

# “双碳”目标下电力辅助服务发展方向解析

盛文

长江大学 深圳能源集团股份有限公司

DOI:10.12238/ej.v4i4.756

**[摘要]** 随着新能源大规模的并入电网,对电力系统调峰调频的要求也不断提高,新形势下如何完善电力辅助服务就变得尤为重要。本次详细介绍了我国电力辅助服务的主要内容和该项机制发展的必要性,并结合实际,对如何构建好大型企业电网的电力辅助服务市场给出了建议。随着石油、煤炭等不可再生能源的不断消耗,太阳能、风能等新能源开发利用已经成为当前经济发展关注的重点。2009年,我国光伏发电、风电装机容量仅占总装机容量的1.06%,2017年已经达到16.54%,可见在电力系统中可再生能源发电比例在迅速提升。同时,新能源井喷式发展给电力调度调峰带来了困难,这就需要电力市场辅助服务来有效应对新能源发电对电网的冲击。如今电力辅助服务不但是电力交易运营中的重要内容,而且在电力系统稳定运行中还发挥着关键作用。我国电力辅助服务市场起步较晚,大部分早期电力辅助服务是参考借鉴国外较成熟的辅助服务市场建设的经验来开展的。随着电改的不断深入,风电和光伏发电纳入补偿体系后,电力辅助服务就成为新能源补偿火力发电和水力发电的有效机制,完成了新能源对火电、水电等发电主体的补偿。

**[关键词]** “双碳”; 电力; 辅助服务

中图分类号: F416.61 文献标识码: A

## Analysis on the Development Direction of Electric Auxiliary Services under the Goal of "Double Carbon"

Wen Sheng

Yangtze University Shenzhen Energy Group Co., Ltd

**[Abstract]** With the large-scale integration of new energy into the power grid, the requirements for peak shaving and frequency modulation of power systems are also increasing, and how to improve the auxiliary power services becomes particularly important under the new situation. This paper introduces the main contents of China's electric power auxiliary service and the necessity of the development of this mechanism in detail, and gives some suggestions on how to construct the electric power auxiliary service market of large enterprise power grids combined with the actual situation. With the continuous consumption of non-renewable energy such as oil and coal, the development and utilization of new energy such as solar energy and wind energy has become the focus of current economic development. In 2009, the installed capacity of photovoltaic power generation and wind power in China only accounted for 1.06% of the total installed capacity, and reached 16.54% in 2017, which shows that the proportion of renewable energy generation in the power system is rapidly increasing. At the same time, the spurt development of new energy has brought difficulties to power dispatching and peak shaving, which requires auxiliary services in the power market to effectively cope with the impact of new energy generation on the power grid. Nowadays, power auxiliary service is not only an important part of power trading operation, but also plays a key role in the stable operation of power system. China's electric auxiliary service market started late, and most of the early electric auxiliary services were carried out by referring to the experience of foreign mature auxiliary service market construction. With the deepening of electricity reform, after wind power and photovoltaic power generation are included in the compensation system, electric auxiliary service has become an effective mechanism for new energy to compensate thermal power generation and hydropower generation, and has completed the compensation of new energy to thermal power, hydropower and other power generation entities.

**[Key words]** "double carbon"; electricity; auxiliary services

## 前言

2020年,中国提出“碳达峰”远景目标和“碳中和”远景目标,促使清洁能源在我国能源产业中的比重将持续攀升。2025至2030年,我国清洁能源装机总量预计将与火力发电装机容量持平,甚至实现反超;到2060年,清洁能源装机总量将远超碳源机组,清洁能源发电将作为社会用电需求的主要承担者。在实现“双碳”目标的背景下,风电和光伏将广泛应用于新型电力系统,逐步并入电网服务市场需求,来降低电力行业的碳排放量,但新能源的随机特性会引起供需失衡现象,进而给电网调频调峰带来二次挑战,也对火电机组灵活响应电网调度指令提出更高的要求。在电网结构发生根本性重构的过程中,对传统火力发电机组的性能要求将更加严苛,需要更加规范考核标准和补偿标准。储能融入火力发电不仅帮助电厂提升性能指标,也降低了碳排放量,有助于我国早日实现“碳中和”目标。

## 1 电力辅助服务的基本内容及必要性

结合我国大部分电网实际情况,电力辅助服务大体分为调峰、调频、无功调节、电力系统备用和黑启动这五种类型。

调峰是指在电力系统中为了维持有功功率平衡,保持系统频率稳定,改变发电机的出力以适应用电负荷的变化的一种措施。普遍的调峰机组有抽水蓄能、燃油和燃气轮机组以及部分小容量的燃煤机组。

调频是指在电力系统中随着系统频率的变化自动增减发电机组的发电出力,保持系统频率在极小范围内波动,是保证供电质量的一项重要措施。

无功调节服务主要是通过调节系统的无功功率来保证系统运行电压在合理范围内的一种手段。同时,无功调节还可以在电力系统发生故障后通过无功调节来防止系统电压崩溃。

电力系统备用主要是指在电力系统原有设备的基础增加设备容量,以能保证电力系统在电网检修、系统故障和系

统调频等环境下仍然能够保证正常的电力供应服务。主要包括检修备用容量、事故备用容量和负荷备用容量,根据设备的运行状态可分为热备用和冷备用。在调频电厂中,要留有一定的负荷备用容量,以便可以自动调整发电出力。

黑启动服务是指电力系统大面积停电后可以通过系统中具有自启动能力的发电机组来实现自动恢复的服务。通过黑启动可以迅速重新恢复电网正常供电,大幅缩短停电时间。

通过以上简单的了解,可以大致总结出电力辅助服务是指电能从发电侧输送到负荷侧过程中,为保证供电稳定、安全和可靠所采取的一些必要的辅助措施。电力辅助服务是十分必要的,尤其是在东北电网中,冬季供暖期较长,全网供热机组满负荷运行,系统调峰能力严重不足,有时会出现为保证供热质量而需要的全网机组最低技术出力比全网最小用电负荷还高的异常情况,影响了供热的可靠性。电力辅助服务可以有效解决以下两方面问题。

一方面可以有效缓解新能源机组与供热机组之间消纳的矛盾。由于太阳能、风电等固有的低电压穿越、逆调峰和无功调整的特性,就一定要有常规的机组,如火电机组、燃气机组为其调峰,以便既能同时保证系统安全稳定运行又能确保新能源发电的全额消纳。由于东北电网供暖期一般长达半年,而风力发电的高峰期又与供暖期重叠,这就给系统电力平衡提出了很大挑战,既要保证供热安全又要实现机组全方式经济运行。所以加快推进电力辅助服务机制可一定程度上减轻供热机组的调峰压力,保证机组安全平稳运行。

另一方面,电力辅助服务可以促进打造良好的电网运行环境。随着我国电力系统在西北、东北等地区的风电装机容量持续上升,电网调峰和调频的压力持续增大,但目前还没有适应风电等新能源的有关补偿机制,所以,加快完善风电等新能源的电力辅助服务就显得尤为重要,既能有效缓解新能源的消纳问题,还可以对提供辅助服务的火力发

电等常规机组给予补偿,在保证电网的安全稳定运行的同时,又促进新能源发电的发展。

## 2 国外辅助服务市场

国内调峰、调频及备用是最主要的辅助服务类型,费用占比超过90%,调峰又是其中比重最高的类型,2019年上半年我国调峰费用占总补偿费用的38.44%。调峰的本质是通过短时电力调节使发电出力跟踪负荷的变化,实现电力电量的平衡,在国外通常是通过现货市场中的实时市场或平衡机制来实现的,因此调峰在国外一般不作为辅助服务品种出现,调频则是国外主要的辅助服务类型。辅助服务费用分摊方面,不同于国内全部由发电企业承担,国外几个典型的市场中,电力用户均承担了部分或者全部辅助服务费用。

### 2.1 英国辅助服务市场

作为分散式市场模式的代表,英国电力市场体系主要包括远期合同交易、短期现货交易以及平衡机制3个部分,远期合同和短期现货交易为电能量市场,而辅助服务独立于电能量市场运行,在平衡机制中完成调配,交易品种分为调频、备用、无功调节和黑启动四大类,主要通过招标和签订双边合同的方式获取。英国电力系统辅助服务和平衡机制所产生的成本首先通过系统平衡使用费(Balancing Services Use of System, BSUoS)回收,根据每一个市场成员的相对合同约定电力曲线的偏差对整个系统带来的影响向其收费,类似于国内的偏差考核,该部分费用由发电企业和电力用户共同承担。

### 2.2 澳大利亚辅助服务市场

澳大利亚电力市场包括国家电力市场(NEM)和批发市场(WEM)两个市场,除西澳大利亚州采用批发市场外,其他州执行国家电力市场政策。

国家电力市场的辅助服务交易类型包括:频率控制、网络支持控制辅助服务,国家电力市场的能源市场运营商负责向市场参与者购买有偿辅助服务并收取辅助服务费用,其中频率控制采用招标投标方式,网络支持控制及黑启动辅助

服务签订长期协议。

批发电力市场辅助服务类型包含负荷跟踪、旋转备用、甩负荷备用、系统重新启动服务及调度支持服务,在平衡市场中通过集中竞价或双边合约的方式进行交易。澳大利亚辅助服务费用由发电企业和用户共同承担。

### 2.3 北欧辅助服务市场

北欧电力市场已由分散式逐渐过渡到集中式,形成了以现货市场为基础,辅助服务和金融市场为补充的区域电力市场。其辅助服务市场包括平衡服务产品及辅助服务其他产品,辅助服务的交易形式包括集中竞价(日前市场,小时市场,年市场等)与双边协商。其中市场化的平衡服务产品包括频率控制备用、频率恢复调频及替代备用,通过周前和日前的备用容量市场及调频市场竞价获得,辅助服务其他产品包括电压控制、黑启动等,过双边协商或公开竞标以长期合同的方式交易。辅助服务的费用由用户侧分担。

### 2.4 美国PJM辅助服务市场

美国PJM市场是典型的区域统一平衡的集中式市场,其交易形式按时限分为实时、日前及长期市场,按市场形式又分为电能市场、容量市场、辅助服务市场及金融输电权市场。PJM的辅助服务类型包括调频、备用、无功补偿和黑启动等,其中无功补偿和黑启动主要是通过签订合同或协议进行交易,备用服务在日前及实时市场中与电能联合出清,调频在实时市场中与电能联合出清。PJM将调频、备用辅助服务义务按照实际负荷量比例分配给负荷服务商(LSE),将辅助服务费用完全传导给终端用户。

以PJM的2018年电费结构为例,辅助服务占终端电费电价的1.4%,与国内辅助服务费用占比(2019年1.47%)接近,费用构成中无功服务占比最高(61%),其次是调频及黑启动服务。

## 3 国内辅助服务市场发展情况

我国辅助服务市场发展经历了无偿服务、计划补偿、市场化探索到加速市场化进程4个阶段。

### 3.1 2006年之前

2002年前,厂网不分,发电厂服从调度机构指令,无偿提供辅助服务。2002年后,厂网分离,发电厂分属不同的利益主体,提供辅助服务则需要牺牲电量,调度机构协调发电企业提供无偿辅助服务阻力增大。

### 3.2 2006年—2014年

2006年国家能源局发布的《并网发电厂辅助服务管理暂行办法》确立了以“补偿成本+合理收益”的原则对辅助服务进行补偿,标志着我国辅助服务进入了计划补偿阶段,各区域能监局纷纷出台《\*\*区域并网发电厂辅助服务管理暂行办法实施细则》和《\*\*区域发电厂并网运行管理实施细则》,也就是通常说的“两个细则”,明确补偿原则及费用分摊机制。

### 3.3 2015年—2017年

2015年3月,中发9号文《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》提出了以市场化原则“建立辅助服务分摊共享新机制”以及“完善并网发电企业辅助服务考核机制和补偿机制”的顶层设计,同年其配套文件《关于推进电力市场建设的实施意见》出台,要求建立辅助服务交易机制。在市场化方向的指导方针下,各地纷纷筹备辅助服务市场交易规则及市场运营机制,启动市场建设工作,但在实际操作层面,还是遵循各地“两个细则”来执行补偿机制。

### 3.4 2017年至今

2017年,我国第一个辅助服务市场—东北调峰辅助服务市场启动,标志着我国正式进入辅助服务市场化发展阶段。2017年11月,国家能源局发布《完善电力辅助服务补偿(市场)机制工作方案》鼓励采用竞争方式确定电力辅助服务承担机制,各区域能监局及地方能监办纷纷出台辅助服务市场交易规则及运营细则,至今为止,全国五个区域—东北、华北、华东、华中、南方均已启动或试运行辅助服务市场,27个省级电网也启动,或试运行或筹备市场建设。

经过15年的发展,我国辅助服务市场从仅限于火电企业参与服务逐步扩展到了水、风、光、核等多种能源参与,

从仅限于发电侧参与服务逐步拓展到了负荷侧、第三方独立主体例如可中断负荷、储能、虚拟电厂、电采暖、负荷聚合商等,从原来的补偿定价逐步拓展到了日前、日内、跨省、省内、集中报价、边际出清等多元化交易形式。

### 3.5 各区域辅助服务市场

根据国家能源局公布的数据,2019年上半年,全国除西藏外31个省(区、市、地区)参与电力辅助服务补偿的发电企业共4566家,装机容量共13.70亿千瓦,补偿费用共130.31亿元,同比2018年上半年,参与的发电企业增加1036家,同比增长29%;装机容量增加1.25亿千瓦,同比增长10%;补偿费用增加60.22亿元,同比增长86%;补偿费用占上网电费的比例也有显著提升,从2018年上半年的0.87%提升至1.47%,充分体现了辅助服务重要性的提升。

从电力辅助服务补偿费用的结构上看,调峰、调频及备用为最主要的服务类型,占比超过90%。以2019年上半年为例,调峰补偿费用总额50.09亿元,占总补偿费用的38.44%;调频(西北区域一次调频也计入补偿范,其调频为AGC加一次调频,其他区域调频为AGC)补偿费用总额27.01亿元,占总补偿费用的20.73%;备用补偿费用总额47.41亿元,占比36.38%;调压补偿费用5.51亿元,占比4.23%;其他补偿费用0.29亿元,占比0.22%。

从电力辅助服务补偿费用的区域分布来看,2019年上半年补偿费用最高的是3个区域依次为南方(46.4亿元)、东北(24.9亿元)和西北区域(24.2亿元),西北区域电力辅助服务补偿费用占上网电费总额比重最高,为3.27%,华中区域占比最低,为0.36%。

## 4 辅助服务解析

根据国家证监会《并网发电厂辅助服务管理暂行办法》(电监市场[2006]43号)中的定义,辅助服务是指为维护电力系统的安全稳定运行,保证电能质量,除正常电能生产、输送、使用外,由发电企业、电网企业和电力用户提供的服务,包括:一次调频、自动发电控制(AGC)、

调峰、无功调节、备用、黑启动服务等。

随着能源结构及负荷结构的发展及变化,我国辅助服务逐步拓展至围绕三大类型展开的多种服务。

#### 4.1 频率控制,即有功调节类

此类服务本质上都是通过调节有功出力,减少系统频率偏差、跟踪负荷峰谷波动或弥补可再生能源出力波动,包括调频类的一次调频、二次调频即AGC(自动发电控制),和调峰类的基本调峰、深度调峰等服务。

#### 4.2 电压控制,即无功调节类

此类服务本质上是通过向系统注入或吸收无功,减少系统电压偏差、实现系统无功平衡,包括调压类的AVC(自动电压控制),和无功调节类的基础无功调节、有偿无功调节等服务。

#### 4.3 系统恢复,即备用、黑启动类

此类服务本质上是通过预留发电容量或者发电机组提供无电源支持下的自启动服务,保障系统在故障情况下快速恢复,包括备用类的旋转备用和非旋转备用,和黑启动服务。

### 5 谁来提供辅助服务

#### 5.1 发电侧

我国目前的辅助服务主要还是由发电侧的火电厂提供,收取的服务费用占比超过80%(根据国家能源局公布的数据,2018年占比83.9%,2019年上半年占比92.5%),其次是水电站(2019年上半年占比3.3%),随着新能源并网比例提升,部分区域也把风、光伏电站纳入辅助服务供应商,费用占比均不超过1%。

#### 5.2 负荷侧

2017年3月,国家能源局发布《完善电力辅助服务补偿(市场)机制工作方案》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。部分区域也逐步尝试将负荷侧、独立第三方纳入辅助服务提供方。

以华北区域为例,2020年12月发布

将第三方独立主体纳入辅助服务提供方。华北能监局2020年11月11日印发了《第三方独立主体参与华北电力调峰辅助服务市场规则(试行,2020版)》,明确运用市场机制激励第三方独立主体提供调峰资源,充分挖掘包括分布式储能、电动汽车(充电桩、充换电站)、电采暖、虚拟电厂(可控负荷)等负荷侧调节资源以及发电侧储能在内的第三方独立主体的调峰潜力。

引入负荷侧的主要原因:以华北区域为例,近几年来,华北电网新能源装机规模迅猛增长,电网调峰压力逐渐加大,电源侧调节资源潜力挖掘进入瓶颈期,难以满足电网高峰供应和低谷调峰需求,迫切需要引入负荷侧可调节资源参与电网运行,将电网调度模式由“源随荷动”转变为“源网荷储协同互动”,通过调度负荷侧资源削峰填谷,保障电网安全、优质、高效运行。

### 6 谁来为辅助服务买单

我国目前的电力辅助服务费用主要来源于发电机组分摊费用,占比超过80%,各区域能源局均制定了明确的分摊原则,辖区内所有电厂根据此原则分担相应费用;其次来源于考核费用,即各区域能监局对辖区内并网发电厂规范运行制定了明确的细则,对不满足细则的电厂进行考核罚款,考核费用用于支付部分辅助服务费。

2017年3月,国家能源局发布《完善电力辅助服务补偿(市场)机制工作方案》提到将探索建立电力中长期交易涉及的电力用户参与电力辅助服务分担共享机制,但目前用户侧暂未承担辅助服务费用。

综上所述,随着辅助服务的市场化建设加速,其费用占上网电费的比例也在逐步提升,为参与电力市场交易的主体提供了除电能量市场以外的盈利空间,但由于涉及的类型及参与方众多,加之

各区域、各省的辅助服务市场化建设程度差别也较大,发电企业、售电公司及电力用户制定针对辅助服务市场的经营策略时,仍需结合所在区域的具体市场政策及市场规则进行。未来随着双碳目标的不断推进,风电、光伏等新能源项目将更多的参与到辅助服务的市场中来,同时伴随辅助服务市场的不断发展,市场将不断细分,市场化模式将不断成熟,电力辅助服务也将日趋完善,为安全、高效、优质、稳定的电力供应提供助力。

### [参考文献]

[1]高峰.电力现货交易对市场参与主体的影响[J].合作经济与科技,2020,(10):100-101.

[2]许喆,陈玮,丁军策,等.考虑省间差异及可再生能源优先消纳的南方区域市场主体同台竞价机制[J].供用电,2020,37(5):73-78.

[3]田琳,甘倍瑜,孙谦,等.广东电力现货市场信用风险管理[J].南方电网技术,2019,(6):9.

[4]孙晓懿.基于电力市场的汉江上游梯级水电站优化调度研究[D].西安理工大学,2008.

[5]黄毅祥,蒲勇健.售电侧改革,市场主体变化与电价红利:基于讨价还价博弈[J].管理工程学报,2020,34(3):74-82.

[6]王腾飞,王辉,冷亚军,等.计及电力保险的电力市场主体最优决策[J].电力系统自动化,2020,44(12):56-69.

[7]朱永娟,陈挺.巴西电力市场交易机制研究及对中国的启示[J].中国电力,2020,619(6):128-136.

[8]伏文瀚.电力市场营销及营销策略浅析[J].现代营销(信息版),2020,(4):251-252.

[9]宋永华,包铭磊,丁一,等.新电改下我国电力现货市场建设关键点综述及相关建议[J].中国电机工程学报,2020,645(10):128-143.