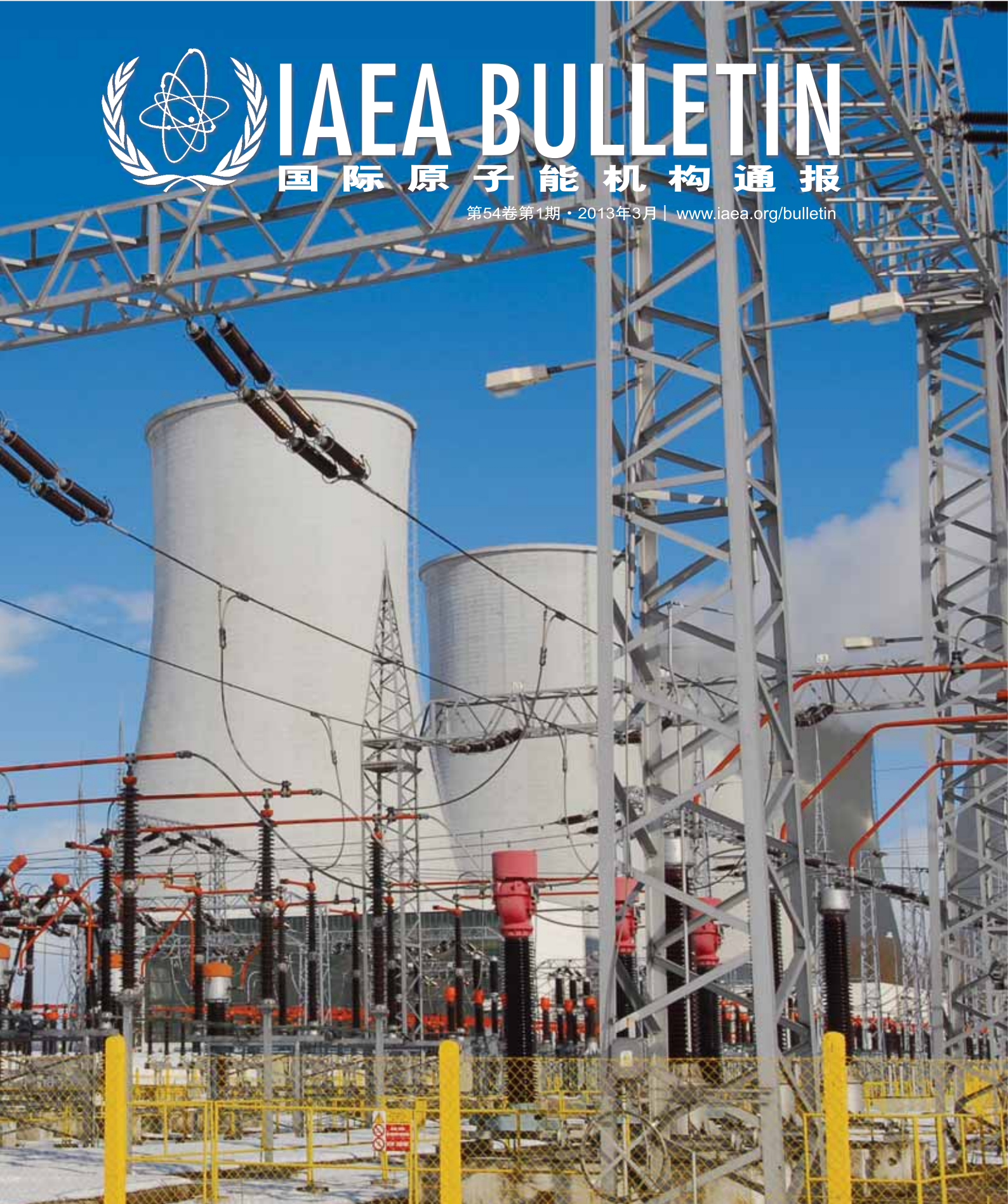




IAEA BULLETIN

国际原子能机构通报

第54卷第1期 · 2013年3月 | www.iaea.org/bulletin



21 世纪核电



IAEA

国际原子能机构

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、水和环境等方面的知识和专门技术。

原子能机构也是加强核安保的全球平台。原子能机构的工作还侧重于协助最大限度地减少核及其他放射性材料落入恐怖分子手中或核设施受到恶意的风险。

原子能机构安全标准提供一套基本安全原则，反映国际社会在保护人和环境免受电离辐射有害影响所需的高安全水平方面的共识。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只用于和平目的的承诺情况。核查是多方位的，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个理事国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。

照片：中国浙江省三门县正在建设中的三门核电站。

（由中国核工业集团公司提供）



目 录

《国际原子能机构通报》第54卷第1期 | 2013年3月

21世纪核电	第2页
核电、能源经济和能源安全	第3页
能源与可持续发展	第4页
核能在缓解气候变化和空气污染中的作用	第5页
核电的今天和明天	第7页
支持新的核电计划	第8页
废物管理的解决方案	第10页
增强公众对核电的信任	第12页
培训明天的核工作队伍	第13页
通过国际合作加强核安全	第14页
通过创新实现核电可持续发展	第15页
重要统计数字	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处

通讯地址：P.O.Box 100, A-1400 维也纳, 奥地利

电 话：(43-1) 2600-21270

传 真：(43-1) 2600-29610

电子信箱：IAEABulletin@iaea.org

新闻处

处 长：塞日·盖斯

主 编：彼得·凯撒

设计和排版：丽图·凯恩

《国际原子能机构通报》可通过以下方式获得：

> iPad应用程序

> 在线：www.iaea.org/bulletin

> 归档：www.iaea.org/bulletinarchive

《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，用于评论目的者除外。

《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：博胡尼斯核电站包括多座核反应堆，位于斯洛伐克博胡尼斯村附近。（照片由斯洛伐克国有核电和退役公司Javys提供）

《国际原子能机构通报》于奥地利维也纳印制

21 世纪核电

国际原子能机构帮助成员国将核技术用于各种和平目的，最重要的目的之一是发电。



没有核电，世界将难以实现确保可持续能源供应和抑制温室气体排放的双重目标。

2011年3月日本福岛第一核电站事故引起人们对全球核安全的担忧，提出了与核电未来发展有关的问题。

两年过去了，核电的使用将在未来几十年内继续增长是显而易见的，尽管增长速度将比事故前预期的慢。已有核电计划的许多国家计划继续扩大核电。许多新的国家，不管是发达国家还是发展中国家，都计划引入核电。

促使对核电兴趣日益增加的主要因素

除了包括全球能源需求上涨，还包括对气候变化、化石燃料价格多变和能源供应保障的关切。没有核电，世界将难以实现确保可持续能源供应和抑制温室气体排放的双重目标。

原子能机构帮助选择核电的国家安全而可靠地利用核电。

已决定逐步淘汰核电的国家在未来几十年内将不得不面对设施退役、治理和废物管理等问题。原子能机构也在这些方面提供帮助。

我对俄罗斯联邦将于6月在圣彼得堡主办2013年“21世纪核电国际部长级会议”表示感谢。及时召开这次会议将为福岛第一核电站事故后评估核电提供宝贵机会。

核电的未来发展需要公众对核电安全的高度信心。在过去的两年里已为改进安全做出大量宝贵的工作。但是仍有许多工作要做。保持这种势头并尽一切努力力所能及地确保核电安全是极其重要的。

本期《国际原子能机构通报》概述将在圣彼得堡会议上处理的许多问题。这些问题包括核安全、核电在可持续发展中的作用、科技创新，以及核研究机构和核基础结构。

我希望与会者讨论取得圆满成功。

国际原子能机构总干事天野之弥

核电、能源经济和能源安全

经济发展需要稳定、经济上可承受、数量充分的电力，以满足地方、地区或国家层面最低限度的能源需求。经济发展的这种方法虽然简单，但为制订国家能源战略必须分析和平衡对技术、基础结构、财政和发展的各种考虑。对期望价格和数量的能源既不能主观估计也无法保证的历史事实，使这项任务复杂化。能源经济和能源安全决定了开始制订未来可持续能源战略国家的可用选择。

能源经济

核动力反应堆建设成本较高，但运营费用较低。因此，有些情况下投资有利，有些情况下投资不利。核电比较有吸引力的情况包括：能源需求飞涨；可替代能源稀缺或成本高昂；能源供应保障作为优先事项；减少空气污染和温室气体排放作为优先事项；能够融集到可期待长期收益的资金（与私营企业相比，更具政府特色）；以及由于电力需求和价格可以预计、市场结构稳定和强烈的非党派政策支持，财政风险较低。全球目前在建的68座动力堆反映了这些有利的投资环境特征。这些在建反应堆中，远东38座（仅中国29座），东欧15座，中东和南亚10座，拉丁美洲2座，西欧2座，北美洲1座。

已探明全球有足够的铀作为核动力反应堆燃料。按现行价格和消耗率计算，目前已确定的常规铀资源大约可持续使用80年，而铜、锌、石油和天然气等其他商品的储量只够使用30—50年。后处理、循环和利用快中子增殖反应堆技术还将使目前已探明资源的使用寿命增加60多倍，达数千年。

能源安全

除了价格和资源基础考虑，另一个重大考虑是能源安全。加强一个国家能源安全的最佳方式是增加能源供应方案的多样性和冲击韧性。对于许多国家而言，扩大核电将增加其电力供应的多样性。核电的以下两个特性通常会进一步增加冲击韧性。第一，与燃化石燃料的发电成本相比，核能发电成本不易受燃料价格变化的影响。其次，基本燃料铀可从多个生产国获得，而且需求量少，因而更易于建立战略储备。事实上，发展趋势一直是摆脱战略库存，发展以供应安全为基础的、多样化的铀和燃料供应服务良性市场。但是认为必须保持相对低成本战略库存的国家仍可获得这种选择。

能源选择

各国情况不尽相同。对于一个国家而言，适当的能源结构将取决于其能源需求增长速度、水电或页岩气等可替代能源的可获得性、财政选择以及国家政治中表达的国家偏好和优先事项。各国如何平衡事故风险、廉价电力、缓解气候变化、空气污染、就业和能源进口依赖性等各种考量，至少部分地属于国家偏好问题，因此由原子能机构成员国自己决定。

原子能机构能源规划专家艾伦·麦克唐纳指出：“此外，所有国家都利用多种能源和利用多种技术发电”。麦克唐纳解释说，这种多样性部分归因于新旧技术重叠的历史发展，部分归因于投资者对将证明最有利可图的东西持不同意见，部分因为在电力需求增长特别快的情况下（例如在中国）能源组合可降低风险和薄弱性，部分因为只是利用一切可能的方案满足需求。

能源与可持续发展

联合国2000年通过的八个《千年发展目标》无一直接涉及能源问题，尽管从消除贫困和饥饿到改善教育和健康几乎所有目标的进展都取决于更多地获得现代能源。13年来，能源受到更多的关注。

《千年发展目标》的目标日期是2015年，而2012年，联合国便开始审议制订可持续发展目标，以指导对2015年之后可持续发展的支持。2012年“联合国可持续发展会议”（亦称“里约+20峰会”）的成果文件《我们希望的未来》赋予能源重要作用：“我们认识到能源在发展进程中起着至关重要的作用，因为获得可持续现代能源服务有助于消除贫穷，挽救生命，改善健康，满足人类基本需要。”

把从安全到废物处置和退役的所有外部费用“内化”，核电优越于其他能源技术。

布伦特兰委员会在1987年发表的《我们共同的未来》报告中将可持续发展定义为“既能满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”，从那时起到现在，该定义一直成为发展的根本定义。

在2001年联合国可持续发展委员会第九次会议上全面讨论了核电在可持续发展中的作用。尽管各国对核电在可持续发展战略中的作用持不同看法，但一致认为核能的选择权取决于各国。

认为核电不符合可持续发展的人强调核事故的风险和尚无高放核废物最终处置库运行的事实。

认为核电是可持续发展的一个重要部

分的人强调布伦特兰委员会的可持续发展定义重视增加资产和开放选择方案——不排斥它们。核电通过高效地利用铀而扩大资源基础。核电减少有害排放和扩大电力供应。核电增加世界技术和人力资本的库存。最后，把从安全到废物处置和退役的所有外部费用“内化”，核电优越于其他能源技术。费用“内化”意味着所有这些活动的费用基本上已包括在我们支付的核电价格中。如果把化石燃料使用产生的环境费用“内化”在我们支付的价格中，那么我们对利用化石燃料生产的电力支付的价格会高得多。

国家政府需要比较相对利益，也有必要就此展开公众讨论。

可持续发展的首要任务经常被确定为使世界五分之一无法获得能源特别是电力的人口得到它。原子能机构能源规划专家艾伦·麦克唐纳说，针对农村贫困人口，正在充分利用可在边远地区运行但无法连接电网的可再生能源技术方面开展大量工作。麦克唐纳解释说：“针对城市贫民和日益发展的大城市的需求，能源结构需要包括大规模集中发电，以满足大量的集中用电需求。核电站可为帮助满足这种需求提供大量稳定电力。此外，随着各国扩大电网“连接未连接网络”和扩大电力使用机会，大型稳定电源的好处将变得日益广泛。”

* 世界环境和发展委员会根据1983年联合国大会第38/161号决议成立，目的是制订实现可持续发展的长期战略。联合国秘书长佩雷斯·德奎利亚尔请挪威总理格罗·哈莱姆·布伦特兰担任世界环境和发展委员会主席，因此该委员会经常被称作“布伦特兰委员会”。

核能在缓解气候变化和空气污染中的作用



能源专家预计21世纪能源需求将显著增加，特别是在一些发展中国家，目前，这些国家有10亿多人得不到现代能源服务。满足全球能源需求将需要到2050年扩大75%的一次能源供应。如果不采取措施减少排放，同期内，与能源有关的二氧化碳排放几乎将翻一番。这种温室气体在大气中的增加将导致全球平均温度较工业前水平上升3℃或以上，从而可能引发对气候系统的危险的人为干涉，《联合国气候变化框架公约》寻求防止此类情况的发生。

温室气体及其后果

根据政府间气候变化专家小组的结论，全球变暖超过3℃将导致在世界各个地区的负面影响逐渐增加。在中纬度和半干

旱低纬度地区，水的可获得性减少，旱灾增加，亿万人将面临更大的缺水压力。

在农业方面，低纬度地区的谷类生产率预计下降。中纬度和高纬度地区的生产率增长只能部分地弥补这种损失。高达30%的陆地物种将面临越来越严重的灭绝风险。

碳排放的增加还会导致海洋酸化。连同与温度有关的珊瑚白化，预计酸化将降低贝壳类水生物的生长能力，使海洋食物链的一个必不可少的部分处于风险中。在沿海地区，洪水和风暴的破坏力将增加。

由于营养不良以及腹泻、心肺疾病和传染病增加的负担，人体健康也会受到影响，特别是在欠发达国家。由于热浪、洪灾和旱灾造成的致病率和死亡率预计会增加。

世卫组织估计，空气污染每年造成全球100多万人过早死亡，还造成呼吸道感染、心脏病和肺癌等健康疾病。（照片由istockphoto.com/ranplett网站提供）

空气污染的影响

世界卫生组织（世卫组织）估计，空气污染每年造成全球100多万人过早死亡。^{*}空气污染还造成呼吸道感染、心脏病和肺癌等健康疾病。空气污染物在地区范围内的长距离移动造成酸雨。酸雨干扰生态系统，对淡水渔业及自然植被和农作物产生不利影响。森林生态系统的酸化会导致林木退化和顶梢枯死。酸雨还对某些建筑材料和历史文化古迹造成破坏。酸雨主要是由硫和氮的化合物引起的。化石燃料电厂，特别是煤电厂，是这些化合物前体物的主要排放体。

利用核能避免的排放量可与利用水电避免的排放量相当。

减少温室气体排放的挑战

科学界一致认为，为了避免气候变化对生态系统和社会经济系统的不利影响，2020年以后温室气体排放不得再增加，并且到2050年必须降低到目前水平的50%–85%。因此，今后几十年内，世界面临着巨大的缓解挑战。

政府间气候变化专家小组第三工作组和2009年哥本哈根“国际气候变化科学大会：全球风险、挑战和决定”提出的《综合报告》均认为，能够降低温室气体排放的许多缓解技术和实践已可以商业获得。政府间气候变化专家小组认为，技术解决方案和工艺能够降低所有经济部门的能源强度，同时能够以低量排放提供同样输出

或服务。核电是目前可利用的缓解方案之一。

50年来，利用核能发电在全球避免了大量的温室气体排放。在全球，利用核能避免的排放量可与利用水电避免的排放量相当。就整个能源寿期循环的排放而言，水电、核电站和风电属于二氧化碳最低的排放体。

未来，由于铀浓缩技术的进步需要更少的电力，核电厂运行寿期延长（意味着减少了与建造有关的每千瓦时排放）以及燃料燃耗增加（意味着减少了与铀矿开采和燃料制造有关的每千瓦时排放），核能技术产生的温室气体排放甚至更低。

政府间气候变化专家小组对各种发电技术的缓解潜力进行了评估，判定核能是能源供应领域特别是发电方面平均成本最低、缓解潜力最大的能源。核能有可能继续在满足全球能源需求的同时在限制未来温室气体排放的努力中起到重大作用。

利用核能缓解空气污染

核电厂在运行期间几乎不排放任何空气污染物。相比之下，化石燃料发电厂是造成空气污染的主要因素。世卫组织认为，通过降低化石燃料燃烧期间排放的若干最常见空气污染物的浓度，能够显著地减少暴露于空气污染。

^{*}《空气质量与健康情况说明表313》，2011年9月更新，www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/。

核电的今天和明天

到2012年底，全球有437座核动力反应堆在运行，有68座新的反应堆在建设，核能的全球发电能力达到372.5GW(e)。虽然2011年3月福岛第一核电站事故后公众对核电产生怀疑甚至担心，但两年来，核电的需求继续稳定增长，虽然增长速度较慢。

很多国家正在推进实施或扩大核电计划的规划，因为福岛核事故前存在的核电发展驱动因素并没有改变。这些驱动因素包括气候变化、有限的化石燃料供应以及对能源安全的关切。

全球核电似乎开始继续稳定增长，虽然增长速度比福岛第一核电站事故前预计的慢。原子能机构的最新预测表明，今后20年全球核电厂数量将稳定增加。低预测显示到2030核电装机容量将增加23%，而高预测显示将增加100%。大多数计划建设或正在建设的新的核动力反应堆在亚洲。

2012年，开建核电机组有7座：中国的福清4号，石岛湾1号，田湾3号和阳江4号；韩国新蔚珍1号；俄罗斯波罗迪西克1号；阿拉伯联合酋长国巴拉卡1号。与上一年度数字相比的这种增加表明，人们对核电的兴趣和承诺依旧，证明核电有冲击韧性。

一些国家正在要求供应商提供新的创新型反应堆设计，以满足安全、国家电网能力、规模和施工进度的严格要求，这标志着核电在今后几十年将保持稳定增长。

安全

当然，随着核电的增长，必须同时提高安全。福岛第一核电站事故向每个核电从业者敲响了警钟。原子能机构总干事天野之弥认为，福岛核事故提醒我们，安全

决不能想当然，即使核能利用经验丰富的先进工业国家也是如此。

虽然已汲取重要教训，但仍可以进一步汲取教训。我们能够迅速从福岛核事故中吸取安全经验教训，并协助成员国在世界各地正在运行的反应堆中运用这些经验教训。像在许多其他工业中一样，事故之后核反应堆变得更加安全。事实上，自1986年切尔诺贝利核事故以来，国际核安全制度已显著加强。目前，许多具有国际约束力的法律机制，例如《核安全公约》、《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》已生效，这些机制有助于在原子能机构成员国范围内形成支持网络，推动全球核工业持续进行核安全改进。

核电规划

鉴于许多国家，即所谓的“新加入国”继续考虑在其能源结构中引入核电，原子能机构提供大量服务，以帮助他们评价准备情况和做出明智决定。这些服务范围广泛，包括不管对核电的兴趣如何，协助成员国建设能源规划能力；支持制订长远战略核能计划和增加包括放射性废物管理和退役在内的国家基础结构的开发。

在成员国核电计划不同发展阶段中，我们提供综合服务，协助成员国确保安全、妥善、负责和可靠地利用核能。

原子能机构负责核能司副总干事兼核能司司长亚历山大·贝奇科夫。



支持新的核电计划

引进核电的决定是政府能够做出的最具影响力的政策选择之一。这是一项复杂的决定。从规划，经建造，到运行、废物管理和最终退役，核电计划至少需要一百年的承诺。原子能机构综合核基础结构工作组组长安妮·斯塔尔兹表示：“这是一项尖端技术，要求先进的规划，然而目前正在考虑核电计划的国家不仅可以依靠30多个正在运行核电国家半个多世纪以来获得的累积经验，而且可以依赖原子能机构提供的系统化支持。”

原子能机构通过“里程碑”方案为引进核电提供合理的结构化指导。

从“新加入国”步入“运营国”，需要经过20年的规划、许可证审批和建设才能实现核电厂发电。30年前，建设首座核电厂的国家并没有今天“新加入国”可以求助的国际和双边支持网络。通过国际合作和双边合作，可以获得专业知识，协助“新加入国”建立必要的法律、监管和人力基础结构。此外，“新加入国”还可以受益于通过30年核安全同行评审获得的专门知识，即人力资源和管理系统开发、能源规划、可行性研究、厂址选择、技术评定、财政风险处理和废物管理方面的专门知识。

“没有捷径。”斯塔尔兹解释说：“新加入国与前辈们30年前必须掌握的知识相比，要学的东西更多，然而我们发现，自他们一开始就掌握了汲取的许多

教训，能够避免代价高昂的错误。要是在许多年前一些国家开创这一技术时，他们或许会孤身奋战，现在不是。”

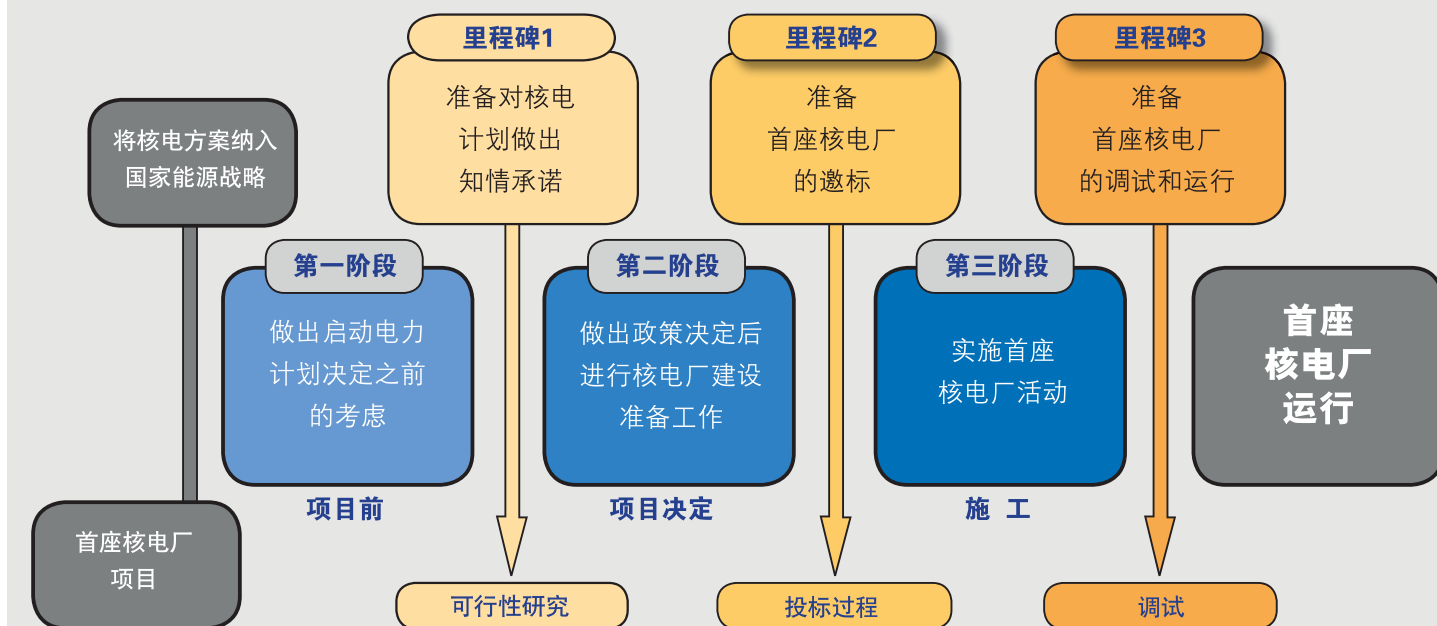
积极致力于引进核电计划的原子能机构成员国和正在考虑决定引进核电计划的成员国均面临着许多重大挑战。他们需要找到一种方法巩固对项目的支持，以便在做出开展核电事业决定的若干年后项目开始提供投资回报。斯塔尔兹说：“如果所有的主要政府参与者和利益相关者均保持对核电事业的一致承诺，那么一个国家将能维持引入核电的政策是极其可能的。这是利益相关者系统化参与的主要目的之一”。

对于许多发展中国家而言，用于资助反应堆建设所需的相对较大的资本投资会成为主要障碍之一。原子能机构支持各国确定应对这些财政风险的手段。

规划初期产生的另一个问题是需要富有经验的核工作人员，这些人员在决定引进核电时尚不存在。斯塔尔兹解释说，人力资源开发是一个经典的“鸡和蛋”的问题：“如果没有核电厂，一个国家又如何能够培养安全运行核电厂的人员呢？同样，各国也要知道，在核电厂尚未投入运行时如何雇用富有经验的人员。”答案在于对工作人员的规划和人力资源的开发，原子能机构在这两个领域同样提供支持。

另一个挑战，即废物管理问题，也需要通过利益相关者和公众宣传进行解释。斯塔尔兹解释说：“废物管理规划如同飞机起飞前决定如何和何时着陆一样”。核安全是另一个极其重要的领域，必须接受公众和利益相关者的严格审查。斯塔尔兹

核电基础结构发展计划



还认为，福岛第一核电站事故后，“公众对核电的信心发生了动摇。然而我们在积极追求引进核电计划的国家和在已建立核电计划的国家也看到，公众情绪也在变化，已转变成支持立场。”

自2011年3月福岛第一核电站事故以来，已有一个原子能机构成员国开始首座核电站建设工作。这是一个值得注意的进展，因为这是27年来第一次新加入国开始首座核电站建设。还有两个国家订购了首座核电站，另外六个国家已决定引进核电和正在积极准备有关的基础设施。

所有正在引入核电的国家将在今后几十年内在基础结构方面将做出重大决定。决定过程需要的不只是技术考虑，例如反应堆技术、厂址和装机容量规模的选择。斯塔尔兹指出，“原子能机构通过‘里程碑’方案为引进核电提供合理的结构化指导，‘里程碑’方案给成员国提供了一套可用于标明规划阶段中的进展和证明其对

核安全和核燃料控制承诺的方法。它强调需要就影响许多代人的决定达成意见一致。”。

福岛第一核电站事故后，广泛审查了原子能机构对新加入国的指导意见。虽然“里程碑”方案仍然有效，但更要重视将对安全承担主要责任的未来业主——运营者的作用。

原子能机构成员国越来越希望原子能机构在核电基础结构的系统和综合审查方面提供支持。无论是已有的运营者还是新加入国，都要求原子能机构组织全面的国际外部同行评审，以评定核电引进方面或现有计划扩展方面的进展。斯塔尔兹总结说：“通过这种里程碑指导，原子能机构给希望证明进展情况的国家提出了高标准严要求，因此，我们看到，新加入国和已有的运营者都高度重视这种指导，因为它能确保核电计划更安全、更具可持续性。”

废物管理的解决方案



芬兰在实心岩石中建造了一个设计至少维持十万年的地下隧道系统。这座最终处置库将位于赫尔辛基西北约300公里的奥尔基洛托。

(照片由芬兰Posiva公司提供)

为安全妥善地处置长寿命高放废物，需要将这种废物长期贮存，时间长度远远超于我们的生存时间。需要在合适的地质条件下设计和建造地下处置设施，要有把握地证明这种地质条件能够对这种有害废物进行几十万年的包容和环境隔离。

在贮存期间，必须确保地下废物处置系统的安全，废物的放射性将衰变到不会对人或环境构成危险的水平。考古记录有助于使这一贮存时期可视化。在十万年期间，气候会发生变化，海洋会升起和消失，物种会不断演变。岩石是所有这些变化的见证。寻找长期处置高放废物的安全处置库的地质学家已发现证明几百万年稳定不变的岩层。这些地质构造预计几百万

年保持稳固，能够作为废物处置库的主地层。

放射性含量最高的废物包括被宣布为废物的乏燃料和核燃料后处理产生的废物。必须仔细地将这类高放废物与生物圈隔离。国际专家一致认为，高放废物安全处置的最终处置库应建在深地层中。目前，许多国家正在寻求高放废物的地质处置。德国和美国已建有处置中低放废物的地质设施。

芬兰、法国和瑞典正在开发高放废物和乏燃料处置的其他场址，一旦获得监管部门的批准，预计将于本世纪20年代开始废物安放作业。

在一些国家，科学家正在专门建造的地下实验室中测试处置技术和调查地质条

件，以确信处置库中的废物将在今后100万年内始终与人和环境保持隔离。通常，安全专家对处置库的安全评定时间跨度长达100万年甚至超过100万年。

在这些地下实验室进行的研究已证明在盐岩（德国）、晶质岩（加拿大、日本、瑞士和瑞典）、塑性土（比利时）和黏土岩（法国和瑞士）中进行处置是可行的。俄罗斯正在计划从2015年开始在西伯利亚中部克拉斯诺亚尔斯克地区建造一座地下研究实验室。中国也在计划建造一座地下研究实验室并在2020年投入运行。

在比利时，已在超过220米深的泥土岩层中建造了一座高放处置实验地下研究设施。这是比利时用于放射性废物深地质处置实验研究的主要研究设施。

捷克共和国正在研究将在花岗石岩体或类似环境中安置高放废物的地质处置库方案，该方案可与瑞典和芬兰的设计相似。

在芬兰，科学家20世纪70年代就开始了最终废物处置库的研究。2012年12月，负责乏燃料处置库选址和实施的芬兰公司Posiva提交了拟在赫尔辛基西北约300公里的奥尔基洛托建造一座处置库的许可证申请。如果监管机构授予许可证，计划于2020年开始废物安放。

在位于法国东北部布尔实验室外部的一座地下实验室，法国国家放射性废物管理局正在对岩石在数十万年内容纳和隔离高放废物的能力进行试验。

在日本，瑞浪地下研究实验室正在调



查、分析和评定深地质环境以及开发深地下应用的工程技术。位于北海道幌延的另一座实验室正在研究沉积岩中的深地质环境。

在瑞典，瑞典核燃料和废物管理公司已选定乌普兰东海岸福斯马克附近的一个处置设施场址，并于2011年3月提交了建造乏燃料处置库的许可证申请，目前正在接受监管审查。

瑞典乌普兰东海岸福斯马克村地下隧道中的工作人员。（照片由瑞典核燃料及废物管理有限公司SKB提供）

国际专家一致认为，
高放废物安全处置的最终
处置库应建在深地层中。

瑞士拥有两座地下研究实验室，一座位于瑞士阿尔卑斯区格里姆瑟尔试验场，另一座位于蒙特泰里，两座设施为真实地试验高放废物处置的地质条件、设备和处置方案提供了环境。

增强公众对核电的信任

利益相关者的参与被认为是核电计划取得成功的一个关键过程。原子能机构核电工程科利益相关者参与方面的专家布伦达·帕甘诺内认为，未能有效地与决策者和决定者、媒体、社区成员以及公众接洽通常会产生负面后果。公众信任发生动摇可能导致拖延，而拖延会让运营者甚至国家付出高昂的代价，同时对能源需求者造成挑战。

利益相关者参与的目的是帮助人们了解主管部门决定的合理性。

原子能机构成员国越来越多地要求原子能机构在努力使利益相关者参与方面提供帮助。通过组织培训和制订共享专门知识和经验的导则，以及评审国家宣传战略，原子能机构正在响应这些请求。在所有这些活动中，原子能机构强烈鼓励成员国使利益相关者全程参与核电计划。虽然每个国家都有特定的利益相关者群体，并且这些群体具有独特的需求和关切，但一些原则具有普遍适用性。

“公开性和透明度，以及了解让利益相关者参与的目的不永远是为了获得全面的公众接受”。帕甘诺内强调指出：“相反，其目的是为了帮助人们了解主管部门决定的合理性”。

原子能机构还倡导各国从一考虑核

电计划开始就着手与利益相关者对话，表明责任性，建立信任，以及向年轻人宣传。

由于核技术的复杂性，有时专家也会低估了宣传的重要性。“我们经常听专家说‘我们知道什么对于你们是最好的。我们知道它是安全的。相信我们。’”帕甘诺内解释说：“当今，媒体无时不在，信息很容易获得，可信性不仅要靠权限，还要看对做出决定原因作出解释的能力。”

用普通百姓能懂的方式共享复杂的信息，只是这个过程的一部分。核工业界和核主管当局必须倾听利益相关者的关切。帕甘诺内说：“听他们说并领会他们的关切很重要。然后，要尽可能解决这些关切。”

所有有关组织应明确传达他们在核电计划中的作用和利益相关者在这一过程中的作用。帕甘诺内指出：“要立刻澄清对利益相关者的期望，以便他们知道他们可能对核电计划产生哪种影响。”

为启动这个过程，必须列出利益相关者，包括对核电表示严重关切的群体。

“利益相关者参与意味着也要向另一方即挑战方公开。”帕甘诺内说：“只有通过接受挑战你才能尊重其他人的观点。”

培训明天的核工作队伍

从娃娃抓起。这是原子能机构核电工程科人力资源专家布莱恩·莫洛伊要向任何考虑启动或扩大核电计划的国家传递的信息。中学甚至小学时的数学和理科课内活动和课外活动对于核电站的未来招聘工作至关重要，他说：“你要让孩子们对科学和物理工程感兴趣。教学要有足够的强度，但也必须使他们增加兴趣。”

招聘核电站运行所需的高质量工程师越来越困难，甚至现有核电计划也是如此，因为一批核电工作人员正在退休，同时全球需求在日益增加。但是，尽管工程师是必不可少的，但他们只是核电厂工作人员的一部分。事实上，核电厂大多数雇员不是大学毕业生——他们是熟练技工、电工、焊工、钳工、吊运工和类似行业人员。莫洛伊认为，这部分工作人员需要更多关注。他说：“关键是在侧重学术工作人员与侧重熟练职业人员之间取得平衡。”他还说，考虑核电计划的国家经常在初期时对核工程师注重不够。

为招聘训练有素的人员，10年前就应开始对未来的核工作人员进行规划。教育和培训要从学龄初期即课程表已包括科学和数学坚实基础时开始。莫洛伊说：“要通过教育系统和推广，经过几年的科学和数学教育以及培训，才能建立一定的社会知识水平。”核电领域人力资源管理的其他重要部分包括继续教育和继任规划，以确保预先考虑人员变动，顺利进行熟练技术人员接替。原子能机构通过讲习班、技术会议、评定和专业建议，在人力资源管理方面为成员国提供广泛的支持。

《国家核电基础结构发展中的里程碑》、《核能领域的人力资源管理》和《新核电计划的工作人员规划》等原子能机



构出版物提供了重要导则。原子能机构的“综合核基础结构评审”重点把人力资源发展作为19个基础结构问题之一。原子能机构设立一个核能领域人力资源管理技术工作组，以提供所有人力资源管理方面的建议和支持。原子能机构还编制了核工程核心课程，供大学使用。

通过采用原子能机构“核安全行动计划”，原子能机构成员国强调了人力资源管理的重要性。该行动计划的12项行动之一一是要求拥有运行核电计划或计划建造核电计划的国家加强能力建设计划，以“不断确保拥有足够的、合格的必要人力资源，来承担安全、负责任和可持续地利用核技术的责任。”该行动计划还要求原子能机构秘书处根据成员国请求提供支助。

莫洛伊表示，虽然这类支助在新加入国有很大需求，但人力资源管理在已经运行核电厂的国家同样重要。他重点以芬兰政府的需求为例，电力公司评价认为作为一个有效方案，国家核能力是同意扩展核电计划的一个条件。“他们审查了他们是否具有足够的人力资源用于电厂的长期建造和运行。”莫洛伊表示：“这是一个很好的样板。”

原子能机构通过讲习班、技术会议、评定和专业建议，在人力资源管理方面为成员国提供广泛的支持。

（照片由国际原子能机构提供）

通过国际合作加强核安全



福岛第一核电站事故是1986年切尔诺贝利核事故以来核设施发生的最严重事故。事故引起公众对核电的担忧，破坏了公众对核电的信心。此次核事故后，加强核安全标准和应急响应已成为全球一项迫切任务。原子能机构正在牵头制订一项全球方案，原子能机构“核安全行动计划”正在为明确经验教训和实施安全改进提供全面框架和作为重要驱动力。

正在利用该行动计划中建议的若干措施加强核安全，该行动计划包括12项根据该事故制订的以安全评定为重点的主要行动。已在评定核电厂安全薄弱环节、加强原子能机构外部同行评审服务、改善应急准备和响应能力、加强和维护能力建设以及扩大和增强与成员国、国际组织和公众的沟通和共享信息的范围方面，取得显著进展。在原子能机构安全标准审查方面也取得进展，同时更加关注和重视事故特别是严重事故的预防以及应急准备和响应。原子能机构安全标准继续得到监管者、运营者和核工业界的广泛应用。

加强全球核安全框架

原子能机构安全标准反映在保护人和环境免受电离辐射影响所需的高安全水平的构成要素方面形成的国际共识。为协助成员国实施这些标准和能够共享宝贵的经验和见解，原子能机构就设计、选址和工程、运行安全、辐射安全、运输安全以及辐射防护和放射性废物安全管理提供各种咨询服务和同行评审工作组访问。

原子能机构的安全标准包括一套协调

一致的、全球公认的导则、要求和标准。为不断改进这些标准，我们从成员国收集实施意见反馈并纳入随后的标准修订中；这有助于确保这些标准继续满足成员国的需求。福岛第一核电站事故后用于原子能机构安全标准审查和修订的过程具有本质上的不同。这也另外说明了为实现更高安全水平做出的不断努力。

自福岛第一核电站事故以来，许多现有核电厂的设计以及新核电厂的设计都得到了加强。这包括增加了缓解涉及多重故障的复杂事故序列和严重事故的后果的措施。在许多现有的核电厂，改装了具有新能力的互补系统和设备，以帮助预防严重事故和缓解事故后果。随着所有供应商业主集团把制订的一般严重事故管理导则用作制订核电厂特定的管理导则的基础，所有现有核电厂已配备了严重事故后果缓解导则。原子能机构正在通过我们的同行评审工作组强烈促进制订电厂特有的导则。新的核电厂设计目前明确包括对严重事故情景及其管理战略的考虑。

标准、导则和规范是核设施安全运行必不可少的。但只是制订了这些标准还不够，必须贯彻实施，同时还要配合进行专家同行评审。因此，加强和扩大全球核安全框架取决于全体核社会未来几代人对支持原子能机构持续工作的有力承诺、全面合作、协同参加和全面参与。

原子能机构负责核安全和核安保的副总干事兼核安全和核安保司司长丹尼斯·弗洛里。

通过创新实现核电可持续发展

2000年，原子能机构成员国认识到，需要协调一致的研究和发展来驱动创新，确保核能够可持续地帮助满足21世纪的能源需求。根据原子能机构大会的一项决议，成立了一个国际“智库”和对话论坛。最终形成的组织即原子能机构“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”，帮助核技术持有者和使用者协调实现核反应堆设计和燃料循环创新所需的国家和国际研究和其他活动。目前有38个国家和欧洲委员会正在参加这个项目。该项目既包括发展中经济体，又包括发达经济体，代表了超过75%的世界人口和85%的国内生产总值。

“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”在原子能机构成员国之间开展协作项目，包括分析发展情景，研究核能如何支持联合国21世纪可持续发展的目标。原子能机构成员国可以将这些项目的成果应用于国家核能战略，通过这些项目开展的国际合作，使核能技术和应用方面取得了有益的创新。例如，“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”研究燃料循环后端，包括乏燃料循环利用，以增加资源利用效率和减少废物处置负担。

国家核能规划者和原子能机构“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”的专家还共同努力，开展国家核能系统评定，帮助规划者就核能系统的战略应用计划的可持续性做出理性决定。这项评定工作利用与成员国专家广泛合作开发的“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”方法进行，以确定核能系统战略，包括具体的技术选择是否能够可持续地满足未来岁月的能源需求。考虑了若干关键领域，例如有竞争力的能源经济；国家法律、制度和工业基础结构；环境影响；抗扩散性；实物保护；反应堆和核燃料循环的固有安全。

“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”还研究反应堆技术的目前创新。例如，为更好地了解印度先进加压重水堆和韩国先进动力堆（APR+）的非能动安全设施的性能开

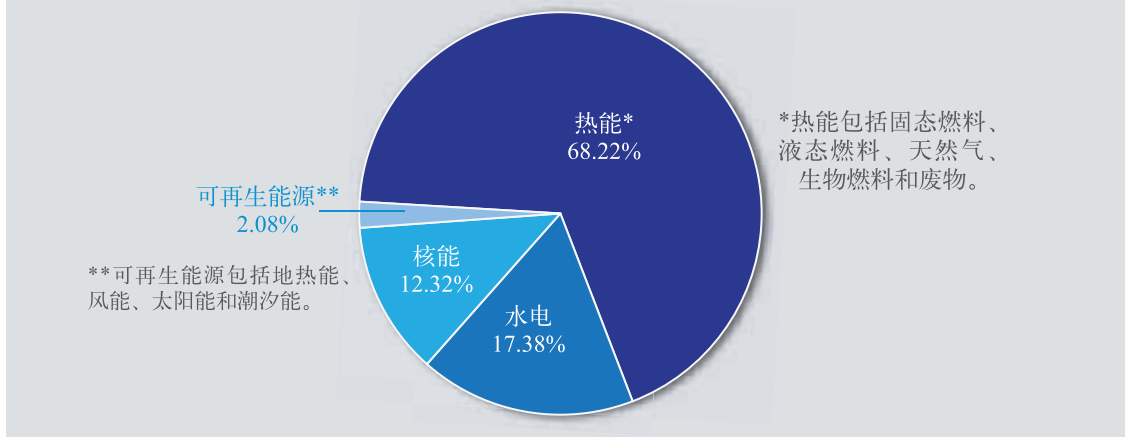
发了个案研究并进行了分析。“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”成员共同研究了在利用液态金属和熔盐作为冷却剂的先进快堆、高温反应堆和加速器驱动系统中高温运行的冷却反应堆堆芯的技术挑战。“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”的一项研究还解决了与引进可移动核电厂有关的法律和制度问题。“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”研究的成果旨在帮助技术开发者掌握能够简化下一代核电厂引进和应用的创新型技术和必须解决的相关基础结构问题。

自福岛第一核电站事故发生以来，人们越来越关注寻找防止严重事故和缓解事故后果，包括放射性物质环境释放的方式。“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”的一项新的研究将分析在事故情况下要求核电厂附近人员疏散或迁移、能够防止放射性释放的安全要求和相关的技术和制度创新。“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”和“第四代国际论坛”是仅有的支持下一代核反应堆研究和开发的多边国际合作小组。“第四代国际论坛”协调六个下一代核能系统的研究活动：钠冷快堆、铅冷快堆、气冷快堆、熔盐快堆、超临界水反应堆和超高温反应堆。“革新型反应堆和燃料循环国际项目”和“第四代国际论坛”的专家们就共同感兴趣的项目开展合作和交流信息。“第四代国际论坛”定期在其参与成员国范围内介绍开发中的每种反应堆的技术进展情况。“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”和“第四代国际论坛”主要在安全、抗扩散性和革新型核反应堆的经济性方面开展合作。

2010年，“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”建立了一个正式的“全球核能可持续性对话论坛”。自那时以来，所有原子能机构成员国和合格的利益相关者群体一直被邀请参与21世纪核能可持续性有关的共同感兴趣话题的广泛技术交流。

重要统计数字

截至2011年12月每种类型燃料对发电的贡献（单位：百分比）



来源：国际原子能机构

截至2013年3月全球反应堆总数

国 家	运行中	净发电容量总计 (MW)	建设中
阿根廷	2	935	1
亚美尼亚	1	375	
比利时	7	5927	
巴西	2	1884	1
保加利亚	2	1906	
加拿大	19	13500	
中国	18	13860	28
捷克共和国	6	3804	
芬兰	4	2752	1
法国	58	63130	1
德国	9	12068	
匈牙利	4	1889	
印度	20	4391	7
伊朗伊斯兰共和国	1	915	
日本	50	44215	2
大韩民国	23	20739	4
墨西哥	2	1530	
荷兰	1	482	
巴基斯坦	3	725	2
罗马尼亚	2	1300	
俄罗斯	33	23643	11
斯洛伐克	4	1816	2
斯洛文尼亚	1	688	
南非	2	1860	
西班牙	8	7560	
瑞典	10	9395	
瑞士	5	3278	
乌克兰	15	13107	2
联合王国	16	9231	
阿拉伯联合酋长国			1
美利坚合众国	103	100680	3
总计	437	372613	68
	总计中包括中国台湾的6座反应堆		总计中包括中国台湾的2座反应堆

主要撰稿人

天野之弥

亚历山大·贝奇科夫

埃莉诺·科迪

伊丽莎白·戴克

艾汉·埃夫伦塞尔

丹尼斯·弗洛里

萨萨·戈里舍克

萨沙·亨里克斯

艾尤利亚·艾力尤特

彼得·凯撒

利泽特·希利安

布吕纳·莱科苏瓦

苏珊娜·勒夫

布莱恩·莫洛伊

艾伦·麦克唐纳

露丝·莫尔加特

里查德·墨菲

布伦达·帕甘诺内

彼得·里克伍德

安妮·斯塔尔兹

费伦茨·托特

格瑞格·韦布

国际部长级会议



21世纪核电

圣彼得堡 • 2013年6月27 – 29日



国际原子能机构组织

俄罗斯联邦政府主办



俄罗斯国家原子能公司承办

经合组织核能机构协办

