

DOI:10.3969/j.issn.2097-0706.2022.02.008

# 面向零售侧的点对点交易体系:概念、国际经验 与相关启示

Peer-to-peer trading system on retail side: Concept, international experience and suggestions

尚楠, 黄国日

SHANG Nan, HUANG Guori

(南方电网能源发展研究院有限责任公司, 广州 510663)

(Energy Development Research Institute, China Southern Power Grid, Guangzhou 510663, China)

**摘要:**在落实“双碳”目标,构建以新能源为主体的新型电力系统下,供需双侧预计将面临深刻变化。一方面,风电、光伏等新能源大规模接入,新能源开发呈现集中式与分布式并举的局面;另一方面,分布式产消者不断涌现,推动全新的市场交易需求与商业模式出现。为适应新能源高效消纳、挖掘分布式电源价值、充分激发供需双方交易积极性,面向零售侧的点对点直接交易模式应运而生。提出一种面向零售侧的点对点交易体系,阐述了其概念与特征,与传统批发市场及虚拟电厂的联系与区别。通过对比分析国外面向零售侧的点对点交易的具体实践,总结了当下推进点对点交易的若干关键瓶颈问题,并从我国目前电力体制改革现状出发提出相关建议。

**关键词:**新型电力系统;零售侧;点对点交易;交易机制;分布式发电;电力体制改革;碳中和;区块链

**中图分类号:**TK 01:F 407.61 **文献标志码:**A **文章编号:**2097-0706(2022)02-0049-11

**Abstract:** The supply side and demand side of the new power system taking new energy as its main body are going through profound changes. On one hand, as large-scale renewable energy such as wind and solar power has been connected to the power system, new energy can be consumed in centralized or distributed mode. On the other hand, the emergence of mounting distributed energy prosumers is advancing the construction of new trades mechanisms and business models. To promote the consumption of renewable energies, explore the value of distributed energy sources and motivate the participators on supply and demand side, a peer-to-peer trading mode on retail side has been proposed. The corresponding concept and characteristics the trading mode, as well as its relation with and difference from traditional wholesale market and virtual power plants are illustrated. By analyzing domestic and overseas peer-to-peer trading systems, critical hinders in advancing the peer-to peer trading have been summarized. Moreover, relevant suggestions are also put forward based on the current situation of the power system reform in China.

**Keywords:** new power system; retail side; peer-to-peer trading; trade mechanism; distribution power generation; power system reform; carbon neutrality; blockchain

## 0 引言

在碳达峰、碳中和的目标愿景下,我国能源电力行业将发生深刻变化<sup>[1]</sup>。在发电侧,新能源开发呈现集中式与分布式并举的局面,分布式能源作为一种清洁、低碳、高效的能源开发和利用模式,符合我国能源绿色、低碳转型的发展方向,其就近接入、就地消纳的特点可有效减少输电网投资,降低输电损耗,提高系统整体运行效率,有利于推动以新能源为主体的新型电力系统建设<sup>[2]</sup>。我国分布式电源

发展快速,以光伏为例,2020年上半年,分布式光伏新增装机4.43 GW,占新增光伏装机的38.5%。根据《能源发展“十四五”规划》,预计2021—2025年,光伏累计装机量的年均复合增长率约为18.9%,年均新增装机67.4 GW,2025年预计累计装机达581 GW<sup>[3]</sup>。在需求侧,随着分布式屋顶光伏、电动汽车、家庭储能的发展和大规模使用,用户由单一的能源消费者逐渐转变为同时具有能源生产及消费能力的产消者<sup>[4]</sup>。截至2020年年底,国内已投运储能项目累计装机规模达35.6 GW,占全球市场总规模的18.6%,同比增长9.8%<sup>[5]</sup>;2020年,新能源汽车产销量分别为136.6万辆和136.7万辆,同比增长7.5%

收稿日期:2021-12-25;修回日期:2022-01-02

基金项目:南方电网公司管理创新项目(ZDKJXM20210056)

和 10.9%，其中纯电动汽车产销量分别完成 110.5 万辆和 111.5 万辆，同比增长 5.4% 和 11.6%<sup>[6]</sup>。

相比大容量、集中式的传统发电资源，分布式发电具有数量众多、单体规模小、电压等级低、出力波动性更大、分布零散等特点，且目前国内分布式电源市场化程度低、公共服务相对滞后，市场活力仍有待进一步激发<sup>[7]</sup>。分布式发电的固有特性决定了传统的市场化交易模式已经不再适用，以点对点交易为核心的市场体系是激活分布式电源市场活力、挖掘其商品价值的重要机制创新，对于满足用户侧差异化需求场景、高频次交易和就近用能提供了有效途径，对于促进可再生能源接近消纳具有重要意义<sup>[8]</sup>。可见，点对点交易市场预计将成为以新能源为主体的新型电力系统框架下市场体系的重要组成部分。

当前的相关研究通常将点对点交易(P2P)作为分布式交易的一种模式。文献[9]提出分布式交易模型涵盖点对点模型、微电网交易模型和群体用户模型；文献[10]提出区域自治的分散式电力市场体系包括点对点直接交易模式、通过中间商的交易模式、两者结合的交易模式；文献[11-13]认为严格意义上的点对点交易即为主体间的直接交易，无须经过第三方。当前国内外对于点对点交易的相关研究大多聚焦于概念辨析、框架机制构想等方面，对于点对点交易的具体实施及开展方式、实际运营商业模式以及如何与我国当前电力市场建设相衔接仍处于探索阶段，且目前国内也尚无成熟运作、稳定盈利的试点经验可供参考。

本文首先明确给出点对点交易的概念及特征，辨析总结其与批发市场、虚拟电厂的联系与区别；随后，深度剖析国外面向零售侧的点对点交易的运作机制及商业模式，从交易机制、定价模式、结算模式、价值定位、关键业务、盈利模式、成本支出等方面进行横向对比总结；最后立足国内电力市场化改革现状，分析当前国内开展点对点交易所面临的关键问题，并给出推进点对点交易的相关建议。

## 1 点对点交易的基本概念

### 1.1 基本概念与特征

当前，国内外针对点对点交易的相关研究主要聚焦于低压配电网或微电网内生产者、普通消费者和产消者之间，以及以独立微电网为交易主体的多微电网群的直接交易<sup>[2-3]</sup>。

基于已有研究与实践，本文给出点对点交易定义如下：点对点交易指以配电网作为主要能源交易通道，以风、光等分布式清洁能源为主，实现市场主

体就近直接交易的新模式。其主体包括但不限于配电网范围内分布式电源、分布式储能、智能楼宇等各类能源消费者、生产者和产消者，具有数量众多、分布零散、就近交易、单笔交易量小等特点。

在功能定位方面，点对点交易致力于通过在配电网层面建立灵活自治的分布式市场，为传统批发市场难以整合数量庞大且地域分布零散的分布式发电主体提供解决方案。其能够在更短的时间尺度内实现更高频次的供需双侧的有效匹配，激励分布式风电、光伏等清洁发电资源的“随取随用”，促进规模小、数量多、出力具有不确定性的分布式发电资源消纳。

### 1.2 与传统批发侧交易的区别

点对点交易是传统批发侧市场化交易的有效补充，二者之间紧密联系但又呈现不同特征，如图 1 所示。一是批发市场呈现电量交易规模大、出清方式高度集中等特征，而点对点交易主要面向小规模分布式交易主体，开展高频次、个性化、双向匹配的能源交易。二是批发市场的交易结果和价格水平，将影响到点对点交易市场的成交情况。三是在市场化环境中，售电公司、虚拟电厂、负荷聚合商等代理商在批发市场和点对点交易市场之间扮演着媒介功能，能够促进两个市场之间的协调联通。

从市场主体角度来看，普通消费者、产消者、代理商、配网运营商、交易平台扮演着不同的角色：(1)对于作为普通消费者(或产消者)的用户，一方面可以采用被售电公司等代理商代理的方式参与批发市场或点对点交易市场，此时用户只与对应的代理商有财务关系，其与批发市场或点对点交易市场的关系仅取决于代理商的决策，代理商参与批发市场的前提是其已经聚合了相当规模或数量的用户；另一方面，部分用电或容量规模较小的用户也可以直接参与点对点交易，同时交由配网运营商提供保底供电服务。(2)对于代理商，其既可以参与批发市场又可以参与点对点交易市场，但代理商在两个市场中的申报要求和基本参数(如申报节点、最小申报电量规模等)不同，代理商是将批发市场和点对点交易市场之间产生有机联系的关键主体。(3)对于配网运营商，其向配电网内的市场主体收取配网运营费用，同时承担终端保底用户的保底供电责任。(4)对于交易平台，其可根据实际需求交由配网运营商(或电网公司)运营，针对点对点交易市场设计出不同的交易、出清及结算模块。

### 1.3 与虚拟电厂的区别与联系

虚拟电厂是通过先进的计量、通信和控制等技术将分布式新能源、储能系统、可控负荷、电动汽车

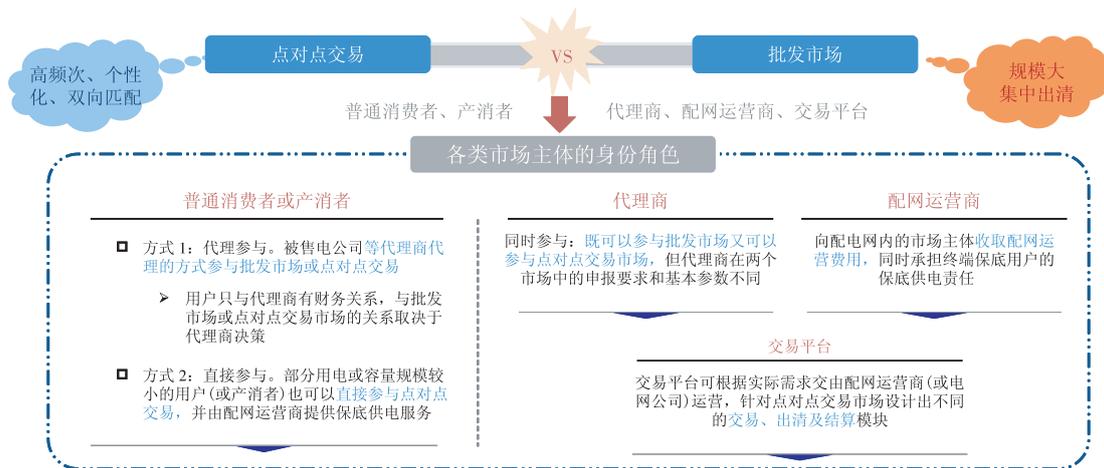


图 1 点对点交易与批发市场关系示意

Fig. 1 Relationship between peer-to-peer trading and the wholesale market

等将不同类型的分布式资源聚合起来,通过虚拟电厂智能管控运营平台,对内部灵活可调资源进行聚合调控,外部作为一个整体参与电力交易和辅助服务<sup>[14]</sup>。如冀北虚拟电厂通过聚合用户侧资源,在新能源大发期间快速增加用电需求,达到与传统电厂同样的调节效果,并获得与调峰贡献相匹配的市场化收益。从运营效果看,冀北虚拟电厂试点自投运以来,充分响应电网调度实时指令,在晚高峰时期将用电后延,到后夜电网低谷调峰困难时期,快速抬升低谷用电负荷,调节里程达 7.85 GW·h,运营商和用户总收益约 160.35 万元,收益 204.00 元/(MW·h),按照运营商与用户签订的合同,运营商总收益 132.75 万元,平均收益 168.89 元/(MW·h);用户总收益 27.60 万元,平均收益 35.11 元/(MW·h)<sup>[15]</sup>。

二者的区别和联系可归纳为如下几点。

首先,二者均面向用户侧,致力于解决用户侧分布式资源参与市场的难题。本文所提及的点对点交易指的是市场主体间就近的直接交易,不同地区的分布式主体不能直接进行跨区域交易;虚拟电厂聚合的分布式资源无地理范围的限制,且更强调对外的特性。

其次,二者为具有竞争又相互促进关系的业务新形态。分布式资源既可以选择直接参与点对点交易,亦可委托于虚拟电厂间接参与市场;具备聚合资源能力的虚拟电厂可以作为代理商,代理电量较小或电量大但没有能力(或不愿意花费精力)寻找交易对象的主体。

此外,两者非互斥关系,开展其中一类业务的同时可向另一类业务扩展。点对点交易具有规模效应,可在发挥规模的优势下,向虚拟电厂相关业务延伸;与此同时,在用户强烈需求的驱动下,虚拟

电厂可能向点对点交易业务延伸。

#### 1.4 点对点交易助力实现“双碳”目标

开展点对点交易对“双碳”目标的达成具有推动作用。能源领域是实现“30·60”碳达峰、碳中和目标的主战场,通过开展点对点交易,能够形成一套政府引导、企业实施、市场推动、公众参与的清洁能源消纳新机制,不仅能为分布式新能源创造一个公平竞争的竞争平台,还可以为电力用户提供更多的交易选择。具体来说,由于分布式新能源参与电力市场交易,电力用户有更多的机会选择和利用绿色电力,一定限度降低对传统火电的依赖,实现了碳减排。此外,以点对点直接交易改进可再生能源的发展和利用模式,以市场化交易替代既有的新能源定向补贴和成本补偿,为分布式清洁能源提供可观收益。

## 2 点对点交易发展环境分析

点对点交易为能源电力市场化交易新业态,因此在考虑开展点对点交易前,本文采用 PEST(政治-经济-社会-技术)分析工具对国内点对点交易发展环境及适用性进行简要分析。

### 2.1 政策环境

在国家政策方面,2020年9月,在第七十五届联合国大会一般性辩论上我国宣布了2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标;2021年3月15日,中央财经委员会第九次会议指出,要着力提高利用效能,实施可再生能源替代行动,深化电力体制改革,构建以新能源为主体的新型电力系统。新型电力系统对构建以新能源为主体的市场化交易机制提出了新的要求,为探索点对点交易模式、推动分布式能源参与市场化交易、促进能源消费从单一被动向主动参与转变提供了良好的政策环境。

在行业政策方面,2017年,国家发展改革委、国家能源局印发了《关于开展分布式发电市场化交易试点的通知》等系列政策,决定组织分布式发电市场化交易试点,对分布式发电交易的项目规模、市场交易模式、交易组织方式以及分布式发电“过网费”标准等提出了指导意见,为点对点交易的框架和边界提供了有益的政策参考。

## 2.2 经济环境

《中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发〔2015〕9号)印发以来,新一轮电力体制改革在全国范围内快速铺开,电力市场建设成效显著,为开展点对点交易奠定了市场基础。与此同时,“十四五”期间,光伏发电等分散式发电资源制造成本快速下降,预计我国分布式光伏和分散式风电将实现平价上网。

近年来,国家积极推动实体经济企业用能成本降低,以缓解实体经济企业困难、应对经济下行压力、增强经济可持续发展能力。

点对点交易致力于在市场主体间就近开展直接交易,将对降低实体经济企业用电成本具有积极的推动作用。

## 2.3 社会环境

随着企业、社会公众对绿色能源消费的认识和需求在逐步提高,点对点交易将作为其购买绿电的有益补充。

可持续发展浪潮逐渐席卷全球,跨国企业对国内供应商绿色能源消费、碳排放等提出了新的要求。

与此同时,清洁、低碳的分布式能源也逐渐引起政府、社会公众的高度重视,随着社会公众对美好生活的追求和环境保护意识的提高,就近利用清洁能源、实现清洁电力的就近消纳使用、改善环境质量的诉求越来越突出,参与积极推动能源转型的殷切越来越清晰,政府、社会公众越来越期望看到企业更多地履行社会责任,参与生态文明建设,持续改善生态环境质量,共建美丽中国。

## 2.4 技术环境

区块链、信息通信、人工智能等诸多技术的发展,为开展点对点交易提供了有利的技术环境。以区块链技术为例,区块链是一种创新的分布式账本技术,致力于为不同主体间的交易建立一个可信任的、分布式的环境,具有去中心化、难以篡改、全程留痕、可以追溯、集体维护、公开透明等显著特点,具体应用包括智能合约、智能资产、去中心化应用、去中心化自治企业等。

## 3 面向零售侧的点对点交易国外实践

### 3.1 美国 TransActive Grid

美国 TransActive Grid 项目实现了社区间居民的点对点电力交易,允许用户通过智能电表实时获得发、用电量等相关数据,并通过区块链向他人购买或销售电力。用户可以不需要通过公共的电力公司或中央电网就能完成电力交易。随后,美国 Exergy Engineering 试点沿袭了 TransActive Grid 点对点分布式交易技术尤其是区块链技术的应用,呈现去中心化、开放性、公平性、匿名性的特点<sup>[16]</sup>。该试点主要特征可归结为:一是加密分布式账本技术,以防篡改的方式安全保存所有数据;二是具有可扩展的智能合约,自动化处理所有交易流程;三是具有链上微网控制系统,高效管理微网电流和交易流。

#### 3.1.1 运作机制

在交易流程方面,TransActive Grid 试点交易分为如下若干步骤:首先,市场主体收集发电状况、用电需求等市场信息,再自行申报交易偏好,如首选能源类型、价格限制等;随后,申报信息存入区块链账户,购入和售出订单得以创建,购售方开始进行匹配。一旦匹配成功则自动向区块链中添加涵盖所有当前交易信息的新的区块;最后,智能电表等设备对电能供应和需求进行计量,并通过信息系统即区块链进行账单结算。同时,在整个过程中,微电网与传统电网仍保持连接,以预防当地发电不足或超过社区需求等极端情况。

在定价模式方面,TransActive Grid 采用拍卖机制,以 15 min 为 1 个时间间隔组织拍卖,基本遵循“价格优先、时间优先”原则,较高出价者先出清,较低出价者后出清,最后的出清价格则为该时间的市场价格。消费者(或产消者)将会为其偏好购买的能源(如本地的分布式可再生能源)申报能够接受的购入最高价,生产者(或产消者)申报能够接受的售出最低价。

在结算模式方面,目前 TransActive Grid 试点为布鲁克林地区的产消者等市场主体之间提供了分布式光伏发电等交易结算服务,并且设计了集合竞价的机制,但是没有为交易双方提供合适的报价策略模型和通过区块链进行直接结算的方法。

在与主网衔接方面,TransActive Grid 试点所在区域属于联网型微电网,与配电网并网运行,互为支撑,实现能量的双向交换。对主网而言,该微电网可以作为可控负荷进行管理。当外部电网故障时,该微电网可转为独立运行模式。

### 3.1.2 商业模式

在价值定位上,试点项目致力于在社区层面建立一种新的能源交易模式,促使社区内用户可以在平台上开展高频次、小规模的对点能源交易,为居民等提供潜在的收入来源,激励消费者投资分布式能源;在关键业务上,试点业务涵盖整合供需双侧信息、跟踪和显示本地(接近)实时的能源价格、交易结算、将过剩电力回馈到现有主网、智能电表的安装维护等;在盈利模式上,试点产品类收入(盈利)包括用户家用电力设备(太阳能设备、电表等)的安装收入等,服务类收入(盈利)包括平台使用或接入服务费、用户智能电表等设备的维护费用等;在成本支出上,包括平台开发维护成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等。

## 3.2 瑞士 Walenstadt

瑞士 Walenstadt(瓦伦施塔特)开展了一个基于区块链的微电网交易试点,光伏发电装机总功率为 287 kW,年用电量约为 4.6 GW·h,其中养老院占很大比例,约 2.0 GW·h。市场主体涵盖有居民家庭、户用光伏公寓楼,以及安装了电池的公寓楼用户。可细分为户用光伏、储能、电力用户等。当前试点区域涵盖有 25 户居民家庭,其中 8 户安装了储能,2 栋安装了户用光伏的公寓楼,1 栋安装了电池的公寓楼<sup>[17]</sup>。需要说明的是,该试点主要使得市场主体能够在可用的情况下就近交易能源,并向主网出售或购买剩余能源。由于交易区域局限在本地社区中,交易规模不大。

### 3.2.1 运作机制

在交易流程方面,试点的交易流程包括投标、出清、结算 3 个环节:在投标环节,交易平台从市场主体方收集订单,完成关联设备等信息验证后,将订单添加到存储设备中;在出清环节,出清过程由应用程序在每个出清间隔(每 15 min)触发,出清过程将会把投标环节中所收集的订单转换为市场主体之间的交易列表;在结算环节,应用程序将 24 h 累计匹配成功的订单汇总成一个结算列表,进行结算操作和资金分配。

在定价模式方面,试点每 15 min 运行 1 次拍卖算法以完成市场出清形成出清价格。即订单列表每 15 min 运行 1 次,按照价格进行排序出清,价格较低的售出电能优先,购入价格较高的电能优先,此种价格机制下,每一笔交易的价格是基于各自购买方和售出方价格之间的平均值形成的。

在结算模式方面,市场交易应用程序逻辑的最后一步是将匹配的交易进行结算。具体来说,即将过去累计匹配成功的订单汇总成 1 个结算列表,用

于自动付款。

在与主网衔接方面,试点所在区域属于离网社区型微电网,区域涵盖各种社区资产,致力于为重要的社区服务提供弹性电力保障。独立型微电网和常规电网相连接,利用自身的分布式能源满足微电网内负荷的需求。

### 3.2.2 商业模式

在价值定位上,试点项目致力于构建基于区块链的社区能源系统的运行方式,同时分析区块链技术对当地太阳能利用、电网质量和能源效率的影响。在关键业务上,试点业务领域主要涵盖交易平台运维服务、附加服务(如智能电表安装维护等)2 类。平台运维服务包括:一是基于对供需双侧电能计量以及市场信息披露,跟踪和显示本地(接近)实时的能源价格;二是提供拍卖服务的组织和用户个性化产品设计。附加服务包括:一是智能电表的安装维护;二是试点可以整合分布式电源供应商生产的过剩电力回馈到现有的本地电网。在盈利模式上,项目的收入来源主要有 3 类:一是平台接入服务费,二是能源产品费,三是售电套餐服务费。在成本支出上,包括平台开发维护成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等。

## 3.3 德国 Sonnen

Sonnen 试点为由 Sonnen Batterie 业主组成的社区,最初由德国企业 Sonnen 发起,试点范围不断扩大。德国、奥地利、瑞士和意大利均有 Sonnen 社区成员,目前 Sonnen 正在澳大利亚发展新的社区试点。在 Sonnen 试点中,存在一个中央软件连接并跟踪所有的社区成员以随时平衡能源供应和需求。Sonnen 试点用户的富余电能没有被送入传统电网,而是进入一个虚拟的能源库,在其他成员因恶劣天气而无法产生足够的电能时提供电能服务。例如,社区内用户每分享 1 kW·h 的电能,将获得高于电力供应商提供的经济补偿;如果在社区范围内购买电能,这些电能的价格一般会比市场价格更低廉。除获取较低价的能源供应外,Sonnen 社区成员还将获得一系列增值服务,包括设备的 10 年保修期、起步价 23 美分的电能价格、免费天气预报服务、基于天气预测的家庭能源使用优化服务、远程维护和监控服务、智能使用控制服务等<sup>[18-19]</sup>。

### 3.3.1 运作机制

在定价模式方面,Sonnen 社区采用会员制,加入 Sonnen 社区的成员,每月只需缴纳 19.99 欧元的会员费,而不再用每月向原来的能源供应商支付基本费用。

在与主网衔接方面,Sonnen 社区试点所在区域

属于离网社区型微电网,区域涵盖各种社区资产,致力于为重要的社区服务提供弹性电力保障。独立型微电网不和常规电网相连接,利用自身的分布式能源满足微网内负荷的需求。

### 3.3.2 商业模式

在价值定位上,Sonnen 试点通过整合、分配资源将一个由 Sonnen Batterie 业主组成的社区结合成一个整体,具有发电资源的社区成员可以为社区内的任何市场主体分享生产的剩余电能;在关键业务上,Sonnen 社区主要包括对富余资源的整合、分配服务,同时提供包括 Sonnen Batterie 虚拟能源池在内的安装维护和售后服务;在盈利模式上,Sonnen 社区项目的收入模式主要有 3 项,一是每月 19.99 欧元的会员费,二是电池销售费用,三是潜在的附加产品费;在成本支出上,成本包括有平台开发维护成本、储能(电池)设备投资运维费用、配套设备安装运维成本等。

## 3.4 英国 Piclo

英国 Piclo 试点是当前国外运行相对成熟的点对点交易试点之一。基于此,英国开展了面向清洁能源的线上点对点交易市场。在该试点中,发电主体能够选择并且知悉自己售出电能的对象方,用户同样能够选择从哪个发电主体购入电能。试点平台根据市场主体双方的用电特性、所在区域、交易倾向等进行发用电双方的交易需求匹配,同时提供交易过程中的合同签署、计量数据采集、费用结算等客户服务<sup>[20-21]</sup>。

### 3.4.1 运作机制

在运作方式上,Piclo 试点通过构建可信可靠的第三方交易平台促成更多的点对点交易。该平台利用电表数据、发电机定价和消费者偏好等信息,以 30 min 为间隔进行匹配,并为客户提供数据可视化和分析。在交易过程中,普通消费者(或生产者)可以优先选择从哪些生产者处购买电力,生产者也同样会对出售电能的对象具有一定的控制性、选择性和可预见性。此外,由 Good Energy 公司提供合同签订、数据计量、费用计算、客户服务、市场平衡等服务。

在交易机制上,Piclo 采用双方匹配的交易机制,平均每 30 min 就会通过各类计量仪表对运行数据、发电价格、消费者偏好等信息进行采集,并基于这些数据开展电能需求和供应的相互匹配。在试点平台上具有一定数量的零售商,这些零售商在支付一定的许可费用后就可以作为代理商来组织点对点的市场化交易,为用户提供切实存在的可再生能源供应。在市场主体与零售商签订代理合同后,

零售商将所负责客户的数据发送至试点平台并交由其公开部分信息。若为供应电能的主体,则平台公开其分布式电源所在位置、需求侧响应资源类型;对于购买电能的主体,则平台公开其用电位置、对发电资源的选择偏好(如更倾向与光伏发电开展交易等)。在通过智能电表等计量装置收集到当前各个时刻供应侧的可交易电能以及购买侧的电能需求情况之后,试点平台根据发用交易双方位置的远近、可接受的电能价格和交易倾向,借助点对点匹配算法为购买方匹配最优的供应方。若出现某个单一供应方(如分布式发电、需求侧响应资源等主体)无法完全覆盖购买电能主体的需求总量,试点同时会补充其他供应方为购买方提供电能供应。

在定价模式上,对于交易价格,Piclo 平均每 30 min 就会通过各类计量仪表对运行数据、发电价格、可交易电能、消费者偏好等信息进行采集,根据发用交易双方位置的远近、可接受的电能价格和交易倾向,借助平台内嵌的点对点匹配算法为购买方匹配最优的供应方。对于输配电价,Piclo 试点的配电网使用费用(DUoS)由配电网运营商(DNO)基于公共配电收费方法(CDCM)计算获得,以回收配电网的维护和运营成本。DUoS 的价格呈分段函数特性,在不同用电时段收取不同费用,结算周期为 0.5 h,即根据每 30 min 所计量的用电量计算。

在与主网衔接模式上,该试点属于联网型微网,与配电网并网运行,互为支撑,实现能量的双向交换。对电网来说,可以作为可控负荷进行管理。外部电网故障时,可转为独立运行模式。

### 3.4.2 商业模式

在价值定位上,Piclo 试点项目致力于为用户提供与本地可再生能源发电商进行直接交易的服务,且能够根据市场主体偏好进行需求匹配;在关键业务上,该试点包括交易合同签订服务、电能计量采集服务、生产者的可交易电能与消费者的用电需求收集服务、交易匹配出清服务、费用结算服务;在盈利模式上,该试点项目的收入来源主要包括用户接入平台的费用、电力零售商许可证费用等;在成本支出上,该试点包括平台开发维护成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等。

## 3.5 澳大利亚 Power Ledger

Power Ledger 成立于澳大利亚珀斯,该平台构建了一个基于剩余光伏资源的点对点交易系统。通过该区块链技术使得电能产生的过程中确定电能所有者,并且在交易过程中通过一系列协议完成电能供应商和用户之间的交易,即住户可以高于出售给电力公司的价格直接将剩余电能卖给其他

住户。在交易过程中,完全通过区块链来做协议调控,通过智能合约实现即时结算。在此框架下可再生能源的拥有者可以在微电网内或通过配电网以选定的价格出售剩余的能源,配电系统运营商(DSO)通过配电网获得能源交易收入<sup>[20-24]</sup>。

### 3.5.1 运作机制

在运作方式上,Power Ledger通过智能电表进行数据读取和记录,读数间隔从1~30 min(一般在15~30 min)不等,所计量的数据实时或24 h内显示给市场主体;Power Ledger通过交易匹配在消费者和产消者之间进行直接的电能交易。市场双方的订单都是以同样的增量填补并不断循环,直到市场清仓。交易运行周期是可配置、可选择的,可根据应用服务提供商的要求设定,范围从5 min至24 h不等;此外,Power Ledger根据计量情况灵活配置交易优先组,市场主体选择进入分组,优先在市场上进行组内交易,其可通过预先配置的网络条件监控来自主决定。零售商可在最后将所有剩余订单统一组织成交,直到所有订单消耗完,以承担风险管理角色。

在定价模式上,该试点选择基于地理位置优先的出清模式的交易出清引擎,考虑网络负荷的平衡,给分布式能源部署提供激励,提高分布式网络的效率。试点中的消费者具有较高的自主选择权,可以自行决定从哪里购买能源。例如,某用户甚至可以支付相对高的价格购买本地产的太阳能,使得成交结果有利于低碳排放。此外,用户还可以通过POWER(Power Ledger)代币进行跨市场交易,比如说某一消费者从澳大利亚移居到美国,其原有电力仍可以通过POWER代币开展交易。

在结算模式上,Power Ledger采用POWER和Sparkz的双重代币结算体系,通过其设计的2层区块链来进行运作。POWER代币是使用Power Ledger平台的准入代币,其作用在于让参与者访问和使用平台(如同有限的软件许可权限)。Sparkz代币类似于智能债券,由市场运营方以相应的数量发行给自己的用户,Sparkz和POWER代币之间保持稳定的兑换率。产消者所购买或供应能源的可以用Sparkz代币结算,也可以通过当地的市场运营方将Sparkz代币兑换成现金。

在与主网衔接模式上,Power Ledger试点区域属于联网型微网,与配电网并网运行,互为支撑,实现能量的双向交换。对电网来说,可以作为可控负荷进行管理。外部电网故障时,可转为独立运行模式。

### 3.5.2 商业模式

在价值定位上,Power Ledger平台采用基于区块链的交易代币,在电能的生产者和使用者之间建立了直接的联系,实现交易过程中无第三方机构参与(包括控制参与人的数据、价格的制定、费用支付的担保等);在关键业务上,Power Ledger平台项目的关键业务主要包括资源的整合与分配、基于智能合约的即时结算、数据计量、Sparkz与POWER代币体系运维、自主资产管理及绿色能源忠诚奖励管理等其他附加项目管理等,附加服务包括有提供移动存储放电设施、提供智能电表和太阳能电池板硬件设施服务等;在盈利模式上,Power Ledger项目的收入来源主要包括用户接入平台费、潜在的附加产品费等;在成本支出上,成本包括有平台开发维护成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等。

## 4 国外点对点交易试点对比与总结

结合国外开展点对点交易的实践经验,对我国推动构建点对点交易具有重要的参考借鉴意义,上述试点的运营模式呈现如下共性特征。

(1)搭建共享交易平台对于支撑点对点交易开展至关重要。国外开展点对点试点交易的关键在于平台服务供应商的推进。如美国TransActive Grid等试点基本围绕平台化的共享服务提供商为核心,将用户与产消者等各种主体联系起来,通过构筑一套交易标准实现高度的自由化交易。

(2)试点的稳步推进需考虑与当地能源监管政策相适应,同时重视试点组织主体甄选。一方面,点对点交易仍需要与当地的法律法规以及管理条例相契合;另一方面,当前推进点对点交易的国外企业大多为创业公司,技术和资金储备可能相对薄弱。例如,美国TransActive Grid项目因团队内部关于市场方向无法达成一致,在较长一段时期处于停滞状态,澳大利亚Power Ledger也面临着监管和资金压力。

(3)点对点交易试点的选取和推广要遵循因地制宜的原则。国外点对点交易场景主要面向分布式光伏,主要因为当地住宅安装的屋顶光伏等分布式能源的新发电量大幅增加,激增的屋顶太阳能和分布式储能,使得系统拥有了更多便宜、可靠和绿色、自给自足的电能,从而促成了富余分布式光伏的点对点、分散式交易。

同时,在国外诸多点对点交易试点的发展过程中,并没有呈现以试点为核心范围逐渐扩散的态势,而是根据各地区资源等实际情况呈现跨区域、跨国家的试点区域多点开花的现象。如澳大利亚

的 Power Ledger 不仅在珀斯开展试点,在美国宾夕法尼亚州甚至新西兰、奥地利等地都试部署了 Power Ledger 平台。

(4)区块链技术是搭建点对点交易平台广泛采用的支撑技术。区块链的去中心化、分布式存储、较难篡改等特性,使得国外点对点交易试点普遍采用了以区块链为支撑技术的交易机制。当前国外的点对点交易平台大多部署了区块链支撑技术,以

区块链为核心的能源点对点交易成为分布式能源交易的重点应用场景。如在美国布鲁克林微网(Brooklyn Microgrid)点对点交易试点中,通过区块链使得建筑物屋顶光伏系统供应商在布鲁克林能够将过剩的电力回馈到现有的本地电网,并直接从购买者那里收到付款。与此同时,在商业模式层面,本文从价值定位、关键业务、盈利模式、成本支出 4 方面出发,对上述 5 个试点进行对比总结,见表 1。

表 1 国外点对点交易试点商业模式对比

Table 1 Business models of overseas peer-to-peer trading pilot projects

项目	价值定位	关键业务	盈利模式	成本支出
美国 TransActive Grid	促使社区内用户可以在平台上开展高频次、小规模的新能源交易,为居民等提供收入来源,激励消费者投资、使用分布式能源	市场信息披露、本地能源价格跟踪、交易结算、智能电表安装维护等	智能电表安装费,平台使用/接入服务费、计量设备的维护费用等	平台开发运维成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等
瑞士 Walenstadt	构建基于区块链的社区能源系统运行方式	电能计量、信息披露、能源价格跟踪、组织拍卖交易、提供个性化服务、智能电表安装维护等	平台接入服务费、能源产品交易中间费、售电套餐服务费等	平台开发维护成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等
德国 Sonnen	使得社区内的任何市场主体均可享有使用其余社区成员富余电能资源的权利	富余发电资源整合分配服务;虚拟能源池的安装、维护、运维服务等	19.99 欧元/月会员费、电池销售费用、潜在的附加产品费等	平台开发维护成本、储能(电池)设备投资运维费用、配套设备安装运维成本等
英国 Piclo	为用户提供与本地可再生能源开展直接交易的服务,且根据市场主体偏好进行需求匹配	合同签订服务、计量采集服务、发用电需求收集服务、交易匹配出清服务、费用结算服务等	用户接入平台费、电力零售商许可证费用等	平台开发维护成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等
澳大利亚 Power Ledger	为用户和电能供应商提供去中心化、信息透明、自动化的交易机制和出清平台	资源整合分配、基于智能合约的即时结算、数据计量、代币体系运维、附加项目等管理	用户接入平台费、潜在的附加产品费等	平台开发维护成本、平台资质获得成本、配套设备安装运维成本等

### 5 点对点交易运作机制及业务模式初探

#### 5.1 运作机制

在交易产品方面,点对点交易标的可以是电能、辅助服务、金融衍生品等,市场初期可选择以电能、辅助服务为主;按交易时间尺度划分,点对点交易根据计量装置所能达到的精度确定交易的最小时间间隔,可以是日、峰平谷、小时甚至更短的时间尺度,并作为交易基本单元。市场主体可选择以交易的最小时间间隔自主灵活申报至年、多月、月、多日、日等发(用)电时段。

在成交方式上,点对点交易可以包括挂牌交易、撮合交易 2 种成交方式。挂牌交易即由购买方(或供应方)在零售平台供应方(或购买方)列表中自由选择,最终成交价格按照挂牌方的挂牌价格执行;撮合交易为购买方或供应方发起交易需求,再由零售平台根据发用交易双方位置的远近、交易偏好、可接受的价格等,按照“价格优先、时间优先”原则为购买方(或供应方)匹配最优的供应方(或购买方),最终成交价格按照匹配对交易双方的算术平

均申报价格执行。

#### 5.2 业务模式

从商业模式视角来看,点对点交易业务模式可以初步划分为平台运营型、参与交易型以及集平台运营与参与交易于一体的混合型 3 种。其中,平台运营型即为市场主体提供交易场所,以提升市场运行效率,降低买卖主体间交易成本的业务模式;混合型即既为市场主体提供交易平台,又代理不具备能力或不愿付出精力的主体参与交易,或利用自有分布式能源等出售电能的业务模式。

对于平台运营型业务模式而言,其功能在于将 2 个或更多独立但相互依存的客户群体连接在一起,通过促进不同群体间的互动而创造价值。其重要性体现在为所有客户提供交易平台,其价值提升在于它所吸引的用户数量的增加(网络效应)。通常体现在以下 3 个方面:第一,吸引用户群体(如客户群体);第二,将客户群体进行配对;第三,通过平台提供的交易渠道降低交易成本。针对点对点平台运营型模式而言,其价值主张则体现在:为参与交易的买卖主体提供公平、公正、公开的交易平台,

提升市场运行效率,为市场主体提供便捷化购买能源的服务,降低买卖主体间的交易成本。同时,引导市场主体就地消纳分布式能源,促进清洁能源就近消纳,降低温室气体的排放。

对于参与交易型业务模式而言,其价值主张则体现在:代理能源消费量较小的中小型用户,像家庭(个人)屋顶光伏发电等分布式电源装机容量较小,或者能源消费量大、分布式电源装机容量大,但没有能力或不愿意花费精力寻找交易对象等主体参与点对点交易。此外,若商业体自身投资建设有分布式资源,也可以直接参与市场交易。

## 6 关键问题分析

在内涵和特征层面,点对点交易与2017年10月国家发展改革委、国家能源局印发的《关于开展分布式发电市场化交易试点的通知》(发改能源[2017]1901号)中提及的分布式发电市场化交易概念较为接近。但截至目前,试点建设推进缓慢,全国范围仍未形成成熟运作的应用示范。现阶段推进点对点交易所面临的关键问题可归纳为如下几个方面。

(1)对电网调度技术提出更高要求。点对点交易覆盖主体为风电、光伏等分布式新能源,受天气、季节、时段及自然环境的影响剧烈,具有出力不稳定、功率预测不准确、电力供应不持续等固有缺陷。上述局限性将给交易带来不确定性,可能造成交易违约、偏差电量等问题。为促进市场主体之间实现就近点对点交易,亟须提升电网运营和系统调度技术,保证成交的结果可执行。

(2)理顺点对点交易主体输配电成本分摊方式。点对点交易促使发用双方直接“见面”交易,同时电网企业为点对点交易主体提供了并网和电力备用的价值。因此,其过网费的核定方法应与输配电价体系有效衔接,使得点对点交易主体合理承担相应的输配电成本。

(3)完善电力平衡责任分摊机制。当前,电网企业为点对点交易主体无偿提供保底供电服务。随着点对点交易电量规模的增长,点对点交易主体需公平承担传统灵活性资源、储能、需求侧资源等各类灵活性资源提供的电力平衡服务所产生的相关成本。

(4)或将面临市场运营风险。受困于面向分布式资源固化的消费习惯以及用户对风险的规避心理,在初期点对点交易项目的参与主体规模可能较小,项目存在亏损可能。除此之外,在点对点市场运营前期,由于缺乏熟练的管理经验和规范化的市

场约束规则,很容易出现市场混乱和投机行为,可能对运营主体带来经济损失。

## 7 对我国发展点对点交易的有关启示

(1)初期以积极培育市场主体为核心。点对点交易预计将推动电力零售侧市场发生深刻变革,然而初期可能存在对分布式主体等吸引力欠缺、市场规模不足等问题。

因此,在市场建设初期,代理商等可选择适当采取一些营销手段吸引用户参与交易,以充分培育客户用能管理及市场意识,后续再通过开展能效服务、聚合代理等增值服务,完善、形成市场运营新业态和商业模式。

(2)持续鼓励商业模式创新创造。推动形成以用户需求为导向的点对点交易商业模式。稳定盈利的商业模式是点对点交易顺利运转的关键要素,市场运营主体应积极创新营销服务模式,快速响应用户需求,提升运营效率。形成明确、清晰的业务场景,共建商业生态圈,整合资源为用户提供用电能一揽子解决方案。

(3)推进区块链等关键技术的深度应用。点对点交易过程中涉及主体数量众多、单笔交易规模较小,对于交易过程中产生的争议纠纷,传统的监管方式将难以胜任。与此同时,市场主体违约违规的追责成本可能相对较高,甚至超出交易额度,需结合区块链等新技术建立新的诚信和监管机制,规范点对点交易行为,降低市场运行风险。

(4)注重与现有市场体系和低碳发展目标的衔接。点对点交易具有就近消纳、隔墙售电、区内交易等特征,其运作模式与传统批发市场具有一定差异。因此在开展点对点交易机制设计与实践过程中,应注重与现有的批发市场的交易模式、出清模式、价格机制、输配电价定价机制等关键环节相衔接,尤其注重与已经投入试运行的现货试点模式的衔接。另外也要注重对分布式发电等清洁能源接入电网、参与交易、投资建设、市场消纳等方面的激励,以促进能源低碳绿色发展。

(5)明确权责界面以保障市场平稳发展。推动点对点交易规则设计和试点落地时应界定试点主体范围,明确权责界面,落实主体责任,形成权责明确的点对点交易责任体系。例如,可选择由电网或配网运营商提供保底供电等公共服务或配套保障机制,与此同时,相关成本可以采用政府购买服务或向用户侧疏导的方式加以确定,以保障市场平稳发展。

## 8 结束语

在“双碳”目标下,分布式发电持续蓬勃发展,以中小用户为代表的产消者预计不断出现,进而催生点对点交易这一新业态、新模式。本文立足于当前国内推动分布式可再生能源市场化消纳的需要,提出了点对点交易的概念含义,对比了其与传统批发侧交易模式及虚拟电厂的联系与区别,梳理分析国外开展点对点交易的运作机制和商业模式,归纳总结了当前推进点对点交易面临的关键问题,最后从市场培育、商业模式创新、技术应用和权责保障4个角度提出相关建议,以期为国内开展点对点交易提供参考借鉴。

### 参考文献:

- [1] 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见 [EB/OL]. (2021-10-24) [2021-11-15]. [http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content\\_5644613.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm).
- [2] 陈政. 电力分布式交易: 可持续的电力商业运营和监管模式 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2018.
- [3] 2021 年中国光伏行业市场规模和发展趋势 [EB/OL]. (2021-04-12) [2021-11-15]. <https://new.qq.com/omn/20210412/20210412A0CR5V00.html>.
- [4] 王丹, 刘博, 贾宏杰, 等. 基于强化学习的产消用户端对端电能交易决策 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45(3): 139-147.  
WANG Dan, LIU Bo, JIA Hongjie, et al. Peer-to-peer energy transaction decision of prosumers based on reinforcement learning [J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45(3): 139-147.
- [5] 《储能产业研究白皮书 2021》: 中国电化学储能新增规模突破 GW 大关 [EB/OL]. (2021-04-14) [2021-11-15]. <https://new.qq.com/omn/20210414/20210414A0EH2700.html>.
- [6] 汽势传媒. 2020 中国汽车销量和去年打了个平手 2021 狂想 2 600 万辆 [EB/OL]. (2021-01-14) [2021-11-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1688829123253135465&wfr=spider&for=pc>.
- [7] 陈启鑫, 王克道, 陈思捷, 等. 面向分布式主体的可交易能源系统: 体系架构, 机制设计与关键技术 [J]. 电力系统自动化, 2018, 42(3): 1-7, 31.  
CHEN Qixin, WANG Kedao, CHEN Sijie, et al. Transactive energy system for distributed agents: Architecture, mechanism design and key technologies [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(3): 1-7, 31.
- [8] 国家能源局. 关于开展分布式发电市场化交易试点的通知 [EB/OL]. (2017-10-31) [2018-11-20]. [http://zfxxgk.nea.gov.cn/auto87/201711/t20171113\\_3055.htm](http://zfxxgk.nea.gov.cn/auto87/201711/t20171113_3055.htm).
- [9] 林俐, 许冰倩, 王皓怀. 典型分布式发电市场化交易机制分析与建议 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43(4): 1-8.  
LIN Li, XU Bingqian, WANG Haohuai. Analysis and recommendations of typical market-based distributed generation trading mechanisms [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(4): 1-8.
- [10] 肖谦, 陈政, 朱宗耀, 等. 适应分布式发电交易的分散式电力市场探讨 [J]. 电力系统自动化, 2020, 44(1): 208-218.  
XIAO Qian, CHEN Zheng, ZHU Zongyao, et al. Discussion on decentralized electricity market for distributed generation transactions [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(1): 208-218.
- [11] JOGUNOLA O, IKPEHAI A, ANOH K, et al. State-of-the-art and prospects for peer-to-peer transaction-based energy system [J]. Energies, 2017, 10(12): 2106.
- [12] TUSHAR W, SAHA T K, YUEN C, et al. A motivational game-theoretic approach for peer-to-peer energy trading in the smart grid [J]. Applied Energy, 2019, 243: 10-20.
- [13] KHORASANY M, MISHRA Y, LEDWICH G. Market framework for local energy trading: A review of potential designs and market clearing approaches [J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2018, 12(22): 5899-5908.
- [14] 王宣元, 刘敦楠, 刘蓁, 等. 泛在电力物联网下虚拟电厂运营机制及关键技术 [J]. 电网技术, 2019, 43(9): 3175-3183.  
WANG Xuanyuan, LIU Dunnann, LIU Zhen, et al. Operation mechanism and key technologies of virtual power plant under ubiquitous Internet of Things [J]. Power System Technology, 2019, 43(9): 3175-3183.
- [15] 孙宏斌. 跨界思维在能源互联网中应用的思考与探索 [EB/OL]. (2020-11-11) [2021-11-15]. <https://mp.weixin.qq.com/s/Suo-Y50NpnnC3qLKGDdtzw>.
- [16] Exergy. Electric power technical whitepaper [EB/OL]. (2017-12-14) [2021-11-15]. <http://www.truevaluemetrics.org/DBpdfs/Initiatives/Exergy/Exergy-2018-Technical-Whitepaper-v8.pdf>.
- [17] ABLEITNER L, MEEUW A, SCHOPFER S, et al. Quartierstrom - implementation of a real world prosumer centric local energy market in Walenstadt, Switzerland [J/OL]. arXiv: 1905.07242, 2019. <https://arxiv.org/abs/1905.07242>.
- [18] IRENA. Peer-to-peer electricity trading: Innovation landscape brief [EB/OL]. (2020-01-31) [2021-11-15]. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Peer-to-peer\\_trading\\_2020.pdf?la=en&hash=D3E25A5BBA6FAC15B9C193F64CA3C8CBFE3F6F41](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_trading_2020.pdf?la=en&hash=D3E25A5BBA6FAC15B9C193F64CA3C8CBFE3F6F41).

- [19]Germany's sonnenbatterie launches energy trading platform [EB/OL].(2015-11-16) [2021-11-15]. <https://cleantechnica.com/2015/12/06/germanys-sonnenbatterie-launches-energy-trading-platform/>.
- [20]OpenUtility. A glimpse into the future of Britain's energy economy [EB/OL]. (2016-05-11) [2021-11-15]. <https://piclo.energy/publications/piclo-trial-report.pdf>.
- [21]ZHANG C, WU J, LONG C, et al. Review of existing peer-to-peer energy trading projects [J]. Energy Procedia, 2017, 105: 2563-2568.
- [22]张子立,张晋宾,李云波. 国际能源区块链典型项目应用及分析[J]. 华电技术, 2020, 42(8): 75-82.  
ZHANG Zili, ZHANG Jinbin, LI Yunbo. Application and analysis of blockchain applied in typical global energy projects[J]. Huadian Technology, 2020, 42(8): 75-82.
- [23]孙跃,杨晟,龚钢军,等. 基于可信计算和区块链的配电网内生安全研究[J]. 华电技术, 2020, 42(8): 61-67.  
SUN Yue, YANG Sheng, GONG Gangjun, et al. Research on endogenous security of distribution Internet of Things based on trusted computing and blockchain technology[J]. Huadian Technology, 2020, 42(8): 61-67.
- [24]LedgerPower. Power Ledger whitepaper [EB/OL]. (2018-01-31) [2021-11-15]. <https://www.powerledger.io/company/power-ledger-whitepaper>.

(本文责编:张帆)

#### 作者简介:

尚楠(1993),女,工程师,工学硕士,从事电力市场建模分析、能源经济的研究工作,shangnan@csg.cn;

黄国日(1990),男,工程师,工学硕士,从事电力改革、电力市场的研究工作,huanggr1@csg.cn。

### “能源电力数字化转型关键技术及优选路径”专刊征稿启事

“碳达峰”和“碳中和”目标驱动下,能源革命与数字革命相融并进已成为必然趋势,能源电力行业升级转型的重要性和迫切度持续升高。国家“十四五”规划纲要明确提出“以数字化转型整体驱动生产方式、生活方式和治理方式变革”。能源电力数字化转型,即实现数字技术与以电力为中心的能源生产、传输、消费、交易、管理等环节的深度融合。近年来,云计算、大数据、人工智能、区块链、数字孪生等新兴技术层出不穷,发展迅猛,数据采集、传输、分析、管理、决策、执行等过程将迎来变革式创新,为能源电力行业创造新价值、培育新动能。值得注意的是,数字化转型是一个长周期、系统性的过程,而现阶段数字技术融合应用存在瓶颈,运营与监管体系尚不完善,信息物理安全风险不明。因此,亟须围绕能源电力数字化转型,科学设计顶层架构与总体目标,综合分析现阶段水平与未来发展趋势,全面梳理基础理论与关键技术,统筹规划发展路径与示范应用,进而整体提升能源电力行业的资源配置能力、安全保障能力和智能互动能力,为落实“碳达峰”和“碳中和”目标提供重要支撑。

鉴于当前的问题与机遇,《综合智慧能源》(原《华电技术》)拟推出“能源电力数字化转型关键技术及优选路径”专刊,特邀浙江大学李知艺研究员、东北林业大学班明飞副教授和长沙理工大学施星宇讲师担任特约主编,共同探讨能源电力数字化转型相关的前沿成果、关键技术、工程案例以及未来发展趋势,欢迎业内同仁踊跃投稿。

#### 一、征稿范围(包括但不限于)

- (1)能源电力数字化转型的顶层设计、路径优化。
- (2)数字化转型下的能源电力系统投资、规划模式。
- (3)数字化转型下的能源电力系统运营、交易技术。
- (4)能源电力大数据的智能分析技术与应用。
- (5)能源电力数字化转型的监管体系与标准化工作。
- (6)能源电力系统的信息物理安全风险分析与防护。
- (7)能源电力系统的预测、运行控制、故障诊断技术。
- (8)能源电力系统数据要素的价值挖掘与隐私防护技术。
- (9)人工智能、区块链、数字孪生等技术的融合应用。
- (10)智慧园区、车联网与需求侧主动支撑技术。

#### 二、时间进度

专刊拟于 2022 年 7 月 1 日截稿,2022 年择期出版。

#### 三、征稿要求

- (1)专刊只收录未公开发表的论文,拒绝一稿多投。作者对论文内容的真实性和客观性负责。
- (2)按照《综合智慧能源》论文格式要求使用 Word 软件排版,论文模板请在网站([www.hdpower.net](http://www.hdpower.net)或[www.ienergy.cn](http://www.ienergy.cn))首页作者中心下载。
- (3)请保留论文图片、曲线和表格原始文件,并在投稿时按规定提交。
- (4)论文作者应遵守相关学术不端规定。

#### 四、投稿方式

- (1)在线投稿(推荐):登录在线采编系统([www.hdpower.net](http://www.hdpower.net)或[www.ienergy.cn](http://www.ienergy.cn)),完成在线全文投稿,欢迎投稿时推荐审稿人。
- (2)邮箱投稿:zhiyi@zju.edu.cn(李老师);hdjs-chd@vip.163.com(编辑部)。
- (3)咨询联系:刘芳 0371-58501060/13838002988;杨满成 010-63918755/ 13801175292。