

水库优化调度方案设计与分析

李红辉

新疆巴州新华水电开发有限公司和静哈尔莫墩电厂, 新疆 库尔勒 841000

摘要: 水库作为调节水资源时空分布的关键水利设施, 在防洪、灌溉、供水、发电等多方面发挥着不可替代的作用。水库优化调度方案的合理设计对于充分发挥水库的综合效益、保障水资源可持续利用至关重要。本文深入探讨了水库优化调度方案的设计过程, 分析了影响水库调度的主要因素, 明确了调度目标与约束条件。在此基础上, 阐述了基于不同策略的调度方案构建方法, 包括常规调度与优化调度相结合、多目标协同调度等。同时, 详细分析了调度方案的评估指标体系, 从经济效益、社会效益和环境效益等多个维度对方案进行全面评价。通过实际案例研究, 验证了所设计调度方案的有效性和可行性。研究结果表明, 科学合理的水库优化调度方案能够显著提高水资源的利用效率, 降低洪涝灾害风险, 为区域经济社会发展提供有力支撑。本研究对于推动水库调度管理向智能化、精细化方向发展具有重要的理论和实践意义。

关键词: 水库优化; 调度方案设计; 分析

DOI: 10.63887/fns.2025.1.2.13

引言

随着社会经济的快速发展和人口的不断增长, 水资源的需求日益增加, 而水资源的时空分布不均问题却愈发突出。水库作为人类调控水资源的重要手段, 通过蓄水和放水来调节河流的水量, 能够在很大程度上缓解水资源供需矛盾。然而, 传统的水库调度方式往往基于经验或简单的规则, 难以充分考虑多方面的需求和水资源的动态变化, 导致水库的综合效益无法得到充分发挥。例如, 在防洪方面, 可能因调度不当造成洪水漫坝或下游防洪压力过大; 在兴利方面, 可能无法满足灌溉、供水、发电等不同用户的用水需求。因此, 开展水库优化调度方案设计与分析研究具有重要的现实意义。

1 影响水库调度的主要因素

1.1 水文因素

来水情况: 水库的入库水量是影响调度的关键因素之一。来水的多少、时空分布以及变化趋势直接决定了水库的蓄水和放水策略。例如, 在丰水期, 来水量大, 水库需要合理蓄水, 同时要考虑防洪安全; 在枯水期, 来水量少, 水库要保证下游的用水需求, 维持一定的下泄流量^[1]。

降水预测: 准确的降水预测能够为水库调度提供提前量。如果预测到未来有较大降水, 水库可以提前降低水位, 预留防洪库容; 反之, 如果预测降水偏少, 水库则需要合理规划蓄水, 以保障后期的用水需求。

1.2 水库特性因素

库容曲线: 水库的库容与水位之间存在特定的关系, 即库容曲线。它决定了水库在不同水位下的蓄水量, 是制定调度方案的重要依据。调度人员需要根据库容曲线来掌握水库的蓄水状态, 合理安排蓄水和放水过程。

泄洪能力：水库的泄洪建筑物，如溢洪道、泄洪洞等的规模和泄流能力限制了水库的最大下泄流量。在防洪调度中，必须确保水库的下泄流量不超过泄洪建筑物的泄洪能力，以保证水库大坝的安全。

水电站特性（对于发电水库）：水电站的装机容量、水头 - 流量 - 出力关系等特性会影响水库的发电调度。不同的水头和流量条件下，水电站的发电出力不同，调度方案需要充分考虑这些因素，以实现发电效益的最大化^[2]。

1.3 用水需求因素

生活用水：城市居民的生活用水是水库供水的重要任务之一。生活用水具有用水量相对稳定、水质要求高的特点，水库调度需要保证生活用水的优先供应，确保居民的日常生活不受影响。

工业用水：工业生产对水的需求量较大，且用水时间和用水量具有一定的规律性。水库调度要根据工业企业的生产计划，合理安排工业用水供应，满足工业生产的正常进行。

农业灌溉用水：农业灌溉用水受季节和农作物生长周期的影响较大。在灌溉季节，需要保证农田有足够的水量进行灌溉，以提高农作物的产量。水库调度要结合农业灌溉的需求，合理调配水资源。

生态用水：为了维护河流生态系统的平衡，需要保证一定的生态流量。生态用水对于保护水生生物的栖息地、维持河流的自净能力等具有重要意义。水库调度要充分考虑生态用水需求，避免因过度调水导致河流生态环境的破坏。

2 水库优化调度目标与约束条件

2.1 调度目标

防洪目标：在汛期，确保水库大坝的安全，将水库水位控制在防洪限制水位以下，同时最大程度地削减洪峰流量，减轻下游地区的防洪

压力，保障下游人民生命财产安全和重要基础设施的安全。

供水目标：满足城市生活、工业和农业灌溉等用水需求，根据不同用户的用水优先级和用水量要求，合理安排水库的放水时间和放水量，确保供水的稳定性和可靠性，提高供水服务质量^[3]。

发电目标：对于发电水库，优化调度以提高发电量和发电效益。根据水库的来水情况、下游用水需求和电力市场的电价等因素，合理确定水库的发电出力过程，使发电量最大或发电收益最高，同时要兼顾电网的稳定运行要求。

航运、渔业等其他目标：某些水库还承担着航运、渔业等任务。对于有航运功能的水库，要保证一定的通航水位和水流条件，满足船舶的航行需求；对于渔业生产，要维持适宜的水质和水位，为鱼类提供良好的生存环境，促进渔业资源的可持续发展。

2.2 约束条件

库容限制：水库的水位必须在库容曲线所允许的范围内变化，不能超过水库的总库容或低于死水位。总库容是水库能够容纳的最大水量，死水位是水库在正常运行情况下允许的最低水位，低于死水位可能会影响水库的正常运行和取水^[4]。

下泄能力约束：水库的下泄流量受到泄洪建筑物规模的限制，下泄流量不能超过泄洪建筑物的最大泄流能力。在防洪调度中，要严格按照泄洪建筑物的泄流能力进行下泄，防止因下泄流量过大导致洪水漫坝或对下游造成更大的危害。

水量平衡约束：在任一时段内，水库的入库水量、出库水量和水库蓄水量的变化之间满足水量平衡方程。即某一时段初的水库蓄水量加上该时段的入库水量，减去该时段的出库水量和水库损失水量（如蒸发、渗漏等），等于

该时段末的水库蓄水量。水量平衡约束是水库调度必须遵循的基本物理规律。

下游用水需求约束：根据下游不同用户的用水需求，确定各时段的最低下泄流量要求，以保证下游生活、生产和生态用水的需求。例如，在农业灌溉期，要保证下游农田有一定的灌溉流量；在城市供水期，要满足城市居民的生活用水量；同时，要维持河流的生态流量，保护水生生物的生存环境。

电力市场与电网约束（对于发电水库）发电出力限制：水库水电站的发电出力受到发电机组的技术参数限制，存在最大和最小发电出力限制。发电机组的设计和运行特性决定了其不同工况下的发电能力，调度方案必须确保发电出力在这些限制范围内^[5]。

电网调度要求：水电站的发电出力需要服从电网的统一调度，根据电网的负荷需求和电力平衡情况，调整水库的发电计划。电网的稳定运行要求水电站在必要时进行调峰、调频等操作，以维持电网的频率和电压稳定。

3 水库优化调度方案设计方法

3.1 常规调度与优化调度相结合

常规调度：常规调度是基于水库的运行经验和一些既定的规则进行的调度。它通常根据水库的历史来水资料、下游用水需求和水库的特性参数，制定出一套相对固定的调度规则。例如，根据不同的汛期和非汛期来水情况，确定水库的防洪限制水位和兴利蓄水位；根据下游的灌溉用水需求，规定不同时期的下泄流量。常规调度方法简单易行，能够为水库的日常运行提供基本的指导。

优化调度：优化调度是运用数学方法和计算机技术，在满足各种约束条件的前提下，寻求水库调度的最优方案，以实现特定的调度目标。优化调度可以考虑更多的因素和更复杂的情况，如多目标优化、随机来水等。常见的优化调度方法有动态规划、遗传算法、粒子群优化算法等。

结合方式：在实际的水库调度中，将常规调度与优化调度相结合可以充分发挥两者的优势。首先，利用常规调度方法制定基本的调度规则和框架，为优化调度提供初始方案和约束条件。然后，运用优化调度方法对常规调度方案进行优化和调整，考虑更多的不确定因素和目标要求，得到更科学合理的调度方案。例如，在制定年度调度计划时，可以先根据常规调度确定大致的蓄水和放水过程，再利用优化调度方法根据当年的降水预测、电力市场变化等情况对计划进行优化。

3.2 多目标协同调度

目标冲突分析：水库调度往往涉及多个目标，如防洪、发电、供水、生态等，这些目标之间可能存在一定的冲突。例如，在防洪期间，为了降低水库水位，可能需要加大下泄流量，这可能会影响下游的供水安全和发电效益；而在发电高峰期，为了增加发电量，可能需要多蓄水，这可能会减少下游的生态流量。因此，在进行多目标协同调度时，需要深入分析各目标之间的冲突关系，明确各目标的重要性和优先级。

协调策略

权重分配法：根据各目标的重要程度，为不同目标分配相应的权重，将多目标优化问题转化为单目标优化问题进行求解。例如，如果防洪目标最为重要，可以为其分配较大的权重，在优化调度中优先考虑防洪安全。

层次分析法：将水库调度的多个目标按照一定的层次结构进行划分，通过专家打分等方式确定各目标之间的相对重要性，进而得到各目标的权重。这种方法能够更系统地考虑各目标之间的关系，但权重的确定受到专家主观因素的影响较大。

协商谈判法：将水库调度的各利益相关方（如防洪部门、电力部门、供水部门、环保部门等）视为不同的决策主体，通过协商谈判的方式，在各目标之间寻求平衡，达成一个各方

都能接受的调度方案。这种方法能够充分考虑各方的利益诉求，但协商过程可能较为复杂，需要花费较多的时间和精力。

实施步骤：首先，明确水库调度的多个目标，并对各目标进行量化和评估。然后，分析各目标之间的冲突关系，选择合适的协调策略。接着，运用优化算法对多目标协同调度模型进行求解，得到一组非劣解（帕累托最优解）。最后，根据实际情况和决策者的偏好，从非劣解集中选择一个最满意的调度方案作为最终的调度方案。

3.3 基于风险分析的调度方案制定

风险识别：水库调度面临着多种风险，如洪水风险、干旱风险、水质风险等。洪水风险是指由于来水超过水库的防洪能力，导致水库大坝安全受到威胁或下游地区发生洪涝灾害的可能性；干旱风险是指在枯水期来水不足，无法满足下游用水需求的可能性；水质风险是指水库水质恶化，影响供水安全和生态环境的风险。通过对水库调度过程中的各种风险因素进行识别和分析，明确风险来源和可能造成的后果。

风险评估：采用定性和定量相结合的方法对水库调度的风险进行评估。定性评估可以通过专家经验、历史案例分析等方式，对风险的可能性和影响程度进行大致判断；定量评估则可以运用概率统计、风险矩阵等方法，对风险进行量化分析。例如，通过分析历史洪水资料，确定不同频率洪水的发生概率和可能造成的损失；通过建立水质模型，评估不同调度方案下水库水质的变化情况和水质超标的风险。

风险应对策略：根据风险评估的结果，制定相应的风险应对策略。对于高风险事件，要采取积极的防范措施，如加强水库的防洪设施建设、提高洪水预报精度、制定应急预案等；对于中低风险事件，可以采取监测、预警等措施，及时掌握风险变化情况，并做好应对准备。在制定调度方案时，要充分考虑风险因素，将

风险控制在可接受的范围内。例如，在防洪调度中，可以预留一定的防洪风险库容，以应对可能出现的超标准洪水。

4 水库优化调度方案评估指标体系

4.1 经济效益指标

发电效益：对于发电水库，发电效益是重要的评估指标之一。可以通过计算调度方案下的发电量、发电收入等来衡量发电效益的大小。发电量越高、发电收入越多，说明调度方案在发电方面的效益越好。

供水效益：评估调度方案对下游供水的保障程度和供水成本。供水效益可以通过供水保证率、供水成本与供水收益的比值等指标来体现。较高的供水保证率和较低的供水成本与收益比意味着调度方案在供水方面具有较好的经济效益。

综合经济效益：综合考虑发电效益、供水效益以及其他可能的经济效益（如航运效益、渔业效益等），计算调度方案的综合经济效益。可以采用成本 - 效益分析方法，将调度方案的成本（如水库运行成本、防洪投入等）与效益进行比较，评估方案的经济可行性。

4.2 社会效益指标

防洪减灾效益：衡量调度方案在减轻洪涝灾害损失方面的作用。可以通过计算因调度方案实施而避免的洪涝灾害直接经济损失（如房屋倒塌、农田被淹、基础设施损坏等）和间接经济损失（如工业停产、交通中断等）来评估防洪减灾效益。

供水安全保障程度：评估调度方案对下游生活、生产和生态用水的保障能力。可以通过供水保证率、缺水时间和缺水量等指标来反映供水安全保障程度。较高的供水保证率和较少的缺水情况说明调度方案能够更好地保障供水安全。

社会满意度：通过问卷调查、公众意见征集等方式，了解社会公众对水库调度方案的满

意度。社会满意度反映了调度方案对社会各方面需求的满足程度，是评估社会效益的重要参考指标。

结语

本文对水库优化调度方案设计与分析进行了深入研究。分析了影响水库调度的主要因素，明确了水库调度的目标和约束条件。阐述了基于常规调度与优化调度相结合、多目标协

同调度以及基于风险分析的调度方案设计方法，并建立了包括经济效益、社会效益和环境效益在内的调度方案评估指标体系。通过实际案例研究，验证了所设计调度方案的有效性和可行性。研究结果表明，科学合理的水库优化调度方案能够显著提高水资源的利用效率，增强防洪减灾能力，保障供水安全，促进能源可持续发展，维护生态环境平衡，为区域经济社会发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 郭敏. 基于嵌套模型的水库优化调度方案[J]. 水利科技与经济, 2025, 31 (03): 111-114.
- [2] 廖灵明, 钟芳仁. 水库优化调度方法研究进展[J]. 机电技术, 2022, (06): 33-35+45.
- [3] 阮师. 基于多水库优化调度防洪研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2023, 6 (08): 91-94.
- [4] 董旭龙, 王二朋, 马保东, 等. 水库优化调度研究综述[J]. 水电站机电技术, 2016, 39 (12): 88-93.
- [5] 方洪斌, 王梁, 周翔南, 等. 水库优化调度与厂内经济运行耦合模型研究[J]. 水力发电, 2017, 43 (03): 102-105.
- [6] 唐乾柏, 曹希尧. 三段式水库优化调度技术[J]. 湖南电力, 2017, 37 (03): 47-51.