

可控核聚变商用，路还有多远？

► 本报记者 李洋

近日，合肥紧凑型聚变能实验装置(BEST)项目工程总装工作正式启动，较原计划提前两个月。该装置将在第一代中国人造太阳EAST装置基础上，首次实现聚变能发电演示，推动燃烧等离子物理研究，为我国聚变能发展提供开创性支持。

从小说《三体》的舰队引擎到《流浪地球》的行星推动，核聚变一直被誉为人造能源革命的终极答案，也被称为点燃“人造太阳”的终极能源。然而，在现实世界中，可控核聚变因其实现技术难度极大，曾一度让人们感觉遥不可及。近年来，随着高温超导材料、人工智能(AI)等技术取得突破，可控核聚变的商业化进程正不断向前推进，逐渐从梦想走向现实，相关产业链也有望步入快速发展时期。

可控核聚变商业化渐行渐近

近年来，高温超导技术逐渐成熟，在大幅度提升聚变装置性能的同时，成本也在持续下降。与此同时，AI技术超预期发展，显著提升了聚变装置的设计和控制效率，这一系列因素加快了可控核聚变商业化落地的步伐，吸引了更多高校、研究机构和私人资本投身其中。根据聚变行业协会(FIA)发布的统计数据，截至2024年年中，全球私营聚变商业公司累计获得总投资额71.2

亿美元，同比增加9亿美元，资本市场融资规模屡创新高，参与企业已超过45家，呈现出快速增长态势。在FIA的另一项统计中，超过70%的商业核聚变公司认为，在2035年前将实现并网供电；超过50%的公司认为，2035年将满足商业化运行所需要的低成本、高效率条件。

国际上可控核聚变商业化发展势头迅猛，我国同样捷报频传：2024年10月，国务院国资委明确将核聚变列为重点未来产业，提出“超前布局、梯次培育”发展策略；2025年1月，有着“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)在安徽省合肥市创造了新的世界纪录，首次完成1亿摄氏度1066秒“高质量燃烧”，这一成果标志着我国聚变能源研究实现了从基础科学向工程实践的重大跨越，对人类加快实现聚变发电具有重要意义；2025年2月，中国核电、浙能电力相继发布公告，拟以增资方式参股中国聚变能源有限公司，投资金额分别为10亿元、7.5亿元。这一举措标志着可控核聚变产业化进程迈出了关键一步。此外，由中核集团牵头的可控核聚变创新联合体已扩容至33家单位，成员涵盖央企、科研院所及高校，其目标直指在2050年前后实现商用发电。

基于国内外如火如荼的发

展态势，行业对可控核聚变的未来市场充满期待。中信证券相关研报分析认为，在技术路径基本打通、各国持续加大投入的大背景下，预计2030-2035年，全球核聚变装置市场规模有望达到2.26万亿元。

在看到广阔前景的同时，也不能忽视可控核聚变面临的现实挑战。广发证券在相关研报中提出，核聚变具备能源潜力丰富、能量密度高、零排放、燃料获得性高等优点，但是同时面临着能量平衡尚未实现、氦自持尚未得到验证、耐辐照材料开发进展缓慢、经济性不确定等问题，而这些问题亟待解决。

有望带来革命性影响

面对能源与环境的双重挑战，兼具高能量密度、安全性和清洁无污染优点的聚变能，有望成为化石能源优质替代选项。

业界专家认为，一旦技术成熟，核聚变燃料(如氘和氦)价格低廉且储量丰富，运行成本可能远低于燃煤电厂。核聚变适合全天候供电，在未来“多能互补”系统中可作为稳定基础电源。

合肥综合性国家科学中心能源研究院院长助理凌航焜表示，可控核聚变作为核能的开发方式之一，相比核裂变，在安全、绿色、能量密度等方面更有优

势，被认为有望提供近乎无限的清洁能源。一旦实现核聚变商业规模发电，将一举解决困扰全人类的能源紧缺问题，为应对气候变化、保护环境和解决贫困与发展问题注入不竭动力，从而改变人类的未来。

相关研究显示，1吨氘氚聚变反应释放的能量，相当于5.7吨裂变燃料或700万吨原油燃烧释放的能量。地球上蕴藏的核聚变能约为全部可进行核裂变元素释出能量的1000万倍。1公升海水提取的氘，在完全的聚变反应中可释放相当于燃烧300公升汽油的能量；氘可通过中子与锂反应生成，而在地壳和海水里，锂大量存在。

“投资聚变能研究及其商业化有望带来巨大的经济效益，远远超过脱碳的潜力。聚变衍生技术可应用于医疗保健、工业成像、地热钻探和核废物管理等领域，开辟能源生产以外的新商机。”凌航焜表示。

谈“核”不用色变

当前，公众对核聚变安全性的认知存在一定误区，如何通过科普消除“谈核色变”的担忧成为重要课题。

凌航焜解释称，核聚变与核裂变存在本质区别：公众对“核”的恐惧源于核裂变事故(如切尔诺贝利、福岛核事故)，但实际上

二者原理截然不同。核聚变是轻元素融合释放能量，不会产生长寿命放射性废料。此外，核聚变的安全性更高：核聚变反应条件极为苛刻，难以维持，一旦出现异常情况，反应会自动停止，不会发生爆炸或熔毁。而且，核聚变的战争风险可控：由于反应所需条件极为苛刻，核聚变无法像核弹一样被滥用。

近年来，各地通过多种方式开展核聚变科普宣传。有关核聚变主题的科技馆、实验室开放日，利用虚拟现实(VR)技术模拟聚变反应过程，让公众能够直观地了解科研过程，增强了科普的沉浸感。例如，在核工业西南物理研究院旧址建成的“中国核聚变博物馆”；合肥现代科技馆展区中心陈列着全超导托卡马克装置(EAST)等比例缩小模型，周围的电子屏动态演示核聚变反应原理，包括氘氚燃料在1亿度高温下的等离子体约束过程。

科方得智库研究负责人张新原表示：“业界需要通过科普的方式向公众解释核聚变技术的安全性以及它的巨大优势和应用前景，消除公众对核聚变的担忧和误解。同时，也需要加强对核聚变技术的宣传和教育，提高公众对核聚变技术的认识和理解，从而推动核聚变技术的发展和应用。”

两部门发文加快电力现货市场建设

本报讯(记者 于大勇)近日，国家发展改革委办公厅、国家能源局综合司联合发布《关于全面加快电力现货市场建设工作的通知》(以下简称《通知》)，要求在2025年年底前基本实现电力现货市场全覆盖，全面开展连续结算运行，充分发挥现货市场发现价格、调节供需的关键作用。同时，明确了20个省区的电力现货市场运行时间表。

《通知》提出，湖北电力现货市场要在2025年6月底前、浙江电力现货市场要在2025年年底前转入正式运行，安徽、陕西力争在2026年6月底前转入正式运行。2025年年底前，福建、四川、辽宁、重庆、湖南、宁夏、江苏、河北(南网)、江西、河南、上海、吉林、黑龙江、新疆、蒙东、青海要启动现货市场连续结算试运行。

《通知》明确，电力现货市场连续运行一年以上，且经第三方评估满足《电力现货市场基本规则(试行)》规定正式运行启动条件的，可按程序转入正式运行。第一责任单位应采取独立、公开的方式选定和委托具备专业能力和经验，且未参与所在省(区)电力市场方案规则编制、技术支持系统建设的第三方机构开展评估，形成评估报告并以适当方式向社会公开。省级

现货市场转入正式运行，应经省级人民政府批准同意，并报国家发展改革委、国家能源局备案。

“《通知》的发布，旨在通过价格信号真实反映供需变化，让市场机制在资源配置中发挥更大作用。”努曼陀罗商业战略咨询董事长霍虹屹表示，这是我国电力体制改革的重要步骤，标志着“市场化定价”正在从中长期交易向短周期、实时性更强的现货环节延伸。

“现货市场的建立也为火电带来破局的可能。过去新能源优先消纳，火电承担调峰，很多灵活性服务没有价格补偿机制。而现货市场一旦完善，调峰、备用等服务就有望被显性化和商品化，火电机组的价值将不再只是发电，更是支撑电网安全的关键资源。尤其是在高峰负荷、极端气候或新能源波动剧烈的时段，火电凭借可控可调的优势，可能获取超额边际收益。这一机制的引入，有望提高头部火电企业的盈利弹性。”霍虹屹认为，电力现货市场的全面推进，不仅是电力体制改革的重要里程碑，更是火电行业优胜劣汰的“加速器”。在这样的背景下，火电企业不再是“政策庇护下的资产”，而必须成为“市场规则下的竞争者”。

「新疆阳光」点亮北京夜景



近日，随着4月份新疆维吾尔自治区输送北京的1200万千瓦时错峰绿电交易量全部完成，实现了新疆午后阳光“点亮”北京夜景。此次错峰交易的绿电主要来自新疆阿勒泰、哈密等地区的光伏发电企业，通过特高压直流工程通道，跨越约3000公里向北京错峰输电。北京和新疆有着近两个小时的光照时差，每天下午的17点左右，北京开始进入用电晚高峰，此时也正是新疆的光伏发电高峰期，两地利用地理区位的特点以小时级进行错峰交易。

图为5月10日，国网北京电力公司维修分公司的技术人员在巡检新航城500千伏变电站输电设备。

新华社记者 李欣/摄