

能源互联网与能源系统

曹军威 孙嘉平 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书全面介绍了能源互联网和能源系统的基本概念和相关技术、产业等知识。全书共8章，主要内容包括能源可持续发展相关概念、能源系统的基本概念及其实现形式、能源系统与电力系统的关系、能源互联网发展状况及其总体架构、能源互联网组成及其关键技术、信息能源基础设施一体化以及能源系统应用产业发展等。

本书可供能源、电力行业的从业者从宏观角度了解行业的基本概念和发展趋势，尤其适用于关注能源互联网技术和发展的人士，为他们提供基础的背景、概念和相关技术。同时，本书还可供高等院校相关专业研究生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

能源互联网与能源系统 / 曹军威, 孙嘉平著. —北京: 中国电力出版社, 2015.10

ISBN 978-7-5123-8443-9

I. ①能… II. ①曹…②孙… III. ①互联网络—应用—能源发展—研究—中国 IV. ①F426.2-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第243148号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 [http: //www.cepp.sgcc.com.cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

年 月第一版 年 月北京第一次印刷

毫米 × 毫米 开本 印张 千字 插页

印数 0001—2000 册 定价 元 (全 册)

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前 言

能源可持续发展是人类面临的共同难题，传统化石能源消耗殆尽，除水力资源作为清洁的可再生能源被广泛用于发电之外，其他具有较大利用潜力的可再生能源，如太阳能、风能等都具有间歇性和不稳定性的特点，至今尚未充分加以利用。我国现有的能源生产和利用结构具有资源逆向分布、利用效率低下、集中式电网调节能力有限等特点，因此，2014年我国明确提出了能源生产与消费革命的长期战略；同时，国际上提出第三次工业革命是能源与信息技术碰撞的结果，以能源互联网为主要标志。所有这些都是希望寻求能源可持续发展具有现实意义的可行途径。

本书重点介绍能源系统的概念。传统意义上理解能源系统，可根据能源品种划分成若干子系统，如煤炭系统、石油系统、核能系统、电力系统、热力系统等，更多体现的是一种概念层面的抽象含义，实际情况是不同领域的能源系统依然各自为政，并未实现各种能源之间的多层互动，从而也不能提高能源的整体利用率。本书重点讨论的能源系统特指以电力系统为核心的新一代能源系统。电能是能源系统构成的前提，它将各个分散的、各成系统的能源紧密地结合在一起，各种新能源通过转化为电能而融入了整个能源系统。无论是全球能源转型，还是各国都在进行的能源改革创新，都是基于一个核心的发展逻辑：低碳环保和高效利用能源。归根结底，其核心意义是既要在能源消费整体框架中大

大提高电能的比例，又要在电力生产的来源中大大提高清洁能源所占的比例。

能源互联网是未来以电力系统为核心的新一代能源系统的具体实现形式。能源互联网是以互联网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、智能小区等为“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，因此可以最大限度地适应新能源的接入。本书详细介绍了能源互联网的总体架构、技术体系、组成部分、应用和产业发展等。为实现信息能源基础设施层面的融合和一体化，能源互联网相关技术包括储能技术、电力电子控制技术、信息网络通信技术等。能源互联网是我国“互联网+”战略在能源领域的有力实践，结合我国电力体制改革，与分布式能源、新能源、需求侧响应与管理等的发展和推动密切配合，将促进我国能源电力基础设施和体制机重的重大变革。

本书相关的研究工作获得了以下项目的资助：国家自然科学基金委项目“能源互联网建模、分析与优化理论研究”（61472200）、“智能电网信息系统的体系结构和验证环境”（61233016），国家科技部973基础研究计划课题“源-网-荷协同的智能电网EMS研制与示范应用”（2013CB228206）、“物联网运行支撑平台和实证研究”（2011CB302805），国家电网科技项目“能源互联网技术架构研究”“能源互联网信息通信体系架构研究”“全球视角下能源互联网的系统构建理论及情景分析”“电能质量高级分析关键技术研究及应用”，

南方电网科技项目“深圳电网电能质量综合治理研究与工程示范”。本书的写作还得益于作者参与的中国能源互联网发展战略研究工作。2013年9月，国家能源局正式委托江苏现代低碳技术研究院组织开展中国能源互联网发展战略研究。2014年2月课题组在北京正式成立，2014年11月研究报告在南京通过了专家评审，本书部分内容源于《中国能源互联网发展战略研究报告》。

在本书的写作过程中，多位院士专家提出了宝贵的意见，他们是清华大学电机系教授韩英铎院士、中国电力科学研究院名誉院长周孝信院士、清华大学计算机系林闯教授等。参与本书工作的研究人员还包括清华大学能源互联网研究小组成员杨明博博士、孟坤博士、明阳阳博士、袁仲达博士、谢涛博士、涂国煜博士、阳子婧博士、高田博士、许延祥博士、张帆博士、万宇鑫博士等。蔡世霞承担了本书的文字整理工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于本书所涉知识较新，加之写作时间仓促，书中不妥之处在所难免，欢迎广大专家读者提出宝贵意见和建议。

曹军威 孙嘉平

2015年5月于北京

目 录

前言

第 1 章 能源可持续发展	1
1.1 背景介绍	2
1.2 我国能源发展现状	3
1.2.1 一次能源与二次能源	4
1.2.2 化石能源与可再生能源	6
1.2.3 集中式能源与分布式能源	7
1.3 我国能源生产与消费革命	8
1.3.1 能源生产与消费现状	10
1.3.2 能源生产与消费革命的必然性	11
1.3.3 能源生产消费规划	12
1.4 第三次工业革命	14
1.5 能源、环境与信息	16
1.5.1 能源与环境	16
1.5.2 能源与信息	18
第 2 章 能源系统	21
2.1 背景介绍	22
2.2 能源系统与电力系统	23
2.2.1 电力系统的发展	23
2.2.2 电力在能源系统中的作用	26
2.2.3 电力对环境的影响	30

2.3	能源系统的概念	32
2.4	我国能源系统最新发展	34
2.4.1	智能能源网	34
2.4.2	分布式能源	37
2.4.3	能源微网	40
第3章	能源互联网	43
3.1	产生背景	44
3.1.1	互联网发展的启示	44
3.1.2	互联网对传统行业的影响	45
3.1.3	信息与能源技术发展的相互影响	47
3.2	能源互联网的概念	51
3.3	国内外能源互联网发展现状	53
3.3.1	国外发展现状	53
3.3.2	国内发展现状	58
3.4	智能电网	60
3.4.1	国外发展现状	60
3.4.2	国内发展现状	62
第4章	能源互联网总体架构	65
4.1	建设原则	66
4.1.1	信息物理融合	66
4.1.2	分布与集中结合	68
4.1.3	供给与消费平衡	68
4.2	本质特征	70
4.2.1	内涵	70

4.2.2	外延	71
4.3	总体架构	71
4.3.1	能源局域网	72
4.3.2	能源广域网	73
4.3.3	能源主干网	74
4.4	标准体系	76
4.5	典型场景	79
4.5.1	场景组成	79
4.5.2	场景运行	80
4.5.3	场景分析	81
第 5 章	能源互联网关键技术	83
5.1	组网与互操作模型与技术	84
5.2	大规模储能系统技术	85
5.3	电力电子技术	86
5.4	建模、仿真与分析优化技术	87
5.5	能量路由器	88
5.6	能量管理与大数据分析	89
5.7	安全防护、质量监督与认证体系	90
5.8	规划、量测、评价与技术经济分析	90
第 6 章	能源互联网组成	91
6.1	信息系统	93
6.1.1	传感和组网	93
6.1.2	通信方式	95
6.1.3	监控系统	97

6.1.4	数据存储和大数据	99
6.1.5	信息管控和云计算	104
6.2	能量系统	106
6.2.1	生产和输送	107
6.2.2	运行和保护	109
6.2.3	存储和调峰	114
6.2.4	用能和优化	118
6.3	业务系统	124
6.3.1	供需方管理	125
6.3.2	能量交易平台	126
6.3.3	能效服务平台	130
第7章	信息能源基础设施一体化	133
7.1	信息技术基础设施一体化进程	134
7.2	基于能量路由器的能源互联网	136
7.3	典型场景	136
第8章	能源系统应用产业发展	139
8.1	相关产业	140
8.2	产业发展现状	141
8.2.1	相关产业国际现状及我国发展水平	141
8.2.2	产业链及产业环境分析	144
8.2.3	产业发展问题	145
8.2.4	促进能源互联网产业发展的政策建议	148
	参考文献	152