

基于激光约束的核聚变试验实现了能量正增益，互联网上有人对此激动不已，准备“下海”捞金。

美国核聚变： 难破“还有50年”魔咒

文 / 刘长江

谈及核聚变成功，人们听得最多的就是“还有50年”。2022年年末，一则来自美国的消息再度引发人们对这一技术的兴趣。

2022年12月13日，美国能源部、美国国家核安全管理局、劳伦斯利弗莫尔国家实验室（LLNL）联合举办新闻发布会，宣布“国家点燃实验设施”（NIF）在2022年12月5日的一次实验中首次实现了聚变能量超过输入能量。

据悉，该项目实验中利用激光发射器输出了2.05兆焦耳能量，引发的核聚变反应产生了3.15兆焦耳的能量，反应产生的能量比用于产生它的激光中所包含的能量多，约为1.5倍。

消息一出，互联网上就出现各种声音，准备“下海”捞金者有之，某

投资人甚至声称，核聚变发电马上就来了；马上联想到政治者有之，有观点认为，这是美国在敲打沙特——以后不需要石油了。

问题是，这一技术突破对核聚变发电的意义有多大？

《经济学人》以“美实现‘核聚变突破’？噱头大于现实”为题进行报道。该文章认为，新闻可能选择性地夸大了氘作为核聚变燃料的优点，却轻易地忽略了其他事实。

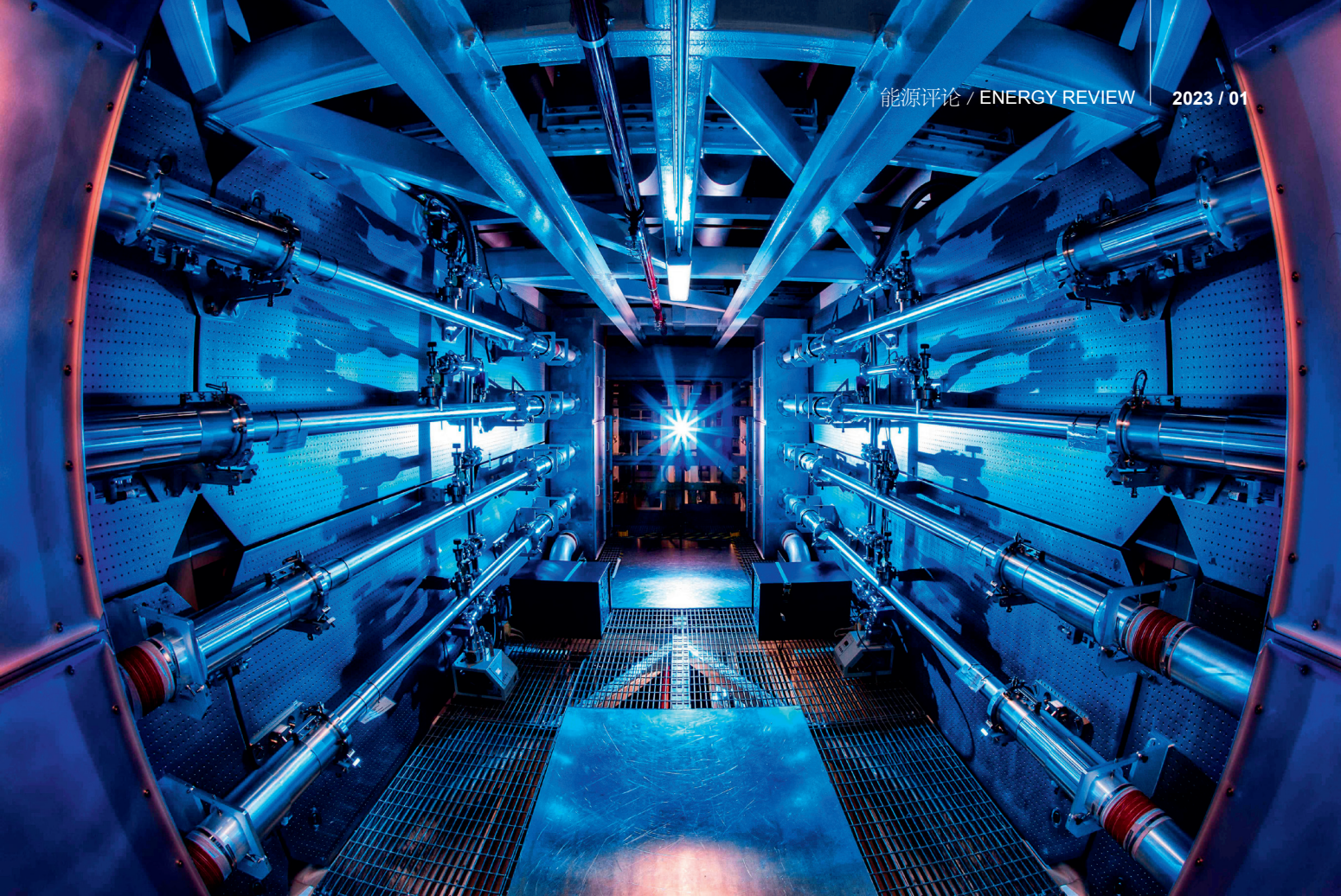
中国工程院院士杜祥琬对这一实验成果保持了更谨慎的看法。他表示，美国国家点火装置实现的净能量增益，是科研上的进展，但离产生上百倍的高增益目标还差得很远，更不用说变成真正清洁、无限能量的“人造太阳”。学界

主流看法认为，托卡马克装置的磁约束核聚变实现商用化更有希望，是真正走向聚变能的技术途径。

有专家表示，LLNL的核聚变实验产生的能量只能烧开10壶水，而为了产生这些能量，NIF在整个过程中消耗了高达322兆焦耳的能量。据报道，NIF从1997年开工到2009年正式落成，总投入不低于35亿美元。

激光约束路线一波三折

从原理上看，核聚变就是将两种较轻的元素结合在一起，形成较重的元素的过程。简而言之，这与太阳提供能量的方式相同，即氢原子的质子以令人难以置信的高温猛烈碰撞，融合在一起产生氦原子。



“今天的成果再放大100倍才有应用潜力，至于产业化的价值则更微小；如果规模发电的前提是规模耗电，是难以产业化的。”

在地球上，核聚变是通过融合元素氘（重氢，D）和氚（超重氢，T）来实现的。氘的含量非常丰富，可以在水中找到，尤其是海洋中；而氚的含量较低，主要存在于大气中，是宇宙辐射的结果。此外，氚也可以在核爆炸中产生，是核反应的副产品。

太阳的巨大引力使它能够将聚变氢原子，但要在地球上创造聚变，科学家需要施加大约1亿摄氏度的温度和极高压力，要比太阳核心温度高约10倍。

多年来科学家一直在探索如何利用激光使氢原子发生核聚变，但过程并不顺利，可谓一波三折。

1972年，美国物理学家Nuckolls首次在《自然》杂志发表了基于内爆方式

的激光聚变方案，又称中心点火方案。

这一年，被学术界称之为激光聚变元年。

LLNL自1997年始，便以实现聚变能量输出大于输入的激光能量为目标，建设了拥有192路、总能量约为2兆焦的NIF——采用间接驱动方案，192路激光从圆柱金质黑腔的上下底面入射，辐照在黑腔内壁上，产生空间均匀的X射线辐射场。X射线辐照在置于黑腔中心的氘、氚燃料靶丸外表面，产生烧蚀、压缩、点火。

“随着密度、温度的增加，燃料中心区域压强可以与太阳核心的压强相当，从而引发聚变反应。当聚变功率超过了能量损失功率时，形成可自

>> 美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室“国家点燃实验设施”内部。

持燃烧的热斑，即为点火。当燃烧波从热斑向外扩散时，点燃周围燃料，实现净能量增益。”上海交通大学物理与天文学院院长聘教轨副教授吴栋说。

据媒体报道，2021年8月8日，NIF采用了更大的靶丸尺寸与更小的激光入射孔径，获得了1.35兆焦的能量输出，能量增益达到了0.7，相较于同年先前的实验发射能量产出增加了近十倍。当时的实验首次证明NIF已经实现了物理意义上的点火。如今，NIF有了新的突破，2022年12月5日，实现了聚变能源意义上的净能量增益。

LLNL的主任金·巴迪尔说：“在实验中所追求的聚变点火，是人类有史以来所应对的最重要的科学挑战之一，实现它是科学的胜利、工程的胜利，但最为重要的是人类的胜利。”

据《华尔街日报》报道，2022年12月1日，核聚变初创公司Commonwealth Fusion Systems表示，已经筹集到了超过18亿美元的投资。这一数字，刷新了核聚变私人投资额的新纪录。比尔·盖茨、乔治·索罗斯、马克·贝尼奥夫等一众投资大佬，以及谷歌的母公司Alphabet、DFJ Growth等企业纷纷参与投资。

我国两大技术路线均有布局

核聚变领域的主流技术主要包括磁约束和惯性约束（激光约束）两大路线。我国在这两条技术路线上都有布

局。

在激光约束领域，20世纪60年代，激光器一问世，科学家们就开展了激光核聚变的研究。当时，苏联科学家巴索夫和中国科学家王淦昌分别独立提出了用激光照射在聚变燃料靶上实现受控热核聚变反应的构想，开辟了实现受控热核聚变反应的新途径——激光核聚变。

1974年，中国采用一路激光驱动聚氘乙烯靶发生核反应，并观察到氘氘反应产生的中子。此外，著名理论物理学家于敏在20世纪70年代中期就提出了激光通过入射口、打进重金属外壳包围的空腔、以X光辐射驱动方式实现激光核聚变的概念。1986年，中国激光核聚变实验装置“神光”研制成功。

在磁约束领域，自1960年开始，中国以“托卡马克”为主要研究途径，基于此技术先后建成并运行三大聚变反应堆：华中科技大学的J-TEXT装置、核工业西南物理研究院的HL-2M装置和中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所素有“人造太阳”之称的EAST全超导托卡马克装置（东方超环），向国际热核聚变实验反应堆（ITER）计划提供结果。

20世纪80年代，中国制定了“三步走”——热堆、快堆、聚变堆的核能发展战略，随后加入ITER计划，进一步推动中国聚变能源研究进入国际阵营，为建成中国自己的核聚变反应堆做准备。

科技部中国国际核聚变能源计划执行中心副主任王敏曾表示，通过参加ITER计划，中国无论是聚变技术，还是国际大科学工程管理都有了大幅度提升。可以说，在参与ITER计划的各方中，中国是进步最快、加速度最大的一方。

2020年12月，中国新一代“人造太阳”装置——中国环流器二号M装置（HL-2M）在四川成都的核工业西南物理研究院正式建成并实现首次放电；2021年12月，中国“人造太阳”EAST成功实现1056秒的长脉冲高参数等离子体运行，成为世界上托卡马克装置实现的最长时间高温等离子体运行，打破世界纪录；2022年10月，中国宣布HL-2M装置的等离子体电流突破100万安培，创造可控核聚变装置运行新纪录。

根据规划，中国以现有中、大型托卡马克装置为依托，瞄准国际核聚变前沿课题研究，在磁约束聚变领域建立了近期、中期和远期技术目标。中国聚变工程实验堆的规划是：到2050年，聚变工程实验堆实验成功，开始建设聚变商业示范堆。

商业化前景“还有50年”？

有专家认为，前人积攒下的经验已经让核聚变显露商业化前景。

“最近的技术进步意味着核聚变已经不再是一个理论科学实验，开始慢慢展现出商业化的潜力。”突破能源基金的专家Phil Larochelle认为，可控核聚

2020年以来可控核聚变获得风险资本情况

年份	公司	所属国家	融资轮次	融资金额
2020	TAE (Tri Alpha Energy)	美国	战略投资	1.3亿美元
2020	Tokamak Energy	英国	B轮	6700万英镑
2021	CFS (Commonwealth Fusion Systems)	美国	B轮	18亿美元
2021	General Fusion	美国/加拿大	E轮	1.3亿美元
2021	Helion Energy	美国	E轮	5亿美元
2021	Zap Energy	美国	B轮	2750万美元
2022	First Light Fusion	英国	C轮	4500万美元
2022	EX-Fusion Inc	日本	种子轮	1.3亿日元
2022	Kyoto Fusioneering	日本	B轮	1860万美元
2022	HB11 Energy	澳大利亚	战略投资	1580万美元
2022	能量奇点	中国	天使轮	4亿元人民币
2022	星环聚能	中国	天使轮	数亿元人民币

>> 信息来源：投资界网站

变是人类获取能量方式的一大改变，在人类历史上，其重要性可能与掌握火种并驾齐驱。

美国初创企业英联邦核聚变系统公司的联合创始人兼首席执行官Bob Mumgaard则认为，“时间，已经将科学和工程推进至人们能想象出未来核聚变发电站样貌的地步。现在虽然距离（核聚变商业化）非常接近，但尚未到达。”

也有机构人士对此持观望态度。“大部分媒体关注的‘净能量收益’的

科研意义大于实际，甚至有点炒作的嫌疑，所谓的核聚变发电还遥不可及。”海银资本合伙人王煜全说，这次实验并没有技术上的突破，实验成果的科研意义比较大，产业价值暂时可以忽略不计。“今天的成果再放大100倍才有应用潜力，至于产业化的价值则更微小；如果规模发电的前提是规模耗电，是难以产业化的”。

近年来，随着硬科技投资趋势热潮来临，以及业界对新能源的高度重视，一批商业资本、风险投资开始涌入

核聚变能源的创业公司。

据不完全统计，谷歌、高盛、盖茨基金会、红杉中国、蓝驰创投、中科创星、顺为资本、和玉资本、险峰长青、联想之星等国内外机构都已经在这一领域布局。

2022年2月，成立于2021年的能量奇点宣布完成近4亿元人民币的首轮融资，米哈游和蔚来资本领投，红杉中国种子基金和蓝驰创投跟投。该公司计划，融资主要用于研发和建设基于全高温超导材料的小型托卡马克实验装置，以及研发可用于下一代高性能聚变装置的先进磁体系统。

2022年6月，陕西星环聚能科技有限公司正式对外宣布，完成数亿元天使轮融资，用于可控聚变能开发。顺为资本、中科创星、昆仑资本等十多家机构参与投资。陕西星环聚能科技有限公司成立于2021年，获得本轮融资后，将在陕西省西咸新区建设球形托卡马克聚变装置。

事实上，在主流技术之外，还有一个用超声波触发核聚变的技术路线。2003年，美国科学家泰斯恩创建“脉冲装置公司”，雇佣“声致冷光”的研究人员开发直径为6米的超声聚变反应堆。但近年来鲜见报道。

无论是哪条技术路线，从实验成功走向未来的商业化，预计都需要很长时间，仍难以打破“还有50年”魔咒。但来自美国旧金山的一只蝴蝶已经在扇动翅膀，也许正有一阵龙卷风将要席卷古老的化石能源丛林，值得拭目以待。■