

# 泛在电力物联网在电力市场应用中的展望

夏超鹏

(国网江苏省电力有限公司检修分公司, 江苏省 南京市 210000)

## Prospect of Ubiquitous Power Internet of Things in Electricity Market

XIA Chaopeng

(Maintenance Branch Company, State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210000, Jiangsu Province, China)

**摘要:** 随着电力体制改革的不断深化, 电力用户借助分布式发电、储能系统和电动汽车等新兴技术已经具备了参与电力交易的能力, 但传统电力系统的运行控制方式却难以适应新时代开放电力市场的需求。国家电网有限公司所提出的泛在电力物联网(ubiquitous power internet of things, UPIoT)战略可以实现电力系统各环节互连、状态全面感知和优化控制, 是建设开放电力市场的有效技术支撑。基于此, 分析了新时代电力系统发展所面临的挑战以及建设泛在电力物联网的必要性; 研究了泛在电力物联网在开放电力市场中的典型应用; 对面向电力市场的泛在电力物联网关键技术进行了讨论, 为构建现代化开放电力市场提供参考。

**关键词:** 泛在电力物联网(UPIoT); 电力市场; 优化控制; 可再生能源

**ABSTRACT:** With the deepening of power system reform, power customers have acquired the ability to participate in power trading with emerging technologies such as distributed generation, energy storage systems and electric vehicles. However, the operation and control methods of traditional power systems are difficult to adapt to the demand of open electricity market in the new era. The strategy of ubiquitous power internet of things (UPIoT) proposed by State Grid Co., Ltd. can realize the interconnection of all aspects in power system, overall state perception and optimal control, which is an effective technical support for building an open electricity market. The challenges faced by the development of power systems in the new era and the necessity of constructing UPIoT were analyzed. The typical application of UPIoT in the open electricity market was researched. Finally, the key technologies of UPIoT for the electricity market were discussed, which provide reference for constructing modern open electricity market.

**KEY WORDS:** ubiquitous power internet of things (UPIoT);

electricity market; optimal control; renewable energy

## 0 引言

电力工业市场化改革使得电力交易的方式逐步从计划模式向市场模式的方向过渡, 但是由于可再生能源、分布式发电和需求侧响应等新兴技术和机制的出现, 电力市场的发展将面临一系列新的挑战<sup>[1-6]</sup>。为应对新时代电力系统发展的挑战, 2019年1月, 国家电网有限公司工作会议上首次提出“三型两网、世界一流”的新时代战略目标<sup>[7-8]</sup>, 打造“枢纽型”、“平台型”和“共享型”企业, 建设运营坚强智能电网和泛在电力物联网, 成为我国现代电力工业发展的“航向标”。

泛在电力物联网是物联网技术在电力系统中的高级应用, 其充分融合了现代通信、大数据、云计算和人工智能等技术, 依托智能电网的基础, 构建一个万物互联和人机交互的信息物理融合系统。泛在电力物联网的建设将极大程度地提高电力系统的智能化程度, 实现电力系统运行状态全面感知, 优化配置各类资源, 灵活提供多样化服务, 为建立全球能源互联网迈下坚实的一步。

作为首次提出的现代化电网新兴理念, 泛在电力物联网受到了能源、互联网和设备制造等领域研究人员的广泛关注。目前已有许多学者对泛在电力物联网的释义<sup>[9]</sup>、实施策略<sup>[10-11]</sup>和关键技术<sup>[12-14]</sup>等内容进行了研究和展望, 讨论了泛在电力物联网在输变电设备<sup>[15-16]</sup>和智能配电网<sup>[17-19]</sup>等领域中的应用。文献[9]从物联网和泛在网络技术层面入手, 较为全面地分析了泛在电力物联网

的含义、技术要求和应用场景。文献[14]从终端层、网络层和平台层分别指出,泛在电力物联网构建过程中的关键技术主要包含物联网设备研发、通信协议、网络安全和海量数据分析及处理等。文献[15]根据输电、变电和配电设备各自的运行特点和检测需求,分别提出了泛在电力物联网在对应领域的建设方案和应用场景,分析了泛在电力物联网技术应用之后对电网运行管理和技术发展等方面带来的影响。目前,针对泛在电力物联网在电力市场中应用的研究还比较少,文献[20]提出了一种基于泛在电力物联网技术的电力市场主动服务感知共享平台的架构和设想,但对于共享平台具体运行模式和主要功能研究较少。

本文在前人研究的基础上,讨论了新时代电力系统结构的变化和存在的问题,分析了电力企业角色的转变和面临的挑战。针对泛在电力物联网在电力市场中的应用,提出了一种综合能源服务及交易平台,并讨论了该平台具备的功能和带来的经济、社会效益。最后,对面向电力市场的泛在电力物联网关键技术进行了讨论。

## 1 新时代电力工业发展所面临的挑战

### 1.1 电力系统结构的转变

随着技术的不断发展和环境问题的日益突出,当今电力系统在“发、输、配、用”等各个方面都发生了显著的变化<sup>[21-22]</sup>。其表现为:发电侧逐渐从过去的传统能源集中发电方式转变为集中式发电与分布式发电、传统能源发电与可再生能源发电并存的方式,由于发电侧出现了大量的风力和光伏等可再生能源,导致系统电源侧的随机性和可调整性受到极大的影响<sup>[23]</sup>。输电侧逐渐从过去的以超高压电网为主网架的局部互联方式转变为以特高压电网为骨干网架的广泛互联方式,大容量、远距离的特高压交直流混合输电的出现,导致系统的运行特性和稳定特性发生重大变化<sup>[24]</sup>。配电侧用户数量以及用电负荷种类的增多,导致配电网的网架结构和承载的功能正在发生改变,由于用户多样性的用能需求,配电网的角色已经由传统的单向电能提供逐渐转变为双向

能量互动。随着智能终端、分布式发电和电动汽车的普及,用电侧已经具备了一定程度的参与电网动态调整和电能供应的能力<sup>[25]</sup>,用电客户的角色界定也越来越模糊。

新时代电力系统的组成和所承载的功能已经发生了显著的转变,因电源、网架和负荷的变化而导致的系统备用容量不足、频率/电压稳定性差和谐波含量高等问题日益凸显<sup>[26]</sup>。传统电力系统调控往往采用弃风、弃光和增加备用容量等措施维持系统稳定,但这种方式会导致新能源利用率不高、投资成本过大和输电通道传输容量无法充分利用等问题,无法从根本上保证系统的安全和经济运行。因此,建设泛在电力物联网,提高电力系统全网络的智能化水平,实时感知当前电网的运行状态,优化调整系统的运行方式和精细控制各方面现有的调节容量,是适应新时代电网调控的可行方案。

### 1.2 电网公司角色的转变

伴随着电力体制改革和供给侧结构性改革的不断深化,电网公司和传统的电信运营商一样,面临着被“管道化”的可能<sup>[27-28]</sup>。过去的20年,互联网和移动通信飞速发展,然而在这个发展的风口上,不断崛起的是各大互联网公司,而提供基础服务的三大电信运营商不仅没有从中获得太多的红利,反而逐步失去了市场中的主动权。这是由于在移动通信发展初期,运营商是典型的内容提供商,其直接与客户群体联系,为客户群体提供通话和短信等业务并收取费用。然而随着互联网时代的到来,移动数据流量成为了移动通信的主角,各大运营商所能提供的服务几乎没有差异。客户对于运营商提供短信和通话服务的黏性逐渐转变为对互联网内容的黏性,导致过去运营商直接面向客户的场景转变为互联网公司直接面向客户,而运营商只提供通信“管道”的现状,如图1所示。互联网公司通过自身推出的各项服务吸引了大批客户之后,其所提供的服务将不仅仅限于这些基础业务,还可以利用大量的客户群体提供各类增值业务(如广告和理财服务等)<sup>[29-31]</sup>,并从中获得更大的利润。比较有代表性的例子包括,现在越来越多的人开始使用社交软件的音频

或者视频通话取代传统的电话和短信业务，而社交平台的作用也不仅限于社交，其还提供了公众号的推广服务、内嵌其他小程序的广告服务和电子货币的理财服务等。在这个过程中，运营商已经完全失去了市场的主动权，不仅无法获得互联网带来的红利，还需要承担基础设施建设和维护的庞大费用，因此导致运营商的利润逐年下滑。

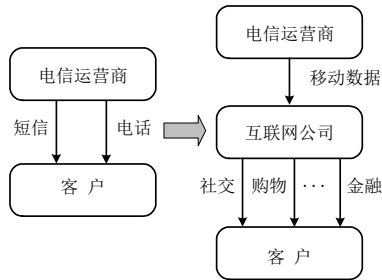


图1 电信运营商的角色转变

Fig. 1 Role change of telecom operators

从电信运营商被“管道化”的现象中不难发现，电力作为一种类似于移动数据的无差别商品，随着开放的电力市场逐步完善，如果电网公司继续坚持传统的电网建设和运营业务，就会逐步失去客户，逐渐变成成为新型能源服务提供基础支撑的“管道化”企业。因此在新时代电网公司必须改变传统的业务模式和商业模式，加快推动电网向智能化和物联网化的新阶段转型，打破传统通过购销价差获得盈利的单一模式，在万物互联的新时代积极开辟新的经营方式和发展理念。

### 1.3 发电企业角色的转变

与电网公司不同，在开放的电力市场环境下，发电企业可以成立售电公司，直接与用电客户进行交易，并具备了一定程度上的自主定价权。发电企业进入电力市场，一方面能促进企业降本增效，提高企业的经济效益；另一方面也使得企业面临市场化的挑战，增加了企业的经营风险。由于受传统垄断式的运营方式所限，发电企业对于电力市场的了解很少，在电力营销和用户侧服务方面的经验非常欠缺。如何打开售电渠道、提高企业的市场占有率是发电企业立足开放电力市场必须解决的问题。

为应对市场化所带来的机遇与挑战，首先，发电企业必须加强电力营销与宣传的力度，不断扩大自身的用户群体，充分利用信息化网络技术，

简化售电的流程，构建一条开放、便捷和实时的售电渠道。其次，为增强电力用户与发电企业产品之间的黏性，企业必须准确获取用户的用能信息和习惯，针对不同的用户群体推出精细化、个性化的服务，合理安排各种类型的优惠政策，突出企业的特点，增强核心竞争力。

## 2 泛在电力物联网在电力市场中的创新应用场景

### 2.1 综合能源服务及交易平台架构

在一个技术条件齐备和市场管理机制成熟的开放电力市场下，电力系统中的发电侧和购电侧完全市场化，人们可以灵活地参与到电力的交易中来。其中：发电侧既包含了传统的发电集团，也包含了个人的小水电、分布式新能源以及电动汽车等；而购电侧则包含了工厂等大客户以及居民等个人客户。需要注意的是，除了专门的发电集团以外，其他客户可以根据自己当前的电能需求、个人电源当前能发出的电量以及上网的实时电价，决定是从电网购电还是向电网售电。

在上述开放的电力市场下，依托泛在电力物联网构建一个综合能源服务及交易平台(以下简称“综合能源服务平台”)，并开发相应的电脑和手机客户端。所有参与电力交易的企业和个人可以通过实名制账户进入综合能源服务平台，进行实时灵活的电力交易。该综合能源服务平台的主要功能如图2所示。

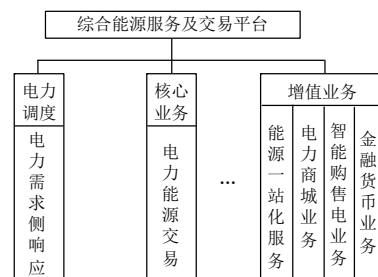


图2 综合能源服务及交易平台的主要功能

Fig. 2 Main functions of integrated energy service and trading platform

### 2.2 电力能源交易

电力能源交易是综合能源服务平台的核心业务和基础功能。所有需要参与电力能源交易的企业和个人需向有关部门及运营的电网公司提出开

户申请,获得审核批准之后,可以登录综合能源服务平台。电力能源交易业务结构如图3所示。

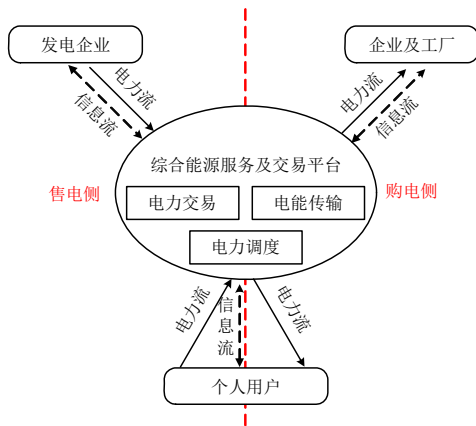


图3 电力能源交易业务结构

Fig. 3 Business structure of power energy trading

发电企业是典型的售电侧客户,其根据发电调度计划和电力需求的情况,决定当前该企业的售电电价并将这部分电能像商品一样在综合能源服务平台上“上架”。待用电客户通过综合能源服务平台买走该部分电能之后,发电企业将对应容量的电能输送上网。

大型的企业及工厂是典型的购电侧客户,其根据企业的电能需求和自身的用能特点,在综合能源服务平台上选择价格合适的售电商。与对应的售电商签订购买协议并支付费用之后,购电企业获得对应容量电能的使用权限。

个人用户在不同的场景下既可能是售电侧客户,也可能是购电侧客户。考虑当用户家庭安装有分布式小型发电及储能系统时,用户在满足自身电能需求的情况下就具备了对外售电的能力。当个人的分布式发电系统所供电能超出了目前个人所需的电能时,用户可以将这部分多余的电能定价后在综合能源服务平台上“上架”;而当分布式发电不能满足自身需求时,用户则可以在平台上向发电企业或其他个人卖家购买电能。

在此过程中,综合能源服务平台相当于为售电和购电的客户提供了一个实时交易的平台。售电侧和购电侧客户只需要在平台上完成交易,负责运营的电网公司作为中间层负责电能的传输、调度和功率平衡,并从中收取一定比例的过网费和手续费。对于发电企业,综合能源服务平台为

其提供了广大的客户群体,解决了企业的售电渠道问题并降低了市场化运营的风险。对于用电客户,综合能源服务平台为其提供了更多的选择,可以根据自身用能的特点选择最佳的售电商,从而降低自身的用电成本。另外,对于具备发电能力的用电客户,综合能源服务平台为其提供了良好的电力交易环境,有利于分布式电源广泛接入和各类能源综合利用。对于电网公司,其依托传输通道和调度管理的核心地位,拥有了综合能源服务平台的运营权,后续可在平台上继续开发高级应用,为企业发展注入新的动力。

### 2.3 电力需求侧响应

传统电力系统的频率和电压调节主要通过供给侧改变有功和无功出力的方式实现,这种传统的调节方法增大了系统的备用容量和投资成本。利用综合能源服务平台上灵活的电力交易机制,可以通过市场化的调节手段鼓励用电客户主动参与到电网的调节中,从而实现电力的需求侧响应。

在电力使用的高峰期,由于电力需求紧张,各个售商会提高电价。此时为了降低用电成本,企业和工厂会将部分耗能或者不紧急的业务推迟到用电低谷时期,而个人客户也会将部分可转移负荷(洗衣机、洗碗机和电动汽车充电等)推迟到用电低谷时期。此外,为了赚取更多的售电收益,具备发电能力的个人用户还会将储能系统和电动汽车中多余的电能反送上网进行售卖,也能在一定程度上缓解高峰时期电力紧张的程度。

而在电力使用的低谷时期,由于电价便宜,工厂和企业可进行大规模的生产。个人客户此时可以开始可转移负荷的用电,同时给自己的储能系统和电动汽车进行充电。

通过电价激励的手段,电力客户会逐渐转变自己的用电习惯,主动参与到电力系统的调节中。这不仅可以提高电力系统的稳定性,减少电力基础设施的投资,还可以在保证用户生活质量的同时,使用户从中获得一部分经济利益。

### 2.4 增值业务

#### 2.4.1 增值业务模式

增值业务是综合能源服务平台一大新的经济增长极,也是平台型业务的特有优势,其结构如

图 4 所示。现代社会每个人都需要参与到电力交易中来，因此综合能源服务平台将会成为拥有最大客户占有率的企业平台。利用如此庞大的客户群体，可以通过提供相关的高级应用和增值服务进一步挖掘综合能源服务平台的潜在价值。

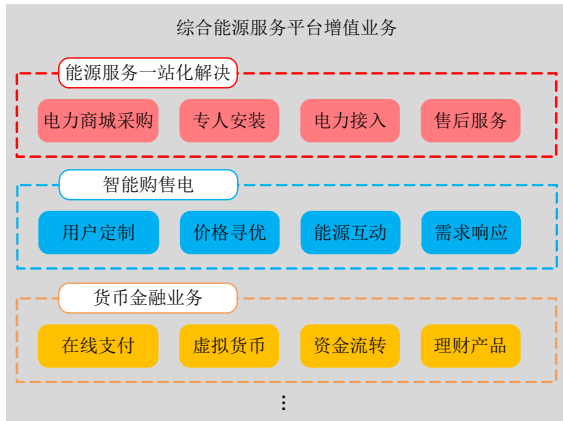


图 4 增值业务结构

Fig. 4 value-added service structure

#### 2.4.2 能源服务一站化解决

随着分布式发电和电动汽车等技术的快速发展，出于降低能源消费和提高生活质量等原因，未来有条件的客户都可以在自己的家中安装分布式发电系统以及电动汽车充放电装置，综合能源服务平台可以为客户提供从方案设计到产品选型再到施工安装的一站式综合能源解决方案。对于有相关需求的客户，可在综合能源服务平台上填报自己的需求和安装地址，之后会由专人对现场情况进行查看并出具设计方案和设备清单。客户可以在综合能源服务平台的电力商城中选购安装所需要的各类部件，付款后再由专人配送到家并负责安装。

#### 2.4.3 电力商城

以能源服务为契机，推进综合能源服务平台中电力商城业务的进一步拓宽，打造专业电力领域的网上商场。所有经过认证的国内外电力设计及设备制造的厂家，都可以在电力商场中销售电力设备及技术服务。通过在产品安装和售后服务等方面的专业优势，提高电力商城相比于其他平台的竞争力。

#### 2.4.4 智能购售电

在开放的电力市场下，电价随着时间和需求不断波动。为了提高客户用电的经济性，可以利

用大数据和优化算法为客户实时寻找最佳的购电和售电方案。当用户需要购电或者售电时，其通过在综合能源服务平台上设定某段时间之内所需交易的电量之后，智能购售电程序将在这段时间内不断寻找和预测价格最优惠的售电商进行购买，或寻找最佳的售电时间和电价进行出售。此外，在用户配备有储能系统的情况下，智能购售电业务还可以利用波动的电价，通过低价买入和高价卖出的方式获得部分利润。

#### 2.4.5 货币金融业务

为了实现综合能源服务平台上能源交易的功能，货币交易是该平台必不可少的环节。用户将自己的银行卡与个人账户绑定，并将真实货币与平台上的虚拟货币进行兑换后方可进行能源交易。由于在综合能源服务平台上任何时间都可以将虚拟货币兑换为等价的电能，实现了该平台上虚拟货币的“实体化”，保证了此虚拟货币的价值。为了鼓励用户将货币存入平台内，综合能源服务平台可以进一步开发货币基金、理财产品和股票等金融业务，将能源的平台进一步转变为金融的平台。

### 3 面向电力市场的泛在电力物联网关键技术

为构建本文所提出的综合能源服务平台的体系架构和相关功能，实现全系统能源流、信息流、业务流的一体化融合，应当在状态感知、信息交互和数据处理等各环节着重发展以下关键技术。

#### 3.1 电力物联网终端设备

智能化采集终端和用户终端是综合能源服务平台的“神经末梢”，一方面，其可以采集电力设备的状态信息和用户的用能信息等原始数据，从而准确判断当前系统的运行状态，优化系统的运行方式和潮流大小，提前发现故障隐患并评估运行的安全风险。另一方面，基于优化的运行方式，终端设备可以实时发布当前的电能需求，调整电网的拓扑结构，准确控制各电源的出力，优化调整用户的用电模式。

若要发展电力物联网智能终端设备，首先，应在当前系统已有的电压电流互感器、各类传感

器和用户侧智能电表的基础上,解决数据种类单一和信息交互能力不强的问题。其次,针对系统中新型的分布式发电单元、用户侧智能家电和电动汽车等设备,开发对应的智能传感接口设备,实现不同场景、不同设备的即插即用及能源信息双向流通的功能<sup>[32-35]</sup>。最后,由于电力设备长期运行在复杂多变的环境中,电磁场、温湿度和压力大小都会对传感器的运行产生影响。因此,电力物联网终端设备在面对复杂运行工况的情况下,应当保证多维度信息采集的精度,具备数据的初步处理和可靠性评估的能力<sup>[36]</sup>。

### 3.2 综合通信网络及信息安全

综合通信网络是综合能源服务平台的“传输媒介”,其可为设备状态信息、电力交易信息和调度控制命令等多种类型的业务提供可靠、安全的信息交互通道。

综合能源服务平台不仅涉及电力系统中设备运行的状态信息,还需要处理海量的电力客户用能信息,通信网络所覆盖的范围更广、程度更深且形式更加复杂。传统电力系统中采用的电力线载波和专用光纤通信等“点对点”的有线通信方式,存在施工复杂、投资成本高且使用环境受限的弊端,因此泛在电力物联网的通信网络应根据实际工况和经济成本等因素,灵活选择局域网、Zigbee 和 5G 等新兴的各类有线和无线通信方式进行组网<sup>[37-38]</sup>。另外,针对不同对象所使用的不同通信方式,为了保证各类设备的高效接入,需要制定泛在电力物联网专用的通信标准<sup>[39-40]</sup>,构建具备设备自识别、自动注册和跨平台信息交互的通信协议。

在泛在电力物联网的背景下,电力系统所承载的功能全且业务广,除了传统的电力流以外,大量的业务流、资金流和各类用户的私人信息都需要在通信网络中进行交互,因此信息安全对于电网安全运行的重要性不言而喻<sup>[41-42]</sup>。但由于开放性终端设备和双向数据流通的出现,以及数据通信外网与电力专用内网的并存,泛在电力物联网的信息安全问题也受到了严重的挑战。针对信息安全问题,一方面,需要建立终端设备安全防护体系,加强对接入终端设备的身份认证和访问

权限的控制<sup>[43]</sup>,过滤并拦截部分可信度较低的信息以及可能的恶意操作等。另一方面,需要对通信网络上的数据进行安全管控,通信双方可以采用数据加密技术或者安全路由技术等手段,保证数据传输过程中的安全性和完整性,确定每一条信息的合法性和真实性。

### 3.3 智能化物联网管控平台

智能化物联网管控平台是综合能源服务平台的“控制中心”,其通过对海量的状态信息进行分析和处理,从而对目前系统的运行状态做出整体的判断,并为系统的运行控制和各类用户的电力交易提供指导。

综合能源服务平台中产生的数据来源多样、格式复杂且冗余度高,虽然各类信息中所隐含的信息价值很大,但各类信息之间的关联性不直观,因此物联网管控平台必须具备数据的分类汇总、分析处理和信息挖掘的功能<sup>[44-45]</sup>。对于系统中的原始数据,首先,应对各类型的数据进行分类汇总,解决当前电力系统信息碎片化存储的问题,打破信息的孤岛,实现大数据的互联共享。其次,应用数据融合技术在冗余的数据中对同类型的数据进行分类,对有用的数据进行筛选,从而减小通信和数据存储的压力,提高数据分析的可信度。最后,针对筛选后的有效数据,应用大数据挖掘分析技术,从数据中分析得出当前电力系统的运行状态等深层次信息,并为综合能源服务平台中的电能交易、需求侧响应和智能购售电等高级应用提供支撑。

## 4 结论

对泛在电力物联网在电力市场中的具体应用进行了展望,并对关键技术的研究进行归纳总结,得出如下结论:

1) 电力系统结构和电力市场环境的变化,使得传统的运行控制方法无法保证电网的安全经济运行,继续采用传统运营模式的电力企业无法适应开放电力市场下的角色转变。大力建设泛在电力物联网是突破传统运行方式瓶颈、转变电力工业发展方向和理念的重大战略举措,也是建设全球能源互联网的必经之路。

2)基于泛在电力物联网技术所提出的综合能源服务平台是连接电力工业各个环节的关键,实现了开放电力市场下的能源交易、综合能源服务以及增值业务等多项功能,充分体现了新时代电力系统“枢纽、平台和共享”的作用,为电力工业各环节的发展提供了良好的基础。

3)为实现综合能源服务平台的体系架构和相关功能,还需要在电力物联网终端设备、综合通信网络及信息安全和智能化物联网管控平台等关键技术领域加强研究。

## 参考文献

- [1] 葛睿, 陈龙翔, 王轶禹, 等. 中国电力市场建设路径优选及设计[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 10-15.
- [2] 杨甲甲, 赵俊华, 文福拴, 等. 电力零售核心业务架构与购电决策[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(14): 10-23.
- [3] Sorin E, Bobo L, Pinson P. Consensus-based approach to peer-to-peer electricity markets with product differentiation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2018: 1-11.
- [4] 辛培哲, 蔡声霞, 邹国辉, 等. 适应经济社会发展的智能电网发展战略研究[J]. 分布式能源, 2018, 3(1): 21-27.
- [5] 陈雨果, 李嘉龙, 刘文涛, 等. 电力市场环境下发电计划关键技术综述[J]. 广东电力, 2018, 31(6): 8-13.
- [6] 曹伟, 叶桂南, 周先哲, 等. 新电改条件下电力市场需求侧响应交易机制分析[J]. 电网与清洁能源, 2019, 35(10): 50-55.
- [7] 2019 年国家电网公司全力打造“三型两网”企业 [EB/OL]. (2019-01-17)[2019-09-01]. <http://www.chinasmartgrid.com.cn/news/20190117/631711.shtml>.
- [8] 刘宏新, 江冰, 杨东伟. 全力构建泛在电力物联网[J]. 国家电网, 2019(4): 44-47.
- [9] 杨挺, 翟峰, 赵英杰, 等. 泛在电力物联网释义与研究展望[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(13): 9-20.
- [10] 陈麒宇. 泛在电力物联网实施策略研究[J]. 发电技术, 2019, 40(2): 5-12.
- [11] 曾鸣, 王雨晴, 李明珠, 等. 泛在电力物联网体系架构及实施方案初探[J]. 智慧电力, 2019, 47(4): 7-13.
- [12] 胡畔, 周鲲鹏, 王作维, 等. 泛在电力物联网发展建议及关键技术展望[J]. 湖北电力, 2019, 43(1): 1-9.
- [13] 杨东升, 王道浩, 周博文, 等. 泛在电力物联网的关键技术与应用前景[J]. 发电技术, 2019, 40(2): 13-20.
- [14] 傅质馨, 李潇逸, 袁越. 泛在电力物联网关键技术探讨[J]. 电力建设, 2019, 40(5): 5-16.
- [15] 江秀臣, 刘亚东, 傅晓飞, 等. 输配电设备泛在电力物联网建设思路与发展趋势[J]. 高电压技术, 2019, 45(5): 1345-1351.
- [16] 张彩友, 邹晖, 冯正伟, 等. 500 kV 变电站泛在电力物联网应用技术研究[J]. 浙江电力, 2019(8): 17-22.
- [17] 张亚健, 杨挺, 孟广雨. 泛在电力物联网在智能配电系统应用综述及展望[J]. 电力建设, 2019, 40(6): 1-12.
- [18] 林楚乔, 佟辉, 于温方, 等. 基于泛在电力物联网的配电网智能化状态监测与故障处理平台设计[J]. 东北电力大学学报, 2019, 39(4): 1-4.
- [19] 吕军, 盛万兴, 刘日亮, 等. 配电物联网设计与应用[J]. 高电压技术, 2019, 45(6): 1681-1688.
- [20] 刘俊, 张程, 孙鸿雁, 等. 基于泛在电力物联网的电力市场主动服务感知共享平台研究[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(7): 16-20.
- [21] 周孝信, 陈树勇, 鲁宗相, 等. 能源转型中我国新一代电力系统的技术特征[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(7): 1893-1904.
- [22] 周孝信, 陈树勇, 鲁宗相. 电网和电网技术发展的回顾与展望: 试论三代电网[J]. 中国电机工程学报, 2013, 36(22): 1-11.
- [23] Di W, Li G, Javadi M, et al. Assessing impact of renewable energy integration on system strength using site-dependent short circuit ratio[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2018, 9(3): 1072-1080.
- [24] 李明节. 大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 985-991.
- [25] Tan Z, Yang P, Nehorai A. An optimal and distributed demand response strategy with electric vehicles in the smart grid[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014, 5(2): 861-869.
- [26] 袁小明, 程时杰, 胡家兵. 电力电子化电力系统多尺度电压功角动态稳定问题[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(19): 5145-5154.
- [27] 吴翠先, 张功国, 杨映红, 等. 从网络层次架构论运营商被管道化趋势[J]. 数字通信, 2013, 40(1): 48-51.
- [28] 何叶, 张正风. 运营商避免管道化之策[J]. 通信企

- 业管理, 2013(9): 14-16.
- [29] 梁智勇, 郭紫薇. 中国新闻类 APP 的市场竞争格局及其盈利模式探讨[J]. 新闻大学, 2015(1): 112-118.
- [30] 邓维. 移动终端通讯平台盈利模式分析及改进对策研究[J]. 中外企业家, 2017(25): 112-113.
- [31] 徐琦, 杨丽萍. 微信盈利模式观察[J]. 传媒, 2014(5): 61-63.
- [32] 王洪勉, 孙慧, 郑利斌, 等. 泛在电力物联网智联单元设计与实现[J]. 供用电, 2019, 36(6): 5-9.
- [33] 彭楚宁, 罗冉冉, 王晓东. 新一代智能电能表支撑泛在电力物联网技术研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(15): 137-142.
- [34] 王继业, 李思维. 基于智能用电互动服务平台的智能家庭能效管理系统设计[J]. 电力信息化, 2012, 10(12): 25-30.
- [35] 李国武, 张雁忠, 黄巍松, 等. 基于 IEC 61850 的分布式能源智能监控终端通信模型[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(10): 13-18.
- [36] 蔡月明, 封士永, 杜红卫, 等. 面向泛在电力物联网的边缘节点感知自适应数据处理方法[J]. 高电压技术, 2019, 45(6): 1715-1722.
- [37] 王毅, 陈启鑫, 张宁, 等. 5G 通信与泛在电力物联网的融合: 应用分析与研究展望[J]. 电网技术, 2019, 43(5): 1575-1585.
- [38] 陈皓勇, 陈永波, 王晓娟, 等. 基于 LPWAN 的泛在电力物联网[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(8): 7-14.
- [39] 荆孟春, 王继业, 程志华, 等. 电力物联网传感器信息模型研究与应用[J]. 电网技术, 2014, 38(2): 532-537.
- [40] 任雁铭, 操丰梅, 唐喜, 等. 智能电网的通信技术标准化建议[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(3): 1-4.
- [41] 廖会敏, 玄佳兴, 甄平, 等. 泛在电力物联网信息安全综述[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(8): 18-23.
- [42] 殷树刚, 许勇刚, 李祉岐, 等. 基于泛在电力物联网的全场景网络安全防护体系研究[J]. 供用电, 2019, 36(6): 83-89.
- [43] 夏同飞, 秦浩, 李志, 等. 可信身份认证云服务在泛在电力物联网中的研究与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2019, 17(7): 11-15.
- [44] 张东霞, 苗新, 刘丽平, 等. 智能电网大数据技术发展研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(1): 2-12.
- [45] 宋亚奇, 周国亮, 朱永利. 智能电网大数据处理技术现状与挑战[J]. 电网技术, 2013, 37(4): 927-935.

收稿日期: 2019-11-05。

作者简介:



夏超鹏

夏超鹏(1993), 男, 硕士, 研究方向为电力市场、新能源并网控制, xcp517@163.com。

(责任编辑 尚彩娟)