

核聚变能是未来能源的希望吗？

耗资100亿欧元的国际热核聚变实验堆项目对它充满信心

Mark Westra

核聚变是两个轻原子核结合成一个重原子核的过程，是太阳和星星的能量来源。核聚变研究的长期目标是利用这个过程帮助满足人类的未来能源需求。核聚变具有以广泛可利用的丰富燃料资源大规模、安全地提供环境友好的能源的潜力。

过去几十年来，世界各地的科学家们已在聚变研究上取得了巨大的进步。核聚变界现已准备采取下一步措施，并且设计了国际热核聚变实验堆实验。建立国际热核聚变实验堆的目的是为了证明核聚变可用于能源生产，以及为了获得设计和运行第一座核聚变电站所需的数据。该项目参与者即国际热核聚变实验堆的协议方包括欧盟（由欧洲原子能联营代表，包括瑞士）、日本、中国、印度、韩国、俄罗斯联邦和美国。

建造和运行国际热核聚变实验堆是确定核聚变能否有效地被人类用于大规模能源生产的必要步骤。

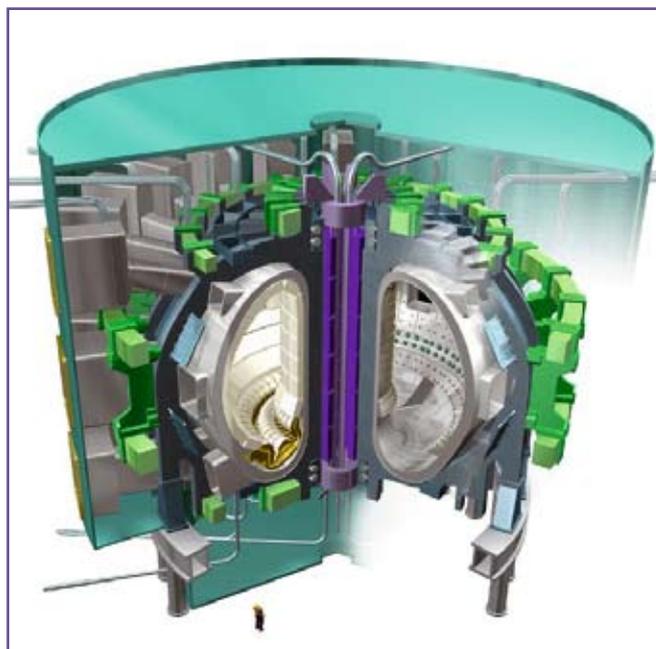
早已开始

虽然世界各地通过多在20世纪80年代建造的许多实验设施在大型聚变实验方面取得了重要的进展，但是从初期阶段便已经看到，要创建在聚变堆中的预期条件和证明聚变的科学和技术可行性，需要建造一座大功率的大型装置。因此，20世纪80年代初，世界各地的聚变计划开始进行自己的设计。

建造国际热核聚变实验堆的想法最早源于1985年11月在日内瓦召开的超级大国峰会。在这次峰会上，前苏联领导人戈尔巴乔夫在与法国总统密特朗协商后，向里根总统提出了建立一项为和平目的发展聚变能的国际项目。国际热核聚变实验堆项目随后作为前苏

联、美国、欧盟和日本之间的一项合作项目而开始。

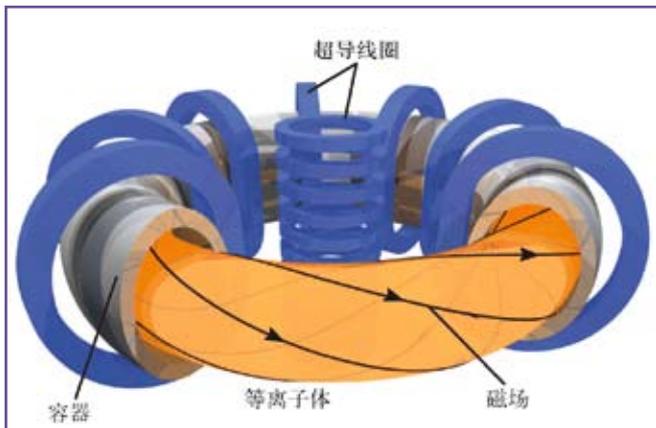
国际热核聚变实验堆自概念提出以来，在目前作为《国际热核聚变实验堆联合实施协定》（《联合实施协定》）保存者的国际原子能机构的支持下，已经取得了发展。国际原子能机构始终积极地提供支持，例如组织两年一次的聚变能会议以及与国际热核聚变实验堆会议的技术协调会议，出版国际热核聚变实验堆项目文件和每月简讯。



自1998年国际热核聚变实验堆装置的概念设计工作开始以来，国际热核聚变实验堆已经过了不同阶段的发展，在2001年实现了上述设计。

前面的人衬托出装置的规模。

来源：Eric Verdult, www.kennisinbeeld.nl



国际热核聚变实验堆的基本原理：利用超导线圈（蓝色）产生的强大磁场将热等离子体（橙色）约束在环形容器内。

较长持续时间的能量生产

国际热核聚变实验堆的目标是“论证聚变能用于和平目的的科学和技术可行性。”为实现这一目标，国际热核聚变实验堆将论证较长持续时间的能量生产，综合系统中所需的各种聚变能技术的可行性，以及对利用聚变作为一种实际能源所需的关键器件进行试验。

科学家将在类似于核聚变电站中所预期的条件下研究等离子体。国际热核聚变实验堆将在较长时间内产生500 MW的聚变能，比保持等离子体处于适当温度所需的能量输入大十倍。因此它将是产生净功率的第一次聚变实验。它还将对包括实际核聚变电站所需的加热、控制、诊断和远程维护等许多关键技术进行试验。国际热核聚变实验堆还将对利用等离子体周围转换区内的锂增殖氚的各种概念进行试验和发展。

与目前有关未来核聚变电站的各种概念设计相比，国际热核聚变实验堆将包括大多数的必要技术。它在尺寸上比这些设计略小，将在这些设计大约六分之一的功率输出水平下运行。

国际热核聚变实验堆装置

国际热核聚变实验堆以“托卡马克”概念为基础。“托卡马克”是一种环形容器的，四周用线圈缠绕以产生强磁场，在“托卡马克”容器中产生和保持聚变所需要的条件。在国际热核聚变实验堆中，所有磁性线圈都是超导的。

由氢的两种同位素氘和氚组成的燃料混合物将

被加热到超过1亿度的温度。这种高温使一些燃料颗粒融合在一起，在每次反应中产生一个氦原子和一个中子。聚变反应产生的大多数能量通过这些中子传送到容器壁。在容器壁里面，这些中子与包含锂原子的“转换区”层反应产生燃料氚。由于中子碰撞减速而积淀的热量通过冷却流体被带走。

为使受约束等离子体产生比它加热所需更多的能量，受约束等离子体需要足够的热、足够的密集和足够长时间的约束。为实现其目标，国际热核聚变实验堆在尺寸上将是现有最大托卡马克“欧洲联合环”（位于英国）的2倍，在聚变性能上预计大好多倍。这些在尺寸和物理性能方面的延展使国际热核聚变实验堆的设计产生一些较大的不确定性。

国际热核聚变实验堆组织

国际热核聚变实验堆项目将由一个新的国际组织承担。这个组织就是国际热核聚变实验堆组织，总部设在法国南部的卡达拉奇。该组织将负责国际热核聚变实验堆项目的所有方面，例如许可证审批程序、硬件采购、调试和运行，以及设施使用寿命结束时去活化。

该组织根据《联合实施协定》建立。《联合实施协定》2006年11月21日由国际热核聚变实验堆的参加方签署，并将在2007年由参加方的国会批准（在当地法律要求的情况下）。

该组织成员将承担国际热核聚变实验堆的费用。国际热核聚变实验堆的建造费用估计为50亿欧元，建造期大约持续10年。预计建成后运行20年，运行费用同样为50亿欧元。国际热核聚变实验堆装置建造期间，按价值90%的部件将由参加方以实物提供，也就是说参加方将提供部件本身而不是支付部件的费用。欧洲作为主办方将提供多达一半的建造费用，其他各方各提供多达10%，因此在目前资金范围内有10%的意外费用。

为了管理和提供对国际热核聚变实验堆的贡献，各参加方目前正在建立自己负责向国际热核聚变实验堆交付部件的国内机构。

选择国际热核聚变实验堆场址用了很长时间，最后在2005年圆满结束。2005年6月28日正式宣布国际热核聚变实验堆将建在欧盟，具体建在法国南部普罗旺斯艾克斯附近的卡达拉奇。在卡达拉奇的施工场地

占地面积约180公顷。

在国际热核聚变实验堆最高领导班子中，曾任日本驻克罗地亚大使和日本国家空间开发局局长的Kaname Ikeda为该项目总干事。项目建造主管为德国人Norbert Holtkamp，他曾在美国橡树岭散裂中子源担任加速器系统负责人。司级领导班子已落实，很快将到卡达拉奇上任。曾开展国际热核聚变实验堆工作的其他联合场址——德国加兴和日本大阪已在2006年底关闭。

时间安排：2016年首次产生等离子体

经过越来越详细的各阶段后，国际热核聚变实验堆的设计在2001年全部完成，可供今后可能参加项目的各方讨论硬件建造费用的分担。由于国际热核聚变实验堆组织（它将代表各参加方作为国际热核聚变实验堆业主，并进行建造工作）已临时开始运作，因此为了尽快开始硬件采购，正在开发更详细的设计。预



国际热核聚变实验堆需要的许多部件和技术已经过工业试验，例如在日本生产的托卡马克容器的这个分段。来源：日本原子力研究所

计今年经过设计审查，将提出国际热核聚变实验堆新的基本设计。

由于国际热核聚变实验堆组织在2006年底组建，《联合实施协定》因等待批准而临时适用，因此场地清理和整平工作将在2007年开始，建造许可证申请将在2007年进行。公众调查将在2008年进行，以便大约在2008年底发放建造许可证。如果这个进度得以实现，建造过程就能够在2009年真正开始，在2016年首次产生等离子体。接着开始大约持续20年的调试和运行阶段和5年的退役阶段。

在通往聚变能的路上

建造国际热核聚变实验堆本身并不是目的：它是实现第一座大规模生产电力的示范核聚变电站的桥梁。聚变研究与发展的长期目标是建立能够安全运行、与环境相容和具有经济活力的电站原型。实现这一长期目标的战略包括许多不同的环节：首先是建造国际热核聚变实验堆，然后是建造原型示范堆。

为建造商用发电反应堆，在完成国际热核聚变实验堆的同时，还需要进一步的技术开发和概念改进。在鉴别低活化高温结构材料是否适合核应用方面，特别需要实现技术进步，这样才能在合理的时间范围内重新利用聚变堆产生的放射性废物。这一点计划作为“更广泛方案”的一部分来实施，以便使聚变尽快走上发展成为一种能源的轨道。这种更广泛方案除了包括国际热核聚变实验堆，还包括其他若干因素。

在原型示范堆这一步应当论证大规模电力生产和氦燃料的自给自足。原型示范堆应当在开始建造国际热核聚变实验堆30~35年后开始运行。它将引领聚变的工业时代，开辟实现第一座商用核聚变电站的道路。

Mark Westra是法国卡达拉奇国际热核聚变实验堆公共关系处处长。

电子信箱：mark.westra@iter.org。

有关国际热核聚变实验堆的更多信息，请访问国际热核聚变实验堆组织网站（www.ITER.org）。