

核聚变电源系列一：聚焦FRC技术潜力与机遇

分析师：贺朝晖 S0910525030003

周涛 S0910523050001

2025年10月20日

- ◆ **核聚变产业：2025年全球核聚变领域呈现政策、技术与资本协同推进态势。**海外方面，德国、英国等在等离子体持续时间、商业化氙生产等技术上取得突破，多国推出投资计划与融资，加速商业化；国内“中国环流三号”等装置技术突破不断，超百亿融资创纪录。政策上，海外从技术竞争转向产业化布局，国内形成“国家定方向、地方抓落实”模式，全链条支持技术落地。全球投资规模爆发，私人资本主导，美国、欧洲为核心，中国加速追赶，磁约束技术获较多资本倾斜，FRC等新兴路径潜力显现。
- ◆ **磁约束核聚变新势力：FRC作为磁约束核聚变新兴路径，在原理、优势及商业化上均具独特价值。**其原理上是无环形场线圈的简单磁约束系统，直线型结构形成自封闭磁场约束等离子体。相比传统技术，其优势显著：摆脱外部加热源依赖，抑制宏观不稳定性，能量效率高（聚变功率输出为托卡马克的100-1000倍），工程化实现更简单，建造成本仅为托卡马克的1/5-1/10。电源系统是核心支撑，需匹配脉冲式放电特性，成本较高。多家企业规划了发电及核医疗等非发电领域的落地时间，展现多元应用潜力。
- ◆ **FRC产业生态：全球FRC技术企业各有进展。**海外标杆中，TAE Technologies通过技术简化降低系统成本，累计融资13.5亿美元，规划推进原型堆与电站落地；Helion建成Trenta装置，正建Polaris，计划2028年向微软供电，累计融资超10亿美元。国内先锋企业中，瀚海聚能建成HHMAX-901装置，聚焦发电与非发电领域商业化；星能玄光Xeonova-1装置快速落地，计划2035年建大型电站；另有诺瓦聚变及高校相关装置，共同推动FRC技术研究与应用。
- ◆ **投资建议：**建议关注核聚变核心部件供应商：国光电气（688776.SH）、旭光电子（600353.SH）、国力股份（688103.SH），以及电源：新风光（688663.SH）、英杰电气（300820.SZ）、爱科赛博（688719.SH），电容类企业：王子新材（002735.SZ）、久信科技，等。
- ◆ **风险提示：**政策落地不及预期、技术迭代风险、安全事故风险。

-  01 核聚变产业生态：政策驱动、技术突破与资本共振
-  02 磁约束核聚变新势力：FRC技术深度解码
-  03 FRC产业生态：全球代表企业与项目进展
-  04 投资建议
-  05 风险提示

1.1 海外核聚变核心动态

- ◆ 2025年海外核聚变在技术突破与资本助推下加速发展。德国W7-X装置刷新等离子体持续时间纪录，ITER明确中长期运行路径，英国实现商业化氦生产。
- ◆ 多国推出重磅投资计划、大额融资及购电协议，商业化进程提速。

2025年海外核聚变核心动态事件

	国家/组织	时间	事件
技术突破	德国	6月3日	德国W7-X装置创等离子体持续40s以上聚变三乘积纪录。
	英国	6月6日	Astral Systems成为首家成功生产氦的商业化聚变本土公司。
	ITER	6月5日	公布规划 ——2034 年运行、2036 年全磁能运行、2039 年氦-氦实验。
资本动态	美国	6月2日	TAE Technologies宣布其在最新一轮融资中筹集资金超过1.5亿美元。
	英国	6月10日	宣布五年 25 亿英镑核聚变投资计划。
	德国	6月11日	聚变初创企业Proxima Fusion宣布完成1.3亿欧元（约1.5亿美元）的A轮融资，成为融资总额最高的仿星器商业聚变公司。
	美国CFS	6月30日	与谷歌签订商业购电协议，开启商业化应用。
	美国CFS	9月22日	与意大利能源巨头埃尼集团签署金额超10亿美元的ARC电站售电协议。
	Helion Energy	7月30日	宣布获地并启动全球首座聚变电厂ORION建设，计划2028年前向微软输送50MW聚变电力。
	英国	9月22日	Tokamak Energy宣布收购专业工程公司Ridgway Machines(瑞格威机械)，加速其TE Magnetics业务增长和制造能力。

1.2 海外主要国家核聚变政策要点

◆ 2025年全球主要国家密集出台核聚变政策，标志着技术竞争从实验室研发转向产业化布局与监管框架构建。各国以“技术领先+产业落地”为核心，通过政策明确路线、协同资源，加速核聚变从“科研课题”到“能源赛道”的跨越。

海外各国推进核聚变的相关政策

国家	时间	文件名	主要内容
美国	2025年4月4日	《构建全球核聚变部署之路》	呼吁以出口控制为核心，尽快建立核聚变监管体系。
日本	2025年6月4日	修订版《聚变能源创新战略》	加速聚变技术研发与创新突破、深化公私协同合作机制、构建本土化供应链体系、实施专业人才培养计划，以及拓展国际研发与商业化合作。
英国	2025年6月23日	《Industrial Strategy: Clean Energy Industries Sector Plan》	确定了最具增长潜力的六大前沿清洁能源产业，包括：风能（陆上、海上和浮动海上风电）、核裂变、聚变能源、碳捕获利用与封存（CCUS，包括温室气体去除 GGRs）、氢能和热泵。
德国	2025年1月	《Nuclear Fusion Made in Germany》	推动德国聚变领先地位的关键策略，明确聚变发展路线图，倡导开展技术中立的基础研究，建议建设惯性聚变和磁约束聚变示范电站。
俄罗斯	2025年2月6日	《关于修改〈原子能利用法〉第3条》	将《原子能利用法》确立的法律框架和基本原则延伸至聚变设施的设计和运行领域，构建聚变反应堆及装置的安全监管体系。

1.3 国内核聚变技术突破与动态

◆ 2025年，国内核聚变领域加速突破，技术与资本协同发力。“中国环流三号”“CRAFT高温超导电流引线”“HHMAX-901主机”等成果接连涌现，从大科学装置性能到关键部件技术，不断刷新纪录、验证工程化可行性。超百亿级融资落地，为产业商业化筑牢资金根基，推动核聚变加速从科研试验迈向能源应用新征程。

2025年国内核聚变核心动态事件

	时间	公司/组织	事件
技术突破	5月	核工业西南物理研究院	新一代人造太阳“中国环流三号”同时实现等离子体电流100万安培、离子温度1亿度、高约束模式运行，综合参数聚变三乘积达10的20次方量级。
	7月18日	瀚海聚能	HHMAX-901主机建设完成暨等离子体点亮仪式在公司聚变装置基地成功举行，中国首台商业化直线型场反位形聚变装置成功实现等离子体点亮。
	7月17日	中科院合肥物质科学研究院	该院等离子体物理研究所自主研发的一对CRAFT 100kA（千安培）高温超导电流引线顺利通过极端工况下的性能测试，其稳态载流能力突破100kA，创造世界纪录。
	9月28日	中国科学院合肥物质科学研究院	中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所联合合肥国际应用超导中心、合肥综合性国家科学中心能源研究院及清华大学共同研制的全超导磁体，成功产生35.1特斯拉（T）稳态强磁场，创造新的世界纪录。
资本动态	7月22日	中国聚变能源有限公司	获中核集团、中国核电等七方合计115亿元投资，本次交易完成后，中国聚变公司注册资本为150.00亿元，成为国内注册资本最高的商业聚变公司。

1.4 国内核心政策文件及支持方向

◆ 2025年，国内对可控核聚变的政策支持形成了清晰的推进逻辑。从国家层面搭建框架，一边通过优化监管流程、完善法律法规筑牢基础，一边聚焦技术研发方向提供明确指引；地方则主动跟进，以具体规划推动技术落地和产业培育。这种“国家定方向、地方抓落实”的联动模式，不再局限于单纯支持科研，而是从全链条发力，为核聚变从实验室走向实际应用铺平道路。

中国可控核聚变主要政策

时间	发布部门	文件名/事件	相关内容
2025年4月7日	生态环境部	《关于聚变装置辐射安全管理有关事项的通知》	实施分类管理（实验装置/氚装置/应用装置）和“审评合一”机制。
2025年4月28日	国家能源局	二季度新闻发布会	大力支持第四代核电技术、小型模块化反应堆、核聚变等前沿技术的研发攻关。
2025年4月	全国人大常委会审议	《中华人民共和国原子能法(草案)》	国家鼓励和支持受控热核聚变的科学研究和技术开发；国家建立符合受控热核聚变特点、促进核聚变应用的监督管理制度。
2025年7月	四川省人民政府	《关于发展壮大新兴产业加快培育未来产业的实施方案（2025—2027年）》	明确支持可控核聚变作为未来产业；加快建设准环对称仿星器，争取聚变堆关键技术攻关工程落地，开展氘氘燃烧、聚变材料研制；拓展应用场景和商业化应用。

1.5 中科院等离子体所采购动态

- ◆ 作为国内核聚变研究的核心机构，中科院近期启动5项关键采购，覆盖激光设备、真空系统、电路装置、磁体及管路部件等维度，服务于核聚变实验的开展，是技术推进的重要硬件保障。
- ◆ 同时，聚变新能也开展了一项采购工作，涉及BEST氙处理中心排放与监测管道、高压氦气管束、紧凑型聚变能实验装置PF磁体研制3个项目，其中高压氦气管束预算367万元。

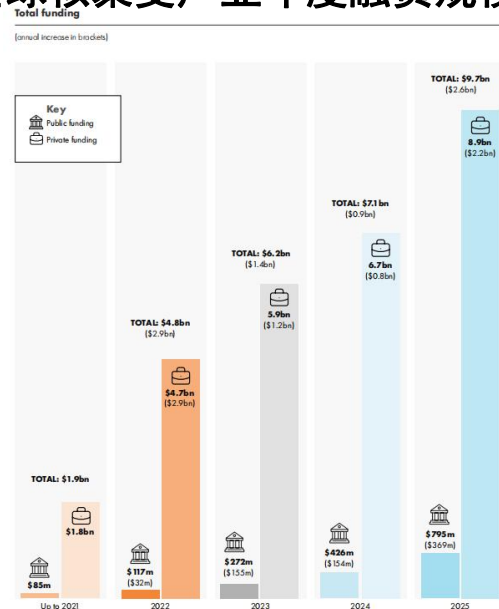
中科院等离子体所采购项目

采购项目	需求概况	预算金额	截止时间
可调谐激光器	2台，中心波长为780nm，线宽<100kHz。	65万元	2025年9月19日11点00分
CC磁体测试平台真空系统	1套，包含真空机组、高真空插板阀、真空测量设备等。	186万元	2025年10月10日9点30分
120kA过零缓冲回路	1套柜体框架，1套导电排，1套绝缘支撑等。	140万元	2025年10月10日14点00分
PF磁体终端箱及管路制造（第一批）	3套，包含PF5、PF6、PF7。	310万元	2025年10月14日14点00分
馈线系统CLB真空室部件制造	5套TF&PF&CS_CLB真空室，1套CC_CLB真空室，1套CS06-10_CLB真空室。	1280万元	2025年9月22日9点30分

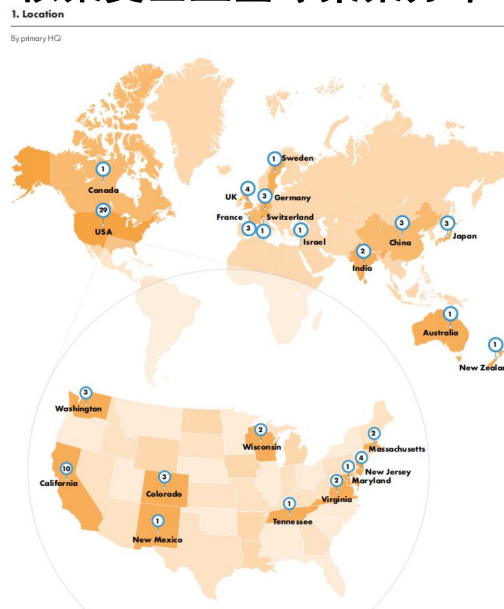
1.6 全球核聚变产业投资全景

- ◆ 2025年全球核聚变投资呈“规模爆发、私人主导、技术多元”特征。累计融资超97亿美元，私人资本89.7亿美元（占比92%），较2021年增长近4倍；美国、欧洲为核心集聚区，中国加速追赶；51家公司中近半数走的是磁约束路径；具体到细分技术路线上，托卡马克（含球形托卡马克）、仿星器和激光聚变路线均为7家，场反位形3家。
- ◆ 将排在前列的12家公司的新增融资金额，按技术路线统计：场反位形（TAE、Helion）融资5.75亿美元、激光（Marvel Fusion、Focused Energy）3.1亿美元、仿星器（Proxima Fusion、Type One Energy、Renaissance Fusion）2.5亿美元、托卡马克或球形环（Tokamak Energy、新奥聚变）1.8亿美元。

全球核聚变产业年度融资规模趋势

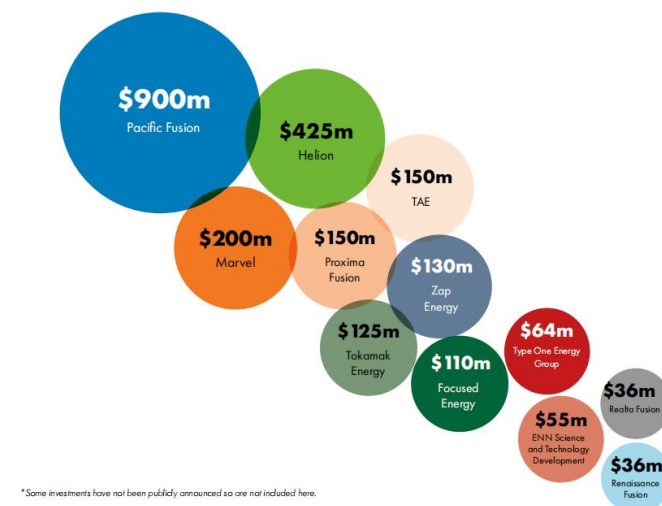


核聚变企业全球集聚分布



核聚变企业近期大额投资分布（按企业展示）

NOTABLE INVESTMENTS SINCE THE LAST SURVEY

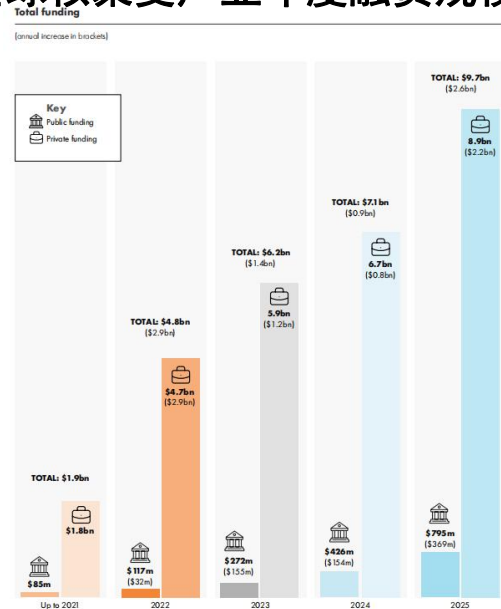


* Some investments have not been publicly announced so are not included here.

1.6 全球核聚变产业投资全景

- ◆ 2025年10月1日，德国政府正式批准了在国内建造核聚变反应堆的计划，并为该项目拨款17亿欧元。
- ◆ 该行动计划的名称为“德国迈向核聚变发电厂”（Germany on the way to becoming a fusion power plant）旨在将德国打造为全球领先的核聚变能源中心。仅在本立法期内，该计划的总预算就超过20亿欧元，用于推动核聚变发电相关的研究、基础设施建设及产业生态系统发展。迄今为止，主管部门每年为核聚变研究提供的公共资金总额已达约1.5亿欧元。

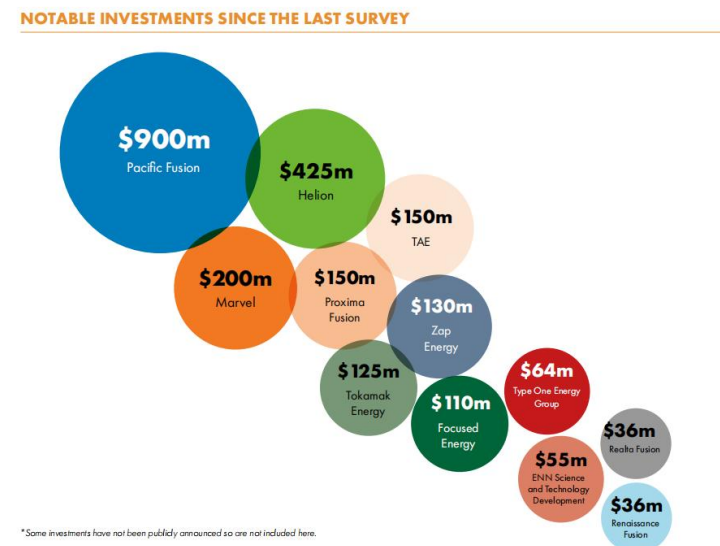
全球核聚变产业年度融资规模趋势



核聚变企业全球集聚分布



核聚变企业近期大额投资分布（按企业展示）

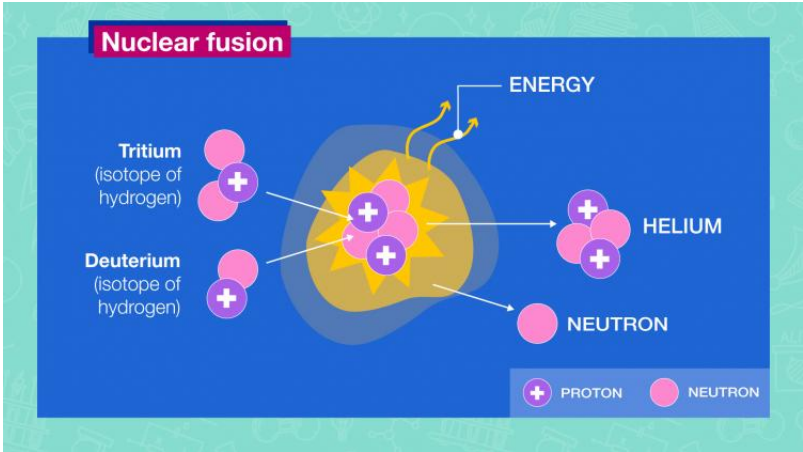


* Some investments have not been publicly announced so are not included here.

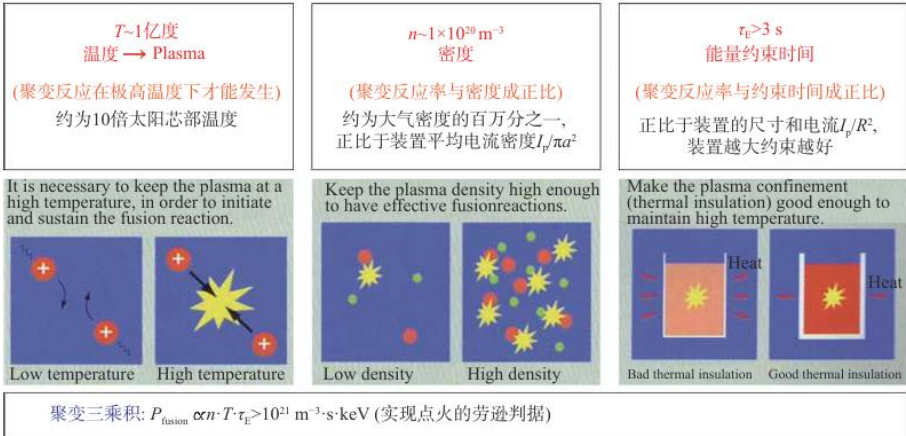
1.7 核聚变技术突围：FRC破局价值

- ◆ 惯性与磁约束两大主流路径，均面临能量收支与持续约束的核心难题。磁约束输入能量远高于输出，惯性约束难从单次点火迈向持续能量输出，需突破能量高效约束转化逻辑。
- ◆ 极端环境材料开发、氦燃料稀缺及闭环生产，构成核聚变实用化基础壁垒。实用化需攻克三重难题——研发耐1亿℃高温、强辐射且放射性短期衰减的反应堆材料；构建氦自持生产体系（天然氦稀缺难商用）；稳定制备高纯度氦氖靶丸/等离子体燃料，保障反应持续触发。
- ◆ 从实验室到商业电站，需突破高频、长周期稳定运行工程瓶颈。惯性约束缺高频精准激光打靶技术，磁约束需优化等离子体控制并升级抗辐照材料，更要建立“实验-示范-商用”可靠体系，跨越科研到产业的“死亡谷”。
- ◆ 此背景下，科研界也在探索更简洁、高效的约束新路径——场反位形（FRC）。其以无环向场的紧凑磁结构，尝试从原理上规避等离子体不稳定性与能量泄漏，为突破能量约束瓶颈提供新可能。

核聚变工作原理



核聚变反应三要素

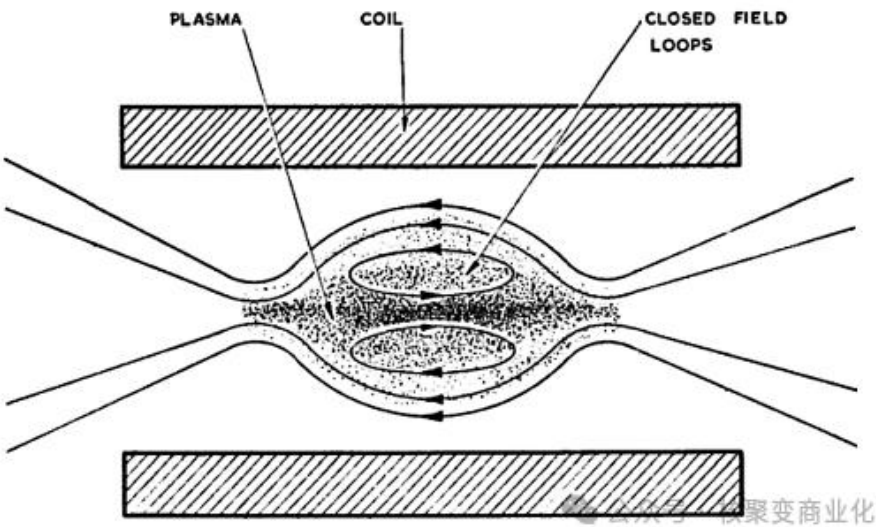


- 01 核聚变产业生态：政策驱动、技术突破与资本共振
- 02 磁约束核聚变新势力：FRC技术深度解码
- 03 FRC产业生态：全球代表企业与项目进展
- 04 投资建议
- 05 风险提示

2.1 FRC技术发展历程

- ◆ 场反位形的研究历史至今逾六十年，其概念最早可追溯至1956年Nicholas C. Christofilos在利弗莫尔国家实验室开发Astron聚变装置概念（旨在通过相对论性电子环E-layer产生反向磁场约束等离子体）。
- ◆ 20世纪50年代后期，科学家在 θ 箍缩实验里，首次实际观察到了磁场反转现象。

早期概念性场反位形（FRC）



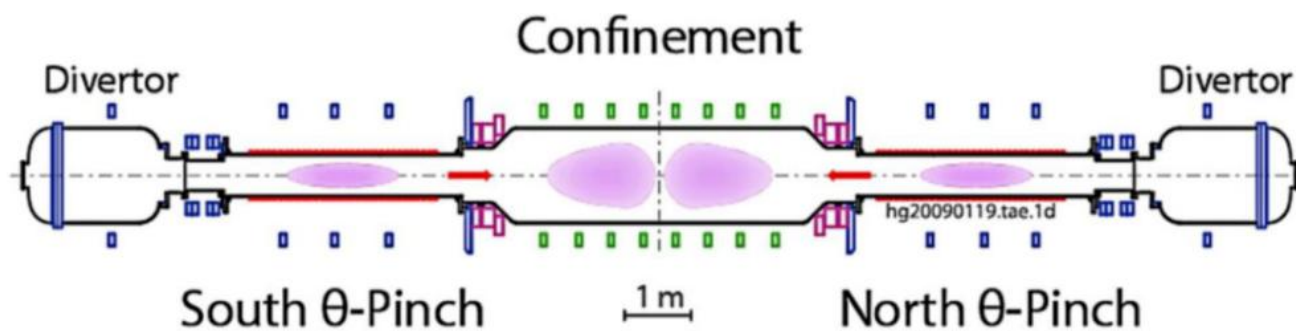
FRC技术发展历程

阶段	时间范围	核心事件
早期探索阶段	1950s-1970s	FRC现象被观测到；苏联实现FRC长时间稳定约束，成为该领域第一个重大转折点。
中期技术复兴时期	1980s-1990s	苏联成果激发美日开展FRC研究；美日深度合作，FRC研究进入鼎盛期。
当代现代进展与应用	1990s-至今	美国重启FRC研究；私营公司参与，研究进入政府与市场双轮驱动阶段，推动商业化。

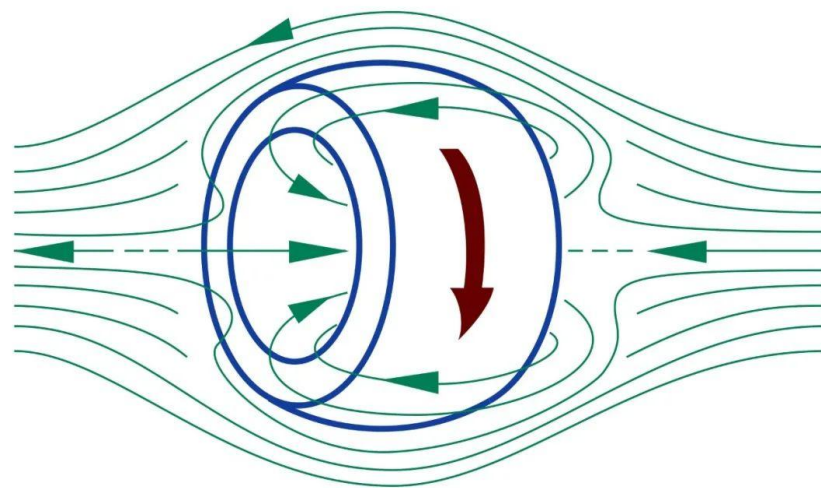
2.2 FRC技术原理与特性解析

- ◆ 场反位形是没有环形场线圈的较简单的磁约束系统，内部等离子体产生的反向电流会形成与外部磁场反向的磁场，使得等离子体在形成阶段成为一个自封闭的磁场结构。
- ◆ 在装置中心区域，磁力线形成闭合环路磁场，有效地约束高温等离子体；外部区域中，磁力线两端开放，连接装置壁面，对约束起辅助作用；分界面是内外磁场的交界面，界定了等离子体主要聚集与约束的区域；与传统的环形（托卡马克等）聚变装置相比，直线型设计在几何结构上更加简单，有助于降低系统的不稳定性和工程实现的复杂度。

场反位形设计示意图



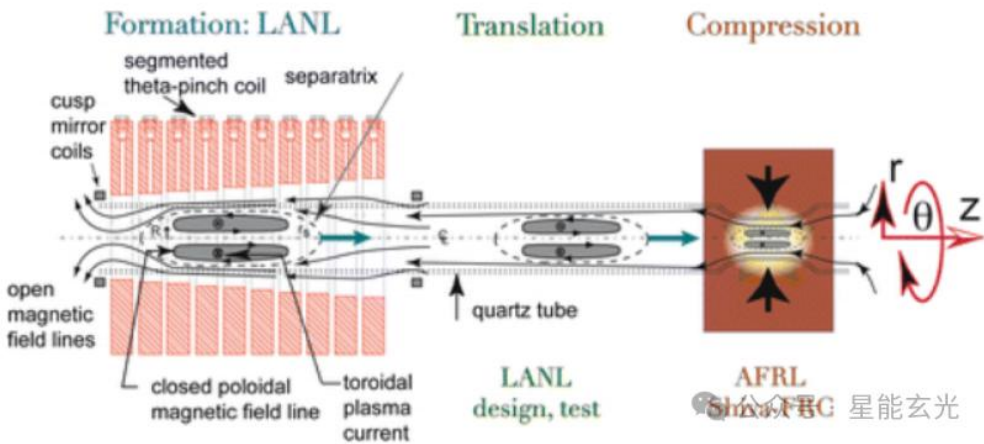
FRC原理图



2.3 FRC核聚变技术路线：磁化靶与准稳态

- ◆ 通过FRC实现聚变主要有两种技术路线：
- ◆ 1) **磁化靶FRC**：将FRC作为磁化靶等离子体，脉冲压缩至聚变条件。目前Helion公司就是基于此方案，其在2021年获得了近5亿美元的投资。其难点在于高密度磁化靶FRC的形成、传输以及寿命。
- ◆ 2) **准稳态FRC聚变**：目前将FRC进行准稳态运行的是TAE公司，其方案是利用中性束注入（NBI）来维持FRC，最终目标是实现氢硼聚变。TAE最主要的进展是在C-2W装置上把FRC的能量约束时间大幅提升至了10ms量级，并且极大的推进了人们对FRC的理解。该方案的难点在于FRC的电流驱动以及稳定性问题。

磁化靶FRC方案示意图



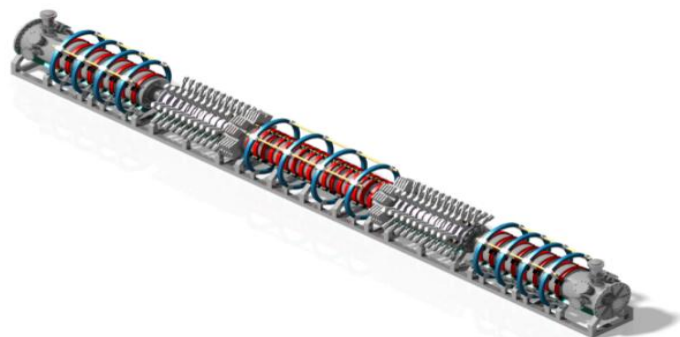
C-2W装置



2.4 FRC优势：对比传统磁约束的差异化价值

- ◆ **摆脱外部加热源依赖。**FRC装置运用脉冲式放电模式，无需长时间维持等离子体状态。借助内部等离子体环的压缩融合过程，磁能可高效转化为内能，使装置具备出色加热效率，无需中性束注入这类外部加热方式辅助。
- ◆ **抑制宏观不稳定性。**相比传统环形设计，FRC 的直线型结构在抑制宏观不稳定性上更具优势。这种结构特性有助于维持等离子体的稳定状态，进而延长其受控时间，为等离子体相关实验与应用创造更有利条件。
- ◆ **高能量效率。**等离子体自组织特性减少能量损耗，相同磁场强度下聚变功率输出可达托卡马克的100-1000倍；兼容氢-硼等先进燃料，燃料利用率更高，能量转换效率提升30%。
- ◆ **简化工程化实现。**直线型FRC装置的结构设计更为简约，降低了工程实际建造、运行的难度。同时，在装置体积与成本控制上效果显著，能为聚变装置迈向工程化应用，提供具备竞争力的可行路径。

瀚海聚能的FRC聚变装置



2.5 FRC核心支撑：电源系统关键部件探秘

- ◆ 在FRC技术中，电源系统是支撑装置运行、实现磁约束与等离子体调控的核心引擎。其需精准匹配FRC脉冲式放电、磁-内能转化的特性，从能量供给到时序控制，深度影响等离子体约束效果与聚变反应进程。
- ◆ 以采用托卡马克技术路线的ITER为例，其中磁体、容器内部件、建筑和电源系统的成本分别占28%、17%、14%和8%。与托卡马克不同，场反位形装置需要大脉冲电源支撑等离子体加速至超音速碰撞和压缩，对电源依赖程度高。
- ◆ 场反位形无需庞大的环向磁场线圈，磁体用量减少80%以上，装置体积缩小50%，建造成本仅为托卡马克的1/5-1/10；采用铜导线磁体（非超导磁体），运维成本显著降低。因磁体、装置等成本占比大幅压缩，在整体低成本结构中，对运行起关键支撑的电源系统成本占比，相较托卡马克会更为突出。

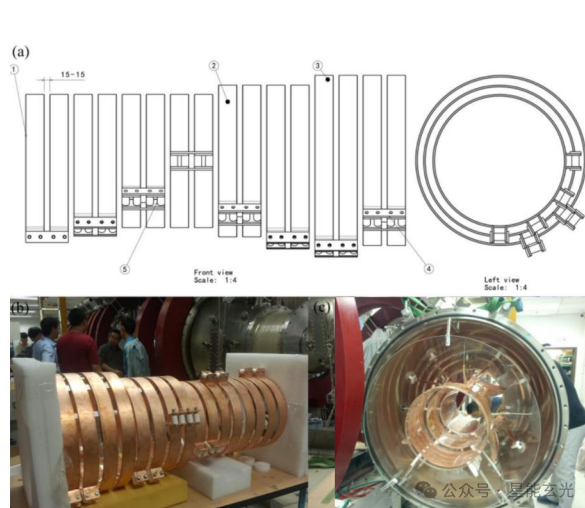
FRC路线与托卡马克路线核聚变技术对比

维度	FRC路线（Helion energ为例）	托卡马克路线（CFS为例）
工程成本	约1亿美元（Polaris原型机），其中电源系统占成本60%。	约20亿美元（SPARC装置），其中高温超导磁体占成本 50%。
典型 β 值	$\approx 100\%$ 。	$< 5\%$ ，通过强磁场（约20T）补偿。
运行方式	毫秒脉冲运行。	准稳态运行。
能量转化路径与效率	核能（等离子体膨胀） $\rightarrow$ 磁能 $\rightarrow$ 电能，直接发电效率 95%。	核能 $\rightarrow$ 热能 $\rightarrow$ 机械能 $\rightarrow$ 电能，蒸汽循环转换效率30-40%。
商业化周期	2028年（与微软签约50MW供电）。	2035年左右（示范堆ARC并网）。
燃料路径与放射线污染	氘氦3（D-He ³ ），无中子，基本没有放射线污染。	氘氘（D-T），运行会产生中子，中子辐照带来放射线污染。

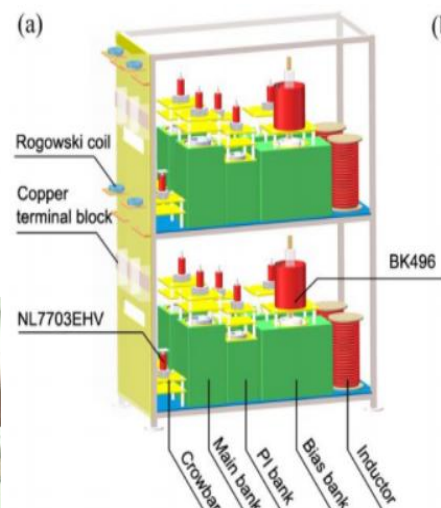
2.6 FRC电源系统：KMAX-FRC电源系统架构与核心部件

- ◆ KMAX-FRC实验系统的电源系统是一个高度集成且精密的体系，主要由脉冲储能系统、触发与控制系统以及与之紧密配合的负载—— θ 箍缩线圈组成。整个架构的设计紧密围绕着实现FRC等离子体的高效产生与稳定约束。
- ◆ 两套KMAX-FRC线圈安装于中心室的两边锥形室内， θ 箍缩线圈由16组单匝线圈组成，呈阶梯状的结构，锥形半角为 2.8° ，同时线圈内套有石英玻璃管以隔绝等离子体。16组单匝线圈中，每两个相邻线圈之间相连后独立引到高压电极上。目前相邻的4环线圈作为一组采用独立的脉冲储能系统进行馈电。为了实现脉冲储能系统的时序放电，KMAX中设计搭建了可靠的时序触发系统以及脉冲触发器。

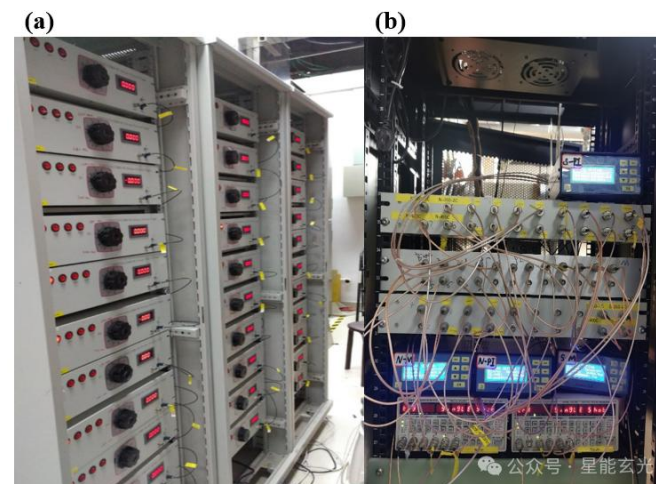
θ 箍缩线圈结构



KMAX-FRC脉冲储能系统



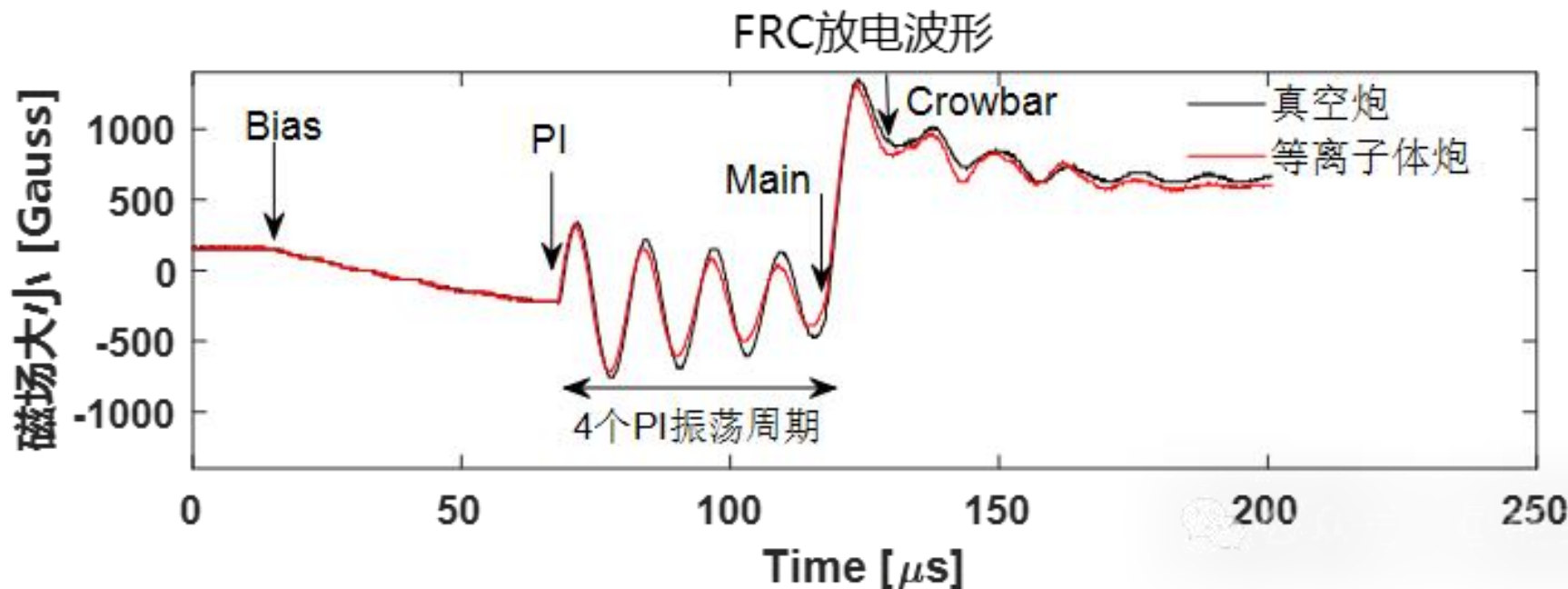
KMAX-FRC (a) 脉冲触发器 (b) 时序触发系统



2.6 FRC电源系统：KMAX-FRC电流波形与阶段匹配

- ◆ 偏置场阶段：电流平缓上升至低稳定值，产生弱磁场引导等离子体初始分布；
- ◆ 预电离阶段：尖锐短脉冲，瞬间击穿气体形成初始等离子体；
- ◆ 主压缩阶段：高幅值窄脉冲，强磁场快速压缩等离子体形成FRC；
- ◆ 后沿削波Crowbar阶段：动态调整波形，补偿能量损耗维持FRC稳定。
- ◆ 各阶段电流时序与幅值控制精度需优于 $\pm 5\%$ （微秒量级），实现此精度的电源系统成本占总投入比重可达60%。

KMAX-FRC (a) 脉冲触发器 (b) 时序触发系统



2.7 FRC商业化潜力：从实验室到产业落地路径

- ◆ **成本优势：**结构精简，零件减70%，50MW模块成本<10亿（托卡马克的1/10），模块化磁体使维护周期缩短50%。
- ◆ **发电颠覆：** β 值 ≈ 1 ，等离子体膨胀反推磁场发电，效率95%（托卡马克等仅 30-40%）。
- ◆ **无辐射：**支持氘氦3、氢硼等无中子路径，无需中子屏蔽层，减少放射性污染。
- ◆ **模块化：**50-300MW模块化设计，适配分布式场景，可灵活扩展。
- ◆ **迭代快：**装置建造周期2-3年（短于托卡马克），Helion十年迭代7代，国内星能玄光Xeonova-1安装到放电仅2个月。

中美FRC私营企业情况

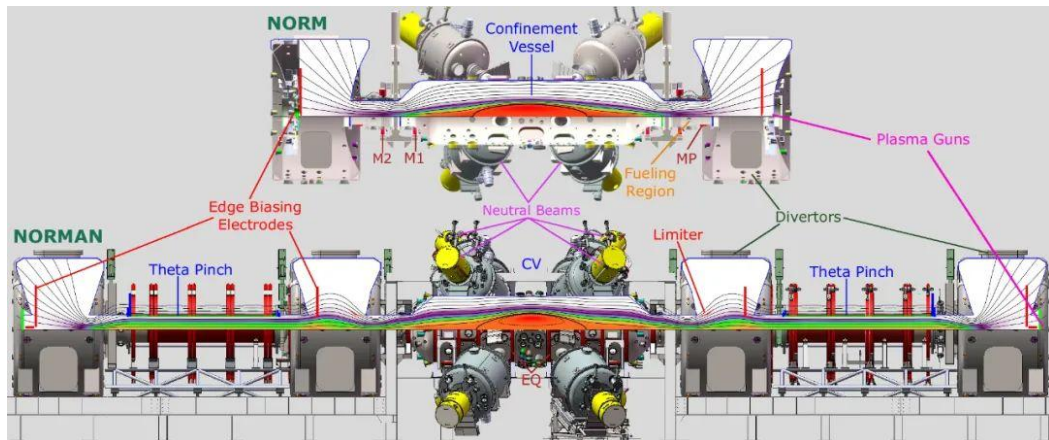
企业名称	技术特点	供电计划	融资情况
Helion Energy（美国）	脉冲磁惯性约束 (MTF)+D-He ³ 燃料。	预计于2028年向微软提供50兆瓦电力。	累计超10亿美元（OpenAI创始人Altman领投），估值50亿美元。
TAE Technologies（美国）	稳态FRC+氢硼燃料。	2030年代初推出首座原型电站“Da Vinci”。	13亿美元（谷歌/雪佛龙投资）。
瀚海聚能（中国）	直线型场反位形。	2026年开始规划建设第二代装置，2030年底前建设聚变示范电站，完成50MW量级的能量输出。	超5000万元（轻舟资本等）。
星能玄光（中国）	场反磁镜三重约束。	2035年建成200MW聚变能电站	2024年获亿元天使轮融资。
诺瓦聚变（中国）	创始人郭后扬为前TAE首席科学家。	短期目标：实现1亿度离子温度，完成关键技术验证。	成立4个月获5亿元天使轮融资（高榕资本、君联资本和社保基等）创国内纪录。

- 01 核聚变产业生态：政策驱动、技术突破与资本共振
- 02 磁约束核聚变新势力：FRC技术深度解码
- 03 FRC产业生态：全球代表企业与项目进展
- 04 投资建议
- 05 风险提示

3.1 海外标杆：TAE——技术突破与商业化探索

- ◆ 4月15日，美国私营聚变能源公司TAE Technologies宣布在商业化聚变能研发上获重大突破。其最新Norm装置仅用中性束注入（NBI）技术，直接在中心生成、加热并稳定FRC等离子体，摒弃传统装置复杂的等离子体形成段与超音速碰撞流程，使系统尺寸、复杂度和成本降低约50%，助力商业化推进。
- ◆ Norm持续刷新TAE稳态等离子体性能纪录，其验证的运行模式与组件，将用于下一代原型堆Copernicus。按规划，Copernicus将于2030年代前，验证TAE先进束驱动FRC方案实现净能量增益的可行性，后续2030年代初，推出首个原型电站Da Vinci，推动技术从实验向商业电站落地进阶。
- ◆ 6月2日，TAE Technologies宣布其在最新一轮融资中筹集了超过1.5亿美元的资金，超额完成本轮初始融资目标，公司累计融资规模达到13.5亿美元。

Norm与Norman对比图



TAE Technologies核聚变平台发展时间线



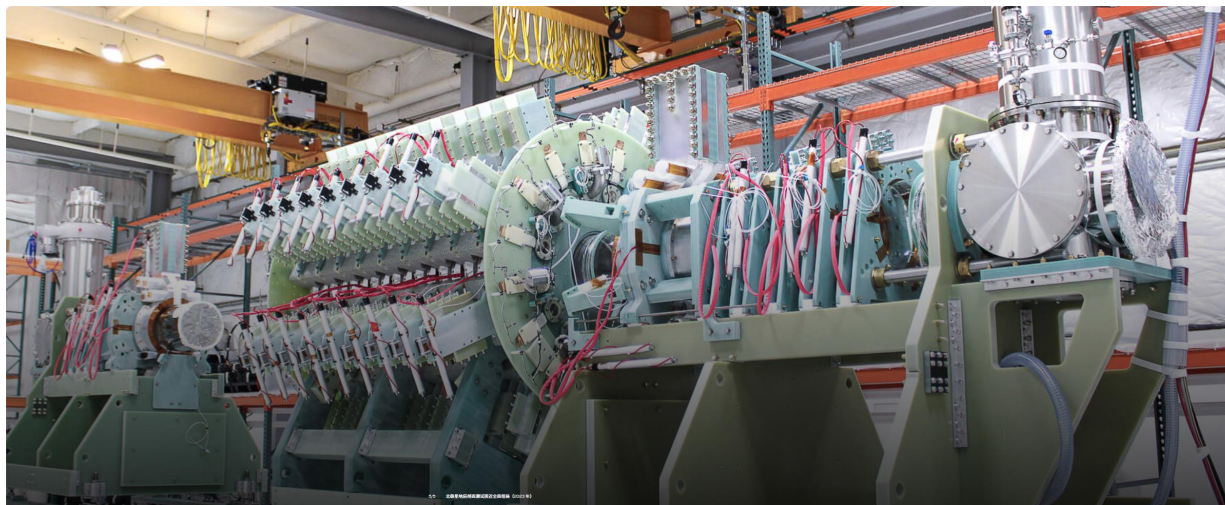
3.2 海外标杆：Helion——能源创新实践

- ◆ 2019年Helion建成Trenta原型装置，经两年高频运行（万次高功率脉冲、16个月真空运行），成为首个实现1亿℃（9keV）等离子体的私营机构，后于2023年1月停运Trenta，转建第七代Polaris。Polaris旨在验证小规模电能输出，将成为首台实现“聚变发电”的装置。相比Trenta，其磁场强度更高、脉冲重复频率更快，2024年已启动初始运行。今年2月，Helion Energy宣布计划在华盛顿马拉加建造世界首座核聚变发电厂，预计初始发电容量为50MW并在2028年开始发电，未来可能扩展至250MW。
- ◆ 截至2025年，Helion累计融资超过10亿美元，估值达54.25亿美元。2021年11月E轮融资5亿美元，由OpenAI CEO Sam Altman领投，E轮融资后估值达到30亿美元；2024年F轮融资4.25亿美元，由Lightspeed Venture Partners、软银愿景基金2期等顶级风投领投，OpenAI CEO山姆·奥特曼连续五轮跟投，个人累计注资超过3.75亿美元。

Trenta



Polaris



3.3 海外标杆：普林斯顿微型反应堆技术获美国国防部认可

- ◆ 7月25日，美国普林斯顿卫星系统公司（Princeton Satellite Systems, PSS）宣布其已经通过了美国国防高级研究计划局（DARPA）的“快速研究实施系列（ERIS）市场”评估，获得“可授奖”（“Awardable”）资格。意味着该公司的“Starfire”核聚变微型反应堆技术达到了可被政府客户授予合同、资金支持或项目合作的标准。
- ◆ PSS 此次入选的是其“Starfire”核聚变微型反应堆方案，该方案优势显著。它运用专利射频技术与线性磁铁阵列构建 FRC，较传统磁约束装置尺寸大幅缩减，建造更便捷；采用氘-氦3燃料，几乎无有害中子，能减少屏蔽材料使用，降低放射性影响，延长设备寿命；研发成本仅为小型模块化裂变反应堆及其他大型核聚变方案的1/10至1/100。PSS总裁Michael Paluszek表示，“Starfire”有望革新离网供电、军事前沿供电、救灾、太空推进与能源供应等多个领域，满足美军任务的关键需求。



3.4 国内先锋：瀚海聚能——本土聚变技术攻坚

- ◆ 7月18日，瀚海聚能在成都举办HHMAX-901主机建成暨点亮仪式，直线型场反位形可控核聚变技术迈向应用。接下来，瀚海聚能将以HHMAX-901装置为载体，系统性推进新型可控核聚变技术研发、加速核心器件突破、孵化沿途商业化产品。其先聚焦核医疗等“非发电”业务，目标2025年底商业化落地、2026-2028年形成营收；还为聚变行业提供实验平台。公司计划2026年开始规划建造第二代装置，2030年底前建设50MW聚变示范电站。
- ◆ 7月24日，成都市经信局的成都未来产业基金发布及产业对接活动重磅发布总规模超1000亿元的未来产业基金，超百家机构共同发起“投成都”未来产业投资联盟，同时发布成都市未来产业《100项场景需求清单》、《100个产品清单》。HHMAX-901作为商业核聚变代表项目，荣列发布的产品清单中“先进能源”板块，备受关注。

HHMAX-901



HHMAX-901主机建成暨等离子体点亮仪式



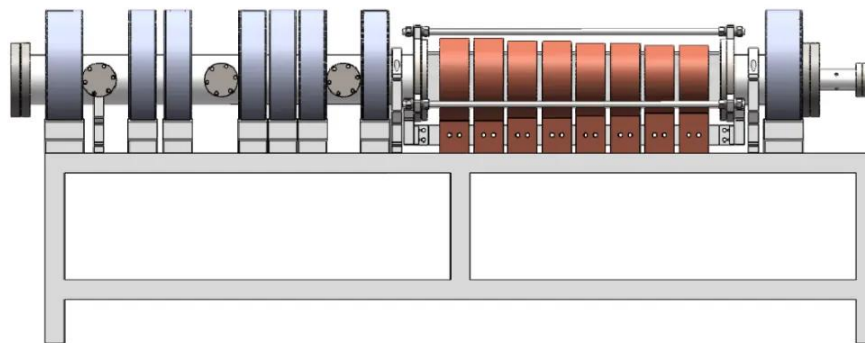
3.5 国内先锋：星能玄光——聚变创新与产业化探索

- ◆ 星能玄光研发建造的场反位形装置Xeonova-1从设备进场安装到实现放电仅耗时两个月，装置主体的真空室和磁场线圈在2024年12月20日进场安装，电源和控制系统在2025年1月20日进场安装和调试，且于2月20日电源调试完毕并放电成功。星能玄光小型化FRC装置不仅在成本上具有显著优势，其结构设计也极为简单，未来升级后可以应用到小型化、分布式的聚变堆。公司计划在2035年建成200MW聚变能电站，成本大约是10亿元人民币。
- ◆ 该装置的设计考虑了美国洛斯阿拉莫斯国家实验室和美国Helion energy 公司的场反特点，并针对这两种脉冲场反的缺点，进行探索和改进。该装置在未来可以升级成和美国洛斯阿拉莫斯相当的场反位形聚变堆。

星能玄光Xeonova-1



星能玄光小型化FRC注入装置三维图



3.6 国内先锋：诺瓦聚变——AI赋能聚变，构筑商业化基石

- ◆ 诺瓦聚变融合核聚变与人工智能，以场反位形磁压缩技术研发小型模块化反应堆，通过清晰量化里程碑降风险，引领能源转型。8月1日宣布完成5亿元天使轮融资，企业明确表态将为中国第一座商业聚变电站的构建筑牢基础。
- ◆ 公司计划分阶段实现技术飞跃：
 - 短期目标：实现1亿度离子温度，完成关键技术验证。
 - 中期目标：实现聚变能量增益 $Q>1$ ，攻克经济高效获取聚变能的核心技术难题。
 - 长期目标：成功实现50兆瓦（MW）的聚变电力输出，推动小型模块化聚变电站（FRC-SMR）商业化，助力2035年全球能源结构向零碳供电的可持续转型。



企业图谱



3.7 国内先锋：高校力量——HFRC与KMAX装置

- ◆ 华中科技大学大型场反等离子体研究装置HFRC建成并获得第一等离子体。历经4年，HFRC装置完成了主体部分的建设，于2022年6月开始放电，HFRC装置为国内最大的场反等离子体装置，其建成将有力推动国内聚变界对场反位形等离子体的认识。
- ◆ 中国科学技术大学的串列磁镜装置KMAX聚焦“双FRC碰撞融合”研究，验证FRC在聚变堆中的可行性。装置总长度10.4m，主要由5.2m长的中心磁镜、两个2.2m的子磁镜和两个0.4m长的扩展腔构成。

HFRC装置等离子体放电实验



KMAX装置图

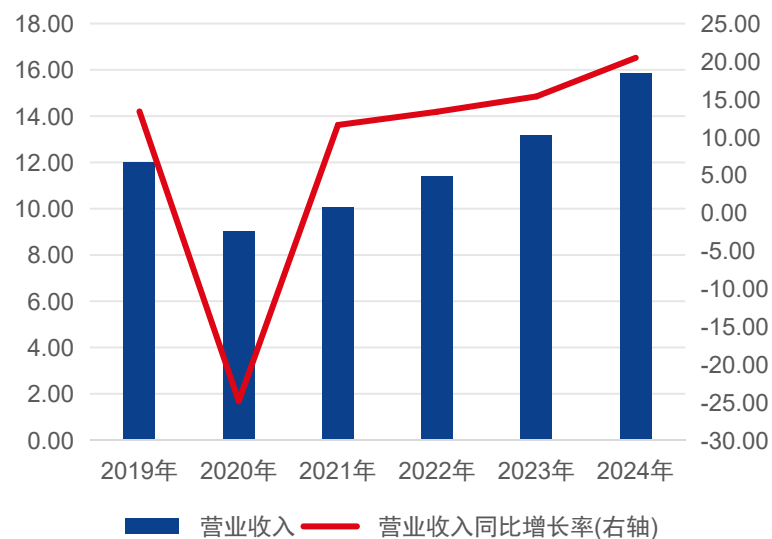


- 01 核聚变产业生态：政策驱动、技术突破与资本共振
- 02 磁约束核聚变新势力：FRC技术深度解码
- 03 FRC产业生态：全球代表企业与项目进展
- 04 投资建议
- 05 风险提示

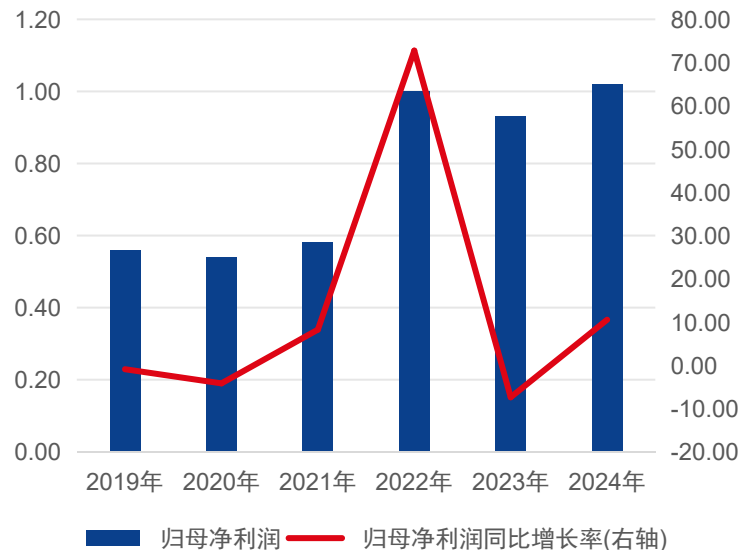
4.1 相关标的：旭光电子

- ◆ 成都旭光电子股份有限公司前身为1965年创建于四川广元的国营旭光电子管厂。公司主营真空开关设备、电真空器件等多元化研发、生产及销售，涉及真空灭弧室、高低压配电装置、电子陶瓷等多领域，是国内唯一拥有从金属零件加工、精密陶瓷制造到智能电气装备全产业链的技术创新型高新技术企业。
- ◆ 公司真空开关管产品品类涵盖场反位形直线型核聚变装置的重要功能件——高电流快控开关等真空开关器件，公司将积极挖掘该类产品的市场机遇。7月18日瀚海聚能HHMAX-901装置等离子体点亮仪式上，旭光电子与瀚海聚能签约战略合作，双方将在技术研发及聚变领域商业化发展等方面深度合作，共拓市场新机遇，实现互利共赢。

营业收入（亿元/%）



归母净利润（亿元/%）



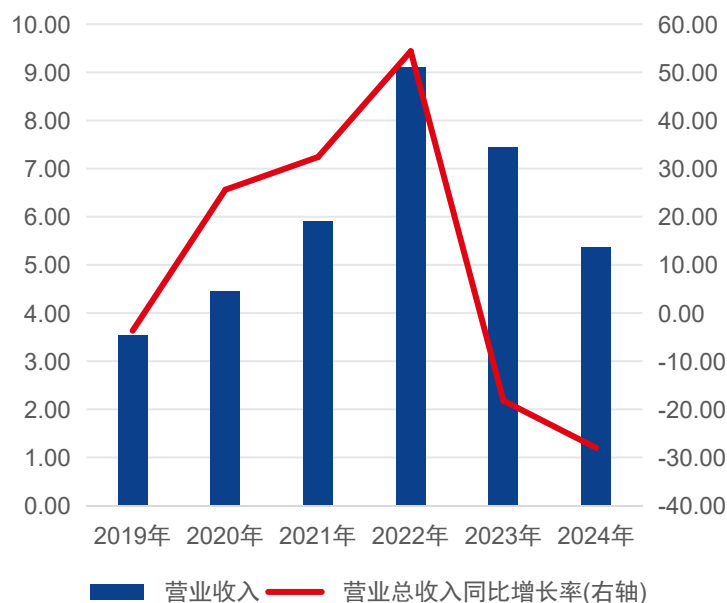
产品展示



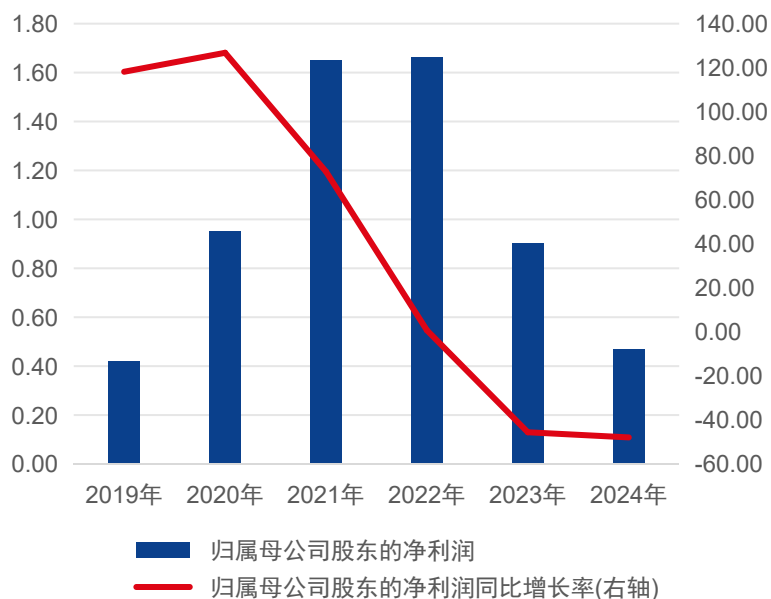
4.2 相关标的：国光电气

- ◆ 成都国光电气股份有限公司源于1958年，是我国微波电子器件主要科研生产基地之一。公司产品门类主要包括各类微波器件（电真空、固态）及组件、真空接触器、真空灭弧室、工业用微波能产品、机载厨房服务设备（含高铁服务推车等）、真空规管、真空计、真空工艺设备、真空测控设备、移动压力容器测控组件等。
- ◆ 国光电气为ITER项目配套了多种关键设备，主要包括偏滤器、屏蔽模块热氦检漏设备等。屏蔽模块热氦检漏设备是全球首台满足ITER要求的包层部件的大型真空高温氦检漏设备。

营业收入（亿元/%）



归母净利润（亿元/%）



产品展示



氦质谱检漏仪 GGH-13

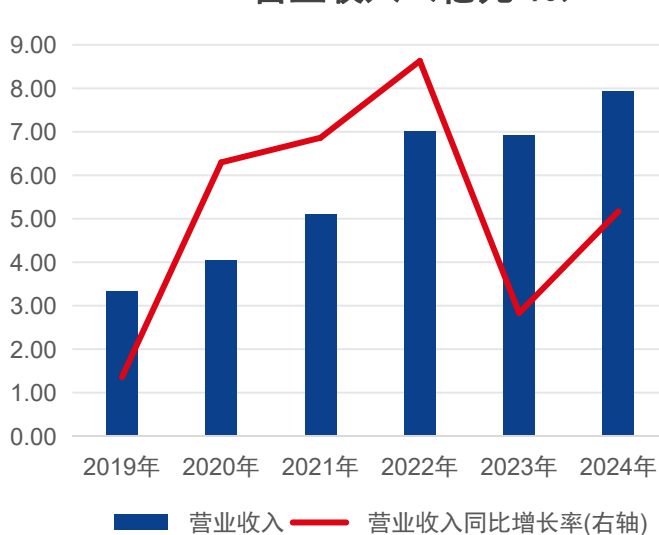


氦质谱检漏仪 GGH-11

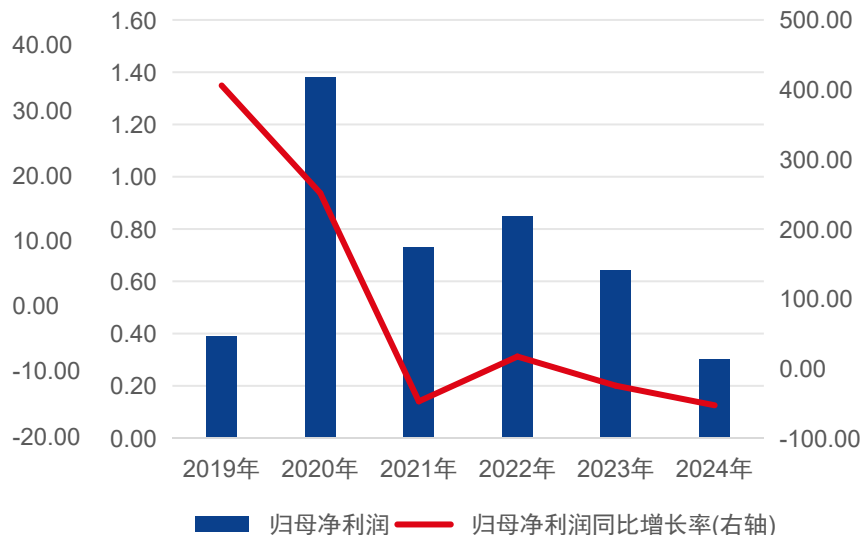
4.3 相关标的：国力股份

- ◆ 国力股份是一家专业从事电子真空器件研发、生产和销售的科创板上市企业，自主研发能力和核心技术覆盖了电子真空器件生产制造的各环节，产品广泛应用于航空航天、雷达通讯、半导体设备、新能源汽车、轨道交通、煤炭化工、新能源（风能、光伏、新型电力、储能、充电桩）、安检辐照、工业探伤、大科学等关键领域。
- ◆ 依托公司真空电子研发制造服务平台，国力在前沿技术研究、新能源转型、半导体、安检辐照等应用领域的核心真空电子器件突围获得了客户的认可，国力将围绕自主可控加速推进5MW级速调管、大功率闸流管国产化，支持可控核聚变工程建设。

营业收入（亿元/%）



归母净利润（亿元/%）



产品展示

速调管

大功率速调管是一种真空电子管，主要用于微波频率信号的放大和振荡。它基于速...

- 高能物理
- 中国散裂中子源
- 辐照直线加速器
- 高能工业CT
- 高功率微波

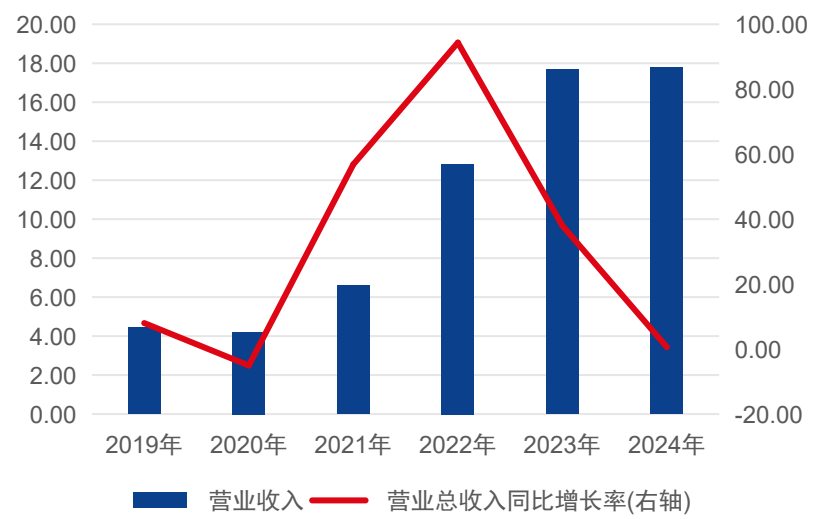
→ 了解详情



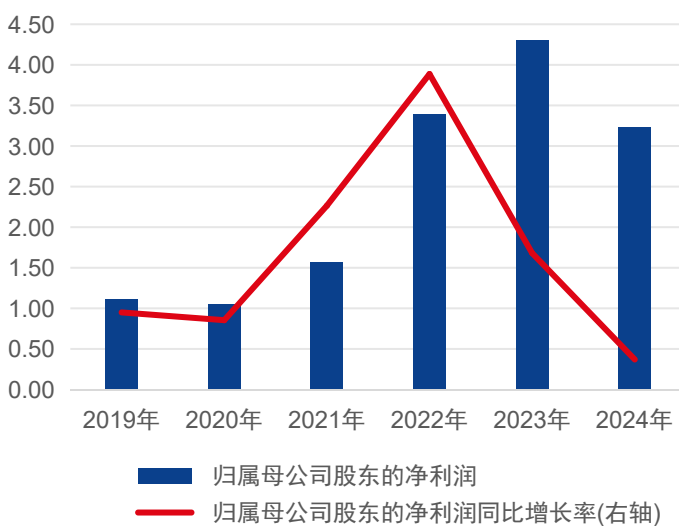
4.4 相关标的：英杰电气

- ◆ 公司成立于1996年，是专业的工业电源设计及制造企业，专注于以功率控制电源、特种电源为代表的工业电源设备的研发制造。
- ◆ 公司依托多年积累的大功率电源研发经验，凭借在高电压调控、大电流输出及抗干扰设计等核心技术领域的显著优势，为相关科研项目提供了关键电源设备支撑。2024年，公司核聚变相关电源订单已突破千万元；2025年上半年，核聚变行业迎来新的发展契机，公司积极对接国内多个在建核聚变工程项目，力争实现该领域业绩的跨越式增长。公司为国内科研院所的核聚变重点项目提供涵盖PSM电源、直流高压电源等在内的全方位关键电源配套服务，目前产品已成功应用于多个国家级核聚变项目。

营业收入（亿元/%）



归母净利润（亿元/%）



相关中标公告

中国科学院近代物理研究所同位素超导直线加速器标准电流模块采购项目中标公告
中国科学院近代物理研究所同位素超导直线加速器标准电流模块采购项目三、中标（成交）信息供应商
省德阳市金沙江西路686号中标（成交）金额：130.8000000（万元） 供应商名称：
2025.08.14 17:42:31 | 采购人：中国科学院近代物理研究所 | 代理机构：东方国际招标有限责任公司
中标公告 | 甘肃 | 货物/设备/电气设备/电源设备/直流电源

中国科学院近代物理研究所同步二极铁电源采购项目中标公告
63) 二、项目名称：中国科学院近代物理研究所同步二极铁电源采购项目三、中标（成交）信息供应
省德阳市金沙江西路686号中标（成交）金额：712.0000000（万元） 四、主要标的
2025.05.21 17:12:36 | 采购人：中国科学院近代物理研究所 | 代理机构：东方国际招标有限责任公司
中标公告 | 甘肃 | 货物/设备/电气设备/电源设备/其他电源设备

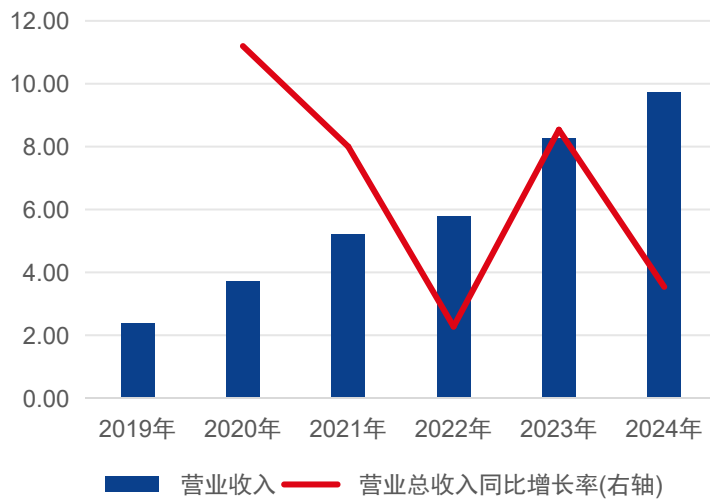
中国科学院近代物理研究所注入线直流电源采购项目中标公告
64) 二、项目名称：中国科学院近代物理研究所注入线直流电源采购项目三、中标（成交）信息供应
省德阳市金沙江西路686号中标（成交）金额：66.0000000（万元） 四、主要标的信
2025.05.21 17:12:17 | 采购人：中国科学院近代物理研究所 | 代理机构：东方国际招标有限责任公司
中标公告 | 甘肃 | 货物/设备/电气设备/电源设备/其他电源设备

中国科学院近代物理研究所强励式超快循环脉冲电源采购项目中标公告
项目名称：中国科学院近代物理研究所强励式超快循环脉冲电源采购项目三、中标（成交）信息供应
省德阳市金沙江西路686号中标（成交）金额：308.0000000（万元） 供应商名称：
2025.04.30 17:52:58 | 采购人：中国科学院近代物理研究所 | 代理机构：东方国际招标有限责任公司
中标公告 | 甘肃 | 货物/设备/电气设备/电源设备/其他电源设备

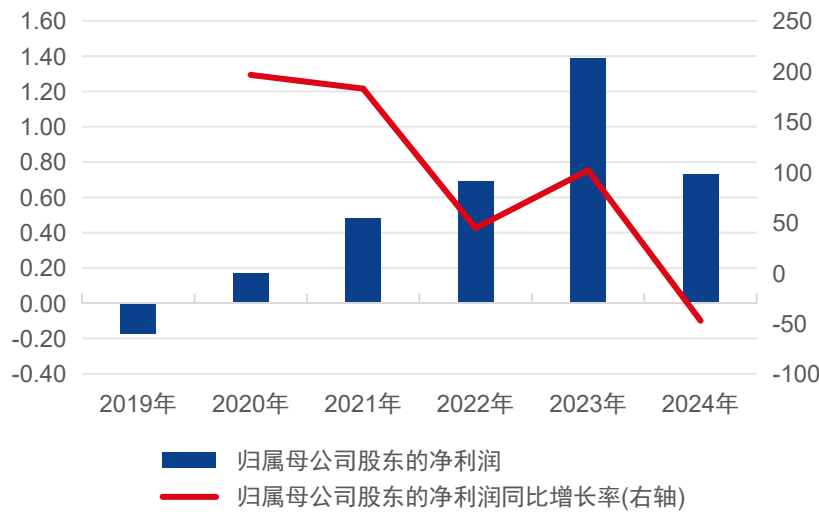
4.5 相关标的：爱科赛博

- ◆ 爱科赛博主营业务为电力电子变换和控制设备的研发、生产和销售，主要产品为精密测试电源、特种电源和电能质量控制设备等电力电子变换和控制设备。
- ◆ 公司专注于电力电子领域近30年，以电力电子变换和控制技术为基础，构建了高密度功率变换技术、高精度智能控制技术和产品化支撑技术三大技术平台，并掌握了多项先进的关键核心技术。公司主要核心技术的关键性能指标达到或超过国内外同行业公司，部分核心技术达到国际先进水平。

营业收入（亿元/%）



归母净利润（亿元/%）



产品展示



精密测试电源

- 全部
- 通用交直流测试电源
- 通用交流测试电源
- 通用直流测试电源
- 专用交流测试电源
- 专用直流测试电源
- 电子负载



特种电源

- 全部
- 全国产砖型DC/DC电源
- 非国产砖型DC/DC电源
- 非国产砖型AC/DC电源
- 轨道交通电源
- 高端工业电源
- 航空地面电源
- 加速器电源
- 定制电源



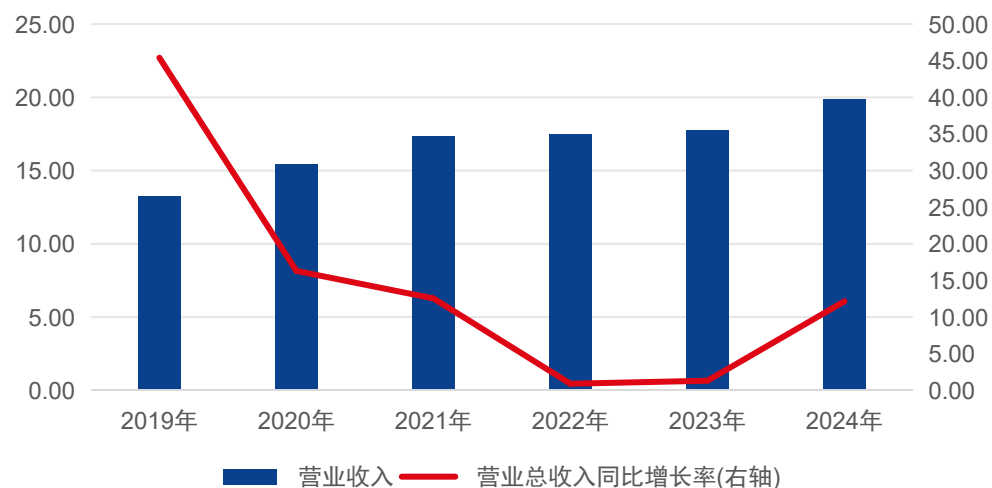
电能质量控制设备

- 全部
- 通用电能质量控制设备
- 配网电能质量控制设备
- 定制电能质量控制设备
- 电能质量产品技术手册

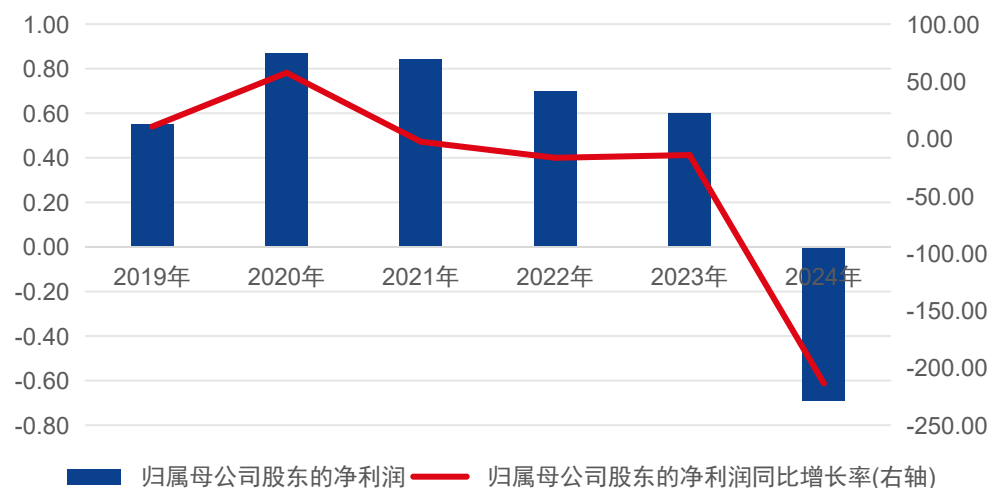
4.6 相关标的：王子新材

- ◆ 深圳王子新材料股份有限公司成立于1997年，在专注服务智能电子、计算机、家电、厨卫、食品、烟草制造行业的同时，王子新材大力推动市场多元化，拓展到物流、医药、新能源、半导体、智能家居、绿色农业等行业。王子新材重点推出半导体高端包装材料（包括IC TRAY、载带等）、生物降解材料及其制品、消费电子产品（包括移动电源、无线充等）、电子烟、新能源（包括储能电池、动力电池）。
- ◆ 在可控核聚变方向，公司已参与国内首套核聚变项目，所生产的电容器产品成功应用于磁体电源系统，并已完成首笔订单交付。王子新材正凭借旗下宁波新容在薄膜电容领域的深厚积累，成为可控核聚变磁体电源系统的重要配套力量。

营业收入（亿元/%）



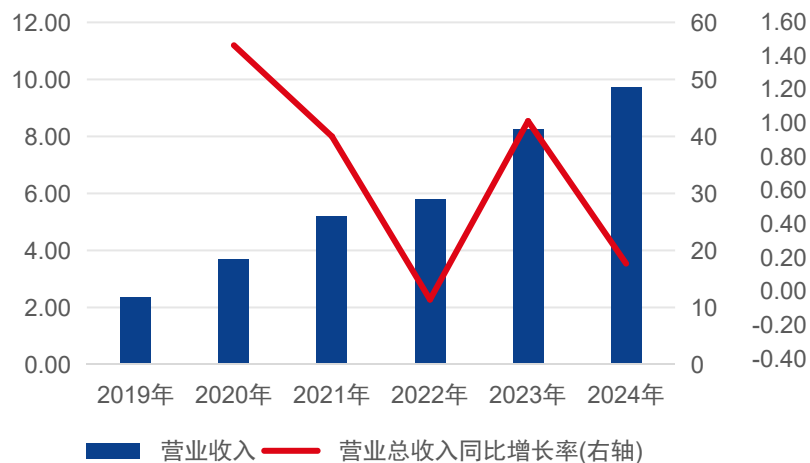
归母净利润（亿元/%）



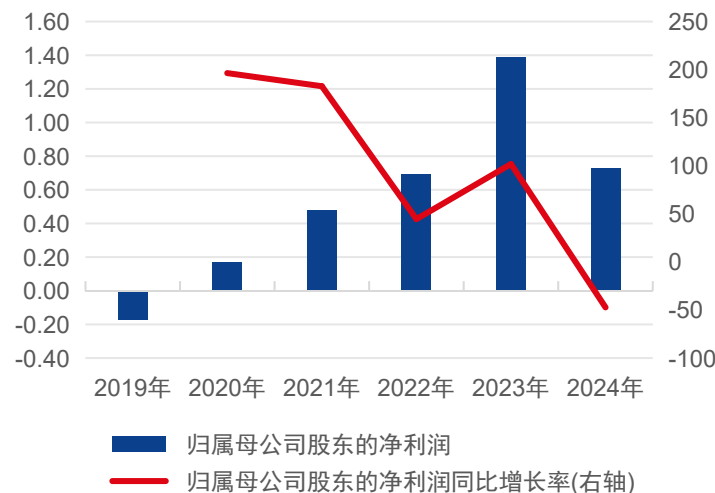
4.7 相关标的：新风光

- ◆ 新风光电子科技股份有限公司专业从事电力电子节能控制技术及相关产品研发、生产、销售和服务；业务主要包括电机驱动与节能控制、电能质量治理、轨道交通高端装备、煤矿防爆和智能控制装备、智慧储能装备五大业务板块。2006年4月，为中科院等离子体物理研究所承担的国家“863”项目“国家重大科学研究项目——EAST核聚变试验装置”提供配套设备：等离子体垂直位移快速控制电源。
- ◆ 2025上半年公司申请加入了“聚变产业联盟”，标志着公司将核聚变能源相关的高端电源装备业务提升至公司整体战略发展层面的重要组成。同时，积极对接中国科学院等离子体物理研究所及行业先行企业聚变新能，围绕公司在等离子体控制电源、超导磁体供电与控制系统等关键电源装备领域的业务合作与技术适配性，展开交流研讨。

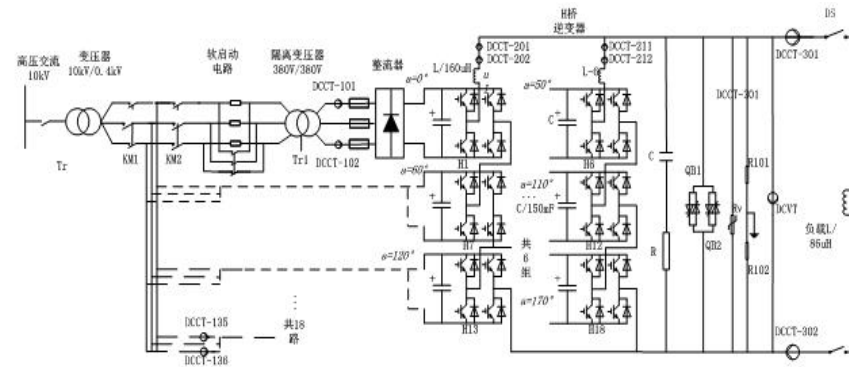
营业收入（亿元/%）



归母净利润（亿元/%）



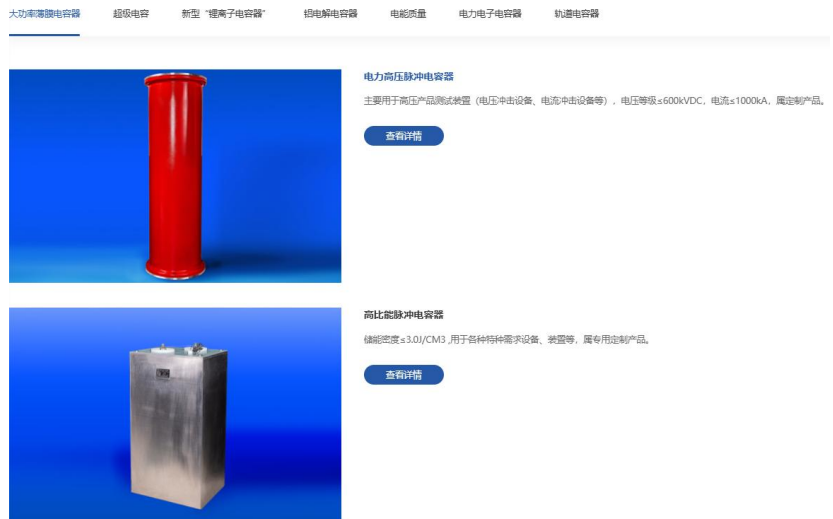
EAST快控电源新系统原理图



4.8 相关标的：久信科技

- ◆ 四川省科学城久信科技有限公司成立于2009年，是一家专注于高端特种电容器设计、研发、制造的现代化国家级高新技术企业。久信科技核心技术团队在电容器研发、制造领域拥有超过30年的专业技术经验，针对各类电容器复杂的使用环境和性能要求，潜心研究，创造了双面聚丙烯金属化膜双面电极技术及其生产设备。
- ◆ 在FRC相关产业布局中，电源系统作为维持磁场约束、保障等离子体稳定运行的关键环节，对电容类产品的性能提出严苛要求，需具备高耐压、高可靠性、快速充放电响应等特性。久信科技凭借在电容领域的技术积淀与产品优势，成为FRC电源系统配套的优质标的。

部分产品图



- 01 核聚变产业生态：政策驱动、技术突破与资本共振
- 02 磁约束核聚变新势力：FRC技术深度解码
- 03 FRC产业生态：全球代表企业与项目进展
- 04 推荐标的
- 05 风险提示

- ◆**政策落地不及预期：**各国针对核聚变技术领域的政策支持力度或有波动，资金投入与国际合作中断将延缓研发及商业化进程。
- ◆**技术迭代风险：**FRC作为核聚变新兴技术路径，面临技术不确定性。技术路径或被更高效方案替代，导致前期投入失效；关键技术（如材料耐受性、工程验证）突破耗时可能超预期，商业化时间推迟。
- ◆**安全事故风险：**极端高温、强磁场环境易引发装置故障或材料失效；实验阶段若等离子体失控或防护不足，可能造成辐射泄漏或环境污染，从而影响商业化进程的推进。

公司投资评级：

- 买入 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于15%；
- 增持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在5%至15%之间；
- 中性 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在-5%至5%之间；
- 减持 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅在5%至15%之间；
- 卖出 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅大于15%。

行业投资评级：

- 领先大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数领先10%以上；
- 同步大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨跌幅介于-10%至10%；
- 落后大市 — 未来6-12个月内相对同期相关证券市场代表性指数落后10%以上。

基准指数说明：

A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基准。

分析师声明

贺朝晖、周涛声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据，特此声明。

本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告，是证券投资咨询业务的一种基本形式，本公司可以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，并向本公司的客户发布。

免责声明：

本报告仅供华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本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。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。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，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准。

在法律许可的情况下，本公司及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，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。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，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦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。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发、篡改或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华金证券股份有限公司研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

华金证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

风险提示:

报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或询价。投资者对其投资行为负完全责任，我公司及其雇员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。

华金证券股份有限公司

办公地址:

上海市浦东新区杨高南路759号陆家嘴世纪金融广场30层

北京市朝阳区建国路108号横琴人寿大厦17层

深圳市福田区益田路6001号太平金融大厦10楼05单元

电话: 021-20655588

网址: www.huajinsc.cn