



2020年6月

设计电力市场以最大化碳定价机制的有效性

国际经验和教训

Max Dupuy, Frederick Weston, Camille Kadoch, Richard Cowart

睿博能源智库

简介

中国的政策制定者目前正在设计和实施碳市场(最初只覆盖电力行业)和电力市场。通过对全球其他区域的了解,我们建议在设计这些市场时应将二者结合考虑。理解彼此之间的相互影响是良好设计的关键——也就是说,确保市场尽可能经济有效,确保碳项目以尽可能低的成本为终端用户和整个电力行业实现目标。

国际经验表明,在孤立的政策中设计电力市场和碳市场,不会带来最好的结果。碳价格对电力系统调度和批发现货市场电价的影响受到一系列系统条件、操作规程和投资激励的影响——所有这些都伴随着竞争市场和行政管理市场之间的协调统一。

此外,碳定价的成本效益——即在最大限度地减少碳排放的同时将实际获得的每吨碳减排的成本降至最低——并不像看上去那么简单。经验表明,尤其是在电力行业,如何管理碳价格至关重要。

对碳(或任何污染物)定价的目的是提高碳排放发电相对于清洁、非碳排放发电的价格,从而推动对清洁生产的需求和投资。碳定价可以通过三个直接和相互关联的渠道减少电力部门的排放:1)改变电力部门调度(即系统运行);2)影响有关电厂和其他电力部门资源的投资(和撤资)决策,以及3)改变能源需求。在本文中,我们研究了这些相互作用,并提出电力市场应该如何适应,以最大限度地提高碳价格的有效

性¹。我们确定了关键的设计元素，以确保两者协同工作，并为政策制定者特别是正在设计中国碳市场的工作者，提供建议和意见。我们的发现可以总结为：

- 1) 欧洲和北美的经验表明，经济(或“优先调度”)调度极大地提高了碳市场的有效性，实现经济调度的一种方法是实施设计良好的电力市场。在这个调度原则下，电厂的运行决策是基于它们的相对运营(主要是燃料)成本。较便宜的机组将首先运行，随着实时需求的增加，相对较贵的机组将开始运行。碳定价可以通过改变不同机组的相对价格来影响这些关键的电网运行决策。事实上，中国的政策制定者正朝着这个方向努力，根据经济调度原则，实施新的“现货”电力市场。中国在这个问题上已经取得了很大的进展。在这一进展的基础上，（无论是通过竞争性的电力现货市场还是行政手段）在全国范围内实现充分的经济调度是至关重要的。
- 2) 在经济调度的同时，正确把握电力市场设计的其他要素，使碳市场既有效又高效。这些元素包括：
 - a) 资源补偿: 发电机和其他电力部门资源（例如终端能效和需求响应）如何得到补偿。设计不当的补偿模式可能会使对低效的碳排放资源的依赖永久存在，而这些碳排放资源的总成本要比排放较低的机组更高。
 - b) 市场监测: 独立的监测和监督是必要的，以防止滥用市场力，这通常会过度补偿化石燃料资源的效果，当然，更重要的是有助于确保经济调度。理想情况下，市场监测应包括对碳市场和电力市场的监督。
 - c) 减缓碳排放价格对电力消费者的影响: 碳排放价格将增加化石燃料发电厂的运营(燃料)成本，在竞争激烈的电力市场，这将倾向于提高向发电商支付的市场价格。如何应对这些成本的增加——谁应该从更高的价格中受益?——将影响碳市场的有效性。
- 3) 欧洲和美国一个共有的经验是，碳价格的影响可以通过碳收入的支出方式大大增强。将碳收入用于投资低碳资产(特别是终端能效和可再生能源)，可以使碳价格的影响扩大几倍。
- 4) 世界上，即使在有比较复杂的电力市场和碳市场的地区，电力行业规划仍然是能源和环境政策的至关重要的组成部分。规划必须和碳市场和电力市场设计紧密结合。只有作为相互补充的为实现中国能源、经济和气候目标的综合政策整体的一个元素时，碳市场才能够最好地设计。
- 5) 随着电力和碳市场的发展，零售价格改革最好在全国范围内也推进。反映电力生产的真实成本(包括碳成本)的零售价格将有助于碳市场减少排放。

电力行业调度

电是一种不同于其他商品的商品，这一点非常重要。例如，钢或铝可以在使用前生产出来，并储存在仓库中，直到交付给客户，而发电必须与实时用电相匹配。电网是由系统运营商(即，中国的调度机构)管理的，他们负责维持电网上几乎瞬间的整体供需平衡。电力需求全天波动，电网的其他情况也是如此，比如发电机组的可用性和输电线路的拥塞。

¹这里我们只描述碳价格如何影响电力部门的行为——也就是说，电力市场主体可能如何对价格作出反应。此外，在“缓解碳定价对电价的影响”一节，政府在设计碳排放交易机制时还有其他可以采取的步骤，可以在降低项目成本的同时增加效率，即产生比碳价本身所能带来的更大的减排。

发电机调度是决定使用哪些发电机组来满足需求和维护电网稳定(“系统安全”)的过程。负责电力调度的机构必须每天、每小时、每分钟地做出这些决定,使电力需求和供应始终保持平衡。近年来,调度机构开始面临一个新的挑战,即在日益增多的可再生能源发电——风能和太阳能的情况下如何平衡电网,它们不能像传统的燃煤或燃气发电厂那样可以被直接控制。然而,这个挑战是可以克服的。世界各地的经验表明,要想做到这些更多的是解决如何以及为了什么目的给予能源供应商补偿,而不是纯粹的电网技术问题。关键是供应和需求的**灵活性**,以及奖励市场参与者——无论是传统的大型发电机还是较小的分布式资源——只要它们能够以合理的成本、在正确的时间和地点提供电力灵活性²。调度机构已经采用实时管理系统,以应对供需变化。现在,他们也越来越多地需要处理发电出力尤其是可再生能源的发电出力的变化。在调度(例如,系统运营)中重视灵活性将会解锁大量的可被快速调度的负荷和发电资源,这些资源可以改变它们的消耗或产出,从而在一个更多变的系统中有效地平衡供求。

在北美、欧洲和世界上大多数其他地方,系统操作员根据发电机的相对经济性做出调度决策。这被称为经济(或优先调度)调度。它根据运行成本(也称为短期边际成本或可变成本)对发电机组进行排名,这些成本主要反映了燃料成本和发电机将燃料转化为电的效率。有关运行成本的信息可能来自系统操作员进行的估算、电力市场信号,或两者的组合。在有碳价的地方,排放成本也反映在每个发电机的运行成本中(见“碳定价对电力市场价格的影响”一节)。

根据这个可用发电机的排名,系统操作员首先选择调度成本最低的机组³。随着需求的增长,再调度成本更高的机组。随着需求下降,先关停的也是成本更高的机组。系统操作员每天重复多次这样的调度,以处理波动的用电需求、供应和电网状况。由于电网拥堵或电网状况的其他变化,系统运营商可能并不总是能够使用成本最低的发电机,但受可靠性约束(请参阅下一节“发电补偿”),总运行成本最小化是电网运行的关键原则。

图1展示了在一个假设的电力系统中给定一小时的优先调度顺序。可再生能源的燃料成本为零,排放的社会成本为零,因此,当它可用时,它通常排在优先顺序的第一位。燃煤和燃气发电机的效率不同,运行成本也不同,因此在排序中也有不同的位置。

碳定价和经济调度相互作用,以支持可再生发电和其他相对低排放的发电机组。由于碳成本是任何发电商运营成本的一部分,而且各个发电机组的碳排放量各不相同,因此碳价格强化了相对低排放资源在优先调度排序中的地位。

电力批发市场可以被认为是一种激励发电商和其他资源披露其真实运行成本的机制,可以用来确保经济调度⁴。原则上,在批发市场中,市场管理者以边际资源的运营成本

² 我们有时用“供应商”、“资源”与“发电商”这个词互换。然而重要的是,这也包括非发电资源的供应商,如需求响应和储能。

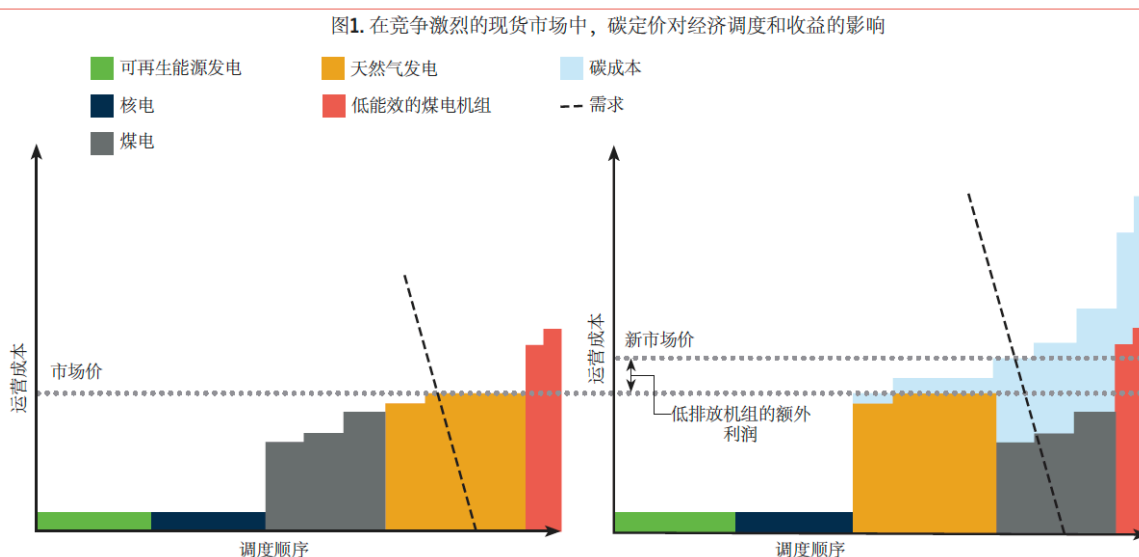
³ 注意,资本成本并没有反映在调度排名中。逻辑是,调度员负责将从现有资源中发电的成本最小化。

⁴ 理想情况下,电力市场还鼓励终端用户披露他们为电力付费的真正意愿和失去负荷的真正价值(VoLL),但由于各种原因,这在世界各地都是一个有点难以实现的目标。可参见 Energy Union Choices

水平确定市场价格(如图 1 所示), 且所有资源都获得该市场价格。在一个设计良好、竞争充分的批发市场中, 如果供应资源每千瓦时的报价(或“出价”)高于其实际运营成本, 就会发现, 即使能够支付其成本(甚至可能是盈利的), 有时也不会被调度。相反, 如果供应资源的每千瓦时报价低于其实际运营成本, 则该供应资源获得的市场价格低于该资源的运营成本, 则可能会亏损。通过这种方式, 一个理想的电力市场可以帮助揭示运营成本信息, 提高调度的经济性。这种结果在整个欧洲的批发电力市场都可以看到。

在一个设计良好、竞争激烈的批发市场, 在碳定价和经济调度的相互作用下, 通常会让排放量较低的发电商获得更高的收入。原则上, 这应该会激励人们加大对低排放发电的投资, 减少对高排放发电的投资。这是因为, 在一个典型的竞争性电力现货市场中, 所有的发电商都是按市场价格支付的, 而碳排放价格的影响将是增加零排放发电厂的收入(如图 1 所示)⁵。然而, 这可能会产生收益分配后果 (distributional consequences?)。我们将在下面“碳定价对电力市场价格的影响”一节中更详细地研究这个问题。

图 1. 在竞争性的现货市场中, 碳定价对经济调度和收益的影响



资料来源: Dupuy, M., Li, A. (2016). “碳市场设计讨论专题: 改善电力调度机制, 助力全国碳市场发挥功效”

中心结论是, 经济调度是任何旨在使电力部门碳定价制度总成本最小化的政策的先决条件。尽管经济调度可以通过行政手段实现, 但全球经验揭示了竞争性批发市场可以对发电商施加成本约束的威力。设计和实施良好的电力市场可能是建立经济调度的一个好方法, 而碳定价可以确保在经济调度中充分考虑碳的外部性成本。通过这种方式, 碳定价和电力市场可以共同努力来改善电力系统的运行——也就是说, 一种基于

(March 2016). “Priorities for the Market Design Initiative: What’s Missing? What’s Most Important?” <https://www.raponline.org/knowledge-center/priorities-for-the-market-design-initiative-whats-missing-whats-most-important/>. 这可以通过智能定价策略得到改善, 我们将在下一节中讨论。

⁵ Dupuy, Max, Ang Li (2016 年 12 月). “碳市场设计讨论专题: 改善电力调度机制, 助力全国碳市场发挥功效”, 睿博能源智库, pp. 10-12, <https://www.raponline.org/knowledge-center/topics-carbon-market-design-power-sector-dispatch-reform-chinas-national-ets/>.

市场的方法，将碳成本内部化，通过支持效率更高、污染更少的发电商，将整个系统的运行成本降至最低。

中国正处于向经济调度的转型过程中，电力市场的实施是其中的一个重要方面。现货市场试点是基于经济调度的原则，但在试点省份乃至全国地区设计和全面实施这些市场方面还有许多工作要做。确保强有力的经济调度对于确保碳市场能够有效运作至关重要。

发电补偿

发电商和其他资源如何获得报酬会影响它们的行为。电力市场的设计如何影响这种补偿，以及如何最好地构建补偿以补充碳定价机制的目标，是政策制定者需要解决的重要问题。

欧洲和北美的政策制定者和市场设计者已经制定出了各种各样的发电补偿方法。任何市场手段的一个优先项是确保期望的可靠性水平，并且保证补偿方法在市场中以某种方式奖励提供可靠性的发电商⁶。然而，可靠性只是许多重要的政策目标之一，其他诸如，改善当地空气质量和减少温室气体排放以满足《巴黎协定》，也是许多政策制定者的重要目标。这意味着需要一个充分利用低排放和不排放资源的电力系统，特别是风能和太阳能，以及能效和用户响应。因此，补偿机制应鼓励对这类资源的投资，并鼓励不支持特定政策目标(如燃煤发电产能)的资源退役。补偿机制还应支持将新资源并网，并促进所有可用资源的有效运作。

在美国东北部和太平洋中部，独立系统运营商（ISO）/区域输电组织（RTO）ISO New England 和 PJM Interconnection 同时运营电量和容量市场⁷。这些容量市场机制在系统高峰时段(主要是夏季)为可用的容量在特定的年份支付容量电价。英国市场也都有容量市场和电量市场机制。尽管这些地区的市场在许多方面运转良好，但容量市场在市场设计中的使用一直带来问题，导致市场参与者做出了一些低效的投资和不退役低经济性的化石发电机组的决定。其中一个方面是，容量市场——至少在已经实施的这些地方——往往过分强调可靠性，并倾向于奖励不必要的昂贵资源，而较便宜和更清洁的资源也可以起到同样的作用。可靠性不应该作为唯一的市场设计目标，系统总成本最小化和清洁资源并网也应算是重要目标。

这在 ISO-NE 和 PJM 地区都是一个热点，在这两个地区，州政策和被称为区域温室气体减排行动(RGGI)的碳排放交易计划联合推动了对可再生能源的投资(见 RGGI 部分)。最近，FERC 为 PJM 强加了一个可能会削弱良好州政府的清洁能源政策的新容量

⁶系统运营商希望满足可靠性的两个方面。一是系统安全，即实时运行的可靠性。第二个是资源充足性，即在中长期满足需求的资源充足性。

⁷中国几个省份正在发展的现货市场大致类似于覆盖美国约三分之二电力市场的独立系统运营商(ISO)和区域输电组织(RTO)。因为 ISO 和 RTO 在美国几乎是同义词，当提到这些美国 ISO/RTO 市场时，我们将交替使用它们。有关 ISO/RTO 市场的更多信息，请参见 Hurlbut, D., Zhou, E., Porter, K., and Arent, D. (2015). “可再生能源友好的电网发展策略：美国的经验以及对中国的潜在借鉴” (NREL/TP-6A20-64940)。美国国家可再生能源实验室。 <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/64940.pdf> (中文版本: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66729.pdf>) Federal Energy Regulatory Commission. (2015). *Energy primer: A handbook of energy market basics*. <https://www.ferc.gov/marketoversight/guide/energyprimer.pdf>

市场设计元素(很可能也会在新英格兰推广使用)。它设置了一个容量价格下限,这将使得成本更低、更清洁的可再生能源相对于不灵活的燃煤电厂的消费者成本增加。它还通过减少价格强加给高排放工厂的“痛苦”(财务上的劣势),减少甚至抵消了RGGI碳价的影响。

相比之下,一些北欧市场——丹麦、德国和低地国家——以及美国的德克萨斯州,没有容量市场机制只依赖电量市场(相应地,这种市场方法被称为“单一电量”模式)。这些市场依赖稀缺性定价,以确保所有发电机都得到充分补偿。这些市场通过允许运行储备备用(即,在系统峰值或处于压力时维护系统安全所需的能源)的价格上升到非常高的水平来做到这一点。在德克萨斯州的案例中,价格最高升至9000美元/MWh⁸。这种情况只是偶尔发生,并不会对消费者的平均年支出产生重大影响,但它确实向资源传递了一个非常强烈的价格信号,无论是发电方还是需求方,这些资源实际上是在相对稀缺的时候满足系统需求的。

单一能量的市场方式,如果实施得当,就能很好地奖励供需的灵活性,鼓励创新和更有效的用电,从而更容易地整合风能和太阳能资源,并实时平衡系统。在德克萨斯州,超过30%的电量是由非排放发电机组提供的,而且这一比例还在稳步上升⁹。

那么,对政策制定者和电力市场设计者来说:我们的市场设计是促进还是阻碍既定公共政策目标的实现?可靠性是一个目标,但不是唯一的目标。一个更好的思考这个问题的方法可能是:我们应该如何设计电力市场,在不损害可靠性的情况下,以最低成本实现我们的政策目标?正确的市场设计不仅仅意味着确保系统提供可靠的电力,而是意味着确保它服务于国家的其他重要需求。碳市场只有在不被系统中其他相反的激励措施破坏的情况下,才会有效,即减少碳排放发电的投资和运营。这里的技巧是让市场设计者了解他们提出的补偿方案是如何奖励行为的。如果市场规则导致增加对化石燃料发电设施的投资和使用,那么碳市场将无法实现其目标。另一方面,如果电力市场规则与碳市场相辅相成,将会加速减少有害排放。

在中国,2015年启动的电改(随着“9号文件”定颁布实施)已经导致了发电补偿的变化。其中很大一部分是现货电力市场的设计和 implement。这些市场承诺将发电补偿与可再生能源并网的目标更好地结合起来,淘汰相对碳排放高的发电机组,提高电力系统调度经济性。但是,要使发电和其他资源的补偿细节设计正确,还有许多工作要做¹⁰。在这方面,我们建议制订更详细的规则,以便:

⁸ 德克萨斯州的市场设计师已经投入了大量精力来确保设计良好的稀缺性定价。德州电力市场的特点是单一电量市场加上实时的、基于能源的可靠性机制(称为“运营备用需求曲线”),确保有足够的容量满足系统安全需求,同时提供足够的收入来鼓励新的投资。Surendran, Resmi, William W. Hogan, Hailong Hui, Chien-Ning Yu, “Scarcity Pricing in ERCOT,” FERC Technical Conference. Presentation June 27-29, 2016. Retrieved from https://www.ferc.gov/CalendarFiles/20160629114652-3%20-%20FERC2016_Scarcity%20Pricing_ERCOT_Resmi%20Surendran.pdf

⁹ Jeff St. John, “Texas Grid Operator Reports Fuel Mix Is Now 30% Carbon-Free,” Greentech Media, 19 January 2019, retrieved from <https://www.greentechmedia.com/articles/read/a-snapshot-of-texas-growing-appetite-for-wind-and-solar-power>.

¹⁰ Dupuy, M. (2019). “对《关于进一步推进电力现货市场建设试点工作的意见(征求意见稿)》对建议”, 睿博能源智库, <https://www.raponline.org/knowledge-center/topics-carbon-market-design-power-sector-dispatch-reform-chinas-national-ets-cn/>. 以及睿博能源智库, 自然资源保护协会(2017)“美国电力市场设计与实施经验以及对中国的借鉴”, <https://www.raponline.org/knowledge-center/electricity-wholesale-markets-us-experience-and-recommendations-for-china-cn/>

- 为所有资源(包括需求侧和储能资源)创造一个公平的竞争环境，以参与现货市场(并获得公平的补偿)。
- 利用稀缺性定价。取消或放宽现货市场的价格下限和上限将是必要的，以使市场能够向市场参与者传递经济上准确的价格信号，反映不同时间、甚至不同地点的电力价值，特别是在需求高而供应不足的情况下。

市场监管和监测

电力市场可以被认为是帮助实现重要社会目标的工具，包括经济调度、降低成本、减少排放和更好的投资决策。但电力市场只有在设计和监管良好的情况下才能做到这些。实际上，在美国、欧洲和世界其他地方，电力市场受到严格监管。也就是说，电力市场嵌入了包括市场监管和市场监测在内的详细规则，如果没有这些规则，电力市场就无法运作。

电力市场可能容易受到竞争不足的影响，这可能会破坏经济调度和其他社会目标。美国电力市场经受过缺乏竞争的痛苦，至少在某些时候和某些地区是如此。在本世纪初期的加州危机，某些发电资源的所有者能够行使市场力——也就是说，他们控制了资源的足够市场份额，为了自己的利益干扰经济调度，严重扰乱了市场，导致大面积的停电，更不用说使用相对低效的机组产生的不必要的排放¹¹。这场危机促使美国重新加强了对市场的监管、监测和监督(因此，我们将重点介绍美国的经验)。在中国，缺乏竞争可能是一个特别紧迫的问题，因为电力行业的特点是相对较少的大型国有发电企业，在特定省份或地区占有绝对优势的发电所有权份额。

在美国，市场监管和市场监控不仅包括对市场参与者行为的逐日和逐时审查，而且还包括为了促进经济效率和竞争、支持政策目标(包括清洁能源)的市场规则而做出调整的不断努力。联邦能源监管委员会(FERC)采取了几个步骤来确保市场的完整性：

- 它要求每个ISO/RTO建立一个独立的市场监测单位(MMU)，承担以下职责和职能¹²：
 - 评估现有和拟议的市场规则和市场设计元素，并向ISO / RTO的管理者、FERC、市场主体和其他利益相关者提出更改市场规则的建议。独立的MMU非常有效地发挥了这一作用，并为每个ISO / RTO中不断进行的讨论和规则完善做出了贡献。这很重要，因为需要根据市场表现和变化的情况不断重新评估市场规则。
 - 及时（至少每季度）发布一次有关ISO / RTO市场表现的详细报告。除了为改变市场规则的讨论提供信息外，报告还是现有和潜在市场主体了解关于市场状况的重要信息来源，有助于提高市场的透明度和效率。

¹¹ “市场力”一词常与“垄断力量”互换使用。两者都指供应商操纵价格的能力，这在竞争中是不可能的。20年前，在加州，一些供应商在特定时间和特定地点控制了足够多的供应，他们能够通过停止向市场供应少量电力来抬高能源价格，以抵消因减少发电而造成的收入损失。他们比在竞争激烈的市场中发了更少的电却赚了更多的钱。这就是垄断的定义。

¹² Federal Energy Regulatory Commission, Order 719 on October 17, 2008, pp.169-247. Retrieved from <https://www.ferc.gov/whats-new/comm-meet/2008/101608/E-1.pdf>

- 为ISO / RTO中缓解市场力提供帮助。独立的MMU通常在设计自动化不断筛选非竞争性投标的过程中发挥作用。这还可能包括协助估计特定发电商和其他资源预估运营费用（在美国，称之为参考水平），这是发现和减缓市场力的一个关键标准。
- FERC揭露市场主体或ISO/RTO管理层可疑违规行为。
- FERC要求每个ISO/RTO都要有详细的规则和程序在市场力发生之前，来检测和缓解(即，纠正)市场操纵行为。在这些规则中，重点是防止市场操纵，而不是事后惩罚。换句话说，在未通过预定义测试（称为“结构性”方法）或竞标未能通过“行为和影响”筛查的市场主体行使市场力之前，便对其报价进行调整。这些详细规则旨在立即纠正市场主体利用市场力提交报价(或处于提交位置的报价)的行为。这个过程允许ISO/RTO立即要求这些报价被“减缓”，也就是说，根据通过公开流程制定的规则降低到适当的水平，并且所有市场主体都必须遵守这些规则。此外，FERC有权调查和惩罚过去曾行使市场力的市场主体。
- FERC还要求ISO/RTO收集数据，以估算发电机组的运营成本(称为“参考水平”)，这对于经济调度至关重要。ISO/RTO使用这些参考水平来判断市场是否具有竞争性，市场是否正在走向与经济调度一致的结果，以及是否有任何发电商正在行使市场力。这种预估还被用来纠正市场主体的报价——也就是说，确定报价应下降到的水平。预估数是根据每一发电机组(和可比较的资源)的运营成本数据计算的。例如，对于一个燃煤发电机组，关键数据包括该机组面临的煤炭成本和该机组在不同产出水平下燃烧煤炭的效率。

在中国，有效的监管结构对于确保现货市场带来切实的好处至关重要:降低运营成本(完善调度)、更好的投资决策和更低的排放。中国的政策制定者可以考虑以下几点:

- 制定和发布详细的组织构架和职责权利，以收集有关运营成本的数据，并基于该数据为每个资源创建“参考水平”并不断更新。
- 制定和发布有关市场力筛选和缓解流程的详细规则。简而言之，对于如何计算和使用参考水平，以及关于缓解市场力的程序应该有非常明确的规则。在现货市场运作的最初几年，当竞争不足和市场设计问题可能很严重时，设置这些程序将特别重要。例如，在任何特定省份或地区鼓励发电资源区域整合的政策都可能导致竞争不足，但可以根据设计得当的参考水平价格来调整主要发电商的出价来一定程度的缓解这个问题。也就是说，在报价容易受到垄断的影响下，可以根据预估的参考水平来实现经济调度。
- 建立具有明确规定的权利、责任和数据访问权限的独立市场监测机构。比如制定一个“基本原则”，即市场监管和市场监测的重点是支持具备成本效益的调度和公平竞争的清洁能源资源。市场监测机构应就各省的市场效率和运营/调度结果定期发表报告。报告还应包括为确保公平竞争环境所需的任何市场规则改变的提议，包括分布式资源和需求侧资源(包括需求响应)。

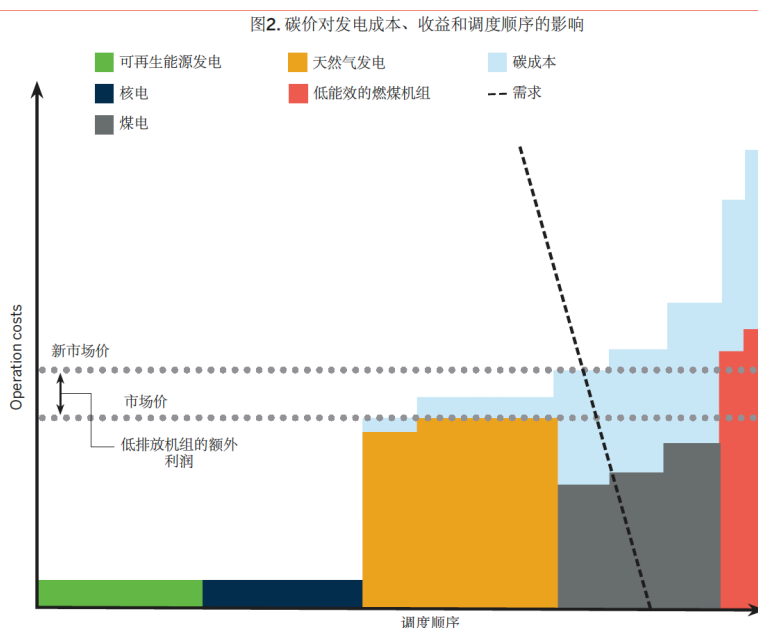
碳定价对电力市场价格的影响

电力部门碳排放的价格表现为火电(化石燃料)发电机组可变(运营)成本的增加。这种增长是很容易计算的:它是一吨二氧化碳排放的价格和每兆瓦时发电排放二氧化碳的吨数(或比例)的乘积。发电机产生的排放量与所用燃料和电厂热效率有直接关系——热效率越高,排放的二氧化碳越少。

在依赖经济调度的系统中,碳价格可以改变电厂的调度顺序。效率更高的和使用更少高碳排放燃料的发电厂将会比原来没有碳价情况下运营得更多。这种运营小时数变化的幅度取决于碳价格水平和不同燃料的相对价格,以及其他因素。如果调度是由一个竞争激烈的能源市场决定的,在这个市场中,所有的供应商都接受统一的市场出清价格(由该期间满足需求所需的所有投标中最昂贵的投标确定),那么碳价的一个必然影响是,无排放发电机组和能够以低于新市场出清价格运营的火电机组的收入将增加。欧洲和北美的能源市场,以及中国的现货市场试点,实际上都是这样设计的。在这些市场中,发电厂有减少排放和提高效率的经济动机。这是碳市场的一个核心目标,它依赖于一种运作良好的经济调度方法。

图2提供了图1右侧的宽展视图。它说明了在竞争激烈的批发能源市场中,满足特定时段需求所需的所有能源供应商都能获得市场出清价格,碳价格是如何提高发电的总成本的。在图2中,向左倾斜的垂线表示某一时刻的电力需求,并显示了需求对价格的轻微响应,因为在更高的价格下,满足需求所需的容量更少。出清价格是纵轴上电力需求线与供应曲线相交的点。

图2. 碳价对发电成本、收益和调度顺序的影响



资料来源: Dupuy, M., Li, A. (2016). “碳市场设计讨论专题: 改善电力调度机制, 助力全国碳市场发挥功效”

在这个例子中，燃煤电厂的运营成本决定了清算价格。当采用碳价时，如果边际电厂使用化石燃料，出清价格就会上涨，所有在市场上出清的发电厂都会获得额外收入(这部分超出发电厂运营成本的发电收入称为“超边际租金”‘infra-marginal rent’)。只要化石燃料机组处于边际(即设定清算价格时)，任何接受基于市场价格的资源都将从碳影响的清算价格中获得更多收益。对于低碳发电(图中为风电和核电厂)，增加的收入超过了增加的成本，而碳价带来了增加的利润。即使是成本相对较低的化石燃料机组也会受益于这一效应，因为它们也会获得更高的清算价格，而额外的收入将偿还部分、全部或超过碳排放配额的成本，取决于其相对于边际(市场定价)工厂的“碳强度”(例如，热效率)¹³。在图 2 中，燃煤电厂必须为其排放买单，但它仍在运行，而更高的清算价格将使它在电力市场上收回大约一半的碳排放费用。

原则上，碳定价应该影响电力部门的调度。然而，在实践中，欧洲和美国的经验表明，需要高碳价格才能显著影响调度和降低碳排放，而这些地方的政策制定者似乎不愿(或在政治上无法)设定如此高的碳价格¹⁴。

减轻碳价对电价的影响

欧洲和北美的电力市场和碳市场设计者已经认识到碳价格对电力价格的影响(“超边际租金问题”)，并制定了应对办法。通常有两种形式:(1)将碳配额拍卖收入投资于终端能效和可再生能源等减排措施，(2)对排放采用“虚拟”或“影子”碳定价，以便在改变调度的同时减轻对市场清算价格的影响¹⁵。

投资减排措施：区域温室气体减排行动

RGGI 是北美第一个碳配额交易项目。它是在 2000 年中期开发的，并于 2008 年启动。这是一个覆盖美国东北部和太平洋中部地区 10 个州的自愿项目。到目前为止，只作用于电力部门的温室气体排放。

RGGI 的设计者——担心对于一些发电商来说，特别是碳排放发电商，包含碳价格的电力市场价格将导致更高的“超边际租金”(通常称为“意外利润”)，而没有产生有意义的减排——因此，他们制定了两个结构性决策，这被证明对项目的有效性十分关键。第一种是通过拍卖来分配配额——温室气体排放者必须为其排放付费。第二项是将拍卖收入的全部或部分用于投资温室气体减排措施，主要是终端能效项目。

¹³ Cowart, R., Bayer, E., Keay-Bright, S., and Lees, E. (2015). *Carbon Caps and Efficiency Resources: Launching a “Virtuous Circle” for Europe*. Brussels, Belgium: The Regulatory Assistance Project(睿博能源智库), page 13.

Retrieved from <https://www.raponline.org/knowledge-center/carbon-caps-and-efficiency-resources-launching-a-virtuous-circle-for-europe/>.

¹⁴ 给定限额或其他使配额价格保持在特定水平以下的方法就是这种不情愿的表明。RGGI(下一节讨论)有一个额外排放配额的“成本控制储备”，如果配额价格超过指定水平(2021 年为每短吨 13 美元)，就会向市场发放。有趣的是，如果价格跌至指定的下限(2021 年为每短吨 6 美元)，就会有类似机制从市场上取消配额。总的来说，这些工具使碳配额价格保持在可接受的范围内。详见 Regional Greenhouse Gas Initiative. (n.d.) *Elements of RGGI*. <https://www.rggi.org/program-overview-and-design/elements>

¹⁵ 其他行动，例如英国要求欧盟碳排放交易计划参与者必须购买碳配额的地板价，并非旨在减轻碳市场的经济影响，而是确保配额拍卖的最低收入水平，并在配额价格较低时，保持更强有力的减少排放的动力。

RGGI 的设计者们为碳排放权交易项目考虑了几种分配配额的方法。最后，他们决定采用拍卖形式，因为拍卖是最经济有效的方式，而且它提供了一种简单的行政手段以确保收入用于公共目的。另外，尤其重要的是，设计者们认识到，即使免费给排放者发放配额，它们的价值也还是会在批发电力市场得到体现，而消费者用电价格也会上升以反映这一价值。这是因为排放者一旦获得了排放额度，就可以选择如何处理它们：它们可以用这些额度来支付自己的排放量，也可以把它们卖给其他排放者。不管怎样，他们都不会放弃这种价值；他们将在电力市场的发电报价中抓住这个价值。

这根本不是一个理论问题。RGGI 的设计师们看到了欧洲发生的事情。在欧盟碳排放交易体系的第一个“合规期”，英国和德国的电力公司将配额价值计入了可收回费用，虽然配额是免费发放给电力公司的。这意味着，尽管欧洲各国政府没有从中获得任何收入，但欧洲消费者为配额买了单（以及向低排放发电厂支付额外的“超边际租金”^{16,17}）。

通过拍卖配额，RGGI 的设计者们确保了配额的全部直接成本将从发电厂获取，并可用于反馈社会。至少在这个程度上，消费者一部分因碳价所导致的电力成本增加将会得到“补偿”。但设计师们更进一步，决定拍卖所得应明确用于碳减排措施和对消费者有益的项目，比如投资能效、清洁能源，以及在有些情况下，主要针对低收入消费者的返利。目前，RGGI 各州将配额金额的大约 60% 用于支持州能效项目，其余部分用于其他温室气体减排措施（如可再生能源）、直接电费账单援助和项目管理¹⁸。在 2008 年和 2009 年开始的 RGGI 配额拍卖取得成功，欧盟和加州将拍卖机制纳入其配额分配系统，并将部分收入专门用于公共福利目的¹⁹。

¹⁶在免费配额的情况下，“市场价格将通过边际供应商的机会成本转嫁而上涨，即使配额并不代表发电商的现金支出成本。这种上涨的市场价格为获得免费配额的人提供了意外利润的可能性（即在没有相应投入成本增加的情况下获得较高价格），正如欧盟排放交易体系在拍卖配额之前所发现的那样。” Litz, F., & Murray, B. (2016, March). Mass-Based Trading Under the Clean Power Plan: Options for Allowance Allocation. Nicholas Institute and Great Plains Institute. <https://nicholasinstitute.duke.edu/content/mass-based-trading-under-clean-power-plan-options-allowance-allocation>

¹⁷更多欧洲经验，详见 Baldwin, R., Cave, M., & Lodge, M. (2012). *Understanding Regulation: Theory, Strategy, and Practice*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press, p. 203; Sijm, J., Neuhoff, K., & Chen, Y. (2006, May). *CO2 Cost Pass Through and Windfall Profits in the Power Sector*. Electricity Policy Research Group. <http://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2008/11/eprg0617.pdf>; and Kill, J., Ozinga, S., Pavett, S., and Wainwright, R. (2010). *Trading carbon: How it works and why it is controversial*, pp. 37-42. FERN. <https://www.fern.org/news-resources/trading-carbon-how-it-works-and-why-it-is-controversial-651/>

¹⁸Hibbard, P., Okie, A., Tierney, S., & Darling, P. (2015, July 14). “The Economic Impacts of the Regional Greenhouse Gas Initiative on Nine Northeast and Mid-Atlantic States: Review of RGGI’s Second Three-Year Compliance Period (2012-2014),” Figure 2, p. 30. Boston, MA: Analysis Group. https://www.dec.ny.gov/docs/administration_pdf/ag15rggi.pdf.

¹⁹Santikarn, M., Kardish, C., Ackva, J. & Haug, C. (2019). The use of auction revenue from emissions trading systems: delivering environmental, economic, and social benefits. Berlin, Germany: International Carbon Action Partnership. https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=646. See also Littell, D., & Farnsworth, D. (2016, April). *Carbon Markets 101: “How-To” Considerations for Regulatory Practitioners*. Montpelier, VT: Regulatory Assistance Project (睿博能源智库). <https://www.raponline.org/knowledge-center/carbon-markets-101-how-to-considerations-for-regulatory-practitioners/>

在项目实施的头三年(2009-2011年合规期), RGGI地区各州的净经济效益为16亿美元(以2011年美元计算)。这些州几乎把拍卖所得的9亿多美元全部花在了商品和服务上,特别是在能效、可再生能源和其他公共福利项目上。这种支出的直接和间接乘数效应(其中最大的部分是对终端能效的投资所导致的电费减少),远远超过了对能效支出所导致的发电机收入减少²⁰。

它还充分降低了电力服务的总消费者成本,从而以消费者的净负成本实现了碳节约。换句话说, RGGI的经验表明,电力部门大量的碳减排可以以较低的消费净成本实现。两个基本要素是(1)拍卖碳排放配额,(2)将由此产生的收入投资于低成本甚至负成本的资源,以进一步减少碳排放。

接下来的两个合规期(2012-2014年和2015-2017年)的净收益大致相同:通过重新分配拍卖收入, RGGI各州获得了130%-160%的经济价值。此外,第三个合规期时排放总量限额减少一半以上(从约1.88亿吨/年降低到2014年的9100万吨/年,此后每年都降低2.5%),因此导致了每吨的排放量价格上涨(在三年期内为平均1.67美元)²¹。

最后,我们注意到碳价格对电力价格的短期影响,在长期内会被终端能效投资对价格造成的下行压力所抵消。例如,在2009-2011年期间,市场将配额成本纳入批发价格,导致消费者电价在2009-2011年期间出现约0.7%的短期上涨。但是,由于投资能效带来的需求减少,造成更长期市场价格下降²²。消费者之所以省钱,一方面是因为他们购买的电量少了,另一方面是因为他们减少的用电需求降低了电价。

通过影子定价反映碳成本:纽约 ISO 的碳定价提案

纽约独立系统运营商(NYISO)管理着一个竞争激烈的批发市场,并确保整个州的供电安全,市场主体包括投资者所有的电力公司、公共电力公司和独立的发电商。纽约州的立法机构和州长通过了一项雄心勃勃的气候变化立法,要求到2040年,纽约的所有电力供应必须来自零排放源²³。然而,就在2018年,纽约40%的电力供应仍然来自化石燃料发电²⁴。纽约已经采取了一系列的节能和脱碳政策来满足其气候目标。

²⁰ Hibbard, Paul J., et al., "The Economic Impacts of the Regional Greenhouse Gas Initiative on Ten Northeast and Mid-Atlantic States," The Analysis Group: Lexington, MA, 15 November 2011, pp. 2-6, 31 and subsequent. Retrieved from <https://www.analysisgroup.com/Insights/publishing/the-economic-impacts-of-the-regional-greenhouse-gas-initiative-on-ten-northeast-and-mid-atlantic-states/>.

²¹ Hibbard, Paul J., et al., "The Economic Impacts of the Regional Greenhouse Gas Initiative on Nine Northeast and Mid-Atlantic States: Review of RGGI's Third Three-Year Compliance Period (2015-2017)," the Analysis Group: Lexington, MA, 17 April 2017, pp. 4-19, retrieved from <https://www.analysisgroup.com/Insights/publishing/the-economic-impacts-of-the-regional-greenhouse-gas-initiative-on-nine-northeast-and-mid-atlantic-states--review-of-rggis-third-three-year-compliance-period-2015-2017/>.

²² Hibbard et al. (2011) pp. 7, 34.

²³ Richard Dewey, "Carbon pricing proposal in New York provides path to nation's clean energy future" (The Hill 02/04/20) available at <https://thehill.com/opinion/energy-environment/481332-carbon-pricing-proposal-in-new-york-provides-path-to-nations-clean>.

²⁴ US Energy Information Administration, "New York State Profile and Energy Estimates", Profile Analysis 15 August 2019, retrieved from <https://www.eia.gov/state/analysis.php?sid=NY>.

为了支持这一方案，NYISO 制定了一项提案，以反映批发电力市场中碳排放的社会成本，同时缓和其对系统总成本和用户电费的影响²⁵。由于碳价格在“单一清算价格”竞争电力市场中被放大，该计划将在一定程度上保护消费者免受碳价格的成本影响。该提案经过 2 至 3 年的设计、研究和修改，目前正等待纽约州和美国联邦能源监管委员会(FERC)的批准²⁶。

NYISO 碳定价提案的关键元素如下：

- 与碳排放交易项目不同的是，NYISO 方案中将使用固定的碳价格。这是为了在未来数年内向电厂所有者和投资者传递非常明确的信号，即排放成本对排放源来说将是多少，低碳资源的附加价值对可再生能源和核能发电机组来说将是多少。NYISO 本身并不打算确定这一价值，而是依赖于州能源和环境机构设定的每吨碳排放的“碳社会成本”。
- 在 NYISO 管理的竞争性批发电力市场中，碳价将被添加到每个发电商的投标价格中，从而在每个市场出清期间(全年每小时或部分小时)影响经济调度顺序。
- 然而，化石发电机组实际上并没有获得通常更高清算价格带来的所有好处。化石发电商从市场结算池中支付的款项被减少，以反映与它们的排放相关的碳排放费用的扣除。也就是说，重新安排调度以反映碳价格对投标的影响，电力购买者(负荷服务实体，或 LSEs)将支付更高的系统运行成本。但是，发电商将被要求支付其产生的排污费（比如，排放的碳吨数乘以碳的社会成本）。这些资金将退还给负荷服务实体，部分抵消重新调度排序的较高成本²⁷。
- 与此同时，零碳排放或低碳排放的电力供应商确实能从更高的净收入中受益，因为在结算过程中，部分“超边际租金”会转嫁给他们。
- 尽管重新调度的部分增量成本会退还给负载服务实体，但 LSEs 仍然会收到碳定价项目产生的价格信号。多年来，纽约的电力市场一直以区位为基础进行结算，在全州设立了 11 个不同的价格区间，反映出不同地区、不同时间的电力可用性和输电拥堵成本的差异(一个原因是大型风力发电场位于该州的北部，远离南部纽约市附近的主要负荷中心)。根据碳定价方案，LSEs 仍将受到区位价格的影响，但现在这些价格将反映每个区域的碳相关成本。因此，位于高价区的低碳资源将比远离主要负荷中心的类似资源更有价值，这给了投资者一个强有力的信号，让他们在这些地方保留和建设新的低碳资源。
- 向纽约进口电力也将被纳入碳定价计划，以避免让进口电力获得相对于州内发电机的竞争优势，并避免所谓的“碳泄漏”(在碳机制之外增加排放)。
- NYISO 碳定价计划旨在通过三种方式降低消费者的成本，这些成本原本可能来自于碳税向批发市场的流入。首先，结算过程不会将碳价格包含在其投标价格中而导致的清算价格上涨的全部价值退还给排放最高的机组。其次，结算过程

²⁵ New York Independent System Operator. “IPPTF Carbon Pricing Proposal,” prepared for the Integrating Public Policy Task Force December 7, 2018. Retrieved from <https://www.nyiso.com/documents/20142/2244202/IPPTF-Carbon-Pricing-Proposal.pdf/60889852-2eaf-6157-796f-0b73333847e8>. This was the original proposal. It has since been modified as described herein.

²⁶ 详见 Analysis Group, “Clean Energy in New York State: The Role and Economic Impacts of a Carbon Price in NYISO’s Wholesale Electricity Markets” (Tierney and Hibbard, 2019) available at <https://www.nyiso.com/documents/20142/2244202/Analysis-Group-NYISO-Carbon-Pricing-Final-Summary-for-Policymakers.pdf/75a766a8-623f-c105-ddcf-43dd78cb4bca?t=1570098881971>.

²⁷ Tierney and Hibbard, 2019, p. 8. 将通过结算过程管理。

向 LSE 提供了一部分超边际租金，这些租金原本会在结算过程中会流向所有发电商，用于减轻该计划对零售消费者的影响。第三，可以预期的是，通过电力市场为零排放和低排放发电商提供更高的价格，将有可能最大程度地减少在其他计划中为可再生发电提供的直接补贴和价格支持，并反映在现在的电价中。

NYISO 的碳定价提案还没有实施。然而，它揭示了一些关于如何结合碳定价和电力市场运作的重要经验。碳排放收费给排放量最大的化石燃料发电厂施加了可预见的成本，同时限制了它们在电价上涨时回收这个成本的能力。与此同时，它为零排放和低排放的发电厂带来了新的收入，以维持包括核能发电厂在内的现有发电机组的运转，并鼓励投资者投资新的可再生发电。通过回收并将部分超边际租金返还给 LSE，这为降低零售消费者的碳定价成本提供了一种方法。此外，它基于纽约的重要政策，即提供时间变化和区位敏感的电价。

由于该项目不会直接将碳收入用于能效项目，因此它没有利用成本最低且可广泛使用的资源选项之一，即终端能效，来降低温室气体。但是，它与该州一些非常强大的能效计划一起运作，包括那些由电力公司、州政府和 RGGI 收入支持的计划，所以这不是一个主要问题。在缺乏其他能效项目的情况下，将批发市场产生的额外收入的绝大部分投入到支持低成本、低排放的资源上，特别是终端能效项目，将是非常重要的。

加州碳排放交易项目

与 RGGI 一样，加州也有一个碳定价机制，它在配额拍卖中扮演着重要角色，拍卖所得收入将用于减轻碳定价对消费者的成本影响。然而，与 RGGI 各州不同的是，加州将大部分配额收入以“积分”的形式抵免消费者电费账单。这降低了每个消费者的总账单金额，但是，由于碳成本仍然反映在零售电价中，这并没有完全抑制碳定价给每个消费者减少用电的动机。

加州的碳排放总量控制和交易项目是“西部气候倡议”（Western Climate Initiative）的一部分，西部气候倡议是北美最大的碳交易市场²⁸。这是一个跨部门项目，包括发电和进口用电、大型工业设施、燃料供应商(加利福尼亚)或燃料分配和进口商(魁北克)²⁹。加利福尼亚州和魁北克省的项目是相互联系的，各司法管辖区发放的配额等合规工具将被用于各项目的合规工作³⁰。

在加州，配额是通过拍卖来分配的，这种拍卖每年举行四次，根据行业的不同也可以免费分配。配电公司及天然气供应商被称为“寄售实体”，他们代表客户接受配额，即所谓的“寄售配额”³¹。寄售实体(电力公司)必须在配额拍卖中出售寄售配额。然后，电力公司需要将这些收入用于客户福利和减排项目³²。对电力公司的配额随着时

²⁸ Western Climate Initiative Inc. (2020, April 23). *WCI, Inc. participating jurisdictions overview*. Retrieved from <https://wci-inc.org/assets/participatingjurisdiction-comparativetable-en.pdf>

²⁹ Western Climate Initiative Inc., 2020.

³⁰ California Air Resources Board (2020, April 13). Auction Information. <https://ww3.arb.ca.gov/cc/capandtrade/auction/auction.htm>

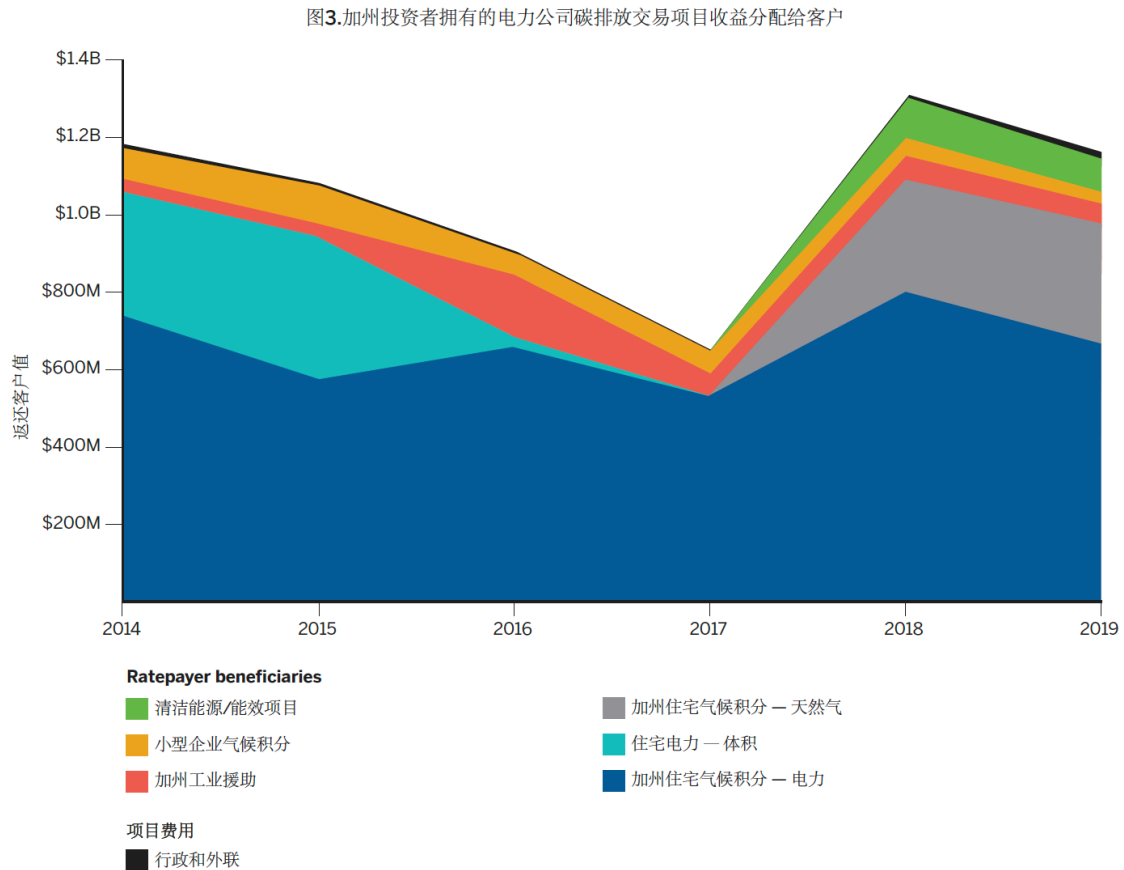
³¹ Carmody, C. (2019). *A guide to emissions trading under the Western Climate Initiative*. Centre for International Governance and Innovation. <https://www.cigionline.org/publications/guide-emissions-trading-under-western-climate-initiative>

³² Carmody, 2019.

间的推移而减少，有效地降低了排放总量上限：如果电力公司产生排放，则必须购买其他排放额度，以在拍卖或交易中计入这些排放³³。

在加州，投资者所有的电力公司必须把寄售配额产生的资金作为积分发放给居民、小企业和工业客户的清洁能源和能效项目。图 3 显示了这些基金的不同受益人³⁴。

图 3.加州投资者拥有的电力公司碳排放交易项目收益分配给客户



Source: California Public Utilities Commission. *Greenhouse Gas Cap-and-Trade Program*

根据加州法律，加州的“碳排放交易”项目只是更广泛的气候变化行动计划的一部分。该州还实施了积极的可再生能源配额制、低碳燃料标准、一系列土地利用和能效标准及激励措施，包括综合资源规划过程³⁵。在某些方面，加州的碳排放交易计划起到了“后盾”的作用，无论其他补充措施的表现如何，都能确保其总体温室气体排放目标得以实现。下图 4 为预测的碳排放交易计划的碳减排与其他政策的碳减排对比³⁶。

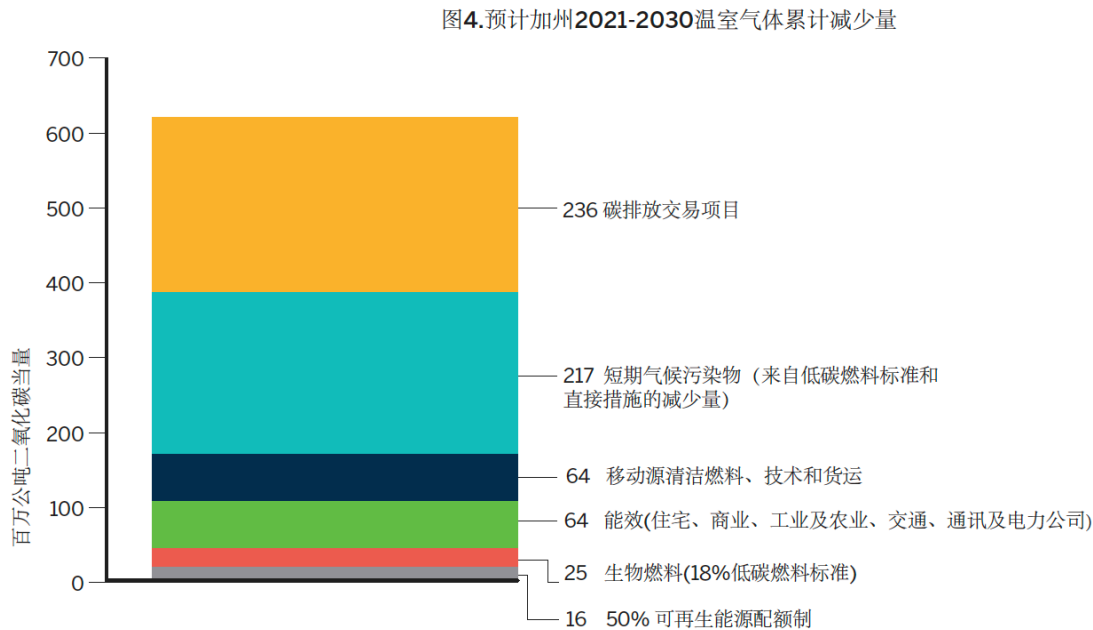
³³ Center for Climate and Energy Solutions. (n.d.). *California cap and trade*.
<https://www.c2es.org/content/california-cap-and-trade/>

³⁴ California Public Utilities Commission. (n.d.). *Greenhouse gas cap-and-trade program*.
<https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=5932>

³⁵ California Public Utilities Commission, n.d.

³⁶ California Air Resources Board. (2017, November). *California's 2017 climate change scoping plan: The strategy for achieving California's 2030 greenhouse gas target*.
https://ww3.arb.ca.gov/cc/scopingplan/scoping_plan_2017.pdf

图 4. 预计加州 2021-2030 温室气体累计减少量



Source: California Air Resources Board. (2017). *California's 2017 Climate Change Scoping Plan: The Strategy for Achieving California's 2030 Greenhouse Gas Target*

减轻对电价的影响：国际经验总结

推动电力行业深度脱碳，需要逐渐将不产生排放的供应侧和需求侧资源替代产生碳排放的发电资源。

为碳排放定价的做法，给电力行业的政策制定者带来了政治挑战。利用碳定价来推动电力行业深度脱碳，将需要大幅提高零售电价。对市场设计者来说，关键在于激发碳定价最重要的结果——更有效的调度(运营)决策，减少投资(和淘汰)产生排放的发电，增加对非排放资源(包括需求侧资源)的投资——同时避免或减轻更高的电力成本。换句话说，目标应该是在不给消费者带来巨大痛苦（可能会导致放弃碳定价计划）的情况下，以最低成本减少碳排放。

在 RGGI 各州(现在，在不同程度上，也包括加州和欧盟)，通过拍卖收入来支持节能措施(即减少用电需求)，从而减少排放和消费者电费³⁷。在 RGGI，主要是通过将拍卖收入投资于对居民和商业具有成本效益的终端节能措施来实现的，从而减少对浪费性用电的需求。在加州，这些收入大部分作为电费的抵免返还给消费者；极大的避免了碳价的直接财务影响，但却没有获得投资终端能效能够带来的巨大且持续的好处。

NYISO 提议代表了碳定价的一种创新方法，特别是在减轻碳定价对消费者电费影响的问题上。可以通过以降低电费账单的形式，将碳费返还给消费者来实现，这种方式在原则上(细节上有差异)类似于加州。NYISO 对影子碳价的建议是另一种重新安排调度

³⁷ 有关能效(节能)措施投资所占收入比例的更多资料，详见 Santikarn et al., 2019.

的方式，有利于低排放的发电企业，并以一种将对消费者的经济影响降至最低的方式进行。在短期内，它可以对纽约的调度顺序做出一些改进。而且，如果碳排放收费持续且足够高，随着时间的推移，它可能会推动发电机的退役和投资决策，从而对未来的发电组合产生更大的影响。

这里的国际经验告诉我们，碳市场和电力市场可以以一种微妙的方式相互作用，重要的是要让电力市场的规则“正确”，从而使碳市场尽可能地有效和具备成本效益。幸运的是，我们讨论的案例表明，有一些有效的模型可以解决碳定价对电力价格的影响，并且解决碳定价可能给污染发电厂带来的意外利润(超边际租金)问题。

规划和公共政策方针

世界各国电力改革容易犯的一个错误是，放弃某些长期规划做法，以为引入竞争性市场将带来对所需的产能的投资并产生理想的结果(例如，增加可再生能源和终端能效、改善空气质量、减少气候变化)。然而，正如我们在前面发电补偿章节中所指出的那样，市场只能根据设计进行产出，而且通常它们被设计用来以最低的财务成本生产电力。例如，这种短视意味着，鉴于水力压裂导致天然气市场的转型，美国大西洋中部和东北部的电力系统大量投资于天然气发电设施。这使他们面临燃料供应中断和价格波动的重大风险。

在美国，州政府决策制定者看到市场无法应对这些和其他短板后，已经采取了一系列政策来进行风险管理。其中最主要的是可再生能源配额制、用于终端能效投资的专项资金、鼓励客户投资清洁、分布式资源(屋顶光伏)的零售定价，以及确定满足各州能源和环境目标的最低成本的长期系统规划。这些政策与电力市场相互作用的方式是影响购买决策——通过电力公司和客户——市场最终必须对此作出反应。

制定规划和其他公共政策来确立期望的结果并使市场参与者承担义务，这与市场和竞争并不矛盾。事实上，它们是互补的:规划和政策表达了一个社会想要实现的目标。竞争性工具，例如批发电力市场，竞争性招标和拍卖，可以以最低的成本实现社会目标。

中国的规划和实施历史悠久。现在需要的是，将电力部门的规划与碳市场设计和电力市场设计结合起来。竞争是一种工具，而不是目的本身。规划和公共政策可以很好地利用它。

零售电价

原则上，假设零售价格要根据成本进行调整，在电力批发价格中使碳成本内部化将导致更高的零售价格。然而，至少在短期，消费者通常对零售价格的变化不是很敏感，

因此需要大幅提价来刺激消费者投资于节能措施³⁸。这并不意味着零售价格不能向终端用户发出何时以及如何用电的重要信号。特别是,有一些分时定价模式反映分时电力批发价格,鼓励消费者来改变自己的用电方式,来减少电力系统的总成本,为系统运营商提供更大的灵活性以帮助可再生能源等清洁资源并网。

正是通过零售价格与批发成本(包括碳价)并轨,经济调度的重要性才能显现出来。在前面电力行业调度章节中提到,经济调度可以实时反映生产成本随需求起落的变化。在一定程度上,零售价格能反映批发成本的变化,消费者就能了解一天中不同时间电力消费的相对价值,并能调整自己的用电方式,将用电成本降到最低。这些批发价格中包含的碳成本,将进一步证明在不同时间用电给社会带来的实际成本。随着消费者根据这些价格信号作出相应改变自己的行为,电力行业的经济效率和环境绩效也会提高。

中国在工商业领域对分时电价有着丰富的经验。当系统安全(电力供应不足)需要时,“有序用电”方法也通过行政手段削减了需求。这些行动改变了负荷的形状,但是,由于中国电网公司传统的调度方式并不是基于发电机组的相对可变成本,因此无法将运营或排放的总成本降到了最低。

中国电力部门的稳步发展——向经济调度的转变以及将碳成本纳入系统运营——将为制定基于成本的电价设计提供经济基础。这些措施将通过鼓励更有效地利用能源,从而对市场改革和碳定价的目标进行补充。

结论

与碳市场的设计和实施密切相关的政策制定者和其他利益相关者,在电改和电力市场发展的讨论中也发挥着重要作用。如果没有合理的电改和电力市场的实施,碳交易就不会有效。与此同时,碳交易可以帮助支持电改——包括减排、成本效益和新能源转型的目标。本文讨论了有关这些改革工作中相互作用的国际经验,并强调碳交易和电力市场不应孤立设计。

电力市场和碳交易在世界各地已经存在了几十年,但即使在有多年经验的国家和地区,对市场规则和协调机制的辩论和改进仍在持续。随着中国政策制定者在这些领域继续向前推进,就这些话题的国际经验分享将大有裨益。

³⁸ Neenan, Bernard & Eom, Jiyong. (2008). “Price Elasticity of Demand for Electricity: A Primer and Synthesis.” Electric Power Research Institute. January 2008. P. 20.
https://www.researchgate.net/publication/269693689_Price_Elasticity_of_Demand_for_Electricity_A_Primer_and_Synthesis.



RAP[®]

Energy Solutions for a Changing World

The Regulatory Assistance Project (RAP)[®]
Belgium · China · Germany · India · United States

CITIC Building, Room 2504
No.19 Jianguomenwai Dajie
Beijing, 100004

北京市朝阳区建国门外大街 19 号
国际大厦 2504 100004
raponline.org