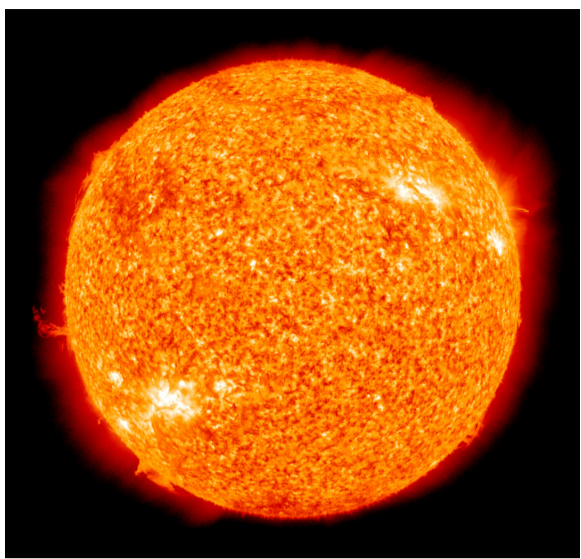


中国新一代“人造太阳”首次放电 迈向实际应用还有多远？



12月4日14时02分，被称为“人造太阳”的核聚变装置——中国环流器二号M装置（HL-2M）在成都启动并实现首次放电，这标志着中国自主掌握了大型先进托卡马克装置的设计、建造和运行技术，核电研究能力再次取得重大进步。

HL-2M托卡马克反应堆是目前中国最大、最先进的磁约束核聚变实验研究装置，该项目于2009年由国家原子能机构批复立项，由中国核工业集团西南物理研究院（SWIP）自主设计建造。科学家们希望该设备释放强大的清洁能源，它使用强大的磁场来约束等离子体发生核聚变反应，最高核心温度可以达到1.5亿摄氏度，约是太阳核心温度的十倍。

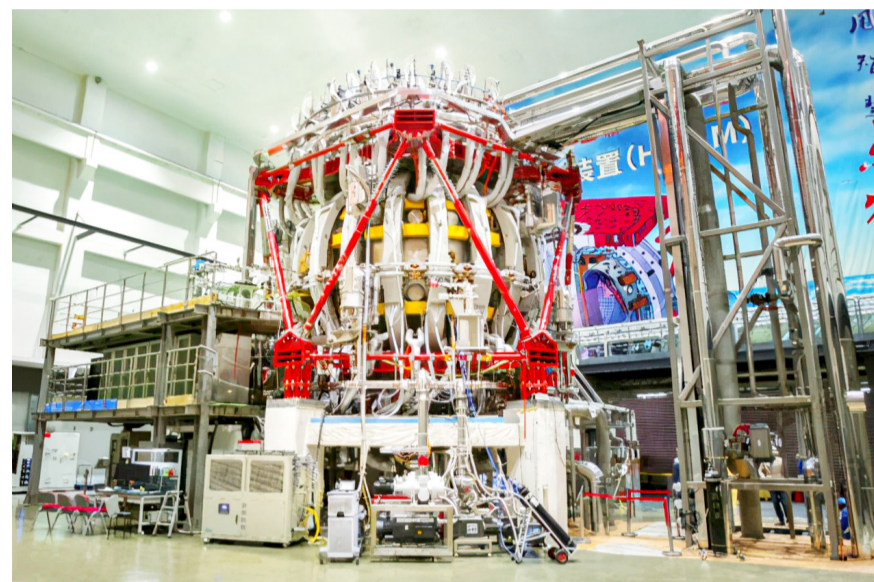
核聚变能量有许多潜在的吸引力。首先，它的燃料氢的同位素是相对丰富的，必要的同位素燃料之一：氘，可从海水中提取，一公升海水里提取出的氘，在完全的聚变反应中可释放相当于燃烧300公升汽油的能量；而另一种同位素燃料：氚，可通过中子与锂反应生成，在地壳和海水里，锂都大量存在。此外，相对于传统的核反应堆所产生的污染物，核聚变产生的核废料半衰期极短（低管理成本、核泄漏时总危害较低、最多只有一公里内需要撤离）、安全性也更高（不维持对核的约束便会停止反应）。

在太阳内部就是通过原子核的核

聚变产生能量，把氢原子聚变成氦原子，约以每秒钟6.2亿吨氢的核聚变发光发热，这也是受控核聚变装置被形象地称为“人造太阳”的原因。

关于核聚变的原理并不神秘，1920年就被科学家提出。上世纪40年代，用于军事目的核聚变开始被研究，50年代以后，人类转向探索用核聚变创造能量。根据质能方程 $E=mc^2$ ，原子核中蕴藏巨大的能量，原子核之净质量变化（反应物与生成物之质量差）可造成能量的释放。

被科学家提出。上世纪40年代，用于军事目的核聚变开始被研究，50年代以后，人类转向探索用核聚变创造能量。根据质能方程 $E=mc^2$ ，原子核中蕴藏巨大的能量，原子核之净质量变化（反应物与生成物之质量差）可造成能量的释放。



中国环流器二号M装置。

如果是重的原子核变化为轻的原子核，称为核裂变，如原子弹爆炸；如果是较轻的原子核变化为较重的原子核，称为核聚变，如氢弹。其原

用巨大重力使等离子体封闭，而在地球上，则必须采取别的方法，等离子体只有被加热到了1亿度以上才可能实现可控核聚变。在地球上，没有任

何材料可以把1亿度高温的等离子体给包裹起来，而强磁场便是科学家发明的其中一种方式。

当等离子体带电时，电荷被卷在磁力线上，因此只要制造出磁场，就能够将等离子体封闭，使它们悬浮在真空中，利用磁场，约束住高温等离子体中的带电粒子，使它们进行螺旋运动，进一步加热等离子体，直到产生核聚变反应。

目前，在建的世界上最大的实验性托卡马克反应堆为法国南部的国际热核聚变实验反应堆（ITER），建设开始于2007年。该项目同时由欧盟、印度、日本、中国、俄罗斯、韩国和美国等七个成员国进行资助和运行，欧盟作为ITER设施主办方，贡献的费用有45%左右，中国则承担了ITER装置近10%的采购包。该设施的目标就是推动等离子体前沿物理实验研究，让核聚变发电技术大规模应用由期待变成现实。

根据国际热核实验堆的设计，ITER是要实现从50MW的输入功率上生产出约500MW的聚变功率，长脉冲持续时间为400-600秒，通过在其约840立方米的反应室聚变约0.5g氘/氚混合物。

专家估计它将在2025年12月进行第一阶段测试，若实验成功，将协助第一批核聚变发电厂在2040年前投入运行，ITER最初预计将耗资约100亿欧元。但随着原材料价格的上涨和设计的改进，目前投入已超过160亿欧元，总成本预估将达200亿欧元左右。

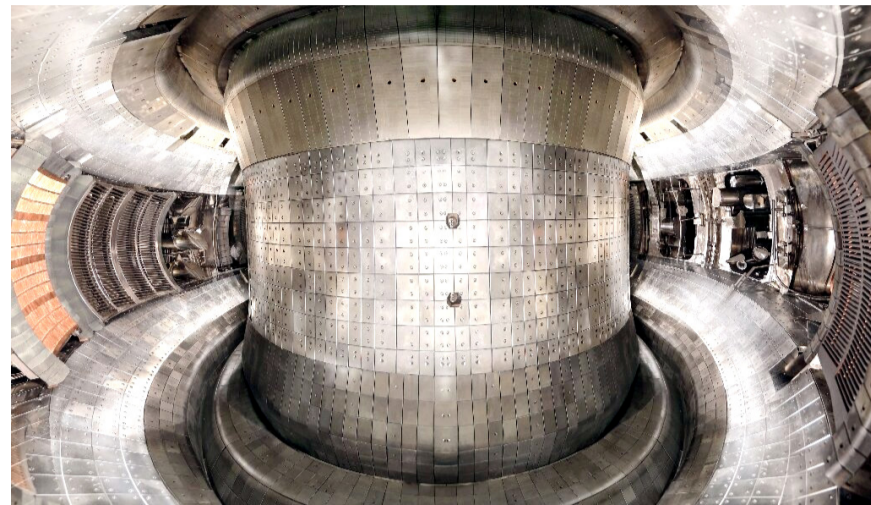
和平利用核聚变对于每个国家来说都是一项重大战略项目。自上世纪70年代以来，中国科学家们一直在研究开发较小版本的核聚变反应堆，集中选择托卡马克设施为主

要研究方向。

在中国环流器二号M装置（HL-2M）之前，先后建成并运行了小型CT-6（中科院物理所）、KT-5（中国科技大学）、HT-6B（中科院等离子体所）、HL-1（SWIP）、HT-6M（中科院等离子体所）及中型HL-1M（SWIP）等项目。

电子温度首次达到1亿度，获得的多项实验参数接近未来聚变堆稳态运行模式所需要的物理条件。

而HL-2M的建成，能利用独特的先进偏滤器型，开展高功率条件下的边界等离子体物理实验，特别是探索未来示范堆高功率、高热负荷、强等离子体与材料相互作用条件下，粒



核聚变装置内部构造。

未来十年，重点会在EAST和HL-2M两个主力装置上开展高水平的实验研究。其中，中国科学院等离子体物理研究所的先进实验超导托卡马克实验装置（HT-7U）也被称为“东方超环”，项目后来更名为EAST。2006年9月28日，该装置首次成功放电，2017年7月3日，实现了稳定的101.2秒稳态长脉冲高约束等离子体运行，成为了世界上第一个实现稳态高约束模式运行持续时间达到百秒量级的托卡马克核聚变实验装置。

2018年11月12日，EAST首次实现加热功率超过10兆瓦，等离子体储能增加到300千焦，等离子体中心

子、热流、氦灰的有效排除方法和手段，与EAST装置形成互补，将使我国堆芯级等离子体物理研究及相关关键技术达到国际先进水平，也能快速吸收消化国际热核聚变实验堆带来的前沿技术探索。

在科幻电影中，无论是流浪地球中行星发动机，还是钢铁侠胸口的方舟反应炉，亦或是星际迷航中的曲速引擎，都让人们对于强大能量、能源的充满想象，而可控核聚变技术则是科学家眼中的能量圣杯，且有望在不久的将来照进现实。（逸文）

日本“隼鸟2号”成功将小行星样品带回地球

郭沐悦

12月6日，日本宇宙航空研究开发机构（JAXA）宣布，日本小行星探测器“隼鸟2号”投下的一个装有小行星“龙宫”上尘土样本的返回舱，已经成功在地球着陆。

“隼鸟2号”情况简介

“隼鸟2号”小行星探测器是日本发射的“隼鸟”的后继探测器，于2014年12月由H-2A运载火箭搭载从种子岛宇宙中心发射升空，其任务是探测小行星“龙宫”。2018年6月，“隼鸟2号”抵达“龙宫”预定轨道。2019年2月，首次在“龙宫”着陆，收集地表样本并发现了水合矿物质。2019年4月，向“龙宫”表面发射一枚金属弹，制造一个大约直径10米的撞击坑。2019年7月，第二次成功着陆并收集了之前撞击中暴露出来的深层尘土样本。2019年11月，进行轨道调整，启程返航。2020年12月4日，在距离地球22万公里的地方释放了装有小行星采样的返回舱。2020年12月6日，返回舱成功在澳洲着陆。在释放返回舱后不久，“隼鸟2号”点火转向离开地球再次返回太空执行延长任务，计划将在2026年和2031年访问另外两颗小行星。

小行星被称为“太阳系的化石”，其地表深层很可能仍然保留着46亿年前太阳系诞生时的痕迹，探测小行星并分析其样本有助于破解太阳系如何形成、地球上的生命如何诞生等谜团。

全球天体采样概况

地外天体的采样返回技术，已成为空间探测的一大热门，竞争日趋激烈。

月球采样返回活动最热门。美国先后通过发射“阿波罗”11号、12号、14号、15号、16号、17号载人飞船，对月球进行了有人月球采样返回，共带回月岩样品



380千克，为月球研究提供了直接的依据。前苏联曾先后发射“月球16号”、“月球20号”和“月球24号”，完成了三次月球无人采样返回任务，总共带回326克月球地质样品。我国于今年11月24日发射了“嫦娥五号”月球探测器，它将在升空23天后把大约2千克月球样品返回到地球。

小行星采样返回活动日益受到重视。日本通过“隼鸟”和“隼鸟2号”成功完成了对“糸川”和“龙宫”两颗小行星的采样。美国于2016年9月发射其首个小行星采样返回探测器“奥西里斯-雷克斯”，并于2020年10月采集了60克~2千克的“贝努”小行星表面风化层样品，计划于2023年9月将采样返回舱送回地球。

彗星采样返回技术独具特色。彗星采样主要是对彗尾的尘埃及气体样本进行采集，不需要落在星体表面。美国于1999年发射了“星尘号”彗星探测器。2004年1月，“星尘号”与怀尔德2号彗星交会，“星尘号”伸出类似网球拍的“气凝胶尘埃收集器”来收集彗星的尘埃微粒，然后折叠收入返回舱，贮存于容器中。2006年，装有采样的返回舱成功返回地球。

太阳采样返回活动尚不完善。“阿波罗”飞船首次采集到了太阳样本，但由于技术限制，样本杂质较多。2001年，美国“起源号”太阳探测器采集了约10~20微克太阳风粒子，但着陆地球时出现失误，只收回了部分太阳离子。

火星成为下一个探测目标。至今，人类对火星的探测只实现了“绕、着、巡”，还没有实现采样返回，主要原因是火星距离遥远、环境特殊和引力较大等。美国、日本、俄罗斯等一些国家已计划在2030年左右对火星进行采样返回探测，我国也拟于2028年实施火星采样返回任务。

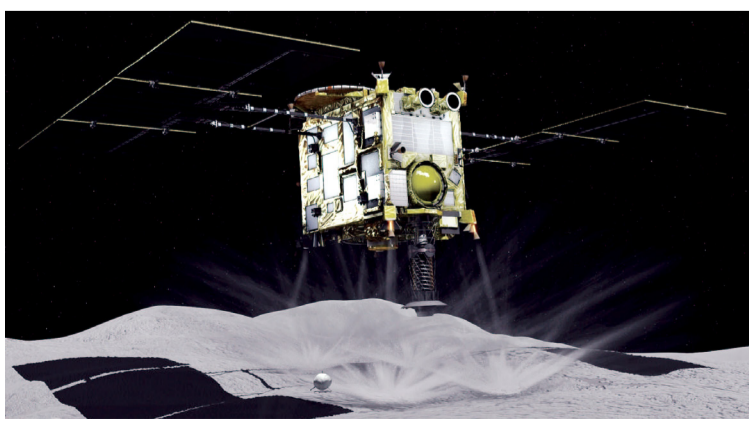
分析研判

日本在小行星探测采样返回领域领跑全世界。在“隼鸟2号”成功返回地球后，

日本成为世界上第一个成功完成两次小行星采样返回的国家。在取样深度方面，日本实现了对小行星地表和地表以下两个不同深度的取样；在空间技术方面，日本通过该项目在卫星通信、自动控制、图像处理、高精度传感器、耐太空密封等领域展现了世界一流的技术水平；在项目经济性方面，NASA的“奥西里斯-雷克斯”项目总费用约为10亿美元，“隼鸟2号”的项目费用不及其三分之一，仍取得了世界瞩目的成果，展现了优越的经济性。

我国在地外天体采样返回领域处于国际领先地位，目前正在实施月面无人采样，我国也可以考虑开展小行星探测及采样返回等项目以支持相关前沿领域的科学研究，一是相关技术路线相对实施成本较低，二是也可以进一步积累相关天体探测的技术经验，继续巩固和加强我国在空间探测中的优势地位。

在空间探测活动中，我国应考虑加强国际合作交流，打造外空命运共同体。日本“隼鸟2号”项目是典型的国际合作项目，项目团队由日本和美国共同组成，德国和法国合作提供了小行星表面侦察器，澳大利亚在返回舱着陆过程中提供了观测支持。当今世界，通过国际合作开展空间探测已逐渐成为主流。我国在空间探测领域正稳步推进，成就显著，在自主发展关键技术的同时，应考虑加强国际合作交流，一方面可以实现相关领域的优势互补，建立外空领域的沟通和合作机制，打造外空命运共同体；另一方面，上世纪70年代，美国国家安全顾问布热津斯基访华时曾向中国赠送了一克月球土壤，成为当时中美关系改善的标志之一，我国可以此为参照，将我国在空间探测的优势作为一种外交手段，合理运用，扩大我国的国际影响力。



绕开178年的理论限制 在不可能区域创造磁场

大约在两个世纪前，丹麦物理学家汉斯·克里斯钦·奥斯特（Hans Christian Oersted）发现电流能产生磁，这种现象几乎无处不在，例如宇宙中的带电粒子云在进行过程中会产生巨大的星际磁场，地核中熔融金属的运动产生了地球的南北磁极，甚至人类大脑中的神经细胞活动也会产生微量的磁性。

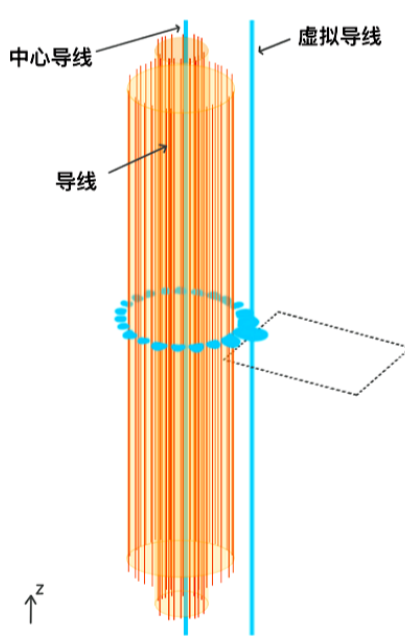
无论从理论的角度还是应用角度，这种电生磁的普遍性都带来了许多的问题。例如，医生在看磁共振成像时，必须对背景磁场进行处理；再比如对于需要进行精密测试的实验人员来说，他们不得不建造复杂的屏蔽，来阻隔一些由简单事物所产生的（比如墙壁内的电线）会干扰测量结果的磁场。如此一来，能够远距离地对磁场进行控制、限制或者塑造，就非常有用。

多年来，科学家们一直在努力应对这一挑战，然而却始终难以实现。原因在于，1842年，英国数学家塞缪尔·恩绍（Samuel Earnshaw）用数学证明了这样一个定理，这个定理表明，磁场的最大强度不能在磁源之外；换言之，每个磁源都必须围绕产生它的物体，并从这个物体中辐射出去，磁场的强度随着离磁源距离的增加而减小。

这便是恩绍定理，它意味着，如果不能实际将一个磁源放置在空间中的目标位置，就不能在那个位置产生最大磁场的强度。而这样的“事实”会限制我们塑造磁场的能力。然而最近，一个国际物理学家团队似乎找到了解决方法，成功地绕开了这个已经存在了178年的理论的限制。在新的研究中，他们通过将一组导线排列成特殊结构，使得当电流通过这组导线时，产生了一个像是源自于另一个磁源所产生的磁场。

研究人员所采用的方法非常简单却精妙。他们受到光学领域研究的启发，应用到了一些被称为“超材料”的材料，这些材料具有一些不存在于任何自然材料中的特性。他们设想了一种磁导率（表示当某种材料暴露于磁场时会增加或减少多少磁场的参数）为-1的材料，在这样一种材料内部，所产生的磁场方向将会与初始磁场方向相反。

不过，依靠一种不存在的材料来进行模拟似乎并没有太大说服力。然而，研究人员却证实了，即使不存在这种具有负磁导率的假想材料，通过



将21根笔直导线精密排列成图中所示结构，再通过控制流过每根导线的电流大小，可以产生一个在这个装置之外的虚拟导线。

对导线进行精密地排列，也能达到仿佛使用了超材料的效果。

他们将20根笔直的导线排列成一个高40厘米、直径8厘米的空心圆柱体，再让第21根导线穿过圆柱体的中心。当电流流过这所有的21根导线时，就会在这些导线的周围区域出现一个复杂的磁场，其形状随着单个电流的强度和方向变化。

在实验中，物理学家们发现通过为这个结构中的每根导线设置正确的电流，就能制造出一个仿佛由一个并不存在的虚拟导线所产生的磁场，这根虚拟导线不是贯穿圆柱体的中心，而是在圆柱体外2厘米处。磁场就像是凭空出现的一样，制造出了一种磁源在远处的错觉。这种“错觉”磁场绕开了恩绍定理，令许多物理学家为之兴奋。

这项成果不仅具有理论意义，还带来了潜在的应用突破。一个主要应用就是用于生物医学方面。比如说假如有这样一种抗癌药物，它可以通过由磁性纳米颗粒制成的胶囊而直接进入人体深处的肿瘤处，我们无法做到在肿瘤中插入磁性材料来引导纳米颗粒的路径，但这项技术可以帮助我们在肿瘤的正中心制造出一个源自于身体外部的磁场，那么就可以在通过一个没有任何侵入性伤害的过程在体内引导药物传递了。

除了药物传递之外，它还能应用于量子计算。许多量子计算机的设计都依赖于在空间中的精确位置捕获原子，这是一项困难的任务。物理学家可以借用这项技术对此加以简化，比如用它来消除一些会干扰测量结果的噪声磁场。

此外，它还能被用于神经成像技术，一种被称为“经颅磁刺激”的技术会通过磁场来激活大脑的不同区域。使用新研究中所涉及的技术，能让医生有可能更细致地定位大脑中需要刺激的区域，从而使患有阿尔茨海默病或帕金森病等神经系统疾病的患者得到更准确的诊断和治疗。

当然，这是一项还需要进一步完善和改进的技术。研究人员表示，从实验到真正投入实际应用，还将有一段漫长的路程要走。但是，一旦真正将这种“错觉”磁场投入实际，那么它所能开启的潜在的应用将远远超出想象。（航航）