

核聚变能，被认为是一种清洁干净，取之不尽、用之不竭的终极能源。

核能应用的有效途径：聚变与裂变巧妙结合

□ 彭先觉

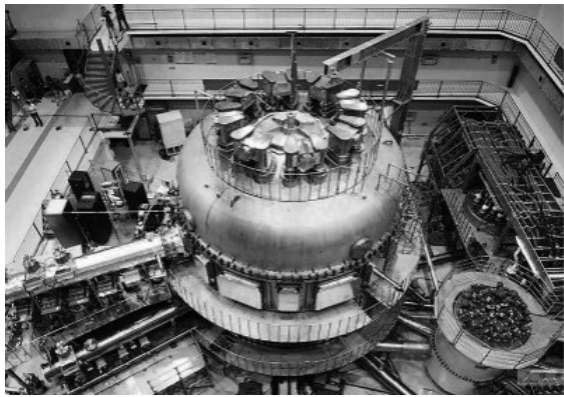
科技进展

纯聚变电站难以成为有竞争力的未来能源

一种能源的优劣，可用安全性、经济性、持久性和环境友好性来评价。以此衡量，未来可支撑人类长期生存发展的能源大致有太阳能，核能中的快堆、聚变电站和聚变裂变混合堆。

太阳能的优势是安全性、持久性(光伏电站的持久性将取决于稀有金属元素储量及可回收性)和环境友好性。劣势是间歇性、分散性和经济性，能否成为稳定的规模能源，保证大城市的能源供应，则取决于储能技术的发展，而储能在技术上是难题，这将严重影响它的经济性。

核能的优势是稳定、持续、规模化。核能中的快堆，可把铀资源的利用率提高至60%左右，即使是地球陆地上的资源，也可单独维持人类能源供给千年以上，所以是一种持久能源。劣势是经济性不好，技术上依赖于铀、钚燃料循环，并对环境有一定的影响，其安全性大致与压水堆相当，但运行中要更加小心。聚变电站就当前来说还是科学技术上的一大难题，实现聚变的主要途径有磁约束和惯性约束，惯性约束聚变必须有驱动器来创造条件，有可能的驱动器是激光器和Z-箍缩驱动器。但无论是哪种途径，经济性都很差。以规模为百万千瓦电功率计，对Tokamak型磁约束商用电站而言，其造价将超过100亿美元，且运行控制难度大，发出的电有近50%将自耗(电站能量增益Q值小于3)。目前来看，还有诸多的问题，如氦自持、等离子体破裂、材料抗辐照能力等都存在着一定的技术风险。对激光聚变，秒级重复频率运行的激光器是最大困难，其造价将远超100亿美元；其次还有一些激光应用于能源时所面临的材料、环境方面的困难。对Z-箍缩驱动聚变也是如此，现在驱动器的运行频率是0.1Hz，要10台以上的驱动器并联才能建成一个电站，因此电站的造价也将超过100亿美元，且也将面临长期稳定运行方面的困难。而且无论是激光还是Z-箍缩，能量生产效率都较低(Q值5左



右)。所以，纯聚变电站经济性都不好，还存在一定的技术风险，不是一种有竞争力的未来能源。

Z-FFR是未来规模能源强有力的竞争者

聚变与裂变的巧妙结合，是核能应用的有效途径。可以利用裂变技术解决聚变难题，利用聚变技术克服裂变瓶颈，实现综合性能的突破性提高。以Z-箍缩来驱动惯性约束聚变，具有驱动器原理、结构简明，造价低廉、能量转换效率高的优势。

Z-FFR，以裂变放能为主，聚变只占总功率的5%左右，这就大大降低了聚变作为能源应用的要求；对裂变堆而言，由于高能聚变中子的加入，通过巧妙的设计，可以更充分地利用，改善甚至去除其缺点，使之成为一种优质能源。概念研究表明，一个堆只需一台驱动器；裂变堆以金属天然铀合金为核燃料，水作传热、慢化剂，可实现10倍以上的能量放大，并能实现易裂变核素的增值，因而可用“干法”进行核燃料循环，出堆的放射性核废料每年仅200kg左右；5年换料，换料时可加入5t贫铀或钍继续燃烧，铀资源的利用率达90%以上，故这种方式可单独维持人类数千年的能源供给。

此外，更重要的是它安全性极好，裂变堆始终处于深次临界状态，不会有临界安全事故，且可容易设置几种非能动余热安全系统。可以说，这从根本上解决了核能的安全性问题，这也为分布式核能

源格局奠定了基础。这种堆造价估计在30亿美元左右，经济性和环境友好性都很好。未来的能源将会在太阳能、快堆和Z-FFR之间竞争，而Z-FFR将具有作为规模能源的明显优势。

聚变难以成为取之不尽用之不竭的能源

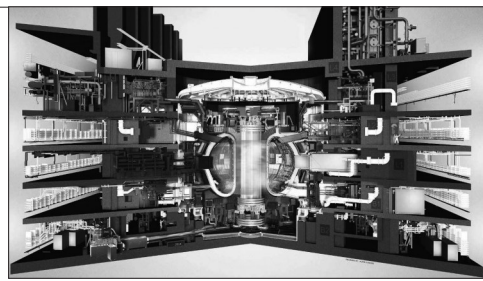
目前聚变都是以氢的同位素氘、氚作燃料，而氚是放射性核素，半衰期12.3年，自然界不存在，主要用中子轰击锂-6产生。因此，可开发利用的聚变能量就取决于锂-6的储量。从目前地质勘探的情况看，陆地聚变的储量仅为陆地铀裂变能储量的三分之一左右，故以氘氚为燃料的核聚变不可能长期支持人类的能源供给。原本意义的取之不尽，主要是寄希望于氦聚变。但除核爆的方式外，其他方式的氦聚变从物理上讲几乎不可能。

由于氦聚变反应速率比氘氚低近两个量级，要实现氦聚变，必须大幅度提高燃烧等离子体的温度和密度，增加对等离子体的约束时间。这样做带来的工程、材料等的困难且不说，加热等离子体的功率恐怕有数倍提高，于是电站不可能有能量输出，惯性约束聚变情况也一样。从靶丸压缩的角度看，即使使用更多的能量来压缩，压缩度不可能有明显提高。要使氦聚变起来，只有成量级增加聚变燃料的质量，而要求驱动器提供的能量则需提高近两个数量级。这样的系统，能量增益会远小于1，根本谈不上做能源。终极能源的说法是一种美丽幻想，甚至是一种误导。

此外，核能会产生放射性，纯聚变也不例外。因此，“干净”不是一个绝对的概念，关键是放射性物质产生的数量和形态，能否方便对其进行有效的控制和管理，使之不对人类和人类的生存环境造成伤害，且经济代价适当。

裂变产生的放射性物质数量比聚变多，但如果以Z-FFR采用“干法”处理，每年出堆的核废料量已很少，处理起来将比较方便，实际上，相对于Z-FFR而言，纯聚变在“干净”性上的优势非常有限。

(作者系中国工程院院士，从事核聚变研究多年，1993年开始关注我国核爆炸的和平利用问题，1996年与合作者一起提出“核聚变电站的概念设想”，并形成了较为完整的核聚变电站的设想方案)



等离子体物理主要研究什么

□ 胡建生

等离子体是一种区别于固态、液态、气态之外的第四种物质形态，是宇宙中一种常见的物质，在太阳、恒星、闪电中都存在等离子体，它占了整个宇宙的99%。

物质当被加热到足够高的温度或其他原因，外层电子摆脱原子核的束缚成为自由电子，电子离开原子核，变成带正电的原子核和带负电的电子组成的、一团均匀的等离子体。

等离子体由离子、电子以及未电离的中性粒子的集合组成，整体呈中性的物质状态。等离子体可分为两种：高温和低温等离子体。高温等离子体只有在温度足够高时发生的。恒星不断地发出这种等离子体，比如太阳中心区的温度超过一千万摄氏度，太阳中的绝大部分物质处于等离子体状态。

等离子体物理主要研究等离子体的形成及其各种性质和运动规律的学科。19世纪以来对于气体放电的研究，20世纪初以来对于高空电离层的研究，促使等离子体物理学研究蓬勃发展。特别是从20世纪50年代起为了利用轻核聚变反应解决能源问题，以探索、开发、解决人类无限而清洁的新能源。

研究高温等离子体性质，以及如何实现并维持上亿摄氏度高温等离子体的长时间连续运行，以获得可控的清洁、安全、用之不竭的聚变能，一劳永逸地解决人类社会发展的能源需求，对人类及地球长期可持续发展意义重大，不仅可以满足人类对未来发展能源的需求，大大降低人类对化石能源的追逐引发战争的风险，也避免因过度开发导致的环境污染等难题，更好地保护地球。

自从上个世纪四五十年代原子弹、氢弹这些破坏性杀伤性武器问世，人们就希望将这些核能开发出来作为能源使用。基于核裂变反应的核电站已经为人类提供了大量能源，但是由于其存在安全隐患以及放射性核废料的处理等难题，其发展受到了很大限制。

虽然太阳、氢弹等都是基于核聚变反应释放大量光和热的，但是目前为止人们还不能有效实现核聚变的应用。太阳主要依靠重力来约束高温等离子体的聚变反应来产生光和热，并且不存在一个个体边界。而在地球上实现可控核聚变，必须解决高温等离子体约束及固体边界问题，以实现并维持上亿摄氏度高温等离子体的长时间连续运行，为人类提供丰富无限的清洁能源，以满足未来社会不断发展对能源的重大需求。

目前可控核聚变研究主要有两种途径，一种是惯性约束核聚变，另一种是磁约束核聚变。惯性约束核聚变是利用强激光等驱动器提供的能量使靶丸中的核聚变燃料(氘、氦)形成等离子体，在这些等离子体粒子由于自身惯性作用还来不及向四周飞散的极短时间内，通过向心爆聚被压缩到高温、高密度状态，从而发生核聚变反应。磁约束核聚变是依靠等离子体粒子自身的惯性约束作用而实现的，因而称为惯性约束聚变。

磁约束核聚变就是用特殊形态的磁场把氘、氦等轻原子核和自由电子组成的、处于热核反应状态的超高温等离子体约束在有限的体积内，使它受控制地发生大量的核聚变反应，释放出热量。磁约束核聚变是实现长时间稳定输出聚变能的最有希望的途径，是等离子体物理学的一项重大应用。

经过半个多世纪的科学探索，磁约束核聚变研究中大量复杂物理过程已经有足够认识，在高温等离子体控制、加热、约束、超导磁体、壁材料，以及等离子体与壁相互作用等研究方面取得了重大进展，全超导托卡马克实现了较长时间的稳态高温等离子体，并且已经实现了聚变增益接近1的氦运行，基本解决了未来聚变堆发展相关的理论和技术难题，为聚变能开发应用打下了坚实基础。

由中、美、俄、欧盟、日本、韩国、印度七方组成的国际聚变能组织正在稳步推进国际热核聚变实验堆(ITER)的建设，采用氦运行，有望实现上亿摄氏度高温等离子体自持燃烧数百秒，输出大于输入能力5到10倍的聚变能，为下一步开展具有商业应用前景的聚变堆提供理论和技术支持。

中国科学院等离子体物理研究所是中国热核聚变研究的重要基地，在高温等离子体物理实验及核聚变工程技术研究处于国际先进水平，先后建成常规磁体托卡马克HT-6B、HT-6M，我国第一个圆截面超导托卡马克核聚变实验装置“合肥超环”(HT-7)，世界上第一个非圆截面全超导托卡马克核聚变实验装置“东方超环”(EAST)，并在物理实验中获得了一系列国际先进或独具特色的成果。(作者系中国科学院等离子体物理研究所研究员)

近些年来，机器人被广泛应用各个领域尤其是工业领域。机器人行业的蓬勃发展，离不开先进的科研进步和技术支撑。

机器人领域十大前沿技术

是一个美好的愿景。

生物信号可以控制机器人——生肌电控制技术

生肌电控制技术利用人类上肢表面肌电信号来控制机器人臂，在远程控制、医疗康复等领域有着较为广泛的应用。

机器人可以有皮肤——敏感触觉技术 敏感触觉技术指采用基于电学和微粒粒子触觉技术的新型触觉传感器，能让机器人对物体的外形、质地和硬度更加敏感，最终胜任医疗、勘探等一系列复杂工作。

主动交流——会话式智能交互技术 采用会话式智能交互技术研制的机器人，不仅能理解用户的问题并给出精准答案，还能在信息不全的情况下主动

引导完成会话。苹果公司新一代会话交互技术将会摆脱一问一答的模式，甚至可以主动发起对话。

机器人有心理活动——情感识别技术 情感识别技术可实现对人类情感甚至是心理活动的有效识别，使机器人获得类似于人类的观察、理解、反应能力，可应用于机器人辅助医疗康复、刑侦鉴别等领域。对人类的面部表情进行识别和解读，是和人脸识别相伴相生的一种衍生技术。

用意念操控机器人——脑机接口技术 脑机接口技术指通过对神经系统电活动和特征信号的收集、识别及转化，使人脑发出的指令能够直接传递给指定的机器终端，可应用于助残康复、灾害救援和娱乐体验。

机器人带路——自动驾驶技术

应用自动驾驶技术可为人类提供自动化、智能化的载具和运输工具，并延伸到道路状况测试、国防军事安全等领域。

再造虚拟现场——虚拟现实机器人技术 虚拟现实机器人技术可实现操作者对机器人的虚拟遥控操作，在维修检测、娱乐体验、现场救援、军事侦察等领域有应用价值。

机器人之间互联——机器人云服务技术

机器人云服务技术指机器人本身作为执行终端，通过云端进行存储与计算，即时响应需求和实现功能，有效实现数据互通和知识共享，为用户提供无限扩展、按需使用的新型机器人服务方式。



软体机器人——柔性机器人技术

柔性机器人技术是指采用柔性材料进行机器人的研发、设计和制造。柔性材料具有能在大范围内任意改变自身形状的特点，在管道故障检查、医疗诊断、侦查探测领域具有广泛的应用前景。

机器人可变形——液态金属控制技术 液态金属控制技术指通过控制电磁场外部环境，对液态金属材料进行外观特征、运动状态准确控制的一种技术，可用于智能制造、灾后救援等领域。目前的技术重点主要集中在液态金属的铸造成型上，液态机器人还只

(上接第一版)

作为首届兼具专业性和跨界融合的科幻影视论坛，主要有哪些板块呢?

顾备介绍说，最具特色的当然是科幻与科技板块，强调的是新兴科技与科幻电影特效的双螺旋。一方面，由于新兴技术的出现与逐渐成熟，电影特效变得越来越有看头，极大地辅助了科幻电影的叙事和呈现；另一方面，由于电影制作过程中不断出现新的需求，又会促进科技的发展和延伸。近年以来科幻电影在中国获得成功，正好是我国进一步完善和发展电影工业的契机。以好莱坞为例，他们的电影工业是成体系的，有方法论，有标准，有大量从业者，有专业的顾问，有一整套成熟的项目管理和风险控制机制。科幻影视更是如此，分工非常细，专业性非常强，需要大量协同，必须跟进最新科技，而且还得考虑全局。现在的中国影视行业尚未形成大规模的协同，究竟未来该怎么走，就是一个值得探讨的事情。

第二个特色是对于泛科幻的讨论。其实，有关泛科幻的说法由来已久，但多数情况下都仅仅是一个名词，虽然一直有人提生态圈，还没有专家学者认真研究过，这究竟是否可以算是一个产业生态；或者说，如果要打造这么一个可以良性发展的泛科幻产业生态，我们究竟还应该做些什么。例如，如何跨界融合，如何向上下游拓展，如何发挥各自的特长，在哪些方面用力，采用哪些方式方法协同，以及最终要达成什么样的结果。

当然，还有就是面向青少年的科普与科幻教育，这个话题并不新，过去已经有过很多讨论。而本届论坛的主题将不仅仅局限于文学教育，会扩展到诸如有声书、动漫、网剧、游戏、科技馆等。科普科幻必然不是平面的，而应该动起来。

最后，顾备表示：“我们期待的不是结论，而是更多的火花，不同的角度，不同的看法，甚至是相悖的意见。有争论就有关注，会引起更多的思考和行动。”

未来需要所有在这个产业生态圈里的人一起思考，究竟下一步该怎么走才能走得稳，跑得快，跳得高。

就让我们拭目以待吧。



林下套种

2019年以来，贵州省黔东南苗族侗族自治州剑河县充分利用林下闲置土地套种食用菌，既不耽误林木生长又发展了食用菌产业，帮助当地农民增收。

图为农民在岑村镇林下食用菌种植基地采摘木耳。

新华社记者 杨文斌 摄

在智利百内国家公园，61岁的守园人弗雷迪·巴里恩托斯说，气候变化是真的！你看格雷冰川，30年缩减了19平方公里。

全球变暖：看得见、摸得着

□ 党琦 王沛

气候变化已成为全球可持续发展面临的巨大威胁之一。许多人担心，到本世纪末，北冰洋夏季将失去海冰，珊瑚礁将在全球范围内消失，而亚马孙雨林和北极苔原也会因全球变暖和干旱发生巨变。

变化看得见 格雷冰湖上，红白相间的观光船“格雷三号”每日3次搭载各国游客前往格雷冰川。“格雷三号”讲解员尼科尔·托雷斯特目睹格雷冰川每一天的变化。

“气候变化正在影响地球上绝大部分冰川。你看格雷冰湖尽头，有一座小的冰原岛峰，5年前它还完全被冰川覆盖。”托雷斯特对新华社记者说，“再看我身后那座大的冰原岛峰，70年前完全被冰川包围。”

“2017年，一座380米长、350米宽的巨型冰山从格雷冰川脱落，足有18个足球场那么大。过了八九个月，冰山才慢慢消融在格雷冰湖里。”她说。

冰川的质量变化是气候变化最敏感指标之一。格雷冰川属于巴塔哥尼亚冰原，后者是冰原最大冰原之一。今年2月和3月，又有两座巨型冰山从格雷冰川断裂。

海洋在变暖，冰川在消融，海平面上升。根据世界气象组织最新发布的《2018年全球气候状况声明》，2015年至2018年是有气温记录以来最热的4年，2018年全球平均气温比工业化前水平上升了将近1摄氏度。

“现在冬天不像从前那么冷，雪下得少了，风却刮得更大了。”百内国家公园守园人巴里恩托斯感慨说。

冰川快速减少

今年4月22日是第50个世界地球日。中国自然资源部将今年世界地球日宣传主题定为“珍爱美丽地球，守护自然资源”。

根据联合国环境规划署最新发布的报告，即使各国依照《巴黎协定》履行减排承诺，北极冬季气温至2050年仍将较1986至2005年的平均水平上升3至5摄氏度。自1979年起，北极海冰已缩减大约40%。

美国《国家科学院学报》论文显示，自2009年至2017年，南极洲冰盖每年减少2780亿吨，冰川融化速度是20世纪80年代的6倍。

英国《自然》杂志本月刊登论文说，自1961年以来，全球已失去9.6万亿吨冰雪。如今地球每年失去3690亿吨冰雪，世界冰川的缩减速度是上世纪60年代的5倍。

上海国际问题研究院海洋和极地研究中心副主任张沛接受新华社记者采访时说，如果南极冰盖和格陵兰冰盖全部融化，地球海平面将上升60多米。

行动须迅速

联合国政府间气候变化专门委员会在去年10月发布的特别报告显示，如果气候变暖以目前的速度持续下去，预



计全球气温在2030年至2052年间就会比工业化之前水平升高1.5摄氏度。

报告称，将全球气温升高控制在1.5摄氏度以内，对人类和生态系统会有更多益处。而要实现这一目标，全球各国土地、能源、工业、建筑、运输和城市建设等各个层面都应“迅速而广泛”地改变，以使2030年人为的二氧化碳净排放量比2010年水平减少45%，2050年实现“零净排放”，即二氧化碳的排放量与消除量相等。

在3月份召开的第四届联合国环境大会上，170多个国家的环保部长们共同发表声明说，将通过创新方案和可持续的消费与生产模式来应对环境挑战，并承诺至2030年大幅减少一次性塑料制品的使用，向资源节约型和低碳经济转型。

张沛说，将全球升温幅度控制在1.5摄氏度以内，改变不可持续的资源使用行为和习惯，促进清洁和气候智能型经济增长，需要世界各国和所有公民的共同努力，建议商家使用塑料替代品，避免过度包装，民众低碳出行、少用一次性用品，大家一起践行节电、节气、回收的低碳生活。(新华社电)

幻生万象

影梦未来