

# 水力发电厂机组运行优化与经济性分析

岳雄伟

大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，甘肃 陇南 746412

**[摘要]**水力发电属于清洁能源范畴，在我国电力系统方面发挥着极为重要的作用。然而当下众多水力发电厂都存在着诸如机组运行效率不高、负荷分配不够合理以及启停频次过高等一系列问题，这些问题使得发电所具有的经济性大打折扣，水资源的利用率同样受到限制。现有的相关研究大多聚焦于单机效率或者局部优化层面，针对多机组协同运行以及综合经济性分析展开的系统性研究还存在诸多不足之处。所以着手开展水力发电厂机组运行优化以及经济性分析工作，对于提升机组运行效率、缩减运行成本、优化水资源利用情况，进而确保电网能够安全稳定地运行而言，有着不容忽视的重要意义。

**[关键词]**水力发电厂；机组运行优化；经济性分析

DOI: 10.33142/hst.v8i10.18066

中图分类号：TP2

文献标识码：A

## Optimization and Economic Analysis of Hydroelectric Power Plant Unit Operation

YUE Xiongwei

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

**Abstract:** Hydroelectric power belongs to the category of clean energy and plays an extremely important role in China's power system. However, many hydroelectric power plants currently suffer from a series of problems such as low unit operating efficiency, unreasonable load distribution, and excessive start stop frequency, which greatly reduce the economic viability of power generation and limit the utilization of water resources. Most existing related research focuses on single unit efficiency or local optimization, and there are still many shortcomings in systematic research on multi unit collaborative operation and comprehensive economic analysis. Therefore, it is of great significance to carry out optimization and economic analysis of the operation of hydroelectric power plants, in order to improve the efficiency of unit operation, reduce operating costs, optimize water resource utilization, and ensure the safe and stable operation of the power grid.

**Keywords:** hydroelectric power plants; unit operation optimization; economic analysis

### 引言

伴随着我国能源结构的调整以及可再生能源开发工作的持续推进，水力发电作为一种清洁且可再生的能源形式，在电力系统当中依旧稳稳占据着颇为重要的位置。水力发电厂有着机组容量相对较大、响应速度较快、调节能力较强的诸多优势，然而在实际的运行进程里，因为水库水位存在变化情况、电网负荷出现波动状况以及多机组组合运行所呈现出的复杂特性，使得机组的运行效率以及经济性遭遇到了不少的挑战。传统惯用的运行方式大多是以确保能够顺利供电作为主要目标，对机组处于最优运行状态的情况以及对水能资源予以高效利用的事情往往有所忽视，如此一来便致使发电效率处于偏低的水平、运行成本有所增加，并且还极有可能给水库调度以及电网稳定性带来不利的影响。所以说，怎样借助科学合理的机组运行优化办法，去提升机组的运行效率、减少发电的成本开支，并且同时还要顾及到水库调度事宜以及电网的稳定状况，这已然成为了水力发电厂在运行管理方面极为关键的一个问题。本文把水力发电厂机组运行优化当作是研究的核心要点，将机组负荷分配相关事宜、启停调度方面的内容、实时监测数据的分析以及优化算法的研究等方面相互结

合起来，深入探讨机组实现经济运行的具体途径，并且针对优化运行给发电效率、运行成本以及环境经济效益所产生的影响展开较为系统的分析。通过针对机组运行优化方法以及经济性分析展开相应的研究，其目的就在于能够为水力发电厂在提升经济效益、保障电网安全运行以及达成绿色可持续发展的目标上给予一定的理论依据以及实践方面的指导。

### 1 水力发电厂的特点

水力发电厂是通过将水能转化为电能的设施，利用水位差驱动水轮机带动发电机发电，其基本原理是将水的重力势能通过水轮机转化为机械能，再通过发电机转化为电能。水力发电具有多方面特点：首先，它利用水能这一可再生资源，通过自然水循环持续补给，无需燃料消耗；其次，发电过程中不排放温室气体或有害物质，对环境影响较小，但水库建设可能淹没土地并影响生态平衡，因此需权衡环境效益；再次，水电的燃料成本为零，主要成本集中在前期建设和维护，长期运行费用较低，同时可以结合防洪、灌溉、航运等功能实现综合效益；此外，水电机组启停速度快，可在几分钟内完成，适合承担电网调峰、调频及事故备用任务，能够快速响应负荷变化并调节出力幅

度；最后，水力发电受自然条件影响显著，发电量会随河流径流量和降水季节变化而波动，丰水期与枯水期发电不均衡，因此通常需配套火电或储能设施以保障电网稳定性。

## 2 水力发电厂机组运行优化方法研究

### 2.1 机组负荷分配优化方法

在水力发电厂的实际运行进程当中，机组负荷分配优化无疑属于达成机组经济且高效运行极为关键的一个环节。水电厂一般都会配备多台水轮发电机组，而每一台机组其额定出力情况、所具有的效率特性以及启停所需的时间均存在差异，并不相同。所以说，对各机组负荷予以合理的分配操作，对于推动整体发电效率得以提升、促使运行成本能够降低而言，有着不容忽视的重要意义。负荷分配优化所着重追求的核心目标在于，在充分满足电网负荷方面的需求这一前提之下，要让各机组都能够处于自身最优的运行区间状态之中去开展运行活动，进而达成能量能够得到最大限度的利用以及发电经济性能够实现最大程度的优化这样的目的<sup>[1]</sup>。具体来讲，其相关的方法包含依据机组效率特性曲线来实施出力分配的操作，借助于构建起机组发电效率和出力之间的数学模型，去对处在不同负荷水平状况之下的最优机组组合展开相应的计算工作；与此还要综合考量诸如水库蓄水量的具体情况、入库水量的实际状况以及下游放水的相关要求等诸多约束条件，针对各机组的负荷做出动态性的调整举措。在具体的实际应用场景当中，可以运用像线性规划、动态规划或者遗传算法这类优化方法，来对多机组负荷加以科学合理的分配处理，以此促使系统整体的效率能够获得切实的提升。

### 2.2 机组启停及出力调度优化

机组启停及出力调度优化属于水力发电厂达成安全、经济且高效运行的关键环节。在实际运行进程当中，因电网负荷有波动情况，水电机组的启停次数与出力调整会直接对发电效率、设备磨损还有运行成本产生影响。所以，要依据电力系统负荷预测、水库水位以及入库水量等等方面因素，妥当制定机组启停顺序与出力调度方案，从而保证机组于最经济的工况之下运行。启停优化一方面得考虑机组的启动时间、最小运行负荷以及水轮机和发电机的机械特性，另一方面也要兼顾水库调度、水能资源利用率以及电网稳定性。在出力调度这块，借助动态剖析各机组的效率特性曲线，再结合负荷需求曲线，去分配合理的出力，让机组整体运行处在高效区间，与此同时防止频繁启停所导致的机械磨损以及能耗浪费。

### 2.3 基于实时监测数据的运行调整策略

利用实时监测数据所制定的运行调整策略，乃是水力发电厂达成智能化以及高效化管理的关键途径。伴随传感器技术、监控系统还有数据采集技术的不断进步，水电厂便能够实时抓取像机组运行状态、水库水位、入库流量、机组振动、温度以及发电机负荷这类关键参数，以此为运

行调整给予稳固的依据。经由对实时监测数据展开分析，管理人员能够适时察觉到机组运行出现偏离最优工况的情形，并且依照负荷需求以及水资源约束状况，动态地去调整机组出力或者启动备用机组，进而提升发电效率并增加经济效益。与此凭借数据驱动的策略还能够联合预测模型，针对未来短期负荷变化以及水资源波动做出预判，达成主动调度的目的，降低因机组频繁启停而产生的能耗损失以及设备磨损情况。在实际的应用环节当中，这种策略往往和自动化调度系统相互融合，借助实时数据输入至优化算法之中，构建起闭环控制，从而实现对机组运行的精细化管理。

### 2.4 优化运行对水库调度与电网稳定性的影响

优化运行对水库调度以及电网稳定性有着直接影响且影响持久，水力发电机组在优化运行进程里，借助合理安排负荷、精准调度启停还有动态调节出力，既能提升发电效率，又能有效调节水库蓄水与下泄，达成水资源的科学运用，在水库调度层面，优化运行依据入库水量、蓄水容量以及下游用水需求，灵活调节机组出力，以此确保水库安全并保障生态水量供应，同时削减不必要的浪费以及调度冲击，在电网稳定性层面，经由优化机组组合以及调度方案，可使发电厂出力更为平稳且响应更快，降低电网频率波动以及负荷波动给系统带来的冲击，同时满足电网调峰、备用容量以及应急调度的要求<sup>[2]</sup>。尤其是在电力负荷高峰期或者水资源短缺阶段，优化运行能协调机组运行顺序以及出力变化，兼顾经济性与安全性，达成电网与水库双重目标的平衡。

## 3 水力发电厂经济性分析

### 3.1 水电厂运行成本构成分析

水电厂的运行成本构成情况，对于评估该水电厂的经济性以及优化其运行效果而言，称得上是极为重要的一项基础内容。就水电厂的运行成本来讲，其主要可从固定成本、变动成本还有维护成本这三个不同方面来予以涵盖。其中，固定成本所指的就是厂房、机组以及辅助设施的折旧情况，另外还有固定资产投资所获取的回报，这一部分成本在短期内通常是比较稳定的，并不会随着发电量的变化而出现相应的改变。变动成本主要涵盖了水轮机与发电机在运行期间所产生的能耗情况，辅助设备电力方面的消耗，以及在水库调度过程里有可能出现的水资源机会成本等，这一部分成本会随着机组出力以及发电量的变化而呈现出较为明显的波动状态。维护成本包含有日常检修、定期检修、故障处理，以及润滑、清洁、检测试验等相关消耗品和人工费用等方面，对维护成本加以合理的把控，对于确保机组能够稳定运行并且有效延长设备的使用寿命来说，有着不容忽视的重要意义。除此之外，水电厂在实际运行的过程当中，还应当考虑到环保成本，像是生态放水、水库生态保护以及水资源合理调度等方面的投入情况，这些因素虽然不会直接反映在电费成本当中，但是它们确

实会对水电厂的整体经济效益产生一定的影响。

### 3.2 机组优化运行的经济效益评估指标

机组优化运行的经济效益评估指标,是衡量水力发电厂运行优化效果的关键依据,一般会从发电效率、成本节约以及综合收益等诸多方面展开评价。发电效率作为最直观的经济效益指标,通过对机组在不同负荷水平下效率变化情况的分析,能够判定负荷分配以及出力调度是否达成优化目标,处于高效区间运行的机组,在相同的水能消耗情况下,可产出更多的电能,进而降低单位电量成本。成本节约指标涵盖燃料水资源的合理利用、设备运行及维护成本的降低以及辅助系统能耗的削减,借助优化运行来减少不必要的启停次数以及过载运行,可有效降低维护与折旧成本,同时延长设备的使用寿命。综合收益指标往往结合电价、发电量、调峰能力以及环境效益等方面进行综合评定,比如在满足电网负荷需求之际,优化运行能够提高高峰时段发电收入,减少低谷电量的浪费,同时兼顾生态放水以及水资源保护,进而实现经济效益与环境效益的双重提升。

### 3.3 运行优化对发电效率与成本的影响

运行优化对于水力发电厂的发电效率以及成本有着颇为显著的影响。借助合理的机组负荷分配举措、恰当的启停调度安排以及精准的实时出力调整操作,能够大幅度提升机组处于高效区间时段的运行时长,进而促使整体发电效率得以提高。具体来讲,当机组依照优化策略来开展运行工作的时候,每一台机组都能够处在其自身最佳效率所对应的范围之内进行发电活动,如此一来便能够减少因低负荷运行以及频繁启停而产生的能量浪费情况<sup>[3]</sup>。与此优化运行还能够切实有效地降低机组出现磨损的程度以及维护方面的需求,进而使得设备的使用寿命得以延长,检修的频次也得以减少,最终达成降低维修以及折旧成本的目的。除此之外,优化运行还能够对水库水能资源予以合理的利用,通过科学且合理的调度方式,在充分满足电网负荷相关需求的前提之下,最大限度地利用可用水量,以此避免出现水资源被浪费以及发机会遭受损失等状况。就成本控制这个层面而言,优化运行一方面降低了直接运行以及维护方面的费用支出,另一方面还能够凭借高效的发电行为增加电量所带来的收益,进而实现成本与收益之间的平衡状态。

### 3.4 环境效益与综合经济效益分析

环境效益以及综合经济效益方面的分析,这无疑是评价水力发电厂运行优化所取得成果的关键构成部分。就水力发电厂实际运行来讲,借助对机组负荷分配加以优化、对启停调度予以优化以及对出力控制进行优化等举措,不但可使发电效率得以提升,而且能让经济收益有所增长,与此还能够切实有效地缓解对环境产生的负面影响。经过优化后的运行状态,可大幅减少水库出现的无效放水情况,也能避免能源方面的浪费,进而促使水能资源的利用率得

以提高,如此一来,便能够减轻水资源开发时所面临的压力,降低其对生态环境造成的影响。当机组能够实现高效且稳定的运行之时,那么设备就不会频繁地进行启停操作,也不会出现低效运行的情形,如此便减少了由此带来的能耗问题,使得单位电量当中清洁发电的比例得以提高,这对于减少温室气体的排放量以及降低对化石能源的依赖程度而言,都有着十分积极的作用。从综合经济效益层面来看,优化运行一方面可通过提升发电量以及降低运行成本的方式,达成直接的经济收益效果;它还能够在用电高峰负荷时段,充分发挥出调峰的作用,从而增加电网调度的灵活性,进一步提高在电力市场上所获得的收益<sup>[4]</sup>。并且,优化运行还会通过合理地去调度水库的水位以及安排生态放水事宜,以此来兼顾水资源的保护工作以及满足下游地区的用水需求,最终实现社会、经济以及环境效益的同步提升。

### 4 结语

经过针对水力发电厂机组运行优化以及经济性展开的一系列系统性研究能够发现,合理的安排机组负荷分配事宜,合理规划启停调度流程,依据实时监测所获取的数据来对运行做出相应调整,并且在运行优化的过程中充分综合考量水库调度以及电网稳定性方面的情况,这对于提升机组的运行效率而言有着十分重要的作用,可有效降低发电成本,还能对水资源利用起到优化的效果。此项研究围绕机组运行特性、优化方法以及经济性分析等诸多方面展开了较为系统的探讨,由此可知,借助科学合理的优化运行手段,水力发电厂不但可以达成经济效益的最大化目标,而且能够同时兼顾到环境效益以及电网调节方面的相关需求,进而提升水电系统的可持续发展能力以及可靠性水平。与此该研究也为实际水电厂的运行管理工作给予了相应的参考依据,具备一定的应用方面的价值。在未来,随着智能化监测技术以及优化算法不断取得新的发展进展,水力发电机组的运行优化将会朝着更为精细化、智能化以及动态化的方向去发展,从而为实现绿色高效的水力发电目标给予更为强有力的支撑。

### 【参考文献】

- [1] 吴智高,王雷.水力发电厂水轮机常见故障及维修策略[J].设备管理与维修,2025(1):94-97.
  - [2] 乔文涛,赵茂,李全胜.水力发电厂电气二次接线智能设计研究[J].水电站机电技术,2023,46(12):115-116.
  - [3] 朱大才.水力发电厂电气设备维护及安全运行研究[J].设备监理,2023(5):62-65.
  - [4] 田明.宝珠寺水力发电厂机组运行经济性分析及优化[J].华电技术,2014,36(4):9-12.
- 作者简介:岳雄伟(1993.10—),男,毕业院校:兰州理工大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂,职务:苗家坝水电站值班员,职称级别:助理工程师。