

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.022

新一轮电改下电力辅助服务市场机制及储能参与辅助服务的经济性研究

李明¹, 焦丰顺², 任畅翔¹, 赵瑞¹

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 深圳供电局有限公司, 深圳 518033)

摘要: [目的] 新能源并网的大规模提升导致电网系统调峰调频的需求增加, 如何完善电力辅助服务市场机制引起广泛关注。而且随着储能电池技术的日趋成熟及储能系统自身的优势, 储能联合其他类型能源参与辅助服务的经济效益如何成为关注热点。[方法] 重点介绍了我国电力辅助服务市场的发展历程, 并结合 2018 年上半年各区域辅助服务市场相关数据分析了不同区域参与辅助服务的特点, 对电改形势下的辅助服务市场机制作了进一步预测分析; 同时介绍了储能参与辅助服务的市场前景及补贴政策。[结果] 通过市场机制和补贴政策的梳理, 明确了储能参与辅助服务市场的巨大前景。[结论] 以火电联合储能参与 AGC 调频的实例验证了储能参与辅助服务具有良好的经济性, 为相关投资者提供决策支撑。

关键词: 辅助服务市场; 储能; 经济效益

中图分类号: TK01; F426

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)03-0132-07

China's Power Auxiliary Service Market Mechanism and the Economics of Energy Storage Systems Participating in Auxiliary Services

LI Ming¹, JIAO Fengshun², REN Changxiang¹, ZHAO Rui¹

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
2. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518033, China)

Abstract: [Objective] The large-scale integration of new energy sources has led to an increase in the demand for peaking and frequency regulation of power grid systems. How to improve the market mechanism of power-assisted services has attracted wide attention. Moreover, with the maturity of energy storage battery technology and the advantages of the energy storage system itself, how the economic benefits of energy storage and participation in auxiliary services become a hot spot. [Methods] This paper focused on the development history of China's power-assisted service market, and combined the data of regional auxiliary service market in the first half of 2018 to analyze the characteristics of auxiliary services in different regions and the trend of auxiliary service market mechanism under the situation of electricity reform; At the same time, it introduced the prospects and subsidy policies of energy storage in the auxiliary service market. [Results] Through the combing of market mechanism and subsidy policy, the huge prospects of energy storage participating in the auxiliary service market were clarified. [Conclusions] The example of thermal power combined with energy storage participating in AGC frequency modulation verified that the energy storage participation auxiliary service has good economics and provides decision support for relevant investors.

Key words: auxiliary service market; energy storage; economic benefits

随着非化石能源的不断消耗, 为实现国家能源的可持续发展, 新能源开发利用已成为关注重点。电力系统中可再生能源发电比例快速提升, 我国光伏、风电装机容量在 2009 年仅占总装机量的

收稿日期: 2019-02-28 修回日期: 2019-05-06

基金项目: 南方电网公司科技项目“资助面向城市源网荷储友好互动的虚拟电厂关键技术研究”(090000KK52180015)

1.06%, 2017年底已达到16.54%。新能源的井喷式发展给电网调峰和新能源消纳带来了困难,电力市场辅助服务及储能可有效遏制新能源发电对电网冲击及弃电率。

我国电力辅助服务市场起步较晚,许多学者借鉴国外较为成熟的辅助服务市场建设经验来设计符合本国国情的辅助服务市场。谢开、倪以信等^[1-2]对电力市场输电服务和辅助服务及其定价进行研究;陈志姚等^[3]运用保险理论对备用容量辅助服务采用分散决策方法进行研究,探讨使用户及全社会达到效益最大化的方法。随着电力辅助服务市场发展,2015年电改9号文对其提出更多要求,辅助服务市场机制不断调整完善,很多学者对不同国家电力辅助市场及交易机制设计进行研究。陈达鹏、荆朝霞^[4]对美国调频辅助服务市场调频机制进行分析;李博等^[5]研究了北欧电力市场辅助服务,介绍了北欧电力市场辅助服务的划分、规则、成本估算及跨国交易原则等问题,为我国辅助服务市场完善起到借鉴作用;杨益晟等^[6]对我国核电机组调峰辅助服务经济补偿机制进行研究。

本文主要介绍了国内外辅助服务市场发展概况、结合2018年上半年我国不同地区辅助服务补偿费用进行分析,并探讨储能参与辅助服务市场带来的经济性,以期更好地认识辅助服务未来发展。

1 国内外辅助服务市场发展概况

1.1 国外辅助服务市场概况

1) 澳大利亚电力辅助服务市场

澳大利亚电力市场分为国家电力市场和批发电力市场,除西澳大利亚州采用批发电力市场外,其他州执行国家电力市场。国家电力市场辅助服务类型包含频率控制、网络支持控制和黑启动;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。

2) 美国电力辅助服务市场

美国电力辅助服务市场有两种模式,一种是PJM市场,另一种是德州电力市场。PJM电力市场是一个集中调度的竞争性电力批发市场,辅助服务市场主要包含调频、备用、黑启动、无功电压控制、不平衡电量五种服务。德州电力市场管理由德州电力可靠性委员会负责,该机构管理竞争性电力批发市场并负责其范围内电网运行,其辅助服务产

品主要包含向上向下调频服务、响应备用服务、非旋转备用服务以及黑启动服务、电压支持和可靠性保障运行服务,后3种产品不参与辅助服务市场,通过长期合同获得。

3) 北欧电力辅助服务市场

北欧辅助服务市场包括平衡服务产品及辅助服务其他产品。平衡服务产品有频率控制备用、频率恢复备用和替代备用,其中频率控制备用包括为干扰式、普通式两个子类,频率恢复备用可分为自动式和手动式。辅助服务其他产品包括电压控制、黑启动等^[7]。

1.2 国内辅助服务市场发展概况

20世纪90年代中期,受社会经济结构及用电量等影响,我国开始借鉴西方电力市场理论建立电力市场,适合我国国情的电力市场引起许多学者研究。其中,于尔铿教授团队在1997—1998年间出版了《电力市场》专著,发表了多篇关于电力市场的学术文章,并在其中一篇文章中论述了电力市场中辅助服务的定义、分类、原则、运行模式及定价方法。随着研究的深入,新生的辅助服务市场逐步得到发展,但也面临较多困难。电力市场辅助服务可持续性关键在于对辅助服务的确定、定量方法、成本分析、付费方法等,涉及问题十分复杂。为积极推进我国辅助服务市场化建设,国家相继出台了一系列相关政策,逐步完善辅助服务的市场规则,我国电力辅助服务政策发展历史如图1所示,其中2015年10月西北能监局发布的《西北区域并网发电厂辅助服务管理实施细则》与2011年版本的文件相比,补偿力度进一步增加,主要呈现出以下特点:(1)风电、光伏发电主体纳入体系,参与补偿费用分摊;(2)补偿费用规模增长了百倍级别,辅助服务(备用、调峰)工作量大幅提高。风电光伏纳入补偿体系后,电力辅助服务成为了新能源补偿火电、水电调节电网平衡的机制桥梁,实现了新能源发电对参与调节的火电、水电发电主体的补偿,所以火电、水电参与市场调节的服务积极性获得了大幅提高。2017年开始,电力辅助服务领域的相关政策文件密集出台,根据能源局2017年11月出台的《完善电力辅助服务补偿(市场)机制工作方案》^[8],到2020年,我国电力辅助服务补偿(市场)机制将会进一步完善、调整并配合现货交易试点,开展电力辅助服务市场建设。2018年电力辅助服务将开始全

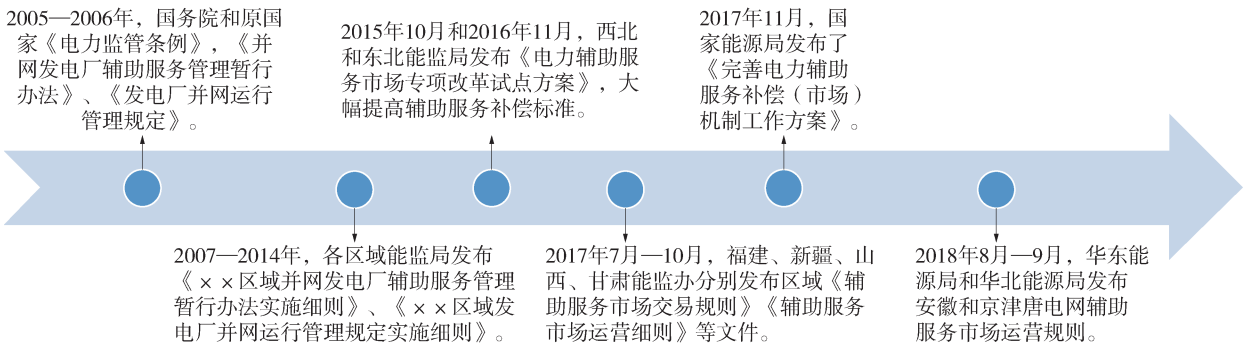


图1 我国电力辅助服务政策发展历史

Fig. 1 The development history of China power auxiliary service policies

国性的升级，补偿力度高、市场化进程大跨步加速，预计还将逐步将费用成本向电力用户疏导。2017—2020年我国辅助服务市场各个阶段工作目标如图2所示。

当前我国辅助服务市场交易产品主要以调峰服务为主，与国外成熟电力市场相比，具有鲜明的中国特色，国外成熟电力市场体系中均未设置调峰辅助服务。我国电力市场建设仍存在较多不足，如电力辅助服务产品单一、市场顶层设计缺乏国家或区域层面统一规划，未考虑各地区之间资源差异的优化、辅助服务产品设计未考虑主能量市场因素等，未来发展可借鉴国外电力市场，不断完善我国辅助服务市场建设。



图2 2017—2020年各阶段工作目标

Fig. 2 2017—2020 work objectives at each stage

2 2018年我国不同地区辅助服务结构差异^[9]

随着新能源装机规模逐年提升，新能源并网对电网冲击增大，对电网安全和平衡发用电要求也越来越高，由于我国电力系统调节能力不足，造成了

较高的弃风弃光率。按地域划分，将我国划分为六大区域，分别为华北、东北、西北、华东、华中、南方。区域特点不同，弃电问题不同，辅助服务结构也有差异。

2.1 各区域电力辅助服务结构差异

统计国内各区域各项电力辅助服务补偿费用及占比情况，如图3、表1所示。

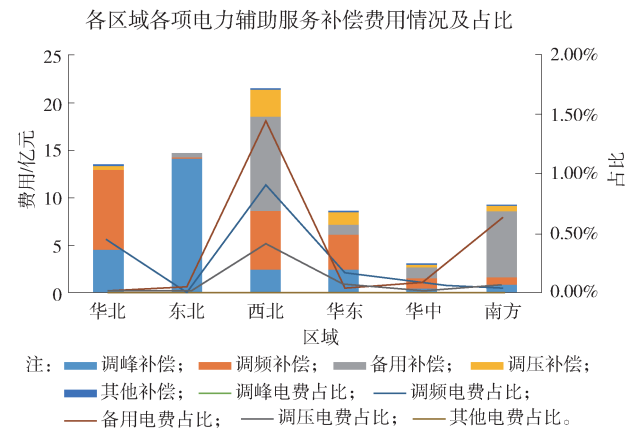


图3 不同区域辅助服务补偿费用情况

Fig. 3 Compensation fees for auxiliary services in different regions

表1 不同区域辅助服务补偿费用情况

Tab. 1 Compensation fees for auxiliary services in different regions

| 区域 | 调峰 | | 调频 | | 备用 | | 调压 | | 其他 | |
|----|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 补偿费 /万元 | 占比 /% | 补偿费 /万元 | 占比 /% | 补偿费 /万元 | 占比 /% | 补偿费 /万元 | 占比 /% | 补偿费 /万元 | 占比 /% |
| 华北 | 45 953 | 0.25 | 83 590 | 0.45 | 278 | 0.00 | 3 334 | 0.02 | 275 | 0.00 |
| 东北 | 141 437 | 1.49 | 993 | 0.01 | 4 589 | 0.05 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 西北 | 23 969 | 0.35 | 62 058 | 0.91 | 99 104 | 1.46 | 28 221 | 0.41 | 157 | 0.00 |
| 华东 | 24 893 | 0.11 | 35 887 | 0.17 | 10 803 | 0.05 | 12 968 | 0.06 | 668 | 0.00 |
| 华中 | 5 198 | 0.04 | 10 476 | 0.08 | 12 050 | 0.10 | 2 238 | 0.02 | 192 | 0.00 |
| 南方 | 8 607 | 0.03 | 8 309 | 0.04 | 69 441 | 0.63 | 4 578 | 0.07 | 395 | 0.00 |

1) 华北区域。华北区域辅助服务补偿费用主要为调频补偿费用,2018年上半年补偿费用为83 590万元,占上网电费总额的0.45%。

2) 东北区域。东北区域辅助服务补偿费用主要为调峰补偿费用,2018年上半年补偿费用为141 437万元,占上网电费总额的1.49%。东北区域调峰补偿费用较高的原因是由于供热机组比例大、供热期长、风电装机占比高。

3) 西北区域。西北区域由于光伏和风电等新能源类型丰富,在满足区内负荷的情况下外送需求较大,使得备用,调频,调峰和调压等辅助服务均占比较为均衡,体现出一种多能互补的态势。2018年上半年补偿费用最高的是备用服务,费用为99 104万元,占上网电费总额的1.46%。

4) 华东区域。华东区域由于江浙沪地区以火电为主的电源结构在消纳区外来电和可再生能源时面临的调峰压力,本地备用容量也存在部分富余,电力辅助服务补偿费用以调峰、调频补偿为主。2018年上半年补偿费用最高的是调频服务,费用为35 887万元,占上网电费总额的0.17%。

5) 华中和南方区域。华中和南方区域由于两区域内水电装机容量占比较高,备用补偿费用在本区域各项费用中为最高。2018年上半年华中区域备用补偿费用为12 050万元,占上网电费总额的0.10%;南方区域备用补偿费用为69 441万元,占上网电费总额的0.63%。

对比以上几个区域可知,我国各地区的辅助服务市场呈现明显地区差异,分别体现出了各自电力系统的特点。值得注意的是东北地区的调峰、西北地区的备用与调峰、南方地区的备用、华北与华东地区的调频辅助服务费用在各自总费用中的占比较高。总体来看,西北区域整体电力辅助服务补偿力度最大。

对比美国和英国市场,我国电力辅助服务补偿力度明显较低,如表2所示,2015年美国PJM电力市场的辅助服务费用占比电量费比例为2.5%(可再生能源装机占比为5%),同年英国这一数值高达8%(可再生能源装机占比为27%),电力辅助服务是电网稳定运行的成本,随着我国可再生能源的装机规模的扩大,电网受到的冲击将越来越多,这一成本应当进一步抬高,才能有效地刺激足够的可调用资源。

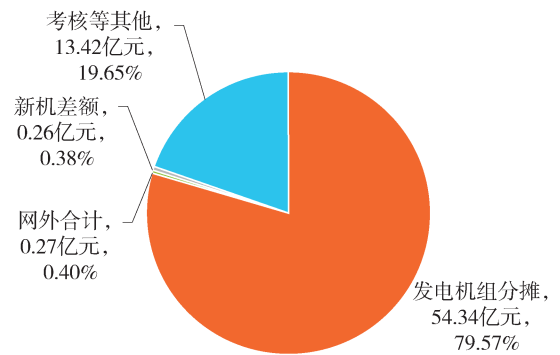
表2 国内外辅助服务补偿费用占比对比

Tab. 2 Domestic and foreign ancillary services compensation costs ratio comparison

| 地区 | 2018年上半年 |
|---------|-------------|
| 中国 | 0.71% |
| 美国PJM市场 | 2.5%(2015年) |
| 英国国家电网 | 8%(2015年) |

2.2 辅助服务补偿费用来源

电力市场辅助服务补偿费用来源主要以下四个方面:发电机组分摊、网外合计、新机差额、考核等。2018年上半年电力辅助服务补偿费用来源如图4所示,首先发电机组占比最大,为79.57%,合计分摊费用为54.34亿元,其次为考核等其他费用占比为19.65%,费用合计为13.42亿元,最后为跨省区(网外)辅助服务补偿分摊和新机差额分摊,占比分别为0.40%和0.38%。



注: ■发电机组分摊; ■网外合计; ■新机差额; ■考核等其他。

图4 电力辅助服务补偿费用来源及占比

Fig. 4 Source and proportion of compensation for power auxiliary services

从能源类型的角度来看,2018年上半年电力辅助服务补偿费用的补偿与分摊费用对比如图5所示。

目前,全国范围的风电、光伏已经被纳入到了辅助服务补偿体系内。除去光伏、风电自身需承担的考核费用外,还需要按照自身的发电量比例参与分摊辅助服务补偿费用。从实际效果上看,实现了新能源发电“购买”火电、水电等机组调峰、备用服务的效果。由图5可知火电机组补偿及分摊费用占比最高,目前辅助服务仍是以传统火电机组为主,水电机组次之。新能源发电机组中,风电机组分摊费用远高于光伏,主要由于发电装机容量以及发电

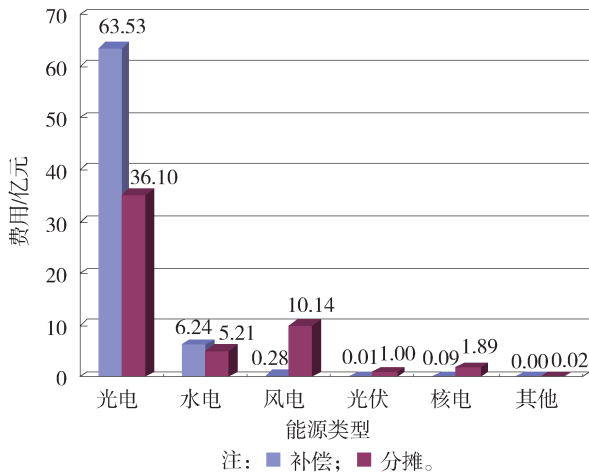


图5 2018年上半年各能源类型电力辅助服务补偿与分摊费用对比

Fig. 5 Comparison of compensation and cost sharing of power auxiliary services for various energy types in the first half of 2018

特点不同导致考核差别较大。风电机组发电装机容量较大，且白天发电低于夜晚，与负荷需求相反，因此较光伏分摊多。

3 储能参与辅助服务市场的经济性分析

3.1 储能参与辅助服务市场前景

储能在参与辅助服务市场之前，主要通过用户侧峰谷套利和基本电费节省获取收益，只有在少部分峰谷电价差的地区(如北京，江苏，广东，上海等地)才有较好的经济效益，随着各地调峰调频等辅助服务细则的逐步发布，各个地方均为储能参与电力辅助服务的具体细则进行了规定，且2019年1月和2月，南网和国网分别发布《关于促进电化学储能健康发展的指导意见》，强调推动政府主管部门将各级电力公司投资用于辅助服务的电网侧储能计入有效资产，通过输配电价疏导；用户侧和发电侧储能均可以创新商业模式，通过虚拟电厂参与需求侧响应，以独立发电厂身份参与调频调峰市场等。储能的主体地位开始被确立。目前，储能可在辅助服务市场应用的主要商业模式包括以下几类：

1) 调峰服务：南方电网专门出台了《南方区域电化学储能电站并网运行管理及辅助服务实施细则(试行)》，对2 MW/0.5 h以上的电化学储能电站的并网运行的调峰补偿给予了明确规定。江苏，福建，安徽，重庆等地明确将电化学储能作为调峰资

源纳入。

2) 调频服务：各地允许火电+储能联合运行的方式参与系统的二次调频(AGC自动发电控制)或者储能作为电网侧资源为电网提供独立调频服务，目前山西和广东建立了调频辅助服务市场，并明确规定储能可作为独立的资源参与市场竞价，提供独立服务并参与结算。

从当前的辅助服务费用分摊来看，参与辅助服务的能源类型主要包括火电、水电、风电、光伏、核电，其中火电机组补偿费用最高，但分摊费用也最高(如图5所示)，目前在辅助服务市场储能盈利主要应用项目以火电联合AGC调频、调峰等为主。火电+储能AGC联合运行的模式，主要是通过跟踪调度指令，利用储能毫秒级响应能力，精确输入输出，弥补发电机组对于调度指令的响应偏差，达到显著增强火电机组AGC调节性能的目的。如图6所示：

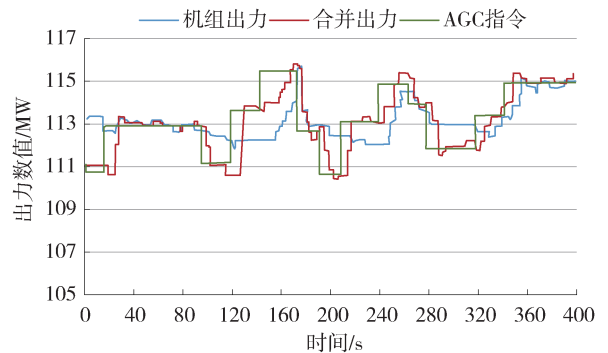


图6 火电储能联合调频效果示意图

Fig. 6 Schematic diagram of thermal power storage combined frequency modulation effect

3.2 储能参与AGC调频相关补偿政策

不同区域对AGC的调频辅助服务补偿办法不同，6大区域电网的补偿办法说明如表3所示。

表3 部分区域AGC调频辅助服务补偿办法

Tab. 3 Compensation method for AGC auxiliary service in some areas

| 区域电网 | 补偿办法 |
|------|--|
| 东北电网 | 60元/GWh，调节电量为按照调度指令增加或减少的发电量绝对值之和。 |
| 西北电网 | 1) 可调容量补偿：火电机组每月100元/GW，水电机组每月40元/GW。 2) 服务贡献量补偿：火电机组80元/GWh，水电机组每月20元/GWh。 |

表3(续) 部分区域 AGC 调频辅助服务补偿办法

Tab. 3(Cont.) Compensation method for AGC auxiliary service in some areas

| 区域电网 | 补偿办法 |
|------|---|
| 华北电网 | 1) 可用时间补偿: 10 元/h。 2) 服务贡献补偿: 日补偿费用 = $P(\text{AGC}) \times t(\text{AGC}) \times k(\text{pd}) \times Y(\text{AGC})$; 其中 $P(\text{AGC})$ 为机组 AGC 调节可用容量, 指机组 5 min 内可被调用 AGC 调节总容量; $t(\text{AGCA})$ 为机组全天 AGC 补偿计算时间; $K(\text{pd})$ 为机组当天的调节性能指标, 与调节速度、精度、响应时间有关; $Y(\text{AGC})$ 为 AGC 补偿标准, 为 30 元/MWh。 |
| 华中电网 | 50 元/MWh; 调节电量为按调度指令增加或减少的发电量绝对值之和。 |
| 华东电网 | 1) 基本补偿: 240 元/MW(华东网调管辖机组)、480 元/MW(省调管辖机组)。 2) 调用补偿: ①节能发电调度地区补偿: 增发电量 50 元/MWh, 少发电量 100 元/MWh; ②年度发电计划调度地区: 1 元/MWh(华东网调管辖机组)、50 元/MWh(省市调度管辖地区)。 |
| 南方电网 | 南方区域五省补偿标准不同, 以广东为例: 1) 里程补偿: 广东电能现货市场正式运行前, 调频里程申报价格上、下限暂定为 15 元/兆瓦、6 元/兆瓦。2018 年 9 月试运行以来, 申报价格竞争激烈, 处于快速下降的趋势, 截止 2019 年 3 月成交价格已下调至 6-8 元/兆瓦。 2) 容量补偿: 在电能现货市场启动前, 广东调频市场未中标发电单元 AGC 容量按照 3.56 元/兆瓦时、中标发电单元 AGC 容量按照 12 元/兆瓦时进行补偿。 |

4 火电 + 储能案例分析

以广东地区某电厂建设的储能项目为例, 项目投资 7 900 万元, 投资建设储能调频 18 MW/9 MWh, 采用 9 个 2 MW × 0.5 h 的储能子系统, 项目融资按照 80% 的贷款比例, 计算项目的收益情况。

4.1 项目商业模式及盈利模式

1) 商业模式。储能系统通过参与服务价值较高的电力辅助服务市场, 为电网提供备用服务, 收取容量费用及辅助服务费用等。

2) 盈利模式。一方面, 通过储能调频辅助服务功能, 提高电厂调频能力、响应速度及调频精度, 跟踪发电计划, 减少偏差考核罚款, 另一方面, 根据《南方区域并网发电厂辅助服务管理实施细则》, 通过提供辅助服务获得补偿, 同时直调储能电站按其提供的调峰服务, 可按充电电量获得 0.05 万元/MWh 的充电补偿。因此储能可在调度下可享受调频

和充电调峰服务双重收益。另外, 储能可作为电厂黑启动电源, 提供用电备用电源。

4.2 项目调频收益计算

调频收益由里程补偿和容量补偿两部分组成, 其中里程补偿是调频收益最重要的组成部分。发电单元的调频里程补偿按日统计、按月进行结算, 其月度调频里程补偿计算公式如下:

$$R_{\text{月度调频里程补偿}} = \sum_{m=1}^k (D_m \times P_m \times K_m) \quad (1)$$

式中: k 为每月调频市场总的交易周期数; D_m 为该发电单元在第 m 个交易周期提供的调频里程; P_m 为第 m 个交易周期的里程结算价格; K_m 为发电单元在第 m 个交易周期的综合调频性能指标平均值。

根据华北电网的运行情况, 参考广东省内其他火电厂的平均水平, 做如下估算:

1) 每日调节深度 D_m 取值 $250 \times 18 \text{ MW}$ 。

2) 根据 2019 年 3 月的调频市场出清价格, P_m 取值 8 元/MW。

3) 根据电化学储能站对火电厂原有 AGC 调节能力的提升, K_m 取值 2.1。

则可估算调频服务每日的收益大概为 7.56 万元; 考虑到运维检修及未被调度情况累计 60 天, 则年运行 300 天, 故年度调频总收益 2 268 万元。

4.3 项目收益

该项目的收益情况如表 4 所示。由表 4 可知, 本项目投资回收期为 5.39 年, 基准收益率达到 8%, 该项目取得较好效果。

表 4 项目收益情况

Tab. 4 Project income

| | |
|-----------------|----------|
| 净现值 NPV(税后)/万元 | 2 271.58 |
| 内部收益率 IRR(税后)/% | 9.48 |
| 投资回收期/年 | 5.39 |
| 基准收益率/% | 8.00 |

5 结论

为降低新能源的弃风、弃光率, 保障电力系统的安全稳定及用户电能质量, 电力市场辅助服务需求日益增加, 而纷繁复杂的电源结构、网架结构等推动电力辅助服务市场不断完善。本文一方面梳理了国内外辅助服务市场的发展概况, 明确了各地区的政策发展路径和发展机制, 对电改形势下的辅助

服务市场机制作了进一步预测分析;另一方面基于2018年上半年我国不同地区辅助服务补偿费用情况,分析了我国华东,华北,华中,东北,西北,南方区域的实际辅助服务市场的结构差异;并对2018—2019年最新的辅助服务市场补偿政策,梳理了储能参与辅助服务市场的前景和商业模式。最后,基于火电+储能参与AGC的调频的经济性测算实证,证明了储能参与辅助服务市场具有较好经济效益,为相关投资者提供决策支撑。

参考文献:

- [1] 谢开,于尔铿,刘广一,等. 电力市场中的输电服务(二)——辅助服务及其定价[J]. 电网技术, 1997, 21(4): 58-63.
XIE K, YU E K, LIU G Y, et al. Transmission services in electricity market (II)——ancillary services supplying and pricing [J]. Power System Technology, 1997, 21(4): 58-63.
- [2] 倪以信. 电力市场输电服务和辅助服务及其定价[J]. 电力系统自动化, 2002(16): 6-7.
NI Y X. Electricity market transmission services and ancillary services and their pricing [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002(16): 6-7.
- [3] 陈志姚,毕天姝,文福拴,等. 运用保险理论的备用容量辅助服务分散决策机理初探[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(20): 18-23+34.
CHEN Z Y, BI T S, WEN F S, et al. Discussion on decentralized ancillary services trading based on insurance theory [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(20): 18-23+34.
- [4] 陈达鹏,荆朝霞. 美国调频辅助服务市场的调频补偿机制分析[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(18): 1-9.
CHEN D P, JING Z X, et al. Analysis of frequency modulation compensation mechanism in frequency modulation ancillary service market of the United States [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(18): 1-9.
- [5] 李博,朱元成. 北欧电力市场辅助服务[J]. 中国电力, 2008, 41(4): 88-92.
LI B, ZHU Y C. Ancillary services of the Nordic electricity market [J]. Electric Power, 2008, 41(4): 88-92.
- [6] 杨益晟,张健,冯天天. 我国核电机组调峰辅助服务经济补偿机制研究[J]. 电网技术, 2017, 41(7): 2131-2138.
YANG Y S, ZHANG J, FENG T T. Study on compensation mechanism for peak-regulating ancillary service of nuclear units [J]. Power System Technology, 2017, 41(7): 2131-2138.
- [7] 何永秀,陈倩,费云志,等. 国外典型辅助服务市场产品研究及对中国的启示[J]. 电网技术, 2018, 42(9): 2915-2922.
HE Y X, CHEN Q, FEI Y Z, et al. Typical foreign ancillary service market products and enlightenment to China [J]. Power System Technology, 2018, 42(9): 2915-2922.
- [8] 国家能源局.《完善电力辅助服务补偿(市场)机制工作方案》(国能发监管[2017]67号)[EB/OL]. (2017-11-15) [2019-02-28] http://zfxgk.nea.gov.cn/auto92/201711/t20171122_3058.htm.
- [9] 国家能源局综合司.《关于2018年上半年电力辅助服务有关情况的通报》(国能综通监管[2018]135号)[EB/OL] (2018-09-13) [2019-02-28]. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto92/201810/t20181009_3253.htm.

作者简介:



LI M

李明(通信作者)

1984-, 女, 朝鲜族, 辽宁鞍山人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力技术经济咨询工作 (e-mail) liming2 @ gedi.com.cn。

焦丰顺

1984-, 男, 吉林双辽人, 高级工程师, 博士, 主要从事电网规划和能源互联网研究工作 (e-mail) 497940490@qq.com。

任畅翔

1989-, 女, 湖南益阳人, 经济师, 硕士, 主要从事电力技术经济咨询工作 (e-mail) renchangxiang@gedi.com.cn。

赵瑞

1990-, 女, 河南驻马店人, 硕士, 主要从事电力造价咨询工作 (e-mail) zhaorui@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)