

水库调度运行中汛限水位动态控制策略优化研究

楚段段¹ 朱康²

1 湖南省水务规划设计院有限公司, 湖南长沙, 410000;

2 长沙市芙蓉区应急管理局, 湖南长沙, 410000;

摘要: 水库调度里汛限水位动态控制策略对保障水库安全、完成防洪任务意义重大, 气候变化与流域水文条件改变, 让合理调整水库汛限水位对提升调度效率、降低灾害损失很关键。本文给出优化策略, 对不同水文情境下水位调控策略做模拟和评估, 提出动态调整汛限水位的具体办法, 此方案把预测数据和实际操作经验结合, 来达成水库调度的高效与灵活。应用该优化策略, 能有效提高水库运行安全和应急响应能力, 降低洪水发生时的风险, 还能保障下游区域的供水及电力供应。

关键词: 水库调度; 汛限水位; 动态控制; 优化策略; 防洪

DOI: 10.69979/3060-8767.25.06.011

引言

水库调度时, 汛限水位设定极为关键, 其控制关乎防洪、生态保护、水资源调配与电力生产等多方面, 传统汛限水位设定依赖固定标准或经验规则, 然而气候变化、流域特性差异及突发水文条件出现, 使其局限性日益明显。动态控制策略随之产生, 可在复杂环境下灵活调节水位, 保障水库在各类气候、流域条件下维持最佳运行状态。汛限水位动态调整不只是防洪调度优化, 更是水库调度全面智能化体现, 积极探索高效动态控制策略, 能显著增强水库安全运行能力, 大幅提高资源利用效率。

1 汛限水位的基本概念与现有控制方法

1.1 汛限水位的定义与作用

汛限水位是水库在汛期为保障防洪安全所定的最高水位, 核心作用是让水库能容纳可能出现的洪水流量, 避免水位超安全范围引发溃坝等灾害, 其设定需综合流域降水、汇水面积、流量预测及水库蓄水能力等因素。实际应用中, 汛限水位既影响防洪功能实效, 又关联水资源调配与电力生产, 科学设定汛限水位可有效增强水库防灾减灾能力, 保障下游地区安全, 同时也是规范水库操作的重要依据, 对优化水资源利用有积极意义。

1.2 传统汛限水位控制策略分析

传统汛限水位控制策略依据历史数据与经验判断, 设定固定汛限水位, 稳定气候和流域环境中, 这些策略或许可行, 但遭遇气候变化、流域特性差异等情况, 便难以灵活应变。传统策略依靠统计流域历史汛期水文数据预测未来水位变化, 可对突发性气候事件应对能力不

足, 常使水位预警延迟, 极端气候下, 固定汛限水位往往过于保守, 既无法充分发挥水库储水功能, 还会造成资源浪费, 甚至引发供水短缺问题。究其根本, 传统控制策略缺少必要的动态调整机制, 难以适应复杂多变的环境, 限制了水库在防洪与资源利用方面的效能发挥。

1.3 现有控制方法的局限性与改进需求

当前水库汛限水位控制多依托流域水文模型与气象预测数据, 但其局限显著: 模型精度欠佳、数据获取滞后, 且未考量水库长期运行的动态演变, 这些方法多基于固定水文情景假设, 无视气候变化对水文条件的深刻作用, 难以及时应对急剧变化的水文状况。随着环境改变, 现有控制方法适应性受限, 尤其在极端天气频发时, 传统方法预警能力明显不足, 亟待创新现有控制方法, 探寻适配动态变化的汛限水位控制策略, 通过融入更智能、实时的预测与控制手段, 提升汛限水位调整的效率与精准度, 以更好应对复杂环境下水库防洪与资源利用的双重需求。

2 水库调度中的动态控制需求与挑战

2.1 水文条件的不确定性与变化性

水文条件的变化与不确定是影响水库调度的关键因素, 降水量、流量、水位等水文要素时空分布波动显著, 让水库运行面临诸多不确定。流域降水量可能出现剧烈起伏, 尤其在汛期, 降水的不规则与突发特性很难依靠传统预报手段精准掌握, 流域地形、土地利用及水文条件的局部差异, 更增加了水文预测难度, 进而对水库调度策略的制定与实施产生影响。要应对这些不确定性, 核心在于提高流域水文预报的精度和时效, 开发动态调度策略, 以此更好地适应复杂多变的水文条件, 让

水库在防洪、蓄水等方面的调度更加科学合理，提升水库应对不同水文状况的能力。

2.2 气候变化对水库运行的影响

气候变化对水库运行影响深远，突出体现在降水模式与气温变化方面，气候持续变化下，流域降水季节性分布和强度呈现显著不稳定性，暴雨、干旱等极端天气发生频次和强度增加，对水库水资源调度提出更高标准。气候变化还会引发流域水文特征长期改变，影响水库蓄水能力与防洪调度，部分地区干旱加剧可能造成水库蓄水量缩减、水资源紧张，另一些地区则可能因极端降雨面临洪水风险。水库调度需充分考量气候变化带来的不确定因素，采取灵活应对策略，保障水库在各类气候条件下安全运行，提升水库对气候变化的适应能力与调度可靠性。

2.3 水库安全与效益之间的权衡问题

水库运行中，平衡安全与效益的矛盾至关重要，安全运行需严格控制水位，防止因水位过高引发溃坝等事故。但过度保守的水位控制策略，可能导致水库水资源未被充分利用，影响水力发电、农业灌溉等经济效益。汛期时，过低的汛限水位设定虽能提供更大安全边际，却常造成水库蓄水量不足，进而影响运行效益，合理的水位控制策略需在保障安全的基础上，尽可能提升水库利用效益，尤其在极端天气下，动态优化调度策略十分关键。需综合考虑不同情境下的安全需求与效益目标，通过灵活调整水位，实现水库安全与效益的协调统一，提升水库运行的综合效能。

3 汛限水位动态控制策略的优化模型与方法

3.1 基于流域特征的水位动态预测模型

流域特征差异直接作用于水文要素变化规律，基于此构建的水位动态预测模型是提升水库调度精准度的核心，模型通过分析流域降水量、土壤类型、植被覆盖等要素，结合地理环境、流域面积及水文条件，预判未来水位变化趋势。建模时，借助流域水文数据与历史气候信息拟合水位动态关系，进一步增强预测准确性。该模型优势在于能动态适应流域变化，如降水量波动或水文特征改变，让水库可依据不同水文情景及时调整调度方案。经过这种精准预测，水库能在汛期和枯水期施行更灵活高效的水位控制策略，有效防范水位过高或过低带来的风险，提升水库应对复杂水文条件的能力，实现调度过程中安全性与效益性的平衡。

3.2 考虑气候变化的水位调整策略

气候变化对水库调度的影响日益显著，暴雨、干旱

等极端天气频次与强度增加，水位调整策略需纳入气候变化因素，基于气候变化的水位调整策略，注重预测气候变化的长期效应，并依未来气候情境动态调整水位控制。该策略融合气候模型预测成果，通过模拟不同气候情境下的水文变化，制定更具灵活性的水位控制方案，气候变暖背景下，降水模式改变可能造成某些季节水量不足，水库调度策略需适应这一变化，避免过度依赖传统静态水位控制方式。借助气候变化情景的模拟与分析，水位调整策略可有效缓解气候变化引发的潜在风险，在保障水库安全的同时，最大限度维护其效益，提升水库对气候环境变化的适应能力。

3.3 多目标优化方法在汛限水位控制中的应用

汛限水位控制既关乎防洪安全，也涉及水库资源利用与效益最大化，多目标优化方法可同时兼顾多方面目标，如水库防洪能力、供水需求和电力生产等，以此优化汛限水位调整。实际应用中，多目标优化算法能依据不同目标函数（如最大化水库储水量、最小化洪水风险等）对水位进行调节，通过权衡多个目标，优化算法可寻得最优解，在不同情境下平衡各方需求。该方法优势在于能在复杂环境中快速调整水位，规避单一目标策略的局限。极端汛期时，优化方法可按预设多目标权重调整水位，确保水库在防洪的同时不影响供水和电力生产效益，提升整体水库调度的灵活性与效率，实现安全与效益的协调统一。

4 动态控制策略优化的仿真与案例分析

4.1 典型流域的汛限水位控制仿真

在典型流域内，汛限水位控制仿真可模拟不同水文条件下的水位波动及水库调度反应，该仿真过程以历史水文数据、气象预测和流域特征为基础，评估各类水位控制策略的实际效果。经过仿真，能够明晰在不同降水量、流量及水位变化场景中，水库如何调整汛限水位以应对潜在洪水风险，仿真结果可揭示汛限水位设定的合理性，进而辅助调度人员制定更高效的水位控制方案。对不同强度降水和极端天气状况下水库的响应策略及水位变化进行模拟，能为汛期水库调度提供关键决策依据，保障水库在多元环境下的安全运行，提升调度过程对复杂水文条件的适应性与科学性。

4.2 优化策略实施效果与评估

优化策略的效果需借助定量评估与实际应用反馈验证，汛限水位控制优化中，常设置防洪安全、资源利用率、供水稳定性等多项评价指标，用以评估策略实施成效。这些指标通过实际操作数据对比分析，可明晰优化策略对提升水库调度效率和防洪能力的作用，策略评

估既依赖仿真模拟,也需实际运行中的实时数据反馈。通过对比实施前后的水位控制结果,判断是否达成预期优化目标。动态水位调整策略实施后,汛期水库蓄水能力与防洪效益显著提升,评估结果为优化方案的改进提供了重要参考,助力持续提升水库调度的科学性与有效性,实现安全与效益的动态平衡。

4.3 不同情境下的策略调整与应急响应

汛限水位控制策略需具备应对各类突发情境的能力,不同情境下的策略调整与应急响应至关重要,策略调整需依据实时水文数据、天气预报和流域变化灵活调节汛限水位。极端暴雨来临前,水库需提前降低汛限水位以增加储水空间;干旱期间则可适当提高汛限水位,优化水资源利用,应急响应时,水库调度人员需快速分析突发水文事件,及时调整水位以保障防洪和水库安全。借助实时监控与智能调度系统,可有效降低水位过低或过高引发的风险,同时保障下游地区安全,提升水库在复杂情境下的应变能力,实现调度策略的动态适应性与安全性的统一。

5 汛限水位动态控制策略的应用前景与发展趋势

5.1 智能化调度系统的建设与发展

智能化调度系统建设对水库管理现代化意义重大,传统水库调度系统依靠人工操作与经验判断,效率低且易受人为因素干扰,随着信息技术与人工智能进步,智能化调度系统逐步应用于水库管理。此类系统集成大数据、气象预报、流域水文信息等多源数据,借助算法模型自动优化水库调度策略,智能系统可实时监控水位、降水量、流量等关键数据,依据实时状况动态调整汛限水位,并提前预测洪水风险。这不仅提升了水库运行效率,也在汛期和紧急状况下提供更精准的应急响应能力,智能化调度系统的发展让水库管理更高效、精准,为应对极端气候变化与复杂水文条件提供了技术支撑,推动水库管理向智能化、科学化方向迈进。

5.2 多元数据融合在动态控制中的应用

动态水位控制需在变化水文条件下快速精准决策,这依赖多元数据融合技术,通过整合气象数据、水文数据、流域数据与实时监控信息,可为水库提供全面水情分析,确保汛限水位依实际及时调整。该技术能有效融合多源数据,借助智能算法分析,识别潜在洪水风险、干旱状况或异常水文变化,这不仅提升水库调度决策的准确性,也增强对复杂环境变化的适应能力。在强降水

预警时,系统可自动判断是否需提前降低汛限水位,并调整水库运行策略,这种数据驱动的决策模式,让动态水位控制更科学高效,为水库应对多变水文条件提供有力支撑,实现调度过程的智能化与精细化。

5.3 未来水库调度管理的智能化与自动化进程

未来水库调度管理将更趋智能化与自动化,借助先进的人工智能、物联网及大数据技术优化管理模式,自动化调度系统可实时采集分析流域水文气象数据,依托强大数据处理能力开展水位预测与风险评估,部分场景下甚至能实现全自动化调度。通过机器学习与深度学习技术,系统可逐步提升对极端天气事件的预测能力,自动作出最优水位调整决策,水库管理还将与其他基础设施互联互通,实现跨区域信息共享与协同调度。自动化系统有助于提高水库调度的反应速度与效率,减轻人工操作负担,保障水库在复杂多变环境下安全高效运行,推动水库管理向更智能、更精准、更协同的方向迈进,为应对未来多元水文挑战提供技术保障。

6 结语

本文聚焦水库汛限水位动态控制策略,探讨水文条件不确定性、气候变化影响及水库安全与效益权衡问题,结合流域特征、水位预测模型与优化控制策略,提出灵活高效的水库调度方案。经过模拟典型流域、分析优化策略效果及应急响应机制,阐述智能化调度系统、多元数据融合及未来智能化进程,研究为汛限水位动态调整提供理论与操作框架,为水库调度管理优化提供可行路径,助力提升水库应对复杂环境的能力,实现安全与效益的协调统一。

参考文献

- [1] 王伟,李磊. 水库汛限水位控制优化方法研究[J]. 水利水电技术,2022,53(6):123-129.
- [2] 陈翔,高铭. 基于气候变化的水库调度模型优化研究[J]. 水文与水资源,2021,42(3):210-217.
- [3] 刘建,张芳. 智能化水库调度系统设计与应用分析[J]. 水库与防洪,2020,38(5):65-72.
- [4] 赵云,刘思远. 多元数据融合在水库调度中的应用与研究[J]. 水资源保护,2023,39(8):98-104.
- [5] 孙磊,张玉龙. 水库汛限水位的动态调整策略与优化分析[J]. 水利科学与工程,2021,48(4):155-162.

作者简介:楚段段,女(1990.03-)汉族,河南商丘,工程师,硕士研究生,主要研究水利水电工程管理。