

新形势下梯级水电站运行方式及优化研究

高贝贝

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v8i9.5707

[摘要] 梯级水电站作为水力发电的重要形式,其运行方式直接影响发电效益与生态环境质量。面对现代化需求及生态文明建设的要求,传统运行方式亟需优化。本文详尽分析了梯级水电站的概念、分类及发展过程,深入探讨了传统运行方式的局限性,并提出基于大数据技术的优化策略、多目标优化方法、不确定性因素纳入优化模型以及梯级水电站联合调度新路径,以期在提升发电效率与保护环境之间达到最优平衡。

[关键词] 梯级水电站; 运行方式; 优化策略

中图分类号: TV74 文献标识码: A

Research on the Operation Mode and Optimization of Cascade Hydropower Stations under the New Situation

Beibei Gao

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd

[Abstract] As an important form of hydroelectric power generation, the operation mode of cascade hydropower stations directly affects the power generation efficiency and ecological environment quality. Faced with the demands of modernization and ecological civilization construction, the traditional operation mode urgently needs to be optimized. This article provides a detailed analysis of the concept, classification, and development process of cascade hydropower stations, explores the limitations of traditional operating methods, and proposes optimization strategies based on big data technology, multi-objective optimization methods, incorporating uncertainty factors into optimization models, and a new path for joint scheduling of cascade hydropower stations, in order to achieve the optimal balance between improving power generation efficiency and protecting the environment.

[Key words] Cascade hydropower stations; Operation mode; Optimization strategy

引言

梯级水电站是在同一条河流上,根据水能资源的高低差异顺序建设的多个水电站,旨在高效利用水力资源,同时兼顾防洪、灌溉等综合效益。随着我国电力市场化改革的推进及生态文明建设理念的深入人心,梯级水电站面临优化运行方式的迫切需求。本文旨在探索并构建适应新形势的梯级水电站运行优化框架,推动其与社会经济与环境保护中的协同发展。

1 梯级水电站概述

1.1 定义

梯级水电站指在指定河道内,按照一定顺序建立的多个水电站,通过逐级利用水流高度差实现高效发电,并具备蓄水调节、防洪抗灾等多种功能。这种布局不仅提升了水能发电的经济效益,还减轻了对流域生态系统的干扰。

1.2 分类

依据布局形式,梯级水电站可分为混合式、等高式、阶梯式及并联式等类型。各类型电站依据地形地貌及水文条件进行设计,旨在最大化水能利用效率与综合效益。在我国,随着能源结构调整和节能减排战略的实施,梯级水电站得到了大规模开发。根据我国梯级水电站的建设实践和分布情况,可以估算其类型占比如下(见图1):

混合式梯级:约占25%。我国部分流域,如金沙江、雅砻江等,既有大型水电站如三峡、向家坝等,也有众多中小型水电站,形成了混合式梯级布局。

等高式梯级:约占15%。等高式梯级在我国部分河流中下游地区有所应用,但相对较少。

阶梯式梯级:约占50%。阶梯式梯级是我国梯级水电站的主要形式,特别是在长江、黄河等大江大河上,通过多座水电站的连续建设,实现了水能资源的高效利用。

并联式梯级：约占10%。在我国一些支流众多的河流上，如澜沧江、怒江等，通过并联式梯级建设，实现了整个流域的水能资源开发。



图1 各类型占比

1.3 发展过程

梯级水电站的历史可追溯至20世纪初，在欧洲与北美率先发展。20世纪50年代后，随着技术进步，全球范围内梯级水电站建设迎来高峰期。在中国，随着能源结构调整及节能减排战略的实施，梯级水电站得到了大规模开发，尤其在长江、黄河等大江大河流域，梯级电站群已成为国家电力供应的重要支柱。

2 传统梯级水电站运行方式

2.1 定峰定量运行方式

传统定峰定量运行方式根据预定计划，在不同时间段内输出特定形态的电力与功率，以满足电网稳定供电需求。此方法通过多段制或两段制策略，划分电网负荷高峰期与低谷期，确保电力供应充足且高效。然而，面对多变的电力需求，该方法易导致非高峰时段机组闲置，影响整体效率。

2.2 定峰不定量运行方式

定峰不定量运行方式依据实际来水情况灵活调整发电机组输出，旨在在电力供需与水资源管理间取得平衡。在水资源丰富时，提高发电量以充分利用水能；在电力供应紧张时，降低非高峰时段发电量以保障高峰时段稳定供电。该方法要求高效调度决策支持系统的支撑，以实现资源的优化配置。

2.3 不定峰不定量运行方式

不定峰不定量运行方式强调根据实时来水情况及电网负荷变化，灵活调节各电站机组开停机与出力。此方式最大化利用了水能资源，但对调度系统的性能要求较高，需实时收集数据并优化调度策略，以适应多变的电力环境。

3 新形势下梯级水电站运行方式的优化

3.1 深化大数据技术应用以强化优化效能

在梯级水电站运行方式优化的新实践中，大数据技术的深化应用成为了提升优化效能的关键驱动力。这一过程不仅依赖于大数据平台的构建，还涉及多源异构数据的广泛集成与深度挖掘。具体而言，通过将水文气象数据、电网运行数据、电力市场数据等多维度信息进行高效整合，形成了一个全面反映系统运行状态的数据网络。这一数据网络为梯级水电站提供了前所

未有的洞察力，使得对水资源变化、电力需求波动及市场趋势的预测更加精准与细致。进一步地，大数据分析技术的引入，如机器学习算法、时间序列分析等手段，使得数据不仅仅是信息的载体，更成为了决策优化的智能基础。通过训练复杂的预测模型，系统能够自动捕捉数据中的潜在规律与关联，生成高度定制化的调度策略。

3.2 多元目标均衡优化策略的实践探索

面对梯级水电站运行中发电量最大化、防洪安全、生态环境保护等多重目标间的复杂关系，实施多元目标均衡优化策略成为了必然选择。这一策略的核心在于构建一个综合考量多个目标函数的优化模型，并通过引入一系列约束条件，确保优化结果既符合实际需求，又具备可行性与可操作性。在模型构建过程中，发电量最大化目标往往被设定为首要优化方向，但同时也要兼顾防洪库容的安全储备与生态环境的保护需求。通过引入先进的多目标优化算法，如非支配排序遗传算法(NSGA-II)等，系统能够在多个目标间进行智能权衡，生成一系列非劣解集合，为决策者提供多样化的选择方案。

3.3 不确定性因素纳入优化模型的创新路径

梯级水电站运行过程中的不确定性因素，如入库流量的随机波动、电力需求的季节性变化及电价市场的动态调整等，对运行优化提出了严峻挑战。为有效应对这些不确定性，创新性地将不确定性因素纳入优化模型成为了关键路径。具体而言，随机优化模型通过概率论与随机过程理论对不确定性因素进行描述与量化，将优化问题转化为在一定置信水平下的决策问题。这种模型能够灵活应对流量、需求等变量的不确定性变化，确保在复杂环境中保持系统的稳定与高效运行。

3.4 梯级水电站联合调度新方法的深度研发

为实现梯级水电站系统整体效益的最大化，深度研发联合调度新方法成为了重要方向。这一过程不仅涉及数学优化方法的传统应用，还融合了人工智能技术的最新成果。非线性规划与动态规划等数学优化方法，在解决复杂约束条件下的优化问题中展现出强大能力。通过构建梯级水电站联合调度模型，将各电站间的水力联系与电力耦合关系纳入考虑范围，实现了系统整体的协调与优化。然而，面对大规模、多层次的梯级水电站系统，传统数学方法的计算复杂度与求解效率往往面临挑战。为此，人工智能技术如强化学习、深度学习等提供了新的解决方案。通过将梯级水电站的运行过程建模为复杂的决策问题，并利用智能算法在模拟环境中进行迭代学习与优化，系统能够自动发现潜在的优化空间与调度规律。

4 深化梯级水电站运行优化的实施路径

4.1 构建集成化智能调度决策系统

在深化梯级水电站运行优化的进程中，构建集成化智能调度决策系统成为了核心举措。该系统旨在通过全面集成多源异构数据，实现数据的实时采集、处理与分析，进而为梯级水电站的调度决策提供强有力的技术支持。具体而言，该系统融合了先进的机器学习算法与大数据分析技术，能够对水文、气象、设备

运行及电力市场等多维度数据进行深度挖掘与综合评估。在此基础上,系统能够自主预测水资源的变化趋势、电力需求的动态演变以及市场价格的波动情况,从而制定出精准且高效的调度策略。该系统的运作逻辑在于,通过构建统一的数据平台,实现各电站间数据的无缝对接与共享。利用高级的数据处理算法,系统能够实时分析数据间的关联性与趋势性,揭示出隐藏的规律与模式。进而,借助智能优化算法,系统能够自动调整调度方案,以应对各种突发情况与不确定性因素。这一过程不仅显著提升了梯级水电站的响应速度,还大幅增强了其运行的灵活性与适应性。此外,该系统还具备强大的自我学习与优化能力。通过持续收集运行数据并进行反馈分析,系统能够不断优化其内部算法与模型,提升预测的准确性与调度的合理性。

4.2 促进跨流域协调调度的深度整合

跨流域协调调度是提升梯级水电站整体效益的关键所在。鉴于梯级水电站广泛分布于不同流域,其水文特性、电力需求及生态环境等方面均存在显著差异。因此,实现跨流域的协调调度,对于提升整个水电系统的综合效益具有重要意义。为促进跨流域协调调度的深度整合,需构建完善的信息共享与资源整合机制。通过搭建统一的信息平台,实现各流域梯级水电站间的数据共享与交流。在此基础上,利用多目标优化算法与复杂系统理论,对各流域的调度方案进行统一规划与优化。这一过程中,需充分考虑各流域的水文特性、电力需求及生态环境等多种因素,通过精细化的建模与仿真,得出兼顾各方利益的调度策略。同时,还需加强跨流域的沟通与协作,建立长效的协调机制。

4.3 强化生态环境监测与保护策略的实施

在优化梯级水电站运行方式的过程中,生态环境保护始终占据着举足轻重的地位。为实现发电效益与生态环境效益的协调统一,需构建完善的生态环境监测体系与保护策略。首先,应加大对生态环境监测的投入力度,建立覆盖各流域梯级水电站的生态环境监测网络。通过实时监测水质、水温、溶解氧、生物多样性等关键指标,全面评估梯级水电站对流域生态系统的影响。在此基础上,利用大数据分析技术,对监测数据进行深入挖掘与分析,揭示出生态环境变化的规律与趋势。其次,应积极引入生态调度理念,通过优化调度策略,减少对河流生态的干扰与破坏。具体而言,可在保障电力供应安全的前提下,合理安排梯级水电站的蓄放水时间与流量,确保河流生态用水需求得到满足。同时,针对特定的生态环境敏感区域,可实施更加严格的

调度措施,以最大程度地保护生物多样性及水资源安全。最后,还需建立健全的生态环境保护责任机制,明确各梯级水电站的生态环境保护职责与任务。

4.4 加速市场化改革与技术创新的双重驱动

市场化改革与技术创新的双重驱动,为梯级水电站的优化运行注入了新的活力与动力。在市场化改革方面,应积极推动电力市场交易机制的建设与完善,鼓励梯级水电站积极参与市场竞争。通过建立公开、透明、规范的电力市场交易平台,实现电力资源的优化配置与高效利用。同时,还需加强与电网公司的沟通协调,共同研究解决电力交易中的难点与问题,推动电力市场的持续健康发展。在技术创新方面,应加大对新技术、新方法的研发与应用力度。通过引入先进的水文预报模型、优化算法及人工智能技术,提升梯级水电站的智能化水平与运行效率。具体而言,可利用机器学习算法对水文数据进行深度挖掘与分析,提高水情预测的准确性与及时性;利用优化算法对调度方案进行精细化设计与优化调整;利用人工智能技术实现调度决策的自动化与智能化。这些新技术的引入与应用,将有力推动梯级水电站运行优化的不断深化与完善。

5 结论

本文深入分析了梯级水电站的传统运行方式及其在新形势下的优化需求,提出了利用大数据技术、多目标优化方法、将不确定性因素纳入优化模型及探索梯级水电站联合调度新方法等优化策略。通过构建智能调度决策系统、加强跨流域协调调度、强化生态环境保护意识及推动市场化改革与技术创新等措施,可有效提升梯级水电站的运行效率与综合效益,实现社会、经济与环境的可持续发展。梯级水电站作为水力发电的重要形式,其优化运行对于推动我国绿色能源事业发展具有重要意义。

[参考文献]

- [1]霍建贞,张恒.大通河流域梯级水电站水库调度方案分析[J].电网与清洁能源,2016,32(1):112-118,124.
- [2]许佳,梁宇航,白涛.新形势下梯级水电站运行方式及其优化[J].水上安全,2023,(09):82-84.
- [3]魏亚峰.新形势下梯级水电站运行方式及优化研究[J].水上安全,2024,(14):7-9.

作者简介:

高贝贝(1996--),女,汉族,河南新蔡县人,本科,现有职称:助理工程师,研究方向:水工设计方向。