



我国“人造太阳”突破百万安培

提高三乘积,让可控核聚变走向现实,离核聚变点火更近一步

N 科技日报 澎湃新闻 中国能源报

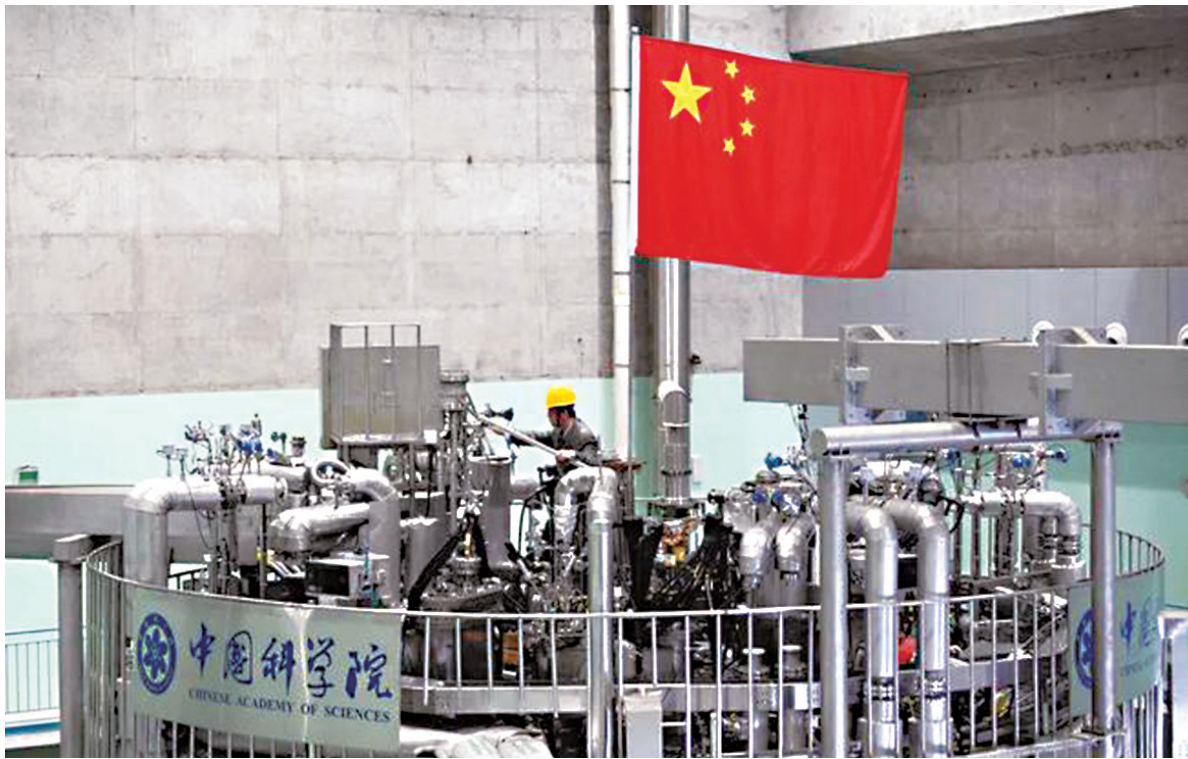
核聚变,是一种核反应的形式,即轻原子核(例如氘和氚)结合成较重原子核(例如氦)时放出巨大能量的过程。在不加约束的情况下,核聚变往往是剧烈而不可控的。长期以来,实现可控核聚变,为人类的发展提供源源不断的能源是人们的愿景。核聚变点火作为实现可控核聚变的关键步骤,是实现可控核聚变的前提和基础。如今,实现核聚变点火这一目标,正在逐渐走向现实。

近日,中核集团核工业西南物理研究院传来捷报,我国新一代“人造太阳”(HL-2M)等离子体电流首次突破100万安培(1兆安)。

100万安培电流是个什么概念?有怎样的关键意义?专家指出,达到100万安培这个数字,标志着我国“人造太阳”向着核聚变点火迈出了重要一步。



“人造太阳”点火模拟图



11月4日,科研人员为“人造太阳”EAST全超导托卡马克装置的升级改造,做最后的收尾工作

三大关键参数 实现核聚变点火必要条件

如果说通过分裂重原子核来产生能源的核裂变,是将原本完整的镜子打碎,那么核聚变可以说恰恰相反,其产生能源的方式是将打碎的镜子复原,通过“破镜重圆”来释放能量。

中核集团核工业西南物理研究院聚变科学所副所长(主持工作)、HL-2M实验负责人钟武律介绍,核聚变产生能源的基本原

理是由于氢的同位素——轻原子核氘和氚结合成较重的原子核氦时会释放巨大能量。太阳内部便每时每刻都在发生着类似的核聚变反应,从而源源不断地发出光和热。

而想要两个原本独立的原子核克服各种阻碍合为一体,就需要温度、密度、约束时间等参数满足极为苛刻的条件,否则反

应无法维持,核聚变就不会发生。

英国物理学家劳森在上世纪50年代对核聚变反应堆的能量平衡问题进行深入研究后,提出了核聚变研究中著名的“劳森判据”,即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,通常意味着核聚变点火成

功。利用具体的计算公式,目前可以将劳森判据直观地转换为对温度、密度、约束时间这三个参数的乘积,即所谓聚变三乘积大小的判断。

钟武律表示,衡量核聚变装置及核聚变研究的水平,主要看三个参数:燃料的离子温度、等离子体密度和能量约束时间,三者缺一不可。

托卡马克要稳定运行 等离子体电流须超1兆安

而在磁约束核聚变装置中,上述三个参数中的等离子体密度和能量约束时间恰恰与等离子体电流成正比。“等离子体电流越高,等离子体密度和能量约束时间这两个参数就越高,就可以更加接近点火要求的聚变三乘积。”钟武律说,“因此,如果根据聚变三乘积的结果倒推,未来托卡马克要实现稳定运行,等离子体电流必须超

过1兆安。”

此外,钟武律还介绍,聚变堆的聚变功率与等离子体电流的平方成正比,等离子体电流若提升10倍,聚变功率便可提升100倍。

“劳森判据”已经指出实现核聚变点火需要提高的三个参数,实现核聚变点火似乎已经变成一场“开卷”考试。可是答案虽已写明,“解题”过程却仍需不断探索。围绕着提高聚变三

乘积、实现核聚变点火这一最终目标,多年来,我国的托卡马克装置不断刷新着新的纪录。

钟武律向记者介绍,托卡马克装置的中央是一个环形真空室,里面注满气体,外面缠绕着线圈。线圈通电后,会在托卡马克内部产生巨大的螺旋形磁场,里面的气体将被电离成等离子体并形成等离子体电流。当等离子体被加

热到极高温度后,便可实现核聚变。

在此次新一代“人造太阳”HL-2M实现等离子体电流1兆安突破前,我国的另一个“人造太阳”,由中国科学院等离子体所研制的被称为东方超环的全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)也频频进入大众视野。它也是我国自主设计的世界首个非圆截面全超导托卡马克。

多种先进技术 不断刷新各项国内国际纪录

在突破聚变三乘积的道路上,常规的托卡马克装置存在着一定的固有缺陷。目前,世界上的多数托卡马克装置主要以实验研究为目的,要不断对约束等离子体的磁场的形态和性质进行深入研究。这就要求其约束磁场能够长时间稳定运行。虽然磁场可以约束上亿摄氏度的等离子体,但是其本身却并不稳定。维持强大的约束磁场,需要非常大的电流。但是普通线圈在高强度、长时间通电后难免会大量发热。如果仅从这一角度来看,常规托卡马克在长时间稳定运行方面存在着诸多挑战。

为了解决常规托卡马克的瓶颈,超导技术便被引入到了托卡马克建设中。超导材料由于具有显著的零电阻特性,几乎不产生电阻热,可以通过强大的电流稳定地产生强磁场,因此被认为是未来托卡马克装置的重要组成部分。

作为全球首个全超导

托卡马克,EAST的中间是高11米、直径8米的圆柱形大型超导磁体,外侧则由超导材料制成的线圈围成。得益于超导材料的零电阻等特性,EAST在运行过程中可以大大节省供电功率,并且长时间维持磁体工作。因此,EAST在能量约束时间这一参数上具有格外强大的优势。

同时,借助电子回旋与低杂波协同加热等技术,EAST在建成后先后成功突破等离子体中心电子温度1亿摄氏度,可重复的1.2亿摄氏度101秒和1.6亿摄氏度20秒等离子体运行,1056秒的长脉冲高参数等离子体运行等多项国内、国际纪录。

作为我国最新一代托卡马克装置,HL-2M采用的是常规磁体,应用了先进的结构与控制方式。钟武律表示,HL-2M的等离子体体积是国内同类装置的2倍以上,在未来,其等离子体电流能力将提高到2.5兆安以上。

一个宏伟目标 力图2050年实现能源化利用

今年两会期间,中核集团核聚变堆技术领域首席专家、国际热核聚变实验堆(ITER)计划科技咨询委员会副主席段旭如表示,若依托现有核科技工业体系,凝聚核工程领域具有专业经验和基础的相关研究单位和企业,逐步搭建聚变能的技术开发体系和工业体系,集中力量开展核聚变工程和技术攻关,再经过三十年左右的时间,也就是到2050年左右,人类将能利用核聚变能源。

目前在磁约束核聚变领域,集结了全球多个主要经济体的“国际热核聚变实验堆(ITER)计划”最受人瞩目。该计划的目标是建设能产生大规模核聚变反应的托卡马克装置。

段旭如表示,我国自2006年正式参加ITER计划以来,承担了ITER装置重要关键部件的制造任务。我国多个托卡马克装置在吸收ITER先进技术的同时,也为ITER计划

提供了宝贵的研究参考。利用ITER计划这一良好国际合作平台,我国的聚变研究得到了快速发展,磁约束核聚变研究从过去的跟跑步入了并跑阶段,部分技术达到国际领先水平。

此次实现突破的HL-2M装置接下来也将继续与ITER计划展开合作,开展相关物理实验,力争掌握或突破聚变堆工程相关技术,如高功率辅助加热和电流驱动、偏滤器排灰排热、聚变产物诊断等关键技术。

钟武律表示,HL-2M不仅可以实现高参数的等离子体放电,其离子温度也可达到1.5亿摄氏度,实现与聚变堆相关的高密度、高比压、高自举电流等离子体运行。在未来,HL-2M将继续有条不紊地开展后续实验工作,冲击更高的等离子体电流和离子温度等参数,全面提升聚变三乘积,实现我国“人造太阳”研究的新飞跃。