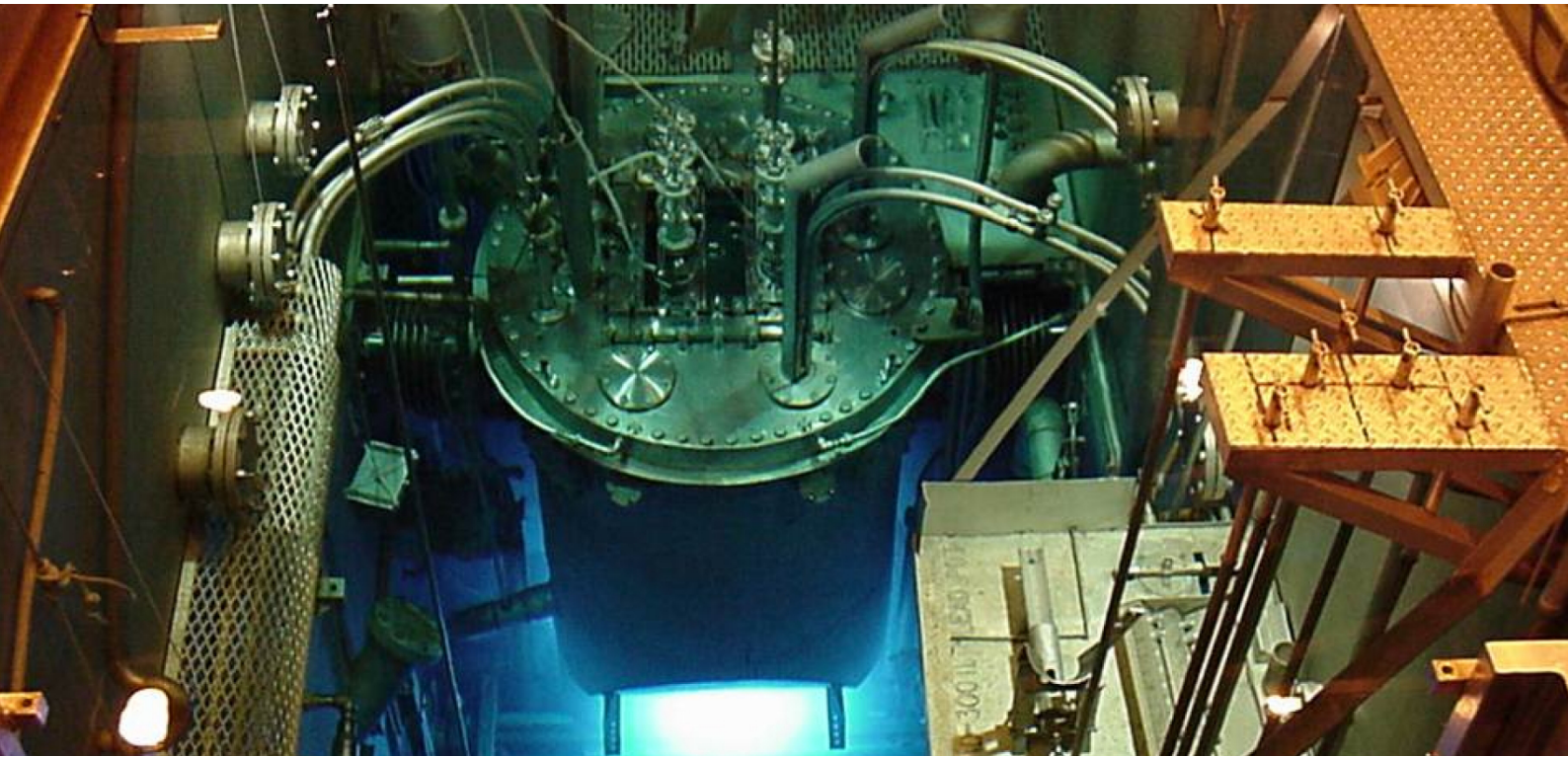


# 研究堆如何使医学成像成为可能

文/Aleksandra Peeva 和 Nicole Jawerth



运行中的SAFARI-1研究堆。  
(图/南非核能公司)

**每**年用于诊断癌症等疾病的医学成像中，超过80%很大程度上是通过研究堆生产的药物实现的。这些放射性药物含有放射性同位素锝-99m（ $^{99m}\text{Tc}$ ），它来自主要在研究堆中生产的放射性同位素钼-99（ $^{99}\text{Mo}$ ）。

“虽然钼-99甚至锝-99m可以用其他方法生产，但研究堆特别经济实惠，非常适合这种情况，尤其适用于商业化、大规模生产。”原子能机构放射性同位素产品和辐射技术科科长Joao Osso说，“这是因为它们可以生产大量具有适当特性的钼-99，使得在医院用发生器提取锝-99m变得很容易，从而为更多的患者保持持续和可靠的放射性药物供应。”

## 从反应堆到患者

研究堆是一种主要用来为其他应用产生中子，而不是用来发电的反应

堆。这些中子可用于各种目的，例如通过辐照铀-235靶产生钼-99。

作为放射性同位素，钼-99是一种不稳定原子，会发生衰变。产生的钼-99衰变掉一半需要66小时，这就是所谓的半衰期。钼-99的衰变产物，也称为其子体产物，是锝-99m。

为了得到锝-99m，经辐照的铀-235靶被移到通常位于研究堆附近的处理设施，将钼-99从其他裂变产物中分离出来，并对其进行提纯。然后，提纯的钼-99被运送到钼-99/锝-99m发生器的生产设施。钼-99/锝-99m发生器用于安全贮存、运输和在医院或其他医疗设施直接现场从钼-99中化学提取锝-99m。

在典型的发生器里，含有钼-99的氧化铝用盐水洗涤。钼-99附着在氧化物上，而锝-99m被溶液带走。这样就产生了锝-99m溶液，然后用来制造不同的放射性药物，以备注入患者体

内。一旦进入体内，衰变的钨-99m释放出的少量辐射就会被置于患者体外的一个特殊相机探测到，从而生成诊断疾病的医学图像。

## 半衰期短，产量稳定

由于钨-99m的半衰期为6小时，提取后必须赶快使用，否则会损失其有效性。由于钼-99的寿命短，而钨-99m的寿命更短，因此必须不断生产以满足全球需求。

钼-99和其他放射性同位素的全球主要生产商之一是南非基础原子研究装置（SAFARI-1），它是南非核能公司的一部分，是非洲大陆领先的医用同位素生产研究堆。在与射性同位素供应商NTP放射性同位素有限公司（南非核能公司的子公司）的合作下，SAFARI-1反应堆已成为世界上五大钼-99供应商之一，并成为全球50多个国家医用放射性同位素供应链的一部分。目前，它的产量约占全球钼-99需求的20%，使用SAFARI-1的钼-99发生器生产的钨-99m用于非洲40多家医院和其他医疗设施。

SAFARI-1高级经理Koos du Bruyn说：“要成为放射化学和放射药物界的全球参与者，关键是要以良好的结构和控制方式实施管理系统、维护计划、人员培训和战略计划。”这也支持了该反应堆在研究和教育以及工业上的二次利用。

在原子能机构的支持下，SAFARI-1自1965年开始运行以来，经历了不断的发展和改进，包括2009年从高浓铀燃料转换为低浓铀燃料（详见第26页），以及2017年完成从高浓铀靶转换为低浓铀靶。这些活动有助于确保反应堆得到更好的利用，并成功地过渡到更多的商业用途。

du Bruyn说：“20世纪90年代，我们改变了运作方式，更加注重维



护和管理，包括组建一支在许多领域具有高技能的专业人员队伍。这使得我们能够从一座低使用率的反应堆转变为一个使用率极高、更可持续的设施。”在1995年至2004年的9年间，该反应堆的使用量超过了之前30年的总和。接着，仅仅七年后，它就取得了同样的成果。截至2019年，SAFARI-1的使用率自1995年以来几乎翻了两番。

在过去的15年中，SAFARI-1一直全天候运行，每年大约300天几乎不间断地运行，预计至少在2030年之前将继续供应钼-99。然而，随着该反应堆的老化，南非正在考虑建一座热功率15至30兆瓦的新多用途研究堆取代它。从可行性研究开始到完工，这一过程将需要长达十年的时间。

du Bruyn说：“如果建造一座新的多用途研究堆，它将配备成在未来60年或更长时间内灵活运行，这样我们就可以适应潜在的变化，比如医用同位素市场的波动和研究要求，并为南非和该地区提供关键的核燃料和材料测试设施。”

用来在研究堆中进行辐照的钼-99靶板和靶板架。  
(图/南非核能公司)

---

“要成为放射化学和放射药物界的全球参与者，关键是要以良好的结构和控制方式实施管理系统、维护计划、人员培训和战略计划。”

—SAFARI-1高级经理Koos du Bruyn

---