

核聚变系列深度三：磁体材料迭代推动产业升级

分析师：贺朝晖 S0910525030003
周涛 S0910523050001
2026年2月6日

- ◆ **政策支持+资本开支驱动，聚变产业进入加速期。**2025年全球主要国家密集出台核聚变政策，标志着技术竞争从实验室研发转向产业化布局与监管框架构建。国内对可控核聚变的政策支持从国家层面搭建框架，一边通过优化监管流程、完善法律法规筑牢基础，一边聚焦技术研发方向提供明确指引。
- ◆ **低温超导已相对成熟，高温超导或将成为未来主流。**磁体材料是核聚变装置实现稳定磁场约束的核心基础，当前超导磁体材料形成低温超导（NbTi、Nb₃Sn）与高温超导（REBCO）并行发展的格局，低温超导材料凭借工业化应用优势支撑现有聚变装置运行，高温超导材料则以更优异的极端环境适配性，成为下一代高场聚变技术突破的关键。
- ◆ **磁体系统是聚变项目核心成本项。**在采用低温超导的ITER项目中零部件成本占比86%，其中磁体占28%，是成本最高的核心部件，主因ITER所用的铌基超导线材（NbTi和Nb₃Sn）依赖于高成本低温液氦持续冷却。高温超导项目中磁体成本进一步提升，以高温超导托卡马克ARC项目为例，磁体系统占比46%。未来托卡马克装置将以紧凑型、高温超导为趋势，行业需求有望显著提升。2024年全球可控核聚变装置用第二代高温超导带材市场规模为3亿元，预计2030年将达到49亿元，2024-2030年复合增速为59.3%。
- ◆ **投资建议：**磁体作为聚变系统中价值量最高的环节，目前正处于低温向高温技术验证和演化过程，看好核聚变资本开支周期带来的磁体行业需求。建议关注磁体环节核心供应链厂商：1）低温超导：西部超导；2）高温超导：上海超导（未上市，精达股份持股第一）、联创光电、东部超导（未上市，永鼎股份子公司）；3）钽铌核心供应商：东方钽业。
- ◆ **风险提示：**项目审批不及预期，资本开支不及预期，聚变安全事故风险，原材料价格波动风险。



1、政策支持+资本开支驱动，聚变产业进入加速期

2、低温超导已相对成熟，高温超导或将成为未来主流

3、磁体系统是聚变项目核心成本项

4、超导材料具备丰富应用场景

5、投资建议

6、风险提示

国内政策对聚变行业发展形成清晰规划

- ◆ 2025年，国内对可控核聚变的政策支持形成了清晰的推进逻辑。从国家层面搭建框架，一边通过优化监管流程、完善法律法规筑牢基础，一边聚焦技术研发方向提供明确指引；地方则主动跟进，以具体规划推动技术落地和产业培育。这种“国家定方向、地方抓落实”的联动模式，不再局限于单纯支持科研，而是从全链条发力，为核聚变从实验室走向实际应用铺平道路。

中国可控核聚变主要政策

时间	发布部门	文件名/事件	相关内容
2025年4月7日	生态环境部	《关于聚变装置辐射安全管理有关事项的通知》	实施分类管理（实验装置/氚装置/应用装置）和“审评合一”机制。
2025年4月28日	国家能源局	二季度新闻发布会	大力支持第四代核电技术、小型模块化反应堆、核聚变等前沿技术的研发攻关。
2025年4月	全国人大常委会审议	《中华人民共和国原子能法（草案）》	国家鼓励和支持受控热核聚变的科学研究和技术开发；国家建立符合受控热核聚变特点、促进核聚变应用的监督管理制度。
2025年7月	四川省人民政府	《关于发展壮大新兴产业加快培育未来产业的实施方案（2025—2027年）》	明确支持可控核聚变作为未来产业；加快建设准环对称仿星器，争取聚变堆关键技术攻关工程落地，开展氘氘燃烧、聚变材料研制；拓展应用场景和商业化应用。
2025年10月	中国共产党第二十届中央委员会	《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》	推动量子科技、生物制造、氢能和核聚变能、脑机接口、具身智能、第六代移动通信等成为新的经济增长点。
2025年10月	国际原子能机构、中国国家原子能机构	《可控核聚变产业发展计划》	打造聚变能源工程化、商业化的技术发源地和产业集聚区，具体将在西部（成都）科学城和成渝（兴隆湖）综合性科学中心核心区集中布局3大功能

- ◆ 2025年全球主要国家密集出台核聚变政策，标志着技术竞争从实验室研发转向产业化布局与监管框架构建。各国以“技术领先+产业落地”为核心，通过政策明确路线、协同资源，加速核聚变从“科研课题”到“能源赛道”的跨越。

海外各国推进核聚变的相关政策

国家	时间	文件名	主要内容
美国	2025年4月4日	《构建全球核聚变部署之路》	呼吁以出口控制为核心，尽快建立核聚变监管体系。
日本	2025年6月4日	修订版《聚变能源创新战略》	加速聚变技术研发与创新突破、深化公私协同合作机制、构建本土化供应链体系、实施专业人才培养计划，以及拓展国际研发与商业化合作。
英国	2025年6月23日	《Industrial Strategy: Clean Energy Industries Sector Plan》	确定了最具增长潜力的六大前沿清洁能源产业，包括：风能（陆上、海上和浮动海上风电）、核裂变、聚变能源、碳捕获利用与封存（CCUS，包括温室气体去除 GGRs）、氢能和热泵。
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。
俄罗斯	2025年2月6日	《关于修改〈原子能利用法〉第3条》	将《原子能利用法》确立的法律框架和基本原则延伸至聚变设施的设计和运行领域，构建聚变反应堆及装置的安全监管体系。

多种技术路线并行发展，磁约束仍是主流

- ◆ 当前磁约束、惯性约束、磁惯性约束三种路线均取得不同程度的技术进展，并有远期商业化目标。从各国技术路线选择上来看，磁约束聚变仍然是目前各国的商业化主流路线，我们预计2030年左右，磁约束聚变路线中BEST、ITER等项目有望实现关键技术突破，CFETR有望迈向商业化运行；惯性约束和磁惯性约束有望在2030年后启动商业实验堆建设。

主流聚变路线的技术和商业化进展对比

路径	技术进展	商业化目标
磁约束聚变	CFETR计划在 2035 年后验证 $Q>5$ ； ITER 设计目标为 $Q=10$	中国：2050年前建成首座聚变示范电站（DEMO），2060年前实现商业供电； 美国：2028年CFS验证净能量增益，2030年开始建设ARC商业堆； 印度：2060年示范发电
惯性约束聚变	2022年NIF首次实现 $Q>1$ ($Q\approx 1.5$)	Marvel Fusion目标2032年前完成首个核聚变原型设施建设，2036年前建立商用核聚变电厂；
磁惯性约束聚变	Polaris的超导磁体强度将达到20特斯拉（ITER为5.3特斯拉）	预计在 2028 年前向微软送出聚变电能（全球首个商业合同）； 2030 年 TAE、Helion 等公司计划启动商业试验堆；

1、政策支持+资本开支驱动，聚变产业进入加速期



2、低温超导已相对成熟，高温超导或将成为未来主流

3、磁体系统是聚变项目核心成本项

4、超导材料具备丰富应用场景

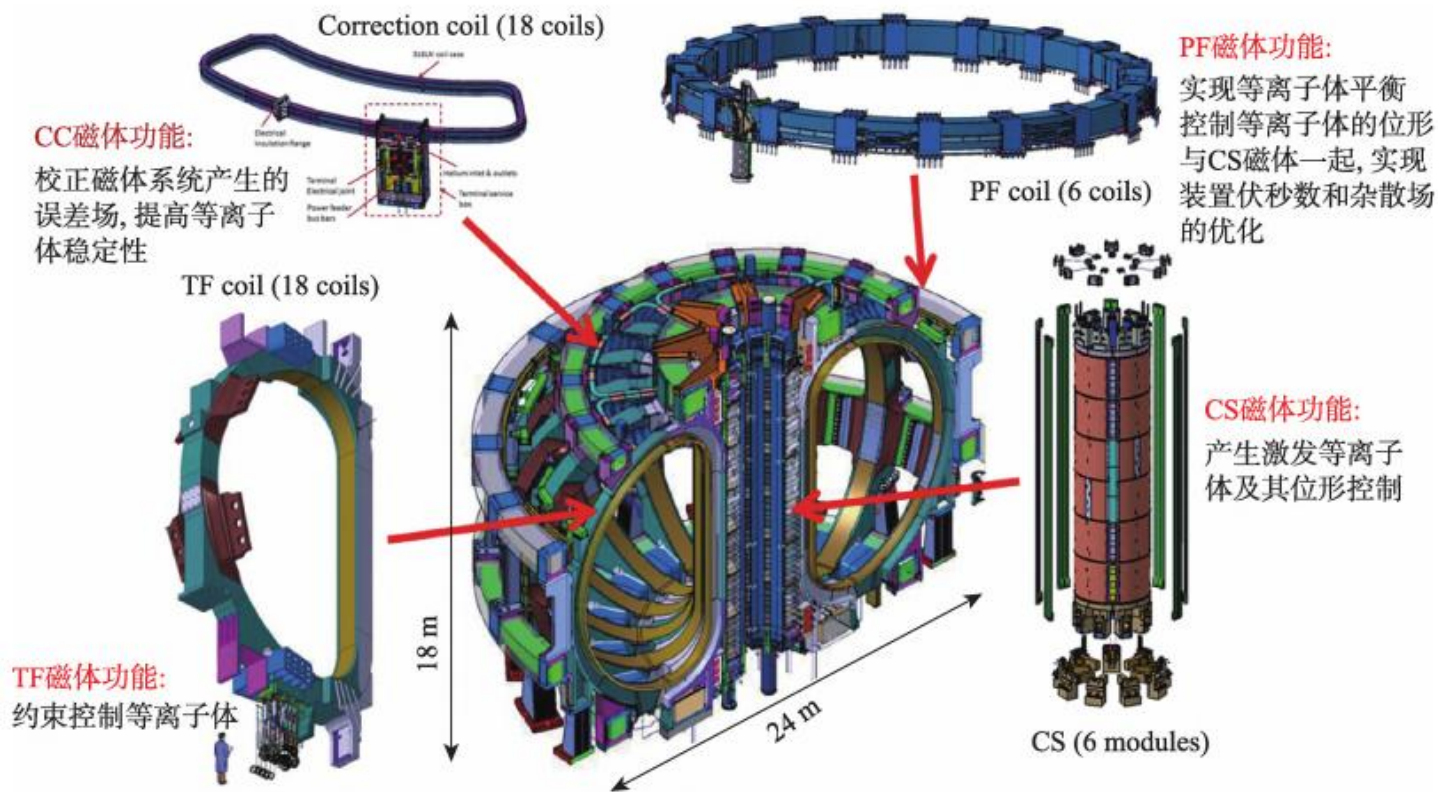
5、投资建议

6、风险提示

托卡马克线圈中包括TF、CS、PF、CC四种线圈

- ◆ **环向磁场线圈 (TF)** 产生强大的环向磁场，用于约束等离子体，使其绕环运行，防止等离子体与真空室壁接触。
- ◆ **极向磁场线圈 (PF)** 产生极向磁场，与等离子体自身电流产生的磁场叠加，共同用于控制等离子体的形状、位置和稳定性。
- ◆ **中心螺管线圈 (CS)** 本质上是一个大型变压器 (原边线圈)，其变化的电流在真空室中感应出强大的环向电场，用于击穿气体形成等离子体并驱动和维持等离子体电流，同时也对等离子体进行欧姆加热。
- ◆ **校正场线圈 (CC)** 主要用于补偿由于制造公差、安装误差或周围铁磁物质等引起的误差磁场，以防误差磁场破坏磁面的对称性。
- ◆ 不同线圈并非独立工作，而是作为一个集成的磁体系统协同运行。例如，ITER装置中包含18个TF线圈、6个PF线圈、1个CS线圈和18个CC线圈。

托卡马克磁体构成



国内外著名托卡马克装置的磁场参数

- ◆ 对于常规导体线圈而言，电流增大将导致焦耳热损耗显著增加。若线圈因焦耳热消耗的能量超过核聚变反应所产生的能量，则整个系统将无法实现净能量增益，失去作为能源装置的意义。此外，常规导体存在电流密度上限，继续提高电流往往需扩大线圈截面积或体积，这将显著增加聚变装置的尺寸、复杂性和工程难度。
- ◆ 相比之下，超导线圈在超导态下直流电阻为零，可承载极高的电流密度而几乎不产生焦耳热。因此，在托卡马克装置中采用超导磁体是突破常规导体限制、实现高强度磁场和高能量约束效率的关键技术路径，对未来聚变堆的工程可行性和经济性具有重要意义。

磁体装置类型	名称	国家	大半径 (m)	小半径 (m)	磁场强度 (T)	电流 (MA)
常规磁体装置	JET	英国	2.96	1.25	3.5	5
常规磁体装置	JT-60	日本	3	3	4	5
常规磁体装置	TFTR	美国	2.65	1.1	5.1	2.5
常规磁体装置	EAST	中国	1.85	0.4	3.5	1
常规磁体装置	HL-3	中国	1.78	0.65	3	3
全超导磁体装置	KSTAR	韩国	1.8	0.5	3.5	2
全超导磁体装置	JT-60SA	日本 & 欧盟	2.967	1.18	2.25	5.5
全超导磁体装置	ITER	ITER IO	6.2	2	5.3	15

- ◆ 托卡马克聚变试验反应堆(Tokamak Fusion Test Reactor, TFTR)项目于1974年由美国原子能委员会批准, 获资3.14亿美元, 在普林斯顿等离子体物理所开启建造, 耗时近10年。TFTR于1982年12月首次成功产生等离子体, 并于1983年春季创下托卡马克最长等离子体能量约束时间的世界纪录。
- ◆ TFTR的磁体系统均采用水冷式无氧铜导体制造, 其环向场磁体由20个圆形线圈周向均匀排列而成。每个线圈内部都包含超过457m的铜导体, 并绕制成总匝数为44的双饼线圈, 安装于金属钛壳体之中, 能够承载73.3kA的电流, 并在等离子体中心处产生5.2T的环向磁场。同时, 其采用壁厚0.762mm的跑道型截面薄壁铜管, 并将其钎焊进导体凹槽内部, 为导体冷却提供了水冷通道, 能够确保导体最高温度限制在65.56°C以内。

典型铜基托卡马克装置磁体系统的部分性能参数

参数	系统名称				
	TFTR	JET	JT-60	Alcator C-Mod	HL-3
首次运行年份	1982	1983	1985	1992	2020
主半径/m	2.48	2.96	3.32	0.68	1.78
TF线圈数量/个	20	32	18	20	20
TF线圈电流/A	73.3	67	52.1	250	140 (191)
中心磁场/T	5.2	3.45	4.5	8	2.2 (3)
等离子体电流/MA	2.5	4.8	2.7	2	2.5 (3)
国家或地区	美国	欧盟	日本	美国	中国

低温超导材料NbTi、Nb₃Sn率先应用于核聚变领域

- ◆ 1979年，苏联建造了世界上第一台低温超导托卡马克T-7装置，将超导磁体技术引入聚变领域。
- ◆ ITER计划建设全超导磁体系统，预计能够产生15MA等离子体电流及11.8T峰值磁场。TF线圈与CS线圈在高场环境下使用Nb₃Sn超导体，其余线圈则使用NbTi超导体。2类导体均考虑管内电缆导体结构，采用多级缆线缠绕在中央冷却螺旋管周围，并基于4.5K超临界氦实现冷却。
- ◆ CFETR同样采用全超导磁体设计，所有线圈导体均采用多级电缆模式，内部包含独立中央冷却管道，基于超临界氦强制流方式进行冷却。装置计划能够产生13.78MA的等离子体电流，并提供6.5T中心磁场。TF线圈绕组根据所处场强大小划分了3个区域，并计划采用不同的导体材料，由低场到高场分别采用NbTi型、ITER级Nb₃Sn以及高性能Nb₃Sn超导体进行绕制。

典型低温超导托卡马克装置磁体系统的部分性能参数

参数	系统名称			
	EAST	KSTAR	CFETR	ITER
首次运行年份	2006	2008	2035 (E)	2033 (E)
主半径/m	1.85	1.8	7.2	6.2
TF线圈数量/个	16	16	16	16
TF线圈电流/A	14.5	35.2	84.6	68
中心磁场/T	3.5	3.5	6.5	5.3
等离子体电流/MA	1	2	13.78	15
国家或地区	中国	韩国	中国	国际

不同应用场景下NbTi、Nb₃Sn截面

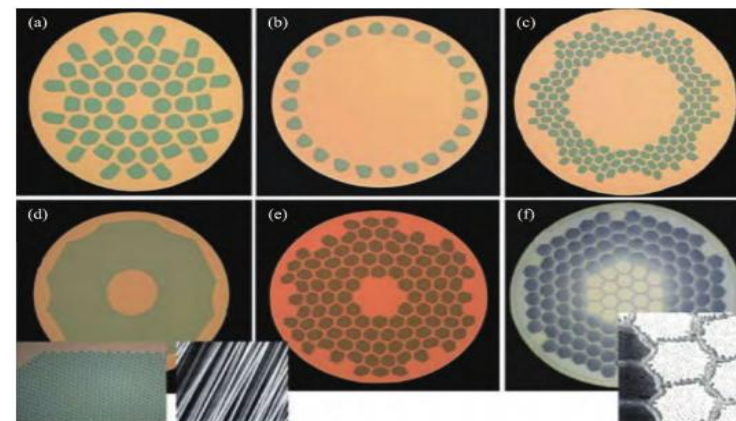


图1 (a)用于核磁共振(NMR)设备;(b)用于磁共振成像(MRI)设备;(c)用于聚变堆导体;(d)用于大型强子对撞机(LHC);以及(f)用于提供脉冲场的NbTi线材横截面照片^[1]

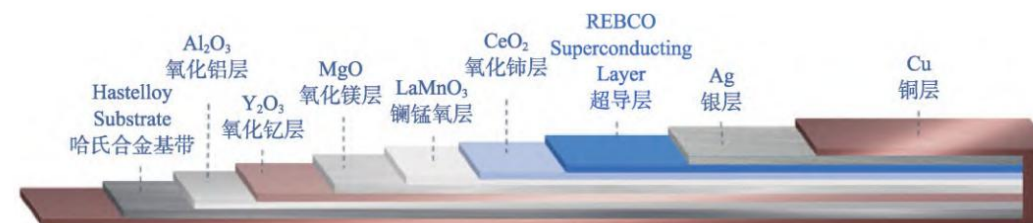
高温超导材料REBCO能够提升磁场强度并缩减磁体尺寸

◆ 近年来，以稀土钡铜氧 (REBCO) 为代表的高温超导材料，在工业化生产能力和性能方面均获得显著提升，推动了其在磁体领域的应用。与传统低温超导材料相比，REBCO材料具有更高的临界温度和热稳定性，并且在高磁场下仍能保持出色的载流能力，使得其在聚变领域中具有巨大的应用潜力。将REBCO材料引入聚变装置中，不仅能够显著提升其磁场强度和聚变性能，还能大幅缩减磁体尺寸，降低托卡马克装置的研发成本和技术难度，进而使聚变装置在设计上更加紧凑和高效，推动其商业化进程。

部分商业化高温超导托卡马克主要信息

信息	公司名称			
	Commonwealth Fusion Systems	Tokamak Energy	能量奇点	星环聚能
托卡马克名称	SPARC	Demo4	洪荒70	CTRFR-1
环向磁场/T	12.2	18	0.6	3~5
TF线圈数量/个	18	14	12	16
国家或地区	美国	英国	中国	中国

REBCO超导带材结构



NbTi、Nb₃Sn、REBCO市场需求已初具规模

各类超导材料对比

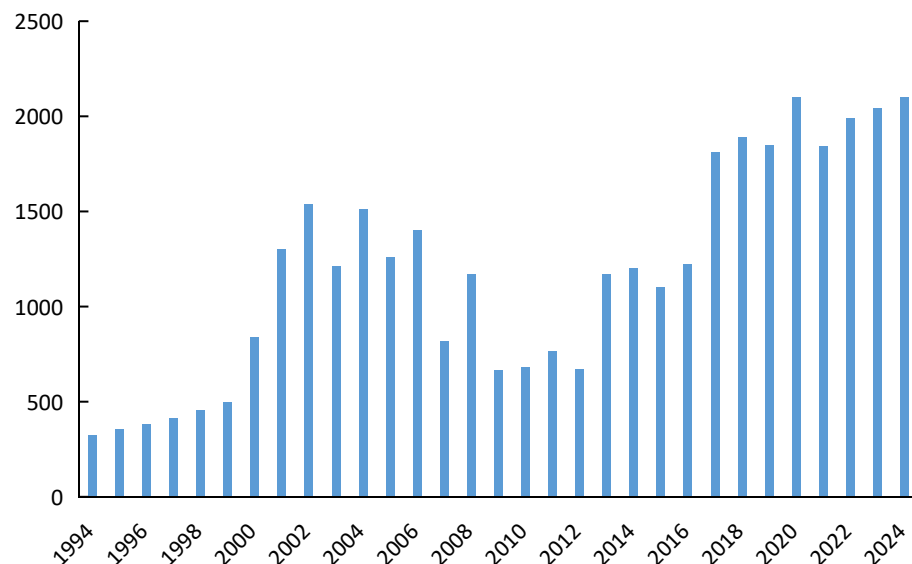
- ◆ 磁体材料是核聚变装置实现稳定磁场约束的核心基础，其临界温度、临界磁场承载力及技术成熟度直接决定聚变装置的运行效率、成本与发展潜力。
- ◆ 当前超导磁体材料形成低温超导与高温超导并行发展的格局，低温超导材料凭借工业化应用优势支撑现有聚变装置运行，高温超导材料则以更优异的极端环境适配性，成为下一代高场聚变技术突破的关键。

类别	功能性能	原材料	制备难度	下游应用领域	使用寿命	市场规模	使用效果	使用成本	商业化情况
NbTi	临界温度9K, 适用<10T磁场, 优良机械加工性能, 稳定超导电性	钽、铌、钛、锆、铜等	金属复合材料集束拉拔法, 工艺成熟, 实现大规模生产	医用MRI、MCZ、核聚变、加速器	>30年	2024年全球市场规模约6亿美元	液氮环境, 高电流, 适合低磁场高精度设备	材料较便宜, 6-15元/米; 制冷成本较高, 液氮价格150-300元/升	非常成熟, 全球产能万吨级
Nb ₃ Sn	临界温度18K, 适用<15T磁场, 性能优于NbTi	铌、锡、铜等	青铜法/内锡法, 涉及复杂热处理工艺, 脆性较高, 成型工艺困难	核聚变、NMR	>30年	2024年全球市场规模约4.5亿美元	液氮环境, 高电流, 适合中磁场高精度设备	材料较便宜, 30-70元/米; 制冷成本较高, 液氮价格150-300元/升	相对成熟
Bi-2223	临界温度110K, 电流密度高, 热/电稳定性好, 但临界磁场低	银、氧化铋、碳酸铋、碳酸钙、氧化铜等氧化物	粉末套管法, 工艺较成熟	超导电力	>30年	2024年全球市场规模不足亿元	液氮/液氮环境, 高电流, 适合电力应用	材料较昂贵, 100-130元/米; 制冷成本较低, 液氮价格1-3元/升	市场规模较小, 且逐渐被REBCO替代
Bi-2212	临界温度85K, 可制各向同性圆线, 适合低温高场, 机械性能较差		粉末套管法, 工艺较Bi-2223难	低温高场内插磁体	>30年	2024年全球市场规模不足亿元	液氮/液氮环境, 高电流, 国外用作低温高场内插磁体	材料较昂贵, 100-200元/米; 制冷成本较低, 液氮价格1-3元/升	有限商业化
REBCO	临界温度93K, 强磁场载流能力优异	哈氏合金基带、氧化钇、氧化铝、氧化镁等	薄膜沉积法, 超导层采用PLD/MOCVD/RCE/MOD等工艺, 制备难度较高	核聚变、超导电力、MCZ、加速器、磁悬浮列车	>30年	2024年全球市场规模约7.9亿元	液氮/液氮环境, 强电和高场应用均适合	材料较昂贵, 70-150元/米(4mm); 制冷成本较低, 液氮价格1-3元/升	受多应用领域牵引, 加速发展中
MgB ₂	临界温度39K, 可制备各向同性圆线	镁粉末、硼粉末	多种工艺路线的拉拔法, 工艺较成熟, 原材料成本低	医用MRI、超导电力	>30年	2024年全球市场规模不足亿元	液氮/液氮环境, 低场性能稳定	材料较便宜, 25-30万元/吨; 制冷成本中等, 液氮价格30-100元/升	有限商业化

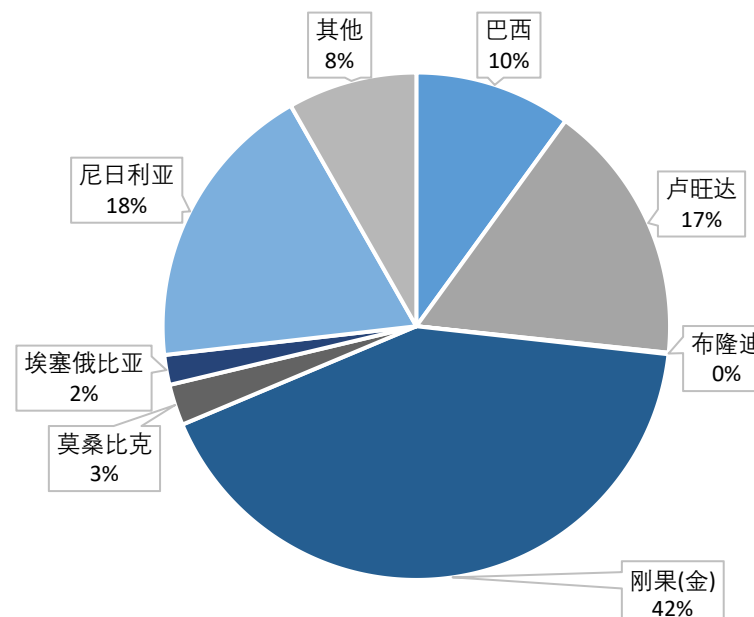
钽矿产量呈现增长态势，非洲为核心产区

◆ 钽矿供给主要集中在非洲，钽矿产量呈现增长趋势。全球重要钽矿主要分布于西澳大利亚、南美洲的巴西、非洲的刚果（金）和卢旺达等地，2024年刚果（金）钽矿产量全球第一，占比42%，其中主要是非洲大湖地区（包括刚果（金）、卢旺达和布隆迪）的手工采矿供应量占主导地位，超过市场供应量的一半，且近年占比逐渐增加。非洲中部的手工和小规模矿山能如此迅速发展原因是低成本与高回收率：非洲中部的矿床风化程度高，质地相对较软。当岩石随着时间的流逝而自然分解时，含钽的钽铁矿晶体基本上保持完好无损。此类岩石可以通过简单洗涤和处理生产出回收率高达85%的钽矿，其回收率远高于那些须将主体岩石爆破并压碎母岩提取出的50-60%回收率的矿石。

1994-2024年全球钽矿产量（吨）



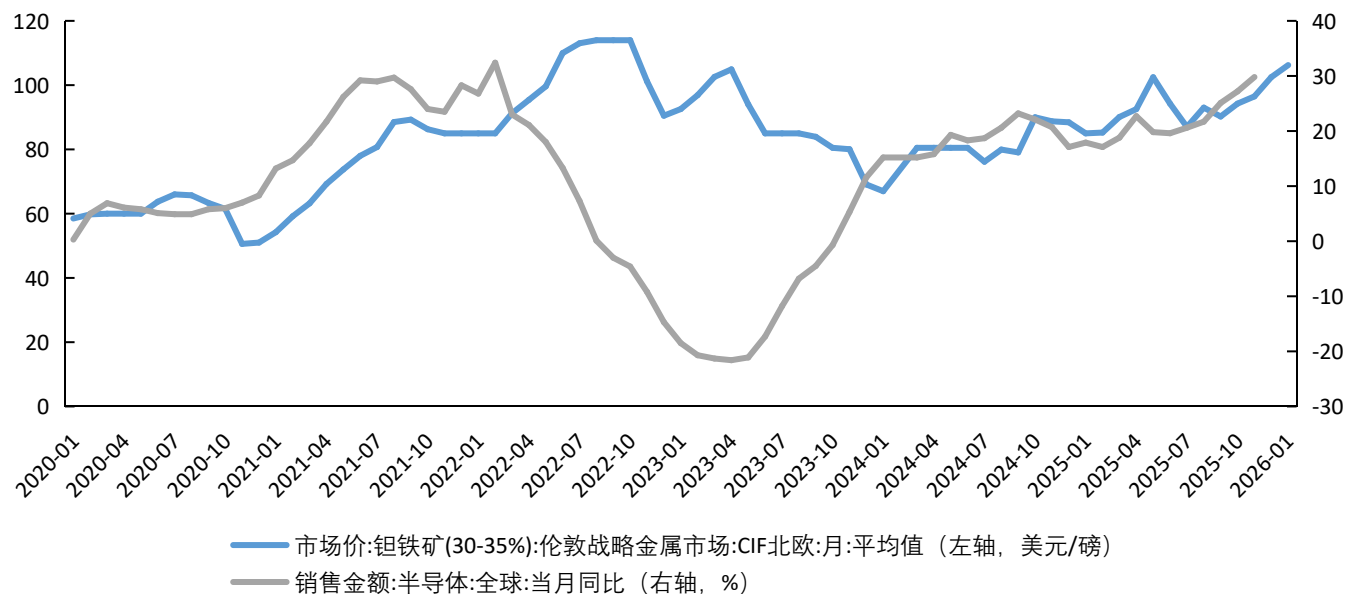
2024年全球钽矿产量分布（%）



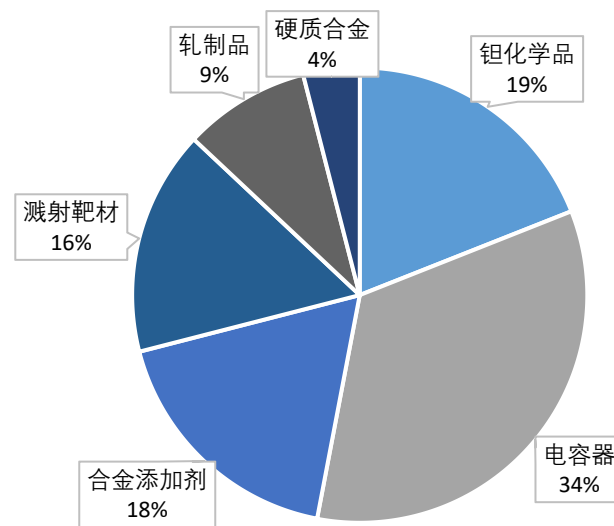
半导体、核聚变、高温合金等新需求带动钽价持续上行

◆ 半导体、核聚变、高温合金等新需求有望带动钽价上行。钽金属具有质地坚硬、熔点高、韧性好、延展性好、冷加工性能好、热膨胀系数小、耐腐蚀能力强及表面氧化膜介电常数大的特性，以上特性决定了钽的终端应用领域：1. 表面氧化膜介电常数大的特性使其常被用于制作成电容器，钽电容占钽终端消费的34%；2. 高熔点特性使其可被用来制备高温合金，高温合金占钽终端消费的18%；3. 化学稳定性好的特性使其被常用作半导体的金属阻挡层和化工用材料，其中半导体溅射靶材占比16%。由于钽矿下游大多是电子行业，整体钽矿价格跟随电子行业周期的相关性较为明显，我们认为随着未来算力带动的半导体需求提升，叠加核聚变等应用场景落地，钽价有望迎来上行周期。

钽铁矿价格和半导体行业周期呈现相关性



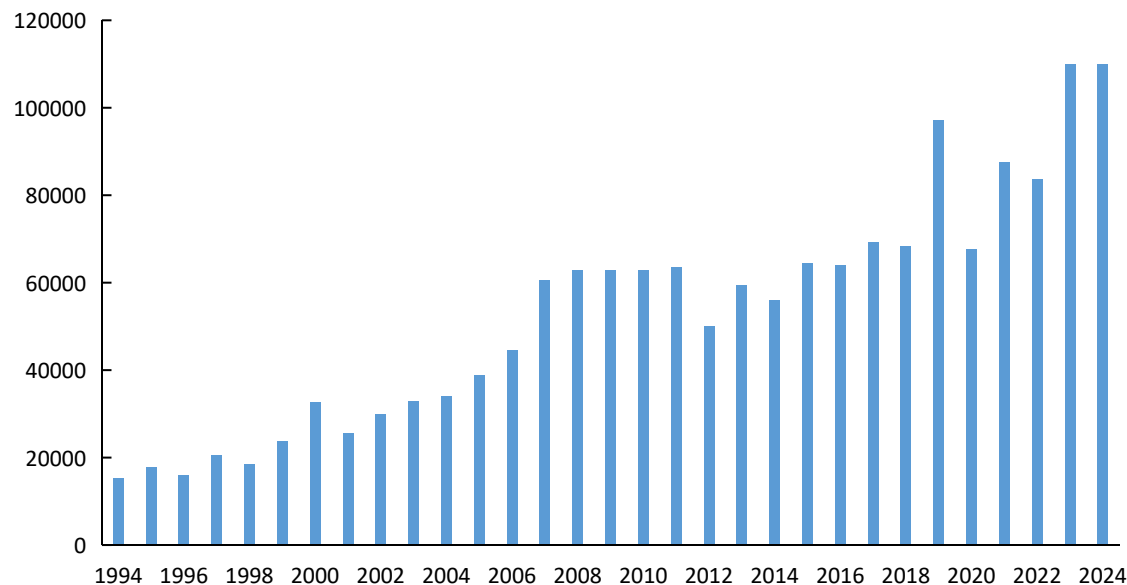
2023年钽终端消费机构 (%)



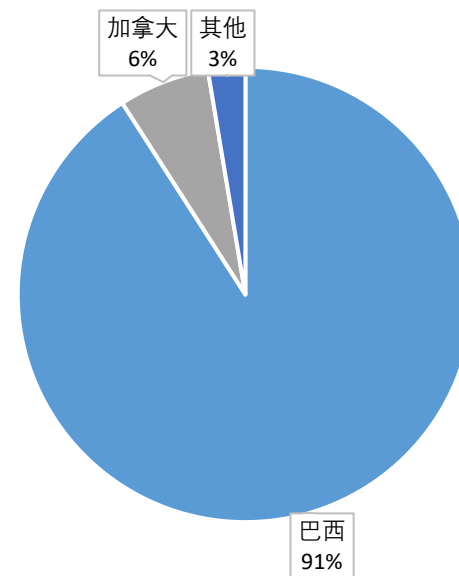
超导+航天等新兴应用催化铌需求上行

- ◆ 全球铌矿供给高度集中于巴西。2024年全球铌矿产量约11万吨，整体铌矿产量呈现增长趋势。全球铌矿供给高度集中，主要来源于巴西，2024年巴西铌矿供给占全球比重约91%。铌下游应用主要是特钢领域，主要以铌铁的形式出现在高强度低合金钢中，在钢铁中仅添加0.03%-0.05%的铌，便可使钢铁的屈服强度提高30%以上。
- ◆ 同时高温合金、超导等领域应用需求也在持续快速增长。NbTi和Nb₃Sn被应用于超导磁体、核磁共振成像设备等产品；铌和钽的热强合金具有良好热强性能、抗热性能和加工性能，也被广泛用于制造航空发动机的零部件、燃气轮机的叶片。我们认为未来随着核聚变和商业航天等新兴行业发展，铌下游需求有望持续上行。

1994-2024年全球铌矿产量（吨）



2024年全球铌矿产量分布（%）



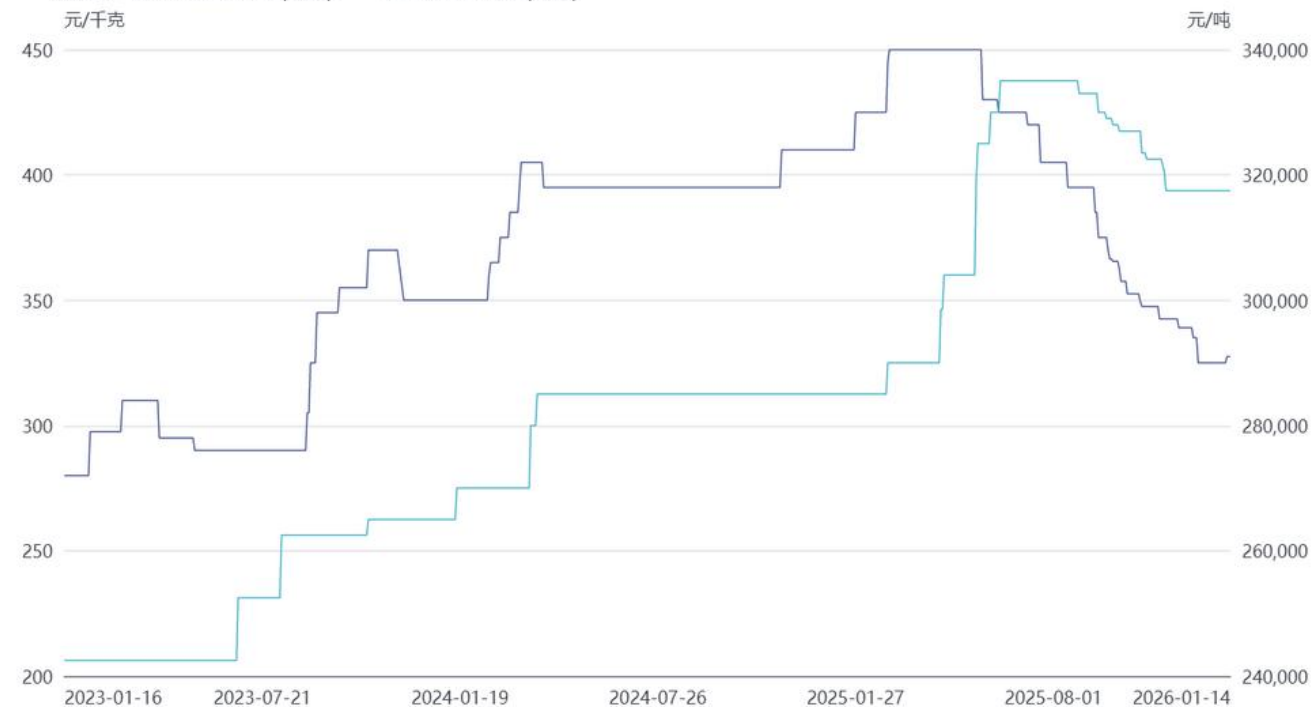
铌价经历震荡后，有望呈现稳中有升态势

◆ 2025年2月，刚果（金）地区爆发冲突，市场避险情绪升温，叠加铌常与钽伴生的属性，铌价跟随钽价进入上行通道。然而刚果（金）东部手工矿区以钽矿为主，铌矿仅为伴生产出，其铌产量对全球比重极低，全球铌资源供应核心仍集中于巴西地区，铌并未产生实质性短缺，随着刚果（金）局势逐步缓和，市场情绪回归理性，2025年8-12月中旬，铌价开始回落。

2025年铌价呈现先扬后抑的震荡行情

五氧化二铌 99.5%平均价

— 五氧化二铌 99.5%平均价(左轴) — 铌铁60A平均价(右轴)



数据来源: SMM

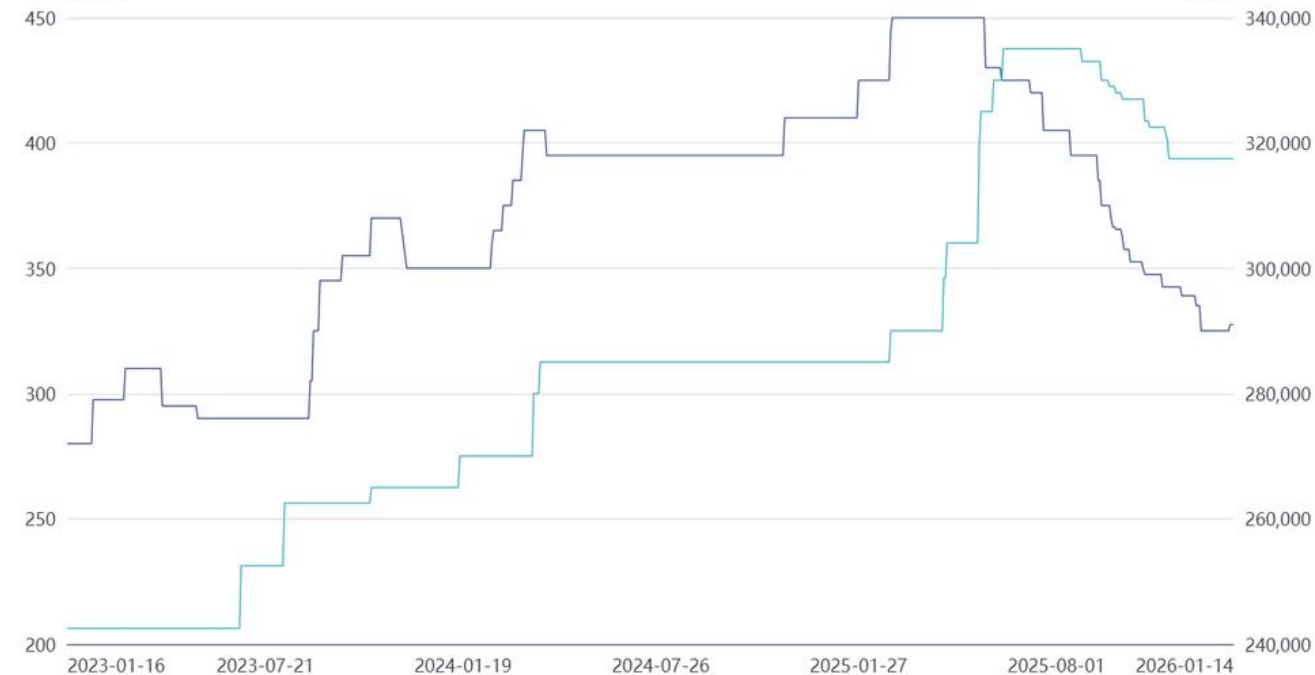
铌价经历震荡后，有望呈现稳中有升态势

- ◆ 2025年12月中下旬起，上游矿山及冶炼企业上调报价，一方面源于部分冶炼企业年底检修导致的短期产能收缩，另一方面与行业年末备货需求的初步释放有关。此外，刚果（金）矿业部延长了部分手工矿区的交易禁令，进一步强化了市场对钽铌供应链合规化升级的预期，间接带动铌价试探性企稳。
- ◆ 2025年铌价波动的核心逻辑是情绪驱动先于基本面，地缘政治冲突引发短期扰动，但价格最终回归基本面。我们认为2026年国内基建投资以及核聚变、商业航天等高端制造业有望形成需求支撑，铌价有望呈现稳中有升格局。

2025年铌价呈现先扬后抑的震荡行情

五氧化二铌 99.5%平均价

— 五氧化二铌 99.5%平均价(左轴) 元/千克
— 铌铁60A平均价(右轴) 元/吨



数据来源: SMM

- 1、政策支持+资本开支驱动，聚变产业进入加速期
- 2、低温超导已相对成熟，高温超导或将成为未来主流



3、磁体系统是聚变项目核心成本项

4、超导材料具备丰富应用场景

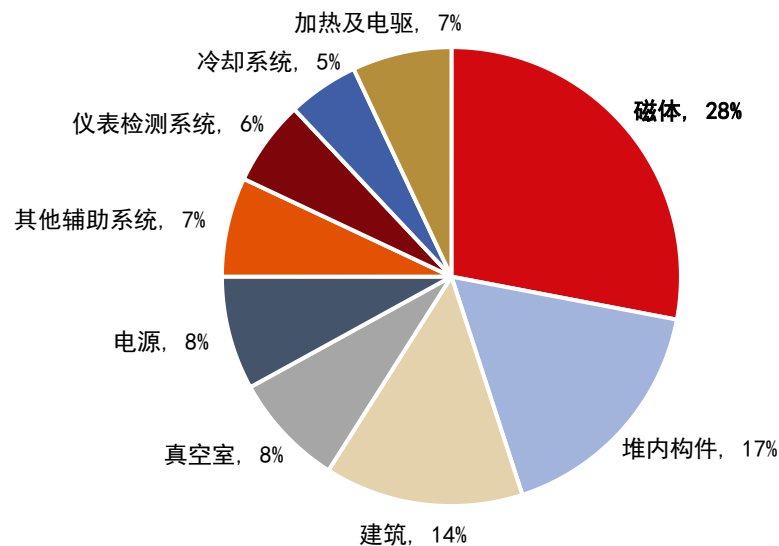
5、投资建议

6、风险提示

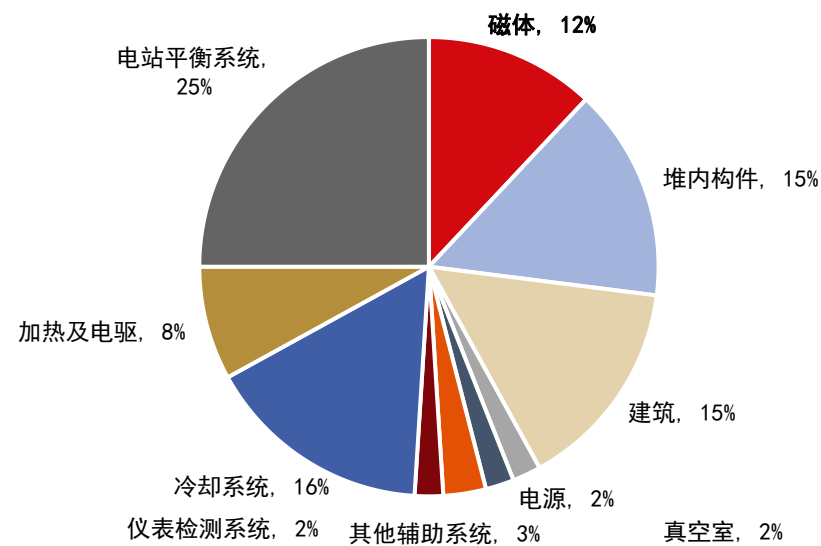
磁体系统是低温超导项目核心成本项

- ◆ 根据《Superconductors for fusion:a roadmap》，ITER项目中建设成本占比14%，零部件成本占比86%。其中磁体占28%，主因ITER所用的铌基超导线材(NbTi和Nb₃Sn)依赖于高成本低温液氦持续冷却。而在远期DEMO商业堆成本中，超导紧凑化设计带动磁体成本下降，我们认为尽管磁体在商业堆中成本占比略有下降，但是随着商业堆建设规模显著提升，磁体市场空间仍将显著提升。

ITER项目成本拆分



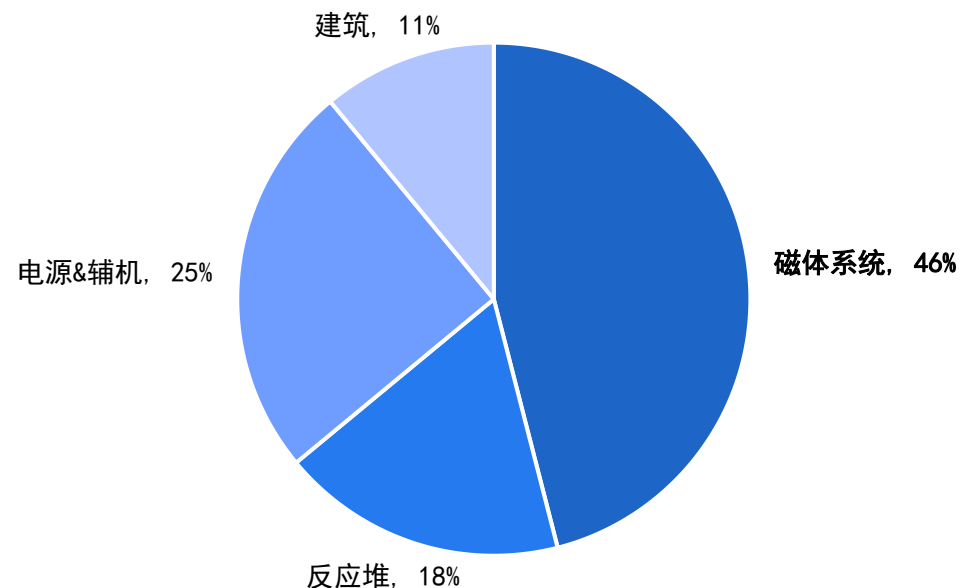
远期DEMO商业堆成本拆分



高温超导项目中磁体成本将进一步提升

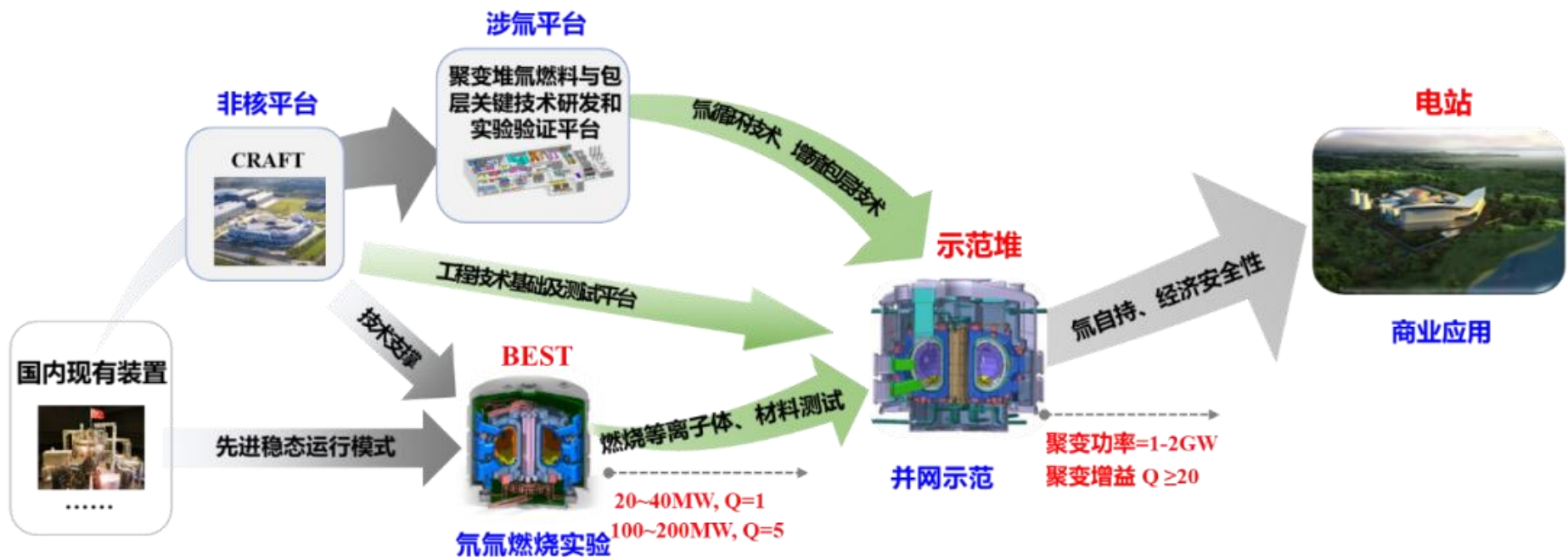
- ◆ 根据《Can fusion energy be cost-competitive and commercially viable? An analysis of magnetically confined reactors》，以高温超导托卡马克ARC项目为例，磁体系统占比46%，反应堆占比18%，电源&辅机占比25%，建筑占比11%，高温超导中磁体成本进一步提升。

高温超导项目ARC成本拆分



BEST资本开支已进入加速期

- ◆ 2025年5月，BEST总装工作正式启动。项目由中科院等离子所主导设计，聚变新能承建，有望成为全球首个紧凑型聚变能实验装置。其核心使命是填补“实验堆”至“示范堆”的工程化空白，推动聚变能发电从实验室迈向商业化。按照规划，BEST将会2027年建成，并将在EAST装置的基础上首次演示聚变能发电。作为一台紧凑型高场托卡马克，BEST旨在探索燃烧等离子体物理，实现先进稳态等离子体性能 ($Q>1$)，并开展高Q聚变运行以及实时氦的产生、提取与循环研究。
- ◆ 2025年10月1日，BEST项目杜瓦底座完成精准落位，部件研制和工程安装开启加速，项目资本开支有望进入加速期。



- ◆ 根据聚变产业联合会统计，2025年以来，中科院等离子所、合肥聚变新能公司累计已招标54.51亿元，招标规模非常可观，其中单项目过亿的环节包括水冷系统、偏滤器靶板、内燃料循环、氦提取系统、磁体电源、回旋管等。
- ◆ 2025年12月，ITER级Nb₃Sn超导线采购项目1、2标段公示中标人，其中西安聚能线材中标1标段5500万元，合肥夸夫超导中标2标段1998万元。

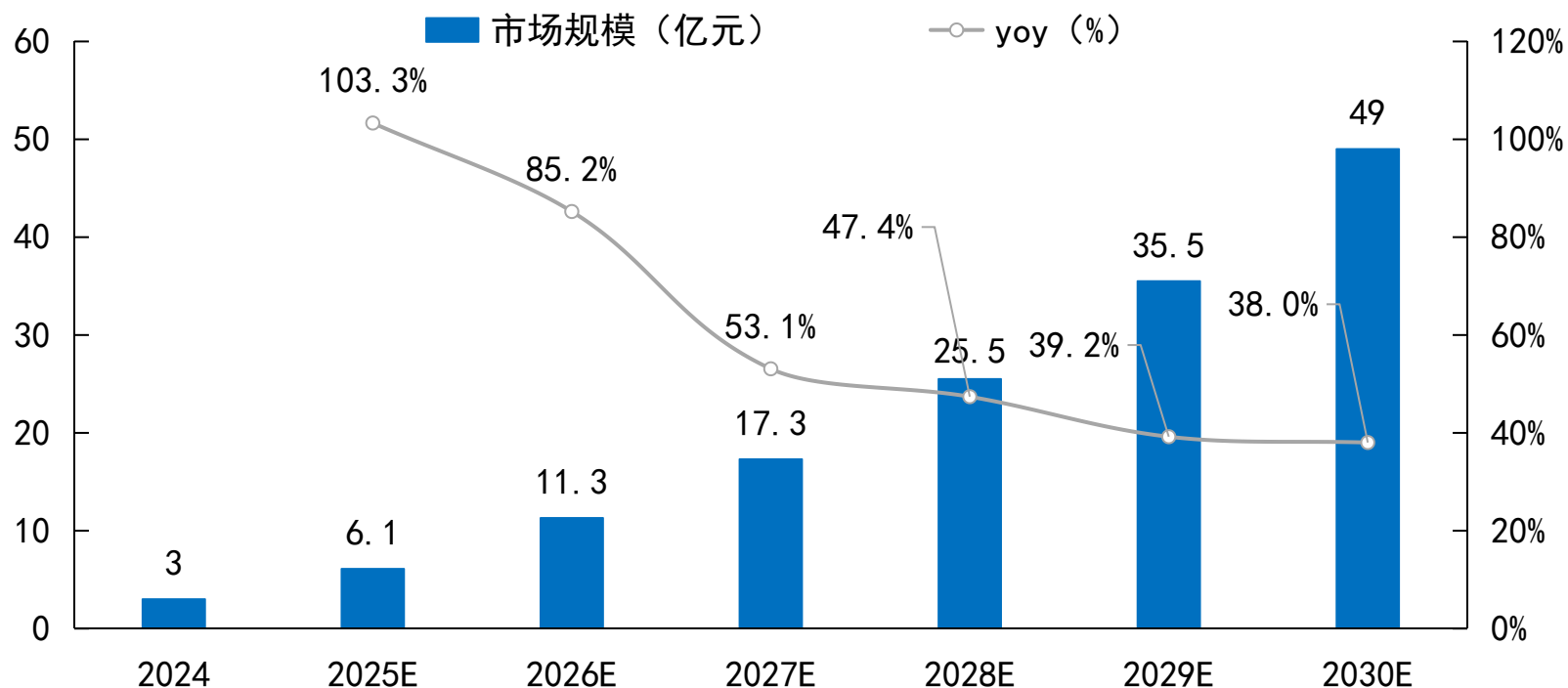
2025年聚变新能超导线材招标

采购项目	需求概况	预算金额(万元)	预算金额明细	招标截止时间	所属项目	标段	中标单位	中标金额(万元)
ITER级Nb ₃ Sn超导线	15吨，其中1标段采购11吨，2标段采购4吨	7500	7500万元：1标段5500万元，2标段2000万元	2025/12/11	BEST项目	1标段	西安聚能超导线材科技有限公司	5500
						2标段	合肥夸夫超导科技有限公司	1998

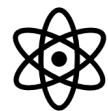
2024-2030年全球核聚变用第二代高温超导带材市场CAGR为59.3%

- ◆ 2024-2030年行业复合增速为59.3%。未来托卡马克装置将以紧凑型、高温超导为趋势，单台托卡马克对高温超导材料需求几千公里到几万公里，行业需求有望显著提升。根据上海超导招股书，2024年全球可控核聚变装置用第二代高温超导带材市场规模为3亿元，预计2030年将达到49亿元，2024-2030年复合增速为59.3%。

全球可控核聚变装置用第二代高温超导带材市场规模



- 1、政策支持+资本开支驱动，聚变产业进入加速期
- 2、低温超导已相对成熟，高温超导或将成为未来主流
- 3、磁体系统是聚变项目核心成本项



4、超导材料具备丰富应用场景

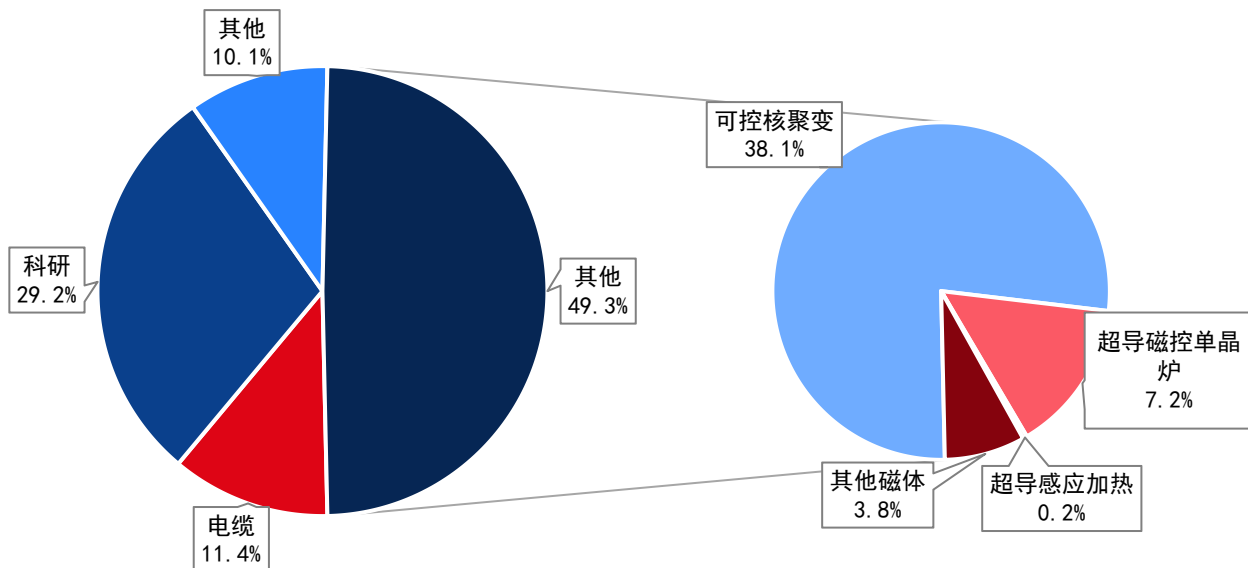
5、投资建议

6、风险提示

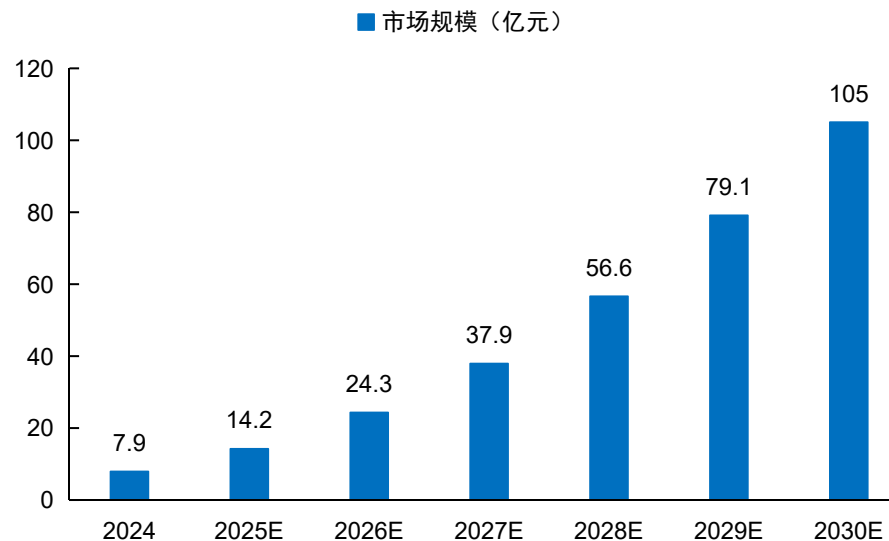
高温超导材料应用场景有望进一步拓展

◆ 相比于常规磁体，高温超导磁体重量体积小，可以在几乎无焦耳热损耗的情况下，产生很高的运行电流，进而在大空间内产生高场强、高稳定性、高均匀性的磁场。目前已经开始向多种低温超导磁体不能达到的高场应用领域渗透，一方面，在强电方向，其可用于增强载流量，减轻电工装备的重量、减小体积、减少占地面积以及提升能效等，主要用于电力领域，如超导电缆、超导限流器、超导电机(调相机)、超导储能系统等；另一方面，在高场方向，利用其大电流产生的大磁场，可广泛服务于可控核聚变、大科学装置、高端制造、医疗装备等领域。根据赛迪数据，2024年全球第二代高温超导带材市场规模为7.9亿元，同比+77.3%，预计2030年市场将超百亿规模。

2024年第二代高温超导带材市场份额 (%)



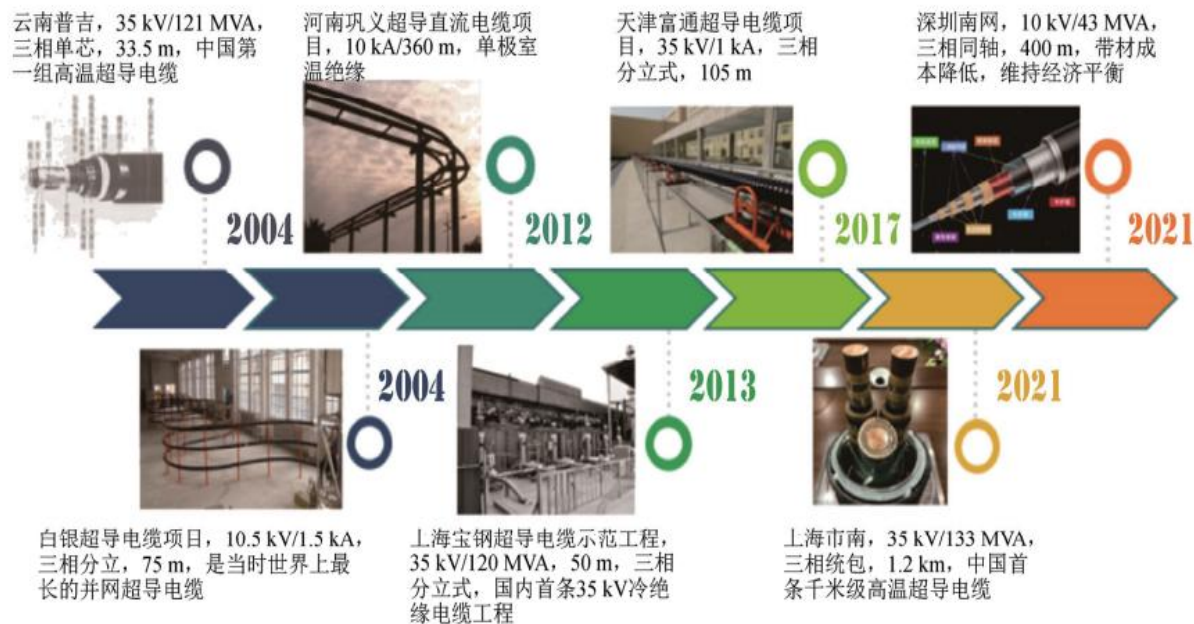
全球第二代高温超导带材市场规模 (亿元)



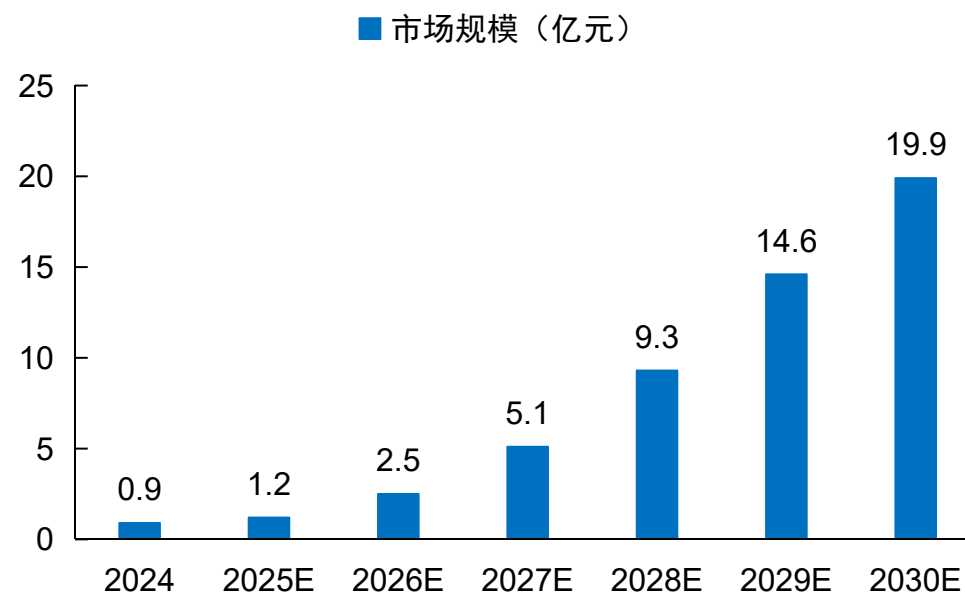
超导材料应用——超导电缆

◆ 高温超导电缆因其在输送容量、能效水平及环境友好性等方面的显著优势，被视为解决现代电力系统容量瓶颈与能效挑战的新一代电力传输核心技术方向。传统高压输电技术受限于导体材料临界参数和传输距离约束，已难以满足高负荷密度区域对供电可靠性、电能质量及大功率传输的严苛要求，为高温超导电缆技术发展提供重要驱动力。2021年，南网深圳供电局研发的400m三相同轴超导电缆系统采用国产化低温制冷设备与第2代高温超导带材，在10kV电压等级实现了2.5kA载流能力。随着超导带材成本的下降和低温制冷技术的持续进步，高温超导电缆在城市电网扩容、新能源并网及工业节能等领域的规模化应用前景广阔。

国内高温超导电缆发展历程



全球超导电缆用第二代高温超导带材市场规模



国内高温超导变压器项目概况

年份	单位	额定参数(容量, 变比)	相数	运行温度 /K	绕组材料	二次侧电流 /A
2004	中科院电工所、特变电工	9kVA, 240/9.6V	单相	77	Bi2223	938
2004	中科院电工所、特变电工	26kVA, 0.4/0.016kV	三相	77	Bi2223	940
2006	中科院电工所、特变电工	630kVA, 10.5/0.4kV	三相	77	Bi2223	909
2015	中科院电工所、特变电工	1.25MVA, 10.5/0.4kV	三相	77	Bi2223	1804
2017	上海交通大学	330kVA, 10/0.4kV	单相	77	YBCO	1435
2019	北京交通大学	6.5MVA, 25/1.9kV	单相	65	RACC缆线 (YBCO)	846

- ◆ 20世纪80年代初，法国研制出低交流损耗的极细丝复合多芯超导线，同时随着低温冷却技术的成熟，低温超导变压器开始逐渐发展。低温超导变压器的主要材料为NbTi和Nb₃Sn，采用液氦冷却，但较高的制冷费用不利于商业化应用。
- ◆ 1987年以来，随着高温超导带材的开发成功，且高温超导变压器的工作温区为30K甚至更高，制冷成本大幅减少，使得高温超导变压器的商业化成为可能，因此各研究机构的研究热点逐渐转向高温超导变压器。高温超导变压器多采用YBCO带材作为绕组材料，目前各国对于高温超导变压器的研究逐步进入了实用化的大容量超导变压器研究阶段，当变压器容量较大时，超导变压器体积小、质量轻的优势才能得以体现。

国内高温超导储能项目概况

年份	研究单位	参数	技术特点
2005	华中科技大学	35kJ/7kW	传导冷却，螺管型结构
2006	中国科学院电工所	1MJ/0.5MVA	传导冷却，螺管型结构
2007	中国科学院电工所	30kJ/7kW	传导冷却，螺管型结构
2009	电子科技大学	10kJ	传导冷却，螺管型结构
2011	中国电力科学研究院	6kJ	液氮浸泡，螺管型结构
2013	华中科技大学、国网湖北省电力公司	150kJ	传导冷却，螺管型结构
2015	华中科技大学、云南电网公司	100kJ/50kW	传导冷却，螺管型结构
2020	中船重工712研究所、华中科技大学	1MJ/1MW	传导冷却，环形结构
2022	南方电网公司	10MJ	浸泡冷却，环形结构

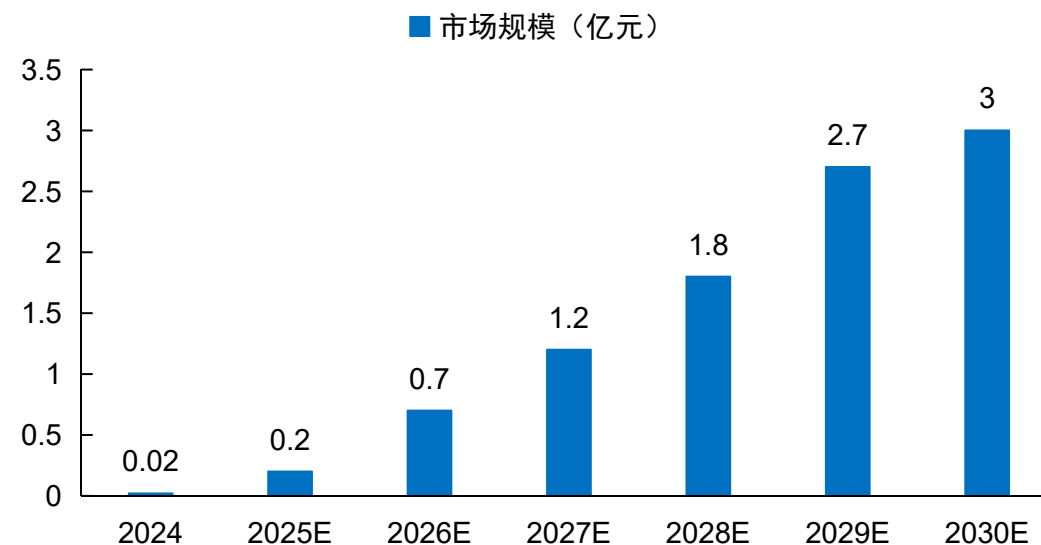
- ◆ 超导磁储能可以四象限独立对电力系统进行有功、无功功率补偿，从而有效提高电力系统的稳定性，在短时电压恢复、潮流控制等装置中发挥积极作用。目前我国高温超导储能技术已经突破兆焦耳级，开始向10MJ级大容量环型高温超导磁储能系统迈进，2022年南网牵头拟开发出10MJ/5MW环向D型高温超导储能磁体。
- ◆ 此外，飞轮储能技术通过将超导体应用于飞轮储能系统的轴承制造，借助超导体的钉扎特性与抗磁性，可实现飞轮储能系统中转子悬浮。超导轴承具有能够实现自稳定悬浮、无需控制、能耗小、可靠性高等优点，使得高温超导飞轮储能系统成为一个新的重要研究分支。

- ◆ 超导感应加热是指通过第二代高温超导带材绕制的超导磁体在铁芯气隙中产生强磁场，带动金属工件在磁场中旋转产生焦耳热，实现对工件的热处理，可以广泛用于铝、镁、钛等金属的加工热成型、熔炼。
- ◆ 在中大型生产线上，高质量的工业型材以及航空材、结构材上，多采用电磁感应加热，而超导感应加热是在电磁感应加热原理上新型研制的技术。超导感应加热装置具有加热均匀性高、能量转换效率高、工件尺寸适应性好等优势，特别是能够将传统电磁感应加热装置40%左右的电热转换效率提高到80%以上，为高耗能领域带来切实的节能降本、降低碳排放的效果

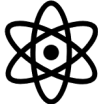
超导感应加热与传统加热对比

性能参数	超导感应加热	电磁感应加热	天然气加热	超导感应加热优点
加热频率（赫兹）	4-12	>50	/	加热质量高
电流穿透深度（毫米）	50	15	/	轴向温度分布更深入、更均匀
加热效率（%）	80-85	40-45	35-40	加热效率高、节能效果高
电能耗（千瓦时每吨）	140	280	/	节能环保
芯表温差（摄氏度）	±5	±20	>20	芯表温差小，不易裂开
无功补偿	不需要	需要	/	安装维护简单
电磁谐波污染	无	严重	无	环境友好

全球超导感应加热用第二代高温超导带材市场规模



- 1、政策支持+资本开支驱动，聚变产业进入加速期
- 2、低温超导已相对成熟，高温超导或将成为未来主流
- 3、磁体系统是聚变项目核心成本项
- 4、超导材料具备丰富应用场景

 **5、投资建议**

- 6、风险提示

- ◆ 磁体材料是核聚变装置实现稳定磁场约束的核心基础，其临界温度、临界磁场承载力及技术成熟度直接决定聚变装置的运行效率，超导线材制备难度高，与稀有金属、稀土供应链紧密结合，具备高行业壁垒，叠加当前原材料价格有望持续上行，看好核聚变资本开支周期带来的磁体行业需求。
- ◆ 建议关注磁体环节核心供应链厂商：1) 低温超导：西部超导；2) 高温超导：上海超导（未上市，精达股份持股第一）、联创光电、东部超导（未上市，永鼎股份子公司）；3) 钽铌核心供应商：东方钽业。

- 1、政策支持+资本开支驱动，聚变产业进入加速期
- 2、低温超导已相对成熟，高温超导或将成为未来主流
- 3、磁体系统是聚变项目核心成本项
- 4、超导材料具备丰富应用场景
- 5、投资建议

 6、风险提示

- ◆ **项目审批不及预期：**若核聚变项目审批不及预期，或将导致项目推进滞后。
- ◆ **聚变安全事故风险：**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。
- ◆ **资本开支不及预期：**若核聚变行业资本开支不及预期，或将导致项目推进滞后。
- ◆ **原材料价格波动风险：**若原材料价格大幅波动，或将导致相关设备制造商业绩不及预期。

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.huajinsec.cn