

大国碳中和之可控核聚变

可控核聚变商业化加速，能源发展有望迎来新突破

超配

核心观点

可控核聚变兼具三大优势，能源发展有望迎来新突破。能量密度高：据测算，目前主要研究方向的氘氘聚变中，1克氘气聚变产生的能量约等于5克铀235裂变或18吨5500大卡煤炭燃烧所释放的能量。**原料来源广泛**：氘可以通过提取并电解海水中的重水获得，而氚可以通过热中子轰击锂6原子得到。根据我们的简单测算，氘氘聚变的燃料成本约为0.0050元/kWh。**安全性高**：原料和产物放射性相对可控，不产生放射性乏燃料；聚变反应可通过停止燃料供应立刻中断，不存在熔毁风险。

积极参与ITER项目，国内两大试验堆取得多项成果。目前世界规模最大的试验堆是多国合作的ITER项目，最新预期2029年完工。我国最主要的两个聚变试验堆分别是HL-2M和EAST，已取得1MA等离子体电流、1亿度等离子体温度和1000秒等离子体约束时间等多项成果。此外，CFETR项目正在建设，其中二期项目规划达到1GW功率，能量增益因子达到10，预计2035年建成。

磁约束是主要的研究方向，托卡马克装置成熟度较高。根据聚变堆约束等离子的方式可将可控核聚变分为磁约束、惯性约束和重力约束，目前以能源为目的的研究主要聚焦于磁约束方向。磁约束的典型装置中，环形托卡马克被认为是最有可能实现可控核聚变的装置。此外，球型托卡马克主要用于基础物理研究，而仿星器仍存在新古典运输等难点。

高温超导突破，有望提升聚变堆参数。高性能磁约束聚变堆需要使用超导磁线圈，世界首座非圆截面全超导托卡马克EAST装置仍使用低温超导体，冷却成本较高。1986年发现铌-钽-铜-氧化合物超导性质后，高温超导材料有较大的发展，临界温度最高已达250K（-23℃）。若未来可以发现临界温度更高的高温甚至室温超导材料并用于聚变堆磁线圈，聚变堆性能有望进一步提高。

AI发展超预期，助力仿真、设计和控制环节。由于聚变过程的复杂性，其模拟仿真、装置设计及控制存在一定的困难。人工智能的不断发展和算力的持续提升有望提高聚变研究和设计的效率。

资本市场对可控核聚变落地乐观，首个聚变商业协议拟2028年发电。民营企业也开始参与可控核聚变的研究。相关统计显示，截至2023年4月，已有44家聚变企业完成创建，其中仅2022年就创建了9家公司。这些公司对聚变预期较为乐观，超半数认为2035年首台核聚变机组有望并网发电。微软公司与聚变公司Helion Energy签署对赌协议，后者2028年起向微软提供至少50MW电力，并承诺将核聚变发电成本降低至1美分/kWh。

聚变产业链覆盖广，投资机会比较丰富。聚变产业链上游覆盖有色金属（钨、铜等）、特种钢材、特种气体（氘、氚）等原料供应；中游覆盖聚变技术研发、装备制造（第一壁、偏滤器、蒸汽发生器、超导磁线圈等组件）及仿真、控制软件的开发；下游覆盖聚变机组的运营。聚变产业链覆盖范围较广，存在较多优质投资机会。

投资建议：推荐关注聚变产业链上游原材料供应公司和中游装备制造公司；推荐“核电与新能源”双轮驱动**中国核电**；推荐集团成立能源研究院，建成玄龙-50聚变装置的新**奥股份**。

行业研究 · 行业专题

公用事业

超配 · 维持评级

证券分析师：黄秀杰

021-61761029

huangxiujie@guosen.com.cn

S0980521060002

证券分析师：郑汉林

0755-81982169

zhenghanlin@guosen.com.cn

S0980522090003

市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

相关研究报告

《大国碳中和之新型电力系统-灵活性调节需求释放，虚拟电厂大有可为》——2023-08-15
 《公用环保 202308 第 2 期-山西、山东完善辅助服务相关政策，欧洲天然气价格大涨》——2023-08-14
 《公用环保 2023 年 8 月投资策略-绿证全覆盖促进绿电消费，消纳权重稳步提升》——2023-08-06
 《公用环保 202307 第 5 期-23H1 光伏发电装机加速，天然气消费量同比增长 5.6%》——2023-07-31
 《绿电行业专题-多重因素边际改善，绿电板块有望迎来修复》——2023-07-24

风险提示：技术发展不及预期；政策不及预期；电价下调。

重点公司盈利预测及投资评级

公司 代码	公司 名称	投资 评级	昨收盘 (元)	总市值 (百万元)	EPS		PE	
					2022A	2023E	2022A	2023E
601985.SH	中国核电	买入	7.30	1378.5	0.47	0.54	15.6	13.4
600803.SH	新奥股份	买入	18.01	558.0	1.90	2.27	9.5	7.9

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

内容目录

可控核聚变优势显著，能源发展有望迎来新突破	6
氘-氚聚变实现难度相对最低，能量密度远超现有能源形式	6
原料来源相对广泛，安全性优于裂变堆	7
约束方式主要分为磁约束和惯性约束，托卡马克装置成熟度最高	8
世界各国持续推进，我国两大聚变试验堆取得多项成果	12
超导+AI 双重催化，可控核聚变有望加速实现	15
高温超导引发关注，临界温度不断升高	16
AI 快速发展和算力持续增强，增强仿真、设计和控制能力	18
资本市场持续关注，聚变领域活力增强	20
风险提示	23

图表目录

图 1: 氘-氚聚变示意图	6
图 2: 聚变能量密度远超其他能源形式	7
图 3: 托卡马克装置结构	9
图 4: 托卡马克装置主要部件示意图	9
图 5: SSPX 装置及其同轴螺旋注入方式示意图	10
图 6: 球形托卡马克剖面示意图	10
图 7: W7-X 仿星器结构及磁场示意图	10
图 8: W7-X 装置实景	10
图 9: 惯性约束原理示意图	11
图 10: NIF 靶仓点火原理示意图	11
图 11: NIF 基础平面图	11
图 12: NIF 靶仓组装（右上为放大后的靶仓）	11
图 13: ITER 建设实景	12
图 14: 中国承担 ITER 计划采购包情况	12
图 15: 中国磁约束聚变发展路线图	13
图 16: EAST 装置结构示意图	14
图 17: EAST 装置实景	14
图 18: CEFTR 效果图	14
图 19: CFETR 建设情况（2021 年）	14
图 20: 氘-氚聚变示意图	15
图 21: Web of Science 记录的超导论文数量（检索主题为 superconductivity）	17
图 22: 超导材料临界温度发展进程	17
图 23: EAST 纵场线圈	18
图 24: 使用 COSMOL 进行等离子体仿真	19
图 25: 人工智能赋能材料科学	19
图 26: 深度强化学习实现托卡马克磁控制架构示意图	20
图 27: 聚变公司创立情况	20
图 28: 40 家聚变公司对首台机组供电时间的预期	21
图 29: 30 家聚变公司对供电时间的规划	21
图 30: 聚变产业链相关公司	22

表1：氘氚聚变燃料成本随燃料单价的敏感性分析（元/kWh）	8
表2：可控核聚变约束方式对比	12
表3：ITER 相关设备生厂商	21

可控核聚变优势显著，能源发展有望迎来新突破

核聚变，即轻原子核结合成较重原子核，发生质量亏损并释放巨大能量的过程。核聚变发电技术作为一种清洁能源，具有能量密度高、功率大、原料来源广泛和安全性较裂变发电更高等优势，因此被广泛认为是能源问题的最终答案，得到世界各国的重点关注和持续研究。

氘-氚聚变实现难度相对最低，能量密度远超现有能源形式

目前，核聚变反应按照是否产生中子可以分成三类：

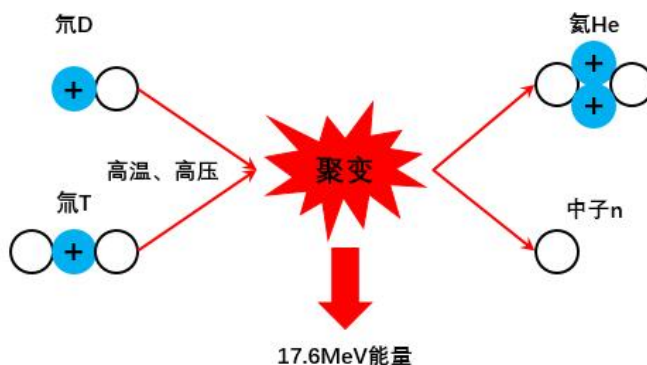
“第一代核聚变”，即氢的聚变，包括氘（D 或 $2H$ ，一种氢同位素）-氚（T 或 $3H$ ，一种氢同位素）聚变和氘-氘聚变。氘-氚聚变可以表示为 ${}^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$ ，每次聚变会释放约 17.6MeV 能量；氘-氘聚变包括 ${}^2_1H + {}^2_1H \rightarrow {}^3_1H + {}^3_2He$ 和 ${}^2_1H + {}^2_1H \rightarrow {}^3_2He + {}^1_0n$ 两个反应，分别释放约 3.3MeV 和 4.0MeV 能量。第一代核聚变的点火条件最低，相对容易实现，是目前可控核聚变的主要研究方向；

“第二代核聚变”，氦和氦 3（ $3He$ ，一种氦同位素）的聚变，可以表示为 ${}^2_1H + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + {}^1_1H$ ，同时释放约 18.3MeV 能量。这个反应本身不产生中子，但可能出现氘-氚反应而产生少量中子。因此第二代核聚变比第一代核聚变更清洁，但发生聚变的条件更高，实现难度更大。

“第三代核聚变”，即氦 3 的聚变。这种聚变完全不会产生中子，是最清洁安全的聚变方式，但实现难度也是最大的，目前尚不具备可行性。

氘-氚聚变实现难度相对最低，是目前可控核聚变的主要研究方向。目前国际聚变界处于氘氚燃烧实验点火试验阶段。

图1：氘-氚聚变示意图



资料来源：国信证券经济研究所梳理

能量密度远超现有能源形式，但能量转化效率或偏低。2 克的氘和 3 克的氚可以产生约 1.68 万亿焦耳的能量，换算成电力单位即 46.7 万 kWh，约等效于 73 吨 5500 大卡煤炭燃烧或 20 克铀 235 裂变产生的能量。不过，目前核能利用装置为了兼顾经济性和安全性，反应堆内的压力和温度一般较低，能量转化效率因此偏低。裂变堆核电机组的热效率一般仅有 30% 左右，低于燃煤机组。

图2：聚变能量密度远超其他能源形式



注：均不考虑能量转化效率

资料来源：国信证券经济研究所计算

核聚变领域有两个重要的技术指标，一个是能量增益因子 Q ，指的是聚变反应中输出能量和输入能量之比，一般认为商业聚变堆至少需要 Q 值达到 10。由于核聚变的点火、维持强磁场和冷却磁线圈等过程都需要大量的能量输入，目前大部分实验的能量增益因子均小于 1，磁约束聚变的记录是欧洲联合环（JET）装置的 0.67，此外日本的 JT-60U 的氘氘聚变实现了 1.25 的等效增益。美国国家点火装置（NIF）分别于 2022 年 12 月和 2023 年 8 月的两次点火实现了 $Q > 1$ ，即能量净输出，但由于惯性约束聚变与磁约束的能量平衡和系统运行方式不同，其公开的 Q 值与传统定义有一定区别。

另一个指标是用于判断点火的聚变三乘积，根据劳森判据，当等离子体温度、等离子体密度和约束时间这三个参数达到一定条件时，核聚变反应的能量产出率将大于能量损耗率，并且有足够能量使核聚变反应稳定持续，也就代表核聚变成功点火，一般将这三个参数的乘积作为判定聚变点火的指标。

原料来源相对广泛，安全性优于裂变堆

第一代聚变燃料包括氘和氚两种氢元素同位素，第二代聚变燃料还需要氦 3。

氘储量丰富，提取技术成熟。氘在地球上的丰度为 0.016%，大多以重水形式存在，海水中氘的浓度大约为 30mg/L，地球海洋中的氘含量可能超过 40 万亿吨。相关报价显示，每千克重水价格在数千到一万元以上。

氚增殖技术有待进一步突破。氚在地球上含量较少，且半衰期仅 12.4 年，因此聚变所使用的氚都是人工制备的。除裂变堆重水中可能含有少量氚外，主要通过热中子轰击锂 6，使其裂变成氚和氦 4 原子来获取。根据美国地质勘探局的数据，目前全球已探明的锂资源量 8900 万吨，锂资源储量 2200 万吨，其中锂 6 的丰度约为 7.5%。但目前氚的增殖技术依然有待突破，现有唯一的商业来源 19 座加拿大 CANDU 反应堆，每座反应堆每年可生产 0.5kg 氚，价格可达 3 万美元/克。而按 30%效率计算，聚变堆每生产 1 亿 kWh 电力就需要消耗约 2.1kg 氚。除此之外，氘氘聚变产生的中子会携带大量能量，需要通过氚增殖吸收这部分能量以维持聚变的能量平衡。因此，如何提升的增殖技术仍是聚变商业化需要解决的关键问题之一。

月球土壤氦 3 含量远超地球，或可超前开展第二代聚变技术研究。据相关探测结果，月球上的氦 3 储量或超过一百万吨，远超地球储量。2022 年 9 月，我国科学家已首次成功获得嫦娥五号月壤中氦 3 含量及其最优提取参数。虽然第二代聚变的难度较大，但理论上仍有实现的可能性。在未来，或可通过提取月壤中的氦 3 为地球提供燃料，甚至直接为月球基地提供能源。

得益于极高的能量密度，氘氚聚变发电燃料成本相对较低。我们对氘氚聚变的燃料成本进行测算，假设重水价格为 10000 元/kg，电解产生氘气的用电成本忽略不计，则氘的单价约为 5 万元/kg。氚则完全由锂 6 转换。上海钢联 2023 年 8 月 11 日数据显示，电池级碳酸锂报价 24.55 万元/吨，按照锂 6 丰度为 7.5% 的相对比例估算锂 6 元素价格约为 1600 万元/吨。1 个锂 6 原子可以产生 1 个氚原子，假设转换率 80%，由于氚增殖技术难度较大，假设氚的价格为理论计算的 5 倍，则氚的价格约为 20 万元/kg。假设聚变机组的发电效率约为 30%。测算得氘氚聚变的燃料成本约为 0.0050 元/kWh。

表 1：氘氚聚变燃料成本随燃料单价的敏感性分析（元/kWh）

度电燃料成本		氚单价（万元/kg）						
氚单价 （万元 /kg）		5	10	15	20	25	30	35
	3	0.0015	0.0026	0.0036	0.0047	0.0058	0.0069	0.0079
	4	0.0016	0.0027	0.0038	0.0049	0.0059	0.0070	0.0081
	5	0.0018	0.0029	0.0039	0.0050	0.0061	0.0071	0.0082
	6	0.0019	0.0030	0.0041	0.0051	0.0062	0.0073	0.0084
	7	0.0021	0.0031	0.0042	0.0053	0.0064	0.0074	0.0085

资料来源：国信证券经济研究所测算

氘氚聚变燃料成本随燃料单价的敏感性分析如上表所示，氚的单价在原始值的基础上提高 5 万元/kg，度电燃料成本较原始估值提升 21.43%；氘的单价在原始值的基础上提高 1 万元/kg，度电燃料成本较原始估值提升 2.86%。

聚变安全性高，无熔毁风险。由于聚变对工作环境的要求非常苛刻和敏感，要求上亿度高温和极高的压强；且聚变堆内部只含有少量燃料，依赖燃料的连续输入。因此聚变是一种“自限过程”，不会发生类似裂变堆的堆芯熔毁的事故，当环境变化、燃料停止供应或无法控制反应时聚变会迅速停止。

产物放射性相对可控，不产生放射性乏燃料。氘-氚聚变的产物包括氦和中子，其中，中子的速度较高，可以轰击装置壁面内衬的锂 6（一种锂同位素）产生氚和氦并释放大量能量，生成的氚可以继续维持聚变反应。虽然中子具有放射传染性，氚也有一定的放射性危害，但相对可控，并不会像核裂变一样产生包含高寿命、强衰变放射性的乏燃料，因此一般认为核聚变是一种清洁能源。

约束方式主要分为磁约束和惯性约束，托卡马克装置成熟度最高

由于核聚变要求上亿度的高温，目前没有任何材料可以承载聚变反应，因此只能采用特殊的方法来约束和控制。目前主要有三种约束方式：磁约束、惯性约束和重力约束。

磁约束是指用磁场约束等离子体的运动，从而实现核聚变的方式。在聚变的超高温环境下，所有燃料会电离并形成带电的等离子体，通过使用封闭磁场形成的“磁笼”或“磁陷阱”来约束等离子体，使其与容器的器壁隔开，并通过电磁加热等离子体。当等离子体被加热到一定程度时，电阻会快速下降，此时再通过注入高能中性粒子束等方式进一步加热等离子体至满足点火条件，从而发生聚变。磁约束的装置主要包括箍缩、磁镜、托卡马克和仿星器等，其中环形托卡马克被普遍认为是最有希望实现可控核聚变的装置，也是目前主流的研究方向。

环形托卡马克被认为是最有可能实现可控核聚变的装置。环形托卡马克装置（又称环流器），是一个环形真空室，环形中心是一个铁芯变压器，通过变压器初级线圈电流的变化产生磁场，从而在环形真空室内形成等离子体电流并加热等离子体。真空室外有不同方向的线圈，分别产生环向和纵向的磁场，真空室内形成的

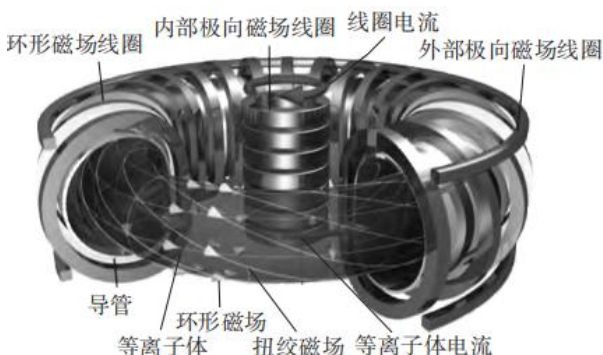
环形等离子体电流则会提供极向磁场，最终形成环形螺旋状磁场，将等离子体约束在真空室中心。

等离子体电流强度是托卡马克装置重要参数。根据聚变三乘积，托卡马克要实现点火和稳定运行，等离子体电流必须超过一定水平，此外聚变堆的聚变功率还与等离子体电流的平方成正比，因此等离子体电流也是重要的托卡马克装置技术指标。一般认为托卡马克要实现稳定运行，等离子体电流必须超过 1 兆安培。目前，我国东方超环（EAST）、环流器二号 M 装置（HL-2M）均已成功突破 1 兆安培目标。

各种聚变路线中，环形托卡马克技术成熟度最高。目前，由多国合力建设的国际热核聚变实验堆（ITER）、我国 EAST、HL-2M 和中国核聚变工程试验堆（CFETR）等装置均采用环形托卡马克路线。其中，EAST 已实现 1 兆安等离子体电流、1 亿度等离子体温度和 1000 秒等离子体约束时间三大目标，并于 2023 年 4 月 12 日实现了 403 秒稳态长脉冲高约束模式等离子体运行。

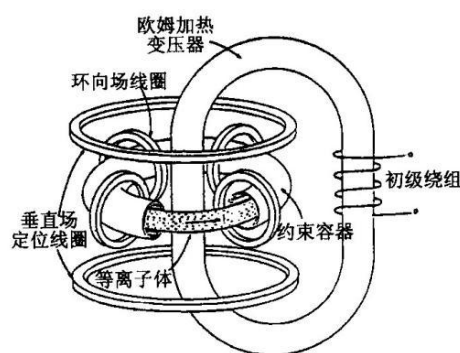
等离子体控制仍有待突破，依赖超导技术突破提高磁场性能。托卡马克发展的主要难点在于提高等离子体的参数和等离子体的控制，避免出现等离子体电流破裂等现象，需要持续的外加强磁场约束。常规磁线圈在产生磁场的同时也会产生电流热，需要持续冷却和间断运行以防过热，而超导线圈则不会产生电流热，因此可以极大提升等离子体的约束时间。

图3：托卡马克装置结构



资料来源：王怀君，凡新.《可控核聚变——未来世界的炽热之心》. 实验教学与仪器, 2023, 40 (05) :1-4.，国信证券经济研究所整理

图4：托卡马克装置主要部件示意图

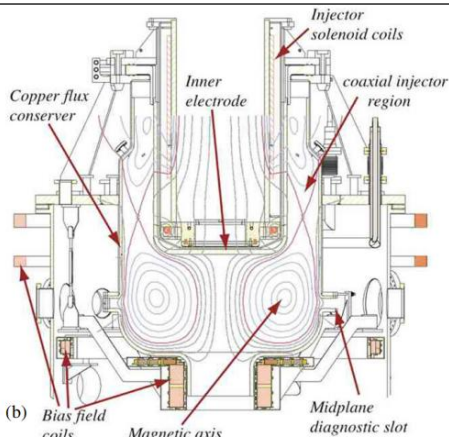


资料来源：冯开明.《可控核聚变与 ITER 计划》. 现代电力, 2006 (05) :82-88.，国信证券经济研究所整理

球形托卡马克（简称球马克）是一种规模更小，成本更低的托卡马克装置，也是可控核聚变领域民营企业的主流选择。相比于环形托卡马克，球马克的真空室具有球形拓扑结构而非环形。此外，球马克也没有环向场线圈，因此球马克设计了一种同轴螺旋注入的电流驱动方式来约束等离子体。然而，劳伦斯利弗莫尔国家实验室球马克物理实验（SSPX）的研究结果表明，这种同轴螺旋注入不能维持良好的能量约束，导致球马克的聚变三重积无法达到更高要求。因此，目前的球马克装置主要以研究基础物理现象为主。

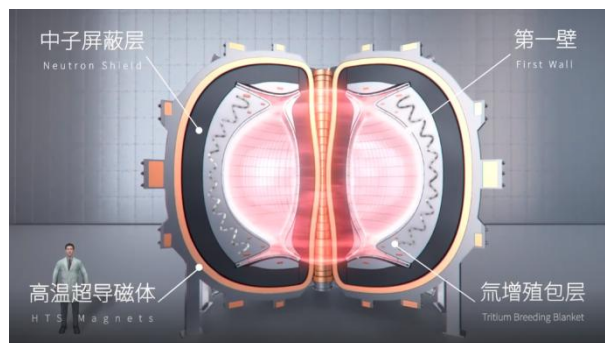
目前世界上已有多个球马克装置简称并展开相关研究。英国托卡马克能源公司的 ST40 球马克加热温度达到 1 亿度；我国新奥集团“玄龙-50”于 19 年在河北廊坊建成并实现第一次等离子体放电，建设周期仅 10 个月；清华大学设计、星环聚能和清华大学联合建设的球马克装置 SUNIST-2 于 2023 年 7 月建成并开展首轮运行，获得了 100 千安培等离子体电流。SUNIST-2 设计参数为大半径 0.53 米，小半径 0.33 米，磁场强度 1.0 特斯拉，等离子体电流 0.5 兆安培。

图5: SSPX 装置及其同轴螺旋注入方式示意图



资料来源: E B Hooper 等. 《Sustained Spheromak Physics Experiment (SSPX): design and physics results》. Plasma physics and controlled fusion, 2012, 54(11): 113001., 国信证券经济研究所整理

图6: 球形托卡马克剖面示意图

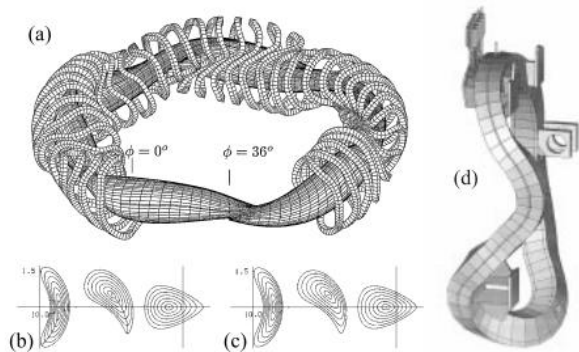


资料来源: 星环聚能官网, 国信证券经济研究所整理

仿星器稳定性更佳, 有望小型化。仿星器与托卡马克的主要区别是仿星器内部不产生等离子体电流, 极向磁场由外部线圈提供, 通过设计复杂的三维磁场来实现闭合、扭曲的环状磁笼, 从而实现了对等离子体的磁约束。仿星器整体呈扭曲环状, 截面不规则, 环向场线圈形状和排列更复杂, 等离子体被引导为极向运动而不形成环向电流, 因此仿星器不存在等离子体电流“破裂”的风险, 运行更加稳定, 同时有望缩小反应堆的规模。

仿星器仍存在新古典运输等问题, 成熟程度不及托卡马克。仿星器对等离子体的约束性能相比托卡马克较差, 因此仿星器的纵横比较大, 同等条件下等离子体有效体积小于托卡马克。由于等离子体不形成环向电流, 粒子之间的碰撞可能导致等离子体向外扩散和泄漏的“新古典运输”现象, 仿星器需要通过磁场设计来减少新古典运输现象的影响, 因此磁场三维设计更加困难, 磁线圈形状和位置也更加复杂, 制造和安装难度更高。目前世界上仿星器的实验装置较少, 最具代表性的是德国文德尔施泰因 7-X (W7-X) 仿星器。2023 年 5 月, 我国西南交通大学与日本国家核融合科学研究所共同设计和建造的准环对称仿星器在四川启动建设。

图7: W7-X 仿星器结构及磁场示意图



资料来源: H. Renner 等. 《The capabilities of steady state operation at the stellarator W7-X with emphasis on divertor design》. Nuclear fusion, 2000, 40(6): 1083-1093., 国信证

图8: W7-X 装置实景



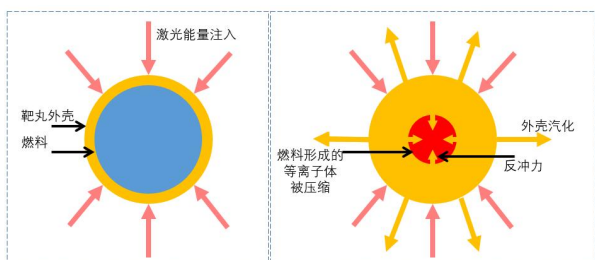
资料来源: 国际电力网, 国信证券经济研究所整理

券经济研究所整理

惯性约束是指利用粒子的惯性约束粒子的运动，从而实现核聚变的方式。惯性聚变中，氘氚燃料被制成靶丸，以高能激光或粒子束作为驱动源，脉冲式地作用于靶丸外壳表面，使其向外气化，形成高温高压的等离子体并产生向内的反冲压力，从而将靶丸内的氘氚燃料压缩至满足点火条件的高温高压状态。

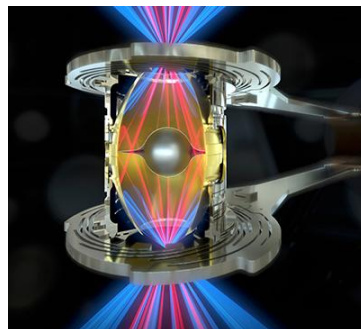
惯性约束聚变连续性仍有待解决，尚无法应用于能源领域。目前，美国国家点火装置（NIF）是最具代表性的惯性约束聚变装置，2023年8月6日，美国能源部下属劳伦斯利弗莫尔国家实验室的科学家第二次完成点火，能量增益因子 Q 达到1.53，产生了3.15MJ能量。事实上，该 Q 值的计算方式与传统定义有较大差异，若考虑整个过程，则能量增益因子低于0.01。此外，惯性约束聚变的燃料以靶丸形式投放，而单个靶丸的聚变过程持续时间不到0.0001秒，无法实现连续运行。

图9：惯性约束原理示意图



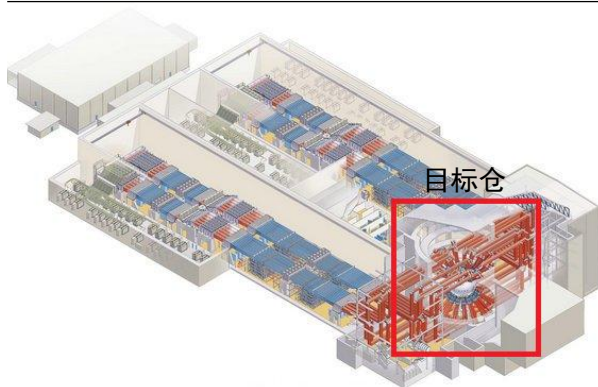
资料来源：国信证券经济研究所梳理

图10：NIF 靶仓点火原理示意图



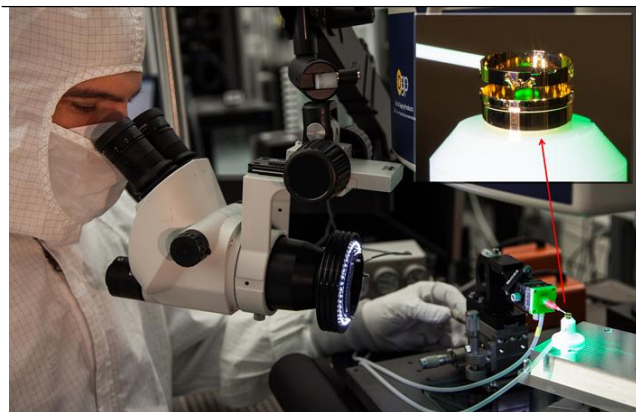
资料来源：劳伦斯·利弗莫尔国家实验室官网，国信证券经济研究所整理

图11：NIF 基础平面图



资料来源：激光制造网，国信证券经济研究所整理

图12：NIF 靶仓组装（右上为放大后的靶仓）



资料来源：劳伦斯·利弗莫尔国家实验室官网，国信证券经济研究所整理

重力约束一般是指恒星核聚变的方式。恒星的巨大质量产生强大引力，约束核燃料并形成极端高温高压的环境，从而发生核聚变。目前以人类目前的理论研究和科技能力尚无法建立引力场来实现重力约束，且太阳内部的重力约束聚变功率极低，一定功率条件下，燃料聚变所需要的体积过于庞大。因此目前没有重力约束的实验装置。

表2: 可控核聚变约束方式对比

	磁约束	惯性约束	重力约束
约束来源	磁场	惯性反冲力	万有引力
燃料制备	氦气气体	氦氖燃料靶丸	除氢、氦外，原子序数更大的元素也可以发生聚变
装置	托卡马克/仿星器	激光点火装置	恒星
装置规模	环形托卡马克体积最大，ITER 高 29 米，直径 28 米，重 2300 吨；仿星器和球马克体积相对较小	占地面积主要是激光光路，聚变部分的体积较小。NIF 装置目标仓直径达 30 米，高 30 米	-
点火方式	欧姆加热+中性束加热	激光	-
反应持续性	依靠燃料的连续注入，持续性较好	依赖燃料靶丸的连续投放，只能脉冲运行，持续性不好	-
灵活性	点火加热较难，启动灵活性有限；停止燃料注入即可停止，停机灵活性较好	激光点火速度较快，但点火耗能高；若能解决点火能量和靶丸投放问题灵活性可能更好	-
运行成本	氦氖燃料成本、磁线圈电力消耗、氦增殖	靶丸制备成本、激光耗能	-
安全性	无熔毁风险；存在中子辐射和氦辐射的放射性风险	存在中子辐射和氦辐射的放射性风险	-

资料来源：国信证券经济研究所整理

世界各国持续推进，我国两大聚变试验堆取得多项成果

ITER 计划领航，世界各国加快推进可控核聚变研究。聚变堆的研制可以分为四个阶段：基础研究、试验堆、示范堆和商用堆。目前世界上最具代表性的可控核聚变试验堆是国际热核聚变实验堆（ITER），建成后将为示范堆和商用堆的设计提供技术支持。ITER 的建设场址为法国卡达拉舍；2006 年，欧、日、俄、中、美、韩、印七方在布鲁塞尔签署合作建造 ITER 的政府间协议启动实施 ITER 计划。

ITER 高 29 米，直径 28 米，重 2300 吨，最初预计 2016 年投入实验，预计总投资为 50 亿欧元，但截至目前，ITER 的建设工作尚未完成，预计 2029 年可完成，公开预算也提高到了 200 亿欧元。ITER 的主要科学目标是通过感应驱动获得聚变功率 500MW、Q 大于 10、脉冲时间 500 秒的燃烧等离子体；使用非感应驱动产生聚变功率大于 350MW、Q 大于 5、燃烧时间持续 3000s 的等离子体。

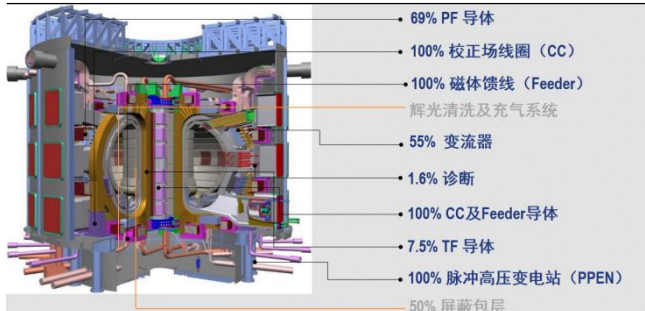
中国在 ITER 项目中负责 18 个采购包的实物贡献，约占 9%，包括磁体支撑、校正场线圈、馈线接口、环向场导体、极向场导体、校正场线圈和馈线导体、第一壁、屏蔽包层、气体注入、辉光放电清洗系统、诊断（赤道面 7 号和其他中子通量监测器、朗缪尔探针、径向 X 射线相机、赤道面 12 号窗口集成）和脉冲高压变电站、极向场变流器电源系统、无功补偿和滤波系统。

图 13: ITER 建设实景



资料来源：Scientific American，国信证券经济研究所整理

图 14: 中国承担 ITER 计划采购包情况



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所官网，国信证券经济研究所整理

在参与 ITER 计划之外，各国也进行了独立的研究，具有代表性的可控核聚变研究装置包括中国 EAST 和 HL-2M、美国 TFTR 和 NIF、德国 W7-X、欧洲 JET、日本 JT-60U 等，世界范围内聚变试验装置超过 100 台。

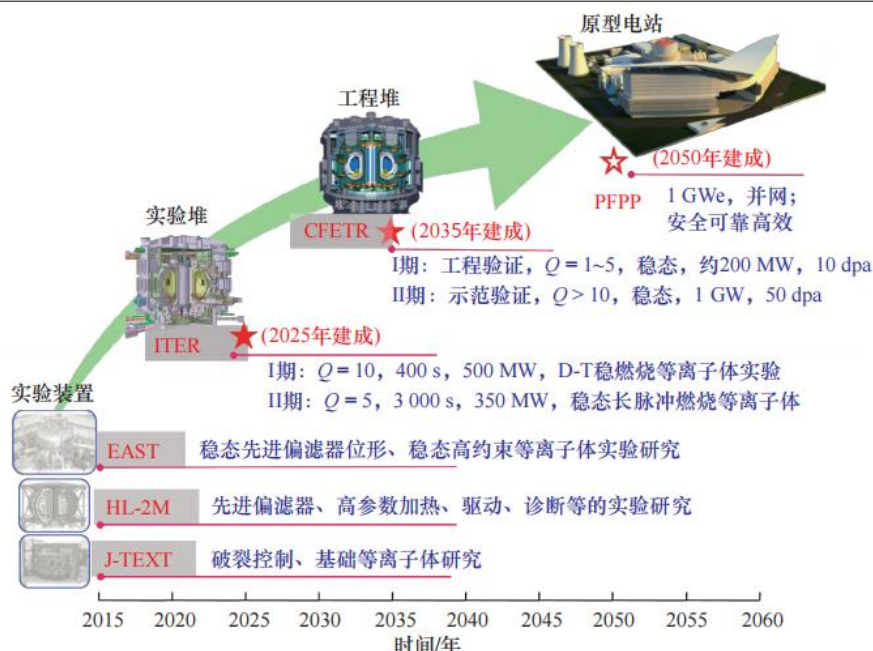
核能利用“三步走”，两大主力试验堆推进聚变【加速落地】。我国制定了热堆-快堆-聚变堆的核能三步走战略，并对磁约束聚变制定了近期、中期和远期技术目标，分别为：

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试验堆关键技术，设计、预研聚变工程试验堆关键部件等；

中期目标（2031-2035 年）：建设、运行聚变工程试验堆，开展稳态、高效、安全聚变堆科学研究；

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 15：中国磁约束聚变发展路线图



资料来源：高翔，万元熙，丁宁等. 可控核聚变科学技术前沿问题和进展 [J]. 中国工程科学, 2018, 20 (03): 25-31.，国信证券经济研究所整理

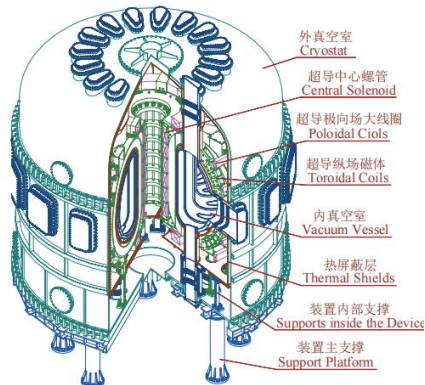
1965 年，中国核工业集团公司西南物理研究院（简称“西物院”）于四川乐山成立，是我国最早从事核聚变能源开发的专业研究院；1984 年 9 月，我国第一台中型聚变装置中国换流器一号建成。目前我国多个可控核聚变实验装置，其中最具有代表性的试验堆是环流器二号 M 装置（HL-2M）和东方超环（EAST）。

2009 年，国家原子能机构批复 HL-2M 立项，西物院自主设计建造。2020 年 12 月 4 日，HL-2M 在成都建成并首次放电，成为我国规模最大、参数最高的磁约束核聚变实验研究装置，设计等离子体电流能力提高到 2.5 兆安培以上，设计等离子体离子温度达 1.5 亿摄氏度。2022 年 10 月 20 日，HL-2M 等离子体电流突破 100 万安培。

EAST 是中科院等离子体所自主设计和研制的核聚变实验装置，也是世界上首个非圆截面全超导托卡马克。EAST 规模较小，主机高 11 米，直径 8 米，重达 400 吨。

EAST 于 2007 年 3 月通过国家验收，后于 2021 年 5 月完成升级改造。EAST 已先后实现 1 兆安、1 亿度和 1000 秒三大科学目标，并于 2023 年 4 月 12 日，EAST 实现了 403 秒稳态长脉冲高约束模式等离子体运行。

图 16: EAST 装置结构示意图



资料来源：徐嘉泓.《可控核聚变技术的发展及应用前景》. 中国战略新兴产业, 2018 (12): 205-206., 国信证券经济研究所整理

图 17: EAST 装置实景



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所官网，国信证券经济研究所整理

中国聚变工程试验堆（CFETR）是我国自主研制并联合国际合作的重大科学工程，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。与作为科学实验堆的 ITER 不同，CFETR 是工程实验堆，将直接为 DEMO 示范堆和未来商业堆的建造积累工程技术经验。CFETR 第一阶段目标功率为 50-200MW，Q 达到 1-5，最大/最小半径为 5.7/1.6 米；第二阶段为 1000MW，Q 超过 10，最大/最小半径为 6.6/1.8 米。

图 18: CFETR 效果图



资料来源：中国科学院等离子体物理研究所官网，国信证券经济研究所整理

图 19: CFETR 建设情况（2021 年）



资料来源：安徽新闻网，国信证券经济研究所整理

超导+AI 双重催化，可控核聚变有望加速实现

ITER 延期及预算膨胀，进展不及预期。核聚变点火条件苛刻，控制难度高，对材料、磁场控制、冷却系统等各个方面都有极高的要求，一般认为至少 2050 年才有希望实现可控核聚变商业化。而随着 ITER 工期多次拖延，其建设难度也在增加，各国之间的配合、施工标准把控力度不足以及早期安装的组件保养等问题也带来了新的难度，最新的预期是 2029 年有望完工；同时，ITER 项目预算也在不断增加，从 50 亿欧元提高到了 200 亿欧元，人们开始担忧 ITER 是否能够真正落地，也带来了商用可控核聚变能否在 2050 年实现的之一。目前各国仍在持续推进 ITER 项目进度，首个等离子体目标日期调整至 2025 年，2035 年开始氦氦运行。

图 20: 氦-氦聚变示意图



资料来源: Scientific American, 国信证券经济研究所整理

尽管可控核聚变的实现存在较大的不确定性，各国依然保持较高的热情，独立研究也取得了一定成效。其中，我国积极开展聚变堆的研究和设计，中核集团核工业西南物理研究院聚变科学所所长钟武律（HL-2M 实验负责人）在 2023 搜狐科技峰会上表示，有望在 10-20 年的尺度内获得可控核聚变的能量。

除此之外，近年来超导技术的不断发展、人工智能技术和算力的突破以及资本市场的持续关注也给可控核聚变带来了新的发力点。

高温超导引发关注，临界温度不断升高

超导线圈是聚变堆的必然要求，提高聚变堆的能量效率和约束时间。磁线圈是磁约束聚变堆的核心组件，高温等离子体的约束和控制都依赖磁线圈激发的磁场实现。但磁线圈需要通过电流来激发磁场，常规导体制成的线圈同时会产生电流热，增加聚变堆的能量输入，同时会在线圈中积热，增加装置的冷却负荷并降低约束时间。因此，更高性能聚变堆必须采用超导磁线圈。

超导体具有零电阻和完全抗磁性，在输配电、核聚变等领域应用前景广阔。超导是一种一定条件下，物质电阻为零的状态，处于超导状态的导体被称为“超导体”。此外，超导体还具备完全抗磁性，形成磁悬浮现象。因此，超导体可以在输配电、大型磁体、核聚变、电子和交通等领域发挥重要作用。2021 年 12 月，上海 35kV 公里级超导电缆示范工程投运，成为世界上输送容量最大、长度最长的高温超导电缆，电缆使用液氮降温，工作温度在 -196°C 左右。

低温高压维持超导态，超导材料应用受限。目前已发现并认定的所有超导材料都在低温环境下发生超导转变，而外界压力则可以通过调控材料的晶体结构等方式影响材料的超导转变温度。因此目前的超导材料通常需要低温和高压等极端条件维持超导态，无法广泛使用。此外，超导体还有临界电流和临界磁场强度两个转变条件，超过临界值的电流或磁场会破坏超导态，使超导体转变为具有电阻的常规材料。

超导材料可根据化学成分分为元素材料、合金材料、化合物材料和超导陶瓷。常压下有 28 中元素具有导电性，其中铌的临界温度 9.26K 最高；合金材料和化合物材料分别通过在超导元素中加入其它元素作合金成分和超导元素与其他元素形成化合物，从而提高超导材料的性能；超导陶瓷是指具有超导典型的氧化物陶瓷，1986 年在镧-钡-铜-氧化合物中发现了临界温度 35K 的超导电性，在此基础上，进一步发现了一系列高温超导体。除此之外，一些有机物也具有超导材料的性质。

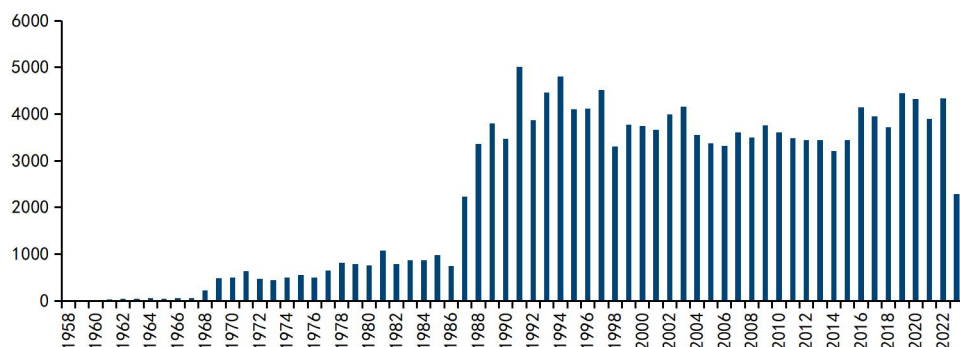
根据超导材料对磁场的响应和分为第一类超导体和第二类超导体。第一类超导体只存在单一的临界磁场强度，而第二类超导体存在两个临界磁场强度，在两个临界值之间则允许部分磁场穿透材料。元素超导体中的钒、铌、钨和一些合金超导体、化合物超导体属于第二类超导体。

根据临界温度的大小，以 BCS 理论预测极限的“麦克米兰红线”40K (-233°C) 为界，可将超导体分为低温超导体和高温超导体。以铜基超导体为代表的高温超导体临界温度可达 77K (-196°C ，液氮沸点) 以上，具有一定的应用价值。而由于目前尚未发现并确认任何临界温度接近“室温”的超导材料，室温超导体尚未明确定义，一般认为临界温度在 273K (0°C) 或 300K (27°C) 及以上的超导材料可被称为室温超导体。

超导研究受重点关注，多次引发社会热点。由于超导材料的优秀性能，若超导能够广泛应用，将给能源、电子、交通等多个领域带来重大突破，因此超导技术的研究受到了普遍关注。超导现象发现至今的 112 年以来，超导相关论文数量维持

较高水平，相关内容累计已获 5 次诺贝尔奖。2020 年以来，出现了多次“室温超导”相关报告，虽然至今仍无法证实室温超导体，但超导技术的突破多次引发社会关注。

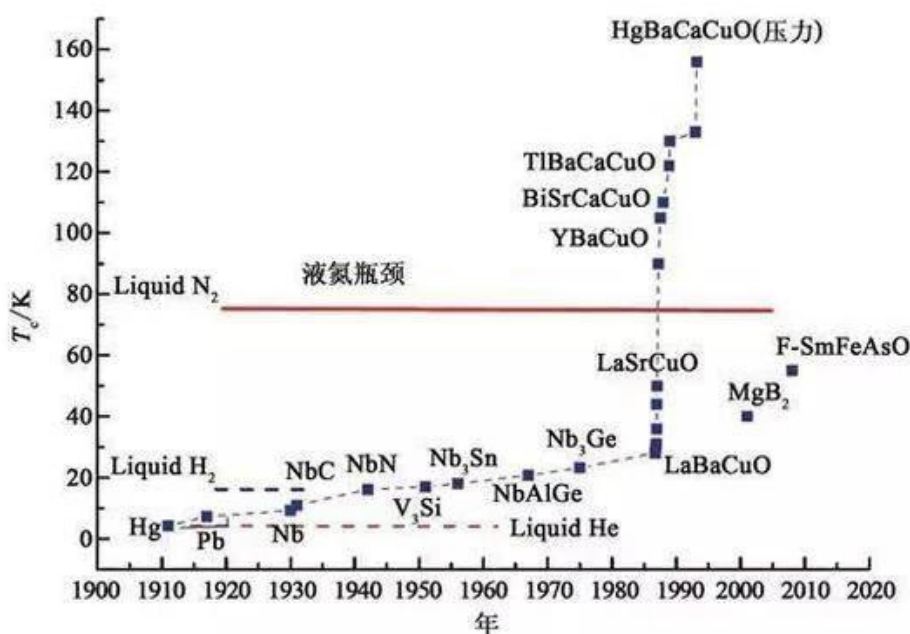
图 21: Web of Science 记录的超导论文数量（检索主题为 superconductivity）



资料来源: Web of Science, 国信证券经济研究所整理

超导临界温度纪录加速提升，最高已达 250K。自 1911 年汞的超导特性首次被发现至 1986 年之前，超导材料的临界温度仅从 4.2K 提升到了 23.5K。但 1986 年铜-钡-铜-氧超导体被发现后，超导材料的临界温度纪录被不断提高。目前，高温超导体临界温度的最高纪录为德国马克思·普朗克化学研究所发现的氢化镧，临界温度达到 250K (-23°C)，但仍需要 170GPa 的超高压环境，目前尚无法大规模应用。

图 22: 超导材料临界温度发展进程



资料来源: 中国科学院物理所科普, 国信证券经济研究所整理

EAST 超导线圈为低温超导体，高温超导有望提升聚变堆性能。全超导聚变堆 EAST 使用的超导材料为铌钛合金 (NbTi)，为金属铌和钛组成的合金，超导转变温度为 8-10K，使用超临界 4.5K 氦迫流冷却。EAST 超导纵场线圈主要由合肥聚能电物

理高技术开发有限公司供应，CICC 导体并式绕组成 D 形，额定工作电流 14.4kA，大环 1.7 米处额定磁场强度 3.5T。虽然高温超导临界温度更高，冷却条件更简单，但在材料性能和设计等方面仍存在一定难点。若未来可改用高温超导磁线圈，有望降低聚变堆的冷却负荷，提高聚变堆能量效率。

图 23: EAST 纵场线圈



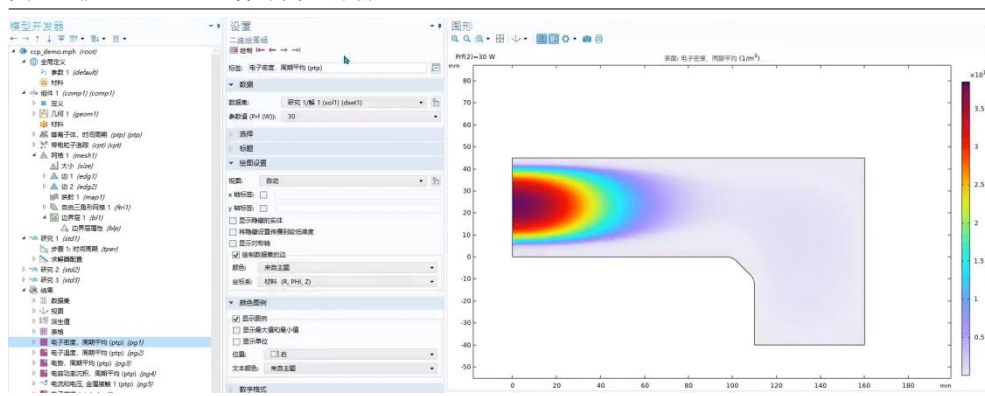
资料来源：合肥聚能电物理高技术开发有限公司官网，国信证券经济研究所整理

AI 快速发展和算力持续增强，增强仿真、设计和控制能力

聚变堆的复杂性对模拟仿真、装置设计和运行控制提出了更高的要求。模拟仿真实验是论证聚变堆可行性的的重要前提，通过建立磁场和等离子体流场的模拟仿真实验，可以检验聚变堆设计是否存在缺陷，并对聚变堆性能指标形成一定的评估。在模拟仿真实验的基础上，结合材料性能和工程要求，考虑安全性和经济性等因素，设计聚变堆装置及其配套系统。聚变堆建成运行后，需要对系统的各个部件进行准确精密的控制，以保证聚变堆安全、平稳、持续运行。人工智能技术的快速发展和算力的持续增强可以提高聚变堆的仿真、设计和控制能力，从而催化聚变技术加快落地

精密模拟仿真要求更高算力，AI 模型助力湍流预测。由于纳维-斯托克斯方程解的存在性和光滑性问题尚未解决，目前对湍流的分析和预测一般通过模拟仿真实现。等离子体流场的模拟仿真一般需要进行空间网格划分，网格划分约精细模拟仿真的准确性越高，但仿真的计算成本也就越高。由于聚变产生的等离子体中可能出现湍流，影响聚变效率和提高控制难度，因此需要精密划分等离子体网格。目前也有部分研究工作通过使用人工神经网络预测太阳大气内部隐藏的湍流运动，通过 AI 模型进行湍流预测，可以提高模拟仿真的效率。

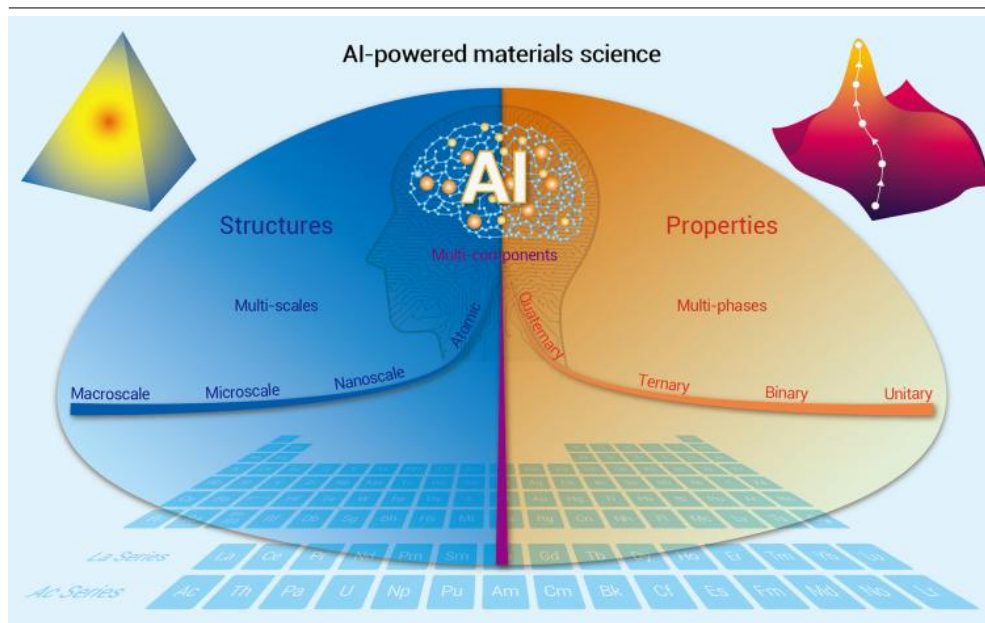
图24：使用 COSMOL 进行等离子体仿真



资料来源：CASMOL 官网，国信证券经济研究所整理

人工智能赋能材料科学，提高装置设计效率。装置设计则需要在模拟仿真的基础上，结合磁场分布、材料性能和装置装配等多个方面对装置进行综合分析设计，尤其是仿星器的磁场分布和装置结构更加复杂，在装置设计方面难度更大。可以利用人工智能模型根据磁场逆向推导磁场分布，或根据结构、材料特性逆向推导材料的组成成分、结构等，从而筛选满足要求的材料并完成结构设计。

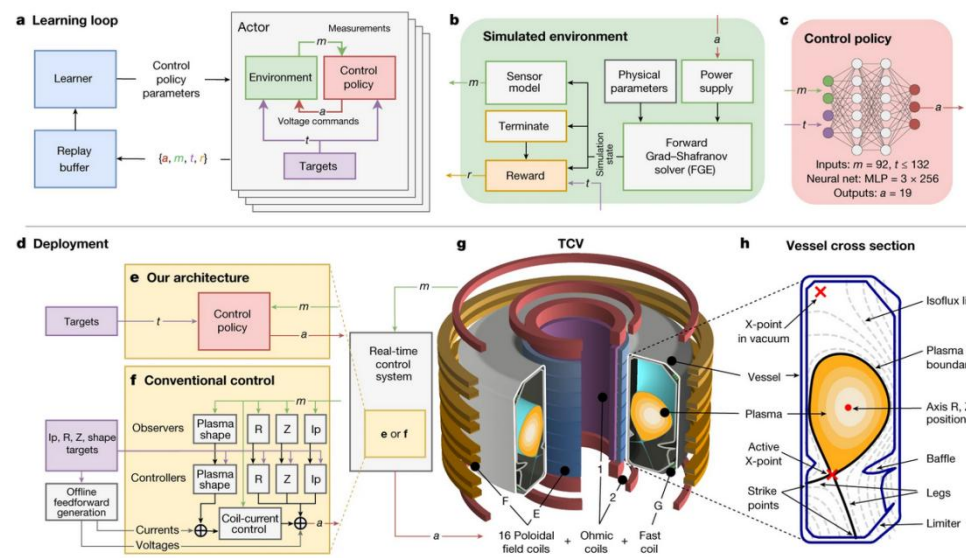
图25：人工智能赋能材料科学



资料来源：徐勇军等，《Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research》. The Innovation. 2(4), 100179., 国信证券经济研究所整理

强化学习生成托卡马克控制策略，提高控制效率。在聚变堆运行过程中，为了实现等离子体的精确控制，需要进行高频测量和控制，保持等离子体的稳定性，实现能量平衡，避免聚变等离子体出现异常，导致聚变中止甚至发生等离子体破裂等现象。而控制等离子体需要精确调节托卡马克装置的每个磁场线圈及其他部件，从而达到理想的等离子体形状、位置及运动。2022 年，由 DeepMind 等组成的研究团队设计了基于深度强化学习的托卡马克装置磁控制生成策略，2023 年 7 月，新研究表明已将等离子体形状的模拟精度提高到 65%，将训练时间减少 3 倍。

图 26: 深度强化学习实现托卡马克控制架构示意图



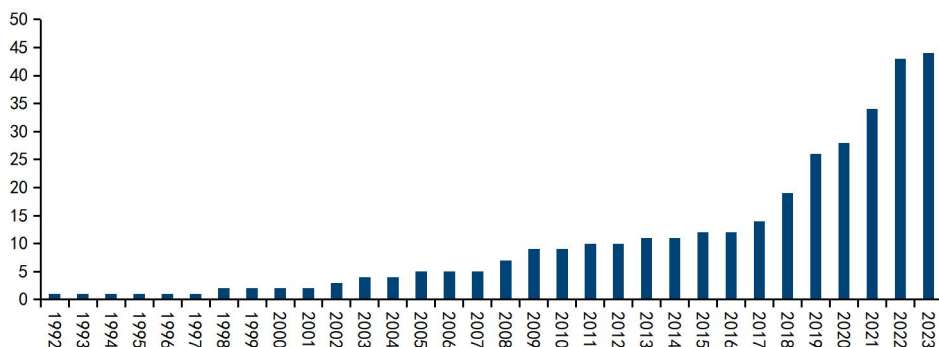
资料来源: Degraeve, J. 等, 《Magnetic control of tokamak plasmas through deep reinforcement learning》. Nature (London), 2022, 602(7897): 414-419., 国信证券经济研究所整理

AI 模型进步和算力不断发展，支撑聚变应用加快落地。AI 可以在可控核聚变的设计、制造、运行、控制等整个流程发挥作用，提高研发效率；同时算力的进一步发展有利于扩大聚变研究和设计规模，实现更大型的托卡马克装置，提高聚变参数。

资本市场持续关注，聚变领域活力增强

聚变公司成立加速，民营企业参与其中。根据核聚变工业协会的统计结果，自 1992 年起至 2022 年底，共有 43 家聚变公司创立，其中仅 2022 年就有 9 家公司。全球聚变公司获得的总投资额达到 62.11 亿美元，较 2022 年增加了 14 亿美元；其中，私有资金达到 59.4 亿美元。

图 27: 聚变公司创立情况

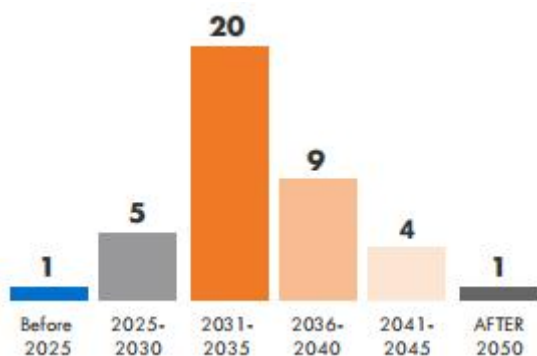


资料来源: Fusion Industry Association 《The global fusion industry in 2023》, 国信证券经济研究所整理

相关企业对可控核聚变落地信心较强，超半数预期 2035 年前机组投产。核聚变工业协会收集了核聚变公司对于聚变机组并网的预期，结果显示，作答的 40 家公司中，有 26 家公司认为 2035 年前第一台聚变机组将有望并网发电；在作答的 30

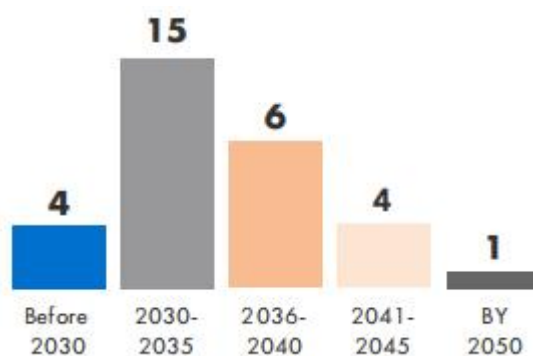
家公司中，有 19 家表示将在 2035 年前向电网供电。除此之外，微软已与聚变公司 Helion Energy 签订对赌协议，后者将在 2028 年提供 50MW 电力，并承诺将核聚变发电成本降低至 1 美分/kWh。

图 28：40 家聚变公司对首台机组供电时间的预期



资料来源：Fusion Industry Association 《The global fusion industry in 2023》，国信证券经济研究所整理

图 29：30 家聚变公司对供电时间的规划



资料来源：Fusion Industry Association 《The global fusion industry in 2023》，国信证券经济研究所整理

可控核聚变项目产业链环节较多，投资机会丰富。在上游，聚变堆建造需要一些特种金属，如第一壁需要熔点较高、导热性好的钨；超导线圈需要铜、铅等元素，超导带材还需要多种其他元素；燃料中的氘可以通过提取并电解重水等方式制备，而氦则需要通过热中子轰击锂 6 进行增殖。在中游，需要部件加工、生产、装置组装，汽轮机、蒸汽发生器的生产和制造；等离子体仿真、装置设计、聚变控制需要开发相关软件。在下游，需要进行聚变堆的运营和维护。我们认为 ITER、EAST 等项目供应商值得优先关注，如国光电气、安泰科技、上海电气等公司；可控核聚变商业堆落地后，中国核电等核能发电公司有望获得较大发展。

表 3：ITER 相关设备生厂商

设备名称	产品作用	供应商公司	国产化程度
磁体支撑	支撑试验堆的核心装置，ITER 重要结构安全部件	贵州航天新力铸锻有限责任公司	100%由中国承担研发制造
校正场线圈	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	合肥聚能电物理高技术开发有限公司	中国承担 ITER 装置所有 18 个校正场线圈的制造
馈线接口	磁体馈线是连接杜瓦内超导磁体与杜瓦外低温制冷系统、电源系统及控制系统的接口部件，为 ITER 磁体系统提供冷却、电流、测控等	中广核工程有限公司 合肥科烨电物理设备制造有限公司 合肥聚能电物理高技术开发有限公司	中国承担 ITER 所有 31 套磁体馈线制造
磁场线圈导体	提供托卡马克装置内纵向场和环向场	宝胜科技创新股份有限公司	中国承担 13 根纵场线圈和 126 根环向场线圈单元导体中 11 根的制造
包层第一壁	保护外部部件和设备免受高热流和高能粒子流的冲击。	贵州航天新力科技有限公司 中色（宁夏）东方集团有限公司	中国承担约 10%的第一壁生产制造任务
偏滤器	偏滤等离子体外壳层内的带电离子，将其转化为中性粒子并抽走，减少来自器壁的杂质对中心等离子体的污染和排出能量	安泰科技股份有限公司 成都国光电气股份有限公司	

资料来源：中国国际核聚变能源计划执行中心官网、供应商公司官网、国信证券经济研究所整理

图 30：聚变产业链相关公司



资料来源：各公司官网、国信证券经济研究所整理

风险提示

燃料成本超出预期：我们对氘氚聚变燃料成本的测算为 0.0050 元/kWh，但该测算结果是建立在较多假设前提的基础上计算而来的，特别是对燃料氘和氚的价格的估计、聚变机组发电效率的估计等因素加入了一些个人判断，可能导致对燃料成本的测算偏低；

聚变技术发展不及预期：当前磁约束环形托卡马克装置的可控核聚变能否真正实现尚无一致性的确定结论，未来存在进一步研究发现环流器原理上不可实现核聚变的可能性。除此之外，聚变尚有一些未能解决的问题，若未来可控核聚变技术发展不及预期，可能导致可控核聚变商业化落地推迟；

超导技术发展不及预期：基于过去超导技术的发展历程，我们做出了超导技术发展，聚变堆应用超导磁线圈提升性能的推测。若未来超导技术发展不及预期，可能拖累可控核聚变的发展。

AI 技术发展不及预期：基于过去 AI 技术的发展历程，我们做出了 AI 技术发展，提高可控核聚变模拟仿真、装置设计和运行控制效率的假设。若未来 AI 技术发展不及预期，可能拖累可控核聚变的发展。

免责声明

分析师声明

作者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，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

国信证券投资评级

类别	级别	说明
股票 投资评级	买入	股价表现优于市场指数 20%以上
	增持	股价表现优于市场指数 10%-20%之间
	中性	股价表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	卖出	股价表现弱于市场指数 10%以上
行业 投资评级	超配	行业指数表现优于市场指数 10%以上
	中性	行业指数表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	低配	行业指数表现弱于市场指数 10%以上

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、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所提及的意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路 125 号国信金融大厦 36 层

邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 层

邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层

邮编：100032