求较高的场景。

（三）水库群联合调度模型特点

水库群联合调度模型是一个复杂且多目标系统，其构建需考虑系统的非线性、不确定性、多目标性、复杂性和动态性。水库间相互作用、水流传播延迟和水位与库容的非线性关系，要求采用非线性规划或人工智能算法处理非线性特征。输入变量如降雨量、蒸发量、入库流量等的不确定性，需用概率论和随机过程建模。多目标优化方法处理供水、发电、防洪、生态等目标。^[3]大规模系统需高效算法和计算方法如并行计算、分布式计算。系统状态随时间变化，需动态模型，采用动态规划、微分方程等方法建模。

二、水库群联合调度模型构建

（一）模型参数确定

在构建水库群联合调度模型时，需确定每个水库的基本特性参数，如库容、水位面积关系和泄流能力，通过设计资料和实测数据获得。收集和整理水库群的运行数据，包括历史水文、降雨、蒸发数据以及入库和出库流量，反映水库群的自然特性和运行状态。确定调度目标参数，如供水保证率、发电效益、防洪安全标准，需综合考虑社会、经济、环境等多方面因素。考虑模型的不确定性参数，如降雨、蒸发、入库流量等的不确定性，具有一定的概率分布特性。^[4]确定模型的约束条件参数，包括水库水位、泄流能力、生态流量等约束，需综合考虑技术、经济、生态、法律等多方面因素。通过这些参数的确定，构建出准确、实用、高效的水库群联合调度模型，为水库群的科学调度和管理提供支持。

（二）模型约束条件设定

在水库群联合调度模型中，关键的约束条件包括水位、泄流能力、生态流量、经济效益、法律法规和社会经济因素的约束。水位约束确保水库安全运行，泄流能力约束防止洪水灾害，生态流量约束保护生态环境。^[5]经济效益约束关注供水和发电需求，法律法规和社会经济因素约束确保遵守相关法律法规和协议。这些约束条件共同确保水库群联合调度模型满足各种需求，保证安全、高效和可持续运行。

（三）模型求解方法选择

水库群联合调度模型的求解方法是模型构建的关键，直接影响计算效率和应用效果。由于问题具有非线性、不确定性和复杂性，需选择合适的求解方法。可考虑数学规划方法，如非线性规划、混合整数规划等，利用优化算法进行求解。智能优化算法，如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法、蚁群算法等，因其全局搜索能力和鲁棒性，能有效处理复杂性。模拟模型和启发式方法也是有效的手段，适用于对计算效率要求较高的情况。^[6]选择合适的求解方法对水库群联合调度模型的成功构建和应用至关重要。

三、水资源优化配置理论与方法

（一）水资源优化配置内涵

水资源优化配置是一项综合性管理活动，旨在实现水资源在各用水部门间的合理分配，最大化经济效益、社会效益和生态环境效益。它依据水资源供需平衡原则，通过合理有效地分配和调度水资源，以提高水资源利用效率和实现水资源的可持续利用为核心目标。^[7]在时间上，根据不同时间段的水资源供需状况，合理分配水资源，例如洪水期储存水资源，枯水期调配水库蓄水。在空间上，根据不同地区的水资源状况和用水需求，合理调配水资源，例如水资源丰富的地区增加农业灌溉用水，水资源匮乏的地区优先保障生活用水。为实现这一目标，水资源优化配置采用工程措施和非工程措施，如水库、渠道、泵站等水利设施的建设和改造，以及水资源管理、法律法规、经济激励等。其最终目的是实现水资源的可持续利用，保障水资源的供需平衡，提高水资源的利用效率，促进经济社会的可持续发展，并注重生态环境的保护，确保水资源的开发利用不会对生态环境造成破坏。

（二）水资源优化配置原则

水资源优化配置原则是水资源管理和调度过程中遵循的基本准则，旨在实现公平、高效和可持续的水资源利用。公平性原则强调利益均衡，优先保障生活用水，兼顾农业、工业和生态用水需求。效率性原则强调在满足需求的前提下，提高水资源利用效率，减少浪费。可持续性原则强调长期供给和需求平衡，避免对后代和其他用户造成不可逆转的影响。此外，遵循法治原则和公众参与原则，确保水资源配置的合法性和透明度。^[8]这些原则共同指导水资源优化配置，以实现水资源的合理分配和高效利用，促进经济社会的可持续发展。

（三）水资源优化配置方法

水资源优化配置方法包括数学规划（如线性规划、非线性规

划和整数规划)、智能优化算法(如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法和蚁群算法)、模拟模型方法、启发式方法和数据驱动优化方法。这些方法根据具体问题的特点和需求选择和应用,共同为水资源的合理分配和高效利用提供科学的技术支持。

四、实例研究

(一) 研究区域概况

汉江是长江最大的支流,其干流长度为1577公里,流域面积约为159万平方公里。在这个区域,16个大中型水电站构成了一个大型水库群。这个水库群的建设与调度对河流的自然流态产生了影响,对河流生态系统造成了不利影响。

为了解决这个问题,研究者提出了一种面向生态的水库群调度策略。这种策略将河流内不同生态功能所需的生态流量整合到水库群联合调度中,以实现生态流量需求和人类用水需求之间的均衡。具体来说,这种策略在人类用水需求与生态流量需求冲突较小的时段,采用常规优化调度方案,在保障河流最小流量的前提下,最大限度地提高人类用水效益。而在水库引发的水文改变对河流关键生态功能产生严重影响的时期,则采用实时生态调度方案,调整下泄流量,以满足河流生态流量需求。

(二) 水库群联合调度模型构建

构建汉江水库群联合调度模型涉及收集和整合每个水库的基本特性参数,如库容、水位面积关系和泄流能力,以及水库群的运行数据,包括历史水文、降雨、蒸发和流量数据。模型需确定调度目标参数,如供水保证率、发电效益、防洪安全标准,同时考虑不确定性参数和约束条件,如降雨、蒸发、入库流量的不确定性和水库水位、泄流能力、生态流量的限制。^[9]这些参数和数据的综合分析有助于模型更准确地模拟水库群的运行状态,支持科学调度和管理,实现水资源合理分配和高效利用,减轻对生态系统的负面影响。

(三) 水资源优化配置方案制定

汉江流域的水资源优化配置方案制定需考虑水库群的自然特

性和运行状态,明确包括供水保证、发电效益、防洪安全和生态保护在内的多目标,同时考虑不确定性和风险因素。方案应包括对降雨、蒸发、入库流量等不确定性因素的分析,并制定相应的应对策略。^[10]具体实施措施包括水库群联合调度、生态流量释放、水资源管理和分配等,这些措施需在综合考虑技术、经济、生态、法律等多方面因素的基础上确定,以确保方案的可操作性和有效性。通过这样的方案,可以更好地平衡水资源的利用和生态保护的需求,实现水资源的合理分配和高效利用,减轻对河流生态系统的不良影响,同时促进区域的可持续发展。

(四) 模型应用效果分析

模型应用效果分析应综合评估其在保持汉江河流自然流态、确保供水安全、提升发电效益、保障防洪安全等方面的表现,同时考虑模型处理不确定性和风险的能力。分析需考察模型通过优化水库群调度、管理不确定性因素、提出具体实施措施等手段,减轻对河流生态系统负面影响的效果,以期模型优化提供依据,促进水资源合理分配和高效利用。

结束语

本研究围绕水库群联合调度模型和水资源优化配置的问题,进行了深入的理论探讨和实例分析。然而,值得注意的是,水库群联合调度和水资源优化配置是一个复杂的问题,涉及众多因素,如气候变化、经济社会发展、政策调整等。因此,在未来的研究中,还需要进一步考虑这些因素对水库群联合调度和水资源优化配置的影响,不断完善和优化模型和方法。本研究在水库群联合调度模型和水资源优化配置方面取得了一定的研究成果,为水资源的合理开发和高效利用提供了新的思路和方法。希望这些研究成果能够为推动我国水资源管理水平的提升和实现水资源的可持续利用做出贡献。

参考文献

- [1] 赵思琪. 跨流域水库群供水联合优化调度研究 [D]. 重庆交通大学, 2023. DOI: 10.27671/d.cnki.gcjtc.2023.000713.
- [2] 景康. 节水知识库构建及社会化服务应用研究 [D]. 西安理工大学, 2019.
- [3] 郭旭宁, 何君, 张海滨, 等. 关于构建国家水网体系的若干考虑 [J]. 中国水利, 2019, (15): 1-4.
- [4] 孙静, 申碧峰, 赵金香. 基于边际成本的跨流域调水水量交易价格研究——以南水北调中线一期工程为例 [J]. 人民长江, 2022, 53(7): 113-118.
- [5] 吴恒卿. 基于跨流域引水的深圳市西部水库群供水优化调度研究 [D]. 西安理工大学, 2016.
- [6] 曾祥, 胡铁松, 郭旭宁, 等. 跨流域供水水库群调水启动标准研究 [J]. 水利学报, 2013, 44(3): 253-261.
- [7] 夏细禾, 陶聪. 长江流域水资源统一调度实践与思考 [J]. 人民长江, 2022, 53(12): 69-74.
- [8] 周建中, 何中政, 贾本军, 等. 水电站长中短期嵌套预报调度耦合实时来水系统动力学建模方法研究及应用 [J]. 水利学报, 2020, 51(06): 642-52.
- [9] 詹新焕, 王宗志, 王立辉, 等. 基于净雨预报信息的水库防洪调度方式研究 [J]. 水力发电学报, 2020, 39(09): 57-66.
- [10] 吴仪. 城市供水系统多水厂联合优化调度研究 [D]. 大连理工大学, 2022.