

## 核科学技术

### 利用核聚变获取能源

#### 我该知道什么？

从核聚变中获取能量被广泛认为是能源领域的一项重大工程挑战。世界各地的许多研究人员和工程师都在关注通过在地球上重建恒星中自然发生的条件（如密度和温度）来产生这种能源的方法。

与原子核被分裂产生能量的核裂变不同，在聚变中，较轻的原子核结合在一起形成较重的原子核，从而释放出能量。这就是恒星如何将微小的质量转化为巨大的能量。没有为太阳提供动力的核聚变反应，地球上的生命就不可能存在。

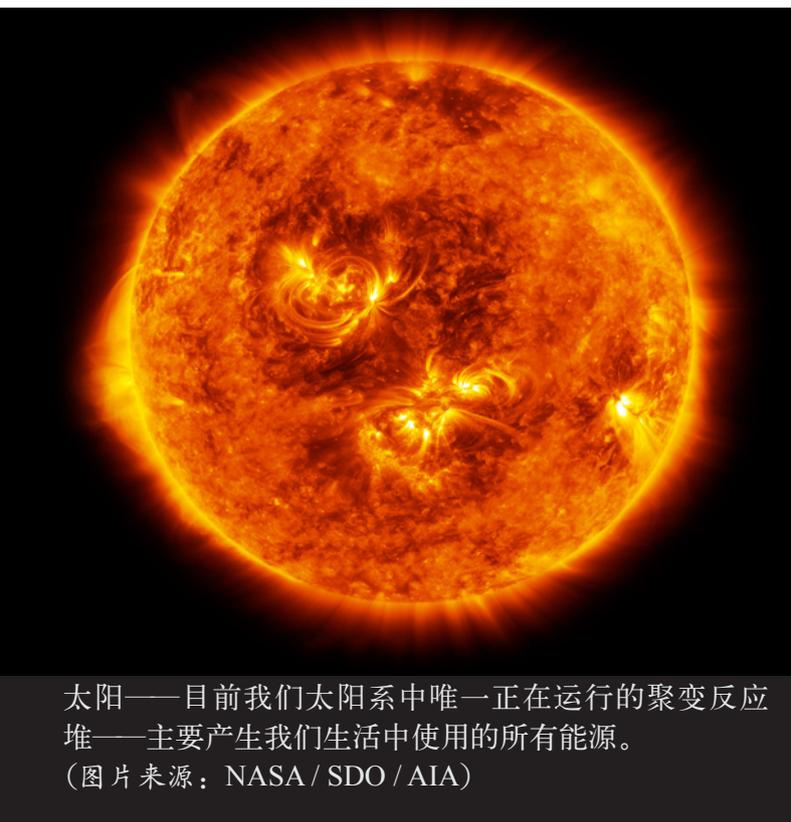
虽然聚变产生的能量预期能给社会带来许多

好处，例如燃料的充足和可用性、无碳足迹和不产生高放废物，但将核聚变付诸实践仍然是当今实验物理学和工程中最具挑战性的领域之一；控制超过1亿摄氏度的聚变反应是一项复杂而具有挑战性的工作。

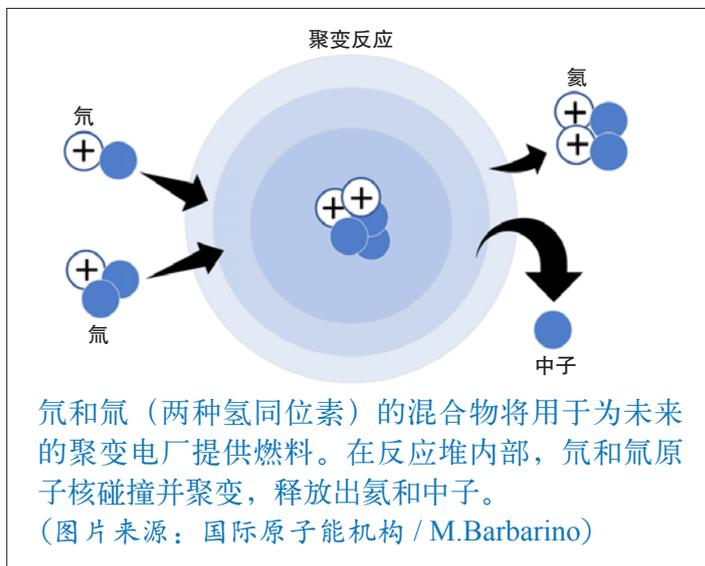
一旦克服这一挑战，聚变能就可以成为一种能够满足全球能源需求的取之不尽、安全、环保且普遍可用的能源。

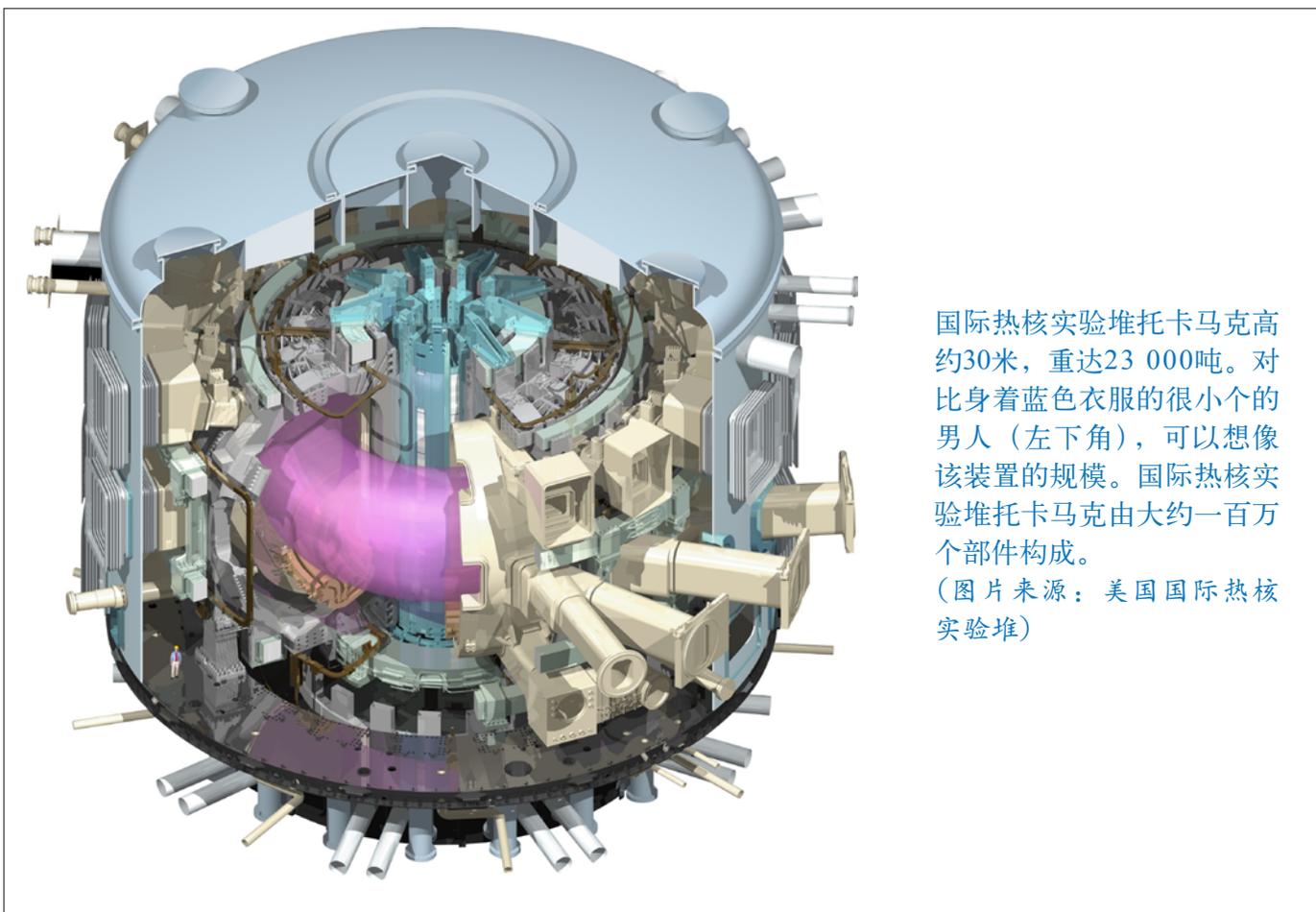
#### 聚变是如何工作的？

在恒星的核心，氢原子之间在稠密等离子体中发生聚变反应，温度超过1000万摄氏度。等离子体是物质的第四种状态，具有独特的性质，不同于固体、液体和气体。它由自由移动的带电粒子组成，在电子从中性原子中移除时在高温下形成。正如我们目前所了解的那样，宇宙超过99%



太阳——目前我们太阳系中唯一正在运行的聚变反应堆——主要产生我们生活中使用的所有能源。  
(图片来源：NASA / SDO / AIA)





国际热核实验堆托卡马克高约30米，重达23 000吨。对比身着蓝色衣服的很小个的男人（左下角），可以想像该装置的规模。国际热核实验堆托卡马克由大约一百万个部件构成。

（图片来源：美国国际热核实验堆）

的物质是以等离子体存在的，包括星际物质和恒星，例如我们的太阳。

在受控核聚变电厂中，必须满足三个条件：

1. 非常高的温度（超过1亿摄氏度），以引起高能粒子的碰撞；
2. 发生反应的等离子体中有足够的粒子密度，以增加这些碰撞的可能性；
3. 充分的约束，以保持等离子体并使聚变反应持续进行。

到目前为止，具有最佳结果的约束概念是托卡马克（tokamak，源自俄文缩略语，意思是“带磁线圈的环形室”），是一种在20世纪50年代首次发明的圆环形结构，它使用强力磁铁来控制等离子体。在等离子体密度和所需温度方面，托卡马

克装置已经可以提供聚变的基本条件，因此可以产生聚变反应。确保净功率生产所缺少的仍是更好和更长时间的约束。更好和更长时间的约束是对磁场随着时间的推移在维持等离子体能量方面的良好程度的衡量。

### 什么是国际热核实验堆（ITER）以及它为何如此重要？

国际热核实验堆是一项在35个国家之间开展的合作项目，将是地球上最大的聚变实验装置。它正在法国圣波莱迪朗克进行建造，计划于2025年底投入运行。

2007年建立国际热核实验堆的动力来自国际原子能机构论坛的讨论，其中涉及国际聚变研究

和技术开发合作的若干倡议。国际原子能机构总干事是国际热核实验堆协定的保管人。

国际热核实验堆旨在论证比迄今为止进行的其他聚变实验更高的聚变能增益。在注入50兆瓦的电加热功率后，它的目标是在400秒至600秒的长脉冲产生500兆瓦的热功率。即使国际热核实验堆不会获得以电力形式产生的能量，但它将为这种装置铺平道路。

国际热核实验堆之后的下一阶段，将热能转换为电力，将通过称为DEMO的示范聚变电厂解决。预计DEMO将探索并论证连续或近乎连续的运行、燃料自给自足以及大规模能量产生，包括其转换为电力，并可在大约2050年前连接到电网。

### 聚变像核裂变那样产生放射性废物吗？

最容易实现的聚变过程涉及氢的两种同位素：氘和氚。氚具有放射性，但其半衰期很短（12.32年）。它仅以相对较低的量被使用，因此，与长寿命放射性原子核不同，它不会带来任何严重的危险。

这种氘-氚反应产生氦原子（一种惰性气体）和中子，它们的能量可以分别用于为反应堆提供动力和发电。因此，聚变反应不会产生长寿命放射性废物。

然而，聚变将导致围绕等离子体的中子活化物质的产生。换句话说，当中子（由于聚变反应）与反应堆壁碰撞时，其结构和组分变得具有放射性。因此，建造未来的聚变电厂时的一个重要挑战是优化结构设计，以便最大限度地减少这种中子引起的放射性和产生的放射性废物量。

### 国际原子能机构在聚变等离子体和聚变技术中的作用是什么？

自1957年成立以来，国际原子能机构一直支持核聚变研究。原子能机构在**国际聚变研究理事会**的指导下开展了许多核聚变活动，该理事会是一个由来自世界各地的成员组成的原子能机构咨询机构。

原子能机构通过让核物理学家、材料科学家、核数据专家、工程师和等离子体专家等参与，协调国际聚变研究和技术开发工作。它还组织聚变能会议——这是世界上核聚变领域最大的国际盛会。

通过DEMO计划讲习班，原子能机构还作为制定计划规划和启动新的研究和开发活动的核心，以拟订示范聚变动力堆的各种概念。

近年来，原子能机构一直致力于编写供聚变界使用的导则和参考文件。这些资料的目的是帮助促进和优化核聚变研究和开发的不同过程和息交流。例如，最近出版的题为《聚变应用机械部件安全分类综合方案》（原子能机构《技术文件》第1851号）的原子能机构《技术文件》是第一份与核聚变有关的国际导则文件。

### 国际原子能机构如何帮助进行能力建设？

实验室和设施之间通过原子能机构的合作极大地促进了聚变研究和技术的发展，以及必要的导则和相关标准。

通过协调研究活动，已经建立了若干小型聚变装置网络，并且正在成功地用于寻求解决一些未决问题的综合方案。例如，在这些网络中组织联合实验，来自不同机构的专家聚集在一起测试



国际热核实验堆场址：国际热核实验堆施工现场鸟瞰图，2019年6月。

(照片来源：国际热核实验堆组织)

给定机器的能力，从而增加智力多样性并使该装置的科学产出最大化。国际理论物理中心-原子能机构等离子体物理学联合专修班是促进该领域能力建设的国际倡议的另一个例子。

此外，原子能机构旨在扩大下一代聚变科学家和工程师的教育和培训。这一点尤为重要，因为聚变研究和开发活动越来越需要尖端技术、超越现有专门知识的范围。

### 更多信息

国际原子能机构物理学和化学科学处

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400

Vienna, Austria

电子信箱：Fusion-physics@iaea.org

网站：

[nucleus.iaea.org/sites/fusionportal](http://nucleus.iaea.org/sites/fusionportal)

[www.iaea.org/topics/fusion](http://www.iaea.org/topics/fusion)

[www.iaea.org/publications/nuclear-fusion](http://www.iaea.org/publications/nuclear-fusion)

《国际原子能机构情况说明》由新闻和宣传办公室编写

编辑：Aabha Dixit • 设计和排版：Ritu Kenn

欲了解原子能机构及其工作的更多信息，请访问：[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

或通过以下方式关注我们：   

或阅读原子能机构旗舰出版物《国际原子能机构通报》：[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

地址：IAEA, Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

电子信箱：info@iaea.org • 电话：+43 (1) 2600-0 • 传真：+43 (1) 2600-7