

可控核聚变：未来能源，设备先行

——可控核聚变设备行业深度

行业评级：看好

2024年3月14日

分析师
邮箱
电话
证书编号

邱世梁
qiushiliang@stocke.com.cn
18516256639
S1230520050001

分析师
邮箱
电话
证书编号

王华君
wanghuajun@stocke.com.cn
18610723118
S1230520080005

分析师
邮箱
电话
证书编号

刘村阳
liucunyang@stocke.com.cn
18262627599
S1230522100001

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

可控核聚变：未来能源，设备先行

1、可控核聚变——人类终极能源，当前已经进入发展临界点

- 1) 核聚变由于燃料丰富、能量密度大、无污染等优点，被认为是人类未来的终极能源，因此也成为大国下一代科技竞争的前沿阵地。
- 2) 20世纪90年代以来可控核聚变科学可行性已得到证实，当前已进入工程可行性验证阶段，一旦完成验证（2025年，CFS全球首台产生正能量增益的商业聚变系统SPARC预计建成运行），政府、私人投资有望快速推动行业进入商业化阶段。

2、高温超导+AI催化下核聚变商业发电预期提速，资本市场融资屡创新高

- 1) 随着近年来高温超导技术的成熟，聚变实验堆成本与建设周期大幅降低，叠加AI对聚变装置设计和控制效率的提升，加快了可控核聚变商业化落地的预期。
- 2) 根据聚变行业协会（FIA）数据，2022年，全球私营核聚变公司积累融资额达48.6亿美元，同比增长139%，参与公司总数超过30家。而截至2023年上半年，积累融资额就已达62.1亿美元，新参与公司数量达13家，超半数公司预期2035年前可实现核聚变并网发电。

3、我国自上而下推动，政策支持、任务落实、新堆建设有望提速

- 1) 2023年12月29日，由中核集团牵头，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，中国聚变公司（筹）举行揭牌仪式。国务院国资委明确可控核聚变为未来能源重要方向，国家自上而下推动，为可控核聚变产业发展奠定坚实基础。
- 2) 2023年11月，联创光电子公司联创超导与中核聚变签订协议，计划联合建设聚变-裂变混合实验堆项目，工程总投资预计超过200亿元。2023年12月，中科院等离子体所紧凑型聚变能实验装置（BEST）部分部件开始招标。我国通过参与ITER不断完成技术突破、产业链整合，国内新聚变实验堆建设有望提速。

4、核聚变设备价值量占比较高，预计2023-2033年年均复合增速为26%

- 1) 价值量拆分：聚变实验堆：百亿成本，主机设备（包括磁体、包层、真空室等）占比约30%，辅助系统占比约10%，电源占比约15%，建筑占比约15%，其余项目支持、装配、运维等占比约30%。聚变商业堆：千亿成本，主机设备占比29%，电厂辅机设备占比25%，电源、建筑占比17%，其他辅助系统占比29%。
- 2) 市场空间：前期实验堆为主，后期商业堆接力。参考核聚变私营企业/政府机构数量、单堆设备费用占比、商业验证预期完成节奏，我们预计全球核聚变设备市场年均规模将从2021-2025年的208亿元增长至2026-2030年的917亿元、2031-2035年的2172亿元，2023-2033年年均复合增速26%。

5、投资建议：前期重点关注受益ITER项目交付及国内新实验堆建设的核心设备供应商

上游材料：西部超导（低温超导带材、磁体）、永鼎股份（子公司东部超导，高温超导带材）、精达股份（参股上海超导，高温超导带材）。中游设备：联创光电（高温超导磁体）、国光电气（偏滤器、包层第一壁板、泵阀等）、安泰科技（偏滤器）。其他：景业智能（核工业智能装备）。

6、风险提示：1) 可控核聚变工程可行性验证

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

险。

目录

CONTENTS

01

可控核聚变：人类终极能源，托卡马克路线为主流

聚变能源燃料丰富、无污染，是人类社会未来的理想能源

聚变装置路线：托卡马克最有望率先获得突破

可控核聚变已完成科学可行性验证，当前处于工程可行性验证阶段

02

核聚变商业发电预期提速，资本市场融资屡创新高

高温超导+AI催化下核聚变商业发电有望提速

可控核聚变：资本市场融资屡创新高

超半数聚变公司预期2035年前实现并网发电

03

我国自上而下推动，政策支持、任务落实、新堆建设有望提速

中核集团牵头成立可控核聚变创新联合体，我国聚变能源产业迎来新里程碑

我国通过参与ITER弯道超车，不断完成技术突破、产业链整合

国内新聚变实验堆接连落地，未来几年有望进入建设高峰期

04

核聚变设备价值量占比较高，前期实验堆为主，后期商业堆接力

聚变实验堆成本拆分：磁体、包层、真空室占比较高

可控核聚变设备空间测算：预计2023-2033年年均复合增速为26%

核聚变产业链：上游原材料、中游设备及下游核电应用

05

投资建议与风险提示

投资建议：推荐受益ITER交付及国内新堆建设的核心设备供应商

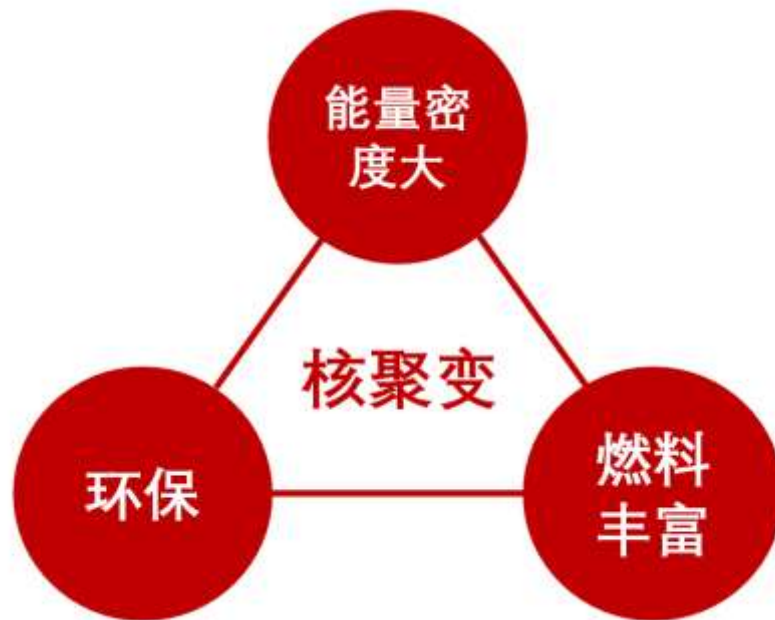
01

可控核聚变：人类终极能源，托卡马克路线为主流

- 聚变能源燃料丰富、无污染，是人类社会未来的理想能源
- 聚变装置路线：托卡马克最有望率先获得突破
- 可控核聚变已完成科学可行性验证，当前处于工程可行性验证阶段

- 聚变能源具有无污染、能量密度大、燃料丰富等优点，被认为是人类未来的终极能源
- 聚变反应不会向大气中排放二氧化碳或其他温室气体，符合清洁能源低碳环保大趋势
- 材料行业、高温超导、激光器和脉冲功率系统等取得的巨大进步，为各聚变方向带来最终突破的可能性
- 因此，近年来政府和创业公司在各种路线探索上加大了投入，聚变能源目前已进入工程化落地关键期，有望在未来10-30年实现重大突破

图：聚变能源具有无污染、能量密度大、燃料丰富等优点



核反应主要分为两大类：1) 核裂变：重元素的原子核分裂为质量较轻元素的原子核时所释放的能量，称为核裂变能；
2) 核聚变：小质量元素的原子核聚合成为重核所释放的能量，称为核聚变能。

与核裂变相比：

1) 核聚变能量密度大

聚变每公斤燃料产生的能量是裂变的4倍，是石油或煤炭的近400万倍。

2) 核聚变燃料丰富

氘可以从海水中廉价提取，而氦可以通过聚变产生的中子与天然丰富的锂反应产生。

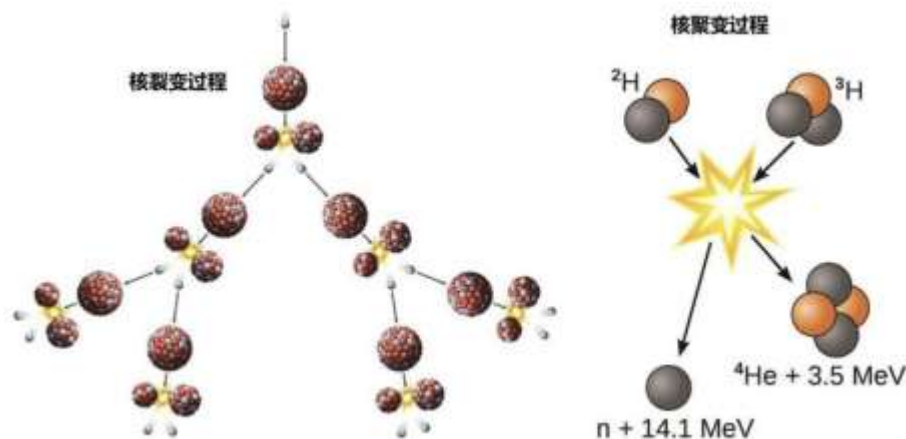
3) 核聚变安全可靠

核聚变难以启动和维持，只能在严格的操作条件下发生，超出条件（例如事故或系统故障）反应将自然终止。

4) 核聚变清洁环保

核聚变不会生成二氧化碳或其他温室气体，同时也不会像核裂变一样产生高放射性、长衰变期的核废料。

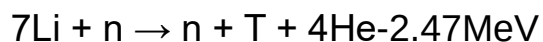
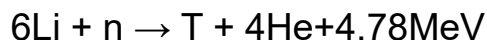
图：核聚变与核裂变过程对比



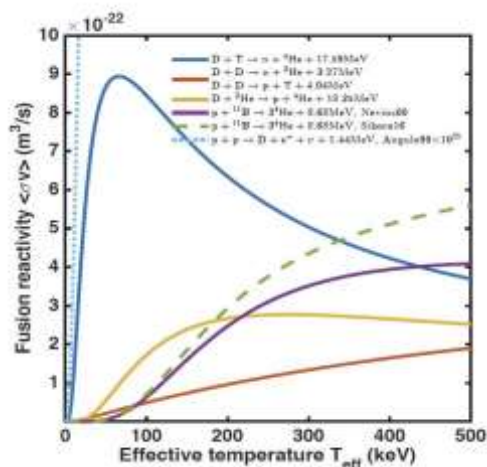
氘氚 (D-T) 反应是最容易实现的核聚变反应，需要的点火温度最低。



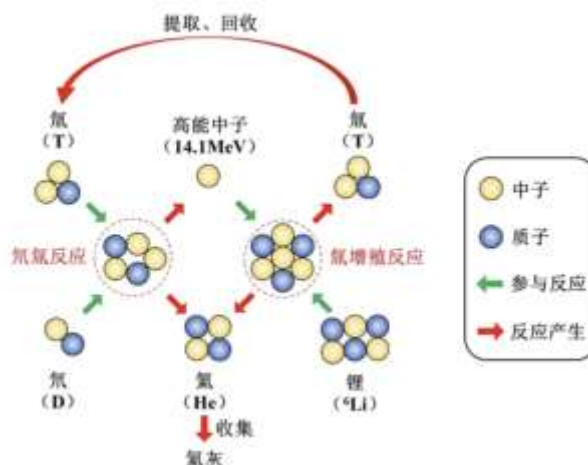
- 氘 (D) 主要存在于海水中，每1kg海水中含量约为0.03g，当前氘的提取技术已经成熟，这使得氘成为几乎取之不尽、用之不竭的聚变燃料。
- 氚 (T) 的半衰期只有12.43年，因此地球上并不存在天然氚，因此反应需要氚自持，即依靠氘氚反应产生的高能中子与锂反应产生新的氚，再投入新的氘氚反应，形成循环。



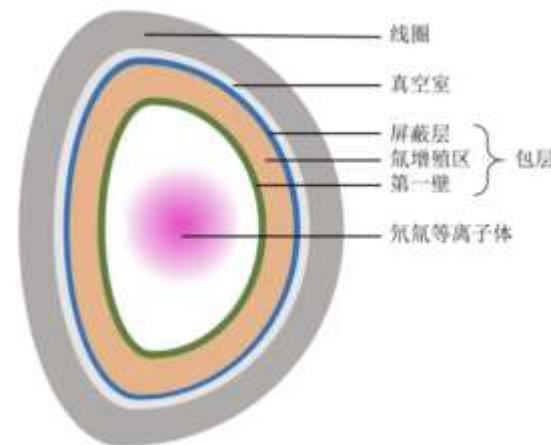
图：氘氚反应是最容易实现的核聚变反应



图：氘循环原理



图：聚变堆氘增殖剖面设计



反应堆稳定运行指标：聚变三乘积

当核聚变反应的能量产出率大于能量损耗率，并且有足够能量使核聚变反应稳定持续时，即意味着核聚变点火成功。根据劳森判据，具体公式为温度、等离子体密度和能量约束时间三者乘积大于一定值。

图：聚变反应实现条件：等离子体密度、温度、约束时间的乘积大于一定值

聚变三乘积： $n \times T_i \times \tau_E$		
等离子体密度 - n	原子核温度 - T_i	能量约束时间 - τ_E
$1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$	$1 \sim 2 \times 10^8 \text{ K}$ (10~20 keV) (1-2亿度)	秒量级

核聚变发电指标：Q值

一个核聚变反应堆释放能量和消耗能量的比值被称为Q值。Q值大于1的时候，意味着核聚变反应产生了净能量增益。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；Q值大于10的时候核电站才能有收益；Q值大于30的时候核聚变发电站可以商业化。

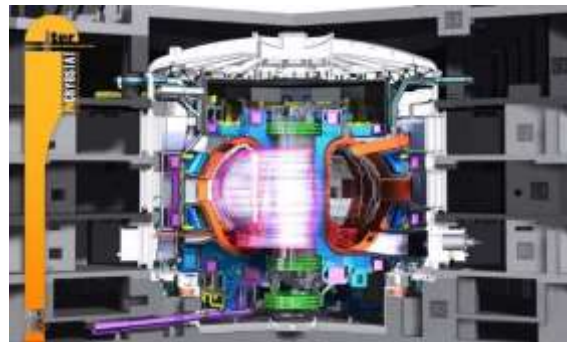
图：1997年欧洲JET Q值达到0.67



图：1998年日本JT60-U等效Q值达到1.25



图：ITER目标Q值为达到10



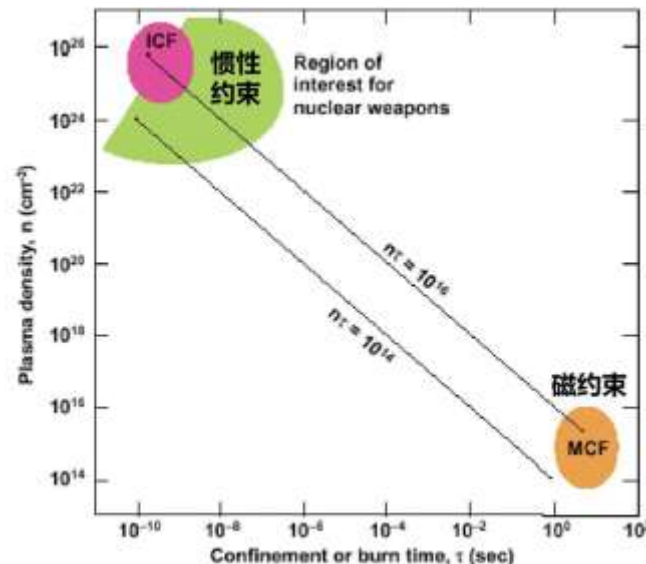
磁约束装置主要用于民用发电（低密度，高约束区间）

- 能量约束时间在秒量级
- 密度在 10^{15}cm^{-3}

惯性约束的参数范围位于国防应用领域（极高密度，低约束区间）

- 能量约束时间在纳秒量级
- 密度在 10^{25}cm^{-3}
- 美国的NIF（LLNL）和中国的“神光”系列装置（中国工程物理研究院）都属于此类装置

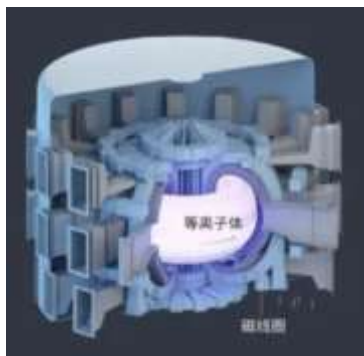
图：磁约束和惯性约束是两种完全不同的约束方式



表：磁约束核聚变与激光核聚变对比

约束方式	原理	典型方案	优点	缺点
磁约束	通过磁场来约束温度极高的等离子体的核燃料，以使其反应	托卡马克、仿星器、反向场箍缩、磁镜等	可稳态运行发电	为长时间约束高温等离子体，需要维持强大的磁场，难度及成本较高
惯性约束	通过激光等产生的巨大的压强，使核燃料体积在极短的时间内变小，密度变大，原子核发生聚变反应	氢弹（不可控）、激光、Z箍缩等	无材料问题，技术成熟实现容易	能量的输出和转移还不成熟，因此多用于国防领域

图：托卡马克



用液氦冷却的超导磁线圈将等离子体盛装在环形容器中

图：紧凑型托卡马克



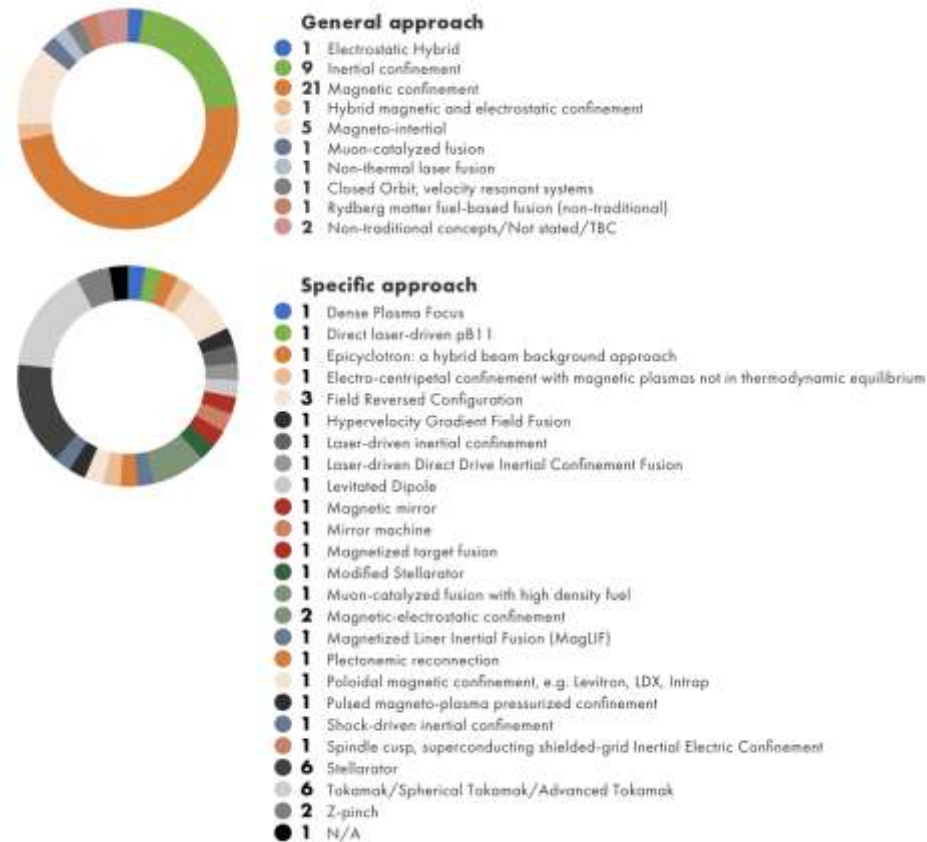
由高温超导体组成的磁体产生更强的磁场，从而使结构更紧凑

图：仿星器



通过一个复杂的扭曲环形磁场来约束等离子体

图：在初创核聚变公司中，托卡马克及仿星器方案为主流

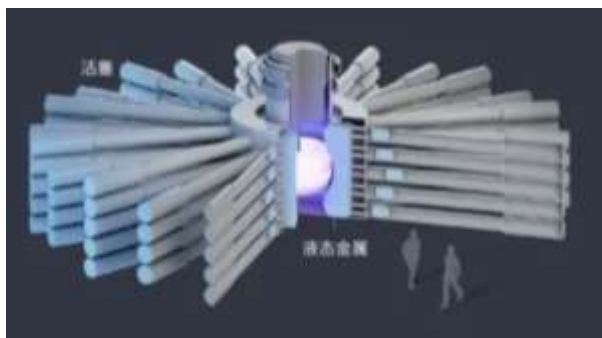


图：线性（碰撞束）



多束等离子体被发射到一个中央腔室，并在螺线管内快速旋转。

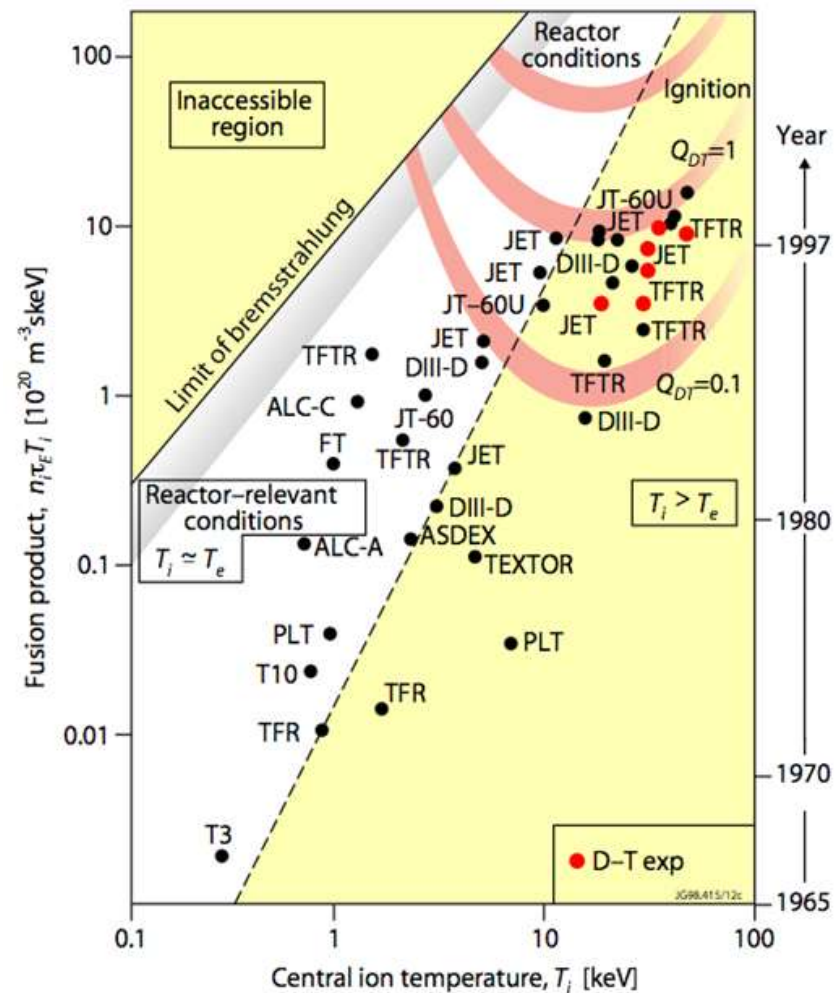
图：磁化靶



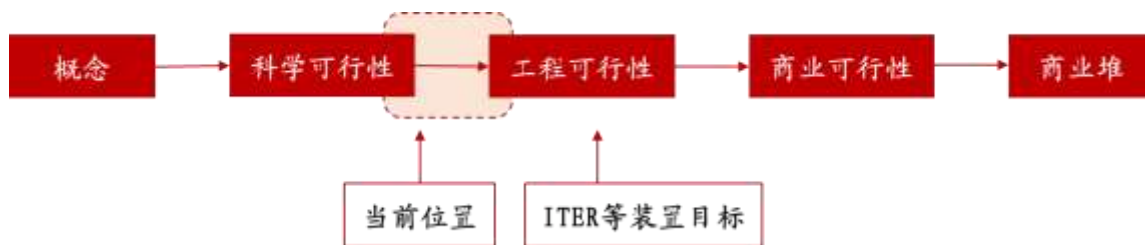
用旋转的液态金属球来容纳等离子体，再利用活塞压缩等离子体-聚变反应膨胀做功。

- 1991年，欧洲JET装置实现核聚变史上第一次氘氘运行实验，聚变功率达到1.7MW，能量增益因子Q值达0.11-0.12
- 1993年，美国TFTR装置氘氘运行也获得成功，聚变功率达到5.6MW，能量增益因子Q值达0.28
- 1997年，欧洲JET装置又创下聚变功率为12.9MW的世界纪录，能量增益因子Q值达0.60
- 1998年，日本JT-60U装置，能量增益因子Q值达到1.25
- 2006年，ITER项目正式启动，目标聚变功率达到500MW，能量增益因子Q值达到10

图：20世纪90年代可控核聚变科学可行性已得到证实



图：可控核聚变当前已进入工程可行性验证阶段



国内进展：

1. 我国在磁约束核聚变技术方面进行了大量研究，实验装置包括东方超环“EAST”、中国环流器二号M“HL-2M”等。
2. 2022年10月，中核集团核工业西南物理研究院“HL-2M”装置等离子体电流突破100万安培（1兆安），创造了我国可控核聚变装置运行新纪录。
3. 2023年4月，中国科学院等离子体物理研究所“EAST”装置成功实现403秒稳态长脉冲高约束模等离子体运行，创造了托卡马克装置高约束模式运行新的世界纪录。

国际进展：

1. 2006年，国际热核聚变实验堆（ITER）项目正式启动，由欧盟、中国、印度、日本、韩国、俄罗斯和美国七方共同实施，计划在2025年启动实验，2035年开始进行氘-氚聚变反应（已延期）。
2. 2022年12月，美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室（LLNL）基于惯性约束技术，在国家点火设施（NIF）输入2.05兆焦的能量，产生3.15兆焦的能量，首次实现聚变能量正增益（ $Q \sim 1.5$ ）。
3. 2023年，英国欧洲联合核聚变实验装置（JET）使用0.2毫克燃料在约5秒的时间里，通过核聚变反应产生69兆焦耳的能量，超过JET此前2021年在约5秒的时间里产生的59兆焦耳能量，创造了核聚变反应能量输出的新世界纪录。
4. 2023年12月，欧洲和日本共同建造和运营的核聚变反应堆JT-60SA正式投入运行，JT-60SA作为ITER的先行项目，是目前全球最大的实验性核聚变反应堆。

02

核聚变商业发电预期提速，资本市场融资屡创新高

- 高温超导+AI催化下核聚变商业发电有望提速
- 可控核聚变：资本市场融资屡创新高
- 超半数聚变公司预期2035年前实现并网发电

随着近年来高温超导技术的成熟、产业化获得突破，大幅降低了聚变实验堆的成本与建设周期。

磁约束聚变主要靠磁场来约束高温等离子体，而托卡马克聚变堆单位体积的聚变功率密度正比于磁场强度的4次方，即磁场加强1倍聚变性能可以提高16倍。因此同等设计聚变功率下，磁场越强，所需的装置体积越小，成本及建设难度越低。

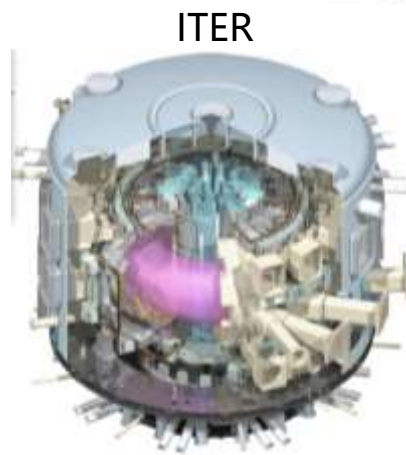
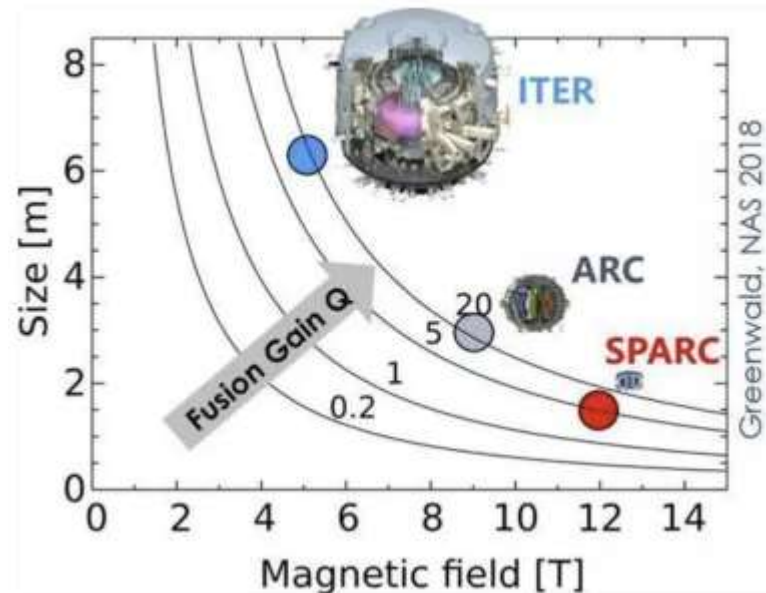
采用高温超导磁体的SPARC/ARC体积、成本显著小于采用低温超导磁体ITER。

ITER：工程设计结束于1998年，由于早期材料与技术水平的限制，其采用铌三锡低温超导磁体，等离子体中心最高磁场强度只能达到5.3T。因此，为达到500MW聚变功率、聚变增益 $Q=10$ 的目标，ITER等离子体大半径达到6.2米，整体预算高达200亿欧元。

SPARC/ARC：MIT基于二代高温超导带材REBCO，设计了聚变功率 $>50\text{MW}$ 、聚变增益 $Q>2$ 的小型聚变试验堆SPARC和聚变功率 $>200\text{MW}$ 、聚变增益 $Q>10$ 的聚变商业示范堆ARC。其中ARC设计磁场强度9.2T，等离子体大半径3.3米，预计造价55亿美元；SPARC设计磁场强度12T，等离子体大半径仅1.65米。

随着高温超导带材产业化的不断成熟，未来成本仍有下降空间。

图：提高磁场强度可以显著缩小装置尺寸，进而控制成本



ITER



ARC

大半径~6.2m

磁场~5.3T

大半径~3.3m

聚变功率~200MW

磁场~9.2T

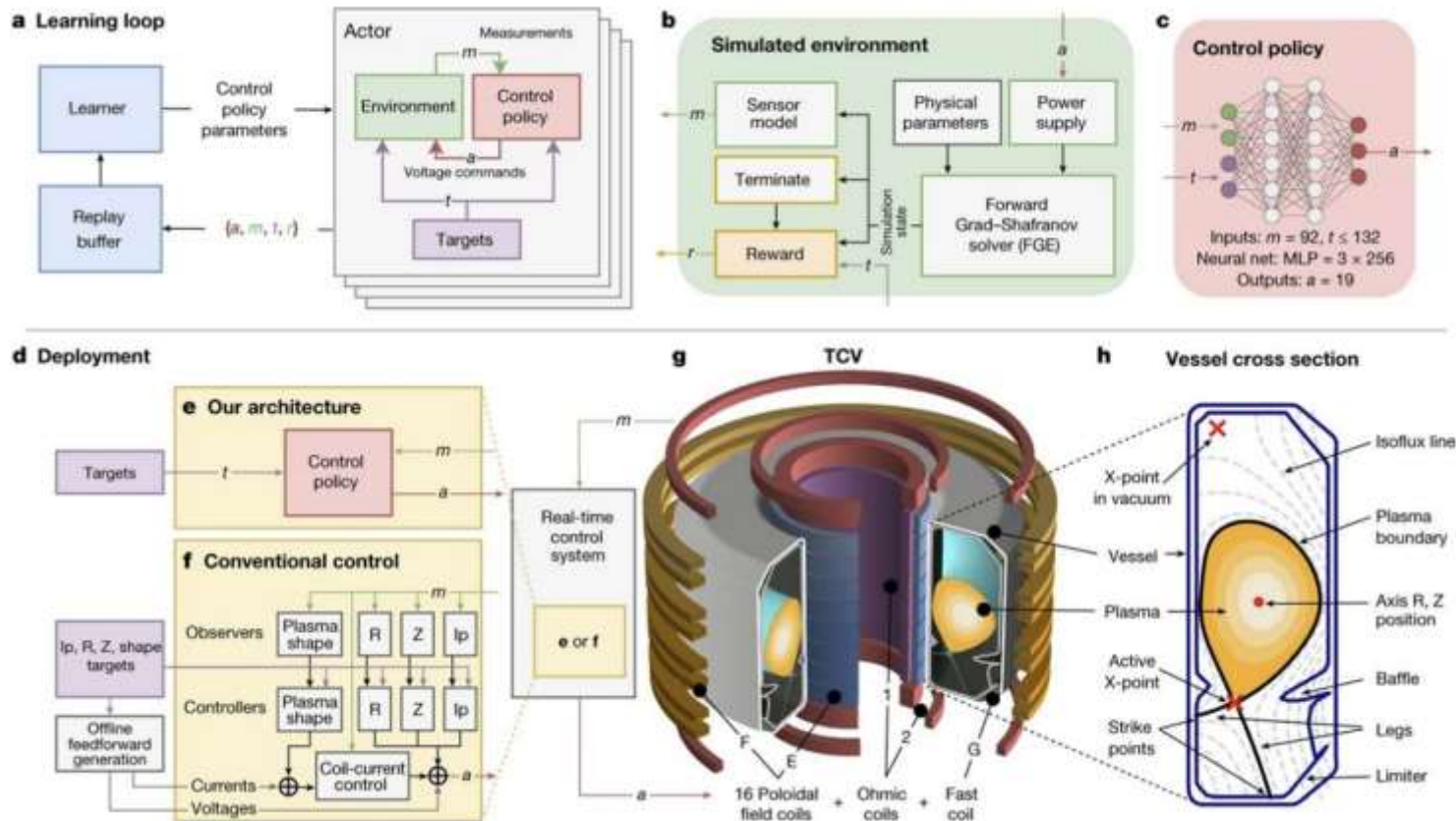
聚变增益 $Q\sim 10$

图：DeepMind利用强化学习首次控制核聚变

除了材料端的进步，AI模型的进步和算力的不断发展也在推动聚变应用加快落地。

托卡马克聚变装置的难点之一就是精确控制和约束内部的等离子体，而人工智能，特别是强化学习，特别适合解决托卡马克中控制等离子体的复杂问题。

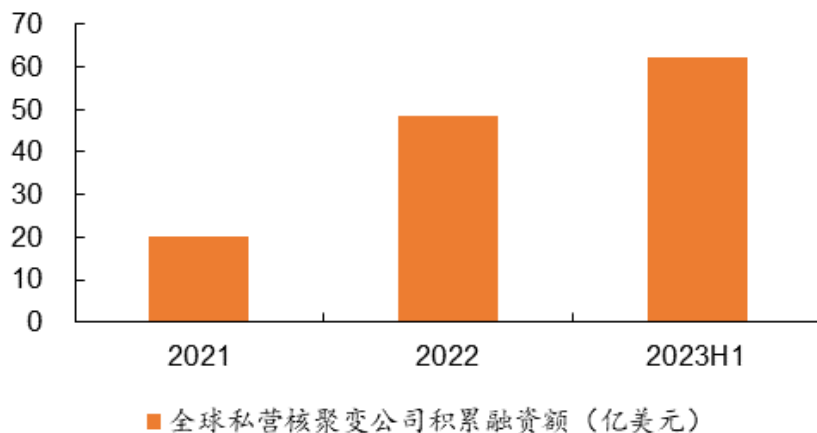
2022年，DeepMind利用强化学习首次控制核聚变，大大简化了控制系统。使用单个计算成本低的控制器取代了嵌套控制架构，消除了独立平衡重建的要求，缩短了控制器开发周期，并能加速更换等离子配置验证。2023年，改进后的算法将等离子体形状精度提高了65%，并且将训练时间减少了3倍。



随着近年来高温超导技术的成熟，大幅提升聚变装置性能的同时成本持续下降，叠加AI超预期发展对聚变装置设计和控制效率的提升，加快了可控核聚变商业化落地的预期，资本市场融资屡创新高。

根据聚变行业协会（FIA）数据，截至2022年底，全球私营核聚变公司已积累获得48.6亿美元的投资，相比2021年增长139%，参与核聚变研究的公司总数超过30家。而截至2023年上半年，全球私营核聚变公司积累融资额就已达62.1亿美元，新参与公司数量达13家。

图：2023H1全球私营核聚变公司积累融资额达62.1亿美元



图：全球43家私营核聚变公司中25家来自美国（2023H1）



海外核聚变投资热度持续提升。2021年12月，Commonwealth Fusion Systems (CFS) 宣布完成B轮18亿美元融资，投资方包括微软创始人比尔·盖茨、索罗斯、老虎环球基金和谷歌等，这也是迄今为止核聚变领域最大的一笔私人投资。CFS计划2030年后建成商用核聚变发电厂，并实现并网运行。

表：国外主流核聚变能源公司

公司	国家	成立时间	已筹集资金	聚变方案	预计商业发电功率	预计商业化时间	主要投资方
Commonwealth Fusion Systems (MIT)	美国	2018年	>20亿美元	托卡马克 (D-T)	400MW	2030s	比尔·盖茨、索罗斯、老虎环球基金、谷歌等
Tokamak energy	英国	2009年	2.5亿美元	球形托卡马克 (D-T)	500MW	2033年	Hans-Peter Wild、UK Innovation & Science Seed Fund
TAE technologies	美国	1998年	>12亿美元	场反位形 (p-B11)	350-500MW	2030s	雪佛龙、谷歌等
General fusion	加拿大	2002年	>3亿美元	磁化靶 (D-T)	230MW	2030s	杰夫·贝索斯、微软、加拿大政府等
Helion Energy	美国	2013年	5.77亿美元	场反位形 (D-He3)	>50MW	2028年	美国能源部、NASA、OpenAI 首席执行官Sam Altman等

国内可控核聚变投融资同样逐渐升温。能量奇点成立于2021年，是国内第一家聚变能源商业公司，2022年能量奇点完成4亿元人民币的首轮融资，2023年4月完成近4亿元Pre-A轮融资，公司累计融资近8亿元人民币。2022年6月至今，星环聚能同样也已完成两轮融资，融资额达数亿元。翌曦科技于2022年9月完成5000万元种子轮融资。此外，2023年5月，蔚泽晶润及其募资方和关联方、皖能股份及皖能资本、合肥产投等共同出资成立核聚变公司聚变新能，注册资本达50亿人民币。

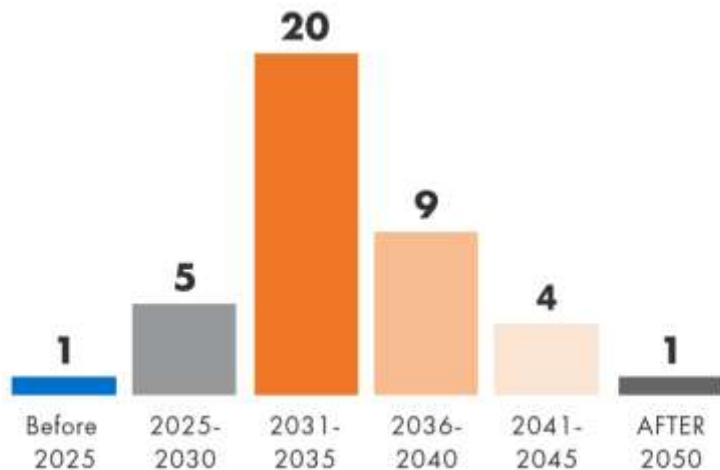
表：国内主流核聚变能源公司

公司	国家	成立时间	已筹集资金	聚变方案	预计商业发电功率	预计商业化时间	主要投资方
新奥	中国	2018年	4亿美元	球形托卡马克 (p-B11)	200MW	2040年前	新奥集团
能量奇点	中国	2021年	1.12亿美元	托卡马克 (D-T)	100MW	-	米哈游、蔚来资本、红杉中国种子基金、蓝驰创投、明照资本、云和方圆、黑门投资等
星环聚能	中国	2021年	数亿元人民币	球形托卡马克	100MW	2030s	顺为资本、昆仑资本、中科创星、远镜创投、和玉资本、红杉中国种子基金、险峰长青、九合创投、联想之星、英诺创投、元禾原点、华方资本等
翌曦科技	中国	2022年	5000万人民币	-	-	-	中科创星、合力投资、泓昇基金等
聚变新能	中国	2023年	50亿元	托卡马克	-	-	蔚泽晶润及其募资方和关联方、皖能股份、皖能资本及其募资方、合肥产投及其募资方和关联方等

超半数核聚变公司预期2035年前实现并网发电，商业落地有望提速。根据聚变行业协会（FIA）最新报告统计，在全球40家核聚变公司中，有6家公司认为2030 年前第一台聚变机组将实现并网发电，有20家公司认为2031-2035年第一台聚变机组将实现并网发电，有9家公司认为2036-2040年第一台聚变机组将实现并网发电，有5家公司认为2041年后第一台聚变机组将实现并网发电。

2023年5月，核聚变初创公司Helion Energy宣布，科技巨头微软与公司签订购电协议。**公司承诺在2028年之前开始通过核聚变发电，并在一年之后为微软提供至少50MW的电力，Helion的长期目标为实现每千瓦时1美分的电力供应。**值得一提的是，Helion Energy投资人包括OpenAI的创始人Sam Altman。

图：超半数聚变公司预期在2035年前实现核聚变并网发电



图：私营及国家核聚变设施时间路线图



03

我国自上而下推动，政策支持、 任务落实、新堆建设有望提速

- 中核集团牵头成立可控核聚变创新联合体，我国聚变能源产业迎来新里程碑
- 我国通过参与ITER弯道超车，不断完成技术突破、产业链整合
- 国内新聚变实验堆接连落地，未来几年有望进入建设高峰期

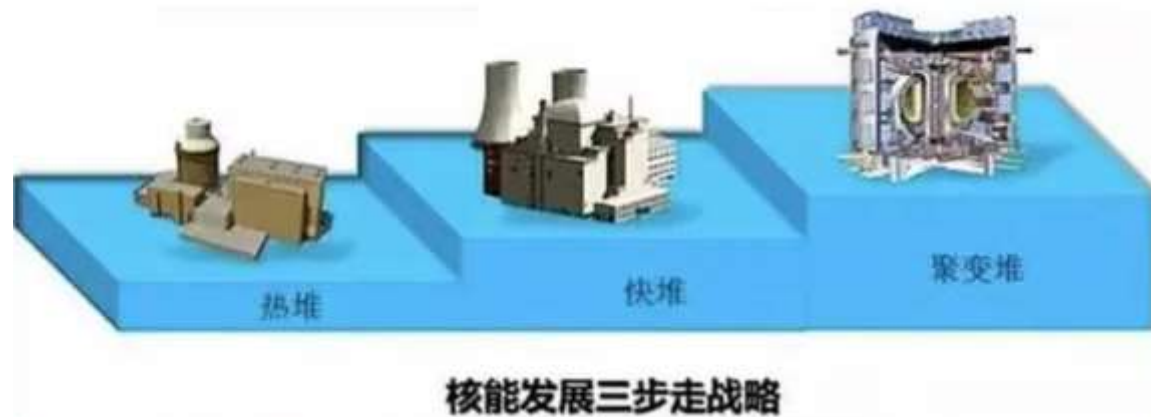
中核集团牵头成立可控核聚变创新联合体，我国聚变能源产业迎来新里程碑。2023年12月29日，由25家央企、科研院所、高校等组成的可控核聚变创新联合体正式宣布成立，中国聚变公司（筹）举行揭牌仪式，第一批未来能源关键技术攻关任务正式发布。国务院国资委明确可控核聚变为未来能源重要方向，国家牵头发挥举国体制优势，推进设立可控核聚变专业化公司，为我国可控核聚变产业发展奠定坚实基础。

我国核能发展路线，分为“热堆—快堆—聚变堆”三步走。第一步，发展以压水堆为代表的热中子反应堆，即利用加压轻水慢化后的热中子产生裂变的能量来发电的反应堆技术，利用铀资源中 0.7%的 ^{235}U ，解决“百年”的核能发展问题；第二步，发展以快堆为代表的增殖与嬗变堆，即由快中子引起裂变反应，可以利用铀资源中 99.3%的 ^{238}U ，解决“千年”的核能发展问题；第三步，发展可控聚变堆技术，希望是人类能源终极解决方案，“永远”的解决能源问题。

图：中国聚变公司（筹）举行揭牌仪式



图：我国“热堆—快堆—聚变堆”三步走核能发展战略



在核聚变领域，我国自20世纪90年代开始研究托卡马克，先后建成运行合肥超环(HT-7)、中国环流器二号(HL-2A)及东方超环(EAST)等装置，2006年加入全球规模最大的国际热核聚变实验堆（ITER），负责完成了ITER装置多个重要部件的设计、制造与装配任务，掌握了磁约束核聚变研究和技术成果，培养出一支高水平科研和工程技术人才队伍。

借助ITER项目获得的实验堆设计、建造经验，我国将力争在2025年推动中国聚变工程试验堆CFETR立项并开始装置建设，到2035年建成、调试运行并开展物理实验，到2050年开始建设商业聚变示范电站。

图：我国积极参与ITER项目，消化吸收ITER技术和经验



图：中国磁约束聚变能发展路线图



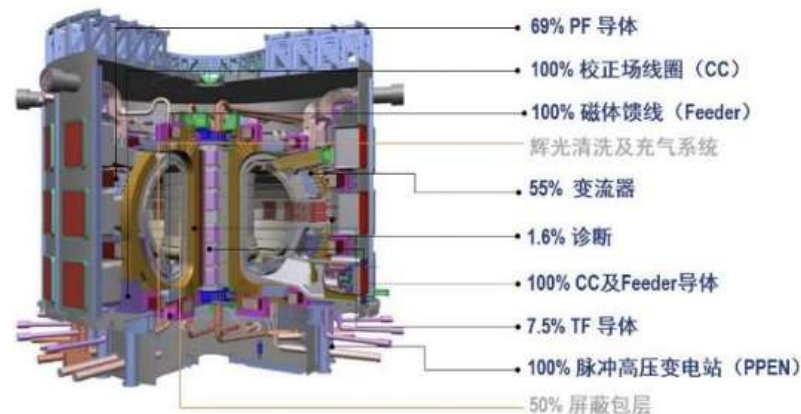
国际热核聚变实验堆（ITER）计划”是全球规模最大、影响最深远的国际科研合作项目之一，我国在承担ITER计划采购包任务**进展显著**。根据 ITER 官方数据，项目预计建设费用约为200亿欧元（220亿美元），其中欧盟承担约45.5%的费用，剩余54.5%的费用由中国、印度、日本、韩国、俄罗斯和美国均摊（每国平均各9.1%），各国承担费用多会以组件、系统和建筑部件等形式交付给ITER。据ITER计划副总干事罗德隆透露，目前ITER第一等离子体建设进度已完成超78%，七方采购已完成85%。

在ITER项目中，我国负责69%的PF导体、100%的校正场线圈、100%的磁体馈线、辉光清洗及充气系统、55%的变流器、1.6%的诊断系统、100%的校正场线圈及磁体馈线导体、7.5%的TF导体、100%的脉冲高压变电站、50%的屏蔽包层等。

图：ITER项目中国承担18 个采购包，整体费用占比约9%



图：我国在ITER项目中负责的模块及比例



我国从事磁约束受控核聚变研究的单位主要包括核工业西南物理研究院、中科院等离子体物理研究所、中国工程物理研究院等科研院所及一些高校。其中，核工业西南物理研究院和中科院等离子体物理研究所是中方参与 ITER 计划的主要承担单位；贵州航天新力、西部超导、成都国光电气、宁夏东方、合肥科烨等企业也参与了 ITER 计划相关部件、材料、工艺的研发和加工。

根据中国核能行业协会数据，2008年至今，我国国家磁约束核聚变能发展研究专项共部署220个项目，总计安排经费约60亿元，取得多项国际和国内第一的研究成果。根据中国国际核聚变能源计划执行中心数据，2022年用于重大科技合作项目的支出达9.6亿元，2023年预算数为6.5亿元，预计未来我国对ITER计划的交付仍将持续。

表：ITER 计划中国主要供应商

部件名称	主要功能	供应商	中国承担占比
磁体支撑	负责支撑整个热核聚变实验堆的核心装置	贵州航天新力铸锻有限责任公司、东方电气（广州）重型机器有限公司	包括 18 套重力支撑(GS)、72 套极向场线圈支撑(PFCS)和 18 套校正场线圈支撑(CCS)，100% 由中国承担研发制造
校正场线圈系统	ITER 磁体系统之一，由 NbTi 超导体绕制而成，匝工作电流 10kA，最高磁场约 5T，主要用来补偿环向场和极向场系统由于制造与安装过程带来的不可消除的磁场误差。	中科院等离子体物理研究所	ITER 装置共 18 个校正场线圈，100%由中国承担研发制造
环向场线圈导体	ITER 磁体系统之一，环向场线圈由 18 个 TF 线圈构成，每个 TF 线圈由 7 根完整连续的基于 Nb3Sn 超导线的铠装导体（CICC）绕制而成。每根 TF 导体额定电流 68kA，承受的磁场强度最高达 12T。	中科院等离子体物理研究所	中国承担 11 根 TF 导体制造任务，约占全部 TF 导体制造任务的 7.51%
极向场线圈导体	ITER 磁体系统之一，极向场（PF）线圈系统由 6 个不同尺寸的独立线圈组成，PF 线圈导体为 NbTi 基超导铠装导体，导体电流 45kA，磁场强度最高可达 5T。	中科院等离子体物理研究所	中国负责制造 PF2 至 PF5 共 60 根 PF 导体，约占全部 PF 导体的 65%
磁体馈线系统	磁体馈线主要功能为向 ITER 超导磁体提供电力与冷却供应及信号测量。	中科院等离子体物理研究所、安徽合肥科烨公司、中广核工程有限公司	ITER 装置共有 31 套磁体馈线系统，100%由中国承担研发制造
包层第一壁	为整个 ITER 装置提供中子和高热负荷的屏蔽，由面向等离子体材料（目前所选材料是铍）、中间热沉材料（CuZrCr 合金）以及后面支撑背板材料（316L（N）不锈钢）三部分组成。	核工业西南物理研究院、成都国光电气股份有限公司	ITER 壁挂包层第一壁共计 440 块，中国承担约 10%的生产制造任务
包层屏蔽模块	主要起屏蔽中子的作用，屏蔽块主要由 316LN 不锈钢材料经锻造、焊接、钻孔（直径 12-30mm）等工艺处理后成型所得。	核工业西南物理研究院、东方电气（广州）重型机器有限公司	ITER 壁挂包层屏蔽模块共计 440 块，中国承担约 50%的生产制造任务
极向场线圈交直流变流器电源	为磁体线圈供电，主要由大功率整流变压器、晶间管整流器、电抗器、开关、控制、测量和保护装置等组成。	-	ITER 共需 22 套变流电源供电，其中中国承担 14 套极向场线圈变流器系统及其假负载的设计、制造、测试，以及现场安装任务

2023年11月12日，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签订全面战略合作框架协议。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，工程总投资预计超过200亿元。

2023年12月，中科院等离子体所紧凑型聚变能实验装置（BEST）部分部件开始招标。未来，中科院等离子体所将持续在EAST工程和物理实验研究、ITER部件研发和工程安装、CRAFT设施建设、BEST项目推进中取得新突破新成果。

2024年2月，能量奇点洪荒70高温超导托卡马克装置总体安装完工。洪荒70设计工作开始于2022年3月，自2022年9月起各部件、组件陆续进入加工阶段，2023年8月启动总体安装，至此建成。2022年至今公司累计融资近8亿元人民币。

图：中科院等离子体所EAST



图：中核集团西南物理研究院HL-2M



图：能量奇点洪荒70



04

核聚变设备价值量占比较高，前期实验堆为主，后期商业堆接力

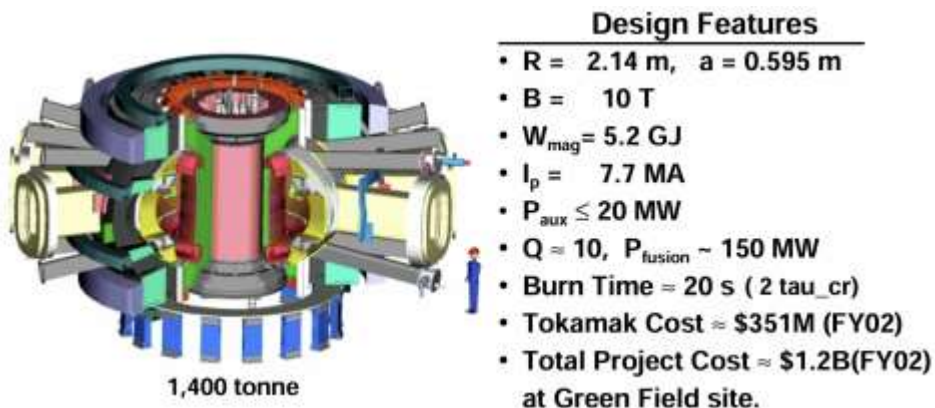
- 聚变实验堆成本拆分：磁体、包层、真空室占比较高
- 可控核聚变设备空间测算：预计2023-2033年年均复合增速为26%
- 核聚变产业链：上游原材料、中游设备及下游核电应用

4.1 聚变实验堆：百亿成本，设备费用占比约55%

参考FIRE，建造一个 $Q>10$ 的聚变实验堆成本在百亿人民币，其中设备费用（主机、辅助系统、电力系统）占比约55%。

根据FIRE官方数据，在一个核聚变实验堆成本中，主机（包括磁体、包层、真空室等）占比约30%，辅助系统（包括加热系统、真空系统、气体注入系统、燃料循环系统）占比约10%，电力系统占比约15%，场地基础设施占比约15%，其余项目支持、装配、运维等占比约30%。

图：FIRE项目是ITER时代美国规划的托卡马克实验装置，目标Q值为10、聚变功率150MW



图：FIRE项目花费预估约12亿美元（2002年）

Cost Estimate of FIRE Preconceptual Design (FY 2002\$)

Greenfield Site Cost Estimate		Estimated Cost	Conting'y	Total with Conting'y	
1 - Fusion Core Systems			\$279,524	\$71,279	\$350,803
1.1	Plasma Facing Components	\$66,977			
1.2	Vacuum Vessel & In-Vessel Structures	\$42,354			
1.3	Toroidal Field Magnets and Structures	\$123,121			
1.4	Poloidal Field Magnets and Structures	\$35,732			
1.5	Cryostat	\$1,919			
1.6	Tokamak Support Structure	\$9,420			
2 - Auxiliary Systems			\$89,789	\$22,896	\$112,685
2.1	Gas & Pellet Injection Fueling Systems	\$4,769			
2.2	Vacuum Pumping System	\$12,645			
2.3	Fuel Recovery and Processing Systems	\$4,089			
2.4	RF Heating/Current Drive Systems	\$68,286			
3 - Diagnostic Systems			\$21,455	\$5,471	\$26,926
4 - Power Systems			\$153,504	\$39,144	\$192,648
5 - Central Instrumentation & Controls			\$18,337	\$4,676	\$23,013
6 - Site and Facilities			\$143,882	\$36,690	\$180,572
7 - Machine Assembly &Remote Maintenance			\$80,375	\$20,496	\$100,871
8 - Project Support & Oversight			\$118,378	\$30,186	\$148,564
9 - Preparations for Operations			\$40,351	\$10,290	\$50,641
10 - R&D During Construction			\$19,328	\$4,929	\$24,256
Cost Estimate of Preconceptual Design (FY 2002\$)			\$945,595	\$241,127	\$1,186,721

TPC w/o contingency \$946M

TPC with contingency \$1,200M

4.2 聚变实验堆：主机（磁体、包层、真空室）为核心设备

参考FIRE项目，在一个托卡马克主机成本中：磁体（包括环向、极向磁体）占比最高，约为56%；其次是面向等离子体的部件（包层），其中偏滤器占比约11%、第一壁占比约5%、缓冲结构占比约4%；真空室容器及结构占比约14%；支持结构占比约3%。

图：FIRE项目主机成本拆分

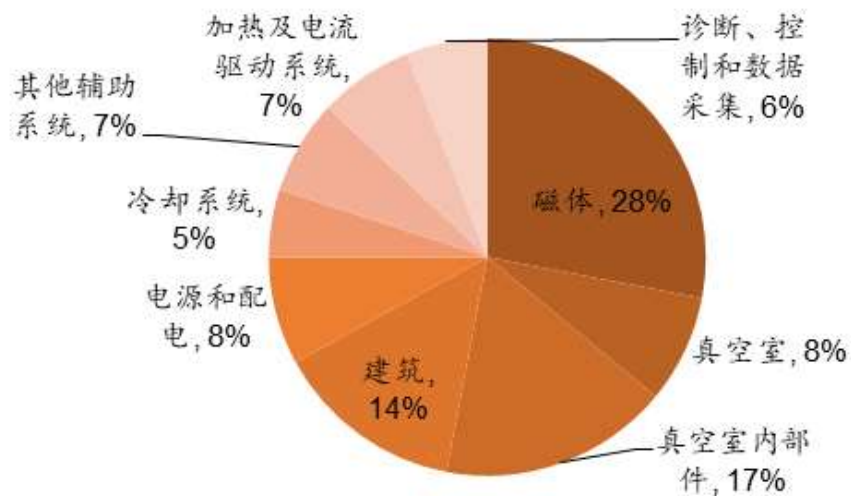
WBS No.	Title	Level of Estimate Summary	Detail	Est. Cost FY 93 \$K	%	Recommended Contingency FY 93 \$K	Total w/ Contingency FY 93 \$K	Comments
1 - Fusion Core Systems				\$266,322.4K	29.48%	\$78,507.0K	\$343,814.3K	
1.1 Plasma Facing Components - Ulrickson / Dreimeyer				\$71,902.2K	26.76%	\$19,241.1K	\$91,143.3K	
1.1.1	First Wall		X	\$15,067.0K	21.42%	\$3,227.0K	\$18,294.0K	
1.1.2	Outer Divertor Modules		X	\$20,063.0K	28.04%	\$5,596.0K	\$25,659.0K	
1.1.3	Baffle Structures		X	\$9,409.0K	13.22%	\$2,596.0K	\$12,005.0K	
1.1.4	Inner Divertor Plates		X	\$5,075.0K	7.06%	\$1,213.0K	\$6,288.0K	
1.1.5	Liners & Arrows		X	\$1,971.0K	2.75%	\$423.0K	\$2,394.0K	
1.1.6	Wall Conditioning Systems		X	\$4,413.4K	6.14%	\$923.4K	\$5,336.8K	
1.1.7	Plasma Facing Components Cooling Water (Inside Cryostat)							Already in Above Numbers
1.1.8	PFC R&D		X	\$8,700.0K	12.24%	\$2,262.0K	\$10,962.0K	
1.2 Vacuum Vessel & In-Vessel Structures - Nelson				\$36,384.6K	31.92%	\$11,614.5K	\$47,999.1K	
1.2.1	Primary VV shell		X	\$18,885.0K	51.93%	\$6,412.0K	\$25,297.0K	Are Internal Control Coils Included?
1.2.2	VV Port Extensions & Duct Shielding		X	\$9,639.3K	26.50%	\$2,890.0K	\$12,529.3K	
1.2.3	VV Port Closure Systems & Penetration Shielding		X	\$5,315.4K	14.62%	\$1,488.3K	\$6,803.7K	
1.2.4	VV Heating & Cooling Systems (Inside Cryostat)		X	\$639.0K	1.76%	\$230.0K	\$869.0K	
1.2.5	VV Supports		X	\$1,494.9K	4.11%	\$627.7K	\$2,122.6K	
1.2.6	Local MC and Sensors		X	\$436.3K	1.20%	\$157.1K	\$593.4K	
1.3 Toroidal Field Magnets and Structures				\$117,901.0K	32.27%	\$36,041.7K	\$155,942.7K	
1.3.1	TF Winding Pack		X	\$91,277.4K	77.40%	\$31,034.3K	\$122,311.7K	
1.3.2	TF Cases & Support Structure		X	\$5,503.0K	4.67%	\$1,451.0K	\$6,954.0K	
1.3.3	TF Magnet Assembly (Winding Pack into Cases)		X	\$2,416.0K	2.05%	\$725.1K	\$3,141.1K	
1.3.4	TF Power & Cryogen Interfaces		X	\$1,000.0K	0.85%	\$372.0K	\$1,372.0K	
1.3.5	TF Magnets Engineering Design/Support		X	\$13,625.3K	11.56%	\$3,405.1K	\$17,030.4K	
1.3.6	TF Coil R&D		X	\$3,283.0K	2.80%	\$853.0K	\$4,136.0K	
1.4 Poloidal Field Magnets and Structures				\$29,242.8K	24.66%	\$7,211.6K	\$36,359.3K	
1.4.1	Central Solenoid and Inner Ring Coils (PF 1/2 Upper & Lower)		X	\$6,606.3K	22.59%	\$2,189.2K	\$8,795.5K	
1.4.1.1	CS/Inner Ring Coils Winding Pack			\$5,183.3K	34.00%	\$1,762.3K	\$6,945.6K	
1.4.1.2	CS/Inner Ring Coils Cases and Support Structure			\$883.0K	30.00%	\$264.9K	\$1,147.9K	
1.4.1.3	CS/Inner Ring Coils Assembly (Winding Pack into Cases)			\$540.0K	30.00%	\$162.0K	\$702.0K	
1.4.2	Outer Ring Coils (PF3/4 Upper & Lower)		X	\$12,524.6K	21.87%	\$2,713.6K	\$15,238.2K	
1.4.2.1	Outer Ring Coils Winding Pack			\$7,283.3K	16.06%	\$1,165.3K	\$8,448.6K	
1.4.2.2	Outer Ring Coils Cases and Support Structures			\$241.3K	20.00%	\$48.3K	\$289.6K	
1.4.2.3	Outer Ring Coils Shrouds & Assembly			\$5,000.0K	30.00%	\$1,500.0K	\$6,500.0K	Place Holder of \$5M for Ring Coils Shrouds/Assembly
1.4.3	PF Power and Cryogen Interfaces			\$1,250.0K	20.00%	\$250.0K	\$1,500.0K	
1.4.4	Field Error Correction Coils		X	\$1,701.4K	18.00%	\$317.1K	\$2,018.5K	Scaled from TFR Design
1.4.5	Resistive Wall Mode Coils							Future Upgrade - WBS Placeholder Only
1.4.6	PF Magnets Engineering Design/Support		X	\$6,148.0K	26.00%	\$1,596.0K	\$7,744.0K	
1.4.7	PF Coil R&D		X	\$932.0K	26.00%	\$247.0K	\$1,179.0K	
1.5 Cryostat - Nelson				\$1,917.2K	28.62%	\$556.3K	\$2,473.5K	
1.5.1	Cryostat Shell & Structure		X	\$1,730.4K	28.00%	\$484.5K	\$2,214.9K	
1.5.2	Vacuum & Fluid Systems		X	\$114.5K	40.00%	\$45.8K	\$160.3K	
1.5.3	Local MC and Sensors		X	\$72.3K	36.00%	\$26.0K	\$98.3K	
1.6 Tokamak Support Structure - Titus / Heitzenroeder / Waganer				\$8,974.7K	20.52%	\$1,841.9K	\$10,816.5K	
1.6.1	Main Assembly Support Ring & Central Column Supports			\$1,472.0K	20.00%	\$294.4K	\$1,766.4K	
1.6.1.1	Central Column Supports		X	\$196.0K	20.00%	\$187.0K	\$383.0K	
1.6.1.2	Main Assembly Support Ring		X	\$534.0K	20.00%	\$106.0K	\$640.0K	
1.6.2	Gravity Supports		X	\$1,028.0K	20.00%	\$205.6K	\$1,233.6K	
1.6.3	TF Coil Radial Compression			\$5,692.0K	20.00%	\$1,138.4K	\$6,830.4K	
1.6.3.1	Compression Rings		X	\$3,293.0K	20.00%	\$658.6K	\$3,951.6K	
1.6.3.2	Radial Compression Mechanism & Interface Elements		X	\$2,399.0K	20.00%	\$479.8K	\$2,878.8K	
1.6.4	Central Tie Rod Assembly			\$0.0K	20.00%	\$0.0K	\$0.0K	NO LONGER REQUIRED
1.6.4.1	Tie Rod Counters		X		20.00%			
1.6.4.2	Tie Rod End Supports		X		20.00%			
1.6.5	Ring Preload Mechanism R&D		X	\$782.7K	26.00%	\$203.5K	\$986.2K	

4.3 聚变商业堆：千亿成本，主机、辅机设备占比较高

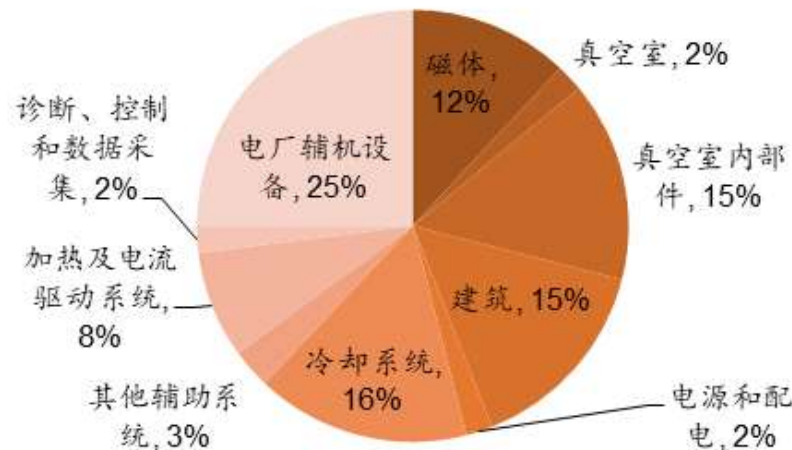
参考ITER，建造一个Q>10、聚变功率~500MW的聚变工程验证堆成本在千亿人民币；进一步到DEMO商业示范堆，由于增加了电厂发电辅机设备，成本将更高，其中设备费用（除建筑外）占比约85%。

根据ITER官方数据，项目预计建设费用约为200亿欧元（220亿美元）。其中主机（包括磁体、真空室、包层等）占比53%，电源、建筑占比22%，其他辅助系统占比25%。而DEMO商业示范堆中主机成本占比为29%，电厂辅机设备占比25%，电源、建筑占比17%，其他辅助系统占比29%。

图：ITER工程验证堆成本中主机占比53%



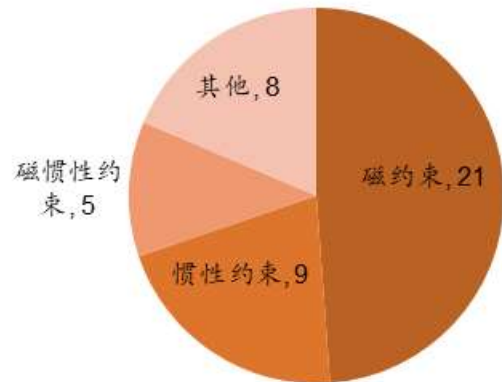
图：DEMO商业示范堆成本中主机占比29%



当前可控核聚变处于工程验证阶段，建设需求以实验堆为主。参考FIA数据，截至2023H1全球共有43家核聚变私营企业，参考Fusion Energy Base数据，当前全球共有29家拥有聚变装置的国家/组织机构，假设其中一半采用磁约束路径，则全球聚变实验堆（磁约束）总需求达36座。参考FIRE，建造一个 $Q>10$ 的聚变实验堆成本在百亿人民币，其中设备费用占比约55%，则实验堆阶段全球核聚变设备累计空间达2千亿元。

未来可控核聚变进入商业验证阶段后，建设需求将以商业示范堆为主。假设各家私营企业/政府机构由此前的聚变实验堆进一步发展为商业示范堆，需求仍为36座。参考ITER，建造一个商业示范堆成本在千亿人民币以上，其中设备费用占比约85%，则商业堆阶段全球核聚变设备累计空间达3万亿元。

图：43家核聚变私营企业中磁约束路径约占一半



图：核聚变发展路径为实验堆—工程堆—商业堆



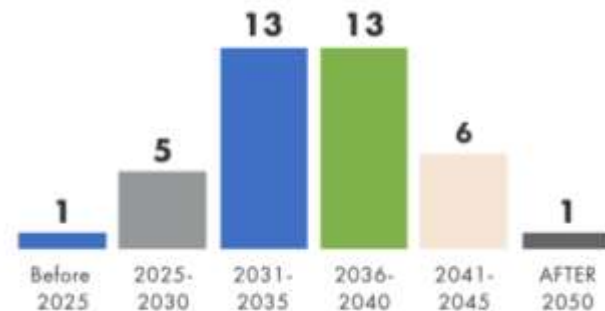
4.5 核聚变设备空间测算：预计2023-2033年年均复合增速为26%

根据FIA对39家核聚变私营公司的问卷统计，预期2025年前完成核聚变商业堆验证的公司有1家，2025-2030年有5家，2031-2035年有13家，2036-2040年有13家，2041-2045年有6家。

图：预期完成核聚变商业堆验证的公司数量

考虑到商业堆验证前需要进行实验堆验证，参考CFS聚变实验堆SPARC相比聚变商业堆ARC预计投运时间提前5年，我们假设：2021-2025年完成核聚变实验堆验证的公司数量为5家，2026-2030年数量为13家，2031-2035年数量为13家，2036-2040年数量为6家。

参考以上时间节点，将4.4节测算的聚变实验堆设备总空间2千亿元、聚变商业堆设备总空间3万亿元按比例拆分，则全球核聚变设备市场年均规模将从2021-2025年的208亿元增长至2026-2030年的917亿元、2031-2035年的2172亿元，2023-2028年复合增速35%，2028-2033年复合增速19%。



表：预计2023-2033年全球核聚变设备市场年均复合增速为26%

	2021-2025年	2026-2030年	2031-2035年	2036-2040年	2041-2045年	2050年后
完成商业堆验证公司数量	1	5	13	13	6	1
占比	3%	13%	33%	33%	15%	3%
聚变商业堆设备总空间	商业堆总需求36台*单堆成本1000亿元*设备占比85%=30600亿元					
聚变商业堆设备累计空间（亿元）	785	3923	10200	10200	4708	785
完成实验堆验证公司数量	5	13	13	6		
占比	13%	33%	33%	15%		
聚变实验堆设备总空间	实验堆总需求36台*单堆成本100亿元*设备占比55%=1980亿元					
聚变实验堆设备累计空间（亿元）	254	660	660	305		
全球核聚变设备市场累计规模（亿元）	1038	4583	10860	10505	4708	785
全球核聚变设备市场年均规模（亿元）	208	917	2172	2101	942	-

产业链上游主要为各类原材料，包括有色金属（钨、铜等）、特种钢材、特种气体（氦、氖）、超导材料（Nb₃Sn、ReBCO）等。

中游主要为各类设备，包括磁体、偏滤器、第一壁、磁体支撑等核聚变主机设备，以及压力容器、蒸汽发生器、汽轮机、发电机、各类泵阀等其他设备。

下游主要为核电站运营，用于商业发电。

图：核聚变产业链：上游原材料、中游设备及下游核电应用



05

投资建议与风险提示

- 投资建议：推荐受益ITER交付及国内新堆建设的核心设备供应商
- 风险提示

可控核聚变目前处于工程验证阶段，前期重点关注受益ITER项目交付及国内新实验堆建设的核心设备供应商：

上游材料：西部超导（低温超导带材、磁体）、永鼎股份（子公司东部超导，高温超导带材）、精达股份（参股上海超导，高温超导带材）；**中游设备：**联创光电（高温超导磁体）、国光电气（偏滤器、包层第一壁板、泵阀等）、安泰科技（偏滤器）；其他：景业智能（核工业智能装备）。

证券代码	可比公司	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)				PE				PB (MRQ)	ROE (2022)
			2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E		
688776.SH	国光电气	68	1.66	1.24	2.16	3.11	41	55	31	22	4.1	9.5%
600363.SH	联创光电	143	2.67	4.50	6.13	7.90	53	32	23	18	3.7	7.3%
688122.SH	西部超导	254	10.80	7.53	12.63	16.27	24	34	20	16	4.3	18.0%
600105.SH	永鼎股份	72	2.26	1.08	1.29	1.55	32	66	56	46	2.4	7.5%
600577.SH	精达股份	84	3.81	4.52	5.37	6.98	22	19	16	12	1.6	7.5%
000969.SZ	安泰科技	90	2.11	3.00	3.89	4.98	42	30	23	18	1.8	4.3%
688290.SH	景业智能	38	1.22	0.36	1.75	2.68	31	105	22	14	3.1	11.5%
平均值							35	49	27	21	3.0	9.4%

国光电气：特种微波器件核心供应商，核工业设备打开第二增长曲线

1、国产微波电真空器件龙头，近三年营收、归母净利复合增速37%、58%

公司主要产品包括微波器件、核工业设备两大类，2022年营收占比分别为53%、40%，毛利占比分别为67%、31%，下游广泛应用于雷达、卫星通信、核工业等领域，客户主要为我国各大军工集团及其下属单位。

2、微波器件：受益卫星、雷达、电子对抗，公司立足真空器件向固态器件拓展

- 1) 国防现代化、信息化推动下，以雷达、卫星通信、电子对抗等为代表的电子装备快速发展，微波器件作为核心部件持续受益。
- 2) **市场空间**：以T/R组件为代表的微波器件是相控阵雷达的核心，预计市场规模将从2022年的63亿元增长到2025年的85亿元，CAGR=10%。
- 3) **竞争格局**：微波电真空器件格局集中且稳定，主要为包括公司在内的“两厂两所”，其中公司在连续波行波管（主要用于电子对抗）、捷变频磁控管（主要用于弹载）等方面有技术优势，同时公司也在不断向固态器件进行横向拓展。

3、核工业设备：可控核聚变赛道高景气，公司受益新实验堆建设

- 1) 随着近年来高温超导技术的成熟，叠加AI超预期发展对聚变装置设计和控制效率的提升，加快了可控核聚变商业化落地的预期，资本市场融资屡创新高。2022年，全球私营核聚变公司积累融资额达48.6亿美元，同比增长139%，截至2023年上半年，这一数字已达62.1亿美元。
- 2) 2023年12月29日，由25家央企、科研院所、高校等组成的可控核聚变创新联合体正式宣布成立，中国聚变公司（筹）举行揭牌仪式。**国务院国资委明确可控核聚变为未来能源重要方向，国家牵头自上而下推动。**
- 3) 公司偏滤器和包层系统已向ITER、HL-2M等核聚变装置供货，配套先发优势明显。2023年11月，联创超导与中核聚变签订协议，计划采用全新技术路线，联合建设聚变-裂变混合实验堆项目，**工程总投资预计超过200亿元，公司等国内相关供应商有望持续受益。**

4、国光电气：预计未来3年归母净利润复合增速为23%

预计公司2023-2025年归母净利为1.2、2.2、3.1亿元，同比增长-25%、74%、44%，CAGR=23%，对应PE为55、31、22倍，维持“增持”评级。

5、风险提示：1) 特种微波器件降价

1. 光电子产业领先企业，近三年营收、归母净利复合增速-9%、11%

公司成立于1999年，主营业务可分为智能控制器、背光源产品、光电线缆、激光及微电子四大板块，2022年营收占比分别为59%、29%、4%、6%。**未来公司将持续优化业务结构，剥离亏损业务，重点打造激光和超导两大新兴产业。**

2. 传统业务：聚焦智能控制器产品，参股宏发电声投资收益稳定

1) **智能控制器**：根据前瞻产业研究院数据，2016-2021年我国智能控制器市场规模复合增速达14%。公司立足家电市场，积极开拓车载及工控等高端领域，市占率稳中有增，**2022年公司翔安工业园完成新厂区搬迁，产值提升50%，未来三年新产能有望逐渐释放。**

2) **背光源产品及光电线缆**：受手机需求不振、市场低价竞争等影响，**2022年公司子公司联创致光亏损0.7亿元，联创电缆科技亏损0.25亿元，拖累公司整体业绩。2022年公司已将背光源板块中的部分资产、光电线缆中的电力缆剥离，未来公司低质业务将进一步压缩，聚焦核心主业。**

3) **宏发电声**：宏发电声作为我国继电器龙头，2021年全球份额超17%，市场地位稳固，持续受益下游多领域扩展及市占率的提升。2022年宏发电声实现归母净利润16.4亿元，同比增长19%，**公司参股宏发电声20%股权，未来有望获得稳定投资收益。**

3. 激光业务：公司背靠中物院十所，泵浦源实现量产交付、整机装备未来可期

1) 2019年公司与中物院十所共同设立中久光电，主要面向国防领域高端用户提供泵浦源、激光器、激光装备等产品。**2023年H1公司激光业务实现营收1.21亿元，同比增长14%；实现净利润0.32亿元，同比增长34%，销售净利率达26.3%。公司激光业务基本实现从0-1的突破。**

2) 目前公司激光业务3.5亿元产能处于满负荷生产状态，主要产品为泵浦源及激光器，**2023年2月公司光刃-II激光反制系统顺利通过验收，在内需+外贸需求驱动下，激光整机产品有望进一步打开公司成长空间。**

4. 超导业务：全球唯一兆瓦级高温超导加热装置供应商，下游应用领域不断扩展

1) 高温超导加热可用于金属加工、熔炼等领域，**较传统工频炉节能超过50%，优越能效表现下设备投资回收期只需3-5年。**

2) 22年上半年公司供货中铝设备完成验收，示范效应明显，**截至2023H1公司在手订单已突破60余台，未来将持续进行从1-N的复制。**

3) 公司超导业务目前仅在铝加工行业完成产业化落地，**对应市场空间约200亿元。**随高温超导技术的不断成熟，未来有望不断扩展到钛、镁铝合金等其他金属加工、熔炼，磁选矿，污水处理，**高质量硅单晶生长炉，可控核聚变等新应用领域，下游市场前景广阔。**

5. 联创光电：预计未来3年归母净利润复合增速为43%

预计公司2023-2025年归母净利为4.50、6.13、7.90亿元，同比增长68%、36%、29%，CAGR=43%，对应PE为32、23、18倍，维持“买入”评级。

6. 风险提示：1) 低质资产剥离进度不及预期

1) 可控核聚变工程可行性验证不及预期：

可控核聚变已完成科学可行性验证，当前处于工程可行性验证阶段，如果工程验证进度不及预期，将会对行业发展产生不利影响。

2) 核聚变相关投入不及预期：

我国核聚变研究主要由国家主导，相关投入多依靠国家财政，如果未来国内聚变新实验堆建设进度不及预期，将对行业产生不利影响。

3) 文中假设造成的测算偏差风险：

报告内测算均基于一定前提假设条件，同时引用较多第三方数据，或因假设条件不达预期、第三方数据准确性原因，导致结论存在一定偏差。

行业的投资评级

以报告日后的6个月内，行业指数相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

- 1、看好：行业指数相对于沪深300指数表现 + 10%以上；
- 2、中性：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10% ~ + 10%以上；
- 3、看淡：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10%以下。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重。

建议：投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论

法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：Z39833000）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构（以下统称“本公司”）对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，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。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本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、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路729号陆家嘴世纪金融广场1号楼25层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦E座4层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心33层

邮政编码：200127

电话：(8621)80108518

传真：(8621)80106010

浙商证券研究所：<http://research.stocke.com.cn>