

新材料产业深度报告： 核聚变临界点已至，关键部件与材料迎战略机遇 ——新材料产业框架之五

李永磊(证券分析师)

S0350521080004

liyl03@ghzq.com.cn

董伯骏(证券分析师)

S0350521080009

dongbj@ghzq.com.cn

王鹏(联系人)

S0350125040009

wangp05@ghzq.com.cn

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

本篇报告解决了以下核心问题：1、当前核聚变技术进展和未来关键时间节点展望；2、全球核聚变装置运行状况及融资情况分析；3、磁体系统、偏滤器、包层系统价值量分析及关键材料拆解。

◆ 核聚变技术加速突破，大科学装置实现里程碑节点

ITER（国际热核聚变实验堆）：2020年进行了重大工程安装启动仪式，预计2034年开始对氘-氚等离子体进行实验，2036年开始以全磁能和等离子体电流长脉冲运行，2039年开始氘-氚运行。中国承担了18个关键部件采购包制造。

HL-3（环流三号）：2025年5月，综合参数聚变三乘积达到10的20次方量级，中国聚变快速挺进燃烧实验。

EAST（东方超环）：2025年1月，首次完成1亿摄氏度1066秒长脉冲高约束模等离子体运行，再次刷新世界纪录。

BEST（紧凑型聚变能实验装置）：2025年5月，工程总装提前两个月正式启动，计划2027年建成，2030年演示发电。

CRAFT（聚变堆主机关键系统综合研究设施）：目标建成国际核聚变领域参数最高、功能最完备的综合性研究及测试平台，2018年开工建设，预计2025年底建成。

◆ 资本密集押注核聚变，全球抢发第一度电

据FIA发布的《2024年全球核聚变行业报告》，2024年核聚变行业吸引超过71亿美元的投资，其中新资金超过9亿美元，公共资金增长了57%，达到4.26亿美元。美国三大核聚变商业公司CFS、TAE、Helion合计融资43亿美元，谷歌、微软计划通过核聚变为其数据中心供电。中国聚变新能注册资本已达到145亿元，星环聚能、能量奇点均获数亿元融资。据Research Nester预计，2025年全球核聚变市场规模为3451亿美元，预计到2037年底将达到6338亿美元，年均复合增速5.1%。

关键时间节点：2030年，BEST实现聚变演示发电；2035年左右，CFETR（中国聚变工程实验堆）建成；2045年左右，我国可控核聚变能应用进入示范阶段；2050年左右，实现聚变商业化发电。

◆ 核聚变关键部件：磁体系统、偏滤器、包层系统

以ITER为例，磁体系统、堆内构件（偏滤器、包层第一壁、包层屏蔽模块等）、真空室等关键部件成本占比分别为28%、17%、8%。按照单堆建造成本1000亿人民币计算，上述三个关键部件合计价值量达530亿人民币。核心材料包括钨、铍、RAFM钢、超导材料、氚增殖材料等，高温超导、钨合金的技术突破有望进一步加速核聚变行业发展。

◆ 建议关注公司

安泰科技、西部超导、振华股份、应流股份、斯瑞新材、合锻智能、国光电气、东方电气、精达股份、永鼎股份、旭光电子、上海电气、联创光电

◆ 风险提示

商业化进程不及预期，技术快速迭代风险，政策和资金支持变动风险，国际贸易争端加剧，核安全事故风险，重点关注公司业绩不及预期，测算偏差风险。

- 在托卡马克装置中，面向等离子体部件是工程制造要求最严苛的部件之一，需要承受来自等离子体的粒子流和热流、高能中子辐照和表面热负荷的冲击，主要包括第一壁、限制器和偏滤器。其他部件还有真空室、磁体线圈、氦工厂等。
- 钨：具有高熔点、高溅射阈值、高热导、低氦滞留等优点，是最有希望的面向等离子体材料。
- 铍：具有优异核性能和物理性能的稀有轻金属，密度低、比刚度高、比强度大、热性能优异，可用于中子倍增剂和第一壁。
- 超导材料：磁体线圈的主要材料，包括Nb₃Sn、NbTi等低温超导材料以及高温超导。

图表：托卡马克装置关键部件及材料

关键部件	部件介绍	候选材料
第一壁	第一壁是与等离子体直接接触的壁面，主要作用是隔绝等离子体与真空室内其他部件的直接接触，包括高场和低场侧第一壁、低场侧被动板等。	钨、钼、铍、石墨、CuZrCr合金热沉材料、不锈钢背板材料
偏滤器	偏滤器可提高等离子体的杂质排出，减少杂质重新进入芯部等离子体，需承受来自高温等离子体的能量沉积。	石墨、碳纤维复材、钨及合金
限制器	限制器主要作用是限制等离子体与壁之间的相互作用，以维持等离子体在真空室中的稳定运行，随着等离子体约束的时间越来越长，对限制器的排热能力设计和材料的选用有较高要求。	钨、钼、铍、碳
真空室	内真空室主要为等离子体的稳定运行提供清洁的超高真空环境，外真空室主要为超导磁体的正常运行提供真空绝热条件。	不锈钢
磁体线圈	超导磁体系统由四个主要的子系统组成：环向场线圈、中心螺线管线圈、极向场线圈和校正场线圈	低温超导：Nb ₃ Sn、NbTi等 高温超导：REBCO等
氦工厂	包括氦气外燃料循环系统、氦气内燃料循环系统及氦包容与安全防护系统3部分，是实现聚变堆氦燃料自持的关键。	氦增殖剂：硅酸锂、钛酸锂等，中子倍增剂：铍球，结构材料：低活化铁素体/马氏体钢

资料来源：ITER China，西部超导招股说明书，《EAST装置面向等离子体部件的尖缘热聚集效应研究》郭宗晓，《聚变装置真空系统远程泄漏检测方法研究》毕海林等，《NCST球形托卡马克装置真空系统研究》黄富华，《我国聚变堆氦增殖循环技术最新研究进展与展望》彭述明，《ITER计划实验包层项目概述》盛倩等，《超导成“材”之路——实用化高温超导材料的制备及发展》常佳鑫等，国海证券研究所

图表：核聚变相关公司汇总

股票代码	公司	核聚变相关产品	市值 (亿元)	归母净利润（亿元）			PE		
				2024	2025E	2026E	2024	2025E	2026E
000969.SZ	安泰科技	钨铜偏滤器、包层第一壁	131.87	3.72	3.43	4.24	35.41	38.44	31.10
688122.SH	西部超导	低温超导NbTi、Nb ₃ Sn材料	326.85	8.01	10.10	12.55	40.82	32.36	26.04
603067.SH	振华股份	金属铬	103.34	4.73	7.11	9.28	21.85	14.54	11.14
603308.SH	应流股份	偏滤器	158.01	2.86	4.15	5.60	55.18	38.08	28.22
688102.SH	斯瑞新材	铜铬铌合金	97.13	1.14	1.55	2.06	85.02	62.67	47.18
603011.SH	合锻智能	真空室	80.84	-0.89	0.37	1.34	-	218.48	60.33
688776.SH	国光电气	偏滤器、包层第一壁、热氦检漏设备	113.28	0.47	1.24	1.72	240.77	91.25	66.02
600875.SH	东方电气	磁体支撑系统、包层屏蔽模块	566.87	29.22	43.13	51.75	19.40	13.14	10.95
600577.SH	精达股份	高温超导REBCO材料	165.70	5.62	7.04	8.31	29.50	23.54	19.93
600105.SH	永鼎股份	高温超导REBCO材料	130.56	0.61	3.63	1.50	212.58	35.99	87.13
600353.SH	旭光电子	射频电子管	115.12	1.02	1.70	2.10	112.34	67.72	54.82
601727.SH	上海电气	外真空杜瓦、真空室、内外冷屏	1,004.39	7.52	13.71	27.07	133.48	73.26	37.10
600363.SH	联创光电	高温超导磁体系统	261.63	2.41	6.14	7.51	108.48	42.61	34.84

资料来源：， iFinD， 各公司公告、官网， 国海证券研究所（数据截至20250709， 除安泰科技、西部超导、振华股份、应流股份外， 其余公司盈利预测均来源于一致预期）

- ◆ 核聚变：未来终极能源渐行渐近
- ◆ 资本助力技术加速突破，全球抢发第一度电
- ◆ 关键部件拆解：磁体系统、偏滤器、包层系统
- ◆ 相关公司汇总
- ◆ 风险提示

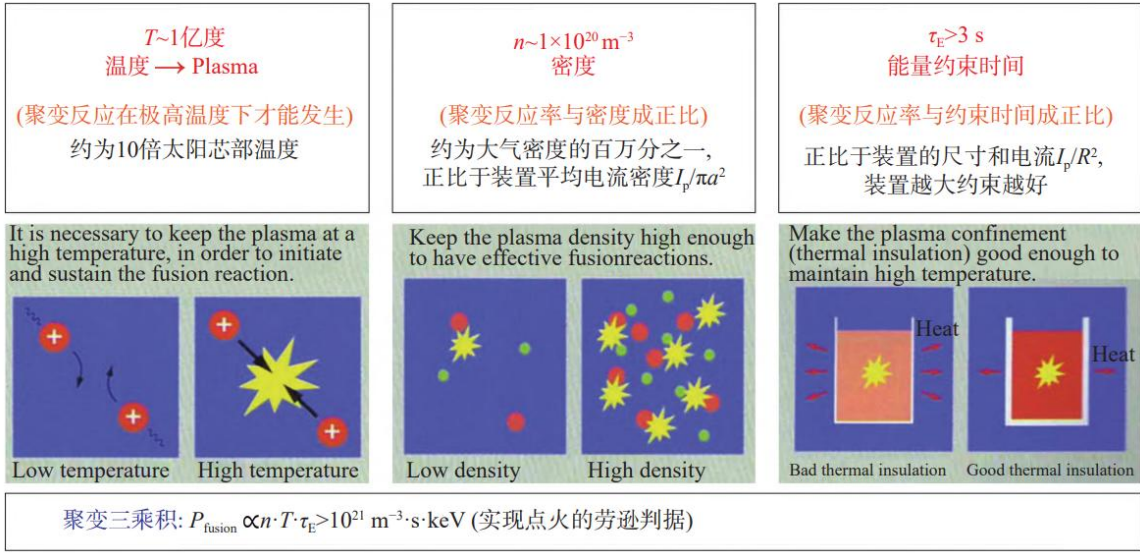
- 核聚变反应是轻原子核结合成较重原子核并释放能量的过程。与核裂变能相比，核聚变能具有能量密度高、绿色环保、燃料充足、安全性高等优势，是人类未来理想终极能源的首要选择。
- 实现核聚变反应，需要同时满足三个条件：足够高的温度（ T ）、一定的密度（ n ）和一定的能量约束时间（ τ_E ），三者的乘积称为聚变三乘积。根据劳逊判据，只有聚变三乘积大于一定值（ $5 \times 10^{21} \text{m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{keV}$ ）能产生有效的聚变功率输出。

图表：核聚变能的独特优势

	优势介绍
能量密度高	1g铀235（核裂变燃料）产生的核裂变能量相当于1.8t汽油，而1g氘-氚（核聚变燃料）产生的核聚变能量相当于8t汽油，氘-氚聚变能量密度比铀裂变高出4倍以上。
绿色环保	核聚变燃料属于轻元素序列，其原料和产物很少具有放射性，即使放射性元素氚其半衰期也只有短短的12.43年左右；而核裂变燃料属于重金属元素序列，其原料和废料伴随强放射性，半衰期数以万年计。
燃料充足	一升海水能够提取大约30mg的氘，产生的聚变能量相当于340L汽油，而整个海洋的氘储备量约45万亿吨，取之不尽、用之不竭。
安全性高	核聚变不需要中子“点火”，不是链式反应，只要不维持高温高密就立即停止反应，万一失控核聚变会在很短时间内自行停止。

资料来源：《超导磁体技术与磁约束核聚变》王腾，国家核安全局，国海证券研究所

图表：可控核聚变反应必须满足的三个条件

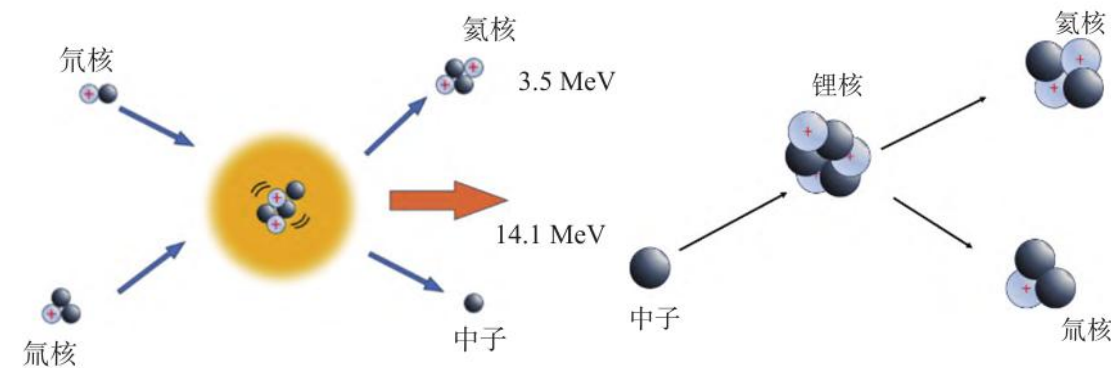


资料来源：《超导磁体技术与磁约束核聚变》王腾

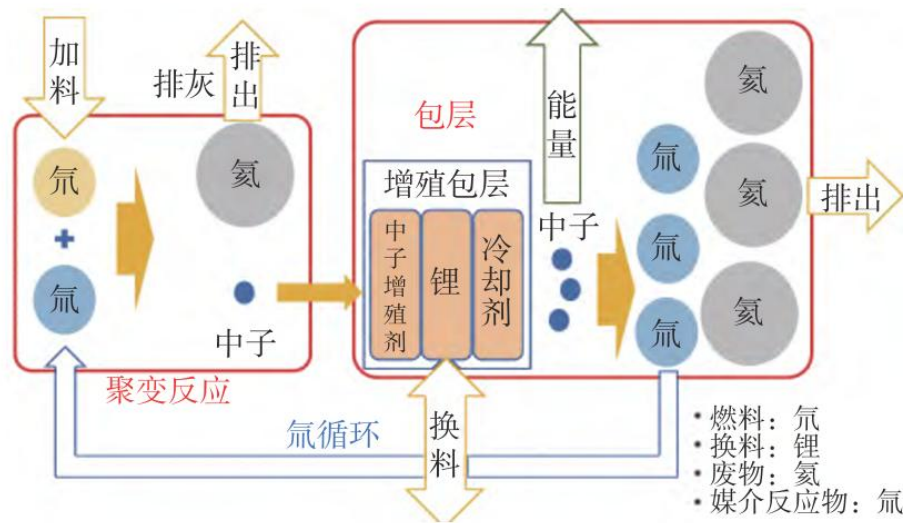
氦氦反应有望最早实现可控核聚变

- 轻原子核在一定条件下发生聚合反应，并在反应过程中损失一部分质量，损失的质量将以能量的形式释放出来，氦氦反应由于碰撞截面较大而被认为是有望最早实现的受控热核聚变反应。
- 氦氦核聚变反应原理：**氦氦反应（ $^2\text{D}+^3\text{T}\rightarrow^4\text{He}+\text{n}$ ）生成14.1MeV的中子和3.5MeV的 α 粒子，中子与锂反应（ $\text{n}+^6\text{Li}\rightarrow^4\text{He}+^3\text{T}$ ）生成氦和氦，反应过程需要补充的是 ^2D 和 ^6Li ， ^3T 可循环使用，仅在“点火”时需要参与初始反应的 ^3T 。聚变反应产生的中子能量被包层吸收，使包层温度升高，升温的能量用于加热工质并推动汽轮机发电。

图表：氦氦聚变、中子与锂反应示意图



图表：聚变堆主循环原理示意图



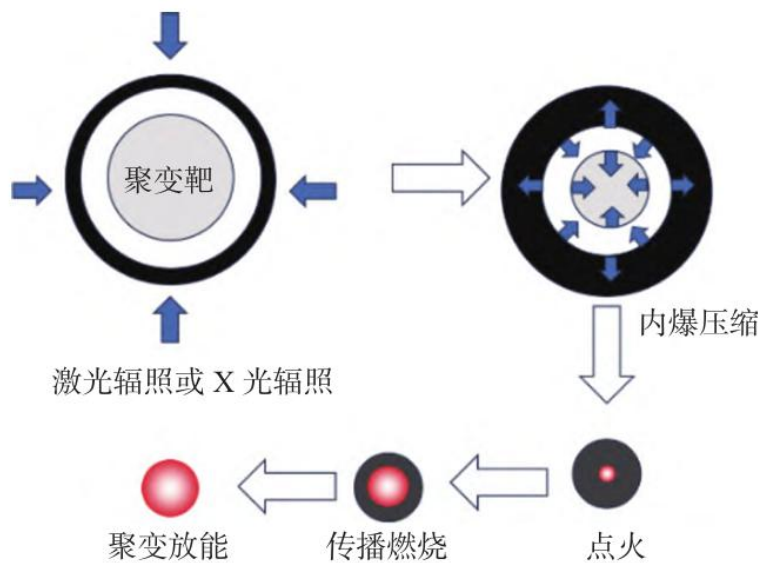
资料来源：《我国磁约束核聚变能源的发展路径、国际合作与未来展望》王志斌等

资料来源：《我国磁约束核聚变能源的发展路径、国际合作与未来展望》王志斌等

高温等离子体的约束方式

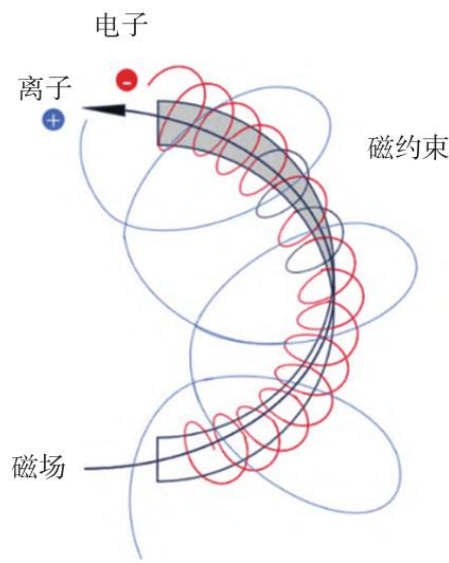
- 对高温等离子体的有效约束是持续输出能量的关键。在核聚变反应亿度高温下，物质以高温等离子体形态存在，需要进行约束以实现持续输出反应能量，约束方式有引力约束、惯性约束和磁约束。其中，引力约束依靠强大的万有引力来提供对聚变燃料的约束力，如太阳发光发热，人类现阶段尚无法实现。
- 惯性约束：**采用高能量的激光或粒子束将燃料加热和压缩为等离子体，在自身惯性作用下，等离子体在极短的时间内来不及向四周飞散，被压缩至高温、高密度的物理状态从而发生核聚变反应，主要用于军事相关研究。
- 磁约束：**采用特殊结构的磁场形式把燃料离子和大量自由电子组成的处于热核反应状态的高温等离子体约束在有限的体积内，使之受到控制地发生核聚变反应。磁约束核聚变是最有可能率先实现聚变能源利用的方式。

图表：惯性约束核聚变原理示意图



资料来源：《我国磁约束核聚变能源的发展路径、国际合作与未来展望》王志斌等

图表：磁场约束带电粒子运动示意图

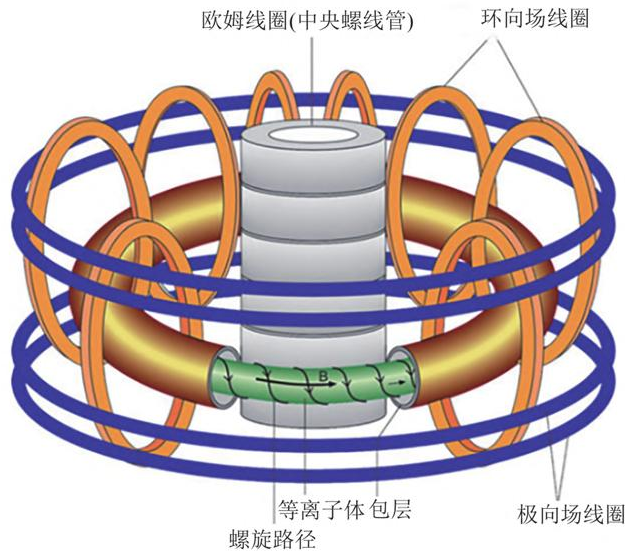


资料来源：《我国磁约束核聚变能源的发展路径、国际合作与未来展望》王志斌等

高温等离子体的约束方式——磁约束

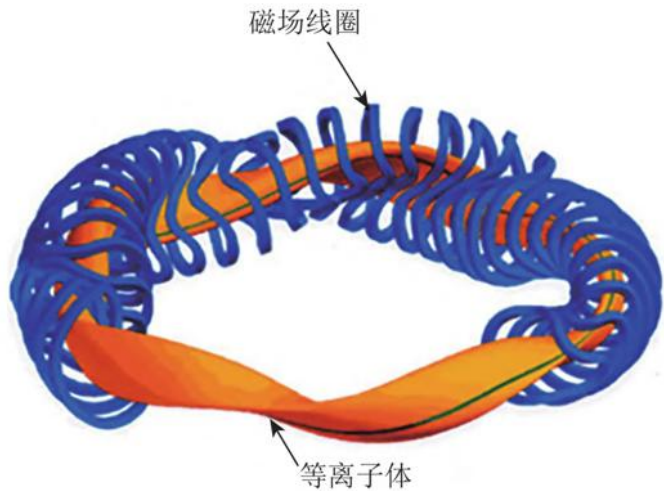
- 目前磁约束方案装置类型主要有场反、偶极、磁镜、仿星器和托卡马克等。
- **磁镜**是一种开放式约束系统，整体形状呈圆柱形，两端通过额外线圈提高磁场强度，目前在粒子约束上并未取得显著成效，关于磁镜的改进工作仍在推进。
- **仿星器**于1958年提出，由极向场与环向场叠加形成一个完全包含在环形约束室中的螺旋磁场，实现对内部带电粒子的运动约束。仿星器的复杂线圈结构对加工精度有极高要求，是制约其发展的重要因素。
- **托卡马克**由前苏联科学家阿齐莫维齐等人于20世纪50年代提出，同样由一系列环向场线圈周向排列而成，用于生成闭合的环向约束磁场。托卡马克是当下研究最为广泛、也是未来最有可能实现可控核聚变的聚变装置。

图表：托卡马克装置概念图



资料来源：《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》张家龙等

图表：仿星器装置概念图



资料来源：《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》张家龙等

图表：不同约束类型聚变装置特点

约束类型	装置类别	装置特点	代表装置
磁约束	托卡马克（Tokamak）	建设难度较低，在等离子约束性能方面有一定优势，但由于等离子电流的不稳定性，容易发生“大破裂”故障	国际热核聚变实验堆ITER，法国WEST，美国DIII-D，中国EAST/BEST/HL系列
	仿星器（Stellarator）	没有等离子体电流，运行更加稳定，但构造复杂，建设难度大、成本高	德国Wendelstein 7-X，日本LHD，美国HSX，中国CFQS
	场反（Field Reversed Configuration,FRC）	目前等离子体参数相对偏低，但其高 β 位形在低磁场下可实现较好约束，功率输出效率相比于同尺寸聚变装置更高	美国TAE公司C-2W，中国科大一环KTX
	磁镜（Magnetic Mirror）	β 值（等离子体压力与磁压力之比）高，等离子体温度高及构造简单，但在粒子约束上并未取得显著成效	日本GAMMA-10，美国TMX-U，中国KMAX
	偶极	不需要存在整体的电流，理论上有很好的等离子体稳定性	美国CTX、LDX，中国DREX、PPT
惯性约束	约束时间尺度较短，形成的等离子体具有较高的温度和密度等特征参数，需要大量的能量输入和精密的控制技术		美国NIF，中国“神光”系列

资料来源：FusDIS，中国科学院，《磁约束聚变方案中的磁镜、场反及偶极场位形研究进展》肖池阶等，《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》张家龙等，《我国磁约束核聚变能源的发展路径、国际合作与未来展望》王志斌等，《磁约束核聚变能研究进展、挑战与展望》刘永等，国海证券研究所

- 据《聚变能源研究态势及展望》（彭先觉等）数据，核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。当前，面向能源应用的聚变技术面临多重挑战。
- 能量平衡。**对于磁约束聚变，实现 $Q_{Eng}=1$ 的目标需要 $Q_{Sci}=7$ ，有望在ITER上实现；如果进一步考虑发电演示，磁约束聚变要达到稳态运行且至少 $Q_{Eng}=5$ ，这是具备商业开发可行性的门槛。
- 氚自持。**在聚变功率为1000MW的反应堆中，氚的消耗量约为55.5kg/a，而世界上现存的氚总量不足30kg。聚变堆必须要实现氚自持，即自身生产的氚能够补充消耗的氚。
- 高可利用率。**聚变堆包含多个物理特性差异显著的子系统，复杂度远超裂变堆，可利用率达到50%仅相当于第一代裂变堆的水平，而当前的裂变堆可用率高达90%。
- 耐中子辐照材料。**聚变会产生高能中子，对材料耐中子辐照要求高，不锈钢材料的中子辐照理论极限仅为50dpa。

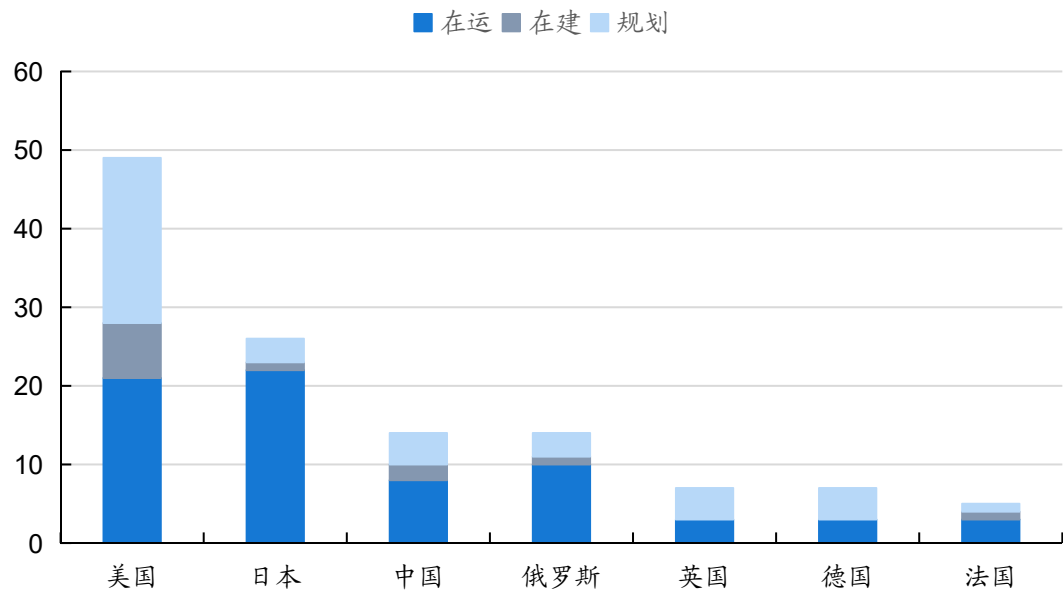
图表：聚变能源开发的重要里程碑节点

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》彭先觉等（注：聚变放能和输入能量相等($Q_{Sci}=1$)是科学可行性的门槛，输出电能与输入电能相等($Q_{Eng}=1$)是工程可行性的门槛，dpa表示平均每个原子离开平衡位置的次数；）

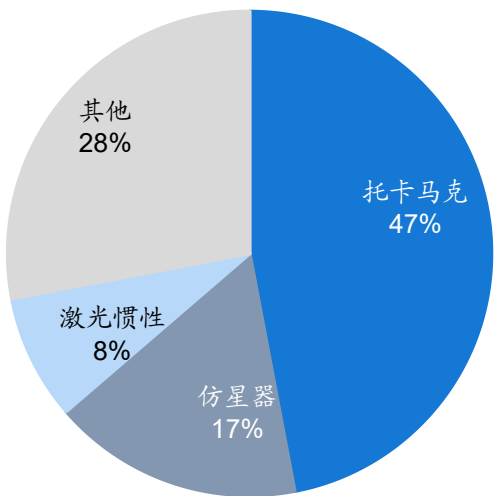
- 全球聚变装置中，托卡马克、仿星器、激光惯性数量居前三。据FusDIS统计，截至2025年6月24日，全球在运、在建和规划的聚变装置有168个，其中，托卡马克、仿星器、激光惯性装置占比分别为47%、17%、8%。
- 按照国家来看，美、日、中、俄、英、德、法是发展聚变的主要国家。其中，美国聚变装置总数49个居首，在运、在建、规划的聚变装置分别为21个、7个、21个，紧随其后的是日本（26）、中国（14）、俄罗斯（14）、英国（7）、德国（7）、法国（5）。

图表：全球主要国家聚变装置数量（个）



资料来源：FusDIS，国海证券研究所（统计时间截至2025年6月24日）

图表：全球聚变装置类型占比



资料来源：FusDIS，国海证券研究所（统计时间截至2025年6月24日）

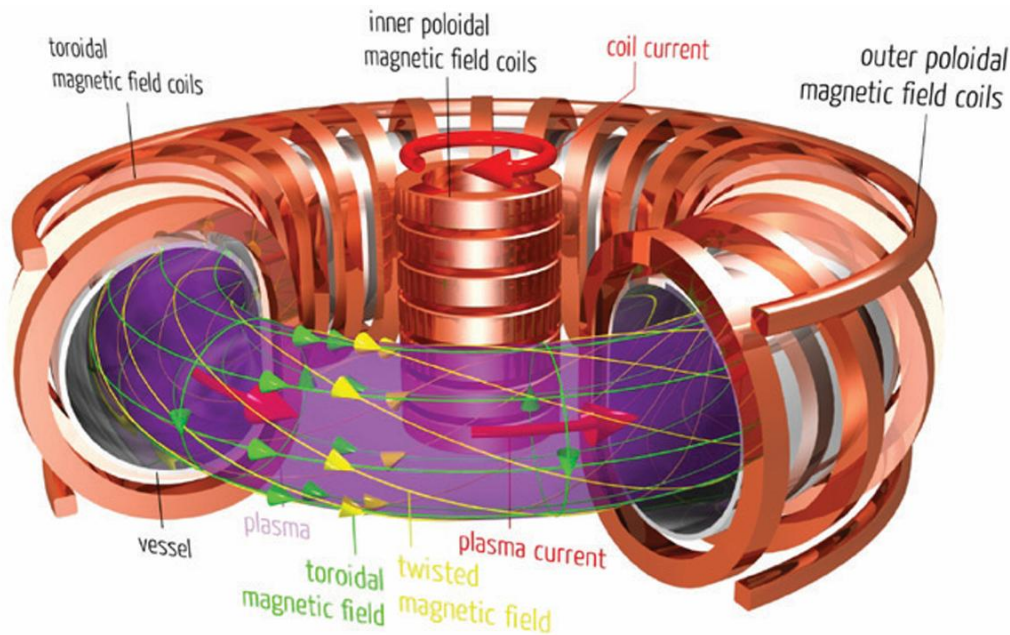
- 托卡马克基本结构：主要由真空室、环绕在真空室外部的环向场线圈、极向场线圈、中心螺线管组成，完整的托卡马克装置还包括控制系统、电源系统、辅助加热、测量系统、诊断系统、真空系统、抽气和加料系统等。

图表：全球部分在运行托卡马克装置信息

装置名称	国别,单位	大半径/m	小半径/m	电流 /MA	磁场 /T	装置特点
DIII-D	美国通用原子能公司	1.67	0.67	2.0	2.2	最早采用非圆形的等离子体截面，有利于提高等离子体参数
ASDEX Upgrade	德国MaxPlanck等离子体物理研究所	1.65	0.5~0.8	1.6	3.1	全钨第一壁
KSTAR	韩国聚变能源研究所	1.8	0.5	2	3.5	超导托卡马克装置,实现了48s离子温度1亿度的等离子体
WEST	法国原子能委员会	2.5	0.5	1	3.7	超导托卡马克装置,实现了注入能量1GJ,2016年完成升级
JT-60SA	日本国立量子科学与技术研究所	3	1.02	5.5	2.7	国际规模最大的全超导托卡马克装置
HL-2A	中国核工业西南物理研究院	1.65	0.4	0.48	2.8	我国首个具有偏滤器位形的非圆截面的托卡马克装置
EAST	中国中科院等离子体物理研究所	1.9	0.45	1.0	3.5	国际首个全超导托卡马克装置
HL-3	中国核工业西南物理研究院	1.78	0.65	3	3	我国在运行的规模最大、设计参数最高的托卡马克装置

资料来源：《磁约束核聚变托卡马克装置研究进展与展望》钟武律等，国海证券研究所

图表：托卡马克装置基本结构示意图



资料来源：《 Self-consistent interaction of fast particles and ICRF waves in 3D applications of fusion plasma devices 》Faustin

- ◆ 核聚变：未来终极能源渐行渐近
- ◆ 资本助力技术加速突破，全球抢发第一度电
- ◆ 关键部件拆解：磁体系统、偏滤器、包层系统
- ◆ 相关公司汇总
- ◆ 风险提示

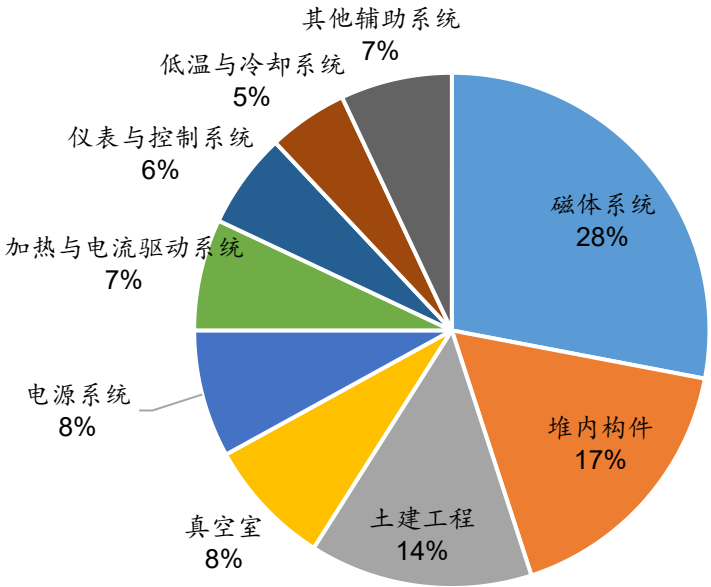
- 国际热核聚变实验堆（ITER）是当今世界规模最大、影响最深远的国际大科学工程之一，其目的是通过建造反应堆级核聚变装置，验证和平利用核聚变发电的科学和工程技术可行性，由中国、欧盟、俄罗斯、美国、日本、韩国和印度等七方30多个国家共同合作，中国于2006年正式加入ITER计划。
- 按照ITER计划的初期测算，电功率为100万kW的聚变堆，建造成本至少为150亿美元。据《Superconductors for fusion a roadmap》（Neil Mitchell等）数据，其中磁体系统、堆内构件、真空室等核心部件成本占比分别为28%、17%、8%，按照建造成本1000亿人民币计算，上述三个核心部件合计价值量达530亿人民币。

图表：ITER科学目标与工程目标

类型		目标内容
科学目标	1	建设一个能产生50万千瓦核聚变功率(能量增益因子Q=10)、重脉冲大于500秒氘-氦燃烧的托卡马克型核聚变实验堆
	2	探索实现具有持续(3000秒，Q>5)、稳定、高约束、高性能燃烧等离子体
	3	将优化燃烧等离子体至完全非感应运行模式，实现Q=3~5的稳态运行
工程目标	1	通过创造和维持氘-氦燃烧等离子体，检验和实现各种核聚变技术的集成
	2	检验各部件在核聚变环境下的性能，如辐照损伤、高热负荷等
	3	实验氦增殖包层模块（TBM）概念，发展实时、本地的大规模制氦技术

资料来源：可控核聚变，国海证券研究所

图表：ITER工程实验堆成本拆分



资料来源：《Superconductors for fusion a roadmap》Neil Mitchell等，国海证券研究所

中国承担的18个ITER采购包涵盖关键部件制造

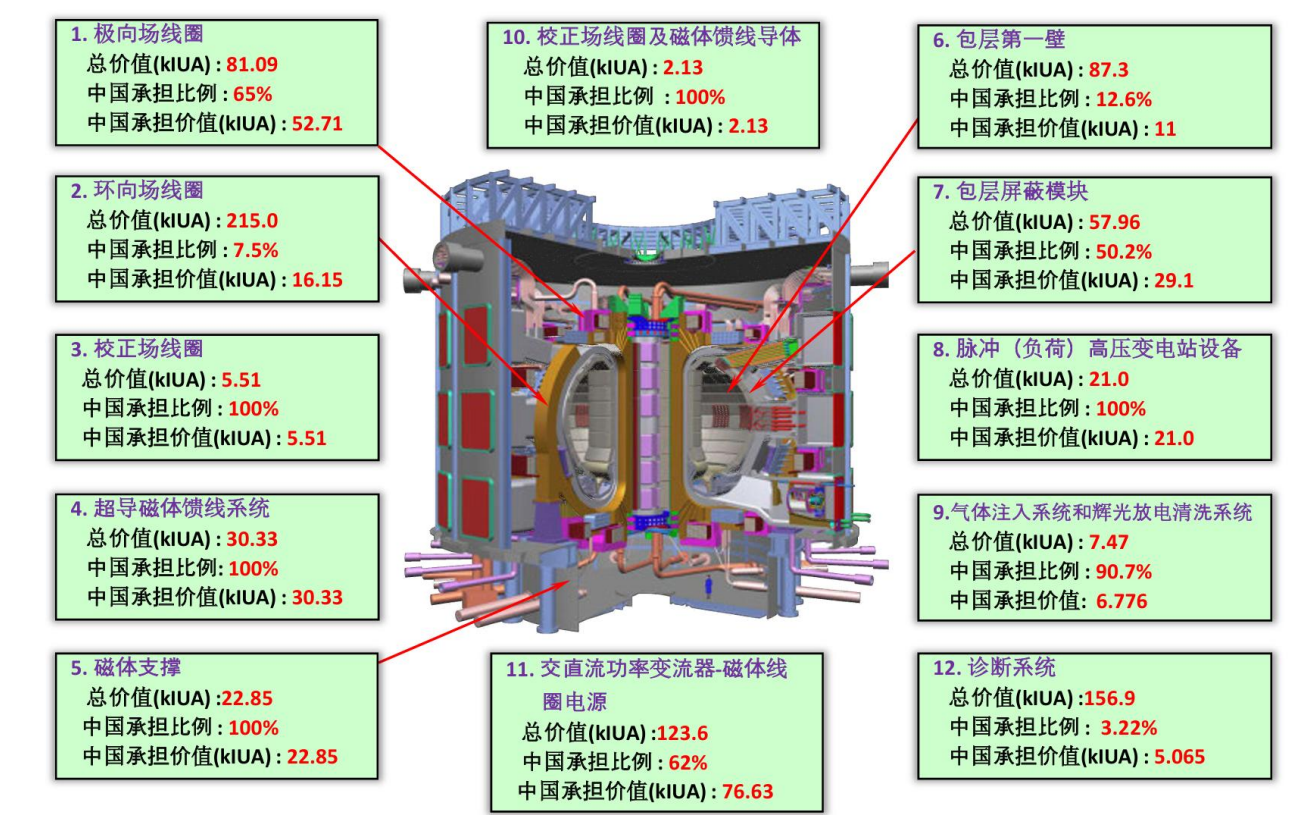
- 据ITER，除东道主欧盟占比较高（46%）外，每成员方的实物贡献值均约占总值的9%左右。我国于2008年6月签署了第一个ITER计划采购安排协议，其后陆续签署了涉及ITER导体、电源、支撑、诊断、包层等多个系统的共18个采购安排协议，涵盖了ITER装置几乎所有关键部件的制造任务。

图表：我国ITER计划部分采购包签署时间及承担单位

采购包名称	与国际组签署协议时间	国内承担单位
环向场线圈导体	2008.6	ASIPP
极向场线圈导体	2010.10	ASIPP
磁体支撑系统	2010.5	SWIP
校正场线圈	2010.5	ASIPP
磁体馈线与校正场线圈导体	2010.5	ASIPP
磁体馈线系统	2011.1	ASIPP
包层第一壁	2016.11	SWIP
包层屏蔽模块	2013.11	SWIP
气体注入系统	2012.2	SWIP
辉光放电清洗系统	2013.12	SWIP
脉冲(负荷)高压变电站设备	2012.6	ASIPP
交直流功率变流器	2011.4	ASIPP
诊断系统	2013.5/2014.7	SWIP+ASIPP

资料来源：《中国ITER计划采购包进展》罗德隆等，国海证券研究所

图表：我国ITER计划部分采购包承担价值量情况

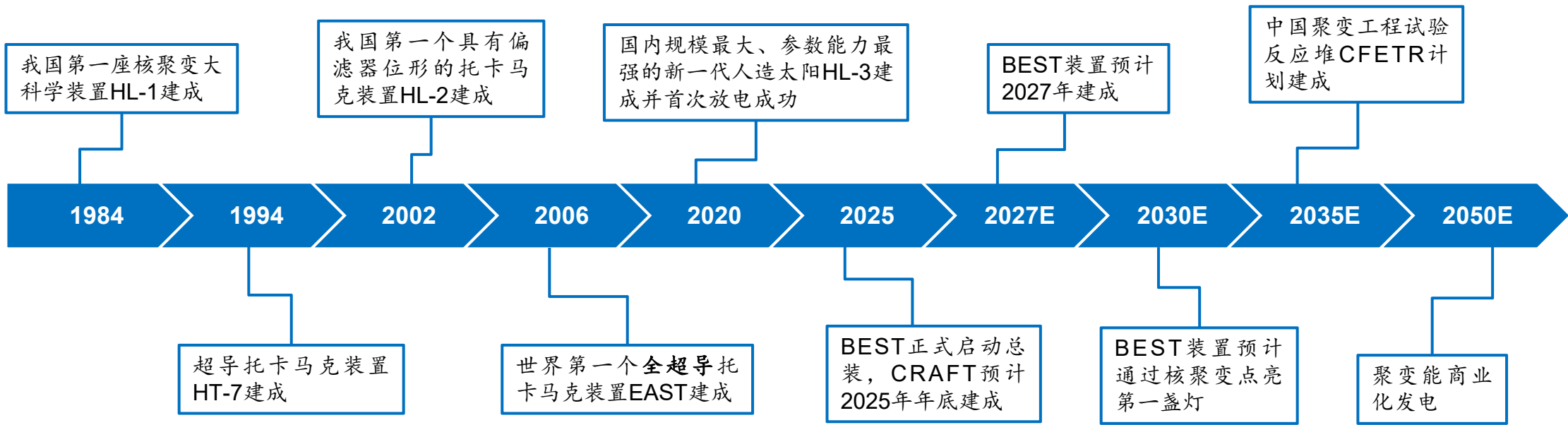


资料来源：《中国ITER计划采购包进展》罗德隆等

国内聚变如火如荼，我国步入国际第一方阵

- 热堆-快堆-聚变堆是我国核能“三步走”发展战略，其中，聚变堆是核能发展的最终目标。热堆是核裂变技术的成熟应用，是当前核能发电的主要形式；快堆采用快中子反应，能够实现核燃料的增殖，提高资源利用效率；聚变堆是核能发展的最终目标，是最终解决人类能源问题的根本途径之一。
- 聚变技术快速发展，我国步入国际第一方阵。2006年，世界第一个全超导托卡马克装置EAST建成；2020年，国内规模最大、参数能力最强的新一代“人造太阳”中国环流三号（HL-3）首次放电成功；紧凑型聚变能实验装置（BEST）预计2027年建成。

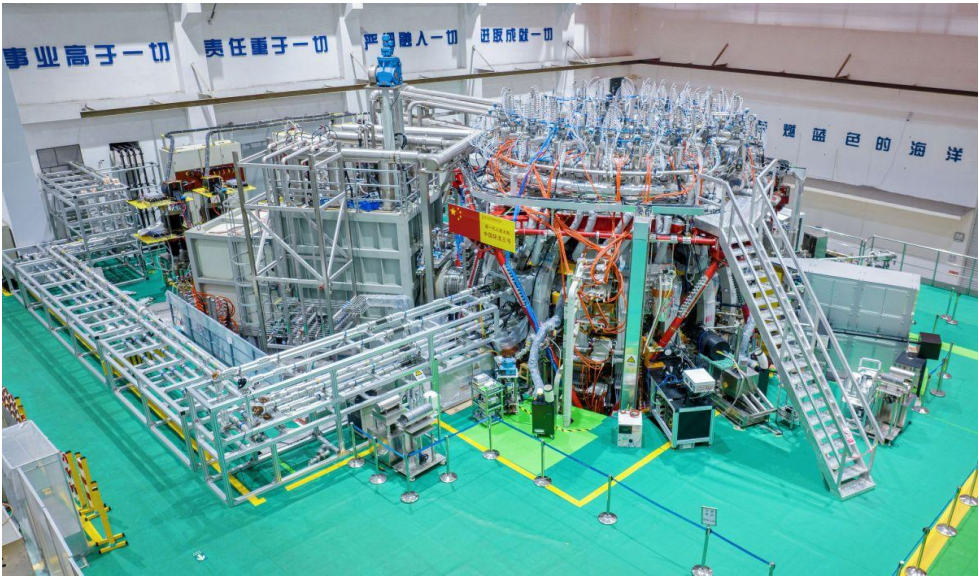
图表：我国可控核聚变科学装置建设里程碑节点



资料来源：国家核安全局，新闻联播公众号，金融界，《超导磁体技术与磁约束核聚变》王腾，《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》张家龙等，国海证券研究所

- 环流三号由核工业西南物理研究院自主设计建造，于2020年建成并实现首次等离子体放电。其大半径为1.78m，小半径为0.65m，最大磁场为3T，最大等离子体电流为3MA，环径比为2.8。该装置规划辅助加热和电流驱动总功率超过40MW，包括中性束、电子回旋波、低杂波以及离子回旋波等4种加热和电流驱动系统。
- 定位及目标：**为ITER及未来聚变堆的关键科学和技术问题的解决提供研究平台与支撑。重点开展了ITER相关运行模式研究、高性能等离子体运行及相关物理（高密度、高比压、高自举电流）研究、先进偏滤器概念设计与验证、高热负荷材料与部件测试以及聚变等离子体关键物理研究。

图表：新一代人造太阳中国环流三号



资料来源：中国核能行业协会

图表：中国环流三号装置特点

时间	装置特点
1	具有高度形变、灵活的等离子体位形，通过大的拉长比和三角形变的等离子体截面，能够实现高比压等离子体的运行
2	较小的环径比，环向场较小的情况下，可以达到3MA的等离子体电流
3	具有灵活的热流、粒子流控制研究能力，可实现多种先进偏滤器位形
4	配建大功率加热系统，以提高等离子体温度并控制等离子体及不稳定性，实现高参数等离子体运行

资料来源：《磁约束核聚变托卡马克装置研究进展与展望》钟武律等，国海证券研究所

- 2025年3月，环流三号国内首次实现离子温度1.17亿度，电子温度1.6亿度的“双亿度”重大突破；2025年5月，同时实现等离子体电流100万安培、离子温度1亿度、高约束模式运行，综合参数聚变三乘积达到10的20次方量级，中国聚变快速挺进燃烧实验。
- 据中国环流三号总师钟武律介绍，截至2025年4月，环流三号仅发挥了40%左右的能力。未来2-3年环流三号有望全面升级，实现燃烧实验、堆芯级参数运行，目标实现输出功率大于输入功率。

图表：中国环流三号重要试验里程碑节点

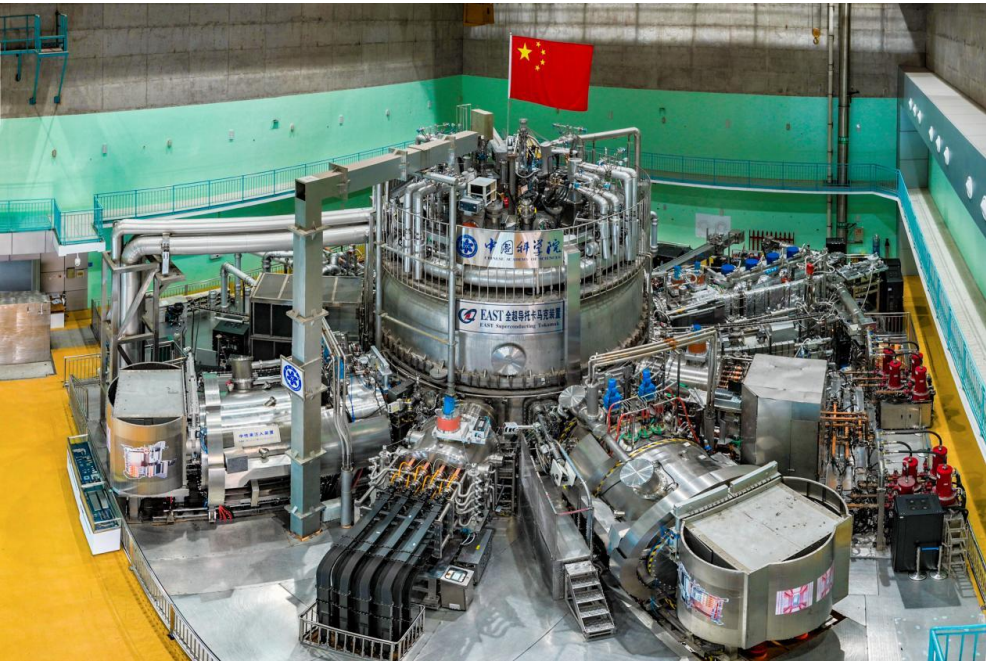
时间	里程碑节点
2020.12	建成并实现首次等离子体放电
2022.10	实现100万安培等离子体电流
2023.08	实现100万安培等离子体电流下的高约束模式运行
2024.05	实现超过150万安培的偏滤器位形放电
2024.06	国际上首次实现一种先进磁场结构
2024.12	新建第二套中性束加热系统成功投入运行，在150万安培电流下实现了高约束模式运行
2025.03	国内首次实现离子温度1.17亿度，电子温度1.6亿度的“双亿度”重大突破
2025.05	同时实现等离子体电流100万安培、离子温度1亿度、高约束模式运行，综合参数聚变三乘积达到10的20次方量级

资料来源：可控核聚变，国海证券研究所

EAST：实现亿度千秒高约束模运行，迈向工程实践重大拐点

- EAST是由中国科学院合肥物质研究院等离子体物理研究所设计研制的全球首个全超导托卡马克装置，其大半径为1.9m，小半径为0.45m，最大等离子体电流为1.0MA，环向磁场 $B_T \leq 3.5T$ 。2006年，EAST建成并实现首次放电；2025年1月，完成1亿摄氏度1066秒长脉冲高约束模等离子体运行，是聚变研究从基础科学研究迈向工程实践的重大拐点。
- 定位及目标：为实验堆设计与建设提供科学依据，并为ITER项目的建设提供直接经验。主要研究方向包括托卡马克稳态运行的实时控制与安全操作对策，及相关辅助加热物理、等离子体约束与输运特性研究等。

图表：世界首个全超导托卡马克装置EAST



资料来源：中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所

图表：EAST重要试验里程碑节点

时间	里程碑节点
2006	我国自行设计研制的国际首个全超导托卡马克装置正式建成
2009	获得稳定重复的60秒非圆截面双零偏滤器位形等离子体放电
2010	实现大于60多倍能量约束时间高约束模式的等离子体放电，100秒1500万度偏滤器长脉冲等离子体放电，最高等离子体平均电流达1MA
2016	世界首个实现稳态高约束模运行持续时间达到分钟量级的托卡马克核聚变实验装置
2017	创造101.2秒高约束模等离子体运行的世界纪录
2018	实现等离子体中心电子温度1亿摄氏度的稳定运行
2021.05	实现可重复的1.2亿摄氏度101秒和1.6亿摄氏度20秒等离子体运行
2021.12	实现1056秒的长脉冲高参数等离子体运行
2023.04	实现403秒稳态长脉冲高约束模等离子体运行
2025.01	首次完成1亿摄氏度1066秒长脉冲高约束模等离子体运行，再次刷新世界纪录

资料来源：可控核聚变，国海证券研究所

BEST：工程总装正式启动，预计2030年演示发电

- 紧凑型聚变实验装置BEST由聚变新能公司负责运营，采用模块化设计，体积比ITER缩小40%，但聚变功率密度提升3倍，将在EAST基础上首次演示聚变能发电。2025年5月，BEST项目工程总装正式启动，较原计划提前两个月，2027年建成后将会成为世界首个紧凑型聚变能实验装置。
- 聚变新能公司成立于2023年5月，初始注册资本50亿元，并在2024年6月增至145亿元。聚变新能将按照BEST-聚变工程示范堆（CFETR）-首个商业聚变堆三步走战略，实现聚变能技术从实验室到产业化的突破。

图表：BEST项目图



资料来源：可控核聚变

图表：聚变新能发展历程及BEST项目关键节点

时间	里程碑节点
2023.05	公司启动筹建
2023.11	担任聚变产业联盟常务理事单位
2023.12	获得独角兽企业称号
2024.01	获颁聚变能源技术中心
2024.03	获评“成果转化企业成长之星”
2024.04	完成对聚变堆设计院的全资收购
2024.06	公司完成增资扩股和变更公司注册资本，注册资本变更为145 亿元
2025.05	BEST项目工程总装正式启动
2027E	建成后将成为世界首个紧凑型聚变能实验装置
2030E	核聚变演示发电

资料来源：聚变新能官网，可控核聚变，央视新闻，中国能源网，国海证券研究所

- 欧盟、美国、日本、韩国等主要国家和地区积极发展和建设各自的下一代聚变商业示范堆，如欧盟的EU-DEMO、日本的JA-DEMO、韩国的K-DEMO。中国聚变工程试验堆（CFETR）于2011年正式提出，旨在解决从ITER向验证DEMO过渡中存在的科学和技术问题，为我国2050年前后独立自主建设聚变电站奠定坚实的基础。
- CFETR将分两期运行：第一期完成工程验证，聚变功率达到200MW、聚变增益为1~5、氚增殖比>1；第二期聚变功率达到1GW、聚变增益超过10。
- 目前，“CFETR集成工程设计研究”项目（2017—2020年）顺利结题，已全面完成工程设计。

图表：CFETR设计阶段与EU-DEMO、ITER主要参数对比

参数	CFETR	EU-DEMO	ITER
线圈数量	16	16	18
大半径 (m)	7.2	9.1	6.2
小半径 (m)	2.2	2.9	2.0
线圈上最高场强 (T)	14.5 ~ 16	12	11.8
大半径处环向磁场 (T)	待定	5.3	5.3
每个线圈向心电磁力 (MN)	待定	850	403
赤道面以上半个线圈垂直电磁力 (MN)	待定	520	205

资料来源：《CFETR纵场线圈设计与电磁、力学性能研究》吴凡，国海证券研究所

图表：CFETR装置总体结构



资料来源：中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所

CRAFT：为CFETR搭建综合性研究平台，2025年底全面建成

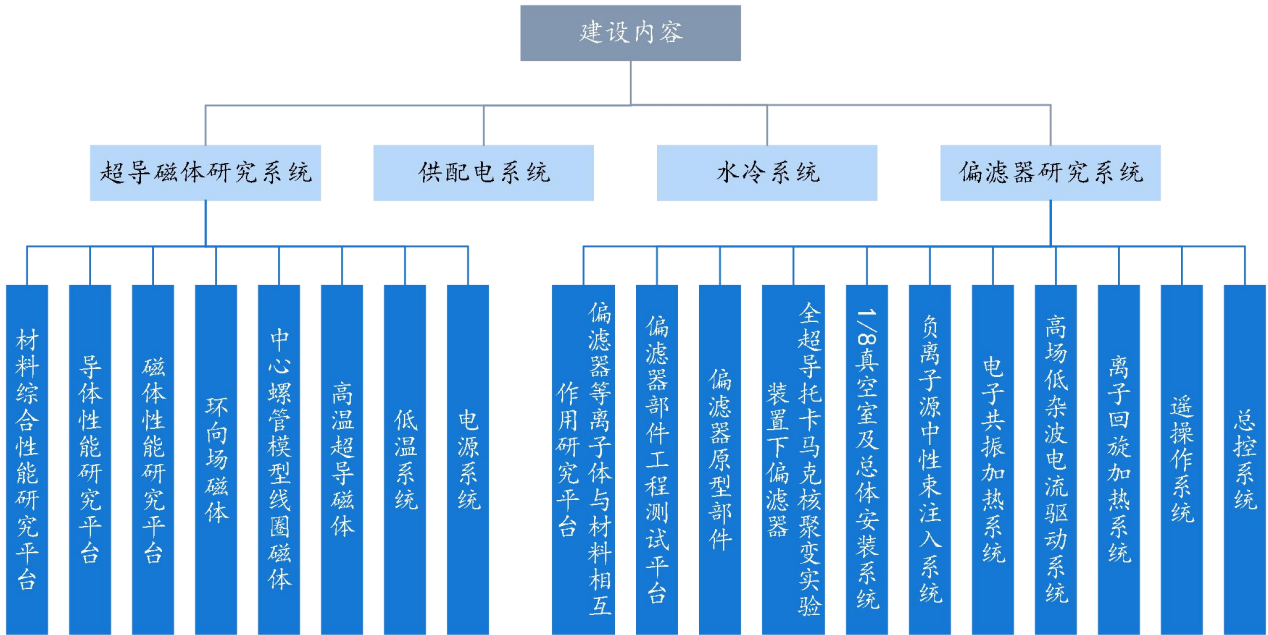
- 聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）位于安徽合肥，是由中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所承担的国家“十三五”重大科技基础设施项目，2018年12月获批开工建设，预计2025年底建成。
- CRAFT目标建成国际核聚变领域参数最高、功能最完备的综合性研究及测试平台，为中国聚变工程实验堆（CFETR）研究关键技术及搭建综合性研究平台。两大主要建设对象包括超导磁体研究系统和偏滤器研究系统，开展磁约束聚变堆边界参数下的等离子体行为研究以及评估超导磁体材料/部件和偏滤器在堆工状态下的服役性能。

图表：聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）园区



资料来源：新华社

图表：CRAFT装置的建设内容



资料来源：《聚变堆主机关键系统综合设施低温系统的可靠性分析研究》纵逸文，国海证券研究所

Z-FFR：聚变裂变混合堆降低Q值要求，有望2040年商业演示

- 2008年，中国工程物理研究院提出了Z-FFR概念，主要由Z箍缩驱动器、聚变靶与爆室、深次临界裂变包层等构成，Z-FFR有裂变包层的辅助，聚变部分只需达到 $Q_{Eng}=1$ 的水平即可实现聚变能源利用。
- Z-FFR聚变产生的高能中子在深次临界裂变包层内引发裂变反应，再将聚变能量放大10倍以上，即可实现1000 MW以上的电能输出。总建造成本约为30亿美元，与第三代热中子反应堆相当。

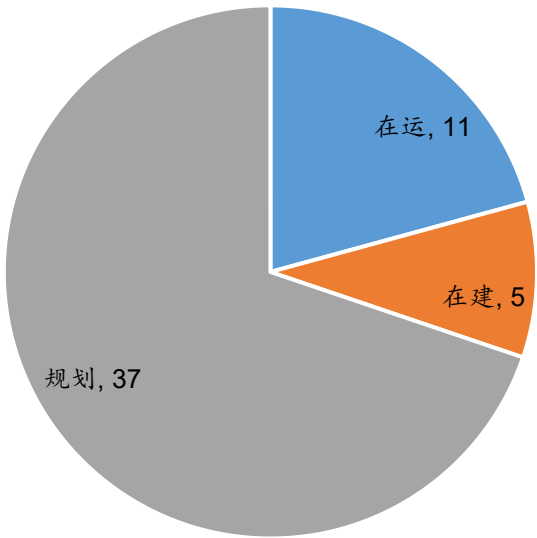
图表：Z箍缩聚变裂变混合堆发展规划



资料来源：《聚变能源研究态势及展望》彭先觉等，国海证券研究所

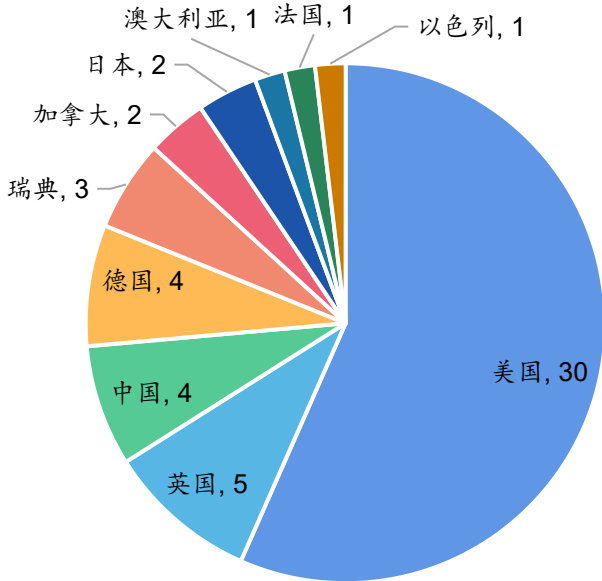
- 根据FIA发布的《2024年全球核聚变行业报告》，2024年核聚变行业已吸引超过71亿美元的投资，其中新资金超过9亿美元，公共资金增长了57%，达到4.26亿美元。许多私营核聚变公司获得了重要融资，其中包括Xcimer公司（1亿美元）、SHINE公司（9000万美元）和Helion公司（6500万美元）。
- 据FusDIS不完全统计，截至2025年6月24日，全球核聚变私营公司装置数量为53个，其中在运、在建、规划分别为11、5、37个；分国家来看，美国核聚变私营公司装置数量最多，占比超过一半，其中在运、在建、规划分别为5、4、21个。

图表：全球核聚变私营公司装置数量（个）



资料来源：FusDIS，国海证券研究所（统计时间截止2025年6月24日）

图表：全球主要国家核聚变私营公司装置数量（个）



资料来源：FusDIS，国海证券研究所（统计时间截止2025年6月24日）

国外核聚变商业公司：聚焦紧凑型、低成本，美国科技巨头押注

- CFS于2021年完成了高达18亿美元的B轮融资，由老虎环球基金领投，新进投资者包括比尔·盖茨、DFJ Growth、Marc Benioff、谷歌等；TAE自2014年以来与谷歌保持密切合作关系，谷歌参与TAE融资、通过AI赋能聚变装置调试，并计划通过核聚变为超大规模数据中心供电。
- Helion目前已与微软签署了电力购买协议，计划自2028年起，通过一座50MW的核聚变电厂向微软供电。2025年1月，Helion宣布获得4.25亿美元的F轮融资，OpenAI的CEO山姆·奥特曼作为董事长也是重要投资者。

图表：国外主要核聚变商业公司融资及项目情况

国家	代表公司	技术路线	融资情况	装置/项目进展及目标
美国	Commonwealth Fusion Systems (CFS)	磁约束（高温超导托卡马克）	20亿美元	2027年建成SPARC实现Q>1；2030年建成ARC聚变电厂，功率400MW
美国	TAE Technologies	磁约束（场反位形氢硼聚变）	13亿美元	Norman装置实验中；2029年前建成Copernicus实现净能量输出；2030年后建成Da Vinci聚变电厂
美国	Helion Energy	磁约束与惯性约束结合（场反位形）	10亿美元	Trenta装置实验中；2028年建成Polaris聚变电厂
美国	Zap Energy	磁约束与惯性约束结合（Z箍缩）	3.3亿美元	2024年建成Century，FuZE-Q目标实现Q>1，2030年后商业发电
加拿大	General Fusion	磁约束与惯性约束结合（MTF）	3.4亿美元	LM26计划2025年实现1亿摄氏度聚变条件，2026年净能量输出，2035年前后商业发电
英国	First Light Fusion	惯性聚变 (ICF)	1.05亿美元	Machine 3已与2019年建成，下一代Machine 4目标实现净能量输出
英国	Tokamak Energy	高温超导球形托卡马克	3.35亿美元	ST40装置2022实现1亿度，规划原型机ST80-HTS和聚变电厂ST-E1，目标2030年后实现净能量输出

资料来源：各公司官网，Inc，GeekWire，Tracxn，国海证券研究所

- 我国核聚变商业公司技术百花齐放，融资助力商业化进程加速。2024年6月，聚变新能新增中石油昆仑资本、合肥科学岛为股东，注册资本由50亿元增至145亿元；星环聚能、能量奇点等均获数亿元融资。

图表：国内主要核聚变商业公司融资及项目情况

公司名称	成立时间	注册地	注册资本	融资情况	投资方	技术路线	建设装置/项目	装置/项目进展及目标
聚变新能	2023.5	安徽合肥	145亿元	天使轮：15亿元 A轮：金额未披露	皖能电力、蔚来汽车、合肥产投集团、中石油昆仑资本、中国科学院合肥物质院等	中科院等离子体所，托卡马克	BEST	2027年建成BEST，2030年实现聚变发电
星环聚能	2021.10	陕西咸阳	150万元	天使轮：数亿元 Pre-A轮：数亿元	上海知识产权基金、华成创投、中科创星、和玉资本等	清华大学，球形托卡马克	SUNIST-2、CTRFR-1	CTRFR-1预计到2027年，公司将开始建设商业示范装置，并且有可能在2030年前后展示基于自身方案的商业化聚变电力输出
能量奇点	2021.6	上海临港	175万元	天使轮：近4亿元 Pre-A轮：近4亿元	ENLIGHTENMENT、米哈游等	高温超导托卡马克	洪荒70、洪荒170、洪荒380	2024年3月建成洪荒70，2024年6月实现等离子体放电；计划2027年建成洪荒170（Q值大于10），2035年建成洪荒380实现示范性聚变发电
新奥科技	2006.8	河北廊坊	20亿元	-	新奥集团	球形环氢硼聚变	玄龙-50、玄龙-50U、和龙	2019年建成玄龙50，2023年升级为玄龙50U；计划2027年建成和龙-2，2035年进入聚变堆阶段
星能玄光	2024.3	安徽合肥	637万元	天使轮：亿元	招商局创投、中科创星、民银国际、博将资本、银杏谷资本、天创资本等	中国科学技术大学，先进场反磁镜	KMAX-U	计划2025年建成KMAX-U，并在一年内实现运行
瀚海聚能	2022.12	四川成都	119万元	天使轮：数千万元	华映资本、厚实基金、奇绩创坛等	西南物理研究院合作，直线型场反位形	HHMAX901	2025年，各工程子系统形成详细设计方案，相关零部件逐步进入加工制造阶段，配套厂房开始改造建设
先觉聚能	2025.3	四川成都	500万元	-	天府创新能源研究院、国光电气等	中国工程物理研究院，Z-FFR	Z-箍缩混合堆	-

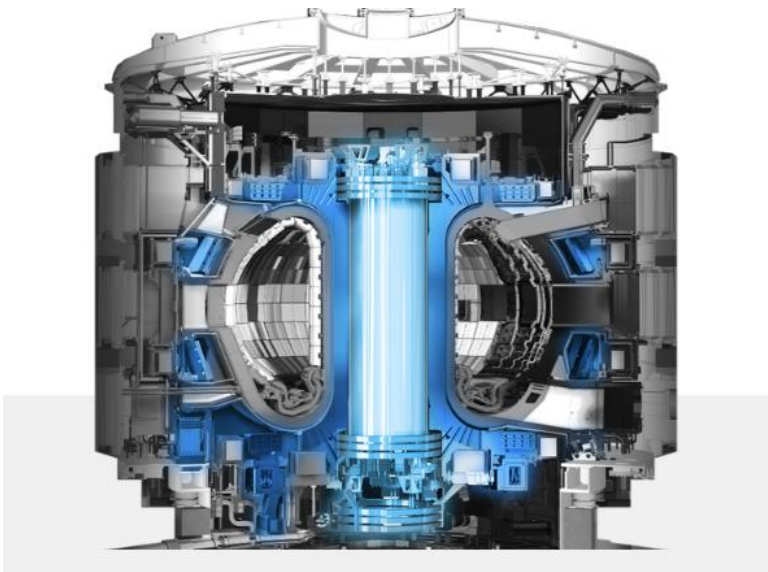
资料来源：星环聚能官网，能量奇点官网，新奥科技官网，瀚海聚能官网，中国日报网，界面新闻，36氪，投中网，iFinD，国海证券研究所

- ◆ 核聚变：未来终极能源渐行渐近
- ◆ 资本助力技术加速突破，全球抢发第一度电
- ◆ 关键部件拆解：磁体系统、偏滤器、包层系统
- ◆ 相关公司汇总
- ◆ 风险提示

核聚变装置关键部件——超导磁体系统

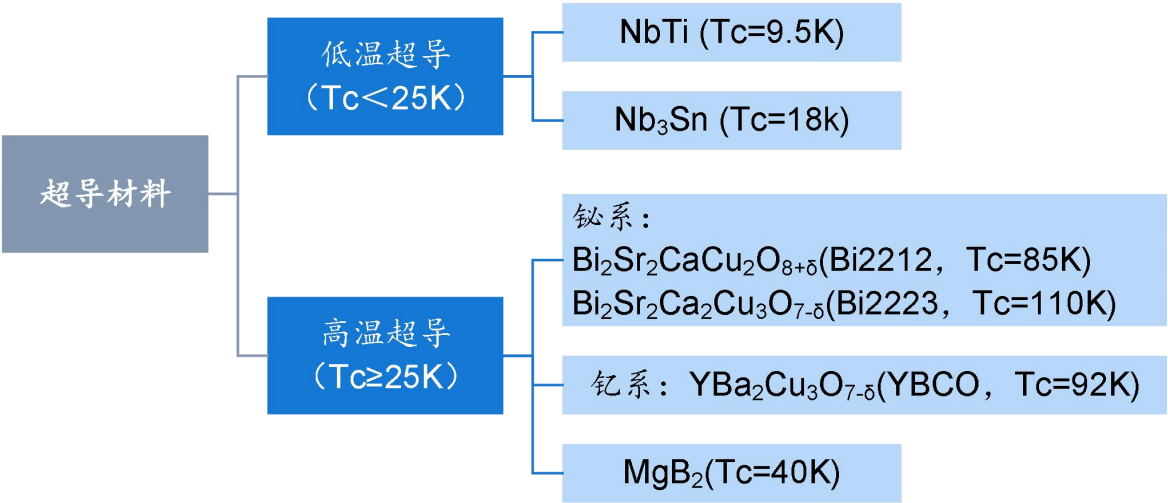
- 聚变磁体从铜基到低温超导、高温超导不断技术演变。磁体系统是磁约束聚变装置的核心元件，由于超导体具有零电阻效应，能够有效改善长脉冲稳态运行，20世纪后期开始被用于托卡马克装置，未来聚变堆要向着稳态核聚变能源方向发展，全超导托卡马克是稳态运行的基础。
- ITER建造成本中，磁体系统占比最高（28%），共有超导大型磁体48个，具体包括：18个纵场线圈（TF）、6个极向场线圈（PF）、6个中心螺管线圈组成的中心螺管（CS）和18个校正场线圈（CC），其中TF和PF采用 Nb₃Sn 超导线，CS和CC采用NbTi超导线。

图表：ITER装置中的磁体（蓝色部分）



资料来源：ITER官网

图表：超导材料按临界温度Tc分为低温超导和高温超导

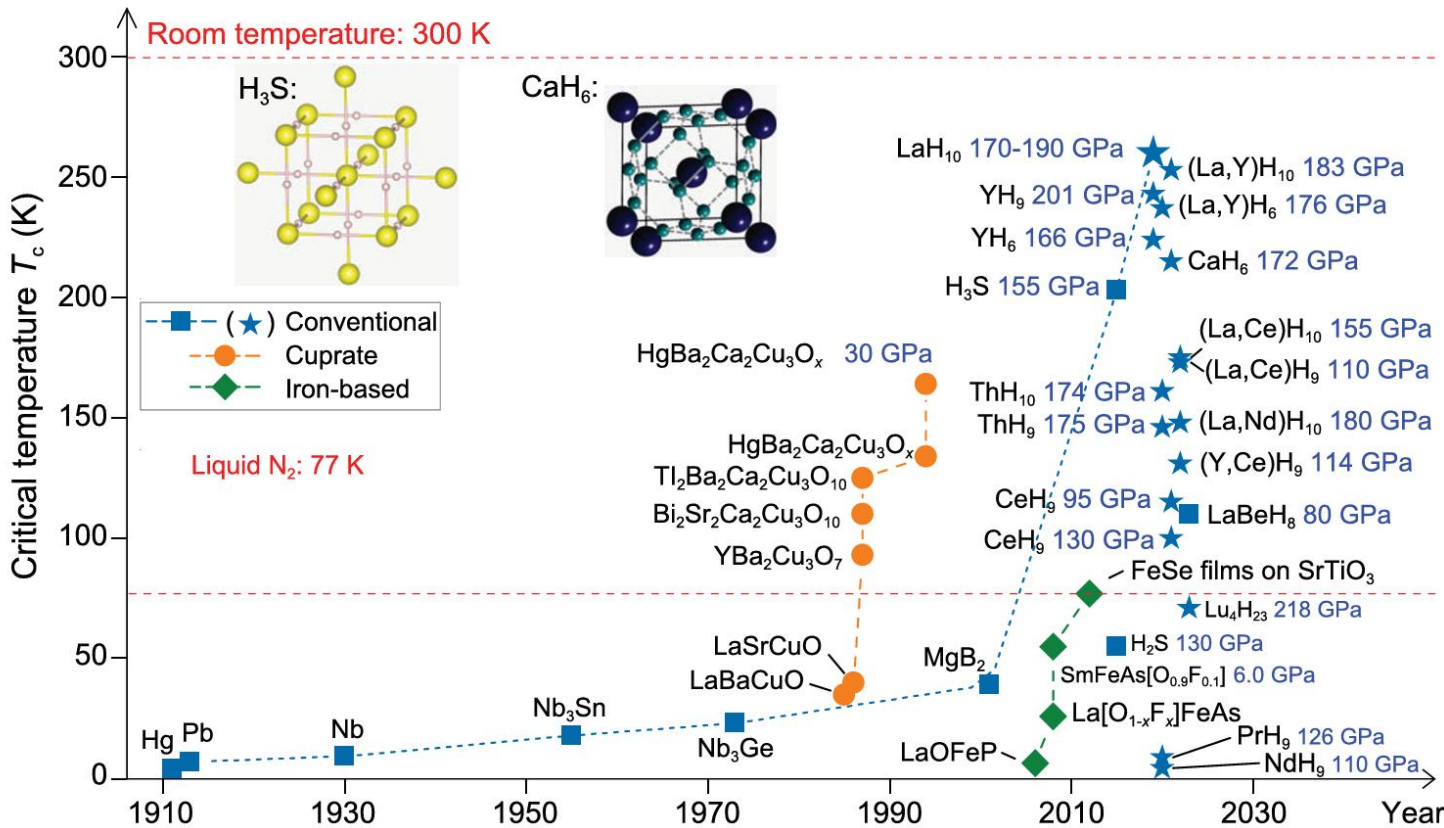


资料来源：西部超导招股说明书，《超导成“材”之路——实用化高温超导材料的制备及发展》常佳鑫等，国海证券研究所

核聚变装置关键部件——超导磁体系统

- 目前已经发现超过5000余种超导材料，但能够在工程实践中得到广泛应用的仍然相对有限。仅低温超导材料NbTi和Nb₃Sn，以及高温超导材料BiSrCaCuO、(Re)BaCuO和MgB₂在工程实际中得到应用。

图表：超导材料发展历程及临界温度

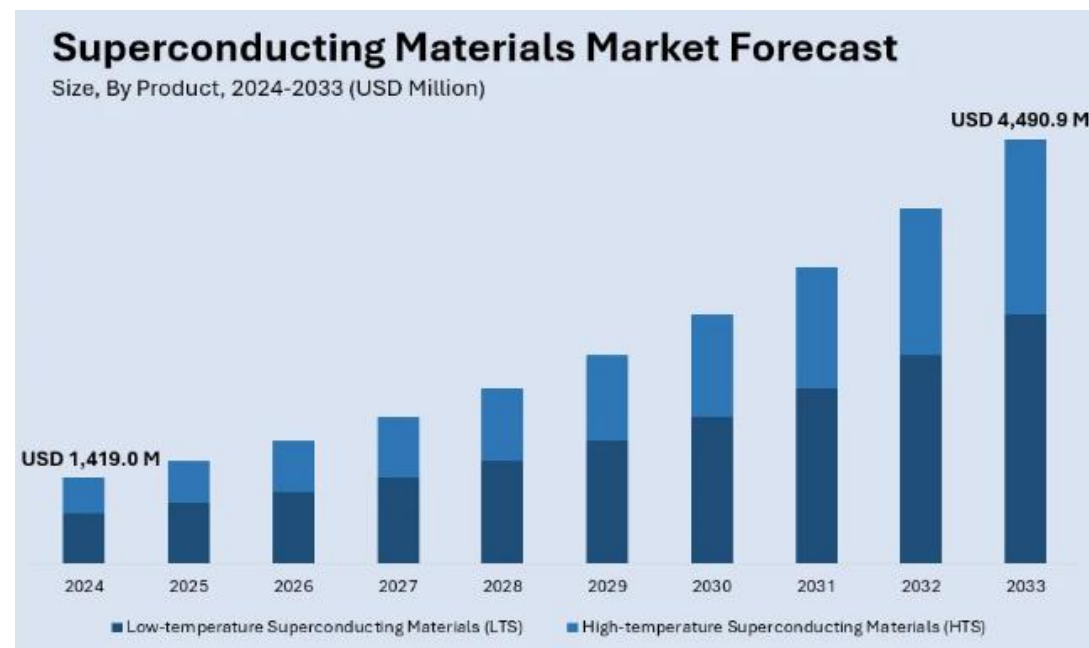


资料来源：《Clathrate metal superhydrides at high-pressure conditions enroute to room-temperature superconductivity》Sun Ying等

全球超导材料市场规模2033年将达到45亿美元

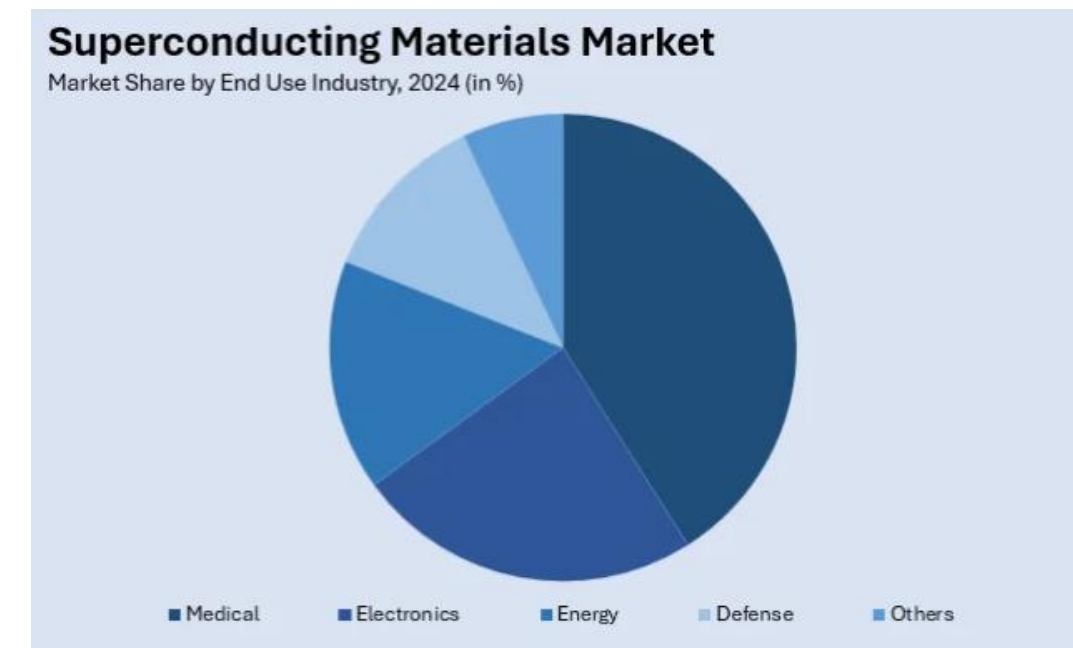
- 据IMARC Group测算，2024年全球超导材料市场规模为14亿美元，亚太地区市场规模占比超过41%。IMARC Group预计2033年全球超导材料市场规模将达到45亿美元，2025至2033年的年均复合增长率为13.7%，主要受益于医学成像、量子计算、粒子加速器和可再生能源等领域需求扩张。
- 按照产品划分，低温超导材料（LTS）在市场中居主导地位，2024年市场份额占比为83%；按照应用领域划分，医疗、电子、能源为2024年超导材料前三大应用领域。

图表：全球超导材料市场规模（百万美元）



资料来源：IMARC Group

图表：全球超导材料市场结构（按应用领域）



资料来源：IMARC Group

全球仅有少数企业掌握低温超导导线生产技术

- 全球仅有少数几家企业掌握低温超导导线生产技术，主要分布在英国、德国、日本和中国，西部超导的业务涉及NbTi锭棒和线材、Nb₃Sn线材和超导磁体的生产，是全球唯一的铌钛锭棒、超导线材、超导磁体的全流程生产企业。

图表：全球主要低温超导相关公司业务分布

公司		NbTi		Nb ₃ Sn		超导磁体	超导设备	
		锭棒	线材	青铜法	内锡法		MRI	NMR
国内	西部超导	●	●	●	●	●		
	宁波健信					●	●	
	潍坊新力					●		
	成都奥泰					●	●	
	苏州安科						●	
	东软医疗						●	
	上海联影						●	
	鑫高益						●	
国外	美国ATI	●						
	英国Oxford		●	●	●	●		
	德国Bruker		●	●	●	●		●
	英国Luvata		●	●	●			
	日本JASTEC		●	●		●		
	美国GE					●	●	
	德国Siemens					●	●	
	荷兰Philips					●	●	
	日本JEOL							●
	美国Varian							●

资料来源：西部超导招股说明书，国海证券研究所

图表：全球高温超导材料生产企业

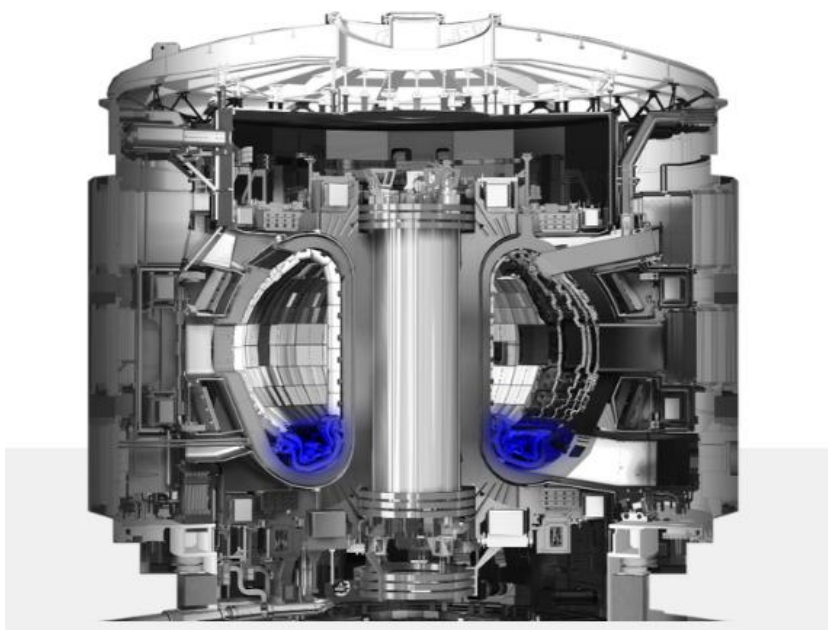
材料	特点	工艺	主要公司	公司介绍
Bi2212	目前唯一可以被制备成各向同性圆线的铜氧化物高温超导材料，圆线结构更容易实现多芯化和电缆绞制，是低温高场下最具应用前景的高温超导材料之一	粉末装管法	欧洲Nexans	HTS电网应用领域的全球领先企业，德国埃森AmpaCity项目是全球最长的HTS电缆线路，已稳定运行超过7年
			美国B-OST	能够批量制备千米级Bi-2212线材，长度和性能处于世界领先地位
			中国西北有色金属研究院	国内率先进行Bi-2212高温超导圆线制备技术研究的研发机构，已实现千米级长线的批量制备
Bi2223	目前临界温度最高的实用化超导材料，在应用时以扁形带材为主	粉末装管法	日本住友电工 中国西北有色金属研究院	国际上唯一可稳定量产Bi-2223千米带材的公司，载流性能在77K自场条件下可达200A，两千米级带材可达180A 实现了500米级Bi-2223长带的稳定批量制备，77K自场下载流性能是120A
REBCO	YBCO是首个被发现的临界温度达到77K以上的铜氧化物超导体，薄膜外延和双轴织构技术发展起来的REBCO涂层导体结构的带材称为第二代高温超导带材	多层薄膜沉积方法	日本Fujikura	高温超导（HTS）先驱企业，采用IBAD工艺（离子束辅助沉积）生产REBCO高温超导体
			日本Faraday Factory	2012年以来开始生产第二代HTS，已向聚变公司累计交付 5000公里高温超导
			日本古河电工	国际上首家制备出千米级REBCO超导带材的公司，采用金属有机化学气相沉积(MOCVD)，临界电流300A/cm
			韩国SuNAM	采用IBAD工艺开发第二代HTS，2018年提供全球首个商用超导电网导线、向IBS交付 18.4T 高温超导磁体
			中国上海超导	采用脉冲激光沉积(PLD)实现千米级REBCO超导带材的生产
			中国上创超导	采用金属有机沉积(MOD)实现千米级REBCO超导带材的生产
			中国东部超导	采用MOCVD实现千米级REBCO超导带材的生产
MgB ₂	综合制冷成本和材料成本，MgB ₂ 超导体在制冷机或液氢温度范围内(10-20K)及低场(1-5T)条件下具有明显的价格优势，尤其在磁共振成像系统、特殊电缆风力发电电机、超导磁储能等领域	粉末装管法、中心镁扩散法	美国HyperTech	采用连续粉末填装与成形工艺制备出单根长度大于3km的Monel/Cu/Nb基多芯MgB ₂ 线材，Jc值在20K、1T条件下达到2000A/mm ²
			意大利ASG	ASG Superconductors成立于2001年，聚焦二硼化镁 MgB ₂ 线材和MRI业务
			日本Hitachi	开发了8公里长的超导MgB ₂ 线材
			韩国SamDong	2018年成功开发1km级商用MgB ₂ 线材
			西部超导	西北有色金属研究院拥有MgB ₂ 超导线材中试线，使我国成为继意大利、美国后第三个具备生产千米级MgB ₂ 线材的国家；其技术转化至西部超导进行量产，目前已完成年产200km以上线材的产能建设

资料来源：各公司官网，PR Newswire，R&D World，《超导成“材”之路——实用化高温超导材料的制备及发展》常佳鑫等，国海证券研究所

核聚变装置关键部件——偏滤器

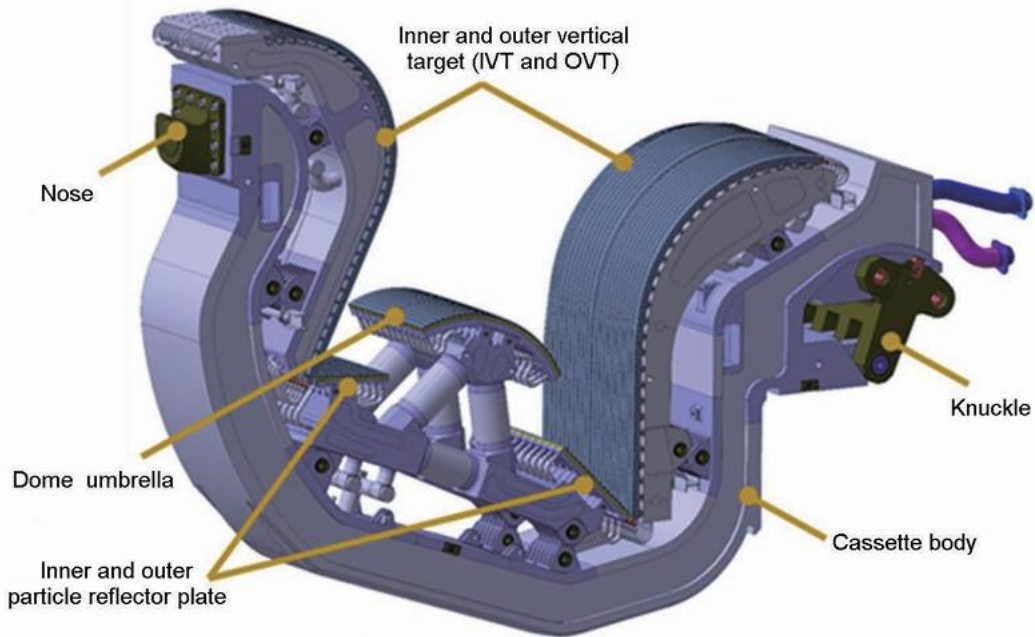
- **偏滤器 (Divertor) 作用:** 排来自聚变等离子体的能流和粒子流; 屏蔽来自器壁的杂质, 减少对芯部等离子体的污染; 排出核聚变反应过程中的氦灰等产物, 并提取有用的热量用于发电。
- **服役环境严苛:** 直接与等离子体相互作用, 承受来自等离子体的强粒子流和高热流的冲击。
- **按材料体系分为钨偏滤器和碳基偏滤器:** 相比碳基材料 (石墨、CFC), 钨具有耐高温、溅射率低、低氢滞留率、导热系数高和强度高等优点。ITER在2013年之前采用石墨盒体式偏滤器, 之后采用全钨偏滤器设计。

图表: ITER装置中的偏滤器 (蓝色部分)



资料来源: ITER官网

图表: ITER全钨偏滤器示意图

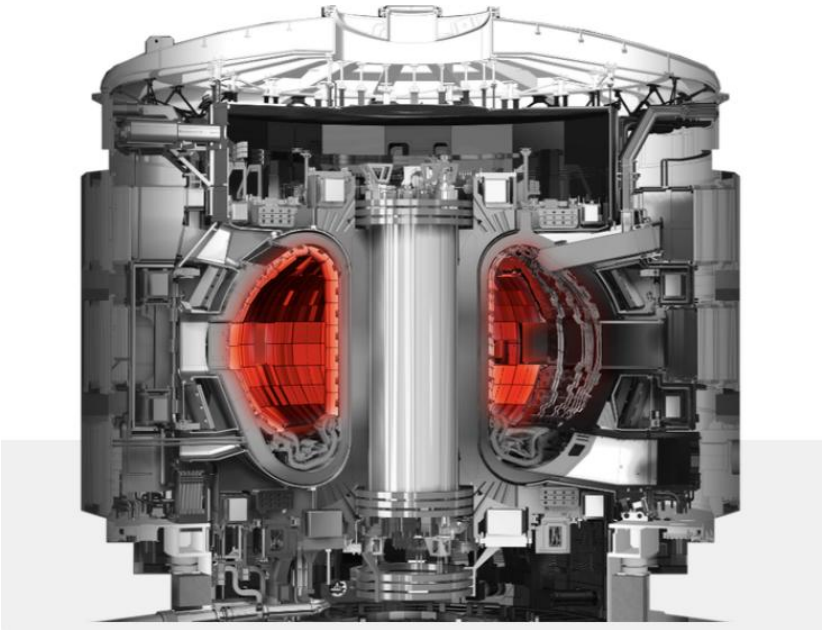


资料来源: 《核聚变堆偏滤器热沉材料研究现状及展望》彭吴擎亮等

核聚变装置关键部件——包层系统

- 包层系统（Blanket）为聚变装置提供中子和高热负荷的屏蔽。ITER包层系统采用模块化设计，共计440块，总重量约1500吨，每个模块由第一壁（First Wall，简称FW）、屏蔽块（Shield Module）以及柔性支撑等组成。
- 第一壁：提供了包层系统与等离子体的界面并屏蔽等离子体运行时产生的高热负荷，由面向等离子体材料、中间热沉材料以及后面支撑背板材料三部分组成，主要连接工艺为热等静压。
- 屏蔽模块——炉膛“耐火砖”：为ITER装置提供中子屏蔽并导出等离子体产生的高热流，保护真空室及外围设备。

图表：ITER装置中的包层系统（红色部分）



资料来源：ITER官网

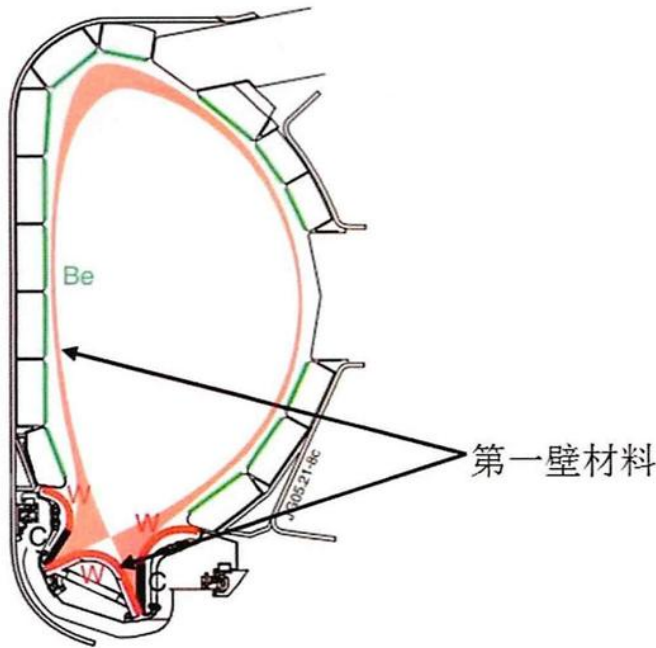
图表：我国制造的ITER计划包层屏蔽模块产品



资料来源：中国国际核聚变能源计划执行中心

- 第一壁材料需要具有较高的热导率、高熔点、低蒸汽压、优异的机械性能、抗热冲击性能、低溅射产额、高物理和化学溅射阈值及低氢同位素滞留等性能。一般分为低Z材料和高Z材料（Z表示原子序数），低Z材料包括碳、硼、锂、铍等，高Z材料主要是钨、钽以及钨基合金材料等。
- 钨是未来聚变堆中理想的第一壁候选材料。**钨具有高熔点、高热导率、低溅射产额、低氢同位素滞留，且与聚变等离子体具有良好的兼容性，不与氦发生共沉积等优点，已广泛应用于EAST、WEST、ASDEX Upgrade等聚变装置中，ITER已确定将第一壁材料从铍变更为钨。

图表：ITER真空腔室截面图



资料来源：《聚变堆第一壁钨材料热负荷损伤行为研究》王慧

图表：第一壁面向等离子体材料对比

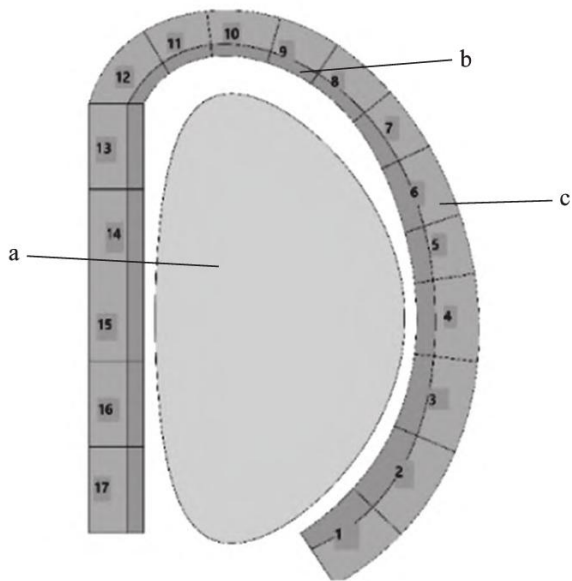
面向等离子体材料	优点	缺点
碳材料	高熔点、高热导率、与等离子体相容性好、抗热冲击性能好	溅射阈值低、服役寿命短、机械强度低、高的氦滞留行为、中子辐照劣化
铍材料	高热导率、低线膨胀系数、低氦滞留、无化学溅射、与等离子体相容性好、吸氧能力好	熔点低、溅射阈值低、抗热冲击性能有限、中子辐照能力差、剧毒
钨材料	高熔点、高热导率、高溅射阈值、低氦滞留、不与H发生化学反应、与等离子体相容性好、低蒸汽压	韧脆转变温度高、可加工性差、中子辐照脆化、等离子体中容许浓度低

资料来源：《聚变堆第一壁钨材料热负荷损伤行为研究》王慧，国海证券研究所

包层屏蔽模块：RAFM钢、ODS钢是未来候选材料

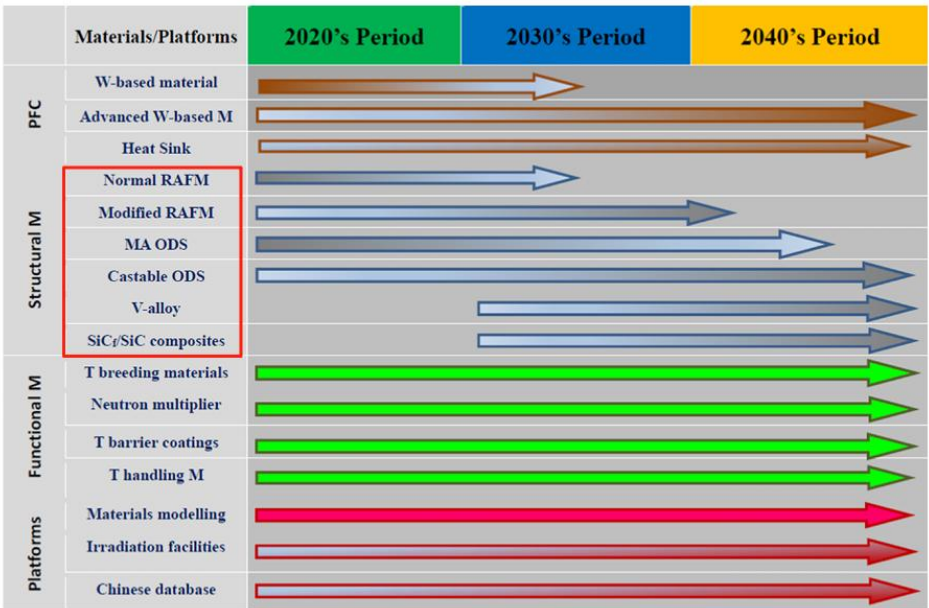
- 包层屏蔽模块为真空室以及其他外部部件提供中子防护功能，同时也是第一壁的支撑。通过布局复杂的冷却通道，采用强制对流冷却方式，带出沉积在内部的核热，为真空室内部温度极高的等离子体区和外部极冷的超导体区提供有效的热绝缘。
- ITER**：采用316L(N)-IG不锈钢作为结构材料，高压（4MPa）水作为冷却剂，不同位置屏蔽块的几何尺寸有所差异，且每个屏蔽块根据中子核热的大小不同，设计了不同的冷却通道。
- CFETR**：屏蔽模块在结构上位于增殖包层和真空室之间，根据《中国磁约束聚变堆材料发展路线图》，候选包层结构材料包括RAFM钢、ODS钢、钒合金、碳化硅复合材料。

图表：CFETR等离子体与屏蔽包层剖面图



a—等离子体；b—增殖包层；c—屏蔽包层。

图表：中国磁约束聚变堆材料发展路线图



资料来源：《核聚变堆包层结构材料研究进展及展望》徐玉平等

资料来源：《CFETR屏蔽包层冷却系统设计及其热工分析》郭腾蛟等

- 在托卡马克装置中，面向等离子体部件是工程制造要求最严苛的部件之一，需要承受来自等离子体的粒子流和热流、高能中子辐照和表面热负荷的冲击，主要包括第一壁、限制器和偏滤器。其他部件还有真空室、磁体线圈、氦工厂等。
- 钨**：具有高熔点、高溅射阈值、高热导、低氦滞留等优点，是最有希望的面向等离子体材料。
- 铍**：具有优异核性能和物理性能的稀有轻金属，密度低、比刚度高、比强度大、热性能优异，可用于中子倍增剂和第一壁。
- 超导材料**：磁体线圈的主要材料，包括Nb₃Sn、NbTi等低温超导材料以及高温超导。

图表：托卡马克装置关键部件及材料

关键部件	部件介绍	候选材料
第一壁	第一壁是与等离子体直接接触的壁面，主要作用是隔绝等离子体与真空室内其他部件的直接接触，包括高场和低场侧第一壁、低场侧被动板等。	钨、钼、铍、石墨、CuZrCr合金热沉材料、不锈钢背板材料
偏滤器	偏滤器可提高等离子体的杂质排出，减少杂质重新进入芯部等离子体，需承受来自高温等离子体的能量沉积。	石墨、碳纤维复材、钨及合金
限制器	限制器主要作用是限制等离子体与壁之间的相互作用，以维持等离子体在真空室中的稳定运行，随着等离子体约束的时间越来越长，对限制器的排热能力设计和材料的选用有较高要求。	钨、钼、铍、碳
真空室	内真空室主要为等离子体的稳定运行提供清洁的超高真空环境，外真空室主要为超导磁体的正常运行提供真空绝热条件。	不锈钢
磁体线圈	超导磁体系统由四个主要的子系统组成：环向场线圈、中心螺线管线圈、极向场线圈和校正场线圈	低温超导：Nb ₃ Sn、NbTi等 高温超导：REBCO等
氦工厂	包括氦气外燃料循环系统、氦气内燃料循环系统及氦包容与安全防护系统3部分，是实现聚变堆氦燃料自持的关键。	氦增殖剂：硅酸锂、钛酸锂等，中子倍增剂：铍球，结构材料：低活化铁素体/马氏体钢

资料来源：ITER China，西部超导招股说明书，《EAST装置面向等离子体部件的尖缘热聚集效应研究》郭宗晓，《聚变装置真空系统远程泄漏检测方法研究》毕海林等，《NCST球形托卡马克装置真空系统研究》黄富华，《我国聚变堆氦增殖循环技术最新研究进展与展望》彭述明，《ITER计划实验包层项目概述》盛倩等，《超导成“材”之路——实用化高温超导材料的制备及发展》常佳鑫等，国海证券研究所

- ◆ 核聚变：未来终极能源渐行渐近
- ◆ 资本助力技术加速突破，全球抢发第一度电
- ◆ 关键部件拆解：磁体系统、偏滤器、包层系统
- ◆ 相关公司汇总
- ◆ 风险提示

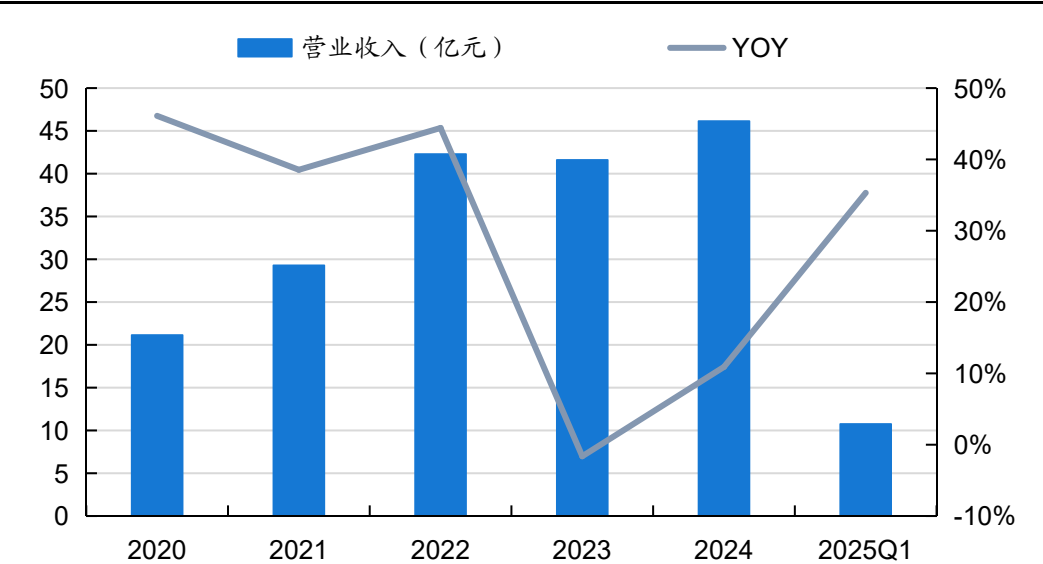
图表：核聚变相关公司汇总

股票代码	公司	核聚变相关产品	市值 (亿元)	归母净利润（亿元）			PE		
				2024	2025E	2026E	2024	2025E	2026E
000969.SZ	安泰科技	钨铜偏滤器、包层第一壁	131.87	3.72	3.43	4.24	35.41	38.44	31.10
688122.SH	西部超导	低温超导NbTi、Nb ₃ Sn材料	326.85	8.01	10.10	12.55	40.82	32.36	26.04
603067.SH	振华股份	金属铬	103.34	4.73	7.11	9.28	21.85	14.54	11.14
603308.SH	应流股份	偏滤器	158.01	2.86	4.15	5.60	55.18	38.08	28.22
688102.SH	斯瑞新材	铜铬铌合金	97.13	1.14	1.55	2.06	85.02	62.67	47.18
603011.SH	合锻智能	真空室	80.84	-0.89	0.37	1.34	-	218.48	60.33
688776.SH	国光电气	偏滤器、包层第一壁、热氦检漏设备	113.28	0.47	1.24	1.72	240.77	91.25	66.02
600875.SH	东方电气	磁体支撑系统、包层屏蔽模块	566.87	29.22	43.13	51.75	19.40	13.14	10.95
600577.SH	精达股份	高温超导REBCO材料	165.70	5.62	7.04	8.31	29.50	23.54	19.93
600105.SH	永鼎股份	高温超导REBCO材料	130.56	0.61	3.63	1.50	212.58	35.99	87.13
600353.SH	旭光电子	射频电子管	115.12	1.02	1.70	2.10	112.34	67.72	54.82
601727.SH	上海电气	外真空杜瓦、真空室、内外冷屏	1,004.39	7.52	13.71	27.07	133.48	73.26	37.10
600363.SH	联创光电	高温超导磁体系统	261.63	2.41	6.14	7.51	108.48	42.61	34.84

资料来源：， iFinD， 各公司公告、官网， 国海证券研究所（数据截至20250709， 除安泰科技、西部超导、振华股份、应流股份外， 其余公司盈利预测均来源于一致预期）

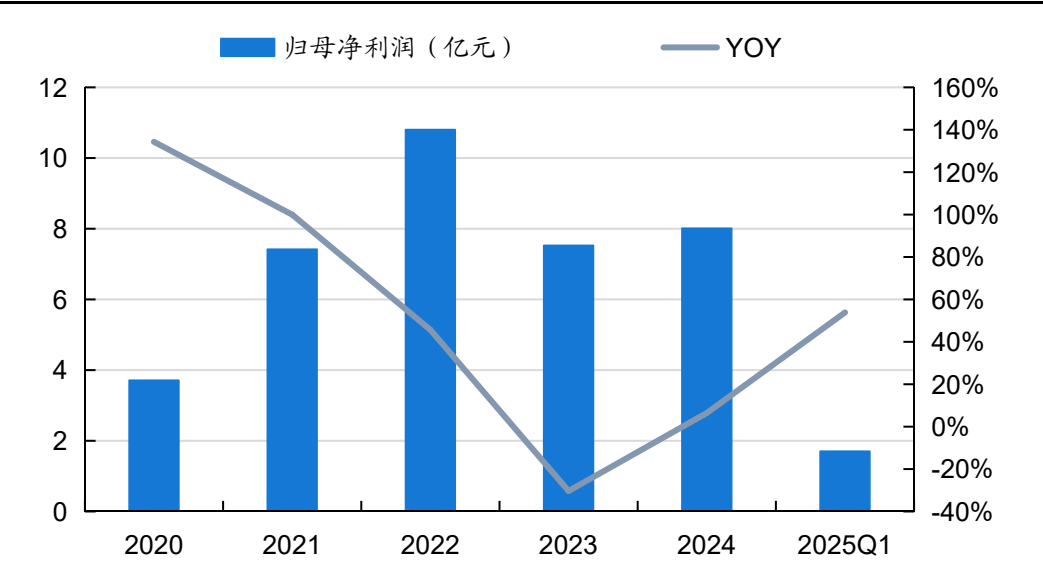
- 低温超导：**全球唯一的铌钛锭棒、超导线材、超导磁体的全流程生产企业，2024年公司完成国内核聚变CRAFT项目用超导线材的交付任务，并开始为BEST聚变项目批量供货。
- 高温超导：**公司侧重MgB₂和Bi-2223的研发和产业化，目前已掌握上述材料核心制备技术，已经开始为我国研发的世界首台10MJ/5MW高温超导储能装置提供MgB₂线材。
- 西部超导财务概览：**2020-2024年营业收入CAGR为21.55%，归母净利润CAGR为21.23%。2024年，公司实现营收46.12亿元，同比+10.91%；实现归母净利润8.01亿元，同比+6.44%。2025Q1，公司实现营收10.74亿元，同比+35.31%；实现归母净利润1.70亿元，同比+53.85%。

图表：西部超导营业收入及同比增速



资料来源：，国海证券研究所

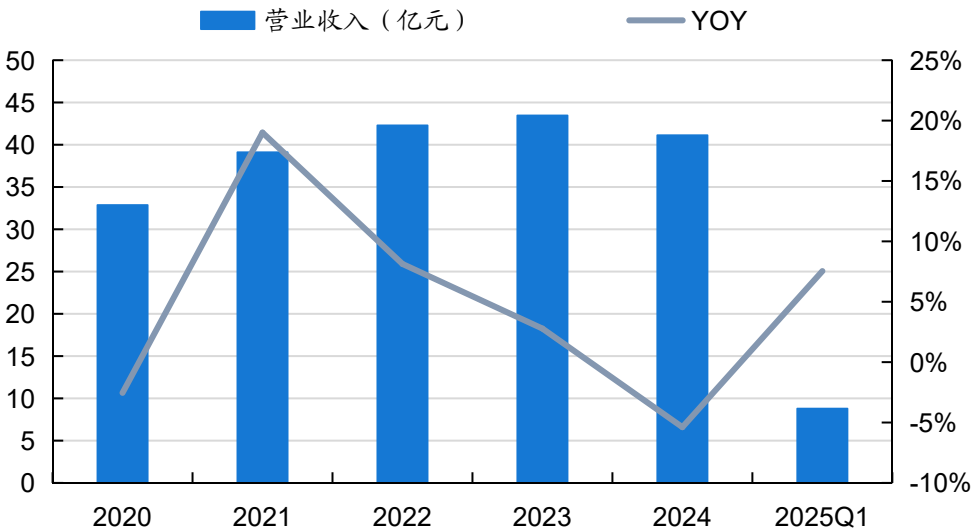
图表：西部超导归母净利润及同比增速



资料来源：，国海证券研究所

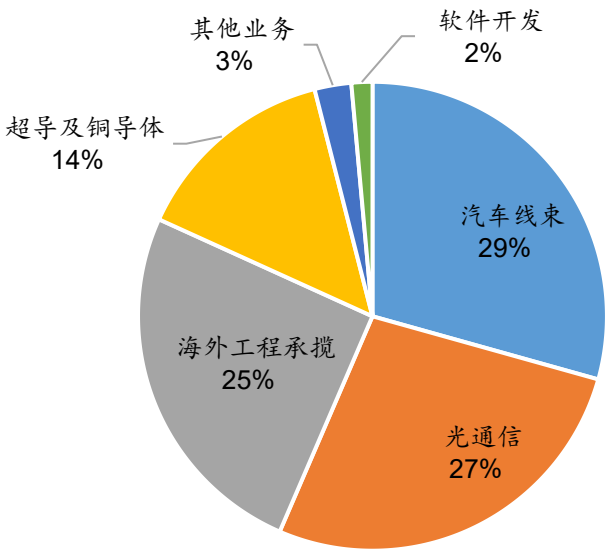
- 永鼎股份控股子公司东部超导（股权比例60.95%）成立于2017年12月，总投资约10亿元人民币，是我国首家生产出二代高温超导材料的高新技术企业，也是国内唯一集高温超导材料研制、超导应用产品研发、超导检测三位一体的先进产业集群。
- 采用国内独有的IBAD+MOCVD技术路线，所制备的超导材料磁通钉扎性能优异，与中科院、联创光电、能量奇点、新奥能源、星环聚能、西南物理研究院等客户密切合作，2024年12月，董事会决定将超导带材扩产至5000公里。
- 永鼎股份财务概览：2024年，公司实现营收41.11亿元，同比-5.38%，其中，超导及铜导体收入占比14%；实现归母净利润0.61亿元，同比+42.00%。2025Q1，公司实现营收8.78亿元，同比+7.54%；实现归母净利润2.90亿元，同比+960.55%。

图表：永鼎股份收入及同比增速



资料来源：，国海证券研究所

图表：2024年永鼎股份超导及铜导体占比14%



资料来源：iFinD，国海证券研究所

上海超导：产品供不应求，总产能将扩至20000公里/年

- 上海超导成立于2011年，2013年自主建成国内首条公里级二代高温超导带材生产线，采用IBAD+PLD技术路线，国内市场占有率80%以上，是多项"全球首个"超导应用项目的核心供应商及独家供货商。
- 全球基于高温超导磁体的紧凑型核聚变研发加速，公司产品供不应求。目前公司年产量与销量均已超过千公里，下游涵盖可控核聚变、超导电力、高场磁体等多个尖端应用领域。
- 2024年底一期扩产项目顺利完成，产能达2000km/年，位居全球前列；二期扩产项目顺利推进中，预计今年9月达产，年底产能达到4000公里，对应10亿人民币产值；三期扩产项目已完成备案，建成后上海超导总产能将达20000km/年。

图表：高温超导带材



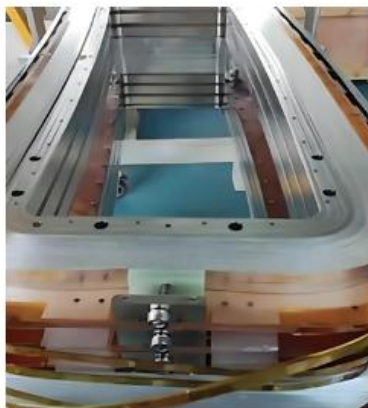
资料来源：公司官网

图表：上海超导应用案例

公司名称	上海超导供应情况
美国CFS	为该项目批量提供超过一百余公里采用30微米超薄基带的高性能高温超导带材，用于聚变导体和磁体研制
英国Tokamak Energy	与英国TE公司进行深度合作，于2017-2020年间分批陆续供应宽幅高性能高温超导带材，用于强场磁体研制及超导可控核聚变
能量奇点	能量奇点核心材料供应商，为洪荒70装置、经天磁体提供全部的高性能高温超导带材
星环聚能	已批量供应高性能高温超导带材，用于高温超导线圈绕制

资料来源：公司官网，国海证券研究所

- ### 图表：上创超导产品应用案例



高温超导磁体线圈



公里级高温超导输电示范工程



高温超导变压器

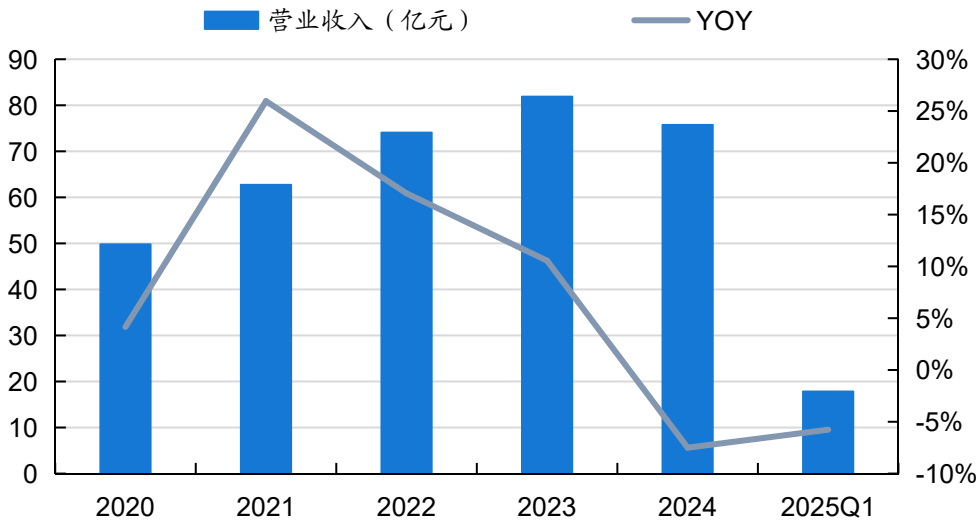
图表：上创超导合作伙伴



资料来源：公司官网

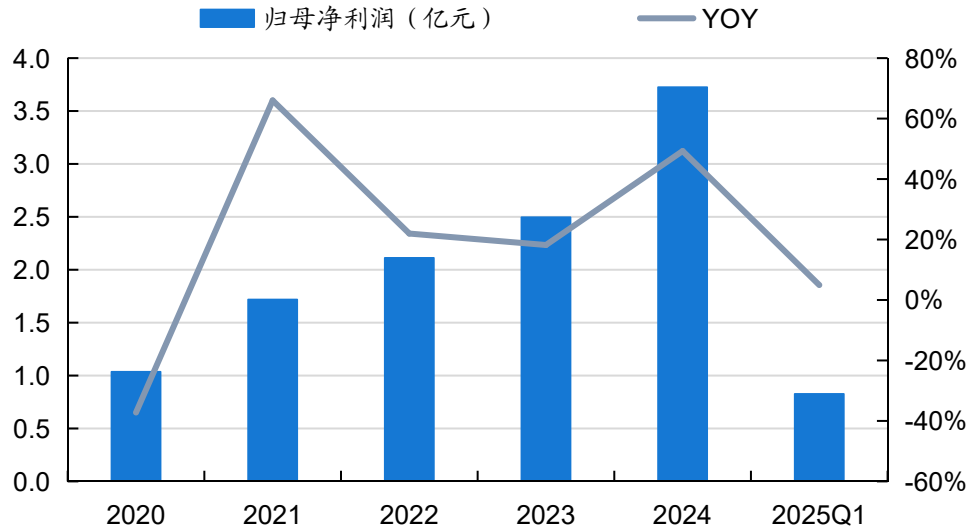
- 中国钢研旗下核心金属新材料产业平台。难熔金属领域，公司专注于钨、钼、钽、铌、锆等材料及其合金的研究、应用开发和精深加工，是全球第三代核电主泵推力盘、核聚变钨铜复合偏滤器部件的核心供应商。
- 功能材料领域，公司是全球高端稀土钕铁硼永磁材料及制品的头部供应商，国内非晶/纳米晶材料技术的开创者，率先在国内建成具有完全自主知识产权的万吨级非晶带材生产线，是全球最大的高端纳米晶带材制造商。
- 安泰科技财务概览：2020-2024年营业收入CAGR为11.05%，归母净利润CAGR为37.74%。2024年，公司实现营收75.73亿元，同比-7.50%；实现归母净利润3.72亿元，同比+49.26%。2025Q1，公司实现营收17.82亿元，同比-5.76%；实现归母净利润0.83亿元，同比+4.95%。

图表：安泰科技营业收入及同比增速



资料来源：，国海证券研究所

图表：安泰科技归母净利润及同比增速



资料来源：，国海证券研究所

- 安泰中科是全球第一家批量生产钨铜偏滤器、包层第一壁的公司，依托于中国钢研70年在钨钼精深加工领域的研发力量，2008年开始参与ITER项目，多年来已持续向国内外客户提供累计超过5000件各种规格钨铜零件。
- 2020年，向法国聚变装置WEST提供全套钨铜偏滤器；2024 年，成功中标CRAFT偏滤器项目，该偏滤器要求高、难度大，是目前为止国内最大的钨铜平板部件；2025 年，公司再次中标EAST偏滤器改造合同。

图表：安泰科技获得安徽省科技进步特等奖



资料来源：安泰科技股份有限公司公众号

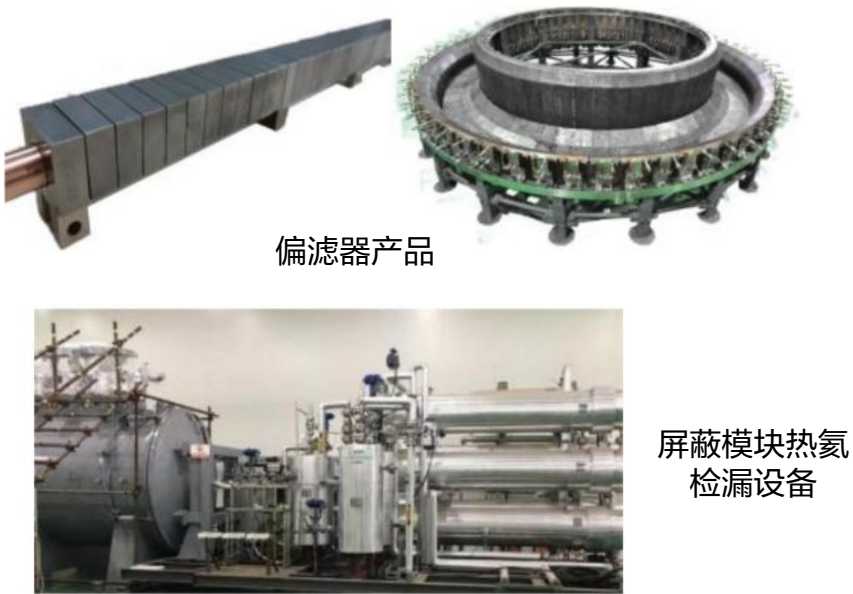
图表：安泰科技参与核聚变情况



资料来源：公司公告，国海证券研究所

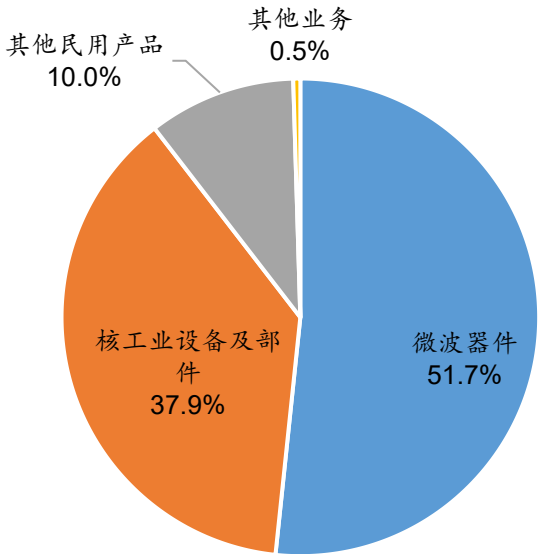
- 国光电气核工业设备及部件产品主要包括ITER配套设备、核工业领域专用泵以及阀门等，其中，公司生产的偏滤器和包层系统是ITER项目的关键部件，2024年核工业设备及部件产品业务占比38%。
- **偏滤器**：应用于HL-3等托卡马克装置，包括CFC/Cu热沉靶板的加工、支撑架结构生产以及偏滤器模块的装配与检测。
- **包层第一壁**：参与ITER新的钨第一壁研制并进入样件生产阶段。
- **屏蔽模块热氦检漏设备**：全球首台满足ITER要求的包层部件的大型真空高温氦检漏设备，两项重要指标——氦检测仪灵敏度及设备真空室本底漏率在空载状态下均优于ITER组织要求。

图表：国光电气核聚变产品



资料来源：公司公告，国海证券研究所

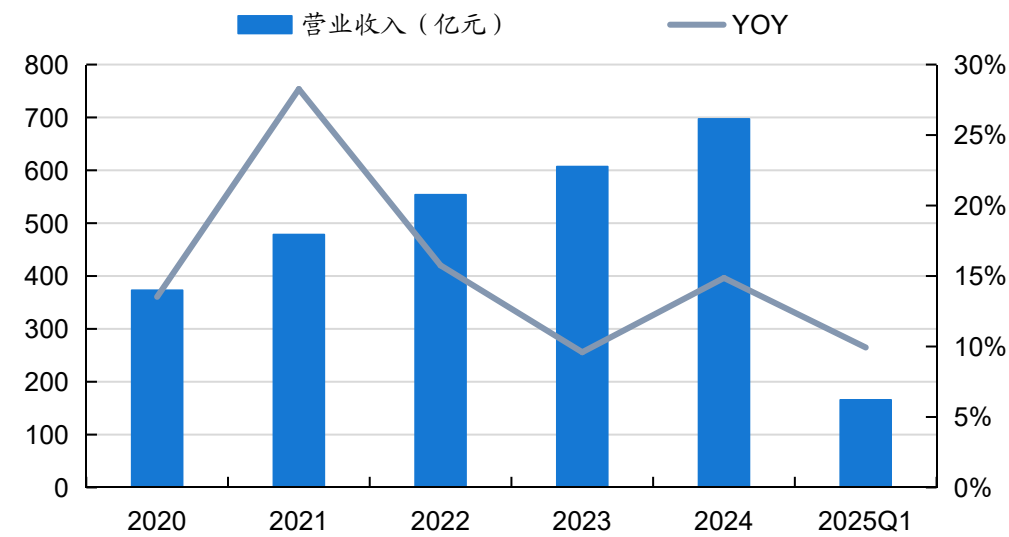
图表：2024年国光电气核工业设备及部件占比38%



资料来源：，国海证券研究所

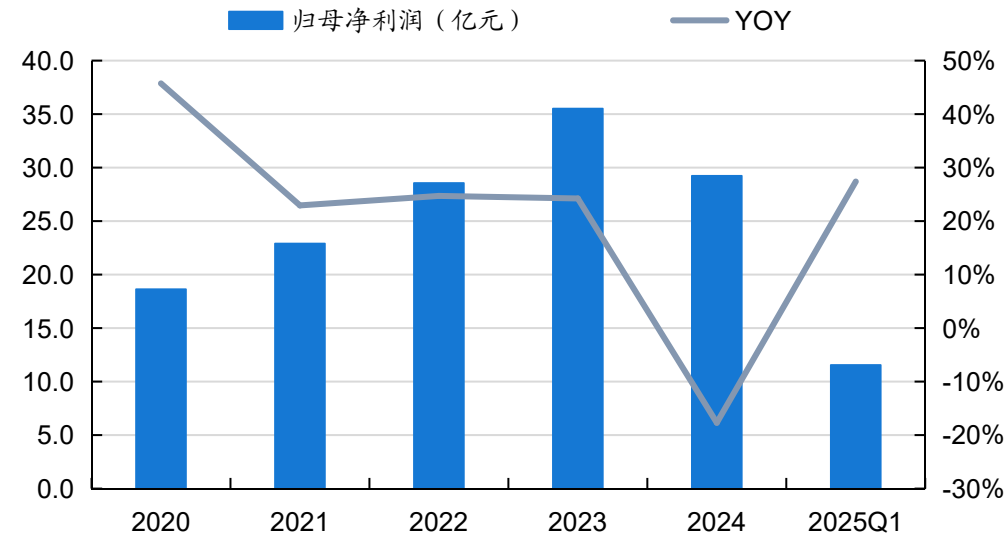
- 东方电气主要经营模式是开发、设计、制造、销售先进的风电、太阳能发电、水电、核电、气电、火电和化工容器、节能环保、电力电子与控制、氢能等高端装备，以及向全球能源运营商提供工程承包及服务。
- 公司可批量研制5-100万千瓦等级水轮发电机组、13.5-135万千瓦等级超超临界火电机组、5-175万千瓦等级核电机组、重型燃气轮机设备、直驱和双馈全系列风力发电机组、高效太阳能电站设备。
- **公司财务概览：**2020-2024年营业收入CAGR为16.93%，归母净利润CAGR为11.93%。2024年，公司实现营收696.95亿元，同比+14.86%；实现归母净利润29.22亿元，同比-17.70%。2025Q1，公司实现营收165.48亿元，同比+9.93%；实现归母净利润11.54亿元，同比+27.39%。

图表：东方电气营业收入及同比增速



资料来源：，国海证券研究所

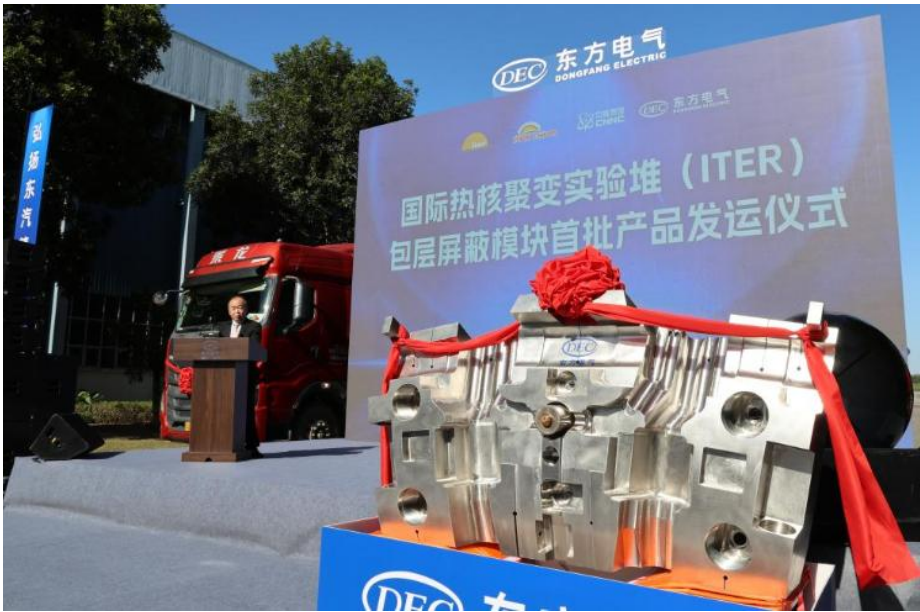
图表：东方电气归母净利润及同比增速



资料来源：，国海证券研究所

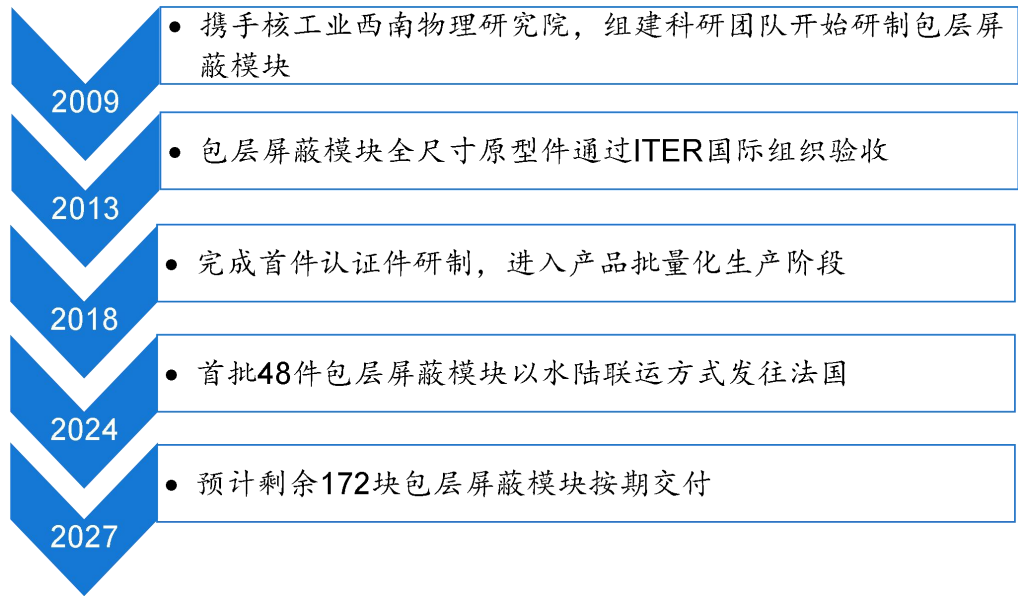
- **HL-2M主机磁体线圈：**线圈中心柱由20组环向场线圈中心段组件和中心螺旋管线圈装配而成，总体重量约90吨。2019年6月，东方电气为HL-2M装置制造的主机磁体线圈中心柱在成都成功交付，成为国内首家制造环流器装置大型磁体线圈的企业。
- **ITER磁体支撑系统：**包括18套重力支撑(GS)、72套极向场线圈支撑(PFCS)和18套校正场线圈支撑(CCS)，ITER装置的承力骨架；2023年11月，东方电气完成最后一批ITER磁体支撑产品制造交付。
- **ITER包层屏蔽模块：**自2009年起，东方电气携手核工业西南物理研究院开始研制包层屏蔽模块，2024年11月，首批48件包层屏蔽模块发往法国，剩余172块包层屏蔽模块预计将在2027年按期交付。

图表：东方电气ITER包层屏蔽模块首批产品发运仪式



资料来源：新华网

图表：东方电气承担ITER包层屏蔽模块220块生产任务



资料来源：公司官网，新华网，国海证券研究所

- ◆ 核聚变：未来终极能源渐行渐近
- ◆ 资本助力技术加速突破，全球抢发第一度电
- ◆ 关键部件拆解：磁体系统、偏滤器、包层系统
- ◆ 相关公司汇总
- ◆ 风险提示

- ◆ **商业化进程不及预期：**核聚变技术仍处于研发阶段，尚未实现持续、稳定、可控的能量输出，若商业化进程不及预期，则可能会对相关公司业绩产生不利影响。
- ◆ **技术快速迭代风险：**当前核聚变多技术路线并行发展，技术升级及产品更新迭代速度较快，若相关产品应用进展不及预期，将对公司业绩产生不利影响。
- ◆ **政策和资金支持变动风险：**核聚变技术开发和投资建设周期长，相关政策和资金支持变动将对核聚变产业发展带来不利影响。
- ◆ **国际贸易争端加剧：**核技术涉及高度安全监管和国际合作限制，国际贸易争端加剧及政策变动会影响企业前景。
- ◆ **核安全事故风险：**虽然聚变本身不存在链式裂变风险，但全球核电站安全事故将影响各国对核电政策支持，进而对核聚变发展带来不利影响。
- ◆ **重点关注公司业绩不及预期：**若重点关注公司业绩下滑、不及预期，相关业务规划推进可能受到影响。
- ◆ **测算偏差风险：**数据测算与实际情况可能存在一定偏差。

化工小组介绍

李永磊，研究所副所长，化工行业首席分析师，天津大学应用化学硕士。7年化工实业工作经验，10年化工行业研究经验。
董伯骏，研究所所长助理，化工联席首席分析师，清华大学化工系硕士、学士。2年上市公司资本运作经验，7年化工行业研究经验。
陈云，化工行业分析师，香港科技大学工程企业管理硕士，2年化工行业研究经验，3年数据分析经验。
杨丽蓉，化工行业分析师，浙江大学金融硕士、化学工程与工艺本科，2年化工行业研究经验。

李娟廷，化工行业分析师，对外经济贸易大学金融学硕士，北京理工大学应用化学本科。
李振方，化工行业分析师，天津大学化学工程硕士，2年行业研究经验。
仲逸涵，化工行业研究助理，南开大学金融学硕士，天津大学应用化学本科。
曾子华，化工行业研究助理，新加坡国立大学金融工程硕士，北京大学化学本科。
于畅，化工行业研究助理，华威大学&香港理工大学工程商业管理硕士，哈尔滨工业大学本科。
王鹏，化工行业研究助理，清华大学化学博士，3年航天新材料研发生产经验，1年半行业研究经验。

分析师承诺

李永磊, 董伯骏, 本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

国海证券投资评级标准

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；
中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；
回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；
增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%～20%之间；
中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%～10%之间；
卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

免责声明

本报告的风险等级定级为R2，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。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。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工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。本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、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。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。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

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。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 化工研究团队

心怀家国，洞悉四海



国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银
行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168
号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597