

“双碳行动”如何影响未来四十年？

▶ 贺克斌

碳中和已成为全球性的重大行动，可能会对未来的社会经济产生深刻影响。现阶段全球已有130多个国家全面提出碳中和目标，这些国家占全球二氧化碳排放量的73%，占全球GDP的70%。中国作为最大的发展中国家，为实现碳中和，面临“三高一短”巨大挑战。

首先是高碳的能源结构。无论是化石能源占总能源消费比例，还是煤炭占化石能源消费的比例，我国在全球耗能大国中都是最高的。其次是高碳的产业结构。世界公认的高碳且难减排的行业（煤炭、钢铁、石化、水泥等）在我国的产业结构中占比很高。第三，作为最大发展中国家，工业化和城镇化还处在中高速发展中，能源消费还呈增加趋势。四是时间短、任务重。从碳达峰到碳中和，中国只有30年时间，而欧美国家有50到70年。

从资源依赖型到技术依赖型

面对如此巨大的挑战，为什么我们下决心要做？从表面看，气候履约是切入点，因为我国是气候公约、巴黎协定等的签约国，但最核心的原因是新一轮的产业竞争。

所谓产业竞争，是指世界进入“双碳”时代，从能源资源的角度看，全球经济发展模式正在从资源依赖型走向技术依赖型。首先，根据国际能源署（IEA）分析，未来实现全球“双碳”目标，从化石能源转向风光等为主体的能源结构时，全球可提供的风光能源资源总量是足够的。我们过去经常讲到的挑战，化石能源不充足的资源约束，将逐渐解除。

其次，现在全球经济高度依赖的化石能源，在全球的地域分布极不均匀，煤炭储量前五位的国家

贺克斌 中国工程院院士，
国家生态环境保护专家委员会副主任，清华大学环境学院教授、碳中和研究院院长



占了全球煤炭75%的储藏量；石油储量，前五位国家占了62%；天然气储量，前五位国家占了64%。也就是说，三分之二到四分之三的储藏量都集中在前五位的储藏国。与化石资源相比，风光资源在全球分布相对更均匀，未来风电、光伏等新能源比例逐渐上升过程中，谁的新能源技术领先，谁就抢得发展的先机，即经济发展走向技术依赖型。

产业竞争技术的焦点在零碳能源技术。当前，欧洲的“绿色新政”在针对减碳的工（业）交（通）能（源）建（筑）部分和针对固碳的农业生态环境部分有完整的技术发展布局。美国也提出了五个零的战略：零碳电力、零废物制造、零碳交通、零排放汽车、零碳建筑，布局了六个方面的技术板块来促进“五个零”目标的实现。日本提出，未来十年，要在能源、交通运输和制造业、建筑等相关产业布局14个领域研发计划，包括海上风电、氢能产业、小型核反应堆和大型运载工具（船舶、飞机等）混动氢能等，同时宣布在2030年到2050年间还将推出新一轮产业发展研发计划。可以看出，主要发达国家都在布局从资源依赖型走向技术依赖型的新一轮产业竞争。

“双碳行动”不仅促进产业竞争，还将推动根



贺克斌在 2021 中国高新技术论坛发言



本性解决环境污染问题，对于生态文明建设、美丽中国目标实现，有非常强的带动作用。同时，这对于全球的尚未解决环境污染问题的发展中国家来讲，具有共性意义。

提高环境质量的目的是健康

定量推演分析表明，以细颗粒物（PM_{2.5}）作为代表性污染物来看，在 2020 年，国内 300 多个城市 PM_{2.5} 年均浓度平均在 33 微克 / 立方米，如果没有“双碳行动”，按照“老”的治污政策路径（编者注：2013 年 9 月，国务院发布《大气污染防治行动计划》，即“大气十条”，2018 年 7 月，国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，即“蓝天三年”，对大气污染治理给出治理蓝图，并对各省市降低 PM_{2.5} 年均浓度提出具体要求。）走下去，也能继续推进改善。但到 2060 年，PM_{2.5} 年均浓度最多只会降到 25 微克 / 立方米。

如果 2030 年实现碳达峰，到 2060 年，PM_{2.5} 年均浓度就会降到 20 微克 / 立方米。如果提前两年在 2028 年实现碳达峰，到 2060 年，PM_{2.5} 年均浓度就会降到 18 微克 / 立方米。如果到 2060 年如期实现碳中和，全国 2060 年的 PM_{2.5} 年均浓度会降到 8 微克 / 立方米左右。在国内各大城市中，目

前深圳是 PM_{2.5} 污染问题解决得比较好的城市，在 2020 年，深圳的 PM_{2.5} 浓度是 19 微克 / 立方米，但离世界卫生组织（WHO）给出的 PM_{2.5} 年均浓度 10 微克 / 立方米的指导值也还有距离。

有人可能会提出疑问，为什么要让 PM_{2.5} 年均浓度降到那么低？这是因为，提高环境质量的根本目的就是为了全面保护人群健康。空气污染对老年人群的伤害更大，到 2060 年，随着我国人口老龄化，未来人群对污染的耐受程度更差，健康反应会更强。有健康经济学家算了账，今天多花一块钱治污，今后少花十块钱治病。即使这十块钱全都报销了，人们的获得感和幸福感也会大打折扣。而“双碳”目标的实现，会使我们形成稳定且高水平的空气质量和健康效果，这是非常值得努力的。

要实现碳中和目标下的碳减排，基本上可分为五个板块：

一是资源增效减碳。在未来 40 年里，有“双碳行动”的指引，达到同样的经济目标，可以少用资源少用能源，即循环经济、节能等措施，称之为资源增效减碳；

二是能源结构降碳。这是未来减少碳排放的主体措施，即非化石能源从比较低的比例走向比较高的比例；



虚拟电厂功能示意图

三是地质空间存碳。通过碳捕集利用和封存（CCUS）技术，解决未来能源系统中保留的小比例化石能源产生的二氧化碳；

四是生态系统固碳。通过前面三项措施实现碳减排后，最终剩下的碳由生态系统碳汇吸收，达到排碳和固碳基本持平，就是碳中和的概念；

五是市场机制融碳。通过市场机制把各种技术在不同的时间、空间合理配置到减碳体系中来，并发挥重要作用。

“双碳行动”影响未来四十年

在资源增效减碳方面，我国在节能和提高资源效率上已取得长足进步，但未来还有很大的潜力，跟发达国家比还有很大的发展空间。现在讲“无废城市”，无废意味着减碳，未来的无废要从目前的固废发展到固废、废水、废气和废热，四废打通，废碳打通，都是未来重要的发展方向。

能源结构降碳的核心是要大幅度地提升可再生能源或者非化石能源的比例，非化石能源最典型的有四个，分别是风能、太阳能、水能、核能。其中风能、太阳能将来占的比例会更高。国家气候中心的分析结论，与国际能源署（IEA）给出的技术评估基本一致，即未来支撑中国实现“双碳”目标的非化石能源总量是足够的。该结论是在做了比较细致的科学分析后得出，已经把不可合理利用的、不能经济利用的时空范围扣掉。

“双碳计划”在未来会催生很多新产业，比如虚拟电厂，就是把化石能源为主体的“以需定供”电力系统，建设成风光能源为主体的“以供调需”新型电力系统，在这个过程中，电动车会扮演分布式储能的重要角色。国家电网在北京做过一个双向充放电互动桩试点，结果表明，一辆小汽车选择合适时段充放电，一年下来能挣4000块钱。中国现在的电动汽车是600万辆，根据相关规划研究，到“十四五”末会增加到2000万辆，到2030年会到8000万辆，2040年会到两至三亿辆，届时电动车分布式储能的功效会大幅提升。

地质空间存碳需要探索未来产业集群碳捕集与地质空间之间的匹配。2021年7月16日，全国碳市场正式启动上线交易。目前电力行业已被纳入全国碳市场，预计后续还会纳入建材、冶金、石油、化工等多个行业，还会覆盖到个人的碳足迹，100%覆盖各种碳的排放领域。

要实现碳中和目标，技术是关键。国际能源署（IEA）2021年的报告显示，在全球能源行业的路线图里，2050年实现净零排放的关键技术中，50%目前尚未成熟，需要进一步研发提升，可见走向技术依赖型的经济发展模式对科技创新的需求更加迫切。

“十四五”期间要推出的绿色刺激措施，涉及信息基础设施、可再生能源、低碳城镇化和现代化城市等多个方面，将对相关行业带来40多万亿的投资，其中有一半与减碳直接相关，其他投资也间接相关。在未来的发展当中，有人讲“双碳”的时代已经来临，如果说过去40年影响中国发展最大的四个字是“改革开放”，未来40年影响中国最大的四个字可能就是“双碳行动”。要实现这一目标需要政策引导、科技创新，并建立全新的人才培养体系。自然科学、工程科学、社会科学各学科要一起协同创新，共同培养面向碳中和时代的人才。

【本文据作者在第二十三届中国国际高新技术成果交易会上的发言整理。】