

未来能源的唯一方向——

人造太阳即将成为现实?

大地被清新的绿意所覆盖,天空上是树状延伸的恢弘城市,数不清的飞行交通工具穿梭其中;地球成为了人类的理想乐土,饥饿被消灭,战争不复存在,人类将视线投向了太空;苍穹的尽头,无数庞大的战舰正在宇宙中巡航,人类的足迹早已踏遍太阳系每一个角落……

这是刘慈欣在其科幻小说《三体II:黑暗森林》中所描绘的未来图景。在那个尖端物理科技依旧被“量子”所封锁的年代,人类依靠某个“永动机”般的技术,实现了不可思议的蜕变。

这项技术,名为可控核聚变。

这是科幻作品中最经常出现的概念之

一,然而距离人类首次试图去实现这一技术,迄今已有将近百年。现实与幻想的差距,仿佛是有着一个难以撼动的“永远的50年”的壁垒。

不过就在近期,随着一个重磅消息的传来,可控核聚变技术的应用,似乎终于变得不再那么遥不可及。

日前,可控核聚变未来产业推进会在成都召开,由中核集团牵头成立了可控核聚变创新联合体。会上表示,今年以来,国务院国资委启动实施未来产业启航行动,明确可控核聚变领域为未来能源的唯一方向。

“唯一”一词,无疑令人充满了遐想。

能源领域的“圣杯”

20世纪50年代,科幻大师艾萨克·阿西莫夫开始了“银河帝国”系列的写作。他在其数百万字的系列作品中,构想人类开启了恢弘的星际殖民运动,建立了一个统治着2500万个行星、疆域横跨十万光年、总计数兆亿人口的庞大帝国——这几乎是科幻小说对人类命运作出的最浪漫预言。

而彼时的现实世界,二战硝烟还未散去,冷战铁幕已然拉开,世界上大部分地区都还深陷饥饿、贫困之中……在悲观的现实图景下,以阿西莫夫为代表的科幻作家们,却敏锐地捕捉到了某个关键的变量:核能。

原子弹在终结二战的同时,也向世人展示了核能的巨大潜力。当时运用可控核裂变发电的技术,已初现曙光。

写作于同一年代,科幻大师罗伯特·A.海因莱因的小说《星际迷航》中,燃料不再成为星际探索的枷锁,人类随时可以离开拥挤的地球,前往广袤的星海中遨游。核能,当之无愧地成为了此类科幻作品最重要的“地基”。

然而现实中,从上世纪60年代到80年代,可控核裂变发电技术趋于成熟,其内在的诸多难题也逐渐浮现出来:原料稀缺、废料难以处理,其反应过程具有危险性,稍微不慎就能酿成灾祸……哪怕是直到现在,全球核电发电比例,也只达到了10%。

很自然地,理论上更安全、清洁、效益更高的可控核聚变技术,成为了如今能源领域的“圣杯”。

最重要的是,核聚变反应的原料可谓是“取之不竭”。以最容易实现的“氘氚聚变”为例,“氘”元素在海水中的储量约为7乘以10的

17次方吨,“氚”则可以通过中子轰击自然界中广泛存在的“锂”元素来产生;同时,“氘氚聚变”的过程正好会释放出一个中子,可以用于生成“氚”元素。

根据爱因斯坦的质能方程式“ $E=mc^2$ ”,核聚变释放的能量,可达到核裂变的4倍、燃烧煤和天然气的400万倍。

在理想状态下,每秒只用消耗少于3克重量的反应原料,就能够支撑起当下全世界的发电量。而地球上反应原料的储量,即使是用量再大上几个数量级,直到50亿年后太阳熄灭的那一天,都不会被耗尽。

这也就意味着,可控核聚变发电技术一旦真正实现,人类将进入“无限能源”的时代,文明进程将迎来前所未有的飞跃。

现在,抱着对美好未来的憧憬,人类正竭尽所能地去取得“圣杯”。

人类再造太阳的野心

1985年,时任苏共中央总书记的戈尔巴乔夫向美国发出倡议,签订可控核聚变项目的合作研究协议,以减少因争夺能源可能引发的国际争端。

以此为伊始,“国际热核聚变实验堆计划”(ITER)成为了全球规模最大、影响最深远国际科研合作项目。目前,项目的参与者有欧盟、美国、中国、俄罗斯、日本、韩国、印度。

ITER项目的选址,位于法国南部的一个小镇圣保罗-莱迪朗斯。来自世界各地的顶尖工程师和技术人员,鼎力合作,计划在2025年完成全球最大的“人造太阳”实验项目的初步建设。

之所以被称为“人造太阳”,是因为核聚变的原理和太阳内部的情况极为相似:

在高温之下,氘和氚反应产生氦和中子,并释放出大量能量。另一方面来说,太阳是地球上几乎所有能源的直接或间接来源,“人造太阳”代表着人类从更多维度上获取能源的伟大尝试。

然而再造一个“太阳”,需要鬼斧神工般的精密雕琢。

首先,核聚变需要在极端高温高压的条件下才能发生。现阶段人类无法模拟出太阳内部那样的高压环境,而在常压情况下,反应的温度需要达到1.5亿摄氏度,即太阳核心温度的10倍。

在成功达到1.5亿度的高温后,“容器”成为了最难解决的问题。在人类已知的物质中,熔点最高的也仅有4215℃。

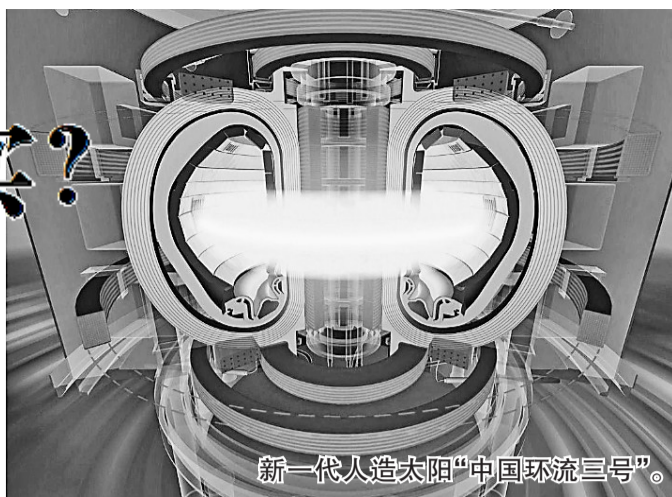
几十年来,科学家论证、尝试了无数“容器”,确认了“托卡马克装置”是最可靠的一种方案:该装置的目标是通过制造强大的磁场,将变成“等离子体”的反应原料“磁约束”在装置内部的真空腔中,在精密的控制下,保证反应物不会直接和“容器”接触。

而ITER正在制造的“托卡马克装置”,正是一个包含近百万个组件、总重2.3万吨的庞然大物,重量相当于3个半埃菲尔铁塔。

为了保证性能,在找到更好的超导材料之前,“托卡马克装置”外部的超导磁体需要在接近绝对零度的-270℃(液氮温度)环境下运行——相比装置内部的1.5亿度,这是真正“冰火两重天”般的温差。

毫无疑问,这将会是一个凝聚了人类文明最尖端智慧的“科技奇观”。

据推算,ITER项目估计已累计投入超过600亿欧元,是最烧钱的国际科研合作项目之一。



曙光或已显现

值得一提的是,在ITER项目前景尚未明朗的2023年,可控核聚变技术依然取得了许多重大进展。

2023年,美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室(LLNL)宣称,在不同于“托卡马克装置”的另一条路径上,多次实现了可控核聚变的“点火”(即实现了能量的净增益)。

项目的首席女科学家安妮·克里彻凭借这一里程碑式的成就,成功入选《自然》杂志年度十大科学人物。

该点火装置总花费约40亿美元,包含了6万个高科技组件。许多数十吨重的设备,安装误差必须小于100微米;设备运行时需要在长达1公里的厂房内,让92门激光在1纳秒内同时发射。

2023年4月,中国的“东方超环”全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST)稳态运行时间达到了403秒,突破了此前同样是它创下的101秒的纪录;几乎同时,韩国聚变能源研究院宣布,该国的托卡马克试验装置,已成功维持高达1亿度的高温等离子体达到20秒,创造了新的世界纪录。

新技术发展过程中,每一个技术细节的研究迭代,每一秒维持时间的延长,都需要人类付出超乎想象的努力。

去年8月,新一代人造太阳“中国环流三号”首次实现100万安培等离子体电流下的高约束模式运行。12月,负责该研究装置的核工业西南物理研究院与ITER签署协议,宣布“中国环流三号”面向全球开放,分享相关



研究成果,并邀请全世界科学家来中国集智攻关。

经过这些年的追赶,中国事实上走在了全球前列。

此次可控核聚变领域,被中国确定为未来能源的唯一方向,以及可控核聚变创新联合体成立的相关消息,犹如拨云见日,给该领域的研究注入了一针强心剂。

“唯一方向”意味着,中国将发挥自身的各项优势,毫不犹豫地加大研发投入,集中力量攻克技术难关。

随着相关研究的持续推进,这两年间,不少国家纷纷推出了自己的可控核聚变研究计划,将原有的时间表大幅度提前。同时,国内外民间资本也开始关注并涌入这一崭新的“赛道”,在部分研究项目的宣传中,甚至将实现商业化可控核聚变的时间定在了2030年——其是否可靠姑且不论,从全人类发展的角度来讲,这种内卷的趋势,或依旧是一件值得鼓励的事情。

在科研领域,想找到那条正确的道路,必然要经历无数次的“试错”。因此,人类什么时候才能真正驾驭“人造太阳”,目前尚无确切的说法。但“永远的50年”这一魔咒或已破除,曙光已然显现,正如“托卡马克装置”之父、苏联物理学家阿齐莫维奇所说的那样——“当整个社会都需要的时候,聚变就会实现。”

徐乃帅

“人造太阳”的温度有多高?

每年太阳释放到地球的辐射光线相当于130亿吨煤,给地球带来巨大的能量资源。“人造太阳”也一样,释放能量的时候,只产生对人类无害的气体。

“人造太阳”顾名思义就是和太阳一样。太阳时时刻刻内部都在发生核聚变,在高温高压下由内向外辐射,它的内部反应是极其激烈的,虽然表面温度只有5500℃,但内部温度却达到了1600万℃。

之所以有这么高的温度和能量,主要是因为太阳内部的氦在超高温和超压的条件下,让核外电子摆脱原子核的束缚,使两个原子核能够互相吸引,从而碰撞到一起,然后引起原子核互相聚合作用。

“人造太阳”便是以此为基点设计的,目前我国“人造太阳”释放的最高温度高达2亿℃,是太阳温度的13倍。

在2021年5月的时候,国家重大科技基础设施EAST全超导托卡马克装置“东方超环”传来捷报:实现可重复的1.2亿℃101秒等离子体运行和1.6亿℃20秒等离子体运行,再次创造了人造太阳运行的世界纪录。

但很多人可能会感到疑惑,“人造太阳”的温度这么高,当它从内部散发热量的时候,它的容器壁为什么不会融化呢?

这是因为“人造太阳”内部是真空的,真空能够阻隔热量。就像太空环境那样,尽管太阳一直在不停地燃烧,温度高达上万摄氏度,但是太空中却总是一片给荒凉和寒冷,气温只有-270℃,这就是因为太空是真空环境。

“人造太阳”反应产生热量就会隔离在里面,容器壁也就不会融化。太阳光经过大气层里面就是真空层,但它会经过臭氧层辐射,所以我们就接收到了热量。“人造太阳”只要控制好辐射,那么防止容器被融化的问题也就不攻自破了。 综合