

➤ **本周关注：杰克股份、泛亚微透、景业智能、唯科科技**

➤ **磁约束是当下实现可控核聚变的最佳方式。**可控核聚变的开发异常困难，主要在于可控核聚变的产生及其维持的相关条件极为苛刻：首先需要将聚变燃料的温度加热至上亿度，而目前并没有任何材料能够直接承受如此高的温度。核聚变被分成惯性约束核聚变和磁约束核聚变，前者利用强激光或强流粒子轰击聚变燃烧靶，使靶丸中的核聚变燃料变成等离子体粒子，并在几个纳秒的极短时间内，这些粒子由于自身惯性作用还来不及向四周飞散，此时通过向心爆聚将粒子压缩到超高温温度与密度的状态发生核聚变反应；后者利用由电流产生的强磁场将高温等离子体约束在“磁笼”真空容器中，使粒子由无序运动变为沿磁力线做回旋运动，避免了容器壁面与高能粒子的直接接触。**磁约束核聚变是当前条件下最有可能率先实现可控核聚变能源的方式。**

➤ **世界上主流磁约束装置是托卡马克和仿星器。**磁约束装置有托卡马克 (tokamak)、仿星器 (stellarator)、反场箍缩 (reverse field pinch)、球马克 (spherical torus)、磁镜 (magnetic mirror) 等不同位形。目前，世界上主流磁约束装置是托卡马克和仿星器。其中托卡马克的磁场位形是环对称。托卡马克约束等离子体的磁场是由其外置线圈和等离子体电流共同作用产生。托卡马克的外部线圈形状规则，便于线圈的生成、装配。但在实验的过程中发现托卡马克装置有无法避免的缺陷，因引入了等离子体电流，带来了电流驱动的各种不稳定性。严重的会使得等离子体破裂，危害装置结构。

➤ **先进仿星器标准严苛。**先进仿星器有几项标准：1) 模块化线圈系统的制造技术必须可靠，线圈应该分为几个部分制造和测试；2) 生成良好的磁面，意味着磁面不能有岛和随机区域；3) 当等离子体热压和磁压之比上升到 5% 时，MHD (Magnetohydrodynamic, 磁流体动力) 平衡依然稳定；4) 有更低的新经典输运；5) 足够小或者没有自举电流；6) 对高能粒子的良好约束。

因此先进仿星器和传统仿星器相比有以下优点：1) 磁场位形的经过优化后，明显提高了对等离子体的约束，减小了新经典输运、增强了磁流体稳定性；2) 引入模块化线圈设计后，使线圈的设计、制造和集成更加简便。

➤ **全球最大仿星器 W7-X 核聚变三重积创造新纪录。**德国马克斯·普朗克等离子体物理研究所宣布，他们的 Wendelstein7-X (W7-X) 仿星器在 2025 年 5 月 22 日创造了核聚变三重积 (triple product) 新的世界纪录。这是可控核聚变的又一重大突破。**W7-X 仿星器在 43 秒的等离子体放电中表现稳定，让这台“人造太阳”的表现超越了目前所有托卡马克 (tokamak) 装置的运行纪录。**实验室的主管托马斯·克林格博士说：“新纪录是国际团队取得的巨大成就。它令人印象深刻地展示了 W7-X 的潜力。在长等离子体放电期间将聚变三重积提升到了托卡马克装置的水平，这标志着在通往核聚变发电厂的另一条道路上，仿星器有了一个重要里程碑。”**虽然 W7-X 运行时长远不如中国的东方超环 (EAST) 创造的放电 1066 秒的纪录，但仿星器等离子体密度更高，因此聚变三重积仍然稍高。**这一突破标志着仿星器技术路线在通往商业聚变电站的竞赛中展现出强劲实力，相关研究成果即将发表于《核聚变》期刊。

➤ **投资建议：**建议关注可控核聚变相关标的：联创光电、国光电气。

➤ **风险提示：**1) 可控核聚变突破不及预期。2) 下游需求波动风险。3) 国内外政策推动不及预期。

推荐
维持评级

分析师 李哲

执业证书：S0100521110006

邮箱：lizhe_yj@mszq.com

分析师 占豪

执业证书：S0100522090007

邮箱：zhanhao@mszq.com

相关研究

- 1.一周解一惑系列：真空镀膜设备国产化进程持续推进-2025/04/21
- 2.一周解一惑系列：高端磨床国产替代进程有望加速推进-2025/04/13
- 3.一周解一惑系列：SEMICON 新品百花齐放，设备公司平台化发展-2025/04/01
- 4.一周解一惑系列：具身智能时代各本体公司最新进展-2025/03/24
- 5.一周解一惑系列：固态电池产业进展加速，设备企业有望受益-2025/03/16

目录

1 托卡马克 VS 仿星器	3
1.1 磁约束是当下实现可控核聚变的最佳方式.....	3
1.2 仿星器发展介绍	5
1.3 先进仿星器标准及其后续优化方向	8
1.4 全球最大仿星器 W7-X 核聚变三重积创造新纪录	10
1.5 聚变三重积为什么这么重要?	10
2 相关标的	14
2.1 联创光电.....	14
2.2 国光电气.....	15
3 风险提示	17
插图目录	18

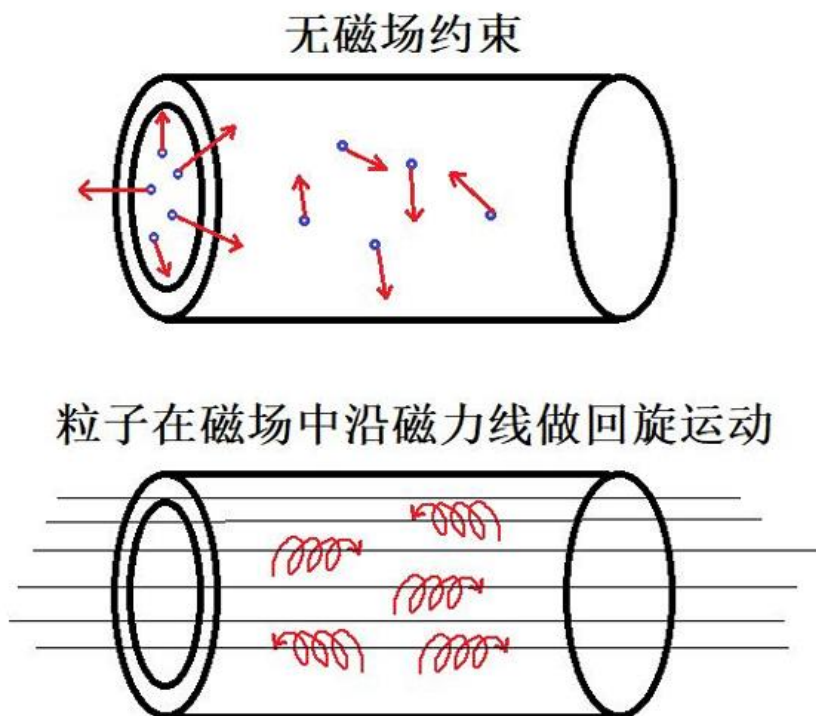
1 托卡马克 VS 仿星器

1.1 磁约束是当下实现可控核聚变的最佳方式

核聚变的开发异常困难，主要在于可控核聚变的产生及其维持的相关条件极为苛刻：首先需要将聚变燃料的温度加热至上亿度，而目前并没有任何材料能够直接承受如此高的温度。

核聚变被分成惯性约束核聚变和磁约束核聚变，前者利用强激光或强流粒子轰击聚变燃烧靶，使靶丸中的核聚变燃料变成等离子体粒子，并在几个纳秒的极短时间内，这些粒子由于自身惯性作用还来不及向四周飞散，此时通过向心爆聚将粒子压缩到超高温温度与密度的状态发生核聚变反应；后者利用由电流产生的强磁场将高温等离子体约束在“磁笼”真空容器中，使粒子由无序运动变为沿磁力线做回旋运动，避免了容器壁面与高能粒子的直接接触。**磁约束核聚变是当前条件下最有可能率先实现可控核聚变能源的方式。**

图1：磁约束使得粒子做有规律的回旋运动



资料来源：覃程等《中国首台准环对称仿星器中离子温度梯度模的同位素效应研究》，民生证券研究院

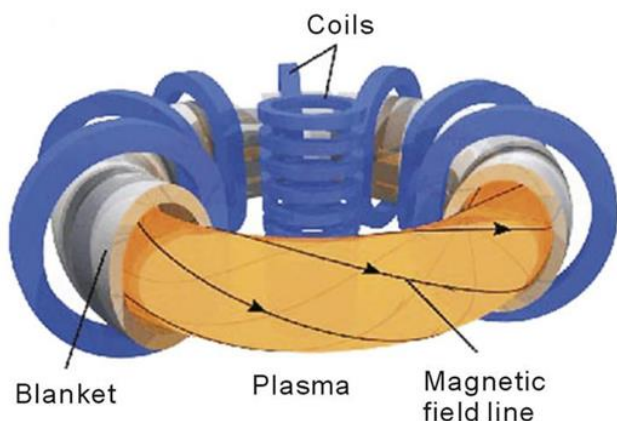
磁约束核聚变的反应步骤如下：首先，采用欧姆加热等方式将燃料气体加热

到上亿度的超高温以形成等离子体，并且建立一个由电流产生的磁场从而约束等离子体；其次，将等离子体通过各种方式加热，使其达到较高的参数；最后，让热等离子体在磁场中进行核聚变反应以获得聚变能量。核聚变反应会出现质量亏损，根据爱因斯坦质能方程 $E=mc^2$ ，核聚变反应释放的能量被称为聚变能。

氘核和氚核之间的聚变反应在低能区有着最大的反应截面，是最容易实现的核聚变反应，所以人们将氘和氚称为聚变核燃料。海水中含有大量的氘，经过计算，在海洋中每 6500 个氢原子就有 1 个氘原子，1 升海水中约含有 30 毫克氘。1 升海水中所含的氘，经过核聚变可提供相当于 300L 汽油燃烧后释放出的能量。氚在自然界不存在，但可以通过中子与锂 (Li) 之间的反应来获得，只需要在聚变装置的包层中加入锂元素，而地球上的锂很丰富。**与传统的能源相比，核聚变能源的原料几乎是取之不尽的。**

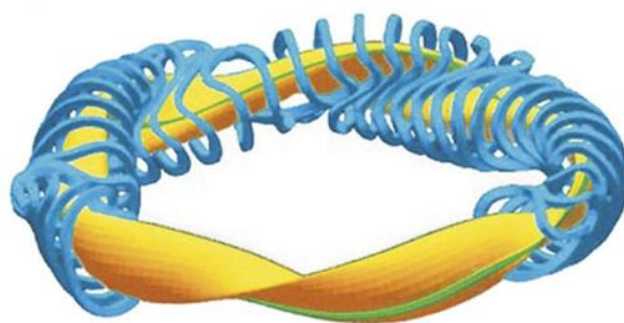
磁约束装置有托卡马克 (tokamak)、仿星器 (stellarator)、反场箍缩 (reverse field pinch)、球马克 (spherical torus)、磁镜 (magnetic mirror) 等不同位形。目前，世界上主流磁约束装置是托卡马克和仿星器。其中托卡马克的磁场位形是环向对称。托卡马克约束等离子体的磁场是由其外置线圈和等离子体电流共同作用产生。托卡马克的外部线圈形状规则，便于线圈的生成、装配。但在实验的过程中发现托卡马克装置有无法避免的缺陷，因引入了等离子体电流，带来了电流驱动的各种不稳定性。严重的会使得等离子体破裂，危害装置结构，造成巨大损失。

图2：托卡马克装置示意图



资料来源：许峻铭等《中国首台准环对称仿星器中线圈 电磁力的优化研究》，民生证券研究院

图3：仿星器装置示意图



资料来源：许峻铭等《中国首台准环对称仿星器中线圈 电磁力的优化研究》，民生证券研究院

仿星器的磁场完全由外置非平面的三维线圈生成，不存在大破裂的情况。使得仿星器可以长时间稳定的运行，这是仿星器相较于其他磁约束聚变装置的巨大优势，这也使得仿星器的研究和发展受到了越来越多的关注。但另一方面仿星器

复杂的磁场结构也使得高能粒子的新经典输运更高，约束性能较托卡马克装置更差。同时由于仿星器外置线圈三维非平面特别复杂，使得线圈在设计，制造和装配的过程中遭遇到巨大挑战。

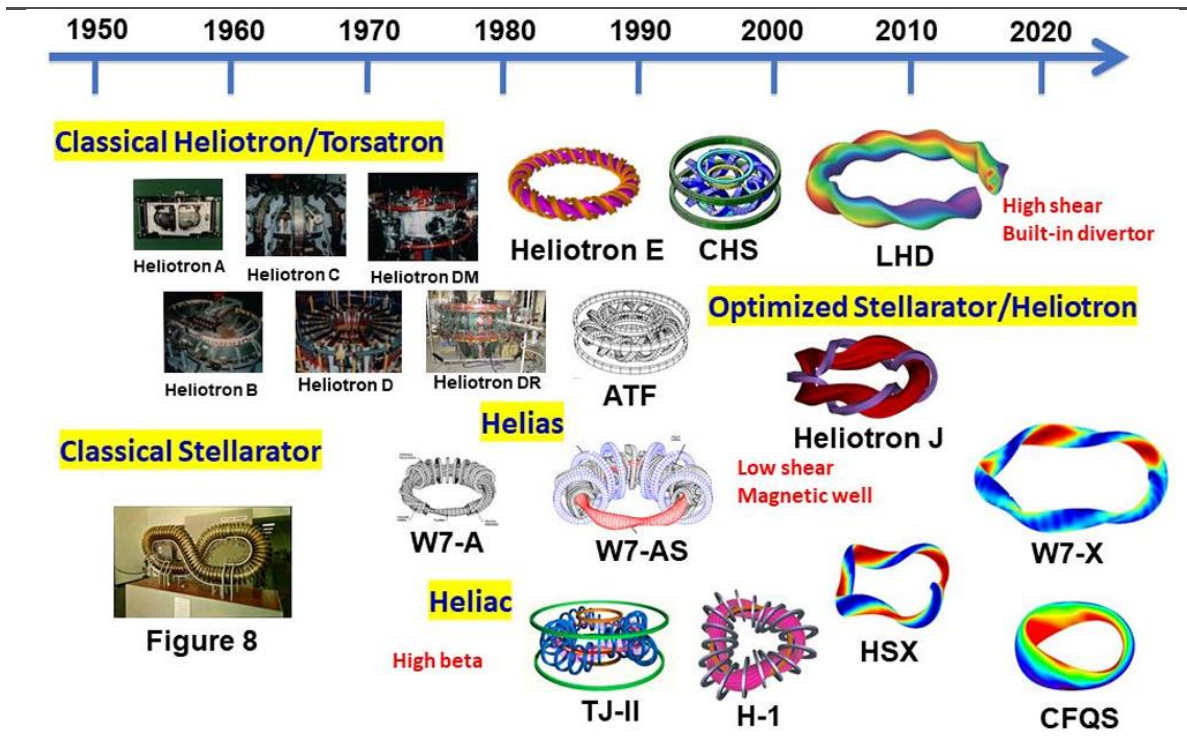
1.2 仿星器发展介绍

1951 年美国普林斯顿大学天体物理学家 Lyman Strong Spitzer 首次提出等离子体约束核聚变的研究报告。在报告中首次出现了“8”字形的磁场的仿星器装置，普林斯顿大学在此基础上建设了 Model A, Model B 和 Model C 三套仿星器。

随后日本，德国等其他国家也开始了仿星器的设计与建设。最初建造的仿星器粒子约束性能很差，约束时间没有超 1 毫秒。但另一方面，苏联科学家 N. J. Peacock 在托卡马克装置取得了很大的进展，使得国际上各个聚变研究机构纷纷开始转向托卡马克的研究。然而日本，德国却依然坚持对仿星器的研究。德国先后建设了 WEGA 和 W7-A 仿星器装置，其中 W7-A 仿星器在实验中，取得了等离子体密度达到 $10^8 m^{-3}$ ，等离子体温度约 1keV 的优秀成果。

德国著名实验室马克普朗克等离子物理研究所 (Max Planck Institute for Plasma Physics) 设计制造了 W7-AS 仿星器，随着等离子体物理知识的进步，以及电子计算机数据处理能力的提升和模块化线圈的引入，使得 W7-AS 仿星器取得了很多优秀的成果，并且验证了先进仿星器的可行性。马普所设计了 W7-X 仿星器，于 2015 年放电成功，取得了举世瞩目的成果。

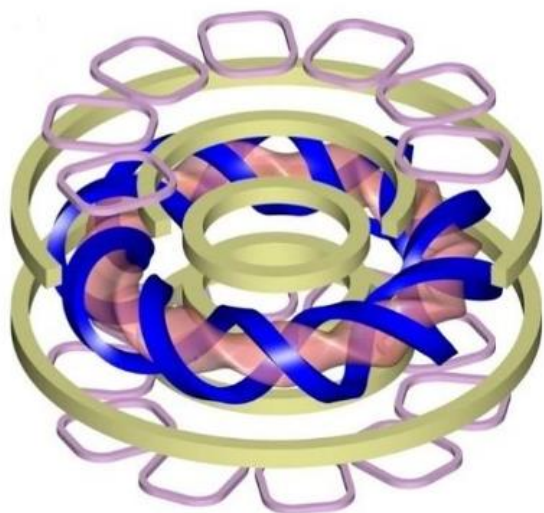
图4：仿星器发展历史



资料来源：许峻铭等《中国首台准环对称仿星器中线圈 电磁力的优化研究》，民生证券研究院

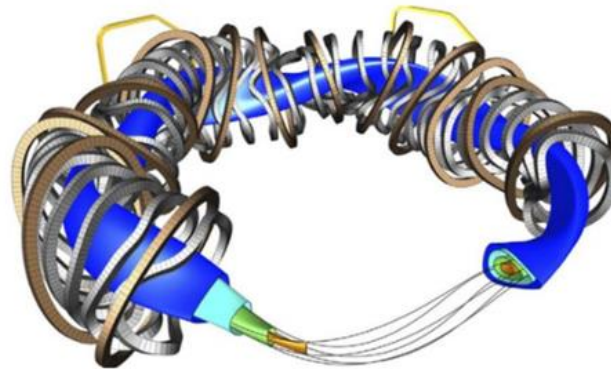
2010年，在日本的LHD仿星器（Large Helical Device, 传统仿星器）上获得密度达到 10^{21} m^{-3} 的超高密度等离子体；2017年，LHD获得了离子温度超过一亿度的高温等离子体。此外，人们还加速研究和优化传统仿星器的磁场位形，并取得一系列成果。如世界上最大的仿星器W7-X也于2015年底在德国正式投入运行，它是经过优化的仿星器位形，并且在首次放电实现了长达30分钟的高温等离子体放电时间；在2017年又获得了比LHD更高的聚变三乘积。W7-X先进位形仿星器上取得的突出成果，促使世界各大国将下一代仿星器的优化和发展计划提上日程。

图5：日本 LHD 仿星器装置示意图



资料来源：覃程等《中国首台准环对称仿星器中离子温度梯度模的同位素效应研究》，民生证券研究院

图6：W7-X 仿星器装置示意图



资料来源：覃程等《中国首台准环对称仿星器中离子温度梯度模的同位素效应研究》，民生证券研究院

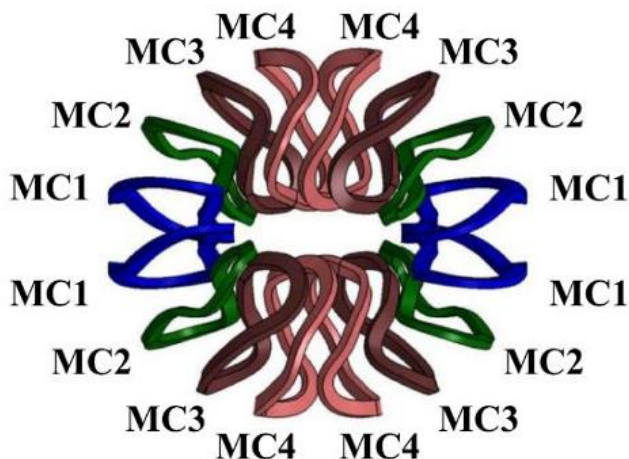
目前，国际上关于仿星器位形的优化方式主要有三种：（1）准螺旋对称（QH）（如美国的 HSX 仿星器），（2）准力线对称（QO）（如德国的 W7-X 仿星器），（3）准环对称（QA）。事实上，采用准力线对称优化的德国 W7-X 仿星器的位形并不是最优化的，其新经典输运损失仍较大。

最新的理论研究表明：准环对称磁场位形能够最大程度地降低等离子体的新经典输运，提高其约束性能。但准环对称仿星器的制造工艺十分复杂，并且对加工和安装的精确度要求极高。因为这种三维非平面模块化线圈的制造十分困难，因此，迄今为止准环对称仿星器在世界上尚未建成。虽然之前美国的 PPPL 已着手建造 NCSX 准环对称仿星器，但鉴于其物理和工程上的复杂性导致经费不断地增长，最终 NCSX 的建造计划被取消。而随着我国工业能力和科技水平的不断提高，我国已经具备建造准环对称仿星器的条件。2017 年，西南交通大学与日本国家核融合科学研究所（NIFS）签署了正式协议，在西南交通大学联合共建中国首台准环对称仿星器（CFQS）。目前，CFQS 的建造正有条不紊地进行，建成后它将是世界上第一台准环对称优化的仿星器装置，并将改变国内单一磁约束位形研究的现状，填补国内仿星器研究的空白，实现国内仿星器研究领域从无到有的突破。

CFQS 结合了仿星器和托卡马克的优点，具有与托卡马克相接近的新经典输运水平，在无碰撞条件下的扩散系数与托卡马克的扩散系数相当，其新经典输运水平比未优化的传统仿星器（如 LHD，CHS 等）低 2~3 个数量级，比准螺旋对称优化的 HSX 仿星器和准力线对称优化的 W7-X 仿星器低一个数量级；它同时保持了仿星器的固有优势，如没有大破裂。其磁场的旋转变换分布较为平坦且避开

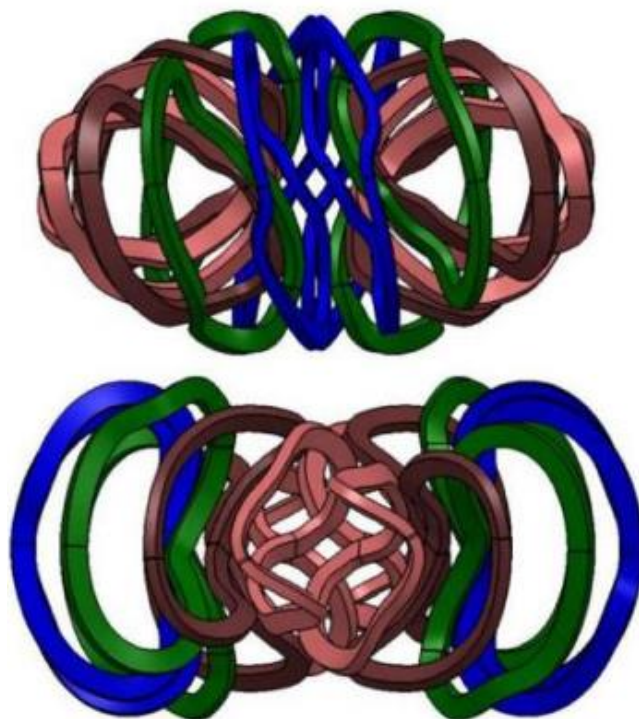
低阶共振面，并且从边界到芯部存在较大的磁井，有效地抑制了磁流体不稳定性。此外，环向旋转的阻尼降低改善了等离子体剪切旋转的限制。对于高比压等离子体，CFQS 的旋转变换将增加，这有助于更好的约束与 MHD 的稳定。由三维磁场位形和新经典自举电流产生的旋转变换剖面可以被设计成单调地向等离子体边缘方向增加，如“反向剪切”的先进托卡马克芯部区域那样，用来稳定新经典撕裂模，减少平衡磁岛，并稳定捕获电子模。

图7: CFQS 的 16 个模块化线圈的俯视图



资料来源：覃程等《中国首台准环对称仿星器中离子温度梯度模的同位素效应研究》，民生证券研究院

图8: CFQS 的 16 个模块化线圈的侧视图



资料来源：覃程等《中国首台准环对称仿星器中离子温度梯度模的同位素效应研究》，民生证券研究院

1.3 先进仿星器标准及其后续优化方向

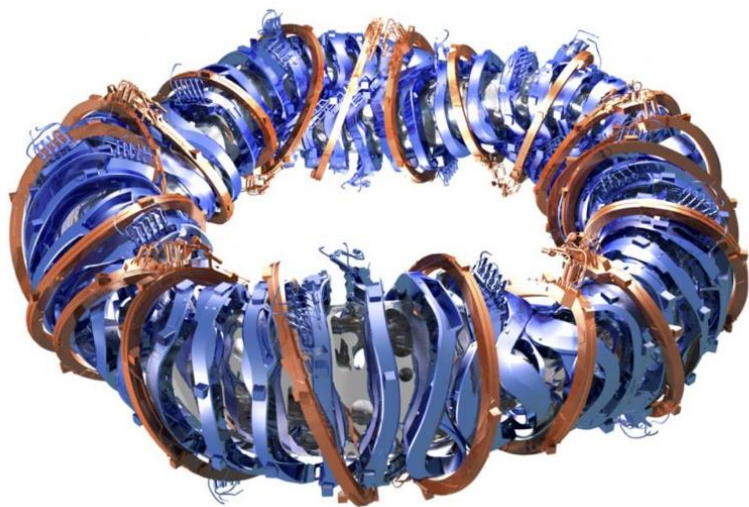
先进仿星器有几项标准：1) 模块化线圈系统的制造技术必须可靠，线圈应该分为几个部分制造和测试；2) 生成良好的磁面，意味着磁面不能有岛和随机区域；3) 当等离子体热压和磁压之比上升到 5% 时，MHD (Magnetohydrodynamic, 磁流体动力) 平衡依然稳定；4) 有更低的新经典运输；5) 足够小或者没有自举电流；6) 对高能粒子的良好约束。

因此先进仿星器和传统仿星器相比有以下优点：1) 磁场位形的经过优化后，明显提高了对等离子体的约束，减小了新经典输运、增强了磁流体稳定性；2) 引入模块化线圈设计后，使线圈的设计、制造和集成更加简便。

另外有研究表明，“omnigenous 磁场”可以使得先进仿星器中捕获粒子的轨道和托卡马克中的相似。有两种实现方法来实现这类型的目标磁场，即可以采用准等磁力线和准对称磁场类型的仿星器装置。**W7-X 装置是目前最成功的准等磁力线仿星器。**准对称磁场仿星器就是指在 Boozer 坐标系中，磁场在某个方向上是对称的。在准对称之下又可以分为准环对称，准螺旋对称，准极向对称。CFQS 是一台准环对称仿星器。

仿星器是通过外置的非平面三维线圈生成的磁场，但线圈的形状复杂，导致线圈的设计和制造困难。在仿星器建造的初期，线圈因加工工艺未能制造出理想的线圈，导致当时仿星器的约束性能很差。当先进仿星器发展起来后，由于为了更好的满足约束条件，磁场的三维结构更加复杂，导致线圈形状更加复杂。因此，优化一套即满足磁场位形要求又尽可能方便制造的三维线圈系统一直是仿星器研究的一个重点。最初，仿星器线圈的设计是通过求解一个椭圆微分方程来解出线圈丝状线的空间的分布，由于第一类初值问题，使得求解非常困难。同时这样设计的线圈非常靠近等离子体边界，使得线圈在装配时也遭遇非常大的困难。马克普朗克等离子物理研究所的 P.MARKEL 博士在 1987 年发文提出可以用电势的傅里叶函数来表示目标磁场，这样边界问题就可以近似的解决。

图9: W7-X 仿星器复杂的线圈示意图



资料来源：许峻铭等《中国首台准环对称仿星器中线圈电磁力的优化研究》，民生证券研究院
注：W7-X 仿星器结构复杂，由 20 柄平面化线圈（黄色）和 50 柄非平面化线圈组成（蓝色）

1.4 全球最大仿星器 W7-X 核聚变三重积创造新纪录

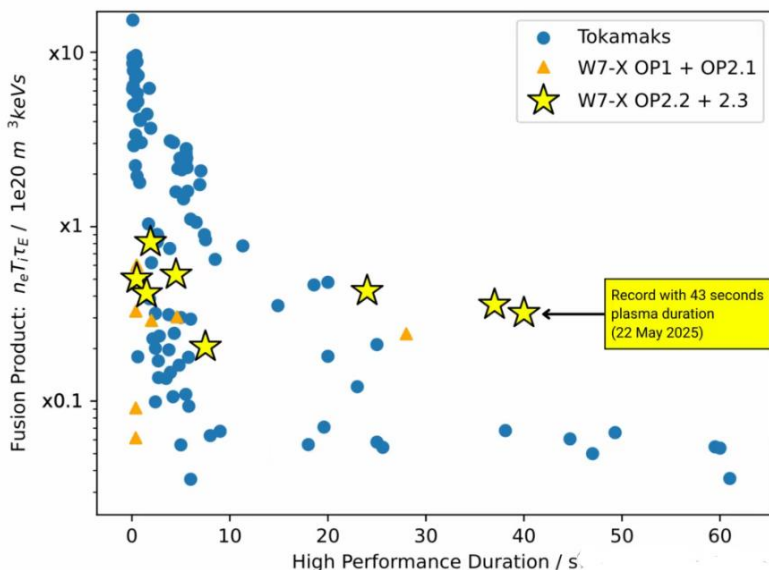
德国马克斯·普朗克等离子体物理研究所宣布，他们的 Wendelstein7-X (W7-X) 仿星器在 2025 年 5 月 22 日创造了核聚变三重积 (triple product) 新的世界纪录。这是可控核聚变的又一重大突破。

W7-X 仿星器在 43 秒的等离子体放电中表现稳定，让这台“人造太阳”的表现超越了目前所有托卡马克 (tokamak) 装置的运行纪录。

实验室的主管托马斯·克林格博士说：“新纪录是国际团队取得的巨大成就。它令人印象深刻地展示了 W7-X 的潜力。在长等离子体放电期间将聚变三重积提升到了托卡马克装置的水平，这标志着在通往核聚变发电厂的另一条道路上，仿星器有了一个重要里程碑。”

虽然 W7-X 运行时长远不如中国的东方超环 (EAST) 创造的放电 1066 秒的纪录，但仿星器等离子体密度更高，因此聚变三重积仍然稍高。这一突破标志着仿星器技术路线在通往商业聚变电站的竞赛中展现出强劲实力，相关研究成果即将发表于《核聚变》期刊。

图10: W7-X (五星、三角) 与托卡马克 (圆点) 聚变三重积比较



资料来源：壹零社，民生证券研究院

1.5 聚变三重积为什么这么重要？

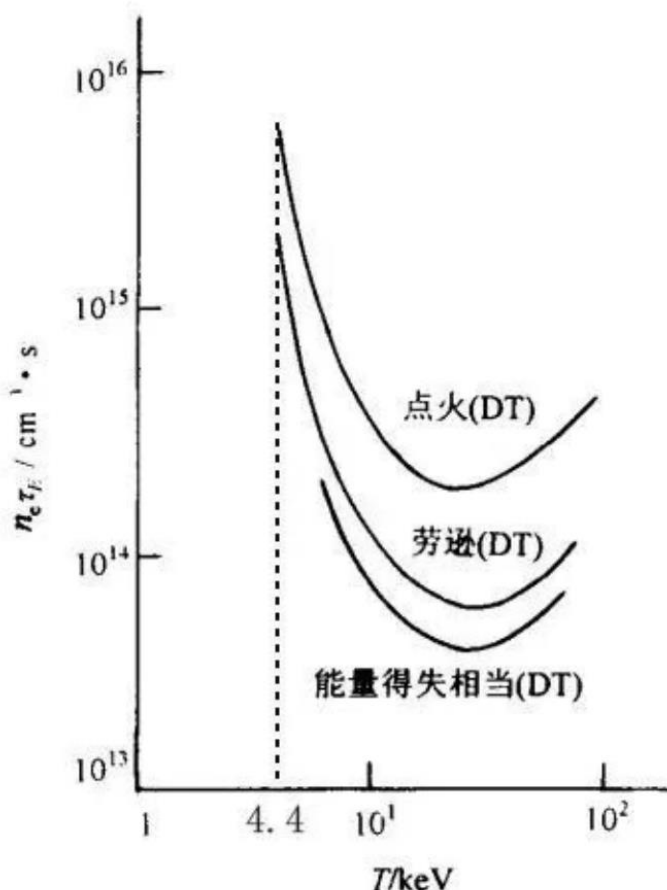
聚变三重积是可控核聚变的“及格线”，只有三重积超过临界值，聚变反应才能自给自足，产生的能量才能超过投入的能量，这是“人造太阳”变成真正能

源的分水岭。

实际上核聚变发生条件有着不同的理论判据。在研究氘（dào）氚（chuān）在磁约束核聚变过程中，科学家们对反应的能量来源、辐射损失、等离子体输运损失等核聚变细节有着不同的取舍和考量，并形成了对核聚变发生条件的不同理论判据，其中最知名的是“劳逊判据”“零功率堆判据”“点火条件（判据）”。

这些理论的结果可以表示成温度（T），等离子体密度（n），能量约束时间（ τE ）三者的乘积（ $n\tau ET$ ）。理论上只要反应条件在这条曲线之上，核聚变就达到了“点火”条件，此时核聚变反应堆将持续向外释放能量，而不需要外部再输入能量。这三条反抛物线都有一个谷底，说明这个温度时三重积的值最小，也是发生核聚变的理论最佳情况。

图11：劳逊判据、零功率堆判据、点火条件判据的比较



资料来源：壹零社，民生证券研究院

理想点火条件：核聚变的最低温度是 4.4KeV（约 4400 万度），此时微波加热聚变产物的功率刚好抵消掉损失的功率，高于这一温度，反应就可以继续升

温并达到更高的聚变条件。但这个温度下的三重积并不小，这不是最优解，而且在工程上也很难满足其他两个条件。

最佳温度：根据计算科学家知道在工程上 1.6 亿度时最容易实现点火（谷底），此时三重积为 2.59×10^{21} 。因此，目前各类核聚变实验都将目标温度设定在 1 亿到 2 亿度之间。比如国际热核聚变实验堆（ITER）为了能够有多余能量来发电，就把设计温度设定在了 2 亿度左右。

而东方超环（EAST）已经获得了 1 亿度 1066 秒的等离子体，理论上如果当时的压力大于 0.21 个大气压，就能发生核聚变。当然，东方超环是个实验装置，没有实际用氘氚发电的条件。

与此同时，德国初创企业 Proxima Fusion 宣布完成 1.3 亿欧元（约合 1.48 亿美元）的 A 轮融资，创下欧洲私营核聚变领域的最大融资纪录。本轮融资由 Balderton Capital 和 Cherry Ventures 共同领投，Plural 等知名投资机构亦参与其中，投资人们寄望 Proxima 能在不久的将来建成**全球首座商用核聚变发电站**。

Proxima 作为欧洲最有希望的核聚变角逐者之一，此前在 2024 年仅获得了 2000 万欧元的种子轮融资。但在过去一年中，公司不仅迅速发布了其核聚变电站的设计方案，并在同行评审期刊上发表，明确采用了**较为复杂但更具稳定性和连续运行优势的“仿星器”（Stellarator）路径，而非主流的托卡马克（Tokamak）反应堆。**仿星器利用复杂扭曲的磁场将超高温等离子体约束成闭环，有望实现持续聚变反应，**避免托卡马克因需要等离子体电流而导致的不稳定性。**

Proxima 的核心设计“Stellaris”正是在**德国最大仿星器 Wendelstein 7-X**的基础上优化得来。Sciortino 表示，公司之所以能够在**比原定计划快一倍的时间内**取得成果，得益于团队在欧洲各大研究机构的分布式协作，包括瑞士保罗谢尔研究所、英国牛津附近的 Culham 聚变能中心等，而**Proxima 本身也是在德国马普等离子体物理研究所(IPP)孵化而来。**

图12: Proxima Fusion 的仿星器示意图



资料来源: 欧洲并购与投资, 民生证券研究院

目前, Proxima 总融资额已超过 1.85 亿欧元, 公司预计将在 2027 年前实现关键硬件验证演示, 为 2030 年代初建设 1GW 规模的聚变电站“Stellaris”打下基础。Sciortino 预测, 公司将在 2031 年左右完成当前阶段所需的风投资金筹集, 之后将寻求更多样化的资金来源以支持商业化落地。

2 相关标的

2.1 联创光电

公司主营业务为激光系列及传统 LED 芯片产品、智能控制系列产品、背光源及应用产品、光电通信与智能装备线缆及金属材料产品的研发、生产和销售。具体如下：

1、激光系列及传统 LED 芯片产品主要为特殊领域高功率高亮度泵浦源器件、激光器集成产品、发光芯片、特种红外不可见光芯片以及激光反制无人机产品等产业链上中下游产品，广泛应用于国内特殊领域及遥控、指示灯等领域；

2、智能控制及应用产品主要应用于家用电器、健康器具、卫浴洁具、新能源汽车、光伏、储能和工业控制等领域；

3、背光源及应用产品主要应用于平板、工控、车载、电脑、手机等背光源显示领域；

4、光电通信与智能装备线缆及金属材料产品主要应用于通信产品及相关设备、计算机网络、特殊用途等领域。

在可控核聚变方面，公司主要聚焦超导产业，联创超导重点聚焦于技术研发与产业化建设。第一，创建了南昌市高温超导应用技术重点实验室。第二，完成了光伏级高温超导磁控单晶生长设备样机的生产及客户现场安装调试。第三，实现光伏级磁控单晶生长设备的产业化，已获取批量化订单，进入商业化加速发展阶段。第四，成功将高温超导集束缆线技术应用于可控核聚变领域的高场磁体研制，自主设计的 D 型超导磁体成功制备并通过低温测试。

同时，2023 年 11 月，公司与中核聚变（成都）设计研究院有限公司计划各自发挥技术优势，采用聚变裂变混合路线，拟在江西省联合建设可控核聚变项目，技术目标 $Q > 30$ ，实现连续发电功率 100MW，工程总投资预计超过 200 亿元人民币。2024 年 6 月，联创光电与中核集团就共同推进“星火一号”聚变-裂变混合示范堆的建设达成了初步合作意向。

2.2 国光电气

公司是我国“一五”时期前苏联援建的国家 156 项重点建设项目之一，自成立以来，公司一直从事微波器件的研制生产，至今拥有超过 60 年的研制生产经验。目前，公司已经发展成为国内专业从事真空及微波应用产品研发、生产和销售的高新技术企业。

公司坚持以微波、真空两大技术路径为主线，并结合材料学、光学、自动化、电子学、核物理、低温物理、热力学等科学技术，研发生产出了行波管、磁控管、充气微波开关管、微波固态器件、核工业设备、压力容器真空测控组件等产品，并广泛应用于航空、航天、核工业、新能源等领域。

公司的核工业设备及部件产品主要包括 ITER 配套设备、核工业领域专用泵以及阀门等。

ITER 配套设备：“国际热核聚变实验堆计划（ITER）”是目前全球规模最大、影响最深远的国际科研合作项目之一。ITER 装置是个能产生大规模核聚变反应的超导托卡马克装置，俗称“人造太阳”，目的是把聚变时放出的巨大能量作为社会生产所需的能源，其原理是对剧烈的聚变核反应加以控制，称为受控核聚变，有望为人类提供取之不尽用之不竭的清洁能源。

公司生产的偏滤器和包层系统是 ITER 项目的关键部件。偏滤器是托卡马克装置的关键组成部分，它是构成高温等离子体与材料直接接触的过渡区域：一面是温度高达几亿度的等离子体，另一面是通常的固体材料。ITER 包层系统的主要功能是吸收来自等离子体和中性束注入的辐射和粒子热通量、为真空室和外部容器组件提供热屏蔽等。包层系统由覆盖约 600 平方米的 440 块包层模块（BM）组成。一块 BM 主要分为两部分：一块面向等离子体的第一壁（FW）面板和一块屏蔽模块（SB）。

（1）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核聚变反应过程中所产生的氦灰。

公司研制的偏滤器已应用于 HL-3 等托卡马克装置，HL-3 整个先进偏滤器系统共有 60 个偏滤器模块，由 38 套标准偏滤器模块和 22 套非标准偏滤器模块构成。其生产技术主要基于 HL-3 偏滤器原型件所开发的相关连接、加工工艺以及检测技术，主要包括 CFC/Cu 热沉靶板的加工、支撑架结构生产以及偏滤器模块的装配与检测三部分。

（2）ITER 屏蔽模块热氦检漏设备：ITER 包层屏蔽模块的高温氦检漏是模拟

国际热核聚变试验堆运行状态下的密封性检测，主要的功能是对包层屏蔽模块氦气循环的检测，对检测设备的要求非常高。

我国制造的 ITER 包层屏蔽模块全尺寸原型件在所承担的 220 件屏蔽模块中结构最复杂、制造难度最大。公司完成制造调试的真空高温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，该设备采用真空箱法热氦气循环检漏原理，同时具有“真空烘烤”、“去应力热处理”和“热氦气检漏”三大功能。两项重要指标——氦检测仪灵敏度及设备真空室本底漏率在空载状态下均优于 ITER 组织要求，设备的设计、优化、制造、装配、调试，全程实现国产化。

(3) ITER 包层第一壁板 (FW)：第一壁板 (FW) 是 ITER 屏蔽包层的重要组成部分，是 ITER 的核心部件，其直接面向高温等离子体，在 ITER 中起到限制聚变等离子体、屏蔽高热负荷，从而保护外围设备和部件免受热辐射损伤的作用。为满足 ITER 装置使用要求，实现其功能，ITER 第一壁板由三种材料构成，分别为面对等离子体铍更换为钨材料、中间热沉 CuCrZr 合金材料和支撑背板 316L (N) 不锈钢材料，综合考虑了 FW 材料与聚变等离子体的相容性、导热性能和结构强度等。为实现良好的热传导以消耗热负荷，三种材料之间需冶金结合，连接技术成为 ITER 第一壁板制造的核心技术。目前，公司参与新的钨第一壁研制并进入样件生产阶段。

(4) ITER 工艺设备：大规模核聚变反应的超导托卡马克装置是庞大而复杂的装置，涉及大量不同的制造工艺。公司研制出了各种制造及验证装置，包括球床材料测量系统、带高温环境箱的电子万能试验机、多功能快速钎焊炉等工艺设备，用于 ITER 相关的试验、测量及生产工艺之中。

3 风险提示

- 1) **可控核聚变突破不及预期。**建造可控核聚变发电厂任务艰巨，而且目前技术还不够成熟，只是向商业化运用迈进一步，未来是否能够继续技术突破还未可知。
- 2) **下游需求波动风险。**目前产业还处于孵化阶段，对于下游的应用场景仍存在不确定性。
- 3) **国内外政策推动不及预期。**核聚变各方面的政策尚不清晰，目前需要政策端的推进，若政策落地力度不及预期，可能对行业需求造成影响。

插图目录

图 1: 磁约束使得粒子做有规律的回旋运动	3
图 2: 托卡马克装置示意图	4
图 3: 仿星器装置示意图	4
图 4: 仿星器发展历史	6
图 5: 日本 LHD 仿星器装置示意图	7
图 6: W7-X 仿星器装置示意图	7
图 7: CFQS 的 16 个模块化线圈的俯视图	8
图 8: CFQS 的 16 个模块化线圈的侧视图	8
图 9: W7-X 仿星器复杂的线圈示意图	9
图 10: W7-X (五星、三角) 与托卡马克 (圆点) 聚变三重积比较	10
图 11: 劳逊判据、零功率堆判据、点火条件判据的比较	11
图 12: Proxima Fusion 的仿星器示意图	13

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰准确地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明

投资建议评级标准	评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	推荐	相对基准指数涨幅 15%以上
	谨慎推荐	相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间
	中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
	回避	相对基准指数跌幅 5%以上
行业评级	推荐	相对基准指数涨幅 5%以上
	中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
	回避	相对基准指数跌幅 5%以上

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑获取本报告的机构及个人的具体投资目的、财务状况、特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，进行独立评估，并应同时考量自身的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代自身的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市虹口区杨树浦路 188 号星立方大厦 7 层； 200082

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层； 100005

深圳：深圳市福田区中心四路 1 号嘉里建设广场 1 座 10 层 01 室； 518048