

“双碳”变革中，浙江如何练好“氢功”

——访中国工程院院士、国际氢能协会规范标准专委会主席郑津洋

专家简介：

郑津洋，中国工程院院士，浙江大学氢能研究院院长、博士生导师，国家重点基础研究发展计划(973计划)首席科学家，浙江省特级专家，教育部长江学者特聘教授，国际氢能协会规范标准专委会主席，国际标准化组织氢技术委员会(ISO/TC 197)特别顾问，全国氢能标准化技术委员会副主任委员。获国家科技进步奖一等奖1项、二等奖2项，省部级科技一等奖6项。

■ 本报记者 章忻 王妍妍

2025年是《巴黎协定》达成10周年，也是中国提出碳达峰、碳中和目标5周年。作为人类赖以生存和发展的重要物质基础，能源是推进碳达峰、碳中和的主要战场。习近平总书记指出：“加快构建清洁低碳安全高效的能源体系，是我国能源革命的主攻方向。”如何理解能源转型的重要性，构建清洁低碳安全高效的能源体系有哪些着力点，氢能作为助推经济绿色低碳转型的引擎之一有哪些优势，在发展氢能产业上浙江又该如何发力？为此，本报记者近日在浙江省科学技术协会主办，三门县委、县政府承办的“之江院士讲坛”上，采访了中国工程院院士郑津洋。

能源转型是我们自己要做且必须做的事

记者：2014年，习近平总书记创造性地提出“四个革命、一个合作”能源安全新战略。在此指引下，我国能源转型取得了哪些重要成就？对于我国经济社会发展来说，能源转型为何如此重要？

郑津洋：自从人类文明诞生以来，如何探索利用新能源以及开发新的能源应用技术，始终是推进文明进步的关键一环。大约50万年前，直立人学会了控制和利用火，也是人类历史上第一次意义重大的能源进步。自此，人类先后开发和利用了煤炭、石油、天然气、水力、太阳能、风力等能源，每一次新能源的开发利用和技术突破，都极大地促进了生产力的提高和文明的进步。

尤其是近代以来，能源对于国家和地区经济发展的影响愈加明显。比如，18世纪的英国就凭借丰富的煤炭资源，发生了近代史上最重要的能源革命，发明和应用了高效利用煤炭的蒸汽机，推动人类社会进入工业文明时代；19世纪末，内燃机、汽车工业兴起，石油成为“工业血液”，加之电力的广泛使用，人类进入了第二次工业革命。那些能源丰富及能源技术创新领先的国家和地区，其经济增长速度往往更快。

化石能源在成为推进人类经济社会发展引擎的同时，也带来了资源枯竭、气候变化、地缘政治冲突等问题。世界气象组织发布的报告显示，近几十年来，西南太平洋的海平面上升幅度和海洋表面温度增幅均高于全球平均水平，极端高温、特大暴雨这类极端天气事件，呈现大幅增长态势。减少温室气体排放，应对全球气候变化，推动能源绿色转型势在必行。

郑津洋：党的十八大以来，习近平总书记亲自指导推动能源革命，强调“要科学规划建设新型能源体系，促进水风光氢天然气等多能互补发展”。氢能作为我国未来能源结构的重要组成部分，是推动能源终端绿色低碳转型的关键载体，也是国家重点发展的战略性新兴产业。在氢能领域深耕多年，您认为它在推动“双碳”变革中将起到什么样的作用？

郑津洋：氢能是指氢和氧进行化学



中国石化新疆库车绿氢示范项目制氢厂储氢罐区(资料照片)。2023年6月30日，新疆库车绿氢示范项目顺利产氢，这是我国首个万吨级光伏制氢项目。新华社发

氢能产业驶入发展“快车道”

2019年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
“推动充电、加氢等设施建设”被写入政府工作报告，我国氢能产业发展迎来了重要节点。	《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》发布，明确提出统筹推进氢能“制储输用”全链条发展。	《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》印发，明确了氢能在我国能源绿色低碳转型中的战略定位、总体要求和发展目标。	《氢能产业标准体系建设指南(2023版)》印发，这也是首个国家层面氢能全产业链标准体系建设指南。	政府工作报告提出，加快前沿新兴氢能、新材料、创新药等产业发展。这是氢能首次以前沿新兴产业的身份被提及。	《中国氢能发展报告(2025)》发布，从政策统筹、技术攻关、公共服务等方面提出相关工作部署，为“十五五”时期氢能产业提质提速奠定坚实基础。

戚建卫 制图 据新华社

业、交通、建筑等深度融合发展的新模式，形成既有追求数量又有原创的创新体系。

二是打造国家级氢能科技创新平台。加大对氢能全省重点实验室等省级平台支持力度，大力推进氢能领域高水平科技创新平台建设。支持高校、企业、科研院所共建氢能前沿交叉研究平台，组建氢能创新联合体，打造产学研用融合创新模式，整合行业优质创新资源，充分利用氢能储输特色优势，争创氢能储输技术和装备国家级创新平台。

三是实施氢能基础设施完善工程。借鉴国内外氢能发展“基础设施先行”经验，抢抓国内“新基建”建设布局的机遇期，加大氢能基础设施投资建设力度。统筹规划覆盖全省、布局完善的加氢网络，逐步构建多元化的氢能储运体系，适当超前谋划氢能海外输入登陆站和大规模氢能储存设施。

四是推进氢能示范应用多元化。有序推进掺氢天然气、氢燃料电池公共交通车辆等的示范应用。鼓励可再生能源制氢技术研发应用。依托未来社区、美丽园区建设，实施氢燃料电池热电联供示范工程。探索氢燃料电池动力船舶和飞行器等领域的创新应用。

五是制定浙江省氢能产业中长期发展规划。统筹氢能产业发展布局，加大对可再生能源规模制氢、管道输氢、氢能储运等方面的支持力度，优化升级以氢能汽车和加氢站建设为重点的氢能产业规划，尽快出台浙

江省氢能产业中长期发展规划，提出用氢端支持政策。

(本期栏目协办单位：浙江省科学技术协会) 扫一扫 看视频



氢能是推动“双碳”变革的新引擎

记者：党的十八大以来，习近平总书记亲自指导推动能源革命，强调“要科学规划建设新型能源体系，促进水风光氢天然气等多能互补发展”。氢能作为我国未来能源结构的重要组成部分，是推动能源终端绿色低碳转型的关键载体，也是国家重点发展的战略性新兴产业。在氢能领域深耕多年，您认为它在推动“双碳”变革中将起到什么样的作用？

郑津洋：氢能是指氢和氧进行化学

反应释放出的化学能。氢单位质量能量密度高，燃烧的产物是水，被视为21世纪最具发展潜力的清洁能源。

相较于其他能源，氢能具有三个显著特性：一是来源多样，水电、太阳能等通过电解水都可转化为氢能；二是能量密度高，氢气单位质量的热值约是煤炭的4倍、汽油的3倍、天然气的2.6倍，这意味着相同的氢能可提供更多的能量，有利于能源高效利用；三是无碳清洁，氢气燃烧的唯一产物就是水，不产生二氧化碳、氮氧化物等污染物，这对于缓解温室效应具有重要意义。

正是由于氢能自身拥有的独特性，它在推进能源绿色低碳转型中将发挥关键作用。首先，发展氢能可以保障能源安全。氢是多样的，既有天然氢，也有人造氢。人造氢的来源多元化，比如，可以从煤、天然气等化石能源制氢，也可以从风能、太阳能等可再生能源制氢，也能通过生物质气化法和生物法制氢，这在一定程度上能缓解能源短缺的情况，保障能源安全。

其次，氢能是实现“双碳”目标的新引擎。氢能不仅多样，也“多彩”。根据不同的制取方式，氢能可分为绿氢、灰氢、蓝氢等。其中绿氢是最为重要的，它通过风能或太阳能等可再生能源发电，再利用这些清洁电能，以电解水方式制取氢气。绿氢在制取过程中基本不产生温室气体，是目前氢能发展的主要趋势。目前，绿氢正在成为清洁能源转型的重要一环。2023年，我国建成投产了首个万吨级光伏发电直接制绿氢项目——新疆库车绿氢示范项目，每年可生产2万吨绿氢，每月可减排二氧化碳48.5万吨。

第三，氢能能够有力支撑可再生能源的规模发展。目前，我国正加快在沙漠、戈壁滩、荒漠及深远海建设大型可再生能源

源基地。能源的供给主要集中在西北地区和深海，而约70%的消费则集中在东南部，存在明显的供给和消费区域错位。为解决这种错位，需要实现大规模远距离能源输送以及有效储能。然而，风能、太阳能等可再生能源具有间接性和不稳定性。利用特高压输电输送基荷电力，剩余电力就地制氢，通过管道外送可实现可再生能源的规模输送和存储，也为大规模储能提供了重要的技术途径。

第四，氢能可以催生一系列新兴产业。1874年，“现代科幻小说之父”儒勒·凡尔纳就说过：“有朝一日，水将被用作燃料，构成水的氢和氧，单独或一起使用，将提供取之不尽的热与光，其强度是煤炭无法做到的。”目前，氢能已经逐步应用到交通运输、发电、冶金等领域。氢能催生的一系列产品和产业，有利于实现“零”碳排放，高品质的低碳产品在未来也更具有市场竞争力。

总体而言，氢能能在“双碳”时代下的战略地位无可替代，尽管短期面临着如何实现可再生能源低成本、大规模制氢等难题，但是从长远来看，氢能的发展非但不会昙花一现，反而是潜力巨大，一旦大规模产业化应用后将会显著加速能源转型。近年来，全世界都在积极探索绿色、低碳、可持续的能源解决方案。截至2024年底，全球公布氢能战略的国家和地区已超50个，主要国家和地区的氢能政策由战略规划转向推动实施落地，欧、美、日进一步提高了氢能产业发展目标。而中国作为全球最大的能源消费国，已将氢能产业视为未来能源转型的重要方向。《中国氢能发展报告(2025)》显示，2024年，中国氢能全年生产消费规模超3650万吨，位列世界第一。截至

2024年底，全球可再生能源制氢项目累计建成产能超25万吨/年，中国占比超50%，已逐步成为全球可再生能源制氢及相关产业发展的引领国家。

浙江应从五个方面入手练好“氢功”

记者：如您所言，氢能能在新能源体系中有望扮演关键纽带角色。《中国氢能发展报告(2025)》指出，“中国的氢能产业正从试点探索逐步进入有序破局的新阶段”。您认为，下一步怎样推进氢能产业的发展，浙江又该如何发力？

郑津洋：由于氢能涉及“制储输用”多个环节，是链条式发展的系统工程，不能只发展单个环节。比如说建设了一条很长的输氢管道，但若没有源头、没有用端，管道建出来也无法发挥作用。因此，氢能的发展需要时间，也需要多方配合。浙江是“绿水青山就是金山银山”理念的发源地，也是服务“双碳”战略的排头兵。近年来，浙江已出台多项政策规划推动氢能产业发展，氢能“制储输用”全产业链正在形成，氢能储输和极端条件氢安全技术特色鲜明、优势明显，但也存在创新能力待提升、基础设施待完善、应用场景待拓展等问题，氢制备、氢储运、氢储能、氢发电等领域还未出现具有国际影响力氢能产业链龙头企业。

我认为，浙江要练好“氢功”，需要从以下五个方面入手。一是强化氢能核心技术自主创新。加快突破低碳氢大规模低成本制备、安全高效氢储存和输配、低成本氢能多元应用等氢能关键核心技术，鼓励深远海风电制氢、低成本大规模氢能储存和输送等原始创新，探索与工

探寻能源转型新路径

石敏俊

党的二十大报告对“加快发展方式绿色转型”提出明确要求，强调“推动经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节”。能源转型是经济社会发展全面绿色转型的“牛鼻子”，推动绿色发展要加快推进能源转型。

稳妥推进能源绿色低碳转型

能源是推动经济发展的重要动力，更是支撑经济发展的必要保障。国家统计局的数据表明，2005年至2023年间，全国能源消费弹性系数平均值为0.62。这意味着全国GDP每增长1个百分点，全国能源消费总量就会增加0.62个百分点。由于经济发展对能源消费的依赖难以减轻，预期旺盛的能源需求仍将持续一段时间。在未来的中国经济发展版图里，能源仍将占据十分重要的地位。

《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》要求稳妥推进能源绿色低碳转型。当前中国的单位GDP能耗依然偏高。中国经济总量占全球的比例约16%-17%，而能源消费

量占全球的比例在23%左右，单位GDP能耗高于全球平均水平，高于日本、欧洲等发达国家和地区。大气污染物排放和二氧化碳排放与化石能源消费密切相关。中国属于高碳能源结构，化石能源消费占比高，尤其是煤炭消费量大，导致大气污染物排放量和二氧化碳排放量较大，减碳降碳压力巨大。

2022年，国家相关部门发布的《减污降碳协同增效实施方案》将推动能源绿色低碳转型作为加强源头管控的重要内容，要求实施可再生能源替代行动，不断提高非化石能源消费比重，推动能源供给体系清洁化低碳化和终端能源消费电气化。突破“能源不可能三角”的出路在于推动技术进步，持续降低成本，不断增强可再生能源的安全性和可靠性，建设新型能源体系。世界各国正在努力突破“能源不可能三角”的瓶颈制约，中国对全球能源转型作出了突出贡献。2024年发布的《中国的能源转型》白皮书显示

，十年间，中国可再生能源新增装机占全球的比重每年均在40%以上，全球非化石能源消费占比从13.6%提高到18.5%，中国在其中贡献了45.2%。在风力发电产业链供应链、新能源汽车产业等领域中国已经居于世界领先地位。

《中国氢能发展报告(2025)》显示，我国可再生能源制氢产业化速度引领全球。截至2024年底，全国氢气产能超5000万吨/年，全国累计规划项目建设可再生能源电解水制氢项目超600个，已建成项目超90个，已建成产能约12.5万吨/年，已建项目产能占全球的51%。

加快能源转型的关键举措

一是坚持系统谋划。能源转型是一个复杂的系统工程。推进能源转型，必须先立后破，在保障能源安全的前提下，实现不同能源类型之间的平稳过渡，有序推进绿色低碳转型。煤炭和煤电是保障能源安全的“压舱石”，也是可再生能源高比例接入新型电力系统的电力安全“稳定器”。天然气作为过渡能源的作用也不可忽视。风力光伏产业链近年来出现了行业内的问题，但从长远视角看，所谓

的“产能过剩”现象是短期的。当前的风力光伏产业规模离实现碳中和目标的要求还相差甚远，国家战略要求风力光伏等可再生能源实现更大规模的发展。

二是坚持政策协同。推进能源绿色低碳转型，既需要实施碳定价等经济手段，同时也需要运用碳排放双控等行政手段。国家碳市场于2021年7月正式上线，迄今已运行3个履约期，近期的碳市场价格已显著上升，覆盖钢铁、水泥、铝冶炼等行业，将来还会有更多的行业纳入碳市场。2024年7月发布的《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》明确要求，“十五五”时期，碳排放强度降低将作为国民经济和社会发展约束性指标，能耗强度不再作为约束性指标，“十五五”时期，实施以强度控制为主、总量控制为辅的碳排放双控制度，碳达峰后，将实施以总量控制为主、强度控制为辅的碳排放双控制度。国家碳市场覆盖行业将碳排放配额分配到控排企业，各地获得的碳排放配额数量受控排企业空间分布的影响。与此同时，在碳排放双控制度下，碳排放双控指标会分解到各个省份，并进一步分解到地市和重点企业。因此，各地的碳排放配额和碳排放双控指标之间就有可能出现出入。如何做好碳市场和碳排放双

控等不同政策之间的衔接，是未来政策协同的重要课题。

三是坚持因地制宜。各地资源禀赋不同，能源结构和经济发展水平各异，推进能源转型必须因地制宜，切忌一刀切。以浙江为例，近年来浙江可再生能源发展取得了显著成绩。截至2025年1月，浙江风力和光伏装机达到5596万千瓦时；到2024年底，浙江非化石能源消费占一次能源消费的比重达19.5%。然而，由于浙江可再生能源发展空间受限，距离实现2030年非化石能源消费占比达25%的目标仍有难度。不过，虽然浙江风力资源禀赋并不突出，但发展可再生能源具有区位优势，邻近能源负荷中心，有利于减轻对远距离输电的依赖。因此浙江发展可再生能源，可以“身边取和远方来”相结合，“分布式与集中式”相结合，积极推进建设能源低碳转型。当前，浙江单位GDP能耗虽低于全国平均水平，但高于全球平均水平，应继续努力提升能源效率，力争2030年前后达到全球平均水平，2035年至2040年达到日本、欧洲等发达国家和地区水平，为率先实现碳达峰而推进碳中和创造条件。

(作者为浙江大学求是特聘教授、浙江大学城市发展与低碳战略研究中心主任)