



10月24日，《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》公开发布。下一步，应如何纠正运动式“减碳”，客观全面认识我国实现碳达峰、碳中和任务的艰巨性，并保证如期实现目标？《能源评论》杂志日前采访了中国工程院院士、清华大学碳中和研究院院长贺克斌。他表示，实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，目前面临“三高一短”的挑战，需要“五碳”并举实现“双碳”目标。

## “五碳”并举 实现“双碳”目标

——访中国工程院院士、清华大学碳中和研究院院长贺克斌

文 / 本刊记者 王伟

### 三重变化 深刻变革

**问：**您曾说过，碳中和将是改革开放40年后，对中国具有重大影响的下一个大事件。我国推进“双碳”目标，将带来哪些领域的变革？

**答：**截至去年年底，全球已经有130多个国家提出了碳中和的目标，覆盖了全球70%以上的GDP和65%以上的二氧化碳排放。在我国，碳中和与绿色高质量发展密切相关，中央要求把“双碳”纳入生态文明建设总体布局。实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，将会带来政府行为、企业行为和个人行为的根本变化，涉及观念重塑、价值重估、产业重构及广泛的社会经济和日常生活，意义深远。

**问：**有观点认为，世界经济发展将从资源依赖型向技术依赖型转变。您对此怎么评价？

**答：**对这一观点我非常赞同，这就是观念重塑的深刻影响。目前全球经济高度依赖化石能源，但是化石能源在全球的地域分布极度不均衡。全球煤炭、石油、天然气储量排名前五位的国家，基本上占据了全球2/3以上的储量。在资源充分利用的情况下，风能、太阳能足以支撑全球实现碳中和，基本解除了资源上限，这样一来，谁有更好的技术并尽快经济、有效地利用起来，谁就能取得成功。

从这个角度来说，“双碳”目标的切入点是气候履约，但核心是新一轮产业竞争。如今，全球都在以“双碳”为切入点布局，争夺新一轮技术高地，产业竞争信号非常明显。当年，基辛格曾说过，谁控制了石油，谁就能控制世界。将来，谁掌握了能够高效、稳定、充分利用非化石能源的技术，谁就能在世界经济竞争中占据主动地位。

**问：**您所说的价值重构包括哪些内容？

**答：**价值重构包括新能源成本、地域价值和产业链价值。从新能源成本来看，目前风、光发电和火力发电的成

当年，基辛格曾说过，谁控制了石油，谁就能控制世界。将来，谁掌握了能够高效、稳定、充分利用非化石能源的技术，谁就能在世界经济竞争中占据主动地位。

本已经相近。但是如果加上系统成本，风、光发电目前和火电来比还比较高。碳市场的建立健全和逐步完善会使碳价在全国和全世界发挥作用，使新能源技术的竞争优势逐渐提升，新能源的并网成本会大大降低，其价值和竞争力会被重新认识。

从地域价值来看，未来风、光资源集中的中西部欠发达地区，会拥有新的发展机遇，这会使发展不平衡问题得到一定解决。比如，在宁夏的沙地，可以在光伏电池板下种植枸杞，由于有电池板的遮挡，保墒的时间更长，冲洗光伏电池板的水正好可以灌溉下面的枸杞，从而实现循环利用。这个模式把原来比较荒芜的沙地大幅度改变为能源利用地和新的经济作物生产地，为发展带来了全新的机遇。

从产业链来看，制造光伏电池的材料包括关键稀有元素如铟、碲等，未来伴随装机规模的迅速扩大，这些稀缺元素的累计需求量会大幅度增加，其价值也会不断提升。现在固体废物中的这些元素被视为有毒有害物，一旦其价值增加，也会推动相关提取技术研发和循环利用水平提升。

**问：**在产业重构方面，您认为，能源电力系统会发生哪些变化？

**答：**未来，传统的加油站会变成加能站。比如，中石化在“十四五”期间计划建设1000座加氢站或油氢合建站、5000座充换电站、7000座分布式光伏电站。



以新能源为主体的新型电力系统的变化更值得期待。以化石能源为主的电力系统，供需模式是典型的以需定供，需求侧用电量小时，就得多发电来保供。将来，以新能源尤其是风、光为主体的新型电力系统，供需模式会变成以供调需。用能端的交通、建筑和工业领域，以及用户侧那些柔性可调负荷，会共同形成虚拟电厂，变成非常重要的“产消者”。

**问：**如此一来，传统能源产业链会做出哪些调整？

**答：**传统石油化工行业炼制汽柴油输送给燃油车，燃油车使用后会排放大量的二氧化碳，未来这一产业链的市场空间会被大大压缩。新能源汽车大幅推广应用后，石油化工行业未来的主要方向会将燃料变成原料、将能源变成资源，通过石油生产基础化工原料，产出橡胶、塑料、纤维这样的产品，并进一步拓展相关新材料的市场空间。这样，石油化工行业终端产品的碳排放压力会明显减少。

**问：**碳中和对人们的日常生活会带来哪些影响？

**答：**在出行方面，大幅度应用新能源汽车特别是电动车，会形成比较大的消纳风电、光伏的能力，这些也是虚拟电厂的组成部分。在居住方面，未来的“光储直柔建筑”会让建筑用电有15%~30%的调节能力，成为适应新型电力系统的重要可调负荷。在个人行为方面，鼓励简约生活、人人都为减碳做贡献也将成为主流。比如，上海已经开始实施碳普惠行动，人们无论是垃圾分类、绿色出行，还是节约用电、“光盘”行动，都可以通过积分兑换碳币，碳币可在一定范围内用来购买商品、服务。

## “五碳”并举 共同奋斗

**问：**实现“双碳”目标，除了您所说的上述影响，最直接的影响还是大气污染治理吧？

**答：**是的。推进“双碳”目标，会对能源、交通等产业结构进行大幅度调整，可以根本性地解决PM2.5、臭氧污染等大气污染问题，使我们长期稳定地拥有蓝天，大大

促进美丽中国目标稳定实现。同时土壤、海洋、矿物和地质碳汇都会有不同程度的加速改善。

这场经济社会的系统性变革，需要政策引导、技术变革和人才培养这三个最关键的重要支柱。碳中和可能是改革开放40年后对于中国社会未来具有巨大影响的下一个重大事件，它将对自然科学、工程科学、社会科学的发展和提出巨大需求，需要多学科协同，通过科技创新和人才培养，需要几代人来传承实现目标。

**问：**从科学的角度，您怎么分析全球变暖与近两年多地出现的极寒天气？

**答：**联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）作为支撑全球气候变化应对的政府间组织，致力于为气候变化谈判提供科学依据。该机构多年来的系列报告均指出，全球平均温度上升有明确的科学证据。需要强调的是，平均温度上升是较大时空范围的平均统计，和局部出现极寒天气二者并不矛盾。这也恰恰说明，全球平均温度上升的最大威胁就是，会把气候系统和生态系统搞紊乱，以至于在一些地方出现极寒和灾害性的天气。但是整体上而言，地球确实是变暖了。

**问：**您认为，中国要实现“双碳”目标会面临哪些挑战？

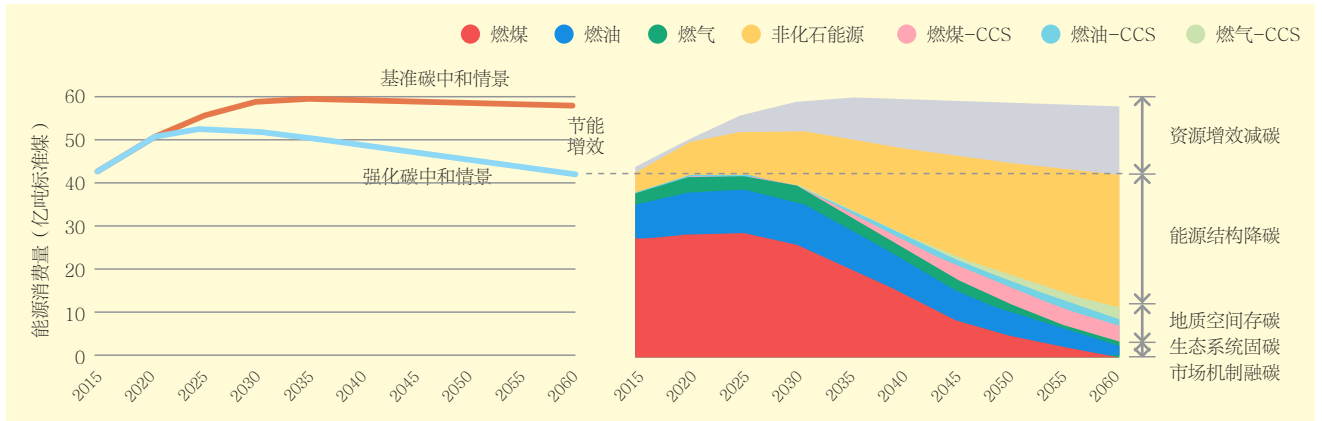
**答：**“双碳”目标尤其是碳中和，绝不是轻轻松松就能实现的目标。2020年，全国二氧化碳总排放量约104亿吨，到2030年前达峰时，预计会达到110亿吨左右。我们的碳汇能力是10亿吨左右，这意味着我们要减掉二氧化碳排放量的90%，任务非常艰巨。就目前而言，我们面临着“三高一短”的挑战：

第一，高碳的能源结构。无论是化石能源消费占总能源消费的比例，还是煤炭消费占化石能源消费的比例，在主要的世界用能大国里，中国是最高的。

第二，高碳的产业结构。全世界公认的高碳且难减排的行业包括煤炭、钢铁、石化、水泥等，中国上述行业在

### 中国碳中和目标下的能源需求预测

### 中国碳中和目标下的一次能源消费与构成



>> 资料来源：清华大学中国碳中和与清洁空气协同科学评估与决策支持平台（CNCAP）

产业结构中的占比仍然较高。

第三，中国是世界上最大的发展中国家，仍然处在工业化和城市化的中高速进程中，很多地区还要有能源消费增量。

第四，从碳达峰到碳中和，中国只有短短的三十年时间，欧洲有六七十年，美国有四五十年。

**问：**在这个过程中，科技创新该如何发挥作用？

**答：**走向技术依赖型的发展模式，对科技创新的需求尤其迫切，但是现在科技的缺口还比较大。国际能源署（IEA）2021年的最新报告显示，在全球能源行业2050年实现净零排放的关键技术中，有50%目前尚未成熟，需要进一步研发提升。未来能源供给和节能减排的很多技术都需要不断提升，同时还要与信息技术（人工智能、互联网、通信技术）等紧密结合形成整体系统，来解决相关的问题。

**问：**那如何才能一步一步完成我们的减排任务？

**答：**可以通过“五碳”并举，一起发力来攻坚克难，这是我们未来实现碳中和的基本路径。

一是资源增效减碳。达到同样的经济目标，将能源需

求降到最低，减下来的碳就是资源增效减碳。二是能源结构降碳。大幅提升非化石能源比例的同时，仍然还会有一部分化石能源继续存在，要用其他措施来解决。三是地质空间存碳。通过碳捕集利用和封存（CCUS）技术解决一部分二氧化碳。四是生态系统固碳。通过各种生态建设的手段，巩固和增加二氧化碳的碳汇能力。五是市场机制融碳。通过碳市场机制来推动各类技术得到更合理有效的应用。

**问：**作为一个环境科学与工程专家，您如何展望碳中和背景下的蓝天梦？

**答：**现在全国300多个城市的PM2.5平均浓度是33微克/立方米，如果延续过去以末端治理为主的控制路径，未来十年我国大气污染物减排的潜力将基本耗尽，到2060年PM2.5浓度的最佳数据可能在25微克/立方米左右。

希望在于碳中和目标下的深度能源转型。在碳中和目标下，到2060年，我们可以大幅度降低PM2.5浓度，未来可以降到世界卫生组织的最低推荐值10微克/立方米以下，甚至可能达到8微克/立方米左右。当“双碳”目标逐步实现，蓝天就会从“奢侈品”变成习以为常的“日用品”。这是老百姓对未来美好生活的追求，也是我们共同的奋斗目标。■