

探索研究堆及其用途

文/Nicole Jawerth和Elisa Mattar

60多年来，研究堆为世界提供了一个“万能”工具，用于测试材料和推进科研，以及开发和生产对诊断（有时是治疗疾病）至关重要的放射性物质。研究堆的设计种类繁多，应用范围非常广泛，为帮助世界各国实现可持续发展目标提供了社会经济效益。

迄今为止，已经建造了800多座研究堆。尽管多年来其中许多堆已经关闭并退役，但在53个国家有224座堆仍在继续运行。目前，有9座新研究堆在建设中，在过去10年，已经建成了10多座。由于大多数研究堆都是在20世纪60和70年代建造的，因此当今世界一半可运行的研究堆已超过40多年，70%左右超过30年。

什么是研究堆？

研究堆是主要用来产生中子的小型核反应堆，不同于规模较大的发电用核动力堆。与核动力堆相比，研究堆的设计较简单，运行温度较低，所需燃料很少，因此产生的废物也少得多。鉴于它们在研究和开发中的重要作用，许多研究堆都建在大学校园和研究院所。

研究堆的功率以兆瓦（MW）计，1兆瓦等于100万瓦特，瓦特为功率单位。研究堆的输出功率从0兆瓦（例如临界装置的输出功率）到200

兆瓦不等，这与大型核动力堆机组的3000兆瓦（也表示为电功率1000兆瓦）对比相形见绌。然而，大多数研究堆的输出功率低于1兆瓦。

如何利用研究堆？

研究堆产生的中子是一种几乎所有原子中都含有的亚原子粒子，对原子和微观层面的科学研究很有用。它们被用来生产医疗用放射性同位素，也用于辐照研发裂变堆和聚变堆所用的材料，还有其他多种用途。这些粒子主要用于工业、医学、农业、法证学、生物学、化学和地质年代学等领域。

与动力堆不同，研究堆还非常适合于教育和培训。这是因为它们不那么复杂，其系统和总体设计简单，让人易于接近，从而使得其能够安全地模拟不同的反应堆工况。研究堆可用于培训反应堆操作员、核设施维护和运行人员、辐射防护人员、监管人员、学生和研究人员。

研究堆的一些特殊用途

1932年物理学家詹姆斯·查德威克发现中子后，人们开始了对中子的研究。到20世纪50年代中期，中子在研究中的用途越来越广泛，特别是研究人员开始应用中子散射技术之后。如今，研究堆产生的中子被用于各种用

途。下面介绍它们的一些应用。

中子散射是一种分析技术，用于了解固体和凝聚态物质的结构和行为。当中子与物质中的原子相互作用时，它们的能量和其他性质可能会改变。这些变化可以用来研究物质的结构和动力学。中子的性质也使它们特别有助于研究氢、大的和小的物体，以及其他形形色色的材料，包括磁性材料。这对于了解骨骼如何自我修复、研究大脑中的蛋白质、改进电池和研制磁体等都很有用。

在进行**材料分析**时，往往将中子和X射线结合使用，因为它们可提供互补的信息。中子对较轻的元素（特别是对水中的氢和生物材料）敏感，而X射线对较重的元素（如钢中的铁）更敏感。将中子和X射线技术结合起来，可以获得对样品或物质中所有成分的更高灵敏度。

利用中子进行**材料研究**和材料开发有助于科学理解和发展各种领域的技术，从电子学到医学，以及极端条件下的建筑材料，如太空和核电站中的工作设备。

研究堆提供的中子还可以用来帮助研究人员表征文化遗产对象，如绘画和纪念碑。基于中子的技术可以区分艺术品中使用的不同类型的材料（如颜料），以及人工制品（如岩石）的元素组成和纹理。这些方法被称为“**无损检测**”，因为它们允许研究人员在不损坏物体的情况下对其进行研究。

中子辐照还可以用来创造具有有

用性质的新材料。例如，用中子辐照硅改变其电导率，以用于高功率应用半导体。

研究堆也用于**放射性同位素生产**。放射性同位素是不稳定的元素，通过经历放射性衰变而恢复稳定。放射性同位素在衰变过程中释放出各种辐射，这些辐射可用于医疗或工业用途。

放射性同位素最常见的用途之一是诊断和治疗癌症和心血管疾病等健康问题。医疗上应用最广泛的放射性同位素是锝-99m，它是用放射性同位素钼-99生产的，用于诊断成像（见第12页）。

支持研究堆的利用

原子能机构在促进全世界研究堆利用方面已有数十年的经验。它在研究堆项目的所有阶段向各国提供援助，从规划、建造、调试和运行到使用结束后退役和拆除。原子能机构还支持各国优化其研究堆的高效和可持续利用（见第20页），并帮助没有研究堆的国家获得利用这些反应堆的机会，以便它们也能受益于这些强有力的工具。这种支持的形式包括提供培训、举办讲习班、分享专门知识和最佳实践、开展同行评审服务（见第22页），以及出版导则文件和标准、提供远程教育和网上学习课程等。原子能机构还支持各国解决研究堆的安全和安保问题，包括将研究堆使用的高浓铀燃料安全可靠地转换为低浓铀燃料（见第26页）。