


核聚变：商业化引领未来能源走进现实

分析师：贺朝晖 S0910525030003

周涛 S0910523050001

2025年4月2日

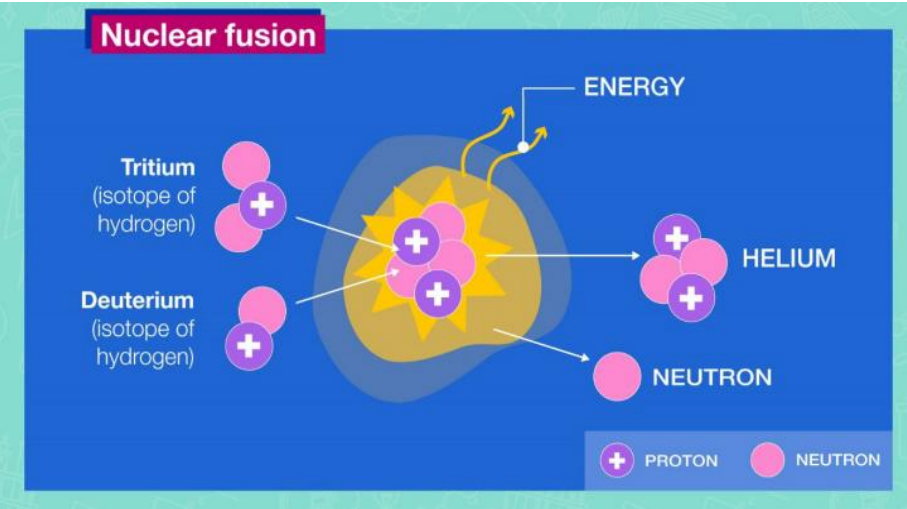
- ◆ **核聚变：能源革命新纪元，资本与科技双轮驱动。**可控核聚变有三种技术路线（引力约束、惯性约束与磁约束），其中托卡马克磁约束聚变是国际主流技术路线。2020年来，中/美/日/英/德等多个国家政府均通过制定国家战略和产业政策，推动核聚变技术的研发和应用，截止24年7月，核聚变行业已吸引超过71亿美元投资。AI算力需求激增，科技巨头加速布局核能领域，技术选择偏好上看，短期呈现出依赖现有核电基础设施重启（如三哩岛）或SMR部署，快速满足AI算力需求；中长期则聚焦核聚变，目标实现商业化突破。同时，AI在数据分析、智能预测、实时控制等方面的优势，正在成为推动核聚变研究和应用的重要力量。可控核聚变被视为未来最具潜力的清洁能源之一，它的实现将为AI提供强大而稳定的电力支持，二者相辅相成，共同发展。
- ◆ **核心技术突破与装置迭代，商业化进程加速，BEST项目迎密集招标。**近年来，美国、欧洲、日本等聚变装置持续实现里程碑测试突破，25年2月，美国核聚变商业公司Helion Energy宣布计划在华盛顿马拉加建造世界首座核聚变发电厂。我国核聚变也逐步向工程应用迈进，如我国自行设计研制的世界上第一个“全超导非圆截面托卡马克”核聚变实验装置EAST，在25年1月，实现超过1亿度1066.76秒的高约束模等离子体运行，后续BEST项目已与3月初完成首块顶板顺利浇筑，旨在推动聚变能从实验室走向商业化应用。产业链已迎来密集招标。聚变新能、中科院等离子体物理研究所公布了多项招标公告，涵盖水冷系统水泵、水冷系统6000T冷却塔和中压高压氦气纯化器等多个环节。
- ◆ **超导磁体+偏滤器是托卡马克关键组成部分。**超导磁体几乎占托卡马克成本的一半。目前，高温超导线材良率已提升至90%，高温超导技术发展可缩短可控核聚变装置建设周期，使聚变发电初步具备商业化潜力。偏滤器是中心等离子体与聚变材料相互作用的主要区域，性能优劣直接影响核聚变装置的运行安全性与使用寿命。
- ◆ **投资建议：**建议关注核聚变核心部件供应商合锻智能（603011.SH）、超导材料供应商西部超导（688122.SH）与联创光电（600363.SH）以及偏滤器供应商国光电气（688776.SH），看好核电设备龙头东方电气（600875.SH）、核级阀门领军企业中核科技（000777.SZ），核级材料供应商应流股份（603308.SH）与广大特材（688186.SH）等。此外，核电运营与建设方面，建议关注行业龙头中国核电（601985.SH）、中国广核（003816.SZ）、中国核建（601611.SH）等。
- ◆ **风险提示：**政策落地不及预期、技术迭代风险、安全事故风险。

-  01 核聚变：能源革命新纪元
-  02 政策加码与AI赋能：资本与科技双轮驱动
-  03 全球竞速：核心技术突破与装置迭代
-  04 商业化进程加速：万亿市场爆发前夜
-  05 投资建议
-  06 风险提示

1.1 核聚变是未来的终极能源

- ◆ 可控核聚变被视为未来终极能源。核聚变是两个轻原子核结合形成一个较重原子核，同时释放大量能量的过程。从一种原子核变为另外一种原子核往往伴随着大量能量的释放。可控核聚变由于原料资源丰富、释放能量大、安全清洁、环保等优势，能基本满足人类对于未来理想终极能源的各种要求。
- ◆ 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_E ），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（ $5 \times 10^{21} \text{m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{keV}$ ）能产生有效的聚变功率输出。

核聚变工作原理



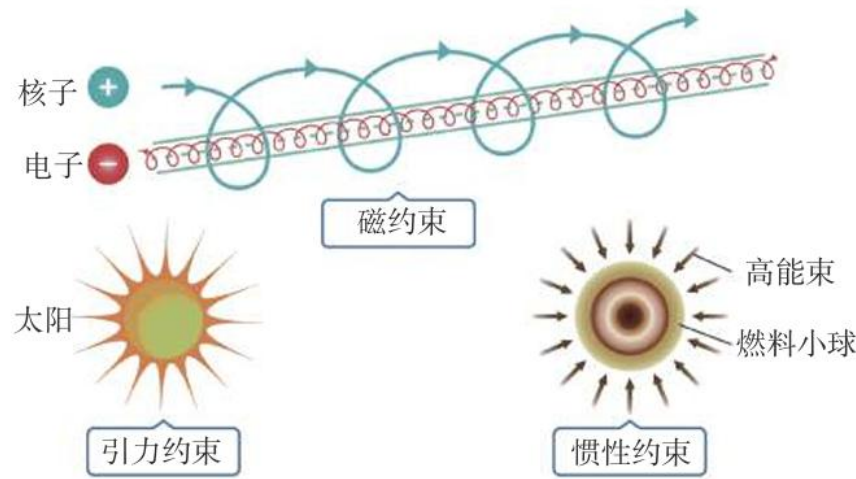
核聚变反应三要素

<p>$T \sim 1 \text{ 亿度}$ 温度 \rightarrow Plasma (聚变反应在极高温度下才能发生) 约为10倍太阳芯部温度</p> <p>It is necessary to keep the plasma at a high temperature, in order to initiate and sustain the fusion reaction.</p> <div><div>Low temperature</div><div>High temperature</div></div>	<p>$n \sim 1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 密度 (聚变反应率与密度成正比) 约为大气密度的百万分之一， 正比于装置平均电流密度 I_p/R^2</p> <p>Keep the plasma density high enough to have effective fusion reactions.</p> <div><div>Low density</div><div>High density</div></div>	<p>$\tau_E > 3 \text{ s}$ 能量约束时间 (聚变反应率与约束时间成正比) 正比于装置的尺寸和电流 I_p/R^2， 装置越大约束越好</p> <p>Make the plasma confinement (thermal insulation) good enough to maintain high temperature.</p> <div><div>Bad thermal insulation</div><div>Good thermal insulation</div></div>
<p>聚变三乘积: $P_{\text{fusion}} \propto n \cdot T \cdot \tau_E > 10^{21} \text{ m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{keV}$ (实现点火的劳逊判据)</p>		

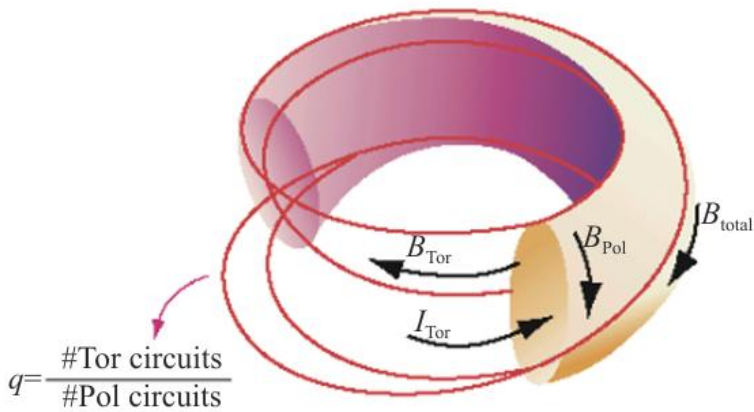
1.2 核聚变的三大技术路线

◆ 可控核聚变有三种技术路线，磁约束核聚变是国际主流。引力约束是靠强大的万有引力来提供对聚变燃料的约束力，目前无法在地球上实现；惯性约束是以多束极高精度激光从四面八方一个非常微小的聚变燃料丸倾注能量，产生瞬间的高温和高压，使聚变燃料的密度在短时间达到极限值，从而引发核聚变反应；磁约束是指用磁场来约束等离子体中带电粒子的运动，通过将聚变燃料完全电离形成的等离子体置身于强磁场的空间，带电的原子核与电子在垂直于磁场方向只能沿着磁场方向做回旋运动。其中基于托卡马克装置的磁约束核聚变是目前最有希望实现聚变能和平利用的途径。

聚变约束的三种途径



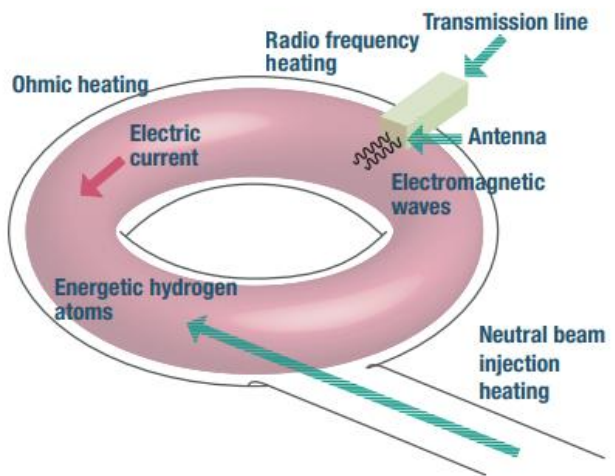
托卡马克约束磁场示意图



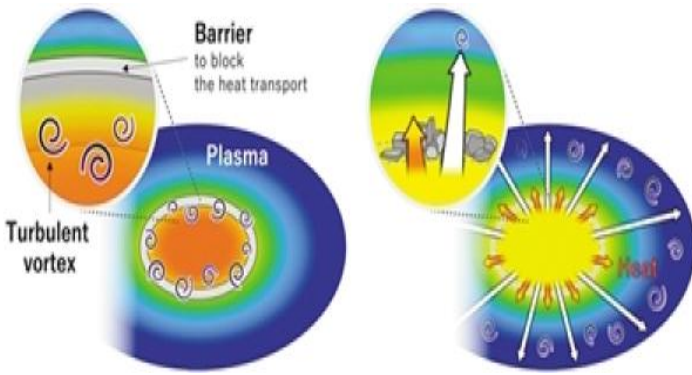
1.3 提高聚变效率是主要挑战

- ◆ 如何维持等离子体稳定和提高聚变反应效率是主要技术挑战。实现核聚变反应需要将氘氚原子核压缩到很小尺度的核力范围（10⁻¹⁵米）内，但由于原子核带正电，必须获得足够的能量或在特殊环境下才能克服彼此间的库仑势垒。在等离子体聚变技术中，磁场将等离子体束缚在一定范围内，当等离子体被加热到足够高的温度（1亿度以上）和密度时，才能发生聚变反应。
- ◆ 对等离子体进行磁约束需控制“湍流”现象发生。达到聚变条件后，还需对高温聚变物进行约束，以获得持续的核聚变能。当氘核与氚核间发生聚变反应时，在此高温条件下，任何固态容器都会在极短时间内气化。大多数聚变反应堆都是基于使用磁场的等离子体约束，但在受磁场约束的高温等离子体中会产生“湍流”，热量和粒子被传输至边缘，最终损坏反应堆并缩短其运行寿命。

托卡马克聚变反应堆的三个外部加热源



高温等离子体“湍流”现象



- 01 核聚变：能源革命新纪元
- 02 政策加码与AI赋能：资本与科技双轮驱动
- 03 全球竞速：核心技术突破与装置迭代
- 04 商业化进程加速：万亿市场爆发前夜
- 05 投资建议
- 06 风险提示

2.1 核聚变行业政策加码

- ◆ 2020年来，全球多个主要国家都将可控核聚变视为未来能源发展的战略方向，并出台了相应的政策支持。中国、美国、日本、英国和德国等国家政府，均通过制定国家战略和产业政策，推动核聚变技术的研发和应用。
- ◆ 各国政府正在加大对核聚变的投资力度。2023年9月，德国宣布未来五年内将追加3.7亿欧元用于核聚变建设；2024年7月，韩国政府决定将投入1.2万亿韩元(8.66亿美元)用于开发核聚变反应堆；2025年1月，美国能源部为“聚变创新研究引擎”项目投入1.07亿美元，英国政府宣布斥资4.1亿英镑加速核聚变能源建设，

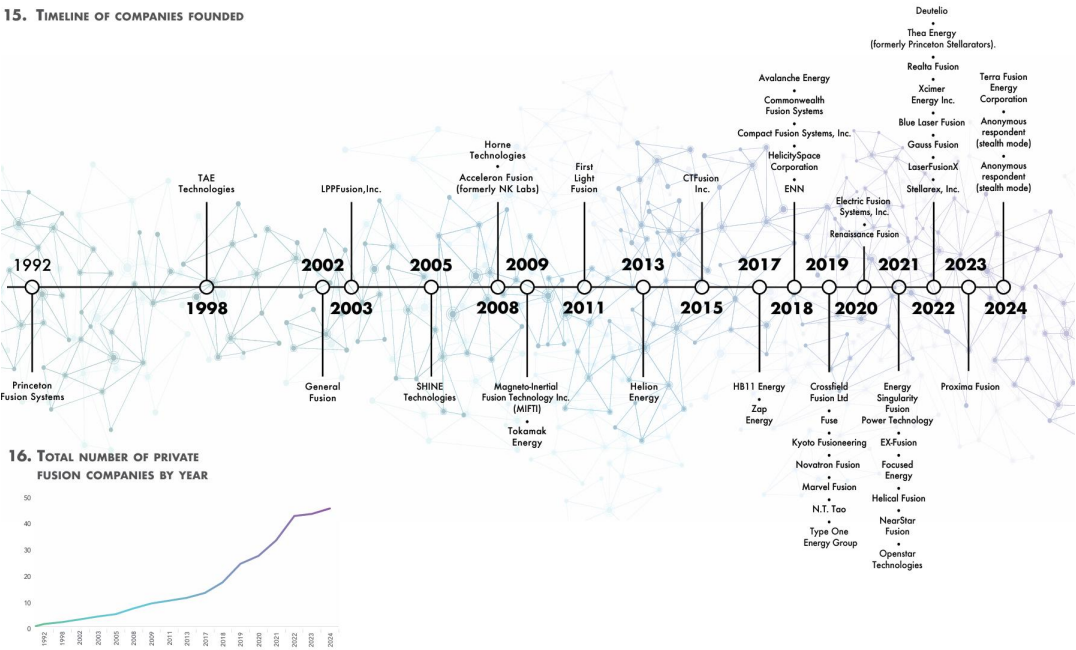
各国推进核聚变的相关政策

国家	时间	文件名称	主要内容
中国	2024年10月	《培育和发展新质生产力 推动国资央企高质量发展》	超前布局、梯次培育核聚变产业，加快打造一批具有国际竞争力的战略性新兴产业集群和产业领军企业。
美国	2024年7月	《ADVANCE（加速部署多功能先进核能以促进清洁能源法案）》	巩固美国核能全球领导地位，支持先进反应堆开发和部署，保护现有核电厂，加强核燃料循环、供应链建设和人才培养，提高核管会效率。
英国	2021年10月	《Towards Fusion Energy: The UK Fusion Strategy》	推进英国从聚变能科技强国向聚变能工业强国发展，在全球率先建成聚变能示范电站，并发展全球领先的聚变能产业
德国	2025年1月	《Nuclear Fusion Made in Germany》	推动德国聚变领先地位的关键策略，明确聚变发展路线图，倡导开展技术中立的基础研究，建议建设惯性聚变和磁约束聚变示范电站
日本	2023年4月	《Fusion Energy Innovation Strategy》	旨在利用本国技术优势实现聚变能产业化发展，在未来商业化利用聚变能中占据主导地位

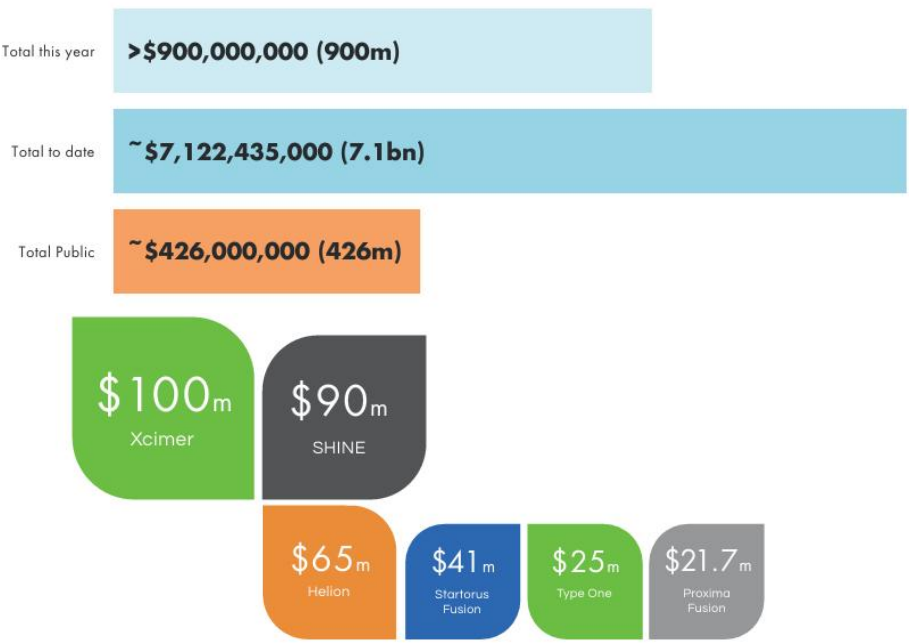
2.2 核聚变行业投融资热度升温

- ◆ 截止2024年7月，核聚变行业已吸引超过71亿美元的投资。其中新资金超过9亿美元，且有4.26亿美元来自政府等公共资金，同比+57.2%。
- ◆ 截止2024年7月，许多私营核聚变公司也获得了重要融资。其中包括Xcimer公司（1亿美元）、SHINE公司（9000万美元）和Helion公司（6500万美元）。2025年2月10日，Helion核聚变公司获4.25亿美元F轮融资，总投资额超过10亿美元。

私营聚变公司成立时间线



私营聚变公司融资情况（截止2024.7）



2.3 AI 驱动下的核聚变：电力焦虑下，科技巨头布局加码

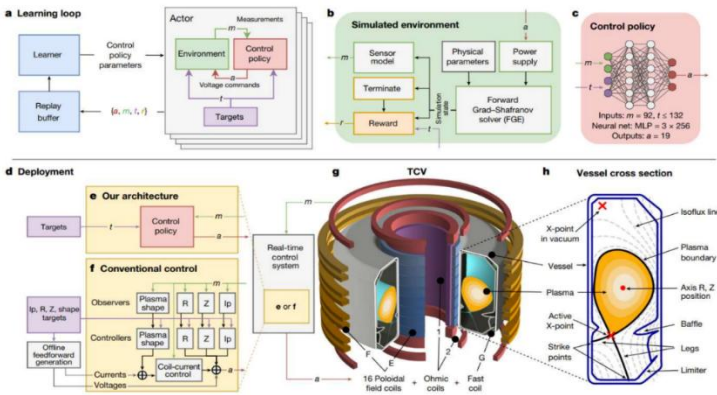
- ◆ AI算力需求激增，美国科技巨头加速布局核能领域，涵盖核裂变与核聚变技术。核能作为基荷能源优势彰显，可保障数据中心7×24小时不间断运行。核电零碳属性契合企业ESG承诺，脱碳目标叠加电力稳定性要求，当前已成为科技巨头缓解AI算力扩张与碳中和目标的矛盾的重要选项。
- ◆ 短期优先核裂变，中长期看好核聚变。技术选择偏好上看，短期呈现出依赖现有核电基础设施重启（如三哩岛）或SMR部署，快速满足AI算力需求；中长期则聚焦核聚变，通过投资初创企业锁定未来清洁能源技术红利，目标实现商业化突破。

	核裂变	核聚变
微软	2024年与星座能源（Constellation Energy）签署20年购电协议，计划重启三哩岛核电站1号机组，预计2028年恢复供电，优先用于支撑AI数据中心电力需求。	2023年与核聚变技术公司Helion Energy签署协议，计划2028年前采购其首个商用核聚变装置（Trenta）生产的50MW电力。
谷歌	2024年谷歌与核能初创公司凯罗斯电力（Kairos Power）签订协议，计划向后者购入拟建的6-7个小型模块化核反应堆（SMRs）的电力，总容量达500兆瓦。	与TAE Technologies合作，将机器学习应用于不同类型的聚变反应堆——加速实验数据的分析。旗下子公司DeepMind用AI控制核聚变反应登上《Nature》。
亚马逊	2024年以6.5亿美元收购Talen Energy的一座核电驱动数据中心，并与星座能源达成协议，锁定东海岸核电站电力供应。	2021年，参与了General Fusion 1.3亿美元的E轮融资；2022年，参与了TAE Technologies的2.5亿美元融资。

2.3 AI 驱动下的核聚变：AI赋能精确控制，加速发展

- ◆ AI在核聚变中运用广泛：1) 模拟和预测：AI可以用于模拟和预测核聚变反应的行为。通过对已知反应的数据进行训练，可以开发出能够预测和优化核聚变反应的AI模型。2) 实时监测和控制：通过使用机器学习算法，可以从传感器数据中提取有用的信息，例如温度、压力和辐射水平，并用这些信息来控制反应堆的运行参数。3) 数据分析和处理：通过使用机器学习算法，可以从数据中发现聚变反应隐藏的模式和趋势。4) 聚变反应堆设计：通过使用机器学习算法，可以优化反应堆的几何形状和运行参数，以提高聚变反应的效率和稳定性。
- ◆ AI加快聚变实验进程。2022年2月，DeepMind与瑞士洛桑联邦理工学院的合作展示了利用AI在所有放电实验阶段实现精确的等离子体控制的潜力。2024年2月，普林斯顿团队通过训练神经网络，提前300毫秒就预测了核聚变中的等离子体不稳定态（这个时间足够约束磁场调整应对等离子体的逃逸），可控核聚变实现新突破。2024年10月，普林斯顿等离子体物理实验室开发出的突破性的AI模型将等离子体加热预测速度提高了1000万倍。

AI控制核聚变的学习控制和训练架构件



AI对核聚变研发进程提速示意图

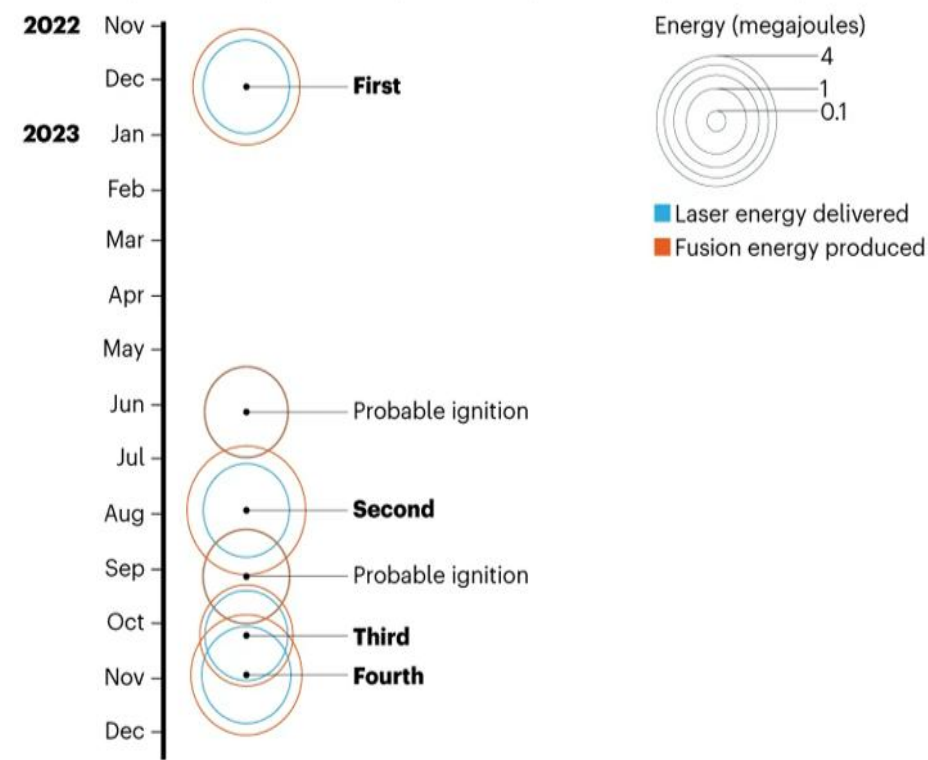
阶段	原预计实现时间	AI赋能后预计时间
控制稳定性验证	2030年	2025~2026年
连续放电1000秒以上	2035年	2028年左右
商用能量输出系统建成	2045年	有望2035年前
成本接近风电平价	原2048年	加速至2040年前后

- 01 核聚变：能源革命新纪元
- 02 政策加码与AI赋能：资本与科技双轮驱动
- 03 全球竞速：核心技术突破与装置迭代
- 04 商业化进程加速：万亿市场爆发前夜
- 05 投资建议
- 06 风险提示

3.1 美国：计划开建世界首座核聚变发电厂

- ◆ **NIF**：2022年12月13日，美国国家点火设施（NIF）首次实现聚变点火。2023年，NIF又接连进行了三次点火实验，分别在7月30日、8月8日和10月30日，都成功地实现了核聚变能量超过激光能量，其中最高一次达到了3.88MJ，比输入能量增加了89%，相当于燃烧300公斤的汽油。
- ◆ **SPARC**：麻省理工学院等离子体科学与融合中心（PSFC）主持研究开发新一代的托卡马克核聚变堆SPARC，于2021年开始建造，为期四年完成。SPARC使用由新型高温钇钡铜氧化物（YBCO）制成的强力磁体来产生等离子体，产生的能量是在高温下维持等离子体所需能量的两倍，从而使融合增益 $Q>2$ ，并能在10秒内实现高达140MW的聚变功率。2025年1月，Commonwealth Fusion Systems (CFS) 宣布公司已经完成了聚变机SPARC上超过一半的环向场磁体线圈单元的制造。
- ◆ **DIII-D**：2024年10月，美国DIII-D国家聚变设施达成了20万次实验性“点火”测试里程碑。
- ◆ **Helion Energy**：2025年2月，美国的核聚变商业公司Helion Energy宣布计划在华盛顿马拉加建造世界首座核聚变发电厂。

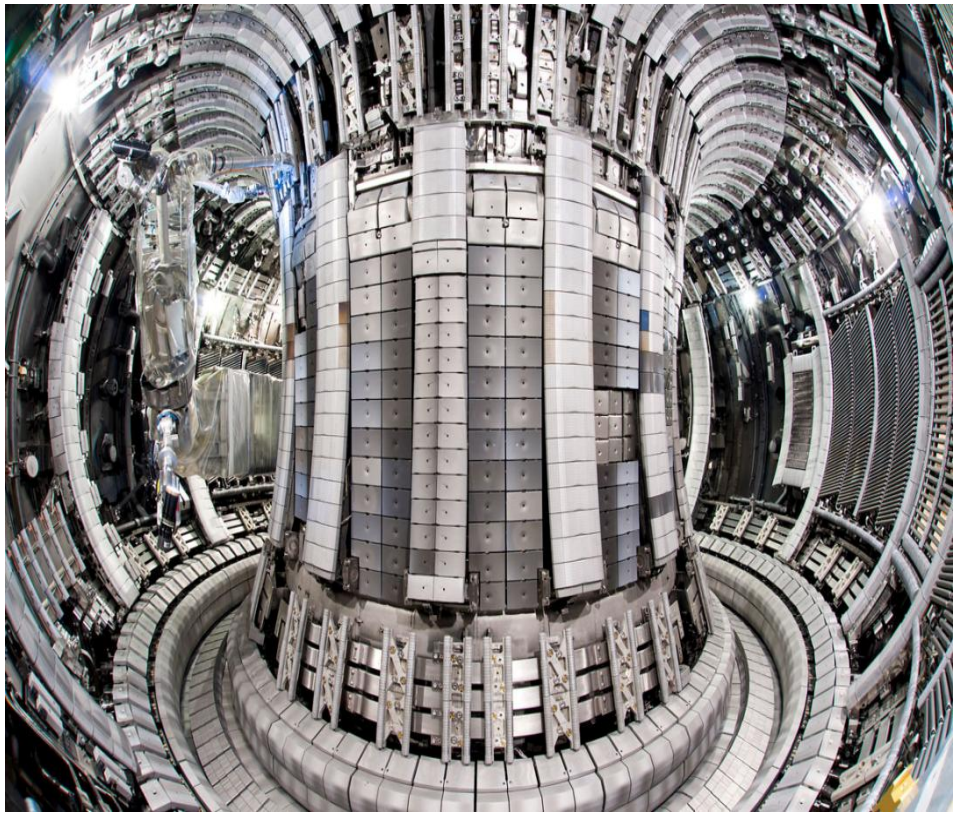
NIF一年内实现四次成功点火



3.2 欧洲：拥有世界上最大在运托卡马克装置

- ◆ **JET**：于1978年开始建造，位于英国牛津郡库勒姆聚变能源中心的欧洲联合环面（JET）是现有的唯一可以使用氘-氚燃料混合物运行的托卡马克设施，该燃料混合物也将用于未来的聚变发电厂。在JT-60SA开始运行之前，JET一直是世界上最大的在运托卡马克装置，并在1983年实现了第一个等离子体试验。JET数十年的实验优化了氘-氚的聚变反应，并帮助开发了管理燃料滞留、热排放和材料演变的技术。
- ◆ JET的核心是一个真空容器，目前该容器容纳了90m³的聚变等离子体。高性能氘-氚实验始于1997年，自2011年以来，真空容器的第一个壁由铍和钨制成，取自ITER的建设经验。多年来，该设施创下了多项纪录，包括1997年创纪录的0.64的Q-等离子体（产生的聚变功率与加热等离子体的外部功率之比），2021年12月创纪录的5秒脉冲内59MJ的聚变能量输出以及2024年2月再次创纪录的仅用0.2毫克燃料维持69MJ聚变能长达5秒。

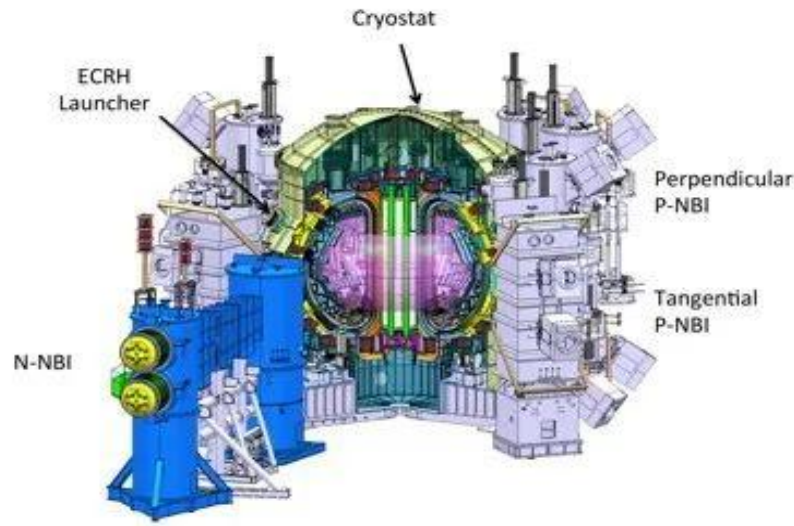
JET托卡马克设施内部



3.3 日本：已实现将等离子体加热至2亿度

- ◆ **JT-60SA**：JT-60SA位于茨城县日本原子能研究开发机构（JAEA）内，目前是世界上最大的热核聚变实验装置是世界上最大的热核聚变实验装置。JT-60SA于2023年11月2日成功点火，达到满功率后可将等离子体加热到2亿摄氏度并维持约100秒。JT-60SA的工作为ITER的建造以及日本示范发电厂—DEMO的实现奠定了基础。2024年10月，JT-60SA创造了160立方米等离子体体积的新纪录。2025年2月，日本宣布用新部件升级JT-60SA。

JT-60SA设备结构图



JT-60SA的里程意义



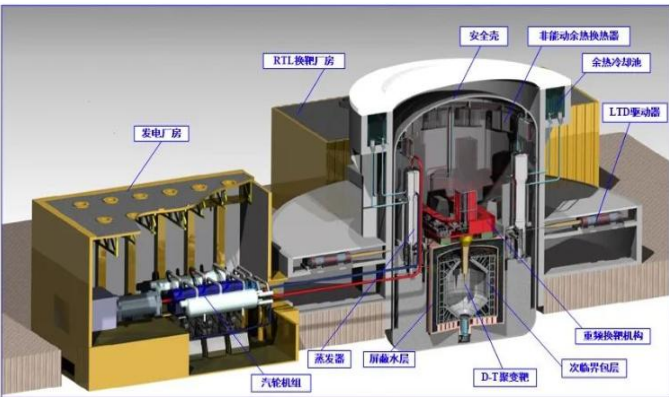
3.4 中国：已逐步实现工程目标

- ◆ **HL-2M**：环流三号（HL-2M）托卡马克装置是HL-2A的改造升级装置。2022年11月，等离子体电流首次突破100万安培。2023年8月25日，首次实现100万安培等离子体电流下的高约束模式运行。2024年11月，启动新一轮物理实验，首次使用数字孪生系统。
- ◆ **EAST**：EAST是我国自行设计研制的世界上第一个“全超导非圆截面托卡马克”核聚变实验装置。工程目标：电流1兆安、温度1亿摄氏度、运行维持1000秒。2012年实现30秒高约束模，2016年实现60秒高约束模，2017年实现101秒高约束模。2021年12月，EAST实现最长的稳态高温等离子体运行（1056 秒），即具有类似ITER的配置和加热方案的长脉冲高性能运行。2023年4月，EAST实现1.2亿摄氏度下403秒长脉冲稳态高约束模式运行，刷新2017年101秒的世界记录；2025年1月，实现超过1亿度1066.76秒的高约束模等离子体运行。
- ◆ **Z-FFR**：中国工程物理研究院提出的Z箍缩驱动聚变-裂变混合能源堆（Z-FFR）通过电磁内爆驱动DT靶聚变，提供14MeV高能中子源，与次临界包层中的U-238发生裂变等反应，后者衰变产生Pu-239在热中子作用下进一步裂变，从而释放巨大能量并输出大量中子。2023年11月12日，江西人民政府与中核集团、联创光电宣布合作投资200亿联合建设聚变-裂变混合实验堆项目，技术目标为Q值大于30，实现连续发电功率100MW。目前我国已批准建造50兆安Z-箍缩驱动器实验装置，“星火一号”聚变-裂变混合示范堆已于2024年启动，有望2025年开工建设，中国工程物理研究院预计2028年左右实现能源规模的聚变，2035年左右建成商用示范堆，实现示范发电。

EAST装置



Z-FFR装置



3.4 中国：“BEST”项目持续推进，招标景气

- ◆ **BEST**：2025年3月5日，BEST项目首块顶板顺利浇筑，标志着工程全面进入分区完工、分区交付的阶段。作为全超导托卡马克装置EAST的后续项目，BEST将首次演示聚变能发电，提升核聚变能源的经济性和可行性。
- ◆ **产业链已迎来密集招标**。聚变新能、中科院等离子体物理研究所公布了多项招标公告，多个项目预算金额达到千万以上。涵盖170GHz回旋管、CRAFT低温综合测试平台水冷系统水泵、磁体性能研究平台终端阀箱等多个环节。

聚变新能采购项目

采购项目	需求概况	截止时间
中压氦气储罐	300m³中压氦气储罐（含辅材）采购17套，其中304材质的4套，Q345+304材质的13套	2025年4月17日
水冷系统变频离心式冷水机组	含6台离心式冷水机组	2025年4月10日
水冷系统6000T冷却塔	水冷系统6000T冷却塔采购	2025年4月7日
水冷系统水泵	水冷系统离心泵7套采购	2025年4月7日
关键核心装备研发能力提升项目施工总承包	本项目北至规划幸三路（暂定名），南至规划聚边路（暂定名），西至谭岗路，东侧与紧凑型聚变能实验装置园区相邻。	2024年6月26日
气密门屏蔽门	预计采购气密门65樘，屏蔽门68樘	2024年6月25日
第二批预埋件	预计采购预埋件规模2557吨	2024年6月6日

中科院等离子体物理研究所采购项目

采购项目	需求概况	预算金额（万元）	截止时间
170GHz回旋管	10套，回旋管工作频率：170GHz±0.3GHz	20000	2025年4月8日
170GHz回旋管	10套，回旋管工作频率：170GHz±0.3GHz	20000	2025年4月18日
CRAFT低温综合测试平台及透平测试冷箱	1套低温综合测试平台，1个透平测试冷箱	3500	2025年4月22日
磁体性能研究平台终端阀箱及其传输线设计制造	4.5K终端阀箱主体、50K终端阀箱主体、整体设计制造、主机系统低温传输线（4.5K）、低温气回收传输线（50K）、真空系统及管道的制造和安装	1925	2025年3月21日
TF磁体测试杜瓦及其附属部件	/	1500	2025年4月3日
低温综合测试平台压缩组及除油系统	2套，低压压力1.05bara，中压压力4.65bara，高压压力21bara等	1400	2025年4月18日
磁体测试传输线	电流引线罐、过度馈线（6条Busbar）、与杜瓦法兰连接端及真空隔断、内馈线（4对）	1385	2025年3月20日

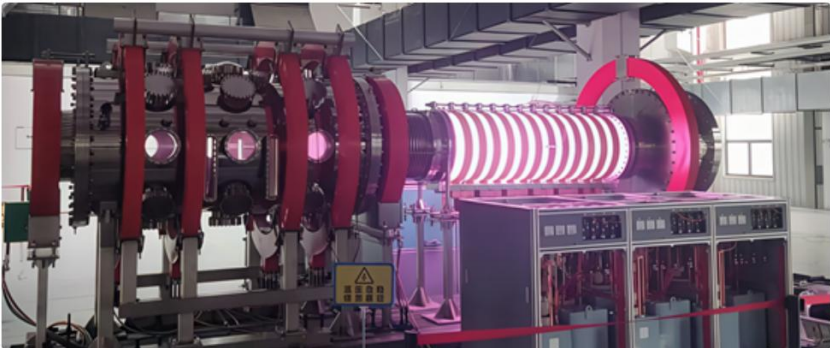
3.4 中国：多家私营聚变企业获得重大突破

- ◆ **星环聚能**：2024年8月，星环聚能在球形托卡马克等离子体优化方面取得重大突破，成功实现一种优化位形，为可控核聚变技术发展注入新活力。11月，公司宣布将启动负三角球形托卡马克NTST的建设，该装置有望成为全球首个负三角球形托卡马克，为构建更高效、经济的聚变反应堆奠定基础。此外，星环聚能计划：预计在2027年建成下一代实验装置CTRFR-1，连续稳定地通过重复重联方案将等离子体加热至一亿摄氏度，用于彻底验证可控聚变的工程可行性。接下来再用3至5年的时间建设一个能够输出电能的聚变反应堆。
- ◆ **能量奇点**：能量奇点成立于2021年的上海，团队核心技术为高温超导磁体。2024年6月，能量奇点成功研发了全球首台全高温超导托卡马克装置——洪荒70，并获得第一等离子体，标志着其成为全球首个建成运行全高温超导托卡马克的团队和商业公司。2024年12月，洪荒70中心场强达到1.02特斯拉，装置性能显著提升。2025年3月10日，能量奇点宣布其研制的“经天磁体”在高温超导磁体技术领域取得重大突破，完成了首轮通流实验，产生了高达21.7特斯拉的磁场，创下大孔径高温超导D形磁体的最高磁场纪录。
- ◆ **星能玄光**：星能玄光自主研发并制造了场反位形装置—Xeonova-1。2024年12月20日，装置主体的真空室和磁场线圈进场安装；2025年1月20日，电源和控制系统系统进场安装并调试；2025年2月20日，电源调试完毕并成功放电。

洪荒70装置



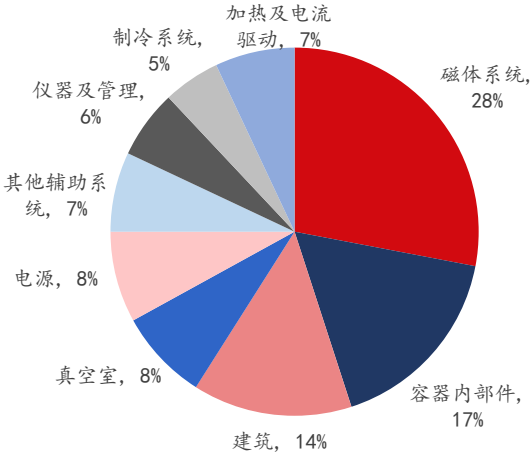
Xeonova-1装置



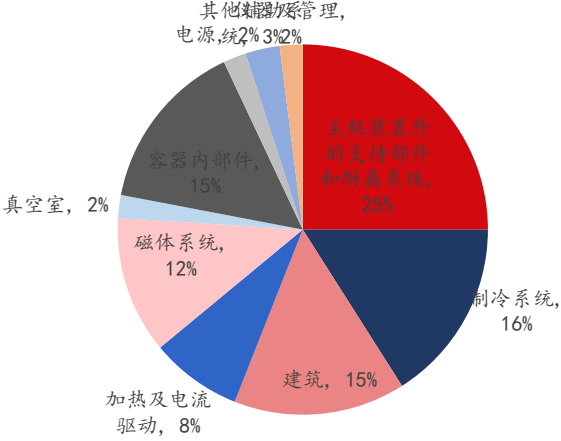
3.5 ITER项目核电站潜力大

- ◆ 1985年，国际热核聚变实验反应堆（ITER）得以确立，目标是要建造一个可持续燃烧的托卡马克聚变实验堆以验证聚变反应堆的工程可行性。目前合作承担ITER计划的七个成员是欧盟、中国、韩国、俄罗斯、日本、印度和美国。
- ◆ 2020年7月，ITER托卡马克装置安装工程启动，预计2025年完成建设并进行第一次等离子放电试验。托卡马克装置的等离子体体积为830m³，磁体系统由18个环形磁场磁铁、6个极化磁场线圈、1个13米高的中央螺线管、18个超导校正线圈、31个超导磁体馈线和29个非超导容器内线圈组成，其中部分超导线材由西部超导完成供应。偏滤器将由54个不锈钢部件组成，每个部件重10吨，由国光电气参与供应。
- ◆ ITER项目预估成本为220亿美元，其中磁体系统、容器内部件、建筑占比最高，分别达到28%、17%、14%。在实际建造中，工厂总体成本（包括建筑成本和主机装置外的支持部件和附属系统）被大大低估，ITER的预算也在逐年上升。根据核聚变发电厂DEMO的成本估算，工厂总体成本将上升至40%，制冷系统、容器内部件、磁体系统将分别占比16%、15%、12%。

ITER成本拆分



发电厂DEMO成本拆分



ITER主要参数

	1998年主要参数	2002年主要参数
聚变功率P _t /MW	1500	500（700）
燃烧时间/s	1000	≥400（Q≥10）
中子壁负载/（MW/m ² ）	1	0.57（0.8）
大半径R ₀ /m	8.1	6.2
小半径a/m	2.8	2
拉长比	1.6	1.70/1.85
三角形变	0.24	0.33/0.49
等离子体电流I _p /MA	21	15（17）
轴上磁场B _t /T	5.7	5.3
偏滤器位形	单零	单零
辅助功率/MW	100（加热）	73（加热+驱动）

-  01 核聚变：能源革命新纪元
-  02 政策加码与AI赋能：资本与科技双轮驱动
-  03 全球竞速：核心技术突破与装置迭代
-  04 商业化进程加速：万亿市场爆发前夜
-  05 投资建议
-  06 风险提示

4.1 核聚变进入举国体制时代

- ◆ 现阶段，我国热堆已经实现了规模化、批量化、国产化发展。截至2024年底，我国在运核电机组58台（世界第二），总装机容量为6088万千瓦（世界第三）；在建核电机组27台（世界第一），总装机容量为3230.9万千瓦（世界第一）。
- ◆ 我国快堆技术研究始于1960年代，目前快堆正由实验堆（原型堆）转向示范堆、商业堆，其潜在的商业价值被核能界寄予厚望。6.5万千瓦热功率的中国实验快堆的建立，标志着快堆技术实现了从0到1的突破。
- ◆ 2023年12月，以“核力启航 聚变未来”为主题的可控核聚变未来产业推进会召开。由25家央企、科研院所、高校等组成的可控核聚变创新联合体正式宣布成立，中国聚变能源有限公司揭牌。会上发布了第一批未来能源关键技术攻关任务，对推进聚变能源产业迈出实质性步伐具有重要的里程碑意义。2025年2月28日，中国核电、浙能电力拟共17.5亿元增资参股中国聚变能源有限公司。

热堆、快堆和聚变堆区别

	热堆	快堆	聚变堆
所用能源类型	核裂变能	核裂变能	核聚变能
所用中子类型	中子能量小于0.1eV的热中子	中子能量大于0.1MeV的快中子	—
工作原理	将裂变时释放出的中子减速后，再引起新的核裂变，形成链式裂变反应。由于中子的运动速度与分子的热运动达到平衡状态，这种中子被称为热中子	用钚-239为燃料，并在其外包裹一层铀-238。钚-239 裂变时释放多个中子，外围的铀-238 就会捕捉这些快中子，并转变为可裂变的钚-239。这样，核燃料越烧越多，快速增殖	用氢的同位素氘或氚作为燃料，通过高温、高压使其发生聚变反应，释放能量
当前我国发展水平	实现了规模化、批量化、国产化发展，形成的研发体系、人才队伍等为第二步快堆、第三步聚变的研发与设计建设奠定了良好的基础	目前，我国快堆已经形成了完备的科研技术体系，示范工程有序推进，后处理示范工程按计划建设	实施了一系列聚变技术攻关，先后建成EAST、HL-2M等核聚变装置，工程技术不断提升，研究和技术水平取得了长足进步，聚变理论与物理实验、工程技术等方面达到了世界领先水平
展望	核能多用途利用在更广泛领域支持清洁低碳转型，核能供热规模不断增大，核能海水淡化技术不断突破，规模化应用初现成效，核能制氢实现多场景应用，经济性不断提升	到2060年，预计我国快堆在运在建装机规模约1.8亿千瓦，其中在运装机规模1.53亿千瓦，在建装机规模2800万千瓦	2030年，实现可控核聚变；2040年，建成聚变先导工程实验堆，实现聚变能量输出；2045年，我国聚变示范堆建成，演示氦自持；2050年及以后，建成聚变商用堆，实现聚变能源应用，逐步提升经济性，积极推广商业化。

4.2 超导磁体+偏滤器是托卡马克关键组成部分

- ◆ 核聚变产业链包括上游原材料供应到中游技术研发、设备生产制造，及下游核电应用等。
- ◆ 产业链上游：上游覆盖有色金属（钨、铜等）、特种钢材、特种气体（氖、氩）等原料供应。
- ◆ 产业链中游：中游覆盖聚变技术研发、装备制造（第一壁、偏滤器、蒸汽发生器、超导磁线圈等组件）及仿真、控制软件的开发。核电设备主要由核岛、常规岛及辅助设备三大系统构成，其中核岛是整个核电站的核心，负责将核能转化为热能，是核电站所有设备中工艺最复杂、投入成本最高的部分，投资成本占比达到58%，并且市场参与者较少。
- ◆ 产业链下游：下游涵盖核电站运营及设备应用，主要目标市场为发电。此外在供热、医疗、科研等领域前景可观。

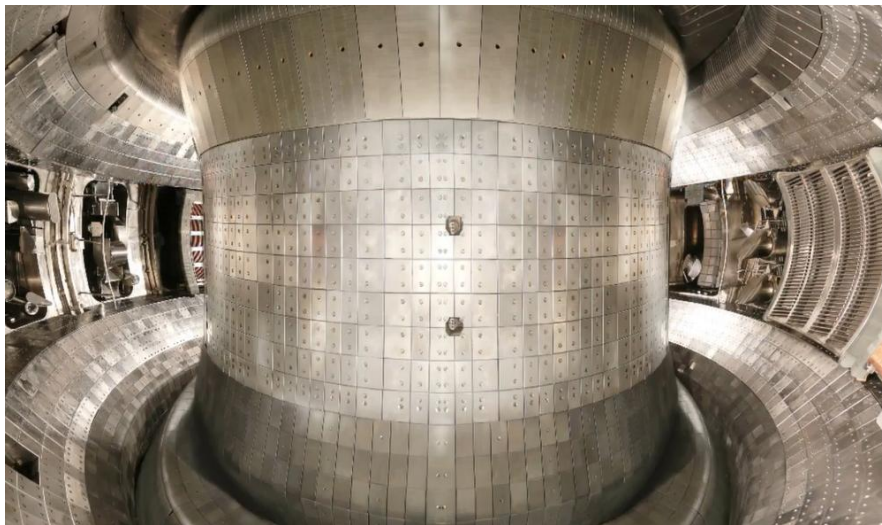
核聚变产业链



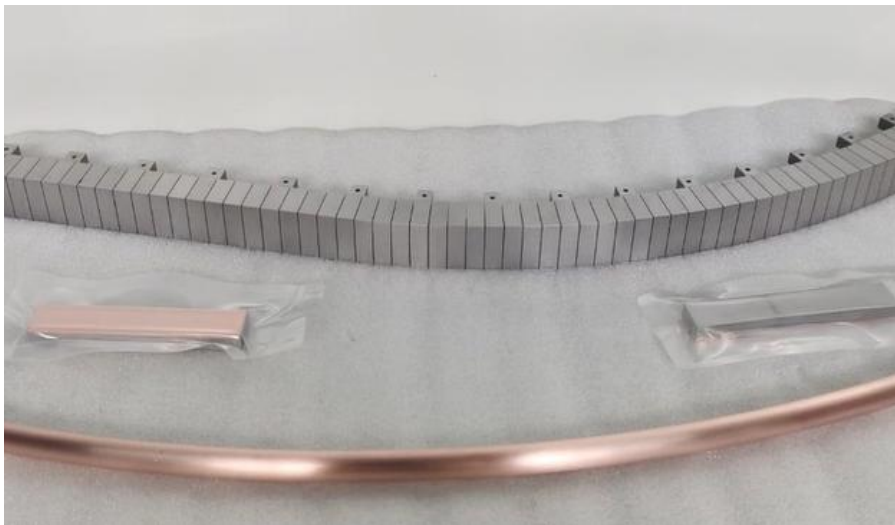
4.2 超导磁体+偏滤器是托卡马克关键组成部分

- ◆ 超导磁体是磁约束可控核聚变中托卡马克装置的关键组成部分，几乎占托卡马克成本的一半。目前，高温超导线材良率已提升至90%，开始工业化应用，基于高温超导材料的强磁场小型化托卡马克技术路线有望大幅降低聚变装置成本，建设期或将缩短到3至4年，大幅缩短技术迭代周期，也使聚变发电初步具备了商业化潜力。
- ◆ 偏滤器，是核聚变反应堆的重要组成部分。偏滤器负责连接中心等离子体与聚变燃料，是两者相互作用的主要区域，性能优劣直接影响核聚变装置的运行安全性与使用寿命，因此其材料选择、结构设计、制造工艺、检验测试等环节均有极高要求。

托卡马克中的偏滤器整体图



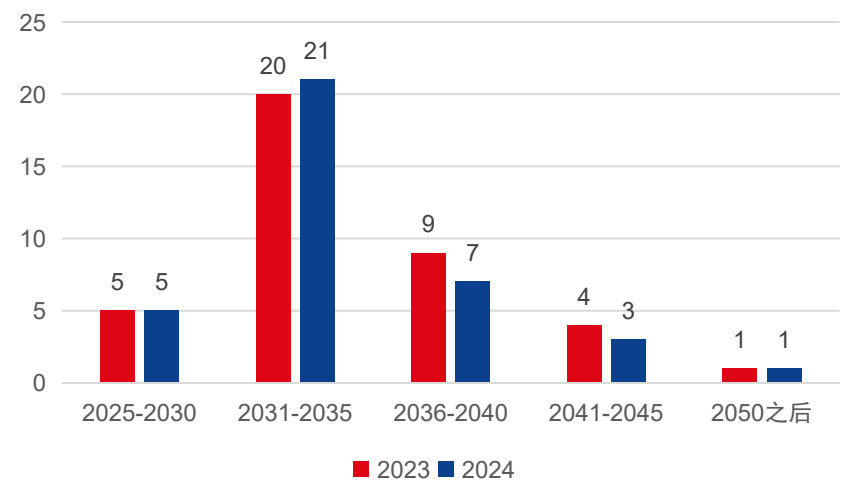
托卡马克中的偏滤器部分图



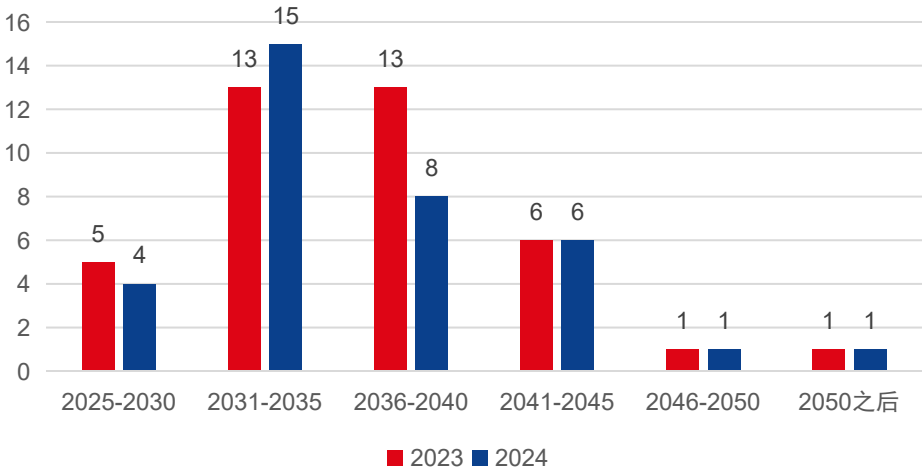
4.3 核聚变商业化进程加速

- ◆ 可控核聚变商业化前景可期。Maximize Market Research统计显示，2023年全球核聚变市场规模为3012.5亿美元，2030年有望达到4965.5亿美元。
- ◆ 可控核聚变商业化进程加速。3月10日，据新智元报道，MIT等离子体科学与核聚变中心以及英联邦聚变系统（CFS）发表了一篇综合报告，援引在《IEEE应用超导会刊》3月份特刊上6篇独立研究的论文，证明了MIT在2021年实验中采用“高温超导磁体”以及无绝缘的设计是可行且可靠的。同时还验证了，团队在实验中使用的独特超导磁体，足以作为核聚变发电厂的基础。
- ◆ 企业对于核聚变商业化进程保持乐观。根据FIA《2024全球聚变行业报告》，在受访的35家企业中，有19家企业认为核聚变发电厂具备商业可行性的实现会在2035年之前，占比为54.29%，同比提升8.13pct。

第一座核聚变发电厂向电网供电实现时间（受访聚变企业答复）



聚变发电商业可行性实现时间（受访聚变企业答复）



01

核聚变：能源革命新纪元

02

政策加码与AI赋能：资本与科技双轮驱动

03

全球竞速：核心技术突破与装置迭代

04

商业化进程加速：万亿市场爆发前夜

05

投资建议

06

风险提示

5.1 投资建议

- ◆ 建议关注核聚变核心部件供应商合锻智能（603011.SH）、超导材料供应商西部超导（688122.SH）与联创光电（600363.SH）以及偏滤器供应商国光电气（688776.SH），看好核电设备龙头东方电气（600875.SH）、核级阀门领军企业中核科技（000777.SZ），核级材料供应商应流股份（603308.SH）与广大特材（688186.SH）等。此外，核电运营与建设方面，建议关注行业龙头中国核电（601985.SH）、中国广核（003816.SZ）、中国核建（601611.SH）等。
- ◆ 合锻智能：公司主营业务覆盖液压机、智能分选设备、工业机器人及核聚变核心部件研发，2023年入选聚变产业联盟副理事长单位，深度参与国际核聚变科研项目，公司具备复杂构件制造技术，在聚变堆真空室、偏滤器等核心部件领域完成工艺突破，相关技术已应用于ITER（国际热核聚变实验堆）等国际合作项目，作为合肥市核聚变产业集群的核心企业之一，依托区域政策扶持及科研资源，成为国内少数具备聚变堆关键部件预研能力的企业。
- ◆ 西部超导：公司成立之初主要向国际热核聚变实验堆项目（ITER）提供符合综合性能要求的超导线材产品，是国内唯一实现超导线材商业化生产的企业，也是国际上唯一实现铌钛铸锭、棒材、超导线材生产及超导磁体制造全流程企业。目前已开始向国家重大科技基础设施项目-聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）批量供货低温超导线材。公司开发的新一代高性能电流密度Nb₃Sn线材将为核聚变新项目“紧凑型聚变能实验装置”（BEST）供货。

5.1 投资建议

- ◆ 联创光电：公司是国内领先可以设计制造中心磁场15-20T超大口径高温超导磁体的企业。23年9月，突破了基于核聚变应用场景的集束线缆的百米级的研发与制造。2023年11月，联创超导和中核聚变（成都）设计研究院有限公司签订协议，联合建设可控核聚变项目，主要供应该项目主机装置建设中的高温超导磁体系统和低温制冷系统，两者约占主机装置建设成本的一半。
- ◆ 国光电气：公司从事核工业领域产品，包括核工业领域专用泵、阀门以及ITER配套设备。公司研制的偏滤器已应用于HL-2M等托卡马克装置；真空高温氦检漏设备是全球首台满足ITER要求的包层部件的大型真空高温氦检漏设备；ITER所需包层第一壁板（FW）方面，公司参与新的钨第一壁研制并进入样件生产阶段。；ITER所需工艺设备已用于ITER相关的试验、测量及生产工艺之中。

-  01 核聚变：能源革命新纪元
-  02 政策加码与AI赋能：资本与科技双轮驱动
-  03 全球竞速：核心技术突破与装置迭代
-  04 商业化进程加速：万亿市场爆发前夜
-  05 投资建议
-  06 风险提示

- ◆ **政策落地不及预期：**各国针对核聚变技术领域的政策支持力度或有波动，资金投入与国际合作中断将延缓研发及商业化进程。
- ◆ **技术迭代风险：**核聚变的主流技术路径（如托卡马克）或被更高效方案替代，导致前期投入失效；关键技术（如材料耐受性、工程验证）突破耗时可能超预期，商业化时间推迟。
- ◆ **安全事故风险：**极端高温、强磁场环境易引发装置故障或材料失效；实验阶段若等离子体失控或防护不足，可能造成辐射泄漏或环境污染，从而影响商业化进程的推进。

公司投资评级：

- 买入 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于15%；
- 增持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在5%至15%之间；
- 中性 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在-5%至5%之间；
- 减持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅在5%至15%之间；
- 卖出 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅大于15%。

行业投资评级：

- 领先大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数领先10%以上；
- 同步大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨跌幅介于-10%至10%；
- 落后大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数落后10%以上。

基准指数说明：

A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基准。

分析师声明

贺朝晖、周涛声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据，特此声明。

本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告，是证券投资咨询业务的一种基本形式，本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向本公司的客户发布。

免责声明：

本报告仅供华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准。

在法律许可的情况下，本公司及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或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。

在任何情况下，本公司亦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。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发、篡改或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华金证券股份有限公司研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

华金证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

风险提示:

报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或询价。投资者对其投资行为负完全责任，我公司及其雇员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。

华金证券股份有限公司

办公地址:

上海市浦东新区杨高南路759号陆家嘴世纪金融广场30层

北京市朝阳区建国路108号横琴人寿大厦17层

深圳市福田区益田路6001号太平金融大厦10楼05单元

电话: 021-20655588

网址: www.huajinsc.cn