IAEA BULLETIN
国际原子能机构通报
国际原子能机构旗舰出版物 | 2024年10月 | www.iaea.org/bulletin

净零需要核能

净零之路从这里开始
一比利时首相亚历山大·德克罗访谈录，第4页

能源转型与工业脱碳，第10页

国际原子能机构“原子促进净零排放”倡议助力各国利用核能实现净零排放，第16页

《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：iaeabulletin@iaea.org

编　　辑：Kirstie Gregorich Hansen

执行编辑：Patricia Puhm

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：AdobeStock

请关注我们

IAEA | Atoms for Peace and Development

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风险。

原子能机构安全标准提供确保核安全的基本安全原则、要求和建议，并反映国际社会就构成保护人和环境免受电离辐射有害影响所需的高度安全达成的协商一致。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。外地办事处和联络处设在日内瓦、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。

是时候了
核能助力净零未来

文/国际原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西

气候变化的影响日益明显。干旱、洪水和野火等现象都在提醒我们，必须迅速而大规模地采取行动。

全球在实现能源、工业和交通领域的脱碳努力正在取得进展，特别是在认识到核能的关键作用方面。

在去年迪拜举行的《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议（COP28）上，核能首次被纳入“全球盘点”，这无疑具有里程碑意义。自1995年首届气候峰会以来，这是《联合国气候变化框架公约》的198个签署国首次正式呼吁加快核能的部署。此外，超过20个国家承诺努力实现将全球核能发电能力提高两倍的目标，以支持到2050年实现净零排放。

2024年3月，原子能机构和比利时政府联合举办了世界首次核能峰会，来自30多个国家和欧盟的领导人齐聚布鲁塞尔，重点讨论了加快核能发展的切实步骤，旨在实现能源安全、应对气候变化和促进可持续发展。这次前所未有核能峰会标志着一个转折点，明确了从创造投资条件到确保没有一个国家掉队所需的行动。

在这一势头的推动下，原子能机构连续第四年上调了对核能发电的预测。在高增长情景下，2050年，全球核发电能力预计将是目前的2.5倍，其中四分之一的增长将来自小型模块堆。

在全球范围内，新兴核电国家正在积极发展核电，而已有核电计划的国家正在延长核电厂的运行寿命并建造新的核电厂。需要为高能耗数据中心提供无碳动力的技术公司正在与核电领域的参与者建立合作关系，这包括传统的核电供应商和新兴的小堆公司。

本期《国际原子能机构通报》分析了当前的核电形势，介绍了近期的成功案例，并提出了实现核电发展目标所需的工作。从扩大人才队伍、简化流程到加快反应堆部署，我们未来的路线图已经清晰。为了实现我们的目标，我们必须采取行动，落实我们所表达的全球愿景。世界需要更多的核能，现在是时候兑现我们的承诺了。

“全球在实现能源、工业和交通领域的脱碳努力正在取得进展，特别是在认识到核能的关键作用方面。”

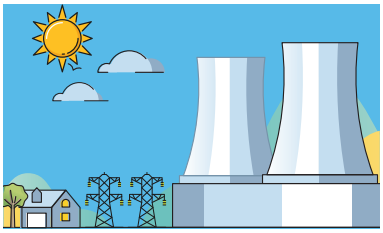
—国际原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西

（图/国际原子能机构）

1 是时候了
核能助力净零未来

4 净零之路从这里开始
比利时首相亚历山大·德克罗访谈录

6 COP29：从迪拜到巴库，再接再厉



8 小堆推进，大堆引领

10 能源转型与工业脱碳

12 数据中心、人工智能和加密货币关注利用先进核能满足用电需求

14 引领核电发展
国际原子能机构“里程碑方案”的通用性

16 国际原子能机构“原子促进净零排放”倡议
助力各国利用核能实现净零排放

18 以标准成就成功
国际原子能机构倡议推动小堆部署

20 为实现净零未来培养核能人才

22 COP28核能宣言对国际原子能机构核查意味着什么

国际原子能机构最新动态

24 新闻
28 出版物

净零之路从这里开始

比利时首相亚历山大·德克罗与国际原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西共同主持了史上首届核能峰会。

核能能够减少化石燃料的消耗，同时满足对低碳可调度电力日益增长的需求，使我们离实现全球净零排放的目标更近，因此越来越受到许多国家的关注。这次峰会将是迄今为止专门讨论核能主题的最高级别会议。

德克罗首相向我们讲述了峰会的意义以及核能在实现净零排放方面的作用。

“核能峰会为所有与会领导人提供一个机会，就核技术在实现我们共同设定的脱碳目标方面必须发挥的作用以及未来几年将发挥的作用交流看法。”

—比利时首相亚历山大·德克罗

问：核能峰会的主要目标是什么？您预计峰会将如何影响与核能和发展技术有关的全球对话和行动？

答：这是首次组织有国家元首参加的全球核能峰会，突显了2024年3月21日在布鲁塞尔举行的这次会议的重要性。峰会为所有与会领导人提供一个机会，就核技术在实现我们共同设定的脱碳目标方面必须发挥的作用以及未来几年将发挥的作用交流看法。这是一个强烈的政治信号，承认了核电对世界上许多国家在实现净零排放道路上的重要作用。

谈论某事是件好事，实施解决方案则更好。因此，我们决定将这些政治层面的讨论与汇集主要行业利益相关者的科学专题讨论会结合起来，使这些利益相关者能够展示其最新的创新成果，并帮助他们建立桥梁和伙伴关系，从而发展未来的项目。

问：您认为核能如何有助于全球向更清洁、更可持续的能源转型，特别是在向净零排放转型的背景下？

答：作为解决方案的一部分。首先，乌克兰战争让我们在欧洲看到，我们不能再依赖他人来满足自己的能源需求。我们需要重新掌控自己，尽可能使我们的能源多样化。欧洲重新意识到能源政策的地缘政治现实。与此同时，我们要实现为自己设定2050年气候目标，就需要加快能源转型。

问：为什么是现在？您认为为什么需要召开峰会？

答：看看在迪拜举行的《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议（COP28）的讨论中核能有多重要吧。我们现在需要从想法和项目转向实施。这才是真正的挑战。我们必须抓住这一势头，创造政治和经济空间，使我们能够从文案演示转向项目运营，无论我们谈论的是小型模块堆还是其他创新解决方案，都将为我们世界各地的行业带来稳定的基荷能源。

问：核能经常遭到公众的质疑。您认为哪些策略对于提高公众对核能应对气候变化的认识和接受至关重要？

答：在某种程度上，这种转变已经发生。几十年来，公众对核能的认识从未像现在如此之高。即使在像我国这样核能将被完全淘汰的国家，也能看到公众舆论的明显转变，支持核能在能源结构中的贡献。在其他国家也可以看到这种趋势。我们必须抓住这一新的支持趋势，建立尽可能高的透明度和公众信任。我们不能低估核能的贡献，但也不要夸大宣传。对于核能如何融入各国整体能源结构，我们追求的目标需要现实，并以透明的方式讨论机遇和挑战。

比利时首相亚历山大·德克罗与国际原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西在迪拜举行的《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议上宣布召开全球首届核能峰会。（图/国际原子能机构D. Calma）

问：您认为在全球范围内广泛采用核能会面临哪些挑战和机遇，如何应对这些挑战？

答：对我来说，重要的是谈谈机遇，因为机遇是巨大的。气候变化是千年来最大的挑战。但我们可以将其转化为积极的成果，创造就业机会，提高我们社会的质量和韧性，并为创新和我们的行业提供一个真正的未来。我们面临的挑战是，通过汇集公民、政治家、我们的行业和所有利益相关方的期望，凝聚我们的努力，携手实施这一涉及核能的应对措施。我们的目标是使峰会成为真正的全球峰会，让世界各地的合作伙伴参与进来。气候变化不会止步于国界，仅在世界的某一地区逐步淘汰化石燃料是不够的。我们需要在全球范围内采取集体应对措施，同时考虑各大洲和各国之间的差异。举行首届核能峰会是一次成功，当然也不会是最后一次。

问：您认为核能如何加强国家和全球的能源安全和促进经济发展？

答：看看我们在比利时所能做的。我们对长达20年的政策进行了调整，并重新审视了我们逐步淘汰核能的立场。在我们这样做的时候，我们对可再生能源的投资还从未如此之大。比利时的目标是到2040年，将北海的海上风能产量翻两番，达到8千兆瓦，并通过建设世界上第一个能源岛，将我们的海上基础设施与北海其他国家连接起来。到2040年，这将满足比利时50%家庭的用电需求。对于一个海岸线只有60多公里的国家来说，这已经不错了！但这还需要其他低碳能源的补充，比如核能的补充。除了保持多伊尔4号机组和蒂昂日3号机组的长期运行，我们还决定在位于莫尔的比利时核能研究中心（SCK-CEN）进行核能创新投资。比利时的目标是参与核设施拆除、放射性同位素的医疗应用以及第四代小型模块堆开发等方面的创新研究。

问：鉴于小型模块堆、大型反应堆和聚变技术等核技术的进步，您认为这些创新将如何塑造核能的未来并促进更可持续的能源格局？

答：创新是任何行业未来发展的关键。向净零排放未来转型，需要对我们的能源系统彻底改革。我们的社会将继续需要重要的基荷能源，在这方面，核能将继续在许多国家发挥关键作用。但是，要想取得成功，我们还需要更灵活、更智能的能源系统。我们未来的能源系统需要有韧性、供应安全、碳中和以及尽可能低的运营成本。核领域的大部分创新都是为了应对这些挑战。这表明该行业已步入正轨。

COP29：从迪拜到巴库，再接再厉

文/Matt Fisher

在核电取得显著进展的一年之后，利用这一清洁可靠的技术来应对全球最紧迫的气候和能源挑战的国际动力，已经从迪拜举行的《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议（COP28）转向即将在阿塞拜疆巴库举行的《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第29届会议（COP29）。

COP28对核能而言是一个具有里程碑意义的事件。在过去近三十年中，核能在联合国气候变化大会年度会议上一直被边缘化，直到去年在迪拜才获得认可。COP28传递出一个明确的信息：扩大核电规模必须成为全球努力实现净零排放的核心组成部分。

2024年3月，原子能机构和比利时政府在布鲁塞尔举行了首届核能峰会，来自30多个国家和欧盟的领导人强调了核能在促进能源安全、气候目标和可持续发展方面的重要性。

随着各国规划如何实现核能潜力，COP29为核能提供了另一个备受关注的机会。在各国领导人即将齐聚巴库之际，本期《国际原子能机构通报》突出强调了核能在清洁能源转型中日益突出的作用。

“COP28传递出一个明确的信息：扩大核电规模必须成为全球努力实现净零排放的核心组成部分。”

使核能解决方案多样化

为了在2050年前将核电装机容量增加两倍，世界需要利用所有可用的解决方案。目前在建的约60座反应堆

几乎都是大型压水堆。虽然这些技术将成为扩建的主体，但小型模块堆和微型反应堆等新兴技术，包括使用创新燃料和冷却剂的新型设计，也将发挥重要作用。

核能用途广泛，除了为世界各地的电网提供基荷电力外，还可用于快速脱碳和减轻工业部门的影响，工业部门的温室气体排放量几乎占全球排放量的40%。

未来几年，数据中心和人工智能行业的电力需求将激增，因此，谷歌、微软等公司正积极将先进核技术作为清洁、可靠和灵活的电力来源，以满足日益增长的能源需求。这可能会为先进核能的商业市场部署开辟一条全新的道路，在这些市场上，先进核能技术因首堆的融资问题而难以脱颖而出。

重大里程碑近在咫尺

随着越来越多的国家希望将原子能纳入能源结构，为解决小型模块堆的具体考虑，原子能机构最近更新了“里程碑方案”，为发展安全、可靠和可持续的核电计划必需的基础结构提供了一个合理过程。随着发展中国家对核能的需求持续增长，新兴核电国家可以从原子能机构的指导中受益。

各国在规划实现净零排放的独特路径方面需要支持。能源情景建模通常是起点，它以数据为驱动，全面描绘未来的挑战和机遇。原子能机构“原子促进净零排放”倡议为决策者提供所需的数据，使他们能够做出明智、科学的决策，以充分利用核能的潜力，包括核能的非电力应用，并实现国家经济脱碳。

推动进展

为了优化扩建计划，需要采用新的方法，按时、按预算实施新建项目。原子能机构的“核协调和标准化倡议”正在帮助各国制定协调一致的监管办法和工业标准化，以促进小型模块堆和其他先进反应堆的安全可靠部署。

现在比以往任何时候都更需要一支技术娴熟、多样化的人才队伍来应对当前的挑战，并确保核能的长期可持续性。原子能机构通过核能管理短训班、原子能机构玛丽·斯克洛多夫斯卡-居里进修计划、莉泽·迈特纳计划以及其他各种培训、讲习班和同行评审服务等举措，在这些领域为各国提供支持。

原子能机构必须核查核材料的和平利用。核电的持续扩张将使核材料的数量和接受原子能机构保障的设施数量稳步增长。通过利用先进技术，与扩大核能生产的国家以及希望在其能源结构中增加核能的“新来者”合作，原子能机构保障部随时准备满足国际社会在世界寻求实现净零排放过程中日益增长的需求。

正如COP28所明确的那样，全球对清洁、可靠核能的需求继续增长。各国可以在COP29上努力确保充分发挥核能作为净零排放未来的关键要素的潜力。

COP29

小堆推进，大堆引领

文/Joanne Liou

将核电规模扩大到实现净零排放所需的水平，是一项重要而多元化的任务。虽然许多类型的反应堆都可能发挥作用，但大型反应堆必将引领这一进程。大型水冷堆是20世纪核工业崛起的核心，目前已规划或在建的先进反应堆，其中许多功率在1000～1700兆瓦，有望成为新建核电的主体。

“对于已拥有在运核电厂的国家而言，推动核电容量增加的是大型轻水堆，而不是小型模块堆。”原子能机构核电司司长Aline des Cloizeaux表示，“大型反应堆是一项成熟的技术，可以经济地提供大量可靠的基荷能源。但我们也确实期待各国和各行业也能利用小型模块堆的潜力。”

必须扩大核能，以实现世界净零排放目标——这是原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西去年12月在《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议（COP28）上发表的一项宣言中发出的明确呼吁。该宣言得到数十个国家的支持。在大会近30年的历史上，核电首次被纳入“全球盘点”，从而确定了其地位。

根据原子能机构预测，高值情况下，到2050年核电容量将增加一倍以上，从2022年的371吉瓦（电）增加到2050年的890吉瓦（电），预计只有约10%的增长来自小型模块堆的部署。实现这一目标，意味着每年至少增加20吉瓦（电）。原子能机构规划和经济研究处处长Henri Paillere说：“高值预测雄心勃勃，但在技术上可行。”

小型反应堆，如小型模块堆和微型反应堆，可能特别适合为工业终端用户和电网较小的偏远社区供电，以及为制氢和海水淡化等非电力应用供电。然而，小型模块堆在更广泛部署之前，还需要示范；在未来几年，大型反应堆将继续主导核电格局。

目前在建的58座核反应堆几乎都是大型反应堆，已运行核电国家的扩建计划和新启动核电国家大多集中在百万千瓦级的反应堆，尽管其中许多国家也在关注小型模块堆的最终部署。波兰是一个新启动核电国家，其目标是在本世纪30年代中期建成核电，计划利用大型核反应堆使装机容量达到6～9吉瓦（电）。中国目前在运反应堆达55座，预计到2060年，主要

根据原子能机构预测，高值情况下，到2050年核电容量将增加一倍以上，从2022年的371吉瓦（电）增加到2050年的890吉瓦（电），预计只有约10%的增长来自小型模块堆的部署。

通过部署大型反应堆，将核电装机容量扩大八倍，达到约400吉瓦。

扩展核电面临的挑战

Paillere认为，扩大核电容量的最大挑战是与财政和人力资源有关的挑战，“需要有机制吸引投资者和私营部门投资新的核电项目，有足够的资金为清洁能源转型提供投资。令投资者对核电持谨慎态度的是风险，例如施工拖延。”

在核电新建项目中断数十年后，因为需要重新学习技能和恢复流程活力，西方国家大型首创核电项目建设经常受到成本超支和施工拖延的困扰。“其中一些国家已20年没有进行过建设。人才队伍需要培训，供应链需要重建。”Paillere说，“增加核电容量意味着增加建设和联网，这就需要有更多的工程师、技术人员、焊工等。人力资源问题不是核电所特有的，而是清洁能源技术面临的共同挑战。”从以往项目中吸取的经验教训，包括项目管理和利益相关方参与方面的经验教训，对于及时完成新建项目至关重要。

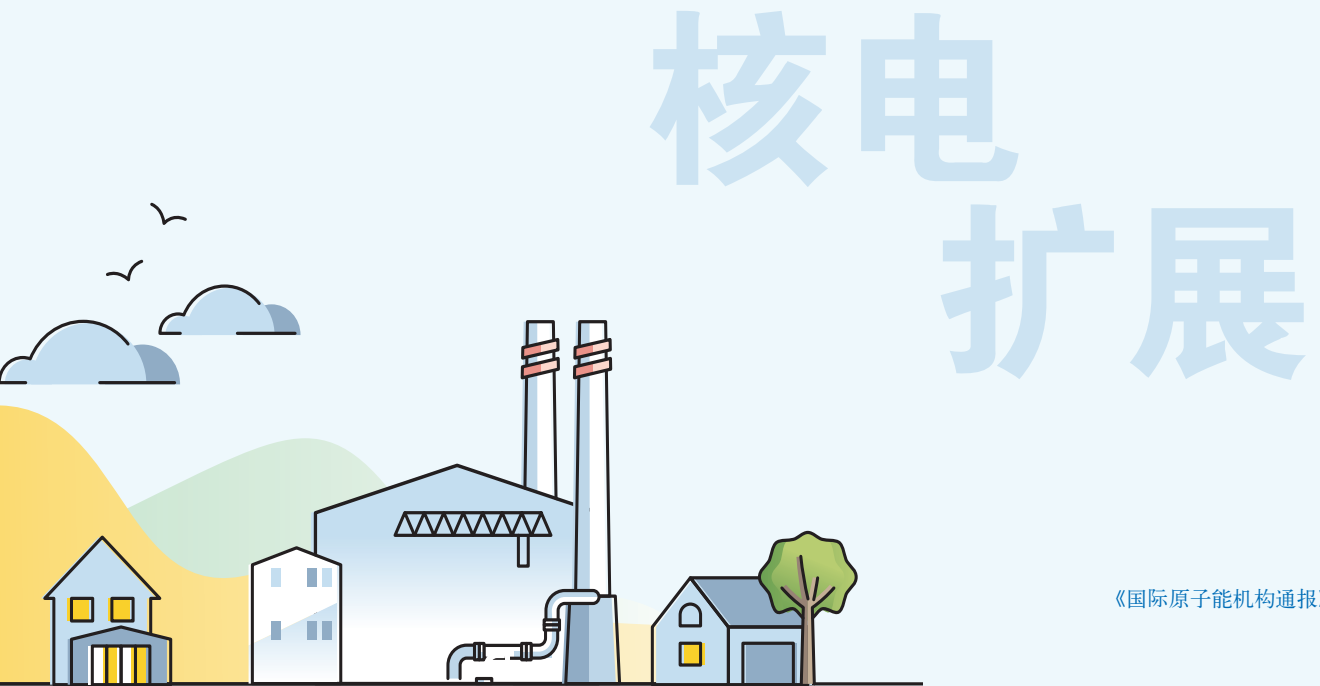
在白俄罗斯、中国、韩国、俄罗斯和阿联酋等一些国家，新建项目——其中大部分涉及先进水冷堆建设——基本按时在预算内完成。des Cloizeaux表示：“先进反应堆的标准化设计加快了许可证审批，降低了基建成本，缩短了工期。”

核电的过去和未来扩展

20世纪70年代，主要在北美和欧洲的推动下，核电扩建蓬勃发展。1970年，核电运行国家有15个，核反应堆总数为90座，总装机容量达到16.5吉瓦（电）。在整个20世纪70年代中，每年都有25～30台新的核电机组开工建设。到1980年，核电运行国家达22个，核反应堆总数为253座，总装机容量达到135吉瓦（电）。到1990年底，全球核电装机容量增加了一倍多，达到326吉瓦（电）。

“核工业和供应链已相当完善，每年能够建造30吉瓦的核电容量。”Paillere说，“情况令人鼓舞，因为当时只有法国、日本和美国等少数几个国家引领这一趋势。如今，中国和俄罗斯已成为核电建设的中坚力量，并建立了扩大核电发展的配套供应链和产业链。”

无论是通过大型反应堆还是小型模块堆，复兴和扩大核能以实现全球目标，都需要政策支持和严格的成本控制。des Cloizeaux表示：“虽然有了实现目标的动力，但需要更多的政治行动。”



能源转型与工业脱碳

文/ Eric Ingersoll 和 Chirayu Batra

为高能耗地球提供丰富的清洁能源是我们希望的未来。要使全球能源系统完全脱碳，并使全球每个公民都能获得与经合组织国家平均水平相当的现代能源服务，需要超过30太瓦（电）的清洁稳定能源。工业和经济如何在脱碳的同时保持增长？2022年，工业部门的能源消耗占全球用量总额的37%，直接排放了90亿吨二氧化碳，占全球能源系统二氧化碳排放量的25%（不包括工业流程用电产生的间接排放）。尽管做出了脱碳承诺，但主要工业国家的工业过程排放量一直在稳步增加。

2022年，工业部门的能源消耗占全球用量总额的37%，直接排放了90亿吨二氧化碳，占全球能源系统二氧化碳排放量的25%

应对能源转型中的工业用热和用电需求

能源转型的一个主要趋势是推动全面电气化，甚至在工业活动中也是如此。然而，这种“全面电气化”战略带来了巨大挑战，尤其是在满足工业用热和用电需求方面。这些需求与并网发电的纯电力资源的需求不同，因为它们与表后热电联产系统的负荷曲线一致。首先面临的挑战是同时使用热能和电力，其次是在此过程中需要有强大的可靠性、可用性和安全性。其他一些问题，如新输电线路的可用性以及新电气化过程的效率和可靠性，也是进一步的障碍。

根据美国能源部最近的一份报告分析，工业部门的大部分排放来自热能：近60%的排放是热能需求和现场发电的结果。如果考虑到电网的碳强度，工业排放很容易超过总排放量的70%。

《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议（COP28）将核能作为需要加速发展的清洁能源列入议程，这是前所未有的。超过22个国家承诺致力于到2050年将全球核电容量增加两倍。然而，这将新增约9000太瓦时的能源，相当于2022年钢铁行业的总能耗。化学品、石化、水泥和造纸/纸浆等能源密集型行业要实现完全脱碳，需要增加更多的清洁热能和电力。

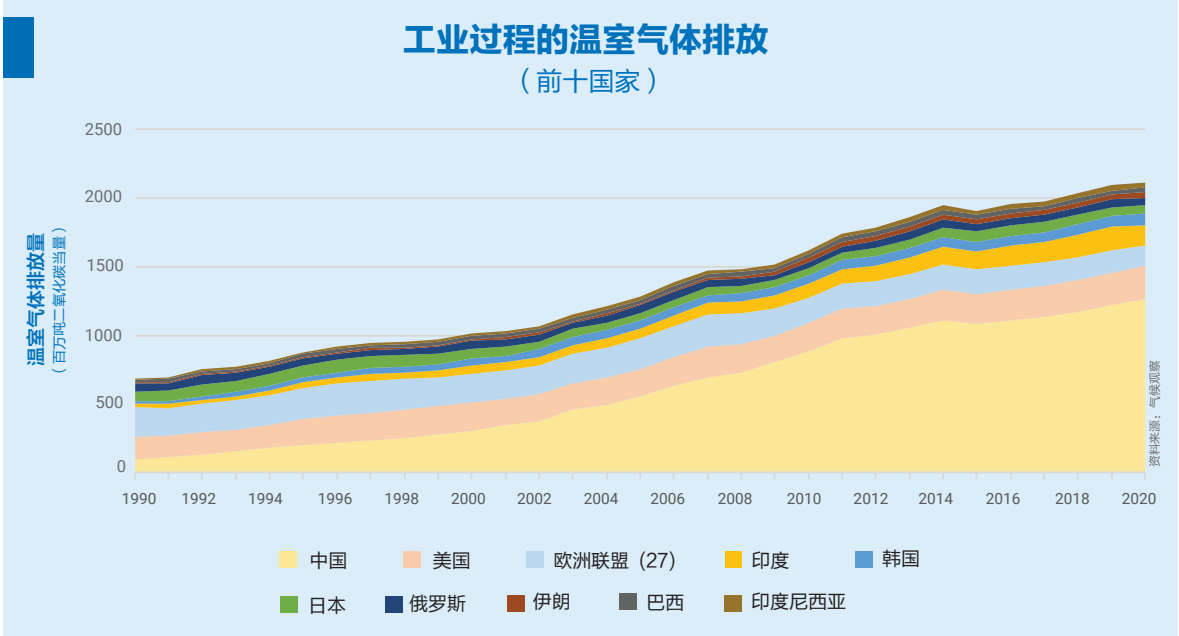
使用间歇性能源需要大规模扩大电网，这会影响电网的稳定性，并导致系统和固定成本增加。这些因素与工业的能源需求不符，并可能严重限制工业增长。然而，分散式核能来源，例如在工业基地或工业集群建设小型模块堆或微型反应堆，可以提供足够的热能和电力来满足要求。陶氏化学等公司已经在寻求测试这种模式，计划在其美国的一个生产基地建设小型高温气冷堆，以便用清洁的热能和电力取代天然气，实现生产脱碳。

可持续能源未来

化工行业为塑料、化肥和药品等大量产品提供了重要材料来源。其排放主要来自热源（约占40%）、电力消耗（约占29%）和直接过程排放（约占24%）。此外，80%的运行排放来自现场点源。采用现场核电可为这些重要的化工流程提供清洁的热能和电力。

另一个不断增长的行业是数据中心，它正在增加全球电力需求。亚马逊、微软、谷歌和 Meta 的总用电量在2017年至2021年间翻了一番多。预计

脱碳

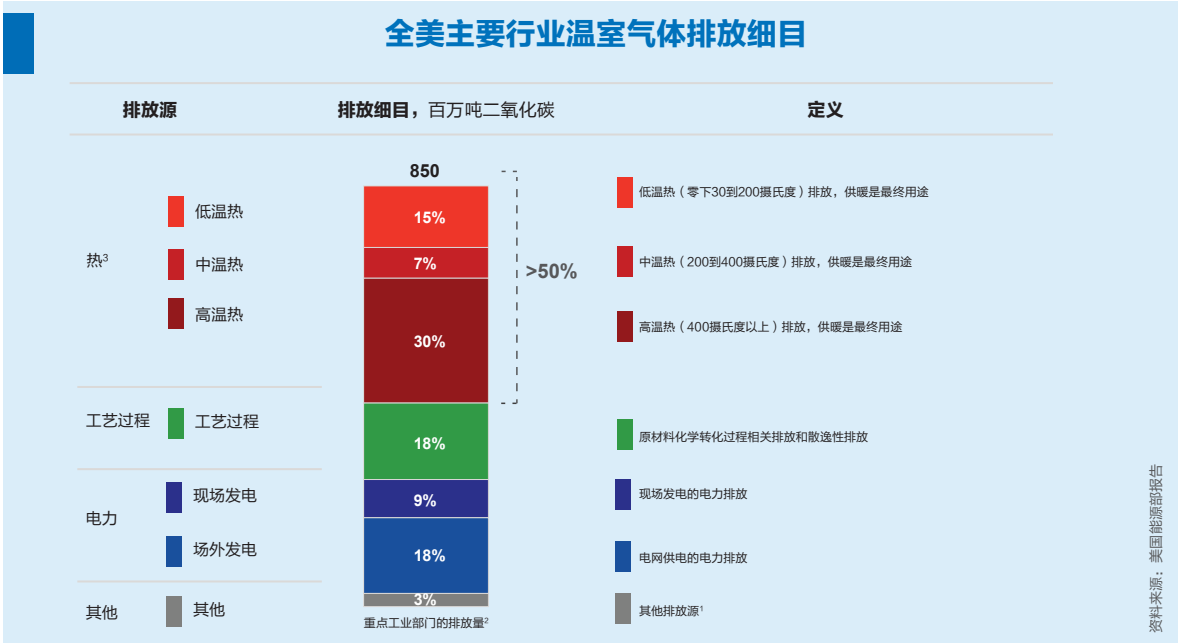


到2026年，数据中心的用电量将超过1000太瓦时，而且随着人工智能的兴起，用电量还将进一步增加。因此，几家大型科技公司正在将小型模块堆等先进核能资源作为未来清洁能源选择。

小型模块堆可以通过一种部署模式来满足工业需求，这种模式不是基于大型定制项目，而是基于使用预先确定的设计、供应链和交付流程的工厂制造产品。这种方法将降低成本、提高效率，并确保施工进度可预测。它将提供一种商业风险低、成本效益高、可复制和规模建设的解决方案，符合行业目标，并有助于实现全球脱碳目标。

仅靠传统核电厂无法实现工业脱碳。我们需要新的交付模式，以适应企业目前所采用的快速、可预测的资产部署流程。

设计、许可和交付清洁能源技术的全新方法，加上新数字工具的充分利用，能够使先进核能技术为可持续、公平和有韧性的能源未来提供解决方案。



数据中心、人工智能和加密货币关注利用先进核能满足用电需求

文/Jeffrey Donovan

随着数据中心、人工智能和加密货币未来用电量将不断增长，大型科技公司正积极寻求先进的核能技术，如小型模块堆，以提供清洁、可靠和灵活的电力。这可能为小型模块堆和其他先进反应堆在尚未兴起的市场实现商业化开辟一条新道路。

数据中心（存放存储数字信息所需的服务器和计算设备）、人工智能和加密货币正在推动多个地区的电力需求增长。根据国际能源机构的数据，2022年，它们合计占全球用电量的2%，到2026年，这一数字可能会翻一番。从2017年到2021年，仅亚马逊、微软、谷歌和Meta四家公司的用电量总和就增加了一倍多，达到约72太瓦时。

在寻求满足其日益增长的电力需求的同时，大型科技公司也希望实现运营脱碳，要么是因为立法要求如此，要么是为了实现自身的可持续发展目标。为了实现这一目标，他们不仅在寻求太阳能、风能等可变可再生能源，还在寻求小型模块堆等先进核能技术。在寻求全天候采用清洁电力和热能的其他行业，如石化行业，也可以看到类似的趋势。

“在一些地区，先进核能部署很可能会以科技行业的主要企业为最终用户。”原子能机构核电司司长Aline des Cloizeaux表示，“小型模块堆和其他先进核反应堆非常适合在这些公司中发挥关键作用，为他们提供业务运营所需的灵活可靠的低碳能源。”

根据国际能源机构的数据，2022年，数据中心的用电量约为460太瓦时。到2026年，其用电量可能会上升至1000太瓦时以上，超过去年全球核电厂总发电量的三分之一，大致相当于日本的用电量。

2022年，数据中心的用电量约为460太瓦时。

到2026年，其用电量可能会上升至1000太瓦时以上，超过去年全球核电厂总发电量的三分之一，大致相当于日本的用电量。

在中国，预计到2030年，数据中心的电力需求将比2020年翻一番，达到 400太瓦时。在美国东北部，预计数据中心将越来越多地拉动电力需求。欧洲的数据中心市场也在迅速发展。例如，2022年爱尔兰数据中心的电力需求为5.3太瓦时，相当于该国用电总量的17%。国际能源机构表示，“按照这一速度，到 2026年，爱尔兰的数据中心的用电量可能会翻一番，而且随着人工智能应用快速渗透市场，我们预测数据中心的用电量在2026年将达到该国电力需求总量的 32%。”

为了寻找满足这些新兴能源需求的解决方案，谷歌和微软最近都发布了研究先进核能以及其他清洁电力能源如何支撑其业务和可持续发展目标的报告。谷歌全球能源与气候部门高级经理Devon Swezey表示：“我们知道，风能、太阳能和电池对于我们实现能源消耗脱碳至关重要。但我们也需要稳定、可调度、无碳的电力技术，以经济高效地实现我们的电力消费脱碳。”

随着数据中心、人工智能和加密货币寻求清洁可靠的基荷电力能源，以运行业务和实现脱碳目标，先进核能技术供应商正在关注这一点。美国微型反应堆供应商Last Energy公司创始人兼首席执行官Bret Kugelmass说：“核能显然是解决这两个问题的最佳方案，因此问题在于如何最有效地提供核能。”

科技公司等电力终端用户需要先进核能所能提供的清洁可靠的电力。与此同时，他们还可以帮助克服阻碍这些技术进入市场的部署障碍。

微软在其最近关于使用先进核裂变和核聚变作为脱碳工具的政策简报中，列举了自身及其他利益相关方为解决这些障碍而倡导的一些领域，其中包括：加快研发、促成新技术测试并与其他低碳能源整合建模计划、推进安全和具有成本效益的部署监管方案，以及在新能源技术和电网管理中利用包括人工智能在内的数字技术的功能。

谷歌也认为自己可以发挥类似的作用：“企业买家可以帮助减少包括先进核能在内的这些技术商业化的障碍，”Swezey强调，“我们希望与其他清洁能源买家合作，在未来几十年内推广这些技术，实现全天候清洁电力供应，这不仅是为了谷歌，也是为了所有人。”

由于新建核电项目通常基建成本较高、建设周期较长，因此在全球多个市场上，新建核电项目的融资仍是一项挑战。相比之下，小型模块堆和微型反应堆规模较小、可在工厂制造，预计所需的前期成本较低，建造周期较短。与科技行业的公司一样，陶氏化学公司等其他行业的公司也在寻求部署小型模块堆，以便不仅利用脱碳电力，而且利用高温热能为其运营提供动力。

Kugelmass认为，这样做的结果可能会为核电部署开辟一条新的道路：“以较小规模（事实上是微型规模）和模块化的方式包装核电，是使私营企业负担得起核电的关键。至关重要的是，这也是利用纯私人资本开发项目的关键。如果我们能创建一种完全依靠私人资金的核能模式，我们就能更高效地开发项目，实现核能的规模效益。”

先进核能

引领核电发展

国际原子能机构“里程碑方案”的通用性

文/Wolfgang Picot

核电之路是一项复杂的事业，而原子能机构的“里程碑方案”已成为各国踏上这条错综复杂道路的重要框架。对于其中许多国家，无论是加纳和爱沙尼亚这类新启动核电国家，还是希望扩大核电发展或制定核电发展战略规划的成熟核电国家，结构完善的“里程碑方案”已证明具有很好的通用性，且不可或缺。

原子能机构的“里程碑方案”是一种分阶段的综合方法，旨在协助各国发展核电计划。该方法具有重要作用，为各国从考虑核电早期阶段到运行阶段这一跨越10至15年的发展历程提供了路线图。

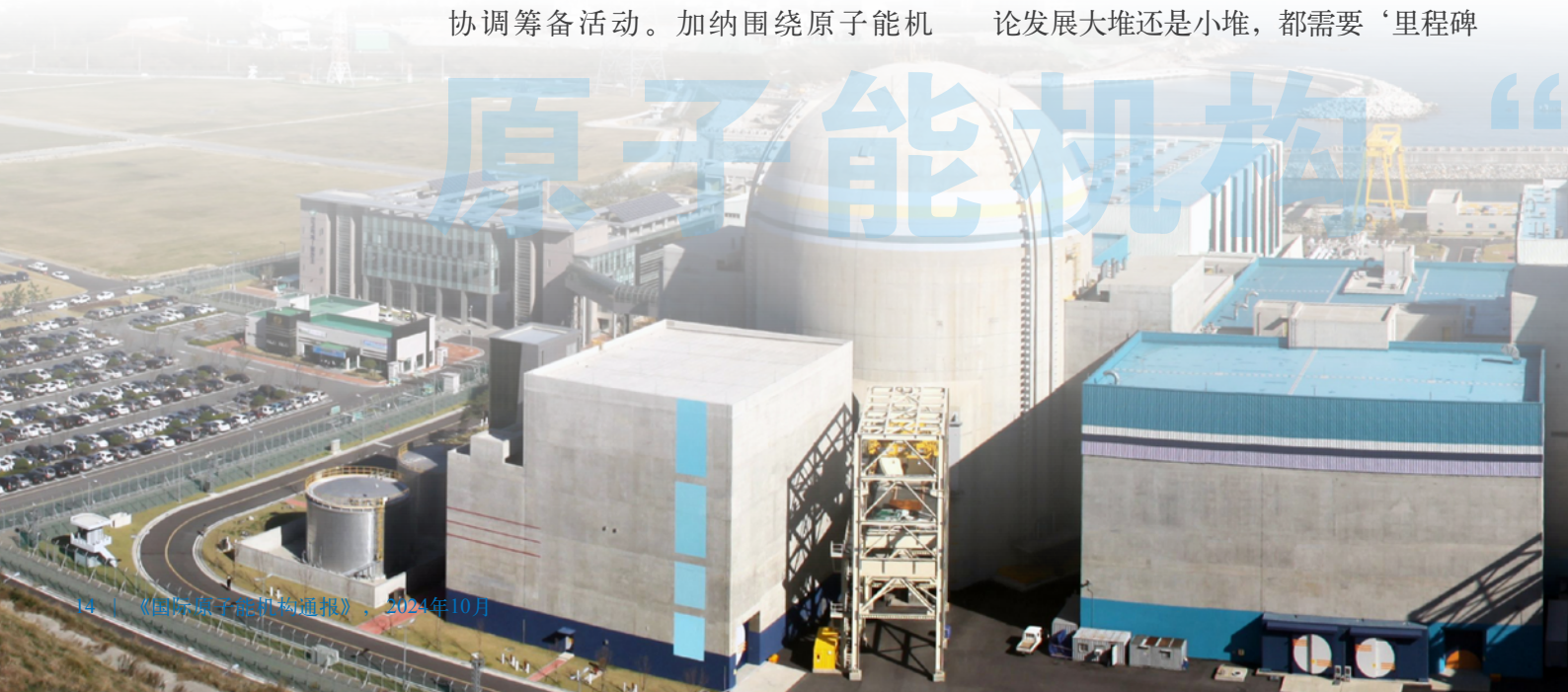
加纳原子能委员会Seth Kofi Debrah对“里程碑方案”的重要性发表了自己的见解：“‘里程碑方案’为如何做好准备提供了一个非常高层次的路线图和指导。对于新启动核电国家来说，开发如此重大的基础设施项目充满挑战。‘里程碑方案’为开发项目提供了一个全面的正式架构。”

加纳是准备采用核电的国家之一，它成立了加纳核电计划组织负责协调筹备活动。加纳围绕原子能机构“里程碑方案”的三个阶段构建了15年期路线图，其中设想到2030年向国家电网增加700～1000兆瓦电办装机容量。

爱沙尼亚也将核电视为一种可靠的低碳选择。爱沙尼亚核能工作组协调员Reelika Runnel强调了“里程碑方案”如何为他们提供了一个起点，“它概述了发展核电计划需要开展的工作，涵盖与核电有关的所有主题。它使政治决策者确信，能够根据原子能机构的经验以及许多成员国的经验做出决定”。

随着能源格局的演变，传统的大型核电项目在一定程度上被小型模块堆取代。爱沙尼亚认识到这一转变，考虑到在其相对较小的电网中容纳大型反应堆的局限性，正在探索小型模块堆。Runnel指出：“‘里程碑方案’也完全适用于小型模块堆。尽管小型模块堆的概念不同于传统反应堆，但同样的一套法规也适用。”

Seth Kofi Debrah对此表示赞同，强调无论规模大小，“里程碑方案”仍然是一个至关重要的工具。他说：“无论发展大堆还是小堆，都需要‘里程碑



方案’作为指导。像大型反应堆一样，政府需要做出决策并制定必要的法律法规，需要一个营运者为反应堆提供融资和运行。显然，‘里程碑方案’仍然是启动核电国家的有用工具。”

小型模块堆也属于核设施，就此而言，“里程碑方案”的19个基础结构问题普遍适用。不过，“里程碑方案”指导出版物——《国家核电基础结构发展中的里程碑》新修订版，涉及小型模块堆部署时可酌情以不同的方式实施或考虑的基础结构方面。该出版物在一个单独附件中列出了小型模块堆的具体基础结构考虑因素。

小型模块堆与大型反应堆的不同之处还在于，传统上反应堆是在同一个国家建造和运行的，但小型模块堆由于采用模块化建造方法，因而可以在一个国家建造，之后运输到另一个国家组装和运行。这意味着，可能需要将适用的要求纳入利益相关方相互达成并认可的更加国际化的系统中。就此而言，“里程碑方案”可与原子能机构的“核协调和标准化倡议”协同配合。

“里程碑方案”最初是为启动核电计划的国家设计的，事实证明，它同样适用于希望优化或战略性规划核电发展能力的成熟核电国家。原子能机构核电司司长Aline des Cloizeaux指出了该方案在评价核电基础结构方面的作用，“我们注意到，目前欧洲有几个国家打算重新启动核电项目或扩大现有核电项目。‘里程碑方案’有助于评价其现有核电基础结构。”

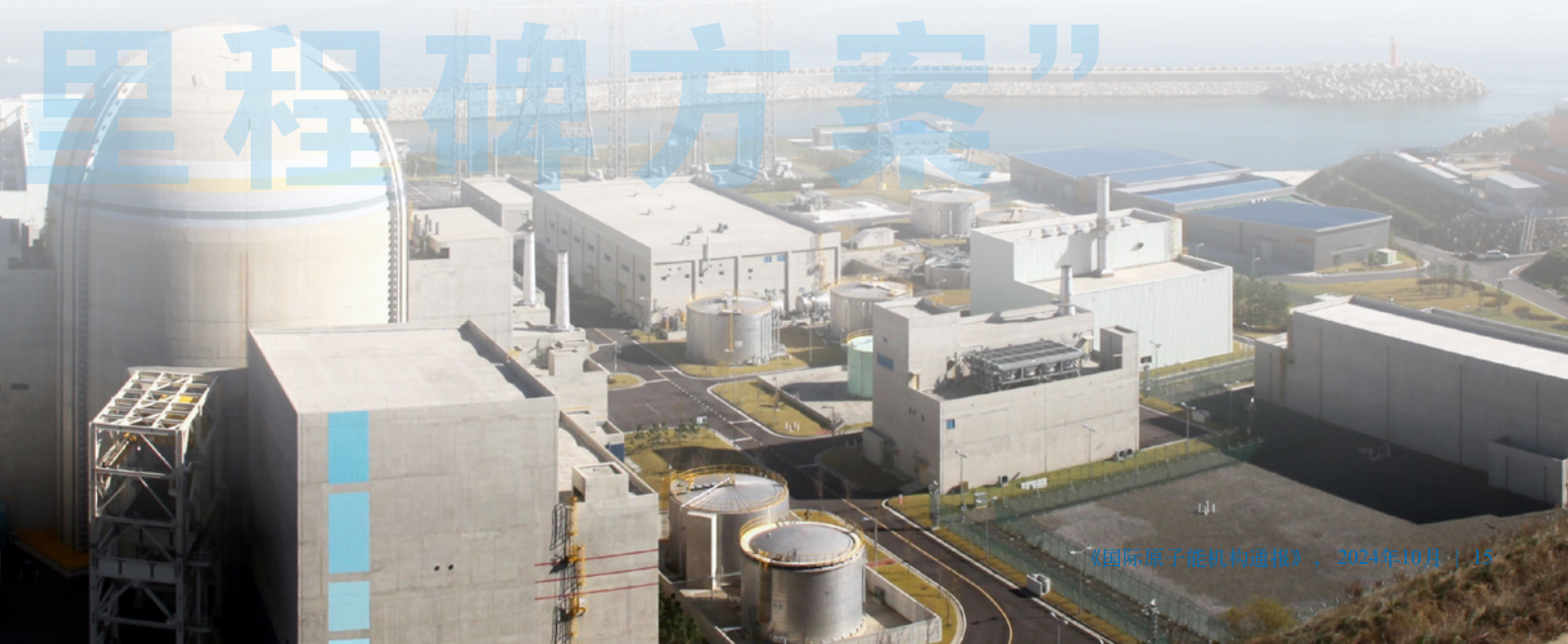
即使是有核电运行经验的国家，在建设新反应堆时，也应重新评估其现有基础结构在第二阶段结束时的成熟度，以了解与原子能机构建议的水平相比是否存在差距，然后再开始建设。一旦发现差距，原子能机构就可以在供应链、能源网、人力资源和更广泛的基础结构的其他方面为扩大核电的国家提供支持。

原子能机构的年度核电展望预计，到2050年，核电装机容量将大幅增加到890吉瓦，这突显了核电对实现净零排放的潜在贡献。这使得“里程碑方案”的适应性和通用性变得更加重要。核电装机容量的增长趋势将进一步加强：2023年12月2日，来自四大洲22个国家的领导人齐聚一堂，发表了一项宣言，旨在到2050年将全球核电装机容量提高到目前的三倍。约30个国家参加了2024年3月在布鲁塞尔举行的首届核能峰会。该峰会由原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西和比利时首相亚历山大·德克罗共同主持，强调了核电发展的新势头。

“里程碑方案”的适应性和通用性意味着，它将继续在构建核能未来及其对应对减少化石燃料消耗和加强能源安全等全球挑战的重要贡献方面发挥重要作用。

“对于新启动核电国家来说，开发如此重大的基础设施项目充满挑战。‘里程碑方案’为开发项目提供了一个全面的正式架构。”

—加纳原子能委员会Seth Kofi Debrah



国际原子能机构“原子促进净零排放”倡议助力各国利用核能实现净零排放

文/Jeffrey Donovan

实现净零排放需要做出一系列复杂的选择。决策者必须根据可用资源、能源技术（包括仍在开发中的技术）和成本来规划能源路线。原子能机构的“原子促进净零排放”（Atoms4NetZero）倡议通过利用先进能源情景建模，帮助各国就充分发挥核能潜力（包括发电以外的其他应用）做出科学决策，为实现温室气体净零排放转型做好准备。

“一国想要实现净零排放目标，首先要评估其现有的能源基础结构，包括发电来源、输电网络和消费模式。”原子能机构规划和经济研究处处长Henri Paillere表示，“通过分析过去和现在的数据，以及模拟未来的能源需求，决策者可以确定需要改进的领域，并确定投资的优先次序，以建立清洁和有韧性的能源系统。”

越来越多的国家有兴趣引进核电，或正在启动核电建设。在迪拜举行的《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议（COP28）上，20多个国家承诺努力将核电装机容量提高两倍，以实现净零排放。目前，17个国家约有60座核反应堆正在建设中，总装机容量约为60吉瓦，其中三分之一以上位于中国，中国反应堆建造规模居世界首位。国际能源机构表示，到2050年，全球核电装机容量必须增加一倍以上，才能实现净零排放，这一水平与国际能源机构对2050年核电发展年度预测的高值情景一致。

然而，实现净零排放需要的不仅仅是清洁电力，还需要通过低碳热能和氢等能源载体，实现石化、钢铁、水泥制造和运输等难以消减的行业脱碳，这些行业加在一起造成了近60%的温室气体排放。

“原子促进净零排放”倡议利用原子能机构的分析工具，如“能源供

应战略替代方案及其一般环境影响模型”（MESSAGE），对核能的潜力进行评估，从而制定实现净零排放目标的可靠方案，MESSAGE模型将技术和燃料结合起来，构建“能源链”，从而能够绘制从供应端（资源开采）到需求端（能源服务）的能源流程图。使用的其他建模工具包括“能源需求分析模型”和“能源系统建模框架”，前者用于确定实现净零排放所需的结构变化，后者用于评估和量化包括核能在内的清洁能源技术在能源系统规划和运行中的作用和价值。

在能源情景建模方法上，“原子促进净零排放”与当前的全球做法截然不同。“到目前为止，核能在政府和投资者用于规划向净零转型的能源情景研究中的作用还相当有限。”原子能机构“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”处处长Carolynn Scherer表示，“该倡议旨在通过更全面地展示核能的潜力来填补这一空白。核能在减缓气候变化的成因、抵御气候变化的后果以及加强能源安全和可持续发展方面有着良好的记录。”

当然，在向清洁能源系统转型的过程中，风能、太阳能等可变可再生能源将发挥核心作用。在这方面，“原子促进净零排放”能源建模也能提供关键服务，通过评估资源可用性和评估对电网稳定性的影响，帮助决策者优化可再生能源与能源结构的整合。Paillere强调，“通过将核能与可再生能源相结合，各国可以构建更加可靠、更具韧性和更加可持续的能源系统。”

“在‘原子促进净零排放’框架内考虑的能源建模方案非常重要，因为尤其是在非洲，我们正面临着严重的能源短缺，我们的决策者正在研究不同的方案。”非洲核能委员会执行秘书Enobot Agboraw表示，“他们在研究核能，也在研究可再生能源，因此，让他们适当了解情况，以便能够做出最好的决定，这非常重要。能源建模提供了以科学为依据的证据，使他们能够做出不是道听途说或感情用事的决定，而是能够使我们解决气候变化和能源短缺问题的可靠决定。”

“原子促进净零排放”倡议建立在原子能机构与各国在技术中立能源规划方面的良好合作的基础上，这是一种根据各种能源的特性公正地评价和选择能源的方法。原子能机构通过其技术合作计划，利用MESSAGE模型和系统规划测试模型等建模工具，支持各国的能源规划工作。自2021年以来，原子能机构一直与国际可再生能源机构合作，协助非洲联盟制定称为“大陆电力系统总体规划”的能源基础结构发展战略。这将使非洲能够比较不同的能源方案，并汇集资源投资于可持续能源，以解决非洲大陆日益严峻的能源挑战。

“原子促进净零排放”还将进行技术经济分析和研究，例如对一个国家或地区的低碳能源进行比较分析，可能的话，与国家、最终用户、研究机构、业界、金融机构和其他国际组织和机构等利益相关方合作。该倡议还涉及一些其他活动领域，以帮助各国实现清洁能源转型。其中包括咨询服务、能力建设讲习班和培训、外联和利益相关方参与。

“原子促进净零排放”倡议目前正在与爱沙尼亚的研究人员合作，将严格的碳约束纳入该国的MESSAGE模型，以实现到2050年电力和热能生产的净零排放。爱沙尼亚的大部分电力来自化石燃料，目前正在考虑引入核电，特别是小型模块堆。

IAEA

ATOMS 4 NET ZERO

助力各国做出基于科学的决定，以充分发挥核能潜力。

扫描了解更多信息

以标准成就成功

国际原子能机构倡议推动小堆部署

文/Matt Fisher、Pekka Pyy 和 Brett Rini

IAEA
NUCLEAR
HARMONIZATION
STANDARDIZATION
INITIATIVE

旨在通过协调一致的监管方案和工业标准化，促进小型模块堆及其他先进反应堆的安全可靠部署。

扫描了解更多信息

随着国际社会致力实现2015年《巴黎协定》设定的宏伟目标，人们越来越明确地认识到，核能在能源部门和工业部门的脱碳中可发挥重要作用。然而，为了大规模扩大核电的部署，包括利用小型模块堆等先进技术，需要采用新方案，以可持续、低成本的方式实施新建项目，确保高水平安全和安保。

原子能机构2022年启动的“核协调和标准化倡议”（Nuclear Harmonization and Standardization Initiative，NHSI）旨在通过协调一致的监管方案和工业标准化，促进小型模块堆及其他先进反应堆的安全可靠部署。

“核协调和标准化倡议”行业轨道的成员以标准化研发、制造和建造为重点，将于今年发布两份白皮书：一份就统一检查安全重要部件的高度完整性所面临的挑战提供指导，另一份则强调更好地统一各辖区内非核规范和标准的必要性。第三份文件计划就早期参与安全系统中使用高质量工业级部件提出实际步骤。“核协调和标准化倡议”监管轨道的成员专注于制定加强监管合作的流程，正在编制一份支持设计审查监管合作的综合出版物，并启动一项多国监管审查流程，使监管机构能够对小型模块堆设计进行联合审查。

向高效迈进

小型模块堆设计为工厂制造、现场安装，从而降低成本、缩短施工周期，另外小型模块堆规模较小，每台机组电功率通常不超过300兆瓦，因此可部署在不适合建造大型反应堆的区域。然而，由于许多核部件采取定制方式，而定制物项的制造以及当前的检查程序可能会明显延长生产过程，因此可能导致供应链出现瓶颈。

转向基于批量生产物项的反应堆设计模式，并统一不同辖区监管机构和最终用户的要求，可以大大减少小型模块堆及其他先进反应堆投入运行所需的时间和精力。

“由于核监管机构目前不允许将非核标准工业部件用于核设施的安全应用，因此获得使用定制技术的许可过程不仅困难，而且往往漫长。”瑞典Vattenfall电力公司核技术高级顾问Matheus Abbt说，“使核安全要求与相关行业标准保持一致，有助于克服供应链挑战，促进小型模块堆的更快部署。”

简化流程

对于交付周期较长的物项，或生产时间长到足以影响最终项目交付日期的物项，不同的检查规程是另一个令人担忧的问题。例如，压力容器通常必须由最终客户在有监管机构或其通知组织的参与下进行检查，从材料选择开始，

一直到每个制造阶段。这需要花费大量时间，并可能导致重复检查。相比之下，早在提交建造许可证申请之前就完成简化流程，会使小型模块堆项目能够在更短的时间内实施。

“通过相互承认一些长周期物项的检查活动，有可能大幅缩短项目周期和降低制造风险。”原子能机构核电司司长Aline des Cloizeaux表示，“当生产加速，同时生产运往不同辖区的小型模块堆长周期物项时，这种作法可能尤其有益。这是优化资源的绝佳机会。”

核电厂需要遵守各种法规，其中许多法规不属于核监管机构的管辖范围。在2023年底举行的一次技术会议上，“核协调和标准化倡议”行业轨道的一个工作组审查了应对非核规范和标准挑战的潜在解决方案。提出的建议包括鼓励项目业主和营运者尽早与相关政府机构接触，并尽早与供应商合作，通过降低计划部署领域可能存在的商业、项目和质量管理风险来加强供应链。此外，还必须了解采购动态，确保遵守地方和国家法规，以确保项目按时、按预算完成。

监管审查的全球框架

“核协调和标准化倡议”监管轨道的长期目标是推动制定先进核反应堆设计（特别是小型模块堆设计）的监管审查全球框架。这一全球框架可以是一套文件和程序，概述共同的监管要求以及对如何满足这些要求的理解，从而能够对先进反应堆进行联合监管审查。全球框架还将有利于审查和资源共享以及实现共同的审查成果。

原子能机构核装置安全司司长Anna Bradford表示：“制定此类框架的第一步是监管机构在对先进反应堆设计进行监管审查时相互合作。‘核协调和标准化倡议’监管轨道已制定监管审查合作方案。监管机构专家在考虑了业界反馈意见的基础上制定了这些方案。”

“核协调和标准化倡议”监管轨道调查了能够促进监管机构在审查期间共享信息的解决方案，并计划起草一份合作备忘录，即一份不具约束力的总体协议，表明签署监管机构合作和共享信息的愿望。此外，监管轨道正在制定一项多国许可前监管设计审查，以便监管机构能够共同评价拟议反应堆设计的具体技术领域，并确定在随后的国家监管评估中可能造成困难或产生问题的技术事项。这一过程将使参与者能够确定各国在哪些领域存在重要的监管差异，以及在哪些领域需要做出更多努力来帮助实现设计标准化。

此外，“核协调和标准化倡议”正在制定相关流程，使监管机构能够在正在进行的国家审查期间开展合作，并利用其他监管机构的审查，从而为监管机构和行业节省资源。

随着“核协调和标准化倡议”努力为实现2050年净零排放作出贡献，其工作正在按计划进行。2024年6月举行的“核协调和标准化倡议”全体会议和 2024年10月在维也纳举行的原子能机构“小型模块堆及其应用”国际会议介绍了该倡议工业轨道和监管轨道的研究结果。

为实现净零未来培养核能人才

文/Matt Fisher

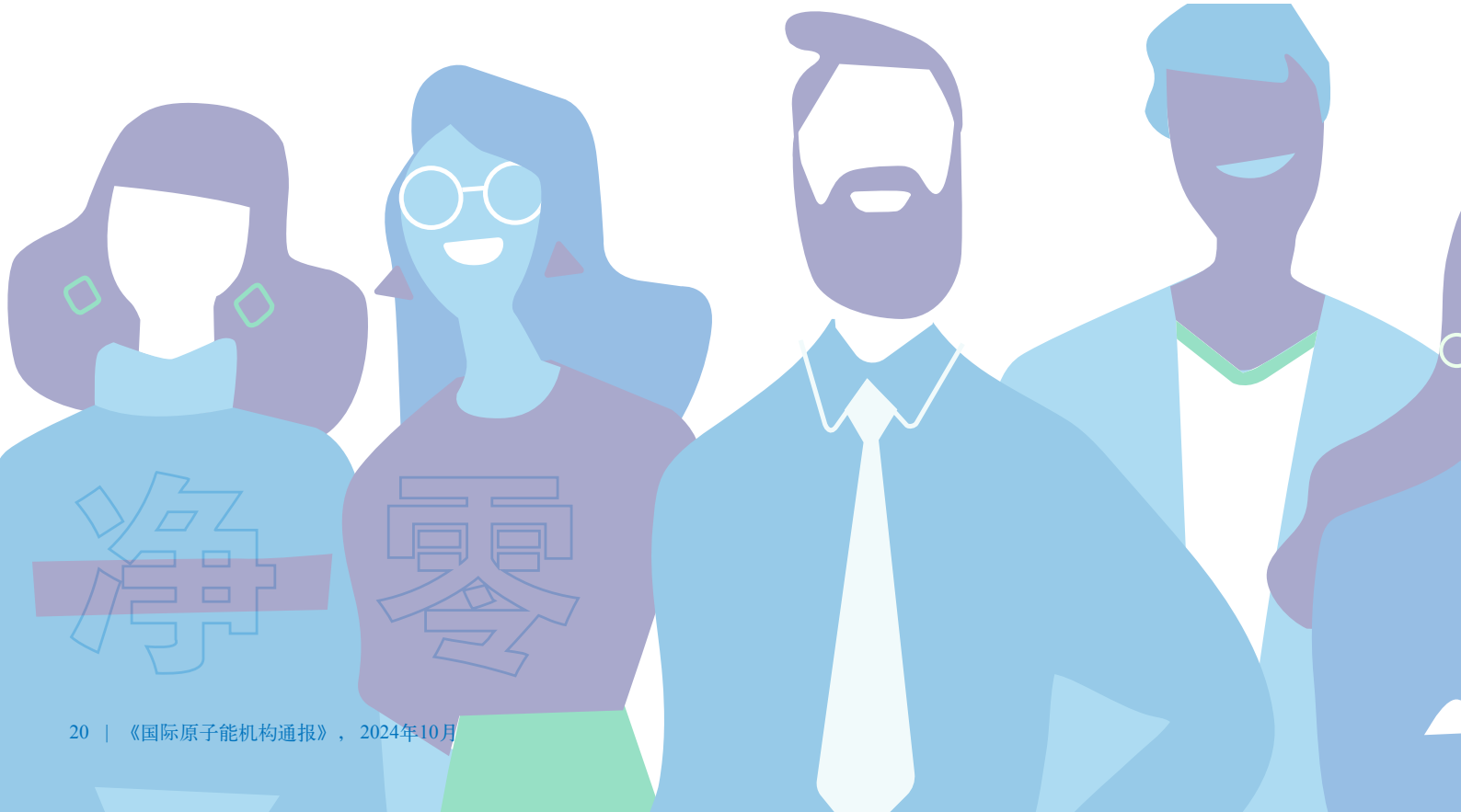
人力资源发展是核电长期可持续发展和扩大的基础。然而，由于核行业对工作队伍的严格要求，人力资源发展成为该行业面临的最重大挑战之一。

为了帮助建设和维持按预期规模扩大核电所需的人才队伍，原子能机构提供了能力建设举措，如举办核知识管理短训班、实施战略规划培训计划、组织援助访问和提供进修机会。这些举措旨在培养下一代专业人员，并提高现有工作人员的技能，从而确保在我们努力实现净零排放目标的过程中，核电在全球范围内继续发展。

随着核电领域的不断发展，行业面临的挑战也在不断增加。根据原子能机构2023年发布的一份报告，核设施员工的年龄通常比其他主要工业设施员工的年龄要大，随着越来越多的长期员工临近退休，强调知识保留的必要性突显出来。由于核电技术的复杂性，人才培养需要较长的时间，而且核能活动需要特别高的监督水平。加强人力资源培养进程对于解决这些问题及其他问题至关重要。

“能力建设是一个持续不断改进的过程，对扩大核电至关重要。”原子能机构副总干事兼核能部部长米哈伊尔·丘达科夫表示，“原子能机构拥有近70年积累的大量专门知识，完全有能力协助我们的成员国培养必要的人力资源，以实现其宏伟的核电目标。”

有效的知识管理对于保留多年来在设计、许可和运行等领域获得的信息至关重要，这些信息对于保持和培养能力必不可少。核知识管理短训班是为期一周的培训班，为核科学技术组织实施核知识管理计划提供专门的教育和培训。该短训班面向从事知识管理工作的年轻专业人员，涵盖知识管理基础、实际指导和最佳实践等领域，已由多个成员国主办，最近一次是2023年由美国在德州农工大学主办。2024年是原子能机构与阿卜杜勒·萨拉姆国际理论物理中心联合举



办核知识管理短训班20周年。迄今为止，已有1139名专业人员通过核知识管理短训班接受了培训。

知识管理援助访问服务为希望实施或改进知识管理计划的成员国提供专家评审。这些访问根据知识管理计划的成熟程度量身定制，可提供战略咨询、专门培训和其他相关支持。

成功的团队总是由高瞻远瞩、积极进取的领导者带领。由原子能机构技术合作计划支助的核能管理短训班帮助核能领域的现任和未来领导者发挥自己的才能，让团队发挥最大作用。该计划为具备领导潜力的年轻专业人员设计了为期两周的课程，包括讲座、技术访问和案例研究，以帮助他们加强管理和技术能力，并分享原子能机构在整个核能生命周期各领域的知识。南非矿产资源部于2023年11月主办了核能管理短训班，这是该计划自2010年启动以来的第52次活动。13年来，来自不同学科的2000多人通过该计划提高了专业技能，在2023年举办的核能管理短训班中，近一半的参加者是女性。

“我有机会了解到包括核能在内的所有有助于实现净零排放的不同技术，另外，还了解到安全文化和领导力是如何在一个组织中建立起来的，这对我很有启发。”去年11月参加了在南非举办的核能管理短训班的乌干达能源和矿产开发部土木工程师Zeridah Kimanywenda说，“培训内容是经过精心策划的，与我的职责息息相关。”

尽管女性取得了历史上一些最具革命性的科学突破，但她们在包括核领域在内的大多数技术领域的代表性仍然不足。为了解决这一问题，原子能机构于2020年启动了“玛丽·斯克沃多夫斯卡-居里进修计划”，并于2023年启动了莉泽·迈特纳计划。玛丽-居里计划鼓励年轻女性进入核领域，为申请成功者提供攻读硕士学位课程的奖学金和在原子能机构或合作组织实习的机会。2023年，共颁发了200人次奖学金，成为迄今为止申请周期中颁发奖学金人数最多的一年。莉泽·迈特纳计划通过为期多周的专业人员访问计划，为职业生涯早期和中期的女性专业人员提供提升技能的机会。访问时间一般为两到四周，可能包括项目开发和实施，以及技术任务和讨论。

除这些计划外，原子能机构每年还通过技术合作计划支助1000多名技术合作进修人员和科访人员。作为原子能机构向成员国提供发展支助的主要机制，技术合作计划以成果为基础，针对各国和各地区面临的具体挑战，促进各国之间的合作，以可持续方式开展能力建设，包括通过南南合作。

培养未来的核能人才需要专门的教育计划。2013年建立的国际核管理学院机制支持各大学面向核行业设立并教授核技术管理硕士学位课程，包括核能计划、核应用和放射技术。这些课程将管理和领导力的先进方面与核技术结合起来，为核行业未来的领导者提供高水平的教育和支持。原子能机构在对候选大学成功进行同行评审工作组访问后，对国际核管理学院的学位课程予以认可。截至2024年，共有八个国家的十所成员大学提供该硕士课程。

原子能机构维护着“网络教育和培训网络学习平台”（CLP4NET），这是一个向公众提供在线学习资源的宝库。该平台包括1400多门培训课程和近200场网络研讨会，涵盖核能领域的广泛主题，用户可在自学和教师授课两种方式中进行选择。

为了帮助建设和维持按预期规模扩大核电所需的人才队伍，原子能机构提供了能力建设举措，如举办核知识管理短训班、实施战略规划培训计划、组织援助访问和提供进修机会。

COP28核能宣言对国际原子能机构核查意味着什么

文/Eva Morela Lam Redondo

在2023年12月2日《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第28届会议（COP28）期间，来自20多个国家的代表共同签署了《三倍核能宣言》，旨在到2050年实现这一目标。由于全世界都迫切希望利用核能带来的好处，而将全球核电容量提高两倍，也会带来另一个全球趋势，即接受原子能机构核核查的核材料数量和核设施数量将稳步增长。

原子能机构通过实施通常称为核“保障”的技术措施来履行其核核查使命。这些措施能够使原子能机构独立核查各国是否遵守其仅为和平目的使用核材料的国际义务。

“2010年至2022年，核材料数量增加了34%，接受原子能机构保障的核设施和设施外场所的数量增加了15%。”原子能机构副总干事兼保障部部长马西莫·阿帕罗说，“《三倍核能宣言》将进一步加速这些趋势。虽然原子能机构已准备好迎接这一挑战，并继续就和平利用核材料得出结论，但这将需要与所有利益相关方持续的互动与合作，并采用创新的核查技术。”

为了满足对其服务日益增长的需求，原子能机构保障部不断努力提高原子能机构保障的有效性和效率。此外，根据全面保障协定，原子能机构在法律上有义务充分考虑保障领域的技术发展，例如，在核核查过程中探索和利用人工智能和机器人技术等最新技术进展。

为了及时了解有可能应用于保障的新技术，原子能机构通过其“成员国支助计划”获得各种形式的支持，包括研究和发展、知识交流、技术转让、专家合作和财政支持。

“下一代切伦科夫观察装置”是原子能机构在“成员国支助计划”的促进和支持下，经现场测试，在开发保障仪器方面取得的一个显著实际成果。“下一代切伦科夫观测装置”显著提高了原子能机构保障视察员的核查效率，并改善了保障视察员为核查乏燃料池中核材料的存在情况及其完整性所拍摄图像的数据质量。2023年，原子能机构史无前例地将“下一代切伦科夫观察装置”用于规模最大的乏燃料核查活动。与之前的方法相比，这种装置在成功核查乏核燃料方面的效率提高了八倍。

保障执行需要原子能机构与成员国之间协作努力。为此，原子能机构还支持各国建设负责保障执行的国家或地区当局以及国家核材料衡算和控制系统的知识和能力。原子能机构通过各种援助机制开展这项工作，包括组织咨询服务工作组访问、培训班、电子学习和网络研讨会，提供法律和监管援助以及保障培训计划。在向各国提供保障援助领域，一项重大进展是将原子能机构有关国家核材料衡算和控制系统以及负责保障执行的国家或地区当局的“综合能力建设倡议”纳入原子能机构向各国提供的保障援助中。“综合能力建设倡议”于2020年启动，由成员国提供资金和实物支持，与各国合作，帮助其加强负责保障执行的国家或地区当局以及国家核材料衡算和控制系统的有效性。通过在利益相关方外宣活动、国家培训、软件、法律和监管问题以及人力资源等领域提供针对具体国家的支持，“综

《三倍核能宣言》反映了推进核能作为可持续和低碳未来一部分的集体承诺。要实现这一宏伟目标，必然会带来接受原子能机构保障的核材料数量和核设施数量的增加。

合能力建设倡议”是一项旨在可持续地建设和提高国家能力的多年努力。

“‘综合能力建设倡议’改变了马来西亚的游戏规则。它确实帮助我们找出了在保障执行方面存在的差距，”马来西亚原子能部核设施司助理司长Nurul Hafiza binti Mohamed Aliasrudin说，“在两年的时间里，‘综合能力建设倡议’帮助我们审查了保障法规，制定了技术指南和许可条件，还加强了国家保障机构内部的培训。”

原子能机构还着眼于未来，通过“保障始于设计”概念，向国家主管机构、设计人员、设备供应商和潜在购买者提供指导，说明在设计核设施或工艺时就考虑国际保障的重要性。作为一种自愿采取的最佳实践，“保障始于设计”概念可在考虑国际保障的同时，做出知情的设计选择，以优化经济、运行、安全和安保因素。它适用于核燃料循环的所有方面，从最初的规划和设计到建造、运行、废物管理和退役。对于新的核设施，特别是新型设计或工艺，越早讨论保障越好。“保障始于设计”将保障纳入设计，而不是围绕设计进行保障。

《三倍核能宣言》反映了推进核能作为可持续和低碳未来一部分的集体承诺。要实现这一宏伟目标，必然会带来接受原子能机构保障的核材料数量和核设施数量的增加。随着世界寻求实现净零排放的目标，原子能机构保障部随时准备通过利用先进技术，并与希望扩大核能生产的国家和刚刚起步的国家合作，来满足国际社会日益增长的需求。

国际原子能机构启动南极微塑料研究项目

2024年 1 月，原子能机构的科学家穿越南极洲，测量该大陆微塑料污染的程度。

他们采集了企鹅粪便、水、淤泥和帽贝的样品，运往原子能机构摩纳哥海洋环境实验室进行分析。

在那里，原子能机构的研究人员将运用核科学测量微塑料（直径小于5毫米的塑料颗粒）的存在情况，并寻求找到这类污染的主要来源。

虽然2009年在南极东部首次发现了南极大陆上存在微塑料的证据，但关于这一问题的程度以及污染是来自衣服、轮胎、瓶子、工业过程还是其他来源，几乎没有任何信息。

此外，关于南极生物吸收了多少塑料污染，以及微塑料是如何通过洋流、大气沉降或人类南极活动进入南极大陆，这方面的数据也非常少。

南极洲是世界上最南端的大陆，即使在这个地球上最偏远的地区，环境问题同样日益严重，原子能机构首次对南极洲进行科学考察，成为解决这一日益严重的环境问题所做努力的一部分。

IAEA NUTEC PLASTICS

这次考察是通过原子能机构的“核技术用于控制塑料污染”倡议进行的。原子能机构正在通过“核技术用于控制塑料污染”监测实验室网络，利用核技术和同位素技术对环境中微塑料进行采样和流行性分析，从而生成海洋微塑料分布的数据。这为开发限制塑料污染系统提供了宝贵的信息。

阿根廷总统哈维尔·米莱和原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西与原子能机构科学小组一起，在阿根廷马兰比奥南极基地正式开启了他们的任务。

总干事格罗西表示，在曾经人迹罕至的南极环境中发现微塑料，证明了这种广泛存在的有害污染物的影响，“微塑料是一个全球性问题，但国际社会仍然缺乏做出明智决策所需的科学数据。这就是‘核技术用于控制塑料污染’倡议的目标，即通过了解塑料的来源、流动和影响，我们可以就如何解决这一问题做出明智的决定。”

位于摩纳哥的原子能机构海洋环境实验室自1961年成立以来，为各国提供了了解和应对紧迫的海洋环境挑战所需的工具和知识。在联合国系统内，仅原子能机构设有海洋环境实验室。

“核技术用于控制塑料污染”倡议可为评估海洋微塑料污染提供科学依据，同时证明电离辐射在塑料回收和将塑料废物转化为可再利用资源方面的作用。

原子能机构与阿根廷合作开展工作，处理和监测南极洲微塑料的存在问题。

文/ Katy Laffan

在阿根廷总统哈维尔·米莱和原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西2024年1月在马兰比奥基地的一次联合活动上共同启动了这个“核技术用于控制塑料污染”项目。

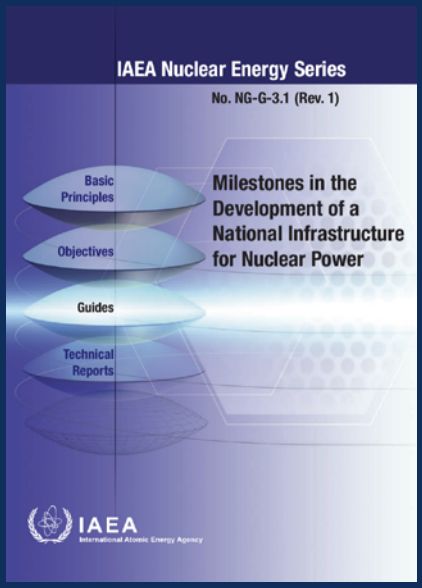
（图/国际原子能机构K. Laffan）

冰冷的南极大陆被认为是地球上最后的原始区域之一。然而，研究已经表明，微塑料污染正在进入南极大陆——原子能机构的科学家们正在试图找出污染的程度及其来源。

原子能机构的科学家收集了企鹅粪便样品，作为研究微塑料对生活在南极洲的动物影响的一部分。

（图/国际原子能机构M. Klingenboeck）

国际原子能机构“里程碑”指南更新，纳入小堆考虑



国际原子能机构出版物《国家核电基础结构发展中的里程碑》新版本现已出版。此次修订纳入了小型模块堆相关问题。

更新后的版本列出了原子能机构关于如何为引入核电计划或扩大现有核电计划做准备的基本指导，其中包括一个附件，概述了小型模块堆部署的具体方面，并重点介绍了几个在所有三个阶段均已完成或取得重大进展的国家的最新经验，这些国家的反应堆类型与原子能机构“里程碑方案”中定义的反应堆类型不同。

该出版物最初于2007年发布，2015年进行了修订，新版本参考了原子能机构在核安全、核安保和核保障等领域与核电发展相关的其他指南和材料。该出版物纳入了最近在引入或扩大核电计划的国家进行的综合核基础结构评审工作组访问中汲取的经验教训。

尽管预计未来几年内大多数新的装机容量仍将来自大型水冷反应堆，但小型模块堆在减少排放和支持可持续繁荣发展方面发挥重要作用的机会正在增加。小型模块堆的设计功率一般不超过300兆瓦（电），非常适合部署在偏远地区和电网规模较小的地区。小型模块堆将采用模块化设计，从而使系统和部件能够在工厂组装，并整体运输到指定位置安装。这可能有助于缩短建造工期。此外，数据中心等新的终端用户正在考虑用核电来满足其日益增长的电力需求，许多工业应用也需要脱碳，因此潜在的应用并不缺乏。小型模块堆可以更快地部署，并发挥更大的作用，这取决于它们获得许可和实现商业准备的速度。

“随着核电领域的不断发展，我们提供的援助也必须不断发展。原子能机构‘里程碑’指南的最新更新正值越来越多的国家考虑将核能纳入其能源结构以实现净零承诺的关键时刻。”原子能机构核电司司长Aline des Cloizeaux表示，“显然，小型模块堆将成为清洁能源转型的重要组成部分，我们必须确保对这项技术感兴趣的国家充分了解成功实施小型模块堆项目所需的一切。”

在许多方面，小型模块堆与大型核反应堆非常相似。它们由许多相同的系统组成，并按照几十年来推动核反应堆发展的相同原则运行。小型模块堆的需求大多与传统反应堆相同，如需要建立强有力的法律和监管框架、利益相关方积极的参与，以及环境保护考虑。然而，由于其独特的功能，包括较低的功率输出和简化的设计，一些特定的基础结构要求可能会有所不同。

一些小型模块堆，特别是使用除水以外的冷却剂的小型模块堆，可能会产生新形式的放射性废物，因此计划部署小型模块堆的国家必须计划管理这些新的废物类型。如果使用新的燃料类型，就必须建立供应链，以确保燃料的持续供应。可能需要制定

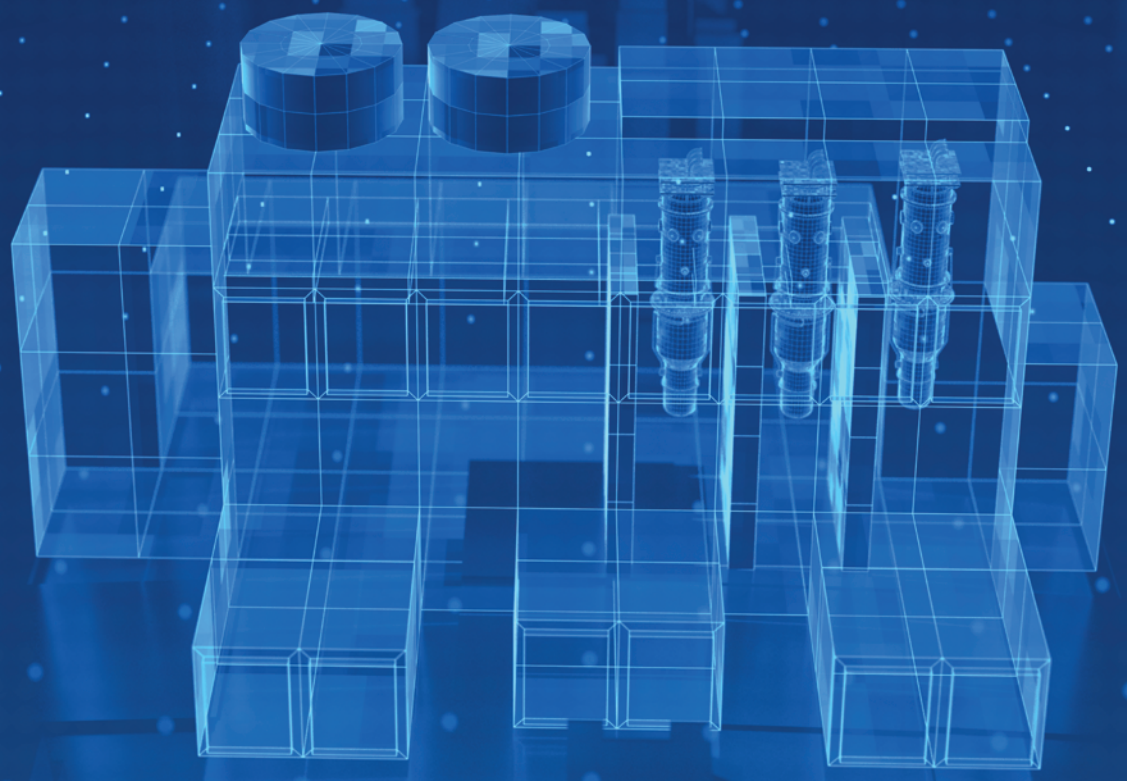
新的保障方案，以解决小型模块堆的一些新设计特征，从而确保不妨碍实施强有力的核材料衡算和控制措施。

目前，约有30个新兴核电国家正在考虑使用核电，或正在推进建造本国首座核电厂的计划。孟加拉国、埃及和土耳其正在建设其首座核电厂，其他一些国家预计也将在未来十年左右建设其首座核电厂。

阿根廷、中国和俄罗斯联邦正在建造小型模块堆，后两个国家已分别于2019 年和2021年开始部署首座小型模块堆。包括爱沙尼亚、约旦和波兰在内的几个新兴核电国家已经将小型模块堆确定为其未来清洁能源系统的一部分。去年10月，原子能机构在爱沙尼亚进行了一次以小型模块堆为重点的综合核基础结构评审工作组访问，而约旦在去年8月与原子能机构专家开会讨论后，正在研究如何利用小型模块堆解决海水淡化需求。

文/Matt Fisher

小型模块堆非常适合部署在偏远地区和电网规模较小的地区。

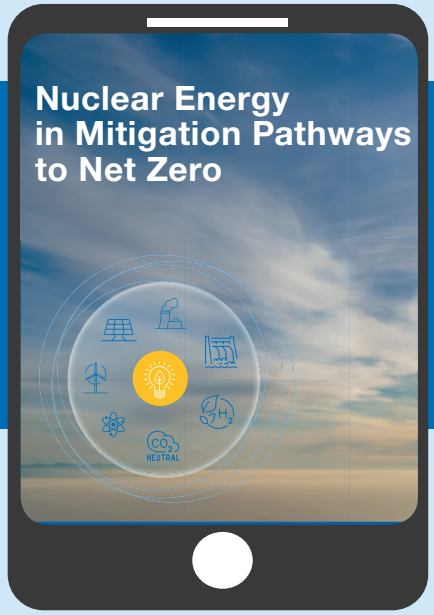


你是否知道

核能当今提供了全球四分之一的低碳电力？

扫描阅读

核能如何在实现净零排放方面发挥关键作用。



浏览所有国际原子能机构出版物

免费在线

www.iaea.org/publications

欲订购图书，请致函：

sales.publications@iaea.org

国际原子能机构出版物

部长级会议

核科学技术应用与技术合作计划

2024 年 11 月 26–28 日
奥地利，维也纳

IAEA
国际原子能机构
原子用于和平与发展

CN-328

24-00506

与我们合作

共创美好未来

国际原子能机构欢迎

成员国、业界、金融机构和其他利益相关方

与我们合作开展我们的旗舰倡议并贡献

其专业知识、建模工具、行业知识、宣传和财政资源。

人体健康

IAEA DIAC

IAEA RAYS OF HOPE CANCER CARE FOR ALL

核领域中的女性

IAEA Lise Meitner PROGRAMME

IAEA Marie Skłodowska-Curie FELLOWSHIP PROGRAMME

能源

IAEA ATOMS 4 NET ZERO

IAEA NHSI NUCLEAR HARMONIZATION & STANDARDIZATION INITIATIVE

环境

IAEA NUTEC PLASTICS

粮食和农业

FAO & IAEA ATOMS4FOOD GROWING FOOD SECURITY

进一步了解国际原子能机构的旗舰倡议

IAEA

Atoms for Peace and Development

ISSN 1011-257X

24-00506