

IAEA BULLETIN

国际原子能机构通报

2015年9月 • www.iaea.org/bulletin

原子能用于产业

促进发展的辐射技术



原子能用于产业

促进发展的辐射技术

《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：P. O. Box 100, 1400 Vienna, Austria

电话：(43-1) 2600-21270

传真：(43-1) 2600-29610

电子信箱：iaebulletin@iaea.org

编辑：Miklos Gaspar

常务编辑：Aabha Dixit

特约编辑：Nicole Jawerth

设计制作：Ritu Kenn

《国际原子能机构通报》可通过以下方式获得：

> 在线：www.iaea.org/bulletin

> 应用程序：www.iaea.org/bulletinapp

《国际原子能机构通报》所载的原子能机构资料摘要可在别处自由使用，但使用时必须注明出处。非原子能机构工作人员的文章，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：国际原子能机构A. Schlossman

可在iPad上阅读本期



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

1957年作为联合国内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。原子能机构创办了有关核安保的国际协商一致指导性出版物《核安保丛书》。原子能机构工作还注重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手中或核设施遭受恶意行为的危险。

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。已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，制订了原子能机构安全标准。

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。现场和联络办事处分别设在日内瓦、纽约、东京和多伦多。原子能机构运行着设在摩纳哥、塞伯斯多夫和维也纳的科学实验室。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。

原子能用于产业： 辐射技术支持发展

文/国际原子能机构总干事天野之弥

无论在发达国家还是在发展中国家，尖端产业技术都为成功地实现强劲的经济提供了支撑。核科学和技术，尤其能够对经济增长和竞争力作出重大贡献，并在支持可持续发展方面发挥重要作用。原子能机构帮助向各国提供核科学和技术，使其能在人体健康、农业、自然资源管理和环境保护等领域寻求更广泛的发展目标。本期《国际原子能机构通报》着重说明核技术被有效应用于产业的一些方式。

辐射技术是我们日常生活的一部分。建筑物、管道、医疗设备和汽车零部件只是在制造过程中用辐射以受控和安全方式处理和测试过的一些物项。这类程序能提高产品质量和安全性，使制造商和消费者双双获益。正如本期《通报》文章所表明的，辐射技术比传统替代方法往往提供更加环保的手段，需要更少的能源，产生更少的废物。

中低收入国家由于人口增长，需要想办法加紧产业化发展，以提高产量和可持

续地满足消费者需求。核技术能够有助于使这些过程具有成本效益，以及对环境更加安全，并带来更好的产品，将最终造福社会。

使成员国可获得辐射技术，帮助他们和平利用这些技术，是国际原子能机构工作的一个重要组成部分。通过技术合作项目、协调研究活动和科学会议，来自世界各地的数百位科学家和专家共同努力，进一步改进各种辐射工艺技术，并使它们能为产业所用。在过去的几年里，这一技术合作也刺激了发展中国家之间的南南合作，例如，马来西亚帮助苏丹利用无损检测技术，越南向安哥拉转让放射性示踪剂技术，只是本期报道的事例中的两个。

今年的国际原子能机构“科学论坛”将展示其中的一些技术，汇集顶尖专家讨论最新趋势和最佳实践。我邀请您亲身到维也纳或通过网站<https://www.iaea.org/about/policy/gc59/scientific-forum>关注这些行动。



“辐射技术比传统替代方法往往提供更加环保的手段，需要更少的能源，产生更少的废物。”

—国际原子能机构总干事天野之弥

(图/国际原子能机构C.Brady)



1 原子能用于产业：辐射技术支持发展

4 原子能用于产业能够发挥重要作用：国际原子能机构科学论坛

抗击病菌（医疗保健）



**6 更好的医疗保健：加纳利用辐射技术
实施医疗用品灭菌**

链接长链（先进材料生产）



**8 胶状绷带促进伤口愈合：
埃及利用辐照聚合物开发水凝胶**



10 越南用辐照天然聚合物生产出超级作物

解决污染（环境治理）



12 电子束帮助波兰燃煤电力工业净化空气



14 辐射技术帮助中国各产业界使水更清洁

标绘路径（提高工业过程的生产率和可靠性）



16 绘制海床地图：示踪剂技术与寻找石油



18 保持港口的通达性：巴西利用核技术节省“数百万”的疏浚费用

加强安全和质量（安全质量管理）



20 X射线的工业应用：无损检测帮助马来西亚提高竞争力

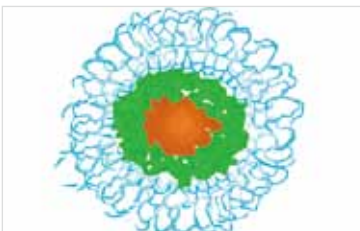


22 利用辐射技术提高采矿价值

希望之射线（新的发展和 innovation）



24 “脆弱老人”：墨西哥和法国利用核技术拯救2000年前的雕像



26 小东西有大影响时：作为纳米级工程工具的电离辐射

原子能用于产业能够发挥重要作用： 国际原子能机构科学论坛

文/Luciana Viegas

产业已经成为现代生活不可缺少的一部分。随着世人旅行更远更快，许多城市扩展成巨大集群，商贸跨越种种壁垒，友谊由互联网的无形绳串联在一起，很难想象一个不被大型产业产品及工艺所触动的世界。

今年的“科学论坛”将侧重于辐射技术在产业中的应用，以及它们如何应用于控制我们在日常生活中使用的产品（如汽车轮胎和电缆）的质量，提高各种材料的耐用性，甚至进行废水消毒。权威专家、学者和行业代表将于2015年9月15日至16日在国际原子能机构大会期间在奥地利维也纳召开会议，审查这些技术提供的众多好处，特别是在可持续发展的背景下。

该论坛将包括关于以下主题的高级别小组讨论：

抗击病菌

此次“科学论坛”以卫生部门为出发点，将审查辐射如何能够杀死细菌，确保无菌医疗设备可用于挽救生命的过程，帮助生产更有效的疫苗，或使组织移植安全用于移植。

链接长链

本次会议将探讨如何能够通过使用辐射使聚合物——由许多重复的子单元组成的综合和天然大分子——变得更稳定、耐热、耐用。这些多功能材料存在于许多日常用品，例如，全球用于制造汽车、飞机和计算机的所有材料的约90%包含交联聚合物。这种技术还通过促进植物更快生长的产品，惠及医疗和化妆品行业，甚至是农业部门。



解决污染

不断扩张的城市和大型产业可导致日益严重的污染。本次会议将着眼于如何已成功地采用辐射技术处理顽固产业污染物和确定污染途径。一些国家已经利用辐射技术评估和研究环境过程以及废水和废气的处理，论坛将突出强调这些有前途领域中的例子。

标绘路径

放射性示踪剂和核子测量仪在提高生产力及确保产业过程和生产系统的质量和可靠性方面发挥着重要作用。参加本次会议的专家将分享他们的经验，并讨论这些技术如何造福于石化和采矿业等。

加强安全和质量

无损检测技术，包括核技术，广泛应用于制造和民用工程。无损检测技术是用于检查元器件、机械、建筑和结构的完整性，以确保其安全和质量的质量控制工具。

该论坛将探讨无损检测技术的应用实例，分享在创建能够有效开展无损检测的合格工作队伍方面的最佳实践，这一点可能在许多情况下是至关重要的，例如在需要快速检测公共土木结构以查明隐藏裂缝和缺陷时。

希望之射线

辐射技术为产业的未来提供了巨大的机会，论坛的最后一次会议将着眼于新的发展，包括在纳米级工程、卫生、食品和农业以及在文化遗产的保护和保存领域的发展。

论坛最后将公开讨论核技术在支持发展努力方面的附加值，并提供机会，使各国分享他们的经验和听取这方面的更多原子能机构的服务。

欲了解详细信息和最新议程，请见网页：<https://www.iaea.org/about/policy/gc/gc59/scientific-forum>。该页面将在整个活动期间定期更新，提供会议的概要。



(图/国际原子能机构)

更好的医疗保健：加纳利用辐射技术实施医疗用品灭菌

文/Aabha Dixit

“我国认识到辐射加工技术在促进许多领域的发展方面，包括在医疗部门加强保健方面的巨大潜力和实用性。这就是为什么加纳渴望有这样的技术可用。”

—加纳原子能委员会生物技术和核农业研究所辐射技术中心经理 Abraham Adu-Gyamfi

设 备消毒不当引发的感染被认为是安全卫生保健服务的一个主要障碍，往往给患者造成致命的后果。在使医疗器械更加安全方面，辐射技术在许多国家起着重大作用。加纳原子能委员会阿克拉生物技术和核农业研究所辐射技术中心经理 Abraham Adu-Gyamfi说：“利用核应用，例如对医疗用品进行 γ 射线照射，有助于加纳保护人民免遭可避免的疾病，而如果注射器之类用品未被正确消毒，这些疾病便会发生。”

Adu-Gyamfi说：“我国认识到辐射加工技术在促进许多领域的发展方面，包括在医疗部门加强保健方面的巨大潜力和实用性。这就是为什么加纳渴望有这样的技术可用。”他解释说，辐射技术提高了医疗用品特别是塑料制品的卫生质量，这些用品很难用加热等常规方法进行消毒（见方框）。

短时间照射消除病毒和细菌

国际原子能机构辐射处理专家Sunil

Sabharwal说，在国际原子能机构的支持下，加纳正在通过利用现代核科学和技术确保安全的医疗用品，努力改善其卫生保健系统。他说， γ 辐射在快速、有效和经济地提供无菌包装的医疗用品方面起着至关重要的作用。

Sabharwal说，杀菌可减少微生物，如真菌、细菌、病毒和其他潜在的病原体的存在。高能辐射目前被认为是医疗用品灭菌的最有效方法。它是一种“干净和有效的方法”，因为处理后它不会在器械上留下任何残留物。他说， γ 射线能以最小的温升，甚至在封闭包装的产品中，均匀地穿透材料的所有部分。物品经杀菌后，无需任何隔离周期，可立即使用。

利用 γ 辐射改进医疗用品的卫生质量

加纳原子能委员会利用一台钴-60辐照器向15家医院/诊所和4家公司提供辐照服务。辐照项目包括：

- 一次性使用医疗用品，如纱布、注射器、药棉、缝合线、注射器针头；
- 导管、输液器和液体；
- 手术衣（衣、帽、鞋）和片材；
- 组织移植体；
- 可重复使用的医疗设备，如手术刀、剪刀和碗等外科手术器械；
- 药品。

支持扩展到周边国家

Adu-Gyamfi说，位于加纳原子能委员会的 γ 辐照设施还通过提供辐照服务和培训，向尼日利亚、科特迪瓦和尼日尔等其他西非国家提供援助。这些国家还在几个

Abraham Adu-Gyamfi
(中)和技术人员在 γ 辐照设施。
(图/加纳辐射技术中心)



其他方面开展合作，如提高公众和政府官员对该技术的认识。

他补充说，这些努力也有助于消除对一般利用核技术的误解。

了解国家的需要

加纳自1970年以来一直受益于原子能机构的项目援助。它在1994年获得了第一个也是唯一的钴-60辐照设施。国际原子能机构的专家对加纳的科学家、操作人员和技术人员进行了安全和可靠利用钴-60辐照装置的培训。Sabharwal说：“在保健品的辐照灭菌方面进行知识转让和提供关于执行国际验证、过程控制和常规监测标准的培训，需要一个深思熟虑的和量身定制的方案，并适合于一个国家的需要。”

Adu-Gyamfi说，该辐照装置于2010年进行了升级，于2012年接受进一步落实国际原子能机构的质量控制要求。这些措施确保了它的安全运行符合所有的国际标准和程序。

为了能对加纳全国各地的患者产生影响，Adu-Gyamfi及其同事与全国医院合作努



力。“虽然在国际原子能机构的支持下建立了国家层面的技术能力，但我们必须要做的是利用我们所获得的知识 and 技能帮助我们的地方人民。”

准备分发的灭菌用品。
(图/加纳辐射技术中心)

科学

用 γ 辐射进行医疗用品灭菌

γ 辐射，也称为 γ 射线，是指一种极高频的电磁辐射。 γ 辐射能够非常有效地防止微生物，如病毒和细菌的生长，其实现方式是破坏此类微生物细胞中的DNA分子，从而阻止细胞分裂。

这些高能量的电磁波能够很容易地穿过注射器、输液器和类似用品等医疗器械的

密封塑料包装。

γ 辐射由放射性同位素，通常的钴-60或铯-137发射出来。只要辐照过的设备保持在密封的塑料包装中，就会无病毒、无细菌。 γ 辐照过程不使处理过的物品中产生残留物或放射性。

胶状绷带促进伤口愈合：埃及利用辐照聚合物开发水凝胶

文/Aabha Dixit

“埃及是国际原子能机构援助的受益者。国家辐射研究与技术中心的电子束装置目前正在被升级，以满足对水凝胶产量的不断增长的需求。”

—国家辐射研究与技术中心前主席、名誉教授 El-Sayed A. Hegazy Abraham

烧伤、皮肤溃疡和褥疮患者利用独特的胶状物质水凝胶能够缓解痛苦。水凝胶在这类伤口愈合过程中起着越来越重要的作用。而核技术在水凝胶的开发中一直起着关键作用。水凝胶已成为包括埃及在内的许多低中等收入国家中伤口治疗的重要组成部分。

特殊的凝胶绷带正迅速普遍地用于“冷却”伤口和减少烧伤和其他伤害的痛苦影响。埃及唯一的水凝胶开发设施国家辐射研究与技术中心前主席、名誉教授 El-Sayed A. Hegazy 说，糖尿病患者的伤口比用传统绷带愈合快得多、好得多。



水凝胶绷带能被用于多种伤口上。

(图/国际原子能机构 S. Henriques)

他解释说：“水凝胶有很好的效果，并且缓解疼痛。它减少伤处所造成的组织损害程度，并且是透明的，所以医生能够监视伤口。它使恢复时间缩短了一半，但最重要的影响是，它有助于无疤痕的新皮肤再生。”

核衍生的水凝胶对人是安全的

该中心辐射化学教授 Ghada Adel Mahmoud 说，作为水凝胶制造基础的科学虽然复杂，但很好理解。她说：“水凝胶是

利用交叉连接的聚合物链形成，并使用 γ 辐射或电子束灭菌的。”聚合物在水中混合，放入模具或管中、包装、密封，然后进行交联和辐射照射灭菌。这导致聚合物连接形成凝胶。形成的凝胶强度高、柔软、透明。

国际原子能机构放射化学家 Agnes Safrany 说，用于伤口敷料的水凝胶含有 70%~95% 的水，具有生物兼容性。她说，它们不粘连伤口，使伤口保持湿润，易于恢复，吸收伤口排出物，而且也很容易贮存和使用。

水凝胶还有助于对人体正确部位给药，而不给其他部位造成伤害。它们被用作口服药物的隔膜，以保护胃黏膜不受刺激性药物影响，或保护酸不稳定性药物不受胃内环境影响。Safrany 说，这方面的研究正在进行中。

Safrany 说，研究人员还正在考虑将纳米凝胶用于化疗治疗，因为它们直接通过血流到肿瘤，不会对身体其他部位产生影响。

先进的核应用使卫生部门受益

国际原子能机构已通过一些特定的量身定制项目支持许多国家提高对水凝胶的认识以及培养科学家和技术人员利用核技术开发水凝胶。Hegazy 说：“埃及是这种援助的受益者。国家辐射研究与技术中心的电子束装置目前正在被升级，以满足对水凝胶产量的不断增长的需求。”

Mahmoud 说，核技术用于制造水凝胶已有 30 多年，其生产简单、经济划算。

国际原子能机构为建立用于评估利用



水凝胶绷带正用于患者。
(图/国际原子能机构
S. Henriques)

水凝胶开发聚合物的实验室提供了支持。实验室研究包括分析聚合物的特性，如它们的强度、它们的膨胀度、所需要药物的量及其在水凝胶中使用时的释放量，以及潜在的毒性和长期稳定性。

Hegazy补充说，在实验室完成研究后，国家辐射研究与技术中心提出了制备作为伤口敷料的水凝胶申请，并获得了许可，从埃及卫生部进行供应。

埃及还将它从国际原子能机构获得的知识和经验转让给该地区其他国家。他还

说，水凝胶是许多严重烧伤患者的生命救星，更多的国家应该使用它们。

国家辐射研究与技术中心是埃及原子能管理局的一部分，原子能管理局是埃及促进核科学技术和和平应用于该国人民生活的几乎所有方面的领先机构。

在国际原子能机构的援助下，从甲壳素（包括脱乙酰壳多糖，源于甲壳素，用于保健应用，见第11页方框）等天然聚合物开发的辐射加工产品已经显著扩大了核技术在埃及医学部门的利用。

水凝胶伤口敷料的多种用途

通过辐射技术生产的水凝胶伤口敷料具有以下医疗优势：

- 形成高效屏障防止细菌侵袭，防止体液过分丢失；
- 使氧气能够扩散到伤口；
- 柔软、有弹性，但机械强度高；
- 很好地附着于伤口和健康皮肤，而没有多余的粘料；
- 透明，保持伤口为卫生专业人员明显可见；
- 能够轻松用药物治疗伤口；
- 吸收身体产生的液体，对组织损伤和细菌毒素作出反应；
- 不引起过敏反应；
- 舒缓疼痛，并提供最佳的伤口愈合；
- 无菌，并且易于使用。

(资料来源：mitr.p.lodz.pl/biomat/old_site/dress.html)

越南用辐照天然聚合物生产出超级作物

文/Sasha Henriques

“壳寡糖保护植物免受真菌和细菌感染，阻止烟草花叶病毒传播。”

—越南辐射技术研究与发展中心Nguyen Quoc Hien

为了增加产量，消灭作物病害，越南农民现在用经过辐照的天然聚合物壳寡糖（oligochitosan）和褐藻寡糖（oligoalginate）作为农作物的肥料。

这种作法正在产生效果。

壳寡糖和褐藻寡糖分别来自虾壳和褐藻。在受控环境中使用精确的剂量照射这些聚合物和其它天然聚合物，如西米淀粉、木薯淀粉和棕榈油，会改变它们的分子结构并使其具有促进植物生长的特性。所得产品无放射性，并且是可生物降解和无毒的。

病毒传染于350多种不同种类的植物，不只是烟草。”

Hien说，褐藻寡糖有蜜糖一样的深褐色颜色，用它处理的植物生长得更快，比未经处理的植物大56%。一升水中溶解一滴泪珠大小的液体壳寡糖就足以用来预防植物病害并显著提高生长速率。

广泛使用壳寡糖之类不留任何有害残留物的无毒产品，最终受益的是消费者，并为国家农产品出口创造了更大的可能性。壳寡糖甚至可以延长水果，如芒果和桔子的保质期，让它们硬实，更长时间地吸引消费者。壳寡糖及其相关产品，如金纳米和银纳米，采用相同的原料聚合物，但在辐照前加入了金或银颗粒制成，它们的用途广泛。它们可作为饲料添加物来养鱼、鸡和虾，能改善动物的免疫系统，提高生存机会，并会使体重增加。它们也可以被用来清理水产养殖的水，杀灭水体中已经有感染的细菌。

超强吸水剂

木薯淀粉是用于创造提高农业生产率产品的另一种天然聚合物。食用木薯根是用来制造超强吸水剂（SWA）的原料材料。此类超强吸水剂能吸收惊人数量的水分，并随着时间慢慢释放到附近植物的根部。超强吸水剂的外观和感觉很像大的糖结晶，但是见水（或液体肥料）就吸收并膨胀，一个晶粒变得像小指甲盖一样大。

经过辐射处理的超强吸水剂对缺水干旱或者频繁遭受干旱地区的农业特别有用。



聚合物壳聚糖（上图）被发现于虾壳中。它被用来生产喷雾剂和添加剂，防治植物病害和促进植物生长。

（图/国际原子能机构 S. Henriques）

越南原子能研究院辐射技术研究与发展中心Nguyen Quoc Hien说，越南原子能研究院生产的壳寡糖（一种深黄色液体）几乎在全国消除了有害的农用杀虫剂，“它保护植物免受真菌和细菌感染，抑制病害。而且它还阻止烟草花叶病毒的传播，这种

埋置在植物根部附近土壤中的1千克超强吸水剂晶体可以吸收和容纳200升雨水或灌溉水。水和（或）肥料向植物缓慢释放可以减少水的浪费，降低水路的污染，节省农民的钱。9个月后，超强吸水剂的晶体分解，不留残渣，对周围环境无后期有害效应。

在越南，由越南原子能研究院生产的超强吸水剂被用于橡胶种植园和私人花园，并出口到澳大利亚，在那里他们将其用于高附加值经济作物规模化种植中。这些农民对每公顷农田施用30~60千克超强吸水剂。



Nguyen Van Dong在其遍布于越南各地的超市连锁店销售超级吸水剂。他还给他的屋顶花园施用超强吸水剂，以便减少时间和水量。

（图/国际原子能机构S. Henriques）

科学

什么是天然聚合物？

天然聚合物是由重复的原子团长链组成的大分子。它们在自然界普遍存在：在植物和树木纤维素中，以及在面包、玉米和土豆的淀粉中都有聚合物；虾、蟹和其他甲壳类动物的壳体中，以及在海藻中都含有聚合物。

这些东西和其他的天然聚合物都是开发新材料的很好的原料，因为它们俯拾皆是，价格低廉，可生物降解，产于当地且可再生。它们还有一些显著的固有特性。例如，几丁质是自然防水的，坚硬但又不失柔韧。

用天然聚合物制成的产品被用于医药、农业、环保、化妆品以及各种工业应用。

辐射照射天然聚合物的优点

辐射加工被用来打破化学键并生成新的

化学键，从而有可能为特定目的在分子水平上重新设计天然聚合物。

对天然聚合物基质材料进行电离辐射照射，这个过程可以改变材料的化学、物理和生物性质，而不需要另外的化学处理，并且不会使材料本身成为放射性的。

国际原子能机构辐射化学专家Agnes Safrany解释说，在开发和生产新的材料和产品方面，辐射加工比常规的化学方法具有几个优点。它更简单和更快速，更精确，而且更清洁，因为它改变材料的分子结构，而不需要化学催化剂或极端的物理条件，如高温和巨大压力；它不使用有毒化学药品也不产生有害气体。

国际原子能机构正在与全世界各成员国合作，促进用植物和动物衍生的无毒、可生物降解聚合物的推广、生产和使用。

电子束帮助波兰燃煤电力工业净化空气

文/Nicole Jawerth

“电子束加速器是一种多污染物处理技术；任何其他技术都不能提供同样的结果。”

—波兰Pomorzany电厂总工程师Lech Sobolewski

在波兰及其他国家，辐射技术有望在清除空气污染以满足监管要求和保护环境方面发挥越来越大的作用。

在波兰，一个国际原子能机构支持的项目已经帮助该国建造了一座全规模的电子束加速器设施，用来处理燃煤发电厂的烟道气，使二氧化硫、氮氧化物和各种多环芳烃排放显著减少，这些排放物威胁人类健康，破坏环境，并可能导致经济损失。空气中的酸性污染物也可以通过酸雨漂移到其他国家。

在波兰取得处理发电厂产生的烟道气（或燃烧废气）的成果后，其他国家正在与国际原子能机构合作，借鉴波兰经验，开发他们需要采纳此电子治理工具并从中受益的技能。

负责电子束净化处理装置建设和运行的总工程师Lech Sobolewski说：“波兰90%的电力来自燃煤。因此，空气污染是个大问题，波兰必须达到有关空气污染控制的法规要求”。该装置是在国际原子能机构支持下在Pomorzany电厂建造的。“这很重要，因为欧盟将在2016年推出更为严格的法规。”

限制排放

1992年波兰和国际原子能机构联手建立了一个示范项目，旨在评价电子束加速器（即产生电子辐射束流的机器）用于净化烟道气的效果（见方框）。在此示范项目取得成功后，波兰、国际原子能机构及其合作伙伴于2002年建造了一台全规模的装置，其容量是中试装置的15倍。这台电子束处理设施有效地去除烟道气中高达95%

的二氧化硫（SO₂）和70%的氮氧化物（NO_x），使燃煤电厂达到排放限值。该工艺的副产品是农业中使用的高品质肥料。

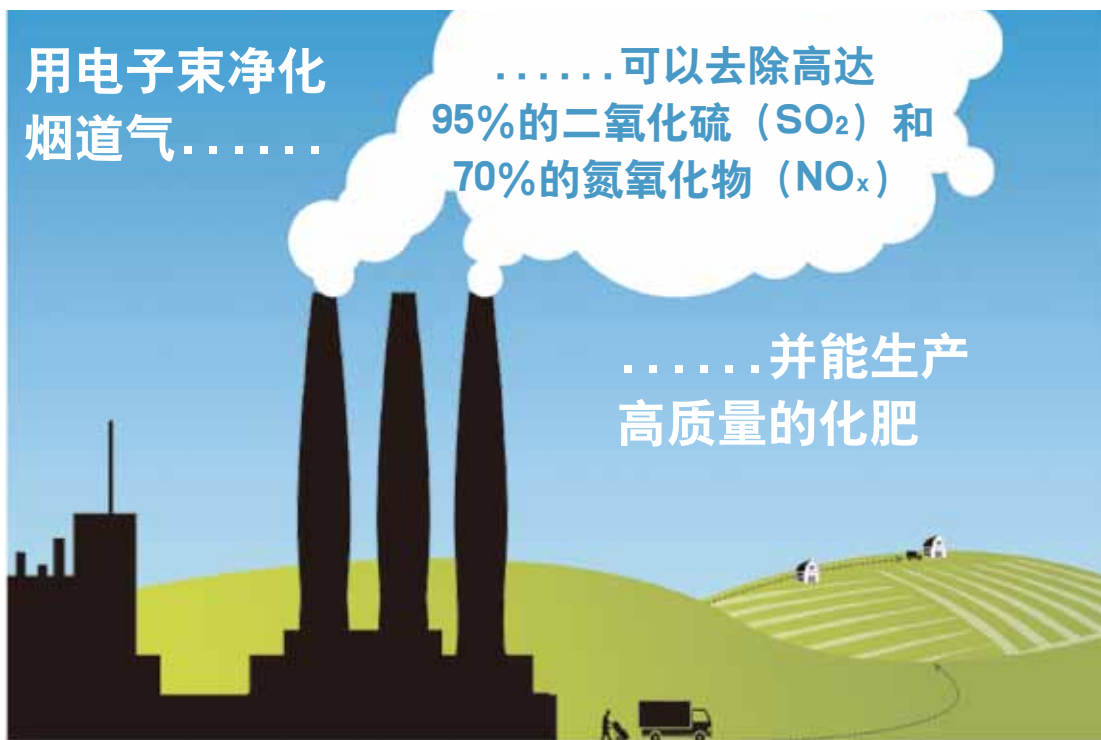
Sobolewski说：“电子束加速器是一种多污染物处理技术；任何其他技术都不能提供同样的结果。”利用各种化学和物理过程的传统技术虽然在同时去除NO_x和SO₂污染物方面有类似的效率，但需要建两台单独的装置；消耗大量的水；使用一种有毒的、金属掺杂的催化剂；同时产生需要加以贮存和处理的大量废物。

波兰核化学与技术研究所所长Andrzej Chmielewski说：“传统的技术在建设和运行方面一般比较昂贵，并且需要特殊的方法来处置废物或者要将废物用于其他目的。”“电子束加速器是一种运作成熟、绿色的技术，但这种装置巨大且功率高，这是一个挑战。因此，我们要继续努力研制更可靠、更易于维护的装置。原子能机构在研发这样的设备中可通过其科学和技术支持发挥重要作用。”

起步晚，但有效

用电子处理烟道气不是新概念。该技术最早是日本在20世纪70年代开发的，但其工业规模的缓慢出现意味着许多老旧燃煤电厂安装有其他更昂贵的净化设备。然而，尽管产业化起步进展慢，但毕竟一些国家正在积极推广这一技术，获得效益。

波兰的中试和全规模的产业化项目是其他国家通过原子能机构协调研究项目和技术合作项目、出版物和科学访问学习借鉴的一个指导和知识资源。Sobolewski说：



“到目前为止，已对30多名学员进行了培训，有150余人参加了科学访问和技术会议。所获得的经验现正应用于他们自己的发电厂，以减少排放，使他们的电厂更环保。”

保加利亚、中国、马来西亚、韩国、俄罗斯和土耳其已建成了中试装置。巴西、智利、菲律宾和乌克兰也在寻求技术转让，而沙特阿拉伯和丹麦的重油燃烧系统也已进行了初步实验室试验。

Sobolewski说：“这一新技术的引进在如何发展监测和污染控制系统方面对电力行业有重要影响。”他补充说。鉴于电子束已被证明能在恶劣的工业条件下工作，俄罗斯和韩国等国家正在研发新的、更大的加速器。“使用加速器的这些趋势仍在世界各地扩展。”

科学

电子束干法涤气

烟道气（电厂产生的燃烧废气）在通过电厂烟囱排放之前要经过称为电子束干法涤气的“涤气”过程进行处理。

在这个过程中，通过喷水将气体冷却至70℃至90℃，然后转入反应室。在那里湿气体受到加速器的低能电子辐射的照射。加速器的作用类似于老式电视机的显像管。

然后将氨加入气体中以中和SO₂和NO_x，使它们改变化学形式而变成致密气溶胶。用一台高效率的机器收集和过滤这些黏性颗粒，将其转换成高质量的肥料。余下的“净化”气体通过烟囱排出。

虽然辐射被用来处理气体，但是在净化的气体或肥料副产品中并无残留辐射。

辐射技术帮助中国各产业使水更清洁

文/Nicole Jawerth

“中国正在采取多管齐下的方法来处理废水，与各种私营和公共部门的伙伴合作，包括与国际原子能机构合作，发展辐射技术与其他方法结合使用的专业知识。”

—中国江苏达胜加速器制造有限公司总经理
Kenneth Hsiao

中国正在推动将辐射技术作为其废水处理方法的一部分，进一步以环境友好的方式努力管理工业废水。

北京清华大学核能与新能源技术研究院（INET）院长王建龙说：“处理工业废水非常重要，长期以来我们一直致力于这项工作。目前我们希望在使水更清洁方面做得更好。”“我们正在从国际原子能机构获得大量支持，利用电子束技术帮助我们完成单靠其他方法无法实现的各种水污染物处理。”

电子束加速器是产生电子辐射束流的机器，除其他用途外（见方框），电子束还可用于净化废水。废水是由于在人类活动将水用于工业或农业目的而受到有害影响的水。

几十年来，中国一直使用涉及物理过程和化学制品的常规处理方法净化废水。核能与新能源技术研究院副教授何仕均说，为了执行严格的节能和环保政策，中国正在努力扩大利用辐射技术清除废水中的有害污染物，例如氰化物、油料和油脂以及染料等。

国际原子能机构辐射处理专家Sunil Sabharwal补充说，单独使用传统方法净化废水比较困难、低效和昂贵。

Sabharwal说：“电子束加速器能够成为非常高效和经济的废水处理手段。”他解释说，不同类型的污染物需要不同的处理方法，而将辐射技术与其他方法结合使用能够消除广泛的污染物，更有效地分解有机物，同时不留二次污染，而且只需要很少或根本不需要额外的化学品。

部门间协作

中国江苏达胜加速器制造有限公司总经理Kenneth Hsiao说：“中国正在采取多管齐下的方法来处理废水，与各种私营和公共部门的伙伴合作，包括与国际原子能机构合作，发展辐射技术与其他方法结合使用的专业知识。”

与中国一起工作的国际原子能机构项目管理官员Massoud Malek解释说，中国正在与国际原子能机构合作，重点研究如何利用电子束辐射处理特定类型的污染物，并论证未来更广泛、更大规模地利用这些辐射工具的有效性。

Malek说：“原子能机构一直在支持中国发展电子束辐照处理废水，去除某



电子束扫描箱是用高能电子束辐照废水的地方。

（图/INET/达胜公司）

工业废水可能包含各种化学物质，包括杀虫剂、有机材料、化工制品和染料。这些东西可能是有害的，有时甚至是巨毒的。这种水在排放或再利用之前，必须经过处理，使这些污染物数量减到最小，防止它们扩散到地表水和地下水资源中。



水经处理去除有害污染物和不想要的颜色和气味后排出。

(图/INET/达胜公司)

些污染物，并帮助确保水资源保持干净和安全。”

从一个国家到另一个国家

Malek说，水不受边界约束，所以国际合作和有效的国家一级治理方法很重要。

“如果被污染的废水到达一处地表或地下水源，则污染物可通过共享水资源和雨水扩散到其他地方。因此，水在排放之前进行清洁处理很重要。”

像在中国的这类国际原子能机构研究项目能够有助于这些技术得到进一步研究和

发展，并向其他国家展示能够如何利用这些技术。在这种情况下，这些项目向工业界提供了清理活动后果的适当手段，并进一步加强了环境保护工作。

Malek说：“到目前为止，类似这样的项目为数不多，所以中国与国际原子能机构的合作项目能够成为其他国家和产业采用这些工具开展自我应用的专门技术和知识的源泉。”“随着越来越多的产业不断改进其废水处理方法，水会变得越来越清洁，从而帮助我们保护全球环境、人民和我们的水资源。”

科学

用电子束加速器处理废水

电子束加速器产生的高能电子束流能用于处理废水，将有害污染物减至最少，并能去除不想要的颜色和气味。

在处理过程中，水通过受加速器电离辐射照射的箱室。这导致污染物内发生化学

反应，使它们分解成更易于管理和更容易处理的碎片。然后将水进行生物降解处理，在水被排放或重新利用前进一步降解这些组分。此方法不会使水成为放射性的或留下任何辐射。

绘制海床地图：示踪剂技术与寻找石油

文/ Joe Rollwagen

“示踪剂将准确告诉你它看到了什么，从而优化工艺。”

—挪威凯勒能源技术研究所首席科学家Tor Bjørnstad

北海一座典型石油钻井平台，在此可用放射性示踪剂绘制海床地图。

(图/M.Bengtsson/
wikimedia.org/CCBY 3.0)



自 20世纪70年代在挪威近海地区首先发现石油后，这个国家的经济有了巨大的增长。为长期保持这一生产效率，挪威一直广泛使用核技术。

借助核示踪剂绘制水下油田地图，可优化石油开采。据挪威凯勒能源技术研究所首席科学家Tor Bjørnstad说，在使用核示踪剂之前，挪威科学家依靠的是地震地图绘制法，但获得的数据不够精确。

Bjørnstad说：“示踪剂将准确告诉你它看到了什么，从而优化工艺。”

目前，能源技术研究所已将示踪剂技术用于30多口不同油井，同时还对数百口油井进行了取样。

解读油田

将少量的放射性材料（约5ml水基示踪剂）混入水或气体，再泵入油井中。随后，

对油井所在区域的土壤进行取样。如果在多个取样中检出该示踪剂，就表明油井是贯通的，所采收的石油来自同一储油层（见方框）。没有检出放射性示踪剂的油井是被海床下的断层线所隔开。了解不同油田的分布范围对确定如何更经济的采收石油至关重要。

Bjørnstad解释说，建设一口油井将耗资多达5亿克郎（6250万美元）。由此，采用示踪剂技术带来巨大的好处，既准确，而对环境的影响又最小。

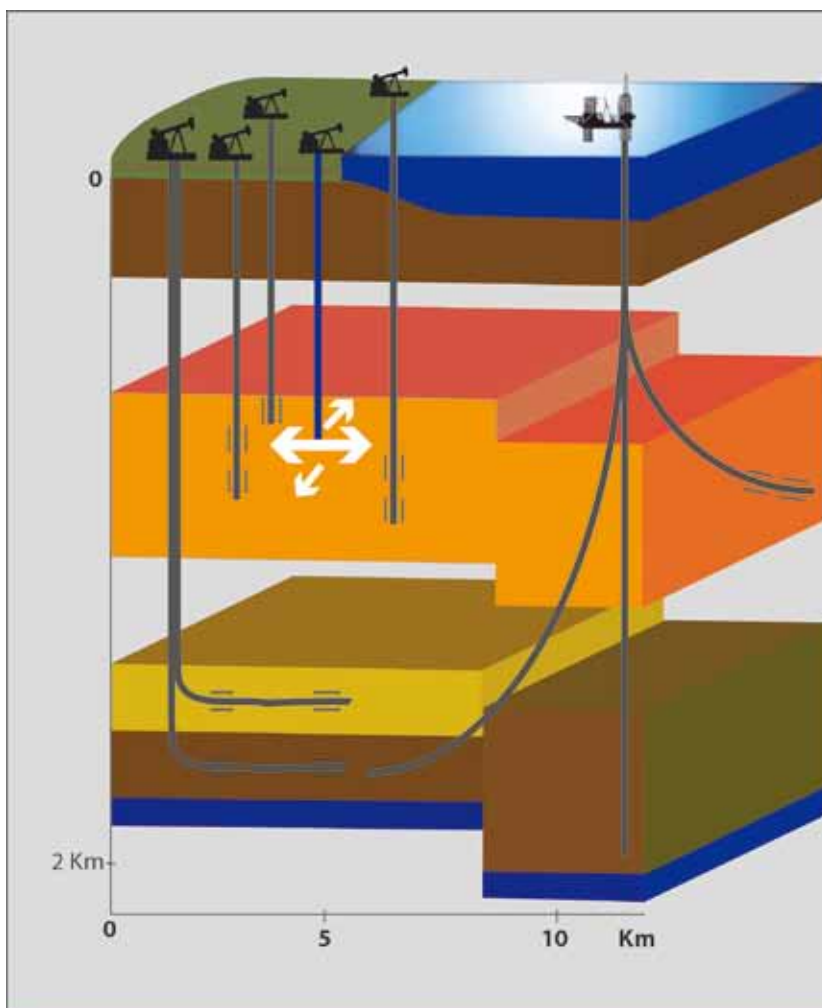
把环境影响减至最小

Bjørnstad说，满足条例和国家安全标准以及国际环境标准的要求，是能源技术研究所的一个始终目标。相对于广阔的海洋，示踪剂中的微量放射性材料对自然环境的影响可以忽略不计。

能源技术研究所帮助很多新兴的石油生产商采用这一方法。国际原子能机构也推动这一技术分享，独立也依赖该研究所完成这一工作。国际原子能机构和能源技术研究所帮助其他国家获取采用这一技术所必要设备，并举办培训班、会议和通过协调研究项目为成员国提供学习机会。

例如，国际原子能机构帮助越南获得了将示踪剂技术应用于石油勘探所需的专门知识。越南核技术工业应用中心主任 Quang Nguyen Huu说：“在与国际原子能机构开展这些项目之前，越南没有油田用示踪剂技术。石油生产公司不得不依靠其他国家提供服务。”

越南近海有一个海床板块滑移形成的断裂基岩油田。这一复杂的地质条件要求精心设计勘探方法。Nguyen Huu说，在国际原子能机构主导的培训班帮助下，越南对示踪剂技术进行了改进，以适应其复杂的海床地质条件。他补充说，另外，越南已经能向诸如科威特、安哥拉和马来西亚出口其服务。



注入示踪剂研究油井间联系

（资料来源：“油井间放射性示踪剂技术应用研究”，国际原子能机构，2012年）

科学

油井间示踪剂测试

示踪剂几乎可以应用于油田开发的各个阶段。油井间示踪剂技术是一种用于石油采收的重要储量工程工具。

这种测试也可用于地热储量评估，以获得对储层地质情况的充分理解，优化生产和再注入计划。石油和地热储层的井间示踪剂测试，主要监测注入流体在注入井与生产井间的贯通情况，也监测井与储层

的相似性与差异。

通过注入井将示踪剂添加到注入流体中，在周围的生产井对其进行观察（见上图）。示踪剂响应有助于绘制流动图，使得能更好地了解储量情况。这一知识对优化石油的采收十分重要。示踪剂技术给出的大多数信息是无法通过其他技术手段获得的。

保持港口的通达性：巴西利用核技术节省“数百万”的疏浚费用

文/Rodolfo Quevenco

“就像心脏外科医生可利用医用示踪剂检查主要血管或放射医生利用医用示踪剂追踪人体免疫器官功能一样，放射性示踪剂也可以用来评估沿海地区沉积物运动的主要路径和水力学特性。”

—巴西国家核能委员会高级研究员 Jefferson Vianna Bandeira

巴西有8500多千米的海岸线，该国90%的进出口通过其港口进行。

该国的许多主要港口都建于100多年前，保持航道的畅通，使这些港口能停靠装载量不断增大的大型船舶，需要经常对航道进行疏浚，往往耗资巨大。

巴西国家核能委员会环境司高级研究员 Jefferson Vianna Bandeira 说，这些年，采用核技术来研究沉积物的堆积和通过主要港口的运输情况（见方框）使巴西节省了数百万美元的疏浚费用。

在国际原子能机构的协助下，Bandeira 和一个科学家小组一直利用放射性示踪剂来标绘自20世纪60年代以来困扰巴西主要港口的沉积物运动路径。

最初，主要工作注重于评估桑托斯港（Port Santos）区疏浚被倾倒的沉积物特性。桑托斯港位于圣保罗附近，是拉丁美洲

示踪剂的利用，使港口工程师们能找到离港口最近的最佳倾倒地。

Bandeira说：“20世纪70年代因伊拉·马德拉港（Ilha da Madeira）的建设而在里约热内卢州塞佩蒂巴湾（Sepetiba Bay）进行的研究中，我们大概“节省”了100 000千米以上的疏浚长度。”他补充说，这为巴西的港口当局节省了数百万美元。

从港口到海：用放射性示踪剂模拟沉积物和水的运动

在桑托斯港和巴西其他港口进行的多年示踪剂研究，还使Bandeira团队拥有了关于沉积物输运动力学和在变化条件下运动模式的广泛知识。在这一过程中，他们使用了数学模型和精确的沉积物运输数据集及海岸工程活动中所频繁采用的流动模式图。

在介绍他和他的同事所做的工作时，Bandeira说，“我们象外科医生和专家”。他说：“就像心脏外科医生可利用医用示踪剂检查主要血管或放射医生利用医用示踪剂追踪人体免疫器官功能一样，放射性示踪剂也可用来评估沿海地区沉积物运动的主要路径和水力学特性。”

这一熟悉的知识得到多次的良好应用。例如，在对将成为苏阿普港（Port of Suape）的沿岸进行的沉积物研究中，通过放射性示踪剂标记来揭示最下层沉积物在夏天和冬天的运输速率。这一资料成为确定港口理想位置的基础，同时表明并不需要对近岸水域进行大量的维护性疏浚。这些研究与近岸海洋测量（海浪、风、海流和潮汐）同时完成。苏阿普港后来发展



放射性示踪剂能够帮助经济地进行疏浚工作，使港口维持足够的深度，靠泊装载量更大的船只。

（图/A. Hardacre/
Flickr.com/CC BY 2.0）

最大和最繁忙的港口之一。目前，该港口服务于若干个巴西州，处理的货物量占巴西整个对外贸易的28%。

为最大限度地减小沉积物回流到港湾，疏浚物倾倒地曾经进行了几次搬迁。放射性



成为巴西东北部最重要的港口综合体。

与海岸侵蚀博弈

伴随着沉积物的侵蚀、输运、沉积和固结，海岸线和海床会发生动态变化。海滩侵蚀的主要原因是海浪冲击，但人类活动，例如，江河入海口的疏浚，海堤和防波堤的建设，也干扰沉积物的自然流动。

“核技术也是评估沿海区淤泥和沉积物侵蚀与运动的最有用和最高效的方法”，国际原子能机构工业技术专家Patrick Brisset

说。“这样的技术已经和正在被许多国家用于海岸工程，愈来愈多的国家正开始将这一技术用于为其发展计划提供支撑。”

Brisset解释说，通过国际原子能机构的技术合作计划，许多巴西科学家得到了培训。同时，国际原子能机构也有许多专家前往巴西开展沉积物输运研究，向各种技术人员传授相关知识。巴西专家现在也通过放射性示踪剂技术在沉积物输运应用研究项目，对委内瑞拉、乌拉圭和尼日尔等其他成员国提供帮助和支持。

了解沉积物运动的动力学特性能够有助于确定疏浚物倾倒场的最佳位置，避免对附近海滩的污染。

(图/国际原子能机构 R. Quevenco)

科学

用放射性示踪剂研究沉积物输运的优点

世界上大多数污染都在海岸或近海区，认识这些区域的沉积物输运的动力学特性对许多国家至关重要。

放射性示踪剂技术是一种研究沉积物动力学特性的有效方法，因为它们能对沉积位置、运动方式和原因进行实时的精确评估。常见过程是，将少量的放射性同位素（例如，金-198或铯-137）投入欲测量的沉积物样品中，滴入关键的取样点，然后用

船拖拽闪烁计数器来检测其运动。

示踪剂技术也常用来验证其他技术手段对沉积物特性的评估结果，例如，用于海洋深度调查或数学和物理模型的验证。作为利用数值分析和一些算法来进行流体分析的流体力学的一个分支，利用计算流体力学对放射性示踪剂试验进行分析，也是一种发展趋势。这有望导致建立更可靠的模型和对结果的更好的验证。

X射线的工业应用：无损检测帮助马来西亚提高竞争力

文/Brian Plonsky

“马来西亚的例子表明，从头开始建立一个国际认可的检测体系是可能的。”

—国际原子能机构工业技术专家Patrick Brisset

技术人员正在对马来西亚国家石油公司的管道进行无损检测，以确定管道质量。

(图/Madani无损检测培训中心A. Nassir Ibrahim)



工业界用户表示，利用核技术进行工业检测为提升马来西亚制造部门的竞争力作出了贡献。该国还把自己打造成为在东南亚地区能够向邻国制造商提供利用核设备进行无损检测服务的国家。

“我们能以极其合理的价格获得高质量无损检测服务的事实，使我们在检查上节省更多的钱，从而提高了我们的竞争力，也改善了工厂的安全性”，马来西亚国家石油公司（PETRONAS）高级工程师Zamaludin Ali说。他解释说，在建立能提供检测服务的当地无损检测工业和认证体系前，马来西亚国家石油公司和该国其他公司不得不依靠外国无损检测服务商，或是雇请具有国外资质认证的操作人员的当地公司。

采用核技术进行无损检测涉及利用电离

辐射来检查制件的质量。这一技术原理类似于医院所用的X射线（见方框）。石油管道、锅炉、压力容器、飞机部件和船舶，都可以采用这一技术检测其质量。

国际原子能机构在帮助马来西亚建立合乎资质的培训机构和认证体系方面和推广诸如射线照相检测的无损检测技术方面发挥了重要作用。经过长期的合作，马来西亚有50多家公司的2000多名技术人员取得了实施无损检测的资格。

建设本地专门技术队伍

从20世纪80年代开始，Abdul Nassir Ibrahim当时作为马来西亚核能机构的一位年轻官员，第一个参加了国际原子能机构一系列的无损检测技术培训。在其政府支持和国际原子能机构的协助下，他帮助建

立了国家无损检测认证委员会。去年，他从国家无损检测认证委员会退休。Nassir Ibrahim现在管理着位于吉隆坡附近的Madani无损检测培训中心。

Nassir Ibrahim解释说，石油和天然气部门公司占马来西亚约70%的无损检测业务。电厂、造船厂和航空工业也是受益于这一技术的重要客户。他说，当地检查费用大约是雇请检查人员和使用国外技术费用的1/5。

国际原子能机构工业技术专家Patrick Brisset解释说，早些年，国际原子能机构通过提供设备、组织培训班和科学访问帮助发展当地专门技术。他说：“看到在马来西亚的进步和成功，我们经常召集马来西亚专家协助国际原子能机构在其他国家建立培训和认证中心。”

马来西亚的培训系统和国家无损检测认证体系已经成为许多国家的参照点：Nassir Ibrahim及其同事经常前往采纳马来西亚认证



在马来西亚，当地无损检测服务费用仅为进口服务费用的1/5。

体系的苏丹开展培训班。Nassir Ibrahim说，菲律宾、也门和斯里兰卡的未来检查人员也到马来西亚接受培训和资格认证。

Brisset说，马来西亚无损检测培训计划的成功，可以作为拟发展本国无损检测计划的其他国家的样板，提供借鉴。“马来西亚的例子表明，从头开始建立一个国际认可的检测体系是可能的。国际原子能机构能够在这一过程提供帮助。”

科学

无损检测

伦敦的艺术品修复、阿根廷的军需品生产、纽约的桥梁建造和马来西亚的石油与天然气工业，这些似乎没有多大共同点。但是，它们都可以采用一种辐射质量控制方法，这就是无损检测（NDT）。

市场上最重要并在马来西亚得到最广泛应用的一种无损检测技术是射线照相检测，这种检测基于被检测对象对X射线机发出的X射线和放射源发出的γ射线的吸收差异。

射线照相检测利用电离辐射（包括X射线或γ射线）生成固体和坚硬材料（如钢材和混凝土）的内部结构影像。射线穿过材料，使放置在材料另一侧的胶片曝光。胶片

的明暗程度随穿透被检测对象而到达胶片的射线多寡而变化：被检测对象较薄或密度较低的部位，穿透的射线就多。根据影像的明暗变化，就能确定材料的厚度或构成，从而揭示其内部的缺陷或裂纹。

射线照相检测在材料和结构的制造和维修中起着至关重要的作用，不会对被检测对象造成任何破坏，也不会检测对象上残留任何放射性。射线照相检测被用于确定和改善质量，从而确保安全。具体应用包括裂纹检测与评估、尺寸测量、泄漏检测、结构表征、应力和动态响应测量、结构完整性分析，以及材料分类，例如确定材料的化学成分和电导率。

利用辐射技术提高采矿价值

文/Rodolfo Quevenco

在 二十世纪的经济繁荣年代，全球采矿业迅速扩张，许多国家和公司投资大量的金钱，努力增加生产，满足全球经济对自然资源的渴求。现今，随着商品价格下降、矿石质量降低和生产成本提高，维持矿山的经营就意味着简化运作，提高生产效率。在众多能使这一产业提高生产效率的技术手段中，放射性示踪剂和核子测量仪便是其中的两个。

“我们需要使我们能更有选择性地采矿、不在低品位矿上浪费水和能源的新技术。”

—澳大利亚联邦科学与工业研究组织研究计划主任Nick Cutmore

在采矿作业中，一项重要的工作就是对传送带上散装矿石进行分析，从每小时1000吨到10000吨不等。为快速而精确地完成分析工作，工程师需要一种观察矿石的方式，以识别其中所含的元素并测量其含量。Cutmore说，核技术对这种分析“绝对适合”。

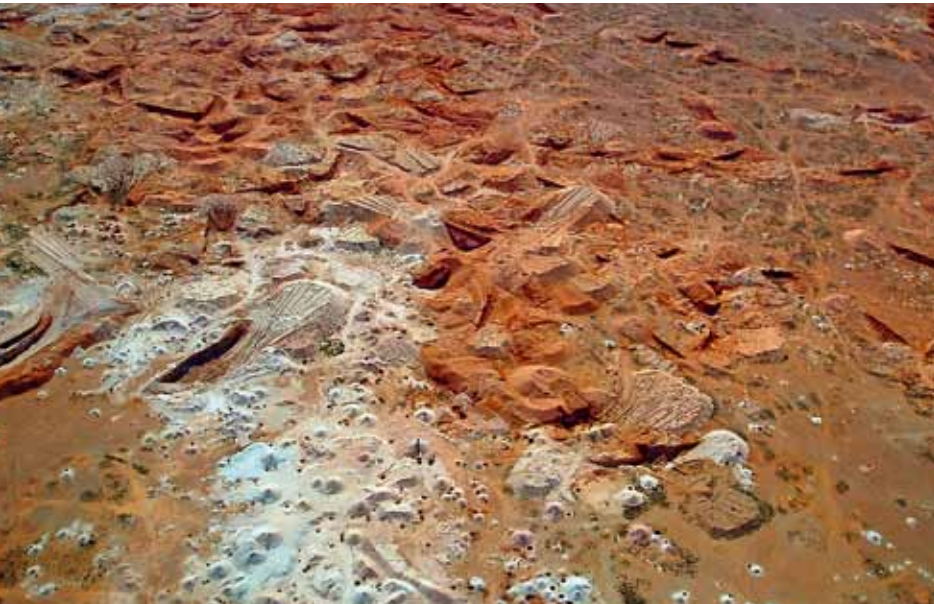
他说：“中子或高能X射线或 γ 射线具有很强的穿透力，能十分准确地分析大宗材料，这是其他方法所不能的。”

国际原子能机构工业技术专家Patrick Brisset说，采矿业利用放射性示踪剂和核子测量仪来改善产品质量，优化采选工艺，也节省了能源和材料。“目前，许多矿业公司也认识到放射性同位素技术的社会效益。”

核放大镜

澳大利亚联邦科学与工业研究组织是开发核技术应用于钻井、矿石分选及实时传感和分析等的领先者。该组织开发了一种将X射线荧光和X射线衍射技术相结合的新型分析仪器，能快速鉴定矿石，准确度在十亿量级水平。这一技术在关键元素含量约为十亿分之一百的情况下也能检测出，可以测量贵金属，例如，金、银、铀和铂族元素；还能测量铅、汞和砷之类重要污染物，每吨几克的含量甚至更低都可以检出。

澳大利亚联邦科学与工业研究组织最近还开发了一种 γ 活化分析方法。该方法采用高能X射线在自动化系统中测量矿石样品，而无需人工取样准备，也可用于核反应堆进行中子活化分析。这一技术对检测各种矿样中的含金量特别有效（见方框）。



澳大利亚的库伯佩迪宝矿的鸟瞰图。

(图/G. Sharp/Flickr.com/CC BY 2.0)

业界十分清楚这些问题。澳大利亚联邦科学与工业研究组织（CSIRO）研究计划主任Nick Cutmore说：“采矿业当今面临的巨大挑战是，水资源减少，能源价格越来越高，矿石的实际品位愈来愈低。”联邦科学与工业研究组织作为澳大利亚的一个主要科研机构，率先开展核技术应用于采矿的研究与开发。“所以，我们需要使我们能更有选择性地采矿、不在低品位矿上浪费水和能源的新技术。”

他说：“底线很简单：在使用能源和水进行岩石处理前，就保留好的岩石，剔除不好的岩石。”

与国际原子能机构合作：技术分享

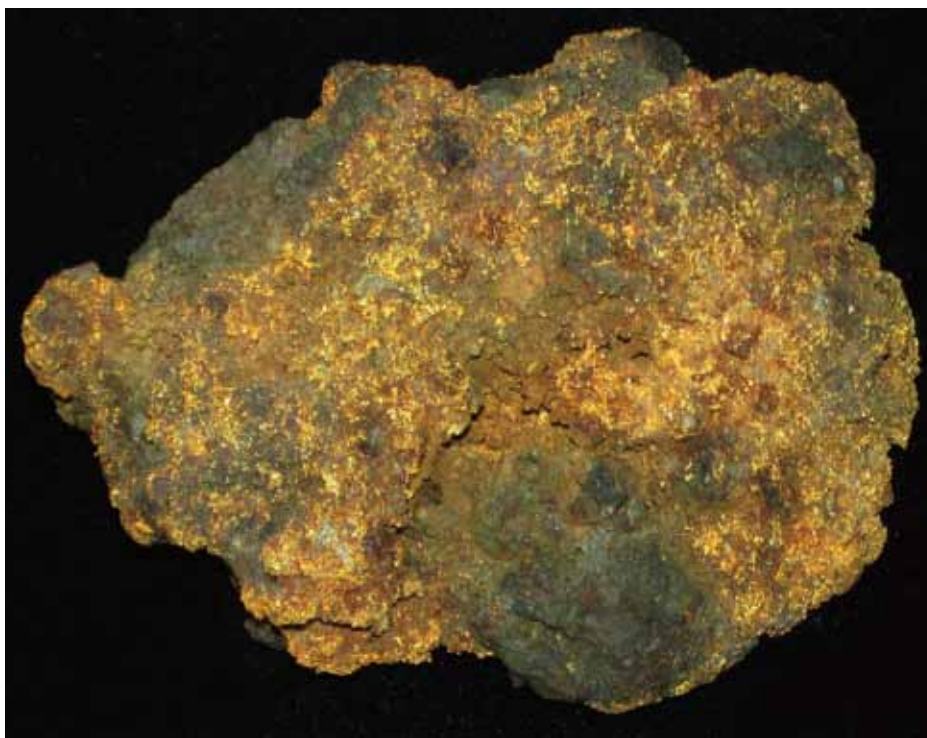
澳大利亚联邦科学与工业研究组织正在参加国际原子能机构关于开发将放射测量法用于矿藏和金属的勘探与开采的协调研究项目，并正在与世界各地的科学家分享其技术。

事实上，澳大利亚与国际原子能机构在中子、X射线和放射性示踪剂的利用领域的合作可以追溯到20世纪80年代。当时，这一技术还是新技术。

作为世界上前五个矿业大国之一，澳大利亚在若干核技术于矿业中的应用领域居领先地位。这些方面的许多应用都是成熟技术，过去得到成功的商业应用。

Cutmore说，澳大利亚在国际原子能机构协调研究项目中的参与，主要侧重于向其他国家转让技术。

国际原子能机构协调研究项目提供了一种机制，使发展中国家和发达国家的各种机构研究人员能在特定的研究课题上进行合作，在核技术的各种和平利用方面交流和转让知识。



“我们想使其他国家了解我们所开发的技术和知识，让他们充分了解核技术在矿业中的应用”，Cutmore说。“我们希望看到其他成员国从这一技术中受益，能在中期和长期利用这一技术来改善资源的利用，促进其国家的经济繁荣。”

基质中的金矿

(图/J. St. John/Flickr.com/
CC BY 2.0)

科学

提取每一盎司黄金

每年世界上生产的黄金价值数十亿美元。黄金的价高大多是开采成本高所带来的。每吨矿石含金量为几克才有商业开采价值。能对如此超低含量的金属进行精确测量的分析手段并不多。

γ 活化分析使用高能X射线来激活矿石中的特定元素，使矿样中的痕量金被激活。这一技术适用于以任何化学或物理形态存在

的金，能够用于测量固体、淤泥和液体中的含金量。将最新开发的高能X射线源和辐射探测器与先进计算机模拟技术相结合，使澳大利亚联邦科学与工业研究组织开发的分析仪能检测到比其他检测手段所能检测的低10倍的金含量。这一技术还能检测极小样品中含量极少的金属。

“脆弱老人”：墨西哥和法国利用核技术拯救2000年前的雕像

文/Aabha Dixit

“尽管2000岁脆弱老人情况不稳定，墨西哥和法国团队的专家仍然认为可用先进核技术拯救它。”

—墨西哥国家人类学与历史研究所保护部资深修复专家Alejandra Alonso-Olvera

2001年，在位于墨西哥东南的坎佩切州玛雅文明遗址贝坎（Becán）的发掘过程中，一座具有2000年历史的古老木雕的出土，在墨西哥考古学界引起了轰动。这一木制雕像埋藏于很深的地下塌陷墓穴中。这是有史以来发现的第一个木制品，能够可靠地追溯到玛雅文明前古典期，但正在慢慢腐烂，破裂为许多块。

在法国的帮助下，科学家们借助核技术使其恢复了昔日的辉煌。这一雕像同其他玛雅艺术品一起现展览于坎佩切博物馆中。

经过仔细检查，这一木制文物被鉴定为一位男性。该木雕人物身体若干部位受到严重的侵蚀，有些碎片已丢失。参加该修复项目的墨西哥国家人类学与历史研究所保护部资深修复专家Alejandra Alonso-Olvera说，这一木雕人物的脚踝和足部因瘦小而十分脆弱，使得其难以支撑整个身体的重量。

她补充说：“尽管这个2000岁的脆弱老人因环境干扰、老化、机械磨蚀和生物腐烂而处于不稳定状态，墨西哥和法国团队的专家仍然认为有望用先进核技术拯救它。”

他长得像什么？

Alonso-Olvera在讲解古代玛雅雕塑的特征时说，这个雕像是用一整块木头雕刻而成，高21.5 cm，底座宽17.5 cm。她补充说，这一雕像无任何面部特征，手臂下部残缺。通过对该雕像的更仔细检查，发现其身体的若干部位有描涂的痕迹，底座进行过涂色。

墨西哥人与位于法国格勒诺布尔、隶属法国原子能委员会的核保存研究院的地区工作室联络，寻求在修复这一古代雕像中提供科学与技术协助。核保存研究院因在利用γ射线辐照工艺来保存和保护古代文物方面的开拓性工作而声名卓著。

核保存研究院γ射线辐照领域的高级专家Quoc-Khôi Tran说：“这对两个研究机构都是一个良好的合作研究机会。”核保存研究院在利用γ射线辐照工艺来保存和修复古代文物的方法方面向墨西哥的专家提供了培训。

“脆弱老人”



γ射线辐照前



γ射线辐照后

左：γ射线辐照前的“脆弱老人”。

右：拯救后保存的古老木雕。

（图 / 核保存研究院 Quoc-Khôi Tran）

对“脆弱老人”进行的γ射线辐照处理工作，是在墨西哥城附近的国家核研究所辐照设施上完成的。这一技术，即将γ聚合技术应用于考古木制品（见方框），是首次在墨西哥文物保护中的应用。这一唯一发现的保护过程为墨西哥在能够保护年代久远的历史文物的最新技术方面提供了必要的经验。

最初仅对这一精致文物的底座在实验室研究中进行了显微观察。Alonso-Olvera说：“由于其处于易碎状态，无法去碰触主要的雕刻碎块。”有必要利用这一研究来评估木材的种类、颜色、微生物侵害的程度和含水量。

抗击真菌

研究发现，雕像采用的是一种热带硬木——产于尤卡坦半岛的十二雄破布木（Ziricote）。十二雄破布木天然具有抗真菌或其他侵害木材的微生物的破坏能力，她补充道。但是，研究中发现存在菌丝——一种生长于木头细胞中的一种真菌，Alonso-Olvera解释道。

考古学家决定对木雕进行 γ 射线辐照聚合处理，杀死这些菌类，避免雕像状态进一步恶化。这一方法通过采用辐射固化加固剂对木材进行稳定处理，并使其恢复本色。

利用钴-60放射源发出的 γ 射线进行辐照处理时的剂量相当小，以在聚合过程中使木材内的温度处于受控状态（约为40℃



~50℃)。 γ 射线的剂量率应随时进行监测，以确保木材得到恰当的固化，Tran解释道。

Alonso-Olvera说，墨西哥和法国专家的密切合作对该项目的成功至关重要。

国际原子能机构与法国核保存研究院合作，支持成员国将辐照技术用于历史文物的保存。另外，国际原子能机构举办很多培训班，扩大人们对核科学与技术应用的认识，建设辐照保护能力，帮助拯救有助于解读一个国家历史进程的独特考古物品。

搭建玛雅雕像的支架，然后加以树脂浸渍。
从左至右：墨西哥技术团队成员、Alejandra Alonso-Olvera 和 Quoc-Khôi Tran

（图/法国核保存研究院 Quoc-Khôi Tran）

科学

利用 γ 射线辐照聚合处理方法保存退化的木制文物

利用 γ 射线辐照聚合处理来加固退化的木制文物，是基于某些液态树脂（如非饱和聚酯或丙烯酸树脂）受到辐照时可以原位聚合于木材的孔隙中成为固态聚合物，因而强化木材的结构。

首先，对表面彻底清洁，利用软刷子清除制品表面的固体颗粒。随后，在真空条件下进行加压浸渍，使液态可聚合树脂在

木材的结构中有序扩散。

浸渍过程涉及利用一种在 γ 射线辐照下可原位聚合的材料来填充木材孔隙，从而强化木材的结构，不会引起收缩和碎裂。这样强化后的木制品对各种潮湿情况的敏感程度比处理前低得多。辐照处理后，就可以采取诸如粘合、复原和填塞等修复工艺来修复制品。

小东西有大影响时：作为纳米级工程工具的电离辐射

文/Sasha Henriques

“纳米颗粒和纳米结构并不完全新颖。相反，新颖的是人类在纳米尺度工作、测量和操作的能力。”

—泰国农业大学聚合物改性辐射处理与纳米技术中心助理教授
Wanvimol Pasanphan

目 前有超过十二个国际原子能机构成员国正在利用电离辐射来制备用于农业、医药、化妆品和工业应用的纳米颗粒，其他一些成员国正在研究制造其产品和工艺的方法。下面由泰国农业大学聚合物改性辐射处理与纳米技术中心助理教授Wanvimol Pasanphan介绍纳米颗粒的基础知识及其值得关注的可能性。

纳米颗粒有多小？

纳米颗粒是以纳米测量的极其微小的人造结构。1纳米为1米的 $1/10^9$ 。



Wanvimol Pasanphan 助理教授正在泰国农业大学聚合物改性辐射处理与纳米技术中心向学生讲解纳米颗粒的分子设计。

(图/T. Piroonpan)

通俗地讲，1纳米小于一根头发的直径的 $1/10^5$ 。纳米级的东西是人的肉眼无法看到的。这样，研究人员就需要高倍显微镜来观察。

纳米颗粒和纳米结构并不完全新颖。相反，新颖的是人类从事纳米级工作、测量和操纵的能力。

纳米颗粒可以用来干什么？如何制备纳米颗粒？

纳米颗粒可以用于农业、医药、化妆品和工业。由于其纳米级尺寸，它们是优异的储存、运输、贯穿和配送工具，能将药物、肥料、生物活性化合物等运输到生物体或结构的特定部位。

纳米颗粒可由无机化合物、天然和合成聚合物制成。纳米颗粒可以制造成各种结构，具体取决于其如何应用。比如，核壳结构聚合物纳米颗粒由三部分构成：外壳（对构成内壳的化学品起稳定作用的一种聚合物）、内壳（由抗水分子构成）和含有抗菌剂或抗癌药物的芯核（见图1）。这种结构的纳米颗粒可用于水果涂层，防止生长真菌，譬如在葡萄上经常出现的一种暗红色的霉菌——葡萄黑痘病菌。

这一技术有哪些可能的医学应用？

纳米颗粒可以设计成仅在某个时间（或某段时间）于某个部位释放其内容物。例如，研究人员正在研制与放射性药物耦合时（或由放射性药物本身制造的）仅到达癌细胞而不到其他部位的纳米颗粒，这样，这些纳米颗粒就能进入到癌细胞内释放必需的药物。

有十二个成员国——阿根廷、巴西、埃及、伊朗、意大利、马来西亚、墨西哥、巴基斯坦、新加坡、波兰、泰国和美国参加了国际原子能机构利用纳米颗粒来制造癌症靶向治疗药物的协调研究项目。这些纳米药物将不仅比其他类型药物更易穿透癌细胞，而且比其他药物在肿瘤中的

纳米颗粒

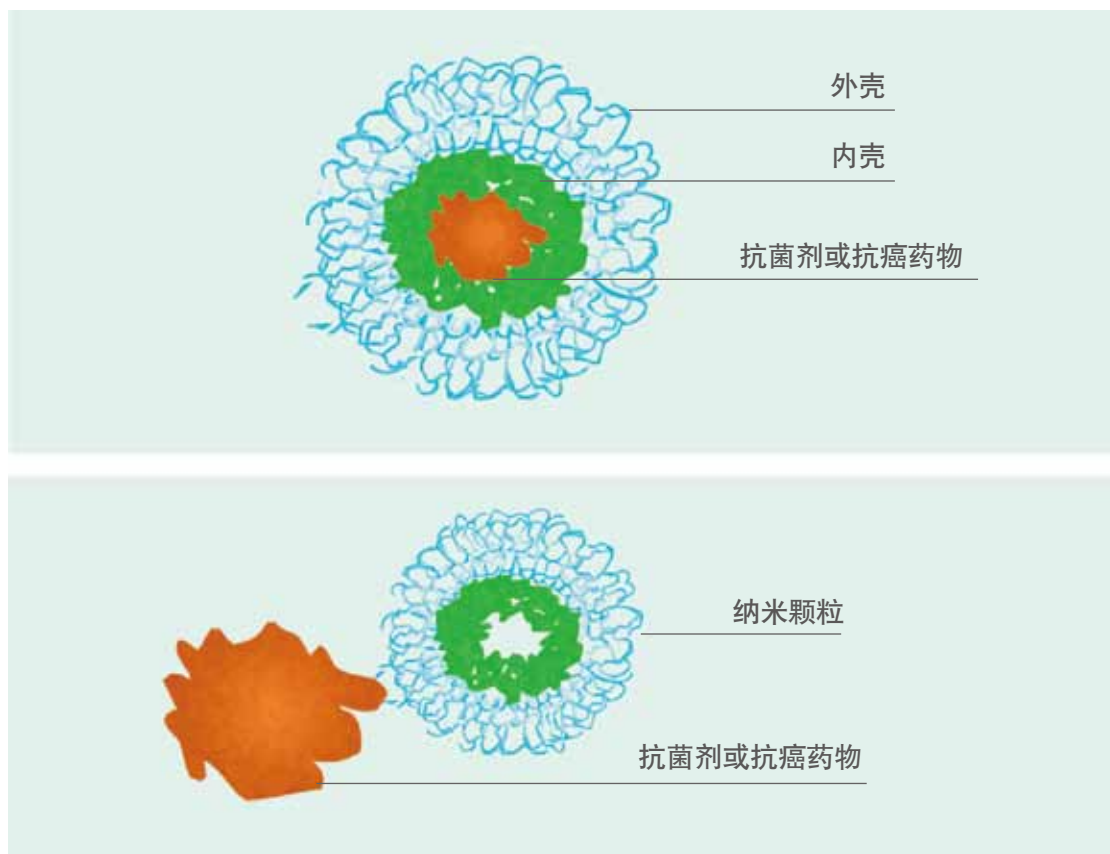


图1：核壳结构聚合物纳米颗粒由三部分构成：外壳（对构成内壳的化学品起稳定作用的一种聚合物）、内壳（由抗水分子构成）和含有抗菌剂或抗癌药物的芯核。

图2：这种核壳结构聚合物纳米颗粒将抗菌剂或抗癌药物置于外壳（对构成内壳的化学品起稳定作用的一种聚合物）和内壳（由抗水分子构成）的外面。

停留时间更长。如果获得成功，将是一场癌症治疗上的革命，降低在杀死癌细胞的同时健康细胞被减少和癌细胞扩散的可能性，也降低患者受到破坏癌细胞的药物损害的可能性。纳米颗粒的结构与前述内容类似，但外表完全不同。例如，一些研究人员正在使用的纳米颗粒就与图2所示的十分相像。

辐射与纳米颗粒有什么关系？

经过培训的专业人员在高度受控环境下采用的电离辐射，是一种能够用于对制造纳米颗粒的材料改性和/或合成的快速高效工具。电离辐射是一种清洁而低温的过程。有时，纳米颗粒产品的制备和杀菌过程可以一步就完成。

必须指出的是，生产出的纳米颗粒本身是没有放射性的。

（关于天然聚合物与电离辐射的相互作用，可见本期第11页科学背景方框）。

国际原子能机构如何参与这一工作？

国际原子能机构在一定程度上通过帮助成员国获取和开发将电离辐射用于医药、工业和商业目的的专门技术，推动对天然聚合物（例如用于制造纳米颗粒的天然聚合物）的辐射处理。另外，过去三十年，国际原子能机构一直在该领域以讲习班、专家访问和进修的形式向感兴趣的国家提供培训，并组织多边协作研究项目，拓展辐射技术在聚合物和纳米颗粒操作中的应用范围。



(图/国际原子能机构)

(图/B. Kucinski/Flickr/CC BY 2.0)



2017年即将举行

第一届国际辐射科学与技术应用大会

国际原子能机构总部 | 奥地利，维也纳 | 2017年4月 24 – 28日

详细信息请见以下网址：www-pub.iaea.org/iaeameetings

辐 射 科 学 与 技 术 应 用