

可控核聚变：国内实验堆进展如何

——核电设备行业系列深度报告二

行业评级：看好

2025年3月9日

分析师
邮箱
证书编号

邱世梁
qiushiliang@stocke.com.cn
S1230520050001

分析师
邮箱
证书编号

王华君
wanghuajun@stocke.com.cn
S1230520080005

分析师
邮箱
证书编号

周向昉
liucunyang@stocke.com.cn
S1230524090014

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

国内可控核聚变：2030年CFETR，2050年PFPP

1、我国可控核聚变路线图：2030 年建成 CFETR 工程堆，2050 年建成 PFPP 原型电站

1) 中国核能发展技术路线：“热堆（压水堆）-快堆-聚变堆”。华龙一号国内外在运在建机组总数达到33台，已成为全球在运在建机组总数最多的三代核电技术；2) 我国2030年建成CFETR工程堆的技术路径与里程碑已取得显著进展，CRAFT工程作为其关键技术保障，总体进度已达70%。

2、国内核聚变堆主要由中核集团、中物院、中科院等科研院所领头，从实现“聚变反应”向“工程化”转化。

1) 中核集团：“中国环流三号”项目在核心技术上突破高约束模式运行。环流三号的核心任务是实现“聚变点火”。

2) 中核集团：“星火一号”聚变 - 裂变混合实验堆。总投资预计超过200亿元，技术目标Q值大于30，建成后可实现连续发电功率100MW。**2025年完成技术验证**，2029年发出第一度核聚变电并入电网，2035至2040年开始大规模商业化。

3) 中科院：紧凑型聚变能实验装置（BEST），预计**2027年建成**。2025年3月4日人民日报两会特刊显示CRAFT和BEST项目正在建造中。2025年1月，EAST在安徽合肥创造了1亿摄氏度1000秒“高质量燃烧”的新世界纪录，标志着我国聚变能源研究从基础科学向工程实践的重大跨越。

4) 中物院：聚变 - 裂变新型混合堆方案（Z - FFR）。中物院提出了“Z箍缩驱动聚变 - 裂变混合能源堆（Z-FFR）”概念，采用Z箍缩驱动惯性约束聚变（ICF）的方案。**2024-2030 年关键技术攻关**，2031-2040 年工程演示，2035年建成试验堆，2040年后商业推广发电。

5) 中国聚变工程实验堆（CFETR）。CFETR：解决ITER与DEMO之间存在的物理与工程技术难题。

3、2023-2033年全球核聚变设备市场年均规模年均复合增速26%

市场空间：前期实验堆为主，后期商业堆接力。参考核聚变私营企业/政府机构数量、单堆设备费用占比、商业验证预期完成节奏，**我们预计全球核聚变设备市场年均规模将从2021-2025年的208亿元增长至2026-2030年的917亿元、2031-2035年的2172亿元，2023-2033年年均复合增速26%。**

4、投资建议：前期重点关注受益ITER项目交付及国内新实验堆建设的核心设备供应商

中游设备：联创光电（高温超导磁体）、国光电气（偏滤器、包层第一壁板、泵阀等）、安泰科技（偏滤器）；**上游材料：**西部超导（低温超导带材、磁体）、永鼎股份（子公司东部超导，高温超导带材）、精达股份（参股上海超导，高温超导带材）。

5、风险提示：1) 可控核聚变工程可行性验证不及预期；2) 核聚变相关投入不及预期；3) 文中假设造成的测算偏差风险。

目录

CONTENTS

- 01 我国可控核聚变路线图**
——2030年CFETR工程堆，2050年PFPP原型电站
- 02 国内聚变堆进展几何？**
——从实现“聚变反应”跨向“工程化”
- 03 全球聚变设备有望提速**
2023-2033年全球核聚变设备市场年均规模年均复合增速26%
- 04 投资建议**
投资建议：受益ITER交付及国内新堆建设的核心设备供应商
- 05 风险提示**

01

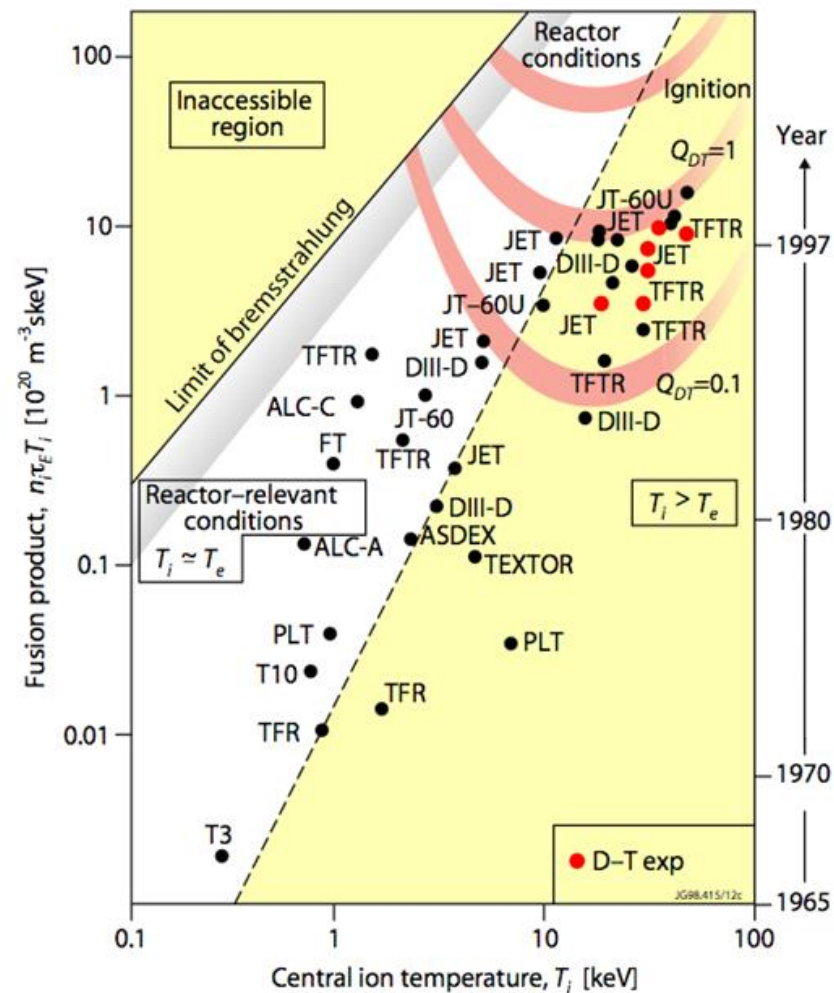
**可控核聚变路线图：
2030年工程堆，2050年原型电站**

- 国务院国资委2024年10月明确将核聚变列为重点未来产业，提出“超前布局、梯次培育”；
- 2025年是核工业创建70周年，中核集团将落地一批重大项目，推动核能“三步走”战略；
- 2025年3月，两大能源国企拟增资17.5亿元参股中国聚变能源公司，加速商业化进程。

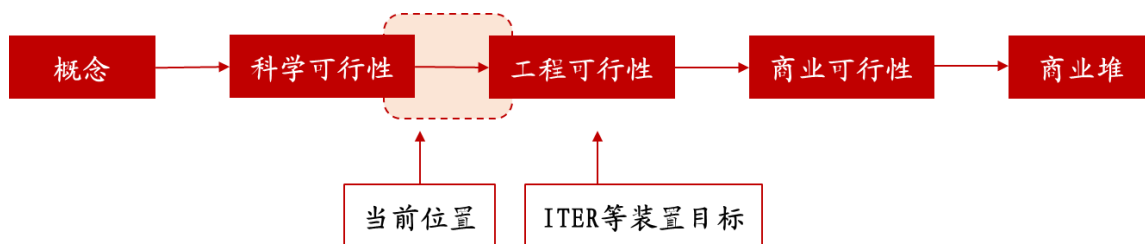
时间	事件
2025 年 2 月 28 日	中国核电和浙能电力分别发布公告，拟以增资方式参股中国聚变能源有限公司，投资金额分别为10亿元和7.5亿元。
2025 年 2 月 20 日	Xenova-1场反位形装置放电成功。
2025 年 1 月 20 日	中国科学院合肥物质科学研究院全超导托卡马克核聚变实验装置（EAST）实现了1亿摄氏度1066秒高约束模等离子体运行，创造了新的世界纪录。
2025 年 1 月 20 日	Xenova-1场反位形装置的电源和控制系统进场安装和调试。
2024 年 8 月 16 日	成立江西聚变新能源有限责任公司
2024 年 12 月 20 日	Xenova-1场反位形装置的主体真空室和磁场线圈进场安装。
2023 年 12 月 29 日	由中核集团牵头，联合 25 家央企、科研院所、高校等组成的可控核聚变创新联合体宣布成立， 中国聚变能源 有限公司正式揭牌。
2023 年 11 月	聚变产业联盟成立于2023年11月，由15家国内外热心于聚变产业的相关企业、科研院校、服务机构等自愿发起组成的非盈利社会组织。

- 1991年，欧洲JET装置实现核聚变史上第一次氘氘运行实验，聚变功率达到1.7MW，能量增益因子Q值达0.11-0.12
- 1993年，美国TFTR装置氘氘运行也获得成功，聚变功率达到5.6MW，能量增益因子Q值达0.28
- 1997年，欧洲JET装置又创下聚变功率为12.9MW的世界纪录，能量增益因子Q值达0.60
- 1998年，日本JT-60U装置，能量增益因子Q值达到1.25
- 2006年，ITER项目正式启动，目标聚变功率达到500MW，能量增益因子Q值达到10

图：20世纪90年代可控核聚变科学可行性已得到证实



图：可控核聚变当前已进入工程可行性验证阶段



国际进展：2050年为建成并投入运行DEMO的关键时间节点

尽管各国研究进展存在差异，部分国家将2050年定为建成并投入运行能够发电的核聚变示范型反应堆 (DEMO)的关键时间节点。

国家/地区	全球部分核聚变进展
全球合作	国际热核聚变实验堆（ITER）托卡马克综合设施的建设始于2013年，预计于2025年正式开始等离子体实验，2035年进一步开始进行全氦-氦聚变实验。参与方包括欧盟（占比45%）、中国、印度、日本、俄罗斯、韩国和美国（各占9%）
中国	已在聚变工程试验堆项目上取得重大进展，有助于缩小国际热核聚变反应堆计划（ITER）与DEMO之间的差距计划在21世纪20年代开工建设聚变工程试验堆，随后在21世纪30年代建成DEMO型反应堆
美国	2022年12月，国家点火装置（NIF）从2.05兆焦耳的激光功率输出中产生了3.15兆焦耳的功率输出——增益约为150%
欧洲	欧盟旗下的DEMO设计项目目前处于概念设计阶段（2021—2027年）
印度	宣布计划开始建造一个名为SST-2的装置，以便在2027年左右对DEMO的反应堆概念和组件作出鉴定，然后将在2037年开始建造DEMO
日本	聚变DEMO特别联合设计小组目前正在进行稳态DEMO的概念研究，计划在2035年左右开始建设
韩国	在2012年韩国启动“K-DEMO”的概念设计研究，目标是在2037年之前开始建设，在第一阶段（2037—2050年开发和测试组件，然后利用这些组件在2050年之后实现净发电
俄罗斯	名为DEMO聚变中子源（DEMO-FNS）的聚变—裂变混合装置正在建设中，计划在2050年前建成核聚变电厂
英国	2022年10月，英国政府宣布确定建设核聚变原型样机工厂的地点，计划2040年建成，并为该项目第一阶段研发提供2.2亿英镑的资金支持

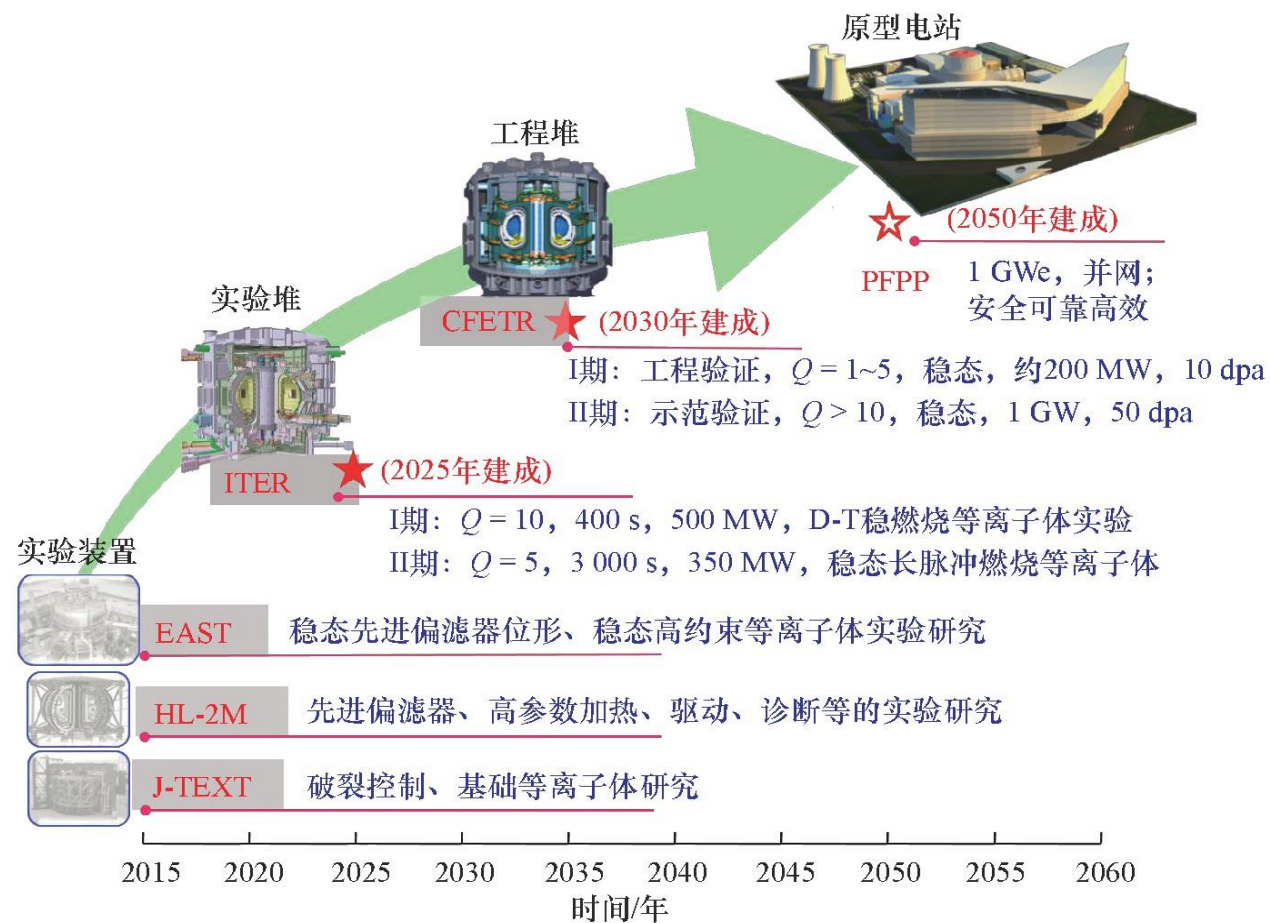
资料来源：《全球可控核聚变发展态势研究》，浙商证券研究所

国内：2030 年建成 CFETR 工程堆，2050 年建成 PFPP 原型电站

图：从实验装置到实验堆、工程堆，再到原型电站，是中国磁约束聚变能发展的技术路线图

关键节点：

- 推动**CFETR**立项并开始装置建设，形成聚变技术实践的基础条件；
- 计划**2035年完成 CFETR 建设**，调试装置运行并进行物理实验，逐步验证聚变能源的可行性与稳定性；
- 在 CFETR 装置上进行磁约束聚变能源的难点技术探索，计划**2050年前后建成商业聚变示范电站**，实现磁约束聚变能源的商业化应用。

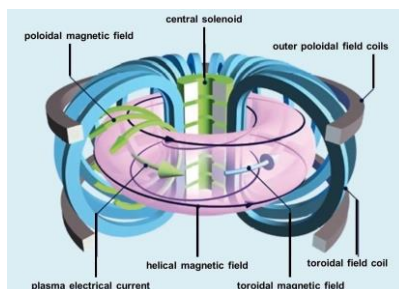


能量平衡、氚自持、可利用率、耐辐照能力4个指标最为关键，可用于各种聚变堆的技术性能差异比较。聚变能源发展需要跨越4个里程碑节点。节点1为当前的领域最优水平；节点2为ITER水平；节点3为聚变商业示范堆（DEMO）水平；节点4为第一代商业堆水平。

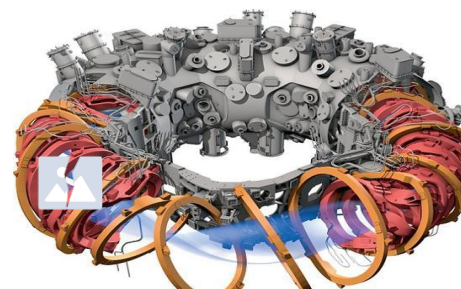
评价指标	节点1	节点2	节点3	节点4
能量平衡	QSci=1	QEng=1	QEng=5	QEng=10
氚自持	数值模拟	实验模块	扇形切片或全堆	全堆
可利用率	<1%	25%	50%	70%
耐辐照能力/dpa	—	3~5	50	100

多种可控核聚变项目技术路线并行

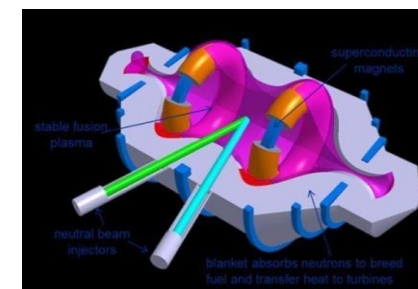
- 世界主要磁约束聚变装置包括托卡马克、仿星器、磁镜等，其中托卡马克最容易接近聚变条件而且发展最快。我国正式参加了ITER项目的建设和研究。我国正在自主设计、研发CFETR项目是ITER装置与聚变示范堆 (DEMO) 之间的桥梁。
- 惯性约束聚变将某种形式的能量直接或间接地加载到聚变靶上，压缩并加热聚变燃料，在内爆运动惯性约束下实现热核点火和燃烧。中国已成功建成8-10 MA的“聚龙一号”装置。



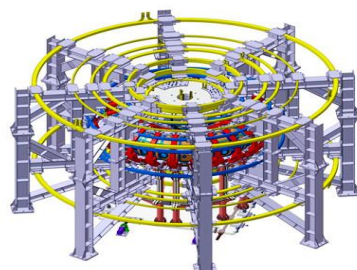
托卡马克



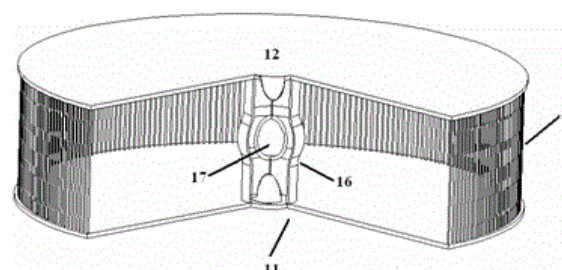
仿星器



磁镜



反场箍缩



Z箍缩

02

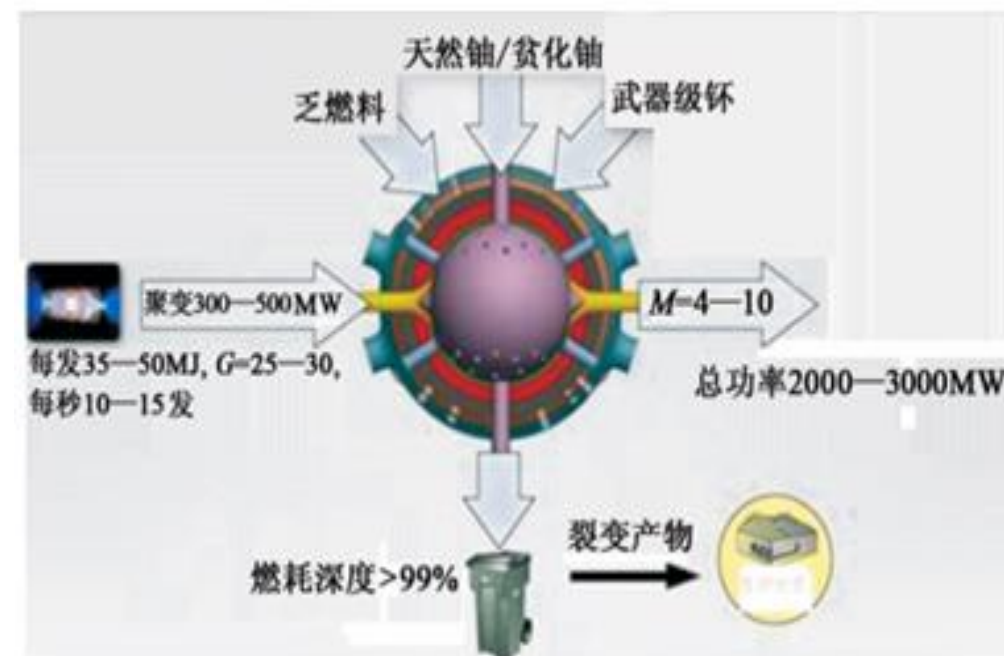
国内聚变堆：从实现“聚变反应” 跨向“工程化”

- 2023年11月12日，中核集团与江西省政府签署《全面战略合作框架协议》。联创光电超导和中核聚变（成都）签订了协议，双方计划联合建设**聚变-裂变混合实验堆项目**。2024年12月，联创光电中标中核集团“星火一号”项目，首个订单金额4180万，标志着该项目正式启动。
- 技术目标：Q值（聚变能量增益因子）大于30，实现连续发电功率100MW。工程总投资预计超过200亿元。

关键节点

- 计划在**2025年**完成核聚变混合堆实验技术验证
- 2029年**发出第一度核聚变发的电并入电网
- 2035至2040年**开始大规模商业化

图：聚变-裂变混合堆示意图



- BEST装置是全超导托卡马克核聚变实验装置（EAST）的后续项目，将在第一代EAST装置的基础上，**首次演示聚变能发电，并有望率先建成世界首个紧凑型聚变能实验装置。**
- 2025年1月20日，EAST在安徽合肥创造新世界纪录，首次完成1亿摄氏度1000秒“高质量燃烧”，标志我国聚变能源研究实现从基础科学向工程实践的重大跨越。
- BEST装置将使用真实的原料氘和氚进行可控核聚变反应，计划在**2027年**建设完成，并在全球首次演示聚变能发电。

全称	紧凑型聚变能实验装置（Behavior of Energy in a Superconducting Tokamak, 简称BEST）
进度	1) 2024年8月2日，安徽省合肥市紧凑型聚变能实验装置（BEST）项目正在加紧施工； 2) 2023年12月，中科院等离子体所BEST部分部件开始招标； 3) 未来，中科院等离子体所将持续在EAST工程和物理实验研究、ITER部件研发和工程安装、CRAFT设施建设、BEST项目推进中取得新突破新成果。
团队	中国科学院合肥物质科学研究院等离子体所负责该项目的建设和运行

图：2025年1月BEST装置正在合肥滨湖科学城区施工

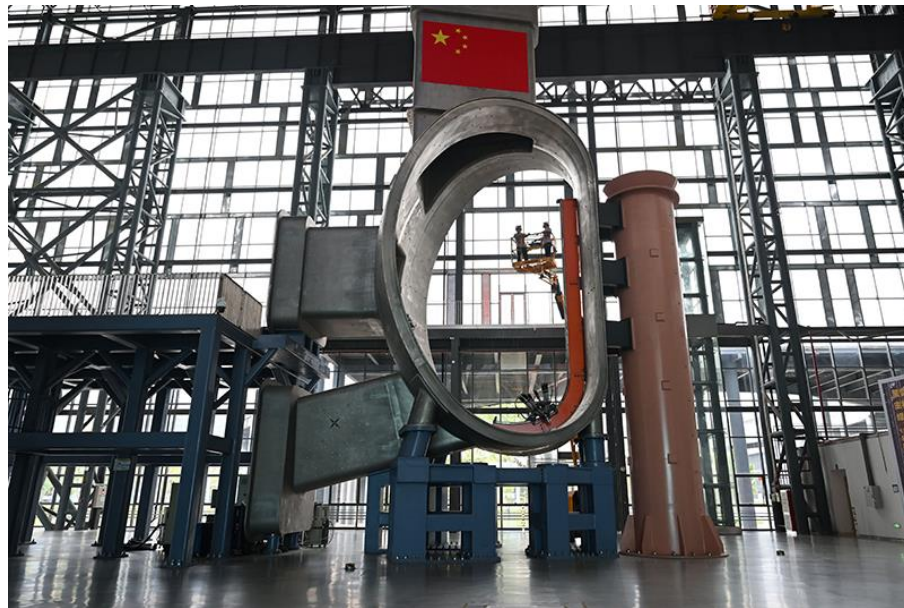


- 中国聚变工程实验堆（CFETR）是中国自主设计和研制并联合国际合作的重大科学工程。
- 聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）是为CFETR研究关键技术及搭建综合性研究平台。
- **CRAFT项目目标2025年底完全建成。**截至2024年5月，CRAFT项目总体进度已达70%，主体工程已完成116项关键里程碑当中的76项，项目从子系统的实验室研发测试阶段进入关键部件的研制和现场集成及调试阶段。2024年12月29日，CRAFT子系统“聚变工程堆中心螺管系统”已完成首轮测试。

图：CRAFT园区

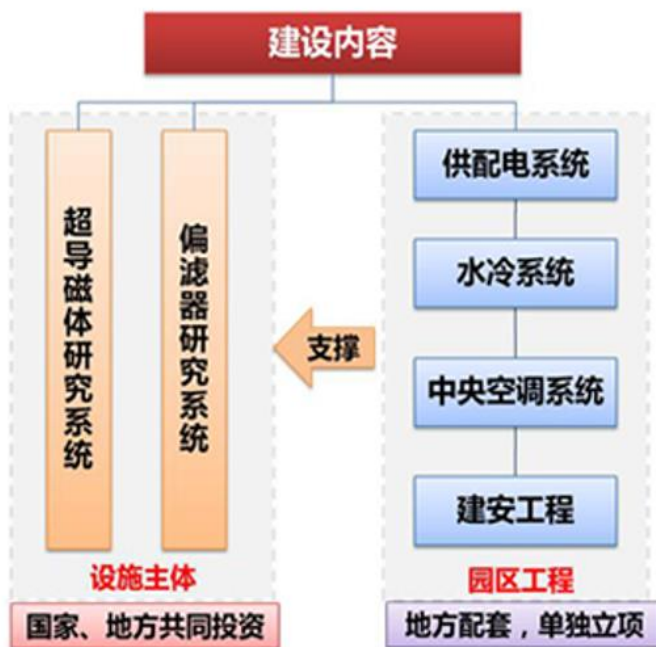


图：CRAFT1/8真空室及总体安装实验平台进行设备调试



- 2025年1月14日，CRAFT园区内中国成功研制强流直线等离子体装置“赤霄”，每平方米每秒钟可喷射亿亿亿个粒子，为CFETR提供科技利器。
- 强流直线等离子体装置“赤霄”可用于模拟尖端的实验环境，来测试研制出的材料是否达标。**“赤霄”装置能够模拟“人造太阳”内部的等离子体粒子流冲击环境，为科研人员提供一个尖端的模拟实验平台。通过这一平台，科研人员可以测试并筛选出能够承受高温和强粒子流冲击的壁材料，为CFETR的研制提供有力保障。

图：CRAFT分为设施主体和园区工程



图：强流直线等离子体装置“赤霄”



- CFETR是一个全超导托卡马克实验装置，计划到2035年建成聚变工程实验堆。
- CFETR计划三步走：第一阶段到2021年，CFETR开始立项建设；第二阶段到2035年，计划建成聚变工程实验堆，开始大规模科学实验；第三阶段到2050年，聚变工程实验堆实验成功，建设聚变商业示范堆。

项目名称	中国聚变工程实验堆（China Fusion Engineering Test Reactor, CFETR）
项目目标	实现聚变能的商业化应用，建成全球首个兼具聚变能量回收和工业级能源输出的反应堆，为商用化提供技术和运营经验
技术路线	采用磁约束聚变技术，通过强大的磁场将高温等离子体约束在真空室内，实现聚变反应
技术特点	1. 高效率：通过磁约束实现高效聚变反应。2. 高安全性：设计注重安全性和可靠性。3. 高可靠性：采用先进的工程技术，确保长期稳定运行。4. 低成本：通过技术创新降低建设和运营成本
建设进展	1. 工程设计：2017年启动工程设计；2. 建设阶段：计划分两个阶段建设，第一阶段实现聚变功率50~200MW，第二阶段实现聚变功率>1 GW
未来展望	1. 技术验证：通过CFETR进行技术验证和科学研究，为未来的聚变发电提供技术基础；2. 商用化：计划在2050年前后建成商业聚变示范电站，实现磁约束聚变能源的商业化应用
合作与支持	1. 国际合作：CFETR项目是中国自主设计和研制、以中国为主联合国际合作的重大科学工程；2. 政策支持：国务院国资委表示将践行新型举国体制，推动企业在可控核聚变等前沿领域实现重大突破

Z-FFR项目具备经济性。电功率为1000MW的Z-FFR只需要1个驱动器，总建造成本约为30亿美元，与第三代热中子反应堆相当；Z-FFR可以方便持续地燃烧铀-238、钍-232，相应的资源利用率>90%，较热中子反应堆提高两个数量级。

表：Z-FFR项目持续推进

- 2007年 正式提出“局部体点火靶”概念，解决了惯性约束聚变点火难、大规模放能难的问题。
- 2008年 提出了深度次临界能源包层设计理念，正式形成Z-FFR概念。
- 2013年 研制了输出电流约为10MA的强流脉冲功率装置，接近美国的Z装置性能。
- 2020年 研制了与50MA驱动器单支路同等规模的LTD单路样机装置；实验定标和理论分析表明，50 MA驱动器可以实现点火和大规模放能。
- 2021年 “电磁驱动大科学装置”项目获得立项，采用LTD技术路线，重点验证“局部体点火靶”技术，同时为Z-FFR重频驱动器研制积累工程经验。
- 2023年 研制了大功率超快半导体开关，可以满足Z-FFR驱动器重频长寿命的应用需求

图：电磁驱动聚变大科学装置

电磁驱动聚变大科学装置基本概况表

项目名称	电磁驱动聚变大科学装置
项目业主	中国工程物理研究院流体物理研究所
建设地点	四川成都（兴隆湖）综合性科学中心
建设性质	新建
主要建设内容及规模	建设用于验证Z箍缩局部体点火聚变可行性科学目标的50MA装置及其专用建筑设施。总建筑面积54200平方米（地上41200平方米，地下13000平方米）。安装超功率脉冲强流驱动器平台、聚变靶场物理参量综合测试诊断系统等试验设施。
投资规模	49.996亿元
建设工期（年限）	90个月
行业类别	自然科学研究和试验发展（M7310）
审批类型	审批
备注	项目代码：2207-510000-04-01-769055

2040年实现Z-FFR商业化供能目标论证发展规划，三阶段任务：

- **关键技术攻关（2024—2030年）** 针对Z-FFR的3项关键技术同步开展攻关，① 聚变点火。② 长寿命重频驱动器。③ 深度次临界能源包层。
- **工程演示阶段（2031—2040年）** 2035年建成1000兆瓦级热功率的池式综合试验堆，采取逐级推进的方式，分步实现集成演示混合堆各项关键技术的演示目标。
- **商业发电推广阶段（2040年以后）** 2035年开始建设1000兆瓦级电功率Z箍缩聚变裂变混合堆，2040年进行发电演示，之后进入商业推广阶段。

图：2025年3月，成立先觉聚能科技(四川)有限公司

企业名称	先觉聚能科技(四川)有限公司			统一社会信用代码	91510100MAEBTFT9X1
英文名称	Significant Energy Technology (Sichuan) Co., Ltd.			注册号	510110002816276
曾用名	--			组织机构代码	MAEBTFT9X
企业类型	其他有限责任公司			纳税人识别号	--
法定代表人	刘永康			纳税人资质	--
注册资本	500万CNY	实缴资本	--	成立日期	2025-03-06
营业期限自	2025-03-06	营业期限至	无固定期限	经营状态	存续 ①
所属省份	四川省	登记机关	四川天府新区市场监督管理局	核准日期	2025-03-06
企业规模 ①	--	人员规模	--	参保人数	--
国民经济行业分类	☐ 科学研究和技术服务业 科技推广和应用服务业(M75)	战略性新兴产业 ①	--	Wind行业分类 PDF	☐ 信息技术 软件与服务
注册地址	四川天府新区兴隆街道集萃路619号天府海创园1号楼14层(自编号0004号)  所属园区：中国(四川)自由贸易试验区成都天府新区片区				
办公地址	--				
经营范围	一般项目:技术服务、技术开发、技术咨询、技术交流、技术转让、技术推广;新能源技术研发;新材料技术研发;核电设备成套及工程技术研发;软件开发;互联网数据服务;信息系统集成服务;电子产品销售;机械设备销售;工程管理服务;工程造价咨询业务;知识产权服务(专利代理服务除外);业务培训(不含教育培训、职业技能培训等需取得许可的培训)。(除依法须经批准的项目外,凭营业执照依法自主开展经营活动)				

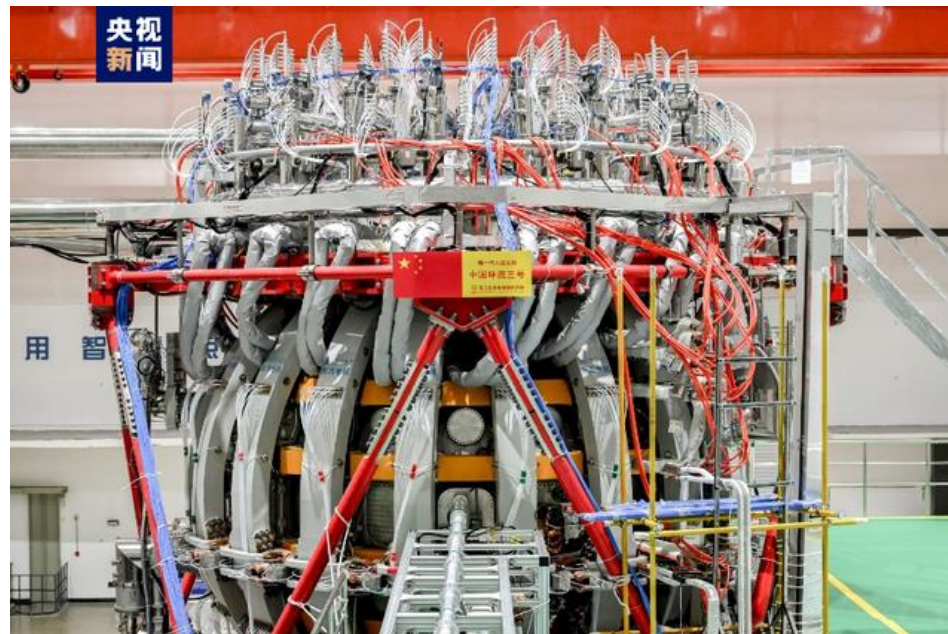
- “中国环流三号”是核工业西南物理研究院自主设计、建造的中国新一代人造太阳。
- 中国环流三号仍处于实验研究阶段，目标是验证**聚变堆物理与工程相关技术的可行性**，还不是直接发电，中国环流三号的核心任务是实现“聚变点火”。

图：中国新一代“人造太阳”

- 2024年5月，新一代人造太阳在150万安培等离子体电流下实现高约束模式（H模）运行。
- 2024年6月，首次实现新型先进磁场结构。

经济性

发电基础



- 2024年5月，新一代人造太阳在150万安培等离子体电流下实现高约束模式（H模）运行。
- 2024年6月，首次实现新型先进磁场结构。
- 装置参数潜力方面，新一代人造太阳目前仅释放40%设计能力，未来潜力巨大。
- 新一代人造太阳作为ITER“卫星装置”面向全球开放，吸引17家国际科研机构参与联合实验，提升了我国在聚变技术领域的国际话语权。

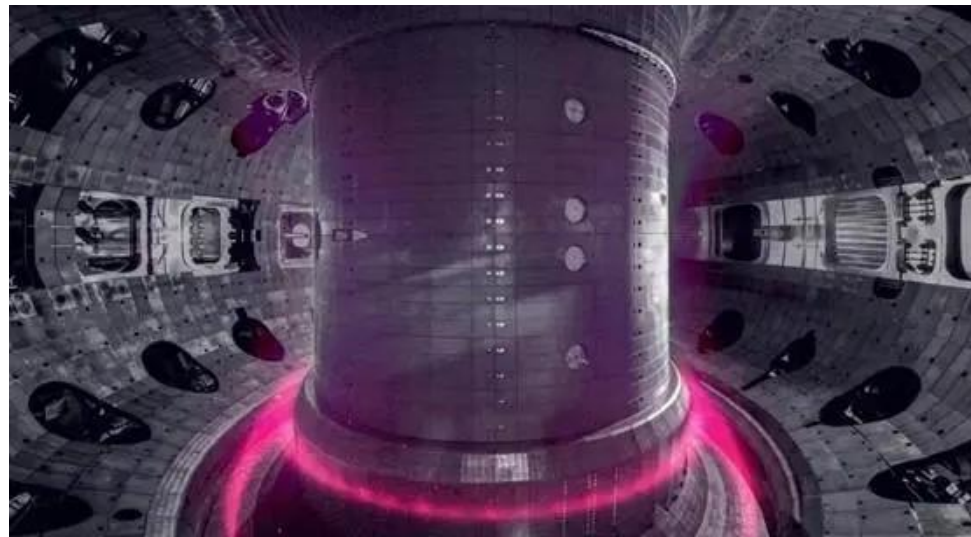
经济性

发电基础

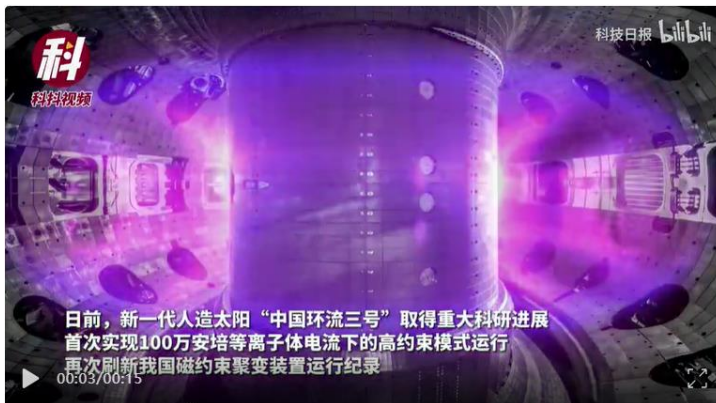
40%

17家

图：“中国环流三号”实验画面



12月, HL-3在成都建成并实现首次放电, 标志着中国自主掌握了大型先进托卡马克装置的设计、建造、运行技术。



5月, 在150万安培等离子体电流下实现高约束模式(H模)运行

6月, 在国际上首次发现并实现了一种先进磁场结构, 对提升核聚变装置的控制运行能力具有重要意义。

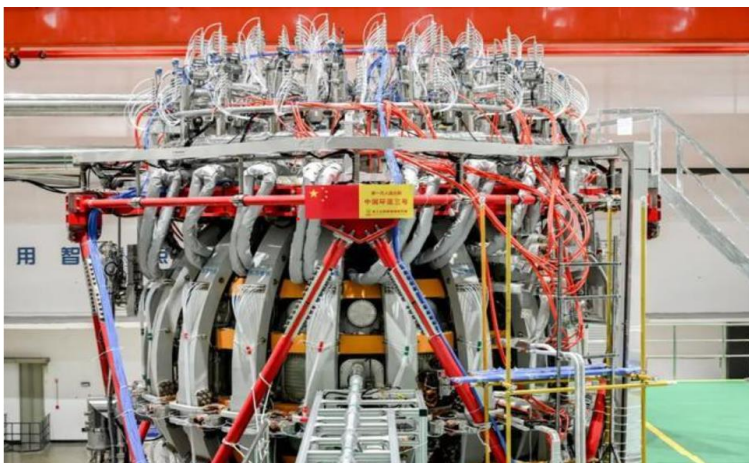
2020年

2022年

2023年

2024年

2025年



8月, 成功实现了100万安培等离子体电流下的高约束运行模式, 标志着我国磁约束核聚变装置运行水平迈入国际行列

12月, 宣布新一代人造太阳“中国环流三号”面向全球开放

目前“中国环流三号”仍处于实验研究阶段, 其核心任务是实现“聚变点火”, 不是直接发电。预计2045年左右进入示范阶段, 有望在2050年前后实现商业化发电。

03

投资建议

产业链上游主要为各类原材料，包括有色金属（钨、铜等）、特种钢材、特种气体（氦、氖）、超导材料（Nb₃Sn、ReBCO）等。

中游主要为各类设备，包括磁体、偏滤器、第一壁、磁体支撑等核聚变主机设备，以及压力容器、蒸汽发生器、汽轮机、发电机、各类泵阀等其他设备。

下游主要为核电站运营，用于商业发电。

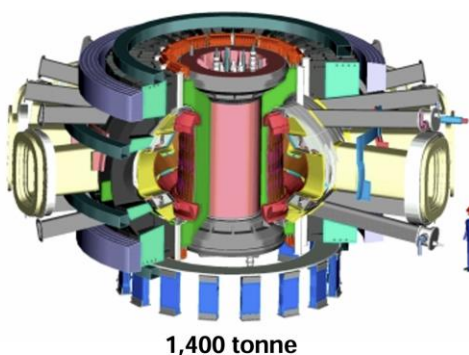
图：核聚变产业链：上游原材料、中游设备及下游核电应用



参考FIRE，建造一个 $Q>10$ 的聚变实验堆成本在百亿人民币，其中设备费用（主机、辅助系统、电力系统）占比约55%。

根据FIRE官方数据，在一个核聚变实验堆成本中，主机（包括磁体、包层、真空室等）占比约30%，辅助系统（包括加热系统、真空系统、气体注入系统、燃料循环系统）占比约10%，电力系统占比约15%，场地基础设施占比约15%，其余项目支持、装配、运维等占比约30%。

图：FIRE项目是ITER时代美国规划的托卡马克实验装置，目标 Q 值为10、聚变功率150MW



Design Features

- $R = 2.14 \text{ m}$, $a = 0.595 \text{ m}$
- $B = 10 \text{ T}$
- $W_{\text{mag}} = 5.2 \text{ GJ}$
- $I_p = 7.7 \text{ MA}$
- $P_{\text{aux}} \leq 20 \text{ MW}$
- $Q \approx 10$, $P_{\text{fusion}} \sim 150 \text{ MW}$
- Burn Time $\approx 20 \text{ s}$ ($2 \tau_{\text{cr}}$)
- Tokamak Cost $\approx \$351\text{M}$ (FY02)
- Total Project Cost $\approx \$1.2\text{B}$ (FY02) at Green Field site.

图：FIRE项目花费预估约12亿美元（2002年）

Cost Estimate of FIRE Preconceptual Design (FY 2002\$)

Greenfield Site Cost Estimate		Estimated Cost	Conting'y	Total with Conting'y	
1 - Fusion Core Systems			\$279,524	\$71,279	\$350,803
1.1	Plasma Facing Components	\$66,977			
1.2	Vacuum Vessel & In-Vessel Structures	\$42,354			
1.3	Toroidal Field Magnets and Structures	\$123,121			
1.4	Poloidal Field Magnets and Structures	\$35,732			
1.5	Cryostat	\$1,919			
1.6	Tokamak Support Structure	\$9,420			
2 - Auxiliary Systems			\$89,789	\$22,896	\$112,685
2.1	Gas & Pellet Injection Fueling Systems	\$4,769			
2.2	Vacuum Pumping System	\$12,645			
2.3	Fuel Recovery and Processing Systems	\$4,089			
2.4	RF Heating/Current Drive Systems	\$68,286			
3 - Diagnostic Systems			\$21,455	\$5,471	\$26,926
4 - Power Systems			\$153,504	\$39,144	\$192,648
5 - Central Instrumentation & Controls			\$18,337	\$4,676	\$23,013
6 - Site and Facilities			\$143,882	\$36,690	\$180,572
7 - Machine Assembly &Remote Maintenance			\$80,375	\$20,496	\$100,871
8 - Project Support & Oversight			\$118,378	\$30,186	\$148,564
9 - Preparations for Operations			\$40,351	\$10,290	\$50,641
10 - R&D During Construction			\$19,328	\$4,929	\$24,256
Cost Estimate of Preconceptual Design (FY 2002\$)			\$945,595	\$241,127	\$1,186,721

TPC w/o contingency \$946M

TPC with contingency \$1,200M

参考FIRE项目，在一个托卡马克主机成本中：磁体（包括环向、极向磁体）占比最高，约为56%；其次是面向等离子体的部件（包层），其中偏滤器占比约11%、第一壁占比约5%、缓冲结构占比约4%；真空室容器及结构占比约14%；支持结构占比约3%。

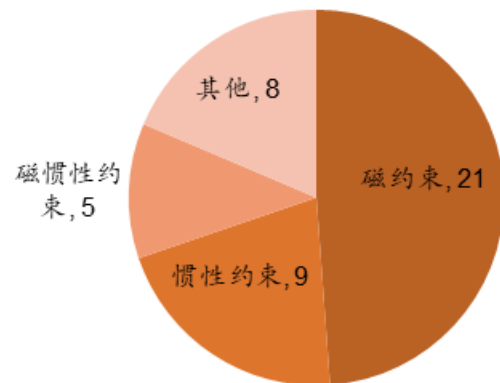
图：FIRE项目主机成本拆分

WBS No.	Title	Level of Estimate	Est. Cost	Recommended Contingency	Total w/ Contingency	Comments
		Summary	FY-99 \$K	%	FY-99 \$K	
1 - Fusion Core Systems			\$266,322.4K	29.48%	\$78,507.0K	\$343,814.3K
1.1 Plasma Facing Components - Ulrickson / Dreimeyer			\$71,902.2K	26.76%	\$19,241.1K	\$91,143.3K
1.1.1	First Wall	X	\$15,067.9K	21.42%	\$3,227.0K	\$18,294.9K
1.1.2	Outer Divertor Modules	X	\$26,663.9K	20.99%	\$5,596.0K	\$32,259.9K
1.1.3	Baffle Structures	X	\$9,409.8K	59.47%	\$5,596.0K	\$15,005.8K
1.1.4	Inner Divertor Plates	X	\$5,675.3K	21.39%	\$1,213.8K	\$6,889.1K
1.1.5	Limiters & Armor	X	\$1,971.9K	21.45%	\$423.0K	\$2,394.9K
1.1.6	Wall Conditioning Systems	X	\$4,413.4K	20.92%	\$923.4K	\$5,336.8K
1.1.7	Plasma Facing Components Cooling Water (Inside Cryostat)					Already in Above Numbers
1.1.8	PFC R&D	X	\$8,700.0K	26.00%	\$2,262.0K	\$10,962.0K
1.2 Vacuum Vessel & In-Vessel Structures - Nelson			\$36,384.6K	31.92%	\$11,614.5K	\$47,999.1K
1.2.1	Primary VV shell	X	\$18,860.1K	34.00%	\$6,412.4K	\$25,272.5K
1.2.2	VV Port Extensions & Duct Shielding	X	\$9,639.3K	28.00%	\$2,699.0K	\$12,338.3K
1.2.3	VV Port Closure Systems & Penetration Shielding	X	\$5,315.4K	28.00%	\$1,488.3K	\$6,803.7K
1.2.4	VV Heating & Cooling Systems (Inside Cryostat)	X	\$639.0K	36.00%	\$230.0K	\$869.0K
1.2.5	VV Supports	X	\$1,494.5K	42.00%	\$627.7K	\$2,122.2K
1.2.6	Local I&C and Sensors	X	\$436.3K	36.00%	\$157.1K	\$593.4K
1.3 Toroidal Field Magnets and Structures			\$117,901.0K	32.27%	\$38,041.7K	\$155,942.7K
1.3.1	TF Winding Pack	X	\$91,277.4K	34.00%	\$31,034.3K	\$122,311.7K
1.3.2	TF Cases & Support Structure	X	\$5,503.4K	30.00%	\$1,651.0K	\$7,154.4K
1.3.3	TF Magnet Assembly (Winding Pack into Cases)	X	\$2,416.9K	30.00%	\$725.1K	\$3,142.0K
1.3.4	TF Power & Cryogen Interfaces	X	\$1,800.0K	20.70%	\$372.6K	\$2,172.6K
1.3.5	TF Magnets Engineering Design/Support	X	\$13,620.3K	25.00%	\$3,405.1K	\$17,025.4K
1.3.6	TF Coil R&D	X	\$3,283.0K	26.00%	\$853.6K	\$4,136.6K
1.4 Poloidal Field Magnets and Structures			\$29,242.8K	24.66%	\$7,211.5K	\$35,359.3K
1.4.1	Central Solenoid and Inner Ring Coils (PF1/2 Upper & Lower)	X	\$6,606.3K	33.14%	\$2,189.2K	\$8,795.5K
1.4.1.1	CS/Inner Ring Coils Winding Pack		\$5,183.3K	34.00%	\$1,762.3K	\$6,945.6K
1.4.1.2	CS/Inner Ring Coils Cases and Support Structure		\$883.0K	30.00%	\$264.9K	\$1,147.9K
1.4.1.3	CS/Inner Ring Coils Assembly (Winding Pack into Cases)		\$540.0K	30.00%	\$162.0K	\$702.0K
1.4.2	Outer Ring Coils (PF3/4 Upper & Lower)	X	\$12,524.6K	21.67%	\$2,713.6K	\$15,238.1K
1.4.2.1	Outer Ring Coils Winding Pack		\$7,283.3K	16.00%	\$1,165.3K	\$8,448.6K
1.4.2.2	Outer Ring Coils Cases and Support Structures		\$241.3K	20.00%	\$48.3K	\$289.6K
1.4.2.3	Outer Ring Coils Shrouds & Assembly		\$5,000.0K	30.00%	\$1,500.0K	\$6,500.0K
1.4.3	PF Power and Cryogen Interfaces		\$1,250.0K	20.00%	\$250.0K	\$1,500.0K
1.4.4	Field Error Correction Coils	X	\$1,761.4K	18.00%	\$317.1K	\$2,078.5K
1.4.5	Resistive Wall Mode Coils					Scaled from TPX Design
1.4.6	PF Magnets Engineering Design/Support	X	\$6,148.6K	26.00%	\$1,598.6K	\$7,747.2K
1.4.7	PF Coil R&D	X	\$952.0K	26.00%	\$247.5K	\$1,199.5K
1.5 Cryostat - Nelson			\$1,917.2K	28.62%	\$556.3K	\$2,473.5K
1.5.1	Cryostat Shell & Structure	X	\$1,730.4K	28.00%	\$484.5K	\$2,214.9K
1.5.2	Vacuum & Fluid Systems	X	\$114.5K	40.00%	\$45.8K	\$160.3K
1.5.5	Local I&C and Sensors	X	\$72.3K	36.00%	\$26.0K	\$98.3K
1.6 Tokamak Support Structure - Titus \ Heitzenroeder \ Waganer			\$8,974.7K	20.52%	\$1,841.9K	\$10,896.5K
1.6.1	Main Assembly Support Ring & Central Column Supports		\$1,472.0K	20.00%	\$294.4K	\$1,739.3K
1.6.1.1	Central Column Supports	X	\$938.0K	20.00%	\$187.6K	\$1,107.8K
1.6.1.2	Main Assembly Support Ring	X	\$534.0K	20.00%	\$106.8K	\$631.5K
1.6.2	Gravity Supports	X	\$1,028.0K	20.00%	\$205.6K	\$1,214.8K
1.6.3	TF Coil Radial Compression		\$5,692.0K	20.00%	\$1,138.4K	\$6,727.6K
1.6.3.1	Compression Rings	X	\$3,293.0K	20.00%	\$658.6K	\$3,892.0K
1.6.3.2	Radial Compression Mechanism & Interface Elements	X	\$2,399.0K	20.00%	\$479.8K	\$2,835.6K
1.6.4	Central Tie Rod Assembly		\$0.0K	20.00%	\$0.0K	\$0.0K
1.6.4.1	Tierod Coumns	X		20.00%		
1.6.4.2	Tierod End Supports	X		20.00%		
1.6.5	Ring Preload Mechanism R&D	X	\$782.7K	26.00%	\$203.5K	\$1,214.8K

当前可控核聚变处于工程验证阶段，建设需求以实验堆为主。参考FIA数据，截至2023H1全球共有43家核聚变私营企业，参考Fusion Energy Base数据，当前全球共有29家拥有聚变装置的国家/组织机构，假设其中一半采用磁约束路径，则全球聚变实验堆（磁约束）总需求达36座。参考FIRE，建造一个 $Q>10$ 的聚变实验堆成本在百亿人民币，其中设备费用占比约55%，则实验堆阶段全球核聚变设备累计空间达2千亿元。

未来可控核聚变进入商业验证阶段后，建设需求将以商业示范堆为主。假设各家私营企业/政府机构由此前的聚变实验堆进一步发展为商业示范堆，需求仍为36座。参考ITER，建造一个商业示范堆成本在千亿人民币以上，其中设备费用占比约85%，则商业堆阶段全球核聚变设备累计空间达3万亿元。

图：43家核聚变私营企业中磁约束路径约占一半



图：核聚变发展路径为实验堆—工程堆—商业堆

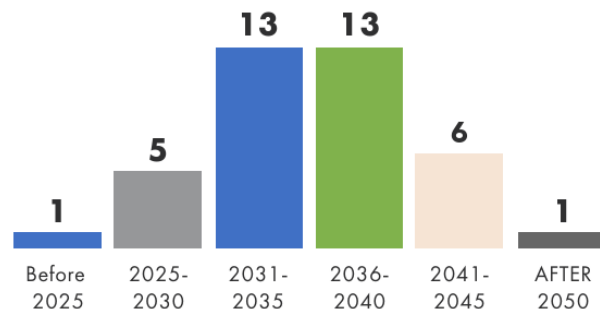


根据FIA对39家核聚变私营公司的问卷统计，预期2025年-2030年完成核聚变商业堆验证的公司有5家，2031-2035年有13家，2036-2040年有13家，2041-2045年有6家。

考虑到商业堆验证前需要进行实验堆验证，参考CFS聚变实验堆SPARC相比聚变商业堆ARC预计投运时间提前5年，我们假设：2021-2025年完成核聚变实验堆验证的公司数量为5家，2026-2030年数量为13家，2031-2035年数量为13家，2036-2040年数量为6家。

测算的聚变实验堆设备总空间2千亿元、聚变商业堆设备总空间3万亿元按比例拆分，则全球核聚变设备市场年均规模将从2021-2025年的208亿元增长至2026-2030年的917亿元、2031-2035年的2172亿元，2023-2028年复合增速35%，2028-2033年复合增速19%。

图：预期完成核聚变商业堆验证的公司数量



表：预计2023-2033年全球核聚变设备市场年均复合增速为26%

	2021-2025年	2026-2030年	2031-2035年	2036-2040年	2041-2045年	2050年后
完成商业堆验证公司数量	1	5	13	13	6	1
占比	3%	13%	33%	33%	15%	3%
聚变商业堆设备总空间	商业堆总需求36台*单堆成本1000亿元*设备占比85%=30600亿元					
聚变商业堆设备累计空间（亿元）	785	3923	10200	10200	4708	785
完成实验堆验证公司数量	5	13	13	6		
占比	13%	33%	33%	15%		
聚变实验堆设备总空间	实验堆总需求36台*单堆成本100亿元*设备占比55%=1980亿元					
聚变实验堆设备累计空间（亿元）	254	660	660	305		
全球核聚变设备市场累计规模（亿元）	1038	4583	10860	10505	4708	785
全球核聚变设备市场年均规模（亿元）	208	917	2172	2101	942	-

可控核聚变目前处于工程验证阶段，前期重点关注受益ITER项目交付及国内新实验堆建设的核心设备供应商：

中游设备：联创光电（高温超导磁体）、**国光电气**（偏滤器、包层第一壁板、泵阀等）、**安泰科技**（偏滤器）；**上游材料：西部超导**（低温超导带材、磁体）、**永鼎股份**（子公司东部超导，高温超导带材）、**精达股份**（参股上海超导，高温超导带材）。

证券代码	可比公司	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)				PE				PB (MRQ)	ROE (2023)
			2023A	2024E	2025E	2026E	2023A	2024E	2025E	2026E		
688776.SH	国光电气	75	0.90	0.48	1.28	1.67	83	157	59	45	4.0	4.9%
600363.SH	联创光电	251	3.39	4.64	6.03	7.44	74	54	42	34	6.0	8.5%
688122.SH	西部超导	316	7.52	8.09	10.74	12.97	42	39	29	24	4.8	11.9%
600105.SH	永鼎股份	87	0.43	-	-	-	-	-	-	-	3.2	1.5%
600577.SH	精达股份	151	4.26	5.55	7.31	8.70	35	27	21	17	2.8	8.1%
000969.SZ	安泰科技	136	2.49	4.23	4.51	5.23	54	32	30	26	2.5	4.9%
平均值								62	36	29	3.9	7%

1、聚焦“激光+超导”核心主业成果显著，公司盈利能力有望不断提升

- 1)公司坚持聚焦激光、超导等核心业务，陆续完成对电力缆业务、部分背光源业务的剥离。2024H1公司子公司联创电缆亏损 634万元，同比减亏107万元;子公司联创致光亏损 584万元，同比减亏529万元，未来仍有优化空间。
- 2) 2024Q1-Q3公司毛利率 19%，同比提升0.26pct；净利率15.59%，同比下滑0.23pct。2024Q3公司毛利率 19.54%，同比减少0.56pct；净利率 13.49%，同比减少 2.51pct。

2、激光业务:受益反无人机需求增长，公司由上游核心器件向下游整机延伸

- 1) 公司激光业务主要产品为泵浦源及激光器，是激光武器的核心器件，目前可预见的订单量增长较快。2023 年公司子公司中久光电实现营收 1.66 亿元，同比持平;实现净利润 0.36 亿元，同比下滑 2%，销售净利率达 21.9%。
- 2) 2023年2月公司光刃-激光反制系统顺利通过验收，2024年1月光刃系列无人机激光反制系统整机产品出口许可获有关部门批准通过，在**内需+外贸需求的共同驱动下，未来激光整机产品有望进一步打开公司成长空间。**

3、超导业务:高温超导磁体核心供应商，由铝加工向晶硅炉、可控核聚变拓展

- 1) 高温超导可用于金属加工、熔炼等领域，较传统工频炉节能超过50%，公司供货中铝东轻设备投产具备示范性意义，未来有望持续进行由 1-N的复制。
- 2) 公司超导磁体已实现由铝加工向光伏晶硅炉拓展，公司与宁夏盈谷合作，目前在手订单4.3亿元，意向订单达9.9亿元，预计 2024 - 2026年将陆续交付。
- 3) 2023年 11月，联创超导与中核聚变签订协议，计划联合建设聚变-裂变混合实验堆项目，工程总投资预计超过 200亿元。
- 4) 超导磁体是核聚变设备中价值量最大的单品，约占整体建造成本的17%。**国务院国资委提出超前布局核聚变，公司卡位核聚变核心环节，有望持续受益。**

4、联创光电：预计未来 3 年归母净利润复合增速为 35%

预计公司 2024-2026 年归母净利为 4.6、6.3、8.3 亿元，同比增长 36%、36%、33%，CAGR=35%。

5、风险提示：1) 特种微波器件降价风

1、国产微波电真空器件龙头，核工业设备打开成长空间

公司主要产品包括微波器件、核工业设备两大类，下游广泛应用于雷达、卫星通信、核工业等领域，客户主要为我国各大军工集团及其下属单位。

2、微波器件：受益卫星、雷达、电子对抗，公司立足真空器件向固态器件拓展

- 1) 国防现代化、信息化推动下，以雷达、卫星通信、电子对抗等为代表的电子装备快速发展，微波器件作为核心部件持续受益。
- 2) **市场空间**：以T/R组件为代表的微波器件是相控阵雷达的核心，预计市场规模将从2022年的63亿元增长到2025年的85亿元，CAGR=10%。
- 3) **竞争格局**：微波电真空器件格局集中且稳定，主要为包括公司在内的“两厂两所”，其中公司在连续波行波管（主要用于电子对抗）、捷变频磁控管（主要用于弹载）等方面有技术优势，同时公司也在不断向固态器件进行横向拓展。

3、核工业设备：可控核聚变赛道高景气，公司受益新实验堆建设

- 1) 随着近年来高温超导技术的成熟，叠加AI超预期发展对聚变装置设计和控制效率的提升，加快了可控核聚变商业化落地的预期，资本市场融资屡创新高。2022年，全球私营核聚变公司积累融资额达48.6亿美元，同比增长139%，截至2023年上半年，这一数字已达62.1亿美元。
- 2) 2023年12月29日，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，中国聚变公司（筹）举行揭牌仪式。**国务院国资委明确可控核聚变为未来能源重要方向，国家牵头自上而下推动。**
- 3) 公司偏滤器和包层系统已向ITER、HL-2M等核聚变装置供货，配套先发优势明显。2023年11月，联创超导与中核聚变签订协议，计划采用全新技术路线，联合建设聚变-裂变混合实验堆项目，**工程总投资预计超过200亿元，公司等国内相关供应商有望持续受益。**

4、风险提示：1) 特种微波器件降价风险；2) 核工业设备订单不及预期

04

风险提示

1) 可控核聚变工程可行性验证不及预期：

可控核聚变已完成科学可行性验证，当前处于工程可行性验证阶段，如果工程验证进度不及预期，将会对行业发展产生不利影响。

2) 核聚变相关投入不及预期：

我国核聚变研究主要由国家主导，相关投入多依靠国家财政，如果未来国内聚变新实验堆建设进度不及预期，将对行业产生不利影响。

3) 文中假设造成的测算偏差风险：

报告内测算均基于一定前提假设条件，同时引用较多第三方数据，或因假设条件不达预期、第三方数据准确性原因，导致结论存在一定偏差。

行业的投资评级

以报告日后的6个月内，行业指数相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

- 1、看好：行业指数相对于沪深300指数表现 + 10%以上；
- 2、中性：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10% ~ + 10%以上；
- 3、看淡：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10%以下。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重。

建议：投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论

法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：Z39833000）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构（以下统称“本公司”）对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，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，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本报告版权均归本公司所有，未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路729号陆家嘴世纪金融广场1号楼25层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦E座4层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心33层

邮政编码：200127

电话：(8621)80108518

传真：(8621)80106010

浙商证券研究所：<http://research.stocke.com.cn>