

源一起成为去碳化的王牌。

只是可控核聚变，这份看上去事关人类命运共同体的伟大事业，花费了全球科学家几十年的时间，却一直进展缓慢。直到去年12月份，美国在核聚变研究上首次实现“净能量增益”（产生的能量超过投入量），这意味着，人类可能距离拥有“近无限、安全、清洁”的能源又迈出一步。

其实，在中国合肥市西郊的科学岛上，也有一座大科学装置——EAST（Experimental Advanced Superconducting Tokamak），全称是全超导托卡马克核聚变实验装置。大家给它起了一个可爱的名字——“人造太阳”。2023年2月末，“人造太阳”EAST牵头人、中国工程院院士李建刚在墨子沙龙上，向我们讲述了中国人在可控核聚变征途上的一次次突破。

“我最大的梦想就是在我的有生之年，能够有一盏灯被核聚变点亮，这盏灯一定要在中国合肥。”这是中国工程院院士李建刚五年前在中央电视台《开讲啦》节目中许下的愿望。五年后的今天，李建刚“修改”了曾经的表达：“过去我认为我的有生之年不一定看得到的，所以叫做‘梦想’，而现在，新的时代和机遇给了我们绝佳的舞台。我相信十年之内，一定能看到有一盏灯在合肥被核聚变点亮。”

## 核聚变——人类终极能源

1905年9月27日，爱因斯坦提出了著名的质能方程： $E=mc^2$ ，能量等于质量乘以光速的平方。质能

方程的另一种表示是： $\Delta E=\Delta mc^2$ ，产生的能量等于减小的质量乘以光速的平方。这预示着伴随着质量的亏损会释放出巨大的能量，由此开启了核能时代。

随着原子质量数的增加，每个核子（质子和中子）的平均质量会经历先减小后增大的过程，因此核反应存在两种：重核裂变与轻核聚变，对应的核能分别为核裂变能与核聚变能。

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。这种反应在宇宙中非常普遍，所有自发光的天体（即恒星）都是天然的聚变体。距离我们最近的恒星是太阳，在太阳内部约有百分之一的区域称为日核区，这里温度极高、压强极大，如此环境使得聚变反应持续发生。

可控核聚变，重现的是与太阳相同的反应，就是将氢原子核相互碰撞之际发生的能量用于发电。在理论上，1克燃料可产生相当于8吨石油的能量。如果可以实现像太阳一样的连续核聚变反应，我们便可以得到持续的能量产出，人类的能源困局和环境危机便会迎刃而解。

李建刚院士指出，可控核聚变具有三大优势。

首先，原料储量巨大。目前相对容易实现且期望被率先实现的是氘—氚聚变反应。其中氘原料存在于海水中，地球上海洋面积辽阔，其中蕴藏了超过40万亿吨的氘原料。1升海水就可以提取约0.03克的氘，后者产生的聚变能相当于300升汽油，能让一辆汽车从北京到广州跑个来回。所以说，海水里边的氘资源可以供我们人类用100亿年！

可控核聚变的原料来源广泛，原料利用率高，可以说是“取之不尽，用之不竭”。

其次，氘—氚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，对环境是友好的。

最后，核聚变反应具有固有安全特性。所谓固有安全性，就是永远都安全。即便在极端失控条件下，它会在短时间内自行终止反应，产生的也只是氦气，没有长寿命的放射性气体，非常安全可靠。

“可控核聚变发电时不产生二氧化碳，只要停止燃料供应，反应立刻停止，与核电相比，安全方面的风险很低。”李建刚说，一座100万千瓦的电站，如果是采用煤发电，大概要消耗150—200万吨煤，产生400—500万吨的二氧化碳排放。如果是裂变核电站的话，那么需要30吨铀，而聚变核电站的话，每年仅消耗150公斤重水和锂，且和裂变核电站一样，完全没有二氧化碳排放。

由此可见，可控核聚变无疑是“碳中和”背景下的必然选择；它的原料来源广泛，原料利用率高，相对于人类文明的时间尺度来说，可以说是“取之不尽，用之不竭”。“人类终极能源是80%的聚变加20%的可再生能源。”李建刚说。

## “人造太阳”两大难

那么，我们如何实现可控核聚变呢？

与核裂变相比，核聚变反应的效率更高，但实现难度更大。核聚变反应需要同时满足三个条件：足够高的温度、一定的密度和一定的能量约束时间。