太平洋证券
PACIFIC SECURITIES

可控核聚变行业|行业深度研究报告

证券研究报告
2025/6/18

可控核聚变展望：

进入关键导入期

首席分析师：刘强
分析师登记编号：S1190522080001

证券分析师：钟欣材
分析师登记编号：S1190524110004

证券分析师：刘淞
分析师登记编号：S1190523030002

报告摘要

可控核聚变开启能源革命新征程。
作为人类终极能源解决方案，可控核聚变具备能源丰富、零排放、安全性高等显著优势，1g 氘氚聚变释放能量相当于 11.2 吨标准煤，远超核裂变与化石燃料，是实现“双碳”目标的战略选择。
多技术路线并行突破，磁约束与惯性约束成主流。磁约束以托卡马克、仿星器为代表；惯性约束以美国 NIF 为代表，国内“神光”计划持续推进激光驱动技术。两类技术均进入工程验证阶段，磁约束聚焦稳态运行，惯性约束发力点火效率，共同推动聚变能从实验室走向工程化。
产业链协同发展，材料与设备成攻关核心。上游超导材料、耐辐照钨合金突破技术壁垒；中游设备进入 ITER 及国内实验堆供应链；下游以中核集团、中国核电为代表，推进“星火一号”混合堆（Q>30）、BEST 紧凑型装置等示范项目。
政策与资本双重助力，商业化进程加速。我国“十四五”规划明确支持核聚变研发，中核集团牵头成立创新联合体，25 家央企与科研机构协同攻关；美国 DOE、英国 UKAEA 等国际力量加大投入，全球私营企业融资超 62 亿美元。
产业链相关公司：
1）上游核心材料与关键部件：精达股份、永鼎股份、西部超导、安泰科技、广大特材、久立特材等。
2）中游核心设备与系统集成：爱科赛博、联创光电、上海电气、国光电气、合锻智能等。
3）下游工程应用与商业化：中国核电等。
风险提示：核聚变项目研发进度不及预期、政策不及预期、行业竞争格局恶化、下游需求减弱导致核聚变项目需求不及预期、安全性和环境影响仍需进一步验证等。

目录

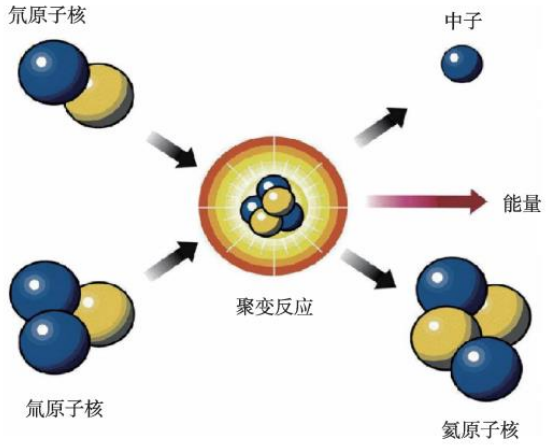
1、多技术路线：磁约束与惯性约束为主流
2、产业链协同发展：材料与设备攻关
3、政策与资本助力：未来延伸空间可期
4、产业链受益标的：重视有长期成长空间的方向
5、风险提示

1.1 聚变基本原理

聚变反应原理是轻原子核如氘、氚在超 1 亿℃高温高压下克服库仑斥力聚合成较重原子核，如氦并释放巨大能量，能级在 17.6MeV / 次反应之上。

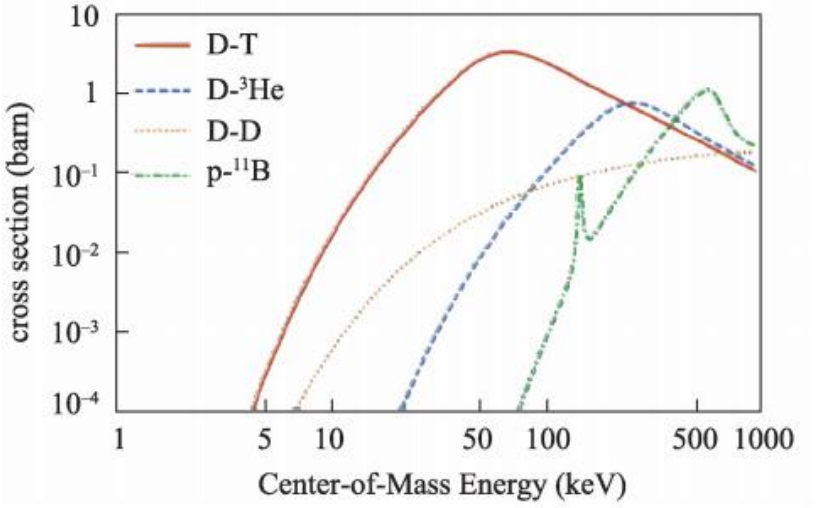
选择氘（D）- 氚（T）聚变因二者反应截面大、所需点火温度相对最低，约 1.5 亿℃，且氘可从海水提取，1 升海水含 30mg 氘，氚能通过锂吸收中子再生，燃料获取便捷、能量密度极高（1kg 氘氚聚变能量≈400 万吨石油）。

图表1：聚变原理图



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所、太平洋证券

图表2：几种主要的聚变反应截面以及最大反应截面所对应的温度



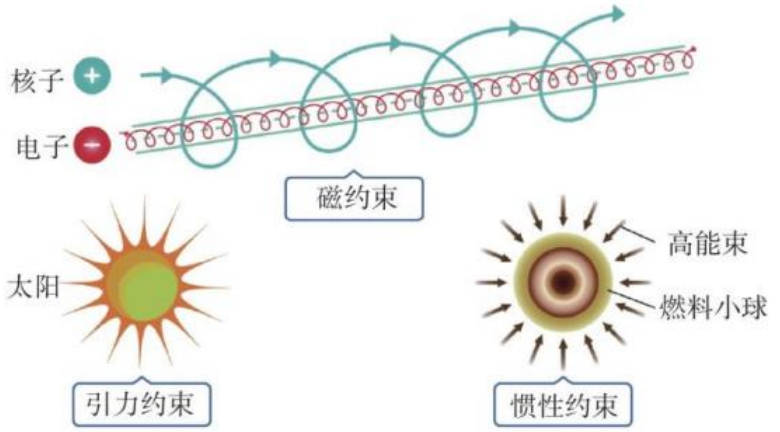
资料来源：可控核聚变科学技术前沿问题和进展、太平洋证券

1.2 聚变研究的主要方式

全球范围内的聚变研究主要集中在磁约束聚变和惯性约束聚变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、磁镜三种类型；惯性约束聚变的主要方式是激光和Z箍缩。

图表3：各种聚变约束途径示意图



资料来源：中国知网、太平洋证券

图表4：核聚变路线图

磁约束途径	诞生时间	科研项目	商业公司及融资情况
托卡马克	1950+	ITER、EAST	美国 CFS 融资 18 亿美元
仿星器	1950s	W7 - AS 等	法国 TAE 融资 1500 万美元
场反位形	1960s	SXR 等	美国 TAE 12 亿美元
球形托卡马克	1980s	SUNIST 等	美国 TBR 融资 1.5 亿美元
偶极场	2000s	美国 LINX，日本 RFP - 1	中国磁云形态融资中

资料来源：中科院、太平洋证券

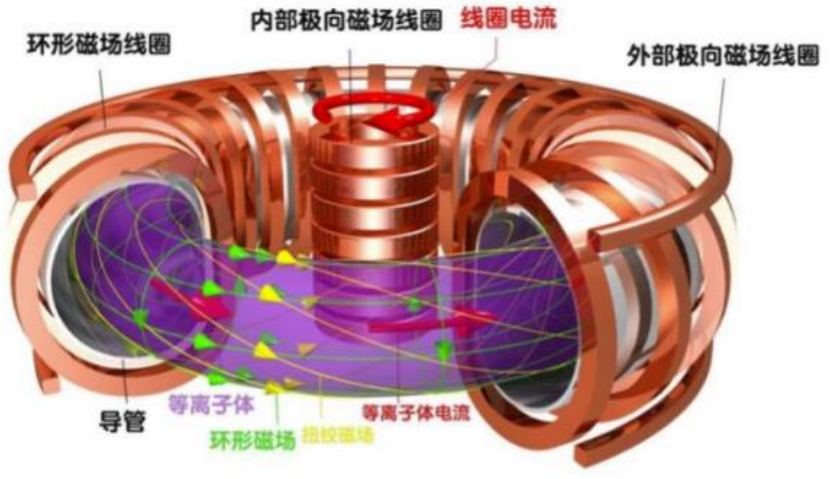
1.3 磁约束聚变装置：托卡马克

利用环形磁场（环向场线圈）+ 极向磁场（等离子体电流 / 极向场线圈）形成螺旋形磁力线，强磁场约束高温等离子体至1 亿℃以上，使其达到聚变条件（劳逊判据：$n\tau T>10^{21}$）。

优点：磁场约束效率高，易实现高温等离子体，技术成熟度最高，全球 90% 核聚变研究基于托卡马克。

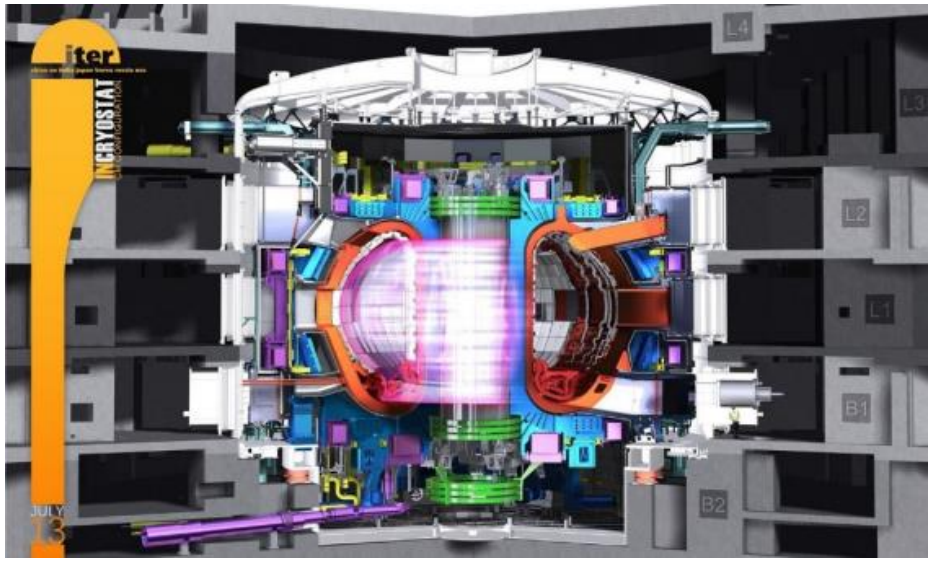
缺点：依赖等离子体电流维持磁场，易引发磁流体不稳定性；结构复杂，超导磁体需液氦冷却（4.2K），运行成本高。

图表5：托卡马克装置示意图



资料来源：Science Photo Library、太平洋证券

图表6：国际热核实验堆ITER



资料来源：可控核聚变研究现状及未来展望、太平洋证券

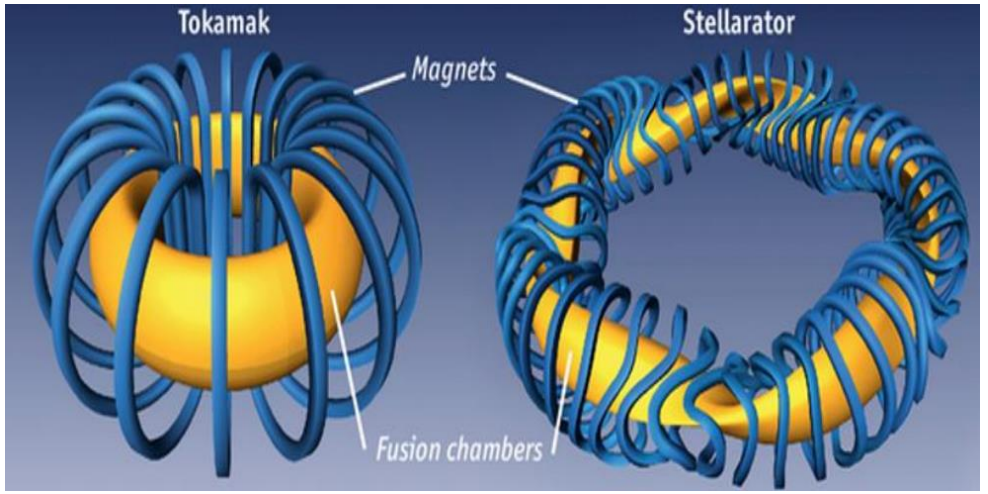
1.4 磁约束聚变装置：仿星器

通过三维螺旋形外部磁场线圈（无等离子体电流）约束等离子体，利用自然对称性避免电流引发的不稳定性，实现长时间连续运行。代表装置：W7-X，德国建造的最大仿星器，由100 个超导线圈形成复杂磁场，目标验证无电流约束的稳定性和长脉冲运行，已实现 30 分钟氦等离子体放电。

优势：无等离子体电流，避免破裂风险，适合稳态运行；磁场结构自然稳定，对材料要求较低（热负荷分布更均匀）。

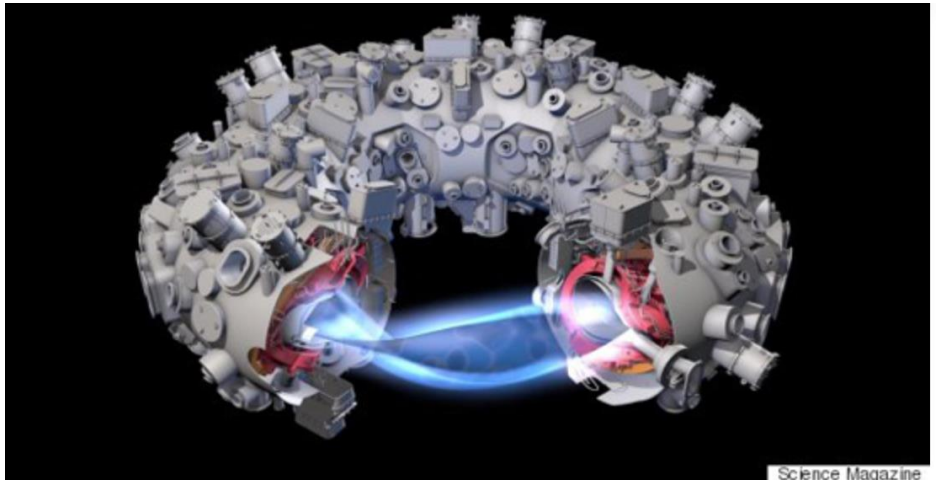
缺点：磁场设计复杂，建造成本是同规模托卡马克的 2-3 倍；同等尺寸下约束时间比托卡马克短 50%。

图表7：托卡马克（a）和仿星器（b）示意图



资料来源：经济学人、太平洋证券

图表8：Wendelstein 7-X 仿星器的技术设计



资料来源：Wendelstein 7-X 、太平洋证券

1.5 惯性约束聚变：Z 箍缩惯性约束聚变

惯性约束聚变通过高功率驱动器（激光、离子束等）在极短时间（纳秒级）内均匀轰击微型燃料靶丸（氘氚混合物），利用靶丸物质消融反冲产生的惯性压力，将燃料压缩至超高密度。

优势： 小型化潜力：单装置尺寸远小于磁约束装置，适合分布式能源布局；无需稳态约束，通过重复脉冲实现连续能量输出，可模拟核武器物理，推动极端条件下的物质科学研究。

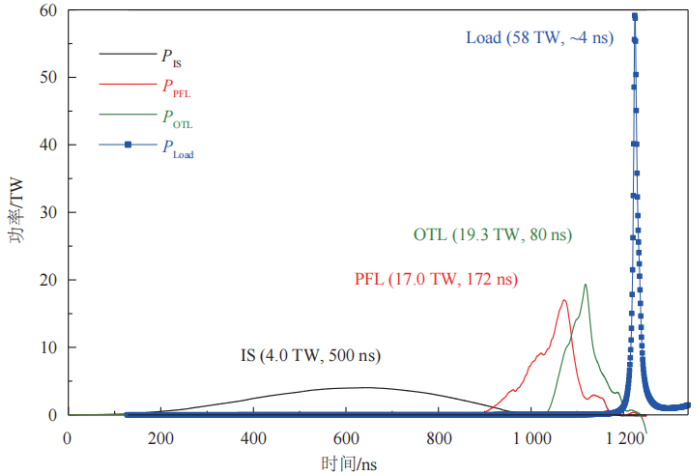
缺点：驱动器效率低；靶丸制备苛刻；辐照不均匀性导致压缩效率下降能量输出断续；依赖高效能量转换与储能系统。

表9：聚龙一号点火瞬间



资料来源：新浪微博、太平洋证券

图表10：“聚龙一号”装置电功率和 X 射线辐射功率



资料来源：中国工程科学、太平洋证券

1.6 可控核聚变：各国的资本开支是投资预判的前瞻性指标

我们需要重点分析全球可控核聚变的研发与工程投资进展，目前看美国、欧洲等海外地区已通过私营企业融资与政府项目加速推进，国内未来五年将进入投资密集期，中核集团是典型代表：中核集团宣布未来五年将投入超 500 亿元用于可控核聚变关键技术攻关与实验堆建设，重点布局磁约束聚变工程、惯性约束点火技术及聚变 - 裂变混合堆研发，其核心规划包括：

加速磁约束聚变工程堆建设投入：未来五年投入超 200 亿元推进 CFETR建设，2025 年完成 CRAFT 综合研究设施验收，2030 年前建成百兆瓦级工程堆，重点突破高温超导磁体等核心部件国产化，预计 2035 年实现氘氚燃烧实验。

强化惯性约束点火技术研发：设立 150 亿元专项基金用于 “神光” 系列激光装置升级，2027 年建成神光 -IV 原型装置（攻关靶丸均匀性制备、快点火技术，目标 2030 年实现能量增益 Q>5，为惯性约束商业化奠定技术基础。

推进聚变 - 裂变混合堆示范项目：联合联创光电等企业投资 150 亿元建设 “星火一号” 混合堆，2025 年完成 50 兆安 Z 箍缩驱动器技术验证，2029 年实现首台 100MW 实验堆并网发电，探索聚变中子驱动裂变的高效能源模式，预计 2040 年进入商业堆设计阶段。

图表11：主要国家资本开支计划

国家	现有总投资（截至 2025 年）	未来投资规划	技术方向与目标
中国	国家队：中核集团 30-60 亿元；中科院 150 亿元；中国聚变能源公司获 17.5 亿元增资	中核集团：200 亿元（上海高温超导托卡马克设计）；	1. **磁约束**：推进 CFETR（Q>5，2027 年建成）、BEST（紧凑型托卡马克，2027 年发电）； 2. **混合堆**：“星火一号” 200 亿元，2029 年并网发电（Q>30）； 3. **目标**：2050 年代建成首座聚变电站，2050-2060 年每年建 10 座。
	私营企业：联创光电 4180 万元（首单）、星环聚能 15 亿元	中科院：50 亿元（CFETR 工程堆建设）	
美国	私营企业：CFS（20 亿美元）、Helion（10 亿美元）、TAE（13 亿美元）	私营企业：CFS 规划 30 亿美元（SPARC 装置）；	1. **磁约束**：CFS 高温超导托卡马克（SPARC，2026 年建成，Q>10）； 2. **惯性约束**：NIF 装置升级（2030 年 Q>5）； 3. **商业化**：Helion 目标 2028 年并网（50MW），CFS 计划 2035 年发电。
	政府项目：ITER 美国份额（约 20 亿美元）	政府：DOE 未来十年投入 50 亿美元（惯性约束与磁约束）	
欧洲（英国 / 德国）	英国：Tokamak Energy（3.35 亿英镑）；	英国：10 亿英镑（2030 前商用原型堆）；	1. **球形托卡马克**：Tokamak Energy 推进 ST40 装置（2035 年示范堆）Q>1； 2. **仿星器**：Proxima Fusion 验证稳态运行（2031 年 30 分钟连续放电）Q>1； 3. **目标**：2040 年英国建成首个聚变电厂（STEP 项目）。
	德国：Proxima Fusion（2750 万欧元）、Marvel Fusion（6200 万欧元）	德国：欧盟 “未来框架计划” 资助 2 亿欧元（2028 前）	
加拿大	General Fusion（3.705 亿美元）	8 亿美元（2028 前工程堆设计）	1. **磁化靶聚变**：结合磁约束与惯性压缩，2040 年实现电网级供电，目标Q≥10； 2. **低成本路线**：降低驱动能量需求
日本	私营企业：EX-Fusion（18 亿日元种子轮）	政府计划：2030 年前投入 500 亿日元	1. **托卡马克协作**：参与 ITER 及 JT-60SA 项目，推进稳态等离子体研究，目标Q>5

资料来源：各国新闻、太平洋证券

1.7 可控核聚变：重点公司进展情况

图表12：重点公司进展情况

企业名称	总部	技术路线	现有总投资	预期投资	核心进展	备注
CFS	美国马萨诸塞州	紧凑型托卡马克（高温超导磁体）	$20 亿美元（截至 2025）	$30 亿美元（规划）	2023 年完成高温超导磁体测试，SPARC 装置预计 2035 年发电，目标 Q>20。	获比尔·盖茨、老虎环球投资，聚焦低成本商用堆，计划 2050 年前部署 1GW 电站。
Helion Energy	美国华盛顿州	磁惯性约束（脉冲式磁压缩）	$5.778 亿美元	$15 亿美元（里程碑）	2024 年实现 Q>1.5，目标 2028 年并网发电，单堆功率 50MW，发电成本＜0.01 美元 / 千瓦时。	独特磁镜设计，无需大型超导磁体，计划 2030 年建成首个商业电厂。
Tokamak Energy	英国牛津	球形托卡马克（高温超导磁体）	£3.35 亿英镑	£10 亿英镑（2030 前）	ST40 装置实现 1 亿℃等离子体，2025 年启动商用原型堆设计，目标 2035 年示范堆发电。	欧盟“聚变高速通道”计划核心企业，与罗尔斯·罗伊斯合作开发紧凑型发电模块。
TAE Technologies	美国加州	场反位形（FRC，无中子聚变）	$13 亿美元	$20 亿美元（2027 前）	2023 年验证 D-^{3}He 聚变可行性，计划 2030 年建成 100MW 示范堆，主打无核废料能源。	专注非氚燃料，降低中子辐射问题，获谷歌、高通投资。
General Fusion	加拿大温哥华	磁化靶聚变（MTF，脉冲高压磁体）	$3.705 亿美元	$8 亿美元（2028 前）	完成原型机磁体系统测试，2026 年启动工程堆设计，目标 2040 年实现电网级供电。	采用“磁惯性约束”混合路线，结合磁约束与惯性压缩，降低对驱动器功率需求。
Zap Energy	美国华盛顿州	Z 箍缩（剪切流稳定，无传统磁体）	$3.378 亿美元	$5 亿美元（2025 前）	2024 年突破 100 万安培等离子体电流，验证“Zap Shear”稳定技术，计划 2035 年商用。	放弃传统托卡马克结构，依赖剪切流维持等离子体稳定，降低设备复杂度。
First Light Fusion	英国牛津	惯性约束（激光驱动，直接驱动技术）	£1.07 亿英镑	£5 亿英镑（2030 前）	2023 年完成 100kJ 激光系统集成，目标 2035 年建成首个惯性约束示范堆，Q>5。	欧洲惯性约束代表企业，专注小型化装置，适配分布式能源需求。
HB11 Energy	澳大利亚悉尼	硼 - 11 聚变（激光驱动，无中子反应）	$2200 万澳元	$1.5 亿澳元（2026 前）	验证激光轰击硼 - 11 燃料的可行性，目标 2040 年实现零中子排放发电，解决核废料问题。	由诺奖得主领导，开发“硼 - 11 + 质子”聚变，产物仅为 α 粒子，安全性极高。
Marvel Fusion	德国慕尼黑	粒子束惯性约束（紧凑型驱动器）	6200 万欧元	2 亿欧元（2028 前）	2024 年完成紧凑型离子束靶室设计，计划 2032 年实现 Q>1，主打中小规模发电场景。	欧洲新兴企业，聚焦惯性约束小型化，获欧盟“未来框架计划”资助。
Proxima Fusion	德国汉堡	仿星器（模块化三维磁场设计）	2750 万欧元	1.5 亿欧元（2030 前）	2023 年发布首台仿星器原型机，目标 2031 年展示连续等离子体运行，验证稳态约束优势。	专注仿星器技术，解决托卡马克电流不稳定性问题，长期看好稳态运行潜力。
星环聚能	中国北京	球形托卡马克（清华团队）	￥15 亿元	￥50 亿元（2027 前）	2024 年启动 SUNIST-2 装置建设，目标 2027 年实现 Q>5，国内私营企业磁约束代表。	获蔚来资本、顺为资本投资，依托清华大学技术，推进紧凑型托卡马克国产化。
联创光电（超导子公司）	中国南昌	高温超导磁体（混合堆专用磁体系统）	￥4180 万元（首单）	￥200 亿元（项目）	2023 年中标中核集团“星火一号”混合堆磁体订单，2025 年完成技术验证，Q 值目标＞30。	唯一参与聚变 - 裂变混合堆的国内民企，高温超导技术已应用于工业加热领域。

资料来源：各公司公告、太平洋证券

1.8 国内主要聚变项目的融资情况

图表13：国内主要聚变项目的融资情况

技术路线	诞生时间 / 里程碑	项目名称	融资情况
托卡马克	1984 年	中国环流器一号（HL-1）	政府主导，无公开融资信息（早期国家级项目）
托卡马克	2006 年	东方超环（EAST）	政府主导，无公开融资信息（中科院合肥物质院核心装置）
托卡马克	2017 年启动设计	中国聚变工程实验堆（CFETR）	总投资超 200 亿元
托卡马克	2020 年	中国环流器二号 M（HL-2M）	政府主导，无公开融资信息（中核集团工程化验证装置）
场反磁镜	2022 年成立	瀚海聚能 FRC 装置	2024 年 8 月获华映资本领投数千万元天使轮，厚实基金与奇绩创坛跟投，计划 2025 年建成中子源工程样机
球形托卡马克	2023 年	SUNIST-2（清华大学）	星环聚能参与技术转化，2022 年获顺为资本等数亿元天使轮，2024 年 Pre-A 轮由上海知识产权基金领投，累计融资超 6700 万美元
场反磁镜	2024 年	星能玄光 KMAX-U 装置	2024 年 11 月获招商局创投领投亿元天使轮，博将资本等参与，聚焦直线型场反磁镜技术
托卡马克	2025 年启动总装	紧凑型聚变能实验装置（BEST）	总投资约 85 亿元
托卡马克	2025 年	中国环流器三号（HL-3）	政府主导，无公开融资信息（中核集团突破双亿度运行）
球形托卡马克	2027 年规划建设	CTRFR-1（星环聚能）	延续 SUNIST-2 技术路线，融资情况与星环聚能整体一致

1.9 国内外主要聚变项目的各时间节点

图表14：国内外主要聚变项目的融资情况

国家/地区	项目名称/技术路线	Q值验证时间节点	厂房建成时间节点	Q值验证到厂房建成时间差	项目启动时间	总体建设时间（启动到建成）
英国	Tokamak Energy（球形托卡马克）	2025年（ST-F1装置Q>1）	2035年（示范堆ST-E1）	10年	2009年（公司成立）	26年
德国	Proxima Fusion（仿星器）	2028年（Q≥1稳态验证）	2040年后（示范堆）	13年	2018年（公司成立）	22年以上
加拿大	General Fusion（磁化靶聚变）	2028年（工程堆Q≥1验证）	2040年（1GW商用堆）	12年	2002年（公司成立）	38年
日本	EX-Fusion（托卡马克协作）	2030年（JT-60SA Q>5）	2045年后（示范堆）	15年	2018年（公司成立）	27年以上
澳大利亚	HB11 Energy（硼-11聚变）	2026年（研发Q≥1）	2040年（零排放商用堆）	14年	2018年（公司成立）	22年
中国	CFETR/星火项目（托卡马克）	2027年（CFETR Q>5）	2030年（星火100MW示范堆）	3年	2018年（工程设计启动）	12年
美国（参考）	Helion（磁约束快速聚变）	2024年（Q>1验证）	2028年（商用堆并网）	4年	2013年（公司成立）	15年

1.10 国内外主要聚变项目的成本收益比例

时间周期：从 Q 值验证到厂房建成平均需10-15 年，中国因技术追赶和政策支持显著缩短至 3-5 年。总体建设时间普遍超过 20 年，中国 “星火” 项目通过混合堆技术将时间压缩至 12 年。

收益率：示范堆阶段投资回收期约 15 年，IRR 为 8-12%；商用堆阶段回收期可缩短至 10 年以内，IRR 提升至 15%+。美国 Helion 等私营企业通过技术创新（如直接磁场发电），远期 IRR 可能突破 20%。

商业化挑战：

材料耐久性：第一壁材料寿命不足和氚自持循环未闭合是主要瓶颈。

成本控制：ITER 单堆成本超 200 亿美元，需通过规模化生产（如中国规划 2050 年每年建 10 座）降低至 300 亿元 / 座以下。

国际竞争格局：

中国：在高温超导、紧凑型托卡马克领域领先，2030 年或建成全球首座示范堆。

美国：私营企业主导技术创新，2028 年或实现首个商用堆并网。

欧洲：依赖 ITER 项目，2040 年后进入商业化。

图表15：各国聚变项目收益示意图

国家	项目阶段	投资规模	预期年发电量	度电成本（元）	投资回收期	内部收益率（IRR）
英国	示范堆（2035）	10 亿英镑	1TWh	0.8-1.2	15-20 年	8-12%
加拿大	商用堆（2040）	8 亿美元	1GW	0.5-0.7	12-15 年	10-15%
中国	示范堆（2030）	200 亿元	0.1TWh	0.6-0.9	10-15 年	12-18%
美国	商用堆（2028）	10 亿美元	0.05TWh	0.07（远期）	8-10 年	20%+

资料来源：中国知网、太平洋证券

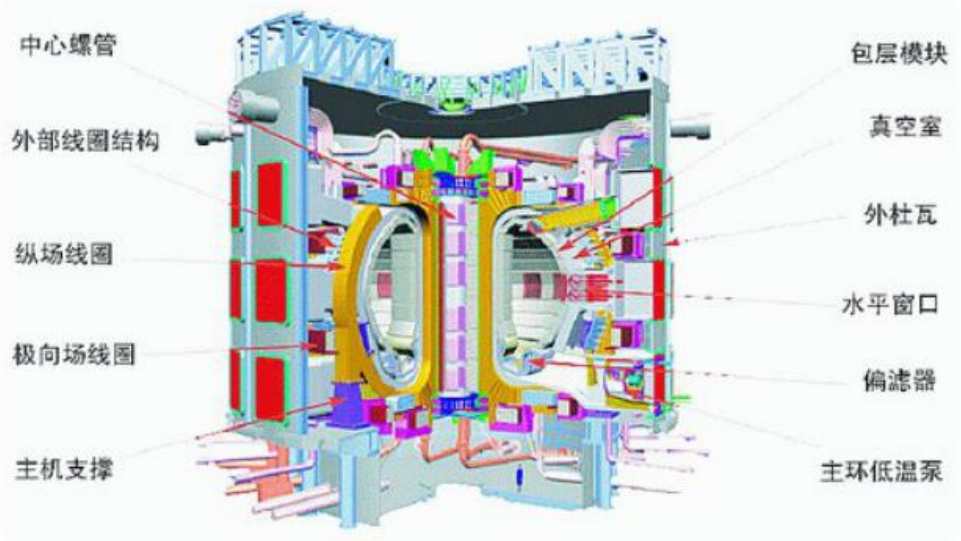
目录

1、多技术路线：磁约束与惯性约束为主流
2、产业链协同发展：材料与设备攻关
3、政策与资本助力：未来延伸空间可期
4、产业链受益标的：重视有长期成长空间的方向
5、风险提示

2.1 核聚变工程核心设备成本拆解

以ITER（国际热核聚变实验堆）、CFETR（中国聚变工程实验堆）为例，核心设备可分为超导磁体系统，真空室与第一壁，偏滤器与包层，加热与诊断系统四部分，ITER的成本分配为磁体系统：28%（56 亿欧元），真空室及堆内构件：25%（55 亿欧元），加热与供电系统：18%（39.6 亿欧元），建筑与低温系统：14%（30.8 亿欧元）。

图表16：托卡马克装置拆解示意图



资料来源：核聚变堆关键材料的强韧化研究、太平洋证券

图表17：托卡马克装置核心材料成本占比

设备类别	功能	核心材料	成本占比
超导磁体系统	产生强磁场约束等离子体（环向场、极向场、中心螺管线圈）。	- 低温超导材料：NbTi、Nb_3Sn（占比超 90%） - 高温超导材料：REBCO（紧凑型装置）	- 实验堆：28%（如 ITER） - 示范堆：12%（如 DEMO）
真空室与第一壁	维持超高真空环境，承受等离子体热负荷与中子辐照。	- 结构材料：316L 不锈钢 - 第一壁材料：钨铜复合材料（替代早期铍材料）	- ITER：25% - CFETR：真空室及真空系统占 12.71%
偏滤器与包层	杂质排出与氚增殖。	- 偏滤器靶板：钨基合金 - 包层：锂陶瓷（Li_2TiO_3）	约占设备总价值的 10%-20%（第一壁占其中 80%）
加热与诊断系统	等离子体加热（中性束注入 NBI、射频加热 ECRH）与实时监测。	- 加热设备：高功率微波源（ECRH）、加速器（NBI） - 诊断材料：金刚石薄膜	ITER 中占 6.76%（含供电系统与辅助设备）

资料来源：IEEE Transactions on Plasma Science，太平洋证券

2.2 产业链分布和关键企业概况

产业链上游主要包含超导材料:低温超导线材，高温超导带材;耐辐照材料：钨基合金，低活化钢。

产业链中游主要包含磁体系统，真空与冷却系统，加热与诊断系统；产业链下游由中核集团、中科院系进行总工程承包。

图表18：中国可控核聚变产业链上游企业概况

攻关领域	关键技术 / 材料	国内核心公司 / 项目	技术进展与目标
超导材料	低温超导线材（NbTi、Nb3Sn）	西部超导（ITER 超导线材供应商）	西部超导完成 CRAFT 项目 Nb3Sn 线材量产，支持 CFETR 磁场强度提升至 12T；
	高温超导带材（YBCO、REBCO）	联创光电（高温超导磁体） 永鼎股份、精达股份（高温超导带材）	联创光电高温超导磁体用于“星火一号”混合堆，目标 Q>30。
耐辐照材料	钨基合金（偏滤器、第一壁）	安泰科技（钨铜偏滤器供应 EAST、ITER）	安泰科技研发的钨铜复合偏滤器通过 ITER 认证，耐 1.5 亿℃等离子体轰击；
	低活化钢（包层结构）	国光电气（钨基第一壁部件）	国光电气为 HL-3 提供首壁材料，抗中子辐照损伤≤0.1dpa / 年。

资料来源：中国科学院、太平洋证券

图表19：中国可控核聚变产业链中游企业概况

攻关领域	关键技术 / 材料	国内核心公司 / 项目	技术进展与目标
磁体系统	高温超导磁体（紧凑型托卡马克）	联创光电（D 型超导线圈，20K 低温测试通过）	联创超导磁体使装置体积缩小 50%，建设周期缩短至 3-4 年；
	超导磁体支撑结构	中核集团（HL-3 高温超导磁体升级）	HL-3 磁体系统升级后等离子体电流突破 150 万安培。
真空与冷却系统	超高真空容器	合锻智能（BEST 堆真空室，订单 5 亿元）	合锻智能承制 BEST 堆 3 台套真空室，精度 ±0.1mm；
	液氦制冷机（4.5K 低温）	雪人股份（EAST 液氧压缩机）	雪人股份制冷设备保障 EAST 千秒级稳态运行。
加热与诊断系统	中性束注入器（10MW 级功率）	中核集团西南物理研究院（HL-3 高功率中性束）	HL-3 中性束单条束线功率达 7MW，电子温度突破 1.6 亿℃；
	汤姆逊散射诊断仪	航天科技（ITER 诊断系统）	航天科技研发的光谱仪精度达国际领先水平。

资料来源：中国科学院、太平洋证券

2.3 西部超导：低温超导线材全流程生产

西部超导材料科技股份有限公司（股票代码：688122）成立于 2003 年，是中国唯一实现低温超导线材商业化量产的企业，也是全球唯一具备铌钛（NbTi）锭棒、超导线材、超导磁体全流程生产能力的供应商。产品覆盖能源、医疗、航空航天等领域，是我国聚变技术自主化的核心推动者。

图表20：西部超导超导线材产品



资料来源：西部超导、太平洋证券

图表21：西部超导优势与挑战

	技术优势与商业化前景	挑战与未来方向
技术优势	全流程技术壁垒；单根万米级 NbTi 超导线材性能国际领先，Nb3Sn 超导线材临界电流密度达 1.8×10^5 A/cm²	技术瓶颈需突破。
	研发投入：2024 年研发费用 2.32 亿元，同比增长 11.44%，重点布局高温超导（如 REBCO 带材）、耐辐照材料（如钨基合金）等前沿领域	国际竞争：美国超导体（AMSC）、日本住友电工在 Nb3Sn 领域仍具优势
核心竞争力	客户壁垒：锁定 ITER、CRAFT、BEST 等国家级项目。	成本控制：超导材料生产能耗占比达 30%，需通过工艺优化（如智能化生产线）将综合成本降低 20% 以上
	政策红利：作为国家战略科技力量，承担多项“卡脖子”技术攻关任务。	需要资本支出，需通过定增或产业基金补充流动性

资料来源：新浪新闻、西部超导、太平洋证券

2.4 联创光电：国内光电及高端装备领域的龙头企业

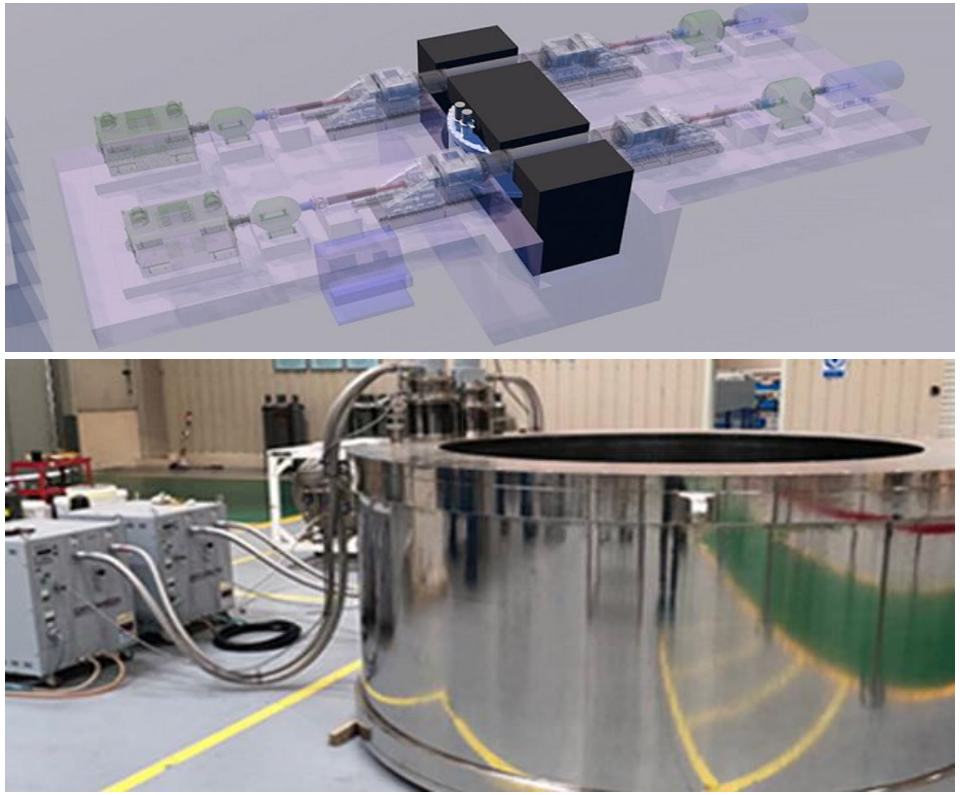
联创光电成立于 1999 年，总部位于江西南昌，是国内光电及高端装备领域的龙头企业，业务涵盖激光装备、超导装备、智能控制器三大核心板块。公司在高温超导、激光反制、智能控制等领域形成技术壁垒。

技术突破：高温超导集束缆线，D 型超导线圈，混合堆技术。

重大项目参与：

“星火一号” 项目：2024 年中标中核集团首个订单（4180 万元），为该全球首个聚变 - 裂变混合示范堆提供高温超导磁体系统，计划 2029 年完成交付。

图表22：联创光电与联创超导产品



资料来源：联创超导、太平洋证券

2.5 永鼎股份：国内光通信与超导材料领域的龙头企业

永鼎股份成立于 1994 年，总部位于江苏苏州，是国内光通信与超导材料领域的龙头企业，业务涵盖光纤光缆、汽车线束、高温超导带材等。公司通过子公司东部超导科技（苏州）有限公司（持股 100%）深度参与可控核聚变领域，聚焦第二代高温超导带材（REBCO）的研发与生产，为核聚变装置磁体提供核心材料。公司超导业务技术突破与订单增长显著，被市场视为核聚变商业化浪潮中的潜力标的技术突破与产品应用。

图表23：永鼎股份第一根高温超导直流电缆通电导体



资料来源：永鼎股份、太平洋证券

高温超导带材：采用IBAD+MOCVD 技术路线，通过稀土掺杂和磁通钉扎工艺，将超导带材的临界电流密度提升至传统低温超导材料的 3 倍以上，同时成本降低 60%。

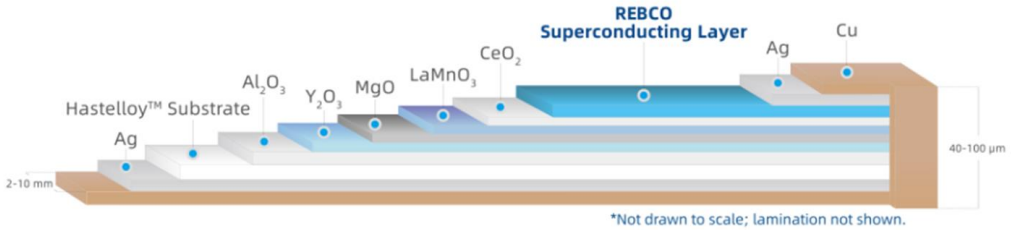
ITER 国际热核聚变实验堆：提供高温超导带材，支撑其磁约束系统建设。**中国环流器二号 M（HL-2M）：**产品通过性能测试，进入 EAST 装置升级及 CFETR 原型设计供应链。**BEST 项目：**为全球首个紧凑型聚变能实验装置提供材料，2025 年首批超导带材交付。

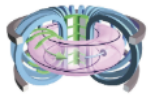
产能扩张：2024 年完成产线扩建，推进高温超导带材在多个领域的应用。潜在项目报告ITER 二期、CFETR 等。

2.6 精达股份：全球特种电磁线领域龙头企业

精达股份是全球特种电磁线领域龙头企业，业务涵盖铜基 / 铝基电磁线、特种导体及精密模具制造。公司通过参股上海超导科技股份有限公司（持股 18.29%）深度布局可控核聚变领域，聚焦第二代高温超导带材（REBCO）的研发与生产，为核聚变装置磁体提供核心材料。

图表24：精达股份参股公司超导线材产品



	超导带宽度	等级	lc(4.2K,10T)
高场应用 	3mm	常规	260 - 340 A
		高性能	340 - 490 A
		超高性能	490 - 600 A
	4mm	常规	350 - 450 A
		高性能	450 - 650 A
		超高性能	650 - 800 A
	12mm	常规	1050 - 1350 A
		高性能	1350 - 1950 A
		超高性能	1950 - 2400 A

资料来源：上海超导科技股份有限公司、太平洋证券

图表25：精达股份优势与挑战

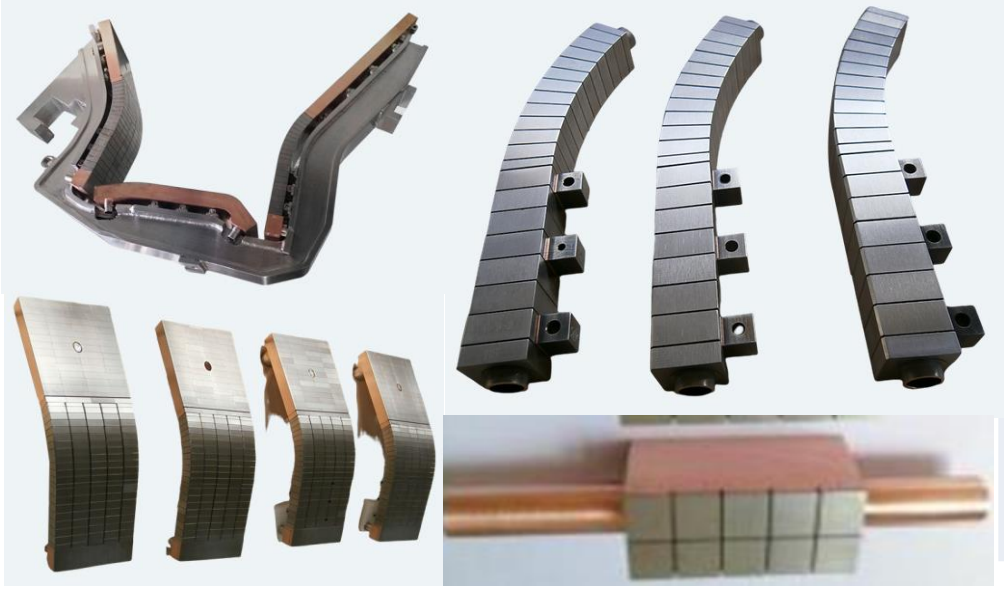
	技术优势与商业化前景	挑战与未来方向
技术优势	高温超导技术领先：全球唯一实现第二代高温超导带材量产，低温强场特性（77K 下拉伸应力超 700MPa）国际领先	技术瓶颈：美国超导体（AMSC）、日本住友电工在 Nb3Sn 领域仍具优势
	全流程能力：覆盖带材制备、磁体绕制、低温测试等环节，具备 20T 以上高场磁体研发能力	高温超导磁体在强磁场下的稳定性仍需验证，临界电流密度需进一步提升至 2kA/cm² 以上
行业地位与对标	国内领先：精达股份是上海超导第一大股东，后者是国内唯一实现第二代高温超导带材量产的企业，技术水平与西部超导（低温超导路线）形成差异化竞争	成本控制：仍处于亏损状态，需持续投入研发与产能建设
	国际对标：上海超导与美国 AMSC、德国 Max Planck 研究所同处高温超导磁体技术第一梯队，但商业化进程落后于美国私营聚变企业（如 Commonwealth Fusion Systems）	

资料来源：新浪新闻、精达股份、太平洋证券

2.7 安泰科技：先进金属材料领域的龙头企业

安泰科技成立于 1998 年，总部位于北京，是中国钢研科技集团旗下先进金属材料领域的龙头企业，业务涵盖高端粉末冶金材料及制品、先进功能材料及器件等，产品广泛应用于新能源、航空航天、光伏核电等高端领域。在可控核聚变领域，公司聚焦核聚变装置核心部件制造，作为全球少数具备全钨复合部件量产能力的企业，为我国 “人造太阳” EAST 大科学工程装置及国际热核聚变实验堆 ITER 提供关键部件，是核聚变全钨偏滤器复合部件研究和制造的世界领先者。

图表26：安泰科技先进金属材料产品：偏滤器全钨复合部件



资料来源：安泰天龙股份有限公司、太平洋证券

图表27：安泰科技优势与挑战

	技术优势与商业化前景	挑战与未来方向
技术优势	全钨复合部件技术领先：全球少数掌握全钨偏滤器复合部件制造技术的企业，耐温超 2000℃，抗中子辐照性能国际领先。	需进一步提升部件耐辐照寿命（当前 1 万小时提升至 10 万小时），降低长期运行中的性能衰减。
	- 全流程制造能力：涵盖材料配方、精密加工、性能测试全流程，保障部件在极端环境下的可靠性。	实验堆项目进度若延迟（如 ITER 建设周期波动），可能影响短期订单交付节奏。
行业地位与对标	- 短期（2025-2030）：聚焦 EAST 升级、ITER 建设等实验堆项目。 - 中期（2030-2040）：伴随 CFETR 等工程堆建设，核心部件需求持续增长 。 - 长期（2040+）：布局商业堆部件供应，目标成为全球核聚变装置关键部件主流供应商。	与日本住友电工、欧洲 Plansee 同处核聚变钨基部件第一梯队，部分指标（如界面结合强度）领先，商业化进程随 ITER 项目推进加速。

资料来源：新浪新闻、安泰科技、太平洋证券

2.8 国光电气：国内真空及微波应用产品领域的核心企业

国光电气成立于 1981 年，总部位于四川成都，是国内真空及微波应用产品领域的核心企业，业务涵盖微波器件、核工业设备及部件等，产品广泛应用于航空航天、核工业、新能源等高端领域。在可控核聚变领域，公司聚焦核聚变装置核心真空系统与微波加热设备，是国内唯一实现核聚变装置真空室配套微波器件量产的企业，为国际热核聚变实验堆（ITER）、中国聚变工程实验堆（CFETR）等全球重大项目提供关键部件，技术水平国际领先。

图表28：国光电气真空系统和微波设施



直联旋片式真空泵



25kW微波功率源

资料来源：国光电气股份有限公司、太平洋证券

图表29：国光电气优势与挑战

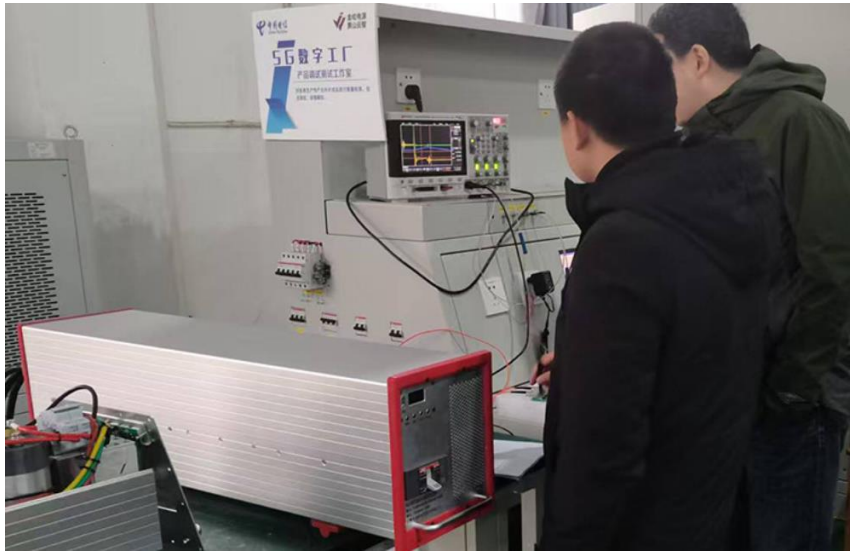
	技术优势与商业化前景	挑战与未来方向
技术优势	微波加热技术领先：全球少数掌握兆瓦级回旋管量产技术的企业，中性束注入系统单条束线功率达 7MW，跻身国际第一梯队。	应用场景延伸：推动微波加热技术向核裂变装置、太空辐射防护等领域拓展，提升技术附加值。
	- 真空系统全流程能力：覆盖材料配方、精密加工、性能测试全链条，保障部件在极端环境下的可靠性。 - 热氦检漏技术国际垄断：检测灵敏度达 1×10^{-12} Pa·m³/s，支撑 ITER 装置高真空密封性能要求。	产能扩张：规划未来三年产能提升 3 倍，巩固行业竞争优势，为商业化推广做好准备
行业地位与对标	产能保障：拥有全流程真空部件制造能力，生产线适配 ITER、CFETR 等装置需求。 订单：潜在合同覆盖 ITER 二期、CFETR 等项目	国内垄断：在核聚变真空系统与微波器件领域独家供应，技术引领国内发展，是中科院等离子体所、核工业西南物理研究院等核心机构的长期合作伙伴。

资料来源：新浪新闻、国光电气、太平洋证券

2.9 合锻智能：国内高端成形装备制造领域的龙头企业

合锻智能成立于 1951 年，总部位于安徽合肥，是国内高端成形装备制造领域的龙头企业，业务涵盖液压机、机械压力机及自动化生产线，产品广泛应用于汽车、军工、核电等领域。在可控核聚变领域，公司依托精密制造能力，深度切入聚变堆真空室、偏滤器等核心部件制造环节，是国内唯一具备 ITER 级 D 形双层真空室整体成型能力的企业，技术水平国际领先。

图表30：首套三类波加热电源电源模块等测控系统集成验收现场



资料来源：合锻智能股份有限公司、太平洋证券

图表31：合锻智能优势与挑战

	技术优势与商业化前景	挑战与未来方向
技术优势	真空室制造：自主研发的 500MN 多向模锻液压机可生产直径 4 米级真空室构件，加工精度达 ±0.05mm，满足聚变堆极端工况需求；独创“真空室多层复合焊接工艺”，实现 0.01mm 级微米焊接精度，热负荷承受能力达 15MW/m²（超出 ITER 标准 20%）。	技术多元化：同步研发锂铅包层、超导磁体支撑结构等新型部件材料，拓展产品矩阵。
	偏滤器技术：研制出耐 1.5 亿℃高温的钨基偏滤器组件，打破美国、日本技术封锁，已进入 BEST 装置验证阶段。 材料工艺：开发耐 1.5 亿℃高温的特种合金焊接工艺，焊缝强度较传统工艺提升 30%，获省部级科技进步奖。	真空室、偏滤器占核心设备成本 25% 以上，合锻智能占据技术高地
行业地位与对标	专利储备：主导“核聚变堆真空室制造工艺研究”等 3 项国家专项，拥有 18 项发明专利，覆盖真空室焊接、材料复合等核心技术	国内垄断：国内唯一具备聚变堆真空室全流程制造能力的企业，技术水平引领国内发展

资料来源：新浪新闻、合锻智能、太平洋证券

2.10 爱科赛博：产品根基好、拓展能力强的国产电源龙头

爱科赛博始于特种电源业务，而后乘势拓展，成功将业务版图延伸至电能质量设备与精密测试电源领域，实现多元发展。1996年，爱科赛博的前身爱科电子在西安成立，开展电源业务。其特种电源主要应用于特种装备、民航保障、轨道交通、科研试验和高端工业等领域。经过在这些领域，长期深耕，目前公司已成为特种装备、轨道交通、航空保障、加速器等多个市场的头部企业。

图表32：爱科赛博加速器电源

产品类型		产品图片	产品概述	业务阶段	应用场景
静态电源	机架式直流静态电源		加速器电源是一类特殊的供电电源，主要为加速器系统中的磁铁提供精确控制的电能，应用于各种带电粒子加速器装置中，包括直流、带直流偏置的动态、脉冲等工作模式，与磁铁一同组成磁铁电源系统。加速器电源提供从几安培到上千安培，甚至上万安培电流，功率从几百瓦到兆瓦，具有高稳定度、高精度、高动态特性，通过受控电能激励磁铁实现对磁场的精确控制，最终控制带电粒子束流按照预定轨道运动。	量产	应用于科研院所、高校等机构的加速器。主要包括：中国科学院下属物理研究所、中国科学技术大学、核工业西南物理研究院等。
	机柜式直流静态电源			量产	
动态电源	动态电源			量产	
	脉冲电源			量产	

资料来源：公司招股说明书、太平洋证券

图表33：爱科赛博优势与挑战

	技术优势与商业化前景	挑战与未来方向
技术优势	爱科赛博攻克了超导电源大电流、低纹波、高稳定度等难题，其万安培级产品纹波指标处于国内领先水平。公司具备EAST项目成功交付经验，自主设计的电源系统具备高精度智能控制和高密度功率变换能力，能够适配不同规格的核聚变装置需求，在动态指标方面优势明显形成技术壁垒。	核聚变项目对电源产品的精度、动态响应速度、稳定性、可靠性等要求极为严苛，同时对成本控制和质量也有较高要求。此外，还面临项目进度不及预期、需求不及预期、竞争加剧等风险。
行业地位与对标	公司深度参与多项国内外重大核聚变项目，负责EAST全超导磁体托卡马克核聚变反应试验性装置的动态电源部分，还为DIII-D国家聚变设施项目提供控制电源，参与中国环流三号项目及HL-2M托卡马克真空室线圈电源等研发建设，目前正持续跟进国内核聚变工程实验堆（CFETR）等重点项目。	未来方向：公司将继续发挥技术优势，巩固在磁体电源领域的地位，加快加热电源等其他类别电源的研发和规模化交付能力建设，积极对接更多可控核聚变项目的电源需求，进一步拓展在可控核聚变领域的业务。

资料来源：新浪新闻、爱科赛博、太平洋证券

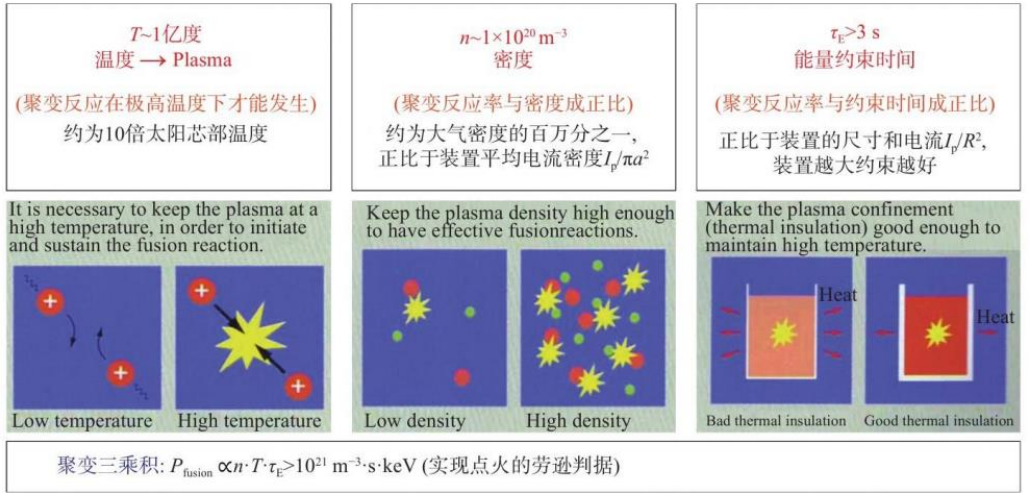
目录

1、多技术路线：磁约束与惯性约束为主流
2、产业链协同发展：材料与设备攻关
3、政策与资本助力：未来延伸空间可期
4、产业链受益标的：重视有长期成长空间的方向
5、风险提示

3.1 聚变能源开发的重要里程碑节点

近年来，各种聚变技术路线均取得显著进步，但面向能源应用的聚变技术路径尚未获得闭环验证，相应开发工作面临着多重挑战。劳逊判据是核聚变的科学门槛，而商业化还需跨越工程可行性（Q>10）、燃料循环（氚自持）、材料寿命等多重关卡，预计 2030-2050 年进入示范堆验证阶段。跨越这4个节点后，聚变能源还面临经济竞争力差的困境。

图表34：核聚变是否点火成功的判据



资料来源：激光聚变月报、太平洋证券

图表35：聚变能源开发的重要里程碑节点

评价指标	节点1	节点2	节点3	节点4
能量平衡	Q_{Sci}=1	Q_{Eng}=1	Q_{Eng}=5	Q_{Eng}=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

资料来源：聚变能源研究态势及展望、太平洋证券

3.2 中国国内对可控核聚变的政策支持总结：双碳目标与能源体系规划

国家顶层设计与战略定位（包括双碳目标与能源体系规划）：

《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》（中共中央、国务院，2021 年）：明确将可控核聚变列为“探索开发”的前沿技术，作为实现“双碳”目标的重要战略储备能源。

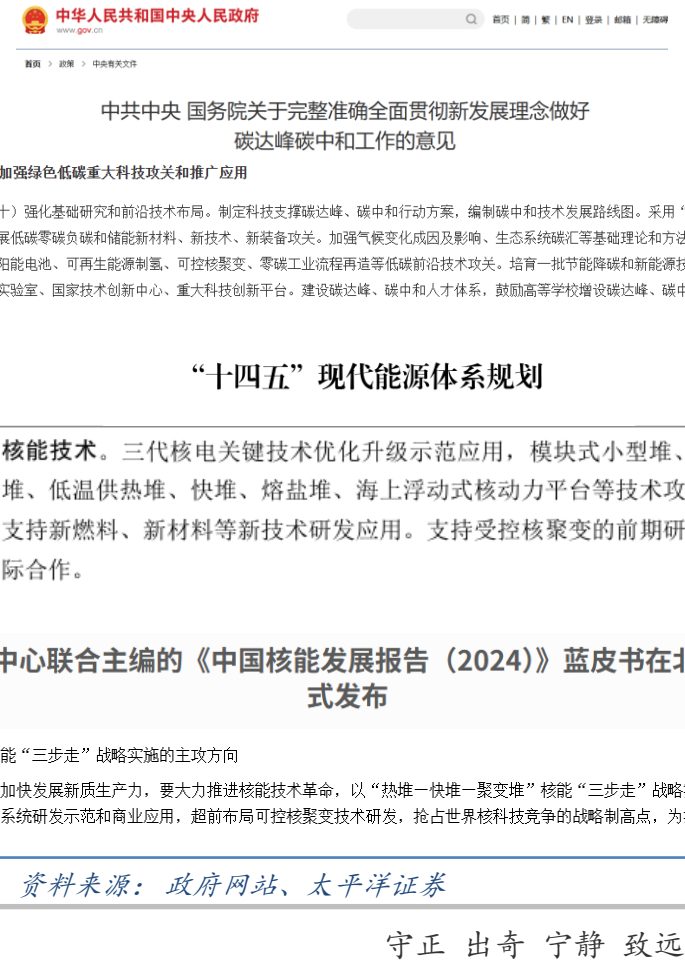
《2030 年前碳达峰行动方案》（国务院，2021 年）：提出“推进可控核聚变技术研究和工程测试”，纳入“能源绿色低碳转型行动”重点任务。

《“十四五”现代能源体系规划》（国家发改委、国家能源局，2022 年）：在“前瞻布局前沿能源技术”专栏中明确支持“受控核聚变基础研究和技术研发”，首次将其纳入国家级五年规划。

核能“三步走”战略深化：

延续 1983 年提出的“热堆 - 快堆 - 聚变堆”发展路径，2023 年《中国核能发展报告》重申“聚变堆是最终解决能源问题的根本途径”，明确 2030 年建成CFETR 工程堆、2050 年建成PFPP 原型电站的时间表。

图表36：双碳目标与能源体系规划


中华人民共和国中央人民政府
www.gov.cn

首页 > 政策 > 中央有关文件

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

八、加强绿色低碳重大科技攻关和推广应用

（二十）强化基础研究和前沿技术布局。制定科技支撑碳达峰、碳中和行动方案，编制碳中和技术发展路线图。采用“揭榜挂帅”机制，开展低碳零碳负碳和储能新材料、新技术、新装备攻关。加强气候变化成因及影响、生态系统碳汇等基础理论和方法研究。推进高效率太阳能电池、可再生能源制氢、可控核聚变、零碳工业流程再造等低碳前沿技术攻关。培育一批节能降碳和新能源技术产品研发国家重点实验室、国家技术创新中心、重大科技创新平台。建设碳达峰、碳中和人才体系，鼓励高等学校增设碳达峰、碳中和相关学科专业。

“十四五”现代能源体系规划

先进核能技术。三代核电关键技术优化升级示范应用，模块式小型堆、（超）高温气冷堆、低温供热堆、快堆、熔盐堆、海上浮动式核动力平台等技术攻关及示范应用。支持新燃料、新材料等新技术研发应用。支持受控核聚变的前期研发，积极开展国际合作。

由中心联合主编的《中国核能发展报告（2024）》蓝皮书在北京正式发布

聚焦核能“三步走”战略实施的主攻方向

核工业加快发展新质生产力，要大力推进核能技术革命，以“热堆—快堆—聚变堆”核能“三步走”战略实施为主攻方向热堆核能系统研发示范和商业应用，超前布局可控核聚变技术研发，抢占世界核科技竞争的战略制高点，为推进能源革命、

资料来源：政府网站、太平洋证券

3.3 可控核聚变的政策支持总结：科研专项与财政投入

国家磁约束核聚变能发展研究专项（2008 年启动）：累计部署 220 个项目，安排经费超 60 亿元，支持 EAST、HL-2M 等装置建设及核心技术攻关（如高温超导磁体、偏滤器材料）。

“十三五” 国家重大科技基础设施：投资 50 亿元建设CRAFT（聚变堆主机关键系统综合研究设施），2025 年完成验收，为 CFETR 提供技术验证平台。

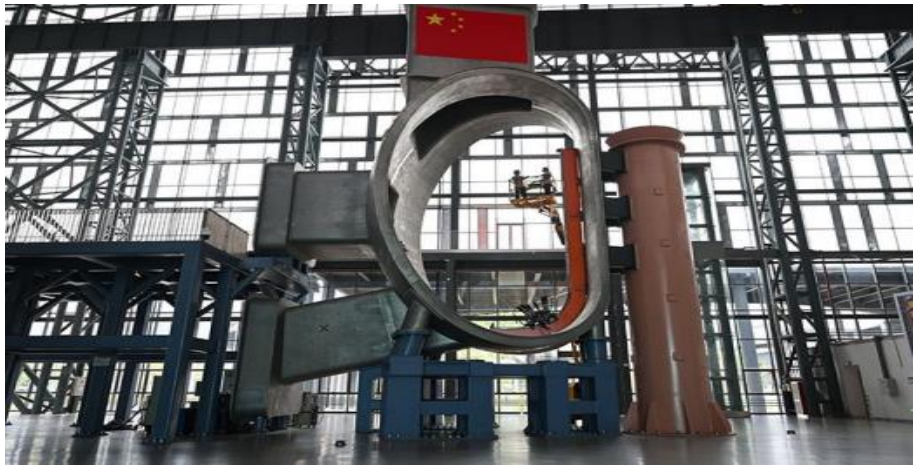
中核集团专项规划：未来五年投入超 500 亿元，重点支持 CFETR 工程堆建设（200 亿元）、“星火一号” 混合堆研发（150 亿元）及高温超导磁体国产化。

图表37：CRAFT园区



资料来源：新华网、太平洋证券

图表38：CRAFT1/8真空室及总体安装实验平台进行设备调试



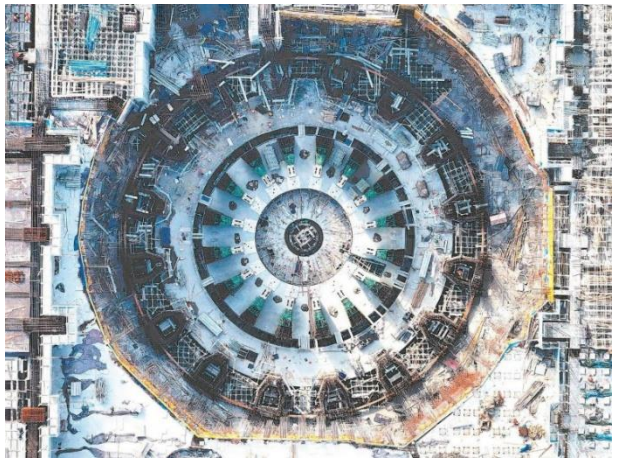
资料来源：大皖新闻、太平洋证券

3.4 可控核聚变的政策支持总结：社会资本引导

中国聚变能源有限公司（筹）：2023 年 12月揭牌；中国核电（10 亿元）、浙能电力（7.5 亿元）首批增资 17.5 亿元，目标通过市场化机制加速商业化进程。

地方政府配套：安徽、四川等地设立聚变产业园，提供税收优惠、用地支持，吸引联创光电、星环聚能等企业落地。上海的核电工业支持着重要的核电装机容量，通过新项目和升级，旨在助力中国到 2025 年达到 70GW 的核电装机目标。

图表39：紧凑型聚变能实验装置（BEST）项目正在加紧施工



资料来源：中国科学院合肥物质科学研究院等离子体所、太平洋证券

图表40：成都揭牌仪式现场



资料来源：中核集团核工业西南物理研究院、太平洋证券

3.5 可控核聚变的政策支持总结：组织架构与产学研协同

国家级创新联合体：

可控核聚变创新联合体（2023 年成立）：由中核集团牵头，联合 25 家央企（中国核电、上海电气）、科研院所（中科院等离子体所、中物院）、高校（清华大学、中科大），聚焦 “卡脖子” 技术攻关，发布首批 10 项核心任务（如氚自持系统、超导磁体稳定性）。

国际合作机制：深度参与 ITER 计划（承担 12 个子包制造，如超导磁体、偏滤器），主导CFETR 国际合作，吸引 17 家国际机构参与 HL-3 装置实验。

企业技术联盟：

聚变产业联盟（2023 年成立）：15 家国内外企业（西部超导、国光电气、上海超导）共建，推动技术转化，目标 2030 年前实现实验堆设备国产化率超 80%。

3.6 可控核聚变的政策支持总结：技术攻关与工程化推进

图表41：BEST装置建设现场



资料来源：澎湃新闻、央视新闻、太平洋证券

核心技术专项突破

材料与设备国产化：

高温超导带材：支持永鼎股份、精达股份（参股上海超导）突破 REBCO 带材技术，目标 2025 年实现 1000A/cm 宽度临界电流。

耐辐照材料：安泰科技、国光电气承担 ITER 增强热负荷第一壁研发，2022 年完成首件制造，抗 1.5 亿℃等离子体轰击寿命超 1 万小时。

装置建设里程碑：

BEST 紧凑型托卡马克：中科院等离子体所主导，2027 年建成，目标全球首次演示聚变发电（Q≥5），获安徽省政府 20 亿元专项支持。

星火一号混合堆：中核集团与联创光电联合建设，2029 年并网发电，Q>30，配套 200 亿元工程投资。

目录

1、新能源+AIDC：AI新基建带来的大机遇
2、新能源+人形机器人：AI+新能源制造的完美结合
3、新能源+低空经济：未来延伸空间可期
4、产业链受益标的：重视有长期成长空间的方向
5、风险提示

4 产业链相关标的：寻找有长期成长空间的方向

可控核聚变是未来几十年的大趋势，可控核聚变未来的机会将不断涌现，本篇报告阐释的三个方向的相关标的主要有：

1）上游核心材料与关键部件：精达股份、永鼎股份、西部超导、安泰科技、广大特材、久立特材等。

2）中游核心设备与系统集成：爱科赛博、联创光电、上海电气、国光电气、合锻智能等。

3）下游工程应用与商业化：中国核电等。

目录

1、多技术路线：磁约束与惯性约束为主流
2、产业链协同发展：材料与设备攻关
3、政策与资本助力：未来延伸空间可期
4、产业链受益标的：重视有长期成长空间的方向
5、风险提示

风险提示

- 核聚变项目研发进度不及预期，新兴技术迭代的风险
- 政策不及预期
- 行业竞争格局恶化
- 下游需求减弱导致核聚变项目需求不及预期
- 安全性和环境影响仍需进一步验证

投资评级说明

1、行业评级

看好：预计未来6个月内，行业整体回报高于沪深300指数5%以上；

中性：预计未来6个月内，行业整体回报介于沪深300指数-5%与5%之间；

看淡：预计未来6个月内，行业整体回报低于沪深300指数5%以下。

2、公司评级

买入：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅在15%以上；

增持：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于5%与15%之间；

持有：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于-5%与5%之间；

减持：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅介于-5%与-15%之间；

卖出：预计未来6个月内，个股相对沪深300指数涨幅低于-15%以下。

太平洋证券股份有限公司

云南省昆明市盘龙区北京路926号同德广场写字楼31楼

太平洋证券 PACIFIC SECURITIES

投诉电话： 95397

投诉邮箱： kefu@tpyzq.com

免责声明

太平洋证券股份有限公司（以下简称“我公司”或“太平洋证券”）具备中国证券监督管理委员会核准的证券投资咨询业务资格。

本报告仅向与太平洋证券签署服务协议的签约客户发布，为太平洋证券签约客户的专属研究产品，若您并非太平洋证券签约客户，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息；太平洋证券不会因接收人收到、阅读或关注媒体推送本报告中的内容而视其为太平洋证券的客户。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机构和个人的投资建议，投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。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。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。我公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。本报告版权归太平洋证券股份有限公司所有，未经书面许可任何机 构和个人不得以任何形式翻版、复制、刊登。任何人使用本报告，视为同意以上声明。