

# 水电站与抽水蓄能电站智慧运维控制技术探索

秦程

江西洪屏抽水蓄能有限公司, 江西 靖安 330603

**摘要：**现代社会生产与生活对电力能源的需求不断增加, 水电站、抽水蓄能电站的建设数量与建设规模持续扩大, 但由于新能源发电拥有波动性、随机性特点, 所以对新能源合理消纳、水电参与调峰提出较高要求, 在一定程度上加剧了水电工程建设、运维、控制难度。本文研究中, 重点探究水电站、抽水蓄能电站的智慧运维控制技术, 仅供参考。

**关键词：**水电站; 抽水蓄能电站; 智慧运维; 控制技术

## Exploration of Intelligent Operation and Maintenance Control Technology of Hydropower Station and Pumped Storage Power Station

Qin Cheng

Jiangxi Hongping Pumped Storage Co., LTD. Jing'an, Jiangxi 330603

**Abstract:** The modern society production and living increasing demand for power energy, the construction of hydropower station, pumped storage power station quantity and construction scale continues to expand, but the new energy generation volatility, randomness characteristics, so the new energy reasonable given, water and electricity in load put forward higher requirements, to a certain extent, exacerbated the hydropower engineering construction, operations, control difficulty. In this paper, the paper focuses on the intelligent operation and maintenance control technology of hydropower stations and pumped storage power stations, for reference only.

**Keywords:** hydropower station; pumped storage power station; intelligent operation and maintenance; control technology

### 引言

在供给侧结构性改革背景下, 各行业深入践行可持续发展战略, 将节能减排、绿色经济作为经营管理目标。当前, 水力发电设备的容量持续扩大, 电力系统复杂度加剧, 尤其是水轮发电机组、抽水蓄能机组, 非常重视变化工况的适应能力, 并以“快速响应”“灵活运行”作为水力发电的核心指标<sup>[1]</sup>。在现代信息技术的支持下, 水电工程建设、运维、控制的智能化水平不断提升, 为我国水电事业发展指明了方向, 但水电站、抽水蓄能电站的智慧运维控制问题仍十分严峻, 要求水电部门做好进一步研究。

### 一、抽水蓄能电站的运行方式与特点

#### (一) 运行方式

抽水蓄能电站涉及的运行工况十分复杂, 包括抽水、发电、抽水调相、发电调相、停机等, 因此发电机组频繁出现启停现象。比如, A电站配置四台机组, 机组每日启停次数超过十次。抽水蓄能电站机组运行过程中, 还会出现静止、空转、空载等不良状态, 但黑启动能力、线路充电能力理想。需要注意的是, 抽水蓄能电站不仅涉及到复杂工况, 同时涉及到不同工况的转换形式, 如正常转换、紧急装换两种, 且抽水方向启动包括静止变频器、背靠背式<sup>[2]</sup>。在不同运行状态下, 机组都会发生正常停机、机械故障停机、电气事故停机等问题。

#### (二) 运行特点

##### 1. 多样的运行工况

抽水蓄能电站的工作性质与方式繁琐, 既要规避日常运行过程的意外事件, 还要保障抽水发电质量。基于本质分析, 抽水蓄能电站多参考机组、电网负荷运行开展抽水调控工作, 保障机组运行活动正常。

##### 2. 复杂的设备结构

与常规水电站设施相比, 抽水蓄能电站增设母线控制、自动换相、变频辅助启动等设备, 导致设备启动配合、技术管理难度明显上升。抽水蓄能电站多采用混流可逆性安装方法, 有效满足机组高水头转动、逆向转动工况, 同时要承受高负荷冲击负载, 加剧了设备维修作业难度<sup>[3]</sup>。

### 3. 独特的枢纽布置

抽水蓄能电站承担发电工况、抽水工况任务，同时拥有两个蓄水池，确保蓄水池之间的循环效应。在电站坝体构筑物布局、主设备布局方面，抽水蓄能电站与传统水电站的差异非常大，抽水蓄能电站厂房多选择山腹位置，需要修建地下洞室结构，通过中心控制器启动调节系统。

## 二、水电站与抽水蓄能电站智慧运维控制技术

### （一）故障检修技术

在故障检修技术体系中，主要包括事故临时检修、机电设备故障诊断、机电设备故障检修等多元模式，高效检验水电站、抽水蓄能电站的故障问题<sup>[4]</sup>。经长期实践经验可知，故障检修对蓄能电站的影响非常大，若技术人员不重视检修过程管控，就会危害水电站、抽水蓄能电站的运行效益。

### （二）网络设备

在水电站、抽水蓄能电站运行过程中，计算机控制系统发挥的作用十分明显。系统主控层配置两套交换机系统；而在现地控制层、现地控制单元中，主要配置两套以太网交换机。主交换机、现地控制单元相互交换时，需要借助光纤构建双星型全分布交换模式，以此适应千兆冗余以太网。在水电站、抽水蓄能电站体系中，两套系统互为热备用，同步收发和传输信号，即使某一套系统发生故障，也不会对整个系统运行产生影响。

### （三）信息智能化处理与综合决策

在水电站、抽水蓄能电站中，智能执行机构能够执行智能决策结果，有效转变智能设备的运行状态，积极适应环境变化，形成完整的闭环系统，涵盖信息检测、信息传输、信息处理、信息决策、信息执行等多个环节<sup>[5]</sup>。无论是发电机组，还是区域性水电系统，都必须构建闭环系统，联合智慧化技术、智能化技术。扩展系统发展空间。将智能技术与物联网技术、泛在感知技术、新型传感器技术相互结合，即可保障水电站、抽水蓄能电站的运维效益。

### （四）计算机监控系统

抽水蓄能电站通常都会配置计算机监控系统，系统结构主要为双星型冗余光纤网。技术人员要准确连接系统设备、冗余网络，保证网络配置结构的清晰度，便于后续检修与维护，高效统一安全性、灵活性、可靠性优势。在水电站、抽水蓄能电站控制模式中，机组、开关站现地控制单元均配置双套控制器，而其他现地控制单元配置单一控制器，并且选用双电源结构。

在计算机监控系统选型操作中，技术人员要综合考虑电站的运行环境、设备种类，保证系统控制的可靠性。在现地控制器选型设计中，技术人员要优选ABBAC800M控制器，这类控制器的性能与可靠性均比较高<sup>[6]</sup>。在系统软件设计中，主要采用ControlBuild、ABB800xAPGP，这些软件设施的可扩展性良好，功能消耗低，能够有效解决频繁故障缺陷，加快整个系统的运行速度，便于检修与维护。计算机监控系统多采用冗余配置方式，一旦主设备发生故障问题，系统即可自动诊断、自动发送故障报

文，并在无扰动状态下切换到备用系统，全面提高系统运行效益<sup>[7]</sup>。通过应用计算机控制系统，可以缩短故障检修时间，提高系统设备的运行效率，切实满足可靠性需求。

### （五）制定并完善检修制度

开展检修工作之前，水电部门应当制定一套完整的检修制度与规定为水电站、抽水蓄能电站检修工作提供制度化保障，同时要结合主动检修、定期检修、状态检修等方式，明确检修重点内容。在工作实践中，还要结合工作需求、设备使用年限、运行状态等指标，制定一个科学且可行的检修方案，顺利开展水电站、抽水蓄能电站的检修与维护工作。对于水电站、抽水蓄能电站管理人员来说，日常经营管理要不断创新管理制度，包括现场检修措施、定制化管理措施，保证整个检修过程的可控性，提高电气设备检修工作的运行效率。

### （六）优化电气设备设施安装

在水电站、抽水蓄能电站运行过程中，为了加快机电设备的国产化改造进程，技术人员要基于国产技术研发抽水蓄能机组的开关设备，包括换相隔离开关、发电机断路器、母线分段隔离开关，降低水电技术对国外技术的依赖度，有效填补了水电站、抽水蓄能电站的技术空白。技术人员预设机组浇注母线长直段、接口，缩短弯头生产周期，保证交货期在一个月以内。为了实现以上目标，水电部门要提供优质的母线安装条件，以此满足主变压器的充电要求。

在主变压器施工过程中，通过专用平台缩短脚手架搭建时间，保证大件设备、车辆均可在专用平台下方运输，以免耽误主变压器的施工进度。在安装高压电缆之前，技术人员要完善钢制楼梯、竖井楼板的安装任务，协调脚手架、支架的安装时间，缩短直线工程工期。

## 三、水电站与抽水蓄能电站运行效益分析

### （一）静态效益

抽水蓄能电站运行效益非常多，静态效益主要包括容量效益、电量效益。其中，前者是抽水蓄能电站的投入，能够减少电厂建设成本；后者则通过节约能源获取经济效益。无论哪种效益获取方式，都能推动我国电力行业的发展。经过长期运行实践可知，抽水蓄能机组具备显著技术优势：其一，运营寿命长、能量密度低，但是前期投资成本高昂，必须基于实际提出降成本方案。其二，当电力系统用电负荷较少时，抽水蓄能电站的功能在于利用剩余电量抽取水源，在高效能区域提高燃料利用率，实现降本增益目的。

### （二）动态效益

抽水蓄能机组具备调节范围宽、启动速度快等优势，因此要以动态消音分析法动态调控电网运行状态。为了减少能源浪费问题，应当参考实际情况选择效益分析方法，比如基于电网平衡角度分析，发电功率变化明显超过系统变化，因此为了实时监控负荷指标，工作人员要加强责任心，深入研究抽水蓄能电站的调频效益、调相效益。调频效益，即当地网频率波动变化明显时，通

过启动抽水蓄能机组实现降本增效。调相效益，即调控系统无功功率 [9]。无论上述哪种效益，都可以控制机组运行成本。抽水蓄能机组参与到电网调相流程中的效益可观。鉴于此，电力企业要从电量、容量两方面分析动态效益，以此减少投资成本支出问题。同时也要分析事故备用效率，当电网系统发生故障时，为了平衡运行状态，电力人员借助事故备用机组启动电网，促使电网处于正常运转状态，以免影响供电稳定性。

### （三）环境效益

随着城镇化建设速度的加快，社会生产与生活对资源需求量持续提升，水电部门要深入分析抽水蓄能电站的环境效益。抽水蓄能电站以水为能源，发电过程不会破坏生态环境，而化石燃料燃烧会产生有害气体，危害生态环境质量。研究提示，氮氧化物是造成大气环境污染的重要因素，水电部门可通过实测法评估氮氧化物的排放量，严格控制有毒物质的排放，保障生态环境效益。

## 四、抽水蓄能电站的未来发展策略

### （一）强化环保意识，制定环境保护法规

水利建设活动容易影响土壤、河流等自然环境，当水电站周边发生泥石流、滑坡灾害时，就会严重威胁周边群众的生命财产安全，因此要强化环境保护意识，建立一系列环境法律法规。水电部门必须加强全员环保意识，为水电站建设工程提供环境保护法律支持。同时要对项目建设行为的影响系数进行评估，掌握环保投资效益、预期效益的关系<sup>[10]</sup>。水电部门为了实现可持续发展

目标，还要合理规划环境保护方案，降低施工行为对生态环境的危害，并以科学整治措施保障水电站生态环境的稳定性。

### （二）重视水电站信息管理，完善基础设施建设

在建设水电站工程时，技术人员通过监测系统对水电站运行状态进行监测，保证系统运行全过程的公开化、透明化。在现代科技的支持下，水电部门能够自动采集旱季、雨季信息，为日常工作提供技术化保障。在水电站信息资源整合、存储工作中，持续加强资源信息收集能力，并与其他部门共享水利信息资源。若为新建水电站工程，技术人员要同步开展抽水蓄能电站建设、信息化建设工程，以加强水电站管理技能。为了进一步提高管理成效，水电部门还要重视日常监测、安全管理等工作，操作如下：（1）优化配置部门人力资源，建立可行的管理制度。

（2）定期组织管理人员参与教育培训工作，加强管理节约意识，从根本上提高水利资源的利用效率。同时要鼓励社会资本参与，为抽水蓄能电站建设、检修、维护提供资金保障，避免浪费国家资源。最后，在现代科技发展背景下，抽水蓄能电站可配置视频监控系統，随时检测水电站运行现场的不良问题，减轻日常运维压力。

## 五、结束语

综上所述，政策环境、技术水平、经济效益是抽水蓄能电站发展的关键性因素，决定着水电站的运行效率与质量。只有保证各项支持性措施的执行效果，才能为抽水蓄能电站提供发展条件，为水电行业能源转型、环境保护提供强大支撑。

## 参考文献

- [1] 叶宏, 孙勇, 阎峻, 等. 数字孪生智能抽水蓄能电站研究及其检修应用 [J]. 水电能源科学, 2022(06): 040.
- [2] 张瑞. 抽水蓄能电站面板堆石坝的地震永久变形分析 [D]. 大连理工大学, 2014.
- [3] 孙佳祥, 华伟琪, 张晓峰. 抽水蓄能电站运维一体化项目实施及评价研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 社会科学, 2022(10): 4.
- [4] 王建信. A 抽水蓄能电站运维一体化项目实施及评价研究 [D]. 华北电力大学; 华北电力大学 (北京), 2017.
- [5] 周祥斌. 电力市场化形势下抽水蓄能电站成本回收机制研究 [J]. 价格月刊, 2018(4): 3.
- [6] 卢鑫鑫. 高水头抽水蓄能电站混流式水轮机不稳定性的分析研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (04): 80-82.
- [7] 陈宏宇, 孙美琪, 李姿璇. 新建抽水蓄能电站生产准备员工培训模式创新与实践 [J]. 中国电力教育, 2023, (06): 51-52.
- [8] 杜雅楠, 曹佳丽, 徐亚鹏, 赵强. 水电与抽水蓄能电站运维期金属技术监督典型问题及应对措施 [J]. 水电与抽水蓄能, 2023, 9(02): 74-77.
- [9] 梁庚. 大型水电站与抽水蓄能电站智慧运维与控制技术 [J]. 水电与抽水蓄能, 2022, 8(03): 2-3.
- [10] 何涛, 王传礼, 高博, 陈凡, 王伟俊, 赵凯平. 废弃矿井抽水蓄能电站基础设施建设装备关键问题及对策 [J]. 科技导报, 2021, 39(13): 59-65.