

水电站发电效率提升与优化运行研究

周文明

云南华电阿海公司, 云南 丽江 674100

[摘要]水电站在清洁能源中发挥着至关重要的作用,而水电站发电效率是衡量一个国家或地区清洁能源利用程度以及经济实力的重要指标,文章对水电站发电运行基本特性和目前存在的问题进行了详细阐述,包括设备老化、自动化程度低、水资源利用率低、调度不合理等问题,并针对这些问题提出了一系列相应的解决办法如设备更新改造、提高智能化水平、改善调度方式、加强管理维修以及建设数字化智慧水电站等方法。表明合理有效的措施可以大大提升水电站发电效率,减少开支,增加电网灵活性,有利于水电站可持续发展。

[关键词]水电站;发电效率;优化运行;设备改造;智能调度

DOI: 10.33142/hst.v9i5.19896

中图分类号: TV73

文献标识码: A

Research on Improving Power Generation Efficiency and Optimizing Operation of Hydroelectric Stations

ZHOU Wenming

Yunnan Huadian Ahai Company, Lijiang, Yunnan, 674100, China

Abstract: Hydropower stations play a crucial role in clean energy, and the power generation efficiency of hydropower stations is an important indicator to measure the degree of clean energy utilization and economic strength of a country or region. In this article, the basic characteristics and current problems of hydropower station power generation operation are elaborated in detail, including equipment aging, low automation level, low water resource utilization rate, and unreasonable scheduling. A series of corresponding solutions are proposed to these problems, such as equipment updating and transformation, improving intelligence level, improving scheduling methods, strengthening management and maintenance, and building digital smart hydropower stations. Reasonable and effective measures can greatly improve the power generation efficiency of hydropower stations, reduce expenses, increase grid flexibility, and promote the sustainable development of hydropower stations.

Keywords: hydroelectric power station; power generation efficiency; optimization operation; equipment renovation; intelligent dispatching

引言

水力发电是我国清洁能源体系的重要支柱,在保障国家能源安全以及促进绿色低碳发展方面起到举足轻重的作用。但是由于电站投运时间较长以及电网对于调峰调频的需求日益提高,很多水电站出现设备老化严重、发电效率下降、调度管理粗放等问题,导致其经济效益大打折扣。水电灵活调节能力是新型电力系统安全运行的重要保证,在新能源大规模并网之后,水电的重要性更加突出。那么如何从当前实际情况出发提升其经济效益,优化其运营管理模式,已经成为摆在水电企业面前必须要解决的问题。本文针对水电站发电运行特点以及存在的问题进行探讨并给出一些改进措施,供水电站提效节能借鉴。

1 水电站发电运行特点

水电站发电运行有显著的技术经济特性。一方面,水轮发电机可以快速启动、快速响应负荷变化,在几分钟之内即可由停机达到全出力状态,是良好的调峰调频电源。水电的灵活性已成为新型电力系统安全的重要支撑,在新能源快速发展时期,水电的作用日益突出。另一方面,水电站的运行很大程度上受天然来水及水库调节影响,调节式水电站利用水库蓄放来进行对径流控制,而径流式水电站只能“来多少水发多少电”,其发电出力季节性强。此外,水电站一般担负着综合利用的任务,在发电的同时还要考虑防洪、灌溉、供水、生态环境等多种目的,运行受到多种限制条件的影响,在不同的目标之间进行协调也是

十分困难的工作。梯级水电站短期优化调度由于各电站间有水力关系以及环境等因素的影响,使得其优化调度非常复杂,也给运行带来更大的压力。了解这些基本情况对于分析存在的问题并提出相应的解决方案是非常必要的。

2 水电站运行存在的问题

2.1 设备老化导致效率下降问题

我国众多水电站建设时间在上个世纪七八十年代,其电气设备使用年限一般也已远超三十年,设备老化是影响水电站发电能力的主要原因。由于受当时技术水平、设计理念、原材料及加工技术等限制,老旧机组普遍存在运行可靠性差、发电效率低下、设备老化严重问题,其中水轮机转轮气蚀磨损造成的水力损失显著。如新桥水电站,在未进行技术改造之前,该水电站发电效率只有 57.6%,年发电量仅为 2059 万 kW·h,机组运行不稳定,出力不稳定。设备老化还表现为由于零部件停产造成的难以维修、密封圈漏油造成安全隐患、绝缘下降带来的影响等一连串的问题,不但减少了发电量,而且增加了维护费用以及发生故障的可能性。

2.2 自动化水平不足问题

自动化程度低是大多数水电站存在的一个管理方面的缺陷。目前水电站电力调度自动化系统在实际使用中普遍存在反应迟钝、兼容性差以及智能化不足等问题,这些问题严重影响了该系统的正常工作及控制效果,在传统的做法中大量的工作都是由人来完成,如水情信息收集、水位调整、机组启停等都各自独立进行而不能相互协调配合。一些小规模水电站甚至连最基本的远程监控功能都没有,需要工作人员经常到现场获取相关信息,费时又费力并且十分危险。传统的水电调度大多是调度员通过电话一级一级下达命令,效率低下,一次开机或停机要花费约 10~15min 时间,不能满足新的电力系统对于快速响应的需求。

2.3 水资源利用效率不高问题

水能资源合理开发是水电站效益的重要体现,在现实中有很多水能因为各种原因而浪费。弃水是水能利用不合理的一种表现形式,如果预测不准确或者调度不当,水库就会放水,白白损失清洁能源;由于地理环境以及水位变化等因素,一些小型水电站在正常情况下经常处于低水头状态,使得其工作效率低下、效率不高、经济效益差;另外,机组远离最佳工作点、低负荷期间浪费水资源、上下级之间配合不力等也都会降低水能使用效率。机组运行方式直接影响电站发电效益,在相同负荷时,开机台数少,则机组过流量小,水头相应地增大,因此耗水量减少,发电量增加。

2.4 调度运行不合理问题

调度运行对水电站发电具有重大影响,在实际工作中大多数水电站在调度方面存在问题。而在梯级电站群的调度运行中存在点多面广、监控困难、查看屏幕时间较长、风险的不确定性以及应对措施不足等问题。一些水电站的调度方案主要依靠主观经验进行制定,缺少数据分析及合理的计算方法,上游排水与下游来水不匹配,流域梯级电站“各行其是”,无法实现水能、电能优化结合。另一方面,负荷分配忽视了机组振动区限制条件以及水头变化,使得机组在低效率范围内工作时间过长而造成大量电能浪费。

3 水电站发电效率提升优化对策

3.1 加强设备更新与技术改造

由于设备老化造成效率下降而采取的大规模设备更新和技术改造是提高效率最有效的方法。改造的关键在于水轮机、发电机、调速系统等主要设备。新桥水电站增效扩容改造就是对这些设备进行更换或改进,在改造后电站发电效率从 57.6%提高到约 65%,年发电量从 2059 万 kW·h 提高到 2430 万 kW·h,年售电收入增加约 144.7 万元,年节约运行维护费用约 12 万元,每千瓦时耗水量降低约 15.3%。对水轮机转轮进行精确优化是提高效率的一个重要切入点,在一些水头较低水电站中,通过对水轮机优化、水力系统及发电设备改善等措施,可以使发电效率从 78.4%提高到 86.9%,单位水能利用效率提高约 10.8%。国网湖南水电公司新机组投入运行之后,各项参数均优于国家标准,其中,上导摆度改善 62%,水导摆度改善 29%,发电效率提高超过 5%,整体水平为国内同类型机组最好。峰头水库电站改造后,两台机组在正常工作状态下推力瓦温度由原来的 60℃降到 42℃,增加发电量在 20%以上,而且总效率都在 81%以上达到国家标准。另外在对设备进行更新的同时还要相应地进行电气方面的改进,比如改进电气主接线方式,更换继电保护等,从而提高整个电厂的安全性。

3.2 提高自动化与智能化水平

提高自动化及智能化程度是提高水电站生产管理和技术水平的有效途径,在电站安装计算机监控系统、水情自动测报系统以及远程运维平台后,可以实现机组启停、负荷调整、数据收集等全过程自动化操作。四川马回水电站投入 6000 万元进行智能化改造,对其下属三座电站内的所有机组、闸坝等重要设备均进行了一体化智能化升级,整个电站群已经可以做到“自主运行、监控、调节及决策”,节省了近 100 名工作人员,每年可节约 1500 万元以上运

营费用。同时，以视觉传感、红外感知以及 AI 表计识别算法为基础的智能巡检系统可以自行完成对设备的状态识别以及数据采集工作，整个系统的响应速度小于 5s，大大减少人工巡检次数以及误判率。溪洛渡水电站利用巡检机器人的技术手段研发出 4 台轨道式的机器人、3 台履带式的机器人、一台四足机器人，在水垫塘以及大坝廊道内进行全方位、立体化、自动化的巡视，以前巡检一条廊道至少要两个人花费两天时间，现在完全被机器人取代。但是在实际使用过程中也需要注意系统的融合以及信息共享，不能只进行局部的智能化提升而不考虑整体协调性。

3.3 优化水电站运行调度方案

优化运行调度方案是提高水电站经济效益的重要方法，而根本是要有合理、严谨、合理的调度策略。贵州洪家渡电厂建设了南方电网第一个水电自主启停系统，一次启停只需 1~2min，比原来快将近 10 倍，机组听从命令的速度是秒级，每天可为调度员节省超过 90%的工作时间。大唐科研总院开发的水电智能分散控制系统(HICS)，使机组反应时间仅为 6s，比以前快得多，而且可以实现对机组整个工作过程进行监视。南瑞水电对四川 15 座直调水电站进行 AGC 系统精细化调整，负荷指令到调节策略形成时间减少 65%，调节速度提高 40%，超调量下降 60%；安顺水电厂洛凡水电站通过对水情进行准确预报、对设备工作情况及时监测并不断改进调度方式使发电机出力达到额定负荷 110%以上运行。调度优化的方法一般包括根据负荷分配表进行电厂内部优化、梯级水库群之间协调优化以及加入电池等新型能源进行综合优化调度。广西水电集团制定了水情、气象“周会商”，利用水情、水调系统及时调整来水及负荷曲线，“腾库预发、拦蓄尾洪”，2025 年上半年增加发电量 2344 万 kW·h。表 1 给出了常规调度方式和优化调度方式下不同工况下的比较结果，由表可知，优化调度方式比常规调度方式在发电量、耗水率、弃水量以及运行效果均有较大提升。

而在应用时，也可以将实时水情信息以及电价信息加入调度方案中，“以水定电、以电控水”，从而提高水能利用效率及发电收益。

3.4 完善设备维护管理机制

设备维护管理工作水平决定水电站能否长久安全稳定发电。而良好的维护管理应该是从亡羊补牢到防患于未

然。广西水电集团通过零缺陷管理保证机组稳发满发，在 2025 年上半年共进行设备巡视 3801 次，发现并及时解决缺陷问题 99 起，消缺率为 100%，利用振动在线监测、视频监控以及扫码巡检等方式，做到隐患“发现-派单-处置-验收”的全链条管控。根据振动、温度、流量等实时监测情况，可以建立设备健康状况评价模型，提前预判可能出现的问题。大渡河公司建设国内第一个梯级电站群实时调度风险识别系统，涵盖数据异常诊断、实时调度安全性、实时经济运行三大模块十二种应用实例，构建整个流域梯级 6000 多个模型，完全取代人工巡检梯级电站运行情况、预测运行风险以及进行调度优化等工作。另外还应健全备品备件管理制度，制定重要备件清单，做到有备无患，在设备检修造成发电损失时降到最低程度。平时还要做好设备台账记录，总结故障特点，以便采取针对性措施。

3.5 推进数字化智慧水电站建设

数字化智慧水电站建设是提高水电站效率发展方向及系统性方案。湖北省兴山县投资 1.2 亿元打造古夫河、高岚河、南阳河三大流域集控中心，管理 72 座小水电站，全部电站实现“无人值守、少人值班”，节省 40%的人力资源，每年可节省人工费约 600 万元。兴山县铺设专用光纤环网，加装智能摄像头，集控中心利用水雨情信息准确预测来水情况，使全流域水资源得到充分利用，提高 15%以上，年增加发电量 3000 万 kW·h。江西省南丰县已有 22 座电站完成智能化改造，集控中心投入使用后，全县小水电企业平均降低 30%的成本，整体收益提高 15%。东圳水电站智能化升级改造之后年发电量达到 1000 万 kW·h 以上，比之前增加 15%，主要设备故障率下降 30%，用水效率提升近 20%，现场工作人员减少到 6 人，节约人工费约 75%。岳西县集控中心进行梯级电站集中控制后，水能资源利用效率提高 15%，年增收电费 11.8%，减少开支占总支出比例约为 25%。而且在流域水资源调度决策支持系统的作用下，在不同天气及水量情况下可以有效平衡防汛、发电、通航以及生态环境保护之间的关系。新疆电力吉林台公司建立考虑水力联系的梯级多目标补偿调节线性规划模型，相同来水情况下梯级水电站群每年节约用水可增加发电量超过 0.7 亿 kW·h。数字化智慧电厂还需打破信息壁垒，使水情、设备、电网、市场等多种信息互通互联，在此基础上进行分析判断后作出最优操作。

表 1 常规调度与优化调度方案指标对比

调度方案	年发电量 (万 kW·h)	耗水率 (m ³ /kW·h)	弃水量 (万 m ³)	机组平均运行效率 (%)	年运维成本 (万元)
常规调度	9300	4.6	560	73.2	210
优化调度	10800	4.1	310	79.8	175

4 结语

提高水电站发电效率是综合性工作,需要对设备进行更新换代、智能化改造、优化调度管理、加强检修保养以及推进信息化建设等方面共同发力。本文立足于水电站实际情况,分析目前所面临的问题主要有设备老旧落后、自动化程度低、水资源利用率低下、调度不合理等问题并针对这些问题提出解决方案。各种方案相互联系、相互依存,设备更新为智能化改造奠定物质基础,智能化改造为调度优化提供技术支持,而信息化则是把这些零散措施连接在一起形成一个整体。在“双碳”目标以及新型电力系统建设下,水电站在自身基础上,根据实际情况选取相应方法,不断提高效率的同时促进绿色发展。未来,在人工智能、数字孪生等新技术发展带动下,水电站发电效率以及经济

效益有进一步提升空间,助力我国可再生能源快速发展。

[参考文献]

- [1]许晓军,许云峰,洪旭,等.水轮机效率优化对发电量的影响[J].能源新观察,2026(3):86-87.
- [2]明杰.基于装机容量优化的水电站增效扩容方案研究[J].小水电,2025(4):61-63.
- [3]吴翠琼.水库水电站运行管理的实践与探索[J].水上安全,2026(2):67-69.
- [4]闫二磊.基于标准化建设提升水电站管理水平研究[J].河南水利与南水北调,2025,54(9):59-60.

作者简介:周文明(1986—),男,汉族,云南大理人,助理工程师,本科,毕业于昆明理工大学热能与动力工程专业,研究方向为水动方向,现从事水电运行工作。