

# 中国有“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)创新世界纪录

## 科学家努力了70年 “人造太阳”照亮地球还要多久?

还记得《流浪地球》里的行星发动机吗?还记得《三体》里的“可控核聚变”吗?嗯,这些“科幻”有望一步步成为现实!

第122254次实验4月12日21时,中国有“人造太阳”之称的全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)创造新的世界纪录,成功实现稳态高约束模式等离子体运行403秒,对探索未来的聚变堆前沿物理问题,提升核聚变能源经济性、可行性,加快实现聚变发电具有重要意义。EAST就是《流浪地球》里行星发动机原型机的一种。

目前,下一代“人造太阳”中国聚变工程实验堆已完成工程设计,未来瞄准建设世界首个聚变示范堆。

### 最新 403秒!

#### 中国“人造太阳”获重大突破

“一团耀眼的白光从山脉尽头升起……”在科幻小说《三体》中,太空飞船核聚变发动机发出的光芒如同太阳。利用核聚变等技术,人类走出地球家园,成为真正的太空文明。

万物生长靠太阳。太阳之所以能发光发热,是因为内部的核聚变反应。核聚变能源的原材料在地球上极其丰富,且排放无污染,如果能造一个“太阳”来发电,人类有望实现能源自由。

但要造出能实用的“人造太阳”,需要上亿摄氏度的等离子体,超过千秒的连续运行时间和1兆安的等离子体电流,挑战极大。为此,全球科学家们已努力70多年。

形如“巨炉”,一腔“热火”胸中涌。EAST作为国家重大科技基础设施,拥有类似太阳的核聚变反应机制。

4月12日晚,经过十几年来聚力攻关,EAST成功实现稳态高约束模式等离子体运行403秒,刷新2017年的101秒世界纪录,实验现场一片欢腾。

“Shot:122254.”EAST控制大厅屏幕上的数字显示,这是历经十二万多次实验取得的成功。

“这次突破的主要意义在于‘高约束模式’。”中科院合肥物质科学研究院副院长、等离子体物理研究所所长宋云涛说,高约束模式下粒子的温度、密度都大幅度提升,“这为提升未来聚变电站的发电效率,降低成本奠定了坚实物理基础。”

据悉,EAST装置上有核心技术200多项、专利2000余项,汇聚“超高温”“超低温”“超高真空”“超强磁场”“超大电流”等尖端技术于一炉,共有上百万个零部件协同工作。这次成功突破,离不开等离子体控制、加热、壁处理、先进诊断等技术提升和内真空室改善。

目前,下一代“人造太阳”中国聚变工程实验堆已完成工程设计,未来瞄准建设世界首个聚变示范堆。

### 科普 什么是“人造太阳”?

“人造太阳”一般指国际热核聚变实验堆计划,以其安全、清洁、高效、可持续等优点成为满足未来国家重大战略需求和实现双碳目标的重要技术方向。但要实现这一核聚变,通常要求温度达到亿度量级。简言之就是在地球上造一个装置,模拟太阳发光发热释放能量,从而解决人类所面临的能源问题。

●“人造太阳”长啥样?

它不是火球,是人造的、可控的核聚变实验装置,看上去是个巨大的“罐子”,这个“罐子”直径约8米、高11米,重达400吨。

●为什么要造“太阳”?

或许你会发出这样的疑问:已经有一个太阳了,为什么还非得再造个太阳呢?为什么又说核聚变技术对人类至关重要?要说清这个问题,需要从能源说起。

我们都知道“万物生长靠太阳”,地球上埋藏的煤炭、石油等化石能源实质上也是远古生物储存的太阳能,风能、风能、生物质能等可再生能源同样也是通过太阳能转化而来,而太阳的能量正是来源于核聚变。

简单说,核聚变就是两个轻原子在高温高压的环境下相撞,聚合成一个重原子,在反应过程中会产生质量损失。根据爱因斯坦标志性的质能方程,能量等于质量乘以光速的平方,由于光速值巨大,即使较小的质量损失也会转化为巨大的能量爆发出来。

●“造太阳”有什么用?

如果可以驾驭核聚变的能量,人类文明有望进入一个全新的发展阶段。当前,人类已经掌握了可控核聚变技术,已经广泛应用的核能发电就是利用的这一技术。

跟裂变相比,核聚变拥有更多优势:作为核聚变原料,氘在地球上的含量相当丰富,易于提取。同时,可控核聚变能在自然条件下稳定反应,简单可控,具备本质安全。核聚变反应过程中几乎不产生辐射,核废料也几乎没有放射性,不存在核泄漏的风险。

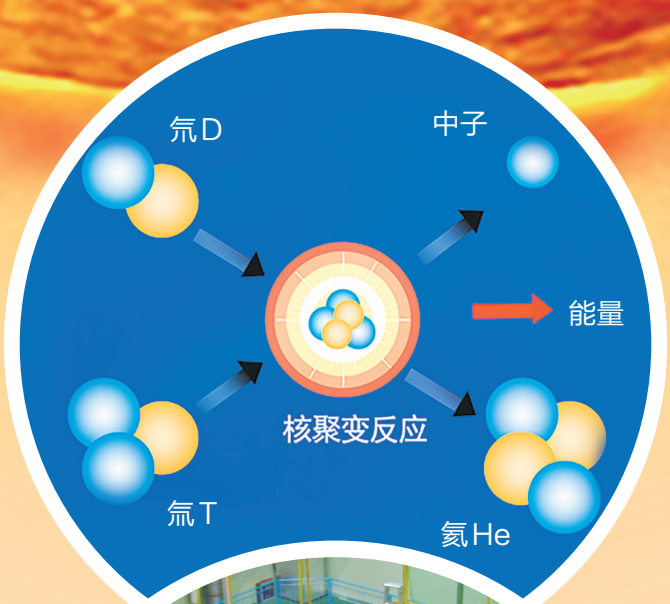
更重要的是,核聚变释放的能量是核裂变的数倍。理论上,只需要几克氘和氚的混合反应物,就有可能产生上万亿焦耳的能量,这相当于一个普通人一生所需的能量。

如果我们可以模拟这个反应过程,实现“人造太阳”,便可一劳永逸解决能源问题。

### 原理 “造太阳”的秘密来源是什么?

支持太阳持续燃烧50亿年的秘密来源于氢的核聚变,“人造太阳”准确来讲叫做受控核聚变反应装置。简单来讲,核聚变可以将两个氢原子聚变为一个氦原子并产生巨大能量。最常用的核聚变燃料便是氢的同位素氘和氚,氘和氚大量存在于海水中,每1升海水中含有30毫克氘,而1升海水中的氘聚变可产生相当于300升汽油的能量,因此核聚变产生的能量相当巨大。

我们可以将核聚变简单理解为两个轻的原子核结合成质量更重的原子核并释放巨大能量的过程。我们熟知的原子弹是利用核裂变原理制造的,而氢弹则是利用核聚变原理,相比于核裂变,核聚变的反应条件极其严苛,需要亿度高温,这一温度只有在原子弹爆炸瞬间可以实现,但它产生的能量将远远超过核裂变。拿氢弹来讲,它的爆炸是靠先爆发一颗核裂变原子弹产生亿度高温,然后触发核聚变反应实现的,但这是一种不可控的核聚变反应,对于现如今寻求清洁能源的人类来讲,显然不需要这种瞬间爆发的巨大能量,因此研究受控核聚变反应来持续获取能量便成了重点。



### “人造太阳”如何才能聚变“点火”?

“人造太阳”是科学家研究受控核聚变反应的装置。受控核聚变实现的方式主要有两种——磁约束核聚变和惯性约束核聚变。其中磁约束核聚变是用强磁场来约束高温核聚变燃料。实现受控核聚变的条件十分苛刻,一是燃料需达到极高的温度(1亿摄氏度以上),但极端高温下的燃料无法用普通固体容器来盛装,为此,科学家们提出用强磁场的方式来约束处于极高温下的聚变燃料;二是具有足够的密度,从而提高燃料原子核之间碰撞而发生核聚变反应的概率;三是具备足够长的能量约束时间,将高温高密度的核反应条件维持足够长的时间,才能使核聚变反应得以持续进行。也就是说,燃料离子温度、密度、能量约束时间,这三个参数的乘积(“聚变三乘积”)必须达到一定值,才能满足聚变“点火”条件,实现受控核聚变。因此,核聚变原理虽然简单,但聚变能开发却面临一系列科学技术挑战。

### 发展 世界多国都在“造太阳”

20世纪中叶,苏联科学家研制出了一种利用磁约束来实现可控核聚变的环形容器。这种名为托卡马克的装置,为可控核聚变技术的突破打开了一扇大门。

“造太阳”,托卡马克装置被寄予厚望,是世界各国都在研发探索的方向。20世纪90年代,美欧日先后建成3个大的托卡马克装置,均实现在三五秒钟的时间内维持核聚变反应,且可重复。

从20世纪60年代,中国开启核聚变研究,到1984年中国环流器一号(HL-1)的建成,为中国自主设计、建造、运行“人造太阳”培养了大批人才,积累了丰富的经验。再到1994年,更名为“ht-7”的大科学装置成功研制,中国成为继俄、法、日之后第四个拥有超导托卡马克装置的国家。

现如今,中国已有多座成功运行的国产托卡马克装置。其中,中国设计的东方环流 EAST,是世界首个全超导托卡马克装置,坐落于中国科学院合肥等离子体物理研究所。2021年12月,EAST实现1056秒的长脉冲高参数等离子体运行,这是目前世界上托卡马克装置高温等离子体运行的最长时间。

2022年10月,中国新一代“人造太阳”托卡马克装置(HL-2M)等离子体电流突破100万安培(1兆安),创造了中国可控核聚变装置运行新纪录。

新一代“人造太阳”将带来哪些便利?

近期,中核集团核工业西南物理研究院传出消息,全球最大的“人造太阳”,国际热核聚变实验堆(ITER)增强热负荷第一壁完成首件制造,并且具备了批量制造条件。这次最新突破的关键部件“第一壁”,实际上是“人造太阳”的“防火墙”,可以直接面对燃烧的上亿摄氏度等离子体。这是中国在可控核聚变领域的巨大突破,标志着中国全面突破“ITER增强热负荷第一壁”关键技术。

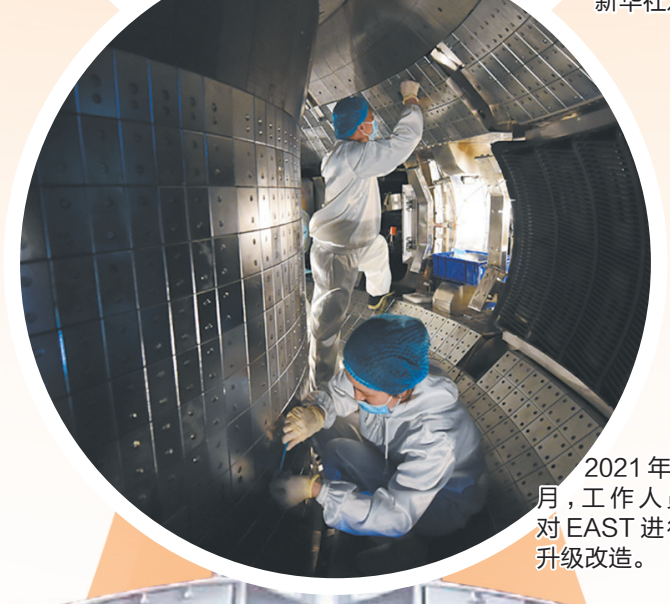
探索开发聚变能源的国际热核聚变实验堆(ITER),由中国、欧盟、印度、日本、韩国、俄罗斯、美国7方共同参与建造,被誉为全世界最大的“人造太阳”。目前,ITER正在法国南部按计划推进,预计2025年完成。

从更长远的周期来看,可控核聚变是人类可持续发展战略储备技术。一旦获得突破,人类将拥有廉价、安全、清洁的能源,地球环境将得到极大改善,经济建设和工业生产效率大幅提升,甚至星际旅行成为可能。

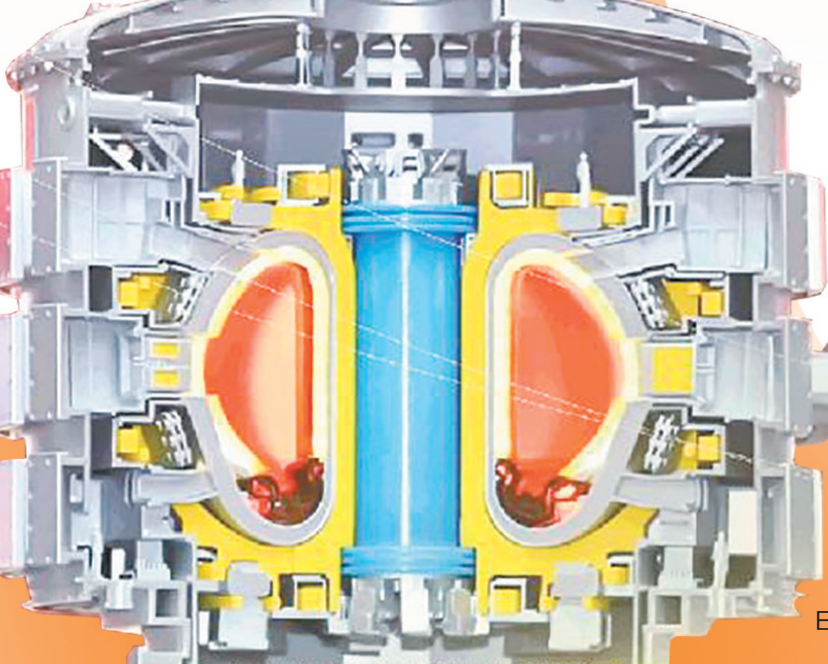
这一天,或许不再遥远。据南方都市报



2005年3月,正在总装的EAST。新华社发



2021年4月,工作人员对EAST进行升级改造。



EAST模型图



2023年4月12日,实验成功后,部分科研人员在超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)控制大厅留影。新华社发

### 新闻纵深 他们接力“逐日”勇攀登

“人造太阳”是事关人类实现“能源自由”、探索宇宙奥秘的远大事业。火热的事业,却起于安静之所——EAST大科学装置坐落于合肥西郊,远离喧嚣的科学岛上。50年来,一批批科研工作者心怀“国之大事”执着攻关,甘坐“冷板凳”。这个幽静之地,如今已成为国际科研合作交流的沃土,不少海外科研人员把这里当成“家”。

所谓壮举,皆因奋斗;所谓奋斗,重在传承。四代科研工作者薪火相传、接力创新、勇攀高峰,胸怀“聚变能源梦”,向着人类美好未来勇毅前行。

### 几代人接续奋斗 一次次冲击梦想

“这么好的东西,为何不早点造出来?”中国工程院院士李建刚说,人类研究核聚变能源(以下简称“聚变能”)已70余年,“不是我们太笨,是太难!”

温度要达到上亿摄氏度,还要稳定持续。“地球上,什么东西能长时间装得下上亿摄氏度的‘火球’?”他说,这是全人类的挑战。

“这不是一两代人能完成,需要几代人坚持不懈、不计名利地做下去。”84岁的中国工程院院士万元熙说。

1973年,中科院启动建设“合肥受控热核反应研究实验站”,随后成立等离子体物理研究所(以下简称“等离子体所”)。

万元熙来到科学岛已有50年。来时这里条件艰苦,茅草一人多高,一下雨螃蟹、蛤蚧遍地爬,只有零星几个建筑。缺技术、缺经费、缺保障,万元熙从宿舍骑自行车到实验室要1个多小时,他跑了3年。

1981年,华罗庚先生从北京赶到合肥,为聚变能研究“八号工程”奠基,在“科学的春天”埋下“太阳”的种子。

“为理想不惜任何代价,不怕任何艰难。”怀揣爱国心,万元熙、李建刚、万宝年等“人造太阳”第一代、第二代科研人员“背着馒头出国学习”,参加国际学术会议坐在角落,但如饥似渴学习,不厌其烦请教。

边研发“太阳”,边实验点亮“太阳”。他们的实验室常年放着行军床,实验、分析、调试、拆解、组装,再实验,干到凌晨乃至通宵是常事。“军大衣一盖就能睡着,实验喇叭一响马上就醒。”李建刚说,他与团队20年至少实验失败过5万次。

从几百万到上千万摄氏度,从三千万、五千万到上亿摄氏度,“逐日”攻关取得系列突破。

去年以来,宋云涛、龚先祖等“人造太阳”第三代科研人员带领青年团队,历经15个月顽强攻关,最终在4月12日21时达到稳态高约束模式等离子体运行403秒的新高度。

“跟跑”到“部分领跑” 奋力攀爬新高度

高11米、直径8米,顶端飘扬着五星红旗……EAST装置形如巨罐,腹中大有关键。

“EAST集成超高温、超低温、超高真空、超强磁场、超大电流等条件。”中科院合肥物质科学研究院副院长、等离子体所所长宋云涛说,尖端技术“熔于一炉”,体现国家综合科技实力。

“为达到超高温,EAST用4种大功率加热系统,相当于几万台微波炉一起加热。”等离子体所副研究员王腾说,地球上最耐热的材料只能承受几千摄氏度,为承载上亿摄氏度的高温等离子体,科学家用磁场做“笼子”,达到地球磁场强度约7万倍。

历经7年研发、17年改造升级,如今EAST拥有

核心技术200多项、专利2000余项,上百万个零部件协同工作。

回首40多年前,初代装置HT-6B仅能实现等离子体运行,在国际上处于“跟跑”。

路遥而不坠其志。时任所长霍裕平等人分析发展趋势,判断超导将是未来关键技术。经费紧张,他们用两火车皮羽绒服等物资,从国外换回超导实验装置,重新设计改造成新装置HT-7。

HT-7运行18年取得多项突破,2003年实现超过1分钟的等离子体放电,标志着我国实现聚变能研究从跟跑到并进的跃升。

研制HT-7后,等离子体所敢为天下先,提出建设国际首台全超导托卡马克装置设想,这在国际上尚属首例。那时宋云涛20多岁,出国求学时提及此事,他的外国导师直摇头,“中国不可能建成,你们不具备这个技术。”

“我还没出生时,中国的卫星就已上天。我们几代人追这个梦,它一定会实现。”宋云涛说。

EAST的成功令人惊叹:2012年,实现411秒2000万摄氏度等离子体运行;2016年,实现5000万摄氏度102秒等离子体运行;2017年,实现101秒高约束模式等离子体运行;2021年,实现1.2亿摄氏度101秒等离子体运行……

今年4月EAST创造新纪录后,国际原子能委员会主席伊恩·查普曼、美国通用原子公司副总裁韦恩·索罗门等人发来贺信说,这个重大成果给国际聚变研究带来极大信心,证明了“团队奉献精神和创新工作”。

据了解,EAST国产化率超90%,80%的关键设备、材料自主研发,控制、加热、诊断等技术世界领先。

自立自强、勇攀高峰,一代代科研工作者的精神内核,支撑起中国“人造太阳”的强大内核。

合力点亮“太阳” 科技合作跨洲连洋

我国2006年签约加入国际热核聚变实验堆(ITER)计划,等离子体所作为ITER中国工作组重要单位,先后派驻100多人到法国项目现场,承担导体、电源、总装等采购任务,以优异性能通过国际评估,在参与ITER计划的国际七方中位居前列。

等离子体所研究员彭学兵说,他们为ITER做的一个线圈部件,从接到任务到交付做了7年,“有人说这是冷板凳,但是我们心里有团火,与等离子体‘火球’不断‘碰撞’。”

“人造太阳”研究,没有哪国能独揽一切,我们向全世界敞开大门。”宋云涛说,他们已与45个国家的120余个单位合作,每年约有500人次的外籍学者前来交流。

“我来中国已有30多次,在EAST上做实验,还会给岛上学生做一些讲座。”日本国立聚变科学研究所教授森田茂说。

“很难想象过去20多年,中国的聚变能研究如此突飞猛进。”ITER组织副总干事阿兰·贝雷雷,20多年前访华时就曾来科学岛访问,他非常赞赏中国对聚变能研究坚定不移的支持。

“人造太阳”需要全球科学家历经多代人的艰辛,合作研究才能成功。”李建刚希望有更多年轻人加入,“能把人类梦想、国家需求和科学家兴趣完美结合,极其幸运!”

距EAST不远处,一个新大科学装置——聚变堆主机关键系统综合研究设施正在建设。下一代“人造太阳”中国聚变工程实验堆已完成工程设计,未来瞄准建设世界首个聚变示范堆。

“核聚变研究新人佳境,接力棒已经交到我们这一代人手里。”90后“博士后李克栋说,作为“人造太阳”团队的第四代,他感觉到幸运、责任和机遇。“我们希望让聚变发电率先在中国实现,第一盏聚变能源灯在中国点亮!” 据新华社