

市场环境下的增量配电网运营模式及交易机制研究

马伟¹, 刘景青¹, 贺楠¹, 谢晓琳¹, 陈婧²

(1. 河北电力交易中心有限公司, 石家庄 050011;

2. 北京清能互联科技有限公司, 北京 100084)

Research on operation model and trading mechanism of incremental distribution network in electricity market

MA Wei¹, LIU Jingqing¹, HE Nan¹, XIE Xiaolin¹, CHEN Jing²

(1. Hebei Electric Power Trading Center Co., Ltd., Shijiazhuang 050011, China;

2. Beijing Tsintergy Technical Co., Ltd., Beijing 100084, China)

摘要:在我国大力推进增量配电网试点的同时,与之对应的市场化运营模式及交易机制也应协同发展。不同的角色定位对应不同的市场参与方式。首先从售电公司的角度出发,结合不同的市场背景,提出了含分布式电源(distributed generation, DG)的增量配电网购售电业务模式及交易机制。其次从负荷聚合商的角度考虑现货市场环境下用户对实时电价的敏感度,提出了增量配电网代理用户参与需求侧响应的交易机制。最后针对增量配电网发展现状及未来一体化运营模式下面临的问题,分析了主要的技术难点,为今后增量电网相关研究提供参考。

关键词:增量配电网;需求侧响应;分布式电源;市场机制;运营模式

Abstract: The market operation model and trading mechanism should be coordinated development with the pilot projects of incremental distribution network. Different market roles lead to different ways of market participation. Firstly in the view of electricity retailers and combined with the different market background, the business model and transaction mechanism of purchasing and selling electricity of incremental distribution network with distributed generation are put forward. Then, in the view of load aggregators, considering the sensitivity of consumers to the real-time electricity price in the spot market, the transaction mechanism of participating in demand response for incremental distribution network as a consumer agent is put forward. Finally, aiming at the development status of incremental distribution network and the problems coming in the future integrated operation mode, the main technical difficulties are analyzed to provide references for the future research of incremental distribution network.

Key words: incremental distribution network; demand response; distributed generation; market mechanism; operation model

0 引言

增量配电业务是本轮电力体制改革的政策产物,也是能源革命的必然产物。增量配电业务直接面向用户,可以促进供电服务与多功能互补综合能源服务的结合,使得电力消费用户直接与分布式电源联系起来,通过综合能源商的售电服务完全耦合电能的生产端和销售端,有利于我国终端能源生产消费方式的全面升级,促进供电服务创新,推动综合能源服务发展,助力现代能源体系的建设^[1-2]。

综合来看,增量配电网可在其配电区域内从事

4类业务:供电服务、售电服务、增值服务以及保底供电服务。除保底供电服务外,其他类服务都与市场化交易相关。增量配电网的发展对市场交易机制提出了新的要求,市场交易机制的完善也为增量配电网不同业务模式的实现提供了支撑。本文优先从基础业务模式出发,考虑市场发展的不同阶段及可实现程度,提出了适应增量配电网的两类市场交易机制。同时针对增量配电网的发展趋势,对未来运营模式进行了展望,并总结分析了增量配电网亟待突破的关键技术问题,为不同地区、不同市场背景的增量配电网交易提供参考。

1 购售电业务模式及交易机制

1.1 增量配电网购售电业务

增量配电网实质上是配电型售电公司,同独立

收稿日期:2020-03-26;修回日期:2020-05-24

基金项目:国家电网公司科技项目(5204HB180010)

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation(No.5204HB180010)

售电公司一样,作为发电企业和零售用户的中间环节,参与购电和售电业务。与独立售电公司相比,增量配电网的购售电业务具备以下特点:

(1) 用户资源。作为区域内唯一拥有配电网运营权的售电公司,有明显的竞争优势。

(2) 收益来源。在购售电业务模式下,增量配电网除了获得售电收益外,同时还为区内用户提供了配电服务,将获得配电收益。

(3) 便于整合分布式电源。分布式发电项目与增量配电网协同发展将成为一大趋势,对于接入增量配电网区域内的分布式发电项目,增量配电网可以整合代理参与市场,促进分布式电源的消纳。

(4) 结算业务。拥有配电网运营权的售电公司承担配电区内的结算业务。

1.2 考虑分布式电源接入的交易机制

市场环境下分布式电源既可以以独立售电模式参与市场交易,也可以通过售电公司代理参与市场交易^[3]。前者通常针对容量较大且所有者资产达标的情况,后者则针对小规模分布式电源。本文主要探讨含小规模分布式电源的增量配电网购售电交易机制,在发展初期可作为常态化的运营模式实现购售电收益。

分布式电源接入后将对增量配电网的购售电业务产生影响:第一,增量配电网要充分考虑分布式电源的消纳情况,有效提升分布式电源的利用率;第二,分布式电源的波动性将提升增量配电网交易的不确定性;第三,在现货市场环境下,价格信号将引导增量配电网调整其购电决策,反过来将影响分布式电源的实际发电安排。本文以增量配电网全量代理分布式电源为例,研究增量配电网的购售电交易机制。

1.2.1 中长期合约交易

目前我国大多数省份仅开展中长期交易,在中长期市场环境下售电公司以电量平衡为基本原则参与中长期合约交易。对含有分布式电源的增量配电网而言,不仅要考虑电力用户用电需求,还应考虑区内分布式电源的发电量

$$\sum_{i=1}^n Q_{\text{发}i} = \sum_{j=1}^m Q_{\text{用户}j} - \sum_{k=1}^w Q_{\text{分布式}k} \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{发}i}$ 为增量配电网与第 i 个常规电源签订的合约电量; $Q_{\text{用户}j}$ 为代理用户 j 的用电量需求; $Q_{\text{分布式}k}$ 为区内分布式电源 k (按投资主体划分)的预测发电量。

分布式电源出力的波动性增大了增量配电网平衡难度,增加了增量配电网的交易风险。主要体现在2个方面:其一,分布式电源预测偏小,实际多发,在考虑优先消纳分布式电源的情况下,增量配电网将面临批发侧的负偏差考核;其二,分布式电源预测偏大,实际少发,增量配电网将以更高的成

本购电,为区内用户兜底供电,存在收益风险。因此,在中长期市场环境下,为了同时保障分布式电源的消纳及增量配电网的收益,可采取“事前约定考核模式,事后优先结算”的交易机制。

事前约定考核模式是指提前约定分布式电源的发电量偏差考核模式。与火电等稳定电源的发电量偏差考核不同,分布式电源的考核应扣除天气因素的影响(分布式电源提供的发电量预测应带有天气信息),因天气突变造成的发电量偏差不计入考核范围。

事后优先结算是指分布式电源合同的结算优先级高于区外购电合同。即以代理用户抄表电量与分布式电源市场化结算电量之差为基准,参与区外批发市场结算,含分布式电源增量配电网中长期结算流程如图1所示。

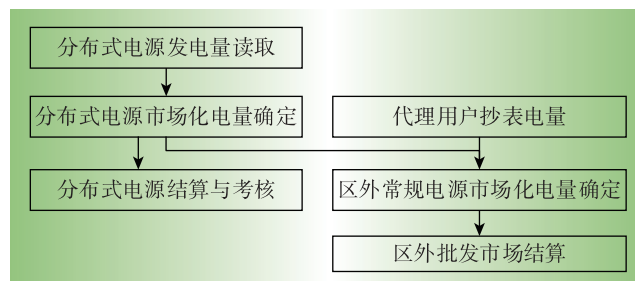


图1 含分布式电源增量配电网中长期结算流程

Fig. 1 Medium and long term settlement process of incremental distribution network with DG

1.2.2 现货市场交易

与上述中长期交易有所不同,现货市场实时的价格波动将增量配电网的购电决策延伸到日内。售电公司日购电成本 C_{IDN} 如式(2)所示

$$C_{\text{IDN}} = \sum_{t=1}^n [p_{\text{DG}} \times Q_{\text{DG}}^t + p_m^t \times (Q_L^t - Q_{\text{DG}}^t)] \quad (2)$$

式中: t 为交易时段,当市场出清频率为 15 min 时, $n=96$; p_{DG} 为分布式电源的电价,可视为定值; Q_{DG}^t 为分布式电源在 t 时段的发电量; p_m^t 为现货市场 t 时段的电价; Q_L^t 为代理用户 t 时段的用电需求。通常情况下, Q_L^t 大于 Q_{DG}^t 。为便于分析,将式(2)整理为

$$C_{\text{IDN}} = \sum_{t=1}^n [(p_{\text{DG}} - p_m^t) \times Q_{\text{DG}}^t + p_m^t \times Q_L^t] \quad (3)$$

在现货市场价格信号的驱动下,增量配电网以购电成本最小化为目标对分布式电源的发电曲线进行管理。式(3)中, $p_m^t \times Q_L^t$ 恒为非负数(不考虑负电价),当 $p_{\text{DG}} < p_m^t$ 时, Q_{DG}^t 越大, C_{IDN} 就越小;当 $p_{\text{DG}} > p_m^t$ 时, C_{IDN} 会随着 Q_{DG}^t 的增加而增大。即在现货市场环境下,分布式电源的发电曲线将随着电价的波动而变化。

波动性分布式电源在现货市场环境下“被动”出力,为避免现货电价持续低走而导致的发电收益

受损的特殊情况,分布式电源与增量配电网在签订代理合约时应约定以下3项内容:

(1) 分布式电源的月度预期发电量。该预期发电量应以当地相关资源分类、资源利用小时数及发电效率等相关参数为依据计算。

(2) 分布式电源免补偿情况。排除天气突变、分布式电源技术条件等不可控因素的影响,因以上情况而损失的发电量不予计入补偿范围。

(3) 分布式电源收益补偿方式。排除免补偿情况后,视分布式电源发电量折损情况分档进行补偿。

2 需求侧管理模式及交易机制

2.1 需求侧管理业务模式

除售电公司的角色外,增量配电网还可以作为负荷聚合商参与需求侧响应。需求侧管理业务模式如图2所示,可分为下层业务和上层业务^[4-5]。下层业务是增量配电网与用户之间的业务,是需求侧响应的基础。增量配电网需要聚合用户信息,整合需求侧资源,通过合约明确增量配电网的用电决策权及双方收益分配方式。上层业务是增量配电网与市场运营机构之间的业务,是需求侧响应实现的载体,实施方式包括双边合约及市场竞价。

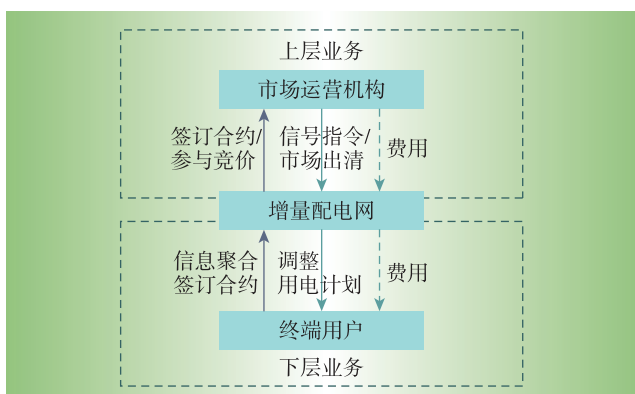


图2 需求侧响应业务模式

Fig. 2 Business modal of demand side response

增量配电网参与需求侧响应的模式及交易机制需适应相应的市场背景,特别是上层业务模式。未开展现货市场的省、区没有实时电价信号,不论是峰谷电价还是分时电价机制,本质上都是由政府定价,用户用电需求增加或减少并不影响电价,电力价格相对固定。在该背景下,需求侧响应实际是以系统供需关系为依据,开展的有计划性的用户侧用电管理。即电网企业在预测将出现短期供需不平衡(供小于需)的情况下,给用户侧发出需求响应指令,用户按照指令完成用电计划调整,事后按照约定的补偿方式得到需求响应补偿。

在增量配电网作为负荷聚合商的情况下,由增量配电网与电网企业签订需求侧响应合约,同时也要签订合约,约定补偿方式及不合格响应的惩罚。不论是第三方代理参与还是用户直接参与,基于合约的需求侧响应模式我国有一定的实际运行经验和成效^[6-8]。本文将主要研究在现货市场环境下,增量配电网以竞价的方式参与需求响应的交易机制。

2.2 实时电价下的交易机制

在现货市场环境中,实时电价的波动反映了市场供需情况,用户用电曲线的变化将直接影响电价大小。在该背景下,需求侧可通过提供负荷削减报价的方式参与现货市场出清^[9-10]。

2.2.1 负荷削减报价

负荷削减报价是指需求侧每减少一定的用电量所对应的成本。削减用电量所产生的成本包括2部分,一部分是固定成本,即为实现需求侧响应而增加的投资,如通信控制设备;一部分为机会成本。对于增量配电网而言,应综合所有用户的负荷削减成本,形成统一的负荷削减报价。

负荷削减曲线同用电需求曲线一并在日前市场完成申报。引入需求侧报价曲线后,日前电能量市场将新增一次出清流程。在不考虑需求侧响应的情况下,完成日前市场第一次出清,若出现了市场无法接受的高电价,则将负荷削减报价纳入出清模型完成第二次出清,得到正式的前发、用电计划及需求响应中标情况。增量配电网将中标的响应量分配到相关用户,相关用户再实时进行减负荷运行。考虑需求侧响应的市场组织流程如图3所示。

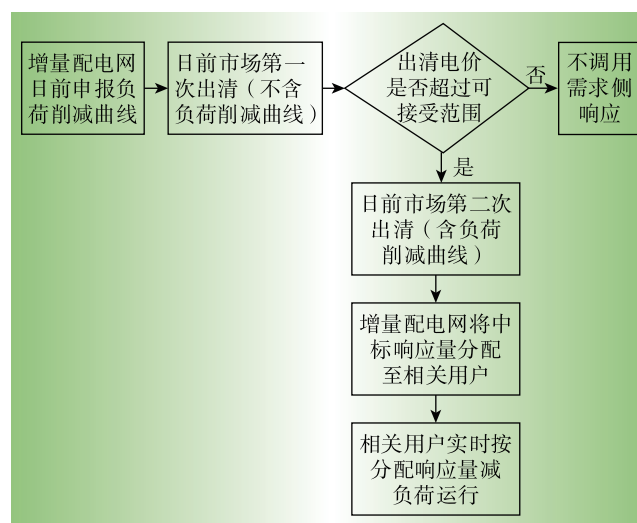


图3 考虑需求侧响应的市场组织流程

Fig. 3 Market organization process considering demand side response

在出清电价过高时调用需求侧的负荷削减报价,通过降低需求侧用电水平使得市场电价回归到

常规水平。在发电侧单边竞价的 market 环境下,仍然可以采取负荷削减报价的方式实现需求侧响应。

2.2.2 结算及收益分配

通过增量配电网代理用户以竞价的形式参与需求侧响应后,增量配电网首先与市场运营商完成结算,再与参与响应的用户完成收益分配。需求响应的结算同电能量市场结算一样,采用“日清月结”的模式。增量配电网参与需求侧响应总收益与负荷削减量、响应时长、基线负荷、出清电价等方面相关。总响应收益计算公式为

$$R_{\text{总响应收益}} = \sum_{t=1}^n (\Delta P_t \times T \times p_t) \quad (4)$$

式中: ΔP_t 为响应时段的负荷削减量,即基线负荷与实际负荷的差值; T 为响应周期时长,通常与电能量时长出清周期一致; p_t 为该响应周期内日前出清电价; t 为响应周期数。

增量配电网与用户之间的收益分配方式由双方通过代理合同约定,双方可同时约定响应考核模式,划分考核责任。

3 增量配电网运营模式展望

3.1 运营模式发展

以上2类业务模式相对简单,增量配电网面临的交易关系并不复杂,适用于市场主体的意识及技术水平尚不成熟的市场起步期。从远期规划定位来看,增量配电网将走向“源-网-荷-储”的一体化运营模式。面向区内多元化的服务关系,增量配电网将面临从单一类型资源整合到多类型资源协同调度的技术革新,增量配电网不同角色定位的技术需求如图4所示。

与此同时,随着市场环境的成熟,增量配电网可选择参与多时间周期、多品种的市场交易^[11-13]。增量配电网的交易关系、交易品种将从单一化发展到多元化,增量配电网运营模式的发展如图5所示。

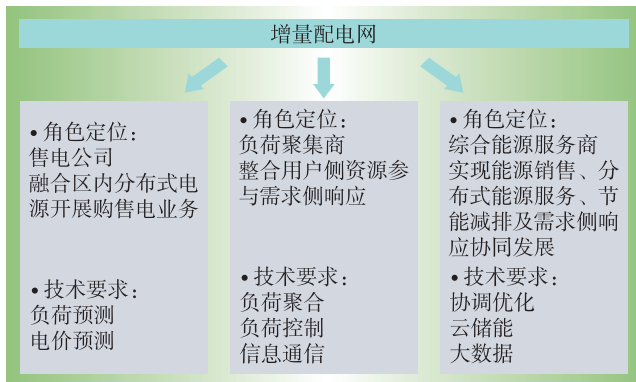


图4 增量配电网不同角色定位的技术需求

Fig. 4 Technical requirements of different role positioning in incremental distribution network

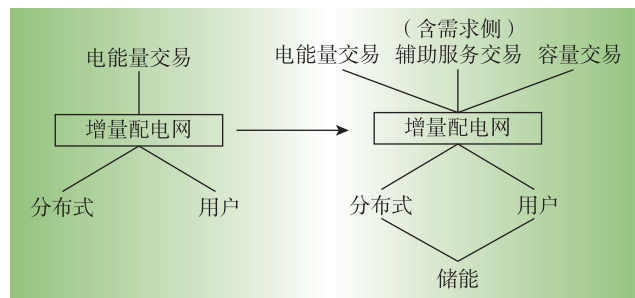


图5 增量配电网运营模式的发展

Fig. 5 Development of operation model of incremental distribution network

3.2 技术难点分析

增量配电网发展过程中需要突破的技术难点有3点。

(1) 负荷聚合与控制

负荷聚合控制技术是实现整合用户资源(特别是零售用户)、实现需求侧响应的重要技术手段。负荷聚合又分为被动聚合与主动聚合^[14],其中主动聚合可实现对负荷的优化聚合,更符合电力系统经济运行的要求。可被优化聚合的负荷类型有3类:不要求保持原有的用电曲线、可灵活调节各时段用电量的可转移负荷;具有瞬间断电特性的可中断负荷;受工作流程约束、只能将用电曲线在不同时段间平移的可平移负荷。

(2) 信息通信

信息通信是实现负荷控制的基础。对于增量配电网区域而言,通信建设的重点在用户终端设备及数据传输,其中数据传输又涉及传输协议和传输通道。在市场化的环境下,信息通信除了基本的安全性及可靠性外,传输的及时性尤为重要,而且随着数据量及传输频次的增加,对信息通信技术提出了更高的要求。

(3) 协调优化

分布式电源的接入对增量配电网而言既是机遇也是挑战^[15-16]。分布式电源出力的波动性将增加增量配电网的决策难度,且随着增量配电网运营模式的升级,将面临多类型分布式电源协同优化的问题。为了实现对区内资源的高效利用并产生相关收益,如何有效整合不同类型的分布式电源是增量配电网面临的重点及难点问题。

4 结束语

有序放开配电网业务是本次电力体制改革的一项重要举措,目前我国已经确定了4批共404个增量配电网试点。增量配电网的发展既要明确目标及定位,又应该循序渐进、逐步深入。考虑发展初期市场的可接受程度,本文基于购售电和需求侧管理2类业务模式,提出了增量配电网代理分布式电源参与

电能量市场以及代理用户参与需求侧响应的交易机制。同时对未来增量配电网运营模式的发展提出了展望。除不同业务模式下所需的技术要求外,增量配电网的发展还有2个基础性问题亟待解决。

(1) 增量配电网定价问题

配电价格的制定应保障增量配电网具备一定的盈利空间,各电压等级间价差合理,同时要避免配电网与区内用户不存在电压等级价差的问题。此外,由于我国存量电网中的输配电价包含交叉补贴,如果增量配电网价格中的交叉补贴问题处理不好,可能造成同一地区同一电压等级且同一类型的电力用户因为是否接入增量配电网而面临不同的交叉补贴额,从而影响市场的公平性。

(2) 利益分配问题

从业务发展初期的购售电交易或需求侧响应,到业务成熟期的“源-网-荷-储”一体化运营模式,增量配电网都将面临利益分配的问题,且随着参与分配方的增多,分配难度也将增加。因此在设计相应业务模式及交易机制过程中理顺相关方的利益关系十分重要。D

参考文献:

- [1] 吴俊宏. 增量配电业务在现代能源服务体系中将彰显更大价值[J]. 中国电力企业管理, 2018(7):48-50.
WU Junhong. Incremental distribution business will show greater value in the modern energy service system [J]. China Power Enterprise Management, 2018(7):48-50.
- [2] 吴涛. 增量配电业务对电力发展的作用[J]. 通信电源技术, 2018, 35(7):280-283.
WU Tao. The effect of incremental distribution service on power development [J]. Telecom Power Technologies, 2018, 35(7):280-283.
- [3] 刘海涛, 王梦真, 吴鸣, 等. 新电改背景下分布式电源典型运营模式及经营策略研究[J]. 智慧电力, 2017, 45(11):1-6.
LIU Haitao, WANG Mengzhen, WU Ming, et al. Typical operation model and marketing strategy of distributed generation under new electricity market reform [J]. Smart Power, 2017, 45(11):1-6.
- [4] 徐小涵. 需求响应集成服务商参与电力市场的运行机制研究[D]. 南京:东南大学, 2018.
XU Xiaohan. Research on operation mode and decision-making strategy for demand response aggregator in power market[D]. Nanjing:Southeast University, 2018.
- [5] 高赐威, 李倩玉, 李慧星, 等. 基于负荷聚合商业业务的需求响应资源整合方法与运营机制[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(17):78-83.
GAO Ciwei, LI Qianyu, LI Huixing, et al. Methodology and operation mechanism of demand response resources integration based on load aggregator [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(17):78-83.
- [6] 杨威, 曾智健, 陈皓勇, 等. 广东电力市场需求侧响应交易机制研究[J]. 广东电力, 2017, 30(5):25-32.
YANG Wei, ZENG Zhijian, CHEN Haoyong, et al. Research on demand response trading mechanism in Guangdong electricity market [J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(5):25-32.
- [7] 王伟, 范娟娟, 俞静, 等. 售电公司需求侧响应策略研

究[J]. 浙江电力, 2019, 38(9):16-21.

- WANG Wei, FAN Juanjuan, YU Jing, et al. Study on demand side response of electricity sales enterprises [J]. Zhejiang Electric Power, 2019, 38(9):16-21.
- [8] 何德卫, 杨威, 陈皓勇, 等. 电力市场环境下需求侧响应相关问题的探讨[J]. 智慧电力, 2018, 46(6):41-47.
HE Dewei, YANG Wei, CHEN Haoyong, et al. Discussion on demand response under electricity market environment [J]. Smart Power, 2018, 46(6):41-47.
- [9] 陈新仪, 严正, 魏学好, 等. PJM 电网需求响应模式及其启示[J]. 中国电力, 2015, 48(4):113-120.
CHEN Xinyi, YAN Zheng, WEI Xuehao, et al. Insight into demand response in PJM interconnection and its enlightenment to China [J]. Electric Power, 2015, 48(4):113-120.
- [10] 姜勇, 李婷婷, 王蓓蓓, 等. 美国需求响应参与 PJM 批发电力市场运行及对我国的启示[J]. 电力需求侧管理, 2014, 16(6):60-64.
JIANG Yong, LI Tingting, WANG Beibei, et al. The demand response to participate in the PJM wholesale electricity market operation and enlightenment to our country [J]. Power Demand Side Management, 2014, 16(6):60-64.
- [11] 文福拴, 林鸿基, 胡嘉骅. 需求响应的商业机制与市场框架初探[J]. 电力需求侧管理, 2019, 21(1):4-9.
WEN Fushuan, LIN Hongji, HU Jiahua. A preliminary investigation on commercial mechanism and market framework for demand response [J]. Power Demand Side Management, 2019, 21(1):4-9.
- [12] 沈运帷, 李扬, 高赐威, 等. 需求响应在电力辅助服务市场中的应用[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(22):151-157.
SHEN Yunwei, LI Yang, GAO Ciwei, et al. Application of demand response in ancillary service market [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(22):151-157.
- [13] 李岱霖, 熊锋俊, 杨俊华. 基于分布式发电市场化交易的工业园区增量配电网源-网-荷-储系统投资运营模式研究[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(15):22-24.
LI Dailin, XIONG Fengjun, YANG Junhua. Research on the investment and operation mode of the incremental distribution network source-load-network-storage system in industrial parks based on the market transaction of distributed generation [J]. Technology and Economic Guide, 2019, 27(15):22-24.
- [14] 孙玲玲, 高赐威, 谈健, 等. 负荷聚合技术及其应用[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(6):159-164.
SUN Lingling, GAO Ciwei, TAN Jian, et al. Load aggregation technology and its applications [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(6):159-164.
- [15] 罗琦, 宋枫. 增量配电网配电价定价机制研究[J]. 中国物价, 2018, 30(2):41-45.
LUO Qi, SONG Feng. Study on pricing mechanism of incremental distribution network [J]. China Price, 2018, 30(2):41-45.
- [16] 陈敬康, 涂圆圆. 增量配网改革试点若干建议[J]. 中国电力企业管理, 2019, 36(10):64-66.
CHEN Jingkang, TU Yuanyuan. Suggestions on the trial reform of incremental distribution network [J]. China Power Enterprise Management, 2019, 36(10):64-66.

作者简介:

马伟(1981)男, 硕士, 副高级工程师, 研究方向为电力市场、电力交易结算;

刘景青(1987), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电力市场建设、电力系统控制与运行;

贺楠(1984), 男, 本科, 副高级工程师, 研究方向为电力市场建设、电力系统控制与运行;

谢晓琳(1983)男, 本科, 副高级工程师, 研究方向为电力市场建设、电力系统控制与运行;

陈婧(1990), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为电力市场、电力交易结算。

(责任编辑 徐文红 赵雨昕)