

# 可控核聚变：0-1产业落地可期

分析师：杨 睿 SAC NO: S1120520050003

联系人：王 涵 邮箱：wanghan@hx168.com.cn

2025年7月28日

# 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

- **什么是可控核聚变？**核聚变是具有清洁、安全、可持续等优点的终极能源。聚变能源具有反应释放能量大、运行安全可靠、燃料来源丰富、环境污染小等特点，有望成为一种可以大规模市场化供应的商业能源，在未来提供稳定的能源输出与电力供应。核聚变反应中有两个关键参数：聚变三乘积（即劳逊判据）以及聚变增益因子（即Q值），满足劳逊条件才可实现点火，提升Q值是促进可控核聚变商业化的关键。
- **核聚变的技术路径如何？**为了持续输出反应能量，对于聚变等离子体的有效约束是关键。通常对于此类高温等离子体的约束方式有3种，即引力约束、惯性约束，以及磁约束。在3种约束方式中，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。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磁约束聚变装置。根据2025年7月24日IAEA网站统计数据显示，目前全球共有25个国家或机构正在开展托卡马克规划、建设和运行，涉及的装置数量高达79个，其中57个装置处于运行状态，7个装置处于建设中，另有15个装置处于规划建设阶段。
- **国内外聚变能源迎来发展窗口期。**海外来看，2025年2月，美国Helion Energy计划在建造世界首座核聚变发电厂，预计在2028年开始为微软数据中心发电。2025年6月，谷歌母公司Alphabet与联邦聚变系统公司（CFS）签署了200兆瓦核聚变电力采购协议。同时，英国、德国、俄罗斯等积极推动聚变电站布局，多个项目预计在2030年代投运。国内来看，重点项目合肥BEST（紧凑型聚变能实验装置）于2025年1月启动了工程总装，比预计时间提前2个月，项目将于2027年完工，有望成为世界首个开展氦氖稳态燃烧的实验装置，国内主要核聚变研究机构招标加速。

我们认为后续随着国内外主要聚变装置落地加速，技术领先&有供应核心部件/材料积累企业的获单能力强，有望率先受益。

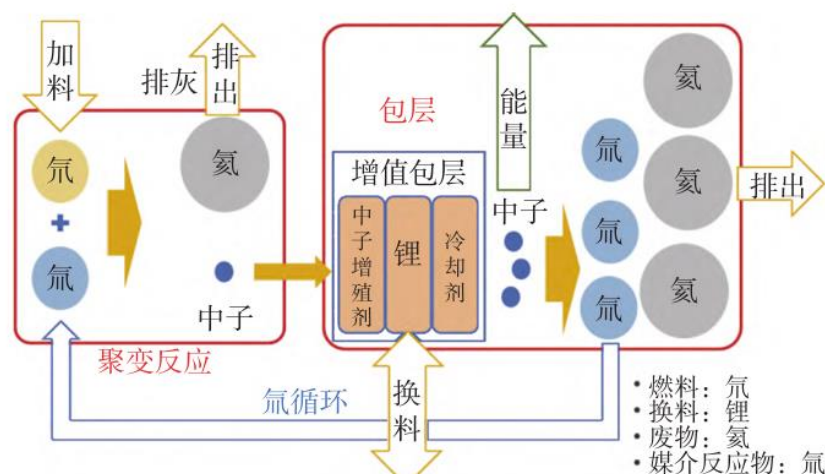
- **受益标的：**①**磁体系统：**国光电气、联创光电等；②**高温超导带材：**精达股份、永鼎股份等；③**真空室：**合锻智能、派克新材等；④**杜瓦：**航天晨光等；⑤**偏滤器：**安泰科技等；⑥**磁体电源：**爱科赛博、英杰电气、四创电子等；⑦**配套设备：**旭光电子等。
- **风险提示：**可控核聚变项目建设、招投标进度不及预期；可控核聚变技术瓶颈风险；可控核聚变技术路线变化风险；海内外支持政策变化风险等。

## 1 可控核聚变迎来发展窗口期

➤ **核聚变是具有清洁、安全、可持续等优点的终极能源。**聚变能源具有反应释放能量大、运行安全可靠、燃料来源丰富、环境污染小等特点，有望成为一种可以大规模市场化供应的商业能源，在未来提供稳定的能源输出与电力供应。主要优势具体来看，

- **反应放能效率高：**聚变反应将质量转化为能量，根据爱因斯坦著名的质能方程 $E=mc^2$ 可知很小的质量转化为巨大的能量，所以聚变反应的放能效率极高。
- **运行安全可靠：**聚变反应需要极为苛刻的实现条件，在发生严重事故的情况下可以较为便捷地实现停堆，从而避免熔堆事故的发生。
- **燃料来源丰富：**聚变发电所需要的直接燃料是氘和氚。氘是很容易获得的，因为每6700份水中就有一份是氘。如果考虑到所有的海水，则有总量超过1015t的氘，足可以近乎于无限地提供我们所需要的能量。氚可以采用电解水的方法直接从水中提取，成本很低。然而氚在地球上并不天然存在，因为它是半衰期为12.3年的放射物。所以作为一种燃料，氚只能通过人工制造得到。最方便的产氚方式是中子和锂的反应。目前，有足够的锂可以至少维持几万年。所以，聚变燃料必需的原材料锂和水的储量相当丰富，而且这些原材料分布广泛，任何一个国家不可能垄断市场。
- **环境污染小：**聚变产物没有长寿命的放射性废物，这将极大简化核电站的废物管理措施，同时减小核电站退役后对于环境的长期影响。

图：聚变堆主循环原理示意图



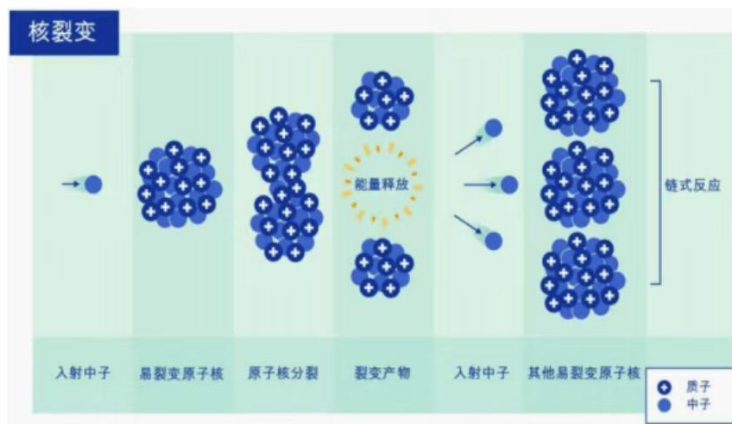
资料来源：王腾《我国磁约束核聚变能源的



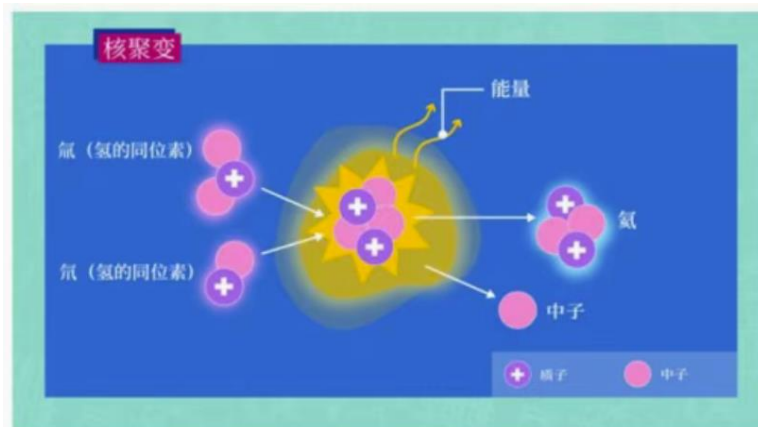
## 1.1 什么是可控核聚变？

- 现有核电站采用的是核裂变技术，在较重原子核分裂为较轻原子核过程中获得能量。而核聚变反其道行之，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。
- 核聚变又称热核反应，核聚变过程中，两个较轻的原子核通过碰撞结合产生一个更重的原子核，并在这个过程中损失一部分质量，以能量的形式释放出来。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。
- 氘(D)-氚(T)反应是核聚变堆设计采用的主要方式。核聚变的原料是氢(氕(H)、氘(D)、氚(T))，聚变反应的产物主要是氦(He)、铍(Be)和能量。D-T反应速率高并且反应截面较大，同时它所需的原料D容易获取，另一原料T虽然自然界中存在甚少，但可以通过中子轰击锂6得到，因此D-T反应是几种聚变反应中最具有科学可行性的反应，也是目前聚变堆设计的主要方向。

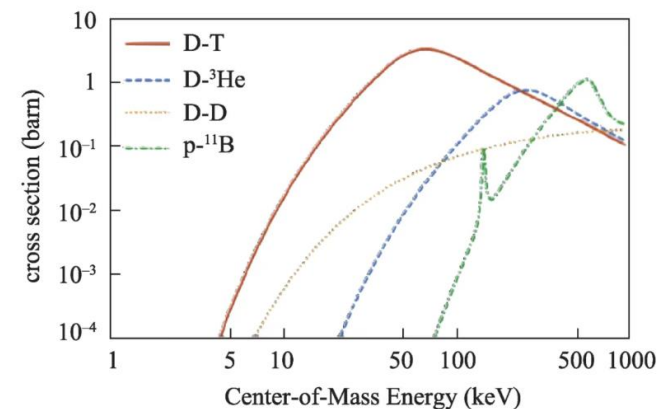
图：核裂变示意图



图：核聚变示意图



图：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

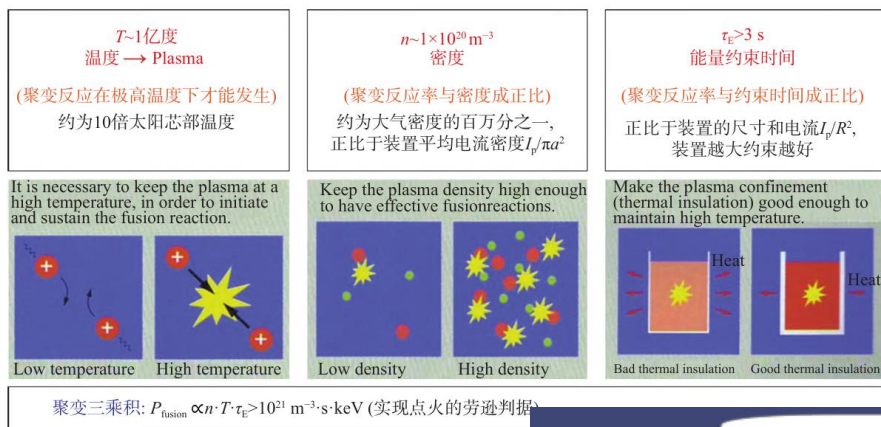


## 1.1 什么是可控核聚变？

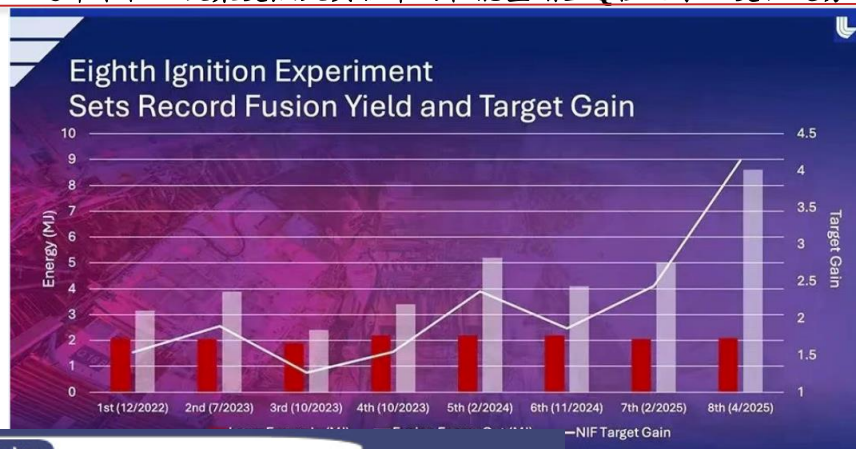
- 核聚变反应中有两个关键参数：聚变三乘积（即劳逊判据）以及聚变增益因子（即Q值）
- 满足劳逊条件才可实现点火。劳逊判据的核心是单位时间内聚变反应释放的能量必须大于系统损失的能量。具体来说，等离子体密度、能量约束时间和温度的乘积必须大于某个特定值，才能产生有效的聚变功率，从而实现核聚变反应的持续进行，这三者的乘积被称为“劳逊判据”。当满足劳逊判据时，意味着达到了核聚变的点火条件，即聚变反应可以自持地进行，无需再从外界输入能量。
- 提升Q值是促进可控核聚变商业化的关键。Q值即聚变能量增益因子，定义为聚变反应产生的输出功率与外界输入装置的功率之比。
  - $Q=1$ ：输出能量与输入能量达到平衡。
  - $Q \geq 5$ ：由于能量输入和输出过程会有能量损耗，为了保证反应时长，需要更高Q值（至少达到 $Q=5$ ）才可能在不需要外部加热的条件下实现自我维持，达到真正的点火条件。
  - $Q \geq 10$ ：如果再考虑到反应堆的建设和运营等成本，则Q值至少等于10达到经济平衡。
  - $Q > 30$ ：核聚变发电站有望实现商业化。

2022年12月，劳伦斯利弗莫尔国家实验室（LLNL）的国家点火装置（NIF）首次实现了“净能量增益”，即聚变输出的能量超过输入能量；2025年4月7日，美国国家点火装置（NIF）实现第八次聚变点火，产生聚变能量8.6 MJ，靶能量增益因子Q值达到4.13，是全球首次实现靶Q值超过4倍的可控核聚变反应。

图：获得核聚变反应的三要素

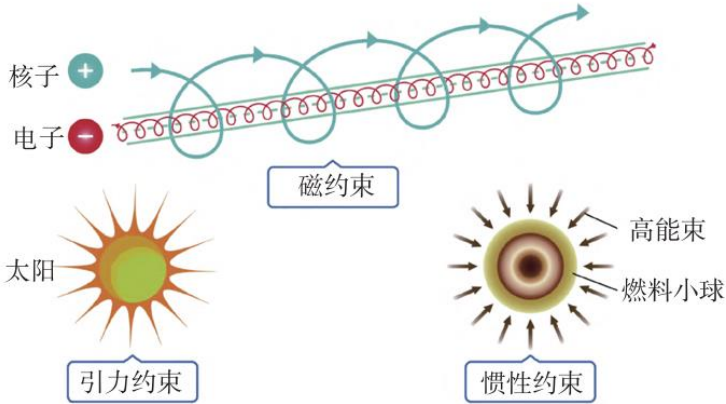


图：NIF近年来在八次聚变点火实验中的靶能量增益Q值记录及变化趋势



➤ **磁约束是目前实现聚变能开发的最有效途径。**核聚变反应对于温度的要求非常高，通常要达到上亿摄氏度。在如此高的温度下，气体分子将被完全电离，此时物质以高温等离子体（完全电离的气体）形态存在。为了持续输出反应能量，对于聚变等离子体的有效约束是关键。通常对于此类高温等离子体的约束方式有3种，即引力约束、惯性约束，以及磁约束。在3种约束方式中，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。

表：聚变约束的三种途径

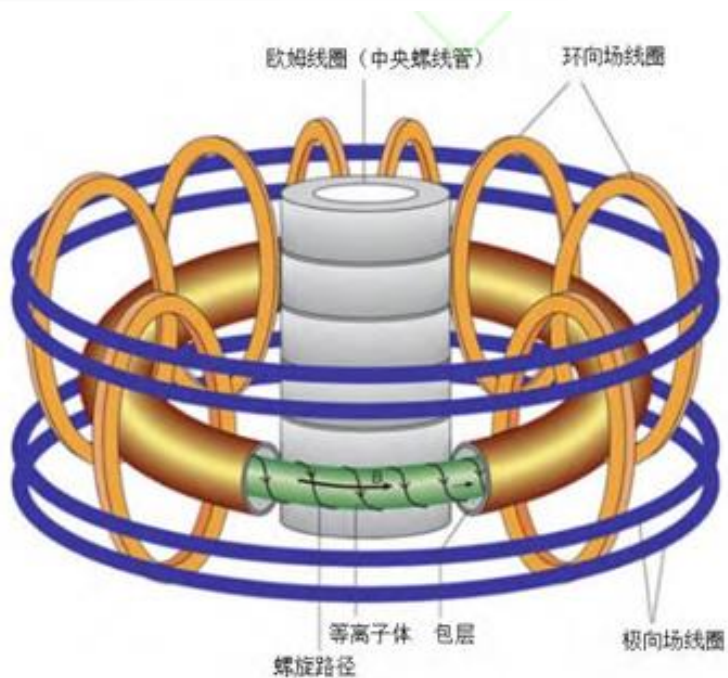
|     | 引力约束                                                                                     | 惯性约束                                                                                  | 磁约束                                                                                                                 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 原理  | 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。 | 以多束极高精度的激光从四面八方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 and 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。 | 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。 |
| 示意图 |       |                                                                                       |                                                                                                                     |

资料来源：王腾《超导磁体技术与磁约束核聚变》、《核聚变》



- **托卡马克是未来最有可能实现可控核聚变的聚变装置。**磁约束核聚变装置主要有托卡马克、仿星器等。托卡马克在 1958 年由前苏联科学家发明，主要由环形真空室、产生磁场的磁体和其他辅助设施组成。托卡马克的优点在于：①结构简单、造价低，只需要真空室和磁体，磁体中线圈的结构是规则的，造价便宜且生产周期更短，装置迭代也更快。②加热成本低，可以直接依靠磁体进行加热。因此，托卡马克是目前全球各国投入最大、最接近可控核聚变条件、技术发展最成熟的途径，约占全球核聚变装置的50%。

图：托卡马克装置图



资料来源：张家龙等《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》，华西证券研究所

图：仿星器中线圈配置



资料来源：张家龙等《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》，华西证券研究所

- 高温超导托卡马克装置具备建造成本较低、建设时间较短的优势，其技术应用加速了可控核聚变商业化发展。托卡马克装置的性能很大程度上取决于约束磁场的强度。传统技术路线依赖于增大装置尺寸以获得高能量增益，高温超导磁体技术提供了新的可能性。
- 据北京大学校园报，美国麻省理工学院与美国联邦聚变系统公司（CFS）提出了将高温超导磁体应用于托卡马克装置的新方案，使得在仅有ITER装置四十分之一体积和建造成本的前提下，有望实现与ITER相当的聚变功率输出。
  - 据上海证券报，低温超导托卡马克以国际热核实验堆计划（ITER）为代表，直径28米，最高磁场强度12-13T，建造成本达250亿欧元，建设时间20-30年；以洪荒170和SPARC为代表的高温超导托卡马克，直径7米-8米，最高磁场强度23T，建造成本5亿-10亿美元，建设时间3-4年。

高温超导材料的突破性应用与 AI 技术在等离子体控制领域的深度融合，提高了装置的磁场强度与等离子体约束能力，促成了装置尺寸的显著缩小（装置尺寸与磁场强度的四次方成反比），进而大幅降低了单个装置的制造成本与建设周期，紧凑型托卡马克应运而生，商业化核聚变公司加速兴起。

表：高温超导材料和低温超导材料特性对比

| 项目      | 低温超导材料                                                          | 高温超导材料                                                           |
|---------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 所涉材料    | NbTi/Nb3Sn等                                                     | BSCCO/REBCO等                                                     |
| 磁场强度    | 0-15T                                                           | 0-30T 以上                                                         |
| 磁体体积及重量 | 磁体体积及重量较大                                                       | 磁体体积及重量较小                                                        |
| 成本      | 需要在液氦环境（4.2K，即-269℃）下工作。由于氦气是一种稀有资源，我国氦气资源贫乏，目前主要依赖进口，因此使用成本较高。 | 可在液氮环境（77K，即-196℃）下工作，而液氮资源丰富，制备 技术成熟，价格远低于液氦，在制冷成本及制冷能耗上具有明显优势。 |
| 主要应用领域  | 磁共振成像、核磁共振波谱分析、可控 核聚变、超导磁控单晶炉等。                                 | 可控核聚变、超导电力、超导磁控单晶炉、超导感应加热装置等。                                    |

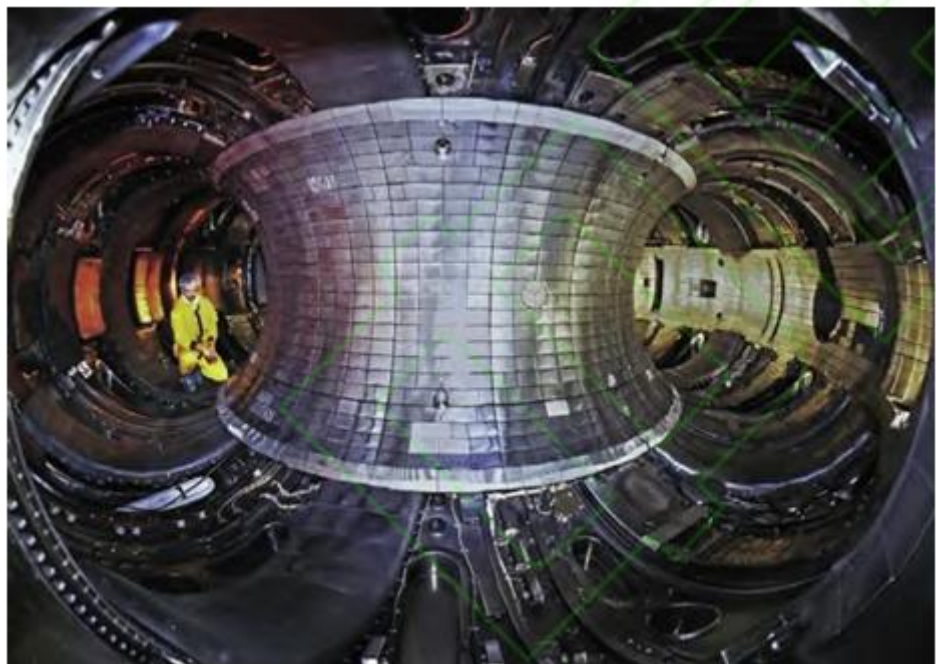
资料来源：上海超导科创板首次公开发行股票招股说明书（申报稿），华西证券研究所



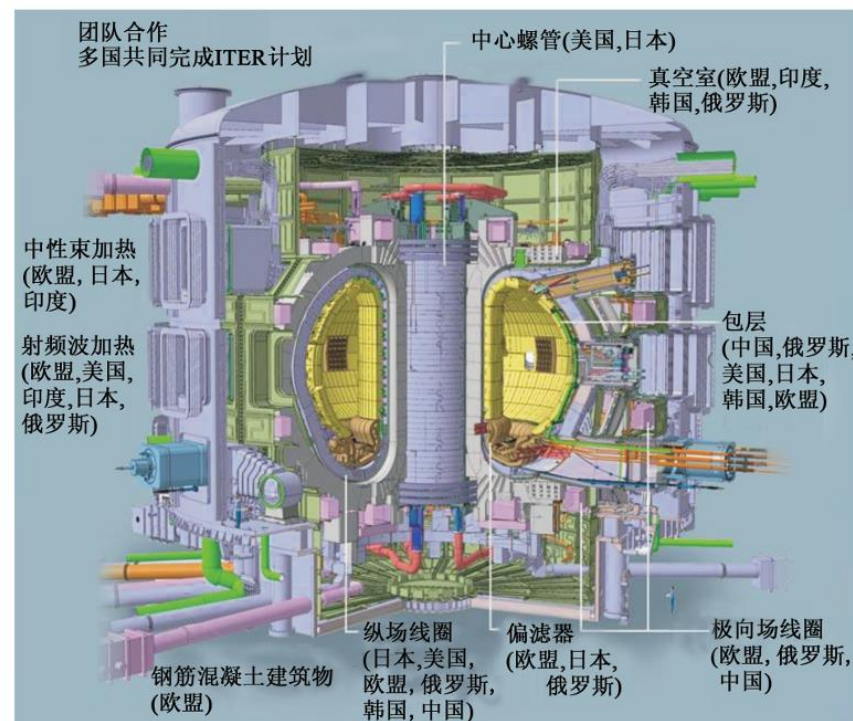
## 1.3 可控核聚变的进展如何？

- **多国积极推动托卡马克装置相关技术发展。**托卡马克装置方案由苏联库尔恰托夫研究所的科学家阿齐莫维齐及其团队于20世纪50年代提出。自20世纪90年代起，在磁约束核聚变领域，美国的TFTR、欧盟的JET、日本的JT-60U三大托卡马克均取得里程碑式的研究进展。1984年，我国磁约束核聚变领域首个大科学装置——中国环流器一号（HL-1）托卡马克建成。“国际热核聚变实验堆（ITER）计划”七方30多个国家在法国南部共同建造一个世界上最大的托卡马克型核聚变实验堆，以验证磁约束核聚变能利用的科学与工程技术可行性，将实现400s时间聚变功率增益大于10，在3000s的时间聚变功率增益大于5的可控核聚变。

图：TFTR装置内部结构示意图



图：ITER装置剖面图



资料来源：张家龙等《磁约束可控核聚变装置的磁体系统综述》，华西证券研究所

资料来源：潘垣等《国际热核实验反应堆计划及其对中国核能发展战略的影响》，华西证券研究所

➤ **海外多国加大聚变能源布局。**2025年2月，美国Helion Energy计划在建造世界首座核聚变发电厂，预计在2028年开始为微软数据中心发电。 2025年6月，谷歌母公司Alphabet与联邦聚变系统公司（CFS）签署了200兆瓦核聚变电力采购协议。同时，英国、德国、俄罗斯等积极推动聚变电站布局，多个项目预计在2030年代投运。

表：部分国家核能布局情况

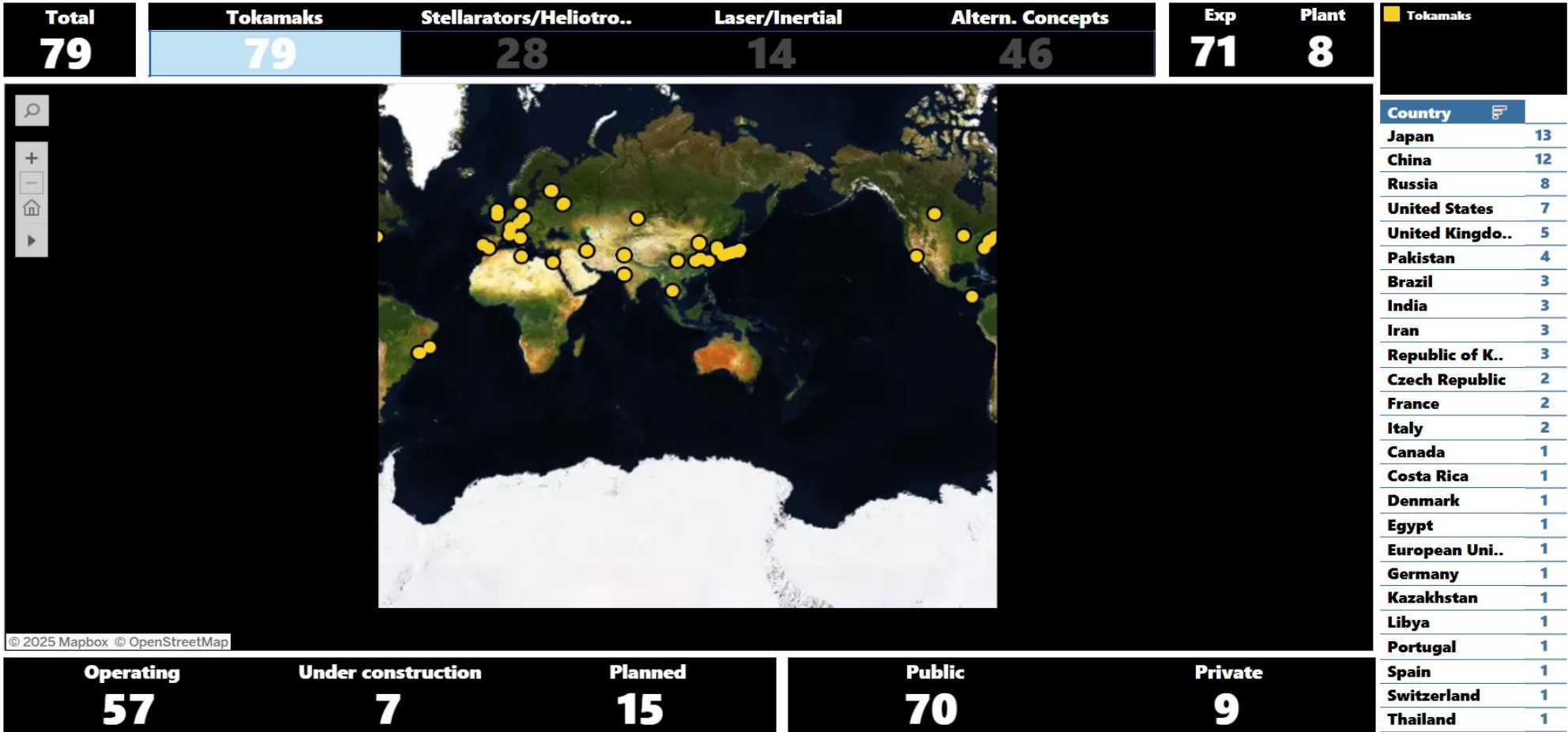
|     | 核能相关政策                                                                                                                                                                                                                                                               | 聚变能源布局                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 美国  | <ul style="list-style-type: none"><li>2025年1月16日，美国能源部（DOE）为核聚变创新研究引擎（FIRE）合作组织提供1.07亿美元，并与“里程碑计划”8家企业达成协议撬动了超过3.5亿美元的私营投资，支持进一步创建聚变能创新生态系统。</li><li>2025年5月23日，美国总统特朗普签署行政令，鼓励在民用领域使用核能；特朗普计划通过加快反应堆的建设速度，实现未来25年内将美国核能产量翻两番的目标，即从目前的100GW提升至2050年的400GW。</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>美国华盛顿核聚变商业公司Helion Energy计划在华盛顿马拉加建造世界首座核聚变发电厂，该发电厂容量为50MW，预计在2028年开始为微软数据中心发电。</li><li>美国核聚变能源初创企业CFS计划在弗吉尼亚州建造世界上第一座电网规模的核聚变发电厂，预计2030年代初投入运营。</li><li>美国聚变能源开发商Type One Energy表示已成功完成对其采用仿星器技术的350MWe聚变试验发电厂Infinity Two的首次正式设计审查，最早可在2030年代中期为该地区提供补充性基载电力。</li></ul> |
| 英国  | <ul style="list-style-type: none"><li>2025年6月10日，英国财政部与能源安全与净零排放部集中宣布了一大批投资计划，其中包括了将在未来五年内向核聚变领域投资25亿英镑，用以推进原型电厂——STEP计划。</li></ul>                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"><li>2023年初，英国原子能管理局启动新的惯性聚变研究装置，目标是本世纪30年代中期实现激光聚变商用示范。</li><li>英国Tokamak Energy正建造新一代高场球形托卡马克ST80-HTS（2026年建成）；并计划2030年代早期建成ST-E1聚变电厂，净发电功率目标约150-200MW。</li></ul>                                                                                                           |
| 德国  | <ul style="list-style-type: none"><li>德国自2023年9月起，计划未来五年通过“聚变2040计划”增加投入3.7亿欧元（到2028年投入总额达到10亿欧元），同步推进磁约束和激光约束聚变技术路线开发。</li></ul>                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>德国Proxima Fusion公司正在推进示范装置Alpha的研发计划，预计2030年代目标实现商业化聚变电站并网发电。</li></ul>                                                                                                                                                                                                   |
| 俄罗斯 | <ul style="list-style-type: none"><li>俄政府设定的目标是到2042年投运38台核电机组，新增总装机容量29.3GW。计划投运的38台机组中，有10台为小型堆(SMR)机组，其中4台部署于Baimsky小型堆工厂，将为金矿服务。随着新核电装机容量的加入，到2042年，预计核电在俄电力结构中的占比将从18.9%上升至24%。</li></ul>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>2025年2月，俄罗斯联邦政府会议审议通过了由联邦环境、工业与核监督局（Rostekhnadzor）提交的《关于修改〈原子能利用法〉第3条》的联邦法律草案。该法案旨在构建聚变反应堆及装置的安全监管体系，标志着俄罗斯在聚变能研究领域迈出重要一步。</li></ul>                                                                                                                                      |



### 1.3 可控核聚变的进展如何？

➤ **全球托卡马克装置布局高达79个。**根据2025年7月24日IAEA网站统计数据显示，目前全球共有25个国家或机构正在开展托卡马克规划、建设和运行，涉及的装置数量高达79个，其中57个装置处于运行状态，7个装置处于建设中，另有15个装置处于规划建设阶段。

图：全球托卡马克装置运行、建设、规划分布情况



资料来源：IAEA，华西证券研究所

## 2 中国深度参与ITER计划，聚变能快速发展

➤ 国际热核聚变实验堆（ITER）计划是当今世界最大的大科学工程国际科技合作计划之一。“国际热核聚变实验堆（ITER）计划”，最早于1985年日内瓦峰会上，由美、苏、法三国领导人共同倡议提出，并于1988年由美、苏、欧、日共同启动其概念设计。中国于2003年初参加ITER计划，6月韩国加入，中、欧、日、韩、俄、美六方于2005年6月共同签署了《ITER场址联合宣言》，并将实验堆建设场址确定于法国卡达拉舍，同年底印度加入ITER计划谈判。2007年10月24日，ITER国际聚变能组织（简称ITER组织）正式成立。据ITER官网，该项目将于2034年开始试运行。

表：ITER项目时间表

| 时间        | 具体进展                             |
|-----------|----------------------------------|
| 2005      | 项目决定设在法国                         |
| 2006      | 签署ITER协议                         |
| 2007      | ITER组织正式成立                       |
| 2007-2009 | 土地清理和平整                          |
| 2008      | 开始制造组件                           |
| 2010-2014 | 托卡马克综合设施的地面支撑结构和抗震基础             |
| 2012      | 核许可里程碑：ITER 成为法国法律下的基础核设施        |
| 2010-2024 | ITER 工厂及辅助建筑物建设（热室设施除外）          |
| 2020      | 开始机器组装                           |
| 2023      | 托卡马克综合设施土建工程竣工                   |
| 2024      | ITER 理事会审查了更新后的 ITER 提案；总体方案已获批准 |
| 2033      | 低温恒温器关闭                          |
| 2033-2034 | 综合调试                             |
| 2034      | 开始试运行                            |
| 2039      | 氦氖反应开始运行                         |

- **ITER计划的目标：**要建造一个可持续燃烧的托卡马克聚变实验堆，以验证聚变反应堆的工程可行性，聚变输出功率可达1500兆瓦。
- **ITER的科学目标：**实现并验证在400s的时间内能量增益大于10，在3000s的时间内能量增益大于5，聚变功率输出500MW。

表：ITER主要参数

| 部件                  | 主要关键参数          | 数值      |
|---------------------|-----------------|---------|
| 托卡马克（TOKAMAK）       | 重量              | 2.3万吨   |
|                     | 等离子温度           | 1.5亿℃   |
|                     | 聚变功率            | 500MW   |
| 电磁体（magnet）         | 超导磁体重量          | 1万吨     |
|                     | 存储的磁能总量         | 51GJ    |
|                     | 磁体温度            | -269℃   |
|                     | 铌锡（Nb3Sn）合金超导导线 | 10万公里   |
| 真空容器（Vacuum Vessel） | 钢制等离子室重量        | 8000吨   |
|                     | 可容纳等离子体积        | 840m³   |
| 包层（Blanket）         | 屏蔽包层模块数量        | 440块    |
|                     | 最大热负荷           | 736MW   |
| 偏滤器（Divertor）       | 盒式组件数量          | 54个     |
|                     | 所承受的最高热通量       | 20MW/m² |
| 杜瓦（cryostat）        | 不锈钢重量           | 3800吨   |
|                     | 体积              | 16000m³ |

资料来源：ITER官网，华西证券研究所



➤ 中国深度参与ITER核心设备研发，为我国自主发展聚变能源奠定基础。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，主要包括：磁体超导体与校正场线圈、超导接头、电源系统、第一壁和屏蔽包层、重力支撑构件、气体加料系统、辉光放电清洗系统以及X射线相机、中子注量监测器和偏滤器朗缪尔探针为代表的先进诊断系统等项目。这些项目涵盖了 ITER 制造中核心的超导磁体技术、中子屏蔽技术、交直流变流器 and 高压设备技术等。通过参与ITER计划，我国取得了一批国际领先水平的科研成果，为自主发展聚变能源奠定了深厚的基础。

表：ITER项目中中国承担的情况

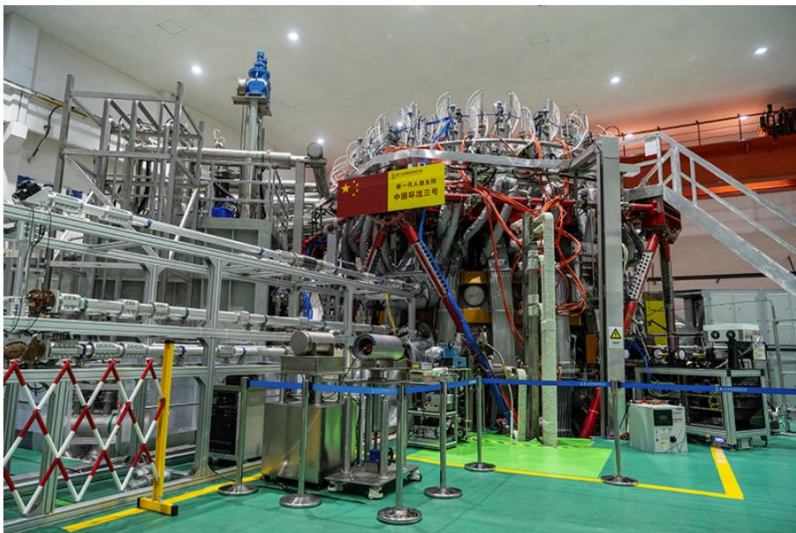
| 设备名称           | 具体情况                                                                       | 中国承担部分 |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| 磁体支撑           | 主要用于支撑和固定该磁体系统，需要承受严苛的交变电磁力和热应力，是反应堆的关键结构部件，也是整个ITER系统中最先引进入厂房和整体安装的基础性部件。 | 100%   |
| 校正场超导磁体系统      | 主要用来补偿线圈制造、接头、引线及装配误差造成的纵场和极向场线圈绕组位形偏离所带来的磁场误差。                            | 100%   |
| 环向场线圈导体        | 负责产生环线磁场                                                                   | 7.51%  |
| 极向场线圈导体        | 在等离子体的产生、上升、成形和平顶各个阶段提供欧姆加热和控制等离子体位形                                       | 65%    |
| 校正场线圈导体和磁体馈线导体 | 为CC线圈和馈线系统的制造提供Cu 哑导体和 Nb-Ti基超导体                                           | 100%   |
| 磁体馈线系统         | 向ITER超导磁体提供电力与冷却供应及信号测量                                                    | 100%   |
| 包层第一壁          | 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                                        | 约10%   |
| 包层屏蔽模块         | 主要起屏蔽中子的作用                                                                 | 50%    |
| 极向场线圈交直流变流器电源  | 为磁体线圈供电                                                                    | 约64%   |
| 高压脉冲变电站        | 主要为托卡马克装置运行中等离子体的产生、维持和加热提供能源；以及与高压电网间的能量传输、功率转换和电磁兼容等                     | 100%   |

资料来源：中国际核聚变能源计划执行中心官网、华西证券研究所

► 我国核聚变研究机构主要是核工业西南物理研究院和中国科学院等离子体物理研究所：

- 核工业西南物理研究院（以下简称“西物院”），现隶属于中国核工业集团有限公司，其前身可追溯至1958年成立的黑龙江省原子核物理研究所。西物院是我国最早致力于可控核聚变和等离子体物理研究的专业科研院所，是核能“三步走”发展战略（热堆-快堆-聚变堆）中聚变堆研发的核心单位。西物院将磁约束可控核聚变作为主要方向，其最具代表性的是建成了以“中国环流器”系列为代表的三代磁约束聚变平台（HL-1、HL1M、HL-2A、HL-2M/HL-3）。
- 中国科学院等离子体物理研究所（以下简称“等离子体所”），成立于1978年9月，现隶属于中国科学院合肥物质科学研究院。等离子体所主要从事高温等离子体物理、磁约束核聚变工程技术及相关高技术研究。等离子体所先后已建成HT-6B、HT-6M、HT-7、EAST四个托卡马克装置，除此之外，等离子体所还参与建设了南昌大学球形托卡马克装置（NCST）、紧凑型聚变实验装置（BEST）和聚变堆主机关键系统综合研究设施（CRAFT）。

图：环流三号（HL-3）



资料来源：新华社，华西证券研究所

图：EAST（东方超环）



资料来源：中国新闻网，华西证券研究所



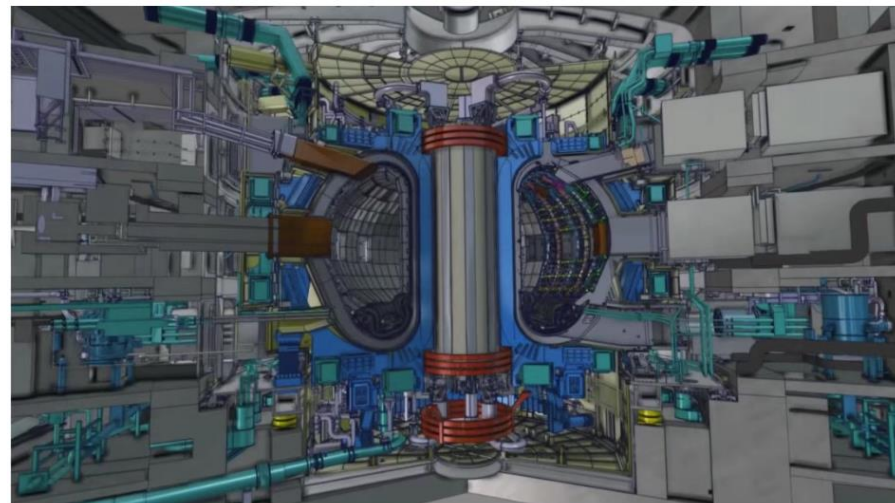
- **EAST（东方超环）是中国核聚变技术保持国际领先的标签。** EAST项目于1998年批准立项，2000年10月开工建设。2006年3月完成建造，并于2006年9月获得初始等离子体。同国际上其他托卡马克装置相比，其独有的非圆截面、全超导及主动冷却内部结构三大特性使其更有利于实现稳态长脉冲高参数运行。2025年1月20日，EAST装置成功实现了上亿度1066秒稳态长脉冲高约束模等离子体运行，再次创造了托卡马克装置高约束模运行新的世界纪录。亿度千秒量级稳态高约束模的实现充分验证了聚变堆高约束模稳态运行的可行性，对聚变堆的建设和运行具有重大的意义。
- **BEST项目有望成为世界首个开展氦氦稳态燃烧的实验装置。** 2025年5月1日，合肥BEST（紧凑型聚变能实验装置）项目启动了工程总装，比预计时间提前2个月，项目将于2027年完工，有望成为世界首个开展氦氦稳态燃烧的实验装置。根据每经头条公众号，EAST是一个等离子体物理实验装置，核心是围绕劳逊判据展开研究；BEST项目的核心是要进行氦氦反应，即实现 $Q>1$ （ $Q$ =聚变输出能量/输入能量）的稳定功率输出。

图：合肥科学岛BEST工程总装现场



资料来源：每经头条，华西证券研究所

图：BEST装置截面图



资料来源：每经头条，华西证券研究所

➤ **中科院等离子体物理研究所项目招标加速。**据中国科学院等离子体物理研究所官网的招中标已披露信息统计，今年3月以来项目招中标明显加速。

表：中国科学院等离子体物理研究所近期招中标情况

| 招标日期      | 项目名称                        | 中标方              | 中标金额（万元） |
|-----------|-----------------------------|------------------|----------|
| 2025/3/3  | 聚变点火装置氦同位素滞留特性测试和分析二次招标公告   | 中国科学技术大学         | 300      |
| 2025/3/12 | 中压高纯氮气纯化器招标公告               | 安徽万瑞冷电科技有限公司     | 359      |
| 2025/3/14 | TF磁体测试杜瓦及其附属部件招标公告          | 合肥聚能电物理高技术开发有限公司 | 975      |
| 2025/3/14 | 电子束焊接平台招标公告                 | 中国航空制造技术研究院      | 950      |
| 2025/3/14 | 120kv离子源引出系统电极项目招标公告        | 中国科学院金属研究所       | 59       |
| 2025/3/14 | EAST-NBI离子源加速器电极项目招标公告      | 中国科学院金属研究所       | 74       |
| 2025/3/14 | EAST-NBI离子源等离子体电极项目招标公告     | 中国科学院金属研究所       | 90       |
| 2025/3/17 | 卧式真空绝热冷箱容器及组件招标公告           | 无锡特莱姆气体设备有限公司    | 489      |
| 2025/3/18 | 高温球床原位加载实验系统项目招标公告          |                  |          |
| 2025/3/20 | PF6线圈VPI生产平台招标公告            | 安徽电气集团股份有限公司     | 223      |
| 2025/3/21 | BEST CS LTS线圈匝间绝缘自动包绕设备招标公告 |                  |          |
| 2025/3/25 | 软X射线前端电子学系统项目招标公告（二次）       | 上海源中信息科技有限公司     | 42       |
| 2025/3/25 | BEST CS线圈绕制生产线招标公告          | 合肥曦合超导科技有限公司     | 496      |
| 2025/3/26 | CRAFT磁体平台低温换热器及双金属接头招标公告    | 无锡众博深冷工程有限公司     | 417      |
| 2025/3/26 | 低温综合测试平台压缩机组及除油系统招标公告       | 格瑞拓动力股份有限公司      | 1319     |
| 2025/3/28 | CRAFT低温综合测试平台及透平测试冷箱招标公告    | 河南中科清能科技有限公司     | 3180     |
| 2025/3/28 | CRAFT背场磁体电源成套爆炸开关招标公告       | 合肥聚能电物理高技术开发有限公司 | 95       |
| 2025/3/28 | 可见/红外相机诊断系统光路研制招标公告         |                  |          |
| 2025/3/28 | TF线圈低温测试支撑结构招标公告            | 昆山市三维换热器有限公司     | 298      |
| 2025/3/31 | 电源测试平台控制系统招标公告              | 河北鹰眼智能科技有限公司     | 542      |
| 合计        |                             |                  | 9909     |

资料来源：中国科学院等离子体物理研究所



表：中国科学院等离子体物理研究所近期招中标情况（续表）

| 招标日期      | 项目名称                            | 中标方                 | 中标金额（万元） |
|-----------|---------------------------------|---------------------|----------|
| 2025/4/3  | 上偏滤器靶板单元招标公告                    | 安泰科技股份有限公司-01包      | 3000     |
|           |                                 | 淮南新能源研究中心（牵头）-02包   | 516      |
|           |                                 | 南京富地珑机械科技有限公司-03包   | 178      |
| 2025/4/9  | 液态包层锂铅流动传热实验系统招标公告              | 合肥通用机械研究院有限公司       | 177      |
| 2025/4/9  | 水冷包层流动不稳定性实验段系统招标公告             | 中核武汉核电运行技术股份有限公司    | 168      |
| 2025/4/10 | 可见/红外相机诊断系统光路研制更正（延期）公告         |                     |          |
| 2025/4/10 | 高压应急功率变换单元及配套设备招标公告             | 河南许继电力电子有限公司        | 125      |
| 2025/4/11 | 先进仿星器三维高温超导铜缆原型样机线圈研制招标公告       | 合肥曦合超导科技有限公司        | 274      |
| 2025/4/11 | 高温球床原位加载实验系统项目招标公告（二次）          | 华控（苏州）智能装备有限公司      | 45       |
| 2025/4/15 | 高温超导3U下线圈用子缆制造招标公告              | 超导中心合肥国际应用          | 3390     |
| 2025/4/16 | 不锈钢托盘制造招标公告                     | 航天晨光股份有限公司-01包      | 99       |
|           |                                 | 合肥科烨电物理设备制造有限公司-02包 | 141      |
| 2025/4/16 | 高温超导电缆招标公告                      | 合肥国际应用超导中心          | 464      |
| 2025/4/18 | 迫流冷却储能磁体双回路低温制冷系统招标公告           | 成都新连通低温设备有限公司       | 200      |
| 2025/4/18 | PF磁体终端箱&磁体支撑夹具&接头夹具用不锈钢零部件招标公告  | 安徽电气集团股份有限公司        | 1207     |
| 2025/4/18 | PF1~PF7终端箱&支撑夹具&接头夹具用不锈钢紧固件招标公告 | 合肥速宸工程科技有限公司        | 409      |
| 2025/4/18 | 诊断屏蔽模块盖板焊接招标公告                  |                     |          |
| 2025/4/28 | BEST CS LTS线圈匝间绝缘自动包绕设备二次招标公告   | 安徽电气集团股份有限公司        | 427      |
| 2025/4/28 | 不锈钢铠甲招标公告                       | 浙江久立特材科技股份有限公司-01包  | 5817     |
|           |                                 | 邯郸新兴特种管材有限公司-02包    | 858      |
| 2025/4/30 | CC磁体测试平台终端阀箱系统及传输线招标公告          | 安徽万瑞冷电科技有限公司        | 249      |
| 合计        |                                 |                     | 17742    |

资料来源：中国科学院等离子体物理研究所官网，华西证券研究所

表：中国科学院等离子体物理研究所近期招中标情况（续表）

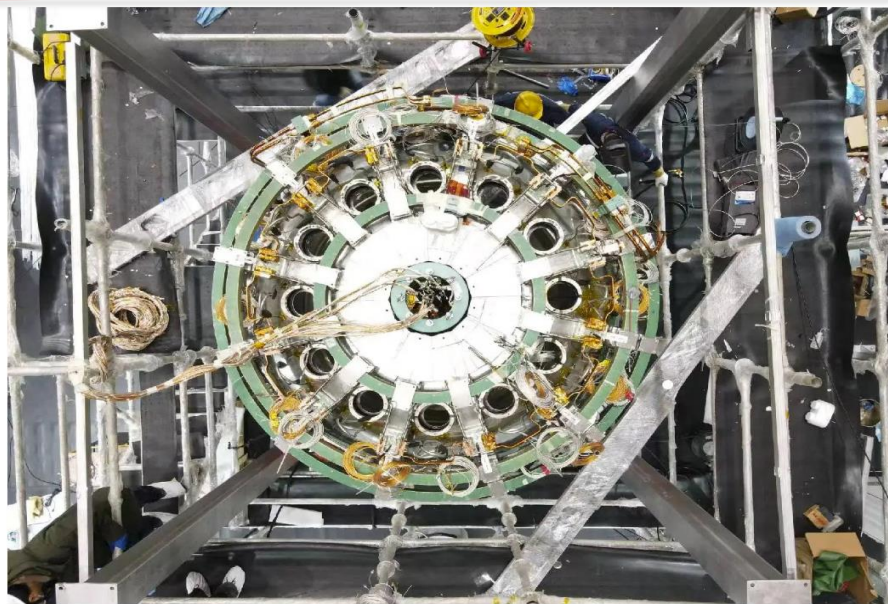
| 招标日期      | 项目名称                             | 中标方              | 中标金额（万元） |
|-----------|----------------------------------|------------------|----------|
| 2025/5/9  | 背场磁体变流器招标公告                      |                  |          |
| 2025/5/9  | 太赫兹固态频率源招标公告                     | 成都太瑞科技有限公司       | 119      |
| 2025/5/12 | PF2线圈绕制及接头制造招标公告                 | 合肥科烨电物理设备制造有限公司  | 560      |
| 2025/5/12 | BEST CS磁体LTS Module实验线圈制造招标公告    | 合肥国际应用超导中心-01包   | 696      |
|           |                                  | 安徽电气集团股份有限公司-02包 | 410      |
| 2025/5/13 | 诊断系统万级洁净室招标公告                    | /                | /        |
| 2025/5/14 | 新增磁体测试传输线招标公告                    | /                | /        |
| 2025/5/15 | PF磁体终端箱&磁体支撑夹具&接头夹具用不锈钢零部件二次招标公告 | /                | /        |
| 2025/5/16 | 离子源绝缘支撑法兰项目招标公告                  | /                | /        |
| 2025/5/16 | 诊断屏蔽模块盖板焊接二次招标公告                 | /                | /        |
| 2025/5/19 | 太赫兹气体激光器三次招标公告                   | /                | /        |
| 2025/5/20 | A-B, I-J扇段真空室内外电磁测量系统制造招标公告      | /                | /        |
| 2025/5/22 | 高压引弧及电磁集成电源系统招标公告                | /                | /        |
| 2025/5/28 | A-B, I-J扇段真空室内外电磁测量系统制造更正（延期）公告  | /                | /        |
| 2025/5/29 | 新增磁体测试传输线更正（延期）公告                | /                | /        |
| 2025/5/29 | A-B, I-J 扇段真空室内外光纤电流传感器制造及安装招标公告 | /                | /        |
| 2025/5/30 | 高压开关柜项目招标公告                      | /                | /        |
| 2025/5/30 | 超导线圈测试电连接系统加工及安装调试招标公告           | /                | /        |
| 2025/5/30 | 装置内部部件改造B窗口限制器招标公告               | /                | /        |
| 2025/5/30 | 装置内部部件改造内部件拆除及安装招标公告             | /                | /        |
| 2025/5/30 | 装置内部部件改造偏滤器模块组装、安装及测试招标公告        | /                | /        |
| 2025/5/30 | EAST内部部件维护改造招标公告                 | /                | /        |
| 2025/6/3  | 背场磁体变流器二次招标公告                    | /                | /        |
| 2025/6/3  | 装置内部部件改造第一壁瓦片招标公告                | /                | /        |
| 2025/6/3  | 导体成型设备项目招标公告                     | /                | /        |
| 2025/6/5  | 装置内部部件改造第一壁热沉招标公告                | /                | /        |

资料来源：中国科学院等离子体物理研究所官网、华西证券研究所

➤ 目前我国商业化核聚变公司主要包括能量奇点、星环聚能等。

- **能量奇点**：公司采用的是高温超导托卡马克技术路线，按照“三步走”战略推进聚变布局：①建设“洪荒70”装置。该装置于2024年成功点亮等离子体，标志着全球首台全高温超导托卡马克装置的工程可行性得到验证；②计划在2027年建成“洪荒170”装置，目标是实现氘氘等效能量增益大于10；③在2030年至2035年间，与核电业主合作，研发建设“洪荒380”高温超导聚变发电工程实验堆，实现示范性聚变发电。
- **星环聚能**：公司核心研发团队由清华大学工程物理系的专家组成，该团队在磁约束可控核聚变领域已有超过20年的研究积累，运行了国内首个球形托卡马克SUNIST，放电次数超过10万次。在高温超导磁体方面，公司成功研制了18特斯拉高场D形高温超导磁体原理样机和SH-150亥姆霍兹高温超导磁体开发测试平台。公司计划在2027年底或2028年初开始建设商业示范堆，并预计在2030年左右实现可输出电能的聚变反应堆。

图：洪荒“70”示意图



图：SUNIST-2示意图



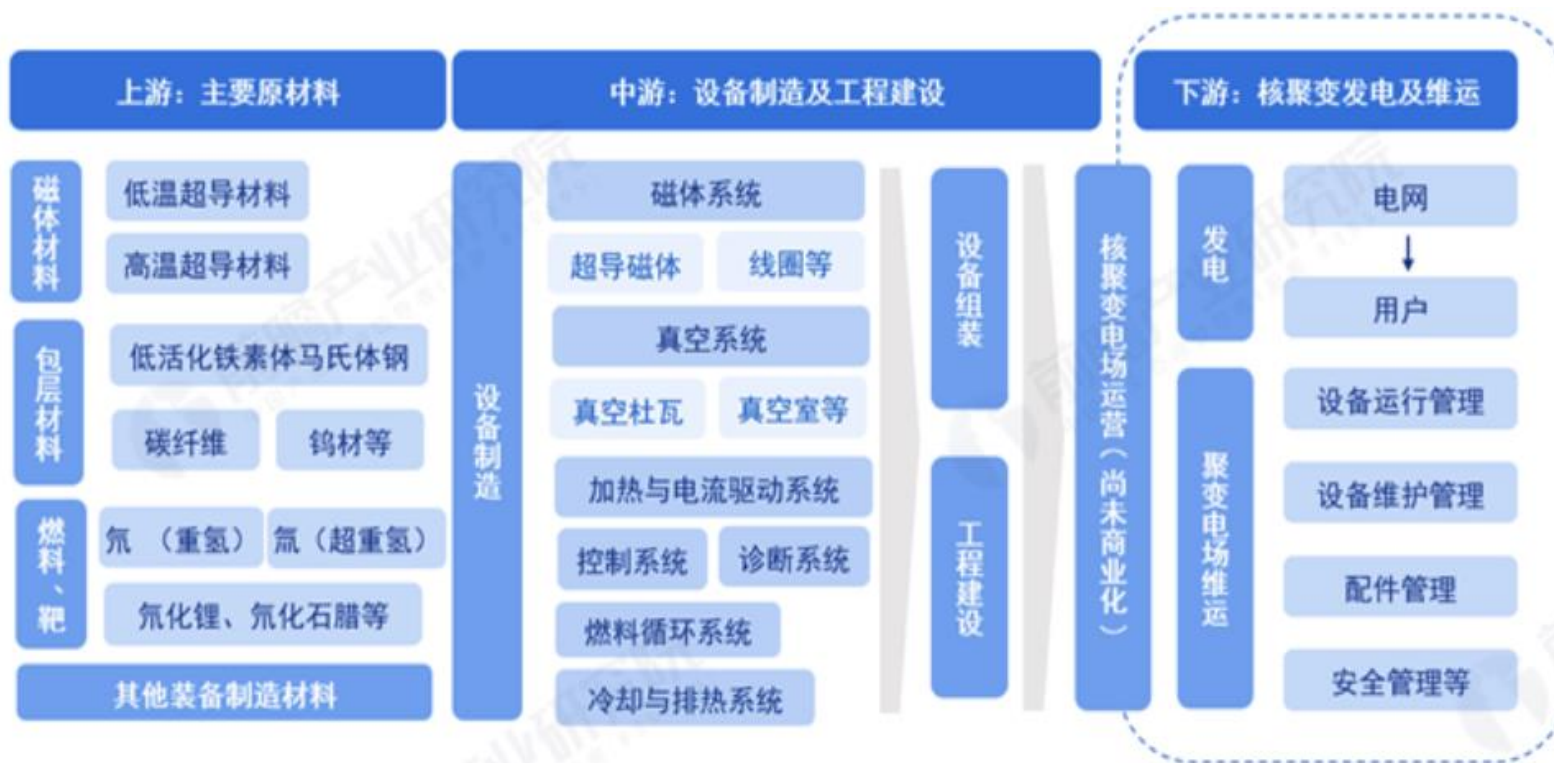


### 3 国内企业积极布局聚变产业



- 可控核聚变产业链的上游主要为各类原材料，包括超导磁体材料、金属钨、钼等稀有金属、特种钢材、氘和氚等燃料等。中游主要为各类设备以及反应堆工程建设，以最常见的托卡马克核聚变实验装置为例，相关设备包括磁体系统、真空系统(包括偏滤器、第一壁)、加热与电流驱动系统等核聚变主机设备以及压力容器、蒸汽发生器、汽轮机、各类泵阀等其他设备。下游主要为核电站运营，用于科研及发电。

图：可控核聚变产业链

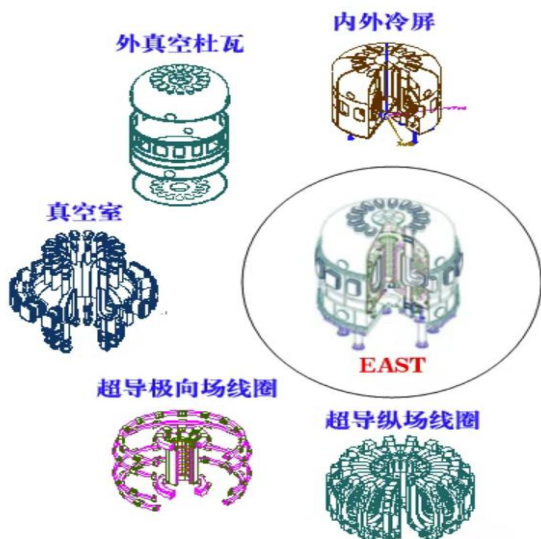


资料来源：前瞻产业研究院，华西证券研究所

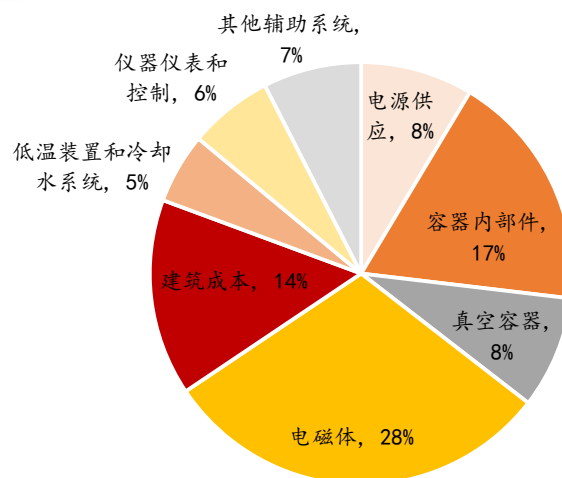
➤ 托卡马克组件主要包括磁体+三大件（真空室、冷屏、杜瓦）：

- **磁体**：磁体在托卡马克装置中起着至关重要的作用，其核心功能是通过产生强大的磁场来约束和控制高温等离子体，使其在装置内稳定运行，从而实现可控核聚变反应。在低温超导托卡马克装置中，以ITER项目为例，磁体系统成本占比约28%；在高温超导托卡马克装置中，据界面新闻，磁体系统成本占比约40-50%。
  - **三大件**：①**真空室**：是超高真空压力容器，为等离子体放电提供高质量的真空环境。②**冷屏**：内外冷屏系统是超导磁体主机的一个重要组件，主要作用是减少来自真空室和外真空杜瓦的辐射热以及支撑的传导热等各项热负荷。③**杜瓦**：外真空杜瓦主要为极向场、纵场真空室等部件提供真空环境，并隔断外部环境对这一个大部件所产生的热交换，同时它将承受装置大部件所施加的载荷。杜瓦是主机部分的最外层，它将内部其他组件密封在一个真空的环境之中。
- **以ITER实验堆为例，成本拆分如下**：电磁体、真空容器、容器内部件的成本占比分别为28%、8%、17%；电源供应、其他辅助系统、仪器仪表和控制、低温装置和冷却水系统、建筑成本的成本占比分别为8%、7%、6%、5%、14%。

图：EAST内部结构示意图



图：ITER项目成本拆分



➤ 基于ITER项目技术积累，国内聚变相关项目加快推进，国内企业积极加大聚变布局，部分企业已实现为国内外主要聚变项目配套供应。我们认为后续随着国内外主要聚变装置落地加速，技术领先&有供应核心部件/材料积累企业的获单能力强，有望率先受益。

表：部分上市公司聚变相关布局情况

| 上市公司 | 聚变相关布局                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 国光电气 | 据公司250516投资者关系活动记录表，公司为“ITER”装置偏滤器、第一壁等部件配套，已成功为“EAST”、“HL”系列等配套关键专用部件与设备，并正在积极跟“BEST “、“HL-3”、“Z箍缩混合堆”等国内重大核聚变项目与装置的部件配套与燃料相关系统搭建，目前进展较顺利。                                                                                                                                                                                         |
| 联创光电 | 据公司250520投资者关系活动记录表，子公司联创超导先后完成了REBCO集束缆线及高温超导磁体的设计，于2023年8月完成了国际首根百米级大电流高温超导缆线的研制，于2024年4月成功应用于D型超导线圈的研制，具备了为紧凑型聚变堆提供大口径高场磁体的能力，并于2025年1月完成国内首个基于高温超导缆线的D型线圈20K温区低温实验。                                                                                                                                                             |
| 合锻智能 | 据公司250603投资者关系活动记录表，公司聚焦聚变堆核心部件制造领域，自2021年开始参与聚变堆真空室制造工艺开发及预研工作，在聚变堆核心部件制造领域取得突破性进展；2024年，公司中标聚变新能（安徽）有限公司发包的BEST真空室项目#1-4段，总项目中标金额2.09亿。                                                                                                                                                                                           |
| 安泰科技 | 据公司250702投资者关系活动记录表，公司从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。2014年，公司提供了全部东方超环EAST钨铜偏滤器。2018年顺利交付中国聚变装置HL-2MCFC偏滤器原型件和EAST钨串型限制器。2020年向法国聚变装置—WEST提供全套钨铜偏滤器。2021年向EAST提供了全套的穿管型钨铜偏滤器。2024年成功中标CRAFT（夸父）偏滤器项目，是目前为止国内最大的钨铜平板部件。2022年向中国聚变工程堆提供CFETR用包层部件。2022年-2024年为中科院合肥等离子所连续多批次提供形状更复杂的钨串型限制器。2025年公司再次中标EAST上偏滤器改造合同。 |
| 东方电气 | 据科普中国公众号，2024年11月，由东方电气集团承制的ITER项目首批48件包层屏蔽模块发往法国。                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 海陆重工 | 据2024年年报，公司在民用核能领域积累了丰富的制造和管理经验，并完成多个项目的国际、国内首件（台）制造任务。服务堆型包括但不限于二代+堆型、三代堆型（华龙一号、国和一号、AP1000、VVER、EPR）、四代堆型（高温气冷堆、钠冷快堆、钍基熔盐堆）以及热核聚变堆（ITER）等。                                                                                                                                                                                        |
| 西部超导 | 据2024年年报，公司是 ITER 用低温超导线材在中国的唯一供应商，也是 SIEMENS 和GE 的合格供应商，生产的 MCZ 用磁体已实现批量供应。                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 永鼎股份 | 据2024年年报，公司在第二代高温超导带材上采用了国内独有的IBAD（离子束辅助沉积）+MOCVD（金属有机化合物化学气象沉积）的技术路线，研发出多种稀土替代和掺杂技术，所制备的超导材料磁通钉扎性能优异，在带材长度以及低温强磁场下性能方面达到了国内外领先水平。报告期内公司持续扩充产能，优化产线，升级技术，目前产品主要应用于超导感应加热、超导磁拉单晶、可控核聚变磁体、超导电力装备等领域。                                                                                                                                  |
| 爱科赛博 | 据250522投资者关系活动记录表，公司前期曾参与过EAST全超导磁体托卡马克核聚变反应试验性装置，涉及到动态电源；分别于2016年、2023年参与DIII-D国家聚变设施项目，涉及到控制电源；于2019年参与中国环流三号项目，参与HL-2M托卡马克真空室线圈电源等。                                                                                                                                                                                              |
| 派克新材 | 据聚变产业联盟公众号，公司先后为BEST项目用真空室屏蔽包层、偏滤器、第一壁等关键部件进行了材料研发和产品提供。                                                                                                                                                                                                                                                                            |

## 4 投资建议



我们认为，目前国内外聚变产业发展迎来窗口期，随着技术突破&政府政策加持，核聚变产业化加速。

- **海外来看**，2025年2月，美国Helion Energy计划在建造世界首座核聚变发电厂，预计在2028年开始为微软数据中心发电。2025年6月，谷歌母公司Alphabet与联邦聚变系统公司（CFS）签署了200兆瓦核聚变电力采购协议。同时，英国、德国、俄罗斯等积极推动聚变电站布局，多个项目预计在2030年代投运。
- **国内来看**，重点项目合肥BEST（紧凑型聚变能实验装置）于2025年1月启动了工程总装，比预计时间提前2个月，项目将于2027年完工，有望成为世界首个开展氦氦稳态燃烧的实验装置，国内主要核聚变研究机构招标加速。

托卡马克技术作为当前主流核聚变路线，其核心设备装置/材料需求有望大幅提升，具备技术领先优势、供应经验积累的企业有望率先受益。

➤ **受益标的：**①**磁体系统：**国光电气、联创光电等；②**高温超导带材：**精达股份、永鼎股份等；③**真空室：**合锻智能、派克新材等；④**杜瓦：**航天晨光等；⑤**偏滤器：**安泰科技等；⑥**磁体电源：**爱科赛博、英杰电气、四创电子等；⑦**配套设施：**旭光电子等。

#### ➤ 风险提示

可控核聚变项目建设、招投标进度不及预期；可控核聚变技术瓶颈风险；可控核聚变技术路线变化风险；海内外支持政策变化风险等。

### 分析师承诺

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

### 评级说明

| 公司评级标准                         | 投资评级 | 说明                             |
|--------------------------------|------|--------------------------------|
| 以报告发布日后的6个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。 | 买入   | 分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过15%    |
|                                | 增持   | 分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在5%—15%之间   |
|                                | 中性   | 分析师预测在此期间股价相对上证指数在-5%—5%之间     |
|                                | 减持   | 分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数5%—15%之间    |
|                                | 卖出   | 分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过15%    |
| 行业评级标准                         |      |                                |
| 以报告发布日后的6个月内行业指数的涨跌幅为基准。       | 推荐   | 分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过10%  |
|                                | 中性   | 分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在-10%—10%之间 |
|                                | 回避   | 分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过10%  |

### 华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园11号丰汇时代大厦南座5层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理跨部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，本公司及其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。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

# THANKS