

核聚变示范电厂

通往大规模商业发电的石阶

文/Irena Chatzis 和 Matteo Barbarino

ITER是世界上最大的核聚变实验装置，其目的是证明如何通过聚变反应获得净能量。证明聚变能可以产生净电力将是下一个重要步骤。这就是核聚变示范电厂（或称DEMO）将起到的作用。

DEMO型反应堆更像是概念设计，而不是特定的聚变装置构型。一些国家正在开发公共资助的DEMO的初步设计，但尚未最后确定。这将在ITER实验的结果出来后进行。

DEMO计划几乎连续运行，才能产生超过50兆瓦的净电力增益。它们将开始解决的关键挑战是如何使聚变等离子体保持足够长时间的稳定性，以便持续地产生能量。

虽然关于DEMO的很多事情仍未决定，但一种公认的DEMO可能是托卡马克型反应堆，并将使用重氢同位素（氘和氚）作为燃料。然而，世界上可用的氚供应有限，DEMO本身将需要通过所谓的“增殖区”增殖和提取氚以供应足够的氚。国际原子能机构核聚变物理学家Sehila González de

Vicente认为，还需要解决氚的燃料供应、耗尽、约束、提取和分离方面的挑战。

DEMO型反应堆和现有实验反应堆之间的另一个主要区别将是增加适当的系统和技术来捕获聚变能并将其转化为电能。

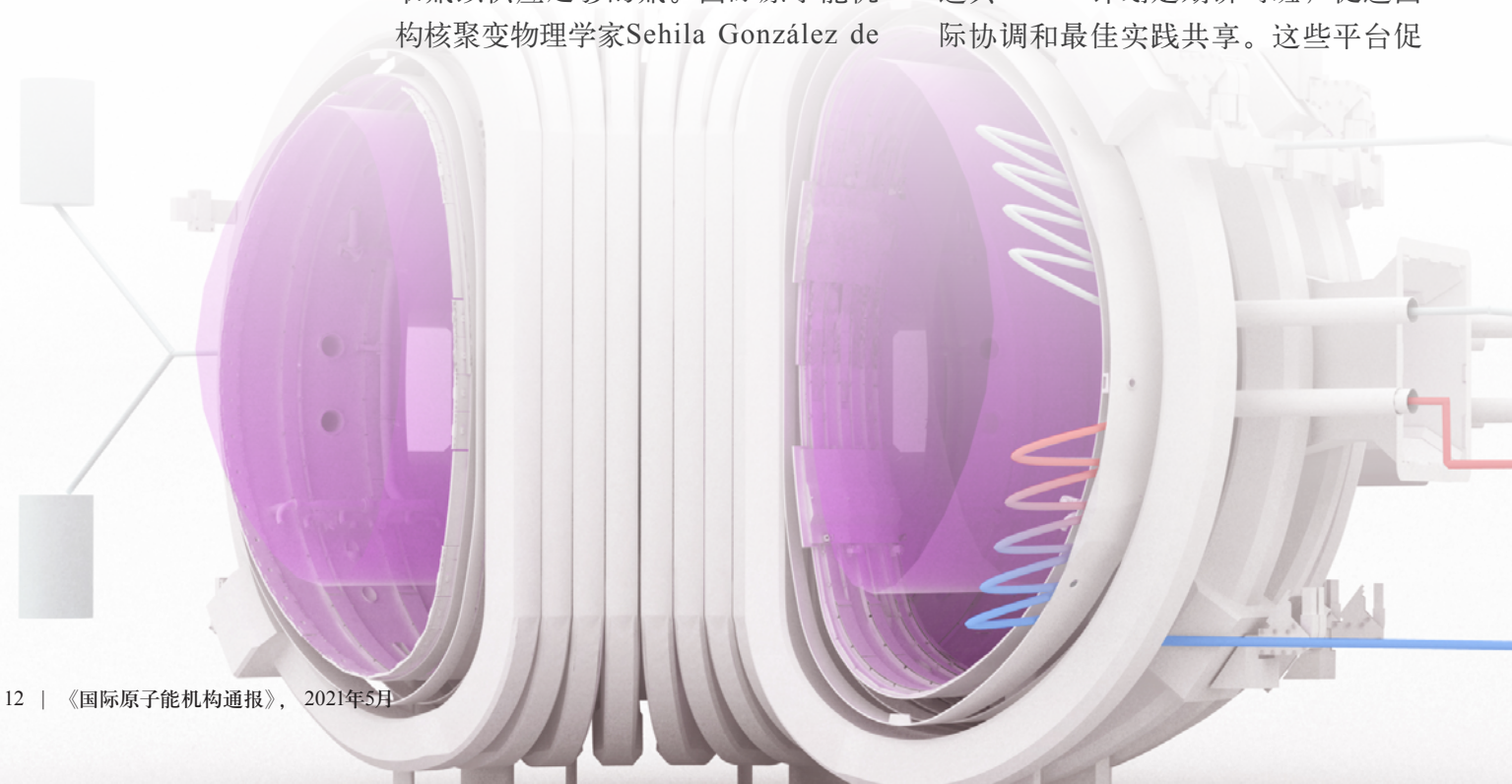
“DEMO型装置需要设计和整合复杂的部件和系统，而这些部件和系统并不是现有聚变实验装置的一部分。诸如氚增殖区、发电、燃烧控制等部件都是必需的。”英国原子能管理局技术主管Elizabeth Surrey说，“DEMO的运行条件对材料特别不利，因为燃烧的等离子体会在壁上产生高中子通量和高功率密度。DEMO需要开发新的材料和技术。”

国际原子能机构的作用

各国研究小组都在探索DEMO概念和方案。国际原子能机构通过一系列技术会议，以及自2012年以来，通过其DEMO计划定期讲习班，促进国际协调和最佳实践共享。这些平台促

“DEMO需要开发新的材料和技术。”

—英国原子能管理局技术主管Elizabeth Surrey



进对物理和技术问题的讨论，推动对DEMO计划战略的共享，以及分析潜在的行动方案。随着时间的推移，专题重点已从广泛的愿景转向必须克服的详细技术挑战。

在2016年至2019年期间担任了DEMO计划过去三次讲习班主持的Surrey说：“通过专注于确定问题和讨论正在进行的研究和发展，国际原子能机构技术会议系列和DEMO计划讲习班使业界能够以协作的方式确定要求和分析可能的解决方案。例如，当需要长时间或接近连续的等离子体运行时，等离子体控制成为DEMO型装置的一个主要问题。”

世界各地计划

尽管仍在探索实现聚变发电的各种途径，但需要解决的科学和技术问题已得到广泛认同。虽然每个国家有不同的时间表，但科学家们普遍认为，他们可以在2050年前建成并运行能够发电的DEMO型反应堆。

在中国，中国聚变工程试验堆（CFETR）计划已取得重大进展。该装置将有助于缩小ITER与DEMO之间的差距。中国聚变工程试验堆将在本世纪20年代开工建设，随后将在本世纪30年代建成DEMO型反应堆。

在欧洲，欧洲聚变联盟（EUROfusion）负责开发DEMO设计。该项目目前处于概念设计阶段（2021—2027年），旨在通过产生几百兆瓦的净电力证明聚变的技术和经济可行性。

印度已宣布计划开始建造一个名为SST-2的装置，以便在2027年左右对DEMO的反应堆概念和组件作出鉴定，然后将在2037年开始建造DEMO。

日本聚变DEMO特别联合设计小组目前正在进行稳态DEMO（JADEMO）的概念研究，计划在2035年左右开始建设。

2012年，韩国启动了“K-DEMO”的概念设计研究，目标是在2037年之前开始建设，并有可能在2050年开始发电。在第一阶段（2037—2050年），K-DEMO将被用来开发和测试组件，然后利用这些组件。在其第二阶段，即2050年之后，预期它将演示净发电。

俄罗斯联邦正在规划一个名为DEMO聚变中子源（DEMO-FNS）的聚变-裂变混合装置，该装置将收集聚变产生的中子，将铀变成核燃料并销毁放射性废物。DEMO-FNS计划在2023年前建成，是该国在2050年前建成核聚变电厂的快速战略的一部分。

美国的核聚变专家最近发布了两份报告，其中建议启动一项国家研究和技术计划，包括公私合作，以在2035—2040年最终实现核聚变的商业可行性，使美国成为核聚变领导者，并在2050年之前加速向低碳能源过渡。

与此同时，许多私人资助的商业企业也在发展核聚变电厂的概念方面取得了进展，利用多年来公共资助的研究和开发所产生的专门技术，并提出更加激进的时间表。

将聚变热量转化为热能和电力的核聚变电厂的艺术家的概念。

（来源/欧洲聚变联盟）

