

# IAEA BULLETIN

国际原子能机构通报

国际原子能机构旗舰出版物 | 2017年11月



## 促进清洁能源未来的核电



中国如何成为世界发展最快的核电生产国 第12页

解决后端问题：芬兰乏核燃料最终处置的关键 第8页

阿联酋的核电之路：与哈马德·阿尔卡比  
大使的问答 第10页



60年

IAEA

原子用于和平与发展

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：PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

电 话：(43-1) 2600-21270

传 真：(43-1) 2600-29610

电子信箱：iacabulletin@iaea.org

编 辑：Miklos Gaspar

常务编辑：May Fawaz-Huber

设计制作：Ritu Kenn

《国际原子能机构通报》可通过以下网址获得：

[www.iaea.org/bulletin](http://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：Starstruck/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导则出版物《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。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，包括退役。

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。

# 促进可持续未来的清洁能源： 核电的作用

文/国际原子能机构总干事天野之弥

**能**源是发展和繁荣的动力。所有国家都需要确保充足的能源来推动经济增长，同时努力缓解气候变化的影响。

风能和太阳能等可再生能源将在未来发挥重要作用。同时，需要增加核电的使用，以提供基荷电力的稳定供应。作为最低碳发电技术之一，核电还将帮助各国实现减少温室气体排放的目标。

本期《国际原子能机构通报》专为“面向21世纪核能部长级国际大会”出版，涵盖一些与核电及其在促进可持续发展方面的作用有关的最重要专题。

我们重点介绍美利坚合众国核电厂运营商寻求换发许可证将运行时间延长至超过60年的方式、中国在如何进行世界最大规模的核电扩大计划以及为什么阿拉伯联合酋长国已开始实施核电计划。

核电厂需要大量的前期资金投入，但一旦投入运行，其运行成本相对较低。作为如何管理金融风险的一个例子，我们研究英国的核电建设融资模式。

新一代核反应堆的大量研究正在进行，这些核反应堆将具有固有安全

性、效率更高、废物更少。有关小型模块化反应堆领域的最新进展，请参阅第18页。

核工业已经成功地进行了半个多世纪的废物处置管理。全世界有数十个在运的中低放废物和乏燃料管理设施。就高放废物和乏燃料的长期管理而言，近年来取得了良好的进展。您可以了解到芬兰第一座乏核燃料深层地质处置库的建设，该处置库很可能在未来十年开始运作。

在许多正在考虑启动核电计划的国家，公众的接受度仍然是一个重要问题。第6页故事总结了加纳和肯尼亚采取的做法。投资于年轻人对于未来弥合技能差距和支持核电很重要。您可以了解到英国如何在这个领域实施计划。

## 核能界妇女

本期《通报》包括一个专门部分，介绍在核领域工作的八名杰出女性。我们很自豪地彰显她们的成就和展示她们的观点。

我相信，核电在未来几十年将为可持续发展做出越来越多的贡献。原子能机构将发挥自己的作用，协助各国安全、有效和可持续地利用这一显著的资源。



“我相信，核电在未来几十年将为可持续发展做出越来越多的贡献。原子能机构将发挥自己的作用，协助各国安全、有效和可持续地利用这一显著的资源。”  
—国际原子能机构总干事天野之弥



(图/2017年阿斯塔纳世博会)



(图/国际原子能机构 C. Brady)



(图/国际热核聚变实验堆)

## 前言



1 促进可持续未来的清洁能源：核电的作用

## 促进清洁能源未来的核电



4 长远来看：美国核电厂可将运行寿期延长至80年



6 支持核电：为什么利益相关者的参与很重要



8 解决后端问题：芬兰乏核燃料最终处置的关键



10 阿联酋的核电之路：与哈马德 阿尔卡比大使的问答



12 中国如何成为世界发展最快的核电生产国



14 核能融资和风险管理：英国模式



16 鼓励核职业：英国的可持续核劳动力战略



18 下一代反应堆：促进可持续能源的安全和经济性工具

世界观点

20 廉价核能的七个秘诀

— 环境进步组织主席 Michael Shellenberge

22 核能创新是可持续能源未来的关键

— 核能机构总干事威廉·马格伍德

24 “和谐”——电力的未来

— 世界核协会总干事阿格妮塔·瑞斯

国际原子能机构最新动态

26 用核技术改善哥斯达黎加的食品安全

27 支持防核扩散：加纳将研究堆从高浓铀转换为低浓铀燃料

28 国际原子能机构出版物

# 长远来看：美国核电厂可将运行寿期延长至80年

文/May Fawaz-Huber

萨里发电厂是第一个通知美国核管理委员会计划提交后续许可证展期申请的电厂。

(图/核能研究所)



“如果准予后续的展期并允许电厂运行80年，核管会就会看到其他电力公司也会兴趣大增。”

— 核管会许可证展期老化管理高级技术顾问 Allen Hiser

**近**二十年来，人们对延长核电厂运行寿期的兴趣不断增加。延长电厂寿期比建造新厂更为经济，而且在商业上，美国的许多电厂运营商正在寻求许可证展期。这有助于避免供应短缺，并支持该国减少碳排放。

“我们作为一个世界共同体共同关心电力生产方式，这一点非常重要。”核能研究所 (NEI) 所长兼首席执行官 Maria Korsnick 表示。“你可以生产间歇性的电力，比如风能和太阳能，但你也需要每周7天、每天24小时全天候的环境友好的基荷能量供应，而核电就是这样。”

美国核管理委员会（核管会）颁布的核电厂许可证的运行时间长达40年，每次展期申请可将许可证延长20年，只要运营商证明老化对某些电厂结构和部件的影响将得到充分的管理。

大约90%的美国电厂已进行过一次许可证展期，将运营时间延长到60年。但其中大部分将很快达到60年

期。如果它们停止运行或者没有被新电厂所取代，核能产生的能源比例就会下降。随后的展期将电厂的运营从60年延长到80年。

核电提供了美国20%的电力供应和超过60%的无二氧化碳排放电力。预计到2035年，电力需求将增长30%以上。

要获得许可证展期，电厂必须向核管会提供对电厂老化技术方面的评估，并展示如何安全地管理问题。这包括对系统金属、焊缝和管道、混凝土、电缆和反应堆压力容器的审查。它还必须评价假设电厂再运行20年的潜在环境影响。核管会通过检查和审计来验证评价结果，对许可证展期申请的审查无论何处都需要22到30个月。

“最初，核管会的审查需要数年时间才能完成。”Korsnick 说：“现在这个过程比较好理解了，需要不到两年。对于后续的许可证展期，我们可能会把这个过程缩短到18个月。”

虽然尚未有任何后续的许可证展期，但三家电厂已表示有意提交展期申请。

“如果准予后续的展期并允许电厂运行80年，核管会就会看到其他电力公司也会兴趣大增。”核管会许可证展期老化管理高级技术顾问 Allen Hiser 表示：“早在2000年准予最初的许可证展期时，核管会就经历了类似的趋向。”

## 应对政府和市场的挑战

美国政府的大多数政策都倾向于使用可再生能源而不是核能，而根据 Korsnick 的说法，市场并不看重核电厂带来的全部属性。过去六年里，有三家电厂因为在当前市场上无法筹集到足够的资金，甚至在其原有许可证到期之前就关闭了。Korsnick 认为，必须改善市场，使之重视核能带来的产品，包括清洁空气、每周7天、每天24小时全天候的稳定电力供应和连续运行至少18个月才需换料。充分认识到这些好处将防止更多的电厂过早关闭。

Korsnick 说：“从根本上说，我们需要一个拥有多种发电技术的电网，并且这个电网适当看待每种技术的核心属性及其为社会带来的好处。”

## 国际原子能机构与长期运行

核管会对原子能机构有关长期运行活动的支持已使原子能机构受益。核管会是原子能机构“国际通用老化经验教训”（IGALL）计划的早期资助者和积极参与者，该计划以核管会的通用老化经验教训报告中的技术信息为出发点。其他原子能机构成员国在美国的资料基础上添加了电厂数据，包括加压重水反应堆设计资料。

美国一直积极参与原子能机构与长期运行有关的其他活动，包括制定老化管理和长期运行安全导则，并为国际监管机构和电厂提供长期运行讲习班。美国还持续在原子能机构“长期运行安全问题”工作组对欧洲、亚洲和南北美洲的国家访问期间提供专门知识。

## 核能界妇女

Maria Korsnick

核能研究所所长兼首席执行官



Korsnick 女士的目标是利用她的工程背景、在反应堆运行方面的实践经验以及对能源政策和监管问题的深入了解，提高决策者和公众对核能的经济和环境效益的理解。在加入核能研究所之前，她曾担任爱克斯龙公司东北业务高级副总经理，并担任过星

座核能集团首席核官员兼代理首席执行官。她于1986年开始星座公司的职业生涯，担任了工程师、操作员、经理、现场副总经理、公司副总经理和首席核官员等越来越重要的职位。

“我很自豪十多年来能成为核能界妇女中的一员。这个组织有来自107个国家的25000多名成员。核能界妇女的成员来自核工业的各个领域，包括主要电力公司、反应堆设计公司、大学、实验室和政府机构，她们凭着对这个行业的热情，倡导核科学技术。”

# 支持核电：为什么利益相关者的参与很重要

文/ Elisabeth Dyck

“肯尼亚早期进行了民意调查，以确定包括公众在内的利益相关者对核电的主要兴趣和关切。”

—肯尼亚核电管理局舆论宣传总监 Basett Buyukah

**核**电计划面临的重大挑战之一是确保和维持包括公众在内的关键利益相关者的支持。考虑可能需要核电在其能源结构中发挥作用的<sup>1</sup>国家同样如此，以确保能源的可持续性，促进经济和工业发展。

实施核电计划，需要多年的准备工作和国家在整个核设施的开发、建设、运行和最终退役中的长期承诺。为了促进对核电的支持并获得持续的公众认可，必须在规划过程的每个阶段和核设施的寿期中让所有利益相关者参与其中。

国际原子能机构副总干事兼核能司司长米哈伊尔·丘达科夫说：“与全社会进行透明的、基于事实的沟通不仅有助于核电计划的引进和接受，而且还增强了安全和安保。”

利益相关者的参与是原子能机构“里程碑”方案所涵盖的19个基础结构问题之一。“里程碑”方案是成员国用来发展核电计划基础结构的结构

化导则文件。原子能机构出版导则文件，组织讨论共同挑战和良好实践，以促进与所有有关各方沟通的知识、经验和最佳实践的交流。

“让利益相关者参与不仅仅是宣传核电利益或解释其风险或复杂性。”主持原子能机构最近有关“利益相关者的参与和公共信息”会议的利益相关者参与专家 Brenda Pagannone 说。“这是关于建立对话，并考虑所有有关各方在决策过程中的作用和投入。”

## 加纳的例子

例如，加纳正在与原子能机构合作制定国家核电计划。它已经建立了一个国家组织——加纳核电计划组织（GNPPO），以协调与核电基础结构发展有关的所有筹备活动，并主办了一次原子能机构“综合核基础结构评审”。

“我们已经认识到，这项事业是一个国家层面的事情，需要广泛的利益



(图/国际原子能机构F. Nassif)

相关者参与。”加纳核电计划组织副主席 Ben Nyarko 表示。“从项目开始的那一刻起，我们就和利益相关者进行了接触。这使得该组织能够有效地向行业、决策者和公众传达该计划的要求和好处。”

## 肯尼亚的情况

肯尼亚也寻求了原子能机构关于发展核电计划的指导，于2012年成立了肯尼亚核电管理局（KNEB），负责协调有关核基础结构发展的所有筹备活动。

“肯尼亚早期进行了民意调查，以确定包括公众在内的利益相关者对核电的主要兴趣和关切。”肯尼亚核电管理局舆论宣传总监 Basett Buyukah 表示。“此次调查的结果对管理局制定全面的宣传战略，包括活动、信息和首选媒体至关重要。”肯尼亚核电管理局随后推出了包括学校、学院和大学在内的强大公共教育计划，并为不同的利益相关者举办了各种会议和讲习班。

## 不间断的沟通

一旦核电厂投入运营，利益相关者的参与活动就不会停止。在包括在运反应堆、乏燃料临时贮存设施和最

## 核能界妇女

Myra Liyana Razali

马来西亚核电公司(MNPC)利益相关者参与部门经理



Razali 女士负责马来西亚核电计划发展中的利益相关者参与和企业沟通工作。近年来，她参加了原子能机构的各种会议和专家工作组并为其作出了贡献，她渴望成为提高利益相关者参与核工业的标准的一员。她从2007年开始在核能领域工作，当时她作为出版官员加入马来西亚核能机构。

“为了继续追求核能，我们需要解决流露在公众心中的负面核看法。为了有效地做到这一点，作为利益相关者参与的新法宝，信任是基础。信任需要一个真正的沟通方式——需要深入的倾听、有意义的对话和相互理解。尽管这可能具有挑战性，但我们必须在噪音中找到我们的声音，并继续致力于保持公众参与。”

终放射性废物处置库等核设施的整个寿期中，都需要保持这种参与。

Pagannone 说：“与当地社区（工人、家庭、其他行业的代表、领导、学生和教师）建立积极和开放的关系对于维护一个值得信赖和积极的环境至关重要。”



来自19个新晋核电国家和16个在运核电国家的60多名与会者参加了2017年6月13日至16日在维也纳举行的“利益相关者的参与和公共信息”原子能机构技术会议。

（图/国际原子能机构A. Evrensel）

# 解决后端问题： 芬兰乏核燃料最终处置的关键

文/Irena Chatzis



芬兰安克罗乏核燃料处置库入口  
(图/波西瓦公司)

“自从40年前就废物总体管理战略以及作为乏核燃料主要方案的深层地质处置库做出决定以来，所有利益相关者一直坚持这一决定。政府和人民虽有变化，但对未来的决定和前景始终没变。”

—芬兰波西瓦公司开发部高级副总经理Tiina Jalonen

**运**营核电站的国家将其乏核燃料或就地贮存在反应堆场址或贮存在远离场址的地方。如果管理不善，乏燃料对人和环境可能造成危险；因此，需要一个公众可接受的永久性解决方案（见第9页“科学”栏）。虽然一些国家正在考虑深层地质处置库，但芬兰是唯一一个已开始建造乏核燃料最终处置库的国家。

## 芬兰的成功秘诀

位于芬兰西海岸奥尔基洛托的安克罗处置库深400~450米，隧道和竖井长约70公里，将存放填充核动力堆乏燃料的铜罐。该处置库预计可接收大约100年的废物，此后将被封存。

“自从40年前就废物总体管理战略以及作为乏核燃料主要方案的深层地质处置库做出决定以来，所有利益相关者一直坚持这一决定。”负责这一项

目的芬兰波西瓦公司开发部高级副总经理 Tiina Jalonen 表示。“政府和人民虽有变化，但对未来的决定和前景始终没变。”

芬兰模式产生效果的另一个原因是项目的所有利益相关者的及时参与，他们作为一个团队工作，瞄准同一个目标。

Jalonen 说：“不同利益相关者之间的角色一直很明确。决策者在引进核能的同时就制定了立法，芬兰辐射与核安全局制定了安全导则、法规和权限，以审查和检查我们的文件和应用。”

此外，从一开始就让芬兰辐射与核安全局参与其中对于建立项目的信任至关重要。“这个过程缺失任一利益相关者，这种模式都不会奏效。”芬兰辐射与核安全局局长 Petteri Tiippana 解释说：“安全监管机构的积极参与为当地社区提供了额外保证。”

事实上，公众的接受对于项目的成功至关重要。选择三座核反应堆所在的奥尔基洛托作为处置场址，不仅是因为这个地区的地质适宜性，而且因为这个地区的居民愿意接受。芬兰就当地和国家对该项目的态度进行了多次研究，其结果表明居住在核电站周围的人往往对核项目更信任。

“信任一直是能够按照政府的进度开展工作的一个基础。” Jalonon说：“建立信任需要与当地人、主管部门和决策者进行广泛而开放的沟通。”

据波西瓦公司说，该项目基于“多重屏障”的概念，目的是提供所需的封闭和隔离，防止乏燃料泄漏和扩散。基岩、由粘土包围的处置罐、填满含有回填材料的粘土的隧道以及堵塞隧道口的组合，都将成为保护性多重屏障。

## 下一个是谁？

另外两个国家在建造高放废物或被申明为废物的乏燃料的处置库方面取得了进展。2016年6月，瑞典辐射安全局批准了在福斯马克建造未来乏燃料深层地质处置库的许可证申请。瑞典土地和环境法院于2017年9月开始审查项目的环境许可证。

在法国，深层地质处置设施 Cigéo

## 核能界妇女

Laurie Swami

核废物管理组织总经理兼首席执行官



Swami女士负责执行加拿大的乏核燃料长期管理计划。她曾担任安大略电力公司退役和核废物管理高级副总经理，负责监督该公司核废物管理设施的运营，并执行该公司中低放核废物的深层地质处

置工作。她于1986年开始安大略电力公司的职业生涯，在核事业部担任各种日益重要的职位。

“对乏核燃料进行长期的安全管理是我们对后代的一项重要责任。幸运的是，包括我们在内的世界各地的核废物管理组织正在营造势头和采取具体行动，以保护人和环境的方式实施计划。”

的许可证申请正在准备中；计划在2018年底之前提交，并于2020年开始建设。2025年即可开始处置试行阶段。该处置库将包含法国现有核电厂乏燃料后处理产生的废物和其他长寿命放射性废物。

## 科学

高放废物（HLW）是由核动力堆燃烧铀燃料产生的。它有两种：被申明为废物并准备处置的乏燃料，或者由乏燃料后处理而产生的废物。

由于其高放射性和很长的半衰期（放射性物质失去其一半放射性所需的时间），高放废物必须很好地包封并与人类环境隔离开来。经深入研究，确定了各种岩石类型对于容纳深层地质处置库和隔离废物的专设屏障系统的适宜性。这些处置库被建造在几百米深的合适的地质构造中，旨在进行几十万年的高放废物封闭。

# 阿联酋的核电之路： 与哈马德·阿尔卡比大使的问答

文/ Shant Krikorian

阿拉伯联合酋长国(阿联酋)预计于2018年启动其第一座核动力堆。该国于2012年开始建设巴拉卡核电站第一台机组,目前有四台机组在建。我们采访了阿联酋常驻国际原子能机构代表哈马德·阿尔卡比大使,他就阿联酋的核电计划发表了自己的看法。

## 问：阿联酋为什么选择启动核电计划？

**答：**阿联酋决定开展核电计划,基于需要满足国家日益增长的能源需求。我们选择核电是因为它具有商业和环境竞争力。计划初期包括一个涉及所有基础结构要求和相关费用的详细路线图。在充分认识到它的财政影响后,我们决定继续执行该计划。核电计划的发展需要坚实的投资和风险缓解战略。使我们的计划取得成功的是我们政府的坚定承诺、可行的商业模式、高公众接受度以及强有力的国际合作和支持,包括与原子能机构的合作和原子能机构的支持。

## 问：国际原子能机构是如何帮助这一进程的？

**答：**国际原子能机构为我国的国家核基础结构发展提供了指导。我们的规划是根据原子能机构的“里程



我们选择核电是因为它具有商业和环境竞争力。使我们的计划取得成功的是我们政府的坚定承诺、可行的商业模式、高公众接受度以及强有力的国际合作和支持,包括与原子能机构的合作和原子能机构的支持。

—阿联酋常驻国际原子能机构代表哈马德·阿尔卡比大使

阿联酋巴拉卡核电站  
(图/国际原子能机构)



碑”方案进行的,原子能机构的八次审查工作组访问涵盖了计划的各个领域和阶段。此外,这些审查工作组报告的公开,增强了利益相关者和广大公众对计划的信心。

## 问：一旦巴拉卡核电站并网发电,与国际原子能机构的合作将如何发展变化？

**答：**虽然我们合作的重点自然

会转移到更高级的调试和运行安全领域，但我们会继续对技术支持和同行评审工作组访问感兴趣。

阿联酋对最高标准的运行透明度、安全、安保和防扩散的承诺以及与国际原子能机构的合作，使我们的计划成为许多启动核电国家的典范。我们期待与原子能机构其他成员国分享我们的经验。

**问：一个国家在发展核电计划时，怎样才能建立一个强有力的核监管机构？**

**答：**一个有能力的核安全监管机构是任何成功核计划的基石。首先，我们通过全面的核法律建立了适当的框架，赋予监管机构履行其职责所需的权力、独立性和资源。其次，我们通过专注于保持所需的技能来建设监管能力。做到这一点，一方面是聘请具有全球经验的外部专家，另一方面是培训当地专家并发展他们的技能。我们还与行业协调，直接随着项目及其进度的进展，逐步建设监管能力。更不用说，我们还得到了反应堆供应国和其他国际公认的技术支持组织的宝贵支持。

**问：外国劳动大军在阿联酋核电推进中发挥了重要作用。阿联酋将如何在这个领域长期保持熟练和可持续的劳动大军？**

**答：**建设可持续的国家能力对任何使用核能的国家都是一个挑战。在新晋核电国家，核项目必然要求依赖外国劳动力和专业知识，特别是在项目开始时。为了应对确保在核计划各个阶段提供足够人力的挑战，阿联酋制定了强有力的人力资源战略，确定所需专业知识的规模和类型。这是一个综合方案，包括奖学金及在职培训

## 核能界妇女

Shaima Al-Mansoori

阿联酋联邦核监管局(FANR)教育和培训部主任



Al-Mansoori 女士负责联邦核监管局的能力建设、知识管理和运行培训。在她的领导下，教育和培训部在发展阿联酋工作人员和专家的各种能力方面取得了进展，包括能力发展、继任、研究和开发、知识管理、技术认证和职业发展等。Al-Mansoori 女士于2009年加入了联邦核监管局，并

在能力建设方面与专家们一起成立了该部门。

“赋予核能界妇女权力是我们在联邦核监管局工作中至关重要的一部分。我们制定了具体计划，以确保我们的女性具备在高峰期开展工作所需的技能和知识。目前，阿联酋妇女占联邦核监管局213名员工总数的38%以上，其中约42名女性在核安全、安保和保障等领域担任主要角色。”

和指导。赋予青年权力和能力建设是我们政策的主要优先事项。

**问：阿联酋承办国际原子能机构“面向21世纪核能部长级国际大会”的理由是什么？**

**答：**2012年，阿联酋成为近三十年来第一个启动核动力堆建设的新晋核电国家。这对许多成员国来说是一个独特的相关案例。我们在承办这次大会时所获得的支持就是对阿联酋在发展和平核计划方面的成功努力和负责任的态度认可。此外，大会是讨论核电在可持续发展和减缓气候变化方面的当前和未来作用的重要论坛。考虑到我们对清洁能源的坚定承诺，核能、太阳能和其他清洁能源将在我国的未来能源结构中发挥重要作用，阿联酋很高兴能够举办这样一次及时的讨论。

# 中国如何成为世界发展最快的核电生产国

文/Laura Gil

被称为“穹顶”的这个巨大的圆形结构只是目前在建的中国福清核电厂中的一部分。  
(图/国际原子能机构 M. Klingenboeck)



“我们已建立一个完善和完整的体系。不仅从设计角度，还有制造、质量保证、安全和施工。”

—上海核工程研究设计院院长郑明光

中国现有38台核电机组在运，19台在建<sup>1</sup>。自2000年以来，中国在运反应堆数量已经增加了十多倍，并计划今年将5台机组投入商业运行。这就是中国，世界核能发电扩大最快的国家。

“中国是一个大国。我们有比其他国家更高的能源需求，而且还有更多的核电空间。”上海核工程研究设计院院长郑明光说。

在世界“正在扩大核电的国家”名单中，中国位居第一，其次是俄罗斯、印度和韩国，分别有7座、6座和3座在建反应堆。目前在运反应堆最多的国家是美国、法国、日本和中国。

煤炭不仅污染空气，而且难以从中国西部和北部的煤矿运输到经济发达的东南沿海地区。为了限制对煤炭的依

赖，中国大部分反应堆建在沿海地区。中国计划利用核能增加能源安全、降低对煤和石油的依赖，并在保持经济增长的同时限制二氧化碳的排放。

## 世界的试点

中国在建的19座反应堆涵盖了几种先进堆型。国际原子能机构核工程师 Nesimi Kilic 说：“核工业界正在关注中国在三门和海阳投运第一批AP1000反应堆。”其中，三门1号机组有望在2018年前完工，台山EPR反应堆也有望于2018年投入商业运行。据Kilic说，随着三门1号机组的投入运行，其他国家可能建设更多这类反应堆。他说：“中国成了世界的一个试点”。

## 核能的经济性

中国的能源监管机构国家能源局预计到2030年将中国的核电装机容量

<sup>1</sup> 这些数字不包括中国台湾的6台在运机组和2台在建机组。

从2017年的约38吉瓦增加到120~150吉瓦。中国专家认为，多亏这个规模，核电具有经济竞争力。

“我们已建立一个完善和完整的体系。”郑院长说。“不仅从设计角度，还有制造、质量保证、安全和施工。这就是为什么中国的核电在经济上是可行的。”

Kilic 说，技术本土化——在中国设计和制造——给中国人带来优势，并使这种扩大成为可能。中国有设施、技术和人才。

## 走出去

中国还希望走出去，计划在未来出口核动力堆。

郑院长说：“随着技术的发展，核电的经济状况未来会更好。”他还表示，各国需要相互支持。中国已经在以原子能机构为平台分享其实践经验。

## 核能界妇女

荣芳

国家核电技术公司(SNPTC)总经济师



在过去的32年里，荣女士一直致力于中国核工业的发展，先后在核研究设计院、核电站、核电设备制造企业和国家核电公司担任管理职务。她完成了几项重大核电工程项目的设计，为中国核工业的扩大规划作出了贡献，促进了AP1000核电项目的工程、

运行和燃料管理等几个专业核电企业的建设。她是2017年中国大陆第一位获得“核能界妇女”奖的女性。

“中国努力发展核能是保障能源安全、改善能源结构和应对气候变化的必要条件。我相信中国在核能发展道路上将继续坚持压水堆—快堆—聚变堆的三步走战略。此外，先进的三代非能动性压水堆技术将成为未来几十年中国大陆的主流堆型。”



工作人员在中国福清核电厂接受指令。  
(图/中国核工业集团公司福清核电公司)

# 核能融资和风险管理： 英国模式

文/Jennet Orayeva



欣克利角C建筑工地的工人  
(图/法电能源公司)

---

“根据多年的分析，英国政府得出结论认为，即使在民用核电历史悠久的市场，仍然需要政府的支持来促进核电发展，这一点很有指导意义。”

—高林睿阁公司总经理Paul Murphy

---

**核**电厂使用寿期长、运行成本低，但需要较高的前期资本支出和较长的规划建设时间。这意味着核电厂的经济性对融资成本和成本超出很敏感，且项目延期代价高。成功的融资是一项重大挑战，通常需要政府大力参与。

传统上，建造和运行核电厂的成本主要是以规定的关税形式转嫁给电力消费者，从而使贷款人、投资者和营运者面临价格波动的风险降到最低。这种传统作法描述了大多数自由化前电力市场的特征，即许多电力公司是集发电、输电、配电和零售于一体的综合垄断者，政府参与监管程度高。

然而，20世纪90年代发达国家开始的市场自由化导致价格和收入的不确定性增加，造成贷款人和投资者不愿投入核电厂建设所需的重要资源。

为了解决这种不情愿问题，利益相关者提出了创新的核电项目风险分担方案，旨在为潜在的贷款人提供额外的保证，并降低资本成本。其中包

括通过保证电价和提供各种形式的政府担保来减少收入波动。

## 以核代核：为什么英国模式很重要

英国今天约20%的电力供应是由核能生产的。

在电力市场改革的大背景下，政府已决定继续依赖核电，而不是仅仅依靠天然气或可再生能源，并正在寻求替代现有的核电厂。

目前，开发商已在六个场址建议或规划了11座反应堆。欣克利角C核电厂已经过了几个阶段的决策过程，预计将在21世纪20年代初投入运行。

英国的模式有三个主要支持核电的机制：称为差价合约的价格保证方案、政府担保方案以及限制投资者承担高放废物（包括乏核燃料）处置费用的机制。

## 差价合约

差价合约为低碳技术发电提供了一个纳税人支持的保证价格。根据差价

合约的条款规定，欣克利角 C 一旦投入运行，将按照“执行价格”（反映投资于特定低碳技术成本的电价）与“参考价格”（英国市场平均电价的测量）的差额（以“每兆瓦时”为基础）支付电价。当平均市场价格（欣克利角 C 等发电商可能预期从市场销售电力中直接获得的价格）低于执行价格时，发电商会收到“补贴”款项，以补足差额。当平均市场价格高于执行价格时，发电商必须偿还差额。

毕马威电力基础设施与企业融资总监兼全球业务负责人 Anurag Gupta 表示：“在欣克利角 C 项目中，差价合约大大减轻了贷款人和投资者面临的所谓“市场风险”。

通过减少发电商受波动批发价格的影响，增加其收入的确定性和稳定性，同时在电价高时保护消费者避免高于必要支持的付款。

“通过创造更大的确定性，投资者和贷款人能够对项目进行建模，从而使他们能够做出更明智的决策。”高林睿阁公司总经理 Paul Murphy 解释说。“而且，相比常规的 20 年寿期，采取 35 年的寿期，有利于进一步的长期股权投资和再融资选择。”

## 政府担保方案

政府担保方案是英国政府为通过债务担保增强信用而建立的一种机制。该方案于 2010 年推出，预算额达 400 亿英镑，用于保障英国的一系列基础设施项目，包括能源、交通和社会基础设施。已通过该方案为欣克利角 C 项目提供了支持（高达 20 亿英镑的债务）。

Murphy 评论说：“根据多年的分析，英国政府得出结论认为，即使在民用核电历史悠久的市场，仍然需要

## 核能界妇女

Helen Cook

谢尔曼·思特灵律师事务所法律顾问



Cook 女士就建立和实施民用核电计划以及新核电厂及相关核燃料设施的采购、建设和融资及交易向客户提供咨询。她是《核能法》的作者和世界核协会法律工作组主席。Cook 女士最近被列入《国家法律杂志》2017 年哥伦比亚特区“新星”名单。该名单包括华盛顿特区 40 名 40 岁以下最有前途的律师。

“全球核工业的未来需要吸引新的资金来源到核电项目。这意味着要管理由核电厂带来的独特和高度复杂的风险状况，既包括财务风险，也包括声誉风险，并认识到这些风险在项目的整个生命周期内都会发生变化。”

政府的支持来促进核电发展，这一点很有指导意义。”

## 限制投资者承担高放废物处置费用

与核电有关的一个关键问题是高放废物（包括乏核燃料）的处置费用方面的不确定性。英国政府建立了有效限制这类费用的机制，从而减少营运者面临成本升高的风险。该机制的运作方式是，设定营运者将必须支付的“废物转移价格”的上限，来换取英国政府对高放废物拥有“所有权”（以及对其处置的责任）。

国际原子能机构核电高级核工程师 Paul Warren 解释说：“通过有效地限制最终的废物转移价格，英国政府就一个非常‘难以量化’的项目风险为潜在投资者提供了保证。”

# 鼓励核职业：英国的可持续核劳动力战略

文/ Oleksandra Gudkova



塞拉菲尔德场址工作人员  
(国家退役管理局)

“[国家退役管理局的]战略涵盖一系列方面，从通过在学校进行有针对性的技能介入来吸引年轻人进入这一行业和制订适合目标的学徒计划，直至培养和重新调配技能，以确保他们留在该领域。”

—国家退役管理局技能和人才主管 Beccy Pleasant

为了解决因核工业老龄化员工退休而造成的技能差距日益扩大问题，英国正在制定培养年轻人技能并鼓励他们从事这一领域职业的战略。

“英国正在经历一场核复兴。”法电能源公司教育和技能战略经理 Lynne Matthews 表示。“为了当前和未来电站的建设、运行和退役，我们需要确保拥有所需的技能。”

Matthews 补充道，解决这一差距的方法之一是通过计划和活动来支持公众对核电的理解和接受，并激励年轻人从事这个行业的职业。

## 儿童核教育

Pod 是由英国最大的低碳电力生产商法电能源公司推出的一项教育计划。该计划为4至14岁的儿童和青少年提供有关能源、废物、水、交通、生物多样性和气候变化等方面的免费教育资源。

法电能源公司于2008年开发了Pod计划，目标是到2012年有250万名儿童

加入到可持续使用能源的教育计划。目前，该计划已有22000多所注册学校，其中有1000多万名儿童和32 000名教师。来自其他54个国家的200多所学校也加入了这项计划。

“Pod为教师提供了一些教学想法，比如游戏和竞赛。这种互动方式有助于学生在学习可持续发展和节能知识的同时获得乐趣。” Matthews 解释说。

“我们从小学开始一直到大学。我们还有核场址的参观，以帮助消除有关核的任何传说。我们希望鼓励开放、透明和信任。”

在其教育活动范围内，法电能源公司还为年轻人提供了参加培训班及本科和研究生课程的机会。这些机会让学生有机会发展他们的学历，同时获得实地经验，另外还使他们具备在核工业中取得事业成功所需的技能。

## 重点国家战略

在国家层面正在开展一些其他活

动。为协调该领域所有主要核参与者的努力，建立了英国核技能战略工作组。该工作组为涉及吸引、发展和动员核劳动力的合作倡议制定了一项明确的行动计划。这些倡议中的每一项都由该领域内各组织支持赞助，政府机构也发挥作用。

国家退役管理局的人员战略已纳入核技能战略工作组的战略计划，旨在确保英国的退役部门拥有执行任务所需的技能和能力。

“这一战略涵盖一系列方面，从通过在学校进行有针对性的技能介入来吸引年轻人进入这一行业和制订适合目标的学徒计划，直至培养和重新调配技能，以确保他们留在该领域。”国家退役管理局技能和人才主管 Beccy Pleasant 说。

另一个计划是由该国燃料后处理和核退役场址塞拉菲尔德开发的。“它为正在寻找上大学之外另一种选择的年轻人提供核级学徒资格。” Pleasant 说。“这只是国家退役管理局为确保持续获得有才能的退役工作人员正在开展的工作的一部分。”

## 核能界妇女

Helena Zhivitskaya

白俄罗斯国立信息与无线电子大学副校长、地区核技术教育培训网络 STAR-NET 科学秘书



Zhivitskaya 博士拥有超过 15 年的管理经验，负责包括“核电厂仪器仪表和控制系统”学位课程等教育课程的质量控制和开发。她是“白俄罗斯 2008—2020 年核能教育计划”的核心贡献者。她编著了 170 多篇科技作品和出版物，其中包括 4 本专著和 11 本教科书。她是地区核技术教育培训网络 STAR-NET 的创始人和领导人之一。

“安全发展核能是解决社会面临的能源问题的关键。在全球化和快速发展的时代，新一代核技术专业必须不断发展自己的知识、创造力和创新倾向。提高公众对核能巨大收益的认识，从而提高核能在非专业人员中的形象，对吸引高素质人才至关重要。”

## 国际原子能机构的核科学课程

“纲要”是原子能机构旨在提高年轻人对核科学的认识和鉴赏的一个工具，它可以使核职业更具吸引力。

正在由原子能机构和几个国家的教育专家进行测试的“纲要”设计了独特的教学策略和材料，将科学技术引入教育系统。

“纲要”是在原子能机构技术合作项目下编写的，澳大利亚、芬兰、印度、以色列、日本、韩国、英国和美国的专家提供了技术支持。这些计划包括为中学师生汇编一系列课外课程和活动，以增加学生的好奇心、认识和知识。

“纲要”提出了中等教育的核心课题，而材料的模块性使教师和学生能够选择符合其特定需求的活动。

“纲要”于 2015 年在印度尼西亚、马来西亚、菲律宾和阿拉伯联合酋长国作为试点启动，并有望应请求在约旦、斯里兰卡和泰国等更多国家实施。

# 下一代反应堆：促进可持续能源的安全和经济性工具

文/Matthew Fisher

“小型模块化反应堆的概念是寻求更小的单元、模块化结构、简化设计和已证明的安全性，以增加灵活性，并使投资决策更容易。”

—法国原子能委员会核能主管  
Francois Gauché

**核**工业会从旨在创造更具固有安全性和更高效率核电厂的新一代反应堆中受益。这些反应堆可能有助于发展更具可持续性的核能，也可用于各种工业应用。

## 具有独特性能和安全性先进反应堆

下一代反应堆在性能、安全性和可靠性方面达到了几个标准。例如，小型模块化反应堆作为先进反应堆，能够产生高达300兆瓦的电力，其部件可以以预制模块形式运输到安装现场。

“得益于预制的建造模式和较小的规模，小型模块化反应堆的资本成本低于目前正在建设或运行的典型大型反应堆的资本成本。”原子能机构核电技术发展科科长 Stefano Monti说：“由于模块预制，然后送到安装现场施工，因此预计施工期也会缩短。小型模块化反应堆本质上也不太容易

发生严重事故，因为它们在设计上减少了堆芯损害频率。”

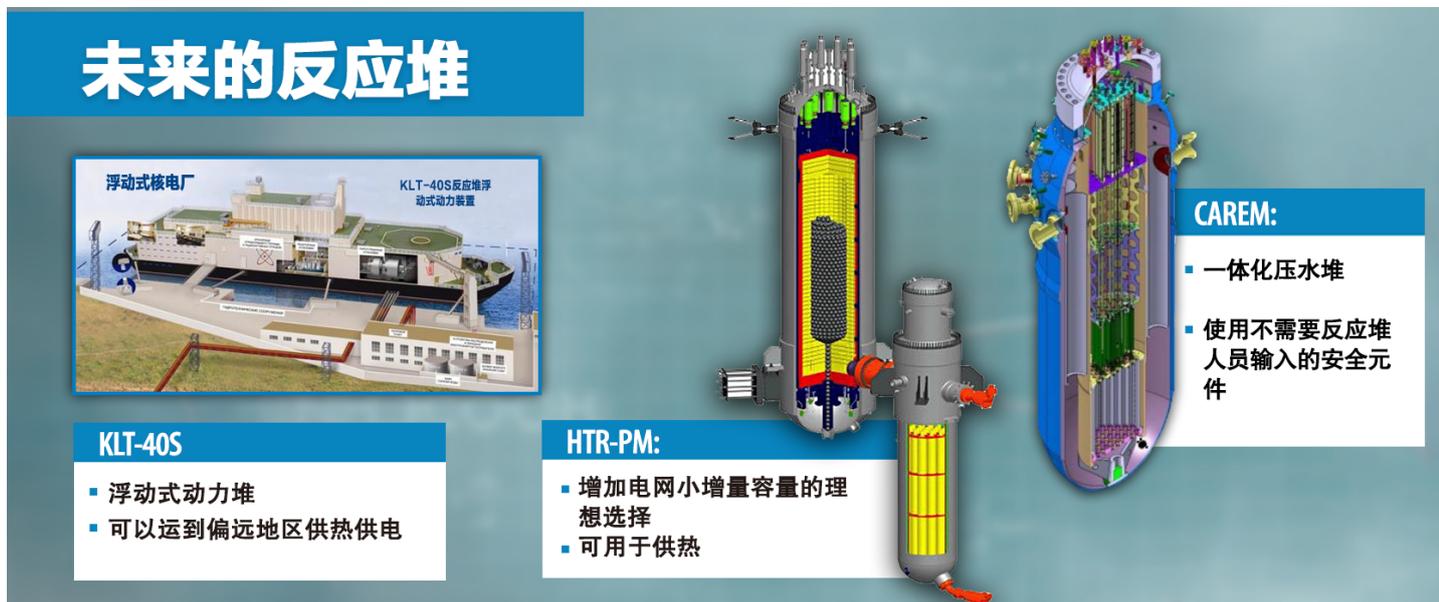
有了这些先进的反应堆设计，就有可能扩大核能的作用。到目前为止，核能主要用于发电，但是新一代反应堆可能更适合其他各种非电力应用。

“核能的好处不应局限于电力生产，还应针对其他应用，如热能生产。”第四代核能系统国际论坛政策工作组主席、法国原子能与可替代能源委员会核能主管 Francois Gauché说。“小型模块化反应堆的概念是寻求更小的单元、模块化结构、简化设计和已证明的安全性，以增加灵活性，并使投资决策更容易。”

一些国家正在开发和设计下一代反应堆，并且已有4座小型模块化反应堆在阿根廷、中国和俄罗斯开始建设。

## 促进可持续能源的创新型反应堆

迄今最先进的气冷反应堆——球



(图/国际原子能机构 F. Nassif)

床模块式高温气冷堆（HTR-PM），目前正在中国进行建设。清华大学核能与新能源技术研究院副院长兼副总工程师孙玉良表示，这种模块式反应堆是为了优化能源效率而设计的，是增加电网小增量容量的理想选择。这种反应堆类型也非常适合于热电联产应用，特别是用于较高温水平的热应用。

阿根廷正在建造一座一体化压水堆 CAREM，计划于2018年底投入运行。这座小型模块化反应堆的设计采用了不需要反应堆人员输入的安全元件，包括在检测到反应堆故障时自动停堆的功能。

KLT-40S 非常独特，是俄罗斯在建的浮动式动力堆。这种反应堆类型具有在偏远地区供热供电以及向单独消费者供电的潜在应用。俄罗斯在建的 RITM-200 用于破冰船的船舶推进，但也可以作为陆基或驳船安装的小型模块化反应堆，用于供热供电。

## 提高核能效率的快堆

快堆的设计目标是使铀产生的能量比现有的热堆高出60至70倍。通过回收乏燃料和利用“快”中子（裂变产生的没有被慢化剂慢化的中子），这些反应堆非常高效，产生的核废物少得多，并且可能具有核能非电力应用的巨大潜力，特别适用于工业过程。

目前在商业运行中使用的唯一快堆是俄罗斯BN-800反应堆。该反应堆在2015年12月并网发电，采用混合氧化物燃料，具有先进的安全特性。BN-800燃料效率非常高。

俄罗斯国家原子能公司副总经理 Vyacheslav Pershukov 说：“BN-800反应堆是迈向快堆全面商业化的又一步，它在成本方面将能够与压水堆竞争。”

原子能机构一直在支持这些创新技术的进展，特别是通过举办一系列关于促进可持续发展的新型反应堆技

## 核能界妇女

Patricia Paviet

美国能源部材料与化学技术办公室主任



Paviet 博士负责与核燃料循环后端相关的研发活动，包括材料回收和废物形式开发、材料保护、衡算和控制技术。在加入美国能源部之前，她曾担任核能科学与技术研究所主管爱达荷国家实验室燃料循环研究与教育副所长，负责加强和扩大大学在钢系元素科学、分离、保障和仪器仪表等领域的合作伙伴关系。Paviet 博士是第四代核能系统国际论坛教育和培训工作组主席。

“核燃料循环的未来活力、繁荣和可持续性取决于专业核工程师、科学家和放射化学家队伍的形成。同时还需要新的想法和创新的解决方案。教育和培训应该是优先事项，不仅是为了应对保持强大的受过良好教育的工作队伍的挑战，而且也是为了满足这一领域的预计增长。”

术会议。2017年6月，原子能机构在俄罗斯叶卡捷琳堡举行了第三次“快堆及相关燃料循环国际会议”。这些活动汇集了该领域的广泛专业人士，讨论如何最好地将新型反应堆设计应用于提供清洁和可持续的能源。

## 有助于克服挑战的新设计

虽然小型模块化反应堆可能提供许多好处，但是它们的实施还存在一些挑战。“由于先进小型模块化反应堆尚未部署，这些反应堆的监管基础结构尚未巩固。” Monti 说。“另一个挑战是在小型模块化反应堆设施中为所有模块设置一个单一的控制室。这一点以前没有做过，如果成功的话，可以帮助简化反应堆运行。”他补充说，虽然小型模块化反应堆的许可证审批最初可能需要较长时间，但一旦监管框架完善建立起来，这个过程应该会大大加快。

# 廉价核能的七个秘诀

文/Michael Shellenberger



Michael Shellenberger 是美国加利福尼亚州伯克利一家独立研究和政策机构“环境进步”的主席。本文节选自其最新报告《廉价核能的七个秘诀》。

**能**源部长和其他决策者经常面临来自核电厂推动者眼花缭乱的推销，导致许多国家做出了糟糕的决定，以致施工长时间拖延、成本大量超支，诸如美国、芬兰、法国、中国、印度和英国等国家的情况。

好消息是，经济学家和能源专家已就如何使核能具有竞争性达成共识。这种共识基于40多年来世界各国的建设和运行成本数据。

**围绕长期能源计划建立国家共识。**成功的核计划需要数十年，而不仅仅是几年。这意味着它们必须在政治范畴内获得强有力的国家支持，这样核电厂的建设就不会在国家核电目标达到20%、40%甚至80%时因为政府更迭而中断。建立这种共识需要以经济、安全和环境理由确定发展核能的必要性。围绕核能相对安全问题也要达成共识，因为这是各方最关心的问题。

**让公众参与进来。**像所有技术一样，核能必须得到大众的支持才

能生存和发展。无论在发达国家还是在发展中国家，大多数人对能源知之甚少，尽管它是最安全的电力生产方式，但仍然对核能保持警惕。因此公众参与不是可选的，而是至关重要的。使公众参与必须以科学为基础，遵循现有最好的心理学、社会学和舆论研究。

**实行一种设计的标准化。**法国和韩国已经证明，施工人员要减少建造反应堆和发电厂的时间和成本，就必须获得经验——这只能来自重复作业。尽管可以对设计进行适度的修改，例如升级为较大的反应堆，或增加安全特性，但堆芯设计必须相同。

**用一家经验丰富的建筑商集中施工。**必须有一个人具有监督一个设施建设各个方面的权力。这个人应该有经验和取得决策者的信任，必须承担责任，并且有权力使参与项目的每个人承担责任。所有各方也必须承担责任，以控制成本。

**建设尽可能大的反应堆。**尽管近



法国西沃核电厂  
(图/法国电力公司)



眺望新古里多机组核电厂  
施工情况的有经验管理者。  
(图/ M. Shellenberger)

期对小型电厂设计的热情有所提高，但有证据表明，较高产出的核电厂比较低产出的核电厂发电更便宜。这主要是因为较大反应堆发电所需的额外工作相比于较高产出微不足道。即使大型反应堆适度增加建设成本，这个规则也是成立的——更高的产出简单地弥补了增加的建设成本。较小的电厂可能更适合较小的国家或电力需求较低的国家。但是，如果采用这些电厂，买方国家必须明白，他们每单位发电量的运行成本更高。

**固定价格，不允许在施工过程中改变。**低成本建设的关键是低风险——不是估计的总成本。与那些在“成本+”的基础上提供较低价格的国家相比，那些拥有更多经验的稍微昂贵的建筑商，并且同意以固定价格换取不变规则，对各国来说更好些。关键是要避免买方和建筑商之间的纠纷，因为最终不可能解决谁对谁错，

施工延误只会伤害所有人。为此，需要保持透明度：买方必须能够检查供应商的账簿。

**低成本贷款融资。**由于施工延误造成的高额成本中，单是支付贷款利息就占据了一部分。避免高成本，需要避免延迟同时进行低息融资，不论是面向政府、纳税人（以电费收费形式）还是国际开发银行。项目风险最大的阶段是在规划中，一旦施工开始，风险就会降低。因此，买方国家应该在不同的阶段有不同的融资。

这些是廉价核能的七个秘诀，它们有强有力的数据支撑。虽然核电厂推动者可能会谈论其他因素，比如燃料循环、在工厂制造更多的部件和使用非轻水堆设计，但这些带来的优势根本不明确。

核能面临着巨大的挑战，但它仍然可以实现向世界提供越来越多的廉价和清洁电力的目标。

# 核能创新是可持续能源未来的关键

文/威廉·马格伍德



威廉·马格伍德是经合组织核能机构总干事。

对于大多数国家来说，成功的能源政策要满足可持续发展的三大支柱——供应安全、环境保护和可负担性。在快速发展的电力市场中，核电对能源结构的价值将取决于其满足当前和未来能源需求的能力——正如三大支柱所反映的。显然，满足这些期望将需要核技术的创新。

核电厂可提供可靠和可调度的电力，可以白天和黑夜、一年四季和在各种天气条件下，根据需要由电网运营商进行传输。此外，核电厂可大规模部署，以满足碳中和电力需求的预期增长。随着可再生能源份额的大幅增加，核能发电可能需要超越其传统的基荷运行模式，增加灵活性。增加灵活性意味着需要在以下领域进行优化和创新：反应堆和燃料设计、增强核反应堆的负荷跟踪能力、部署小型模块化反应堆以及为电厂运营商提供额外需求和收入来源的热电联产战略发展。

虽然人们普遍认为核能是一种可以解决环境问题的清洁低碳技术，但其适应当今非常具有挑战性的市场条件的能力仍然受到质疑。这类市场条件包括可再生能源成本的下降外加政府对可再生能源非常有利的政策和补贴，以及在中没有碳定价的页岩气等非常规化石燃料来源的份额不断增长。因为电力市场的结构并不能反映技术和政策的这些变化，所以这些因素降低了许多现有基荷电厂，特别是核电厂的盈利能力。要实现可持续发展，电力市场必须现代化，以确保长期可靠性；但无论未来走

向何方，核电的未来都需要创新，以降低总的发电成本，同时保持高水平的核安全。

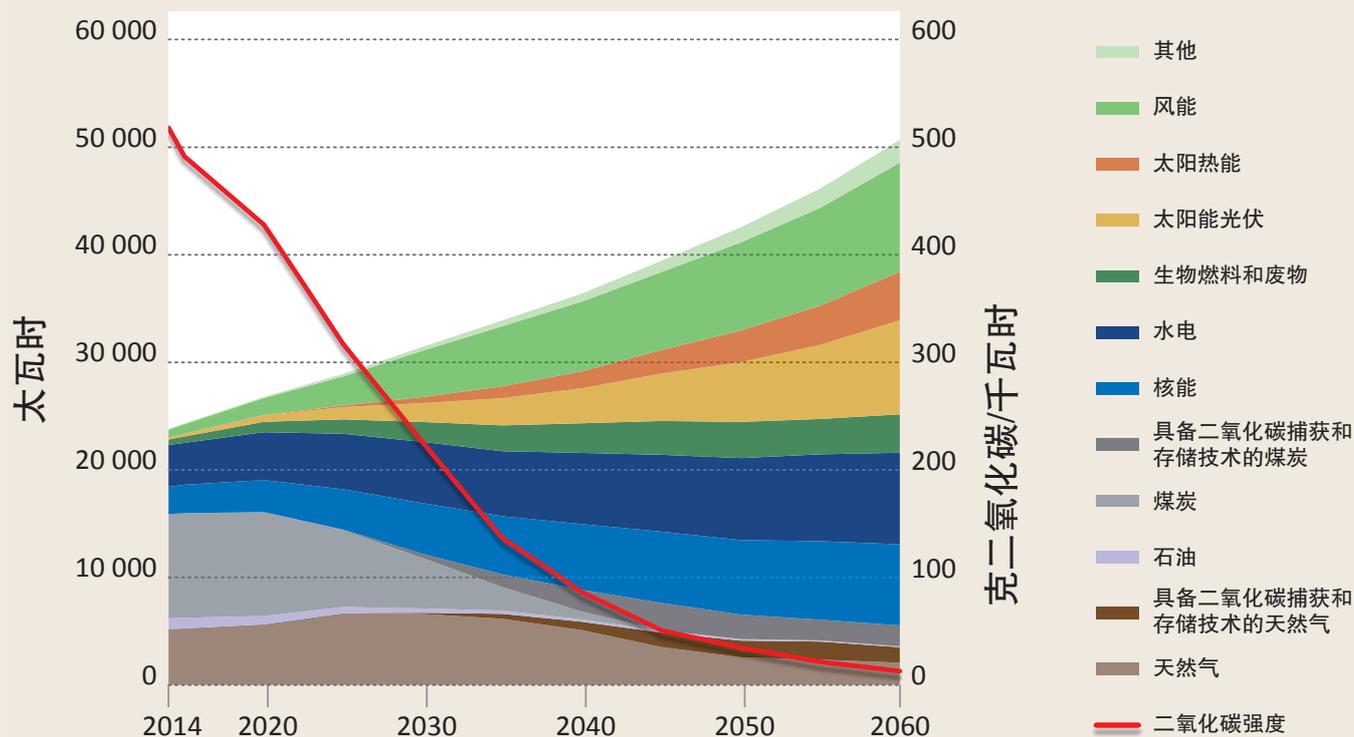
## 国际合作的重要性

核能机构启动了“2050年核创新”（NI2050）倡议，鼓励各国采取新的合作方案，以进一步研究和部署有助于实现可持续能源结构的创新核技术。这一目标也得到核能机构其他举措的支持，例如正在进行的关于先进反应堆系统的研究以及与国际能源机构在电力市场上共同开展的工作。

“2050年核创新”方案的核心是应用多边战略来支持更有效地部署创新型核技术。多边方案可以通过确定优先事项、建立基于科学技术验证的坚实共同基础以及确定共享资格认证方法来支持强有力的许可证审批程序，为全球部署创新型技术创建所需的信心。

因为在任何技术发展的早期设计阶段，安全都是一个“内置”的优先事项，因此需要与当局和监管机构进行一定程度的相互交流。安全机构之间的国际合作可能是在不影响监管独立性的情况下及早洞察任何创新的安全方面的最有效方法之一。核能机构已经提供这样一个框架，为各个专门委员会提供一个广泛的讨论平台。“2050年核创新”倡议现已选定一套专题领域来制定一项“10年行动计划”，这些领域包括耐事故燃料、严重事故知识管理、非能动性安全系统、老化结构管理、先进燃料和材

## 按来源分列的全球发电量



(数据源自国际能源机构《2017年能源技术展望》)

当今三分之一的发电量来自低碳能源。要满足全球二氧化碳排放目标，到本世纪中叶，这一份额需增加到近85%。

来源：核能机构

料、先进组件、燃料循环化学/再循环、热能生产和热电联产、建模和模拟、数字化和测量、基础设施和示范。“2050年核创新”倡议通过把利益相关者聚集在一起关注共同的优先领域，可以引发核技术的创新，这是核能在未来可持续能源结构中发挥作用的最重要条件。

许多国家面临的挑战是同时应对电力市场的日益复杂性、电力需求的增加以及制定减少碳排放的国家政策

的需要。没有足够的创新能力，使用核技术的国家可能会被迫依靠技术上更具创新性的国家，从而影响到他们在能源领域的主权。因此，各国政府需要密切关注超出经济和环境维度的核电总体战略维度。

当今核技术的创新要求各国和核领域的行动者加强参与和合作，以利用集体技能和手段，在新技术方面建立健全和强大的信心，开放国际市场和吸引投资。

# “和谐”——电力的未来

文/阿格妮塔·瑞斯



阿格妮塔·瑞斯是世界核协会总干事。

世界核协会的“和谐”计划提出了全球核电行业电力未来的愿景，旨在帮助全球应对电力需求增长带来的能源挑战和满足减少温室气体排放和空气污染的需要。为此，核工业已经确定“和谐”的目标是到2050年核能将提供全球25%的电力。这将需要建设大约1000吉瓦（电）的新核电容量。

“和谐”的目标基于国际能源机构的2度情景，其目的是避免气候变化最具破坏性的后果，因此需要大量增加核能生产。为了实现这个目标，“和谐”设想混合使用低碳发电技术。

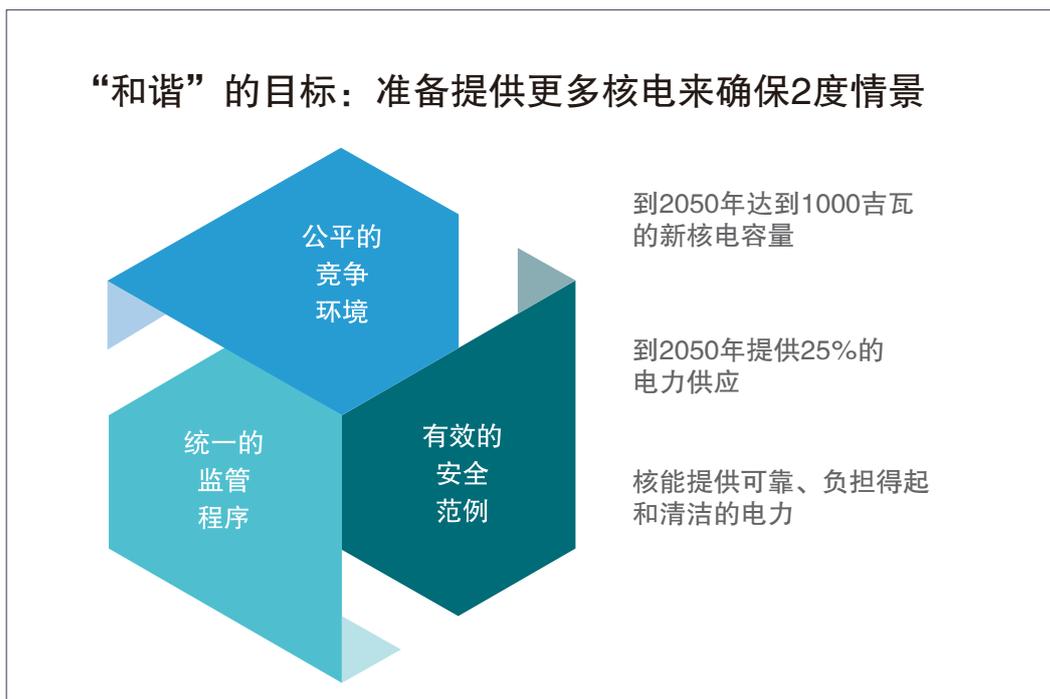
各国政府目前的“国家自主减排贡献”——各国宣布他们将根据“巴黎协定”采取遏制温室气体排放的气候行动——远低于2度目标，更不用说达到1.5度的目标。因此，当前应对气候变化的计划并不正确，需要采取紧急行动来减少排放。但是，只有达到以下目标才能实现“和谐”的

目标。

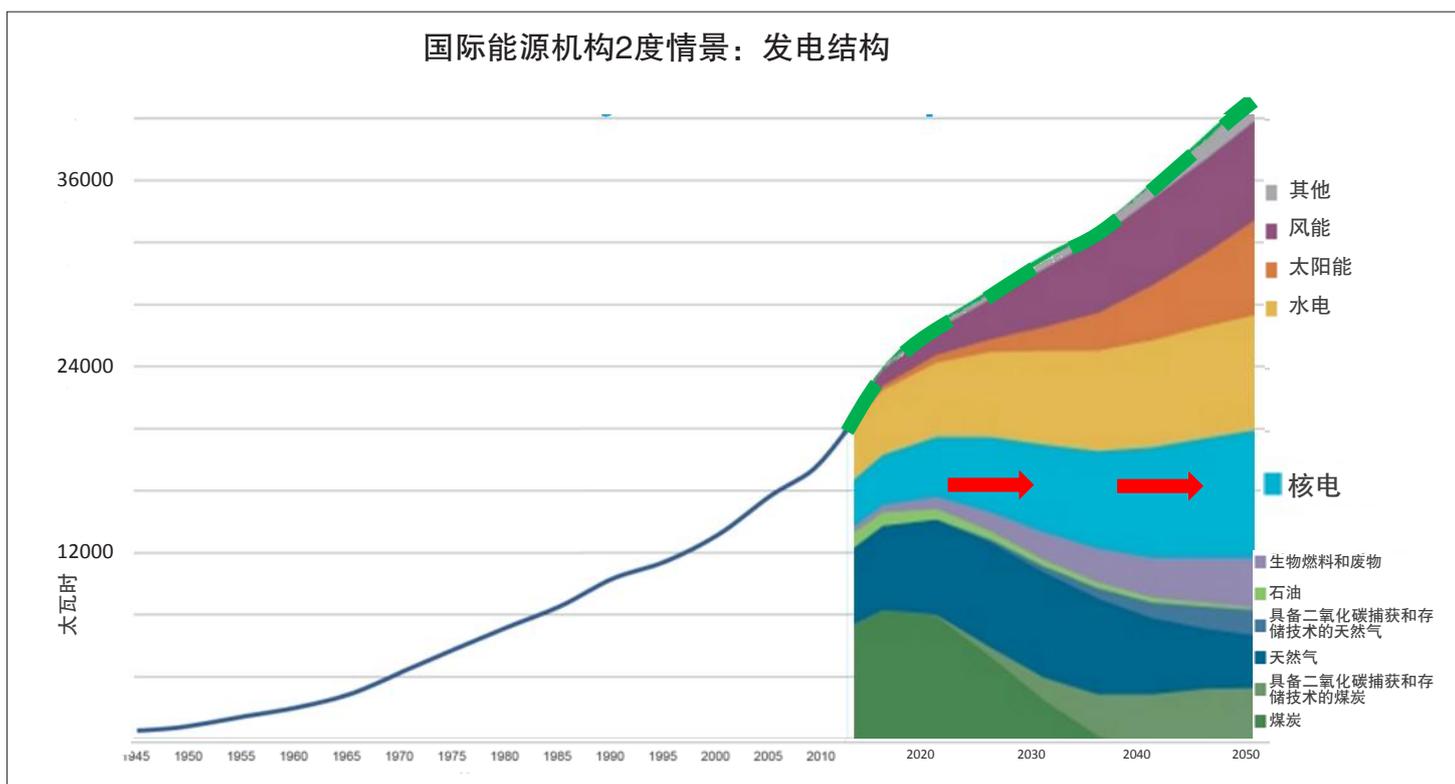
## 公平的竞争环境

核能是一种可靠而清洁的成熟基荷电力来源，具有显著的好处。然而，核电厂正面临财政挑战，导致一些运行良好的电厂提前关闭，新电厂投资受到限制。包括对可再生能源补贴和优先调度在内的多种因素导致了核电市场的失败。

“和谐”的目标是支持在能源市场建立公平的竞争环境，其中承认已建立的现有低碳能源，并推动对其他清洁能源的投资，在这些资源中核能与其他低碳技术要受到同等对待并因其在可靠的低碳能源结构中的价值得到认可。作为可被扩大来满足实际需求的唯一低碳发电资源，核电还应因其对系统可靠性的贡献和其他公众利益而得到认可和补偿。



来源：世界核协会



来源：1945—1979年数据来自国际能源机构数据库和分析；1980—2012年数据来自能源信息管理局

## 统一的监管程序

核安全是国家的责任，这导致各国对许可证审批的安排差异很大，每个国家都在制定自己的监管框架、许可证审批程序和安全要求。虽然新核电项目和供应链存在全球化市场，但这种国际化还没有扩展到监管和许可证审批方面。监管程序、安全要求、规范和标准的统一将为改善新建投资、项目交付、降低成本、加快创新和提高安全性带来显著效益。

“和谐”旨在促进统一的监管程序，提供更加国际一致、高效和可预测的核电许可证审批制度，使得能够在不影响安全和安保的情况下以标准化的解决方案促进核能力的显著增长。

## 有效的安全范例

尽管核能安全纪录良好，但一些国家缺乏公众信心和信任限制了其发展。核能是对人体健康和环境的总体影响最小的能源之一，但这一点并未

反映在公众认识上。因此，我们需要创造一个有效的安全范例，以真正的公众福祉为核心，像对待其他发电技术一样，客观地认识和评定核电的健康、环境和安全风险和效益。

## 需要采取行动

“和谐”的目标是远大的，但是可以实现的。为了使核能达到“和谐”的目标，并支持世界实现其2度目标，需要在未来十年内将新建核电站快速增加到33吉瓦（电）的年并网率，这相当于在20世纪80年代达到的速度。主要的挑战并不在于生产——尽管需要大力加强和建设能力——而是在于要获得必要的政策支持和建立信心。

世界核协会的“和谐”计划是整个核能界的合作努力，要与主要利益相关者合作采取必要的行动，使核能够在应对全球能源挑战中发挥其关键作用。

# 用核技术改善哥斯达黎加的食品安全

哥斯达黎加不再依赖国外的实验室来保证食品安全并保持竞争力，部分原因是使用了核技术以及得到了国际原子能机构和联合国粮食及农业组织（粮农组织）的支持。

哥斯达黎加动物健康诊断和研究国家实验室食品安全专家 Yajaira Salazar 说：“我们每月分析310个样品，比两年前增加了25%。” Salazar 和她的同事参加了原子能机构的几次培训班和进修，现在可以执行海洋生物毒素分析和质量管理等。

农药、兽药残留物、重金属、海洋生物毒素以及其他有机和无机污染物都会污染我们的食物。“为了检测这些，哥斯达黎加需要由训练有素的人员操作最好、最新的技术。”哥斯达黎加动物健康诊断和研究国家实验室主任 Marietta Ureña Brenes 说。“我们需要保持领先。”

自2015年以来，动物健康诊断和研究国家实验室的专家一直在学习最新的核和常规分析技术，以检测食品中的污染物和残留物，并通过原子能机构的技术合作项目接受最先进的设备和专门知识。这一食品安全改善对哥斯达黎加的消费者、生产商和出口商都有利。

## 鱼肉和牛肉

对于哥斯达黎加的鱼类养殖者来说，将样品送到动物健康诊断和研究国家实验室而不是国外，意味着节省资金和缩短周转时间。他们过去每年向厄瓜多尔和智利的实验室发送近200个样品，以检查可疑有害物质和符合欧盟规定情况，但现在，动物健康诊断和研究国家实验室在圣

何塞北部的埃雷迪亚分析这些样品，使每个生产者每年至少节省2.7万欧元。肉类生产商也从这些新的分析服务中受益。CIISA 是哥斯达黎加一家在本国以及美国、俄罗斯和欧洲等地销售牛肉和猪肉的公司，也依赖于动物健康诊断和研究国家实验室精确的核与同位素分析技术，以确保其产品无毒且符合市场要求。

动物健康诊断和研究国家实验室提高了利用核技术或同位素技术监测动物产品中兽药残留和相关污染物的能力，这不仅提高了该国维持其向欧盟、美国和其他拉美国家出口食品市场的能力，而且帮助获得了像中国这样的新市场。

## 国际标准

拥有确保本地食品安全的能力也是出口商的一个游戏规则。食品污染除了影响公众健康外，还会对国际贸易造成破坏性的经济影响。

“在全球范围内，技术越来越能够准确地检测食品中微量的残留物。”也曾接受原子能机构技术合作项目计划的动物健康诊断和研究国家实验室的另一位食品安全专家 Mauricio González 说。“对于消费者来说，这是一件好事，但这意味着对出口商的规范越来越严格。”当今国际食品安全法在快速发展，哥斯达黎加必须适应。

使用新学到的核分析技术和设备，动物健康诊断和研究国家实验室的专家可以检测食品样品中微量的污染物、药物残留物和杀虫剂，以符合国际要求。González 说：“设备越灵敏，我们就越能保证我们食品中没有

任何不需要的成分。”

新的能力也帮助动物健康诊断和研究国家实验室扩展到其他领域，比如分析更广泛的动物产品和进口食品。例如，利用核技术，动物健康诊断和研究国家实验室小组在进口鱼类产品中检测到孔雀石绿，这种染料既可能致癌，又可能损害DNA。在发现这些结果后，哥斯达黎加停止了这些供应商的进口。粮农组织/原子能机构核技术粮食和农业应用联合处食品安全专家 James Jacob Sasanya 说，像这些例子说明为什么有必要建立国家实验室的食品检测能力。

“哥斯达黎加一直致力于保护公众健康。”动物健康诊断和研究国家实验室国家动物卫生局局长 Bernardo Jaén Hernández 说。“为了保护公众健康，你需要建立强大的能力来检查国家所进行的生产、出口甚至进口。”

原子能机构负责这些项目的经理 Raquel Scamilla Aledo 说：“一个新的原子能机构技术合作项目将支持动物健康诊断和研究国家实验室进一步提高其技术和分析能力。”“作为其国家发展重点之一，哥斯达黎加已提出在分析海洋生物毒素、农药和兽药方面提供更多的支持，而这些毒物尚未纳入目前的测试范围。”她说。“哥斯达黎加还想要增加实验室服务，以满足新的欧盟和其他食品出口市场规章。”

原子能机构与粮农组织联合，协助各国采用核技术和相关技术，为管理食品安全提供基于科学的解决方案——在世界各地的实验室中提供分析方法。这还包括食物辐照、各种食物和环境污染物的分析以及食品真伪识别。

文/Laura Gil

# 支持防核扩散：加纳将研究堆从高浓铀转换为低浓铀燃料

通过国际原子能机构支持的一个国际项目，加纳成功地将其唯一的研究堆从使用高浓铀燃料转换为低浓铀燃料，以帮助减少与高浓铀燃料相关的扩散风险。

高浓铀是一种可用于制造可供恶意使用的核装置的成分，自1978年以来，将研究和试验堆从使用高浓铀转换为低浓铀燃料的各种国家和国际活动一直在进行，以最大限度地减少和最终消除民用高浓铀。

## 高浓铀燃料被运回中国

加纳原子能委员会、中国国家原子能机构、美国能源部核军工管理局和国际原子能机构共同承担的为期三年的项目于上周完成。在运行中国供应的微型中子源反应堆（微堆）的五个国家中，加纳成为第一个成功地将其辐照过的高浓铀堆芯转换并返回到中国的国家。

“加纳通过这次开创性的参与证明了在中国境外进行微堆转换的可行性。”加纳原子能委员会项目经理 Kwame I. J. Aboh 说：“我们希望我们的转换和运回模式可以应用于运行这类设施的其他国家的类似业务。”

从高浓铀到低浓铀的转换将浓缩水平从90%以上的铀降低到20%以下，而不影响反应堆的研究能力。因此，加纳原子能委员会在转换后仍然能够保持基于核设施的科研、教育、培训和工业应用。

“确保利用低浓铀堆芯实现微堆运行的可持续性是该项目取

得成功的关键因素。”国际原子能机构核燃料循环和废物技术处处长 Christophe Xerri 说。“这一经验为国际合作提供了一个很好的例子，可以促进核科学和实践培训，同时解决防扩散关切和提供能力建设。”

为了确保未来转换项目的知识转让成功，在GHARR-1 设施建立了一个微堆模拟装置，用于操作员培训。此后，该中心已进一步发展成为一个全尺寸微堆堆芯移除培训中心，可用于对来自其他微堆国家的操作员进行培训。“核军工管理局为全尺寸微堆堆芯移除培训中心概念提供了有力支持。”美国核军工管理局国防核不扩散代理副局长 Dave Huizenga 说。“这有助于充分利用加纳试点项目的经验，为未来面临类似挑战的微堆操作员提供全尺寸培训机会。”

2017年夏季召开了两次会议，以汲取项目实施过程中的经验教训——这可能有利于将其他反应堆转换为低浓铀燃料。中国国家原子能机构副司长申立新表示：“这些会议的成果将优化加纳模式，并支持今后的类似行动。”

## 中国设计的微堆

微型研究反应堆是由中国原子能科学研究院设计和制造的，原设计堆芯紧凑、功率为30千瓦（热），含有约1千克90%高浓铀。

中国设计的九个微堆设施中有四个在中国——其中一个已经转换为低浓铀燃料，在加纳、伊朗、尼日利亚、巴基斯坦和叙利

亚各一个。它们主要用于教育和培训目的。

在中国政府的承诺下，中国国家原子能机构首先承担了在中国原型微堆转换的责任，然后与加纳原子能委员会共同完成了GHARR-1 的堆芯转换并回收了高浓铀。

## 国际原子能机构的援助

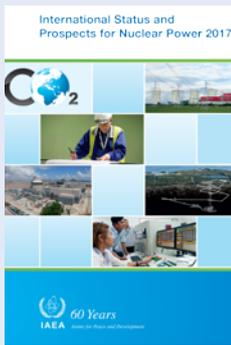
原子能机构于2006年开始与微堆界合作，开展了一个协调研究项目，以确定将微堆转换为低浓铀燃料的技术可行性。

2014年，加纳要求协助确保该国 GHARR-1 设施转换为低浓铀堆芯，原子能机构研究反应堆科为转换和移除工作提供了支持，以安全为重点对 GHARR-1 研究堆进行了审查访问，为监管人员提供了容器许可证审批方面的培训，并举办了运输安保讲习班。

尼日利亚和叙利亚也要求原子能机构协助转换和移除高浓铀堆芯。尼日利亚项目计划于2018年完成。

在北京，高浓铀燃料刚到，国际原子能机构副总干事兼管理司司长玛丽-爱丽丝·海沃德代表原子能机构参加了当天中国当局组织的高浓铀回收活动。她表示：“国际原子能机构很愿意支持我们的成员国进行加纳微堆转换并将高浓铀燃料返还中国。这个项目是尽量减少在民用设施中使用高浓铀同时确保持续获得核研究和培训能力的广泛努力的一个重要里程碑。”

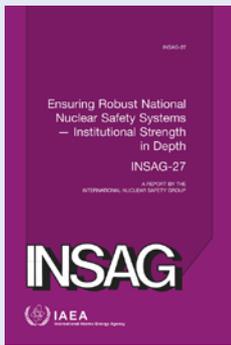
文/Sandor Tozser



## 《2017年核电国际现状与展望》

分析了可能影响核电未来发展的因素，如资金和融资、电力市场和公众接受程度。它指出，如果核电作为低碳能源的潜力得到认可，先进反应堆设计进一步改善其安全性和放射性废物管理，则核电的使用可能会大幅增加。

[https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC61/GC61InfDocuments/English/gc61inf-8\\_en.pdf](https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC61/GC61InfDocuments/English/gc61inf-8_en.pdf)

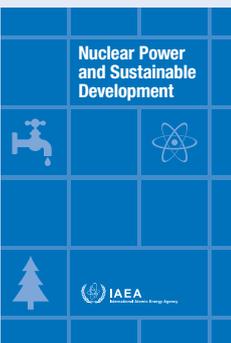


## 《确保完善的国家核安全体系——深入的制度力量》

旨在提供一个类比的理念来引导对确保核安全所必需的制度结构的思考。它谈到三个重要的制度子系统——业界、监管机构和利益相关者——并且描述了在这些系统之间以及在每个子系统内应该培育的接口。该出版物旨在作为继续努力加强核安全的一个基本工具。

《国际核安全咨询组丛书》第27号；ISBN：978-92-0-102317-9；英文版；24欧元；2017年

<http://www-pub.iaea.org/books/iaea-books/11148/National-Nuclear-Safety-Systems>

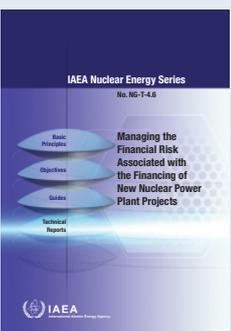


## 《核电与可持续发展》

通过选择大量指标探讨了核能对解决可持续发展问题的可能贡献。它根据可持续发展的经济、社会和环境支柱，评述了核电相比于其他电力供应来源的特点。本出版物中概述的结论将有助于读者考虑或重新考虑核电厂的开发和运营对促进更加可持续发展的能源系统的贡献。

非丛书类出版物；ISBN：978-92-0-107016-6；英文版；45欧元；2016年

<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/11084/Sustainable-Development>



## 《管理与新建核电厂项目融资有关的财务风险》

强调了各种风险（包括通常被认为是“工程风险”的风险）将如何引发财务风险，然后介绍了高效的财务风险分配和减缓与资本成本之间的联系，提出了一系列可用于有效管理和分配风险从而最大限度地降低资金成本和提高项目经济效益的机制。在实践层面，该出版物深入分析了一个核电新建项目推动者在试图发展其项目中预期在融资界可能遇到的问题、思考方式和语言。

国际原子能机构《核能丛书》第NG-T-4.6号；ISBN：978-92-0-100317-1；英文版；32欧元；2017年

<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/11140/Financial-Risk>

国际原子能机构是核领域的一个主要出版商。其出版的9000多种科技出版物包括国际安全标准、技术导则、会议文集和科学报告。它们的内容涵盖了原子能机构工作的广度，重点是核电、放射治疗、核安全和核安保、核法律等。

**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

地址：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](mailto:sales.publications@iaea.org)

纪念国际原子能机构成立60周年影片

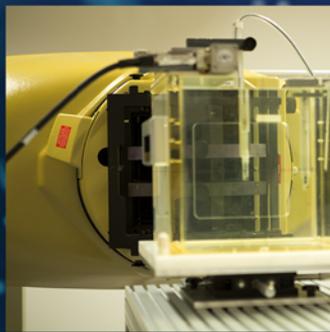
这  
就是

# 国际原子能机构

关于国际原子能机构工作的另外8部影片



核安保



核安全



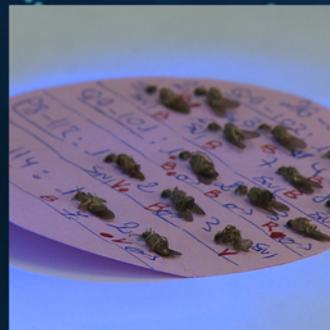
能源



健康



植物育种



虫害控制



水



海洋保护



**IAEA**

国际原子能机构  
原子用于和平

索取国际原子能机构影片拷贝，请联系：  
[MULTIMEDIA@IAEA.ORG](mailto:MULTIMEDIA@IAEA.ORG)

ISSN 1011-257X 17-36265

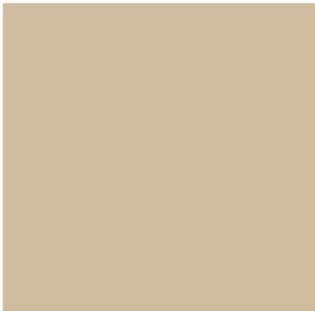
部长级国际大会

# 面向21世纪核能

2017年10月30日至11月1日，阿拉伯联合酋长国阿布扎比



## 21世纪核能



60年

IAEA 原子用于和平与发展