

净能量增益“梅开二度” 核聚变能源的“春天”来了？

◎本报记者 刘霞 李宏策

据英国《金融时报》网站报道，7月30日，美国加利福尼亚劳伦斯·利弗莫尔国家实验室(LLNL)科学家在美国国家点火装置(NIF)上开展的一项实验中，成功实现了激光驱动核聚变点火——聚变产生的能量多于激光输入的能量，继2022年12月之后，核聚变反应再次实现净能量增益！

关于美国实现的净能量增益，有媒体将其誉为本世纪以来最重大的技术突破。对此，中国工程院院士、惯性核聚变专家杜祥琬认为，该突破确实是一个重大进步，具有科学意义，但是当前离实现高增益的核聚变商业规模发电，还存在无法跨越的技术障碍。

“从提出激光驱动惯性约束聚变到现在已经过去50年，除了建造巨大激光器的技术困难以外，在惯性聚变科学问题上更是经历了几代人艰苦探索、不断深化科学规律认知的过程，所以这次NIF上实现第二次点火，意义重大。”中国科学院院士贺贤土对科技日报记者表示，但要借助该技术实现无限清洁能源的梦想，仍有很长的路要走。

核聚变优势突出

行星发动机、量子计算机、太空电梯……电影《流浪地球2》中的“硬核”科技元素让人叹为观止，而行星发动机推动地球利用的正是可控核聚变技术。

太阳之所以有源源不断的能量，就在于其内部一直在进行大量的核聚变。核聚变是两个轻量元素的原子核聚合到一起，同时释放巨大能量的核反应。太阳内部的日核区温度极高、压强极大，使核聚变反应持续发生。

核聚变的“燃料”易于获取，不会产生核裂变所出现的长期和高水平的核辐射，也不会产生放射性废物。因此，核聚变被认为有望提供近乎无限的清洁能源。一旦实现核聚变商业规模发电，将一举解决困扰全人类的能源紧缺问题，为应对气候变化、保护环境和解决贫困与发展问题注入不竭动力，从而改变人类的未来。

贺贤土指出，核聚变具有三大优势。首先，原料储量巨大，在核聚变中相对容易实现的是氘-氦聚变反应，海水中蕴藏了几乎取之不尽的氘，取一矿泉水瓶(约550毫升)的海水可提取约0.015克氘；而中子与锂-6作用可产生氦，海水和陆地中锂-6蕴藏量丰富，也几乎取之不尽。其次，核聚变反应不排放碳，也不会产生任何长期放射性废物。氘-氦聚变反应的最终产物是氦和携带大量能量的中子，不会造成任何污染，对环境很友好。最后，与核裂变不同，核聚变中，在物理上不可能发生类似切尔诺贝利或福岛事故的事件，因为一旦发生故障，反应就会自行熄灭。

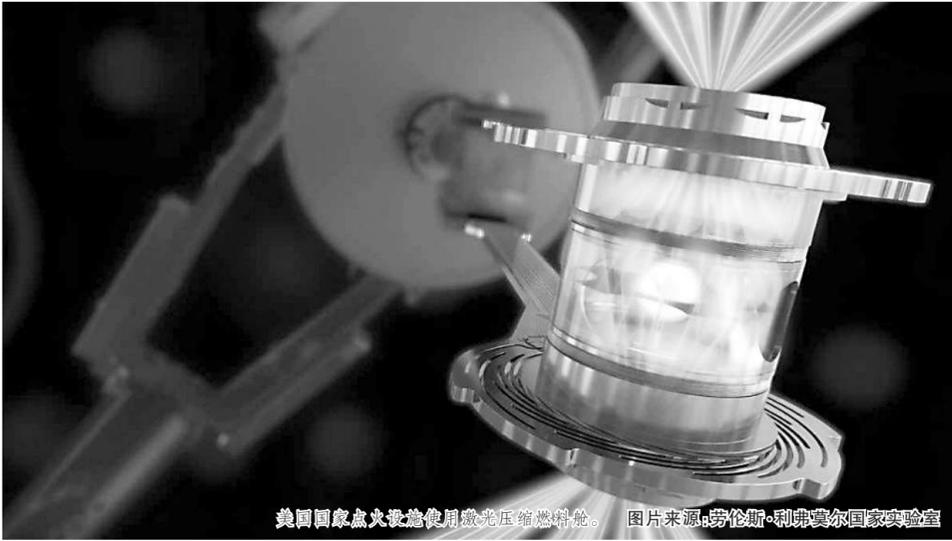
然而，核聚变反应极为剧烈，想要捕捉太阳之火，驾驭恒星的能量，最大的难点在于实现核聚变的稳定可控，即控制核聚变的速度和规模，以实现安全、持续、平稳的能量输出。可控核聚变已然成为实现能源用之不竭终极梦想的可能途径。

可控核聚变的两条技术路线

目前，在地球上实现可控核聚变主要有激光惯性约束和磁约束核聚变两大技术路线。

激光惯性约束核聚变是采用激光作为驱动器压缩氘氦燃料靶球。在超高温燃料等离子体的惯性约束时间内实现核聚变点火燃烧。这也是美国LLNL采取的技术路线。

磁约束核聚变是采用强磁场约束等离子体的方法，把核聚变反应物质控制在“磁笼子”里。托卡马克装置是实



美国国家点火装置使用激光压缩燃料靶。图片来源：劳伦斯·利弗莫尔国家实验室

现磁约束核聚变的理想容器，国际热核聚变实验反应堆计划(ITER)的目标就是建造最大、最复杂的托卡马克装置，以验证核聚变能源的科学和工程可行性。

自2022年以来，美国不断传来好消息，LLNL在激光惯性约束核聚变实验中两次实现净能量增益。在可控核聚变的两种技术路线中，激光惯性约束似乎更具前景。情况真的如此吗？

再次实现净能量增益

2022年12月，LLNL研究人员取得了一个具有里程碑意义的历史性成就：聚变反应产生的能量超过了输入的能量。在该实验室的NIF激光能量驱动下，含氘氦靶球产生足够的热量和压力，将氢的同位素氘和氚转化为可发生核聚变的等离子体。NIF输出了2.05兆焦耳的激光能量，反应产生的能量约为3.15兆焦耳，燃烧了靶球中约4.7%的氘氦装量。虽然这些数字远未达到商业核聚变反应堆的要求，但它为利用聚变反应堆发电带来了至关重要的希望。

今年7月30日，该实验室再次实现了点火，而且，反应堆产生了约3.5兆焦耳的能量输出。

LLNL发言人8月7日接受《新科学家》杂志采访时表示，目前他们正进行分析，并计划在即将举行的科学会议上提交最终结果。

激光惯性约束仍面临“拦路虎”

这意味着核聚变发电“梦想照进现实”了吗？《新科学家》杂志网站在报道中一针见血地表示，还没有。

贺贤土解释称，要使聚变反应输出的能量高于激光器输入的能量，需要改善激光器的性能。目前，NIF激光器本身效率极低。电能变为激光的能量效率约为0.5%，为产生2.1兆焦耳的光能，激光束至少需要提供大约400兆焦耳的能量。此外，NIF激光输出一次只能点火一次，且持续时间仅为几亿分之一秒，然后必须冷却几小时才能再次启动。而商业反应堆需要每秒点火多次。

“为使激光惯性约束聚变应用于能源，科学家们面临的一个重大挑战是建造高效、高重复频率的新型激光器，同时大幅提高靶球中的氘氦燃烧效率，创造一个聚变反应输出能量数倍于激光提供的能量的条件。”贺贤土强调。

宇宙早期时间只是“看上去”很慢

◎本报记者 孙明源

近日，澳大利亚悉尼大学发表的一篇研究论文显示，通过对宇宙中被称为类星体的古老天体的观察，科研人员发现距离宇宙诞生后大约10亿年的最早的类星体，其运行速度似乎比今天的类星体慢，是目前1/5。这是人们有史以来观测到的最早的宇宙学时间膨胀。

“宇宙早期时间流逝更慢”是误解

类星体是一些星系中心的物体，由一

个超大质量黑洞组成，黑洞周围是一个喷出高能粒子的热等离子体盘。人类看到的最早的天体出现在大爆炸后6亿年。

所谓的“时间膨胀”是否意味着宇宙早期时间流逝更慢，而从宇宙诞生以来，时间的流动速度一直在变快呢？中国科学院大学理论物理学博士研究生、知乎2022年度新知答主王清扬告诉科技日报记者，这种理解是错误的。人类观测到光的频率在下降，是宇宙膨胀带来的红移效应，并不代表时间真的在加速流逝。

“时间随着宇宙膨胀不断加速，是近年来在网络上流传甚广的一种错误理解。”王清扬说。

人类观测到光的频率在下降，是宇宙膨胀带来的红移效应，并不代表时间真的在加速流逝。



视觉中国供图

宇宙膨胀指的是宇宙诞生以来，范围尺度不断随时间扩大的现象。它意味着宇宙中任意相距遥远的两点之间的距离都会随时间扩大。这种现象会导致在宇宙空间中传播的光的波长随时间拉长。

假如宇宙的尺度经过一段时间膨胀成了原先的两倍，那么对于一束在宇宙中传播的光来说，它的波长也会被拉长为原先的两倍。由于电磁波的频率与波长成反比，所以上述现象相当于光的频率降低为原先的1/2。从人类的观察结果来看，就是“时间变慢了1/2”。

王清扬介绍，电磁波谱中频率较低的一端被称为红端，因此光随宇宙膨胀频率降低的现象被称为“宇宙学红移”。

同理，不是只有光的频率会有这种红移效应，宇宙中其他事件的频率也会有这种效应。

王清扬举例说，假如在几十亿年前，在宇宙的尺度只有现在的一半的时候，有一个天体以每秒一次的频率发射信号，那么宇宙膨胀至今，现在时刻人类接收到信号的频率就是两秒一次。这看起来就像是早期宇宙的时间比现在慢一样。

来自过去的画面被“慢速播放”

“但这只是‘看起来’而已，在宇宙演化的任何一个时期时间流逝的速度其实都是

未来任重而道远

英国伦敦帝国理工学院等离子体物理学教授杰里米·奇滕登指出，此次具有里程碑意义的点火有效地证明核聚变科学是合理的，并使科学家们面临的问题成为工程问题而非物理问题。贺贤土说：“虽然LLNL反应堆的效率会进一步提高，但要使这种设计商业化，还需要进行根本性的改变，因为这是一种将激光能量转换为热X射线后，加热含氘氦燃料靶球进而驱动内爆的间接驱动方法，靶球接受的能量少，效率低。”

激光惯性约束聚变还包括激光直接作用靶面的直接驱动方法和最近提出的混合驱动方式。后者充分利用间接和直接驱动优点，克服了相应缺点。这两种方法的激光利用率高，而NIF激光器结构只适用于间接驱动方法。

不过，贺贤土也指出，对于惯性约束聚变来说，除产生能源以外，目前更重要的是用于国家安全研究和高能量密度科学研究，后者为认识天体现象、高压下材料特性以及新材料研究、先进的激光加速器等高技术研究等方面提供了十分重要的基础。

其实，除了激光惯性约束核聚变，中国、欧盟自去年以来在磁约束核聚变领域也在不断取得突破。ITER组织副总干事罗德隆介绍，中国HL-2M托卡马克创造了等离子体电流超过100万安培的运行纪录，中国全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)成功实现稳态高约束模式等离子体运行403秒纪录，欧盟JET项目实现在连续5秒的时间内产生59兆焦耳能量。“这些进展也坚定了全球对磁约束可控核聚变的信心。”罗德隆表示。

但是奇滕登也明确强调一点：聚变反应堆至少还有多年才能投入使用，人类或许不能依靠这项技术来解决当前的气候变化危机，在中短期内，清洁和丰富的能源只可能来自可再生能源。

谈及核聚变的未来，罗德隆的判断是，到本世纪中叶即有可能迈出聚变能源的第一步。当然，能发电和大规模的商业应用之间还有一定的距离，但能够证明这条路线的可行性。“自人类最早提出托卡马克核聚变装置，到托卡马克实现商业发电，乐观估计也需要整整一个世纪。一代又一代的科学家和工程技术人员全身投入其中，很多人无法看到核聚变商用的繁荣景象，但对未来的共同期待和愿景，对核聚变能成功带来无限清洁能源的信念，推动着人类向真正实现能源独立不断迈进。”罗德隆说。

一致的。看起来变慢只是因为宇宙的尺度膨胀拉长了两个信号的间距，使得下一个信号延迟了一段时间到达我们这里，并不是说信号发出时的时间流逝比现在慢。”王清扬解释说。

悉尼大学发表的论文亦对190个类星体的数据按照红移程度进行了分组。研究人员指出，来自遥远物体的光被拉伸出更长的波长、更低的频率。从观测端看来，就像是与现在发生的相同事件相比，遥远的宇宙事件似乎开展得更慢。

然而，这并不是说早期宇宙是慢动作的，几十亿年来如果有人生活，他们也会看到到时间的正常演变。

“在一定情况下，时间流逝真的会变慢，例如在黑洞等大质量天体周围。”王清扬介绍，如果人们在太阳附近放一块表，就会看到它走得要比地球附近的表慢。这种情况才是真正的时间变慢。根据爱因斯坦的广义相对论，在强引力场中，相对于弱引力场而言，时间的流逝速度会变慢。

“对观察结果的片面解读，或是对科学名词望文生义的理解，都可能导致错误的说法流传。我们应该认清，宇宙里的时间并没有在加速运行。只是我们观察到的来自过去的画面，由于宇宙的不断膨胀被‘慢速播放’了而已。”王清扬说。

新知

人类系统使用燃煤 历史推前约一千年

◎本报记者 颜满斌 通讯员 法伊莎 刘宇萱

在中国新疆伊犁尼勒克县，喀什河河边，十几米高的断崖上显露出黑褐色斜向纹理的岩石。当夏季气温较高时，裸露的煤炭偶尔会发生自燃，升起缕缕青烟。3000多年前的古人是否同样看到如此景象，从而受到启发，开始使用煤炭作为燃料？

近日，在兰州大学资源环境学院教授董广辉的指导下，该学院自然地理学专业博士生仇梦晗牵头，联合新疆维吾尔自治区文物考古研究所、中国人民大学等研究机构的科研人员，在《科学·进展》期刊合作发表了一篇研究论文。该研究通过多学科证据，深度揭示了中国新疆伊犁尼勒克县吉仁台沟口遗址先民自3600年前起系统利用烟煤燃料的内涵，将人类最早系统燃煤的历史推前了约1000年。

证据链还原史前煤炭系统开发利用图景

基于考古学证据和文献记录，世界公认最早系统开发利用煤炭作为燃料的可靠证据来自汉朝。但有关史前时代系统开发煤炭燃料的直接证据始终缺失，直到中国新疆伊犁尼勒克县吉仁台沟口遗址的考古发掘工作推进，相关证据才浮出水面。

自2015年起，新疆维吾尔自治区文物考古研究所开始对吉仁台沟口遗址和墓地进行考古挖掘，发现了煤炭的使用现象，还发现了冶铜活动的相关证据。随后的一系列发现表明吉仁台沟口遗址很可能是该时期伊犁河上游地区的一处中心性聚落。此后，中国人民大学与兰州大学资源环境学院的环境考古研究团队在考古工地开展合作研究。

吉仁台沟口遗址在伊犁河的一条主要支流——喀什河出口右岸的台地上，北、东、西三面环山，河流向南出山流入尼勒克谷地。“吉仁台沟口遗址是一处青铜时代大型聚落遗址。相比于墓葬，聚落遗址能够为我们提供更立体、丰富的人群生活信息。”仇梦晗说。

研究团队通过对吉仁台沟口遗址进行碳十四测年，并利用贝叶斯模型对年代数据进行统计分析，将遗址主要的人类活动厘定为两个时段，即距今4500—4300年(早期)和距今3600—2900年(晚期)。其中，遗址的主体属于晚期阶段，大量的煤炭遗存广泛出土于这一时期的文化地层。

在遗址中有成堆放置的煤炭，一般分布在房址的周边，这很可能是古人有意为之，方便随时取用。在房址的地面上，有时候会发现灰色的煤灰，还有一些没有完全燃烧的煤，在一些炉子和房址的火塘里也存在煤渣。

研究团队对遗址周边的6处煤层露头和遗址中采集的部分煤炭样品进行了铀钍同位素、碳氮元素含量以及38种微量元素含量的测定，发现其中3处煤炭露头与遗址遗存的煤炭联系更紧密，很可能是遗址煤炭的来源，表明古人煤炭选择的多样性。

同时，遗址中的煤炭碳含量相对较高且比较稳定，但是不同露头的煤炭碳元素含量的波动比较大，说明人类可能已经了解到不同地点煤炭性质的差异，进而有选择地取用了更优质的煤炭。

在后来的发掘中，考古队还在遗址中发现了木车，这或许能解释古人运输煤的交通工具问题。“这些考古学现象揭示了一个完整的有关煤炭燃料开发的证据链，表明当时人类已经系统地开发使用煤炭燃料。”仇梦晗说。

开启人地关系新篇章

当时的古人为什么需要大规模地使用煤炭呢？

研究团队对遗址周边的自然土样及遗址早晚两期不同区域的土样进行了分析。结果显示，遗址晚期地层中的冶炼地点重金属元素明显富集，某些点位的铜元素浓度甚至达到了自然值的50倍。

结合考古发掘中发现的冶金活动证据链，进一步证实了吉仁台沟口是当时的区域性冶金中心的判断，而冶金必然伴随着大量能源需求。

研究团队还对遗址早晚两期的炭化木材遗存进行了种属鉴定，发现遗址早期人群在选择木材燃料时，更倾向于选择燃烧热值更高、质地更软的针叶材。

但是，遗址晚期人群却弃用针叶材，转而选择煤炭作为主要燃料，这又是为什么呢？

团队推测，到遗址晚期时，相对寒冷的气候导致了周边植被的退化，特别是针叶林的萎缩。规模更大的聚落和更高强度的冶金活动带来的燃料能源需求，叠加木材资源供给的减少，共同激化了当地社会与环境间的矛盾，最终促使当地人打破传统，进行能源转型。

选择性开采、有计划地存储以及生产生活中广泛的燃烧利用，表明煤炭并非为某一社会阶级或某个生产部门所独占。“在吉仁台沟口，系统开发烟煤燃料最终推动形成了一个独特的复杂化社会。”仇梦晗说。

研究人员介绍，在中国伊犁地区，可能是受到了距今4200年前开始的一次全球性气候恶化事件的影响，距今4200—3800年间的人类活动出现衰退。

距今约3600年前，新疆西北部地区形成了更为复杂成熟的生产作业方式。吉仁台沟口遗址晚期人群不仅掌握多种农作物的种植和家畜的养殖技术，还具有制铜工业，显著增强了社会的复杂化程度和稳定性。社会发展需求、气候环境恶化共同胁迫史前社会进行能源转型。

人类活动和环境总是相互影响的。“我们的研究有两个有意思的点：以往的研究大多从动植物利用的视角去观察人类生活怎样适应环境的变化，但这次是从燃料的视角揭示了人类面对资源短缺时会做出怎样的选择；第二是人类活动对环境的影响。在进行土壤元素分析时，我们发现人的冶铜活动导致了土壤污染，这是典型的人类活动影响环境的表现。”董广辉说。

董广辉说，团队一方面会继续拓展研究区域，探寻周边甚至更远的地方是否有新的证据，推进对于早期用煤的时空分布特征的认识；另一方面，团队着眼于大量燃煤产生的环境影响，不只局限于局部的土壤污染，还计划对遗址不远处的湖相沉积地开展研究，进一步完善对史前时代煤炭资源利用的认识。