

核聚变的安全性

固有的安全过程

文/Carley Willis 和 Joanne Liou

核裂变是从原子核分裂中获得能量，而核聚变则是通过将原子核结合而释放能量。虽然两种原子反应都是通过改变原子而产生能量，但它们的根本区别对安全却有广泛的影响。

启动和维持聚变反应所需的条件使基于链式反应的裂变型事故或核熔毁不可能发生。核聚变电厂将需要与众不同的条件——超过1亿摄氏度的温度，以达到发生反应所需足够高的粒子密度。国际原子能机构核聚变物理学家Sehila González de Vicente解释说，由于聚变反应只能在这种极端条件下发生，因此不可能出现“失控”链式反应。

聚变反应依赖燃料的连续输入，并且该过程对工作条件的任何变化都非常敏感。考虑核聚变反应几秒内就能停止，因此该过程本质上是安全的。“聚变是自限过程：如果人们无法控制反应，它会自行停止。”她补充说。

此外，聚变不产生高放射性、长寿命的核废物。“聚变只产生低放废物，不会造成任何严重的危险，”González de Vicente说。受污染的物项，例如防护服、清洁用品，甚至医疗管或拭子，都是短寿命低放废物，只要采取基本预防措施，就可以安全处理。

当前大多数实验聚变装置都使用氘和氚的混合物作为燃料。氚是氢的一种放射性同位素，半衰期为12.3年。González de Vicente说，核聚变反应的结果是释放中子，这些中子撞击反应堆堆芯周围墙体并被墙体吸

收，使墙体具有放射性。“中子与墙体中的锂发生反应，产生氦，然后被注入装置。”

然而，聚变和裂变装置确实有一些相似之处，例如在如何处理放射性物质以及如何使用冷却系统方面。“监管机构已在核裂变安全和安保领域拥有丰富的经验。我们正在与他们合作，以确保所有适用的知识转到聚变方面。”González de Vicente说，“然而，并不是所有的事情都能一一对应，核聚变的不同之处，例如放射性物质的数量和种类减少、不可能发生堆芯熔毁状况，以及不产生长寿命废物，都应该得到确认和解决。国际原子能机构正在协助促进这些努力。”

国际协作

ITER是世界上最大的聚变实验装置，它把来自35个国家的专家聚集一起，共同致力于实现聚变能源的目标，同时助力解决项目发展过程中的聚变安全和安保挑战。

通过把裂变方面的相关安全要求（例如国际原子能机构安全标准）适用于聚变，可以确保高度安全。例如，与核裂变反应堆一样，拟议的核聚变电厂也必须考虑剂量规定，并且装置设计应使最低剂量“合理可行尽量低”（ALARA）。然而，鉴于在事故风险方面的根本差异，为避免对聚变过程过度监管，采用分级方法是必要的。“所有现有安全标准的问题是，它们都是针对裂变的，”ITER组织安全和质量部副部长Stéphane Calpena说，“我们需要选取与聚变相关的标

准，并以与聚变风险相称的方式适用这些标准，以确保该技术不仅可行，而且确实安全。聚变是一种新的能源创造方式，而且很大程度上仍然是一项新兴技术。”

国际原子能机构正在协助促进这项技术，包括举行技术会议，使专家们共享知识，以帮助克服聚变方面的挑战，并确保聚变装置的安全。2020年11月由Calpena主持召开的国际原子能机构-ITER组织关于聚变安全和辐射防

护首届联合技术会议，重点讨论了制定用于确定聚变装置可能释入环境的放射性物质或危险物质的潜在类型和数量的方法，以及编制与国际原子能机构《安全标准丛书》第SSR-4号和第SSG-12号等同的聚变方面出版物。会议涵盖了诸如聚变装置的风险标准、设计和运行等专题。拟于2021年10月举行的“聚变废物管理讲习班”将研究如何对聚变能生产所产生的放射性废物进行分类和处置。

ITER的一个真空容器部分已安装——一个将有助于约束该装置等离子体的440吨重的部件。

(图/ITER)

