
中国分布式能源 前景展望

国际能源署 编著

石油工业出版社

中国分布式能源 前景展望

国际能源署 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本报告以系统化的视角，讨论了分布式能源对于现代能源系统的意义，以及当前在中国的发展情况和未来前景，包括对分布式能源的技术组成和商业模式进行了全面梳理，系统评估当前中国分布式能源的发展现状和相关障碍，就有关可能的政策选择进行分析，并介绍了众多中国和国际上成功的分布式能源案例。分布式能源是以消费侧为中心的综合能源供应和消费体系，天然气分布式能源、分布式可再生能源以及分布式储能、需求侧响应、智能电网和能效技术等通过现代数字技术组合起来，以更加清洁和高效的方式满足能源需求，是能源革命的重要方向之一。本报告认为中国当前已具备大规模发展分布式能源的基本条件。

图书在版编目（CIP）数据

中国分布式能源前景展望 / 国际能源署编著.
北京：石油工业出版社，2017. 10

ISBN 978-7-5183-2228-2

I. ①中… II. ①国… III. ①能源管理系统-研究-中国 IV. ①TK018

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第253266号

Prospects for Distributed Energy Systems in China

© OECD/IEA, 2017

International Energy Agency

9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15, France

www.iea.org

All rights reserved.

This edition is published under licence of International Energy Agency.

本报告经国际能源署授权石油工业出版社出版。

中国分布式能源前景展望

国际能源署 编著

出版发行：石油工业出版社

（北京市朝阳区安华里二区1号楼 100011）

网 址：<http://www.petropub.com>

编 辑 部：(010) 64523766 图书营销中心：(010) 64523633

经 销：全国新华书店

印 刷：北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017年10月第1版 2017年10月第1次印刷

787×1092毫米 开本：1/16 印张：9

字数：180千字

定 价：98.00元

（如发现印装质量问题，我社图书营销中心负责调换）

版权所有，翻印必究

国际能源署

国际能源署是一个自治机构，创立于1974年11月。其在过去和现在都具有两重使命：通过对石油供应的中断情况做出集体响应来促进其成员国的能源安全；为其29个成员国及其他国家提供确保可靠、廉价的清洁能源供应方法的权威研究和分析。国际能源署在其成员国之间开展全面的能源合作计划，每个成员国都有义务持有相当于其90天净进口的石油库存。国际能源署的目标是：

- 确保成员国获得可靠、充足的各种形式能源供应；特别是在石油供应中断时要通过维持有效的应急响应能力来实现。
- 促进在全球范围内推动经济增长和环境保护的可持续能源政策，尤其是要减少导致气候变化的温室气体的排放。
- 通过采集和分析能源数据，改善国际市场的透明度。
 - 支持全球能源技术协作，保障未来能源供应并减轻其环境影响，包括通过改善能源效率以及开发和推广低碳技术。
 - 通过和非成员国、产业界、国际组织及其他利益相关者进行接触和对话，找到全球能源挑战的解决方案。

国际能源署的成员国包括：

澳大利亚
奥地利
比利时
加拿大
捷克
丹麦
爱沙尼亚
芬兰
法国
德国
希腊
匈牙利
爱尔兰
意大利
日本
韩国
卢森堡
荷兰
新西兰
挪威
波兰
葡萄牙
斯洛伐克
西班牙
瑞典
瑞士
土耳其
英国
美国



**International
Energy Agency**
Secure
Sustainable
Together

© OECD/IEA, 2017

International Energy Agency
Website: www.iea.org

请注意本出版物在使用和分发时有具
体限制。相关条款请参照：
www.iea.org/t&c/

欧洲委员会也参与了国际能源署的工作。

仅此特别感谢
中国能源网研究中心作为主要合作方为本报告的编著发布
做出的重要贡献!

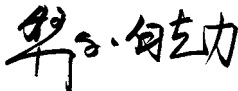


特别推荐序

自20世纪90年代起，中国就与国际能源署在多个领域开展合作，并于2015年底正式成为国际能源署联盟国。2017年2月，我与法提赫·毕罗尔署长共同签署了《中国国家能源局—国际能源署三年合作方案（2017—2019）》，为进一步深化合作掀开一个新的篇章。按照三年合作方案有关内容，双方以中国分布式能源为优先合作议题之一。

中国经济结构和能源体系正在经历革命性的变化，伴随着分布式能源技术进步和能源领域数字化进程，为中国分布式能源发展创造了新的机会。本报告以系统化视角，讨论了分布式能源的意义，并对其技术组成和商业模式进行了梳理，系统评估当前中国分布式能源的发展现状和障碍，就有关可能的政策选择进行了分析。本报告认为中国当前已具备大规模发展分布式能源的基本条件，致力于推动关于分布式能源的研究和讨论，促进中国能源转型进程。

希望本报告能够使世界各国更好地了解中国的能源发展，特别是我们为推动能源转型所做的努力，进一步推动中国与国际能源署的合作。


中国国家能源局局长

特别推荐序

中国经济社会发展正在进入一个新的阶段，从过度依赖投资和基础设施建设驱动的增长方式，转向更多地依靠消费、服务和创新拉动。相应地，中国能源体系也在经历革命性的转变，寻求构建新的平衡。

能源体系的转型不仅意味着将减少对煤炭的依赖，同时也在寻求以更高效和智能化的方式来满足能源需求，在这一过程中，中国并不是孤军奋战。事实上，越来越多的国家正在把能源转型作为能源发展的范式。在这种背景下，分布式能源受到越来越多的关注，中国《能源发展“十三五”规划》充分体现了这一点。但是关于分布式能源在能源转型中究竟该发挥什么作用，我们依然需要一个更清晰的认识。我们需要摆脱旧的传统理念和思维模式，才能充分挖掘分布式能源所蕴含的潜力——这不仅仅关乎中国，也关乎全球能源的未来。

本报告致力于对这一方向的探索，展现了分布式能源对21世纪能源系统的影响：将不同的能源品种和能源利用技术，以及能效和需求侧响应等以一种智能的方式结合在一起，以客户需求为导向提供综合性的能源解决方案。报告重点介绍了大量中国和全球已崭露头角的案例。

将可能变为现实需要不懈的努力，不仅需要研究，更需要行动。国际合作和经验分享对中国和全世界实现这样的转变都至关重要。鉴于这种合作的重要性，也基于中国对全球能源日益扩大的影响，中国作为联盟国在2015年11月成为国际能源署大家庭的一员，为双方更进一步加强合作奠定了基础。

本报告反映了这一合作的新篇章——这是国际能源署和中国国家能源局签订的三年合作方案框架下出版的第一本报告，中国国家能源局努尔·白克力局长和我于2017年2月在北京钓鱼台国宾馆签署了该合作方案。希望本报告能够推动中国以及全世界对分布式能源的研究和发展，这也是国际能源署不断扩大全球影响力的重要一步。



国际能源署署长

致谢

根据国际能源署和中国国家能源局签署的三年合作方案，双方共同组织编写了本报告。本报告由杨雷、Simon MUELLER和冯丽雯负责组织协调，主要作者为：Zoe HUNGERFORD、刘运辉、吕忠、Simon MUELLER、冉泽和孙晓梅（按姓氏字母排序，下同）。其他做出重要贡献的辅助作者有：毕云青、范宇峰、方笑菊、Volker KRAAYVANGER、刘敏、刘洋、吕凇杰、Minoru MURANAKA、牛曙斌。

国际能源署和中国国家能源局的众多领导和同事对本报告进行了指导，并给予了宝贵意见和支持，包括：安丰全、David BÉNAZÉRAF、Simon BENNETT、Amos BROMHEAD、Laura COZZI、丁志敏、董秀芬、John DULAC、Paolo FRANKL、顾骏、李凡荣、李福龙、李鹏、李英华、李媛、梁志鹏、刘德顺、Raimund MALISCHEK、Megan MERCER、潘慧敏、Janet PAPE、Paul SIMONS、童光毅、Kevin TU、Laszlo VARRO、Michael WALDRON、王晶、王思强、王艳红、魏晓威、吴瑞鹏、Matthew WITTERNSTEIN、Aya YOSHIDA、邢翼腾、张晶杰、张玉清、周瑞宇、朱明、朱轩彤等。

围绕本报告的工作，我们在中国组织召开了五次研讨会和两次现场调研，有关专家和企业提供了宝贵的信息。中国能源网协助开展了大量的工作。特别感谢壳牌、新奥、国电投、协鑫、远景、中国石油、北京燃气、华电、深行资本和Uniper等企业提供的帮助。

国际能源署通信和新闻办公室为本报告的出版和发行提供了大力的支持，特别感谢Muriel CUSTODIO、Astrid DUMOND、Rebecca GAGHEN、Katie RUSSELL、Bertrand SADIN和Therese WALSH。Elizabeth SPONG提供了有关授权

中方出版的法律文件。石油工业出版社为中文版的出版提供了大力支持。特别感谢Erin CRUM和Barbara ZATLOKAL为本报告进行了英文编辑。

很多专家审阅了报告初稿，并提供了宝贵的反馈意见，包括：

Julian BARQUIN（Endesa），Tobias BISCHOF-NIEMZ（南非科学工业协会），陈新华（北京国际能源专家俱乐部），陈卫东（东帆石能源咨询公司），陈卓伦（联合国环境署丹麦能效中心），迟国敬（中国城市燃气协会），冯江华（北京恩耐特分布式能源技术有限公司），韩晓平（中国能源研究会分布式能源专委会），Lena HANSEN（落基山研究所），何肇（电力规划设计总院），Lion HIRTH（Neon Neue Energieökonomik GmbH），Hannele HOLTINEN（VTT），华贵（华南理工大学），蒋莉萍（国网能源研究院），景春梅（国际经济交流中心），任先芳，袁苑（壳牌中国），李俊峰（国家发改委能源研究所），李遥（思亚能源），芦红（能源基金会），Catharina RINGBORG（Global Utmaning），David SANDALOW（哥伦比亚大学），Stefan ULREICH（E.ON SE），徐晓东（中国城市燃气协会分布式能源专委会），姚珉芳（上海申能），Cynthia YU（BP 中国），翟永平（亚洲开发银行），张树伟（Agora Energiewende），张木梓（水规总院），赵明（节能协会）

对本报告若有任何意见和建议，欢迎联系：杨雷（Lei.Yang@iea.org）。

目录

执行摘要.....	1
第一章 分布式能源的核心价值与发展趋势	5
背景.....	5
关于本报告.....	6
一、分布式能源系统的定义.....	7
（一）分布式能源的发展动力.....	8
（二）分布式能源在电力系统转型中的角色.....	10
二、分布式能源的核心价值.....	11
（一）接近客户端.....	11
（二）高能效.....	13
（三）低碳清洁.....	16
三、分布式能源的发展趋势.....	18
（一）体现客户诉求.....	18
（二）能源服务化.....	18
（三）业态互联网化.....	20
参考文献.....	22

第二章 分布式能源技术和商业模式	25
一、技术	25
(一) 发电技术	25
(二) 系统耦合技术	34
(三) 促进智能运行和连接的技术	42
二、分布式能源系统商业模式	45
(一) 生产型消费者	46
(二) 能源服务公司模式	50
(三) 互联网化的模式	52
参考文献	59
第三章 中国分布式能源发展状况	65
一、分布式能源历史和现状	65
(一) 分布式能源在中国的历史	65
(二) 天然气分布式能源的发展现状	68
(三) 分布式可再生能源的发展现状	70
二、发展潜力	75
(一) 天然气分布式能源的发展潜力	75
(二) 分布式可再生能源发展潜力	79
三、分布式能源其他方面的发展现状和潜力	82
(一) 电池储能	82
(二) 电动汽车	83
(三) 氢能和燃料电池	84
(四) 多能互补及微网	86

四、面临的挑战	88
(一) 经济性挑战	88
(二) 体制挑战	90
(三) 市场挑战	92
参考文献	94
第四章 政策分析	97
一、能源发展规划和分布式能源政策	98
(一) 能源发展规划	98
(二) 分布式能源产业政策	100
(三) 分布式能源并网政策	101
(四) 天然气分布式能源价格机制	102
二、相关领域改革	103
(一) 电力体制改革	103
(二) 油气体制改革	106
(三) 碳交易市场及可再生能源配额和绿证制度	107
三、地方政府的角色及作用	109
(一) 城市发展的规划者	109
(二) 能源发展的推动者	109
(三) 能源市场的监督者	111
(四) 公共消费者	112
四、政府监管和服务	112
(一) 推动完善分布式能源投融资和审批体制	113
(二) 推动能源基础数据公开	114

(三) 加强分布式能源标准体系建设.....	116
(四) 有效应对分布式能源安全风险.....	117
(五) 鼓励支持分布式能源技术创新.....	118
五、加强国际交流.....	118
参考文献.....	119

缩写和简称.....	122
------------	-----

图列表

图1.1 · 部分国家风电和光伏装机占比和预测	9
图2.1 · 近年来全球光伏发电装机情况.....	28
图2.2 · 2012—2016年全球风电装机增长情况	31
图2.3 · 陆上风电发电成本差异和平均发电成本情况	31
图2.4 · 生物质和废弃物发电量增长和预测, 2012—2022年	33
图2.5 · 不同生物质发电技术的投资和平均发电成本	34
图2.6 · 2009—2015年中国城市区域供暖装机增长情况	35
图2.7 · 电网级电池增长情况.....	38
图2.8 · 2011—2016年电动汽车累计电池容量增长情况	41
图2.9 · 电动汽车平均价格和续航里程.....	41
图2.10 · 区块链交易示意图.....	55
图2.11 · EnOSTM平台结构图.....	58
图2.12 · 分布式能源系统技术基础、发展趋势和商业模式关系图.....	58
图3.1 · 2015年天然气分布式能源不同类型项目装机容量占比图.....	69
图3.2 · 2015年不同区域天然气分布式能源项目数量和装机	70

图3.3 · 中国光伏装机增长情况, 2010—2016年	71
图3.4 · 2016年分布式光伏装机增长情况.....	71
图3.5 · 2016年中国各省风电装机情况	72
图3.6 · 新奥泛能网示意图.....	74
图3.7 · 2009—2016年累计安装台数、单台价格和单台补贴	79
图3.8 · 电制气的主要应用.....	85
图3.9 · 协鑫能源微网示意图.....	87
图4.1 · AREMI显示不同地区光照强度	115

表列表

表3.1 · 中国分布式能源有关政策.....	67
表4.1 · 中国有关能源发展规划中分布式能源的发展要求和目标.....	98

专栏列表

专栏1.1 · 分布式能源对提高系统恢复能力的贡献	12
专栏1.2 · 上海中心大厦分布式能源项目, 上海	13
专栏1.3 · 上海迪士尼乐园分布式能源站, 上海	14
专栏1.4 · 贵安多能互补项目, 贵州.....	15
专栏1.5 · 美国能源部——分布式能源资源项目	17
专栏1.6 · 南方电网智慧能源综合示范小区, 广州, 广东.....	19
专栏2.1 · 电动汽车无线电力传输技术简介	39
专栏2.2 · 荷兰前沿建筑.....	44
专栏2.3 · 美国萨克拉门托市政事业部分布式能源规划	48
专栏2.4 · 合同能源管理的应用, 江苏苏州	51

专栏2.5 · PPP模式	51
专栏2.6 · LO3 Energy 基于区块链的分布式能源交易平台	56
专栏2.7 · 远景能源物联网平台EnOSTM.....	57
专栏3.1 · 多能互补项目：中德生态园泛能网项目，青岛，山东.....	74
专栏3.2 · 日本基于城市燃气的住宅燃料电池系统	78
专栏3.3 · 德国电制气的挑战和机遇.....	84
专栏3.4 · 协鑫工业研究院能源微网项目	86
专栏4.1 · 电力体制改革内容及进展.....	104
专栏4.2 · 中国油气体制改革内容.....	107
专栏4.3 · 欧盟排放权交易机制.....	108
专栏4.4 · 地方政策案例——上海.....	110
专栏4.5 · 能源基础数据共享经验.....	115

执行摘要

中国能源转型与分布式能源系统

当前，中国正处于经济结构调整和经济增长方式转变的关键时期，但与此同时也不得不面对诸如空气污染等日益严峻的环境挑战。为实现这样的双重目标，推动能源转型，以更高效和智能的方式来升级能源供应和消费，至关重要。

这种经济和能源系统的结构性转型，伴随着分布式能源相关成本的降低和能源系统的数字化进程，为中国分布式能源发展创造了新的机会。在这种背景下，本报告将现代分布式能源系统定义为：为提高能源服务的可靠性和经济性，将本地能源供应和需求以智能的方式联系在一起，并通过使用高效和低碳技术来减少环境影响的能源系统。现代分布式能源系统使用先进的监控设备，可将能效、可再生能源和清洁化石能源等资源进行优化组合。

本报告的分析显示，为充分抓住本次经济和能源环境双重转型的机会，发展分布式能源需要一种更加系统化的方式。本报告将多方面内容进行综合分析，形成了一种更为全面的分布式能源视角：（1）对分布式能源的技术组成和商业模式的综述；（2）系统评估当前分布式能源在中国的发展现状和相关障碍；（3）突出可能的政策选择，用于增强政策和监管的有效性。本报告包括了众多中国和国际上的分布式能源案例分析。

中国分布式能源系统的发展趋势和主要障碍

Page | 2

中国很早就认识到了分布式能源的众多优势，比如通过使用热电联供提高效率等。但是在“十二五”时期，预想中的分布式能源快速发展并没有发生；分布式能源，特别是天然气分布式能源在中国的发展一直步履维艰。截至2015年，中国大约有分布式天然气项目121个，总装机容量只有140万千瓦左右，远落后于中国政府设定的目标。

由于存在的一系列经济、技术和监管挑战，分布式能源系统市场在过去并不十分成熟。在经济方面，清洁能源依然比煤炭更为昂贵；技术方面，分布式能源项目在设计时需准确确定不同能源服务（热、电、冷）的需求，装机和负荷的不匹配会影响项目建成后的利用率和经济性；监管方面，有效地接入和使用电、气和区域供暖（供冷）网络是常见的障碍。网络接入在两方面与分布式能源有关：首先是获得燃料的途径（特别是天然气），其次是销售电力和其他能源服务的渠道。在实际中，分布式能源项目很难通过向电网售电获得合理的收益，电网公司和分布式项目运营商的定位和职责也不清晰。

由于分布式能源要将多种能源结合在一起，因此针对不同能源品种和能源供需政策之间的协调至关重要，不同层级政府间以及不同分布式能源技术部门之间的协调也很重要。这也给分布式能源的发展带来挑战。

虽然还存在诸多挑战，但最新的发展则鼓舞人心，包括天然气供应的改善、能源价格改革和设备价格的降低等。分布式光伏装机也在过去两年经历了创纪录的增长。

中国分布式能源前景

众多因素正在重塑中国分布式能源的未来。如果能辅以合适的政策、市场和监管框架，这些因素可以加快现代分布式能源系统的应用：

- 中国目前的经济结构调整对能源需求的影响有利于分布式能源的推广。更加依赖商业和服务业的经济意味着更为分散的能源需求，大型集中式负荷（重工业部门）的比重不断降低，而分布式负荷（办公和小型工业设施）的比重则不断提高。
- 分布式能源有助于缓解当前严峻的环境问题，包括空气质量问题和温室气体排放。与以煤炭为基础的集中式能源系统相比，分布式能源可以大幅减少SO₂、氮氧化物和颗粒物的排放，因为天然气发电的排放要低得多，而分布式光伏等可再生能源技术在当地则是零排放。通过使用低碳或零碳能源，分布式能源可以减少CO₂排放。促进供暖和制冷的碳减排也是分布式能源的一个重要优势：供热占全球能源相关CO₂排放的30%，而其中的一半来自建筑部门。
- 新技术改变了我们对负荷的理解，可以提高系统效率并提供新服务。数字传感器和控制装置的广泛应用，大数据以及电动汽车等新型负荷正在重塑分布式能源系统。首先，关于能源消费的精确数据可以改善分布式能源项目的设计，更好地满足客户需求。其次，供应和需求技术间更好的协调，包括负荷预测和智能控制技术可以提高系统效率并降低成本。最后，现代IT技术和智能负荷（比如电动车或热储能）相结合，可以提供新的服务，比如提供电网亟需的灵活性，从而帮助平衡风电和太阳能发电带来的系统波动。
- 新的商业模式使得技术得以转化为商机。在中国和世界各地，新的分布式能源商业模式不断涌现。正如本报告案例分析显示，将多种供应和需求技术协调整合在一起，可以为客户提供更优化的能源服务。这些商业模式的中心从提供能源商品转向提供综合能源服务。
- 政府目标释放出强烈的政策信号。中国能源发展“十三五”规划为分布式能源设置了众多目标。到2020年，在1.1亿千瓦天然气发电装机中，分布式天然气占1500万千瓦。光伏将是分布式可再生能源在“十三五”期间的主体，到2020年装机将达到6000万千瓦。为应对空气污染和提高能源系统效

率，许多地方政府也发布了关于分布式能源的支持政策。

总而言之，这些因素都预示着中国分布式能源的广阔前景：一种综合、清洁的能源供应方式，以高效和创新的方式满足能源服务需求。但是，光凭这些有利因素并不足以克服前面提到的诸多挑战。要实现这样的广阔前景，需要以一种综合、协调的方式来发展分布式能源。

支持中国分布式能源系统发展的建议

为实现能源发展“十三五”规划确定的目标，推动中国的能源转型，需要考虑一系列系统性的改革和支持政策。

就短期而言，支持分布式能源公平地接入相关能源基础设施（气、电）以及透明、公开和可预期的上网电价是重点。另外，政府可以考虑制定明确的技术标准来保证能源数据的获取，以推动分布式能源的发展。这些政策可以增强投资者的信心，促进市场加快成熟。长期来说，推动电力、油气和碳交易等相关领域的改革，将为分布式能源提供更公平的发展空间，进一步发挥其对中国能源转型的推动作用。

由于分布式能源本地化的特征，地方政府在其发展中可以发挥重要作用。地方政府有许多职责均与分布式能源相关：作为城市规划者，地方政府可以将分布式能源融入到城市和能源发展规划中；作为能源发展的推动者，地方政府可以在中央政府政策基础上，结合地方特点，有针对性地出台支持政策；考虑到分布式能源低污染或零污染的特征，地方政府可以通过价格和政策机制促进分布式能源进入城市供热及供冷网络；作为能源监管者，地方政府可以在监管体系方面进行创新，以更好地适应分布式能源的需求；此外，作为能源消费者，地方政府可以通过公共工程示范项目，来显示分布式能源的优势并推动其应用。最后，有利的社会环境和政府服务、金融支持、技术研发和国际合作在分布式能源发展中也都十分重要。

第一章

分布式能源的核心价值与发展趋势

背景

目前，中国正在加速推进产业结构调整 and 能源需求多元化进程。中国近几十年来能源需求的高速增长主要源自钢铁和水泥等能源密集型工业部门，但是根据国际能源署的情景模拟来看，目前这些行业的能源需求很有可能已经过了历史高点，并将在2040年之前持续下降，进一步降低中国的工业煤炭消费（IEA, 2016a）。在向内需和服务主导的经济转变过程中，清洁能源将在能源体系中发挥更关键的作用，这一转型也为分布式能源的发展创造了更大机会。

在较大的资源环境约束和碳减排压力下，中国一次能源消费结构将持续优化。根据国际能源署预测^[1]，未来中国能源需求总量增速将放缓，煤炭将更多被天然气和可再生能源等清洁能源替代。

中国《能源“十三五”发展规划》提出通过创新供给结构，来引导能源需求结构的调整与升级，在适度扩大总需求的同时，在供给侧去产能、去库存、去杠杆、降成本、补短板，加强能源优质供给，扩大清洁及可再生能源的有效供给。为确保2020年煤电装机不超过11亿千瓦，国家发展改革委、国家能源局等16部委联合印发了《关于推进供给侧结构性改革防范化解煤电产能过剩风险的意见》，提出2016—2020年间全国停建和缓建煤电1.5亿千瓦（NDRC, NEA et al., 2017）。到2020年，非煤发电装机将占中国发电总装机的45%以上，其中

^[1] 2017年11月IEA将发布新的预测（2017, a），世界能源展望2017，和中国能源展望（2017, b），世界能源展望2017特别报告。

水电占19%，风电10.5%，太阳能和天然气各占5.5%，核电占2.9%（NDRC and NEA, 2016a）。

Page | 6

对能源企业来说，国家控煤、能效指标等措施使得企业不得不考虑新的发展方向，发展分布式能源已成为企业生存发展内在的现实需求。例如，国家电力投资集团提出以清洁能源和综合智慧能源为重点，积极推进天然气分布式能源、光伏发电等计划；华电集团提出严控常规煤电，大力推动以重点能源替代为主要功能的分布式能源发展的战略目标。

在这种背景下，本报告讨论分布式能源对于21世纪能源系统的意义，以及当前在中国的发展情况和未来前景。

关于本报告

本报告是国际能源署和中国国家能源局开展更进一步深入合作以来的第一个联合报告性质的成果。在过去的一年中，来自国际能源署和中国的专家精诚合作，召开了五次研讨会和两次现场调研，就中国分布式能源发展进行了深入的研究和讨论。接下来，国际能源署还将发布一系列相关报告，包括《世界能源展望2017》（包含中国特别报告），以及关于数字化、智能电网路线图和中国热电联产等话题的报告。

分布式能源是一个充满活力且一直处于变化中的话题，关于其未来的发展依然有许多问题有待更深入的研究。但这并没有影响个人消费者、企业以及大型公共事业机构开始采取实际行动推动分布式能源系统的发展。

本报告的目的在于进一步推动关于分布式能源的研究和讨论，并提供关于最新进展的信息；希望在现有研究的基础上，呈现分布式能源发展的趋势，突出未来的发展潜力，并提供一些关于如何实现这一潜力的建议。正如一位专家指出，分布式能源的课题从现在开始做三十年也不会过时，本报告可被视为这一进程的开始。

本报告主要分为四个部分。本章主要给出了我们关于分布式能源系统的工作定义，并介绍了分布式能源系统及其核心价值。第二章介绍了构成分布式能源的主要技术和将这些技术结合在一起的商业模式。第三章集中论述了分布式能源在中国的发展现状和未来可能的发展前景，并探讨了进一步发展的瓶颈。第四章做了总结，并提出了关于加快分布式能源发展的可能的政策选择和

一、分布式能源系统的定义

分布式能源的主要优势是可以通过现代信息和通信技术（Information and Communication Technology, ICT），将当地的不同能源综合到一起，来更好地满足消费者需求，提供清洁、可靠和可承受的能源。因此，我们把分布式能源系统（Distributed Energy Systems, DES）定义为：在靠近消费侧对分布式能源资源（Distributed Energy Resources, DERs）进行智能组合，增加能源服务的可靠性和经济性，并降低环境影响的能源系统。在这种定义下，一些传统的分布式能源并没有包括其中。比如，备用柴油发电机或者效率一般且污染严重的区域供热系统，在本报告中并不认为属于分布式能源。

至于分布式能源的具体形式，本报告中包括：接入配电网或位于负荷中心附近的天然气分布式能源、分布式可再生能源，以及分布式储能、需求侧响应和能效技术等。

关于分布式能源资源还有很多其他的定义。分布式能源系统的许多定义明确了接入的配电网的电压等级，但是这些量化的电压等级往往是为了配合具体管理措施和政策的要求。例如，得克萨斯州电力可靠性委员会（Electric Reliability Council of Texas, ERCOT）将其定义为接入60千伏及以下电压等级。更宽泛的定义还包括热电联产系统（Combined Heat and Power, CHP）等与配电网相连的其他资源，由于蒸汽和热水的经济运输距离短，因此热电联产系统

也必须靠近需求侧。纽约独立系统交易运行机构（New York Independent System Operator, NYISO）采用更具体的定义：位于计量表之后近客户端的资源。一些分布式能源资源的定义则比较关注能源生产技术，比如北美电力可靠性公司（North American Electric Reliability Corporation, NERC）的定义：“分布式能源资源，是指接入配电系统、而不接入NERC大电网、可生产电力的任意资源。”这一定义包括了分布式发电（Distributed Generation, DG）和分布式储能（Distributed Storage, DS）。也有人将定义进一步拓展到包括需求侧响应（Demand Response, DR），比如Burger提到，包括“对电力需求更加灵活且对价格有响应的管理”（Burger and Luke, 2016）。智能电力联盟（Smart Electric Power Alliance, SEPA）的定义更为宽泛，既包括需求侧响应，也包括能效技术（SEPA and Black & Veatch, 2017a）。

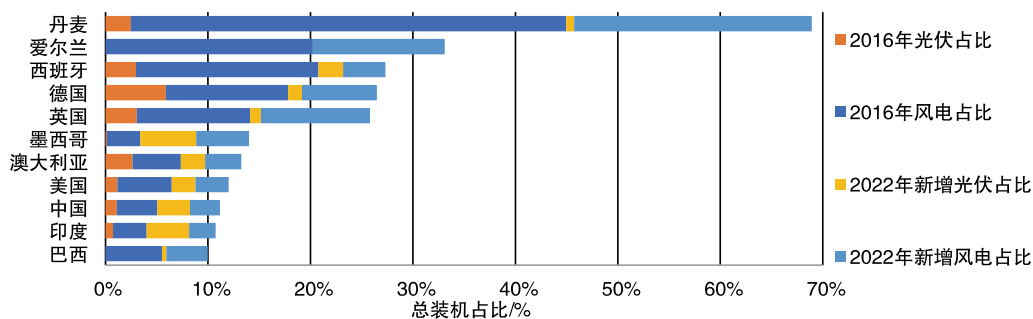
（一）分布式能源的发展动力

从电力的商业化供应开始，人们一直在推动和发展大型集中式发电设施，并通过输配电网络将其与终端用户相连。得益于规模经济效益和系统互联带来的可靠性，集中式系统一直处于主流地位。尽管如此，分布式发电也一直是电力系统的重要组成部分。分布式发电最初是应用在医院等关键区域，用来提供具有更高可靠性的备用电源。燃料多样性和本地化也对分布式发电具有推动作用，如利用当地的沼气资源，或者是与供热、供冷等结合，提高综合能源效率。另外，在一些人口密度较低的偏远地区，建立长距离输配电基础设施的成本过高，分布式能源是最经济的选择。最后，在允许自供的地区，大型能源用户使用分布式发电来进行价格对冲（系统电价高时使用分布式发电来代替）。

政策和技术进步为分布式能源发展创造了新的动力。为应对空气污染、气候变化及能源安全，各国都不断提高可再生能源的发展目标，这也往往促进了分布式能源装机的增加。政策的变化推动了可再生能源装机的持续快速增长，并且这一趋势还将继续（图1.1）。而成本的下降，使得可再生能源已经成为发

电投资的主要方向，占过去五年全球发电投资的2/3左右（IEA，2017a）。一些国家针对分布式可再生能源的支持政策也推动了分布式光伏等分布式可再生能源的快速发展。近年来，支持热电联产的政策越来越多：美国支持工业水平的多联产；中国计划在2020年建成1500万千瓦的天然气分布式多联产（NDRC and NEA，2016a）；日本计划到2030年使热电联产装机达到1690万千瓦（METI 2016）。

图1.1 · 部分国家风电和光伏装机占比和预测



关键点 · 可再生能源在许多国家占比不断提高

资料来源: IEA (2017b), Market Report Series—Renewables 2017, Analysis and Forecast to 2022

技术方面，一些重要发展趋势正在改变分布式能源的格局。第一，由于光伏的模块化特性，大型光伏系统的技术学习效应在小型系统上也能体现：因为他们是使用同样的光伏面板。这在发电领域是不同寻常的，也是光伏成本快速下降的原因之一。第二，电池储能技术在过去五年也同样经历了成本的快速下降，与太阳能光伏或其他分布式发电组合，提高了使用分布式能源的可能。第三，交通领域的转变也是一个关键因素。电动汽车成本的不断下降和主要汽车制造商雄心勃勃的计划，正在转变成不断提高的电动汽车保有量。2016年，全球新增电动汽车数量达到了前所未有的75万辆（IEA，2017c）。对于电力需求增长处于停滞或者下降的地区，这可能会推动电能需求重新开始增长。反过

来，电动汽车的发展使得智能充电和电网管理变得更加重要。第四，热电联产和热泵技术的发展，加深了电力和供热需求之间的联系。在高寒地区，将热泵与热电联产技术相结合，可以提高余热利用的效率。第五，信息和通信技术的迅猛发展也深刻影响电力系统不同部门之间的联系。先进计量设施（Advanced Metering Infrastructure, AMI）的出现，使需求的动态响应成为可能，并可能彻底改变能源供应者和用户之间的联系和商业模式。虽然不是必备条件，但先进计量设施确实能加快需求侧响应的实施。家庭级、商业级和社区级能源管理技术的发展，实现了更高效与可靠的系统操作，为提供新的能源服务创造了可能。大数据技术的应用使得我们可以更好地理解客户行为，也促进了分布式能源服务水平的提高。

这些技术趋势与我们前面提到的分布式能源定义相吻合：通过不同资源的优化组合，来提供能源服务。我们可以将分布式能源系统视为一个以客户能源服务为中心的能源供应系统，该能源供应系统对多种能源供给方式进行整合，提供最佳的整体解决方案，从而形成各种能源资源和业务模式的集成优化。

（二）分布式能源在电力系统转型中的角色

分布式能源系统有望在电力系统转型中扮演关键角色（IEA, 2017d）。以服务为导向的综合供能方式有助于提高系统效率，也能改变终端用户和服务供应商之间的关系。

技术方面，分布式能源系统既给区域配电网带来了挑战，也带来了机遇。如果管理不当，高比例的分布式光伏、分布式储能和电动汽车会带来电网升级的需求。但是如果将这些资源和数字技术相结合，通过使用智能配电系统，则能够提高收益，在减少电网投资需求的同时还具有提供系统服务能力，比如无功支撑、调峰和辅助服务。另外，结合了智能设备和能源管理系统的先进计量基础设施，能对用户需求作出快速响应，可以在不影响服务质量的前提下接纳大量可再生能源并网（Rahimi and Ipakchi, 2016）。

从经济性的角度讲，分布式能源系统创造了新的价值链，并可能创造不同于传统公共服务公司的新的商业模式和盈利增长点。这对于现有的市场参与者来说，不仅带来了机会，也有挑战。通常，分布式能源系统将会引入新的参与者，比如第三方集成商和能源服务公司（Energy Service Companies, ESCOs），在电力、供热及储能方面都可以增加市场的选择。传统上，这些市场大多具有自然垄断性质，竞争有限。但需要在政策和监管上做出一系列的改变，以提供一个公平的竞争环境，比如关于（系统）接入费、体现成本的系统收费以及对辅助服务的激励等（Cossent, Gó Mez and Frías, 2009）。

在制度层面，分布式能源系统同样带来挑战与机遇。以前，传统监管方式是分布式能源发展面临的一大阻力（IEA, 2002）。由于缺乏供暖和制冷基础设施战略规划，再加上当地能源价格无法完全反映生产成本，热电联产也面临着挑战（IEA, 2014a）。应对这些挑战要求建立合理的责任机制，促进新商业模式的出现。受管制的电价制度也是一个重大挑战。必须对电价制度进行评估，考虑供电公司和消费者之间的风险分担，从而保证定价公平合理，既能激励消费者，又能激励能源服务供应商。

二、分布式能源的核心价值

本部分将重点介绍分布式能源可能带来的一系列价值。为实现分布式能源的价值，需要一个良好的政策和监管环境，以及分布式能源和大型、集中式能源之间的智能结合。

（一）接近客户端

根据分布式能源的定义，它们都接近客户端，这不仅是其区别于传统集中式系统的最基本特点，也带来了很多优势。

- 充分利用当地资源。分布式能源可以根据当地的资源禀赋、气候条件、地理格局等因素，对天然气、风、光、地热、生物质、工业余热余压等不同资源进行就地转化，形成符合当地资源特点的能源生产与供应系统，降低对外部能源的依赖，提高能源安全保障。而且，分布式能源系统还有利于用户在能源供应中发挥积极作用，进而产生对能源系统的所有权感。因此，这也会给大型公共事业公司的传统商业模式带来挑战。

专栏1.1 · 分布式能源对提高系统恢复能力的贡献

自然灾害是能源基础设施的重要威胁之一。电力系统的复杂度和整体性，使得大规模集中式电力系统面对自然灾害的脆弱性也充分显现。例如2012年10月29日晚，飓风“桑迪”在新泽西州登陆，造成美国东部地区共有17个州810万户停电，最西波及密歇根州。而电力化和信息化的不断加强，使得人类经济、社会和生活越来越依赖于电力。大面积断电一旦发生，将对社会运转和居民生活带来巨大影响，尤其是对于生产、生活中特别重要的负荷，比如银行、证券和医院等。

与集中式电力系统相比，分布式能源系统可以以一种相对独立的方式运行，为提高电力系统抵御自然灾害的能力提供了另外一种选择。当突发事件发生而造成电网断电时，这些系统可以迅速启动发电，确保医院、通信、媒体等重要用户的供电。飓风“桑迪”袭击时，纽约大学的分布式能源系统展示了出色的可靠性，不仅为校园提供了不间断的电力、制热和制冷，也成为纽约市政府紧急救灾指挥所和灾民安置点。其次，分布式能源可以通过模块化设计，实现快速拆装，在道路损坏等情况下，便于抢险救灾过程中携带组装，根据险情需要将移动电源和重要负荷动态连接。而且，在灾后恢复中，各种重建工作的开展离不开电力的支持，短期内会带来电力负荷的增加。分布式能源系统也可以作为集中式系统在大负荷下的补充，分散其负担。

资料来源: TIME (2012), Hurricane Sandy By the Numbers; Scientific American 2013, Are Microgrids the Answer to City-Disrupting Disasters?

- 降低能源输送成本。输配电成本是电力系统成本的重要部分，大约占电力总成本的30%（IEA，2014b）。在电力供给和需求本地平衡的情况下，分布式发电通过让供给接近需求、减少输电和配电网的使用，节省了远距离传输配送系统建设、维护、升级换代等带来的人力、物力及时间成本投入。但是，分布式能源的增加会影响大型基础设施的收益，因此电网收费的设定应准确反映分布式能源对系统的价值。
- 提供定制化能源供应。分布式能源可以围绕用户的需求进行个性化定制，针对工业园区、商业中心、数据中心、大型综合体、办公设施、医疗设施、交通枢纽、文体设施等不同用户的能源消费特征，包括用户的冷热负荷、负荷稳定性、连续运行时间等，为客户量身配置与定制各种能源。

专栏1.2 · 上海中心大厦分布式能源项目，上海

上海中心大厦分布式能源项目建设2台1165千瓦的燃气内燃发电机组+2台1047千瓦的热水型溴化锂制冷机组、2台1368千瓦的板式热水换热器和配套辅助系统，与上海中心市政电网、冰蓄冷、锅炉、电制冷机组等共同构成大厦的能源中心，为大厦地下5层至地上7层提供天然气冷、热、电能源供应服务，供能总面积27.97万平方米。

在一年供热期中，1月份热负荷最大，为10.0兆瓦；12月份热负荷最小，为6.1兆瓦。在一年供冷期中，7月份冷负荷最大，为12.9兆瓦；3月份冷负荷最小，为0.9兆瓦。按照基础冷负荷满足运行小时在3920小时以上，年设计运行小时数不低于5360小时，年发电量12488.8兆瓦时，年供热量16651吉焦，年供冷量31729吉焦。

资料来源：中国能源网（2016），上海中心大厦天然气分布式能源项目介绍。

（二）高能效

高能效是分布式能源的显著特征，也是分布式能源持续发展的强大动力。

高能效主要通过以下四种方式实现。

- 多联供和能源梯级利用。能源的梯级利用是指将发电废热进一步用于发电或制冷和供热服务，综合能源利用效率可达70%~90%。因为冷、热等能源更适合短距离输送，分布式能源非常适合实现能源的梯级利用。

专栏1.3 · 上海迪士尼乐园分布式能源站，上海

上海迪士尼乐园占地116公顷，近百座建筑物，是全球首个采用分布式能源系统的迪士尼乐园。集供冷、热、电和压缩空气（用于过山车等游戏设施）为一体的四联供分布式能源站，以高效能和环保的方式满足园区的制冷、制热、生活热水及压缩空气动力的需求，同时改善当地电网的电源结构和调峰性能，实现经济效益与绿色效益共赢。按照传统模式，这四种能源产品需要建设不同的能源供给站。但是，四联供分布式能源中心可以肩负一个“综合能源加工厂”的功能，通过消耗单一类型的能源天然气，一站式解决园区的能源供应。

项目规划建设10×4.4兆瓦燃气内燃机组，一期建设规模为5×4.4兆瓦燃气内燃机组，余热利用设备采用5台烟气热水型溴化锂机组，单机制冷、制热量分别为3490千瓦、3478千瓦。同时，采用了4台离心式冷水机组、3台燃气热水锅炉及与水蓄冷、水蓄热系统作为调峰设备，用以储蓄能量，调节能源消费波峰波谷。在夜间运行时，分布式供能系统制取的冷水、热水存储到储水罐，到白天向迪士尼乐园供冷、供热，这大幅度提高了分布式供能系统运行小时数，提高了绿色能源利用率。项目年发电量1.12亿千瓦时；年供冷量39.9万吉焦，其中通过余热年供冷量25.3万吉焦；年供热量15.3万吉焦，其中通过余热年供热量9.89万吉焦；年压缩空气供应量4138万标准立方米；发电效率45.4%，电冷比、电热比均为1.12，一次能源综合利用效率达到85.9%。

基于智能优化控制系统和分布式控制系统，该项目可以更为准确地将能源生产与能源需求相匹配。通过温度传感器、压力传感器和超声波流量计接收装置，对总

管网水温、水压变化进行实时监控，并将这些监控数据实时传输到集中控制系统。进而，基于这些实时数据，对分布式能源站的各种不同设备进行集中控制和优化协调，对园区能源需求变化做出及时响应。此外，通过大数据分析，还能提前预测园区的能源需求，给出各主要设备的最优经济运行方案，实现能源生产与需求的最优匹配。

资料来源：新华网（2017），中国能源网

- 多能互补。分布式能源可以根据用户的地理位置、资源禀赋、消费特征等，将风能、太阳能、天然气、氢能、生物质能等不同类型的能源进行优化组合，提高能源系统的综合利用效率。

专栏1.4 · 贵安多能互补项目，贵州

贵州省贵安云谷多能互补项目采用1种清洁能源+3种再生能源，即天然气热电冷三联供和水源热泵、太阳能光热、压缩空气储能等4种能源，按照“以热定电”“并网不上网”的原则，为总建筑面积约50万平方米的建筑物提供夏季制冷、冬季制热、全年生活热水以及电力等能源需求，项目设计总冷负荷15165.4千瓦，设计总热负荷13303.9千瓦，总发电功率2.8兆瓦。与常规中央空调系统、锅炉供热系统相比，制冷总装机容量减少约45%~55%，电力装机容量减少约30兆瓦，与设置分体空调相比可减少电力装机容量约70兆瓦。根据计划，到“十三五”末，贵安将建设完成10座多能互补分布式能源站和一个智慧能源管理中心，满足43平方千米的科技新城多种能源需求。

资料来源：人民网（2017），贵安新区建设国内首座“1+3”多能互补分布式智慧能源站

- 余热余压利用。钢铁、有色金属、化工、水泥、陶瓷等行业存在大量的副产热能和压差资源，包括焦炉气、高炉气、转炉气、烟气、高炉炉顶压差

等。比如碳素厂煅烧炉排出的大量高温烟气，温度约850~900摄氏度。通过废热和余压利用，为生产及生活供热、供电、制冷，既能减少能源的消耗、提高能源利用效率，也能减少污染物排放，是工业企业节能减排的重要举措。

（三）低碳清洁

分布式能源可以促进从以化石能源为主的集中式能源系统向更清洁、更多元化的能源系统的转变，包括使用风能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能等可再生能源以及天然气等低碳能源。这能带来很多好处，既有直接的，比如提供了一种清洁的发电方式；也有可能是间接的，比如为可再生能源并网提供灵活性^[2]。

- 降低空气污染物排放。与以煤为主的集中式电力系统相比，分布式能源可以大幅减少SO₂、NO_x和粉尘的排放。因为天然气发电的排放要低得多，而风电和太阳能在当地则是零排放。比如，上海中心大厦项目每年减少SO₂排放38吨；贵州贵安智慧能源项目每年减少SO₂排放498吨，粉尘249吨。现代分布式能源系统还可以避免传统生物质燃料使用带来的颗粒物排放问题（REN21，2016）。
- 减少碳排放。通过使用低碳或零碳燃料，分布式能源可以减少CO₂排放。可以减少供热和制冷的碳排放也是分布式能源的众多优势之一：供热占全球能源有关CO₂排放的30%，这其中的一半热量用于建筑（IEA，2014c）。通过使用天然气（沼气、生物质气）热电联供或低碳电力，可以有效减少热能需求引起的碳排放。例如，上海中心大厦分布式能源项目、贵州贵安多能互补项目和上海迪士尼乐园分布式能源站每年分别可以减少CO₂排放4855吨、61464吨和75542吨。

^[2]需要指出的是，有多种方式可以提供灵活性，包括需求侧措施、储能、电网建设和灵活性发电资源。对于发电机组，包括燃煤在内的大型发电机组也能提供灵活性。

- 减少化石能源的消耗。通过使用可再生能源和清洁能源，分布式能源可以减少化石能源的消费，也减少了由于化石能源开采、运输等带来的生态环境破坏和能源消耗。例如，上海中心大厦分布式能源项目、贵州贵安多能互补项目和上海迪士尼乐园分布式能源站每年分别可节约标煤1890吨、24884吨和21883吨。

专栏1.5 · 美国能源部——分布式能源资源项目

2001年，美国能源部启动了一项分布式能源资源项目。

该项目的目标是开发并促进住宅和工业领域采用多种成本竞争的综合分布式发电和热能技术，提高发电、交付和使用效率，提高电力可靠性，同时减少对环境的影响。

为了实现这一目标，该项目进行了研究，改进了微型涡轮机、先进的往复式发动机和工业涡轮机以及先进的热技术。该项目的重点是提高设备的效率和集成度。

该项目建立了制造商、能源服务供应商、项目开发人员、州及联邦机构、利益集团和消费者之间的伙伴关系。

研发工作集中在两个主要领域：技术开发，以及终端使用系统和集成。此外，该项目还涉及分销部门的数字化和需求侧管理。

这个项目取得的成就包括：

低排放涡轮机的最终设计及现场测试；

三个能效比为1.4的可逆式热泵的安装；

一个先进的往复式发动机的效率提高了6%；

一个全功能CHP系统的最终设计和现场测试，该CHP系统包含一个涡轮，一个吸收式制冷机和一个控制系统。

资料来源：NREL (2001) Distributed Energy Resources Program

三、分布式能源的发展趋势

（一）体现客户诉求

为完全实现分布式能源系统的全部潜力，不能光从技术的角度考虑分布式能源可以提供的服务，采取什么技术很少仅仅通过成本—收益分析来决定。创新性产品的吸引力往往是其迅速推广的潜力，汽车或移动电话就是例子。尽管技术能直接提供的服务是关键部分，但技术选择也是消费者表达个人爱好、价值观和身份的一种方式。

这是将分布式能源系统和集中式能源系统区分开的一个重要特征。一个普通家庭永远不可能拥有一座燃煤电厂，也不可能感觉到他们参加到了燃煤电厂建设的决策过程；从电网购电无法控制电的来源。相反，消费者对于能源消费装置拥有很大的选择权，包括电器、大部分的供热系统和汽车等。通过分布式能源，消费者有机会在不同层面上参与进来，他们可以拥有自己的发电机、储能装置以及智能设备。这与所有的利益相关者都有关：越来越多的房屋所有者，或大或小的企业主，以及诸如地方政府之类的机构，都可以参与到分布式能源解决方案中来，作为一种表达他们价值观的方式，无论是出于显示应对气候变化的决心，还是参与到最新的智能化趋势中。尽管很难量化这种驱动因素，但这很可能影响分布式能源的未来，至少从定性角度看是这样的。

分布式能源的这一属性使得预测其发展变得更有挑战性。大型公共事业公司都有一套类似的、基于利益最大化的决策过程。相反，终端消费者在决策时受经济和非经济因素共同影响，使得他们决策的出发点有很大的分化和不同，最终使得预测分布式能源的发展方式变得更难。

（二）能源服务化

分布式能源企业不仅可以通过销售电力和其他能源产品来获取收益，还可

以通过提供其他服务，比如智能负荷和分布式能源系统的灵活性潜力。通过将分布式能源系统、集中式能源系统、智能控制系统、信息管理系统、用户终端系统等进行深度集成，可以提供一系列的创新性服务。最终，不仅电力和能源服务可以带来收益，能源使用产生的数据也能带来收益。

- 面向终端客户的能源优化服务。通过智能计量技术，可以对终端用户的热、气、电等不同能源的生产与消耗进行自动计量、记录、存储和读取，为优化客户的能源生产与消费模式提供信息基础。基于大数据技术，通过对用户的能源消费与生产记录进行数据挖掘、分析、诊断，深刻理解用户的能源消费模式和特点。比如，可以为客户提供最经济的能源组合选择，包括什么时候使用公共电网的电，什么时候使用自发电，光伏或天然气发电的出力多少，如何实现储能系统经济性，如何选择合适大小的热泵，等等；进而结合物联网、无线通信等技术，实现分布式能源系统与家用电器、电动汽车、充电设施等用户终端电器设施的相互通信与深度融合，提供集成化的需求侧管理和能源优化服务。能源服务公司可以通过使用能源管理合同的方式来分享分布式能源系统流程优化带来的经济收益。有效整合和配置各种能源类型的能力很大程度上取决于这种服务的质量。

专栏1.6 · 南方电网智慧能源综合示范小区，广州，广东

2017年3月28日，南方电网在广州中新知识城建成南方电网区域内首个基于四网融合的“互联网+智慧能源综合示范小区”项目，小区内共有21栋楼，合计约1450户。电力光纤入户是整个项目的物理基础。光纤复合低压电缆将光缆与电缆合二为一，通过对不同运营商的网络接入，将电网、互联网、电视网、电话网融合为一张网，为电力、能源数据及智能家居控制数据等不同类型能源流和信息流的传输与互通提供了可能。电表、水表和气表智能化改造是整个项目的技术关键。电、水、气三表数据通过统一的集中采集设备和小区专用光纤网络实现计量表数据远传

抄表，只需10秒即完成对一栋楼所有用户的抄表工作，有效提高准确度和工作效率。同时，可以实时进行远程控制和故障诊断，分析系统损耗，实现对电表、水表、气表等的“抄、算、管、控”一体化、智能化管理。

系统记录的电量可以精确到每个电器在不同时间段的情况。如每一天不同时段灯光、冰箱、电视、空调等电器的分别电量，为通过大数据分析深入了解用户需求提供了基础。进而，在四网融合和三表集抄的基础上，结合分布式能源、充电设施、智能家居、智能小区综合管理系统等其他模块，将能源与信息深度融合，形成电量、水量与燃气量消费的海量数据，充分了解用户的能源消费习惯、消费结构、消费特点，合理优化用户的电力、水、燃气等的消费支出。以此为切入点，结合具有不同场景模式的智慧家庭等技术，可以将这一项目升级推广到其他社区。而且，也可以将其应用到生产领域。比如，在企业生产过程中，每台用电设备的能耗高低、能耗结构、能耗时段，满足不同仓储设施温度和湿度要求的能耗结构优化等。

资料来源：中华网（2017），广州建成南方五省区内首个四网融合智能小区项目

- 面向能源系统的增值服务。除了少数离网运行的分布式能源系统，大多数分布式能源系统都接入配电网，从而产生了与集中式能源系统的能源和信息交互。分布式能源可以为集中式能源系统提供增值服务，包括调峰、调频、系统备用和改善电能质量等。如果配合储能和需求侧响应的话，这些功能还能进一步增强。

（三）业态互联网化

正如我们已经指出的，分布式能源系统可以根据客户的需求进行定制。要实现这一点，需要协调很多分散的系统组成部分的运行。只有通过使用信息和通信技术才能快速和高效地将这些部分综合在一起，比如数字传感器和控制系

统、智能计量等。而大数据分析和云计算等技术的使用还可以进一步带来其他收益。

因此，分布式能源可以促进新的、数字化的方式出现，比如虚拟电厂和智能微电网。这也增强了能源系统的数字化，提高了终端用户装置的一体化程度。在传统的集中式能源系统中，价值链上的不同部分，比如发电厂、输电线路、配电网和终端用户，或者发电厂、电网、负荷和储能之间是泾渭分明的，而在分布式能源系统中他们则会趋向于重合。这使得分布式能源系统可以将能源系统的不同部分以智能化的方式联系起来，包括：

- 分布式能源之间的时间耦合。分布式能源在时间轴的耦合体现两个方面。第一是通过对风、光、气等不同分布式能源发电时间的耦合，实现能源供给的最优化，降低能源系统的供给成本。第二是结合需求侧响应和储能系统，将能源的供给在时间轴上与能源的需求相耦合，实现能源使用成本的最低。
- 分布式能源之间的空间耦合。不同区域的分布式能源，比如不同的家庭、建筑、社区或工业园区，由于能源供给与需求的非同步性，可以通过优化相互之间的空间拓扑网络结构，完成点对点的能源交易，实现分布式能源之间的空间耦合。
- 分布式能源与集中式能源的时间耦合。以储能系统和需求侧响应为支撑，结合虚拟电厂和智能微网等模式，分布式能源可以与集中式能源优化组合，实现能源系统的最优化。
- 分布式能源与集中式能源的空间耦合。在大电网难以覆盖的边远、农牧地区，可以实施独立运行的能源岛项目，大幅降低输配电网建设的成本，通过空间耦合，实现分布式能源与集中式能源在整体能源系统中的优化组合。

随着信息和通信、云计算、大数据分析等创新性技术的发展，使得数字化渗透到能源系统的每一个部分。同时，分布式数字交易技术（区块链技术）的

发展和应用使得未来分布式能源有可能无需通过集中式交易系统，这将为能源在城市或社区层面进行交易提供基础。

本章在讨论分布式能源定义和概述分布式能源系统如何与能源系统转型大背景相吻合的基础上，提供了关于分布式能源系统的简要介绍。同时介绍了分布式能源系统未来发展的主要价值驱动因素。总的来说，分布式能源可以同时优化从能源供应到需求的一系列过程，更好地满足特定的能源服务需求；从系统的角度，最大化了能源供应效率。同时，分布式能源系统还有助于形成一个更稳定、可靠和清洁的能源系统。

本章最后讨论的三个发展趋势是基于不同的技术：分布式能源系统依赖更小规模的资源，使得消费者有机会直接参与到能源系统中；分布式能源使用的技术可以将不同的能源部门联系在一起并提供更好的能源服务；智能控制和数字技术对分布式能源业态互联网化的发展有很强的促进作用。

参考文献

- Burger, S.P. and M. Luke (2016). Business Models for Distributed Energy Resources: A Review and Empirical Analysis. <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/04/MITEI-WP-2016-02.pdf>.
- China.com (2017). 广州建成南方五省区内首个四网融合智能小区项目. <http://news.china.com/finance/11155042/20170329/30370819.html>.
- China5e (2016). 一等奖：上海中心大厦天然气分布式能源项目. www.china5e.com/news/news-958084-1.html.
- China5e (2015). 探秘上海迪士尼乐园的“动力心脏”——分布式能源. www.china5e.com/news/news-908685-1.html.
- Cossent, R., T. Gómez and P. Frías (2009). “Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready?”

- Regulatory recommendations under a European perspective”. *Energy Policy*, Vol. 37/ 3, pp. 1145-1155, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.011>.
- IEA (International Energy Agency) (2017a). *World Energy Outlook 2017*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017b). *China Energy Outlook: World Energy Outlook 2017 Special Report*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017c). *District Energy Systems in China: Assessment Methodology and Business Models*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017d). *Digitalization & Energy*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017e). *Technology Roadmap: Smart Energy Systems*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017f). *World Energy Investment 2017*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017g). *Market Report Series: Renewables 2017*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017h). *Global EV Outlook 2017*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017i). *Status of Power System Transformation 2017*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2016). *World Energy Outlook 2016*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2014a). *Linking Heat and Electricity Systems Co-generation and District Heating and Cooling Solutions for a Clean Energy Future*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2014b). *World Energy Outlook*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2014c). *Heating without Global: Warming Market Developments and Policy Considerations for Renewable Heat*. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2002). *Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets*. OECD/IEA, Paris.
- METI (2016) (Ministry of Economy, Trade and Industry). “Long-term energy supply and demand outlook”. www.meti.go.jp/english/press/2015/pdf/0716_01a.pdf.
- NDRC et al. (2017). 关于推进供给侧结构性改革 防范化解煤电产能过剩风险的通知. www.nea.gov.cn/2017-08/14/c_136525062.htm.

- NDRC and NEA (2016). 电力发展“十三五”规划. www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/.../P020161222570036010274.pdf.
- NREL (2001). “Distributed Energy Resources Program”. www.nrel.gov/docs/fy02osti/31251.pdf.
- People.cn (2017). 贵安新区建设国内首座“1+3”多能互补分布式智慧能源站. <http://gz.people.com.cn/n2/2017/0407/c194827-29981997.html>.
- Pyper, J. (2013). “Are microgrids the answer to city-disrupting disasters?”. *Scientific American*, 11 September 2013, www.scientificamerican.com/article/are-microgrids-the-answer-to-city-disrupting-disasters/.
- Rahimi, F. and A. Ipakchi (2016). “Using a transactive energy framework: Providing grid services from smart buildings”. *IEEE Electrification Magazine*, Vol. 4/4, <https://doi.org/10.1109/MELE.2016.2614181>.
- REN21 (2016). *Renewables 2016 Global Status Report*. www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf.
- SEPA (Smart Electric Power Alliance) and Black & Veatch (2017). *Beyond the Meter: Planning the Distributed Energy Future. Volume I*. <https://sepapower.org/resource/beyond-the-meter-planning-the-distributed-energy-future-volume-i/>.
- Webley, K. (2012). “Hurricane Sandy by the numbers: A superstorm’s statistics, one month later”. *Time*, 26 November 2012. <http://nation.time.com/2012/11/26/hurricane-sandy-one-month-later/>.
- Xinhuanet (2017). 分布式能源应用进入“加速度”. http://news.xinhuanet.com/2017-07/17/c_1121328140.htm.
- Ye, H. (2017). 上海国际旅游度假区核心区天然气分布式能源站项目, *China 5e*. <http://news.bjx.com.cn/html/20170417/820385-2.shtml>.

第二章

分布式能源技术和商业模式

上一章介绍了分布式能源系统的定义、主要价值驱动因素和发展趋势，本章致力于从两方面提供更深入的分析：第一部分讨论构成分布式能源系统的技术；第二部分重点介绍几种商业模式，探讨技术如何与商业相结合。

一、技术

（一）发电技术

1. 热电联产和热电冷多联产

热电联产（Combined Heat and Power, CHP）是一种通过在发电同时提供热能以实现更高效率的发电系统。热电联产机组有不同的规模，从千瓦级到几百兆瓦级的发电厂（用于区域供暖）。工业和大型建筑是热电联产的主要用户（GIZ, 2016）。热电冷多联产（Combined Cooling, Heat and Power, CCHP）通过废热制冷来达到更高的效率。热电联产机组的主要配置包括：一个主驱动系统，如燃气轮机；一台发电机；一套热量回收系统；和一套控制系统（IEA, 2008）。热电冷多联产机组除了包含与热电联产相同的配置，外加一套热制冷系统，最常用的是吸收式制冷装置。

燃气轮机（包括开式和联合循环）是目前天然气发电的主流技术。燃气轮机是一种成熟技术，有从微型级到几百兆瓦级的不同规模。

热量回收系统。热量回收系统使得热电联产或热电冷多联产机组可以利用废热的能量，一般基于一个换热器，使得热量能够高效地从一种媒介传到另一种。对于燃气轮机系统，常见的换热系统将废气的热量传到余热锅炉，以产生蒸汽。蒸汽可以用于过程供热、区域供暖或驱动吸收式制冷（后面将有详细说明）。对于联合循环发电，余热回收产生的蒸汽则用来驱动蒸汽轮机并进一步带动发电机。在联合循环热电联产系统中，蒸汽轮机的废热被进一步在第二个换热器利用（Moussawi, Fardoun and Louahlia-Gualous, 2016）。对于世界各地的民用、商业及公共建筑而言，发电、供热和供冷是构成其能源消耗的三大主体。在当今社会，能源需求量及燃料成本不断增长，三部分独立发电会产生更高的能耗。热电冷联产系统通过利用废热，使得热电联产机组能够实现比纯发电机组更高的综合效率。全球热电联产的平均效率是58%，相比之下火电厂效率只有36%（IEA, 2014a）。

吸收式制冷机。吸收式制冷机使得废热可以用于制冷，其原理与压缩式热泵类似，利用压力差来移动热量。这与自然热量流动方向相反，也就是将热量从更冷的物体移到更热的物体上。吸收式制冷机，是通过化学吸收来产生压力差。吸收式制冷机的大小覆盖几百千瓦到几兆瓦的范围，有些特殊的能低到5千瓦或高到20兆瓦，甚至更高（GIZ, 2016）。

天然气是目前热电联产的主要燃料，但其他燃料，包括城市固废和生物质也很常见（IEA, 2008）。热电联产机组通常根据热需求确定装机规模，因为传输电力比传输热力经济得多。在许多国家，工业是热电联产和热电冷多联产最大的市场，同时供热也是一个很大的需求。热电联产和热电冷多联产能同时为大型建筑提供热水和空间供热或制冷（GIZ, 2016）。总的来说，热电联产比热电冷多联产应用更广泛（Moussawi, Fardoun and Louahlia, 2017）。使用经济、高效的热电联产是降低电力和热力生产的排放强度的重要途径。

自2000年以来，全球热电联产的电力和热力产量年均增加1.2%，在全球发电量的份额从2000年的11%下降到2013年的9%（IEA, 2016b）。2015年，热电

联产占中国发电量的20%左右（Euroheat & Power, 2017a）。考虑到热电联产数据统计的局限性，现在很难说大型热电联产的发展是否还有进一步发展的空间。另外，热电联产的进一步发展还取决于向区域热网售热的能力和北方地区的供暖季情况。

虽然热电联产具有较高的效率，但也伴随着比纯发电机组更高的成本（IRENA, 2012）。不同热电联产项目的技术和设计不同，成本也很难直接比较。热电联产和热电冷多联产项目的总体经济性高度依赖燃料和电力的价格，由于设备更为复杂，热电冷多联产的成本总体来说比热电联产高（Moussawi, Fardoun and Louahlia, 2017）。

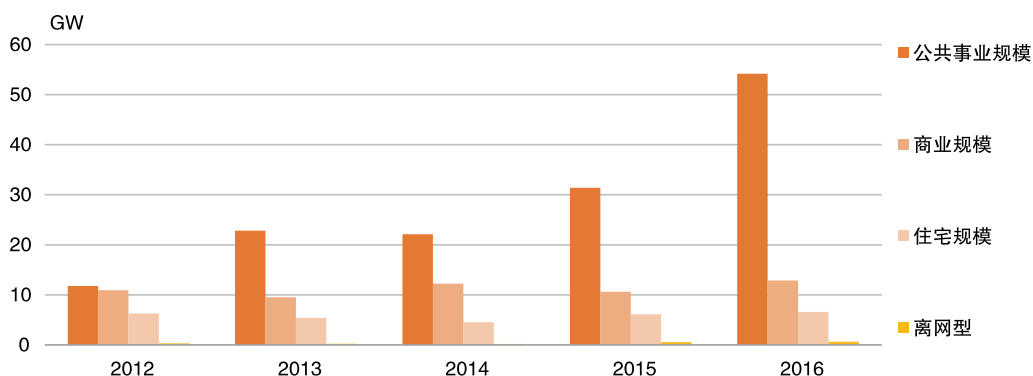
监管障碍和缺乏明确的价格形成机制是中国热电联产发展的关键障碍。此外，需要进口部分零件以及雇佣外国专家来进行机组大修和维护，也是投资和维持成本增加的原因（Yan et al., 2016）。一项对欧盟国家的调查发现，燃料价格是最常提及的障碍，焦点就是天然气的价格波动。高气价和低电价使得热电联产难以有竞争力。规模、冷热负荷需求的可预见性是第二个常提到的障碍，此外还有法律和监管复杂性。其他障碍还包括缺乏支持政策、并网、项目经济性评价、燃料获取以及缺乏财务资源等（Moya, 2013）。

2. 太阳能光伏

太阳能光伏（Photovoltaic, PV）系统将太阳能直接转化为电能。市面上有售的光伏组件容量大概在5~350瓦的范围（RenSMART, 2017）。多个光伏组件与逆变器和支架等其他部件相连，可以形成一个PV系统。光伏系统容量覆盖了从瓦特级到兆瓦级规模，不同规模的系统灵活地应用在家庭、建筑和社区等不同场所（IEA, 2011b）。太阳能光伏在当地提供能源的潜力在不同地区之间差异巨大，取决于太阳能资源和土地利用密度。2015年，全球城市屋顶光伏的技术潜力超过每年5500太瓦时，各地占需求的比例则大不相同，从中国的11%到非洲的97%（IEA, 2016b）。

太阳能光伏装置最初是由家庭和住宅规模的系统主导的。公用事业规模的市场最近开始主导新的建设（图2.1），但在未来5年，住宅和商业领域的分布式光伏仍将占重要地位（IEA，2017b）。这些光伏发电系统绝大多数都是并网的，相比之下离网型的市场规模仍然很小。2016年，中国有340万千瓦的太阳能光伏并网，其中90%以上是公用事业规模，剩余的主要为商业领域光伏（IEA，2017）。

图2.1 · 近年来全球光伏发电装机情况



要点 · 公共事业规模依然是装机增长的最大部分，但商业规模等其他光伏也占很大比重

资料来源: IEA (2017a), Market Report Series–Renewables 2017

2016年，受产能增加和价格竞争的影响，全球太阳能光伏组件平均价格降低了20%。2016年居民屋顶光伏系统成本大致为1200美元/千瓦（印度）、1300美元/千瓦（中国）到4000美元/千瓦（美国）。商业模式、监管环境和融资情况的差异是导致各国成本不同的主要原因。另外，与集中式光伏相比，系统平衡和安装成本占分布式光伏成本的比重要高得多，并且在不同国家，甚至不同省都有很大不同。接下来五年，受组件以及系统集成成本降低的影响，系统成本还有望继续降低（IEA，2017a；IRENA，2017）。

分布式光伏面临着一系列的技术、财务和机制挑战。技术挑战包括有限的合适场地、有限的太阳能资源以及一系列并网挑战。当地电压和堵塞问题可能导致配电网对并网型光伏的发展进行限制，约束其在某些地区的进一步开发。从财务角度，诸如光伏上网电价之类的支持性机制是促进分布式光伏市场发展的关键。过去十年安装成本的快速降低使得分布式光伏在补贴取消的市场也能继续发展。但是，电力行业还在努力发展一个合适的机制来确定光伏提供的能源的价值。最后，许可程序经常是光伏开发者面临的障碍（EC，2012），在有些市场还可能是关键的障碍。比如，中国的商业和工业部门的分布式光伏项目都面临着法律和财务方面的挑战（IEA，2016b）。

3. 太阳能热利用

太阳能热利用包括从小规模的太阳能热水系统到大型区域供暖和工业应用等一系列范围的技术。这些技术都使用集热装置吸收太阳能的热量，并包含一个具有液体循环的传热系统。液体循环可以采用通过无需动力的热虹吸系统推动，也可以采用泵来推动。

由于真空管集热器在中国比较流行，所以占全球市场份额的主流，而在欧洲平板集热器更为普遍（Weiss, Spörk-Dür and Mauthner, 2017）。目前，全球已有的太阳能热利用装置主要是小型系统，用于提供生活热水，但是大型系统的应用也在不断增加，包括用于商业热水、空间和水加热、工业过程供热和区域供暖等（IEA，2017a）。太阳能热利用可以在接近负荷中心的地区提供清洁、基于可再生能源的热能，在电价高和日照条件好的地区具有很大的吸引力（IEA，2016b）。

2016年，全球新增太阳能热利用规模连续第三年减少，为36.7吉瓦热能，较上一年减少8%。中国占全球市场的75%，而且中国市场年安装量的减少是全球减少的主要原因（IEA，2017a）。截至2016年，全球累计利用规模为456吉瓦热能，其中中国占比超过70%。2017—2022年，全球太阳能热利用能量消费预计将

增长超过1/3，并将继续由中国主导，虽然中国每年的增长较以前有所降低。建筑是增长的主要领域，并逐步从内部热水系统转向大型系统（IEA，2017a）。

太阳能热利用的成本范围较广，从175美元/千瓦热能到小型内部热水系统的2794美元/千瓦热能。成本较低的系统主要采用无需泵的热虹吸系统，成本范围在175美元/千瓦热能到1476美元/千瓦热能间。影响成本的另一个重要因素是采用闭式还是开式系统，开式系统成本较低，但是只适用于气候合适、很少结冰的地区。既能供热也能提供生活热水的系统更为复杂，成本也更高（IEA，2016a）。

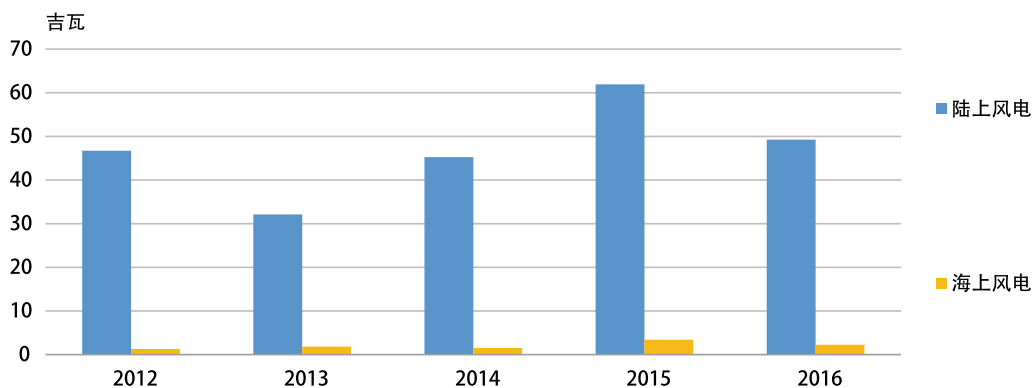
影响太阳能热利用推广的原因包括人们对该技术了解较少、缺少供应商和适用于大型系统的商业模式等。较高的投资也是一个障碍，特别是对于那些复杂的系统。政府支持政策的减少是近年来中国应用减少的主要原因（IEA，2016b）。

4. 风能

风力发电机的范围包括几百瓦特的小型家庭型，到几兆瓦的机组。但是从容量看，全球100千瓦以下的小型机组只占不到0.2%（GWEC，2017；Pitteloud and Gsänger，2017），而且由于成本和资源潜力的影响，未来很有可能继续占非常小的比例。大型风电项目使得开发者能够利用风能资源良好的地区优势，这种方式会对输电能力带来挑战，并可能增加发电的波动性，而这些因素都将增加弃风率。分布式风电得益于距离负荷更近，需要新的输电基础设施更少。分布式风电还可以给偏远地区提供经济发展机会，给本地社区参与直接选择电力来源的机会。对于社区风电场，当地的参与也有助于提高公众的接受度（BWE，2012）。

2016年，全球新增陆上风电装机约为50吉瓦，较上一年有所降低（图2.2），陆上风电占年新能源装机增加的1/3左右。中国是世界上最大的市场，2016年新增装机占全球的38%。2020年之前，每年的新增装机都将保持相对稳定（IEA，2017a）。

图2.2 · 2012—2016年全球风电装机增长情况

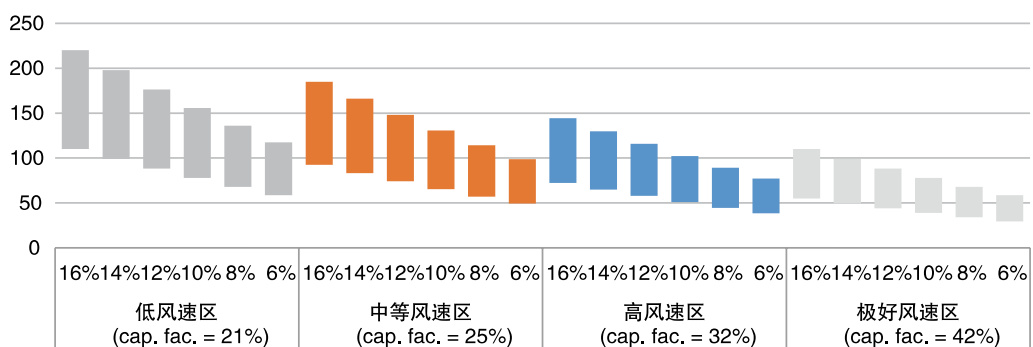


要点 · 陆上风电是风电装机增长的主要部分

资料来源: IEA (2017a), Market Report Series—Renewables 2017

2016年，全球典型陆上风电项目投资成本大约在1050美元/千瓦到2000美元/千瓦之间，其中中国和印度的成本最低。中国风机价格保持了基本稳定，更多大直径风机获得核准抵消了需求降低的影响。到2022年，得益于经验的积累和制造商对大型项目的竞争，平均投资成本预计将降低约7%（IEA，2017a）。根据风资源的不同，不同地区的风电成本也不相同（图2.3）。

图2.3 · 陆上风电发电成本差异和平均发电成本情况



要点 · 决定风电成本的关键因素是风速和资本成本

注意 · 成本范围反映了资本支出假设的影响（从1100美元/千瓦到2200美元/千瓦）

资料来源: based on IEA (2016b), Renewable energy Market Report 2016—updated capital cost assumptions

就单位容量成本来说，小型风电成本在不同市场间的差异巨大，但一直比大型风机高。2013年，中国的平均安装成本是1900美元/千瓦，英国为5873美元/千瓦，美国是6940美元/千瓦（Gsänger and Pitteloud, 2015）。虽然缺乏关于小型风电平均发电成本（Levelised Cost of Energy, LCOE）的数据，但由于小型风电的利用率更低，所以其发电成本会较大型风电高许多（相较于成本提高的比例）（Shaw et al., 2008; Encraft, 2009）。

对于诸如社区风电场之类的小规模风电场，许可程序是一个重要的障碍。复杂的许可程序有利于大型开发商，因为他们可以将成本分摊到大型项目中。分布式风电的另一个关键障碍是电力采购政策，这些政策没有根据电力系统特点考虑风电的地域价值。单纯基于能量的电价会有利于促进风电在风资源好的地区集中开发，这可能导致当地的风电比例较高。这也会对小型风电项目的发展不利，虽然这些小型项目一般都更接近负荷中心，而且在考虑输配电成本的情况下，对系统的价值也更高。

5. 生物质发电

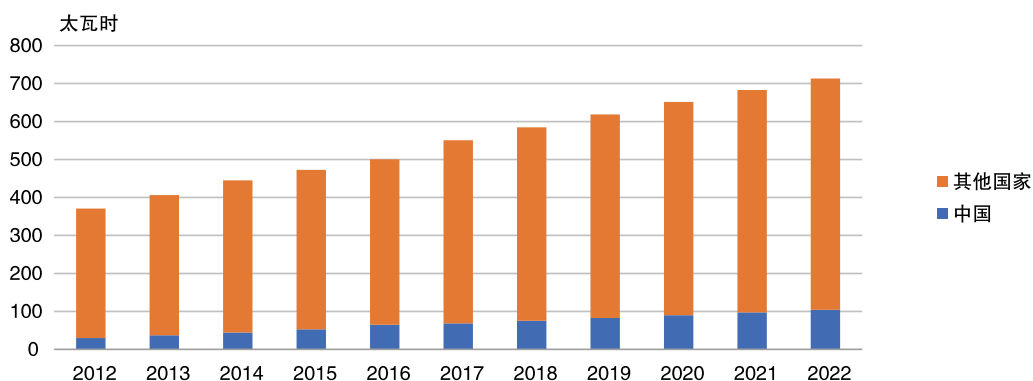
生物质和废弃物发电包括了一系列燃料和发电技术。在现有的电厂中将固体生物质和煤混燃是最经济的生物质发电方式之一，虽然一般认为这并不属于分布式发电。专门的生物质发电厂将生物质在锅炉中直接燃烧，并利用蒸汽轮机产生电力（IEA, 2011），其他生物质利用技术包括气化和厌氧发酵。生物质燃料可以包括农业残留物、动物粪便、林业和工业的木材废料、食品和造纸工业的残余物、城市的绿色废物、污水污泥、专用能源作物、树枝、草和糖、淀粉和油料作物（IEA, 2007）。因为能量密度更低，生物质原料运输成本一般比煤炭等化石燃料高。

虽然生物能源的生产确实能从规模经济中受益，但位置与燃料生产地点的一致性使生物质能源发电保持较小规模的一个重要因素。因为原料运输成本会抵消规模经济的效益。当原料地点也接近于热需求时，基于生物质的热电联

产可以同时降低燃料成本并使产出效率最大化，这将有利于项目开发。另一方面，在废弃物处理渠道缺乏或成本高的地区，废弃物发电的主要动力是垃圾处理，发电只是协同收益。

2016年全球生物质能装机为110吉瓦，其中大部分是大型项目。过去五年全球生物质发电装机增长稳定，年新增装机在5.7~7吉瓦之间，伴随了发电量的不断增长（图2.4）。在接下来的几年，装机的增长依然将保持相对稳定（IEA，2017a）。2016年，中国生物质发电装机增长了1.8吉瓦，达12吉瓦，有望在2022年达到20吉瓦（IEA，2017a）。中国的生物质能发电主要来自废弃物和农业残留物（IEA，2016b）。

图2.4 · 生物质和废弃物发电量增长和预测，2012—2022年



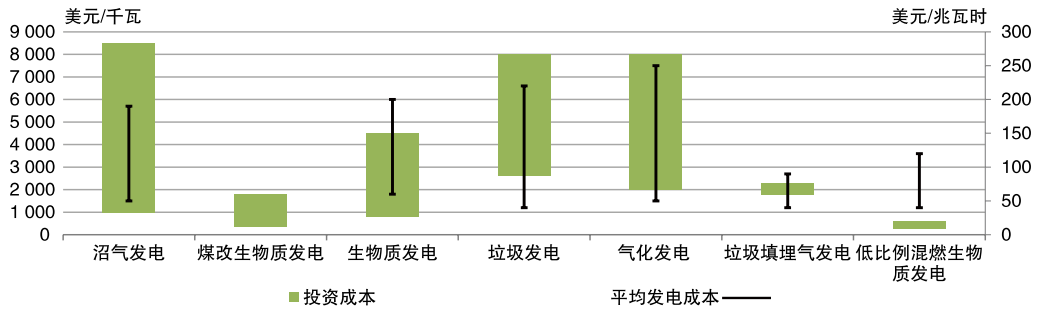
要点 · 过去五年，生物质发电装机稳定增长，并将持续到2022年

资料来源: IEA(2017), Market Report Series—Renewables 2017

无论是否采用相同的技术，生物能源电厂投资成本和平准化度电成本变化都比较大。影响成本的因素包括规模、技术复杂度、资金成本、监管成本和原材料成本。投资成本最高的大多是垃圾发电，低比例混燃生物质发电、垃圾填埋气发电和煤改生物质发电的投资成本最低（图2.5）。生物质发电的投资成本处于中游水平，但由于燃料成本高，其平均度电成本却相对较高。总体来说，

中国和泰国的成本较低，而欧洲和日本的较高（IEA，2017a）。

图2.5 · 不同生物质发电技术的投资和平均发电成本



要点 · 不同生物质发电技术间投资和平均发电成本差异巨大

资料来源: IEA(2017a), Renewable energy market report 2017

资源的可获取性限制了低成本生物能源发电的潜力（Yaqoot, Diwan and Kandpal, 2016）。即使在印度等生物资源不构成限制因素的地区，由于原料产生的季节性，仍需要储存原料。还有原料收集和运输问题，这些都是项目开发的挑战（IEA，2016b）。与之竞争的化石燃料技术相比，更高的发电成本也是更大规模推广的障碍。因此，生物能源需要碳排放控制才能有竞争力（Hui et al., 2017）。在印度尼西亚，获取融资、计划和监管合规要求都限制了工业化生物天然气的推广（IEA，2016b）。负面的公众形象也是一个问题，比如在泰国，之前的项目没有达到预期的表现（IEA，2016b）。

（二）系统耦合技术

1. 区域供暖和制冷网络

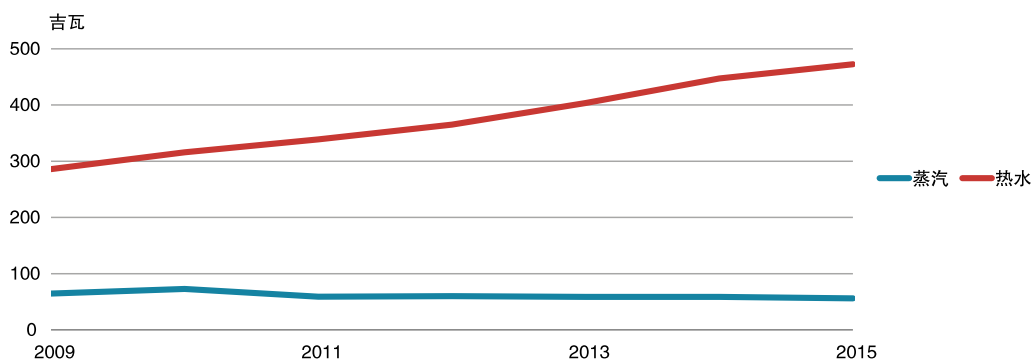
区域供暖（District Heating, DH）网络通过管道将集中产生或已有热源的热量输配到消费者（IEA ETSAP, 2013）。因为更好的安全性以及更低的成本，热

水慢慢取代蒸汽变成主流介质。区域供暖的热源包括热电联产机组以及不同形式的锅炉、工业废热、地热和热泵等（IEA ETSAP，2013），因此得以将不同的能源部门结合在一起，如区域供暖使用的电锅炉耦合了电力和供热部门。

由于可以利用废热，也能利用地热和可再生热量，区域供暖可以节约大量能源（IEA ETSAP，2013）。但是这些优势必须与热量在输配网络的损耗进行平衡。因此，区域能源系统的应用高度依赖人口密度，也需要衡量不同生产方案及替代方案的成本。区域供冷系统的使用也遵循与区域供暖类似的原则，但是区域供冷应用得要少很多。相比于区域供暖，区域供冷要求更特殊的条件和复杂的设计，才能取得更好的经济效益和更高的能效（后面将进一步讨论）（Euroheat&Power，2017a）。

除了效率和低碳因素，区域供暖和制冷网络能帮助增加供暖和制冷需求的灵活性。区域供暖和制冷系统往往利用媒介（一般是冷、热水）储存能量，而热电联产或热电冷联产同时也有热水或冷水储罐，因为冷、热需求通常与电需求并不同步（Moussawi，Fardoun and Louahlia，2017）。这可以帮助降低尖峰需求，有助于提高系统的灵活性。

图2.6 · 2009—2015年中国城市区域供暖装机增长情况



要点 · 中国区域供暖用能持续增长，且以热水为主要媒介

资料来源: NBSC (2016), China Statistical Yearbook

由于区域供暖和制冷是一个本地化和碎片化的市场，搜集相关数据存在困难（Euroheat & Power, 2017b），但我们还是获得了一些数据，特别是关于中国和一些欧洲国家的数据。中国拥有世界上最大的区域供暖网络，其主要集中在北方地区，覆盖了北方地区90%以上的城市（IEA and Tsinghua University, 2015）。2015年，中国城市区域供暖装机约为530吉瓦热能，其中90%使用热水来传输热能（图2.6）（NBSC, 2016）。由于数据统计的问题，农村地区的区域供暖并没有包括在相应的统计数据内，但据估计不到城市数量的1/3。2011—2015年间，热网（包括热水和蒸汽）长度增加了39%，超过20万公里，反映了供热网规模的巨大（NBSC, 2016）。

输热和输冷管网与设备投资是推广区域供暖和制冷时要考虑的重要问题。在中国，很大一部分区域供暖用煤做燃料（IEA ETSAP, 2013）。同时，缺乏关于区域供暖或制冷基础设施的战略性规划也是影响其发展的原因之一。市场环境对区域供暖或制冷系统的效率也有影响，取决于价格能否准确地反映电力和热力或制冷能的成本（IEA, 2014a）。

中国大部分的区域供暖系统都基于煤炭，是空气污染的重要原因。而更清洁的区域供暖系统的发展则受到天然气供应和价格问题的制约。缺乏合适的技术将大规模可再生能源接入区域供暖系统，阻碍了更大范围推广使用基于可再生能源区域为供暖系统（Euroheat & Power, 2017a）。在欧洲，热电联产在区域供暖中占比很高（接近70%）。因为电价较低，热电联产面临较大的经济挑战，也阻碍了区域供暖的扩张（Euroheat & Power, 2017b）。跟发电和输配电基础设施类似，区域供暖和制冷管网前期投资很高，当未来需求不确定时会有投资风险。这就要求法律和政策的稳定性，以及对区域供暖或制冷系统性的长期规划，这两个要求都具有挑战性（IEA, 2014a）。

2. 热泵

热泵（Heat Pump, HP）包含了一系列广泛的技术，这些技术使用电力驱动

的制冷循环来将热量从低温处转移到高温处^[3]。由于热泵传递热量而不是产生热量，它们能够达到100%以上的效率，即移动比输入能量更多的热量。热泵可以用于建筑，以满足供热需求。建筑部门大约占全球供热需求的一半。热泵的另一个用途是将较低温度的废热“升级”到更高温度，而且在未来还有可能与天然气竞争，为化学、食品和造纸等工业提供较低温度的热量（IEA，2016c）。热泵在温差较低的地方效率较高，因此在极端寒冷的气候条件下不太适用。随着电网不断减碳，热泵有潜力满足能源需求的同时减少碳排放。此外，通过利用空间供热固有的热储存，辅以适当的控制技术，热泵可以提供另外一种灵活性。

2016年，全球热泵销售增长了28%，超过300万台，而投资则增长了17%，较上一年7%的增长有明显提高（BSRIA，2017）。2016年，中国占全球热泵市场的2/3和新增销售的95%，这主要受益于各地的减排支持政策（IEA，2017b）。其余的市场中，日本和欧盟各占一半，主要用于居民消费。在欧洲和中国，大约2/3的市场与新建筑相关，而日本的市场则主要是设备更换和升级（IEA，2017b）。

不同国家的热泵成本差异巨大，2016年单位成本最低的在中国，大约每单位8520美元，欧洲的成本大约在中国的两倍到九倍之间。大部分国家的热泵单位成本在2014年至2016年间都有所降低，幅度从几个百分点到27%（BSRIA，2017）。

投资成本可能是使用热泵的主要障碍，因为它们往往比化石燃料替代品或其他效率较低的选择更贵。这种情况可能随着组件制造规模经济的增长而发生变化。随着建筑能效的提高，小型系统也可以提供同样的服务（IEA，2017c）。

3. 电池

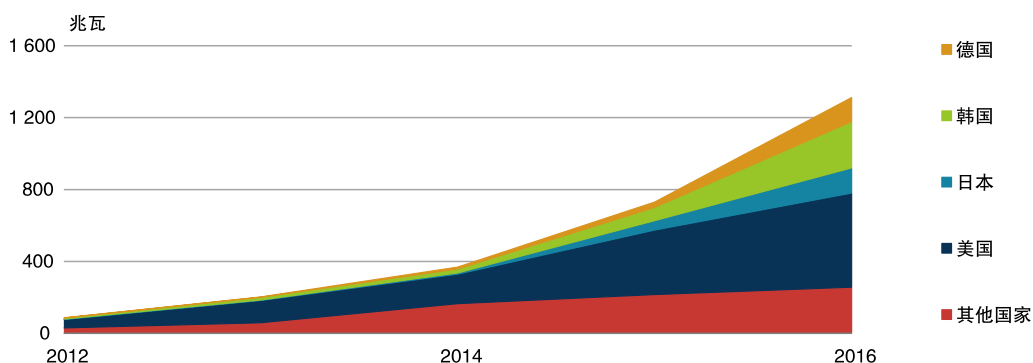
电池有广泛的应用，例如峰值负荷转移、可变资源并网、负载跟踪、频

^[3] 热泵包含了一系列的技术，包括空调和空间供暖热泵。虽然各种热泵技术对分布式能源系统来说都很重要，但跟《世界能源投资报告》（IEA，2017b）一样，本部分主要讨论非空调热泵。

率调节、黑启动和季节储能等（IEA，2014c）。不同的电池系统适用于不同的应用，取决于不同的特性，如放电时间和循环频率。尽管电池与诸如PV等分布式发电技术相结合，具有减少甚至消除电网接入需求的潜力，但在大多数应用中，与电网连接仍然是最优的解决方案。冬季和夏季太阳能产量的巨大差异使完全离网变得不现实。而且，向电网销售储能服务的能力提高了消费者拥有电池的价值（IEA，2016d）。电网连接带来的高可靠性同时也会带来更高的效率。

电池可以在整个能源系统中安装，并且已经在进行不同规模的应用，既有移动式的也有场站式的（IEA，2014c）。2014年，建筑规模的电力储存增长了50%，而且还在继续推广，个人消费者希望通过最大化“自发自用”减少付给电网的容量费和电量费，来减少自身的电费支出（IEA，2016a）。目前全球储能主要还是抽水蓄能，装机超过150吉瓦，至于另外3.4吉瓦的其他形式储能，锂电池化学储能占最大比例，达41%（IEA，2017d）。2012—2016年，每年新增的电网级电池容量都有所增加。电网级电池主要集中在少数几个市场，2016年新增的主要在韩国、美国、德国和日本（图2.7，IEA，2017b）。

图2.7 · 电网级电池增长情况



要点 · 近年来增加的电网级电池主要集中在少数几个国家

资料来源: IEA 2017a, World Energy Investment 2017

根据技术和使用情况的不同，电池的成本有很大的差异。不同的使用情况要求不同的特性，也影响了成本。2010—2015年，锂电池技术成本快速下降，平均学习速率^[4]达22%（IEA，2016a），并占据了大部分市场。资本支出和财务费用占电池储能成本的很大部分，但充电成本也占了电池寿命周期成本的很大部分。

推广电池依然面临能量密度、电力输出、寿命、充电容量和成本等挑战（IEA，2014c）。电池成本不断降低，虽然这对系统有益，阻碍电池参与电力市场的监管规则也会影响电池投资者的效益（IEA，2017b）。

4. 电动汽车

电动汽车将电能储存在电池中来驱动高效的电动机，而不是燃烧化石燃料。它们包括纯电动汽车（Battery Electric Vehicles, BEVs）以及插电式混合动力汽车（Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEVs），混合动力汽车除了电动马达和电池外还有一个内燃机（IEA，2017c）。电动汽车与分布式能源系统有关的两个关键方面是：第一，它们有潜力对绿色低碳交通做贡献；第二，它们对电力供应网络的影响。与热泵对于供热系统相似，电动汽车具有内在的高效率，在促进电力部门减碳的同时减少交通部门的排放。智能负荷运行是电动汽车低成本并网的关键。电动汽车充电领域有很多创新技术，目前仍在开发中。

专栏2.1 · 电动汽车无线电力传输技术简介

无线电力传输（Wireless Power Transfer, WPT）在很多领域已经是一种成熟技术，比如在智能手机等手持设备领域的应用已经逐步成熟，而日益增长的电动汽车市场将给这项技术带来新的机会。不仅仅是传统的汽车制造商，谷歌、苹果、特

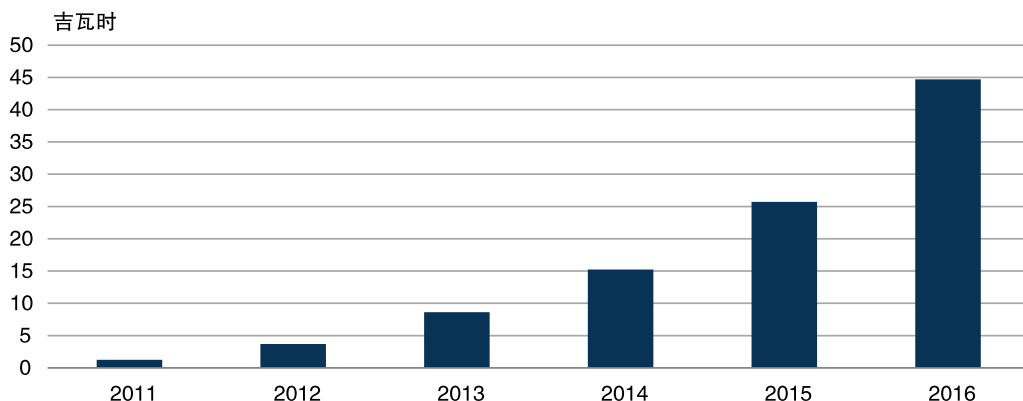
^[4] 在这里，学习速率指每次总容量翻番时，投资成本的下降幅度。

斯拉等新进入者，都纷纷瞄准这一市场，着力推动其技术商业化。2014年，戴姆勒联合宝马开发电动车无线充电技术标准。戴姆勒将在全新S级奔驰车型进行测试，而宝马则计划率先应用于i8车型。合作开发的无线充电技术包含两个部分，一是汽车底盘安装的线圈，二是位于车辆下方内置线圈的基板。当汽车驶到充电基板上时，车底盘的接收器和电磁设备商的发射器会通过Wi-Fi连接，电能通过线圈之间产生的交变磁场传播，实现自动无线充电，充满后两者会自动断开。额定功率为3.6千瓦，对宝马i8充电需要不到两个小时。通过对线圈等进行进一步改造，使其输出功率最终达到7千瓦，未来还将用于更多宝马奔驰旗下的电动车产品。

资料来源: Olivares-Galvan J. C., E Campero-Littlewood, S. Magdaleno-Adame (2016). Review Paper on Wireless Power Transmission

自2012年以来，电动汽车在北美、欧洲、亚洲和其他地区的销量一直在快速增长，截至2016年底，共销售200万辆插电式乘用车和轻型多功能车（IEA，2017b）。这给电力系统增加了大量的灵活性负荷和储能容量（图2.8）。2016年，中国连续第二年成为全球最大的乘用电动汽车市场，几乎占全球销量的一半，并且超过了美国成为全球电动汽车保有量最大的国家。电动自行车的数量比汽车多很多，中国是这方面的绝对领导者，据估计有2亿~2.3亿辆。中国在电动公交车方面也处于世界领先地位，根据统计，目前已超过34万辆（IEA，2017e）。除了越来越多的电动汽车，公共充电基础设施也有了强劲的增长，这对电动汽车在本地电网上的负荷影响和电动汽车在性能上与内燃机车的竞争都发挥着重要作用。公共慢速充电桩从2015年的14.8万个增加到2016年的21.2万个；公共快速充电桩从2015年的5.7万个增加到2016年的11万个，其中81%在中国（IEA，2017e）。

图2.8 · 2011—2016年电动汽车累计电池容量增长情况

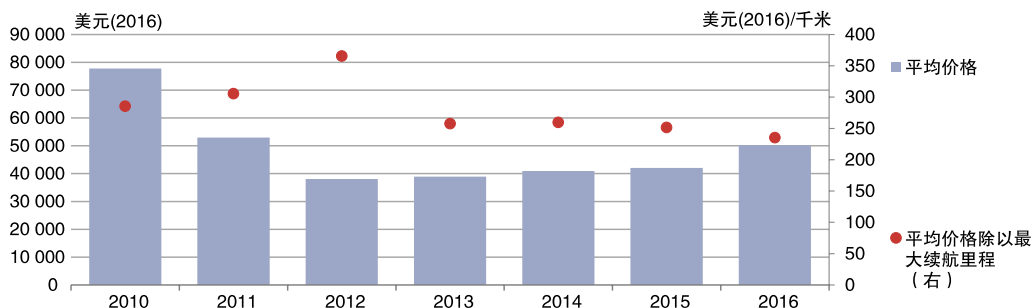


要点 · 快速增长的插电式混合动力汽车和纯电动汽车销量是未来潜在的灵活性来源

资料来源: WEI 2017 dataset **

目前，在任何地区电动汽车都比相应的内燃机车贵（IEA，2017e）。电池成本是电动汽车成本高的主要因素，在所有地区都占了采购成本的一半以上（IEA，2017e）。电池成本从2009年的900美元/千瓦时降到了2014年的不到300美元/千瓦时，但近两年变化则趋缓（US DOE，2017）。随着电池产量的增加和单个电池容量的增大，都有可能进一步降低电池成本（Howell，2017）。2012年以来电动汽车的平均售价有所增长，但这是因为豪华型电动汽车比例的提高，而基于最大行程的平均价格则有所降低（图2.9）（IEA，2017b）。

图2.9 · 电动汽车平均价格和续航里程



要点 · 2012年以来电动汽车平均价格有所增长，但续航里程也大幅增加

资料来源: reprinted from IEA (2017b), World Energy Investment 2017

电动汽车推广的关键障碍在于要与内燃机汽车在价格及行驶里程上竞争。除了成本，缺乏适当的充电基础设施也是电动汽车的一个前置障碍（IEA，2017e）。公共快速充电网络对推动电动汽车的大范围使用至关重要。另一方面，私人充电桩对日常使用也很重要，对于那些因为没有停车设施而无法在家充电的用户，也会是一个障碍。

（三）促进智能运行和连接的技术

现代分布式能源系统的一个关键特性是可以将多种能源和负荷以智能化的方式结合在一起，通过这种方式实现以更低的成本和更小的环境影响提供能源服务。因此，现代分布式能源系统要求使用先进的计量设施和控制装备，像黏合剂一样把不同的部位联系在一起。

1. 先进计量设施

先进计量设施（Advanced Metering Infrastructure, AMI）通常指的是客户端智能电表和其他技术的组合。这些技术包括通信网络和数据接收及管理系统，用来支持客户和应用程序之间的双向信息流动。智能仪表是AMI的关键组件，更高频率的读数使智能仪表数据对客户和公共事业单位都更有用，既能支持节能行为也能改善网络规划。智能电表的功能还包括：支持先进的计费系统；电力供应的远程开关控制、流量及电力限制；以及对分布式发电的进口、出口和反应式计量（EC，2011）。这些功能使得更为复杂的计费和数据流成为可能，提高了分布式能源系统的系统友好性，进而为分布式能源系统的发展奠定了基础。

在第一波AMI的基础上，公用事业公司正在寻找一种方法来实现基于“大数据”的商业模式，这些数据来自更多的分布式发电和负载监测，增加能源消费者在电力市场的参与程度，并支持需求方的灵活性（IEA，2016a）。AMI提

供了一种方法，通过适当的电价设计来激励更智能的负载控制，同时也提供了在客户或电网中实现控制解决方案所需的数据。

2016年，智能电表是全球电力设施数字化投资的最大部分，超过150亿美元（IEA，2017b）。智能电表在世界各地的占有率有显著差异，有些国家没有重要的部署目标，有些国家如中国处于大规模部署的后期，而瑞典、意大利等国则几乎全部完成了智能电表的部署（Kelly and Elberg，2016）。在安装数量上，中国遥遥领先，2016年第三季度末达3.48亿只，占全球有记录安装量的67.1%（Kelly and Elberg，2016）。

不同地区每只电表的成本差异巨大，2016年中国和印度硬件加安装成本不超过75美元，法国和意大利大约为150~190美元，美国为225美元，日本大约为300美元（BNEF，2016）。

客户的接受度可能是智能计量应用的一个障碍，特别是对数据隐私和成本分摊的担忧。不同所有权的测量技术之间缺乏互用性属于技术障碍（Balmert and Petrov，2010）。智能计量同时还有经济性障碍：其带来的好处的不确定性，导致很难准确地进行成本—效益分析，因为其成本是确定的，但好处可能由不同的利益相关方分享（Balmert and Petrov，2010）。监管障碍是智能计量部署面临的又一个关键挑战，包括现有框架中已有的条款可能阻碍安装或者不健全的收费机制等（Balmert and Petrov，2010）。

2. 建筑级能量管理系统

能源管理系统（Energy Management Systems，EMS）是基于计算机、用于能源设备的控制系统，这既可以是家庭层面（HEMS），也可以是商业建筑物层面（BEMS）。虽然连接的设备、复杂度和繁琐度在不同的EMS类型之间有很大的区别，但从分布式能源的角度来看，它们的关键潜力在于提供一个或大或小的自动化系统，通过这个系统可以管理电力需求和其他分布式能源资源。

专栏2.2 · 荷兰前沿建筑

建筑占了全球能源消耗的很大比例，2015年占到能源消耗总量的31%。这一情况还将持续，预计2040年将轻微下滑到30%。虽然其中3/4是民用建筑，但商业建筑也是建筑能源需求的一个重要因素。商业建筑能源使用也是商业成本的一个重要组成部分。

位于荷兰阿姆斯特丹的前沿建筑拥有很多节能和提高用户舒适度的设计特点。承重墙的小开口用于提供热量，遮蔽，可开启的面板用于通风。这栋建筑的南立面上有太阳能板和百叶窗，用来遮阳。北部立面是透明的，允许光线进入，并且有厚玻璃来减少高速公路的噪音。建筑从屋顶收集雨水冲洗厕所，并在其天井和周围的花园中浇灌绿色的梯田。通到地下蓄水层的井可以使用地下热储存。屋顶上的太阳能电池板使得建筑可以提供清洁能源。

尽管该建筑容纳了大约2300名员工，但它只使用了1000个办公桌，使用的是“办公桌轮用制”这个概念，所有员工按照每天的需求来分配办公桌。这是该大楼的智能技术发挥作用的地方：员工通过智能手机应用与大楼互动，在那里他们可以输入个人的温度、灯光甚至咖啡的偏好。根据个人的工作需要，员工可以在任何时间选择不同的工作和社会环境。联网的发光二极管和传感器可以让建筑按照个人的喜好定制环境。总的来说，相比，与一般办公大楼前沿建筑可减少电力70%，展示了改进的建筑设计可以提高居住者的舒适度，同时减少能源消耗并节约成本。

资料来源: BRE (2017). BREEAM: The Edge, Amsterdam; IEA (2016c), World Energy Outlook 2016; Randall, T. (2015), The Edge Is the Greenest, Most Intelligent Building in the World

3. 数字技术、大数据和万物互联的创新

随着信息技术、通信技术、云计算、大数据分析处理等技术的不断推陈出新，数字化技术不断渗透能源系统，将继续推动着分布式能源数字化进程的深

入。同时，区块链等技术的出现及应用，使得分布式能源去中心化的数字化交易成为可能，为未来分布式能源基于社区甚至城市的交易奠定了基础。

4. 技术创新的角色

能源领域的技术创新还在持续，比如可再生能源、页岩气、页岩油等。分布式能源为能源创新提供了大量的可能。一方面，氢能等能源的开发与利用，离不开开拓性的技术创新。一旦取得技术突破，并随着技术的逐步成熟和商业化，对现有能源商业模式的冲击是显而易见的，比如氢气与燃料电池技术、储能等。另一方面，天然气、太阳能、风能、热泵等技术也将不断发展。此外，能源系统的智能化也取得了积极的进展，包括传感器、数据分析和控制软件等。

技术创新作为能源系统发展的主要推动力，不断改变着能源系统的面貌并将塑造未来综合能源系统的形态。而作为技术创新的产物，分布式能源可以很好地促进能源转型过程。新的商业模式可以支持和促进技术创新，同时有利于扩大技术创新的应用。技术变化和商业模式创新可以互相强化，互相支持。

二、分布式能源系统商业模式

按照第一章介绍的三个发展趋势（体现客户诉求、能源服务化和业态互联网化），可以对商业模式进行分类。第一类反映了能源消费者日益成为能源系统中活跃的一部分，即消费者和生产者的结合体，我们称为“生产型消费者”（prosumer）。第二类与能源服务公司（Energy Service Companies, ESCs）模式相联系，将关注点从提供商品转向提供服务。第三类趋势为业态互联网化，促进了前两类的强化：生产型消费者之间通过点对点的能源交易带来的直接联系以及通过大数据应用带来的智慧能源提供服务。

（一）生产型消费者

Page | 46

分布式能源系统的建设，相对于集中式系统投入更少，建设周期也更短。而且从一般的家庭级，到单体建筑级，社区级，再到工业园区级，分布式能源系统的规模根据需要可大可小，这使得新的参与者更容易进入能源领域。越来越多的工商业者和家庭可以通过自己的发电机满足能源需求。支持这一发展的主要商业模式就是，节约传统上从集中式能源系统购买能源的支出，并通过销售剩余能源获得收入。因此，生产型消费者模式的可行性和可持续性与两方面直接相关：一是电价机制的设计；二是生产型消费者的电力销售机制。

电价机制

历史上，零售电价的确定是基于这样一个假设，即消费者除了电网之外没有其他选择。而且还认为电力需求是相对固定的，特别是短期内，消费者在面对价格上涨并不会显著减少电力需求。在这种情况下，人们主要使用电量电价机制（Volumetric Price Recovery），即确定每千瓦时电量的价格，既包括了大部分的网络和能源成本，也包括了供应商的利润和税收。假设用得越多，对系统成本的影响越大，电量电价机制中的不同成本因素（比如电网维护成本）并不随着电量消费的变化而变化（IEA，2017c）^[5]。

现在，越来越多的消费者有了除电网之外的选择，他们根据电网的零售电价作为投资决策的依据。随着分布式能源成本的持续下降，其应用会越来越多。特别是对于新建和改建建筑，随着太阳能光伏板跟建筑材料相结合，其成本将进一步降低，在未来的应用也将更加广泛。

分布式光伏发电会提高消费自给水平，减少从电网购电，因此如果没有电价机制的改革，电网运营商的收入也会减少。随着时间的推移，对于那些没有分布式能源的用户来说，这可能会转化为电网购电价格的提高，因为分担成本

^[5] 本部分源自《电力系统转型 2017》（IEA，2017c）。

的消费者数量变少了^[6]。

在分布式能源比例较低的时候，这对零售电价的影响可能不是很明显（LBNL，2017）。但是随着分布式能源的发展，这种情况会带来一个问题：如何在不同消费者之间公平地分摊成本。这也会导致分布式能源发展的螺旋形上升，因为电网购电价格的提高会进一步提高自供电的经济性。另外，部门耦合可将其他部门的经济性信号和电力部门相联系，使得有可能使用不同的能源满足能源服务需求。比如，一个燃气热电联产电厂可以根据电力和热力的价格调整热电比，甚至还可以直接停机，使用电锅炉来用电供热。这就要求不同的能源间要有公平的竞争，包括同样能源服务要有类似的定价方式，以及相似的税收水平（IEA，2017c）。

随着分布式能源成本的降低，零售电价的设计要求对电网用户和分布式能源用户有公平和合理的刺激（IEA，2016e）。使用现代IT系统和新的估价方法可以更详细地计算每千瓦时电量在不同时间、不同地点的价值。而智能计量技术的使用，使得我们可以将这种价值信号及时传递给终端用户。准确反映了对整个系统成本影响的价格信号给需求侧强烈的刺激，告诉他们对电力系统何时、何地是最具有价值的。

生产型消费者的电力销售机制

分布式能源特别是分布式发电取得收益的机制，是促进这些技术使用的有利因素。传统的价格机制，比如净能量计量，是基于这样的假设：电网可以作为电力生产和家庭电力消费之间时间差的缓冲。家庭电力生产和消费被混在一起，最终只有一个电力账单。在净能量计量方法下，当地生产的电力按照零售电价来定价，因为家庭可以将电量“存”在账单周期内和周期间^[7]（IEA，

^[6] 需要注意的是，分布式光伏的全部好处经常不是在短时间内完全显示的。分布式光伏会在短期内导致公共事业公司收入受损，但是在经历短期的价格上涨之后，长期价格可能会降低（主要通过减少投资）。因此，需要从短期和长期两个方面来看待他们的影响。

^[7] 在净能量计量方法中，存下来的电量证明也有期限。当期限到期时，他们被视为“净超出电量”，一般会按照预先设定的费率记入客户名下，费率一般介于电网公司节约的购电成本和零售电价之间。

2016e)。净账单使用的是类似的理论，向电网出售的余电按照事先商定的价格从总电力账单中减去。在零售电价包含容量费率（volumetric rates）的地区，净能量计量就会遇到压力，因为分布式能源的业主对减少电网成本的贡献更高（低）。补偿分布式能源的第三种机制是上网电价，在这种情况下所有上网的电量按照政府制定的价格结算。

很多地区都转向使用基于价值的分布式能源补偿机制，这通常分为两类。第一类需要确定当前分布式能源的价值，然后再确定一个长期的补偿机制。有一种叫作“太阳能价值”（Value of Solar, VoS）的固定电价确定方式，是基于对价值的评估，包括能源服务、电网支撑以及燃料价格等因素。明尼苏达州是美国第一个采用“太阳能价值”定价方式的州，根据成本—收益分析和广泛的利益相关者咨询程序，确定一个25年的上网电价（包含通货膨胀因素）（Farrell, 2014）。第二类基于价值的分布式能源定价机制更为具体，反映不同时间和地点的价值。价格根据时间和地点变化，可以减少系统成本，因为这样给分布式能源企业更准确的价格信号。在建立一个对生产型消费者更友好的系统时，依然需要考虑公共事业公司的利益。

专栏2.3 · 美国萨克拉门托市政事业部分布式能源规划

加利福尼亚州历来支持可再生能源的开发，早在20世纪80年代，就通过税收抵免支持风电场开发。最近，随着能源委员会的新兴可再生能源计划的开始，加利福尼亚州重点支持分布式可再生能源。但是太阳能的广泛使用给电力系统带来了挑战。高太阳能发电在一天中减少了净需求，并造成日间需求和傍晚高峰之间的陡峭斜率。这也使得太阳能在白天削减出力，从而减少了它对整体减排的贡献。促进分布式能源资源（包括蓄电池储存和需求侧响应）是解决这些挑战的关键策略。然而，客户端或者第三方拥有的可再生能源资源增加也是现有公共事业

公司面临的挑战。这些资源可能造成闲置资产的风险，也会改变公用事业投资需求的数量和类型。

萨克拉门托市政事业部（Sacramento Municipal Utility District, SMUD）成立于1946年，是为萨克拉门托地区供电的社区非营利单位。SMUD估计，其客户目前每年在可再生能源资源上支出15亿~20亿美元，超过公司为满足加利福尼亚州50%可再生能源目标而投入到集中式可再生能源的预算支出。分布式能源带来了挑战，同时也提供了机遇，可以让客户有机会参与，提供新的产品与服务，并实现分布式能源资源收益（2017 SEPA/Veatch vol II）。SMUD进行了一项分布式能源资源整合的规划研究并提出相关程序，使公司可以在规划和操作中更好地考虑分布式能源资源。

分布式能源资源提出了一系列挑战，他们和配电网连接，对配电网有重要影响，但无论是规划还是操作上，却不受公司的管控。现在的问题是：公司是否能够并应该用更综合的方式控制分布式能源资源，这个角色是否应该由公司承担，或由一个新的组织比如第三方承担。

因此，公司面临着如何履行其传统职责，确保在不受其直接控制的、日益重要的电网资源情况，提供安全、经济和可靠的电力。SMUD整合分布式能源资源的研究尝试解决这些挑战，同时考虑了分布式能源资源可以给网络带来的好处。整合分布式能源资源的规划研究有五个主要目标：预测分布式能源资源在个人客户层面的应用；用模型研究对配电系统最显著的影响；量化在大系统中增长的影响；估算每个分布式能源资源技术对SMUD的净成本或效益；以及为所有部门提供更全面的分布式能源资源规划过程，打破组织竖井。因此，分布式能源资源整合强调了公司实际操作和规划决策时要考虑到分布式资源的必要性，并开始解决妨碍这一方式的制度障碍。

加利福尼亚州的政策环境是研究的关键。该州计划要求可再生能源在2020年占33%、2030年占50%的比例，这包含了对分布式能源的激励。要考虑的一个重要方

面是，SMUD是一个垂直整合的机构，拥有发电、输电和配电资产的组合以及管理与客户零售关系的职能。虽然，世界各地的许多电力部门为了在发电和零售环节引入竞争而经历了结构重组，但是，在整个电力部门中，从生产到销售的控制，都垂直整合在一家公司内，仍然具有规划方面的优势。SMUD关于分布式能源资源整合的研究是建立在综合资源规划之上的，这种规划一般只适用于垂直整合的机构。本案例指明了同时考虑分布式能源资源和集中式技术的整合方式的潜力，但考虑到行业的分类，我们也预期到它将面临额外的挑战。挑战可能存在于受管制的竞争性市场各部门间的接口，以及与电力行业不同部门积累的分布式能源资源的成本和收益。

资料来源: SEPA and Black & Veatch (2017a). Beyond the meter. Planning the distributed energy future—Volume I; SEPA and Black & Veatch (2017b). Beyond the meter. Planning the distributed energy future—Volume II

（二）能源服务公司模式

在这种模式下，分布式能源开发商通过电力销售合同或能源服务合同向消费者提供能源产品和服务，与之建立更为紧密的互动关系，并提高电网的灵活性。分布式能源投资方可以通过收益分享和节能保障两种模式来建立能源服务合同。收益分享模式下，根据事前规定的比例，成本和收益在能源服务提供方和用户间分配。而节能保障型模式下，需要能源服务公司承诺一定的节能量。

能源服务模式的成功很大程度上取决于市场机制，建立一个节能量、辅助服务和可再生能源配额的系统价值评估机制至关重要。值得指出的是，能源服务公司可以同时与多方伙伴建立灵活的合作机制。比如与电力公司、燃气公司等产业链相关公司合作，以降低风险；与相关技术和设备服务商开展多种形式的合作，可以减少项目投资和运营成本；与电网建立利益共享、风险共担机制，提高电网消纳积极性。

专栏2.4 · 合同能源管理的应用，江苏苏州

合同能源管理（Energy Performance Contracting, EPC），由能源使用主体与专业的能效服务公司签订节能目标，能效服务公司通过专业化的能源系统设计、建设、运营和管理，实现能效的提高，能源使用主体按照节能效益提供一定比例的服务支出，达到双赢的目标。远大公司根据具体情况的不同，提出了托管、运营、部分投资、全额投资、设备租赁等不同的模式，具有一定的灵活性。在中新苏州工业园月亮湾项目中，远大公司采用“DBFO，设计+建设+融资+运营”的商业模式，使用热电厂热电联产的余热蒸汽集中供热，以蒸汽为能源通过非电空调供冷。管网覆盖月亮湾及周边约11平方千米区域，年节省费用400万元。

资料来源: Broad (2017), 远大公司EMC案例

政府与社会资本合作（Public-Private Partnership, PPP）模式在中国备受关注，有助于推动分布式能源发展。在PPP模式下，私营和公共机构共享项目的风险和收益，将不同的风险分配给最合适的承担方。

专栏2.5 · PPP模式

政府与社会资本合作模式旨在通过公共事业部门和政府的参与，降低法规风险，突破自然垄断行业的第三方准入瓶颈，以便吸引私人投资进入分布式能源产业。PPP模式的成功之处在于将任务和风险分配给最有承担能力的相关方。政府、公共事业部门和私营企业在长期能源转型中，可以找到共同利益和合作愿景。从某种程度上讲，这种相对一体化的合作模式可以突破单个能源资源的局限，有利于从系统角度识别机会和突破挑战，保证商业模式的良性运作。同时，市场障碍多来自项目边界、所有权和职责激励等因素。PPP模式有助于理顺激励机制，从而提高各方能源系统效率。政府是规则的制定者，可以根据所在地区的具体情况，制定分布

式能源接入的规则条件。在地方政府能够直接参与项目投资的情况下，无疑可以有力地扫除分布式能源发展的诸多障碍。当然，地方政府也可以监督基础设施运营方和分布式能源供应方，根据当地条件自行谈判合同。中国的大型公共事业部门是履行能效指标和减排任务的主要承担者，他们也有动力与第三方分布式能源提供商合作，实现能源产品和服务的清洁高效转型。PPP模式里，传统的能源公共部门企业和分布式能源供应商需要通过谈判达成协议，关键是如何划分成本和收益。鉴于各种因素，分布式能源投资方可能会因为投资回收的不确定性而面临融资压力，在PPP模式下，政府可以推动市场创建担保基金或风险分担机制，帮助投资商降低融资成本。

此外，政府也可以通过诸如增值税减免等税收手段提供支持，推动金融部门将排放权交易和可再生能源配额等收益作为资产抵押，从而降低融资门槛。根据合作各方在项目不同阶段对资产所有权和维护权的不同，PPP模式可以有多种形式，比如建设—所有一运营（BOO，Build-Own-Operate）、建设—运营—转让（BOT，Build-Operate-Transfer）、设计—建设—融资—运营（DBFO，Design-Build-Finance-Operate）、建设—租赁—运营—转让（BLOT，Build-Lease-Operate-Transfer）等。BOO和BOT是两种最通用的模式。前者赋予私营企业投资、建设、运营和拥有项目资产的永久权利；而后者要求私营企业在规定运营时间后，将项目资产所有权转让给公共事业部门。

资料来源: Wadedwer and Patil (2015). “Comparative Study between PPP Mode of Contracts and EPC Mode of Contracts”

（三）互联网化的模式

将数字化技术应用到分布式能源中可以促进以上两种商业模式的创新。为了解理解数字化的影响，我们可以与互联网经济的商业模式进行类比。

1. 与互联网经济的联系

数字化带来的能源互联与互联网有很多相似之处，为将来构建具有互联网经济特征的分布式能源商业模式，提供了无限的发展空间。

- **点对点：**分布式能源系统和互联网本身都具有多源头、多终点的特点，使得他们可以进行点对点的联系。互联网允许信息双向流动，而通过在能源领域采用类似的多源头、多终点的方式，分布式能源系统也可以利用点对点的交换，不仅仅是数据，还包括能源。这使得生产型消费者可以进行直接交易。
- **中心优化服务：**互联网行业很多成功的商业模式都是基于中心平台，通过汇总消费者的大量信息来优化资产的使用。比如像Airbnb和Uber这样的平台，通过将供应和需求以一种更具创新性的方式联系在一起，从而更有效地使用资产并创造出价值。类似的，诸如Waze的导航系统通过使用用户的实时信息来优化交通流量。这个原则可以被用在能源行业，用来提高能源服务公司的服务的价值。

此外，也可以将这两点结合在一起，比如在一个小的分布式能源系统中有一个中心优化系统，并以点对点的方式交换能源和数据。

虽然分布式能源系统和互联网经济具有很多相似性，但他们之间还有很多不同点：

- **交互机理不同。**在日常的经济、社会 and 生活中，人与人、机器与机器、人与机器、各种不同类型的系统之间，每天都产生着大量的信息交互。信息既是交互的起点，也是交互的结果，具有强大的互联互通需求。换句话说，信息供应不仅得到满足，还产生新的信息需求。互联网经济的旺盛生命力也正是来源于此。相反，能源的交互需求来源于时空轴上能源的生产多于消费，与信息交互相比，这种交互的规模和数量相对有限。

- 边际成本不同。信息一旦生成，可以无限复制，共享的边际成本可以认为是零，而收益则是由其自身的知识产权、信息价值等决定。而能源的基本属性是守恒性，可以转化，但不能复制。能源的边际成本显然是远大于零的，这就为能源的共享提出了挑战。
- 存储成本不同。随着计算机软硬件技术的不断进步，信息的存储成本大幅降低，其边际成本逐渐趋于零，从而推动了大数据和云计算等技术的发展。而与之相反，电力存储的成本现在依然是其大规模推广的主要障碍，而且这种情况在未来也很有可能会持续。

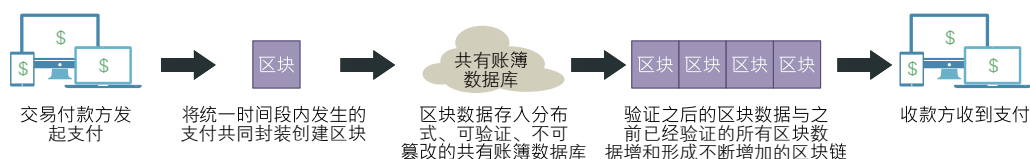
但是，这些不同点并不是绝对的，从下面的讨论可以看出他们之间还有很多有趣的共通点。

2. 点对点能源和区块链的能源

区块链本质上是一个分布式的账簿数据库，所有交易记录都会实时分发到每一个客户端进行共享。与传统的集中式数据库不同，数据区块链并不是保存在中央服务器且只有获得授权的特定用户可以访问，而是分布式存储，数据区块链被多次复制保存在点对点的网络中，所有交易参与者的终端都有数据区块链的备份、都可以获取目前交易的状态信息。而且，每个数据的修改需要得到网络内其他用户的验证，获得一致认可，分布式共有账簿数据库由参与交易的各方共同管理（Crosby et al., 2016）。区块链具有典型的去中心化特点，市场参与者可以进行点对点的交易，通过数据区块链进行验证和保存，无需第三方信用机构或中介机构的参与，既简化了交易的流程，又避免了由于中心节点受到恶意攻击而威胁交易安全，提高了交易的可靠性。而且，区块链采取基于时间轴的单向哈希算法，区块链中的每个区块包含前一时间段区块的哈希值，所有区块相连成为链，新增的区块用于强化前一个区块。时间的不可逆性保证了任何数据的篡改都具有可追溯性。而与其他客户端节点的实时共享，保证了任何被篡改的信息都将受到排斥，无法得到验证认可。信息不可篡改，提高了交易

的安全性。基于这些特点，货币、金融资产、权属登记等都可以通过区块链进行存储、管理及交易，在市场参与者之间建立信任，简化交易流程，降低交易成本，提高交易效率。

图2.10 · 区块链交易示意图



要点 · 区块链技术使得可以安全地以分布式的方式进行交易

随着分布式光伏、小型风机等分布式能源的装机容量不断增加，出现了越来越多的能源生产型消费者，当生产的能源超过生产型消费者自身需求时，与本地化能源用户之间进行能源交易的需求将不断增加。而且，这些交易具有额度小、频次高、参与者分散等特点。构建促成此类交易的平台，允许以较低的交易成本、较高的安全性进行大批量小规模的交易，可以有效提高分布式清洁能源的利用效率，更好地实现区域的能源平衡。服务于这一目的，基于区块链的平台越来越受到关注。区块链的网状结构与分布式能源系统的物理结构吻合，同时其去中心、信息高度透明、难以篡改的特点，又能满足分布式能源实时、动态、分散交易的要求，实现自动化、点对点交易，无需依赖电力公司等第三方中介机构。基于区块链的创新项目在过去几年迅速增长，其中，包括美国LO3 Energy的布鲁克林微电网项目、德国创业公司StromDao的自适应虚拟电厂项目（STROMDAO，2017）、德国电力集团RWE子公司innogy SE的电动汽车充电管理系统（Lielacher，2017）等。这些项目也受到了传统电力公司越来越多的重视，比如创业公司Conjoule GmbH在A轮融资中，得到了日本东京电力公司和Innogy SE 450万欧元的联合投资，用于开发基于区块链的能源交易平

台（Econotimes，2017）。但是，能源系统使用区块链技术也面临一系列障碍（IEA, forthcoming [Digitalisation report]）。

专栏2.6 · LO3 Energy 基于区块链的分布式能源交易平台

鉴于飓风桑迪等自然灾害在纽约造成的大规模停电，纽约州启动了名为“改革能源愿景（Reforming the Energy Vision, REV）”的全面改革战略。REV力求通过创新来解决经济、环境及电力供应保障等问题。REV计划的主要目标是，到2030年温室气体排放相对1990年减少40%，纽约州的可再生能源比率达到50%，建筑能耗相对2012年减少23%。为了实现这一转型，REV提出了包括支持清洁能源市场的监管改革，通过清洁能源基金激活市场，并通过创新技术打造行业领先的试点项目等措施，具体方式包括在核心能源系统中增加可再生能源的使用比例、提高能效、建设更有供应保障的分布式能源系统等。

基于这一行业背景，LO3 Energy与西门子合作提出了微电网解决方案及区块链技术的交易平台系统，为覆盖纽约布鲁克林区波伦山（Boerum Hill）、公园坡（Park Slope）、格瓦纳斯（Gowanus）社区的微电网提供服务。网内用户在其屋顶太阳能发电超过自身需求时，可销售给社区其他邻居，并以区块链虚拟货币来结算，实现用户从能源使用者到能源提供者的自由转换。从而，达到了共享清洁电力的目标，提高了可再生能源的使用率，并降低了其使用的成本。LO3 Energy已于2016年4月成功完成了第一单点对点的自动售电交易。安装在用户端的智能电表自动记录相关电力数据；交易基于区块链平台、将每个交易作为一个区块、登记在能源区块链上；系统通过提前设定的智能合约，以点对点交易的模式，自动管理、记录交易，以较低的成本实现交易；价格通过以能源消费者愿意支付的最高价格自动拍卖来确定。而且，布鲁克林微电网及区块链交易

平台不仅仅用于分布式能源交易。鉴于桑迪飓风在2012年造成的破坏，该项目计划在电网内安装电池存储单元，以便在自然灾害等的公共电网断电特殊时期，通过自动交易和管理，实现微电网内电力资源的最优分配，满足集中式电网修复期间的能源优化供应。目前，项目尚处于前期阶段，涵盖了安装智能电表的约50名用户。其目标是在2018年前拥有1000名参与者，并逐步扩大微电网与区块链交易平台系统的覆盖范围，使其发展成为应用更为广泛的智能城市解决方案。

资料来源: NYS (2017). Reforming the energy vision; Siemens (2017). A microgrid grows in Brooklyn

3. 中心优化服务

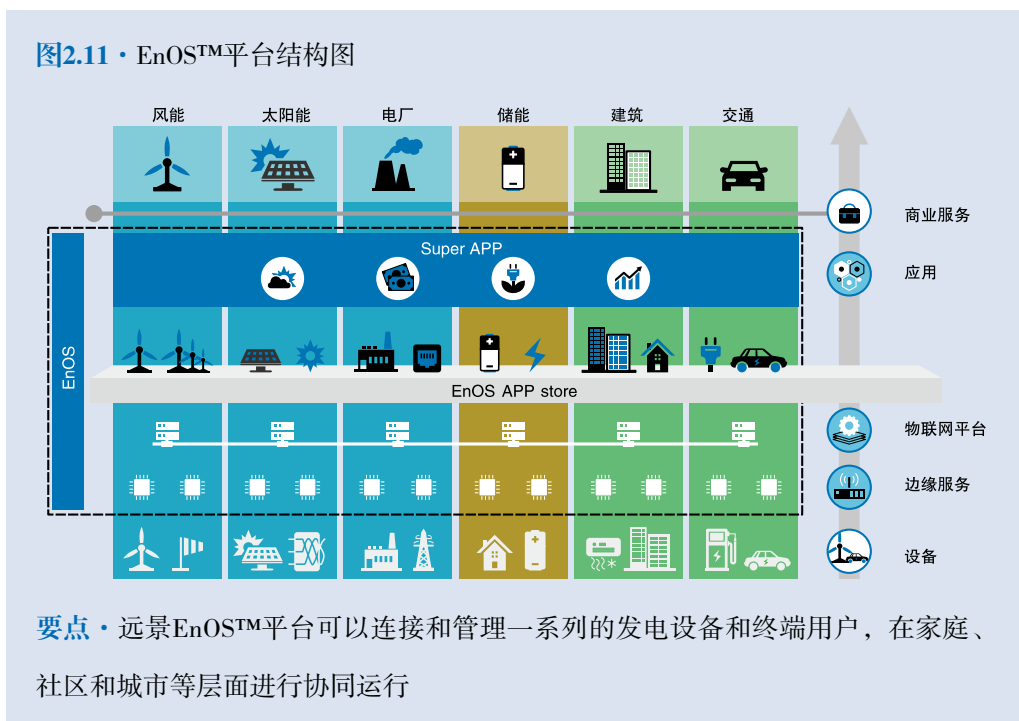
基于数字化互联的商业模式的主要优势就是可以收集大量的数据并进行分析，据此优化对现有资产的使用。中国已经有这方面利用的案例。

专栏2.7 · 远景能源物联网平台EnOSTM

远景能源是中国的一家大型风机制造商，其于2016年9月推出了能源物联网平台EnOSTM，利用物联网、云计算、大数据等先进技术，连接和管理各类发电、用电、储电、输配电设备，目标在于让每个家庭、社区，甚至每个城市的各类能源设备协同运行，可以显著降低发电侧投资成本，实现对负荷的精准监测和管理，根据市场动态来实现能源供需平衡。

该平台的主要优点是将能源系统中的不同部分更好地结合在一起并进行优化，可以很好地应用于分布式能源。目前该平台已经被一些公共事业公司和能源企业使用。

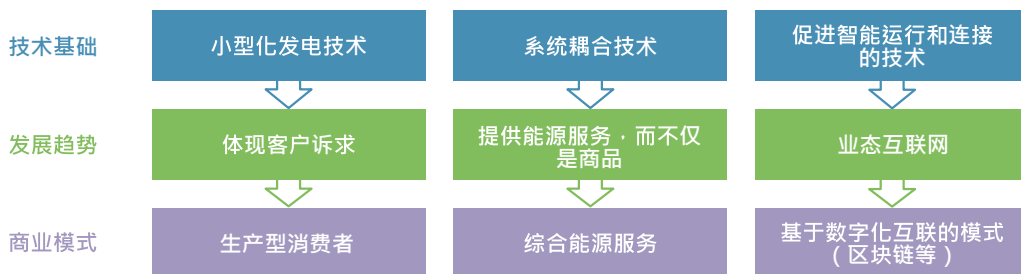
图2.11 · EnOSTM平台结构图



要点 · 远景EnOSTM平台可以连接和管理一系列的发电设备和终端用户，在家庭、社区和城市等层面进行协同运行

本章将第一章的三个发展趋势与技术因素相结合，讨论如何在实践中实现分布式能源系统的价值。现代分布式能源技术的三个不同方面带来了不同的发展趋势，并产生了不同的商业模式（图2.12）。

图2.12 · 分布式能源系统技术基础、发展趋势和商业模式关系图



要点 · 分布式能源系统的技术可以与其发展趋势相结合，形成独特的商业模式，促进分布式能源的发展

到目前为止，我们的讨论主要集中在分析分布式能源系统上。下一章的重点是进一步分析分布式能源在中国的情况。

参考文献

- Balmert, D. and K. Petrov (2010). “Regulatory aspects of smart metering”. http://erranet.org/wp-content/uploads/2016/03/KEMA_Issue_Paper_Smart_Metering_FINAL_eng.pdf.
- BNEF (Bloomberg New Energy Finance) (2016). “Digital energy market outlook”. www.bnef.com/core/insights/15297.
- BRE (2017). “The Edge, Amsterdam”. www.breeam.com/index.jsp?id=804.
- Broad (2017). 远大EMC案例. www.broad.com/ProductShow-14.aspx.
- BSRIA (Building Services Research and Information Association) (2017). World Renewables—Heat Pump Market, BSRIA, Bracknell, England.
- BWE (Bundesverband WindEnergie [German Wind Energy Association]) (2012). “Community wind power”. www.wind-energie.de/sites/default/files/download/publication/community-wind-power/bwe_broschuere_buergerwindparks_engl_10-2012.pdf.
- Crosby, M. et al. (2016). “BlockChain technology: Beyond bitcoin”. Applied Innovation Review, No. 2.
- EC (European Commission) (2012). Reduction of Legal-Administrative Barriers for PV System Installations in Europe. <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/pv-legal>.
- EC (2011). Set of Common Functional Requirements for the Smart Meter. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2011_10_smart_meter_funtionalities_report_full.pdf.

- Econotimes (2017). “Japan’s largest utility TEPCO invests in blockchain energy startup Conjoule”. www.econotimes.com/Japans-largest-utility-TEPCO-invests-in-blockchain-energy-startup-Conjoule-796070.
- Encraft (2009). Warwick Wind Trials Project Report. www.microwindturbine.be/Rapportering_files/Warwick+Wind+Trials+Final+Report+%281%29.pdf
- ENVISION(2017). 远景能源阿波罗光伏云. <http://www.envisioncn.com/apollo.aspx>.
- Euroheat&Power (2017a). “Country by country 2017: China”. www.euroheat.org/publications/country-country-2017/.
- Euroheat&Power (2017b). “Country by country 2017: Executive summary”. www.euroheat.org/publications/country-country-2017/.
- Farrell, J. (2014). “MinnesotaTimes New Romans value of solar: Can a northern state’s new solar policy defuse distributed generation battles?” Institute for Local Self-Reliance, Minneapolis, MN. <https://ilsr.org/wp-content/uploads/2014/04/MN-Value-of-Solar-from-ILSR.pdf>.
- GIZ (2016). Cogeneration & Trigeneneration—How to Produce Energy Efficiently: A Practical Guide for Experts in Emerging and Developing Economies. www.giz.de/fachexpertise/downloads/2016-en-energy-cogeneration-trigeneneration-guide.pdf.
- Gsänger, S. and J. Pitteloud (2015). “Small wind world report 2015”. http://small-wind.org/wp-content/uploads/2014/12/Summary_SWWR2015_online.pdf.
- GWEC (Global Wind Energy Council) (2017). “Global wind statistics 2016”. www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2016_EN_WEB.pdf.
- Hui, J. et al. (2017). “Analyzing the penetration barriers of clean generation technologies in ChinaTimes New Romans power sector using a multi-region optimization model”. *Applied Energy*, Vol. 185/2, pp. 1809-1820. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.034>.

- IEA (International Energy Agency) (2017a). Market Report Series: Renewables 2017. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017b). World Energy Investment 2017. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017c). Status of Power System Transformation 2017. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017d). Energy Technology Perspectives 2017. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017e). Global EV Outlook 2017. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2017f). Digitalization & Energy. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2016a). World Energy Outlook 2016. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2016b). Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2016c). Medium-Term Renewable Energy Market Report 2016. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2016d). World Energy Investment 2016. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2016e). Re-powering Markets: Market Design and Regulation during the Transition to Low-Carbon Power Systems. www.iea.org/publications/freepublications/publication/REPOWERINGMARKETS.pdf.
- IEA (2014a). Linking Heat and Electricity Systems Co-generation and District Heating and Cooling Solutions for a Clean Energy Future. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2014b). Heating without Global: Warming Market Developments and Policy Considerations for Renewable Heat. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2014c). Technology Roadmap: Energy Storage. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2011). Renewable Energy Markets and Prospects by Technology. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2008). Combined Heat and Power: Evaluating the Benefits of Greater Global Investment. OECD/IEA, Paris.
- IEA (2007). Biomass for Power Generation and CHP. OECD/IEA, Paris.

- IEA and Tsinghua University (2015). *Building Energy Use in China: Transforming Construction and Influencing Consumption to 2050*. OECD/IEA, Paris.
- IEA ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program) (2013). “District heating”. https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E16_DistrHeat_EA_Final_Jan2013_GSOK.pdf.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) (2017). *Costing Alliance*, dataset provided to the IEA. IRENA, Abu Dhabi.
- IRENA (2012). *Renewable Energy Cost Analysis: Biomass for Power Generation*. www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-BIOMASS.pdf.
- Kelly, M. and R. Elberg, (2016). *Executive Summary: Global AMI Tracker 4Q16 Section 1*. Research Report, Navigant Research.
- LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) (2017). “Putting the potential rate impacts of distributed solar into context”. LBNL, Berkeley.
- Lielacher, A. (2017). “Innogy charges new electric car fleet using Ethereum blockchain”, *Bitcoin Magazine*, 5 May. <https://bitcoinmagazine.com/articles/innogy-charges-new-electric-car-fleet-using-ethereum-blockchain/>.
- Moussawi, H., F. Fardoun and H. Louahlia (2017). “Selection based on differences between cogeneration and trigeneration in various prime mover technologies”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 74, pp. 491-511. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.077>.
- Moussawi, H., F. Fardoun and H. Louahlia-Gualous (2016). “Review of tri-generation technologies: Design evaluation, optimization, decision-making, and selection approach”. *Energy Conversion and Management*, Vol. 120, pp. 157-196. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.085>.
- Moya, J.A. (2013). “Impact of support schemes and barriers in Europe on the evolution

- of cogeneration”. *Energy Policy*, Vol. 60, pp. 345-355. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.048>.
- NBSC (National Bureau of Statistics of China) (2016). *China Statistical Yearbook 2016*. www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2016/indexeh.htm.
- NEA (2016). 推进能源清洁高效利用, 促进热电联产健康有序发展——解读 (关于印发<热电联产管理办法>的通知). http://www.nea.gov.cn/2016-04/18/c_135289349.htm.
- NYS (New York State), (2017). *Reforming the Energy Vision website*. <https://rev.ny.gov/>.
- Olivares-Galvan J.C., E. Campero-Littlewood and S. Magdaleno-Adame (2016). “Review paper on wireless power transmission”. *International Journal of Science and Research*, Vol. 5/2. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6702725/>.
- Pitteloud J. and S. Gsänger, (2017). *Small Wind World Report 2017*. http://small-wind.org/wp-content/uploads/2014/12/Summary_SWWR2015_online.pdf.
- Randall, T. (2015). “The Smartest Building in the World”. www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building.
- RenSMART (2017). “Solar PV comparison table”. www.rensmart.com/Products/SolarPV.
- SEPA (Smart Electric Power Alliance) and Black & Veatch (2017a). *Beyond the Meter: Planning the Distributed Energy Future. Volume I*, <https://sepapower.org/resource/beyond-the-meter-planning-the-distributed-energy-future-volume-i/>.
- SEPA and Black & Veatch (2017b). *Beyond the Meter: Planning the Distributed Energy Future. Volume II*, <https://sepapower.org/resource/beyond-meter-planning-distributed-energy-future-volume-ii/>.
- Shaw, S. et al. (2008). “Status report on small wind energy projects supported by the Massachusetts Renewable Energy Trust”. <http://archives.lib.state.ma.us/>

handle/2452/335409.

Siemens (2017). “A microgrid grows in Brooklyn”. www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/energy-and-efficiency/smart-grids-and-energy-storage-microgrid-in-brooklyn.html.

StromDAO (2017). <https://stromdao.de/innovation/start>.

US DOE (United States Department of Energy) (2017). “Cost and price metrics for automotive lithium-ion batteries”. US DOE, <https://energy.gov/sites/prod/files/2017/02/f34/67089%20EERE%20LIB%20cost%20vs%20price%20metrics%20r9.pdf>.

Wadedwer, A. and S. Patil (2015). “Comparative study between PPP mode of contracts and EPC mode of contracts”. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, Vol. 3/12.

Weiss, W., M. Spörk-Dür, and F. Mauthner (2017). *Solar Heat Worldwide*. www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2017-06-02/solar-heat-worldwide-2017.pdf.

Yan, B. et al. (2016). “Gas-fired combined cooling, heating and power (CCHP) in Beijing: A techno-economic analysis”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 63, pp. 118-131, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.036>.

Yaqoot, M., P. Diwan and T.C. Kandpal (2016). “Review of barriers to the dissemination of decentralized renewable energy systems”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 58, pp. 477-490, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.224>.

第三章

中国分布式能源发展状况

上一章介绍了现代分布式能源系统的有关情况，包括技术发展和商业模式。为了理解现代、清洁、高效的分布式能源在中国的前景，需要深入理解分布式能源在中国的发展历程。因为从传统角度来看，天然气分布式能源和分布式可再生能源有很大不同，我们将分开讨论。首先，将分析不同技术的前景，以及关于智能技术的现状和前景。然后，将评估当前分布式发展面临的主要障碍。

一、分布式能源历史和现状

（一）分布式能源在中国的历史

自20世纪80年代，热电联产作为分布式能源的雏形被引入中国，并在国家的支持下取得了长足的发展。但由于天然气供应不足和价格偏高等因素限制，中国的热电联产主要以燃煤为主。中国真正意义上的分布式能源是从2000年之后开始的，但在2010年之前中国并未针对分布式能源出台专门的产业政策。

进入“十二五”时期，以分布式天然气和分布式光伏为代表的分布式能源发展明显加快，有关分布式能源的产业政策也密集出台。2011年10月，国家发展改革委、财政部、住房城乡建设部、国家能源局联合发布《关于发展天然气分布式能源的指导意见》（NDRC et al., 2011），首次提出了天然气分布式能源的发展目标和具体的政策措施。2013年7月，国家发展改革委印发了《分布

式发电管理暂行办法》（NDRC，2013），首次对分布式发电进行了定义，并对分布式发电项目建设、电网接入、运行管理等提出要求。此外，国家发展改革委等部门还印发了关于分布式光伏、分散式风电、新能源微电网等一系列政策措施，有关地方政府也发布了相关配套文件。在此过程中，虽然并未直接使用“分布式能源”的说法，但相继提出了一系列以分布式为特征的能源利用方式，包括：

- 分布式发电：指在用户所在场地或附近建设安装、运行方式以用户端自发自用为主、多余电量上网，且在配电网系统平衡调节为特征的发电设施或有电力输出的能量综合梯级利用多联供设施。
- 天然气分布式：利用天然气为燃料，通过热、电、冷三联供等方式实现能源的梯级利用，综合能源利用效率在70%以上，并在负荷中心就近实现能源供应的现代能源供应方式。
- 分布式光伏：在用户所在场地或附近建设运行，以用户侧自发自用为主、多余电量上网且在配电网系统平衡调节为特征的光伏发电设施。
- 分散式风电：位于用电负荷中心附近，不以大规模远距离输送电力为目的，所产生的电力就近接入电网，并在当地消纳的风电项目。
- 新能源微电网：是基于局部配电网建设的，风、光、天然气等各类分布式能源多能互补，具备较高新能源电力接入比例，可通过能量存储和优化配置实现本地能源生产与用能负荷基本平衡，可根据需要与公共电网灵活互动且相对独立运行的智慧型能源综合利用局域网。
- 多能互补集成优化示范工程：一是面向终端用户电、热、冷、气等多种用能需求，因地制宜、统筹开发、互补利用传统能源和新能源，优化布局建设一体化集成供能基础设施，通过天然气热、电、冷三联供、分布式可再生能源和能源智能微网等方式，实现多能协同供应和能源综合梯级利用；二是利用大型综合能源基地的风能、太阳能、水能、煤炭、天然气等资源组合优势，推进风光水火储多能互补系统建设运行。

上述产业政策的出台充分体现了中国能源部门对发展分布式能源的重视，也体现了分布式能源灵活多变的特点。随着技术的进步和商业模式的创新，分布式能源的实现形式也将越来越多样化（表3.1）。

表3.1 · 中国分布式能源有关政策

序号	标题	类别	单位	时间
1	能源发展“十三五”规划	规划	国务院	2016年12月
2	能源生产和消费革命战略 (2016—2030)	规划	国家发展改革委员会	2016年12月
3	电力、天然气等“十三五”发展 规划	规划	国家发展改革委员会、国家能源局	2016年
4	《关于进一步深化电力体制改革的 若干意见》及其配套文件	改革	中共中央、国务院	2015年3月
5	关于深化石油天然气体制改革的 若干意见	改革	中共中央、国务院	2017年5月
6	分布式发电管理暂行办法	产业政策	国家发展改革委	2013年7月
7	关于发展天然气分布式能源的指 导意见	产业政策	国家发展改革委员会、国家能源局、 住房和城乡建设部、财政部	2011年10月
8	关于下达首批国家天然气分布式 能源示范项目的通知	产业政策	国家发展改革委员会、国家能源局、 住房和城乡建设部、财政部	2012年6月
9	天然气分布式能源示范项目实施 细则	产业政策	国家发展改革委员会、国家能源局、 住房和城乡建设部	2014年11月
10	关于规范天然气发电上网电价管 理有关问题的通知	产业政策	国家发展改革委员会	2014年12月
11	关于印发分布式光伏发电项目管 理暂行办法的通知	产业政策	国家能源局	2013年11月
12	关于分布式光伏发电实行按照电 量补贴政策等有关问题的通知	产业政策	财政部	2013年7月
13	关于进一步落实分布式光伏发电 有关政策的通知	产业政策	国家能源局	2014年9月
14	关于推进分布式光伏发电应用示 范区建设的通知	产业政策	国家能源局	2014年11月
15	分散式接入风电项目开发建设指 导意见	其他	国家能源局	2011年11月
16	关于推进新能源微电网示范项目 建设的指导意见	其他	国家能源局	2015年7月
17	推进并网型微电网建设试办法	其他	国家发展改革委员会、国家能源局	2017年7月

续表

序号	标题	类别	单位	时间
18	关于印发新能源微电网示范项目名单的通知	其他	国家发展改革委员会、国家能源局	2017年5月
19	关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见	其他	国家发展改革委员会、国家能源局	2016年7月
20	关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见	其他	国家发展改革委员会、国家能源局、工业和信息化部	2016年2月
21	关于促进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	其他	国家能源局	2016年6月
22	电动汽车充电基础设施发展指南（2015—2020年）	其他	国家发展改革委员会、国家能源局、工业和信息化部、住房城乡建设部	2015年11月
23	关于公布首批多能互补集成优化示范工程的通知	其他	国家能源局	2017年1月
24	加快推进天然气利用的意见	其他	国家发展改革委、国家能源局等13部门	2017年6月

（二）天然气分布式能源的发展现状

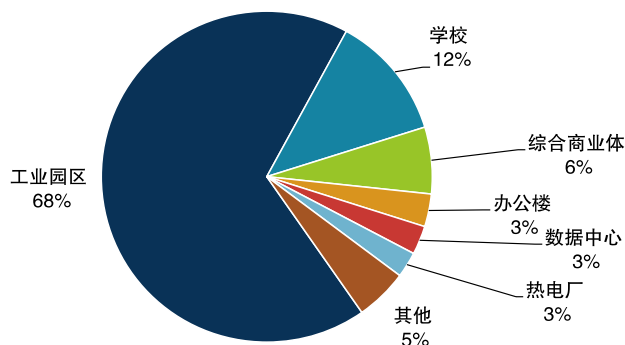
自2003年前后，中国陆续开始建设天然气分布式能源站，先后建成了北京燃气大厦调度中心、上海浦东机场、上海黄浦区中心医院等项目。近十几年，中国政府一直在持续推动天然气分布式能源的发展。据国家能源局不完全统计，2015年底中国已建天然气分布式能源项目约121个，装机规模约140万千瓦。

随着中国电力体制改革的推进，包括政府职能与企业职能的分离、发电与输配电网分离以及电力交易市场化平台的建立，中国天然气分布式能源发展将进一步加速。中国政府相继出台了一系列支持天然气分布式能源发展的政策。根据中国的能源发展“十三五”规划（NDRC and NEA, 2016a），中国将实施“天然气消费提升计划”，以民用、发电、交通和工业等领域为着力点，鼓励提高天然气消费。预计“十三五”期间，天然气消费将年均增长13%，2020年达3500亿立方米。根据国家统计局统计，2017年上半年全国天然气表观消费量

1160亿立方米，同比增速达到13.5%。从气源供应方面看，目前中国国产气、进口管道气、液化天然气的供应格局基本形成，预计2020年和2030年天然气供应能力将分别达到3600亿立方米以上和6500亿立方米。

中国天然气分布式能源的主要用户为工业园区、综合商业体、数据中心、学校和办公楼、综合园区等，这些用户对冷、热、电存在较大且较稳定、连续的需求。为这些用户供能的项目约占行业总装机规模的97%，数量的72.5%，其中工业园区装机约占行业总装机规模的67.7%（图3.1）。中国的楼宇型、区域型天然气分布式能源项目在数量上几乎各占一半。各类园区、综合商业体等建筑由于具有比较稳定的电、冷、蒸汽需求，动力设备以燃气轮机、燃气—蒸汽联合循环为主，医院、学校、酒店、办公楼等楼宇型项目由于能源需求较小且波动较大，动力设备以燃气内燃机和微燃机为主。

图3.1 · 2015年天然气分布式能源不同类型项目装机容量占比图



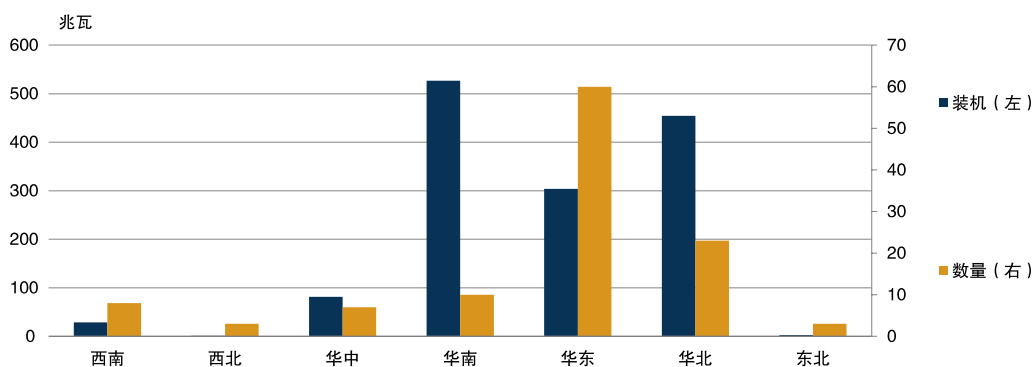
要点 · 工业园区是天然气分布式能源的主要客户

资料来源：NEA

从全国各区域装机容量看，截至2015年底，华南、华北、华东地区是装机容量占比最大的地区，三地区约占全国总装机容量的92%。相对而言，华中、西北、西南地区分布式能源项目也在逐渐增加，但所占比重在总规模中仍无明显

显变化，地区发展不平衡的现象较明显。从数量来说，天然气分布式项目主要位于东部、北方和南方，占全国的82%（图3.2）。中国已建成投产部分天然气分布式能源项目，主要分布在上海、北京、长沙、广州等大中型城市。

图3.2 · 2015年不同区域天然气分布式能源项目数量和装机



要点 · 南方地区装机最高，而东部地区数量最多

资料来源：NEA

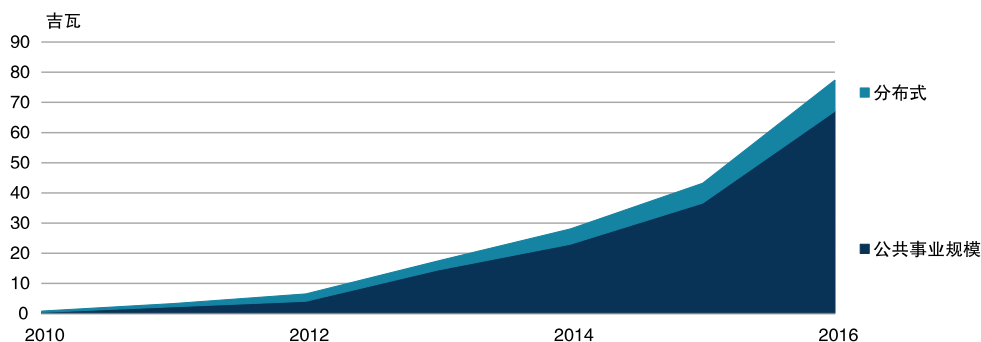
目前中国天然气分布式能源发展仍存在盈利性不佳、配套政策不完善以及核心技术未突破等问题。天然气分布式能源的上网电价政策和补贴机制也在继续完善中，并网服务也在进一步落实。

（三）分布式可再生能源的发展现状

1. 分布式光伏

2016年，中国新增光伏发电装机3422万千瓦，连续四年位居全球第一，其中地面电站3048万千瓦，分布式电站373万千瓦；累计装机容量达7742万千瓦，居全球第一，其中光伏电站6710万千瓦，分布式1032万千瓦（图3.3）；光伏全年发电量662亿千瓦时，占全年总发电量的1%（IEA，2017a）。

图3.3 · 中国光伏装机增长情况，2010—2016年



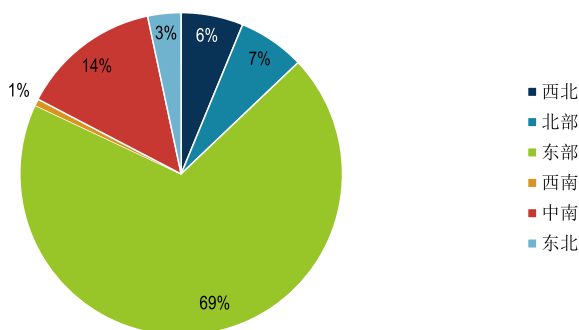
要点 · 到目前为止，中国的光伏主要以大规模集中式为主

资料来源: IEA (2017), Renewable Energy Market Report

就分布而言，光伏发电总体在向中东部地区转移。2016年全国新增光伏发电装机中，西北地区为974万千瓦，占全国的28%；西北以外地区为2480万千瓦，占全国的72%；中东部地区新增装机容量超过100万千瓦的省份达9个。

就装机而言，分布式光伏发电装机增长比集中式光伏电站要快，2016年新增装机容量比2015年增长200%。中东部地区分布式光伏有较大增长，新增装机排名前5位的省份是浙江、山东、江苏、安徽和江西（图3.4）。

图3.4 · 2016年分布式光伏装机增长情况



要点 · 中国分布式光伏主要集中在东部地区

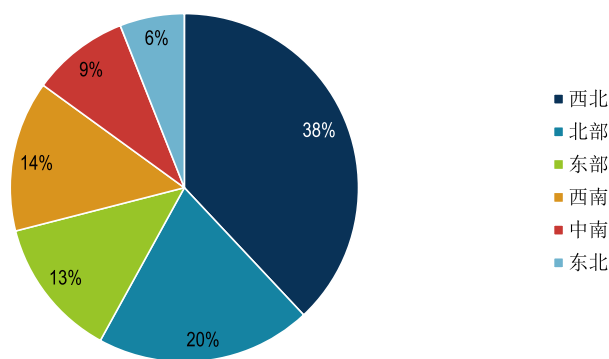
资料来源: NEA (2017a), 2016年光伏发电统计信息

2. 风电

传统上，风电主要以大型风力发电机组为主，但是人们也一直在努力发展小型风机。在这里我们讨论风电的发展，是为了说明集中式开发所带来的挑战，以及分布式发电可以如何帮助化解这些挑战。在中国，风电的分布式发展指的是较小规模的机组，而不是那种装机几百兆瓦的大型风电基地。

2016年，中国风电市场在历经多年的快速增长后步入稳健发展期，全年新增装机2337万千瓦，同比下降24%；累计装机容量达到1.47亿千瓦（IEA，2017），继续保持全球风电装机容量第一的地位。截至2016年年底，中国有30个省、市、自治区（不含港、澳、台）有了自己的风电场，风电累计装机超过1吉瓦的省份超过11个，其中超过2吉瓦的省份9个（NEA，2017a）。虽然风电并网速度不断加快，但是并网困难问题依然存在，弃风成为风电发展的新难题（图3.5）。

图3.5 · 2016年中国各地区风电装机情况



要点 · 中国风电装机集中在北部和西北部地区

资料来源: NEA (2017b), 2016年风电并网运行情况

进入“十三五”以来，中国能源主管部门提出了集中式开发和分散式开发并重的发展思路，以及相应的管理办法。一些内陆地区开始因地制宜规划风电开发项目，为中小型风电投资企业带来了机会。

3. 太阳能热利用

近几年，中国太阳能热利用规模持续扩大，应用范围也不断拓展。太阳能热利用行业形成了从材料、产品、工艺、装备到制造的全产业链。截至2015年底，中国太阳能集热面积保有量达到4.4亿平方米，年生产能力和应用规模均占全球70%以上，多年保持全球太阳能热利用产品制造和应用规模最大国家的地位。太阳能供热、制冷及工农业等领域应用技术取得突破，应用范围由生活热水向多元化生产领域扩展。

作为分布式利用的一种形式，太阳能热利用的发展受到越来越多的重视和鼓励，在采暖、制冷应用市场潜力巨大。《太阳能发展“十三五”规划》（NDRC and NEA, 2016b）明确将进一步推动太阳能热水利用。今后，结合新能源示范城市和新能源应用产业园区以及绿色能源示范县、区建设，开展太阳能干燥、工业热水、水产养殖、温室培育和种植、大棚恒温等工农业应用示范项目，太阳能热利用将有更大的发展空间。

4. 生物质能

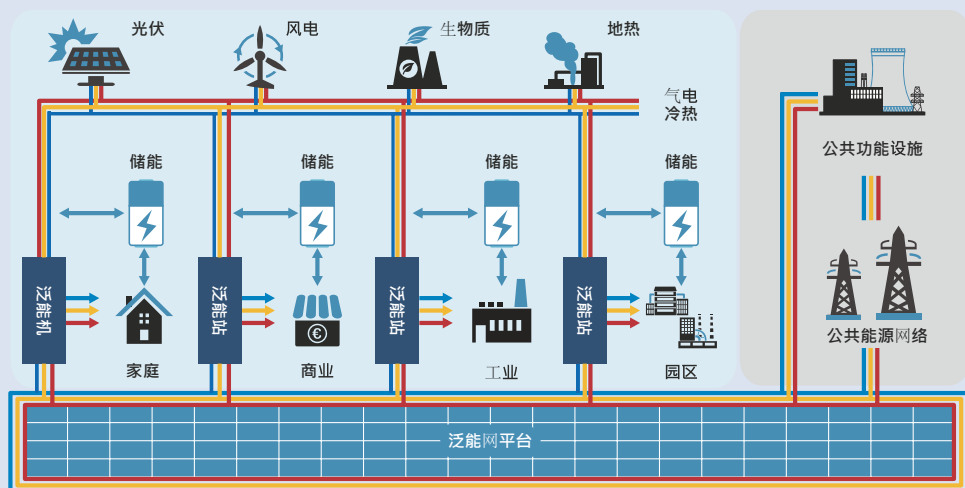
中国幅员辽阔，人口众多，生物质资源丰富。但从分布来看，各省分布不平衡，约一半以上的生物质资源集中在四川、河南、山东、安徽、河北、江苏、湖南、湖北、浙江等省，广大的西北地区和其他省区相对较少。国际能源署即将发布的《中国区域能源系统：评估方法和商业模式》将讨论固体生物质在中国区域供暖中的前景。

当前，中国在生物质能开发、技术、利用等方面与西方发达国家还存在一定差距。国家能源局《生物质能发展“十三五”规划》（NDRC and NEA, 2016c）提出，到2020年生物质能要基本实现商业化和规模化利用；生物质能年利用量达到约5800万吨标准煤；生物质发电总装机容量达到1500万千瓦，年发电量900亿千瓦时，其中农林生物质直燃发电700万千瓦，城镇生活垃圾焚烧发电750万千瓦，沼气发电50万千瓦；生物天然气年利用量80亿立方米；生物液体燃料年利用量600万吨；生物质成型燃料年利用量3000万吨。

专栏3.1 · 多能互补项目：中德生态园泛能网项目，青岛，山东

项目位于山东省青岛市，为中国首批多能互补集成优化示范项目、新能源微电网示范项目。规划面积11.59平方千米，涵盖工业、商业、居民等多种业态。新奥打破传统分项能源规划模式，开展泛能规划，并同城市规划紧密结合，实现荷—源—网—储整体优化布局。一是优化需求侧，融合仿生通风、建筑节能等技术，发展绿色建筑、降低能耗。二是多能互补、多技术集成，充分利用当地太阳能、地热能、生物质能及余能，结合储能等技术，支撑能源清洁低碳、高效转化。三是动态供需重构，匹配园区近、中、远期负荷增长，近中期基于负荷条件建设规模适宜的泛能站，远期将各类能源设施互联互通、协同供能，构建园区泛能网，利用泛能网运营调度交易平台进行整体优化匹配，降低投资和能源消费成本，支撑园区泛能网高效运行。目前2个泛能站已建成投运并联通。项目全部建成后，能源综合利用效率将达到80%以上，可再生能源利用率达到20%以上，单位GDP能耗0.23吨标准煤/万元，碳排放强度220吨CO₂/百万美元。

图3.6 · 新奥泛能网示意图



要点 · 泛能网将信息网络与能源基础实施和负荷综合在一起，通过使用大数据和智能控制系统，来提高效率并优化系统运行

二、发展潜力

（一）天然气分布式能源的发展潜力

1. 天然气分布式能源市场需求

近年来，尤其是2015年天然气门站价格下调以后，天然气分布式能源越来越多地得到终端用户的青睐。从近年来的新增项目用户可以看出，越来越多的工业园区、数据中心、办公楼、宾馆、机场、学校等将天然气分布式能源作为优先考虑的用能选择。

当前，中国正在经历新型城镇化的发展历程，人们对冷热的需求逐渐提高。例如南方地区居民冬季的热需求也越来越受到重视。这一部分潜在需求未来也有希望通过天然气分布式能源来满足。而中国南方地区夏季的制冷需求也为发展分布式能源提供了一个优势，因为这有助于提高夏季的天然气需求，而减少中国目前巨大的天然气需求季节差异。根据《中国天然气发展报告2017》（NEA etc., 2017），2016年中国天然气冬季和夏季平均需求比达1.7 : 1。与此同时，天然气储备调峰能力严重不足，导致部分气井夏季不得不限产。而南方地区制冷需求的高峰出现在夏季，与北方冬季的取暖需求可以形成良好的互补，减少储备能力投资的需求。

总之，随着中国经济和社会的发展以及用户经济承受力和环保意识的提高，天然气分布式能源需求有望迎来强劲的增长。

2. 天然气资源和供应

中国拥有相对丰富的常规和非常规天然气资源。根据国际能源署数据，截至2016年底中国天然气剩余技术可采储量5.44万亿立方米。中国还拥有多元化的进口渠道，包括陆上的中国—中亚天然气管道（ABC三线合计运输能力达550亿立方米/年）、中缅天然气管道（运输能力120亿立方米/年）和东部沿海LNG接

收站（2016年累计接收能力为4680万吨/年，约合646亿立方米/年），中俄东线天然气管道也在建设之中。如果这些天然气管道项目按期投产，在接下来的几年内，天然气进口基础设施将不会成为国内天然气消费增长的制约因素。

根据《天然气发展“十三五”规划》（NDRC and NEA, 2016d），到2020年中国国内天然气综合供应能力将达到3600亿立方米以上（国产+进口）。资源储量和基础设施也将有力支撑这一目标的实现。储量方面，到2020年常规天然气累计探明地质储量将达16万亿立方米；页岩气累计探明地质储量超过1.5万亿立方米；煤层气累计探明地质储量超过1万亿立方米。基础设施方面，到2020年天然气主干及配套管道总里程达到10.4万公里，干线输气能力超过4000亿立方米/年；地下储气库累计形成工作气量148亿立方米。这些天然气资源和基础设施为国内天然气消费提供了较为稳定的资源和供应保障。

3. 天然气分布式能源技术发展和成本变化

虽然天然气分布式能源在中国起步较晚，但也已取得长足进步，包括在关键的设备制造领域。目前中国企业已经开始与国外制造企业成立的合资公司在中国生产航改型燃气轮机，近年来生产成本在不断下降。中科院苏州金鸡湖天然气分布式能源项目采用了中科院最新研制的具有自主产权的燃气轮机（Yang, 2016）。

4. 天然气分布式能源商业模式日臻成熟

经过近20年的发展，中国天然气分布式能源已经逐渐形成了多元化的商业模式。首先，很多企业通过一系列措施来控制成本，克服气价高、设备贵的困难。这些措施包括热电冷配比选择优化、设计优化、设备集成优化等。其次，越来越多的企业选择利益方共同参股的方式来降低供气、用地成本等，并保障项目的长期稳定性。再次，很多项目通过拓展周边用户形成网络化供能，并通过信息化控制将项目的能源利用效率最大化，提升用户的用能品质和项目经济性。商业模式的完善是未来天然气分布式能源发展的重要内生动力。

5. 政府对天然气分布式能源的支持

中国政府提高天然气消费占比的目标为天然气分布式能源的发展创造了良好的发展环境。在《天然气发展“十三五”规划》（NDRC and NEA, 2016d）中，“天然气发电及分布式能源工程”和“大气污染治理重点地区等气化工程”“交通领域气化工程”“节约替代工程”一起被视作四大天然气利用工程。在“十三五”期间，政府“鼓励发展天然气分布式能源等高效利用项目，有序发展天然气调峰电站，因地制宜发展热电联产”。2020年天然气发电装机将达到1.1亿千瓦以上，占发电总装机比例超过5%。出于减少空气污染和节能减排目标，不少地方政府也制订了因地制宜的支持政策。

6. 天然气分布式能源发展潜力预测

根据国家发改委等四部委2011年发布的《关于发展天然气分布式能源的指导意见》，“到2020年，在全国规模以上城市推广使用分布式能源系统，装机规模达到5000万千瓦，初步实现分布式能源装备产业化”。但根据目前投产和在建的天然气分布式能源项目情况来看，在2020年实现5000万千瓦装机的目标存在较大难度。

《电力发展“十三五”规划》（NDRC and NEA, 2016a）提出要大力发展天然气分布式发电，到2020年达到1500万千瓦的装机目标。“十二五”期间中国天然气消费年均增长12.4%。按照“十三五”末天然气消费量达到3600亿方估算，“十三五”期间年均增速将为13%。一般来说，作为天然气高效利用的最佳方式之一，天然气分布式能源发展速度会高于天然气消费增长速度。因此，2020年天然气分布式能源装机容量将极有可能超过1500万千瓦。

分布式天然气的前景取决于能否以高效、智能化和综合的方式发展。这意味着，如能在分布式能源系统中，将天然气分布式能源与其他能源更好地整合在一起，不仅有助于天然气分布式能源发展目标的实现，也有助于促进整个能源系统的发展。

专栏3.2 · 日本基于城市燃气的住宅燃料电池系统

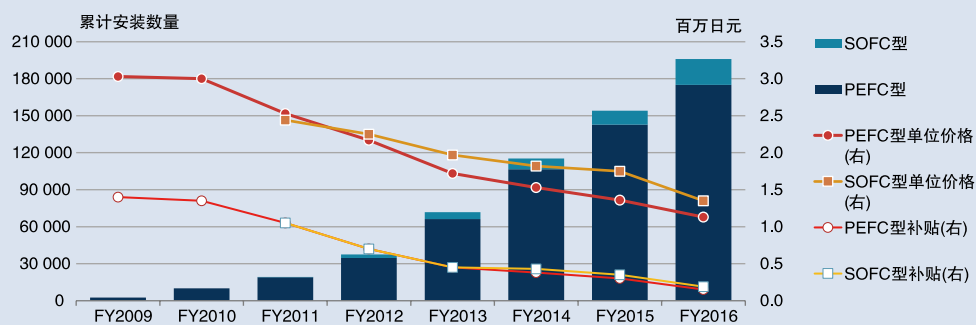
截至2017年5月，在日本共安装了20万台基于城市燃气的燃料电池微型热电联产系统，其标准名称为“ENE·FARM”，主要用于住宅的供电及供热。ENE·FARM以城市燃气或丙烷气体作为燃料，通过燃料电池的电化学反应来发电，可以提供约700瓦的电能和热量。ENE·FARM有两种类型，一种是质子交换膜燃料电池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEFC），另一种是固体氧化物燃料电池（SOFCs, Solid Oxide Fuel Cell, SOFC），都需要使用氢气作为燃料。氢气由包含在燃料电池系统单元中的脱硫装置和重整装置对城市燃气重整转化而来。ENE·FARM通过燃料电池发电满足住宅的各种电力需求，电化学反应产生的热量可以回收利用，以热水的形式存储在热水罐中，为家庭提供厨卫热水及供暖。

ENE·FARM在住宅等消费终端发电和供热，电网损耗和热损失等能源损耗远低于集中式系统，能源综合利用率达到80%以上。与集中式燃气发电加燃气锅炉供热相比，ENE·FARM的能源使用效率更高，可以降低二氧化碳排放、减少一次能源的消耗。

2009年，第一台ENE·FARM推入市场，实现了住宅型燃料电池微型热电联产系统的成功商业化。PEFC型ENE·FARM从2009年开始进入市场，到2016年底迅速增长到了近18万台。在PEFC型ENE·FARM之后，SOFC型ENE·FARM于2012年进入市场，其发电效率更高，最新型号的SOFC型ENE·FARM比PEFC型ENE·FARM效率高出约50%。两者相加，整个市场的销量在2016年底增加到20万台左右。随着ENE·FARM生产数量的增加，其销售单价不断下降，从2009年的每条约300万日元（32000美元）下降到2016年的每条约100万日元（9000美元）。为了促进ENE·FARM的应用，日本政府提供补贴以减少客户的初始投资。随着市场的成熟度增加，补贴额也在不断下降，从2009年的每台近150万日元（16000美元），减少到2016年的每条约15万日元（140美元）。当然，如果要完全取消补贴，还需要进一步降低ENE·FARM的生产成本。

氢燃料电池具有零排放、无污染、高效率的特点。但是，由于氢气的生产、储存和运输等产业链还处于前期发展阶段，大面积推广氢燃料电池系统的各种终端应用仍面临不少挑战。ENE·FARM基于现有的城市燃气系统。城市燃气公司从单一的一次能源供应商，从而转型成为综合能源产品和服务的提供商。

图3.7 · 2009—2016年累计安装台数、单台价格和单台补贴



要点 · 近年来，ENE·FARM燃料电池市场迅速发展

资料来源: METI (2017), Current State of the Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells

（二）分布式可再生能源发展潜力

1. 分布式可再生能源需求增长迅速、成本下降迅速

当前，利用可再生能源的观念已深入人心。除工商业外，分布式光伏已经成为越来越多家庭用户的选择。随着“光伏扶贫”计划的实施（NDRC, 2016），光伏还在广大的农村地区生根发芽。可以说，分布式光伏已经渗透至更多的用户领域。

随着光伏市场的规模化发展和技术进步，其成本也在迅速下降。中国将逐步由光伏制造大国向光伏需求大国转变。风电的情况也与此类似。

2. 发展可再生能源得到政府大力支持

根据《能源发展“十三五”规划》（NDRC and NEA, 2016b），到2020年非化石能源消费比重将进一步提高到15%以上（2015年为12%）。其中，《太阳能发展“十三五”规划》提出，到2020年底太阳能发电装机将达到1.1亿千瓦以上，其中光伏发电装机达到1.05亿千瓦以上（2015年为4318万千瓦），太阳能热发电装机达到500万千瓦。太阳能热利用集热面积达到8亿立方米。但是近期对太阳能热发电的重视似乎有所减弱，近两年的增长有所降低。

《风电发展“十三五”规划》提出（NDRC and NEA, 2016e），到2020年底风电累计并网装机容量确保达到2.1亿千瓦以上（2015年为1.29亿千瓦），其中海上风电并网装机容量达到500万千瓦以上。

除风电、太阳能外，生物质能等能源也是分布式可再生能源的涵盖范围，但从项目建设的广泛性、便利性、灵活性来看，分布式光伏是目前和未来分布式可再生能源项目的主体。

3. 碳排放权交易、绿证等制度将对可再生能源发展产生巨大推动作用

中国近年来已经在开展碳排放权交易的试点，并将于2017年启动全国碳排放权交易市场。中国将“按照先易后难原则，陆续启动覆盖8个重点行业的碳排放权交易市场，力争到2020年初步建成制度完善、交易活跃、监管严格、公开透明的全国碳排放权交易市场”（YICAI, 2017）。

2017年2月，国家发改委等三部委发布了《关于试行可再生能源绿色电力证书核发及自愿认购交易制度的通知》（NDRC, MOF and NEA, 2017），决定建立可再生能源绿色电力证书自愿认购体系，并试行向风电、光伏企业核发绿色电力证书。绿色电力证书自2017年7月1日起自愿认购。

全国碳排放权交易市场的启动以及绿证制度的实施将对可再生能源发展起到巨大的推动作用。虽然目前分布式光伏发电不包括在绿证制度内，但可再生能源发展环境的整体改善对于促进分布式光伏的发展同样具有重要意义。

4. 集中式开发遭遇瓶颈，分布式发展需求上升

虽然中国风电、光伏装机增长迅速，但也面临着严重的弃风、弃光问题。特别是三北（西北、华北、东北）地区弃风、弃光尤为严重，主要为集中式项目。根据国家能源局的数据，2016年中国弃风损失电量为497亿千瓦时，弃风率为17%；2016年上半年，西北地区（新疆，甘肃，青海，陕西，宁夏）弃光电量达32.8亿千瓦时，弃光率达19.7%（NEA，2017b）。

在这样的背景下，中国正在积极推进分布式可再生能源的发展（以分布式光伏为主），提出了雄心勃勃的分布式光伏发展目标。《能源发展“十三五”规划》（NDRC and NEA，2016f）提出要优先发展分布式光伏发电，扩大“光伏+”多元化利用，促进光伏规模化发展。而大力推进屋顶分布式光伏发电成为发展分布式光伏的重要举措。

政府同样鼓励创新分布式光伏应用模式。《太阳能发展“十三五”规划》（NDRC and NEA，2016b）提出要“结合电力体制改革开展分布式光伏发电市场化交易，鼓励光伏发电项目靠近电力负荷建设”。

5. 分布式可再生能源潜力预测

分布式光伏在“十三五”期间将成为分布式可再生能源的主力军，国家相关文件明确提出了分布式光伏的发展目标。《能源发展“十三五”规划》明确指出，在光伏发电2020年1.1亿千瓦以上的目标中，分布式光伏占6000万千瓦（NDRC and NEA，2016f），超过集中式电站的4500万千瓦。《太阳能发展“十三五”规划》提出“到2020年建成100个分布式光伏应用示范区，园区内80%的新建建筑屋顶、50%的已有建筑屋顶安装光伏发电”（NDRC and NEA，2016b）。

根据国家能源局统计数据，截至2017年6月，全国光伏发电装机已达1.02亿千瓦，其中光伏电站8439万千瓦，分布式光伏1743万千瓦。虽然分布式光伏发展距离“十三五”目标依然有差距，但2017年上半年，分布式光伏发电新增达

711万千瓦，同比增长2.9倍，增长速度远超集中式光伏电站。

通过将分布式光伏和多联产等技术结合，可以以极低的碳排放和成本满足客户的需求。因此，将分布式光伏作为现代分布式能源系统的重要组成部分，更有助于它的发展。

三、分布式能源其他方面的发展现状和潜力

正如第二章中指出，分布式能源不仅包括我们已经讨论的那些发电技术，还包括将不同能源整合在一起的综合解决方案，以及电动汽车、电池、燃料电池等关键技术。这部分我们将讨论这些技术的现状和潜力。

（一）电池储能

储能是目前全球快速发展的新能源产业。中国储能产业经过十多年的发展，正处于从示范应用向商业化初期发展过渡的重要阶段。截至2016年底，中国投运的储能项目累计装机规模24.3吉瓦，大部分是抽水蓄能，其中电池储能的只有243兆瓦。电池储能中锂离子电池和铅蓄电池占主要份额，其中锂离子电池占约59%，同比增长78%。2016年，中国新投运电池储能项目的装机规模达101.4兆瓦，同比增长299%。2016年新增规划、在建的电池储能项目的装机规模约为845.6兆瓦，预计短期内中国电池储能装机规模还将保持高速增长（CNESA，2017）。

锂电池在储能中的应用主要是电网储能（电力辅助服务、可再生能源并网、削峰填谷等）、基站备用电源、家庭光储系统、电动汽车光储式充电站等领域。从储能市场应用分布看，分布式发电及并网领域的新增投运规模同比增速最大，为727%，其次是可再生能源并网领域，同比增速为523%（CNESA，2017）。地域分布上，新增投运的电池储能项目主要分布在西北和华东地区，

并且华东地区的储能应用主要在分布式发电及微网项目。

2017年9月22日，国家发改委、国家能源局等五部门在《关于促进储能技术与产业发展的指导意见》中明确提及“鼓励在用户侧建设分布式储能系统。研究制定用户侧接入储能的准入标准，引导和规范用户侧分布式电储能系统建设。支持具有配电网经营权的售电公司和具备条件的居民用户配置储能，提高分布式能源本地消纳比例、参与需求响应，降低用能成本，鼓励相关商业模式探索。”

（二）电动汽车

2012年，中国《节能与新能源汽车产业发展规划（2012—2020年）》提出，到2020年中国纯电动汽车和插电式混合动力汽车生产能力达200万辆、累计产销量超过500万辆（SC，2012）。在中国2030年能源战略规划中，交通的电动化也是重要的发展战略。

当前中国环境污染治理的紧迫性、保障能源安全的严峻性，促使中央政府及地方政府出台了一系列发展电动汽车及储能技术的法规政策。企业也在政府的推动下，大力发展电动汽车及储能技术，中国的电动汽车及储能电池占全球市场份额逐年增加。

长期来看，电动汽车和储能技术将是石油强有力的替代品。虽然电动汽车和储能技术的发展目前还没有对石油替代产生实质性影响，但近年来电动汽车和储能技术进步迅速，电动汽车发展的石油替代是中国减少石油对外依存的最重要方面。同时，电动汽车作为一种储能技术的重要应用，有可能成为一种非常重要的灵活负荷和储能设施，吸收大量新能源电力（特别是在风电和光伏大发展期间）。因此，中国将有可能在全球迅速兴起的电动汽车和储能技术领域拥有重要地位。

（三）氢能和燃料电池

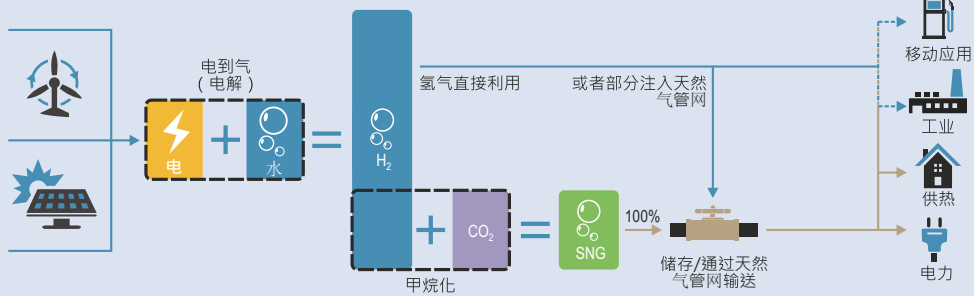
氢能是一种清洁高效的能源。近年来氢能燃料电池受到政府和企业的高度重视，其原理是以电化学反应方式将燃料（氢气）和氧化剂（空气）的化学能转换为电能。氢能燃料电池在汽车领域的应用已开始初见端倪。目前中国运行中的35兆帕加氢站有4座，分别位于北京、上海、郑州和广州。

目前氢气的主要来源有煤制氢、焦炉气副产氢、天然气制氢等，未来随着分布式的发展和燃料电池汽车产业的发展，可再生能源分布式制氢将成为氢气的重要来源。

专栏3.3 · 德国电制气的挑战和机遇

德国可再生能源的生产与消费存在地域上的分布不均衡。比如，德国的风力发电主要位于北部和东北部，而电力消费则主要在南部。北部地区的风电必须经过长距离输送到南部，例如从莱茵地区到鲁尔地区或者莱茵地区到缅因地区。位于德国杜塞尔多夫的国际能源公司Uniper开展了电制气的创新项目，以平衡可再生能源间歇性供应的问题。目前，Uniper公司有两个试点项目：法尔肯哈根风电制气项目（WindGas Falkenhagen）和汉堡风电制气项目（WindGas Hamburg）。这两个项目都是通过电解水产生氢气，从而将风力发电产生的电以其他形式存储起来。一般来说，氢气易于存储，可以直接用于工业、也可以用作氢燃料电池汽车等移动终端；氢气也可以与二氧化碳反应来生产天然气，用作发电、供热、天然气汽车等移动终端的燃料，更易于存储和输送。

图3.8 · 电制气的主要应用



要点 · 通过电解制氢提供了一种通过可再生能源生产人造气的方式

资料来源：Deutsche Energie-Agentur (DENA) and UNIPER (authorization to use the graph to be checked)

法尔肯哈根风电制气项目：该项目通过碱性电解的方式，可以从2兆瓦装机容量风力发电中生产高达每小时360立方米的氢气，然后将氢气注入天然气管道，实现可再生能源的高效储存和运输。在此基础上，法尔肯哈根风电制气项目将扩建一个甲烷化工厂，预计在2018年初建设完成。通过新建项目，实现将合成甲烷工艺与现有电制气设施的有效整合。

汉堡风电制气项目：该项目于2015年10月投入运行，该项目采用了更为高效的质子交换膜（PEM，Proton-Exchange-Membrane）电解技术。质子交换膜单元的特点在于具有更快的负载动力性和更好的过载运行能力，形成了该电制气项目的技术优势。目前，质子交换膜电解设备只能在输入功率不超过100千瓦的范围内实现商业运行。下一步，该项目将继续开发1.5兆瓦的PEM质子交换膜电解设备，实现更加经济与高效的电制气转换。

虽然电制气技术目前已经成熟，为优化新能源发展提供了新的选择，但仍需要为不同的技术创造一个公平的竞争环境。

（四）多能互补及微网

Page | 86

近几年来，随着中国工业园区的建设发展、微网和新能源发电的普及以及新投资模式的不断升级，发展多能互补概念下的终端一体化集成供能系统成为趋势。为了支持这种新的发展趋势，国家能源局2016年启动了多能互补集成优化示范工程建设，并强调这是构建“互联网+”智慧能源系统的重要任务。国家能源局公布的首批多能互补集成优化示范工程入选项目有23个。

示范项目中多数为终端一体化集成供能系统。相关规划设计方案已经完成，但由于项目复杂度等多种原因，一些项目还处于未开工状态。除此之外，在多能互补概念公布之前，就已经存在大型城市综合能源站等相关示范项目，在分布式燃机与能源梯级利用方面取得了一定示范效果。

多能互补可以为中国各类园区建设提供灵活性解决方案，内部灵活性可以帮助企业盈利，外部灵活性可以提高中国能源供应安全稳定。大范围发展多能互补对燃气利用有一定好处，也对大规模消纳新能源背景下的电网调峰调频能力有所补充（Zheng and Wenlin, 2017）。

结合中国正在进行的能源体制改革，可以期待未来电力行业发电计划放开、现货市场出现和终端电价调整后的多能互补项目，会在比园区更加广泛的区域范围甚至大型城市供能领域发挥更大的作用。结合其他能源领域的体制改革，逐渐将打破以单一电网、热网、气网运营的模式，打破不同业务部门协调困难、规划不统一、运营效率不高的困境。这将为各领域的体制改革提供标杆，也满足民众和企业对能源便利、用量与价格的期待。

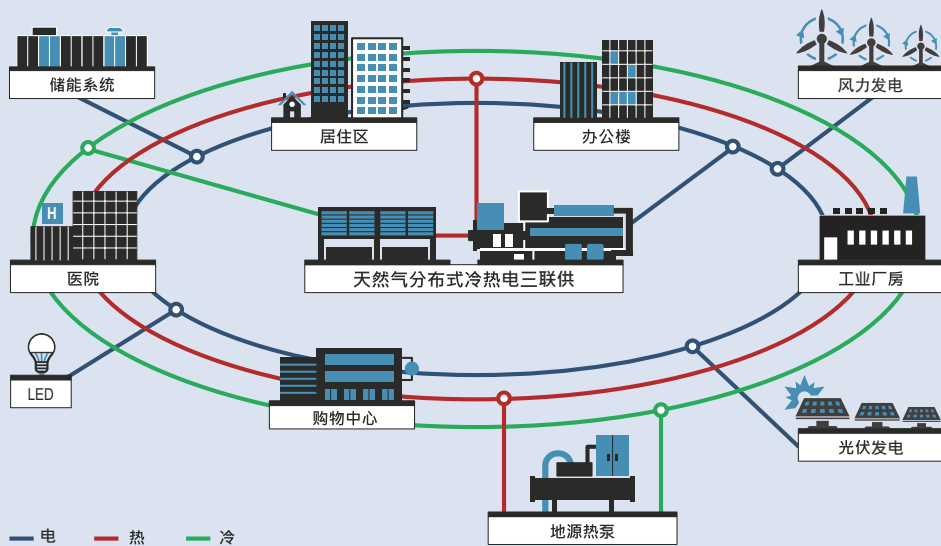
专栏3.4 · 协鑫工业研究院能源微网项目

协鑫工业研究院能源微网项目位于江苏省苏州市，是中国新能源微电网示范项目。综合应用了光伏、天然气热电冷联产、风能、低位热能（地源热泵、光热）、LED、储能等六种能源系统，有机结合组成能源微网。苏州协鑫能源中心一期项目

建筑面积19515平方米，试验办公楼总能源消费需求（电力、空调用冷用热、卫生热水）计算负荷1000千瓦，比传统集中式能源系统节约1000千瓦左右。屋顶光伏可提供350千瓦的电能；天然气内燃机可提供400千瓦电能、400千瓦热（冷）能，并配套100千瓦储能、风光互补、电动汽车、微电网、LED等多项能源技术，自供能率超过50%，整个建筑节能达到30%以上。一次能源经过各种转换方式组合，以经济、高效的方式满足用户对照明、电机、电器、空调、采暖、生活热水、蒸汽等各种终端能源需求，实现能源的安全、高效、环保和可靠供给，节约相关能源投资30%，降低单位能耗40%，提高能源利用效率40%，节能减排50%以上。

协鑫能源微网的核心在于综合应用多种不同类型的能源，并充分考虑风能、太阳能等不同能源的特性，将其有机结合组成能源微网，对多种能源进行协同优化，同时向用户提供电、冷、热、气等不同类型的能源品种，满足用户的多种能源需求，提高了综合能源利用效率、降低了用户能源消费的总成本，达到节能减排、保护生态环境的目的。

图3.9 · 协鑫能源微网示意图



要点 · 微网可以促进不同能源和负荷的结合，以最大化能源利用效率并降低成本

四、面临的挑战

Page | 88

中国能源结构向低碳转型的大趋势给分布式能源发展带来重要的发展机遇和挑战。目前，中国分布式能源从市场需求、政策、技术、成本等各方面都已经具备了快速发展的条件，但也面临着如何又好又快发展的挑战，需要深入剖析和应对这些挑战，为分布式能源规模化发展创造更好的市场和政策环境。

（一）经济性挑战

1. 系统性收益的内部化问题

如第一章所述，分布式能源有清洁、低碳、用户友好等多重外部效益，但在目前的机制下，这些外部效益并没有都体现到经济竞争力上，项目经济性欠佳的主要原因在于分布式能源的系统性收益没有在产品（电力、热力、冷能等）价格中体现。由于大部分能源品类价格都或多或少存在政府管制，尚未形成完善的能源市场价格，不能及时和充分地反映市场供求及资源稀缺程度。这对于新兴的分布式能源而言，往往面临价格扭曲带来的挑战。

缺乏合理的价格信号是目前中国天然气分布式能源发展的主要障碍，导致目前在运项目存在大量的亏损情况，只有在冷、热需求较高的地区才具有明显的经济性。这一方面是由于燃料成本占分布式天然气能源项目运行成本的比重较高，燃料价格的高低对天然气分布式能源的经济性有决定性影响。与煤炭等竞争能源相比，中国天然气的价格处于高位，同时又缺乏类似新能源的补贴机制，在竞争中处于不利位置。此外，中国大部分天然气发电的上网电价多由政府核定，包括采用标杆电价或者“一事一议”的方式单独核定。其特点是，上网电价一旦确定，将长时间保持不变，上游燃料价格的变化不能及时、有效传导到电价端。

对于光伏、生物质等可再生分布式能源，当前的价格机制过度依赖政府补

贴，未形成外部效益内部化的竞争性电价机制。在地方政府可以提供配套支持的情况下经济性好，否则往往经济性不能保证，对可持续发展造成挑战。在可再生能源补贴日趋减少的大背景下，也导致投资者无法明确预期项目收益。

2. 系统匹配不佳

分布式能源经济性欠佳的原因还有一方面来自项目本身。如部分天然气分布式能源缺乏统筹规划，对需求预测不准确，系统设计时未充分考虑系统容量与负荷的匹配性，在项目前期设计、负荷分析和机组选型中，往往片面追求“大”；在项目投产后，能源站负荷率低，经济性较差。

对于可再生分布式能源而言，系统匹配同样重要，包括与负荷和配电网建设的匹配，以及风、光、储等不同能源之间的匹配。在不能依赖电网吸纳全部剩余电力的情况下，如果没有合适的储能设施，由于供需不平衡，同样会造成弃光、弃风等问题。

3. 各能源品种间的竞争

对于整个能源系统来说，分布式能源发展与煤电等集中式化石能源不可避免地存在可替代的竞争关系，在不考虑气候变化、污染治理等外部环境因素驱动或未能在产品价格中充分体现外部效益的情况下，分布式能源在竞争中往往处于劣势。比如天然气分布式能源上网电价过高，对煤电形成替代的内生动力不足。

与此同时，中国政府还大力推动可再生能源的平价开发，利用可再生能源集中式开发的规模效应和竞争效益降低成本，如光伏领跑者基地的企业投标价已经降到度电0.6元以下。2016年底，国家发展改革委发布《关于调整光伏发电陆上风电标杆上网电价的通知》，再次分资源区降低光伏电站、陆上风电标杆上网电价。近期国家能源局发布《关于开展风电平价上网示范工作的通知》（NEA, 2017c），提出示范项目的上网电价按当地煤电标杆上网电价执行。在这种情况下，可再生能源的分布式利用还是集中开发，也将面临经济性的对比问题。

（二）体制挑战

1. 能源基础设施中第三方准入的限制

中国天然气管网主要由长输管道和配气网构成。长输管网主要由中国石油、中国石化等国有企业投资、建设、运营，其中主干网主要由中国石油、中国石化建设；地方管网主要由中国海油和省级天然气管道公司建设。在运行中，长期采用独家使用的方式，很少对第三方开放。尽管国家发展改革委、国家能源局出台了《天然气基础设施建设与运营管理办法》（NDRC and NEA, 2014a）、《油气管网设施公平开放监管办法（试行）》（NDRC and NEA, 2014b），来推进天然气管网设施的公平准入，但新进入企业利用现有的天然气管网资源仍较困难。2014年年底开始，一些城市燃气企业如新奥燃气、新疆广汇、北京燃气积极借助中国石油接收站开展了LNG进口的第三方准入尝试，成功从国际市场上进口了LNG现货；但是由于进口后气化进管道较为困难，因此只能采用“液来液走”的方式。北京燃气公司2015年年底首次实现了燃气企业进口LNG并通过管道运输的先例：从阿尔及利亚进口现货LNG，气化后进入中国石油陕京四线。但目前，较小规模的天然气分布式能源项目希望通过管网基础设施第三方准入的方式购买低价现货天然气的做法依然非常难以实现。城市配气网多采取特许权经营，也阻碍了分布式能源项目对城市配气网的使用。

中国的电网和配电网目前按照自然垄断由电网公司进行管理。尽管国家出台政策支持大用户直购电和核定独立输配电价，但在实际操作中也面临直购电门槛较高、容量不透明等问题。关于分布式能源的并网问题，已有的政策规定在实际操作中往往面临困难，在无法厘清并网后承担的责任和义务的情况下，会出现一定程度的并网困难。

下游的城市供热网基本由地方政府的企业或其特许经营的企业控制，分布式能源中多余的热或冷很难直接进入热网或冷网销售给下游用户，一般只能直接卖给这些热力企业，效益往往会大打折扣。

2. 冷、热、电的分离

分布式能源系统配套设施主要是燃气管网、热力管网和制冷换热站。一直以来，中国传统的供能及管理方式为冷、热、电分立：在管理上，冷、热归市政管理，隶属住房与建设部门，电则归能源部门管理，政策之间缺乏协调。在建设、运维上，供热由热力公司建设运营，电力由供电公司运营。分布式能源综合能源供应的特点打破了原有的供电、供冷、供热方式之间的界限，现有的建设和管理模式难以适应其发展的需要。燃气管网和热力管网属于市政基础设施，往往投资较大，一般由市政部门和项目开发商负责，与分布式能源站投资建设方往往可能不属于同一单位，协调难度大。

另外，分布式能源项目对冷、热、电负荷的预测要求更加准确，因此，一旦冷、热负荷需求发生大的改变，项目运行及经济性将受到影响。对于负荷用户而言，如果分布式能源的冷价、热价和电价不能比传统市政供给具有更显著的经济效益的话，基于安全性、稳定性和习惯性的考虑，用户缺少转换供应方式的意愿。

3. 利益协调

分布式能源与电网之间的协调是分布式能源发展的前提。分布式能源“自发自用、就近消纳”的特点在一定程度上削减了电网企业依靠购销差价和销售电量带来的收益；而要求电网公司对6兆瓦以下装机的分布式电源项目免费并网，并承担调节波动性的责任，则增加了电网的运营和调度成本（YICAI, 2016）。这种利益矛盾与分布式能源的系统价值和环境机制之间缺乏有效的联系和统一，对电网企业接纳分布式能源并网的积极性产生了一定的“负作用”。

新一轮的电力体制改革已经明确提出鼓励分布式能源发展，支持拥有分布式电源的企业参与竞争性的售电市场，允许分布式电源企业成立售电公司售电，这也与电网企业形成一定的竞争关系。从目前的情况看，分布式电源售电实施的细则尚不完善，售电公司的运营模式、盈利模式尚不清晰，虽然售电公

司已蜂拥成立，但具体的业务范畴和商业模式还需进一步探索。国内首个参与配售电业务的分布式能源项目——京能集团深圳国际低碳城分布式能源项目已于2016年6月获得国家能源局批复，该项目将率先在国内实现发、配、售电一体化，通过智能电网建立“互联网+”基础平台，打造创新型能源供应方式。

从技术层面看，较大规模的分布式电源并网会在电网频率、电压、潮流分布、电能质量和可靠性等方面对电网产生影响，如何化解这些挑战，除需要技术和标准的提升之外，还需在分布式能源发展和电网稳定间实现协调。

（三）市场挑战

1. 亟待技术突破实现成本下降

从可持续发展的角度看，只有行业本身的技术升级进步和关键技术的突破，才能带动成本的下降，增强分布式能源内在竞争力，在公平开放的市场环境中获得发展机遇。

天然气分布式能源的成本降低空间主要在设备核心部件的制造技术以及智能电网技术等。与常规燃煤电站相比，天然气分布式能源项目设备占总投资的比重较大，且后期运维费用高。随着能源互联网概念的兴起，天然气分布式能源系统已经成为多能互补、集成优化、信息互联为特征的能源互联网中的主要架构，天然气分布式能源在与其他多种能源协调匹配的过程中，尚有诸如微电网自愈控制、分布式电源与微电网、智能用电及需求响应等关键技术需要进一步突破。

对于分布式可再生能源而言，仍然有较大的成本降低空间，尤其是在下一步发挥集成优势，降低系统成本方面，需更大努力。

2. 市场开发对政策的依赖性大

由于存在前述的经济、体制和市场挑战，投资者对分布式能源的信心很大

程度源自政府政策的支持和鼓励以及政策释放的关于未来发展的信号。随着节能减排和环境保护要求的日益提高，地方政府日益重视清洁能源的发展。但不同地区对分布式能源项目的认识及政策差别很大，对于分布式能源项目的市场开发也造成了重要的影响。

比如在山东省，前期由于对天然气分布式能源经济性的顾虑，一批天然气分布式项目长期进展缓慢。2015年山东省发布了《关于加快推进燃煤机组（锅炉）超低排放的指导意见》（DEP-SD，2015），要求到2018年年底，全省10万千瓦及以上的燃煤机组和单台10蒸吨/小时以上燃煤锅炉全部完成超低排放改造，达到天然气燃气轮机组（锅炉）排放标准，逾期不达标的机组（锅炉）将实行停产治理。2017年2月，山东省发改委印发了《加快推进天然气利用发展的指导意见》（DRC-SD，2017），指出要积极发展天然气发电及分布式能源，大力发展天然气热、电、冷三联供分布式能源项目，并鼓励发展天然气与风电、光伏发电等其他可再生能源结合的多能互补分布式能源项目；力争到2018年省内天然气发电装机实现“零”的突破，到2020年天然气发电装机达到400万千瓦左右，天然气发电用气规模40亿立方米左右。随着这些政策的制定和逐步落实，山东省天然气分布式能源开发市场开始日益活跃起来，由原来观望和消极的态度变得积极起来，许多项目都有了实质性进展，有的已经处于建设阶段。天然气分布式能源的开发也大大推动了光伏等可再生分布式能源的发展。

从这些市场开发的转变可以看出，分布式能源的开发受政策的影响较大，与地方政府对减排的决心和对分布式能源认识的不断提高有很大关系，政策的驱动效应非常显著。在分布式能源发展的重要机遇期，如何更好地引导和支持行业规模化、健康发展，制定科学恰当的鼓励、支持政策，是当前许多地方政府必须面对的挑战。

3. 数据缺乏、信息不透明问题

中国在风险管理和质量监控体系的建设方面相对重视程度还不够，国内分布式能源项目普遍存在信息不透明、建设和运营风险难以评估等问题。这不仅增加了分布式可再生能源项目的投资风险和社会资本的进入成本，也挫伤了社会资本投资分布式可再生能源项目的意愿，限制了国内分布式项目的开发，尤其是分布式光伏的融资渠道和规模。由于分布式光伏发电利益相关者关系复杂，建设、运营、信息共享协调难度大，再加上分布式光伏电站、开发企业、发电量等信息没有充分披露，对投资者而言，无法衡量项目好坏，难以形成成熟的资产评估体系，保险公司难以实质性介入，缺乏风险共担机制；分布式光伏项目盈利预期不稳定，也导致商业贷款、投融资机构、政策性银行等积极性不高。

分布式能源建设、运营、风险等信息公开化、透明化需要通过信息化手段得以实现。通过能源互联网技术和数据支撑电站建设项目各环节的标准化和透明化，提高管理的运行效率，快速推进分布式可再生能源项目的开发、建设、融资、运营、维护、交易等环节的时效性，使决策建立在及时、准确、可靠的数据基础上是推动分布式能源市场化发展的必要手段。

应对分布式能源面临的各种挑战需要系统性的思维，涉及不同层级的政府部门和一系列的行业利益相关者。我们将在下一章详细讨论可能的措施。

参考文献

- CNESA (中关村储能产业技术联盟) (2017). 储能产业研究白皮书 . <http://ex.bjx.com.cn/html/20170531/22003.shtml>.
- DEP-SD (山东省环保厅) (2015). 关于加快推进燃煤机组（锅炉）超低排放的指导
意见. http://xxgk.sdein.gov.cn/zfwj/lhf/201508/t20150824_283642.html.

- DRC-SD (山东省发改委) (2017). 关于推进天然气利用发展的指导意见. www.sdfgw.gov.cn/art/2017/2/6/art_216_232697.html.
- ENN (2017). 新奥泛能网介绍. www.enn.cn
- GCL (2017). 协鑫智慧能源项目案例. <http://www.gcl-power.com/site/projectcase>
- IEA (2017). Renewable Energy Market Report 2017. OECD/IEA, Paris.
- METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) (2017). Current State of the Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells, Tokyo. www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/pdf/008_01_00.pdf.
- NDRC (国家发改委) (2016). 关于实施光伏发电扶贫工作的意见. www.nea.gov.cn/2016-04/05/c_135250679.htm.
- NDRC et al. (2011). 关于发展天然气分布式能源的指导意见. www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201110/t20111013_438374.html.
- NDRC and NEA (能源局)(2016a). 电力发展“十三五”规划. www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/.../P020161222570036010274.pdf
- NDRC and NEA (2016b). 天然气发展“十三五”规划. www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/.../W020170119368974618068.pdf
- NDRC and NEA (2016c). 能源发展“十三五”规划. www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201701/t20170117_835278.html.
- NDRC and NEA (2014a). 天然气基础设施建设和运营管理办法. www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbl/201403/t20140320_603521.html.
- NDRC and NEA (2014b). 油气管网设施公平开发监管办法（试行）. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto92/201402/t20140224_1768.htm.
- NDRC, MOF (财政部) and NEA (2017). 关于试行可再生能源绿色电力证书核发及自愿认购交易制度的通知. www.nea.gov.cn/2017-02/06/c_136035626.htm.
- NEA (2017a). 2016年光伏发电统计信息. www.nea.gov.cn/2017-02/04/c_136030860.htm.

- NEA (2017b). 2016年风电并网运行情况. www.nea.gov.cn/2017-01/26/c_136014615.htm.
- NEA (2017c). 2017年上半年光伏发电建设运行信息简况. www.nea.gov.cn/2017-08/04/c_136499745.htm.
- NEA (2017d). 关于开展风电平价上网示范工作的通知. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201705/t20170524_2794.htm.
- NEA (2016a). 太阳能发展“十三五”规划. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201612/t20161216_2358.htm.
- NEA (2016b). 生物质能发展“十三五”规划. http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201612/t20161205_2328.htm?keywords=.
- NEA (2016c). 风电发展“十三五”规划. www.nea.gov.cn/2016-11/29/c_135867633.htm.
- NEA et al. (2017). 中国天然气发展报告. www.sohu.com/a/165814907_468637.
- SC (State Council of China) (2012). 节能与新能源汽车产业发展规划 (2012-20). www.gov.cn/zwggk/2012-07/09/content_2179032.htm.
- Uniper (2017). Application for the conversion from electricity to gas. https://www.uniper.energy/.../uniper.../KT_Power_to_Gas_EN_160922.
- Yang, Y. (2016). 实现能源梯级利用 国内首个自主研发分布式燃机项目成功投运. <http://news.bjx.com.cn/html/20160510/731570.shtml>.
- YICAI (2017). 解振华：今年将启动全国碳排放权交易市场. www.yicai.com/news/5249313.html.
- YICAI (2016). 分布式天然气与可再生能源协调发展. www.sohu.com/a/121566210_481842.
- Zheng, F. and G. Wenlin (2017). 多能互补助力未来能源网络经营. www.qh.sgcc.com.cn/html/main/col12/2017-04/25/20170425152230502967272_1.html.

第四章

政策分析

建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系是当前中国能源发展的方向和目标，而如何充分发挥政府与市场这两大根本性力量的作用则是实现这一目标的关键。随着改革和政府简政放权工作的推进，中国能源管理体系正在经历一个从计划方式为主向市场方式为主的转变过程，市场开始逐步在能源发展中发挥主导作用，而政府则不断减少传统的行政审批、生产指令等僵硬的管理方式，更多通过发展规划和产业政策来引导行业的发展。

分布式能源清洁、低碳、高效的特点与中国能源的发展方向完全吻合，而分布式能源对能源管理体系的需求更是与当前中国能源管理方式的转变不谋而合。分布式能源灵活性、多样性和分散性的特点，使得传统的行政管理手段难以在此发挥作用，政府更需要专注于提供服务，为分布式能源发展创造良好的市场环境。在此过程中，政府一方面可以通过各类规划向市场释放明确的发展信号，引导能源投资方向；另一方面则是分布式能源的发展创造公平的市场环境，包括在市场准入、并网、交易等一系列过程中保障分布式能源企业权利和利益。

为实现这一根本性的转变，我们需要有系统性的解决方案。因此，最后一章将讨论对政府有关部门的一系列建议，但这并不是提供一个明确的解决方案，而是致力于引导更进一步讨论并强调系统性思维的重要性。

一、能源发展规划和分布式能源政策

Page | 98

分布式能源的技术、规模、商业模式和运行特点等与传统的集中式能源有较大不同，政府的管理也因此应有不同于以往的方式。分布式能源的特点使其适合更多主体参与其中，因此分布式能源支持政策的主要作用在于创造良好的市场环境，以促进分布式能源在提供能源服务中的竞争力，包括清晰、稳定的价格信号，减少准入限制和监管负担等。

（一）能源发展规划

能源发展规划是明确能源发展方向、指导能源投资、引领技术创新和推动政策完善的重要手段和依据，其中能源发展五年规划及其有关专项规划是中国能源领域最重要的纲领性文件，其关于分布式能源的要求和目标体现了分布式能源在中国萌芽、发展和壮大的过程。2007年，《能源发展“十一五”规划》（NDRC，2007）首次将分布式供能系统列为重点发展的前沿技术，而此后的《能源发展“十二五”规划》（NEA，2013）则首次对分布式能源发展提出明确的目标和要求。根据最新的《能源发展“十三五”规划》及其相关专项规划（NDRC and NEA，2016a），到2020年中国分布式天然气发电和分布式光伏装机将分别达到1500万千瓦和6000万千瓦（表4.1）。

表4.1 · 中国有关能源发展规划中分布式能源的发展要求和目标

规划	要求	目标
《能源发展“十一五”规划》	将分布式供能系统列为重点发展的前沿技术	—
《能源发展“十二五”规划》	按照自用为主、富余上网、因地制宜、有序推进原则，积极发展分布式能源，实现分布式能源与集中供能系统协调发展	到2015年，建成1000个左右天然气分布式能源项目、10个左右各具特色的天然气分布式能源项目；到2015年，分布式太阳能发电达到1000万千瓦，建成100个以分布式可再生能源应用为主的新能源示范城市

续表

规划	要求	目标
《能源发展“十三五”规划》	坚持集中开发和分散利用并举，高度重视分布式能源发展；加快建设分布式能源项目和天然气调峰电站；优化太阳能开发格局，优先发展分布式光伏发电	到2020年，分布式天然气发电和分布式光伏装机分别达到1500万千瓦和6000万千瓦
《天然气发展“十三五”规划》	鼓励发展天然气分布式能源等高效利用项目，有序发展天然气调峰电站，因地制宜发展热电联产	2020年天然气发电装机规模达到1.1亿千瓦以上，占发电总装机比例超过5%
《风电发展“十三五”规划》	推动风电的分布式发展和应用，探索微电网形式的风电资源利用方式，推进风光储互补的新能源微电网建设	—
《太阳能发展“十三五”规划》	结合电力体制改革，全面推进中东部地区分布式光伏发电；优先支持分布式光伏发电发展，重点支持分布式光伏发电分散接入低压配电网并就近消纳	—
《生物质“十三五”规划》	坚持分布式开发……形成就近收集资源、就近加工转化、就近消费的分布式开发利用模式。 积极发展分布式农林生物质热电联产。农林生物质发电全面转向分布式热电联产……	—
《能源生产和消费革命战略（2016—2030）》	推动能源集中式和分布式开发并举；坚持分布式和集中式并举，以分布式利用为主，推动可再生能源高比例发展	—

Page | 99

但是，在过去的“十二五”期间分布式能源的发展并未如人们预想的那样出现“井喷”。相反，分布式能源在中国的发展道路一波三折，甚至未能实现《能源发展“十二五”规划》和《关于发展天然气分布式能源的指导意见》中所确定的发展目标。关于分布式能源在中国遇阻的背景和原因有很多（详见第三章），但其中对分布式能源的发展缺乏明确的定位和发展方针是重要原因之一。

分布式能源横跨多个部门，不仅包括电力、新能源、天然气、生物质等各

个能源细分领域，还涉及供电、供气、供热等各个部门。因此，为促进分布式能源在“十三五”期间及未来的发展，需将促进分布式能源发展的思想融入能源工作的每一个领域和环节，并在相关规划中考虑以下内容：

- 明确分布式能源发展定位。从“十一五”规划中的“前沿技术”到“十二五”、“十三五”期间的大规模发展目标，这体现了中国能源部门对分布式能源认识的不断深入。当前，中国正在经历一个全面的能源转型过程，这不仅包括使用的能源类型的变化（从化石能源为主转向可再生能源），还包括能源系统形式和能源利用方式的转变（更加注重能源清洁利用和系统效率提高）。在此过程中，应明确将分布式能源纳入中国能源转型战略，与推动清洁能源发展和能源供给侧结构性改革相结合，明确分布式能源作为中国能源转型的重要方向和未来能源系统的重要组成部分，作为今后提高天然气消费的重要方式和太阳能、风电等可再生能源利用的主要形式。
- 明确分布式能源发展要求。分布式能源发展需要政府对分布式能源发展的总体发展目标预测（总体装机、所占比例等）和主要技术指标（能源综合利用效率、环保、安全生产等）提出要求，并对并网、交易等重点环节进行监管。在不影响安全、环保等因素前提下，分布式能源发展不应受到政策和规模的限制。
- 促进能源基础设施协调发展。将分布式能源发展规划与天然气和可再生能源发展规划，以及城市配电网、燃气管网、供冷供热管网及其他基础设施发展规划相协调，结合智能电网、可再生能源、能源互联网等新技术发展和应用，统筹考虑规模布局和发展节奏。

（二）分布式能源产业政策

正如第三章第一部分介绍的，中国针对分布式能源出台了一系列的政策。

对这些政策的效果进行及时的评估，并据此进行更新，能更准确反映分布式能源技术和商业模式的创新，并将有助于分布式能源更好地在中国能源转型中发挥更大作用。

（三）分布式能源并网政策

接入配电网，实现并网运行是分布式能源提高运行可靠性和能源综合利用效率的关键和前提；允许分布式能源以适当的方式接入，为清洁能源发展提供支撑和保证，也是电网提高系统灵活性和清洁能源比例的有效途径。在实际操作中，电网与分布式能源企业对分布式能源“是否应该并网”并无争议，焦点往往集中在“如何并网”，以及“并网运作后的责任与义务划分”等问题，这也是阻碍当前分布式能源并网的关键问题之一。

因此，制定分布式能源并网标准和运行规范，明确分布式能源并网技术标准、并网程序、运行要求和权责划分等，实现分布式能源无歧视、无障碍上网，对促进分布式能源的发展具有重要意义，也是《能源发展“十三五”规划》等文件的具体要求。根据分布式能源发展的特点和需求，在标准和规范制定过程中应体现以下原则并包含相关内容：

- 公开公平。明确电网企业为各类分布式能源项目提供并网服务的义务，定期公开配电网的可用容量、实际容量、建设规划等必要信息，明确分布式能源并网基本条件，保障分布式能源及时、有效接入电网和电网安全运行。
- 简化程序。分布式能源项目普遍规模较小，且随着投资主体的日益多元化，大量中小企业和个人成为分布式能源的业主。应优化分布式能源并网接入设计、调试和验收流程，简化手续、提高效率，特别要为小微分布式发电系统接网问题提供更加便捷的服务，降低并网成本，消除并网障碍。

- 加强监管。有效的监管是保障并网工作进行和并网双方权利和义务履行的关键。应进一步加强对分布式能源并网和并网运行情况监管，明确监管主体和争议处置方式，确保电网和分布式能源项目双方的权利和义务得到有效履行和保证。

（四）天然气分布式能源价格机制

与传统集中式化石能源发电相比，天然气分布式能源在节能减排、削峰填谷等方面具有重要价值，但由于当前电价和热价等分布式能源的主要收益都是在参照燃煤供电、供热价格基础由政府定价决定的，其环保优势和系统贡献等外部收益并未在价格中得到完全体现，导致高效率、低排放的天然气分布式能源长期依赖补贴和政策扶持生存，缺乏市场竞争力和吸引力，并加大了地方政府的财政压力（提供补贴）。此外，近年来天然气价格波动频繁，但上网电价却极少变动或滞后严重，给天然气分布式能源项目的生存带来了额外的压力。国家发展改革委《关于规范天然气发电上网电价管理有关问题的通知》（以下简称《通知》）中提出“当天然气价格出现较大变化时，天然气发电上网电价应及时调整”，但在实际操作中该联动机制实施细则并未明确联动条件和时间，气价上行期间天然气发电成本难以疏导。

为缓解天然气分布式能源的经营压力，应抓住当前能源价格改革和电力体制改革契机，尽快完善天然气分布式能源价格形成机制，充分体现天然气分布式能源的环保和系统等外部效益，实现“外部效益内部化”，改变长期亏损和依赖补贴生存的现象，并减轻政府补贴负担。在长期价格机制形成前，要按照《通知》精神，细化落实天然气分布式能源“气、电、热、冷”价格联动机制，明确联动条件和时限，及时疏导上游成本压力，维持天然气分布式能源的竞争力。

二、相关领域改革

在分布式能源的发展过程中，体制机制将发挥决定性的作用：良好的机制能有效发挥大量中小企业和个人的积极性，分布式能源也将能如“雨后春笋”般成长；而僵硬、固化的体制和管理方式，只会把分布式能源扼杀在“摇篮”之中。在这方面，成熟的市场、稳定的收益和公平的竞争环境对分布式能源而言至关重要，中国政府正在努力推动的电力、油气体制改革和碳交易市场建设等将在这方面发挥至关重要的作用。

（一）电力体制改革

尽管2002年以来，电力体制改革取得了巨大的成就，但当前依然存在市场交易机制缺失、价格关系未理顺、政府职能转变不到位等问题，导致了新能源和分布式能源发展面临一系列瓶颈问题。2015年，中国政府启动了以市场化为核心的新一轮电力体制改革，包括价格形成机制改革、交易机制改革、售电侧开放等与分布式能源发展息息相关的重要内容。《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》特别指出，要“开放电网公平接入，建立分布式电源发展新机制”、“全面放开用户侧分布式电源市场”，这无疑是一剂“强心针”，会对分布式能源的进一步发展起到巨大的推动作用。在改革推进过程中，建议针对分布式能源的发展做好以下工作：

- 支持分布式能源电力市场化交易。按照电力市场建设精神，明确分布式能源参与电力交易细则，允许分布式能源企业在配电网内就近与周边用户进行电力交易，交易价格由双方自主协定。在交易组织形式上，满足一定条件的交易双方在省（区、市）电力交易机构进行网上注册和备案，即可签订交易合同，经交易机构审核同意后即可进行交易，并免收交易手续费。电网企业负责交易的电力输送、电量计量、代收电费等服务，并按照

一定标准收取“过网费”。对可再生分布式能源的补贴由电网企业按照国家有关规定提供补贴。对不参与市场化交易的分布式能源企业，仍由电网企业全额收购其上网电量。

- 探索建立分布式能源电力交易中心。随着分布式能源电力交易规模的扩大，可在试点通过省（区、市）电力交易机构开展分布式能源电力市场化交易的基础上，依托调度机构建立市、县级分布式能源电力交易中心，并建立有关交易制度，负责分布式能源电力交易的组织、登记、结算等工作。
- 支持分布式能源参与增量配电网建设。可将增量配电网作为分布式能源发展示范，在配电网规划和系统设计中考虑未来分布式能源发展，为分布式能源发展提供网络条件。鼓励园区内企业优先采用分布式能源为用户提供多种能源优化组合方案，提供发电、供热、供冷等综合能源服务。鼓励园区内分布式能源企业组建售电公司或向周边用户售电。
- 建立科学、合理的价格机制。合适的价格信号是分布式能源发展的前提。当前，中国正在推动电价形成机制改革，逐步由政府定价转向市场和竞争决定能源价格。对于分布式能源以及电网企业来说，建立一个能有效反映分布式能源系统价值、合理分摊电网成本（在分布式能源和普通用户间）的价格机制尤为重要。

专栏4.1 · 电力体制改革内容及进展

2015年3月，中共中央、国务院印发了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》（中发〔2015〕9号）以及《关于推进输配电价改革的实施意见》《关于推进电力市场建设的实施意见》《关于电力交易机构组建和规范运行的实施意见》《关于有序放开发用电计划的实施意见》《关于推进售电侧改革的实施意见》《关

于加强和规范燃煤自备电厂监督管理的指导意见》等6个配套文件，正式启动了新一轮的电力体制改革。本轮电力体制改革的主要内容包括：一是有序推进电价改革，理顺电价形成机制；二是推进电力交易体制改革，完善市场化交易机制；三是建立相对独立的电力交易机构，形成公平规范的市场交易平台；四是推进发用电计划改革，更多发挥市场机制的作用；五是稳步推进售电侧改革，有序向社会资本放开配售电业务；六是开放电网公平接入，建立分布式电源发展新机制；七是加强电力统筹规划和科学监管，提高电力安全可靠水平。

截至2017年5月，各项改革工作有序推进：一是开展电力体制改革综合试点。除西藏自治区正在制定试点方案外，已有21个省（区、市）开展了电力体制改革综合试点，9个省（区、市）和新疆生产建设兵团开展了售电侧改革试点，3个省（区）开展了可再生能源就近消纳试点。二是推进输配电价改革。核定独立输配电价是电价改革的前提和关键环节，截至2017年7月国家发展改革委已批复安徽、云南等18家省级电网和深圳电网输配电价标准，剩余14个省级电网核定工作也已基本完成，即将公布。三是建立电力交易中心，开展电量交易。分别成立北京和广州两大电力交易中心，并在采取电网企业相对控股的公司制、电网企业子公司制、会员制等组织形式在各省成立省级电力交易中心及相应的电力市场管理委员会。目前，国家电网公司经营区域内共有37769家市场主体在交易平台进行了注册，其中，注册发电企业26628家，电力用户10181家，售电公司1182家。2017年1—4月，国家电网公司经营区域总交易电量完成12356亿千瓦时，同比增长6.9%。其中，中长期合同电量10134亿千瓦时，占总电量的82.05%；市场交易电量2222亿千瓦时，同比增长73.1%。此外，售电侧改革和增量配电网试点等工作也在稳步推进。

（二）油气体制改革

Page | 106

天然气是分布式能源的主要能源之一，而分布式能源也是最为高效的天然气利用方式之一。长期以来，中国天然气市场化尤其是上游市场化程度低、竞争不充分等问题严重阻碍了天然气市场的发展和相关基础设施的建设。而完善的天然气市场，及时、准确的价格信号，对稳定市场供应，提高天然气分布式能源盈利水平，促进天然气消费和天然气分布式能源发展具有重要意义。当前，中国正在积极推进石油天然气体制改革，按照问题导向和市场化方向，还原石油天然气资源商品属性。以下几个方面对天然气分布式能源的发展有极大的促进作用：

- 加快天然气交易市场建设。建立完善天然气交易市场，建立竞争性的市场交易中心和平台，允许不同所有制形式、不同规模供应商和消费者公平参与竞争，实现市场化交易。进一步开放天然气下游市场，加大下游市场开发培育力度，促进天然气配售环节公平竞争，使得分布式能源项目可以自主选择能源供应方和供气路径。进一步完善天然气价格机制，适时放开天然气销售价格，实现市场定价，使分布式能源项目可以依据市场价格优化自己的能源供应方案。
- 推进天然气基础设施开放。天然气基础设施开放是天然气市场建设的基础和前提，应进一步推进天然气管道、LNG接收站等基础设施向第三方开放。要督促天然气基础设施运营单位制定基础设施接入标准、接入条件、受理流程等工作制度，并定期公布管输设备输送能力、产检修计划等相关信息。完善基础设施费率细则，使分布式能源项目能够清晰预测直购天然气的成本，降低运营风险。
- 加强天然气市场监管。有效的监管是保障天然气市场稳定运行的必备条件。应加强天然气交易市场和基础设施开放行为监管，明确监管责任和监管手段，严厉打击各种扰乱市场行为，防止利用自然垄断环节对小用户进行歧视，保障天然气分布式能源项目的天然气供应。

专栏4.2 · 中国油气体制改革内容

2017年5月，中共中央、国务院印发了《关于深化石油天然气体制改革的若干意见》（以下简称《意见》），明确了深化石油天然气体制改革的指导思想、基本原则、总体思路和主要任务，部署了八个方面的重点改革任务，包括：一是完善并有序放开油气勘查开采体制，提升资源接续保障能力；二是完善油气进出口管理体制，提升国际国内资源利用能力和市场风险防范能力；三是改革油气管网运营机制，提升集约输送和公平服务能力；四是深化下游竞争性环节改革，提升优质油气产品生产供应能力；五是改革油气产品定价机制，有效释放竞争性环节市场活力；六是深化国有油气企业改革，充分释放骨干油气企业活力；七是完善油气储备体系，提升油气战略安全保障供应能力；八是建立健全油气安全环保体系，提升全产业链安全清洁运营能力。

（三）碳交易市场及可再生能源配额和绿证制度

碳交易市场以及可再生能源配额和绿色证书制度是美国、欧盟等地区控制碳排放、推动可再生能源发展的重要手段，通过市场化的方式，给予清洁能源经济补偿，推动了可再生能源产业持续健康发展。中国从2011年10月开始在北京、天津、上海、重庆、湖北、广东和深圳等七个省市开展了碳排放权交易试点工作，交易产品包括排放配额和国家核证自愿减排量（CCER）以及相关金融衍生品，并计划在2017年推广至全国。此外，中国2017年6月正式启动了可再生能源绿色证书制度，并考虑进一步引入可再生能源配额制度。

与风电、光伏等可再生能源类似，天然气分布式能源项目具有清洁、低碳、高效等众多优点，是减少碳排放的重要选择，因此可考虑建立类似的市场化支持政策或将天然气分布式能源纳入目前可再生能源配额和绿证范畴，提高其经济性。同时在全国性碳交易市场机制设计中，支持分布式能源通过国家核

证自愿减排量（CCER）参与碳交易，并考虑分布式能源点多面广的特点，在减排量备案、核证机构核证等方面予以简化和倾斜。

专栏4.3 · 欧盟排放权交易机制

欧盟排放权交易机制（The European Union Emissions Trading Scheme, EU ETS）是世界上第一个也是规模最大的温室气体排放交易系统，覆盖了欧盟28个成员国以及冰岛、挪威和列支敦士登等31个国家的11000家发电和制造企业，以及这些国家间的航空活动。从排放总量看，欧盟排放权交易机制覆盖了欧盟45%的温室气体排放，占全球碳排放交易的3/4以上。欧盟排放权交易机制采用“限额—交易”机制，为覆盖的企业设置每年递减的温室气体排放限额，企业在限额内可以根据需要买卖排放指标。这种“限额—交易”机制使得企业可以通过灵活的方式实现高效减排。欧盟排放权交易机制发展分为四个阶段：

第一阶段（2005—2007年）：边做边学阶段，成功建立了世界上最大的碳市场。但是，由于对碳排放需求估计不准确，发放的排放指标偏多，导致2007年排放指标价格降到了零。

第二阶段（2008—2012年）：冰岛、挪威和列支敦士登在此期间正式加入，并将航空活动纳入交易机制。该阶段的指标数较第一阶段减少了6.5%，但是由于经济衰退，对指标的需求下降的更多，导致了排放指标依旧过剩，对碳价格产生重大影响。

第三阶段（2013—2020年）：该阶段最大的变化是引入了全欧盟的排放限额，并且每年递减1.74%。在指标发放上，不断推进用拍卖代替免费发放。克罗地亚在此期间加入该交易机制（2013年，克罗地亚加入欧盟）。

第四阶段（2021—2030年）：2015年7月，欧盟委员会提交了一份关于2020年之后欧盟排放权交易机制的修改建议，主要包括：从2021年起，排放限额每年减少2.2%；更有针对性和动态的免费指标发放方式；多项支持政策，帮助工业和电力行业满足向低碳经济转型的创新和投资挑战。

三、地方政府的角色及作用

地方政府在推进分布式能源发展过程中的作用至关重要。随着中国政府“简政放权”工作的不断深入，中央政府在能源领域的角色越来越集中在规划制订、政策引导和市场监管等方面，地方政府在落实能源发展规划过程中的主动权和重要性日益增加。在实际工作中，地方政府特别是城市政府可以通过扮演多种不同的角色来推动分布式能源的发展。

（一）城市发展的规划者

地方政府是城市的“设计者”和“建设者”，能源基础设施则是城市重要的组成部分和物质基础。分布式能源的发展与城市建设息息相关：天然气分布式能源涉及电网、供热、供冷、供气等众多基础设施；分布式能源的发展对城市环境改善、节能减排目标的实现和城市景观设计（特别是分布式光伏）等也有着直接的影响。地方政府在对城市及其相关基础设施发展进行规划时，应同时考虑分布式能源的发展。

- 城市发展规划。对城市未来的发展特别是对新区进行规划时，如刚公布的雄安新区和各地的经济开发区，应充分考虑能源供应与城市发展以及不同能源之间的相互影响，统筹协调水、电、气、热、冷等基础商品的供应。
- 城市能源规划。对城市能源需求情况进行分析和预测，确定不同时期（包括短期和长期）城市能源供应主要渠道和方式，并将低碳、节能、环保作为优先考虑的标准。将分布式能源纳入能源发展规划，确定最适宜使用分布式能源系统的区域和方式，如将规划中的商场、写字楼、体育馆等列为分布式能源发展示范项目，并制定相应的发展计划和实施方案。

（二）能源发展的推动者

由于中国幅员辽阔，各地自然禀赋和资源环境以及经济发展情况各不相

同，而中央政府部门在制订政策时更多考虑的是全国总体情况和目标，并不能完全体现不同地方的特点和优势。因此，在中央政府政策的基础上，地方政府在具体工作中可根据各地特点出台针对性的政策，支持分布式能源的发展。如四川等天然气资源丰富的地区，可以在天然气供应上为分布式能源提供优惠条件；而沿海等经济发达地区，地方财政和市场承受能力较强，可以在补贴政策和上网电价等方面予以支持。目前，各省都在积极推进电力体制改革试点工作，可以结合各地改革的不同进展情况，将促进分布式能源发展与电力市场建设和配电网改革等相结合（如前文所述），共同推进，而不是仅仅依靠短期的刺激性政策。

专栏4.4 · 地方政策案例——上海

上海在天然气分布式能源发展上一直处于国内的领先水平，总装机规模达150兆瓦，覆盖了医院、办公、宾馆、工厂和交通枢纽，商务区、旅游、会展中心等多个行业。根据《上海市能源发展“十三五”规划》，2020年天然气分布式能源装机将进一步增长至200兆瓦。为推进天然气分布式能源发展，上海市2004年就出台了《关于本市鼓励发展燃气空调和分布式能源意见的通知》（2008年、2013年和2017年进行了更新）等政策，推出了一系列保障措施，主要有：

财政补贴。对分布式天然气项目，按照一定标准给予初始装机补贴和运行效果补贴（对能源综合利用率和年利用小时数达到一定标准以上的项目进行补贴），补贴标准从2004年的700元/千瓦，上升到2017年的最高3500元/千瓦。

并网保障。要求电网企业加强配电网建设，将天然气分布式供能纳入区域电网规划范畴；对符合标准的天然气分布式供能项目，规定办理并网业务，并网申报、审核和批准过程原则上不超过20个工作日。对总装机容量500千瓦及以下的项目，免收系统备用容量费；对总装机容量500千瓦以上的项目，用户若已按照变压器容量或最大需量缴纳了基本电费，不再收取系统备用容量费。

优惠气价。要求燃气供应企业优先保障对天然气分布式供能项目和燃气空调的天然气供应，并实施优惠气价。根据上游天然气门站价格调整，实行上下游价格联动调整。2015年11月，将各类非居民用户天然气销售（基准）价格每立方米均降低0.42元。

上网电价。出台了统一的天然气分布式能源上网电价政策，并根据上游天然气价格变动情况及时进行调整。2015年12月，《上海市关于调整本市天然气发电上网电价的通知》规定天然气分布式发电机组临时结算单一制电价调整为0.726元每千瓦时。

此外，上海市还明确了天然气分布式能源项目审批、补贴申请等业务程序以及相关职责，为企业项目申请铺平道路，提高了工作效率。

（三）能源市场的监督者

地方政府是城市能源运行的监督者，同时也是热力、天然气等能源的实际供应者（城市热力和燃气公司很多属于地方政府）。目前，在城市运行管理中，电力、热力、天然气分别由相应的公共服务公司负责供应和调度运行，并由能源和市政等不同部门进行监管，不但造成了部门之间的行业壁垒和信息交流障碍，而且因为彼此间上下游关系的相互制约，限制了运营效率和能源综合利用率的提高。以北京为例，为了推进大气污染治理，北京市不断推进“煤改气”进程，目前区域内的发电和供热大多以天然气为原料，同时电力和供热也是区域内最大的天然气消费者。电力、热力和燃气供应企业在优化调度、负荷耦合、应急响应等方面存在众多协同效应，但由于分属不同企业和行业，而限制了相关潜力的开发和效率的提升。为此，可以从以下两方面着手，加强相关工作：

- 积极鼓励打破不同能源行业之间的分割和垄断。支持现有电力、热力、燃气企业开展跨界经营和合作经营，通过建设分布式能源项目等方式，实现多能联供，提高能源供应总体效率。支持个人和私营资本通过建设分布式能源项目或参与国有能源企业混合所有制改革进入能源行业。
- 鼓励地方政府在监管机制上进行创新，整合电力、燃气、供热等不同行业监管职能，构建协同监管机制，变“多头管理”为“协同管理”，不断提高政府管理效率，减轻分布式能源企业监管负担。

（四）公共消费者

地方政府是城市能源的提供者，同时也是重要的消费者，各政府机关以及医院、学校、体育馆等公共机构都是巨大的能源消费群体，对整个社会的能源消费模式有着重大的直接影响和引导作用。为更好地发挥这种引导作用，地方政府可以在这些机构的能源供应方案选择中先行推广节能、环保的分布式能源，比如将新建的政府办公大楼以及医院、学校、体育馆等公共场所列为分布式能源应用示范项目，予以重点支持，继而带动分布式能源在社会其他部门的应用。如北京市在通州城市副中心建设中，通过建设“厂、网、站一体化”天然气分布式能源项目并同步配套建设供热管网，实现制冷、供热及发电的一体化，同时为城市副中心提供工业蒸汽、采暖、制冷和生活热水等多种清洁能源。

四、政府监管和服务

随着市场经济的发展和能源领域改革的推进，政府在能源发展中的角色也在逐渐发生变化：不断减少对企业微观经营活动的管理和约束，将更多精力集中在监管和服务上，通过制定规则并监督规则的执行，为企业创造良好的发展环境。在分布式能源的发展过程中，政府可以在这方面发挥巨大的作用，为企

业项目开发、技术研究、国际交流等提供支持和服务，并维护安全、环保等社会公众利益。

（一）推动完善分布式能源投融资和审批体制

融资困难、融资成本高和审批程序复杂是当前阻碍分布式能源发展的重要因素之一。作为中国能源转型的重要方向和清洁能源发展的重要载体，推动完善分布式能源领域投融资和审批体制，不但能有效促进分布式能源的发展，也将有力的推动中国能源领域管理体制的现代化和能源市场建设。具体可以从以下四个方面着手：

- 推动分布式能源投资主体多元化。推广政府和社会资本合作（PPP）模式和国有企业混合所有制改革是当前中国政府力推的两项重点改革措施，可与分布式能源的发展有效结合，拓宽分布式能源投资来源和所有制结构。建议启动一批具有典型性和代表性的分布式能源PPP试点项目（考虑项目规模，可以天然气分布式能源项目为主），公开进行社会招标，并鼓励财政补贴向PPP项目倾斜，努力吸引社会资本进入。同时选取部分现有国有企业分布式能源项目开展混合所有制改革试点，吸引项目服务的用户或周边利益相关者投资入股，推动完善项目所有制结构和管理机制。
- 推动分布式能源融资渠道多样化。出台支持分布式能源项目金融服务的相关政策，发挥金融杠杆作用，有效解决分布式能源项目融资难和成本高的问题。鼓励银行、基金、证券、保险等金融机构为分布式能源项目提供投融资服务，探索小额贷款、项目抵押贷款、股权投资等多种新型投融资产品。鼓励金融机构和地方政府、开发园区等合作建立分布式能源项目投融资平台，为中小企业和项目的投资、转让、运行维护提供资金支持。
- 推动分布式能源运营专业化。目前，中国的分布式能源项目以用户自主投资、运营为主，受限于技术力量、经验和资金等因素，运营情况往往不尽如人意（具体表现为因维护不当引起的设备故障较多，负荷预测和匹配水

平较低等），而且也难以实现规模化推广。应努力创新分布式能源运营模式，鼓励电网、燃气、热力等公用事业公司和社会资本组建专业化综合能源服务公司，从事市场化供能、售电等业务，并与用户直接签订售电、售热、售冷等长期服务合同。积极推行BOT（建设—运营—移交）、BOO（建设—拥有一运营）、EPC（合同能源管理）等市场化业务模式，提高分布式能源运营专业化水平。

- 提升分布式能源审批效率。继续推进“简政放权”，进一步下放天然气分布式能源项目审批权限，对发展规划内的项目由市级政府部门批准；在分布式光伏备案制的基础上，全面推行可再生分布式能源备案制管理。探索实行推广分布式能源项目核准与备案“一站式”管理，由一个政府部门负责到底，提高审批工作效率。充分利用全国投资项目在线审批监管平台，做好能源项目审批、监管等信息公开工作，提高透明度。

（二）推动能源基础数据公开

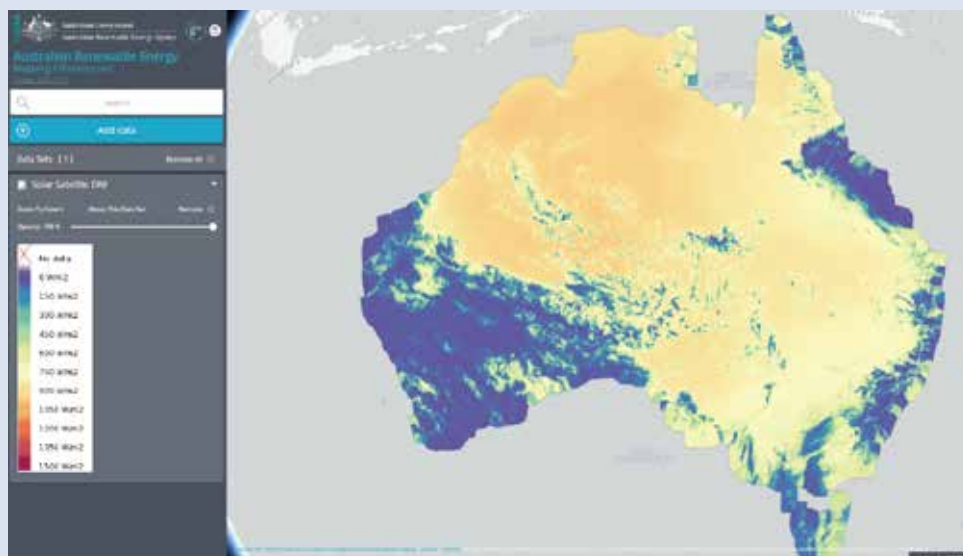
用户负荷需求、电网剩余容量、天然气供应以及其他可利用的能源情况等基础数据是开发分布式能源项目的基础和前提。分布式能源的灵活多变和规模较小等特点使其尤其适合中小企业和个人参与开发，发挥“大众创业，万众创新”的创造力和活力。但中小企业和个人往往缺乏进行基础调研、获得数据的能力，而且不同企业重复开展相关调研工作也提高了项目的前期成本和开发周期，最终影响分布式能源项目的经济性和竞争力，因此也成为阻碍分布式能源发展的一大障碍。

政府作为公共服务部门，在为分布式能源发展创造良好政策环境的同时，可以通过建立能源基础数据平台或能源地图等多种形式，将分散于不同部门和企业的相关信息进行整合并公开，供投资者查询使用，降低进入“门槛”和前期成本。在具体操作过程中，可以采用政府购买服务或要求相关部门主动公开等多种灵活多变的形式。

专栏4.5 · 能源基础数据共享经验

澳大利亚开发了一个完全公开的“澳大利亚可再生能源基础设施地图”（Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure, AREMI），该平台直接与澳大利亚能源市场运营机构、气象局和澳洲地球科学局等相关政府部门的数据相连，其目的是为能源投资者决策提供基础数据。投资者在平台上可以获得电力基础设施分布、电网投资计划、电网容量、发电量和需求负荷等各种信息，以及人口、气象、地理等基础数据。该平台将有关数据在一张地图上集中呈现，使用者可以根据需要加载查询，非常方便获取和使用，极大地减轻了投资者前期勘探和决策成本。

图4.1 · AREMI显示不同地区光照强度



要点 · 关于资源情况和电力基础设施的数据可以帮助投资决策

资料来源: AREMI (2016), Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure, <http://nationalmap.gov.au/renewables/>

阿姆斯特丹市开发了一个用于能源领域的图集系统（Energy Atlas），用来公布有关能源基础信息。该系统包含的内容很多，包括基本数据、能源情况和能源潜力等各方面。基本数据方面，包括了该市人口分布、房屋类型、业主情况、收入分布等各方面信息，甚至还有一个空中热扫描地图，显示了每一家屋顶的保温情况。能源情况则包括了能源消费和基础设施两大类数据，分别显示了天然气、电力和冷热需求，以及已有的风电和屋顶光伏的分布情况等。能源潜力展现了阿姆斯特丹本地能源的潜力情况，主要包括太阳能、风能、地热、储能、废弃物、余热等多个方面，并显示理论潜力、可开发潜力和当前使用量三个数据。通过将搜集到的数据进行公开，使用者可以随意查询相关信息，对数据进行分析，从而选择建设供热、供冷及供电等设施的合适位置和最佳方式。

（三）加强分布式能源标准体系建设

由于分布式能源在中国发展时间较短，而且初期以引进设备为主（主要指天然气分布式能源），国内并无相关技术标准；加之分布式能源横跨电力、热力、燃气等多个部门，在业务模式、技术路线、运行方式等方面与传统的集中式能源技术有着较大的不同，无法直接使用现有的技术标准体系，这对分布式能源项目建设产生了诸多不利影响。比如，由于缺乏专门的设计规范，部分天然气分布式能源项目参照传统热电厂设计规范进行设备选型，加之对冷热负荷预计不准确或冷热市场发育迟缓，造成设备闲置率高。因此，应加强有关技术研究，尽快建立统一规范的分布式能源标准体系，为分布式能源的发展提供坚实的基础。该体系主要应包含以下几方面的标准：

- 分布式能源设计、施工规范。充分利用可获取的各类一次能源类型，围绕综合能源利用效率最大化的目标，按照热、电、冷负荷匹配平衡的原则，明确分布式能源技术路线选择、负荷预测、设备选型标准和施工规范。

- 分布式能源并网规范。针对不同类型、不同规模分布式能源项目，制定明确的分布式能源并网技术要求。
- 分布式能源运行规范。明确分布式能源并网运行、安全监管、应急处置等技术要求。
- 其他与分布式能源有关的标准规范。智能电网、现代配电网、微电网以及储能设施的建设发展与分布式能源息息相关，相互影响。因此，在制定相关标准规范时，应充分考虑与分布式能源的协调。

（四）有效应对分布式能源安全风险

安全是能源系统运行的底线。作为一种新兴的能源供应方式，分布式能源技术突飞猛进，在面临自身安全风险的同时，由于分布式能源的发展对整个能源系统面貌带来了深刻的变革与影响，因此也给能源系统及系统中的其他设备带来了安全影响。这主要体现在以下几个方面：

- 分布式能源项目自身安全风险。分布式能源较多采用最新技术，对运行维护有着较高的要求，而大量中小企业和个人往往缺乏相关运行维护经验，带来相应的人身和设备安全风险。
- 对配电网运行风险的影响。随着分布式能源特别是分布式可再生能源大量分散接入配电网，对配电网的影响也日益增大，包括对电网功率损耗、配电线路潮流、配电网运行可靠性、电能质量等各个方面的影响。
- 对能源系统网络安全风险的影响。随着能源领域数字化进程的不断推进，网络安全逐渐成为能源系统运行安全的重大威胁之一。由于分布式能源并网点众多，均可能成为网络攻击的“入口”；同时分布式能源规模较小、分布分散，难以采取和大型集中式能源系统相同的网络安全风险防范措施，往往会成为网络安全的“薄弱点”和网络攻击的“突破口”。

面对上述影响，应首先加强对有关安全风险的分析与研判，加强安全监

管，有针对性地制定应对措施，如加强教育培训、强化配电网和建立网络安全区等。更重要的是，在能源系统规划和分布式能源项目设计时，就应提前考虑有关安全风险，采用技术措施，有效防范和控制安全风险。同时，应积极鼓励发展专业化的能源服务公司，弥补中小企业和个人在资金、技术力量等方面不足和缺陷。

（五）鼓励支持分布式能源技术创新

推动能源技术革命是中国能源发展基本战略（能源生产、消费、技术、体制革命和能源国际合作）之一，也是解决中国分布式能源发展面临的众多问题的关键（详见第三章）。

为加快分布式能源技术进步，应积极鼓励和支持分布式能源技术创新，通过设立政府、企业、学校、科研院所和用户相结合的分布式能源技术研发中心等方式，持续加大分布式能源技术研发投入，对大规模储能、能源互联网等关键技术进行科技攻关。加强新型分布式能源技术示范应用，促进成果转化。应加大对企业进行技术研发的支持，通过税收优惠和财政补贴等方式给予适当支持。应紧密跟踪世界前沿技术发展，加强交流合作。

五、加强国际交流

能源问题是一个全球性问题。在全球能源转型的大背景下，积极发展清洁能源和分布式能源是各国的共同选择。正如本报告第一章所述，在国际上分布式能源的发展已经走过了几十年的路程，许多国家在这方面已经取得了巨大的进展，积累了许多成功的经验。

作为世界第一大能源消费国和最大的温室气体排放国家，中国和全球的能源发展紧密相连。目前，中国正在积极参与全球治理，全力履行《巴黎气候协

议》承诺，将国内能源发展目标与全球能源转型历史使命紧密结合，努力推进能源生产、消费、技术和体制革命。能源国际交流在其中将发挥越来越重要的作用。应进一步加强与有关政府、国际组织、企业和科研机构建立对话、协商和沟通机制，就分布式能源开发和利用方面的观点和经验进行广泛交流；通过与有关国家和国际组织开展技术合作，借鉴国际有关经验，加快国内分布式能源的发展进程。与此同时，中国在分布式能源发展中取得的成功和经验，特别是使用分布式能源解决无电人口供电、商业模式创新、降低成本等方面对其他发展中国家也有很好的借鉴作用。

在这种背景下，作为中国在分布式能源领域与国际开展交流活动的成果，本报告凝聚了国际能源署和中国专家的共同贡献，是这一发展趋势的具体体现。

参考文献

- AREMI (Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure) (2016). Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure. <http://nationalmap.gov.au/renewables/>.
- Ben, H. (2010). Looking at Distributed Energy System from a Strategic Perspective: A Solution to China's Low-Carbon Development Strategy for Next 20 Years. www.zshg.com/zwny/10-11-21.htm.
- China.com (2017). 广州建成南方五省区内首个四网融合智能小区项目. <http://news.china.com/finance/11155042/20170329/30370819.html>.
- EC (European Commission) (2017). The EU Emissions Trading System (EU ETS). https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en.
- ERI (国家发改委能源研究所) (2013). 分布式发电发展模式和经营管理方式研究. <http://www.efchina.org/Reports-zh/reports-20130909-zh>.

- Hu, X.J. (2016). 中国天然气分布式能源发展现状与前景展望. www.qianzhan.com/analyst/detail/220/161109-610cf187.html.
- Li, L.C., Y.J. Zhang and M. Xu (2017). 我国能源系统形态演变及分布式能源发展. *Distributed Energy*, Vol. 2/1.
- Liu, M.P. (2016). 我国天然气分布式能源发展的制约因素及政策建议. www.sohu.com/a/106512391_131990.
- Lyu, M. (2016). 天然气分布式：问题与“十三五”建议. www.jiemian.com/article/984557.html.
- NDRC (国家发展与改革委员会) (2007). 能源发展“十一五”规划 [11th Five-Year Plan on Energy Development]. http://law.chinalawinfo.com/fulltext_form.aspx?Db=chl&Gid=89987.
- NDRC and NEA (国家能源局) (2016). 能源发展“十三五”规划. www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201701/t20170117_835278.html.
- NEA (2017). 两部门召开电力体制改革吹风会 交易量将翻番. www.nea.gov.cn/2017-07/26/c_136474425.htm.
- Niu, G. (2014). 分布式发电政策综述. www.mat-test.com/ViewFullPDF.htm?aid=OJ150803000316fiPIRo.
- Nyeng, P. and J. Østergaard (2010). *System Integration of Distributed Energy Resources*. Technical University of Denmark, Department of Electrical Engineering, Copenhagen.
- Purchala, P. et al. (2006). “Distributed generation and the grid integration issues”. https://eusustel.be/public/documents_public/WP/WP3/WP%203.4.1%20Distributed%20generation%20and%20grid%20integration%20issues.pdf.
- Ren, H., Y. Ban and W. Zhou (2015). “Current Status and future prospect of gas distributed generation in Shanghai”. *Journal of Policy Science*, Vol. 9, pp.51-63, <http://r-cube.ritsumei.ac.jp/bitstream/10367/6559/2/jsp-09-03.pdf>.

- SC (国务院) (2015). 关于进一步深化电力体制改革的若干意见. www.ne21.com/news/show-64828.html.
- SC (2013). 能源发展“十二五”规划. www.gov.cn/zwggk/2013-01/23/content_2318554.htm.
- SGERI (国网能源研究院) (2012). 分布式能源的政策法规关键问题研究. www.nea.gov.cn/2012-02/10/c_131402694.htm.
- Shi, M.Y. (2011). 发展分布式能源的政策诉求. www.csee.org.cn/home.aspx?PageId=e9ee7a95-621c-4620-8553-4207956c6bdf&ArticleId=f0830521-fb82-4339-a28f-b78d119cdd4f.
- Shi, D. and L. Wang (2017). 中国天然气发电发展现状及国际经验借鉴. <http://news.bjx.com.cn/html/20170527/828032.shtml>.
- Song, W.M. (2017). 我国天然气分布式能源的发展现状及趋势. <http://news.bjx.com.cn/html/20170206/806567.shtml>.
- thede.cn (2017). 上海市最新天然气分布式能源补贴政策发布. www.thede.cn/index.php?c=article&id=1516.
- Wang, X.J. and Q. Zhang (2015). 天然气分布式能源面临三大挑战. www.china5e.com/news/news-924613-1.html.
- Yang, L. (2017). 阿姆斯特丹的能源地图. <http://yuanchuang.caijing.com.cn/2017/0223/4238123.shtml>.

缩写和简称

AMI	Advanced metering infrastructure 先进计量设施
AREMI	Australian Renewable Energy Mapping Infrastructure 澳大利亚可再生能源基础设施地图
BEV	Battery-electric vehicles 纯电动汽车
BOO	Build-Own-Operate 建设—拥有—经营
BOT	Build-Operate-Transfer 建设—经营—转让
CCER	Country Certified Emissions Reduction 国家核证自愿减排量
CCHP	Combined cooling, heat and power 热电冷多联产
CHP	Combined heat and power 热电联产
CNESA	China Energy Storage Alliance 中关村储能产业技术联盟
CNOOC	China National Offshore Oil Corporation 中国海洋石油总公司
CNPC	China National Petroleum Corporation 中国石油天然气集团公司
CO ₂	carbon dioxide 二氧化碳
DBFO	Design-Build-Finance-Operate 设计—建设—融资—经营
DEP-SD	Department of Environmental Protection, Shandong Province 山东省环保厅
DER	Distributed Energy Resource 分布式能源资源
DES	Distributed energy systems 分布式能源系统
DG	Distributed generation 分布式发电
DH	District heating 区域供暖

DH&C	District heating and cooling 区域供暖和供冷
DNG	Distributed natural gas 天然气分布式能源
DPV	distributed photovoltaic 分布式光伏
DR	Demand response 需求侧响应
DRC-SD	Development and Reform Commission, Shandong Province 山东省发展和改革委员会
DRE	Distributed renewable energy 分布式可再生能源
DS	Distributed storage 分布式储能
EfW	Energy from waste 垃圾发电
EMS	Energy management systems 能源管理系统
EPC	Energy performance contract 合同能源管理
ERCOT	Electric Reliability Council of Texas 德州电力可靠性委员会
ERI	Energy Research Institute of National development and Reform Commission 发展和改革委员会能源研究所
ES	Energy storage 储能
ESCO	Energy service companies 能源服务公司
EU	European Union 欧盟
EU ETS	EU Emissions Trading Scheme 欧盟排放权交易机制
EV	Electric vehicles 电动汽车
FYP	Five-Year Plan 五年规划
HP	Heat pump 热泵
ICE	Internal combustion engine 内燃机
ICT	Information and communication technology 信息和通信技术
IEA	International Energy Agency 国际能源署

LED	Light-emitting diodes 发光二极管
LNG	Liquefied natural gas 液化天然气
METI	Ministry of Economy Trade and Industry 经济产业省（日本）
MOF	Ministry of Finance 财政部
MOHURD	Ministry of Housing and Urban-Rural Development 住房和城乡建设部
NDRC	National Development and Reform Commission 国家发展和改革委员会
NEA	National Energy Administration 国家能源局
NERC	North American Electric Reliability Corporation 北美电力可靠性公司
NYISO	New York Independent System Operator 纽约独立系统交易运行机构
PEFC	Polymer electrolyte fuel cell 聚合物电解质燃料电池
PEM	Proton exchange membrane 质子交换膜
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicles 插电式混合动力汽车
PPP	Public-private partnership 政府和社会资本合作模式
REV	Reforming the Energy Vision 改革能源愿景
RMB	Chinese Renminbi 人民币
SEPA	Smart Electric Power Alliance 智能电力联盟
SGERI	State Grid Energy Research Institute 国网能源研究院
SME	Small and medium-sized enterprises 中小型企业
SMUD	Sacramento Municipal Utility District 萨克拉门托市政事业部
SOE	State-owned Enterprise 国有企业
SOFC	Solid oxide fuel cell 固体氧化物燃料电池

T&D	Transmission and distribution 输电与配电
USD	United States dollars 美元
VoS	Value of solar 太阳能价值
VRE	Variable renewable energy 变动性可再生能源
WPT	Wireless power transfer 无线电力传输

本报告原文同时用英语发表。
虽然国际能源署尽力确保中英文一致，但仍难免略有差异。

This publication reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of individual IEA member countries. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the publication's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the publication.

Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

This document, as well as any data and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA Publications,
International Energy Agency
Website: www.iea.org
Contact information: www.iea.org/aboutus/contactus

Typeset and printed in China by PIP, October 2017

Cover design: IEA. Photo credits: © Shutterstock.

IEA/OECD possible corrigenda on: www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm

Online bookshop

www.iea.org/books

PDF versions at 20% discount

E-mail: books@iea.org



Global Gas Security series

Energy Technology Perspectives series

World Energy Outlook series

Energy Policies of IEA Countries series

World Energy Investment series

Energy Statistics series

Oil

Energy Policies Beyond IEA Countries series

Gas

Coal

Renewable Energy

Energy Efficiency

Market Report Series



国际能源署中国能源合作系列报告