

综合能源服务技术 与商业模式

国网天津市电力公司电力科学研究院 组编
国网天津节能服务有限公司

ZONGHE NENGYUAN FUWU JISHU
YU SHANGYE MOSHI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

综合能源服务技术与商业模式

国网天津市电力公司电力科学研究院 组编
国网天津节能服务有限公司

ZONGHE NENGYUAN FUWU JISHU
YU SHANGYE MOSHI



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

综合能源系统是城市能源互联网的主要组成要素。本书立足综合能源服务发展状况和综合能源服务的特点,基于相关技术原理和商业模式,结合实际案例分析,系统地展示了综合能源服务的全过程,为综合能源服务的顺利实施提供强有力的理论支撑。

本书共六章,主要内容包括综合能源服务发展概述、综合能源规划与评估技术、综合能源信息服务平台、综合能源优化运行技术、综合能源服务商业运营与管理以及案例。

本书为各地政府节能主管部门、相关企业、行业协会的研究人员以及广大的综合能源服务产业的工作者系统地、全面地了解综合能源服务的关键技术具有丰富的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

综合能源服务技术与商业模式 / 国网天津市电力公司电力科学研究院, 国网天津节能服务有限公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2018.1

ISBN 978-7-5198-1481-6

I . ①综… II . ①国… ②国… III . ①能源经济—商业模式—研究—中国 IV . ① F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 291707 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 崔素媛 (cuisuyuan@gmail.com)

责任校对: 马 宁

装帧设计: 张俊霞 (版式设计和封面设计)

责任印制: 杨晓东

印 刷: 北京博图彩色印刷有限公司

版 次: 2018 年 1 月第一版

印 次: 2018 年 1 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米 × 980 毫米 16 开本

印 张: 12.5

字 数: 190 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 68.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编委会

主 任 王迎秋

副主任 赵宝国 孙龙彪

委 员 张志刚 马 崇 卢 欣

编写组

主 编 卢 欣

副主编 李 民 解 岩 朱伯苓

参 编 张 超 陈 彬 孙 哲 吴明雷

石 枫 张 剑 韩慎朝 刘裕德

杨延春 于 波 吴 亮 张 凡

郭晓丹 隋淑慧 孙学文 王翠敏

李思维 张 鹏



前言

能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题，对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要。面对能源供需格局新变化、国际能源发展新趋势，习近平总书记主持召开的中央财经领导小组第六次会议上，再次提出要加大力度推进能源革命，主要包括能源消费革命、供给革命、技术革命和体制革命，从根本上转变我国的能源战略，保障我国的能源安全。

根据当今世界的能源发展趋势，为解决化石燃料的逐渐枯竭及其造成的环境污染问题，国家电网公司提出全球能源互联网的理念，其是以新能源技术和信息技术深入结合为特征的一种新的能源利用体系。城市能源互联网是全球能源互联网的主要构成单元和承接节点，是提高能源利用效率、优化能源资源配置、提供智能能源服务、推动城市能源消费的绿色低碳化发展的重要方式。

综合能源系统是城市能源互联网的主要组成要素。综合能源服务包含两个方面的内容：一是涵盖电力、燃气和冷热等系统的多种能源系统的规划、建设和运行，为用户提供“一站式、全方位、定制化”的能源解决方案；二是综合能源服务的商业模式，涵盖用能设计、规划，能源系统建设，用户侧用能系统托管、维护，能源审计、节能减排建设等综合能源项目全过程。

针对我国的综合能源服务发展状况和综合能源服务实施过程中遇到的实际问题，国网天津市电力公司组织国网天津节能服务有限公司的专业技

术人员撰写了本书，全面分析了国内外综合能源服务发展现状和未来发展前景，明确了综合能源服务的战略意义，梳理并深入探讨了综合能源服务的关键技术，包括规划评估技术、信息服务技术、优化运行技术以及商业运营模式。工程案例分析更是从项目概况、技术方案、建设管理、商业模式以及效益分析等方面进行分析，以使读者对综合能源服务的关键技术和服务全过程有一个系统、全面、直观的理解。

在本书编写过程中得到了来自各方面的协助与支持，多位国家电网公司领导与专家提出了宝贵的意见和建议，多家综合能源服务厂商与项目合作单位为资料收集提供了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

希望本书的出版能对我国的综合能源服务产业发展有所裨益。限于编者水平，书中难免有不足之处，望广大读者批评指正。

编 者

2017 年 10 月





目 录

前言

第一章 综合能源服务发展概述..... 1

- 1.1 综合能源系统概述 1
- 1.2 综合能源服务国内外发展现状 7
- 1.3 综合能源服务发展前景与展望 16

第二章 综合能源规划与评估技术..... 19

- 2.1 综合能源系统多能互补机理 19
- 2.2 综合能源与负荷需求分析方法 23
- 2.3 综合能源规划建模及求解 43
- 2.4 综合能源系统评估方法 50

第三章 综合能源信息服务平台..... 61

- 3.1 信息数据采集平台 62
- 3.2 大数据信息处理及分析中心 75
- 3.3 综合能源服务平台 86

第四章 综合能源优化运行技术..... 100

- 4.1 典型综合能源设备建模 100

4.2	综合能源优化运行建模及求解	107
4.3	综合能源系统运行策略分析	112
第五章	综合能源服务商业运营与管理.....	121
5.1	典型商业模式分析	121
5.2	综合能源服务商业运营模式	134
5.3	综合能源服务管理过程	140
第六章	综合能源服务案例.....	160
6.1	国网客服中心南北园区综合能源服务项目	160
6.2	北辰国家产城融合示范区中关村产业服务核心区项目	169
6.3	上海中心大厦燃气三联供结合电蓄冷蓄热项目	181
	参考文献.....	186



第一章

综合能源服务发展概述

1.1 综合能源系统概述

1.1.1 城市能源互联网

一、城市能源互联网

能源互联网是一种结合新能源技术和信息技术的新型能源利用体系，其目的是解决化石燃料的逐渐枯竭及其造成的环境污染问题。能源互联网是从能源生产、输送、配给、转化和消耗等方面构建一套完整的未来能源体系：在发、输环节通过特高压、交直流输电技术对能源的跨洲域互联进行战略布局，构建全球能源互联网。而在配、用环节利用电、气、冷、热等能量的相互转化和替代来构建城市能源互联网。目前，全球能源互联网理念已形成广泛共识，成为推进能源绿色低碳发展、保障能源可持续供应的重要解决途径。城市能源互联网将承接和融入全球能源互联网，实现更大范围的城市能源资源配置，实现城市能源清洁化、电气化、智能化和互联网化转型升级。

城市能源互联网是以电为中心的城市各类能源互联互通、综合利用、优化共享的平台。构建城市能源互联网，实现能源结构由高碳到低碳、能源利用由低效到高效、资源配置由局部平衡到大范围优化配置、能源服务由单向供给到智能互动的转变，有效推动城市能源消费的绿色低碳发展。

城市能源互联网是全球能源互联网、中国能源互联网在城市地区的承接节点和重要支撑。构建城市能源互联网，将解决城市能源电力就地平衡的瓶颈，促进各类能源与电能转换，提高清洁能源在供给侧和电能消费侧的使用比重，优化城市能源结构，提高能源利用效率，促进清洁能源开发利用，最终实现城市能源消费的基本无碳化。如图1-1所示为城市能源互联网结构图。

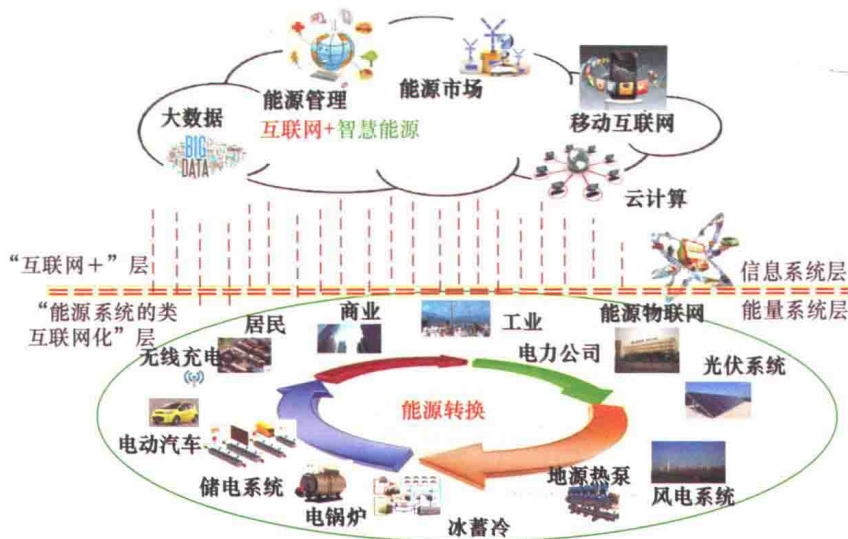


图1-1 城市能源互联网结构示意图

二、城市能源互联网特征

能源系统的类互联网化表现为互联网理念对现有能源系统的改造，其目的是使得能源系统具有类似于互联网的某些优点。能源系统的类互联网化主要表现为以下三点：多能源开放互联、能量自由传输和开放对等接入。

1. 多能源开放互联

打破传统的电、热、冷、气、油、交通等用能行业的壁垒，实现多能源综合利用，并接入太阳能、地热能等多种可再生能源，形成开放互联的综合能源系统，如图1-2所示。

2. 能量自由传输

能量的自由传输表现为：远距离低耗（甚至零耗）大容量传输、双向传输、端对端传输、选择路径传输、大容量低成本储能、无线电能传输等，如图1-3所示。

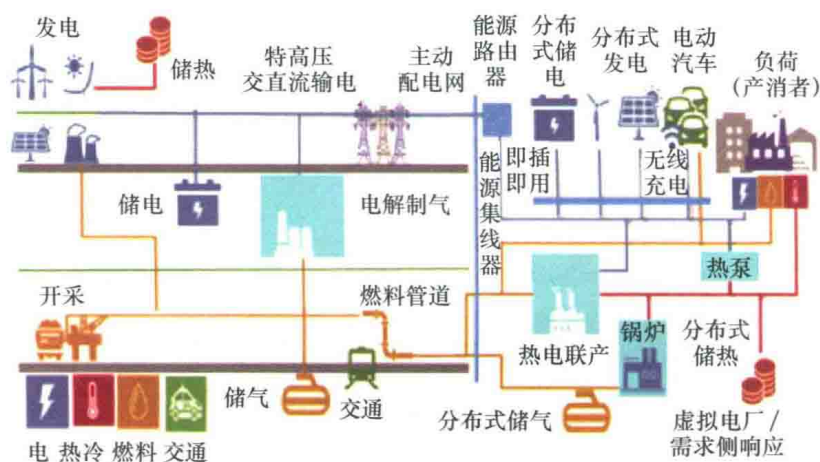


图1-2 多能源开放互联特点

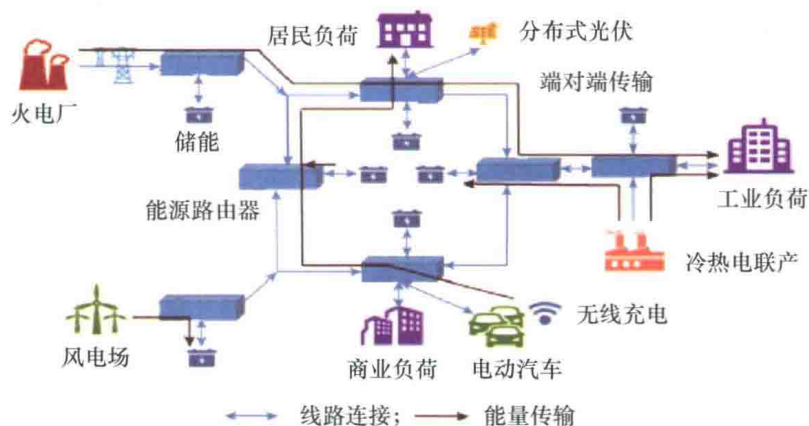


图1-3 能量自由传输示意图

3. 开放对等接入

在互联网中，不同设备可以开放对等接入，做到即插即用，使得用户的使用非常便捷。但是在现有的能源网络里，负荷侧可以做到即插即用，而源端（物理设备或者系统，如微电网等）完全自如的开放对等接入需要控制端及主网都要有很强的协调控制及兼容能力。在“互联网+”智慧能源中，产消者将是能源交易和分享的主体，源的开放对等接入可为产消者的大量出现提供保障，并支撑需求侧响应和虚拟电厂等各类应用，如图1-4所示。

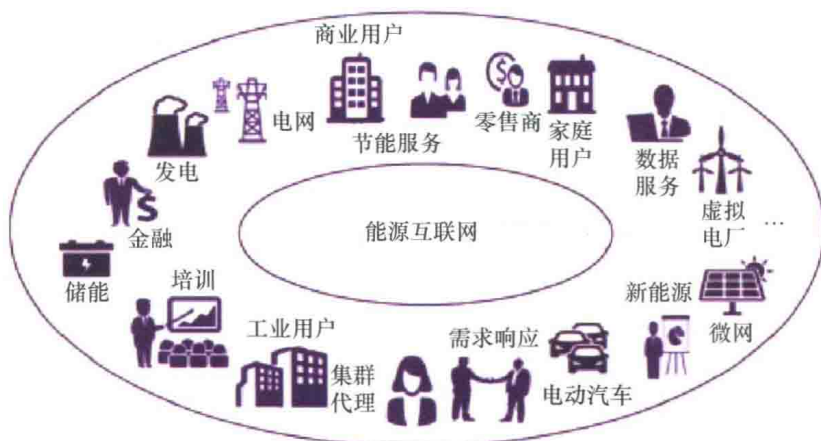


图 1-4 开放对等接入示意图

三、城市能源互联网体系

城市能源互联网是一套完整的能源生态系统，其中包括能源供给、能源需求响应、传输、形式转换、数据应用、信息管理以及运行调度控制等。在能源互联网中能源供给和消费的形式更为多样化，相互之间的转换也更为灵活多变。城市能源互联网的体系架构和核心技术包括以下内容。

(1) 主动参与能源消费一体化。通过分布式能源的推广，来实现对产用一体化的能源市场主体的孕育，从而得到更大的自主权和市场平等地位。

(2) 支持能源广泛传输的配电网。分布式发电存在的高渗透率特点使得配电网的潮流能够双向流动，配电网调节控制手段必须适应区域内电网的潮流优化以及区域间、能源间的调配和互补。

(3) 综合大数据融合与多元应用。由于不同能源形式的差异，网络的可观性和可控性需要依托广泛的信息量测，在其之上进行不同形式数据的汇集、整理、挖掘分析并形成相关数据应用。

(4) 多源协同运行管理与应用服务。利用储能、储热、风光功率预测及互联网技术，通过“区域自治，分层优化”的系统运行模式实现多种能源融合运转，确保城市运行综合能效的最大化。

1.1.2 分布式综合能源系统

1. 概述

分布式能源系统直接面向用户，按用户的需求就地生产并提供能量，能

够将热、电充分利用，能够集成应用多种能源，能够执行更严格的排放标准，能够提高能源安全，典型分布式综合能源系统如图1-5所示。

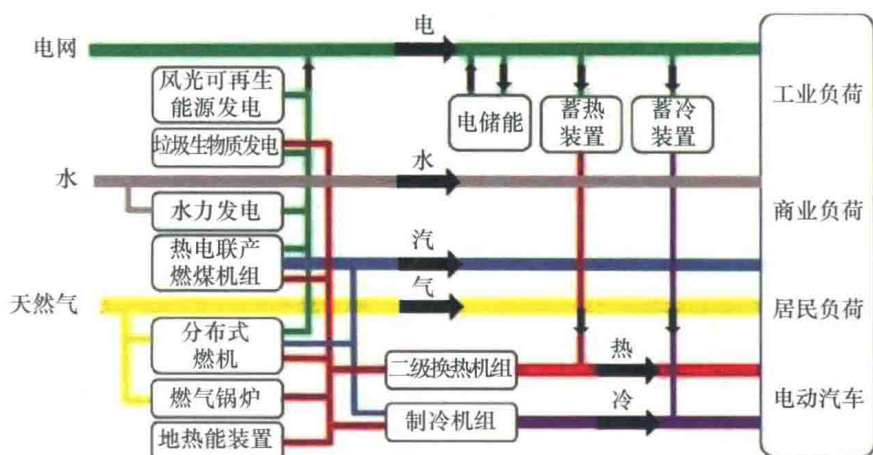


图1-5 典型分布式综合能源系统示意图

以常见的热电联产技术说明分布式综合能源系统的能效。图1-6可以看出，热电联产利用了热电分产中发电排走的热量，热电联产比热电分产综合能源利用效率提高21%。而且，综合能源系统能利用天然气等清洁能源和可再生能源替代化石燃料，是主要的节能减排技术，近年来在国际上得到迅速发展。

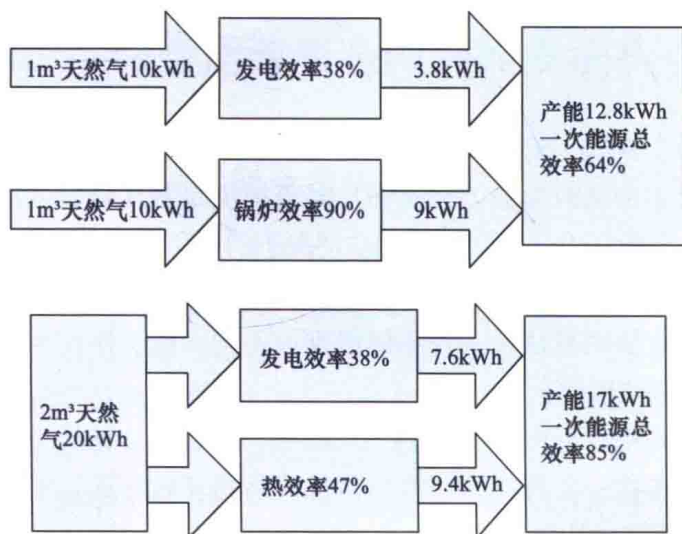


图1-6 热电联产和热电分产能效示意图

2. 发展历程

分布式能源系统至今已发展三代。

第一代是传统的热电联产，即热电厂模式。单一燃料输入、热和电输出、单一中心能源站、发电机规模在300MW及以下，电力上网，蒸汽或高温水输出，输送半径10~20km，这种系统称为“靠近用户”。

第二代是城区或楼宇的冷热电多联产，即冷热电三联供模式。清洁燃料输入、多种形式能源输出、单一中心能源站，由于需要供冷，输送半径必须控制在1km以下，发电机规模在50MW以下，电力并网或上网，热水和冷水输出，称之为“接近用户”。

第三代是分布式多能源品种发电，多种形式能源（热、电、冷、热水）输出，电力驱动热泵，以能源总线集成热源和热汇。每一栋建筑既产能也用能或蓄能，形成多个产能节点，通过能源互联网共享资源，称之为“贴近用户”。

随着互联网、物联网、云技术、储能技术、大数据、智能电网以及先进的能源管理技术的发展，“互联网+”智慧能源逐渐成为分布式能源系统的新形态，如图1-7所示。“互联网+”智慧能源下的分布式能源系统是一种互联网与能源生产、传输、存储、消费以及能源市场深度融合的能源产业发展新形态，具有设备智能、多能协同、信息对称、供需分散、系统扁平、交易开放等主要特征。传统能源系统与互联网信息技术的融合，必将产生全新的供能、用能、储能模式。

3. 特征

“互联网+”模式下的分布式能源系统具有以下三个方面的特征：

（1）结合多种能源形势，根据用户需求提供定制化能源供应方案，同时可以模块化、套餐制设计不同用能需求情况下的能源供给。

（2）多种能源网络互联互通，相互融合转化的智慧能源网络系统，利用层级之间的优化协调算法，实现不同级别、不同功能、不同优化方案的全方位的能源优化协调控制。

（3）将互联网应用中的大数据、云服务、物联网、移动互联等技术与传统能源网络相连接，实现能源网络和信息网络的互联互通，实现不同能源类型、不同信息系统的协同管理。

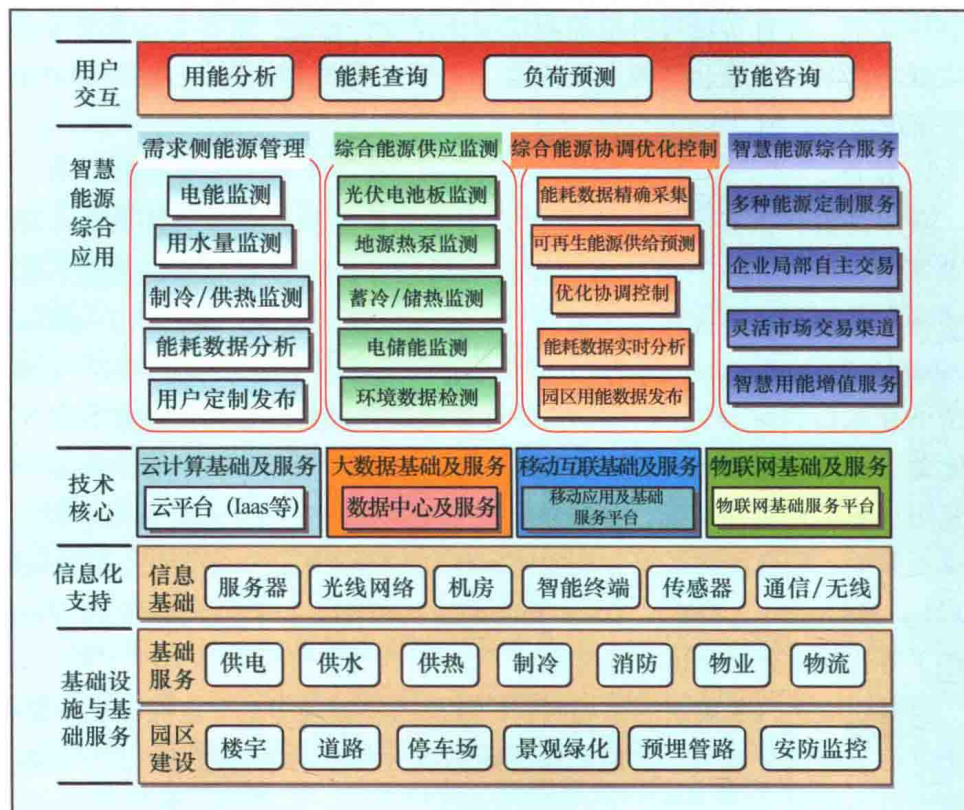


图 1-7 互联网+模式下的分布式能源系统

1.2 综合能源服务国内外发展现状

1.2.1 国外综合能源服务发展现状

一、国外典型国家综合能源服务发展现状

传统能源服务起源于20世纪中期的美国，主要是为了对现有的建筑进行节能服务，其主要商业模式是合同能源管理。随着社会的发展，基于分布式能源的能源服务在美国出现，主要针对新建项目进行热电联供、光伏、热泵、生物质等可再生能源利用技术的推广，其融资额度更大，商业模式更加灵活。随着互联网、大数据、云计算等技术出现，融合清洁能源与可再生能源的区域微电网技术的新型综合能源服务模式开始诞生。综合能源服务能够提升能

源利用效率，并且实现可再生能源规模化开发，目前，世界各国都针对各自的发展需求制定了综合能源发展战略。下面对欧洲主要国家、美国和日本的发展情况进行介绍。

1. 欧洲

欧洲是世界上最早提出并且付诸实施综合能源系统概念的区域。早在欧盟第五框架（FP5）中，虽然没有明确的界定综合能源系统概念，但是已经将有关能源协同优化的研究提到了首要位置，如DG TREN（Distributed Generation Transport and Energy）项目综合考虑可再生能源综合开发与交通运输清洁化的协调配合；ENERGIE项目希望通过多种能源（传统能源和可再生能源）协同优化和互补，以实现未来替代或减少核能使用；Microgrid项目研究用户侧综合能源系统，目的是实现可再生能源在用户侧的友好开发。在后续框架中，综合能源系统和能源协同优化的研究被进一步深化，Microgrids and More Microgrids（FP6）、Trans-European Networks（FP7）、Intelligent Energy（FP7）等许多重要项目也相继实施。

根据Utilities UK集团的市场调研，欧洲已经涌现出上千家能源服务公司。对于欧洲很多国家而言，其能源系统间的耦合和互动急剧增强，其中以英国和德国最为典型。

英国的企业更加关注对能源系统间能量流的集成。英国的电力通过高压输电线路、燃气网络通过燃气管道同欧洲大陆的能源网络相连。为此，建立一个安全和可持续发展的能源系统是英国政府一直所关注的问题。在英国，对于社区的分布式综合能源系统，政府也投以巨大的支持，例如英国的能源与气候变化部DECC和英国的创新代理机构Innovate UK（以前称为TSB）与企业合作资助了大量区域综合能源系统的研究和应用。

同英国相比，德国的相关企业对能源系统和通信信息系统间的集成问题更为关注，其中的一个标志性项目是E-Energy，在2008年选择了6个试点地区，开展为期4年的E-Energy技术创新促进计划，包括智能发电、智能电网、智能消费和智能储能4个方面。该项目旨在推动其他企业和地区积极参与建立以新型信息通信技术（ICT）、通信设备和系统组成的高效能源系统，以最先进的调控手段来应付日益增多的分布式电源与各种复杂的用户终端负荷。通过智能区域用能管理系统、智能家居、储能设备、售电网络平台等多种形式试点，E-Energy最大负荷和用电量均减少了10%~20%。此外，在E-Energy

项目实施以后,德国政府还推进了IRENE、Peer Energy Cloud、ZESMIT和Future Energy Grid等项目。

2. 美国

在管理机制上,美国能源部作为对各种能源资源最高主管部门,需要制定相关的能源政策,美国的能源监管机构主要负责政府能源政策的落实,抑制能源价格的无序波动。在此管理机制下,实现了美国各类能源系统间良好的协调配合,保证了美国的综合能源供应商的发展,如美国太平洋煤气电力公司、爱迪生电力公司等综合能源供应商。

在技术上,美国对综合能源相关理论技术投入大量的人员进行研发。美国能源部在2001年就提出了综合能源系统(Integrated Energy System, IES)发展计划,目的是为了提高清洁能源供应与利用比重,从而使社会供能系统的可靠性和经济性得到进一步提高,在IES计划中重点是促进对分布式能源(DER)和冷热电联供(CCHP)技术的进步和推广应用。

2007年12月美国颁布能源独立和安全法(EISA),明确要求社会主要供用能环节必须开展综合能源规划(Integrated Resource Planning, IRP);奥巴马总统在第一任期,就将智能电网列入美国国家战略,以期在电网基础上,构建一个高效能、低投资、安全可靠、灵活应变的综合能源系统,以保证美国在未来引领世界能源领域的技术创新与革命。在需求侧管理技术上,美国包括加州、纽约州在内的许多地区在新一轮电力改革中,明确把需求侧管理提高电力系统灵活性作为重要方向。

3. 日本

日本的能源严重依赖进口,因此在亚洲日本是最早开展综合能源系统研究的国家。2009年9月日本政府公布了其2020、2030和2050年温室气体的减排目标,并且提出了大力构建覆盖全国的综合能源系统,从而实现对能源结构的优化和能效的提升,同时促进可再生能源规模化开发。在政府的大力推动下,日本主要的能源研究机构都开展了此类研究,并形成了不同的研究方案,如由NEDO于2010年4月发起成立的JSCA(Japan Smart Community Alliance),主要致力于智能社区技术的研究与示范,该智能社区是在社区综合能源系统(包括电力、燃气、热力、可再生能源等)基础上,实现与交通、供水、信息和医疗系统的一体化集成。Tokyo Gas公司则提出更为超前的综合能源系统解决方案,在传统综合供能(电力、燃气、热力)系统基础上,还