

能源互联网

储能系统商业运行模式 及典型案例分析

孙威 李建林 王明旺 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

能源互联网

储能系统商业运行模式 及典型案例分析

编 著 孙 威 李建林 王明旺
编 委 田春光 修晓青 李 颖 肖海伟
靳文涛 何志超 谢志佳 马会萌
胡 娟 杨水丽 吕项羽 郭光朝
姚自良 刘明爽 张 亮 张克军
邱文祥 邓 霞



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书针对能源互联网中储能应用商业模式及市场发展前景问题,首先综述了能源互联网的基本概念、特征及内涵、技术框架、关键技术、研究现状,储能技术分类及市场发展现状,分析了储能 in 智能电网及能源互联网中的作用及适用领域,对储能的技术成熟度、各类型储能适用的领域和前景进行了评估,其次,在此基础上,研究了能源互联网中储能在分布式光储、微电网、参与电网辅助服务、退役电池梯次利用以及电动汽车的商业运行模式,参考成功案例,结合储能技术经济特性、市场环境及现有政策,分别提出了储能在能源互联网中的典型应用模式和商业运行模式,并分析了储能在新能源发电、分布式发电、微电网、退役动力电池梯次利用的经济性,提出了储能商业化运行的政策需求,最后,在上述研究成果的基础上,形成了储能在未来 10 年到 20 年的市场化发展路线图,预判了储能市场化发展前景。

本书可作为从事能源互联网中储能应用的工作人员使用,亦可作为高等院校相关专业广大师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

能源互联网:储能系统商业运行模式及典型案例分析/孙威等编著. —北京:中国电力出版社, 2017.3

ISBN 978-7-5198-0247-9

I. ①能… II. ①孙… III. ①互联网络—应用—能源—资源共享—研究 IV. ①F407.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 323189 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:孙建英 010-63412369 jianying-sun@sgcc.com.cn

责任校对:常燕昆

装帧设计:张俊霞 左 铭

责任印制:蔺义舟

印 刷:北京天宇星印刷厂

版 次:2017 年 3 月第一版

印 次:2017 年 3 月北京第一次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:11

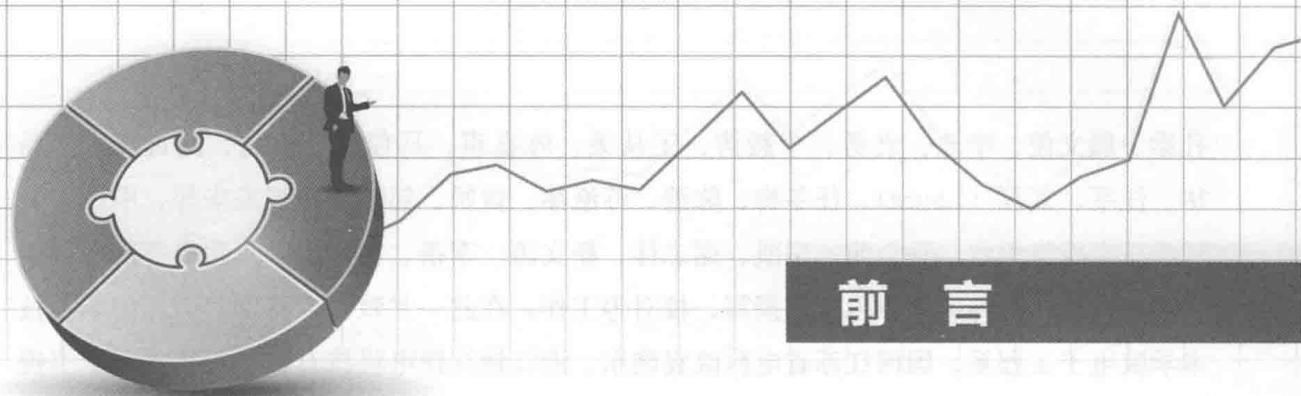
字 数:255 千字

印 数:0001—3000 册

定 价:55.00 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



前言

能源互联网中存在大规模可再生能源发电送出和消纳、局域多能源系统灵活高效和经济运行、能源市场自由交易等应用需求，为储能技术提供了发展机遇。储能技术不仅建立了多种能源之间的耦合关系，更为能源互联网互动、开放、优化共享的机制和目标提供了必要的支撑。储能将是能源互联网构建中不可缺少的组成部分，在能源互联网中发挥能量中转、匹配和优化的重要作用。当前阶段储能可在可再生能源发电场站、配电网、微电网、智能家居等智能电网场景中的示范为储能能在能源互联网中的应用奠定了基础。

随着电力体制改革的推进，电网运营模式和角色将发生改变，电力市场化交易机制、发电和售电企业的多元化发展、分布式电源的大量应用、需求侧管理手段的革新都为储能的应用提供了契机。现有工作大多未能突破储能在现有电网运营模式和商业模式的范畴，已开展储能示范项目大多未实现商业化运行，储能在能源互联网中的应用研究和示范缺乏指导。“十三五”开局之年，国家利好政策频出，除《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》外，国家发展改革委、国家能源局也陆续颁布了《促进电储能参与“三北”地区电力辅助服务补偿（市场）机制试点工作的通知》《能源技术创新行动计划（2016~2030年）》《关于在能源领域积极推广政府和社会资本合作模式的通知》等系列政策，均明确提出储能技术在智能电网及能源互联网发展中的重要地位。

能源互联网中，储能系统能够支撑高比例可再生能源的并网运行，提高多元能源系统的灵活性和可靠性，提高能源交易的自由度，并可为多元能源系统能量管理和路径优化提供支持。本书主要讨论能源互联网中储能应用商业模式及市场发展前景问题，详细介绍了储能在能源互联网中的作用、适用领域、商业运行模式、经济性以及储能商业化运行的政策需求，重点分析了储能在未来10年到20年的市场化发展路线图，预判了储能市场化发展前景。本书遵循理论分析与示范调研分析相结合的原则，以期为广大读者提供借鉴。

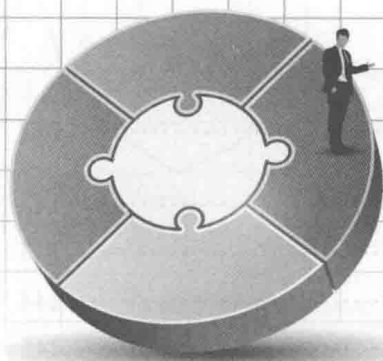
本书得到了国家电网公司科技项目（KY-SG-2016-204-JLDKY）、山西省科技厅重大专项（201603D112001）、国家电网公司科技项目（DG71-16-028）、国家863项目（2014AA052004）的大力支持，在此深表谢意。同时，感谢山西省科技厅、欣旺达电子股份有限公司相关同志的积极参与和配合。在本书编辑过程中，欣旺达电子股份有限公司杨

孔梁、熊文俊、李波、袁勇、李毅涛、王从荣、陈嘉琪、马俊杰、田亮、闫百灵、李扬华、汪平、刘磊 (Laura)、任冬梅、陈蔚、苏滋津、黄娟、邬晓东、王玉华等，中国电力科学研究院徐少华、马会萌、房凯、谢志佳、靳文涛、李蓓、杨水丽、张明霞等同志付出了辛勤劳动，参与了部分内容的撰写、校对等工作，在此一并致谢，特别鸣谢顺德职业技术学院电子工程系、国网江苏省电科院袁晓东、浙江钱江锂电科技有限公司张超对本书提供技术支持。

本书行将面世，著书之初衷是否果如所求，有待通过实践验证。限于编委会成员水平，书中疏漏与谬误之处在所难免，尚祈读者不吝赐教。

作者于深圳

2016 年 12 月



目 录

前言

第1章 能源互联网中的储能技术 1

- 1.1 能源互联网概述 1
- 1.2 储能技术类型 10
- 1.3 储能市场发展现状 30

第2章 储能在智能电网及能源互联网中的作用及适用领域研究 37

- 2.1 储能在智能电网及能源互联网中的作用 37
- 2.2 储能技术应用场景 39
- 2.3 储能技术适用性 45
- 2.4 储能的技术成熟度和发展前景评估 55
- 2.5 典型储能示范工程介绍 62

第3章 能源互联网中的储能应用商业模式研究 76

- 3.1 储能技术的相关政策解析 77
- 3.2 分布式光储发电的商业运行模式 89
- 3.3 微电网的商业运行模式 97
- 3.4 储能参与电力辅助服务的商业运行模式 99
- 3.5 电动汽车的商业运行模式 104
- 3.6 动力电池梯次利用的商业运行模式 105
- 3.7 储能商业运行模式探讨 108

第4章 典型案例分析 112

- 4.1 储能经济性研究概述 112
- 4.2 储能在新能源发电中的经济性分析 119
- 4.3 储能在分布式发电及微电网中的经济性分析 122
- 4.4 退役动力电池梯次利用经济性 137

第5章	能源互联网中储能商业运行的政策需求研究	142
5.1	支持储能产业发展的措施或实施办法	143
5.2	储能示范项目补贴方案	143
5.3	边远地区、无电地区以及海岛储能项目补贴方案	144
5.4	支持储能产业发展的融资方式和金融服务政策	145
第6章	储能市场化发展路线图及前景分析	146
6.1	储能发展路线图	146
6.2	储能市场前景分析	155
第7章	总结与展望	165
参考文献		167

能源互联网中的储能技术

全球能源发展经历了从薪柴时代到煤炭时代，再到油气时代、电气时代的演变过程。目前世界能源供应以化石能源为主，有力支撑了经济社会的快速发展。现代能源工业是技术密集型产业，技术创新对能源升级发展具有决定性、根本性的作用。能源互联网作为一项全新的能源技术革命，必须发挥技术创新的引领和推动作用，加大研究和发力度，尽快实现清洁能源发电，更好地支撑全球能源互联网的建设，保障世界能源的可持续供应。

为适应未来能源的发展，水能、风能、太阳能等清洁能源正在加快发展和利用，在保障世界能源供应、促进能源清洁发展中，将发挥越来越重要的作用。储能技术是保障清洁能源大规模发展和电网安全经济运行的关键。储能技术可以在电力系统中增加存储环节，使得电力实时平衡的“刚性”电力系统变得更加“柔性”，特别是平抑大规模清洁能源的发电接入电网带来的波动性，提高电网运行安全性、经济性和灵活性。

随着电力体制改革的推进，电网运营模式和角色将发生改变，电力市场化交易机制、发电和售电企业的多元化发展、分布式电源的大量应用、需求侧管理手段的革新都为储能的应用提供了契机。现有工作大多未能突破储能在现有电网运营模式和商业模式的范畴，已开展储能示范项目大多未实现商业化运行，储能在能源互联网中的应用研究和示范缺乏指导。研究能源互联网中储能应用商业模式和市场前景，对于能源互联网中储能运营模式的创新，引领储能的应用方向，把握储能市场发展动态，实现储能产业可持续发展具有重要的意义。

1.1 能源互联网概述

1.1.1 能源互联网基本概念

目前，互联网与通信技术不断渗入到经济、社会的各个领域，其与能源体系的融合，引发人们对“能源互联网”概念的思考，能源互联网有可能打破现有的以化石能源大规模集中利用为基础的社会、经济发展模式，解决化石燃料日渐枯竭、环境污染日益加重等问题，推动建立更加高效、安全与可持续的能源利用模式。

能源互联网的具体定义，目前仍不明晰。美国著名学者杰里米·里夫金在其著作《第三次工业革命》中，阐述新经济系统的五大支柱时，首次提出了能源互联网（Internet of Energy）的愿景。第三次工业革命的支柱主要包括五个方面：



- (1) 向可再生能源转型；
- (2) 将世界各地的建筑转化为微型发电厂，以便就地收集可再生能源；
- (3) 在每一栋建筑物及其基础设施中使用氢和其他存储技术，以存储间歇式能源；
- (4) 利用互联网技术将世界各地的能源网络转化为能源互联网，能源互联网的工作原理类似于互联网（成千上万的建筑能够就地生产出少量的能源，除去就地消纳外，多余的绿色电能可以出售给电网，也可以与周围的邻居共享）；
- (5) 将运输工具转向插电式电动汽车以及燃料电池电动汽车，电动汽车可以通过互联的电力网络进行绿色电力的买卖。

能源互联网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业态。《储能产业研究白皮书 2015》将杰里米·里夫金提出的能源互联网定义为：“以电力网络为基础，与网络通信技术紧密融合，以可再生能源为主要能源利用形式，与气、热、交通等网络密切耦合，含有大量分布式元件、信息组件、储能设备的，可实现能量和信息双向流动的复杂多网流、共享网络。”

根据《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》，能源互联网被定义为：“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。”

该概念提到了三项重要内容：互联网、能源生产—传输—存储—消费的物理环节，以及能源市场。能源互联网涉及了物理、信息及市场三个维度，这三个维度的共同创新和相互匹配是能源互联网发展建设的必要条件。相应地，能源互联网受到能量流、信息流和价值流三种动态变化量的驱动。能源互联网的发展过程将在物理、信息、市场三个维度上呈现出不同的形态。

能源互联网是以互联网思维与理念构建的新型信息—能源融合“广域网”，它以大电网为“主干网”，以微网、分布式能源等能量自治单元为“局域网”，以开放对等的信息—能源一体化架构真正实现能源的双向按需传输和动态平衡使用，因此可以最大限度的适应新能源的接入。虽然能源形式多种多样，电能源仅仅是能源的一种，但电能可在能源传输效率等方面具有无法比拟的优势，未来能源基础设施在传输方面的主体必然还是电网，因此未来能源互联网基本上是以互联网式的电网为枢纽构成的能源—信息系统。

能源互联网基本架构如图 1-1 所示。微网、分布式能源等能量自治单元可以作为能源互联网中的基本组成元素，通过新能源发电、微能源的采集、汇聚与分享以及微网内的储能或用电消纳形成“局域网”。能源互联网是此基础上的广域联接形式，作为分布式能源的接入形式，是从分布式能源的大型、中型发展到了任意的小型、微型的“广域网”实现。大电网的形成有其必然性，在传输效率等方面仍然具有无法比拟的优势，将来仍然是能源互联网中的“主干网”。微网或分布式能源接入、互联和调度灵活，但存在供电可靠性较低等问题，大电网供电可靠性较高但尚难以适应大量新能源的灵活接入和双向互动，能源互联网可以起到衔接作用，综合两方面的优势。能源互联网是采取自下而上分散自治协同管理的模式，与目前集中大电网模式相辅相成，符合电网发展集中与分布相结合的大趋势。

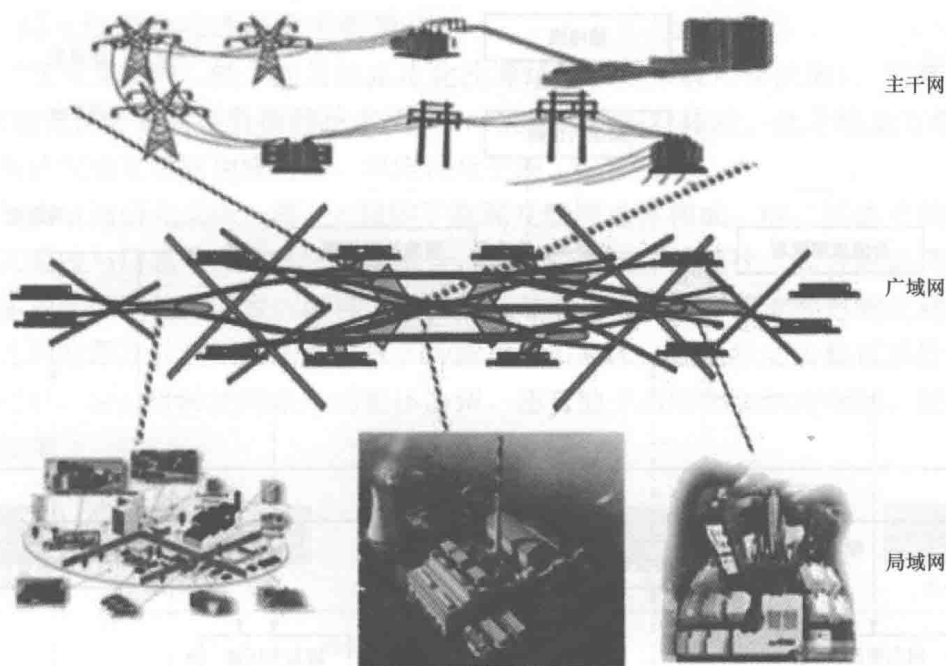


图 1-1 能源互联网基本架构

能源互联网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业态。推动能源智能生产技术创新，重点研究可再生能源、化石能源智能化生产，以及多能源智能协同生产等技术。加强能源智能传输技术创新，重点研究多能协同综合能源网络、智能网络的协同控制等技术，以及能源路由器、能源交换机等核心装备。促进能源智能消费技术创新，重点研究智能用能终端、智能监测与调控等技术及核心装备。推动智慧能源管理与监管手段创新，重点研究基于能源大数据的智慧能源精准需求管理技术、基于能源互联网的智慧能源监管技术。加强能源互联网综合集成技术创新，重点研究信息系统与物理系统的高效集成与智能化调控、能源大数据集成和安全共享、储能和电动汽车应用与管理以及需求侧响应等技术，形成较为完备的技术及标准体系，引领世界能源互联网技术创新。

1.1.2 能源互联网的特征及内涵

参考美国国家自然科学基金委支持的未来可再生电力能源转换与管理（FREEDM）项目对能源互联网的相关叙述，能源互联网可理解是综合运用先进的电力电子技术、信息技术和智能管理技术，将大量由分布式能量采集装置，分布式能量储存装置和各种类型负载构成的新型电力网络节点互联起来，以实现能量双向流动的能量对等交换与共享网络，典型结构如图 1-2 所示。

能源互联网由若干个能源局域网相互连接构成，能源局域网由能量路由器、发电设备、储能设备、交直流负载组成，可并网工作，也可脱网独立运行。能量路由器由固态变压器（solid state transformer, SST）和智能能量管理组成；智能能量管理根据收集的能源局域网中发电设备、储能设备和负载等信息做出能量控制决策，然后将控制指令发送给固态变压器执行，即智能能量管理控制信息流，固态变压器控制能量流。为保证能源互联网的可靠安全工作，能源局域网的上一级母线具有智能故障管理功能，提供能源互联网故

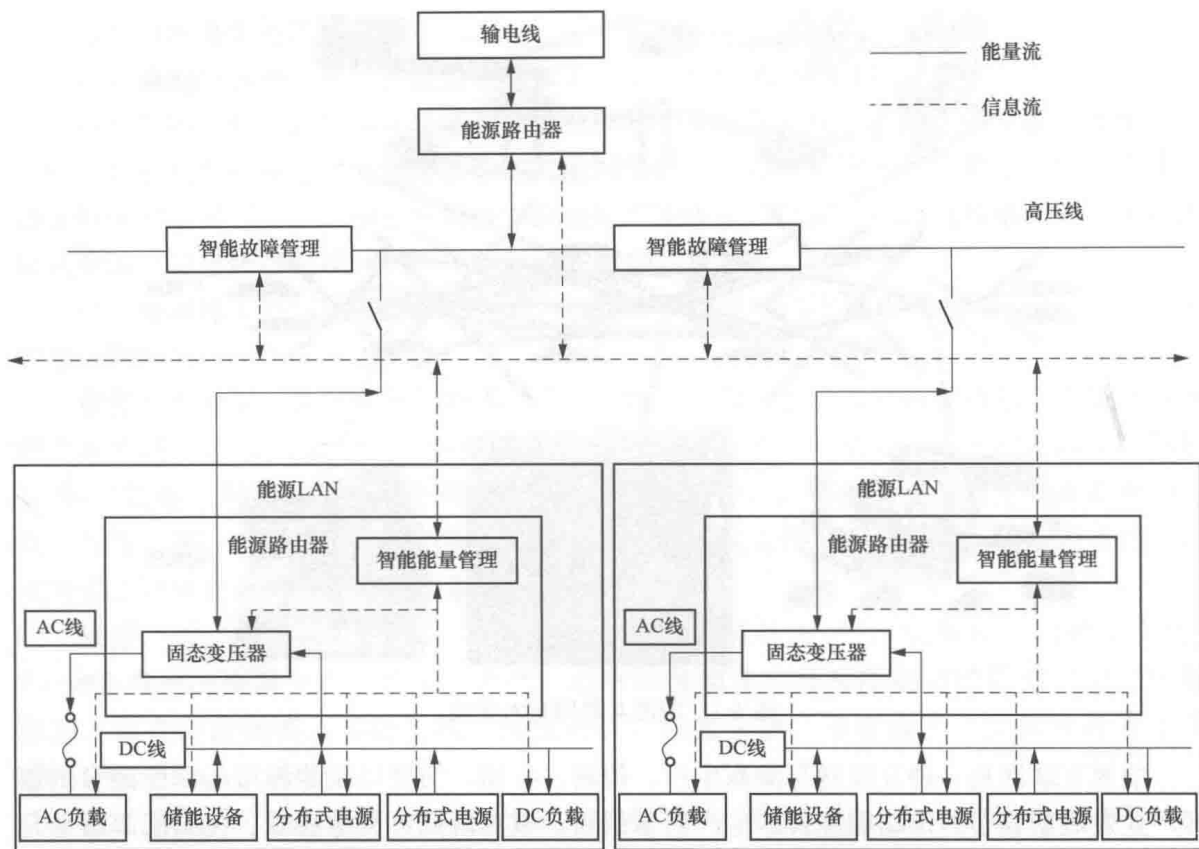


图 1-2 能源互联网结构示意图

障的实时检测，快速隔离等功能。能源互联网与其他形式的电力系统相比，具有以下 4 个关键特征。

(1) 可再生能源高渗透率：能源互联网中将接入大量各类分布式可再生能源发电系统，在可再生能源高渗透率的环境下，能源互联网的控制管理与传统电网之间存在很大不同，需要研究由此带来的一系列新的科学与技术问题。

(2) 非线性随机特性：分布式可再生能源是未来能源互联网的主体，但可再生能源具有很大的不确定性和不可控性，同时考虑实时电价、运行模式变化、用户侧响应、负载变化等因素的随机特性，能源互联网将呈现复杂的随机特性，其控制、优化和调度将面临更大挑战。

(3) 多源大数据特性：能源互联网工作在高度信息化的环境中，随着分布式电源并网，储能及需求侧响应的实施，包括气象信息、用户用电特征、储能状态等多种来源的海量信息；而随着高级量测技术的普及和应用，能源互联网中具有量测功能的智能终端的数量将会大大增加，所产生的数据量也将急剧增大。

(4) 多尺度动态特性：能源互联网是一个物质，能量与信息深度耦合的系统，是物理空间、能量空间、信息空间乃至社会空间耦合的多域。多层次关联包含连续动态行为、离散动态行为和混沌有意识行为的复杂系统。作为社会/信息/物理相互依存的超大规模复合网络，与传统电网相比具有更广阔的开放性和更大的系统复杂性，呈现出复杂的、不同尺度的动态特性。

1.1.3 能源互联网的构成及技术框架

构建“能源互联网”的主要目的是优化能源结构（更多应用新能源）、提高能源效率（发挥不同能源优势和新型负荷的技术优势），从而改善用户体验。优化能源互联网资源，首先需要确认能源互联网构成要素，界定优化范围。

结合智能电网研究成果，图 1-3 描述了能源互联网总体构成：电、供热及供冷等形式的能源输入通过与信息等支撑系统有机融合，构成协同工作的现代“综合能源供给系统”。该系统内多种能源（化石能源、可再生能源）通过电、冷、热和储能等形式之间的协调调度供给，达到能源高效利用、满足用户多种能源应用需求、提高社会供能可靠性和安全性等目的；同时，通过多种能源系统的整体协调，还有助于消除能源供应瓶颈，提高各能源设备利用效率。



图 1-3 能源互联网总体描述

不同能源对环境的影响不同，传统能源供应体系中，特定能源已经形成了相对稳定的消费市场，比如石油主要用于交通、化工、发电等行业；天然气则主要用于日常生活、供热、发电、交通等领域。可再生能源目前几乎全部用来发电。一次能源长期以来形成了自身的产业链条，不同种类能源间互相补充空间有限。但是，电能可以充当不同能源间的桥梁。目前可再生能源绝大部分转化为电能。如果通过电能用绿色可再生能源替换其他高污染一次能源，可以提高能源消费的整体环境友好程度。要实现这种能源的优化供给需要具备几个条件：①要具备不同种类能源间的（供求关系等）信息互通；②要具备能源输出互相替代的必要技术手段，即通过电能能够满足被替代能源消费主体的需求；③要能够给能源消费者清晰、及时的引导信号，吸引能源消费主体参与能源消费优化配置。具备以上条

件，配合必要的技术手段，最终实现社会能源的整体优化利用。实现这一目标可以通过技术手段构建“能源互联网”。

为了达到上述整体优化目标，在明确能源“互联”范围基础上，需要进一步研究合理的能源互联网技术框架，应用先进技术发挥多种能源与用户互联、互动的整体优势。这种能源互联网技术框架设计的唯一目的是发挥技术优势，从技术角度提高能源的使用效率。

在不存在政策、市场和技术条件限制的前提下，设计满足上述条件的能源互联网技术框架模型，如图 1-4 所示。图 1-4 所示“能源互联网技术框架”包括“市场环境”“能源供给、转化和消费”“信息共享支持”及“调度控制”4 个部分。

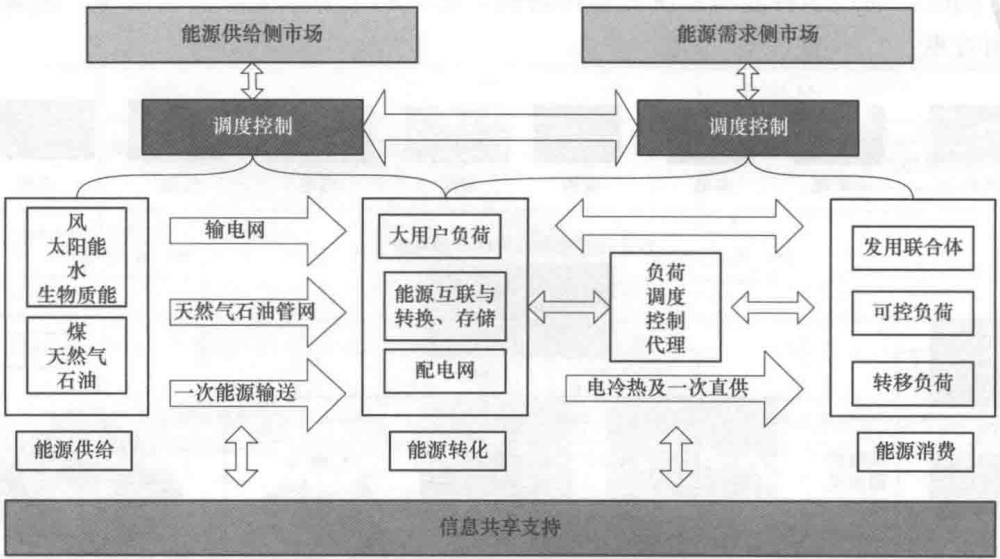


图 1-4 能源互联网技术框架模型

市场环境包括能源供给侧市场和能源需求侧市场。其中，能源供给侧市场负责发布不同种类能源的市场价格信号，调节市场能源供应结构（可以在这个环节使用价格信号或补贴鼓励使用清洁能源，减小环境污染）；能源需求侧市场负责发布吸引可控负荷和具有反向送电（或其他能源形式）的“发用电联合体”参与需求侧调度控制的价格或其他激励信号，以鼓励负荷参与需求侧响应。

能源供给、转化与消费是能源互联网中的能源流，也是整个技术框架的最终优化协调对象。多种能源发出的电、热、冷等能量形式通过输电网、管网或者运输通道最终抵达用户侧，满足用户的用能需求。能源互联网框架在以上基础上，加强了对分布式电源和微电网的支持，同时应用各种储能以及电转化为气体等技术，结合信息共享和多种能源的成本对比，以电能为中心实现有目标（优化或降低污染、提高清洁能源比例等）的多种能源间的替代和转换。消费环节除了包括传统用户还增加了智能可控用户以及可以反向供能的发用电联合体等。

信息共享支持是整个技术框架中的信息流。“高速、可靠和安全”的未来信息技术是实现能源互联网技术框架下大量数据采集、传输、分析再到优化计算的基础条件。

在信息技术支持下，为保障整个能源框架的安全优化运行，需要设置必要的运营管理机构，对能源进行集中调度管理，这种调度管理可以采用与外部市场环境相适应的商业运



营模式并根据能源管理范围进行分级设计。同时针对用户侧可控负荷和具有发电及其他供电（供热、制冷等）能力的“发用电联合体”在自愿的前提下可以直接参与或通过“负荷调度控制代理”，应用“虚拟发电厂”技术参与能源互联网的调度控制。这种基于信息共享的通过能源整体调度控制实现能源的整体优化利用是能源互联网技术框架的核心内容。

1.1.4 能源互联网技术形态与关键技术

1. 新能源发电技术

能源互联网关键技术是指可再生能源的生产、转换、输送、利用、服务环节中的核心技术，包括新能源发电技术、大容量远距离输电技术、先进电力电子技术、先进储能技术、先进信息技术、需求响应技术、微能源网技术，也包括关键装备技术和标准化技术。其中先进电力电子技术、先进信息技术是关键技术中的共性技术。

新能源不仅包括风能、太阳能和生物质能等传统可再生能源，还包括页岩气和小堆核电等新型能源或资源。新能源发电技术包括各种高效发电技术、运行控制技术、能量转换技术等。在新能源发电技术方面，研究规模光伏发电技术和太阳能集热发电技术、变速恒频风力发电系统的商业化开发，微型燃气轮机分布式电源技术，以及燃料电池功率调节技术、谐波抑制技术、高精度新能源发电预测技术、新能源电力系统保护技术，研究动力与能源转换设备、资源深度利用技术、智能控制与群控优化技术和综合优化技术。

2. 大容量远距离输电技术

大容量远距离输电是我国及世界能源革命的基础技术，是解决大型能源基地可再生能源发电外送的支撑手段。我国可以发展建设以特高压骨干网为基础，利用高压直流互联可再生能源基地，实现覆盖全国范围的交直流混合超级电网，提高我国供电的灵活性、互补性、安全性与可靠性。大容量远距离输电技术包括：灵活可控的多端直流输电技术、柔性直流输电技术、直流电网技术、海底电缆技术、运行控制技术等。直流电网技术是解决我国能源资源分布不均带来的电能大容量远距离传输问题，大规模陆上及海上新能源消纳及广域并网问题，以及区域交流电网互联带来的安全稳定运行问题最有效的技术手段之一。

3. 先进电力电子技术

先进电力电子技术包括高电压、大容量或小容量、低损耗电力电子器件技术、控制技术及新型装备技术。以 SiC、GaN 为代表的宽禁带半导体材料的发现，使得人类为取得反向截止电压超过 20kV 的限度成为可能。新型半导体材料制成的新器件（如 SiC 功率器件），与 Si 半导体器件相比，具有开关损耗低、耐高温、反向截止电压高的特点，在未来的输电和配电系统中有可能成为新一代高电压、低损耗、大功率电力电子装置的主要组成器件。

在控制策略方面，由于数字信号处理器性能的升级，使得系统控制策略灵活多样。多种非传统控制策略，如模糊控制、神经网络控制、预测控制等控制技术，可以适应电网暂态过程的复杂控制策略，一系列软开关控制方法、系统级并联控制方法，重复控制、故障检测等复杂算法被整合在 DSP 内实现，极大地增强了新型电力电子设备的灵活性与系统的可靠性。

4. 先进储能技术

先进储能技术包括压缩空气储能、飞轮储能、电池储能、超导磁储能、超级电容器储

能、冰蓄冷热、氢存储、P2G 等储能技术；从物理形态上讲，包括可用于大电网调峰、调频辅助服务的储能装备，也包括用于家庭、楼宇、园区级的储能模块。风电、光伏等可再生能源发电设备的输出功率会随环境因素变化，储能装置可以及时地进行能量的储存和释放，保证供电的持续性和可靠性。超导磁储能和超级电容储能系统能有效改善风电输出功率及系统的频率波动；通过对飞轮储能系统的充放电控制，实现平滑风电输出功率、参与电网频率控制的双重目标；压缩空气储能是一项能够实现大规模和长时间电能存储的储能技术之一。储能技术及新型节能材料在电力系统中的广泛应用将在发、输、配、用电的各个环节给传统电力系统带来根本性的影响，是电工技术研发的重点方向。

5. 先进信息技术

先进信息技术由智能感知、云计算和大数据分析技术等构成，代表能源领域信息技术的发展方向。能源互联网开放平台是利用云计算和大数据分析技术构建的开放式管理及服务软件平台，实现能源互联网的数据采集、管理、分析及互动服务功能，支持电能交易、新能源配额交易、分布式电源及电动汽车充电设施监测与运维、节能服务、互动用电、需求响应等多种新型业务。

6. 智能感知技术

智能感知技术包括数据感知、采集、传输、处理、服务等技术。智能传感器获取能源互联网中输配电网、电气化交通网、信息通信网、天然气网运行状态数据及用户侧各类联网用能设备、分布式电源及微电网的运行状态参数，传感器数据经过处理、聚集、分析并提供改进的控制策略。IEC61850、IEEE1888 等标准可作为数据采集、传输标准的参考借鉴。利用基于 IPV6 的开放式多服务网络体系，支持端到端的业务，实现用户与电网之间的互动，而且可实现各种智能设备的即插即用，除了智能电能表以外，还支持其他各种非电表设备的无缝接入。

7. 云计算技术

云计算（cloud computing）是一种能够通过网络随时随地、按需方式、便捷地获取计算资源（包括网络、服务器、存储、应用和服务等）并提高其可用性的模式，实现随时、随地、随身的高性能计算。互联网营销技术包括实现互联网营销的电子商务平台技术和相应的营销模式；能源互联网将支持 B2B（business to business）、B2C（business to consumer）、C2C（customer to consumer）等，利用互联网强大的互联互通能力，支持发电商（含分布式电源与微网经营者）、网络运营商、用户、批发或零售型售电公司等多种市场主体任何时间、任何地点的交易活动。

8. 大数据分析技术

大数据是指无法在一定时间内用传统数据库软件工具对其内容进行提取、管理和处理的数据集合。能源互联网中管网安全监控、经济运行、能源交易和用户电能计量、燃气计量及分布式电源、电动汽车等新型负荷数据的接入，其数据量将较智能电能表数据量大得多。从大数据的处理过程来看，大数据关键技术包括：大数据采集、大数据预处理、大数据存储及管理、大数据分析、大数据展现和应用（大数据检索、大数据可视化、大数据应用、大数据安全等）。



9. 需求响应技术

需求响应是指用户对电价或其他激励做出响应改变用电方式。通过实施需求响应,既可减少短时间内的负荷需求,也能调整未来一定时间内的负荷实现移峰填谷。这种技术除需要相应的技术支撑外,还需要制定相应的电价政策和市场机制。一般来说,需要建立需求响应系统,包括主站系统、通信网络、智能终端,依照开放互联协议,实现电价激励信号、用户选择及执行信息等双向交互,达到用户负荷自主可控的目的。在能源互联网中,多种用户侧需求响应资源的优化调度将提高能源综合利用效率。

10. 微能源网技术

微能源网是指一个城乡社区或园区、工厂、学校等可与公共能源网络连接,又可独立运行的微型能源网络。微能源网实现园区内工业、商业、居民用户主要或全部使用可再生能源发电,灵活便利的充电设施,太阳能、生物质发电或氢能等可再生能源通过能源路由器接入微能源网。各种可再生能源发电可由个人、企业以多种方式建设、运营,当然,节能服务方式建设、运维微能源网应是可重点探索的方式,微能源网主体实现了用电、发电、售电等业务的融合。微能源网将可能为绿色城镇化和美丽乡村建设树立典范。

微能源网主要技术包括多能源协调规划、多能源转换、优化协调控制与管理、分布式发电预测等技术。

11. 标准化技术

能源互联网标准体系可由规划设计、建设运行、运维管理、交易服务等标准构成。能源互联网需要首先构建标准体系,分步骤推进标准体系建设。能源互联网涉及众多设备、系统和接口,第一位的是能源互联网开放平台标准,包括接口标准。

能源互联网在多环节涉及多种能源的转换、交易、服务及多元市场主体,相应的技术标准规范、能源贸易法规,需配套跟进,确保能源互联网正常运行。

1.1.5 能源互联网的研究现状

“能源互联网”技术框架是对未来能源整体供用体系的概念性设想,关于未来的能源发展,国内外普遍开展了基于先进信息通信技术的包含能源互动思想(包含能源间的转化和替代)的相关研究。除了相关文献中关于“能源互联网”的设想外,美国各大研究机构 and 高校都在进行相关研究,在用户互动方面,美国在需求侧响应方面已经进入实际应用阶段,电网中出现了专职的“调荷服务商”用于为电网提供负荷调度服务;能源的互联与转换方面,美国发电公司长期根据市场需要选择出售天然气与电力的比例。欧盟也在开展“智能能源的未来网络”(FINSY)项目,研究将能源与信息的整合,汇集了能源和ICT(信息通信技术)行业的关键技术以确定智能能源系统对ICT的要求,从而提供创新性的能源解决方案以优化能源传输,改变人们的能源消费方式,减少CO₂的排放,改善生活环境。日本则在微网及分布式电源基础上致力于研究冠名为“电力路由器”的电网控制技术及相关装备。在国内,关于未来能源供应技术的研究一直受到高度重视,国家电网公司明确“能源互联网”是未来的智能电网,智能电网是承载第三次工业革命的基础平台,对第三次工业革命具有全局性的推动作用。目前,国家电网公司已积极开展、部署相关研究工作。

北京市科委组织了“第三次工业革命”和“能源互联网”专家研讨会,并启动了相关



软课题研究，以期形成详细的能源互联网调研报告和路线图。

中国能源发展目前面临总量供应（石油、天然气对外依存度高）、资源配置（能源与生产力分布不均衡）、能源效率（大量煤炭直接燃烧，整体能效偏低）、生态环境（土壤、水质、大气污染）四大问题。

针对以上问题，可以采用增加清洁能源发电比例、提高能源效率的方法加以改善。本书所述能源互联网技术框架统一配置能源资源，从能源供给和使用两个方面进行整体优化，基于信息共享建立必要的市场调节机制，优化引导能源的开发和使用，最终实现增加清洁能源发电比例、提高能源效率，以电能为中心统一优化配置能源资源；使能源发展方式由消耗型向可持续、可再生和更环保的发展轨迹过渡；实现能源供应安全、清洁、环保与友好地发展。

1.2 储能技术类型

按照储能载体技术类型，大规模储能技术可以分为机械类储能（抽水蓄能、压缩空气储能、飞轮储能等）、电气类储能（超导磁储能、超级电容器储能等）、电化学储能（高温钠系电池、液流电池、铅酸电池、锂离子电池等）、热储能（显热储热技术、潜热储热技术、储冷技术、化学储热技术等）、化学类储能等。

1.2.1 机械类储能

1. 抽水蓄能

抽水蓄能电站通常由上水库、下水库和输水发电系统组成，上下水库之间存在一定的落差。抽水蓄能电站利用电力负荷低谷时系统难以消耗的电能把下水库的水抽到上水库内，以水力势能的形式蓄能；在系统负荷高峰时段，再从上水库放水至下水库进行发电，将水力势能转换为需要的电能，为电网提供高峰电力。图 1-5 为抽水蓄能电站工作原理。可是，抽水蓄能电站不是真正意义上的发电电源，而是电力系统的能量转换器。在电力系统的负荷低谷，抽水蓄能电站可将电网的“低谷电能→电动机旋转机械能→水泵抽水→水力势能→水轮机旋转机械能→发电机组发电→高峰电能”，在负荷高峰通过输电线路发送至电网。

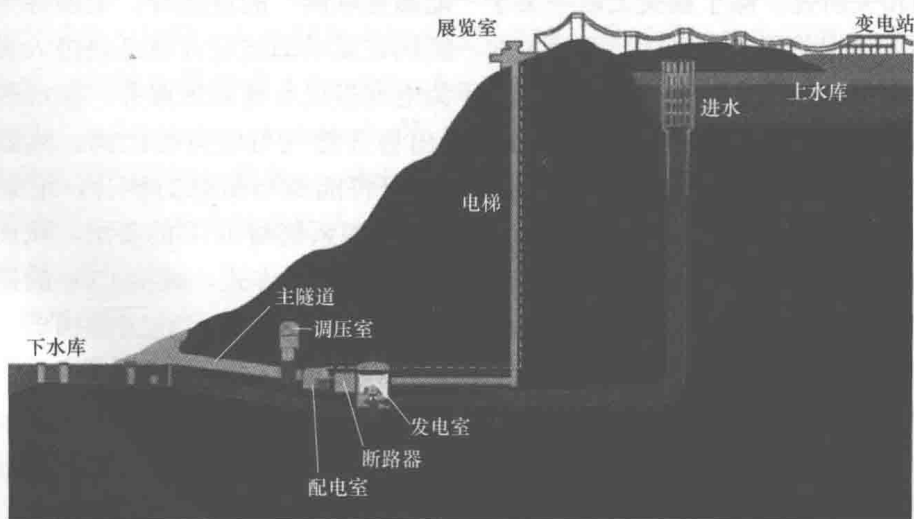


图 1-5 抽水蓄能电站工作原理示意