



统筹好新能源发展和国家能源安全

——访中国工程院院士、国家能源咨询专家委员会副主任杜祥琬

□ 本报记者 张丹丹



杜祥琬，应用物理、强激光技术和能源战略专家，中国工程院原副院长，中国工程物理研究院高级科学顾问，国家能源专家咨询委员会副主任，国家无废城市建设试点专家委员会主任，国家气候变化专家委员会顾问。1964年毕业于苏联莫斯科工程物理学院，1997年当选为中国工程院院士，2006年当选为俄联邦工程科学院外籍院士。曾主持我国核试验诊断理论和核武器中子学的精确化研究，为我国核试验的成功和核武器的发展作出了重要贡献；曾任国家863计划激光专家组首席科学家，是我国新型强激光研究的开创者之一，推动我国新型高能激光技术跨入世界先进行列。主持了中国工程院的“中国可再生能源发展战略研究”“中国能源中长期（2030、2050）发展战略研究”“我国核能发展的再研究”等我国能源发展战略重大咨询研究项目。首倡“无废城市”试点，主持研究了中国工程院“应对气候变化的科学技术问题研究”等重大咨询研究项目，参与了国家2020、2030低碳发展战略目标的论证。获国家科技进步特等奖一项、一等奖一项、二等奖两项，2000年获何梁何利科技进步奖。

记者：2月29日中央政治局就新能源技术与我国的能源安全进行第十二次集体学习。能源安全事关经济社会发展全局。积极发展清洁能源，推动经济社会绿色低碳转型，已经成为国际社会应对全球气候变化的普遍共识。首先，请问在“双碳”目标下，目前我国能源转型面临哪些挑战？

杜祥琬：“双碳”目标的提出宣告了我国绿色低碳转型的决心和雄心。优化能源结构是实现碳达峰、碳中和的一条基本路径，相对油和天然气，我国煤炭储量较丰富，煤炭储采比是40年，石油储采比是18年，天然气储采比是30年，虽然煤炭相对油、气较多，但我国的煤炭并不富足，人均拥有量是世界平均水平的一半。在用好煤炭的同时，也要注意储采比。储采比40年是什么意思？就是到2060年前后，即使没有碳中和的要求，煤炭的可开采储量也差不多了。在富煤、缺油、少气的固有条件下，要对我国的能源资源禀赋有新的认识，我国具有丰富的可再生能源，目前已经开发的可再生能源不到技术可开发资源的十分之一，丰富的可再生能源资源构成了我国能源转型的坚实基础。“双碳”目标，它是引导一个方向，你说是挑战也可以，但它也是个机遇。就是随着经济社会的发展，能源要保障，但是要走向绿色低碳，大家的生活质量才会提高。

记者：习近平总书记指出，“绿色转型是一个过程，不是一蹴而就的事情。要先立后破，而不能够未立先破”。请问如何科学理解“先立后破”？

杜祥琬：过去人们认为，能源体系要安全可靠又要经济可行，还要绿色低碳，这三条同时具备几乎是不可能的，所以常常被称为“不可能三角”。碳达峰、碳中和呼唤的新型能源系统必须逐步满足这三个目标，使之成为“可能三角”，三者缺一不可。在保障经济社会发展所需要的能源安全前提下，实现能源转型。能源转型是做加法而不是减法。目前化石能源在我国能源结构中占比80%以上，光是煤炭就占56%，首先要用好煤炭。我们要注意节约高效清洁利用煤炭，积极发展可再生能源，这样先立，立得足够了再逐步减少煤炭。新房子没盖好不动老房子。现阶段能源安全要靠先立后破来保证；逐步、稳步地由以煤为主转向以可再生能源为主，这是长远的能源安全之策，也是走向碳中和的必由之路。我觉得短期之内这个煤炭为主的局面不会转变，这个转变只会是逐步的。一直以来，我们油和天然气对外依存度已经很高了，不大可能进口更多的油和天然气。可再生能源发展快一点，就可以逐步地减少煤炭，想快也快不了。因为经济社会发展需要能源，需要优先保证经济和社会发展的需要。在这个前提下，逐步地先立后破，就是这个意思。

记者：“双碳”目标的推进以及第四次工业革命带来的技术革新等因

素，为新型能源体系赋予了鲜明的时代特色。新型能源体系的构建，既要满足低碳发展方向的要求，又要服务经济社会的发展和“两个一百年”奋斗目标实现，还要满足人民生活水平提升对能源的需求。您曾经提出能源转型因地制宜，请您具体解释一下如何因地制宜？

杜祥琬：传统能源的减退要建立在新能源可以替代的基础上，全国各地新能源的发展每一个地方的情况都不一样，就全国而言要达到“双碳”目标，要根据各个地方的实际情况来进行。比如沿海地区，过去以为自己没能源，就靠西电东送，现在这个思想也该有点转变。沿海地区可以发展海上风电，这就是过去没有的观念。东部各个省核电、太阳能资源很丰富，中部和东部能源的自给率要提高，而不是像过去只单纯依靠西电东送。应该采取“身边取”与“远方来”相结合的方式。首先是“身边取”，实在不够再与“远方来”相结合。中国东部有相当高比例的自给能力，可以成为能源的“产消者”。所谓“产消者”，就是不仅使用能源、消费能源，而且自己能够生产能源。现在国内有几个能源“产消者”的试点，比如河南兰考，自身生产的电量已经多于其所需要的电量，这就证明了中东部有丰富的太阳能、风能、生物质能等资源，这些发展起来是可以提高能源的自给能力的。其次，中

东部能源发展还要注重集中式与分布式相结合。提高分布式比例非常重要。可再生能源的特性就是分布广泛，所以要以分布式为主，再加上必要的集中式。

而我国西部地区风、光资源丰富，大型清洁能源基地建设如火如荼，较为适合发展集中式，同时根据东部的用能需要可以进行东送。比如青海到河南的青豫线，就是我国第一条清洁能源外送特高压通道。西部发展风光水电，首先要用在发展西部自身的经济和产业上。应该利用西部的太阳能和风能等丰富资源，把西部的产业经济带动起来。不同地区根据自己的实际情况进行能源转型，这就是因地制宜。

记者：能源低碳转型与保障国家能源安全如何做到并行不悖？

杜祥琬：可再生能源比例增高，我国能源的安全性和独立性会更强。随着技术的进步，风光发电成本已经下降，经济性大增。我们曾经请华北电力大学和天津大学两个专家组，测算一下东部自己发电和西电东送的1度电，哪一种更经济，两个专家组独立测算的结果都是自己发电便宜，自己发的1度电比西电东送1度电成本低，这就可以推广。1度电，东部自发电的成本比西电东送的成本低，这个结论非常重要。“身边取”和“远方来”固然都需要，但中东部地区要首

先做到“身边取”，提高自给率。自产直销、寓电于民，可培育出大量的“产消者”，不仅能提升当地的能源自给率、独立性和安全性，还缓解了高比例可再生能源对电网的冲击。由此可见，能源低碳转型和能源安全是并行不悖的。

记者：风光发电目前如何解决储能的问题？我国的储能技术在上处于什么水平？

杜祥琬：风光具有间歇性，确实存在“靠天吃饭”的问题，但太阳能、风能的间歇性能变成人可以操控的灵活性。通过什么变呢？通过储能，技术成熟了，太阳能、风能都变成了可以操控的。青海在这方面做得相当到位。我国现在在储能技术层面，和世界上发达国家比，水平差不多。

记者：党的二十大报告提出，积极安全有序发展核电。《“十四五”现代能源体系规划》提出，在确保安全的前提下，积极有序推动沿海核电项目建设，合理布局新增沿海核电项目；到2025年，核电运行装机容量达到7000万千瓦左右。请您谈谈核能的发展现状和未来的发展趋势？

杜祥琬：核能本身是清洁、低碳的，是高质量密度的，这是核能的优点。但由于发展核能有安全性的考虑，所以各国的核能政策差别相当大。在全球来说，核能在一次能源中

的贡献比约占10%以上，在我国，这个比重不到5%。党的二十大报告提出的“积极安全有序发展核电”，这里的“积极”两个字很重要，过去是没有这个提法的。这主要源于核能安全性的进步，现在核电站的安全屏障至少四个，即使出事也都控制在安全壳里面，不会对社会造成不可接受的影响，所以核能的比例要积极安全有序地提高。

记者：中央财经委员会第九次会议指出，要构建清洁低碳安全高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统。请问如何实现高质量发电？

杜祥琬：据国网能源研究院预测，到2030年，我国用电量将由2021年的8.3万亿千瓦时增长到11.8万亿千瓦时，增幅为42%。未来我国用电需求仍将快速增长，电力行业保供面临巨大压力。电力需要供需平衡，这需要电网智能化，风、光电、各种储能等灵活性资源相结合，还可以跟煤电调峰相结合。数字化技术可以赋能能源事业发展。我们一定要认识到我国的能源资源禀赋，还要认识到数字技术在能源方面，特别是电网中的应用，提高效率。从理论上讲，结合好是可以实现高质量发电的。这就需要将数字化发展起来，让数字化进入

百姓家。如果我们能够做到这一点，就可以充分利用储能了。再者，风、光伏发电企业在初期建设的时候就要考虑通过自建或者购买调峰能力实现高质量的出力。虽然风和光本身有一定的间歇性，但是通过自建或者购买调峰能力，调峰能够调得好，就可以实现高质量的发电。

记者：根据国家能源局提供的数据，2023年全球可再生能源新增装机5.1亿千瓦，其中中国的贡献超过了50%。中国已经成为世界清洁能源发展不可或缺的力量。请您分析一下“双碳”目标实现的前景如何，有哪些问题是迫切需要解决的？

杜祥琬：实现碳达峰、碳中和，是以习近平同志为核心的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。作为世界上最大的发展中国家，中国将用30年左右时间完成全球最高碳排放强度降幅，用全球历史上最短的时间实现从碳达峰到碳中和。实现“双碳”目标是一个复杂的系统工程，需要深度的科技创新、管理创新和金融支持，这个过程离不开政府部门的大力支持、科技工作者的不懈努力、科技企业对技术创新的执着追求，更离不开社会公众对“双碳”目标的科学理解。打造清洁低碳安全高效的能源体系，是实现碳达峰、碳中和的关键和基础。从目前来看中国面临的突出问题包括产业结构偏重、能源结构偏煤、综合效率偏低。而且我国实现从碳达峰到碳中和只预留了大约30年的时间，明显短于发达国家的50—70年。虽然难度不小，但通过积极探索、主动作为、加快推动技术进步和发展转型，我国仍可实现高质量碳达峰和如期碳中和。我个人认为以下八个问题比较关键：以产业结构优化升级为主要手段实现经济发展与碳排放脱钩；打造清洁低碳安全高效的能源体系；加快构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统；以电气化和深度脱碳技术为支撑，推动工业部门碳排放有序达峰和渐进中和；通过高比例电气化实现交通工具低碳转型，推动交通部门实现碳达峰、碳中和；以突破绿色建筑关键技术为重点，实现建筑用电用热零碳排放；做好碳中和“最后一公里”的碳移除托底技术保障；加快构建减污降碳一体谋划、一体部署、一体推进、一体考核的机制，建立健全减污降碳统筹融合的战略、规划、政策和行动体系，完善碳交易制度。



发展新质生产力的核心要素

科技创新是

□ 万劲波 王雪

习近平总书记指出，“科技创新能够催生新产业、新模式、新动能，是发展新质生产力的核心要素”。我国正处在从“科技大国”向“科技强国”迈进的关键跃升阶段，必须加强科技创新特别是原创性、颠覆性科技创新，加快实现高水平科技自立自强，打好关键核心技术攻坚战，使原创性、颠覆性科技创新成果竞相涌现，培育发展新质生产力的新动能。

近代科学诞生以来，每一次科技革命与产业变革都离不开科学、技术、工程与产业的重大突破。现代科学技术发展已经进入大科学时代，科学发现、技术发明、工程科技、产业创新加速融合、贯通。新质生产力的培育发展更加依赖基础前沿领域的交叉、融汇，更加依赖产学研用融通创新、跨界合作。科学发现、技术发明、工程科技、产业创新是科技创新链条上环环相扣、紧密关联、相互促进的重要环节，虽然有不同的功能定位与价值导向，但都是培育和形成新质生产力的核心要素，作为一个有机整体决定着科技创新的供给质量。科学发现、技术发明、工程科技、产业创新通过对生产要素的创新与优化组合，为新质生产力的形成培育土壤、创造条件、提供动力，进而转变经济增长方式和生产力发展路径。

科学发现在科技创新链条上是“从0到1”的阶段，其价值导向是“真实性”。科学是指反映现实世界有关物质、生物、心理和社会等各种现象相互关联规律的知识体系。科学研究是一种社会化的、创造性的智力活

动，往往以重大科学问题为牵引，通过观测、假定、实验、验证揭示出自然界固有的，但尚未被知晓的原理、定律和理论，是科学家作为主体认识自然界客体的探索过程，其研究目标、方法和路径具有不确定性。科学发现是被验证了的知识体系，包含概念、原理、定理、定律等逻辑工具，是“规律”形态的知识生产力。人类通过科学研究不断拓展知识的边界，揭示自然和社会的内在规律，提升对客观世界的认知能力。科学发现的主要特征是客观实在性、逻辑完备性、结构完整性和发展动态性。

科学理论总是不断地被验证、修改甚至被否定，使得被验证了的科学知识具有累积性。科学革命是科学思想的飞跃，表现为新的科学理论体系的构建，提高了人们认识世界的能力。重大科学发现的产生，往往需要几代科学家不懈努力、持续积累，历经艰辛的探索过程，才能从量变引起质变。科学发现为技术发明、工程科技、产业创新提供理论支撑，是技术革命、产业变革的源泉。科学上的重大发现，往往会导致相关领域技术突破的涌现，进而传导到更广泛的工程化、产业创新之中。我们要坚定创新自信、勇攀科学高峰，努力成为科学规律的第一发现者，加快打造原始创新策源地，为强国建设奠定知识根基。

技术发明在科技创新链条上是“从1到10”的阶段，其价值导向是“有效性”。技术指人类在改造自然、改造社会，以及改造自我的过程中所

用到的一切手段、方法的总和。技术发明往往基于显性或隐性的科学规律，依靠科学发现和经验累积推动。技术革命是人类生存与发展手段的飞跃，源于人类实践经验的升华和科学理论的创造性应用，表现为技术的集群式发明与创新，促进重大工具、手段和方法的创新，提高了人们改造世界的能力，并为进一步认识世界奠定技术基础。技术发明缘起于社会生产和生活的需要，旨在探究新技术、研制新工具、创造新产品。从科学发现到技术发明，并不是简单的线性关系，技术发明可以反哺科学发现，为其提供实验条件，二者之间是一种“道”与“术”的关系。技术发明的主要特征是需求导向性、结构规范性和功能变革性。

每个时代的技术发明都与当时的社会生产力水平和科学技术状况密切相关。技术发明是工程科技、产业创新的先导。技术发明在本质上就是直接的生产力，是人类生产活动的基本手段。尤其是颠覆性技术和前沿技术的产生，会从根本上改变社会生产的技术路径、产品形态、产业模式，创造新产品、产生新业态、引发新需求。发展和培育新质生产力，需要关键核心技术的自主可控和迭代升级。我们要加强技术科学研究、打好关键核心技术攻坚战，努力成为技术发明的第一创造者，为应对大国科技竞争提供强大的技术体系支撑。

工程科技在科技创新链条上是“从10到100”的阶段，其价值导向是“实用性”。工程科技介于科学技术领

域和经济社会领域之间，使科学发现和技术发明在经济社会的现实约束下实现实用化。工程科技源于生活需要，又归于生活之中，是将科技生产力转化为物质生产的媒介和载体，是对科学发现、技术发明成果的集成转化利用。工程科技以应用为导向，更直接地把科学发现、技术发明同产业发展的主要驱动力，催化社会生产力的深刻变革。

纵观历次科技革命和产业变革历程，科学发现、技术发明正是通过工程科技实现了产业变革。以蒸汽机的发明与应用为标志的机械化，以电力的发明与应用为标志的电气化，以计算机和互联网的发明与应用为标志的信息化，以人工智能的发明与应用为标志的智能化，都是通过工程科技架起科技革命与产业变革连接的桥梁，推动新质生产力的形成发展。我们要贯通科学发现、技术发明和工程研制、产业发展，努力锻造精品工程，以战略性新兴产业和产品牵引产业创新。

产业创新是“生产力变革”的核心载体，其价值导向是“先进性”。产业规模、类型、结构和水平，一定程度上反映了一个国家的科技实力、经济实力和综合国力。从需求侧看，经济增长主要动力来自投资、消费、出口；从供给侧看，经济增长主要动力来自要素升级、结构优化、制度变革。应以产业创新提高要素供给质量和效益；以科技创新支撑引领产业和经济结构优化升级；以制度创新保障

科技创新和产业创新，激发经营主体和创新主体的积极性、主动性、创造性。

产业创新是新质生产力形成的“最后一公里”。新质生产力的“新”，不仅体现为单个环节“新”，更体现为产业创新与科学发现、技术发明、工程科技的“新”融合。产业集群在人才、资金、技术、管理和数据等生产要素方面具有空间集聚性，是加快发展新质生产力的重要载体。今年《政府工作报告》将“大力推进现代化产业体系建设，加快发展新质生产力”列为首要任务，从推动产业链供应链优化升级、积极培育新兴产业和未来产业、深入推进数字经济创新发展三个方面进行系统部署，明确要求“培育壮大先进制造业集群”“促进战略性新兴产业融合集群发展”“打造具有国际竞争力的数字产业集群”。近年来，我国京津冀、长三角、粤港澳大湾区依托国际科创中心建设，形成了一批各具特色、优势互补、结构合理的新增长引擎。各地要结合本地的产业基础、资源禀赋，牢牢抓住科技创新与产业创新深度融合，因地制宜发展新质生产力，努力开辟发展新领域新赛道，塑造发展新动能新优势。

