



国家电网
STATE GRID

国网能源研究院
STATE GRID ENERGY RESEARCH INSTITUTE



国际能源署
安全·可持续·合作

重塑电力市场

低碳电力系统转型过程中的 市场设计与监管

Re-powering Markets

Market design and regulation during the transition to
low-carbon power systems

国际能源署 编著
国网能源研究院 组译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





国家电网
STATE GRID

国网能源研究院
STATE GRID ENERGY RESEARCH INSTITUTE



国际能源署
安全·可持续·合作

重塑电力市场

低碳电力系统转型过程中的 市场设计与监管

Re-powering Markets

Market design and regulation during the transition to
low-carbon power systems

国际能源署 编著
国网能源研究院 组译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书详细介绍了适应电力系统低碳转型的电力市场设计及监管关键问题,内容涵盖低碳投资、短期电力市场、电力可靠性与稀缺定价、容量市场、输电网建设、配电网升级和零售市场等方面的内容,对我国能源转型、电力市场建设等具有重要参考价值。本书的读者对象为可再生能源、能源转型、电力改革与电力市场等领域的政府机构、行业及科研院所相关人员,以及对这些领域感兴趣的读者。

Re-powering Markets: Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems / by IEA

This title is published in China by China Machine Press with license from State Grid Energy Research Institute. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书由国网能源研究院授权机械工业出版社在中华人民共和国境内地区(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2017-3225 号。

图书在版编目(CIP)数据

重塑电力市场:低碳电力系统转型过程中的市场设计与监管/法国国际能源署编著;国家电网,国网能源研究院组译.--北京:机械工业出版社,2017.5

书名原文:Re-powering Markets: Markets design and regulation during the transition to low-carbon power systems

ISBN 978-7-111-56936-7

I. ①重… II. ①法… ②国… ③国… III. ①电力系统—系统设计②电力系统—监管制度 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第094961号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张丰收 责任编辑:张万英 版式设计:郭霞

责任校对:朱历 封面设计:郭霞 责任印制:陈大立

版式制作:北京睿心达图文设计有限公司

印刷制作:北京宝昌彩色印刷有限公司

2017年5月第1版第1次印刷

160mm×230mm·15印张·220千字

0001—2000册

标准书号:ISBN 978-7-111-56936-7

定价:88.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

前言

2015年国际能源署成员国部长级会议提出了全新的战略愿景：将国际能源署转变为全球清洁能源技术中心。重要的是，这个新的愿景与国际能源署在能源安全方面的核心使命紧密相关。电力监管和市场设计是清洁能源和能源安全关系最密切的领域。能源安全问题最严重的后果莫过于大城市因停电而陷入黑暗。正如消费者离不开照明设施和电器，构建在通信和计算机等工具上的互联经济体也离不开高品质的电力供应。

一个世纪以来，集中式的高碳电力系统实现了电能的安全供给，代价是产生了全球1/3以上的碳排放。因此，低碳转型要获得充分的社会支持和政治支持，供电安全就不能低于社会所期望的水平。巴西、法国等一些国家利用大规模常规低碳技术构建的低碳电力系统主要得益于其独特的自然资源和政策，因此只是特例。风电和太阳能光伏发电是最具前景的低碳发电技术，在近年来新建的低碳发电中占极大比重。不过，从系统运行和监管的角度，这两种波动性可再生能源发电与传统发电技术有着本质差异。风电和太阳能发电会替代传统的可调度发电容量。因此，能源转型需要对系统运行和监管进行改革。

但能源转型并不因此而停滞不前。国际能源署在此前发布的《转型的力量》报告中已经指出，通过积极调动灵活性资源，可以安全、经济地实现高比例波动性可再生能源接入电力系统。低碳、需求响应和储能技术的飞速发展会推动电力系统向更智能、更高效和更安全的方向发展，但使这些技术充分发挥潜力还需要新的政策和监管措施。虽然技术突飞猛进，但是网络基础设施发展滞后。创新不仅是智能电表这么简单，还关乎对涉及数百万电力用户的新型灵活商业模式的智慧监管。服务于以单向电能传输、电表读取频率低为特点的集中式发电系统的旧监管模式，无法发挥新技术带来的、新型低碳电力系统需要的实时运行灵活性。如果监管制度、市场设计以及系统运行最终落后于技术发展，就可能会威胁电力安全，并最终影响低碳转型。

《重塑电力市场》是国际能源署的第一本分析低碳电力系统电力市场框架的官方出版物。书中讨论了在电力市场的所有相关维度上，政策制定者在支持创新和竞争与推动低碳技术投资之间所必须保持的平衡。该书覆盖了适应电力低碳转型的电力市场设计特点。这种电力市场既需要有合理的价格信号，也需要通过竞争的方式保证系统的灵活性和充裕性。书中还详细分析了针对全球最大和最复杂系统——电网的政策和监管。电网一直以来都是最基础的设施，但也必须转型。《重塑电力市场》是国际能源署电力安全行动计划取得的最重要成果，也是国际能源署对《巴黎协定》签署后的能源转型所做的一项重要贡献。

法提赫·比罗尔 博士
国际能源署 署长

执行概要

竞争性电力市场正受到电力低碳转型的挑战。在 2015 年 12 月召开的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 第 21 次缔约方会议 (COP21) 上达成的《巴黎协定》，有望为气候变化和能源低碳转型政策注入新的活力，但面临的挑战异常艰巨。根据国际能源署 (IEA) 对经济合作与发展组织 (OECD) 各经济体的预测，为了实现将全球温升控制在 2℃ 以内的目标，到 2050 年，电力生产的平均碳排放强度需要从 2015 年的 411 g/kW·h 降至 15 g/kW·h。尽管许多研究从技术和经济两方面论证了其可行性，但实现这样的目标需要重新设计电力市场架构。

本书详细介绍了如何通过电力市场架构设计，在保证电力安全的同时，以最低成本实现低碳电力转型。

有关低碳电力市场设计的争论大体呈现了两种截然不同的政策路径：一种依赖于具有较高碳价的电力批发市场，另一种则针对特定技术采取政策监管。但实践观察表明，这两种路径都能找到失败案例。很显然，仅靠任何一种都无法诠释低碳电力系统的市场架构。

实现低碳电力转型，需要将碳价和支持政策纳入统一的电力市场架构设计。竞争性市场是实现低碳电力转型的重要手段，但必须与电力监管相结合才能确保以最低成本成功转型。表 0-1 展示了一个低碳电力市场的顶层设计框图，框图内容包括了政府和监管机构制定的规则以及竞争性市场扮演的相应角色。

表 0-1 低碳电力市场的顶层设计框图

目标	政策	监管手段	竞争性市场
低碳投资	碳定价	碳排放管制	碳价（交易机制） 长期合同
	附加政策：扶持机制	低碳技术长期扶持	基于竞拍确定扶持水平 融入电力市场
运行效率 可靠性 充裕度	短期电量市场	市场规则 稀缺定价 可靠性标准	具有高地理精细度的电量价格 具有高时间精细度的电量价格 动态定价
	附加政策：容量市场	容量需求 需求侧响应产品定义	容量价格 需求侧响应参与
电网效率	电网监管	区域规划 电网成本分摊	阻塞收入 输电竞拍
用电	零售定价	电网费率结构 税及附加费	竞争性零售价格 分布式资源

长远来看，电力市场的设计与实际可用的技术组合密切关联。我们无法定义什么才是低碳电力时代的“完美”市场设计。电力市场的完善更可能是一个渐进的过程，这一渐进的过程充分地体现了各种技术和市场规则之间相互作用的关系，即技术的发展催生市场规则的演变、市场规则的演变推动技术的发展。

重塑电力市场汇集了当今电力市场设计的优秀范例，这些主要源自欧美国家的范例对于世界各国，包括 OECD 之外的国家的电力市场设计都有启示意义。本书的主要研究结论如下：

1. 低碳投资：挖掘市场价值的同时保持长期政策支持

低碳发电企业有参与电力市场的需求，因为它们有理由、有条件从市场中获取更高收益。通过参与市场的方式还能形成市场反馈机制，以揭示不同低碳技术的市场价值。低碳技术投资者不应仍依靠政策支持作为主要的收入来源，而应承担一定程度的电价不确定风险。为了避免造成对运行决策的扭曲，任何时间、地点一旦出现负电价，都不应再采取发电激励措施。

然而，要及时、有效地形成足够规模的低碳投资市场，仅靠电量市场收入是不够的。目前，大多数国家的电力市场的价格过低，无法满足任何一种低碳技术投资成本回收的要求，其中包括可再生能源和核能。这就需要引入一个相对稳定的高碳价，但引入高碳价或者提高现有碳价都需要一个过程，而且会引发公众接受度的问题，在政治上也仍存在争议。这一系列问题都会给投资商带来潜在风险。此外，要在 2030 年底实现低碳转型目标，意味着低碳技术的发展比现有发电技术正常退役的速度要快，而这会进一步压低能源转型期间的电力市场价格。

因此，为吸引足够规模的新型低碳发电，政府仍有必要提供长期的政策支持。低碳投资属于资金密集型投资，其成本结构不太适合采用短期边际成本定价方式，需要有长期稳定的市场预期，以降低投资风险和融资成本。

为实现低碳目标，需要建立一个新的包含碳价机制和低碳投资支持的统一市场架构。市场风险应由投资者、用户和政府共同承担，例如，政府可根据市场价格调整政策支持力度，当碳价和电力市场价格上升时适当降低支持力度。

通过竞标方式可以利用市场竞争来确定市场收入之外所需的政策支持力度。竞标过程可以更好地调控电源发展规模，也可减少低碳发电成本下降与市场价值之间的信息不对称，有助于发现最具有竞争力的低碳技术。

2. 短期市场：提高价格的精细度

短期市场是关键。在实时运行前数小时，向市场提供不断更新的价格信息，可激励分布式电源、购电商和周边市场最大化的满足系统需求。随着风电和太阳能发电比重提升，更需要市场参与者跟踪出力变化、解决电网阻塞问题和管理预测误差。价格在日前市场、

日内市场、实时（平衡）市场和辅助服务市场扮演重要角色，可体现电的价值（从而指导长期投资）。

需要设计更高时间精细度和地理精细度的电力市场。系统运营商需要在运行过程中不断作出决策，保障电力系统安全运行和新增风电、太阳能发电的并网，这就需要进一步完善短期市场使这些运行决策准确地反映在电价中。此外，应使精细电价尽可能公开透明，以对运行和投资的合适地点和时间提供有效激励。

在美国的部分地区，高地理精细度的定价已经在日前市场和实时市场中以节点定价的形式存在，并已逐步被各大独立系统运营商（ISO）/区域输电管理组织（RTO）采用。和欧洲的情况略有不同，美国没有介于日前市场和实时市场之间的日内市场。未来可以通过在日内增加透明的节点边际价格加以完善。

在欧洲，日前市场中尚未形成更高地理精细度的定价。原因是多方面的，如电网阻塞少，本地竞争较弱等，更重要的是许多国家从政治上倾向于在全国采取统一电力批发价格。即便如此，所有电网都遵从同样的物理定律，欧洲大多数的平衡市场（相当于美国的实时市场）已经为电网运营商提供了用于管理运行偏差、减少阻塞并确保系统安全的各电厂信息。因此，欧洲仍需要逐步完善其短期市场，以增加调度运行前数小时边际成本变化的透明度，并按位置发布价格信息。

尽管上述想法源自当前最成功的市场实践，但实际并不存在一种放之四海而皆准的标准模式。市场的演变过程本身是非常重要的，无疑值得进一步深入、细致地分析。

3. 资源充裕性：代表用户利益为可靠性定价

现今，OECD 各经济体的电力安全水平已经非常高，这对数字化经济的发展具有至关重要的作用。最近的一些大面积停电事故主要由输电线路故障造成，而局部电力供应中断现象往往由配电网故障产生。风电和太阳能发电的发展，加上现有发电厂设备的老化，对电力可靠性提出了新的挑战。各国政府在能源转型过程中应继续严守较高的电力可靠性标准。

电力稀缺价格也是必不可少的，能够促使各种资源（包括负荷）在最需要时参与系统调节。然而，发生系统容量短缺的数小时内电力市场价格也不应该脱离电力监管。系统紧张的情况较少发生，市场参与者往往无法准确预判。此外，发电商会放任市场在数小时的系统紧张期内发挥作用，但政策制定者通常不会容忍市场价格暴涨，因此在许多区域设定了严格的价格上限。但这些价格上限远低于满足高可靠性标准所需的电价水平。

一种可行方案是由监管机构事先制定电力稀缺价格。从澳大利亚国家电力市场（NEM）和美国德克萨斯州电力可靠性委员会（ERCOT）的经验来看，监管机构可精准地制定市场架构。稀缺价格可使避免切负荷所需的市场价值增加达到 1 h 失负荷价值的水平，通常为 1 万 ~ 2 万美元 / MW · h。监管机构可事先制定适当的减弱市场力的规则，以避免参与者在多年的交易中所获得的累计收益过高。

4. 容量市场：创建一个安全网

除了短期市场中的稀缺价格，多数重组的电力市场都有某种类型的容量机制，以确保长期的电力充裕性。面对低碳转型期间政策的不确定性、需求响应不足等问题，容量定价机制可以提供一个安全网。因此，容量市场应被视为一种实现以政策驱动的长期可靠性目标的有效工具。

基于目标的容量机制，如计划备用容量，是对短期供电安全的一种有益补充。计划备用容量通过与新建容量或行将退役的老旧机组签定合约，提供快速和简单的容量解决方案。但其无法降低投资风险，并可能促使市场参与者在新的容量招标发布之前，作出推迟投资的决策。

系统范围的容量机制，如容量市场，有助于实现长期的资源充裕性目标，但由于其具有广泛的影响，需要精心设计，以避免效率低下。容量市场应保持技术中立、包含发电侧和需求侧的资源、并具有一定的前瞻性。同时，应采取适当的惩罚措施，确保合同约定的备用容量随时可用。

上述机制中，容量跨区参与市场能更好的发挥区域市场一体化在电力充裕性方面的价值。需要对各区域电源的充裕性进行预测，对不同区域容量产品的规定不应相互冲突。此外，还必须对电源短缺期间的跨区容量（包括这些容量的可用性及电网输送能力）和高效电力流的最大贡献进行评估。各区域容量机制之间不一致，有可能也会阻碍跨区容量交易或扭曲竞争。

5. 需求响应：充分利用动态定价

电力用户的价格弹性较低，这个特点一直以来都影响着电力市场的设计。到目前为止，影响电力价格波动的主要还是直接参与电力批发市场的大用户。随着低碳转型和新技术的发展，这种情况正在发生转变。

新的信息和自动化技术让小型用户能够参与到一个更灵活、成本更低的电力系统中，对电力批发市场的价格变化也作出响应。这能促进电力生产与电能服务、储能之间更好的融合，提高系统灵活性，以满足可再生能源并网和电力安全性提升的要求。此外，零售商的作用也必不可少，包括开发需求响应潜能，使用动态定价方案，以及参与电力批发市场为电力用户提供不同产品组合等。

还有一种做法是将需求响应视同于电量市场和容量市场中的发电。在某些管辖区域内，如美国的宾夕法尼亚州—新泽西州—马里兰州电力市场（PJM），已经开启了需求响应市场。但将需求响应作为一个电源来进行“调度”，还需要制订一些复杂的市场规则。需求响应只能在确定用电基准曲线的基础上进行评估，但由于用电基准曲线难以界定，可能导致隐性补贴。事实证明，很难为能源集成服务商直接设定合适的收益率，相反，可鼓励采用测量和自动化的新技术，如智能电表，进行动态定价。

6. 输电投资：不只关注本地利益

电网决定了电力市场的规模大小和竞争激烈程度。尽管分布式电源不断增加，输电仍是一种促进高比例风电和太阳能发电消纳的成本效益较优的方式。此外，输电网对于保障电力供应也至关重要。

许多输电工程的收益大于成本，但受到当地一些接受度问题的制约。风电和太阳能发电的发展速度与输电网的建设速度相比要快很多，导致更频繁的电网阻塞。各国政府应继续优先发展和新建输电线路，特别是跨区输电线路。同时需要采取合适的管理方式，在更大区域内综合考虑多个区域的利益。

对于商业输电线路，输电拍卖方式颇具前景。对于那些新的、具有潜在商业价值的输电资产，可以采用竞争性程序来决定其建设者和所有者。这些输电线路仍会受到监管，但输电拍卖可以带来更多创新，并使现有的输电网所有者置身于竞争之中。

7. 配电网监管 2.0

对配电网的监管需要现代化，以适应分布式能源（DER）的发展，如太阳能光伏发电（PV）、储能、电动汽车（EV）、热泵、微燃机和需求响应。新的配电模式要求在信息技术方面加大投入，其运营费用（OPEX）比传统模式的更高，但在电线和变压器方面的投资（CAPEX）较少。在此背景下，监管必须向基于实际效果的方式转变，使很多配电公司都能实现高效投资。

监管框架应使 DER 参与本地市场和电力批发市场。目前已提出几种监管模式，包括传统模式和基于市场的模式。在传统模式中，配电系统运营商将对分布式能源进行整合；基于市场的模式则建立在当地分布式能源的市场平台之上（正如纽约的“能源愿景改革”中的市场平台）。配电监管的完善离不开配电监管框架的现代化。

8. 零售定价：向用户传递正确的信号

为更好地反映真实电力成本和结构，迫切需要进行零售定价改革。当前的电价和税费结构不随时间变化，导致效率低下。对分布式资源的投资并不总具有经济性，因为减少的电费支出并不能合理地反映电力系统减少的成本。太阳能光伏发电和小规模储能等设备的建设周期与大型电力基础设施存在较大差异，这也使得问题更为严重。

零售竞争能带来创新的商业服务。具有竞争性的零售费率将电力批发电价传递到终端用户，其目标是更好地反映用户侧的用电和投资决策的市场价值。

特别地，电网费率应重新调整其固定部分和容量部分的价格，以更好地反映成本。除了制定随时间变化的电价之外，零售电价的结构还应向用户传递正确的信号，促进用户侧对分布式能源的有效投资和运营。

目 录

译者序

前言

执行概要

第 1 章 重塑电力市场：背景和关键问题 1

- 1.1 电力改革 1
 - 1.1.1 大多数地区对电力产业结构进行了重组 1
 - 1.1.2 竞争性电力市场的表现 4
- 1.2 电力行业在能源转型过程中所面临的挑战 5
 - 1.2.1 降低 CO₂ 排放量 5
 - 1.2.2 供电安全 9
 - 1.2.3 效率 11
 - 1.2.4 竞争性市场中发电企业的未来 13
- 1.3 重塑电力市场 14
 - 1.3.1 批发市场至关重要 14
 - 1.3.2 定义电力批发市场 15
 - 1.3.3 监管 17

第 2 章 低碳发电投资 21

- 2.1 低碳电力市场设计：需要什么？ 22
 - 2.1.1 低碳市场设计和低碳技术发展 23
 - 2.1.2 低碳技术的高成本投资：融资难题 25
 - 2.1.3 分布式发电和零售定价设计 27
 - 2.1.4 结论：2050 年，具有强碳价信号的单一电量市场是否能有效引导低碳电力系统投资？ 31
- 2.2 市场和碳价不确定性可能会阻碍低碳投资 32
 - 2.2.1 转型期间，批发电价可能会保持较低水平 32
 - 2.2.2 碳定价的不确定性 33
 - 2.2.3 化石燃料价格的不确定性 35
 - 2.2.4 资本市场的制约 36
 - 2.2.5 结论：低碳政策面临几个关键挑战 37

2.3	监管转型：鼓励低碳投资	37
2.3.1	现有低碳投资支持机制的类型	38
2.3.2	部分承担市场风险：可调节溢价机制	41
2.3.3	低碳支持机制设计	46
2.3.4	风险分配	48
2.4	结论：有必要制定碳价政策以外的支持机制，且存在多种选择	48
第3章	短期市场	53
3.1	高比例波动性和分布式能源接入对电力系统运行的新要求：提高灵活性	54
3.1.1	分布式发电的预测性和可控性	55
3.1.2	发电的可调度性	56
3.1.3	发电过剩	57
3.1.4	爬坡要求	58
3.1.5	可预测性和预测误差	58
3.1.6	电网阻塞	59
3.1.7	结论：在运行前数小时需要做更多的调整	60
3.2	市场设计的精细度	60
3.2.1	高精度市场设计与低精细度市场设计	61
3.2.2	短期市场的市场力和地理精细度	67
3.3	适合高比例可再生能源的短期市场设计：抛砖引玉的建议	68
3.3.1	调整期间（运行前最后数小时）市场设计的原则	68
3.3.2	现有市场设计所需要的最小变化	73
第4章	可靠性、充裕性和稀缺定价	77
4.1	可靠性管理	78
4.1.1	可靠性管理的必要性	78
4.1.2	可靠性管理调查	83
4.1.3	实际可靠性	86
4.2	市场设计：稀缺定价	89
4.2.1	稀缺定价的市场失灵和监管失灵	89
4.2.2	提高价格上限以满足可靠性标准	90
4.2.3	对市场力应进行事前监管	91
4.2.4	稀缺定价监管可能是必要的	92

4.2.5	价格尖峰出现的频次和投资的激励措施	95
4.2.6	投资周期内满足可靠性标准	96
4.3	结论	97
第 5 章	容量市场设计	103
5.1	容量机制的推广应用	103
5.1.1	单一电量市场与容量机制	103
5.1.2	发展现状	105
5.1.3	容量机制的形式	107
5.2	目标容量机制	109
5.2.1	战略备用容量机制的一般原则	109
5.2.2	瑞典	111
5.2.3	比利时	112
5.3	全市场容量机制	113
5.3.1	一般原则 (基于 PJM 的可靠性定价模型)	113
5.3.2	NYISO	124
5.3.3	英国	127
5.3.4	法国	128
5.4	区域市场和容量交易	129
5.4.1	国家或区域容量市场是否会影响跨区电量市场的运营?	129
5.4.2	外部容量资源如何参与容量市场?	131
5.4.3	容量市场有效协调的原则	131
5.5	结论	132
第 6 章	需求响应	137
6.1	需求响应的价值	138
6.1.1	潜在的变局者	138
6.1.2	对电网的影响	139
6.1.3	储能作为需求响应资源	140
6.1.4	能源行业的自动化和耦合	140
6.2	电力市场的需求响应	142
6.2.1	参与各类市场	143
6.2.2	实施挑战	148

6.3	动态定价	150
6.3.1	定价必须是用户友好型的	151
6.3.2	重组的电力市场中动态定价带来的挑战	152
6.4	结论	154
第7章	互联输电网	157
7.1	电网是电力市场的主干	159
7.1.1	分布式发电与集中式发电	159
7.1.2	降低发电成本	160
7.1.3	系统安全性	161
7.1.4	区域发电充裕性	161
7.2	当前的进展情况	162
7.2.1	北美	163
7.2.2	欧洲	165
7.2.3	澳大利亚	166
7.2.4	日本	166
7.3	新建电网互联通道的投资	167
7.3.1	建设电网互联通道的障碍	167
7.3.2	协调规划	168
7.3.3	成本效益分析	170
7.3.4	成本分摊	173
7.4	基于市场的电网基础设施投资	175
7.4.1	商业投资	175
7.4.2	新建电网互联通道面临的竞争	176
7.5	结论	177
第8章	配电网的监管	179
8.1	分布式能源引发的监管反思	180
8.1.1	可控分布式发电有利于供电可靠性提高	181
8.1.2	波动性分布式可再生能源发电和热点地区	182
8.1.3	分布式储能可以降低本地峰值负荷	183
8.1.4	电动汽车会增加峰值需求	183
8.1.5	需求响应必须解决配电系统问题	184
8.2	分布式能源市场平台的设计	184

8.2.1	支持分布式能源参与市场	184
8.2.2	分布式能源市场平台与短期电力批发市场的协调	186
8.3	配电网运营商监管 2.0	188
8.3.1	市场平台会成为配电网运营商的新角色吗?	189
8.3.2	配电网运营商和输电网运营商之间的双向合作	190
8.3.3	含可再生能源的电网投资规划	191
8.3.4	对准许收入进行监管	192
8.4	结论	198
第 9 章	零售定价	201
9.1	零售价格、竞争和表后发电	201
9.1.1	零售电价的变化	201
9.1.2	零售竞争	204
9.1.3	新型竞争形式:表后发电	208
9.2	零售电价改革	209
9.2.1	考虑分布式发电的电网费用结构	210
9.2.2	动态/实时定价	213
9.2.3	电力税	214
9.3	结论	215
第 10 章	结论和主要建议	219
10.1	市场框架的全面概述	220
10.2	主要建议:适应低碳转型的新市场框架	222

第1章 重塑电力市场：背景和关键问题

本章重点

- 1) 发电环节对二氧化碳(CO₂)减排关系重大。
- 2) 在过去的30年里,许多国家进行了电力市场化改革。为确保实现低碳转型,这些电力市场还需要进一步调整。
- 3) 低碳转型的时机很重要。电力低碳转型需要加速,这实际上意味着需要降低燃煤发电的比例。对于低碳发电的投资也要加快,才能保证低碳转型顺利推进。
- 4) 供电安全是电力低碳转型的前提。重大安全问题会被优先考虑,同时也可能造成其他改革任务的推迟。
- 5) 在转型期,高效的电力市场就像提高能效一样,将有助于保持可承受的电价。从长远来看,未来的电力市场和现行的电力市场会有很大的差异,其市场体系需要有利于低碳发电投资,并能够应对低碳转型过程中的各种不确定性。

本章对适应低碳电力转型的电力市场设计关键问题进行了概述。

自1980年智利引入竞争性电力市场,1990年英国进行了电力市场化改革,竞争性电力市场已在越来越多的地区发展起来。目前,日本和墨西哥也在进行电力系统的改革。这些市场的建设已经积累了很多经验,可以为其他地区的市场设计提供参考。

在过去的10年中,电力行业的一些低碳转型政策已对电力市场产生了重大影响。在可预见的未来,这种情况很可能一直存在。碳价已被引入欧洲和美国的一些地方。随着风电和太阳能发电达到一定规模,并成为电力市场的重要组成部分,对电力市场而言,影响最大的是可再生能源的支持政策。随着电力低碳转型的持续推进,可再生能源、核能和碳捕捉与储存(CCS)技术也有望得到进一步发展。

本章首先介绍了在OECD各国以及非经合组织国家和地区进行电力重组的重要性。第2节回顾了电力低碳转型给电力市场带来的一些主要问题。最后一节介绍了电力市场不同模块在解决低碳转型相关问题时发挥的作用。

1.1 电力改革

1.1.1 大多数地区对电力产业结构进行了重组

在过去的20年中,多数国家的电力产业体系经历了深刻的变革,其中不仅包括经合组织的国家,还包括非经合组织的国家和地区(Sioshansi, 2013)(图1-2)。本节简要介绍了不同国家电力改革的实施方式和进展。

20世纪90年代以前,大多数国家的电力系统采用垂直一体化、受管制的垄断经营

模式。这种模式在大多数非洲国家和一些用电量少的小国家仍然沿用。在这些国家，电力行业属于国有的公用事业，甚至是政府部门的组成部分。国际能源署（IEA）分析表明，2012 年，采用这种垂直垄断管理模式国家的用电量仅占全球电力消费总量的 6%。

电力市场化改革最基本的模式是在垂直一体化的公用事业公司之外引入独立发电商。独立发电商建设、拥有并经营发电厂，并以预定的价格将其电力销售给本地的电力公司。美国国会于 1978 年通过了《公用事业监管政策法案》（PURPA），向独立发电商开放了电力系统，美国的许多州至今仍然延续这一模式。这种模式在包括印度尼西亚、泰国以及中东的许多国家在内的大多数亚洲国家中也占有主导地位。

拆分是进一步市场化改革的模式。在采用拆分模式的电力市场体系中，垂直一体化的公用事业公司被分成不同的公司，这些公司拥有或经营发电资产，或者开展输电网和配电网业务并提供相关服务（见图 1-1）。在大型电力系统中，这种拆分方式通常是进行市场化改革的第一步。例如，中国 2002 年的改革中，将原国家电力公司分成两家电网公司和五大发电集团（Andrews-Speed，2013 年）。这是世界上进行拆分的最大电网，其 2012 年的总用电量为 4.326 万亿 kW·h。另一个例子是印度，印度国家电网公司成立的几个部门，与国家电力委员会和几个发电公司进行了互联（Sen and Jamasb，2013 年）。在许多情况下，所有的企业仍归国有，从原则上减少了拆分后各组织之间的协调问题。

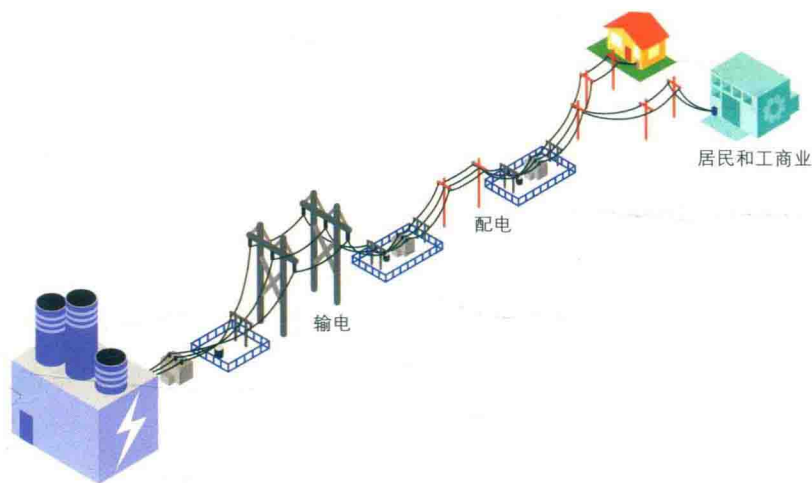


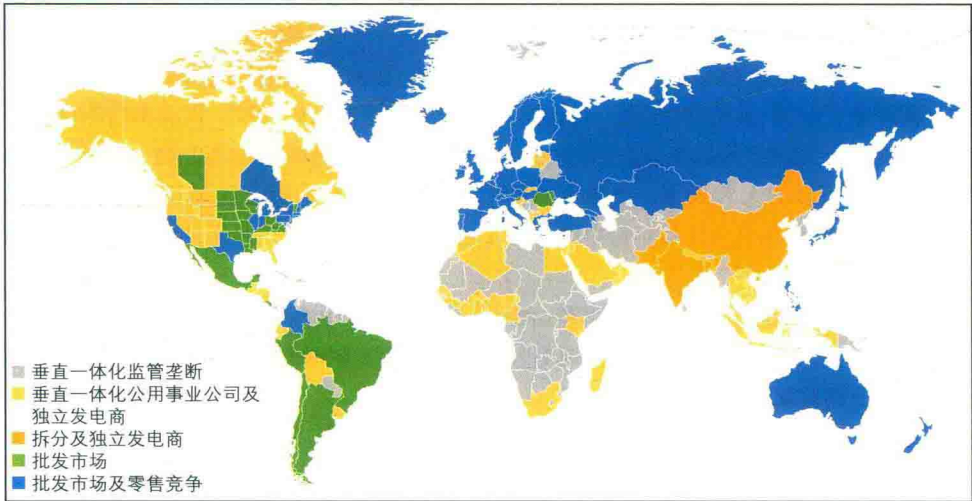
图 1-1 电力行业的组织

要点：垂直一体化且被监管的传统电力企业已被拆分：虽然输电和配业务仍属于监管下的垄断，但不同发电企业之间存在竞争，用户还可以选择供电商。

电力重组的一个重要目标是在更大的地理范围内建立竞争性的批发市场。然而，要保证拆分后的大型电力系统高效协调运行仍然具有一定的复杂性。迄今为止，经合组织成员国电力市场化改革力度最大。例如在美国，部分州对其电力行业进行了重组（Joskow，

2007, Borenstein, 2014 年)。美国国会于 1992 年通过《国家能源政策法案》，以进一步开放电力市场，允许发电企业在售电市场参与竞争。

在美国的一些地区，通过建立市场，将众多小平衡区整合到一个大的批发市场（IEA, 2014a）。ISO 或 RTO 基于电厂报价，考虑电网约束，对各发电厂进行调度。例如，美国的宾夕法尼亚州－新泽西州－马里兰州互联电力公司（PJM）为超过 14 个州 150 GW 的负荷供电。除了电网的拆分，发电资产也被分给相互竞争的几家发电公司。美国的 PJM 公司采用安全约束经济调度（SCED）算法，基于边际机组报价，计算节点边际电价，并作为电力市场的统一出清价。ISO 和 RTO 所组织的电量大约占美国用电量的 60%（EIA, 2011）。



本地图根据中国地图出版社出版的地图做了部分修改，可能与原著有不一样的地方。

图 1-2 电力市场自由化状态图

来源：国际能源署和可再生能源及能源效率伙伴关系策略数据库（2012－2013 年）
要点：电力市场在大多数地区进行了重组，各地区引入竞争的程度不同。

新西兰和波兰也建立了类似于系统运营商的组织机构，目前在进行市场化改革的墨西哥也正在建设类似机构。澳大利亚将之前各州的电力市场组织整合为了全球地理范围最大的国家电力市场（NEM），绵延 4 000 km。欧洲在跨国市场整合方面采用了不同方式（Glachant and L  v  que, 2009）。欧盟出台了多项指令，强制所有的成员国进行市场重组。1996 年提出第一项电力市场指令，2003 年和 2009 年分别提出第二项和第三项指令（IEA, 2014b）。一些欧洲国家决定不对其国有电力公司进行拆分，因此欧洲的电力市场竞争主要是跨国竞争。

欧洲采用市场联合出清作为整合不同区域电力市场的一种方式（Glachant, 2010）。2010 年首先在法国、德国和比荷卢经济联盟之间开展了市场联合出清。这种方式在考虑