中国电力圆桌
POWER SECTOR ROUNDTABLE

专题报告

美国电力市场设计的经验和借鉴

中国电力圆桌项目课题组

2017 年 11 月

中国电力圆桌项目
（Power Sector Roundtable，PSR）

中国电力可持续发展圆桌(简称中国电力圆桌)项目于2015 年 9 月启动，旨在紧扣应对气候变化、调整能源结构的国家战略，邀请业内专家和各利益方参与，探讨中国电力部门低碳转型的路径和策略。电力部门涉及到不同的利益主体，需要综合考虑各方利益的参与，共同实现电力部门的成功转型。

中国电力圆桌项目将各方关心的、有争议的、目前决策困难的关键问题提交到同一个平台上进行讨论，广泛征求意见，为电力部门的决策提供支撑，提高决策质量，从而确保决策得到最大限度的实施和执行。

中国电力圆桌项目课题组

NRDC 自然资源保护协会 NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

自然资源保护协会(NRDC)是一家国际公益环保组织。自然资源保护协会拥有近500名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力;以及约200万会员及支持者。自1970年成立以来，自然资源保护协会一直在为保护自然资源、生态环境及公众健康而进行不懈努力。自然资源保护协会在美国、中国、印度、加拿大、墨西哥、智利、哥斯达黎加、欧盟等国家及地区开展工作，并在中国的北京、美国的纽约、华盛顿、芝加哥、洛杉矶、旧金山以及蒙大拿州的波兹曼等地有常设办公室。

RAP® 睿博能源智库

睿博能源智库（The Regulatory Assistance Project (RAP)®）是一个全球性专家咨询机构，长期致力于为欧洲、美国、中国、印度等国的电力行业改革所面临的挑战提供解决方案。我们在广泛的能源领域从事专业的技术和经济分析，特别是在电力行业规划和市场设计、能效和电力需求侧管理、空气质量管理、可再生能源并网、排放交易等方面有着资深的国际经验。睿博能源智库自1999年开始在中国工作，旨在促进可持续经济发展、增加电力系统可靠性、改善空气质量和公众健康，从而为中国大量和长期地减少温室气体排放作出贡献。

前言

2015年3月出台的关于中国当前电力行业改革的9号文件，要求改革必须遵循五项“基本原则”，即：坚持安全可靠，坚持市场化改革，坚持保障民生，坚持节能减排，坚持科学监管。

本文介绍“电力市场化改革”的国际经验，并探讨其对中国电力体制改革的借鉴。结合中国出台的9号文件以及与市场有关的细则，我们认为中国电力市场化应重点做好以下几项基本工作：

- 以小时和分钟为单位，高效、灵活地运行（调度）现有资源。这一点对整合可再生能源、最小化系统成本及排放、以及维持系统可靠性都很必要。
- 对发电厂进行合理支付和补偿，以支持高效和灵活运行。
- 传递正确的价格信号，引导投资合理化，淘汰过剩产能，支持能源发展与减排的政策目标。

本文的主要思路是：首先，分析中国“上网电价”和“发电计划”模式长期以来存在的主要问题，接着简要回顾9号文出台后的电力改革工作，审视国际经验中的重要思路，最后总结全文并对政策制定部门提出相关建议。

1 中国上网电价：9号文之前的做法

在中国，9号文之前一直采用的发电上网定价方法，目前正在经历改革。总结来看，9号文之前的发电上网定价做法，存在以下两点问题：

- 固定上网电价：对燃煤发电机组的补偿，传统上由国家发改委会同省级政府部门，以每千瓦时固定“上网”电价的形式确定。上网电价每年审核一次，但实际上，逐年波动并不大。
- 年发电计划：行政命令性质的“年发电计划”，向燃煤发电机组分配指定发电小时数。

该方法出现在20世纪80年代。随着电改的进展，尤其是最新一轮电改，很大程度上推动了各种上网电价改革尝试。有些省份甚至已经对定价方法进行了大刀阔斧的改革。虽然如此，“9号文之前的做法”这一概念——即便这只是一个笼统的说法——仍值得认真考虑，以便阐述当前面临的一些根本性问题。

“9号文之前的做法”，是当前电力行业几个重大问题的根本原因。

首先，按照现状，上网电价的调整过程缓慢，不能及时反映经济形势的变化或体现政府总体政策目标的转变。近年来，批发价格过度补偿了对燃煤发电产能的投资，未能根据需求增长的下滑和煤炭价格下降做出相应的调整，导致燃煤发电装机容量过大。这种过度补偿加剧了燃煤发电产能过剩的问题[1]。

其次，造成了不必要的排放和高运营成本。上网电价未能有效地激励发电机组在整个电力系统中高效运行。在高效的电力系统中，效率较低的煤电机组的运行小时数应低于效率较高的机组，而且只有在电力需求高的时段才能被调度发电。然而，“9号文之前的做法”使得煤电机组渴望获得运行小时数，也成为其反对任何更合理的调度方法的理由。

第三，无法鼓励各种灵活性系统资源的参与（例如，需求响应、燃气机组或储能），这也是阻碍政府在可再生能源并网中取得进展的主要因素[2]。

在分析9号文针对中国上网电价现状提出的各项改革措施之前，我们先简要介绍一下国际经验，重点放在美国。

---

[1]. 目前很大一部分燃煤发电产能是多余的，意味着如果按照优先顺序发电，有些电厂就需要关门。

[2]. 细节请参见以下网站链接: http://www.raponline.org/knowledge-center/issues-in-china-power-sector-reform-generator-dispatch/
http://www.renewableenergyworld.com/articles/2016/04/china-s-string-of-new-policies-addressing-renewable-energy-curtailment-an-update.html
http://www.raponline.org/blog/integrating-renewables-opportunities-to-create-more-flexibility-in-power-system-operations/

2 国际经验和美国实践

2.1 电力市场设计的关键目标

国外电力市场建设过程中有很多值得借鉴的经验和教训。值得注意的是，尽管不同国家、甚至美国不同地区的电力市场模式都不尽相同，但电力市场设计是一个不断持续的过程，并且具有一些重要的相似之处。具体而言，其设计理念都是围绕以下几个关键目标展开：

- 引导电力系统高效运行。所有市场模式都应保证现有发电资源（以及逐步发展起来的需求侧资源）以“成本最低”的方式得以利用。这其中包含了“经济调度”的原则，基于该原则，电力部门的调度者，以小时为单位，尽可能地优先调度运行成本最低（理想情况下也是排放最低）的资源。

- 引导发电设备和其他资源的理性投资和合理淘汰。有效的电力市场应该产生正确的价格信号，以刺激对“正确”资源（即，用来支持可靠性和节能减排政策目标的、最具成本效益的资源）的投资。同样地，市场也应发出信号，合理地淘汰过剩和不需要的发电产能，包括不符合政策目标的高污染和低效率的机组。近年来，很多讨论集中在，如何保证投资决策中将储能和电力需求侧管理等非发电资源与传统电厂同等对待。

- 为发电机组（以及非发电资源）提供合理的补偿，以支持以上两项原则，使发电机组得到足够的激励去有效而灵活地运行，并以合理的方式进行投资和设备淘汰。

两点共识

其一，市场作为一项工具，应该合理设计，来实现政府的政策目标，包括减排和可靠性目标。当市场的结果不符合政策目标时，就有必要调整市场的规则和制度。

其二，只依靠市场不能完成所有这些目标，需要与各种规划流程紧密协调，包括输电和需求侧资源的规划 。

2.2 美国电力市场重组经验

下面简要讨论美国部分地区从20世纪90年代中期开始“重组”电力市场的经验。在美国东部、中西部和加州，电力公司（至少部分地）压缩了他们的发电业务，加入了跨越多个州的电力批发市场。这些市场以独立系统运营商（ISO）或区域输电组织（RTO）为核心。出于讨论目的，ISO和RTO含义相同：都是短期电力市场的独立（“自愿”）运营机构，具有输电网控制权，以维持电力供需的实时平衡。ISO和RTO没有发电和输电资产。

联邦能源管理委员会（FERC）自1996年开始出台了一系列规定，提出了各种标准和要求，统称为“开放准入”政策，包括：

- 输电资产拥有者收取过网费，并按规定准许他人接入使用。电力公司按要求剥离发、输电业务，制定开放接入的输电费率，提供无歧视性的输电服务。输电企业交出对输电系统的控制权，并作为交换，获准按联邦批准的水平征收输电费，用于回收输电成本加上投资回报。输电系统必须以“开放”的方式运行，即任何寻求使用其输电服务的发电商都可以获准接入。

- ISO/RTO负责确保具有竞争性、高效性和透明性电力市场的运行，以及负责与电力交易规则相一致的电力系统运行。这包括经济调度的概念。这些原则本质上是为了保证电力体系以成本最小化和公平的方式运行。

- ISO/RTO应本着鼓励适度竞争的原则，积极引导公开透明的区域输电规划。

ISO/RTO组织日前市场竞价，并在确保系统安全运行的前提下接受最低报价，由此编制出临时的机组调度顺序。ISO/RTO同时也组织实时市场竞价，在15分钟或更少的时间间隔上开展调度和清算。实时电力市场反映发电（如天气条件变化所致），输电和需求的实时波动，在系统平衡方面发挥着重要的作用。

此外，ISO/RTO还通过市场和激励机制，支持提供辅助服务，从而在系统灵活性方面起着至关重要的作用。

现货市场的特征

日前市场、实时市场和辅助服务机制同时运作（按照中国常用术语统称为“现货市场”）具有或至少呈现出一些重要的特征：

- 价格随供需和输电条件逐日逐分钟波动。在适当监管所营造的充分竞争的前提下，竞价反映了电厂的运营成本。基于竞价结果，发电机组按照“优先顺序”保证运行和调度。
- 有了波动的价格，“调峰”类资源每年只需要在最有需求的时段运行很少的小时数，其收入就能够覆盖全年（或大部分）的资本成本以及运营成本。
- 和任何市场一样，只要价格高，就会有新的发电资源（以及其他资源）愿意进入市场；当价格低时，效率最低的发电资源将被淘汰。
- 按照贡献，对发电机组（以及储能和需求侧资源）提供的辅助服务，进行合理补偿。

2.3 电力市场运行中的挑战

上面对美国现货市场的运作和关键功能的简化描述，可能遮掩了市场实际运行中出现的艰难而持续的挑战[3]。监管机构、决策部门以及ISO/RTO在监督市场和调整各个细节方面都付出了相当大的努力。例如，电力现货市场容易受到暂时的竞争不足的冲击。鉴于此，以上机构在监控市场、减轻市场操控力等方面做了大量的工作。总结来看，电力市场运行中主要面临着以下两大挑战。

波动性电源（风能和太阳能）的规模化增长是电力市场设计的一大挑战。电力系统需要具有充分的灵活性以支持和帮助这些波动性发电资源上网。灵活性电力资源可以快速响应电力系统的调度需要，对机组出力水平进行上下调节，并可以快速启停。如果发电资源不能快速响应系统的需要，电力客户将承担更高的系统运营成本和较低的系统可靠性。为提高电力系统灵活性，各ISO/RTO正力求改变电力市场规则和条例（见下图）[4]。

如何协调市场设计与电力部门规划是另一大挑战。在设立ISO/RTO的美国部分地区，发电规划的制定通常由几个机构共同承担，包括州能源办公室、系统运营商和发电企业；而规划的实施则主要取决于市场设计。特别地，在ISO监督下（通常以独立专家的方式），“资源充足性规划”和“市场监测”等分析方法被用来定期评估电力市场表现，并判断市场是否以最具成本效益的方式、提供合适的资源来确保电力系统的可靠性，以及市场是否符合其他政策目标（如清洁能源）。如果发现市场有缺陷，参与分析的专家将提出建议，改变市场规则和规章制度。该模式下，规划和市场同步发挥作用，尽管过程并不总是顺利。这些地区的各个州还实施了各种形式的综合资源规划（IRP），主要与电力公司提供的常规服务相关，包括除输电服务以外的各种供应侧电力资源。

提高系统灵活性的措施

- 挖掘现有机组的灵活性
- 实施更好的波动性电源发电预测
- 扩大电力平衡区域
- 规划和加大输电系统的投入
- 推广需求响应
- 允许储能资源参与市场

[3]. 详细信息请参见: www.nrel.gov/docs/fy16osti/64940.pdf

[4]. 每个领域的一些实例请参见本报告2.6 节: http://www.raponline.org/document/download/id/7482. 也可参见: http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66728.pdf

3 9号文件出台后的中国电改之路

9号文提出了解决中国电力市场面临问题的一个简要却高级别的政策蓝图——对制定年度发电计划的做法进行松绑（“放开”），提倡设计市场机制以促进竞争。截止目前，9号文出台后的电改工作集中在两方面：一是实施发电厂与需求实体之间的“中长期”合同竞争机制，该机制起源于最早的“直接交易”试点，某些省份已经运行了多年；二是缩减对发电机组运行小时数指标的分配（即逐渐“放开发电计划”）[5]。与此同时，《电力发展“十三五”规划》正式承诺，到2018年将实施现货市场试点，到2020年推广到全国实施，一些省份已经被选作现货市场试点。然而，但到目前为止，有关现货市场的设计和实施计划的细节尚未公开。预期中长期市场和现货市场将有可能实现统一，但关于如何完成这一工作，尚知之甚少。

根据国际经验，这里有两大问题值得强调。

首先，必须充分重视促进可再生能源并网所需的系统灵活性。目前，以年度发电量形式存在的中长期合同，有点类似于年度发电计划下（在许多地方仍然能得到发电量计划）的“合同”[6]。也就是说，每年分配的发电小时数正在逐渐被年度合同所取代，这些年度合同也同样规定了发电机组的运行时间。按照“9号文之前的做法”，将这些合同视为“物理合同”（而不是金融合同），并按照年度合同进行调度的做法一直是导致系统僵化的关键问题。近期出台的关于中长期合同的政策文件没有明确和充分地解决这个问题，实际上反而可能会导致调度更加不具有灵活性[7]。该问题也将阻碍现货市场的有效运行。同时，现货市场本身（如果设计良好）应是支持灵活性的重要机制。

其次，到目前为止，市场改革也许过多地侧重于降低工业终端用户的价格。这些终端用户都争相要求降低电价，而在大部分的公众讨论中，电力改革都是按照大用户的“红利”来架构的。的确，由于燃煤发电产能过剩且在持续加剧，舆论强烈呼吁要求减少和合理化对煤电机组的补偿。然而，降低零售电价（特别是对重工业）的理由却不太充分。理想情况下，零售电价（及电力部门收入）应反映电力生产的实际成本，包括排放的社会成本。国家碳交易机制和对其他类型排放税的征收，最终可能会在促使零售电价反映社会排放成本中起到重要作用，但这些排放定价机制将需要一段时间才能全面加强和实施。与此同时，大幅度降低零售电价将有可能破坏减排和空气质量目标，更会影响到政府摆脱过度依赖重工业实现经济结构转型的目标。政策制定部门已经认识到零售电价下降可能带来的负面影响，并提出了行之有效的步骤，包括加强差别电价，限制低效发电机组和终端用户参与市场等措施，而这些措施是否充分尚待观察。

---

[5]. 见中发9号文件配套文件二《关于推进电力市场建设的实施意见》和国家能源局《电力中长期交易基本规则（暂行）》.

[6]. 目前，大部分为年度合同，也有些是月度合同。还有些合同需要约定发用电负荷曲线。

[7]. 见 RAP 即将发表的对国家能源局《电力中长期交易基本规则（暂行）》文件的讨论.

4 中国电力市场改革道路展望

前面分析了其他国家电力市场设计方面的一些基本共识，我们建议这些原则可用来指导中国的电力市场设计。相应的，这也有利于实现9号文件中提出的电力行业改革的愿景。

《电力发展“十三五”规划》明确提出，在2020年建成现货市场（2018年形成试点），这将与中长期合同一起运作。从广义上，这是一条合理的路线，但细节和时间进度将具有很大的挑战。以下是需要注意的几点：

- 为市场设计“合理的”细节和规则将是很大的挑战，特别是要在2020年就建立完全符合功能要求的现货市场这一宏伟目标。上述对美国ISO/RTO现货市场的讨论提出了一个简化的概述，以突出其中关键性的原则要求。在实践中，市场设计涉及到制定非常详细的规则和程序，需要大量时间才能实现。要确保日前市场、实时市场和辅助服务市场机制并行不悖，既支持系统的可靠性，又实现成本和排放两方面的政策目标，绝非易事。这不仅需要在市场设计过程和电力系统数据方面具有较高的透明度[8]，还需要有明确的制度责任来协调定价、运营、规划、环境监管和需求侧管理等诸多问题。目前，这些职能领域分散在国家发改委、国家能源局以及其他中央和省级机构之间。

- 考虑到发电过剩，竞争激烈的电力市场往往会提供低廉的批发电价，释放出淘汰过剩产能的明显信号。这对任何一个国家来说都是重大的政治挑战（实际上，许多国家正在积极应对产能过剩问题，而他们的过剩规模小于中国）。政策制定部门可能认为，出于政治原因，不可避免的要采取措施来保护不必要的燃煤电机组，虽然这将导致可靠性、成本和排放方面的效率低下。

- 与此同时，重要的是要避免让终端用户面临不合理的电价下降。理想情况下，零售电价（即电力部门收入）应反映电力生产的实际成本，包括排放的社会成本。排放定价最终将发挥这一作用，但直到全国排放交易系统成熟之前，对终端用户的电价下调，尤其是对低效率工业终端用户的下调电价一定要慎之又慎。为此，一定要加强差异化定价，加强对低效率终端用户参与中长期合同的限制。

[8]. 详见本专题报告系列之“美国电力行业政府监管的经验和借鉴”。

• 确保发电厂的现货市场竞价反映每台发电机组的运行成本、从而指导经济调度，是一项艰巨的任务。这个难题部分涉及到如何用适当的规章制度来监管市场竞价，另一个困难是确保充分的竞争。对于目前发电公司朝着合并重组方向发展来说尤其重要。如前所述，这些现货市场可能在某个时期受到个别发电厂的操纵，导致消费者的成本过高，产生可靠性问题和不必要的排放。甚至是个别发电厂因为偶然的机会操纵系统都会引起重大问题—即使存在普遍的产能过剩，这些情况也会发生。

• 假如难以实现充分的市场竞争，至少作为临时措施，可考虑在对每个发电厂的运营成本进行估算的基础上开展现货市场[9]。即使在竞争性的现货市场中，部分管理者（可能是调度中心或者新的“市场监测”监管机构）有必要被赋权来常规的收集数据和评估每个发电商的运行成本。其原因是：1）确保市场正常运行，同时决定市场设计需要做哪些调整；2）削减市场操控力。

• 做到充分的系统灵活性、支持可再生能源上网，仍然是一个重大的挑战。现货市场设计需要特别注意几个问题：辅助服务的补偿机制，以及对用来灵活运行的发电机组成本的补偿；制定规章制度让需求响应和储能资源参与市场；将各省之间的现货市场实现统一（或至少互联）[10]；制定措施，实现差别化的地区市场价格，以更好地鼓励发电厂的高效布局。

• 当前中国现货市场是在分省基础上建立的。如果在开始时就能将这些试点整合起来进行考虑，将十分有效。例如，南网的现货市场试点要求首先在广东开展。实际上，南网地区可以从一开始就被设计成一个区域综合的现货市场。这种综合考虑将有助于整合可再生能源和降低系统成本。[11]

• 按照已经出台的一些政策文件和各省试点项目来看，近期不断发展的中长期交易框架，最终对系统灵活性造成的影响将是弊大于利。目前看来，这似乎反映了对于放开发电指标所做的一系列妥协。任何电力市场都需要各种形式的中长期合同，但广义上说，可以采取金融合同的形式。需要注意的是，电力调度不应受到一年前预先约定的合同的影响。相反，现货市场应指导调度（视当前的可靠性条件和约束而定），而中长期合同在很大程度上应主要是发电厂和需求侧实体之间的业务往来，用来规避短期价格风险。

---

[9]. 见关于巴西调度的讨论，英文版见: http://raponline.org/document/download/id/7432 中文版: http://www.raponline.org/document/download/id/7482

[10]. 最近宣布的应对可再生能源过剩的跨省现货市场似乎迈出了有希望的一步。

[11]. See also the article in this series titled ‘Renewable Integration’. See also: http://www.raponline.org/blog/the-benefits-of-regional-spot-markets-the-view-from-europe_cn/

再生纸印刷

中国电力圆桌
POWER SECTOR ROUNDTABLE

自然资源保护协会（NRDC）
中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706
邮编：100026
电话：+86-10-5927 0688
www.nrdc.cn