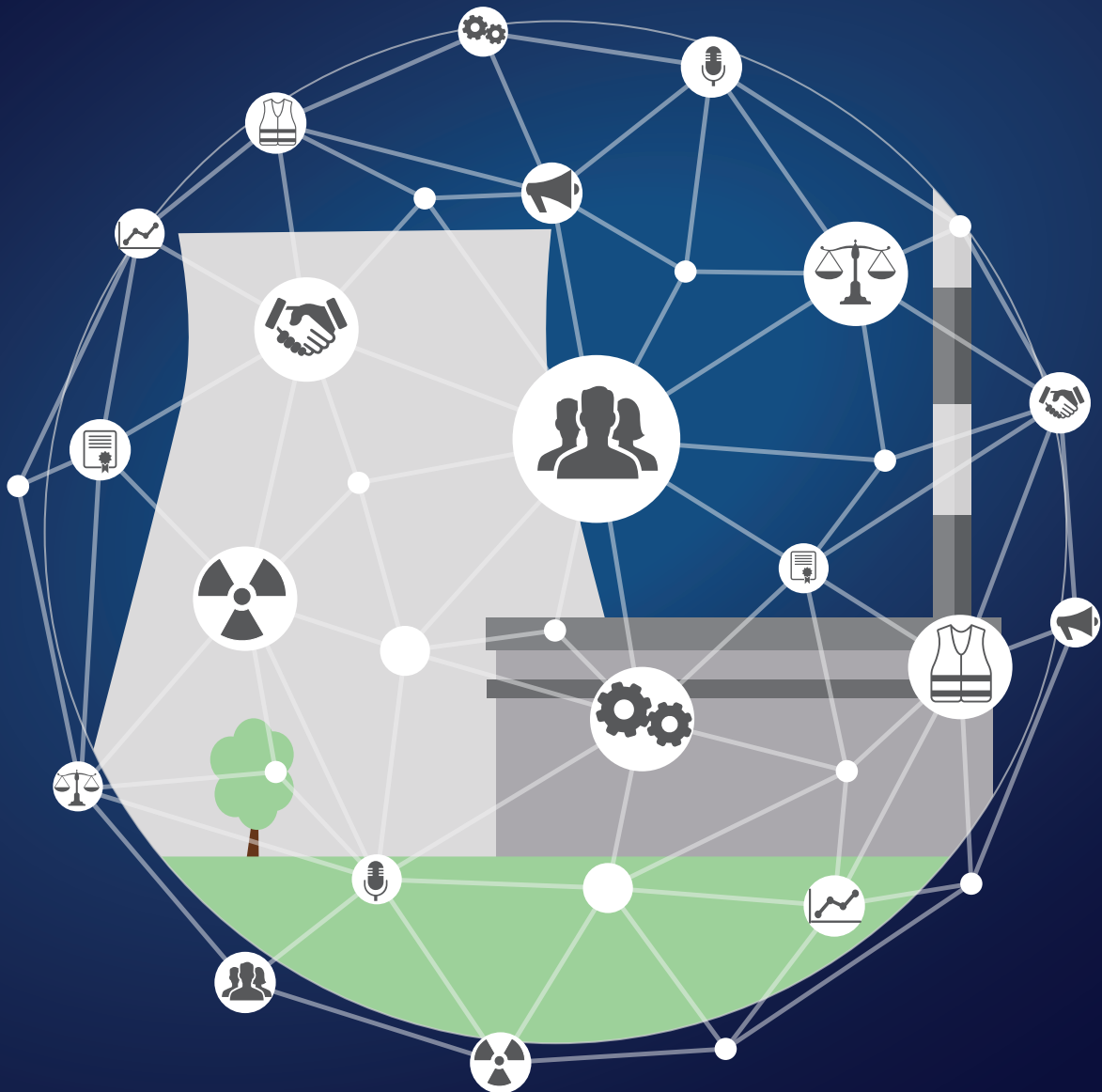


IAEA BULLETIN

国际原子能机构通报

国际原子能机构旗舰出版物 | 2021年3月 | www.iaea.org/bulletin

福岛第一核电站事故后十年进展 汲取经验教训，进一步加强核安全



确保核装置安全：从福岛第一核电站事故汲取的教训， 第6页

从设计上确保安全：新一代核反应堆如何解决安全问题， 第18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：iaacbulletin@iaea.org

执行编辑：Laura Gil

编辑：Miklos Gaspar

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：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幫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准则出版物《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，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。

福岛第一核电站事故后十年：在全球范围内加强核安全

文/国际原子能机构总干事拉斐尔·马利亚诺·格罗西

2011年3月11日，日本大地震强烈地震动了亚洲海底，使日本主岛向东移动了2.5米。

随后的海啸席卷了日本本土，冲破了包括福岛第一核电站周边在内的日本海岸防线，导致放射性核素释放。即便如此，科学家们也没有发现证据表明这种辐射造成了与健康有关的影响。

这起事故促使国际社会作出协调一致的响应，使核部门的安全和安保文化得到显著改善。事故发生后三个月，原子能机构主办了“核安全部长级会议”，原子能机构《核安全行动计划》于2011年9月获得核准。

世界各地的核工程师都在对其反应堆进行分析和设备升级。他们分享了自己的知识和成果，四年后，原子能机构发表了关于该事故的全面报告。

重要的是要认识到过去十年中日本和全世界在核安全方面取得的进展。核能比以往任何时候都更安全。尽管如此，我们仍不能自满。我继续强调要保持警惕，把安全放在首位。2021年福岛发生的里氏7.3级地震提醒我们必须保持对安全的关注。

今天的风险甚至更高，因为如果我们避免气候变化的最坏后果，就需要扩大核电。

核安全需要有效的国际合作。原子能机构是开展这种合作的主要场

所。因此，我邀请您阅读本期《国际原子能机构通报》，我们在其中概述了自2011年以来在全球安全方面所作的重要努力。

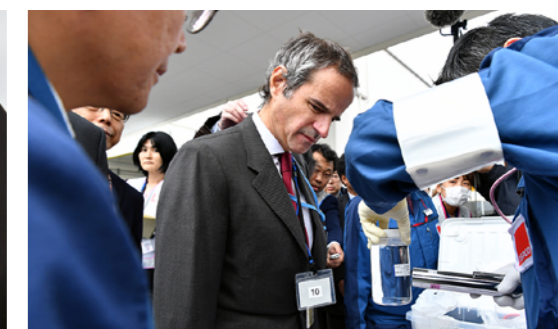
您将了解到伙伴组织在事故期间和事故后所作的努力（第4页），了解到落实的安全措施（第6页）。我们在第8页描述了我们如何为核和辐射紧急情况做准备，在第10页描述了如何与公众沟通以尽量减少恐惧，在第12页描述了这起事故及其原因。我们说明了如何审查原子能机构的安全标准，以反映所汲取的教训（第14页）。

您将了解到福岛县是如何在原子能机构的支持下，处理历史上最复杂的核清理工作之一的（第16页）。我们概述了设计创新如何促进安全（第18页），研究了如何激发年轻人对核能的兴趣（第20页），解释了我们如何促进安全文化（第22页），以及探讨了自2011年以来，国际法律文书如何使责任和安全框架更加健全（第24页）。

当您阅读本期时，将看到原子能机构和国际社会在过去十年里取得了巨大的进步。然而，我们加强安全的任务从未停止。本着这种精神，我们将于11月主办“福岛第一核电站事故后十年进展：汲取经验教训，进一步加强核安全”国际会议。在此之前，您可以相信我们会保持警惕，把工作做好。



“我们仍不能自满。我继续强调要保持警惕，把安全放在首位。2021年福岛发生的里氏7.3级地震提醒我们必须保持对安全的关注。”
—国际原子能机构总干事拉斐尔·马利亚诺·格罗西



（图/国际原子能机构）



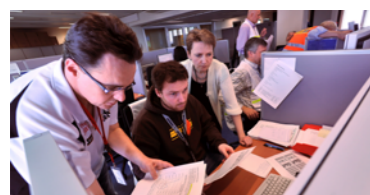
1 福岛第一核电站事故后十年：在全球范围内加强核安全



4 在安全方面团结一致
合作增强全球核安全



6 确保核装置安全
从福岛第一核电站事故中汲取的教训



8 时刻保持警惕
核或辐射应急准备和响应



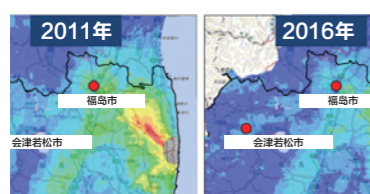
10 应急宣传
福岛核事故以来我们学到了什么？



12 熟识国际原子能机构安全标准



14 福岛第一核电站事故



16 核应急善后恢复
福岛是怎么做的



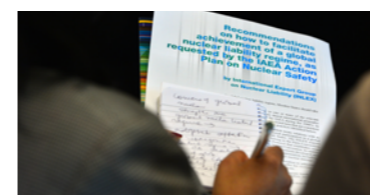
18 从设计上确保安全
新一代核反应堆如何解决安全问题



20 激发年轻人对核能的兴趣
对安全的挑战



22 国际原子能机构的安全领导短训班促进强大的安全文化



24 国际法律文书确证责任和安全制度



26 建立对核安全文化的信任

世界观点

28 为核能寻找新的声音
文/Sama Bilbao y León

30 面向未来的核安全
文/Mike Weightman

32 国际原子能机构在过去几十年中对改善核安全的贡献
文/Gustavo Caruso

国际原子能机构最新动态

34 新闻

36 出版物

在安全方面团结一致 合作增强全球核安全

文/Joanne Liou

核事故或辐射事故发生时，可能威胁安全和生计，核能界会迅速作出响应，并且从长期上，确保汲取经验教训，以加强和巩固安全，防止未来发生事故。对2011年福岛第一核电站事故的最初和随后的响应，从地方和国家层面到地区和全球层面，都强调了核能界多层次响应的本质。

“国际核安全合作对于现在和将来充分保护工作人员、公众和环境至关重要。”联合国原子辐射效应科学委员会秘书Borislava Batandjieva-Metcalf说。联合国原子辐射效应科学委员会是原子能机构在安全领域以及在制定国际安全标准方面经常合作的许多伙伴之一，它对电离辐射效应进行独立的科学评价和分析。

对福岛核事故作出响应

在核电计划中，从选址和设计到调试、运行以及应急准备和响应，始终不断地根据国家执行的标准，对安全采取行动。国际协调也很关键。

“核安全是一项国家责任。各国通过其研究机构、监管机构以及核技术及其应用的营运组织承担这一责任。”原子能机构副总干事兼核安全和安保部部长胡安·卡洛斯·伦蒂霍说，“国际合作在收集良好实践和传播这些信息方面发挥着作用，使所有国家都能了解核安全方面的最佳实践。”

在地震和海啸导致福岛第一核电站事故后的第一时间里，原子能机构的作用变得更加具有实时性。“当时，原子能机构的主要目标是收集来

自日本的信息，并将其传播给[国际]社会的其他成员，以确保所有成员国充分了解所发生的情况。同时，原子能机构促进了对日本的国际援助，”伦蒂霍说。

国际社会还建立了协调机制，例如机构间辐射和核应急委员会。1986年切尔诺贝利核电站事故发生后，机构间辐射和核应急委员会成立，以制定、维持和共同实施“国际组织辐射应急联合管理计划”。该联合计划为世界卫生组织、联合国开发计划署和国际刑警组织等一系列组织采取协调和统一的国际响应提供了基础。

Batandjieva-Metcalf说：“在福岛第一核电站事故期间，原子辐射效应科学委员会参与了机构间辐射和核应急委员会的公众沟通协调工作，以查明术语使用上存在的任何差异、混淆或不一致。在过去的几年里，获得了新的信息和测量结果，原子辐射效应科学委员会计划今年发布对福岛第一核电站事故后果的最新评价。”

汲取福岛核事故的教训

持续改进是核安全的一个关键原则。福岛核事故发生后约五个月，即2011年9月，成员国核准了原子能机构《核安全行动计划》（行动计划），在核反应堆安全评定、原子能机构同行评审、国际法律框架和核紧急情况下的公众沟通等12个领域加强全球核安全框架。“‘行动计划’是我们为促进收集和传播经验教训以及加强核安全而实施的主要手段之一，”伦蒂霍说，“我们呼吁各国加强其监管基础结

构，因为我们重新审视了国际安全标准，以确定这些标准是否与我们从福岛第一核电站事故中所汲取的教训相一致。”

阿根廷核监管局高级顾问兼原子辐射效应科学委员会代表Abel J. González说，在实践中落实安全的一个挑战是将“科学和范式转化为所有国家都尊重的国际政府间标准”，“在原子能机构的支持下，已经建立了一个强大的国际和政府间安全标准库，即独特的全球安全规范体系。”

原子能机构通过建立和不断审核国际安全标准以及为成员国提供服务，例如协助进行能力建设和派评审工作组进行审查，在促进全球核安全方面发挥了主导作用。

2015年，在来自42个国家和伙伴组织的180多名专家的协助下，原子能机构发表了《福岛第一核电站事故——总干事的报告》（《报告》）。伦蒂霍说：“日本必要地提供了信息和数据，我们的成员国和其他国际机构予以了广泛的协作。”报告基于对事故处理的事实（包括事故原因和后果）评定，并收集了主要经验教训，以改善核安全。（关于“行动计划”和《报告》的更多信息，见第32页）。

正在进行的工作

“我们不断地使国家安全统一达到高水平，从而促进全球安全。一个国家的核设施发生事故，势必影响全社

2011年5月，胡安·卡洛斯·伦蒂霍（图下）和原子能机构派日本实况调查工作组其他成员在东海第二核电厂海水进水泵区走下梯子。

（图/国际原子能机构G. Webb）

会其他地区。”伦蒂霍说，“各国必须积极主动，坚持促进全球安全，而原子能机构将继续在促进这些互动方面发挥作用。”

从书面标准到逐步培养文化规范，核安全在核技术和核应用中不断变化、始终呈现。“核安全绝不应该被视为理所当然。安全界在道德上有责任从以往的事故中汲取教训，解决出现的挑战。”González说，“虽然已经取得了进展，但仍有工作要做。”

“我们不断地使国家安全统一达到高水平，从而促进全球安全。一个国家的核设施发生事故，势必影响全社会其他地区。”

—国际原子能机构副总干事兼核安全和安保部部长胡安·卡洛斯·伦蒂霍



确保核装置安全

从福岛第一核电站事故汲取的教训

文/Carley Willis

福岛第一核电站事故强化了制定适当的国家和国际安全标准和导则的重要性，以便使核电和核技术保持安全，并继续在全球范围内提供可靠的低碳能源。

原子能机构认识到2011年事故的教训，一直在修订其全球安全标准，以确保成员国继续得到优质最新导则。

“福岛第一核电站事故对核安全思想产生了非常大的影响，表现为从预防设计基准事故向预防严重事故的明显转变，以及一旦发生事故，切实消除其后果。”原子能机构核装置安全司司长Greg Rzentkowski说。

新的安全措施

事故发生后，通过对相关标准，包括原子能机构关于设计安全的安全标准进行审查，专家们发现，可以

在现有的核电厂中采纳更高的安全水平，具体方式包括遵守更严格的防止外部自然危害的要求，并加强安全防线的独立性，这样，即使一道防线发生故障，另一道防线也不会受到影响，并阻止事故的发生。

虽然防止自然危害的要求一直包含在核反应堆的设计中，但自福岛核事故发生后，这些要求得到了加强。总的来说，现在的设计要求要考虑发生频次不低于万年一遇的自然危害，而不是以前的千年一遇。

纵深防御概念确保核电厂的各道安全防线尽可能地独立发挥作用，从而为安全功能的有效实施提供保证。保持这种独立性的必要性特别体现在保护反应堆免受共因事件的影响方面。例如，在发生海啸的情况下，后备安全系统应安置在足够高的高度，

以防止潜在的水淹，并确保在为正常运行设计的系统发生故障时，这些后备系统能够操作。

实施安全措施改进

将这些新的安全标准纳入现有反应堆的设计中，随后通过全面的安全评定和检查进行测试。评定考虑了设施的设计特点、安全升级和使用非永久性设备的规定，以证明可能导致早期或大规模释放的工况的概率实际已经消除。

“新电厂的设计考虑了发生严重事故的可能性，”原子能机构高级核安全官员Javier Yllera说，“现有电厂已实施不同的安全改进措施，同时还采取了事故管理措施。”

福岛第一核电站事故发生后，欧盟实施的安全评定或“压力测试”侧重于评估地震和洪水等自然危害，以及电厂在极端自然事件和严重事故情况下的行为。总体目标是分析反应堆对此类事件的稳健性，并在必要时提高稳健性。对反应堆的安全裕度进行了分析，并确定了可能的改进。这些

压力测试始终是在成员国的负责下进行的，使欧洲的设计和运行得到了许多改进。

例如，法国核安全局启动了对该国56座核动力堆以及在建的两座EPR反应堆的评定，然后，规定采用有可能防止大规模释放的固定和移动两种设备，包括能够在大地震或洪水等极端情景下发挥作用的高阻柴油发电机和泵，并对这种工况下冷却用替代水源的可用性作出规定。此外，法国核安全局还要求制定一项备用计划，其中包括建立快速行动部队小组，可以在24小时内携轻型设备抵达现场，在三天内携重型设备抵达现场，使用直升机等运输工具，并能够在严重受损环境中开展行动。

“从福岛第一核电站事故中汲取的教训之一是，由极端自然危害造成的场内和场外破坏会带来重大问题。”法国核安全局前专员、欧洲压力测试委员会主席Philippe Jamet说，“在事故确实发生的情况下，必须有足够的运输手段抵达现场，并有训练有素的人员在具有挑战性的工况下工作。”

“在事故确实发生的情况下，必须有足够的运输手段抵达现场，并有训练有素的人员在具有挑战性的工况下工作。”

—法国核安全局前专员
Philippe Jamet

日本大饭核电厂。
(图/关西电力公司)

时刻保持警惕 核或辐射应急准备和响应

文/Peter Kaiser

2011年3月11日，就在维也纳日出之前，警报来了。值班应急经理仔细研究了他笔记本电脑屏幕上打开的地震报告。几分钟内，受过专门应急培训的工作人员被召集到原子能机构事件和应急中心。他根据按预设程序评定的结果，启动了事件和应急中心对福岛第一核电站事故的“全面响应”。

“全面响应”意味着200多名接受过定期演习培训的工作人员每天24小时、12小时轮班工作，从“事故国”（这里指日本）和其他成员国的应急联络点收集信息，应请求提供原子能机构援助，通知国际社会，同时向媒体和公众提供最新信息，以及协调国际响应。

采取响应行动的授权

在切尔诺贝利核事故与福岛第一

核电站事故之间的25年里，原子能机构发展了应急准备和响应的“应激能力”，包括程序、基础设施、网络和专门知识。在这段时间里，原子能机构逐步扩大了其响应能力。在日本东北地区发生地震的六年前，事件和应急中心成立，其任务就是应对核和辐射紧急情况，无论这些紧急情况是由自然危害、安全故障还是恶意企图造成的。

2011年至2020年担任事件和应急中心主任的Elena Buglova说：“事件和应急中心的目的是处理与安全或安保有关的紧急情况，包括极端事件，无论压力有多大，都要作出有效的响应。”

Rafael Martinčič是一位在原子能机构工作了20年的老员工，也是应急准备和响应方面的专家，在对福岛第

一核电站事故长达1300小时的马拉松式响应中，他在事件和应急中心的操作区服务。Martinčič回忆说：“对我来说，在那次响应中汲取的关键应急准备和响应教训是，显然再次强调了这一原则，即所有国家需要相互之间以及与原子能机构分享有关其自身防护行动和其他响应行动的信息。”

Martinčič说，共享信息有助于持续有效的响应，并使各国政府能够“就作出采取防护行动和其他响应行动决定的技术基础”向有关的利益相关者提供“清晰和可理解的解释，这对于在国家和国际层面提高公众的理解和接受程度至关重要”。

大型演习，例如世界上规模最大、时间最长的国际演习——“三级公约演习”（ConvEx-3），为了解各国在紧急情况下分享其防护行动信息的能力提供了一个窗口。Martinčič说：“每一次演习都清楚地表明我们在过去十年中取得了多大的进步，以及我们在汲取这一重要教训方面还要走多远。”

十年创新

Elena Buglova可以毫不犹豫地說出原子能机构在应对福岛第一核电站事故时本能够采取的不同作法。“理想的情况是，早在这次严重事故发生之前，原子能机构就获得成员国的授权，不仅仅是接收、核实和交换信息。要是我们有一个额外的、明确的授权，来提出和分享原子能机构对信息的评定，并在可行的情况下，为事故的未来演变发展提供预判，我们就会有最好的准备”。

在福岛第一核电站事故发生时，原子能机构的响应作用并不包括对事故的潜在演变提供预判或对可能的后果进行评定。在应急响应之后，成员国认识到这种知情分析对支持其本国安全决定的好处。原子能机构大会授

予了原子能机构提供这种评定和预判的授权。Buglova说：“时至今日，我们不断地与成员国联系，锻炼事件和应急中心如何在应急响应中对事故进行评定，以及这种评定如何促进加强应急响应的有效性。”

原子能机构还在2015年发布了新的国际安全标准，并成立了专门的应急准备和响应标准委员会（EPRcSC）。“应急准备和响应标准委员会是持续关注应急准备和响应问题的全球论坛，不仅仅是在事故发生后进行关注。在应急准备和响应标准委员会这个会员人数最多的安全标准委员会，来自世界各地的国家可以分享防护政策和方法，以确保尽可能多的国家能够按照国际公认的最佳实践加强本国应急响应。” Buglova说。应急准备和响应标准委员会的一项标杆成就是通过了《核或辐射应急准备和响应》（原子能机构《安全标准丛书》第GSR Part 7号），这是共同发起倡议的国际组织最多的原子能机构安全标准。

为明天的应急做准备

正如当前的新冠肺炎大流行生动地表明，明天的应急可能会更加复杂，触发因素和应急响应考虑会呈现各种组合。Buglova说，为意外情况做好准备对于发展应对日益严苛的环境的敏捷性至关重要。

“正如人们所说，‘幸运眷顾有准备的人’。我们对自己的工作并没有那么激烈的看法，但我们确实不遗余力地创造具有挑战性的演习。如果你没有计划，失败是不可避免的。但只有演习才能证明计划的有效性。” Buglova说。

事件和应急中心以及200多名在原子能机构事件和应急系统上注册的受训工作人员每天都在为这种召唤做准备，以尽可能迅速和有效地作出响应。

“在那次响应中汲取的关键应急准备和响应教训是，显然再次强调了这一原则，即所有国家需要相互之间以及与原子能机构分享有关其自身防护行动和其他响应行动的信息。”

—应对福岛第一核电站事故的应急准备和响应专家Rafael Martinčič

“为意外情况做好准备对于发展应对日益严苛的环境的敏捷性至关重要。”

—国际原子能机构事件和应急中心主任（2011—2020年）Elena Buglova

日本核紧急情况发生后，原子能机构专家在原子能机构事件和应急中心开展工作。（图/国际原子能机构）



应急宣传

福岛核事故以来我们学到了什么？

文/Laura Gil

在核紧急情况下，宣传人员的作用几乎和第一响应人员的作用一样重要。在紧急情况引发的恐慌和恐惧中提供清晰、准确的信息，分分秒秒都很重要，能够拯救生命。

那么，应急宣传人员从福岛第一核电站事故中学到了什么？

“作为宣传人员，我们的工作帮助公众就自身的安全及其亲人的安全做出明智的决定，”美国环境保护署辐射信息和外宣部主任Jessica Wieder说。她的职责包括辐射监测。“辐射紧急情况可能很可怕，所以我们过去的本能反应是先平息公众的焦虑。现在，我们的首要目标是为化解辐射事件的严重性采取有根有据的准备工作 and 行动，不造成过度的恐慌。”

我安全吗？

任何涉及放射性物质的情况都会导致广泛的恐惧，这往往是因为，

许多人不熟悉辐射的概念，难以理解辐射。为了在这些情况下作出有效响应，宣传人员必须专注于回答受影响者提出的一个关键问题：我安全吗？

福岛第一核电站事故清楚地表明，要回答这个问题，减少公众的焦虑，宣传人员需要以清晰的格式向公众提供数据。

“人们想要数据，想要数字。”Wieder说，“在福岛第一核电站事故中，我们认识到及时发布信息的重要性。当没有及时发布信息时，我们看到失去信任有多快，恢复信任有多难。”

在福岛第一核电站事故发生前，只有极少数人能接触到环境保护署的辐射数据，这些数据是有密码保护的。然而，在事故发生后的头两周内，环境保护署取消了密码保护措施，并在其公共网站上提供了这些数据，此后一直如此。

在事故发生后24小时内，运行福岛核电站的日本东京电力公司已经开始提供初步辐射监测数据和反应堆状况实时更新。然而，对于公众和媒体来说，理解这些信息的真正含义是一个挑战。

Wieder补充说，仅靠事实并不能克服强烈的情绪。“我们不能只给公众提供数据；我们必须在给他们提供数据的同时进行解释，这样他们就能理解这些数据对他们的健康意味着什么。”

自事故发生以来，原子能机构通过提供技术专门知识和帮助向公众传播信息，在许多领域为福岛县提供了支持。它帮助制作了相关的公共信息材料，包括宣传单和网站，展示辐射监测和去污工作的成果。“使用图片、信息图表、清晰的解释和不含科学术语的语言，是实现公众对数据理解和应对感知风险的关键。”原子能机构新闻和宣传办公室负责监督福岛县信息传播支持的技术官员Miklos Gaspar说。

多个声音，一个信息

信誉建立后，必须不断加以维护。在福岛第一核电站事故发生后，宣传人员认识到，为了维护公众的信任，紧急情况下的权威声音必须使用同样的信息和同样的语调。“如果组织单位这样说，而专家那样说，我们就失去了信任。我们承受不了应急中的这种情况。”Wieder说。

当各种可信赖的来源向公众发送相同的数据和相同的消息时，就会发挥作用。“外部有人回应你的信息，会增加你所发布的信息的可靠性，否则靠你自己可能无法获得这种可靠性。”阿根廷核监管局宣传主管María Laura Duarte说，“提前协调至关重要。”

在阿根廷，与许多其他国家一

样，政府代表、应急人员和学术界专家联手开展应急宣传工作，形成网络，以便在发生紧急情况时，确切知道该打电话给谁。Duarte说，在为可能发生的事件做准备时，事先让媒体参与进来并向他们介绍情况，并让他们参加应急演练，也是很有帮助的。

真相未出门，谎言传千里

除了建立信任，协调一致的信息传承也有助于打击错误信息。在福岛第一核电站事故发生后，市民分享的信息有时是不正确的。“人们对辐射的感知风险非常高，”Wieder说，“这会导致错误的信息。”

虽然几乎不可能对每一个谣言都作出回应，但宣传人员一致认为，关键是要关注那些传播最广的谣言，并与一些不同的伙伴组织合作，消除不准确的信息。

负责运行荷兰核研究堆的核研究与咨询集团高级宣传顾问Cora Blankendaal说：“如果你不得不处理错误信息，那就试着找一个值得信赖的合作伙伴，比如医院的医生，让他们澄清情况，支持你的信息。”

踏踏实实地建立信任

但建立信任不仅在紧急情况下重要。

Duarte说：“无论是好消息还是坏消息，我们都必须时刻沟通。”对民众进行教育，并每天以公开、透明的方式与民众沟通，将使他们在发生紧急情况下更容易相信当局的信息。她说，社交媒体已经成为实现这一目标的有效途径，因为它使宣传人员和公众能够进行双向互动，建立公众对话。

Gaspar说，赢得公众信任意味着“让社区代表参与辐射测量，并持续、透明地与公众沟通”。

“在福岛第一核电站事故中，我们认识到及时发布信息的重要性。当没有及时发布信息时，我们看到失去信任有多快，恢复信任有多难。”

—美国环境保护署宣传部主任
Jessica Wieder

2011年3月17日，记者在奥地利维也纳原子能机构总部出席福岛第一核电站事故每日简报会。

（图/国际原子能机构D. Calma）

熟识国际原子能机构安全标准

文/Michael Amdi Madsen

原子能机构安全标准是什么？

核技术极大地造福社会，无论是正在生产低碳能源、治疗癌症、食品灭菌，还是监测土壤侵蚀。然而，应用这些技术需要认真的监管，以减少风险，防止工作人员、患者、公众和环境可能遭受辐射照射。这就是安全标准的用武之地。

虽然安全的首要责任在于负责涉及核技术活动的个人或组织，但监管安全是国家责任，而原子能机构可以提供帮助。原子能机构制定的安全标准反映了就保护人和环境免受电离辐射有害影响所需的高水平安全达成的

国际共识。

原子能机构安全标准涵盖所有用于和平目的的核和辐射应用，并就辐射的医疗用途、核设施（例如核电厂）的运行、放射性材料的生产、运输和使用以及放射性废物的管理提供指导和要求。

原子能机构安全标准是如何架构和制定的？

原子能机构安全标准由三套出版物组成：“安全基本法则”，以非专家读者可以理解的语言确定防护和安全的基本安全目标和原则；“安全要求”，

规定确保现在和将来保护人和环境所必须满足的要求，并帮助各国制定国家监管框架；“安全导则”，提供良好和最佳实践，并就如何遵守“安全要求”提出建议和指导性意见。

制定原子能机构安全标准是一个公开、透明的过程，在这个过程中，从世界各地使用核技术的经验中收集、综合和整合知识。然后，由五个不同的安全标准分委员会审查原子能机构秘书处编制的草案，并与原子能机构成员国分享，以征求意见和进一步的投入。

委员会涉及核安全、辐射安全、放射性废物安全、放射性物质的安全运输以及应急准备和响应，并包括来自不同国家和组织的提名专家和官员。原子能机构所有安全标准都经安

全标准委员会核可，“安全基本法则”和“安全要求”最终还经原子能机构理事机构理事会核准。

原子能机构安全标准如何适用？

适用原子能机构安全标准由各国决定。原子能机构安全标准对各国没有法律约束力，成员国可自行决定适用这些标准。但在原子能机构的自身业务中以及原子能机构向各国提供援助时，这些标准适用于原子能机构。

当一国选择适用原子能机构安全标准时，往往希望将这些标准纳入自己的国家法规中使用。原子能机构安全标准有时也被设计、建造和运行核设施或使用辐射源和放射源的其他组织或行业所采用。

位于俄罗斯别洛雅尔斯克核电厂的BN-800商用快堆。
(图/俄罗斯核电公司)



福岛第一核电站事故

文/Laura Gil

导致2011年3月11日福岛第一核电站事故的因素不止一个。

第一个因素：地震和海啸

当日本海岸发生里氏9.0级地震时，福岛第一核电站的反应堆自动关闭，以控制核裂变。虽然电线倒塌，但核电站按设计作出反应，地震本身没有造成任何其他问题。然而，地震引发的海啸却造成问题。

“从地震的角度来说，反应堆是坚固的。”原子能机构安全和安保协调办公室主任Gustavo Caruso说，“但它们很容易受到海啸巨浪的冲击。”

当洪水来袭时，为保护核电站免受此类事件影响而建造的“海啸墙”太低，无法阻止海水进入核电站。水势汹涌，摧毁了一些建筑物，并进入柴油发电机房，影响到1号、2号和3号机组。福岛核电站柴油发电机房建得比日

本其他核电站低、离海平面更近。

Caruso说：“尽管作出了种种努力，尽管核电站结构抗震，但海啸是影响核电站纵深防御设计的主要原因，绕过了几道安全防线，导致1号、2号和3号机组的堆芯熔化。”

第二个因素：设计缺陷

“柴油发电机对于在应急情况下维持电站的电力供应至关重要，”原子能机构核电工程处处长Pal Vincze说，“它们被淹没了。”

如果柴油发电机受到影响，可以使用特殊电池发电，但这些电池的容量有限，而且，就福岛第一核电站而言，一些电池也被淹了。“在日本，他们为使电力系统重新运转起来进行了一场英勇的战斗，但这还不够。”Vincze补充说。

由于仪表和控制系统、电力或冷

却能力失去正常运转，过热的燃料融化，下沉到反应堆底部，并破坏了反应堆容器，导致三次熔毁。此外，数据日志和由安全参数操作的重要系统也被淹没，这意味着操作人员无法监控反应堆内部正在发生的情况。

第三个因素：安全文化不足之处

正如原子能机构关于福岛第一核电站事故报告（《报告》）中所说，“导致事故发生的一个主要因素是日本国内普遍认为其核电站非常安全，发生如此规模的事故简直是不可想象的。这一假设为核电站营运者所接受，并且未受到监管机构或政府的质疑。因此，日本对2011年3月发生的严重核事故准备不足。”

这种自满等于一种“基本假设”，即核电站可以应付任何事情，无论是与技术有关，还是与自然有关。在规划、设计和建造核电站时，专家们没有适当考虑以往的海啸经验。

“人们相信这些核电站足够安全，已经做好了面对极端外部事件的充分

准备。”Caruso说，“必须指出的是，这种规模的地震和海啸的结合是极为罕见的，但不幸的是，这就是发生的事情。”

Caruso补充说，这一基本假设，加上操作人员缺乏足够的事故管理培训，以及缺乏抵御海啸的足够补偿措施，导致了这次事故。

第四个因素：监管体系漏洞

福岛第一核电站事故暴露了日本监管框架的某些薄弱环节。根据《报告》，职责被分给若干机构，而且权限所在并不总是很清楚。《报告》还指出，原子能机构向监管机构提出的一些安全建议没有得到落实，一些国际标准也没有达到。

Caruso总结说，必须指出的是，尽管堆芯损害导致放射性物质释放到环境中，但没有产生可归因于辐射的健康效应，因为“根据剂量数据以及环境和个人监测，公众成员招致的有效剂量非常低，通常与全球天然本底辐射水平产生的有效剂量范围相当”。

福岛第一核电站附近的取样船。
(图/NRA)



核应急善后恢复 福岛是怎么做的

文/Laura Gil

不到一个小时。这是2011年地震引发的海啸到达日本东部海岸线的时间。不久之后，第一次海啸袭击了福岛第一核电站，导致事故发生，迫使数万人撤离。从那时起，日本政府和福岛县当局作出了重大努力，以使大部分撤离地区能够重新居住。事故发生后十年，福岛县受灾区的的生活是什么样子？

“日本为清理残留的放射性污染作出了巨大努力。”原子能机构辐射安全和监测处处长、原子能机构支持福岛县灾后恢复工作项目组长Miroslav Pinak说，“自2012年以来，原子能机构在这方面和其他活动方面一直在向该县提供援助，包括辐射监测，并有效地分析和交流结果。孩子们现在在学校操场上玩耍；徒步旅行者在福岛县森林中穿行，事故发生后，那里的出入受到限制。我们认为这无疑是一个成功。”

原子能机构根据国际范例和原子能机构安全标准，提供了技术专门知识、设备、专家工作组访问和恢复作业指导（关于安全标准的更多信息，见第12页）。它一直在三个技术领域为日本当局和科学家提供支持：辐射监测、治理和去污活动产生的废物管理。

在应对核或辐射紧急情况时，辐射监测很重要。专家需要回答一些关键问题。是否有放射性物质释放？如果有，释放了哪些类型和数量的放射性核素？如何以最有效的方式保护人和环境？为了回答这些问

题，在紧急情况下需要经常测量环境中的辐射水平。

原子能机构事件和应急中心代理主任Florian Baciu说：“在紧急情况下，辐射监测有助于确定是否在需要采取防护行动的地方和时间，准确地实施这些行动，例如掩避或撤离。

大量的放射性铯同位素被释放到空气中，并沉积在福岛县的森林、土壤和水体中。在原子能机构的帮助下，日本当局制定了长期监测计划，除测量野生动物、蘑菇和森林中其他食物的放射性外，还检测陆地和水中的放射性铯。

Pinak补充说，由于天然放射性衰变，预计辐射水平将逐渐降低。“根据森林长期监测计划的结果，2011年至2019年间，空气剂量率总体下降约78%。随着时间的推移，森林中的放射性浓度将继续下降，监测计划将反映这一趋势。”

大自然伸出援手

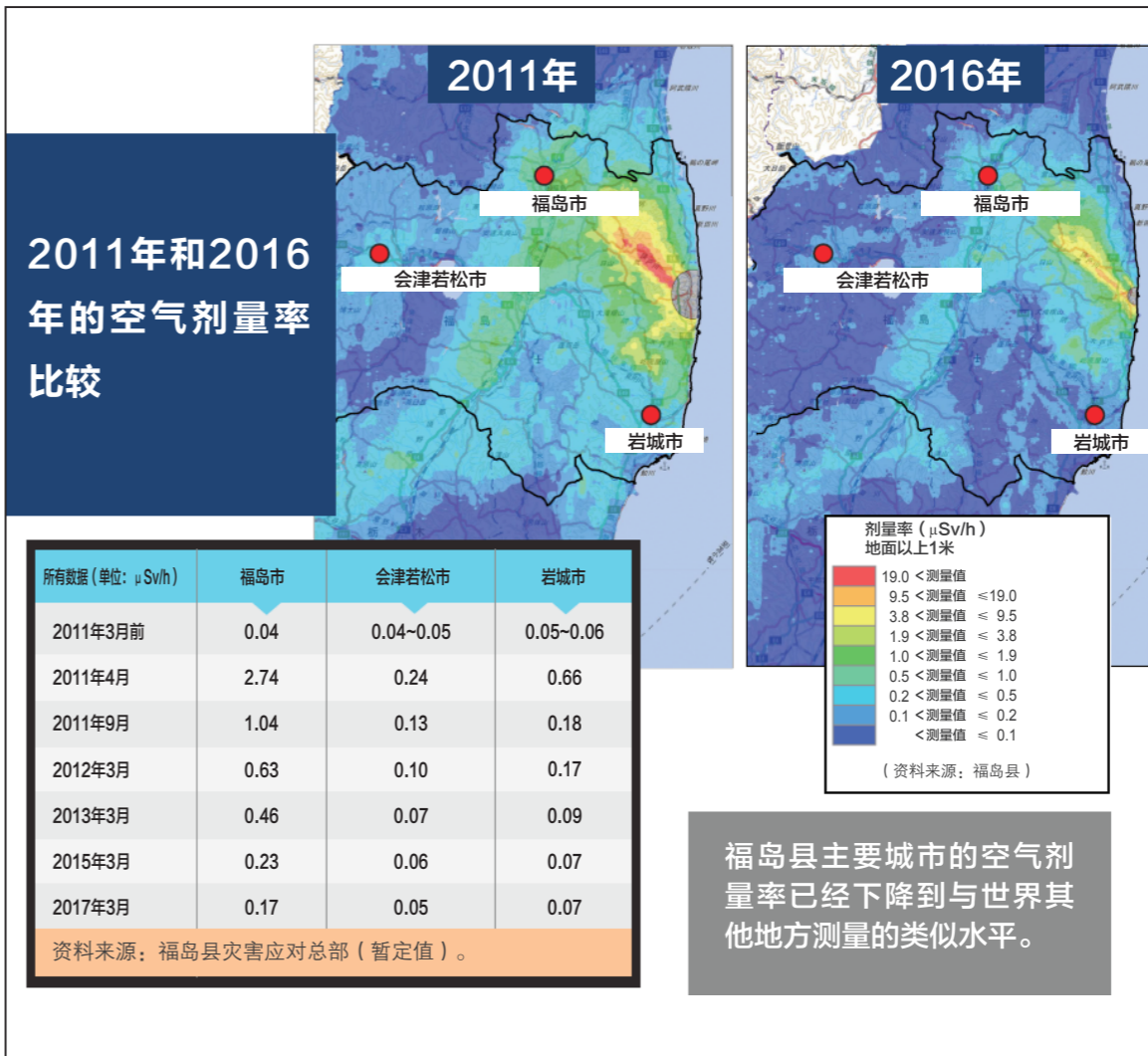
经过多年的监测和分析结果，专家们观察到的是，大部分放射性铯被保留在森林中，并没有在空气中流通。换言之，大自然除了具有放射性核素的化学和物理特性外，还一直在帮助遏制放射性污染，使其远离人类。

“人们会受到放射性铯的内照射和外照射。内照射途径包括摄入或吸入，会导致该元素聚集在身体的软组织，特别是肌肉组织。”Pinak说，“这就是为什么好消息是森林土壤中的粘

2011年和2016年的空气剂量率比较

所有数据 (单位: $\mu\text{Sv/h}$)	福岛市	会津若松市	岩城市
2011年3月前	0.04	0.04~0.05	0.05~0.06
2011年4月	2.74	0.24	0.66
2011年9月	1.04	0.13	0.18
2012年3月	0.63	0.10	0.17
2013年3月	0.46	0.07	0.09
2015年3月	0.23	0.06	0.07
2017年3月	0.17	0.05	0.07

资料来源：福岛县灾害应对总部（暂定值）。



福岛县主要城市的空气剂量率已经下降到与世界其他地方测量的类似水平。

辐射监测站遍布福岛县乡村，那里的生活正在稳步恢复正常。（图/国际原子能机构F.Nassif/和福岛县）

土矿物会结合放射性铯，阻止其转移至植被和农田。”

围绕着电站区的福岛县河流、池塘和湖泊也发挥了作用。在淡水生态系统中，放射性铯与悬浮沉积物结合，沉积在水体底部。这导致水中溶解的放射性铯含量迅速下降。

治理和去污

尽管大自然发挥了它的作用，放射性衰变的物理过程导致个别放射性核素活度显著下降，但仍需要作出更多努力，清理各个地区的放射性污染。自事故发生以来，福岛县一直在实施治理活动，例如刮除被污染的表层土壤，并一直在安全管理由此产生的放射性废物。

“福岛县产生的废物被收集并贮存在现场或附近的临时贮存点。”Pinak说，“这些废物将放置在由中央政府开发和运营的临时贮存设施中。在临时贮存设施中临时贮存长达30年后，将在县外进行最终处置。”

事故仍带来许多挑战，辐射监测站遍布福岛县乡村。不过，该县大部分地区的生活正在稳步恢复正常。

“由于放射性同位素的自然衰变和去污活动，事故以来剂量率已大幅下降，但要清除所有放射性污染并不容易。”自2011年以来一直在福岛县从事环境相关重建工作的Minako Kamota说，“一些周边地区仍被列为难返区，但其他大部分地区的环境已得到治理，接近事故发生前的状态。”

“日本为清理残留的放射性污染作出了巨大努力。”

—原子能机构辐射安全和监测处处长Miroslav Pinak

从设计上确保安全 新一代核反应堆如何解决安全问题

文/Joanne Liou

1942年，在芝加哥大学运动场的看台下，发生了第一次自持核链式反应。在一个木制框架中，石墨块与铀穿插在一起构成了“堆”——核反应堆。上方，一根控制棒挂在一根绳子上，一名身穿防护服的男子站在旁边，准备在发生任何故障时用斧头砍断绳子。控制棒会落入反应堆堆芯，停止链式反应。这名男子是世界上第一个核安全系统的化身。

在随后的几十年里，安全影响了反应堆的发展，从20世纪50年代的原型堆和60年代的商业化动力堆，到20世纪90年代出现的先进设计。今天的反应堆与最初的斧头人相去甚远，其设计和系统确保了高水平的安全。

新一代核反应堆包括一些已经投入运行的反应堆和尚未部署的反应堆设计。原子能机构将先进核反应堆区分为渐进型反应堆和创新型反应堆，两者均汲取了2011年福岛第一核电站事故的经验教训。渐进型反应堆改进了现有设计，保持了经验验证的设计特征，而创新型反应堆采用了新技术。

大多数渐进型反应堆都可在市场上获得，并且已经并网。与传统反应

堆相比，这些反应堆的基本安全方案基于采取强化纵深防御战略，通过更加强调固有安全特性和非能动特性，减少对操作员干预的依赖，以尽量减少事故风险。

创新型反应堆吸收了在使用冷却剂、燃料、运行环境和系统配置方面的根本性改变。一些创新型概念正被考虑在未来10至20年内部署。

原子能机构核电技术发展处处长Stefano Monti说：“从技术角度看，[创新型反应堆]有很大不同，因为它们通常不使用水作为冷却剂。”他补充说，从物理角度看，不同的冷却剂也改变了提取热量的方式以及产生和维持核裂变反应的方式。

例如，钠、铅和铅铋或气体冷却的先进快中子反应堆，使用能量高得多的中子来引起裂变。快中子反应堆的设计目的是提高燃料效率，从而减少高放废物。原子能机构安全评定处处长Vesselina Ranguelova说：“从安全角度看，由于发生事故的可能性和放射性后果都有所降低，与它们的运行相关的风险非常低。原子能机构的先进反应堆信息系统提供了所有这些类型的先进

反应堆的详细技术和安全信息。

去年，世界上第一座先进小型模块堆在俄罗斯部署，许多创新小型模块堆正在开发中，以供近期部署。在全球范围内，约有70个小型模块堆概念和设计，阿根廷和中国的两座小型模块堆已处于建造后期阶段。

安全系统

从福岛事故中汲取的教训使国际安全要求得到显著加强，这些要求将体现在先进反应堆的设计中，从而使发生具有严重放射性后果的事故的可能性极低，并且一旦发生事故，从实际上消除放射性后果。（关于福岛第一核电站事故的更多信息，见第14页）。

小型模块堆的概念验证，要求供应商在开发和评价纵深防御战略的基础上，证明反应堆控制、堆芯冷却和反应性限制等基本安全功能的有效性。

例如，美国纽斯凯尔电力公司设计了一个模块化轻水堆，将蒸汽生成和热交换组件集成到一个单元中，预计将在2027年部署。“现有核电机组目前面临的主要安全挑战集中在清除残余（衰变）热和保持反应堆冷却的能力上，”纽斯凯尔电力公司监管事务经理Carrie Fosaaen说，“纽斯凯尔电厂的总体设计采用了更简单的系统，这排除了对现有核设施目前所需复杂配置的需要。”

鉴于创新的性质，引入非能动和其他创新的安全特性对监管提出了挑战。监管机构的任务是核实设计者的安全声明，这可能需要额外的研究和分析来评价新设计。

“为了论证设计安全，需要对所有电厂状态——正常运行、预期运行事件和事故工况——进行全面评定。在此基础上，可以确定设计抵御内部和外部事件的能力，并证明安全特性的有效性。”Ranguelova说，“虽然创新设计很有前景，但必须辅之以监管机构健全的安全评定和许可证审批过程，以支持其利用和部署。”

技术中立的安全框架

原子能机构正在评估现有原子能机构安全标准可在多大程度上适用于创新技术。“我们的安全标准是技术中立的。然而，它们大多是利用反应堆的运行经验制定的，这些反应堆大多是水冷反应堆。”Ranguelova补充说。尽管这些标准原则上是中立的，但对于某些或所有类型的小型模块堆来说，实施起来可能会有所不同。

Ranguelova说：“存在一些差距，我们还需要制定更多的导则或支持文件，以便将这些标准适用于创新技术。”原子能机构预计将在2022年发布一份关于原子能机构安全标准对小型模块堆技术适用性的安全报告。

“虽然创新设计很有前景，但必须辅之以监管机构健全的安全评定和许可证审批过程，以支持其利用和部署。”
—国际原子能机构安全评定处处长Vesselina Ranguelova

“现有核电机组目前面临的主要安全挑战集中在清除残余（衰变）热和保持反应堆冷却的能力上。”

—纽斯凯尔电力公司监管事务经理Carrie Fosaaen



激发年轻人对核能的兴趣 对安全的挑战

文/Sinead Harvey

由于核技术在能源生产中发挥着重要作用，努力确保核安全的长期可持续性至关重要。最近，许多国家的年轻人开始放弃从事核领域工作。由于核安全有赖于向新一代强有力地传授知识，国际核能界如何才能吸引年轻人从事一般的核领域工作，特别是核安全工作？

加拿大核安全委员会主席Rumina Velshi说：“为了适应不断变化的世界，我们必须为核行业注入新活力和新视角，并确保核行业吸引最优秀和最聪明的人。” Velshi明白，像加拿大核安全委员会这样的国家监管机构有责任吸引和留住年轻人从事核事业，以确保最高水平的安全。Velshi说：“当我们把一部分人排斥在外，或未能向他们敞开心扉时，我们就无法发挥自己的潜力。”

年轻人与核能

新反应堆建设的中断，尤其是在西方国家，加上反对核能的政治言论，导致全球为从事核事业工作而学习的年轻人人数下降。在《2021年全球能源人才指数》报告中，调查了166

个国家的核行业从业人员，其中29%的受访者年龄在18岁至34岁之间，而55岁以上的受方者为36%。

John Lindberg过去几年一直在英国伦敦国王学院和伦敦帝国学院攻读博士学位，研究对核能负面看法的长期影响。“问题是，一些人认为核技术已经成为过去，是让人恐惧的东西。”他说。

机械工程师协会最近的一项调查突出强调了这一点。调查发现，年轻人普遍对核能持怀疑态度，对核能作为低碳能源的作用缺乏认识。调查显示，年轻人对核能的安全表示担忧，尤其是在核废物的管理方面。

Lindberg主张在这方面进行适当的教育。“至关重要是，国际社会和全球业界应共同努力，让学生参与进来，不仅有助于消除这些观念，而且更重要的是，有助于培养对核技术以及该行业提供的许多就业机会的应有热情。”

改变年轻人的观念

Jawaher Al-Tuweity是摩洛哥盖尼特拉伊本道法伊大学电离辐射计量

学、医用物理学和辐射防护领域的博士研究生。作为也门科学研究和可持续发展论坛的总协调员和也门青年专业网络的的领导人，她多年来一直致力于在自己的祖国也门为年轻人创造核技术方面的机会。

Al-Tuweity说：“至关重要是，核工业应与教育部门合作，共享信息和机会，让年轻人发现自己的科学才能和感兴趣的领域，改变他们对核的看法。”也门和许多其他发展中国家一样，面临着不平等问题。“目前所作的努力是不够的，也是不可持续的，因为它们并没有使发达国家和发展中国家平等受益”。

Al-Tuweity补充说，核职工队伍的多样化能够推动整个行业的创新。全球已作出一些努力，以创造公平的竞争环境。例如，原子能机构玛丽·斯克洛多夫斯卡-居里进修计划的目标是向在研究生阶段学习核学科的女性提供财政支助。到目前为止，共有71个国家的100名学生获得了进修。

博士生Lindberg也倡导核行业多元化。“多样性使整个核部门更具灵活性和活力，最终也更为成功。这有助于我们避免众所周知的群体思维和陷入‘回音室’的危险，在这种情况下，群体只会重复听到同样的观点和意见。”他说，“公众参与是一个领域，在这个领域，更多的思想多样性至关重要，因为这将鼓励用新的和创新的方法与公众接触，让他们了解核能的好处。”

职业道路

为了避免重复过去的安全问题，公司现在可以投资确保知识的适当传承。网络建设和辅导计划在传授知识和提供年轻人入职想要的职业发展方面起着双重作用。

2020年11月举行的原子能机构“辐射安全：改进辐射防护实践”国际会

议包括了一项专业发展计划，该计划提供核工业资深人士和年轻人之间的互动，以提出新的想法，推动并确保核工业的可持续性。

加拿大核安全委员会还利用核安全领域的各种职业作为吸引年轻人的一种方式。“我们正在努力扩大讨论核安全的范围，使受众不局限于核工程专业的学生或拥有核设施的社区。” Velshi说，“我最近给岩土工程专业的研究生做过一次讲座，学生们对公众信任和核能以及他们作为工程师在这一领域的作用非常感兴趣。”

气候变化与数字革命

在世界各地，年轻人发起抗议，要求采取行动应对气候变化，气候变化是当今面临的全球最大挑战。这些年轻人受过气候相关问题的教育，渴望参与关于地球未来的全球讨论。缓解气候变化仍然是维持和扩大使用核能的一个关键驱动力，原子能机构最新年度预测显示，到2050年，全球核电容量可能翻一番。这对核工业和国际社会来说是一个机会，可以将核电和核安全作为一个不断增长和创新领域中令人兴奋和相关的职业选择。

通过全面的核能教育，了解核能对人类和环境的好处、职业发展机会和核员工队伍的全面多样化，核能职业可以成为令人垂涎的职业。

对于Velshi和加拿大核安全委员会来说，核安全领域的数字革命为年轻人提供了一个机会。“今天，我们正处于‘第四次工业革命’或数字革命的开端。人类发展的这一新篇章，主要是由科学技术进步推动的，正在以指数级的速度发展。核行业同样如此。我们知道，核工业正在寻求创新的解决方案，从机器人技术到量子计算，再到利用人工智能来应对现有的挑战。核安全领域的职业生涯为你提供站在了这场革命前沿的可能性。”

“当我们把一部分人排斥在外，或未能向他们敞开心扉时，我们就无法发挥自己的潜力。”

—加拿大核安全委员会主席
Rumina Velshi



(图/国际原子能机构D. Calma)

国际原子能机构安全领导短训班促进强大的安全文化

文/Anjarika Strohal

为什么领导在核安全中至关重要？启动适当的安全行动，激励员工确保安全程序得到全天候遵守，以及为落实安全措施提供指导，这一切都需要领导。

了解领导者在安全方面的重要性，是2016年启动的原子能机构核和辐射安全领导国际短训班的一项内容。

在员工中培养安全文化，使他们能够理解安全的重要性和维持安全所需的措施，是核工业的关键。建立强大的安全文化是利用核技术时最基本的管理原则之一，其目的是加强落实安全的系统性方案，也就是国家核基础结构内的人、技术和组织之间的互动。重视安全文化是从福岛第一核电站事故汲取的主要教训之一。

“短训班的目标是使核领域的当前领导者和未来领导者能够更好、更深入地了解自己在世界各地的核设施中

建立健全的安全文化的作用。”原子能机构安全和安保协调办公室计划和战略协调科科长Shahid Mallick说，“在使用核技术时，宣传安全第一原则的政策和计划非常重要。”

短训班重点关注核和辐射安全领导概念在现实生活情况中的应用，目的是培养职业生涯中期的专业人员的领导技能，并通过正常和应急情景检验领导和管理技能。Mallick说：“自短训班推出以来，我们所有成员国对参加短训班的要求都很高，这反映了对这种支持的需求。”

安全：自上而下和自下而上

短训班学员按照学习目的的教学进度，学习新的沟通方式，从了解“目标”、“价值观和态度”和“参与”开始，逐步通过案例研究、专题介绍、主旨讲话和讨论，了解更复杂的现实生活

情况。作为首要任务，教学大纲为学员提供了安全的基本依据和基本知识。课程由来自国际组织、核运营者和学术界的专家编写，包括基于核或辐射应急案例研究的实践培训。

泰国“原子用于和平”办公室宣传官员Karmolporn Pakdee参加了2020年2月由日本东海大学主办的第一届原子能机构核和辐射安全领导国际短训班，他说：“核和辐射安全需要所有人的合作。我们需要作为一个团队都致力于此，采取规划和系统性方案，包括正确使用各种工具和沟通，只有这样，我们才能将核和辐射安全带给世界每个角落的公众。”

通过案例研究和领导艺术游戏，学员们处理了诸如意外医疗照射、核电厂停运和放射性物质泄漏等情况。他们被要求找出组织单位在核安全过程和机制方面存在的差距和确定改进方式。

总干事在2015年的报告《福岛第一核电站事故》中强调的一个领域就是需要一个系统性的核安全方案。原子能机构高级安全官员María Moracho Ramírez说，在短训班进行的实际练习检验了这种方案在受现实生活情况

启发的模拟情景中的应用，并补充说：“各级工作人员无论在一个组织单位中的地位和作用如何，都必须展现出对安全的承诺和领导能力。”

伊比利亚-美洲放射性和核监管机构论坛主席Rosbell Bosch Robaina说，“参加短训班是一次独特的经历，也是我最好的学习经历。它为我们所有人有效地处理安全方面的领导问题提供了许多工具，并通过与同行和经验丰富的高级核领导专家分享知识，获得了国际视野。作为一个新的网络小组的一部分，也使我们能够分享知识和经验。”

原子能机构继续支持成员国培养安全文化和发展领导技能，以确保核设施的安全管理。2017年在法国举办短训班试点后，2018年将成功的方法推广到在印度和墨西哥举办的短训班，随后2019年在巴西、摩洛哥、巴基斯坦和土耳其以及2020年在日本举办了该短训班。为了取得最有效的成果，课程通常预计面对面举办；不过，应成员国的要求，正在开发包括虚拟内容的混合版短训班，作为线上学习的补充方案。

“核和辐射安全需要所有人的合作。我们需要作为一个团队都致力于此，……只有这样，我们才能将核和辐射安全带给世界每个角落的公众。”
—泰国“原子用于和平”办公室宣传官员Karmolporn Pakdee



国际法律文书确证责任、安全制度

文/Joanne Liou

在正常运行期间，特别是在发生意外的情况下，适当的法律框架对于安全、可靠及和平利用核技术是不可或缺的。当今的国家和国际核法律体系以充分保护个人、财产和环境的方式，为开展与核能和电离辐射有关的活动提供了法律框架，并有助于在出现问题时确定责任。

1986年切尔诺贝利事故促使《及早通报核事故公约》（及早通报公约）和《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约）迅速获得通过，它们构成了国际应急准备和响应框架的法律基础。后来，经过进一步谈判，1988年通过了《关于适用〈维也纳公约〉和〈巴黎公约〉的联合议定书》，以及1997年通过了《修订〈关于核损害民事责任的维也纳公约〉的议定书》和《核损害补充赔偿公约》。此外，2011年福岛第一核电站事故催

化了进一步加强现有核责任和安全框架的努力。

“在1986年切尔诺贝利事故发生时，在原子能机构主持下缔结的与和平利用核能有关的条约很少。”原子能机构高级法律官员Andrea Gioia说。除了通过1986年的“及早通报公约”和“紧急援助公约”外，后来在1994年还通过了《核安全公约》，随后在1997年通过了《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》。

福岛第一核电站事故发生后，成员国通过了原子能机构《核安全行动计划》（详见第32页），其中概述的12个领域之一就是加强国际法律框架。Gioia说：“这方面主要重点是有效执行现有条约，以及加强核责任制度。”

促进全球核责任

界定法律责任的全球核责任制度

的意义“在于两个主要领域：公众信心和核贸易。如果核电要在世界能源供应去碳化中发挥其必要的作用，就必须消除发展新设施的障碍，例如有关责任安排的不确定性。”国际核责任专家组主席Steven McIntosh说。

原子能机构“行动计划”提出需要建立“全球核责任制度，解决可能受到核事故影响的所有国家的关切，以便为核损害提供适当和充分的赔偿”，同时也是澳大利亚核科学技术组织政府和国际事务高管的McIntosh说。

《核损害补充赔偿公约》（补充赔偿公约）虽然于1997年获得通过，但直到2015年日本提交接受书后才开始生效。

“缔约国已决定建立一个定期会议制度，以审查共同关心的问题，并进一步促进对‘补充赔偿公约’的遵守，加强全球责任。”Gioia说。

“补充赔偿公约”缔约方第一次会议于2018年举行，下一次会议预计将于2021年8月在维也纳召开。“补充赔偿公约”的目的是通过缔约国提供的公共基金和联合国分摊比额，增加发

生核事故时的赔偿金额。

维护《核安全公约》

虽然在福岛第一核电站事故发生后，修订《核安全公约》的尝试没有成功，但2015年以协商一致方式通过了一项政治宣言——《维也纳核安全宣言》（维也纳宣言）。“维也纳宣言”为缔约国新核电厂的设计、选址和建造提供指导，并包含现有装置定期安全评定导则，以确定安全改进措施，从而达到《核安全公约》的目标。原子能机构法律官员Judith Silye说：“缔约国还承诺，在编写提交2017年《核安全公约》第七次审议会议审议的报告时，将在其行动中反映这些原则。”

此外，为向实现《核安全公约》的目标提供指导，以及支持编写国家报告和改善透明度、审议过程和国际合作，成立了有效性和透明度工作组。“在这方面，除非有关缔约方另行通知秘书处，否则每一份国家报告都在审议会议之后公开提供。”Silye补充说。

“如果核电要在世界能源供应去碳化中发挥其必要的作用，就必须消除发展新设施的障碍，例如有关责任安排的不确定性。”

—国际核责任专家组主席、澳大利亚核科学技术组织政府和国际事务高管Steven McIntosh

《核安全公约》

1996年10月24日生效的《核安全公约》的目标之一，是“通过加强国家措施和国际合作，在世界范围内实现和维持高水平的核安全”。90个缔约方在《核安全公约》下的义务包括在每三年一次举行的审议会议上，提交关于履行其《核安全公约》义务的“国家报告”，供“同行评审”。



建立对核安全文化的信任

文/Michael Amdi Madsen

虽然核事故和辐射事故少之又少，但深入分析表明，在大多数情况下，安全文化存在弱点是根本原因。自2011年福岛第一核电站事故以来，以安全防线为重点的安全文化理念已经并正在迅速实施。

为了更好地了解人们对加强核工业安全的态度在如何转变，我们采访了世界核电营运者协会（WANO）主席Tom Mitchell。Mitchell执掌世界核电营运者协会已有两年，拥有40多年的核工业经验，正在带领核电营运者致力于加强安全文化。

世界核电营运者协会是一个非营利组织，通过提供同行评审、技术支持和全球运行经验，帮助其全球商用核电厂营运者成员实现运行安全和可靠性。

问：福岛第一核电站事故发生后，由于担心安全问题，公众对核电的支持受到影响。如何才能恢复公众的信任？

答：这是一个很好的问题，也是我们所有核工业者思考的问题。信任涉及信心，自福岛第一核电站事故以来，核工业一直寻求在三个主要领域重建信任：技术、监督（包括许可证审批和监管）以及核设施营运者。

在世界核电营运者协会，我们在技术方面没有太多的互动，而监管是原子能机构工作的一项重要内容。但在营运者方面，有一个世界核电营运者协会，一个汇集世界各地核电营运者并寻求最大限度地关注核安全的自愿组织，这一事实应有助于向营运者灌输信心，赢得公众的信任。

问：强有力的安全标准对核设施至关重要，但也会增加运行成本。降低成本是否是对安全文化的挑战？如果是，如何找到平衡？

答：价格对于像电力这样的基本产品是很重要的，我们不认为在提高人的绩效和领导安全方面与保持价格



“自福岛第一核电站事故以来，核工业一直寻求在三个主要领域重建信任：技术、监督（包括许可证审批和监管）以及核设施营运者。”

—世界核电营运者协会主席 Tom Mitchell

竞争力之间存在矛盾。根据我们的经验，注重安全的组织能够有效地以高容量负荷运行反应堆。安全变化会对可靠性产生积极的影响，最终提高成本效益。我们发现改善安全文化与降低运行成本是相辅相成的。

问：核电营运组织领导者如何在运行中鼓励安全文化？

答：我曾在加拿大和美国的两个大型核电厂担任厂经理，我的观点是，以身作则至关重要。领导者在与员工互动和处理问题的方式上要树立榜样。

作为一名领导者，拥有正确的态度很重要，世界核电营运者协会与营运者合作培养有效的领导力特征。我们对领导力的定义比较宽泛，并努力在培训计划中全面提升良好的素质，处理不同技术中存在的问题，包括安全问题。

问：在强大的安全文化方面，有哪些例子核工业其他部门可以效仿，你为什么认为他们做得好？

答：世界核电营运者协会的一个关键特征是我们相互学习，无论是在我们行业内部，还是在我们行业外部。当你跳出核工业看时，会想到一个很好的例子，那就是航空业，历史上我们有相互学习的关系，例如，团队应该如何在控制室或驾驶舱内操作。

我们在世界核电营运者协会所做

的一件关键事情是确定优势，并学习其他行业的秘诀，特别是积极的经验教训和更好的实践。仿效和共享经验是营运者的任务书中必不可免的——那是我们的工作。

我还认为，我们在核工业的一些作法也转移到其他行业。例如，如果你去美国的医院做手术，你会听到外科医生为了避免沟通失误和人为失误而使用的大量“复述”和其他策略。这些作法都是核领域试过的。

问：原子能机构如何能够进一步支持核工业的安全文化？

答：原子能机构在改善核工业的安全文化方面可以发挥极其重要的作用，在过去十年里，世界核电营运者协会和原子能机构的关系得到加强。作为世界核电营运者协会主席，我希望看到这种情况继续下去。

我们合作工作最近一个成功例子是与核工业新进入者的合作。通过与原子能机构和电力研究所密切合作，我们制定了一份路线图，指导各国完成向核电过渡的所有必要步骤，从建设到运行——将安全和规章放在首位。

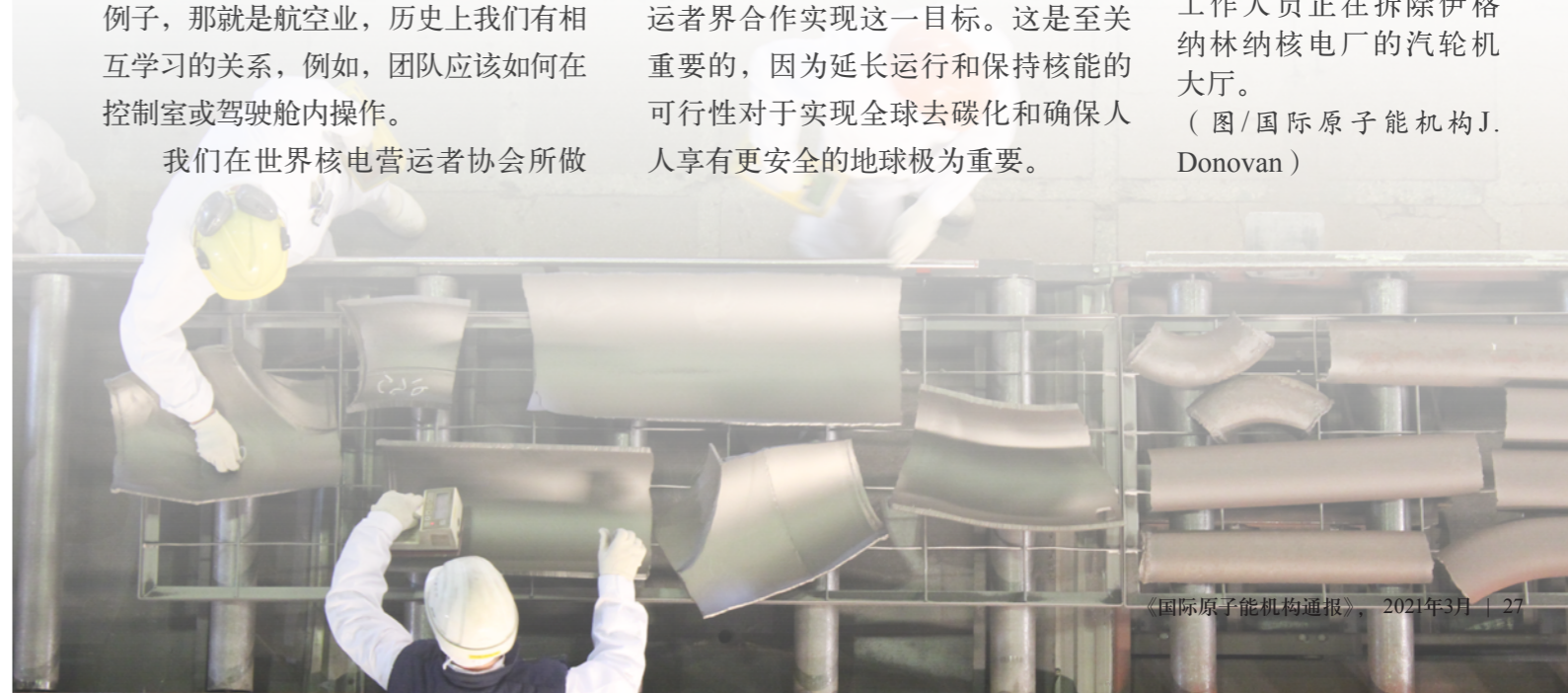
当你考虑延长核电运行和实施新技术时，原子能机构在确保其安全实施方面发挥着重要作用，它可以与营运者界合作实现这一目标。这是至关重要的，因为延长运行和保持核能的可行性对于实现全球去碳化和确保人人享有更安全的地球极为重要。

“仿效和共享经验是营运者的任务书中必不可免的——那是我们的工作。”

—世界核电营运者协会主席 Tom Mitchell

工作人员正在拆除伊格纳林纳核电厂的汽轮机大厅。

（图/国际原子能机构J. Donovan）



为核能寻找新的声音

文/Sama Bilbao y León



Sama Bilbao y León是世界核协会总干事，该协会代表全球核工业，负责促进主要国际利益相关者对核能的更广泛认识。她在核工程、核安全以及研究和学术等许多领域拥有丰富的经验。此前，她曾担任经合组织核能机构核技术发展和经济处处长，也曾任国际原子能机构水冷堆技术发展科科长。

尽管核能具有社会效益，并在缓解气候变化方面发挥着作用，但在福岛事故后的世界里，核电的名声却充满挑战。为什么会这样，该行业怎样做才能改变它？

核能是发达经济体中最大的低碳电力来源。在过去50年里，核能的使用避免了超过60亿吨的二氧化碳排放¹。除了在缓解气候变化方面的作用外，核能还通过避免颗粒物和其他污染物的排放，促进清洁空气。核能边可靠、可预测和具有成本效益地运行，边实现这一切。此外，核能还为当地创造了许多高质量长期就业机会，以及带来重大的涓滴社会效益，这在后新冠疫情的复苏背景下非常重要²。然而，尽管如此，公众的看法仍然是该行业面临的一个问题，对安全和核废物的关切掩盖了所有其他的成就。

与切尔诺贝利事故期间发生的情况相反，在福岛第一核电站事故期间，核工业发布了大量的数据和信息。然而，在一个全天候的新闻报道和信息扩散时代，使每个人都能够在互联网上宣传自己的观点，这种较高的透明度仍然未能获得广大公众的信任。

信任来之不易，也容易失去。它是经过长期、日复一日的努力而赢得的；它不可能在需要的时候立即建立起来，而且在发生不利事件后会受到影响。核工业已经尽职尽责地采取了重要措施来改善人们对其看法，包括展示高标准，承诺透明，以及为当地社区提供支持。

但是，尽管有这些努力，人们仍然对核能抱有怀疑。许多人仍然认为它过于复杂和不自然。从这个意义上说，使核工业“人性化”对赢得公众信任将有很大帮助。展示负责操纵核工业的众多面孔——一切种族、年

龄、宗教和政治倾向的男男女女，有助于公众更好地与核能联系起来，因为人们信任“与他们一样”的人。

显然，事实本身并不足以让人们熟悉核能和辐射。核行业该更好地理解人们负面看法背后的情感和动机，并将核能的人性一面纳入对话。由于现实和许多人的看法之间的脱节，事实证明，核行业是社会和行为科学学者研究的丰富来源，他们积累了大量知识。

遗憾的是，这些知识并没有得到业界的高度重视，大多数从研究到实践的转化在很大程度上都是偶然的。大多数关于核相关主题的教育、外宣和交流工作都采用传统的方案，没有充分利用心理学、社会学和行为科学的知识³。现在是核能界利用这些知识来帮助我们在福岛事故后的世界中有效地宣传核能的时候了。

随着核能界提供的技术选择范围的扩大，我们还需要一个一致的、全方位的信息。业界对各种大小技术选择的重要性和适用性发出明确、统一的声音，是确保核能在实现去碳化目

标和可持续发展目标方面充分发挥作用的关键。延长现有机组的寿命是在我们建造下一代电厂的同时弥补能源差距所不可或缺的。大型反应堆仍将是许多清洁能源系统的支柱，而小型模块化反应堆和先进反应堆的部署也存在相当多的机会，为核能开辟新的市场和应用。重要的是，我们作为一个群体，重视每一种核技术选项的优势，同时不损害替代方案。世界核协会正在努力以建设性的方式讲述“我们的成员所代表的所有技术的集体利益。”

核能以及核辐射的许多应用实在是太重要了，不能让虚假信息和恐惧获胜。除了核电对去碳化、清洁空气和经济发展的重大贡献外，如果我们不能获得公众和决策者的信任，辐射在医学、农业、工业和太空探索等方面的大量应用也可能处于危险之中。当务之急是，核能界要用一个声音说话，并利用现代社会和行为科学的研究成果，有效地宣传核技术的好处。我们有责任确保子孙后代享有选择核能的权利，如果他们愿意的话。

“核能以及核辐射的许多应用实在是太重要了，不能让虚假信息和恐惧获胜。”
—世界核协会总干事 Sama Bilbao y León

¹ 清洁能源系统中的核能—分析—国际能源署

² 建设更强大的明天—大流行后世界的核电—世界核协会 (world-nuclear.org)

³ 即将出版的《核技术杂志》关于核能和社会科学专刊

⁴ 今日和明日的大型和小型核电需求—世界核协会 (world-nuclear.org)

面向未来的核安全

文/Mike Weightman



东日本大地震及随之而来具有破坏性的海啸导致东京电力公司的福岛第一核电站发生核事故，现在已经过去十年了。产生了各种报告，举行了若干次会议，开展了一系列详细的分析和技术调查。我们是否学到了足够的东西，是否充分汲取了教训？这起事故给后代带来的主要信息是什么？

核电可以成为解决清洁能源和清洁用水等全球问题的一个主要组成部分。但在许多国家，公众对该技术的接受程度很低。有人说，一旦出错，就会对社会造成重大破坏，对人造成伤害，人们为什么要相信它？社会在发生变化，而且变化很快。技术正在推动人们的生活。这一切对核安全的未来意味着什么？我们了解吗？

福岛第一核电站事故的主要教训

从事故中得到的教训已经在一些分析报告中列出，最权威的是2015年原子能机构总干事的报告《福岛第一核电站事故》。虽然从本质上讲，这些教训分为技术方面和人或组织方面两类教训，但它们应被视为整个体系的一部分，而且这本身就是一个重要

的教训。

技术方面的教训包括：

- 在对不确定性采取预防方案的基础上，采取协调一致方案设计外部危害的设计基础；
- 在安全分析和规定中涵盖相关的危害和多厂情景；
- 提供强有力的手段来确保基本安全功能（安全壳、控制和冷却），包括在严重事故情景下；
- 提供强有力的手段来监测严重事故中的反应堆和乏燃料安全参数；
- 确保场外应急监测和应急控制中心能够在严重工况下有效工作；
- 采用全风险方案进行场外应急决策。

当然，可以说，现有原子能机构安全标准的要求涵盖了此类问题，但重要的是，这些标准是否得到理解、遵循和落实。这就需要关注安全的人为因素和组织因素，而这正是一些主要挑战所在。在这个领域观察到的一些主要教训是：

- 防止自满情绪和群体思维；
- 采取持续改进的理念；

- 确保核监管机构是真正独立的；
- 采用系统方案来确定和改进确保核安全的制度安排；
- 遵守原子能机构的安全标准和其他导则，如国际核安全组的第4号和第27号报告。

各种途径推动了对这些经验教训的汲取：监管机构、国际研究机构、公众关切、拥有核电厂的国家和其他利益相关者，以及重要的是，核工业本身。这些经验教训在很多地方都有记载，特别是在《福岛第一核电站事故后核电厂所采取行动的落实情况 and 效果》（原子能机构《技术报告》第1930号）；世界核电营运者协会以及经济合作与发展组织核能机构的报告；以及国家、监管机构和电力公司的出版物。这些经验教训表明，在持续改进的文化基础上，许多领域已经发生了变化。

走向未来

鉴于迄今所取得的成就，在福岛第一核电站正在进行的退役工作或其他地方的相关工作中，不太可能出现任何进一步改善核安全的重要经验。当然，随着对受损反应堆内部情况的调查以及对材料进行回收和退役，更多的研究将有助于促进对分析和严重事故建模技术的信心，或进一步加强

这些技术。进一步考虑对涉及低水平辐射照射的优化风险决策进行平衡，将有助于确定应急安排，使健康和社会损害最小化。

随着对先进反应堆设计的考虑越来越多，我们有机会重新审视灌输一种更基本的核安全方案，利用非能动安全理念，减少对多种复杂保护系统的依赖。此外，正在进行的耐事故燃料研究有可能是前进的重要一步，它也可能有利于目前的核反应堆安全。

然而，在正在进行的核运行和发展计划中，可能在核安全方面取得进一步进展的主要领域是人为安全和组织安全领域。特别是，我们必须制定一个更加综合和系统的方案来建立和改善核安全机构，以使后代能够最终利用安全和经济的核电解决世界面临的环境挑战。而要做到这一点，我们必须确保并证明，我们来之不易的经验不会丢失，并通过谦虚和反应迅速的方案，赢得不断变化的社会的信任。这就是我们的责任。

想要更多地了解核安全在不断变化的社会中的影响，请查询即将举行的“福岛第一核电站事故后十年进展：汲取经验教训，进一步加强核安全”国际会议的信息。

“在正在进行的核运行和发展计划中，可能在核安全方面取得进一步进展的主要领域是人为安全和组织安全领域。”

—核安全顾问Mike Weightman

2011年5月27日，原子能机构实况调查组组长Mike Weightman检查了福岛第一核电站3号反应堆机组。（图/国际原子能机构G. Webb）

国际原子能机构在过去几十年中对改善核安全的贡献

文/ Gustavo Caruso



Gustavo Caruso自2016年起任国际原子能机构核安全和安保部安全和安保协调办公室主任。他在核安全相关领域拥有超过40年的经验。2011年福岛第一核电站事故发生后，他被指定为原子能机构《核安全行动计划》的特别协调员。他还协调了编制《福岛第一核电站事故——总干事的报告》和五卷技术文件的工作。他的职业生涯始于阿根廷核监管局。

在 2011年3月11日福岛第一核电站事故发生后，原子能机构着手审查和加强全球核安全，汲取事故的经验教训。

原子能机构《核安全行动计划》

2011年6月，原子能机构召开了“核安全部长级会议”，开始这方面努力。会议制定了原子能机构《核安全行动计划》（行动计划）。“行动计划”在2011年9月得到成员国认可，确定了加强全球应对该事故的核安全框架的工作计划。

自“行动计划”通过以来，在几个关键领域取得了重大进展，包括评估核电站的安全薄弱环节；加强原子能机构的安全同行评审服务；必要时修订原子能机构的相关安全标准；提高应急准备和响应能力；建设核与辐射安全方面的能力，以及加强安全文化；加强与国家当局之间的沟通和信息共享；国际合作；以及加强相关国际法律框架。

作为“行动计划”下工作的一部分，营运国推出了加强核安全的措施（目前仍在实施），包括针对核电站薄弱环节评估结果而采取的

措施。此外，“行动计划”还加强了在安全问题上采取质疑态度的重要性，对现有安全假设及其合理性提出了质疑。通过实施“行动计划”，所有参与方都表明了对加强核电站和世界各地其他核设施的核安全的承诺。

“行动计划”还呼吁国际原子能机构秘书处、成员国和相关国际组织审查和加强国际应急准备和响应框架。各国通过立即采取措施对事故作出回应，其中包括开展“压力测试”，重新评估核电站针对场址特定极端自然危害的设计，安装额外的备用供电供水源，以及加强防范极端外部事故的电厂保护。

尽管“行动计划”下的大部分工作已经结束，但仍有一些较长期的活动将在未来几年内完成。重点仍然是汲取事故的教训。

作为“行动计划”的一部分，原子能机构举行了九次国际专家会议，分析福岛第一核电站事故的关键技术问题。它还对日本进行了超过15次的国际专家工作组访问，并就这些工作组访问报告发表了报告，以便为未来打下坚实的知识基础，并继续加强全世界的核安全。

原子能机构的福岛第一核电站事故报告

2015年，原子能机构出版了关于福岛核事故的综合报告《福岛第一核电站事故》（《报告》）。《报告》提供了权威、实事求是、平衡的评价，讨论了事故的原因和后果，以及汲取的教训。原子能机构总干事的报告及其所附的五卷技术文件的出版，是广泛的国际合作努力的结果，有来自42个国家的180多名专家参与其中，这些国家有的有核电计划，有的没有，还有一些国际机构也参与了这项工作。他们的参与确保了经验和知识具有广泛代表性。一个国际技术咨询组就技术和科学问题提出了建议。

《报告》利用截至2015年3月从广泛来源获取的数据和信息，描述了事故及其原因、演变和后果。它包括在执行原子能机构《核安全行动计划》方面所开展工作的成果，强调了主要评述和教训。日本政府和日本的其他组织提供了大量的数据。

《报告》呼吁采取系统性的安全方案，通过考虑三类因素内部和之间的动态相互作用来解决整个系统的问题：人的因素（如知识、思想、决定、行动）、技术因素（如技术、工具、设备）和组织因素（如管理系统、组织结构、治理、资源）。这种系统性的安全方案通过将这一复杂的相互作用系统作为一个整体来处理而发挥作用。《报告》还强调了更好地研究所有这些因素的优势和劣势如何

相互影响的重要性，以便积极主动地减少或消除风险。

相关国际机构共同努力，对辐射防护的原则和标准进行清晰易懂的解释，使决策者和公众更容易理解其应用。《报告》总结说，需要一个更好的沟通策略，向包括公众在内的所有利益相关者传达这些措施和行动的合理性。

还需要指出的是，尽管事故重大，有三个堆芯熔化，但在工作人员或公众成员中没有观察到可归因于该事故的辐射诱发健康效应。这与独立的联合国原子辐射效应科学委员会在事故发生后几年向联合国大会报告的结论一致。

福岛第一核电站事故强调了在核安全方面进行有效的国际合作的极其重要性，而原子能机构是现在进行大部分这种合作的场所。因此，《报告》中的建议此后已被纳入国家法规、国际安全标准和相应的原子能机构安全导则。

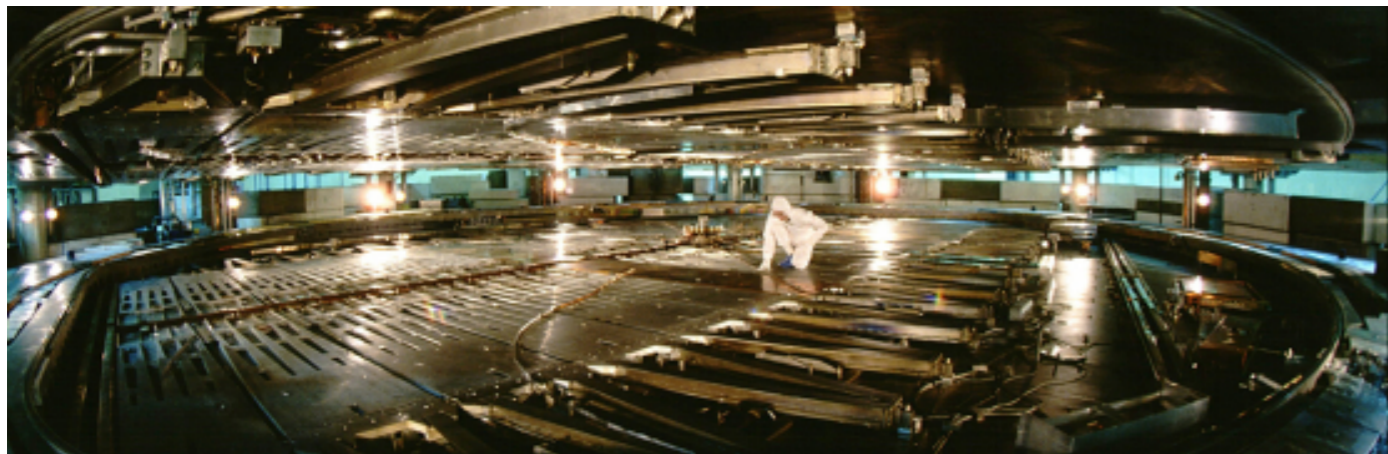
原子能机构继续分析福岛第一核电站事故的相关技术问题，并向更广泛的核能界分享和传播经验教训。它将继续支持其成员国汲取这些经验教训，将考虑对这些措施的实施情况进行任何适当的后续审查。《报告》的完成并不意味着我们的工作已经完成，原子能机构在制定其核安全战略方面的努力必须并将继续下去。至关重要是，原子能机构应保持和利用这一势头来加强全球核安全。

“原子能机构在制定其核安全战略方面的努力必须并将继续下去。至关重要是，原子能机构应保持和利用这一势头来加强全球核安全。”

—国际原子能机构核安全和安保部安全和安保协调办公室主任Gustavo Caruso

The Fukushima Daiichi Accident
Report by the Director General and Technical Volumes

什么是回旋加速器？它们在哪里？



位于加拿大不列颠哥伦比亚省的TRIUMF的内景。TRIUMF是国际原子能机构在线提供的新数据库中所介绍的全球1300个回旋加速器设施之一。

(图/Gordon Roy/TRIUMF)

回旋加速器 (cyclotron) 听起来更像是科幻电影中的角色名字，它实际上是一种粒子加速器，一种利用电磁场将带电粒子推进到非常高的速度和能量的机器。回旋加速器被用来生产放射性同位素，以制备诊断和治疗癌症用的一种医疗药物，即放射性药物。全世界有1500多个回旋加速器设施，原子能机构最近更新了其交互式地图和数据库，对95个国家的1300个此类设施进行了标注。

2019年推出的放射性核素生产用回旋加速器数据库是一个工具，可以帮助放射性药剂师等专家以及医用回旋加速器设施的所有者和使用者查询和交流有关运行回旋加速器的技术、实践和管理信息。它是原子能机构致力于提高各国生产放射性同位素和将辐射技术应用于医疗保健的能力的一部分。

原子能机构放射性同位素和放射性药物化学家Amir Jalilian说：“回旋加速器正在迅速发展，并将在医疗保健领域，特别是在先进医学成像程序中发挥越

来越重要的作用，因为回旋加速器生产的放射性药物在检测各种癌症方面非常有效。”

正电子发射断层成像和单光子发射计算机断层成像等医学成像技术都依赖回旋加速器生产的放射性同位素。然而，与同样产生放射性同位素的研究堆不同，回旋加速器不使用核材料，也不像反应堆那样需要考虑放射性安全和安保问题。

原子能机构的数据库使用户能够搜索每个设施的细节，包括它们所容纳的回旋加速器的类型、大小和数量。该领域的专业人员可以联系和分享其放射性药物产品的专门知识和信息。该平台还宣传即将举行的原子能机构活动和关于回旋加速器安装和应用的出版物。

该数据库是原子能机构支持各国生产放射性核素工作的一部分。原子能机构提供与放射性药物生产设施有关的专家咨询和技术指导；通过培训班和教育计划发展人力资源能力；以及通过调查研究项目促进研究和发展。

医用回旋加速器的所有者和

使用者可以与原子能机构物理学和化学科学司联系，通过填写在线表格发送有关其设施的最新信息。

欲了解更多信息，以及查询更多关于加速器及其应用的信息，请访问放射性核素生产用回旋加速器数据库和加速器知识门户网站。

科学

回旋加速器是一种粒子加速器，它以螺旋形路径反复推进一束带电粒子（质子）。用这些质子轰击非放射性材料（稳定同位素）可以制成医用放射性同位素。当质子束与稳定同位素相互作用时，发生核反应，使稳定同位素变成放射性同位素。

一些医院拥有自己的回旋加速器，并就地生产具有较短放射性寿命的放射性同位素，然后成为供患者直接使用的放射性药物。得益于该领域最新取得的进展，诸如锝-99m (Tc-99m) 和镓-68 (Ga-68) 等关键放射性同位素现在也能够回旋加速器中生产。

文/Aleksandra Peeva

气候变化与咖啡：利用核技术防治咖啡锈病



葡萄牙咖啡叶锈病研究中心感染咖啡叶锈病的咖啡叶。

(图/国际原子能机构I. Ingelbrecht)

咖啡业每年产生约1000亿美元的收入。但是，随着气候变化及其产生的天气模式的变化，在许多传统的种植区，曾经适合咖啡植物生长的条件正在恶化，咖啡叶锈病（一种导致咖啡树死亡的疾病）的发病率正在上升。

原子能机构与联合国粮食及农业组织（粮农组织）合作，一直在与各国专家共同努力利用核技术缓解咖啡叶锈病对咖啡树的影响。原子能机构第一次培训专家利用植物育种技术开发对引起咖啡叶锈病的真菌具有抗性的咖啡品种。在一个为期五年的协调研究项目中，来自六个国家的科学家一直在研究抗病咖啡植物品种，而这项培训是该项目的一部分。

“种植者一直注意到气候变化对其咖啡作物的影响，导致收成减少，而且这些咖啡产区的很多地区正在经历不稳定的降雨，助长了疾病的传播。”粮农组织/原子能机构粮农核技术联合中心植物育种和遗传学实验室主任Ivan Ingelbrecht说，“阿拉伯品

种的咖啡通常生长在气候较凉爽的地方，在山坡上，在阴凉的地区，但现在我们看到山上温度在增加，这对咖啡叶锈病等疾病的传播产生影响。”

哥斯达黎加的咖啡种植

在哥斯达黎加，大多数咖啡种植园都坐落在小块到中型的土地上。这些家庭式农场经常依靠季节性工人手工采摘咖啡豆。这个过程既要及时又是劳动密集型的，在收获季节需要多达1.4万名来自哥斯达黎加和巴拿马的工人。

但随着气候变化加剧了不适合咖啡植物生长的天气模式，季节性工作机会减少，影响了生计。人们还发现，不断变化的降雨模式和不断上升的温度缩短了咖啡植物感染叶锈病的时间，增加了感染率，从一株植物蔓延到另一株植物。

哥斯达黎加咖啡研究所与原子能机构和粮农组织合作，一直在研究咖啡叶锈病对整个国家的影响以及如何防治。随着记录显示自2010年以来温度的上升和降雨模

式的变化，咖啡种植者发现他们无法在通常的时间收获作物。

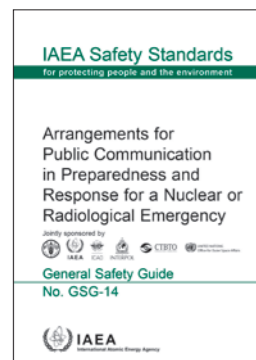
“生产力的降低影响了种植者的收入，减少了可用于协助种植园的资源，将为子孙后代保护农场的工作置于危险之中。这可能会影响我国未来的土地占有模式。”哥斯达黎加咖啡研究所生物技术专家Reina Céspedes说，“推进咖啡树的遗传学研究对于改善咖啡生产家庭的生活质量、维持土地所有权和促进环境可持续性至关重要。”

葡萄牙的咖啡研究

葡萄牙也参与了粮农组织/原子能机构的这个项目，是咖啡叶锈病研究中心的所在地。来自全球40个国家的约3600个咖啡锈病样本在咖啡叶锈病研究中心进行了评价，科学家们在23个咖啡树品种中鉴定出50种不同类型的咖啡叶锈病。在这个项目中，发现了咖啡锈病病原菌的三个新变种。对这些形式的全球咖啡锈病的研究将有助于鉴别对咖啡锈病具有抗性的咖啡植物品种——考虑到咖啡锈病多种多样，事情比较棘手。

“2011年，通过咖啡种植国的咖啡种植者、病理学家和技术公告，我们首次了解到天气模式变化对咖啡收成的影响。”咖啡叶锈病研究中心植物病理学家Vitor Várzea说，“当务之急是寻找和鉴定抗咖啡叶锈病的咖啡植物新品种，然后可以推广到其他国家。”

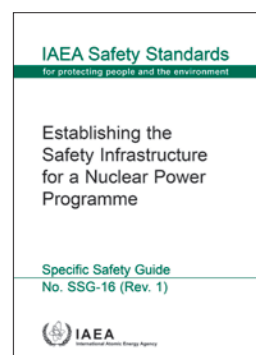
文/Carley Willis



《核或辐射应急准备和响应的公众宣传安排》

本出版物为成员国在核或辐射应急响应时制定与公众和媒体的沟通安排和协调官方信息提供支持。这些安排有助于成功实施防护行动和传递一致的信息。该出版物具体描述了下列情况所需的基础结构和流程：在发生核或辐射紧急情况时向公众提供有用、及时、真实、一致、明确和适当的信息；回应不正确的信息和谣言；回应公众和新闻信息媒体的信息需求。该出版物将有助于确保在核和辐射紧急情况下作出有效和统一的新闻和媒体宣传安排。本导则适用于此类紧急情况，无论始发事件是自然事件、人为差错、机械故障或其他故障，还是核安保事件。

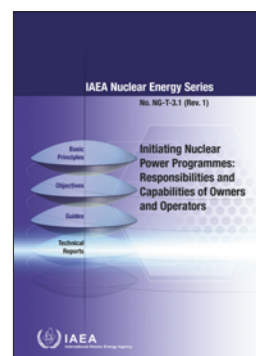
国际原子能机构《安全标准丛书》第GSG-14号；ISBN：978-92-0-109019-5；英文版；48欧元；2020年



《建立核电计划的安全基础结构》

本出版物为建立国家核安全基础结构提供导则，国家核安全基础结构是新兴核电计划所需总体准备工作的一个关键组成部分。该出版物以200项连续行动的形式，就发展核电计划前三个阶段中满足原子能机构的适用安全要求提出建议。该出版物旨在供参与制定和实施核电计划的个人或组织使用，包括政府官员和立法机构、监管机构、营运组织和外部支持实体。

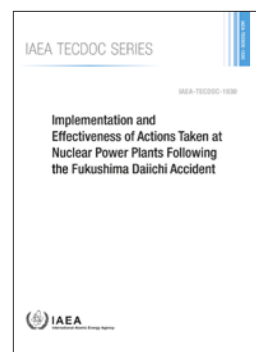
国际原子能机构《安全标准丛书》第SSG-16号；ISBN：978-92-0-115310-4；英文版；40欧元；2015年



《启动核电计划：业主和营运者的职责和能力》

本出版物提供有关业主/营运者的建立和发展信息，以便其能够在核电计划的整个阶段履行其职责。它还讨论了业主/营运者和其他利益相关者之间的接口管理。核电计划基础结构的发展包括在人力资源发展、核燃料循环和废物管理、行业参与和核安全等领域制定政策和战略。它还要求建立法律和监管框架，以创造能够以透明和有效的方式执行项目的环境。

国际原子能机构《核能丛书》第NG-T-3.1 (Rev.10) 号；ISBN：978-92-0-104619-2；英文版；30欧元；2020年



《福岛第一核电站事故后核电厂所采取行动的 implementation 情况和有效性》

本出版物述及一直实施和维护福岛后行动的成员国组织面临的挑战和持续需要，讨论了所采取的（或将采取的）行动和良好实践，描述了在实施、验证、质量鉴定和维护方面的有效解决方案，讨论了衡量和维持行动有效性的方案以及对优势、成本和效益的分析，以及介绍了为确保长期可持续性而制定实施和后续政策、计划和程序的决策实例。

国际原子能机构《技术文件》第1930号；ISBN：978-92-0-120720-3；英文版；18欧元；2020年

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

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

在线阅读本期和其他各期《国际原子能机构通报》：
www.iaea.org/bulletin

更多了解国际原子能机构及其工作，请访问网址：
www.iaea.org

或通过以下方式关注我们：



IAEA

国际原子能机构
原子用于和平与发展