

■ 高端访谈

数智赋能：实现“双碳”目标与绿色转型的新解法

——访清华大学碳中和研究院院长、环境学院教授贺克斌

提要：近年来，在“双碳”目标引领下，我国绿色低碳发展迈出坚实有力的步伐，但统筹实现经济增长与生态保护仍面临着一些挑战。破题的关键在于技术创新，大数据和人工智能的结合将成为下一步绿色转型的核心技术驱动力。可探索构建“一大脑、两支撑、多场景”的现代化生态环境智能治理体系，协同推进高质量发展与高水平保护。

■ 本报记者 吴晔 张竞聪
通讯员 王陆军 实习生 石好雨

2020年9月，习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上郑重宣布，中国力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。推进碳达峰碳中和(以下简称“双碳”)是党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策，是我们对国际社会的庄严承诺，也是推动经济结构转型升级、形成绿色低碳产业竞争优势，实现高质量发展的内在要求。当前，“双碳”工作的重要性和紧迫性体现在哪，如何在经济增长与“双碳”目标间取得平衡，数智技术在其中扮演着怎样的角色？近日，本报记者专访了清华大学碳中和研究院院长、环境学院教授贺克斌。

“双碳”承诺彰显了中国的担当

记者：习近平总书记多次强调，“降低二氧化碳排放、应对气候变化不是别人要我们做，而是我们自己要做”。今年是绿水青山就是金山银山理念提出20年，也是“双碳”目标提出5年，您认为我国推进“双碳”工作的重要性和紧迫性体现在哪？目前取得了哪些成果？

贺克斌：“双碳”目标的提出彰显了中国作为负责任大国的担当，也为我们定下了一个刻不容缓的时间表。在我看来，中国推进“双碳”工作的紧迫性主要体现在三个方面。

一是应对气候变化的需要。近年来，气候异常越来越成为舆论关注的焦点。国家防灾减灾救灾委员会办公室、应急管理部发布的2024年全国十大自然灾害中，有9个属于极端气候灾害或者受极端气候影响，给人民群众的生命财产安全带来严重损害。正常的气候系统是支撑经济社会发展的基本条件，一旦气候系统由于持续变暖而发生紊乱，将直接影响经济社会的平稳运行。二是能源转型的需要，即从化石能源向新能源转型的需要。现阶段支撑世界经济发展的能源超过80%是化石能源，但化石能源在未来的200—400年里有耗尽的风险，且其在全球的地域分布极不均匀，很多不平衡的发展甚至地缘政治冲突都源于此。正如联合国秘书长古特雷斯所说，“阳光不会价格飙升，风也不存在禁运问题”。如果我们能够通过技术突破大规模地利用以风能、光能为代表的新能源，那么全球未来的发展将得到更好的保障。第三是美丽中国建设的需要。以人们熟悉的PM2.5为例，2020年全国PM2.5年均浓度为33微克/立方

米，而根据世界卫生组织最新研究结果，5微克/立方米是目前认为能够较好保护居民健康的浓度值。如果我们只是采取传统的环保措施，2060年最多降到25微克/立方米，而要是2060年成功实现碳中和，这一数字可以下降到10微克/立方米以下，将带来显著的环境收益和健康收益。

这五年，我国的“双碳”工作成果颇丰。首先，在制度设计层面，全国已构建完成碳达峰碳中和“1+N”政策体系，“双碳”工作机制日益成熟完善。《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》《2030年前碳达峰行动方案》等文件印发，明确时间表、路线图。有关部门出台能源、工业、建筑等重点领域重点行业实施方案，以及科技支撑、财政支持、统计核算、生态碳汇等支撑保障方案，31个省份制定碳达峰实施方案。

其次，全国碳市场体系正朝着更加成熟、规范、具备价格发现功能和金融属性的目标加速迈进。2021年7月，全国碳排放权交易市场以发电行业为突破口，正式上线交易。经过4年的发展，钢铁、水泥、铝冶炼这三大高耗能行业也被成功纳入其中。2024年，全国碳排放权交易市场碳排放配额全年成交额180.44亿元，创历史新高。与此同时，全国温室气体自愿减排交易市场平稳起步，今年3月，首批 CCER(国家核证自愿减排量)顺利完成登记并开展交易。

第三，人民群众对降低碳排放的重要性和紧迫性有了更为深刻的认识，“双碳”概念深入人心。越来越多的人意识到，应对气候变化关乎人类共同命运，减少碳排放是保护生态环境、推动可持续发展的必然选择。从绿色出行、节能节水到垃圾分类、低碳消费，公众以实际行动响应“双碳”号召，形成全社会参与减排的良好氛围。这一观念的深化，既体现了生态文明理念的广泛传播，也反映出国家战略正逐步转化为每个人的自觉行动，为实现绿色转型奠定了坚实的群众基础。

总的来说，在“双碳”目标引领下，我国绿色低碳发展迈出坚实有力的步伐。各行业积极调整产业布局，加快转型升级步伐，积极探索生态优先、绿色低碳的发展新路径，在示范项目与试点建设、新型能源体系建设等方面不断取得新成果。2024年，我国单位GDP能耗比“十三五”末下降11.6%，是全球能耗强度下降最快的国家之一。

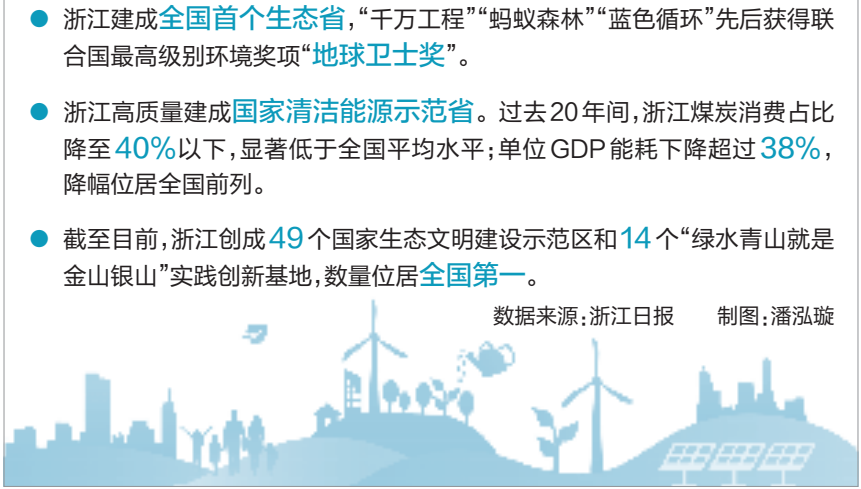
破题的关键在于技术创新

记者：习近平总书记在年全国生态环境保护大会上，系统阐述了新征程继续



浙江安吉竹海栈道。安吉正以竹林碳汇改革为支点，撬动共同富裕与低碳发展的双赢格局。

视觉中国供图



推进生态文明建设需要处理好的几个重大关系，其中排在首位的是“高质量发展和高水平保护的关系”。在您看来，我们应如何在经济增长与“双碳”目标之间取得平衡？当前面临的困难和挑战有哪些？

贺克斌：我认为破题的关键在于技术创新。党的二十大报告提出：“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。”世界经济发展模式正在从资源依赖转向技术依赖，谁能更快地构建起技术驱动型的经济体系，谁就抢到了未来发展的先机。

摒弃旧有发展模式的惯性并非易事。就全球范围来讲，现在面临着三个方面的挑战。第一是技术的商业化问题。最近清华大学碳中和研究院组织全国几十家单位做了详细的评估，要实现2060年前碳中和需完成超过120亿吨减排任务，依赖300多项关键技术突破，其中40%—50%的技术尚未实现商业化。以太阳能为代表的储能技术商业化程度相对较高，储能、氢能、智能技术商业化率不足50%，后三个板块是全球目前共同努力突破的方向。第二，新能源装备发展将带动全球矿产资源需求激增。新能源体系的构建不是一个国家能单独完成的，需要全球协作。第

三是全球碳市场体系建设的问题。2024年5月，世界银行发布报告，指出当前全球共有75个碳定价机制在运行。如何沟通全球不同的碳定价机制，构建一个全球互联互通的碳市场体系，实现全球碳中和技术共享？这也是未来有待破解的难题。

在我看来，大数据和人工智能的结合将成为下一步绿色转型的核心技术驱动力。如何推动数智技术在生态环境治理领域发挥实效？我们需要建立规划统一、标准明确和凝聚多元主体参与的体制机制，在党委领导下，形成政府、企业、社会等各方协同的治理合力。在总体架构上，我认为可以构建“一大脑、两支撑、多场景”的现代化生态环境智能治理体系。“一大脑”即生态环境大模型体系，包括具备通用生态环境知识、综合推理能力和决策能力的中枢大模型，以及从中枢大模型衍生出的多个轻量化、场景化小模型，分别服务于大气、水、土壤、固废等具体治理任务。“两支撑”指高质量的领域知识库和高效安全的算力体系，共同构成支撑生态环境大模型持续进化与多场景智能应用的基础设施体系。“多场景”则强调生态环境智能治理需因地制宜，针对污染防治、生态修复、风险预警、执法监管

从被动治理到主动转型

记者：党的二十大报告提出：“立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动。”在现有的基础上，我国未来应该如何更高质量地落实“双碳”行动？浙江在这方面有哪些可为之处？

贺克斌：受当前复杂多变的国际局势的影响，全球气候治理和能源转型的进程产生了一些波折。4月23日，在气候和公正转型领导人峰会上，习近平主席强调：“无论国际形势如何变化，中国积极应对气候变化的行动不会放缓，促进国际合作的努力不会减弱，推动构建人类命运共同体的实践不会停歇。”这三个“不会”充分表明了中国推动绿色发展坚定不移的决心。

随着污染防治攻坚战深入推进，我国生态环境已得到明显改善。未来，我们必须从“先破坏、后治理”的被动治理转向主动的结构调整，包括产业结构、能源结构、交通运输结构等，这也是“十五五”时期乃至“十六五”时期我们的主攻方向。

从国家层面来看，我们已经发布三个重要文件，为打赢这场“硬仗”做好了谋划，即《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》《中共中央 国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》。对各地而言，绿色转型的过程风险与机遇并存。浙江在数智赋能“双碳”与绿色转型方面，已经

走在全国前列，积累了丰富且宝贵的经验。首先，浙江拥有强大的数字经济产业基础，为绿色转型提供了有力支撑。例如，杭州作为“中国电商之都”，集聚了大量互联网企业和数字技术创新资源。企业在云计算、大数据、人工智能等领域的技术优势，可以被广泛应用于各个行业的绿色低碳改造。其次，浙江在政策引导和制度创新方面成效显著。政府出台了一系列鼓励数智技术应用于低碳与绿色发展的政策措施，如对实施数智化低碳改造的企业给予财政补贴、税收优惠，设立绿色产业发展基金等。积极推动相关标准的制定和完善，规范数智技术在低碳领域的应用。再次，浙江还注重产学研合作与创新平台建设。高校、科研机构与企业紧密合作，共同开展关键技术研发和应用示范。浙江还建设了多个国家级和省级的创新平台，为技术研发、成果转化和产业集聚提供了良好的载体。最后，浙江在引导公众参与方面也有可圈可点之处。通过宣传教育和推广活动，提高了公众对绿色低碳生活的认知度和参与度，大力倡导绿色消费、低碳出行，形成了良好的社会舆论氛围。

下一步，浙江及其他地区应加快能源结构调整步伐，加大对可再生能源的开发与利用。一方面，持续提升太阳能、风能、水能等清洁能源在能源消费结构中的占比，降低对化石能源的依赖。另一方面，加强能源存储技术研发与应用，解决可再生能源间歇性问题，保障能源供应的稳定性与可靠性。通过构建以可再生能源为主体的新型能源系统，为经济社会发展提供绿色、可持续的能源支撑。此外，面对国际绿色贸易壁垒，我们要充分认识完善碳核算体系的重要性，积极参与国际碳核算标准制定，加强与各国在碳核算领域的沟通与协调，推动建立公平、合理、统一的全球碳核算体系。

(本期栏目协办单位：浙江省科学技术协会)



扫一扫 看视频



专家介绍：贺克斌，清华大学碳中和研究院院长，清华大学环境学院教授、博士生导师。长期致力于大气复合污染特别是PM2.5的研究，在大气颗粒物与复合污染来源、复杂源排放特征与多污染物协同控制、大气污染与温室气体协同控制等方面取得了众多研究成果。

■ 纵横谈

■ 方枘

习近平总书记多次强调，加速数字化绿色化协同发展。数字化和绿色化作为新一轮科技革命和产业变革的两大趋势，已成为推动高质量发展的必然选择。党的二十届三中全会提出，健全因地制宜发展新质生产力体制机制，发展以高技术、高效能、高质量为特征的生产力。促进数字化与绿色化深度融合，有利于加快形成新质生产力，更好贯彻绿水青山就是金山银山理念，推进人与自然和谐共生的现代化。

把握内在要求

以数字化为核心驱动、以绿色化为价值导向，是培育发展新质生产力的内在要求。一方面，数字化是新质生产力发展的核心引擎。新质生产力的提出与数字化浪潮紧密相连，体现在利用数字技术驱动数字经济产业规模扩大，利用数据要素发挥边际报酬递增效应，利用数字基础设施提升算力资源配置效率等诸多方面。相关研究报告的量化数据显示，算力指数平均每提高1个百分点，数字经济和GDP将分别增长3.3‰和1.8‰。

另一方面，绿色化是新质生产力的基本要义。绿色是经济高质量发展的底

色，新质生产力就是绿色生产力。绿色化使得生产力发展不再将数量型扩张作为唯一目标，更加关注增长的资源极限、发展的生态阈值和地球的行星边界。新质生产力将生态资源纳入生产要素，将人与自然和谐共生关系纳入生产函数，摒弃对大自然无节制索取和改造的传统生产方式，以更高效的资源利用、更清洁的生产过程和更绿色的产品供给，实现经济社会的可持续发展。

应对现实张力

数字化与绿色化虽同为新质生产力的内在要求，但在实践中并非天然互促、毫无摩擦，而是存在一些张力与挑战。一方面，数字化可能增加资源消耗和环境污染，背离新质生产力的绿色化理念。伴随着数字技术的飞速发展，算力应用领域从互联网行业逐步扩展至工业、交通、医疗等多样化场域。作为承载算力的数字基础设施，数据中心的数据规模持续扩大，刺激了对碳基能源以及石墨、锂和钴等关键矿产资源的需求。生成式人工智能的爆发式增长导致“退役”计算硬件和辅助部件等数字废弃物激增，其中含有的重金属、新型污染物等有害物质，若处置不当将造成严重的环境污染。

另一方面，绿色化可能加剧投资风

险和资源错配，阻碍新质生产力的数字化进程。绿色低碳技术的初始投入较大，成本回收较慢，预期收益存在较大不确定性。绿色化的前置约束难以匹配数字化项目追求的经济回报周期，由此产生的投资风险限制了绿色低碳目标在数字化领域的广泛落实。太阳能、风能和水电等可再生能源主要分布在西部地区，而算力需求则集中在东部地区。由于可再生能源电力跨区域调配和市场化消纳机制尚不健全，东部高性能算力战略短板、西部闲置算力结构性过剩的资源错配现象持续存在。

促进深度融合

唯有推动数字化与绿色化的深度融合，方能缓解新质生产力培育中的现实张力，使其成为贯通“绿水青山”与“金山银山”的桥梁。

一方面，发挥数字化对绿色化的赋能作用，加快数字生态文明建设，助力“金山银山”的高价值转化。一是利用数字经济的高渗透性，降低产业绿色创新的边际成本。如通过数据共享和要素互联，对产品研发和资源利用等环节进行优化重组，助推制造业降本降耗和提质增效。同时，为绿色低碳科技项目匹配更具针对性的融资方案，提高企业的绿

色创新回报率。例如，宁波镇海区大力推进数智化绿色生产平台建设，实施“智改数转”四个全覆盖行动，落地全国首款石化化工大模型，为绿色石化产业提供从生产优化、质量控制到安全环保等多方面的智能化解决方案；湖州打造“数字绿金”体系，以数字化改革撬动绿色金融改革，开发“碳账户”综合支撑平台，引导金融机构提供更多绿色金融产品，解决企业在绿色低碳发展方面的融资需求。二是利用数字技术的高融合性，提升算力资源的配置效率。将人工智能与数字孪生网络相结合，构建跨区域算力调度体系和高速传输网络，为数据中心的空间布局提供系统性优化方案，实现西部绿电供给与东部算力需求的精准适配。例如，嘉兴嘉善县与上海青浦区、江苏苏州吴江区联合打造长三角一体化示范区数据中心集群，与芜湖数据中心集群一起组成长三角算力枢纽，成为我国“东数西算”工程八大算力枢纽之一。该枢纽侧重于满足中心城市的实时性算力需求，将使用频率不高、时延不敏感的温冷业务通过全国一体化算力网络向西部可再生能源富集地跨域调度，形成跨区域的供需错位互补格局。

另一方面，发挥绿色化对数字化的牵引作用，确保数字产业绿色低碳发展，夯实“绿水青山”的生态本色。一是以能

源革命带动数字化转型。构建以可再生能源为主体的新型电力系统，将智能电网与源网荷储技术相结合，增强电网对可再生能源间歇性和波动性的适应能力，减少化石燃料的调峰消耗，并建设数据中心余热回收利用系统，抵消数字基础设施建设、运行及算力扩展带来的资源消耗。例如，甘肃至浙江±800千伏特高压直流输电工程，是世界首条在送、受两端均采用特高压柔性直流输电技术的跨区直流输电工程。工程投运后，甘肃每年可向浙江输送电量超过360千瓦时，其中绿电占比超过50%，每年可促进新能源电量消纳超212亿千瓦时，替代燃煤消耗640万吨，减少碳排放1700万吨。二是以循环经济理念推动数字废弃物的资源化利用。鼓励产业链上下游企业共建绿色回收网络，提高稀贵金属等资源的回收率和经济效益。加大对数字废弃物处理技术的研发投入，打造数字废弃物循环利用体系，形成安全、高效、绿色、经济的数字废弃物处理标准，避免因不规范回收和利用造成重金属及其他有害物质二次污染。例如，我国首个废弃电器电子产品回收利用碳减排项目在浙江杭州落地，项目预估每年可实现碳减排量超过3万吨。

总而言之，以数字化赋能绿色化，以绿色化牵引数字化，数绿融合正成为加快

发展新质生产力的重要抓手。数字化为绿色低碳转型提供强有力的创新驱动和科技支撑，充分释放数字经济对绿色创新的赋能作用，推动传统产业降本降耗，培育绿色消费新动能，降低企业绿色低碳转型风险；充分释放数字技术在优化数据中心布局中的应用潜力，改进算力资源的配置效率和空间布局。绿色化则为数字产业的健康发展提供必要的能源基础和理念引领，通过能源革命推动新型电力系统建设，减少数据中心等数字基础设施的能耗和碳足迹；通过循环经济理念引导数字废弃物进行规范回收和资源化利用，降低数字产业的环境污染。

当前，以深度求索(DeepSeek)为代表的中国式前沿创新成果，正不断突破依赖大算力和高能耗进行性能提升的研发模式，重塑行业发展和国际竞争格局，展现出数绿融合的广阔前景。随着中国式现代化不断推向前进，有理由相信，数绿融合将催生更多创新突破和范式变革，加速推动生产力向高技术、高效能、高质量跃迁，持续激发新质生产力涌现，并把绿水青山就是金山银山理念切实转化为生动实践，开创数字文明与生态文明协同共进的人类文明新纪元，为世界可持续发展贡献东方智慧。

(作者为浙江大学公共管理学院副院长、求是特聘教授)