

• 泛在电力物联网 特约稿 •

DOI:10.15961/j.jsuese.201901035



本刊网刊

能源互联网背景下综合能源服务市场运营模式及关键技术

李华强¹, 李旭翔¹, 阚力丰²

(1.四川大学 电气工程学院, 四川 成都 610065; 2.国网眉山供电公司, 四川 眉山 620010)

摘要:近年来,国内外学者在综合能源服务的物理支撑技术和市场运营技术等方面开展了诸多有益的探索,其中,前者的研究成果较为丰富,而后者还相对匮乏,这一现实情况严重制约了中国综合能源服务的市场化、规模化发展。对此,本文关注于能源互联网与综合能源服务的发展协同性,分析了能源互联网在市场组织形式、服务商业模式和数据业务化3个方面对综合能源服务规模化发展的促进作用,进而研究、探讨了综合能源服务的市场运营模式及配套技术。一是,基于市场成熟度和信息透明度的变化趋势,将中国综合能源服务市场的发展划分为无组织的分散竞争阶段、局部平台化的信息汇聚阶段和全域生态化的产业生态阶段,并针对不同市场阶段构建了以能源服务商、信息运营商和综合能源服务平台为参与主体的市场组织形式。二是,从上述3类市场参与主体的价值闭环和运营流程入手,分别构建了以满足用户多元用能需求、积极链接供需双方撮合交易达成、引导各主体市场行为为核心的商业模式,并分析了各市场主体在不同市场阶段下的运营特性及经营核心。三是,探讨了综合能源服务市场运营所涉及4类关键技术的建模原理及技术框架:1)提出基于智慧终端、采集设备等数据来源,依托大数据、云计算、物联网等技术方法,考虑用户用能行为特征、用能需求特征及服务潜力等维度,构建用户多层次画像技术,以实现用户多维度用能需求和用能意愿的数据化、标签化、可视化;2)提出基于模糊综合评价、数据包络分析、综合集成赋权等技术方法,通过建立涵盖企业实力、服务能力和服务产品3方面的评价指标体系,构建能源服务商综合画像技术,以实现综合能源服务商的客观综合评价;3)提出以分析、预测各类服务产品及服务市场未来供需趋势、影响因素和变化规律为主要目的的市场精准画像技术,并针对各类型市场主体的职能特点,分别探讨了适用于能源服务商和信息运营商的市场短期潜力评估方法、适用于综合能源服务平台的中长期市场趋势分析方法的构建思路;4)针对综合能源服务市场的阶段性发展路径,提出基于简单加权、和谐性分析、逼近理想解排序等多准则决策方法,构建面向市场分散竞争阶段的综合能源服务主动推送策略,以及基于组合服务、关联规则挖掘、协同过滤推荐等理论方法,构建面向市场信息汇聚阶段和产业生态阶段的规模性服务推荐策略。最后,从促进市场集中度和开放度不断提高、重视用户侧能源消费行为的引导与培育、提升用能数据获取能力和分析处理能力3个方面,对未来的研究、实践和政策制定工作提出了若干建议。总体而言,能源互联网的发展不仅将打破传统的能源服务供需模式,还将重塑综合能源服务业态,要充分发挥能源互联网推动综合能源服务规模化发展的促进作用,今后还需要在市场运营模式、技术等层面上开展更为广泛和深入的研究与实践工作。

关键词:能源互联网;综合能源服务;市场运营;发展阶段;商业模式;关键技术

中图分类号:TM71

文献标志码:A

文章编号:2096-3246(2020)04-0013-12

Market Operating Model and Key Technologies of Integrated Energy Services Under the Background of Energy Internet

LI Huaqiang¹, LI Xuxiang¹, KAN Lifeng²

(1.College of Electrical Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China; 2.State Grid Meishan Power Supply Co., Meishan 620010, China)

Abstract: Currently, plenty topics in terms of the physical support technologies and the market operating technologies of integrated energy services (IESs) have been researched. It is obvious that a number of remarkable contributions related to the physical support technologies of IESs can be identified. However, few valuable conclusions of the market operating technologies can be summarized, which significantly prevents the IESs

收稿日期:2019-10-27

基金项目:国家电网公司科学技术项目(52170018000S)

作者简介:李华强(1965—),男,教授,博士.研究方向:电力系统安全与稳定分析;能源经济. E-mail: lihuaqiang@scu.edu.cn

网络出版时间:2020-07-13 12:03:53

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1773.TB.20200713.1012.002.html

in China from being developed with marketization and scalability. Therefore, this paper focused on the synergetic development of the energy internet (EI) and the IESs, which analyzes the promotional effects of the EI for serving the scalability of IESs from three aspects including the organizational form of market, the business model of service providers, and the digital strategy of business process. Moreover, this paper further researched and discussed the market operating models of IESs and matching technologies. Three detailed works done by this paper were presented as, the first one was based on the trends of the market maturity level and the transparency of relevant information, the development of IESs market in China was divided into three phases including the unorganized phase of decentralized competitive market, the locally plat-formalized phase of information aggregation, and the global ecological phase of industrial eco-management. In each phase, the organizational form of market considering the participations of the energy service providers, the information operators, and the platform of IESs were established. The second one was based on the individual-valued property and the operating procedure of the aforementioned three market participants, a business model was constructed in terms of satisfying the energy users' diversified demands, linking the supply and requisitioning parties to close the deal, and guiding the behaviors of the various market participants. The third one was the model theories and the technology frameworks of four key technologies of the market operating models of IESs were designed, including: 1) the energy users' multi-level portrait model with considering the energy-consumption-behavior characteristics, the energy-demand characteristics, and the service potentialities of which were achieved based on the big data analytic, cloud computing, and the Internet of things (IOT) was presented; 2) the energy service providers' comprehensive portrait technology through the establishment of an evaluation index system covering the three aspects of enterprise strength, service capabilities and service products of which were achieved based on the Fuzzy comprehensive evaluation, the data envelope analysis, and the integrated weigh was presented; 3) the accurate market portrait technology which analyze and predict the supply and demand trends in the future, influencing factors and changing laws of various service products and service markets was presented. Besides, according to the functional characteristics of market subjects, the idea of short term market potential assessment method which suitable for energy service providers and information operators, and the idea to analyze the trend of mid long term market trend which suitable for the platform of IESs were illustrated respectively; 4) the proactive push strategy for IESs based on the multi-criteria decision-making, as well as the service recommendation strategy for the stage of information aggregation and industrial ecological which based on the theoretical method were presented. At last, a number of suggestions of serving future researches, practices and policy decisions were put forward from the aspects of the promotions of the concentration and the openness of the market, the guidance and the cultivation of the energy consumption behavior of users in the demand side, and the improvements of the ability to obtain energy data and the data processing capacities. Summarizing, the development of the EI will innovate the traditional energy service supply and demand model, and reshape the format of IESs. It is necessary to carry out more extensive research and practical work in terms of market operation models and technologies in the future which will contribute to realize large-scale development of IESs.

Key words: energy Internet; integrated energy services; market operation; development stage; business model; key technologies

随着能源领域市场化改革不断推进,中国供用能市场已经逐步呈现出多元市场主体竞争的格局,传统能源服务已难以适应新环境的需求,能源供应商的运营重点正普遍向综合能源服务(integrated energy services, IESs)的方向快速发展^[1]。综合能源服务的出现彻底打破了传统能源服务的局限,其丰富的服务形式和服务内容能够直击用户用能痛点、满足用户多样化用能需求,其规模化发展对推动中国能源革命、构建现代能源体系具有重要意义。目前,学术界在综合能源服务的建模计算^[2-3]、优化调度及规划^[4]、综合评估^[5]和可靠性分析^[6]等技术方向上已开展诸多研究。基于上述技术成果,国网、南网、华电、新奥、协鑫等国内能源企业在局部地区开始了实践探索,部分试点项目已投运投产^[7-8],反映出支撑综合能源服务的关键物理技术及配套方案已较为完备,技术落地可行性较高。但总体而言,上述实践工作基本上还处于技术性验证阶段,国内能源市场对综合能源服务的认知和接受程度仍十分有限,离普及还有较大距离。

结合美国^[9]、日本^[10-11]、德国^[12-13]等发达国家的实践案例和成功经验来看,综合能源服务的规模化发展不仅要依托综合能源系统(integrated energy system, IES)^[14]、可再生能源(renewable energy, RE)^[15]、

智能电网(smart grid, SG)^[16]等新能源技术,还必须构建区别于传统能源服务的市场运营模式:1)在服务信息交互方式上以供需强互动取代供需弱互动,营造开放、互通、高效的市场环境;2)在服务交易方式上以平台化、多元化交易取代线下双盲式、单一化交易,明确市场各主体的价值来源;3)在服务营销方式上以需求侧主导取代供给侧主导,使综合能源服务的产品设计、市场推广等各个业务环节紧密围绕用户实际需求展开。目前,虽然综合能源服务所依托的各项物理技术已趋于成熟,但与之配套的市场运营技术却十分匮乏,仅有少量文献涉及了综合能源服务的经济与环境评估^[17-18]、市场模式分析^[19-20]、交易及博弈方法^[21]等研究内容,依托现有理论成果难以构建出适用于中国环境的综合能源服务市场运营模式,致使技术方案与终端用户间的“最后一公里”尚未被打通。

对此,能源互联网(energy Internet, EI)能够提供新的解决思路。能源互联网通过构建泛在物联网的信息物理系统(cyber physical systems, CPS)将信息流贯穿能源生产、传输、消费的全过程,相较于传统能源系统具备融合、开放、智能的特征^[22],契合了综合能源服务的市场运营需求,能够对综合能源服务的信息交互方式、交易方式和营销方式革新起到重要作

用。针对综合能源服务在市场运营层面所存在的研究空白,通过能源互联网技术推动综合能源服务规模化发展是本文的主要研究目标。因此,本文在分析能源互联网与综合能源服务关联性的基础上,研究中国综合能源服务市场的发展阶段,并从价值闭环和运营流程的角度提出了能源服务商、信息运营商和服务平台3类市场主体的商业模式,构建能源互联网与综合能源服务协同发展的市场运营模式,分析使两者相互衔接的关键技术,并提出相应的政策建议及展望。

1 能源互联网与综合能源服务的关联性分析

1.1 综合能源服务和能源互联网的概念

目前,对于综合能源服务这一概念尚无统一定义,主要可分为两类观点:狭义上理解是指以综合能源系统为物理载体,且区别于传统能源服务(以能源管网为载体)的能源服务形式;广义上理解是指为满足终端用户多元化能源生产与消费的能源服务形式,包含综合能源(包括电力、燃气和冷热等多种能源类型)和综合服务(包括工程、投资和运营等多种服务类型)2个方面,涵盖能源规划设计、工程投资建设、多能源运营及投融资等服务内容^[23-24]。从市场推广的角度对上述两类定义进行归纳,则可将综合能源服务理解为以用户用能需求和实际用能情况为导向的菜单化、一体化能源服务产品^[25]。可见,综合能源服务所具备的高度包容性和可拓性决定了这一概念已无法用简短的语言进行界定,而是随市场及用户需求的变化不断丰富、健全。本文从综合能源服务发展的现状和用户需求出发,整理了当前典型的综合能源服务产品体系,如表1所示。

表1 综合能源服务产品体系

Tab. 1 Product system of integrated energy services

解决方案	类别	服务产品
工商业智慧用电解决方案	分布式供能	分布式风电、分布式光伏、分布式储能、分布式冷热电三联供等
	需求引导	需求响应、电能替代等
	电能质量	电能质量监测与评估、电能质量治理等
	节能管理	节能改造、运维检修等
居民用户智慧用电解决方案	能源金融	设备租赁、电力信贷、电力保险等
	经济用电	电价套餐等
	便捷服务	快速抢修、智能家居等
	电动汽车	车桩购装、充电套餐等

能源互联网是一种以电力系统为核心,以互联网及信息和通信技术(information and communications technology, ICT)为基础,将各类能源网络与交通运输网络高度耦合的新型能源供用体系^[26]。能量

流与信息流的相互融合、传导是能源互联网的基本特征之一^[22]。在信息流方面,相较于传统能源系统,能源互联网能够实现信息资源在能源产销全过程的实时共享,以及在系统、设备、用户间的双向传导^[27];在能量流方面,能源互联网将传统相对单一化的能源传输管网拓宽为多元智能传输系统,并具有普适性的能源接入能力和即插即用能力,能够有效提升能源资源在广域范围内的利用效率和优化配置能力^[28]。

1.2 能源互联网与综合能源服务的发展协同性

现阶段,中国综合能源服务规模化发展的最主要阻碍在于用户参与的主动性不强,其问题根源是用户普遍对综合能源服务的价值不理解、不认可。对此,应结合国内现行能源市场背景,参考国外成功案例及经验,对服务的信息交互方式、交易方式和营销方式进行转变。但由于目前相关研究缺乏对市场运营层面的思考与探索,实现上述三大目标的过程中仍然存在若干问题亟待解决。而能源互联网则是解决这些问题的关键手段:

1) 市场组织形式问题

综合能源服务信息交互方式上的转变关键在于通过构建合理的市场组织形式来打破设备供应商、能源服务商和用户等市场主体间的信息壁垒。但由于中国能源领域长期处于自然垄断阶段,在服务过程中并不注重供需互动,信息透明度和交互效率尤为低下,直接导致了目前综合能源服务市场中的各市场主体相互对立、各自为战的竞争态势。依托能源互联网构建开放的能源生态体系,吸纳利益相关方参与共建共享,充分调动供需双向互动和服务能量流、信息流、业务流“三流合一”,形成一种以信息为纽带的市场组织形式,不仅能够提升终端用户的参与积极性和用能体验,更有助于传统能源企业从能源供应商、管道输配商向综合能源服务商和服务平台运营商转型发展。

2) 服务商业模式问题

综合能源服务交易方式上的转变关键在于商业模式的落地。但目前,国内大部分综合能源服务试点工程的建设运营方和项目业主(用户)归属于同一企业,因而不存在市场交易问题,商业模式更无从谈起。在能源互联网背景下,相关市场主体的商业模式具有更丰富的内涵,不仅包括传统的能源供销服务模式,还囊括了能源资产服务模式、能源增值服务模式、能源设备服务模式 and 能源信息服务模式等类别。因此,基于综合能源服务市场的组织形式,找准各类型市场主体的价值落脚点,构建与其市场职能相对应的商业模式,是实现能源产业链良性循环发展的基本保障。

3) 数据业务化问题

综合能源服务营销方式上的转变关键在于如何发掘各类数据的内涵与价值,并将其转变为带有商业目的的指导性信号,使各项业务所产生、积累的数据创造新的价值,反哺企业经营,即数据业务化问题^[29]。在综合能源服务领域,用户用能数据能够体现用户的行为特征、用能潜力、用能偏好及敏感因素等信息,市场业务及关系数据、社会数据能够反映服务产品乃至服务市场的发展前景、趋势。因此,实现综合能源服务的数据业务化能够有效指导能源服务商更好地设计服务产品、制定营销策略、部署发展战略。能源互联网包含基于物联网技术的数据支撑平台,能够推动能源领域各类型数据的融通与共享,有效促进综合能源服务从臆测用户需求向数据驱动模式发展,是实现数据业务化的关键技术支撑。同时,综合能源服务的规模化发展能够有效地将终端用户融入能源互联网的建设进程,进一步扩大能源互联网信息感知的广度和深度。

综上所述,能源互联网将是发展综合能源服务的关键手段,而这种关键作用不仅要有先进的物理技术、信息技术作为支撑,更需要与之配套的协同运营模式来整合各市场元素、系统元素等。为提高能源互联网与综合能源服务之间的发展协同性,本文第2、3节提出的服务市场运营模式、关键技术与本节的问题密切相关,之间的相互关系如图1所示。

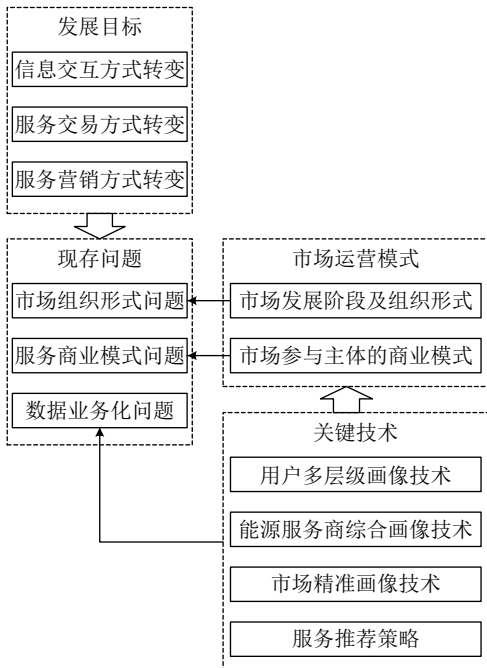


图1 发展目标、现存问题、运营模式与关键技术之间的相互关系

Fig. 1 Relationship among development goals, present problems, operation model and key technologies

目前,在世界范围内能源互联网还处于发展初期,势必要经历数个发展阶段才能趋于成熟,因而综合能源服务的规模化发展也并不能一蹴而就。因此,需要结合中国能源互联网的建设规划^[30],研究综合能源服务的市场发展路径及其组织形式,探索市场在萌芽期、过渡期和成熟期的市场形势及数据分析的理论模型、指标体系和应用算法。

2 能源互联网背景下的综合能源服务市场运营模式

2.1 综合能源服务市场发展阶段及组织形式

随着市场成熟度和信息透明度的不断提升,综合能源服务市场的发展将呈现阶段性特征,可分为无组织的分散竞争阶段、局部平台化的信息汇聚阶段和全域生态化的产业生态阶段,各阶段市场结构如图2所示。

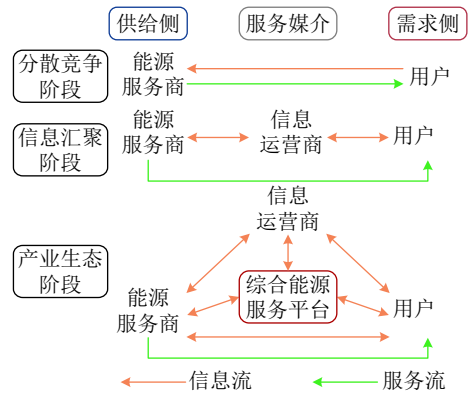


图2 综合能源服务市场各阶段市场结构

Fig. 2 Market structure of integrated energy services market in different stages

2.1.1 分散竞争阶段

在综合能源服务发展初期,开放的市场环境将吸引众多用户和能源服务商参与服务交易。但由于此时各能源服务商的经营能力尚不成熟,难以形成压倒性的竞争优势,所占市场份额较小,呈现出分散竞争的特点。

在分散竞争阶段,能源服务商因缺乏用户信息和数据解析能力,对用户行为捕捉和需求感知力度较弱,数据价值难以体现在服务产品的设计和运营中,直接导致综合能源服务同质化程度不高、交易成功率低、服务推广困难。因此,在该阶段下,整个服务市场的开发程度较低,存在大量潜在用户。

从信息互动的角度上看,市场信息呈现出单向流动、弱联系的特征:服务商单方面获取用户数据,且对存量用户的数据具有独占性;用户对服务商信息掌握不足,多局限于对服务产品的初步认识。这种较低的信息透明度使得用户难以进行合理的消费决

策,而能源服务商也不会面临过大的竞争压力。

2.1.2 信息汇聚阶段

随着综合能源服务逐步普及,市场竞争不断加剧,掌握广度、深度和粒度更高的用户数据、市场数据,进而更好地指导经营决策成为能源服务商所面临的主要问题。但是,单纯依靠加装感知设备来扩充信息将使能源服务商承受巨额信息采集成本。这一现实情况将促使部分在数据、通信和技术等方面存在先发优势的企业专注于信息的采集、聚合和分析,并面向市场供需双方提供信息咨询和供需匹配等业务。这类市场主体可被称为信息运营商,主要由具备网架优势吓客户优势的大型能源服务商(如电网企业)、具备信息采集优势的通信企业,以及具备数据优势的互联网企业所构成。

信息运营商的出现使市场供需之间产生沟通彼此的“服务媒介”,能够有效解决综合能源服务在能源互联网数据支撑平台尚未建成情况下的数据业务化和市场推广问题,标志着综合能源服务市场进入信息汇聚阶段。

信息运营商以开展局部区域、小规模的信息运营业务为核心职能:一方面,通过采集用户信息,对数据进行清洗、筛选、预处理和聚合后有偿提供给能源服务商;另一方面,将能源服务商的企业概况、信用等级、产品质量、服务质量等信息面向用户发布,并在此基础上进行服务匹配和推荐。

因此,信息运营商在综合能源服务交易过程中起到了信息平台的作用,各类信息通过信息运营商进行汇聚和分发,实现了双向流动,大大提升了市场的信息透明度,服务商(用户)可以通过信息运营商主动寻求服务对象(服务商);同时,信息运营商也起到了中介撮合的作用,其经营愿景在于通过撮合供需双方,提升综合能源服务交易的效率和成功率,从而将自身价值闭环嵌入服务市场以实现盈利。由此可见,信息运营商扮演着综合能源服务向平台化发展的过渡性角色,有助于市场向产业生态的方向发展。

2.1.3 产业生态阶段

随着市场进一步发展,部分信息运营商的规模不断扩大,或出现局部融合,最终形成全域化的综合能源服务平台,标志着综合能源服务市场进入产业生态的成熟阶段。

综合能源服务平台是对信息运营商的所有职能的涵盖和升级,不仅实现了综合型服务交易平台的作用,还具备产品管理、供需管理、营销招商管理等功能;同时,服务平台还可具备能源服务商的职能,其通过链接产业链上下游资源,可自主开发一系列

综合能源服务“自营产品”,直接推送给用户;此外,服务平台可以通过把握整个市场的信息流,来洞察市场前景和潜力,甚至创造市场趋势、市场热点,从整个产业链的各个环节来获取价值。

综合能源服务平台的出现并不会使得市场进入寡头垄断,中小型能源服务商、信息运营商能够有效补充综合能源服务平台某些难以顾及的细分市场,而服务平台也能够充分利用外部资源以降低自身的生产经营成本,更好地专注于核心业务。在这一阶段,多方分工协作实现了各市场主体间的共存共荣,产业生态圈基本形成,价值网络逐步完善,综合能源服务产业将形成数据驱动、良性循环的发展模式。

2.2 综合能源服务市场参与主体的商业模式

2.2.1 综合能源服务商的商业模式

综合能源服务商作为服务的提供商,其商业模式可描述为:在多维数据驱动下,通过分析用户信息,把握用户多元用能需求,设计、定制综合能源服务产品和智慧用能解决方案来获得收益。因此,综合能源服务商的经营核心在于满足用户用能需求,其价值闭环如图3所示。

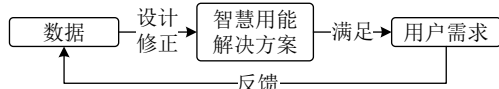


图3 综合能源服务商的价值闭环

Fig. 3 Value closed-loop of integrated energy service providers

能源服务商的商业模式贯穿市场各个发展阶段,是综合能源服务市场化的基础交易模式,而能源服务商应选择部分有业务优势的综合能源服务品类投入市场,并完善市场营销技术。为进一步说明综合能源服务商的市场运营,可引入信息流、服务流、业务流和资金流表征综合能源服务商的运营流程,如图4所示。

必须注意的是,不同的市场阶段,综合能源服务商具备不同的运营特性。

在分散竞争阶段,由于能源服务商掌握的用户数据、市场信息较为匮乏,难以准确把握用户、市场的具体情况。因此,多数能源服务商将在这一阶段进行市场需求触探、基础能力积累和商业模式摸索,并根据自身特点及优势来选择所运营的服务产品。

当市场进入信息汇聚阶段及产业生态阶段,“服务媒介”的出现将打破市场的信息壁垒,帮助能源服务商进行有效的用户画像和市场画像,从而为增量用户推荐符合用能特征、满足用能需求且具备较好发展前景的定制服务或组合套餐,为存量用户提供服务质量动态跟踪和服务方案修正。此时,“数据业

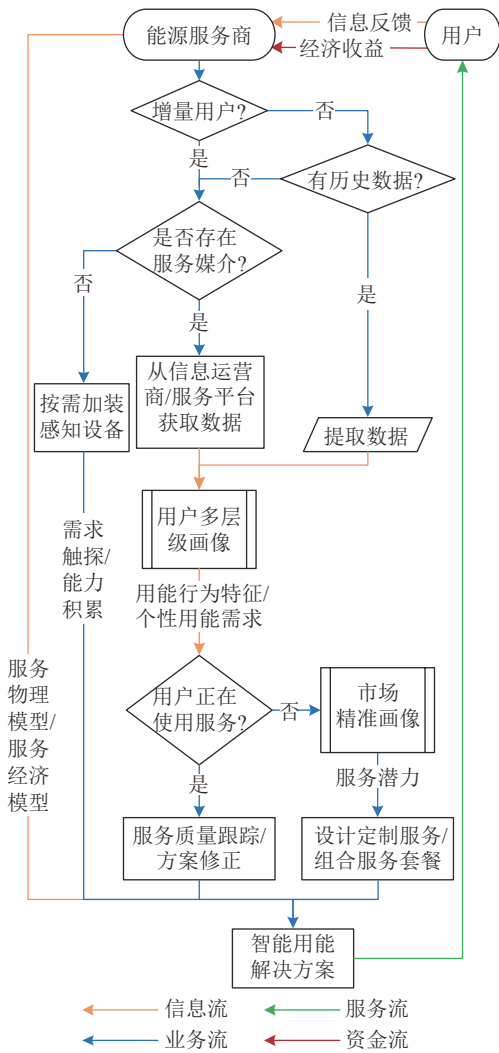


图 4 综合能源服务商的运营流程

Fig. 4 Operational process of integrated energy service providers

务化”的综合能源服务推广模式基本实现,能源服务商越是能够高效挖掘蕴藏在数据中的价值,就越能够掌握竞争优势,这对能源服务商的数据感知、分析能力提出了更高的要求。

2.2.2 信息运营商的商业模式

信息运营商作为市场的服务媒介,其商业模式可描述为:实现高价值用户群体或区域的信息聚合,积极链接供需双方,撮合综合能源服务交易的达成。因此,能否利用已有数据找到供需双方的平衡点是信息运营商经营的关键。

信息运营商的价值闭环和运营流程如图5、6所示。

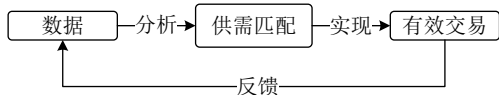


图 5 信息运营商的价值闭环

Fig. 5 Value closed-loop of information operators

由图6可见,信息运营商的业务主线:一方面,为综合能源服务商和用户提供服务支撑;另一方面,依托用户多层级画像技术和能源服务商综合画像技术,实现对供给侧、需求侧的双向画像,并结合市场精准画像技术对不同细分市场、服务产品的发展前景进行评估,综合进行服务的供需匹配与推荐。

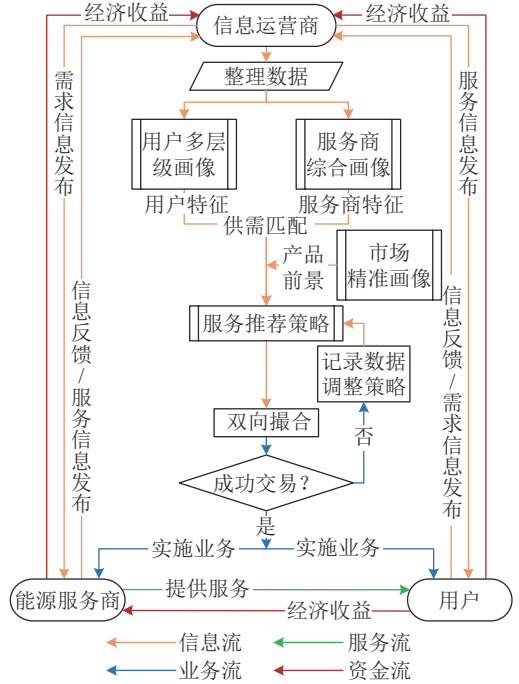


图 6 信息运营商的运营流程

Fig. 6 Operating process of information operators

2.2.3 综合能源服务平台的商业模式

综合能源服务平台是覆盖全区域、多主体,实现交易管理、产品管理、服务商管理、用户管理、营销管理、招商管理等功能,并提供开放性数据接口的综合能源产业平台。综合能源服务平台作为服务于整个综合能源产业的枢纽,具有复合型市场职能,其商业模式不仅涵盖了能源服务商、信息运营商的价值实现途径,还能够站在行业高度,分析整个综合能源服务市场的发展趋势,针对性地施放调控手段引导各参与主体的市场行为。

综合能源服务平台的价值闭环和运营流程如图7、8所示。

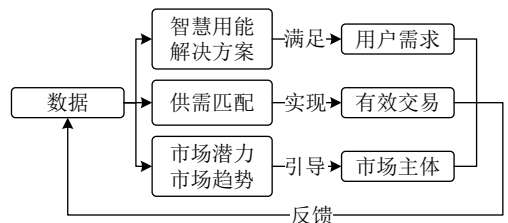


图 7 综合能源服务平台的价值闭环

Fig. 7 Value closed-loop of integrated energy services platform

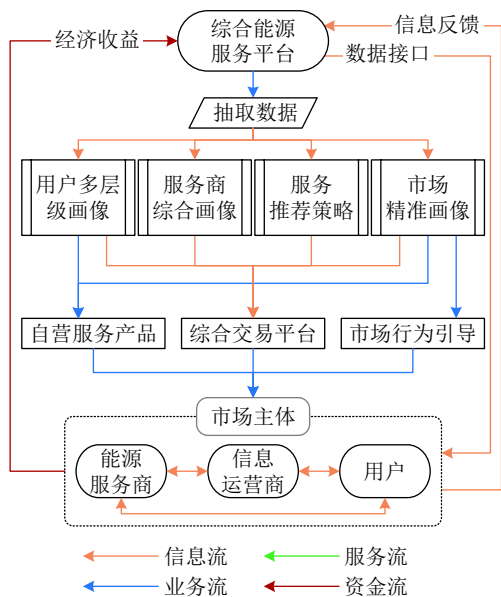


图8 综合能源服务平台的运营流程

Fig. 8 Operation process of integrated energy services platform

由图8可见,服务平台的市场运营是对用户多层次画像技术、能源服务商综合画像技术、服务推荐策略和市场精准画像技术的综合运用,其开展自营业务的同时,还秉承开放态度,积极吸纳第三方市场主体来参与平台建设,实现互利共赢。

因此,未来综合能源服务领域的竞争性形态,不再局限于某个细分市场、某个服务产品等具体业务层面,而集中在大型综合能源服务平台之间,比拼的是不同服务平台所构建产业生态体系的丰富度、集中度和灵活性。

3 综合能源服务市场运营关键技术

为进一步强化能源互联网在推动综合能源服务规模化发展中的作用,应当引入更为先进的信息处理和数据挖掘技术,构建综合能源服务技术方案与市场运营间的信息桥梁,解决当前综合能源服务市场化发展所面临问题的同时,更好地支撑各市场参与主体的经营行为。在此,基于上述提出的综合能源服务市场运营模式,对用户多层次画像等4类关键技术的建模原理、技术框架及实现路径进行分析和讨论。

3.1 用户多层次画像技术

用户画像从互联网电商领域引入的概念,是指企业挖掘用户的多维属性和社交数据等,抽象出完整的信息标签,组合并搭建出一个立体的用户虚拟模型,从而指导营销策略的制定^[31]。

类似地,综合能源服务也可对该技术进行迁移和应用,不同的是,综合能源服务领域所涉及的用户数据更为复杂、多样,分析难度更大。用户既具有相

对稳定的静态信息(如用户编号、所属行业、负荷容量、电压等级等),又具有时效性较强的动态信息(如电气特征参量、用电习惯等)^[32-34];既具有体量庞大的结构化数据(如用电量、电费等),还具有种类繁多的非结构化数据(如市场交易、业务实施所产生的文本、音视频等)^[32-34];既具有时间跨度较大、反映历史情况的批式数据,又具有实时、快速、连续到达的流式数据^[35]。

针对上述数据特征,围绕综合能源服务相关业务,可将用户多层次画像技术按照业务进程划分为数据准备、建模分析、标签处理3个阶段,如表2所示。

表2 用户多层次画像技术
Tab. 2 Multi-level Persona

阶段	主要工作	具体内容
数据准备	数据采集传送	气象数据、电气特征数据、营销数据、政策因素等
	数据预处理	数据清洗、数据转换、数据规约、数据集成等
建模分析	用户行为	类属维度、时间维度、响应维度等
	用户需求	基础供能需求、增溢价值需求
标签处理	用户价值	业务盈利、业务风险、用户忠实度等
	标签模型库	历史用能事实标签、数据分析模型标签、用能潜力预测标签等
	用户相似度	行为相似度、需求相似度、价值相似度等

基于智慧终端、采集设备、社会公共数据等数据来源,构建分布式文件系统(distributed file system)、分布式关系型数据库(distributed relational database)及分布式非关系型数据库(distributed NoSQL database)^[35-36],并以此为数据基础,依托大数据^[37]、云计算^[38]、物联网^[39]、移动互联网^[40]、人工智能^[41]、区块链^[42]、边缘计算^[43]等技术方法,研究涵盖负荷特征及典型用能模式^[44-45]、用能行为影响因素及敏感强度等方面^[46-47]的用户用能行为特征提取和局部细节解析方法,分析用户的基础性能源消耗需求和增溢性价值需求,刻画用户在营销潜力、信用状况等方面的差异^[48],在业务盈利、业务风险等方面评估用户价值^[49],实现用户信息的数据化、关联化、标签化、可视化,形成全局刻画与细节描写相结合的多层级用户画像智能分析系统,指导能源服务商进行需求分析、用能建议、营销决策等具体经营行为。

3.2 能源服务商综合画像技术

能源服务商画像实际上是对服务商的客观综合评价,通常需要在建立评价指标集的基础上通过综合评价方法进行评估,例如,模糊综合评价法^[50]、数据包络分析法^[51]、可拓理论^[52]等。与单纯的客观性评价不同的是,对综合能源服务商的评价主体通常

为用户,用户的选择标准和侧重条件的差异将导致评价指标的选取和赋权无法一概而论,一般需要人为介入,可采用主客观结合的综合集成赋权法^[53]。

综合能源服务商评价指标体系可选取企业实力、服务能力和服务产品为一级指标,具体涵盖企业规模、服务质量、产品功能等7项二级指标,如表3所示。

表3 综合能源服务商评价指标体系

Tab. 3 Evaluation index system of integrated energy service providers

一级指标	二级指标	具体内容
企业实力	企业规模	注册资本、资金来源、盈亏现状等
	信用声誉	用户投诉量、企业品牌价值、违约次数、诉讼纠纷情况等
服务能力	服务质量	服务(设备)寿命、返修比率、产品体系健全度、保修时长、服务回访次数、售后响应速度等
	市场占有率	产品市场覆盖率、客户流失率、客户保有量、市场增长率等
服务产品	产品功能	节约用能成本、清洁低碳、提升能效等
	技术方案	用能环节管理与优化、供能设备建设等
	服务模式	投资建设模式、资费模式、运行模式等

综合能源服务商评价指标体系中包含定性和定量两类指标,定量指标中既有如注册资本、违约次数这类精确数值形式的指标,也有如产品市场覆盖率等无法用单一数值表示的指标,对该类指标用区间数表征更加合理^[54]。对于企业品牌价值、产品体系健全度等这类定性指标,决策者多倾向采用程度语言描述,为便于计算分析可将之转换为模糊数表征^[55]。

3.3 市场精准画像技术

综合能源服务市场画像的本质是进行市场预测,即在已有服务产品、市场信息的基础上,运用科学的预测方法,对各类服务产品乃至整个市场未来的供需趋势、影响因素及其变化规律做出分析与推断。市场画像技术对能源服务商、信息运营商和综合能源服务平台这3类主体的市场运营都具有重要意义,但在具体实施过程中,各主体进行市场画像的侧重点应有所不同。

对于能源服务商和信息运营商而言,其经营核心在于尽可能吸引用户选择、购买综合能源服务产品,从中获取直接的经济收益。因此,这两类主体进行市场画像时,应侧重于分析某个服务产品或细分市场在短期内(通常为1~3年)的市场潜力,从而辅助经营决策。由于开发的市场上将存在大量异质性的综合能源服务产品,因此,在进行市场短期潜力评估时,既要评估综合能源服务的市场规模,也应研究具体服务产品的需求量。综合能源服务的市场短期潜力主要取决于产品本身的价格、市场上相关产品

的价格水平以及消费者的支付能力、消费预期等因素^[25,56];进行深入的市场调查,尽可能全面地掌握各类服务和用户的信息,并构建准确的综合能源服务效用评估模型、成本效益模型^[3,25],是实现市场短期潜力评估的关键。

对于综合能源服务平台而言,其价值核心在于借助自身的枢纽、核心地位,挖掘整个服务产业链信息流中的数据价值并加以利用,引导其他市场主体的行为,从整个产业链的各个环节来获取价值。因此,服务平台的市场画像应侧重于对整个综合能源服务产业的中长期市场趋势进行宏观分析。由于在较长时间尺度下,市场行为往往不只由经济原因所决定,而是随着政治形势、社会环境、生活习惯、消费心理等因素的变化而变化,存在较强的不确定性,所以市场中长期趋势分析应采用定性、定量相结合的方式进行。定性分析方面,可借助波士顿矩阵(BCG Matrix)^[57]、产品生命周期(product life cycle, PLC)^[58]等方法,明确各类综合能源服务产品的竞争格局及发展前景;定量分析方面,可基于各类市场数据,研判影响市场需求和发展的各类因素及其制约、依存关系,运用时间序列法(趋势外推法)^[59]、回归分析法^[59-60]和消费水平法^[60]等方法进行评估。

3.4 服务推荐策略

基于用户多层级画像、能源服务商综合画像及市场精准画像,可进一步探讨服务推荐策略。能源互联网视角下,综合能源服务的发展是循序渐进的,推荐策略亦随市场的发展演进而具有不同侧重点。

在市场发展初期,由于服务成交量和用户数量较低,从成交案例中提取的信息较为有限,案例经验不具备普适性;同时,服务交易过程中,用户的选择标准、侧重条件等主观差异将直接影响消费决策。因此,服务推荐策略应关注于用户特征及消费偏好与能源服务商特征间的匹配关系,可采用简单加权法(SAW)^[61]、和谐性分析(electre)^[62]、逼近理想解排序(TOPSIS)^[63]等多准则决策方法实现服务产品的主动推送。主动推送策略能够根据用户及能源服务商的多维特征进行精准服务推送,但这一策略推荐效率较低,难以大规模采用。

随着市场规模的不断扩大、综合能源服务逐步普及,信息运营商将缺乏足够的精力实现一对一的精细化供需撮合,尤其是市场进入产业生态阶段后,综合能源服务平台所面向的范围将扩大到全域市场,此时仍然采用主动推送策略将更不可行。因此,对于市场发展的成熟期,服务推荐策略应构建市场主体相似度的自动识别、提取模型,挖掘用户间和能源服务商间的差异性和共性,采用组合服务理论(service

composition)^[64]、关联规则挖掘(association rule mining)^[65]、内容关联推荐(content-based, CB)^[66]、协同过滤推荐(collaborative filtering, CF)^[67]、频繁模式树(FP-tree)^[68]等理论方法实现服务产品的规模性推荐。

4 结论与展望

综合能源服务在帮助用户节约用能成本、提升用能效率、促进用能方式低碳化等方面具有巨大的优势和潜力,势必在未来能源市场中占据重要的地位。而能源互联网的建设能够推动中国能源行业的产业技术升级和供需结构调整,与综合能源服务的发展密切相关。能源互联网对于综合能源服务规模化发展的促进作用体现在促进形成良性的市场组织形式、帮助各市场参与主体完善商业模式和实现服务的数据业务化3个方面。本文对综合能源服务的市场运营模式及关键技术进行了初步探讨,但要推动综合能源服务的规模化发展单纯依靠现有工作是远远不够的,今后还应针对性地开展相关研究、实践和政策制定工作,在此提出以下建议:

第一,在市场组织形式方面,关键在于合理促进市场集中度和开放度不断提高,促进综合能源服务市场不断向产业生态阶段演进:一是,强化市场监管,尤其要注重综合能源服务捆绑基本供能服务这一类自然垄断环节和市场竞争环节相融合的市场行为,防止寡头能源服务商的形成,避免综合能源服务市场重新走向垄断;二是,适度强化市场“优胜”机制,在财税、金融、信贷等方面对规模经济显著、发展势头良好的相关市场参与主体适度倾斜,但应在市场信息、市场交易等方面恪守制度红线;三是,疏通“劣汰”渠道,完善以破产清退为核心的市场主体退出制度及其执行机制;四是,重视技术创新的孵化建设,鼓励各类市场参与主体尤其是能源服务商的专业化发展,避免“扶大限小”的政策导向阻碍市场提质增效与转型升级。

第二,在服务商业模式方面,关键在于实现各市场参与主体与用户间有效、充分的互动,因而在激发市场参与主体发展活力的同时,还应重视用户侧能源消费行为的引导与培育:一是,综合利用多种媒体宣传渠道,逐步改变用户的固有能源消费观念,引导用户支持、参与综合能源服务;二是,对综合能源服务的服务架构、服务界面进行适度标准化,以实现专业知识和服务环节的分解,增强用户的选择便利度;三是,建立公开透明的服务数据共享机制、市场信息披露机制,规定各类市场参与主体的行为标准,制定不正当竞争的处罚机制,优化服务运营环境,提振服务市场信心。

第三,在数据业务化方面,关键在于提升数据获取能力和分析处理能力:一是,加强智能表计建设工作,着力提升用能数据获取的广度、粒度和准确度,尤其是在具有较高市场价值的工业园区、产业聚集区以及用户冷、热能流的检测工作等方面进行改进;二是,研发适用于海量用能数据高效处理的大数据分析算法,重点关注具有较强非线性分类能力的有监督学习算法在能源大数据领域的适用性改进工作,解决大数据处理底层算法功能及性能瓶颈。

总体而言,为了充分发挥能源互联网对综合能源服务规模化发展的推动作用,必须在市场运营模式上实现各市场参与主体、用户间的充分互动和互利共赢;在技术层面上引入更为先进的信息处理和数据挖掘技术,实现信息流与能量流、业务流间更为广泛和深度的交互;在政策层面上尽快完善各项机制规范,促进能源互联网与综合能源服务协同发展。

参考文献:

- [1] Qi Yan, Liu Dunnan, Xu Erfeng, et al. Key issues and prospects of integrated energy service for energy Internet in park[J]. *Electric Power Construction*, 2019, 40(1): 123–132. [戚艳, 刘敦楠, 徐尔丰, 等. 面向园区能源互联网的综合能源服务关键问题及展望[J]. *电力建设*, 2019, 40(1): 123–132.]
- [2] Geidl M, Andersson G. Optimal power flow of multiple energy carriers[J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2007, 22(1): 145–155.
- [3] Zeng Ming, Liu Yingxin, Zhou Pengcheng, et al. Review and prospects of integrated energy system modeling and benefit evaluation[J]. *Power System Technology*, 2018, 42(6): 1697–1708. [曾鸣, 刘英新, 周鹏程, 等. 综合能源系统建模及效益评价体系综述与展望[J]. *电网技术*, 2018, 42(6): 1697–1708.]
- [4] Loh P C, Zhang Lei, Gao Feng. Compact integrated energy systems for distributed generation[J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2013, 60(4): 1492–1502.
- [5] Xu Li, Zhang Yifei, Zhang Bin, et al. Based on hybrid multi-attribute group decision making method of evaluation of integrated energy system efficiency[J]. *Industrial Technology & Economy*, 2014, 33(3): 52–57. [徐莉, 张轶斐, 张斌, 等. 基于混合型的多属性群决策法的综合能源系统效益评价研究[J]. *工业技术经济*, 2014, 33(3): 52–57.]
- [6] Li Gengfeng, Bie Zhaohong, Wang Ruihao, et al. Research status and prospects on reliability evaluation of integrated energy system[J]. *High Voltage Engineering*, 2017, 43(1): 114–121. [李更丰, 别朝红, 王睿豪, 等. 综合能源系统可靠性评估的研究现状及展望[J]. *高电压技术*, 2017, 43(1): 114–121.]
- [7] Feng Hongli. Current situation and business model of integrated energy services at home and abroad[J]. *China Electrical Equipment Industry*, 2017(6): 34–42. [封红丽. 国内外综合

- 能源服务发展现状及商业模式研究[J].*电器工业*,2017(6):34-42.]
- [8] Cao Zhong. The practice and results of the Southern Power Grid to carry out comprehensive energy service[J].*Power Demand Side Management*,2016,18(3):1-4.[曹重.南方电网开展综合能源服务的实践及成效[J].*电力需求侧管理*,2016,18(3):1-4.]
- [9] Chevron Corporation.2017 annual report[EB/OL].(2018-11-24)[2020-06-16].<https://www.chevron.com/-/media/chevron/annual-report/2017/2017-Annual-Report.pdf>.
- [10] Tokyo Gas. Intelligent energy network[EB/OL].(2018-11-24)[2020-06-16].https://www.tokyo-gas.co.jp/techno/category3/2_index_detail.html.
- [11] Smart City[EB/OL].(2017-11-24)[2020-06-16].http://www.360doc.com/content/19/0608/16/32862047_841164122.shtml.
- [12] German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. E-energy[EB/OL].(2018-11-24)[2020-06-16].https://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/DE/Service/Abgelaufene_Programme/E-Energy/e-energy.html.
- [13] Peng Ke,Zhang Cong,Xu Bingyin,et al. Status and prospect of pilot projects of integrated energy system with multi-energy collaboration[J].*Electric Power Automation Equipment*,2017,37(6):3-10.[彭克,张聪,徐丙垠,等.多能协同综合能源系统示范工程现状与展望[J].*电力自动化设备*,2017,37(6):3-10.]
- [14] Jia Hongjie,Wang Dan,Xu Xiandong,et al. Research on some key problems related to integrated energy systems[J].*Automation of Electric Power Systems*,2015,39(7):198-207.[贾宏杰,王丹,徐宪东,等.区域综合能源系统若干问题研究[J].*电力系统自动化*,2015,39(7):198-207.]
- [15] Huang Hanqi,Mao Chengxiong,Wang Dan,et al. Modeling summarizing of distributed renewable energy power generation system[J].*Proceedings of the Chinese Society of Universities*,2010,22(5):1-18.[黄汉奇,毛承雄,王丹,等.可再生能源分布式发电系统建模综述[J].*电力系统及其自动化学报*,2010,22(5):1-18.]
- [16] Zhang Dongxia,Miao Xin,Liu Liping,et al. Research on development strategy for smart grid big data[J].*Proceedings of the CSEE*,2015,35(1):2-12.[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.]
- [17] Bhatt V,Friley P,Lee J. Integrated energy and environmental systems analysis methodology for achieving low carbon cities[J].*Journal of Renewable and Sustainable Energy*,2010,2(3):031012.
- [18] Wang Han,Saint-Pierre A,Mancarella P. System level cost and environmental performance of integrated energy systems: An assessment of low-carbon scenarios for the UK[C]//*Proceedings of the 2015 IEEE Eindhoven Power-Tech*.Eindhoven:IEEE,2015:16.
- [19] Allan L,Menzel K. Virtual enterprises for integrated energy service provision[M]//*Leveraging Knowledge for Innovation in Collaborative Networks*. Heidelberg:Springer Berlin Heidelberg,2009:659-666.
- [20] Li Furong. Market reforms for integrated local energy systems[J].*Proceedings of the CSEE*,2015,35(14):3693-3698.
- [21] Wei F,Jing Z X,Wu P Z,et al. A Stackelberg game approach for multiple energies trading in integrated energy systems[J].*Applied Energy*,2017,200:315-329.
- [22] Zeng Ming,Yang Yongqi,Li Yuanfei,et al. The preliminary research for key operation mode and technologies of electrical power system with renewable energy sources under energy Internet[J].*Proceedings of the CSEE*,2016,36(3):681-691.[曾鸣,杨雍琦,李源非,等.能源互联网背景下新能源电力系统运营模式及关键技术初探[J].*中国电机工程学报*,2016,36(3):681-691.]
- [23] 国家电网有限公司.关于在各省公司开展综合能源服务业务的意见[R].北京:国家电网有限公司,2017.
- [24] Li Yang,Song Tianli,Wang Zijian. Research on key issues of integrated energy services based on user data deep-mining[J].*Power Demand Side Management*,2018,20(3):1-5.[李扬,宋天立,王子健.基于用户数据深度挖掘的综合能源服务关键问题探析[J].*电力需求侧管理*,2018,20(3):1-5.]
- [25] Wang Jingwen,Li Huaqiang,Li Xuxiang,et al. Utility model and demand assessment method of integrated energy service[J].*Proceedings of the CSEE*,2020,40(2):411-424.[王静雯,李华强,李旭翔,等.综合能源服务效用模型及用户需求评估[J].*中国电机工程学报*,2020,40(2):411-424.]
- [26] Dong Zhaoyang,Zhao Junhua,Wen Fushuan,et al. From smart grid to energy Internet: Basic concept and research framework[J].*Automation of Electric Power Systems*,2014,38(15):1-11.[董朝阳,赵俊华,文福拴,等.从智能电网到能源互联网:基本概念与研究框架[J].*电力系统自动化*,2014,38(15):1-11.]
- [27] Pu Tianjiao,Liu Kewen,Chen Naishi,et al. Design of ADN based urban energy Internet architecture and its technological issues[J].*Proceedings of the CSEE*,2015,35(14):3511-3521.[蒲天骄,刘克文,陈乃仕,等.基于主动配电网的城市能源互联网体系架构及其关键技术[J].*中国电机工程学报*,2015,35(14):3511-3521.]
- [28] Yu Xiaodan,Xu Xiandong,Chen Shuoyi,et al. A brief review to integrated energy system and energy Internet[J].*Transactions of China Electrotechnical Society*,2016,31(1):1-13.[余晓丹,徐宪东,陈硕翼,等.综合能源系统与能源互联网简述[J].*电工技术学报*,2016,31(1):1-13.]
- [29] 一切业务数据化,一切数据业务化的数加平台[EB/OL]. [2020-06-16].<https://yq.aliyun.com/product/630>.
- [30] 国家发展改革委,国家能源局,工业和信息化部.关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见[EB/OL].(2016-02-29)

- [2020-06-16].http://www.nea.gov.cn/2016-02/29/c_135141026.htm.
- [31] 牛温佳.用户网络行为画像:大数据中的用户网络行为画像分析与内容推荐应用[M].北京:电子工业出版社,2016.
- [32] Zhu Tianyi,Ai Qian,He Xing,et al.An overview of data-driven electricity consumption behavior analysis method and application[J/OL].Power System Technology[2020-06-16].<https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2020.0226a>. [朱天怡,艾芊,贺兴,等.基于数据驱动的用电行为分析方法及应用综述[J/OL].电网技术[2020-06-16].<https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2020.0226a>.]
- [33] Xue Yusheng,Lai Yening.Integration of macro energy thinking and big data thinking part one big data and power big data[J].Automation of Electric Power Systems,2016,40(1):1-8.[薛禹胜,赖业宁.大能源思维与大数据思维的融合(一)大数据与电力大数据[J].电力系统自动化,2016,40(1):1-8.]
- [34] Wang Jiye, Ji Zhixiang, Shi Mengjie, et al. Scenario analysis and application research on big data in smart power distribution and consumption systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(8): 1829-1836. [王继业, 季知祥, 史梦洁, 等. 智能配用电大数据需求分析与应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(8): 1829-1836.]
- [35] Cheng Xueqi, Jin Xiaolong, Wang Yuanzhuo, et al. Survey on big data system and analytic technology[J]. Journal of Software, 2014, 25(9): 1889-1908. [程学旗, 靳小龙, 王元卓, 等. 大数据系统和分析技术综述[J]. 软件学报, 2014, 25(9): 1889-1908.]
- [36] Qin Xiongpai, Wang Huiju, Li Furong, et al. New landscape of data management technologies[J]. Journal of Software, 2013, 24(2): 175-197. [覃雄派, 王会举, 李芙蓉, 等. 数据管理技术的新格局[J]. 软件学报, 2013, 24(2): 175-197.]
- [37] Hao Ran, Ai Qian, Xiao Fei. Architecture based on multivariate big data platform for analyzing electricity consumption behavior[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(8): 20-27. [郝然, 艾芊, 肖斐. 基于多元大数据平台的用电行为分析构架研究[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(8): 20-27.]
- [38] Zhang Suxiang, Liu Jianming, Zhao Bingzhen, et al. Cloud computing-based analysis on residential electricity consumption behavior[J]. Power System Technology, 2013, 37(6): 1542-1546. [张素香, 刘建明, 赵炳镇, 等. 基于云计算的居民用电行为分析模型研究[J]. 电网技术, 2013, 37(6): 1542-1546.]
- [39] Li Xun, Gong Qingwu, Qiao Hui. The application of IOT in power systems[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 232-236. [李勋, 龚庆武, 乔卉. 物联网在电力系统的应用展望[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 232-236.]
- [40] Wang Yi, Chen Qixin, Zhang Ning, et al. Fusion of the 5G communication and the Ubiquitous Electric Internet of Things: Application analysis and research prospects[J]. Power System Technology, 2019, 43(5): 1575-1585. [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.]
- [41] Zhao Wenqing, Shen Zheji, Li Gang. Anomaly detection for power consumption pattern based on deep learning[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(9): 34-38. [赵文清, 沈哲吉, 李刚. 基于深度学习的用户异常用电模式检测[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(9): 34-38.]
- [42] Zhang Ning, Wang Yi, Kang Chongqing, et al. Blockchain technique in the energy Internet: Preliminary research framework and typical applications[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(15): 4011-4022. [张宁, 王毅, 康重庆, 等. 能源互联网中的区块链技术: 研究框架与典型应用初探[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(15): 4011-4022.]
- [43] Qi Bing, Xia Yan, Li Bin, et al. Family energy management system based on edge computing: Architecture, key technology and implementation[J]. Electric Power Construction, 2018, 39(3): 33-41. [祁兵, 夏琰, 李彬, 等. 基于边缘计算的家庭能源管理系统: 架构、关键技术及实现方式[J]. 电力建设, 2018, 39(3): 33-41.]
- [44] Lu Jun, Zhu Yanping, Peng Wenhao, et al. Feature selection strategy for electricity consumption behavior analysis in smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(5): 58-63. [陆俊, 朱炎平, 彭文昊, 等. 智能用电用户行为分析特征优选策略[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(5): 58-63.]
- [45] Gong Gangjun, Chen Zhimin, Lu Jun, et al. Clustering optimization strategy for electricity consumption behavior analysis in smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(2): 58-63. [龚钢军, 陈志敏, 陆俊, 等. 智能用电用户行为分析的聚类优选策略[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(2): 58-63.]
- [46] Zhao Teng, Wang Lintong, Zhang Yan, et al. Relation factor identification of electricity consumption behavior of users and electricity demand forecasting based on mutual information and random forests[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(3): 604-614. [赵腾, 王林童, 张焰, 等. 采用互信息与随机森林算法的用户用电关联因素辨识及用电量预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(3): 604-614.]
- [47] Chen Pengwei, Tao Shun, Xiao Xiangning, et al. Network model for correlation analysis of short-term electricity consumption behavior[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(3): 61-69. [陈鹏伟, 陶顺, 肖湘宁, 等. 短时间尺度用电行为相关性分析网络模型[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(3): 61-69.]
- [48] Cao Qingshan, Zheng Menglian, Ding Yi, et al. Multi-attribute decision making model for customer evaluation and se-

- lection in electricity market[J].*Power System Technology*,2018,42(1):117-125.[曹清山,郑梦莲,丁一,等.新电改背景下基于多属性决策的电力客户评估和选择研究[J].*电网技术*,2018,42(1):117-125.]
- [49] Qiu Huadong,Zhang Yunlei,Duan Guang,et al.Evaluation on value of power user based on ideal fuzzy matter element[J].*Technology Economics*,2018,37(7):107-113.[裴华东,张云雷,段光,等.基于理想模糊物元的电力用户价值评价[J].*技术经济*,2018,37(7):107-113.]
- [50] Jin Juliang,Wei Yiming,Ding Jing.Fuzzy comprehensive evaluation model based on improved analytic hierarchy process[J].*Journal of Hydraulic Engineering*,2004,35(3):65-70.[金菊良,魏一鸣,丁晶.基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J].*水利学报*,2004,35(3):65-70.]
- [51] 吴文江.数据包络分析及其应用[M].北京:中国统计出版社,2002.
- [52] 蔡文.可拓工程方法[M].北京:科学出版社,1997.
- [53] Yang Jingya,Sun Linfu,Wu Qishi.Cooperative enterprise optimization based on comprehensive weighting and extension theory[J].*Computer Systems & Applications*,2019,28(4):18-24.[杨静雅,孙林夫,吴奇石.基于综合赋权和可拓理论的协作企业优选[J].*计算机系统应用*,2019,28(4):18-24.]
- [54] 胡启洲,张卫华.区间数理论的研究及其应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [55] 张敏强.教育与心理统计学[M].2版.北京:人民教育出版社,2002.
- [56] 高鸿业.西方经济学:微观部分[M].7版.北京:中国人民大学出版社,2018.
- [57] Wang Shuang.Application of BCG Matrix[J].*Enterprise Reform and Management*,2001(8):30-31.[王双.波士顿矩阵的运用[J].*企业改革与管理*,2001(8):30-31.]
- [58] 杨建新.产品生命周期评价方法及应用[M].北京:气象出版社,2002.
- [59] 楼远.投资项目评估学[M].北京:中国财政经济出版社,1989.
- [60] 张建国.投资项目经济评价学[M].北京:冶金工业出版社,1997.
- [61] Wang Mingxi,Xie Haibin,Hu Yi.A multi-attribute procurement auction model based on the simple additive weighting method[J].*Systems Engineering(Theory & Practice)*,2014,34(11):2772-2782.[王明喜,谢海滨,胡毅.基于简单加权法的多属性采购拍卖模型[J].*系统工程理论与实践*,2014,34(11):2772-2782.]
- [62] Roy B.The outranking approach and the foundations of electre methods[J].*Theory and Decision*,1991,31(1):49-73.
- [63] Chen C T.Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment[J].*Fuzzy Sets and Systems*,2000,114(1):1-9.
- [64] Li Man,Wang Dazhi,Du Xiaoyong,et al.Dynamic composition of web services based on domain ontology[J].*Chinese Journal of Computers*,2005,28(4):644-650.[李曼,王大治,杜小勇,等.基于领域本体的Web服务动态组合[J].*计算机学报*,2005,28(4):644-650.]
- [65] Lin M Y,Lee P Y,Hsueh S C.Apriori-based frequent itemset mining algorithms on MapReduce[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC'12).*New York:ACM*,2012:1-8.
- [66] Balabanović M,Shoham Y.Fab:Content-based, collaborative recommendation[J].*Communications of the ACM*,1997,40(3):66-72.
- [67] Herlocker J L,Konstan J A,Terveen L G,et al.Evaluating collaborative filtering recommender systems[J].*ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*,2004,22(1):5-53.
- [68] Han Jiawei,Pei Jian,Yin Yiwen,et al.Mining frequent patterns without candidate generation:A frequent-pattern tree approach[J].*Data Mining and Knowledge Discovery*,2004,8(1):53-87.



李华强,2004年毕业于日本广岛大学复杂系统工程专业,教授。四川省电机工程学会常务理事,《电力系统保护与控制》杂志编委。长期致力于电力系统稳定与控制、电力系统安全风险评估、电网脆弱性及运行可靠性分析、新能源并网规划及运行、主动配电网及微电网规划及控制、能源经济等领域的基础研究与工程实践,曾提出可实用于电力系统复故障状况下的电压稳定评估快速算法、电压稳定分岔现象通用评估算法,填补了国际上相关领域的研究空白。主持和承担相关领域国家“863”重点项目、国家自然科学基金、四川省科技支撑计划等纵向课题数十项。在IEEE Transactions on Power Systems、《中国电机工程学报》等权威学术期刊发表论文100余篇,参与出版专著2部。

(编辑 赵婧)

引用格式: Li Huaqiang,Li Xuxiang,Kan Lifeng.Market operating model and key technologies of integrated energy services under the background of energy Internet[J].*Advanced Engineering Sciences*,2020,52(4):13-24.[李华强,李旭翔,阚力丰.能源互联网背景下综合能源服务市场运营模式及关键技术[J].*工程科学与技术*,2020,52(4):13-24.]