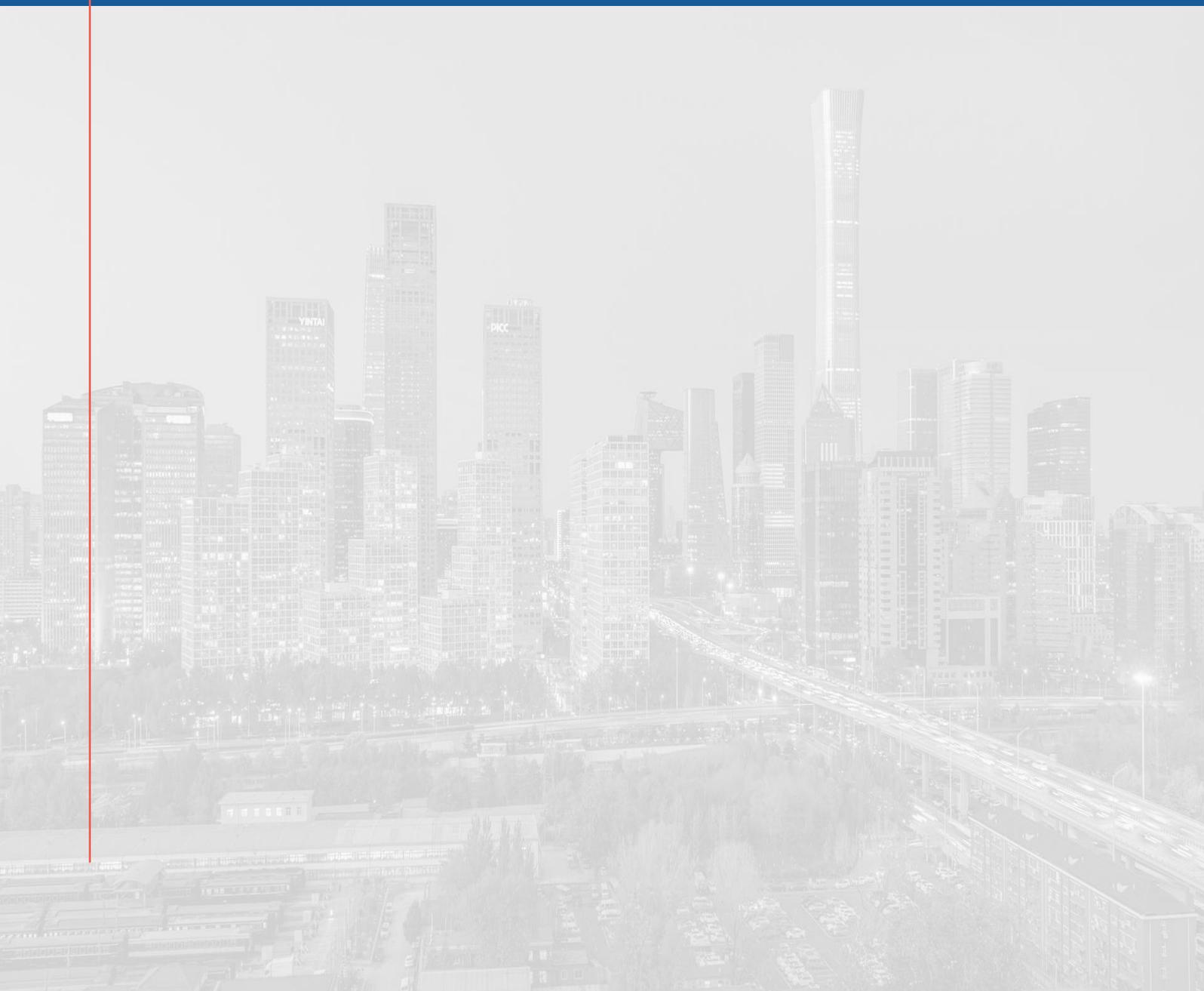


新形势下的电力行业改革

促进系统稳定性、降低风险、加速碳达峰

睿博能源智库 (RAP)



第一章 综述和讨论¹

背景介绍

中国做出具有历史性意义的双碳目标承诺后，中共中央、国务院、国家发改委和国家能源局发布了“1+N”政策体系中的首要两个政策文件²，为电力部门制定了顶层设计方案，提出了“加快建设新型电力系统”及“优化清洁能源发电”等要求。2021年以来，各行各业分领域的政策文件陆续出台，初步构成了“1+N”政策体系。本系列文章旨在聚焦电力行业改革，为细化政策指令提出建议，以望在近期（即“十四五规划”）内对该政策体系提供支持。

我们的一切建议都是基于“1+N”和相关政策的指导原则下提出的，比如：

- 坚持“循序渐进”，坚持符合中国国情和改革道路的务实做法。
- 确保系统可靠性、能源安全、以及“防范风险”。

遵循这些原则，我们提供了一些切实可行的方法，在中国领先世界的可再生能源投资之上，进一步控制成本并加快实现双碳目标的进程。这些建议既基于我们全球团队对世界其他地区电力行业中许多措施可行性的分析，也综合了我们对中国政策和制度的理解，包括与政府相关部门和合作伙伴数十年的讨论与合作。

中国最近发布的一些政策声明似乎暗示着，在优化以清洁能源为主导的新型电力系统和其他目标（如电力可靠性和能源安全）之间存在权衡取舍。但根据其他国家以及中国各种改革试点的经验，电力行业改革可以在提高能源安全和电力可靠性的同时，将中国碳达峰的日期提前。

本文为此系列第一篇，概述了我们对电力部门改革的各方面建议，涵盖以下领域（我们将在接下来的章节中对每个议题进行详细阐述）：

- 实施“全国统一电力市场体系”的下一步工作；
- 实施透明的电力部门规划，支持转型期间系统可靠性；
- 解锁低成本方案以支持系统灵活性和可再生能源并网；
- 在电力行业改革工作中落实“节约优先”的承诺。

¹ 本报告于2022年8月以讨论稿的形式发布，并于2023年3月进行了更新和修订。Max Dupuy 为主要负责人，并与王轩合作完成此报告的撰写工作。感谢Rick Weston对撰写第五章提供的支持；高驰对此版本作出的修订；何焱对报告编译的指导。由衷感谢Rich Sedano，以及来自 Ea Energy Analyses和国内专家对初稿提出的意见。

² 中共中央 国务院.(2021).中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见。
http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm; 国务院.(2021). 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知。
http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm

国际视野：电力行业改革和清洁能源机遇

在世界各地，政策制定者都在应对电力系统脱碳带来的挑战。脱碳曾被视为是昂贵的负担，现在却越发被视为一个机遇。太阳能和风能发电成本在过去十年中大幅下降，为电力供应商及其客户创造了新的利益。如今在许多地方，光伏和风电的平准化成本已接近甚至低于燃煤和燃气发电厂的燃料成本，这意味着建造新的太阳能和风力发电厂，可能比运营现有的火电厂更经济³。同时，电池储能成本的下降以及对需求侧资源价值的日益认可，意味着新的清洁能源可以发挥灵活性、调峰和可靠容量的作用。

为了充分利用清洁能源并实现脱碳目标，美国、欧盟、中国和其他地方的电力部门政策制定者都在应对一系列相似的问题，其重点是确保高比例风光电网的安全稳定。幸运的是，这一挑战越来越被人们所理解⁴。凭借精心设计的政策、市场和监管框架，即便在高风光渗透率的情况下，电力系统依旧可以十分可靠。越来越多的国际经验——包括中国本身的经验——证明了这一点⁵。然而，还需要谨慎关注电改的具体细节。在本系列文章中，我们讨论了这些问题在不同国家的演变方式，并为中国的下一步行动提供了建议。

中国当前进行的第二轮电改工作于 2015 年启动并取得了重要进展，包括开展试点、制定新的电力行业市场机制、全面改革电网公司监管模式、持续开展需求侧管理工作、制定新的可再生能源补偿方法以及完善电力行业规划⁶。同时新的碳排放交易机制和严格的空气质量管理措施也对电改进行了有力的补充。

中国取得了令人瞩目的成功，包括大力投资风能和太阳能发电，以及提高燃煤发电的平均效率。然而，电改尚未完成，有关下一步措施的讨论也逐渐复杂。好消息是，有一些方法可以加快电力行业改革，同时避免部分复杂性。关键是采用相对简单、后期可以细化的改革内容。在这方面各国并没有一套“拿来即用”的解决方案，必须考虑适合中国社会和制度沿革的可行措施。因此，本文提出的电力行业改革建议，是基于我们对中国国情的了解，以及本着“系统观念”和“稳中求进”的原则⁷。

³ 欲了解相关发电成本在美国的情况，可见Gimon, E. et al. (2021). *The Coal Cost Crossover 2.0*.

<https://energyinnovation.org/publication/the-coal-cost-crossover-2021/>. Runyon, J. (2021). *New solar is cheaper to build than to run existing coal plants in China, India and most of Europe*. Renewable Energy World. <https://www.renewableenergyworld.com/solar/report-its-now-cheaper-to-build-new-solar-than-to-run-existing-coal-plants-in-china-india-and-most-of-europe/#gref>

⁴ 越来越多的详细分析得出中国在高比例可再生能源并网的情况下应该如何保持系统稳定性，比如，Chinese Energy Research Institute (2021). *China Energy Transformation Outlook 2021*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/2021-11-04_ceto21_summary_en-final_0.pdf 以及Abhyankar, N. et al. (Forthcoming). "Achieving an 80% Carbon Free Electricity System in China by 2035."

⁵ 国际案例研究，可见 Lew, D. et al. *Getting to 100% renewables: operating experiences with very high penetrations of variable energy resources*. <https://www.esig.energy/wp-content/uploads/2021/03/Getting-to-100-Renewables-Operating-Experiences-with-Very-High-Penetrations-of-Variage-Energy-Resources.pdf>

⁶ 中共中央 国务院. (2015). 关于进一步深化电力体制改革的若干意见(即“9号文”). <https://www.ne21.com/news/show-64821.html>

⁷ 新华社. (2022). 习近平参加内蒙古代表团审议. http://www.gov.cn/xinwen/2022-03/05/content_5677371.htm

对中国电力行业改革的建议

接下来，我们将分别从以下几个方面简要概括主要建议，关于每个领域的具体内容将在后续的章节中做出探讨：

实施“全国统一电力市场体系”的下一步工作（第二章）

精心设计的电力市场可以帮助在较大范围的区域内实时优化电网的需求和供应，这些市场以低成本有效地支持了风能和太阳能发电并网，且提高了系统可靠性。中国的政策制定者一直在朝着这个方向前进。国家发改委和国家能源局最近发布的《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》（以下简称 118 号文件），是向前迈出的非常重要的一步。然而，根据我们的理解，文件中有些地方还有待斟酌完善，并且须避免具体实施过程中可能存在的缺陷。就此我们的讨论如下：

- 我们建议将重点放在加快建设和协调统一的区域**现货**市场上，也就是说，打破以省为边界，建立地理范畴比单个省更广泛的、统一的现货市场⁸。同时，我们建议中长期合同应转变为金融化的差价合同，并与现货市场价格挂钩。
- 这些统一的区域（或者全国）现货市场不需要像目前在省内开展的现货市场试点这么复杂。刚开始可以委任调度中心和交易中心做两方面工作：第一，在每个区域市场实施一套统一的经济调度方法；第二，基于预估的系统边际成本，为现货市场制定“参考成本”水平（类似于现货市场随时间变动的价格），加强对现货市场的监管。在确保系统稳定性的同时，随着各区域市场运行逐渐成熟，形成更具竞争力的系统。
- 基本现货市场机制建成后，没有理由再将基于行政指导的标杆上网电价作为火电厂的补偿机制。扩大标杆上网电价的价格波动范围是朝着正确方向迈出的重要一步，但我们建议取消煤电上网电价机制，改为采用现货市场。与其他有现货市场的国家一样，市场参与者将被鼓励通过金融差价合约来对冲现货市场的价格波动。
- 关于所有区域需建立“发电容量成本回收机制”以“保障电源固定成本回收”的表述，可能有待进一步审查和澄清。容量电价或者补偿机制应满足多重政策目标。在双碳要求下，鉴于淘汰低效和碳排放密集型资源的迫切需要，不应保证这些资源的固定成本回收。只有满足系统可靠性要求的（由科学规划确定），在关键时刻可以被调用的，且符合政策标准（如空气质量标准）的资源，才应被允许回收固定成本。

⁸ 我们在这里使用“统一的区域现货市场”一词，是因为由多省组成的区域市场可能是一个更实际的近期目标，当然，统一的全国现货市场将是一个更好的结果。

实施透明的电力行业规划，支撑转型期间系统稳定性（第三章）

采用“科学”透明的滚动电力规划流程可以确保在转型期内，系统可靠性仍然可以保持在理想的水平。中国电力行业的许多机构，包括电网公司和研究机构，已经建立了详细的规划流程。我们对此想要补充两点，同时强调提高透明度，以支持逐渐市场化的电力行业。因为，一个完善的规划流程可以帮助有效地实现：

- 监测电力行业转型期间的可靠性问题⁹；
- 避免或应对电力危机，例如 2021 年的用电短缺情况；
- 发现电力部门政策、市场规则和市场设计的问题；
- 提高公众对市场机会的认识，增加社会资本的投入。

我们建议更新2016年能源局发布的《电力规划管理办法》，明确涵盖以下三种互为关联的规划流程，并且建议每种规划流程都定期发布报告及相关数据：

1. 季度规划流程，用以评估和管理一年之内的近期风险，每年发布 2 次报告。
2. 中期最低成本资源规划流程，用以确定达成政策目标所需的最低成本新资源组合，同时检验市场是否发出合理的投资信号。此流程展望未来 5 至 10 年内的电力系统情况，每年发布 1 次报告。
3. 长期输电系统规划流程，用以检验实现清洁能源转型的不同长期途径。这一流程展望未来至少 20 年内的电力系统情况，每 2 年报告 1 次。

理想情况下，以上各流程应按区域组织规划，与上述现货市场区域相匹配。

解锁低成本方案以支持系统灵活性和可再生能源并网（第四章）

世界各国都在面临大量可再生能源并网的挑战。保持可靠性需要管理在不同时间跨度上增加的可变性，这包括供需从短期（秒、分钟和小时）到长期（例如，几周）的波动。管理这种可变性需要识别、构建并协调具有合适特性的、成本有效的资源组合，以支持清洁能源为主导的电力系统。这需要一套精心设计的政策，以及相关的市场机制、规划流程和监管措施。我们在之前的章节中探讨了规划和市场的相关方面，本篇建立在此讨论基础上，为支持可变可再生能源发电并网提供了额外的建议。

“1+N”政策体系发布的首要两个文件强调了发展灵活性资源的重要性。如何确定灵活性资源的最低成本组合并确保以低成本、可靠的方式协调运行？在此，我们强调两点：

⁹ 理想的资源充足性规划应该考虑到建筑供暖。热电联产（尤其是在中国东北地区）一直是影响系统灵活性的一个长期问题。

- 中国最近在扩大分时电价的实施范围。我们为省级层面如何细化执行这一政策提供了一些建议，比如，确保所有系统成本，包括输电和配电成本，都应体现在分时电价的设计中。
- “1+N”系列文件中提到支持“虚拟电厂”，将分布式资源和需求侧资源整合起来并协调优化。我们建议为虚拟电厂建立市场参与模式，直接参与新的现货电力市场，市场机制应该认清这些资源为系统提供各种服务的全部价值并对其进行合理补偿。

在电力行业改革工作中落实“节约优先”的承诺（第五章）

“1+N”中的“1”强调要“把节约能源资源放在首位”，这是一个非常重要的承诺，并为其他几个关键的政策目标起到了有力的支撑作用：它可以通过管理用电需求增长来提高可靠性，通过减少能源进口来改善能源安全，同时减少系统成本和排放。为更好地在电力行业改革工作中落实“把节约能源资源放在首位”的承诺，我们提出以下几点建议：

- 基于国家发改委发布的《电力需求侧管理办法》，适当提高电网公司年度节能目标；
- 制定详细的规则，要求电网公司评估并投资能效和其他需求侧资源，在美国称为“电网替代方案”；
- 逐步淘汰建筑用煤，强调煤改电、气改电，终止煤改气。这可将有限的天然气用于更有价值的用途，比如用于灵活的燃气发电厂；
- 创建一个框架，将能效作为虚拟电厂的组成部分。
- 由国家相关部门（如，国家能源局）主导，在区域范围对能源强度和碳强度目标进行强制性审查并发布报告，评估是否达到目标，以及是否可以进行调整等。这点应与第三章中建议的中期规划流程相协调。

与电力行业改革相关的更多政策议题

对于电力部门的清洁能源转型，还有几个额外的重要主题，我们想在这里简要地讨论一下。尽管这些议题并未包含在中国电改范畴内——在2015年电改指导文件中并没有详细提及——但我们建议应该与电改讨论结合起来。

电厂排放标准：2015年，生态环境部发布了一项标准，要求到2020年，所有燃煤机组排放的二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)和颗粒物达到“超低”排放标准¹⁰。随后，燃煤发电企业在污染控制设备上投入了大量资金，但一些分析指出，可能存在排放报告结果弄虚

¹⁰ 根据生态环境部政策，具备改造条件的机组应满足排放颗粒物、SO₂和NO_x的排放标准分别为每立方米10、35和50毫克。生态环境部(2015).全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201512/t20151215_319170.htm. 然而，要达到这些与天然气发电装置水平相当的标准，就需要比美国等世界其他地区可提供的商业化除污设备效率高得多。

作假的问题¹¹。

碳排放交易：中国电力行业已经建立了新的碳排放交易机制，这是向前迈出的重要一步。接下来的措施可能包括转向基于总量的碳排放上限，以及转向拍卖碳排放额¹²。

可再生能源弃电目标和可再生能源配额制：从上个十年后期开始，中国的风能、太阳能和水力发电的弃电率大幅下降，部分原因是国家政策为电网公司设定了可再生能源消纳指标，要求他们帮助减少弃电¹³。考虑到可再生能源发电并网带来的持续挑战，继续为电网公司制定这样的绩效目标，以及强化可再生能源配额制相关的指标将是有益的¹⁴。

¹¹ Karplus, V., Zhang, S., & Almond, D. (2018). "Quantifying coal power plant responses to tighter SO₂ emissions standards in China." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 7004-7009. <https://www.pnas.org/content/pnas/115/27/7004.full.pdf>

¹² Energy Innovation. (2022). *China's Emission Trading System Report Series*. <https://energyinnovation.org/publication/chinas-emission-trading-system-report-series/>. 关于协同设计电力市场和碳交易市场的讨论，可见睿博能源智库. (2020). 设计电力市场以最大化碳定价机制的有效性. <https://www.raonline.org/knowledge-center/designing-power-markets-to-maximize-the-effectiveness-of-carbon-pricing-cn/>

¹³ 清洁能源消纳目标是对各省制定的风电、光伏、水电利用率和弃电率的年度指标。历年指标可见国家发改委、国家能源局《清洁能源消纳行动计划(2018-2020年)》。

¹⁴ 可再生能源配额政策不仅在推动风电和太阳能投资方面发挥着作用，作为一种支持可再生能源并网和控制可再生能源弃电的机制，也非常重要。

第二章 实施“全国统一电力市场体系”的下一步工作

介绍及概述

在更大的地理范围内实时优化电网的供需，是促进系统稳定性的一种非常有效且低成本的方法。建立统一的电力市场有助于平滑风能和太阳能发电出力带来的可变性及不确定性，同时管理需求变化、火电厂意外停机、来水和其他因素带来的波动¹⁵。简而言之，统一的电力市场是促进系统稳定性、降低风险、加速碳达峰的重要战略部署。如今，全世界面临的一个挑战是，克服过小的行政边界（例如，以省为平衡区）给可再生能源并网带来的问题。

自2015年启动以“市场化改革”为“基本原则”的电力行业改革以来，中国政府在发展新的电力市场机制方面取得了重要进展，有助于提高效率和减少排放。2022年1月，国家发展改革委、国家能源局印发了关于继续推进市场化改革的重要设想——《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》（以下简称118号文）¹⁶，包括以下要求：

- “优化电力市场总体设计”；
- “建设“统一电力市场体系”，规范“统一交易规则和技术标准”；
- “破除市场壁垒”；
- 形成电力市场机制以“发挥电力市场对能源清洁低碳转型的支撑作用”。

118号文制定了宏伟的总体目标，要求“到2025年，全国统一电力市场体系初步建成，国家市场与省（区、市）/区域市场协同运行，电力中长期、现货、辅助服务市场一体化设计、联合运营。”然而，还有很多细节尚待完善，在实施的过程中也将面临诸多挑战。

本文为强化118号文提出的目标与愿景提供了分析和建议，以期对尚待完善的地方进行补充，并有效避免在实施时遇到陷阱。主要有五点总结：

1. 中国目前正在发展的多种电力市场机制有部分重叠，且各省的交易规则各不相同。我们建议通过优先实施统一的区域现货市场来简化这种复杂零散的市场现状。可以从比目前正在试点的省级现货市场更简化的设计开始（我们使用“统一的区域现货市场”一词，

¹⁵ Lin, J. et al. (2022). “Large balancing areas and dispersed renewable investment enhance grid flexibility in a renewable-dominant power system in China.” *iScience*, 25(2). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103749>. See also NRDC and RAP. (2017). *Renewable Energy Integration: U.S. Experience and Recommendations for China*. <https://www.raonline.org/knowledge-center/renewable-energy-integration-us-experience-and-recommendations-for-china/>. 美国形成区域市场所能带来效益的案例分析，见 Energy Innovation. (2020). *Economic And Clean Energy Benefits of Establishing a Southeast U.S. Competitive Wholesale Electricity Market*. <https://energyinnovation.org/publication/economic-and-clean-energy-benefits-of-establishing-a-southeast-u-s-competitive-wholesale-electricity-market/>

¹⁶ 国家发展和改革委员会、国家能源局. (2022). 关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见.

因为这可能是一个更实际的近期目标，当然，建立一个统一的全国现货市场将是一个更好的结果¹⁷。现货市场价格应取代煤电标杆上网电价机制，成为主要的发电补偿机制。在这种情况下，市场参与者可以（至少部分）通过金融中长期合同来对冲价格（见下文），以此来管理现货市场价格波动带来的影响。

2. 现货市场易受市场参与方或相关利益方的操纵或扭曲，早期市场设计也可能存在一些缺陷。这些问题可能会引起电力市场核心功能的损失：即揭示潜在的资源成本并支持经济调度。我们建议调度中心在相关部门的监督下（如，国家能源局区域能源监管分局），估算每个发电机组的运行成本，确保在真实运行成本的基础上优化调度¹⁸。

3. 118号文提出的“容量成本回收机制”应“保障电源固定成本回收”，可能有待进一步澄清。重要的是确保只有符合政策标准（包括空气质量标准），为满足系统可靠性所需要（正如科学规划过程中所确定的）且可利用的资源，才能够被允许回收固定成本。基于稀缺电价的方法，可能是为所需资源提供充足的补偿和激励灵活性更好的选择。

4. 中长期合同市场是此次电改的一个重要部分，也是促进燃煤发电企业竞争的合理步骤。然而，按照目前的结构，中长期合同的处理方法影响了灵活性。我们建议将其转变为金融（差价合同）模式，以更好地和现货市场相衔接。参照各电力市场的市场运营规则，我们发现有许多现货市场试点省份，例如广东、浙江、山东、四川、湖北、辽宁等，已经明确表明中长期合同仅有金融效力，不作为调度执行依据。这是十分重要的一大进展。中长期合同的金融化可以最大程度地发挥现货市场灵活调动资源的能力，助力中国达成减碳及可再生能源并网等目标。

5. 中国目前的跨省输电定价方式阻碍了跨省跨区交易，也阻碍了区域统一现货市场发挥其优势。我们建议放弃固定的每千瓦时输电价格，转向可以激励高效利用跨省输电线路的输电定价方法。

基于国际经验以及对中国的了解，我们就当前面临的挑战提供一些解决思路。市场设计和实施是一个多方面的话题，在此我们甄选出最需要优先关注的主题进行讨论¹⁹。

¹⁷ 本文的重点是实施统一的现货市场的益处，其地理范围远远大于单个省份。出于这个原因，拥有几个统一的区域现货市场或一个统一的全国现货市场都是有益的，而且就本章而言，鉴于关于统一市场的政策讨论还处于早期阶段，我们打算区分这两种结果的优点。更多关于协调相邻区域现货市场的挑战，可见睿博能源智库（2021）.区域电力市场的形成和协调。 <https://www.raonline.org/blog/rap-regional-market-coordination/>

¹⁸ 多年来，中国的分析人士一直在讨论调度中心是否应该独立于电网公司的问题。此处的核心原则是建立一个体制构架，使调度中心支持包括经济调度和可再生能源并网在内的政策目标。我们认为，只要有良好的监督和监管，独立或非独立的模式都可以很好地运作。更多的讨论可见Dupuy, M. et al. (2017). 电力消费、需求及竞争性市场中美合作：对广东、吉林、江苏和上海的试点的建议。 <https://www.ea-energyanalyse.dk/wp-content/uploads/2022/05/power-demand-consumption-competition-project-recommendations-report-final-CN45.pdf>

¹⁹ 关于美国电力市场设计的观点，可见 Aggarwal et al. (2019). *Wholesale Market Design for Rapid Decarbonization*. <https://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2019/07/Wholesale-Electricity-Market-Design-For-Rapid-Decarbonization.pdf>. 关于对中国现货市场设计的国际经验分享，可见睿博能源智库. (2020). “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。 https://www.raonline.org/knowledge-center/energy-revolution-power-sector-reform-insights-challenges-china-southern-grid-region-from-comparative-international-perspective_cn/

1. 优先实施初始设计简单的区域现货市场

118号文提到了几种中国不同地区正在发展的市场机制，包括中长期市场、调峰辅助服务市场、省级试点现货市场和跨省市场交易机制。此外，在跨区交易机制方面也取得了进展，比如国家电网于2021年发布的文件中就提到了“跨区现货交易”等。每一种市场机制，单独来看，都是朝着正确方向迈出的一步，但需要注意的是，不同机制的扩散会造成难以协调统一、各自为政的局面，而无法实现更大范围电力市场的优势和益处。在我们的理解中，118号文中关于统一区域和全国电力市场的很多讨论都针对中长期市场，而不是现货市场。然而，当前形式的中长期市场会影响系统的灵活性（会在之后的章节中讨论）。

我们建议将重点放在快速发展统一的区域现货市场上，也就是说，打破以省为边界，建立地理范畴比单个省更广泛的、统一的现货市场。现货市场可以实时促进更大区域内资源的灵活使用，当前应集中精力建立有实操性的统一多省的现货市场，而不必先为单个省份设计复杂的现货市场，然后再协调这些不同的省级市场。我们很高兴得知南方电网已经有了新的实施区域现货市场的工作计划——这将是一个重要的“试例”²⁰。此外，国家能源局在2022年12月也发布了重要文件《电力现货市场基本规则（征求意见稿）》以及《电力现货市场监管办法（征求意见稿）》。这两份文件作为各省电力市场规则的蓝图，有助于统一市场规则，形成全国统一电力市场²¹。

这些统一的区域（或全国）现货市场不需要像正在开展的省级现货市场试点那样复杂。由于省级现货市场借鉴了国际上（尤其是美国和欧洲）电力市场的例子，而这些例子反映了不同国家的历史和体制情况，有些可能过于复杂。另外，这些市场是在脱碳成为主要政策目标之前开始发展的。当然，从这些市场中可以汲取非常宝贵的教训和原则，但在设计中国市场时，选择适合中国特点和目标的方案是非常重要的。首先，我们建议，可以委任调度中心和电力交易中心做两方面工作：第一，为每个跨多省的区域电力市场实施一套统一的经济调度方法；第二，基于预估的系统边际成本，形成现货市场参考成本水平，加强对现货市场的监管（详见下一节关于“参考水平”的讨论）。在确保系统稳定性的同时，按照“循序渐进”的方式，随着各区域市场运行的成熟度提升而逐渐完善成更具竞争力的市场。接下来的部分将讨论一个重要的因素：如何确保市场在竞争不足的情况下也可以良好运行。

²⁰ 南方能源监管局会同云南、贵州能源监管办联合印发《2022年南方区域电力市场监管工作要点》

<https://shoudian.bjx.com.cn/html/20220311/1209550.shtml>. 对南方电网的现状给予积极评价，可见郭伯威，唐源源（2023）。全国统一电力市场体系率先在南方区域落地的意义何在。<https://www.21jingji.com/article/20230327/herald/07c24801d41feb6be2b70a81b1d678ee.html> 搜狐。（2021）。两部委发文扩大电力现货试点范围，引导新能源项目。https://www.sohu.com/a/465511973_441315. 呼鑫。（2023）。扎实推进长三角区域电力市场建设。<https://news.bjx.com.cn/html/20230317/1295214.shtml>

²¹ 睿博能源智库对这两份文件提出了一些建议，详见Dupuy, M, 高驰。（2022）。国际视野：对电力现货市场基本规则的建议。

<https://www.raonline.org/wp-content/uploads/2023/01/RAP-suggestions-to-spot-market-rule.pdf>

2. 确保现货市场揭示不同资源的真实边际成本价格

在世界各地，实施电力市场的一个关键原因是确保资源成本反映在每天和每小时的运行决策中。这对于可再生能源并网、降低成本、保持系统可靠性非常重要。理论上，高度竞争的现货市场会激励发电商以其真实运行成本的水平进行市场报价，从而揭示运行成本的重要信息。然后，调度中心根据信息来指导经济调度——也就是说，确保成本最低的机组被优先调度。

然而，在实践中，现货市场很容易受到竞争不足和市场操纵的影响，尤其可能会体现在中国现货市场的早期阶段。虽然对所有权集中度的静态指标（例如赫芬达尔-赫希曼指数）可能表明大多数省份和地区存在合理程度的竞争，但可能会重复出现输电阻塞情况，从而限制了一定地理区域内的充分竞争，使特定的发电公司能够操纵市场，扭曲调度决策。国务院国有资产监督管理委员会在西北地区（可能还有其他地区）重组了发电资产所有权，提升了这个问题的重要性²²。

为了确保电力市场在支持经济调度方面发挥良好作用，国际经验表明，有必要采取措施监测和减缓市场力的作用，比如，建立机制收集发电机组运行成本的信息。这对发电所有权高度集中的地区尤为重要。

118号文要求加强电力市场监管和科学监测，建立信息披露制度，具体需要采取哪些措施还有待相关部门给予明确指示。中央政府部门可以为监测体系制定指导方针，然后由地方政府设计和执行。或者，中央可以发挥更直接的作用，出台全国适用的统一详细规则。更具体地说，根据美国和欧盟的经验，我们总结了一些可供参考的指导方向²³：

- 概述估算“参考成本”水平的方法学和标准，反映出每一个发电机组估算的运行成本。
- 建立一个每年或每两年一次的行政程序，根据发电集团是否能通过结构性市场力评估，作为发电集团在给定的电力现货市场自由报价的前提条件。如果发电集团无法在任一年通过评估，那么随后它必须以与每个发电机组的估计参考成本挂钩的水平报价。
- 建立一套详细的市场力自动筛选和缓解机制。如果发电机组的报价没有通过市场力自动筛选，那么系统将自动调整报价到与该机组的参考成本相关的水平。在区域现货市场的初始“简化”设计中，所有发电机组的报价可与预估参考成本挂钩。

²² 关于西北地区煤电资产所有权整合和国资委政策的进一步探讨，可见睿博能源智库。(2021). 中国西北地区电力行业转型和煤电推出路线图：政策和监管策略。 <https://www.raponline.org/knowledge-center/rap-road-map-power-sector-transition-coal-generation-retirement-northwest-china-2021-may-cn/>

²³ 关于中国成本市场的讨论，详见Dupuy, M. et al. (2022). 电力现货市场风险管理：发电运行成本分析、电力现货市场监测、市场力筛选和减缓。 <https://www.raponline.org/knowledge-center/rap-spot-market-risk-management-final/>。基于成本的市场，并建议在秘鲁电力市场改革的早期阶段维持这一市场，见Wolak, F. (2021). *Transformation of the Peruvian Wholesale Electricity Market*. https://web.stanford.edu/group/twolak/cgi-bin/sites/default/files/report_wolak_June_2021_draft_0.pdf。对基于成本市场的批判性观点，见Munoz, F. et al. (2018). *Economic Inefficiencies of Cost-based Electricity Market Designs*. *The Energy Journal*. 10.5547/01956574.39.3.fmun. 需要注意的是，正如Munoz的报告所指出的那样，准确估算运行成本存在困难。然而，美国的经验表明，建立一个这样的框架是可能的，而在中国，现有的政策已经为这种结构奠定了基础。

- 要求每个电力现货市场建立一个独立的市场监管机构，明确其职责和作用。
- 在区域层面建立一套监管交易和确保透明度的治理体系，明确其职责和作用。

关于以上建议的更多解释和技术信息，可以参考我们的相关报告²⁴。

3. 严格限制支持发电机组固定成本回收的措施

118号文要求“各地区建立市场化的发电容量成本回收机制”，并允许“容量补偿机制、容量市场、稀缺电价”等多种选择。在国际上，容量电价和容量市场一直存在问题：它们支持了高排放和不灵活的发电资源，从而降低了市场效率，增加了消费者和社会的环境成本。以清洁能源为主导的新型能源系统需要一系列资源的支持，每一种资源都有能力提供量身定制的灵活性服务（见第四章）。基于稀缺定价的方法更适合于这种新型能源系统。也就是说，根据供需情况，随时间和地点波动的价格更适合在正确的时间给具备相应能力的资源予以奖励。

由于这些原因，在国际上，对容量电价的质疑与日俱增，而稀缺定价则受到更多的关注。在欧洲，2019年通过的“面向所有欧洲人的清洁能源”（Clean Energy for All Europeans）一揽子能源法案，要求任何容量补偿机制都必须是临时性的。此外，该政策还规定了在实施容量补偿机制前必须满足的一系列限制性要求。与此同时，一揽子政策重新将重点放在稀缺定价上，并强调其对实现系统可靠性的重要性。根据该政策，“为了支持这种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电价至关重要。”²⁵

出于相似的原因，基于稀缺性定价的方法也可能是中国的更优选择²⁶。然而，如果使用容量电价或容量市场，我们建议对容量机制的设计提出明确、谨慎和限制性条件。我们建议谨慎对待118号文提出的容量成本回收机制应“保证电源固定成本回收”的做法。比如，在双碳目标下，鉴于迫切需要淘汰低效和碳排放密集型资源，则不应保证过剩的、相对低效资源的固定成本回收。只有具备经济性、满足环境标准，为实现可靠性和灵活性所需

²⁴ 睿博能源智库. (2021). 电力现货市场风险管理备忘录：发电运行成本分析、电力现货市场监测、市场力筛选和减缓。

<https://www.raonline.org/knowledge-center/rap-spot-market-risk-management-final/> 以及，睿博能源智库. (2020). 美国电力市场监管镜鉴。 <https://www.raonline.org/knowledge-center/regulating-electricity-markets-experience-from-the-united-states-and-recommendations-for-china-cn/>

²⁵ 该政策还包括，任何价格上限应被提高，以允许形成稀缺定价。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>

²⁶ 有关稀缺定价的理论和国际实践，以及如何将其应用于南方电网地区的区域现货市场，可见睿博能源智库 (2020). “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。2a “以稀缺定价改善现货市场价格信号”。

<https://www.raonline.org/knowledge-center/energy-revolution-power-sector-reform-insights-challenges-china-southern-grid-region-from-comparative-international-perspective-cn/>

（在第三章中“规划流程2”所确定的），并在需要时持续证明可用的资源²⁷，才应被允许回收固定成本。2022年5月，国家发改委和国家能源局印发的《关于加快推进电力现货市场建设工作的通知》中认识到这些原则，并似乎限制了符合容量电价支付条件的资源范围²⁸。我们建议进一步澄清和强化这些原则。

精心设计的现货市场很可能揭示出某些发电机组不够经济。这是向前迈出的重要一步，也是实施电力市场的主要目标之一。按照市场力的作用，在短期有序退役不影响可靠性的前提下，应该允许不够经济的资产尽快退役。这类资产的所有者可能会试图以“搁浅资产”为由，争取一些补偿。由于国情不同，不同国家对此的处理方式也不尽相同，故不在本文探讨的范围内。然而，我们强调，保护这些不经济资产不受市场竞争的影响，并允许它们继续运行，是解决谁为资产的剩余会计价值买单的一种非常昂贵（而且对环境有害）的方法。在合理的可靠性考虑下，最好让这些机组尽快有序地退役。向这些在正常会计寿命结束前就退役的发电机组提供补偿，应该避免延长发电机组的运行寿命，也不应该鼓励对新的不必要资源进行投资。

在成熟的现货市场下，没有理由再将基于行政指导的标杆上网电价作为火电厂的补偿机制。扩大标杆上网电价的价格浮动范围是朝着正确方向迈出的重要一步，但我们建议取消煤电上网电价机制，改为采用现货市场。标杆上网电价虽然在控制电力价格大幅波动上有一定作用，然而部分地区（如东北）2021年的电荒揭示了这种价格调节机制导致了市场与计划的价格冲突，会损害系统可靠性以及市场产生理性投资信号的能力。正如在其他国家一样，包括零售商在内的市场参与者可以用中长期合同来缓解价格波动影响并规避风险。这样一来，较小的终端用户就可以不受电力批发市场价格波动的影响。

此外，在许多国家，政府都对即将退役发电厂的员工感到忧心。关于这个话题的详细讨论也超出了本文范围，不过我们注意到，一个普遍原则是通过直接的支持和再培训来帮助下岗职工，而非延长不经济的发电厂的寿命²⁹。

4. 完善中长期电力市场，为促进灵活性扫除障碍

目前处理中长期合同的方式有时会影响系统的灵活性，降低系统每日和每时的运行（调度）效率。这是由于物理合同往往提前一个月或一年签订，留给临近运行小时前的调

²⁷ 2022年，国家发改委发布了规则，要求发电企业不得隐瞒停产事由。国家发改委 (2022). 电力可靠性管理办法 (暂行). http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/25/content_5687101.htm

²⁸ “2022年底前，可先针对部分电源建立容量补偿机制，更好保障电力系统安全稳定运行”，国家发改委、国家能源局 (2022). 关于加快推进电力现货市场建设工作的通知. <https://www.163.com/dy/article/H6M5OPSC05509P99.html>

²⁹ 关于劳动力问题和电力行业转型对就业影响的估计，可见 Abhyankar, N. et al. (Forthcoming). *Achieving an 80% Carbon Free Electricity System in China by 2035*.

整空间很小。这种刚性执行的物理合同限制了输电能力的短期优化，而这对于波动性可再生能源发电并网至关重要。它限制了输电容量的使用，无法对有利的实时条件（包括天气的实时波动）加以利用。我们的理解是，调度中心参照中长期合同，有时会为满足个别火电发电机组签署的中长期合同中反映的每月或每年的运行时间而做出调度决策。这可能会导致偏离经济调度，即在任何时间内根据实际情况（比如天气）进行的最低成本调度。

以前，年度运行小时数是根据年度发电量计划进行分配的，现在转变为市场竞争下的月度或年度中长期合同。引入竞争是一个积极的发展，有助于提高火力发电机组的平均效率。然而，调度中心继续调整一些调度决策以满足中长期合同的做法并不高效，且会阻碍可再生能源并网。

一些省级现货市场试点³⁰和国家政策³¹已经表明，现有的中长期合同将过渡到金融性的差价合同。然而，118号文没有直接提出解决金融化合同问题的方案³²。

我们建议协调中长期市场和现货市场的最佳方式是转向金融合同的模式，同时依靠现货市场为运行决策提供价格信号³³。如何使中长期合同金融化？在开展现货市场的地区，中长期合同可以转化为对冲现货市场价格的金融合同（例如差价合同）。中长期合同将不再拥有特定交易路径的优先权，并且不会在签署合同时预留物理输电容量。与此同时，在需要更长时间才能开展现货市场的地区，中长期合同也可以转化为金融合同，可以通过参考根据现有可用资源的预估运行成本制定的行政分时上网电价来实现³⁴。

5. 完善输电定价，支持统一的区域市场和区域调度

输电定价的一个基本原则是，当电网情况因天气、电网堵塞或其他因素而变化时，它应该支持输电网的有效利用。在中国，大多数情况下，电力输入省份为输入每千瓦时电支付固定的（而非分时的）输电价格，这种输电定价的方法旨在回收跨省输电线路的全部（或大部分）成本。然而，它没有反映出输电使用中波动的潜在成本，对每笔电力交易单独支付输电费用可能对市场参与者之间的电力交易造成障碍，从而无法发挥统一区域市场的一些优势。

³⁰ 例如，见广东现货市场试点。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。(2018). 关于征求南方（以广东起步）电力现货市场系列规则意见的通知。

<http://nfi.nea.gov.cn/adminContent/initViewContent.do?pk=402881e56579be6301658d7123c2001a>

³¹ 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

³² 118号文件提出中长期和现货市场联合运营。“电力中长期、现货、辅助服务市场一体化设计、联合运营”，并要求“加强现货交易与放开优先发电计划、中长期交易的衔接”。

³³ 一些省份正在开展带曲线的中长期交易工作，通过允许更接近实时地调整发电机组，这可能能够缓解本节中讨论的问题。然而，这可能是一种太过于复杂的方法。

³⁴ 有关行政手段下的分时上网电价的讨论，见睿博能源智库。(2021). 分时上网电价：无现货市场省份的一种选择。

<https://www.raonline.org/blog/implementing-time-differentiated-pricing-for-generation-in-chinas-provinces-without-spot-markets/>

为什么说以每千瓦时的固定价格来回收跨省输电线路成本是低效的？这里可以用两个相邻省份的情况来举例说明：假定A省有充足的风力发电能力，而和它相邻的B省大部分是火电容量。想象一个特定的时刻，当A省的风力增强，B省的需求激增，并且有充足的输电能力来促进从A省到B省的电力流动。在这种情况下，减少B省火电机组出力，有利于A省的风力发电机组，将为两个省提供正的净收益（节约系统成本）。然而，固定的每千瓦时跨省输电收费可能会使A省风电的运行成本（接近于零）比B省的火电的运行成本**显得更昂贵**，即使在有大量的可用输电容量闲置的那个小时也是如此。这就可能会导致火电机组被调度，产生弃风，而输电能力未得到充分利用。这违背了区域经济调度的原则，也就是说在这种情况下，不应该调度火力发电机组，也不应该弃风。

新的跨省输电线路成本回收的方法，有助于解锁统一的区域（或者全国）电力市场所带来的效益。因此，作为一种便于实施的方法，我们建议，以月度为基础，将跨省区域输电线路的成本分摊到各区域内的省级电网公司，根据每家电网公司的电力消费在当月区域电力消费峰值中所占的比例来进行计算³⁵。每个省级电网公司将这些成本纳入终端用户支付的电价中，以此回收成本，最好作为零售分时电价的一部分，见第四章中的讨论）而每笔交易不再单独支付输电费用，从而增加现有输电资源的利用³⁶。

³⁵ 作为这种方法的扩展，可以单独计算大型终端用户所应负担的成本，根据每个大型终端用户对区域系统高峰用电需求的贡献，由其承担跨省输电线路成本的一部分。

³⁶ 现货市场定价机制来管理输电阻塞问题，也是合理化输电利用和输电成本分摊的重要部分。输电容量的间歇性阻塞是关键，实施输电阻塞定价在经济上是合理的，所以在区域电网的不同位置（节点）存在波动的每千瓦时电网阻塞成本。然而，来自阻塞定价的收入并不足以回收全部输电成本。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

第三章 实施透明的电力行业规划，支撑转型期间系统稳定性

介绍及概述

“科学”、透明和滚动的电力规划流程，以及详细的、对外发布的报告，可以令政府部门和其他利益相关方确信在转型期内，系统可靠性仍然可以保持在理想的水平。这样的规划流程可以为检查和调整机制打下基础，以确保电力系统的可靠性。在中国，包括电网公司和研究机构，都已经开展了详细的规划。本章重点提出两点补充：首先，我们建议更新2016年国家能源局发布的《电力规划管理办法》（以下简称《办法》），以统一各种规划流程、角色和职责并使其合理化³⁷。其次，中国现有的电力行业规划流程缺少足够详细的公开发表的报告。完善这些规划流程有助于：

- 评估电力行业转型期间的可靠性问题；
- 识别市场规则和市场设计的问题；
- 监督各电力行业机构和公司遵守政策指令和市场规则；
- 支持中共中央、国务院提出的“因地制宜为各类市场主体投资兴业营造良好生态”。³⁸
具体地说，我们建议修订《办法》监管框架，明确三种互为关联的规划流程：
 - **规划流程 1:** 每个区域（比如，现货市场覆盖的区域，或者电网管辖的区域）制定短期资源充足性评估过程，这将有助于管理季节性风险，也有助于澄清关于清洁能源转型对系统可靠性影响的争论。
 - 滚动周期：1 年
 - 发布报告频率：每季度/半年一次
 - **规划流程 2:** 完善中期规划流程来确定满足电力需求增长所需的最低成本的新资源组合。这可以建立在现有的电力行业五年规划的基础上，并可以作为一种测试，检验新的市场机制是否发出合理的投资信号。
 - 滚动周期：5-10 年
 - 发布报告频率：每年一次
 - **规划流程 3:** 完善具有长时间跨度和情景分析的输电规划流程，以检验实现清洁能源转型的不同长期途径。
 - 滚动周期：20 年以上
 - 发布报告频率：每 2 年一次

³⁷ 国家能源局. (2016). 电力规划管理办法. http://www.gov.cn/gongbao/content/2016/content_5145577.htm.

³⁸ 中共中央、国务院 (2022). 关于加快建设全国统一大市场的意见. http://www.gov.cn/zhengce/2022-04/10/content_5684385.htm.

我们建议三个规划流程以下列指导原则为基础：

- 发布有关模型假设和数据输入详细信息的报告，包括提供详细的数据供公众下载。这将促进市场参与者进行更多的分析，并支持利益相关方对规划情景的评估。
- 一个滚动的周期。比如，“规划流程 2”可以展望未来五年，并每年更新。比如，2023 年报告包括从 2023 年至 2028 年，2024 年报告则为 2024 年至 2029 年。
- 阐明政策和市场设计方案的多种情景，包括实现双碳目标的备选方案。
- 分析和展示概率性结果，而不是简单的点估计值。这将有助于（政策制定者、市场参与者和公众）更好地理解诸如电力需求和风电出力等关键变量可能出现结果的范围。
- 在规划中应该根据所有电力行业资源，包括分布式发电和需求侧资源（包括需求响应、虚拟电厂、能效措施和供热需求管理）能够提供的全部价值，在“公平竞争的基础上”进行评估。
- 将区域（而不是省）作为规划和报告的主要地理划分，这里的区域与现货市场区域相对应（见第二章）。撰写全国报告时，可以以各区域要素协调为基础。
- 报告及相关的方法应由政府部门（如，国家能源局）进行审批。当报告或规划过程被认定不足以满足修订后的《办法》要求时，该政府部门有权提出修改要求。

在本章的其余部分，我们将结合国际示例，为政府部门如何在修订后的《办法》中，定义和协调每个规划流程提出建议。我们会重点介绍“欧洲输电系统运行商合作协会——电力部门”（以下简称ENTSO-E）的经验，该协会作为整个欧洲大陆的规划机构，为欧洲在不同的时间跨度内进行资源充足性分析。协会的规划流程一直在发展，以便更好地支持清洁能源主导的电网。我们还会讨论美国在规划方面的经验，美国各州和地区的规划质量和综合性各不相同，但仍有一些有用的例子可以为中国全国范围内的规划流程提供参考。

规划流程1：短期资源充足性评估（季度或半年度报告）

随着电力行业的快速转型，政府部门和行业相关方仍可能会对保持系统可靠性存有疑问和担忧³⁹。在中国以及其他国家，一直都存在管理电力行业“紧张”和“松弛”时期的困难和争论。此外，各个政府部门如何协调相关决策细节，也面临着挑战，比如2021年出现电力短缺时的情况。尽管实施一个透明的资源充足性评估流程可能无法完全避免2021年的危机，但仍有助于协调并作出合理化的快速响应措施，包括需求侧管理和“有序用电”。这在事后对评估危机的教训和政策影响也很有用。例如，对外发布的、不同天气情景下对区域风电出力的预测分析，对于评价公众认为风电资源在危机期间“表现不佳”的说法非常

³⁹ 欲了解这个主题的更多讨论和美国经验的更多细节，详见睿博能源智库（2021）. 电力现货市场风险管理—资源充足性规划。
<https://www.raonline.org/knowledge-center/rap-resource-adequacy-planning-memo/>.

有用⁴⁰。简而言之，本节所述类型的规划流程可以极大地增强政府决策者、市场参与者和
其他利益相关者的信心，这有助于增加对电力系统状态的了解，为应对即将到来的季节性
挑战做出准备以及提出管控风险的政策方案。

在2023年2月，能源局发布了《关于完善电力系统运行方式分析制度 强化电力系统
运行安全风险管控的通知》，其中强调了各省级电网企业应每年开展年度电力系统运行
分析工作，通过迎峰度夏、迎峰度冬、以及年度运行方式分析，研判电力系统运行主要
风险⁴¹。这里所提到的“短期资源充足性评估”无论是发布频率、时间跨度、还是设计目标，
都和能源局提出的这些年度运行方式分析类似。接下来的这一小节介绍了这种短期分析
的国际经验。

在美国，被称为区域输电组织(以下简称RTO)的机构负责管理区域市场，大致类似于
中国正在发展的“现货”市场，RTO负责进行区域负荷预测和资源充足性评估⁴²。目前，这
些评估是基于备用容量研究，通常包括每季度或一年两次的分析和公开发表的报告，主要
针对三个主题：第一，当前备用容量的预估，第二，预测该地区的备用容量，第三，基于
可靠性目标设定目标备用容量水平⁴³。这些做法正受到关注，同时，由于清洁能源转型、
对更好地评估各种清洁能源全部价值的需要、不断变化的天气条件和其他因素，这些资源
充足性规划的方法也在不断发展⁴⁴。美国联邦能源管理委员会(以下简称FERC)负责监督
RTO作出的负荷预测和资源充足性规划，并授权北美电力可靠性公司(以下简称NERC)
制定电力可靠性标准。比如，NERC会对RTO作出的负荷预测进行审计和调查。

自2020年以来，ENTSO-E大幅升级了评估短期(例如，以季节为规划周期)资源充
足性的方法⁴⁵。最值得关注的是，季节性的资源充足性评估，已从基于确定性的每周简要
说明方法，转变为最先进的、连续的、每小时蒙特卡洛概率方法。“展望报告”是为夏季和
冬季准备的(即每年两次)，基于输电系统运行商(类似于中国的调度中心)和ENTSO-
E自己的“泛欧洲气候数据库”的详细数据输入，其中包括整个欧洲的光伏和风电每小时出
力的详细信息⁴⁶。每一份季节性展望报告都附有对前一季的回顾性总结分析。此外，每一

⁴⁰ 例如，在2021年德克萨斯州电力短缺之后，很多讨论和分析都集中在系统运行商在大停电之前发布的资源充足性报告中关于季节性情景的部分。这有助于集中讨论各种资源(包括风能)相对于预期的表现如何，详见睿博能源智库(2021). '德州大停电' 凸显了能源政策不同方面相互关联的属性。 <https://mp.weixin.qq.com/s/tfq0OS95Nkm498q7qJQHmQ>

⁴¹ 国家能源局.(2022).国家能源局综合司关于完善电力系统运行方式分析制度 强化电力系统运行安全风险管控的通知。 http://zfxxqk.nea.gov.cn/2023-02/17/c_1310700939.htm

⁴² “ISO”和“RTO”在美国几乎是同义词，所以在本文中，当描述这些美国ISO/RTO市场作为一个类别时，我们用RTO统一代表。

⁴³ 这个可靠性目标可以是一个负负荷预期目标，但也可以包括其他指标。

⁴⁴ 美国当前有关资源充足性规划的问题，详见 Stenclik, D. (2021). *Redefining Resource Adequacy for Modern Power Systems*. Energy Systems Integration Group. <https://www.esig.energy/reports-briefs>.

⁴⁵ ENTSO-E制定的方法与“面向所有欧洲人的清洁能源方案”，特别是“电力部门风险防范条例”(EU 2019/941)相一致，并已获得能源监管合作机构(ACER)的正式批准。

⁴⁶ 详见 <https://orbit.dtu.dk/en/projects/pan-european-climate-data>

份季节性报告，ENTSO-E的网站都提供了关于每小时系统需求、输电容量、水力条件、风力发电和其他输入的详细数据⁴⁷。

我们建议在《电力规划管理办法》以及2023年《关于完善电力系统运行方式分析制度 强化电力系统运行安全风险管控的通知》的基础上，进一步完善这种短期年度运行方式分析，并且未来可以考虑逐步扩大分析地理区域、打破省间壁垒，在更大的地理范围内进行分析（见第二章）。在修订后的政策框架下，区域电网公司、发电公司和研究机构将合作收集和分析数据，并撰写规划报告，然后由政府部门（如，国家能源局）审核批准，并在网上公布。中央和各区域能源监管部门将指导这一过程，以确保高质量的实施。如果做得好，这一流程将为季节性缺电问题提供早期预警，从而使政府部门能够采取快速反应措施（包括调整监管和市场规则）。通过此方法，短期资源充足性评估流程将对各区域的能源转型，以及实现2030年和2060年目标有很大帮助。

规划流程2：新资源的最低成本规划（年度或半年度报告）

建立合理的电力行业投资决策框架，可以为投资者选择正确的新能源组合，并以最低成本满足用电需求和政策目标，这是所有国家都面临的挑战。随着转型工作的开展，严谨的规划流程将有助于确定所需的新资源组合。这样的流程不仅应评估集中式发电资源，还应评估分布式能源资源，包括需求响应和能效——所有这些都应在一个公平的竞争环境中进行。这一流程还应考虑淘汰化石燃料资源以实现脱碳目标⁴⁸。

长期以来，中国的五年规划一直发挥着核心作用，为各种资源的投资（和淘汰）数量和类型提供高层指导。继续完善五年规划中的电力行业规划，并在针对特定资源的市场机制和直接刺激具体投资决策的激励政策之间进行统筹协调，是未来面临的挑战。幸运的是，2016年《办法》制定的原则，为实现这些工作奠定了基础。通过更加透明、详细和滚动的规划流程来支持五年规划中现有的电力行业规划将非常有用。同样，这应该是在区域层面实施。一个值得关注的问题是：考虑到所有资源，整个区域的总体最低成本（包括与排放相关的外部成本）的资源组合是什么？“所有资源”不仅意味着发电资源选项，还包括储能、需求响应和节能投资。

即使随着电力行业市场化的推进，这种资源规划仍然有用，市场定价在指导资源投资决策方面发挥着越来越大的作用。在日益市场化的电力系统中，资源规划将有助于为各

⁴⁷ 季节性报告及数据，可见 <https://www.entsoe.eu/outlooks/seasonal/>。

⁴⁸ 有关确定燃煤机组退役方法的讨论，Cui, R. et al. (2022). *A Decade of Action: A strategic approach to coal phase-down for China*. Center for Global Sustainability, University of Maryland, College Park, Maryland and California-China Climate Institute, Berkeley, California. <https://ccci.berkeley.edu/publications>. 也可以见睿博能源智库 (2021). 中国西北地区电力行业转型和煤电退出路线图：政策和监管策略，建议7：合理化识别需要淘汰的燃煤发电机组的过程。 <https://www.raponline.org/knowledge-center/rap-road-map-power-sector-transition-coal-generation-retirement-northwest-china-2021-may-cn/>

种市场参与者和投资者（包括需求方）设定长期预期。市场机制可以在激励投资（和淘汰过剩资源）方面发挥主导作用，而资源规划流程有助于决策者评估各种市场机制（包括电力市场以及任何针对特定资源的激励机制，例如储能和需求侧资源）是否以统一合理的方式运作，以及是否会对正确类型的资源——包括支持风能和太阳能发电的灵活资源——进行充分投资（灵活性资源对于支持以可再生能源为主导的电力行业至关重要，详见第四章）。

ENTSO-E年度报告需接受欧盟能源监管合作机构(以下简称ACER)的审查。ACER曾拒绝了 ENTSO-E 的第一份年度报告，部分原因是ACER认为该报告的方法“没有充分认识到需求响应的价值。” ENTSO-E 正努力在其 2022 年报告中弥补这些缺陷⁴⁹。

本节中描述的资源规划流程，可能会作出以下判断：为实现资源充足性需求而对新煤电机组的投资决策是相对昂贵的，也就是说，即使不考虑全部排放外部性成本（有关这些因素的更多讨论，见第四章中的文本框），相对于包括可变可再生能源、储能资源、需求响应和有针对性的节能措施等选项来说，投资新煤电更昂贵。

2019年，欧盟的“为所有欧洲人提供清洁能源一揽子计划”（一项能源政策法律框架），要求制定并概述中长期资源规划的流程。新规划流程伴随着年度发布的报告和详细数据。它横跨10年的时间跨度，并且为10年中的每一年都公布具体工作成果。ENTSO也公开发布了参考过的详细数据⁵⁰。

在这个框架下，情景设置是一个关键部分。正如 ENTSO-E 所说，“情景是应用于目标年份的，一组特定的假设和数据，并通过一组模型（方法）运行得到的结果以描绘未来。通过使用这些不同的情景，我们可以衡量某些政策、监管或经济措施的影响……”⁵¹所有假定的情景都必须与欧盟气候目标保持一致⁵²。通过这种方式，这些情景有助于考虑实现气候目标的替代途径。

这些情景基于能源行业的综合情况，包括对电力和天然气部门的综合分析。管理跨欧洲能源基础设施发展的政策规定要求 ENTSO-E 及相对应天然气的机构——欧洲输电系统运行商合作协会——天然气部门（以下简称ENTSO-G），协调、设置情景⁵³。基于定量分析，情景模型对各种未来情况进行了评估。例如，在2021年报告中设计了两种不同情景：有发电容量电价机制的欧盟电力市场，以及没有该容量电价机制的电力市场，并在

⁴⁹ ACER. (2022). *ACER Decides not Approve ENTSO-E's First Pan-European Resource Adequacy Assessment Due Shortcomings*. <https://www.acer.europa.eu/news-and-events/news/acer-decides-not-approve-entso-es-first-pan-european-resource-adequacy-assessment-due-shortcomings>

⁵⁰ ENTSO-E. (2021). *European Resource Adequacy Assessment 2021*. <https://www.entsoe.eu/outlooks/eraa/2021/eraa-downloads/>

⁵¹ ENTSO-E. (2021).

⁵² 该框架的一个基本特性是它以协调一致的方式执行。每个会员国都制定一个可靠性标准并进行国家评估。可靠性标准用国家认可的失负荷估算值表示。在欧盟层面，ENTSO-E的职责是准备资源充足性评估报告，ACER的职责是审批或提出修改要求。

⁵³ 这样，整个过程就包含了建筑采暖的综合分析。

两种情景下评估和比较了未来的可靠性水平。此外，其他情景评估了包括加速火电退役带来的影响。这些情景也构成了长期规划流程的分析基础（详见下节）。情景分析基于对风能、太阳能和水力发电（包括计划停电）的概率评估，并将依赖气候的消费模式纳入几个替代情景。该框架不是对资源充足性措施的点估计，而是计算概率，从而明确考虑了风险和不确定性⁵⁴。

美国的州级综合资源规划(IRP)的经验也可以为本节所推荐的规划流程类型提供有用的案例研究。在综合资源规划中，电力公司在州监管委员会的指导下制定了一项多年计划，确定了供给侧、需求侧和输电资源在内的最低成本资源组合，以满足能源服务的需求⁵⁵。这样，通过认识到终端能效的价值并将其视为与其他电源一样的资源，从而提高对终端能效的投资。对中国而言，美国有些地区的经验（比如加州，同时实施了综合资源规划和RTO电力市场），可能是一个有用的参考⁵⁶。

规划流程3：输电规划流程（双年度报告）

中国、欧盟和美国的电网规划者面临着类似的难题，即在一个庞大的系统中协调电网规划，以支持清洁能源转型。国家能源局提出了“推动跨省区输电通道建设，将跨省区外送电作为解决新能源消纳的重要手段”和“着力提升存量输电通道利用效率”的目标⁵⁷。正如第二章中所讨论的，在更大区域和国家范围内建设输电设施促进了系统平衡。合理的输电规划有助于支持可再生能源在区域和大洲电网的发展。

在欧盟，ENTSO-E负责的“欧洲长期电网规划流程”已成为欧洲大陆电网规划的国际领先范例⁵⁸。该电网规划流程旨在选择正确的电网投资，以最低成本来实现脱碳目标和能源转型，并且与电力市场统筹一致⁵⁹。ENTSO-E使用一种协调的、综合的输电规划方法，其中包括情景设置、潜在的新输电项目筛选，以及拟议新输电资产的“综合成本效益分析”(CBA)。这样做的目的是确保系统可靠性、保证电力供应并以尽可能低的成本支持更多的可再生能源并网。该输电规划的时间跨度为20-30年。

此流程规划了欧洲未来20到30年的输电发展，每两年更新一次，在有利益相关者参

⁵⁴ 这些措施是预计未服务的电量需求和失负荷的概率。

⁵⁵ 关于美国综合资源规划的详细内容，可见睿博能源智库，自然资源保护协会.(2017). 美国电力规划的经验 and 借鉴. <https://www.raonline.org/knowledge-center/power-sector-planning-us-experience-and-recommendations-for-china-cn/>. 以及睿博能源智库.(2014). 低碳电力行业监管：巴西，欧盟和美国的国际经验，2.3节：电力行业规划. <https://www.raonline.org/wp-content/uploads/2016/05/rap-lowcarbonpowersectorregulation-cn-2015-jan-12.pdf>

⁵⁶ 关于加州综合资源规划的详细内容，可见<https://www.cpuc.ca.gov/irp/>

⁵⁷ 国家能源局.(2021). 国家能源局公开第二轮中央生态环境保护督察整改方案. http://www.nea.gov.cn/2021-08/31/c_1310159647.htm

⁵⁸ ENTSO-E's 2022报告，可见 <https://2022.entsoe.eu/scenarios/#download>. 关于ENTSO-E 泛欧输电规划流程及对中国相关性讨论，可见中欧能源合作平台.(2021). ENTSO-E 电网规划模型中国演示. <http://www.ececp.eu/zh/entso-e-cn/>

⁵⁹ ENTSO-E方法旨在优化全欧洲的电网规划，以获得整体社会效益。ENTSO-E方法的一个关键是从输电规划的角度认识到市场将决定电网的使用。ENTSO-E方法的主要过程是情景构建、筛选和CBA项目评估。

与和公众听证会的公开过程中进行。最终方案必须得到ACER和欧盟委员会的批准。与其他ENTSO-E规划流程一样，详细的报告（关于情景模拟、结果和方法）和数据也会在网
上发布⁶⁰。

欧盟政策规定，“欧洲长期电网规划流程”（TYNDP）应帮助锁定对欧盟实现其气候和能源目标至关重要的基础设施项目。此类项目被称为欧洲“共同利益项目”，在该规划流程可能投资的一个整体清单内选出。例如，“2020年欧洲长期电网规划流程”包含58个“共同利益项目”，欧盟委员会负责从中筛选出一批。从“2020年欧洲长期电网规划流程”项目被选中成为“共同利益项目”的那一刻起，它将享受优惠待遇，例如，分配欧洲协调员，加快批准流程，以及可能从欧盟资金中获得财政支持⁶¹。

在美国，输电规划没有覆盖极大规模的区域，各区域规划流程也没有得到很好的整合，目前正在努力解决这些缺陷。2022年4月，FERC发布了要求改进区域和跨区域输电规划的草案，其中包括若干与欧盟规划流程的相似之处。FERC草案包括要求RTO制定改进的长期输电规划，受FERC监督，其中：

- 滚动规划以至少20年为时间跨度，每3年至少修订一次报告；
- 基于联邦和州的能源、气候和电气化目标等因素，对多个规划情景进行评估；
- 跨区域统筹协调；
- 提高规划过程的透明性，比如关于建模方法，假设和数据等额外信息的公布⁶²。

此外，美国能源部最近宣布，将制定和监管一项“国家输电规划研究”⁶³。最后，由RTO开展的现有的区域输电规划流程，尤其是在方法学的细节方面，也可以提供有益的参考⁶⁴。

我们建议可以修订2016年发布的《办法》，对统一的全国输电规划流程提出新的要求，规划时间跨度可以为20年或更长，并包含为检验实现清洁能源转型的不同长期路径而设置的情景，包括高比例电气化情景等；我们建议每隔一年更新一次详细的报告及情景，并附上详细的数据，类似于ENTSO-E的做法。这一透明的过程将显著改善中国目前的电网规划，以实现双碳目标，支持电力系统进一步消纳可再生能源，并保持系统可靠性。

⁶⁰ 详见。(2022). <https://tyndp.entsoe.eu/maps-data> .

⁶¹ 有关在美国建立全国输电规划必要性的讨论，详见ESIG。(2021). *Transmission Planning for 100% Clean Electricity*. <https://www.esig.energy/wp-content/uploads/2021/02/Transmission-Planning-White-Paper.pdf> For 有关 U.S. RTO 输电规划，见 ISO New England (n.d.) *Regional system plan*. <https://www.iso-ne.com/system-planning/system-plans-studies/rsp/>.

⁶² FERC. (2022). *Building for the Future Through Electric Regional Transmission Planning and Cost Allocation and Generator Interconnection*. Notice of Proposed Rulemaking. April 21. <https://www.federalregister.gov/documents/2022/05/04/2022-08973/building-for-the-future-through-electric-regional-transmission-planning-and-cost-allocation-and>

⁶³ 详见 <https://www.energy.gov/oe/national-transmission-planning-study> 以及 https://www.northerngrid.net/private-media/documents/NTP-Intro-Letter_12-06-21_DOE.pdf. 有关在美国建立全国输电规划流程必要性的讨论，详见 ESIG. (2021). *Transmission Planning for 100% Clean Electricity*. <https://www.esig.energy/wp-content/uploads/2021/02/Transmission-Planning-White-Paper.pdf>

⁶⁴ FERC. (2022). 提供了现有RTO规划流程的例子和讨论，此外，可见 Pfeifenberger, J. et al. (2021). *Transmission Planning for the 21st Century: Proven Practices that Increase Value and Reduce Costs*. https://www.brattle.com/wp-content/uploads/2021/10/2021-10-12-Brattle-GridStrategies-Transmission-Planning-Report_v2.pdf.

结论

本文提出了几条不成熟的建议，希望可以来日修订《办法》起到抛砖引玉的作用。这些建议有助于明确各种规划流程设定的性质和要求。鉴于定期更新规划报告执行起来十分复杂，我们建议政府部门（如，国家能源局）可以将各项规划研究的细节工作委派出去，但需保留批准规划方法和审查全国和区域定期报告的职责。如果没有达到规划流程中设定的标准，或者基本的模型假设和数据输入没有得到合理的解释，政府部门可拒绝报告并要求修订，且最好是在公开声明中对报告做出详细的回应。

第四章 解锁低成本方案以支持电力系统灵活性和可再生能源并网

介绍

高比例可再生能源并网是世界各地都持续面临的挑战。保持电力系统可靠性，需要管理在不同时间跨度上增加的可变性，这包括供需从短期（如秒、分钟和小时）到长期（如周、季节或更长）的波动。管理这种可变性需要识别、构建和协调具有合适特性的、成本有效的资源组合，以支持清洁能源为主的电力系统。这需要一套精心设计的政策——以及相关的市场机制、规划流程和监管措施。我们在之前的章节中探讨了规划和市场的相关方面，本章更详细地考虑这些图块如何互相作用以支持大规模可变可再生能源发电并网。

到目前为止，中国的电力系统已经在消纳快速增长的风能和太阳能方面取得了世界领先的进展。然而，正如其他国家一样，中国在电力系统脱碳的道路上还有很长的路要走。“1+N”系列文件意识到这些问题的重要性。在首先发布的两个“1+N”文件中号召“建立和运行新型电力系统，并提升电力系统综合调节能力”。这些文件简要地提出了在以下领域开展工作的必要性⁶⁵：

- 加强新型电力系统的顶层设计；
- 完善适应可再生能源局域深度利用和广域输送的电网体系；
- 健全适应新型电力系统的市场机制；
- 完善灵活性电源建设和运行机制；
- 完善电力需求响应机制；
- 探索区域电力交易，建立区域综合能源服务机制。

正如其他国家一样，中国在细化这些工作内容以及做出实施决策方面还有许多工作要做。建立于其他章节讨论的基础上，结合对中国现有政策的理解和对国际经验的总结分析，本章旨在为支持可变的可再生能源发电给出额外的建议。

背景：以系统性和友好的方式考虑灵活性资源

在保证电力系统可靠性的前提下，消纳大规模、高比例风能和太阳能发电，需要创新的电力系统结构和政策。然而，这些结构和政策不应该单独设计，最好能够在“系统

⁶⁵ 国家发展和改革委员会、国家能源局.(2022年).关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见.
https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202202/t20220210_1314511.html?code=&state=123

的思维”下进行统筹规划，协调统一。系统运行需要保证供需的实时平衡，而波动性和间歇性的可再生能源的增加，使得电力系统对系统灵活性的需求相应增加。这需要从短期（秒，分钟，小时）到长期（周，季节，或更长）的各个时间跨度上提升多种灵活性，以应对电力系统发生的变化和不确定性。为了更好地协调灵活性资源，以最低成本消纳可再生能源，同时保证系统可靠性，需要对整个电力系统进行统筹考虑。

在第二章中，我们讨论了完善电力市场发展，将重点放在可行的区域现货市场设计上，这对可再生能源并网来说非常重要。跨多个省份的区域现货市场能够促进可再生能源在更大范围内的消纳。另外，现货市场形成的随时间和地理位置变动的实时现货价格，也为电力系统的可用资源提供了稀缺性价格信号，为资源的灵活运行给予了经济激励。

中国在计划经济体制的影响下，长期以政府制定的固定标杆上网电价为基础，补偿发电资源，这种机制使得发电企业努力扩大运行小时数，而不是在系统供需紧张的关键时候运行。在可再生能源为主导的新型电力系统中，设计良好的、统一的现货市场能够在更大的地理范围内优化统筹多种灵活性资源，为包括储能和需求响应在内的灵活性资源提供充足激励，从而减少传统化石能源发电资源的使用、增加可再生能源并网并为系统提供可靠性。

在第三章中，我们讨论了对改善电力系统规划的建议，特别是需要开展周期性的资源充足性分析，最低成本资源规划，以及更完善的输电规划。我们强调了发表详细的规划报告的重要性，以增加电力规划的透明度和公众对能源转型的信心。尽早对灵活性进行合理的规划会避免系统出现紧急情况，或者避免选择成本高昂、低效污染的方式来提供灵活性（见以下方框）。关键步骤在于1）评估在目前系统结构和运行模式下，能够支撑可再生能源并网的现有灵活性和消纳更高比例可再生能源所需灵活性的差距。2）确定在未来一段时间，以最低成本解锁灵活性的方案，以及在必要的情况下，获取新的灵活性资源⁶⁶。

接下来，我们会在之前讨论的基础上，提出为支持高比例可再生能源并网的补充建议。

⁶⁶ IRENA. (Nov 2018). *Power system flexibility for the energy transition*. Flexibility in the planning process page 35-41. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Power_system_flexibility_1_2018.pdf?la=en&hash=72EC26336F127C7D51DF798CE19F477557CE9A82

需要新建燃煤发电支持可再生能源并网发电吗？

国际上，市场和规划机制不再选择新建煤电来满足电力系统的需要，有以下几点原因：

1. 太阳能和风力发电的成本大幅下降，现在接近或低于燃煤和燃气发电厂的**燃料成本**，这意味着建造新的太阳能和风力发电机组比运行现有的火电厂更便宜⁶⁷。一旦建成，使用风能和太阳能发电可以降低因运行现有火电厂而产生的燃料、排放和其他运营成本。

2. 即使是最灵活的燃煤电厂，由于最低出力水平、爬坡率以及启停程序的限制，对于提供短期（例如，按分钟或小时）灵活性的能力也有限。需求响应、储能资源和燃气发电通常能够以更低的成本更好地提供这些服务。如果适当的激励机制到位，需求响应可能具有很高的成本效益。

3. 现有资源正在转变角色以支持可再生能源。在许多国家，现有的燃气发电正在为提供灵活性发挥支持作用。这种商业模式可以在天然气价格高的情况下继续下去，因为燃气发电机起到了支撑作用，每年只在需要时运行几个小时。在美国的一些脱碳情景中，燃气发电在未来几十年以这种方式继续发挥作用，但预计将增加很少的产能。在这些情景中，现有的燃气发电厂稳步减少每年的天然气使用量，非常节省地消耗燃料来支持以可再生能源为主导的电力系统⁶⁸。

4. 在可再生能源渗透率非常高的电力系统中，最终将需要适量的“清洁可靠”的资源，以在天气不利于可再生能源发电的期间支持系统可靠性。关于发挥这一作用的最具成本效益的资源仍然存在争议。配备碳捕获和封存设备的火电或利用绿氢发电的资源可能发挥一部分的作用。无论如何，很明显没有必要立即建设大规模火电资源来满足这一需求⁶⁹。

5. 与气候变化和空气污染相关的外部成本越来越多地被相关机制内部化，从排放市场到监管措施，各国根据各自情况有不同程度的差别。

⁶⁷ 有关美国相关发电成本的信息，见 Gimon, E. et al. (2021). *The Coal Cost Crossover 2.0*. <https://energyinnovation.org/publication/the-coal-cost-crossover-2021/> and Bolinger et al. (2021). *Utility-Scale Solar, 2021 Edition*.

https://emp.lbl.gov/sites/default/files/utility_scale_solar_2021_edition_slides.pdf. 国际上关于成本的预计，见 Runyon, J. (2021). *New solar is cheaper to build than to run existing coal plants in China, India and most of Europe*. Renewable Energy World. <https://www.renewableenergyworld.com/solar/report-its-now-cheaper-to-build-new-solar-than-to-run-existing-coal-plants-in-china-india-and-most-of-europe/#gref>

⁶⁸ 例如，在美国的一组备受瞩目的 2050 年净零路径情景中，大多数净零情景认为燃气容量保持大致不变，但燃料使用量下降，因为该容量用于支持风能和太阳能。在其中一种情景中，预计到 2050 年燃气发电量将增加约 580 吉瓦，这些发电厂的天然气消耗量将稳步下降。在所有净零情景中，2050 年电力行业使用的剩余气体燃料要么是氢气，要么是伴随着碳捕获和封存设备。见 *Pillar 2: Clean electricity* on p.87-88, *Clean firm resources and thermal plant retirements* on p. 150-152, 以及有关氢能使用的讨论，Larson, E. et al. (2021). *Net-Zero America: Potential Pathways, Infrastructure, and Impacts*, on p. 178. Final report, Princeton University, 29 October 2021. <https://netzeroamerica.princeton.edu>.

⁶⁹ Long, J. et al. (2021). *California needs clean firm power, and so does the rest of the world*. <https://www.edf.org/sites/default/files/documents/SB100%20clean%20firm%20power%20report%20plus%20SI.pdf>

就中国而言，这些因素中有许多（可能是全部）也是相关的。因此，本报告讨论的电力行业改革可能会找到比新建煤电更好的解决方案，以支持可再生能源不断增加的电网。也就是说，通过第二章、第三章中所建议的市场和规划机制判断，新煤炭发电的投资相对昂贵——相对于其他资源组合，包括可变可再生能源、储能资源、需求响应和有针对性的节能措施——即使在不考虑全部排放成本的情况下依然相对昂贵⁷⁰。这些机制也可能会拒绝新建更高效的燃煤电厂对老旧燃煤电厂“减量替代”的提议。国内外一些研究发现，新建燃煤发电不太可能是满足中国电力系统需求的最佳解决方案⁷¹。检验这些发现的一个好方法是在功能齐全的、统一的区域（或全国）现货市场假设下，开展并公布最低成本的资源规划研究（“规划流程2”）。

实施和改进分时零售电价

良好设计的分时电价机制能够激励用户通过调节负荷为电力系统提供灵活性并降低用电成本。2021年7月，国家发改委发布了一项重要的通知，将中国推到了实施分时电价的前沿。《关于进一步完善分时电价的通知》扩大了分时电价的实施范围，要求几乎所有的用户都严格执行分时电价⁷²。截止本文撰稿时，已经有30个省出台了新的分时电价政策，但仍有必要重新审查和不断完善这些省级分时电价政策。

基于对这些政策的理解，我们建议相关政府部门进一步明确分时电价的设计和实施细则⁷³：

- 确保所有电力系统成本，包括边际发电、输配电和排放成本，都应该反映在分时电价设计中。理想的情况下，电价应该反映多个成本组成，这些成本会根据供需和其他条件发生明显的变化。2021年7月的文件并没有明确解决这一问题⁷⁴。
- 说明在放开零售市场的背景下实施分时电价的途径。各省零售竞争发展的程度和特性各不相同，这就对如何促进分时电价提出了具有挑战性的问题。国家相关部门应该在这一方面给出更多的指导。例如，规定所有零售公司都需要满足一定比例的用户来实施分时电价套餐，并由省级相关部门对电价套餐的质量和设计进行监管。欧盟的一些

⁷⁰ 支持这一观点的量化分析，见Abhyankar, N. et al. (forthcoming). *Achieving an 80% Carbon Free Electricity System in China by 2035*.

⁷¹ See Lin, J. et al. (2022). "Large balancing areas and dispersed renewable investment enhance grid flexibility in a renewable-dominant power system in China." *iScience*, 25(2). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103749>. See also Lu, H. et al. (2019). "Reducing wind power curtailment in China: comparing the roles of coal power flexibility and improved dispatch." *Climate Policy*, 19(5). <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1546164>

⁷² 国家发展和改革委员会.(2021). 关于进一步完善分时电价机制的通知. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/29/content_5628297.htm

⁷³ 睿博能源智库(2021). 为电力用户实施分时零售电价的国际视野和几点建议. https://www.raponline.org/knowledge-center/rap_time-varying-pricing_cn/

⁷⁴ 睿博能源智库(2022). 制定配电系统分时电价：支持系统灵活性，实现低成本电气化. <https://www.raponline.org/knowledge-center/implementation-and-refinement-of-tou-electricity-pricing/>

成员国零售竞争比例已经很高，也都在制定相关法规，要求大型零售商提供高质量的分时电价套餐。中国可借鉴此方面经验⁷⁵。

- 可以在目前分时电价基础上，建立试点，测试更为动态的分时电价模式。虽然分时电价对于解锁灵活性很有帮助，动态的尖峰电价和实时电价有潜力更充分地挖掘在较短时间内需求侧的灵活调节能力。

需求侧资源参与电力现货市场

伴随着建筑、交通和工业领域的电气化进程，多种形式的需求侧资源，由于其技术潜力巨大，经济成本低，是提供灵活性的绝佳来源。如果运营得当，正如传统的发电厂一样，这些灵活性电气化终端可以为电力系统提供包括容量、电量和辅助服务，而且能够以更低的成本和零排放实现。事实上，1+N政策系列承诺要发展“虚拟电厂”，根据我们的理解也就是分布式和需求侧资源的组合。关键是要为虚拟电厂以及其他分布式资源组合建立参与电力市场的模式，从而允许他们直接参与新的电力现货市场，以识别、认定和合理补偿这些资源为系统所能带来的各种服务的全部价值。除了传统意义上的“削峰”，即在系统紧张状态下减少负荷，虚拟电厂以及需求响应还能够在不同时间跨度上改变能源使用的日常形态，包括超短时逐秒调节来支持系统稳定性⁷⁶。

目前在中国，一些地方政策中越来越多地支持用户侧可调负荷资源、储能、分布式发电、新能源汽车等新型市场主体参与现货市场交易，并制定了相关细则。然而，在具体的实践中，依然存在市场准入门槛过高，未能与传统发电资源公平竞争，以及补偿不足等问题。无论是否在现货市场条件下，需求响应，虚拟电厂等资源主要用于缓解系统紧张状况（例如迎峰度夏，冬季保电）单独开展，而未能常态化参与电能量与辅助服务市场，也没有机会根据对系统所提供服务的全部价值而获得相应的补偿。另外，一些用户表示参与现货市场“划不来”⁷⁷，其中的部分原因是现货市场价格形成的设计并不理想，正如第二章中讨论的。这些价格形成的问题包括制定严格的价格上限，从而降低了在对系统最有价值的的时间和地点——本来也是利用这些资源的最佳时机——提供灵活性服务的动力⁷⁸。这也是为什么要在现货市场中实施“稀缺性电价”的另一个重要原因。

⁷⁵ 睿博能源智库正在撰写有关分时电价的欧洲经验讨论，将在今后的文章中为大家呈现。

⁷⁶ 对于需求响应可以提供的一系列服务的描述以及解释，见“shedding, shifting, shaping, and shimmying”. Lawrence Berkeley National Laboratory (2017).

2025 California Demand Response Potential Study - Charting California's Demand Response Future: Final Report on Phase 2. Results Retrieved from: <https://buildings.lbl.gov/publications/2025-california-demand-response>

⁷⁷ 广东省在为包括虚拟电厂在内的需求侧资源制定现货市场参与模式方面处于领先地位，并为此发布了修订版的政策。
https://mp.weixin.qq.com/s/Diq9HA_e01Kk-qV0_wwHDQ

⁷⁸ 在电力市场竞争不足时制定电价上限是一个合理的政策，这可能是许多省存在的情况。然而市场监测和市场力减缓措施为应对竞争不足很可能是更好的方法，并且能够支持清晰的稀缺价格信号。见第二章和引用的相关文献。

其他国家关于这些问题也有很多相关的讨论，例如：

- 2020年，FERC发布了一项指令，要求美国区域电力市场制定参与模式，允许分布式能源资源，包括需求响应，以直接或者聚合的形式参与任何一个批发市场的细分市场⁷⁹。
- 类似地，2019年的欧洲法令要求监管机构明确向需求响应开放所有电力市场，作为“以最具竞争力的价格确保电力供应”的部分举措，并通过清洁能源一揽子法案为欧洲成员国制定了实施需求响应的共同框架⁸⁰。
- 2019年，澳大利亚能源市场运行商（AEMO）开始开展虚拟电厂示范项目。到2022年，虚拟电厂容量已经可以满足大约30%澳大利亚对短期灵活性服务的需求。

然而，在这些国家，实施的细节仍在不断完善，确保在市场和规划流程中，认定和合理补偿分布式能源资源的全部价值等方面还有许多工作要做。这样可以允许分布式能源资源为传统的集中式资源提供成本有效的替代方案，从而减少系统成本。

完善储能的支持政策

储能在支持能源转型以实现双碳目标方面非常有价值。在中国，现有的政策法规已经成功地激励了储能行业降低成本、提高运行绩效，我们希望政府部门在此成功的基础上再接再厉。实施新现货电力市场的持续努力对此非常重要（见第二章）。国家能源局2022年5月发布的储能政策，明确授权储能参与电力中长期市场、现货市场和辅助服务市场，无论是与传统发电机组结合还是作为独立实体⁸¹。下一步，还需要进一步的细节说明有关现货市场如何识别各种储能资源的技术特性，并根据这些资源可以为系统提供服务的价值对其进行奖励。国家能源局已责成地方当局制定实施计划，其中可能会包括最低阈值、充电状态、放电/充电限制等具体要求。自2018年以来，在FERC的监督下，美国RTO市场一直在进行相似的工作，这一过程可供中国作为有用参考⁸²。最终，市场驱动的方法可能是协调和激励各种资源以提供最有价值的系统服务的理想方式。同时，我们仍建议慎

⁷⁹ 美国联邦能源监管委员会第2222号令 <https://ferc.gov/media/ferc-order-no-2222-fact-sheet#:~:text=FERC%20Order%20No.%202222%20will%20help%20usher%20in,ancillary%20services%20markets%20run%20by%20regional%20grid%20operators> .

⁸⁰ Article 13 of European Directive 2019/944. 更多讨论，见 Meus, L. and Nouicer, A. (2018). *The EU Clean Energy Package*. https://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/57264/RSCAS_2018_TechnicalReport.pdf?sequence=1%20&%20isAllowed=y . Demand response for Europe. <https://dr4eu.org/memos/>

⁸¹ 国家发展和改革委员会、国家能源局.(2022). 关于进一步推动新型储能参与市场和调度运用的通知. https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/tz/202206/t20220607_1326854.html?code=&state=123

⁸² 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？ <https://www.raonline.org/blog/can-storage-resources-compete-directly-spot-markets-view-us-cn/>

重设计配套措施，并与其他现有市场机制相协调⁸³。

- 中央政府正在探索通过输配电价来回收作为传统输配电资产替代方案的新储能设施的成本⁸⁴。我们建议应采取基于技术、经济和环境指标的科学评估（参见第三章规划流程 2 和 3）。只有调节能力强、性价比高的储能才能被允许完全回收成本。
- 对任何资源（无论储能、传统发电还是其他资源）的任何容量支付都应该给予由最低成本资源规划流程确定的、为满足可靠性或灵活性目的所需的资源。
- 区域现货市场和辅助服务市场需要相互协调、共同优化。原则上，市场设计应允许所有有能力的资源公平竞争，并保证利益/成本在所有参与者之间共享。

总结

电力系统的灵活性对于以可再生能源为主的新型电力系统至关重要。所有具有脱碳目标的国家都面临着协调可靠且具有成本效益的资源组合以支持电网脱碳的挑战。控制电气化成本和支持可再生能源并网取决于电力行业改革是否能解锁电气化终端成本有效的灵活性。中国已成为电气化诸多领域的世界领导者——尤其是交通电气化，而且越来越多地实现建筑电气化。现在，中国有潜力在改变电气化终端与电网的互动方式所需的电力行业改革方面成为世界领导者。最近的政策声明，包括关于扩大分时电价和发展虚拟电厂的承诺，都非常积极。我们建议下一步工作可考虑完善分时电价，并从需求响应和虚拟电厂可以向电网提供的灵活性服务中提取更多价值，而不只局限于应对电力系统的紧急情况。此外，需要将各种储能支持政策与现有的市场规则和结构相协调，确保为所有灵活资源构建一个公平竞争的环境。

可能会遇到的挑战之一，是如何促进电力现货批发市场价格的合理形成。正如第二章中所讨论的，根据“稀缺定价”原则设计的现货市场将发送更好的信号，从而为灵活的资源，例如需求响应、储能和虚拟电厂提供合理的补偿，以便在系统最需要的时间和地点运行。严格的价格上限和为传统火力发电机组支付容量电价或者固定标杆上网电价与解锁需求侧的灵活性所做的努力背道而驰。同样，如第三章中所述，规划流程需要仔细分析分布式资源的价值和成本。

⁸³ 更多有关储能问题的讨论，见睿博能源智库。(2020). “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，第二章b节，https://www.raponline.org/knowledge-center/energy-revolution-power-sector-reform-insights-challenges-china-southern-grid-region-from-comparative-international-perspective_cn/

⁸⁴ 国家发展和改革委员会、国家能源局.(2022). 关于印发《“十四五”新型储能发展实施方案》的通知。https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202203/t20220321_1319773.html?code=&state=123

第五章 在电力行业改革中落实“节约优先”原则

介绍

中共中央、国务院发布的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》（下称《意见》）中强调，“把节约能源资源放在首位”，这对于支持电力行业关键目标起到了非常重要的作用：通过管理需求增长促进系统稳定性，通过降低能源输入提高能源安全性，并且降低系统成本及排放。如果将节约能源资源放在“首位”，那么在设计市场、规划以及其他影响电力行业投资决策等机制时，就应认真考虑节能⁸⁵。如何将这一点和电力行业规划、市场、以及电改的方方面面结合起来是一个关键问题。欧盟有相似的情况，欧盟于 2015 年发布了“能效第一”原则，现已成为欧盟法律的一部分（详见下面文本框）。中国可以通过多种方式超越欧盟，以确保在电力行业以高效方式实现高水平目标。本章中，为了确保“节约优先”的原则在电力行业得到全面应用，我们为电力行业政策制定者提供一些搭建政策框架的建议。

⁸⁵ 终端能效是一种潜力巨大的资源，其中最引人注目的一点是，即使获得的节能量在不断增加，其成本仍然很低。这是因为由于技术进步和制造成本的降低，不断会有提高能效的空间。在过去的几十年中，分析人员多次发现这种现象，详见 Neme, C. et al. (2016). *The Next Quantum Leap in Efficiency: 30 Percent Electric Savings in Ten Years*. Appendix A. <https://www.raonline.org/knowledge-center/the-next-quantum-leap-in-efficiency-30-percent-electric-savings-in-ten-years/>

欧盟“能效第一”原则及欧盟的电力行业

2015年，欧盟开始正式采用“能效第一”原则⁸⁶。考虑到能效巨大的经济和环境效益，该原则在之前的欧盟政策基础上，强调了能效的重要性⁸⁷。分析表明，有大量具有成本效益的能效资源有待开发，因此，通过最低成本路径实现欧盟到本世纪中叶温室气体减排80%目标，就需要在2005年—2050年间降低35%的一次能源需求⁸⁸。

欧盟成员国的节能成就各不相同，欧盟正在采取额外的措施来强化该法案的执行。2018年，欧盟整体就2030年的能效目标达成一致⁸⁹。目前，和中国一样，欧盟已承诺实现气候中性目标，并正在修改能效立法，为2030年定下了更为雄心勃勃的目标，包括要求成员国实现双倍节能量的目标等⁹⁰。

“能效第一”原则对于欧盟的电力行业意味着什么？几个重要的政策法规正在制定中（我们会在下面做进一步探讨），包括：

- 1) 要求电网公司寻找机会，以终端能效投资取代传统电网投资；
- 2) 允许聚合的终端能效资源（类似于中国的“能效电厂”）参与电力市场。

与此同时，一些成员国已经实施并逐步增加了对电网公司的“能效义务”规模。这些政策为电网公司投资终端能效设定了强制性的年度目标⁹¹。然而，要实施这些政策并确保能效真正成为欧盟电力行业的首要资源，还有很多工作要做。

提高电网公司需求侧管理指标

美国、欧盟以及其他地区在要求电网公司投资终端能效上，已经积累了数十年的经验⁹²。其核心理念是，相对于投资电力行业供应侧，例如新建发电厂和扩张电网，能效是具备高成本效益的替代方案⁹³。

⁸⁶ European Commission. (2021). *Energy efficiency first principle*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first-principle_en

⁸⁷ Economidou, M. et al. (2020). *Review of 50 years of EU energy efficiency policies for buildings*. Energy and Buildings. Volume 225, Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820317229>.

⁸⁸ European Climate Foundation. (14 June 2016). *Efficiency First: A New Paradigm for the European Energy System*. <https://www.raonline.org/knowledge-center/efficiency-first-new-paradigm-european-energy-system/>

⁸⁹ 2018年修订后的能效指令: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>.

⁹⁰ 更多信息可参见欧盟网站: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en.

⁹¹ Santini, M., Thomas, S. (2020). *Article 7 of the Energy Efficiency Directive 3.0*, text box 'About article 7', https://www.raonline.org/wp-content/uploads/2020/11/rap-Article7_policy_brief_251120.pdf.

⁹² 本章中，我们统一将“节能”，“能效”，“节能量”视为相同意义。

⁹³ 睿博能源智库. (2014). 将能效作为中国电力行业的一项资源. <https://www.raonline.org/knowledge-center/energy-efficiency-as-a-resource-for-the-power-sector-in-china-cn/>

2010年，中国发布了《电力需求侧管理办法》（以下简称《办法》）⁹⁴，首次提出了要求电网公司原则上不低于售电营业区内上年售电量0.3%、最大用电负荷0.3%的电力电量节能指标⁹⁵。2017年，六部委联合发布《电力需求侧管理办法（修订版）》，然而，对于电网公司的能效指标未做变动。国际领先地区要求电网公司的能效义务指标为年度销售电量的2.5%及以上，甚至更多。比如，近年来美国马萨诸塞州设定的目标是实现约2.7%的年度节能量，并且已经成功达标⁹⁶。《电力需求侧管理办法（修订版）》于2017年生效，有效期五年，这意味着新一轮的修订工作可能即将开始，我们建议在此轮修订中提高电网公司的能效义务指标，以便在该政策成功的基础上再接再厉。这可以和电网公司支持交通和建筑电气化的工作相挂钩（见下文）。出于这个原因，允许电网公司将取代天然气和其他燃料所产生的节能量计入能效指标是有益的。

为电网公司采用“非电网替代方案”制定要求和规则

“非电网替代方案”指的是在某些情况下，利用技术和其他干预措施，替代或者降低传统输配电网投资的需求。投资节能项目可以起到“非电网替代方案”的作用，比如，针对造成某地区高峰需求的低效用电采取节能措施，就可以避免为了满足用电高峰需求去升级电网。世界各地的政府已经为发现和挖掘能够节约成本的“非电网替代方案”机会制定了框架⁹⁷。

在欧盟，《电力指令》（Electricity Directive）要求配电网计划“提供所需的中长期灵活性服务的透明度……（并且）将配电系统运营商正在使用的需求响应、能效、储能设施或其他资源，作为系统扩张的替代方案”（第32[3]条；着重部分由作者标明）⁹⁸。

中国政府部门可以考虑发布一项政策，同样要求电网公司明确、透明地考虑“非电网替代方案”，理想情况下，可作为第三章中所描述的“规划流程2”的一部分。鉴于当前对虚拟电厂（下文会进一步讨论）的支持，我们建议这项政策可被称为“虚拟输配电资产”。该政策可以要求电网公司在设置规划情景和做出有关新投资的决策时，以常规、透明和公平

⁹⁴ 中国国家发展和改革委员会(2010) 关于印发《电力需求侧管理办法》的通知(发改运行[2010]2643)。2017年中国发布了《电力需求侧管理办法（修订版）》，但并未提高该指标。发改运行规〔2017〕1690号《关于深入推进供给侧结构性改革做好新形势下电力需求侧管理工作的通知》。http://www.gov.cn/xinwen/2017-09/26/content_5227721.htm

⁹⁵ 睿博能源智库。(2014)。将能效作为中国电力行业的一项资源。<https://www.raponline.org/knowledge-center/energy-efficiency-as-a-resource-for-the-power-sector-in-china-cn/>

⁹⁶ ACEEE.(2019 May). *State Energy Efficiency Resource Standards*. <https://www.aceee.org/sites/default/files/state-eers-0519.pdf>
<https://www.aceee.org/sites/default/files/pdfs/u2201.pdf>.

⁹⁷ For an international survey, see The Regulatory Assistance Project (2020). *Rewarding Energy Efficiency for Energy System Services Through Markets: Opportunities and Challenges in Europe*. https://www.researchgate.net/publication/339032491_Rewarding_energy_efficiency_for_energy_system_services_through_markets_Opportunities_and_challenges_in_Europe

⁹⁸ EU Electricity Directive. (2019). *Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019*. http://publications.europa.eu/resource/cellar/8594f013-8e7c-11e9-9369-01aa75ed71a1.0006.03/DOC_1

的方式考虑“非电网替代方案”。这样一个“非电网替代方案”框架将为所有资源方案提供公平的竞争环境。它应该考虑不同资源的总社会成本，包括与温室气体排放和健康影响相关的成本；这个框架应该足够详细，电网公司可以用它来指导日常决策；应该详细说明成本效益分析的方法，比如应包含哪些成本和效益。每个需求侧措施都应按照整个生命周期内产生的收益获得补偿。理想情况下，这应该包括避免的排放成本和避免与空气污染相关的健康成本。

明确“煤改电”是建筑物改造重点

在世界范围内，电气化与节能密切相关。将消耗化石燃料的终端用途电气化——尤其是在交通和建筑领域——显著降低了整体能源消耗、成本和排放。终端用途的电气化有助于实现需求侧灵活性，这在可变可再生能源发电渗透率高的系统中至关重要。中国已经在电气化的一些领域领先世界，尤其是交通电气化。部分原因是，电网公司投资电动汽车充电基础设施为交通电气化提供了支持。

建筑的电气化潜力也是巨大的。我们认为，用天然气代替煤炭取暖并不是使用相对稀缺的天然气的最佳方式，也不符合脱碳目标。首要考虑的应该是煤改电。的确，“1+N”系列文件似乎强调了煤改电。明确电气化是供暖政策的重点是有益的。除了显著减少排放外，它还有一个额外的好处，就是让有限的天然气资源用于更有价值的用途——尤其是，在没有足够的清洁能源替代品（或碳捕获）来满足系统灵活性需求之前，燃气发电可以作为帮助可再生能源并网的灵活性资源。

统筹协调投资虚拟电厂和能效电厂

如第四章中讨论的那样，“1+N”系列文件承诺发展虚拟电厂，按照我们的理解，像其他国家一样，虚拟电厂是需求侧和其他分布式资源的集合。在《“十四五”现代能源体系规划》中，中国提出了“电力需求侧响应能力达到最大用电负荷的3%~5%”的目标⁹⁹。

虽然虚拟电厂概念的核心是提供系统灵活性，但节能可以经济有效地减少对灵活性的需求，对虚拟电厂是一种补充。也就是说，以类似于“非电网替代方案”的方式，通过对有针对性的终端用途能效进行投资，节能可以帮助避免对额外灵活性资源的需求。中国电力行业已经成功发展了通过提高效率获得节能量的虚拟电厂，被称为“能效电厂”——能效项目的节能量折射出、并且可以替代电力行业传统电源的出力。能效电厂于2000年代中

⁹⁹ 国家发展改革委、国家能源局.(2022). 关于印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知.
https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/ghwb/202203/t20220322_1320016.html?code=&state=123

后期在广州首次“建成”¹⁰⁰。统筹考虑虚拟电厂和能效电厂——甚至将这两个概念合并——将是支持电力行业“把节约能源资源放在首位”原则的有用政策。

更新五年规划期间的单位GDP能耗和排放指标

“1+N”系列文件和《国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》（即“十四五”规划纲要）都制定了积极的目标，即到2030年降低单位国内生产总值能源消耗和二氧化碳排放并达到碳排放峰值。第一，2020-2025年期间，单位GDP二氧化碳排放降低18%（吨二氧化碳当量/单位GDP），单位GDP能耗降低13.5%。第二，到2025年非化石能源占能源消费比重达到20%。第三，到2030年非化石能源消费比重达到25%¹⁰¹。如果可以实现这些目标，2030年单位GDP能耗（Btus/单位GDP）将比2005年降低65%。同时，还提出2030年的子目标，计划风电和太阳能发电的发电总装机容量为1200吉瓦^{102,103}。这些指标共同构成了能源使用和管理的综合方法，其有效性将取决于各指标之间（以及与其他强制要求之间）如何作用——以驱动行为。

中国制定的碳排放以及能耗强度目标雄心勃勃，但也并不是一成不变的。我们有理由找准机会超越目标。比如，当前对风能和太阳能发电的投资步伐似乎已经超过了国家原定目标¹⁰⁴。这是个令人鼓舞的好消息，在国际上也有相同情况，大多数时候都可以超越既定目标。相关的市场参与者找到了超出项目设计者预期的、有创新的且成本更低的方式来实现目标。因此，需要定期审查和调整目标，在可以收紧的地方收紧。

美国东北部开展的“区域温室气体减排行动”（以下简称RGGI）的例子具有启发意义。RGGI是各州之间的一项合作，旨在减少每个参与州来自化石能源发电厂的二氧化碳排放。这些参与州针对受监管的发电厂共同制定了二氧化碳排放上限。随着时间的推移，根据约定的轨迹降低区域排放上限，做到有计划、可预测地减少二氧化碳排放¹⁰⁵。

该行动方案的一个关键要素是“方案审查”，即定期对实施成果、影响、方案设计，包括排放“预算”是否应作出调整等进行核查。在前两次方案审查中，各州进行了调整从而改

¹⁰⁰ The Regulatory Assistance Project. (2010). *The Guangdong Efficiency Power Plant: An Assessment of Progress*. <https://www.raponline.org/knowledge-center/the-guangdong-efficiency-power-plant-an-assessment-of-progress/>.

¹⁰¹ National Development and Reform Commission. (Updated 27 October 2021). *Action Plan for Carbon Dioxide Peaking Before 2030*. https://en.ndrc.gov.cn/policies/202110/t20211027_1301020.html#:~:text=By%202030%2C%20the%20share%20of,carbon%20dioxide%20peaking%20before%202030.

¹⁰² Kahrl et al. (2021). *Peaking by 2025: Aligning Climate and Energy Goals in China's 14th Five-Year Plan*. https://ccci.berkeley.edu/sites/default/files/CCCI_Dec2021_Energy_and_Climate_Alignment_in_China.pdf.

¹⁰³ 国家发改委等多部委.(2022年).“十四五”可再生能源发展规划. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzqg/202206/t20220601_1326720.html?code=&state=123

¹⁰⁴ 中国证券报.(2022).“十四五”装机约2亿千瓦 第二批风光大基地规划落地. <http://www.xinhuanet.com/energy/20220228/bb053b31da024e859e35bb123ecc290f/c.html>.

¹⁰⁵ RGGI是一项基于市场的“排放总量控制与投资”方案。受影响的发电厂必须为每短吨的二氧化碳排放获得RGGI的二氧化碳排放配额(或许可证)。RGGI各州通过季度拍卖分配配额，发电厂和其他实体可以购买这些配额。拍卖所得将投资于各州的清洁能源资源——主要是终端能效项目，详见 <https://www.rggi.org/>.

善了方案设计，压低了总体排放上限以及随后的排放轨迹。结果是，自 2009 年启动以来，RGGI 地区发电厂的碳排放量下降了 50% 以上。

我们建议相关政府部门在区域范围内为单位GDP能耗和碳排放目标设定强制性的年度审查要求，以此评估是否可以达到目标，以及是否应该强化（“收紧”）目标。这种年度审查（及调整）可以与第三章中的最低成本资源规划相结合。

结论

“把节约能源资源放在首位”的承诺使中国走在了全球提高能效工作的前沿。鉴于本文的重点是电力行业政策，我们研究了如何将这一承诺付诸实施并与电力行业改革相结合。我们的几点建议总结如下：

- 在《电力需求侧管理办法》下，为电网公司扩大年度节能量目标。
- 制定详细法规，要求电网公司评估并投资能效以及其他需求侧资源，比如“非电网替代方案”（或者可以理解为“虚拟输配电资产”）。
- 持续努力降低建筑行业的煤炭使用，强调“煤改电”和“气改电”，不再推广“煤改气”。这将使有限的天然气资源用于更有价值的用途，比如作为灵活的燃气发电厂的燃料。
- 创建有关能效的政策框架，将其纳入虚拟电厂的组成部分。
- 相关政府部门（比如，国家能源局）可对区域层面的单位 GDP 能耗和二氧化碳排放指标进行强制性审查，以评估是否实现目标，是否需要调整，并对外公开审查报告。这可与第三章中建议的中期规划过程相协调。



RAP[®]

Energy Solutions for a Changing World

Regulatory Assistance Project (RAP)[®]

Belgium · China · Germany · India · United States

CITIC Building, Room 2504

No. 19 Jianguomenwai Dajie
Beijing, 100004

中国北京市建国门外大街 19 号

国际大厦 2504 室

邮编: 100004

raponline.org

© Regulatory Assistance Project (RAP)[®]. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY-NC 4.0).