

# Research on the Method of Improving the Peak Shaving Capacity of Nuclear Power Plant Operation under the Background of New Energy Grid Connection

Lihe Wang Maokun Cao Junqiang Yang

Lufeng Nuclear Power Co., Ltd., Shanwei, Guangdong, 516500, China

## Abstract

As a clean and low-carbon base-load power source, nuclear power's enhanced peak-shaving capability has become a pivotal measure for optimizing energy structures and ensuring grid security. This paper first analyzes the core factors influencing nuclear power's peak-shaving capacity improvement under the context of renewable energy integration, covering three key aspects: renewable generation characteristics, technical constraints of nuclear units, and grid dispatching rules. It then establishes a hierarchical enhancement framework encompassing "core technologies, operational strategies, grid coordination, and iterative optimization," providing concrete implementation approaches across four dimensions: foundational capabilities, core competencies, comprehensive efficiency, and continuous refinement. Finally, the study concludes with theoretical support and practical references for nuclear power's peak-shaving operations in scenarios with high renewable energy integration.

## Keywords

New energy grid integration; Nuclear power; Peak regulation capacity; Tiered enhancement; Collaborative dispatching

## 新能源并网背景下核电运行调峰能力提升方法研究

汪立和 曹茂坤 杨俊强

陆丰核电有限公司, 中国·广东 汕尾 516500

## 摘要

核电属于清洁又低碳的基荷电源, 让其运行调峰能力得到提升, 成为优化能源结构、保障电网安全的关键举措。本文先对新能源并入电网背景之下核电调峰能力提升的核心影响因素进行剖析, 这里面涵盖新能源出力特性、核电机组技术约束以及电网调度规则这三个大方面; 接着构建“本体技术-运行策略-电网协同-迭代优化”这样分层的提升方法体系, 从基础能力、核心能力、综合效能以及持续优化这四个层面给出具体的实施办法; 最后对研究结论进行总结, 为核电在新能源高比例并入电网的场景下进行调峰运行提供理论方面的支撑以及实践方面的参考。

## 关键词

新能源并网; 核电; 调峰能力; 分层提升; 协同调度

## 1 引言

在“双碳”目标的引领作用下, 我国的新能源产业实现了跨越式的发展, 风电、光伏发电的装机容量不断上升, 逐渐成为电力系统的重要部分。然而, 新能源的出力受到自然条件的影响特别明显, 具有很强的波动性、随机性以及间歇性特点, 大规模并入电网之后使得电网的峰谷差持续变大, 电力供需平衡调节的压力急剧增加。核电依靠能量密度高、碳排放低、运行稳定等优点, 长期承担着电力系统基荷供电的任务, 不过它传统的运行模式是以恒定功率输出为主, 调峰能力没有得到充分的发挥, 很难适应新能源高比例

并入电网之后电网调节的需求。本文基于新能源并入电网的实际背景, 围绕核电调峰能力提升的核心问题, 开展深入的研究和探讨。

## 2 新能源并网背景下核电运行调峰能力提升的核心影响因素

### 2.1 新能源出力波动性与随机性对核电调峰适配性的基础影响

新能源出力的波动与随机特性是影响核电调峰适配性的首要因素。风电出力受到风速、风向变化的影响, 一天内波动的幅度能够达到额定出力的 50% 以上, 并且存在夜间低出力、突发阵风等极端情况; 光伏发电受到光照强度、云层移动等因素的限制, 出力从早上开始启动到午后达到峰值再到傍晚衰减, 一天内的变化呈现出“钟形”曲线, 而且多

【作者简介】汪立和(1985—), 男, 中国湖北孝感人, 本科, 工程师, 从事电力能源系统, 核电站运行研究。

云、阴雨天气会让出力突然下降。新能源出力的这些特性，让电网实时的供需平衡被打破，需要可以调节的电源快速做出反应，通过增加或者减少出力来弥补新能源出力的缺口或者吸纳多余的电力。

核电作为基荷电源，在传统运行模式之下功率调节的速度慢、调节的范围有限，很难适应新能源出力的快速波动。当新能源出力突然增加的时候，电网需要核电快速降低出力来避免出现弃风弃光的情况；当新能源出力突然下降的时候，核电需要快速提高出力来保障供电的稳定，而核电的物理特性和运行约束让它很难满足上述快速调节的需求，进而对调峰适配性产生影响。除此之外，新能源出力存在随机性，这种情况致使电网调度需求的不确定性加大增多，这就更进一步加大了实现核电调峰运行的困难程度。

## 2.2 核电机组技术特性与运行约束对调峰能力释放的关键制约

在对设备运行约束的情况来看，核电机组所包含的汽轮机、发电机、冷却系统等这些辅助设备存在着运行边界方面的限制。就比如，汽轮机在处于低功率运行状态的时候很容易出现振动过大、叶片腐蚀这类的问题，长时间处于低负荷运行的状态会使设备的使用年限缩短；冷却系统所具备的换热效率和功率输出存在紧密的关联，在低负荷运行的时候需要对冷却水量和温度控制进行优化，要是不这样做就会对机组的安全产生影响<sup>[1]</sup>。此外，核燃料所具有的燃烧特性也会对调峰运行形成制约，频繁出现的功率波动会使燃料棒的磨损和老化程度加剧，让核废料的产生数量增加以及处理成本提升。这些技术特性和运行约束，让核电机组在参与调峰的时候需要在安全边界、设备寿命和调峰需求这几者之间去寻找平衡，对调峰能力实现充分释放起到了限制作用。

## 2.3 电网调度需求与并网规则对核电调峰运行的导向性影响

电网调度需求和并网规则对核电调峰运行具有非常明显的导向作用影响。在新能源高比例并入电网的这种场景之下，电网调度的核心目标从传统的把供电可靠性放在优先位置，转变成了“既要重视可靠性又要重视新能源消纳”，调度策略需要同时考虑新能源出力的波动情况以及各类电源的调节能力。目前，我国电网的调度机制是以计划调度为主，核电作为基荷电源，它的发电计划制定得比较固定，参与调峰的灵活程度不够，很难依照新能源出力的实时变化去调整运行状态。并网规则没有完善好也对核电调峰能力的发挥起到了制约作用。一方面，当下现有的并网规则对于核电调峰的技术标准、考核机制还不是很明确，缺少针对核电调峰的激励性政策，核电机组参与调峰的积极态度不够；另一方面，电网对于核电调峰的响应要求和核电的技术特性不相匹配，部分地区的调度部门过分追求调峰响应的速度，把核电的安全运行约束给忽视了，让核电调峰运行的风险增大。此外，跨区域电网调度的协同工作做得不够，省与省之间的电力互济能力受到限制，使得核电调峰能力很难在更大的范围展现

作用，进一步影响了调峰运行的整体效果。

## 3 新能源并网背景下核电运行调峰能力分层提升方法

### 3.1 机组本体技术优化的调峰基础能力提升方法

对机组本体技术进行优化是提升核电调峰基础能力的核心办法路径，通过对堆芯设计进行改进、对辅助设备性能进行优化，打破核电机组的技术约束限制，让调峰范围扩大、让调节速率提升。在堆芯设计优化这个方面，运用先进的燃料组件和堆芯结构，增强堆芯对功率波动的适应能力。就好像是这样的情况，搞研究开发出出力性能高的燃料棒这事儿，让燃料抗磨损、抗腐蚀的能力得到提升，让频繁进行的功率调节给燃料造成的损伤降低下来；把堆芯的用来冷却的通道的设计加以优化，让堆芯进行热量交换的效率提升上去，让功率调节可以涉及的范围变得更大，把压水堆机组能够稳定运行的最低功率降低到额定能够输出力量的百分之五十以下。

在对辅助使用的设备的技术进行升级这一方面，针对像汽轮机、冷却系统这样的关键设备开展优化改造的关键设备。对汽轮机进行能够适应低负荷情况的改造，采用可以调节的喷嘴、对动叶片优化实施设计等技术方法，让低功率状态运行的时候产生的振动和腐蚀具有的风险降低，使汽轮机在负荷范围比较宽的时候运行的稳定程度提升；对冷却系统的控制所采用的策略加以优化，采用凭借变频器调节速度的技术来调节冷却水泵的转动速度，依据机组功率发生的变化在当下就对冷却需要的水量进行调整，保证低负荷运行的时候进行热量交换的效率。除此之外，引进先进的能够进行监测和控制的系统，采用人工智能、大数据这样的技术对堆芯含有的参数、设备处在的状态实时开展监测和精确调控，让功率调节能够做出反应的速度和进行控制的精细程度提升，给调峰运行的活动提供技术方面的支持。

### 3.2 运行策略动态适配的调峰核心能力提升方法

让运行策略动态地进行适配是让核电调峰核心能力得到提升所采用的关键办法，通过对运行的样式进行优化、对调度的方案进行调整，让核电机组能够和新能源输出力量出现的波动以及电网进行调度的需求发生的改变相适应。在对运行模式进行优化这一方面，推行“基荷加调峰”这样复合起来的运行模式，依据新能源输出力量的预测情况和电网负荷出现的变化情况，动态地对机组运行呈现的状态进行调整。就像是这样，在新能源输出力量处于高峰时间的时候，核电机组减小到低负荷来进行运行，给新能源的消化吸收留出空余的地方；在新能源输出力量处于低峰时间的时候，核电机组增加到满负荷来进行运行，保证供电是稳定的。与此同时，对功率调节的时间顺序进行合理的规划，防止出现频繁的功率波动情况，减轻对设备能够使用的寿命和核燃料被消耗的量产生的影响。

在对调度方案开展调整这一方面，构建基于新能源输

出力量预测情况的动态调度机制。运用机器学习、数值进行模拟等技术让新能源输出力量预测的精确程度得到提升,把电网负荷预测得出的结果结合起来,制订核电在一天之内、在一天之内滚动实施的调度谋划,对功率调节形成的曲线进行优化,让调峰做出反应的及时程度和准确程度得到提升。除此之外,加强机组之间共同协作来运行的情况,对于具有多个机组的核电基地,通过对各个机组承担的调峰任务进行合理的分配,让整体的调峰拥有的能力实现最大的程度。就像这样,依据各个机组设备处在的状态、燃料被消耗的具体情况,把能够快速进行调峰的任务安排给调节性能比较好的机组去做,把承担基荷供电的任务安排给稳定性比较高的机组去做,让调峰运行达成的经济性和安全性得到提升<sup>[2]</sup>。

### 3.3 电网协同调度的调峰综合效能提升方法

在开展多电源协同调度这个事情方面,建立起核电、火电、水电、储能等多种电源联合起来进行调度的模型,按照各类电源所具有的调节特性以及运行成本这些情况,对电源出力分配进行优化。举例来说,运用储能设备具备的快速充放电的特性,让新能源出力存在的高频波动得到平抑,让核电需要进行快速调节的压力得到减轻;让水电、燃气轮机拥有的快速响应能力发挥出来,和核电形成互补的状况,让电网整体的调峰能力得到提升。与此同时,把核电调峰纳入电网统一进行调度的体系当中,明确规定核电和其他电源在调峰方面的责任以及协同机制,实现对供需平衡进行精准的调控。

在完善跨区域调度机制这个方面,强化省与省之间、区域与区域之间电力进行互济的情况,让核电调峰起到作用的范围得到扩大。通过构建起特高压跨区域输电的通道,让核电资源实现跨区域的优化配置,当局部区域新能源出力出现过剩或者不足的情况时,通过跨区域输电去对核电出力作出调整,让区域电力供需达到平衡。除此之外,建立起跨区域调度协同的平台,让各区域调度部门、核电企业、新能源发电企业实现信息的共享,让新能源出力、电网负荷、机组运行状态等信息能够实时同步,让调度决策的科学性以及协同性得到提升。同时,对并网规则以及调峰考核激励机制进行完善,明确核电调峰的技术标准、补偿政策,把调峰绩效纳入机组考核的体系当中,激发核电企业参与调峰的积极性。

### 3.4 提升效果导向的技术—策略迭代优化方法

在构建调峰效果评估体系这个方面,从安全、经济、

环保这三个维度去设定评估的指标,其中包括机组运行安全系数、调峰响应速度、调峰范围、发电成本、新能源消纳率、碳排放强度等,对核电调峰运行的效果进行全面的评估。利用大数据技术对评估数据进行分析和处理,识别出技术优化以及运行策略当中存在的不足,为迭代优化提供依据。在进行技术—策略迭代升级这个方面,建立起“评估—优化—应用—再评估”这样一种闭环迭代的机制。根据调峰效果评估的结果,针对存在的问题对本体技术方案以及运行策略进行优化<sup>[3]</sup>。此外,关注新能源并网技术、电网调度技术的发展动态,及时引入新的技术、新的方法,推动核电调峰能力和电网需求实现动态的适配,实现持续的提升。

## 4 结语

新能源以高比例的状态并入电网,给电力系统的调峰运行方面带来了非常严峻的挑战情况,把核电的调峰能力进行提升,是保障电网安全稳定状况、促进新能源消纳情况、推动能源朝着低碳方向转型的重要举措办法。这篇文章通过对新能源并网背景之下核电调峰能力提升的核心影响因素开展分析工作,构建出了分层提升的方法体系和内容,得到了下面这些结论:新能源出力所具有的波动性和随机性特点、核电机组的技术特性情况与运行约束条件、电网调度的需求状况与并网规则内容,一起对核电调峰能力的发挥起到了制约作用,这三者之间相互有关联、相互产生影响,需要进行统筹考虑、协同来应对。所构建的“本体技术—运行策略—电网协同—迭代优化”这样的分层提升方法体系,实现了从基础能力到综合效能的全维度的提升效果。机组本体技术进行优化工作,为调峰运行提供了技术支撑条件,对运行策略进行动态适配工作,提升了机组的调峰响应能力水平,电网协同调度起到了放大调峰综合效能的作用,技术—策略进行迭代优化工作,保障了调峰能力的持续提升状态。这个方法体系兼顾了安全性情况、经济性情况与环保性情况,能够有效突破核电调峰的约束条件,适应新能源并网之后的复杂工况情形。

### 参考文献:

- [1] 赵玲娜,范黎锋.核电厂运行与电网调峰[J].江西能源,2009,(01):27-28.
- [2] 刘昕.核电企业如何主动适应电网调峰[J].中国核电,2020,13(03):398-402.
- [3] 孙彬,苟峰.我国核电调峰要采取积极稳妥的策略[J].中国核工业,2017,(07):31-35.