

2026

行业研究系列

可控核聚变研究报告

政策与资本双轮驱动，能源革命奇点临近

2026年1月



深企投产业研究院



关于深企投产业研究院

深企投产业研究院是深企投集团旗下的高端智库，聚焦产业发展，服务区域经济，致力于为各地提供产业发展落地方案。研究院总部位于深圳，服务区域覆盖全国主要省市。研究院集聚一批经济研究和产业研究专家，以 985 院校研究生为主体，链接高校专家学者，为全国各地政府及机构提供智力支持。

基于自身的研究和咨询能力，同时借助集团的服务网络，深企投产业研究院为政府机构、国有平台、产业园区、金融机构等客户类型提供有针对性的服务。

——政府机构客户。研究院重点提供五类服务：一是五年规划，包含发改系统的国民经济和社会发展规划，工信、商务、投促、文旅等政府部门的专项五年规划；二是产业规划，包含地区、片区的产业定位和产业发展专项规划；三是招商专题研究，包括产业链招商策略、招商规划、招商专案、招商图谱等；四是项目策划，发掘和策划包装契合区域禀赋、产业趋势和投资方向的项目，助力宣传推介和精准招商对接，或策划申报超长期国债等地方重点投资项目；五是项目评估，涵盖地方重点投资项目的风险评估、招商引资项目背景调查、产业基金拟投资项目尽职调查等。

——国有平台客户。针对新时期全国各地国有城投、产投公司向国有资本投资运营转型发展的需要，聚焦国有平台投资布局的新质生产力和重点产业赛道，研究院提供产业情报、产业发展规划、企业投资标的尽职调查等服务。

——产业园区客户。为国有园区、工业地产客户提供园区产业规划定位、产品定价策略、产品设计方案、招商运营服务方案、渠道和品牌推广策略、产业培训等服务。

——金融机构客户。为机构投资者提供产业细分领域深度研究、投资分析、标的尽职调查等服务，减少投资过程中的信息不对称，提高投资决策准确率。

自 2020 年至今，深企投产业研究院团队已完咨询服务项目近百个，完成研究报告数百份，服务的地区包括广东、江苏、浙江、福建、广西、云南、贵州、湖北、四川、陕西、宁夏等多个省市。

在产业研究领域，深企投产业研究院在新质生产力、战略性新兴产业、未来产业研究上具有深厚积累，每年发布原创深度报告近百份。有关低空经济、商业航天、卫星互联网、新型储能、人形机器人、生物制造、脑机接口、全球供应链等报告已获得广泛传播。

目 录

第一篇 可控核聚变概述

一、可控核聚变原理	2
二、可控核聚变优势	3
三、可控核聚变实现条件	4
四、可控核聚变发展进程	6

第二篇 全球可控核聚变产业格局

一、核聚变技术路线及主要机构	10
（一）引力约束，自然机制但难以在地球复制	10
（二）惯性约束，高能驱动下的瞬时聚变	10
（三）磁约束，最具工程化前景的主流路径	13
1、磁镜	13
2、仿星器	14
3、托卡马克	17
4、场反位形	22
（四）其他技术路线	25
1、磁惯性约束聚变	25
2、聚变-裂变混合堆	26
（五）主要技术路线对比	27
二、全球可控核聚变行业现状	29
（一）市场动力：能源安全、能源转型与新兴电力需求	29

(二) 技术支撑：材料突破与 AI 赋能加速技术研发	30
1、超导材料突破推动聚变装置紧凑化高场化	30
2、AI 赋能可控核聚变研发全链条	31
(三) 产业投资：市场进入资本开支扩张周期	32
(四) 市场结构：大科学与工程与商业公司双轨并行	35
三、核聚变产业链及成本结构	36
(一) 核聚变产业链	36
(二) 不同技术路线成本结构	38

第三篇 我国可控核聚变产业现状

一、我国核聚变产业政策	44
二、我国可控核聚变总体格局	47
(一) 总体态势：从科研投入向工程化、商业化加速切换	47
(二) 技术路线：托卡马克主流引领，多元路径并行探索	47
(三) 产业链格局：上游高精尖、中游强壁垒、下游重资产 ..	47
1、上游：核心材料	48
2、中游：关键设备与系统集成	48
3、下游：大科学装置与商业示范堆	49
三、国内核聚变产业重点地区	49
(一) 合肥	49
(二) 成都	50
(三) 上海	51
(四) 其他重点地区	52

图、表目录

图 1	核聚变反应原理示意图	2
图 2	聚变主循环原理示意图	3
图 3	核裂变过程原理示意图	3
图 4	实现可控核聚变反应的三要素	5
图 5	可控核聚变发展历史重大节点	7
图 6	惯性约束核聚变原理示意图	11
图 7	磁镜效应示意图	13
图 8	仿星器装置结构示意图	15
图 9	托卡马克装置概念图	18
图 10	全超导托卡马克核聚变实验装置 EAST	19
图 11	场反位形电流、磁场结构示意图	22
图 12	全球聚变装置技术路线分布（台）	28
图 13	2021-2025 年全球可控核聚变累计投资/融资（亿美元）	32
图 14	按国家划分的聚变公司股权投资项目（亿美元）	33
图 15	核聚变产业链	37
图 16	ITER 成本拆分（实验堆）	40
图 17	DEMO 堆成本拆分（示范堆）	40
图 18	高温超导托卡马克价值量拆分（以 CFETR 项目为例）	41
表 1	仿星器主要商业化公司	15
表 2	全球托马卡克主要商业化公司	20
表 3	全球场反位形主要商业化公司	23
表 4	可控核聚变各技术路线比较	28

表 5	全球可控核聚变重大项目	33
表 6	托卡马克技术路线成本结构	38
表 7	我国可控核聚变领域主要政策	45

01

可控核聚变概述



可控核聚变，因其燃料近乎无限、能量密度极高、清洁安全等特性，被誉为解决人类未来能源需求的“终极能源”。长期以来，其商业化进程被视为遥不可及。然而，近年来，随着高温超导材料、人工智能等颠覆性技术的突破，叠加全球能源转型与大国战略竞争的强力驱动，可控核聚变正从长达数十年的基础科学研究阶段，快速迈向工程验证与商业化探索的关键转折点。

一、可控核聚变原理

核聚变是恒星维持其能量产生的主要机制。可控核聚变旨在以受控方式利用轻原子核聚合释放的巨大能量，其原理与太阳内部的核聚变反应相似。目前主流技术路径是将氢的同位素氘（ ^2H ）和氚（ ^3H ），在地面装置中创造的上亿摄氏度高温及特定约束环境下，结合成氦原子核（ ^4He ），同时释放出一个不带电的高速中子以及大量的能量。这一过程的能量释放源于反应过程中的部分质量亏损，其转化遵循爱因斯坦质能方程 $E=mc^2$ 。

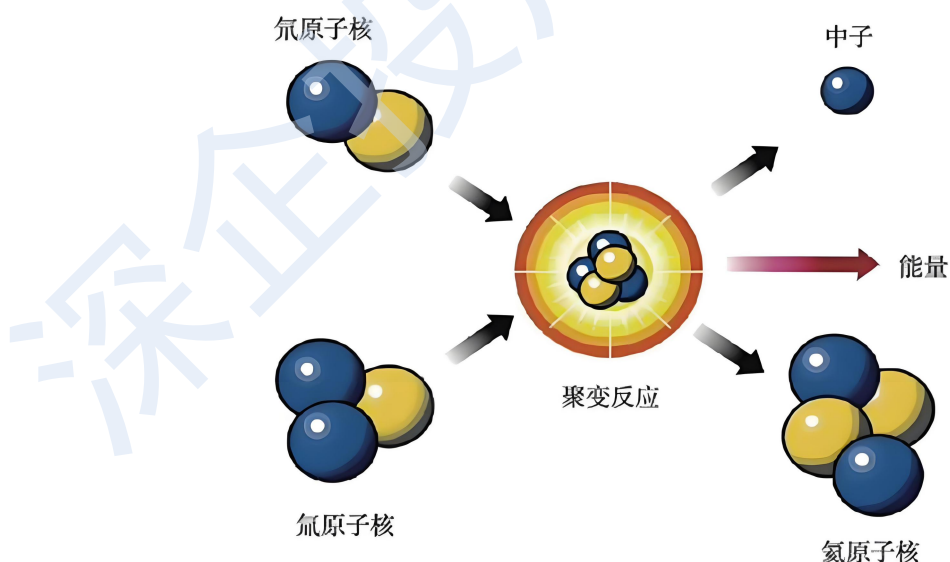


图 1 核聚变反应原理示意图

资料来源：李建刚《可控核聚变研究现状及未来展望》。

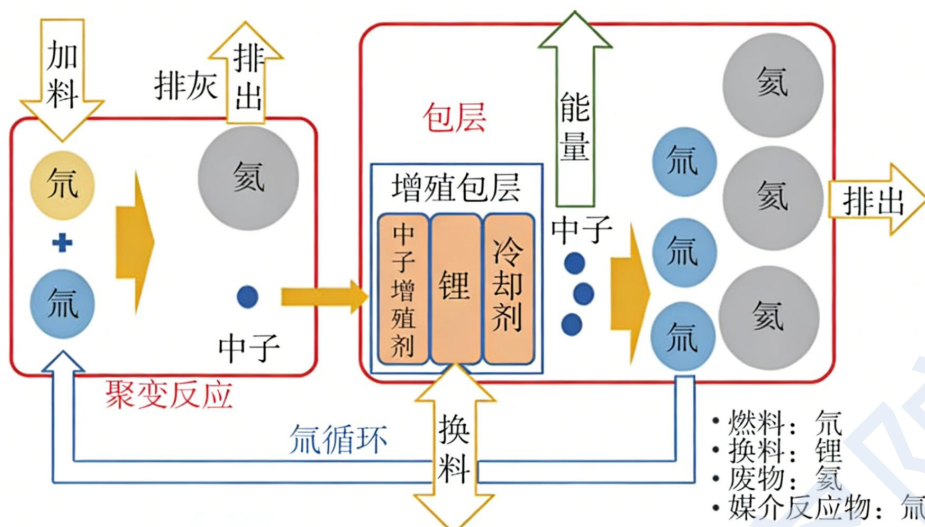


图 2 聚变主循环原理示意图

资料来源：王志斌等《我国磁约束核聚变能源的发展路径、国际合作与未来展望》。

现有核电站采用的是核裂变技术，在较重原子核分裂为较轻原子核过程中获得能量，核聚变与其原理相反。

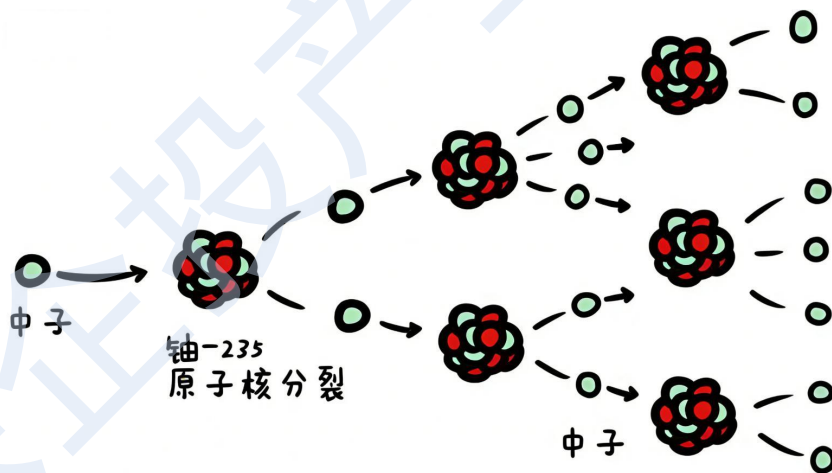


图 3 核裂变过程原理示意图

资料来源：国家核安全局。

二、可控核聚变优势

可控核聚变被誉为“终极能源”方案，主要源于其多重核心优势：

- **能量密度高：**单位质量燃料所释放的能量约为铀-235 核裂变

反应的 4 倍，更是化学燃烧的百万倍以上。1 吨氘氚聚变反应释放的能量，相当于 700 万吨原油燃烧释放的能量。

- **原料充足近乎无限：**氘可广泛从海水中提取，每升海水中含有约 30 毫克氘，而每 30 毫克氘通过聚变反应释放的能量相当于 300 至 340 升汽油燃烧所产生的能量。全球海水中的氘总储量估计超过 40 万亿吨，按照目前的全球能源消耗水平，仅海水中提取的氘所能提供的聚变能量足以满足人类数百亿年的能源需求，从根本上解决了资源约束问题。氚的供应则通过人工增殖技术实现闭环循环。氚在自然界中丰度极低（全球自然存量仅约 3.5-25 公斤），但可通过聚变产生的中子轰击锂-6 同位素来持续生产。地球上锂资源丰富，陆地已探明储量约 2200 万吨，海水中锂含量更高达 2000 亿吨。现有锂资源足以支撑聚变电站运行数千至上万年，若结合未来海水提锂技术，燃料可持续性将进一步提升至数百万年量级。
- **环境友好：**核裂变电站存在棘手的废物处置问题，氘氚核聚变过程中主要产生惰性氦，不产生高放射性、长寿命的核废物，也不会产生任何有毒气体、温室气体。
- **安全可靠：**核聚变反应需要苛刻条件，任何细微条件缺失，都会导致聚变反应停止。

三、可控核聚变实现条件

实现可控核聚变并最终获取净能量，其科学可行性取决于是否满足劳逊判据（Lawson criterion）。该判据指出，等离子体的温度、密度与能量约束时间三者的乘积必须超过一个特定阈值，对于氘-氘反应，约为 $3-5 \times 10^{21} \text{ keV} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^3$ 。具体而言，这意味着需要将燃料加热至上亿摄氏度的高温，以赋予原子核足够动能克服库仑斥力；同时将

等离子体密度提升至约 10^{20} 粒子/立方米量级，以增加核碰撞频率；并利用约束装置将这种高温高密状态维持数秒以上，确保聚变释放的能量大于损失。唯有当这三个核心参数的乘积达标，才能实现从“能量盈亏平衡”到“净能量增益”的跨越，为后续的“自持燃烧”奠定物理基础。简单理解，创造高温高密度环境，对产生的超高温等离子体进行有效约束是实现可控核聚变的关键。

在实践中，满足劳逊判据极具挑战。当前主流技术路径（如托卡马克）通过强磁场构建“磁容器”，实现对带电等离子体的长时间约束，使其与实体器壁隔离。同时，为创造并维持所需的极高等离子体密度，聚变装置真空室必须达到极高的真空度，其本底气体密度需低至 10^{15} - 10^{16} 粒子/立方米量级，仅为常温常压下空气密度的数万分之一。这一极端真空环境能最大限度地减少杂质粒子干扰，是维持等离子体纯净度与稳定性的关键工程前提。因此，攻克高温产生、磁约束稳态控制与极端真空维持等技术，构成了在地球上建造“人造太阳”必须跨越的核心物理与工程门槛。

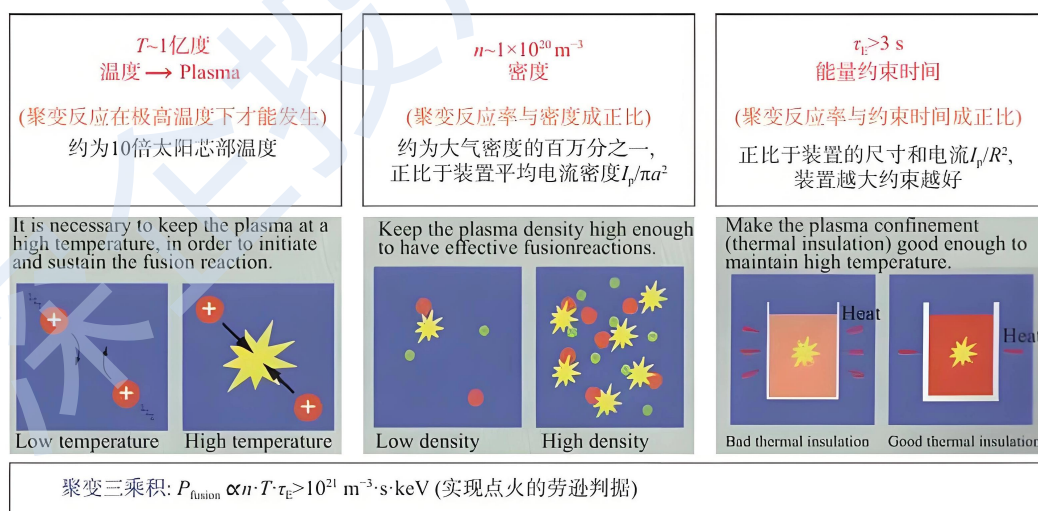


图 4 实现可控核聚变反应的三要素

资料来源：王腾《超导磁体技术与磁约束核聚变》。

劳森判据是实现净能量增益的必要物理条件，而衡量聚变装置能

量效率的核心指标是能量增益因子 Q 值。 Q 定义为聚变反应释放的总热功率 (P_{out}) 与外部输入维持反应所需的加热功率 (P_{in}) 之比, 即 $Q=P_{out}/P_{in}$ 。当 $Q>1$ 时, 聚变反应在物理上实现净能量输出, 但商业化还需考虑热-电转换效率 (通常约 30%~40%)、系统能耗和运行维护成本等因素, 普遍认为实现经济可行的聚变电站需 $Q \geq 10$, 甚至更高 (如 $Q = 20 \sim 30$)。目前实验装置的 Q 值大多低于 1, 仅个别实验短暂超过 1 (未计入全系统能耗)。理想情况下, 若达到“点火”状态 ($Q \rightarrow \infty$), 反应可依靠自身 α 粒子加热维持, 但仍需配套高效工程系统才能实现真正商业化。需注意, Q 值反映能量收支, 与“可控性”无直接关联。

当前, 全球可控核聚变研发已从验证科学可行性, 进入攻克实现稳定“可控”燃烧及提升能量净增益 Q 值的工程化阶段, 产业化进程正在加速。

四、可控核聚变发展进程

全球可控核聚变发展历经数十年基础研究, 目前从科学探索迈入工程验证与产业化探索的新阶段。其科学基础奠定于上世纪上半叶, 1919 至 1933 年间, 轻核聚变能量来源、库仑势垒穿透及氘氘反应可能性相继被提出与论证。1938 年后, “氘氘循环”反应模式的提出与首次实验实现, 证明了聚变反应的可达性。20 世纪下半叶, 托卡马克技术的成熟与 ITER 计划的启动, 将聚变推入国际协同时代; 90 年代 JET 和 TFTR 的高性能等离子体放电实验, 首次展示了磁约束聚变迈向工业应用的前景。进入 21 世纪, 全球各大装置陆续规划与建成。ITER 于 2020 年后进入大部件安装阶段, 其关键系统的完成标志着国际聚变事业正从“物理可行”持续向“工程可行”与“长期稳定运行可行”过渡, 为后续示范堆建设与商业化验证奠定了坚实的技术与组织基础。

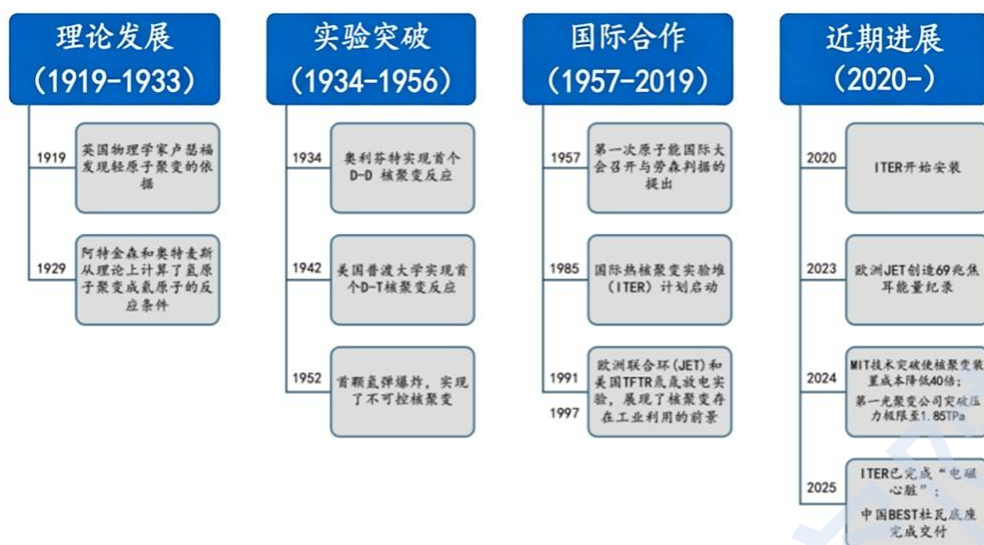


图5 可控核聚变发展历史重大节点

资料来源：福建省生态环境厅官网，中科院合肥研究院等离子体所公众号，华西证券，深企投产业研究院。

在国际层面，ITER项目作为全球最大聚变合作工程，正从组装迈向调试阶段。全球核聚变发展呈现国际合作与自主攻关并行的格局，以ITER为代表的国际工程是多边协作的核心。自2006年七方签署协议以来，ITER项目持续推进，于2020年转入托卡马克装置实质性组装阶段，并于2025年4月完成关键超导磁体系统的集成，为首次等离子体放电创造了物理与工程条件。根据ITER组织2022年修订的基准路线图，项目目标在2035年实现首次等离子体放电，并在2030年代末至2040年代初逐步过渡到氦氦运行阶段，最终验证聚变能大规模生产的科学与工程可行性。这一全球规模最大、参与方最广的合作计划，其进展对确立聚变能的未来时间表具有决定性意义。

中国通过多层次项目布局，系统构建自主聚变能源发展体系。中国通过“基础研究-工程验证-示范预研”多层次项目布局，正系统性地构建自主聚变能源发展体系。在基础研究层面，全超导托卡马克EAST装置长期攻关高参数稳态等离子体运行，为未来堆提供成套物理与运行经验。在工程验证层面，紧凑型聚变能实验装置BEST项目进展加

速，已于 2025 年启动主机总装，计划在本世纪 20 年代末进行实验，旨在为未来实现能量净增益和发电演示验证关键技术。在示范堆预研层面，中国聚变工程试验堆 CFETR 作为 ITER 之后的关键战略部署，规划分两阶段运行：第一阶段实现聚变功率 50-200 兆瓦与氙自持；第二阶段将功率提升至吉瓦级，开展示范堆验证，为其提供关键技术验证的 CRAFT 设施已进入建造尾声。CFETR 项目目前处于详细工程设计阶段，其建设时间表将取决于前期关键技术验证、国家立项审批及资金安排，远期目标是在本世纪中叶前建成并运行。

02

全球核聚变产业格局



一、核聚变技术路线及主要机构

实现可控核聚变的核心在于对高温等离子体进行有效约束，主要技术路线可分为引力约束、惯性约束和磁约束三种类型。其中，引力约束仅存在于恒星环境中，而惯性约束与磁约束则成为当前实验室研究与工程探索的重点。这些路线在物理原理、工程可行性及商业化前景上各有特点，共同推动着聚变能源从科学验证向实际应用迈进。

（一）引力约束，自然机制但难以在地球复制

引力约束是恒星内部持续发生聚变反应的天然方式，依靠巨大的万有引力将聚变燃料束缚在核心区域。然而，在地球环境下，人类目前尚无法创造出与之相当的引力条件，因此该途径并不具备现实可行性。这也使得科学研究与工程开发主要集中在惯性约束和磁约束两条路径上，致力于在实验室中模拟并实现可控的聚变过程。

（二）惯性约束，高能驱动下的瞬时聚变

惯性约束聚变通过多束极高精度的激光或粒子束，在极短时间内向微型燃料靶丸注入巨大能量，使其表面迅速消融并产生向内的反冲压力，从而将靶丸压缩至极高密度和温度，利用粒子惯性在短暂时间内完成聚变反应。

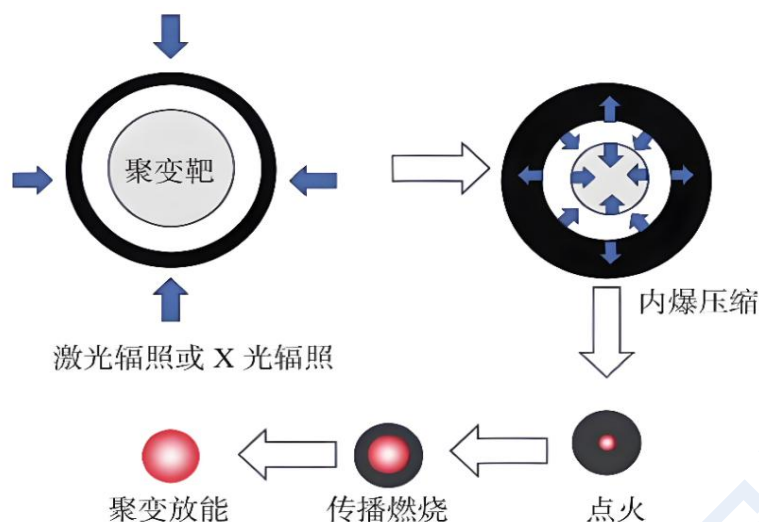


图 6 惯性约束核聚变原理示意图

资料来源：王志斌等《我国磁约束核聚变能源的发展路径、国际合作与未来展望》。

美国国家点火装置（NIF）是惯性约束路线代表性设施，其 2022 年实验首次实现了聚变输出能量超过激光输入能量，能量增益约 1.53 倍，在 2025 年 4 月实现目标增益超过 4 的突破。中国也拥有“神光”系列等高功率激光装置。该技术路线的优势在于小型化潜力大、开关火控制性能较好，单次点火无需维持等离子体，但能量利用效率相对低、约束时间短、靶丸制备难度及成本较高，当前重复频率低，距离连续发电与规模化应用尚有较远距离。

在惯性约束聚变的多样化技术路径中，Z 箍缩（Z-pinch）作为其重要衍生路线，近年来受到越来越多的关注。Z 箍缩技术利用强大的脉冲电流通过柱状等离子体或金属丝阵列，在极短时间内产生强轴向磁场，该磁场与电流相互作用形成向心洛伦兹力，驱动等离子体迅速内爆压缩，从而在中心区域形成高温高密度状态以触发聚变反应。这一过程通常在数十纳秒内完成，其物理机制本质上依赖于等离子体自身的惯性来维持短暂的聚变条件，因此被归类为惯性约束聚变的一种特殊形式。

Z 箍缩路线的主要优势在于能量转换效率较高、驱动系统相对紧凑、且无需昂贵的高能激光系统。与传统激光驱动惯性约束相比，Z 箍缩可实现更高的能量耦合效率，部分实验已展示出接近 10% 的电能到 X 射线的转换效率，有利于未来提升整体系统能效。此外，其装置结构较为简洁，适合模块化设计，在重复频率和工程可扩展性方面具备潜在优势。其核心难点在于等离子体内爆过程极易受磁流体不稳定性影响，导致压缩不对称、热点形成失败，严重限制能量增益。同时，高电流脉冲对开关、储能和电极材料提出极高要求，系统寿命与重复运行能力仍待验证。靶结构（如金属丝阵列）的精密制造与快速更换亦是工程化瓶颈。

截至 2026 年初，Z 箍缩路线在全球范围内仍处于基础物理研究和工程验证阶段，尚未实现净能量增益。美国桑迪亚国家实验室的 Z 装置是当前规模最大、参数最高的 Z 箍缩装置，峰值电流可达 26 兆安培以上，持续用于高能量密度物理、核武器模拟及聚变基础研究。其他中小型装置包括俄罗斯库尔恰托夫研究所的 S-300 装置、英国帝国理工大学的 MAGPIE 装置、中国工程物理研究院的“聚龙一号”装置、中国原子能科学研究院的“荧光-1”装置等，这些装置的共同特点是单次放电能量巨大，但重复频率低，尚未实现持续运行。

在商业化公司层面，Z 箍缩路线的产业化进程相对滞后。美国聚变公司 Zap Energy 采用剪切流稳定 Z 箍缩技术，通过轴向等离子体流抑制不稳定性，已获得超 2 亿美元融资，但其装置规模较小，目标应用场景为小型中子源而非大规模发电，与大型 Z 箍缩驱动聚变的工程路径差异显著。除 Zap Energy 外，全球范围内没有其他以 Z 箍缩为主要技术路线的商业化聚变公司。部分早期尝试如 General Fusion 曾探索过 Z 箍缩相关技术，但已转向 MTF 路线。

（三）磁约束，最具工程化前景的主流路径

磁约束是目前最接近实现持续可控聚变能的途径。磁约束原理是利用强磁场产生的洛伦兹力，使带电粒子沿磁力线回旋运动，从而将高温等离子体约束在特定空间区域内，延长能量维持时间。其优势体现在稳态运行、燃料灵活性、放射性物质少等，但工程复杂性相对较高，材料性能及经济性尚有提升空间。总体而言，磁约束路线积累了数十年的实验与理论成果，被国际学界视为最有可能率先实现聚变发电商业化应用的路径。

磁约束聚变主流技术方案包括磁镜、仿星器、托卡马克和场反位形，其中托卡马克是技术最成熟、研究最广泛的方向，而 FRC 装置有望率先开始商业化供电。

1、磁镜

磁镜结构简单，但约束时间较短。磁镜（Magnetic mirror）是一种直线型磁约束核聚变装置，其磁场构型特点是两端磁场强度高于中间区域，利用“磁镜效应”机制，即带电粒子沿磁力线运动时，在强磁场端因磁矩近似守恒，平行速度减小至零而被反射，从而在两端之间来回振荡，实现对等离子体的部分约束。

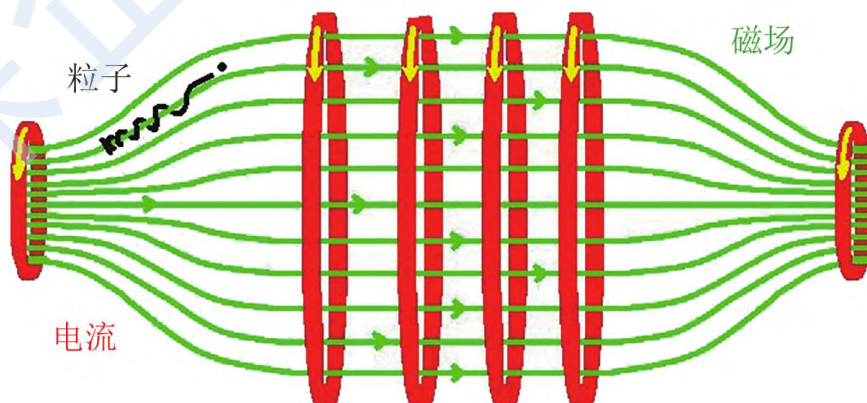


图 7 磁镜效应示意图

资料来源：张家龙《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》。

磁镜装置的优点在于结构相对简单、无环形几何复杂性，且易于加热和诊断，有利于实现高温等离子体。缺点是粒子和能量损失较大，等离子体约束时间较短，难以满足聚变点火所需的劳森判据。因此，传统磁镜方案在主流聚变路线中已被托卡马克和仿星器等环形装置所超越，但其物理原理仍在某些先进概念（如轴对称磁镜、串列镜、或作为中子源）中具有研究价值。目前代表性装置有美国威斯康星大学与美国 CFS 公司共同合作开发的紧凑型、高场强、轴对称磁镜装置 Wisconsin HTS Axisymmetric Mirror (WHAM) 等。商业化推进的公司主要为美国威斯康辛大学孵化成立的 Realta Fusion。

2、仿星器

仿星器约束时间更长、稳定性好，但线圈结构复杂、装置建造成本高。仿星器 (Stellarator) 由美国物理学家 Spitzer 于 1950 年代提出，名称寓意“模拟星体聚变条件”。其技术核心是通过三维扭曲的外部线圈系统，在闭合环状真空室中构建螺旋形磁力线，形成天然的等离子体约束通道。这种设计无需驱动等离子体电流，从根本上避免了托卡马克的大破裂风险，可实现真正的稳态运行，且对材料辐照损伤要求较低。

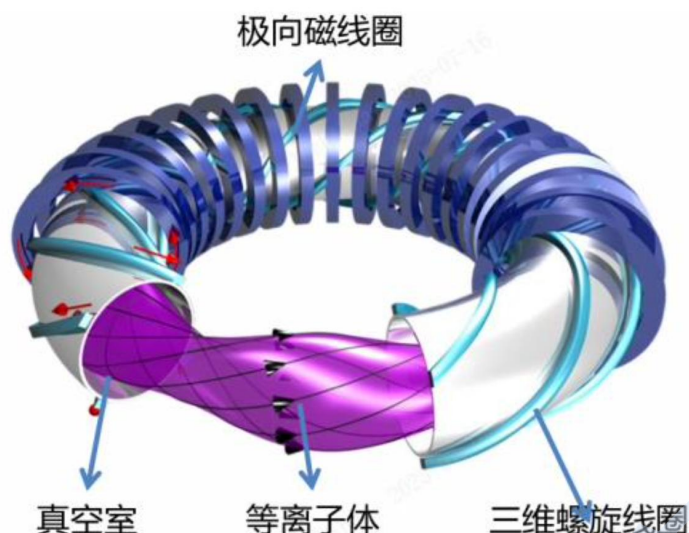


图 8 仿星器装置结构示意图

资料来源：中国核技术网。

仿星器装置的优势在于等离子体约束时间更长、稳定性极佳，适合作为未来聚变电站的候选路线。然而，其线圈构型极为复杂，制造精度需达毫米级，导致装置造价高昂、工程难度大。目前全球仅德国 Wendelstein7-X 和日本 LHD 等少数装置建成运行，验证了物理可行性，但因成本与复杂度制约，尚未成为主流研发路线。仿星器装置商业化公司主要有法国 Renaissance Fusion、美国 Thea、Type One Energy、德国 Proxima Fusion 等，企业情况如下表所示。

表 1 仿星器主要商业化公司

序号	企业	国家	简介
1	Renaissance Fusion	法国	2020 年成立，2025 年 3 月完成 3200 万欧元融资，是欧盟磁聚变领域唯一的初创公司，其采用简化仿星器设计、液态金属壁技术和高温超导线圈（HTS）技术组合，计划在 2025 年之后，利用高温超导体-液态金属模块，建立第一个高场(10T)、净能(Q>1)仿星器，争取在 21 世纪 30 年代初升级加热和屏蔽装置，将仿星器接入电

			网，实现聚变发电。
2	Thea	美国	2022 年成立，原称 Princeton Stellarators，由普林斯顿等离子体物理实验室 PPPL 分离而来，研制的第一台中子源仿星器 EOS 具备商业运营能力，能够用于生产包括氚在内的各种同位素，是唯一一个以发电厂为原型建造的第一代聚变系统，将基于 EOS 基础架构，计划在 21 世纪 30 年代建立 Helios Power Plant，并实现并网发电。
3	Type One Energy	美国	2019 年成立，是由美国威斯康星大学专家技术团队所创立的商业化聚变公司，2026 年 1 月完成 8700 万美元可转换债券融资，累计风投总额超过 1.6 亿美元，2025 年计划在美国田纳西州克林顿 Bull Run 燃煤电厂原址建设首座商业化试验电厂，规划发电容量 350 兆瓦，预计于 2030 年代中期投入运行。累计融资超 1.6 亿美元，正处于目标额为 2.5 亿美元的 B 轮融资进程中，投前估值 9 亿美元。
4	Proxima Fusion	德国	2023 年成立，德国马克斯·普朗克等离子体物理研究所（IPP）孵化的公司，其技术路线源于全球最大仿星器装置 Wendelstein 7-X 的科研成果，结合高温超导磁体，目标开发紧凑型仿星器聚变装置，规划 2027 年完成高温超导仿星器模型线圈性能验证，2031 年建成 Alpha 示范装置并实现能量增益因子 Q 大于 1，目标在 2030 至 2035 年间交付首座百兆瓦级商业聚变电厂 Stellaris。累计公开融资额约 2 亿欧元。
5	Helical Fusion	日本	2021 年成立，由日本国立核聚变科学研究所（NIFS）孵化衍生，是日本唯一专注于螺旋仿

		<p>星器技术商业化开发的企业，2025 年 10 月高温超导线圈核心性能测试完成，全球首次在模拟聚变环境（15K、7T 外场）下实现 40kA 稳定超导电流，标志磁体技术达到用门槛，2025 年 12 月启动 Helix HARUKA 装置建设。2025 年与青木超市株式会社签署聚变能购电协议（PPA）。截至 2025 年 12 月累计融资约 3800 万美元</p>
--	--	--

资料来源：网络公开资料，深企投产业研究院整理。

3、托卡马克

托卡马克（Tokamak）名称由俄语单词“环形、真空室、磁、线圈”的词头组成，由苏联科学家于 20 世纪 50 年代提出。其核心技术原理是利用外部线圈产生的环向磁场，与等离子体自身电流产生的极向磁场相互叠加，形成一个可约束上亿摄氏度高温等离子体的“螺旋形磁笼”。装置结构呈现“甜甜圈”状的环形，核心组件包括环形真空室、环向场线圈（TF）、极向场线圈（PF）及中心螺管（CS）等磁体系统。

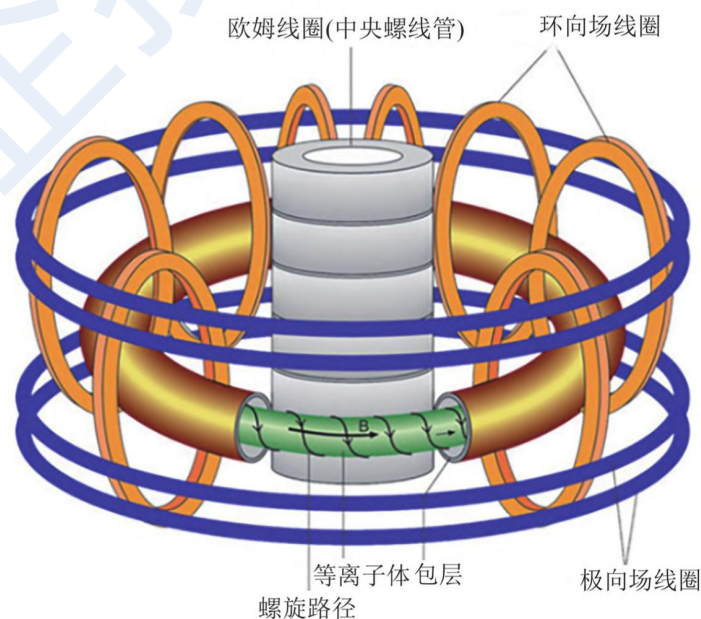


图 9 托卡马克装置概念图

资料来源：张家龙《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》。

托卡马克是目前全球范围内投资额最大、技术发展最为成熟的路线，已处于工程可行性阶段。凭借高效的约束能力和相对可控的稳定性，托卡马克在全球核聚变研究中占据主导地位（约占 90%），在实现高温等离子体和长脉冲运行方面已积累大量成功实验经验。国际合作及国家级项目多采用托卡马克，较多民营企业正在向高温超导托卡马克装置方向发展。其缺点是装置结构极其复杂、工程与建造成本高昂；等离子体的稳定性控制极具挑战，存在灾难性“电流破裂”的风险；并且依赖于大功率、高精度的持续外部加热和电流驱动，对超导磁体等关键部件的性能与可靠性要求极高。

托卡马克主要包括两种构型：一是常规环形托卡马克，环径比较大，物理机理清晰，如国际热核聚变实验堆（ITER）及中国的全超导托卡马克装置东方超环（EAST），后者由中科院等离子所研发，已在稳态高约束模运行方面取得突破，2025 年 1 月首次实现 1 亿摄氏度千秒运行，创世界纪录；二是球形托卡马克，设计更为紧凑，环径比接近 1，具有更高的磁场利用效率和聚变功率密度潜力，如中国的 SUNIST-2 装置，但也面临中心柱空间狭小等工程挑战。

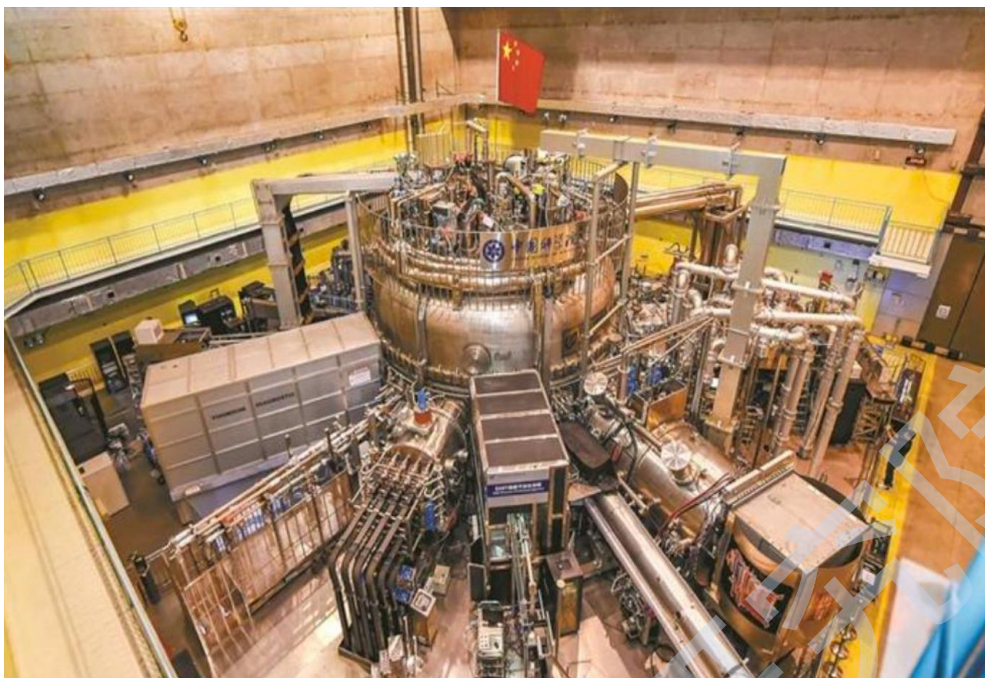


图 10 全超导托卡马克核聚变实验装置 EAST

资料来源：澎湃新闻。

托卡马克路线中，关于高温超导托卡马克装置的研发工作主要由国内外领先的商业公司驱动。美国的联邦聚变系统 CFS、英国的托卡马克能源 Tokamak Energy，以及国内的星环聚能与能量奇点等公司，均开启了相关磁约束可控核聚变装置的设计、建造与磁体测试工作，致力于将高温超导磁体技术应用于未来商用可控聚变示范堆。美国联邦聚变系统 CFS 公司采用高温超导材料的 SPARC 装置计划于 2027 年验证 $Q>1$ 能量增益，其后续 ARC 示范堆已与谷歌签订 200 兆瓦电力采购协议，目标 2030 年代初实现并网发电，总设计功率 400 兆瓦。BEST 紧凑型聚变实验装置由中科院等离子体物理研究所主导研发、聚变新能（安徽）有限公司承建，计划于 2027 年建成，目标实现 $Q\geq 1$ 并演示 50–200M 聚变功率输出，后续的中国聚变工程实验堆（CFETR）预计在 2035 年左右建成，初期聚变功率为 200–500 MW。

国内外托卡马克路线商业化公司如下表所示。

表 2 全球托马卡克主要商业化公司

序号	企业	国家	简介
1	Commonwealth Fusion Systems (CFS)	美国	2018 年成立，高温超导托卡马克路线，其装置包括 SPARC（示范验证堆）和 ARC（商用示范堆），SPARC 计划 2026-2027 年实现 $Q>1$ ；计划在 2030 年代初建成 400MW 商业电厂 ARC，已与谷歌签署 200MW 购电协议。至今已获得融资超 20 亿美元。
2	Tokamak Energy	英国	2009 年成立，高温超导球形托卡马克路线，其装置包括 ST40、ST80-HTS、ST-E1，ST40 已实现 1 亿度等离子体温度；计划 2030 年代初建成试验工厂，2034 年建成 500MW 商业电厂。已获得融资超过 3 亿美元。
3	聚变新能（安徽）有限公司		2023 年成立，中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所磁约束核聚变领域的唯一成果转化平台，紧凑型低温超导托卡马克路线，BEST 于 2025 年 5 月启动总装，计划 2027 年底建成，目标实现氘氘燃烧等离子体；CFEDR 定位工程示范堆，预计 2035 年建成。注册资本 145 亿元，已到资 87 亿元。
4	中国聚变能源有限公司	中国	由中核集团牵头成立的国家队平台，2024 年由中核燃料有限公司变更而来，注册资本 150 亿元，控股股东为中核集团，其他股东包括中国石油昆仑资本、上海聚变国资平台、浙能电力等。定位为中核集团聚变能源产业实施主体。采用紧凑型高温超导托卡马克路线，核心装置包括中国环流三号（HL-3）和在建的中国环流四号（HL-4）高温超导聚变实验装置。环流三号 2025 年实现原子核温度

序号	企业	国家	简介
			1.17 亿摄氏度、电子温度 1.6 亿摄氏度的“双亿度”等离子体运行，挺进燃烧实验阶段。
5	能量奇点能源科技（上海）有限公司	中国	成立于 2021 年，高温超导托卡马克路线，其全高温超导托卡马克装置洪荒 70 于 2024 年 3 月完成系统总装，2025 年 3 月自主研发的“经天磁体”励磁至 21.7 特斯拉，创下大孔径高温超导 D 形磁体最高磁场纪录，正在推进下一代装置“洪荒 170”的概念与工程设计，目标实现聚变净能量增益，计划于 2027 年建成运行，预计 2030 年后建设示范性聚变发电站。2023 年 4 月完成 Pre-A 轮融资约 4 亿元。
6	上海星环聚能科技有限公司	中国	成立于 2021 年，依托于清华大学工程物理系聚变团队通过成果转化而孵化建立。团队成员运行国内首个球形托卡马克装置 SUNIST 近 20 年，2023 年 6 月，星环聚能和清华大学合作完成了 SUNIST-2 的建设工作，正在设计并建设聚变技术验证装置 CTRFR-1，计划 2028 年前后启动聚变商业示范堆建设。2026 年 1 月完成 A 轮融资 10 亿元。
7	新奥科技发展有限公司	中国	2006 年成立，隶属于新奥集团（国内最大的民营燃气企业），2018 年成为国内首家建设聚变实验装置的民营企业，2022 年明确氢硼聚变球形托卡马克技术路线，聚变装置包括玄龙-50/玄龙-50U、和龙-2（在建），玄龙-50U 球形环氢硼聚变装置已稳定运行，在全球首次实现兆安级氢硼等离子体放电；计划 2027 年建成和龙-2 装置。集团母公司年营收 1400 亿元，依托集团自有资金研发。

资料来源：网络公开资料，深企投产业研究院整理。

4、场反位形

场反位形（FRC）是一种基于磁约束或磁惯性约束的可控核聚变技术路线，其概念最早于 1956 年被提出，并在上世纪后期相关实验中得到初步验证。核心原理是利用外部极向磁场与等离子体自身感应电流产生的反向磁场相互作用，形成一个内部具有闭合磁力线、外部为开放磁力线的自封闭“磁泡”结构。装置通常呈直线型对称设计，主要由两端的形成区与中间的融合压缩区构成，结构上显著区别于传统的环形托卡马克，其最大特征在于仅需极向磁场而无需复杂的环向磁场线圈。

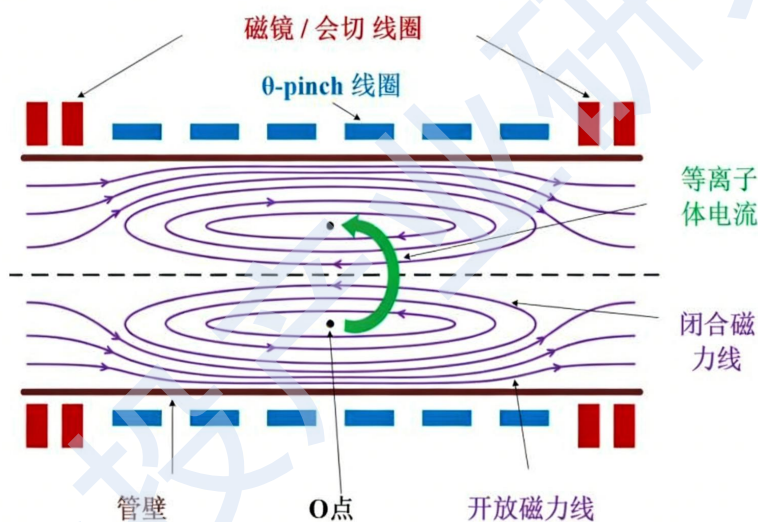


图 11 场反位形电流、磁场结构示意图

资料来源：彭越等《HFRC 场反等离子体形成过程数值模拟与实验研究》。

场反位形路线的突出优势在于：一是等离子体比压（ β ）值高，在同等磁场强度下可约束更高密度的等离子体，经济性优越；二是结构简洁紧凑，相比托卡马克路线，大幅降低了建造成本与运行难度，50MW 模块的建造成本低于 10 亿元，仅相当于托卡马克的 1/10，装置建造周期仅需要 2-3 年，低于托卡马克要求；三是部分方案（如 Helion）采用直接能量转换技术，理论发电效率可达 95% 以上，并可

使用氘-氦 3 等清洁燃料。然而，其核心挑战在于等离子体寿命相对较短、约束稳定性控制难度大，且目前实验参数（如密度、约束时间）距离实现净能量增益的劳逊判据尚有显著差距。另外，相较于托卡马克，FRC 技术无需外部加热源与环向磁场，结构紧凑、成本可控，但电源系统价值占比显著提升至 60%左右，对快控开关与脉冲电容提出更高要求。

国际上，美国 Helion Energy（采用脉冲磁压缩路径）和 TAE Technologies（采用稳态中性束注入路径）是代表性商业机构，其装置已迭代至第七代“Polaris”和“Norm/Copernicus”。在国内，华中科技大学的 HFRC、中国科学技术大学的 KMAX 为主要的实验装置，而瀚海聚能（HHMAX-901）、星能玄光（Xeonova-1）及诺瓦聚变等公司正致力于推动该路线的商业化进程。

场反位形 FRC 装置商业化规划进度较快。在美国，Helion Energy 已启动“猎户座”商业电厂建设，计划于 2028 年向微软供应 50 兆瓦电力；TAE Technologies 亦规划在 2030 年代初推出原型电站。国内方面，瀚海聚能于 2025 年 7 月实现等离子体点亮，标志着 FRC 步入工程可行性阶段；星能玄光已率先完成小型化 FRC 装置 Xeonova-1 放电验证，规划 2035 年建成 200 兆瓦聚变电站，单站投资约 10 亿元人民币。整体来看，FRC 路线在商业化时间节点上展现出相对领先态势。

国内外聚焦场反位形路线的可控核聚变商业化公司如下表所示。

表 3 全球场反位形主要商业化公司

序号	企业	国家	简介
1	Helion Energy	美国	2013 年成立，磁惯性约束/场反位形（FRC）路线主要企业，商用聚变电站已于 2025 年在华盛顿州启动建设，与微软签订对赌协议，

序号	企业	国家	简介
			承诺 2028 年起向微软数据中心提供至少 50MW 聚变电力，成为全球首个商业聚变电力采购协议，计划 2030 年代为 Nucor 建 500MW 电厂。2025 年 1 月完成 F 轮 4.25 亿美元融资，累计融资超过 22 亿美元，投资者包括 OpenAI 的 CEO Sam Altman 等，估值达到 54 亿美元。
2	TAE Technologies	美国	1998 年成立，前身为 Tri Alpha Energy，采用氢硼(p-B11)聚变，第五代反应堆已实现 7500 万摄氏度等离子体运行，与加州大学合作开发的第六代装置 Copernicus 及 Norm 正推进建设，2025 年 12 月与特朗普媒体科技集团达成合并，计划 2026 年启动建设全球首座 50MW 商用级聚变电站，计划 2030 年代初推出 350-500MW 原型电站。累计融资规模超过 18 亿美元，合并后估值超 60 亿美元。
3	合肥星能玄光科技有限责任公司	中国	2024 年成立，由中国科学技术大学赋权设立，采用场反位形与磁镜融合路径“先进场反磁镜”，小型化 FRC 装置 Xeonova-1 于 2025 年 2 月实现首次放电，实验室阶段已实现等离子体约束时间 10 秒（目标 100 秒以上），Q 值 0.8（目标 1.5 以上），计划 2030 年建成 10MW 级小型聚变示范堆，实现功率输出，2035 年达到 100MW 以上，验证百兆瓦级聚变工程堆。2025 年 11 月 Pre-A 轮融资数亿元。
4	瀚海聚能（成都）科技有限公司	中国	2022 年成立，HHMAX-901 装置于 2025 年 7 月 18 日在成都成功点亮等离子体，标志着中国首台商业化直线型 FRC 聚变装置从实验室迈向应用端，计划 2027-2028 年建造第二代装

序号	企业	国家	简介
			置，建设 10MW 功率发电主机，2028-2030 年建造第三代装置，建设 50MW 发电主机及示范电站。2024 年天使轮累计融资超 5000 万元。
5	诺瓦聚变能源科技（上海）有限公司	中国	2025 年 4 月成立，专注于小型模块化核聚变商业化，采用场反位形（FRC）与磁压缩协同技术路线，核心产品为小型模块化聚变反应堆（FRC-SMR），单模块功率目标 5-50 兆瓦，可根据需求灵活组合，适用于数据中心、海岛供电、工业园区等场景，当前处于技术验证平台建设阶段，计划 2026 年完成模型装置建设。2025 年 8 月天使轮融资 5 亿元。

资料来源：网络公开资料，深企投产业研究院整理。

（四）其他技术路线

除了惯性约束、磁约束两大主流体系外，可控核聚变技术路线还包括磁惯性约束聚变这一重要方向，以及聚变-裂变混合堆等创新路径。

1、磁惯性约束聚变

磁惯性约束聚变融合了磁约束的长约束时间与惯性约束的高压缩密度优势，试图规避两类传统路线的工程瓶颈，被视为聚变能源的“第三条道路”。该路线既不是纯粹的磁约束，也非纯粹的惯性约束，而是利用磁场预先约束等离子体，再通过惯性手段快速压缩，在微秒级时间内实现聚变条件。其技术原理是通过等离子体枪、Z 箍缩或场反位形等方式在较低密度下创建预先磁化的等离子体靶，外部驱动器在微秒级内压缩金属衬套，使等离子体密度和温度急剧升高至聚变点

火条件。与纯惯性约束相比，约束时间延长数千倍，大幅降低对驱动器功率密度的要求；与纯磁约束相比，等离子体密度高数个量级，装置体积可缩小至传统托卡马克的 1/40。

磁惯性约束聚变的代表分支包括磁化靶聚变（MTF）、Z 箍缩驱动、场反位形作为磁化靶，当前以磁化靶聚变（MTF）为主要方向。其优势在于成本效益显著，脉冲功率驱动器成本远低于高性能激光器或超导磁体系统；能量转换效率高，部分设计通过液态金属直接传热；装置结构紧凑，工程风险相对较低。缺点在于等离子体-材料混合风险高，压缩过程中液态金属衬套内表面会液化并与等离子体混合；热传输特性尚不明确；磁流体不稳定性控制难度大；重复频率运行对高电压技术、碎片清理提出苛刻要求。

目前，全球专注于磁化靶聚变（MTF）路线的商业化公司数量较少，加拿大 General Fusion 是唯一一家以 MTF 为核心技术并推进商业化的企业，其 LM26 装置采用 14 个蒸汽活塞推动液态锂壁压缩等离子体，2025 年 4 月实现首次压缩，目标 2026 年达到科学收支平衡。

2、聚变-裂变混合堆

聚变-裂变混合堆是一种以可控核聚变为驱动源、融合裂变能技术的复合型能源系统，是可控核聚变向商业化过渡的重要战略路径。其基本原理是利用聚变反应产生的高能中子作为外部中子源，驱动外围包层中的铀-238 或钍-232 等可转换材料发生裂变反应，从而在不依赖链式临界条件的情况下实现能量的大幅增益。该技术路线显著降低了对聚变核心性能的要求，无需达到纯聚变电站所需的高能量增益因子即可实现净电力输出，同时具备高效利用天然铀资源、嬗变长寿命高放核废料以及本质安全等突出优势。由于裂变过程始终处于次临界状态，一旦聚变中子源停止，整个系统将自动停堆，从根本上避免了

传统核反应堆的失控风险。

目前在聚变-裂变混合堆领域，中国是全球唯一系统推进工程验证的国家。中国工程物理研究院主导的 Z 箍缩驱动聚变裂变混合堆（Z-FFR）项目，计划于 2027 至 2028 年在四川绵阳建成首期集成验证装置，旨在实现聚变中子源与次临界裂变系统的耦合运行，其商业化推进公司为先觉聚能科技（四川）有限公司。中核集团主导、联创光电参与技术供应的“星火一号”聚变-裂变混合示范堆项目，选址江西南昌，项目公司为江西聚变新能源有限责任公司，计划于 2030 年建成并开展 100MW 级并网发电演示，该项目采用高温超导托卡马克作为聚变中子源。

国际上，美国曾在 NIF 基础上提出 LIFE 混合堆计划，但因 NIF 技术验证未达预期而搁置；俄罗斯、欧盟及日本虽长期开展混合堆概念设计研究，但均未进入工程示范阶段。

（五）主要技术路线对比

在技术路线上，激光惯性约束、磁约束托卡马克及直线型场反位形装置等多种路径并行推进，工程可行性验证不断取得实质进展，商业化路径日益清晰。根据国际原子能机构（IAEA）的统计数据，截至 2025 年 12 月 19 日，全球共有聚变装置 179 台，其中托卡马克装置 82 台、占比 45.8%，仿星器 31 台、占比 17.3%，激光/惯性约束 15 台、占比 8.4%，其他路线（含场反位形、磁镜、Z 箍缩等）51 台、占比 28.5%，如下图所示。在这 179 台装置中，有 103 台处于运行状态，18 台处于建设中，58 台处于规划阶段。

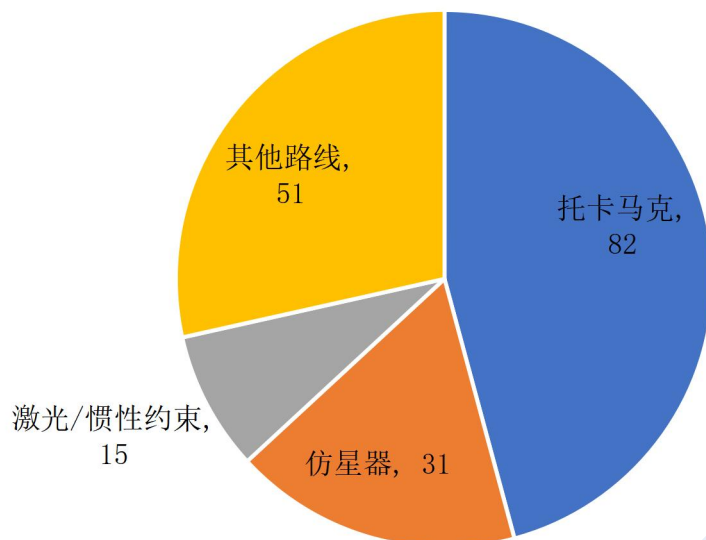


图 12 全球聚变装置技术路线分布（台）

资料来源：国际原子能机构（IAEA）、东方财富证券，深企投产业研究院整理。

可控核聚变当前主要技术路线对比情况如下表所示。

表 4 可控核聚变各技术路线比较

技术路线	原理	优点	缺点	代表项目/公司
托卡马克 Tokamak	利用环形磁场约束高温等离子体。	约束效率高，技术最成熟，全球主流路线。	结构复杂，存在等离子体破裂风险，运行成本高。	国际 ITER，中国 EAST、BEST、环流三号，欧盟 JET，日本 JT-60SA，美国 CFS
仿星器 Stellarator	通过外部复杂扭曲线圈产生约束磁场。	无需等离子体电流，天然适合稳态运行，稳定性好。	磁体设计建造极复杂，成本高昂。	德国 Wendelstein 7-X，日本 LHD
激光聚变	用高能激光或 X 射线瞬间压缩靶丸引发聚变。	装置可小型化，工程实现相对简单。	驱动效率低，重复频率低，难以持续输出能量。	美国 NIF，中国神光系列

场反位形 FRC	结合磁约束与惯性约束，形成自组织等离子体。	结构紧凑、成本较低、迭代快，商业化灵活。	等离子体维持时间短，稳定性是主要挑战。	Helion Energy, 瀚海聚能，能量奇点
----------	-----------------------	----------------------	---------------------	--------------------------

资料来源：各公司官网，国际原子能机构，深企投产业研究院整理。

二、全球可控核聚变行业现状

当前，全球核聚变产业正步入从科学验证迈向工程实现的关键阶段，技术突破、政策扶持与资本投入共同构建起其高速发展的产业环境。各国通过国际合作项目与自主项目相互竞逐，推动该领域呈现出前所未有的活力，产业化临界点正加速到来。

（一）市场动力：能源安全、能源转型与新兴电力需求

可控核聚变正成为继人工智能革命之后，中美欧等主要经济体在能源科技领域战略竞争的新焦点。在全球加速推进碳中和与重构能源安全体系的双重驱动下，各国纷纷将聚变能定位为“终极能源”，并加快前瞻性布局。尤其随着人工智能、大数据中心等高算力产业迅猛扩张，对稳定、大规模、低碳基荷电力的需求急剧上升，而现有能源系统在供应韧性、可持续性、碳排放等方面已显现出明显瓶颈。可控核聚变凭借 7×24 小时连续供电能力、超高能量密度和近零碳排放等优势，被视为支撑未来 AI 算力基础设施与高端制造等高载能产业发展的理想能源解决方案。在此背景下，保障 AI 发展所需的能源安全已上升为国家战略核心议题，美国更明确将聚变能列为优先发展方向，其聚变行业协会（FIA）已公开呼吁联邦政府投入百亿美元级资金，以巩固其在聚变能源与人工智能两大关键领域的全球领导地位。

科技巨头提前布局与投资可控核聚变。人工智能企业对大规模、稳定清洁电力的迫切需求，正推动全球科技巨头提前布局并深度参与

可控核聚变领域。为保障未来算力基础设施的长期能源供应，多家头部科技企业已通过长期购电协议（PPA）、股权投资等方式，直接绑定或投资聚变能源项目，成为推动技术商业化的重要产业资本与市场牵引力量。例如，Helion Energy 获得了 OpenAI 的 CEO Sam Altman 等投资者的大力支持，并与微软签署首份商业化发电协议，计划自 2028 年起向微软供应聚变电力；谷歌与 CFS 达成意向，拟于 2030 年代初实现聚变供电；亚马逊则通过投资 TAE Technologies 布局聚变技术赛道。此类具有实质约束力和时间表的合作，不仅彰显了产业界对聚变能源可行性的认可，更标志着该技术正从实验室研发阶段加速迈向可预期、可采购的商业化应用新阶段。

（二）技术支撑：材料突破与 AI 赋能加速技术研发

1、超导材料突破推动聚变装置紧凑化高场化

超导材料技术近年来取得显著突破，以高温超导带材和超导磁体系统为代表的第二代高温超导材料已实现工程化应用，临界磁场和临界电流密度等关键参数持续提升，部分材料在液氮温区下的性能已接近实用化要求。国内外多家企业已具备千米级高温超导带材的批量化生产能力，超导磁体系统在磁场强度、稳定性和工程可靠性方面不断优化，为聚变装置建设提供了关键材料支撑。

这些技术进展对可控核聚变研发形成了实质性支撑。高温超导磁体系统可显著降低聚变装置的能耗和运行成本，使紧凑型托卡马克和球形环等装置构型成为可能，推动聚变装置从科学验证向工程示范阶段迈进。当前在建和规划中的多个聚变项目，包括 ITER 的国际合作装置以及国内 CFETR、星火一号等示范堆，均采用或计划采用高温超导磁体技术，超导材料的性能提升直接关系到聚变装置的经济性和

可行性。

2、AI 赋能可控核聚变研发全链条

人工智能技术在可控核聚变研发全链条中的渗透日益深化，正切实缩短研发周期并攻克核心工程难题。其应用价值集中体现在三个关键环节。

——**等离子体实时控制领域已取得突破性进展。**针对传统 PID 系统难以响应等离子体非线性快变特性的问题，DeepMind 与瑞士等离子体中心合作开发的深度强化学习系统，实现了托卡马克磁场线圈的毫秒级智能调控，成功维持复杂等离子体位形，并完成双等离子体环独立移动等极端工况实验。普林斯顿等离子体物理实验室（PPPL）部署的 AI 预警模型，可在撕裂模等不稳定性事件发生前 300 毫秒发出预警，使得超前干预成为可能，从而避免了反应中断或装置损坏，显著提升了运行稳定性和安全性。

——**实验数据处理与仿真效率正经历量级跃升。**聚变装置单次实验产生 PB 级多物理场数据，机器学习算法可自动识别影响约束效果的关键物理模式，挖掘人力难以察觉的关联规律。在数值模拟环节，“Gyro Swin”等 AI 工具结合超级计算能力，将原本需要耗时数天的五维（5D）等离子体建模缩短至秒级，极大加速了设计迭代过程。新奥集团开发的数字孪生系统则将仿真速度相较于传统方法提高了 4 个量级，使得通过虚拟寻优寻找最佳实验参数变得可行。这种加速能力使虚拟实验成为现实，基于历史数据训练的预测模型可快速评估新方案可行性，物理实验次数与试错成本显著降低。

——**装置设计与材料研发进程同步提速。**AI 算法深度参与反应堆磁场位形优化、偏滤器热负荷管理、冷却回路拓扑设计等核心环节，通过多目标平衡将概念设计到工程落地的周期缩短 30%以上。在材料

端，高通量计算结合机器学习可在千万级候选材料中快速筛选出满足中子辐照、高热流冲击、低氚滞留等极端工况的耐高温抗辐照材料，为第一壁、包层等聚变堆核心部件提供关键材料解决方案，加速从实验室发现到工程验证的全流程。

（三）产业投资：市场进入资本开支扩张周期

根据核聚变行业协会（FIA）发布的 2025 年聚变能产业报告，全球累计总融资额从 2021 年的 19 亿美元跃升至 2025 年的 97 亿美元以上，五年增长超五倍，其中仅 2024 年就新增了 26 亿美元。从投资结构看，私人资本占主导，2025 年总投资 97.66 亿美元中，私人资本占 89.71 亿美元（约 92%），公共资本占 7.95 亿美元。具体如下图所示。

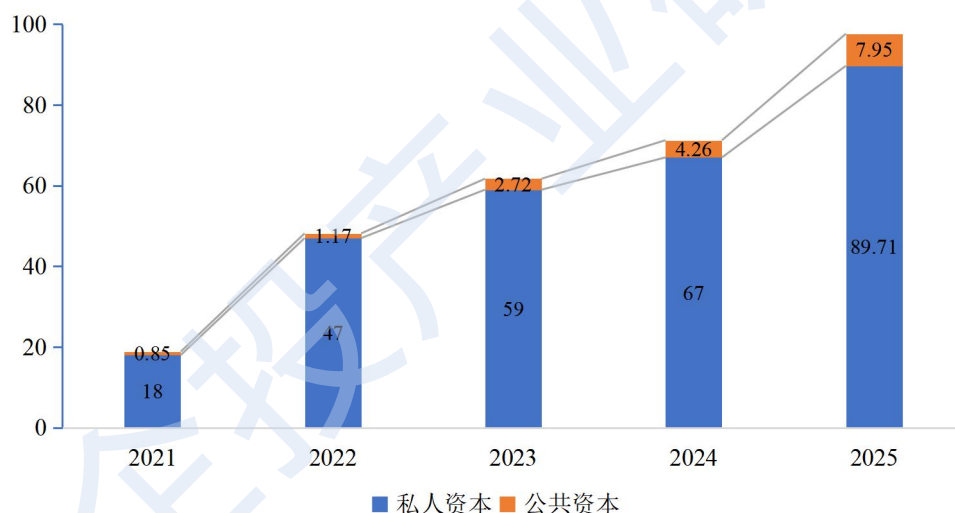


图 13 2021-2025 年全球可控核聚变累计投资/融资（亿美元）

资料来源：FIA、可控核聚变媒体，深企投产业研究院整理。

全球聚变企业的股权投资以美国和中国企业为主。根据 Fusion Energy Base 数据，截止 2025 年 7 月，美国聚变公司合计获得股权投资 62.8 亿美元，中国公司合计获得股权投资 27.9 亿美元，其他国家企业获得投资额远低于美中两国，包括英国（3.75 亿美元）、德国（3.59 亿美元）、加拿大（3.21 亿美元）、日本（1.22 亿美元）、法国（4950

万美元）、以色列（2200 万美元）、瑞士（1920 万美元）、澳大利亚（360 万美元），如下图所示。

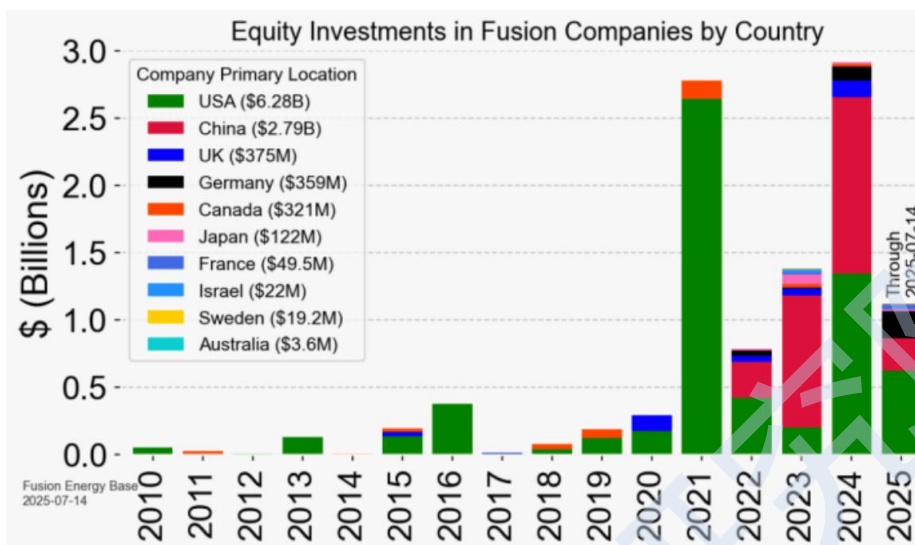


图 14 按国家划分的聚变公司股权投资项目（亿美元）

资料来源：FIA、Fusion Energy Base，中信建投。

随着多个示范堆和实验堆进入建设阶段，全球市场正迎来明确的资本开支周期。根据行业测算，未来 5-10 年，全球围绕 CFETR（中国）、EU-DEMO（欧洲）、K-DEMO（韩国）等下一代示范堆，以及 SPARC（美国）、BEST（中国）等紧凑型实验堆的建设，直接投资规模预计可达数千亿元人民币。FIA 调查的约 84% 的受访商业公司认为核聚变供电有望在 2040 年前实现，商业化时间表大幅提前，进一步强化了市场的投资逻辑和预期。

表 5 全球可控核聚变重大项目

国家/地区	装置名称	技术路线	主要进展与目标
中国、欧盟、印度、日本等	ITER	托卡马克	2006 年七方签署协议；2020 年启动装置安装；2025 年完成脉冲超导电磁系统组件制造。
美国	NIF	激光聚变	2022 年首次实现输出能量超过

国家/地区	装置名称	技术路线	主要进展与目标
			输入能量 (Q 值达 1.5 倍); 2023 年输入能量首次达到 2.2 兆焦
	SPARC/ARC	托卡马克	由 CFS 公司推进; 2024 年 SPARC 进入组装早期阶段; 目标 2025 年建成主体, 2026 年首次产生等离子体, 2027 年实现净能量增益 (Q>1); 后续计划在 2030 年代实现 ARC 电厂并网供电。
	DIII-D	托卡马克	1978 年开始运营; 2024 年突破 20 万次等离子体脉冲。
加拿大	LM-26	磁化靶聚变	由通用聚变公司推进; 2023 年启动; 2025 年 3 月成功点火并首次生成高温等离子体。
英国	STEP	托卡马克	目标在 2040 年前后建成球形托卡马克示范电厂, 实现净电输出并验证商用可行性。
欧盟	JET	托卡马克	1978 年运行, 曾创造多项纪录; 2022 年产生 59 兆焦耳持续能量; 2024 年在最后一次实验中, 使用 0.21 毫克燃料在 6 秒内产生 69 兆焦耳聚变功率, 再破纪录。
法国	WEST	托卡马克	2025 年 2 月, 在 5000 万摄氏度下将等离子体维持 1337 秒, 刷新稳态运行时间纪录。
法国	LMJ	激光聚变	2014 年建成; 2019 年首次核聚变实验; 2020 年在光定位与束靶融合技术取得进展。
日本	FAST	托卡马克	2024 年 11 月启动示范电厂项目;

国家/地区	装置名称	技术路线	主要进展与目标
			预计 2025 年完成初步设计,2030 年代末进行示范。
日本	JT-60SA	托卡马克	2020 年完成组装; 2023 年首次产生等离子体, 为目前 ITER 前全球最大托卡马克; 2025 年 2 月宣布进行部件升级。
韩国	KSTAR	托卡马克	2018 年实现 1 亿摄氏度下运行 1.5 秒; 2021 年延长至 30 秒; 2024 年进一步延长至 48 秒, 并实现 H 模式运行超 100 秒。
中国	EAST	托卡马克	2025 年 1 月, 实现 1 亿摄氏度下高质量等离子体运行 1000 秒, 取得重大突破。
	CFETR	托卡马克	为其提供测试平台的 CRAFT 设施子系统于 2024 年底完成首轮测试; 目标 2030 年前建成工程示范堆并实现等离子体放电; 2035-2040 年开展长脉冲高参数实验, 目标发电。
	BEST	托卡马克	2025 年 3 月完成首块顶板安装; 4 月实现特种材料应用; 5 月提前启动总装; 10 月杜瓦底座交付; 计划 2027 年实现能量净增益 ($Q>1$) 并首次演示发电。

资料来源: 可控核聚变媒体, 新浪科技, 中国核技术网等, 深企投产业研究院整理。

(四) 市场结构: 大科学与工程商业公司双轨并行

当前，可控核聚变领域已形成大科学与工程与商业企业并行推进的二元发展格局。

一是以国际热核聚变实验堆（ITER）为代表的公共项目市场，其作为全球最大的科学合作工程，总投资规模巨大，旨在验证聚变能大规模生产的科学与工程可行性。ITER 项目不仅带动了千亿级规模的设备采购与研发投入，更重要的是为全球产业链建立了统一的技术标准、认证体系和供应链基础，是产业发展的“压舱石”和“孵化器”。

二是以私营资本为主导的商业公司市场，呈现爆发式增长。以美国 CFS、Helion Energy，英国托卡马克能源 Tokamak Energy，以及中国的能量奇点、星环聚能等为代表，这些公司采用高温超导等新技术，致力于开发更紧凑、成本更低的装置，目标是在 2030 年代实现并网发电。该领域吸引了谷歌、微软等科技巨头的战略投资和长期购电协议（PPA），市场活力强劲，技术路线也更为多样，包括紧凑型托卡马克、场反位形（FRC）、Z 箍缩等。

三、核聚变产业链及成本结构

（一）核聚变产业链

核聚变产业链由上游原材料、中游设备制造与集成、下游装置运营与未来发电应用组成，如下图所示。

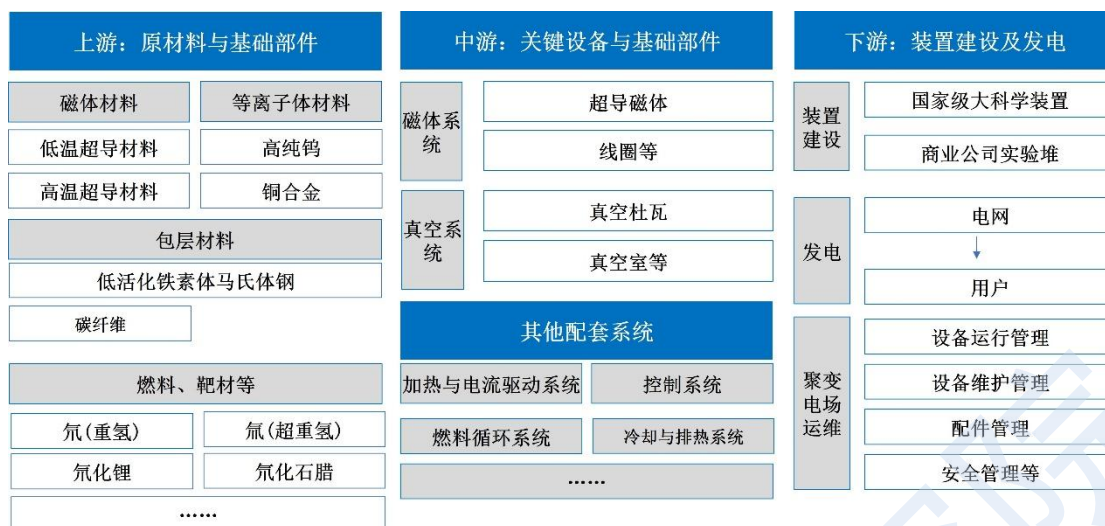


图 15 核聚变产业链

资料来源：深企投产业研究院整理。

——**上游原材料与基础部件**：主要包括面向等离子体材料（如偏滤器/第一壁用的特种金属）、超导材料（低温超导 NbTi/Nb₃Sn 和高温超导稀土钡铜氧 REBCO 带材）、包层材料、氘氚燃料、中子倍增材料（铅锂合金）、真空室用特种钢材等特种结构材料、靶材以及特种气体（如氦）等。第一壁/偏滤器材料需兼具熔点高、抗辐照与热疲劳性能，主要涉及高纯钨、铜铬合金等特种金属。

——**中游关键设备与系统集成**：这是当前产业价值量最集中、订单最明确的环节，主要涉及反应堆关键组件研发与制造，包括超导磁体、真空室、偏滤器、第一壁、包层等核心主机设备，冷却系统、加热与诊断系统、电源系统等辅机设备，以及系统集成和总装。主要包括：

1) **磁体系统**：是托卡马克装置的“心脏”，涉及超导线圈的设计、制造和集成，价值量占比最高。磁体系统在低温超导如 ITER 装置中成本占比约为 28%，在高温超导托卡马克装置中则可达 40-50%，其中超导材料占磁体系统价值量近一半。

2) **真空系统**：主要有真空杜瓦及真空室等，其中真空室是超高

真空压力容器，为等离子体放电提供高质量的真空环境，包括真空室主体、第一壁、偏滤器等直接面对等离子体的核心部件，工作环境极端，技术壁垒高。杜瓦是主机部分的最外层，它将内部其他组件密封在一个真空的环境之中，外真空杜瓦主要为极向场、纵场真空室等部件提供真空环境，并隔断外部环境对这几个大部件所产生的热交换，同时它将承受装置大部件所施加的载荷。

3) 配套系统：包括加热与电流驱动系统（如射频加热、中性束注入）、大功率电源系统、低温制冷系统、诊断与控制系统等。

下游装置建设与核电发电：目前装置建设以国家级大科学装置（如 EAST、HL-3、BEST、CFETR）和商业公司实验堆的设计、总装、实验为主，尚未进入商业化发电阶段。其功能在于验证技术路线、带动上游产业链发展。展望未来，可控核聚变最终目标是建设聚变商业电站，为电网提供稳定、清洁的基荷电力，最终下游还将包括核聚变电站运营、能源输出等。

（二）不同技术路线成本结构

可控核聚变不同技术路线的产业链成本结构差异较大。托卡马克路线中，磁体系统价值量最高，其中低温超导磁体成本占比可达 25%-30%，高温超导磁体成本占比则可达 46% 甚至更高；真空室占比 8%，堆内构件（真空室内部件）占比 15%-20%，电源系统（含加热与电流驱动系统）占比 10%-15% 左右，其他系统部件占比 20%-30%，具体如下表所示。

表 6 托卡马克技术路线成本结构

部件/系统	成本占比	功能特点	关键材料/设备
磁体系统	25%-46%，其	是装置的“心脏”，产生	低温超导线材

部件/系统	成本占比	功能特点	关键材料/设备
	中低温超导 25%-30%；高温超导 46%或更高	约束等离子体的强磁场。采用高温超导可提高磁场、缩小装置体积，但会显著提高磁体成本占比。	(Nb-Ti, Nb ₃ Sn) / 高温超导带材 (REBCO) / 超导磁体/线圈
堆内构件	15%-20%	包含第一壁、包层、偏滤器，直接面对高温等离子体和高能中子，材料与制造挑战极大。	高纯钨及其合金 (偏滤器/第一壁) / 低活化钢、碳化硅 / 复合材料 (包层)
真空室	8%	提供超高真空和反应环境，为内部部件提供支撑，大型复杂结构件。	-
电源系统 (含加热与电流驱动)	10%-15%	为磁体供电、为等离子体加热，如中性束注入 NBI、射频波加热，是装置的“生命线”。	大功率特种电源 (磁体电源/加热电源) / 真空开关 / 电容器
其他 (建筑、低温、控制等)	20%-30%	包括：建筑 (14%)、低温冷却系统 (5%)、仪表控制 (6%) 等支持系统。	低温制冷设备、控制系统等

资料来源：深企投产业研究院整理。

以 ITER 项目及后续 DEMO 项目成本为例，根据《Superconductors for fusion: a roadmap》的拆分，实验堆阶段超导磁体占项目总成本的 28%，真空室及真空室内部件价值量占比分别为 8%、17%，电源系统及驱动控制系统价值量占比 15%；示范堆阶段外部发电系统、冷却系统等辅机系统价值量占比提升，如下图所示。

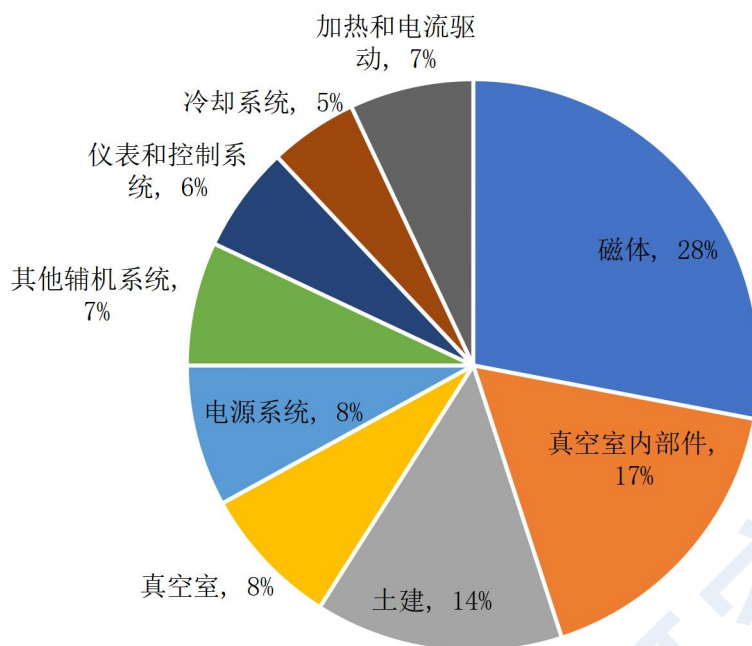


图 16 ITER 成本拆分 (实验堆)

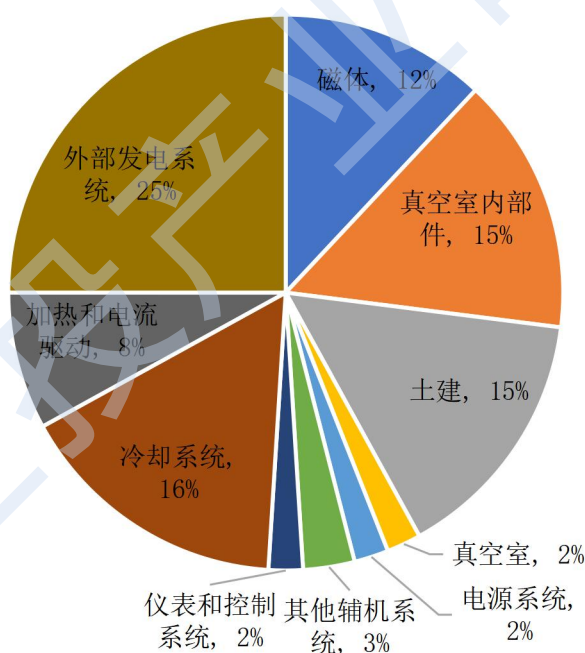


图 17 DEMO 堆成本拆分 (示范堆)

资料来源：《Superconductors for fusion: a roadmap》、中信建投，深企投产业研究院整理。

CFEDR（中国聚变工程示范堆）是连接聚变实验装置与商业化电站的关键枢纽，也是聚变新能（安徽）推进“紧凑型聚变实验装置

（BEST）→聚变工程示范堆（CFETR）→“首座商业聚变电站”三步走战略的核心环节。该工程计划于 2030 年代建成，其关键技术验证平台合肥紧凑型聚变研究设施（CRAFT）目前已完成总装进度的 70%。

根据 Dehong Chen 等学者的研究，磁体系统是 CFETR 中价值量最高的核心子系统，占项目总成本的 18%。其中，环向场线圈占比达 11.6%，显著高于其他组件；极向场线圈和欧姆加热线圈共同构成其余部分。若剔除土地、土建、电厂配套及施工等非设备成本，磁体系统在核心设备总成本中的占比进一步提升至约 39%。第二大高价值模块为真空室系统（含屏蔽层、真空室本体及热屏蔽层），合计占总成本的 12%。其中，热屏蔽层单一项即占总成本的 6.5%，是该模块中价值最高的组成部分。相比之下，直接面向等离子体的关键部件——如第一壁与包层（合计约 2.5%）以及偏滤器（约 0.4%）——在整体成本结构中占比较低。

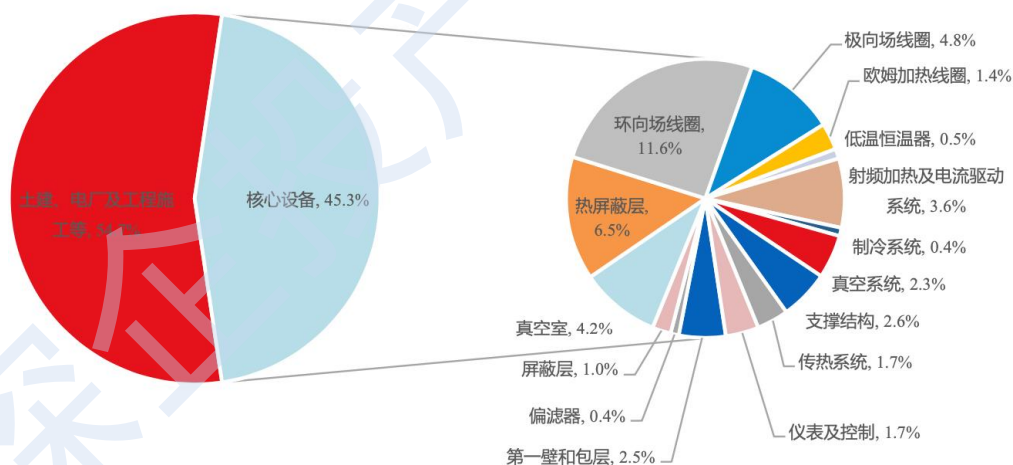


图 18 高温超导托卡马克价值量拆分（以 CFETR 项目为例）

资料来源：Dehong Chen 等《Preliminary Cost Assessment and Compare of China Fusion Engineering Test Reactor》，华创证券。

仿星器装置的成本结构与托卡马克类似，由于三维复杂磁体（线圈）的加工精度要求极高，导致磁体系统的成本占比略高于托卡马克

的低温超导磁体系统，同时包层材料占比可能略高。

场反位形装置中，电源系统（脉冲功率电源）是价值量的核心部分，占比可达 40%-50%，主要零部件包括脉冲电容、真空开关（氢闸流管）、特种脉冲电源等；而磁体系统用量仅为托卡马克装置的 20%或更低，甚至使用非超导铜导线磁体，使得总成本中占比较小。聚变反应场所包括真空室、堆内构件占比约 30%左右，其他的土建、外围电路等部件因为装置紧凑、直线化，外围设施成本大幅压缩。

03

我国核聚变产业现状



一、我国核聚变产业政策

政策支持为产业发展提供了明确指引与制度保障。近年来，我国可控核聚变发展逐步从科研探索迈向工程化和产业化阶段，国家通过法律保障、监管体系建设和多层次资金引导构建起支撑产业发展的政策框架。在国务院《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020年）》中，磁约束核聚变被列为先进能源技术。在国务院印发的《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012-2030）》中，明确提出了“完善提升全超导托卡马克核聚变实验装置的性能，积极参与国际热核聚变实验堆计划，保持我国在磁约束核聚变研究领域的先进地位”的战略部署。国家发改委和国家能源局印发的《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》提出了2030年发展目标为：“聚变工程技术试验平台成功运行，掌握堆芯燃烧等离子体的实验、运行和控制技术”。2021年9月中共中央、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》明确指出要强化基础研究和前沿技术布局，推进可控核聚变等低碳前沿技术攻关。2024年1月工业和信息化部等七部门《关于推动未来产业创新发展的实施意见》指出加强核聚变等未来能源前瞻谋划部署。2025年正式施行的《中华人民共和国原子能法》首次将受控核聚变纳入法律范畴，明确建立适应其技术特点的分级分类安全监管制度，生态环境部据此推进聚变装置辐射安全管理要求及环评技术导则等配套规范的制定。

与此同时，成都、合肥等地结合本地科研基础，出台区域性聚变产业发展规划并设立地方产业基金，推动形成以国家级科研机构为引领、地方载体为支撑、企业广泛参与的协同发展格局，为聚变能源中长期工程验证和商业化路径奠定制度与生态基础。

表 7 我国可控核聚变领域主要政策

类型	政策/事件	发布时间/机构	核心内容与影响
国家顶层设计	《“十五五”规划建议》	2025 年 10 月，中共中央	明确将核聚变能列为未来产业进行前瞻布局，与量子信息、氢能等并列，赋予其新经济增长点的战略定位。
	《关于推进“人工智能+”能源高质量发展的实施意见》	2025 年 9 月，国家能源局	强调结合人工智能技术开展可控核聚变智能控制系统研究，建立等离子体位形实时预测与磁约束参数自适应调控模型，推动托卡马克实现稳态智能化运行。
	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	2024 年 1 月，工信部等 7 部门	在“前瞻部署新赛道”部分明确提出“聚焦核能、核聚变、氢能、生物质能等重点领域。”
	《“十四五”现代能源体系规划》	2022 年，国家发改委、能源局	明确提出支持受控核聚变的前期研发，并鼓励积极开展国际合作。
法律与监管	《中华人民共和国原子能法》	2025 年 9 月，全国人大常委会	作为里程碑立法，明确鼓励支持受控核聚变科研与开发，建立区别于裂变堆的分级分类管理体系，大幅降低审批门槛，为产业化消除关键制度障碍。
产业与资本	成立“可控核聚变创新联合体”及“中国聚变能源有限公司”	2023 年至今，中核集团牵头	联合 33 家央企、科研院所和高校，整合国家资源形成合力，通过市场化机制加快商业化进程。“中国聚变能

类型	政策/事件	发布时间/机构	核心内容与影响
	司”		源有限公司”已获多方增资，注册资本达 150 亿元。
地方配套	安徽、四川、上海等地出台专项政策	2023 年至今	通过设立聚变产业园、提供税收优惠与用地支持等方式吸引产业链企业集聚，目前已初步形成合肥、成都、上海三大产业集群。

资料来源：国家发改委、中国政府网、各地官网等，深企投产业研究院整理。

国务院国资委及中央企业近年来将可控核聚变作为未来能源战略的核心方向之一，系统性推动其从科研向工程化、产业化加速演进。2023 年，国资委启动“中央企业未来产业启航行动”，将“未来能源”列为 15 个重点布局方向之一。随后在同年 12 月召开的可控核聚变未来产业推进会上，国资委进一步明确可控核聚变为未来能源的唯一方向，并指定中核集团作为产业链“链长”单位，牵头组建创新联合体，系统推进技术研发与产业化。

在此框架下，中核集团作为牵头央企，于 2023 年 12 月联合中国科学院、中国航天科技集团、国家电网等央企、高校、科研院所合计 25 家单位（截至 2024 年 12 月已发展至 33 家），正式组建“可控核聚变创新联合体”，统筹技术研发、工程设计、装备制造与资本运作，标志着聚变产业进入协同攻坚新阶段。2025 年 7 月 22 日，中国聚变能源有限公司在上海正式挂牌成立。该公司获得包括中核集团、中国核电、中国石油集团昆仑资本等多家机构共同投资的约 114.92 亿元资金支持，标志着国家队正式入场。

二、我国可控核聚变总体格局

（一）总体态势：从科研投入向工程化、商业化加速切换

我国核聚变产业已从长期的基础研究投入期，进入以国家重大科技基础设施和示范工程投资为直接拉动的产业化新阶段，市场轮廓日益清晰。投资规模明确，据华西证券等机构测算，仅国内已公开的紧凑型聚变能实验装置(BEST)、中国聚变工程实验堆(CFETR/CFEDR)、星火一号（聚变-裂变混合堆）等重大项目，未来 5 年带来的资本开支预计将超过 920 亿元。其中 BEST 装置总投资约 150 亿元，已于 2025 年进入密集招标和建设期，为上游材料、中游设备制造和系统集成企业提供了明确且庞大的订单和市场空间。市场参与主体多元，已形成“国家队主导科研与工程，民营企业补充技术路线与细分环节，资本市场强力助推”的生态格局。

（二）技术路线：托卡马克主流引领，多元路径并行探索

主流路线为磁约束托卡马克，由中科院和中核集团主导的大型装置（EAST、HL-3、BEST、CFETR）引领，技术积累最深厚，工程化进程最快。紧凑型/商业路线包括高温超导托卡马克（能量奇点、星环聚能）、球形环（新奥科技），目标更聚焦于快速迭代和降低成本，吸引了大量风险投资。混合堆路线为 Z 箍缩驱动的聚变-裂变混合堆（“星火一号”），由中核集团与江西省推动。颠覆性路线如场反位形（FRC）、仿星器等处于更早期探索阶段。

（三）产业链格局：上游高精尖、中游强壁垒、下游重

资产

1、上游：核心材料

超导材料领域，西部超导是国内低温超导（NbTi、Nb₃Sn）线材的绝对龙头，深度参与 ITER 并保障了国内 CRAFT、BEST 等项目的材料供应；高温超导（REBCO）领域则呈现多家企业竞逐态势，联创光电（通过联创超导）深度绑定“星火一号”聚变-裂变混合堆项目，永鼎股份（控股东部超导）和精达股份（参股上海超导）聚焦于高温超导带材这一核心原材料，其中上海超导是国内产能和技术领先者，已获得 BEST 等项目订单。

特种结构材料领域，安泰科技在钨铜偏滤器、第一壁等涉钨材料部件上技术领先，产品已应用于 EAST、ITER 等多个国内外项目；国光电气是偏滤器、第一壁等真空室内部件的重要供应商；应流股份、久立特材等在特种合金结构件、管道方面提供支持。

辅助功能材料领域，旭光电子在大功率电真空器件（如射频四极管）方面具有独特优势，是等离子体加热系统的关键供应商；雪人股份、杭氧股份在低温制冷系统方面有布局。

2、中游：关键设备与系统集成

超导磁体系统领域，磁体绕制与装备制造由上海翌曦科技、联创超导等企业承担。真空室及内部件领域，合锻智能凭借其在高端成形装备领域的积累，成功切入大型真空室扇区、重力支撑等复杂结构件的制造，已中标 BEST 项目核心部件。

电源与控制系统领域，英杰电气、爱科赛博、四创电子（子公司华耀电子）等在特种大功率电源、脉冲电源系统方面具备深厚技术积累，已为 EAST、BEST 等项目供货。低温与杜瓦系统领域，航天晨

光在杜瓦系统制造上有优势。

3、下游：大科学装置与商业示范堆

国家队主导项目包括中科院体系和中核集团体系。中科院体系以合肥物质科学研究院等离子体物理研究所为核心，依托 EAST、CRAFT 和 BEST 等大科学装置，在磁约束托卡马克路线上积累深厚科学和工程经验，是技术研发和验证的核心策源地，并通过聚变新能（安徽）有限公司进行资源整合与产业推进。

中核集团体系以核工业西南物理研究院为主体，主导“环流器”系列装置（HL-2A、HL-3）以及中国聚变工程实验堆（CFETR）的规划和推进，侧重于工程化与能源应用探索，并牵头成立中国聚变能源有限公司。

商业探索项目包括能量奇点的洪荒-70（紧凑型高温超导托卡马克）、星环聚能的 SUNIST-2（球形环托卡马克）、新奥科技的玄龙-50U（场反位形），以及中核集团与江西省推动的“星火一号”（Z 箍缩驱动聚变-裂变混合堆）等。

三、国内核聚变产业重点地区

我国可控核聚变产业已形成以重大科学装置和核心科研机构为牵引，资本、人才、产业链企业在地理空间上加快集聚的集群化发展态势，重点地区包括合肥、上海、成都等地。当前各区域仍处于技术攻关和工程验证阶段，产业化程度存在差异，合肥在装置集群和产业链完整性上相对领先，上海在商业化平台和资本运作上更具优势，成都聚焦特定技术路线和示范项目，整体呈现差异化协同发展态势。

（一）合肥

安徽合肥依托中国科学院合肥物质科学研究院（等离子体物理研究所），已成为我国乃至全球磁约束核聚变研究的中心，其核心地位由一系列世界级大科学装置集群和完整的产业生态所奠定。

科研与装置集群全球领先。合肥汇聚了我国核聚变研究最核心的装置群。全超导托卡马克 EAST 多次刷新高温等离子体稳态运行世界纪录，为 ITER 和未来聚变堆提供了关键物理与工程数据。紧凑型聚变能实验装置（BEST）作为国家“十四五”重大科技基础设施，已于 2025 年启动总装，目标在 2027 年实现聚变能发电演示，是当前产业化进程中最受关注的工程之一。聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）则为未来中国聚变工程实验堆（CFETR）的关键子系统提供工程验证平台。这些装置形成了从基础物理研究（EAST）、紧凑型工程验证（BEST）到未来示范堆预研（CRAFT/CFETR）的完整技术链条。

“聚变大科学城”引领产业生态。合肥市正全力打造“聚变大科学城”，以此为核心载体，吸引了大量产业链上下游企业落户。以聚变新能（安徽）有限公司为市场化运作平台，在合肥形成了“基础研究-关键技术攻关-工程集成-产业孵化”的闭环生态。本地龙头企业如合锻智能（真空室、重力支撑）、国仪量子（精密测量）等深度参与装置建设，同时吸引了联创光电（高温超导磁体）、上海超导（高温超导带材）等外地核心供应商在此设立研发或生产基地。合肥已成为国内核聚变技术、人才、资本和信息的最大交汇点，产业资源密集度最高。

（二）成都

四川成都以核工业西南物理研究院为核心，是我国核聚变研究的另一大支柱，尤其在磁约束托卡马克和 Z 箍缩驱动聚变-裂变混合堆路线上具有独特优势。

托卡马克路线的重要基地。成都建设并运行着中国环流器系列装置，其中中国环流三号（HL-3）于 2025 年成功实现“双亿度”（离子温度 1.17 亿度、电子温度 1.6 亿度）运行，标志着我国大型常规磁体托卡马克研究达到国际先进水平。该研究院是我国参与 ITER 计划的重要单位，在等离子体物理、加热与诊断、氚工艺等方面积累了深厚的技术底蕴和工程经验。

混合堆路线的创新中心。成都在 Z 箍缩驱动聚变-裂变混合堆（Z-FFR）这一创新路线上布局深远。由天府创新能源研究院、国光电气等共同出资成立的先觉聚能科技（四川）有限公司，正主导推进 Z-FFR 项目（即“星火一号”的四川路线）。该路线利用 Z 箍缩产生聚变中子来驱动次临界裂变包层，对聚变“点火”条件（Q 值）要求相对较低，旨在探索一条更早实现能量净增益和核废料嬗变的可行路径。成都凭借在核工业领域的传统优势，正在形成以国光电气（偏滤器、真空部件）、中核集团旗下相关单位为核心的混合堆技术研发与装备制造集群。

（三）上海

上海凭借其国际金融中心、贸易中心和科创中心的综合优势，正迅速崛起为核聚变产业的资本高地、总部经济和高端制造中心，侧重于整合资源、推动商业化进程。

资本与总部经济核心。2023 年，由中核集团牵头，联合多家央企和产业资本在上海成立了中国聚变能源有限公司，注册资本达 150 亿元。该公司旨在打造国家级聚变能源研发与产业化平台，统筹推进 CFETR 等未来示范堆的建设与商业化运营。上海吸引了大量风险投资和产业资本关注核聚变领域，能量奇点、星环聚能等一批商业聚变公司也在此设立总部或研发中心，形成了活跃的商业创新生态。

高端制造与材料研发中心。上海在超导材料、高端精密制造等产业链关键环节拥有强大实力。上海超导科技股份有限公司作为国内第二代高温超导(REBCO)带材的领军企业,其产品已批量应用于 BEST、洪荒-70 等多个国内外聚变项目,并成功中标中科院合肥物质科学研究所的 REBCO 带材采购项目。此外,上海在高端装备制造、集成电路、人工智能等领域的基础,也为核聚变所需的精密加工、控制系统、仿真软件等提供了强大的产业配套能力。

(四) 其他重点地区

除上述三大核心集群外,江西、江苏、陕西等地凭借其龙头企业在特定材料或部件领域的绝对优势,成为全国核聚变产业链中不可或缺的专业化配套基地。

江西: 高温超导磁体与混合堆项目重地。江西以联创光电及其子公司联创超导为核心,在高温超导磁体领域建立了领先优势。联创超导是国内少数能制造 15T 以上高场磁体的企业,并深度参与了位于江西南昌的“星火一号”聚变-裂变混合堆项目。该项目总投资规模巨大,旨在验证基于高温超导磁体的紧凑型混合堆技术,使江西在特定技术路线的工程化方面占据了重要一席。


江苏: 高温超导材料供应链关键节点。江苏是高温超导材料产业链的重要一环。永鼎股份通过控股子公司东部超导,深耕第二代高温超导(REBCO)带材的研发与生产。东部超导采用独特的 IBAD+MOCVD 技术路线,产品性能达到国际先进水平,已成为国内多个聚变项目(如能量奇点、新奥科技等)的带材供应商。此外,精达股份作为上海超导的第一大股东,也从资本层面连接了长三角地区的超导产业生态。


陕西: 低温超导线材的国家队主力。陕西西安以西部超导为代表,

是国内低温超导材料（NbTi、Nb₃Sn）的绝对龙头。西部超导的产品不仅全面供应 ITER 项目，也是国内 EAST、CRAFT、BEST 等大科学装置超导磁体的核心材料供应商，市占率超过 95%。其技术成熟度和规模化生产能力，为我国现阶段主流托卡马克装置建设和运行提供了至关重要的材料保障。

深企投产业研究院


深企投产业研究院

 **电 话:** 王女士 13168781866

 **座 机:** 0755-82790019

 **邮 箱:** sqtcf@sqtcf.cn

 **网 址:** <http://www.sqtcf.cn/>

 **地 址:** 深圳市福田区深南大道本元大厦 7B1



深企投公众号



深企投研究公众号

© 深企投产业研究院版权所有。如需引用，请注明出处。