



见证核成就

和平核技术的社会经济效益

Werner Burkart 和 Michael D. Rosenthal

“原子用于和平”的广泛应用每年为全球人带来数百亿美元的利益。例如，和平核技术促进了医疗、食品生产、电力生产以及制造业。

今天，核与辐射技术在许多国家成为国民经济中不可缺少的、富有活力的组成部分。但是，金钱只是和平核技术应用所带来的效益的一部分，而且对于使用核技术的所有国家而言，数字的可获取情况并不一样。现在需要的是，更好地分析和平利用原子能的效益在何时、何地以及为何能够实现，以及同样重要的是，这些效益怎样才能实现可持续发展。

这种信息对于决策者和公众是同样重要的。即使是最新或最复杂的核技术都不是孤立存在的，有关核技术的决策必须被纳入到一个大的画面中。必须根据其潜在贡献来判断核应用的价值，并将其与相应的常规技术进行比较。此外，还必须根据费用、可靠性、安全性、简便性、可持续性以及对政府、私营企业、研究机构和消费者的计划有重要影响的其他因素对核应用进行权衡。

对所有潜在用户而言，需要获得更可靠的信息来为其决策提供帮助。在核领域，由于对风险的理解或误解，经常会形成正确或错误的信息。此外，为公正评价核应用的经济竞争力和未来，还需考虑新的挑战——例如电力生产的私有化和卫生保健。

通过基于可靠信息进行的评价，我们能够更好地了解和平核应用的影响，这将有助于各国对核技术的未来

应用做出更好的决策。本文简要介绍原子能和平应用的社会和经济影响，并比较不同的效益评估方法。这种评估能够使我们更好地了解核应用如何能够最好地服务于世界发展的最迫切需要。

影响有多广？

为了改进现有核技术，或开发新的核技术，以及向发展中国家传播可带来显著效益的核技术，IAEA 制定了许多不同的计划。自 1957 年以来，由 IAEA 提供的价值超过 12 亿美元的技术援助、培训和其他支持已经帮助许多国家将和平核技术用于建设性工作。我们可以从原子能对改善全球数十亿人的日常生活的重大贡献中看到这些活动的成果。核技术使我们的食品更加安全和丰富，有助于预防、诊断和治疗疾病，优化水的可持续使用以及保护环境。在《21 世纪议程行动计划》、《千年宣言》中以及 2002 年约翰内斯堡可持续发展世界峰会（WSSD）上确定的有关国际社会的关键领域，核技术已经做出了重大贡献，并且有潜力做出更大的贡献。

由于 IAEA 正在按照其《规约》所规定的那样，“加速和扩大原子能”的贡献，因此加深对以下问题的了解十分重要：这些贡献是通过哪些方式做出的？它们有多大？以及它们产生了哪些影响？尽管这些贡献只能根据其经济影响加以评价，但必须考虑它们的全面影响，包括环境和其他方面的影响。事实上，健康、可持续的环境已被确定为成功实现 WSSD 目标的先决条件。

对世界各地开展并获得 IAEA 支持的核活动的评价,需要分析这些活动如何改善人类福祉——包括个人福祉、对私营企业产生的净效应以及对公共部门的影响。还需要了解这些活动对后代的影响。这些活动将影响到社会资源——社会制度、社会的公共知识、人力资本、制造资本和自然资本。在不断全球化的世界中,国家或地区的贡献也可以使全球社会——而不仅是单一的社会——受益。在将原子能和平应用与其他社会经济发展方案进行比较中,需要对新引入的技术方法的可持续性进行特别考虑。

什么是核技术？

用于测量、管理和改变我们周围世界的核技术几乎无处不在，但描述这些技术的特征却并不容易。

核技术做出了什么贡献？如何加以评价？以及总的影

响是什么？

❶ 在第一组活动中，核技术的贡献相对较为明显——例如已成为专业和行业基础设施根本的核能生产。这包括核燃料循环活动，它们由具有核专门知识的人员实施，由核主管部门监管，并且依赖高度专业化的行业

核 能



兆瓦红利

核 电是最突出也是最受争议的核活动。2002 年，世界 31 个国家中的 441 座核动力堆所生产的电力占全世界发电总量的 16%。在国家的总发电量中，法国的核电份额超过 70%，日本为 30%，美国为 20%。

很明显，核电生产所带来的社会经济影响差异很大。在经济层面上，可以通过核电的市场价值（零售价）

和知识共享机制。核技术可能以重要的方式对当地的野生动植物、地区的卫生条件或全球的气候变化趋势产生深远影响。

❷ 在第二组活动——例如放射诊断学、核医学以及放射疗法——中，所需要的专门的基础设施和知识共享机制也是显而易见的。全世界从事核医学的医生和技术人员使用核技术每年达数十亿次，这主要依靠同位素的稳定供应以及放射药物和放射技术的安全应用。它们的总的“市场价值”很大。但是其他影响很难用数量说明。例如，父母会怎样评价核诊断程序——实施延长其孩子生命的另一道外科程序的必要条件。

❸ 核应用的第三组活动——包括植物育种、食品安全、虫害防治和水管理——使核技术在专业核基础设施或监管体制外的应用变得更加明显。它们在为人们提供生活必需品——例如提供足够的安全食品和水——的国家和地区企业中发挥重要作用。这些活动的影响很大，投资回报率也很高，即使这些很难度量。引入生命力更强的植物品种，很可能会使大规模农业系统发生深刻的改变。

下文对核能在能源、农业、卫生、水和工业中应用的几则简要介绍能够说明一些具体问题，并形成量化核能和平应用的影响的依据。

核 发 电 量				
根据 IAEA2002 年《核技术评论》提供的数据，可以估算核电对全球发电总量的贡献。				
	总发电量 TWh	核 电 TWh	核电比例 %	价 值 亿美元
全 球	15 000	2500	16	1250
美 国	3800	770	20	390
日 本	940	320	34	160
法 国	520	400	77	200
法 国	520	400	77	200
比利时	76	44	58	220
立陶宛	15	11	78	6

注：电力批发价为 5 美分/千瓦时；数据取自 2002 年《核技术评论》，经四舍五入。

来源：IAEA；《核科学与技术杂志》（2002 年 10 月）

来评估核电的影响。根据日本研究人员发表在 2002 年 10 月版的《核科学与技术杂志》上的文章估计，日本和美国的核电市场价值在 1997 年分别为 470 亿美元和 390 亿美元，相当于这两国国民生产总值 (GDP) 的约 0.5%。而在核电份额明显比上述两国高得多的法国，这一数字达到了约 1.5%。（这些估计值以电力的零售价为基础。

如果减去电力传输和分配费用——非核部分,会使这种贡献少一半左右)。

社会和环境因素也必须考虑在内。许多因素是间接的,包括对价值的判断和理解。并不是所有因素都被包括在电力的市场价格中。在对选择方案审议中,一些因素可以很容易地量化——例如温室气体和颗粒物的排放,但很难评估其健康和气候影响。

对核来说,核电厂的退役费用,或核废物的长期贮存费用目前都已得到了很好的了解,但在事故风险上仍存在很大的不确定性。退役和废物处置所需资金有时被纳入到生产成本中。而对于根据“稀释和分散”原则运行的、不可持续的化石燃料燃烧而言,其全面费用仍未被考虑。因此,对核与化石燃料进行比较,在本质上是非常复杂的,容易产生分歧。

粮食和农业



“绿色革命”

粮食和农业中的主要核应用是突变育种、虫害防治和食品辐照。在土壤侵蚀、水循环以及环境影响等方面的研究工作对核技术的依赖性很大。

几个世纪以来,农场主和植物育种人员一直在致力于植物品种改良。自 20 世纪 50 年代以来,国际农业研究中心和各国的国家农业研究系统一直在通力合作,通过开发高产和耐干旱、盐碱或虫害等环境影响的新作物品种,来提高发展中国家的农业水平。目前已培育出数以千计的新品种,这些新品种已成为“绿色革命”的组成部分。

目前所取得的成果是令人难忘的。在 2003 年 3 月的《科学》杂志上,研究人员 R. E. Evenson 和 D. Gollin 对国际农业研究的全球影响进行了介绍。他们估计,在目前的发展中国家中,“如果没有国际研究……发展中国家的人均热量摄取量就会比现在低 13.4% – 14.1%,儿童营养不良率比现在高 6.1% – 7.9%。”他们进一步得出结论,“实际上,世界上所有消费者都已从较低的食品价格中受益。”

总之, Eversen 和 Gollin 证明,消费者从国际农业

研究的投入中获得了巨大回报。然而,并不是所有的农场主都同时从中受益。高效的竞争者生产的更廉价产品经常对小农场主产生伤害;为了获得植物高产,化肥的使用增加。人们对集约农业的可持续性以及土壤退化、化学污染、土壤盐度和生物多样性等环境后果产生了担心。

绿色革命使用的一种主要方法是“辐照诱发突变育种”,之后选择符合所要求特点的植物。尽管这种方法在取得全球成果中的作用很难估计,但成果显然是巨大的。例如研究人员在 2003 年出版的《作物品种改良及其对产量的影响》一书中提到,1998 年,泰国种植辐照育种所获得的新品种稻田至少增加了 28%,老挝增加了 19%,越南增加了 14%。研究人员估计,在日本,通过辐照诱发突变培育的植物品种每年的市场额度达 8.04 亿美元,就像 2002 年 10 月的《核科学与技术杂志》介绍的一样。在巴基斯坦,25% 的棉田种植的是用 γ 射线辐照育种获得的高产栽培变种。据估计,这种栽培变种创造了 30 多亿美元的棉花产值,在巴基斯坦纺织业因虫害导致棉产减少而受到威胁时,挽救了巴基斯坦的纺织业。

采用“昆虫不育技术”(SIT)方法进行的虫害防治工作也非常成功。这种方法被有效地用于根治地中海果蝇以保护橘园和葡萄园和根治螺旋蝇以保护牛。美国每年由于采用昆虫不育技术来根治这两种虫害所获得的经济效益分别为 15 亿美元和 13 亿美元。

保护环境免受杀虫剂的影响,以及保护生物多样性是这种专门技术所带来的附加效益。在 IAEA 的大力支持下,目前正在顺利地昆虫不育技术推广应用到采采蝇。采采蝇威胁动物和人类的健康,并且仍然是非洲农业发展的主要障碍。由于该技术的使用,桑给巴尔岛已成为无采采蝇区。因此,农场主现在能够更好地受益于

粮食和农业中选择的核应用

应 用	成 果	年产值（美元）	备 注
突变育种 =>稻米 ◆泰国	出口	1989 – 1998 年 169 亿美元	
=>棉花 ◆巴基斯坦	高产作物		创造了 30 多亿的棉花产值
昆虫不育技术 =>地中海果蝇	美国柑橘类的水果和葡萄	15 亿美元	估计值包括避免的费用
=>地中海果蝇	智利出口	3300 万美元 / 年	
=>螺旋蝇	萨尔瓦多北部彻底根除	12.7 亿美元	
=>瓜实蝇	冲绳	3000 万美元 / 年	不包括避免的费用、减少使用的杀虫剂，等等。
食品辐照 =>香料	美国销售（零售）	> 20 亿美元（估计值）	局部辐照能够减少抗生素的大量使用或熏蒸剂的释放。
=>肉	美国牛肉馅（零售）	≤ 5 亿美元（估计值）	

来源：提供给 IAEA 的报告；《核科学与技术杂志》（2002 年）；《作物品种改良及其对产量的影响》（2003 年）。

产奶量和产肉量高的牛。自 1999 年以来，这么做的农场主数量已大幅增加，牛奶产量和农场产出也大幅上升。

为了在全区范围内消灭蚊子以防治疟疾，IAEA 在塞伯斯多夫实验室启动了昆虫不育技术在这方面应用的研究。目前仍需要在饲养方法和性别选择方面做大量工作，已计划在苏丹和法属留尼旺岛进行野外试验。

另一项技术——食品辐照——有可能在国际贸易中取代化学熏蒸法用于虫害防治，并且被越来越多地用于确保肉馅或香料等食品的安全。例如，对美国情况的估计显示，牛肉馅的市场销售总量达 40 亿公斤，而经辐照的不到 5%。

食品辐照已被国际食品安全机构即粮农组织/世界卫生组织食品法典委员会宣布为安全的方法。然而世界各地公众

对这种方法的接受程度存在较大差别，许多欧洲国家将这种方法的应用限制在香料上。出于对公众健康和安全的担心，各国对食品辐照的兴趣越来越大。例如，能够满足微生物卫生要求的惟一方法——辐照——能够有助于满足对学校饭菜的肉馅中沙门氏菌含量的严格规定。

工 业



贸易的重要工具

在制造业和其他行业中，重要的核步骤对分散的最终产品可能只做出很小的贡献。例如在日本，几乎所有径向胎（其市场价值为 90 亿美元/年）都经辐射处理过，以优化橡胶分子的交联。辐射加工总市场价值约为 350 亿美元/年。

今天，各种核技术的工业应用处处可见。这些应用包括实物测量仪表、湿度/密度计、油井测井工具、烟雾探测器、辐射加工（例如医疗用品灭菌、塑料和橡胶

选择的工业应用

应用输出	价值（美元）
电子束 ◆轮胎辐射熟化	全球市场 350 亿，其中日本 90 亿，美国 130 亿
◆医药用品灭菌	70 亿，日本，美国
◆涂层/漆	15 亿
◆烟道气净化	在波兰、日本和其他国家的工厂中
辐射加工 ◆180 台 γ 辐照器	医疗用品和食品灭菌工厂
无损检验 (NDT) ◆制造业、汽车工业、航空工业、铁道运输业、石油工业、电子工业等行业中的质量控制和安全检测	广泛依靠 NDT
稳定同位素 ◆3000 万美元/年	

来源：提供给 IAEA 的报告；OECD；科学文献。

熟化）以及在各种工厂使用放射性示踪剂检查性能和优化工艺。

工业中的核应用在全球的总市场价值估计超过 400 亿美元/年。

尽管核投入的最初价值可能相对较低，但是这些投入经常以不可或缺的方式促进了规模更大的社会和经济事业。

水



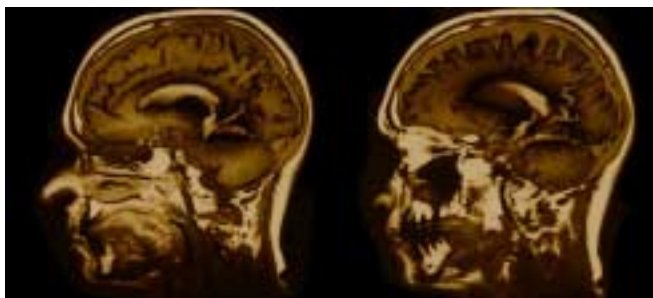
了解生命线

今天，有10多亿人不能稳定地获得洁净水供应。联合国千年宣言的目标是到2015年“将不能获得或购买饮用水的人数减少一半”，并停止对地下水的不可持续利用。用于同位素水文学的核技术将在这个问题的解决过程中发挥重要作用。水样本中含有能够反映水的年龄、来源以及气候条件的特定同位素指纹。核技术已

经成为以可持续的方式来了解和管理水资源的基本工具。随着社会发展和农业（目前为止，水资源的最大消费者，消耗了河流、湖泊以及蓄水层抽水总量的70%）需求的不断上升，已经稀少的水资源会变得越来越宝贵。在孟加拉国，同位素研究使人们对可使用的水资源有了新的了解，使人们了解到砷是怎样进入地下水的。在花费了约5万美元的基础上，这些研究帮助人们安排好更大一笔投资（超过5千万美元）的使用。

核技术的影响是巨大的。在孟加拉国及其邻国，受目前地下水供应系统中的砷毒害的人有几千万，他们需要获得新的可持续水源。但是，对这种影响进行度量是很困难的。要是没有核技术，就会使用其他技术，尽管这些技术不能使人们对复杂的水系统有目前这么好的了解。仍然有待对结果进行全面认识。

卫生



多重效益

医疗领域的核应用服务于现代卫生保健的多个领域。它们对疾病的预防、诊断和治疗做出了重要贡献。

在放射照相领域，核技术应用正在大步前进。从伦琴夫人实现骨照相到现代牙科和整形外科的放射学，X射线为了解病理过程并指导有效治疗提供了廉价的非侵入性手段。今天，核显像应用小到相对较便宜的牙科X射线设备，大到拥有专门加速器生产正电子发射断层（PET）扫描所需的放射性同位素的大型装置。硬件投资从数万美元（X射线设备）到数百万美元（复杂的核显像系统）不等。X射线显像应用几乎遍及世界每个角落，每年的X射线显像次数超过20亿。2002年，每10名美国人中就有7名接受过X射线诊断显像。近年来，PET等显像技术的应用也在迅速增加，2002年世界各地拥有375个此类中心，设备投资额超过5亿美元。

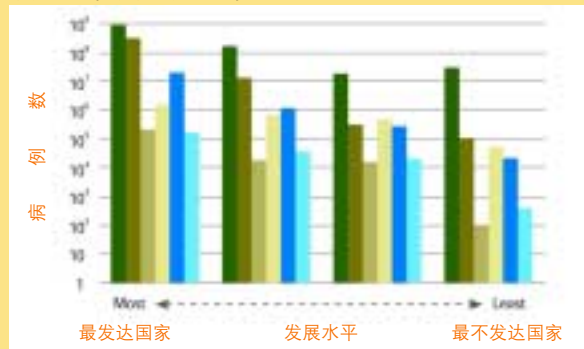
放射疗法在癌症的治疗中得到广泛使用，全世界有5000多个治疗中心，每年向数以百万计的患者提供治疗。另一方面，质子疗法仅在11个国家中的22个治疗中心得到使用，迄今已对约4万名患者进行过治疗。

生物医学研究中的放射性标签对于基因组和蛋白质研究十分重要。医生已经在显像和治疗中使用加有放射性同位素标签的药物，这些药物在特定器官瞄准中起到独一无二的作用。在2000年美国住院的3170万患者中，估计约有1/3的患者使用了医用放射性同位素。

尽管美国医用放射性同位素的市场价值仅为1亿美元左右，但放射性药物的市场价值达到10亿美元左右，

核医学程序比率

最发达国家与最不发达国家对比



来源：摘自 UNSCEAR 《电离辐射的来源和效应》。

而每年放射性诊断和治疗的总费用估计在 80 – 100 亿美元。

正如第 52 页图所示，在发达国家和最不发达国家之间存在着很大的差距，后者的核医学应用潜力尚未得到充分挖掘。机构目前正在帮助这些国家挖掘核医学应用的潜力，尤其是在癌症治疗领域。发展中国家急剧上升的癌症发病率，正在使其本已有限的资源和设备持续

评估框架

在了解核应用的过程中，必须牢记核活动框架的重要性。在国际层面上，《不扩散核武器条约》(NPT)、《核材料实物保护公约》(CPPNM)、《核安全公约》(NSC) 及其他国际性公约形成了核活动的基本标准。然而，核安全、保安和辐射防护，以及对有关法律、规则和条例的管理，基本上仍然属于国家特权。

创建和维护适当的核安全与保安基础设施——国际的和国内的——是实现可持续核经济的先决条件。不过，许多应用或社会经济效益产生于不涉及电离辐射的核应用，并且因此处于核监管控制范围之外。稳定同位素在水资源和营养学以及生物医学试验和作物品种改良中的应用是重要的实例。

在这些领域，必须适当注意非核基础设施，这是广泛使用复杂技术和满足日益全球化的世界的专门需求所需要的，就像在食品销售中一样。随着人们不断加深非核方法在食品和能源生产和销售过程中的潜在负面效应的认识，需要对核科学技术能够提供高效、低风险的替代方法的领域给予越来越多的关注。

在这个“原子用于和平”发展阶段，当我们试图更好地评估和平核科学技术怎样对我们共有的全球环境与发展做出贡献时，我们应当注意以下要点：

- ✓ 在国家和地区层面上，对学术界和工业界而言，核科学与应用仍然是通往高科技社会道路上的核心学科。
- ✓ 所有国家都应用核技术，尤其是在卫生保健领域。在核技术的应用随着社会、技术和经济的发展而急剧增加的同时，在所有的发展层面上都能获得显著的社会经济效益。
- ✓ 为了最好的实现这些效益，必须将核技术的贡献适当地嵌入到重要的经济活动中，例如农业、卫生和

超负荷运转。整个发展中世界目前仅有约 2200 台辐照治疗设备，而要帮助患者治疗癌症，需要多达 5000 台。专家预测在癌症治疗中存在着长期危机，估计每年将新增 500 万名需要接受辐射治疗的患者。在 IAEA 的各项工作中，向发展中国家提供癌症患者安全治疗所需的重要设备和人员培训越来越重要。至少有 50% 的癌症受害者能够从杀死癌症肿瘤的辐射治疗中受益。

能源。需要对应用核技术的费用、效益和风险进行准确评估。

✓ 基于比较评估的公开竞争已经证明，核科学与应用经常能提供选择的工具，有时是惟一的选择。需要对核技术进行持续评估，以确保在那些值得利用原子能的领域获得核技术所带来的效益。

✓ 在发达国家和发展中国家已产生许多重要效益。在必要的技术和政治基础设施上的投资能够相对较快地获得回报，虽然一些方面可能需要多年时间才能发展成熟。

✓ 尤其是在不受私营工业所驱动 的领域，粮食和农业、卫生和环境方面的人员、监管、技术和科学的核能力的传授仍然是 IAEA 的一个重要使命。

✓ 有关全球规模核应用的数字估计/范围很容易产生许多不确定性。电力生产、医疗、工业、粮食和农业都在重要的方面依赖于原子能。在高度发达的国家，所有核应用的总价值可能占 GDP 的几个百分点。

✓ IAEA 仍然致力于为所有成员国确定、评价、促进和传播核科学与应用。最富有的经济体的经验证明，核科学与应用还有巨大的潜力尚待挖掘，可以满足世界人类需求做出巨大贡献。

✓ 显而易见，在将所有核应用作为科学技术工具，以消除贫困和寻求可持续发展的过程中，还有许多工作尚待完成。核应用已经表明，它们能够对这些目标的实现起到积极的作用。增加对核应用的了解，共享经验和教训，将成为未来发展的重要内容。

Werner Burkart 是 IAEA 副总干事和核科学与应用司司长。Michael Rosenthal 是该司高级职员。电子信箱：W.Burkart@iaea.org M.Rosenthal@iaea.org。