

IAEA BULLETIN

国际原子能机构通报

国际原子能机构旗舰出版物 | 2019年11月

在线阅读：
www.iaea.org/bulletin



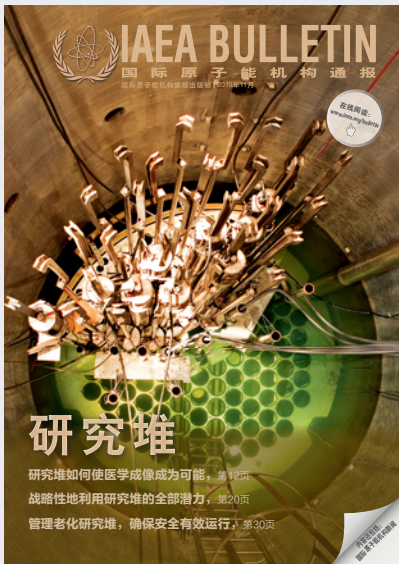
研究堆

研究堆如何使医学成像成为可能，第12页

战略性地利用研究堆的全部潜力，第20页

管理老化研究堆，确保安全有效运行，第30页

内容还包括：
国际原子能机构新闻



《国际原子能机构通报》

主办单位

国际原子能机构新闻和宣传办公室

地址：维也纳国际中心

PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

电话：(43-1) 2600-0

电子信箱：iaebulletin@iaea.org

执行编辑：Nicole Jawerth

编辑：Miklos Gaspar

设计制作：Ritu Kenn

《国际原子能机构通报》可通过以下网址在线获得：

www.iaea.org/bulletin

《国际原子能机构通报》所载的原子能机构资料摘录可在别处自由使用，但使用时必须注明出处。非原子能机构工作人员的作品，必须征得作者或创作单位许可方能翻印，用于评论目的的除外。

《国际原子能机构通报》任何署名文章中表达的观点不一定代表原子能机构的观点，原子能机构不对其承担责任。

封面照片来源：国际原子能机构

请关注我们



国际原子能机构（原子能机构）的使命是防止核武器扩散和幫助所有国家特别是发展中国家从核科学技术的和平、安全和可靠利用中受益。

1957年作为联合国下的一个自治机构成立的原子能机构是联合国系统内唯一拥有核技术专门知识的组织。原子能机构独特的专业实验室帮助向原子能机构成员国传播人体健康、粮食、水、工业和环境等领域的知识和专门技术。

原子能机构还作为加强核安保的全球平台。原子能机构编制了有关核安保的国际协商一致准则出版物《核安保丛书》。原子能机构的工作还侧重于协助最大限度地减少核材料和其他放射性物质落入恐怖分子和犯罪分子手中或核设施遭受恶意行为的风险。

原子能机构安全标准提供一套基本安全原则，反映就构成保护人和环境免受电离辐射有害影响所需的高安全水平达成的国际共识。这些原子能机构安全标准的制定针对服务于和平目的的各种核设施和核活动，以及减少现有辐射风险的防护行动。

原子能机构还通过其视察体系核查成员国根据《不扩散核武器条约》以及其他防扩散协定履行其将核材料和核设施仅用于和平目的的承诺情况。

原子能机构的工作具有多面性，涉及国家、地区和国际各个层面的广泛伙伴的参与。原子能机构的计划和预算通过其决策机关——由35名理事组成的理事会和由所有成员国组成的大会——的决定来制订。

原子能机构总部设在维也纳国际中心。外地和联络办事处设在日内瓦、纽约、东京和多伦多。原子能机构在摩纳哥、塞伯斯多夫和维也纳运营着科学实验室。此外，原子能机构还向设在意大利的里雅斯特的阿布杜斯·萨拉姆国际理论物理中心提供支持和资金。

利用研究堆的能力

国际原子能机构代理总干事科尔内尔·费卢塔

几十年来，研究堆一直是推动全球核科技创新的有力工具。

目前，有224座研究堆在53个国家运行。它们的许多应用包括生产用于癌症治疗和核医学的放射性药物，帮助创造研究和工业用的新材料，以及培训核科学家和工程师。研究堆通常不用于发电。

60多年来，原子能机构一直在帮助各国建立、运行和维护研究堆，以期获得研究堆为科学和社会带来的巨大利益。

本期《国际原子能机构通报》研究了研究堆以及原子能机构帮助各国从中获得最佳利益的许多方式，概述了研究堆是如何使用的（第4页），例如用于医疗扫描的放射性同位素生产（第12页）和核专业人员的教育和培训（第14页）。参观图片让我们深入了解约旦的一个研究堆设施（第16页）。

对于正在启动研究堆计划的国家，原子能机构的“里程碑”方案为开发安全可靠地使用这些多功能工具所必要的基础结构提供了一种全面、循序渐进的方法（第6页）。对于已经拥有研究堆或正在寻求建造更多研究堆的国家，原子能机构的专家同行评审服务为评价和改进安全、安保和运行提供了途径（第22页）。

许多国家与原子能机构合作，以

最大限度地利用其研究堆，特别是那些几十年前建造的缺乏长期战略计划的研究堆（第20页）。例如，比利时正在采用老化管理计划，以优化其研究堆在未来几十年的使用（第30页）。另一方面，乌兹别克斯坦与原子能机构的专家合作，以使其一个研究堆退役（第32页）。

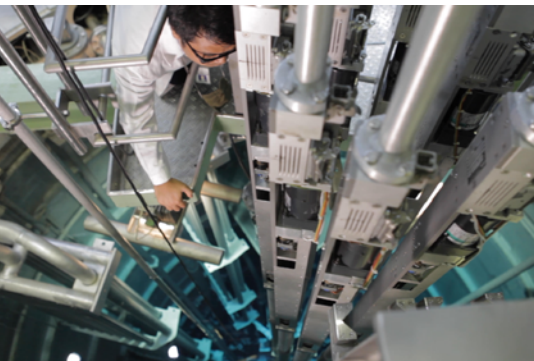
研究堆必须始终以安全可靠的方式使用。许多国家与原子能机构合作，将安保系统和措施纳入现有和新的研究堆（第24页），实施安全监管（第8页），以及建立强大的安全文化（第10页）。

原子能机构在将研究堆燃料从高浓铀转换为低浓铀的国际努力中发挥了积极作用，以尽量减少高浓铀的民用，并减少相关的安保和扩散风险（第26页）。原子能机构保障视察员核实研究堆的核材料和核技术没有从和平用途中转用（第28页）。

将于2019年11月25日至29日举行的原子能机构“研究堆：应对挑战与机遇，确保有效性和可持续性”国际会议，将审查所有这些领域，并为反应堆营运者、管理者、使用者、监管者、设计者和供应商提供一个交流最佳实践和相互学习的平台。我希望本期《国际原子能机构通报》将提供有益的见解，有助于鼓励在大会上和以后的讨论。

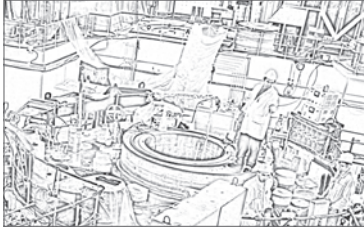


60多年来，原子能机构一直在帮助各国建立、运行和维护研究堆，以期获得研究堆为科学和社会带来的巨大利益。
—国际原子能机构代理总干事
科尔内尔·费卢塔



(图/国际原子能机构)

1 利用研究堆的能力



4 探索研究堆及其用途



6 发展核基础结构, 从研究堆中获益



8 摩洛哥及其他地区研究堆的监管



10 对安全的领导和管理 与荷兰核研究和咨询集团运营总监的问答



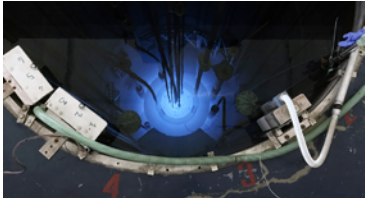
12 研究堆如何使医学成像成为可能



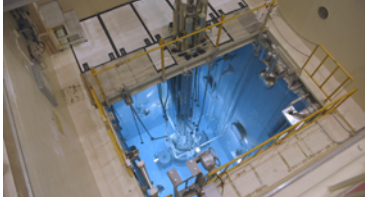
14 利用研究堆培养技能和构建知识



16 自始至终保持安全 参观约旦研究堆设施



20 战略性地利用研究堆的全部潜力



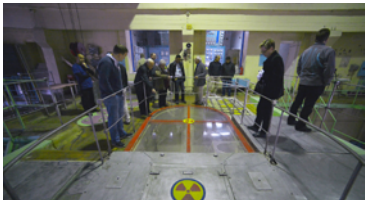
22 加强安全、安保和可靠性
国际原子能机构研究堆同行评审工作组访问



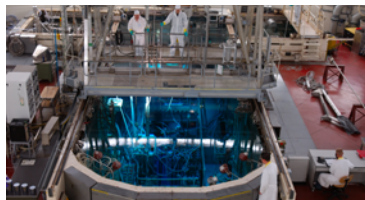
24 量体裁衣
如何将核安保纳入研究堆



26 各国转向使用低浓铀作为研究堆燃料



28 核查研究
对研究堆实施保障



30 管理老化研究堆, 确保安全有效运行



32 乌兹别克斯坦第一座研究堆的退役

世界观点

34 维持研究堆的可持续性

文/Helmuth Boeck

国际原子能机构最新动态

36 新闻

40 出版物

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。

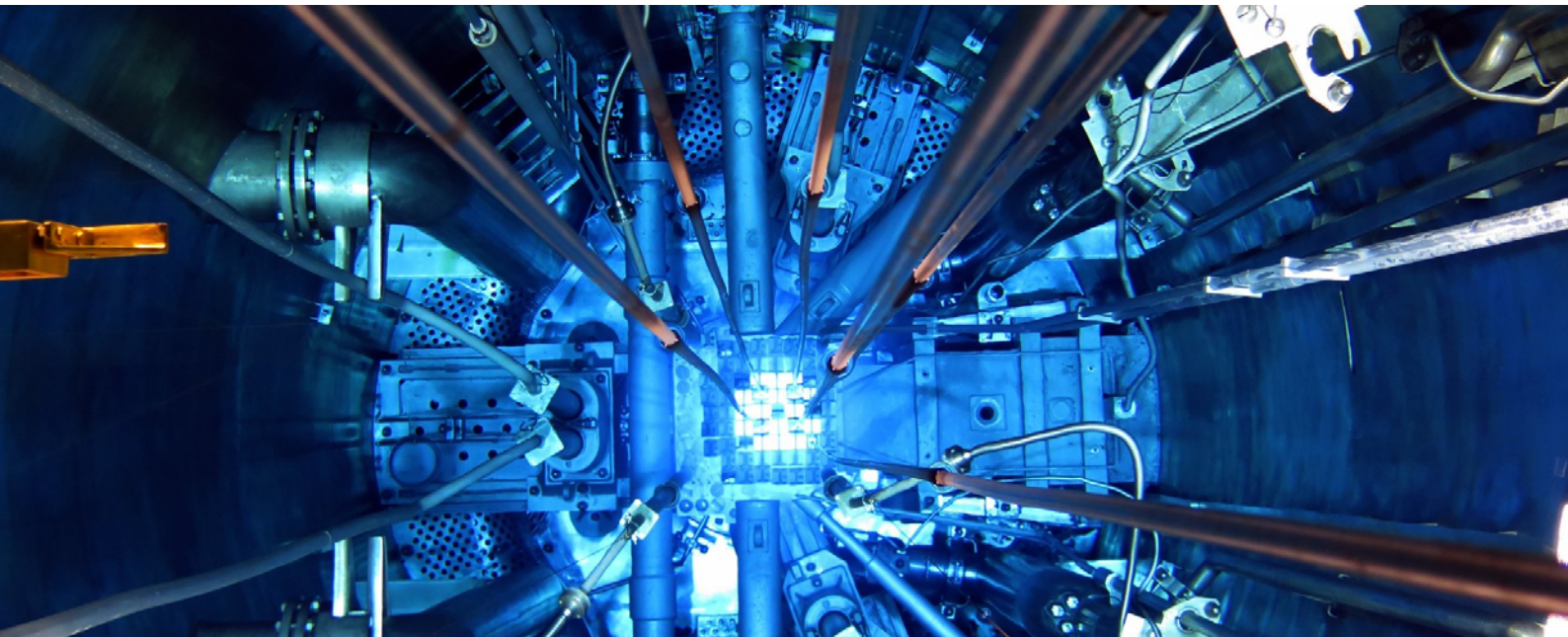
放射性同位素最常见的用途之一是诊断和治疗癌症和心血管疾病等健康问题。医疗上应用最广泛的放射性同位素是锝-99m，它是用放射性同位素钼-99生产的，用于诊断成像（见第12页）。

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）。

发展核基础结构，从研究堆中获益

文/Matt Fisher



研究堆堆芯。
(图/国际原子能机构)

研究堆可用于各种目的，从培训核工程师和开展科学研究，到生产放射性同位素和研发先进材料。但是在国家可以启动新的研究堆项目之前，它必须首先建设适当的基础结构。

“原子能机构就建立和实施研究堆项目中的问题提供指导，其中包括法律和法规框架、人力资源发展、保障、安全和安保等问题。”原子能机构研究堆核基础结构和能力建设技术负责人Andrey Sitnikov说，“原子能机构的‘里程碑’方案有助于各国有效和全面地发展其研究堆计划，使他们能够安全可靠地利用其研究堆。”

“里程碑”方案

“里程碑”方案是一项分为三个阶段的综合计划，列出了一个国家在19个基础结构发展领域必须完成的任务，包括核安全、人力资源、融资和管理。它既可用于核电计划，也可用于研究堆计划。

虽然该方案在总体轮廓上与研究

堆计划和核电计划大致相似，但主要区别在于利用程度：研究堆的应用范围很广，而核动力堆主要用于发电。这意味着，当一个国家在研究堆方面采取“里程碑”方案时，它必须首先确定该研究堆将作何用。了解研究堆的目的，不仅对于确定所需的具体基础结构要素（例如要聘用的专家类型和要建造的设施）至关重要，而且对于有效应用“里程碑”方案也是至关重要的。

发展的三个主要阶段

研究堆的开发过程分为三个主要阶段：编制可行性报告，以论证研究堆项目的必要性；为开始反应堆建造做准备，包括建立法律和监管框架；建造和调试新反应堆。

每个阶段都有一个完成标志，或曰“里程碑”，以帮助国家在开始下一阶段的工作之前跟踪其进展并评估其准备情况。完成“里程碑1”意味着一个国家已具备启动研究堆计划条件；

完成“里程碑2”意味着一个国家已具备开始谈判反应堆建造和运行合同条件；完成“里程碑3”意味着反应堆已具备调试条件。

审查和改进

评估哪些基础结构业已就绪和哪些基础结构还需要进一步发展，是建立或扩大研究堆计划的一个重要步骤。原子能机构根据请求，通过“研究堆综合核基础结构评审”工作组访问帮助各国审查现状和确定可能需要改进的领域。“研究堆综合核基础结构评审”工作组访问是由原子能机构协调的同行评审工作组访问，具有整体性，由原子能机构专家和具有专业研究堆核基础结构直接经验的外部专家组成的国际团队进行。

在评审工作组访问之前，有关国家将首先根据原子能机构出版物《研究堆项目的具体考虑和里程碑》完成一份关于19个基础结构问题的自我评价报告。然后，专家们根据在“研究堆综合核基础结构评审”工作组访问期间收集的证据，包括战略计划和场址考虑，对项目情况进行评估。

评审工作组访问结束后，“研究堆综合核基础结构评审”工作组编写一份报告，就要执行的行动事项提出建议。后续评审工作组访问可能在初始工作组访问后两年左右进行，以评估对建议的落实情况。根据评审结论，有关国家与原子能机构通常制定一项行动计划，在19个基础结构问题中的某些问题上进行有针对性的能力建设。

首次“研究堆综合核基础结构评审”工作组访问

2018年2月，首次“研究堆综合核基础结构评审”工作组访问在尼日利亚进行。尼日利亚有一座热功率30kW的微型中子源研究堆（微堆），该反应堆

自2004年开始运行，用于培训活动和中子活化分析，但不能作其他应用。

尼日利亚当局设想建造一座功能更全的多用途研究堆，包括生产用于癌症治疗和食品保存的放射性同位素。多用途研究堆还将有助于丰富其运行大型反应堆方面的经验，协助该国未来向可能的核电计划迈进。

由于尼日利亚已经拥有一项研究堆计划，因此多用途研究堆的大部分基础结构要求已经在一定程度上得到解决；然而，运行一座更大规模的研究堆需要进一步加强和建设现有的基础结构。“研究堆综合核基础结构评审”工作组提出的建议强调更加注重人力资源发展。尼日利亚计划在2025年前使拟建的研究堆投入运行。

再展宏图

建一座多用途反应堆也是越南拟扩大其计划的一部分，旨在扩大该国利用研究堆可以实现的目标范围。越南目前运行着一座相对较小的研究堆——一座热功率 500 kW的池式堆，用途甚多，包括有限的放射性同位素生产和中子束研发。

2018年12月在越南开展了一次“研究堆综合核基础结构评审”工作组访问。评审工作组的结论是，越南在建设多用途研究堆所需的基础结构方面取得了显著进展。建议包括进行更详细的多用途研究堆利用评估，同时加强监管机构的独立性。

“拟建的热功率10~15兆瓦研究堆将提高我们在科学研究、教育和培训以及放射性同位素生产方面的能力。”越南原子能机构主任Hoang Anh Tuan说。越南计划在2026年前建成多用途研究堆。“‘研究堆综合核基础结构评审’工作组访问帮助我们确定了进一步发展基础结构的领域，包括我们的放射性废物管理战略和监管框架。”

“‘研究堆综合核基础结构评审’工作组访问帮助我们确定了进一步发展基础结构的领域，包括我们的放射性废物管理战略和监管框架。”

—越南原子能机构主任Hoang Anh Tuan

摩洛哥及其他地区研究堆的监管

文/Laura Gil

研究堆可能比核动力堆小一些、简单一些，所需燃料也更少，但它们仍然需要遵守严格的安全和安保法规。

“任何涉及电离辐射源的活动或实践，除非被豁免或排除在监管制度之外，都必须加以监管和控制。如果不加以控制，它可能弊大于利。”摩洛哥核与辐射安全和安保局局长Khammar Mrabit说，“为了确保安全和安保，我们需要监管监督。”

支持世界各地的监管机构确保研究堆的核安全和安保是原子能机构的重要职能之一。以摩洛哥为例，该国运行着一座TRIGA Mark II 研究堆，原子能机构帮助其监管机构成为一个具有有力检查能力、独立性和可靠性的样板。

TRIGA Mark II 研究堆作为国家核能、科学和技术中心的一部分，于2007年开始运行。该国的核法律颁

布于1971年，民事责任法颁布于2005年，都没有预见到诸如核恐怖主义等潜在威胁，根据Mrabit的说法，当时的监管机构缺乏足够的独立性，因此求助于原子能机构。

“一方面，我们拥有法律法规，另一方面，我们拥有主要负责安全的营运者。在这其中和不断的发展过程中，我们还需要一个具有明确职能、角色和责任的独立监管机构，以进行授权和检查等工作。” Mrabit说。

原子能机构支持摩洛哥在2014年制定和颁布了一项新的核法律，并建立了一个由摩洛哥总理领导的新的独立监管机构。2016年，摩洛哥核与辐射安全和安保局的专家制定了一项升级监管系统的战略行动计划。来自相关部委、专业组织、技术支持机构和原子能机构的30多个利益相关方参与了这一过程。

TRIGA Mark II 研究堆是摩洛哥

“任何涉及电离辐射源的活动或实践，除非被豁免或排除在监管制度之外，都必须加以监管和控制。如果不加以控制，它可能弊大于利。”

—摩洛哥核与辐射安全和安保局局长Khammar Mrabit



的最大核设施，因此受到该国当局和技术专家的高度重视。它在许多活动中发挥作用，包括在核医学、工业应用和放射性废物管理方面的研究和培训。原子能机构在监管监督方面的支持包括评审工作组访问（见第22页）、协助制定法规和提供技术专门知识。

摩洛哥亦是北非及其他地区研究堆监管监督的培训中心。

“我们需要拥有一个明确的愿景和计划。”原子能机构核安全官员Farhana Naseer说，“摩洛哥从一开始就采取了连贯、战略性和分级的办法。该国的经验将成为最佳实践的良好资源，并成为其他国家的榜样。”

伊比利亚-美洲放射性和核监管机构论坛

其他地区的国家也在分享研究堆监管监督的最佳实践。例如，作为一个联合项目的一部分，伊比利亚-美洲放射性和核监管机构论坛正在分享他们自己的最佳实践，并在监管检查领域相互支持。

“我们的想法是，交流经验，对

所有反应堆都有共同的监管标准。”

该项目协调员、负责秘鲁核能研究所研究堆检查工作的专家Gerardo Lázaro说，“以原子能机构标准为参考，30年来我们一直顺利地开展工作。”他说，“整个地区所有研究堆都有大量的经验。重要的是，我们要分享我们获得的经验和知识，这样才能继续改进。”

该项目的目标是，在原子能机构的支持下，为核研究堆运行人员编制一份西班牙文标准化检查手册。手册预计将于2020年定稿，并将补充有关研究堆老化管理监督的参考监管导则。老龄化越来越引起人们的关注，因为伊比利亚-美洲放射性和核监管机构论坛国家的所有研究堆都已有数年的运行历史。

目前在9个拉丁美洲和加勒比国家有16座研究堆在运行，其中15座在伊比利亚-美洲放射性和核监管机构论坛国家。从学术研究和教育到在农业和环境中的应用，以及医疗和工业用放射性同位素的生产，这些反应堆提供着基本服务。

对研究堆进行监管检查。

（图/摩洛哥核与辐射安全和安保局）



对安全的领导和管理 与荷兰核研究和咨询集团运营总监的问答

文/Laura Gil

安全对于包括研究堆在内的所有核设施都是第一位的。在员工中培养一种了解安全重要性和维持安全所需措施的文化——安全文化——是很重要的。薄弱的安全文化会导致安全措施薄弱，最终会影响人们的福祉和环境。但我们如何确保安全呢？研究堆的一些主要安全问题是什么，为什么领导和对于解决这些问题至关重要？为了找出答案，我们采访了荷兰核研究和咨询集团的五位领导人之一，运营总监Jelmer Offerein。他在安全管理和领导方面拥有数十年的经验。

荷兰核研究和咨询集团是一家拥有650名员工的研究公司，运营着欧盟委员会的高通量反应堆，这是一座位于荷兰的多用途研究堆。荷兰核研究和咨询集团公司生产同位素，开展核技术研究，就核设施的安全和可靠性向业界提供建议，以及提供与辐射防护有关的服务。

问：您能跟我们谈谈荷兰核研究和咨询集团的战略以及它是如何做到安全的吗？

答：荷兰核研究和咨询集团的战略很简单：我们想成为世界上最大的医用同位素生产商。我们从2008年就开始表示，我们将成为一家医用同位素生产商。11年过去了，我们做到了。我们是最大的钼-99生产商之一，但仍然不是最大的医用同位素生产商。这需要时间。

医用同位素产业是一个成长中的产业。生产量每年都在增加，这当然是积极的，但必须使我们的组织适应这一点。这就需要更多的操作人员、更多的设备、更多的容器、更多的工具、更多的培训和更多合格的人员，而且必须以安全和可靠性不受影响的方式来完成这项工作。

为确保安全，需要有一项明确的战略。我们注意到，在过去，我们同时做了很多事情。如果人们倾向于同时做五六件事，质量就会下降，如果质量下降，安全水平也会降低。少做点事情，但把它们做得更好，这才是更聪明的做法。少点东西，但做得对。为此，我们需要突出重点，且筹谋到位。

问：领导者和管理者是如何影响研究堆的安全的？

答：对我来说，考虑的最重要事情之一就是人们的期望。我们过去有些管理者根本不谈安全，如果你根本不谈安全，工人们就不知道对他们的期望是什么。领导者需要倾听员工的心声，知道他们关心的是什么。领导者还必须激励和鼓励他们。

“如果你根本不谈安全，工人们就不知道对他们的期望是什么。领导者需要倾听员工的心声，知道他们关心的是什么。领导者还必须激励和鼓励他们。”

—荷兰核研究和咨询集团运营总监Jelmer Offerein

领导者还必须做出表率，特别是当我们谈论安全问题时。我有一个很好的轶事来说明这一点。事情与汽车我们的研究堆设施场址的停放方式有关——出于安全原因，汽车必须倒车进入停车位。一天早上，在我职业生涯的开始，当我刚开始做管理总工程师的时候，我把车停错了方向，我的一位同事说：“Jelmer，你把车停错方向了！”就在那时，我意识到，如果我把车停错了方向，每个人也都有权利这么做。这让我大开眼界，让我意识到树立榜样的重要性。为了安全起见，你不能以错误的方式“停车”。从那以后我就把车停对了。

问：谈到安全文化，领导和管理是有区别的。有什么区别？为什么它对安全是重要的？

答：这种区别的一个很好的例证是，管理者是在一群人的背后告诉他们该做什么，而领导者是这群人中的一员，引导他们。对我来说，管理者们制定和控制年度计划，并确保它们得到落实。此外，领导者还要制定愿景，告诉员工们为什么这些计划是必要的，并与员工一起实施这些计划。归根结底，一个好的管理者也是一个领导者，一个好的领导者也是一个管理者。

问：原子能机构在你们的研究堆安全方面发挥了什么作用？

答：荷兰核研究和咨询集团已经与原子能机构密切合作了很长时间。

原子能机构通过创建一个平台帮助我们交流经验和知识，并与业界密切协商制定安全导则，还派遣工作组访问我们，例如重点从技术角度关注安全问题的“研究堆综合安全评定”工作组。由于我们还想了解我们的安全文化状况，并希望收到有关需要改进领域的意见，因此我们请求原子能机构进行一次“独立安全文化评定”工作组访问。

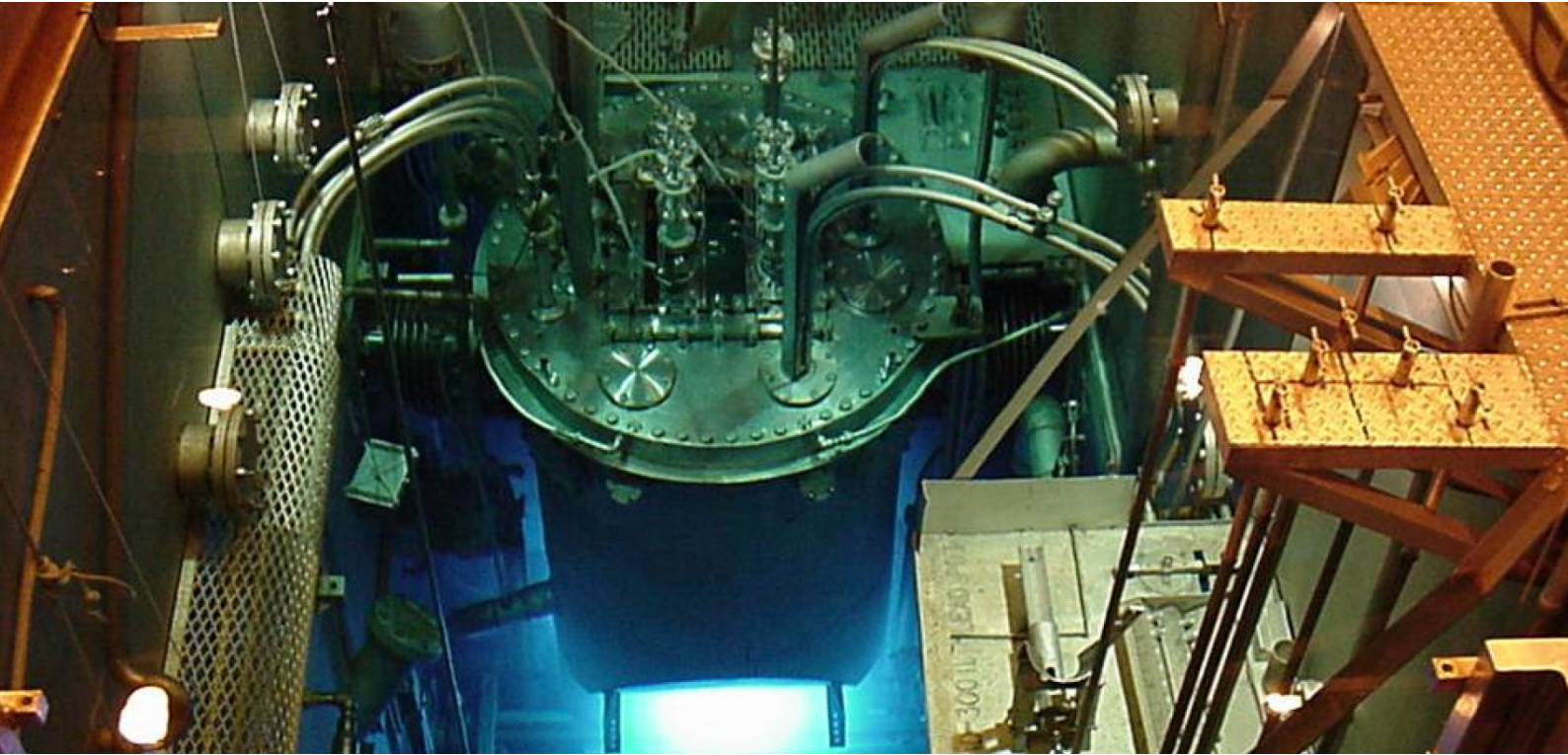
2017年，一个由专家领导的“独立安全文化评定”工作组来对我们的安全文化进行了评定。他们审查了文件，采访了员工，考察了我们的综合管理系统，以及我们的培训和资格认证计划，并组织了焦点小组，以了解员工之间的动态和互动。“独立安全文化评定”工作组的报告显示，我们确实走上了正确的轨道，但仍有需要改进的地方。

其中之一就是我们的岛屿文化；我们有不同的设施，它们周围有很大的安保围栏，这使得员工们很难见面。出于安保考虑，这是完美的，但如果你想在各种话题上与同事近距离互动，那就不理想。我们还致力于改进对我们的角色和职责的描述，并将这些角色整合到我们的管理系统中。

我们致力于这些领域的工作。该工作组在18个月后再来查看建议的落实情况，发现我们在改善安全文化方面取得了进展。当然，我们的改进工作永无止境——我们周围的世界在快速变化，所以我们总是要不断改进和适应。

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 (99mTc)，它来自主要在研究堆中生产的放射性同位素钼-99 (99Mo)。

“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

利用研究堆培养技能和构建知识

文/Nicole Jawerth

通过与阿根廷RA-6研究堆的一个教室连接，学生们在做远程实时实验。

(图/阿根廷国家原子能委员会P. Cantero)



研究堆是世界各地培训核专业人员的重要资源，但只有大约四分之一的国家拥有自己的研究堆。

“在教育和培训核专业人员方面，没有研究堆不一定会限制一个国家的选择。现在有多种可能性。”原子能机构核燃料循环和废物技术处处长Christophe Xerri说。

为了帮助确保学生和核专业人员能够得到他们需要的教育和培训，无论他们的国家是否有研究堆，原子能机构都支持在实地和远程举办国际培训班，并促进各国之间的协作，以增加学员得到在研究堆上学习的机会。

研究堆是一种主要用来产生中子，而不是发电的核反应堆。尽管研究堆主要用于研究和应用，但他们还在教育和培训在核设施、辐射防护和核监管领域工作的初出茅庐和成熟的专业人员方面发挥着重要作用。

原子能机构资深安全官员David Sears说：“研究堆提供了一种亲身实践的方式，可以更深入地了解反应堆运行的基本原理，而且，知道它们是如何设计的，就可以利用它们安全地模拟不同类型的反应堆工况，这一点是核动力堆所做不到的。”

联机上网

对于物理和核工程专业的学生来说，利用研究堆做实验是一个重要的学习工具。然而，并不总是能实际接触到研究堆，特别是当学生本国没有研究堆时。现在，原子能机构的“因特网反应堆实验室”项目等替代方案正在弥补这一缺憾。“因特网反应堆实验室”建立于2015年，通过因特网将世界各地的教室与联接在运研究堆的教室连接起来，为学生和专业人员的培训提供一个成本效益高的实用学习环境。这使得学员能够参与活生生的反应堆物理实验，并学习更多反应堆操作的知识。

“2018年我参加‘因特网反应堆实验室’学习时，已经学到了很多关于反应堆的知识，但之前从未见过反应堆。”现任古巴高等技术与应用科学研究所原子与分子物理部教授、研究员的José David Cremé Angel Bello说，“对于作为核工程师的我的培训来说，‘因特网反应堆实验室’项目是一个了不起的经历，因为我们古巴没有核反应堆，所以这让我能够看到并实践我们在理论上所研究的东西，与核反应堆实时互动并做实验。这有助于我为职业生涯做好准备。”

Cremé是一名核工程专业的学生，他受益于通过原子能机构和阿根廷国家原子能委员会之间协议设立的“因特网反应堆实验室”项目。该协议于2013年签署，并成为拉丁美洲“因特网反应堆实验室”项目的基础，该项目是除与法国的“因特网反应堆实验室”项目外的首批此类项目之一。虽然与法国的“因特网反应堆实验室”项目随着主办反应堆的永久关闭而结束，但“因特网反应堆实验室”项目后来扩展到非洲、亚洲及太平洋、欧洲，主办反应堆分布在捷克共和国、韩国和摩洛哥，欧洲其他地区 and 东南亚也在考虑新的主办反应堆。

实地培训

虽然“因特网反应堆实验室”提供利用研究堆的远程教育，但是原子能机构举办的实地面对面培训班继续为培养技能、构建知识和网络提供重要途径。几十年来，原子能机构已支持和协调了对数百名学生、年轻专业人员和资深专家的培训。这些培训班涵盖了运行和维护、监管安全检查、核安保和实物保护以及特定应用用途（例如用于医学的放射性同位素生产和工业材料试验）等主题。

“参观研究堆并进行一些实验，感受操作研究堆的感觉，这是一次宝贵的经历。”斯洛文尼亚约瑟夫·斯蒂芬研究所反应堆物理学家Luka Snoj说。他还参加了原子能机构组织的名为“东欧研究堆倡议”小组进修培训班。这项倡议包括一个面向年轻专业人员、以研究堆各个方面为重点的为期六周的培训班。

“许多参加‘东欧研究堆倡议’培训班的学员带着他们在这些培训班获得的经验和联系回到自己的国家，成为成功的科学家和工程师，有的成为他们本国的首席核专家。”Snoj说，“对我们东道主来说，‘东欧研究堆倡议’一直是提高我们反应堆的国

际知名度的重要途径，并使我们建立起在该领域进行长期合作、科学考察和培训的联系。”“东欧研究堆倡议”是原子能机构支持的几项活动之一，其他活动包括在非洲、亚洲及太平洋、拉丁美洲的地区培训班和研究堆短训班。

为了进行更高级的培训，以及便于更广泛地接触从事科学工作的研究堆，原子能机构于2014年启动了“原子能机构指定的基于研究堆的国际中心”计划。作为该计划的一部分，世界各地的主要研究中心自愿积极提供国际合作机会。一个国家要加入“原子能机构指定的基于研究堆的国际中心”，就必须通过与该中心签署双边协议成为其附属机构。例如，原子能机构通过分享各个“原子能机构指定的基于研究堆的国际中心”已有能力的信息来促进这一过程。

“‘原子能机构指定的基于研究堆的国际中心’计划不仅在培训操作人员方面发挥重要作用，而且在促进使用最适合特定类型实验的研究堆方面也发挥重要作用。”Xerri说。比利时、法国、韩国和俄罗斯都有“原子能机构指定的基于研究堆的国际中心”，美国有两个。

“对于作为核工程师的我的培训来说，‘因特网反应堆实验室’项目是一个了不起的经历，因为我们古巴没有核反应堆，所以这让我能够看到并实践我们在理论上所研究的东西，与核反应堆实时互动并做实验。这有助于我为职业生涯做好准备。”

—参加过原子能机构“因特网反应堆实验室”的古巴学员José David Cremé Angel Bello

上网学习更多知识

原子能机构开发的网上学习课程是补充与研究堆有关的教育和培训的有益资源。这些课程涵盖以下主题：

- 研究堆人员入门（亦提供西班牙文版本）
- 中子活化分析
- 法证学核分析技术
- 运行辐射防护和废物管理
- 监管检查计划
- 研究堆安全
- 国家核机构战略规划

自始至终保持安全 参观约旦研究堆设施

文/Aabha Dixit

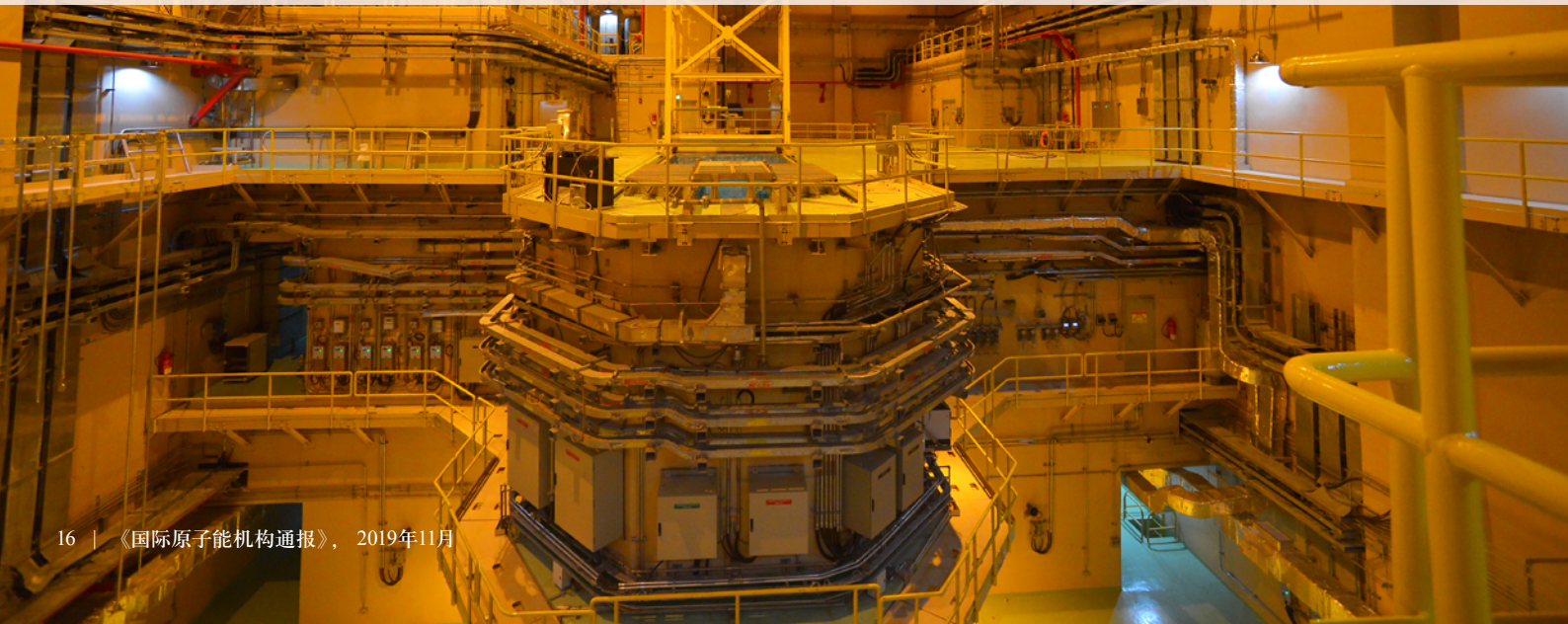


JRTR反应堆大厅内景。

约旦研究与培训反应堆（JRTR）位于约旦伊尔比德的约旦科技大学校园内，建成之后于2017年11月获得了运行许可证。

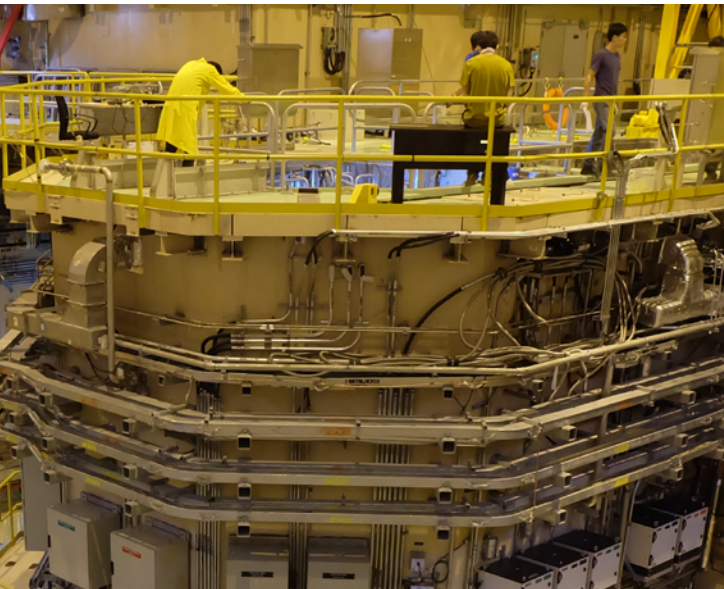
JRTR还获得了约旦食品和药物管理局颁发的许可证，以分销其碘-131系列产品，包括各种剂量的液态和胶囊形式的碘-131。碘-131是碘的一种放射性同位素，常被用于诊断和治疗甲状腺癌等疾病的放射性药物中。JRTR向约旦的13个医疗中心供应放射性药物，并在继续扩大客户。

正在计划扩大JRTR的放射性药物产品，并提供其他辐照服务，如硅的生产，其规格适合于电子工业。

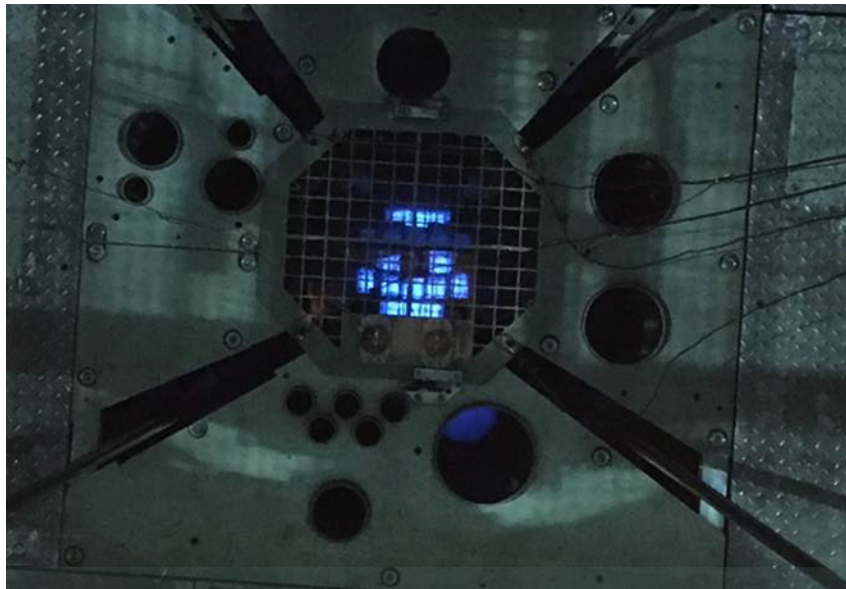


研究堆通常不仅仅用于研究；它们还用于教育和培训、材料测试及生产医疗和工业用放射性同位素。与核动力堆一样，研究堆在项目的各个阶段，从设计、调试到运行和维护，都必须遵守最高安全标准。

我们来参观一下JRTR项目，以了解更多关于研究堆利用的信息，以及如何在每个环节中落实安全措施。JRTR是一座5兆瓦反应堆，按照设计可升级到10兆瓦。这给约旦在未来扩大研究堆能力提供了余地。

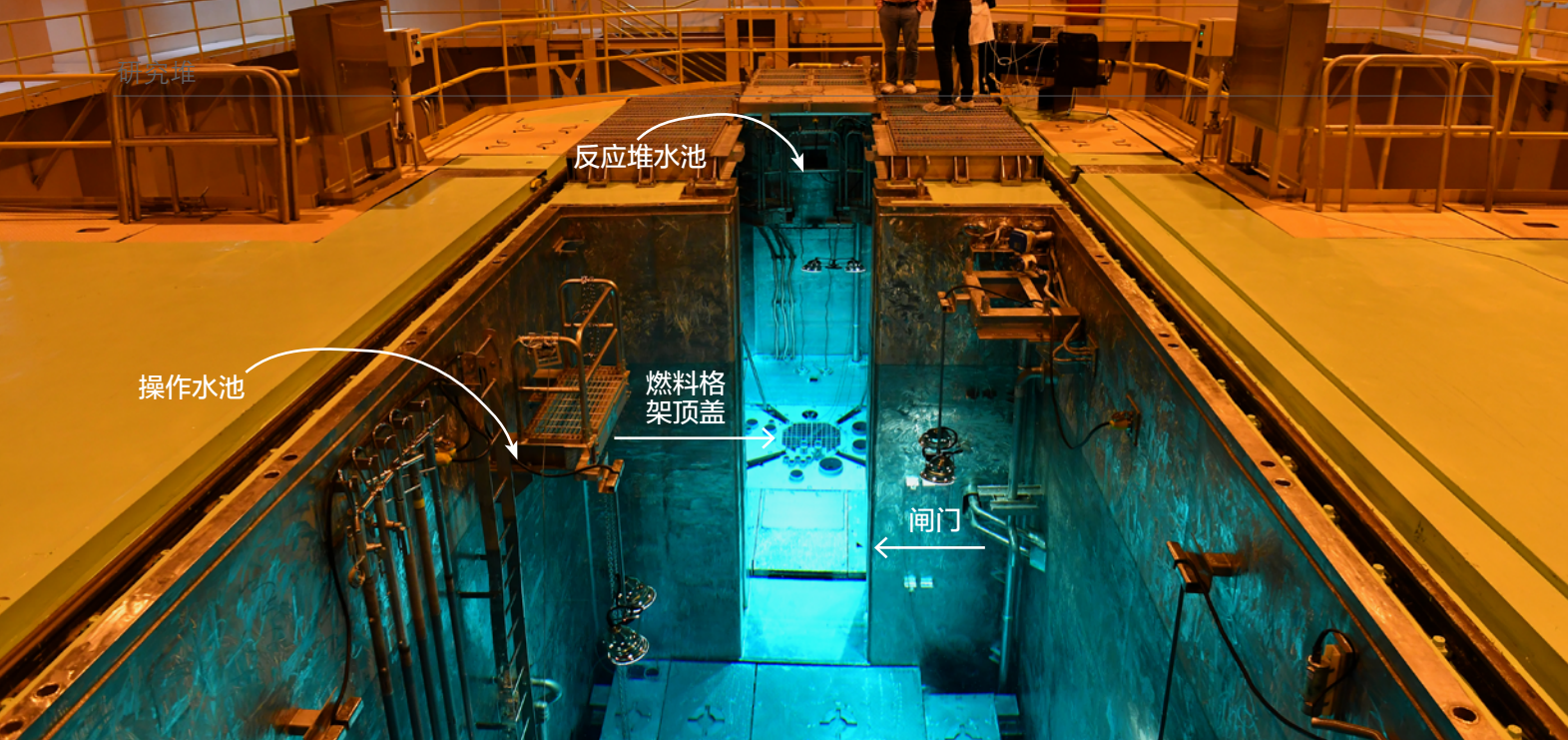


JRTR的中子束端口将用来进行实验，容器内的辐照孔将用来生产医疗和工业用途的放射性同位素，以及用于其他研究活动。



反应堆水池中明亮的蓝光是由燃料释放的电子粒子与水相互作用而产生的。这种刺眼的蓝光被称为切伦科夫效应。随着反应堆功率水平的提高，蓝光变得更加强烈。

格架结构周围的圆形开口是辐照孔，位于重水反射层内，用于生产放射性同位素、中子嬗变掺杂和其他类型的辐照。



反应堆和操作水池容纳着约325 545升高纯度（除盐）水。水池总计宽3.7米，深10米。该图显示了通过操作水池看到的蓝色反应堆水池的情景。它显示了燃料组件上部的格架。燃料组件是结构组合有序的一组燃料板，为反应堆提供燃料。格架用来按照特定的排列（出于核安全考虑）安置燃料组件。由图可见，屏蔽门将反应堆水池与操作水池隔开。

水被用作屏蔽来防护辐射危害。这种反应堆中使用的水具有高纯度，以保持燃料组件的物理完整性并防止放射性物质的释放。两个水池之间的闸门有助于方便操作和维护工作，让人操作放射性部件时更容易些。它还用于意外排水时将两个水池分开。

该先进JRTR设施还包括三个辐照设施，分别用于支持中子活化分析、法证分析和考古研究。

“热室排”是JRTR的另一个重要设施。它们能让人操作强放射性材料，例如生产医疗和工业用放射性同位素所用的材料。热室是一种特殊设计的小室，当工人用机械手操作放射性物质时，这些热室可以对他们起屏蔽保护作用。





为了支持JRTR操作员和核技术工程师的培训，JRTR培训中心配备了一个全功能模拟器。这些模拟器帮助他们理解和实践研究堆运行的细节，包括可能发生的安全事故，为他们操作反应堆做好准备。



在初始运行试验阶段，工作人员在主控室监视JRTR系统。

“国际原子能机构为我们的工程、科学和项目工作人员提供的培训一直是为满足我们的需要量身定制的，有助于我们培养工作人员，向他们提供知识和技能，使约旦能够运行这一配备先进安全设施的最先进、多功能设施。”JRTR经理、约旦原子能委员会核研究专员Samer D. Kahook说。

应约旦当局请求，JRTR已接受了国际原子能机构的同行评审工作组访问，包括2016年12月进行的“研究堆综合安全评定”工作组访问和2018年3月进行的“研究堆综合安全评定”后续行动工作组访问。

通过这些专家工作组访问，国际原子能机构还帮助评价了JRTR的放射性同位素生产设施及其中子活化分析设施的利用计划。原子能机构还协助JRTR进行了与建立综合管理系统有关的同行评审和专家工作组访问。

这些工作组访问提供了重要的反馈意见，有助于改进和加强研究堆（如JRTR）如何以有效、可靠和安全的方式管理、运行和维护。

JRTR设施还有一个放射性废物处理设施，该设施于2019年3月获得运行许可证，将处理来自JRTR以及工业和医院产生的放射性废物。经过处理后，这些放射性废物将被贮存起来，然后送往最终处置场。



战略性地利用研究堆的全部潜力

文/Aleksandra Peeva

研究堆具有影响科学、教育、工业和医学的能力，但要想充分发挥其潜力就需要战略规划。尽管在53个国家的224座目前在运研究堆中有一些充分发挥了作用，但有几座堆还未得到充分利用。

“许多研究堆是为了满足当时的迫切需要而建造的。现在，许多年之后，必须重新审视它们的使命。”国际原子能机构研究堆专家Nuno Pessoa Barradas说。

如今的许多在运研究堆是在二十世纪五六十年代建造的，当时它们是一种新的工具，许多国家都有兴趣探索和发现它们的潜力。现在人们对这种潜力有了更好的了解，并且正在开发新的应用，人们已经普遍认识到，一些研究堆可以得到更好的利用，以发挥它们的全部潜力。

许多国家正在积极协作，以最大限度地利用现有的研究堆，一些已

经建成或正在计划建造新的研究堆，并计划最大限度地利用。其目的是充分发挥这些强大工具的好处，用于许多用途，例如制定核电计划、开展研究和开发、提供分析和辐照服务，以及生产用于医疗和工业的放射性同位素。

在过去5年中，来自40多个国家的专家和官员在确定50多座研究堆的优先事项和改进商业计划方面得到了国际原子能机构的支持。这些计划通常涉及评估国家和地区对研究堆潜在服务和产品的需求，确定这些需求的优先次序，并使之与反应堆的能力相匹配，以及确定反应堆长期可持续运行的目标。

改善可持续利用

2019年初，国际原子能机构对意大利进行了一次专家工作组访问，国际专家组对帕维亚大学的250千瓦

帕维亚大学TRIGA Mark II 研究堆的堆芯。
(图/国际原子能机构N. Pessoa Barradas)



TRIGA Mark II研究堆进行了评审。这次工作组访问的重点是改善该研究堆的可持续利用。

工作组评估了该大学反应堆的战略计划和相应的行动计划，并评价了反应堆的利用率水平。评审基于关键的性能指标和可能进一步限制该反应堆服务和产品开发的机会和限制因素，以及为有效、高效和可持续利用该设施而须改善的领域。

专家们的结论是，该研究堆是一座利用率很高的设施，在国家社会发展以及医学、考古学和材料科学等领域发挥着重要作用。他们建议进一步提高该设施的利用率，包括对设施的战略计划提出了反馈意见，还建议发展外联和交流活动以及扩大教育活动。

“利用和战略规划对我们和我们的利益相关者都特别重要。”帕维亚大学研究堆经理Andrea Salvini说。“国际原子能机构工作组访问有助于我们扩大用户群体，提高我们在新领域的科研能力。”

从帕维亚大学工作组访问获得的

经验，预期有助于国际原子能机构更好地响应各国提出的帮助它们改进研究堆使用的请求，包括通过称为“综合研究堆利用评审”的新服务满足这种请求。

“工作组访问提供了宝贵的见解，可以加以推广，以协助各国制定促进研究堆有效利用和可持续运行的高效国家战略。这对于那些可能没有能力进行综合评定的组织来说尤其重要。”Pessoa Barradas说。

工作组访问是原子能机构帮助各国改进研究堆可持续利用的若干途径之一。2019年初，国际原子能机构还启动了一个网上学习课程，指导制定高效和可持续地利用国家核机构运营的各种设施（包括研究堆）的战略规划。该课程基于原子能机构2017年发布的题为《研究堆战略规划》出版物。这与原子能机构支持的有关研究堆应用培训班、专家和进修访问、讲习班以及技术会议和出版物相互呼应。其中许多资源可以通过原子能机构“CONNECT平台”中的“研究堆信息中心”访问。

“利用和战略规划对我们和我们的利益相关者都特别重要。原子能机构工作组访问有助于我们扩大用户群体，提高我们在新领域的科研能力。”

—意大利帕维亚大学研究堆经理Andrea Salvini

加强安全、安保和可靠性

国际原子能机构研究堆同行评审工作组访问

文/Elisa Mattar

建造和维护研究堆是一个复杂的过程——从选址和设计，到调试、运行和核材料保护。在这一过程的每个环节，各国都可以向原子能机构申请同行评审服务，协助它们加强核安全和核安保，以及提高研究堆的性能。

“同行评审工作组访问的目标是确保研究堆继续为造福社会而得到高效和可持续地利用。”原子能机构研究堆安全科科长Amgad Shokr说。

原子能机构同行评审工作组访问根据请求提供，由多学科国际专家组成的工作组将实际实践与原子能机构的核安全标准和国际良好实践以及原子能机构的安保和运行导则进行比较。

工作组确定能够改进的问题，并向东道国设施提供相应的建议。如有请求，通常在12至18个月后开展后续行动工作组访问，以审查东道国设施为处理起初工作组访问所提问题而采取的行动。通过这些后续行动访问，原子能机构还可应请求并视需要，协助解决问题。原子能机构还酌情通过其技术合作项目支持各国解决工作组访问中提出的建议。

原子能机构专门针对研究堆的同行评审服务包括“研究堆综合安全评定”和“研究堆运行和维护评定”，而涉及核安保的内容更广泛的“国际实物保护咨询服务”也涵盖研究堆。

研究堆综合安全评定：终生安全

“研究堆综合安全评定”工作组访问审查研究堆寿期所有阶段的核安全，包括研究堆的设计、选址、调试和运行。审查的领域包括组织和管理、培训计划、安全分析、运行限值和条件、操作规程、维护、辐射防护、改造、实验和应急规划。东道国设施运营者可以申请进行全面的工作组访问或就所关心的

特定领域重点评审。

2017年，原子能机构对牙买加唯一的研究堆JM-1进行了一次“研究堆综合安全评定”工作组访问。牙买加环境与核科学国际中心主任Charles Grant说：“2017年的‘研究堆综合安全评定’工作组访问帮助我们为未来十年安全运行该设施指明了方向。”

自从原子能机构的“研究堆综合安全评定”服务于1997年首次启动以来，已对全球45个国家的研究堆开展了90多次“研究堆综合安全评定”工作组访问。

“对2005年以来进行的‘研究堆综合安全评定’审查情况的分析表明，到后续行动访问之时，75%以上的审查建议得到落实，或取得了令人满意的进展。”Shokr说，“这些结果表明世界各地许多研究堆显著提高了安全性，我们的服务得到东道国的认可。”

研究堆运行和维护评定：可靠而高效的运行

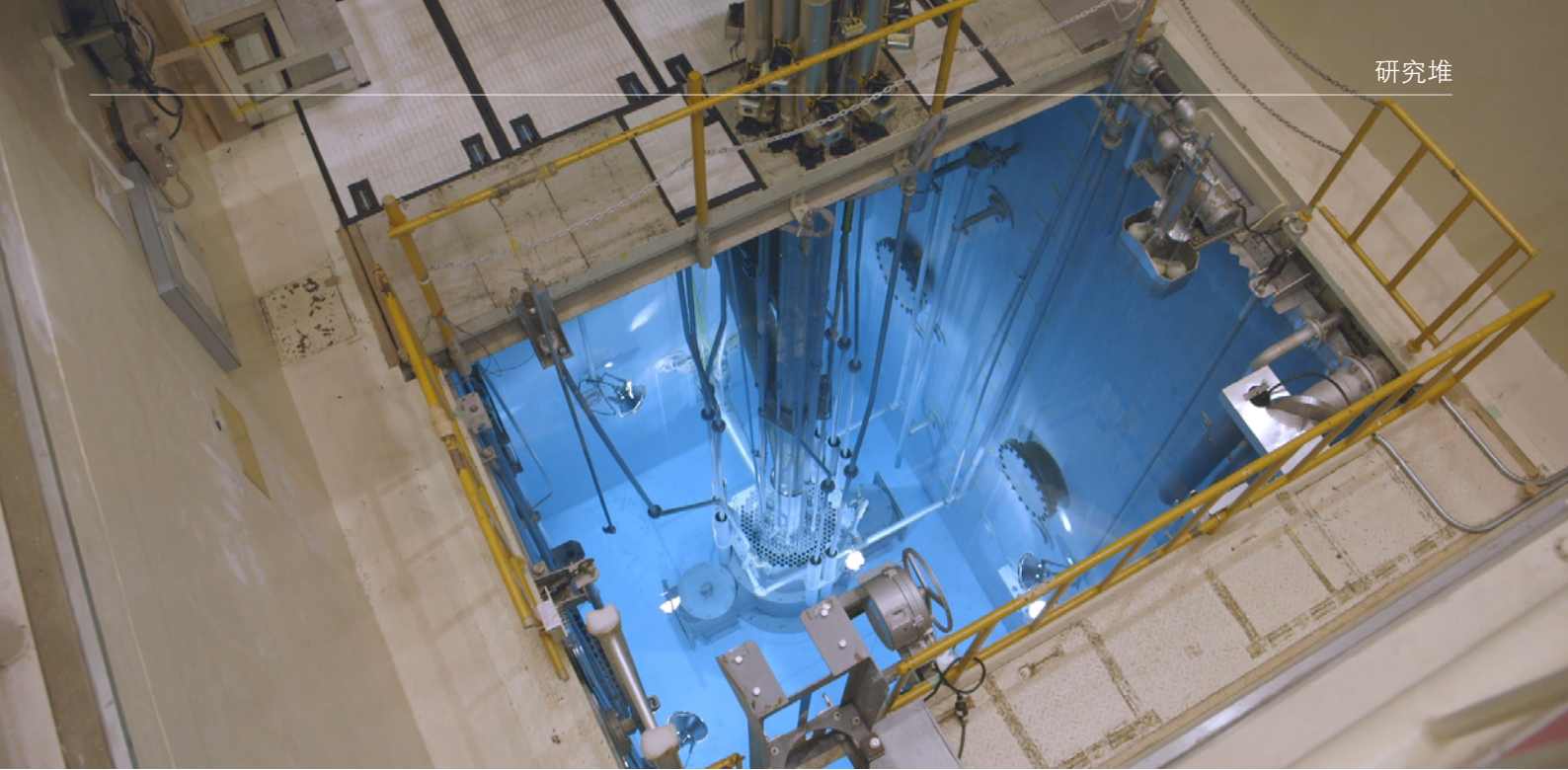
“研究堆运行和维护评定”评审工作组访问侧重于研究堆整个寿期中需要解决的运行和维护问题，包括启动新的研究堆项目或达到一个特定里程碑（了解“里程碑”方案更多内容，见第6页）。这些工作组访问明确需要改进的领域，解决具体的运行难题，并为国际专家和当地人员交流经验和良好实践创造一个平台。

“全世界在运研究堆中约50%堆龄超过40年。”原子能机构研究堆核工程师Ram Sharma说，“他们面临一系列问题，包括与老化有关的问题。‘研究堆运行和维护评定’工作组访问有助于研究堆设施在其整个运行寿期内实现所有财政和人力资源的最佳利用。”

根据原子能机构和国际的标准及

“同行评审工作组访问的目标是确保研究堆继续为造福社会而得到高效和可持续地利用。”

—国际原子能机构研究堆安全科科长Amgad Shokr



研究堆水池俯视图。
(图/JAEA)

相关技术报告，“研究堆运行和维护评定”工作组访问就运行和维护、老化管理、人力资源、质量保证、管理体系、工厂资产和配置管理以及工厂改造提供建议和意见。预期的成果包括更高效的长期运行、更好的实绩、改善安全和安全文化以及人力和财政资源的优化利用。

在落实“研究堆运行和维护评定”建议或规划长期运行时，各国还可以申请“研究堆运行和维护评定”后续行动工作组访问，以解决尚未解决的研究堆问题。

2019年，原子能机构在印度尼西亚开展了一次“研究堆运行和维护评定”工作组访问，帮助该国规划了其研究堆的未来运行。“‘研究堆运行和维护评定’工作组访问对我们的反应堆长期运行计划非常有帮助，并及时支持了正在进行的活动。”印尼国家核能机构（BATAN）主席Anhar Riza Antariksawan说，“特别重要的是，帮助我们利用获得的新TRIGA燃料恢复反应堆满功率运行，并就我们改用国产板型燃料需要进行的改造工作帮我们做出了决定。”

国际实物保护咨询服务：安保和保护

“研究堆综合安全评定”和“研究堆运行和维护评定”工作组访问主要

关注设施级问题，而“国际实物保护咨询服务”评审工作组访问则在国家一级进行，侧重于核材料和其他放射性物质的实物保护。评审工作组将把所实施的国家核安保措施与原子能机构《核安保丛书》出版物、《核材料实物保护公约》及其他国际法律文书进行比较。

“‘国际实物保护咨询服务’工作组访问是一个国家在设施或国家一级解决核安保方面可能存在的任何改进领域的重要环节。”原子能机构资深核安保官员Kristof Horvath说，“它们提供了一个正面的学习机会，无需进行检查或采取其他侵入性措施。”

与国家当局（警察部队、海关和监管机构）合作，“国际实物保护咨询服务”工作组访问还包括核材料运输和紧急情况。这些工作组访问还涵盖国家法律和法规、许可证审批、对盗窃或破坏的响应以及计算机安全。

2013年，在匈牙利建立一个新的核安保机构后，原子能机构对匈牙利进行了一次“国际实物保护咨询服务”工作组访问，并于2017年进行了后续行动工作组访问。“2013年的工作组访问带来了重大改进，特别是在我们的法律框架、计算机安全和运输安保方面。”匈牙利原子能管理局辐射源、保障和安保部代理主任Zsolt Stefanka说。

量体裁衣

如何将核安保纳入研究堆

文/Inna Pletukhina

研究堆在许多方面有益于社会。然而，只有它们的核材料得到很好的保护，不落入恐怖分子手中，它们才能完成自身的使命。今天，各国保护其核材料的方式之一是与国际原子能机构合作，在其研究堆设计中建立核安保系统和措施。

但整合并不总是如此。

“30多年前，当大多数研究堆建成时，它们都是根据安全标准为教育、工业和研究而设计的，但没有内置全面的安保规范。”原子能机构副总干事兼核安全和安保司司长胡安·卡洛斯·伦蒂霍说，“核材料和核设施的安

保早已成为一个关键问题，现在大多数当时建造的研究堆都进行了改造。”

由于研究堆类型及其相关设施的具体特点和广泛多样性，实现核安保目标——预防、侦查和应对涉及核材料或其他放射性物质的犯罪或蓄意未经授权的行为——变得复杂起来。对于较老的研究堆，更多的复杂性源于威胁环境不断变化、安保措施和设备不足以及核材料和其他放射性物质对未经授权的转移和破坏具有吸引力而导致的固有设施脆弱性。

研究堆设施最初可能是按建筑物允许最大限度的可及性和最低限度的

实物保护措施有助于确保研究堆的核安保。

(图/国际原子能机构D.Calma)



实物保护措施布置的。例如，使用开放式池型设计建造的研究堆可以很容易地接触到反应堆堆芯中发现的核材料。对于教育目的而言，这是一种高效的设计，但可能会带来安保风险。

虽然每座研究堆都有自己的核安保要求，但也存在一些共同的挑战，例如为了近距离、亲身实践的教育目的，大量个人进入研究堆。与一次由相对稳定的员工运行数年的核电厂不同，研究堆通常由学生和研究人员使用，他们进行短期项目，一旦工作完成就撤离。这就需要核安保措施，使教育和研究能够继续进行，而不会延误访问使用，同时仍然保持高水平的保护。

原子能机构资深核安保官员Doug Shull表示，考虑到研究堆使用的材料、功率水平、裂变产物、配置、资金安排和人员配备的多样性，核安保系统和措施的标准化是不可能的。

“在研究堆问题上，没有一刀切的保护方法。必须根据具体情况进行评价和实施。” Shull说，“每座反应堆都有独特的设计和功能，需要实物保护系统设计在确保保护措施在安保事件中有效的同时，能够完成设施的任务。”

虽然每个国家都对本国境内的核安保负有责任，但许多国家借鉴原子能机构关于现有核安保系统和保护措施水平的建议，以及原子能机构在实物保护升级、内部威胁和核安保文化计划方面的援助。

安保综合支助计划

对于许多国家来说，在研究堆纳入核安保的一个关键部分是列入原子能机构“核安保综合支助计划”范围。这些量身定制的计划有助于各国建立核安保制度。应一个国家的请

求，经与原子能机构协调，这些计划帮助该国审查其核安保制度，并确定需要改进的领域。这些计划还强调为支持发展有效和可持续的核安保制度而提供援助的机会。

由于其灵活性，“核安保综合支助计划”可以量身定制，以确定一个国家研究堆计划的具体需求。其中可以包括核安保方面的具体培训活动，以及制定行政程序、演习或实物保护升级方面的支持。

“在原子能机构的协助下制定一项‘核安保综合支助计划’，有助于我们评价整个国家核安保制度，使我们能够确定如何调整核安保适应我们的研究堆和在这一过程中最好地利用原子能机构的援助。”尼日利亚核监管局核安全、实物安保和保障主任Nasiru Bello说。

尼日利亚有一座研究堆，从2004年开始运行，于2010年制定了一个“核安保综合支助计划”。该计划帮助尼日利亚在原子能机构的支持下采取步骤，按照原子能机构《核安保丛书》出版物，加强该国研究堆的核安保。此系统方案还注重培训研究堆人员和监管能力建设。

原子能机构继续寻求扩大其支持的各种方式，正在开发的最新工具之一是“假想原子能研究所”设施描述。“假想原子能研究所”是一份参考文件，描述与研究堆及其相关设施有关的许多方面，包括安保，可用来使一个国家对核安保建议有更深入的了解，以及在处理核安保建议方面积累知识和获得实践经验。“假想原子能研究所”将是各国用来解决其优先事项的一个额外工具，无论这些优先事项是否为通过“核安保综合支助计划”、同行评审工作组访问或其他途径确定的。

“在原子能机构的协助下制定一项‘核安保综合支助计划’，有助于我们评价整个国家核安保制度，使我们能够确定如何调整核安保适应我们的研究堆和在这一过程中最好地利用原子能机构的援助。”

—尼日利亚核监管局核安全、实物安保和保障主任Nasiru Bello

各国转向使用低浓铀作为研究堆燃料

文/ Laura Gil



采取了安保措施的高浓铀正在装车备运。

(图/加纳原子能委员会)

在过去的几十年里，作为国际原子能机构支持的全球努力的一部分，已有近3500千克高浓铀从世界各地的研究堆场址移走。应成员国请求，原子能机构协助将研究堆燃料转换为低浓铀，以减少与高浓铀相关的扩散风险。高浓铀含有20%以上的可裂变铀-235。

虽然大多数研究堆是在二十世纪六七十年代建造的，其技术要求用高浓铀进行科学研究实验，但今天，其中的大部分研究可以使用低浓铀进行。在低浓铀中，放射性铀-235的浓度低于20%。

“国际社会已成功地为将研究堆中的高浓铀燃料转换为低浓铀燃料提供了技术解决方案。”国际原子能机构核工程师专家Thomas Hanlon说，“诀窍是在不影响科学研究的情况下做到这一点。”

目前，约有220座研究堆在53个

国家运行，其中171座反应堆是用高浓铀堆芯建造的。自1978年以来，已有71座高浓铀燃料反应堆已改用低浓铀。用于发电的核动力堆采用低浓铀运行。

原子能机构为在以下国家将高浓铀燃料转换为低浓铀燃料，或者将高浓铀返回提供了支持：奥地利、保加利亚、智利、中国、捷克共和国、格鲁吉亚、加纳、匈牙利、牙买加、哈萨克斯坦、拉脱维亚、利比亚、墨西哥、尼日利亚、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、塞尔维亚、乌克兰、乌兹别克斯坦和越南。原子能机构通过技术合作项目、实况调查工作组访问、协调研究项目、技术和咨询会议以及采购援助，支持最大限度地减少使用高浓铀。

向他人学习

最近的一个例子是加纳，在原子能机构的支持下，加纳研究堆-1

(GHARR-1)，一座微型中子源反应堆（微堆）于2017年成功改造，使该国成为其他微堆营运者的研究案例。加纳原子能委员会已建成一座国际微堆培训设施，允许来自其他国家的学员练习从反应堆容器中提取模拟高浓铀。

加纳原子能委员会主席Benjamin Nyarko说：“通过降低富集度，我们正在降低这种材料的吸引力，让世界变得更美好。”他还说，随着铀富集度从90.2%转换为13%，技术也发生了变化，导致反应堆的功率增加了10%以上。

2018年，尼日利亚唯一在运的研究堆，尼日利亚研究堆-1（NIRR-1），移出了高浓铀燃料，并转换为低浓铀。国际原子能机构为这种转换以及培训相关人员和分享他国经验提供了支持。为了练习反应堆燃料转换，尼日利亚专家在加纳培训中心进行了一次高浓铀移出干操作。尼日利亚反应堆燃料转换后，非洲不再拥有高浓铀燃料研究堆。

转换需要训练有素的人员和设备。这个过程中最复杂的一步是，通常用卡车、轮船或飞机运输高浓铀

乏燃料。这种高浓铀燃料运到目的地后，要么安全地贮存起来，要么被稀释到较低的富集度。

“智利在2010年向美国运送了大约14千克高浓铀；这是实现我国不再拥有这种燃料的三次行动的最后一次。”智利核能委员会企业宣传主管Rosamel Muñoz Quintana说，“这引起了公众的极大兴趣。使用了经过特殊处理的卡车和飞机，并考虑了此类行动所需的一切必要的安保和辐射防护问题。”

将更多研究堆改造使用低浓铀

还有很多工作要做。尽管71座研究堆已经改为用低浓铀，并且有28座使用高浓铀燃料的反应堆已经关闭，但还有72座仍然采用高浓铀作燃料。在许多情况下，这是出于科学原因。

“想要解决如何在最初为高浓铀设计的同一空间使用低浓铀使反应堆实现类似的能力，需要大量的创造性工程。”Hanlon说，“这有点像试着在同样容器里用同样量的液体做一杯和你习惯的浓度一样的浓咖啡，但是用更少的咖啡粒。”

“通过降低富集度，我们正在降低这种材料的吸引力，让世界变得更美好。”

—加纳原子能委员会主席 Benjamin Nyarko



专家们在加纳微堆培训设施上进行干操作。

(图/加纳原子能委员会)

核查研究 对研究堆实施保障

文/ Adem Mutluer



原子能机构保障视察员接受培训，检查研究堆设施中的所有核材料。

(图/国际原子能机构 D. Calma)

对研究堆和平利用核材料和核技术情况进行核查是原子能机构核核查工作的重要组成部分。虽然只有30个国家拥有核电厂和燃料循环设施，但有50多个国家在运行研究堆。2018年，原子能机构在约150个有研究堆的设施实施了保障。这些设施对保障构成了挑战，因为与核动力堆不同，研究堆的设计千差万别，所实施的保障措施需要针对每种类型的反应堆量身定制。

“低功率并不意味着低关注度，”原子能机构国家级协作高级视察员 Djamel Tadjer 表示，“虽然研究堆在健康和发展方面提供了重大好处，但将核材料从和平利用中转用或滥用反应堆的可能性仍然存在。因此，在研究堆实施保障是原子能机构核查工作的重要组成部分。”

使用研究堆的一个副产品是钚。

钚不仅是一种可用于核能和研究的材料，而且也是一种用于生产核武器的原料。虽然一座研究堆只能生产少量钚，但它仍然是保障所关切的一个问题。

在核查过程中，原子能机构考虑研究堆生产一个重要量核材料（即不能排除制造核爆炸装置可能性的核材料近似量）所需的时间。原子能机构还接受东道国提供的有关设施设计和布局以及使用中核材料的形式、数量、场所和流量的信息资料。利用这些信息资料，原子能机构针对设施规格量身定制保障方案。然后，原子能机构可以核实当事国提供的设计资料的正确性和完整性，并确认设施和设施内的核材料正在按所报告的那样进行使用。

不同的用途和设计

许多研究堆设施都建有热室。这些密闭小室保护工作人员免受核辐

射；工作人员站在热室外面的，用机械手安全地操作位于热室内的设备和核材料。热室通常用于医学同位素分离，但也可用于从研究堆生产的辐照燃料中提取少量钷。原子能机构保障视察员接受检测钷提取方面的培训。

少数研究堆使用高浓铀（铀-235富集度大于20%的铀），这是另一种可用于生产核武器的材料。虽然许多研究堆已经改为使用低浓铀（低浓铀不能直接用于核武器），但原子能机构保障视察员还要检查研究堆设施的所有核材料，以核实当事国申报的正确性和完整性。

“由于研究堆在设计和使用上的差异，目前还没有满足此类设施保障要求的通用清单，” Tadjer说，“因此，我们培训视察员寻找任何在研究堆中滥用和核材料转用的迹象。对于视察员来说，这就是发现不一致之处，然后知道要提出的正确问题。”

履行保障义务

然而，实施保障不仅是原子能机构视察员的工作，因为各国也必须满足某些特定要求。原子能机构在将保

障纳入设施设计、实行核材料衡算和满足实施保障的法律要求方面向各国提供援助，以满足这些要求。这种援助包括为在研究堆设计中纳入保障考虑提供指导。原子能机构还提供国内咨询工作组访问，以支持国家核材料衡算和控制系统履行其义务。

在研究堆设计过程中早期考虑保障要求，可以减少未来对设施运营者进行核材料核查的要求。例如，应用远程监测的可能性具有成本效益，在减少视察员现场活动需要的同时，保持保障的有效性。远程监测的一个例子是使用先进热工水力功率监测器评估冷却剂流量和热提取，以计算反应堆的钷产量。通过了解反应堆在特定时间段内生产了多少钷，视察员可以相应地修改视察频率，从而为视察员和运营者节省时间。

“对研究堆实施保障，与对任何核设施实施保障一样，东道国和原子能机构之间的合作非常重要。” Tadjer说，“通过共同努力和应用现代技术，如先进热工水力功率监测器，原子能机构能够更有效和高效地核实核材料仍在和平使用。”

“我们培训视察员寻找任何在研究堆中滥用和核材料转用的迹象。对于视察员来说，这就是发现不一致之处，然后知道要提出的正确问题。”

—国际原子能机构国家级协作高级视察员 Djamel Tadjer

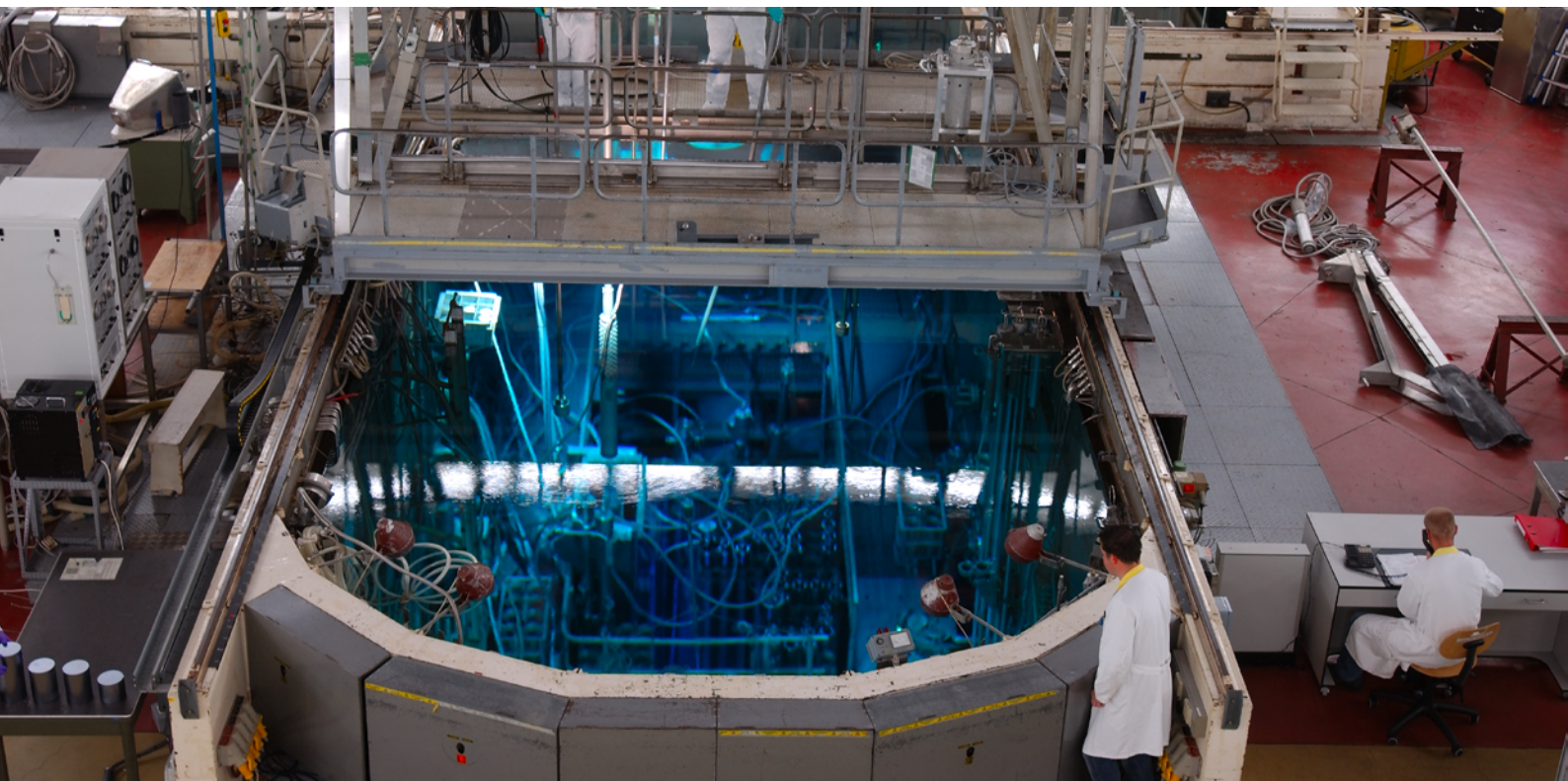
热室是保护工作人员免受核辐射的密闭小室。

(图/国际原子能机构)



管理老化研究堆，确保安全有效运行

文/Joanne Liou



比利时2号堆内的安全壳区。
(/比利时核研究中心)

由于世界上超过三分之二的在运研究堆现在已超过30年，运营者和监管机构正在关注这些反应堆的翻新和现代化改造，以确保它们能够继续以安全高效的方式运行。

“研究堆的寿期通常取决于它们的使用需求，以及它们是否符合最新的安全要求，因为它们的大多数系统和部件都可以毫无困难地进行更换、翻新或现代化改造。”原子能机构研究堆安全科科长Amgad Shokr说，“翻新和现代化改造不应仅限于系统和部件；运营者还应对照原子能机构的安全标准审查安全程序，以防止研究堆服务中断。”

60多年来，研究堆一直是世界各地核科学和技术计划的创新和发展中心。这些小型核反应堆主要产生中子

(而不是电力)，用于研究、教育和培训目的，以及用于工业、医学和农业等领域的应用（详见第4页）。

与研究堆有关的老化有两种：实体老化，即反应堆系统和部件的物理状况退化；陈旧过时，即用于计算机、仪器仪表和控制系统或安全监管的技术变得过时。

设施老化是促使原子能机构在2001年启动其“研究堆安全加强计划”所关切问题之一。该计划旨在帮助各国确保高水平的研究堆安全。它包括《研究堆安全行为准则》，为各国制定和协调有关研究堆安全的政策、法律和法规提供指导。

作为该计划的一部分，各国与原子能机构合作，实施系统的老化管理计划，其中除其他外，利用良好实践

将系统和部件的性能退化降至最低，持续监测和评估反应堆性能，以及实施切实的安全升级。这些老化管理计划还可受益于维护、定期测试、检查和定期安全审查等其他领域的运行计划。

“虽然正在运行的研究堆的数量在减少，但平均堆龄在增加。”原子能机构研究堆运行和维护核工程师Ram Sharma说。“因此，制定、实施和不断改进管理、翻新和现代化改造计划至关重要，以确保具有成本效益的运行和利用，充分利用现有研究堆。诸如同行评审工作组访问等原子能机构的支持可以在实现这一目标方面发挥重要作用。”关于原子能机构研究堆相关同行评审服务详见第22页。

全面支持

各国可以利用原子能机构的各种支持来解决研究堆老化问题。这包括协助制定安全标准和优化反应堆可用性，以及根据原子能机构发布的安全出版物采取建议的实践，并利用原子能机构分发的关于制定和实施现代化改造和翻新项目的信息。这项援助延伸到新的研究堆计划和对积极处理研究堆寿期所有阶段（从材料的设计和选择到设施的建造和运行）老化问题的计划评估。

评审工作组访问是应一个国家的请求进行的，并得到原子能机构和国际专家组的支持，他们进行评估，并提出进一步改进的建议。2017年11月在比利时2号反应堆（BR2）完成了首次研究堆老化管理同行评审工作组访问，该堆是比利时核研究中心（SCK·CEN）三座在运研究堆之一。这次工作组访问基于核电厂长期运行安全问题工作组访问的方法，也适用于研究堆。

“这次工作组访问找出了一些被忽视的项目，比如放射性同位素生产设施和实验装置的老化管理。”比利时核研究中心核安全工程师Frank Joppen说，“因此，正在更新部件的分类系统，有关维修、检查和监测的反馈意见被用来进一步改进老化管理计划。”

BR2于1963年投入运行，是西欧最老旧的研究堆之一。它生产的放射性同位素约占全球供应量的四分之一，用于医疗和工业用途，包括癌症治疗和医学成像。它还生产一种硅，用作电子元件的半导体材料。BR2现在已被允许运行到2026年下一次定期安全审查，届时可能会决定将其运行时间再延长10年。

“将进一步制定BR2的老化管理计划，这意味着要考虑原子能机构工作组访问期间所提的建议。”Joppen说，“将对计划的效率进行审查，并作为下一次安全审查的主题。”

荷兰和乌兹别克斯坦已申请对研究堆进行下一次原子能机构老化管理工作组访问，并计划于2020年进行。“BR2工作组访问表明，长期运行安全问题方法可以有效地应用于研究堆。我们将继续提高这项工作访问及其他服务的效率和有效性，从而最大限度地提高研究堆的效益。”Shokr说。

“将进一步制定BR2的老化管理计划，这意味着要考虑原子能机构工作组访问期间所提的建议。”

—比利时核研究中心核安全工程师Frank Joppen

比利时核研究中心的比利时2号堆。

(图/比利时核研究中心)



乌兹别克斯坦第一座研究堆的退役

文/Kendall Siewert

乌兹别克斯坦塔什干一片绿树成荫的沙质空地看起来似乎已经准备好迎接新的建设项目，其实这片空地是不再使用的IIN-3M研究堆退役的结果。

“决定让IIN-3M反应堆退役，是因为它近年来很少使用，设备陈旧，而且位于一个机场附近，官员们正在考虑扩建该机场。”乌兹别克斯坦科学院核物理研究所实验室主任Fakhrulla Kungurov说，“乌兹别克斯坦以前从未进行过核设施退役。原子能机构在这一过程的每一步为我们提供了支持，在我们缺少必要经验和知识的情况下提供援助。”

乌兹别克斯坦辐射和技术联合体的IIN-3M反应堆于2015年开始退役，2019年结束。这一过程包括对设施去污、拆解和拆除，以使设施及其场址不再受监管控制。1975年以来，该反应堆主要用于半导体和其他装置测试，2013年停止运行。这是该国两座研究堆之一，第二座仍在运行。

与设计用于发电的其他大型核反应堆相比，研究堆提供一种中子源，用于工业、医学、研究、教育和培训等领域的应用。当他们达到目的并

不再使用时，就像任何其他核设施一样，需要退役。退役的目的是清除所有放射性源、受污染的物质和其他构筑物，以便该场址可作他用。

超过60%的正在运行研究堆现在已经超过40年。老化反应堆数量的增加导致了全世界退役活动的增加；目前有220多座研究堆在运行，有443座已经退役。

各国可能出于各种原因选择退役研究堆，例如延长其继续运行的寿命成本过高、缺乏资金或技术过时，有些国家则可能决定对其翻新并保持运行，以继续受益于它们的使用。然而，不管营运者和当局决定现在退役现有反应堆还是在未来很长一段时间内退役，都需要制定行动计划。

原子能机构退役小组组长Vladimir Michal说，原子能机构应请求，向各国提供支持和专门知识，以确保它们做好充分准备，安全可靠地处理退役问题。此外，原子能机构还发布安全标准和多种参考出版物，在这一领域提供导则并分享良好实践，他说。

“各国自行决定是继续运行还是关闭反应堆，但关键是让不再运行的反应堆退役。”Michal说，“不让闲置的

“乌兹别克斯坦以前从未进行过核设施退役。原子能机构在这一过程的每一步为我们提供了支持，在我们缺少必要经验和知识的情况下提供援助。”

—乌兹别克斯坦科学院核物理研究所实验室主任Fakhrulla Kungurov

研究堆退役，或不适当地退役，可能会导致它们的结构恶化，并增加对人类和环境的风险。”

将计划落实到位

当今，在研究堆项目一开始启动就纳入退役计划已成为一种标准做法，但在20世纪70年代建造IIN-3M反应堆和其他许多反应堆时，情况并非如此。

“在建造研究堆的最初几年里，人们普遍认为，只需最少的资源和规划就可以轻松完成退役。然而，情况显然并非如此。” Kungurov说，“因此，我们没有退役过程的计划，也没有关于如何移除或拆除这些设备的信息，而这正是原子能机构的支持至关重要之处。”

2012年8月，原子能机构工作人员和其他国际专家前往乌兹别克斯坦评估反应堆场址。这次访问的目的是让专家们评估该设施的状况，并收集必要的信息，以协助乌兹别克官员为退役做准备。

根据2012年访问和其他会议的结果，原子能机构专家与国家小组合作，根据原子能机构关于退役规划的建议和导则，制定退役计划——包括项目时间表和成本估算。

Kungurov说：“估计退役成本是规划过程中最困难的部分之一，因为我们的反应堆营运者以前从未这样做过，这需要大量的文件。”关于退役

IIN-3M反应堆的所有信息，例如要使用的程序、设备和工具的细节，都在开始实地工作之前提交给乌兹别克斯坦的国家监管机构批准。

准备退役

按照原子能机构的安全标准，在开始退役过程之前，重要的一步是将所有燃料和放射源从厂房中移除。这通常需要专门的设备和训练有素的专家。

对于IIN-3M堆，专家们与原子能机构以及俄罗斯和美国合作，将反应堆的燃料取出并运回原产国：俄罗斯。本案例的一个特别挑战是乏燃料的形式——液态高浓铀，因为这是此类燃料第一次空运回原产国。这项合作还包括整备各种废弃的液体放射源，并将其从现场运送到处置设施。

然后，去污、拆解和拆除过程就可以开始了。退役过程包括逐个拆卸反应堆容器等设备；清除表面污染，确保安全辐射水平；以及移除反应堆箱体中使用的混凝土层。原子能机构为退役过程的每一步提供支持。

一旦退役过程完成，原子能机构应乌兹别克斯坦政府的请求，协助进行场址调查，以检查放射性的安全水平。结果表明，由于没有发现明显的残余放射性，退役是成功的。这一独立测量结果与乌兹别克斯坦政府对该场址的评价一致，这些结果共同证实了将其用于其他目的是安全的。

退役拆除阶段的IIN-3M研究堆设施。

(图/乌兹别克斯坦科学院)



维持研究堆的可持续性



Helmuth Boeck

维也纳理工大学原子和亚原子物理研究所反应堆安全副教授。Boeck在研究堆利用和运行方面拥有超过45年的经验。他还在原子能机构支持的80多次工作组访问中担任过专家。

研究堆仍然是为医药和工业提供放射性同位素、为材料研究和无损检测提供中子束以及为私营和公共部门提供分析和辐照服务的不可或缺的手段。它们的使用在教育和培训新一代科学家和工程师以支持核科学和技术计划方面也发挥了战略作用。

在迄今为止建造的841座研究堆中，许多已经退役，或者正在等待退役，仍在运行的224座研究堆中，超过50%的反应堆已经超过40年堆龄。虽然目前全世界有9座研究堆正在建造中，约有30座新研究堆处于不同的规划阶段，但许多研究堆已经关闭，其原因包括缺乏资金、利用不足或缺乏战略规划，所有这些原因以前都不被认为是重要的问题。研究堆如果管理和利用得当，能够运行60年或更长时间。然而，至关重要的是，事先制定适当的寿期管理计划，包括与安全、安保和利用有关的计划。

协作降低成本和提高利用

研究堆运营者当今面临的主要挑战是有关资金和利用问题。如果没有明显的好处，研究堆通常不会得到国家、行业或私营部门的财政支持。好处可能涉及国家大学计划内的学术研

究，国家或国际合作计划内的医用放射性同位素生产或材料研究。根据研究堆的功率水平（这会影响到它的使用方式），多用途研究计划将是最佳解决方案。

在提高利用率的同时降低运行成本的一个可能性是，在两座或多座研究堆设施之间建立区域研究堆伙伴关系，然后这些设施可以共享运行时间和（或）昂贵的设备。在过去的十年中，通过原子能机构的团体进修培训班，发起了若干这样的伙伴关系，并提供了财政支持。

其中一个例子是由奥地利、捷克共和国、匈牙利和斯洛文尼亚四国建立的“东欧研究堆倡议”，这四个国家共运行着六座不同设计的研究堆。通过这个网络，自2009年以来，已经举办了15次为期6周、共有120多人参加的团体进修培训班。参加者至少在5座研究堆（功率水平在100千瓦和10兆瓦之间）上进行了培训，并接受了诸如反应堆物理、仪器仪表和控制系统、辐射防护和活化分析等专题教育。

类似的倡议例如还有“全球TRIGA研究堆网络”。创建该网络的目的是讨论和解决TRIGA型研究堆的共同问题，包括燃料供应、技术支持和

提高利用率。目前有30多座TRIGA型研究堆在世界范围内运行。

老化、关闭和退役

根据原子能机构的研究堆数据库，全世界有几座研究堆因为缺乏利用计划或技术状况不符合国际公认的安全标准等原因而延长关闭，否则将需要进行大量的翻新或现代化改造工作。在某些情况下，翻新或现代化改造可能非常昂贵，还不如一直停堆闲置更合算；然而，即使在这种情况下，维护成本还是少不了。因此，一些研究堆的未来仍未确定，从长远来看，这可能会引发实际的安全和安保问题。

如何处理反应堆乏燃料的问题加剧了这种情形，这些乏燃料必须得到有效管理，包括在国家贮存设施贮存、后处理、最终处置或运回原产国。这种选择通常代价昂贵，必须及时处理，同时还要遵守国际安全标准，并确保在早期阶段进行必要的财政投入。

战略规划管理系统

对于研究堆的长期运行，应制定有效的老化管理计划，通常除其他处，应包括对长期运行的详细安全评价，以及充分的翻新和现代化改造计划，以使设施符合最新的安全标准。

对于许多研究堆来说，缺乏本应在反应堆运行寿期开始时制定并随后与时俱进的退役计划。原子能机构制定了若干安全标准，为制定老化管理计划、退役和管理延期关闭的研究堆提供导则。

这些与关闭、老化和退役相关的问题可以在建立全面管理系统时解决。建立这些系统也需要确保解决一些重要的目标，包括安全、健康、安保和相关问题，以改善研究堆的持续运行和服务，如原子能机构安全标准所概述的那样。该系统应提供通用指导，有助于研究堆的建造、运行和评价，并提供符合国际标准的具体运行导则。

要建立管理系统，应制定针对特定设施的详细战略计划，该计划应让所有相关方，如国家当局、业界、用户和设施管理者参与进来，以便提高可用资金和运营经费的效益。这一战略计划必须定期修订，以考虑随着时间的推移研究堆任务的变化。原子能机构制定了许多文件，以协助各国制定和实施战略计划。

总之，这些主题表明如何维护和（或）改进研究堆以确保可持续性。营运组织可根据具体研究堆的特定状况，特别是利用原子能机构的经验和支持，决定改进行动，以维持其研究堆的可持续性。

原子能机构和粮农组织帮助培育抗主要真菌疾病的香蕉



田间试验对中国广东种植的抗TR4新香蕉品种ZJ4与易感巴西蕉BaXi进行了对比。
(图/易干军/中国广东)

香蕉可能是世界上最受欢迎的水果，但全世界的种植园正在日益受到一种新型真菌的威胁，这种真菌会破坏香蕉植物，威胁农民的生计和香蕉产业。

过去数十年间仅局限于东南亚的枯萎病热带4号小种（TR4）2019年在非洲和拉丁美洲首次被发现。2019年8月这一疾病在哥伦比亚爆发，导致该国宣布进入全国紧急状态。

原子能机构和联合国粮食及农业组织（粮农组织）合作，与世界各地研究人员共同支持培育抗这种疾病的各类香蕉新品种。

粮农组织/原子能机构植物育种和遗传学实验室主任Ivan Inglbrecht表示：“现代香蕉不能产生种子，因此很难利用杂交育

种进行改良。”所以，使用辐照或化学诱变等技术培育具有有利性状的新品种通常是对抗这种疾病的首选。

经过多年研究，中国专家推出了最常见出口香蕉卡文迪什香蕉的抗TR4新品种。Inglbrecht说，该新品种培育使用了化学诱变技术，包括菲律宾在内的其他国家也即将利用伽马辐照培育出本国品种。

一个多世纪以来，枯萎病一直是制约香蕉产量的主要因素。这种疾病是由一种名为尖孢镰刀菌古巴专化型的土壤传播真菌引起的。该病原体在土壤中存活了几十年，因此难以根除。TR4是最近出现的这种真菌的一个新菌株。Inglbrecht解释说：“真菌通

过根部进入易感植物并干扰其水分吸收，导致叶片枯萎和香蕉最终死亡。”

粮农组织估计，TR4每年在东南亚造成的直接损失约为4亿美元，其中不包括间接的社会经济影响。

“卡文迪什香蕉新品种的推出将使许多农民受益；这一成功得益于与原子能机构和粮农组织在诱变技术方面的密切合作，”位于广州的广东省农业科学院副院长易干军表示，“这一最先进的技术带来了抗枯萎病的重大突破。”

“抗枯萎病TR4‘本地’香蕉新品种的令人振奋的结果，给在田间试验中成功测试了新植物的蕉农带来了巨大的希望，”易干

军表示，“诱变技术可以帮助培育出适应当地环境条件的新型香蕉植物。”

现在，正在对这一新品种进行繁育并分发给其他省份。易干军补充说，中国专家愿意帮助其他国家的同事培育出适合当地气候和土壤条件的抗TR4香蕉品种。

科学家们正在使用体外技术在试管中培育数千株适合利用化学物质、伽马射线或X射线进行诱变的小香蕉植物。这些技术加快了植物突变的自然进程，并且创造了遗传多样性，然后可用于生产新品种，包括那些具有有利性状的品种。自2015年以来，由中国和菲律宾等六个国家的科学家参与的一项协调研究项目率先开展了培



植物育种人员在中国广东种植卡文迪什新品种的香蕉种植园里。

(图/易干军/中国广东)

育抗TR4香蕉品种的工作。

“在亚洲几个国家利用化学诱变取得的成功和使用辐照取得的可喜进展表明，培育抗TR4新品种在不远的将来也有可能应用于世界其

他地区，” Ingelbrecht表示，“原子能机构和粮农组织都致力于帮助各国实现这些目标。”

文/Miklos Gaspar

用1美元的工具对抗空气污染

一种制造成本不到1美元的简单的新设备可以帮助全球努力减少氨排放造成的有害空气污染，同时还可以提高对粮食的获得。这种小型塑料工具是巴西科学家与原子能机构和联合国粮食及农业组织（粮农组织）合作设计的。在使用同位素技术测试和确认其准确性后，该工具现在正在推出，用于帮助各国监测和更好地管理农业（包括畜牧业）的氨排放。

氨，一种氮和氢的化合物，是农业的主要副产品之一，也是诸如化肥和动物粪便分解时释放出的一种气体。大气中氨气的存在可以成为一氧化二氮（一种强大的温室气体）的次要来源，并可能通过加

剧水污染来破坏生态系统，以及造成人类的健康问题。

当化肥施用不当时，高达一半的氮可能会流失到大气中，这一损失也会造成重大的经济后果。了解这一损失对于向农民提出如何最好地管理他们的化肥使用的建议至关重要，这有助于最大限度地提高生产率和效益。

巴西农业研究公司国家农业生物研究中心的土壤学家 Segundo Urquiaga说：“平均而言，巴西使用的氮肥中有35%以氨的形式流失到大气中，这对环境和经济都有很大影响。”

随着世界人口的持续增长，对粮食的需求也随之增长。这反过来又导致畜牧业的扩张，并日

益依赖合成和有机氮肥来生产粮食。这也意味着更多的氨排放。这种趋势预计将在未来十年继续下去，并对人们的健康和环境构成威胁。

巴西等国家的专家正在寻找测量和缓解氨排放到大气中的方法。许多先进的方法，如风洞、腔衰荡光谱和微气象技术，已经可以使用，但它们价格昂贵，需要高技能的现场技术人员来操作。

“过去，测量和缓解这一过程既费力、耗时，又相对昂贵，” Urquiaga说，“这项新技术性价比高，速度快，可在任何地方采用。使用它将对农民产生直接影响，农民将不仅节省资源，还减少空气污染。”



一种由塑料瓶制成的简单的新工具可以帮助追踪和减少农业中的氮排放，并改善粮食安全。

(图/巴西农业研究公司)

一种独特的新工具

这个新工具非常简单，很容易被误认为是小学科学项目。将一个大塑料汽水瓶的底部去掉，并将其固定在打开的瓶子顶部，形成一个容器。事先将一小片泡沫浸泡在能捕获氮的酸性溶液中，然后放在瓶子里，从瓶口向下延伸到一个用三个金属尖头固定在土壤上的小塑料杯。将这个容器放置在要监测的植物或牲畜区域旁边，每24小时取出泡沫一次，并将其带到实验室进行分析。

这种独特而简单的装置和如何使用它的说明是由粮农组织/原子能机构粮农核技术联合处、巴西农业研究公司和巴西巴拉那农业研究所的科学家发明的。

粮农组织/原子能机构联合处土壤学家和植物营养学家 Mohammad Zaman说：“这个装置可以帮助我们了解氮的损失，

并转向气候智能型解决方案，留下足够的氮来提高植物生产力，特别是在肥力较低和氮缺乏的土壤中，这可能会对粮食生产产生重大影响。”

该设备可以单独使用来精确测量氮损失，也可以与旨在减少温室气体排放及其对环境影响的农业实践相结合。这些实践包括滴灌系统、与氮素过程抑制剂一起施用化肥，以及涉及固氮豆类的作物轮作。

简单但可靠

由于这个工具很简单，因此其结果的可靠性引起了人们的担忧。为了测试可靠性，科学家们使用了一种同位素技术，这种技术涉及在肥料中添加氮-15（见下面“科学”部分），作为跟踪、测量和比较塑料容器捕获的氮量与释放的氮量的方式，释放的氮

量是通过使用氮质量平衡法测量的，以检查随着时间的推移土壤中的氮量。由于氮是一种含氮化合物，因此氮-15方法使科学家能够追踪氮的损失。

试验结果表明，这种容器是跟踪一年生和多年生作物使用的有机肥和合成肥以及牲畜排泄物中氮排放的可靠和适当的方法。“与传统的密闭容器方法相比，这种方法在测量和监测氮方面是高效和精确的，” Urquiaga说。

巴西、智利、哥斯达黎加、埃塞俄比亚、伊朗和巴基斯坦等六个国家的专家已经开始使用这一工具。Zaman说，该工具有望得到更广泛的使用，特别是在该项目的成果发表在一期经同行评审的国际科学期刊的特刊上之后。此外，还有一项计划建议政府间气候变化问题小组将该工具作为一种方法应用于世界各地的农业系统，特别是发展中国家。

科学

氮在植物生长和光合作用中起着重要作用，光合作用是植物利用阳光从二氧化碳和水中合成养分的过程。氮通常以肥料的形式添加到土壤中。通过使用标有氮-15（与“正常”氮相比，原子中含有额外的中子）稳定同位素的肥料，科学家可以追踪这一途径，确定作物吸收肥料的效率，并追踪涉及氮的不同氮损失。这项技术还有助于确定应该使用的最佳化肥数量。

文/Nicole Jawerth 和 Elisa Mattar

原子能机构成员国将受益于美国捐助的放射源运输容器

由于美国能源部国家核军工管理局的捐助，原子能机构现在可以使用一个新的容器来运输弃用密封放射源。这项捐助是在原子能机构第六十三届大会的一个仪式上宣布的。

容器为435-B类B(U)型，专为国内和国际运输各种放射源和放射性设备而设计。它经认证既可运输非常高活度的源，如远距治疗源和辐照源，也可运输活度稍低的源，如用于工业伽马射线照相和中、高剂量率近距离治疗的源。

在维也纳原子能机构总部举行了剪彩仪式，标志着容器的交付。

“与从成员国移除放射源相关的主要费用之一是运输费用，以及租用经授权的运输容器，”原子能机构副总干事兼核能司司长米哈伊尔·丘达科夫表示，“随着原子能机构现在将直接获得经认证许可的容器，我们将能够提供更有效的方法，将弃用密封放射源从使用者的处所安全可靠地运送至获授权的接受者，以作进一步管理。”

放射源用于医疗、工业、研究和农业等领域的各种应用，不仅在使用期间，而且在使用寿命结束后，都必须进行适当的管理。这通常涉及将它们运送到远离其使用地点的场所。

弃用密封放射源管理方案包括临时和长期贮存、回收、返还和最终处置。运输也是弃用密封放射源管理中的重要一步。为了将这些源从一个国家转移到经授权的设施，必须适当地运输。



原子能机构副总干事米哈伊尔·丘达科夫和美国能源部负责核安全副部长Lisa E. Gordon-Hagerty在美国捐赠给原子能机构供其他国家使用的1:10弃用密封放射源运输容器前剪彩。

(图/原子能机构S. Krikorian)

波斯尼亚和黑塞哥维那辐射和核安全国家监管机构主任Marinko Zeljko说：“原子能机构获得这个经过认证的运输容器，将有助于原子能机构为确保安全可靠地管理弃用密封放射源提供支持。”

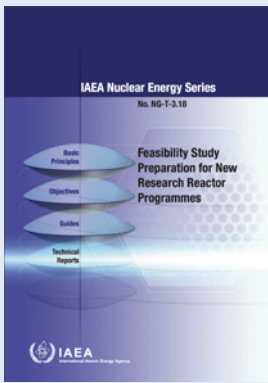
在许多国家，由于缺乏专门获得运输弃用密封放射源许可证的合适容器，运输放射源进行报废管理一直是一项挑战。现在有了这个435-B容器，原子能机构可以帮助主管机构更有效地运输弃用密封放射源。

“435-B容器的提供进一步加强了美国和原子能机构之间的合作，我希望它能被视为我们对原子能机构推进放射源妥善报废管

理努力的长期承诺的象征，”美国能源部负责核安全副部长兼美国国家核军工管理局局长Lisa E. Gordon-Hagerty表示，“这些努力不仅将加强全球安全，而且将促进公众健康和安全。”

自2014年以来，原子能机构支持从15个以上的成员国移除60多个高活度弃用密封放射源。为整合和整备活度较低的弃用密封放射源而执行了多次工作组访问，促使数千个弃用密封放射源得到安全可靠的贮存。2018年，原子能机构帮助五个南美国家移除了27个弃用密封放射源，这是它所协助过的最大的此类项目。

文/Matt Fisher

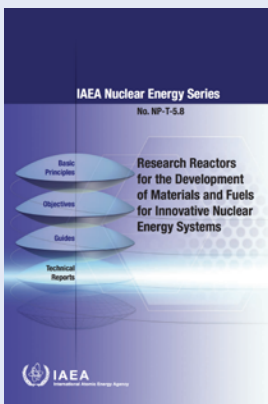


《新研究堆计划的可行性研究准备》

本出版物描述了一个新的研究堆项目的全面、完善和结构合理的可行性研究报告中要包括的各种要素。它为新研究堆的主要支助组织或团队提供指导，使他们能够进行权威和全面的可行性研究，并提交给决策者审查，以便支持建议并核准建造此类设施的行动计划。它包括考虑建立新的研究堆的理由、相关的关键核基础结构问题、成本效益分析和风险管理，这些都是批准建立新的研究堆之前必须解决的问题。解决这些问题将有助于成员国全面了解建立和运行研究堆所涉及的所有职责、义务和承诺，并确保在项目生命周期的所有阶段都能履行这些职责、义务和承诺。本出版物还包括编写可行性研究报告的通用模板，并提供了单独成员国在编写此类研究方面的一些实例和经验教训。

国际原子能机构《核能丛书》第NG-T-3.18号；ISBN：978-92-0-104518-8；英文版；30欧元；2018年

www.iaea.org/publications/12306/feasibility-study

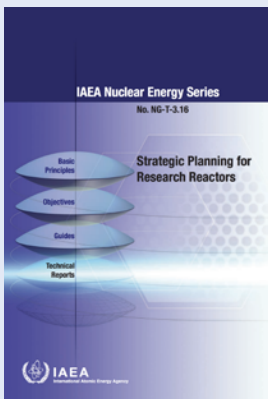


《用于开发创新核能系统的材料和燃料的研究堆》

本出版物概述了研究堆的能力和开发创新核反应堆（如第四代反应堆）燃料和材料的实力。该汇编提供了关于30个运行中和正在开发的研究堆的材料和燃料试验研究潜力的全面信息。这些信息包括它们的功率水平、运行模式、当前状况、可用性和其利用率的历史概览。本出版物旨在促进更广泛地获取具有先进材料试验研究能力的现有研究堆的信息，从而确保提高它们在这一特定领域的利用率。预计它还可以作为通过研究堆联盟和原子能机构指定的以研究堆为基础的国际中心建立地区和国际网络的辅助工具。

国际原子能机构《核能丛书》第NP-T-5.8号；ISBN：978-92-0-100816-9；英文版；32欧元；2017年

www.iaea.org/publications/10984/research-reactors-for-the-development-of-materials-and-fuels



《研究堆的战略规划》

本出版物是原子能机构《技术文件》第1212号的修订版，主要侧重于提高现有研究堆的利用率。这一更新版本还就如何为新的研究堆项目制定和实施战略规划提供了指导，对于正在准备建立这样一个新设施的可行性研究的组织将特别有益。本出版物将使管理人员能够更准确地确定现有反应堆的实际和潜在能力，或新设施的预期用途和类型。同时，管理部门将能够将这些能力与利益相关者/用户的需求相匹配，并建立满足这些需求的战略。此外，本出版物还提供几个附件，包括作为对正文进行澄清的一些例子，以及作为对起草战略规划小组的辅助工具的现成模板。

国际原子能机构《核能丛书》第NG-T-3.16号；ISBN：978-92-0-101317-0；英文版；38欧元；2017年

www.iaea.org/publications/10988/strategic-planning-for-research-reactors

欲了解更多信息或订购图书，请联系：

国际原子能机构市场和销售股

Marketing and Sales Unit

International Atomic Energy Agency

Vienna International Centre

PO Box 100, A-1400 Vienna, Austria

电子信箱：sales.publications@iaea.org

国际会议

核安保：保持和加强努力

2020年2月10日至14日
奥地利·维也纳

部长级会议专场
2020年2月10日

主办单位：



IAEA

国际原子能机构
原子用于和平与发展

#ICONS2020



CN-278

在线阅读本期和其他各期《国际原子能机构通报》：
www.iaea.org/bulletin

更多了解国际原子能机构及其工作，请访问网址：
www.iaea.org

或通过以下方式关注我们：

