

新能源背景下抽水蓄能电站的调峰作用分析

赵辉

中国机械设备工程股份有限公司, 北京 100000

DOI:10.61369/WCEST.2026010023

摘 要 : 随着风能和光伏在能源系统中所占份额的不断攀升, 评估抽水蓄能电站效率的工作变得日益复杂, 传统的生产建模与计算方法已难以适用于包含多种能源类型的复杂系统。对调节需求高峰的指标展开定量分析与计算, 对于新能源背景下能源系统的安全稳定运行有着举足轻重的意义。

关 键 词 : 新能源; 抽水蓄能电站; 调峰作用

Analysis of the Peak Regulation Role of Pumped Storage Power Stations in the Context of Renewable Energy

Zhao Hui

China Machinery Engineering Corporation, Beijing 100000

Abstract : As the share of wind and photovoltaic energy in the power system continues to rise, the assessment of pumped storage power station efficiency has become increasingly complex. Traditional production modeling and calculation methods are no longer suitable for complex systems incorporating multiple energy types. Conducting quantitative analysis and calculations on indicators for regulating peak demand is of paramount importance for the safe and stable operation of the power system in the context of renewable energy.

Keywords : renewable energy; pumped storage power station; peak shaving function

前言

在新能源领域, 除了少数受到严格管控的水电之外, 风能、生物质能、太阳能、地热能等能源受自然条件的影响极大, 可管理性较低, 具有明显的间歇性和不确定性。为实现双碳目标并满足灵活管理新能源的需求, 显著提升电力系统的灵活性已成为当务之急。

一、研究的意义

当下对新能源的探索以及相关技术的发展逐步走向成熟。近年来, 在各国政策的大力支持下, 调整能源结构、大力发展可再生能源、逐步降低传统化石燃料的使用比例, 为地球生态环境的碳减排贡献力量, 已成为世界范围内能源领域极为紧迫的优先事项^[1]。

然而, 与传统化石燃料稳定的产出情况相比, 风能、光伏等新能源的发电过程受到众多自然因素的制约。特别是在峰值调节方面, 风能和光伏的发电功率会随着自然天气因素的变化而波动, 导致系统在峰值调节时存在较大的差异和不确定性。随着大量风能和太阳能等新能源涌入能源系统, 电力需求高峰的差异愈发显著。

二、抽水蓄能电站发展

抽水蓄能电站作为一种用于调节峰值能源的技术, 已经发展

得相当成熟。在日本、欧洲、美国等发达国家, 抽水蓄能电站在总装机容量中所占的比例相对较高, 部分国家甚至超过了10%。而在我国, 过去由于多种因素的影响, 抽水蓄能电站的发展相对滞后。过去我国总负荷较小, 高峰差不明显; 在相关政策出台之前, 许多小型燃煤电厂承担了调峰任务; 当时我国电力市场尚不完善, 配套服务机制不健全, 对电力质量的评估不够严格; 与抽水蓄能相关的电力定价机制和分配制度尚未建立; 光伏、风能等新能源还未进入快速发展阶段; 并且节能减排要求较低等因素影响, 当时抽水蓄能电站装机容量仅占全国装机容量的1.36%。而在现有政策与技术的影响之下, 我国抽水蓄能电站已经从原有的“规模导向”发展趋势, 逐渐呈现“高质量发展”的态势, 整体上来说, 在今后的发展其主要发展趋势如下:

(一) 机制市场化

随着2026年114号文的出台, 有效推动了抽水蓄能电站的发展。新建设的电站已经从原有的“一站一价”模式, 逐渐转向为

“省级统一容量电价”的发展模式。在发展中必须要综合电能量、辅助服务市场等多种因素进行深度分析，其收益结构也呈现多元化的发展趋势。在今后的发展中，要基于顶峰能力进行调控，实现各个调节资源费的“同工同酬”化。

（二）技术自主化与融合化发展

在现代技术支持下，抽水蓄能电站呈现技术并发的态势，其核心控制系统以及技术得到了有效的发展。目前，随着我国首台国产电压源型静止变频器（SFC）成功研制，真正的做到了谐波畸变率控制在0.9%、提升35%的加速性能^[2]。在技术的角度来说，在今后的发展中变速机组是新建设发展的标准配置，可以有效解决传统模式的速度不足、性能不佳等实质性问题。而在“抽蓄+新型储能”等多种混合协同模式的支持下，利用传统的模式+现代化技术工艺，通过抽蓄系统承担基荷调节的功能，达到通过储能补充短时快速波动的目的，继而真正的实现功能互补，协同化发展。

（三）布局多元化特征

常规的水电站在改造中，利用常蓄结合的方式进行系统优化，功能拓展。基于现有大库容电站联合抽蓄功能，可以有效降低投资环境以及周期性限制。可以有效满足多种环境的应用需求。

三、新能源背景下抽水蓄能电站的调峰作用

（一）保障电力系统稳定运行

调峰管理支持服务是实现实时电力平衡必不可少的重要支持服务。具体来说，高峰负荷管理辅助服务涵盖了依据高峰负荷或非高峰负荷的变化规律，对发电机组的计划容量进行调整，以适应不断变动的电力需求。根据社会用电量需求的变化，日负荷曲线通常会呈现出明显的峰值时期。鉴于电网电力生产、供应和消耗具有瞬时性，以及负荷的峰值特性，在低负荷期间，系统需要减少发电量；而在高峰时段，系统则需要增加机组功率，以此实现功率平衡，保障电力系统的安全稳定运行^[3]。

抽水蓄能电站参与电力系统运行，对火电厂的煤炭消耗水平有着重要影响，能够助力燃煤电厂实现煤炭节约和碳减排。一方面，抽水蓄能电站可以将系统中低比例或多余的能量转化为潜在的储能；另一方面，在用电高峰时期，它又能作为电力来源，释放水库储存的能量进行发电。充分发挥抽水蓄能电站的填谷调峰功能，能够增加电力系统的容量，降低单个机组故障导致负荷缺失的可能性，保障电力系统的安全稳定运行，同时提高电力供应的质量和可靠性。

（二）提升电力系统经济性

从节能角度来看，当大量新能源涌入能源系统时，其容量的不确定性和负荷的波动会导致能源系统产生更高的波动性。为确保电力系统的安全稳定运行，电力控制中心会组织控制单元提供峰值控制支持服务。而热力发电机组主要承担着峰值调控的辅助服务。然而，热电厂在进行峰值调节时，成本效益较差，通过压力输出或峰值调节的启动和停止运行，会大幅增加电力系统的运

行成本^[4]。

而抽水蓄能电站参与电力系统的峰值调节，能够便捷地缓解热电厂的峰值压力，有效地改善热电厂的运行条件，进而提高电力系统的经济效率。在新能源系统建设的大背景下，抽水蓄能电站可以与新能源机组以联营或联合系统的形式参与电力市场，充分发挥双方的竞争优势，提升能源系统的竞争力。同时，进一步完善综合系统参与电力市场贸易的机制，制定合理的利润分配策略，对于推动能源行业的健康发展具有重要意义。

（三）促进新能源消纳

以风能和光伏为代表的新能源深受气候影响，其产出具有不确定性、波动性和周期性，这就要求系统具备更强的灵活性。在高比例新能源接入电网后，一旦太阳能突然减弱或风机严重偏离正常运行状态，电力系统将面临电力供应缺口。而抽水蓄能电站能够快速启动和停止，可显著提高电力系统的可调性，增强系统的灵活性^[5]。

目前，以我国为例，电力系统的峰值调节辅助服务主要由燃煤机组提供。根据燃煤电厂的煤炭消耗曲线，当燃煤电厂的负荷速率下降时，用于发电的煤炭消耗速率会逐渐增加。一旦负荷系数降低到一定程度，电力消耗的煤炭增长速度就会加快。当燃煤机组参与深度峰值调节时，峰值调节速率越高，单位电力的煤消耗率就越高。抽水蓄能电站参与电力系统峰值调节，能够有效降低燃煤电厂的最高调节速度，提高其功率水平，优化机组运行条件，从而减少低负荷燃煤电厂标准煤消耗的增加，达到节约煤炭、减少碳排放的效果。

（四）提供优质备用能源

与其他形式的储能，如电化学储能、压缩空气储能、飞轮储能不同，抽水蓄能电站是一种以水为介质的主要储能系统。目前，抽水蓄能电站通常由水泵水轮机、输水管道、上下水库等部分组成。在低负荷时，抽水蓄能电站将电能转化为势能储存起来；在高峰负荷时，则将储存的势能转化为电能进行发电。简单来说，抽水蓄能电站的工作原理就是能量的转换，通过电能-势能-电能的转换，完成抽水储能和发电的循环^[6]。

抽水蓄能电站就如同能源系统中的一个巨大的能源银行，自身虽不能直接发电，但它能够将电力系统中的多余或低价值电能转化为电动机泵水时储存在上部水库的势能。当电力系统电力供应不足或处于峰值负荷时，释放水库中的水进行发电，缓解电力供应不足或承载系统的电力消耗峰值，实现电力在时空上的有效传输。具有灵活操作条件转换能力的抽水蓄能电站，能够跟踪负载波动并快速调整输出水平。它可以通过适应负载曲线中快速波动的部分，快速响应电力系统中的负载变化，从而增加系统中功率调节的灵活性。

四、新能源背景下抽水蓄能电站的调峰运行核心技术研究

抽水蓄能电站系统的调节能力取决于电力供应的结构，而系统的调节能力又直接影响着系统对新能源的消纳能力^[7]。一旦新

能源的生产超过了系统的调节能力，就会出现风能和太阳能被弃用的情况。抽水蓄能电站灵活的储能调节特性，使其成为高比例新能源系统建设的重要支柱。特别是抽水蓄能电站，由于其规模大、技术成熟，在新能源领域有着更为广泛的应用前景，因此探究核心技术，可以为今后的应用提供技术支持与参考。

（一）变速机组技术

变速抽水蓄能机组在运行中主要基于交流励磁、全功率变流器等技术进行管控，将转子转速控制在额定转速 $\pm 5\%$ 范围之内，并且根据运行需求以及具体的要求进行连续性的调节。主要工作机制如下：

第一，电磁层面。变流器实时性检测电网频率变化特征，在出现数值下降的状态中，变流器控制机组会出现减速，并且充分释放转子动能注入有功功率。而在频率呈现上升的状态是，变流器则会控制机组加速处理，吸收转子动能则会在电网中吸收有功功率特征。整个流程在毫秒级别中影响，并且不会受到外在因素的限制与影响。

第二，水力层面。在电磁响应过程中，导叶会根据设定速率开启，水泵水轮机的机械功率呈现快速的上升变化趋势^[8]。在机械功率符合目标参数以及既定数值之后，系统会逐步控制输出功率，最后通过导叶维持稳定性的发力。此技术在中应用中将电器控制引入到传统的水力机械系统中，可以有效提高快速的资源调控。同时可以实现连续性的工况优化，利用虚拟惯量提供支撑，可以有效弥补同步机组退出之后的惯量缺口以及相关问题。

（二）抽蓄 + 蓄电池混合储能技术

利用变速机组可以优化调节性能，但是功率负调问题并没有在根本上进行处理，在导叶开启过程中还是会受到出力波动的影响。而基于抽蓄 + 蓄电池混合储能技术进行优化，则可以在导叶开启之后，通过蓄电池进行快速放电，达到补偿功率缺口的目的。等到水泵水轮机稳定之后，蓄电池会呈现逐步的退出状态，不会影响系统的正常运行。在系统应用中必须要实现协同控制，接收电网下达的功率调节指令以及相关信息数据^[9]。通过系统自动开启程序，同时控制调控。蓄电池输出功率与预设的补偿曲线同步优化，可以有效抵消在前期出现的功率不足等问题。此种模式主要就是在电站同时进行调频以及调峰的任务中应用，对于快

速调节以及持续性调节具有严格的需求。同时，蓄电池容量配置必须要与抽蓄机组的功率负调特性匹配，并且在一定程度上补偿数十秒以及数分钟，提高系统的综合性能。最后，通过控制系统可以实现毫秒级别的同步协同管控，在应用中对于变流器以及能量管理系统的响应管理速度提出了严格的技术要求。

（三）常蓄结合改造技术

常蓄结合技术就是根据现有常规水电站水库以及厂房资源信息数据，增设抽蓄机组或者对原有的机组设备进行优化，增强抽水蓄能的功能。此技术主要就是在常规水电站水库容量大以及水位变化相对较低的环境中应用，可以有效满足多环境以及场景的应用需求。

常规水电站水库的库容相对较大，属于河道行水库结构，水位波动对于发电水头不会产生过于显著的影响。因此，在相同的水位变幅约束管理之下，常规的水电站可以满足相对频繁的抽发循环管理，调节的灵活性相对较高^[10]。在处理中主要改造技术如下：

第一，增设抽蓄机组。在现有的厂址以及预留机位等相关环境中，增设可逆式抽水蓄能机组，与原有机组共用上下水库，但是配置独立的电气系统以及输水系统。此系统在运行中不会对机组的正常运行产生影响，但是增设的功能可以进行独立的调控，但是需要耗费一定的资金成本。第二，常规机组抽蓄改造设备。在中应用中将部分常规的水轮发电机组改造为可逆式机组，其具有发电以及抽水的功能。在改造中要更换转轮、调整导叶机构、改造励磁系统实现功能优化与完善。

五、结论

抽水蓄能电站作为一种成熟且具有成本效益的大规模储能系统，具备灵活的调节能力和快速的响应能力。通过提供调峰管理支持服务，能够有力地促进新能源的大规模开发，为新能源系统的建设提供坚实的支持。全球范围内，各国新能源系统占比不断攀升，在未来能源结构不断优化调整的进程中，抽水蓄能电站必将发挥更为重要的作用，成为实现能源可持续发展的关键力量。

参考文献

- [1] 赵夏, 陈仕军, 杨悦, 等. 定-变混合式抽水蓄能电站对电网的调峰作用分析 [J]. 水电与抽水蓄能, 2025, 11(06): 65-71.
- [2] 马骏, 孙丽平, 戴春田, 等. 新质生产力背景下抽水蓄能提升系统保供能力的建模分析 [J]. 洁净煤技术, 2025, 31(S2): 901-910.
- [3] 王伟健, 吴沅烜. 计及阶梯型碳交易及深度调峰的多能源发电系统调度 [J]. 中外能源, 2025, 30(12): 21-29.
- [4] 于钦盛. 抽水蓄能电站建设过程中的低碳施工技术与运营期碳减排路径分析 [J]. 中国资源综合利用, 2025, 43(11): 225-227.
- [5] 刘洋, 黄牧涛, 史彬. 考虑源网荷欠均衡和联络线耦合的特高压电网抽水蓄能跨省柔性调度研究 [J]. 水电能源科学, 2025, 43(12): 209-213.
- [6] 易磊, 董彩琴, 赵春伟. 新型电力系统下水蓄能的价值与市场政策研究 [J]. 湖南水利水电, 2025, (06): 37-39+42.
- [7] 陈智梁, 魏苗, 胡新源, 等. 计及绿电交易的风光-梯级混合抽蓄系统多目标调峰优化控制 [J]. 高压电器, 2025, 61(11): 58-70. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2025.11.006.
- [8] 李伟. 新能源发展与储能技术对电网调峰挑战的应对研究 [J]. 科技与创新, 2025, (20): 165-167.
- [9] 张和平. “双碳”目标背景下抽水蓄能电站的系统调度研究 [D]. 新疆大学, 2023.
- [10] 许倩. 抽水蓄能辅助燃煤机组深度调峰的电力系统经济调度 [D]. 北京: 华北电力大学, 2021.