

电力设备

优于大市（维持）

证券分析师

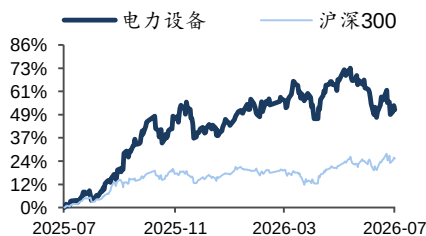
翟堃

资格编号：S0120523050002

邮箱：zhaikun@tebon.com.cn

研究助理

市场表现



资料来源：德邦研究所，聚源数据

相关研究

- 1.《《新型能源体系建设“十五五”规划》点评-产业延续增长，未来能源可期》，2026.6.29

四重驱动共振，可控核聚变进入快速发展期

投资要点：

- **产业步入工程化拐点，技术、资本、政策与需求四重驱动共振。**可控核聚变作为兼具燃料供给丰富、零碳排放、固有安全性的终极能源方案，正从基础科研周期迈入工程验证与商业化探索的关键阶段。**技术端**，高温超导材料成熟与 AI 在等离子体控制、仿真迭代中的深度应用，显著提升研发效率；**资本端**，2025 年全球聚变领域累计融资达 97.7 亿美元，私人资本占比超 90%，国内民营赛道 2025-2026 年累计公开融资超百亿元；**政策端**，全球多国密集出台专项战略，我国将可控核聚变纳入“十五五”规划核心赛道，原子能法明确独立监管框架；**需求端**，全球 AI 算力爆发带动数据中心用电需求高增，微软、谷歌等海外科技巨头率先通过长期购电协议（PPA）锁定聚变电力，其中微软与 Helion 签订 50MW 供电协议、谷歌与 CFS 签订 200MW 采购协议，为商业聚变提供了早期订单验证与明确需求牵引。
- **托卡马克路线领跑，多技术路线形成多元竞逐格局。**当前全行业共同面临等离子体约束与维持、抗辐射与抗热通量材料、闭式氦燃料循环三大壁垒。托卡马克凭借数十年工程积累与较高的全球装置占比，是当前商业化前景较明确的主流技术路线；高温超导磁体突破推动装置小型化、降本增效，是托卡马克路线商业化的核心破局变量。仿星器、场反位形、激光聚变等差异化路线各具优势，同步推进技术验证。
- **市场格局梯队完善，产业化落地节奏清晰。**可控核聚变当前形成大科学与工程与民营企业二元发展格局。以 ITER 为代表的国际公共项目投资体量庞大，核心目标验证聚变工程可行性，带动千亿元级设备研发采购，搭建全球统一产业链标准与供应链底座，是产业发展基础。私营聚变企业赛道高速扩张，海外 CFS、Helion 及国内能量奇点、星环聚能等研发紧凑型低成本装置，覆盖托卡马克、FRC、Z 箍缩等多元路线，目标 2030 年左右并网发电，吸引了科技巨头的战略投资和远期购电协议（PPA），产业活力充足；国内政策推动“热堆—快堆—聚变堆”核能三步走战略，落地节奏清晰。
- **产业链价值集中上中游，国产配套率先受益订单放量。**聚变产业链价值高度集中于上游核心材料与中游关键设备，据深企投产业研究院，高温超导磁体系统占聚变堆核心设备成本比重达 46% 或更高，或是未来 5-10 年确定性最强的细分赛道。我国依托 ITER 项目技术外溢，已构建覆盖上中下游的完整产业体系，核心部件国产化能力突出。伴随 BEST、CFETR 等本土重大装置密集启动招标，上游超导材料、中游真空室构件、特种电源等环节厂商或将率先兑现订单红利。
- **投资建议。**当前可控核聚变加速迈入工程化落地拐点，建议优先布局产业链价值集中的上中游赛道：一是上游高温超导材料，是紧凑型装置核心破局变量；二是中游超导磁体、真空腔体、钨基偏滤器、特种脉冲电源等核心设备，国内 BEST、CFETR 等重大装置密集招标，国产配套厂商或将率先兑现订单红利。中长期关注氦增殖、面向等离子体新材料研发方向。
- **风险提示：**技术突破不及预期、商业化落地不及预期、其它新型能源竞争加剧。



内容目录

1. 核聚变产业加速发展.....	5
1.1. 核聚变：综合优势明显，终极能源可期	5
1.2. 海外端：技术进步提速，商业落地突破	6
1.3. 国内端：政策支持加大，产业融资爆发	8
2. 技术路线趋于清晰，托卡马克技术领先.....	9
2.1. 核聚变原理与核心物理指标	10
2.2. 主流技术比较：托卡马克最成熟，其他技术多点开花.....	11
2.2.1. 托卡马克：技术成熟、应用最广	11
2.2.2. 场反位形：经济性强、商业化快.....	13
2.2.3. 仿星器：稳定性好，成本较高	15
2.2.4. 激光聚变：惯性约束的代表	16
3. 市场格局梯队完善，产业化落地节奏清晰	18
3.1. 国家/政府主导项目奠定技术路线	18
3.2. 私人商业核聚变企业推动产业化突破	19
3.3. 顶层政策设计，有望逐步商业化落地.....	21
4. 中国在产业链与关键环节具备领先优势	22
4.1. 产业链全景图谱.....	22
4.2. 磁体系统是其价值量核心	24
4.3. 集中招标开启，中国产业链优势明显	24
5. 风险提示	25

图表目录

图 1: 2021-2025 年全球可控核聚变累计融资 (亿美元)	6
图 2: 核聚变原理示意图	10
图 3: 实现核聚变的三要素	10
图 4: 几种主流聚变反应路线实现聚变的劳逊条件	11
图 5: 托卡马克装置概念图	11
图 6: 世界首个全超导托卡马克装置 EAST	12
图 7: 场反位形磁场结构示意图	13
图 8: Helion 第七代原型机 Polaris	14
图 9: 仿星器几何结构示意图	15
图 10: W7-X 创下等离子体持续时间 40s 以上的聚变三乘积记录	16
图 11: 激光聚变各阶段示意图	17
图 12: 美国国家聚变点火装置 NIF 装置	17
图 13: CFS 首个核聚变反应堆 SPARC	19
图 14: 中国磁约束聚变发展路线图	22
图 15: 核聚变产业链	22
图 16: 托卡马克整体价值量拆分 (参考 CFEDR)	24
图 17: 托卡马克核心设备价值量拆分 (参考 CFEDR)	24
表 1: 核电与其他能源发电对比	5
表 2: 核裂变与核聚变的对比	6
表 3: 2025 年以来海外核聚变相关政策	7
表 4: 目前为止核聚变 PPA 签约情况	8
表 5: 近年来中央及各地对核聚变的政策支持	8
表 6: 2025 年至今核聚变企业融资情况	9
表 7: 全球托马卡克主要商业公司	13
表 8: 全球场反位形主要商业公司	14
表 9: 全球仿星器主要商业公司	16
表 10: 全球激光聚变主要商业公司	18
表 11: 全球可控核聚变重大项目	19
表 12: CFS 发展历程	20
表 13: Helion Energy 发展历程	20

表 14：国内主要民营核聚变公司情况	21
表 15：大型核聚变项目招标情况	24

1. 核聚变产业加速发展

可控核聚变凭借燃料储量充足、能量密度高、零碳安全的优势，被视作人类终极能源方案。此前因技术门槛极高，商业化落地难度极大，我们认为如今行业迎来发展拐点，高温超导、AI 技术大幅提速等离子体调控、材料研发与仿真迭代；同时全球地缘冲突加剧能源安全诉求，AI 算力持续扩容带来巨量新增用电需求，形成产业强驱动。叠加各国政策扶持、一级市场资本持续加码，核聚变正式脱离纯基础科研阶段，全面迈入工程验证与商业化探索周期。

1.1. 核聚变：综合优势明显，终极能源可期

人类社会运转与经济发展离不开持续的能源供给，当前全球能源消费结构仍由煤炭、石油、天然气等化石能源主导。从能源结构的底层逻辑审视，当前主流能源形式均面临难以回避的物理与生态瓶颈：1) 风光发电受自然条件制约，存在天然间歇性且需配套高昂储能系统；2) 火电高度依赖化石燃料，面临供应链风险与碳排放双重约束；3) 水电受制于地理与气候，伴随复杂的生态与基建成本；4) 核裂变虽能量密度高，但受制于铀资源分布不均、堆芯熔毁风险及长半衰期废料处置难题。在能源供给与生态环境的双重约束下，可控核聚变因其颠覆性优势，被公认为人类解决能源危机的“终极解决方案”。其商业化发展的战略必要性主要体现在以下四个维度：

- **突破资源瓶颈与地缘安全困境，实现能源自主。**传统化石能源储量日益有限，且我国原油、天然气高度依赖进口，易受地缘政治冲击（火电燃料成本占比超 50%，裂变铀燃料约 20%）。相比之下，聚变燃料（氘和锂）储量丰富，地球上的氘和锂储量分别够人类用几十亿年和几千年。聚变能量密度极高，1 升海水提取的氘聚变所释放的能量等效于 300 升汽油。这种“就地取水”的特性将彻底打破矿产资源与海外能源依赖，从根本上保障国家能源安全。
- **支撑深度碳中和，提供零碳基荷与工业热源。**火电是温室气体与大气污染的主要来源，而风光绿电仅能阶段性减碳。聚变发电不仅全生命周期零碳排放、无废气污染，更能作为稳定的基荷电源大规模替代燃煤机组。此外，聚变还可提供高温工业热源，有效解决钢铁、化工等高耗能行业的深度脱碳难题，是实现全人类碳中和目标的核心终极电源。
- **弥补新能源与裂变短板，重塑新型电力系统。**针对风光绿电的波动性，聚变年利用小时数可达 7500 小时以上，作为基荷电源可有效承接调峰缺口，大幅压缩储能与备用火电投资，构建低成本零碳电网。针对裂变核电的局限，聚变不仅摆脱了铀资源瓶颈，还可通过模块化小型堆实现分布式布局，灵活适配厂区、矿区及孤岛等场景，满足全球持续增长的能源需求。
- **具备极致安全属性，消除灾难性事故隐患。**聚变反应条件极为苛刻，具有“固有安全性”。一旦设备故障或运行环境被破坏，等离子体将瞬间降温熄火，从物理机制上杜绝了堆芯熔毁与失控爆炸风险。其反应产物仅为惰性氦气，不会产生有害物质，无需像裂变核电那样承担长达万年的高危核废料处置成本，环保与安全优势具有代际跨越意义。

表 1：核电与其他能源发电对比

指标	核电	风电	太阳能发电	火电	水电
2024 年碳排放量 (g/kWh)	6.5	32.4	53	921	14.3
2025 年利用小时数 (h)	7809	1979	1088	4147	3367
能量密度 (W/m²)	300	2	20	200	10
稳定性	稳定	对天气依赖性很强，不稳定		稳定	稳定
能量储存	可直接储存	需转换成电力后以蓄电池或抽水蓄能的方式储存		可直接储存	可直接储存

建设周期	4-5 年	1 年	3-6 月	34 个月	5-10 年
建设成本（约元/kW）	13000	9000	15000	4000	3800-9000
使用寿命	60 年	15-20 年	15-20 年	30 年	100 年

资料来源：生态环境部，国家能源局，iFind，Smil (2015) Power Density，van Zalk & Behrens (2018)，36 氦等，德邦研究所

表 2：核裂变与核聚变的对比

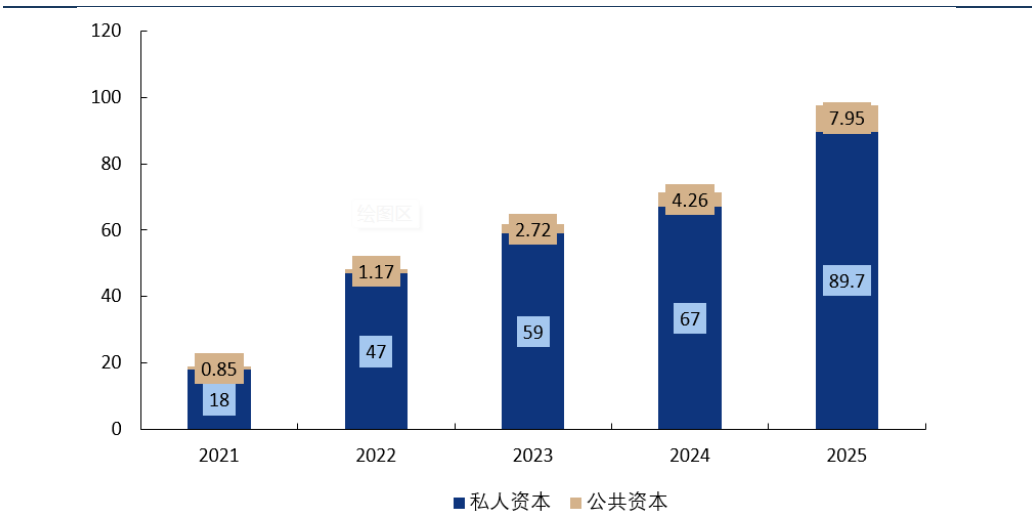
对比项目	核裂变（现有核电站）	核聚变（未来终极能源）
核心原理	大质量原子核分裂裂开	小质量原子核相互融合
核心燃料	铀、钚	氘、氚（储量大）
应用现状	技术成熟，广泛商用	核心研发阶段，未商用
链式反应	存在链式反应，必须配备调控控制装置	无链式反应，一旦反应条件无法维持，反应会立刻终止
核废料	会产生半衰期放射性核废料	基本不会产生半衰期放射性废料

资料来源：中核智库、国家核电，国家核安全局，美国核管理委员会，德邦研究所

1.2. 海外端：技术进步提速，商业落地突破

2021 年后，以 Commonwealth Fusion Systems(CFS)、Helion Energy 等为代表的初创企业快速发展，AI 技术深度渗透至研发全链条，在提升等离子体控制稳定性、加速数据仿真以及缩短材料与迭代周期等方面发挥关键作用，显著降低了试错成本并提升了整体研发效率。这一系列技术与工程层面的实质性进展，为核聚变的商业化路径提供了清晰预期，进而吸引了包括微软、盖茨、OpenAI 创始人奥特曼及顶级风投机构在内的私人资本大规模入场。根据聚变工业协会发布的《2025 年全球聚变行业》报告显示，全球可控核聚变领域累计融资规模呈现爆发式增长：自 2021 年的 19 亿美元快速攀升至 2025 年的 97.7 亿美元，五年间规模增长超 5 倍，其中 2025 年单年新增融资达 26 亿美元，行业资本热度持续高涨。从资金结构来看，私人资本是产业融资的绝对主力，2025 年全球聚变领域总融资中，私人资本规模达 89.7 亿美元，占总投资额的 92%；公共资金规模为 7.95 亿美元，虽占比不高，但近五年增速显著提升，反映出全球各级公共部门对聚变能源的战略重视度持续加码，产业发展正形成“市场资本驱动+公共资金支撑”的双轮格局。

图 1：2021-2025 年全球可控核聚变累计融资（亿美元）



资料来源：FIA《2025 年全球聚变行业》，德邦研究所

2025 年，全球主要经济体密集落地核聚变专项扶持政策，不仅明确了商业化落地的时间节点，更呈现出“AI 赋能科研”与“全链条生态构建”的新趋势，产业政策红利持续释放。

- **美国：2025 年发布国家级《聚变科学与技术路线图》**，将聚变纳入国家安全、能源安全、气候治理三重战略，规划 2035 年代中期落地试验聚变电站、2040 年前后实现规模化并网。同时，通过启动“创世纪计划”行政命令，构建国家级科学安全平台，整合超算、国家实验室及自动化数据资源，明确提出以人工智能（AI）为核心驱动力重塑科学研究范式，加速包括可控核聚变在内的前沿科技突破。
- **英国：2025 年发布的《人工智能赋能科学战略》**中，专项拨款 1.37 亿英镑聚焦聚变能等前沿领域，依托 Isambard-AI 等超算资源，重点攻克 AI 增强型等离子体控制及高温中子流环境下的材料疲劳模拟难题。配合《聚变战略 2026》，英国政府计划未来 5 年内投入超过 25 亿英镑创投基金，旨在充分释放聚变产业巨大的经济与战略价值。
- **德日俄：德国**出台《核聚变发电行动计划》，至 2029 年将投资超 20 亿欧元用于建立科研基础设施及开发试点项目，加速德国首座聚变电站的建设；**日本**发布《聚变能源创新战略》，明确提出聚变产能化十年愿景，力争在 21 世纪 30 年代率先实现商业化发电，确立全球领先地位；**俄罗斯**则通过修订《原子能利用法》，着手构建聚变反应堆及装置的安全监管体系，标志着其在聚变研究领域的制度化迈出重要一步。

表 3：2025 年以来海外核聚变相关政策

国家	发布时间	政策名称	核心内容
美国	2025.05	众议院第 1018 号法案	简化审批流程、完善监管框架，为聚变电站建设开辟“快速通道”，将华盛顿州定位为全球聚变能源创新前沿阵地。
	2025.10	《核聚变科学与技术路线图》	以“建设—创新—增长”为核心框架，规划十大关键行动推进核聚变研发与商业化，明确六大领域里程碑，目标 2030 年代中期实现核聚变商业化发电。
	2025.10	《迈向核聚变未来:为美国的未来提供动力》	将核聚变列为国家安全优先事项，完善监管、供应链与人才支撑体系。
	2025.10	《聚变先进制造平等法案》补充法案	修订《国内税收法》，将聚变能源组件纳入先进制造生产税收抵免范围，与成熟能源技术享受同等政策，降低生产成本。
	2025.11	《启动“创世纪计划”》行政命令	搭建“美国科学安全平台”，整合联邦超算、实验室等科研资源，以 AI 驱动科研范式革新，加速可控核聚变等前沿科技突破。
英国	2025.11	《人工智能赋能科学战略》	拨款 1.37 亿英镑聚焦核聚变等前沿领域，依托超算资源，重点攻克 AI 增强等离子体控制、高温中子流环境材料疲劳模拟等技术。
	2026.03	《聚变能源战略》	计划未来 5 年投入超 25 亿英镑，释放核聚变的经济与战略价值。
德国	2025.10	《聚变行动计划》	2029 年前投资超 20 亿欧元，用于核聚变研发、基建与试点项目，建设德国首座聚变电站，加速商业化进程。
日本	2025.06	《聚变能源创新战略》	提出聚变能产业化十年愿景，力争 21 世纪 30 年代率先实现聚变能商业化发电，确立全球领先地位。
俄罗斯	2025.02	《关于修改〈原子能利用法〉第 3 条》	构建聚变反应堆及装置的安全监管体系，推动俄罗斯聚变能研究领域发展。

资料来源：可控核聚变官网、微信公众号，美国能源部，中国科学院，核技术网，中国核工业微信公众号、中国核技术网、国家原子能机构、中国核电网，德邦研究所

在政策扶持与资本加码之外，海外聚变产业商业化落地亦取得实质性突破，多家头部企业已落地长期电力采购协议，产业推进节奏显著提速。首先，海外科技巨头因数据中心高能耗的用能需求，率先通过远期购电协议提前布局聚变能源：微软与 Helion 达成合作，锁定 50 兆瓦聚变电力采购额度，协议约定 2028 年实现并网供电；谷歌则与 CFS 签订规模达 200 兆瓦的长期购电合约。龙头企业集中落地长协订单，或充分印证了紧凑型核聚变技术的商业化可行性，也持续带动全球赛道投融资热度攀升。此外，日本完成亚洲首单核聚变购电协议签署，而目前国内尚未出现同类合作案例。

表 4：目前为止核聚变 PPA 签约情况

签约时间	购电方	供电商	规模	目标时间
2023.05	微软	Helion Energy	50MW	2028
2025.06	谷歌	CFS	200MW	2030s 初
2025.09	Eni	CFS	超 10 亿美元	2030s 初
2025.12	Aoki Super	Helical Fusion	未披露	2030s

资料来源：可控核聚变官网，Business Wire，澎湃新闻，德邦研究所

1.3. 国内端：政策支持加大，产业融资爆发

中国对可控核聚变的战略重视度持续提升，自 2024 年起，中央及地方层面的政策支持进入密集落地期。顶层设计上，2025 年发布的“十五五”规划将“可控核聚变”明确列为未来产业核心赛道，将其定位从前沿科研项目提升至国家能源安全战略的关键支撑。与此同时，监管体系迎来突破性优化，2025 年表决通过的《中华人民共和国原子能法》，首次为受控核聚变设立监管框架。政策的系统性布局体现在下面两个维度：

- **产业体系构建**：2024 年七部委《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，将核聚变与核能、氢能并列，提出打造全链条未来能源装备体系；2026 年首批“两重”建设项目清单中，超 1700 亿元特别国债将支持全超导托卡马克聚变实验装置升级改造，为关键工程突破提供资金保障。
- **地方集群加速落地**：上海、安徽、四川等省市先后出台专项规划，明确聚变产业发展路径。安徽发布聚变商业化“三步走”战略，上海聚焦高温超导托卡马克与惯性约束聚变等技术攻关，四川则提出打造可控核聚变全球性技术研发高地与产业集群，形成了“中央统筹+多极突破”的发展格局。

表 5：近年来中央及各地对核聚变的政策支持

主体	发布时间	文件	核心内容
中央	2024.01	《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》	聚焦核聚变、氢能、生物质能等重点领域，打造“采集-存储-运输-应用”全链条未来能源装备体系。
	2025.09	《中华人民共和国原子能法》	明确国家鼓励和支持可控核聚变的科学研究与技术开发。
	2025.09	《关于推进“人工智能+”能源高质量发展的实施意见》	将可控核聚变智能控制列为“人工智能+核电”典型应用场景，提出加快相关场景赋能，构建智能辅助系统，探索 AI 助力等离子体控制、可控核聚变的技术路径。
	2025.10	《中共中央关于制定国民经济和社会发展规划第十五个五年规划的建议》	前瞻布局未来产业，探索多元技术路线、应用场景、商业模式与监管规则，推动量子科技、生物制造、氢能、核聚变能等成为新经济增长点。
	2026.02	2026 年第一批“两重”建设项目清单	安排超 1700 亿元超长期特别国债，加快推进全超导托卡马克核聚变实验装置升级改造等重大项目建设。
	2026.06	《新型能源体系建设“十五五”规划》	强化可控核聚变、太空电站、高温超导输电等理论研究与技术创新，加强新能源基地与国家算力枢纽协同布局。
上海	2024.03	《上海核电产业高质量发展行动方案（2024-2027 年）》	攻关核聚变关键技术，推动紧凑型磁约束、双锥对撞惯性约束等核聚变技术研发，突破高温超导磁体核心技术。
	2025.09	《关于加快推动前沿技术创新与未来产业培育的若干措施》	加速布局量子科技、可控核聚变、再生医学等领域，重点支持核心技术攻关、路线收敛，开展产品研发与方案可行性验证。
安徽	2022.09	《以创新模式加速推进聚变能商业应用战略行动计划（2022—2035 年）》	确立核聚变开发应用实验堆、工程堆、商业堆“三步走”发展战略。
	2024.09	《安徽省未来产业发展行动方案》	明确聚变能源为未来产业重点方向，支持筹建首批省级未来产业先导区。
四川	2025.07	《发展壮大新兴产业加快培育未来产业以重大工程驱动磁约束/惯性约束核聚变技术突破，加快准环对称仿星器建设，全力争取激光聚变能源工程落地。》	目标建设可控核聚变领域全球性技术研发高地、产业发展集群、对外交流中心，打造全球聚变能源商业化技术发源地。
	2025.10	《可控核聚变产业发展计划》	

资料来源：新华社，央视网，可控核聚变公众号，工业和信息化部，各地人民政府官网，上海市经济和信息化委员会，生态环境部辐射源安全监管司，每日经济新闻，德邦研究所

国内可控核聚变民营赛道融资景气度同样持续上行，2025-2026 年国内民营聚变企业累计公开融资规模超百亿，资金端构成呈现显著的多元化特征。地方国资产业基金、头部 VC 机构、互联网及高端制造领域的产业资本同步加码布局，多元资本的集中入场，或充分印证了产业长期成长逻辑已获得市场广泛共识。从融资节奏来看，2025 年全年融资案例数量仅为个位数，而 2026 年仅上半年融资案例便多达近 20 起，行业投融资落地速度呈明显加速态势。

表 6：2025 年至今核聚变企业融资情况

公司	融资时间	轮次	融资金额	领投方/主要投资方
零点聚能	2025.02	天使轮	约千万	溪山天使汇
中国聚变能源	2025.07	战略投资	114.9 亿元	中核集团、昆仑资本、国绿基金、浙能电力等
诺瓦聚变	2025.07	天使轮	5 亿元	社保基金中关村自主创新专项基金等
曦融兆波	2025.10	Pre-A 轮	数千万元	鼎晖百孚领投，龙芯创投、毅达资本、上海某国资跟投
星能玄光	2025.11	Pre-A 轮	数亿元	蚂蚁集团领投，隐山资本、紫金矿业、鼎和高达等跟投
零点聚能	2025.12	天使轮	超 5000 万元	中富产融等
星环聚能	2026.01	A 轮	10 亿元	上海科创集团、上海未来产业基金等领投
超磁新能	2026.01	天使轮	数亿元	鼎峰科创领投，中科创星、北极光创投等
东昇聚变	2026.01	天使轮	数亿元	IDG 资本、红杉中国、高瓴资本等
能量奇点	2026.02	A 轮	未披露	北京绿色能源和低碳产业基金、北京大兴京国瑞股基金等
中科清能	2026.02	Pre-A+ 轮	约 5 亿元	鼎晖百孚领投，国新基金、蔚来资本等
诺瓦聚变	2026.03	天使+轮	7 亿元	阿里巴巴、美团龙珠、高瓴资本等
东昇聚变	2026.03	天使+轮	未披露	博远资本、普华资本等
星环聚能	2026.05	A+轮	5 亿元	达晨财智、金浦投资、上海中能诚毅等
东曦聚变	2026.05	天使轮	5 亿元	中科创星领投，华控基金、联想之星等
东昇聚变	2026.06	A 轮	1 亿美元	启明创投、工银投资等领投
贝塔聚变	2026.06	种子轮	数亿元	宁德时代领投
星能玄光	2026.06	A 轮	5 亿元	蚂蚁集团、中科创星、金浦投资、达晨财智等
国脉聚能	2026.06	天使轮	数亿元	北京国管领投，唯实资本、首都科技发展集团等跟投
聚合聚变	2026.06	天使轮	数亿元	高瓴创投、红杉中国、同创伟业、合肥创新投等
超磁新能	2026.06	天使+轮	数亿元	高榕创投领投，普华资本、国科嘉和、纪源资本、永兴材料、TCL 创投跟投
星核聚变	2026.06	天使轮	8.3 亿元	上汽金控、恒旭资本、深创投、中科创星头部机构联合领投
翌曦科技	2026.06	Pre-A 轮	数亿元	金浦智能及通鼎集团联合领投

资料来源：投资界，企查查，德邦研究所

2. 技术路线趋于清晰，托卡马克技术领先

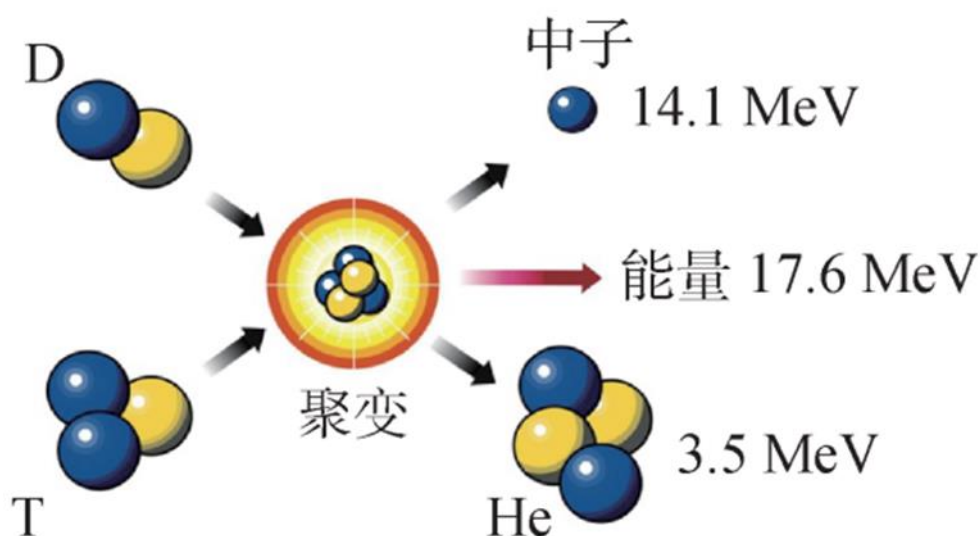
核聚变的物理本质是轻原子核聚合生成重原子核的过程，其间伴随的质量亏损依据爱因斯坦质能方程 ($E=mc^2$) 转化为巨大的能量释放。在商业化路径的探索中，氘-氚 (D-T) 聚变因其劳逊条件最易达成，被公认为现阶段最具商业落地潜力的燃料方案。而在反应装置的技术路线上，托卡马克凭借深厚的经验积累与较高

的全球装置占比，有望率先实现商业化突破。与此同时，场反位形等新兴路线的商业化进程同样迅猛。当前，无论是托卡马克、仿星器还是场反位形，均已有代表性企业成功签署长期供电协议，呈现出多技术路线并行、百花齐放的产业格局。

2.1. 核聚变原理与核心物理指标

核聚变本质是两个质量较轻的原子核（如氘、氚），在超高温、超高压等极端环境下克服库仑斥力，发生相互碰撞并聚合为一个质量较重的原子核（如氦核），同时释放出中子与巨大能量的核反应形式。反应过程中，原子核外电子脱离束缚，参与碰撞的原子核在聚合时因质量亏损而释放能量，其单位质量的能量释放效率远高于核裂变反应。

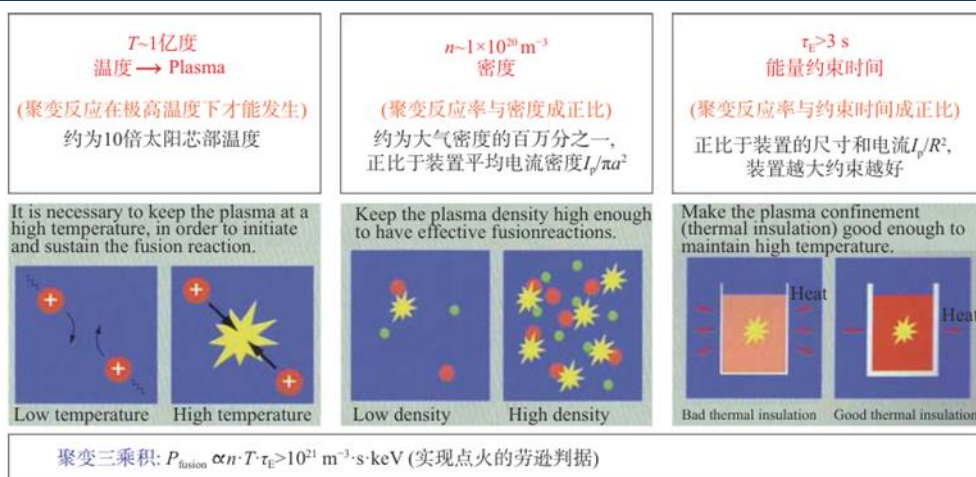
图 2：核聚变原理示意图



资料来源：颜宁等《托卡马克高约束稳态物理的探路者——东方超环（EAST）》，德邦研究所

实现核聚变反应，需要同时满足三个条件：足够高的温度（T）、一定的密度（n）和一定的能量约束时间（ τ ），三者的乘积称为聚变三乘积。根据劳逊判据，只有聚变三乘积大于一定值（ $1.5 \times 10^{20} \text{keV} \cdot \text{s/m}^3$ ），才能产生有效的聚变功率输出。

图 3：实现核聚变的三要素



资料来源：王腾《超导磁体技术与磁约束核聚变》，德邦研究所

在主流聚变反应路线中，氘-氚（D-T）反应落地门槛最低，其所需聚变三乘积对应的劳逊条件为 $10^{21} \text{keV} \cdot \text{s/m}^3$ ；氘-氦三（D- ^3He ）反应劳逊条件提升至 $10^{23} \text{keV} \cdot \text{s/m}^3$ ，实现难度显著增加；质子-硼 11（p- ^{11}B ）反应技术壁垒最高，劳逊条件高达 $5 \times 10^{24} \text{keV} \cdot \text{s/m}^3$ ，且该路线点火温度需达到 250keV（约 25~50 亿摄氏度），当前全球尚无成熟技术可实现如此高的等离子体加热目标。综合来看，D-T 反应是现阶段地球环境下最易达成聚变条件的技术路线，其余路线工程落地难度极大。尽管质子-硼聚变具备燃料易得的优势，但受极端高温要求制约，全球各国大型聚变研发计划均将 D-T 路线作为优先攻关方向，其也成为未来商用聚变电站的主流技术选择。

图 4：几种主流聚变反应路线实现聚变的劳逊条件

反应	燃料	中子	释放能量(带电的/总的)	点火温度	$n_T T (\text{KeV} \cdot \text{s/m}^3)$
$\text{D}+\text{T} \rightarrow \alpha+\text{n}$	稀有,放射性	Yes	3.5/17.6 MeV	~20 KeV	10^{21}
$\text{D}+^3\text{He} \rightarrow \alpha+\text{p}$	地球上稀有	Yes in D D	18.7/18.7 MeV	~100 KeV	10^{23}
$\text{D}+\text{D} \rightarrow \text{n}+^3\text{He}$			0.82/3.3 MeV		
$\text{D}+\text{D} \rightarrow \text{p}+\text{T}$	丰富	Yes	4.0/4.0 MeV	~100 KeV	10^{24}
$\text{p}+^{11}\text{B} \rightarrow 3\alpha$	丰富	No	8.7/8.7 MeV	~250 KeV	5×10^{24}

资料来源：李建刚《可控核聚变研究现状及未来展望》，德邦研究所

2.2. 主流技术比较：托卡马克最成熟，其他技术多点开花

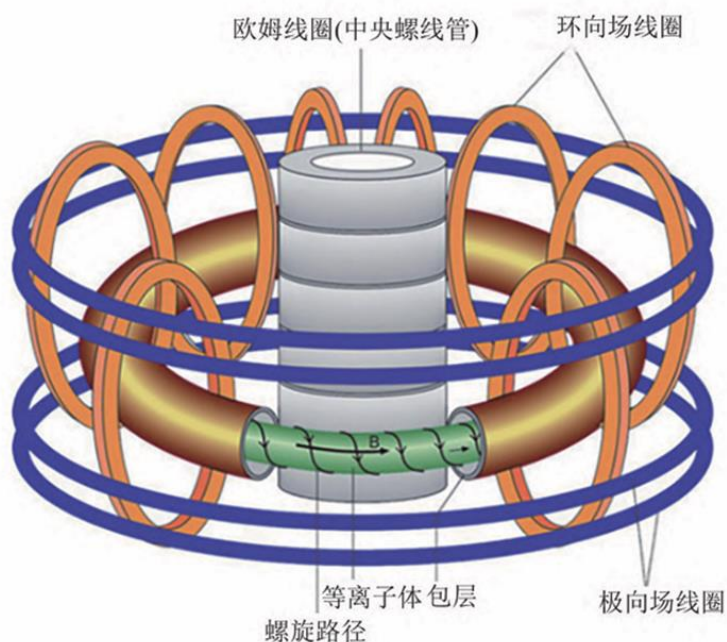
目前，全球范围内的聚变研究主要集中在磁约束和惯性约束两种主要的技术路径上。世界上的磁约束聚变装置主要有托卡马克、仿星器、场反位形和磁镜，惯性约束聚变的主要方式是激光和 Z 箍缩。

磁约束被认为是目前最有希望实现大规模可控核聚变反应的一种约束方式。该方案依托强磁场产生的洛伦兹力，引导带电粒子沿磁力线做回旋运动，将高温等离子体限定在特定空间内，有效延长等离子体约束时长。该路线具备环境友好、安全、资源丰富等优势，但也存在工程落地难度大的问题，核心材料性能与项目整体经济性仍有较大优化空间。历经数十年理论与实验验证，磁约束路线技术积淀深厚，被全球业界普遍认为是实现聚变发电商业化落地的主流方向。

2.2.1. 托卡马克：技术成熟、应用最广

托卡马克（Tokamak）名称取自俄语环形、真空室、磁、线圈四类核心词汇词头，由苏联科研团队于上世纪 50 年代提出概念。装置核心约束逻辑依靠两套磁场叠加实现等离子体束缚：外部环向场线圈生成环向磁场，叠加等离子体自身放电产生的极向磁场，二者耦合形成闭合螺旋形“磁笼”，可将上亿摄氏度高温聚变等离子体稳定限定在腔体内。整体装置呈环形甜甜圈构型，硬件核心由环形真空室、环向场线圈、极向场线圈、中心螺管等磁体系统构成。

图 5：托卡马克装置概念图



资料来源：张家龙等《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》，德邦研究所

据深企投产业研究院，托卡马克是目前全球投资额最高、技术最成熟的聚变路线，处于工程可行性阶段，在全球聚变研究中占比极高。凭借高效约束能力与相对可控稳定性，国际合作与国家级项目普遍采用该路线，多数民营企业则向高温超导托卡马克方向演进。其优势是高温等离子体与长脉冲运行经验丰富，但也存在装置结构复杂、成本高昂、等离子体稳定性控制难度大、关键部件性能要求极高等挑战。

托卡马克主要分为两类构型：1) 常规环形托卡马克(如 ITER、中国 EAST)，环径比大、机理清晰，其中 EAST 已实现 1 亿摄氏度千秒稳态运行；2) 球形托卡马克(如中国 SUNIST-2) 结构紧凑，环径比接近 1，磁场利用效率与功率密度潜力更高，但面临中心柱空间狭小等工程难题。

图 6：世界首个全超导托卡马克装置 EAST



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所，德邦研究所

表 7：全球托马卡克主要商业公司

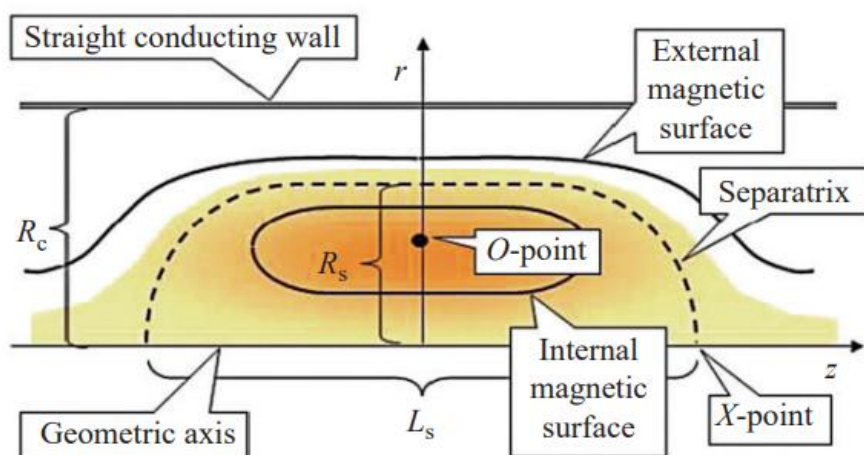
公司	国家	简介
CFS	美国	2018 年成立，主攻高温超导托卡马克技术，核心装置为 SPARC 示范验证堆、ARC 商用示范堆；SPARC 计划 2027 年首次验证 $Q>1$ ，2030 年代初建成 400MW 级 ARC 商业电厂，已与谷歌签订 200MW 购电协议，累计融资超 20 亿美元。
Tokamak Energy	英国	2009 年成立，深耕高温超导球形托卡马克赛道，核心装置含 ST40、ST80-HTS；ST40 已实现 1 亿度等离子体温度，计划 2030 年代初投用试验工厂，目标建成 500MW 商业电厂，累计融资超 3 亿美元。
聚变新能	中国	2023 年成立，是中科院合肥等离子体所磁约束核聚变成果转化平台，主攻紧凑型低温超导托卡马克技术；BEST 装置 2025 年 5 月启动总装，计划 2027 年底建成，目标实现氦氖燃烧等离子体；CFETR 工程示范堆预计 2035 年建成。
聚变能源	中国	中核集团牵头打造的聚变产业国家队平台，注册资本 150 亿元，是中核集团聚变能源产业实施主体；主攻紧凑型高温超导托卡马克技术，核心装置为中国环流器三号（HL-3）、在建的环流器四号（HL-4）高温超导聚变实验装置；2025 年环流三号实现“双亿度”等离子体运行，进入燃烧实验阶段。
能量奇点	中国	2021 年成立，深耕高温超导托卡马克技术；2025 年 3 月自研“经天磁体”励磁至 21.7 特斯拉，创大孔径高温超导 D 形磁体最高磁场纪录；2026 年 2 月“洪荒 70”高温超导托卡马克再次取得突破，在第 5755 次实验中成功实现了 1337 秒稳态长脉冲等离子体运行；正推进下一代“洪荒 170”装置设计，目标实现聚变净能量增益，预计 2030 年后建示范聚变电站。
星环聚能	中国	2021 年成立，由清华大学工程物理系聚变团队成果转化设立，核心团队运营国内首个球形托卡马克装置 SUNIST 近 20 年；2023 年 6 月与清华合作建成 SUNIST-2 装置，2026 年 6 月，专为 NTST 磁体测试研发的 He-HT-6000 冷却系统已完成交付，正设计建设聚变技术验证装置 CTRFR-1，计划 2028 年前启动聚变商业示范堆建设。
新奥科技	中国	2006 年成立，隶属新奥集团，2018 年成为国内首家投建聚变实验装置的民营企业，2022 年锁定硼聚变球形托卡马克技术路线；核心装置含玄龙-50/玄龙-50U、在建的和龙-2，其中玄龙-50U 已稳定运行，实现全球首次兆瓦级氦硼等离子体放电；计划 2027 年建成和龙-2 装置。

资料来源：可控核聚变官网、公众号，人民网，央视网，新华网，各公司官网，中国能源报，IT 之家，清华大学工程物理系官网等，德邦研究所

2.2.2. 场反位形：经济性强、商业化快

场反位形（Field-Reversed Configuration，简称 FRC）是基于磁约束或磁惯性约束的可控核聚变方案，相关理论概念最早于 1956 年提出，并在 20 世纪中后期多轮实验装置中完成原理初步验证。核心机理为外部极向磁场与等离子体自生反向磁场耦合，形成内闭外开的分层磁力线，构筑自持封闭“磁泡”束缚高温等离子体。装置采用直线轴对称设计，分为两端形成区与中间压缩融合区，结构区别于传统环形托卡马克；路线标志性优势是仅配置极向磁场，省去复杂环向场线圈硬件体系。

图 7：场反位形磁场结构示意图

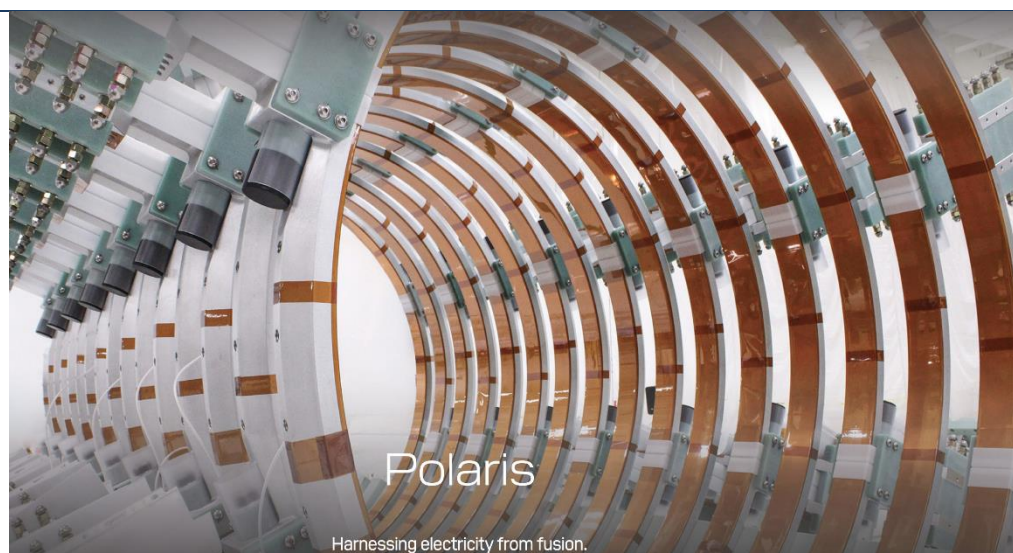


资料来源：肖池阶等《磁约束聚变方案中的磁镜、场反及偶极场位形研究进展》，德邦研究所

场反位形路线的核心优势在于：1) 等离子体比压高，同等磁场下可约束更高密度等离子体，经济性突出；2) 结构紧凑，据界面新闻，50MW 模块建造成本仅为托卡马克的 1/10，建造周期仅 2-3 年；3) 部分方案采用直接能量转换，理论发电效率可达 95% 以上，还可使用氘-氦 3 等清洁燃料。其主要挑战在于等离子体寿命短、约束稳定性控制难度大，实验参数距离劳逊判据仍有差距；同时电源系统价值占比高，对快控开关与脉冲电容要求严苛。

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，为了在 2028 年最后期限前交付 50MW 的电力，Helion 正在全力推进其第七代原型机 Polaris，Polaris 旨在实现净电能增益；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。

图 8：Helion 第七代原型机 Polaris



资料来源：全球碳中和研究院，德邦研究所

表 8：全球场反位形主要商业公司

公司	国家	简介
Helion Energy	美国	2013 年成立，磁惯性约束/场反位形（FRC）路线核心企业；2025 年在华盛顿州启动商用聚变电站建设，与微软签订全球首个商业聚变电力采购协议，承诺 2028 年起供应至少 50MW 聚变电力；

计划 2030 年前后与 Nucor 合作部署 500MW 聚变电站。

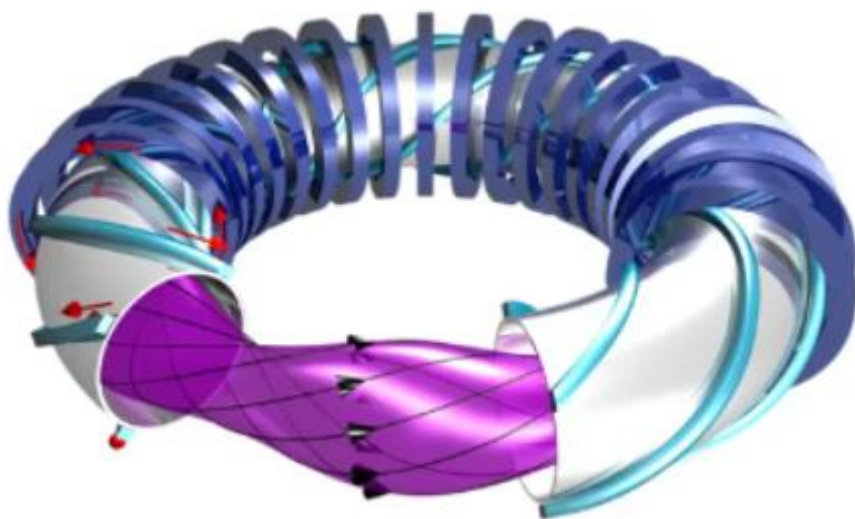
TAE Technologies	美国	1998 年成立，前身为 Tri Alpha Energy，深耕氢硼聚变路线；已实现 7000 万摄氏度等离子体运行，最新实验装置 Norm 首次仅依靠中性束注入成功产生场反位形等离子体；2025 年 12 月与特朗普媒体科技集团完成合并，计划 2026 年启动全球首座 50MW 商用聚变电站建设，之后还将推出 350-500MW 原型电站。
星能玄光	中国	2024 年成立，中科大赋权设立，采用场反位形与磁镜融合的“先进场反磁镜”技术；2025 年 2 月小型化 FRC 装置 Xeonova-1 完成首次放电；计划 2030 年建成 10MW 级小型聚变示范堆，2035 年完成 200MW 能量输出。
瀚海聚能	中国	2022 年成立，2025 年 7 月核心装置 HHMAX-901 成功点亮等离子体，实现中国首台商业化直线型 FRC 聚变装置从实验室到应用端的突破；计划 2027-2028 年建成第二代装置与 10MW 发电机，2028-2030 年建成第三代装置与 50MW 示范电站。
诺瓦聚变	中国	2025 年 4 月成立，深耕小型模块化核聚变商业化，核心产品 FRC-SMR 小型模块化聚变反应堆，单模块功率 50-100 兆瓦，可灵活适配多场景；计划 2026 年底实现首次等离子体放电，2030 年代前半叶建成国内首个小型分布式聚变示范发电站，实现 50-100MW 级商业化供电。

资料来源：核聚变与等离子体物理公众号，中国核技术网，可控核聚变官网，投资界，安徽日报，各公司官网等，德邦研究所

2.2.3. 仿星器：稳定性好，成本较高

仿星器（Stellarator）等离子体约束时间更长、运行稳定性突出，但线圈构型复杂，装置工程建设与制造成本显著抬升。该装置由美国物理学家 Spitzer 于 1950 年代提出，名称取自“模拟星体聚变条件”的设计初衷。其核心依靠外部三维扭曲线圈在环形真空室内构筑螺旋磁力线，形成自持等离子体约束通道；装置无需驱动等离子体自生电流，从根源规避托卡马克体系普遍存在的等离子体大破裂隐患，具备全时段稳态运行能力，且对核心结构材料的抗辐照性能要求相对宽松。

图 9：仿星器几何结构示意图



资料来源：中国核技术网，德邦研究所

仿星器可实现更长等离子体约束时长，运行稳定性好，是未来聚变电站优质备选路线。但装置三维线圈构型复杂，加工装配需毫米级精度，造价与工程实施成本偏高。当前全球仅德国 Wendelstein7-X、日本 LHD 少数装置落地运行，虽已验证物理可行性，受高成本、高复杂度约束，暂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 和日本 Helical Fusion 等。

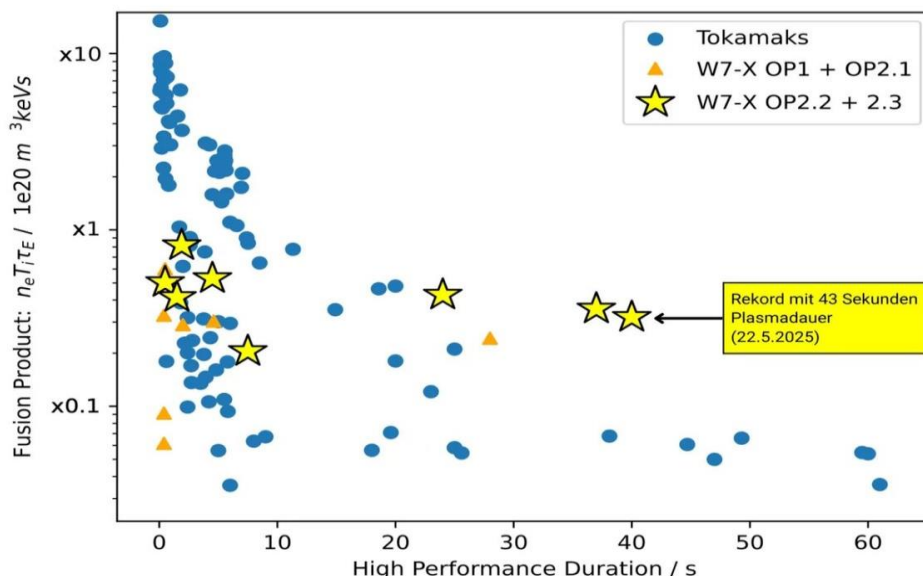
表 9：全球仿星器主要商业公司

公司	国家	简介
Renaissance Fusion	法国	2020 年成立，2025 年 3 月完成 3200 万欧元融资，核心采用简化仿星器设计、液态金属壁+高温超导线圈技术组合，计划 2030 年代初启用其第一座功率为 1GWe 的反应堆，能够向网络注入电力。
Thea	美国	2022 年成立，前身为 Princeton Stellarators，脱胎于普林斯顿等离子体物理实验室 PPPL；公司的大型集成仿星器系统 EOS 不仅可以显著提升聚变性能，还降低了建设电厂的程序化和执行层面风险；计划基于 EOS 架构，2030 年代建成 Helios 发电厂。
Type One Energy	美国	2019 年成立，由美国威斯康星大学专家团队创办的商业化聚变企业；2025 年完成全球首台高温超导（HTS）仿星器磁体的制造，并在 77 开尔文超导工况下通过测试；同年启动美国田纳西州首座商业化试验电厂建设，预计 2030 年代中期投运。
Proxima Fusion	德国	2023 年成立，由德国马克斯·普朗克等离子体物理研究所 IPP 孵化，技术源自全球最大仿星器 Wendelstein 7-X 科研成果，结合高温超导磁体开发紧凑型仿星器聚变装置；规划 2027 年完成模型线圈性能验证，2030 年代初建成 Alpha 示范装置，2030 年代交付首座百兆瓦级商业聚变电站 Stellaris。
Helical Fusion	日本	2021 年成立，由日本国立核聚变科学研究所 NIFS 孵化，是一家专注螺旋仿星器技术商业化的企业；2025 年 10 月完成高温超导线圈核心性能测试，在模拟聚变环境下实现 40kA 稳定超导电流，磁体技术达商用门槛，目前已启动 Helix HARUKA 装置建设；2025 年签署聚变能 PPA 协议。

资料来源：中国核技术网，可控核聚变官网、微信公众号，各公司官网，德邦研究所

2025 年 6 月 3 日，德国马克斯·普朗克等离子体物理研究所宣布旗下全球最大仿星器 Wendelstein 7-X (W7-X)，在 5 月 22 日结束的 OP2.3 实验周期中取得重大突破，创下长脉冲等离子体放电工况下聚变三重积世界纪录。实验团队在单次放电中将聚变核心指标三重积峰值稳定维持 43 秒，该参数表现大幅超越同时时间尺度下所有托卡马克装置的最优结果。在仅维持数秒的短时瞬态放电中，托卡马克装置依旧拥有更高的三重积峰值，但面向未来商用聚变电站必需的长时稳态运行维度，W7-X 现已实现性能反超，印证仿星器路线的稳态约束优势。

图 10：W7-X 创下等离子体持续时间 40s 以上的聚变三乘积记录



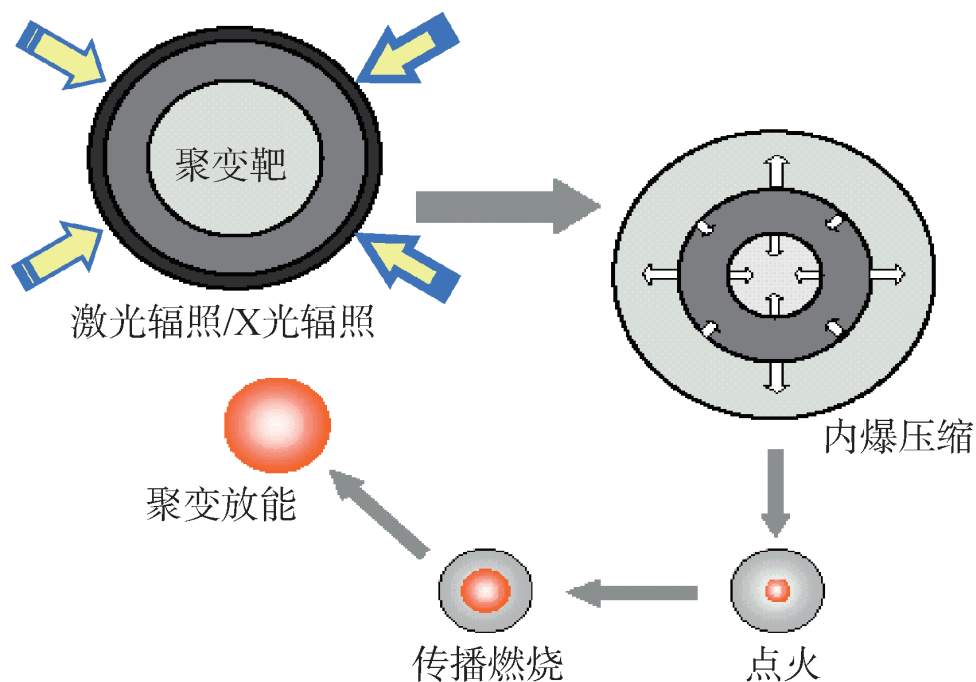
资料来源：德国马普等离子体物理研究所，德邦研究所

2.2.4. 激光聚变：惯性约束的代表

激光聚变是惯性约束聚变的一种，是利用激光装置，直接、间接或混合驱动含有氘氚燃料的靶丸，将氘氚等离子体压缩和加热到高能密度状态并约束一定的时间，实现聚变放能的过程。

激光聚变的动作过程可以归纳为四个阶段：强光辐照、内爆压缩、聚变点火及聚变燃烧。所谓强光辐照就是用激光束(X光)快速加热靶丸表面，形成一个等离子体烧蚀层；内爆压缩是利用靶丸表面热物质向外喷发，从而反向压缩燃料；聚变点火是通过向心聚爆过程，氘氚核燃料达到高温、高密度状态；聚变燃烧是热核燃烧在被压缩燃料内部蔓延，聚变放能大于驱动能量，获得能量增益。

图 11：激光聚变各阶段示意图



资料来源：王巧巧《大国重器——激光惯性约束聚变》，德邦研究所

激光聚变最突出的代表就是美国国家聚变点火装置 NIF 装置，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 月实现能量增益超过 4 的突破。

图 12：美国国家聚变点火装置 NIF 装置



资料来源：李建刚《可控核聚变研究现状及未来展望》，德邦研究所

表 10：全球激光聚变主要商业公司

公司	国家	简介
Longview Fusion Energy	美国	2021 年在加州成立，沿用 NIF 间接驱动激光聚变路线推进技术商用；公司由曾任 NIF 负责人的 Edward Moses 创立。2023 年与工程巨头福陆达成合作，计划打造一座装机 1000-1600MW 的商用激光聚变电站，面向民生与工业领域供给低碳能源。
Blue Laser Fusion	美国	2022 年成立，总部位于美国加州，由诺贝尔物理学奖得主、蓝光 LED 发明者中村修二创立，核心技术是采用可高频重复输出的兆焦脉冲激光器，攻克传统激光聚变技术短板；其选用 HB11 氢硼燃料，反应无放射性危害，仅生成氦气。计划在 2030 年左右实现核聚变反应堆的商业化，在日本或美国建造 10 亿瓦规模发电反应堆。
Xcimer Energy	美国	2022 年成立，预计分四步推进商业化落地：2026 年完成 Phoenix 缩比原型验证，证实激光方案可行性；2020 年代末建成全尺寸束线，验证性能与成本优势；2030 年实现多束线联动达成聚变能量收支平衡；2030 年代中期建成首座聚变电站并并网供电。
Marvel Fusion	德国	成立于 2019 年，专注于通过激光核聚变技术创新提供清洁、安全、可靠的能源。其技术采用惯性约束聚变方案，通过超短脉冲激光作用于纳米结构燃料胶囊触发聚变反应。计划 2032 年前建成原型设施，并目标在 2036 年前实现商用聚变电站运营。
Ex-Fusion	日本	2021 年成立，总部位于日本京都，依托高功率高频激光、连续靶源与精密光控技术布局商用激光聚变电站；计划 2027 年完成连续 1 小时中子生成关键验证，打造日本激光核聚变领域核心研发平台。
东曦聚变	中国	2024 年成立，是国内首家专注激光聚变能源商业化的创新企业。公司采用全球领先的混合驱动点火技术路线，聚焦攻克聚变能量增益不足、低重频运行两大行业核心痛点，目标打造高效、稳定的聚变供电整体解决方案，推动激光惯性约束聚变技术工程落地与商用化。

资料来源：可控核聚变官网、公众号，各公司官网，东曦聚变公众号，德邦研究所

3. 市场格局梯队完善，产业化落地节奏清晰

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，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。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。历经“十二五”至“十四五”多轮国家级能源规划部署，我国确立了受控聚变的发展顶层思路，聚变堆被定位为核能利用远期终极方向，商业化路径与时间节点已有明确前瞻规划。

3.1. 国家/政府主导项目奠定技术路线

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。

全球核聚变产业正呈现出美国以资本+私营速度见长，欧亚以国家队稳扎稳打见长的差异化竞争态势。美国通过“里程碑式私人-公共合伙计划”大力扶持私营企业，NIF 实现目标增益超过 4 的突破；欧洲则以稳健、保守的 ITER 路线为主，依托 ITER 这一全球规模最大、影响最深远的国际科研合作项目之一，尽管因系统庞大、决策机制冗长导致进度屡次推迟，但其作为核聚变物理的“黄埔军校”，旨在验证了大型托卡马克的全面可行性；日本、韩国则在超导托卡马克关键部件上具备极强精细制造优势，韩国 KSTAR 实现 1 亿摄氏度下 48 秒运行，日本 JT-60SA 作为 ITER 前全球最大托卡马克持续推进升级，为国际聚变工程提供了关键技术支撑。

中国以国家队为主导的路线清晰坚定，CFETR 是我国核聚变国家队的骨干力量，承载着核能领域长远国家战略的落地。EAST 在 2025 年实现 1 亿摄氏度下高质量等离子体运行超 1000 秒，创下稳态运行纪录；BEST 项目 2025 年进入密集

建设阶段，计划 2027 年实现能量净增益（Q>1）并首次演示发电；CRAFT 设施子系统也为 CFETR 提供关键测试支撑，形成了从基础研究到工程示范的完整技术链条。

表 11：全球可控核聚变重大项目

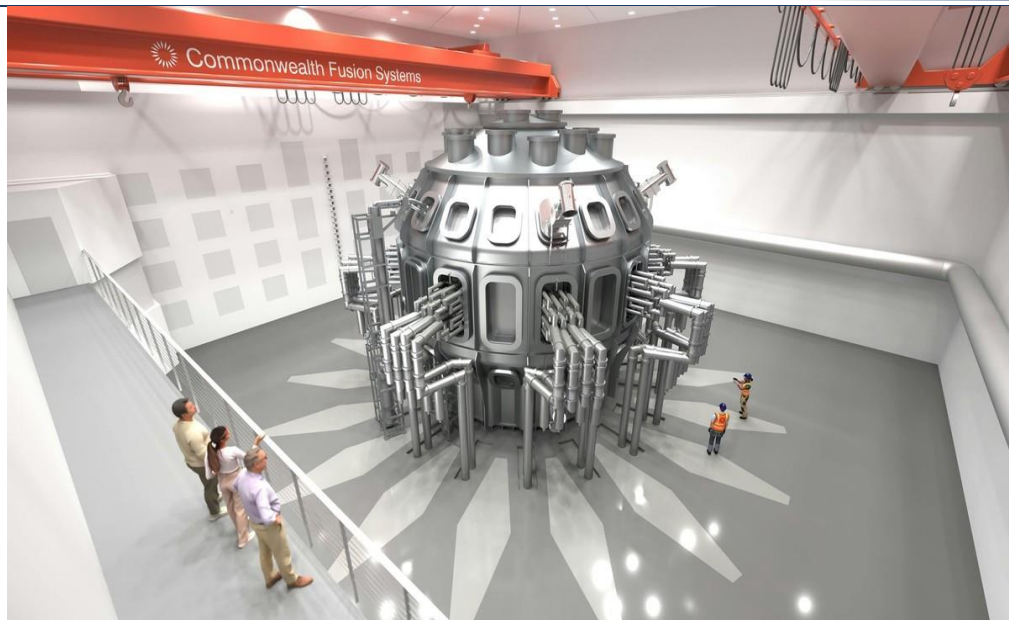
国家/地区	装置名称	技术路线	主要进展与目标
中国、欧盟、印度、日本等	ITER	托卡马克	2006 年七方签署协议；2020 年启动装置安装；2025 年完成脉冲超导电磁系统组件制造。
美国	NIF	激光聚变	2022 年实验首次实现了聚变输出能量超过激光输入能量，能量增益约 1.53 倍，在 2025 年 4 月实现能量增益超过 4 的突破。
美国	DIII-D	托卡马克	1978 年开始运营；2024 年突破 20 万次等离子体脉冲。
英国	STEP	托卡马克	目标在 2040 年前后建成球形托卡马克示范电厂，实现净电输出并验证商用可行性。
欧盟	JET	托卡马克	1978 年运行，曾创造多项纪录；2021 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 年在靶定位与束靶耦合技术取得进展。
日本	FAST	托卡马克	2024 年 11 月启动示范电厂项目；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。
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超 1000 秒，取得重大突破。
中国	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 2035 年前后建成并开始大规模实验。
中国	BEST	托卡马克	2025 年 3 月完成首块顶板安装；5 月提前启动总装；10 月杜瓦底座交付；计划 2027 年建成、2030 年实现发电演示。

资料来源：ITER 官网，美国政府官网，可控核聚变官网，Scientific European，中国核技术网，中科院，新华网等，德邦研究所

3.2. 私人商业核聚变企业推动产业化突破

第一梯队企业已深度绑定硅谷巨头与科技资本，其技术路线或成为行业初代商业化标准的核心参考方向。Commonwealth Fusion Systems（SPARC/ARC 路线）、TAE Technologies、Helion Energy。这三家是全球估值最高、融资额均超 10 亿美元的超级巨头。CFS 背靠 MIT，SPARC（实验堆）预计近年落成，ARC（商用堆）紧随其后；Helion 走 FRC 路线，已与微软签署了明确的购电协议（PPA）；TAE Technologies 与特朗普媒体与科技集团合并。技术路线上，托卡马克（CFS 等）融资最多、确定性相对较高；FRC（Helion）速度最快但物理挑战大；估值与里程碑完成度高度挂钩，往往能提前证明磁体性能或 Q 值突破的公司能获得超级溢价。

图 13：CFS 首个核聚变反应堆 SPARC



资料来源：可控核聚变官网，德邦研究所

表 12: CFS 发展历程

时间	事件
2018	公司成立，2018 年从意大利跨国公司 Eni 获得 5000 万美元的初始资金。
2019	完成 A 轮融资，获得了来自 Eni，比尔盖茨的 BreakthroughEnergyVentures，VinodKhosla 的 KhoslaVentures 等的总计 1.15 亿美元的资金。
2020.09	报告了 SPARC 托卡马克装置的物理和工程设计取得了重大进展，并于 2020 年 10 月报告了一种名为 VIPER 的新型高温超导电缆的开发
2021.03	宣布在波士顿以西 2 号公路以西一小时车程的马萨诸塞州德文斯市建立总部、制造和研究园区（包括 SPARC 托卡马克）的计划。
2021.09	该公司宣布演示一种高温超导磁体，能够产生 20 特斯拉的磁场。
2025.06	CFS 与谷歌达成协议，将在 2030 年代初从首座商业聚变电站 ARC 向谷歌供应 200MW 电力。

资料来源：可控核聚变官网，德邦研究所

表 13: Helion Energy 发展历程

时间	事件
2013	在美国华盛顿州埃弗雷特成立，采用场反位型（FRC）磁惯性约束聚变技术路线。
2019	完成第六代原型机 Trenta 测试运行，等离子体温度达到 1 亿摄氏度。
2021.11	完成 5 亿美元 E 轮融资，用于加速第七代原型机 Polaris（北极星）的建造，Polaris 设计为全球首个演示聚变发电的原型装置。
2023.05	与微软签约，承诺从 2028 年开始通过其计划中的聚变原型装置提供至少 50MW 的电力。
2023.10	与纽柯钢铁（Nucor）达成合作，Nucor 向 HelionEnergy 投资 3,500 万美元，双方计划在 Nucor 钢厂部署 500MW 聚变电站，预计 2030 年前后运行。
2025.01	获得 4.25 亿美元新融资，用于扩大聚变核电站建设目标，投后估值约 54 亿美元。
2025.07	在华盛顿州马拉加启动 Orion 聚变电站土方工程与基建工作，项目从奇兰县公共事业区（PUD）租赁 80 英亩土地，并通过了《州环境政策法》（SEPA）下的全面环境审查。
2026.02	宣布其第七代原型机 Polaris 成功运行可测量的氘-氘聚变反应，并实现 1.5 亿摄氏度的等离子体温度，达商业发电目标温度（约 2 亿摄氏度）的四分之三。
2026.06	完成 4.65 亿美元 G 系列融资，投后估值 155 亿美元，累计融资超 15 亿美元。
2026.06	获华盛顿州卫生部颁发的放射性材料许可证（RML）和放射性空气排放许可证（RAEL），成为全球首家获得核聚变发电站所需监管许可证的公司。

资料来源：核聚变与等离子体物理公众号，德邦研究所

中国民营核聚变力量正迅速崛起，不同技术路线的创新公司呈现百花齐放的格局。其中，能量奇点对标美国 CFS 的高温超导托卡马克路线，其“洪荒 70”装置已于 2024 年完成工程可行性验证，并在 2026 年初创下 1337 秒长脉冲等离子体稳态运行纪录，目标研制 Q 值大于 10 的装置，计划在 10-20 年内实现商业化；瀚海聚能则对标美国 Helion Energy 的场反位形（FRC）路线，其 HHMAX-901 作为国内首台商业化直线型场反位形聚变装置，已于 2025 年 7 月完成主机建设与等离子体点亮，主打低成本、快迭代的技术优势。此外，星环聚能、新奥科技、星能玄光等企业也分别在球形托卡马克、场反位形等方向持续推进，国内民营聚变赛道已形成多路线并行探索、关键里程碑频出的发展态势。

表 14：国内主要民营核聚变公司情况

公司	装置名称	技术路线	定位	最新进展
星环聚能	SUNIST-2	球形托卡马克	2024 年初初步验证方案可行性，目前计划 2028 年前后完成 CTRFR-1 装置的工程验证，在 2032 年前后完成商业示范堆建设。	SUNIST-2 初步可行性验证已完成，下一代装置 CTRFR-1 建设准备工作正在开展，同步推进负三角球形托卡马克 NTST 的快速建设
能量奇点	洪荒 70	全高温超导托卡马克	研制出 Q 大于 10 的高温超导托卡马克装置，10-20 年内实现可控核聚变的商业化	2024 年 6 月“洪荒 70”实现等离子体放电，完成高温超导托卡马克的工程可行性验证；2026 年初成功实现 1337 秒长脉冲等离子体稳态运行，刷新商业公司研发建造的核聚变装置运行纪录
新奥科技	玄龙-50、玄龙-50U	球形托卡马克	中国最早开展商用聚变能源开发的民营企业，累计研发投入达 40 亿元，建成两代球形聚变实验装置，推进商业化落地	2025 年 4 月“玄龙-50U”实现高温高密度下的百万安培等离子体电流；2025 年 5 月实现秒量级 1.2 特斯拉强磁场
瀚海聚能	HHMAX-901	直线型场反位形装置	国内首台商业化直线型场反位形聚变装置，主打建造成本低、工程迭代快、能量密度大、体积小、应用灵活的优势，对标海外 Helion Energy 推进商业化	2025 年 7 月 HHMAX-901 主机建设完成暨等离子体点亮仪式在公司聚变装置基地成功举行
星能玄光	Xeonova-1	场反位形	采用传统的单边形成和磁镜捕获设计，研究优化导体壁在场反压缩过程中的作用	FLAME 装置已进入首次放电倒计时，计划 2035 年建成 200MW 聚变电站

资料来源：上海市人民政府官网，各公司官网，可控核聚变官网，央视网等，德邦研究所

国家队与商业资本并非竞争关系，而是呈现协同互补的趋势：前者提供基础物理数据、人才储备与测试平台等底层支撑，后者以高风险容忍度、敏捷决策和工程速度加速商业化落地，未来有望形成“国家队出技术人才、商业公司出资金”的深度协同格局。

3.3. 顶层政策设计，有望逐步商业化落地

可控核聚变的终极产业价值，需通过商业化落地最终兑现。从实验室物理验证走向规模化能源供给，既是产业发展的必然路径，也是当前全球能源转型浪潮下市场关注的核心主线。根据我国“热堆—快堆—聚变堆”核能三步走战略，1983 年由原国家计委、国家科委组织核能技术政策专家论证会后写入《核能发展技术政策要点》正式发布，历经“十二五”至“十四五”多轮国家级能源规划确认，我国确立了受控聚变的发展顶层思路，聚变堆作为我国核能利用的最终目标，从近期、中期和远期目标来看，分别为：

- **近期目标（2015-2021 年）：**已顺利完成，建成 EAST 等近堆芯级稳态等离子体实验平台，完成聚变工程试验堆关键技术的吸收、储备与关键部件预研；
- **中期目标（2021-2035 年）：**建设并运行 CFETR 聚变工程试验堆，开展稳态、高效、安全聚变堆核心科学研究，是商业化落地的核心前置环节；
- **远期目标（2035-2050 年）：**全面发展聚变电站，探索聚变商用电站的工程、

安全与经济性，为我国聚变产业提供了清晰的长期政策锚点。

图 14：中国磁约束聚变发展路线图



资料来源：高翔等《可控核聚变科学技术前沿问题和进展》，德邦研究所

除了传统发电外，核聚变行业还具备多元化增值服务模式，有望大幅提升项目经济性。1) 工业热源直供（绿氢制备、高温工业热）。聚变反应产生的大量热能无需先发电，可直接作为清洁高温热源对接下游钢铁冶炼、化工制造或高效绿氢制备，大幅提升综合能量利用效率。2) 副产品价值：医用同位素、中子应用。聚变产生的高能中子通量可用于生产稀缺的医用同位素（如用于癌症治疗的钆-225 等），或进行中子辐照探伤、裂变核废料消解。

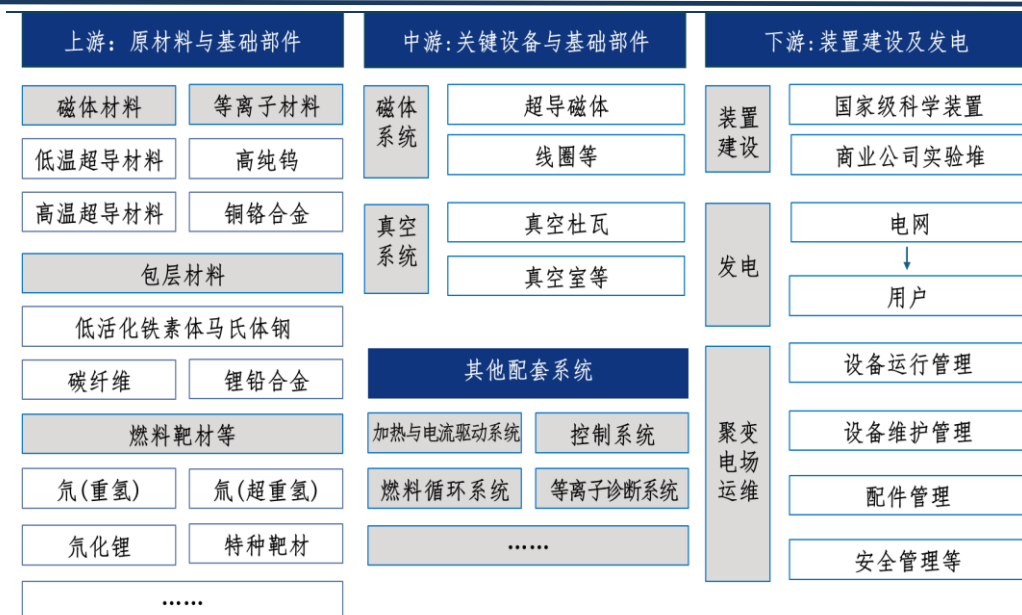
4. 中国在产业链与关键环节具备领先优势

核聚变产业链可清晰划分为上、中、下游三大环节，其中上游高温超导材料、中游超导磁体系统是整条产业链中确定性较强、价值量较高的核心赛道。当前我国核聚变产业已形成完备成熟的全链条产业体系，国内主流大型聚变装置国产化水平持续走高，核心设备与关键材料自主配套能力突出。依托完善的产业链优势与持续迭代的工程技术能力，国内聚变产业有望持续抢占全球市场份额，成长为全球核聚变装备与材料的核心供应商。

4.1. 产业链全景图谱

据《2026 可控核聚变研究报告》，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。

图 15：核聚变产业链



资料来源：前瞻产业研究院，深金投产业研究院，德邦研究所

上游：上游原材料与核心部件种类繁多，主要包括面向等离子体材料（如偏滤器/第一壁用高纯钨、铜铬合金等特种金属）、超导材料（低温超导 NbTi/Nb₃Sn 与高温超导 REBCO 稀土钡铜氧带材）、包层材料（锂-6）、中子倍增材料（铅锂合金）、真空室用特种钢材与铍构件、氘氚燃料、靶材及氦等特种气体。其中，兼具高熔点、抗辐照与热疲劳性能的第一壁/偏滤器材料，是保障装置稳定运行的关键；而 **REBCO 高温超导带材** 作为二代高场托卡马克的核心基石，其供应能力与成本直接决定了全行业建堆的物理极限与经济性边界。

中游：中游关键设备与系统集成是当前可控核聚变产业价值量最集中、订单确定性最强的环节，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。

- **磁体系统：托卡马克装置的“心脏”，也是价值量占比最高的环节**，涵盖超导线圈的设计、制造与集成。低温超导装置（如 ITER）中磁体系统成本占比约 28%，而高温超导托卡马克中这一比例可达 40%-50%，其中超导材料本身即占磁体系统价值量的近一半，是决定装置磁场强度与经济性的核心变量。
- **真空系统：以真空室与真空杜瓦为核心**。真空室作为超高真空压力容器，为等离子体放电提供洁净、稳定的真空环境，其主体及内部第一壁、偏滤器等直面等离子体的部件，需承受极端热负荷与辐照考验，技术壁垒极高；真空杜瓦则作为主机外层密封结构，为内部极向场、纵场线圈等关键部件提供高真空环境，并隔绝外部热交换，同时承载装置大部件载荷，是维持装置稳定运行的关键屏障。
- **配套系统：是保障装置连续、可控运行的“神经与血管”，**包括加热与电流驱动系统（射频加热、中性束注入等）、大功率脉冲电源系统、低温制冷系统，以及诊断与控制系统等，是实现等离子体点火、稳态约束与安全控制的重要支撑。

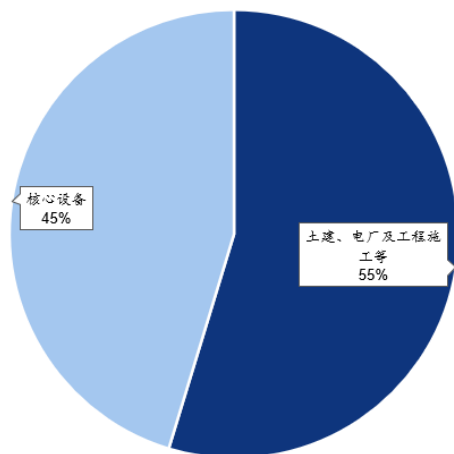
下游：装置建设与核电发电环节，当前仍以国家级大科学装置（如 EAST、HL-3、BEST、CFETR）与商业公司实验堆的设计、总装、验证为主，尚未进入商业化并网发电阶段。这一阶段的核心价值在于验证各技术路线的可行性，同时通过工程化需求持续带动上游产业链成熟。长期来看，可控核聚变的终极目标是建成商业化聚变电站，为电网提供稳定、清洁的基荷电力，未来下游将进一步延伸至聚变电站运营、能源输出等场景。

4.2. 磁体系统是其价值量核心

高温超导材料与磁体系统是当前可控核聚变产业链中确定性较高、价值量较集中的环节。无论未来哪条托卡马克技术路线或哪家企业最终胜出，对高温超导带材及磁体绕制的需求都是刚性且前置的，我们认为这是未来 5 年行业内最具确定性的利润池。REBCO（稀土钡铜氧）带材的制造工艺壁垒极高，需完成多层纳米级薄膜的外延生长；目前全球产能主要集中在中国（以上海超导为代表）、美国（SuperPower/AMSC）、日本及韩国，随着商业聚变堆逐步开建，超导带材将面临数万公里级的需求缺口。

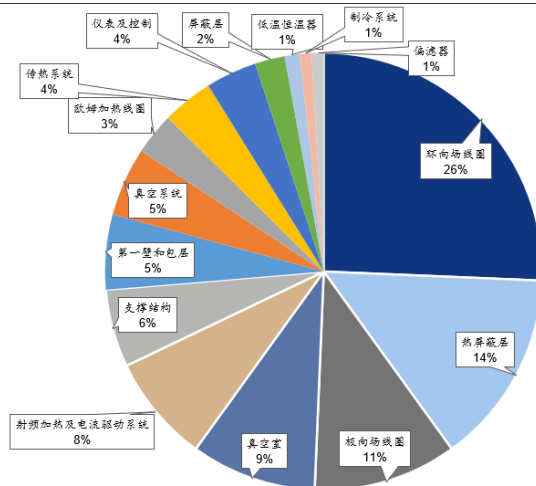
以 CFETR（中国聚变工程示范堆）项目为例，磁体系统是其价值量最高的核心子系统，约占项目总成本的 18%，其中环向场线圈占比达 11.6%，显著高于其他组件，极向场线圈与欧姆加热线圈构成其余部分。若剔除土地、土建、电厂配套及施工等非设备成本，磁体系统在核心设备总成本中的占比将进一步提升至约 39%，是核心设备中价值占比最高的部分。第二大高价值模块为真空室系统（含屏蔽层、真空室本体及热屏蔽层），约占项目总成本的 12%，其中热屏蔽层单一项占比即达 6.5%，是该模块中价值量最高的组成部分。相比之下，直接面向等离子体的关键部件——如第一壁与包层（合计约 2.5%）、偏滤器（约 0.4%），在整体成本结构中的占比则相对较低。

图 16：托卡马克整体价值量拆分（参考 CFETR）



资料来源：Dehong Chen 等《Preliminary Cost Assessment and Compare of China Fusion Engineering Test Reactor》，德邦研究所

图 17：托卡马克核心设备价值量拆分（参考 CFETR）



资料来源：Dehong Chen 等《Preliminary Cost Assessment and Compare of China Fusion Engineering Test Reactor》，德邦研究所

4.3. 集中招标开启，中国产业链优势明显

我国深度参与 ITER 项目建设，合计承担约 9% 的设备制造任务，覆盖聚变堆包层、大功率电源等核心关键部件。依托该国际合作平台，国内科研机构与制造企业充分对标并吸纳全球顶尖的聚变工程质量管理体系、精密制造规范，逐步构建起符合国际高标准的供应链体系，培育出一批具备全球化配套能力的核心供应商，为自主聚变工程落地筑牢产业根基。

随着国内可控聚变核心技术与产业链配套能力持续迭代成熟，我国自主大型聚变装置落地建设节奏显著提速，各类配套系统招标采购频次大幅提升。以 BEST 项目为例，该项目自 2025 年 10 月起开启高密度集中招标，仅 2025 年 11 月单月释放采购规模便突破 20 亿元。中科院合肥物质院等离子体所于 2025 年 11 月同步发布四大氦燃料循环配套项目招标，四项工程合计预算约 13.45 亿元。

表 15：大型核聚变项目招标情况

装置/项目	时间	采购部件/内容	中标方	中标金额(约)
CRAFT	2024.12	导体平台背场线圈制造及检测-01包	曦合超导	3449万
CRAFT	2025.01	6KW 氦制冷机冷箱外围系统	镇江建设集团	896.6万
CRAFT	2025.03	NNBI 超高压电源 200kV/150Hz 升压换流变压器	山东电力设备有限公司	766万
CRAFT	2025.04	低温综合测试平台及透平测试冷箱	中科清能	3180万
BEST	2024.04	真空室扇区	合锻智能	2.09亿
BEST	2025.11	偏滤器靶板及集成	安泰科技	6990.85万
BEST	2025.12	磁体电源储能系统	宁波新容(王子新材子司)	7980万
BEST	2025.12	低温分配阀箱	杭氧股份	1898万
BEST	2025.12	CC、CS、PF 磁体电源-1标段	通达电磁能	7691万
CFEDR	2025.12	内燃料循环平台	中国工程物理研究院材料研究所	3.2亿
CFEDR	2025.12	液态包层氦提取系统	中国工程物理研究院材料研究所	1.79亿
CFEDR	2025.12	固态包层氦提取与回收实验平台	中国工程物理研究院核物理与化学研究所	2.1亿
CFEDR	2025.12	氦安全防护平台	中国工程物理研究院材料研究所	4.37亿
HL-3	2026.01	主机光纤传感监测系统	理工光科	未披露

资料来源：聚变新能官网，中国政府采购网，中国科学院，中国核电网，杭氧股份官网，iFind等，德邦研究所

当前国内核聚变领域已初步构建上游核心材料、中游关键装备、下游装置集成的民营及混合所有制完整产业链。据《2026 可控核聚变研究报告》，整体产业特征清晰：上游聚焦高精尖材料、技术门槛高；中游核心设备壁垒显著；下游以重资产大科学装置与商业示范堆为主。

➤ 上游以超导材料、特种结构材料、辅助功能材料为核心。

- 超导材料：低温超导线材领域，西部超导为行业龙头，深度参与 ITER，并为 CRAFT、BEST 等本土重大项目供应材料；高温超导带材赛道竞争活跃，上海超导、永鼎股份、精达股份布局核心原材料，联创光电旗下联创超导绑定“火星一号”聚变-裂变混合堆项目。
- 特种结构材料：安泰科技在钨基面向等离子体部件技术领先，产品落地 EAST、ITER；国光电气供应偏滤器、第一壁等真空室内部件，应流股份、久立特材供应特种合金结构件和管道相关产品。
- 辅助功能材料：旭光电子主打大功率电真空器件，雪人股份、杭氧股份布局低温制冷配套设备。

➤ 中游聚焦超导磁体、真空室构件、特种电源、低温杜瓦等核心装备。超导磁体相关制造由上海翌曦科技、联创超导承接；合锻智能切入大型真空室结构件领域，已中标 BEST 项目；英杰电气、爱科赛博、四创电子等供应大功率脉冲电源；航天晨光在低温杜瓦系统具备制造优势。

➤ 下游分为国家队重大科学装置与民营商业聚变项目两大阵营。

- 国家队方面，中科院等离子体所依托 EAST、CRAFT、BEST 等托卡马克装置开展技术验证，依托聚变新能推进产业转化；中核集团及核工业西南物理研究院主导环流器系列装置与 CFETR 工程堆建设，牵头成立中国聚变能源有限公司。
- 民营主体以系统集成为主线，能量奇点、星环聚能、新奥科技等企业分别布局不同技术路线的商业示范堆，多元化开展聚变商业化探索。

5. 风险提示

技术风险：等离子体在高约束模下的高频不稳定性、反常输运等底层物理细节仍有待突破，存在工程堆三重积达不到预期的风险。

进度风险：若核聚变项目商业化落地进度不及预期，则市场对行业的估值溢价或将下降，存在进一步影响企业融资的风险。

竞争风险：若光伏+长时储能、下一代安全裂变堆（第四代快堆/小堆）等成本快速下降，将竞争加剧或将压缩核聚变未来的商业溢价。

信息披露

分析师与研究助理简介

翟堃，所长助理，中国人民大学金融硕士，天津大学工学学士，11 年证券研究经验，曾获 2024 年东方财富 Choice 煤炭最佳分析师，2022 年上海证券报能源行业第二名，2021 年新财富能源开采行业入围，2020 年机构投资者（II）钢铁、煤炭和铁行业第二名。

分析师声明

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人不保证该等信息的准确性或完整性。分析逻辑基于作者的职业理解，清晰准确地反映了作者的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

投资评级说明

1. 投资评级的比较和评级标准： 以报告发布后的 6 个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期市场基准指数的涨跌幅；	类 别	评 级	说 明
2. 市场基准指数的比较标准： A 股市场以上证综指或深证成指为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	股票投资评级	买入	相对强于市场表现 20%以上；
		增持	相对强于市场表现 5%~20%；
		中性	相对市场表现在-5%~+5%之间波动；
		减持	相对弱于市场表现 5%以下。
	行业投资评级	优于大市	预期行业整体回报高于基准指数整体水平 10%以上；
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%与 10%之间；
		弱于大市	预期行业整体回报低于基准指数整体水平 10%以下。

法律声明

德邦证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

市场有风险，投资需谨慎。本报告所载的信息、材料及结论只提供特定客户作参考，不构成投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况。在法律许可的情况下，德邦证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经德邦证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。如欲引用或转载本文内容，务必联络德邦证券研究所并获得许可，并需注明出处为德邦证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。

根据中国证监会核发的经营证券业务许可，德邦证券股份有限公司的经营范围包括证券投资咨询业务。