



Research and  
Development Center

# 核电行业专题报告（二）：可控核聚变 曙光将近，产业链加速发展

—电力设备与新能源行业深度报告

2024年3月14日

武浩 电力设备与新能源行  
业首席分析师

执业编号：S1500520090001

联系电话：010-83326711

邮箱：wuhao@cindasc.com

王煊林 电力设备与新能源研究  
助理

联系电话：17768100716

邮箱：wangxuanlin@cindasc.com

证券研究报告

行业研究

行业深度报告

电力设备与新能源

投资评级 看好

上次评级 看好

武浩 电新行业首席分析师

执业编号：S1500520090001

联系电话：010-83326711

邮箱：wuhao@cindasc.com

王煊林 电新行业研究助理

联系电话：17768100716

邮箱：wangxuanlin@cindasc.com

信达证券股份有限公司

CINDA SECURITIES CO., LTD

北京市西城区闹市口大街9号院1号楼

邮编：100031

# 核电行业专题报告（二）：可控核聚变曙光将近，产业链加速发展

2024年3月14日

## 报告内容摘要：

◆**可控核聚变是人类终极清洁能源，发展前景广阔。**核聚变是几个较轻的原子核结合成一个较重的原子核，实现将质量转化为能量的过程，一般是氘、氚反应。核聚变的原料氘在海水中储量极其丰富，资源约束问题将大大缓解；聚变安全可靠，其发生条件的严苛使得其不易发生安全事故；聚变也不存在污染，氘氚聚变产物氦不存在放射性。我们认为，可控和自持将是可控聚变技术的研发方向，可控的难点在于等离子体的长时间约束和净能量增益；自持的难点在于氚材料的增殖。

◆**核聚变技术路线主要为托卡马克，其他多种技术也处于持续探索过程中。**核聚变的技术路线主要包括磁约束和惯性约束两种类型，惯性约束是利用外壳的惯性限制聚变规模，通过内爆对热核燃料进行压缩，使其达到高温高密度条件，美国 NIF 是代表性装置；磁约束是利用磁场限制超高温等离子体，以托卡马克为主，也有仿星器、磁镜、球形环、紧凑环、环箍缩、场反转等装置。除典型的纯聚变装置外，聚变裂变混合堆也具备发展可能性。此外，近期 AI 技术有所突破，有望助力托卡马克装置中的等离子体维持，可控核聚变技术在持续向前发展。

◆**国际可控核聚变加速推进，中国可控聚变发展进入新时期。**ITER 是全球最大的聚变装置，截至 2021 年 6 月，ITER 项目预估成本为 220 亿美元，其中磁体系统成本占比最高，将达到 28%。该项目的目标是解决可控核聚变投资产业化运行前的各种工程化问题，该项目是全球分工制造模式，我国承担 9.1% 的设备制造，预计研制费和加工费达到 40 亿元。美国的 NIF 装置近年实现了能量净增益；欧洲建造了欧洲联合环面(JET)，2023 年其氘氘聚变实验产生了等离子体；日本 JT-60SA 装置已于 2023 年 10 月 23 日首次成功产生等离子体；中国具有明确的可控核聚变发展目标和时间规划，我国参与了 ITER 项目，运行 EAST 项目、环流器一二号，并研发 CFETR，筹建 BEST 项目等，此外民间投资能量奇点、星环聚能等多家公司也入局可控核聚变。

◆**产业链投资额近年明显提高，产业链进入快速发展时期。**2021 年后可控核聚变行业投资额快速提高，私人投资已占主体。根据 FIA 和 UKAEA，2021-2023 年聚变企业分别共获得 18.7 亿美元、48 亿美元、62 亿美元总投资额。聚变产业链设备主要聚焦于托卡马克，上游零部件包括磁体、包层模块和偏滤器等。

◆**投资建议：**可控核聚变近年技术持续突破，产业链进入快速发展时期，未来的发展前景广阔。托卡马克零部件的制造壁垒较高，在当前阶段具备托卡马克零部件制造能力和已收获订单的公司有望在未来具备较强的竞争优势。建议关注联创光电、安泰科技、永鼎股份、合锻智能。

**风险因素：**产业投资放缓风险、可控核聚变技术发展不及预期风险、交付节奏不及预期风险。

## 目 录

行业核心聚焦.....	5
一、核聚变是人类终极清洁能源，未来发展前景广阔.....	6
1.1 核聚变原理.....	6
1.2 核聚变具备资源丰富和安全可靠的优势.....	6
1.3 核聚变发电将要求可控和自持.....	7
二、核聚变技术以托卡马克为主，其他多种技术持续探索.....	8
三、国际可控核聚变加速推进，中国可控核聚变发展进入新时期.....	11
3.1 多国合作推进 ITER 项目，将建成世界最大托卡马克装置.....	11
3.1.1 ITER 是一个国际合作的托卡马克实验项目.....	11
3.1.2 ITER 设立两阶段目标，探索可控聚变发电可能性.....	11
3.1.3 ITER 建设为全球分工，中国承制多类零部件.....	12
3.1.4 ITER 成本中磁体最高，目前已进入实质建设阶段.....	13
3.2 美国：NIF 实现能量净增益.....	14
3.3 欧洲：JET 氘氘聚变实验产生等离子体，升级辅助 ITER.....	15
3.4 日本：JT-60SA 成功产生等离子体.....	16
3.5 中国：可控核聚变发展目标明确，政府投资和民间投资共同繁荣.....	16
四、产业链投资额明显增长，业内公司将进入大发展时期.....	22
4.1 产业链投资额近年明显提高，业内公司态度乐观.....	22
4.2 磁体、包层模块和偏滤器托卡马克的重要组成部分.....	23
4.3 相关公司.....	26
4.3.1 联创光电：磁体为托卡马克关键设备，高温超导多应用场景处于突破前夕.....	26
4.3.2 安泰科技：ITER 偏滤器全钨复合部件、钨铜复合部件供应商.....	26
4.3.3 永鼎股份：光通信主业平稳经营，高温超导带材供应商.....	27
4.3.4 合锻智能：高端成形机床与智能分选设备双主业发展，研制可控聚变真空室.....	28
四、风险因素.....	28

## 图 表 目 录

图表 1: 核聚变电厂示意图.....	6
图表 2: 实现核聚变反应的三要素.....	7
图表 3: 氘循环原理示意图.....	8
图表 4: 聚变堆基本机构剖面图.....	8
图表 5: 惯性约束装置示意图.....	8
图表 6: 托卡马克装置示意图.....	9
图表 7: 仿星器示意图.....	10
图表 8: 场反转结构示意图.....	10
图表 9: ITER 装置图.....	11
图表 10: ITER 现场准备工作.....	11
图表 11: ITER 主要典型参数.....	11
图表 12: ITER 组件建造分工.....	12
图表 13: ITER 装置及我国承制的部件示意图.....	13
图表 14: ITER 成本拆分.....	14
图表 15: 核聚变发电厂 DEMO 成本拆分.....	14
图表 16: 美国国家点火设施 (NIF).....	14
图表 17: 1991 年 JET 首次 DT 实验.....	15
图表 18: JET 与 ITER 的类似配置.....	15
图表 19: ITER 建成前全球最大托卡马克研究装置 JT-60SA.....	16
图表 20: JT-60SA 和 ITER 参数对比.....	16
图表 21: JET、JT-60SA、ITER 环形场 (TF) 线圈的比较.....	16
图表 22: 我国可控核聚变目标规划.....	17
图表 23: HT-7 超导托卡马克装置主机.....	18
图表 24: EAST 主要子系统.....	18
图表 25: EAST 是目前世界上最先进的核聚变实验装置之一.....	18
图表 26: 中国环流器一号装置 (HL-1).....	19
图表 27: 中国环流器二号 A 装置 (HL-2A).....	19
图表 28: 中国环流器二号 M 装置 (HL-2M).....	19
图表 29: 紧凑型聚变能实验装置 (BEST) 项目建设现场.....	20
图表 30: HH70 主机.....	20
图表 31: 星环聚能球形托卡马克装置.....	21

图表 32: EXL-50 装置示意图.....	22
图表 33: 全球聚变公司历年成立情况.....	22
图表 34: 聚变公司向电网供电时间预测.....	23
图表 35: 第一座聚变电厂向电网供电时间预测.....	23
图表 36: 托卡马克装置示意图.....	23
图表 37: 上海超导第二代高温超导带材示意图.....	24
图表 38: 偏滤器结构示意图.....	25
图表 39: 第一壁示意图.....	25
图表 40: 联创超导的高温超导产品.....	26
图表 41: 联创光电近年营收和归母净利润.....	26
图表 42: 2023H1 安泰科技营收结构.....	27
图表 43: 安泰科技近年营收和归母净利润.....	27
图表 44: 永鼎股份二代超导带材.....	27
图表 45: 永鼎股份近年营收和归母净利润.....	27
图表 46: 合锻智能 BEST 真空室项目.....	28
图表 47: 合锻智能近年营收和归母净利润.....	28

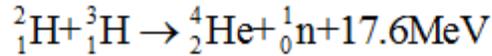
## 行业核心聚焦

我们认为：1) 可控核聚变投资产业化加速明显，并非被一贯认知的还需要很长时间，近年的技术进展和产业投资都预示其将在不远的未来成为可能，其未来光明的前景将使得相关公司有明显成长空间；2) 可控聚变的技术突破依赖于更高体量的研发资金投入，在当前阶段庞大的科研资金投入已经足够支撑相关公司获得可观订单，在可控核聚变投资产业化之前产业链将预先获得利润。

## 一、核聚变是人类终极清洁能源，未来发展前景广阔

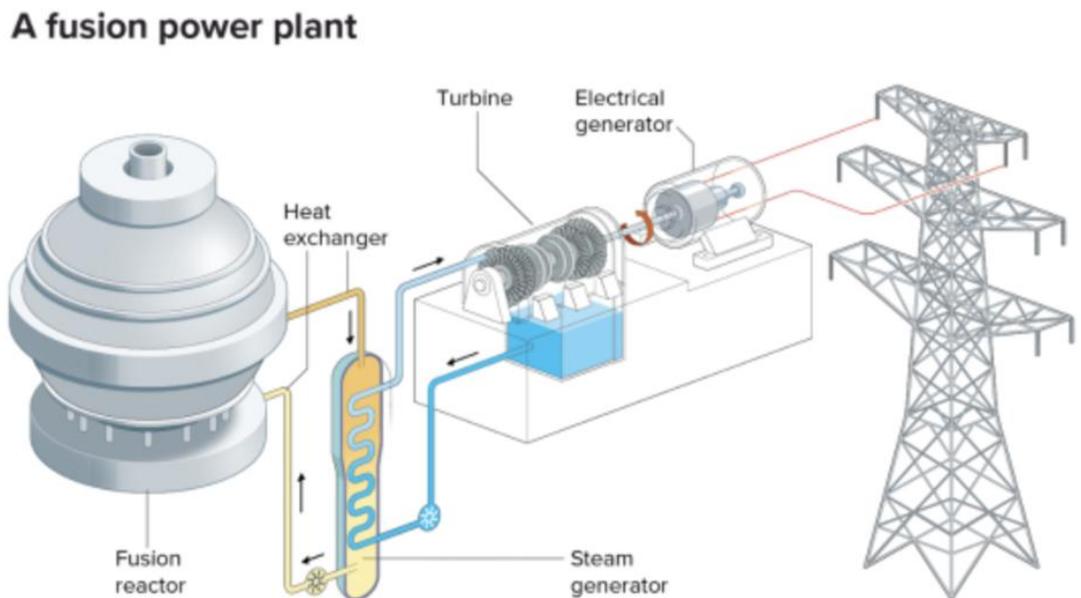
### 1.1 核聚变原理

核聚变是几个较轻的原子核结合成一个较重的原子核，实现将质量转化为能量的过程。最常见的核聚变反应是氘、氚反应生成氦和中子，同时释放出能量的过程，用反应式表示如下：



聚变电厂仍将以传统的蒸汽涡轮方式进行发电。氘氚聚变中，大部分能量是以中子这种高速粒子的动能形式存在，因此等离子体室外将由铅或钢等重材料组成厚层，吸收中子后转化为热量，最后传递给锅炉机组，以蒸汽涡轮机方式发电。

图表 1：核聚变电厂示意图



资料来源：中国物理学会期刊网，信达证券研发中心

### 1.2 核聚变具备资源丰富和安全可靠的优势

- **原料储量极其丰富**：主要燃料氘跟氧结合成重水存在于海水之中。根据中国科学院等离子体物理研究所文章，每公斤海水含氘 0.03 克，地球上有海水  $10^{21}$  千克，含氘  $3 \times 10^{16}$  千克，目前全世界能源消耗水平每年  $2 \times 10^{20}$  焦耳，每年只需燃烧  $10^6$  千克氘即可。因此地球上的氘足够使用  $3 \times 10^{10}$  年之久。即使考虑到能源消耗水平的逐年增加，也足以使用  $10^{10}$  年，即几百亿年。
- **能量密度高**：根据中国科学院等离子体物理研究所文章，“燃烧”一千克氘相当于四千克铀，七千吨汽油或一万吨煤。也就是说“燃烧”一千克海水和燃烧 210 千克（300 升）汽油所获得能量相当。与铀核的裂变反应比较，同样质量的核燃料，聚变反应会比裂变反应放出更多的能量。据中国工程物理研究院经福谦等《揭开核武器神秘面纱》一文，同样重量的氘，在全部实现反应时释放出来的能量约比铀大三倍。如果是氘和氚聚变，一公斤氘氚完全燃烧放出的能量，相当于八万吨 TNT 爆炸的能量，比一公斤铀-235 完全裂变放出的能量约大四倍。
- **安全可靠**：核聚变反应是自限反应，需要氘氚燃料达到上亿摄氏度的高温和足够高的密度等苛刻条件，任何导致温度密度的下降都会致使聚变反应停止。同时，由于核聚变反应燃烧的氘氚等离子体被磁场约束在真空容器内，其密度比空气低数个量级，聚变堆氘氚燃料含量也

较低，在技术操作合规的情况下，不会引起爆炸，也不会发生泄漏事故。

- **核辐射小、环境友好：**氘、氚等聚变反应中产生的氦，是没有放射性的。如果我们不在聚变堆中加入铀、钚等裂变材料，那么聚变的产物中，只有氦有β辐射，其他都是中子、质子和α粒子（α辐射）。α粒子穿透力很弱，只需要一张纸就可以起到很好的屏蔽效果。β粒子穿透力也不强，只需要一张铝箔就可以屏蔽。此外，核聚变反应不排放碳，不会造成任何污染，对环境友好。

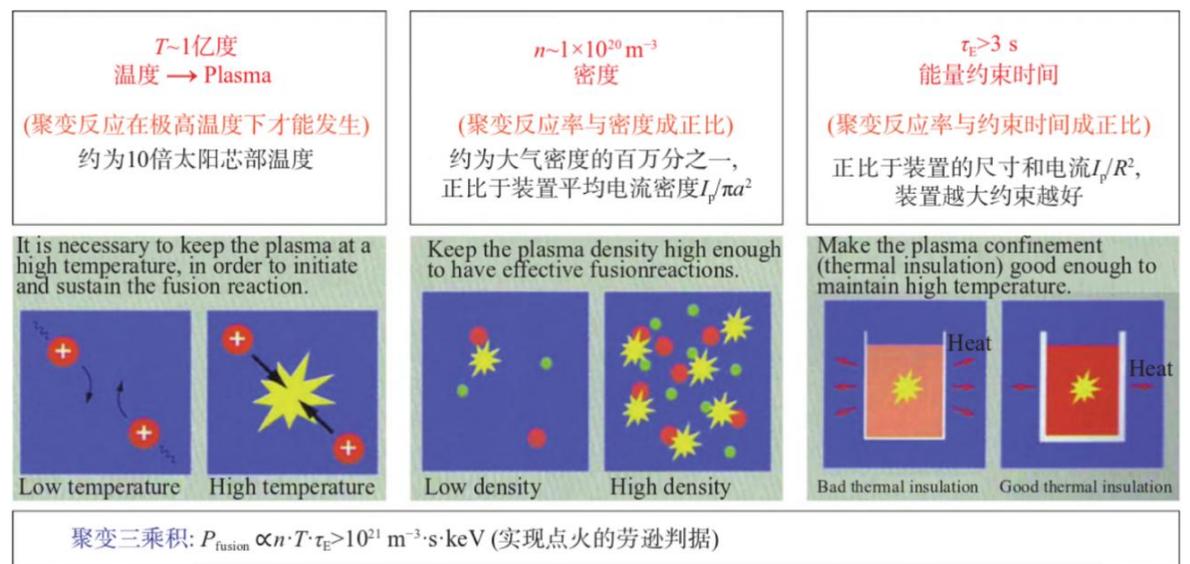
### 1.3 核聚变发电将要求可控和自持

**核能发电的两个基本要求是可控和自持。**

**可控：**可控对于核能意味着核反应可以缓慢地按需发生，而不是像原子弹（核裂变）、氢弹（核聚变）一样，瞬间释放巨大的能量。对于核聚变来说，理论上“可控”也是一个可以解决的问题，只需要控制聚变燃料的浓度即可，但目前核聚变发电，还远没有到达解决“可控”的阶段。

“可控”的核心难点在于难以将等离子体长时间约束在某一个空间内，让它们抵抗排斥力、相互碰撞，并实现净能量输出（ $Q>1$ ）。早在1957年，英国物理学家劳森就提出了聚变三重积的概念：聚变三重积=等离子体温度×等离子体密度×约束时间。然而，核聚变要实现自持燃烧和稳态运行的条件极为苛刻，一是温度要足够高，使燃料变成超过1亿摄氏度的等离子体；二是密度要足够高，这样两原子核发生碰撞的概率就大；三是等离子体在有限的空间里被约束足够长时间。

**图表 2：实现核聚变反应的三要素**



资料来源：《超导磁体技术与磁约束核聚变》王腾，信达证券研发中心

**自持：**自持核聚变反应指的是，当原料中的原子在高温高压能量输入下达到核聚变反应一段时间后，不需要再添加额外的能量就可以让核聚变自动持续下去，源源不断来产生能量。由于核聚变不具备链式反应的“自循环”性质，目前纯聚变堆的研究尚无法实现反应的自持。

**能量增益因子Q是自持的关键因素之一。**Q表示输出能量与输入能量之比。 $Q>1$ 表示输出的能量大于维持反应所需输入的能量，是论证可控核聚变科学可行性的第一步。一般认为，当Q值大于5的时候，核聚变反应堆能够自我维持。目前世界上Q值比较高的可控核聚变实验有英国JET，Q值 $\approx 0.67$ ，Q值的最高纪录则由日本的JT-60托卡马克反应堆保持， $Q=1.25$ 。

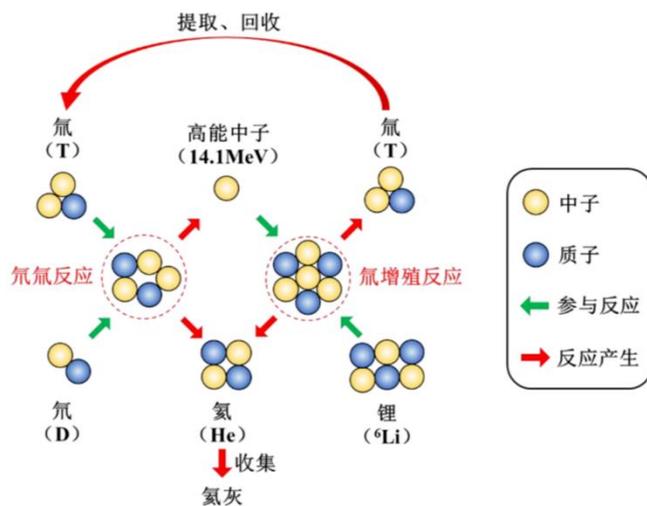
自持的另一个核心难点是氚原料的自持。以目前人类的技术水平,只能实现基于氘-氚聚变的第一代聚变堆建设。虽然地球上的氘资源十分充足,但是氚的半衰期只有 12.43 年,因此在地球上并不存在天然氚。根据 ITER 2018 年研究计划的预测,目前可用的氚存量(据估计约为 25 公斤)将在十年内达到峰值,之后会随着它的出售和衰变而稳步下降。这使得保障氚的供应成为实现受控氘氚聚变反应所必须解决的重要挑战之一。

目前氚的产生只能靠中子与锂反应,反应式如下:



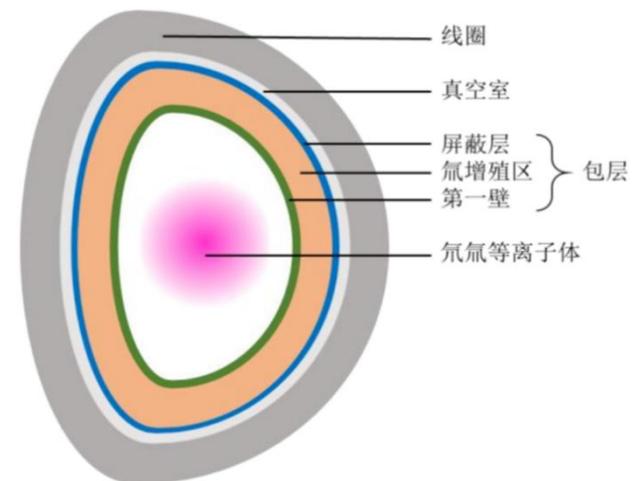
该反应除对锂资源产生需求外,还需要其他中子增殖材料。据陈永静等《核聚变将最终成为未来的能源吗?》,产氚需要中子,为了使聚变能够持续进行,需要一整套复杂的氚产生及在线处理系统。这不仅要求充分利用氘-氚反应产生的中子,还需要对中子进行增殖,以保证有足够的氚增殖系数。因此,聚变堆需要用到大量的中子增殖材料,如铍、铅等。考虑到上述矿产资源有限,如果用铅替代铍作为中子增殖剂,目前的储量将可维持 175000 年。

图表 3: 氚循环原理示意图



资料来源:中国激光杂志社,激光评论公众号,信达证券研发中心

图表 4: 聚变堆基本结构剖面图



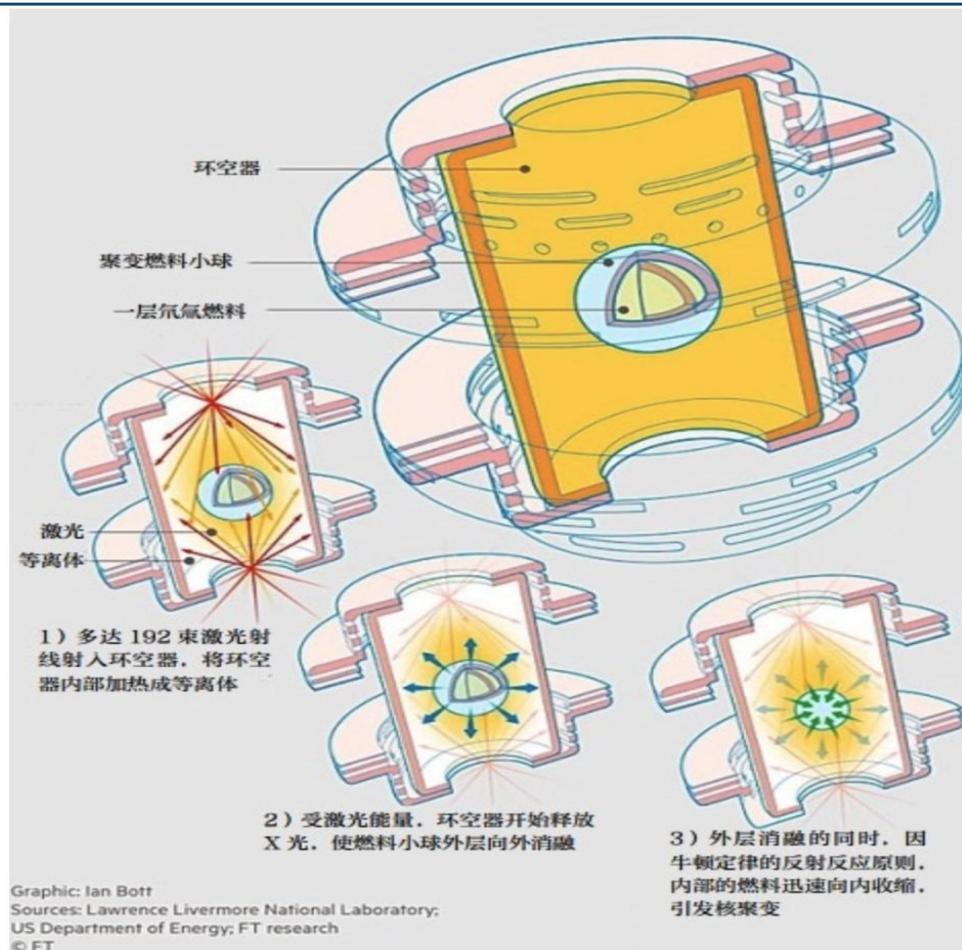
资料来源:中国激光杂志社,激光评论公众号,信达证券研发中心

## 二、核聚变技术以托卡马克为主,其他多种技术持续探索

核聚变的技术路线主要包括磁约束和惯性约束两种类型,而磁约束技术路线比较丰富。

**惯性约束:**根据《自然资源科普与文化》,惯性约束指利用外壳的惯性限制聚变规模,通过内爆对热核燃料进行压缩,使其达到高温高密度条件,进而实现热核点火并燃烧,其中最有名的是用激光作为驱动源的惯性约束。2023 年 7 月 30 日,美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室宣布国家点火装置(NIF)取得新突破,就是采用了“激光惯性约束”制造,耗资 35 亿美元。

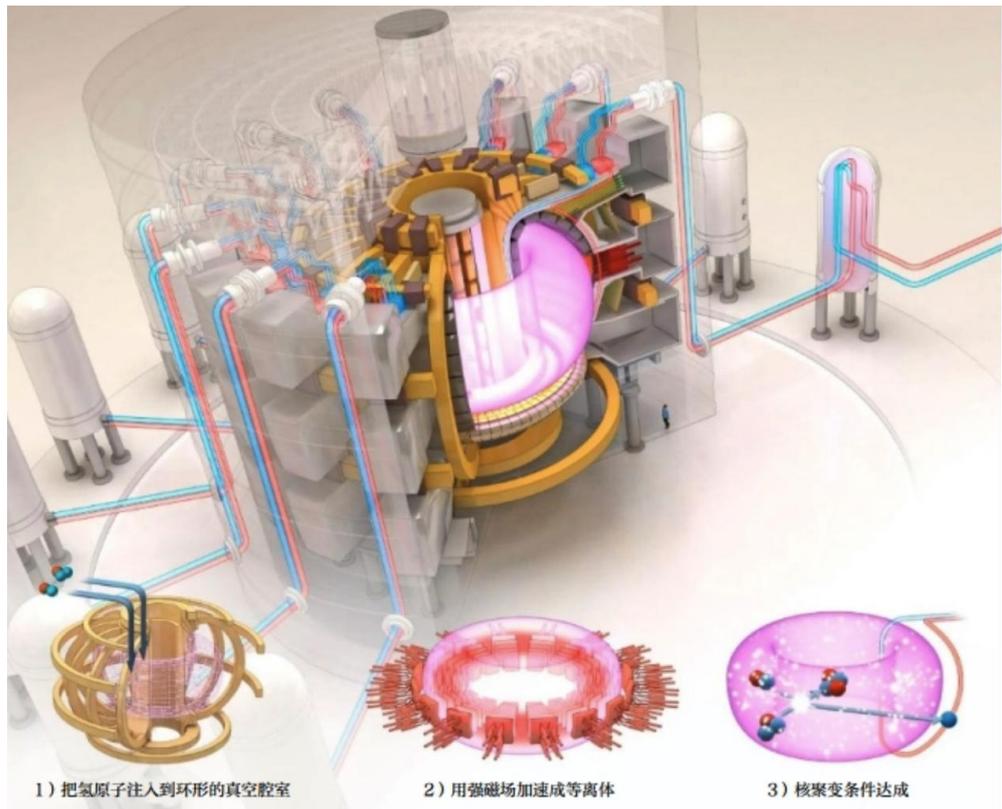
图表 5: 惯性约束装置示意图



资料来源：吴西顺等《人类“终极能源”：可控核聚变》，自然资源科普与文化，地球科普网，信达证券研发中心

**磁约束：**根据《自然资源科普与文化》，磁约束指利用磁场把氘、氚等轻原子核和自由电子组成的超高温等离子体约束在有限空间内，让核聚变反应发生并释放能量。由于在核聚变高温下没有任何材料是固态的，俄国科学家于1968年首先提出用“托卡马克（Tokamak）”方法来约束核聚变。托卡马克是俄语中“磁场”“环形”“真空室”三个词词头的组合。这种磁约束的形状就像一个“甜甜圈”，用无形的磁场将等离子体束缚住而持续反应。托卡马克技术较为成熟，如位于英国的JET装置于2021年12月生产了5秒内持续提供59兆焦耳的能量。除了托卡马克，仿星器、磁镜、球形环、紧凑环、环箍缩等采用的也是磁约束方法。

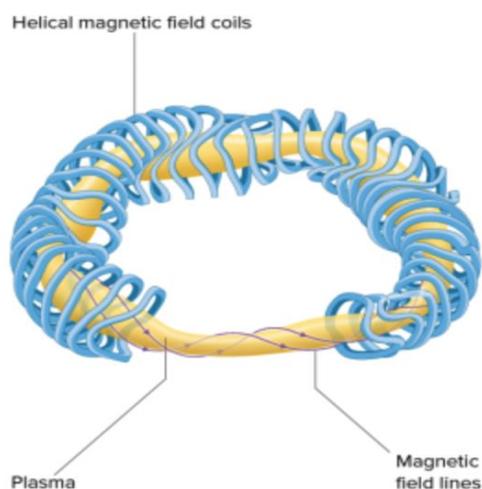
图表6：托卡马克装置示意图



资料来源：吴西顺等《人类“终极能源”：可控核聚变》，自然资源科普与文化，地球科普网，信达证券研发中心

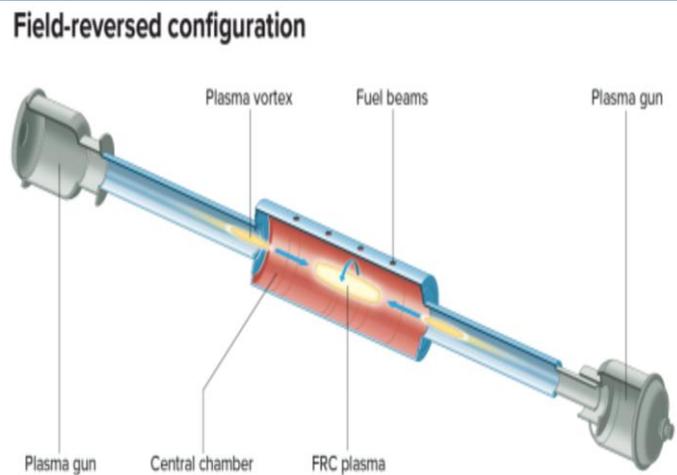
在磁约束领域，除托卡马克外仍有其他技术路线持续探索。仿星器的设计与托卡马克一样是将等离子体限制在一个密封的环形腔体内，但通过使用一组更复杂的外部线圈(蓝色)来控制等离子体，从而消除了对环形腔体中循环电流的需求；场反转结构(FRC)是一种线性反应堆，由于其结构的简单性，目标是实现更小的体积和更低的成本，该结构是由等离子枪从反应室的两端发射的两个更简单的漩涡合并而成的，从侧面加入燃料束使该结构保持高温并快速旋转，它拥有稳定的等离子体漩涡并与自己的内部电流和磁场结合在一起。

图表 7：仿星器示意图



资料来源：中国物理学会期刊网，信达证券研发中心

图表 8：场反转结构示意图



资料来源：中国物理学会期刊网，信达证券研发中心

聚变裂变混合堆具备发展可能性。该结构是在聚变反应室外放置一层足够厚的由天然铀、铀-238或钍-232组成的裂变包层，聚变产生的中子将在裂变包层生产钷-239及铀-233，并释放出裂变能。混合堆相较于快堆具有不需要初始装料、生产燃料速度快的优势，相较于

纯聚变堆也有更低的工程要求。

**AI 技术有望助力于托卡马克的等离子体维持。**核聚变过程中等离子体难以控制、容易撕裂，根据 Jaemin Seo, Joseph Abbate 等《Avoiding fusion plasma tearing instability with deep reinforcement learning》，研究人员发现了一种用 AI 预测等离子体撕裂的方法，该 AI 控制系统能够提前 300 毫秒预测，该报告已经登上 Nature。

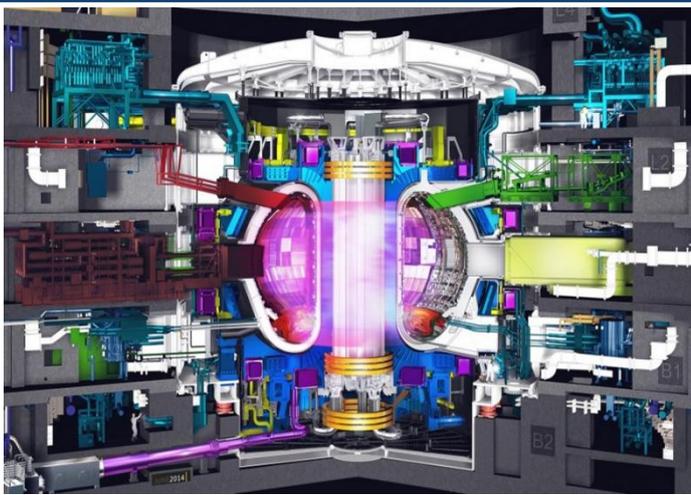
### 三、国际可控核聚变加速推进，中国可控核聚变发展进入新时期

#### 3.1 多国合作推进 ITER 项目，将建成世界最大托卡马克装置

##### 3.1.1 ITER 是一个国际合作的托卡马克实验项目

可控核聚变研究耗资巨大、研究周期长，要求广泛的国际合作，ITER 应运而生。根据赵君煜《国际热核聚变实验堆 ITER 计划》一文，1985 年提出设计和建造国际热核聚变实验堆 ITER 的倡议。根据中国科学院文章，2007 年 10 月核技术研究中心国际热核聚变实验堆（ITER）组织在法国正式成立，标志着目前全球规模最大、影响最深远的国际重大科研合作协议正式启动。当前承担 ITER 计划的是美国、日本、欧盟、中国、俄罗斯、韩国和印度七方，将建设一个为验证全尺寸可控核聚变技术可行性的国际托卡马克实验堆。

图表 9: ITER 装置图



资料来源: ITER 官网, 信达证券研发中心

图表 10: ITER 现场准备工作



资料来源: ITER 官网, 信达证券研发中心

##### 3.1.2 ITER 设立两阶段目标，探索可控聚变发电可能性

**ITER 将分两阶段进行研究，为商用可控聚变堆提供重要依据。**根据赵君煜《国际热核聚变实验堆 ITER 计划》一文，ITER 第一阶段的主要目标是建设一个能产生  $5 \times 10^5 \text{ kW}$  聚变功率、能量增益大于 10（在其他参数不变的情况下，若运行电流为 17MA，则总聚变功率 700MW）、重复脉冲大于 500s 氦气燃烧的托卡马克型实验聚变堆。ITER 的建造是受控热核聚变研究（包括等离子体物理和等离子体技术）的新阶段，并直接为设计托卡马克型商用聚变堆提供依据。同时 ITER 还考虑了可供探索进一步改进燃烧等离子体性能的可能途径，并准备了多种控制燃烧等离子体的手段。ITER 第二阶段的目标是拉长可控核聚变持续时间，实现更长脉冲或接近成为准稳态或稳态运行。

图表 11: ITER 主要典型参数

总聚变功率	500MW (70MW)
Q(聚变功率/加热功率)	>10
14MeV 中子平均负载	0.57MW/m <sup>2</sup> (0.58MW/m <sup>2</sup> )
每次燃烧时间	>500s
等离子体大半径	6.2m
等离子体小半径	0.2m
等离子体电流	15MA (17MA)
小截面拉长比	1.7
等离子体中心磁场强度	5.3T
等离子体体积	837m <sup>3</sup>
等离子体表面积	678m <sup>2</sup>
加热及驱动电流总功率	73MW

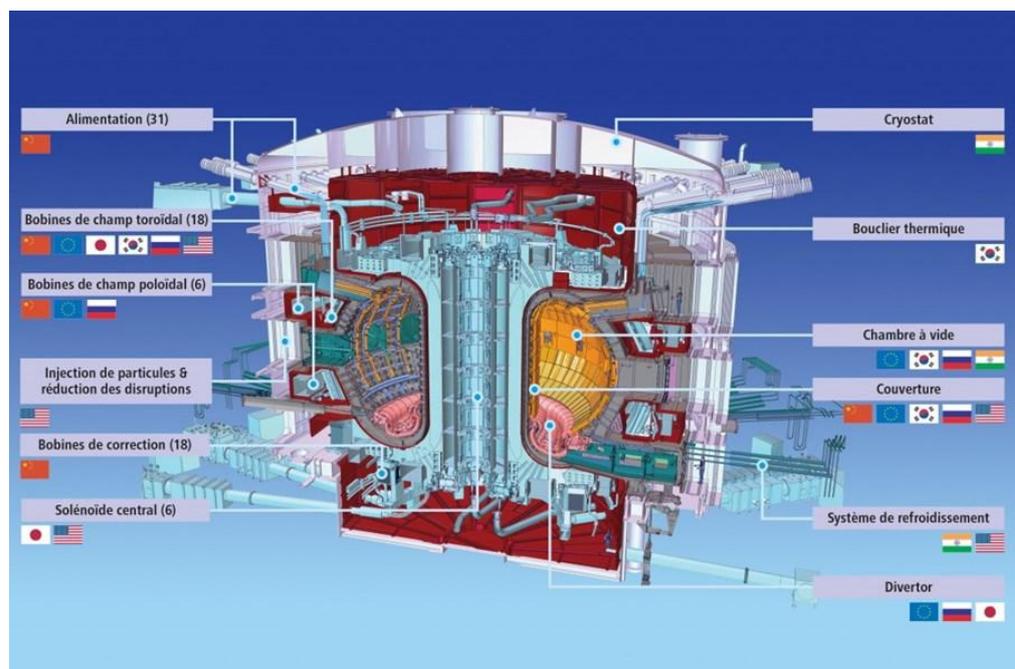
资料来源：《国际热核聚变实验堆 ITER 计划》赵君煜，中国科学院等离子体物理研究所，信达证券研发中心

**ITER 将聚焦于探索可控核聚变发电可能性。**根据澎湃新闻新闻，ITER 任务包括探索新的加热方式与能量损失机制；使用超导磁体产生的强磁场改善等离子体的约束性能、探索等离子体密度极限；研究高性能、长寿命的材料；探索可控核聚变堆的最佳化设计等。ITER 的使命是展示可控核聚变发电的可行性，并证明它可以不造成负面影响。它不是磁约束的商用聚变电站的原型，但是，它是迈向磁约束商用可控聚变电站必经的重要阶段之一。

### 3.1.3 ITER 建设为全球分工，中国承制多类零部件

各国政府及科技界的高度重视和支持 **ITER 建设**。目前项目的参与国达 35 个，其中中国、印度、日本、韩国、俄罗斯及美国分别承担 ITER 建设阶段费用的 9.1%，其中 90% 将以设备的形式贡献，另外 10% 则为现金贡献；东道方欧盟贡献金额达到 45%，包括部分 ITER 零部件与系统的制造，以及几乎所有有关该科学研究的投资。

图表 12: ITER 组件建造分工



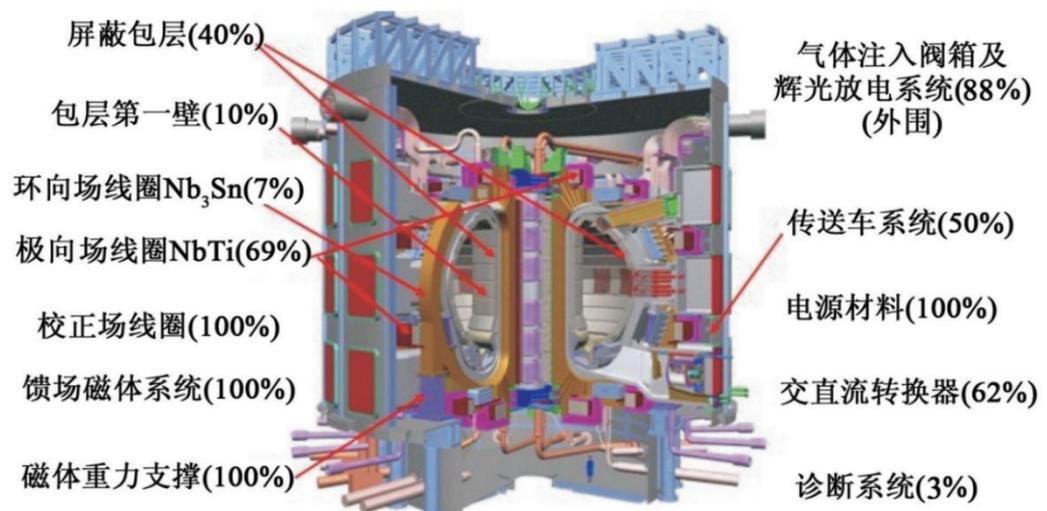
资料来源：ITER 官网，信达证券研发中心

**ITER 装置的部件被拆分为 22 个采购包, 97 个子包。**根据潘传红《国际热核实验反应堆 ITER

计划与未来核聚变能源》一文，据联合实施协定，ITER 真空室扇区的制造任务分别由欧盟（7 个扇区）与韩国（2 个扇区）分担；中心螺旋管则由美国与日本合作完成；偏滤器的制造与测试则分给欧盟、俄罗斯与日本；印度与美国共同负责 ITER 的冷却水系统；包层系统将由中国、欧盟、韩国、俄罗斯及美国制造；最后，除印度之外的 ITER 计划六个成员方都将参与 ITER 磁体的生产。

**中国承担了 12 个子包(分属 6 个采购包)的制造任务。**预计研制费和加工费达 40 亿元人民币，涉及到的部件(材料)为：磁体支撑、包层第一壁、包层屏蔽体、气体阀门箱和辉光放电清洗系统、修正场线圈、磁体引线、高压变电站设备、交-直流转换器、环向场磁体线圈导体、极向场磁体线圈导体、传送车系统、诊断系统(中子通量测量、光学测量、朗缪尔探针)等。

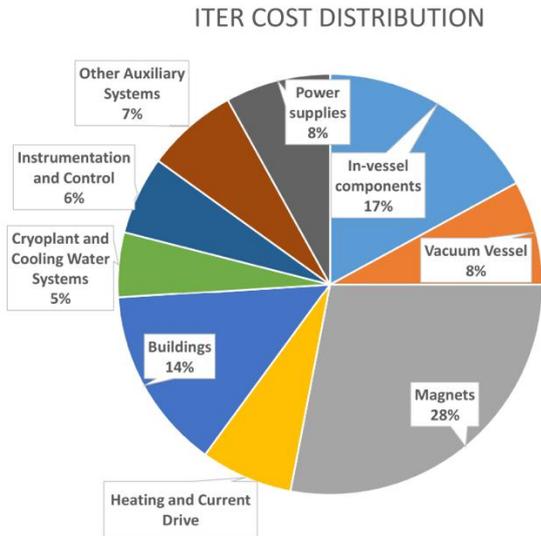
**图表 13: ITER 装置及我国承制的部件示意图**



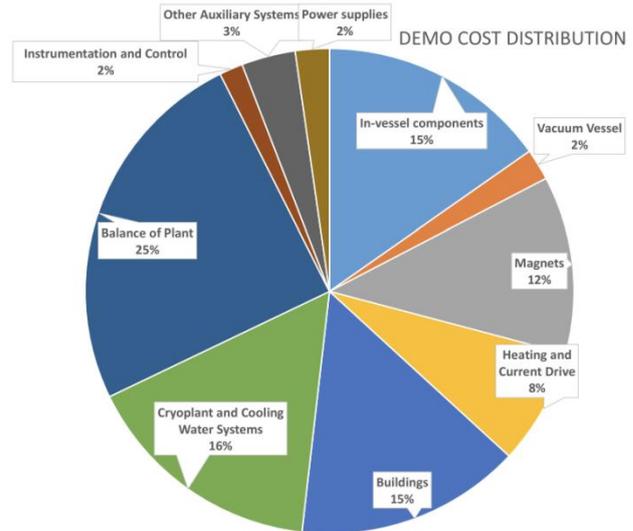
资料来源：《国际热核实验反应堆 (ITER) 计划与未来核聚变能源》潘传红，信达证券研发中心

### 3.1.4 ITER 成本中磁体最高，目前已进入实质建设阶段

根据《MIT 科技评论》，截至 2021 年 6 月，ITER 项目预估成本为 220 亿美元，其中磁体系统、容器内部件、建筑占比最高，分别达到 28%、17%、14%。在实际建造中，工厂总体成本（包括建筑成本和主机装置外的支持部件和附属系统）被大大低估，ITER 的预算也在逐年上升。根据核聚变发电厂 DEMO 的成本估算，制冷系统、容器内部件、磁体系统将分别占比 16%、15%、12%。

**图表 14: ITER 成本拆分**


资料来源:《Superconductors for fusion: a roadmap》Neil Mitchell, 信达证券研发中心

**图表 15: 核聚变发电厂 DEMO 成本拆分**


资料来源:《Superconductors for fusion: a roadmap》Neil Mitchell, 信达证券研发中心

### ITER 项目仍在稳步推进, 目前已进入安装工程阶段:

1998 年, ITER 工程设计获批。

2006 年, ITER 项目被正式同意并被资助, 预计 2008 年将开始建设, 预计成本为 100 亿欧元 (128 亿美元), 并在十年后完成。

2013 年, ITER 被核算已有许多拖延和预算超支。

2015 年, ITER 项目审查得出结论, 时间轴需要往后延长至少 6 年。

2016 年, 伊朗原子能组织完成了伊朗参加 ITER 的初步工作。

2017 年, 完成了低温容器底座和底部柱体的安装, 为托卡马克的安装铺平了道路。至此, ITER 已经完成了 65% 的工作。

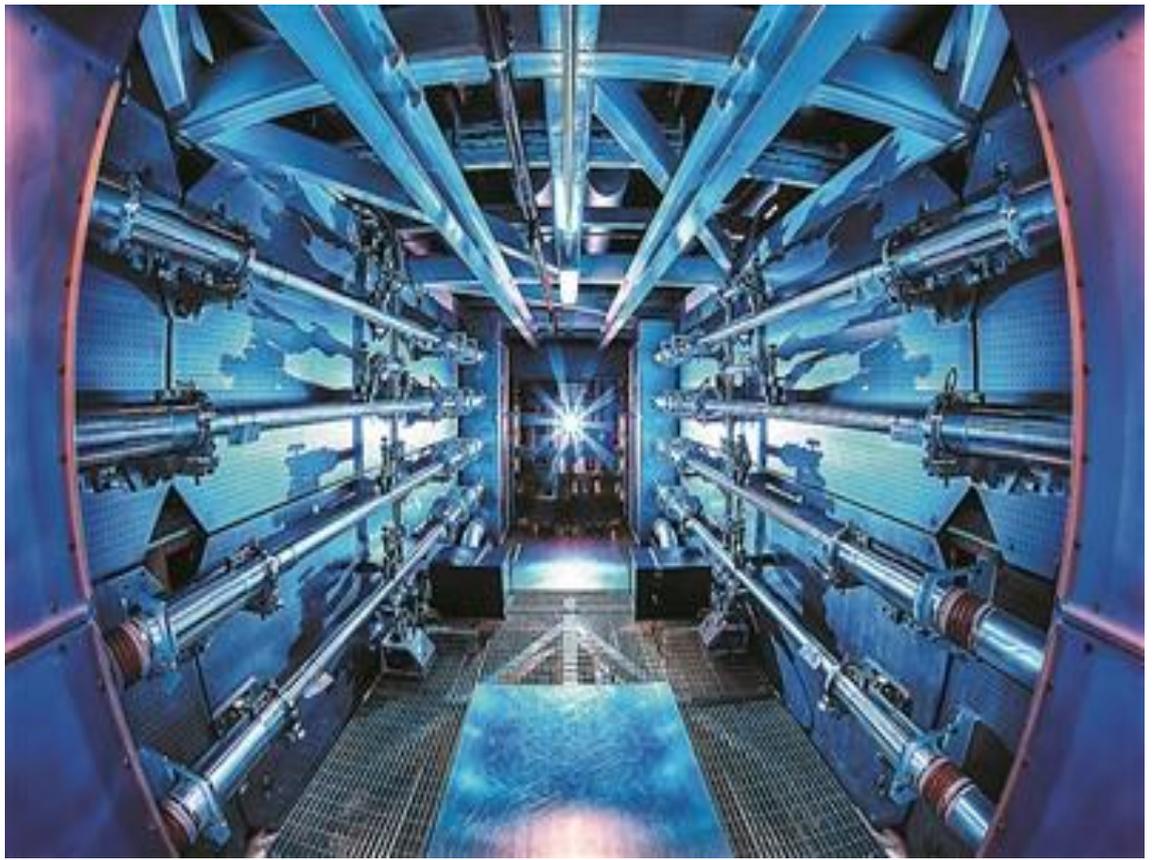
2020 年 7 月 28 日, ITER 托卡马克装置安装工程启动。

2025 年 ITER 预计首次等离子体运行, 2035 年开始氘-氦运行。

## 3.2 美国: NIF 实现能量净增益

2022 年 12 月, 美国国家点火设施 (NIF) 首次实现了净能量增益——从核聚变反应中产生的能量比其消耗的能量更多。实验向燃料靶输送了 2.05 兆焦耳能量, 实现 3.15 兆焦耳的能量输出, 首次证明了惯性约束聚变能的基本科学依据。2023 年 7 月 30 日, NIF 的聚变研究人员成功重复了 2022 年 12 月进行的核聚变实验, 第二次实现的净能量增益比上一次实验获得的净能量更高。

**图表 16: 美国国家点火设施 (NIF)**

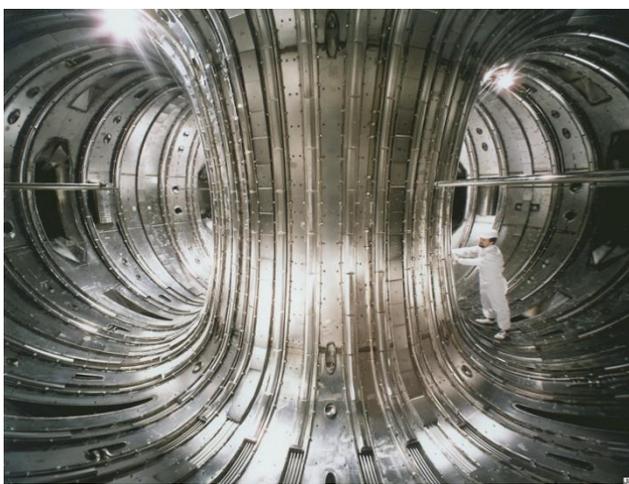


资料来源：中国核能行业协会，中核智库，法新社，信达证券研发中心

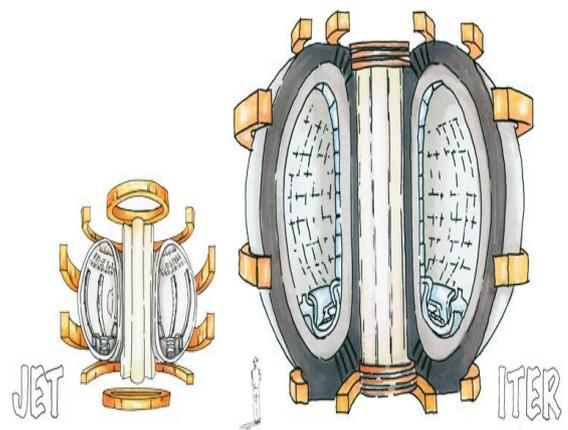
### 3.3 欧洲：JET 氘氘聚变实验产生等离子体，升级辅助 ITER

**欧洲联合环面（JET）是世界首个氘氘运行聚变设施。**该设施位于英国牛津郡卡勒姆聚变能源中心，项目于 1983 年开始运营，1991 年成为世界上第一个使用 1:1 的氘和氘混合物运行的反应堆。1997 年创下使用氘氘燃料输出 16 兆瓦的峰值聚变功率纪录，并保持至今。2006 年 JET 开始升级，致力于为 ITER 实验奠定基础，并于 2011 年安装了新的碳/钨等离子体面板测试 ITER 的同种配置。2023 年 10 月，JET 进行了最后一次氘氘燃料实验。该设施在推进聚变能源研究方面发挥了重要作用，通过其创新的氘氘实验为 ITER 和未来聚变发电厂奠定了基础。

图表 17：1991 年 JET 首次 DT 实验



图表 18：JET 与 ITER 的类似配置



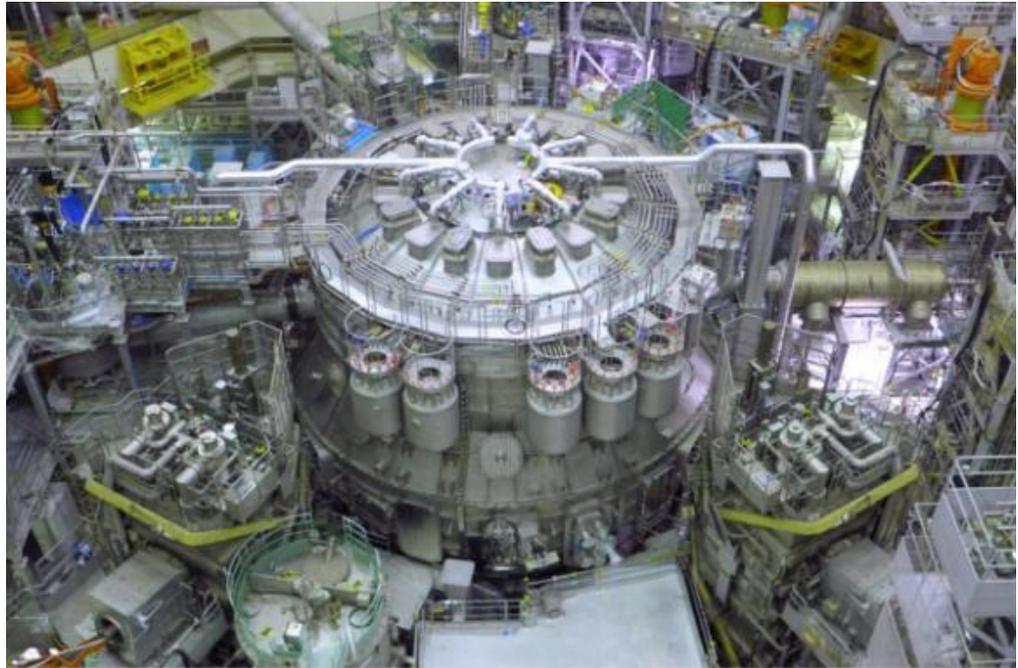
资料来源: EUROfusion, 信达证券研发中心

资料来源: EUROfusion, 信达证券研发中心

### 3.4 日本: JT-60SA 成功产生等离子体

**JT-60SA:** 位于日本茨城县, 由日本量子科学技术研究所(QST)和欧洲聚变能组织(Fusion for Energy)合作建设和运行。JT-60SA 高 15.5 米, 能够容纳 135 立方米等离子体, 在 ITER 建成前是全球最大的托卡马克研究装置。

图表 19: ITER 建成前全球最大托卡马克研究装置 JT-60SA



资料来源: 国家原子能机构, 中核智库, 欧盟委员会网站, 信达证券研发中心

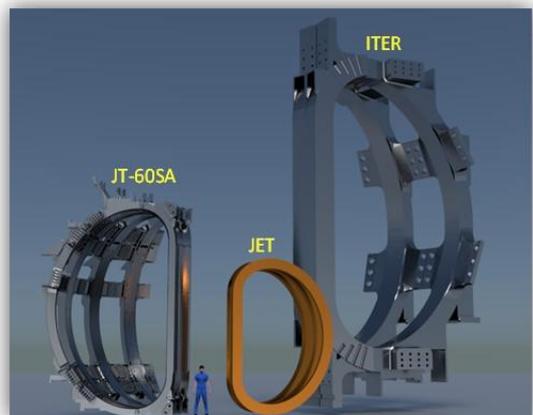
该装置已于 2023 年 10 月 23 日首次成功产生等离子体。该装置预计满功率运行将实现等离子体加热到 2 亿摄氏度, 并在 28 个超导线圈组成的磁铁系统中运行 100 秒。JT-60SA 项目的使命是通过解决 ITER 和 DEMO 的关键物理问题, 为聚变能的早期实现做出贡献。

图表 20: JT-60SA 和 ITER 参数对比

	JT-60SA	ITER
大半径 (米)	~3.0	~6.2
小半径 (米)	<1.18	<2.0
等离子电流 (MA)	<5.5	<15
轴上环形场 (T)/TF 导体	<2.3/NbTi	<5.3/Nb <sub>3</sub> Sn
等离子体伸长率	<2.0	<1.8
等离子体三角度	<0.5	<0.5
等离子体体积 (m <sup>3</sup> )	~140	~840
感应脉冲长度 (s)	100	>400

资料来源: JT60-SA 官网, 信达证券研发中心

图表 21: JET、JT-60SA、ITER 环形场 (TF) 线圈的比较



资料来源: JT60-SA 官网, 信达证券研发中心

### 3.5 中国: 可控核聚变发展目标明确, 政府投资和民间投资共同繁荣

### 3.5.1 我国具有可控核聚变的明确目标和时间规划

聚变能是未来理想的战略能源之一。我国提出“热堆-快堆-聚变堆”核能“三步走”发展战略，该战略要求从本世纪中期开始，在利用热堆和快堆发电的同时发展核聚变反应堆。在磁约束聚变领域，我国托卡马克的研究目前处于领先地位。据中国工程院杜祥琬院士等《核能技术方向研究及发展路线图》一文，我国正式参加了 ITER 项目的建设和研究；同时正在自主设计、研发中国聚变工程试验堆(CFETR)。

我国可控核聚变能研究开始于 20 世纪 60 年代初。由于世界上主流可控核聚变一直沿用前苏联发明的托卡马克装置，我国从 70 年代开始集中选择了托卡马克为主要研究途径，先后建成并运行了 CT-6、KT-5、HT-6B、HL-1、HT-6M 托卡马克实验装置。

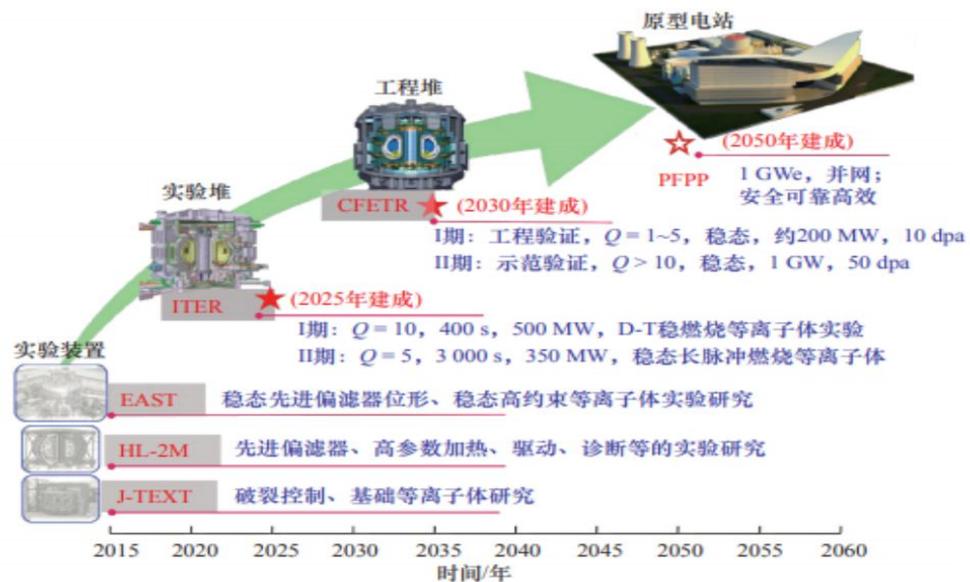
目前我国具备明确的磁约束聚变的近期、中期和远期技术目标：

(1) 近期目标 (2015—2021 年)：建立近堆芯级稳态等离子体实验平台，吸收消化、发展与储备聚变工程实验堆关键技术，设计、预研聚变工程实验堆关键部件等；

(2) 中期目标 (2021—2035 年)：建设、运行聚变工程实验堆，开展稳态、高效、安全聚变堆科学研究；

(3) 远期目标 (2035—2050 年)：发展聚变电站，探索聚变商用电站的工程、安全、经济性。

图表 22：我国可控核聚变目标规划



资料来源：《可控核聚变科学技术前沿问题和进展》高翔等，中国工程科学，信达证券研发中心

国内的可控聚变发展态度明确，即将迈入新发展阶段。2023 年 12 月，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。会上，中国聚变能源有限公司（筹）举行揭牌仪式，第一批未来能源关键技术攻关任务正式发布，对于创新协同推进可控聚变能源产业迈出实质性步伐具有重要的里程碑意义。

### 3.5.2 政府投资项目与民间投资项目共同繁荣

#### (1) 政府投资项目：

中科院所属合肥等离子体物理研究所 (ASIPP) 是我国核聚变研究的重要基地。1994 年通过国际合作成功研制出可产生长脉冲高温等离子体的中型聚变研究装置——HT-7 超导托卡马克，使我国成为继俄、日、法之后第四个拥有该类装置的国家。在 HT-7 成功运行的基础上，等

离子体所的科学家提出了新的升级改造计划——“HT-7U 全超导非圆截面托卡马克装置建设”计划。项目于 2003 年 10 月更名为 EAST，中文名为“东方超环”。

EAST 装置的主机部分高 11 米，直径 8 米，重 400 吨，由超高真空室、纵场线圈、极向场线圈、内外冷屏、外真空杜瓦、支撑系统等六大部件组成。其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 或将是未来十年唯一能为 ITER 提供长脉冲稳态先进运行高参数非圆等离子体平台的实验装置，将会在发展稳态高性能等离子体物理的科学研究计划中处于世界前沿地位，进而为支持 ITER 和聚变能发展作出贡献。

图表 23: HT-7 超导托卡马克装置主机



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所，信达证券研发中心

图表 24: EAST 主要子系统



资料来源：科普中国，电力之光，信达证券研发中心

图表 25: EAST 是目前世界上最先进的核聚变实验装置之一

国际上主要托卡马克装置		国际ITER	中国EAST	韩国KSTAR	法国WEST	欧盟JET	德国ASDEX-U	美国DIII-D
ITER及未来聚变堆将具备的条件	全超导，一体化PF	√	√	√				
	长脉冲	√	√	√	√			
	高功率电子加热	√	√		√		√	
	射频波加热为主	√	√		√			
	低动量注入	√	√		√			√
	水冷第一壁	√	√		√			
	金属壁	√	√			√	√	
	ITER-like钨偏滤器	√	√					
偏滤器位形, 3D场	√	√	√			√	√	

资料来源：科普中国，信达证券研发中心

核工业西南物理研究院建设环流器一号和二号。该院建院于二十世纪六十年代中期，隶属中国核工业集团公司。作为中国最大的受控核聚变研究基地，聚变科学所先后研制了中国环流器一号（HL-1, 1984）和中国环流器新一号（HL-1M, 1994），并取得重大进展。2002 年 12 月，建成中国第一个具有偏滤器的托卡马克装置——中国环流器二号 A（HL-2A）并进入运

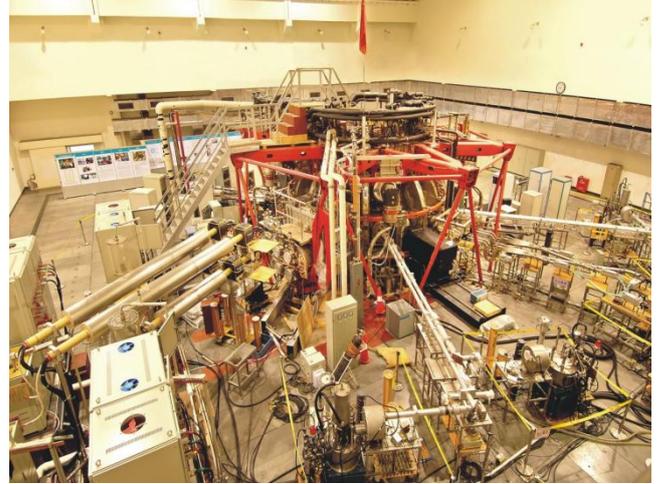
行，同时开展与 ITER 相关的物理与关键技术研究。

**图表 26: 中国环流器一号装置 (HL-1)**



资料来源: 核工业西南物理研究院, 信达证券研发中心

**图表 27: 中国环流器二号 A 装置 (HL-2A)**



资料来源: 核工业西南物理研究院, 信达证券研发中心

2020 年 12 月, 新一代“人造太阳”装置——中国环流器二号 M 装置 (HL-2M) 在成都建成并实现首次放电。据《中国纪检监察报》, 该装置是我国目前规模最大、参数最高的先进托卡马克装置, 是我国新一代先进磁约束核聚变实验研究装置。HL-2M 等离子体体积达到国内现有装置 2 倍以上, 等离子体电流能力提高到 2.5 兆安培以上, 等离子体离子温度可达到 1.5 亿度, 能实现高密度、高比压、高自举电流运行, 是实现我国核聚变能开发事业跨越式发展的重要依托装置, 也是我国消化吸收 ITER 技术不可或缺的重要平台。

**图表 28: 中国环流器二号 M 装置 (HL-2M)**



资料来源: 国家原子能机构, 信达证券研发中心

全超导托卡马克 EAST 装置的建成是建设 CFETR 的基础, “基于 ITER, 超越 ITER” 是我国对建设 CFETR 的定位。CFETR 于 2017 年 12 月 5 日在合肥正式启动工程设计, 计划 2035 年建成工程实验堆。

CFETR 相较于目前正在建的 ITER 装置，在科学问题上主要解决未来商用聚变示范堆必需的稳态燃烧等离子体的控制技术，氦的循环与自持，聚变能输出等 ITER 装置未涵盖内容；在工程技术与工艺上，重点研究聚变堆材料、聚变堆包层及聚变能发电等 ITER 装置上不能开展的工作；掌握并完善建设商用聚变示范堆所需的工程技术。CFETR 装置的建设不但能为我国进一步独立自主地开发和利用聚变能奠定坚实的科学技术与工程基础，而且使得我国率先利用聚变能发电、实现能源的跨越式发展成为可能。

**紧凑型聚变能实验装置 (BEST)** 根据黄静《技术与产业进展共振高温超导正当时》一文，BEST 已于 8 月 24 日获合肥市庐阳区发改委批复，拟于 2023 年开工，2026 年建成运行，总计划投资 85 亿元。

**图表 29: 紧凑型聚变能实验装置 (BEST) 项目建设现场**



资料来源：合肥市人民政府公众号，信达证券研发中心

## (2) 民间投资：

**能量奇点**成立于 2021 年，是中国首家聚变能源商业公司，业务聚焦于开发高磁场、高参数、紧凑型高温超导托卡马克装置等。HH-70 是其设计研发的全高温超导托卡马克装置，目标是为了验证高温超导托卡马克的建造可行性以及运行过程中的安全性与磁体的鲁棒性，并探索适用于下一台先进托卡马克装置的电流驱动手段。公司计划到 2027 年，设计建造一个稳态、强磁场高温超导先进托卡马克，全面验证并奠定可高效获取聚变能的科学技术基础；到 2030 年，建设示范电站。

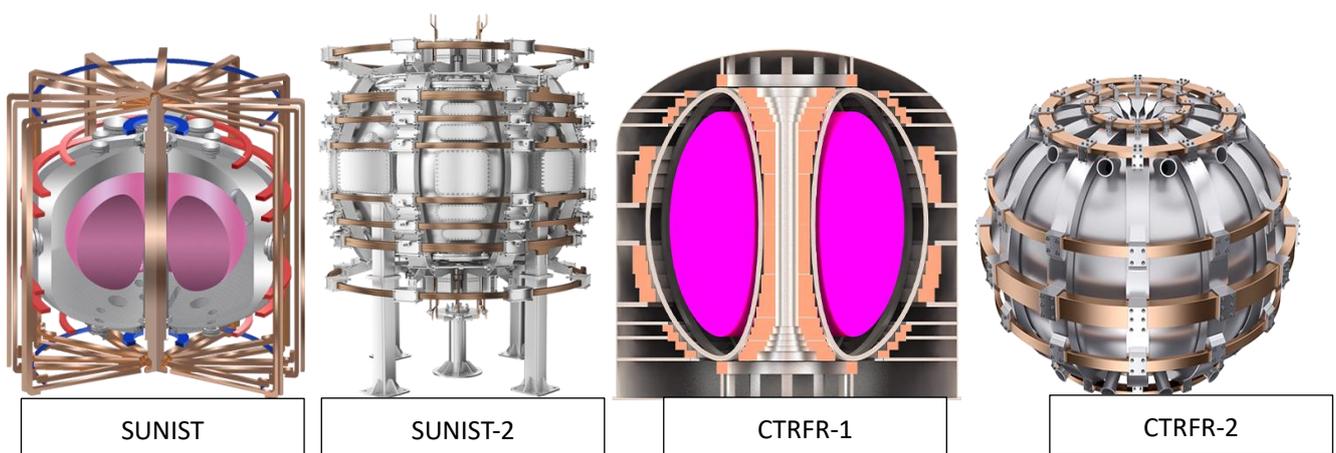
**图表 30: HH70 主机**



资料来源：上海市国有资产监督管理委员会，上海电气，信达证券研发中心

星环聚能成立于 2021 年 10 月，专注于小型化、商业化、快速迭代的可控聚变能装置的研发、设计、建造和运行。公司的主要研发人员均毕业于清华大学工程物理系，该系核能所聚变团队研究磁约束可控核聚变并运行国内首个球形托卡马克 SUNIST，至今已运行超过 20 年，放电超过 10 万次，取得了丰硕的成果。2023 年 6 月，为验证重复重联原理和 1T 磁场球形托卡马克的约束性能，由星环聚能和清华大学合作建设完成 SUNIST-2，并获得第一等离子体。目前，星环聚能正在完成 CTRFR-1 的设计，该装置是一台等离子体参数接近聚变堆要求的中型高温超导球形托卡马克。通过该装置，星环聚能将验证重复重联聚变堆的技术可行性。CTRFR-1 达到预定目标后，星环聚能将启动商用示范堆（CTRFR-2）的设计和建造，努力成为全球首个商用可控聚变示范堆。

图表 31：星环聚能球形托卡马克装置



资料来源：星环聚能官网，信达证券研发中心

新奥集团 2018 年正式开始致力于可控聚变研发，选择了技术难度高但具备商业化独特优势的球形环-氢硼聚变-结合人工智能的技术路线，目标是推进可控核聚变商业化早日实现。依托新奥建设和运行河北省紧凑型聚变重点实验室，于 2018 年获批筹建，2020 年通过验收。

**EXL-50 (ENN Xuanlong-50, 玄龙-50) 是新奥自主设计建造的中型球形托卡马克实验装置。**2018 年 10 月开始启动, 通过系统组织、分工协作, 用 10 个月左右的时间完成了装置的设计、制造、安装和调试工作。装置经过规范与不断改进, 已实现稳定可重复的球形等离子体。2024 年 1 月 24 日上午, 由新奥自主设计建造的中国首座中等规模的球形环聚变实验装置的升级版—玄龙-50U 正式启动, 并实现等离子体放电。

**图表 32: EXL-50 装置示意图**



资料来源: 新奥科技发展有限公司, 信达证券研发中心

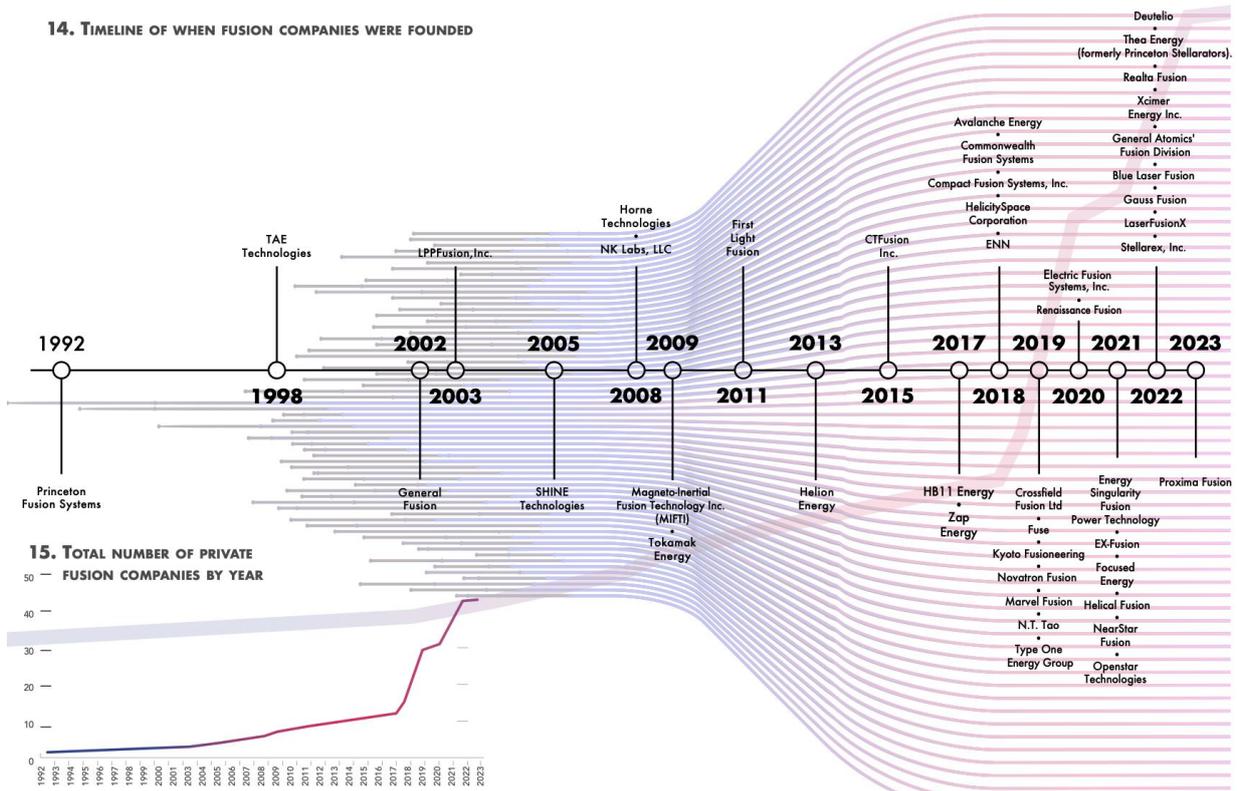
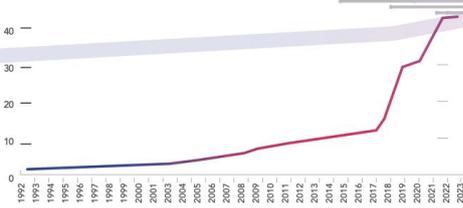
## 四、产业链投资额明显增长, 业内公司将进入大发展时期

### 4.1 产业链投资额近年明显提高, 业内公司态度乐观

截至 2022 年年底, 全世界约 130 个国有或私营聚变实验堆中有 90 个在运行, 12 个在建, 28 个在计划中。过去, 在科研经费不足制约了可控核聚变发展, 可控核聚变研究主要由国家机构或国际政府合作来主导。2021 年以来, 鉴于可控核聚变的快速发展, 私人资本开始加速进入小型商用托卡马克领域。

**2021 年后可控聚变行业投资额快速提高, 私人投资已占主体。**根据美国聚变产业协会(FIA)和英国原子能管理局(UKAEA)发布的《2021 年全球聚变产业报告》, 截至 2021 年聚变企业共获得 18.7 亿美元的投资; 截至 2022 年总投资额为 48 亿美元, 2022 年新增投资额达到 29.3 亿元, 已超过 2021 年前累计数额; 截至 2023 年总融资额为 62 亿美元, 其中私人投资额约 59 亿美元, 远超过政府投资额。聚变企业获得较多投资额的公司主要有 CFS、TAE、General Fusion、Helion Energy、Tokamak Energy、Zap Energy、新奥、shine technologies 等, 从成立的公司情况来看, 2018 年后聚变公司数量明显增多。

**图表 33: 全球聚变公司历年成立情况**

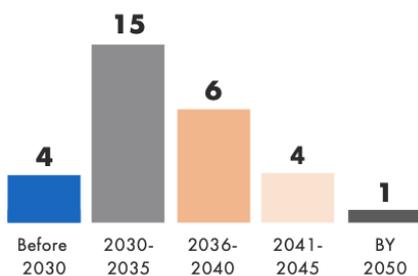
**14. TIMELINE OF WHEN FUSION COMPANIES WERE FOUNDED**

**15. TOTAL NUMBER OF PRIVATE FUSION COMPANIES BY YEAR**


资料来源: FIA, 信达证券研发中心

产业链对于可控核聚变持有较为乐观的态度。根据 FIA 的调查显示, 2023 年 30 家公司中有 15 家公司预计在 2030-2035 年之间实现向电网供电, 40 家公司中有 20 家公司预计在 2030-2035 年之间对第一座聚变电厂实现电网供电。

图表 34: 聚变公司向电网供电时间预测

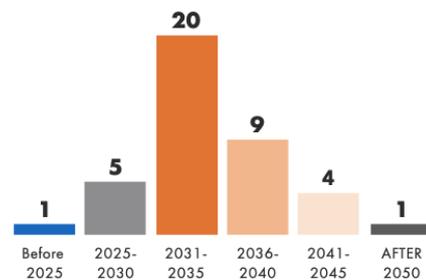
When do you anticipate your company will deliver power to the grid (30 responses)



资料来源: FIA, 信达证券研发中心

图表 35: 第一座聚变电厂向电网供电时间预测

When will the first fusion plant deliver electricity to the grid? (40 responses)

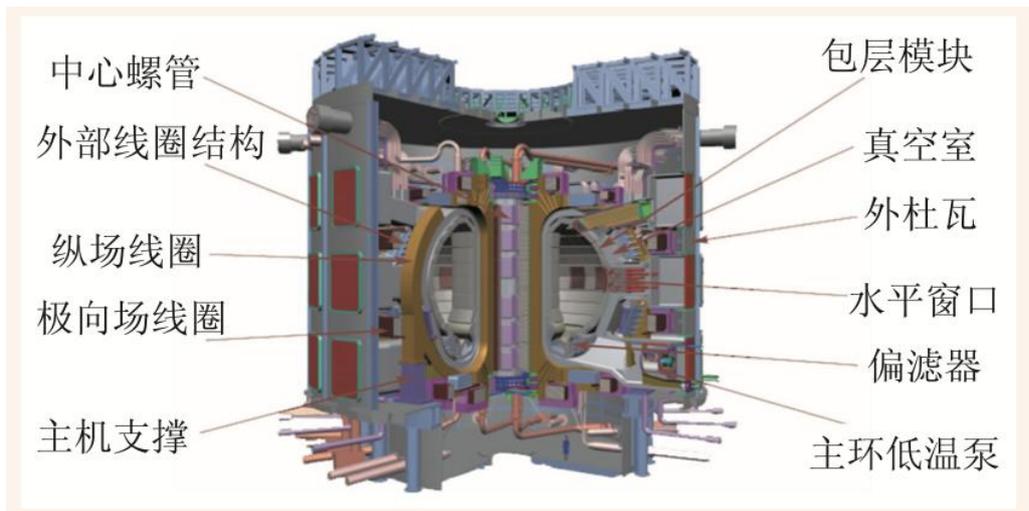


资料来源: FIA, 信达证券研发中心

## 4.2 磁体、包层模块和偏滤器托卡马克的重要组成部分

产业链上游制造零部件: 以 ITER 项目为例, 托卡马克设备的主要组成部件包括磁场线圈相关设备、包层模块、偏滤器、真空室等。

图表 36: 托卡马克装置示意图

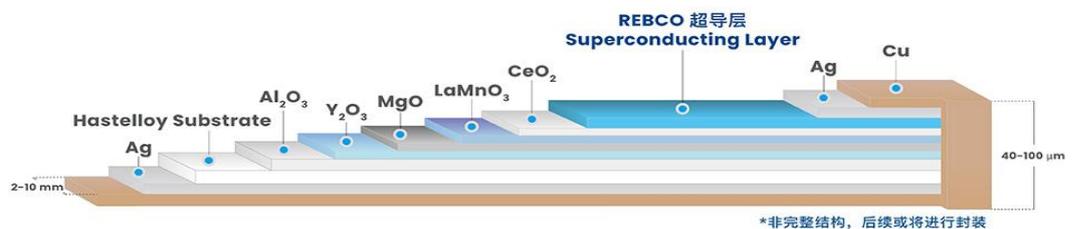


资料来源：《托卡马克研究的现状及发展》李建刚，信达证券研发中心

**(1) 超导磁体：**磁体是托卡马克装置的主体工程，早期托卡马克的磁体体积很大，背后的原因为当时的磁体线圈都是铜制的。为了保证足够大的电流和磁场强度，就必须缠得比较粗，且热能损耗高。为了降低磁体的功耗，维持长时间稳态运行，科学家将超导技术引入到了托卡马克线圈上，将铜制线圈替换为电阻几乎为 0 的超导线圈。导体没有了电阻，电流流经超导线圈时就不发生热损耗，电流可以毫无阻力地在导线中形成强大的电流，从而产生超强磁场。

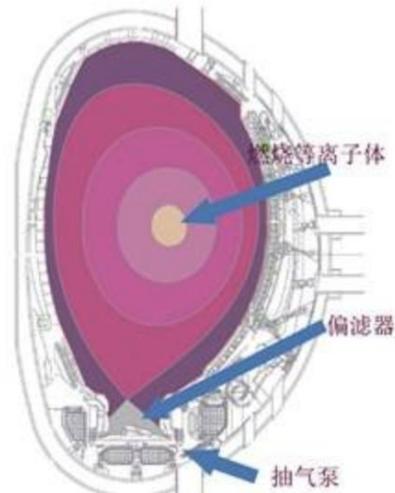
**超导材料也有高温超导技术路线。**超导材料在冷却至临界温度以下时，可以无电阻无能量损失地传导直流电。而高温超导(HTS)磁体可在比传统托卡马克所应用的温度更高的情况下实现超导，而后者通常需要更复杂、更昂贵的冷却系统，包括液氦。高温超导材料的工作范围温度范围 20 到 77 开尔文(约-200℃到-250℃)，比一般超导体所需的温度要高得多。此外，高温超导材料还能实现高磁场，例如 CFS 的 SPARC 聚变反应堆，采用高温超导材料，其产生的磁场强度在托卡马克圆环内可以达到 21 个特斯拉，而 ITER 则还不到 12 个特斯拉。实现更高的磁场强度提高核聚变的效率，从而得到更高的投入产出。以上特性为设计体积小、结构简单、成本低的聚变系统提供了可能，实现紧凑型托卡马克的核聚变能源新趋势。

图表 37：上海超导第二代高温超导带材示意图



资料来源：上海超导，信达证券研发中心

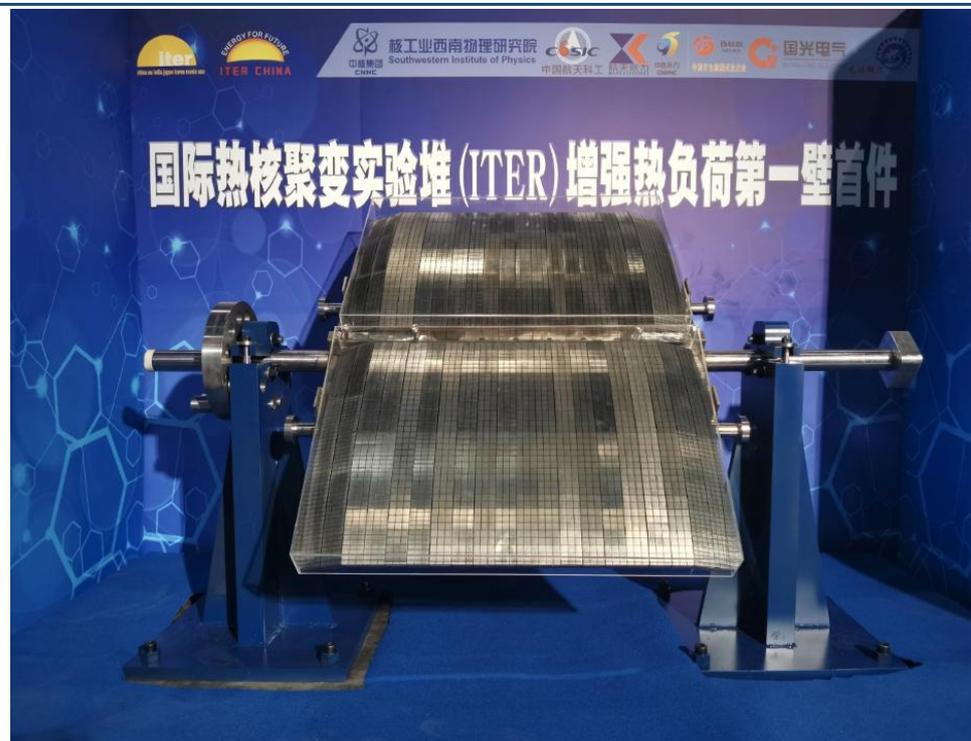
**(2) 偏滤器：**等离子体与器壁相互作用是托卡马克研究中最重要的问题之一，其直接影响托卡马克装置的寿命，而偏滤器是等离子体与器壁相互作用的主要区域，也是托卡马克装置的重要组成部分，其主要功能是用来把放电的外壳层内的带电粒子偏滤到一个单独的室内，在此带电粒子轰击挡板，变为中性粒子被抽走，从而避免外壳层内的高能粒子轰击主放电室壁，排来自中心等离子体的粒子流和热流以及可控核聚变反应过程中所产生的氦灰。因此偏滤器类似于火炉的炉底，作用为（1）排除氦灰（2）杂质控制（3）排出热量。

**图表 38: 偏滤器结构示意图**


资料来源: 中科院等离子体物理研究所, 信达证券研发中心

**(3) 包层模块:** 包层系统为整个 ITER 装置提供中子和高热负荷的屏蔽, 是 ITER 的关键系统。包层系统的制造技术也是未来可控聚变堆建造所需的关键技术之一。整个包层系统采用模块化设计, 每个模块由第一壁 (First Wall, 简称 FW)、屏蔽块(Shield Module)以及柔性支撑等组成。其中, 第一壁是包层系统的核心部件, 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。

以国光电气制造的第一壁为例, ITER 的第一壁板由三种材料构成, 分别为面对等离子体铍瓦材料、中间热沉 CuCrZr 合金材料和支撑背板 316L (N) 不锈钢材料, 三种材料之间需冶金结合, 连接技术也是 ITER 第一壁板制造的核心技术。

**图表 39: 第一壁示意图**


资料来源: 新浪财经, 中国科技网, 信达证券研发中心

### 4.3 相关公司

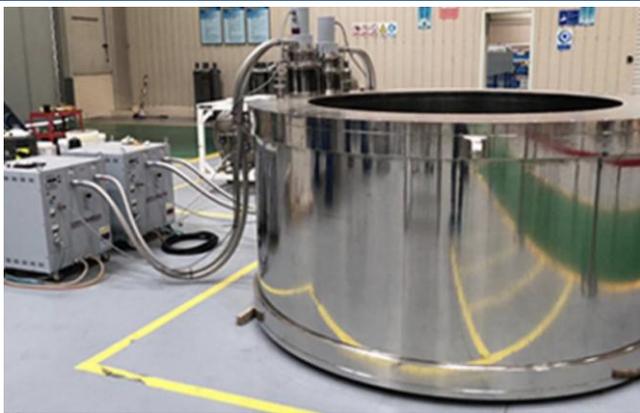
#### 4.3.1 联创光电：磁体为托卡马克关键设备，高温超导多应用场景处于突破前夕

公司专注于半导体领域业务，子公司联创超导承接高温超导业务。公司由江西省电子集团整合旗下部分优质军工资产于 1999 年 6 月设立，公司致力于半导体产业的研究与制造，拥有电子元器件研发生产技术。产品布局包括智能控制部件、大功率半导体激光器件及装备、背光源及应用、电线电缆等产业板块。截至 2022 年，联创光电持有联创超导 40% 股权，联创超导所经营的高温超导业务可应用于金属熔炼、磁控硅单晶生长炉、可控核聚变。2022 年公司智能控制产品营收占比 60.2%，毛利率 16.8%；背光源及应用产品营收占比 29.6%，毛利率 4.5%。2022 年和 2023 年上半年联创超导均为确认销售收入，归母净利润分别为-326.2、-223.2 万元，现阶段对公司业绩的影响较小。

联创超导在感应加热装置、磁控硅单晶生长炉、可控核聚变领域均取得了一定进展。公司 2023 年 Q4 完成大中小三个型号的高温超导感应加热装置的标准定型，截至 2023 年 12 月 22 日，已完成 10 台高温超导感应加热装置的生产及交付；磁控硅单晶生长炉 2023 年 8 月签订批量订单，目前研发进展顺利，公司预计 2024 年一季度可以完成样机的研制；2023 年 11 月，公司与中核集团达成合作，双方计划联合建设可控核聚变项目，实现连续发电功率 100MW，工程总投资预计超过 200 亿元人民币，联创超导负责提供主机装置中的高温超导磁体系统和低温制冷系统部分，约占主机装置建设成本的一半左右。

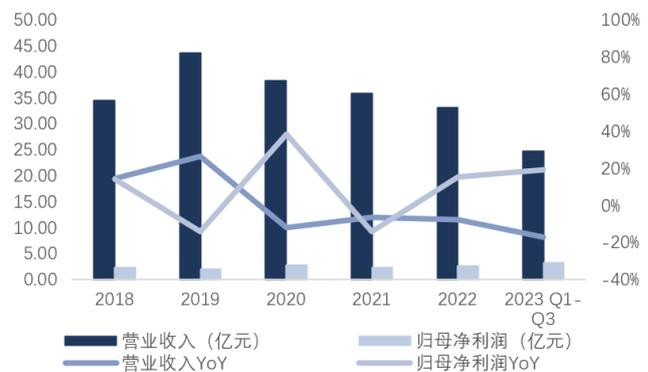
传统主业利润具有一定韧性。2020 年至 2023 年前三季度，公司实现营业收入分别为 38.3 亿元、35.9 亿元、33.1 亿元、24.7 亿元，同比增长-12.1%、-6.3%、-7.6%、-17.1%；2020-2023Q3 分别实现归母净利润 2.7、2.3、2.7、3.2 亿元，同比增长 38.6%、-14.2%、15.4%、19.2%。

图表 40：联创超导的高温超导产品



资料来源：联创超导，信达证券研发中心

图表 41：联创光电近年营收和归母净利润



资料来源：ifind，信达证券研发中心

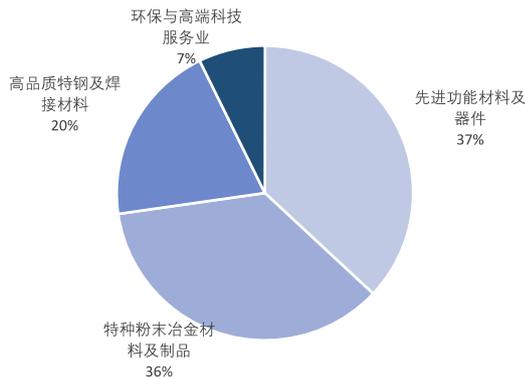
#### 4.3.2 安泰科技：ITER 偏滤器全钨复合部件、钨铜复合部件供应商

主业为难熔钨钼高端粉末和稀土永磁材料，聚变领域为 iter 供应偏滤器全钨复合部件、钨铜复合部件。安泰科技是中国钢研旗下新材料领域的核心产业平台和科技创新主体，目前公司产业聚焦“以难熔钨钼为核心的高端粉末冶金及制品”和“以稀土永磁为核心的先进功能材料及器件”两大核心产业。在核电领域，公司的难熔钨钼、精密带材、金属过滤装置等产品为“华龙一号”、AP1000、CAP1400 等多个核电技术提供配套。公司为我国“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。2023H1 公司先进功能材料及器件营收 15.6 亿元，毛利率 19.9%；特种粉末冶金材料及制品营收 15.1 亿元，毛利率 16.1%。该两项业务构成公司的主要营收，2023H1 占比为 72.7%。

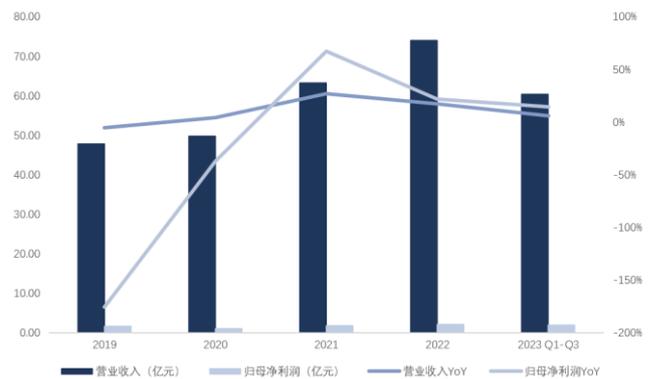
**公司营收、利润水平稳定增长。**2020 年至 2023 年前三季度，公司实现营业收入 49.8 亿元、62.7 亿元、74.1 亿元、60.5 亿元，同比增长 4.2%、27.1%、17.1%、5.7%，实现归母净利润 1.0 亿元、1.7 亿元、2.1 亿元、2 亿元，同比增长-37.2%、67.3%、22.0%、14.4%。

**图表 42: 2023H1 安泰科技营收结构**



资料来源: ifind, 信达证券研发中心

**图表 43: 安泰科技近年营收和归母净利润**



资料来源: ifind, 信达证券研发中心

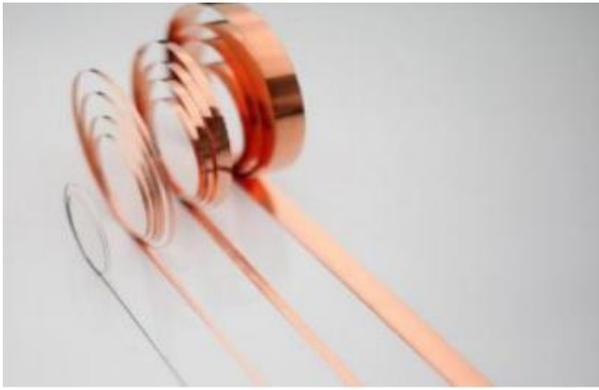
#### 4.3.3 永鼎股份: 光通信主业平稳经营, 高温超导带材供应商

**光通信全产业链布局, 高温超导带材持续推进产业化。**公司业务主要布局于光通信和电力传输领域, 在光通信领域: 公司立足光棒、光纤、光缆等网络基础通信产品, 延伸至光芯片、光器件、光模块、光网络集成系统等全产业链, 实现从芯到线到设备传输、到数据采集和应用的产业布局。在电力传输领域, 公司业务包括海外电力工程、汽车线束和电力电缆; 超导方面, 公司主营产品是第二代高温超导带材及其应用设备和超导电气产品, 产品已在超导感应加热设备、可控核聚变、超导电缆等下游应用中广泛应用。2021 至 2023H1 经营高温超导带材的子公司东部超导净利润分别为-822.6、-2580.8、-814.7 万元, 正处产业化前夕。

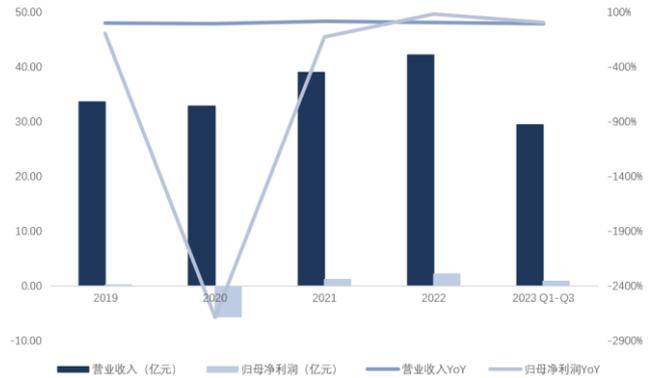
**公司近年经营业绩平稳。**2021 年至 2023 年前三季度, 公司实现营业收入 39.1、42.3、29.5 亿元, 同比增长 19%、8.1%、-4.7%, 实现归母净利润 1.2、2.3、0.9 亿元, 同比增长 121.6%、87.4%、6.8%。2023 年上半年, 公司收入主要由汽车线束、光缆电缆及通讯设备、海外工程承揽构成, 收入占比分别约 36%、31%、29%。

**图表 44: 永鼎股份二代超导带材**

**图表 45: 永鼎股份近年营收和归母净利润**



资料来源：公司公告，信达证券研发中心



资料来源：ifind，信达证券研发中心

#### 4.3.4 合锻智能：高端成形机床与智能分选设备双主业发展，研制可控聚变真空室

公司是国内一流的节能环保设备的专业设计制造企业，深耕核电领域二十余年。合锻智能始建于1951年，公司立足高端成形机床与智能分选设备的双主业发展模式，主要为客户提供液压机、机械压力机、色选机、移动式破碎筛分装备、智能化集成控制及新材料等产品及服务，产品广泛应用于汽车、家电、军工、航空航天、石化、新材料应用等领域。在核聚变领域，公司与中国核工业二三建设有限公司在聚变堆真空室制造技术、聚变堆安装技术、大科学装置建造技术方面开展长期战略合作，公司已承接聚变真空室构件的研制工作，计划于2024年交付。

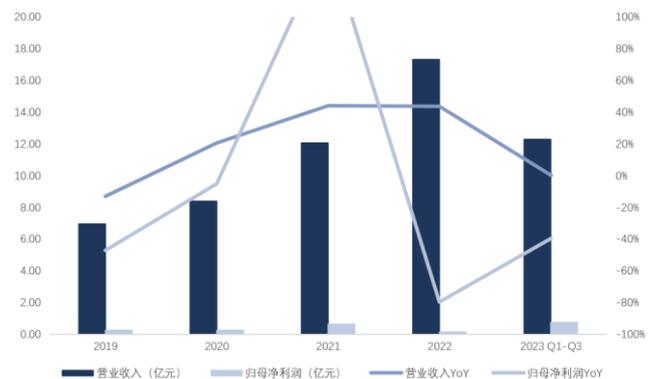
公司近年营收持续增长，利润有一定波动。2021年至2023年前三季度公司实现营业收入12.1、17.3、12.3亿元，同比增长44.0%、43.8%、0.2%，归母净利润0.6、0.1、0.7亿元。

图表 46：合锻智能 BEST 真空室项目



资料来源：合锻智能，信达证券研发中心

图表 47：合锻智能近年营收和归母净利润



资料来源：ifind，信达证券研发中心

## 四、风险因素

**产业投资放缓风险：**目前我国的可控核聚变投资仍是政府主导，民间资本可控核聚变公司尚未进入大规模投资阶段，目前科研经费投资较为重要，因此若产业政策转向，则相关企业获得的聚变订单将面临缩减风险。

**可控核聚变技术发展不及预期风险：**可控核聚变是创新性技术，目前仍处在实验探索和工程化探索的阶段，诸多关键技术问题仍需要持续突破，若技术进展不及预期，则商业化的可控

核聚变将难以实现。

**交付节奏不及预期风险：**可控核聚变项目工程化进展较为前期，ITER 项目曾有过推迟，若项目的建设进度不及预期，则相关设备订单的交付可能推迟，相关公司业绩可能不及预期。

## 研究团队简介

武浩，新能源与电力设备行业首席分析师，中央财经大学金融硕士，7年新能源行业研究经验，2020年加入信达证券研究所，负责电力设备新能源行业研究。2023年获得新浪金麒麟光伏设备行业菁英分析师第三名。研究聚焦细分行业及个股挖掘。

黄楷，电力设备新能源行业分析师，墨尔本大学工学硕士，伦敦卡斯商学院金融硕士，3年行业研究经验，2022年加入信达证券研发中心，负责光伏行业研究。

曾一贇，新能源与电力设备行业研究助理，悉尼大学经济分析硕士，中山大学金融学学士，2022年加入信达证券研发中心，负责电力设备及储能行业研究。

孙然，新能源与电力设备行业研究助理，山东大学金融硕士，2022年加入信达证券研发中心，负责新能源车和机器人行业研究。

王煊林，电力设备新能源研究助理，复旦大学金融硕士，1年行业研究经验，2023年加入信达证券研究所，负责风电及核电行业研究。

## 分析师声明

负责本报告全部或部分内容的每一位分析师在此申明，本人具有证券投资咨询执业资格，并在中国证券业协会注册登记为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告；本报告所表述的所有观点准确反映了分析师本人的研究观点；本人薪酬的任何组成成分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体分析意见或观点直接或间接相关。

## 免责声明

信达证券股份有限公司(以下简称“信达证券”)具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本报告由信达证券制作并发布。

本报告是针对与信达证券签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。信达证券不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。客户应当认识到有关本报告的电话、短信、邮件提示仅为研究观点的简要沟通，对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告是基于信达证券认为可靠的已公开信息编制，但信达证券不保证所载信息的准确性和完整性。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告最初出具日的观点和判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会出现不同程度的波动，涉及证券或投资标的的历史表现不应作为日后表现的保证。在不同时期，或因使用不同假设和标准，采用不同观点和分析方法，致使信达证券发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告，对此信达证券可不发出特别通知。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测仅供参考，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人做出邀请。

在法律允许的情况下，信达证券或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能会为这些公司正在提供或争取提供投资银行业务服务。

本报告版权仅为信达证券所有。未经信达证券书面同意，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若信达证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，信达证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成信达证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。

如未经信达证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。信达证券将保留随时追究其法律责任的权利。

## 评级说明

投资建议的比较标准	股票投资评级	行业投资评级
本报告采用的基准指数：沪深 300 指数（以下简称基准）； 时间段：报告发布之日起 6 个月内。	<b>买入</b> ：股价相对强于基准 20% 以上；	<b>看好</b> ：行业指数超越基准；
	<b>增持</b> ：股价相对强于基准 5%~20%；	<b>中性</b> ：行业指数与基准基本持平；
	<b>持有</b> ：股价相对基准波动在±5% 之间；	<b>看淡</b> ：行业指数弱于基准。
	<b>卖出</b> ：股价相对弱于基准 5% 以下。	

## 风险提示

证券市场是一个风险无时不在的市场。投资者在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。建议投资者应当充分深入地了解证券市场蕴含的各项风险并谨慎行事。

本报告中所述证券不一定能在所有的国家和地区向所有类型的投资者销售，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业顾问的意见。在任何情况下，信达证券不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。