

新型电力系统背景下水电参与调峰的运行优化研究

周容

水电水利规划设计总院, 中国·北京 100011

摘要: 在“双碳”目标与新型电力系统建设背景下, 风电、光伏等新能源装机规模快速扩大, 其随机性、波动性、间歇性导致电力系统面临较大的调峰压力。水电具有启停迅速、调节灵活、爬坡能力强的诸多优势, 是改善电力系统灵活性、促进新能源消纳的重要发电资源。本文首先分析新型电力系统的运行特征以及新能源大规模接入对系统调峰产生的影响, 在这一基础上阐述水电调峰运行优势、主要运行方式、影响因素, 提出加强水电与新能源协调运行、深度挖掘水电机组调峰潜力、完善水电参与调峰运行保障机制等策略, 以期为新型电力系统安全稳定运行提供参考。

关键词: 新型电力系统; 水电; 调峰; 运行优化

Research on the Operational Optimization of Hydropower Participation in Peak Regulation under the Context of a New Power System

Zhou Rong

China Renewable Energy Engineering Institute, China Beijing 100011

Abstract: Against the backdrop of the "dual carbon" goal and the construction of a new power system, the rapid expansion of new energy installations such as wind power and photovoltaics has led to significant peak shaving pressure on the power system due to their randomness, volatility, and intermittency. Hydropower has many advantages such as rapid start stop, flexible regulation, and strong climbing ability, making it an important power generation resource for improving the flexibility of the power system and promoting the consumption of new energy. This article first analyzes the operating characteristics of the new power system and the impact of large-scale integration of new energy on system peak shaving. Based on this, it elaborates on the advantages, main operating modes, and influencing factors of hydropower peak shaving operation, and proposes strategies to strengthen the coordinated operation of hydropower and new energy, deeply tap the peak shaving potential of hydropower units, and improve the guarantee mechanism for hydropower participation in peak shaving operation, in order to provide reference for the safe and stable operation of the new power system.

Keywords: New power system; Water and electricity; Peak shaving; Operation optimization

0 引言

随着能源结构加快向清洁化、低碳化方向转型, 我国风电、光伏等新能源电源占比因此不断提升, 新型电力系统呈现出高比例可再生能源、高波动性、高灵活性需求等特征。相比较于火电等其他发电模式, 水电机组速度快、成本低、范围宽的特征, 可用于承担削峰填谷、备用、新能源波动平抑的任务。然而, 水电调峰同时受到来水过程、水库调度、梯级耦合、生态约束、机组运行特征的影响, 传统调度方式难以满足电网需求与水能利用。因此, 应针对新型电力系统的水电调峰运行优化方式做出研究。

1 新型电力系统背景下的调峰需求分析

1.1 新型电力系统运行特征

新型电力系统将新能源作为主体, 其运行特征与火

电、水电等常规发电系统存在差异。随着我国当前大力推动风电、光伏等新能源装机, 发电电源结构开始从可控型电源走向波动型电源, 由此导致系统运行过程中电力供给不确定性随之提升。风电出力受风速变化影响较大, 光伏发电具有明显的昼夜变化特征, 两者存在随机性、间歇性、波动性, 由此导致电源侧出力和负荷侧需求难以准确匹配。同时, 新能源大规模接入后, 系统净负荷曲线变化更加复杂, 可能出现负荷低谷与新能源高出力重合的情况, 而在用电高峰, 又可能面临新能源出力不足的问题。此外, 分布式电源、储能、新型负荷的不断接入, 也对电力系统调度运行的实时性、灵活性、协调性提出更高要求^[1]。

1.2 新能源大规模接入对系统调峰的影响

新能源大规模接入在优化能源结构、降低化石能源消

耗的同时,也导致电力系统调峰运行的复杂程度提升。传统电力系统中,负荷变化是影响调峰需求的主要因素,在高比例新能源条件下,系统调峰对象开始从单纯跟踪负荷变化转为同时应对负荷与新能源出力波动。当风电、光伏出力较高并且系统负荷处于低谷状态下,常规电源需要进一步降低出力,为新能源腾出消纳空间,由此导致系统下调峰压力增加;当新能源出力下降或负荷进入高峰时段,此时需要其他电源及时增加出力,满足电力平衡要求。尤其是光伏装机规模较大的区域,在傍晚容易形成较大的净负荷爬坡需求。因此,新能源渗透率提高后,系统峰谷差、爬坡速率、备用需求均可能增加,传统调峰方式难以适应新的电力运行需求。

1.3 新型电力系统对灵活调节资源的需求

在高比例新能源接入的条件下,电力系统安全、稳定运行需要具备快速响应与宽范围调节能力。灵活调节资源将基于负荷变化以及新能源出力波动,对自身出力做出调整,在新能源出力较高时降低常规电源出力,在新能源出力较低时、负荷快速上升时,迅速增加其他电源供电能力,维持系统功率的平衡。目前,火电深度调峰、抽水蓄能、新型储能、需求响应、水电等均可承担一定的灵活调节任务,但不同资源在调节速度、持续时间、运行成本等方面各有不同。其中,水电机组具备启停速度较快、爬坡能力较强、出力调节范围较宽、运行成本较低等特征,可完成电力系统削峰填谷、快速爬坡、旋转备用的多种调节任务。随着新能源占比逐渐提升,充分挖掘水电灵活资源的调峰潜力,将有助于缓解系统调峰压力,提升新能源消纳能力。

2 水电参与电力系统调峰的运行特性

2.1 水电机组的调峰优势

水电机组具有启停迅速、负荷响应速度较快、出力调节范围较宽等特点,在电力系统调峰运行期间具有明显价值。相比较于部分常规火电机组,水电机组可在较短时间内完成出力升降调节,及时跟踪系统负荷以及新能源出力变化情况,满足频繁、快速的功率调节需求。同时,水电机组在较大范围内具有较高的调节性能,根据电网运行状态承担削峰填谷、快速爬坡、备用及频率调节等任务。水库还具备一定的能量存储能力,可通过调节不同时间段的发电流量,实现水能在时间尺度上的转移,在低负荷或新能源高出力时减少发电量,在负荷高峰或新能源低出力时增加出力。因此,通过水电将有效弥补风电、光伏出力波动带来的功率缺口,改善系统灵活性、安全性、稳定性^[9]。

2.2 水电参与调峰的主要运行方式

水电参与电力系统调峰主要基于系统负荷变化、新能源出力水平、电网实时调度需求,做出机组出力的动态调整。在系统负荷较低、风电、光伏出力较高的时间段,水电机组可通过降低发电功率、减少开机台数等方式,为新能源提供并网消纳空间,同时通过水库调节能力完成蓄水。当系统进入用电高峰或新能源出力下降时,水电系统将通过提高水电机组出力、增加运行机组数量等方式补充电力系统出力需求,完成电力系统的削峰填谷需求。对于负荷短时间内快速变化的情况,水电系统还可利用爬坡能力承担电力系统快速调节需求,减少系统功率波动幅度。此外,具备较强调节能力的水电站也将承担旋转备用与应急备用功能,在出现预测偏差、机组故障等情况下及时出力。对于梯级水电站,则可通过上下游电站完成联合调节,实现水量与出力协调,改善流域整体调峰水平。

2.3 水电调峰能力的主要影响因素

水电参与系统调峰能力受当地水文条件、水库调节性能、机组运行状态、电网调度要求等多方面因素共同影响。首先,当地水文条件直接决定水电站可利用的水能资源,对于水资源丰富的地区,当地水电站具有较大的发电调节空间。其次,水库库容与调节性能决定了水电站在不同时段之间的转移能力,具备季调节或年调节的水库往往对电力系统具备更大的调峰空间。再次,水电机组的技术出力、最大出力、振动区间、启停次数、设备状态,也将影响其对电力系统的可调节范围,以及是否具备频繁调节的能力。此外,水电站水库也将承担防洪、供水、灌溉、航运、生态流量等综合利用需求,在开展水电出力调节时也应对此类需求做出考量,实现发电、安全、综合用水的多目标协调^[9]。

3 水电参与调峰运行存在的主要问题

3.1 水电与新能源协同运行程度不足

当前水电参与调峰期间,与风电、光伏等新能源系统之间的协同能力依旧略显不足。一方面,部分水电站的运行依据来自来水情况、发电计划、传统负荷变化,并未深度考虑新能源出力的波动特征,难以及时根据风光出力变化调整自身的发电计划。另一方面,新能源功率预测、水情预测、负荷预测等信息之间尚未实现联动升级,调度期间容易发生信息传递不及时、预测结果利用不足等问题,因此难以发挥水电的快速调节优势。除此之外,不同类型的电源在调度目标与运行方式上有所差异,水电不仅需要满足发电需求,还需要完成水资源的综合利用,并承担新

能源波动平抑任务,对协同运行管理工作提出了较高要求。

3.2 水电调峰潜力未得到充分发挥

虽然水电站机组启停灵活、响应速度快、调节范围宽,但现阶段水电站应有的调峰潜力尚未得到完整释放。部分水电站在这一过程中依旧使用相对固定的运行方式,机组启停与负荷分配大多基于常规发电任务进行调节,缺乏对电网峰谷变化与新能源波动的适应能力。同时,机组最小出力、振动区间、频繁启停限制、设备运行状态等因素,也将导致可用的调节空间缩小。对于梯级水电站来说,上下游水电站如果缺乏统一协调,可能发生局部水电站调节能力受限,整体水能利用不充分等问题。此外,各个地区可能受防洪、供水、生态等多重约束影响,部分水库无法完全按照电力系统需求开展灵活调度^[4]。

3.3 水电调峰运行保障机制不够完善

水电持续、稳定参与系统调峰,需要构建调度管理、市场补偿、运行支撑机制用以保障稳定性,但目前相关工作机制有待完善。首先,部分地区对水电调峰价值的量化评价不够充分,调峰、备用、快速响应等辅助服务的系统价值并未充分展现,水电企业承担频繁调节后的设备损耗与运行成本,却缺乏后续的合理补偿。其次,电网、水电站、新能源场站之间并未构建出稳定的信息共享交流机制,新能源预测结果、实时运行状态、水库调度信息之间的协同程度有待提升。再次,不同区域在辅助服务规则、调峰补偿标准、运行考核方式等方面各有差异,影响水电站参与调峰工作的积极性与稳定性。

4 新型电力系统下水电参与调峰的运行优化策略

4.1 加强水电与新能源协调运行

对于水电、风电、光伏等新能源协同程度不足的问题,应加强多电源之间的协调运行机制。首先,可根据负荷预测、新能源功率预测、水情预测结果,统筹安排水电机组运行计划,让水电出力可以基于新能源波动变化做出调节。当风电、光伏处于高出力时段,此时水电站能够适当降低水电出力或减少开机台数,为新能源并网消纳腾出空间;当新能源出力下降或用电高峰期来临,水电站可及时增加水电出力,发挥出快速爬坡与灵活调节的优势。其次,应加强电网、水电站、新能源场站之间的信息共享,提升调度指令与实际运行状态之间的契合度与时效性,结合实时运行状态滚动修正调度计划,降低新能源预测偏差对系统运行平衡性造成的影响。对于具备条件的区域,还可推动水风光一体化运行,通过统一协调不同电源的出力

过程,对不同时间尺度下的功率分配完成优化,提升新能源消纳水平以及电力系统整体运行的安全性^[5]。

4.2 深度挖掘水电机组调峰潜力

针对水电调峰能力利用不足的问题,应从机组运行、水库调度、梯级协同等方面挖掘水电的调节潜力。首先,基于不同机组的运行容量、运行效率、调节速率、安全运行区间,合理设置机组启停计划与负荷分配方式,使调节性能较高的机组优先承担快速调峰任务,并布置轮换机制,减少机组低效率或振动区间运行时长,保障设备安全、稳定的同时扩大调节范围。其次,可结合电网峰谷变化数据,动态调节水库发电计划,在满足当地防洪、供水、生态调节的基础需求上,适当提高水量的调动灵活性,在不同时段之间完成调节,将更多的发电能力集中于负荷高峰与新能源低出力时段。对于梯级水电站,应加强上下游水库间的联合调度能力,统筹水量衔接与出力安排,避免单站运行导致调节能力不足。最后,应结合水电站的机组检修计划与设备状态,合理安排备用容量,从整体层面上利用流域水电的削峰填谷、快速爬坡、应急支撑等多方面能力,让有限的水资源发挥出更高调峰作用。

4.3 完善水电参与调峰的运行保障机制

为保障水电长期稳定参与到新型电力系统调峰过程中,应进一步完善调度管理、市场补偿、技术支撑机制。首先,构建更加合理的水电调峰价值评价体系,将机组深度调峰、快速爬坡、频繁启停等服务纳入统一考量范畴,根据实际做出的贡献提供补偿,弥补设备运行损耗与人工成本,提升水电企业参与电力调峰的积极性。其次,应完善调度信息共享机制,加强电网、新能源企业、水电站之间的数据互通交流,实现负荷预测、新能源预测、水情信息、机组运行状态等数据的共享交流,为水电出力调整提供依据。同时,还应优化调峰运行考核方式,避免单纯将发电量作为运行评价依据,满足调节能力、响应速度、新能源消纳贡献等多方面需求。除此之外,明确不同主体在调峰期间的职责边界,建立更加协调的调度指令执行与反馈机制,结合辅助服务市场完善价格与补偿规则。通过制度、市场、技术支撑的协同完成,可为水电调峰能力构建稳定运行环境。

5 结语

在新型电力系统建设持续推进的发展背景下,风电、光伏等新能源装机规模不断扩大,电力系统运行的不稳定性与波动性显著增强,调峰需求也随之提高。水电具有启停快速、调节范围宽、响应速度快等特点,是支撑新能源

消纳、保障系统安全运行的重要资源。今后应加强水电与风电、光伏等新能源之间的协调运行,依托负荷预测、新能源功率预测、水情信息优化出力安排;同时,通过改进机组运行方式、强化梯级水电联合调度等方式,进一步挖掘水电调峰潜力,完善调峰补偿、信息共享、运行考核机制。

参考文献:

[1] 胡朝华,杜新伟,琚承乾等.风光对水电调峰能力的影响初探:基于调峰幅度的角度[J].水利水电技术(中英文),2024,55(S1):482-491.

[2] 谭政宇,陈仕军,黄炜斌等.基于四川水电调峰外送情景下的受端电网接纳空间分析[J].电网与清洁能源,

2020,36(12):67-74.

[3] 张程翔,刘天琪,曾雪婷.基于高比重水电调峰能力的电站优化运行策略[J].水电能源科学,2017,35(10):72-76.

[4] 张程翔,刘天琪,卜涛.风水火联合电力系统动态优化调度[J].现代电力,2017,34(4):8-14.

[5] 冯仲恺,牛文静,程春田等.水电站群联合调峰调度均匀逐步优化方法[J].中国电机工程学报,2017,37(15):4315-4323+4571.

作者简介:周容(1981.10.11),男,上海,本科,高级工程师,研究方向:可再生能源及可再生能源信息化。