

➤ **终极能源大门开启，全球可控核聚变产业蓬勃发展，我国积极布局。**聚变能具有燃料丰富、清洁、安全性高、能量密度大等突出优点，被视为终极能源。全球主要国家正在积极采取行动，大力推进聚变能商业化。我国积极参与国际热核聚变实验堆 ITER 计划的建造和试验，同时开启“东方超环”（EAST）和 CFETR 等计划的建设研究并取得显著进展。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。国务院国资委启动实施未来产业启航行动，明确可控核聚变领域为未来能源的**唯一**方向。

➤ **超导磁体在托卡马克装置成本占比近一半，市场空间较大。**可控核聚变技术目前较为成熟的是托卡马克装置，托卡马克装置需要超强的磁场，由于超导体具有零电阻效应，且承载电流密度更高有利于建造更加紧凑、更高场强的聚变装置，能够有效改善长脉冲稳态运行，把产生磁场的线圈做成超导体，可以解决大电流和损耗的问题，这就是超导托卡马克。超导磁体在托卡马克装置成本占比近一半，可控核聚变商用化推进带动超导磁体需求增加，市场空间较大。

➤ **受益于高温超导带材工艺日渐成熟和感应加热设备投产，高温超导产业化应用加速。**材料方面，我国当前高温超导带材生产工艺经过近十年的积淀已经成熟，良率大幅度提升，规模化逐步显现，带材价格持续大幅下降，并且中下游的超导磁体中带材绕制工艺不断进步，推动高温超导技术产业化应用进一步加速。设备方面，在2022年初，第一台高温超导感应加热设备正式并线生产并通过验收后，高温超导产业化应用得到了实质性发展。

➤ **投资建议：**伴随可控核聚变商业化进程加速，超导产业链带材及设备厂商和其他核心部件提供商有望全面受益。**建议关注：**1) **联创光电：**全球首台高温超导感应加热装置投产，在手订单丰富；2) **永鼎股份：**主营产品包括第二代高温超导带材及其应用设备；3) **精达股份：**上海超导第一大股东，为美国 CFS 公司、英国 TE 公司的可控核聚变项目供应高性能高温超导带材；4) **爱科赛博：**全超导托卡马克核聚变实验装置等电源装置供应商；5) **国光电气：**ITER 项目关键部件偏滤器和包层系统供应商；6) **安泰科技：**EAST 项目偏滤器部件供应商；7) **天力复合：**国家核电项目用复合材料唯一批量化供应商；8) **炬光科技：**国家惯性约束可控核聚变项目的半导体激光元器件供应商；9) **百利电气：**公司曾为 ITER 计划提供电力无功补偿设备；10) **旭光电子：**公司产品真空电子管可用于核聚变领域。

➤ **风险提示：**可控核聚变商业化进程不及预期，下游需求不及预期。

重点公司盈利预测、估值与评级

代码	简称	股价 (元)	EPS (元)			PE (倍)			评级
			2022A	2023E	2024E	2022A	2023E	2024E	
600363.SH	联创光电	34.46	0.60	0.94	1.38	57	37	25	推荐
600105.SH	永鼎股份	5.76	0.16	0.24	0.32	36	24	18	推荐
600577.SH	精达股份	4.17	0.18	0.21	0.26	23	20	16	/
688776.SH	国光电气	102.38	2.14	1.48	2.32	48	69	44	/
000969.SZ	安泰科技	9.40	0.21	0.29	0.41	45	32	23	/
873576.BJ	天力复合	29.99	0.78	0.76	0.86	38	39	35	/
688167.SH	炬光科技	111.72	1.00	1.37	2.19	112	82	51	推荐
600353.SH	旭光电子	9.19	0.17	0.15	0.28	54	61	33	/

资料来源：Wind，民生证券研究院预测

(注：股价为2024年1月2日收盘价；未覆盖公司数据采用wind一致预期)

推荐

维持评级



分析师 方竞

执业证书：S0100521120004

邮箱：fangjing@mszq.com



分析师 吕伟

执业证书：S0100521110003

电话：021-80508288

邮箱：lvwei_yj@mszq.com

分析师 马天诣

执业证书：S0100521100003

电话：021-80508466

邮箱：matianyi@mszq.com

分析师 宋晓东

执业证书：S0100523110001

邮箱：songxiaodong@mszq.com

相关研究

1. 电子行业 2024 年度投资策略：把握有斜率的创新-2023/12/21
2. 电子行业周报：硅基 OLED，国产力量在崛起-2023/12/10
3. 电子行业点评：MI300 揭开面纱，AMD 产业链蓄势待发-2023/12/08
4. 电子行业点评：智界 S7 关键词—碳化硅+激光雷达-2023/11/28
5. 西昌试验星发射事件点评：卫星互联网建设加速，关注产业链投资机会-2023/11/27

目录

1 引言：能源革命，全球积极布局	3
1.1 材料篇：不一样的原子之舞.....	5
1.2 约束篇：当高温超导遇上核聚变.....	8
2 进展：高温超导技术成熟推动商业化进程加速	13
2.1 高温超导带材工艺日渐成熟.....	13
2.2 高温超导感应加热设备投产.....	16
2.3 我国可控核聚变领域研究进展.....	18
3 布局：全球主要聚变项目梳理	20
3.1 ITER.....	20
3.2 EAST.....	21
3.3 CFETR.....	21
4 投资建议	23
4.1 行业投资建议.....	23
4.2 重点公司梳理.....	24
5 风险提示	27
插图目录	28
表格目录	28

1 引言：能源革命，全球积极布局

聚变能被视为终极能源，全球主要国家积极布局能源革命。聚变能具有燃料丰富、清洁、安全性高、能量密度大等突出优点，被视为终极能源。全球主要国家正在积极采取行动，大力推进聚变能商业化。

表1：全球核聚变最新进展

时间	主体	具体进展
2021年9月	美国 CFS 公司	CFS 公司使用高温超导带材绕制大口径、20T 的强磁场磁体，将应用于 SPARC、ARC 超导核聚变等，第一阶段磁体已于 2021 年 9 月宣布测试成功。
2022年3月	英国 Tokamak Energy 公司	托卡马克能源公司 ST-40 球形托卡马克反应堆于 2022 年 3 月实现 1 亿摄氏度的温度，成为商业化核聚变研究的重要里程碑。
2023年3月	美国 CFS 公司	CFS 公司和意大利 Eni 公司签署战略框架协议，将致力于 SPARC 项目，该项目正在与麻省理工学院(MIT)合作建设，计划于 2025 年投入使用。SPARC 是一个紧凑、高场、净核聚变能源装置，将与现有的中型核聚变装置大小相当，但具有更强的磁场。麻省理工学院表示，该实验将是第一个净能量增益的演示，并将验证用新超导技术建造的高场设备的前景。据 CFS 称，SPARC 最终将为 ARC 铺平道路，ARC 是第一个能够向电网输送电力的商业发电厂，预计将在 2030 年代初投入使用。
2023年10月	美国国家点火装置 (NIF)	NIF 成功“点火”两次，即实现可控核聚变净能量增益，让核聚变反应产生的能量多于这一过程中消耗的能量。至此美国科学家成功将点火次数增至四次。这些点火实验中，NIF 不仅实现了净能量增益，效率与精度也在不断提高。最新的一次实验再刷记录——输入能量首次达到 2.2 兆焦，3.4 兆焦耳的输出能量也位列历次点火实验第二。NIF 向实现数十兆焦耳甚至更高产能的目标，又迈进了一步。

资料来源：上海超导官网，中国核电网，科创板日报，民生证券研究院

近年来，中国核聚变技术取得了一系列重要进展。2021 年 5 月 28 日，EAST 装置实现了可重复的 1.2 亿度 101s 等离子体运行和 1.6 亿度 20s 等离子体运行。2021 年 6 月 8 日，EAST 装置总放电实验次数突破 10 万次。2021 年 12 月 30 日晚，实现 1056s 的长脉冲高参数等离子体运行，这是目前世界上托卡马克装置高温等离子体运行的最长时间。2023 年 4 月 12 日，EAST 成功实现了 403s 可重复的稳态长脉冲高约束模式等离子体运行，创造了托卡马克装置高约束模式运行新的世界纪录。EAST 装置创造的多项托卡马克运行的世界纪录，标志着中国在磁约束聚变研究领域引领国际前沿，也为中国自主建造聚变工程实验堆提供了坚实的科学技术基础。2023 年 12 月 29 日，以“核力启航 聚变未来”为主题的可控核聚变未来产业推进会在蓉召开。由 25 家央企、科研院所、高校等组成的可控核聚变创新联合体正式宣布成立。国务院国资委启动实施未来产业启航行动，明确可控核聚变领域为未来能源的**唯一**方向。

表2：我国核聚变最新进展

时间	主体	具体进展
2023年4月12日	“东方超环”（EAST）	正在运行的世界首个全超导托卡马克核聚变实验装置（EAST）成功实现了403秒稳态长脉冲高约束模式等离子体运行，刷新了2017年托卡马克装置高约束模式运行101秒的纪录。
2023年7月12日	中国联合球形托卡马克2号（SUNIST-2）	新概念磁约束核聚变探索装置——中国联合球形托卡马克2号（SUNIST-2）建成并首次放电。
2023年8月15日	洪荒70高温超导托卡马克装置	全球首个全高温超导托卡马克装置洪荒70高温超导托卡马克装置总体安装正式启动，计划于2023年底建成运行，核聚变商业化进程将加速。
2023年8月29日	“中国环流三号”	新一代人造太阳“中国环流三号”取得重大科研进展，首次实现100万安培等离子体电流下的高约束模式运行，标志着我国磁约束核聚变装置运行水平迈入国际前列，是我国核聚变能开发进程中的重要里程碑。
2023年12月29日	可控核聚变创新联合体	以“核力启航 聚变未来”为主题的可控核聚变未来产业推进会在蓉召开。由25家央企、科研院所、高校等组成的可控核聚变创新联合体正式宣布成立。国务院国资委启动实施未来产业启航行动，明确可控核聚变领域为未来能源的 唯一 方向。中核集团主动担当作为，牵头组织中央企业共同承担，系统布局了重点技术、典型场景、重大工程项目，立足“开新、扩围、提质”打造可控核聚变创新联合体，推进设立可控核聚变专业化公司，为可控核聚变产业发展奠定了坚实基础。

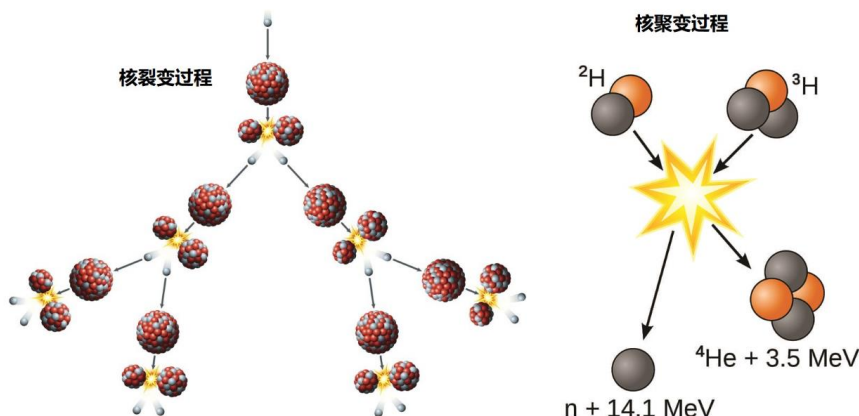
资料来源：中科院官网，清华大学官网，中国核电网，环球网，中核集团官网，民生证券研究院

1.1 材料篇：不一样的原子之舞

1.1.1 核聚变能被视为终极能源

核能是一种非常高效的清洁能源，它是由物质元素的原子核发生改变而放出的能量，俗称核能。核能与我们所熟悉的支持生命过程的化学能不同，它是原子的核内能量而不是核外能量，而参与生命物质转化的化学能都是核外能量，这些化学反应都不会引起原子核的变化。核变化所释放的能量主要分为两大类：(1) 核裂变 (nuclear fission)，即重元素的原子核分裂为质量较轻元素的原子核时所释放的能量，称为核裂变能；(2) 核聚变 (nuclear fusion)，即小质量元素的原子核聚合成为重核所释放的能量，称为核聚变能。

图1：核能的两种释放过程：核裂变与核聚变

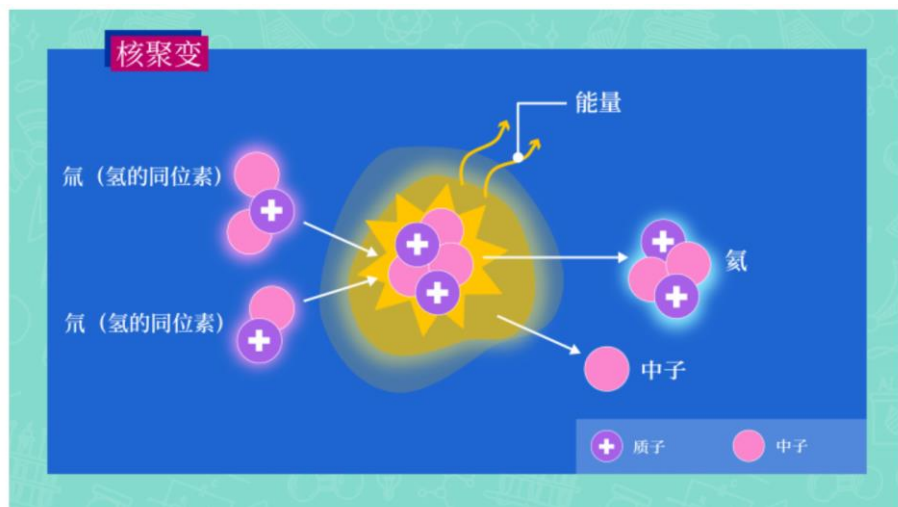


资料来源：中国新材料产业技术创新平台，民生证券研究院

聚变能具有燃料丰富、清洁、安全性高、能量密度大等突出优点，被视为终极能源。核聚变是两个轻原子核结合成一个较重的原子核并释放出巨大能量的过程。核聚变反应发生在一种叫作等离子体的物质状态中。等离子体是一种由正离子和自由移动的电子组成的高温带电气体，具有不同于固体、液体和气体的独特性质。只要将氢的同位素氘和氚的原子核无限接近，使其发生聚变反应，就能释放出巨大能量。核裂变是从原子核分裂中获得能量，而核聚变则是通过将原子核结合而释放能量。虽然两种原子反应都是通过改变原子而产生能量，但它们的根本区别对安全却有广泛的影响。相较于核裂变，核聚变有以下优势：

(1) **核聚变产生的能量巨大。**核聚变产生的能量非常大——是核裂变反应的四倍，而且聚变反应可以成为未来聚变动力堆的基础。各种计划要求第一代核聚变反应堆使用氘（重氢）和氚（超重氢）的混合物。理论上，只要有几克这些反应物，就有可能产生一太（万亿）焦耳的能量，这大约是发达国家的一个人在 60 年内所需要的能量。

图2：核聚变反应原理图示



资料来源：国际原子能机构，民生证券研究院

(2) **核聚变的燃料丰富，也很容易获得。** 只要将氢的同位素氘和氚的原子核无限接近，使其发生聚变反应，就能释放出巨大能量。氘可以从海水中廉价提取，而氚则可以利用聚变产生的中子与丰富的天然锂反应产生。这些燃料供应可持续数百万年之久。

(3) **核聚变安全可靠。** 未来的聚变反应堆在本质上也是安全的，不会产生高放射性、长衰变期的核废物。此外，由于核聚变过程难以启动和维持，因此不存在失控反应和熔毁的风险；核聚变只能在严格的操作条件下发生，超出这个条件（例如在事故或系统故障的情况下），等离子体将自然终止，很快失去其能量，并在对反应堆造成任何持续损害之前熄灭。

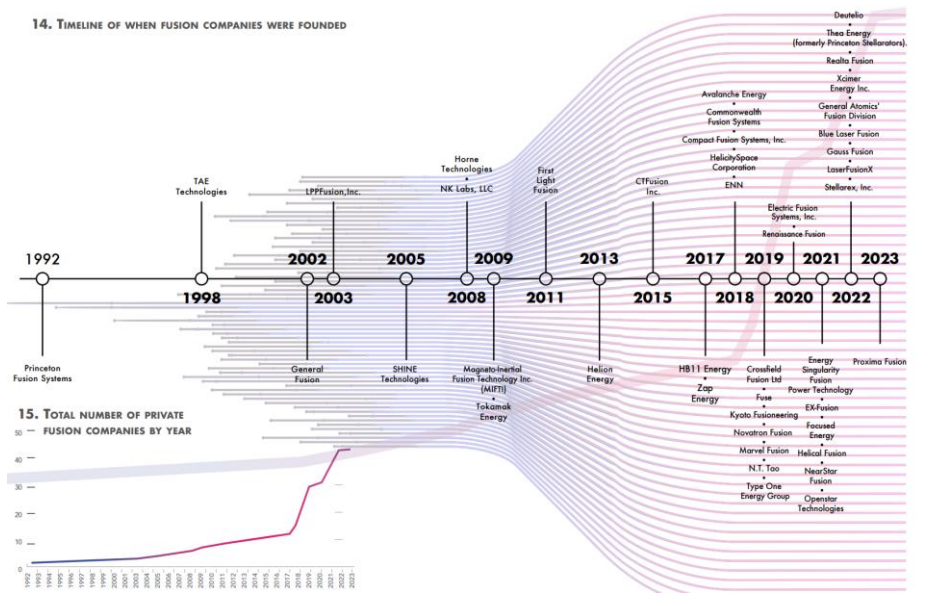
(4) **核聚变清洁环保。** 核聚变，就像核裂变一样，不会向大气层排放二氧化碳或其他温室气体，未来可能成为低碳电力的长期来源。

1.1.2 全球聚变产业发展进程加速

全球聚变产业蓬勃发展。 根据美国聚变产业协会发布的《2023 年全球聚变产业》报告，聚变产业呈现蓬勃发展态势：

聚变公司数量快速增加。 参与 FIA 调查的公司数量从 2022 年 33 家增长到 43 家：3 家退出，13 家新增。这些公司研发的技术差异很大，极少有多家公司研发同一种技术的情况。美国公司数量继续位居第一，达 25 家。聚变公司的地理分布更加广泛，共分布在 12 个国家，其中 2 家公司位于中国，即新奥科技发展公司和能量奇点公司。这表明越来越多的创业团队选择加入聚变产业，技术路径也越来越多元化。

图3：全球聚变公司成立时间表和私营聚变公司数量



资料来源：FIA，民生证券研究院

聚变融资总额持续增长。截至 2023 年，全球聚变公司已累计融资超过 62 亿美元，比 2022 年的 48 亿美元增加了约 14 亿美元，增幅达 27%。这表明尽管面临通胀和利率上升等宏观环境压力，投资者对聚变能商业应用的兴趣和支持仍在稳步增长。

公私合作模式在聚变产业广泛应用。至少 18 家公司已启动或准备与政府开展公私合作项目，政府资助金额超 7000 万美元。英国政府与托卡马克能源公司、联邦聚变系统公司、第一光聚变公司、京都聚变工程公司、通用聚变公司等企业签署合作协议。美国、日本和德国 2023 年推出支持聚变能发展的新举措和项目。这表明全球已出现公私合作推进聚变技术研发的苗头。

预期首座聚变电厂未来 10 年并网发电。尽管大部分公司认为聚变能商业发电在等离子体科学、热管理等方面仍存在技术和工程阻碍，且几乎每家公司均表示建成首座聚变电厂面临融资挑战，但 26 家公司认为首座聚变电厂可在 2035 年之前并网。

全球主要国家正在积极采取行动，大力推进聚变能商业化。一是发布或制订国家战略，明确聚变能发展方向，并创造有利的政策环境。美国政府表示将面向商业化牵头制订未来十年聚变能发展战略；英国、日本、韩国发布聚变能发展国家战略或长期计划；德国发布立场文件，表示将创建适于聚变能发展的生态系统。二是设立专项计划，提供针对性支持。美已启动基于里程碑的聚变研发计划，并于 2023 年 5 月宣布将在该计划下向 8 家聚变公司提供总计 4600 万美元资助，用于在未来 18 个月完成聚变试验电厂预概念设计并制订技术路线图。英国启动总额为 4210 万英镑的“聚变产业计划”，已为数十家企业和机构提供资助。三是启动聚变设施监管框架建设，降低监管不确定性。美国核管会将基于“副产物设施”框架对聚变

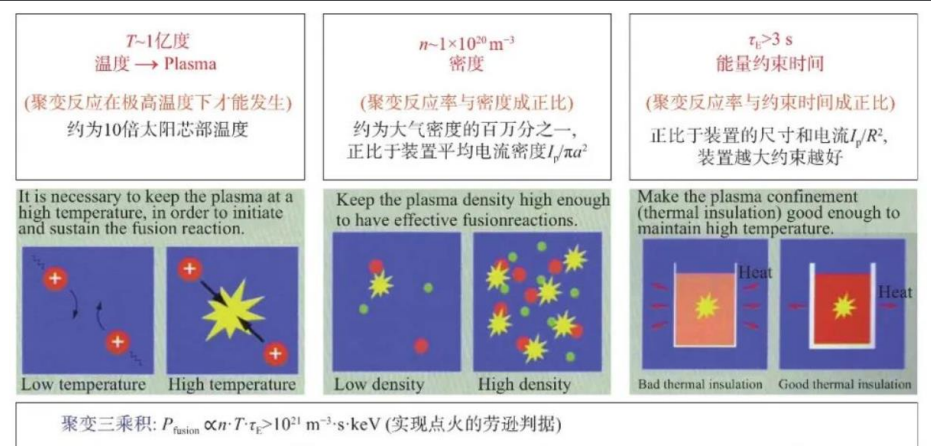
设施实施监管。英国正在修订相关法律，以将聚变设施排除在针对裂变设施建立的现有监管体系之外。

1.2 约束篇：当高温超导遇上核聚变

1.2.1 可控核聚变约束方式对比

实现核聚变必须满足三个苛刻条件：一是足够高的温度 (T)，使燃料变成超过 1 亿摄氏度的等离子体；二是一定的密度 (n)，这样两原子核发生碰撞的概率就大；三是一定的能量约束时间 (TE)，等离子体在有限的空间里被约束足够长时间；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，才能产生有效的聚变功率输出。

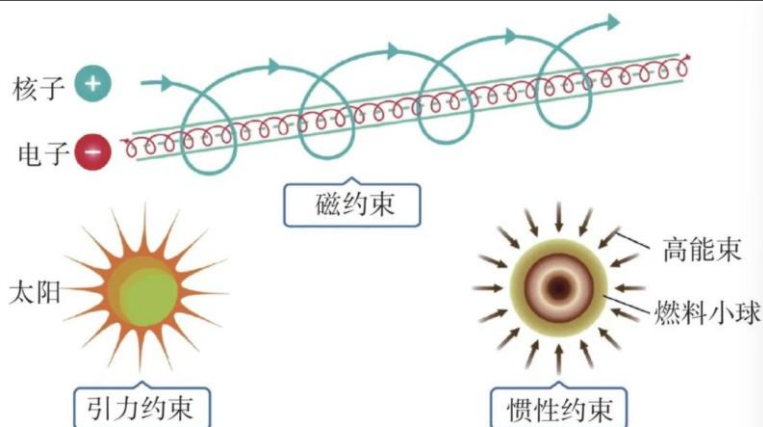
图4：核聚变的反应条件



资料来源：王腾《超导磁体技术与磁约束核聚变》，民生证券研究院

目前，实现核聚变反应主要有引力约束、磁约束、激光惯性约束 3 种方式。太阳因质量大，可通过巨大引力，在极端高温高压的环境下发生引力约束核聚变反应。而在地球上，实现可控核聚变主要有磁约束核聚变和激光惯性约束核聚变两种方式。激光惯性约束核聚变是采用激光作为驱动器压缩氘氚燃料靶丸，在密度燃料等离子体的惯性约束时间内实现核聚变点火燃烧。采用强磁场约束等离子体的方法把核聚变反应物质控制在“磁笼子”里面，就是磁约束核聚变。

图5：聚变约束的三种途径



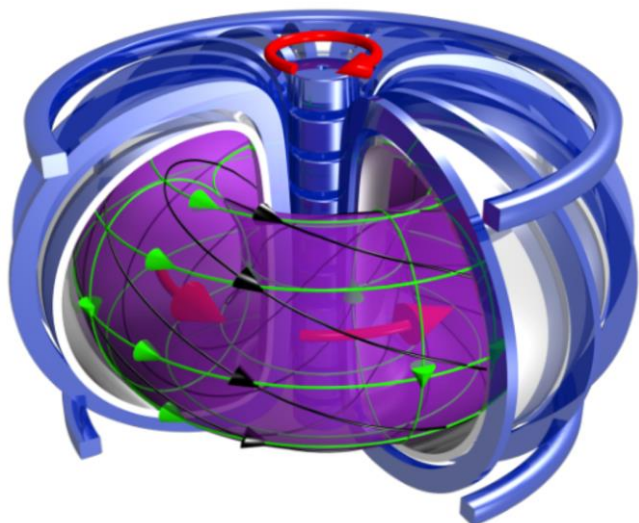
资料来源：王腾《超导磁体技术与磁约束核聚变》，民生证券研究院

磁约束核聚变是实现聚变能开发的有效途径。引力约束主要是靠强大的万有引力来提供对聚变燃料的约束力，比如太阳的万有引力使日核区的氢不断往中心挤压，从而形成很高的密度，再加上太阳有足够长的能量约束时间，使得核聚变反应得以持续发生。惯性约束则以多束极高精度的激光从四面八方向一个非常微小的聚变燃料丸倾注巨大的能量，产生瞬间的高温和高压，巨大的压力使聚变燃料的密度在短时间达到极限值，从而引发核聚变反应。磁约束利用磁场对运动原子核产生的洛伦兹力产生约束，聚变燃料在极高温下会完全电离为由原子核和自由电子组成的等离子体，倘若让这团等离子体置身于强磁场的空间，带电的原子核与电子在垂直于磁场方向不再自由只能沿着磁场方向做回旋运动，从而受到约束。在三类约束方式中，引力约束无法在地球上实现，惯性约束难以实现持续的聚变功率输出，因此磁约束核聚变是实现聚变能开发的有效途径。

磁约束核聚变常用的实现方式是托卡马克和仿星器。核聚变发电利用轻原子核“聚变”所释放的能量。当两个轻原子核融合时，所产生的原子核质量比原来两个原子核质量之和略轻。这一质量差没有消失，而是被转化为能量。如果气体被置于极高温下，就会变成等离子体。在等离子体中，电子被从原子中剥离出来。失去围绕原子核运行电子的原子被认为处于电离状态，并被称为离子。因此，等离子体是由离子和自由电子组成的。在这种状态下，科学家们可以激发离子，使其相互碰撞、聚变，并释放能量。科学家们使用磁约束装置操纵等离子体。此类最常见聚变反应堆是托卡马克和仿星器。

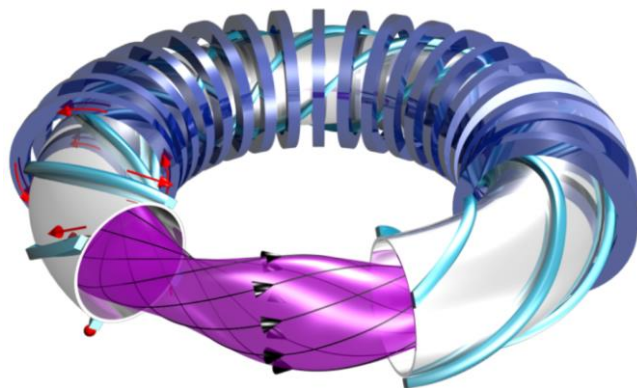
两种类型反应堆各具优势。托卡马克在保持等离子体温度方面更出色，而仿星器在保持等离子体稳定方面更出色。

图6：托卡马克装置



资料来源：国际原子能机构，民生证券研究院

图7：仿星器装置

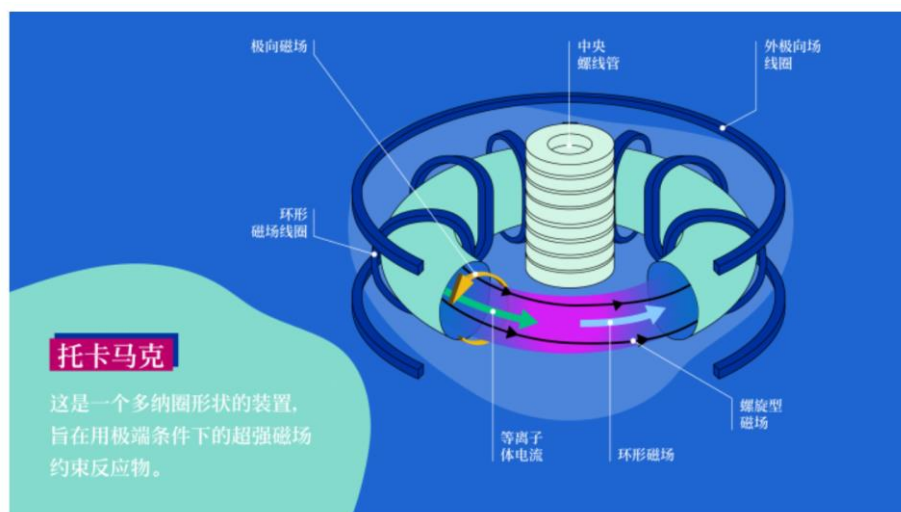


资料来源：国际原子能机构，民生证券研究院

1.2.2 超导材料在可控核聚变领域的应用

托卡马克装置已成为可控核聚变的主要途径。托卡马克装置的中央是一个环形真空室，里面注满气体，外面缠绕着线圈。线圈通电后，会在托卡马克内部产生巨大的螺旋型磁场，里面的气体将被电离成等离子体并形成等离子体电流。当等离子体被加热到极高温度后，便可实现核聚变。利用不同核聚变实现方式而建设的托卡马克装置，其等离子体运行模式有多种，不同托卡马克装置尺寸、性能不同，能量约束模式也有所区别。其中，磁约束类型托卡马克是目前全球研发投入最大、最接近核聚变点火条件、技术发展最成熟的途径。

图8：托卡马克装置工作原理

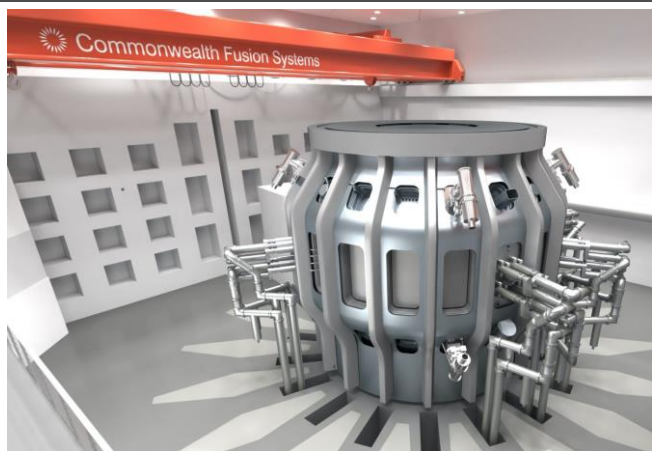


资料来源：国际原子能机构，民生证券研究院

超导材料是未来托卡马克装置的重要组成部分，超导托卡马克诞生。所有托卡马克的终极目标是将氘氚聚变原料加热到点火点或更高的温度，并加以控制地持续尽可能长的反应时间，以追求连续的聚变能量输出。即使采用导电性良好的铜作为导体绕制线圈，由于电流巨大线圈不可避免地存在发热问题，从而限制了磁约束核聚变的长时间稳态运行。由于超导体具有零电阻效应，且承载电流密度更高有利于建造更加紧凑、更高场强的聚变装置，能够有效改善长脉冲稳态运行，20 世纪后期，科学家们开始把超导技术用于托卡马克装置。为了解决常规托卡马克的瓶颈，超导技术便被引入到了托卡马克建设中。

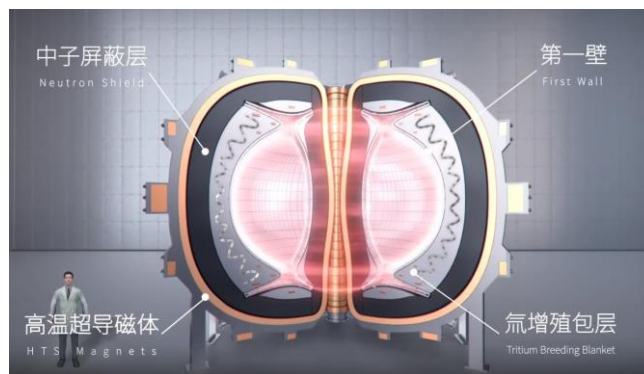
高温超导强场磁体技术突破，形成紧凑型聚变堆技术路线。近年来，高温超导强场磁体技术的突破形成了新的紧凑型聚变堆技术路线，不仅成本大大降低，更使研发周期大幅缩短。麻省理工学院（MIT）将紧凑型聚变堆评为 2022 年度十大突破性技术之一。市场资本的快速进入进一步加速了可控核聚变商业化项目进程，也强势带动了高温超导强场磁体的市场需求。国际上代表性的有美国麻省理工学院的高温超导紧凑型托卡马克 SPARC 装置和英国卡拉姆聚变能源中心负责的 STEP 装置，目前均处于概念设计阶段。国内多家民营企业，如新奥集团、星环聚能、能量奇点等均开展了相关研究。

图9：SPARC 高温超导核聚变反应装置



资料来源：CFS 官网，民生证券研究院

图10：星环聚能球形托卡马克装置



资料来源：星环聚能官网，民生证券研究院

球形托卡马克技术方案优势明显。球形托卡马克是球形托卡马克（Spherical tokamak）是托卡马克的变体，环径比小于 2，等离子体自然拉长。球形托卡马克具有与托卡马克一致的简单结构和对称性。理论和大量实验证明，球形托卡马克的磁流体力学稳定性和约束性能更好，可以达到数倍于传统托卡马克的等离子体比压（磁场利用效率和经济性的重要指标）。球形托卡马克还具有更友好的约束定标率，约束性能随磁场增加而明显提高，可以在适中的磁场下得到相当高的能量约束时间。由于结构紧凑，在相同尺寸下，球形托卡马克等离子体体积占比更高，堆功率更高，经济性优势明显。由于可以承载更高的电流，球形托卡马克等离子体环的磁场储能更多，更容易实现高功率的磁重联加热。

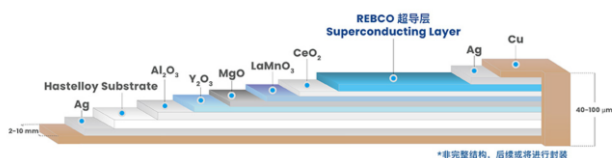
高温超导为打破聚变堆紧凑化的瓶颈提供了关键技术。高温超导材料制成的线圈容许的磁场和电流密度都很高，大幅减少了磁场线圈在球形托卡马克中心柱内占用的空间，让较强磁场的球形托卡马克仍然有充足的空间安放中子屏蔽层等未来聚变堆必备的部件，解决了球形托卡马克作为聚变堆的主要障碍。

超导磁体在托卡马克装置成本占比近一半，可控核聚变商用化推进带动超导磁体需求增加。可控核聚变技术目前较为成熟的是托卡马克装置，托卡马克装置需要超强的磁场，把产生磁场的线圈做成超导体，可以解决大电流和损耗的问题，这就是超导托卡马克。超导磁体作为托卡马克装置的关键组成部分，在一座造价高达几十亿的托卡马克装置中，超导磁体部分占据着几乎一半的成本，市场空间较大。

超导磁体能有效降低可控核聚变装置体积和成本。高温超导磁体的研发成功，及后续场控系统的完善，较之目前使用的低温超导磁体，将大幅提升磁场强度，降低托卡马克装置的建造体积和造价，极大降低我国超导托卡马克装置的使用维护成本，为加快可控核聚变的商业化使用提供稳定且更强有力的支撑。

第二代高温超导带材应用于紧凑型可控核聚变，商业化进程加速。紧凑型聚变堆的体积只有传统聚变堆的几分之一，与低温超导磁体相比，性能更高的高温超导材料有望使可控核聚变的商用进程大幅提速。使用托卡马克装置建立核聚变反应堆，需要在一定空间内产生 10T 以上的两级磁场。而具有卓越低温高场性能的第二代高温超导带材是紧凑型托卡马克装置的最佳选择，可以在温度大大高于绝对零度的情况下产生强磁场以约束高温等离子体、使其无规则热运动发生连续碰撞、产生大量的聚变反应并释放出能量，从而实现聚变的可控运行。上海超导将带材基带的厚度从 50 微米降至 30 微米，打造出市场上最薄的第二代高温超导带材，广泛应用于全球紧凑型可控核聚变装置，下游客户包括美国 CFS 公司，英国托卡马克能源公司，中国能量奇点公司。

图11：第二代高温超导带材结构（上海超导）



资料来源：上海超导官网，民生证券研究院

图12：高温超导带材应用于紧凑型可控核聚变



资料来源：上海超导官网，民生证券研究院

2 进展：高温超导技术成熟推动商业化进程加速

2.1 高温超导带材工艺日渐成熟

超导，全称超导电性，是指在一定条件下电阻等于零，电流可在其间无损耗流动的现象，具备这种特性的材料被称为超导材料或超导体。超导材料具有三个常规材料所不具备的性质：

- (1) **零电阻**：这是超导材料最基本的性质，即当温度降至临界温度 T_c 以下时，其电阻变为零。超导材料的零电阻特性可以用来输电和制造大型磁体。
- (2) **完全抗磁性**：将超导体置于外磁场中时，超体会表现出完全抗磁性，即把原来处于体内的磁场排挤出去，其内部的磁感应强度为零，人们将此种现象称为“迈斯纳效应”。利用超导材料的完全抗磁性，可以制造超导磁悬浮列车。
- (3) **量子隧穿效应**：是指在薄绝缘层隔开的两种超导体之间有电流通过，但超导结上并不出现电压。超导材料的量子隧穿效应可用于弱电磁信号的检测，超导量子干涉仪（SQUID）是目前人类所掌握的能测量弱磁场的手段中最灵敏的仪器，可以探测强度为地磁场十亿分之一到百亿分之一的磁信号。

表3：超导材料的特殊性质

特质	描述	应用场景	示意图
零电阻	超导材料最基本的性质，即当温度降至临界温度 T_c 以下时，其电阻变为零。	输电、制造大型磁体	
完全抗磁性	即把原来处于体内的磁场排挤出去，其内部的磁感应强度为零，人们将此种现象称为“迈斯纳效应”。	制造超导磁悬浮列车	
量子隧穿效应	是指在薄绝缘层隔开的两种超导体之间有电流通过，但超导结上并不出现电压。	弱电磁信号的检测	

资料来源：西部超导招股书,民生证券研究院

按照临界温度的不同，超导可分为低温超导和高温超导：

(1) **低温超导**技术实验室发现以及起步较早，已经应用于许多领域，国际超导材料市场 90%左右是低温超导材料。但低温超导材料一般都需在昂贵的液氮环境下工作，液氮制冷的方法昂贵且不方便，故低温超导体的应用长期得不到大规模的发展，更多应用在磁共振成像、粒子加速器、磁悬浮列车等成本不敏感的领域，未能实现大规模商业化应用。目前，我国低温超导材料、超导电子学应用以及超导电工学应用领域的研究已达到或接近国际先进水平。我国 NbTi 线材性能和性价比已优于发达国家，Nb3Sn 线材综合水平与发达国家相当。

(2) **高温超导**材料因为临界温度的提高，可以在液氮环境中工作，工业液氮制冷已经非常成熟，一吨液氮的价格稳定在一千元以下，适用范围广且价格低廉。高温超导具有使用成本低、应用限制少两大优势。目前应用较广的高温超导材料 YBCO 对临界电流密度、临界磁场强度的要求相比主流低温超导材料更低，应用场景更为广泛。

表4：低温超导和高温超导的比较分析

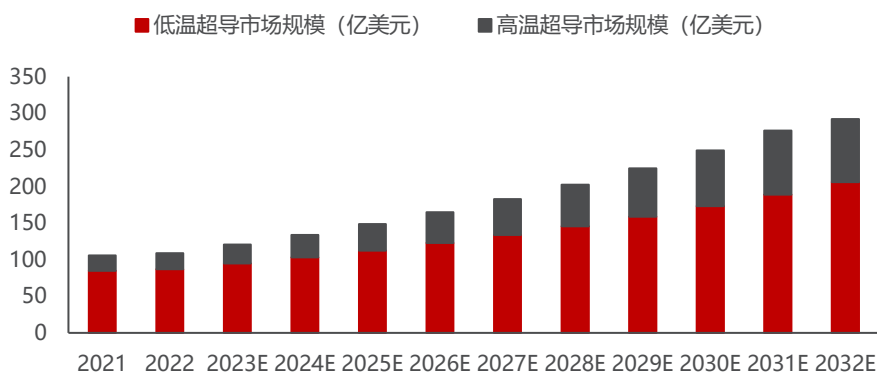
超导类型	临界温度	常用超导材料	冷却方式	优势	劣势	下游应用
低温超导	低于 25k (约-248℃)	NbTi 和 Nb3Sn 材料等	液氮	批量化加工、 使用稳定性优	需在昂贵的液氮环境下 工作，液氮制冷的方 法昂贵且不方便，应 用长期得不到大规模 发展	输电、制造大型磁体
高温超导	高于 25k (约-248℃) 可达-218℃	第一代高温超导 材料 BSCCO 第二代高温超导 材料 YBCO 铁基超导材料	液氮	使用成本低、 应用限制少	早期受限于带材的价 格过高以及带材质地 较脆难以加工等因素 限制，规模化应用推 进速度较慢	超导电缆、超导变压 、超导感应加热、可 控核聚变、超导磁悬 浮、电磁探测设备 超导储能系统(SMES) 、核磁共振谱仪(NMR) 、下一代高能物理加 速器、未来核聚变装 置

资料来源：肖立业《超导材料及其应用现状与发展前景》，民生证券研究院

受益于高温超导带材工艺日渐成熟，高温超导产业化应用加速。高温超导技术早期受限于带材的价格过高以及带材质地较脆难以加工等因素限制，规模化应用推进速度较慢，我国当前高温超导带材生产工艺经过近十年的积淀已经成熟，良率大幅度提升，例如 2020 年上海超导带材成品率从不足 50%提升至 90%左右。规模化逐步显现：2020 年上海超导的年产量终于从 3 年前的十几公里增至 400 公里。随着技术进步及规模化效应，带材价格持续大幅下降，并且中下游的超导磁体中带材绕制工艺不断进步，推动高温超导技术产业化应用进一步加速。

超导材料市场规模持续增长，高温超导材料市场规模占比逐步提升。根据 Global Market Insights 预测，2022 年超导材料市场规模约为 109 亿美元，2023-2032 年复合增长率为 10.8%。根据材料类型分，2022 年低温超导材料市场约占超导材料市场规模的 79.72%，伴随高温超导材料和技术不断成熟，预计未来高温超导材料市场规模占比逐渐扩大。

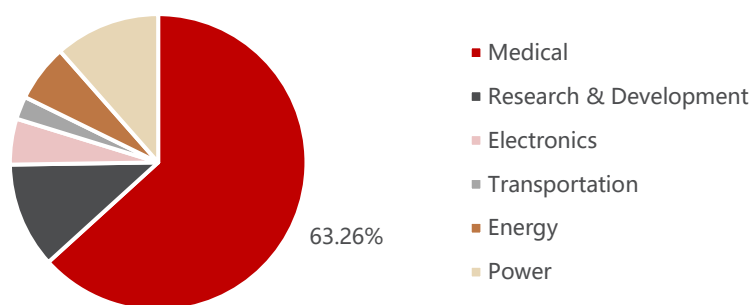
图13：超导材料市场规模（亿美元）



资料来源：Global Market Insights，民生证券研究院

根据应用场景分，2022 年，医疗行业超导材料市场占有份额显著，约为 63.26%，受益于超导材料在医疗成像设备(如 MRI 机器)中的关键作用研究和开发应用，预计未来仍将保持快速增长。核聚变领域虽然相对小众，但由于其在清洁能源电方面的潜力而备受关注，而超导材料在这方面至关重要。电子工业利用超导材料的各种应用，包括传感器和探测器，贡献了相当大的份额。在交通运输领域，超导材料用于磁悬浮列车并逐渐普及。在能源领域，特别是电力传输和分配，超导材料是高效率电力电缆必不可少的环节。其他类别包括各种新兴应用，如量子计算。

图14：2022 年超导材料应用场景规模占比



资料来源：Global Market Insights，民生证券研究院

为加速超导商业化进程，我国出台相关政策支持超导产业发展。整体来看，我国超导技术的发展趋势将向提高性能、降低成本，功能集成化的方向发展，有助于超导技术更好地满足不同领域的需求，推动超导技术在更广泛范围内的商业化和应用。

表5：超导材料相关政策梳理

时间	文件名称	主要内容
2021年	《“十四五”原材料工业发展规划》	实施前沿材料前瞻布局行动，支持科研单位联合企业，把握新材料技术与信息技术、纳米技术、智能技术等融合发展趋势，发展超导材料、智能仿生、增材制造材料等，推动新的主干材料体系化发展，强化应用领域的支持和引导。
2020年	《推动首都高质量发展标准体系建设实施方案》	鼓励制定石墨烯等二维材料、高性能纳米材料、光电子材料、量子材料、新型超导材料、超材料、增材制造材料等前沿技术标准。突破石墨烯产业化应用技术，拓展纳米材料在光电子、新能源、生物医药等领域应用范围
2017年	《“十三五”材料领域科技创新专项规划》	以超导材料、智能/仿生/超材料、极端环境材料等前沿新材料为突破口，抢占材料前沿制高点。
2017年	《关于发布2017年工业转型升级（中国制造2025）资金工作指南的通知》	关键基础材料重点支持高温超导材料、生物基材料，石墨烯、特种陶瓷和人工晶体等新材料。
2017年	《能源生产和消费革命战略(2016-2030)》	开展前沿性创新研究。加快研发氢能、石墨烯、超导材料等技术。
2016年	《新材料产业发展指南》	加强超导材料基础研究、工程技术和产业化应用研究，积极开发新型低温超导材料，钨铜钨等高温超导材料，强磁场用高性能超导线材、低成本高温超导千米长线等，在电力输送、医疗器械等领域实现应用。
2016年	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	开发智能材料、仿生材料、超材料、低成本增材制造材料和新型超导材料，积极参与国际热核聚变实验堆计划，不断完善全超导托卡马克核聚变实验装置等国家重大科技基础设施，开展实验堆概念设计、关键技术和重要部件研发。
2015年	《中国制造2025》	高度关注颠覆性新材料对传统材料的影响，做好超导材料、纳米材料、石墨烯、生物基材料等战略前沿材料提前布局和研制。加快基础材料升级换代。
2012年	《“十二五”材料领域2013年度备选项目征集指南》	研发核磁共振用关键超导材料、高性能涂层导体长带材以及基于高性能超导材料的超导限流器和滤波器并实现应用。

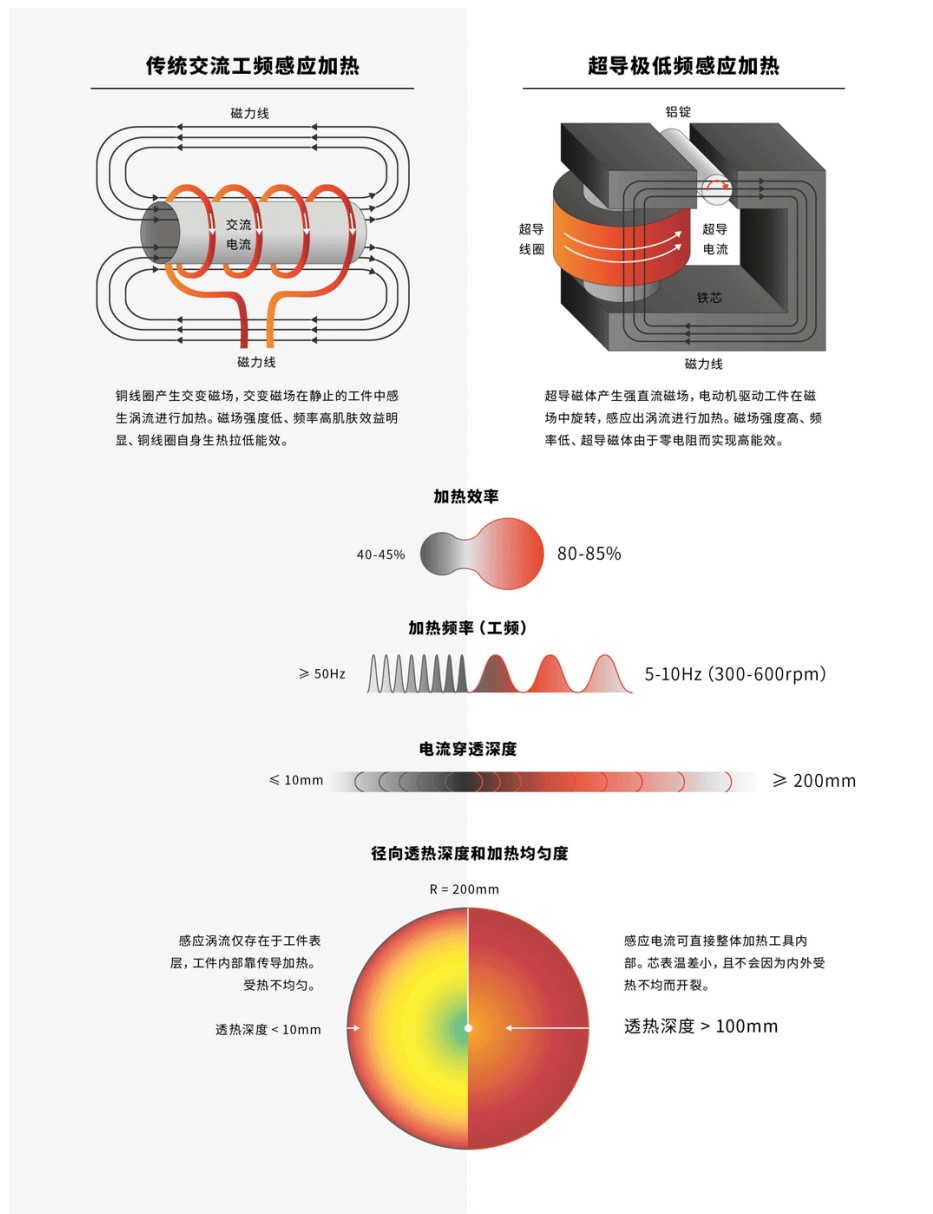
资料来源：各政府部门官网，民生证券研究院

2.2 高温超导感应加热设备投产

受益于高温超导感应加热设备投产，高温超导产业化应用加速。在2022年初，第一台高温超导感应加热设备正式并线生产并通过验收后，高温超导产业化应用得到了实质性发展。

相较于传统交流工频感应加热，超导感应加热技术优势凸显。超导感应加热是指通过坯料旋转切割磁力线，产生涡流被加热，相较于传统的工频炉加热，高温超导感应加热利用凭借零电阻、强磁场、极低频的特点，具备节能降耗、加热均匀、升温迅速、温控精准等优势，使其成为替代老一代工频感应炉的优选。

图15：超导感应加热技术和传统交流工频感应加热技术对比



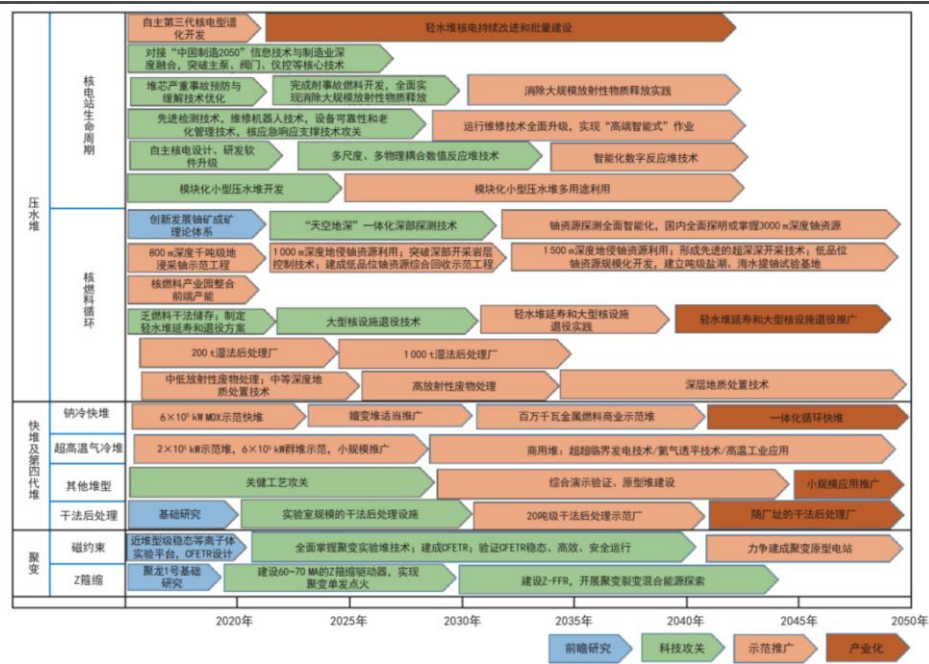
资料来源：联创超导官网，民生证券研究院

高温超导应用领域丰富，市场空间广阔。高温超导感应节能设备目前主要应用于与挤压机、锻压机配套的非磁金属加热等应用领域。相较于传统感应加热设备，高温超导设备具备节能减耗、加热均匀、升温迅速、温控精准等优点，设备替换空间近千亿元。此外，高温超导技术还可应用于金属熔炼及半导体熔融、晶硅生长炉、超导磁储能、超导可控核聚变、超导磁选矿、超导污水处理等需要大口径强磁场领域，每一个应用场景的市场规模都不逊于高温超导感应加热。以晶硅生长炉、金属熔炼及半导体熔融以及可控核聚变为例，国内直拉单晶硅设备已达数十万台，其中8英寸-12英寸的设备需求数量每年有数万台；金属熔炼及半导体熔融市场每五年周期性更换50-60%，有望实现每年200-300亿元的市场替换规模。

2.3 我国可控核聚变领域研究进展

我国核能发展分三步走：近中期目标是优化自主第三代核电技术；中长期目标是开发以钠冷快堆为主的第四代核能系统，积极开发模块化小堆、开拓核能供热和核动力等利用领域；长远目标则是发展核聚变技术。中国自 20 世纪 90 年代开始托卡马克研究，先后建成运行合肥超环（HT-7）、中国环流器二号（HL-2A）及东方超环（EAST）等装置。2006 年中国正式加入 ITER 项目，负责完成了 ITER 装置多个重要部件的设计、制造与装配任务。

图16：我国核能技术发展路线图



资料来源：中国工程院院刊，民生证券研究院

中国根据自己的国情，制定了中国磁约束聚变能发展路线图。中国磁约束聚变能的开发将分为 3 个阶段：第一阶段，力争在 2025 年推动中国聚变工程试验堆立项并开始装置建设；第二阶段，到 2035 年建成中国聚变工程试验堆，调试运行并开展物理实验；第三阶段，到 2050 年开始建设商业聚变示范电站。CFETR 将着力解决一系列存在于 ITER 和 DEMO 之间的科学与技术挑战，包括实现氦气聚变等离子体稳态运行，公斤级氦的增殖、循环与自持技术，可长时间承受高热符合、高中子辐照的第一壁和先进偏滤器材料技术等。合肥综合性国家科学中心的“十三五”重大科技基础设施“聚变堆主机关键系统综合研究设施”项目正在建设中，将瞄准聚变堆主机关键系统设计研制，建设国际一流开放性综合测试和研究设施，这为中国掌握未来聚变堆必备的关键工程技术创造了有利条件。

图17：我国磁约束聚变能发展路线



资料来源：中国物理学会期刊网，民生证券研究院

目前，国内在积极参与 ITER 计划的建造和实验，消化和吸收 ITER 技术和经验，努力缩短与发达国家的技术差距。目前全球磁约束聚变装置包括中国 EAST、中国 CFETR 装置与全球 ITER、韩国 DEMO (K-DEMO)、日本 DEMO (JA-DEMO)、欧盟 DEMO (EU-DEMO)。磁约束核聚变距离聚变能源的商业应用还比较远。对磁约束聚变而言，实现大量聚变反应所需的关键技术是加热、约束（实现聚变）和“维持”（长时间或平均长时间的聚变反应）。未来的磁约束聚变装置必须以长脉冲或者连续方式运行，以便获得可控的聚变能量并稳定输出，这具有相当大的挑战。此外，聚变能源商业应用前还面临研制能耐高能中子辐照的材料，建立能够实现氦自持的燃料循环等诸多工程技术挑战。

表6：全球磁约束聚变装置主要参数对比

装置名称	大半径 R/m	小半径 a/m	中心磁场 B _i /T	拉长比 k	等离子体电流 I _p /MA	聚变功率/GW
EAST	1.7-1.9	0.4-0.45	3.5	1.5-2.0	1	-
CFETR	7.2	2.2	6.5	2	13	1
ITER	6.2	2.0	5.3	1.7	15	0.5
K-DEMO	6.8	2.1	7.4	1.8	>12	~3
JA-DEMO	8.5	2.42	5.94	1.65	12.3	1.46
EU-DEMO	9.1	2.9	5.86	1.65	17.75	2.0

资料来源：中国物理学会期刊网，民生证券研究院

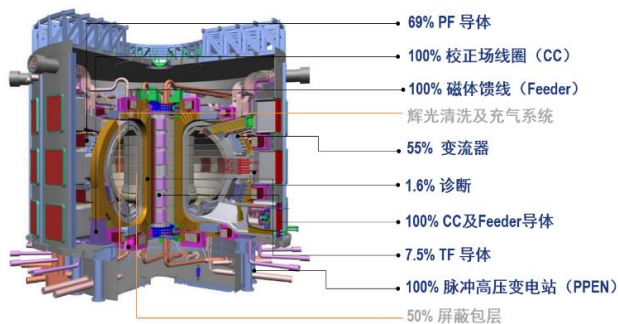
3 布局：全球主要聚变项目梳理

3.1 ITER

国际热核聚变实验堆 ITER 计划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，是人类受控核聚变研究走向实用的关键一步。该计划由中国、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，是我国以平等、全权伙伴身份参加的迄今为止规模最大的国际科技合作项目。

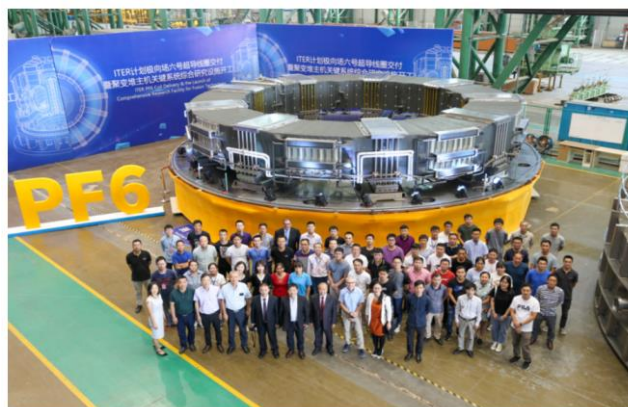
中国承担了 18 个采购包的制造任务，涉及磁体支撑系统、气体注入系统、可耐受极高温的反应堆堆芯“第一壁”等核心关键部件。我国依靠自主创新，为 ITER 计划的顺利推进做出了重要贡献，例如：(1) 研制出世界最大电流的高温超导电流引线，创下了高温超导电流引线载流能力的世界最高记录，实现了我国在高温超导大电流引线领域应用零的突破。研制的大电流超导铠装导体一次性通过严格苛刻的国际验证，性能居 ITER 各方之首，并率先交付 ITER 采购包首件产品，促使我国大型超导导体研制和工业化生产能力跨入国际领先水平。(2) 我国交付的 PF6 线圈是 ITER 装置主机的最重要部分之一，位于 ITER 装置超导磁体的底部，是目前国际上研制成功的重量最大、难度最高的超导磁体。PF6 线圈所有关键制造工艺及部件全部一次性通过 ITER 国际组认证，双饼制造合格率达到 100%，超导接头性能显著优于 ITER 技术要求。PF6 线圈的成功制造不仅打破了发达国家在这一领域的技术壁垒，生产设备实现了全国产化，同时还发展和完善了超导磁体制造的标准和相关规范。

图18：中国在 ITER 计划中负责的部分



资料来源：中科院等离子体物理研究所，民生证券研究院

图19：我国交付的 PF6 线圈是 ITER 装置主机的最重要部分之一



资料来源：中科院等离子体物理研究所，民生证券研究院

3.2 EAST

EAST (即“东方超环”)是我国自行设计研制的世界上第一个“全超导非圆截面托卡马克”核聚变实验装置,它同时具有上亿温度的“超高温”、零下 269 度的“超低温”、“超大电流”、“超强磁场”、“超高真空”等极限条件,项目难度非常大,它的成功建设和运行是中国可控核聚变研究的里程碑式突破。

EAST 的大小半径虽然只有国际热核聚变试验堆 (即 ITER) 的 1/3 和 1/4,但位形与 ITER 相似且更加灵活,而且将比 ITER 早 10-15 年投入运行。EAST 是一个近堆芯高参数和稳态先进等离子体运行科学问题的重要实验平台,它将在 ITER 之前国际上最重要的稳态偏滤器托卡马克物理实验基地。

2023 年 4 月 12 日 21 时,一项新的世界纪录诞生——正在运行的世界首个全超导托卡马克核聚变实验装置 (EAST) 成功实现了 403 秒稳态长脉冲高约束模式等离子体运行,刷新了 2017 年托卡马克装置高约束模式运行 101 秒的纪录。

图20: “东方超环” (EAST)



资料来源: 中科院, 民生证券研究院

图21: EAST 主要部件示意图



资料来源: 中科院等离子体物理研究所, 民生证券研究院

3.3 CFETR

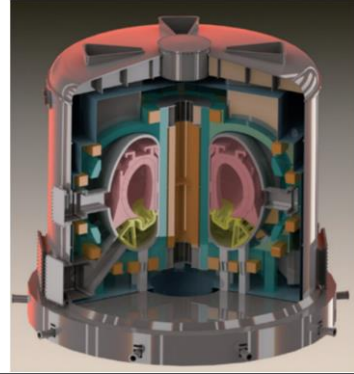
中国聚变工程试验堆 (CFETR) 是中国自主开发和设计的下一代聚变装置,旨在弥补 ITER 和未来聚变堆之间的差距,已进行了数轮总体工程设计。CFETR 将分 2 个阶段运行:第一阶段的目标是实现 50~200MW 的聚变功率,聚变增益 $Q=1\sim 5$, 氦增值率 $TBR>1.0$, 中子辐照效应 $\sim 10\text{dpa}$; 第二阶段的目标是聚变功率 $>1\text{GW}$, 聚变增益 $Q>10$, 在中子辐照效应 $\sim 50\text{dpa}$ 的条件下进行托卡马克 DEMO 验证。CFETR 装置大半径 $R=7.2\text{m}$, 小半径 $a=2.2\text{m}$, 可以兼容第一阶段和第二阶段的目标。

图22: CFETR 效果图



资料来源: 中科院等离子体物理研究所, 民生证券研究院

图23: CFETR 装置主机



资料来源: 中国物理学会期刊网, 民生证券研究院

4 投资建议

4.1 行业投资建议

伴随可控核聚变商业化进程加速，超导产业链带材及设备厂商和其他核心部件提供商有望全面受益。

建议关注：1) 联创光电：全球首台高温超导感应加热装置投产，在手订单丰富；2) 永鼎股份：主营产品包括第二代高温超导带材及其应用设备；3) 精达股份：上海超导第一大股东，为美国 CFS 公司、英国 TE 公司的可控核聚变项目供应高性能高温超导带材；4) 爱科赛博：全超导托卡马克核聚变实验装置等电源装置供应商；5) 国光电气：ITER 项目关键部件偏滤器和包层系统供应商；6) 安泰科技：EAST 项目偏滤器部件供应商；7) 天力复合：国家核电项目用复合材料唯一批量化供应商；8) 炬光科技：国家惯性约束可控核聚变项目的半导体激光元器件提供者；9) 百利电气：公司曾为 ITER 计划提供电力无功补偿设备；10) 旭光电子：公司产品真空电子管可用于核聚变领域。

表7：重点公司盈利预测、估值与评级

证券代码	证券简称	股价 (元)	EPS (元)			PE (倍)			评级
			2022A	2023E	2024E	2022A	2023E	2024E	
600363.SH	联创光电	34.46	0.60	0.94	1.38	57	37	25	推荐
600105.SH	永鼎股份	5.62	0.16	0.24	0.32	35	23	18	推荐
600577.SH	精达股份	4.17	0.18	0.21	0.26	23	20	16	/
688776.SH	国光电气	102.38	2.14	1.48	2.32	48	69	44	/
000969.SZ	安泰科技	9.40	0.21	0.29	0.41	45	32	23	/
873576.BJ	天力复合	29.99	0.78	0.76	0.86	38	39	35	/
688167.SH	炬光科技	108.88	1.00	1.37	2.19	109	79	50	推荐
600353.SH	旭光电子	9.01	0.17	0.15	0.28	53	60	32	/

资料来源：Wind，民生证券研究院预测

注：股价为 2024 年 1 月 2 日收盘价，未覆盖公司采用 wind 一致预期

4.2 重点公司梳理

4.2.1 联创光电

公司超导感应加热设备市场化进程取得较为显著的突破，联合中铝东轻共同举办了**世界首台高温超导感应加热装置**投产仪式，在首台成功投产设备的示范效果下，联创超导设备订单快速增长，截至 2023 年 6 月 30 日，在手订单已超过 60 台，在推进感应加热设备标准化的同时，有序排产，已成功交付 6 台设备。根据联创超导业务发展战略规划，不断加深技术研发，开拓高温超导新的应用场景，与硅单晶生长炉设备厂商合作，将高温超导磁体技术应用于新型光伏级（N 型电池）及半导体级磁控硅单晶生长炉领域。

4.2.2 永鼎股份

公司全资子公司**东部超导科技（苏州）有限公司**是永鼎超导应用产业化基地，总投资约 10 亿元人民币，主要从事超导电缆、超导磁体、超导限流器、超导电机的产业化发展以及超导变压器、全超导电力系统集成（超导变电站）的研发和推广。公司子公司**苏州新材料研究所有限公司**是国内第二代高温超导企业，专业研发新型高温超导（HTS）千米长带材，发展新型高温超导材料应用技术，实现 HTS 带材的产业化及相关应用技术的研发开发。目前产品主要应用于推进电机、风力发电机、直线电机、磁悬浮、高场磁体 NMR、磁选机、超导故障电流限流器等电力、交通、医疗、工业、科研装备。

4.2.3 精达股份

公司为上海超导科技股份有限公司第一大股东。上海超导从事第二代高温超导带材研发、应用及销售，产品广泛应用于超导电力、超导节能、可控核聚变、高速磁悬浮交通、高场磁体等一系列新兴产业，第二代高温超导带材整体达到国际同类产品的先进水平。公司为美国 CFS 公司、英国 TE 公司的可控核聚变项目供应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。

4.2.4 爱科赛博

公司主要产品为精密测试电源、特种电源和电能质量控制设备，产品广泛应用于光伏储能、电动汽车、航空航天、轨道交通、科研试验、电力配网、特种装备等诸多行业领域。公司参与了兰州重离子加速器、中国散裂中子源、**全超导托卡马克核聚变实验装置**、国家同步辐射实验室等国家重大科研基础设施建设项目，提供电源装备或电源系统交钥匙工程总包。

4.2.5 国光电气

公司生产的偏滤器和包层系统是国际热核聚变实验堆计划 (ITER) 项目的**关键部件**，主要包括：(1) 偏滤器：托卡马克装置的关键组成部分，是等离子体与器壁相互作用的主要区域，直接影响托卡马克装置的寿命。(2) ITER 包层屏蔽模块的高温氦检漏设备：模拟国际热核聚变试验堆运行状态下的密封性检测，检测设备要求非常高。(3) ITER 包层第一壁板 (FW)：ITER 的核心部件，目前，公司参与研制的 FW 已经完成样件制造，进入工艺的验证阶段。(4) ITER 工艺设备：大规模核聚变反应的超导托卡马克装置是庞大而复杂的装置，涉及大量不同的制造工艺。公司研制出了各种制造及验证装置，用于 ITER 相关的试验、测量及生产工艺之中。

4.2.6 安泰科技

公司以先进金属材料及关键部件为核心主业，致为我国“人造太阳” EAST 大科学工程装置、国际热核聚变实验堆 ITER 项目提供偏滤器全钨复合部件、钨铜复合部件等核心产品。

4.2.7 天力复合

公司从事有色金属爆炸复合材料研究开发，主要产品有钛/钢、锆/钢、不锈钢/钢、铝/钢等五十多种不同规格的金属复合材料，产品广泛应用于化工、冶金、电力、环保、航空航天、新能源、海洋工程等领域。公司目前为国家核电项目用复合材料唯一批量化供应商。

4.2.8 炬光科技

公司主要从事光子产业链上游的高功率半导体激光元器件和原材料、激光光学元器件的研发、生产和销售。公司半导体激光元器件中的开放式器件为**国家惯性约束可控核聚变项目的重要元件**，作为固体激光器的泵浦源，为惯性（激光）约束核聚变提供点火光源。

4.2.9 百利电气

百利电气下属控股子公司北京英纳超导技术有限公司是国内较早成立的专业研发高温超导材料的企业，主要从事铋系高温超导线材的研发生产，获得多项高温超导线材制备及高温超导应用领域的核心技术授权专利。公司控股子公司辽宁荣信兴业电力技术有限公司曾为国际热核聚变实验堆（ITER）计划提供电力无功补偿设备，其主导产品包括高压动态无功补偿装置（SVC）、高压静止无功发生器（SVG）等。

4.2.10 旭光电子

公司产品真空电子管主要用于雷达、点火、引爆、电子对抗、导航、通讯、医用、激光加工设备、烘干、焊接、广播电视、辐照、高能加速器、可控核聚变等领域。2023年上半年，公司奋力突破核聚变能源“长脉冲高功率四极管方案设计及关键工艺研究和整管制备”技术壁垒，完成了DB967中期样管制备及DB968中期样管整机测试工作，项目整体进度优于预期，加速可控核聚变能源化利用进程。

5 风险提示

1) **可控核聚变商业化进程不及预期。**虽然全球可控核聚变产业蓬勃发展，但绝大多数聚变项目尚处于研发阶段，商业化进程可能不及预期。若出现可控核聚变商业化进程不及预期，可能影响相关公司营收及利润。

2) **下游需求不及预期。**由于下游客户较为固定，相关公司的营收规模受下游客户需求影响较大，如果出现下游需求不及预期，则会影响相关公司盈利情况。

插图目录

图 1: 核能的两种释放过程: 核裂变与核聚变.....	5
图 2: 核聚变反应原理图示.....	6
图 3: 全球聚变公司成立时间表和私营聚变公司数量.....	7
图 4: 核聚变的反应条件.....	8
图 5: 聚变约束的三种途径.....	9
图 6: 托卡马克装置.....	10
图 7: 仿星器装置.....	10
图 8: 托卡马克装置工作原理.....	10
图 9: SPARC 高温超导核聚变反应装置.....	11
图 10: 星环聚能球形托卡马克装置.....	11
图 11: 第二代高温超导带材结构 (上海超导).....	12
图 12: 高温超导带材应用于紧凑型可控核聚变.....	12
图 13: 超导材料市场规模 (亿美元).....	15
图 14: 2022 年超导材料应用场景规模占比.....	15
图 15: 超导感应加热技术和传统交流工频感应加热技术对比.....	17
图 16: 我国核能技术发展路线图.....	18
图 17: 我国磁约束聚变能发展路线.....	19
图 18: 中国在 ITER 计划中负责的部分.....	20
图 19: 我国交付的 PF6 线圈是 ITER 装置主机的重要部分之一.....	20
图 20: “东方超环” (EAST).....	21
图 21: EAST 主要部件示意图.....	21
图 22: CFETR 效果图.....	22
图 23: CFETR 装置主机.....	22

表格目录

重点公司盈利预测、估值与评级.....	1
表 1: 全球核聚变最新进展.....	3
表 2: 我国核聚变最新进展.....	4
表 3: 超导材料的特殊性质.....	13
表 4: 低温超导和高温超导的比较分析.....	14
表 5: 超导材料相关政策梳理.....	16
表 6: 全球磁约束聚变装置主要参数对比.....	19
表 7: 重点公司盈利预测、估值与评级.....	23

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、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到任何形式的补偿。

评级说明

投资建议评级标准		评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	公司评级	推荐	相对基准指数涨幅 15%以上
		谨慎推荐	相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上
	行业评级	推荐	相对基准指数涨幅 5%以上
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路 8 号财富金融广场 1 幢 5F；200120

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层；100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 32 层 05 单元；518026