R“咖”说科技

把“油瓶子”牢牢攥在自己手中

王汉中

“生物技术+生态育种”育种体系将为油料产能突破和供应链自主可控提供动力，为实现“油瓶子”牢牢攥在自己手中夯实品种根基

去年8月在内蒙古额尔古纳市，中国农业科学院油料所联合内蒙古农牧业科学院培育出“北亚油1号”等5个春油菜新品种，标志着我国在寒地早熟、高产、优质油菜育种领域迈出关键一步。今年，该系列品种在呼伦贝尔集中示范种植600亩，表现出丰产稳产、适应性良好的优点，将有力支持高纬度、短无霜期地区的油菜规模化种植。

这一突破为何重要？因为它事关我国油料供给的稳定性，能让“油瓶子”里多装中国油。

目前，我国食用植物油对外依存度较高，是农业领域突出的短板。作为油脂和蛋白质两大营养素的主要来源，油料不只是调味的“配角”，更是人体获取必需营养素的“主力军”，选用合适的食用油有益健康。推动国内油料增产、加快进口多元化，既是保障供给安全的需要，也能有力支撑“健康中国”行动。

保障我国油料供给安全，应充分发挥油菜与大豆的战略互补作用。菜籽油占国产油料作物产油量的50%以上，并具备独特冬季种植优势，可利用南方大量冬闲田，避免与主粮争地。更重要的是，油菜具备巨大的增产和扩种潜力。

在北纬45度以北的亚洲地区，包括我国内蒙古、新疆、黑龙江、吉林部分区域，盐碱地等后备耕地资源十分丰富，可用于发展短生育期春油菜生产。此外，短生育期春油菜与春大豆轮作，还有助于缓解东北黑土区大豆连作障碍。然而，北亚地区自然条件（无霜期不足100天且有效积温偏低）严苛，现有品种适应性严重不足，致使北亚油料产业发展面临“缺芯少魂、无种可种”的瓶颈。直至今天，呼伦贝尔仍大规模种植20年前青海育成的品种。

种子是农业的“芯片”。为培育适合高纬度特短生育期春油菜新品种，我国科研人员提出“生物技术+生态育种”（Bt+Eb）双驱动育种策略。生物技术涵盖分子标记、基因编辑、小孢子培养等现代育种手段；生态育种强调“在哪儿种，就在哪儿育”，推动育种工作深入主产区生态环境。2024至2026年，在内蒙古、青海、湖北、四川等多生态区开展大规模品种鉴定，研究发现同一基因型品种在不同生态区产量差别较大，证实了生态适应性育种的意义。

好种子带来好收成。目前，中国农业科学院油料所在湖北武汉、四川成都、河南安阳、内蒙古额尔古纳、青海海东等地建立五大生态育种基地，覆盖我国油菜主产区和“北亚油谷”典型环境。该体系应用成效显著：育成的耐密品种“中油杂501”2025年在江苏东台亩产377.68公斤，刷新长江流域百亩机收高产纪录；特早熟品种“中油早5号”2026年在江西信丰机收亩产201.96公斤，且全生育期仅166天，创稻稻油三熟制机收新纪录；耐盐碱品种“中油281”在山东东营亩产达284.11公斤，为环渤海盐碱地冬季种植提供新选择；“北亚油1号”更是为开发北亚地区油菜种植潜力奠定了关键品种支撑。

当前，世界百年变局加速演进，粮油安全更显紧迫和必要。保障食用油供给是一项系统工程，以科技为支撑、观念创新为引领、全球布局为依托，“生物技术+生态育种”育种体系将为油料产能突破和供应链自主可控提供动力，为实现“油瓶子”牢牢攥在自己手中夯实品种根基。

（作者为中国工程院院士、中国农业科学院油料所研究员，本报记者**喻思南**采访整理）

R深度观察·未来产业里的向“新”力

让『人造太阳』照进现实

多个核聚变装置加快建设，科研、工程和产业发展同步推进

本报记者　谷业凯

核聚变是太阳发光发热的原理，它是指两个或多个轻原子核，在极高温度和压力下，聚合形成重原子核，同时释放巨大能量的核反应。核聚变能安全、清洁，几乎取之不尽、用之不竭。因此，这一人类未来的理想能源也被称为“人造太阳”。

核聚变能如何从实验室走向产业，何时能走进寻常百姓家？记者近日进行了采访。

一旦实现商用，将大幅降低人类对化石能源依赖，有望重塑全球能源体系

核聚变能之所以被视为“人造太阳”，首先在于它的主要燃料氘（氢的同位素）在地球上“储量”非常丰富，且分布广泛。中核集团聚变领域首席科学家段旭如介绍，氘大量存在于海水中，每升海水提取出的氘通过聚变反应可释放相当于燃烧300升汽油的能量。

其次，核聚变能具有固有安全与环境友好的特性，因核聚变反应需上亿摄氏度高温等非常苛刻的条件，如出现反应故障会因不满足反应条件而自动停止，无熔毁风险。此外，没有长寿命的放射性产物，运行过程也不产生温室气体。“因此，核聚变能一旦实现商用，将大幅降低人类对化石能源依赖，有望重塑全球能源体系，实现经济社会可持续发展。”段旭如说。

当前，我国多个核聚变装置加快建设，科研、工程和产业发展同步推进。四川成都，新一代“人造太阳”中国环流三号突破“双亿度”，预计到2027年将开展燃烧等离子体实验研究；安徽合肥，全超导托卡马克核聚变实验装置实现1亿摄氏度上千秒的稳态运行，世界首个紧凑型聚变能实验装置项目也在加快建设。

“核聚变本质是恒星供能反应，想要实现自持聚变，须在高温、高密度电离气体（等离子体）环境下达成反应条件。”中国科学院理化技术研究所研究员胡忠军介绍，现有核聚变主流路线分为磁约束（以托卡马克、仿星器为代表）、惯性约束（以激光驱动靶丸为代表）两大类，还有磁化靶聚变等新概念方案。

其中，托卡马克磁约束核聚变是当前较有希望率先实现核聚变能应用的技术路线。围绕该技术路线，中核集团核工业西南物理研究院（以下简称“西物院”）、中国科学院等离子体物理研究所（合肥）等单位，在等离子体高参数和长脉冲运行、聚变堆关键技术研发、核心部件研制等方面取得一系列进展。同时，国内高校院所积极参与核聚变研究；民营企业也积极进入核聚变能新赛道，多元化技术路线加快发展。

“一般来说，实现核聚变能的商业化运用，需要经历6个主要阶段，包括原理探索、规模实验、燃烧实验、实验堆、示范堆、商用堆。”西物院聚变科学实验所研究室主任肖国梁说，目前我国正处于“燃烧实验”阶段，已具备开展相关实验的等离子体参数及装置运行等条件。

我国在聚变装置运行、聚变堆关键技术研发等方面取得了一系列重要进展

近年来，我国在聚变装置运行、聚变堆关键技术研发等方面取得了一系列重要进展。

前不久，由我国牵头制定的ISO 19991:2026《聚变技术—实验磁约束聚变设施—聚变装置用超声分子束注入加料技术》正式发布，这是聚变加料领域首项国际标准。

超声分子束注入加料技术，是可控核聚变装置的关键燃料补给技术，也是我国原创的先进聚变加料技术，已在国内外10余个磁约束聚变实验装置上应用。

该技术从原创研究、装置应用到国际标准的跨越，是我国核聚变研究和关键技术加快突破的缩影。

2025年3月，中国环流三号在国内首次实现原子核（离子）1.17亿摄氏度、电子1.6亿摄氏度的“双亿度”高参数运行，创下我国聚变装置运行新纪录。2025年5月，该装置聚变“三乘积”达10的20次方量级，推动我国聚变快速挺进燃烧实验。

在此过程中，高功率微波回旋管、高功率中性束注入加热系统、提高芯部能量约束的新方法、三光栅精密光谱仪、紧凑型汤姆逊散射多色仪等一大批新原理、新方法、新装备投入应用。

高功率回旋管是中国环流三号装置电子回旋共振加热系统的核心生命部件，曾长期依赖进口。2020年，西物院团队开启了一场以全套电子回旋系统国产化为目标的科研攻关，准备攻克系统最后一个技术堡垒。

回旋管是一根高2米多、重300多公斤的金属圆筒，看似毫不起眼，其实内部结构极其精密复杂，技术壁垒极高。“光物理特性分析、研究，我们就花了3年多的时间。怎么匹配物理特性及工程实现，从设计到工艺我们更是尝试了无数次。”中核集团学科带头人、中国环流三号电子回旋加热系统总师黄梅回忆。

探索与优化协同推进，制造与迭代设计同步进行，经过反复尝试，科研人员终于研制出高功率微波回旋管。这一突破，让我国站到了亿摄氏度高温这一核聚变领域的最前沿。

作为复杂的系统工程，核聚变能在材料、低温、磁体、测试和控制等方面，同样催生了大量的技术和工程需求。

“可控核聚变超导强磁场的实现依赖于液氦温区到液氢温区的低温环境。随着核聚变能的发展，低温制冷系统的规模也在不断增大。”胡忠军举例，在大型低温系统中，氦气压缩机是核心动力设备。

多年来，中国科学院理化技术研究所深耕螺杆氦气压缩机技术。2015年，该所与福建雪人股份有限公司成立联合实验室，一起攻关大型螺杆氦气压缩机技术。他们打破传统转子型线设计上低转速原则的固有思维，开发出适用于小分子量气体压缩的新型转子型线，解决了氦气容易泄漏和绝热指数大带来压缩热大的难题，有效提高了氦气压缩机的效率和可靠性，形成了系列工业化产品，整体技术达到国际领先水平。

发展核聚变能，我国有何优势？段旭如表示，我国拥有完整的核工业体系和丰富的核工程经验，要发挥企业在工程设计、材料生产、装备制造等领域的产业赋能优势，聚焦核工程技术在聚变堆全生命周期的关键作用，推进我国核聚变能高质量发展。

工程化实践已形成坚实基础，正朝着建设工程实验堆、商业示范堆的目标稳步迈进

从全球看，聚变能商业化已形成加速态势。据国际原子能机构《2025年世界聚变展望》报告，全球有近40个国家推进聚变计划。

然而，聚变能商业化仍面临多重挑战。其中，科学与技术层面亟须突破燃烧等离子体稳态运行、耐高能中子轰击及高热负荷材料等难题；产业生态上，还需解决产供链成熟性、经济可承受性、投资可持续性、监管可适配性等问题。

“我国聚变工程化实践已形成坚实基础，正朝着建设工程实验堆、商业示范堆的目标稳步迈进。”段旭如表示。

“我国将核聚变能列为前瞻布局的未来能源战略重要环节，并加快聚变科学、工程能力建设。国内聚变发展以国家科研体系和重大科学装置为牵引，形成从基础物理实验、关键系统综合验证到燃烧等离子体及工程堆研究的递进路径，并通过重大装置投资、专项研发、产业集群、公共平台、供应链本土化等，落实为具体工程任务。”胡忠军认为。

机遇与挑战并存。肖国梁介绍，近年来，人工智能已经在等离子体运行监测、控制及不稳定性预测等研究中获得初步验证，有望解决等离子体控制难题，并在聚变堆系统研发、运维等方面展现出很大的发展空间和潜力。高温超导磁体如果取得突破，将可以提供更强磁场，有望大幅提升等离子体性能，从而使得未来聚变堆规模变得更加紧凑，缩短建造周期与降低成本，加速技术迭代。

在核聚变领域，民营企业的探索也有进展。比如，诺瓦聚变能源科技（上海）有限公司开发出了场反位形小型模块化反应堆（FRC—SMR）核聚变实验装置诺瓦一号。

诺瓦聚变公共事务负责人梅华灯介绍，诺瓦一号融合现有磁约束与惯性约束技术的优势，利用脉冲反应能量直接发电，可用氘氚、氘氦3等多种燃料，目标是实现高密度、7×24小时稳定、零碳、靠近用户、成本有竞争力的算电协同商业化应用。今年已顺利完成四大核心部件国产化突破，目前开始总装集成，10月装置进入投用测试阶段，并计划在2027年实现1亿摄氏度聚变温度。

发展核聚变离不开全球科技合作。自2006年我国参加国际大科学工程国际热核聚变实验堆（ITER）计划以来，上百家国内企业和单位参与了ITER项目，涵盖材料研发、关键技术与工艺开发、加工制造以及聚变堆集成安装等任务。中国科学家和工程师作出的贡献，有力推动了ITER计划的发展，也得到了全球高度评价。

“国际磁约束受控核聚变研究始于上世纪50年代，如今已来到世界范围内开放合作、共同参与的研究阶段。”段旭如说，核聚变能承载着解决能源短缺、气候变化等人类共同难题的使命，开放合作是应对这些挑战的必然选择。

图①：胡忠军正在测量压缩机阴阳转子的啮合间隙。

中国科学院理化技术研究所供图

图②：在中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所，科研人员在检查“人造太阳”高温超导中心螺管线圈测试平台。

新华社记者　**周　牧**摄

本版责编：**喻思南**　版式设计：**蔡华伟**

R我身边的最强大脑

给强温室气体上三道“锁”

张晓琴

六氟化硫是高压电力设备不可或缺的绝缘、灭弧介质，可它偏偏是一种强温室气体。更棘手的是，现阶段又很难找到一种合适的气体完全替代它。如何尽可能不让它进入大气？这是我们一直想解决的难题。

从参加工作开始，我就跟着师傅跑现场、做检测，逐渐发现，六氟化硫从充进设备到运行、检修，再到回收利用，每个环节都有减排空间，这正是2015年起，我们展开攻关的方向。

第一个问题是怎么让它不漏。组合电器由一段段设备拼接而成，接缝处就可能有气体逃逸。跳出加强内部密封垫的思路，我们在设备外面再加一道“锁”，即研制一种复合胶体密封材料，把它涂覆在接缝外侧，给设备接缝贴上一层牢固的“胶带”。

这层“胶带”并不好做。电网设备大多长期在户外运行，还会振动、发热。六氟化硫又是气体，微小的缝隙都可能成为它的逃逸通道。因此，这种材料既要与金属紧密贴合，又要耐老化、耐温度变化，还要长期保持良好的气密性。经过数百次配方调试和实验验证，我们最终实现了对六氟化硫的分子级阻隔，设备年密封率提高到99.9997%。

堵住运行中的“跑”，第二个问题接着来了：设备检修时，怎么把里面的六氟化硫尽可能收干净？以前主要依靠压缩机往外抽，刚开始速度很快，可越往后越慢。既然直接抽不动，能不能用另一种气体把它“带”出来？

我们选择了氮气。先抽走大部分六氟化硫，再往设备里充入氮气，把残余气体带出来。可氮气和六氟化硫混到一起后，怎么再把它们分开？从2020年开始，经过近两年摸索，终于找到一种具有特殊内孔结构的中空纤维膜。它像一个“分子守门员”，把六氟化硫分离出来，氮气则继续循环进入设备，把残余的六氟化硫一遍遍“带”出来。

气体收回来了，还有第三个问题：怎么继续用？六氟化硫在电力设备中运行后，会混入水分、颗粒物以及硫化物、氟化物等杂质，达不到直接回用标准。过去，回收后的气体需要装瓶运到专门的基地。整个过程往往需要四五天，有些地方虽然能把气收回来，却没有条件进一步净化。

为此，我们先研制小型化检测装置，把过去部分只能在实验室完成的杂质检测搬到现场，再把干燥、吸附等工艺集成到一套车载净化装置中。如今，设备检修时，一边是电气专业人员检修设备，我们就在另一边回收六氟化硫，先检测有哪些杂质，再针对性净化，最后重新检测。达到使用标准后，等设备检修完成，刚刚收回来的气就可以重新充进去。过去四五天的流程压缩到当天就能完成，六氟化硫再用率提高到99.994%。

从“堵”到“收”再到“用”，三个环节串起来就形成了六氟化硫全过程近零减排技术。之后，我们又搭建数字化全生命周期管控平台，记录从入库、使用、回收到循环利用的全过程。2025年1月，我国首个六氟化硫气体循环再利用国家标准正式实施，为检测、回收、净化再利用提供了全流程规范。如今，我们研发的相关技术和装备不仅在国内广泛落地，还应用到全球多个国家。

一个看不见的气体分子，一头连着电网安全，一头连着全球减碳。我们从中国电网的实际应用场景出发，把一个大问题拆成一道道小题，再一道道解开。这正是科技创新的意义——用来自一线的中国技术、中国智慧，为全球温室气体减排提供一种新的解决方案。

（作者为国网江苏省电力有限公司电力科学研究院输变电技术研究所主任工程师，本报记者**白光迪**采访整理）

张晓琴近照，AI修饰生成素描画