

太阳能量的地球复刻，产业化进程有望加速

2025年09月29日

➤ **核聚变：人类能源问题的终极解决方案。**可控核聚变是指在受控环境下，通过科学技术手段模拟太阳的核聚变原理产生能量，其核心在于使氢的同位素氘和氚结合释放能量，因此成为大众口中的“人造太阳”。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（ τE ），三者的乘积称为聚变三乘积。近年来，中国可控核聚变逐渐开启了商业化道路，民营企业和民间资本陆续进入聚变能源这条赛道。

➤ **核聚变技术路线百花齐放。**核聚变的研究，主要沿着磁约束和惯性约束两大途径进行：**(1) 磁约束：**磁约束是利用强磁场对高温等离子体进行约束，通过构造特殊的磁容器，将聚变材料加热至数亿摄氏度并维持一定的等离子体密度，实现聚变。世界上的磁约束聚变装置主要有托卡马克、仿星器、场反位形直线形（FRC）装置三种类型。**(2) 惯性约束：**惯性约束实际上对等离子体不加约束，而是利用粒子的惯性，在它们来不及散开之前就发生聚变反应，以取得足够的能量。惯性约束聚变的主要方式是Z箍缩、激光型。

➤ **核聚变项目梳理：海外典型项目：**1) ITER（国际项目）：世界首个全超导托卡马克核聚变实验堆；2) SPARC（美国CFS公司）：世界首个高温超导托卡马克实验堆；3) Orion装置（美国Helion Energy公司）：世界首座核聚变发电厂。**我国典型项目：**我国核聚变技术主要由两大院所牵头+民营企业共同推进。目前，我国已形成以中核集团核工业西南物理研究院（西物院）和中科院等离子体所（等离子体所）两大科研院所为主，清华大学、中国科学技术大学等高校，及相关民营企业共同参与聚变能开发的格局。1) BEST项目：紧凑型聚变实验装置；2) 江西“星火”项目：聚变-裂变混合反应堆；3) 成都“先觉”项目：Z-箍缩反应堆；4) 上海聚变能项目（中国聚变公司）：磁约束托卡马克。

➤ **投资建议：核聚变产业商业化落地提速，建议持续关注核聚变产业催化。**建议关注：大功率电子管+真空开关【旭光电子】、电源【英杰电气】【爱科赛博】【新风光】【四创电子】；堆内构件【国光电气】【合锻智能】【安泰科技】【派克新材】【江苏神通】；超导相关【永鼎股份】【联创光电】【西部超导】、电容【王子新材】、IGBT开关【宏微科技】【赛晶科技】等。

➤ **风险提示：**产业化进度不及预期；政策落地不及预期。

推荐

维持评级



分析师 邓永康

执业证书：S0100521100006

邮箱：dengyongkang@glms.com.cn

分析师 许俊哲

执业证书：S0100525030003

邮箱：xujunzhe@glms.com.cn

相关研究

1. 电力设备及新能源周报 20250928：8月用电量再破万亿，鸿蒙智行多款新车上市-2025/09/28
2. 电力设备及新能源周报 20250921：能耗新标改善多晶硅供需格局，藏粤直流工程正式开工-2025/09/21
3. 电力设备及新能源周报 20250914：工信部强调光伏行业自律，宁德时代发布神行Pro电池-2025/09/14
4. 电新行业 2025年半年报业绩总结：乘势笃行，静待花开-2025/09/10
5. “驭风”系列报告：风电齿轮箱行业简析-2025/09/09

重点公司盈利预测、估值与评级

代码	简称	股价 (元)	EPS (元)			PE (倍)		
			2025E	2026E	2027E	2025E	2026E	2027E
688776.SH	国光电气	85.99	1.18	1.61	2.22	73	53	39
603011.SH	合锻智能	18.24	0.12	0.28	0.45	152	65	41
600363.SH	联创光电	60.62	1.26	1.57	1.99	48	39	30
600353.SH	旭光电子	17.00	0.20	0.26	0.34	85	65	50
688719.SH	爱科赛博	40.27	0.83	1.21	1.57	49	33	26

资料来源：Wind，民生证券研究院；

(注：股价为2025年9月26日收盘价；公司数据采用wind一致预期)

目录

1 核聚变：人类能源问题的终极解决方案	3
1.1 可控核聚变：太阳能量的地球复刻	3
1.2 核聚变研究历史悠久，商业化进展有望提速	8
1.3 核聚变商业化落地节奏	12
2 核聚变技术路线百花齐放	17
2.1 磁约束路线	18
2.2 惯性约束	26
3 核聚变项目梳理	29
3.1 国际项目梳理	29
3.2 国内项目梳理	32
4 投资建议	39
5 风险提示	40
插图目录	41
表格目录	41

1 核聚变：人类能源问题的终极解决方案

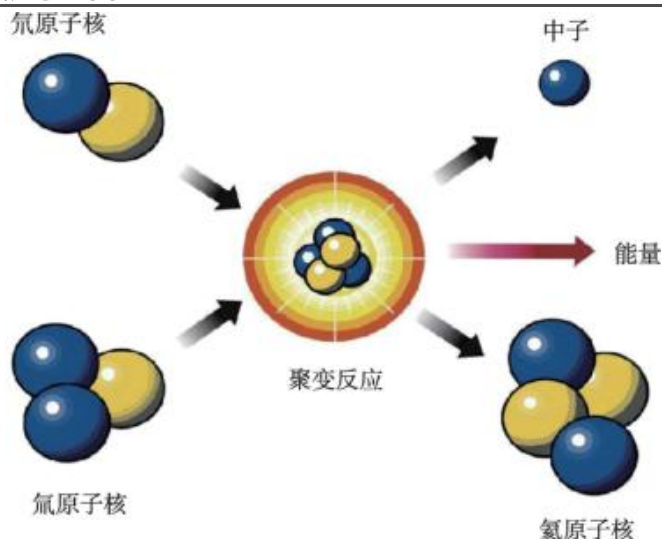
1.1 可控核聚变：太阳能量的地球复刻

1.1.1 核聚变定义

可控核聚变或将成为人类能源问题的终极解决方案。可控核聚变是指在受控环境下，通过科学技术手段模拟太阳的核聚变原理产生能量，其核心在于使氢的同位素氘和氚结合释放能量，因此成为大众口中的“人造太阳”，也是许多科学家眼里的“终极能源”。可控核聚变旨在在地球上创造稳定、可预测且安全的核聚变过程，作为能源的一种途径。

核聚变是两个轻原子核结合形成一个较重原子核，同时释放大量能量的过程。聚变反应发生在一种称为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电子组成的热带电气体，具有不同于固体、液体或气体的独特性质。太阳和所有其他恒星都是由这种反应提供动力的。为了在太阳中融合，原子核需要在极高的温度(大约一千万摄氏度)下相互碰撞。高温为它们提供了足够的能量来克服它们之间的电斥力。一旦原子核彼此距离非常近，它们之间的吸引力核力将超过电排斥力并使它们发生聚变。为此，原子核必须被限制在一个小空间内，以增加碰撞的机会。在太阳中，巨大的引力产生的极端压力为聚变创造了条件。

图1：核聚变反应示意图



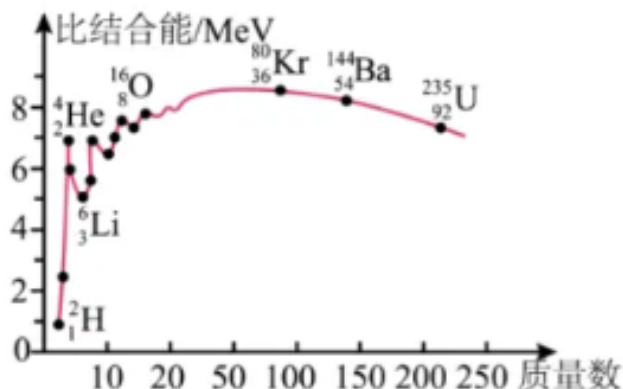
资料来源：现代物理知识杂志公众号，民生证券研究院

1.1.2 核聚变原理

根据比结合能曲线图，原子核的比结合能（单位核子的结合能）随原子核质量数的变化呈抛物线形。轻核偏低、重核偏低，随着比结合能越来越高核越来越稳定，因此有两个方向的核反应可以释放能量：1、轻核通过聚变成中等质量核；2、重核

通过裂变成中等质量核。

图2：比结合能曲线



资料来源：高考物理公众号，民生证券研究院

在极端的温度和压力条件下，轻原子核通过相互碰撞与融合，释放出巨大的能量，驱动着核聚变反应的发生。质量小的原子，在一定条件下(如超高温和高压)，能让核外电子摆脱原子核的束缚，两个原子核能够互相吸引而碰撞到一起，发生原子核互相聚合作用，生成新的质量更重的原子核，中子虽然质量比较大，但是由于中子不带电，因此也能够在这个碰撞过程中逃离原子核的束缚而释放出来，大量电子和中子的释放所表现出来的就是巨大的能量释放。在人工实现的可控核聚变研究中，常见的聚变反应有：

(1) **DT(氘-氚聚变)**：氘-氚反应是当前可控核聚变研究中最有希望实现的反应，因为它在相对较低的温度下就能发生，且释放的能量相对于其他反应来说非常高。但这种反应产生的中子具有很高的能量，处理这些中子的辐射和材料问题是目前研究的难点之一；

(2) **DD(氘-氘聚变)**：氘-氘反应是最基本的聚变反应之一，产生氦-3 和一个中子，或者产生一个氚原子和质子。这种反应相对容易实现，但由于同位素氘的获取相对简单，它是可控核聚变研究中的一个重要反应；

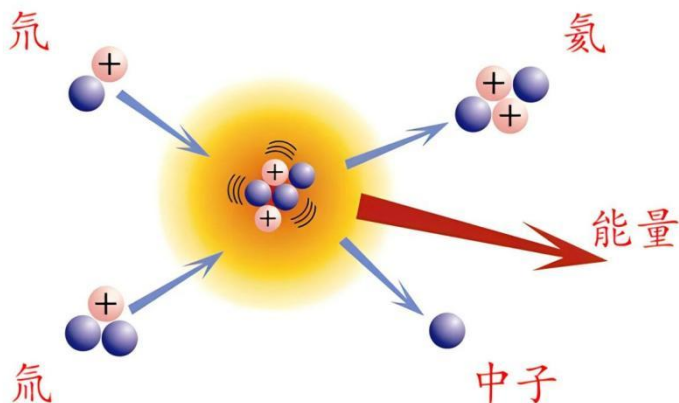
(3) **pB11(质子-硼 11 聚变)**：这一过程不直接释放中子，因此相比其他聚变反应，比如常见的氘-氚 (D-T) 聚变，它被认为是一种更为“清洁”的核聚变反应，因为它产生的放射性废物更少。pB11 聚变反应对温度和压力的要求极高，远高于氘-氚聚变反应需要的条件；

(4) **DHe3(氘-氦 3 聚变)**：d 氘-氦 3 反应也是一种受到关注的聚变反应，因为它相较于 D-T 反应产生较少的中子，是一种更为“清洁”的核聚变反应。但氦-3 的获取相对困难，这是实现该反应的主要挑战之一；

(5) **He3He3(氦 3-氦 3 聚变)**：氦 3-氦 3 聚变反应完全不产生中子，被认为是一种极其干净的核能源。然而，与 D-He3 反应类似，氦-3 的稀缺和高昂成本

是限制这种反应发展的主要因素。

图3: DT 聚变反应示意图

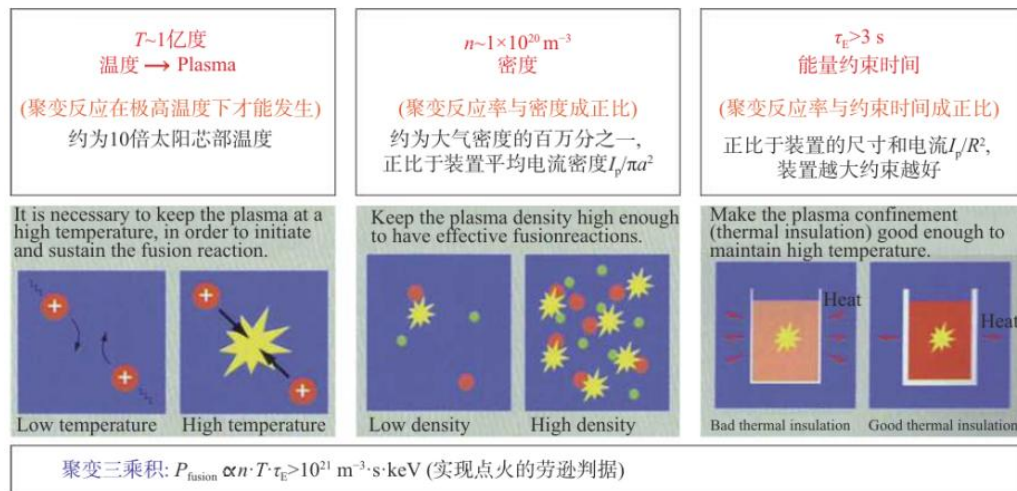


资料来源: 可控核聚变公众号, 民生证券研究院

氘氚聚变是当前最主要的核聚变反应形式。根据 Fusion Industry Association 统计, 目前核聚变反应中原料来源中, 氘氚聚变反应占比为 65%, 是当前最主要的核聚变反应形式。氘氚聚变反应是当一个氘核与一个氚核聚在一起, 在高温等条件下发生反应, 形成一个新的原子核-氦, 同时释放出 1 个中子, 反应过程中减少的质量变成了大约 17.6MeV 的能量。氘氚反应速率高且反应横截面较大, 同时原材料氘容易获取。

1.1.3 核聚变实现的条件

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 ($5 \times 10^{21} \text{m}^{-3} \cdot \text{s} \cdot \text{keV}$), 才能产生有效的聚变功率输出。

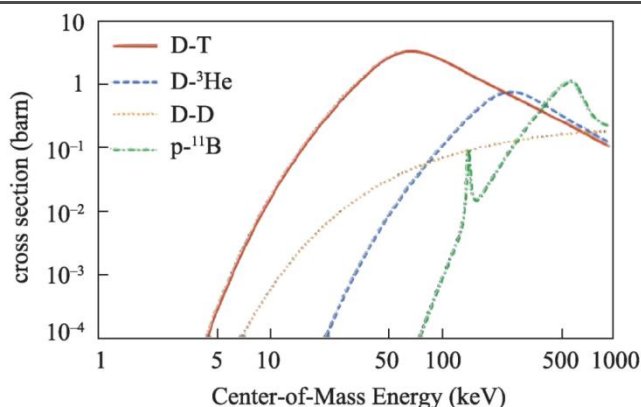
图4：核聚变反应三要素


资料来源：《超导磁体技术与磁约束核聚变》，王腾，民生证券研究院

(1) 高温：实现核聚变反应需要将氘氚原子核压缩到很小尺度的核力范围内，但由于原子核带正电，必须在极高温下才能获得足够的能量以克服彼此间的库仑势垒，原子核靠得更近时通过量子隧穿效应产生核聚变反应的几率更大。尽管太阳核心温度已经高达 1500 万 $^{\circ}\text{C}$ ，但这远未达到核聚变反应的要求，根据量子隧穿效应其发生聚变的几率只有 10^{28} 分之一，实际上日核区的单位体积发热功率不及人体的三分之一，只是依赖太阳巨无霸的质量和体积取胜。但温度也不能过高，因为过高温下原子核接近时间缩短，反应几率反而减小。而要在地球实现高效核聚变反应，温度大约需要维持在 1 亿 $^{\circ}\text{C}$ 以上可获得较高反应几率，这个温度是太阳核心温度的近 10 倍，从而实现比太阳核心更高的功率密度。

(2) 密度：用以衡量等离子体约束区单位体积内粒子的个数。保持足够的密度意味着单位体积内拥有更多的氘氚原子核，能够有效提高原子核间的碰撞效率，以获得足够的核聚变反应率。

(3) 能量约束时间：高温等离子体的能量以辐射和热传导的形式逸出，为唯象描述热传导损失功率，将等离子体总能量热传导损失所需时间定义为能量约束时间，是聚变装置重要指标。高能量约束时间意味着装置具有良好的隔热性能，能量流失得缓慢，以进一步提高核聚变反应率。

图5：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(keV)


资料来源：现代物理知识杂志公众号，民生证券研究院

图6：几种主要的聚变反应以及实现聚变的劳逊条件

反应	燃料	中子	释放能量(带电的/总的)	点火温度	$n_T t$ (KeV·s·m ³)
D+T→α+n	稀有,放射性	Yes	3.5/17.6 MeV	~20 KeV	10 ²¹
D+ ³ He→α+p	地球上稀有	Yes in D D	18.7/18.7 MeV	~100 KeV	10 ²¹
D+D→n+ ³ He			0.82/3.3 MeV		
D+D→p+T	丰富	Yes	4.0/4.0 MeV	~100 KeV	10 ²⁴
p+ ¹¹ B→3α	丰富	No	8.7/8.7 MeV	~250 KeV	5×10 ²⁴

资料来源：现代物理知识杂志公众号，民生证券研究院

1.1.4 核聚变反应的优势

核聚变作为一种潜力巨大的能源形式，能够显著提高社会的能源使用效率。与传统的化石燃料相比，核聚变反应释放的能量更为巨大，且原料丰富，成本相对较低。一旦实现了商业化运行，将大幅降低电力成本，从而减少工商业生产和居民生活的能源支出，提高整个社会的能源使用效率。同时核聚变发电站的建设和运营也将带动相关产业链的发展，上下游产业的相关公司为社会创造大量就业机会，促进了国民经济的增长。

核聚变作为一种清洁能源，更符合当今工业发展模式。随着科技的进步和环境压力的增大，传统高污染、高耗能的工业模式已经不再适应时代的需求。核聚变发电作为一种清洁能源，能够释放出巨大的能量。与传统的化石燃料相比，核聚变不会产生温室气体排放，也不会引发空气污染问题，帮助工业企业实现绿色生产，推动产业结构向更加环保、高效的方向发展。

核聚变在能源利用和环境保护方面展现出独特的优势。相比核裂变，核聚变有两大优点：(1) 不会产生长寿命和高放射性的核废料，也不产生温室气体，因此基本不污染环境；(2) 地球上蕴藏的核聚变能远比核裂变能丰富得多。据估算，每升海水中含有 0.03 g 氘，所以地球上仅在海水中就有 45 万亿吨氘。1 L 海水中所含的氘，经过核聚变可提供相当于 300 L 汽油燃烧后释放出的能量。按目前世界能量的消耗率估计，地球上蕴藏的核聚变能可用 100 亿年以上。因此从原理上讲，聚变能可以成为人类取之不尽、用之不竭的能源。

表1：核聚变优势

能源类别	优势
与化石燃料相比	<ol style="list-style-type: none"> 核聚变反应释放的能量更为巨大，且原料丰富，成本相对较低。 核聚变发电站的建设和运营也将带动相关产业链的发展，上下游产业的相关公司为社会创造大量就业机会，促进了国民经济的增长 核聚变不会产生温室气体排放，也不会引发空气污染问题，帮助工业企业实现绿色生产，推动产业结构向更加环保、高效的方向发展
与核裂变相比	<ol style="list-style-type: none"> 不会产生长寿命和高放射性的核废料，也不产生温室气体，因此基本不污染环境 地球上蕴藏的核聚变能远比核裂变能丰富得多

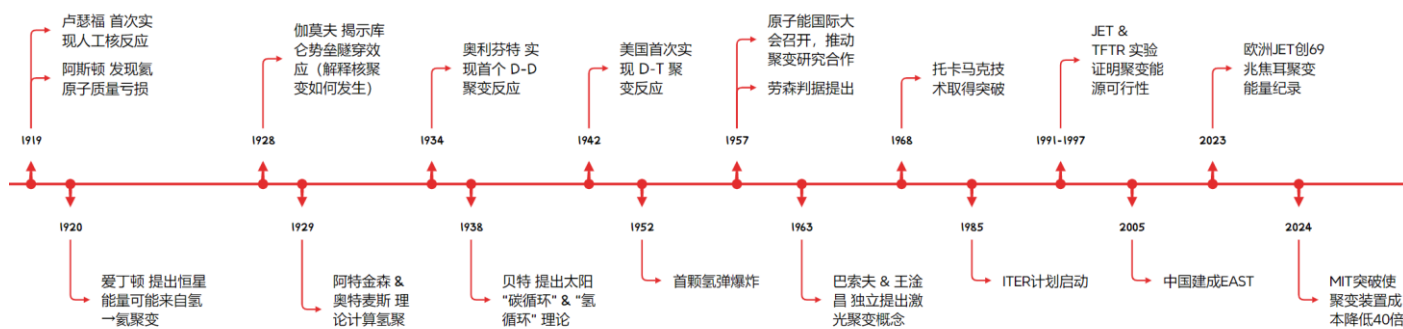
资料来源：《科学通报》，中国核电网，民生证券研究院

1.2 核聚变研究历史悠久，商业化进展有望提速

1.2.1 核聚变海外发展历史

全球核聚变发展历史悠久，成果瞩目。早在 1919 年，英国物理学家卢瑟福就在实验室首次实现了人工核反应，与此同时阿斯顿发现了氦原子质量亏损现象，为核聚变研究奠定了理论基础；1920 年代，爱丁顿提出恒星能量可能源自氢氦聚变，伽莫夫揭示库仑势垒隧穿效应，阿特金森和奥特麦斯则通过理论计算证明了氢聚变的可行性；1930 年代，奥利芬特成功实现首个 D-D 聚变反应，贝特随后提出的“碳循环”和“氢循环”理论完整解释了太阳的能量机制；1942 年美国实现首个 D-T 反应，1952 年氢弹爆炸成功展示了核聚变的巨大能量潜力，但也凸显了可控核聚变的重要性；1957 年，原子能国际大会的召开标志着全球合作的开始，劳逊判据的提出则为聚变研究确立了科学标准；1960 年代，托卡马克技术的突破和激光聚变概念的提出为后续研究指明了方向；1985 年 ITER 计划的启动开启了国际合作新时代，而中国在 21 世纪的崛起尤为瞩目：2005 年 EAST 装置建成，2018 年实现 1 亿度运行，2021 年创下 1056 秒长脉冲纪录。

图7：全球核聚变发展历史



资料来源：可控核聚变公众号，民生证券研究院

核聚变研究近年来受到了全球范围内的关注，并且获得的重视程度仍在不断上升。世界上主要核国家近年来均发布了有关聚变堆发展的战略。2024 年 6 月，

美国发布了《聚变能源战略 2024》，计划加大资金投入支持聚变能研究，推动聚变能商业化发展；英国在 2021 年、2023 年分别发布了两个聚变能国家战略报告，在提出未来几十年英国聚变堆发展的政策与目标的同时，制定了将要在基础设施、科研人才、投资等多方面推动英国聚变堆发展的未来计划；日本于 2023 年 4 月通过了旨在推动聚变能发展的国家战略，其将在未来通过组建聚变产业理事会、加速企业界与学术界的合作、加强人才培养三个方面，在日本国内建立一个推动聚变堆发展的新产业，以此来解决能源问题和环境问题。

我国国务院国资委启动实施未来产业启航行动，明确表示可控核聚变领域为未来能源的重要方向。

图8：工业和信息化部等七部门关于推动未来产业创新发展的实施意见

专栏1：前瞻部署新赛道
<p>未来制造。发展智能制造、生物制造、纳米制造、激光制造、循环制造，突破智能控制、智能传感、模拟仿真等关键核心技术，推广柔性制造、共享制造等模式，推动工业互联网、工业元宇宙等发展。</p> <p>未来信息。推动下一代移动通信、卫星互联网、量子信息等技术产业化应用，加快量子、光子等计算技术创新突破，加速类脑智能、群体智能、大模型等深度赋能，加速培育智能产业。</p> <p>未来材料。推动有色金属、化工、无机非金属等先进基础材料升级，发展高性能碳纤维、先进半导体等关键战略材料，加快超导材料等前沿新材料创新应用。</p> <p>未来能源。聚焦核能、核聚变、氢能、生物质能等重点领域，打造“采集-存储-运输-应用”全链条的未来能源装备体系。研发新型晶硅太阳能电池、薄膜太阳能电池等高效太阳能电池及相关电子专用设备，加快发展新型储能，推动能源电子产业融合升级。</p> <p>未来空间。聚焦空天、深海、深地等领域，研制载人航天、探月探火、卫星导航、临空无人系统、先进高效航空器等高端装备，加快深海潜水器、深海作业装备、深海搜救探测设备、深海智能无人平台等研制及创新应用，推动深地资源探采、城市地下空间开发利用、极地探测与作业等领域装备研制。</p> <p>未来健康。加快细胞和基因技术、合成生物、生物育种等前沿技术产业化，推动5G/6G、元宇宙、人工智能等技术赋能新型医疗服务，研发融合数字孪生、脑机交互等先进技术的高端医疗装备和健康用品。</p>

资料来源：中国政府网，民生证券研究院

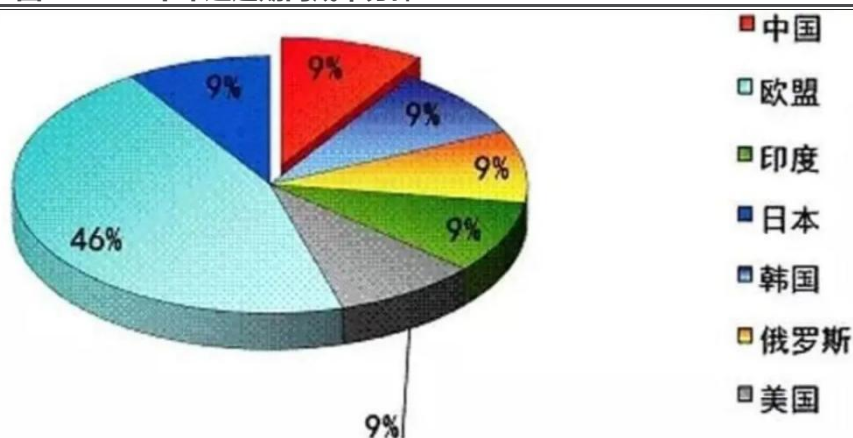
1.2.2 核聚变国内发展历史

中国可控核聚变研究的历史是一段不断追求科技创新和突破的历程。早在 1955 年，钱三强和李正武等科学家便提议开展中国的“可控热核反应”研究，这与国际社会关注核聚变几乎同步；1965 年，根据国家“三线”建设统一规划，建立了当时中国最大的核聚变研究基地——西南物理研究所，这也是中核集团核工业西南物理研究院的前身；1972 年，合肥中科院物理所的陈春先等人也开始小型托卡马克装置的建设，取名 CT-6，意思是“中国托卡马克”，为中国核聚变研究

事业播下星星之火；1984 年中国环流器一号（HL - 1）的建成是中国核聚变研究史上的重要里程碑。这是中国核聚变领域的第一座大科学装置，它为中国自主设计、建造、运行“人造太阳”培养了大批人才，积累了丰富经验。从此，中国磁约束聚变一步步从无到有，从小到大，从弱到强。

1994 年中国第一个超导托卡马克装置 HT-7 在合肥建成；2002 年中国建成第一个具有偏滤器位形的托卡马克装置中国环流器二号 A（HL - 2A）；2006 年，世界上第一个全超导托卡马克装置东方超环（EAST）首次等离子体放电成功；同样在 2006 年，中国加入了国际热核聚变实验堆（ITER）计划，承担了大概 9% 的采购包研发任务。通过参与国际项目，中国的相关科研实力得到了极大的提升。在此框架下，中国科学家和工程师们与全球同行合作，共同攻克了一系列技术难题。

图9：ITER 十年建造期间成本分摊



资料来源：可控核聚变公众号，民生证券研究院

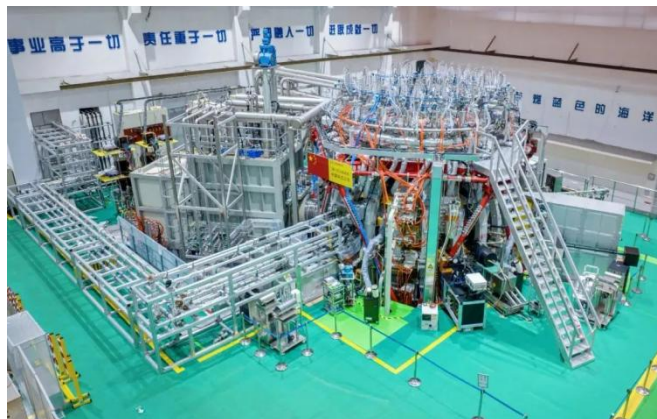
2015 年，中国工程物理研究院建成亚洲最大的激光装置神光-III；2018 年，中国东方超环 EAST 率先实现加热功率超过 10 兆瓦，等离子体储能增加到 300 千焦，等离子体中心电子温度达到 1 亿度的成果，标志着中国聚变反应堆运行迈出了关键的一步；2019 年，中国启动了“夸父”聚变堆主机关键系统综合研究设施的建设，这一设施将为未来的中国聚变实验堆和工程堆的设计和建设提供重要的研究及测试平台。2021 年，EAST 实验装置升级后实现了 1056 秒的长脉冲高参数等离子体运行；2023 年，新一代人造太阳——中国环流三号首次实现 100 万安培（1 兆安）等离子体电流下的高约束模式运行，再次刷新中国磁约束聚变装置运行纪录。

图10: EAST 装置



资料来源: 工程管理前沿公众号, 民生证券研究院

图11: 新一代人造太阳“环流三号”装置改造现场



资料来源: 可控核聚变公众号、民生证券研究院

表2: 中国可控核聚变主要研究成果

时间	主要成果
1955 年	中国的“可控热核反应”研究开展
1965 年	西南物理研究所建立
1972 年	合肥中科院物理所的陈春先等人开始小型托卡马克装置的建设
1984 年	中国环流器一号 (HL - 1) 建成
1994 年	中国第一个超导托卡马克装置 HT-7 在合肥建成
2002 年	中国建成第一个具有偏滤器位形的托卡马克装置中国环流器二号 A (HL - 2A)
2006 年	世界上第一个全超导托卡马克装置东方超环 (EAST) 首次等离子体放电成功 中国加入国际热核聚变实验堆 (ITER) 计划
2015 年	中国工程物理研究院建成亚洲最大的激光装置神光-III
2018 年	中国东方超环 EAST 率先实现加热功率超过 10 兆瓦, 等离子体储能增加到 300 千焦, 等离子体中心电子温度达到 1 亿度的成果
2019 年	中国启动了“夸父”聚变堆主机关键系统综合研究设施的建设
2021 年	EAST 实验装置升级后实现了 1056 秒的长脉冲高参数等离子体运行
2023 年	中国环流三号首次实现 100 万安培 (1 兆安) 等离子体电流下的高约束模式运行

资料来源: 瀚海聚能公众号, 民生证券研究院

近年来, 中国可控核聚变逐渐开启了商业化道路, 民营企业和民间资本陆续进入聚变能源这条赛道。诺瓦聚变获得融资 5 亿元, 能量奇点完成两轮融资, 合计规模约 8 亿元; 此外, 星能玄光和星环聚能此前也分别宣布完成两轮融资。尽管融资额有限, 但不乏有红杉资本、昆仑资本等明星机构的身影浮现。中国可控核聚变市场渐呈百花齐放之态。

1.3 核聚变商业化落地节奏

聚变能商业化的发展将沿着聚变实验堆（如正在建造的 ITER）、示范发电堆（DEMO）和聚变能商业化应用 3 个阶段推进。

图12：核聚变商业化路线

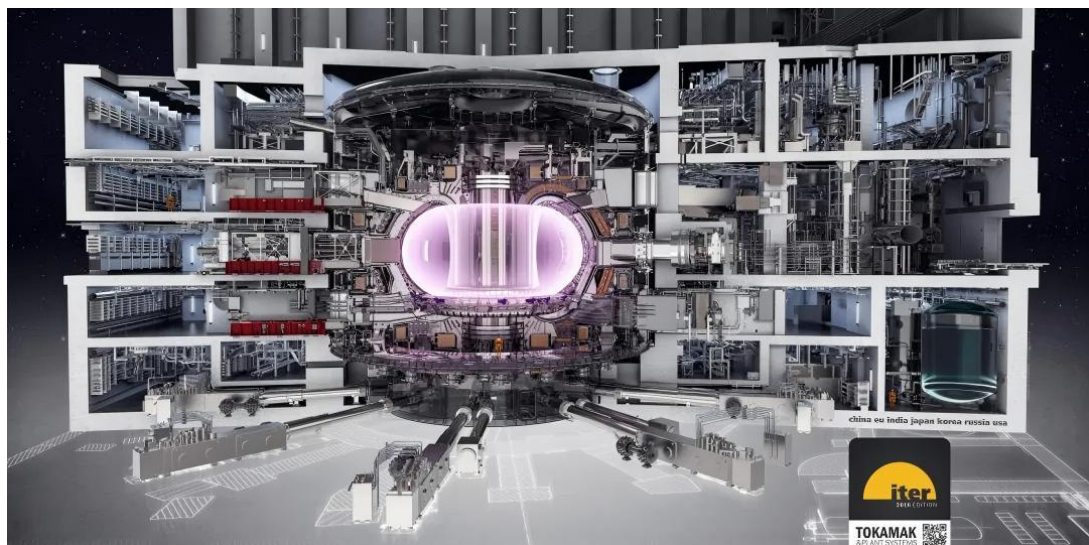


资料来源：《可控核聚变科学技术前沿问题和进展》，高翔，万元熙，丁宁，彭先觉，民生证券研究院

1.3.1 聚变实验堆

聚变实验堆是商业化路线的第一步，主要目的是验证聚变能源的科学原理和基础技术。实验堆将进行小规模的聚变实验，测试不同的聚变方法和材料，以及聚变反应的物理过程。这个阶段的设施通常不以产生能源为主要目的，而是作为研究和开发平台，为后续阶段的工程和技术打下基础。

ITER 是目前全球规模最大、影响最深远的核聚变研究项目计划。在国际原子能机构 IAEA 的组织下，由美国、苏联、欧洲和日本组成的四方经讨论确定了合作机制，1988—1991 年开展了 ITER 概念设计，1992—1998 年完成了工程设计及关键技术预研，1999—2001 年完成了修改完善设计聚变能先进托卡马克 (ITER-FEAT)。ITER 的设计体现了当前世界最先进的托卡马克技术，拥有多项世界之最。ITER 是按 50-70 万千瓦聚变反应堆的规模开展设计的，其可实现在 500 MW 聚变能的输出条件下运行时间大于 400 秒，聚变能增益 Q 大于 10，或 250 MW 聚变能的输出条件下运行时间大于 3000 秒，聚变能增益 Q 大于 5，并可探索聚变能增益 Q 大于 30 的聚变点火实验能力。

图13： 全超导托卡马克核聚变实验堆 ITER


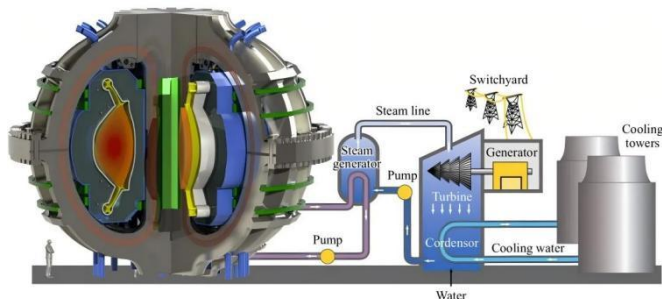
资料来源：ITER Organization, 民生证券研究院

ITER 项目是全球核聚变研究的核心工程。2006 年 11 月 21 日中国、欧盟、美国、日本、俄罗斯、印度及韩国七方政府代表签署了《建立 ITER 国际聚变能组织联合实施国际热核聚变实验堆计划协定》，共计 35 个国家参与在法国南部开展的 ITER 建造，通过国际合作促进了聚变科学和技术的全球共享与发展，ITER 的成功建设和运行将为未来商用聚变堆的建造奠定基础，推动聚变能从实验室走向实际应用，还将推动多个领域的科技进步，为解决全球能源危机、环境污染问题以及实现碳中和目标提供重要解决方案。

实现竞争目标的最迅速方案（SPARC）高温超导托卡马克系统计划 2026 年建成。2021 年 CFS 成功研发了高温超导环向场模型磁体，是迄今为止在 20 K 运行温度下实现 20 T 世界最高磁场的大型超导磁体。

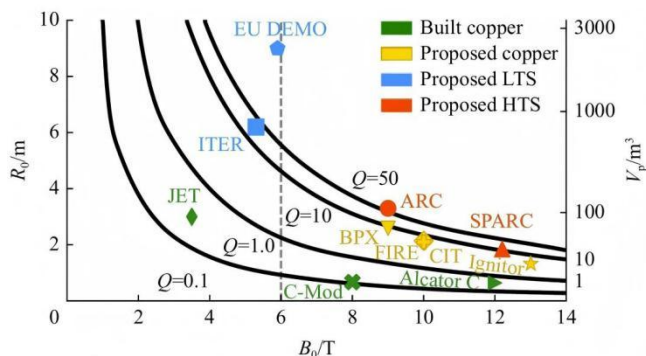
CFS 的下一步目标是建造 200~250MWe 发电功率的聚变反应堆紧凑型经济适用反应堆（ARC），图 14 是 ARC 聚变电站示意。图 15 是托卡马克聚变能增益 Q 与等离子体中心环向场（ B_0 ）、等离子体大半径（ R_0 ）及等离子体体积（ V_p ）的关系曲线。

图14: ARC 聚变电站示意



资料来源: 可控核聚变公众号, 民生证券研究院

图15: 托卡马克聚变增益 Q 与等离子体中心环向场 (B_0)、等离子体大半径 (R_0) 及等离子体体积 (V_p) 关系曲线



资料来源: 可控核聚变公众号, 民生证券研究院

1.3.2 示范发电堆

示范发电堆建设是连接实验堆和商用堆的关键环节。示范堆旨在验证托卡马克聚变发电的工程可行性, 为后续商用堆的设计和建造奠定基础。下方图表给出了世界主要国家和地区托卡马克型聚变示范堆及商业化发电规划。若关键技术得以突破, 核聚变有望在 21 世纪下半叶成为基荷能源, 重塑全球能源格局。

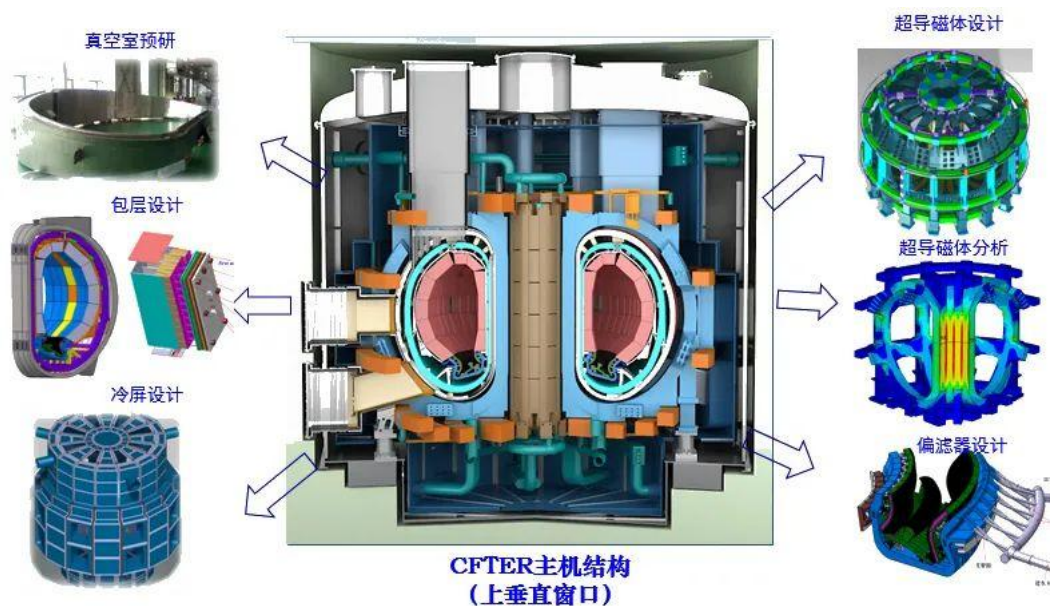
图16: 中国及其他国家和地区托卡马克示范堆与商用堆规划

国家/地区	示范堆名称	目标	预期时间
中国	CFETR	填补ITER与商业堆之间的技术空白, 最高可实现 $Q>20$ 、验证聚变堆超导技术, 发电功率百万千瓦级	2050前示范发电 2050s商业发电
欧盟	EU-DEMO	验证聚变电厂的经济性、可靠性和持续性, 验证聚变堆超导技术, 氦增殖率 > 1.1 , 连续发电500 MW	2050前示范发电 2050s商业发电
美国	FNSF	验证氦燃料自持、材料辐照耐受性及聚变系统集成技术	2040前示范发电 2050s商业发电
日本	JA-DEMO	紧凑型托卡马克, 验证聚变堆高温超导技术, 氦增殖及燃料循环技术, 实现500 MW稳态净电力输出	2040前示范发电 2050s商业发电
英国	STEP	全球首个商用球形托卡马克, 验证氦燃料自持、验证聚变堆高温超导技术, 100 MW电力输出	2040前示范发电 2050s商业发电
韩国	K-DEMO	验证稳态高约束模式(H-Mode)运行, 氦自持、验证聚变堆高温超导技术, 百万千瓦级发电	2040前示范发电 2050s商业发电
俄罗斯	TRT	发电功率500 MW, $Q>10$	2030前示范发电 2050s商业发电

资料来源: 中国物理学会期刊网公众号, 民生证券研究院

CFETR 作为示范堆, 计划分三步走, 完成“中国聚变梦”。第一阶段到 2021 年, CFETR 开始立项建设; 第二阶段到 2035 年, 计划建成聚变工程实验堆, 开始大规模科学实验; 第三阶段到 2050 年, 聚变工程实验堆实验成功, 建设聚变商业示范堆。

图17: CFETR 主机结构

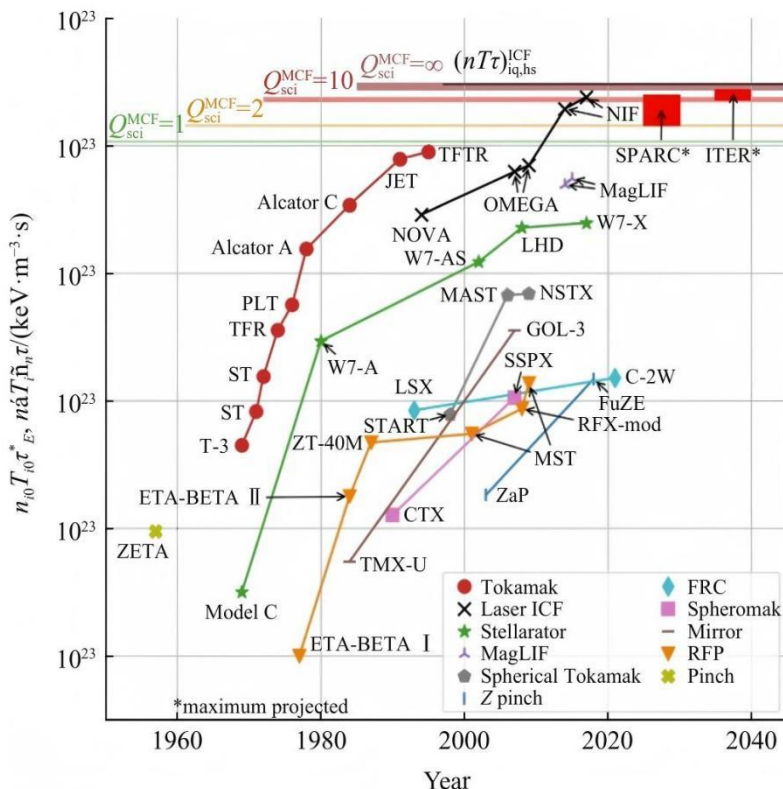


资料来源: 可控核聚变公众号, 民生证券研究院

1.3.3 聚变能商业化应用方向

聚变能商业化的最后一步是设计和建造商用堆，即一个完全商业化的聚变电厂。商用堆将大规模生产电力，以竞争性的成本和效率满足市场需求。这个阶段的设施将涉及大规模的工程建设、运营和维护，以及满足所有相关的安全和监管要求。为实现聚变商业化，托卡马克聚变反应堆的能量增益必须足够大。经国际聚变界几十年的持续努力，“聚变三乘积”有了较大的提高。

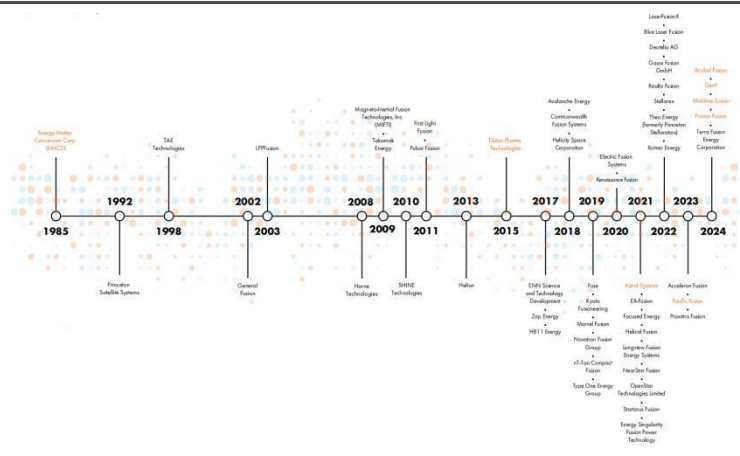
图18: 不同路径聚变技术方案装置预期的“聚变三乘积”



资料来源: 中国物理学会期刊网公众号, 民生证券研究院

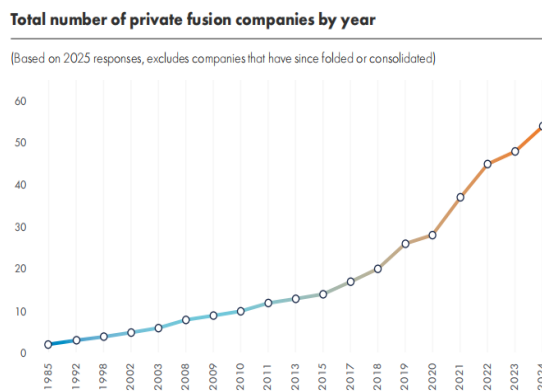
华中科技大学聚变研究中心教授武松涛认为, 若聚变能的开发可在 2040 年代商业化, 将有望在 2050 年占据 3 万亿美元/年化石能源的市场。所以聚变能的商业化前景备受关注。据可控核聚变公众号的不完全统计, 当前全球范围内有 50 多家商业公司正致力于实现聚变能源商业化。根据 FIA 对 45 家聚变公司的调研信息, 行业融资规模持续攀升。各国政府对聚变能开发的关注度也在提升, 一个关键共识在形成, 即: 将聚变能源技术路径可行性验证的聚变试验堆工程交由市场主体主导。另外, 需要指出的是, 目前国际上也在积极探索非托卡马克型的聚变堆技术路线。特别是国际上兴起的众多聚变商业公司在积极探索非托卡马克型技术路线及无中子聚变。

图19：聚变能源商业化公司成立时间线



资料来源：Fusion Industry Association, 民生证券研究院

图20：1985-2024 私营核聚变公司年总数变化



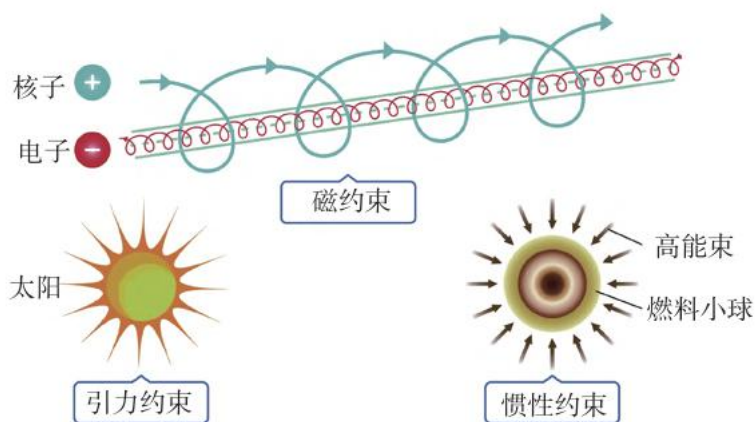
资料来源：Fusion Industry Association, 民生证券研究院

2 核聚变技术路线百花齐放

核聚变的研究，主要沿着磁约束和惯性约束两大途径进行：（1）**磁约束**：磁约束是利用强磁场束缚高温等离子体，例如环形的托卡马克（Tokamak）和仿星器（Stellarator）装置。这一路径是历史上研究最深入的方向。磁约束原理是带电粒子在磁场中运动形成封闭轨道，从而将上亿度的等离子体限制在真空容器中，避免高温等离子接触容器壁。其优势在于物理基础成熟、稳态运行潜力大，但挑战在于装置规模庞大且等离子体不稳定性（如托卡马克中的破裂）需主动控制。

（2）**惯性约束**：利用强激光或粒子束在瞬间压缩燃料靶丸，依靠燃料自身惯性维持超高密度和温度足够长时间以发生聚变。代表是激光惯性约束，如美国 NIF 装置以 192 束高能激光对靶丸实现对称爆轰压缩。惯性约束的优点是物理过程快（脉冲级别），不需要长时间稳定等离子体，2022 年 NIF 首次实现了聚变输出能量大于激光输入能量的里程碑。缺点是能量利用效率低（目前激光能量耦合效率仅约 1%，远低于商用所需的 10%~20%），且重复频率和靶丸制造供应是巨大工程挑战。

图21：聚变约束的主要路径



资料来源：《超导磁体技术与磁约束核聚变》，王腾，民生证券研究院

表3：可控核聚变两大路径对比

约束方式	原理	优点	缺点	代表装置
磁约束	利用强磁场对高温等离子体进行约束	可稳态运行	磁场不稳定, 装置规模庞大	托卡马克、仿星器等
惯性约束	依靠燃料自身惯性维持超高密度和温度足够长时间以发生聚变	物理过程快	能量利用效率低	激光惯性约束

资料来源：聚变汇公众号，民生证券研究院

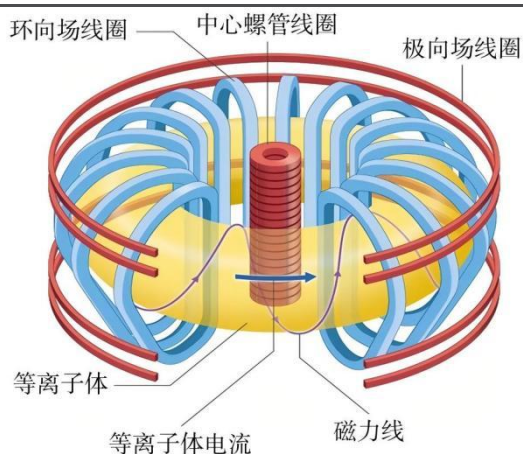
2.1 磁约束路线

2.1.1 托卡马克

托卡马克装置是典型的磁约束聚变装置，主要由为等离子体提供清洁环境的真空室及为控制与约束等离子体的磁体系统组成。托卡马克的中央是一个环形的真空室，外面缠绕着线圈，将磁场弯曲成环形，避免高温等离子体与装置内壁直接接触。在通电的时候托卡马克的内部会产生巨大的螺旋型磁场，将其中的等离子体加热到很高的温度，以达到核聚变的目的。

钢制真空室和偏滤器是托卡马克的主要结构。每一个托卡马克装置的基础是一个钢制真空室，在其中产生氢等离子体并加热到热核聚变的点火温度；另一个重要部分是偏滤器，用于去除可能破坏等离子体加热的杂质；使等离子体保持在正确位置的磁场由环形和极向线圈提供。

图22：托卡马克装置基本结构



资料来源：科技导报公众号，民生证券研究院

托卡马克装置分为普通和超导两种类型，超导技术又具体分为低温超导和高温超导。早在 1950 年，苏联科学家伊戈尔·塔姆 (Igor Yevgenyevich Tamm, 1958 年获诺贝尔物理学奖) 与当时他的学生安德烈·德米特里耶维奇·萨哈罗夫 (Andrei Dmitriyevich Sakharov, 1975 年获诺贝尔和平奖) 就提出磁约束概念。之后塔姆与萨哈罗夫提出了磁约束聚变托卡马克概念。

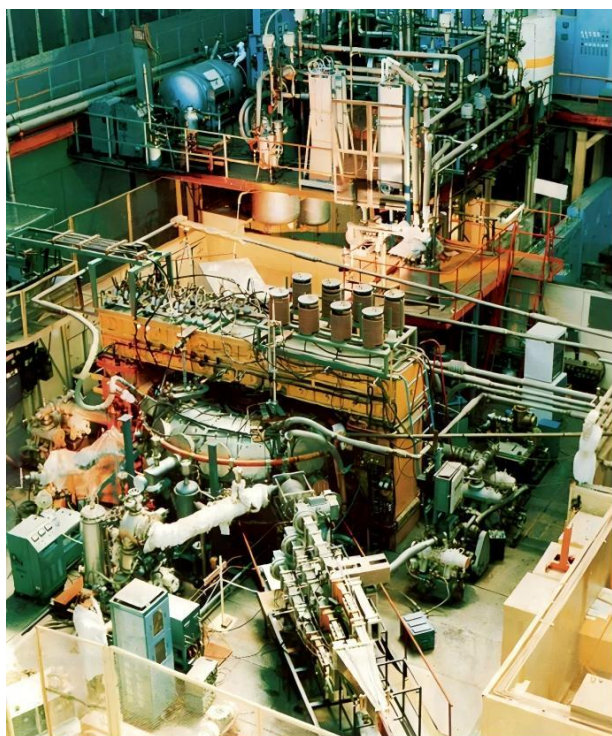
作为托卡马克装置的发源地，从 1954—1995 年，苏联陆续建造了 20 多个托卡马克装置，包括由常规导体材料，如铜、铝等制造的磁体系统组成的常规托卡马克装置，以及由超导材料制造的磁体系统组成的托卡马克装置。

世界上第一个托卡马克装置是苏联建造的 T-1。1954 年，苏联建造了一个早期环形等离子体装置 TMP。虽然 TMP 在托卡马克发展历程中有重要地位，为后续托卡马克装置的提出提供了有益经验和借鉴，但它通常不被认为是第一个严格意义上的托卡马克装置。直到 1958 年苏联在库尔恰托夫研究所建成了托卡马克装置 T-1。T-1 的成功运行，使其被认为是世界上第一个托卡马克装置。

图23: 世界首个托卡马克装置 T-1


资料来源: 科技导报公众号, 民生证券研究院

托卡马克聚变研究不断推进。在常规托卡马克发展过程中, 等离子体聚变三重积指标从 70 年代的约 $10^{16} \text{ keV}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$ 跃升至 20 世纪 90 年代的 $10^{21} \text{ keV}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$, 实现了 5 个数量级的跨越式提升, 极大推动了托卡马克聚变科学与技术的进步。为解决托卡马克采用常规导体制造的线圈在大电流运行时过热, 从而只能短脉冲运行的缺点, 苏联科学家创新地提出采用超导材料制造托卡马克磁体系统。1978 年, 苏联科学家设计建造了世界首个环向场磁体采用超导材料制造的超导托卡马克装置 T-7。

图24: 世界首个超导托卡马克装置 T-7


资料来源: 科技导报公众号, 民生证券研究院

T-7 是核聚变研究史上的一个重要里程碑，具有重要的科学和工程意义。T-7 的成功运行标志着核聚变研究进入了一个新的时代，对全球核聚变能源研究产生了深远的影响。T-7 于 1988 年退役。中国科学院等离子体物理研究所基于 T-7 于 1994 年建造了中国第一个，也是世界第四个超导托卡马克 HT-7。

为实现托卡马克稳态运行，1992 年美国普林斯顿等离子体物理实验室首次提出将极向场与中心螺管磁体也采用超导技术的托卡马克物理实验 (TPX) 全超导托卡马克项目。由于美国政府预算限制和美国聚变能科学计划的调整，TPX 项目在 1995 年被取消。尽管 TPX 项目最终被取消，但其所开展的物理设计和工程设计对聚变科学的发展产生了重要且深远的影响，为聚变能研究领域留下了宝贵的遗产。

2006 年 9 月，在中国科学院等离子体物理研究所建成了国家九五重大科学工程“HT-7U 超导托卡马克核聚变实验装置”，后改名为实验先进超导托卡马克，又名东方超环 (EAST)，这是世界上第一个全超导托卡马克系统。

图25：全超导托卡马克 EAST



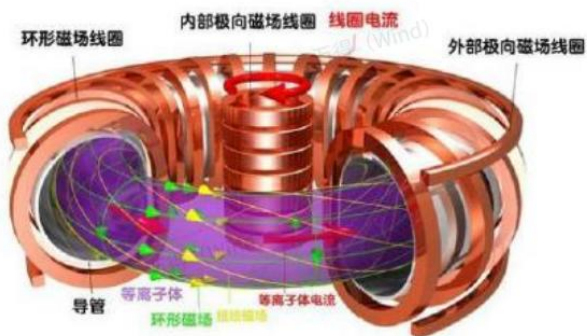
资料来源：科技导报公众号，民生证券研究院

托卡马克的反应步骤主要包括：环形磁场约束→欧姆加热→辅助加热→聚变点火→偏滤器除杂→中子产氦/发电。

第一步是环形磁场约束。环形真空室是托卡马克的核心，是一个环形（面包圈形状）的钢制真空室，用于容纳高温等离子体。磁性笼通过超导线圈在真空室内产生环形磁场（沿环向）和极向磁场（沿环截面方向），组合形成螺旋形磁场线，将带电粒子（离子和电子）约束在环形空间内，避免与容器壁接触。其中环形线圈环绕真空室外部，产生环形磁场（ITER 有 18 个高 17 米的 D 形线圈）；极向线圈沿环面分布，产生垂直磁场以调控等离子体形状和稳定性（ITER 的最大极向线圈直径达 24 米）。

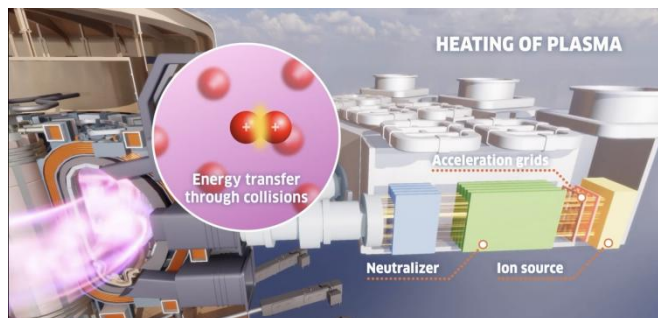
第二步是欧姆加热。向真空室注入氢同位素（氘或氚）气体，实现部分预电离。随后是变压器原理加热，中心螺线管（初级绕组）通入强电流脉冲，在等离子体环（次级绕组）中感应出环向电流。电流通过欧姆加热（焦耳热）使气体完全电离，温度升至约 1000 万开尔文。

图26: 托卡马克原理示意图



资料来源: 核聚变与等离子体物理公众号, 民生证券研究院

图27: 等离子体加热示意图



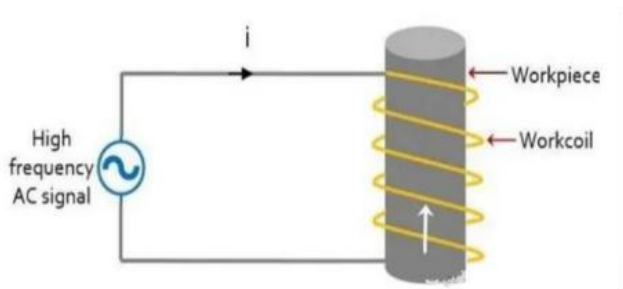
资料来源: Energy Encyclopedia, 民生证券研究院

第三步是辅助加热。当等离子体电阻降低时, 需额外加热方式, 以达到聚变温度。高能氢原子被电离、加速后注入等离子体中心, 通过碰撞传递能量。射频波通过天线发射, 被电子或离子吸收 (离子回旋共振或电子回旋共振), 增加动能。电子通过碰撞将能量传递给离子, 最终温度可超 1 亿开尔文 (实验已达 5 亿开尔文)。

第四步是聚变点火。燃料以氘 (D) 和氚 (T) 为主, 因质子数低、反应截面大。反应的三要素为: 高温 (>1 亿开尔文) 使粒子克服库仑斥力; 高密度增加粒子碰撞概率; 长约束时间 (ITER 目标: 维持数分钟脉冲)。

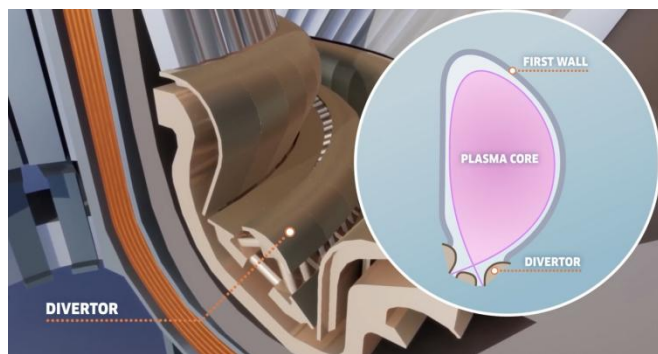
第五步是偏滤器除杂。偏滤器位于真空室底部, 通过磁场调节将边缘重离子 (如氦灰) 和杂质导至收集板, 由真空泵抽除。偏滤器由钨或铍制成, 需耐高温 (需主动冷却), 承受等离子体坍塌时的极端热负荷。

图28: 交变磁场产生



资料来源: 托卡马克辅助加热系统高压电源若干关键技术研究, 夏令龙, 民生证券研究院

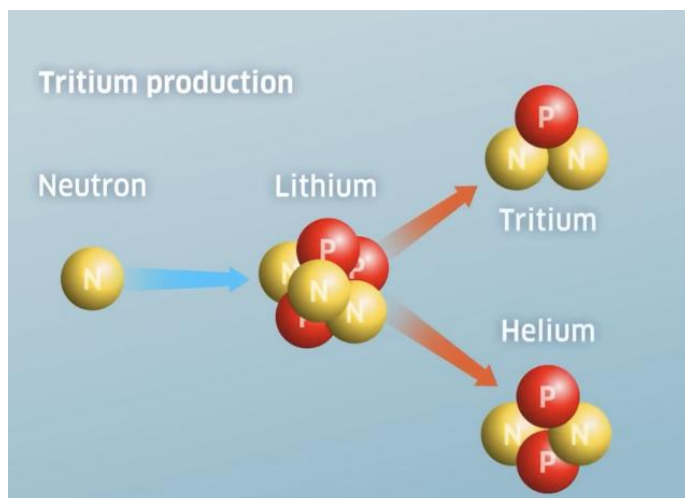
图29: 偏滤器示意图



资料来源: Energy Encyclopedia, 民生证券研究院

第六步是中子产气/发电。聚变产生的高能中子被锂包层吸收, 通过核反应再生氦燃料。中子能量转化为屏蔽材料的热能, 驱动蒸汽轮机发电 (ITER 设计输出 500 兆瓦)。

图30：氚生产示意图



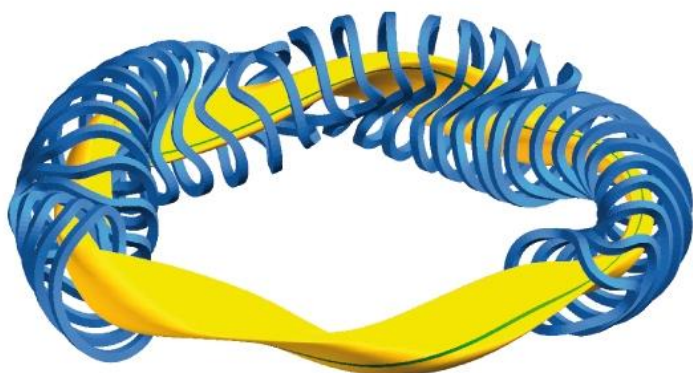
资料来源：Energy Encyclopedia，民生证券研究院（注：假设电路里程成本等于新线路的成本）

2.1.2 仿星器

仿星器与托卡马克同属环形磁约束装置，但其核心优势在于无需依赖等离子体电流即可约束高温等离子体。托卡马克依赖中央螺线管驱动等离子体电流产生辅助磁场，这一机制导致其存在“定期重置”和“破裂事故”风险--等离子体破裂可能烧穿容器壁，成为商业化的主要障碍。而仿星器通过精密设计的扭曲磁体布局直接形成螺旋磁场，理论上可实现“无限期连续运行”，避免了托卡马克的固有缺陷。

仿星器试图利用外部磁铁创造一条自然扭曲的等离子体路径。它的核心结构包括闭合管和外部线圈，闭合管可以是直线形、跑道形或空间曲线形。仿星器的特点是使用螺旋绕组产生旋转磁场，无需等离子体电流即可实现约束，因此运行稳定性较高，但制造精度要求极高。

图31：仿星器设计示例



资料来源：瀚海聚能公众号，民生证券研究院（注：线圈系统（蓝色）环绕等离子体（黄色）。黄色等离子体表面上的磁场线以绿色突出显示。）

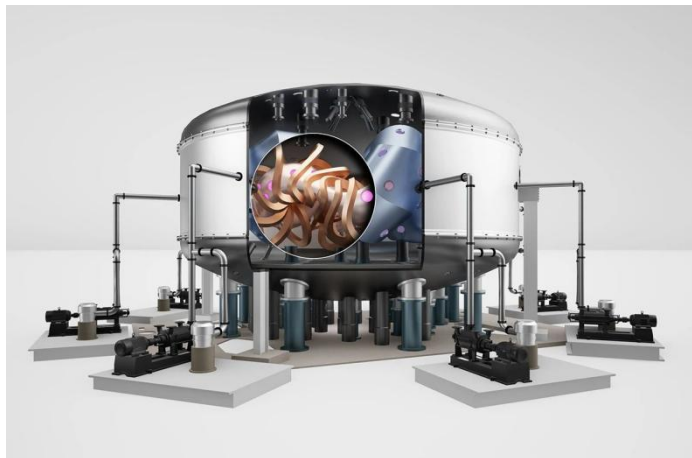
早期仿星器因粒子碰撞导致热量流失，性能落后于托卡马克。但 20 世纪 90 年代后，超级计算机模拟实现“磁场优化”，通过计算扭曲磁体的精确形状，将粒子扩散率降低至可忽略水平。2015 年，德国马克斯·普朗克等离子体物理研究所 (IPP) 的“Wendelstein 7-X” (W7-X) 装置首次验证了大规模优化设计的可行性，其等离子体运行时长与温度逐步接近托卡马克主流水平，为技术落地奠定基础。

当前全球 8 家公司聚焦仿星器研发，超过托卡马克领域的 6 家，揭示了目前形成仿星器对托卡马克技术的追赶态势。

Type One Energy 于 2025 年 3 月在《Journal of Plasma Physics》发表七篇论文，详细披露试点电厂“Infinity Two”设计：装置高近 14 米，可产生 800MW 能量，转化为 350MW 电力。其核心技术在于高温超导磁体，在紧凑结构中生成强磁场，较传统设计体积缩小 40%。

项目计划 2026 年启动首台原型机“Infinity One”建设，已与美国田纳西河谷管理局 (TVA) 达成协议，将在退役的 Bull Run 电厂落地。公司在累计融资 8200 万美元基础上，正寻求 2 亿美元新投资，目标 2030 年代中期实现并网发电。

图32: Type One Energy 的 “Infinity One”

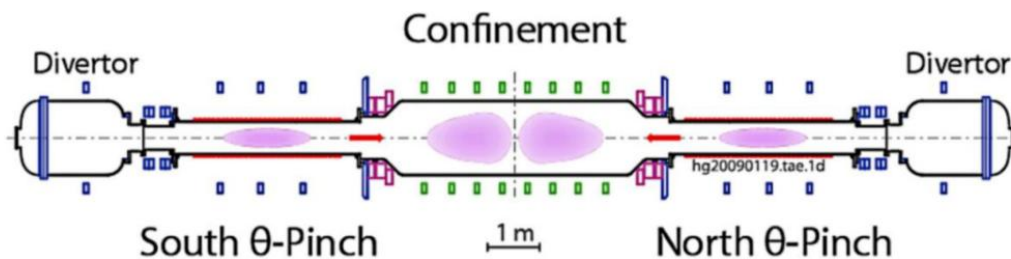


资料来源: 可控核聚变公众号, 民生证券研究院

2.1.3 场反位形直线形 (FRC) 装置

磁约束核聚变中场反位形直线形 (FRC) 装置是更经济的技术路线, 更有可能实现核聚变商业化应用。场反位形是没有环形场线圈的较简单的磁约束系统, 内部等离子体产生的反向电流会形成与外部磁场反向的磁场, 使得等离子体在形成阶段成为一个自封闭的磁场结构。场反位形技术路线具有高 β 值特征, 意味着能够在较低的磁场强度下约束较高密度的等离子体, 从而具备更高的能量效率, 适合实现紧凑、低成本的核聚变装置。同时可采用磁压缩、磁重联等高效加热手段, 结合磁流体发电机实现能量转化, 经济性较高。在工程建设方面, 场反位形具有全对称的线圈和真空室等, 结构简单, 模块化结构替换容易, 降低了工程难度, 且造价低。

图33: 场反位形设计示意图



资料来源: 瀚海聚能公众号, 民生证券研究院

国外 FRC 代表公司为 Helion Energy。美国的 Helion 公司成立于 2013 年, 投资人包括 OpenAI CEO 山姆·奥特曼。Helion Energy 利用线性装置来实现商业发电。而且它提出了十分激进的商业化目标: 2028 年为微软供电 50 兆瓦, 度电成本将逐渐降低至 1 千瓦时一美分。2024 年底, 奥特曼向媒体透露, Helion 将很快演示净能量增益核聚变。微软公司已与 Helion 签订对赌协议, 希望在 2028 年采购由 Helion 提供的核聚变电力, 功率不低于 50 兆瓦。这一数字虽小但意义

重大，Helion 若能兑现，将是“历史性时刻”。

瀚海聚能是国内第一家选择直线型聚变装置的企业，聚焦于有低成本商业发电优势的场反位形聚变装置及其配套的等离子体源与诊断系统软硬件研发。企业聚变装置基地改建工程已于今年 2 月正式启动。中国瀚海聚能的技术路线就是对标 Helion，以场反位形直线型装置来实现核聚变最终的商业化。2024 年上半年，瀚海聚能完成了 5000 万元的天使轮融资，资金用于线性装置物理及工程设计，是瀚海聚能迈向商业化发电的第一步。

图34：瀚海聚能场反位形直线型装置模型

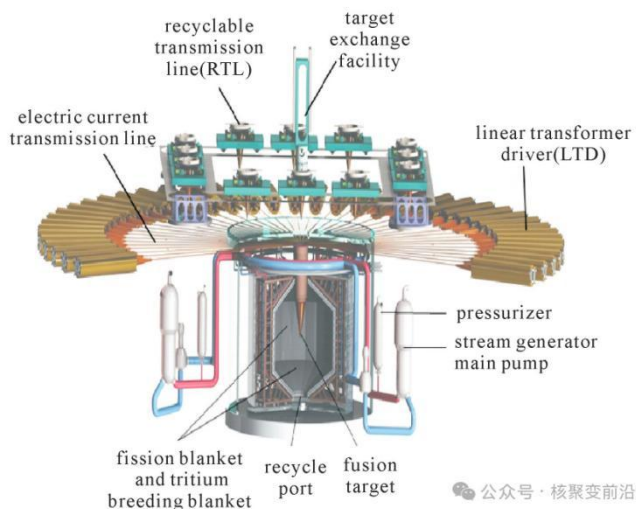


资料来源：瀚海聚能，民生证券研究院

2.2 惯性约束

直线箍缩装置(称为 Z-pinch)是一种开端系统的聚变装置。就是在柱形放电管中通过强大的电流，来使其中的等离子体产生箍缩效应而受到压缩和加热，以形成高密度的灼热等离子体。基于脉冲功率技术的快 Z 箍缩技术可以实现驱动器电储能到 Z 箍缩负载动能或 X 射线辐射能的高效率能量转换，能量较为充足，驱动器造价相对低廉，并有望实现驱动器重频运行，将有可能为惯性聚变能提供可用的能量源。

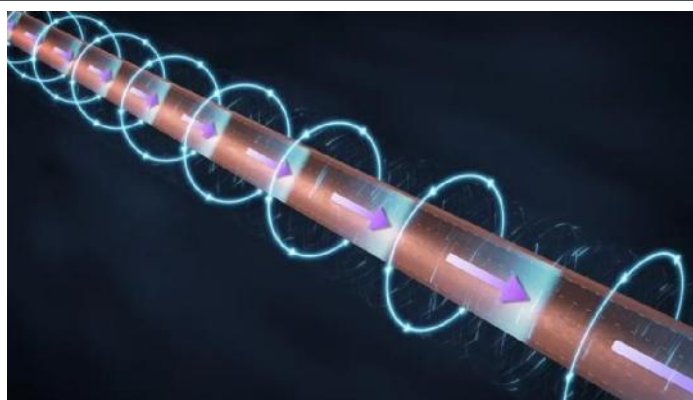
图35: Z-FFR 结构示意图



资料来源: 核聚变前沿公众号, 民生证券研究院

Z 箍缩驱动聚变裂变混合堆 (Z-FFR) 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 箍缩驱动器选择直线变压器 (LTD) 技术路线, 采用“分而治之”的设计思想, 合理降低了器件的功率要求。理论上, 一种基本放电单元如果能够重频长寿命运行, 且输出时间抖动满足波形叠加要求, 就可以基于该基本放电单元并采用 LTD 电路拓扑结构建立任意规模的驱动器。Z 箍缩驱动器产生约 60 MA 的电流, 电流上升前沿约为数百纳秒。电流沿 Z 轴方向流过薄金属套筒型负载, 产生径向箍缩效应: 强大的洛伦兹力驱动套筒以每秒数百千米的速度内爆, 碰靶动能 > 10 MJ; 套筒碰到靶外的能量转换层后产生强 X 射线辐射; X 射线能量经黑腔均匀化形成近球对称的辐射场, 在聚变靶丸的烧蚀层内形成高温和高压并对内部物质区进行压缩, 从而创造出聚变点火及燃烧所需的环境条件。

图36: Z 箍缩原理示意图



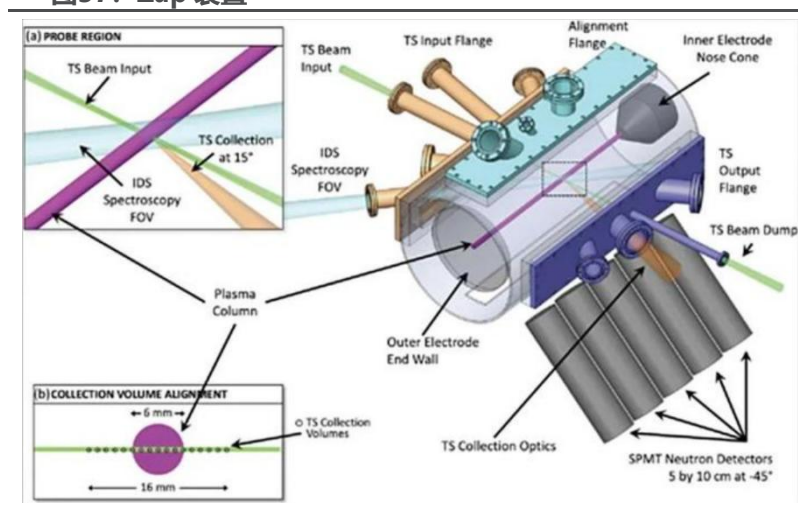
资料来源: 安东聚变公众号, 民生证券研究院

Z 箍缩驱动器能量充足、电能转换为碰靶动能的效率 > 10%、造价相对低廉、辐射能品质优良 (辐射到聚变靶丸表面能量均匀度为 1%~2%), 相较激光器更适合用作惯性约束聚变能源。采用创新设计的“局部体点火靶”, 单发聚变放能可达

2000~3000 MJ，若驱动器每 10 s 放电 1 次，聚变功率可达 200~300 MW。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。

ZAP Energy 是 Z 箍缩路线极具代表性的企业。ZAP Energy 成立于 2017 年，部位于美国华盛顿州西雅图市，在埃弗雷特 (Everett) 和穆尔基特 (Mukilteo) 设有研究设施。其技术路径基于 Z 箍缩 (Z-pinch) 核聚变，通过电流产生的磁场压缩等离子体，结合剪切流稳定 (Sheared Flow Stabilization) 技术克服传统 Z 箍缩的不稳定性问题，目标是开发低成本、模块化的小型聚变反应堆。员工规模超过 150 人。

图37: Zap 装置



资料来源：《物理评论快报》，B. Levitt 等，民生证券研究院

2025 年 2 月，ZAP Energy 的科研人员利用 FuZE 装置在测量中子各向同性方面取得重要进展，确认其发生了热核聚变反应，并证明 ZAP Energy 的方法可以扩展到更高的能量输出，这也增强了对下一代 FuZE-Q 设备性能潜力的信心。

在我国，成都先觉项目稳步推进，推动 Z-箍缩混合堆技术工程化进程。国内的聚变裂变混合堆概念，主要起源于彭先觉院士 2008 年提出的“Z-箍缩驱动聚变裂变混合堆 (Z-FFR)”。Z-FFR 的聚变功率大幅降低且中子更加富裕，有望综合解决聚变自持、高聚变增益、耐辐照损伤、裂变燃料增殖、超铀元素嬗变等关键科学问题和工程挑战。

3 核聚变项目梳理

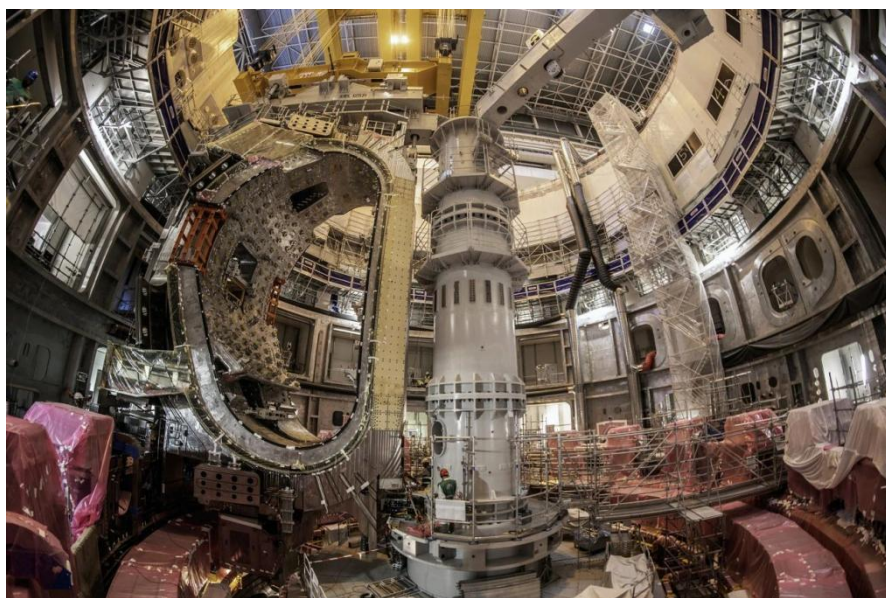
3.1 国际项目梳理

3.1.1 ITER（国际项目）：世界首个全超导托卡马克核聚变实验堆

国际热核聚变实验堆计划（International Thermonuclear Experimental Reactor）是迄今为止全球规模最大的核聚变实验装置，也是世界首个全超导托卡马克核聚变实验堆。2006年11月21日，中国、欧盟、印度、日本、韩国、俄罗斯和美国共同签署《联合实施国际热核聚变实验堆计划建立国际聚变能组织的协定》，决定在法国建设实验堆。项目总占地面积达180公顷，除主反应堆外，还配有规模庞大的供电、冷却等配套设施。据ITER组织最新预计，反应堆有望在2034年实现首次点火运行。

ITER采用“托卡马克”的核聚变技术路线。整个真空室预计由9个扇段拼接组成，总部件重量达8000吨。由于整体规模巨大，真空室必须分为若干扇段单独制造与组装，最终拼接成一个完整的结构。安装精度需控制在毫米级，每个扇段内部使用了大量超导线圈，每根直径不到1毫米的超导线圈内又包含了8000至10000根细丝，每一根都经过特殊涂层处理。

图38：ITER首个真空室模块（7号模块）顺利完成吊装并精准就位



资料来源：中核集团公众号，民生证券研究院

3.1.2 SPARC (美国 CFS 公司) : 世界首个高温超导托卡马克实验堆

SPARC, 全称是 **Soonest/Smallest Private-Funded Affordable Robust Compact**, 以最直接、简明的方式阐述了快速、体积小、私营资本主导、低成本、紧凑等特点。SPARC 是美国 CFS 公司 (Commonwealth Fusion Systems) 商业化聚变电厂 ARC (Affordable Robust Compact) 的前期验证装置, 目前正在美国马萨诸塞州的 Devens 建设。

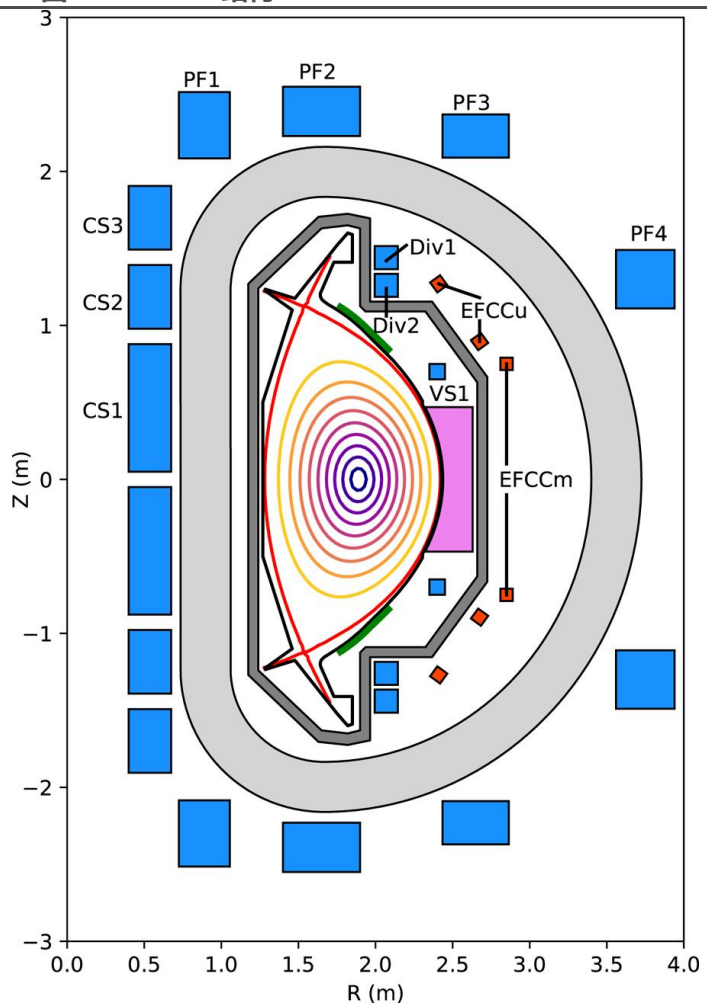
SPARC 作为一种高场、紧凑、超导托卡马克, 其主要任务是依托独特的核聚变技术与高温超导磁体, 在托卡马克中首次实现净能量增益 ($Q > 1$)。同时, SPARC 将构成一个独特的平台, 用于与聚变电站相关的具有高密度、高温和高功率密度的燃烧等离子体物理研究, 并为设计、建造首个托卡马克商业聚变电厂-ARC 所需的物理、工程和其他关键知识提供经验依据与技术积累。

SPARC 采用高度小型化的托卡马克结构, 体积仅为 ITER 项目的四十分之一。这种紧凑设计也大幅缩短了建造周期 (约 5-7 年), 降低了成本, 使其更易于实现商业化部署。

SPARC 的核心创新在于采用稀土钡铜氧化物 (REBCO) 高温超导材料制成的磁体。实验表明, 其制造的基于 REBCO 磁体在液氦温度下可承受高达 5000 安培的电流, 局部磁场强度达 20T, 远超 ITER 的 5.3T, 实现更高效的等离子体约束。

SPARC 在设计上, 几乎实现了最大程度上的上下对称。SPARC 的中心螺线管 (CS) 由三对上下 HTS 线圈组成, 分别标记为 CS1、CS2 和 CS3。在环向场线圈外部有四对上下的 HTS 极向场线圈, 从内到外分别标记为 PF1、PF2、PF3 和 PF4。此外, 在环向场线圈内部但在真空容器外部的有两对铜线圈。由于这些线圈主要用于驱动偏滤器磁场, 因此它们被标记为 Div1 和 Div2。还有一对位于真空容器内部的垂直稳定性线圈, 分别标记为 VS1 上/下。最后, 有三组误差场校正线圈, 一组在上, 一组在下, 一组中平面。所有 CS、PF 和 DIV 线圈都可以独立控制, 而 VS 将反串联连接, 这样一个线圈中的电流总是与另一个线圈中的电流方向相反。EFCCs 设计用于稳健地实现误差场校正和施加 $n=3$ 共振磁场扰动 (RMPs), 但 EFCC 电源的初始配置主要集中在误差场校正上。

图39: SPARC 结构



资料来源：可控核聚变公众号，民生证券研究院

2018 年，CFS 正式成立，同年启动 SPARC 项目。预计 2025 年，完成 SPARC 主体装置建设。预计 2026 年，首次产生等离子体。预计 2027 年，达成 $Q>1$ 的净能量增益目标。预计在 2030 年代，聚变电厂 ARC 实现向电网供电。

3.1.3 Orion 装置 (美国 Helion Energy 公司)：世界首座核聚变发电厂

Helion Energy 成立于 2013 年，总部位于美国华盛顿州埃弗雷特 (Everett)。公司致力于开发商业化的核聚变发电技术，提供零碳、低成本、可持续的清洁能源。

2025 年 7 月 30 日，美国 Helion Energy 的猎户座 (Orion) 装置在华盛顿州马拉加 (Malaga) 启动土方工程与基建工作。猎户座项目标志着该公司迈出了关键一步，届时将为微软提供至少 50MW 的零碳电力。这一商业聚变项目，不仅采用革命性的氦-3 燃料循环技术，其选址更暗含三重战略布局。

Helion Energy 将其首个商业聚变电站选址于华盛顿州中部，这一决策蕴含

着深远的战略考量。该地区不仅是微软等科技巨头数据中心的聚集地，更依托哥伦比亚河大坝提供的廉价水电资源，发展成为支撑全球数字经济的核心基础设施带。2025年6月，公司从奇兰县（Chelan County）公共事业管理局租用了原属洛克岛水坝（Rock Island Dam）资产区的土地，该地块兼具地理与产业协同优势——与微软新建数据中心仅一街之隔。

该公司计划采用氘与氦-3 ($D-^3He$) 作为聚变燃料。 $D-^3He$ 聚变反应产生带电粒子，可直接转化为电能，这一特性使系统设计更紧凑高效，实现快速建设和低成本运营。该燃料循环还能显著减少中子辐射，有效减少了氘-氦聚变燃料面临的诸多工程难题。

目前，公司完成了第七代聚变原型装置 Polaris 的初步建设，获 4.25 亿美元 F 轮融资，用于加速电容、磁体及半导体制造能力。试点电站预计发电时间为 2028 年。

图40: Orion 装置选址



资料来源：核聚变与等离子体物理公众号，民生证券研究院

3.2 国内项目梳理

我国核聚变技术主要由两大院所牵头+民营企业共同推进。目前，我国已形成以中核集团核工业西南物理研究院（西物院）和中科院等离子体所（等离子体所）两大科研院所为主，清华大学、中国科学技术大学等高校，及相关民营企业共同参与聚变能开发的格局。

两大科研院所聚变研究进展显著：

- **中核西物院系：**技术发展脉络呈现国家队主体持续发展升级：HL-1(建成于1984年，目前已退役)→HL-2A(建成于2002年)→HL-3(建成于2020年)→聚变-裂变混合堆(中国聚变能源有限公司 CFEC 主导建设，选址江西，2025

年5月启动重大设备招标);

- **等离子体所系**：技术发展脉络呈现国家队主导并带动产业化主体发展：HT-7(建成于1994年，目前已退役)→EAST(建成于2006年)→CRAFT“夸父”(预计2025年底建成)→BEST(等离子体所与其孵化企业合肥聚变新能主导建设，预计2027年底建成)→CFEDR(等离子体所与合肥聚变新能主导建设，该项目近期被正式定位为聚变示范堆，官方名称也由CFETR更新为CFEDR，标志着其从实验堆向示范堆的战略升级)。

此外我国聚变产供应链体系初步成立。目前，国内以中核集团和中科院为代表的两大聚变能研究机构已分别牵头成立产业联盟，旨在围绕聚变研究装置建立聚变产供应链体系，实现聚变产业化融合发展。**1) 中核集团牵头成立可控核聚变创新联合体**：联合体包含33家中央企业、科研院所、高等院校及民营企业，其目标是把握未来产业关键环节，探索聚变能创新体系能力建设，在技术研发、产业化推进、国际合作等方面发挥合力优势，完成聚变产业生态培育、全产业链体系打造。**2) 中国科学院等离子体研究所于2023年牵头成立聚变产业联盟**：该联盟联合合肥合锻、中国一重、上海电气、西部超导等相关企业、科研院校、服务机构。该产业联盟下设9个工作组，旨在统筹加快聚变能源核心技术攻关。

我国核聚变装置布局如火如荼。根据核聚变商业化公众号的公开资料整理，目前我国主要的可控核聚变装置累计15个，主要分在安徽、四川两地，此外在江西、上海、河北、陕西、湖北等省份均有布局。

图41：截至目前我国主要的可控核聚变装置梳理（运行中）

装置名称	装置类型	建设单位	项目重要时间点	装置状态	装置地址
HL-2A “中国环流器二号A装置”	托卡马克	中国核工业西南物理研究院	1999年，开始开工建设； 2002年，获得初始等离子体，年底完工； 2009年，实现中国第一次高约束模（H模）放电，标志着中国磁约束聚变实验研究进入新阶段	运行中	四川省成都市
EAST (东方超环)	全超导托卡马克	中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所	2000年10月，EAST开工建设 2006年建成 。同年底首轮物理放电实验取得成功，标志着该装置正式投入运行 2022年8月，新一轮升级改造，重点维护和升级改造了装置内部部件以及装置子系统，进一步提升装置整体性能。	运行中	安徽省合肥市
J-TEXT (前身TEXT-U)	托卡马克	华中科技大学聚变与等离子体研究所	2003年，开始在国内恢复重建工作； 2007年9月，实现了第一次等离子体放电 2008年，完成了J-TEXT的重建工作	运行中	湖北省武汉市 (华中科技大学东校区)
Kmax	串节磁镜装置	中国科学技术大学	2012年完成设计； 2013年完成加工组装； 2014年年初成功实现首次放电	运行中	安徽省合肥市 (中国科学技术大学西校区)
KTX装置 “科大一环”	反场箍缩装置	中国科学技术大学物理学院基础等离子体物理重点实验室承担 中国科学院等离子体物理研究所及合肥科烨电物理设备制造有限公司通力合作建设	2011年，开始设计； 2015年6月，完成建设	运行中	安徽省合肥市
NCST球形托卡马克	球形托卡马克	南昌大学江西省聚变能与信息控制重点实验室牵头设计， 联合中国科学院等离子体物理研究所、核工业西南物理研究院等机构共同推进	2016年，NCST正式启动装置建设 2020年11月正式建成并举行启动仪式； 2021年1月12日，成功实现首次放电	运行中	江西省南昌市 南昌大学
HL-3 “中国环流三号” <small>*该项目原名称为HL-2M</small>	托卡马克	中国核工业西南物理研究院	2020年12月4日，建成并实现首次放电 2023年8月25日，首次实现100万安培（1兆安）等离子体电流下的高约束模式运行；同年，装置由HL-2M更名为HL-3	运行中	四川省成都市
玄龙-50U	球形托卡马克	新奥科技发展有限公司	2023年 ，基于“玄龙-50”升级为“玄龙-50U”；和龙-2建设中 (预计2027年建成)	运行中	河北省廊坊市
SUNIST-2	球形托卡马克	清华大学工程物理系设计； 星环聚能科技有限公司和清华大学联合建设	2023年7月 ，建成并开展了首轮运行	运行中	陕西省西安市
洪荒70	全高温超导托卡马克	能量奇点能源科技（上海）有限公司	2022年3月，开始设计； 2023年8月，启动总装； 2024年2月底，总体安装完工 该司下一代装置“洪荒170”	运行中	上海市

资料来源：核聚变商业化公众号，民生证券研究院

图42：截至目前我国主要的可控核聚变装置梳理（建设中）

CRAFT (聚变堆主机关键系统综合研究设施)	托卡马克	中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所	2018年12月，获批开工建设； 2025年底，预计全面建成	建设中	安徽省合肥市
Kmax-U	直线型先进场反 磁镜装置	合肥星能玄光科技有限责任公司	设计完成 ：2024年底完成KMAX-U工程设计。 预计建成时间 ：2025年底至2026年初 远期目标：2035年建成200MW聚变能电站，目标成本10亿元人民币	建设中	安徽省合肥市
CFQS	准环对称仿星器	西南交通大学聚变科学研究所和日本国家核融合科学研究所共同设计和建造	2020年，启动CFQS的专项设计工作； 2023年5月：CFQS项目进入工程化实施； 2027年，预计建成时间	建设中	四川省成都市
BEST (紧凑型聚变能实验装置)	托卡马克	设计单位：中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所 建设单位：聚变新能(安徽)有限公司 (*该司为中科院等离子体所唯一成果转化平台)	2025年5月1日,启动总装 2027年底 , BEST计划完成全部建设并投入运行, 工程目标成为全球首个实现聚变能量净增益(Q>1)的紧凑型装置	建设中	安徽省合肥市
CFEDR (中国聚变工程示范堆) <small>*2025年6月26日CFETR已正式更名为CFEDR</small>	托卡马克	中国科学院合肥物质科学研究院和中国科学技术大学承担集成工程设计研究	三阶段规划: 第一阶段到2021年, 开始立项建设; 第二阶段到2035年, 计划建成聚变工程实验堆, 开始大规模科学实验; 第三阶段到2050年, 聚变工程实验堆实验成功, 建设聚变商业示范堆	建设中	安徽省合肥市

资料来源：核聚变商业化公众号，民生证券研究院

3.2.1 BEST 项目：紧凑型聚变实验装置

BEST，全称 Burning plasma Experimental Superconducting Tokamak，将在 EAST 装置的基础上首次演示聚变能发电，引领燃烧等离子体物理研究，为中国聚变能的发展做出前瞻性和开创性贡献。2027 年建成后将会成为世界首个紧凑型聚变能实验装置。

图43：BEST 项目图


资料来源：可控核聚变公众号，民生证券研究院

BEST 项目由聚变新能(安徽)有限公司(下称“聚变新能”)负责运营，后者成立于 2023 年 5 月，初始注册资本 50 亿元，并在 2024 年 6 月增至 145 亿元，股东涵盖安徽省与合肥市国有平台、中央企业、中国科学院及社会资本。聚变新能将按照“紧凑型聚变实验装置(BEST)-聚变工程示范堆(CFEDR)-首个商业聚变堆”三步走战。

图44：聚变新能（安徽）有限公司股权结构图

	发起人	持股比例
1	安徽皖能丰禾聚变科技合伙企业(有限合伙)	20.5%
2	合肥产投新能科技合伙企业(有限合伙)	20.5%
3	中国石油集团昆仑资本有限公司	20%
4	合肥科学岛控股有限公司	20%
5	安徽省科创投资有限公司	14%
6	蔚聚科技(安徽)有限公司	5%

资料来源：Wind，民生证券研究院

今年5月BEST工程总装提前2个月正式启动。2025年5月1日，BEST项目工程总装启动仪式在位于安徽合肥的聚变堆主机关键系统综合研究设施（CARFT）园区举行，整个项目总装较原计划提前两个月启动。目前总装中首个需要落位的重要部件—杜瓦的施工工作进展顺利，涉及其余6个任务段的施工准备工作也在有条不紊地向前推进。

3.2.2 江西“星火”项目：聚变-裂变混合反应堆

项目由来：2023年11月12日，江西省人民政府与中国核工业集团有限公司签订全面战略合作框架协议。江西联创光电超导应用有限公司和中核聚变（成都）设计研究院有限公司在国家国防科工局领导、中国核工业集团领导、江西省人民政府领导等各界的见证下签订协议，双方计划各自发挥技术优势，采用全新技术路线，联合建设聚变-裂变混合实验堆项目，技术目标Q值大于30，实现连续发电功率100MW，该项目拟落户江西省，工程总投资预计超过200亿元人民币。

中国“星火”项目是全球首个以聚变-裂变混合反应堆为核心的商业化能源项目。目标于2030年建成并实现100兆瓦持续电力并网，标志着人类首次将聚变能与裂变能结合应用于实际发电。其设计Q值（能量增益因子）超过30，远超国际同类项目——法国ITER（Q值10）和美国国家点火装置（Q值1.5），成为目前已知能量输出效率最高的核能系统。

星火项目主体为江西聚变新能公司，其主要股东为江西省电子集团有限公司、共青城鸿途新能源投资中心、联创超导等。

图45：江西聚变新能源公司股权结构图

	发起人	持股比例
1	江西省电子集团有限公司	65%
2	共青城鸿途新能投资中心(有限合伙)	30%
3	江西联创光电超导应用有限公司 已更名	5%

资料来源：Wind，民生证券研究院

3.2.3 成都“先觉”项目：Z-箍缩反应堆

成都先觉项目是我国聚变-裂变混合能源技术的重要示范工程，由国光电气（持股 7.5%）与天府创新能源研究院（彭先觉院士团队主导）联合推进，采用 Z-箍缩驱动聚变-裂变混合堆（Z-FFR）技术路线，旨在提升核能利用效率与安全性。2025 年 3 月先觉聚能科技正式成立，标志着项目进入工程化实施阶段。该技术的成功应用将为我国能源结构转型提供新的技术选择。

先觉聚能股东方包括天府创新能源研究院、成都国光电气股份有限公司（简称“国光电气”）、深圳前海捷创资本管理有限公司（简称“捷创资本”）等等。据悉，国光电气持股 7.5%，并拥有两个董事会席位，其中，国光电气董事长张亚担任先觉聚能董事长。先觉聚能定位为支撑天府创新能源研究院发展的市场化机构，将与天府创新能源研究院共同构建起“研究院+公司”相互支撑的聚变裂变混合能源事业核心组织架构。

图46：先觉聚能股权结构图

序号	股东名称	持股比例	认缴出资额(万元)	认缴出资日期	首次持股日期	关联产品/机构
1	天府创新能源研究院 大股东	40.00%		-	2025-03-06	-
2	成都先觉聚能科技合伙企业(有限合伙) 大股东	35.00%		-	2025-03-06	-
3	上海玖章玖运企业管理有限公司 大股东	10.00%		-	2025-03-06	-
4	成都国光电气股份有限公司 国光电气 (688776.SH)	7.50%		-	2025-03-06 天德轮	国光电气
5	深圳前海捷创资本管理有限公司 私募基金管理人	7.50%		-	2025-03-06 天德轮	捷创资本

资料来源：天眼查，民生证券研究院

3.2.4 上海聚变能项目（中国聚变公司）：磁约束托卡马克

中国聚变公司成立于 1983 年 6 月 24 日，注册资本 35.31 亿元，现为中核集团直属二级单位。原名中国核燃料有限公司，2024 年更名为中国聚变能源有限公司。

中国聚变公司作为中核集团聚变能源产业的实施主体、投融资平台及抓总单位，将以磁约束托卡马克为技术路线，重点布局总体设计、技术验证、数字化研发等业务，并建设技术研发平台和资本运作平台，按照先导实验堆、示范堆、商用堆“三步走”发展阶段，最终实现聚变能商业化应用的任务目标。

中国聚变能源有限公司控股股东中核集团作为我国核能领域主力军，拥有丰富的工程经验和强大的资源整合能力，为聚变商业化提供了坚实支撑。中国石油昆仑资本、上海未来聚变、中国核电、浙能电力、国家绿色发展基金和四川重科聚变等股东入局，则进一步丰富了技术研发、工程建设、资本运作、产业应用等全链条深度融合的生态体系，成为打通产业化堵点的关键抓手。

图47：中国聚变股东出资情况

序号	股东名称	出资方式	认缴出资额 (万元)	实际出资金额 (万元)	认缴出资比例 (%)
1	中核集团	现金货币	455,822.77	456,022.59	30.39
		知识产权	299,371.33	299,953.53	19.96
		小计	755,194.10	755,976.12	50.35
2	中国核电	现金货币	99,805.90	100,000.00	6.65
3	昆仑资本	现金货币	300,000.00	300,583.42	20.00
4	上海聚变	现金货币	177,093.17	177,437.57	11.81
5	国绿基金	现金货币	47,906.83	48,000.00	3.19
6	浙能电力	现金货币	75,000.00	75,145.86	5.00
7	四川聚变	现金货币	45,000.00	45,087.51	3.00
合计			1,500,000.00	1,502,230.48	100.00

资料来源：可控核聚变公众号，民生证券研究院

4 投资建议

核聚变产业商业化落地提速，建议持续关注核聚变产业催化。建议关注：大功率电子管+真空开关【旭光电子】、电源【英杰电气】【爱科赛博】【新风光】【四创电子】；堆内构件【国光电气】【合锻智能】【安泰科技】【派克新材】【江苏神通】；超导相关【永鼎股份】【联创光电】【西部超导】、电容【王子新材】、IGBT开关【宏微科技】【赛晶科技】等。

5 风险提示

1) 产业化进度不及预期风险：可控核聚变装置目前仍处于实验验证向工程示范过渡阶段，核心材料（如耐中子辐照包层、超导磁体）、规模化氦自持、连续稳态运行等关键技术尚未全部突破，商业化示范堆（如 DEMO）建设周期普遍长于规划；若技术瓶颈或系统性工程延误持续存在，首座商业电站投运时点或有推迟风险。

2) 政策落地不及预期风险：核聚变项目高度依赖政府长期资金支持、监管框架完善及国际协作机制，若未来全球或国内宏观财政收缩、能源政策重心转向可再生能源储能、碳定价机制调整，可能出现示范堆预算削减、审批流程延长、技术标准争议、出口管制趋严等情形。

插图目录

图 1: 核聚变反应示意图.....	3
图 2: 比结合能曲线.....	4
图 3: DT 聚变反应示意图.....	5
图 4: 核聚变反应三要素.....	6
图 5: 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(keV).....	7
图 6: 几种主要的聚变反应以及实现聚变的劳逊条件.....	7
图 7: 全球核聚变发展历史.....	8
图 8: 工业和信息化部等七部门关于推动未来产业创新发展的实施意见.....	9
图 9: ITER 十年建造期间成本分摊.....	10
图 10: EAST 装置.....	11
图 11: 新一代人造太阳“环流三号”装置改造现场.....	11
图 12: 核聚变商业化路线.....	12
图 13: 全超导托卡马克核聚变实验堆 ITER.....	13
图 14: ARC 聚变电站示意.....	14
图 15: 托卡马克聚变能增益 Q 与等离子体中心环向场 (B0)、等离子体大半径 (R0) 及等离子体体积 (Vp) 关系曲线.....	14
图 16: 中国及其他国家和地区托卡马克示范堆与商用堆规划.....	14
图 17: CFETR 主机结构.....	15
图 18: 不同路径聚变技术方案装置预期的“聚变三乘积”.....	16
图 19: 聚变能源商业化公司成立时间线.....	17
图 20: 1985-2024 私营核聚变公司年总数变化.....	17
图 21: 聚变约束的主要路径.....	18
图 22: 托卡马克装置基本结构.....	19
图 23: 世界首个托卡马克装置 T-1.....	20
图 24: 世界首个超导托卡马克装置 T-7.....	20
图 25: 全超导托卡马克 EAST.....	21
图 26: 托卡马克原理示意图.....	22
图 27: 等离子体加热示意图.....	22
图 28: 交变磁场产生.....	22
图 29: 偏滤器示意图.....	22
图 30: 氦生产示意图.....	23
图 31: 仿星器设计示例.....	24
图 32: Type One Energy 的“Infinity One”.....	25
图 33: 场反位形设计示意图.....	25
图 34: 瀚海聚能场反位形直线型装置模型.....	26
图 35: Z-FFR 结构示意图.....	27
图 36: Z 箍缩原理示意图.....	27
图 37: Zap 装置.....	28
图 38: ITER 首个真空室模块 (7 号模块) 顺利完成吊装并精准就位.....	29
图 39: SPARC 结构.....	31
图 40: Orion 装置选址.....	32
图 41: 截至目前我国主要的可控核聚变装置梳理 (运行中).....	34
图 42: 截至目前我国主要的可控核聚变装置梳理 (建设中).....	35
图 43: BEST 项目图.....	35
图 44: 聚变新能 (安徽) 有限公司股权结构图.....	36
图 45: 江西聚变新能源公司股权结构图.....	36
图 46: 先觉聚能股权结构图.....	37
图 47: 中国聚变股东出资情况.....	38

表格目录

重点公司盈利预测、估值与评级	1
表 1: 核聚变优势	8
表 2: 中国可控核聚变主要研究成果	11
表 3: 可控核聚变两大路径对比	18

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获取本报告的机构及个人的具体投资目的、财务状况、特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，进行独立评估，并应同时考量自身的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代自身的独立判断。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：上海市虹口区杨树浦路 188 号星立方大厦 7 层； 200082

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：深圳市福田区中心四路 1 号嘉里建设广场 1 座 10 层 01 室； 518048