

低碳能源发展背景下的水电运行模式优化研究

陈凡凡

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂（陇东南分公司），甘肃 陇南 746412

[摘要]随着低碳能源的需求不断增加，水电作为重要的可再生能源，发挥着越来越重要的作用。然而，由于水资源的季节性变化和与其他能源的相互影响，水电的运行模式仍面临许多挑战。当前，如何优化水电的运行调度，提高效率，减少能源浪费，成为亟待解决的问题。本篇文章探讨了低碳能源背景下水电的运行模式优化，通过分析现有的调度策略和技术，提出了一些优化方案，并讨论了数字化技术如何帮助提升水电系统的效率和灵活性。最后，本篇文章还评估了这些优化方案的应用效果，为未来水电的可持续发展提供理论支持。

[关键词]低碳能源发展；水电运行；运行模式；模式优化

DOI: 10.33142/ucp.v1i6.15201

中图分类号: X321

文献标识码: A

Research on Optimization of Hydroelectric Operation Mode under the Background of Low Carbon Energy Development

CHEN Fanfan

Longdongnan Branch, Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: With the increasing demand for low-carbon energy, hydropower, as an important renewable energy source, is playing an increasingly important role. However, due to the seasonal changes in water resources and their interaction with other energy sources, the operation mode of hydropower still faces many challenges. Currently, how to optimize the operation and scheduling of hydropower, improve efficiency, and reduce energy waste has become an urgent problem to be solved. This article explores the optimization of the operation mode of hydropower under the background of low-carbon energy. By analyzing existing scheduling strategies and technologies, some optimization schemes are proposed, and how digital technology can help improve the efficiency and flexibility of hydropower systems is discussed. Finally, this article also evaluates the application effects of these optimization schemes, providing theoretical support for the sustainable development of hydropower in the future.

Keywords: development of low-carbon energy; hydroelectric operation; operation mode; mode optimization

引言

随着全球气候变化问题的日益加剧，低碳经济已成为各国发展的核心目标。在这一背景下，推动能源转型的关键在于发展清洁能源与减少碳排放。水电作为一种重要的可再生能源，在全球能源结构中占据着举足轻重的地位，尤其是在低碳能源体系中，不仅能够稳定电力供应，还具有显著的调节作用。然而，水电的运行效率及调度优化面临着诸多挑战，特别是在水资源分布不均、季节性波动以及电力需求变化的情境下。如何高效利用水电资源，在这些不确定因素的影响下提升系统的整体效能，已成为当前亟待解决的关键问题。低碳能源的发展迫切要求水电资源的更高效使用，结合风能、太阳能等其他可再生能源，形成一个综合调度机制。通过此机制，不仅能够提升水电的利用率，还能促进各类能源之间的协同发展，推动低碳目标的实现。因此，水电运行模式的优化显得尤为重要。通过调整调度策略、引入数字化技术，并加强与其他能源形式的协作，可有效提升水电系统的灵活性与可靠性，进一步促进绿色低碳能源的持续发展。在此过程中，调度策略的优化被视为提升系统效率的关键。通过合理的调度策略与技术手段，水电的运行效率可得到显著提高，从而为低

碳目标的实现提供有力支持。此外，数字化技术的引入，使得水电运行管理变得更加精细化与智能化。

1 水电在低碳能源体系中的作用

水电在低碳能源体系中占据着至关重要的地位，是全球能源转型与应对气候变化挑战的关键支撑之一。作为一种清洁、可再生的能源形式，水电不仅在全球范围内得到广泛应用，其高效的能源转换能力与较低的碳排放水平使其在低碳经济中具有独特优势。水电被视为基础性能源，能够提供稳定且可靠的电力供应，尤其是在电力需求波动较大的情况下，展现出卓越的调节与储能能力。与太阳能、风能等其他可再生能源相比，水电具有较强的调节性与优异的负荷跟踪能力，能够平衡波动性较大的能源来源，保障电力系统的稳定运行。此外，较长的生命周期与较低的运营成本通常是水电项目的特点，这使得水电不仅能够提供持续的能源供应，还具备较强的长期经济效益。在全球低碳经济的推进过程中，水电的环保性与可持续性使其成为替代化石能源的理想选择，温室气体排放的减少有助于推动碳中和目标的实现。特别是在大规模水电站运行的背景下，节能减排的显著效果有效降低了对煤炭、天然气等化石燃料的依赖。然而，水电在低碳能源体系中的广泛应

用仍面临一些挑战,诸如环境影响、社会接受度及高投资成本等问题。如何在确保环境可持续性的前提下,最大化水电资源的利用效率,已成为当前亟待解决的重要课题。

2 低碳能源下的水电运行模式优化设计

2.1 水电运行模式优化的基本原则

水电运行模式优化的基本原则是确保在低碳能源背景下,水电系统能够最大限度地发挥其效能,同时兼顾能源供应的稳定性、经济性以及环境的可持续性。优化设计的首要任务是提高水电系统的能源利用效率。在保障电力稳定供应的基础上,能源浪费应尽可能减少。这要求根据电力需求与水文条件,灵活调整水库的调度策略,确保水资源的高效利用,同时合理配置水电站的发电负荷。为了实现这一目标,水电站的水资源特点、气象变化以及流域的水文条件需充分考虑,以提高发电效率,并保障水资源的可持续利用。优化设计还应当符合低碳发展目标。在确保能源供应的同时,碳排放及对环境的负面影响应最大限度地减少。作为一种可再生能源,水电的运行模式不仅要提高自身的效率,还应减少对其他能源,特别是化石燃料的依赖。在此过程中,水电与其他可再生能源(如风能、太阳能)的联合调度显得尤为重要。通过充分发挥这些能源的互补性,系统整体效率可以得到提升,并且碳足迹得以有效降低。优化联合调度需根据水电站机组的发电能力与风能、太阳能等波动性电源的特性,合理安排发电计划,从而平衡电力负荷,最终实现低碳、清洁的电力供应^[1]。水电运行模式优化的设计,还必须充分考虑经济性,旨在最大化发电收入与系统的运营效益。优化过程中,水电的资本投资、运行维护成本以及能源市场的价格波动应综合评估,通过灵活的调度策略实现成本效益的最大化。具有较高灵活性和强大调节能力的水电站,能够在电力市场峰谷差异较大的情况下,参与调频、调峰等辅助服务,为电力系统带来额外的经济回报。为了进一步提升经济效益,优化设计还应重视智能化调度技术的应用。

2.2 低碳能源条件下的调度策略与方案

在低碳能源背景下,水电运行模式的优化调度策略显得尤为关键。其核心不仅在于如何高效利用水能资源,还需考虑与其他可再生能源(如风能、太阳能)的协调与互补。低碳能源的目标是减少化石能源的使用,并降低温室气体排放。因此,调度方案的设计要最大限度地提升水电的发电效益,同时确保系统的低碳排放与环境的可持续性。在实际调度过程中,水电作为一种调节性能源,通常需要与风能、太阳能等波动性较大的可再生能源协调运作。针对这一需求,低碳能源条件下的调度策略应重点关注负荷需求的动态变化与各类能源的波动特性,通过精准地预测与调度,实现能源的平衡供应。具体来说,多种方法可以被采用来优化发电与负荷的匹配。例如,智能调度平台结合大数据分析机器学习算法,可用于实时预测电力需求,并动态调整水电机组的运行方式,以满足电网对清洁能源的需求。当风电、太阳能发电不稳定时,水电可发挥重要的调节作用。通过提高水电机组的出力,电网的稳定性可

得到保障。同时,水电站的水库调度必须灵活调整,避免因过度放水造成水资源浪费,同时确保在电力需求高峰期,足够的电力能够及时提供,尤其是在干旱季节或水源有限时。为了实现低碳目标,调度方案还应考虑碳排放成本,优先调度低碳或零碳排放的能源,逐步减少高排放能源(如燃煤电厂)的使用。与此同时,结合储能系统(如抽水蓄能电站)与水电的联合调度,不仅能够有效缓解风能与太阳能的波动性,还能提升整个系统的能源利用效率。

2.3 水电与其他可再生能源的联合调度优化

在低碳能源背景下,水电与其他可再生能源的联合调度优化,是确保电力系统高效、稳定且低碳运行的关键策略之一。随着风能、太阳能等可再生能源的快速发展,它们的发电量呈现显著波动,这为电网的调度带来了更多复杂性。作为具备灵活调节能力的可再生能源,水电能够快速响应电力需求波动以及可再生能源发电的不稳定性,从而保障电网的稳定运行。在此背景下,水电与风电、太阳能等其他可再生能源的联合调度优化,能够最大化清洁能源的利用,减少对化石能源的依赖,并有效平衡各类能源的波动性,确保电力系统的安全、经济运营。优化联合调度的关键在于充分考虑各类可再生能源的发电特性及其互补性。例如,风能和太阳能的出力受天气、季节等因素的影响,具有较大的随机性,而水电的发电受限于水库蓄水量和水力条件,但具备更高的调节灵活性。通过精确的负荷预测与实时发电预测,水电、风电、太阳能等不同能源的发电组合可合理安排,从而降低对单一能源的依赖,提升系统的调节能力。当风电和太阳能发电量较高时,水电可适度减发,避免电力过剩;而在风电与太阳能发电不足的情况下,水电则能够迅速调节输出,弥补电力缺口,确保电力供应的连续性。联合调度优化不仅局限于发电端的协调,还需要综合考虑电网的运行状态、储能系统的调度及电力市场的需求响应等多个因素^[2]。随着智能电网、物联网、大数据和人工智能等技术的持续发展,联合调度的优化将愈加依赖于先进的计算模型与实时数据分析。

2.4 数字化技术在水电优化调度中的应用

在提升水电运行效率、降低能耗及保障电网稳定性方面,数字化技术的应用已成为至关重要的手段。在低碳能源背景下,水电调度面临的挑战日益复杂,传统的调度方法已难以满足实时性、精准性与灵活性的需求。为应对这一问题,引入数字化技术显得尤为关键。借助大数据、云计算、物联网及人工智能等先进技术,水电站运行数据的实时采集、分析与处理得以实现,从而为优化调度决策提供更加精准的支持。物联网技术使得水电站的各个环节能够进行实时监控与数据采集,涵盖水库水位、流量、发电机组运行状态等关键信息。通过传感器与监控系统,这些数据上传至云端平台,形成全球实时数据流,水电机组的运行情况与电网负荷状态及时反馈,帮助调度人员作出更精准的决策。大数据技术则使得对历史运行数据的深度挖掘与分析成为可能,潜在问题与优化空间得以识别,如水库水量变化趋势、发电效率及设备磨损等。通过对这些数

据的分析,调度系统可以进行更加精准的负荷预测与调度安排,从而提升水电机组的发电效率,并有效减少能源浪费。人工智能(AI)及机器学习技术的引入,使得水电优化调度具备了智能化决策的能力。通过对大量历史数据的学习与训练, AI 系统能够预测水库蓄水量、气候变化、风光发电出力等因素对电网负荷的影响,并自动生成优化调度方案。这些方案不仅能够考虑电网负荷平衡,还能动态调整水电机组的发电出力,以应对可再生能源的波动性与不确定性,从而提升系统的稳定性与可靠性。

2.5 运行模式优化的多目标与多约束分析

在低碳能源背景下,水电运行模式优化面临着多目标、多约束的复杂挑战,合理的优化分析显得尤为关键。水电的运行优化不仅需要最大化发电效益,还需要平衡环境保护、系统安全、经济性等多方面的目标,而这些目标之间可能存在一定的矛盾与权衡。提升发电效率被视为水电站的核心目标,这要求在满足电力需求的基础上,尽可能高效地利用水能资源。然而,这一目标的实现必须在确保电网安全稳定运行的前提下进行。尤其是在与其他可再生能源(如风能、太阳能)协调时,水电必须有效应对其波动性与不稳定性,以避免电网负荷的过载或过低。这意味着,水电调度不仅需考虑发电效率,还需确保电力供应的可靠性,维持系统的平衡与稳定。水电的优化运行还受到环境保护的严格约束。具体而言,水库的蓄水与泄水操作需要综合考虑生态环境要求,如保护鱼类栖息地、改善水质等问题。在低碳能源框架下,如何在保障生态需求的同时,合理安排水电站的发电量,避免过度放水或水位过低,已成为优化过程中必须解决的关键问题。该过程不仅涉及水资源的可持续利用,还应关注对生态系统的长远影响。经济性同样是水电运行优化的重要方面之一。水电的经济效益通常与发电量、运行成本及维护费用息息相关。为实现优化,合理的调度方案必须被制定,控制成本支出,并最大化收益。然而,在实际操作中,设备老化、运行效率下降等因素也对经济性优化构成了制约,尤其是当设备和技术未能及时更新时,如何调整设备运行方式,以实现低成本高效益的目标,仍然是一个具有挑战性的课题。

2.6 水电优化运行模式的实施路径与策略

在低碳能源背景下,水电优化运行模式的实施路径与策略主要集中于提升水电资源的利用效率,并确保其在低碳能源体系中的调节作用得到充分发挥。实施路径应从水电系统的全面数字化改造着手,智能化调度系统应被采用,以实时监控水库水位、流量以及气象数据。通过数据分析与预测模型的应用,发电计划与运行方式可以得到优化。在此基础上,利用大数据与人工智能技术,负荷需求与水电资源能够精准匹配,从而最大限度地减少资源浪费,并避免系统的过载。此外,优化运行模式还需加强水电与其他可再生能源的协调调度。特别是在风能与太阳能发电波动较大的情况下,水电站的灵活调节能力显得尤为关键。通过快速启停及功率调节,电网的稳定性能够得到保障。水电站的调度模式应根据季节变化、气候条件以及电力需

求进行灵活调整^[3]。水库的调度与流量控制应合理安排,这不仅有助于水资源的高效利用,还能兼顾环境保护与水生生态的平衡。与此同时,优化运行模式还应整合先进的储能技术。通过利用抽水蓄能电站等储能设备,在电力需求低谷时能量得以储存,而在需求高峰时,能量则会被释放,从而平衡电网负荷并提高系统的整体运行效率。

3 水电优化运行模式的应用效果评估

水电优化运行模式的应用效果评估,是衡量优化策略是否达到预期目标的关键环节,涉及多个维度的综合分析。在评估过程中,发电效率被视为一个重要指标,通过对水电站发电效率的评估,优化运行模式是否有效提升了水电资源的利用率可以被判断。特别是在低碳能源背景下,评估应侧重于水电在减少碳排放、提升能源转换效率以及降低环境影响方面的贡献,重视这些方面的表现尤为重要。此外,电网运行的稳定性与经济性,也是评估中的关键内容。尤其在多种可再生能源接入电网的情况下,水电是否能够及时调节以应对负荷波动,并保持电网平衡与安全,成为了评估的核心要素。水电站在不同气候条件及季节变化中的表现,必须被分析,帮助判断其在水资源充足与不足时的调度灵活性。通过对不同运行模式下的电力供应成本、系统调度成本及维护费用进行比较,优化效果得以量化,经济效益与运营成本的平衡亦可得到深度评估。这些成本因素的对比,有助于全面了解优化措施对水电站经济性提升的影响^[4]。最后,生态环境影响的评估,作为优化效果评价体系中的重要组成部分,必须被重视。

4 结语

随着低碳能源的持续发展,水电在能源转型过程中扮演着日益重要的角色。本文分析了在低碳能源背景下对水电运行模式进行优化的必要性,提出了多项优化策略,包括合理的调度方案、提高数字化管理水平以及与其他可再生能源的协调调度等。尽管在实际操作中已经积累了一些经验,依然面临着水资源波动、跨区域协调等挑战。展望未来,随着技术的不断进步,水电系统的运行模式有望变得更加高效与灵活,从而更好地支持低碳能源体系的建设与发展。

[参考文献]

- [1] 李玲. 大水电绿色价值如何更好兑现[N]. 中国能源报, 2024-07-22(03).
- [2] 刘泳. 水电助力区域发电系统低碳转型研究与综合评价[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2024.
- [3] 刘畅. 低碳背景下水利水电工程建设中生态环境保护问题研究[J]. 环境与生活, 2023(12): 94-95.
- [4] 林文彪, 郑志文, 张亚超, 等. 含流域梯级水电的水火风联合低碳调度模型[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(17): 7378-7384.

作者简介: 陈凡凡(1992.3—), 男, 毕业院校: 山西电力职业技术学院, 专业, 发电厂及电力系统, 工作单位: 大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂(陇东南分公司), 职务: 运行主值班员, 职称级别: 助理工程师。