

# “碳中和”，改变你我的生活

▶ 本刊记者 钱箬旒



李鹏，1998级电机系校友、国家电力投资集团战略规划部副主任，曾主持编制了可再生能源发展“十二五”“十三五”规划，风电发展“十二五”“十三五”规划，2035/2050可再生能源中长期发展战略等。



沈亚东，2000级电机系校友、教授级高级工程师，主持完成“能源互联网示范项目创新模式研究”，担任中国工程院重大战略咨询项目“推动能源生产和消费革命战略研究”课题编委会成员，所著《碳中和：全球变暖引发的时尚革命》获“2021年度世纪好书”。



陈新宇，2005级电机系校友、华中科技大学电气与电子工程学院教授，电力系副主任，哈佛大学客座研究员。围绕碳中和转型在《自然》子刊 Nature Energy, Nature Communications,《科学》子刊 Science Advances,《细胞》姊妹刊 Joule 等期刊发表SCI论文多篇。

在2020年9月第75届联合国大会上，中国承诺力争在2030年前实现碳达峰，在2060年前实现碳中和。此后，“碳中和”成为备受多方关注的社会热词。刚刚成功举办的2022年北京冬奥会，是迄今为止第一个“碳中和”的冬奥会，彰显了我国主动承担应对全球气候变化责任的大国担当。据测算，北京冬奥会实施了30多项低碳技术和措施，相比于传统方案共计减少二氧化碳100万吨左右。值得思考的是，碳中和还将如何影响我们的生活，未来又将迎来怎样的机遇和挑战？本刊特走访了李鹏、沈亚东、陈新宇三位专家。

**记者** 碳中和是关乎人类命运的一场深刻革命，与地球上的每个人都息息相关。请您结合自己的研究和观察，谈一下您认为在实现碳中和过程中，对每个人来说，最应该或者需要关注的地方是什么？

**李鹏** 自从2020年9月22日习近平总书记提出我国碳达峰、碳中和目标之后，一年多来，政府各有关部门高效运作，迅速建立起了完备的“1+N”政策体系构架，充分体现了我国政令自上而下高效运转的制度优势。但是仅仅靠政府的红头文件还不够，因为碳中和与其他的事情不同，它和我们每个人的日常生活都息息相关，所以除了政策端充足的供给之外，还要想办法让全社会形成统一的认知，使得绿色低碳成为全社会追求的新时尚。这就需要我们高度关注绿色消费领域，通过在消费端持续创新的技术迭代，使得各类低碳技术能够有效赋能人民群众的美好生活。除了山更清、水更

绿之外，大家还能够感受到绿色低碳技术带来的其他种种便利，要在绿色转型的过程中有充足的获得感。如果每个人都是被动的去接受碳中和的理念、被动执行碳中和的相关政策，甚至觉得碳中和与个人的生活无关，那一定会对全社会的碳中和目标造成迟滞延缓。电动车就是一个典型例子，2020年之前的渗透率不足5%，而去年12月的渗透率已突破20%，靠政策的强制驱动及各种补贴的推广效果远不如近几年技术进步以及基础设施完善带来的便利对产业的推动作用大，特别是电动车从一开始就具备了较好的智能化水平，对于年轻人的吸引力大增，实际上已经打破了汽车领域固有的品牌格局。

从企业角度来看也是同样的道理。对于每一家有志于在碳中和时代占据一席之地并希望取得更大发展的企业来说，通过建立企业的碳普惠平台，逐步引导员工感知甚至享受全新的绿色生活方式，使得员工能够更加深刻地理解企业绿色转型的战略必然性，推动实现全体员工凝心聚力，激发员工的创新热情，会极大减少碳中和转型过程中的管理成本。从实际的例子来看，目前全世界还没有一家企业能够在基层员工不理解甚至淡漠的态度下成功实现华丽的绿色转身。谷歌、苹果等国际公司在这个领域都做的非常好，绿色低碳理念已成为企业文化，并贯彻于管理体系。国内的新能源企业也在普遍开展实践行动，国家电投集团建成了央企之中首个覆盖全集团的碳普惠平台，起到了显著的凝聚共识的作用。汇涓流终成江海，相信随着绿色低碳理念的逐步深入，逐步成为铭刻在企业文化内核上的基因，这些理念终将在不久的未来形成生产力层面的回报。

**沈亚东** 自2020年9月22日“中国30·60”目标宣布以来，谈论碳中和、投身碳中和已经成为全社会的新时尚。我认为，在实现碳中和过程中，对每个人来说，最应该或者需要关注的地方不是以公益

的心态在日常生活中节能降碳，而是积极主动寻找合适的切入点，让碳中和能够实实在在助力自己的工作学习。正如我在2021年6月出版的《碳中和：全球变暖引发的时尚革命》新书中描述，碳中和是一场跨越数十年的时代大餐，我们每个人都可以扮演硬菜、主食或者调料中的某一个角色。这本书抛砖引玉，从生活、环境、生命、空间、金融、创新、文艺、哲学、大学等九个方面，提供了人类命运共同体理念下的碳中和“三十六计”。

比如，对产业界而言，碳中和对能源、交通、建筑、农业等行业产业升级提供了很多新的投资机会。中国中车集团充分发挥在高铁制造中的电力电子优势，加快推进风电装备等重要增长极，有效弥补近年来高铁订单下滑后营业收入的不足；而著名的“拖鞋大王”宝峰时尚更是将公司名称改为“金阳新能源”，全面进军太阳能产业，2021年9月中旬首批182mm大尺寸单铸硅片已发货。有的高中生深入分析了家里小区的太阳能发电规律并发表了相关文章，成为科技创新的小能手，得到了著名大学的青睐；而如果深入分析近年来全国各地的高考作文，不难发现，碳中和理念几乎可以成为应对发散性题目的“万金油”。

从大历史观看，大约一万年前的应对全球变暖，带来了农业革命，带来了《黄帝内经》，带来了大禹治水，带来了华夏文明。今天的应对全球变暖，又会给中华民族带来什么呢？2021年9月，中国科学家在二氧化碳人工合成淀粉上的突破提醒我们，碳中和可能给我们带来很多意想不到的惊喜。

**陈新宇** 碳中和转型是涉及百万亿级固定资产投资的重大问题，“好的”转型路径和“差的”转型路径每年所需的投资额相差上万亿人民币，迫切需要基于能源经济系统基本运行规律的科学顶层设计，从而确保碳中和转型过程的安全性和经济性。同时，全国可再生能源资源禀赋、能源需求和行业特性都

有巨大差异，目前以省和行业为主体的自下而上的转型路径设计方式亟需统筹，形成自上而下的国家级顶层设计。

**记者** 在诸位看来，碳中和转型下，全国输电网络格局可能发生哪些变化？

**李鹏** 从用能效率提升的角度来说，能源的就近生产和利用是效率最高的方式，所以未来分布式新能源电源将成为重要的增量来源。分布式电源与用能负荷的高效互动与快速响应，将会深刻改变目前电力系统的平衡方式，从当前所有的调节需求均在大电网来实现，逐步过渡到先在更小的平衡单元实现一次调节，之后再与大电网互动的新模式，届时微电网和局域电网将成为“源网荷”互动的主场。

因此未来的输电网络将成为高弹性的大电网与微电网和局域网有机融合，交流大电网和直流微电网以及局域网混联互动的网络。现行的配电网也必然会重构，从目前的单向能源流向的设置转变为双向能源流和多向信息流的网格化网络。

**陈新宇** 我国碳中和进程中，东南沿海及相邻省份作为电力能源的需求中心，占据了70%的电力能源需求，是我国碳中和转型的核心挑战。但随着海上风电技术经济性的迅速改变，海上风电将迎来大规模发展，东南沿海某些省份有望成为我国可再生能源基地。同时，华中区域的风光资源严重匮乏。碳中和远景规划中，传统“西电东送”的格局或将转变为“四周向中部输送”的格局。

**沈亚东** 碳中和转型下，我国新能源正在跨越式发展，2021年新能源发电量突破1万亿度，相当于我国1996年前后的全国用电量；海上风电异军突起，全年新增装机1690万千瓦，是此前累计建成总规模的1.8倍，首次跃居世界第一；在沙漠、戈壁、荒漠规划建设4.5亿千瓦大型风电光伏基地，其中一批项目已经开工。此外，西藏也加快了水电项目开

发，“实施雅鲁藏布江下游水电开发”列入国家第十四个五年规划和2035远景目标的建议中，该项目装机约6000万千瓦，年发电量约3000亿度，相当于“再造三个三峡”。西藏的同志们激动地说：几十年来，全国人民支援西藏建设，如今，西藏要支援全国碳中和了！

在此背景下，我认为全国输电网络格局可能发生两大变化：

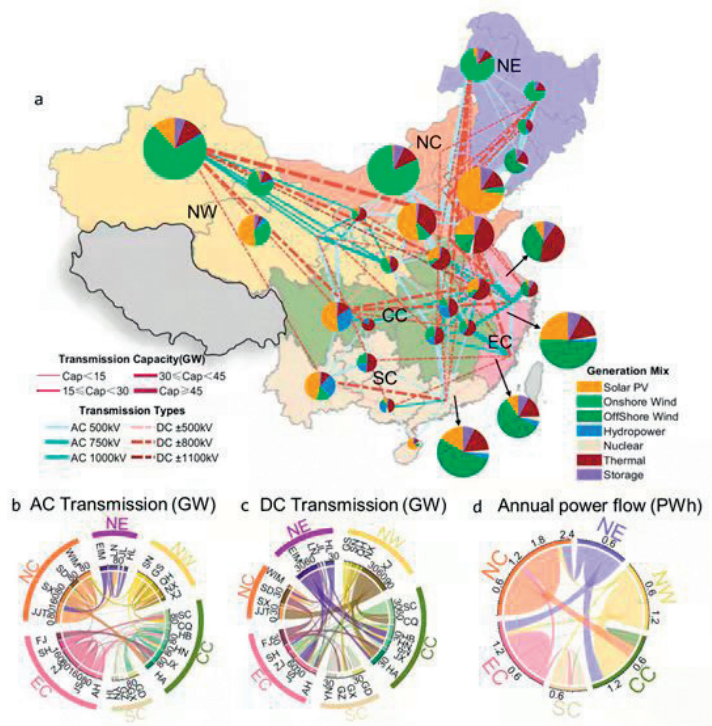
第一个变化是从整体上讲“西电东送”向纵深推进，比如，广东省政府在2022年政府工作报告中明确提出“推进藏东南至大湾区特高压直流等工程前期工作”。西藏送出通道需穿越深山密林、跨越断裂带，地势落差大、地质构造复杂，走廊开辟困难，对输电线路建设提出很高要求。

第二个变化则是在局部时段可能会出现较大规模的“东电西送”，比如，广东的海上风电和云南的风电、光伏同属于“看天吃饭”，未来可以互相调剂，这种电力双向流动对电网安全稳定控制提出很高要求。这方面，美国德克萨斯州（以下称“德州”）的教训值得借鉴。2021年2月14日开始，受百年一遇的寒冷天气影响，德州最低温度达-21℃（德州冬季平均温度为14℃），寒冷天气导致用电负荷激增，同时天然气输气管道出现大量冰堵，风力发电机组冻结，导致约5227.7万千瓦机组停机，其中燃气机组停机2600万千瓦，占燃气机组总装机50%，风电停机1800万千瓦，占风电总装机57.3%。雪上加霜的是，德州平时电力基本自给自足，德州电网是美国几乎完全独立的州级电网，与外部电网之间的直流互联交换功率很小，在事故阶段得不到援助，由此德州爆发了持续数天的大规模停电事故，影响人口约400万。

**记者** 据预测，到2030年，我国风电、光伏装机达到12亿千瓦以上，这将为清洁能源带来10万亿

元以上的投资空间。同时，也有研究认为，2060年碳中和目标的实现，我国须在本世纪中叶将太阳能、风能和储能能力在2020年的基础上提高11倍。请问如何看待上述观点，面对这样的发展趋势，国内相关企业又有哪些举措？

**陈新宇** 根据我国电力能源需求目前的上涨趋势，2030年12亿新能源装机是远远不够的。目前根据各省的“十四五”规划。预计新能源装机在2025年就有望突破12亿千瓦，因此可再生能源行业的发展仍将有较好的表现。但在可再生能源大规模发展的同时，一是还需要确保其顺利接入电网，实现足额消纳与利用；二是需要重视我国幅员辽阔的国土面积上可再生能源资源禀赋的差异，实现全国一盘棋的统筹有序开发。



2050年80%可再生能源渗透率下各省发电装机结构和全国跨省输电网络布局

**记者** “充电桩”建设一直备受人们关注，在解决“充电桩”问题上，应该把握哪些重点？原因何在？

**陈新宇** 2050年我国电动汽车保有量预计将达到4亿量，消耗电能2万亿度，如此巨大规模的电动汽车充电方式和地点的选择将对能源经济的运行带来巨大的影响。我们曾根据实际数据测算，如果北京20%的私家车成为电动汽车并采用快充充电，电力系统尖峰负荷将增加50%，整体碳排放将显著升高；但如果同样数量的私家车采用慢充，那么电动汽车将是低碳的，因为它更有助于清洁能源接入电网。因此，慢充的方式更应该被鼓励，不同充电方式的影响应当最终反映在充电费率上。

同时，目前我国充电桩布局的方向还是以居住地为主，未来为了协同大规模光伏的发展，充电时段将向中午转移，因此充电桩的布局需要由居住地充电向目的地充电过渡，而目前政策中对商业楼宇

的充电桩布局规划的重视远不及居民小区，应当予以加强。

**记者** 展望未来，碳中和场景下的能源供应体系将如何发展？为更好地构建这一体系，我们需要制定什么发展战略和开展哪些科技创新？

**李鹏** 在碳中和时代，各产业都面临产品形态、工艺流程和商业逻辑的重构。有人将“零碳时代”的到来誉为第四次工业革命，但目前很多人对于碳中和的认知仍仅聚焦在能源或是新能源电力上，认为只要将目前的电源结构进行彻底调整，把全部电能均改为绿电，我们就将轻松迎来一个碳中和的时代。个人觉得这是一种惰性思维。且不说具有较大波动性和随机性的风光电在电能品质和完全可控的传统电能是两种完全不同的商品，要在现在的电力系统物理架构上实现新能源电力和负荷的有

效匹配，就目前的技术手段尚无可能；更不必说未来电能终端用能的占比仍将大幅提升，由目前的 26.5% 增长至 2060 年的 60% 以上，电能如何全面替代当前以非电状态使用的油气、煤炭等化石能源，尚无非常明确的发展路径。

因此，要实现碳中和的远景目标，一方面电力行业要实现物理网络架构和运行机制的颠覆性重构，另一方面目前的诸多高耗能的产业也要面临产品形态、工艺流程和商业逻辑的全面重构，绝大多数产业都会发生颠覆性变化，很多现在我们倚为支柱的产业会衰退甚至消亡。能源和产业，二者必须同步变革，缺一不可。在这个变革的过程中，工业企业必须主动参与进来，与能源企业特别是电力企业一起协同创新，在全新的电力生产和消费架构下实现产业的绿色升级，这才是正确的发展路径，而绝不能维持现有的能源消费路径不变，仅仅是被动等待电力系统的绿色转型。工业企业尤其是不能仅仅把减碳看作是企业履行社会责任的手段，而应该视作是其自身在新时代实现更高质量发展的全新动力换装。

碳中和时代的核心竞争力是低碳和负碳技术，这同样也是未来国家之间竞争的科技制高点。通过低碳技术形成“碳壁垒”，建立、巩固和发展绿色技术优势，是未来科技研发的重要战略方向。清华大学碳中和研究院的贺克斌院长提出，实现碳中和所需的技术中，超过 85% 仍处在概念阶段，未来研发创新任重道远，需要越来越多的在当下看来属于脑洞大开的黑科技持续不断涌现并得以推广应用，同时需要建立鼓励创新研究和应用推广的体制机制和社会环境。

**沈亚东** 2021 年，人们对未来能源供应体系的认知经历了一个逐步深化的过程。3 月 15 日中央提出要构建以新能源为主体的新型电力系统，9 月以来的能源供应偏紧形势则凸显出我国当前仍处于以煤为

主的基本国情，12 月 10 日中央经济工作会议则强调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。

在发展战略上，构建碳中和场景下的能源供应体系需要充分做好碳达峰和碳中和的有机衔接，实现全社会的平稳转型和资源节约。比如，在政策支持上，各地在分配新能源资源时，建议综合考虑煤电企业在当前和今后一段时间能源保供中的贡献度，为煤电企业在五年和更长之后的转型提供发展后劲，避免出现电影《集结号》中坚守者被大部队遗忘的悲剧。在科技创新上，建议加快燃煤锅炉混氢燃烧技术开发。目前，我国自主开发的第一代混氢低氮煤粉燃烧器已在 40MWth 燃烧试验平台上进行相关试验，混氢燃烧热量比例达 35% 属世界首次，氢燃尽率 99.99%；未来，通过可再生能源制氢，再将氢气转化为相对便于存储运输的氨气，通过较小的技术改造，利用现有的燃煤锅炉不断增加绿色氨能的掺烧程度，这为我国 21 世纪以来的大量新建存量煤电机组提供了一种性价比高的绿色转型路径，实现了双碳之间的无缝对接。

加拿大学者瓦茨拉夫·斯米尔在《能源神话与现实》一书中深入分析了“核电将会便宜得无需计量”的观点，指出“能源转型本质上需要数十年的长期持续发展，而不是短短几年就可以实现的”，并强调“从生物质能到煤炭，从煤炭到石油和天然气，从燃料的直接使用到发电，能源转型一直激发着人类的创造力”。

我认为，当前一些专家描绘的风能、光伏、储能、氢能为主体的能源供应体系只是未来实现碳中和的一个保底方案，这为我们实现碳中和提供了信心；而更加优化的方案，则需要我们推动无边界的科技创新，将生命科学、太空探索、人工智能等与能源科技更加紧密结合，将天马行空的想象和实事求是的论证紧密结合，这样，我们获得的成果，可能不仅仅是碳中和，而是全人类更加美好的未来。🌱