

水利工程中水库管理与调度优化研究

孙巧叶

禹顺生态建设有限公司, 浙江 宁波 315000

[摘要] 水利工程中的水库, 在防洪、灌溉、供水及发电领域扮演着举足轻重的角色。面对气候变迁与用水需求多样化, 水资源日益紧张, 传统的水库管理与调度模式已不足以应对现代水资源优化配置的需求。通过对水库调度与管理的优化策略研究, 揭示了现行调度过程中的诸多不足, 并据此提出了依托现代信息技术、数据分析与智能调度手段的综合改进途径。文章提出了多目标水库调度模型及其实时调度策略, 并着重探讨了水库管理系统的智能化演进, 通过具体案例实证了其效能的显著提升。经研究证实, 对水库进行优化管理及调度, 不仅能显著提高水资源运用效率, 亦能在遭遇极端气候及紧急状况时, 显著增强应对能力, 对于水资源可持续管理具有极为关键的推动作用。

[关键词] 水库管理; 水利工程; 调度优化; 水资源配置; 智能调度; 数据分析

DOI: 10.33142/hst.v8i1.15154

中图分类号: TV697.11

文献标识码: A

Research on Reservoir Management and Scheduling Optimization in Water Conservancy Engineering

SUN Qiaoye

Yushun Ecological Construction Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: Reservoirs in hydraulic engineering play a crucial role in flood control, irrigation, water supply, and power generation. Faced with climate change and diversified water demand, water resources are becoming increasingly scarce, and traditional reservoir management and scheduling models are no longer sufficient to meet the needs of modern water resource optimization and allocation. Through the study of optimization strategies for reservoir scheduling and management, many shortcomings in the current scheduling process have been revealed, and based on this, a comprehensive improvement approach relying on modern information technology, data analysis, and intelligent scheduling methods has been proposed. The article proposes a multi-objective reservoir scheduling model and its real-time scheduling strategy, and focuses on exploring the intelligent evolution of reservoir management systems. Through specific case studies, the significant improvement in its efficiency is demonstrated. Through research, it has been confirmed that optimizing the management and scheduling of reservoirs can not only significantly improve the efficiency of water resource utilization, but also significantly enhance response capabilities in the face of extreme weather and emergency situations, playing a crucial role in promoting sustainable water resource management.

Keywords: reservoir management; water conservancy engineering; scheduling optimization; water resource allocation; intelligent scheduling; data analysis

引言

作为现代水利工程的重要组成部分, 水库肩负着防洪抗旱、灌溉供水、发电与生态保护等多样化使命。在社会经济迅猛发展及气候变化愈发严重的背景下, 水资源的配置与运用遭遇着空前的挑战。通常水库调度方法倾向于静态管理, 却未充分纳入动态环境变迁与多元用水需求的考量。在水利工程研究领域, 当前亟须解决的是水库调度的科学化与智能化问题, 旨在优化水资源的配置, 并显著提高水库管理的整体效率。

1 水库管理与调度的基本概述

水利工程领域, 水库管理及调度构成关键要素, 关乎水资源合理配置与高效运用。水利设施中的水库, 其关键职能涵盖防洪、供水、灌溉、发电及生态保护等方面, 实施科学的水库管理与调度策略, 保障水资源的高效配置,

显著增强水库运作的安全与稳定, 对于推动水资源的持续发展具有不可替代的价值。水库的日常运作涉及诸多环节, 涵盖运行管理、水质监护与维护、设施修缮及紧急调配等多个层面。依据实时水文气象信息、流域水资源状况以及用水需求等要素, 对水库蓄水与放水及水位变动进行科学合理调控, 从而保障水库对复杂多变环境及突发状况的适应能力^[1]。

基于经验与人工评估的传统水库调度手段, 通常借助规则制定与操作指南等途径, 执行日常调度作业。在应对复杂的水文气象环境及多元用水需求时, 此方法显现出一定的局限性, 往往难以实现资源的最优配置与实时调控。信息技术的进一步推动下, 水库调度开始广泛应用数学模型、数据分析和智能算法, 以期最大限度地提升水库管理及调度的效率。

现代水库调度不仅仅局限于防洪和灌溉需求的满足,更要考虑到水资源的长远利用、生态环境保护以及气候变化等因素,调度模型也越来越复杂。在多目标水库调度过程中,必须对水库的运作方式实施优化,并协调供水、发电与防洪等不同水利目标间的相互联系。随着这一领域的深入,水库管理及调度理论的研究持续进展,相应的优化策略与技术亦不断演进。面对现代水资源管理的挑战,水库调度优化正逐步融入多目标优化、实时监测调整与智能决策支持等先进技术,旨在达成水资源的最优配置与可持续管理目标。

2 水库调度优化的理论框架

实施水库调度优化策略,旨在借助科学的决策机制,确保水库在特定时空条件下实现资源利用效率的极致化。系统分析及决策过程,调度优化问题不仅关乎操作层面,更复杂,数学模型、优化算法等构成了理论框架,涵盖数据分析与决策支持,构筑了全面优化体系。在数学优化理论的框架下,水库调度所采用的优化模型,对于提升调度效果具有关键作用。线性规划(LP)、非线性规划(NLP)以及整数规划(IP)等调度模型。在决策者面临诸多约束条件时,可助其探寻调度方案的最优解^[2]。

水库调度过程需面对复杂的多目标决策问题。而进行优化处理,水库调度在实际操作中,不仅要注重于防洪、供水、灌溉等单一目的,亦需统筹兼顾发电效能与生态维护等多元诉求,调度模型需应对多目标间的冲突与权衡。采纳诸如加权法、Pareto 优化等多元目标优化策略,从而保障各项目标间的均衡与实质性。在水库调度这一优化流程中,必须充分考量诸多不确定性因素,水库调度面临诸多不确定性,诸如水文气象波动、用水需求起伏以及极端天气事件的发生等。在水库调度优化的理论框架中,引入概率论与统计学方法至关重要。

信息技术的发展推动了数据分析和机器学习技术的应用,这两项技术正逐步成为水库调度优化领域的关键工具。实时调度决策因大数据技术在水库运行数据领域的深入分析而得以实现,深度学习与人工智能技术相辅相成。在优化调度决策规则方面发挥着关键作用,显著提高了调度的效率和准确性。水库调度优化所构建的理论框架,汇聚了数学建模、优化算法、数据分析与人工智能等多元学科,旨在复杂环境里实现水资源的最优配置。

3 现代水库调度方法的研究现状

现代水库调度方法的研究主要集中在优化模型、智能调度技术以及实时调度决策支持等方面。随着信息化技术的发展,水库调度方法从传统的经验性调度逐渐转向数据驱动、智能化的优化调度。现代水库调度方法强调精细化和动态化管理,传统的静态调度方法逐步被更为灵活和智能的动态调度方法取代。基于实时监测数据和气象预报,现代水库调度可以动态调整调度方案,实现实时决策。例

如,运用流域水文数据、气象数据以及实时水位等信息,动态调整水库的蓄水量和放水量,确保水库在变化的环境条件下仍能保持最佳运行状态^[3]。

水库调度的多目标优化方法得到了广泛的应用。众多学者针对目标间矛盾,提出运用多目标优化调度策略。在众多调度方案中,加权法、Pareto 最优解与目标规划法等策略,凭借对不同权重或优化目标的设定,实现了在兼顾多重目标的前提下,输出效益更高的调度结果,计算能力的增强催生了基于大数据分析和云计算的调度优化技术。此技术正逐步成为解决大规模水库调度难题的关键手段。随着智能化技术的不断进步,水库调度方法也在稳步演进,人工智能与机器学习技术依托历史数据,提炼水库调度决策中的潜在规则,以此助力调度决策的优化。采用深度学习与强化学习等技术,数据驱动下自动挖掘出调度水库的最佳策略,从而优化其调度流程,在多次试验与反馈的循环中,强化学习算法得以寻得最优的调度方案,从而显著增强调度效能。

尽管水库调度方法在现代已取得显著成效,但实际应用过程中仍遭遇诸多难题。在不确定性因素的干扰下,如何确保复杂环境中的调度决策准确且有效,实乃当前亟待解决的难题。在数据采集与处理领域,技术难题尚存,特别是在偏远地带及恶劣气候环境下,实时数据传输与处理效能亟待提升,众多地区在水库管理领域面临智能化调度系统构建与运用过程中,对技术及基础设施构建所提出的高标准要求,此乃一大难题。在水库调度领域,方法的发展趋势正朝着智能化与动态化迈进,同时追求多目标优化。尽管如此,仍需应对数据加工、模型匹配及技术应用等领域的诸多挑战,技术发展日新月异,水库调度方法将迈向高效智能的管理新纪元。

4 水库调度优化的关键技术与策略

水库调度优化的关键技术与策略涉及多个方面,包括数学模型、实时调度、智能算法以及大数据技术等。针对水库资源进行最优配置,所采取的优化策略需全面考量大坝的多样目标、环境变迁和诸多不确定性的要素。水库调度优化过程中,数学模型的作用举足轻重,借助线性规划(LP)、非线性规划(NLP)等优化模型,对水库调度过程中的决策变量、约束条件与目标函数进行精确阐述,以辅助决策者在多元运行模式中挑选出最佳策略。在水库调度领域,构建的数学模型必须全面考量蓄水、放水以及水位变化等关键要素,并需准确揭示不同调度目标间的矛盾与调和机制。在解决多目标优化问题时,运用加权法以及 Pareto 最优解等策略,有助于决策者实现各项目标的均衡考量,探寻最理想的资源配置途径^[4]。

实时调度技术在水库管理中也起到了重要作用。通过实时获取水库水位、流量、气象等关键数据,调度系统得以灵活调节水库运作模式,确保水资源得到最优配置。

随着物联网（IoT）的演进，使得传感器技术驱动下的实时数据采集与传输能力显著增强，有力地支撑了实时调度的数据需求。在应对多样化的用水需求和气候变化等条件下，该实时调度系统适时调整其调度策略，以保障水库的运行安全与稳定。在水库调度优化领域，智能算法扮演着关键角色，其应用对于提升调度效果具有显著影响。调度系统凭借机器学习与深度学习算法，能从庞杂的历史数据中挖掘出规律，进而对水文气象条件进行预测，并据此做出先见之明的决策。水库调度领域广泛采纳了这一智能决策的常见技术——强化学习算法，在模拟水库运行及调度方案实施过程中，强化学习技术通过不断试错，持续优化决策策略，力求实现调度方案的最优化。

水库调度借助大数据与云计算技术，其优化流程正日益趋向精确与高效。通过对海量历史资料的剖析与构造模型，水库的调配作业能够即时映照现有的水文气象状况，进而依托数据剖析进行预测及决策制定。借助云计算，数据处理能力显著增强，助力水库调度从传统人工模式迈向智能化与数据驱动的新范式。实施水库调度过程中，关键技术涵盖数字建模、实时调度、智能算法以及大数据分析等方面。水库调度技术的运用，不仅显著提高了调度效率和精确度，更为未来水资源应对挑战构筑了坚实的支撑^[5]。

5 水库管理系统的智能化建设

随着信息技术和智能化技术的快速发展，水库管理系统的智能化建设已成为水利工程领域的重要趋势。智能化水库管理系统通过引入自动化监测、数据分析、人工智能等先进技术，能够实现水库管理的实时、精细化和自动化，提高水库运行效率，增强调度的科学性和应对突发事件的能力。智能化水库管理系统的建设依赖于强大的数据采集和传输能力。通过部署先进的传感器和物联网技术，能够实时监控水库的水位、流量、气温、降水量等多项指标。这些数据通过无线通信网络实时传输至中央管理平台，为调度人员提供精确的实时信息，帮助决策者及时调整运行策略^[6]。

在构建智能化水库管理系统过程中，强大的数据处理与分析能力不可或缺。水库管理系统依托大数据技术与云计算平台，实现海量数据的存储、建模与分析，实时对各类数据予以处理与解析，并预测水库未来运行态势。系统通过运用数据分析手段，为管理人员提供调度决策所需的数据支撑，助力其实现更加科学精准的决策制定。对于智能化水库管理系统而言，人工智能技术的运用扮演着至关重要的角色，算法如机器学习与深度学习，能从历史数据中汲取经验，预测水文气象，为水库调度提供智能化决策支撑。通过对过往气象与水文资料的深度学习模型训练，

模型得以精确预判未来水流量及水位等关键指标。此举为调度决策提供了更为精准的数据支撑，运用强化学习算法，水库调度策略得以自动调整，持续优化水库管理效能。

应急响应功能是智能化水库管理系统的关环，其灵活度不可或缺。在面临突发状况时，管理人员依托智能决策系统，能够迅速做出应对措施，进而通过自动化手段对水库的运作模式进行相应调整。面临洪水侵袭，智能系统可自动调整水库的泄洪流量，以降低灾害所带来的损害。面对极端气候环境，系统凭借预测数据动态调整其调度策略，旨在保障水库运行的安全与效率。智能化建设的实施，使得水库管理系统得以提升管理效能与精确度，并有效应对水资源管理中所面临的愈发复杂的挑战，为保障水资源管理提供了坚实的技术支撑。通过持续推动技术革新，智能化水库管理系统将作为水资源管理领域的关键工具，为水库的持续运作提供坚实保障^[7]。

6 结语

随着信息技术和人工智能的快速发展，未来水库管理系统将更加智能化、精细化，能够实时应对动态变化的水资源需求和气候条件，为水资源的可持续管理提供坚实的保障。然而，智能化水库调度系统的推广仍面临技术、数据和管理等方面的挑战，需要进一步加强理论研究与工程实践的结合，以确保水库管理系统在复杂环境中的有效运行。在未来的研究中，应更加注重水库调度与生态环境、社会需求等因素的综合考量，进一步提高调度优化模型的适应性和鲁棒性，为水利工程的可持续发展做出更大贡献。

[参考文献]

- [1] 丁得瑾. 水库运行管理及调度常见问题分析[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(9): 265-267.
 - [2] 王瑞, 颜世栋, 王齐浩. 丁东水库现代化水库运行管理矩阵试点建设[J]. 大坝与安全, 2024(4): 17-21.
 - [3] 赵永涛, 党永超. 大型水库大坝安全管理应急预案编制实践和探讨[J]. 人民黄河, 2024, 46(1): 121-122.
 - [4] 万爽. 水库调度效益综合分析及运行与调度管理建议[J]. 水利科学与寒区工程, 2024, 7(6): 82-84.
 - [5] 董炜. 信息自动化在水库运行管理中发挥的功能和作用[J]. 珠江水运, 2024(6): 32-34.
 - [6] 陈扬沼. 水库大坝运行管理及调度常见问题分析[J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(12): 150-152.
 - [7] 闫博, 张鹏程. 试论水库运行管理及调度的有效方法[J]. 农业灾害研究, 2023, 13(7): 248-250.
- 作者简介: 孙巧叶(1980.2—), 单位名称: 禹顺生态建设有限公司; 毕业学校和专业: 天津大学, 工程造价管理。