



习近平总书记在中央全面深化改革委员会第二十次会议上强调，加快构建新发展格局，是一场需要保持顽强斗志和战略定力的攻坚战、持久战。中央财经委员会第九次会议强调，我国力争2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和，是党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策，事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。实现碳中和目标，其中必然伴随着大量的技术进步和创新，人民的生产生活也将因此发生深刻变化。作为构建新发展格局的一项重要内容，推动实现碳中和必将是一场考验我们意志和定力的攻坚战。

技术进步提速碳中和进程

当前，第四次工业革命催生了新能源、新材料、物联网等关键技术，正在重塑世界能源供需格局。完成清洁能源对传统化石能源的替代，是一场新的能源革命，将经历从化石能源为主、清洁能源为辅，到化石能源与清洁能源并重，再到清洁能源为主、化石能源为辅三个阶段，最终由清洁能源取代化石能源。在技术创新驱动下，这次能源革命将从化石能源通过燃烧产生高温高压做功发电的“火药时代”，迈向风、光为主的非化石能源仅通过“捕获”风、光来产生电的“冷兵器时代”。目前，我国在新能源、特高压、智能电网、储能、电动车、5G等领域均已具备世界领先的技术、产业优势，覆盖能源供应、输送、消费、存储、转换、控制的全过程。

传统电力系统有两个显著特点，“就地平衡”和“发输用”同时完成。新能源为主的非化石能源取代化石能源需要解决量价和不稳定性两个主要问题。以新能源为主体的新型电力系



□ 时家林

统可以通过电的“空间转移”和“时间转移”，根本上破解新能源和传统电力系统的时空矛盾，对传统电力系统实现变革。

我国自然资源十分丰富，随着新能源技术和装备制造能力不断提升，西部、北部地区风、光资源富集区每度电成本已低至0.2元，仅柴达木盆地20万平方公里土地，理论上可装光伏100亿千瓦以上，年发电量20万亿千瓦时。通过特高压送到东部负荷中心，成本与当地火电相比具备竞争优势，可以实现电的大范围“空间转移”。

在供需两侧大力布局储能资源，可以实现电力系统由“发输用”向“发输储用”转变。同时，信息技术进步和数字化进程加速，可以对每个发、用电单元进行精准控制，实时调整用电出力，构建荷随源动、源荷互动的运行机制，实现电的“时间转移”，从而提供新能源间歇性问题的解

决路径。在新技术支持下，电动车充放电、热泵+储罐储冷/热等新模式，相较于电池、抽蓄等传统储能方式，将大大降低储能成本，更利于充分发挥我国新能源资源禀赋和技术优势。

随着大容量储能、新能源材料、氢燃料电池、海水淡化等技术不断进步突破，电能将与冷、热、氢等各类能源形式深度联系，与交通、制造、养殖等其他产业跨界融合，孵化出一批新模式新业态。技术进步将和碳中和进程相互促进、相互提升，形成快速的阶跃和突变。

技术创新推动终端用能去碳化

电动车、储能、热泵、储热等技术快速发展，交通、供暖等用能终端再电气化进程加快，是一场效率革命、成本革命。电动车能耗仅为燃油

车的1/4，使用低谷电充电时，成本仅为10%。热泵在提供相同的热量情况下，能耗仅为燃气、燃煤锅炉的30%，使用低谷电供热时，成本仅为燃气锅炉的1/3，与燃煤锅炉相当。电力在能源终端需求侧的能效、成本和环保优势日趋明显。

与欧美发达国家相比，我国居民用电增长仍有较大空间，亟须加快推进再电气化进程，实现终端用能去碳化。如民用交通、建筑用能等全部由电动车、热泵等方式实现电能替代，至少需增加3万亿—4万亿千瓦时电量，大约占当前终端消费电量7.5亿千瓦时的50%。

未来能源体系中，电是核心，储是关键。“储”一定不是简单的储电，而是综合利用储冷/热、电动车、氢能等多元化储能方式，充分挖掘需求侧现有资源和潜力，关键在于发动每家每户推广再电气化，增强需求侧弹性。

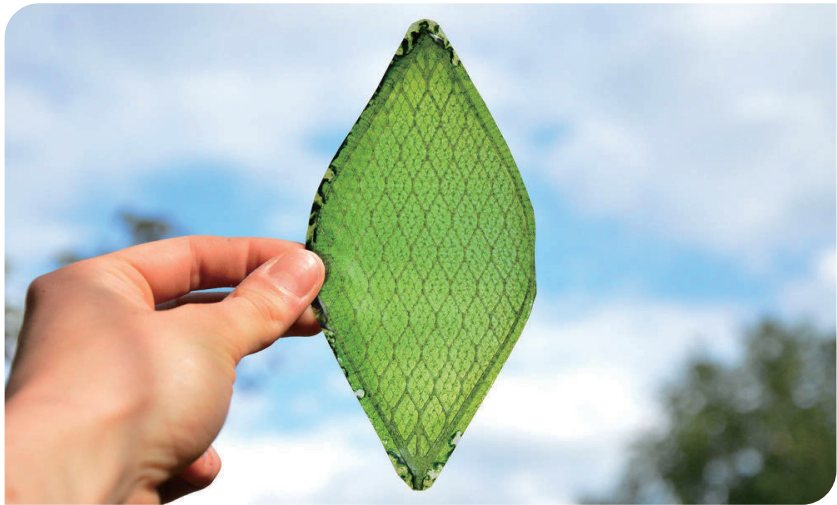
家庭中一些用能量较大的电器都可以做到“时间转移”，一天中某些时段集中使用即满足生活需求。如电动车可充可放；热水器、空调等设备可通过数字技术控制使用时间，对冲新能源不稳定性。新能源大发时，家庭用电设备大用或将电能转化“储存”；新能源不足时，用电设备停用，电动车反向放电。热泵配合储罐实现供冷/热，新能源大发时制冷/热并用储罐存储，这样效率更高，更具有经济性。

为实现碳中和注入不竭动力

传统能源体制下，煤、油、气、电、热、核等各类能源相互割裂，无法做到在“大能源”格局下，全盘谋划，统一调度；省际间资源配置和市场流通困难，市场作用无法

人工叶绿体赋能低碳未来

□ 王小理



年，2019年实现了三磷酸腺苷合酶和光系统II两种蛋白的共组装、含光酸分子多层膜叠状结构及光系统II与三磷酸腺苷合酶共组装，实现了“最接近真实叶绿体结构和功能的人工合成”。

重新设计光合固碳途径。2016年，德国科研人员成功构建了一种与天然固碳循环不同的、全人工设计合成的固碳CETCH循环，将其与菠菜叶绿体类囊体薄膜结合在一起，封装到直径约为100微米的液滴中，组成了“半合成光合系统”。随后，在2020年，德法两国科研人员利用合成生物学与纳米微流控技术，又研发出具有叶绿体功能、细胞大小的液滴，以及自动化生产具有不同功能人工叶绿体的组装平台。

改造光合微生物打造“光合细胞工厂”。光合微生物广泛分布，具有固氮、产氢、固碳和脱硫等多种生理生化功能，同时有易繁殖培育、易人工变异、耐性强等优点。以光合微生物的光合作用体系为基础，经过分子遗传改良的天然光合微生物混菌体系在污水处理、土壤修复、高价值化学品合成等领域展示出巨大价值。我国研究人员已经建立了以蓝细菌等单细胞藻为底盘，生产各类能源及高附加值分子的研究体系及平台。

有机/无机人工复合催化体系。人工半导体光催化剂具有消光系数高、吸光范围可调、结构稳定、反应寿命长等优点。将光合作用酶、类囊体膜、光合细菌及其他光合结构单元与人工光合作用单元串联起来，组装成自然—人工光合杂化体系，可实现优势互补、相互促进。目前，蛋白酶—纳米材料体系和活细胞—纳米材料体系两种技术路径进展迅速。

光合作用广泛存在于自然界的土壤、水田、沼泽、湖泊和江海等处，每年地球上通过光合作用合成的有机物约为2200亿吨，相当于人类每年所需能耗的10倍。未来人工叶绿体技术

走向成熟乃至商业化，至少有三方面的重大影响。首先，目前主要作物稻麦品种的光能利用效率仅为1%，而作物光能利用效率理论上可达5%。人工叶绿体技术将加速人类认识光合作用的科学机理，改造提升农作物的光合作用效率，增加全球农作物的产量。其次，利用人工叶绿体技术可以高效提供环境友好的新能源，更好捕获环境中的CO₂、加快“碳中和”进程，为解决能源问题和碳排放问题提供新技术方案。再次，人工叶绿体技术有望变革精细化学品、药品制造方式，清除环境特定污染物，且具有低能耗维持高效运行、安全性高等诸多优点，有利于实现联合国可持续发展目标。

总体上，人工叶绿体技术的研发仍然集中在基础研究层面上，还有理论机理、应用基础、材料组件等许多关键科学问题亟待解决。例如，光合作用能量传递效率高达94%—98%，光合作用反应中心进行的光能转换的量子效率几乎是100%。在常温常压下，当前科学技术所开发的人工叶绿体工厂远未能达到上述水平。将当前光吸收激发和化学转化相互分离的两个过程直接耦合，有助于指导人工叶绿体系统设计开发，实现更高效率的光捕集和光能转化。从原子和分子水平逐步深入认识光/电转化、传输过程、热力学、动力学和降解机理，对光合膜蛋白复合物进行空间结构解析，则有助于设计、开发高性能和长寿命的人工叶绿体系统组件。

目前，国际科技界都将人工叶绿体技术作为重要科技攻关方向，加快科技布局。美国加州理工学院和劳伦斯伯克利国家实验室牵头成立的“人工光合系统联合研究中心”、欧盟未来和新兴技术旗舰计划“面向循环经济的太阳能利用”、我国自然科学基金委“人工光合成”基础科学中心等，有望为人工叶绿体技术未来发展开辟出一条新路。

（上接1版）我们党是为人民奋斗和为人民服务的政党，始终把人民放在第一位，坚持尊重社会发展规律和尊重人民历史主体地位的一致性，坚持为崇高理想奋斗和为最广大人民谋利益的一致性，坚持为民造福、为民谋利，坚持人民的历史主体和主人地位，担当有为、奋发进取，自觉把对国家、对民族、对人民负责的使命扛在肩上，不断推进和实现人民当家作主，紧紧依靠人民力量战胜一切困难并不断取得胜利，始终把人民对美好生活的向往作为党的奋斗目标，善作善成，不断开拓为民谋利造福的新事业新局面。

中国共产党一切为了人民和民族复兴大业，不仅使中国共产党占据真理的制高点，而且占据道义的制高点。来自人民、依靠人民、为了人民，是百年来中国共产党最重要的发展逻辑和胜利密码。伟大建党精神深刻揭示了党的根本宗旨和成功要诀。

深刻彰显了党的意志品质的先进性

“不怕牺牲、英勇斗争”精神，深刻揭示了中国共产党人无惧艰险、勇于担当、乐于奋斗、敢于牺牲的意志品质和强大的主体力量。这是中国共产党先进性在主体精神品质和意志力量上的重要表现。百年来，在应对各种困难挑战中，我们党锤炼了不畏强敌、不惧风险、敢于斗争、勇于胜利的风骨和品质。这是我们党最鲜明的特质和特点。我们党之所以历经百年而风华正茂、饱经磨难而生生不息，就是凭着那么一股革命加拼命的强大精神，就是因为我们党一诞生就形成了伟大建党精神和在奋斗进程中不断丰富发展的精神谱系。

奋斗，是中国共产党的鲜明品质。在百年奋斗征程中，中国共产党锤炼了不畏强敌、不惧风险、敢于斗争、敢于胜利的气概和风范，这种精神意志品质是我们党一个鲜明的特质和优势，也是我们党具有精神意志上先进性的集中体现。为了实现中华民族伟大复兴，中国共产党团结带领中国人民，浴血奋战、百折不挠，自力更生、发愤图强，解放思想、锐意进取，创造了新民主主义革命、社会主义革命和建设、改革开放和社会主义现代化建设的伟大成就。进入新时代，为了实现中华民族伟大复兴，中国共产党团结带领中国人民，自信自强、守正创新，统揽伟大斗争、伟

大工程、伟大事业、伟大梦想，又创造了新时代中国特色社会主义的伟大成就。

百年来，我们党始终坚持弘扬伟大建党精神，保持了谦虚谨慎、戒骄戒躁、昂扬奋进的精神状态。正是中国共产党人始终在不怕牺牲、英勇斗争的精神意志和优良作风上同样占据着制高点，党在人民群众中才具有强大的感召力、号召力、组织力和领导力，党同人民才紧紧地团结凝聚在一起。党的这种不怕牺牲、无私奉献、顽强奋斗的精神品质和风范，本身就是无形的强大力量。当今中国正处于实现中华民族伟大复兴的关键时期，国家强盛、民族复兴需要物质文明的积累，更需要精神文明的升华，决不能丢掉革命加拼命的精神，决不能丢掉谦虚谨慎、戒骄戒躁、艰苦奋斗、勤俭节约的传统，决不能丢掉不畏强敌、不惧风险、敢于斗争、敢于胜利的勇气。全党同志要用党在百年奋斗中形成的伟大建党精神滋养自己、激励自己，以昂扬的精神状态做好党和国家各项工作。

深刻彰显了党的组织基础的先进性

中国共产党作为马克思主义政党，其先进性不但要体现在思想理论、宗旨使命和意志品行风范上，而且还要从组织性质和党员队伍质量上体现出来。党的先进性必须通过党组织的先进性来保证。

中国共产党从来就十分重视党的阶级阶层的先进性。党集聚的是一大批工人阶级中具有共产主义觉悟的先进分子，党首先是中国工人阶级的先锋队。同时，党又是具有广泛社会阶层基础的，是中国工人阶级的先锋队、中国人民和中华民族的先锋队。我们党从一开始就是作为最先进的阶级——工人阶级的政党登上历史舞台的，始终注重在工人和其他劳动人民中发展党员，也十分注重在社会各个阶级阶层、包括知识分子阶层和新的社会阶层的先进分子中发展党员，在社会各个领域、各个行业中建立党的组织。这就决定了中国共产党具有最广泛的社会基础和人民性。

党的先锋队性质和伟大建党精神是完全契合一致的，党的先锋队性质内在包含着理想信念、思想觉悟、目标追求、价值取向、意志品格、行为风范等精神上的先进性，而伟大建党精神就浸透在党组织和党员的全部实践活动中。党的先锋队性质决定了党在精神品质上

充分发挥；福利性、民生性导向的电价体制，无法还原居民用电的商品属性和供求关系，对用电行为引导性不强。

推动碳中和进程除了理念、行为上引导，更需配套同步推进体制机制改革，组织起全社会力量。一是打破省际间壁垒，让要素、资源在更大范围内自由流动，发挥市场的主体作用。二是破除行业壁垒，重构我国传统能源体系，明确以“电”作为核心，对各行各业领域做好总体规划，统筹推进。三是实施促进新能源消纳的价格政策，研究制定居民用电峰谷电价体系，制定推动电能替代的价格政策。四是实施促进商业模式创新的价格和补贴政策，鼓励V2G、热泵、储冷/热、智慧控制技术应用，推动新技术、新产业、新模式快速发展。

我国幅员辽阔，资源分布和社会发展状况不均衡，决定了实现碳中和进程的高度不均衡性，要在考虑全局性和科学性的前提下，让一些资源条件好、发展水平高、转型速度快的地域、城市和行业率先实现碳中和。

实现碳中和，对我国而言是一场攻坚战，是能源革命逐步迈向深入的过程，能源行业必然是主战场。要从发展全局出发，对实现碳中和的复杂性、艰巨性建立充分认识。同时也要看到，我国在资源、技术、市场等各方面均已建立优势。只要深入贯彻落实习近平总书记提出的“四个革命、一个合作”能源安全新战略，找准科学的路径模式，举全社会之力共同推进，就一定能够打赢碳中和这场攻坚战！



的先进性，而党在实践活动中形成的伟大建党精神又鲜活地体现在党的先锋队作用的过程中。只有坚持和弘扬伟大建党精神，才能确保和发挥党的先锋队作用。

深刻彰显了党员先锋模范作用先进性

党的先进性归根结底要通过每个党员和各级党的领导干部的表率作用体现出来。我们党是按照自己的纲领、章程和民主集中制原则组织起来的统一整体。党对其成员必然有相应的规范要求，党员对组织也有相应的权利和义务。其中，党组织对每个党员最基本的要求或者说党员对党组织的最基本义务，就是要“对党忠诚、不负人民”。对党忠诚、永不叛党，这是从党诞生起，就是对党员最起码、最基本的要求。作为对党党员入党的基本条件和基本组织纪律，也是党员对党的最基本义务和党性的最基本行为道德准则。对党忠诚是坚持科学真理、坚定理想信念的最好诠释，也是践行党的初心使命和党的先锋模范作用的最佳证明。

党性与人民性、对党忠诚和不负人民，是高度统一的。我们党所奋斗的一切都是为了人民的根本利益。对党忠诚、为党的事业而奋斗，就是忠诚于人民和人民的事业。忠诚于党的事业，归根结底是要表现在为人民谋利、为人民做事、为人民造福的实际行动上。党员作为社会群众中的先进分子及其表现出来的先锋模范作用，就在于在不辜负党和人民，实实在在地为人民做事谋利。共产党员来自人民、植根人民，要立足本职、默默奉献，做有益于人民的平凡英雄。要用自己的实际行动证明，只要坚定理想信念、坚定奋斗意志、坚定恒心韧劲，坚持为人民服务，无论在平常时候还是关键危难关头，都能发挥党员的先锋模范作用，都能在为中国人民谋幸福、为中华民族谋复兴的伟业中为党和人民建功立业。

伟大建党精神集中体现了党组织和党员所具有的先进性要求，并在自觉自律、内在品行上保证党的机体的纯洁性和先进性。我们党的伟大建党精神哺育一代又一代共产党员的成长，又在一代又一代共产党员的先锋模范作用实践中得到延续和升华。

（作者系浙江大学马克思主义学院教授）