科学有序推进“双碳”目标

智库圆桌
(第五十期)

中央经济工作会议指出，要正确认识和把握碳达峰碳中和。实现碳达峰碳中和是推动高质量发展的内在要求，要坚定不移推进，但不可能毕其功于一役。要坚持全国统筹、节约优先、双轮驱动、内外畅通、防范风险的原则。本期邀请专家围绕会议精神进行解读，并为贯彻落实会议精神提出政策建议。

主持人 经济日报社经济研究部主任、研究员 徐向梅

三重目标下探寻能源转型最优解

主持人：中央经济工作会议（以下简称会议）指出，传统能源逐步退出要建立在新能源安全可靠的替代基础上。那么应如何平衡传统能源和新能源之间的关系，实现二者优势互补？

林卫斌（北京师范大学教授、中国能源研究会能源政策研究中心主任）：大部分二氧化碳排放是由化石能源的燃烧导致，能源转型是实现碳达峰碳中和目标的必然要求。在非化石能源替代化石能源的进程中，除了碳减排之外，还要着重考虑两个关键问题：一是能源供应保障，二是能源供应的经济性。平衡传统能源和新能源之间的关系，本质上就是要在能源供应保障、经济性和碳减排三重目标下寻求能源转型的最优解。

一是要先立后破，传统能源逐步退出要建立在新能源安全可靠的替代基础上，避免未立先破引发能源危机。按照国家战略部署，2030年能源消费总量要控制在60亿吨标准煤以内，非化石能源消费比重要达到25%左右。据此测算，与2020年相比，2021年—2030年10年间能源消费总量增加10亿吨标准煤左右，而化石能源消费量超7亿吨，这意味着传统化石能源仍然需要进一步发展才能保障国家现代化用能需求。

以电力为例，预计2021年—2030年10年间，年均增加用电量4000亿千瓦时左右，其中水电、核电和生物质发电等非化石能源发电量受资源、生态和安全等因素制约，预计年均增加800亿—900亿千瓦时，而风电和光电发电量年均增量在2000亿千瓦时以下。这意味着非化石能源发电的发展尚无法满足经济社会发展的用电需求增量，在大力发展风电、光电等新能源的同时，也需要注重煤电和气电发展，否则，能源供应安全将无法得到有效保障。此外，风电、太阳能发电等具有间歇性、不稳定性特征，如果缺乏火电等灵活性电源备用容量，当风电、太阳能发电因风光资源约束无法出力时，电力供需平衡就可能会出现问题。

二是要有序推进，新能源的大规模开发利用要建立在技术突破和系统形态变革的基础上，避免大幅推高用能成本。风电、太阳能发电等间歇性、不稳定性电源建设要求配套以相应规模的灵活性电源备用容量建设以保障电力系统实时平衡。“十三五”期间，我国风电、太阳能发电装机容量增加了3亿多千瓦，火电装机容量增加了2亿多千瓦。未来风电、太阳能发电机组更大规模、增速更快的建设是必然趋势，如果不配套建设相应规模的火电机组，“十四五”期间风电、太阳能发电比重高的地区在风光出力不足的用电高峰时段就很有可能出现电力供需缺口。但是，继续扩大火电装机规模，会大幅提高用电成本，扩大高碳基础设施和产能规模并不符合能源转型的方向，将来可能造成大量搁浅成本，从而制约经济高质量发展。因此，可再生能源与火电“比翼齐飞”式能源转型之路行不通。

能源转型需要在非化石能源大规模开发利用的同时推进能源系统形态变革，搭建能源转型的另一重要支柱。能源系统转型的新技术、新业态需要成长时间。从短期看，在我国既成的规模庞大能源生产基础设施和产能格局下，与低碳能源体系相耦合的新技术、新业态尚未成熟，如果过于冒进，会给经济发展带来过大的成本压力。从长远看，随着一些传统能源基础设施自然退役和产能退出以及能源技术进步和新业态成长，能源转型成本有望大幅下降。因此，在我国基本实现现代化之前，要更加注重经济发展与能源转型的平衡，在2035年之后加速推进能源转型，可能比线性思维更加合理。

实现传统能源和新能源的优化组合主要举措包括以下几点。

一是持续推进煤电灵活性改造。未来煤电发展定位要从传统的作为基础负荷保障电量供应的角色转向“基荷保供、灵活调峰、辅助备用”多重角色。对于大容量高参数先进煤电机组，要充分发挥高能效优势继续作为基荷电源运行。对于30万—60万千瓦亚临界机组和20万千瓦及以下的常规机组，则要通过辅助服务市场和容量补偿等机制，加大燃煤机组和热电联产机组调峰灵活性改造力度，实现从电量保障向电力保障的功能转换，提高可再生能源消纳能力。

二是加快各类调峰电源建设。运用传统能源提升系统灵活性、提高可再生能源消纳能力，还需加大大型抽水蓄能电站、龙头水电站、天然气调峰电站等优质调峰电源建设力度。

三是推动天然气和新能源融合发展。在可再生能源资源较好的“三北”地区建设风光水煤气综合能源生产外送模式，利用大型综合能源基地风能、太阳能、水能、煤炭、天然气等资源组合优势，推进风光水火储多能互补工程建设运行。在可再生能源资源较好的东部地区建设风光水气多能互补终端能源集成利用模式，利用新建工业园区、商务区和产城融合区的负荷集中优势，推进风光水火储多能互补的能源耦合集成利用工程和热电冷气一体化分布式综合能源服务工程建设运行。

四是鼓励燃煤耦合生物质发电。探索退役煤电利用既有资源，改造为生物质发电、燃气发电、新型储能电站等。鼓励自备电厂向燃煤耦合生物质发电转型。

用市场机制激励控碳减排

主持人：会议指出，要科学考核，创造条件尽早实现能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变，加快形成减污降碳的激励约束机制。请问考核指标的变化将产生哪些影响？应如何完善激励机制？

王敏（北京大学国家发展研究院副教授、北大环境与能源经济研究中心副主任）：污染物和碳排放主要来自生产过程中化石能源使用。通过行政规制手段进行减污降碳，从生产的角度主要有3个可选项：一是产量控制，二是能源投入使用量控制，三是污染物和碳排放量控制。我国的去产能政策（包括项目审批政策）和能耗“双控”政策大体属于第一种和第二种政策选项。会议指出“创造条件尽早实现能耗‘双控’向碳排放总量和强度‘双控’转变”，事实上是要求当前的行政规制从第二种约束机制向第三种约束机制转变。

以上三种管制手段均能起到减污降碳的作用，但在目标管理和激励机制上存在较大差别：前两个手段都是通过间接目标管理的办法进行减污降碳；第三个手段则是直接对污染物和碳排放数量进行目标管理。如果要利用行政规制控制全社会的污染物和碳排放，最有效的办法是对污染物和碳排放实施直接数量控制政策，而不是通过控制产量和能源投入进行间接减排。研究表明，为实现相同的减污降碳目标，产量控制政策对企业利润下降的影响最大，能源投入控制政策的影响次之，污染物和碳排放直接控制政策的影响则最小。

为完成相同的减排目标，给企业更多减排自主权的政策对企业生产活动的不利影响会更小。通过产量控制的办法进行减污降碳，企业自主决策空间最小：企业除减少产量或关闭产能，没有其他选项，也没有任何激励去进行节能减排工作。在能源投入控制政策下，除减少产量或关闭产能的应对选择外，企业还可以通过技术升级或流程改造以降低能耗。而在污染物和碳排放控制政策下，企业自主决策空间最大，除上述两个应对选项外，企业还可以有增加减排设备投入、转变能源投入结构等更多减排选项。尤其是考虑到不少高能耗行业，例如铝业，是利用二次能源电力进行生产，行业生产本身并不直接产生较多的污染物和碳排放。如果改变能源结构增加清洁电力在电力供给中的比重，这类高耗能行业并不存在突出的污染物和碳排放问题。

污染物和碳排放的本质是外部性和市场失灵问题，人类历史上解决外部性问题的政策思路主要是上述讨论的行政规制和市场化政策两个选项：前者是政府通过行政手段直接配置环境或碳资源；后者则是政府通过排放征税或排放权交易的市场化政策手段为污染物或碳排放定价，进而使得市场得以利用价格机制解决环境和碳资源的最优配置问题。当政府通过征税或排放权交易的办法设定碳价，企业的碳排放行为就由免费排放转为有价排放，企业就可根据碳价自行决定如何投资减排设备、如何降低生产能耗、如何缩减产能以及是否应该关停、退出市场。相比于行政规制政策，市场化价格政策给予企业最大自主减排空间和最强减排激励。理论上，给定碳价，每个企业都会增加减排投入，直到边际减排成本等于碳价。由于所有企业面临同一碳价，理论上市场上所有企业的边际减排成本都将是相等的。这就在整个社会层面实现了碳减排成本的最小化。

任何减污降碳举措都会给经济社会带来一定成本。在我国人均GDP刚到1万美元、低收入人群比例还相当高的背景下，实现减污降碳目标并非不惜一切代价，而应在尊重经济发展和市场规律的前提下，以较低的成本实现环境与经济的有机结合。因此，为完成降污减排目标，首选是市场化价格政策；其次，即便是要依赖基于数量目标管理的行政规制手段，也应选择成本相对较小的污染物和碳排放数量控制政策，而不是基于产量和能源投入量控制的间接减排政策。

国企发挥能源保供主力军作用

主持人：大企业特别是国有企业如何带头积极采取措施，确保我国能源安全稳定供应。

刘俊（国网能源研究院有限公司能源战略与规划研究所副所长）：能源安全事关国计民生，在推动经济社会发展全面绿色转型进程中，确保我国能源安全稳定供应责任重大、影响深远。

第一，降碳减排并不意味着近期不发展化石能源，以煤炭为主体的化石能源依然是保障我国能源安全的基石。我国化石能源消费规模巨大，2020年，全国能源消费总量为49.8亿吨标准煤，化石能源占能源消费总量的比重为84.1%，其中煤炭占比56.8%。从我国未来能源消费结构来看，预计未来煤炭、石油、天然气等化石能源消费依次达峰，达峰之前化石能源仍有一定增长。

第二，非化石能源规模化发展与化石能源清洁利用并举是重要方向。从未来保障能源供应和降碳减排的视角来看，既要考虑增量能源需求更多地以非化石能源来满足，又要在技术、市场、政策等方面采取综合举措，有效推动存量化石能源安全有序地清洁化利用，再平稳渐进地过渡到存量替代的阶段。

第三，大力发展新能源是加快能源结构调整的重要途径，但需与煤电等电源协同互补。我国新能源资源丰富、产业链完整，具备大规模高比例开发的良好条件，但新能源出力“靠天吃饭”，对电力电量的贡献存在较大不稳定性，低出力与负荷高峰叠加将导致电力缺口，需要依靠煤电、气电等其他电源调整出力以弥补电力不足。

稳妥推进电力系统降碳减排是能源供应保障的重要组成部分，宜采取“先慢后快”的碳减排路径，力争2060年实现零碳电力系统。主要原因在于：一是发展新能源目的是调整电量结构，提供绿色电能，对化石能源的安全可靠替代是渐进的；二是煤电加装碳捕集与封存装置后成为“近零脱碳机组”，也相当于“清洁能源”；三是考虑电力系统供应安全，煤电等电源在较长时期仍将承担电力保供的重任。

今年9月以来，我国局部地区陆续出现能源电力供应短缺，党中央、国务院高度重视，各级主管部门全方面加强对煤电油气运等工作的部署，能源企业特别是国有企业积极配合，充分发挥了能源保供主力军的作用。

一是积极推动能源增产稳供。以依法依规、确保安全为前提，有序释放煤炭先进产能，重点保证大矿稳产满产，全力以赴做好煤炭增产保供。今年10月、11月，我国能源保供稳价政策持续显效，煤炭产业链各环节齐发力，原煤产量分别达到3.6亿吨、3.7亿吨，相比9月提升3000万—4000万吨。11月以来，电厂存煤持续提升，全国统调电厂存煤普遍超过20天，已达到或超过常年正常水平，确保了入冬前能源电力供应有保障。

二是努力拓展能源保供资源。利用好海外市场，多来源、多渠道加大能源进口力度。今年10月、11月，我国煤炭进口2694万吨、3505万吨，同比增长96.2%、198.1%。同时，加大储气库等基础设施建设，着力提升能源储存水平。在各大油气企业共同努力下，目前各大地下储气库已陆续开始注气，我国今年供暖季可以形成270亿立方米以上的储气量，为冬季调峰保供发挥作用。

三是完善能源价格形成机制。对于煤炭等一次能源，按照战略性资源进行保底管控，形成保供稳价长效机制。要发挥好中长期合同“压舱石”作用，及早锁定价格和资源。在市场价格出现大幅波动时，国有企业应带头稳定市场价格，引导能源价格回归合理水平。

四是全力促进电力充足供应。建立电煤、燃气供应预警机制，持续挖掘发电潜力，促进燃煤、燃气等各类机组能开尽开、多发满发。充分发挥大电网资源配置平台作用，科学安排电网运行方式，利用跨区跨省输电通道，统筹协调全网电力电量平衡，加强电力余缺互济，确保电网安全。

以

徐春明

实现“双碳”目标，最终要对能源结构进行根本性调整。这意味着，在未来近40年中，能源既要持续稳经济，还要不断调结构，以达到碳中和要求。这对能源消费将持续增长的我国来说，任务相当艰巨。

在现实条件下，我们怎样才能确保实现“双碳”目标？主要从四个方面发力。

第一，提高能源利用效率，即大力实施节能减排。在未来10年里，我国能源消耗强度（单位GDP能耗）仍需保持每年10%以上的下降速度。这要求我们充分利用各种可能的手段，包括新技术、新工艺、新装备、新材料、新介质，以及信息化、智能化、数字化等，不断节能减排。

第二，高效清洁地用好宝贵化石能源。“双碳”目标的实现需要能源结构的根本性调整。但在未来5年到10年，煤炭还会占到一半左右，石油占比基本维持在17%—18%。因此煤炭、石油的高效清洁利用仍是未来相当长时间的重要任务。

第三，二氧化碳的处理与应用。业界公认，2030年碳达峰，我国二氧化碳绝对排放值大约在105亿吨。其中，电力碳排放仍然最高，占40%以上，工业碳排放占38%左右，交通和建筑各占约10%。如何“消纳”这105亿吨二氧化碳？方案不外乎两大类：一是物理法，利用岩水层埋存或者二氧化碳驱油，这是最直接的手段；二是化学法，二氧化碳加氢或者二氧化碳与甲烷的干重整技术可利用一定量的二氧化碳，这些产品和技术都应得到重视。

第四，利用绿电绿氢降低二氧化碳排放强度。虽然未来10年我国能源结构无法根本性调整，但可以依靠绿电及由绿电制成的绿氢所构成的二次能源，降低能源结构的二氧化碳排放强度。

要实现碳中和，没有氢是不行的。保守估计，到2050年，我国氢能消费比重将达到10%以上，包括加氢站、燃料电池、固定式电源/电站等在内的氢能产业链产值会超过10万亿元。其实氢作为能源并不新鲜，我国石油化工早在七八十年前就大力发展催化加氢技术，这一技术包括了制氢、加氢、化学储氢、用氢几乎全流程，较今天人们热捧的氢能产业链，仅少了燃料电池一环。不过，短期内，以“燃料电池”为主的“绿氢”产业链仍任重道远。

值得关注的是，美国计划2025年前主要依靠中东便宜的天然气，再通过天然气制氢为主和CCS（碳捕捉及存储技术），将制氢成本降到1.2美元/公斤，同时借助油田、气田大规模封存二氧化碳，从而实现减排。对我国而言，“煤制氢+CCS”将是短期满足快速增长用氢需求的重要途径。

面向“双碳”目标，我们可以利用绿电绿氢快速重构以化石燃料为主的传统过程工业。这既促进了“双碳”目标的实现，又有利于经济发展，但这一过程需要变革性技术支撑，这是绿色低碳技术攻关的重要方向。

比如在冶金上，多年来，我国炼钢仍然采用较传统的长流程，如果把长流程变成以还原气为主的还原铁短流程，可以减排二氧化碳70%以上。又如传统石油化工的蒸汽裂解制烯烃过程是靠加热炉，每吨产品大概需要逾半吨化石燃料（天然气、油），会有二氧化碳排放。而如果用绿电替代化石燃料则能大幅减排。当然，这需要电价合理，同时将传统加热炉变成新的电磁供热，需要研制核心关键设备。再如合成氨是一个重要的传统化工过程，以煤、石油、天然气等为原料，通过气化生成一氧化碳和氢，再利用其中的氢制成氨。而如果以绿电电解水制绿氢，烟气通过变压吸附，分离为氮气和二氧化碳，再将氢气加氮变成合成氨，将氨加二氧化碳变成尿素，这一生产绿色尿素的工艺流程不但没有二氧化碳排放，还能够消耗二氧化碳，使之成为一个绿色的二氧化碳转化利用过程。

【作者系中国科学院院士、中国石油大学（北京）碳中和未来技术学院院长】

院士建言

本版编辑 裴文 美编 高妍

社址：北京市西城区白纸坊东街2号 读者服务：13911270606（同微信号） 查号台：58392088 邮编：100054 传真：58392840 零售每份：1.00元 广告许可证：京西工商广登字20170090号 广告热线：58392178 发行热线：58392172 昨日（北京）开印时间：3:05 印完时间：4:15 印刷：