RAP®

睿博能源智库

2020年9月

“能源革命”与电力行业改革

从国际对比视角看中国南方电网面临的挑战

Max Dupuy, Fredrich Kahrl and Wang Xuan

引言[1]

在世界各地，各个国家和地区都在应对电力部门改革和转型的挑战。 尽管每个地方的背景和细节都不尽相同，但指导目标却有显著的相似性——其中包括在不同程度上（视地方而定）——改善空气和水的质量，降低成本，减少温室气体排放，支持新能源技术以及确保系统可靠性。

中国政府高层对“生态文明”和“能源革命”提出了令人印象深刻的愿景，其中包括降低成本，提高经济效率，改善空气质量和减少碳排放的雄心勃勃的准则。同时，于 2015 年启动，目前正在开展的电力行业改革也在帮助实现这些总体目标。但是，与全球其他国家和地区一样，电力行业的转型还远远没有完成，要成本有效地实现能源革命的目标还有很多工作要做。本文的目的是分析国际经验（包括成功和失败），并与中国南方电网地区形势进行比较，以帮助提供更多的想法和支持有益的国际讨论。鉴于南方电网地区通常作为新想法的试验田和引领中国其他地区的模范带头作用，我们的重点是南方电网地区,同时也希望本文将对中国其他地区开展电力市场工作有所帮助。

本文着眼于支持到 2050 年能源行业转型的雄心勃勃的情景，讨论主要集中在近期和中期的实际操作上。我们将介绍同样正在为电力部门转型议程努力的其他国家相关讨论中的观点。我们还会讨论未来五年左右，就南方电网地区的制度背景和改革现状，在能源政策、

[1] 感谢不吝时间对本文提供建议的各位老师，以及 Kevin Porter, Frederick Weston, Ryan Wiser, Tim Simard 负责英文版排版设计，何枭负责中文版本的翻译和制作。

市场设计、规划和相关政策方面的务实步骤。我们的分析采用整体视角，考虑了减排、成本降低和可靠性之间的相互关联的挑战。

因此，我们进行了广泛的讨论，包括市场改革，规划改革，可再生能源并网，灵活性，需求侧资源的开发，电气化政策，零售定价和排放价格等措施，这些措施在理想情况下应共同构成协调一致的总体政策的一部分。当然，这些是非常广泛的复杂主题，不可能在本文中对所有主题进行足够详细的梳理。我们旨在提供各个政策如何恰当地组合在一起的观点建议，并确定一些值得继续讨论和关注的特定问题。 今后，我们计划在本文整体框架下陆续发布相关主题的文章，以进一步讨论本文中涉及到的一些具体政策问题。

通过对这些主题的国际经验进行分析，我们认为以合理的成本并保持可靠性的条件下来实现雄心勃勃的长期能源转型和能源革命情景是可行的。 但是，中短期存在许多实际挑战。本文强调电力市场的设计和监管，因为这是任何电力部门转型工作中非常重要的部分，而且也是中国和南方电网地区当前的“热门话题”（最近的《能源法》草案指出：“国家坚持在资源分配中发挥市场的决定性作用，构建有效竞争的市场结构和市场机制，在竞争性领域形成主要由市场决定能源价格的机制，建立有效的能源监管体系。”[2]）但是，我们强调电力市场只是综合全面的一揽子政策中的一个要素。

综上所述，本文的主要结论如下:

- 国际经验表明，尽管电力市场可能是改革方案的一个非常重要的部分，但电力市场本身不足以支持能源革命和电力部门转型。为了成本有效地达到能源革命和电力部门改革的总体目标，电力市场、规划、监管、需求侧管理、空气质量管理、定价、电气化

[2] 能源局(2020 年). 中华人民共和国能源法(征求意见稿). http://www.nea.gov.cn/2020-04/10/c_138963212.htm

政策等应紧密协调。这些政策领域需要协调，不应独立设计。我们特别建议在实施电力市场的同时，考虑以下改革:

- 改革目前由国有发电公司和省级政府负责的项目详细规划和审批决策的方法。我们建议在投资审批过程中要求发电公司测算和发表“净市场价值”和风险指标。
- 取消仍然存在的对化石燃料发电机组的补贴（除非是对需要淘汰的化石燃料机组的补偿）。
- 对新的和现有燃煤电厂实施/强制执行限制，包括制定“有序”的退役计划。

- 市场设计和管理处于不断演变的过程。在美国和欧盟，关于电力市场设计的讨论和市场规则修订已经持续了几十年。这些争论有时会导致进步，有时会导致倒退。理想情况下，电力市场的讨论应以电力市场应该做什么的基本重点为指导，即支持有效的系统运作，并为各种资源的合理投资和退役发出信号。我们确定了几个有关市场设计的领域，值得南方电网地区的决策者关注:
  - 实施“稀缺性定价”，使价格更好地反映电网上不同位置的实时情况。这将意味着取消(或至少放宽)投标和市场清算价格的下限和上限。
  - 在现货市场为*所有*资源，包括可再生能源、储能和分布式能源(包括需求响应)，创造一个公平的竞争环境。这也意味着结束剩余的年度运营小时数的行政分配，让所有火电机组参与现货市场和长期合同市场。
  - 充实和推进广东电力市场监管工作的优秀成果。我们建议，接下来的步骤可包括决定和公布有关参考价格、市场力评价、市场监测的关键细节，并澄清这些与调度的关系。
  - 继续努力制订中长期合同的金融处理办法。中长期合同应该是金融合同而不是物理合同。也就是说，中长期合同不应影响短期运营(调度)决策；相反，应该严格按照经济调度原则进行调度。
  - 为整个地区建立一体化的现货市场。我们认为，美国的“区域输电组织”(RTO)模式是一个非常好的方法。根据这个模式，南方电网区域输电组织将包括一系列统一的区域性规则来分配区域输电成本，一个统一的区域输电规划过程，一个

单一的区域调度机构和一个单一的区域交易机构(尽管这些不一定是同一个组织的一部分)负责统一的区域市场。

1. 协调电力部门改革方案

向清洁、高效、可靠的能源体系过渡，需要在不同的经济部门、政策、法规、投资规划程序和市场机制之间进行协调。这在世界各地，无论是美国、欧洲，还是中国南方电网地区都是如此。电力市场在支持电力部门转型方面可以发挥重要作用。在世界各地，政策制定者已经看到了许多实施电力市场的重要理由。在最基本的层面上，如果设计和实施得当，电力市场可以帮助做很多事情，包括:

- 揭示与单个发电机组及其他资源(包括储能)有关的可变成本(运营成本);
- 提高系统运营(调度)的效率和灵活性，并支持可变的可再生能源并网;
- 引导不需要的资源退役，促进对需要的资源进行合理投资;和
- 刺激竞争和创新，降低成本。

简而言之，精心设计的电力市场可以以对消费者的成本最低的方式帮助电力行业实现一场“能源革命”。“精心设计”是什么意思？在市场设计中有许多细节需要考虑，但基本的答案是，一个设计良好的市场应该注重确保实现上述四项成果。然而，有一个重要的警告：国际经验表明，只有伴随着良好的规划实践、良好的监管和在合理的电力部门政策的指导下，市场才能实现这些基本成果。协调如此广泛的市场、规划和政策改革并不容易。在美国、欧洲和其他地方，关于如何改革电力部门、何种“基本市场模式”是最好的、以及市场设计细节的争论仍在继续。本文着重于电力市场设计和实施, 因为这是当前中国和南方电网地区都特别感兴趣的议题，但首先强调电力行业改革的其他一些方面需要与电力市场协调是很重要的。良好设计的电力市场会刺激一部分燃煤发电退役，可是电力市场单独作用不太可能达到符合“能源革命”目标所需的燃煤发电退役规模，或投资符合“能源革命”目标

的新清洁能源。在美国和欧洲，这些趋势可能部分受到市场的作用力，但仍然需要政策、规划和监管措施来推动这些转变。

美国经验表明，即使存在较为完善的电力市场，运作良好的规划过程也是必不可少的。这些规划过程可以确保市场产生符合总体政策目标的成果，并协调电力部门尚未完全“市场化”的各个方面，包括输电投资和需求侧管理及其他需求侧资源的应用。在美国，这些电力规划过程的发展涉及到[3]：

- 如何将环境目标和其他公共政策目标纳入规划过程。
- 哪些组织负责制定不同类型的计划。
- 地方和区域规划应该如何相互作用。
- 何时、如何、以及哪些利益相关方将能够参与规划过程。
- 州和联邦监管者如何监督受监管实体制定的计划。
- 不同的监管机构如何在规划过程中协调，例如电力和空气质量机构。
- 规划将如何影响投资、退役和批准决策。

这对广东和南方电网地区意味着什么？在此，我们基于该地区的历史和现状，提出一些看法。从某些方面来说，广东、南方电网、中国与美国和其他国家的情况非常不同。然而，在其他方面却有相似之处。无论如何，我们还是可以从国际经验中汲取有益的教训。

长期以来，中国的“五年计划”在制定国家产业和环境政策方面发挥了重要作用，并为投资和退役机组的数量和类型提供了顶层指导。与此同时，中央和省级政府在促使发电产能退

[3] 睿博能源智库，自然资源保护协会(2017 年 11 月). 美国电力规划的经验和借鉴. https://www.raponline.org/knowledge-center/power-sector-planning-us-experience-and-recommendations-for-china-cn/

役方面一直扮演着积极的角色。他们还制定了针对具体资源的政策和法规，包括上网电价、可再生能源配额、碳排放交易机制、节能政策等。面临的挑战将是继续改进“五年计划”进程以及该进程与具体资源政策和法规之间的协调。幸运的是，2016 年国家能源局公布的规划政策提出了一些非常有用的综合原则，为这些工作打下了良好的基础[4]。

最大的挑战可能存在于规划和投资决策制定的“更深层次”——即发电投资识别、评估、设计、批准和蓝图的更细节层面。大型国有发电公司(中央、省级)在提出方案、设计,和推进具体的大型发电投资决策等方面一直扮演着重要的角色，而退役的决定通常是由中央政府作为“技术升级”的一部分措施(比如上大压小等)来驱动的。近年来，省级政府拥有审批权力，但由于种种原因，监管一直很松[5]。在这种模式下，主要的国有发电公司推动规划和投资决策的“更深层次”，这不同于美国和欧洲的大部分地区。

现在的挑战是，为了实现“能源革命”的目标，发电公司应该停止建设煤炭产能，转而建设新能源，集中精力迅速*淘汰*煤炭资源。由于新能源可能会快速增长，然而需求增长可能比过去几十年要缓慢，整体资源“产能过剩”可能会持续存在，这取决于煤炭去产能的速度。

与此同时，大型发电公司的业务模式面临重大挑战。它们正在努力适应电力行业改革和新的竞争压力。这些竞争压力的一个方面是新市场机制的发展。近年来，“中长期”合同市场给燃煤发电机组的运行小时数带来了下行压力，随着现货市场和其他市场机制的进一步发展，这种情况可能会继续下去（然而，正如我们下面会讨论的，中长期市场、现货市场和调度之间的相互作用并不够有效，还有提升的空间。）另一个方面是，新的参与者和新的

---

[4] 能源局(2016).“国家能源局关于印发《电力规划管理办法》的通知”(国能电力〔2016〕139 号), http://zfxxgk.nea.gov.cn/auto84/201606/t20160606_2258.htm. 更多讨论，详见睿博能源智库(2016). 从电力规划看煤电产能过剩和可再生能源弃电的问题. https://www.raponline.org/blog/excess-coal-generation-capacity-and-renewables-curtailment-in-china-getting-with-the-plan_cn/

[5] Ren, M., Branstetter, L., Kovak, B., Armanious, D., & Yuan, J.. (2019). *Why has China Overinvested in Coal Power?* National Bureau of Economic Research. Working Paper No 25437. https://www.nber.org/papers/w25437

资源类型可能会变得更加重要——尤其是分布式能源资源和那些开始在这一领域探索新商业模式的公司。

尽管存在这些压力，但在计划、投资、退役等方面的“更深层次”，至少在针对大规模的发电投资和煤炭退休决策方面，中国和南方电网地区的决策者除了让大型发电公司扮演重要的角色（尽管有所减少）似乎没有其他选择。这也是可以理解的，因为大型发电公司拥有所需的人员、规模和技术专长来做这些工作。电网公司可能会扮演规划角色——类似于美国和欧洲的配电公司通常在“资源充足”规划过程中扮演核心角色的方式——但是我们认识到，当前中国电力行业改革[6]的一个主要推力是减少并合理化电网公司在电力行业决策中的范围[7]。或者，国家和省级政府机构可以直接负责规划和资源采购决策的“更深层次”——但这将是一个重大挑战，需要增加足够的技术专长和人员。

然而，政府在更高层次的规划和指导中具有极其重要的作用，在这方面，除了加强对包括分布式和需求侧资源在内的合理投资决策*组合*的监督之外，别无他法。关键是要确保“更深层次”的规划、投资和审批决策符合“五年规划”、“能源革命”和其他政策目标。在实践中，这意味着“五年规划”形成了特定资源政策（煤炭退役、可再生能源配额等）的基础，但在这些约束条件下，实际的详细(“更深层次”)投资组合决策留给了市场参与者。一个挑战是确保“五年规划”本身是高质量的。国家能源局 2016 年的有关规划的政策打下了非常

---

[6]《关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发〔2015〕9 号)文》

[7] 9 号文之后发起的“增量配电改革”表明，未来可能会出现类似美国的情况，即由配电公司(从电网公司中分离出来，由私人“社会资本”提供资金)负责管理和运营配电电网服务区。在这种情况下，这些新的配电公司可能承担规划责任。然而，鉴于增量配电改革在中国仍处于早期阶段，而且只适用于中国一小部分的试点地区，这种可能性似乎相当遥远。

有用的基础[8]。大型发电公司需要做很多这样的决定，但其他参与者也需要做很多决定，包括关于分布式能源资源的决定，在这种新形势下，这一点至关重要。

我们建议修改要求国有发电公司（向国有资产监督管理委员会和其他部门）展示其制定决策的方式。我们建议要求这些公司开始在发电和储电项目的投资审批过程中测算和提供“净市场价值”和风险指标的分析[9]。这个分析应该比较不同投资选择的收入、成本和风险，为计划投资的规模和组成给出正当的理由。有了这些信息，国资委可以确保国有发电公司做出了慎重的投资决策。相比起国资委现行使用的指标，例如每个发电厂的年运行小时数，这些指标更合理[10]。此外，我们建议现货市场价格应该为投资审批决策、发电商的机组组合分析和投资决策以及银行的尽职调查分析提供新的有价值的信息。严格的指导方针要求项目审批必须以满足净市场价值和风险指标的标准为前提。国资委和国家发改委可

---

[8] 能源局(2016)(如上)

[9] 净市场价值是项目生命周期的能源和辅助服务市场收益减去成本后的现值。在美国，风险指标通常包括与市场价格、燃料价格和需求预测不确定性相关的风险，通常基于资源或投资组合成本在不同输入值之间的方差，使用蒙特卡罗分析。常用的风险指标包括第 95 百分位的净市场价值和第 95 百分位的净市场价值与预期净市场价值的比率。有关净市场价值概念和计算的更多信息，Pacific Gas & Electric (PG&E). (2012). *PG&E's Description of its RPS Bid Evaluation, Selection Process and Criteria*. https://www.pge.com/includes/docs/pdfs/b2b/wholesaleelectricsuppliersolicitation/RPS/2012/Attachment_K_LCBF_12102012.pdf; Southern California Edison (SCE). (2013). *2013 Request for Offers Local Capacity Requirements*. https://www.sce.com/sites/default/files/inline-files/LCRRFOTransmittalLetter1113_Redline.pdf. For more on risk metrics, see Kahlr, F., Mills, A., Lavin, L., Ryan, N., & Olsen, A. (2016). *The Future of Electricity Resource Planning*. Section 3.5. https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-1006269.pdf.

[10] 剩余的煤电发电机组需要更灵活地运行来消纳增长的可再生能源，国资委注重维持煤电运行小时数从根本上不符合电网每种资源只有在最有效时才发电的原则。Dupuy, M. (2020). *China's Watchdog for State-Owned Enterprises Grapples With Coal-Fired Generation*. Regulatory Assistance Project. https://www.raponline.org/blog/chinas-watchdog-for-state-owned-enterprises-grapples-with-coal-fired-generation/

以制定指导方针，并提供监督，以确保指导方针在审批决策中得到遵守，确保国有企业提供的信息准确可靠。

在保持一些发电开发商投资组合灵活性的同时，对特定资源的政策进行合理化和精细化也是有用的。我们建议这应包括:

- 精炼和合理化政策以支持新能源(例如，可再生能源配额制；对包括需求侧管理在内的分布式能源资源的政策;储能投资政策)。最终，当一个强大的碳排放交易机制完全实现时，其中一些政策可能会“逐步退出”。
- 取消仍然存在的对化石燃料发电机组的补贴。正如下一节所述，实施良好的稀缺定价应该足以支持所需的天然气发电。
- 契合“能源革命”和减排目标，对新的和现有的煤炭电厂实施并强制执行限制。它的必要性在于，虽然新的电力市场可以帮助发现并促使一些不经济的燃煤发电机组退役，而电力市场本身不会将电厂排放相关的外部成本“内部化”。尤其是，我们建议创建一个燃煤发电机组的“有序”退役时间表(例如，类似于最低标准)[11]，后期随着碳交易机制得到充分发展，可以被替代（或与其合并）。我们使用“有序”一词意味着退役时间表应该考虑到由于系统可靠性原因，一定数量的不经济机组可能会继续运行一段时间。应当谨慎地指定这样的可靠性任务，并对其成本有效的替代资源包括需求侧资源给予充分的考虑。

[11] 最低标准的一个例子是美国环保署 2015 年的新能源性能标准(New Source Performance Standard)，该标准设定了 636 kgCO2/kWh 的限制。有关此规则的更多信息，请参见 EPA. (2015). *Standards of Performance for Greenhouse Gas Emissions From New, Modified, and Reconstructed Stationary Sources: Electric Utility Generating Units; Final Rule*. https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2015-10-23/pdf/2015-22837.pdf.

2. 电力市场设计和实施

国家能源局南方监管局于 2018 年 8 月发布了一系列电力市场规则(以下简称“2018 年规则”)[12]，广东在奠立批发和零售电力市场的基础方面取得了重大进展。这些基础包括电力远期市场、拥有大量供应商的零售行业，以及目前处于试运行阶段的实时电力和辅助服务市场。广东在市场设计的很多方面都处于中国的领先地位。

广东电力市场即将进入一个新阶段，包括现货市场的正常运行，以及覆盖南方电网地区的区域市场的初步发展阶段。广东的现货市场仍被认为是创建这一区域市场的“第一步”。

尽管到目前为止取得了相当大的进展，但在广东和南方电网地区仍有几个重要问题需要解决。这些包括:

- 价格形成(特别是稀缺性定价的实施);
- 为所有资源建立一个公平的竞争环境;
- 市场的监督和监管;
- 协调中长期合同和现货市场;和
- 区域市场的发展。

我们将在后面的章节中讨论这些问题。

[12] 南方能源监管局，广东省经济和信息化委，广东省发展改革委关于征求南方(以广东起步)电力现货市场系列规则意见 http://nfj.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=402881e56579be6301658d99ac57001f

a. 以稀缺定价改善现货市场价格信号

与世界其他地区一样，随着可再生能源占比的提高，确保电网的灵活性将成为南方电网地区的一个重要问题。任何一个精心设计的现货市场其核心原则在于现货市场价格根据供需情况全天（并在理想状态下随地理位置）波动。这个概念被称为“稀缺性定价”。在系统紧张、供应稀缺或需求旺盛(或三者兼而有之)的时间和地点，很自然地，价格可能会大幅上涨——尽管这些高价的时期可能相当罕见。稀缺性定价是现货市场支持经济有效结果的方式，它可以激发经济调度；激励对适当的灵活性资源的投资——包括储能、需求响应和燃气发电——并刺激非必要的、非灵活性资源的退役。

稀缺性定价在不同的时间尺度上提供了有效激励:

- 长期投资和退役决策。稀缺性定价提供了价格信号，用以指导发电、储能和需求响应资源的投资和退役。虽然现货市场价格可能波动性很大，它们依然可以通过激励对能够在合适的地点和时间满足需求的资源进行投资，从而为长期规划决策提供有价值和可靠的信息[13]。如果市场预期收益足够高，足以支付新资源的总固定成本和可变成本，市场就会发出对该资源投资的信号。如果预期的市场收入不够高，不足以支付现有资源的未来成本(即，固定的运营和维护成本、税收、可变成本)，市场就会发出淘汰该资源的信号。发电机组的收入对罕见的高价格非常敏感。设计完善的稀缺性定价会使得所有*必要*的资源维持运行，鼓励新的有需要的资源进入市场并淘汰不需要的资源。

- 短期调度安排和运营决策。例如，在资源短缺时期，能源和辅助服务的市场价格应该很高，从而激励资源保持可用性，以及在被调度时能够满足系统需求。在供应过剩时

[13] Cramton, P. (2017). Electricity Market Design. *Oxford Review of Economic Policy 33*(4): 589-612. ftp://www.cramton.umd.edu/papers2015-2019/cramton-electricity-market-design.pdf

期，市场价格将处于低位，这将激励发电机保持离线状态。价格上限和下限的使用可能会抑制这些激励措施，导致运营效率低下。

美国所有的区域输电组织(RTO)[14]和欧洲的电力批发市场都有某种形式的稀缺性定价[15]。然而，稀缺性定价的实施并不完美，各地的情况也各不相同。在美国和欧洲有很多关于改善稀缺定价（有时被称为改善“价格形成”机制）的讨论，尤其是在系统处于压力下的相对稀有的小时内和地点形成有效价格信号的挑战[16] 。电力部门的某些特点，包括缺乏实时零售定价无法使终端用户对价格作出反应，以及在短缺时间准确对系统备用定价的困难，都需要加以解决，才能促进有效的稀缺性定价。缺乏有效的稀缺性定价可能会对投资者产生

---

[14] “独立系统运营商”(ISO)和“区域输电组织”(RTO)市场覆盖了美国约三分之二的地区。因为 ISO 和 RTO 在美国几乎是同义的，所以当我们将这些美国 ISO/RTO 市场作为一个类别描述时，我们将在本文中简单地引用“RTO”。有关 ISO/RTO 市场的更多信息，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). National Renewable Energy Laboratory. https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66729.pdf . 以及 Federal Energy Regulatory Commission. (2015). *Energy primer: A handbook of energy market basics.* https://www.ferc.gov/market-oversight/guide/energy-primer.pdf

[15] 在欧洲，最近通过的“面向所有欧洲人的清洁能源一揽子计划”(Clean Energy for All Europeans)再次强调了稀缺定价及其对实现可靠性的重要性。根据《电力监管》(Electricity Regulation)中对内部市场的规定:“为了支持向可变和分布式发电的转变，并确保能源市场原则是欧盟未来电力市场的基础，重新关注短期市场和稀缺定价至关重要。”该规定继续申明任何价格上限都应该取消，以允许稀缺性定价的形成。European Commission. (2019). *Commission Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity (recast).* https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/943/oj.

[16] 详见 Hartman, D. (2017). *Refreshing Price Formation Policy in Wholesale Electricity Markets.* R Street. http://www.rstreet.org/wp-content/uploads/2017/08/106.pdf ; Chang, J., Geronimo Aydin, M., Broehm, R., Yang, Y., & Sweet, R. (2018). *Shortage Pricing in North American Wholesale Electricity Markets*. The Brattle Group. https://www.aeso.ca/assets/Uploads/4.3-Brattle-Paper-Shortage-Pricing.pdf ; and European Federation of Energy Trader (EFET). (2016). *The importance of free formation of prices in the European wholesale electricity market. An EFET Discussion Paper*. https://efet.org/Files/Documents/Electricity%20Market/General%20market%20design%20and%20governance/EFET_Free-formation-of-prices-power-market.pdf

非理性的激励——有时被称为“缺钱”问题——并导致低效的投资决策。在某些情况下，市场设计者通过糟糕的机制来应对，这只会让电力市场缺钱问题更加复杂[17]。

ERCOT（在德克萨斯州）和北欧的几个市场都是基于一种强调稀缺定价的“单一电能量”模式。在这些市场中，运行备用(即在系统高峰或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[18]。这种情况只是偶尔发生，但它确实向无论是发电侧还是需求侧资源传递了一个非常强烈的价格信号，这些资源实际上都可以在相对稀缺的时候满足系统需求的。这些市场已经出现了高度波动的电能量市场价格，并在支持所需资源和保持可靠性方面取得了成功的经验。

实施稀缺性定价的一个主要问题是存在价格(或报价)上限。美国多家 RTO 市场已设定上限，以应对对市场操纵的担忧，特别是在 2001 年加州危机之后，当时多家发电商行使市场力，暂时将价格推升至高位，严重扰乱了市场。实行限制市场出清价格的上限，可能是一种有作用但粗糙和低效的方式来处理持续存在的市场力问题。这是因为价格上限——或者说价格下限——抑制了*有益*的稀缺信号。在美国，监管机构已开发出一套更为复杂的机制，以识别和减轻市场力的发生。其挑战在于在反映稀缺的有利价格上涨和反映市场操纵的有害价格上涨之间做出区分。与此同时，监管者已逐渐放宽价格上限，允许发出稀缺定价信号，同时防范市场操纵的风险 (有关市场监管的更多讨论，请参见 2. c “对现货市场的监督和监管”)。

---

[17] Hogan, M. (2017). Follow the missing money: Ensuring reliability at least cost to consumers in the transition to a low-carbon power system. *Electricity Journal, 30*(1). https://doi.org/10.1016/j.tej.2016.12.006

[18] 在 ERCOT 例子中，价格最高可达$9,000/MWh。与此同时，比利时为平衡市场设定了 13,500 €/MWh 的动态价格上限。Economie. (2019). *Belgian electricity market: Implementation plan*. https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/Belgian-electricity-market-Implementation-plan.pdf

所有美国 RTO 都有某种形式的备用稀缺定价机制，尽管细节各不相同[19]。这些机制中有几个使用了基于“运行备用需求曲线”（ORDC）的行政备用稀缺性定价，其目的是确保准确的稀缺性定价，特别是在系统紧缺的时间和地点。通过完善稀缺性定价，“运行备用需求曲线”希望为系统资源投资和退役改善价格信号。“运行备用需求曲线” 是一种稀缺性价格补充，即基于运行备用水平，行政性地对电能量市场价格给予调整。随着运行备用水平的下降，价格补充（price adder）增加，使得每 MWh 的价格达到数千美元(在 ERCOT 是 9000 美元/MWh)。如果设计得当，这种方法会产生一个价格信号——随时间和地点而变化——可以反映出满足能源和可靠性需求的全部成本。

基于广东现货市场规则和试运行结果，我们发现在现货市场中改善稀缺性价格的形成有巨大的机遇。我们提出以下几点建议 / 推荐：

- 基于行政“运行备用需求曲线”和参考水平的谨慎实施(参见 2.c 节)，设计稀缺定价的“行政”方法，作为确保供应商合理报价的基础。
- 避免给燃气机组和其他供电资源市场外的容量补偿，采用适用于所有供应商的类似于“运行备用需求曲线”的机制。实施良好的稀缺定价可以为任何所需的天然气发电提供额外的收入而不是市场外补贴，下一节会做讨论。
- 为了支持稀缺性定价，取消或放宽现货市场价格下限和上限。同样，取消或放宽供应商投标的上限和下限。

[19] Chang et al., 2018.

b. 为所有资源创建一个公平的竞争环境

在广东，也如其他现货市场试点省份，一些火电机组仍然有通过“年度发电计划”行政分配的年运行小时数。这是在 2015 年开启本轮电力体制改革之前所惯用的形式。近年来，广东和其他一些省份不断向市场化方向转变并取得了很大进展。我们建议完成这方面的改革非常重要，应该终结任何剩余类别的火电发电机仍然接受行政规划的年度运行小时数。此外，我们建议市场设计应该尝试为所有其他资源创造一个公平的竞争环境，预计在未来，化石燃料将不再是广东电力系统的主要动力。

市场会揭示出不具备经济性的发电机组，这实际上是向完成电力市场的主要目标迈出了重要的一步。不经济的发电资产应该在市场作用力下被允许尽可能早地退役（接受短期“有序”退役可靠性考虑）。资产的所有者可能试图从“搁浅资产”的角度争取一些补偿。对这个争论的官方回应根据各个国家历史背景和机制不同而异，超出本文讨论的范围。然而，我们强调将不经济的资源置于市场之外进行庇护，并允许其继续运行，通常是一种成本高昂（并且损害环境）的方式来解决关于“谁来支付”这些资产的会计价值的问题。

在美国，在一些情况下，联邦能源监管委员会(FERC)会要求 RTO 建立一系列规则，以确保特定类型的资源，如储能资源，能够在市场上公平竞争[20]。这些新规则(称为“参与模式”)旨在识别和解决现有市场规则低效地限制了各种资源的参与的问题。发展非化石资源的参与模式，对于广东的市场设计师来说，可能是有价值的下一步工作。主要思想是确保市场规则允许每个市场参与者根据能够向市场提供的服务而获得补偿。这不是挑选赢家，而是消除障碍和促进公开竞争，以提高系统效率和降低成本。

---

[20] FERC 要求对需求响应(法令 745)和储能(法令 841)进行审查。到 2000 年代末，ISO 市场设计已经有了 5 分钟节点调度以及其他可以为太阳能和风能发电公平竞争铺平道路的元素。2016 年，FERC 通过要求 5 分钟结算和稀缺性定价(法令 825)，进一步为风能和太阳能的发展铺平了道路。自成立以来，水库水电一直参与 ISO 市场。

本节概述了波动的可再生能源发电、储能和需求响应的市场设计理由和参与模式。在现有的市场设计下，大型水电应该能够参与广东的现货市场。

波动性可再生能源发电

波动性可再生能源包括太阳能光伏发电、聚光太阳能发电、陆上和海上风力发电以及径流水力发电。波动性可再生能源的运营成本非常低(接近于零)。它的发电是间歇性的(随时间变化)和不确定的(易受预测误差的影响)。风能和太阳能发电的建设周期比传统的中央规模资源要短得多，而且更加模块化。

在中国，法律和政策要求优先调度波动性可再生能源。如果它们参与现货市场，根据目前的可再生能源占比，结果(至少在原则上)将与优先调度时大致相同，因为波动性可再生能源的运营费用极低，而且几乎总是可以出清市场。美国的 RTO 中波动性可再生能源弃电率非常低(见图 1)[21]。

使波动性可再生能源参与广东现货市场所需的几个核心要素已经到位，包括基于节点边际电价（LMP）的实时市场、受安全约束的机组组合和调度，以及日前和实时电能量市场的双结算系统。双结算系统是指以实时市场价格结算日前波动性可再生能源的预测与实时调度之间的偏差。可以改善波动性可再生能源参与度的其他增强措施包括：

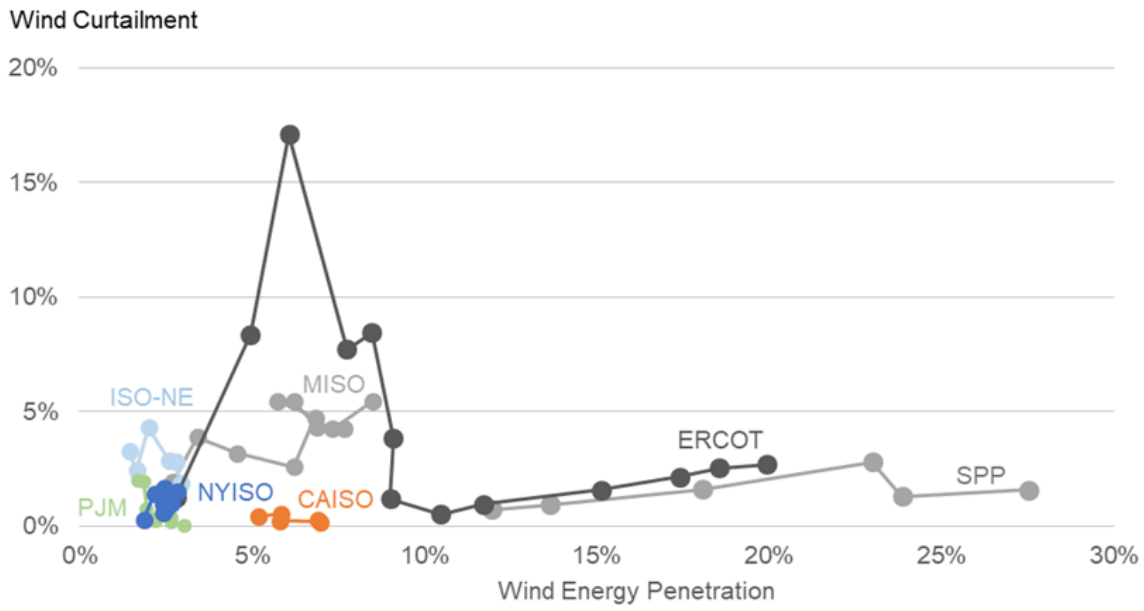
- 良好设计并实施的的调频和运行备用竞争市场。
- 增强风能和太阳能的预测能力。
- 将 15 分钟的调度和结算时间改为 5 分钟。

---

[21] 有关欧洲可再生能源弃电信息，见 Council of European Energy Regulators (CEER). (2018). *Status Review of Renewable Support Schemes in Europe for 2016 and 2017*. https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/80ff3127-8328-52c3-4d01-0acbdb2d3bed. 2016-2017 年报告可再生能源弃电数据的国家中，德国和立陶宛的可再生能源弃电数量最多。

- 创建金融工具，以对冲区位价格风险，如金融输电权，以及
- 降低或取消报价下限，允许负电价。在美国和欧洲，波动性可再生能源，火电和核电机组有时会理性地报出负电价。对于波动性可再生能源来说，这些负报价可能反映了与优惠税收待遇和可再生能源成本相关的机会成本。在这些情况下，禁止负报价将导致低效调度的结果[22]。

图1. 不同风电比例下美国ISO的弃风率



来源：劳伦斯伯克利实验室。注：ERCOT 地区的高弃风率是对风机运营行政限制及输电限制的结果。

[22] 近年来，负电价在欧洲变得越来越普遍。例如，2019 年 3 月 17 日，由于风电出力大，德国的电价有 20 小时变为负值，这也将邻国的电价推至零以下。Witkop, N. (2019, 18 March). Germany sees third weekend of negative prices. *Montel*. https://www.montelnews.com/en/story/germany-sees-third-weekend-of-negative-prices/993002

在美国，随着波动性可再生能源渗透力的增加，其运行和经济模式的一些方面也在逐渐改变。它越来越被视为一种资源，可以提供调频和运行备用服务。在这种新的模式下，不一定要最小化弃电率，而是以最佳的方式管理波动性可再生资源，这意味着会有一部分“经济性”弃电。例如，通过管理弃电，风能和太阳能可以有效地上调下调出力、提供频率调节和爬坡服务[23]。 在美国和欧洲，这种思想上的转变仍处于初期阶段。

对于广东的中长期合同市场，只要合同是金融合同，波动性可再生能源的参与并不需要对合同或市场规则作出重大变化(见第 2.d 节)。按照广东目前的投资模式，发电企业可能会管理与弃电和市场价格相关的大部分风险。

储能

目前两种主要的商用储能技术分别为抽水蓄能电站和电池。两者都非常灵活，具有快速启停和爬坡的能力。两者都有来回转换效率损失，这极大地影响了他们的调度，他们的投标是由机会成本驱动的。然而，这两者有不同的运行限制，在美国 ISO 市场通常受到不同的对待[24]。

储能资源的独特之处在于，它们既可以作为发电机，在放电模式下工作，也可以作为负荷，在充电模式下工作。这意味着储能资源必须能够提交包括供应(放电)和需求(充电)的投标曲线。2018 年，美国联邦能源监管委员会(FERC)最终确定了一项有关储能资源参与 RTO 电力批发市场的规则。规则要求每个 RTO 为储能资源制定详细的参与模型。FERC 在

---

[23] Loutan, C., Klauer P., Chowdhury S., Hall S., Morjaria, M., Chadliev, V., Milam, N., Milan, C. & Gevorgian, V. (2017). *Demonstration of Essential Reliability Services by a 300-MW Solar Photovoltaic Power Plant*. National Renewable Energy Laboratory. https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67799.pdf; Energy and Environmental Economics (E3). (2018). *Investigating the Economic Value of Flexible Solar Power Plant Operation.* https://www.ethree.com/wp-content/uploads/2018/10/Investigating-the-Economic-Value-of-Flexible-Solar-Power-Plant-Operation.pdf.

[24] 例如，CAISO 有单独的“资源模型”用于电池储能(非发电资源)和抽水蓄能水电(抽水蓄能)。

其声明中指出，如果不能为储能和其他资源提供公平的竞争环境，“就会降低 RTO 市场的效率，可能导致 RTO 调度更昂贵的资源来满足其系统需求”。FERC 规则要求每个 RTO 修改其费率和市场规则，以考虑到特定储能的特点。该规则特别指定了 13 个“储能资源的物理和操作特性”，包括与充电状态、充电时间、充电/放电限制、运行时间和充电/放电爬坡速率相关的特性。简而言之，RTO 现在必须围绕储能资源更现实的运行能力来规划系统和优化调度[25]。

对于广东来说，推动储能参与现货市场可能需要类似的参与模式规则。此外，还可能需要改进调度软件，为储能创建新的资源类别，考虑电池的充电状态规则，确定调度中心在优化电池运行中的作用。与美国的 ISO 一样，广东的储能产品和市场规则可以随着时间的推移而发展[26]。

分布式能源资源

分布式能源资源包括需求响应、配电和用户侧储能以及分布式发电。美国的 RTO 一直在开发参与模式，以允许这些不同类型的分布式能源资源直接参与市场(即通过负荷集成商或单独作为供电资源参与)。到目前为止，主要是需求响应直接参与了 RTO 容量市场。然而，分布式能源资源有潜力在 RTO 电能量和辅助服务市场中发挥更大的作用。对于广东和南方电网，我们建议制定规则和商业模式，以便负荷集成商能够整合分布式能源资源和管理它们参与现货市场。

---

[25] Dupuy, M., & Porter, K. (2018). 美国经验：储能资源如何直接参与现货市场竞争. 睿博能源智库. https://www.raponline.org/blog/can-storage-resources-compete-directly-spot-markets-view-us-cn/

[26] 举例说明产品和规则的演进，详见 Carr, L., Murtaugh, G., & Powers, J. (2020). *Energy Storage and Distributed Energy Resources Phase 4*. California ISO. http://www.caiso.com/InitiativeDocuments/SecondRevisedStrawProposal-EnergyStorage-DistributedEnergyResourcesPhase4.pdf

就需求响应而言，它原则上可以是一个丰富的、低成本的、高度灵活的资源。需求响应资源可以提供一系列服务：除了其传统的“削减”负荷的作用，它也能够在较短的时间内非常灵活地运作。FERC 要求所有美国 RTO 允许需求响应直接参与 RTO 市场，尽管在实践中，需求响应直接参与 RTO 市场仍然存在一些障碍，因为规则限制了负荷集成商。举例说，一些 RTO 要求参与的资源在全年中始终可用，这限制了那些基于对夏季空调负荷管理的需求响应资源。美国正在消除这些低效的壁垒，从而扩大需求响应的直接参与模式。与此同时，重要的是要强调，需求响应可以是一种重要的资源，而无需作为供应资源直接参与批发市场。分时电价可以帮助激励终端用户有效地投资于需求响应和其他形式的分布式能源资源，而且这对于成本有效地释放电气化终端用途的灵活性尤其重要。

总结

我们建议，从一开始就应该设计市场，根据不同技术的能力为其提供一个公平的竞争环境。换句话说，市场的设计不应该只考虑燃煤电厂的技术能力。相反，任何能够提供服务的资源(包括电能量或任何辅助服务)都应该有机会参与并获得相应的补偿。这应该包括分布式能源资源、储能和波动性可再生能源。

c. 对现货市场的监督和监管

市场监管和监测是市场设计和实施的一个重要主题。在美国、欧洲和世界其他地区，电力市场受到高度监管。一个强有力的管制和监测制度可以帮助:

- 确定并减少一个或多个市场参与者能够行使市场力的情况;
- 确保新市场营造出公平、具备成本效益和合理的运营效果，包括成本最低的经济调度;
- 随着市场经验的积累，对市场规则进行微调;
- 解决波动性可再生发电并网、储能和分布式资源的挑战;和
- 改善价格信号，以帮助合理化新资源投资、退役无用和低效资源。

广东的现货市场规则以及发布的相关政策说明，明智地集中在这些主题上。我们认为，现行的市场监管法规通过为广东乃至整个地区设定市场监管的责任，提供了一个良好的总体框架。现有的政策说明包括以下特点:

- 认识到市场监测和减弱市场力的重要性;
- 关于收集发电机运行成本信息和使用这些信息计算“参考价格”的一些通用规则;
- 建立市场力筛选的一些整体规则。
- 独立的第三方市场业务稽核机构的角色。
- 提出定期报告市场状况的要求。

现在的挑战是充实和全面实施这一政策框架。在广东、南方电网地区以及整个中国，由于发电所有权高度集中，少数国有企业在某些地区占据主导地位，此外，还要实现通过利用竞争压力降低成本和减少排放的政策目标，因此加强监管是一项特别重要的任务[27]。在市场监管问题上，广东似乎走在了全国其它地区的前面，南方电网地区在这些问题上也有可能成为全球领导者。根据国际市场监管的经验，本文提出了以下几点建议。

加强评估发电商运行成本的框架

广东 2018 年的市场规则体现出“参考价格”的重要地位，这类似于美国的“参考水平”[28]。在美国， RTO 收集数据来估计发电机组的运营成本。RTO 使用这些参考水平来判断市场是否具有竞争力，以及是否有发电商在行使市场力。测算的参考水平还用于建立发电商报价被降低的水平。RTO 的基本方法是相似的，包括计算发电机运行成本的决定因素。

---

[27] 《关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发〔2015〕9 号)文

[28] 南方能源监管局，广东省经济和信息化委，广东省发展改革委关于征求南方(以广东起步)电力现货市场系列规则意见 http://nfj.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=402881e56579be6301658d99ac57001f

广东 2018 年后期发布的规定提供了参考价格计算的一些细节，并将制定参考价格方法的责任交给了由市场主体组成的市场委员会，但须得到政府批准[29]。美国 RTO 根据利益相关方的讨论，发布了关于参考水平计算方法的非常详细的文件[30]。作为利益相关方参与过程的一部分，这些会定期更新。在美国，这种详尽而且透明的方式有助于增强现有和预期的市场主体(和其他利益相关方)的信心，相信市场监管过程是公平和得到全面执行的。广东市场委员会和有关部门也可以发布这样一份文件，对于促进市场透明度和有效的市场结果将是非常有益的。我们注意到，2019 年 5 月的市场监管规则草案[31]没有明确提到“参考价格”一词(尽管它们确实提到了监控市场主体“成本”的大概要求)。因此，我们建议广东制定一项新的政策说明，强调参考价格的重要性，具体阐述它们在减轻市场力方面的用途，以及要求发布一份详细的方法论文件。此外，建议出台要求第三方监测机构定期审计参考价格计算的具体规定。监测机构和交易机构应公开报告反映发电商运行成本的参考价格计算的质量和准确性，并指出需要改进的地方。

在制定参考水平时要考虑的一个问题是，如何计算包括抽水蓄能电站在内的储能资源的参考水平。储能能力意味着水库水电可以选择何时发电，这就提出了机会成本问题。在美国 RTO 中，储能资源的参考水平可能包括机会成本、抽水以重新注满水库的成本等[32]。

---

[29] 广东省经济和信息化委关于征求广东电力现货市场机组发电成本测算办法及两个规范文件（稿）意见的函, 粤经信电力函〔2018〕214 号, 附件 1. 广东电力现货市场机组发电成本测算办法（征求意见稿）.
http://www.gdei.gov.cn/ywfl/dlny/201809/t20180903_130326.htm

[30] 例如, 可见 PJM. (2020). *PJM Manual 15: Cost development guidelines*.
https://www.pjm.com/~/media/documents/manuals/m15.ashx

[31] 南方能源监管局关于征求南方（以广东起步）电力现货市场配套监管实施办法及监管指引意见的通知, 关于征求南方(以广东起步)电力现货市场配套监管实施办法及监管指引意见的函, 南方监能市场函〔2019〕78 号.
http://nfj.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=402881e569d686de016a8fef7c19007d

[32] 例如 PJM, 2020. 也可见 Shelton, N. (2019). *Opportunity Costs for Energy Storage Resources*. New York ISO.
https://www.nyiso.com/documents/20142/7007643/ESR%20Opportunity%20Cost%20-%20061119.pdf/41cf3cfe-1a28-b738-8e18-d26f1b901a3e

市场监测

2019 年 5 月发布的规定包括引入独立的第三方监测机构（“第三方市场业务稽核机构”），该机构将负责准备“工作报告”,“ 包括但不限于:分析市场运营情况、评估市场效率和市场风险防范有效性、提出市场规则修改合理性建议、提供违反市场规则行为线索及处理建议等。”这是一个非常有用的责任大纲，但理想情况下，应该具体扩大以包括评估与现货市场规则相关的更广泛的结果，例如涵盖在评估调度机构的责任范围之内的事项。特别是，调度结果的效率以及它们与参考水平和市场报价之间的关系是第三方机构可以报告的一个重要主题。此外，我们建议第三方机构应公开发布其报告（规定只提及这些报告应该提交给南方监管局）。

在美国， FERC 要求每个 RTO 必须“向市场监测机构提供对[RTO]市场信息数据库的完整访问权”[33]。尽管独立的市场监测机构必须向 RTO 和 FERC 报告与其任务相关的机密信息和数据点，但 RTO 规则中的保密条款通常阻止公开披露属于个别市场主体的信息。此外，独立的市场监测机构通常使用充分汇总的数据来报告与其任务有关的问题，从而无法识别出单个市场主体。

每个美国 RTO 都有具体的规则，规定独立的市场监测机构可以详细地获取数据和信息，包括系统和市场操作。例如，在一个 RTO 中，管理规则规定独立的市场监测机构将有权访问详细的信息和数据，包括但不限于[34]：

- 有关市场上所有单个报价/出价的完整数据。

---

[33] Federal Energy Regulatory Commission. (2008). *Wholesale Competition in Regions with Organized Electric Markers*. Order 719. https://ferc.gov/sites/default/files/2020-06/OrderNo.719.pdf

[34] Southwest Power Pool. (2010; updated most recently February 5, 2020). *Market protocols: SPP integrated marketplace, revision 75,* SPP Tariff, Section 8.1.4.2. Retrieved from https://www.spp.org/Documents/61445/Integrated%20Marketplace%20Protocols%2075.zip

- 有关单个出口卖出交易报价和进口买进交易出价的所有数据。
- “ [发电和其他]资源的实际机组组合和调度……”
- 每个时期所有节点的边际电价和市场出清价格。
- 详细的平衡区运营数据。
- “‘ SPP 平衡授权区域’ 内外会影响供求的状况或事件，以及已售或将要出售的电力产品或服务的数量和价格……”
- “有关输电服务和权利的信息，包括估计和发布‘可用的输电容量’或‘可用的关口容量’……输电系统的运营和维护……”
- “有关输电拥塞的性质和程度的信息。”[35]

广东省 2019 年的规定还要求电力市场交易机构在市场监测中发挥重要作用，并定期发布报告。这是一个非常好的条款，但是理想情况下，类似地，这些报告的范围应该扩大到包括诸如系统操作效率的结果之类的主题。

市场力筛选

广东省市场交易机构为 2019 年 10 月现货市场试运行的省内发电商，公布了赫芬达尔-赫希曼指数(即 HHI，一种所有权集中度的指标)。所有供应商的 HHI 都在 1300 到 1400 之间，而出清市场的供应商的 HHI 在 1900 到 2100 之间。在中国，HHI 的数值在 1000-1800 之间被认为反映中等竞争程度(低集中寡占型)，低于 1000 为竞争程度(竞争型)，超过 1800 认为非竞争程度(高寡占型)[36] 。广东相对较高的市场集中度反映出一家省级所有企业为主要供应商。在美国，这样的一个主要供应商可能不会通过 FERC 要求的市场力筛选

[35] SPP 规则进一步规定，市场主体必须“保留至少三年的所有相关数据和信息（包括此处引用的列表），并应要求将任何此类数据和信息立即提供给市场监测机构。”详见 Southwest Power Pool, 2020, *Market Protocols,* Section 8.1.12.3.

[36] 广东电力交易中心(2019). 广东电力市场 2019 年年度报告. http://news.bjx.com.cn/html/20200227/1048396.shtml

(更不会通过更具敏感度的由 RTO 管理的市场力筛选)，因此不允许授权“基于市场定价”——这意味着供应商将会被要求根据其参考水平提供报价[37]。

在任何情况下，HHI 都没有考虑到输电限制和供需的实时波动，这可能会影响行使市场力的机会，因此在实时监测市场力方面作用有限。广东省的监管规定认识到了这一点，并提出了要求进行更复杂的市场筛选，包括“行为和影响”测试。我们建议，就像在美国的 RTO 案例中一样，关于这些筛选——以及非常具体的缓解市场力程序——应该发布一个更详细的规范。例如，美国的 RTO 规定了适用于电网不同部分市场力筛选的具体阈值，位于经常受到限制地区的供应商往往有更严格的阈值[38]。

d. 协调“中长期”合同和现货市场

精确地预测未来某一小时、数月或数年的实际(现货)系统状况是不可能的，因为这些情况取决于天气和其他可变因素。从社会角度考虑，理想化的做法是，电力系统资源（例如发电厂的）投资者应该可以通过签订长期合同来管理投资风险，但*不用*锁定未来特定月、日、小时的实际售电量。这就是为什么许多国家的电力系统都采用金融合同，包括差价合同(CfDs)，其中合同双方同意弥补未来特定时间实际现货市场价格和合同价格之间的差价。金融合同的一个主要方面是它们并不直接影响短期运行（调度）决策，系统运行商可以根据经济调度原则进行调度，且一般不会意识到大多数中长期合同的存在。这与物理合同不同。为本文讨论的目的，我们使用“物理合同”一词来代表这样的合同：1）合同规定

---

[37] 详见 Federal Energy Regulatory Commission. (n.d.). *Horizontal Market Power*. https://www.ferc.gov/industries/electric/gen-info/mbr/market-power/horizontal.asp 以及 Wenner, A., & Lankford, A. C. (2019). Major Reforms To FERC Market-Based Rate Program Include New Data Collection Requirements. *Mondaq*. https://www.mondaq.com/unitedstates/Energy-and-Natural-Resources/835598/Major-Reforms-To-FERC-Market-Based-Rate-Program-Include-New-Data-Collection-Requirements

[38] 例如 Midcontinent Independent System Operator. (2020). *FERC electric tariff, Sections 64 and 65*. https://www.misoenergy.org/legal/tariff/. Also see FERC. (2014). *Price Formation in Organized Wholesale Electricity Markets: Staff Analysis of Energy Offer Mitigation in RTO and ISO Markets*. https://www.ferc.gov/legal/staff-reports/2014/AD14-14-mitigation-rto-iso-markets.pdf

了特定期间具体的运行小时数；2）在系统运行商（调度员）做出逐时逐日的调度决策时需要参考合同。

金融合同与现货市场协调良好，可以支持有效的结果。金融合同的一个重要且可取的*功能*，即为允许市场主体对冲短期(现货)价格波动的风险。例如，水电出力可能每年都有很大变化，煤炭和天然气价格每月甚至每天都有波动。与此同时，电力需求、风能和太阳能发电在几年到几秒钟的时间跨度上不断变化。考虑到决定实时经济调度的条件(例如在特定的一小时内将出现的需求的确切水平或计划外停机的数量)在签订合同时并不确定（无论在多年或者月的时间跨度上）长期合同都应该灵活，而不应该干扰所有资源的实时经济调度。有必要重申并且强调的关键点是：保证系统可靠性不需要物理合同在几个月前分配运行小时。事实上，这种做法增加了成本、降低了系统效率并影响了波动性可再生能源发电的并网。

金融合同与现货市场的结合，可以促进实时经济调度——电力系统成本最低的运营方式——通过激励：(a)供应商对所有的可用容量，按照边际成本在日前和实时电能量市场进行报价，(b) 买方报出对预测需求的最佳估计，以准确反映出他们的支付意愿。

在中国，有关中长期交易合同[39]的国家政策声明和广东的市场设计规则[40]都强调，现有的物理合同(“中长期”合同)将转变为金融差价合同。从物理合同到金融合同的这种转变，将有助于消除经济调度的障碍，并支持现货市场成本最低的结果。然而，这种转变将需要更

[39] 国家能源局(2019).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). http://www.nea.gov.cn/2019-03/08/c_137878845.htm

[40] 南方能源监管局，广东发改委，广东经信委(2018). 广东电力市场中长期交易实施细则（征求意见稿）. http://nfj.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=402881e56579be6301658d7123c2001a

详细的政策和监管规则，以促进合理的合同模型以及与现货市场的协调。这也可能需要行业观念和实践的改变。

广东开展了为火力发电的中长期交易市场。这个中长期交易市场包括年度双边合约(“双边协商交易“)以及年度和月度拍卖(“集中竞争交易”)。2019 年，通过中长期交易合同市场交易的能源占全省用电量的 30%，占省内发电量的 46%[41]。

当 2016 年中长期交易市场开始运营时，广东并没有单独的输配电价[42]。中长期合同根据对(行政设定)的目录电价和上网电价的减少（或增加）进行交易。这被称为“价差”模式[43]。尽管据报道，广东省发展和改革委员会已经制定了单独的输配电价，但是中长期合同仍然主要基于价差模式。

中长期合同通常按月结算，与每月计算的合同金额的偏差，使用行政设定的价格收取费用或贷记。在 2019 年 10 月(为期一周)的现货市场试运行期间， 中长期合同表面上被视为差价合同。合同金额，仅出于结算目的，使用“分解曲线”从每月数量转换为每小时数量。日前的调度安排是通过发电侧投标和调度中心的负荷预测来确定的。日前调度安排与实际发电量和耗电量之间的差异，以实时电能量市场价格结算。

---

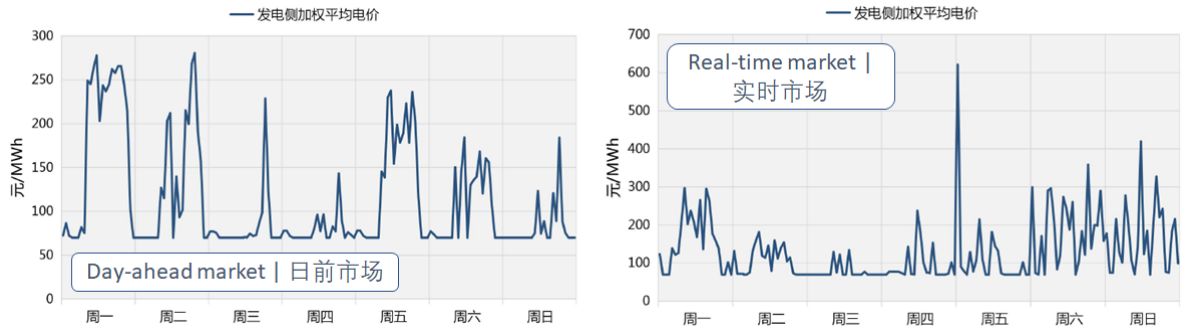
[41] 广东电力交易中心(2019). 广东电力市场 2019 年年度报告. http://news.bjx.com.cn/html/20200227/1048396.shtml

[42] 2016 年 3 月广东电力交易中心的成立，标志着广东中长期市场的正式诞生。然而，中长期样式的合同在此之前就已经存在了。最早的直购电是在 2006 年，并在 2013-2014 年进行了延伸，9 号文的发布对市场竞争和中长期市场的规范化起到了很大的推动作用。见陈皓勇, 李珠克. (2016) “正确认识广东电力市场交易规则－广东电力市场的历史及现状” http://shupeidian.bjx.com.cn/news/20161115/788876.shtml

[43] 这一办法使输配电价维持在目前的水平。例如，零售价格为 0.65 元/千瓦时的客户和发电上网电价为 0.45 元/千瓦时的发电商，可能会要求降低 0.05 元/千瓦时的价格。客户将向电网公司支付 0.60 元/千瓦时，电网公司将向发电机支付 0.40 元/千瓦时，电网公司仍将从输配电价收入中收取 0.20 元/千瓦时。

在广东 10 月份的现货市场试运行期间(见下图)[44]，在日前和实时电能量市场上，发电商似乎没有以边际成本投标。日前*平均*清算价格(251 元/ MWh)和实时市场清算价格(241 元/ MWh)似乎处于合理水平。然而，在很多时候，市场价格处于最低价格限制 (70 元 /MWh)，低于煤炭和天然气机组的运行成本[45]。举例来说,一个供电煤耗为 300 kgce /兆瓦时，交付煤炭成本在 500 至 1000 元/吨标煤的高效燃煤机组，其运营成本范围至少需要 150 至 300 元/兆瓦时。

图2. 广东省10月现货市场试运营期间的日前和实时市场价格



广东电力交易中心，南方（以广东起步）电力现货市场试运行情况， 2019。注意：数字显示了周一至周日按发电量加权的节点边际小时价格； 单位为元/兆瓦时。

在 10 月份的现货市场试运营中，根据发表的对市场主体的采访，发电机报价低于运行成本，有两个顾虑:(1)燃煤发电机组启动时长，发电商对机组关停的顾虑(保开机); (2)对减少运营小时数的顾虑(保电量)[46]。考虑到发电商的运营小时数和利润之间的历史联系以及试运行的短时性(一周)，后者或许并不令人意外。对“保电量”的担忧与电力市场的基本逻辑

[44] 广东电力交易中心(2019).

[45] 广东电力交易中心(2019).

[46] 陈雪婉(2019 年 12 月 9 日). 尴尬的电力现货市场试点. 财新周刊. https://m.weekly.caixin.com/m/2019-12-07/101491698.html

不符。一个设计良好的市场，会激励每一家发电商在有经济性的情况下运转。同样，一个设计良好的市场也会阻止发电机简单地将运行时间或发电量最大化。

在此次试运行中，发电商的行为说明了从传统的合同处理方式(发电商期望合同能转化为物理运营)到金融合同(合同和物理运营是分离的)转变的潜在障碍。展望未来，重要的是调度中心*不按照*中长期交易合同进行调度。2018 年的规定合理地明确了调度中心不应该这样做，事实上，调度中心很可能会遵守这些规定。然而，可能是由于合同条款和条件的细节，发电商*认为或期望*中长期合同是物理合同。国家发改委在 2019 年 5 月制定了一份合同模板(供整个国家使用)，为中长期合同条款和条件的设计提供参考。这种合同模板是为了没有现货市场结算的批发市场的物理性电力交易设计的，而不是通过物理性现货市场结算[47] (据报道，广东电力交易所也有自己的合同模板，不过似乎没有公开发布)。

此外, 电力交易所根据合同的“完成率”(相对于最初签订合同的发电量和用电量)，以及偏差率(买方合同规定的用电量和实际用电量之差)，来评估中长期合同市场。使用合同完成率可能会让市场主体错误地认为，他们的合同是物理合同，而不是金融合同。偏差率的使用可能会给负荷端一个错误的印象，即他们应该尽量减少与分解合同金额的偏差，以避免罚款。

通过现货市场结算将现有合同转换为差价合同，可能不需要对合同条款和条件进行重大修改。分解曲线提供了一种方法，可以将合同交易的数量转换为每小时数量进行结算，只要买卖双方理解合同数量不是“物理性”——也就是说，不与每月或每年的计量发电或负荷挂钩(见下面举例)，就可以促进金融合同的签订。

---

[47] 发改委的模型合同明确指出,“甲乙两方的结算电量依据实际计量电量”。在示范合同中，结算是根据计量的发电和耗电、按月或按年测量的合同偏差以及由买方和卖方在合同中确定偏差的处罚。见发改委关于推广应用电力中长期交易合同示范文本的函,2019 年。

例子:使用分解曲线的金融合同

买家和卖家通过广东电力交易所签订了一份 5 月份 4000 MWh 的月度合同，清算价格为 350 元/MWh。该合同分为峰时和非峰时，有 8 小时的峰时窗，峰时/非峰时比为 2，即 8.1 MWh/h 峰时和 4.0 MWh/h 非峰时(8 小时×8.1 MWh/h + 16 小时×4.0 MWh/h = 129 MWh/日)。

在 5 月 10 日 15:00(高峰时段)，买方预测日前市场需求量为 10 MWh/h，计量需求量为 11 MWh/h。日前和实时(平均每小时)市场出清价格分别为 250 元/MWh 和 300 元/MWh。卖方(发电商)有高于市场的报价，在 5 月 10 日的日前市场中没有机组承诺。

买方支付电交所 2800 元/小时(= 250 元/MWh×10 MWh/h + 300 元/MWh×1 MWh/h)。电力交易所不向发电商付款，因为没有市场出清。买方支付卖方 806 元/小时(= 8.1 MWh/h×[350 元/MWh - 250 元/MWh])。

买方最终结算金额为 3606 元/小时(= 2800 元/小时+ 806 元/小时)或 328 元/MWh。卖方最终结算为 806 元/小时，这也是卖方的净收入，因为发电机没有运行成本。

五月份合同结束以后，在整个 5 月份，买方和卖方应该并不清楚买方实际用电 4000 MWh 还是卖方实际发电 4000 MWh。无论如何，买方将支付卖方 140 万元(= 350 元/MWh×4000 MWh)。差价合同允许买方管理现货市场高价格的风险，也允许卖方管理现货市场低价格的风险。

然而，如果卖方或买方预期合同是物理的，供应商可能会以低于边际成本的价格投标，以确保他们能出清市场。如果供应商的出价低于成本，这将导致不经济的调度，即使在较低成本发电是可用的情况下运行较高成本的发电机。当大部分供应商在报地板价时(在美国通常称为“自我调度”)，调度中心可能难以确定经济调度(例如，决定优先调度顺序)。调度

中心可以依靠参考价格(如 2.c 节中所讨论的)来确定合理的优先顺序，但是如果这些价格还没有确定，调度中心可能会采用非经济的方式进行行政化调度。随着电力系统中可再生能源的增加，这种非经济性的化石燃料发电的自我调度将成为一个更大的挑战。

即使中长期合同不再是物理的，而且发电商完全理解这一点，报价和边际成本之间的脱节可能还有其他原因。特别是，除了从市场中获得盈利以外发电商可能还有其他动机。这些非市场动机可能包括以下方面:

- 发电企业有动机考虑他们的年发电量(以千瓦时计)，因为年发电量一直是(包括国资委)评估发电企业的关键指标[48]。随着向现货市场的转移和金融合同的签订，新的金融指标应该会取代年度发电量作为衡量盈利能力的指标。这将有助于消除发电商以低于边际成本竞标的动机。
- 地方政府可能会鼓励电厂管理者最大化运营小时数，因为运营小时数(煤炭消耗)与 GDP 数据相关——地方官员在一定程度上是根据其管辖范围内的 GDP 结果进行绩效评估的。

此外，扩大行业教育和培训以建立对市场信任也是有益的。现货市场试点似乎尚未产生这种信任，可能需要付出更大努力来建立信任。也许发电商的“保电量”心态源于缺乏信任，认为现货市场试点可能会消失，而行业可能会恢复到过去的定价和调度做法。举一个更具

[48] 国资委负责评估国有发电企业的财务业绩，尤其是它们获得股本回报率的能力。由于发电企业传统上都是通过每年设定的每千瓦时上网电价来回收固定和可变成本，国资委将年度发电量作为一项关键指标。

体的可能问题:对于启动时间相对较长的燃煤机组，在日前市场激励经济竞价可能需要对机组组合软件的准确性建立信任。

建立南方电网现货市场一体化

自 20 世纪 90 年代初以来，南方电网地区各省之间进行了大量的电力交易。在 21 世纪初，作为西电东送政策框架的一部分，电力交易得以扩展并规范化。这些交易主要是从资源丰富的云南、贵州和广西，向广东的负荷中心输出，尽管广东也是海南、香港和澳门的净输出地。从云南到广东的所有电力输送都是通过直流线路，而从贵州和广西的输电线路则既有直流也有交流[49]。2019 年，广东进口电力为 39.4 吉瓦，进口占总用电量的 30%[50]。

国家政策声明呼吁，广东的省级电力现货市场是覆盖南方电网地区的区域电力市场发展的第一步。现在，广东的现货市场正准备通过试运行阶段开始正式运作，政府机构、交易组织以及市场主体正在考虑如何深化现有的跨省协调，如何设计一个南方电网区域市场，如何从广东现货市场过渡到区域市场设计。这是一系列重要的问题，并有望为该地区带来重大利益，包括降低整个地区的成本和排放。南方电网区域市场最重要的潜在短期效益之一，将是利用现货市场价格优化区域资源运行，尤其是与季节性水电模式相关的运行。从长远来看，区域市场对于在更广阔地理区域平衡更高比例的风能和太阳能发电也至关重要。

---

[49] 到 2019 年，广东已与云南实现 5 个直流互联，与贵州、广西实现 8 个交流、3 个直流互联，与国家电网实现 1 个直流互联。广东电力交易中心，广东电力市场 2019 年年度报告。

[50] 同前。

借鉴美国在区域市场方面的经验，制定南方电网区域市场目标的一个好方法是建立一个“区域输电组织”(RTO)[51]。按照美国 RTO 的模式，南方电网的 RTO 可以具有以下几个特点:

- 统一和有效的区域输电成本分摊方法，制定一套单一的区域规则，在区域内各省分配现有和新建输电基础设施的成本;
- 统一区域输电规划过程，确定可靠、经济和满足政策目标所需的输电投资;
- 一个单一的区域系统运营商和市场运营商，监管与广东的现货市场设计相一致的单一的区域“现货市场”，包括:
    - 具有财务约束、实行安全约束的机组组合的节点日前电能量市场;
    - 采用 5 分钟安全约束的经济调度和结算的节点实时电能量市场;
    - 与日前和实时能源采购协同优化的调频(二级控制)和运行备用(三级控制)市场;
    - 能够与国家电网进行市场对接和协调的运行时间表及市场。

这种 RTO 途径将为南方电网地区带来几个重要益处。统一的南网 RTO 的电能量和辅助服务市场将扩展到整个南网区域，这意味着当输电系统没有阻塞时，整个区域将有一个单一的日前和实时的电能量市场价格，由于边际输电损失，价格只有微小的差异。节点市场价格和区域输电规划将有助于指导整个区域的新资源开发，并有助于可再生能源并网，从而

[51] 在美国，术语“RTO”和“ISO”现在几乎被用作地区市场足迹的同义词。

降低长期成本。RTO 方式还将减少与中国目前的跨省输电定价和省间交易方式相关的省际交易壁垒。许多以美国为背景的研究发现相对于小平衡区，RTO 市场能带来更大的利益[52]。

在向 RTO 转型的过程中，南方电网地区面临两个问题:(1)近期(2020-2021 年)，在无需将市场机制和软件扩展到其他省份时，外省的发电商如何可以积极参与到广东的现货市场中；(2)在未来几年，中国南方电网区域如何建立多省（区）联合的区域市场雏形和全面实施 RTO。

南方电网的 RTO 应该有统一的区域经济调度和对新增输电线路的采用区域决策方式。虽然南网 RTO 的实施总体上会产生显著净利益[53]，这也将对区域内不同省份的发电商和电力用户产生不同的影响。中国现有的发电和输电价格以及零售电价，往往是为了反映地区发展的优先性而设计的，这表明向一个有效的地区市场迈进可能导致重大的利益转移。政策制定者应该提前考虑到这点并将其减轻，但最好事后通过非市场机制而不是通过市场解决。区域市场会揭示出经济效益低的发电机组，最好让这些机组（以有序的方式，在合理的可靠性考虑下）尽快退役。对于在会计生命期结束之前提前退役的发电机组，应该以不延长其运行生命周期的方式给予补偿。例如，在发电机组退役之后对所有者进行补偿，而不是通过允许不经济机组继续运行来补偿所有者。

区域输电基础设施的成本分摊

---

[52] Hurlbut, D., et al., 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借鉴. https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66729.pdf. 对这个主题的几个研究进行总结，可见 J. Pfeifenberger et al., Senate Bill 350 Study Volume XII: Review of Existing Regional Market Impact Studies. Prepared for California ISO. https://www.caiso.com/Documents/SB350Study-Volume12ReviewofExistingStudies.pdf

[53] Abhyankar, N., Lin, J., Liu, X., & Sifuentes, F. (2020). Economic and environmental benefits of market-based power-system reform in China: A case study of the Southern grid system. *Resources, Conservation and Recycling 153*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919304641

向南方电网 RTO 转变的一个重要和有益的方面是改变谁来支付区域输电基础设施以及如何设计输电费用。目前，输入省以元/度为每度进口电支付输电价格，这个输电价格是为了回收省间输电线的全部（或大部分）成本。这种方法并没有反映深层的输电使用成本，并对有益的省间电力交易构成了障碍。它也阻碍了按经济调度原则调度整个区域电网。

考虑一个特定小时或一天的例子，比如 1）在云南有可用的水电发电容量，其运行成本比在广东的火电运行成本低，2）有足够的输电容量来促进更多从云南到广东的电量流。在这种情况下，减少广东火力发电以增加云南水力发电会为整个区域产生净收益（如节约成本）。然而，即使还有充足的输电容量，按度电收取的输电费用会使得从云南进口电比本地火电更昂贵。这种对进口水电成本的误解会导致高成本的火电机组被调度而产生弃水，虽然按照区域经济调度的原则，火电不应该被调度而也不应该产生弃水[54]。核心问题是基于每度输送电来回收全部省间输电成本是缺乏效率的。省间输电的成本应该通过另外一种方法来回收，从而在有可用输电容量时避免阻碍输电容量的使用[55]。

RTO 的输电基础设施成本方法包括：

- 认识到区域输电对整个 RTO 区域的益处[56]；

---

[54] 弃水会发生，例如，如果水电厂是径流式的，或者如果它有一个已经满负荷的水库而必须“溢水”。在水库没有满负荷的情况下，文中所描述的对成本误解可能不会导致弃水，但是会导致水电不有效地运行。

[55] 管理输电拥堵是一个相关的考虑。通常，输电容量是有限或者拥堵的。按每千瓦时交易实施输电拥堵费用是经济理性的，然而，从这个经济理性的拥堵费用产生的收入通常不足以回收所有的输电成本。Madrigal, M., & Stoft, S. (2011). *Transmission Expansion for Renewable Energy Scale-Up Emerging Lessons and Recommendations*. World Bank Group. https://www.esmap.org/sites/default/files/esmap-files/Transmission-Expansion-and-RE_0.pdf

[56] 更具体一些，RTO 方式会将 RTO 内的输电资产进行分类：“深度”资产会让整个区域受益或者“浅层”资产只让具体受益者受益。在此讨论中，我们认为“区域”输电资产是“深度”的。Madrigal & Stoft, 2011.

- 在 RTO 区域向所有省级电网公司（以及最终所有需求侧）按月或年（而不是在每度电交易的基础上）分摊这些区域输电成本[57]。

政府部门应该和 RTO 管理者一起建立向省级电网公司分摊区域输电成本的规则。按月分摊到每个省级输电公司的输电成本可以根据这个公司每月的峰值负荷（兆瓦）或者月度总耗电量（兆瓦时）来计算（例如，全部资源的总耗电量，无论这些资源在南方电网区域内如何分布）[58]。通过这种方式，区域输电成本的分摊就不会模糊在不同省份分布的不同发电资源的相对运行成本了。这就意味着输电成本的分摊和回收不再影响区域电网的经济调度。

在这种 RTO 模式下，区域输电成本会被纳入每个省级电网公司的准许输电成本（输电收入）。这些成本会通过省级电网公司对所有消费者采用的输配电价回收。按照目前的情况，省级政府在得到中央政府的批准下，应该继续负责制定和设计这些输配电价[59]。

---

[57] FERC. (2011). Transmission Planning and Cost Allocation by Transmission Owning and Operating Public Utilities. Order 1000. https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-04/OrderNo.1000.pdf. 更多讨论详见 Lazar, J., Chernick, P., Marcus, W., & LeBel, M. (Ed.). (2020). *Electric cost allocation for a new era: A manual.* Regulatory Assistance Project. https://www.raponline.org/knowledge-center/electric-cost-allocation-new-era/

[58] 与从这些规定中产生的按月分摊的额度相比，省级电网公司谈判不同的月额度可能有政治原因（例如，各省级电网公司承担的省间输电成本的份额）。关键点是不应该按照月度进口的电量来计算。

[59] 这些零售价格的有效设计需要很多考虑，但这个话题超出了本文的范围。例如，可参见 Lazar, J., & Gonzalez, W. (2015). *Smart rate design for a smart future.* https://www.raponline.org/knowledge-center/smart-rate-design-for-a-smart-future/

示例: 输电定价和增量成本

考虑这样一种情况:广东的边际发电成本为 350 元/ MWh，云南有可用的水电，还有 200 兆瓦的未使用的省间输电容量。该水电站愿意以不低于 260 元/千瓦时的价格出售水电。根据中国现行的区域输电成本分摊方式，通过一个统一的（不随时间改变的）按进口度电收取的输电费用为 100 元/MWh。

如果从云南进口水电到广东，必须支付 100 元/MWh 的输电费用，从交易双方的角度看这将是不经济的(260 元/MWh + 100 元/MWh > 350 元/MWh)，所以不会实施交易。本可以从云南进口的 200 兆瓦的增量成本为 7 万元/小时(= 200 兆瓦×350 元/兆瓦时)。

然而，如果该交易不收取输电费用或费用低于 90 元/MWh，这才是经济的(260 元/MWh < 350 元/MWh)。供应 200 兆瓦的增量成本将为 52000 元/小时。

在交易不收取输电费用的情况下，系统总成本将降低 1.8 万元/小时。2 万元/h (= 200 MW×100 元/MWh)的输电收入差异，如正文所述，可以通过向省级电网公司年度或月度分摊（并最终传递至终端用户）的方式来回收。

向区域市场拓展的下一步

在美国的 RTO 市场中，加州独立系统运营商(CAISO)在向 RTO 过渡的问题上为南方电网地区提供了一个有价值的参考。在历史上，CAISO 一直是美国西部唯一的 ISO/RTO 市场。与此同时，美国西部邻近地区是由相对较小的平衡区域拼凑而成，其中大部分是由垂直一体化的电力公司独立运营和规划的。为了开始获得与更好的区域一体化相关的效率提高并在区域电力公司之间建立信心和相互信任，CAISO 和其中一些电力公司朝着最终可能成为美国西部地区的 RTO 方向迈出了步伐。首先，2014 年，CAISO 开始将其实时市场扩展到邻近地区的电力公司，从而建立了一个“能源平衡市场”（EIM）。EIM 本着自愿原则，这意

味着电力公司可以在任何时候加入或离开，并且可以选择希望让 CAISO 调度的机组。CAISO 只将可用的输电能力用于调度，而电力公司仍然负责小时前机组安排、采购和备用部署。西部 EIM 从 2014 年的 2 名成员，目前已经增长到 9 名，预计到 2022 年还会增加 11 个成员[60]。该地区正在讨论将 CAISO 的日前市场扩展到该地区的类似做法。 尽管这些步骤未能充分解锁全面的 RTO 所能带来的全部利益，但它们已使该地区朝这个方向发展，并显著提高了区域系统运行的效率。EIM 可以看作是向创建更完善的区域市场迈出的第一步。

在美国西部实施 EIM 之前，CAISO 市场价格与 CAISO 以外的区域性双边交易中心的价格之间的持续分歧（如下图）[61] 清楚地表明了效率低下。整个美国西部不断增加的可再生能源发电威胁会使该地区的效率低下状况更加恶化，从而加强了实施 EIM 以及最终实现西部 RTO 的理由[62]。

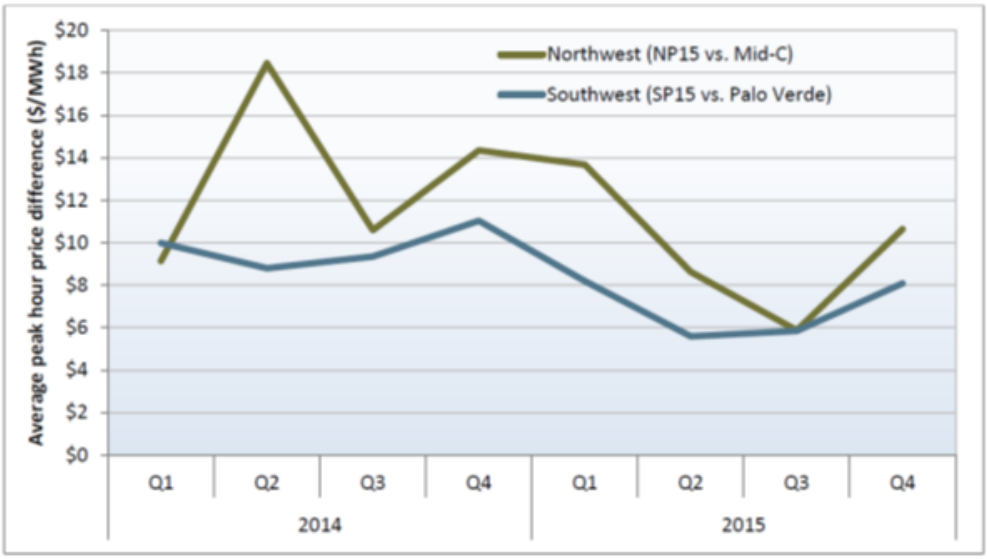
---

[60] 更多关于西部 EIM 的信息, 详见 *Western Energy Imbalance Market*. https://www.westerneim.com/pages/default.aspx

[61] CAISO. (2016). *2015 Annual Report on Market Issues & Performance.* https://caiso.com/Documents/2015AnnualReportonMarketIssuesandPerformance.pdf

[62] Energy and Environmental Economics. (2013). *PacifiCorp-ISO Energy Imbalance Market Benefits*. https://www.caiso.com/Documents/PacifiCorp-ISOEnergyImbalanceMarketBenefits.pdf

图3. 2014-2015年CAISO市场（NP15区）与美国西北交易中心（Mid-C）和CAISO市场（SP-15区）与西南美国交易中心（SP15区）之间的平均峰时电价差异



Source: CAISO. (2016). *2015 Annual Report on Market Issues & Performance.*[63]

对于南方电网来说，这种渐进式战略可能也是向区域市场过渡的有效途径。在类似于 EIM 的结构下，区域调度中心可以把广东的实时电能量市场调度软件扩展到整个区域，最好但不一定将整个电网模式和节点价格扩展到整个区域。中国南方电网可以成为 EIM 的系统运行商。其他省份调度协调人员将向区域调度中心提交日前和小时前机组安排计划和经济报价，区域调度中心将根据这些机组安排计划和报价对整个南方电网区域的机组进行调度。如果调度协调得很好，EIM 可以与一个或多个省级日前市场兼容。虽然 EIM 仅限于实时调度和利用可用输电容量，但 EIM 价格可以为市场主体提供信号，以改进他们的日前和小时前机组安排计划，并且可以成为区域日前市场中区域安全受限的机组组合的桥梁。

[63] 图 3 获得了加州 ISO 的使用许可。本文中任何陈述，结论，总结或其他评论，均不代表加州 ISO 的观点或认可。

例如，在美国西部能源平衡市场中，市场主体已经改变了他们的机组组合，以更充分地利用加州中午的低成本太阳能发电[64]。

这种利用 EIM 作为下一步的优势在于建立对区域市场收益的信心。西部能源平衡市场大约需要两年的时间来建立，包括扩展 CAISO 的建模软件、规则的制定和文书，以及对市场主体的培训[65]。

建立南方电网RTO的其他考虑

*区域输电规划。*南方电网区域的跨省输电规划已经由南方电网完成。然而，在市场环境中，输电规划过程需要变得更加公开和透明，以便向市场主体提供信息从而他们可以做出对发电和其他资源投资的合理决策。此外，随着区域市场的形成和区域资源结构的变化，输电规划方法将需要进行调整。潜在的变化包括输电网经济性的变化;波动性再生能源发电对输电经济的影响，包括 LMPs 在有效选址中的作用，以及 LMPs 在拥塞管理中的重要性。

*与其他市场协调。*缺乏 ISO/RTO 市场之间的协调一直是美国的弱点。对于中国南方、华中、西北和东部电网来说，在区域市场之间有一个基本的、协同的市场设计，联合输电规划和成本分摊，以及协调运行是非常重要的。虽然设计可以随着时间的推移而演变，但美国的经验表明，在 RTO 发展过程的早期就开始考虑市场对市场的协调问题是很重要的。

---

[64] 基于与 EIM 参与者的个人交流。

[65] CAISO 与 PacifiCorp 关于 EIM 的初步讨论始于 2012 年末。2013 年 3 月，CAISO 和 PacifiCorp 发布了一份关于 EIM 潜在收益和成本的研究报告。EIM 于 2014 年 11 月开始运作。

建立南网区域输电组织: 总结

综上所述，我们建议建立一个南方电网区域输电组织，这是国家要求南方电网以广东起步建立一个区域现货市场的最好方法。南方电网 RTO 将包括:

- 一套统一的区域规则，将区域输电成本分摊给该地区的省级电网公司;
- 一种解决输电费用的方法，不会掩盖不同省份不同发电资源的相对运营成本;
- 一个统一的区域输电规划过程，确定可靠、经济和满足政策目标所需的输电投资;
- 一个单一的区域系统运营商和市场运营商，监管统一区域“现货市场”。

区域 RTO 将带来许多好处并改善该区域长期存在的问题。为了形成一个南方电网 RTO，一些有价值的过渡措施可能更容易实施，可以获得一些(但不是全部)区域一体化的好处，并可以作为全面实现 RTO 的踏脚石。此外，RTO 所需的几个基础需要更近期的步骤。我们就可能采取的过渡期措施和步骤提出若干建议，以供考虑:

- 制定规则，将区域输电成本分摊给区域内的省级电网公司(不以进出口交易为基础)。
- 一旦广东现货市场全面运行，开始着手软件升级和市场规则变化，使广东的实时电能量市场扩展到南方电网地区的其他省份。实时市场可以扩展，即使其他 RTO 功能还没有到位。
- 开始考虑区域日前市场的设计，包括机组组合流程，辅助服务采购和其他市场规则。
- 制定公开透明的输电规划流程，以支持根据资源和负荷做出的投资决策，并加入输电项目的经济评估。这个规划过程将包括指导输电投资决策的公开可用的规划标准(可靠

性、经济性、政策)。虽然美国输电规划和投资实践有许多不足之处并仍在演变过程中，美国 RTO 输电规划还可以是一个有用的参考[66]。

- 开始制定促进和维持区域市场所需的管理机制和争端解决机制。

我们注意到，2020 年二月国家发改委在一份政策声明中，提出到 2025 年实现全国统一的电力交易组织体系，重点强调了交易组织的作用[67]。我们建议，发布一份关于区域统一现货市场形成的附加政策声明将是有用的，它应该不仅规定了交易组织的角色和时间表，还应规定出调度机构和区域政府的角色和时间表，以及他们在这些任务中必须如何协同工作。这会帮助铺平向南网 RTO 过渡的道路。

3. 结论

本文在更广泛的电改工作（如各种政策声明中所述）正在付诸实践支持能源革命，降低成本，减少排放，整合波动性可再生能源资源， 以及提高可靠性的背景下，讨论了电力市场的设计和实施。世界各国的政策制定者也面临着这些挑战。南方电网地区已经取得了巨大的进展——包括广东现货市场试点的设计——并在这些领域有潜力成为中国和世界的榜样。

---

[66] 例如, ISO New England (n.d.) *Regional System Plan*. https://www.iso-ne.com/system-planning/system-plans-studies/rsp/. Also see Pfeifenberger, J., & Chang, J. (2016*). Well-planned electric transmission saves customer costs: Improved transmission planning is key to the transition to a carbon-constrained future*. The Brattle Group. https://hepg.hks.harvard.edu/files/hepg/files/wires_brattle_report_transmissionplanning_june2016.pdf; Eto, J. (2017). *Planning electric transmission lines: A review of recent regional transmission plans*. Energy Analysis and Environmental Impacts Division, Lawrence Berkeley National Laboratory. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Planning%20Electric%20Transmission%20Lines--A%20Review%20of%20Recent%20Regional%20Transmission%20Plans.pdf

[67]国家发展改革委，国家能源局印发《关于推进电力交易机构独立规范运行的实施意见》的通知 https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202002/t20200224_1221078.html

同其他国家一样，南方电网地区的市场设计无疑将是一个不断讨论和修订市场规则的过程。在国际讨论中，有一点很明显，看待市场的最佳方式是将其视为“工具”，以满足政府的政策目标，包括提高效率、减排和可靠性的目标。当市场产生的结果与政策目标不符时，就有必要修改市场规则和规章。仅仅是市场并不能单独满足这些目标，它们需要与各种规划过程密切协调，包括输电和需求侧资源的规划过程。

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