

“双碳”目标下中国综合能源服务的态势辨析与理论架构

王永真^{1,2}, 潘崇超³, 韩恺^{1,2*}, 杨旭东⁴, 李娜⁴, 戴璟⁵, 李嘉宇⁵, 朱晨光⁶

1. 北京理工大学能源与动力工程系, 北京市 海淀区 100081;
2. 北京理工大学重庆创新中心, 重庆市 渝北区 401120;
3. 北京科技大学能源与动力工程系, 北京市 海淀区 100083;
4. 国网综合能源服务集团有限公司, 北京市 西城区 100053;
5. 清华大学能源互联网创新研究院, 北京市 海淀区 100085;
6. 平高集团有限公司, 河南省 平顶山市 467000)

Situation Identification and Theory Architecture of Integrated Energy Services Under Dual Carbon Goal in China

WANG Yongzhen^{1,2}, PAN Chongchao³, HAN Kai^{1,2*}, YANG Xudong⁴, LI Na⁴, DAI Jing⁵,
LI Jiayu⁵, ZHU Chenguang⁶

1. Department of Energy and Power Engineering, Beijing Institute of Technology, Haidian District, Beijing 100081, China;
2. Innovation Center in Chongqing, Beijing Institute of Technology, Yubei District, Chongqing 401120, China;
3. Department of Energy and Power Engineering, University of Science and Technology Beijing, Haidian District, Beijing 100083, China;
4. State Grid Integrated Energy Service Group Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100053, China;
5. Energy Internet Research Institute, Tsinghua University, Haidian District, Beijing 100085, China;
6. Pinggao Group Co., Ltd., Pingdingshan 467000, Henan Province, China)

Abstract: In recent years, developments in theory, technology, business of integrated energy service (IES) have made continuously, and the dual carbon target puts forward new requirements and challenges on IES in China. Therefore, development trend and theory architecture of IES needs to be further identified under the dual carbon target. First, this paper reviews the development trend and business characteristics of IES enterprises in China, and it reveals that the number of enterprises is highly correlated with national carbon emission intensity and provincial GDP. Second, from the perspective of physics, information and value, this paper describes architecture, theory and technology for IES based on three-driver, improving the theoretical framework of IES. At last, in view of the poor

economic benefits of IES projects, while analyzing of the macro policy of IES, this paper presents suggestions on the development of IES under dual carbon target from the aspects of industrial ecology, theory and technology as well as value-added services.

Keywords: integrated energy service; integrated energy system; low-carbon transition; energy

摘要: 近年来综合能源服务在理论、技术和业态上不断发展, 而“双碳”目标对中国综合能源服务提出了新的要求和挑战。因此, “双碳”目标下综合能源服务的发展态势及理论体系需要进一步辨识。首先, 通过梳理中国综合能源服务的发展态势及其业态特征, 揭示了企业数量与国家碳排放强度及省域GDP呈现较高的相关性; 其次, 从“物理、信息、价值”的维度, 刻画了综合能源服务“三元驱动”的体系架构、理论框架及关键技术, 以完善综合能源服务的概念模型; 最后, 针对一些综合能源服务项目经济效益欠佳的问题, 在宏观政策分析的同时, 从产业生态、理论技术及增值服务方面对“双碳”目标下中国综合能源服务的发展提出建议。

关键词: 综合能源服务; 综合能源系统; 低碳转型; 能源

基金项目: 国家自然科学基金项目(52006114); 中国科学技术协会项目(双碳目标下综合能源服务产业发展模式与路径研究)。

National Natural Science Foundation of China (52006114); Project of China Association for Science and Technology (Research on the Development Model and Path of Integrated Energy Service under the Dual Carbon Goals).

0 引言

在能源低碳变革的发展背景下,电、热、气等多能源技术交叉融合,能源企业从生产型向服务型转型已成为发展趋势。由此,综合能源服务的新技术、新模式与新业态不断创新,成为支撑中国“碳达峰、碳中和”(简称“双碳”)目标和构建新型能源体系的重要路径。截止到2022年6月,全国仅仅以“综合能源”命名的企业就达2000余家,综合能源服务市值已逾万亿元,并呈现较快的增长趋势^[1]。理论和实践证明,综合能源服务有助于提升清洁能源消费、优化能源系统能效、提升能源服务水平以及促进能源与生态协调发展。

然而,某些综合能源服务项目的实际效益却难以与其理论期望媲美,出现经济效益欠佳、回收周期偏长、综合能效欠优等问题^[2-4]。因此,综合能源服务参与主体如何快速形成核心竞争力,获得综合能源服务的预期效益,成为综合能源服务生态可持续构建的热点话题。而对综合能源服务理论体系、技术架构及政策体系的准确定位成为研究上述问题的核心。但因综合能源服务本身技术内涵的高度交叉性,以及业界对综合能源服务理论认识的不充分,甚至导致了“综合能源服务是个筐”的说法,困扰着当前综合能源服务的发展。本质上,综合能源服务的基本要求是建立在能源系统内部元素“多能耦合、协同互补、多元互动”的基础上,通过系统中各设备、各主体的动态配合来实现预期效益。因此,综合能源服务并不是传统能源投资业务在供应侧、输配侧、负荷侧的直接求和。

近10年综合能源服务在技术、业态和模式的不断创新,给综合能源服务的内涵、理论和技术研究提供了不少素材。因此,张运洲等^[2]从能源客户需求、能源技术、能源服务模式、能源服务业态、能源政策等维度,研判了中国综合能源服务未来发展趋势;王静雯等^[3]完善了综合能源服务的效用模型,并进行了用户的需求评价;戚艳等^[4]对园区综合能源服务的关键技术进行了描述和展望。与此同时,“双碳”目标的提出,给综合能源服务带来了新的要求和挑战,如何布局新发展格局下的综合能源服务,一方面需要自上而下从国家碳排放演变、省域经济发展特征的角度,揭示审视新发展格局下综合能源服务支撑“双碳”目标的关系与发展态势;另一方面,需要自下而上,充分辨析综合能源服务的业态及其特征,以完善和明确

综合能源服务的基本理论、基本模型以及体系架构。当前中国综合能源服务的研究多集中在系统规划优化、商业模式设计以及工程建设示范等方面,上述关系态势的刻画以及理论框架的构建鲜有报道,一定程度上制约了“双碳”目标下中国综合能源服务的高质量发展。

本文首先在辨识中国综合能源服务企业的发展与业态特征的基础上,揭示综合能源服务企业数量与国家碳排放强度及省域GDP的相关性,以预测“双碳”目标下中国综合能源服务的发展态势;其次从“物理、信息、价值”的视角出发,刻画综合能源服务“三元驱动”的体系架构以及“物理驱动”“数字驱动”“模式驱动”的理论基础,完善中国综合能源服务的理论体系,以支撑其产业发展的路径设置;最后,梳理综合能源服务最新的国家政策,并从产业生态、关键技术以及典型场景等方面对中国“双碳”愿景下综合能源服务的发展提出建议。

1 “双碳”目标下中国综合能源服务的市场特征

1.1 总体市场特征

从全球看,综合能源服务并不是一个新事物。中国综合能源服务发端于传统的能源服务和节能服务,并始终与国家的节能低碳的能源战略紧密耦合^[5-6]。从图1(搜索方式为企业名称中含“综合能源”文本的,具体数据见附录A)可以看出^[7-8],2012年之前中国综合能源服务产业发展较慢,节能服务公司市场主体多。自1997年始,以综合能源命名的企业数量缓慢增加到2012年的96家。2012年后,在国家能耗“双控”、能源革命等低碳转型战略的驱动下,特别是2015年《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》提出鼓励专业化能源服务公司以“合同能源管理”模式建设分布式电源,有序向社会开放售电业务后,随着可再生能源技术和能源数字化技术的快速发展,以及可持续发展的强力约束,综合能源逐渐成为低碳发展的主流。从2012年开始,以“综合能源”命名的企业数量呈指数级的趋势增长到2022年的2169家,其中还未包括企业注册名称中不含“综合能源”但其业务范畴与综合能源密切相关的大量企业。值得关注的是,1997年中国的能耗强度(以标煤计,后同)为3.84 t/万元,2012年为1.83 t/万元,2020年则下降到1.03 t/万元,20余年来中国能耗强度实现了全球范围内的快速降幅^[8]。

可以认为,能耗强度的减少与节能服务和综合能源服务的发展不无关系,两者相关关系达到了0.66。另一方面,从年度排放增速来看^[9],中国2002—2012年间的年碳排放增速达到了10%,而2012—2020年仅为1%,这与中国以节能和综合能源服务的能效提升战略密切相关。

随着“双碳”进程的深入,中国综合能源服务也将面临“碳排放强度减速下降”的新格局。“双碳”目标驱使下,中国碳排放要实现2030年前达峰,并在2060年前实现净零排放。从图1可以看出,不同于“十四五”前期粗放型碳排放强度较易快速下降的情景,“十四五”后“双碳”发展格局下综合能源服务将面临精细化转型以及高比例新能源驱动转型的新挑战和新机遇。一是如按照发达国家碳排放强度做参考^[9],中国碳达峰时单位碳排放强度的下降空间将不及2000年的20%,碳排放强度将在“双碳”目标下逐渐触底,进入发展的深水区,对综合能源服务精细化节能的技术经济性提出更高要求;二是风、光等新能源发电技术和直接利用技术的规模化和分布式应用,将是综合能源服务在“能耗双控”转向“碳排双控”后重要的市场增长空间,高比例可再生能源的消纳将是综合能源服务的基本要求^[10]。因此,如何支撑碳排放与经济发展的脱钩,也将成为“双碳”目标下综合能源服务技术和产业的新挑战和新机遇^[11-12]。

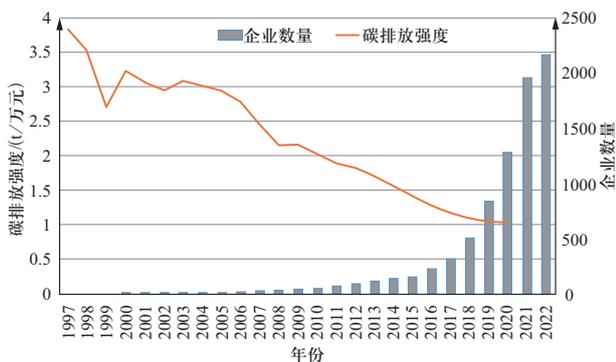


图1 中国碳排放强度与综合能源服务企业数量

Fig. 1 Carbon emission intensity and IES enterprises in China

1.2 行业和省域特征

从图2可以看出,当前中国各行各业竞相开展综合能源服务相关业务。前述2169家以“综合能源”命名的综合能源服务企业分布在以“电力、热力生产和供应业(国民经济代码:D44)、批发业(国民经济代码:F51)”为代表的国民经济的十余个行业^[13]。其中,电

力、热力生产和供应业企业数占据了总数的44.95%,几乎涵盖了本门类44~46大类,包括电力生产、电力供应、热力生产和供应、燃气生产和供应、水的生产和供应等;批发业的企业数量占比为33.56%,源于综合能源服务企业的技术与业务,涉及电气设备批发、冷热计量设备、计算机设备、软件及辅助设备、机械设备、五金产品及电子产品批发与销售。另一方面,全国各省(自治区、直辖市)均有综合能源服务的从业企业,且综合能源服务企业数量较多的省份主要集中在GDP较高省份,呈现出经济发展、碳排放与中国综合能源服务企业数量的正向关联关系。从全国企业分布来看,浙江省(占比21.8%),广东省(占比10.3%),山东省(占比10.0%)和江苏省(占比7.4%)是中国综合能源服务企业的主要聚集区,四省综合能源服务企业数量之和占到了全国总数的49.5%。不难发现,上述省份均是能源活动以及GDP规模排名靠前的省份。对企业数量与省市GDP进行相关分析发现,企业数量与GDP的相关关系为0.63。

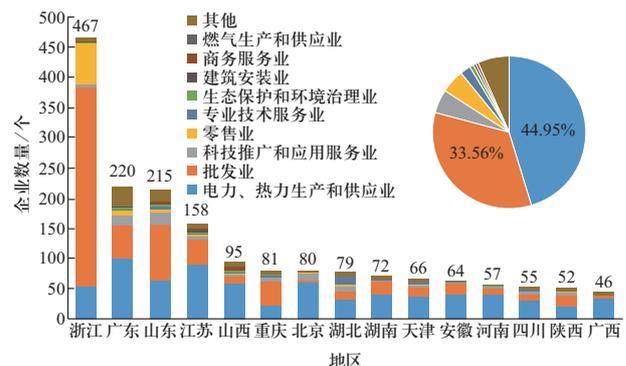


图2 综合能源服务企业的分布特征

Fig. 2 Distribution features of IES enterprises

2 中国综合能源服务的业态辨析

从能源链条看,中国综合能源服务的业态已渗透到能源生产、输配和消费的各环节,诸多综合能源生态圈的参与者根据自身技术制定了综合能源服务发展业态,因此也引起关于综合能源的技术和业务边界及内涵的讨论^[1-2,4-5]。基于此,如图3所示,本文根据对能在数量及品质、时空特性以及多行业场景的利用特征,基于能源利用的技术方法和能源消费的功能模式,绘制了当前中国综合能源服务企业的业态图谱,并按照狭义和广义的两层架构,将当前综合能源服务划分为能源综合供应和能源综合服务两大类。

能源综合供应多指基于能的梯级利用、能的多能

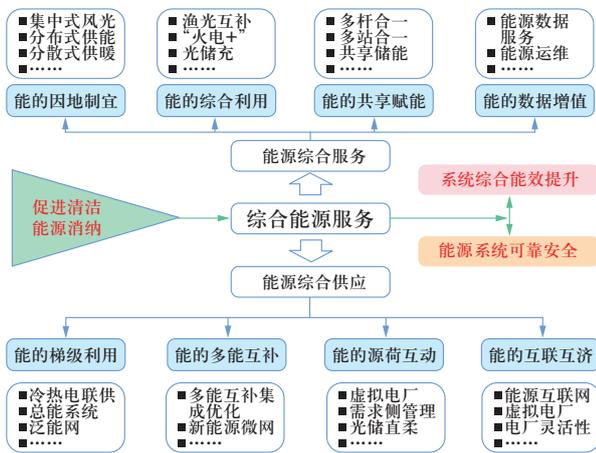


图3 综合能源服务的业态分布

Fig. 3 Business distribution of IES

互补、能的源荷互动、能的互联互济等技术路径，设计与优化能源的供应。具体地，能的梯级利用就是按照能的品位对口原则安排能量流逐级分配，典型业态包括冷热电联供、总能系统、泛能网、综合能源系统等；能的多能互补即采用用户本址内外异质能源的时空互补特性，达到多种能源系统的集成与优化；能的源荷互动是指通过源、网、荷之间的双向互动实现能源系统的灵活运行，包括虚拟电厂、需求侧响应等；能的互联互济多指集中式与分布式能源系统或跨行业系统之间的协同互济，达到不同能源系统的开放共赢。可见，高比例清洁能源渗透、多异质能流耦合以及源网荷储互动是综合能源服务区别于传统配电、供热网、集中制冷等单一能源系统的显著特征^[14-15]。

能源综合服务多指基于能的因地制宜、能的综合利用、能的共享赋能、能的数据增值等技术路径，实现能源供应中的增值服务。其中，能的因地制宜体现在基于当地能源资源特性及合理技术以满足其负荷需求的业态，以分布式光伏、风电以及清洁供暖能源系统为代表；能的综合利用是指利用多联产、余热利用以及资源综合附加服务，实现能源开发与资源利用和生态保护的综合服务；能的共享赋能体现在单一资源的多功能加载，如多杆合一、多表合一、多站合一等业态，实现多利益主体的共赢；能的数据增值理解为充分挖掘能源数据价值，实现能源大数据的增值服务与数字化治理。可见，能源综合服务是指在能源综合供应的基础上，企业以用户为中心进行的局部或者全局的新兴能源综合性服务，最终实现其能源资源、数据、生态的价值最大化。

能源综合供应或可理解为狭义综合能源服务，能

源综合服务可认为是广义综合能源服务。需要指出，综合能源服务也处在不断发展之中，其业务边界具有开放性。除图3所列的基本业态之外，从产业角度讲，综合能源服务的细分板块包括但不限于基于能源综合供应的知识输出服务、规划咨询服务、能源与碳金融服务、能源交通服务等业态。因此，综合能源服务的内涵强调以满足全社会日趋多样化的能源服务需求为导向，集成能源、信息和通信等技术和手段，向用户提供多能源品种及服务的能源综合服务，以促进清洁能源的消费、综合能效的提升以及能源系统安全性和可靠性的改善。

3 综合能源服务的体系架构与理论基础

3.1 综合能源服务的体系架构

相对于传统能源系统分块独立的体系架构，对应图3综合能源服务的业态图谱以及热力学熵和信息熵的理论^[15]，本文将综合能源服务的理论体系架构刻画为如图4所示。综合能源服务的体系架构按能量层、信息层以及价值层进行划分，即狭义综合能源服务以能源综合供应为核心，在能量层侧重能的梯级利用、多能互补，实现温度对口、梯级利用，在信息层侧重能的源荷互动、互联互济，实现按需供应、动态协调。同时，能量流与信息流在价值层实现高度融合，实现系统熵增的最小化，驱动广义综合能源服务开放共享与协同流动，最终从能源服务系统全生命周期视角，实现能源系统能量、经济、环境多维度的最大效益。

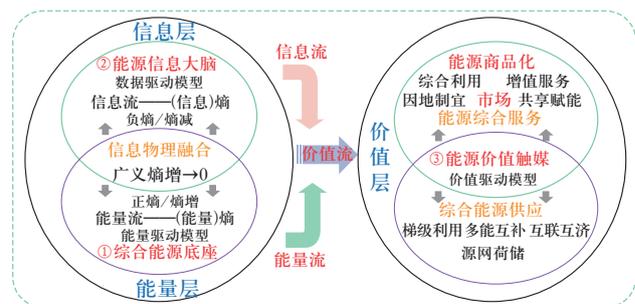


图4 综合能源服务的体系架构示意图

Fig. 4 Architecture of IES

1) 综合能源服务能量层以综合能源系统、多能互补、微能源网等业态为抓手，强调以新能源电力为核心，集成冷、热、气等能源，实现异质能量流的多能互补与综合利用^[16-17]。综合能源服务能量层按照空间

尺度的大小可以分为区域级、邻域级、园区级、楼宇级甚至房屋级,其区别在于是否有能源电力、热力、气网的传输及互联。但其物理本质是探索化学能、电能、热能、氢能等异质能量的耦合理论和方法,通过热电、电热、电化学、热化学的能量转换和可再生能源转换等技术,实现多维目标下能源网络能量流的合理分配。

2) 综合能源服务信息层借助“互联网”系统化思维和信息化手段,以能源信息管控平台为抓手,应对系统的多重不确定性,实现源、网、荷、储等环节能源系统的全景感知、数据驱动与智慧运行^[18-19]。综合能源服务信息层多以能源管控平台为抓手,赋能能源系统的改造优化。主要体现在覆盖多元异构能源数据的全面态势感知、多元实时通信、大数据挖掘与边缘友好协同等方面。信息层利用综合能源系统产生的海量结构化数据和非结构化数据,通过能源大数据信息熵的量化和挖掘而形成有用的信息流,以控制综合能源系统能流的合理分布。

3) 综合能源服务价值层则实现综合能源服务的价值贡献与增值服务。综合能源服务价值层强调基于市场交易机制实现综合能源服务在规划、运行、市场等环节的“共享”“共建”“共治”与“共赢”,以还原能源的商品属性,实现不同能源主体之间能源的互联互动,在市场经济的规则及手段下,进一步在全局视角优化能源资源的利用率,重塑能源系统生产关系的新生态与新业态^[20-21]。可以认为,综合能源服务价值层就是以用户为中心,以能量、经济、环境、社会的可持续发展为引导,利用市场化的引导机制,实现能量流、信息流以及价值流的融合,实现能源系统的可持续发展。

3.2 综合能源服务的理论基础

从综合能源服务的业态看,尽管综合能源服务应用边界尺度不一,且应用场景多样,但其规划、设计、运行以及绩效评价都离不开基本理论及模型的驱动。进而,基于综合能源服务的体系架构,本节将综合能源服务的理论基础抽象为物理驱动理论、数据驱动理论以及模式驱动理论相互融合的“三元驱动理论”。

1) 物理驱动理论作为综合能源服务的底座,是通过源网荷储能源转换、输配、存储以及消费等能量流技术的更新迭代,实现综合能源服务内外部能量流的合理布局 and 流动。综合能源服务常见的物理驱动理

论包括但不限于总能系统理论、广义电路理论、综合能源建模理论、能量系统图论、状态估计理论等能量及其网络相关的理论与技术。比如,多品位异质能源耦合是综合能源服务系统区别于单一能量供能系统的鲜明特征,从能的“数量”“品质”等角度,辨识以可再生能源为主综合能源能流的合理分布,探索并建立能够匹配实际情况揭示综合能源系统选址定容、能质调度的一体化、多目标规划方法和技术,对揭示综合能源服务的规划、设计及运行阶段的耦合关系及运行规律具有重要意义^[22-23]。

2) 数据驱动理论作为综合能源服务的大脑,是通过“云大物移智链”等数字化的理论和技术实现能源系统运行信息的感知、监测、预测、优化、决策,激发综合能源服务系统源网荷储等环节不确定性能量流的优化分配与重构,实现能源数字化和数字能源化。综合能源服务常见的数字驱动理论包括但不限于能源信息论、运筹优化理论、数字孪生及机器学习、半物理半仿真理论、能源区块链、能源负荷预测及功率预测技术、能量路由技术等大数据相关的理论与技术。比如,针对综合能源站面临供给侧和需求侧的多重不确定性,传统的物理解析模型将难以应对。因此,多重不确定下综合能源系统的鲁棒、随机优化,多时间尺度联合仿真,以及基于预训练、多模态和大模型等数据驱动的在线控制理论及技术的开发将具有关键作用^[24-25]。

3) 模式驱动理论作为综合能源服务的触媒,其含义是通过体制机制改革、商业模式创新、多主体跨界服务,实现不同异质能源在能源各环节、各主体的时空流通,打消能源流通的壁垒,实现能源的商品化。其中,商业模式的核心在于在不同能源市场发展的态势下,提出适应综合能源服务应用场景及多主体的投入产出量化方式^[26]。综合能源服务常见的模式驱动理论包括但不限于电力市场、多能源博弈、能源系统绩效评价、能源系统工程、虚拟电厂、需求响应、碳市场及碳交易等能源经济相关的理论与技术。比如,为提高可再生能源消纳和综合能源系统的经济性,“点对点”的绿证或碳交易机制往往被引入到综合能源服务中,但这种规则结构难以实现交易的市场化,存在组合单向拍卖的垄断现象且难以适应多主体多用户的场景,因此建立具有多向拍卖的交易机制以及多主体均衡博弈的理论机制成为趋势^[27-28]。

从实际工程案例看,前述综合能源服务的诸多理论技术得以发展和应用。比如,大型城市资源共享协同

示范工程在物理驱动方面集成大功率直流充电桩、基站等多种功能的智慧灯杆,以及开发了分布式资源集群等建模方法;在数据驱动方面研发了“互联网+”智慧能源服务平台以及通信基站备用电池的数字化重构技术;在模式驱动方面探索了共建储能、四网合一、有序错峰等新型商业模式和新业态^[29]。商业建筑虚拟电厂构建与运行关键技术及应用在物理驱动方面构建了基于特征属性模糊相似度的发电因子抽象模型;在数据驱动方面提出了日前、日内协调优化控制模型,以及海量资源“分层分组+本地自治”协调优化控制方法;在模式驱动方面提出了虚拟电厂多时间尺度协调调度模式^[30]。

4 中国综合能源服务的宏观政策分析

相比于欧洲、美国、日本等国综合能源的发展程度,中国综合能源服务还处于初级阶段,一是当前中国综合能源服务商对综合能源的理论内涵以及能源大数据的运用挖掘还相对较弱,很多项目还停留在“驾驶舱”模式,综合能源新服务的规划和调度管控平台在软件及数据库国产化、一体化和标准化等方面还在摸索中;二是匹配中国综合能源服务发展的电力市场、碳市场的市场机制还不够充分,各方生态还需要深入交叉融合。国内外经验表明,良好的综合能源服务项目要求冷、热、电、气以及源、网、荷、储各部门之间进行统一施策、系统规划。因此,2020年,《关于扩大战略性新兴产业投资 培育壮大新增长点增长极的指导意见》(下称《指导意见》)^[31]首次明确表示,将综合能源服务纳入国家能源规划。随后,国家发展改革委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》^[32],多次提及培育和壮大综合能源服务产业。此后,国家及各部委出台的十余项政策文件中明确提及了积极健康发展“综合能源服务”的有关内容,如表1所示。但是,相比于能源互联网、多能互补、源网荷储一体化的宏观政策,中国尚未出台关于综合能源服务的专项顶层政策。

表1 综合能源服务国家政策一览

Table 1 National policy on IES

发布时间	政策文件名称	有关综合能源服务的描述
2021-02-22	国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见	鼓励建设电、热、冷、气等多种能源协同互济的综合能源项目

续表

发布时间	政策文件名称	有关综合能源服务的描述
2021-04-19	2021年能源工作指导意见	积极推广综合能源服务,着力加强能效管理
2021-09-11	完善能源消费强度和总量双控制度方案	积极推广综合能源服务、合同能源管理等模式
2021-10-26	2030年前碳达峰行动方案	推广节能咨询、诊断、设计、融资、改造、托管等“一站式”综合服务模式
2021-12-22	能源领域深化“放管服”改革优化营商环境实施意见	推进综合能源服务发展:对综合能源服务、智慧能源、储能等新产业新业态,探索“监管沙盒”机制
2021-12-29	加快农村能源转型发展助力乡村振兴的实施意见	探索建设综合能源系统,为用户提供电热冷气等综合能源服务。推动增量配电企业发展综合能源服务。积极培育综合能源服务等新兴市场主体
2022-01-29	“十四五”现代能源体系规划	在能源产业智能化升级进程、实施智慧能源示范工程、支持新模式新业态发展中均多次提及培育和壮大综合能源服务产业
2022-01-30	关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见	探索建立区域综合能源服务机制:公共电网企业、燃气供应企业应为综合能源服务运营企业提供可靠能源供应,并做好配套设施运行衔接
2022-03-17	2022年能源工作指导意见	鼓励煤电企业向“火电+”综合能源服务企业和多能互补转型。大力发展综合能源服务
2022-05-14	关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案	以新能源为主体的综合能源项目,可作为整体统一办理核准(备案)手续

狭义综合能源服务具有异质能流协调、多环节设备耦合、多元主体博弈、能源系统链条长的特征,导致综合能源服务项目的顶层设计、规划优化、施工运维、绩效评价的复杂性及难度增大。加之广义综合能源服务应用场景多样、服务对象时空尺度不一、能源市场化壁垒各环节掣肘的现实情况,导致当前综合智慧能源服务项目面临多层次、多维度、多环节的不确定性风险,调研发现部分综合能源服务项目呈现经济效益和综合能效欠优等问题。《指导意见》明确提出“加强综合能源服务的规划指导和引导,完善相关政策举措,推动综合能源服务积极有序发展”的意见。

另外,针对以新能源为主体的综合能源项目面临的横跨多部门“多头跑、多次跑”的审批问题,《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》^[33]提出“综合能源项目可作为整体统一办理核准(备案)手续”。针对综合能源服务项目存在绩效评价难,以及难以监管的问题,《能源领域深化“放管服”改革优化营商环境实施意见》对综合能源服务的新业态,提出探索“监管沙盒”机制^[34]。

5 关于中国综合能源服务的发展建议

随着“双碳”战略的推进,综合能源服务的新技术、新业态和新模式层出不穷。同时,如1.1节所述,“双碳”目标的提出,给综合能源服务提出了新的要求和挑战。因此,在建议出台中国综合能源服务相关顶层规划的框架下,为挖掘以可再生能源为主的综合能源服务“1+1>2”的集成优化潜力,本文从产业生态、理论技术以及增值服务方面,提出“双碳”目标下关于中国综合能源服务发展的几点建议,以培育综合能源服务产业协同体系^[35-44]。

5.1 优化综合能源服务的产业生态

一是深化体制机制改革。加大碳市场、电力现货市场等能源市场机制的改革力度和具体措施,完善匹配综合能源服务的能源价格的市场机制和生态,逐步打破能源各环节的交易壁垒;加强多元主体对综合能源服务项目审核审批、标准规范、绩效管理等方面的组织协调以及评估管理机制。

二是倡导大众参与的综合能源服务生态。刻画多元化、泛在化的终端消费应用场景及商业模式,创新综合能源服务“产学研”合作的营商环境。培育大众“从能到烟再到碳”的节能意识,深化源、网、荷、储各类主体广泛参与与互动的创新沃土和试点示范。

三是做好综合能源服务一体化规划。因地制宜,集中式与分布式并举,精准把握资源禀赋、负荷特征,有效规避负荷侧、资源侧、技术路线、商业模式以及商法的不确定性风险,夯实规划、设计、建设和运营的一体化体系。

四是完善综合能源服务的财税金融体系。对有较大社会效益和推广价值的细分领域,考虑引入财政补贴支撑;对综合能源服务的中小微企业适用较灵活性的税率;建立综合能源服务融资支持体系,大力发展综合能源服务绿色碳金融。

5.2 夯实综合能源服务的理论技术

一是夯实综合能源服务的集成优化与多元互动理论。优化综合能源服务专项科技、定点扶持的研究与管理方式,夯实多种异质能源供应与多类消费需求的多能互补、梯级利用、网络耦合、源荷互动及管控优化的理论基础。

二是加快综合能源服务关键技术的标准化建设。瞄准综合能源服务物理驱动、数据驱动和模式驱动的标准化需求,优化能源、信息、管理交叉融合的标准化体系。

三是推动综合能源服务关键技术的升级与优化。加快电厂灵活性改造、多端口能源路由装置、多场景多品位多时间储能、P2X、卡诺电池、虚拟电厂、氢电耦合等关键技术以及生态能源、碳汇技术等创新技术的应用,深入研究“云大物移智链”以及大模型相关技术在综合能源服务的融合,加快碳交易、绿证交易在综合能源服务试点项目的实施。

四是加强综合能源服务的人才培养。加强各类综合能源服务的宣传培训、技术推广、案例分析、成果展示,完善“双碳”目标下高校综合能源服务双学位、项目制、创新创业等类型培养体系及课程的建设。

五是有序推进综合能源服务科技创新与产业发展相融合。因地制宜、因时制宜做好综合能源服务科技创新与产业发展相融合的顶层设计和总体规划,有序促进综合能源服务产学研数据要素的开放共享,打造综合能源服务的开放共享平台。

5.3 创新综合能源服务的增值服务

一是优化综合能源服务的营商环境。强化综合能源服务的落地实践,创新多元化、差异化、定制化、共享化的综合能源服务应用场景、关键技术、商业模式及增值服务,增量能源基础设施重资产投资与存量能源系统轻资产服务并举。

二是创新能源与信息融合应用新模式。深入贯彻综合能源服务信息流改造能量流建设理念,优化能源物理资源加载的数字化手段及能源供应模式,特别是异质能流的接口技术及模式。

三是创新综合能源服务大数据增值服务。建立综合能源服务及综合智慧能源数据的价值应用体系、价值驱动模型、价值挖掘方式。探索能源数据共享服务机制、数据资产管理方式、数据价值创新模式与增值

服务业态。

四是完善综合能源服务的产业协同体系。在国家产业结构调整目录、绿色产业目录中,引导综合能源服务产业发展。鼓励综合能源服务产业与各产业的深度融合与跨界创新,加快综合能源服务和数字化的融合。

6 结语

综合能源服务是能量流、信息流和价值流高度交叉的新兴产业,对于促进可再生能源消纳、综合能效提升和绿色制造产业升级具有关键的支撑作用。近10年中国综合能源服务产业的不断创新与迭代,驱使综合能源服务理论内涵渐进成熟,理论和体系又将对综合能源服务产业发展起到关键支撑作用。“十四五”期间,“2.0版本”的综合智慧能源正在浮出水面。为进一步为“双碳”目标下中国综合能源服务的高质量发展提供参考,服务国家新型能源体系建设,本文对中国综合能源服务企业的发展态势进行了分析,主要结论如下。

1) 综合能源服务企业分布数量与国家碳排放强度及省域GDP呈现较高的相关性,并指出了“双碳”目标下综合能源服务将面临精细化、深度化的新挑战和新机遇。

2) 从“物理、信息、价值”的视角出发,提出并刻画了匹配综合能源服务内涵的“三元驱动”的体系架构、理论基础及关键技术。

3) 产业生态、关键技术以及增值服务等是影响“双碳”目标下综合能源服务发展的重要因素,建议进一步深化完善配套政策。

本文是在宏观层面对中国综合能源服务发展态势与发展路径的总结,本文所指综合能源的边界和范围已在第3章认定为狭义的园区综合能源系统。其他章节为广义的综合能源服务,并就此进行了宏观的政策、态势及市场分析。因此,适用不同主体与特色综合能源服务商的解决方案仍需要具体案例具体对待。

参考文献

[1] 周伏秋, 邓良辰, 冯升波, 等. 综合能源服务发展前景与趋势[J]. 中国能源, 2019, 41(1): 4-7.
ZHOU Fuqiu, DENG Liangchen, FENG Shengbo, et al. Prospects and trends of comprehensive energy service development[J]. Energy of China, 2019, 41(1): 4-7 (in

Chinese).

- [2] 张运洲, 代红才, 吴潇雨, 等. 中国综合能源服务发展趋势与关键问题[J]. 中国电力, 2021, 54(2): 1-10.
ZHANG Yunzhou, DAI Hongcai, WU Xiaoyu, et al. Development trends and key issues of China's integrated energy services[J]. Electric Power, 2021, 54(2): 1-10 (in Chinese).
- [3] 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): 411-425.
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): 411-425 (in Chinese).
- [4] 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.
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 (in Chinese).
- [5] 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.
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 (in Chinese).
- [6] 黄建欢, 杜静谊. 发展能源服务业推进节能减排: 国外的经验与借鉴[J]. 统计与决策, 2011(5): 130-133.
HUANG Jianhuan, DU Jingyi. Developing energy service industry and promoting energy conservation and emission reduction: foreign experience and reference[J]. Statistics & Decision, 2011(5): 130-133 (in Chinese).
- [7] 企查查. [DB/OL]. [2022-6-15]. <https://www.qcc.com/web/search?key=%E7%BB%BC%E5%90%88%26%E8%83%BD%E6%BA%90>.
- [8] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021 (in Chinese).
- [9] ZHENG J L, MI Z F, COFFMAN D, et al. Regional development and carbon emissions in China[J]. Energy Economics, 2019, 81: 25-36.
- [10] 王永真, 张宁, 关永刚, 等. 当前能源互联网与智能电网研究选题的继承与拓展[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(4): 1-7.
WANG Yongzhen, ZHANG Ning, GUAN Yonggang, et al. Inheritance and expansion analysis of research topics between energy Internet and smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(4): 1-7 (in Chinese).
- [11] ZHAO Y L, KONG G, CHONG C H, et al. How to effectively control energy consumption growth in China's 29 provinces: a paradigm of multi-regional analysis based on EAALMDI method[J]. Sustainability, 2021, 13(3): 1093.
- [12] 魏一鸣, 余碧莹, 唐葆君, 等. 中国碳达峰碳中和时间表与路线图研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),

- 2022, 24(4): 13-26.
WEI Yiming, YU Biying, TANG Baojun, et al. Roadmap for achieving China's carbon peak and carbon neutrality pathway[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2022, 24(4): 13-26 (in Chinese).
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 国民经济行业分类: GB/T 4754—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [14] 王永真, 张靖, 潘崇超, 等. 综合智慧能源多维绩效评价研究综述[J]. 全球能源互联网, 2021, 4(3): 207-225.
WANG Yongzhen, ZHANG Jing, PAN Chongchao, et al. Multi-dimensional performance evaluation index review of integrated and intelligent energy[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2021, 4(3): 207-225 (in Chinese).
- [15] 王永真, 康利改, 张靖, 等. 综合能源系统的发展历程、典型形态及未来趋势[J]. 太阳能学报, 2021, 42(8): 84-95.
WANG Yongzhen, KANG Ligai, ZHANG Jing, et al. Development history, typical form and future trend of integrated energy system[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2021, 42(8): 84-95 (in Chinese).
- [16] 王永利, 刘振, 薛露, 等. 基于多主体博弈的综合能源系统运行优化方法[J]. 控制理论与应用, 2022, 39(3): 499-508.
WANG Yongli, LIU Zhen, XUE Lu, et al. Optimization method of integrated energy system operation based on multi-body game[J]. Control Theory & Applications, 2022, 39(3): 499-508 (in Chinese).
- [17] YONG P, WANG Y, CAPUDER T, et al. Steady-state security region of energy hub: modeling, calculation, and applications[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2021, 125: 106551.
- [18] CHEN C N, WANG J J, ZHAO H R, et al. Entropy flow analysis of thermal transmission process in integrated energy system part II: comparative case study[J]. Processes, 2022, 10(9): 1719.
- [19] 杨杰, 郭逸豪, 郭创新, 等. 考虑模型与数据双重驱动的电力信息物理系统动态安全防护研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(7): 176-187.
YANG Jie, GUO Yihao, GUO Chuangxin, et al. A review of dynamic security protection on a cyber physical power system considering model and data driving[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(7): 176-187 (in Chinese).
- [20] 董瑞彪, 刘永笑, 黄武靖, 等. 基于综合能源系统价值分析的能源互联网运营商定价方法[J]. 电力建设, 2019, 40(11): 87-96.
DONG Ruibiao, LIU Yongxiao, HUANG Wujing, et al. Pricing method based on value analysis of multi-energy systems for energy Internet operators[J]. Electric Power Construction, 2019, 40(11): 87-96 (in Chinese).
- [21] 郭远征. 基于价值网络的综合能源系统价值评估模型及应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2019.
GUO Yuanzheng. Value evaluation model and application of integrated energy system based on value network[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2019 (in Chinese).
- [22] LI J X, WANG D, JIA H J, et al. Mechanism analysis and unified calculation model of exergy flow distribution in regional integrated energy system[J]. Applied Energy, 2022, 324: 119725.
- [23] TAHIR M F, CHEN H Y, HAN G Z. Evaluating individual heating alternatives in integrated energy system by employing energy and exergy analysis[J]. Energy, 2022, 249: 123753.
- [24] HUANG W J, DU E S, CAPUDER T, et al. Reliability and vulnerability assessment of multi-energy systems: an energy hub based method[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2021, 36(5): 3948-3959.
- [25] 黄伟, 刘文彬. 基于多能互补的园区综合能源站-网协同优化规划[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(23): 20-28.
HUANG Wei, LIU Wenbin. Multi-energy complementary based coordinated optimal planning of park integrated energy station-network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(23): 20-28 (in Chinese).
- [26] 王雪冬, 田明昊, 匡海波. 初创企业商业模式预评价指标体系构建研究[J]. 科研管理, 2018, 39(9): 159-168.
WANG Xuedong, TIAN Minghao, KUANG Haibo. A research on the construction of pre-evaluation indicator system of business models for start-up enterprises in the initial period[J]. Science Research Management, 2018, 39(9): 159-168 (in Chinese).
- [27] 许彦斌, 马嘉欣, 方程, 等. 我国绿色证书市场价格机制探索与研究: 考虑可再生能源电力消纳保障机制下TGC市场的反身性特征[J]. 价格理论与实践, 2020(10): 51-55.
XU Yanbin, MA Jiabin, FANG Cheng, et al. Exploration and research on price mechanism of tradable green certificates in china—the reflexivity of the TGC market under renewable portfolio standard is considered[J]. Price: Theory & Practice, 2020(10): 51-55 (in Chinese).
- [28] 黄家晖, 李超, 黄微, 等. 基于区块链的园区级多边用电权交易机制及实现方法[J]. 电力自动化设备, 2022, 42(1): 93-100.
HUANG Jiahui, LI Chao, HUANG Wei, et al. Park-level multilateral power usage quota trading mechanism and implementation method based on blockchain[J]. Electric Power Automation Equipment, 2022, 42(1): 93-100 (in Chinese).
- [29] 孙宏斌. 大型城市能源互联网资源共享协同关键技术及示范工程[R]. 广州: 中国南方电网广东电网有限责任公司, 2020.
- [30] 高赐威. 商业建筑虚拟电厂构建与运行关键技术及应用[R]. 上海: 国网上海市电力公司, 2020.
- [31] 国家发展改革委, 科技部, 工业和信息化部, 等. 关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见[EB/OL]. (2020-09-08) [2022-06-15]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202009/t20200925_1239582.html.
- [32] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于印发《“十四五”现

- 代能源体系规划》的通知[EB/OL]. (2022-01-29) [2022-06-15]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-03/23/content_5680759.htm.
- [33] 国家发展改革委, 国家能源局. 关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案[EB/OL]. (2022-05-30) [2022-06-15]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-05/30/content_5693013.htm.
- [34] 国家能源局. 关于印发能源领域深化“放管服”改革优化营商环境实施意见的通知[EB/OL]. (2021-12-22) [2022-06-15]. http://zfxgk.nea.gov.cn/2021-12/22/c_1310417594.htm.
- [35] 孟凡强, 范莹, 李娜, 等. 我国综合能源服务标准体系研究[J]. 中国标准化, 2020(8): 123-127.
MENG Fanqiang, FAN Ying, LI Na, et al. Research on China's integrated energy service standards system[J]. China Standardization, 2020(8): 123-127 (in Chinese).
- [36] 于冠一, 朱丽. 综合能源服务助力绿色高质量发展对策研究[J]. 中国行政管理, 2022(5): 158-160.
YU Guanyi, ZHU Li. Study on the countermeasures of comprehensive energy services helping green and high-quality development[J]. Chinese Public Administration, 2022(5): 158-160 (in Chinese).
- [37] 张颖梓, 李华强, 李旭翔, 等. 基于用户需求行为的综合能源服务产品定价策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(17): 121-129.
ZHANG Yingzi, LI Huaqiang, LI Xuxiang, et al. Pricing strategy of integrated energy service products based on user demand behavior[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(17): 121-129(in Chinese).
- [38] WANG L, MA Y C, ZHU L Z, et al. Design of integrated energy market cloud service platform based on blockchain smart contract[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2022, 135: 107515.
- [39] GE S Y, LI J F, HE X T, et al. Joint energy market design for local integrated energy system service procurement considering demand flexibility[J]. Applied Energy, 2021, 297: 117060.
- [40] 王永真. 能源互联网下综合能源服务的新特征、新挑战[J]. 能源, 2020(6): 64-66.
WANG Yongzhen. New features and challenges of integrated energy services under the energy Internet[J]. Energy, 2020(6): 64-66 (in Chinese).
- [41] 曾博, 徐富强, 刘一贤, 等. 综合考虑经济-环境-社会因素的多能耦合系统高维多目标规划[J]. 电工技术学报, 2021, 36(7): 1434-1445.
ZENG Bo, XU Fuqiang, LIU Yixian, et al. High-dimensional multiobjective optimization for multi-energy coupled system planning with consideration of economic, environmental and social factors[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2021, 36(7): 1434-1445 (in Chinese).
- [42] 侯慧, 刘鹏, 黄亮, 等. 考虑不确定性的电-热-氢综合能源系统规划[J]. 电工技术学报, 2021, 36 (增刊1): 133-144.
HOU Hui, LIU Peng, HUANG Liang, et al. Planning of electricity-heat-hydrogen integrated energy system considering uncertainties[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2021, 36(Supplement 1): 133-144 (in Chinese).
- [43] 徐澄莹, 杨勇波, 杨军, 等. 综合能源服务标准体系需求分析及布局研究[J]. 全球能源互联网, 2022, 5(4): 374-382.
XU Chengying, YANG Yongbo, YANG Jun, et al. Demand analysis and layout of integrated energy service standard system[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2022, 5(4): 374-382 (in Chinese).
- [44] 沈子圭, 袁晓玲. 基于并行化K-means的综合能源服务客户识别[J]. 电力工程技术, 2021, 40(2): 107-113.
SHEN Ziyao, YUAN Xiaoling. Implementation of integrated energy service for customer identification based on parallel K-means clustering[J]. Electric Power Engineering Technology, 2021, 40(2): 107-113 (in Chinese).

收稿日期: 2023-05-09; 修回日期: 2023-06-02。

作者简介:



王永真

王永真(1988), 男, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要研究方向为综合智慧能源、氢能动力、热力循环, E-mail: wyz80hou@bit.edu.cn。

潘崇超(1980), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为综合智慧能源及其标准化, E-mail: panchch@ustb.edu.cn。

韩恺(1978), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为能源动力系统与燃料电池、能源战略。通信作者, E-mail: autosim@bit.edu.cn。

(责任编辑 李锡)

附录A 综合能源服务企业的省域与行业分布

表 A1 综合能源服务企业的省域与行业分布
Table A1 Provincial and industrial distribution of IES enterprises

地区	电力、热力生产和供应业	批发业	科技推广和应用服务业	零售业	专业技术服务业	生态保护和环境治理业	建筑安装业	商务服务业	燃气生产和供应业	其他
安徽	41	16	1	1	1	1	0	0	1	2
北京	61	3	12	1	0	0	0	0	0	3
重庆	24	40	6	0	2	3	0	0	1	5
福建	14	6	1	1	0	0	1	0	0	1
甘肃	18	4	2	0	0	0	0	0	0	3
广东	102	54	16	9	2	2	1	2	1	31
广西	34	6	0	0	0	0	0	0	0	6
贵州	26	3	1	0	1	3	0	1	0	6
海南	16	2	2	1	0	0	0	0	0	0
河北	23	1	5	0	0	0	0	1	0	2
河南	42	9	4	0	0	1	0	0	0	1
黑龙江	12	0	1	0	0	0	3	0	0	3
湖北	32	14	9	3	12	0	1	0	1	7
湖南	42	20	1	1	2	0	0	2	0	4
吉林	10	5	0	0	0	2	1	0	0	1
江苏	91	43	3	4	2	1	5	1	0	8
江西	13	2	0	0	1	0	0	0	0	1
辽宁	24	2	1	0	0	0	0	1	0	1
内蒙古	12	1	0	0	0	0	1	0	0	3
宁夏	9	5	0	2	1	1	0	0	0	2
青海	13	2	0	0	0	0	0	0	0	1
陕西	21	19	4	1	0	1	0	0	0	6
山东	65	92	19	7	6	2	2	2	0	20
山西	61	12	1	2	2	3	0	4	1	9
上海	5	5	1	0	1	0	0	0	0	1
四川	31	11	6	0	0	0	1	0	1	5
台湾	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
天津	39	13	4	2	4	0	0	0	0	4
西藏	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
香港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
新疆	25	4	1	0	1	0	0	0	1	4
云南	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0
浙江	54	330	7	68	0	1	0	1	0	6

(数据来源: www.qcc.com。检索方式: 检索注册名称中含“综合能源”的企业, 并进行人工检核。检索日期: 截止到2022年6月15日。)