

# 批发电力市场中清洁能源发电及调度 ——美国的经验

David Hurlbut<sup>1</sup>, 马莉<sup>2</sup>, Ella Chou<sup>1</sup>, 张凡<sup>2</sup>, 范孟华<sup>2</sup>, 李景<sup>2</sup>, 曲昊源<sup>2</sup>

(1. 美国可再生能源实验室(NREL), 美国 华盛顿 2004-2157; 2. 国网能源研究院, 北京 102209)

**摘要:** 近几十年, 美国的电力市场经历了几个阶段的改革, 逐步形成了由供需决定批发电价的电力市场。近年来, 清洁能源高速发展, 美国电力市场也随之发展变革, 形成了许多适应清洁能源发电特性的市场机制。在探讨美国电力市场定价机制的基础上, 从市场机制和调度决策结合的角度, 分析美国鼓励可再生能源发展的政策和清洁能源调度的经验与实践, 总结了对中国清洁能源调度的启示。

**关键词:** 美国电力市场; 清洁能源; 调度

中图分类号: TK01

文献标志码: A

DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.2017.04.028.07

## 0 引言

近几十年, 美国电力市场经历了不同发展阶段。本文将研究这些改革对清洁能源调度的特殊影响。

调度和批发电价的形成与美国的电力市场改革密不可分。行政定价越来越少, 调度忽视定价的情况也越来越少。随着行政定价行为的减少, 美国的电力市场改革旨在由供需情况来决定批发电价。这2个经济因素的结合即是调度过程。因此, 清洁能源发电机组或任何其他发电机组如何参与市场决定了它是否被调度以及能获得多少利润。

本文考虑了美国电力市场的所有类型, 但更侧重于区域电力市场(RTO)模式下的经验总结。这些市场已经采用最先进的基于市场驱动的调度系统, 对清洁能源投资的影响是最透明的。在RTO范围内, 一些市场原则比较容易观察到。这些市场原则有时也出现在美国没有进行重大市场改革的地区, 其方法也适用于这些地区的情况。同样, 中国也许能以不采用RTO模式的方式实现这些市场原则。

## 1 美国改革市场的价格形成

首先解释相关术语。本文中, “市场”是指基于供需形成价格的自愿能源交易。行政上设定的价格不是市场价格。因此, 任何具有行政设定价格的交易都不包括在本文所说的市场中。这一区别很重要, 因为在美国实施的大多数电力市场改革都是基于市场的价格。因此, 如果改革缺乏完善的市场机制, 不能保证价格根据供需进行调整, 那么即使应用最成功的美国改革经验也可能导致失败。

改革后, 美国电力市场通过基于市场的定价相互关联。

发电机组的调度安排取决于发电机组的报价(发电机组愿意接受的最低价格, 以及发电机组愿意以该价格提供的电量)。

发电机组的报酬是基于市场出清价格的函数。“出清价格”是基于发电机组提交的所有报价, 吸引足够的电力来满足需求的价格。如果发电机组的报价高于出清价格, 发电机组将不被调度和支付。

修建新发电机组的决定是基于对未来市场价格和未来运营成本的经济风险评估。净收入是市

收稿日期: 2017-03-01

基金项目: 国家电网公司科技项目《面向世界一流调度的调度体制机制评价技术及应用研究》(SGJS0000DKJS1501023)

作者简介: David Hurlbut(1956—), 男, 美国得克萨斯州休斯敦人, 高级分析师, 经济学家, 从事电力市场改革、市场竞争、可再生能源政策研究。E-mail: david.hurlbut@nrel.gov



场清算价格与发电机组的可变运营成本之间的差额，为回收固定成本(包括项目融资)提供收入。

基于市场的价格不能保证最低收入水平。新发电厂的开发商可能对未来价格判断错误，导致收入多于或低于预期。如果市场价格较低，开发商的净利润更小，可用于回收资本成本的钱更少。如果市场价格较高，发电机组因承担风险可获得额外收益。但是如果有损失，政府和公用事业机构都不能弥补差额。

虽然市场价格不能保证，但如果有充分正确的信息，价格可以在一定程度上进行预测。例如，如果备用裕度减少，清算价格将倾向于由更昂贵的发电机组决定。因此，对负荷增长的合理预测以及对现有供应成本的合理了解可以作为价格预测分析的一部分。美国改革后的市场都有供需的定期评估，可供市场参与者预测未来的市场状况<sup>[2]</sup>。市场环境下通过安全约束经济调度(SCED)将当前需求与供应电力库相结合。日前市场价格通常按小时计算，并初步决定第 2 天的调度计划。实时市场也每 5 min 使用 SCED 来平衡总发电与实际需求。

向传统公用事业提供能源的市场反应较为缓慢，但仍能对供需变化做出反应。垄断的公用事业经常使用公开招标来购买新的可再生能源。选择这些长期电力购买协议通常是基于最低的报价，以及最适合公用事业负荷的资源。公用事业公司还在一些批发电力交易中心短期购买和出售剩余电力，在这些批发电力交易中心，价格是基于供求形成的。

即使在市场环境下一些特定的服务也可以由政府定价。然而，极其重要的是，不要对同一商品混合市场定价和政府定价。这种将基于市场的价格设定和管制价格并列的因素是导致 2000 年和 2001 年加利福尼亚市场改革崩溃的一个因素<sup>[3]</sup>。

因此，本文中使用的“市场”不包括政府确定能源价格的程序和决策过程。

## 2 美国电力市场结构

RTO 是美国重组竞争性市场努力的最高点，反映了美国一些地区的趋势，远离服务成本管制和政府定价。本节概述了垂直一体化公用事业公司和 RTO 之间的差异。RTO 通常在较大的地理区

域运行，使可再生能源的接入更容易，成本更低。本节将在成本回收、可再生能源的获取和可再生能源的运行等方面对比 2 个模型。

RTO 地区是美国市场改革最有组织的地方，仍由传统公用事业服务的非 RTO 地区，改革进程有限。可再生能源发展能够适应这 2 种类型的市场，但在改革市场上发展更快速。在 2015 年，RTO 占美国地热、太阳能和风力发电的 81%。这一比例高于同年 RTO 占有所有来源的总发电量的 65% 份额。

然而，各 RTO 的实际改革的程度不同。有些批发电力市场在发电和输电环节采用优化的市场机制，但终端客户服务仍由垄断的公用事业公司主导。在另一方面，一些非 RTO 公用事业公司正在尝试改革，加强与邻近公用事业公司之间的协调，但不需要 RTO。例如，一些西方国家形成了能量不平衡市场，建立了有限的区域市场，来减少成员的联合区域控制误差并且以最小成本基础部署平衡能量。

因此，虽然电力市场改革正在美国各地发生，但其实际情况存在地区差异性。美国宪法保留给联邦政府管理州际贸易的权力，例如电力销售，但实际上电力改革在很大程度上是国家和州政府之间的合作。改革一般是由国家或区域主导开始，由国家政策确定改革的标准。

非 RTO 区域中传统公用事业公司的地理分散与 RTO 具有不同特性。每个西部州内不止一个公用事业公司，一些公共事业公司也不止在一个州运营。西部主要非 RTO 地区没有显示存在于美国西部的许多农村公用事业合作社，它们独立于大型公用事业公司运作。另一方面，新英格兰 ISO 巩固了 6 个州的批发业务，创建了区域批发电力市场。

图 1 和图 2 对比了垂直一体化公共事业公司和 RTO 的运行和商业信息流。传统公用事业公司将所有客户的电力需求合成负荷曲线。其控制中心对发电资源组合进行调度，以满足公用事业公司所有输电和配电资产的需求。与需求相关的信息流向公用事业公司，其利用自身的发电组合(包括来自独立发电商的采购)满足所有这些需求。

在改革市场中，客户需求在几个负荷服务商(LSE)之间分配，并且发电在几个发电公司之间分配。电网运行由新的实体区域传输组织或独立

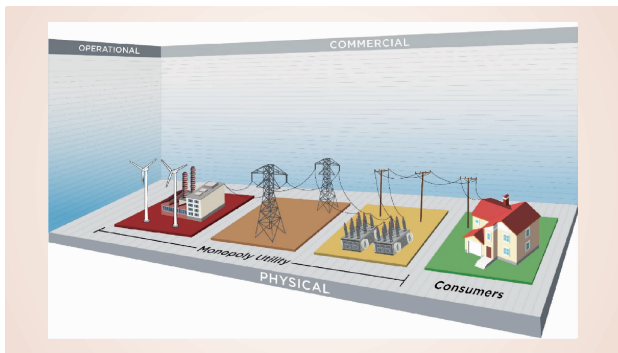


图 1 传统电力公司电力流和信息流

Fig.1 Flow of electricity and operational information in a traditional monopoly utility

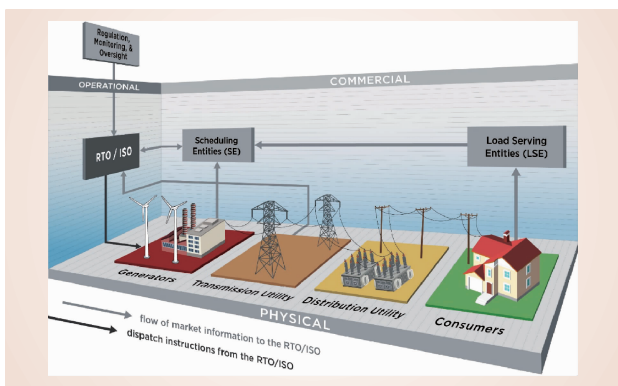


图 2 电力市场的电力流和信息流

Fig.2 Flow of electricity and operational information in reformed markets

系统操作员负责。

改革市场有另一个新组织——调度实体(SE)。图 2 显示了 SE 如何作为 LSE、发电商和 RTO 之间的协调人。SE 的工作是将来自一个或多个 LSE 的负荷信息合并到一个整合的计划中,并将负荷计划与在线并且可用于满足该负荷量的发电机组相匹配。该计划还包括每个发电机组的报价曲线。然后,这些负荷和发电机组的平衡计划被发送到 RTO, RTO 使用这些计划信息进行日前和实时电网操作。一般来说,每个 LSE 和每个发电机组只能通过一个 SE 操作,并且禁止由 RTO 直接处理。

RTO 具有关于输电系统的当前状态的详细信息,在下一个工作日的每个小时,以及通常每 5 min 实时地执行 SCED。SCED 确定包括在所有 SE 的调度中的哪些发电机被分派,在所有调度中选择以最小成本满足对整个系统的需求的资源组合而不违反任何安全约束。

发电机组投入电网的所有发电量由 SCED 控制。如果发电机组的实际输出偏离 SCED 超过市

场规则的允许,结算时可以对其罚款。发电罚款的多少由节点电价(LMP)来评估当时的计划外偏差电量。因此,由可再生能源产生的每兆瓦时的电量通过 RTO 在财务上结算,并由购电协议(PPA)中负荷服务商(LSE)支付。

## 2.1 垂直一体化公用事业公司的评级

直到 20 世纪 90 年代末,美国的大多数电力客户都是由投资者拥有的,垂直一体化的垄断公用事业公司(IOU)提供服务。作为交换,它必须服务于该领域的每个人,维持系统的可靠性,并接受价格和利润管制,称为“服务成本”监管。

对垂直一体化公用事业公司的监管契约有 2 个主要目标:(1)根据实际审慎发生的成本确定价格;(2)为服务客户提供合理水平的效率的激励<sup>[4]</sup>。客户账单一般反映 3 种类型的费用:(1)基本费用,旨在回收长期资本成本,它们长期保持不变。(2)收回燃料和购买电力的成本费用,这可能会根据市场价格频繁变化。(3)杂项费用,低收入或其他特殊项目。

基本费用通过 2 个步骤实现。(1)确定收入的要求。其中,考虑资本成本、固定经营费用、折旧、税收和允许的回报率。(2)在客户类别(住宅、商业、工业和其他类别)之间分配利润的要求,并将这些分配转换为公平、合理地收取收入要求的费率。监管机构设定的费率保持不变,直到实施新一轮的费率调整,通常用于调整新一代投资或负荷模式的长期变化。该形式在资本成本回收方面具有很大的确定性,但也被批评为提供有限的激励,甚至是对创新和长期成本降低的实质性抑制<sup>[5]</sup>。

可变经营费用主要是燃料成本和从外部公用事业公司购买的电力成本,通常被转移给客户,而没有任何利润。公用事业公司可以每隔几个月定期对这些可变成本进行费率调整,其中监管机构在更长时间周期内审查实际成本和收入。费率调整的结果可能导致公用事业公司支付给客户,作为他们账单上的金额,或者如果公用事业公司收取得太少,用户则会产生额外的费用。

作为评级过程的一部分,监管机构将对电力公司的账簿和记录进行独立、彻底的审查,包括拟纳入在总收入中的所有费用,并对成本控制中管理决策的有效性作出判断。这是通过公开听证会进行的,纳税人代表和利益相关方可以对公用

事业提交的证据提出质疑或评论。

RTO 市场的监管评级一般限于输电和配电资产，这些职能特别是配电系统监管仍然是垄断运营。输配电价主要基于输电和配电资本投资的收入要求，以及输配电固定运营和维护成本。由此产生的输配电价有时被称为“不可绕过”费用，因为每个 LSE 必须在所有客户账单上标明，它们已被监管机构批准。

能源供应(不包括输电和传输服务)是由零售 LSE 负责。在完全重组的市场中，LSE 将决定自己的能源费用和其他服务条款。其能源供应成本是批发市场结算、购电协议(PPA)和风险管理机制的函数。在部分重组的市场中，为零售负荷提供服务的公用事业公司在设定零售费率时仍然受到监管。

重组区域中的客户账单由输配电传输费用，以及由 LSE 根据客户选择计划设置的能源服务费用 2 个部分组成。通过零售选择，客户可以选择不同供应商的各种计划，其中许多供应商提供 100% 的可再生能源选择。一些能源产品特别有创意：午夜后或周末免费的能源使用；或费率指数到客户服务区域的平均 LMP<sup>[6]</sup>。

在尚未改制的区域，公用事业公司将可再生能源纳入发电组合，有以下 3 个原因。(1) 如果有，满足州的可再生能源要求。(2) 可再生能源的价格继续下降和可再生能源的长期合同从经济角度来看具有吸引力，特别是风力发电。(3) 用于对上涨的化石燃料成本和环境法规的成本在今后的投资组合中对冲。

垂直一体化的公用事业通常向客户提供一种电力合同。它可以通过可再生能源发电的所有权，购买可再生能源配额(REC)，进入长期双边合同或 3 种选择的任意组合来满足可再生能源的配额(RPS)要求。通常，公用事业公司将包括未来的修建或购买可再生能源容量的综合资源计划，提交给监管机构。

在具有可再生能源要求的州，公用事业公司必须以最低成本满足要求。因此，受制于竞争性收购规定。竞争性采购通常采取“采购申请”(RFP)流程的形式，用于采购增量供应。竞争性收购为公用事业和监管者提供了一个受控的过程，用于正确评估收费标准，并鼓励实现和符合其他重要监管义务的竞争性供应。采购成功的可再生

能源(RE)合约成为长期双边合同，这些合同通常包括能源支付条款、限制支付条款以及自动发电控制要求。

## 2.2 非市场重组地区的可再生能源的运行

与 RTO 中使用的 5 min 调度间隔相反，垂直一体化的公用事业使用经济调度来尽量减少运营成本。但是，所有的能源和传输服务的销售和购买通常以 1 h 的增量进行。随着这些地区各种能源的渗透率不断提高，非 RTO 地区的运营挑战更加恶化。

垂直一体化的公用事业公司可以改进预测和调度实践，在不进行重组电力市场的情况下整合大量的可再生能源。在科罗拉多州，风力已达到峰值发电时间总负荷的 68%，当地最大的公用事业公司一直将风力作为可调度资源<sup>[7]</sup>。它执行每小时日前计划，并实时连续调度。对风的组合进行了 2 种预测：每小时分辨率的 168 h(一周)预报和 15 min 分辨率的 3 h 预报。连接到公用事业系统的风力发电厂中近 80% 具有 AGC 能力，这使得它们能够以高精度度提供调节。

垂直一体化电力公司采用的另一种改善可再生能源并网的方法是能源不平衡市场(EIM)。美国西部的 7 家公用事业公司正与 CAISO 合作，在整个地理覆盖面积上每 5 min 对发电和负荷不平衡进行实时的安全约束经济调度。EIM 不包括 RTO 的其他方面，但已经显示出显著益处。(1) 更高效的调度，包括区域间和区域内；(2) 减少弃风弃光；(3) 降低所有 BA 中的灵活性储备需求<sup>[7]</sup>。

## 3 清洁能源激励和调度

美国主要使用 3 种类型的政策机制来促进清洁能源投资：配额制、成本补贴制和收入补贴制<sup>[8]</sup>。这些机制都能提高清洁能源项目的经济效益，而不会直接影响电网运营，也不会进入 RTO 金融结算流程。考虑到各市场之间的差异，以及改革后的市场与继续沿用传统公用事业垄断经营的地区之间的差异，这种机制与其他环节的独立性尤为重要。

### 3.1 可再生能源配额制度

可再生能源配额制度(RPS)规定了可再生能源的购买配额。该制度根据各 LSE 的年销售量分配了一定的可再生能源配额。RPS 保证了可再生

能源的市场需求，但没有任何配额供应者能够保证找到买家。可再生能源项目业主仍然需要竞争由 RPS 创造的需求。

RPS 并不能保证可再生能源机组在 RTO 市场中被优先调度。业主本身必须确保可再生能源设施在调度排序中拥有有利的地位。这是在 SCED 中通过报价形成的。业主报价越低，在任何特定的市场周期内发电机组被调用的可能性越大。

美国的一些州设立了配额交易机制，使满足 RPS 要求更加容易。由符合条件的发电机组产生的可再生能源证书(REC)可以与能源分开交易。REC 价值独立于电量价值，从而向发电机组提供额外的收入。更重要的是，如果由于某种原因所签订的可再生能源机组没有被调用，LSE 可以公开购买在市场上出售的 REC。

### 3.2 成本补贴制

成本补贴主要补偿建设可再生能源发电项目的一部分投资成本。美国大规模太阳能发展最常见补贴形式是投资税收抵免(ITC)，它根据项目投入成本为项目提供一次性补贴。补贴的形式为减少政府向项目开发商所征收的税。如果补贴款大于所欠税款则为拨款。

成本补贴减少了一部分需要通过长期借款和股权融资来回收的项目投资成本。这使得业主能够在市场中报出更低的价格，从而提高项目的竞争力。同时提高在 SCED 市场中调用的概率。然而，与 RPS 一样，除了在市场可以提供较低报价以外，没有被调用的保证。

### 3.3 收入补贴制

在美国通常用于风力发电的另一种激励方法是收入补贴。前期项目必须在没有补贴的情况下融资建设。当项目建成后，项目将以发电量为单位收到补贴。联邦生产税收抵免(PTC)为所生产的电量提供收入补贴。

另一种与 PTC 具有相似功能的激励制度是上网电价(FIT)。PTC 为项目带来的是在 PPA 基础上的固定价格补贴，而 FIT 则是固定了整个 PPA 的价格。目前美国有 4 个州实行可再生能源上网电价制度。其中 3 个由电力公司单独定价。

上网电价制度的优点在于简单。项目业主了解未来的收入情况，因此可以根据项目成本判断一个项目未来是否能够盈利。然而，它的主要缺点是上网电价不能代表市场价格。作为一种行政

手段，上网电价由政府根据其接受的标准确定，而市场的供需并不影响价格。只有在偶然情况下，上网电价才是供应和需求方面的“合理”价格。更有可能的是，上网电价低于市场水平，在这种情况下，实际上具有经济性的项目不会被投资建设。或者，如果上网电价高于市场水平，则会鼓励低效的发展，从而导致经济受损。

与成本补贴相比，收入补贴的优势在于补贴额度取决于项目的生产力。项目的单位产能越高，收入补贴制相比于成本补贴制的收益就越发凸显。

## 4 调度运行问题

在改革后的美国市场，对市场定价的深度依赖也影响了电网运行的其他方面。举例来说，辅助服务的调整与执行不再是行政指令，而是根据其经济性在需要时调用。输电规划方法也有所变化，在成本监管的框架下，输电系统的规划主要依靠行政指令，将新建发电机组(同样是行政指令)与系统相连；市场化改革后，输电系统规划是由远期系统目标而不是单个发电机组决定。

### 4.1 减出力

减出力是常用的避免线路过载或超过安稳限制的手段，在电力市场中，SCED 很大程度上避免了通过调度指令降低可再生能源出力，因为 SCED 会对所有发电机组的报价和曲线进行统一优化，对可能影响阻塞线路的发电机组发出最经济的调度指令。

线路阻塞的存在降低了使用这条线路的发电机组的节点电价，机组越多则价格越低。本质上，SCED 直接降低发电端的节点电价，直到有足够的机组因价格过低而放弃发电，高价机组由于经济性停机，而不是调度机构的指令。

任何由阻塞造成的节点电价降低都会增加这条输电线路的“阻塞收益权”(CRR)。这样，即使 SCED 出于经济性的原因未让风电和光伏机组发电，这些新能源机组的所有者也能通过持有 CRR 获得部分收益。

### 4.2 辅助服务

更多的风电和光伏发电需要更多、更快的辅助服务，对美国电力市场产生了 2 点影响：(1)提供了区分辅助服务中的快速响应和慢速响应的可能性，快速响应的价值得到提升。(2)提高快速响

应价值将激励对风机控制器和光伏逆变器的技术创新。可再生能源发电也可以提供部分快速响应。

电力市场改革也为负荷侧参与辅助服务提供了可能性，如炼钢厂之类的大用户在价格有足够吸引力的情况下，可以自愿降低负荷。如果在调度机构的辅助服务中中标，负荷会按停用小时数收到备用费，收益为节点电价乘以少用的电量。

#### 4.3 可再生能源的输电系统规划

输电系统对清洁能源调度和成本回收有间接但很大的影响，风电和光伏发展带来了 2 个新问题：(1) 已建输电系统距风能和太阳能条件较好地区较远。(2) 输电系统规划一般早于可再生能源发电规划。

这和传统上的大型输电系统和大型发电联合规划不同，输电系统规划已经成为了一个策略问题。为了最大化通过电力市场定价优化配置电力资源，从而向用户提供低成本电力的能力，美国电网规划时即把风能和光能适合发电的地区纳入考虑，这一实践由得克萨斯州在电力市场重建中首先实施，并在许多其他的可再生能源丰富的电力市场中应用。

可再生能源发电最多的地区大多和电力市场区域重合，而不是电力公司垄断经营的区域。例如，美国中部的大平原地区是风力资源最丰富的地区，这一地区有 ERCOT、SPP 和 MISO 3 个区域电力市场。除此之外，美国大多数光伏和地热发电都位于加州电力市场。

新建输电线路的成本由社会共担，但新的输电通道的建设仍然取决于 SCED 的结果，根据市场定价决定。如果有输电通道连接风能和光伏资源丰富的地区，发电企业就可以更好的开展竞争。

#### 4.4 储能的新角色

储能技术已经存在了几十年，早于电力市场改革，其中抽水蓄能是最为常见的一种技术，地下压缩空气储能和大规模电池技术近期也逐步推广。

在电力市场中，技术问题并不是储能大规模应用面临的唯一挑战。最重要的问题是监管。储能本质上是一个可靠性问题(在这种情况下，储能成本会平摊到所有负荷)，还是一个发电问题(在这种情况下，储能成本应包含在可再生能源发电项目中)，电力市场无法对于同一个设施分别设置 2 种竞争性的和非竞争性的成本回收机制。如果

某种设施加强了特定发电机组的市场地位，而成本由社会平摊，则这一特定发电机组的竞争者将受到影响，并可能构成人为干扰市场的行为。

## 5 结论及对中国的启示

在美国电力市场中，市场价格和电力调度的结合成为促进可再生能源增长的重要因素，这一变化在区域电力市场中表现的尤其明显。在传统市场中，这一原则也通过不同的机制得到体现。

基于价格的调度和基于行政命令设置价格的区别在于发电机组的收入取决于供求关系，也对清洁能源的风险控制和超前规划提出更高的要求。同时，还意味着在很多情况下，一个项目的收入不只取决于装机容量，而是系统性的变化。清洁能源项目的收入由电力市场结算和 PPA 补贴组成。区域市场的结算价格可能会变化，但收入波动可以通过差价合约和阻塞收益来管理。

中国电力市场尚未建立，但通过适当的调整，美国的一些市场机制也可能直接应用并获得成功，本文中美国清洁能源调度机制对中国主要有以下启示。

(1) 现货市场能充分发挥清洁能源边际成本优势。在现货市场的作用下，清洁能源发电能借助低边际成本自动实现优先调度，有效促进清洁能源电力消纳。

(2) 完善调峰、调频及辅助服务机制是清洁能源发电调度的保障。美国在大力发展清洁能源发电的同时，注重灵活调节电源的建设，建立完善的调峰、调频及辅助服务的市场机制。

(3) 清洁能源和电力系统建设要统筹规划。市场价格信号为清洁能源和电力系统建设的规划提供了依据，通过价格信号的指引可实现清洁能源和电力系统建设的有机统一。

(注：发表这一文章，即视为基于美国政府的目的许可或授权美国政府在全世界发表这一文章。)

#### 参考文献：

- [1] Electric Reliability Council of Texas (ERCOT). 2016a. Capacity, demand and reserves report (May)[EB/OL]. (2014-12-01)[2017-03-03]. <http://www.ercot.com/content/wcm/lists/96607/Capacity>

- DemandandReserveReport\_May2016.xlsx.
- [2] ERCOT. 2016b. Fall 2016 final seasonal assessment [EB/OL]. (2016-05-01)[2017-03-03]. [http://www.ercot.com/content/wcm/lists/91620/SARA\\_FinalFall2016.xlsx](http://www.ercot.com/content/wcm/lists/91620/SARA_FinalFall2016.xlsx).
- [3] Federal Energy Regulatory Commission (FERC). Initial report on company-specific separate proceedings and generic reevaluations; published natural gas price data; and enron trading strategies[R]. 2002.
- [4] MCDERMOTT, KARL. Cost of service regulation in the investor-owned electric utility industry -a history of adaptation. Washington, DC: The edison electric institute [EB/OL]. (2012-06-01) [2017-03-03]. [http://www.eei.org/issuesandpolicy/stateregulation/documents/cosr\\_history\\_final.pdf](http://www.eei.org/issuesandpolicy/stateregulation/documents/cosr_history_final.pdf).
- [5] State of New York Department of Public Service (DPS NY). Staff white paper on ratemaking and utility business models [R]. New York, NY: DPS NY. 2015.
- [6] Public Utility Commission of Texas (PUCT). Power to choose web site[R]. 2017.
- [7] Texas Utilities Code. "Subchapter F: Recovery of stranded costs through competition transition charge" and "subchapter G: Securitization" sections 39.251 through 39.313 [R]. 2017.
- [8] WISER, RYAN. 美国可再生能源财税优惠政策简介[EB/OL]. (2011-01-24) [2017-03-03]. <http://www.efchina.org/Attachments/Report/reports-efchina-20110124-2-zh>.

(责任编辑 杨静)

## Clean Energy Generation and Dispatch in Reformed Wholesale Electricity Markets: Experience in the United States

David Hurlbut<sup>1</sup>, MA Li<sup>2</sup>, Ella Chou<sup>1</sup>, ZHANG Fan<sup>2</sup>, FAN Menghua<sup>2</sup>, LI Jing<sup>2</sup>, QU Haoyuan<sup>2</sup>

(1. Strategic Energy Analysis Center, National Renewable Energy Laboratory, Washington, D.C. 20024-2157, the US;  
2. Corporate Strategy Department, State Grid Energy Research Institute, Beijing 102209, China)

**Abstract:** In recent years, the US electricity market has undergone several stages of reform, and gradually formed the market where the wholesale electricity price is determined by the supply and demand. The US electricity market also changes along with the rapid development of clean energy, forming a number of the market mechanisms that is specifically developed for clean energy power generation characteristics. On the basis of discussing the pricing mechanism of US electricity market, this paper analyzes the experience and practice of encouraging renewable energy development policy and clean energy dispatch from the angle of market mechanism and dispatching decision, and puts forward the reference for clean energy dispatching in China.

This work is supported by Technical Research Project 《Study of the Evaluation Technic and Implementation of Power System Operator Mechanisms Leading to World Class Dispatching》 of State Grid Corporate of China (No. SGJS0000DKJS1501023).

**Keywords:** US electricity market; clean energy; dispatch



(上接第 27 页)

## International Experience and Enlightenment of Regulatory Investment in Pre-pricing of Transmission and Distribution

LI Chengren<sup>1</sup>, GAO Xiao<sup>1</sup>, YOU Peipei<sup>1</sup>, BU Yinhe<sup>2</sup>

(1. State Grid Energy Research Institute, Beijing 102209, China; 2. North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** It is necessary to establish a standardized investment review system for setting up a regulatory mechanism of pre-pricing investment review. And the core of the system is to set up the basis and method for scientific investment review, the incentive mechanism for investment cost saving and adjustment mechanism for investment deviation. The paper studies the problems in China in power grid investment regulatory policies and the international experience of investment review in such countries as Britain, Australia and the United States. Some reflections are proposed based on the existing reform conditions in China, such as continuous improvement of the regulatory investment policies through practice and establishment of a complete investment audit system, objective and fair regulatory policies, and practical and effective regulatory methods.

**Keywords:** pre-pricing; regulatory investment; mechanism