

污染、核废料的产生、用来产生核裂变的铀 235 等重金属元素在地球上储量有限等，将在一定程度上制约核裂变能的发展。

同核裂变相比，核聚变将为人类提供更理想的新能源。单位质量核聚变产生的能量比核裂变大几倍。它的原理和太阳发光发热的原理相同，巨大的能量来自氢元素的核聚变反应。从海水中可以提炼出大量的氢和氘的同位素氘，它们通过聚变反应能产生大量能量。

但 50 多年过去了，核聚变发电站离我们仍十分遥远。

“核聚变要比核裂变难得多。核裂变就好比将一团棉絮轻轻一撕就能扯开了，而核聚变像是在大风中，要让两根极轻的棉絮碰到一起，难度可想而知。”中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所研究员龚先祖说。

托卡马克

“磁笼”托起“太阳”

“人造太阳”前景无限美好，道路却充满曲折。

太阳表面的温度高达 6000 摄氏度，中心温度更是高达 1500 万摄氏度。如此高温，足以让任何接近太阳的物体瞬间变成气体。要让核聚变反应在地球上发生，需要将粒子的温度加热到上亿摄氏度，用什么器皿才能容纳亿万摄氏度高温的燃料？

科学家的解决方案令人拍案叫绝：用一个“磁笼”把“人造太阳”托在空中。“具体而言，就是用磁场形成的一个笼子，把高温等离子体给约束住，不让它跑出来。这个装置叫托卡马克。”龚先祖说。

“人造太阳”被约束在“磁笼”中运动，悬浮在空中，不和物体接触，就不用担心上亿摄氏度的高温熔化器皿了。磁约束聚变利用强磁场这一“磁容器”来约束高温等离子体，并进而将其加热至上亿摄氏度，从而维持连续的热核反应，并将其巨大的能量转化为电能。

现在所有的托卡马克都还只是聚变基础研究的实验装置，用来验证科学家的设想，研究将来建设反应堆过程中会遇到的种种物理和工程技术问题。“从目前来说，我们要一步步做实验，研究其机理，发现很多物理现象和可能面临的问题，然后进行升级改造。”龚先祖说。

中国工程院院士、EAST 工程项目总经理万元熙介绍，未来聚变电站必须长时间运行，目前国际上大部分托卡马克只能运行数秒钟，只是在科学上验证了受控核聚变在原理上行得通，但还不能验证工程可行性。长时

间维持和控制数千万摄氏度等离子体是个极大的难题，能否实现未来国际热核试验堆 ITER 所需要的 400 秒运行，目前科学家还没有充足的把握，它涉及等离子体精确控制、全超导磁体安全运行、有效加热与驱动、等离子体与材料强相互作用等复杂的科学技术问题。

“东方超环” 发力大科学装置

光有好的想法还远远不够，难的是将想法变成现实。

托卡马克装置对人类的工程技术水平提出了极其严苛的要求。受控核聚变的关键技术中，面临两个重大课题：一是如何将聚变燃料加热到极高温并长时间维持，二是“第一壁”材料的问题。

“‘磁笼’要把高温等离子体约束住，但总有部分高能粒子在边缘跑出来，不可能完全约束住，这样它会和‘第一壁’发生强烈的相互作用，可以想象上亿摄氏度高温的粒子打到‘第一壁’上，会使得材料烧蚀。”龚先祖说，这是到目前为止人类研制的工作环境最严苛的材料。现在我国托卡马克装置高热辐射区用的是有自主知识产权的碳化硅涂层石墨材料，但碳材料有个缺点，它会被中子活化。未来聚变反应堆第一壁的候选材料是金属钨，现在国内两个专业聚变研究所正和高校一起测试未来新材料。

“未来聚变电站的长时间运行，只有在全超导托卡马克上才能实现，这是验证工程可行性所必须的，也是未来磁约束聚变的发展方向。我国在这个方向上已经进入国际前沿。”万元熙说。

世界上第一个全超导托卡马克装置就是我国的 EAST，它是先进超导托卡马克实验装置的英文缩写，它还有个响亮而又深具寓意的中文名字“东方超环”。

建成商用的聚变反应堆为时尚早。据了解，上世纪 90 年代，科学家估计要 50 年；现在 20 年过去了，科学家的估计还是要 50 年。“我最大的愿望就是在我有生之年能够看到一个灯泡是用聚变能点亮的。”中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所所长李建刚感慨道。

科学岛 “桃花源”里“追梦人”

中科院合肥物质科学研究院位于合肥市西郊风景秀丽的蜀山湖畔一个

小岛——科学岛上，在这个仿佛与世隔绝的“桃花源”里，有一群为了理想不懈努力的“追梦人”。

“人造太阳”圆梦之路艰辛而漫长，没有耐得住寂寞、甘于奉献的强大内心，又怎能做出如此成就！

为了研制东方超环（EAST）超导托卡马克大科学装置，全所上下夜以继日地做实验。所有人24小时开机，随时处于待命状态，加班成了家常便饭，甚至经常半夜里被叫醒。很多人一做起实验来几乎分不清白天黑夜，吃住都在实验室里。中科院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所研究员龚先祖笑称自己有个最大的本事——说睡就睡，躺在会议室沙发上，用军大衣一盖就能睡着，但只要实验的喇叭一叫马上就醒。

“东方超环”是个极其“烧钱”的项目，一天的电费就高达5万元，加上各种开支一天成本高达10万元，每年需要约3600万元的运行费。即便如此，相对于这么浩大的工程，经费还是十分有限。装置中有一个用来隔离真空和空气、进行高功率微波传输的小部件微波窗，看上去很不起眼，但对陶瓷片和金属的封接工艺要求十分严格，国内没有，从国外进口每个要2.5万美元，一次就要用48个，它又是易损件，坏了再进口十分耽误时间。等离子体物理研究所微波技术研究室研究员刘甫坤带领年轻人王晓洁、刘亮、赵连敏，自行设计研制解决了该难题，每个成本降到2万元，还可以根据需要进行加工，为国家节约了数百万元的科研经费。

中国工程院院士、EAST工程项目总经理万元熙说，随着国力的强盛和国家的开放，一批有才干的专业人才已经迅速成长起来，这对我国未来聚变研究至关重要。因为聚变研究不是一代人能够实现的，“人造太阳”的梦想要几代人连续不断努力才能够变为现实。

中国人的努力赢得了全世界的尊重，“东方超环”的成就被国际聚变界视为奇迹。万元熙说，现在世界上最著名的研究所都主动积极地提出跟中国科学院等离子体物理研究所、跟中国磁约束聚变界进行广泛的交流与合作。

“我们的优势是国家重视和持续稳定的支持，我们的成绩是科研人员敢于挑战、勇于创新以及长期以来形成的大科学文化团队共同努力的结果。”万元熙对他所领导的这支团队充满自豪。