“人造太阳”，离我们有多远？

新华社记者

模仿太阳内部反应机制，创造近乎无限而干净的能源——曾经只存在于科幻电影中的“人造太阳”可控核聚变，如今正一步步通过实验室照进现实。

长久以来，“实现可控核聚变永远还需要50年”的说法流传甚广，这令多数人认为，“人造太阳”技术遥不可及。然而近年来，格局正在悄然改变：全球多条技术路线并行探索，各类创新主体纷纷入局，美国、欧洲多国、日本、韩国等国家和地区持续加大投入。我国作为拥有14亿多人口的大国，能源需求庞大、应对气候变化责任重大，研究水平也在持续提升，多项核心技术接连破纪录。

今年，“十五五”规划纲要明确将发展核聚变能列为新的经济增长点。这一顶层设计意味着，可控核聚变正式从实验室的幕后基础研究，迈向国家产业战略的前台。

“追光”实验室里的新突破

从远古钻木取火，到燃煤驱动工业机器，再到油气点亮现代社会，人类文明的每一次跨越，都伴随着能源的迭代革新。进入21世纪，一道时代考题愈发紧迫：化石能源储量有限、减排压力持续加大，光伏、风电又难以全天候稳定供能。以碳达峰、碳中和为牵引的绿色低碳变革，正以前所未有的深度和广度重塑全球能源版图；如何在保障能源安全的同时，走出一条人与自然和谐共生的可持续发展之路，更是摆在全人类面前的共同课题。

在这样的时代背景下，一种能量产出效率高、燃料近乎取之不竭、安全风险可控的新能源进入了人们的视野——可控核聚变，也被形象地称作“人造太阳”。

什么是“人造太阳”？中国工程院院士万元熙说，太阳本身蕴含巨大能量。其核心在极高的温度和压力下，将氢原子核“揉”在一起，聚合成氦原子核，并在此过程中释放出巨大能量。由于模拟了太阳内部这种释放能量的机制，可控核聚变能被形象地称为“人造太阳”。

它的主要燃料之一——氘，也被俗称为“重氢”，可从海水中提取，资源丰富；运行过程既不排放二氧化碳，也不会像传统核裂变发电那样产生大量放射性废物。

综合来看，可控核聚变能是人类当前已知潜力较大、清洁度高、燃料近乎取之不尽的下一代能源之一。

那么，人类能否在地球上复刻太阳发光、发热的过程？

经过科研探索，科学家给出了肯定答案。但要实现目标，必须同时满足三个极为严苛的先决条件：

极高的温度；必要的密度；足够的能量约束时间。

中国工程院院士李建刚用一个形象的比喻，解释了其中的难度：“就像要让一根火柴持续燃烧，既要有足够高的温度点燃它，又要有足够多的燃料维持它，还得有办法把火焰关在一个笼子里不让它熄灭。”

如何“关住”这团火球？目前理论上存在三种约束方案，科学家们采取多种技术路线并行研究：

——引力约束。即太阳本身的方式，凭借巨大质量维持高密度与长约束时间，但仅适用于恒星级别的天体。

——惯性约束。在极短时间内将大量能量注入聚变靶丸，驱动燃料快速压缩、加热，进而触发可控核聚变反应。“Z箍缩”技术是该方向的分支。

——磁约束。利用强磁场“托住”等离子体，磁场并非实体，不存在耐热耐压问题，科学家想到用磁场编织成无形的“笼子”，等离子体沿磁力线高速运动，不与器壁直接接触。该路线的优势在于等离子体参数高，开展实验的时间长、实验数据积累最为丰富，是当前可控核聚变最主流的技术路线。

科学家为此设计了多种形状的装置。最常见的是“托卡马克”。它像一个“环形的罐子”，里面会产生螺旋状的磁力线，将等离子体约束在真空室内。

中核集团聚变领域首席科学家段旭如表示，这些不同路线，就像通往山顶的不同路径。科学家多元并行的探索，为解决可控核聚变能技术在物理、工程等方面的挑战拓展了更多空间。

衍生技术赋能社会发展

每当科研机构公布“人造太阳”的科研进展时，总不时有人会问：既然可控核聚变技术距离发电并网还很遥远，投入大量人力、物力、财力研发“人造太阳”值得吗？

专家表示，“人造太阳”是人类最复杂的超级工程之一，涉及超导、新材料、精密探测、极低温技术、智能控制等上万个细分领域。除了终极的能源目标，这项研究在开展过程中，也综合带动多个领域科技创新，赋能社会发展。

——医疗领域是衍生技术落地最具代表性的场景。

脱胎于“人造太阳”技术体系的低温超导线材，如今已广泛搭载于医院超导磁共振成像设备。

在西安交通大学第一附属医院影像中心，影像科主任医师杨健正操作一台磁共振成像系统为患者做检查。

患者进入磁体后，超导线材形成的强磁场，使人体内杂乱无序的氢原子核像收到命令般定向排列，系统通过记录氢原子核的应答位置，呈现出一幅高分辨率人体图像。杨健说：“人体病变组织的氢原子核密度等参数与正常组织有明显差异，这种差异在磁共振成像中会通过不同颜色显示出来，最终在电脑屏幕上清晰呈现供医生诊断。”

“长期以来，超导磁共振成像设备的核心技术只有少数发达国家掌握，设备价格贵、运维成本高。如今，联影医疗与西部超导等企业协同创新，实现了超导磁共振设备全部核心技术的自主可控，让患者在家门口就能进行高性价比的磁共振检查服务。”西部超导公司副总经理郭强说。

——电磁波技术提升交通安检质量。

在合肥地铁部分站点，乘客通过安检通道时，无需开包、无需取出水瓶或充电宝，只需短暂停留，系统便能完成识别。多台太赫兹安检仪，正应用在合肥市区多个人流密集场所。

太赫兹波，是指频率在0.1太赫兹至10太赫兹范围内的电磁波，用于监测“人造太阳”的运行情况。

太赫兹波具有高穿透性、光子能量低等特点，因此被称为“安防专家”，能够实现安检无接触、无辐射、不停留，让乘客在不知不觉中就完成了安检；同时，太赫兹波对不同物质具有不同的散射特征，因此可以检测出乘客是否携带危险物品。

“未来，太赫兹技术还将应用于脑机接口、生物医药等领域。”安徽中科太赫兹科技有限公司总经理王宏北说。

科研人员一路艰辛探索

早在1955年，核物理学家钱三强和刚留美归来的李正武等科学家便提议开展中国的“可控热核反应”研究。

1965年，李正武等研究人员来到四川乐山，创建了我国第一个从事磁约束核聚变研究的专门研究机构——西南物理研究所（后相继更名为“核工业部西南物理研究所”和“核工业西南物理研究院”），先后探索研究了各种位形的磁约束聚变实验研究装置。

1969年底，李正武和同事们开启中国第一代“人造太阳”装置——中国环流器一号（现已更名为中国环流一号）的研究设计。1984年9月，中国环流器一号建成，其设计指标和工程规模达到国际同类先进装置水平。

取得第一次跨越式突破后，科学家们探索的步伐没有停歇。20世纪90年代，在没有国家立项的情况下，位于合肥的中国科学院“等离子体所”用生活物资换回一台国外淘汰的核聚变装置。

万元熙等科研人员在实验室各个角落塞上行军床，几乎每天坚守到凌晨二三点钟，将这台装置拆解、组装，再拆解、再组装。经过不懈改造，3年半后，建成了我国第一个圆截面超导托卡马克核聚变实验装置“合肥超环”HT-7。

研制HT-7后，科学家提出建设国际首台全超导托卡马克装置设想，这意味着，所有线圈全部采用超导材料，这在国际上尚无先例。2006年9月28日，我国自主设计建造的EAST首次成功完成放电实验，翻开我国可控核聚变研究崭新一页。

与此同时，我国也同步推进惯性约束聚变的研发。20世纪90年代，中国工程院彭先觉等几位院士率先提出“核爆聚变电站”概念，并持续深化完善相关理论。

2023年，新一代“人造太阳”中国环流三号的总设计师、“80后”钟武律带领团队首次实现100万安培等离子体电流下的高约束模式运行；2025年3月，中国环流三号又首次实现“双亿度”突破，我国核聚变研究由此挺进燃烧实验。

近年来，我国科学家还不断加强“人造太阳”领域的国际合作。

国际热核聚变实验堆（ITER）计划是当今全球最大的科技合作项目之一，中国是重要的缔约方和贡献者。

据美国聚变工业协会（FIA）发布的《2025全球聚变产业报告》，截至2025年7月，全球商业聚变产业累计融资总额达97.66亿美元。报告还认为，可控核聚变能源已不再是遥远愿景，而是正在崛起的全球性硬科技产业。

未来，“人造太阳”一旦实现稳态商业化，人类将拥有近乎无限的零碳基础能源，将重塑工业版图与气候格局。但“追光之路”道阻且长，科学家们的共识是：“人造太阳”技术的目标，不只为解决当下的能源困境，更是为人类延续文明赋予力量。

（记者 陈诺 王秋韵 胡喆 吴慧珺 李力可 高敬）

新华社北京10月26日电

