

# 基于智能算法的水电站机组优化运行调度研究

赵韶鹏

河北华电混合蓄能水电有限公司 河北石家庄 050000

**摘要:** 在水能资源利用率偏低与运行安全压力加剧的现状下,水电站机组优化运行调度具有现实意义。研究以智能算法为核心工具,围绕资源利用效率提升与系统安全保障,分析调度方式固化、效率受限及目标冲突的问题,探讨优化智能动态决策、算法驱动效率提升和多目标协同优化模型的策略,旨在构建智能化的调度体系,提高水能转化率,强化电网稳定性,推动水电站运行模式的科学化。

**关键词:** 智能算法;水电站机组;优化运行调度

## 引言

水电站机组调度作为电力系统运行的枢纽环节,承担发电效益等多重任务。运行环境的不确定性难以满足电力市场与水文条件的快速波动,调度固化、效率不足与目标矛盾的问题逐渐突出。智能算法在非线性和动态博弈和多维数据处理中的优势为摆脱复杂调度困境提供技术路径,在强化学习、进化计算与多目标建模中的拓展,使水电站群具备协同优化能力,为提升综合效益创造条件。

## 一、水电站机组优化运行调度的重要性

### 1. 提升资源利用效率

在有限水能条件下实现机组运行与调度的最优配置,确保水能的转化率保持在较高水平,水电站机组在运行过程中,水流量、水头高度以及机组工况的耦合关系决定发电效益,调度方案缺乏精细化处理,往往造成水量消耗与电量产出的不匹配,导致资源浪费<sup>[1]</sup>。优化调度能够在不同来水情境下对机组出力进行合理分配,在机组运行周期中充分释放水流的势能。水力资源在时间维度上呈现出周期性变化,调度环节的调整具备动态响应能力,能在负荷需求与水文条件之间建立高效匹配机制,保证每一单位水能都能带来更大的电能产出<sup>[2]</sup>。资源利用效率的提升还体现在长期运行中对库容的科学管理,蓄泄调度处理得当,可以缓解丰枯不均带来的波动,避免水资源浪费在无效排泄之中,提高枯水期的可利用水

量<sup>[3]</sup>。优化调度依赖对实时水文数据的快速分析,也依赖对多机组协同运行的整体考量,资源利用效率的提升是一种兼顾水资源调控、电力需求预测和系统稳定性的综合提升过程。

### 2. 保障系统运行安全

保障系统运行安全是水电站机组优化调度中的核心目标之一,涵盖整个电力系统的协调平衡。机组在运行中承受水轮机压力脉动、振动应力和电网负荷冲击等多重影响,调度缺乏科学性,极易引发过载运行或频繁启停,缩短设备寿命并增加潜在故障率<sup>[4]</sup>。优化运行调度可以合理分配各机组的启停顺序,使电网在高峰与低谷时段之间保持电压的稳定。系统运行安全还依赖防洪调度和库容控制的精准匹配,当极端气候导致入库流量剧烈波动时,缺乏合理的调度方案,可能危及大坝结构安全,也可能引发下游供水与生态风险<sup>[5]</sup>。优化调度过程引入智能算法和实时监测技术,使运行人员能够快速识别潜在异常工况,并在数据支撑下制定更加稳健的调度决策,从而降低系统性风险,在长周期运行中确保电站群保持可靠、经济和可持续的运行状态。

## 二、水电站机组运行现状

### 1. 调度方式单一固化

调度方式单一固化主要体现在以预设规则驱动的静态策略长期占据主导,难以匹配入流过程线与负荷曲线的时变性,导致出力分配停留在经验阈值与固定曲线,库容水位控制区间设置保守,安全裕度过大引发边际水能收益下降。启停顺序与爬坡率约束缺乏动态整定,AGC响应与频率支撑目标脱节,机组效率曲线、启停代价与水头损失的综合权衡不足,决策变量离散化粒度偏粗,可行域收缩<sup>[6]</sup>。上、下游时空耦合被弱化,来水不

**作者简介:** 赵韶鹏(1991.09-),男,汉族,河北省赞皇县人,本科,工程师,研究方向:水电站机组优化运行、水轮发电机组机械专业相关方向研究。

确定性与电价波动未进入多场景联合优化,调洪、生态等约束未转变为可解的多目标结构,目标冲突在策略层面被简单线性化处理,长中短期调度缺少联动机制。数据侧多源异构信息未形成闭环,状态估计滞后,预测偏差无法及时校正,导致策略更新周期过长、动态性不足,系统在非稳态工况下频繁逼近约束边界,削弱运行效率与安全冗余。

### 2. 调度效率制约因素

调度效率制约因素集中在信息、模型等多条链路上,信息侧多源异构数据耦合度不高,水文、气象等数据存在缺测情况,状态估计偏差放大,入流与负荷、电价预测误差沿滚动时域传导,策略频繁重算却难以稳定收敛,模型侧离散、非线性等约束交织,多时空耦合使可行域碎片化,目标函数之间张力增大,松弛与线性化带来保守化偏差,组织侧分层分区调度链条冗长,指令闭环不够顺畅,AGC响应和水力机理耦合不足,执行偏差难以快速反哺上层优化,设备侧水头波动、压力脉动等工况约束未被实时识别,安全裕度设定僵硬,潜在可利用水头流失,市场侧交易周期与优化时域错配,边际水电收益评估失真,制度侧考核指标单一偏向电量或弃水率,忽略频率支撑,激励与目标脱节,调度倾向保守,效率持续降低。

### 3. 调度目标冲突矛盾

调度目标冲突在多任务耦合的梯级系统中表现强烈,上游库容需要预留防洪库容,发电侧追求调峰深度,电网侧要求备用与AGC响应稳定,生态侧强调下泄过程的平滑与最小生态流量,航运与灌溉则强调时段刚性与流量确定性,多方诉求在统一时序上难以同时满足,冲突固化,协调成本陡增,统一调度压力骤升。跨时域维度的矛盾同样尖锐,日内调峰快速释放水能,周期间与季度运营又强调水价值的跨期转移,短期利润目标推高启停频次与爬坡强度,长期可靠性与设备寿命因机械应力与水力振动约束变得更紧,Pareto边界被频繁改写,策略稳健性下降<sup>[7]</sup>。空间维度上,上下游联动受回水与尾水水位影响,水头一出力曲线出现动态漂移,梯级耦合导致上游的每一次泄放都改变下游的可行域,单站最优偏离流域整体最优,目标冲突沿河道链式传导。市场信号与物理可行性之间也存在张力,水文不确定性与极端入流要求采取保守的库容策略,边际水电收益难以准确度量,权衡标准缺少统一刻度。目标间的折中过度简化,冲突在执行端反复显现,统一调度必须在复杂需求中艰难取舍,综合效益因此难以稳定逼近上界。

## 三、基于智能算法的水电站机组优化运行调度的策略

### 1. 优化智能动态决策

优化智能动态决策是水电站机组调度由经验型向实时化转变的关键环节,利用智能算法赋予调度系统自我修正的能力,在多源不确定性作用下维持系统效益与安全的动态平衡。传统调度面对复杂的流域水文条件与电网负荷波动常显得迟缓,智能动态决策强调算法在实时感知与学习中不断更新策略,滚动优化实现调度路径的自适应调整。

智能系统可以在实时监测环节构建高频数据采集与处理模块,将水位、入流等信号纳入统一数据库,在线训练机制让智能算法不断校正预测误差,缩短决策与执行之间的时差。在运行分配上,水电站机组应当引入基于强化学习的动作选择策略,使机组出力能够在频率支撑、电压调节与水能利用率之间建立动态平衡,保证系统满足电力需求,还能维持水能转化效率。在库容控制上设计自适应的水位上下限调整方案,算法实时识别极端入流风险与下游需求波动,灵活改变库容调度边界,避免固定约束导致的水能浪费。在调度执行上建立在线评估与反馈机制,智能算法根据实际执行效果即时更新策略参数,确保后续决策更加贴合系统真实运行状态。这种智能动态决策策略为机组运行提供能够随时进化的调度逻辑,强调数据驱动下的自我学习与反馈更新,突破传统静态调度的局限性,在确保水能资源高效利用的同时提升系统运行的精细化水平。

### 2. 算法驱动效率提升

利用高性能计算与先进算法结构减少调度过程中的冗余环节,让水能资源转化链条更加顺畅。算法导向的优化理念注重将复杂的非线性、多维度问题拆解为可快速更新的子问题,再以启发式、元启发式或混合智能算法求解,实现调度效率的跨越式提升<sup>[8]</sup>。遗传算法、粒子群算法、差分进化算法以及融合深度学习的混合策略均可在高维空间中快速收敛,使模型在保证解质量的同时缩短运行时间,满足电力系统对实时性的要求。

算法驱动能够把全局搜索结合局部搜索,使机组出力分配在多目标约束下更加合理,在搜索过程中融入自适应权重更新机制,可以在不同调度阶段灵活调节优化方向,让算法具备根据实际状态调整优先级的能力。机组应当在短期负荷预测中引入基于深度神经网络的算法框架,提高预测精度并为后续调度提供更可靠的数据基础。在机组组合优化中采用混合遗传粒子群算法,对不

同水位、负荷和电价条件下的出力组合进行快速搜索,保证在有限时间内获取高质量可行解。在实时调度执行中建立滚动优化机制,让算法在每个时段对最新数据进行快速计算并反馈,从而避免传统调度带来的响应滞后。在长期库容管理上引入多阶段动态规划与智能算法融合的求解思路,使库容利用与跨期调度更加高效,减少无效弃水与频繁启停带来的能量损耗,强化计算层面的求解性能,提升运行层面的资源配置合理性,为复杂的水电调度提供一个高效灵活的技术支撑。

### 3. 多目标协同优化模型

多目标协同优化模型的构建是水电站机组调度由单一效益导向走向综合价值统筹的重要路径,把发电收益、防洪安全等多维目标纳入统一数学框架,利用算法在权衡、折中与协调中寻找最优解域<sup>[9]</sup>。传统方法将目标函数简化为单一电量或水能利用率,忽略流域综合功能的复杂性,多目标模型则注重在冲突目标之间建立协调关系,让调度系统不只追求单维绩效,更从系统层面实现全局价值最大化<sup>[10]</sup>。这种模型通常基于多目标规划、Pareto最优解集、模糊层次分析或进化算法扩展而成,能够在面对非凸、非线性和强约束的复杂问题时保持解的多样性。

在理论架构中,多目标协同优化可以解决权重分配问题,还强调目标之间的动态调整。例如,枯水期需要增加生态流量约束权重,丰水期则适当提升发电优先级,模型在不同时段展现出差异化的适应能力,这种灵活性让调度系统在应对不确定性时更加稳健。多目标协同还兼顾跨时空尺度,短期调度关注实时负荷匹配,中长期调度关注水资源跨期利用,模型利用多层次耦合形成完整的优化体系。水电站机组应当在库群联合调度中引入多目标进化算法,建立发电、防洪以及生态之间的Pareto前沿解集,为调度人员提供多种可行解,再利用决策偏好选择最适合的运行方案。在日内负荷跟踪中,机组应当在模型中融入电网频率支撑与电价信号,将辅助服务价值与市场信号同时考虑,实现收益与系统稳定的同步提升。在长期运行规划中,机组应当设计基于模糊层次分析的权重分配机制,结合水文预测结果动态调整目标函数的权重比例,使不同季节的水库运行更加符合综合效益最大化的要求。在生态约束执行中,机组应当运用算法实时计算下泄流量与最小生态需求之间的差距,构建灵活的约束松弛机制,在满足生态要求的同时保留一

定的发电调节空间,为水电站群的综合效益发挥提供坚实支撑。

### 结束语

水电站机组优化调度需要在资源利用、运行效率与多重目标协调中形成科学统一的逻辑体系。智能算法的引入让调度过程具备高效性,使发电效益、防洪调控和生态流量在统一框架下得到动态平衡。智能动态决策、效率导向算法和多目标协同模型的融合,让调度体系呈现出精细化的特征,系统在复杂约束条件下的强化稳定性,水能资源利用水平显著提升,电力系统运行的安全边界更加稳固。

### 参考文献

- [1] 时有松,张舸,程建,张东峰,李银斌,曾云,赵志高,李见辉.水电站多机共输水系统并网运行多目标协同优化[J].中国农村水利水电
- [2] 崔凯.基于智能算法的水电站电气设备故障诊断与预测分析[J].电气技术与经济,2025,(08):392-394.
- [3] 钟洪星,杨沙,唐晓丹,白治朋,赵新益,李初辉.水电站智能化防水淹厂房预警系统优化与应用[J].水利水电快报,2025,46(S1):110-113.
- [4] 王克超,蔡若宜,申建建.梯级水电站群优化调度的群体搜索算法[J].人民珠江,2025,46(06):85-97.
- [5] 陈倩.梯级水电站运行调度方式优化策略研究[J].电力与能源,2024,45(06):723-725.
- [6] 黄立芹,林巧锋.融合深度学习与智能优化算法的水电机组区域检修管理系统研究[J].电子设计工程,2024,32(24):152-156+161.
- [7] 高金红.基于风险评估的水电站调度运行方法优化设计[J].电气技术与经济,2024,(11):311-313.
- [8] 周杰.基于人工智能的水电站电气设备无人运行方法研究[J].电气技术与经济,2024,(10):142-144.
- [9] 王旭,朱迪,郭卫,贵月.考虑季节性电价的梯级水电站联合优化调度研究[J].中国农村水利水电,2024,(11):148-155.
- [10] 李海波,王洪斌.基于智能算法的水电站电力变压器状态监测与评估探讨[J].水电站机电技术,2024,47(05):52-54.