

气候行动就是能源安全： 印度、中国和欧洲电力行业的最新发展

Rick Weston, 李洁, 周锋, 彭丽楠

睿博能源智库, 能源基金会

2021年, 全球约 **39%** 的电力来自无碳排放的电力资源, 其中四分之一来自风能和太阳能发电。这些电厂总共生产了近 **3,000** 太瓦时的可再生能源电量。这些可再生能源首次满足了全球 **10%** 以上的需求。水电和核电占其余无排放发电量的绝大部分, 其总产量能满足全世界电力需求的 **25%**以上¹。

这些了不起的数字向我们展示了可再生能源的迅猛增长。在十年前, 风能和太阳能发电量还不到全球总发电量的百分之一。自 **2017** 年以来, 大部分新增产能都是风电和太阳能发电。**2021**年, 在全球新增的**364**吉瓦风能和太阳能装机容量中, 有**130**吉瓦来自中国, 占新增总产能的四分之三。在过去一年中, **85%** 的新产能是无碳的²。在中国、印度、欧洲和美国, 太阳能(包括小型分布式光伏)在新增装机容量中都名列前茅。

政策和经济是投资的主要驱动力。如今, 风能和太阳能往往成为了长期和最低成本的投资选择。这种经济优势是全球二十多年以来监管和产业政策的结果: 政府为原本仅适用极小众情况的可再生能源创造了市场和需求, 随之而来的, 成本得以降低, 使得可再生资源实现了盈利。

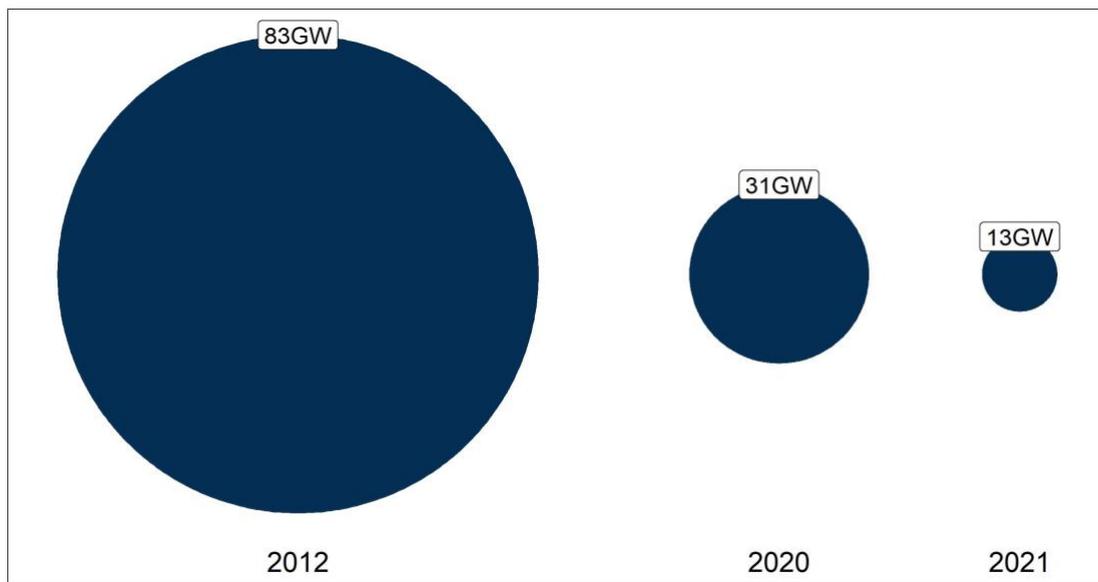
¹ Maia, S., Demôro, L. (2022.9). *Power transition trends in 2022*, Bloomberg NEF, Bloomberg Philanthropies. https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF-Power-Transition-Trends-2022_FINAL.pdf

² 同上。

但是，在可再生能源发展迅猛的同时，传统资源传来了一些令人堪忧的消息。全球燃煤发电总量达到了创纪录的 **9,600 太瓦时**，**2022 年间增长了 8.5%**。随着全世界开始摆脱 Covid-19 大流行的阴影，电力需求在 2021 年增长了 5.6%。全球水电发电量低于预期，天然气价格有所上涨。中国、印度和美国占燃煤发电总量的 **72%**。这些变化的合力导致了去年全球二氧化碳排放量增加了 **7%**，其中大部分来自承诺在未来三十到四十年内实现净零碳排放的国家³。

尽管如此，全球对新增燃煤发电产能的投资正在下降。2012 年，全球新投产的燃煤发电装机容量为 **83 吉瓦**，2020 年新增装机只有 **31 吉瓦**，而去年进一步下降到了 **13 吉瓦**。燃煤电厂的关停退役也在加快。2021 年发达国家共关闭了 **21 吉瓦** 的燃煤发电产能——这是有史以来最多的⁴。

图1. 2012, 2020, 2021 各年新增燃煤发电产能



资料来源: Maia, S., Demôro, L. (2022.9). *Power transition trends in 2022*

虽然最近全球煤炭消费量有所上升，但很明显，全世界电力系统的脱碳指日可待。这种转型可以以低成本实现，同时保持高水平的可靠性。世界各地的政策制定部门面临的挑战是继续改革电力部门的政策、监管和市场机制，以支持这种清洁能源转型。本文回顾了印度、中国和欧洲的电力行业改革。最近在这些地区采取的行动表明了一些有望实现的路径。当然，这些路径因地制宜地将符合当地特点的政策规定和市场改革结合起

³ 同上。

⁴ 同上。

来，但它们也有一些共性：比如将电力系统规划置于改革的核心位置，以及对需求侧资源价值的重视。

印度

服务的可靠性是当今印度电力政策的中心主题。可靠性从最根本来讲是电网覆盖的问题。在世纪之交，仍有三分之一以上的印度人口无电可用。当时的城乡差距巨大：在印度农村，只有不到 50% 的人有电可用，而享受供电的城市居民达到了 85% 以上⁵。但连不上电网并非唯一的问题，那些已接入电网的用户无法相信供电的可靠性，因为停电是日常生活的常态。许多企业——包括酒店和生产厂商——都投资购买了现场备用发电机。柴油发电机宛若男中音的嗡鸣声在印度随处可闻，与城市风景融为一体。

如今，印度只有百分之一的人口没有用电⁶。虽然印度承认还有一些偏远地区，电力服务每天只有几个小时，但可以毫不夸张地说，这种有限的普惠服务已经是一项了不起的成就，因为随之而来的是生活质量和公共卫生水平的提高。

取得这一成绩与针对输电线路、化石能源发电和可再生能源的投资密不可分。2012 年，装机容量总计达到了 199.8 吉瓦，其中燃煤发电产能为 112 吉瓦，风电和太阳能发电装机容量总和仅不到 10 吉瓦。今天，印度的总装机容量为 405.7 吉瓦。其中，煤炭仍占 50% 以上（204 吉瓦），但风电容量也超过了 40 吉瓦，太阳能容量也高达 59 吉瓦以上。印度有望实现 2022 年 175 吉瓦可再生能源装机容量的目标（2022 年 5 月为 160 吉瓦，其中 46.5 吉瓦为大型水电，15 吉瓦为小型水电和生物质能）⁷，化石燃气发电总装机容量为 24.8 GW。

随着电网覆盖区域的扩大，电力可靠性也得到了提高——终端用户所体会到的电力可靠性的增强源于停电次数和持续时间的减少。但从系统规划部门和运营商的角度来看，可靠性的理解会更为细微复杂。它有两个维度：系统安全性和资源充足性。系统安全是运营维度，即是要调度各种可用的资源，以最低的合理成本实时匹配预期需求。资源充足性则是一个长期维度，需要投资来维护、更新、扩展和转化资源组合，以此确保在系统内有足够的电力资源的前提下，以最低的合理成本满足未来的需求。虽然这两个维度有所区分，但它们有着内在的关联：没有足够的电力资源就无法实现系统安全。

⁵ The World Bank. (n.d.). *Access to electricity (% of population)-India*. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=IN>.

⁶ 同上。

⁷ Government of India, Ministry of Power, Central Electricity Authority. (2020.10). *Growth of electricity sector in India from 1947-2020*. https://cea.nic.in/wp-content/uploads/pdm/2020/12/growth_2020.pdf; Invest India. (2022.9). *Renewable energy*. <https://www.investindia.gov.in/sector/renewable-energy>

印度中央电力局（CEA，印度电力部的一个部门）认识到，实现可靠性需要有一套系统性的方法。该机构于2022年9月开始发布资源充足性规划指南草案。最终确定后，该指南将“资源充足性规划框架制度化，指导配电许可证持有企业遵循该框架进行电力采购和容量承包。”⁸ CEA 给出了该做法的几个原因：

- 为未来八年即将接入高比例波动性可再生资源做好准备；印度政府已经制定了到2030年部署450吉瓦可再生能源的国家目标；
- 解决因各邦资源采购方法不协调和方法不一致而导致的严重发电产能过剩和短缺问题；通过共享备用容量使经济上更有效的资源组合成为可能；
- 将资源充足性与市场设计联系起来；除了市场机制的其他功能外，确保可以公平地补偿备用容量提供者；
- 改进规划方法，尤其是负荷预测方法；
- 建立监测和强制遵守资源充足义务的措施⁹。

这些指南对电力资源采购和印度雄心勃勃的可再生能源和气候目标的实现应会产生重大而积极的影响。指南的制定是印度数十年来旨在为10亿多人提供电力而努力的结果，这赋予了它们一个耐人寻味的特征：印度已明确将未来清洁可靠的电力与普惠的服务和社会福利联系起来。

中国

可再生能源“突飞猛进”是过去十年中国电力行业转型的主题。2021年中国新增风电130吉瓦，风电和太阳能装机总量达到670吉瓦，是2012年的近90倍¹⁰，占全国总发电量的11.7%。可再生能源（包括大型水电）的总发电量占比从2012年的2%提高到29.4%^{11,12}。或许最令人振奋的是，2021年非化石能源总装机容量（47%）首次超过煤电装机容量（46.7%）。

⁸ Central Electricity Authority. (2022.9) *Draft guidelines for resource adequacy planning framework for India*, 章节 1.2. https://cea.nic.in/wp-content/uploads/irp/2022/09/Draft_RA_Guidelines_23_09_2022_final.pdf

⁹ 同上，章节1.1.

¹⁰ Zheng, X. (2022.7). *China leads in renewable energy growth*. The State Council, The People's Republic of China. https://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202207/12/content_WS62ccd034c6d02e533532d9b4.html#:~:text=The%20country's%20total%20installed%20capacity,to%20the%20National%20Energy%20Administration.

¹¹ S&P Global. (2022.9). *China could exceed renewables generation target of 33% by 2025*. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/092322-china-could-exceed-renewables-generation-target-of-33-by-2025>

¹² 北极星太阳能光伏网. (2013.1). 2012中国光伏装机1.19GW 大幅低于预期. <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20130116/413946.shtml>

图2. 中国发电装机容量（2011-2021）

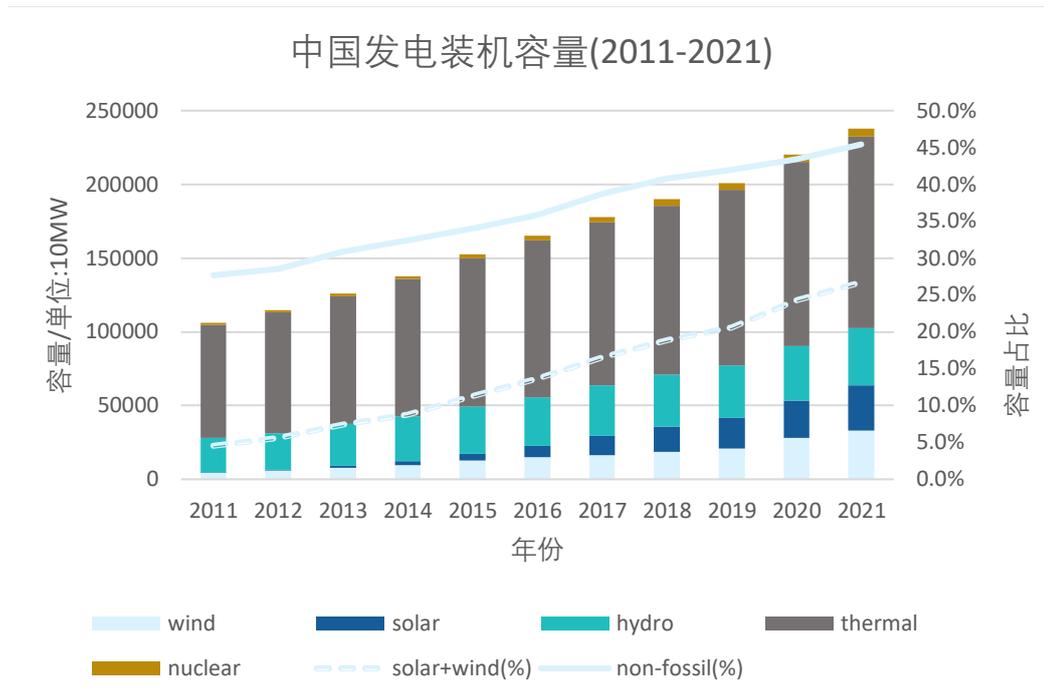
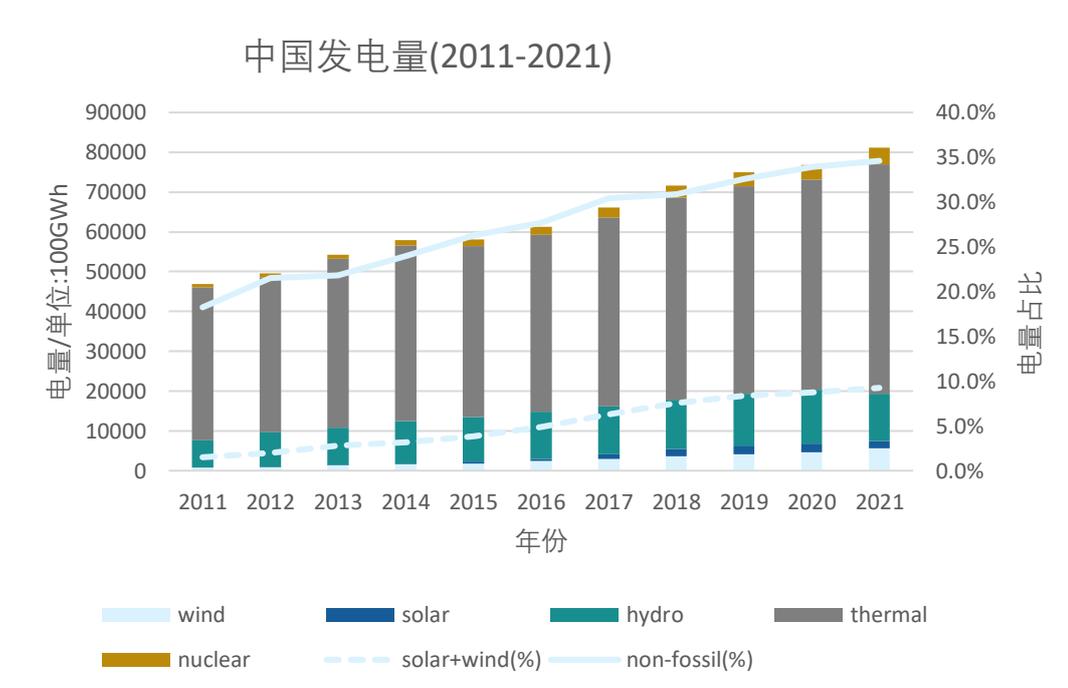


图3. 中国发电量（2011-2021）



这些图表表示电力转型正在步入正轨。随着可再生能源的持续大规模发展，传统化石燃料发电的作用正在减弱：

- 2021 年总装机容量达到了 2377 吉瓦，是 2011 年（1056 吉瓦）的两倍多；
- 非化石能源装机容量的占比从 2011 年的 27.5%（290 吉瓦）提高到 2021 年的 47%（1118 吉瓦）；
- 火电装机容量占比从 2011 年的 72.4% 大幅下降至 2021 年的 46.7%。
- 2020 年燃煤发电装机容量（49.0%）首次低于全国总装机容量的一半；
- 总发电量从 2011 年的 4604 太瓦时增加到 2021 年的 8112 太瓦时；
- 燃煤发电量的份额从 2012 年的 73.9% 下降到 2021 年的 60.0%。

未来 30 年，中国将投入大量资金以实现碳中和，各机构对达成这一目标所需的预估投资从 107 万亿至 487 万亿人民币不等（见下页表 1）。此外，中国政府通过“双碳目标”（2030 年前达到碳排放峰值和 2060 年前实现碳中和）和“十四五”规划（可再生能源发电目标为 33 到 2025 年的百分比）承诺出更加宏伟的政策目标。

表1. 中国实现碳中和的预期投资

	中金研究院 ¹³	高盛集团 ¹⁴	清华大学气候变化与可持续发展研究院 ¹⁵	中国金融学会绿色金融专业委员会课题组 ¹⁶	北大光华管理学院课题组 ¹⁷
预测值 (万亿RMB)	139	104(原文中为16万亿美元,按照人民币对美元6.5折算)	127(2°C气候目标) 174(1.5°C气候目标)	487	200左右
预测期限	2021-2060	2021-2060	2020-2050	2021-2050	2021-2060
覆盖行业范围	低碳能源相关领域,不包括生态环保	低碳能源相关领域,不包括生态环保	低碳能源相关领域,不包括生态环保	根据《绿色产业目录》中的211个领域确定,既包括低碳能源体系相关领域,也包括生态环保	不同的估算方法
固定资产与流动资金覆盖情况	仅包括固定资产投资	仅包括固定资产投资	仅包括固定资产投资	包括固定资产投资及流动资金需求	

四川最近在2022年发生的电力危机导致一些专家和利益相关者提出,电力行业脱碳和电力行业可靠性之间应该存在一种权衡。然而,正如其他地方的经验所表明的那样,情况并非必须如此。实际上,若把握住负荷和发电量的灵活性和地域多样性所带来的机遇,合理有序的电力行业脱碳可以提高可靠性。

¹³ 中金公司研究部,中金研究院.(2021).碳中和和经济学:新约束下的宏观与行业趋势.中信出版集团.

¹⁴ 高盛集团.(2021).中国走向净零碳排放之路:清洁能源技术革新.

¹⁵ 清华大学气候变化与可持续发展研究院等.(2021).中国长期低碳发展战略与转型路径研究:综合报告.中国环境出版集团.

¹⁶ 马骏.(2021).碳中和愿景下绿色金融路线图研究报告.中国金融出版社.

¹⁷ 刘俏.(2022).“2022清洁能源技术与双碳”科学论坛,演讲稿.

只要设计和实施得当，电力行业改革将有助于确保在可再生能源渗透率逐步提高的大趋势下，电力系统的供电可靠性。其中一个关键方面将是认真履行政府对“统一”的全国电力市场的承诺。这将有助于中国继续摆脱依赖各省级电力系统运营和投资的方式，并有助于避免四川的电力危机，其主因在于该省严重依赖单一的本地水电资源。

最近的事件和出台的政府文件为制定和实施创新政策、法规和市场机制以加快电力行业改革和低碳转型创造了新的机会。其中包括：

- **制定国家级电力市场指南。**2022年1月，国家发改委、国家能源局联合发布《关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见》（即“118号文件”），该文件概述了建立“全国统一电力市场”，以提高中国电力市场实施的标准化和一致性¹⁸。
- **加速开发区域电力市场。**2021年底，国家电网有限公司按照国家发改委、国家能源局《关于国家电网有限公司省间电力现货交易规则的复函》要求，正式印发《省间电力现货交易规则（试行）》。该文件明确了省间开展日前和日内现货市场的具体细则，有助于促进新能源大范围消纳¹⁹。2022年7月23日，覆盖广东、广西、云南、贵州、海南五省的南方区域电力市场试运行。这一区域电力市场成为了多种电力产品的结算平台，这些产品合同承诺期限不同，包括日内、日前的现货交易，周、月以及更长期的半年、年度合同等。以此取得的经验应该有助于其他区域市场的创建，并最终将它们纳入全国的统一电力市场体系中。
- **开展省级现货市场试点。**四川等省级现货市场试点早在2017年就开始了，从那时起，各地就在不断完善试点工作。2021年底，四川电力现货市场启动长周期连续结算试运行²⁰。鉴于该省独特的水电和火电资源组合，这一试点首次创立了“丰枯分期市场模式”，即“丰水期水电参与竞价，枯水期火电参与竞价”，以解决季节性盈余和短缺问题。由于该试点还不到一年，尚未看到对此方法的全面评估。
- **市场改革和可再生能源规模的扩大暴露出输电规划和投资的必要性。**市场机制和可再生能源并网取决于强大而灵活的电网。例如，中国南方地区和四川的发展揭示了输电规划和投资如何成为市场运作和实现国家长期能源和环境目标不可或缺的一部分。

¹⁸ 国家发展改革委，国家能源局。(2022.1). 关于加快建设全国统一电力市场体系的指导意见
https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/tz/202201/t20220128_1313653.html

¹⁹ 国家电网有限公司。(2021.11). 省间电力现货交易规则（试行）. <http://www.bj-px.com.cn/html/files/2021-11/24/20211124173432625408406.pdf>

²⁰ 四川省发展和改革委员会。(2021.12). 四川电力现货市场启动长周期连续结算试运行.
<http://fgw.sc.gov.cn/sfgw/c106053/2021/12/30/4a5af25588eb40f9b707d197b79c05cd.shtml>

欧洲

2021 年底以来，受天然气供应意外短缺（以及相应的天然气涨价）的影响，欧盟电力行业的煤炭和褐煤消耗量有所增加。尽管碳排放交易制度 (ETS) 中的二氧化碳配额价格有所上涨（目前约为 66 欧元/吨），但仍出现了这种情况。短期内，煤炭和天然气相对价格的变化正在驱使煤炭消耗量增加，但从长远来看，风能、太阳能和清洁需求侧资源的成本优势，在脱碳目标政策承诺的支持下，预计将会继续推动煤炭退出电力系统。

考虑到这一点以及俄罗斯天然气供应可能再出现断供（事实的确如此），一些欧盟国家在2022年早些时候就宣布了临时措施，以确保在冬季来临之前尽快填满其天然气储存设施，以避免出现天然气短缺。他们这样做的主要手段是将一些用于发电的天然气转移到储罐中，并用燃煤代替天然气发电。2022年，欧盟温室气体排放量将略有上升，但这是短暂的，不应影响欧洲长期气候目标的实现。还没有任何欧盟国家改变其最迟在 2030 年前逐步淘汰煤炭的承诺²¹。

有少量（13.5 吉瓦）以前退役或受限的燃煤电厂已处于“备用”状态，仅供在紧急情况下使用。这造成了欧盟运营的燃煤发电装机容量增加了 12%，相当于总装机容量增加了 1.5%。具体情况如下：

- 2022 年 7 月 8 日，德国颁布了新的能源法，其中一个要素就是《替代电厂法》。它允许将 8.2 吉瓦的先前退役燃煤发电产能（6.3 吉瓦硬煤和 1.9 吉瓦褐煤）置于待命状态。这项新能源法还包括到 2030 年实现 80% 以上可再生能源发电量的目标。
- 最近，荷兰修改了立法，原法案规定从 2022 年初开始，限制硬煤(hard coal)电厂 (4.5 GW) 的运行不超过其最大容量的 35%。修订后，允许它们以 100% 的负荷运行到 2023 年底。
- 法国会在即将到来的冬季（2022-23 年）重新开启 595 兆瓦的 Emile Huchet 6 燃煤电厂。
- 奥地利 246 兆瓦的 Mellach 电厂将暂时退出封存状态，但将使用煤炭而非天然气运行。

这些发电厂将处于待命状态，在紧急情况下作为“最后的手段”使用，但预计对欧盟二氧化碳排放量的影响很小。如果这些电厂在整个 2023 年以 65% 的容量系数运行（实际的百分比可能更低），它们将生产 60 太瓦时电量（大约足以为欧盟提供一周的电力），

²¹ Brown, S. (2022.7). *Coal is not making a comeback: Europe plans limited increase*. Ember. <https://ember-climate.org/insights/research/coal-is-not-making-a-comeback/>

并净增3000万吨CO₂排放量（约占2021年欧盟CO₂排放总量的1.3%或电力部门排放量的4%）²²。

作为对这些行动的补充，2022年7月26日达成了欧盟范围内的协议，将冬季天然气需求减少15%²³。

不出所料，当前的危机加速了欧洲在清洁能源转型方面的行动。2022年5月，欧盟委员会通过了欧盟可再生能源计划“REPowerEU”，其中包括到2030年将“Fit for 55”一揽子减排计划的能效目标从9%提高到13%，将可再生能源在能源结构中的占比从40%提高到45%。它还将加快化石燃料终端用途的电气化，尤其是交通运输和建筑供暖。该计划要求在未来五年内进行超过2000亿欧元的新投资²⁴。

就在最近，欧盟能源部长们通过欧盟理事会采取了一系列危机应对措施，其中终端能效、降低负荷和需求弹性越来越受到重视。这些措施要求将电能需求减少10%，峰值需求削减5%。由每个成员国决定如何实现这些目标，实际做法会有很大差异。此外，欧盟将实施某些价格控制以保护消费者免受高企能源价格的影响²⁵。这些措施是临时性的，将从2022年12月1日开始生效，并在2023年的不同时间结束，最长将会在2023年12月31日到期。

结论

世界各国都致力于实现电力行业的脱碳。很明显，如果要兑现这些承诺，就必须谨慎且不懈地关注电力行业改革的细节。严重依赖化石燃料再次被证明是高风险策略。出于任何合理的衡量标准，例如价格波动性、供给脆弱性和环境影响等，都不值得推荐使用化石燃料。没有比最大限度地减少对这种燃料的依赖更安全的能源战略了。欧洲的经验揭示了拖延行动的高昂代价。印度似乎吸取了这一教训。中国在电力行业改革方面取得了很大进展，这项改革的关键细节将决定未来几年化石燃料资源是否会被理性处理。

诚然，每个国家的历史、机构设置和电力行业的特点都独一无二。但印度、欧洲和中国的故事，就像这里没有讲述的其他故事一样都表明，考虑到电力的物理特性和低碳转型

²² 同上。

²³ European Council & Council of the European Commission. (2022.12). *Impact of Russia's invasion of Ukraine on the markets: EU response*. <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-response-ukraine-invasion/impact-of-russia-s-invasion-of-ukraine-on-the-markets-eu-response/>

²⁴ European Commission. (2022.5). *REPowerEU: a plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131.

²⁵ Council of the European Commission. (2022.9.30). *Council agrees on emergency measures to reduce energy prices*. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/09/30/council-agrees-on-emergency-measures-to-reduce-energy-prices/>

的要求，虽然各国电力行业改革中“亟待解决”的重要事项可能看上去差不多，但最迫在眉睫的三项任务可能是：

- 设计、实施和完善市场机制，确保可靠性、可再生能源并网、释放需求侧资源的价值（尤其是灵活性和分布式可再生能源）并控制成本；
- 完善电力行业规划，明确电网需求；
- 针对市场和网络垄断进行强有力和可预测的管理监督，给予监管机构权力，以发现并及时补救市场失灵。



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).