

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2021.09.011

“双碳”目标下贵州电力调峰辅助服务市场 设计与实践

Design and practice of peak regulation ancillary service market in Guizhou for achieving
carbon neutrality and carbon peaking

代江,姜有泉,田年杰,赵倩,赵翔宇

DAI Jiang,JIANG Youquan,TIAN Nianjie,ZHAO Qian,ZHAO Xiangyu

(贵州电网有限责任公司电力调度控制中心,贵阳 550005)

(Electric Power Dispatching and Control Center of Guizhou Power Grid,Guiyang 550005,China)

摘要:随着贵州电网负荷特性及系统安全稳定运行要求的变化、新能源的快速发展,电力辅助服务补偿机制与电力市场化建设要求不完全相适应,通过市场化手段统筹优化贵州电力调峰资源。阐述了贵州电力调峰辅助服务市场的机制设计,从交易品种、申报模式、出清及结算机制等方面分析贵州电力调峰辅助服务市场的创新性;结合贵州电力调峰辅助服务市场运行实践情况展开研究,结果表明贵州电力调峰辅助服务市场在促进清洁能源消纳方面效果良好,可有效助力贵州电力产业持续向清洁、低碳、绿色方向优化升级,服务国家碳达峰、碳中和战略目标。

关键词:电力调峰;辅助服务;机制设计;清洁能源消纳;新能源;储能;碳中和

中图分类号:TM 73;TK 01

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2021)09-0085-06

Abstract: With the changes in Guizhou power grid load characteristics and the development of new energy, the current compensation mechanism of ancillary service in electricity market cannot satisfy the requirements of electricity market construction. The urgent contradiction has to be resolved by coordinating and optimizing the peak-regulation resources in Guizhou through marketized tools. Focusing on the mechanism design, the innovation of the peak regulation auxiliary service market in Guizhou is analyzed from its transaction varieties, application modes, clearing and settlement mechanisms. Finally, analysis is made on the operation situation of peak regulation auxiliary service market in Guizhou. It is turned out to be beneficial to promoting clean energy consumption, advancing the power supply in Guizhou to a clean, low-carbon emission and green industry, and accelerating the progress of carbon neutrality and carbon peaking.

Keywords: peak regulation; auxiliary service; mechanism design; clean energy consumption; new energy; energy storage; carbon neutrality

0 引言

近年来,贵州省新能源发电发展迅猛,截至2020年年底,贵州电网全网装机容量60.065 GW,其中水电17.204 GW,占比28.6%;风电、光伏等新能源15.321 GW,占比25.5%^[1]。随着贵州电网负荷特性和系统安全稳定运行要求的变化、新能源的快速发展,电力辅助服务补偿机制与电力市场化建设要求不完全相适应。主要表现为,在汛期和低谷时段,贵州电力系统调峰需求大幅增加,燃煤机组为给清洁能源消纳腾出空间被迫进行深度调峰,导

致利用效率降低、经营压力增大,燃煤发电企业与新能源发电企业的利益应调整优化。

为在碳达峰、碳中和目标下促进新能源消纳,进一步调动发电企业提供辅助服务的积极性,贵州省积极开展电力调峰辅助服务建设,2019年年底完成电力调峰辅助服务市场交易规则编制,2020年2月启动贵州电力调峰市场模拟运行和试运行,2021年1月,贵州电力调峰辅助服务市场开始正式投入运行,成为南方区域首个进入正式运行的电力调峰辅助服务市场^[2]。

新能源发电占比的不断提升是导致调峰问题的主要因素。文献[3]阐述了风电大规模并网对系统调峰的影响和制约。文献[4]分析影响机组深度调峰能力的因素,并提出提升深度调峰能力的方

收稿日期:2021-05-24;修回日期:2021-07-01

基金项目:贵州电网公司科技项目(066500KK52190008)

法。随着电源结构的不断变化,电网调峰的需求逐步增加,传统模式下,通过测算调峰成本制定统一补偿标准的方式难以执行,引入市场化机制是优化调峰资源的必要举措。

调峰辅助服务市场的关键是调峰市场机制设计。文献[5-10]针对电网调峰展开了大量研究,探讨了常规电源机组、储能、用户侧需求响应参与调峰的方式,为调峰市场机制的设计提供参考。文献[11]基于燃气机组出力调节迅速的特点,对其参与启停调峰和深度调峰交易方式进行设计。文献[12]依据社会福利最大化原则,提出了一种调峰交易新模式。文献[13]分析了光热电站参与电网调峰的必要性,提出了光热与风电联合的调峰策略。文献[14]重点介绍了华东电力调峰辅助服务市场设计机制,探讨了市场的出清机制、费用分摊方式以及与省级市场衔接等关键问题。文献[15]介绍了东北电网辅助服务市场的机制设计、运行实践以及存在的问题。文献[16]分析了广西电力调峰市场建设的关键问题,提出了广西电力调峰辅助市场的建设路径。

本文基于贵州电网运行物理特性和市场建设条件,从交易品种、申报模式、出清及结算机制等方面阐述贵州电力调峰辅助服务市场的机制设计,分析贵州电力调峰辅助服务市场运行实践情况,并对贵州电力辅助服务市场提供相关建议。

1 市场规则设计

贵州电力调峰辅助服务市场规则可参考《贵州电力调峰辅助服务市场交易规则(试行)》^[2]。本节简要介绍贵州电力调峰辅助服务市场规则设计要点。

1.1 市场主体

市场主体是指调峰服务提供方与调峰服务费用缴纳方。初期调峰服务提供方为纳入贵州电力电量平衡的省级及以上电力调度机构调管的燃煤机组;初期调峰服务费用缴纳方为纳入贵州电网电力电量平衡的省级及以上电力调度机构调管的燃煤、水电、风电、光伏等发电企业。

1.2 交易品种

结合贵州省电源结构与电网运行实际,初期主要开展机组深度调峰、机组启停调峰、电储能调峰交易等品种。

机组深度调峰服务指因电力系统运行需要,开机的燃煤机组主动调减出力至负荷率小于有偿调峰基准时,以机组调减出力为目标的交易。燃煤机组有偿调峰基准负荷率为其额定容量的50%,采用

分档优先出清模式,初期按运行负荷率共分为3档,各档位报价范围见表1。深度调峰容量采用“分时、分档”统计原则,以15 min为计量周期,每个计量周期燃煤机组有偿调峰基准负荷率减去机组实际出力差值的积分电量。

机组启停调峰指因电力系统运行需要,开机的燃煤机组根据交易结果及调度命令解列,并按照电力调度机构要求在10 h内按电力调度机构命令,4 h内再次启动本机组或者同一电厂内其他机组,从而为系统提供的调峰服务。机组启停调峰交易分机组报价,不同容量等级设定不同报价上限,见表2。

表1 深度调峰申报价格限价表

Tab. 1 Declared price of deep peak regulation

报价档位	机组负荷率/%	报价范围/[元·(kW·h) ⁻¹]
第1档	[40,50)	[0,0.06]
第2档	[30,40)	(0.06,0.12]
第3档	(0,30)	(0.12,0.15]

表2 启停调峰申报价格限价表

Tab. 2 Declared price of start-stop peak modulation

机组额定容量级别/MW	≤350	>350
限价/[万元·(台次) ⁻¹]	0~80	0~160

燃煤机组启停调峰供应量为机组按照交易出清结果执行调度指令提供启停调峰的次数。

电储能调峰指一定容量的蓄电储能设施通过在低谷时段吸收电能,在其他时段释放电能,从而提供调峰服务的交易^[17]。

电储能既可在发电侧,也可在负荷侧或以独立市场主体为系统提供调峰等辅助服务。电储能调峰设施在运行日低谷调峰时段严禁运行于放电模式,以其处于无有功功率交换状态作为低谷调峰期间的基本调峰辅助服务运行要求,若低谷调峰期间处于充电状态,则视为提供有偿调峰辅助服务,其报价范围为0~0.2元/(kW·h)。

1.3 交易组织

贵州电力调峰辅助服务市场中深度调峰、启停调峰、储能调峰采用“单边竞价、按需调用”模式开展。交易组织包括交易申报、调用执行2个阶段。现货市场技术支持系统建设前,深度调峰执行采用“分档排序调用”模式。

(1)交易申报。初期,采用按月申报模式,调峰服务提供方于每月25日前申报次月调峰市场交易数据;若由于突发情况需要月内修改,提交2天后生效。待市场逐步发展,现货市场建立后,再开展日前申报模式。

(2)分档排序。将处于运行状态的燃煤机组,

根据其深度调峰申报价格、机组容量等参数排序,编制形成每一档燃煤机组调用序位表,作为深度调峰调用依据。

原则上,优先按照每一档深度调峰申报价格由低到高排序;申报价格相同时,按照机组容量由低到高排序。若申报价格与机组容量均相同,则纳入同一序位。

(3)调用执行。“分档排序调用”模式下分为日前预安排和实时调用2个阶段:1)日前预安排。电力调度机构按照中长期电量安排、清洁能源消纳等有关要求,根据日前负荷预测、清洁能源功率预测等边界条件,编制次日发电计划。若在运行的燃煤机组深度调峰申报量不能满足该需求,则对启停调峰机组按照价格由低到高做预安排。若经评估燃煤机组深度调峰申报量与启停调峰申报量之和仍不能满足运行要求,则优先安排燃煤机组停机备用;2)实时调用。电力调度机构根据实际运行情况调用调峰服务,优先调用储能调峰,再根据实际情况调用深度调峰、启停调峰。

若评估发现实际运行中深度调峰申报量不能满足运行要求时,按照启停调峰机组预安排依次调用启停调峰,直至深度调峰满足运行要求。

根据实际调峰需求,按照深度调峰调用序位表中调用次序,确定该运行日实际调用的深度调峰机组。考虑当前全网燃煤机组深度调峰响应能力实际情况,原则上纳入实际调用的燃煤机组按照等负荷率原则调用。若燃煤电厂的所有机组处于同一区域电网运行,且属于同一调用序位,则可将该电厂作为一个调用对象,但所承担的总深度调峰容量需等于机组调用时所承担的深度调峰容量之和。

1.4 价格机制

初期,燃煤机组深度调峰按照其各档中实际调用燃煤机组平均申报价格结算,启停调峰按照实际调用机组的申报价结算,储能调峰按照实际调用电储能设施平均申报价格结算。

1.5 交易结算

深度调峰、启停调峰、储能调峰等纳入统一结算平衡体系,根据实际运行日各交易时段深度调峰容量、启停机台次以及成交价格等计算和统计,按月结算。

(1)深度调峰费用

$$C_t = \sum (Q_{i,t} \times P_{i,t})/10, \quad (1)$$

式中: C_t 为交易时段 t 深度调峰交易费用,万元; $Q_{i,t}$ 为交易时段 t 机组 i 的深度调峰容量,MW; $P_{i,t}$ 为交易时段 t 机组 i 的深度调峰容量成交价格,元/(kW·h)。

(2)启停调峰费用

$$C_j = \sum P_{i,j}, \quad (2)$$

式中: C_j 为第 j 次启停调峰交易费用,万元; $P_{i,j}$ 为第 j 次启停调峰机组 i 的启停调峰报价,万元/次。

(3)储能调峰费用

$$C_t = \sum (\bar{Q}_{i,t} \times P_{i,t})/10, \quad (3)$$

式中: $C_{i,t}$ 为交易时段 t 电储能设施 i 的储能调峰交易费用,万元; $\bar{Q}_{i,t}$ 为交易时段 t 电储能设施 i 的实际充电平均功率,MW。

1.6 交易费用分摊

调峰市场交易费用分摊将以市场主体交易日上网电量为基准,考虑不同电源峰谷差率进行分摊,分摊公式如下

$$R_{i,j} = \frac{Q_{i,j} \times K_{i,j}}{\sum (Q_{i,j} \times K_{i,j})} \times R_i, \quad (4)$$

式中: $R_{i,j}$ 为交易日 i 市场主体 j 在应承担调峰服务分摊金额; $Q_{i,j}$ 为交易日 i 市场主体 j 的上网电量; $K_{i,j}$ 为市场主体 j 的调峰影响系数; R_i 为交易日 i 调峰服务总费用。其中 $K_{i,j}$ 的计算公式为

$$K_{i,j} = \frac{\alpha_i}{(P_{h,j}/P_{l,j})}, \quad (5)$$

式中: α_i 为当日 i 的系统实际峰谷比; $P_{h,j}$ 为市场主体 j 当日 i 高峰时段的平均负荷; $P_{l,j}$ 为市场主体当日 i 低谷时段的平均负荷。

2 市场机制特色

贵州电力调峰辅助服务市场交易规则立足该省实际,参考国内先行地区经验,具有显著特色。

2.1 优化申报流程

申报模式上,坚持月前申报、月内调整的方式,引导市场成员按成本报价,避免初期过度价格博弈。调峰辅助服务市场初期,采用按月申报模式,调峰服务提供方于每月25日前申报次月调峰市场交易数据,旨在培养各发电企业市场意识,减轻申报压力。

各市场成员若存在突发情况需要修改申报数据的,可在月内提出修改申请。同时,调度中心结合现有的申报表和流程,开发了调峰申报模块,实现了线上办理,简化申报流程。

2.2 优化调用方式

提出“分档分批”调用方式,其特点在于按照调峰负荷率分档的调用模式基础上,每一档内按照申报价格等因素划分调用批次,针对调用率最高的第1档将47%负荷率(投油、不投油分界线)作为调用分界线,以尽可能充分利用全网燃煤机组调峰资

源,降低全网投油调峰概率。

具体实现上,承接市场交易规则,调度中心牵头编制了《贵州电力调峰辅助服务市场业务流程管理规定》《贵州电力调峰辅助服务市场调度运行管理规定》,分别用于细化业务流程和调用规则,将上述调用机制作为规程予以明确,拟于正式运行后进一步积累调用经验后正式发文施行。

2.3 合理分摊费用

提出“按日统计+调峰贡献率调整”的分摊模式,遵循“谁受益、谁分摊”的设计思路,将传统按照月度上网电量分摊的补偿费用分摊机制改为按实际调峰发生日分摊。

通过引入 $K_{i,j}$ 系数,使得分摊结果与实际调峰贡献更一致。调峰市场交易费用分摊以市场主体交易日上网电量为基准,并考虑不同电源峰谷差率进行分摊。创新提出 $K_{i,j}$ 技术指标,根据各市场成员日内峰谷平均负荷之比与系统实际峰谷比进行计算。当市场成员日内峰谷比大于系统实际峰谷比时,对系统调峰起正向调节作用,分摊费用较少,间接提升了各市场成员的调峰意愿。

3 市场运行实践

自 2020 年 3 月以来,贵州电力辅助服务市场主要开展了 3 次模拟运行和 3 次试调用,于 2021 年 1 月进入正式运行,本节主要介绍贵州电力调峰市场 3 次试调用和 1 月正式运行情况。

3.1 市场试调用情况

自 2020 年 7 月贵州电力调峰辅助服务市场转入试运行以来,在全网燃煤电厂积极配合下,各项工作有序开展,于 2020 年 10 月 17 日、24 日、25 日开展了 3 次试调用。

(1)申报情况。在 2020 年 10 月的申报结果中,第 1 批次共有 27 台机组参与申报;第 2、3 批次各 18 台,第 4 批次 14 台,第 5 批次 2 台,特殊批次有 1 台机组参与申报。全网申报最大调峰容量达 2 881 MW。

(2)调用情况。3 次试调用时间段分别为 17 日 00:00—08:15,24 日 00:30—07:30,25 日 00:15—07:00。其中,17 日中调直调火电机组 3 个批次最低曾深调至 40%;24—25 日,中调直调火电机组第 1 批次、第 2 批次最低曾深调至 40%,第 3 批次最低曾深调至 47%。

(3)费用结算情况。在燃煤机组补偿方面,第 1—3 批次机组,3 日平均补偿价格分别为 2.00 万元,1.58 万元,1.48 万元,较 2 个细则补偿分别增加 1.20 万元,9.80 万元,9.20 万元。在费用分摊方面,风电 3 日 K_i 系数分别为 4.26, 11.97,

6.34, K_i 系数越大对系统起反调峰作用越强,因此,风电分摊费用较 2 个细则分别增加 3.48 万元,9.40 万元,6.50 万元。

3.2 市场正式运行情况

2021 年 1 月,贵州电力调峰辅助服务市场正式投入运行,市场正式运行情况如下。

(1)申报情况。全网统调 64 台燃煤机组参与深度调峰价格申报,21 台机组参与启停调峰价格申报。深度调峰方面,申报以第 1 档 40%~50% 负荷率区间为主,共 64 台机组参与,平均申报价 0.054 元/(kW·h);第 2 档共 15 台机组参与,平均申报价 0.110 元/(kW·h);第 3 档共 2 台机组参与,平均申报价 0.150 元/(kW·h)。全网申报最大深度调峰容量 2 968 MW。启停调峰方面,300 MW 级共 11 台机组参与申报,平均报价为 58 万元;600 MW 级共 10 台机组参与,平均报价为 160 万元;启停调峰申报调峰容量达 9 090 MW。

(2)调用情况。因安全约束调用部分电厂深度调峰辅助服务 17 次,启停调峰辅助服务 0 次,受限电厂为盘南电厂、普安电厂、盘县电厂、盘北电厂、兴义电厂,区域内电厂平均调峰深度为 44%。

(3)费用结算情况。1 月份共开展 17 次深度调峰辅助服务调用,补偿费总计 12.70 万元。开展零次启停调峰辅助服务调用,补偿费总计为零。调峰辅助服务分摊费用总计 12.70 万元。

4 市场运行效益分析

贵州作为南方区域范围内第 1 家正式启动电力调峰辅助服务市场的省份,通过电力调峰市场建设,激发燃煤发电企业参与电力调峰的积极性和主动性,提升电力系统安全优质经济运行水平,促进贵州电力绿色高质量发展。

4.1 社会效益分析

(1)提升电网安全稳定运行水平。贵州电力辅助服务市场采用竞争方式确定电力辅助服务承担机组,鼓励储能设备、需求侧资源参与提供电力辅助服务,允许第三方参与提供电力辅助服务。通过市场手段扩大调峰容量,调动煤电企业积极性,激励清洁能源企业主动调峰,电力系统调峰能力大幅提升,为化解近年贵州省受风光等新能源快速增长、汛期降水集中因素影响产生的电网安全稳定控制问题找到了新办法,有力地提升了电力系统安全优质经济运行水平。

(2)互利共赢,实现社会公共福利最大化。合理制定规则,发挥机制作用,拓展清洁能源的消纳和发展空间,加大对传统煤电的合理补偿,在不增

加企业额外投资负担的情况下,更好地发挥市场作用。2020年,贵州省在新能源发电装机和发电量均同比增长约60%的形势下,保持“零弃水、零弃风、零弃光”,可再生能源消纳指标居全国前列。燃煤企业因提供调峰辅助服务获得较为合理的补偿,新能源企业因支付相应的补偿费用获得更多的发电空间,实现清洁能源与燃煤发电企业双赢。

(3)促进新能源绿色发展和节能减排。调峰辅助服务市场的运行,有效提升系统消纳新能源电量的能力,相较2019年,2020年贵州省燃煤机组深度调峰容量增加700 MW,启停调峰容量增加9 645 MW,清洁能源获得500 GW/h额外发电空间,相当于少烧20万t标准煤,减少CO₂、SO₂排放共20万t。

4.2 经济效益分析

(1)进一步完善发电企业的盈利模式。2020年,通过调峰辅助服务市场,约增加调峰电量500 GW·h时,清洁能源发电企业因新增发电空间多获得收益2亿元。燃煤发电企业多获得调峰补偿费用约1亿元,一定程度缓解了燃煤发电企业经营压力。

(2)激发活力,促进行业健康发展。辅助服务市场化以前,有偿调峰补偿为政府定价模式下的固定价格,且补偿标准偏低,燃煤发电企业参与调峰的积极性普遍不高。辅助服务市场建立后,采用竞价交易的方式,合理放开调峰服务的补偿价格,燃煤企业积极主动研究深度调峰措施,变“要我调峰”为“我要调峰”。辅助服务市场价格合理放开后,发电企业主动投资改造设备以便于更好提供辅助服务。目前,2家煤电拟建设电源侧储能,1家煤电拟开展灵活性改造,燃煤发电企业积极性被不断激发,为系统调峰提供了充足保障。同时,随着调峰辅助服务市场的开展,2020—2021年带动贵州省新能源领域投资年均增长40%以上,新增装机14 GW以上,按每新增1 MW带动新能源新增投资450万元测算,共创造社会效益630亿元以上。

贵州电力调峰辅助服务市场的正式运行标志着贵州电力市场改革又迈向了更坚实的一步,有效助力贵州电力产业持续向清洁、低碳、绿色方向优化升级,服务国家“碳达峰、碳中和”战略目标。

5 结束语

贵州电力调峰辅助服务市场作为南方区域首个进入正式运行的电力调峰辅助服务市场,是落实电力体制改革的重要探索,贵州电力调峰辅助服务市场利用市场化手段,根据机组报价形成排序,按需调用,以此反映机组在提供调峰服务时物理和价格上存在的强耦合性。采用“谁受益,谁分摊”的调

峰服务费用分摊原则,创新性地提出 $K_{i,j}$ 技术指标,合理分摊费用,为系统提供调峰服务的火电企业得到合理利益补偿,正向激励火电机组提供调峰辅助服务的积极性,挖掘调峰潜力,有效缓解新能源消纳困难问题,有利于保障新能源消纳,是落实“碳达峰、碳中和”能源战略的重要举措。

贵州电力调峰辅助服务仍处于发展之中,需根据贵州电力市场的实际需求,不断调整完善,针对贵州电力调峰辅助服务的发展提出以下建议。

(1)健全调峰辅助服务市场机制,激励火电企业完成灵活性改造,缓解电力系统在负荷低谷时段的调峰能力,为新能源赢得更多发电空间的同时亦能获得足额的调峰成本补偿。

(2)完善储能调峰市场交易机制,利用储能装置响应快速的特点,充分挖掘储能调峰潜力,解决当前电力市场调峰资源紧张、调峰困难等问题。

(3)探索可中断负荷参与调峰市场机制,引导公交公司、储能电站运营商、换电站、电蓄热负荷用户,利用充电立减、服务费打折等营销手段引导调峰资源,根据电网需求逐步改变用户原有充用电时间和习惯,在电网调峰困难时增加充用电功率,扩展新能源消纳空间。

参考文献:

- [1]贵州电力交易中心.2020年度贵州电力市场交易报告[R].贵阳:贵州电力交易中心,2021.
- [2]国家能源局贵州监管办公室.关于印发《贵州电力调峰辅助服务市场交易规则(试行)》《贵州电力黑启动辅助服务市场交易规则(试行)》的通知[EB/OL].(2021-03-10)[2021-05-24].<http://gzb.nea.gov.cn/article/details?id=62662020-02-28>.
- [3]张宁,周天睿,段长刚,等.大规模风电场接入对电力系统调峰的影响[J].电网技术,2010,34(1):152-158.
ZHANG Ning, ZHOU Tianrui, DUAN Changgang, et al. Impact of large-scale wind from connecting with power grid on peak load regulation demand [J]. Power System Technology, 2010, 34(1): 152-158.
- [4]齐建军,廉俊芳,赵志宏.600 MW火电机组深度调峰能力探讨与经济安全性分析[J].内蒙古电力技术,2013,31(4):51-53.
- QI Jianjun, LIAN Junfang, ZHAO Zhihong. Research on peak-load regulation of 600 MW thermal power units and its economic security analysis [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2013, 31(4): 51-53.
- [5]顾瑶琴,张蕊萍,汪宁渤,等.考虑风光互补及源荷耦合关系的高比例新能源发电调峰运行优化[J].测试科学与仪器,2019(4):379-388.

- GU Yaoqin, ZHANG Ruiping, WANG Ningbo, et al. Peak shaving operation optimization of high proportion new energy power generation considering wind-solar complementation and source-load coupling [J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2019(4):379-388.
- [6] 王京景, 吴旭, 王正风, 等. 基于多目标模糊优化的抽蓄水火电联合调峰方法[J]. 电气技术, 2019, 20(11): 34-38, 45.
- WANG Jingjing, WU Xu, WANG Zhengfeng, et al. Combined peak shaving method of pumped storage power hydro-power and thermal power based on multi-objective fuzzy optimization[J]. Electrical Engineering, 2019, 20(11): 34-38, 45.
- [7] 王雄飞, 鲁恒聪, 李根柱, 等. 泛在电力物联网背景下微网参与调峰辅助服务研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(9): 1-9.
- WANG Xiongfei, LU Hengcong, LI Genzhu, et al. Microgrid participation in peak-shaving assistant services under the background of ubiquitous power internet of things [J]. Smart Power, 2019, 47(9): 1-9.
- [8] 邹鹏, 陈启鑫, 夏清, 等. 国外电力现货市场建设的逻辑分析及对中国的启示与建议[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(13): 18-27.
- ZOU Peng, CHEN Qixin, XIA Qing, et al. Logical analysis of electricity spot market design in foreign countries and enlightenment and policy suggestions for China [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(13): 18-27.
- [9] 李嘉龙, 陈雨果, 刘思捷, 等. 考虑深度调峰的电力日前市场机制设计[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(4): 9-15.
- LI Jialong, CHEN Yuguo, LIU Sijie, et al. Design of power day ahead market mechanism considering deep peak load regulation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(4): 9-15.
- [10] 黄海煜, 熊华强, 江保锋, 等. 区域电网省间调峰辅助服务交易机制研究[J]. 智慧电力, 2020, 48(2): 119-124.
- HUANG Haiyu, XIONG Huaqiang, JIANG Baofeng, et al. Design of day-ahead trading mechanism for trans-provincial peak-shaving auxiliary service of regional power grid [J]. Smart Power, 2020, 48(2): 119-124.
- [11] 王娟娟, 吕泉, 李卫东, 等. 电力市场环境下燃气轮机调峰交易模式研究[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(1): 48-54.
- WANG Juanjuan, LYU Quan, LI Weidong, et al. Peak load regulation transaction mode for gas turbine in electricity market [J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(1): 48-54.
- [12] 梅坚, 杨立兵, 李晓刚, 等. 调峰市场效用分析与低谷调峰市场设计[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 134-138, 175.
- MEI Jian, YANG Libing, LI Xiaogang, et al. Utility analysis for peak regulation market and trading market design for peak regulation capacity in valley time [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(21): 134-138, 175.
- [13] 宋汶秦, 赵玲霞, 徐建委, 等. 光热参与电网调峰的风-光-火优化调度策略[J]. 计算机仿真, 2020, 37(11): 103-109.
- SONG Wenqin, ZHAO Lingxia, XU Jianwei, et al. A joint optimal scheduling strategy of wind-solar-thermal with concentrating solar power participating in peak load regulation of power grid [J]. Computer Simulation, 2020, 37(11): 103-109.
- [14] 胡朝阳, 毕晓亮, 王珂, 等. 促进负备用跨省调剂的华东电力调峰辅助服务市场设计[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(5): 175-182.
- HU Zhaoyang, BI Xiaoliang, WANG Ke, et al. Design of peak regulation auxiliary service market for east china power grid to promote inter-provincial sharing of negative reserve [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(5): 175-182.
- [15] 刘永奇, 张弘鹏, 李群, 等. 东北电网电力调峰辅助服务市场设计与实践[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(10): 148-154.
- LIU Yongqi, ZHANG Hongpeng, LI Qun, et al. Design and practice of peak regulation ancillary service market for northeast China power grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(10): 148-154.
- [16] 祁乐, 陈标, 江平. 广西电力调峰辅助服务市场建设路径及关键问题探讨[J]. 广西电力, 2019, 42(6): 8-12.
- QI Le, CHEN Biao, JIANG Ping. Discussion on the construction path of auxiliary service market for peak load regulation and the key issues in Guangxi [J]. Guangxi Electric Power, 2019, 42(6): 8-12.
- [17] 王金星, 张少强, 张瀚文, 等. 燃煤电厂调峰调频储能技术的研究进展[J]. 华电技术, 2020, 42(4): 64-71.
- WANG Jinxing, ZHANG Shaoqiang, ZHANG Hanwen, et al. Progress on the peak load regulation, frequency regulation and energy storage technologies for coal-fired power plants [J]. Huadian Technology, 2020, 42(4): 64-71.

(本文责编: 齐琳)

作者简介:

代江(1985—), 男, 湖北天门人, 高级工程师, 从事发电调度运行、电力市场管理工作(E-mail: 553097875@qq.com)。

姜有泉(1989—), 男, 贵州雷山人, 工程师, 从事发电调度运行、电力市场管理方面的工作。

田年杰(1976—), 男, 湖南怀化人, 高级工程师, 从事发电调度运行、电力市场管理方面的工作。

赵倩(1986—), 女, 河南濮阳人, 高级工程师, 从事发电调度运行、电力市场管理方面的工作。

赵翔宇(1989—), 男, 贵州盘州人, 高级工程师, 从事发电调度运行、电力市场管理方面的工作。