# 核法律：

## 全球辩论

IAEA
国际原子能机构

# 核 法 律
# 全 球 辩 论

# 国际原子能机构的成员国

阿富汗
阿尔巴尼亚
阿尔及利亚
安哥拉
安提瓜和巴布达
阿根廷
亚美尼亚
澳大利亚
奥地利
阿塞拜疆
巴哈马
巴林
孟加拉国
巴巴多斯
白俄罗斯
比利时
伯利兹
贝宁
多民族玻利维亚国
波斯尼亚和黑塞哥维那
博茨瓦纳
巴西
文莱达鲁萨兰国
保加利亚
布基纳法索
布隆迪
柬埔寨
喀麦隆
加拿大
中非共和国
乍得
智利
中国
哥伦比亚
科摩罗
刚果
哥斯达黎加
科特迪瓦
克罗地亚
古巴
塞浦路斯
捷克共和国
刚果民主共和国
丹麦
吉布提
多米尼克
多米尼加共和国
厄瓜多尔
埃及
萨尔瓦多
厄立特里亚
爱沙尼亚
斯威士兰
埃塞俄比亚
斐济
芬兰
法国
加蓬
格鲁吉亚
德国
加纳
希腊
格林纳达
危地马拉
圭亚那
海地
教廷
洪都拉斯
匈牙利
冰岛
印度
印度尼西亚
伊朗伊斯兰共和国
伊拉克
爱尔兰
以色列
意大利
牙买加
日本
约旦
哈萨克斯坦
肯尼亚
大韩民国
科威特
吉尔吉斯斯坦
老挝人民民主共和国
拉脱维亚
黎巴嫩
莱索托
利比里亚
利比亚
列支敦士登
立陶宛
卢森堡
马达加斯加
马拉维
马来西亚
马里
马耳他
马绍尔群岛
毛里塔尼亚
毛里求斯
墨西哥
摩纳哥
蒙古
黑山
摩洛哥
莫桑比克
缅甸
纳米比亚
尼泊尔
荷兰
新西兰
尼加拉瓜
尼日尔
尼日利亚
北马其顿
挪威
阿曼
巴基斯坦
帕劳
巴拿马
巴布亚新几内亚
巴拉圭
秘鲁
菲律宾
波兰
葡萄牙
卡塔尔
摩尔多瓦共和国
罗马尼亚
俄罗斯联邦
卢旺达
圣基茨和尼维斯
圣卢西亚
圣文森特和格林纳丁斯
萨摩亚
圣马力诺
沙特阿拉伯
塞内加尔
塞尔维亚
塞舌尔
塞拉利昂
新加坡
斯洛伐克
斯洛文尼亚
南非
西班牙
斯里兰卡
苏丹
瑞典
瑞士
阿拉伯叙利亚共和国
塔吉克斯坦
泰国
多哥
汤加
特立尼达和多巴哥
突尼斯
土耳其
土库曼斯坦
乌干达
乌克兰
阿拉伯联合酋长国
大不列颠及北爱尔兰联合王国
坦桑尼亚联合共和国
美利坚合众国
乌拉圭
乌兹别克斯坦
瓦努阿图
委内瑞拉玻利瓦尔共和国
越南
也门
赞比亚
津巴布韦

国际原子能机构《规约》于 1956 年 10 月 23 日经在纽约联合国总部举行的原子能机构《规约》会议核准，并于 1957 年 7 月 29 日生效。原子能机构总部设在维也纳，其主要目标是“加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献”。

# 核 法 律
# 全 球 辩 论

国 际 原 子 能 机 构
维也纳

原书《核法律：全球辩论》于 2022 年由荷兰海牙 T.M.C. 阿瑟尔出版社首次以英文出版，并由德国海德堡施普林格出版社根据知识共享署名 3.0 IGO 许可证制作和发行。ISBN 978-92-0-538722-2（简装书：碱性纸），978-92-0-538822-9（pdf 格式），978-92-0-538922-6（epub）。

https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-6265-495-2

© 国际原子能机构，维也纳 • 2022 年

本出版物按撰稿人提交的原始资料编制，未经原子能机构编辑人员编辑。所表达的观点仍然属于撰稿人的责任，不一定反映国际原子能机构或其成员国的观点。国际原子能机构及其成员国对使用本出版物可能产生的后果均不承担任何责任。本出版物并不涉及与任何个人的作为或不作为有关的责任、法律或其他方面的问题。使用某些国家或领土的特定名称并不意味着国际原子能机构作为出版者对这类国家或领土、其当局和机构或其边界划定的法律地位作出任何判断。提及具体公司或产品的名称（不论表明注册与否）并不意味着国际原子能机构有意侵犯所有权，也不应被解释为国际原子能机构的认可或推介。作者有责任在获得国际原子能机构的必要许可后方可翻印、翻译或使用已受版权保护的各种来源的资料。国际原子能机构对本出版物中提及的外部或第三方因特网网站的网址继续存在或准确与否不负有责任，而且不保证这类网站上的任何内容现在或将来仍然准确或适当。

# 序

核法律是一个不断发展的领域，国际原子能机构处于其中心。这一高度专业化的法律体系渗透到整个核部门，使核技术得到安全、安保和和平利用。

因此，我们能够享受核科学技术的许多拯救生命的好处，包括癌症护理、清洁能源和作物增产。

原子能机构和国际社会建立了一个近乎普遍的保障制度，旨在发现和阻止核材料从和平核活动被转用于核武器制造。此外，我们建立了安全（和安保）第一的文化，并适应于恐怖主义等新威胁。

核科学技术在创新和需要应对新冠肺炎疫情及气候变化等持续和新兴挑战的推动下不断发展。核法律必须与之一同发展。这就是为什么我们出版这本书，作为原子能机构第一次“核法律：全球辩论”国际会议的一部分。

2022 年，来自世界各地的专家聚集在这个独特的全球论坛上，讨论核法律的关键问题，并制定未来愿景。这本论文集汇编了世界思想领袖在这一领域的见解。一些文章反映了核法律的历史及其演变，一些文章侧重于核法律的四个主要分支 — 安全、安保、保障和核责任 — 中的具体问题，另一些文章强调了核科学和技术发挥重要作用的一些领域。

我相信，这本书将对制定和执行政策以及制定法律法规的人有用。我相信，联合国系统内的姐妹机构以及其他任务包括和平与安全及可持续发展的国际和地区组织将对此感兴趣。为政府和工业界提供核问题咨询的法律和保险行业将对一些文章特别感兴趣。对于学术界和民间社会的人来说，这本书很可能会引发一些发人深省的学术问题和主张。我希望它将激励和影响正在从事核法律、政策或工业事业的学生和年轻专业人员，特别是妇女。

但我的目标是，这本汇编不仅对那些从事核事务的人证明有深刻见解。我希望我们所有受益于核科学技术拯救生命力量的人了解是什么使这种力量发挥作用。

不用说，这本书之所以能够问世，是因为杰出的作者们慷慨地抽出时间分享他们的见解。我向他们致以诚挚的谢意。我还要感谢原子能机构秘书处许多同事的工作，他们使这份独特而重要的出版物成为可能，其中包括法律事务办公室和管理部会议和文件服务司的工作人员，我在总干事办公室的顾问，以及保障部、核安全和安保部、核能部和技术合作部的同事。最后，我谨对原子能机构法律顾问兼法律事务办公室主任 P.L. 约翰逊以及法律事务办公室各处处长 W. 通豪泽（他也担任会议的科学秘书）、I. 苏萨努和 J. 卢瑟的支持表示衷心感谢。特别感谢原子能机构法律事务办公室的 A. 韦瑟罗尔、C. 戴弗朗西亚和 I. 普拉托希娜提供的不可或缺的协助。

**国际原子能机构**
**总干事**
**拉斐尔·马里亚诺·格罗西**
**奥地利·维也纳**

# 目 录

**1. 核法律：全球辩论 ..... 1**

参考文献 ..... 27

**2. 核法律规范和平利用核能事业的发展 ..... 33**

2.1. 国际核法律体系的建立与完善 ..... 33
2.2. 中国核法律建设与核能发展实践 ..... 39
2.3. 展望 ..... 42
参考文献 ..... 44

**3. 俄罗斯观点：小型模块化反应堆和移动式核动力装置的国际法律框架问题及前景 ..... 47**

3.1. 引言 ..... 47
3.2. 浮动小型模块化反应堆的监管控制方案 ..... 49
3.3. “海上人命安全公约”的许可证审批细节和方案 ..... 50
3.4. 浮动小型模块化反应堆运输的法律支持 ..... 51
3.5. 原子能机构保障 ..... 52
3.6. 浮动小型模块化反应堆与核损害民事责任 ..... 53
3.7. 原子能机构关于浮动小型模块化反应堆法律支持研究的倡议 ..... 54
3.8. 结论 ..... 55
参考文献 ..... 56

**4. 核法律发展里程碑：核监管历程 ..... 59**

4.1. 引言 ..... 59
4.2. 核监管：特点和矛盾 ..... 60
4.3. 应对监管挑战 ..... 67
4.4. 展望 ..... 70
4.5. 结论 ..... 75
参考文献 ..... 75

**5. 加强全球核安全制度 ..... 79**

参考文献 ..... 87

**6. 气候变化挑战 — 能源系统全面转型：没有核能，无法实现净零排放 ..... 89**

6.1. 气候变化挑战与一次能源转型 ..... 89
6.2. 一次能源 ..... 90
6.3. 当前能源消耗 ..... 91
6.4. 核能的属性/最高级 ..... 99
6.5. 工厂组装 — 模块化反应堆 ..... 103
6.6. 核能作为替代燃料提供者 ..... 116
6.7. 核能作为电池 ..... 119
6.8. 作为工业脱碳剂的核能 ..... 121
6.9. 燃烧我们的遗留物：消耗废物的新反应堆设计 ..... 123
6.10. 核能作为低成本一次能源 ..... 125
6.11. 能源市场 ..... 130
6.12. 我们的选择和方法 ..... 142
6.13. 最后的想法 ..... 146
参考文献 ..... 148

**7. 辐射照射情况致辐射损害的法律归责 ..... 153**

7.1. 目的 ..... 154
7.2. 基本科学共识概述 ..... 156
7.3. 从效应估算到伤害归责 ..... 158
7.4. 基本范式 ..... 161
7.5. 可验证的事实与主观推测 ..... 165
7.6. 鉴证 ..... 165
7.7. 法律后果 ..... 168
7.8. 结论 ..... 171
参考文献 ..... 172

**8. 先进核反应堆技术未来发展背景下全球核安保法律体系有效性和各国实施能力 ..... 175**
8.1. 引言 ..... 175
8.2. 审查全球核安保法律制度的主要国际要素 ..... 176
8.3. 评估各国实施核安保相关新要求或导则的能力 ..... 181
8.4. 结论 ..... 183
参考文献 ..... 184

**9. 建立核安保制度：需要提出的问题 ..... 185**

9.1. 概述 ..... 185
9.2. 国家主权和责任 ..... 187
9.3. 威胁：威胁评定和设计基准威胁 ..... 189
9.4. 国际框架 ..... 191
9.5. 法律和监管框架 ..... 195
9.6. 核安保主管部门 ..... 199
9.7. 营运者责任 ..... 202
9.8. 技术选项、场址和运输路线的选择 ..... 206
9.9. 保密、透明和沟通 ..... 208
9.10. 结论 ..... 211
9.11. 更进一步…… ..... 212
参考文献 ..... 213

**10. 国际原子能机构保障：国家保障申报的正确性和完整性 ..... 215**

10.1. 引言 ..... 215
10.2. 历史概述 ..... 216
10.3. 条约解释 ..... 218
10.4. 全面保障的基础原则 ..... 221
10.5. 总结 ..... 229
参考文献 ..... 231

**11. 未来保障 ..... 235**

11.1. 引言 ..... 235
11.2. 原子能机构保障现状 ..... 236

11.3. 追求普遍性.....237
11.4. 进一步加强保障.....239
11.5. 保障管理.....241
11.6. 透明度和公开性.....244
11.7. 保障培训.....248
11.8. 进一步加强保障工作人员队伍.....251
11.9. 未来的核查挑战.....254
11.10. 需要更多的地区办公室吗？.....256
11.11. 保障资金.....257
11.12. 结论.....258
参考文献.....259

**12. 核责任及后福岛时期发展.....265**

12.1. 引言.....265
12.2. 核责任专家组.....266
12.3. 对事故采取的直接措施.....266
12.4. 2012 年后专家组考虑的其他议题（主要应对全球核工业的发展和创新）.....273
12.5. 当前和未来的探讨领域.....281
12.6. 结论.....285
参考文献.....285

**13. 造福人类的原子：核能在实现联合国可持续发展目标方面的作用.....287**

13.1. 引言.....287
13.2. （清洁）能源对可持续发展的核心作用和核能的作用.....290
13.3. 核技术促进健康.....293
13.4. 利用核能保护环境.....300
13.5. 确保公正的能源转型.....303
13.6. 结论.....307
参考文献.....308

**14. 新晋核电国家 — 阿拉伯联合酋长国核电之路 .....323**

14.1. 阿联酋核电计划伊始：核政策.....323
14.2. 从核政策到法律框架.....325
14.3. 建立全面国家核法律.....330
参考文献 .....342

**15. 摩洛哥王国建立核与辐射安全和安保监管机构的经验与教训.....343**

15.1. 引言.....343
15.2. 摩洛哥核应用的演化.....345
15.3. 国家核及辐射安全与安保监管框架的演化.....347
15.4. 核与辐射安全安保局的作用与成就.....347
15.5. 战略落实方面的主要成果.....350
15.6. 结论.....356
参考文献 .....357

# 1. 核法律：全球辩论

**拉斐尔·马里亚诺·格罗西**
国际原子能机构，奥地利维也纳

**摘要** 国际原子能机构（原子能机构）在制定和实施国际核法律中发挥着独特作用。本章简要分析核法律制度及其四大支柱，即安全、安保、保障和核损害民事责任，同时鉴于先进反应堆、核聚变等核科学技术的当前和新兴和平利用，探讨我们是如何一步步走到今天，以及我们能够将这场全球辩论引向何方。本章还邀请全球社会所有利益相关方，包括国际组织、非政府组织、业界、学术界和民间社会，以及所有将负责制定未来核法律者，来开启这场核法律辩论和对话。

**关键词** 国际原子能机构（原子能机构）；国际核法律；核安全；核安保；保障；核损害民事责任；（核科学和技术）和平利用；先进反应堆；核聚变

国际文书、标准和规范构成了核法律框架，我们在此基础上建立信任，坚信核将造福于我们和我们的地球。原子能机构作为核法律框架的核心，确保这一重要资产在不断变化的技术、机遇和挑战环境中始终保持强劲和灵活。

正如原子能机构视察确保核材料不被滥用于制造武器，或原子能机构科学家支持成员国将核科学技术用于医学、农业以及塑料污染治理和抗击新冠肺炎等人畜共患疾病一样，核法律及其制定者为维持所有努力提供了不可或缺的规范框架。

我们今天所依赖的这一重要框架基本是通过对世界重大事件的一系列反应建立起来的，首先是第二次世界大战后，人们认识到核能的可怕力量，即既能拯救生命又能毁灭生命，因而成立了原子能机构。原子能机构的核查活动使我们能够保证各国遵守其不扩散承诺，只为和平目的使用核材料和核技术。这建立了对核材料不被转用于核武器的共同信心，并构成了国际不扩散制度的基石。

除了确保原子能机构成为世界保障制度的一个坚韧、坚定、不偏不倚、公平和透明的监督机构外，我作为总干事在法律领域为自己设定了三项重要任务：一是积极努力，使我们今天拥有的法律和规范框架尽可能健全；二是协助各国遵守法律、标准和规范，以确保我们所有人的安全，同时使我们能够享受核技术的诸多好处；三是使所有与原子能机构一起制定未来国际核法律文书各方尽可能积极主动。

本书包括一些在各自领域内最杰出人士的想法和意见，其中许多人是律师。本章将参考我自己作为历史系学生、阿根廷外交官和国际公务员的经验。正如埃德蒙·伯克所说“展开一幅幅历史画卷，能予以我们教益，为我们将来变得睿智提供养分。”对核法律制度、我们是如何一步步走到今天以及我们能够把这场全球辩论引向何方作以简要分析，是一个良好的开端。让更多的人了解这场核法律全球辩论，将确保各国在考虑国际组织、非政府组织、业界、学术界和民间社会等利益相关方的意见和贡献后，作出明智的决定。

核法律有四大“支柱”：安全、安保、保障和责任。它们渗透于整个核部门，涉及我们如何处理核材料和其他放射性物质，无论这种材料和物质是在巴黎一所大学的实验室，还是在运往尼日利亚研究堆的一艘集装箱船上。核法律对于实现安全、可靠和和平利用核技术及其日常生活应用的好处至关重要。

可以理解，最尖锐的焦点是核电。核电至关重要，因为各国想要避免气候变化的最坏影响，核电就会成为其低碳能源结构中越来越关键的一部分，同时为其经济增长提供可持续和可靠的燃料，另外小型模块堆等进展需要特别关注。但是，核法律的作用远不止解决与核电厂相关的安全、安保、保障和责任问题。当今，人类继续面临着其他重大挑战，而且可以预计，这些挑战将在未来持续存在，包括粮食安全、医疗保健和水资源管理，以及对更清洁、更安全环境的需要。法律框架使人们能够利用核技术解决这些关键问题。因此，作为核能界的参与者，我们需要确保核法律始终与目的相称。

核部门及其监管法律和规范在不断发展，原子能机构也在发展。我在本章会尽力介绍我们如何协助成员国吸取过去的经验教训，以预测未来的需求。

不断评价开展核活动的法律框架，需要一定的严谨性。作为原子能机构总干事，我非常清楚掌握这一领域的复杂性需要多年的时间，在这一领域，科学家、工程师、律师、政治家和外交家必须使用一种共同语言。要做到这一点，我们必须了解核领域及其附带的法律。为了让我们在全球辩论中讲共同语言，我们要从对这一领域的起源、内容和演变的基本了解开始我们的进程。

1953 年 12 月 8 日星期二，在美国和苏联之间正在发展核军备竞赛的背景下，外交官们聚集在纽约联合国总部，聆听美国总统德怀特·艾森豪威尔在联合国大会上的讲话。这次讲话此后成为历史上最著名的演讲之一。艾森豪威尔在讲话中承诺，美国将协助摆脱“可怕的原子困境”，全心全意“找寻一条道路，使人类奇妙的创造力不是致力于消灭人类，而是用来为人类生活作贡献。”艾森豪威尔总统在其所谓的“原子用于和平”演讲中，描绘了后来的原子能机构，并为未来的《不扩散核武器条约》[1] 奠定了基础，这两块基石至今仍在支配着世界确保其最强大的能源只用于和平目的的方式。[2]

就像一枚硬币，原子能机构的任务有两个方面。它是世界上的国际核监督机构，也是核领域科学和技术合作的核心政府间论坛。在这方面，它致力于确保安全、可靠和和平地利用核科学和技术，帮助成员国实现其“可持续发展目标”。

在其存在的 60 多年里，原子能机构在不断发挥其作为联合国系统内以科学技术为基础的杰出独立政府间组织的作用方面面临着许多挑战，它始终灵活地应对各种危机。自 20 世纪 40 年代中期以来，在国家、地区和国际层面，一直在不断地发展完善的核法律框架。

正如本章所述，过去的事件，如 1986 年切尔诺贝利事故、1991 年发现伊拉克秘密核武器计划以及 2001 年 9 月 11 日（9•11）恐怖袭击事件，促使核与辐射安全、核安保、核保障和核损害民事责任的新国际法律文书的制定和现有文书的加强。这些事件也成为加快原子能机构内部变革的重要催化剂，促使该组织的核查、安全和核安保作用得到加强。

---

1 《不扩散核武器条约》于 1968 年 7 月 1 日开放供签署，1970 年 3 月 5 日生效。

2 艾森豪威尔 1953 年演讲。

核法律的一个基本特征是，它侧重于权衡核技术优势，同时尽量减少风险。其目的是为核能和电离辐射有关的活动提供法律框架，充分保护个人、财产和环境，使公众受益于这种技术。这是通过涉及安全、安保、保障和责任的补充制度来实现的。

1986 年 4 月 26 日切尔诺贝利核电站事故给国际社会敲响了警钟，促使在国际和国家层面引入更高核安全标准。营运者们把反应堆钻研了一遍，打造了甚至跨越冷战深刻政治分歧的各种沟通渠道，创造了我们今天仍然受益的安全第一全球文化。切尔诺贝利事故不仅促使在核领域形成了国际法律框架（目前包括在原子能机构主持下通过的四项条约），而且显著加强了原子能机构在核安全方面的作用。

1986 年 9 月，切尔诺贝利事故发生后不久，通过了两项公约，即《及早通报核事故公约》（及早通报公约）[3] 和《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约）[4]。这些公约的目的是通过规定在发生核事故或辐射紧急情况时通报事故、交流信息和迅速提供援助，将事故或紧急情况的后果降至最低。截至 2021 年 9 月，“及早通报公约”有 130 个缔约国，“紧急援助公约”有 124 个缔约国。

虽然切尔诺贝利事故后通过的两项安全公约得到良好的遵守，但仍有近 50 个原子能机构成员国尚未加入这些基本文书。我们的工作是继续提高对所有国家应加入这些文书的认识。重要的是，这些公约构成了国际应急准备和响应框架的法律基础，并有运作安排作支撑，而这些安排是原子能机构、成员国和其他国际组织保持应急准备和有效应对任何核或辐射事件或紧急情况的实际手段。[5]

国际核安全法律框架的基石，即 1994 年通过的《核安全公约》[6]，涉及陆基核电厂（包括与核电厂运行直接相关的贮存、操作和处理设施）安全这

---

[3] 《及早通报核事故公约》（及早通报公约）于 1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1986 年 10 月 27 日生效。

[4] 《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约）于 1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1987 年 2 月 26 日生效。

[5] 见原子能机构 2017、原子能机构 2018a、原子能机构 2020a、原子能机构 2020b。

[6] 《核安全公约》于 1994 年 9 月 20 日开放供签署，1996 年 10 月 24 日生效。

一重要议题。截至 2021 年 3 月，《核安全公约》有 91 个缔约方，除了有限的例外，所有运行核电厂的国家都是《核安全公约》缔约方。

顾名思义，1997 年通过的《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》（联合公约）[7] 涉及核燃料循环后端和其他放射性废物，这是早些时候在《核安全公约》中未涉及的主题。尽管“联合公约”在二十年前就已生效，但截至 2021 年 9 月，只有 86 个缔约方，而且超过一半的原子能机构成员国仍未加入该公约。这种情况的部分原因是该公约的技术问题，以及需要提高决策者对该公约与没有核燃料循环相关活动国家的相关性的认识。例如，几乎所有国家都会产生放射性废物，要么来自核电生产，要么来自放射性同位素在医疗诊断和治疗、工业或农业应用或研究中的使用。因此，“联合公约”对所有国家都具有重要意义。

《核安全公约》和“联合公约”的主要创新点是同行评审过程。在三年一度的会议上，包括监管人员在内的官员们介绍其国家报告所反映的国家安全实践，接受充满挑战但具有建设性的同行评审。通过这一机制，他们不仅展示了对适用严格安全措施和实现高水平安全的承诺，而且获得分享经验和集体学习的独特机会。

我们谈到核法律时，指的是法律体系，它不仅包括具有法律约束力的国际条约，而且包括有很强规范创建效果的不具法律约束力的文书和行为准则。在对条约缺乏共识的情况下，这种不具法律约束力的文书可以作为有用的选择，有可能更快得到采纳和更新，为应对当前需要提供简单性和灵活性。特别是，原子能机构在过去 20 年中通过的两个“行为准则”分别涉及放射源安全和安保以及民用研究堆安全。[8] 为弥补 2003 年《放射源安全和安保行为准则》[9]（及其两个补充导则文件）[10] 不具法律约束力性质，各国

---

[7] 《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》（联合公约）于 1997 年 9 月 29 日开放供签署，2001 年 6 月 18 日生效。

[8] 原子能机构 2004、原子能机构 2006a。

[9] 原子能机构 2004。

[10] 原子能机构 2012a、原子能机构 2018b。

可以根据大会相关决议对“行为准则”作出政治承诺，[11] 大会是原子能机构的决策机关，每个成员国都是大会的成员，大会每年都会通过若干指导原子能机构工作的决议。自 2006 年以来，一直在“行为准则”的范围内，就各国放射源管理方案进行正式信息交流。

这些公约和行为准则确立了高水平的原则、目标和要求，并分别由一套详细的、不具法律约束力的安全技术标准来支撑，而这些标准是在原子能机构《规约》的基础上通过的，代表着就保护人和环境的高水平安全组成要素形成的国际共识。从核设施到辐射和放射源的医学、工业和农业应用，这些标准适用于广泛的设施和活动，由成员国专家组成的安全标准委员会牵头，经与联合国及其专门机构协商，以公开、透明的方式制定。[12]

大多数国家在自愿的基础上适用原子能机构安全标准。为便利国家执行这些文书和标准，原子能机构通过自愿实际执行机制提供支持，如作为原子能机构法定职能实施的原子能机构安全同行评审和咨询服务。[13] 此外，还有各种其他援助活动，包括原子能机构立法援助计划，协助各国遵守相关国际法律文书，并在全面国家核法律框架中有效执行这些文书。

2011 年 3 月 11 日发生在日本东京电力公司福岛第一核电站事故是核能历史上影响排第二的事故，尽管国际知名科学家没有检测到事故导致的

---

[11] 截至 2021 年 9 月，140 个国家对实施“行为准则”作出政治承诺，123 个国家对《放射源的进口和出口导则》作出政治承诺，44 个国家对 2017 年《弃用放射源管理导则》作出政治承诺。

[12] 原子能机构安全标准计划有四个支撑分委员会：核安全领域的核安全标准分委员会、辐射安全领域的辐射安全标准分委员会、放射性废物安全领域的废物安全标准分委员会、放射性物质安全运输领域的运输安全标准分委员会。

[13] 原子能机构安全同行评审和咨询服务包括：综合监管评审服务（IRRS）、运行安全评审组（OSART）、应急准备评审服务（EPREV）、厂址和外部事件设计评审服务（SEED）、技术安全评审（TSR）、职业辐射防护评价（ORPAS）、长期运行安全问题（SALTO）、运行安全实绩经验同行评审（PROSPER）、研究堆综合安全评定（INSARR）、独立安全文化评定（ISCA）、辐射安全监管基础结构咨询工作组访问（AMRAS）（它还可以作为放射性物质辐射安全和安保监管基础结构咨询服务解决安保问题）、教育和培训评定（EduTA）。2014 年，原子能机构启动了放射性废物和乏燃料管理、退役和治理综合评审服务（ARTEMIS）。

辐射诱发健康效应。[14] 事故发生后不久，原子能机构成员国一致通过了《核安全行动计划》（行动计划）。[15] 根据该行动计划，采取了若干旨在提高国际核安全法律框架的效力并加强原子能机构同行评审和安全标准的行动。《核安全公约》缔约方 [16] 还于 2015 年通过了《维也纳核安全宣言》（核安全宣言）[17]。“核安全宣言”现已成为《核安全公约》审议过程的一个组成部分，加强了对《核安全公约》目标的实施，以防止发生具有放射性后果的事故，并在事故发生时减轻后果。《核安全公约》和“联合公约”的缔约方 [18] 还加强了公约同行评审过程。此外，还鼓励成员国定期利用原子能机构安全同行评审和咨询服务。随后不断增加的服务利用以及成果、经验和教训的分享，都成为应持之以恒进行的积极的步骤。此外，要求原子能机构秘书处在核或辐射紧急情况下进行评定和预测。[19]

福岛第一核电站事故提醒国际社会有必要就应急准备和响应，甚至对远在地球另一端发生的核电厂事故在各国之间达成共识，并在可能的情况下采取共同方案。广泛遵守原子能机构安全标准被认为是实现应急准备和响应统一的关键步骤。相关国际法律文书和标准规定了跨境协调和统一应急准备和响应安排的必要性。[20] 随着世界上越来越多的国家寻求启动新的核电计划和建造核电厂，在双边和地区层面讨论统一应急准备和响应战略至关重要。在发生核事故的情况下，各国采取统一响应至为关键。

自 20 世纪 70 年代以来，人们越来越认识到，核电厂运行和放射源管理需要高水平的安全和安保。从根本上说，核安保旨在确保核材料和其他放射性物质不落入非国家行为者手中，不被其用于恶意目的。这需要，例如，

---

[14] 原子能机构 2015a。

[15] 原子能机构 2011a。“行动计划”于 2011 年 9 月 13 日获得原子能机构理事会核准，并在 2011 年原子能机构大会第五十五届常会上获得核可。

[16] 《核安全公约》，见上文脚注 6。

[17] 原子能机构 2015b。

[18] “联合公约”，见上文脚注 7。

[19] 继“行动计划”之后，原子能机构大会随后在 2013 年第五十七届常会上强调，秘书处的响应作用应涵盖所有核和辐射紧急情况。见原子能机构 2013a，第 103 段。

[20] 尤其参见《核安全公约》和“联合公约”，以及原子能机构 2015c 等相关原子能机构安全标准，以及原子能机构关于应急准备和响应的其他建议和导则。

通过在港口和边境口岸安装辐射监测器使边境更加安全，并确保警察、边防人员和其他官员有能力侦查和防止核材料及其他放射性物质走私。核安保要求改善核设施和医院的实物保护，包括配备警卫和安装摄像头，以避免放射性物质被盗。

在全球核法律辩论中，核安保与核安全之间接口是一个协同作用的领域。两者有相同的目标，即保护个人、公众和环境免受电离辐射的有害影响。然而，处理核安全和核安保的活动不尽相同，为加强其中一个而采取的行动可能对另一个产生积极或消极的影响。例如，限制进入核电厂要害区的控制措施既可以通过防止或限制工作人员接受照射和控制合格人员的维护准入而发挥安全作用，又可以通过抑制入侵者未经授权的进入而达到安保目的。因此，持续需要确保安全措施和安保措施以综合方式加以设计和实施。

50 年来，原子能机构一直在制定重要核安保导则，最初重点是关于核材料实物保护的建议。[21] 原子能机构的建议为 1979 年在原子能机构主持下通过的《核材料实物保护公约》[22] 的讨论和谈判提供了信息。但是，2001 年美国遭到“9·11”恐怖袭击才推动对包括核和放射性恐怖主义威胁在内的所有形式的恐怖主义危险进行迅速、令人瞩目的重新评价。这一暴行加剧了加强核安保的迫切需要，而不必等待一个具有分水岭意义的核安保事件来推动安保升级和扩大国际合作。

在 2001 年“9·11”恐怖袭击后，各国同意加强现有国际法律文书，制定加强全球核安保的新法律文书，以及加强原子能机构的作用。具体而言，各国在 2005 年就通过加强《核材料实物保护公约》修订案 [23] 达成一致。与此同时，联合国《制止核恐怖主义行为国际公约》获得通过。[24]

---

[21] 原子能机构 2011b。

[22] 《核材料实物保护公约》（实物保护公约）于 1980 年 3 月 3 日开放供签署，1987 年 2 月 8 日生效。

[23] 《核材料实物保护公约》修订案于 2016 年 5 月 8 日生效。

[24] 《制止核恐怖主义行为国际公约》于 2005 年 9 月 14 日开放供签署，2007 年 7 月 7 日生效。

目前，核安保法律框架包括几项补充条约、联合国安全理事会相关决议和一些不具法律约束力的文书。[25] 这些文书不仅由原子能机构主持通过，而且也由联合国及其专门机构特别是国际海事组织和国际民用航空组织 [26] 主持通过。框架包括联合国安全理事会在 2001 年“9·11”恐怖袭击后根据《联合国宪章》第七章“对于和平之威胁、和平之破坏及侵略行为之应付办法”通过的两项重要决议（第 1540（2004）号决议和第 1373（2001）号决议）[27]。这两项决议对联合国所有（目前 193 个）会员国均具有约束力。《核材料实物保护公约》修订案于 2016 年生效，标志着加强全球核安保国际努力的一个重要里程碑。重要的是，《核材料实物保护公约》[28] 及其修订案仍然是用于和平目的的核材料和核设施实物保护领域唯一具有国际法律约束力的承诺。

为了支持各国，原子能机构编制了核安保导则，就像原子能机构安全标准一样，目的是协助各国制定、实施和维护国家核制度。原子能机构《核安保丛书》包括关于实物保护的重要导则，目前也涵盖核设施。[29] 核安保导则委员会负责监督这套丛书所有出版物的出版和审查，委员会由原子能机构成员国的代表组成，并包括世界核安保研究所等机构的观察员。原子能机构核安保导则通过成为主流化规范，将享有与原子能机构安全标准同等的地位。与核安全类似，原子能机构的自愿核安保咨询服务，如国际实物保护咨询服务和国际核安保咨询服务，在支持各国建立、维持和加强核安保制度方面起着重要作用。

我们必须继续开展工作，维护和加强健全的核安保法律框架。在我们生活的世界中，核设施和其他设施及活动，包括核电厂、实验室和其他与这种材料有关场所的数量不断增加。怀有恶意的个人和群体可能试图利用全球核

---

25 原子能机构 2011c。

26 非原子能机构主持下通过的大多数相关条约主要侧重于涉及核材料或其他放射性物质的某些行为的刑事定罪及相关方面，而在原子能机构主持下通过的文书除了刑事定罪和国际合作外，还涵盖立法、行政和技术措施，以确保材料和设施的实物保护。

27 联合国 2004；联合国 2001。

28 《核材料实物保护公约》，见上文脚注 22。

29 原子能机构 2011b。

安保制度中的薄弱环节制造恐惧和恐慌。这不仅会造成困扰，而且还会破坏对继续将核科学技术用于各种拯救生命的重要应用至关重要的公众信心。

与核安全一样，核安保也是各个国家的责任。然而，人们普遍认识到，国际合作是防范核恐怖主义的关键，而原子能机构则是为此目的而设立的包容性全球平台。除了原子能机构制定并支持成员国应用的技术导则和建议，原子能机构工作的另一部分是提供辐射探测设备，包括个人探测器和用于在海港和边境哨所扫描车辆和集装箱的门式辐射监测器，以及人员培训。原子能机构还在大型公众活动中提供实际核安保支持。此外，原子能机构的独特地位使其能够汇集和整合世界各地正在作出的许多宝贵努力，包括各国政府，以及各种智库、非政府组织和其他方面的努力。

为了消除全球核安保体系中的薄弱环节，相关文书必须得到普遍遵守和充分执行。[30] 我们继续推动《核材料实物保护公约》修订案的普遍适用 [31]，包括通过在国家、地区和国际层面与所有有关利益相关方接触。我们在法律方面提供建议，以加强理解和认识加入公约的好处。我们还通过实际援助、专家建议、设备和培训在技术方面提供协助。[32] 建立强有力的打击核恐怖主义全球国际框架，确保将参与涉核恐怖主义和其他犯罪行为之人绳之以法并拒绝为其提供安全庇护的基础，以及加强国际和地区合作机制，就能增强所有国家的安保，无论它们是否拥有核材料。

根据经修订的《核材料实物保护公约》，《核材料实物保护公约》修订案缔约国会议正在举行，以根据会议召开时的普遍情况审查其执行情况和充分性。这次会议提供一个绝好机会，审议经修订的“实物保护公约”对当代挑战和新兴问题的适用性，讨论在执行经修订的“实物保护公约”中汲取的经验教训，以及确保经修订的“实物保护公约”作为一项活跃的文书继续发挥作用。

新兴技术，如无人机系统和人工智能，成为越来越受关注的问题，并可能继续成为未来的焦点。这些技术及其应用带来了机遇和挑战。一方面，新

---

[30] 截至 2021 年 9 月，《核材料实物保护公约》有 164 个缔约国，修订案有 127 个缔约国。

[31] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 23。

[32] 见原子能机构 2021a。

兴技术对改善运行至关重要，对改善核安保也有助益。例如，人工智能和大数据等领域的技术被应用于探测、延迟和应对核安保事件。另一方面，需要注意这些技术可能带来的额外潜在安保风险，特别是与信息安全和计算机安全有关的风险。

在过去的十年里，随着计算机系统漏洞得到明确和反复证明，人们对计算机安全的关注不断加强。随着人们越来越依赖人工智能和数字控制及安全系统，包括用于故障检测和电厂关闭的系统，最近的事件再次强调了加强计算机安全的重要性。原子能机构在支持考虑新技术的核安保应用方面发挥着重要作用。[33] 调整核安保以应对新兴技术，意味着确保这些技术符合安保要求并在法律和监管框架内。这需要加强公共部门和私营部门之间的合作。无论是在审查经修订的《核材料实物保护公约》会议上，还是在进一步制定原子能机构《核安保丛书》导则的背景下，还是在原子能机构自 2013 年以来一直组织的重要核安保部长级会议上，新兴技术都有望继续在全球辩论中发挥重要作用。[34]

原子能机构在加强全球核安保框架和协调该领域的国际活动方面发挥着公认的核心作用，包括与其他国际组织和各种核安保倡议的配合。至关重要的是，我们都要在防范核恐怖主义方面处于领先地位。原子能机构的核安保培训和示范中心即将投入运行，它将通过在最先进的设施中提供培训，加强原子能机构在这一具有重要国际意义的领域所发挥的核心作用。

除了前面讨论的高水平安全和安保之外，对有效保障的需求是核法律的一个重要组成部分。原子能机构保障体系的演变始于人们极为恐惧核武器将主导世界许多国家武器库时期。这种情况没有发生，证明了此核法律第三大支柱的重要性，这个支柱是原子能机构使命和历史的核心，即保障核材料和相关技术仅用于和平目的。因此，根据原子能机构《规约》，制定并执

[33] 见原子能机构 2021a。原子能机构《2022－2025 年核安保计划》指出，原子能机构认识到核安保面临的威胁，以及核相关设施及其相关活动受到网络攻击的威胁，在应请求协助各国加强对基于计算机系统的保护方面起着公认的作用。

[34] 这类会议是部长、决策者、高级官员和核安保专家就核安保（包括法律框架）的经验和成就、当前方案、未来方向和优先事项提出和交流看法的论坛。

行保障成为原子能机构的一项核心职能。[35] 通过保障工作，原子能机构过去 60 年来已被公认为负责核查和确保各国不发展核武器的国际权威机构。

自 1959 年缔结第一份保障协定以来，原子能机构的保障责任和工作量稳步增加。1959 年只有一座核设施接受原子能机构保障，而到 1971 年，已有 32 个国家的 156 座核设施接受保障。从 1970 年《不扩散核武器条约》生效算起已过去 50 年，原子能机构在 2020 年期间对 183 个国家的 1300 多个受保障的设施和场所进行了 2034 次视察。即使在最具挑战性的时期，例如在新冠肺炎大流行期间，原子能机构的核查工作一分钟也没有停止过。一个有效、健全的法律框架对于确保全球范围内可信的保障体系至关重要。

原子能机构保障历程在原子能机构成立后不久就开始了，1959 年与加拿大和日本签署了第一份保障协定。根据该协定，原子能机构对一座小型研究堆及其燃料实施保障。在 1959 年至 1971 年期间，有 32 个国家与原子能机构缔结了所谓的“特定物项”[36] 保障协定。根据该协定，原子能机构只对这些协定中规定的物项（即核材料、核设施或核设备）实施保障。虽然在 1971 年之前的大约 15 年里，特定物项保障是常规做法，但今天，原子能机

[35] 原子能机构 1989，第三条 A 款第 5 项；1957 年，人们还预期原子能机构将在确保原子能机构成员国相互之间提供服务或供应材料、设备或设施的安全方面发挥重要调解作用。这种情况并没有以最初预期的规模发生，而是通过原子能机构项目和缔结所谓的“项目和供应协定”来实现，这些协定要求对所供应的物项实施原子能机构保障（同上，第十一条）。在这方面还应注意到，在原子能机构的参与下，制定了核燃料循环多边方案。这些方案涉及核燃料循环前端。例如，第一个是由原子能机构和俄罗斯政府于 2010 年 3 月正式建立的国际铀浓缩中心，归俄罗斯联邦拥有和运行。第二个是原子能机构低浓铀银行，归原子能机构拥有，由哈萨克斯坦托管，于 2019 年 10 月开始运行。

[36] “特定物项保障协定”属于早期保障协定类型，通常是国家间双边合作协定所要求的。保障协定本身由原子能机构与接受国（有时也与供应国）缔结。“特定物项保障协定”是根据一系列文件中规定的保障程序缔结的：第一个是保障体系 INFCIRC/26 号文件（涵盖热功率不超过 100 兆瓦的研究堆）和 INFCIRC/26/Add.1 号文件（涵盖所有反应堆）；第二个是修订后的保障体系，即首先印发的 INFCIRC/66 号文件（基于 INFCIRC/26/Add.1 号文件）及随后扩展的 INFCIRC/66/Rev.1 号文件（增加后处理厂）和 INFCIRC/66/Rev.2 号文件（增加转化厂和燃料制造厂）（分别见于原子能机构 1961、1964、1965、1967、1968）。

构根据特定物项保障仅对印度、以色列和巴基斯坦这三个未加入《不扩散核武器条约》或无核武器区条约的国家实施保障。

1970 年《不扩散核武器条约》[37] 生效后，原子能机构的保障工作发生了巨大变化。根据《不扩散核武器条约》[38]，无核武器缔约国必须与原子能机构缔结所谓的“全面”或“全范围”保障协定，这些协定适用于“在该国领土范围的、受其管辖或在其控制下的任何地方进行的一切和平核活动中的一切源材料或特种可裂变材料”。这些保障协定使原子能机构能够核查无核武器国家履行《不扩散核武器条约》第三条规定的义务情况，以防止核能从和平用途被转用于核武器或其他核爆炸装置。“全面保障协定”的基础是理事会于 1971 年 4 月核准的《根据〈不扩散核武器条约〉的要求国际原子能机构与各国之间的协定的结构和内容》（INFCIRC/153 号文件）。[39] 截至 2021 年 9 月，“全面保障协定”对 178 个《不扩散核武器条约》的无核武器缔约国 [40] 生效，八个《不扩散核武器条约》的无核武器缔约国尚未使该条约要求的“全面保障协定”生效。建立无核武器区的地区条约也要求缔结“全面保障协定”。[41]

《不扩散核武器条约》的五个核武器缔约国 — 中国、法国、俄罗斯联邦、英国和美国 — 与原子能机构缔结了“自愿提交保障协定”。签署这些“自愿提交保障协定”的目的是通过向无核武器国家表明它们不会因为根据该条约适用“全面保障协定”而处于商业劣势，鼓励广泛加入《不扩散核武器条约》。“自愿提交保障协定”还基于理事会于 1971 年核准的文件，[42] 并

---

37 转载于原子能机构 1970。

38 《不扩散核武器条约》，上文脚注 1。

39 原子能机构 1972。

40 对 33 个国家而言，“全面保障协定”还与《拉丁美洲和加勒比地区禁止核武器条约》（特拉特洛尔科条约）有关，对一个国家而言，全面保障协定还与“曼谷条约”有关。有两项全面保障协定（转载于原子能机构 INFCIRC/193 号文件（原子能机构 1973）和 INFCIRC/435 号文件（原子能机构 1994）涵盖两个或更多的缔约国及其地区保障组织 — 巴西-阿根廷核材料衡算和控制机构和欧洲原子能联营。

41 拉丁美洲和加勒比地区、南太平洋地区、东南亚、非洲和中亚已建立无核武器区。

42 原子能机构 1972。

包括与“全面保障协定”相同的保障程序，尽管适用范围不同。[43] 通过处理乏燃料生产的大量钚由原子能机构根据核武器国家的“自愿提交保障协定”进行保障。

在原子能机构存在的过程中，保障的实施出现了一些挑战。在有“全面保障协定”的国家实施保障的头 20 年中，保障活动主要侧重于核查国家申报的核材料和核设施（即核查国家申报的正确性，并保证申报的核材料没有从该国和平核活动中被转用）。在此期间，对各国根据其“全面保障协定”申报的核材料和核设施实施所谓的“传统保障”系基于保障方案和保障准则，这些方案和准则规定了为实现原子能机构视察目标所需的核查活动的范围、频度和程度。

20 世纪 90 年代初，发现了伊拉克未申报的核材料和核活动，包括其秘密核武器计划，这突出表明原子能机构的保障活动需要更多地将“全面保障协定”国家作为一个整体进行考虑（即还要核查当事国申报的完整性，以便原子能机构能够提供当事国整体上不存在未申报的核材料和核活动的可信保证）。这一发现，加上 1992 年原子能机构探查到朝鲜民主主义人民共和国（朝鲜）可能存在未申报的钚以及 1993 年原子能机构对南非根据其“全面保障协定”所作申报的完整性进行核查的经验，促使作出努力来加强原子能机构的能力，以确保按照“全面保障协定”的要求对缔结“全面保障协定”国家的所有核材料实施保障。在伊拉克、朝鲜和南非几乎同时取得的经验在原子能机构随后加强保障制度的工作中发挥了重要决定性作用。

在伊拉克、朝鲜和南非的经验直接导致了 1993 年“93+2 计划”的启动。从历史上看，这是进一步加强原子能机构保障（包括法律框架）的有效性和提高其效率的最显著努力。该计划中确定的措施旨在提高原子能机构在缔结“全面保障协定”国家探查未申报的核材料和核活动的能力。其中一些措施（如及早提供新设施的设计资料、环境取样和使用卫星图像）可在“全

[43] 根据“自愿提交保障协定”，原子能机构对国家提出适用原子能机构保障并由原子能机构从国家合格设施清单中选出的那些设施或设施某些部分中的核材料实施保障，以核实这些材料除“自愿提交保障协定”规定的情况外没有退出保障。

面保障协定”规定的现有法律授权下实施，而其他措施[44]则需要附加法律授权。1997 年 5 月，理事会核准了“附加议定书范本”，[45] 其中包括所建议的措施，是为“加强保障制度的有效性和提高其效率以促进全球核不扩散目标”所作努力的最终结果。

“附加议定书范本”显著加强了原子能机构保障。没有它，视察员能做的事情就很有限。它赋予视察员彻底调查的权力，使原子能机构能够更有信心地向世界保证，没有任何核材料未经衡算，也没有任何核材料转作他用。“附加议定书范本”中规定向原子能机构提供附加资料和更广泛的接触，旨在填补“全面保障协定”所要求的资料和接触方面的空白。因此，“附加议定书范本”对于原子能机构更全面地了解缔结“全面保障协定”国家的现有和规划的核计划、核燃料循环相关活动和核材料持有情况至关重要。因此，“附加议定书”在缔结“全面保障协定”国家的生效和实施，对于原子能机构提供有关该国核计划的纯和平性质的保证至关重要。

对于“全面保障协定”和“附加议定书”均生效的国家，原子能机构不仅可以提供关于已申报的核材料未从已申报的核活动中被转用的可信保证，而且还可以保证该国整体上不存在未申报的核材料和核活动，从而为该国得出所有核材料仍用于和平活动的所谓更广泛结论。截至 2021 年 9 月，138 个国家将“附加议定书”付诸生效，132 个国家将“全面保障协定”付诸生效，五个国家将“自愿提交保障协定”付诸生效，一个国家将“特定物项保障协定”付诸生效。47 个国家尚未使其保障协定的“附加议定书”生效。

要求、假设和限制条件不断变化，以及技术能力和保障方案持续改进，贯穿于原子能机构保障演变的过程。原子能机构保障要求的不断变化以及法律框架的相应修改，反映了各国随着时间推移不断变化的安保需要。这些安保需要在继续演变，原子能机构也在继续适应这些需要。

---

[44] 此类措施包括国家提供以下相关资料：不涉及核材料的核燃料循环研发活动、铀矿、铀和钍富集厂、核相关设备制造、中放废物或高放废物处理、规定设备和非核材料出口以及更广泛的接触国家场所。

[45] 原子能机构 1997。

需要与时俱进的一个突出例子是对小数量核材料保障的持续演变，随着生产或加工核材料技术能力的提高，这些核材料也可能构成扩散风险。原子能机构于 1974 年提出了“全面保障协定”的原始“小数量议定书”，作为尽量减少那些只有极少或没有核活动的“全面保障协定”缔结国家保障实施负担的一种手段。然而，原始“小数量议定书”长期以来一直被认为是原子能机构保障体系中的一个薄弱环节。根据原始“小数量议定书”，原子能机构在核设施建设早期阶段不接收设施设计资料或关于所有核材料的初始报告，也不能在该国开展任何现场核查活动。因此，2005 年，原子能机构理事会修改了“小数量议定书”，并呼吁所有缔结“小数量议定书”的国家尽快通过换文方式酌情修订或废除其议定书。根据经修订的“小数量议定书”，国家需要提交一份关于所有核材料和早期设计资料的初步报告，并且原子能机构可以在该国开展现场核查活动。[46]

原子能机构对尚未修订或废除基于原始标准文本“小数量议定书”的国家得出可信、有充分依据的年度保障结论的能力已越来越难以维持。因此，原子能机构在 2020－2021 年再次作出努力，强烈和积极地呼吁尚未修订或废除其“小数量议定书”的国家通过换文方式进行修订或废除。截至 2021 年 9 月 24 日，96 个国家将其“全面保障协定”的“小数量议定书”付诸生效，其中 69 份“小数量议定书”基于经修订的标准文本。10 个国家还废除了其“小数量议定书”，27 个国家尚未修订其正在执行的基于原始文本的“小数量议定书”。

原子能机构必须跟上核技术进步，以实现保障目的。目前，新生产的设备和材料被用于核燃料循环相关活动，却无需向原子能机构报告。为了跟上核技术发展，成员国可以考虑更新“附加议定书范本”中与核燃料循环有关

[46] 原子能机构 2006b。

的核设备和非核材料清单[47]。这将使原子能机构能够更全面地了解技术进展情况，并核查与核燃料循环和保障有关的其他活动和物项。[48]

在国家层面上，确保保障始终有效，在很大程度上取决于是否建立了反映国际保障义务的健全的法律法规体系。原子能机构一直非常积极地向各国提供立法和监管援助，包括核保障领域援助。原子能机构可以通过进一步协助加强国家当局的监管职能补充这项工作，包括通过为制定保障相关法规提供支持。新的“综合能力建设倡议”（COMPASS）有助于加强国家法律框架。该倡议在 2020 年原子能机构大会上启动，涉及与各国结成伙伴关系，助力加强其负责保障国家主管部门和核材料衡算和控制系统的有效性。

原子能机构已制定重要保障法律文书，这些文书对许多国家都已生效。然而，并非所有国家都遵守了这些文书。在保障领域，全面保障实现充分有效性的主要障碍是缺乏普遍性。原子能机构认为，如果《不扩散核武器条约》所有无核武器缔约国[49]都履行了《不扩散核武器条约》第三条第 1 款规定的义务，将与原子能机构缔结的“全面保障协定”付诸生效（八个无核武器缔约国尚未这样做）；所有拥有生效“全面保障协定”的国家都将其协定的附加议定书付诸生效（47 个国家尚未这样做）；以及所有拥有“全面保障协定”和原始“小数量议定书”的国家都同意修订或废除其“小数量议定书”（27 个国家尚未这样做），那么普遍性就会实现。原子能机构正在提高对这些文书重要性的认识，协助各国遵守这些文书，以及在执行这些文书方面进行最高级别合作。通过继续开展这项工作，我相信，原子能机构将确保其保障的可信度将成为核领域的一个持久特征。

---

[47] 见原子能机构 1997，附件一和附件二。

[48] 关于原子能机构 1997 的附件二，众所周知，自 1997 年 5 月理事会核准“附加议定书范本”以来，核供应国集团成员已六次更新该集团第一部分，即“触发清单”，以反映核设备方面的进展，包括反应堆和部件、反应堆用非核材料、后处理厂、燃料制造、重水生产以及用于燃料制造和铀同位素分离的铀和钚的转化。原子能机构在 15 年前就已注意到，更新清单将“确保原子能机构保障体系跟上核技术发展，由此获得的信息将有助于提高一国核活动的透明度和原子能机构对这些活动的了解。这种更新将有助于增强人们的信心，即附件一中确定的额外活动以及附件二中确定的额外规定设备和非核材料仅用于和平目的。”见原子能机构 2006c。

[49] 《不扩散核武器条约》，上文脚注 1。

关于原子能机构保障权力的最后一个要点涉及保障协定的遵守以及附加核查和监测活动。总干事曾多次向理事会报告在拥有“全面保障协定”国家遇到的保障执行问题。在其中一些情况下，理事会认为这些国家没有履行其保障义务，并向联合国安理会报告了这些情况。[50] 在一些情况下，达成了关于建立信任措施的国际共识，提出对原子能机构开展核计划强化核查和监测的请求。这些活动是对保障协定或相关议定书所规定活动的附加活动。

原子能机构《规约》为原子能机构开展“其他核查活动”提供了基础，以建立对核活动仍然和平的信心，这些活动包括 1991 年至 2009 年根据联合国安理会相关决议在伊拉克开展的核查活动、1994 年至 2002 年根据“美朝框架协议”对朝鲜核设施的“冻结”情况进行的核查、2007 年至 2009 年在朝鲜进行的与六方会谈有关的监测和核查活动以及对伊朗伊斯兰共和国在《联合全面行动计划》下的核相关承诺的核查和监测。根据法定权限，原子能机构应各国请求并经理事会核准，开展了广泛的核查活动，从而为维护国际和平与安全作出了贡献。随着核活动在世界各地继续扩大，原子能机构的核查工作将继续发挥关键作用，以确保和平的核未来。

除了确保高水平的安全、安保和保障外，核法律还规定了在罕见的核事故中进行充分和迅速赔偿的机制。这就是核损害民事责任这一重要领域，也是核法律的第四大支柱。这一支柱最早是在 20 世纪 60 年代发展起来的，当时人们认识到核损害的潜在规模、其跨境影响以及由此产生的对特殊责任制度的需要，以促进对受害者的赔偿，并解决核工业和保险业的经济问题。其结果是 1960 年在当时的欧洲经济合作组织（现为经济合作与发展组

[50] 见原子能机构 1972，第 19 段。

织）[51] 主持下通过的“巴黎公约”[52] 和 1963 年在原子能机构主持下通过的“维也纳公约”。[53]

这些公约规定了统一规则，旨在促进对跨境损害的赔偿。它们基于几项一般原则，包括核设施营运者唯一责任原则，以及营运者对最低限度的责任负有严格责任，这一责任通过强制性财务保险（通常是保险形式）得到保证。

1986 年切尔诺贝利事故，除了前面讨论的核安全影响外，也对国际核责任制度产生了影响。各国采取的应对措施是改进 20 世纪 60 年代以来的现有核责任文书，通过了新的文书并将它们联系起来。[54] 在原子能机构主持下，通过了 1997 年“修正‘维也纳公约’的议定书”和 1997 年《核损害补充赔偿公约》，是国际核责任制度发展中的一个重要里程碑。这两份文书在可获得的赔偿金额、涵盖的损害范围和管辖权的分配方面都有重大改进。

---

51 《关于核能领域中第三方责任的巴黎公约》（巴黎公约）于 1960 年 7 月 29 日开放供签署，1968 年 4 月 1 日生效。

52 所谓的巴黎机制包括经 1964 年 1 月 28 日“附加议定书”和 1982 年 11 月 16 日“议定书”修正的“巴黎公约”，该公约在经合组织主持下缔结，对经合组织成员国开放，如果所有缔约国同意，也对其他国家开放。1963 年“布鲁塞尔补充公约”对“巴黎公约”进行了补充，该公约经 1964 年 1 月 28 日“附加议定书”和 1982 年 11 月 16 日“议定书”进行修正，提高了基于国家和国际公共基金的核损害货币赔偿额度。这两项公约都经分别于 1964 年和 1982 年通过的议定书所修正。

53 《关于核损害民事责任的维也纳公约》（维也纳公约）于 1963 年 5 月 21 日开放供签署，1977 年 11 月 12 日生效。

54 在原子能机构主持下，各国通过了以下公约：《关于适用“维也纳公约”和“巴黎公约”的联合议定书》（联合议定书），1988 年 9 月 21 日开放供签署，1992 年 4 月 27 日生效，（另见原子能机构 2013b）；“维也纳公约”；《修正〈关于核损害民事责任的维也纳公约〉的议定书》（1997 年“维也纳议定书”），1997 年 9 月 29 日开放供签署，2003 年 10 月 4 日生效；《核损害补充赔偿公约》（补充赔偿公约），1997 年 9 月 29 日开放供签署，2015 年 4 月 15 日生效（另见原子能机构 2020c）。在经合组织主持下，“巴黎公约”和“布鲁塞尔补充公约”将由 2004 年 2 月 12 日通过、预计将于 2022 年初生效的“议定书”进一步修正：《修正〈关于核能领域第三方责任的巴黎公约〉的议定书》（2004 年“巴黎议定书”），2004 年 2 月 12 日开放供签署，尚未生效；《修正〈关于核能领域第三方责任的布鲁塞尔补充公约〉的议定书》（2004 年“布鲁塞尔补充公约”的议定书），2004 年 2 月 12 日开放供签署，尚未生效。

最近，2011 年福岛第一核电站事故表明，有必要在事故发生前建立责任机制，并有必要让更多国家建立条约关系，从而建立一个真正的全球核责任制度。根据 2011 年原子能机构《核安全行动计划》（行动计划）中的呼吁，国际核责任问题专家组 — 向原子能机构总干事报告的专家咨询机构，于 2012 年通过了关于如何促进实现全球核责任制度以及如何向核损害受害者提供更好保护的建议。[55] 自福岛第一核电站事故发生和“行动计划”通过以来的十多年里，原子能机构仍然致力于寻求建立这样一种制度。

每年的原子能机构大会都不断地鼓励成员国适当考虑加入核责任文书的可能性，并努力建立这样一种基于核责任原则的制度。随着 1997 年《核损害补充赔偿公约》于 2015 年 4 月生效，国际社会又向前迈进了一步。1997 年《核损害补充赔偿公约》为建立核国家和无核国家广泛遵守的全球制度提供了一个框架。该公约现在是涵盖全世界核动力堆最多的唯一文书。能够解决所有可能受核事件影响国家关切的制度已指日可待，因此我们继续促进更大程度地遵守在原子能机构主持下通过的核责任文书。[56]

核电是核法律中一个极其重要的“交叉”领域，随着核电成为低碳能源结构中一个越来越重要的部分，需要给予最强烈的关注。核电厂运行需要对安全、安保和保障给予认真关注。在世界范围内，有 440 多座动力堆在运行，约占全球总发电量的 10%，占世界低碳发电量的四分之一以上。在目前正在建设的 50 多座反应堆中，有九座位于建设首座核电厂的国家。约有 28 个国家表示对核电感兴趣，并正在考虑、计划或积极努力将核电纳入其能源结构。另有 24 个成员国参加了原子能机构的核基础结构相关活动，或通过技术合作计划参与了能源规划项目。[57] 为进一步鼓励核发展，鼓励创新型融资方案和支持政策，包括来自发展金融机构的融资方案和支持政策，对支持向低碳经济转型至关重要。

---

[55] 原子能机构 2012b。

[56] “维也纳公约”，见上文脚注 53，只有 43 个缔约国；1997 年“维也纳议定书”，见上文脚注 54，有 15 个缔约国；“补充赔偿公约”（最终于 2015 年生效），见上文脚注 54，有 11 个缔约方（但涵盖约 177 座反应堆）；“联合议定书”，见上文脚注 7，有 31 个缔约国。大多数“巴黎公约”缔约国也是“联合议定书”的缔约国，但都不是“补充赔偿公约”的缔约方。此外，还有少数拥有核电厂的国家仍未加入这些文书。

[57] 原子能机构 2021b。

新的核电计划是一项重大任务，需要精心规划、筹备以及在时间、研究机构和人力资源方面的投资。启动核电计划的决定应基于对安全、可靠、和平利用核能的承诺。这种承诺包括加入所有相关国际法律文书，这是对原子能机构成员国的一个规范性期望。国际法律框架规定了最低限度的义务，并提供了确保安全和安保的手段。目前新建核电经验表明，发展健全的国家核基础结构，包括全面而有效的立法和监管框架，这一点非常重要。法律框架必须健全，以确保安全或安保保持高水平。[58]

核电厂选址可能会引起政治上的争议，特别是当厂址靠近边境或共享水道时，可能会引起特定法律和政策关切问题，特别是来自邻国的关切。随着世界上越来越多的国家寻求启动新的核电计划和建造核电厂，需要加强讨论有效和协调的机制来解决跨境问题，包括环境影响。这种机制能够有助于避免或最大限度地减少可能破坏核能重要作用的争端。

与此问题相关的是获取环境信息的权利、公众参与环境决策过程以及在环境问题上诉诸法律的权利等议题。这方面的一个新近地区发展是《拉丁美洲和加勒比地区在环境问题上获得信息、公众参与和诉诸法律的地区协定》（埃斯卡苏协定）。[59] 值得注意的是，这是拉丁美洲和加勒比地区第一个关于环境问题的国际条约。[60]

新技术是核法律的另一个重要交叉领域，特别是随着小型模块堆和移动式核电厂等先进反应堆的引入。在世界各地，一些成员国继续研究、开发

---

[58] 原子能机构“里程碑方案”是供成员国用于制定新的和扩大的核电计划的主要出版物，原子能机构 2015d。综合核基础结构评审工作组访问通过提供专家和同行评审为“里程碑方案”提供支持，在成员国提出请求时，协助确定其核基础结构发展状况和需求。

[59] 《拉丁美洲和加勒比地区在环境问题上获得信息、公众参与和诉诸法律的地区协定》（埃斯卡苏协定）于 2018 年 9 月 27 日开放供签署，2021 年 4 月 22 日生效。

[60] 该协定由拉丁美洲和加勒比经济委员会 24 个国家的代表于 2018 年 3 月 4 日在哥斯达黎加埃斯卡苏举行的谈判委员会第九次会议上通过。该协定向拉丁美洲和加勒比地区的 33 个国家开放。在 24 个签署国中，已有 12 个国家批准了该协定。在阿根廷和墨西哥于 2021 年 1 月 22 日加入后，该协定于 2021 年 4 月 22 日生效。该协定的目的是保证在拉丁美洲和加勒比地区全面有效地落实获得环境信息、公众参与环境决策过程和在环境问题上诉诸法律的权利，并建立和加强能力和合作，促进保护今世和后代每个人生活在健康环境和可持续发展的权利。

或部署先进裂变堆，其中包括渐进型反应堆技术和创新型反应堆技术，这些反应堆可能不使用水作为冷却剂和慢化剂，而是使用气体、熔盐或液体金属。[61] 这些较新一代反应堆设计通常电功率可高达 300 兆瓦，其构成组件和系统可在车间制造，然后根据需求以模块形式运输到现场进行安装。目前有 70 多个小型模块堆设计已处于不同设计和开发阶段，一些概念已接近部署。

与大型核反应堆一样，小型模块堆可以提供低碳能源，但它们更小、更灵活、更实惠，可满足更广泛用户和应用对灵活发电的需求，并取代老化化石燃料发电厂。它们可以用于较小的电网，特别是在发展中国家，并且可以建在难以到达的地方，如基础设施不发达的偏远社区，在那里建大型反应堆不切实际。促进小型模块堆发展的主要因素是其独具的特征：尺寸更小、新技术的使用、模块化设计和更灵活的部署方案。小型模块堆设计和部署的新方案、与传统陆基核电厂新建项目的不同（如工厂制造和测试）以及新的建设和调试方法，为考虑量身定制方案需求（包括许可证审批需求）提供了机会。虽然原子能机构安全标准通常可以适用于小型模块堆，但来自小型模块堆监管机构论坛的全球专家正在研究量身定制的解决方案，以帮助国家当局监管这一新类别的反应堆。为了促进小型模块堆的部署，一些论坛还呼吁在全球范围内统一安全要求、建议和导则。

原子能机构通过在小型模块堆设计、开发和部署方面开展合作，以及作为分享小型模块堆监管知识和经验的中心，为成员国提供支持。鉴于全球对小型模块堆的兴趣越来越大，原子能机构最近建立了一个原子能机构小型模块堆平台，在小型模块堆的发展、部署和监督的所有方面向成员国提供综合支持。

原子能机构敏锐地意识到小型模块堆和移动式核电厂对实施保障所带来的挑战，正在与利益相关方合作，考虑在建造、出口、部署或运行此类反应堆时如何适用有效的保障。对于在岛屿上有能源需求的国家，在没有互联电网的偏远地区，或者对能源有迫切需求但没有固定式核电厂所需的全部基础设施的国家，此类反应堆可能是合适的解决方案。根据用户要求，这类核电厂可以由供应商或接受国的实体运行。

---

[61] 原子能机构 2020d。

为了在新设施类型中有效和高效地实施保障，需要从最初设计规划阶段就考虑保障。原子能机构一直致力于在这一领域支持各国和核工业，提供“设计中纳入保障”导则，以帮助有效和高效地实施保障。对于处于设计阶段或正在建造的设施，原子能机构一直与有关国家和（或）地区当局以及设施营运者密切合作，将保障特征纳入新设施的设计中。例如，原子能机构继续与芬兰、瑞典和欧盟委员会密切合作，规划封装厂和地质处置库的保障实施工作；与韩国合作，规划未来高温处理厂的保障实施工作；与中国合作，制定球床高温气冷堆的保障方案；与日本合作，制定六所村厂址混合氧化物燃料制造厂的保障方案。

随着新的技术和反应堆类型的部署，核法律并没有忽视它们可能取代的旧堆型。目前在世界各地运行的反应堆中，有一半以上是超过 30 年的老式反应堆。核电厂长期运行或延寿的趋势日渐盛行。此外，随着越来越多的反应堆和相关设施被永久关闭或即将关闭，核设施退役工作也越来越重要。法律要求构成了确保财政资源充足并可用于支付所有退役费用的基础。国际法律框架包含了这方面的重要基本原则。

退役愿景在不断发展变化，反映了新的趋势和概念，如可持续发展和循环经济原则。因此，终态的定义已超越了纯粹的放射学标准，而往往越来越多地涵盖更广泛的环境乃至文化学范畴。这给决策过程和利益相关方参与过程带来新的挑战。国家法律框架需要不断发展，以适应新的实践，如将厂址从以前业主移交给退役营运者。这种方案的潜在影响涉及许多问题，如核责任问题，筹集和移交的资金是否充足，这些都可能会影响退役目标的实现。

在公众对核技术的接受方面，几乎没有比乏燃料和高放废物管理与处置问题更至关重要的了。即使在核技术利用有限，如仅用于医疗、食品或研究应用，因而国家放射性废物库存相对较小的那些国家，寻找适当的最终解决方案通常也是一个问题。

近年来，国家高放废物深地质处置库建设取得了重大进展。[62] 最先进计划已接近于正式推荐处置厂址，有一些正在制定关于建造和运行深地质处置设施方案，或正在准备关于在建设中的设施内安置乏燃料的许可证申请。展望未来，不仅要越来越多地关注科技问题，而且还要关注影响公众对

[62] 原子能机构 2021b，第 49－50 段。

实施地质处置概念的安全性和可行性认知的社会、政治、法律和经济方面，这一点至关重要。

目前还没有多国、地区或国际共用处置库。然而，国家发展可能会激发人们对这种处置库的兴趣，这可能具有技术和经济意义，并且能够提供安全、安保和防扩散的优势。从环境角度来看，拥有少量大型处置库而不是许多小型处置库也是有利的。期待能对这些概念进一步考虑。

保持灵活性并随时准备应对核法律领域新出现的挑战，这要求我们为我们掌握的其他改变游戏规则的技术出现做好准备，如核聚变技术，它带来无穷无尽的低碳能源的希望，并可能成为抗击气候变化的游戏规则改变者。核聚变现正从学术领域向更具技术性的方案发展，较先进设施所产生的放射性物质数量将远远高于现有实验设施所产生的数量。目前有多个国家的多个项目正在开发多种设计的核聚变设施。最近，已有一些突破，但预计核聚变在 2050 年之前不会对发电作出贡献。

随着核聚变领域的投资和努力的扩大，有必要考虑需要什么样的法律框架来支持安全核聚变能源设施的商业化，现有裂变反应堆的法律框架是否应该适用于或经改造适用于聚变技术，或者是否需要新的针对聚变的法律框架和监管方案。

一般认为，保护环境免受核活动影响的法律框架有两个不同的法律体系：一是核法律，主要涵盖与放射性有关的方面；二是环境法，涉及所有类型的危害，但也可能包括保护环境免受电离辐射有害影响的要求。核法律和环境法有着保护环境的共同目标，它们之间的协同作用对这一目的至关重要。

一些涉及实质性和程序性问题的基本国际法律原则和环境法文书与核活动有关，特别是联合国欧洲经济委员会的 1998 年《在环境问题上获得信息、公众参与决策和诉诸法律的公约》（奥胡斯公约）[63]，《跨界环境影响评

[63] 《在环境问题上获得信息、公众参与决策和诉诸法律的公约》（奥胡斯公约）于 1998 年 6 月 25 日开放供签署，2001 年 10 月 30 日生效。

价公约》（埃斯波公约）[64]，以及在联合国欧洲经济委员会主持下通过的 2003 年《战略性环境评价议定书》（基辅议定书）。[65]

在过去的几十年里，国际核法律也更加积极地关注保护环境和赋予环境以特殊地位。展望未来，可以预期核部门会持续关注环境保护，尤其是在加强原子能机构安全标准和利益相关方获取核信息并参与核决策，以及预防和赔偿核事件造成的环境损害等领域。

原子能机构是各成员国专家和代表分享该领域经验和讨论热点问题的中心。在促进构建未来核法律方面，原子能机构及其成员国继续保持警惕，评价安全、可靠和和平利用核技术及其应用的法律框架是否足以应对未来挑战。原子能机构积极致力于使我们今天拥有的法律和规范性框架尽可能地健全。我们可以向东南亚国家联盟（东盟）、非洲核能委员会、非洲核监管机构论坛和伊比利亚-美洲放射性和核监管机构论坛等地区组织开展外联活动，可以通过与各国议会联盟等组织合作在国家和国际层面向议员开展外联活动，还可以与希望在支持向尚未加入相关国际法律文书的国家推广宣传方面发挥领导作用的志同道合的缔约方一起促进这些文书的普遍适用。

由于核技术、政策、法律和法规的复杂性，需要具有丰富知识和立法技能的起草人。原子能机构培训历来侧重于协助成员国官员发展起草核立法所需的技能。重要的是，通过立法援助计划，我们协助各国遵守所有国际法律文书，评价、审查和制定核立法，更好地理解国际法律文书，以及履行国际义务。此外，我们的立法支助还包括提供科学访问以及在原子能机构法律事务办公室和国家监管机构进行进修机会。

安全、可靠、和平利用核科学技术的有效和全面的国家和国际法律框架是数十亿人生活和生计的基础，会使我们所有人能够努力在今天和未来生活得更好。这种框架建立了必要的公众信任，使核科学技术能够惠及每个人。随着核技术利用的增加，以及大量成员国参与起草或修订核立法，或计划开展这种工作，对审查立法草案和已颁布法律以及培训起草者的需求仍然很高。满足这一需求，将继续需要举办一年一度的原子能机构核法律短训

[64] 《跨境环境影响评价公约》（埃斯波公约）于 1991 年 2 月 25 日开放供签署，1997 年 9 月 10 日生效。

[65] 《“埃斯波公约”的战略性环境评价议定书》（基辅议定书）于 2003 年 5 月 21 日开放供签署，2010 年 7 月 11 日生效。

班及其互动计划，并在需要和有请求时，辅之以开展有针对性的国家活动。自 2011 年启动核法律短训班以来，来自世界各地区约 550 名专业人员完成了培训，其中近一半是女性。

各国政府在继续呼吁原子能机构提高决策者、决定者以及高级官员认识到这些文书的重要性和好处，认识到建立和维护适当国家核法律框架的重要性。他们还越来越多地呼吁我们协助提高议员在这些领域的认识。

未来几年，根据地区需求、利益和优先事项，关于核法律的地区培训方案将可能发挥越来越重要的作用，可以通过与地区或国家培训教育中心的协作安排推动这些方案，一些成员国已表示愿意成为地区一级核法律培训中心。

随着原子能机构成员的增加和成员国扩大核技术利用，要求原子能机构提供立法援助可能会越来越多。为进一步确保健全的核法律框架能够满足这一趋势，原子能机构秘书处始终随时准备为举办与公约和行为准则有关的会议提供服务。原子能机构还将继续关注其制定安全标准的独特职能，并根据成员国确定的优先事项，在编写全面核安保导则出版物方面发挥核心作用。最后，可以信赖原子能机构能够优化其应请求开展同行评审和咨询服务的能力，这些服务是促进安全标准和核安保导则实施的反馈机制。原子能机构将在提供此类服务方面保持积极主动，支持核技术对人类进步的持续贡献。

让人们了解这场全球核法律辩论，是确保各国能够作出明智决定的一个必要前提。原子能机构在这方面可发挥重要作用。与原子能机构主办的所有技术会议一样，2022 年国际核法律大会为来自政府、国际组织和非政府组织、业界及其咨询机构、学术界和民间社会的全球顶尖专家分享经验和讨论热点问题提供了一个独特论坛，而今天进行的讨论和由此产生的决定都将直接或间接地影响子孙后代的利益。

核技术发展及其好处已经并将持续跨越好几代人。因此，为了以最佳方式满足全球需求，我们有责任不仅要考虑我们这一代核律师、决策者和科学家的意见，还要考虑后代人的观点。每一代人都有责任重新认识核在改善世界方面的作用。因此，我们的辩论需要让那些负责制定未来核法律的人参与进来。

通过部署各种技术支持清洁能源、清洁空气、清洁水、韧性农业和最高水平医疗服务，可以实现人类未来福祉的美好愿景。核技术可以推动我们在上述每个领域走上可持续发展道路。有效执行核法律框架是确保我们以安全、可靠和和平的方式开拓这一道路的关键。

核法律将继续为实现利用核技术力量的目标奠定基础，从而圆“原子用于和平”演讲之梦想，即设想各种方法来部署核技术服务于人类和平追求，动员专家将核技术应用于农业、医药和其他和平活动需求，为可持续发展提供电力。通过这场辩论，我们可以塑造我们希望在未来 50 年中所生活的世界 — 我们希望留给子孙后代的世界。

原子能机构是世界核领域合作中心，将继续作为一支关键力量，与我们的成员国和其他组织合作，确保核技术为这一未来作出贡献。核法律框架是全球核架构的一个不可或缺部分，对核技术未来至关重要。作为核法律问题全球辩论的主要论坛，原子能机构将与所有想加入我们的人一起，继续努力塑造一个更加光明的核未来。

让全球辩论开始吧。

## 参考文献


Eisenhower DD (1953) Speech to the United Nations General Assembly, 8 December 1953, New York

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1961) The Agency’s Safeguards, INFCIRC/26 International Atomic Energy Agency (IAEA) (1964) The Agency’s Safeguards: Extension of the system to large reactor facilities, INFCIRC/26/Add.1

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1965) The Agency’s Safeguards System (1965), INFCIRC/66

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1967) The Agency’s Safeguards System (1965, as provisionally extended in 1966), INFCIRC/66/Rev.1

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1968) The Agency’s Safeguards System (1965, as provisionally extended in 1966 and 1968), INFCIRC/66/Rev.2

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1970) Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons: Notification of the entry into force, INFCIRC/140

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1972) The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/153 (Corrected)

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1973) The Text of the Agreement Between Belgium, Denmark, the Federal Republic of Germany, Ireland, Italy, Luxembourg, the Netherlands, the European Atomic Energy Community and the Agency in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/193

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1989) Statute. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1994) Agreement of 13 December 1991 Between the Republic of Argentina, the Federative Republic of Brazil, the Brazilian–Argentine Agency for Accounting and Control of Nuclear Materials and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards, INFCIRC/435

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1997) Model Protocol Additional to the Agreement(s) between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards, INFCIRC/540 (Corrected)

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2004) Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006a) Code of Conduct on the Safety of Research Reactors. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006b) The Standard Text of Safeguards Agreements in connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons: Revision of the Standardized Text of the 'Small Quantities Protocol', GOV/INF/276/Mod.1 and Corr.1

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006c) Recommendations to be Considered by the Advisory Committee on Safeguards Verification within the Framework of the IAEA Statute to Further Improve the Effectiveness and Efficiency of the Safeguards System, GOV/2006/Note 45 International

Atomic Energy Agency (IAEA) (2011a) Draft IAEA Action Plan on Nuclear Safety, GOV/2011/59-GC(55)/14

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011b) Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEA Nuclear Security Series No. 13. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011c) The International Legal Framework for Nuclear Security. International Law Series No. 4. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012a) Guidance on the Import and Export of Radioactive Sources. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012b) IAEA Action Plan on Nuclear Safety — Nuclear Liability. https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/actionplan-nuclear-liability.pdf. 2021 年 10 月 8 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013a) Measures to Strengthen International Cooperation in Nuclear, Radiation, Transport and Waste Safety, GC(57)/RES/9

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013b) The 1988 Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention—Explanatory Text. IAEA International Law Series, No. 5. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015a) The Fukushima Daiichi Accident: Report by the Director General. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015b) Vienna Declaration on Nuclear Safety, On principles for the implementation of the objective of the Convention on Nuclear Safety to prevent accidents and mitigate radiological consequences, CNS/DC/2015/2/Rev.1

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015c) Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. Co-sponsored by Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Civil Aviation Organization, International Labour Organization, International Maritime Organization, International Criminal Police Organization, OECD Nuclear

Energy Agency, Pan American Health Organization, Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, United Nations Environment Programme, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, World Health Organization, World Meteorological Organization. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015d) Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power. IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1 (Rev. 1). IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017) Joint Radiation Emergency Management Plan of the International Organizations. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018a) IAEA Response and Assistance Network. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018b) Guidance on the Management of Disused Radioactive Sources. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Operations Manual for IAEA Assessment and Prognosis during a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020b) Operations Manual for Incident and Emergency Communication. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020c) The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage—Explanatory Texts. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020d) Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, 2020 Edition, A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS). IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021a) Nuclear Security Plan 2022–2025, Report by the Director General, GC(65)/24

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021b) International Status and Prospects for Nuclear Power 2021, Report by the Director General, GOV/INF/2021/32-GC(65)/INF/6

United Nations (2001) Security Council Resolution 1373, S/RES/1373 United Nations (2004) Security Council Resolution 1540, S/RES/1540

# 2. 核法律规范和平利用核能事业的发展

**邓戈**
中国国家原子能机构，北京

**摘要** 核能的开发利用是 20 世纪最伟大的成就之一，极大地增强了人类认识世界和改造世界的能力，对世界科技进步和文明发展产生了重大影响。进入 21 世纪以来，为推动以综合的方式彻底解决全球面临的社会、经济和环境等发展问题，联合国相继提出了“千年发展目标”和“2030 年可持续发展目标”。为实现这些目标，核能可以并正在发挥独特的优势和广泛的作用。同时，核能的开发利用也伴随着风险和挑战，人类要更好地发展、利用核能，就必须应对好这些风险和挑战。核法律正是规范核能开发利用、防范应对风险挑战的有力工具。中国政府一贯坚持安全发展、创新发展、和平利用核能的道路。在全球核安全峰会上，习近平主席提出，要坚持理性、协调、并进的核安全观，推动构建公平、合作、共赢的国际核安全体系，努力打造核安全命运共同体。这既是中国核法律体系建设、核事业安全发展的经验总结，也为强化国际核治理体系、推动核能更好地造福人类指明了方向。国际社会应严格履行国际义务，有效落实国家责任，共同维护以联合国为核心的国际体系和以国际法为基础的国际秩序，为实现“原子用于和平与发展”的共同目标做出贡献。

**关键词** 核能；核技术；法律体系；发展；核安保；核治理

## 2.1. 国际核法律体系的建立与完善

核能又称原子能，是指原子核结构变化时释放出的能量。不同于其他传统工业领域，核能从理论研究到产业化发展尽管仅有百年历程，却给人类社会和工业发展带来了革命性变化。核能是一把“双刃剑”，核裂变产生的巨大能量既给人类生活带来福祉，也伴生着风险与挑战。一是核安全问题。1986 年切尔诺贝利核事故、2011 年福岛核事故，都造成了严重的核污染，对当事国乃至所在地区公众生命健康、生态环境造成了危害，也使世界核能

事业发展陷入低谷。二是核安保问题。当前，国际形势复杂多变，非传统安全问题凸显，核恐怖主义的潜在威胁不容忽视，一旦核材料或其他放射性物质落入恐怖分子之手，将对国际安全构成重大挑战。三是核扩散问题。核技术具有军民两用性，如果对和平利用核能活动失去有效管控，使和平利用核能的技术和材料等被转用于核武器或其他核爆炸装置，可能会将人类置于自我毁灭的绝境。

国际核法律体系随着全球核能发展而逐步建立，并在应对核能发展所伴随的社会、经济和科学技术问题的过程中不断完善，促进了和平利用核能事业的安全、安保、可持续发展。

### 2.1.1. 国际核法律体系的建立

1928 年，国际放射防护委员会（ICRP）成立，开始研究建立辐射防护的国际标准，这可能是核能利用领域最早的国际组织。当时核能利用的范围、规模都非常有限，尚未引发迫切的核法律建设需求。

1945 年，原子弹首次用于实战，显示了核武器巨大的毁伤力及威慑作用。1954 年，前苏联奥布宁斯克核电站并网发电，拉开了大规模和平利用核能的序幕。20 世纪 60 年代，核电工业开始规模化发展；1973 年，石油危机为核电工业发展带来了新的机遇。在此形势下，1946 年，美国首次颁布了《原子能法》。1953 年 12 月，美国总统艾森豪威尔向联合国大会发表“原子用于和平”演讲。[1] 1957 年 7 月 29 日，原子能机构《规约》正式生效，成为国际核法律体系建设的里程碑。《规约》规定，原子能机构的使命是谋求加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献；确保由其本身，或经其请求，或在其监督或管制下提供的援助不致用于推进任何军事目的。[2]

原子能机构成立之初，为帮助发展中成员国建立基本能力，引进和发展核技术，并安全有效地应用核技术，发起了“技术援助”计划；[3] 同时，

---

[1] 艾森豪威尔，1953 年。

[2] 原子能机构 1989。

[3] https://www.iaea.org/services/technical-cooperation-programme/history，2021 年 11 月 2 日访问网页。

制定了原子能机构保障文件，以确保由机构本身、或经其请求，或在其监督和管制下提供的特种可裂变材料及其他材料、服务、设备、设施和情报，不致用于推进任何军事目的。[4] 1970 年 3 月，《不扩散核武器条约》生效，规定无核武器缔约国不得直接或间接取得或制造核武器或其他核爆炸装置，要求无核武器国家与原子能机构谈判缔结“全面保障协定”。[5] 1971 年成立的桑戈委员会、1974 年成立的核供应国集团为核转让建立了行为准则和触发清单。1960 年欧洲原子能共同体通过的《关于核能领域中第三方责任的巴黎公约》（巴黎公约）以及 1963 年原子能机构主导制定的《关于核损害民事责任的维也纳公约》（维也纳公约）建立了国际核损害责任制度，处理跨境核事故可能带来的人身伤害和财产损失风险。[6] 防止核武器扩散、防范核能利用安全风险的国际核法律体系开始建立。

### 2.1.2. 国际核法律体系的完善

1979 年三哩岛核电站和 1986 年切尔诺贝利核电站发生重大事故，为全球核能发展敲响了安全警钟，同时也成为国际社会重新审视和完善国际核法律制度的契机。上世纪 90 年代初期，《不扩散核武器条约》某些缔约国的秘密核活动被发现，促使国际社会进一步加强全面保障与出口管制体系。2001 年，“9·11 事件”引起了国际社会对核恐怖主义活动的严重关切。2011 年，福岛核事故使核安全问题再次成为国际社会的关注焦点。国际核法律体系在不断应对新挑战中，得以进一步发展和完善。

#### 2.1.2.1. 核安全

1986 年通过的《及早通报核事故公约》（及早通报公约）和《核事故或辐射事故紧急情况援助公约》（紧急援助公约），建立了在发生核事故或者辐射紧急情况时，加强信息联络与技术援助以降低核事故或辐射紧急情况

---

[4] 原子能机构 1968。

[5] 原子能机构 1972；《不扩散核武器条约》，1968 年 7 月 1 日开放供签署，1970 年 3 月 5 日生效。

[6] https://www.iaea.org/topics/nuclear-liability-conventions，2021 年 11 月 2 日访问网页。

后果的国际合作机制。[7] 1994 年通过的《核安全公约》进一步强化了核安全国家责任和国际合作，反映了国际社会对有关保护人类和环境免于受到电离辐射有害影响的高水平安全的广泛共识。[8] 1997 年通过的《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》（联合公约）明确了各国在乏燃料和放射性废物全寿期管理安全方面的责任和义务。[9] 为指导各国有效落实《核安全公约》和“联合公约”的国际义务，原子能机构主持制定并发布了一系列核安全标准，包括“安全基本原则”、“一般安全要求”、“一般安全导则”、“特定安全要求”和“特定安全导则”等。这些标准构建了核能利用全过程的安全原则体系，对各国建立有效的核安全监管体系和技术措施，在世界范围内实现和维持高水平的核安全具有重要意义。

### 2.1.2.2. 核安保

1979 年，原子能机构主导制定了《核材料实物保护公约》，旨在加强核材料在国际运输中的安保。[10] “9·11”事件加速了《核材料实物保护公约》修订进程，2005 年 7 月通过的《核材料实物保护公约》修订案，将公约适用范围扩展到核材料的安全使用、存储、运输和核设施的安全运行，增加了保护核材料和核设施免遭蓄意破坏的条款。[11] 原子能机构还组织编制了《放射源安全和安保行为准则》以及《核安保丛书》，为成员国乃至全球核安保

---

[7] 《及早通报核事故公约》（及早通报公约），1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1986 年 10 月 27 日生效；《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约），1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1987 年 2 月 26 日生效。

[8] 《核安全公约》，1994 年 9 月 20 日开放供签署，1996 年 10 月 24 日生效。

[9] 《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》（联合公约），1997 年 9 月 29 日开放供签署，2001 年 6 月 18 日生效。

[10] 《核材料实物保护公约》（实物保护公约），1980 年 3 月 3 日开放供签署，1987 年 2 月 8 日生效。

[11] 2005 年《核材料实物保护公约》修订案（“实物保护公约”修订案），2016 年 5 月 8 日生效。

工作的开展提供指导。[12]此外，联合国主导制定的《制止核恐怖主义行为国际公约》于 2005 年 4 月通过，并于 2007 年 7 月生效。[13]

#### 2.1.2.3. 防止核扩散

1993 年，原子能机构启动了旨在加强保障体系有效性并提高其效率的“93+2”计划，1997 年通过了《保障协定附加议定书范本》，加强了原子能机构探知未申报的核材料与核活动的能力。[14] 1992 年，核供应国集团将无核武器国家与原子能机构缔结“全面保障协定”作为核转让条件，制定了核两用设备、材料和技术的转让准则，进一步完善了核出口控制措施。[15]

#### 2.1.2.4. 核责任

1988 年，在原子能机构和经济合作与发展组织的共同组织下，《关于适用“维也纳公约”和“巴黎公约”的联合议定书》通过；1997 年，《核损害补充赔偿公约》通过，促进了全球性核损害责任体系的建立。[16]

#### 2.1.2.5. 核技术合作

在原子能机构支持下，亚、非、拉地区部分成员国签订了四个“核科学和技术地区合作协定”。截至 2020 年底，原子能机构与 146 个国家和地区签署了“经修订的技术援助补充协定”，正在实施的技术合作项目有 1139 项，协调研究项目 124 项，涉及健康和营养、粮食和农业、水和环境、工业

---

[12] 原子能机构 2005。

[13] 《制止核恐怖主义行为国际公约》，2005 年 9 月 14 日开放供签署，2007 年 7 月 7 日生效。

[14] 原子能机构 1997。

[15] 原子能机构 2019。

[16] https://www.iaea.org/topics/nuclear-liability-conventions，2021 年 11 月 2 日访问网页。

应用/辐射技术、安全和安保、能源规划与核电、核知识发展和管理等七个领域，为成员国核技术应用能力建设和人才培养提供了有力支持。[17]

### 2.1.3. 原子能机构的核心作用

原子能机构作为核领域最重要的专业性政府间国际组织，在推动国际核法律体系的建立与完善方面，发挥着核心作用。原子能机构还通过提供立法援助、同行评审、专家咨询、人员培训等方式，推动国际核法律的有效实施和普遍适用，并帮助成员国建立相应的国内核法律体系。截至 2020 年底，原子能机构已累计发布了 129 项核安全标准和 39 项核安保导则，帮助成员国以安全、安保的方式发展和利用核能与核技术。原子能机构还与 184 个国家签订了“保障协定”，与 136 个国家签订了“附加议定书”，与 94 个国家签订了“小数量议定书”，对当事国核材料、核设施与核活动实施核查。[18]

### 2.1.4. 国际核法律体系促进核能健康有序发展

自 1957 年原子能机构《规约》订立以来，国际上形成了数十个核能利用相关的多边国际公约，以及大量国家间、国家与国际组织间核能利用双边或多边协定，组成了较为完备的国际核法律体系，并将和平、安全、安保、责任、合作等基本原则贯穿始终，为全球和平利用核能事业的发展奠定了法律基础。

截至 2020 年底，全球在运机组 442 台，总装机容量超过 393 吉瓦；在建核电机组 52 台，总装机容量超过 54.4 吉瓦。[19] 核电对低碳电力供应的贡献超过 1/4。过去 50 多年来，全球因核电的使用共累计减少 $CO_2$ 排放量约 700 亿吨，目前每年可减少 $CO_2$ 排放近 12 亿吨。[20] 综合考虑各国应对全球气候变化的政策措施、技术创新对核电安全性和经济性的提升，核能在碳减排方面的贡献和作用将进一步扩大。根据原子能机构 2021 年 9 月发布的

[17] 原子能机构 2020。

[18] 同上。

[19] 原子能机构 2021。

[20] 原子能机构 2019。

《直至 2050 年能源、电力和核电预测》报告，在高值情景预测条件下，至 2050 年，全球核电装机容量将比目前增长一倍以上，达到 792 吉瓦，核能发电量在全球总发电量中的份额将上升至 12.3%。而亚洲、非洲、南美、东欧的众多发展中国家则是未来核电需求最大、发展最快的区域。[21]

## 2.2. 中国核法律建设与核能发展实践

### 2.2.1. 中国核法律建设

中国核工业创建 1955 年。早在上世纪 60 年代，中国政府就发布了《放射性工作卫生防护暂行规定》，对核工业发展中可能出现的放射性防护问题做出了规定。

上世纪 80 年代初，中国政府做出了改革开放的重大战略部署，决定大力发展核电，服务国民经济建设。1985 年 3 月，中国大陆第一座自主设计、自主建造、自主运营的秦山核电站开工建设；1991 年 12 月成功并网发电，实现中国大陆核电“零”的突破。为了满足核电发展需要，中国政府于 1986 年颁布了《民用核设施安全监督管理条例》，并出台了《国务院关于核事故损害赔偿问题的批复》；1987 年颁布了《核材料管制条例》；1992 年颁布了《关于我国中、低水平放射性废物处置的环境政策》；1993 年颁布了《核电厂核事故应急管理条例》；1997 年颁布了《核电站安全保卫规定》。上述法规涵盖了核安全、核安保、核材料管制、核责任、核应急、放射性废物管理等各个方面，形成了规范和促进核能发展的法规体系。[22]

进入新世纪以来，中国核电发展战略经历了“适度发展”“积极发展”“安全高效发展”“在确保安全的前提下积极有序发展”等阶段。为保证核能安全、高效、可持续发展，中国进一步加强了核法律体系建设工作。2003 年以来，中国相继颁布了《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》《民用核安全设备监督管理条例》《放射性

[21] 原子能机构 2021。

[22] 《民用核设施安全监督管理条例》1986 年 10 月 29 日发布实施；《核材料管制条例》1987 年 6 月 15 日发布实施；《核电厂核事故应急管理条例》1993 年 8 月 4 日发布实施，2011 年 1 月 8 日修订。

物品运输安全监督管理条例》《放射性废物安全管理条例》；修订《核电厂核事故应急管理条例》《国务院关于核事故损害赔偿问题的批复》；颁布实施并定期更新《国家核应急预案》。[23] 2018 年，《中华人民共和国核安全法》正式施行。目前，《中华人民共和国原子能法》即将提交全国人大常委会审议。一批核安全、核安保、核进出口管理相关部门规章和标准导则相继出台，构建了包括法律、行政法规和部门规章三个层级的核法律体系。截至 2019 年 6 月，中国颁布核领域行政法规九部、部门规章近 40 项、安全导则 100 余项，制定相关国家标准和行业标准 1000 余项，31 个省、自治区、直辖市制定地方性法规文件 200 余个，为中国核事业安全高效发展发挥了重要的作用。

中国积极参与国际和地区和平利用核能合作和防止核扩散进程。1984 年，中国加入了原子能机构，1992 年加入了《不扩散核武器条约》，随后加入了“桑戈委员会”“核供应国集团”等出口控制机制。中国先后加入了“及早通报公约”“紧急援助公约”《核安全公约》“联合公约”等核安全国际公约，以及《制止核恐怖主义行为国际公约》《核材料实物保护公约》及其修订案等核安保国际公约。中国严格履行国际义务与承诺，相应地完善了国内核法律体系。1997 年，中国政府发布了《国务院关于严格执行我国核出口政策有关问题的通知》，明确规定核出口应接受原子能机构保障，随后相继出台了《核出口管制条例》《核两用品及相关技术出口管制条例》等行政法规；2004 年，根据加入核供应国集团所做出的承诺对有关法规进行了修订，中国核及核两用品出口管制措施与国际通行做法接轨。[24]

---

[23] 《中华人民共和国放射性污染防治法》于 2003 年 6 月 28 日通过，自 2003 年 10 月 1 日起施行；《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》于 2005 年 9 月 14 日发布实施，2014 年 7 月 29 日第一次修订，2019 年 3 月 2 日第二次修订；《民用核安全设备监督管理条例》2007 年 7 月 4 日通过，自 2008 年 1 月 1 日起施行；《放射性物品运输安全监督管理条例》2009 年 9 月 7 日通过，自 2010 年 1 月 1 日起施行；《放射性废物安全管理条例》2011 年 11 月 30 日通过，自 2012 年 3 月 1 日起施行。

[24] 《核两用品及相关技术出口管制条例》1998 年 6 月 10 日发布，2007 年 1 月 26 日修订；《核出口管制条例》1997 年 9 月 10 日发布，2006 年 11 月 9 日修订。

### 2.2.2. 中国的核能发展

在核法律体系的有效保证下，中国核能发展取得了长足进步。迄今，中国未发生二级及以上核事件，并做到重要核材料“一件不丢、一克不少”，为核能发展创造了良好条件。当前，中国已成为全球核电发展最快的国家。截至 2021 年 9 月底，中国在运核电机组 51 台，装机容量 53.3 吉瓦；在建核电机组 21 台，装机容量 21 吉瓦。[25] 2020 年，中国核能发电量为 3662.43 亿千瓦时，同比增加 5.02%，约占全国累计发电量的 4.94%。与燃煤发电相比，全年核能发电相当于减少燃烧标准煤 10 470 万吨，减少排放二氧化碳 27 440 万吨、二氧化硫 89 万吨、氮氧化物 78 万吨，相当于造林 77.14 万公顷。[26] 中国政府提出，2021 至 2025 年期间，将大力发展新能源，在确保安全的前提下积极有序发展核能，持续推动煤炭清洁高效利用，以实现单位国内生产总值能耗和二氧化碳排放分别降低 13.5%和 18%的目标。[27] 在碳达峰、碳中和的背景下，中国能源电力系统清洁化、低碳化转型进程将进一步加快，核能作为净零排放的清洁能源，将具有更加广阔的发展空间。预计到 2025 年，中国核电在运装机容量将达到 70 吉瓦以上，在建装机容量约 50 吉瓦；到 2030 年，中国核电在运装机容量将突破 100 吉瓦，在建装机容量将超过 50 吉瓦，核电发电量在全国总发电量中的占比将达到 8%。[28] 核能将在支撑中国碳达峰、碳中和目标实现过程中发挥不可或缺的作用。

数十年来，中国的核技术应用产业规模不断壮大，在材料改性、无损检测、辐照育种、食品农产品辐照加工、核医学等方面，形成较为完备的产业体系。特别是近年来，年产值规模实现 20%以上增长，成为促进国民经济发展的新亮点。新冠肺炎疫情暴发以来，中国充分发挥核技术独特优势，代替传统化学灭菌，将医用防护服灭菌时间由原来的 7－10 天缩短为 1 天，大

---

[25] 来源于中国国家原子能机构最新统计数据。

[26] 来源于《中国核能发展报告（2021）》，中国核能行业协会组织编著，社会科学文献出版社，2021 年 4 月。

[27] 参见中国国务院总理李克强 2021 年 3 月 5 日在第十三届全国人民代表大会第四次会议上所作的政府工作报告，
http://www.gov.cn/premier/2021-03/12/content_5592671.htm。

[28] 数据来源于《中国核能发展报告（2021）》，中国核能行业协会组织编著，社会科学文献出版社，2021 年 4 月。

大缓解了武汉等地区日需 10 万套防护服的燃眉之急。截至 2020 年底，中国从事生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位共 80 414 家，较 2015 年增长 22.7%；在用放射源 149 452 枚，各类射线装置 205 280 台，分别较 2015 年增长 22.1%和 49.5%。[29] 中国将依照优势互补、互惠互利的原则，进一步拓展同世界各国的核技术应用产业合作。

## 2.3. 展望

核能作为一种清洁、低碳、高效的基荷能源，是实现联合国 2030 年可持续发展目标、应对全球气候变化挑战的重要选项。原子能机构、国际能源署等组织连续多年发布预测认为，未来核能在全球总能源中的份额将长期保持增长势头。[30] 国际社会应秉持核安全命运共同体理念，积极推动国际核法律体系的普遍适用和不断完善，为全球和平利用核能事业长远健康发展做出不懈努力。

### 2.3.1. 推动国际核法律体系的普遍适用

各国人民同住一个地球村，构成了一个休戚与共的命运共同体，每个国家既应享有和平利用核能的权利，也应切实承担防止核扩散、维护核安全与核安保的责任和义务。习近平主席在 2014 年海牙核安保峰会上指出，没有规矩，不成方圆。[31] 各国应切实履行核安全国际法律文书规定的义务，全面执行联合国安理会有关决议，巩固和发展现有核安全法律框架，为国际核领域治理提供制度保证和普遍遵循的指导原则。

然而，当前《不扩散核武器条约》《核材料实物保护公约》及其修订案、原子能机构“全面保障协定”及其“附加议定书”等国际核法律基石仍未实现普遍适用，限制了国际核法律体系的有效性。国际社会应积极推动国际核法律体系的普遍适用，确保所有开展和平利用核能活动的国家均遵循国际

[29] 数据来源于《中华人民共和国国家核安全局 2020 年报》。

[30] 国际能源机构 2019。

[31] 全文可查阅 http://en.qstheory.cn/2021-01/11/c_607626.htm。

核法律体系确定的基本原则和要求，加强防扩散、核安全、核安保体系建设，在利用核能造福人类的同时，保护好我们共同的地球家园。

### 2.3.2. 协助各国建立和发展国家核法律体系

原子能机构主持制定了一系列核领域国际公约，以及核安全与核安保导则。各相关国家需将国际公约的要求，转化为国家法律，以确保国际义务和相关要求切实得以落实。新兴核能国家在发展核能伊始，就需要建立规范和促进核能安全发展的核法律体系。

原子能机构在核法律体系建设方面有着丰富经验，在协助成员国建立国家核法律体系方面开展了不少工作，例如：编制了《核法律手册》及其第二卷《核法律手册：实施立法》，实施了立法援助计划。[32] 随着全球和平利用核能事业的发展，原子能机构应进一步加大对有需要的成员国核立法援助力度，提高成员国对核领域国际法律文书的认识，支持成员国履行国际义务与承诺，为成员国开展国家核立法提供帮助。

### 2.3.3. 持续发展和完善国际核法律体系

国际核法律体系因核能事业而兴，也必将随着全球核能事业的发展而不断完善。当前，第四代核能系统研发方兴未艾、模块化小型反应堆技术层出不穷、核聚变技术发展稳步推进，为国际核法律体系的发展和完善提出了诸多新的要求。此外，无核武器国家军用核动力装置的保障核查对国际核法律体系提出了新的挑战。

先进小型反应堆采用标准化和模块化设计，初期投资规模小、选址要求低，因此可灵活应用。有的小堆可能会部署在用电负荷高、人口密度大的城区，有的可能会部署在远离大陆的海上。处理小堆特殊应用场景中的安全、安保问题，尽快明确相关技术和监管要求是国际社会必须尽快解决的重大课题。

---

[32] 原子能机构 2003、原子能机构 2010。

核聚变能是解决人类能源和环境问题的终极途径之一。核聚变能未脱离“核能”总体范畴，不能 100%地排除放射性风险，相关设施的设计、建造、运行、退役等整个寿期内的各项活动都应被纳入核安全监管的范围之内，由相应的法律法规体系予以规范。而且，在和平利用核聚变能过程中，不能排除相关材料和技术被转用于制造热核武器的可能性。因此，国际社会急需加强研究，尽早明确核聚变能开发和利用过程中的安全、安保与和平利用要求，为核聚变能的规模应用奠定法律基础。

和平利用核能是世界各国的共同愿望，确保核能安全、安保、可持续发展是我们的共同责任。国际社会应以促进核能造福人类为中心，按照和平、安全、安保、责任、合作等原则，推动国际核法律体系不断完善，为强化全球核领域治理、实现“原子用于和平与发展”、构建人类命运共同体而不懈奋斗。

## 参考文献


Eisenhower D D (1953) Speech to the United Nations General Assembly, 8 December 1953, New York

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1968) The Agency’s Safeguards System, INFCIRC/66/Rev.2

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1972) The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/153 (Corrected)

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1989) Statute. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1997) Model Protocol Additional to the Agreement(s) Between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards, INFCIRC/540

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2003) Handbook on Nuclear Law. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2005) Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources: Guidance on the Import and Export of Radioactive Sources. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2010) Handbook on Nuclear Law: Implementing Legislation. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2019) Communication Received from the Permanent Mission of the Republic of Kazakhstan to the International Atomic Energy Agency on Behalf of the Participating Governments of the Nuclear Suppliers Group, INFCIRC/539/Rev.7

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) IAEA Annual Report 2020. https://www.iaea. org/sites/default/files/gc/gc65-5.pdf，2021 年 11 月 2 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021) Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, Reference Data Series. IAEA, Vienna

International Energy Agency (IEA) (2019) Nuclear Power in a Clean Energy System. https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国家核安全局（2020）《2020 年度报告》，https://nnsa.mee.gov.cn/ztzl/haqnb/202106/P020210629665594621226.pdf, 2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（1986）《民用核设施安全监管条例》，http://www.nea.gov.cn/2017-11/03/c_136725275.htm，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（1987）《核材料管制条例》，http://www.nea.gov.cn/2017-11/03/c_136725276.htm，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（1993）《核电厂事故应急管理条例》，http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn150237.pdf，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（1997）《核出口管制条例》，https://www.fmprc.gov.cn/ce/cgvienna/eng/dbtyw/fks/t127622.htm， 2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（1998）《核军民两用产品及相关技术出口管制条例》，https://www.fmprc.gov.cn/ce/cgvienna/eng/dbtyw/fks/t127623.htm，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（2005）《放射性同位素和射线装置安全与防护条例》，http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn152926.pdf，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（2007）《民用核安全设备监督管理条例》，http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn149833.pdf，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（2009）《放射性物质运输的登记监察管理条例》，http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/chn153827.pdf，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国国务院（2011）《放射性废物安全管理条例》，http://www.gov.cn/zwgk/2011-12/29/content_2033177.htm，2021 年 11 月 2 日访问网页

中华人民共和国中央人民政府（2003）《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令，2003 年第 6 号），https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail?p_lang=en&p_isn=76093 ，2021 年 11 月 2 日访问

张廷克、李闽榕、潘启龙主编，《中国核能发展报告（2021）》，北京，社会科学文献出版社

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 3. 俄罗斯观点：小型模块化反应堆和移动式核动力装置的国际法律框架问题及前景

**安德烈·波波夫**

**摘要** 小型模块化反应堆（SMR）可能是为发展中地区提供清洁、负担得起（且具有成本效益）的电力的关键。部署小型模块化反应堆需要一个透明和平衡的法律框架，以界定东道国和供应国之间分担责任的具体情况和界限，特别是在创新性浮动小型模块化反应堆（浮动堆）项目情况下。核动力船舶和核设施方面的法律经验可用于制定浮动堆的管理方案。本章分析现行国际公约，包括 1974 年《国际海上人命安全公约》、国际原子能机构保障协定以及民事责任文书对浮动堆的适用性。此外，本文就浮动小型模块化反应堆法律框架的未来发展提出一些考虑因素。

**关键词** 小型模块化反应堆；浮动动力装置；1974 年《国际海上人命安全公约》（海上人命安全公约）；原子能机构保障；民事责任；反应堆技术

## 3.1. 引言

随着环境意识的提高，脱碳和寻找有效的替代品以满足日益增长的能源需求愈发重要。要实现联合国在《2030 年可持续发展议程》[1] 中提出的“可持续发展目标”（SDG），就需要向发展中地区提供清洁、负担得起（且具有成本效益）的电力。

根据国际原子能机构报告《小型模块堆技术发展的进步》[2]，全世界有 70 多个不同的陆上、近海和海底小型模块化反应堆项目。在这 70 个项目中，有 17 个是由俄罗斯设计公司开发的。小型模块化反应堆目前尚无通用

[1] 联合国大会 2015。

[2] 原子能机构 2020a。

图 3.1　位于佩韦克厂址的“罗蒙诺索夫院士号”浮动动力装置。来源：俄罗斯国家原子能公司，2019 年

定义，因此，在本文中，小型模块化反应堆指的是装有电功率不超过 300 兆瓦模块化反应堆的核电厂。

现有小型模块化反应堆项目大多基于成熟和广泛采用的压水堆技术。KLT-40S 反应堆也不例外，依靠此类反应堆在核动力破冰船上超过 400 堆·年的运行经验。KLT-40S 反应堆安装在“罗蒙诺索夫院士”号浮动动力装置上（见图 3.1），于 2020 年成功投入商业运行，在俄罗斯北部的恶劣条件下展示出卓越的性能。鉴于全球压水堆运行累积经验，以及北极破冰船反应堆运行经验，我们可以认为，从技术和安全的角度来看，俄罗斯的小型模块化反应堆已做好广泛商业化应用准备（图 3.1）。

解决成本效益问题，为小型模块化反应堆项目的国际合作打开了“机会之窗”，同时表明，除了掌握技术和证明其经济吸引力外，有效的实施还需要一个透明和平衡的法律框架，以界定东道国和供应国之间分担责任的具体情况和界限，特别是在创新性浮动小型模块化反应堆项目情况下。核电工业由于其技术高端和寿期长，不应受到政治环境瞬间变化的影响，而这只能通过对国际核项目进行明确和一致的法律监管来实现。

## 3.2. 浮动小型模块化反应堆的监管控制方案

由于浮动堆在使用过程中存在跨境情况，因此项目利益相关方之间责任分工也存在有关的跨境问题。

第一批项目，即核设施由一个国家的营运组织运行，通过海上移动，可以跨越其他国家的边界，早在 20 世纪 50 年代和 70 年代就已实施。“萨凡纳”号核动力客轮（美国）、“奥托·哈恩”号核动力商船（德国）和“陆奥”（号核动力商船（日本）均是由小型核动力装置驱动的自航船舶。此外，苏联实施了几个核动力破冰船项目，如“列宁”号、“北极”号和“西伯利亚”号。根据这些独特的项目实施经验，在国际层面开始形成特殊的监管框架。特别是，1974 年《国际海上人命安全公约》（“海上人命安全公约”）[3] 增加了专门涉及核动力自航船舶的第八章，并制定了 1962 年《国际核动力船舶经营人责任公约》草案。

实施这些独特项目的经验成为这一特殊国际监管框架的基础。

由于核动力自航船舶技术未能达到所需的盈利能力指标，且市场上没有需求，因此法律和监管框架的发展陷入停滞。特别是，1962 年《国际核动力船舶经营人责任公约》尚未生效，因为没有核动力船舶所有国签署该公约。[4] 今天，民用核动力自航船船队只在俄罗斯北极地区运行，在具有挑战性的冰层条件下提供试航，并解决支持北海航线开发的任务。核动力破冰船和“塞夫莫普特”号核动力集装箱船符合“海上人命安全公约”的要求以及俄罗斯国家核及海事法律的要求；它们的运行安全由俄罗斯核监管机构（Rostechnadzor）的相应许可证和俄罗斯海事船级社（俄罗斯海事监管机构）的证书所证实。

核动力船舶的法律经验可用于制定浮动堆的监管方案。当然，包括 1982 年《联合国海洋法公约》在内的国际文件是半个多世纪前形成的，没有包含对装有核动力装置的非自航船舶的具体规则，但可以加以调整，以便适用。

---

[3] 《国际海上人命安全公约》（海上人命安全公约）于 1974 年 11 月 1 日开放供签署，1980 年 5 月 25 日生效。

[4] 《国际核动力船舶经营人责任公约》于 1962 年 5 月 25 日开放供签署。

特别是，1981 年《核商船安全规范》[5] 在制定时，考虑到已存在的造船、海洋和核技术的既定和公认原则，并且仅限于核动力装置驱动的各类船舶。同时，《核商船安全规范》第一章规定，随着技术的进步，需要对其进行修订。[6]

“海上人命安全公约”是规范船舶安全运行的主要国际文书之一。迄今，“海上人命安全公约”需要澄清其对浮动堆的适用性。遵守“海上人命安全公约”的要求对于促进加强海上人命的保护是必要的。在这方面，“罗蒙诺索夫院士”号浮动动力装置的设计和建造，以及优化浮动动力装置的设计，事实上尊重了所有现有的国内和国际船舶规范和要求。浮动堆法律地位的新的确定性将减少政治因素在国际项目实施中的影响，并使其寿期监管在全球范围内更可预测和井然有序。

在下一阶段，随着供应国在国家层面运行浮动堆的经验积累，将有必要就装有核动力装置的非自航船舶安全形成国际商定的安全标准和要求，这些标准和要求可合并成类似于《核商船安全规范》的单独特别规范。[7] 这种标准将使开发商和营运组织提前形成所需数量的文件，以证明运行的合理性，并使利益相关方能够客观评估运行的安全性。

## 3.3. “海上人命安全公约”的许可证审批细节和方案

由于浮动堆寿期的特殊性，无法直接应用常规核电行业中使用的程序。

通常，需要从东道国的国家监管机构获得建造许可证，然后由监管机构颁发运行许可证。浮动堆在供应国设计和建造的，应完全符合供应国的法规。一旦建造完成，供应国监管机构将颁发运行许可证，将其运输至东道国是装置运行的一个阶段。由于浮动堆也将在东道国运行，传统方案认为东道国监管机构也应评估浮动堆是否符合东道国的国家法规。这一程序使得两个国家的监管机构对同一套文件进行再次审查。此外，根据东道国监管机构的意见对浮动小型模块化反应堆的设计进行修改是完全不可能的，因为反

[5] 国际海事组织 1981。

[6] “海上人命安全公约”，见上文脚注 3。

[7] 国际海事组织 1981。

应堆的建造、燃料装载、首次临界和调试都是在供应国境内按照供应国的标准完成的。

为核船舶制定并载入“海上人命安全公约”的程序，包括优化浮动堆发放许可证办法的先决条件。根据“海上人命安全公约”，反应堆装置制造和安装的设计、建造和检验标准应符合核船舶船旗国的要求，并得到船旗国的批准。根据《安全分析报告》，营运组织与船旗国一起编制并批准一份安全信息文件，以证实该装置不存在过度辐射或其他核危险。

安全信息会提前很长时间提供给核船舶过境国或其所在国的政府。

将“海上人命安全公约”规定的原则适用于装有核设施的浮动核动力装置，可防止在满足安全要求时需要双重许可证审批。东道国监管机构可参与审查船舶的安全信息，以就浮动核动力装置是否可以在东道国运行作出知情决定。为了有效实施，可在供应国和东道国之间的政府间协定中详细说明这一程序。

## 3.4. 浮动小型模块化反应堆运输的法律支持

运输阶段，即浮动堆在装满燃料、处于停堆状态下移动，是浮动堆寿期的一个新阶段，也是法律支持方面最复杂的阶段之一。浮动堆既可用拖船运输，也可用专用码头船运输。“罗蒙诺索夫院士”号通过拖船从圣彼得堡运输到摩尔曼斯克，但这种方法对于长距离运输来说非常复杂，因为它需要制定拖曳顺序、平静的天气和考虑其他可变因素。

用码头船运输似乎是一种更高效的长途运输方式，因为自行码头船更能抵抗天气变化。在运输海上石油钻井平台等复杂工程设施时，用码头船运输是一种常见做法。在使用码头船运输核设施方面也有着丰富的经验。

码头船运输方案接近海上核燃料运输，但适用于核燃料运输容器的要求不能直接适用于浮动堆。作为一种船舶，浮动堆可归类为一种运输工具，核材料作为这种核动力装置的一个必要组成部分，而在核材料运输船中，运输容器是船上货物，可通过更换船舶轻松移除。

现行国际法律法规并不禁止在另一艘船上进行装载核燃料的浮动堆的海上运输，但对此类运输没有特别规则。浮动堆可作为货物在码头船上运输。根据 1982 年《联合国海洋法公约》[8]，载有浮动堆的船舶享有在公海和专属经济区航行自由的权利，以及无害通过第三国领海的权利。

然而，即使在国家法律框架涵盖的核材料运输方面，国际实践中也有某些国家对危险货物通过其专属经济区过境表示不满的先例。

这种实践表明，核能决定取决于政治因素和公众舆论，并突显国际原子能机构在安全运输核材料方面开展的提高认识活动的重要性。随着无事故运行的知识和经验的积累，这种依赖性在未来有望减少。

就目前而言，监管框架足以满足实施试点项目的需求。同时，可在特别协定框架内具体规定个别程序。

## 3.5. 原子能机构保障

浮动堆的主要特征之一是在其寿期内在不同国家之间进行运输。在责任转移之前，且不迟于浮动堆抵达东道国时，核材料受供应国与原子能机构之间的保障协定约束。此后，核材料将受东道国与原子能机构之间的保障协定约束，因此，东道国负责核材料衡算、监测、报告，并允许原子能机构视察员接触核材料。

应当指出，缔结有全面保障协定的无核武器国家 [9] 和缔结有自愿提交保障协定的核武器国家 [10] 在保障要求方面有本质的不同。与无核武器国家不同，核武器国家没有义务向原子能机构提供设施设计资料，也没有义务允许原子能机构视察员在装运前接触浮动堆燃料进行核查。

因此，实施原子能机构保障将需要新的法律和技术解决方案。根据成员国保障支助计划，原子能机构和俄罗斯联邦在考虑“设计中纳入保障”概

---

[8] 《联合国海洋法公约》于 1982 年 12 月 10 日开放供签署，1994 年 11 月 16 日生效。

[9] 原子能机构 1972。

[10] 例如，见原子能机构 1985。

念的情况下，合作制定对俄罗斯联邦设计的浮动堆实施原子能机构保障的方案。

## 3.6. 浮动小型模块化反应堆与核损害民事责任

1963 年《关于核损害民事责任的维也纳公约》（维也纳公约）[11]、1960 年《关于核能领域中第三方责任的巴黎公约》（巴黎公约）[12] 和 1997 年“补充赔偿公约”[13] 载有豁免船舶核反应堆的规则，无论该反应堆是用于推进船舶还是用于任何其他目的。根据原子能机构总干事咨询机构 — 原子能机构国际核责任问题专家组（核责任专家组）的调查结果，该豁免不应适用于浮动堆。原子能机构 2020 年发布的关于 1997 年生效的“维也纳公约”和“补充赔偿公约”的最新评论 [14] 指出，运输的固定位置的核电厂（特别是，对于浮动堆装置而言，这意味着锚定或停泊在岸上并通过电力电缆与岸上连接）将被定性为“核设施”，因此将受到核损害民事责任约束。在这种情况下，运行该反应堆的国家（包括领海）将是“该装置的责任国”。

根据核责任专家组关于移动浮动堆时核损害分担责任的立场，应考虑，将运输该设施视为“维也纳公约”规定的核材料运输。

因此，“维也纳公约”目前在实施浮动堆项目方面提供了最透明的方案。在不影响“维也纳公约”对其成员的规定的情况下，核损害的民事责任问题可在供应国和东道国之间的政府间协定中解决，必要时也可在与过境国的协定中解决。

大多数成员国听取了核责任专家组的立场。国际一级的专家共识对实施浮动堆试点项目的前景是令人鼓舞的积极因素，并显示出国际一级对此

---

[11] 《关于核损害民事责任的维也纳公约》（维也纳公约）于 1963 年 5 月 21 日开放供签署，1977 年 11 月 12 日生效。

[12] 《关于核能领域中第三方责任的巴黎公约》（巴黎公约）于 1960 年 7 月 29 日开放供签署，1968 年 4 月 1 日生效。

[13] 《核损害补充赔偿公约》（补充赔偿公约）于 1997 年 9 月 29 日开放供签署，2015 年 4 月 15 日生效。

[14] 原子能机构 2020b。

类项目的兴趣。在“巴黎公约”方面采用类似的方案可以巩固既定的方案，并促进浮动堆项目的发展。

## 3.7. 原子能机构关于浮动小型模块化反应堆法律支持研究的倡议

原子能机构认识到形成浮动堆法律和监管框架的共同方案这一任务的紧迫性，因此，提出了浮动堆寿期监管的各种问题，供专家界在核责任专家组平台之外的各种项目框架中讨论。除其他外，原子能机构在其核能部的协调下，正在实施一个泛机构小型模块化反应堆项目，以全面解决使用该技术所产生的问题。此外，还设立了一个常设小型模块化反应堆小组来研究这些问题。

特别是，“革新型核反应堆和燃料循环国际项目”（INPRO）自 2011 年以来一直在分析实施陆上、海上和海底移动式小型模块化反应堆项目的法律和制度问题。根据第一阶段成果，《移动式核电厂的法律和制度问题初步研究》报告于 2013 年发布，对移动式小型模块化反应堆项目的实施进行了高层次、多维度的分析。目前，这项工作的第二阶段正在完成，来自美国、法国、加拿大、俄罗斯联邦、芬兰、亚美尼亚、罗马尼亚和印度尼西亚的专家参加了这项工作。《工厂装料小型模块化反应堆部署的案例研究》报告计划于 2022 年出版。项目第二阶段的重要性在于，寿期实施的各种问题在相互影响方面，得到系统而非单独的解决。

由于缺乏实施基于小型模块化反应堆的跨境项目的实际经验，理解参与项目的国家所要解决的问题工作似乎很有意义。同时，实际项目与理论项目可能有很大不同，小型模块化反应堆项目法律框架的进一步发展将基于试点项目实施过程中获得的经验。不同设计的小型模块化反应堆已实施项目和调试的最佳实践将作为建立小型模块化反应堆（包括浮动核电机组）的法律和监管框架的基础。

2021 年，在原子能机构多个场所讨论了运输不同设计的小型模块化反应堆的核安全和辐射安全要求的概念方案。正在原子能机构放射性物质运输安全标准委员会内设立一个专门工作组。该工作组将在国际海事组织的

参与下，审查原子能机构文件，特别是《放射性物质安全运输条例》[15] 与现有海事法律文件之间的关系。参与这项工作的专家应依靠跨部门方案，将海事法律和核法律结合起来，为有效合作找到共同基础。

## 3.8. 结论

从历史上看，与创新技术相关的法律框架存在时滞性，有时这种滞后会持续几十年。为使小型模块化反应堆部署成为可能，应缩短法律框架形成与技术开发和部署之间的时滞，加快与国际法律和监管框架合作的步伐和力度。

2019 冠状病毒病疫情表明，从为医疗设施提供电力和清洁水以确保必要的卫生，到提供通信和信息技术服务，稳定的电力供应对预防疾病起着重要作用。在这种情况下，小型模块化反应堆的发展从来没有像现在这样重要。

国际法律框架目前并不禁止创新性小型模块化反应堆项目。同时，由于缺乏实施移动式小型模块化反应堆项目的国际经验，因此无法创建一个详细的法律和监管框架，而传统的大功率核电厂现已有了这样的框架。在这方面，试点项目将需要基本协定和对重要公约进行修改，将已经制定的确保安全的要求、规则和程序扩展到浮动堆。在政府间协定框架内可进行详细阐述，其中将考虑独特试点项目的具体情况。这些最佳实践将构成小型模块化反应堆今后项目发展阶段的法律和监管框架的基础。

原子能机构倡议召开第一次核法律会议非常及时。此次原子能机构会议可作为一个分享经验和交流意见的平台，以确定当前在发展创新能源方面的挑战。重要的是，会议成果应反映在国际合作必要领域的实际行动计划中。俄罗斯国家原子能公司凭借其在核电方面的所有经验，准备进一步致力于更新国际准则，以确保小型模块化反应堆项目的稳定实施。

[15] 原子能机构 2018。

# 参考文献

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1972) The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/153 (Corrected). https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1972/infcirc153.pdf. 2021 年 9 月 6 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1985) The Text of the Agreement of 21 February 1985 Between the Union of Soviet Socialist Republics and the Agency for the Application of Safeguards in the Union of Soviet Socialist Republics, INFCIRC/327. https://www.iaea.org/sites/ default/files/infcirc327.pdf. 2021 年 9 月 6 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. IAEA Safety Standards No. SSR-6 (Rev.1). IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition. https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf. 2021 年 9 月 6 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020b) The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage—Explanatory Texts. International Law Series No. 3 (Rev.2). IAEA, Vienna

International Maritime Organization (IMO) (1981) Code of Safety for Nuclear Merchant Ships, Res. A.491(XII). https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMO Resoluti ons/AssemblyDocuments/A.491(12).pdf. 2021 年 9 月 6 日访问网页

United Nations General Assembly (UNGA) (2015) Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. 2021 年 9 月 6 日访问网页

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 4. 核法律发展里程碑：核监管历程

**斯蒂芬·伯恩斯**

**摘要** 核法律框架的发展是一段有趣的历程，反映了通过使用有约束力的条约和公约及无约束力的准则和导则等各种各样的方案，实现和平利用核能这一关键问题的承诺。这一由硬法和软法组成的复杂框架，是在应对不可抗事件的行动中逐渐发展而成的。进一步增进协调和承诺，确保国际机构和国家机构的透明度并愿意与利益相关方进行建设性互动，将有助于核法律制度的未来发展。法律顾问将继续发挥重要作用，协助决策者和技术专家制定全面有效的方法，进一步发展核能及其监管框架。在审议核法律框架的过程中，应注重一些关键要素。本章建议的这些要素包括利益相关方的信任、强大的组织机构能力以及在国家层面对国际法律文书和标准的整合。

**关键词** 核监管；和平利用核能；有约束力的条约和公约；无约束力的准则和导则；法律顾问；安全和安保；许可证原则；软法；硬法

## 4.1. 引言

国际原子能机构（原子能机构）在维也纳召开第一届“核法律：全球辩论”国际会议，为我们思考自 1953 年 12 月艾森豪威尔总统在联合国大会上发表“原子用于和平”演讲以来的核法律发展提供了机会。艾森豪威尔在演讲中提出了将核技术用于和平目的的愿景，可以说是激发了 1957 年原子能机构的成立。从那时起，核法律就围绕着安全、安保和保障等广泛概念而发展；可以说，近年来，核法律更加有意地关注于这些概念的相互融合。正如《核法律手册》所反映的，[1] 随着核法律通过国家和国际制度而得以不断发展和实施，核法律独有的一些原则已经形成。[2]

---

[1] Stoiber 等 2003。

[2] 核法律形成的一些原则包括：安全、安保、责任、许可证、持续管控、赔偿、可持续发展、合规、独立、透明度以及国际合作。

1978 年，就在三哩岛核事故发生前不久，我从法学院毕业，开始了我的核监管之旅，当时我开始在美国核管理委员会（美国核管会）担任律师。多年来，我参与了核管会遇到的广泛的安全和安保问题。作为法律顾问，我的职责是就与核电设施和放射性物质的标准制定、许可证、检查和监督有关的事项向核管会的技术人员提供建议，并代表他们处理相关事务。在过去的 20 年里，我主要从事核法律法规方面的国际工作，先后担任了美国核管会高级顾问、经济合作与发展组织核能机构（OECD/NEA）法律事务办公室负责人和美国核管会的专员和主席。在本章中，我将阐述核法律的一些特点，特别是在这些特点形成了监管框架的情况下，进一步考虑提供法律咨询和实现良好监管的背景，并最后思考未来的挑战。

## 4.2. 核监管：特点和矛盾

### 4.2.1. 核活动注定被监管

核活动和核工业的一个有趣特点是，两者从一开始就受到监管。虽然 X 射线和镭自发现后直到最初用于医疗和其他应用之后很久才受到更加系统化的监管，但核能的发展和核材料的获取从一开始就受到政府当局的管控。这一实践反映了防止核材料进一步武器化的愿望与促进和平利用核能发展之间的矛盾。《不扩散核武器条约》在其目标中体现了这些原则，即遏制核武器国家的扩张，促进裁军，同时允许获取和平利用核能所需的设备、材料和信息。[3]

因此，使用易裂变材料和放射源或操作核设施时，需要获得国家主管部门的某种形式的授权或许可。关于获取放射性物质和设施的授权要求构成了核法律中的“许可证原则”。[4] 如前所述，目前的核法律制度由一个复杂的法律和导则网络组成，其基础是安全、安保和保障的核心原则，重点是

[3] 《不扩散核武器条约》，1968 年 7 月 1 日开放供签署，1970 年 3 月 5 日生效。

[4] Stoiber 等 2003，第 7 页。

辐射防护、废物管理和退役、运输、应急准备和响应、环境保护、责任和赔偿以及国际贸易。[5]

### 4.2.2. 基于硬法和软法的框架

正如人们所期望的，核监管框架由国际和国家法律文书组成。但与核法律框架相同，核监管框架也基于国际社会制定的有约束力的条约和公约及无约束力的导则和法律文书。有约束力和无约束力法律文件之间的区别通常被描述为“硬法”和“软法”之间的区别。例如，《核材料实物保护公约》及其 2005 年修订案就属于硬法，规定了缔约国同意在其国家计划和法律框架内实施的某些安保义务。[6] 相比之下，2004 年《放射源安全和安保行为准则》则是一项不具约束力的准则，敦促各国做出政治承诺，实现高安保水平，以控制放射源，从而防止放射源丢失、未经授权获取或非法转让，并减轻潜在恶意使用的危害。[7] 即使条约或公约的条款被认为是具有约束力的要求和义务，而国际机构发布的建议和导则“不具有正式的约束力，但在相关适用范围内，各国应考虑到这些建议和导则，使国内规则和条例以及所采取的措施符合（‘con adecuación’）这些导则和建议。”[8]

通过制定导则和标准，可以使核应用安全和安保目标的实现手段更加精确。例如，根据原子能机构《规约》的授权（第三条 A 款 6 项），[9] 原子能机构有权制定或通过“关于保护健康和尽量减少生命和财产危险的安全标准”。原子能机构制定了体现在基本安全原则、一般和特定安全要求以及安全导则中的安全标准，“反映了国际社会对保护人类和环境免受电离辐射有

---

5 经济合作与发展组织核能机构 2021 年，附件 1；www.iaea.org/resources/treaties/compendium-of-legal-instruments，2021 年 9 月 27 日访问网页。

6 《核材料实物保护公约》于 1980 年 3 月 3 日开放供签署，1987 年 2 月 8 日生效；《核材料实物保护公约》修订案于 2016 年 5 月 8 日生效。

7 原子能机构 2004。

8 国际法院，乌拉圭河纸浆厂案（阿根廷诉乌拉圭）《判决书》，2010 年 4 月 20 日，《2010 年国际法院报告集》，第 45 页。

9 原子能机构 1989。

害影响的高度安全的共识。”[10]“基本安全原则”包括最初于 1960 年制定的“基本安全标准”，目前由包括原子能机构在内的八个国际组织出版。[11]“基本安全标准”继续以国际放射防护委员会的建议为依据。

还值得注意的是，一些公约反映了非约束性导则和标准的要求，或受到这些导则和标准的影响。例如，《核材料实物保护公约》起源于注重核安保的非约束性标准，《核材料实物保护公约》修订案也借鉴了基本安保原则。[12]虽然直到 1986 年切尔诺贝利核电站事故之后，“及早通报公约”和“紧急援助公约”的制定工作才取得成果，但 1979 年三哩岛核事故后制定的导则为 1986 年通过的两项公约的谈判奠定了基础。[13]《核安全公约》在其序言中提到“（要求）承诺适用核设施的安全基本原则，而非详细的安全标准；并承认存在着国际编制的各种安全指导文件，这些指导文件不时更新因而能提供实现高安全水平的最新方法方面的指导”。[14] 同样，《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》（联合公约）在其序言中援引了《基本安全标准》和原子能机构《放射性废物管理原则》，并在相关条款中借鉴了《放射性废物超越国界运输实施法规》。[15]

无论法律文件被定性为硬法还是软法，特定法律文件下规定的义务或承诺都是依照国家监管框架采纳的，符合国家宪法和法律制度，并在许可证制度和由国家主管部门管理的监管标准中是合适的。关于履行许可证义务

---

[10] https://www.iaea.org/resources/rpop/resources/international-safety-standards/about-iaea-safety-standards，2021 年 9 月 27 日访问网页。

[11] 欧盟委员会、联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、经济合作与发展组织核能机构、泛美卫生组织、联合国环境规划署、世界卫生组织。见原子能机构资料 2014。

[12] Lamm 2017。

[13] 《及早通报核事故公约》于 1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1986 年 10 月 27 日生效；《核事故或辐射紧急情况援助公约》于 1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1987 年 2 月 26 日生效；原子能机构 1984、1985。

[14] 《核安全公约》，1994 年 9 月 20 日开放供签署，1996 年 10 月 24 日生效；序言第 8 段。

[15] 《乏燃料管理安全与放射性废物管理安全联合公约》（联合公约），1997 年 9 月 29 日开放供签署，2001 年 6 月 18 日生效；序言第 14 段和第 27 条；Wetherall2005。

和监管要求的进一步指导意见可由监管机构发布，也可纳入由行业发布的共识导则中。例如，美国对执行《放射源安全和安保行为准则》做出了政治承诺。美国 2005 年《能源政策法案》第 170h 条（42 USC 2210h）“辐射源保护”中采纳了《放射源安全和安保行为准则》的核心原则，并指示美国核管会作为国家监管机构，颁布适用于其许可证持有者和在美国核管会签约州计划下由各州监管的相关方符合性要求。美国核管会向其许可证持有者发布命令，最终通过了《联邦法规》第 37 篇第 10 章“1 类和 2 类放射性物质的实物保护”中的条例，以加强其现有的安保和控制要求 [16]，并发布了关于进一步实施这些条例的导则。[17]

### 4.2.3. 核法律被动性甚于主动性

总的来说，核法律可以说在其发展中更多地是被动性的，而不是预见性的建立其框架。这种定性源于各种原因 — 建立法律框架的政治意愿和远见的程度，技术发现和创新相对法律标准发展的超越，以及重大事件对法律框架的影响。当然，国际和国家层面的框架都有办法预测和展望和平利用核能可能潜在的增长参数。

例如，原子能机构《规约》提供了一个框架，旨在防止核武器扩散，同时允许和平利用核能的发展。在设立原子能机构时，原子能机构《规约》提供了一个组织结构，通过这一结构，这些目标将在未来得以实现。核责任和赔偿框架的出现是因为预期需要确保对核事故造成的人员和财产损失进行充分赔偿，以及希望鼓励新兴行业发展核技术。[18] 20 世纪 50 年代末和 60 年代初对建立责任制度的重视最初导致 1960 年在经济合作与发展组织核能

[16] 美国核管理委员会 2013a。

[17] 美国核管理委员会 2013b。2019 年初提出了对该导则文件的第二次修订。

[18] Schwartz 2010。

机构主持下通过了《关于核能领域中第三方责任的巴黎公约》，随后于 1963 年在原子能机构主持下通过了《关于核损害民事责任的维也纳公约》。[19]

显然，在国家层面上，各国需要在最早阶段建立监管框架，对核装置的建立和放射性物质的授权使用做出规定。借鉴美国的早期经验，1954 年《原子能法》，即“第 83-703 号公法”，构成了授权发展民用核设施的组织法。原子能机构《规约》（第 161b 条）确立了一个授权程序，根据这一程序，受管制的活动可以根据当时的原子能委员会（AEC）认为的“对促进共同防御和安全或防护健康或尽量减少对生命或财产的危险是必要的或可取的”的标准和条例进行批准。在早期的条例中，原子能委员会允许批准核电站的建设，即使可能需要额外的技术评估和研究，只要在授权设施运行之前对安全性进行最终确定即可。这种方案遭到了一些反对，但最终在美国最高法院的裁判中幸存下来。[20] 法律和法规下的早期经验表明，随着新技术的发展，在试图建立要求时可能会面临障碍。

但是，即使核法律的某些方面试图在其发展和框架中应用预见性，我们的许多经验来源是其应用环境中的重大事件或破坏的反应。核安保和核安全制度都受到了这种影响。2001 年 9 月 11 日对美国的恐怖袭击引发了对核安保威胁的关注，并导致到 2010 年通过了七项具有约束力的法律文件中的五项，这些文件构成了反恐框架。[21] 新的法律文件包括《核材料实物保护公约》[22] 修订案和《制止核恐怖主义行为国际公约》[23] 以及在国际海事组织和国际民用航空组织 [24] 主持下通过的法律文件。联合国安全理事会还通过了补充该框架的决议，即联合国安理会第 1373（2001）号决议“恐怖

[19] 《关于核能领域中第三方责任的巴黎公约》（巴黎公约），1960 年 7 月 29 日开放供签署，1968 年 4 月 1 日生效；《关于核损害民事责任的维也纳公约》（维也纳公约），1963 年 5 月 21 日开放供签署，1977 年 11 月 12 日生效；这两项公约的修正附加议定书在最初通过后已经生效。

[20] 美国最高法院（1961 年），“动力反应堆发展公司与国际联盟”，367 US 396，407。

[21] Wetherall 2016，第 42 页。

[22] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 6。

[23] 《制止核恐怖主义行为国际公约》，2005 年 9 月 14 日开放供签署，2007 年 7 月 7 日生效。

[24] 同上，第 18 页。

主义行为对国际和平与安全构成的威胁”和联合国安理会第 1540（2004）号决议“防止大规模杀伤性武器扩散”。

对 2001 年 9 月恐怖袭击的响应也导致了对不具约束力的《放射源安全和安保行为准则》的重新评估。该准则本身是在 20 世纪 90 年代关注放射源的安全和安保问题之后产生的，特别是考虑到早期发生的造成一些人员死亡的事故，如 1987 年在巴西戈亚尼亚发生的事故，以及一些国家对放射源的控制制度似乎不充分。1998 年在第戎举行的原子能机构关于这一主题的会议帮助制定了该准则，该准则最终于 2000 年 9 月获得批准。[25] 然而，2001 年 9 月的事件促使人们考虑确保此类材料不被转移或用于恶意目的，如放射性扩散装置。在技术专家和法律专家对《放射源安全和安保行为准则》进行进一步评审以及 2003 年初在维也纳举行的一次会议上进行讨论之后，修订后的《放射源安全和安保行为准则》于 2003 年 9 月获得批准，其目标是提供高度的安全和安保，以“防止未经授权获取或损坏以及丢失、盗窃或未经授权转移放射源，以减少意外有害接触这种放射源或恶意使用这种放射源对个人、社会或环境造成损害的可能性”，并“减轻或尽量减少涉及放射源的任何事故或恶意行为的放射性后果。”[26]

也许国际核法律发展的被动性的最显著例子是 1986 年当时属于苏联的乌克兰切尔诺贝利核电站事故后出现的安全框架。[27] 切尔诺贝利核事故仍然是核装置中最重大的事故，特别是就事故造成的死亡和跨境影响而言。在公众广泛使用互联网和社交媒体之前的一段时间，事故发生后的几天里，人们对事故不知情也不理解。事故发生前，没有具有广泛约束力的国际条约或公约涉及紧急通知和援助或核装置安全。事故发生后几个月内，《及早通报核事故公约》和“紧急援助公约”分别于 1986 年 10 月和 1987 年 2 月谈判并生效。如前所述，在三哩岛核电站事故发生后的几年里制定的关于通知和援助的指导文件，促进了公约的迅速谈判，同时也推迟了更困难的关于可能被纳入处理核设施安全形式和范围的法律文件的辩论。

---

25 原子能机构 1999。

26 原子能机构 2003。

27 Burns 2018。

虽然《核安全公约》的工作停滞了几年，但最终欧洲共同体成员于 1990 年提议在下一年召开一次会议，审议核安全的状况，并提出下一步措施。[28] 1990 年原子能机构大会批准了这项建议，特别会议于 1991 年 9 月初举行。当月晚些时候，大会收到会议记录报告后，开始采取步骤，最终拟定一份公约草案。《核安全公约》开放式专家组在 1992 年 5 月至 1994 年 2 月期间举行了七次会议，以形成提交给 1994 年 6 月召开的外交会议的案文。《核安全公约》于 1994 年 9 月开放签署，并于 1996 年 10 月生效。对废物安全管理公约的审议被推迟，但正如《核安全公约》序言第九段所承诺，关于这样一项公约的工作已经恢复，并最终于 1997 年通过了“联合公约”。《核安全公约》和“联合公约”都被称为“鼓励性”公约，通过这些公约鼓励各国加强其国家方案中的安全，并参与通过公约缔约国定期会议提供的同行评审机制。在评估这些公约的效力时，辩论的重点是接受一般安全原则与具体规范之间的对比，强调国家责任与更加国际化的制度之间的对比，以及这些公约下的鼓励与制裁办法之间的对比。[29]

同样值得注意的是切尔诺贝利核事故对核责任制度的影响。虽然第一批核责任公约是在 20 世纪 60 年代初在经济合作与发展组织核能机构和原子能机构的主持下通过的，并且如前所述，在建立处理责任的框架方面可以被认为是积极的，但这些法律文件在某些方面却毫无进展。事故发生时，“维也纳公约”的缔约国数量有限，只有两个国家拥有在运核电站；前苏联集团中没有一个国家是缔约国。此外，以前将“维也纳公约”和“巴黎公约”联系起来的努力已经停止。在这种情况下，切尔诺贝利核事故的跨境影响促使人们努力改进各项公约，并在现有法律文件之间实现更大程度的协调。将“巴黎公约”和“维也纳公约”联系起来的核责任联合议定书是在 1988 年谈判达成的。[30] 进一步的谈判导致 1997 年对“维也纳公约”和新的“补充赔偿公约”的拟议修订；“巴黎公约”及其“布鲁塞尔补充公约”的缔约国于

[28] Jankowitsch 1994。

[29] Pelzer 2010，第 88 页。

[30] 《关于适用“维也纳公约”和“巴黎公约”的联合议定书》（联合议定书），1988 年 9 月 21 日开放供签署，1992 年 4 月 27 日生效。

2004 年完成了修订谈判。[31] 尽管切尔诺贝利核事故为审查和改进责任制度提供了动力，但这些制度的变革需要一些时间才能取得成果，因此“补充赔偿公约”和 2004 年巴黎/布鲁塞尔议定书分别要到 2015 年和 2022 年才生效。

## 4.3. 应对监管挑战

### 4.3.1. 整合法律和技术支持

本章第一部分探讨了国际核监管框架所反映出的一些特点和矛盾。在考虑核法律未来发展方向时，值得注意的是法律顾问对与和平利用核能和核材料有关的政策和实践的合理制定和施行做出了贡献。法律顾问在国际和国家层面都发挥着重要作用。2019 年，原子能机构举行了一次会议，讨论了法律顾问在监管机构中的作用，我很高兴参加了这次会议。[32] 虽然讨论侧重于法律顾问在国家监管组织中的作用，但会议讨论对法律支持各个方面具有普遍关联意义。

与会者包括来自大约 24 个成员国的具有法律和技术背景的代表以及原子能机构的工作人员。与会者所在国家核活动处于的不同阶段，其中一些国家已经拥有运行核装置的成熟计划，一些侧重于辐射防护和放射源安全，还有一些正着手实施核电计划。法律支持通过多种方式提供。一些法律工作人员受雇于监管组织内部，还有法律顾问在司法部任职，被指派向负责核监管和相关活动的政府专门机构提供法律咨询或代理服务。

概括地说，法律顾问有助于一个国家采纳和执行国际法律文件以及国家法律和监管框架，根据其国际义务提交报告，并根据国家制度的规定授

---

[31] 《修正〈关于核损害民事责任的维也纳公约〉的议定书》（1997 年“维也纳议定书”），1997 年 9 月 29 日开放供签署，2003 年 10 月 4 日生效；《核损害补充赔偿公约》（补充赔偿公约），1997 年 9 月 29 日开放供签署，2015 年 4 月 15 日生效；《修正〈关于核能领域第三方责任的巴黎公约〉的议定书》（2004 年“巴黎议定书”），2004 年 2 月 12 日开放供签署，2022 年 1 月 1 日生效。

[32] https://www.iaea.org/newscenter/news/providing-legal-support-to-the-regulatory-body-first-meeting-of-legal-advisers-held-in-vienna，2021 年 9 月 27 日访问网页。

权、检查、监督和执行法律和法规。[33] 更具体地说，法律顾问可以协助起草基本的法律文本，以及制定相关政府政策。关于监管制度，法律顾问可以帮助制定法规和相关导则，以确保与适用法律的兼容性，同时确保上述法规和导则作为协同和可执行标准的有效性。此外，法律顾问可以就决策提议是否符合适用的监管要求提出建议，以支持授权过程。在评估做拟议的执法措施时，法律支持也至关重要。由于政府机构的决策可能会受到司法或行政诉讼的影响，因此法律代理在此类诉讼中至关重要。这类诉讼通常涉及核活动的授权或执法事项，但也可能涉及与制定标准或环境审查有关的程序。法律顾问也可以协助利益相关方参与并向公众提供信息。

特别注意，法律顾问不是国际或国家核法律和法规的唯一贡献者。法律顾问必须与决策者和技术专家密切合作，建立有效的框架，制定全面且有意义的标准，以实现重要的安全、安保和保障目标。核法律框架的核心反映了技术、法律原则与目标的一致。法律专家和技术专家需要建立有效的沟通和合作。因此，正如 2019 年研讨会上的讨论，应关注以下目标，加强核法律的法律和技术方面的整合，特别是在实施监管制度方面：

(a) 确保法律专家和技术专家之间有共同语言（即律师往往侧重于程序，而技术专家侧重于科学实质），并相互欣赏和理解各自的作用；

(b) 确保法律专家和技术专家互相理解与履行各自监管职能相关的法律要求；

(c) 确保了解法律顾问的作用和提供法律支持的相关程序；

(d) 确保技术专家理解法律咨询并认识到其重要性；

(e) 确保法律专家理解技术投入，以便法律咨询不会失去技术意义；

(f) 确保法律咨询将技术投入恰当、清晰地翻译或表达为通用语言。[34]

认识到法律专家和技术专家之间有效合作的重要性，对于负责实施国家和国际管制框架（即监管和平利用核能）的机构的成功至关重要。正如前

[33] 原子能机构 2018，第 4.27－4.30 段，第 25－26 页。

[34] 原子能机构 2020，附件 3，第 16 页。

美国核管会主席尼尔斯·迪亚兹所言，“核监管拥有复杂的技术法律结构，即使不考虑社会政治问题，也需要不断的检查和管理。”[35]

### 4.3.2. 制定有效的监管制度

正如本章前面所指出的，核材料和核装置的使用受到全面监管制度（由负责机构管理）的约束 — 这反映了核法律中的许可证原则，以确保安全、安保和问责。此类标准来自国际法律文件、导则和标准、国家法律法规，甚至协商一致的行业准则和标准。

虽然根据各自国家的法律和政治制度以及适用的国际法律文件，政府机构最终要承担责任，但其必须始终努力确保决策和行动植根于这些机构所要秉承合理的科学和工程判断。此外，监管机构必须对其利益相关方保持一贯的开放和透明，以表明不存在不当影响。正如《核安全公约》中所概述的，除技术能力外，监管机构还必须有足够和可持续的资金，以证明其持续、可靠运行，以及理想情况下，与世界各地同行持续互动并获得支持。[36]

一个国家的文化和历史可以 — 而且将会 — 影响公众对任何监管制度的认知和接受程度，在某些情况下，这可能是一个挑战。然而，归根结底，无论国家、文化、历史或核电发展状况如何，公众都必须信任监管机构，而监管机构有责任赢得和维护这种信任。如果监管机构公开做出决定、对结论进行解释，并仔细考虑广泛意见和不同反馈，就会赢得信任。监管机构可以根据经验和分析不断评估安全和安保的充分性，并对风险进行知情评估，从而进一步建立机构自信。

史蒂芬·布拉耶法官开始在美国最高法院任职之前，写了一本关于风险和监管的著作。[37] 他指出，监管机构通常负责两部分工作 — 风险评估（即衡量风险）和风险管理（即我们针对风险应该做些什么）。在风险评估方面，决策将根据事件的概率和后果做出。在风险管理方面，监管机构将利用其广泛的自由裁量权来做出可预测和稳定的决策。布拉耶法官在书中强调，

---

[35] Diaz 2004。

[36] 《核安全公约》，见上文第 8 段脚注 14；“联合公约”，见上文脚注 15。

[37] Breyer 1993。

公众对风险的评估往往与专家的评估截然不同，他写道，“当我们过于以相似程度对待微小、中等和巨大的风险时，我们就像‘喊狼来了的男孩’。”[38] 因此，挑战在于努力在监管不足和过度监管之间找到一个“最佳平衡点”。

借用马尔科姆·斯派洛教授关于这一主题的著作的标题，可以将有效监管的艺术和科学描述为“监管技艺”。[39] 例如，在核安全方面，监管机构通过根据经验和分析以及对风险的知情评估，不断评估“安全到何种程度”，从而进一步建立信心。监管机构既不能过于宽松也不能过于严格，也不能凭空做出决策。监管有效实施可以不增加过度负担或抑制创新。必须设定界限，但这种界限应允许营运者高效发电，并在安全和安保框架内进行创新。监管机构必须考虑现实生活和实际运行经验，以及公众和利益相关方的意见。

尽管不太可能让每个人都相信，监管机构总是尽职尽责地实践良好的监管策略并在其过程中保持透明，但这一目标始终值得为之奋斗。事实上，探索本身是监管中最重要的部分。对于每一个监管制度 — 无论是新建立的还是成熟的 — 都必须找到实现这一共同目标的路径。随着更多成熟的核能监管机构协助新的监管机构，所有监管机构互相分享和学习经验以及通过国际体系参与同行评审和其他机会，监管机构正在向各自的国家和整个世界表明，它们正在进行可信的监督和管理。这种良好的实践会带来良好的监管，当我们想到我们面前的挑战或未来可能出现的挑战时，这一点非常重要。

## 4.4. 展望

在试图预测核行业的未来时，可以试图确定其发展状况和趋势，并评估其对核法律和监管的影响。从高层次来看，在实现安全、保障和安保的总体目标方面，今后仍然面临相同的挑战。对于核能的民用，这意味着继续关注现有核装置的安全运行（特别是因为它们可能在最初的许可证期限后进入长期运行），并关注新设施的建设和新兴技术的评估。放射性废物的管理及其处置仍然是重点领域。充分控制放射源以确保辐射安全并防止其滥用

[38] 同上，第 28 页。

[39] Sparrow 2000。

仍将是一项挑战。虽然这绝不是从事核法律和监管工作的人员可能面临的全部挑战，但它确实促使我们考虑我们前进中所处的背景和所采取的方式。在我看来，除非发生重大事件或“未遂事件”，我们不太可能看到任何新的约束性条约或公约。在这种情况下，如果适当关注国际社会的合作与协作、标准的进一步统一、透明度的提高以及利益相关方的参与，即使是在软性法律的基础上，该制度仍可以继续改进。

### 4.4.1. 软法为主的平台

在可预见未来，核领域达成新的约束性国际法律文件的可能性很小。尽管核行业可做出积极努力，如将《放射源安全和安保行为准则》升级为约束性公约，[40]又如改进核安保框架，[41] 但尚未形成实现此种目标的凝聚力。福岛第一核电站事故发生后，已有国家提出对《及早通报核事故公约》和《核安全公约》进行修订，但这些提案最终均未获得支持。

对于《及早通报核事故公约》，应急响应和应急报告导则的完善工作可能导致俄罗斯在将提案提交外交会议方面不能得到足够支持。[42] 对于《核安全公约》，也有国家提出若干修正提案，但只有瑞士提出的一项提案得以呈交 2015 年外交会议。《核安全公约》缔约国没有采纳修订提案，而是同意签订一份不具约束力的声明 —《维也纳核安全宣言》，承诺在新核电站设计中注重预防和减少事故，定期评审现有装置安全性，实施“合理可行”的安全改进措施，并承诺遵守原子能机构的安全标准以及《核安全公约》评审会议确定的良好规范。[43]

核领域及其他领域专家已经指出达成约束性国际法律文件的困难，以及软性法律在特定情况下可具有的优势。[44] 另外，这些规范可充分阐述实

---

[40] Gonzalez 2014。

[41] Wetherall 2016，第 22－37 页。

[42] Johnson 2014，第 18－19 页。

[43] 《维也纳核安全宣言》（维也纳宣言），2015 年 2 月 9 日通过。

[44] Wetherall 2005；Dupuy 1991。

现所述目标的手段，确立各成员国可履行的“良好行为”，为国家层面的立法和监管提供依据，并广播“更规范履约”的种子。

### 4.4.2. 国际合作与协作

继续加强各成员国之间合作与协作，对于保持和加强核监管机构能力和法律框架至关重要。加强国际合作与协作不仅对拥有丰富核能经验的国家至关重要，对刚开始制定和实施核电计划的国家加强能力建设也很重要。如前所述，《核安全公约》和“联合公约”鼓励缔约方定期举行评审会议，审议各方履行公约义务的措施报告。

除这些公约规定的义务外，评估和改进组织能力的其他机会也是存在的。原子能机构和经济合作与发展组织核能机构制定了关于如何建立有效组织的指导方针。[45]原子能机构定期举行会议，就安全和安保主题为各成员国提供交流机会。此外，原子能机构还向成员国提供同行评审服务；2020 年举行了核安全和安保同行评审和咨询服务虚拟技术会议。[46] 这些服务可帮助各成员国在监督核活动和遵守国际规范方面取得成效，评审成果可成为评价组织效率和确定完善措施的良好依据，同时也可找出差距或缺陷。应鼓励各方参与探索自我评估和同行审查的途径。同时，不应忽视双边接触或区域合作的作用，如欧盟在核领域相关指令背景下开展的合作。双边合作的范例如，美国核管会接待了日本核监管局的工作人员，协助后者深入了解美国核管会的检查方法，帮助其完善检查制度。未来几年，加强合作对于核法律和监管的有效实施至关重要。

### 4.4.3. 增进协调

未来增进核行业标准的协调性是我们的一个重要目标，特别对于小型模块化反应堆的发展和装机前景，此类反应堆一般采用成熟的轻水技术或

[45] 原子能机构 2016， https://www.oecd.org/publications/the-characteristics-of-an-effective-nuclear- regulator-9789264218741-en.htm，2021 年 9 月 27 日访问网页。

[46] https://gnssn.iaea.org/main/Pages/PRASC-Technical-Meeting_2020.aspx，2021 年 9 月 27 日访问网页；https://www.iaea.org/services/review-missions，2021 年 9 月 27 日访问网页。

先进技术。每个成员国都有责任制定自己的监管要求；因此，尽管《核安全公约》给出了国际导则和标准，但监管制度基本是针对每个国家的。多年来，各国在较高层次上增进协调的步伐不断加快，例如，广泛接受原子能机构《安全标准》就发挥了积极作用。然而，监管标准的统一和核设施设计的标准化可避免寻求部署核设施的每个国家重新工程化或定制设计，并可帮助新兴核国家建立核电计划。对于依赖工厂模块化组装的小型模块化反应堆，增进协调对此类反应堆的国际部署非常重要。

过去几十年里，有许多计划均关注增强协调性。第四代核能系统国际论坛成立于 2001 年，致力于评估先进设计；多国设计评估计划（MDEP）[47] 成立于 2006 年，作为监管机构合作论坛，其主题关注新反应堆许可证，特别是第三代创新型反应堆设计。[48] 在核工业内部，世界核协会（WNA）反应堆设计评估和许可证合作工作组（CORDEL）成立于 2007 年，致力于促进反应堆设计安全标准的协调和国际接轨。[49]

随着各国对小型模块化反应堆越来越感兴趣，原子能机构和经济合作与发展组织核能机构积极探索通过技术革新提高核安全的方法。各国已经看到了进一步协调监管要求和加强监管机构之间合作存在潜力。[50] 例如，美国和加拿大的核监管机构在 2019 年 8 月达成了一项“联合合作备忘录”，旨在增进持续监管互动，特别强调对新反应堆技术的评估。该合作计划包括分享在小型模块化反应堆设计审查中获得的监管见解，并期望在组织间制定共同导则，用于对此类反应堆许可证申请的最终评审。总之，我们已经准备好在建立监管审查标准方面进行广泛合作和协调，这是未来几年值得关注的目标。

---

47 https://www.oecd-nea.org/mdep/，2021 年 9 月 27 日访问网页。

48 https://www.gen-4.org/gif/，2021 年 9 月 27 日访问网页。

49 世界核协会 2019。

50 https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors/smr-regulators-forum，2021 年 9 月 27 日访问网页；www.oecd-nea.org/jcms/pl_46728/multi-sector-workshop-on-innovative-regulation-challenges-and-benefits-of-harmonising-the-licensing-process-for-emerging-technologies，2021 年 9 月 27 日访问网页。

### 4.4.4. 透明度和利益相关方参与

最后，持续关注提高透明度和鼓励利益相关方参与，对于维护和进一步发展有效核法律和监管框架非常重要。相关原则已经得到了与核法律有交叉的环境公约的认可。[51] 虽然透明度是核法律的核心原则，[52] 但多年来，核部门仍然希望进一步增强透明度。由于核行业源于军事领域以及人们希望阻止核武器扩散，该行业最初比较隐蔽。可以肯定，核设施和核材料监管仍有很多方面需要保密，确保信息和材料不用于非法或恶意目的，进而维护核安保，同时还涉及知识产权保护。然而，出于信誉和信任考虑，责任机构有必要承诺在公共领域提供信息，即使这些信息会披露技术缺点和改进要求。关于国际体系如何走向更高透明化，范例如在《核安全公约》审查过程中审查报告的更加广泛传播。在 2017 年《核安全公约》第七次审查会议后，首次公开了所有国家报告。

与透明度原则同样重要的是鼓励重要利益相关方参与。利益相关方包括广泛且多样的人士和组织：供应商和运营商；居住在核设施附近或在核设施工作的个人；地方或国家政府机构和代表；国际同行和组织；可能受到监管业务不利影响的组织；媒体；以及非政府组织。利益相关方不仅包括支持监管机构及其目标的个人和组织，也包括对核监管深表怀疑，甚至那些不以为然的个人和组织（除非监管机构或被监管组织引起媒体关注）。与利益相关方接触具有重要意义，可有助于建立信任，从而增进参与并获得信息反馈。原子能机构和经济合作与发展组织核能机构均已经开展核部门问题审查，[53] 需要持续关注确保核法律和法规的妥善演化和有效。

---

[51] 《跨界环境影响评价公约》（埃斯波公约），1991 年 2 月 25 日开放供签署，1997 年 9 月 10 日生效；《在环境问题上获得信息、公众参与决策和诉诸法律的公约》（奥胡斯公约），1998 年 6 月 25 日开放供签署，2001 年 10 月 30 日生效；《“埃斯波公约”的战略性环境评价议定书》（基辅议定书），2003 年 5 月 21 日开放供签署，2010 年 7 月 11 日生效。

[52] Stoiber 等 2003，第 10 页。

[53] 原子能机构 2017；经济合作与发展组织核能机构 2015。

## 4.5. 结论

对于核监管，法律只是手段而非目的。核法律框架的发展是一段有趣的历程，反映了相关方通过遵守有约束力的条约和公约及无约束力的准则和导则，以各种方法解决和平利用核能关键问题的承诺。核相关法律较为复杂，当前的发展状况有时会让人悲观，原因是人们经过持续努力才达到如今的成就，但仍然存在差距。然而，我们也应保持乐观，继续努力取得进展，这需要我们务实前行，其过程可能是渐进而非革命的。

我们要进一步关注和致力于国际合作，积极分享经验，持续加强改进。未来法律体系的改进将有助于增强整个系统的协调性。这需要国际和国家机构增强透明度并愿意与利益相关方进行建设性互动。法律顾问将继续发挥重要作用，协助决策者和技术专家制定全面有效的方法，进一步发展核能及其监管框架。鉴于上述，我们自身要审视以下问题：我们在考虑和处理重要问题时所采取的方式是否能赢得利益相关方的信任？在国际和国家层面我们是否能确保具有强大的组织能力？我们是否确保适用的国际法律和标准已被纳入到国家制度体系？核法律框架是否全面达成主要安全和安保目标，我们应该在哪些方面继续改进？

前途光明，我们仍需努力！

# 参考文献

Breyer S (1993) Breaking the Vicious Circle: Toward Effective Risk Regulation. Harvard University, Cambridge, MA

Burns S (2018) The Impact of the Major Nuclear Power Plant Accidents on the International Legal Framework for Nuclear Power. Nuclear Law Bull 101:14

Diaz N (2004) Leadership Toward a Progressive, Integrated Nuclear Community: Going Forward Together. www.nrc.gov/docs/ML0432/ML043270636.pdf. 2021 年 9 月 27 日访问网页

Dupuy P (1991) Soft Law and the International Law of the Environment. Michigan Journal of International Law 12:420-435

Gonzalez A J (2014) Towards a Convention on Radiation Safety and Security. In: Mariano Manóvil R (ed) Nuclear Law in Progress, Legis S.A. Argentina, Buenos Aires, pp 423–436

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1984) Guidelines for Mutual Emergency Assistance Arrangements in Connection with a Nuclear Accident or Radiological Emergency, INFCIRC/310. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1985) Guidelines on Reportable Events, Integrated Planning and Information Exchange in a Transboundary Release of Radioactive Materials, INFCIRC/321. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1989) Statute. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1999) Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2003) Security of Radioactive Sources. IAEA, Vienna International Atomic Energy Agency (IAEA) (2004) Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Co-sponsored by European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Labour Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2016) Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 1 (Rev.1). IAEA, Vienna International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017) Communication and Consultation with Inter-

ested Parties by the Regulatory Body. IAEA Safety Standards Series No. GSG-6. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety. IAEA Safety Standards Series No. GSG-12. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) Report of the Meeting on the Role of the Legal Adviser in a Regulatory Body, 30 July–2 August 2019

Jankowitsch O (1994) The Convention on Nuclear Safety. Nuclear Law Bulletin 54:9-22

Johnson P L (2014) Opening Address: Developments in Nuclear Law. In: Mariano Manóvil R (ed) Nuclear Law in Progress, Legis S.A. Argentina, Buenos Aires, pp 13–28

Lamm V (2017) Reflections on the Development of Nuclear Law. Nuclear Law Bulletin 99:41–42 Nuclear Regulatory Commission (2013a) Physical Protection of Byproduct Material; Rule 78 Fed. Reg. 17007. https://www.federalregister.gov/documents/2013/03/19/2013-05895/physical-protection-of-byproduct-material. 2021 年 9 月 27 日访问网页

Nuclear Regulatory Commission (2013b) Implementation Guidance for 10 CFR Part 37, Physical Protection of Category 1 and Category 2 Quantities of Radioactive Material, NRC Doc. NUREG-2155 and Rev.1 (2015). https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2155/index.html. 2021 年 9 月 27 日访问网页

OECD Nuclear Energy Agency (2015) Stakeholder Involvement in Decision Making: A Short Guide to Issues, Approaches and Resources. OECD Publishing, Paris

OECD Nuclear Energy Agency (2021 forthcoming) Principles and Practices of International Nuclear Law. OECD Publishing, Paris

Pelzer N (2010) Learning the Hard Way: Did the Lessons Taught by the Chernobyl Accident Contribute to Improving Nuclear Law? In: OECD/NEA (ed) International Nuclear Law: History Evolution and Outlook. OECD, Paris, pp 73–118

Schwartz J (2010) Liability and Compensation for Third Party Damage Resulting from a Nuclear Incident. In: OECD/NEA (ed) International Nuclear Law: History Evolution and Outlook. OECD, Paris, pp 307–354

Sparrow M (2000) The Regulatory Craft: Controlling Risks, Solving Problems, and Managing Compliance. Brookings Institution Press, Washington, DC

Stoiber C, Baer A, Pelzer N, Tornhauser W (2003) Handbook on Nuclear Law. IAEA, Vienna Wetherall A (2005) Normative Rulemaking at the IAEA: Codes of Conduct. Nuclear Law Bulletin 75:77

Wetherall A (2016) Strengthening the International Framework for Nuclear Security: Better Sooner than Later. Nuclear Law Bulletin 98:42

World Nuclear Association (WNA) (2019) CORDEL Strategic Plan 2019–2023. https://www.World-nuclear.org/getattachment/c3d5b873-95aa-4c88-aa71-80a274b0453b/CORDEL-Strate gic-Plan-2019.pdf.aspxa. 2021 年 9 月 27 日访问网页

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 5. 加强全球核安全制度

**理查德·梅泽夫**

**摘要** 核电是应对全球气候变化的一个重要组成部分。核电可以提供持续的电力，克服依赖风能和太阳能的可再生能源的间歇性问题。作为应对全球气候变化的一部分，确保核安全对于进一步发展核电至关重要。对安全的承诺必须是普遍的首要事项，因为在任何地方发生严重核事件后，公众的强烈抗议对各地核电的发展都会产生不利影响。福岛第一核电站事故揭示了全球核安全制度的重要性。该事故进一步表明，除了需要建立胜任的国家核安全体系外，极为重要的是要建立确保相关国家机构勤勉有效地履行其职责的国际核安全体系。本章审查了当前的全球核安全制度并提出了改进建议，包括落实安全检查、提高透明度的措施、加强标准统一等。

**关键词** 核安全；核电；国际原子能机构“基本安全原则”；全球核安全制度；先进的核反应堆；监管机构；统一标准；安全检查；安全和安保一体化

要克服大气中温室气体浓度长期增长带来的破坏性影响，世界各国迫切需要应对转向无碳能源的需求。核能便是其重要的应对措施之一。目前，核能提供了世界上约 10%的发电量，约占整个无碳发电量的三分之一。[1] 而且它还能发挥更大的作用。尽管可再生能源毫无疑问将会比现在有更大规模的部署，但仍然需要无碳可调度电力来克服可再生能源的间歇性问题。核电厂就可以满足这一需求，并与可再生能源一起应对气候变化带来的生存挑战。

为了给核能发展铺平道路，确保核安全至关重要。对安全的承诺必须是普遍的首位事项，因为在任何地方发生严重核事件后，公众强烈的抗议对

[1] https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-power-proves-its-vital-role-as-an-adaptable-reliable-supplier-of-electricity-during-covid-19，2021 年 7 月 11 日访问网页。

各地核电的发展都会产生不利影响。因此，特别需要审查现有的核安全系统并评定是否应作出改进。

正如原子能机构在“基本安全原则”中所强调的，核电厂营运者必须承担首要的安全义务。[2] 营运者控制核电厂，最适合确保持续的安全绩效。营运者必须具备工程、财务和管理能力，以确保核电厂运行将安全放在第一位。国家监管机构则通过明确营运者的责任和监管营运者的行为以确保这些责任得到履行，开展加强营运者的安全义务的工作。[3] 监管机构必须是独立的、有权威而且有充分配备的人员和资金来履行其职能。每个监管机构都应该严格和事无巨细（虽然也应公允）地确保每个营运者都履行其责任。

虽然营运者和监管机构发挥着至关重要的作用，但它们也受益于一个重要的支柱：全球核安全制度。[4] 该制度是一个由利益相关方和关联方构成的国际集体网，设定了对所有营运者和监管机构所期望的绩效水平，并致力于培养他们的能力和实力。全球核安全制度由以下几个部分组成：

- 政府间组织。主要参与者是原子能机构和经合组织核能机构。原子能机构制定安全标准，应成员国的要求在多个领域进行检查，并就核活动提供建议。核能机构参与国际合作安全研究和安全与监管问题的研究。
- 监管机构之间的跨国网络。例如国际核监管机构协会和欧洲核安全监管机构小组。这些网络使监管机构能交换意见和信息，并协调活动。
- 营运者之间的跨国网络。在国际舞台上，这些网络中最重要的是世界核电营运者联合会。除其他活动外，世界核电营运者联合会为营运者活动提供同行评审，并充当信息交流中心。业主集团由共享特定设计的营运者组成，提供类似的信息共享。世界核安保研究所在安保相关问题上发挥着同样的作用。

---

2 国际原子能机构 2006。

3 同上，第 7 页。

4 国际核安全咨询组描述了全球核机制的性质和重要性，INSAG-21 为本文提供了背景。见国际核安全咨询组 2006。

- 国际核工业。这包括设计和销售核电厂的供应商、国际设备供应商和服务组织，以及在世界各地建造核电厂的建筑商/工程公司和承包商。这些公司转让与核电厂相关的知识，并且积极鼓励安全运行。
- 科学家和工程师跨国网络。科学和工程学会鼓励并促成各国专家之间的交流。标准制定组织。这些组织包括美国机械工程学会、电气与电子工程师学会、美国核学会以及世界各地的同行。遵守详细的标准是对核装置所要求的强有力的质量保证要求的一个重要组成部分。
- 其他利益相关方。核活动引起社会各界的关注，这是可以理解的。非政府组织和新闻界在监督活动中发挥着重要的作用，并为确保安全运营提供重要的促进作用。

图 5.1 展示了全球核安全制度的各个组成部分以及将它们相互联系的网络。

福岛第一核电站事故揭示了全球核安全制度的重要性。虽然日本有着见多识广的营运者和经验丰富的监管机构，但这起事故仍然无法避免。这是因为日本普遍认为该核电站足够安全，因此忽略了该核电站的设计基准、国家制度性安排和应急准备（营运者和政府层面）的不足。[5] 从中吸取的基本教训是，除了需要建立胜任的国家核安全体系外，极其重要的是要建立确保相关国家机构勤勉有效地履行其职责的国际体系。[6]

除了需要确保使核电能够为应对气候变化做出重要贡献的堪称典范的安全绩效外，还有其他加强重新审查和强化全球核安全制度的重要性的考虑因素。有报道称，目前不依赖核电的 30 个国家正在考虑、规划或启动核电计划，而且还有 20 个国家也表示感兴趣。[7] 这些国家中有许多都是发展中国家，从气候变化的角度来看，它们对开发无碳电力的兴趣是一个受欢迎

---

[5] 原子能机构 2015，第 67 页。

[6] 国际核安全咨询组讨论了营运者、监管机构和利益相关方之间开放关系互联网络的重要性，以确保整个系统能够提供“纵深力量”。见国际核安全咨询组 2017。

[7] https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/emerging-nuclear-energycountries.aspx，2011 年 7 月 11 日访问网页。

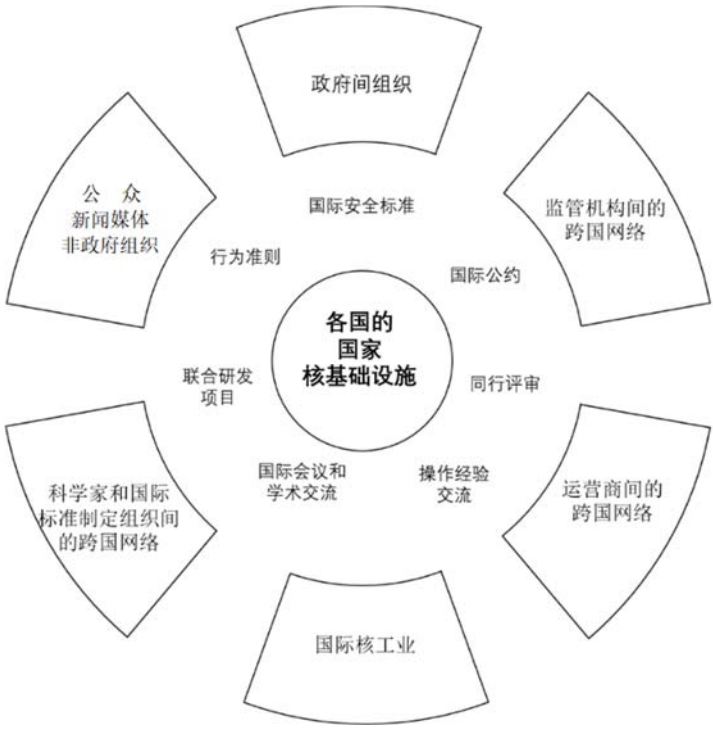



图 5.1　全球核安全制度的各个组成部分（来源：国际核安全咨询组，2006）

的发展。然而，它们利用核电厂满足能源需求的努力提出了一项挑战，因为其中许多国家都没有核经验，必须从零开始进行能力建设。[8] 全球核安全制度应发挥重要作用，使这些核计划能够成功地履行安全和安保义务。

与此同时，确保安全的系统目前也面临着新的挑战。虽然在未来若干年将毫无疑问地继续依赖现有的反应堆和新的轻水反应堆，但最近重新兴起了对先进反应堆的兴趣。许多先进反应堆使用不同的冷却剂（气体、液态金属或熔盐）和慢化剂。供应商希望，新的设计将以更低的每千瓦时成本提供电力输出，从而使核电比替代电源更具竞争力。而且，新设计通过例如使用简化、非能动或其他方式来实现基本安全功能，有望显著提升安全性。许多供应商正在筹划比大多数现有轻水堆电力输出小得多的核电厂设计，这样可能对于一些业主来说单位投资费用更加便于管理。此外，小型核电厂对

[8] 国际核安全咨询组 2012，第 1—4 页。

电网较小的国家特别有吸引力，[9] 这其中可能将包括许多新晋核电国家。与现有的许多轻水堆不同，安保和防扩散相关要素基本上都是后加入现有核电厂的，对于正在筹划的核电厂，在基本设计中纳入这些要素能够增强安保和保障。

尽管先进反应堆前景广阔，但它们也带来了一些特殊的安全挑战。需要进行详细的分析，以确定创新型安全系统在对它们有依赖性的各种情况下是有效的。重要的是保持充分的纵深防御，并确保事故预防和缓解之间的平衡。同时，对于钠冷快堆将需要考虑钠-水和钠-空气的化学反应，而对于熔盐反应堆则需要仔细检查腐蚀问题和管道中熔盐的冻结问题。简而言之，安全系统的参与者将必须面对重大的挑战，包括建立和分析先进反应堆的安全案例以及对目前主要关注轻水堆中出现的问题的监管要求进行调整以适应不同的技术。[10] 全球核安全制度可以促进部署先进反应堆国家之间的合作，并促进合理的决策。

此外，许多目前在运的核电厂都是多年前建造的，有的已接近或超过了最初预期的 40 年寿命。在这些年期间，这些核电厂从详细的监测、维护和部件更换受益匪浅，许多核电厂仍在可靠地运行。因此，一些国家的营运者正在考虑延长运行到 40 年以上。事实上，美国一些核电厂的许可证已延长至 80 年。[11] 然而，老化的核电厂存在独特的安全挑战：系统、结构和部件会随着时间的推移因可能无法完全理解的机制而恶化；备用件可能很难再找到；以及在更现代的电厂中构建的某些安全功能可能无法使用。因此，继续运行较老的电厂需要关注老化机制，随着时间的推移，更加注重对系统、结构和部件的监测、维护以及更换和升级上。全球系统应为必须处理老化电厂的国家提供指导，以确保维持安全裕量。

以上这些考虑足以说明对全球核安全制度进行仔细审查是合理的。但应该改变什么呢？

---

[9] 根据经验，任何发电厂都不应超过电网容量的约 10%，以使发电厂能够因换料或安全原因进行关闭而不严重中断电力供应。

[10] 理查德 • 梅泽夫致拉斐尔 • 马里亚诺 • 格罗西的信中讨论了部署创新型先进反应堆必须克服的许多挑战，见国际核安全咨询组 2021。

[11] https://www.nrc.gov/reactors/operating/licensing/renewal/subsequent-license-renewal.html，2021 年 7 月 11 日访问网页。

如上所述，现有全球安全制度的前提是营运者有确保安全的义务，并且受国家监管实体的严格监督。人们可能会设想一种不同的制度，在这种制度中，一个拥有广泛跨国权力的国际监管机构确保每个营运者安全绩效的充分性。这种方案可以被视为确保无论发生在何处的所有核活动都符合高安全标准的一种方式。该方案可能有助于以高效和有效的方式利用全球各地的安全能力来造福所有人。

然而，这种制度不太可能以国际监管机构取代国家监管机构的形式出现。居住在核设施附近的居民无疑会要求由一个政治响应更为灵敏的机构来监管核设施的安全，而不是一个遥远的国际监管机构。此外，任何国家是否愿意交出其对关键能源基础结构的主权权力也值得怀疑。由于安全系统必须在每个国家的法律、经济和社会文化范围内运行，所以无论如何都需要调整监管系统以适应当地情况。[12]

因此，以一个单一和强大的国际监管机构为前提的全球核安全制度可能无法实现，也不太可取。但是，还有一些应该予以考虑的事情，以期加强现有的全球核安全制度，强化营运者和国家监管机构履行其基本安全职责的能力。

- 安全检查。原子能机构为成员国提供了广泛而丰富的检查服务。[13]然而，未经成员国邀请，原子能机构是无权进行安全检查的，许多国家也不会提出检查的请求。而且，原子能机构没有执法权来处理所发现的缺陷。鉴于核安全的重要性，原子能机构应被赋予在其认为检查是合适的任何时间和任何地点开展检查的权力。此外，它应当有能力对发现的任何缺陷予以纠正，以确保其合规性。目标是在安全领域赋予原子能机构权力，类同“附加议定书”赋予其在保障事务上的权力。对《核安全公约》进行修订将是建立这些权力的一种合乎逻辑的途径。[14]

[12] 见 Meserve 2009，第 105－106 页。

[13] https://www.iaea.org/services/review-missions，2011 年 7 月 11 日访问网页。

[14] 建立这样一个得到加强的检查和执法机构可能需要数年的艰难谈判，继而是耗费时日的将“公约”修订案付诸生效的过程。同时，还应考虑下文概述的其他变革。

- 透明度。原子能机构进行检查的结果只有在成员国同意的情况下才能公之于众。然而，如果报告未被公开，严重的缺陷将仍然无法纠正。原子能机构检查的结果应当被公开 — 尽管可能是在受影响的成员国进行审查并解决问题之后 — 以促使安全制度的其他要素了解缺陷并敦促进行改正。国际核安全咨询组强调了营运者、监管机构和受影响的利益相关方在安全问题上的公开互动可能带来的“纵深力量”。[15]

- 统一标准。许多先进反应堆的供应商都希望进行国际销售。由于工厂系列化生产可能带来的预期效率，大量的海外销售可能是其业务计划的重要部分。鉴于许可证审批现在是（并将仍然是）每个国家监管机构的责任，存在着一种危险是，可能需要进行调整或修改才能在向其售出核电厂的每个国家获得许可证审批。这显然可能会增加成本，并削弱国际部署的前景。考虑到需要广泛使用核电厂来应对气候变化，应加大力度统一监管要求，以便能够避免不适当或不必要的修改。事实上，确保每个监管机构从其他监管机构的知识中获益并消除不必要的监管差异是有很大好处的。

目前正在致力于鼓励统一。原子能机构涉及发展国际共识的制定标准过程可以催生共同方案。原子能机构目前也在致力于建立安全、安保和保障的技术中立框架，这同样有助于形成统一的安全认知。核能机构的“多国设计评价计划”侧重于统一新型反应堆的许可证审批过程；它使得监管机构既能利用承担评审核动力堆新设计任务的国家监管机构的资源和知识，同时也保留国家监管机构对所有许可证审批和监管决定的主权权力。该计划积极鼓励准则、标准和监管方案的融合统一。[16]

目前的努力有一个方面可能会产生有效的变化。每个国家的监管机构目前都对原子能机构的标准适用做出自己的决定。如果完全遵守原子能机构的标准成为规范（须接受原子能机构的检查），同时尊重国家监管机构的权威，该系统可能会受益。航空业在这方面可以提供一种借鉴模式。国际民用航空组织制定了具有约束力的国际最低标准，从而便利了使用标准化飞机设计的国际航空旅行。每个国家都制定了自己的适航规范，但各国之间的

[15] 国际核安全咨询组 2017。

[16] https://www.oecd-nea.org/mdep/index.html#2，2011 年 7 月 11 日访问网页。

差异并不显著。或许可以加强原子能机构标准的作用，通过支持统一核要求，同时还允许各国保持主权，使原子能机构能够履行类似于国际民用航空组织的职能。[17]

- 安全与安保一体化。安全和安保显然相互关联，改善其中一个所采取的措施也必定使另一个受益。例如，核电厂的钢筋混凝土和钢铁的巨大结构同时服务于安全目标和安保目标。然而，一些服务于一个目标的电厂特征和运行实践有时会与另一目标发生冲突。例如，出于安保原因实施的出入控制可能会限制应急安全响应，或在发生火灾或爆炸时阻塞出入口。简而言之，安全与安保之间既统一又对立。这表明，为了平衡各项目标，核电厂厂址的安全和安保责任应授予一个单独的机构负责。[18] 此外，原子能机构应继续努力整合其所提供的安全和安保导则。[19]

- 运行经验。随着时间的推移，运行经验的交流有助于提高核电厂的绩效。有关事故和险发事件、设计或设备缺陷以及其他营运经验的交流使营运者和监管机构能够相互学习并加强安全绩效。除了共享此类信息的国家系统外，营运者和监管机构还通过现有的全球系统报告安全相关信息。原子能机构和核能机构联合运行着一个事件报告系统[20]，可供参加国使用；世界核电营运者联合会为其成员运营公司提供私密的营运信息访问权限。但是，并非所有相关事件都会报告，特别是向事件报告系统进行报告，而且并非所有访问这些信息库者都能充分有效地利用这些数据。这在一定程度上是因为没有足够的机制来分类和分析这些信息，提炼和优先考虑应该吸取的经验教训，并以用户友好的方式宣传这些信息。应对该系统进行升级，以促进从运行经验中积累的知识的交流，深化共同利益，避免事故发生。获取此类信息对于新晋核电国家尤为重要，这样它们就可以避免重蹈覆辙。

---

17 见世界核协会 2013 和 2020。

18 国际核安全咨询组 2010。

19 国际核安全咨询组和核安保咨询组即将发布的联合报告将强化安全与安保之间协调的重要性。

20 https://www.iaea.org/resources/databases/irsni，2021 年 7 月 11 日访问网页。

- 国际研发。如今在核研发方面开展着大量合作。例如，核能机构促进核相关问题研究的国际合作，使各方均受益。然而，这方面的努力还可以进一步拓展。如上所述，许多核电厂的运行时间已超出其设计寿命，对老化现象进一步达成共识有助于确保长期安全性。现代数字仪控设备正在应用于新老核电厂，引发了不同于正在被替换的模拟系统的安全问题。随着网络安全问题的挑战越来越大，这些问题也日益突出。此外，先进反应堆提出了许多新的安全问题，有必要对这些新问题进行深入研究，以确保能够落实新的安全改进承诺。[21] 旨在增进对先进设计的理解的协调研究计划将有助于确保获得必要的数据，以促进许可证批决策。

* * *

全球核安全制度为确保现有和未来核电厂的安全提供了一个重要手段。应当寻求改善该制度的机会，以确保能够安全地利用核技术造福全人类。

## 参考文献

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006) Fundamental Safety Principles. Co-sponsored by European Atomic Energy Community, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Labour Organization, International Maritime Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization. IAEA Safety Standards Series No. SF-1. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) The Fukushima Daiichi Accident. IAEA, Vienna

International Nuclear Safety Group (INSAG) (2006) Strengthening the Global Nuclear Safety Regime (INSAG-21). IAEA, Vienna

International Nuclear Safety Group (INSAG) (2010) The Interface Between Safety and Security at Nuclear Plants (INSAG-24). IAEA, Vienna

[21] 在理查德·梅泽夫致拉斐尔·马里亚诺·格罗西的信中对这些问题进行了充分的讨论，见国际核安全咨询组 2021。

International Nuclear Safety Group (INSAG) (2012) Licensing the First Nuclear Power Plant (INSAG-26). IAEA, Vienna

International Nuclear Safety Group (INSAG) (2017) Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems—Institutional Strength in Depth (INSAG-27). IAEA, Vienna

International Nuclear Safety Group (INSAG) (2021) INSAG Annual Letter. https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-and-security/committees/insag/annual-letter-of-assessment. 2021 年 7 月 11 日访问网页

Meserve R (2009) The Global Nuclear Safety Regime. Daedalus 138(4):100–111 https://doi.org/ 10.1162/daed.2009.138.4.100

World Nuclear Association (2013) Aviation Licensing and Lifetime Management—What Can Nuclear Learn? https://world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/CORDELAviationReport.pdf. 2021 年 7 月 11 日访问网页

World Nuclear Association (2020) Harmonization of Reactor Design Evaluation and Licensing: Lessons Learned from Transport. https://www.world-nuclear.org/getmedia/cb928ee3-dea9-41eda324-552c499f4375/Harmonization-of-Reactor-Design-(Transport)-Final.pdf.aspx. 2021 年 7 月 11 日访问网页

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 6. 气候变化挑战 — 能源系统全面转型：没有核能，无法实现净零排放

**蒂莫西·斯通**

**摘要** 为了实现净零排放，必须用其他能源来替代天然气、汽油、柴油和燃料油。但目前大多数低碳能源也需要替代，因为这些能源中几乎没有一种能源的剩余储量可用时间超过 25 年。所需的替代速度和规模是前所未有的：整个世界的一次能源供应几乎都必须被替代。整个能源系统的（再）开发本身就具有主权风险，只能由政府制定国家能源政策。毫无疑问，市场将继续在未来的能源系统中发挥作用，但在顶层，实现净零排放的替代速度和规模对于适当的市场适应速度来说太快了。本章是为呼吁国家政策制定者采取行动，并将这一挑战作为创造更高质量的就业机会和潜在的极具吸引力的长期投资的选择机会。本章还概述了一些风险，包括政治上的举棋不定和政策上的波动，这些风险是最大限度地利用这一机会和实现净零排放的潜在障碍。

**关键词** 净零；低碳能源；气候变化；一次能源消费；风能；太阳能；化石燃料；水电；核能；能源市场；清洁电力；模块化反应堆；能源转型

## 6.1. 气候变化挑战与一次能源转型

为实现净零排放，在任何时间尺度上，全世界几乎全部的一次能源供应都必须被替代。显然，所有的化石燃料都必须被替代。这是一个简单明了的陈述，不仅是天然气、石油、煤炭必须用另外的能源或一次能源载体替代，而且当前大多数低碳能源也需要被替代。所需的替代速度和规模是前所未有的，甚至接近全世界从前的战时努力。也就是说，它也代表了最大的高质量工作就业机会以及潜在的长期和极具吸引力的投资机会，但最大的风险可能来自政治上的举棋不定和政策上的波动。换句话说，对政府的信任和信心 — 或缺乏信任和信心。

随之而来的现实是这些替代的速度和规模是无法仅靠市场来实现的。在第 6.11 节中，对能源市场的基础进行了更详细的研究，但得出的基本结论很简单。总体而言，能源是最大的具有国家意义的基础设施。整个能源系统的（再）开发本身就具有主权风险。换句话说，任何政府都在国家重大基础设施方面“有着这样或那样的失败”。这种失败只能是制定国家能源政策的政府造成的。在过去 40 年历史中，市场对工程开发的适应（就当前的挑战而言相对较慢）毫无疑问一直非常有效，市场将继续在未来的能源系统中发挥作用。但在顶层，实现净零排放的替代速度和规模实在是太快了，以致市场无法适当地适应。

另一个顶层限制当然是实物交付能力。这不仅仅是有关建设大型一次能源（如水电和百万千瓦级核电）的时间周期，它是关于如何开发和发展整个供应链，以支持每年在国家层面新增（注意，不仅仅是建设）数百万千瓦的装机容量。对于供应链来说，不仅仅是水泵、阀门、齿轮箱和其他设备部件，人员供给的供应链同等重要。

## 6.2. 一次能源

另一方面，在低碳世界中，一次能源只有四种。一次能源的来源必须与能源载体或将能源传送至用户的方式区分开来。这些一次能源，顺序不分先后，包括：

- 风能和太阳能；
- 核能 — 目前仅来自裂变，但最终也会来自聚变；
- 水能 — 包括潮汐能和波浪能；
- 来自具有有效碳捕获和封存的化石能源。

氢和氨等气体本身并非一次能源，而只是传输能源的方式 — 能源载体。

随着国家能源系统的全面重建，全球经济的一个基本方面正在发生变化。在 21 世纪的当今生活中越来越依赖能源，而能源成本正在成为经济竞争力的决定性因素。新能源系统将对国家经济竞争力和我们子孙后代的未来福祉产生深远影响。同时，必须认识到当前的能源系统是在不同时代设计

的。例如，英国的能源系统主要是在第二次世界大战之后设计的，最初的设计目的是将能源从煤田转移到制造中心，以及供家庭使用。这些主要的设计目的现在都时过境迁了。今天的能源来自燃气电站、位于沿海附近的大型核电厂，以及日益增多的近海可再生能源。从 20 世纪 50 年开始，人口分布发生了显著变化，制造中心变小，而且通常分布在不同地点，但对能源传输基础设施的监管是基于在五年内降低消费者成本这个条件进行的。

最大的挑战是需要一种适当的系统方法，因为达尔文的市场模型根本无法以足够快的速度做出反应。在过去的十年里，新技术的应用得到了大力的推广，但这种推动力是为了降低成本，而不是基于对任何合理结果的感觉。没有对新系统是什么样子或如何达到目的进行彻底分析。

良好市场核心的达尔文进化论是关于产生、试验、选择和失效的机制，而“快速失效”的高科技创业方式在一次能源领域是行不通的。一次能源生产系统和支撑基础设施的各种方法的演变实在是太慢了。以英国为例，从（前）首相特蕾莎·梅最初宣布英国将实现《2050 年净零排放战略》的具有法律约束力的要求，到 2021 年第 26 届联合国气候变化大会（COP26）召开之日，英国浪费了近 7.5%的时间，却几乎一无所获。

现在没有时间浪费了 — 如果确实有足够的时间来实现《2050 年净零排放战略》。

## 6.3. 当前能源消耗

基于替代基础 [1] 的全球能源消耗如图 6.1 所示。脱碳挑战的巨大规模在这种替代基础上得到最好的体现。比较四种传统能源 — 生物质、煤炭、石油和天然气 — 与其余低碳一次能源的规模，可以看出挑战的规模之大。

[1] “替代法”— 与“直接法”相比 — 试图纠正化石燃料和生物质的转化效率低下（在燃烧过程中作为热量被浪费掉的能量）。如果要从化石燃料产生相同数量的能量，它通过把核能和现代可再生技术纠正为其“一次输入等效值”来做到这一点。

本章包括美国、日本、中国、英国、德国和瑞典的类似图例。考虑由格兰特·查默斯（Grant Chalmers）[2] 定期生成的碳强度图也是很有指导意义的 — 见图 6.2 和图 6.3。

从图 6.2 和图 6.3 可以清楚地看出，像瑞典这样拥有丰富水电资源的国家和/或历史上还拥有大量核电能力的国家，将比其他国家更容易实现净零排放。法国、安大略省和冰岛 [3] 都属于这一类。同样明显的是，尽管德国等国高度重视可再生能源，但对化石能源的依赖依然存在，甚至在丹麦等国，也不可避免地依赖从其他国家进口能源，例如通过北欧电网或从化石燃料发电进口能源。作为表现糟糕（至少是奇怪的）的能源市场的一个例子，昆士兰出现在更极端的化石依赖的尽头，并将出现在其他地方（图 6.19）。

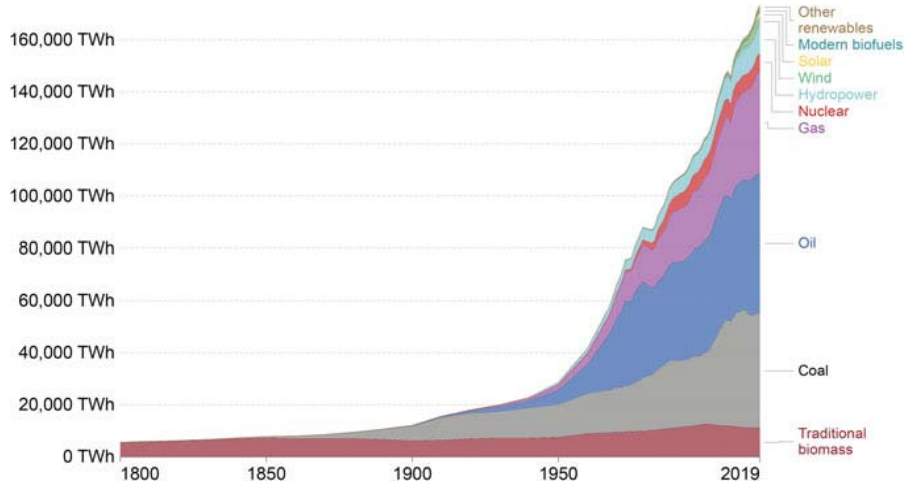



图 6.1　按来源划分的全球一次能源消费量。注：一次能源是根据“替代法”计算的，该方法考虑到化石燃料生产的低效率，即如果非化石能源与化石燃料具有相同的转换损失，则将非化石能源转换为所需的能量输入。来源：https://ourworldindata.org/energy-production-consumption（2021 年 7 月 14 日数据）

[2] 参见@Grant Chalmerson 的推特。例如图 6.2 和图 6.3 定期发布的图例。这些图以及本文中来自同一作者的其他经过适当标识的图片均由格兰特·查默斯提供。

[3] 冰岛拥有主要的地热资源，其碳排放量通常在 50 克二氧化碳当量/千瓦时左右。例如，请参阅 https://twitter.com/GrantChalmers/status/1404713459091066880?s=20，2021 年 7 月 14 日数据。

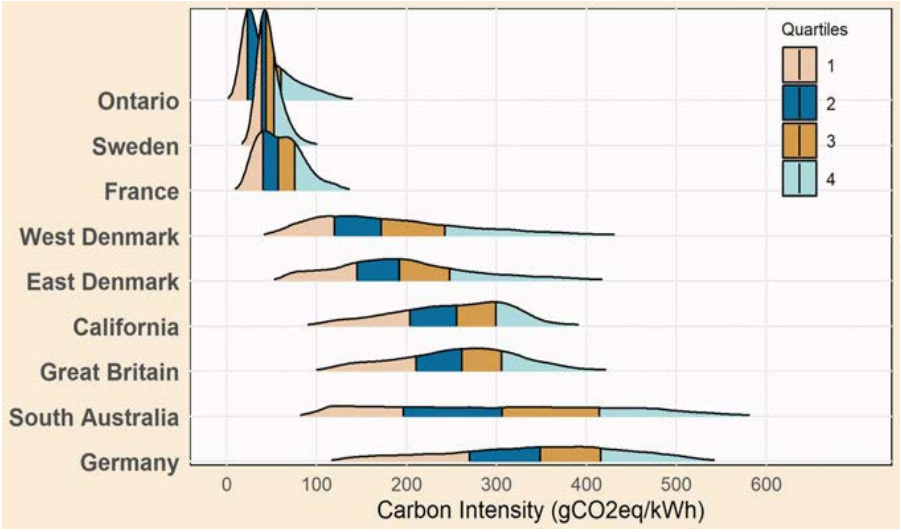



图 6.2　2017－2021 年用电量碳强度。来源：@GrantChalmers

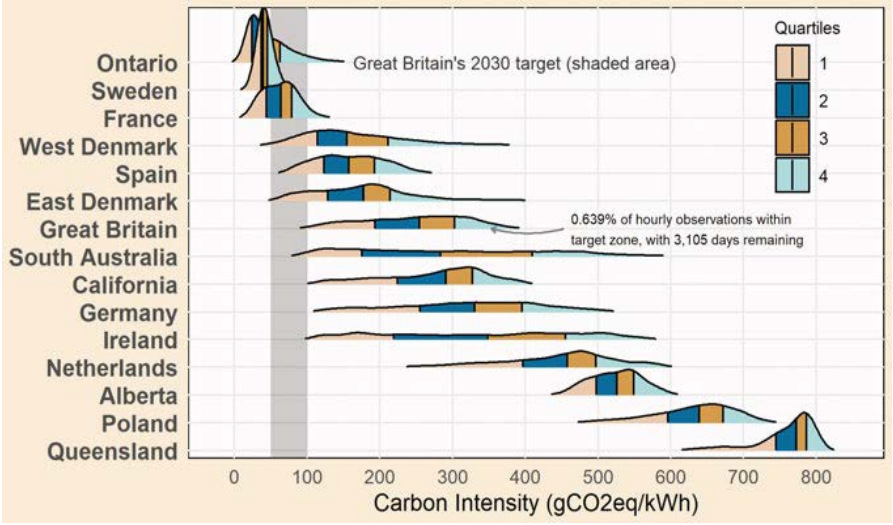



图 6.3　2020－2021 年用电量碳强度。来源：@GrantChalmers

有趣的是，就英国二氧化碳排放而言，自 1957 年科尔德霍尔（Calder Hall）气冷堆投运以来的碳减排总量为 23 亿吨二氧化碳当量（相当于英国从 2015 年到 2020 年的全部排放量）。

图 6.4、图 6.5、图 6.6、图 6.7、图 6.8 和图 6.9 展示的主题是必须被完全替代的来自化石燃料的一次能源。

英国现在的情况很大程度上是以风能和太阳能方面的一系列巨额投资来淘汰作为一次能源的煤炭，这得到了 21 世纪 10 年代初期电力市场改革的有力支持，这项改革将间歇性的成本和结果“社会化”，无论是否需要，都可以为可再生能源买单。在同一时期，尽管英国出台了低碳能源基本立法，但仍批准了一台新的核电机组，其中包含一个强烈的信号，表明英国有意建设不止一种设计的百万千瓦级核电机组。随着 2010 年联合政府的组建，历来是反核政党的自由民主党在能源和气候变化部取得部长职位的控制权，使这一意图变弱。在此期间，由公务员组成的可再生能源团队的相对权力显著增加，而核发展办公室的影响力从 2014 年起变弱。英国已从 2008－2014 年期间的“核能复兴”领导者，到后来最多也就是个追赶者。虽然首相在 2020 年提出了一个富有远见的“绿色工业革命十点计划”[4]，但随后的白皮书在核能方面的实际雄心相对较弱。

[4] 2020 年英国政府（核电是继海上风电和低碳氢之后的第三个板块）。

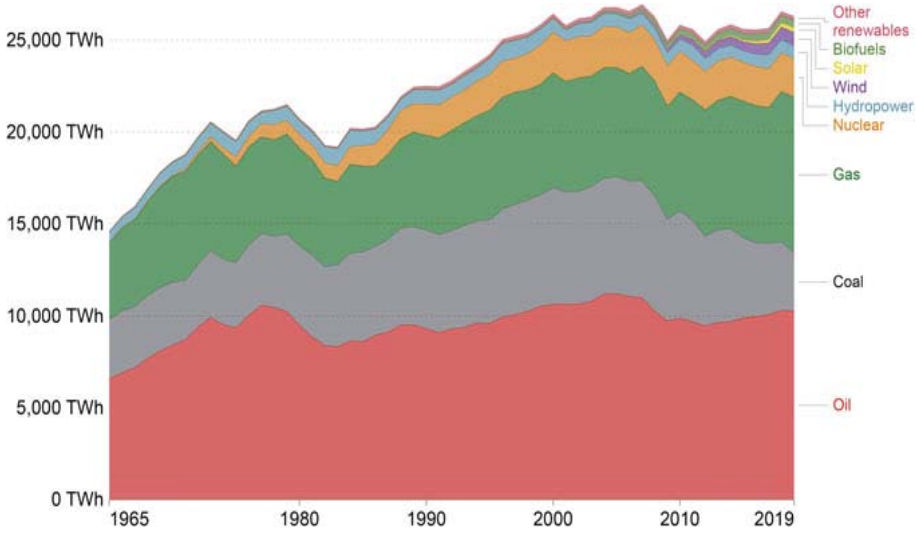



图 6.4　按来源划分的能源消耗（美国）。“其他可再生能源”包括地热、生物质能和废能。注：一次能源消耗以太瓦时（TWh）为单位。这里对化石燃料应用了一个低效因子（“替代”法），这意味着每种能源所占份额对最终能源消耗有更接近的近似值。来源：https://ourworldindata.org/energy-mix?country=（2021 年 7 月 14 日数据）

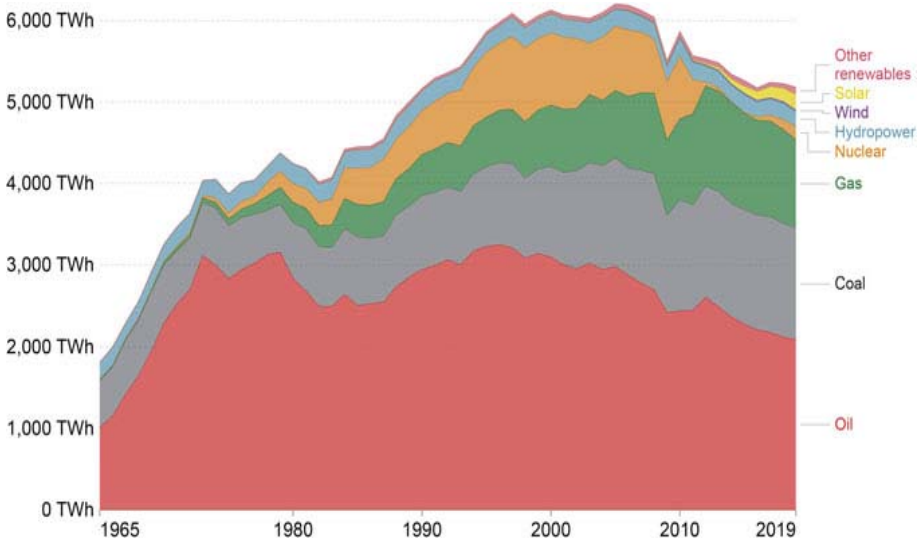



图 6.5　按来源划分的能源消耗（日本）。“其他可再生能源”包括地热、生物质能和废能。注：一次能源消耗以太瓦时（TWh）为单位。这里对化石燃料应用了一个低效因子（“替代”法），这意味着每种能源所占份额对最终能源消耗有更接近的近似值。来源：https://ourworldindata.org/energy-mix?country=（2021 年 7 月 14 日数据）

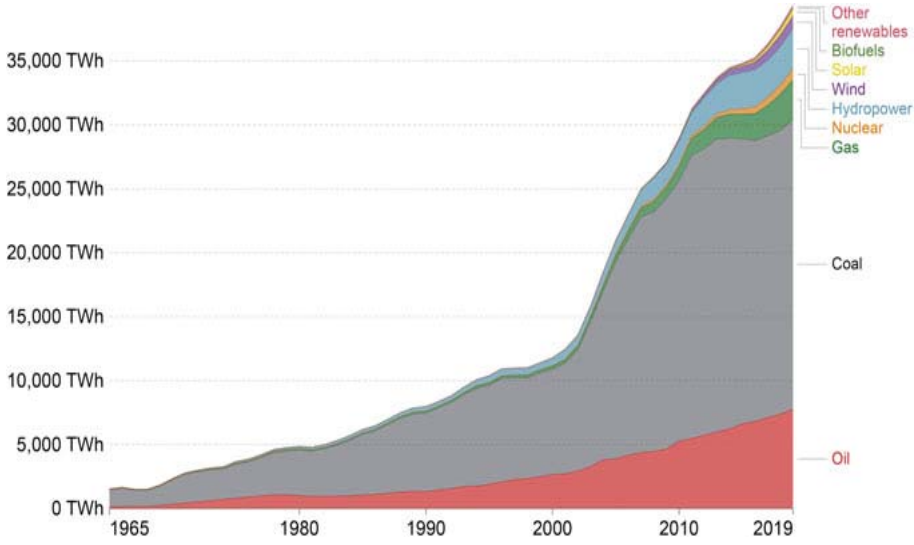



图 6.6　按来源划分的能源消耗（中国）。“其他可再生能源”包括地热、生物质能和废能。注：一次能源消耗以太瓦时（TWh）为单位。这里对化石燃料应用了一个低效因子（“替代”法），这意味着每种能源所占份额对最终能源消耗有更接近的近似值。来源：https://ourworldindata.org/energy-mix?country=（2021 年 7 月 14 日数据）

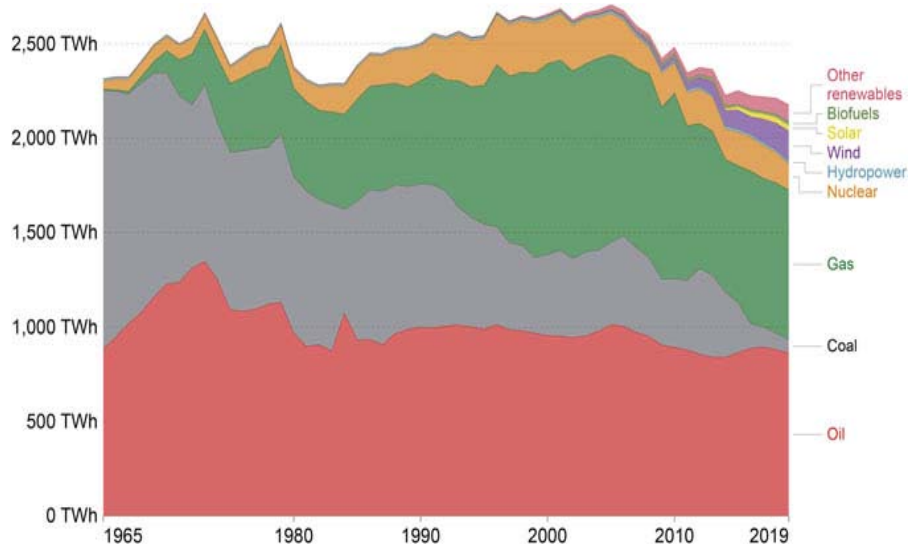



图 6.7　按来源划分的能源消耗（英国）。“其他可再生能源”包括地热、生物质能和废能。注：一次能源消耗以太瓦时（TWh）为单位。这里对化石燃料应用了一个低效因子（“替代”法），这意味着每种能源所占份额对最终能源消耗有更接近的近似值。来源：https://ourworldindata.org/energy-mix?country=（2021 年 7 月 14 日数据）

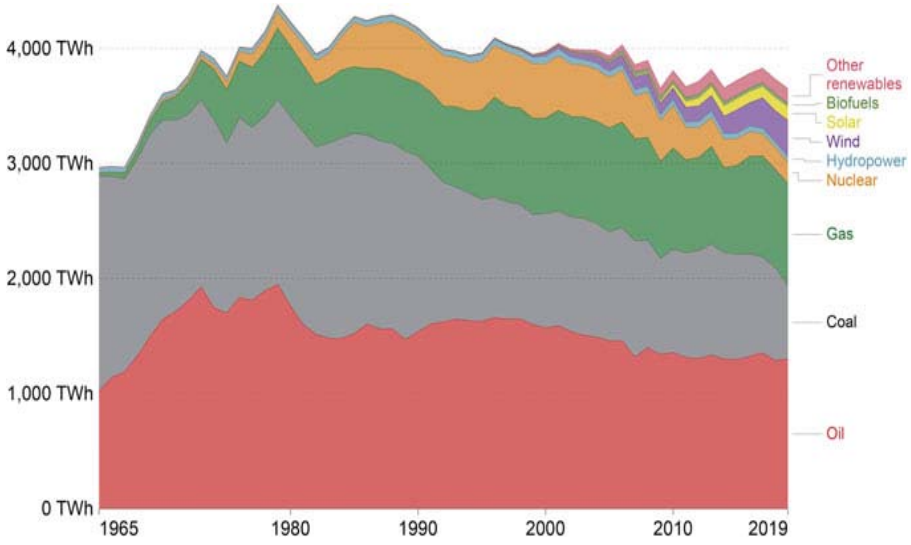



图 6.8　按来源划分的能源消耗（德国）。“其他可再生能源”包括地热、生物质能和废能。注：一次能源消耗以太瓦时（TWh）为单位。这里对化石燃料应用了一个低效因子（“替代”法），这意味着每种能源所占份额对最终能源消耗有更接近的近似值。来源：https://ourworldindata.org/energy-mix?country=（2021 年 7 月 14 日数据）

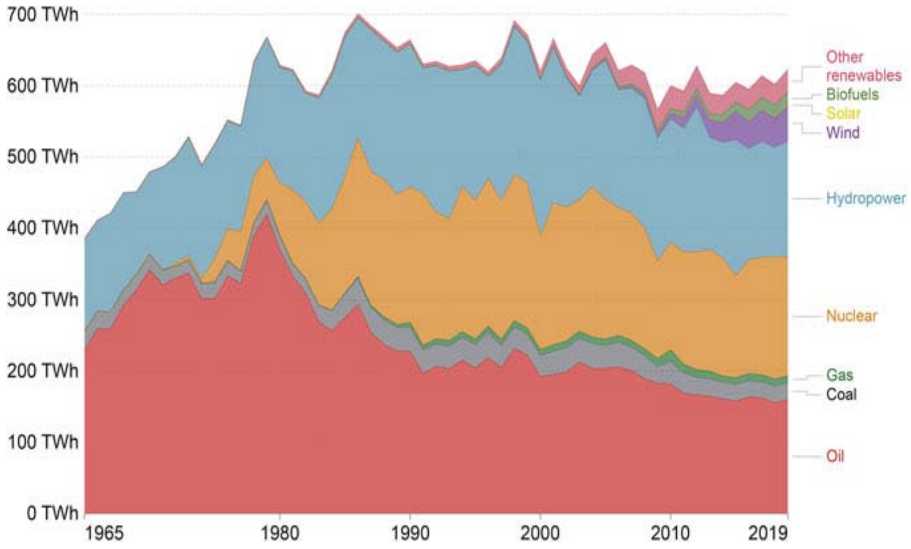



图 6.9　按来源划分的能源消耗（瑞典）。“其他可再生能源”包括地热、生物质能和废能。注：一次能源消耗以太瓦时（TWh）为单位。这里对化石燃料应用了一个低效因子（“替代”法），这意味着每种能源所占份额对最终能源消耗有更接近的近似值。来源：https://ourworldindata.org/energy-mix?country=（2021 年 7 月 14 日数据）

德国的政治，尤其是在福岛第一核电厂事故之后，巴登-符腾堡州选举中以绿色、反核政治的突出影响而闻名。随后的“能源转型”政策未能显著减少二氧化碳排放。一项研究发现，如果德国推迟废除核能并首先废除煤炭，每年可以挽救 1100 人的生命和 120 亿美元的社会成本。《环境进步》[5] 中的一篇文章称，如果选择投资核能而不是可再生能源，德国可能已废除了化石燃料 [6]。有人提出，德国对核电的深深反感可以追溯到 20 世纪 70 年代德国最初对核电的投资 [7]。据 Marx [8] 称，德国最初对核电的支持大部分来自核工业界 — 尤其是巴斯夫（BASF）和赫斯特（Hoechst）集团 — 并非联邦政府政策主导的结果。在 20 世纪 60 年代，核电得到了社会大多数人的支持，但联邦和州政府都没有做出任何重大尝试来向德国人民推销这项政策。随着大型企业推广核电，德国对核电的社会接纳逐渐淡化，1973 年石油危机之后更加突出了核电的地位。最终，该国大部分电力公司的扩张都是基于核电，但最初支持核电的工业公司最终转而支持煤炭、煤制油和褐煤行业。

这些图充分说明了建设能源项目的挑战规模。自从建设风能和太阳能发电以来，很明显，每种能源的使用寿命都大大低于其他传统的一次能源 [9]。仅此一项就应该震撼各国的能源政策制定者和政府。在过去的 10 年半里，可再生能源取得了令人瞩目的发展，但在具有国家意义的基础设施中，这些设施的生命周期和投资周期通常被忽略，直到相关的危机出现。在撰写本文时，英国在 2021 年 9 月可能经历了一场“不大不小的”危机。由于天然气价格极高，可再生能源发电量减少到非常低的比例（目前为 2.78%），迫使一个可运营的燃煤电厂重启，而且能源价格的急剧上涨，导致大量零售机构倒闭。重要的一点是，到 2050 年，目前在运的可再生一次能源几乎都不会

---

5 https://grist.org/energy/the-cost-of-germany-going-off-nuclear-power-thousands-of-lives，2021 年 7 月 14 日数据；https://www.nber.org/papers/w26598，2021 年 7 月 14 日数据；https://www.welt.de/wirtschaft/plus204786230/Atomausstieg-Was-die-Energiewende-wirklich-kostet.html，2021 年 7 月 14 日数据。

6 https://environmentalprogress.org/big-news/2018/9/11/california-and-germany-decarbonization-with-alternative- energy-investments，2021 年 7 月 14 日数据。

7 https://www.dw.com/en/nuclear-power-in-germany-a-chronology/a-2306337（德国核电发展简史），2021 年 7 月 14 日数据。

8 Marx 2014。

9 见 Fuchs 等的示例，2021。

继续运行。为了保持可再生能源持续和长久并网运行，除计划开发的大规模脱碳系统外，还必须有一个持续替代和重新供电的计划。

一个重要的信息是，在重建一个国家的能源系统时，不可能有灵丹妙药。一个具有高度能源安全水平的、现代化和灵活的能源系统将是一个能源来源均衡的系统，它具有足够的容量，其组成部分可以应对甚至非常低概率的情况。最佳解决方案必须考虑可能的建设速度，可能是物理性质（需要多少陆地/海域？你能创造一支足够大的劳动力队伍吗？钢材将来自哪里？减少嵌入碳等。）的强大约束（从优化角度看是强大约束），以便在国民经济层面上将系统成本降至最低。

## 6.4. 核能的属性/最高级

在深入探讨一些实际问题之前，有必要重新审视核电为何能够，并且在许多情况下，应该成为 21 世纪能源体系中强大和关键组成部分的原因。

### 6.4.1. 能量“密度最大”— 大部分优势都源自于此

能量密度数据很能说明问题：

- 用于轻水反应堆、浓缩至 3.5%的铀，能量密度约为 3900 GJ/kg；
- 铀作为快中子反应堆的燃料，能量密度约为 28 000 GJ/kg；
- 硬黑煤的能量密度约为 24~25 MJ/kg（注：是 MJ 而不是 GJ）；
- 氢的能量密度约为 120~142 MJ/kg；
- 天然气的能量密度约为 42~55 MJ/kg。

因此，铀在常规轻水反应堆中产生的能量约为煤的 15.6 万倍，但如果在快中子反应堆（见第 6.9.2 节）中燃烧，则产生的能量约为煤的 112 万倍。

由于核燃料的能量密度非常大，核电在任何国家中对土地的需求都是最少的。表 6.1 列出了寿期土地使用的最新分析数据 [10]。

[10] Chivers 等 2017。

就实际发电所用的土地面积而言，数字差别不大，并且可能有不同的选择依据（尽管无论如何分析，到目前为止，核电都是最有效地利用土地的）。

以英国 1988 年投产的托内斯核电厂为例举个简单的例子，该厂 136 万千瓦的发电量是英国目前正在建设中最大的风电场 — 东英吉利一号的 4 倍，该风电场拥有 102 台风力发电机，需要占地 300 平方公里。而托内斯核电厂总共占地约 130 公顷（约 1.3 平方公里）— 核岛本身远小于该占地面积。

**表 6.1　不同能源寿期的场地要求**

| 能源系统 | 场地面积 — 平方公里/太瓦时 | | |
|---|---|---|---|
| | Gagnon 等 [a] | EWG [b] | Cheng 和 ammond [c] |
| 煤炭 | 4 | 3.63 | - |
| 天然气 | | ⩾0.09 | |
| 核电 | 0.50 | 0.48 | 0.30 |
| 风电 | 72 | 2.33-116.66 | 1.15-44.17 |
| 光伏 | 45 | 13.50-27.00 | 16.17-20.47 |
| 生物质 | 533-2200 | 1320-2200 | 470 |

a：Gagnon 等，2002 年
b：EWG：https://www.ewg.org/research/green-energy-guide. 2021 年 7 月 14 日数据
c：Cheng 和 Hammond，2017 年

要替代托内斯核电厂，需要 400 台风力发电机，大约占地 1200 平方公里。这个面积可以轻松容纳数倍的全球核电机组。

### 6.4.2. 创造技术性最强的工作

图 6.10 以科普兰（Copeland）区为例显示了整个英国的收入图。这包括塞拉菲尔德和相关的核工业场区。

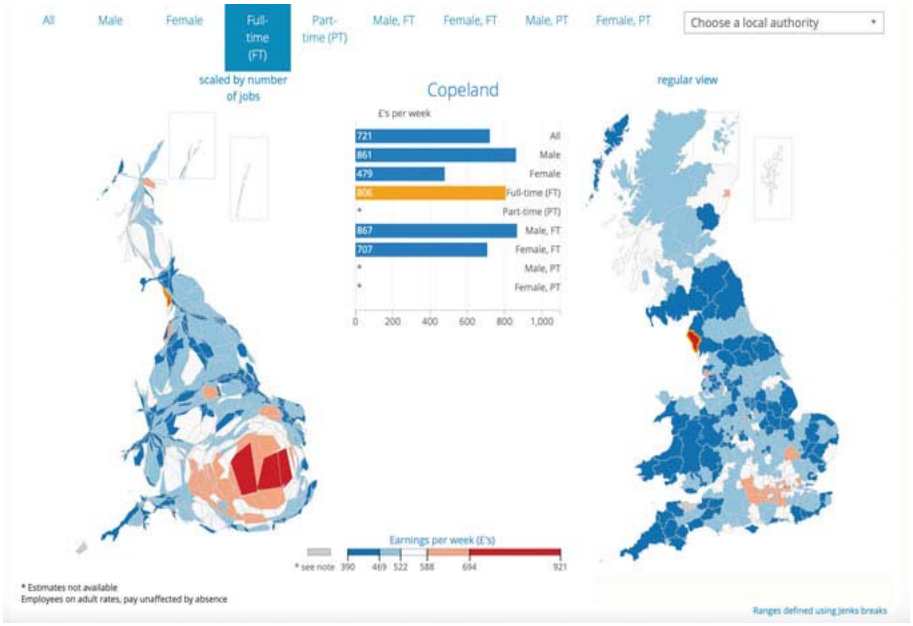



图 6.10　英国平均收入图。来源：https://www.ons.gov.uk/visualisations/nesscontent/dvc126。（2021 年 7 月 14 日数据）

一般来说，核工业提供的工作收入比其他大多数拥有大量专业服务工作的地区要高。除了科普兰区（以核工业为主），地图上的红色区域位于伦敦及周边地区。表 6.2 列出了地图上所有红色斑块的数额。

**表 6.2　红色区域的平均周收入**

| 地区 | 平均周收入（英镑） |
|---|---|
| 威斯敏斯特区 | 635 |
| 科普兰区 | 721 |
| 塔哈姆莱特区 | 768 |
| 伦敦市 | 870 |

这里还有一些其他有用的统计数据。在哈特尔普尔核电厂，平均工资超过 5 万英镑，是城镇平均工资的两倍多。在英国，90%的核工作岗位都在伦敦和东南部以外。核能对国民经济的贡献值约为 124 亿英镑（当考虑乘数效应时）。总体而言，在英国，核工作的就业和相关行业的国库税收收入为 28 亿英镑。

并且核电有助于可靠供电。

### 6.4.3. 只有技术才能产生清洁热能和电力

核能源于低碳热生产。它与风能、太阳能和水电一样，是为数不多的一次能源之一。风能和太阳能将来自气候的能量转化为电能，而水电将气候驱动的降雨和重力转化为电能。核能来自一个基本的物理过程，该过程释放元素周期表中任何比铁原子数大的元素中所蕴含的能量 [11]。任何核反应（裂变或聚变）释放的能量都被作为热能捕获，随后的热能利用都来自低碳的热量。传统上，热能用于把水煮沸并利用蒸汽来驱动汽轮机和发电机。当前，热能越来越成为工业以及如高温电解（见第 6.6.1.1 节）等其他发电方法的主要手段，也是通过热化学（催化）系统制氢（制氢可能是许多国家未来能源系统的关键部分）的主要手段。

传统的核电（即大型反应堆发电）也是一种灵活的基荷电力，并且能够通过负荷跟随来平衡灵活性较小的间歇性可再生能源。图 6.11，取自经合组织核能机构题为“核电厂负荷跟随的技术和经济介绍”的文件 [12]，显示了法国电力公司旗下的法国核电机组（发电量约占法国总发电量的四分之三）的负荷跟随示例。

核反应堆负荷跟随的经济性有趣且复杂，尽管节省的燃料成本很小，增加的成本（例如在压水堆中额外使用离子交换树脂）可能超出节省的成本。但是核电厂可以并且的确经常进行负荷跟随。

---

[11] 见 Ling 等的示例，2016。

[12] 经合组织核能机构 2011。

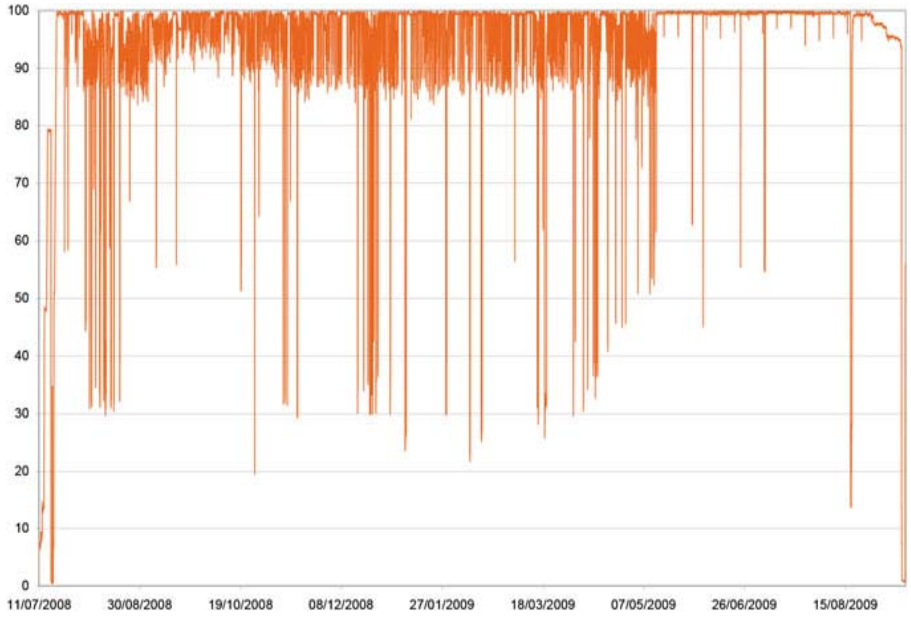



图 6.11　核电厂负荷跟随示例。来源：经合组织核能机构，2011 年，图片由法国电力公司提供

## 6.5.　工厂组装 — 模块化反应堆

大多数核电厂一般全部在现场建设，几乎没有预制或在场外进行主要的制造。但早期通常用于潜艇的核动力反应堆并非如此，直到 21 世纪 20 年代，所谓的“拼装式建造”（stick build）成了常规方法。在本世纪最初几年，对用于制造过程的交替拼装式建造（swapping stick build）潜力的兴趣开始增加，并行制造可以减少整个项目的工期（如第 6.10.1 节所讨论的，这是核电价格对加权平均资本成本如此敏感的部分原因）。工厂条件下的制造过程还使建设过程的所有要素的质量更高且更一致，并消除建设场址上的返工。

### 6.5.1.　AP1000 与非能动安全

核电的历史以工程设计为主导，总是寻求调整和改变，没有真正尝试针对制造的设计，没有真正关注以每年百万千瓦为单位的新项目交付，而且对建造成本和进度的可靠性基本没有关注。

核工业的一个主要缺点是没有完整的产品。核工业历来一直在向电力公司出售各种部件，而由电力公司将这些部件整合到一个相对定制的工艺中 — 但韩国和中国除外，这两个国家历来都采用工业化程度更高的工艺。没有针对制造的设计，没有关注以每年百万千瓦为单位的项目交付，也很少关注成本和进度的可靠性。英国第二代反应堆 — 先进气冷堆（AGR）则完全不同，尽管它们旨在成为具有共同设计的系列化反应堆。在英国 2008 年的白皮书中，显然有人试图推动该反应堆的系列化建设，作为该“促进行动”的一部分，当时创建了通用设计评估，旨在为新的反应堆系列化做尽可能多的前期工作，并使其很难改成该系列化基础以外的路线。尽管有当时的愿景和抱负，但在撰写本文时，英国只批准了一个新的核电项目，最近的《星期日泰晤士报》将 2010 年后英国的核政策描述为已“僵化”。[13]

在英国，继镁诺克斯（Magnox）反应堆建设项目之后，后续先进气冷堆建设项目起初旨在系列化建设，并从所有相应的学习和效率中受益。在实践中，先进气冷堆对于不同的施工组都是不同的，且很少关注与已经彻底完成设计的首台机组的一致性。同样，在美国也有一个通用的压水堆设计，即西屋公司在 20 世纪 70 年代开发的标准核电机组发电厂系统（SNUPPS）设计。该设计是为四家美国电力公司开发的，并在卡拉威（Callaway）和狼溪（Wolf Creek）建设了电厂。英国的塞兹韦尔 B 电厂也是基于 SNUPPS 设计 — 但通常情况下，进行了重大的修改。

在 20 世纪 90 年代，许多反应堆供应商决定开发新设计，以推动更高的安全水平。西屋公司首先推出了 AP600 设计，该设计于 1999 年获得核管会认证，作为他们首次尝试采用更简单、更安全的现代化反应堆设计，其堆芯损坏频率比监管要求高 1000 倍左右。该设计最终升级为 AP1000，首先在中国三门建设，随后在美国南方公司的沃格特尔厂址建设。

AP1000 的单台机组具有五大类 149 个结构模块和四大类 198 个机械模块：设备模块、管道和阀门模块、商品级模块和标准服务模块。这些模块占全部建设工程量的三分之一，可以在场外和现场同时建造。把 AP1000 与

[13] https://www.thetimes.co.uk/article/were-pivoting-to-nuclear-but-are-ministers-too-late-vjrmhltb2，2021 年 10 月 17 日数据。

之前在英国塞兹韦尔 B 建设的西屋公司的机组进行比较是非常有趣的（见表 6.3）。

**表 6.3　塞兹韦尔 B 与 AP1000 建设对比**

| 机组 | 混凝土 | 钢筋 |
| --- | --- | --- |
| 塞斯韦尔 B | 52 万立方米<br>（438 立方米/兆瓦） | 6.5 万吨<br>（55 吨/兆瓦） |
| AP1000 | <10 万立方米<br>（90 立方米/兆瓦） | <1.2 万吨<br>（11 吨/兆瓦） |

作为首堆机组建设的这些电厂的历史伴随着各种问题和延误。2016 年 12 月，《华尔街日报》[14] 报道称，“三门的建设速度比西屋公司完成工程设计的速度还要快，西屋公司现在承认这一决定是个错误。有几次，西屋公司不得不拆除已经安装完的设备并返工，或者进行长时间的工程复查。”与三门核电厂的建设经验不同，沃格特尔的建设问题不断，直到西屋公司让贝克特尔公司（Bechtel）接管项目管理，这个项目才最终获救。三门项目于 2018 年 6 月 28 日投产，截至 2021 年 7 月，沃格特尔 3 号机组的建设已完成约 98%，沃格特尔 3 号和 4 号扩建项目总共完成了约 92%。[15] 现在预计，在沃格特尔建成 AP1000 所获得的经验将为更快、更可预测地建设未来的 AP1000 反应堆奠定基础，其成本与可再生电力相比在经济上应该更具吸引力。在撰写本文时，贝克特尔公司、西屋公司和南方公司（沃格特尔核电厂的业主）正在讨论在日立公司所在的威尔法（Wylfa）场址上建设 AP1000 反应堆，而日立一直在该场址开发自己的地平线（Horizon）项目，直至 2021 年 3 月 31 日才最终停止开发。如果英国政府决定推进贝克特尔/西屋/南方公司的项目建议，该建议计划将在极具挑战性的英国第六次碳预算（由气候变化委员会于 2020 年 12 月发布）公布之前提交。[16]

[14] https://www.wsj.com/articles/troubled-chinese-nuclear-project-illustrates-toshibas-challenges1483051382，2021 年 7 月 14 日数据。

[15] https://www.southerncompany.com/innovation/vogtle-3-and-4.html，2021 年 7 月 14 日数据。

[16] 英国气候变化委员会 2020。

与此同时，日本的日立和东芝设计的先进沸水堆（ABWR），采用高度模块化设计，并采用新颖的现场建设方法。据报道，其中前四台机组[17]在39至43个月内建成（无倒班作业）— 这也许在一定程度上反映了日本作为一种以强大的文化支持为后盾的高度职业化自律的建设方法。

### 6.5.2. 核产品 — 模块化电厂

百万千瓦级反应堆项目的挑战（将项目牢牢置于“主权风险”领域的资本成本规模），许多国家在时间和成本方面面临的挑战（如果不考虑技术、电力或运输），以及百万千瓦级反应堆模块化方法得出的逻辑结论是考虑更小、高度模块化的设计。

在撰写本文时，犹他州联合市政电力系统（UAMPS）的纽斯凯尔项目中的一些模块正在开发中。该项目基于12个纽斯凯尔动力模块设计，每个模块均设计为完全工厂制造，并且能够通过水路或陆路运抵现场。其他设备系统将以模块化方式进行类似处理。汽轮发电机、化学控制系统和其他模块化系统将在场外组装、撬装并运抵电厂现场。目前的成本估计为61亿美元，包括纽斯凯尔隔夜资本成本、业主成本、升级、应急、各种费用、保修和资本化利息，每个模块的设计输出功率为7.7万千瓦，潜在总功率为92.4万千瓦。

据报道，该项目目前正在按计划进行，第一个模块将于2029年建成。在2019年的一篇文章中，布莱克等[18]研究了纽斯凯尔模块的成本构成。该文指出，总的来说，“直接和间接资本成本的估计支出大幅降低，可能会导致平准化发电成本（LCOE）措施明显低于常规核电厂，并与其他能源技术更加趋同。”

继纽斯凯尔所显示的进展之后，其他人越来越多地采用小型模块化反应堆设计，吸引了对各种设计的资本投资和世界各国的重大兴趣 — 美国、

[17] 世界核协会2021a。

[18] Black等2019。

加拿大和许多欧洲国家现在对这些技术表现出极大的兴趣。《世界核能新闻》将以下设计（见表 6.4）列为非常先进并可用于近期部署。[19]

**表 6.4　一些小型模块化反应堆设计**

| 反应堆名称 | 容量 | 堆型 | 开发商 |
|---|---|---|---|
| VBER-300 | 300 兆瓦 | 压水堆 | 俄罗斯机械试验制造局（OKBM） |
| 纽斯凯尔 | 77 兆瓦 | 一体化压水堆 | 美国纽斯凯尔电力公司和福陆公司 |
| SMR-160 | 160 兆瓦 | 压水堆 | 美国霍尔台克公司和加拿大埃森-兰万灵公司 |
| SMART | 100 兆瓦 | 一体化压水堆 | 韩国原子能研究所 |
| BWRX-300 | 300 兆瓦 | 沸水堆 | 美国通用电气-日立公司 |
| PRISM | 311 兆瓦 | 钠冷快堆 | 美国通用电气-日立公司 |
| Natrium | 345 兆瓦 | 钠冷快堆 | 美国拉能源公司和通用电气-日立公司 |
| ARC-100 | 100 兆瓦 | 钠冷快堆 | 美国先进堆概念公司和通用电气-日立公司 |
| 一体化熔盐堆 | 192 兆瓦 | 熔盐堆 | 加拿大陆地能源公司 |
| Seaborg CMSR | 100 兆瓦 | 熔盐堆 | 丹麦 Seaborg 公司 |
| 赫尔墨斯原型堆 | <50 兆瓦 | 熔盐堆-Triso | 美国 Kairos 公司 |
| RITM-200M | 50 兆瓦 | 一体化压水堆 | 俄罗斯机械试验制造局 |
| BANDI-60S | 60 兆瓦 | 压水堆 | 韩国电力公司 |
| Xe-100 | 80 兆瓦 | 高温堆 | 美国 X 能源公司 |
| ACPR50S | 60 兆瓦 | 压水堆 | 中国中广核集团 |
| Moltex SSR-W | 300 兆瓦 | 熔盐堆 | 英国 Moltex 公司 |

### 6.5.2.1. 什么是最快的建设方式?

如果日本和韩国能够实现如此明显非常短的建设时间（如第 6.12.2 节所示），那么现在的问题是，整个电厂的大规模并行工厂建造能做些什么？那么从安装标准底座（例如奥雅纳为英国小型模块化反应堆提出的建议）到

[19] 世界核协会 2021b。

现场组装一台 300 MW 机组的速度有多快？为什么不能通过智能模块间的接口将模块化建设机组的组装时间降低到两年以内？

这是 2021 年核工业面临的挑战。

### 6.5.2.2. 英国小型模块化反应堆方法

由劳斯莱斯国防和航空航天公司创立的英国小型模块化反应堆联盟，凭借其在建造英国所有核潜艇反应堆方面的丰富经验，已将他们的小型模块化反应堆设计开发到预计将于 2021 年秋季进入英国通用设计评估的程度。在过去几年里，劳斯莱斯开发多年的反应堆制造模块化概念已朝着更大的、模块化电厂的愿景发展 [20]。当然，这反映了一个现实，即没有任何营运商或投资者会对反应堆本身感兴趣，而是对作为实际能源和收入流来源的整个电厂感兴趣，对可以采取措施来简化、降低风险和降低发电厂成本更感兴趣，这些都是小型模块化反应堆案例中潜在的有价值的补充。随着目前试图实现净零排放的挑战，新建核电的关键问题是在电价上限/限值范围内每年能交付几台百万千瓦级的机组。作为快速交付产品建设的小型模块化反应堆越多，它们将在低得多的资本成本上变得更具吸引力，因此仅在短期内需要政府支持。当然，为了确保小型模块化反应堆设计实际上是在系列化建设基础上实施的，并且从先进气冷堆中吸取的教训不再重演，挑战仍然存在。

在劳斯莱斯公司看来，作为重大一次性基础设施项目，当前过时的新建核电模式，不再适合快速和经济地在世界各地交付新核电厂的需求。

他们称，模块化制造方法可使电厂大约 90%的制造在工厂完成，把这些制造好的模块和其余部件通过公路或铁路一起运抵准备就绪的现场，再由劳斯莱斯公司小型模块化反应堆团队根据工程设计、制造、组装（EMA）交钥匙合同进行组装和调试。

他们的观点很明确，将核电厂作为模块化制造的产品来提供，能降低与现场建造相关的成本和风险，并提高质量，同时可以消除与为每个新建核

[20] 个人交流。

电厂新开发的、不成熟的供应链以及设计采购施工（EPC）总承包商团队相关的费用、交货期和风险。

据该项目团队介绍，劳斯莱斯公司的小型模块化反应堆从一开始就以最终用户需求为设计核心，重点放在以下几个方面：

(a) 通过设计降低每兆瓦装机容量的资本成本：

- 小实体尺寸，功率最大；
- 利用一系列商业级产品 — 用于其他应用的简化版标准化设备，避免使用“一次性”部件；
- 避免使用全球少数制造商提供的大部件和重型部件；
- 从根本上减少以建设为基础的活动：整个电厂模块化，而不仅仅是核岛；
- 模块化侧重于标准化、商品化、工厂可重复性和生产线方法；
- 避免非常大的、必须拆卸才能运输和/或需要昂贵的设施才能建造的一次性模块；
- 避免逐个对场址抗震支承进行重新设计。

(b) 通过如下措施缩短建设时间：

- 模块在工厂完成制造，并在场外进行功能测试；
- 可陆路运输的模块消除了对新交通基础设施（例如港口）的需求；
- 利用场区的工厂快速进行现场组装；
- 通过场区的工厂同时开展模块吊装和组装；
- 通过可复制的工厂化产品，实现机组间的内在知识传承。

(c) 降低风险/增加确定性：

- 降低许可证审批风险：成熟的压水堆技术和标准的铀燃料；
- 降低环境影响：减少场址占地面积，减少场址干扰和无硼设计；

- 现场的场址顶棚提供了良好受控的组装环境；
- 消除了逐个对场址抗震支承进行重新设计的需要，并简化了场址间的许可证审批。

劳斯莱斯团队认为其方法将提供：

- 18 亿英镑的资本价格，该资本价格由现有设备的定价和丰富的制造经验支撑；
- 由 90%的工厂化产品驱动的可重复成本；
- 可与间歇性可再生能源价格竞争的大规模清洁电力；
- 快速部署 — 对于系列化建设的机组，建设周期为四年；
- 无需复杂的设计采购施工合同接口 — 使用工程设计、制造和组装（EMA）交钥匙合同的风险较低的单一实体交付模式；
- 将施工期间的现场干扰降至最低（平均只有 500 人在现场，无需为大量的工作人员提供相关的办公生活设施）；
- 通过创新生产方法实现高度的可扩展性；
- 可以适应现有的基础设施（电网、交通）；
- 紧凑的占地面积增加了场址的灵活性，并最大限度地增加了潜在电厂的场址（包括替代现有的燃煤或天然气电厂）；
- 间接冷却选项提高了选址的灵活性；
- 创造长期的就业机会、可持续的工厂和供应链，避免与大型一次性基础设施项目类似的繁荣期和萧条期；
- 适应各种上网和离网应用的多用途电力和/或热输出；
- 较低的资本、风险和建设时间，使商业实体能够在标准债务和股权的基础上进行投资；
- 可重复的低成本工厂化产品，而不是大型一次性基础设施项目；
- 较低的完成风险，鉴于产品的标准化制造和可重复的工程设计、制造和组装交钥匙工厂交付。

在撰写本文时，有传言称劳斯莱斯公司已筹集到超过 2 亿英镑的私人资本，以匹配英国政府 2020 年 11 月宣布的资金 [21]。预计将在第 26 届联合国气候变化大会期间发布公告。

### 6.5.2.3. 通用电气 BWRX-300 方法

通用电气还采用了其经济简化型沸水堆（ESBWR）设计，该设计在 2014 年获得核管会的许可证 — 尽管还从未建设过 — 并开发了 30 万千瓦的沸水反应堆（BWRX-300）。通用电气与道明尼电力公司（Dominion Power）[22] 和其他公司合作开发了这一设计。通用电气目前正在与加拿大安大略电力公司（Ontario Power Generation）[23] 合作，以推进在安大略省部署小型模块化反应堆的可能选项。加拿大的小型模块化反应堆路线图 [24] 得到了很好的支持，可以说加拿大是目前对小堆热情最高的国家。政府高级官员，尤其是联邦自然资源部长西莫斯·奥雷根，将小型模块化反应堆视为实现加拿大温室气体排放目标不可或缺的工具，通过取代燃煤电厂，以及通过为采矿以及石油和天然气设施供电来实现这一目标。

与英国小型模块化反应堆设计一样，BWRX-300 对整个电厂采用模块化方法，通用电气拥有自己的汽轮机设计，这是它的优势。由于通用电气是小型模块化反应堆的鼻祖以及其中许多设备部件已获得许可证，因此有一个明确的论点，作为具有来自经济简化型沸水堆许可证的一种众所周知的设计类型，通用电气小型模块化反应堆的许可证申请过程可能会相对较快。看看这在实践中的结果将会很有趣。

BWRX-300 是在沸水反应堆 60 多年的成功运行史和经验教训的基础上开发的。BWRX-300 最显著的特色包括：

---

[21] https://www.ukri.org/news/uk-government-invests-215-million-into-small-nuclear-reactors，2021 年 7 月 14 日数据。

[22] https://nuclear.gepower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300，2021 年 7 月 14 日数据。

[23] https://www.ge.com/news/press-releases/ge-hitachi-working-ontario-power-generation-smr-technology-options -ontario，2021 年 7 月 14 日数据。

[24] https://smrroadmap.ca，2021 年 7 月 14 日数据。

- 第十代沸水堆；
- 美国核管会许可的经济简化型沸水堆的进化设计；
- 按成本设计的方法；
- 每兆瓦的资本成本显著降低；
- 先进的安全性；
- 能够负荷跟随；
- 非常适合发电和工业应用，包括制氢；
- 设计充分考虑了可施工性；
- 现场人员少且安保程度高；
- 在美国和加拿大开始许可证审批；
- 到 2028 年投运。

BWRX-300 通过技术成熟度进行优化创新。它依赖于成熟的燃料、材料和制造技术，同时结合了突破性的非能动和简化的设计理念。结果是一种具有成本效益、先进的反应堆设计，具有先进的安全性和经济性能，可以在短期内获得许可证并建设。与美国历史上的大型轻水堆项目相比，它的风险较低，并有望在全球能源市场上具有较高的竞争力。

BWRX-300 的主要简化之处在于采用了可减轻失水事故影响的反应堆压力容器隔离阀，以及无需安全泄压阀即可提供超压保护的大容量隔离冷凝器。该设计的剖面图如图 6.12 所示（经通用-日立核能公司的许可和版权转载）。

### 6.5.3. 或在造船厂建造？

同时，有一种观点认为，将小型模块化设计再上一层楼，并使用现代造船厂制造技术，可以再次对小型模块化反应堆的制造速度和质量产生重大影响。例如，研究船“大卫·爱登堡爵士号”（Sir David Attenborough）和

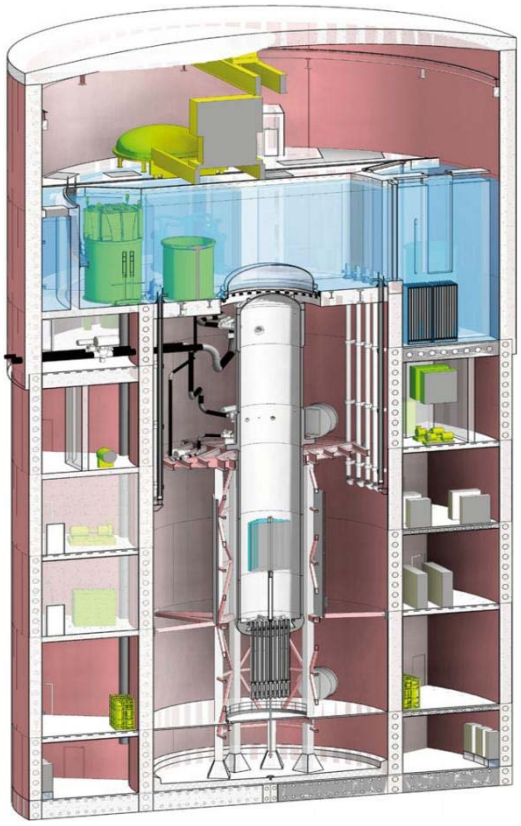


图 6.12　通用电气 BWRX-300 反应堆和安全壳设计剖面图。来源：通用电气-日立核能美洲公司

英国新的航母中模块化建造的经验提升了可实现的目标。[25] 现有越来越多的国防造船项目，例如巴布科克集团最近提出的希腊海军新战舰项目建议，就采用了基于英国成功的 31 型护卫舰的模块化建造方法。

核动力潜艇是核动力航运世界中的先驱，Mark 1 原型堆于 1953 年在爱达荷州首次启动，美国“鹦鹉螺号”（USS Nautilus）核潜艇 1952 年 6 月开始铺设龙骨，1954 年下水。俄罗斯最近的破冰船建造工作没有那么快，“北极号”（Arktika）于 2013 年 11 月开始建造，并准备在 2020 年 6 月进行核

[25] https://www.clbh.co.uk/project-news/modular-construction-expertise-put-cammell-laird-premier-league-shipbu ilding，2021 年 7 月 14 日数据。

动力海试，而最初计划是 2017 年 12 月完成建造。乌克兰危机无疑是拖期的重要原因。

另一个有趣的开发是浮动式核动力“罗蒙诺索夫院士号”（Akademik Lomonosov）驳船的建造和运行。该驳船于 2007 年 4 月开始铺设龙骨，原计划于 2010 年 5 月完成建造。但在另一家造船厂铺设第二条龙骨后，该驳船于 2010 年 6 月底下水，2013 年 10 月安装了反应堆，2018 年 4 月装载了核燃料，并于 2019 年 12 月开始为北极圈内的佩韦克市供电和供热。

我们已经做了大量工作来证明，韩国和新加坡等国的现代造船业不仅可以建造常规动力驳船，还可以建造核动力舰船和浮动式制氢厂。CorePower [26] 就是这样一个由经验丰富的航运专业人士领导的组织，他们对完全由航运和金融行业的投资者私人出资的做法建立有足够的信心。

同样，LucidCatalyst 提出的“千兆工厂”（Giga factory）概念，如图 6.13 所示，其中有一个专门为高温热源和相关设备在现场制造并安装的制造设施。制氢设施也将在现场制造、安装、调试和运行。他们采取的全部方法均建立在现代造船厂实践的基础上。

图 6.13　LucidCatalyst 提出的“千兆工厂”概念。来源：LucidCatalyst, 2020 年

[26] https://corepower.energy，2021 年 7 月 14 日数据。

LucidCatalyst 表示，“造船厂制造的主要优势在于生产效率高，这可以降低成本并加快项目速度。造船厂的生产效率位居世界前茅。人工成本仅占最终组装和交付成本的 10~15%。相比之下，在一流的常规建设中，人工成本占总成本的 35%。韩国和日本生产效率最高的造船厂多年来一直维持着每年生产效率提高 10~15%。”[27]

LucidCataly 提议的“千兆工厂”将使用多个热源（600 兆瓦）连接到一个热交换器装置，该装置将热量传递到用于热化学制氢厂的熔融盐供热管网。制造设施配套将建有铁路和港口通道，使制造厂可以发运在该电厂建成时不一定在该设施中使用的高价值设备。

LucidCatalyst 认为，“氢气千兆工厂”可以选址在炼油厂规模的棕地，例如现有大型沿海石油和天然气炼油厂，与天然气管网有大规模的连接点。这避免了将多个分散的氢气项目与主天然气管网连接的需要。将氨生产设施或其他以氢为原料的合成燃料转化厂并置也许是有利的，这些工厂受益于低成本的电力和氢。

Thorcon [28] 和 Seaborg [29] 等其他组织目前正在研究船厂制造动力驳船和制氢的可能性。

CorePower 团队目前正在研究核动力船舶的设计，如果这些设计被证明是可行的，将会给大型航运带来革命性变革，并在 2050 年消除最大的单一二氧化碳排放源之一 — 估计 [30] 到 2050 年二氧化碳排放量将占全球总排放量的 17%左右。正在设计的核动力开普级船只在两次换料之间可以以超过 30 节的巡航速度全速航行大约 250 万英里，这不仅将改变跨太平洋的贸易机会，还将避免穿越苏伊士运河。在 2021 年苏伊士运河埃弗吉恩事件造成严重物流问题之后，避免穿越苏伊士运河也可能会对亚欧贸易产生变革性影响。

---

[27] Lucid Catalyst 2020。

[28] https://thorconpower.com，2021 年 7 月 14 日数据。

[29] https://www.neimagazine.com/news/newsamerican-bureau-of-shipping-assesses-seaborgs-compact-molten- salt- reactor-8421245，2021 年 7 月 14 日数据。

[30] https://www.transportenvironment.org/discover/shipping-emissions-17-global-co2-making-it-elephant-clim ate-negotiations-room，2021 年 7 月 14 日数据。

## 6.6. 核能作为替代燃料提供者

高中理科学生非常熟悉，水通过电解产生氢气和氧气。常规电解制氢方法并不是特别经济，化学工业中使用的大多数氢气是通过甲烷蒸汽重整产生的，其中的反应最终从一个甲烷分子和两个水分子（蒸汽）产生四个氢分子和一个二氧化碳分子。目前，这一过程被广泛推广，以创造短期氢经济。现代电解采用更复杂的技术，例如聚合物电解质膜（PEM）电池，它在高电流密度下工作，并可产生大量氢气。

然而，像大多数化学反应一样，在逐渐升高的温度下，效率会提高，使用固体氧化物电池的高温电解可以在 100℃至 850℃的温度下工作。效率从 100℃时的约 41%上升到 850℃时的约 64%。

在高温下，也可以将二氧化碳和蒸汽转化为氢气/一氧化碳混合物 —— 合成气。这可以进一步反应，以产生碳氢化合物燃料和其他化学品。[31]

### 6.6.1. 氢：热化学工艺（先进模块堆/第四代）

这里存在两条路线：直接热化学催化工艺和高温蒸汽电解。两者都需要高于 500℃的温度，而在接近 1000℃的更高温度下，更强大的技术可能会发挥作用。

#### 6.6.1.1. 高温蒸汽电解

这些过程通常使用反向操作的固体氧化物燃料电池（SOFC）。[32] 固体氧化物燃料电池的开发者 Ceres Power，目前正在研究使用其电池在很可能接近 1000℃的高温下制氢。[33] 美国爱达荷州国家实验室的近期工作报告了

[31] Elder 等 2015。

[32] 固化氧化物燃料电池最初设计用于从氢和氧中发电，但可以通过高温电解蒸汽反转来生产元素；Keçebasa 等 2019。

[33] https://www.proactiveinvestors.co.uk/companies/news/941528/ceres-power-revenues-ahead-of-target-as-fue l-cell-production-scales-up-941528.html，2021 年 7 月 14 日访问数据。

现代固体氧化物燃料电池在大约 600℃的较低温度下制氢取得的进展。[34] 鉴于可能需要氢替代天然气来供热和作为运输的替代燃料，高生产效率正迅速变得重要。Lucid Catalyst 表明，高温核能最终有利于氢生产的经济性（见图 6.14）。一个结论是：与单独使用热量的催化工艺的复杂性相比，热化学工艺的相对效率避免了低效率发电。

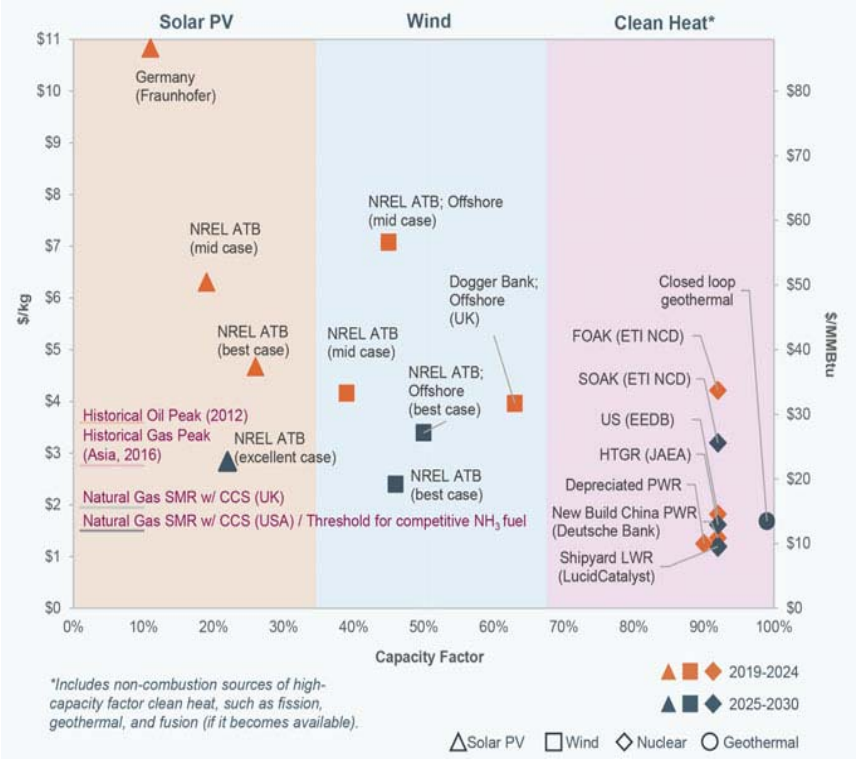



图 6.14　现在和 2030 年利用不同能源技术制氢的成本。来源：LucidCatalyst, 2020 年

在他们的分析中，LucidCatalyst 认为，从长远来看，利用船厂效率建造的轻水反应堆应该是最便宜的制氢方法。无论哪种方式，他们的工作表明，这种方法与高温气冷堆制氢非常接近，尽管中国的球床模块式高温气冷堆

[34] https://inl.gov/article/new-technology-improves-hydrogen-manufacturing，2021 年 7 月 14 日访问数据。

HTR-PM [35] 计划在 2021 年初装料 [36]，但日本的高温气冷堆可以说是最成熟的设计。

### 6.6.1.2. 热化学催化

先进反应堆设计可以提供高温热，（在许多）热化学催化工艺中可能有两个非常有趣，即铜-氯（Cu-Cl）循环和硫-碘（S-I）循环。这两种循环都在 Funk [37] 的综述中进行了描述。这两种方法的总效率约为 45~50%，因此，可与利用固体氧化物燃料电池的传统电解竞争。铜-氯循环可以很好地适应由欧洲铀浓缩公司（Urenco）设计的高温反应堆 uBattery [38] 产生的温度范围，该反应堆设计产生最高达 710℃的热量。硫-碘循环将更适合例如日本原子能研究开发机构（JAEA）的高温气冷堆的高温设计，因为此循环中的一个特定步骤需要更高的温度。日本高温气冷堆 [39]，于 1998 年首次临界，并经过多年开发，在福岛事故导致日本全面关闭所有核设施后于近期重启运行。

两种催化循环的化学反应如下所示。第一种：铜-氯循环：

| | |
|---|---|
| $2CuCl_2(s)+H_2O(g) \rightarrow CuO*CuCl_2(s)+2HCl(g)$ | T=400°C |
| $CuO*CuCl_2(s) \rightarrow 2CuCl(l)+0.5O_2$ | T=500°C |
| $4CuCl(s)+H_2O \rightarrow 2CuCl_2(aq)+2Cu$（s） | T=25－80°C |
| $CuCl2(aq) \rightarrow CuCl_2(g)$ | T=100°C |
| $2Cu(s)+2HCl(g) \rightarrow 2CuCl(l)+H_2(g)$ | T=430－475°C |

第二种：硫-碘循环：

| | |
|---|---|
| $H_2SO_4 \rightarrow SO_2+H_2O+1/2O_2$ | T=850°C |

[35] 中核集团研制的球床模块式高温气冷堆 HTR-PM 是自 2012 年开始开发的球床型反应堆，采用球形、耐事故燃料，它最初的用途是发电。

[36] https://www.neimagazine.com/news/newsfirst-fuel-shipped-to-chinas-htr-pm-project-8453226，2021 年 7 月 14 日数据。

[37] Funk 2001。

[38] https://www.u-battery.com，2021 年 7 月 14 日数据。

[39] Nishihara 等 2018（日本高温气冷堆描述）。

$I_2+SO_2+2H_2O \rightarrow H_2SO_4+2\ HI$ T=120°C

$2\ HI \rightarrow I_2+H_2$ T=450°C

总：

$H_2O \rightarrow H_2+1/2O_2$

## 6.7. 核能作为电池

### 6.7.1. Natrium

传统上，核电因其具有高容量因子的全天候基荷运行而受到赞誉。但在其他低碳电源固有的间歇性造成调度和负荷跟随重大问题时，核电的永续在线、稳定的电力方面有时会受到可再生能源（而不是真正需要低碳电力）支持者的批评。最近的一项设计可能会改变这种看法，同时，产生经济实惠的电力，特别是在以适当低的资本成本融资时。Natrium 的设计来自比尔·盖茨（核电解决零排放和气候变化问题的坚定支持者）创立的一家核技术公司 — 泰拉能源，对调度和负荷跟随问题采取了不同的方法。该设计将钠冷快堆（见第 6.9.2 节）与利用熔盐的相当大的存储容量结合在一起。它是为使汽轮机产生蒸汽而供热的熔盐存储器。当需求低时，反应堆产生的热量存储在熔盐中；当需求高时，在反应堆继续提供热量的同时使用熔盐中的热量。设计人员将这种方法称为反应堆和集成储能装置。在撰写本文时，怀俄明州的四个社区正在角逐一台落户该州的新核反应堆。下一代核电厂将取代现有的燃煤电厂。该项目的支持者清楚地表明，该设计引起了人们的浓厚兴趣。支持者包括太平洋公司（PacifiCorp）（伯克希尔哈撒韦公司（Berkshire Hathaway）的子公司，该核电厂将为其建造）、贝克特尔公司（Bechtel）、通用电气-日立核能美洲公司（GE Hitachi Nuclear Energy Americas）、西北能源公司（Energy Northwest）、杜克能源卡来罗纳公司（Duke Energy Carolinas），以及几个美国国家实验室（阿贡、爱达荷、洛斯阿拉莫斯、橡树岭和太平洋西北国家实验室）。图 6.15 中的单机组厂址布置图显示了设计的各个方面（此处经泰拉能源公司的许可复制）。

图 6.16 以图解方式显示了提高和降低电力输出功率的能力。

图 6.15　Natrium 单机组厂址布置图。来源：泰拉能源公司

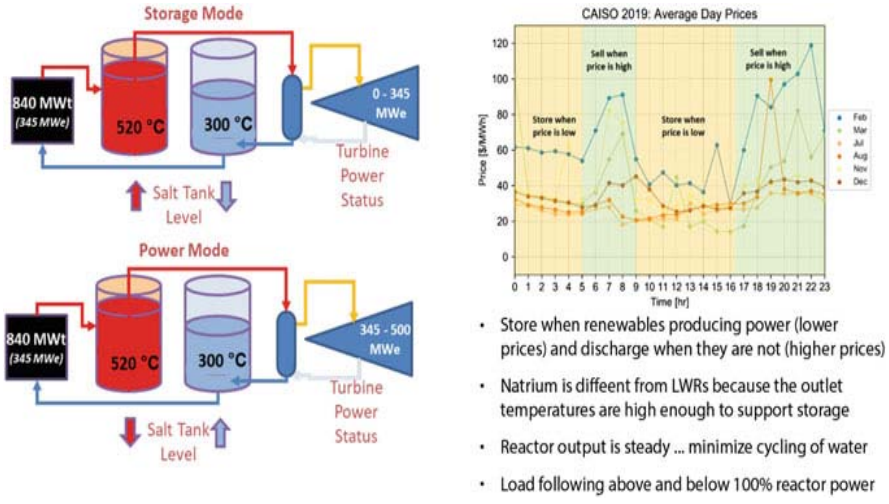



图 6.16　Natrium 灵活功率输出示意图。储能使核能摆脱了单纯的基荷作用，使可再生能源利用率更高。来源：泰拉能源公司

显然，如果不考虑一个国家的风险承受能力的规模，Natrium 方法为需要核能和间歇性可再生能源有效共存的世界提供了一种潜在的强有力的解

决方案。用无限的电池解决间歇性问题，用个不太恰当的比喻就好比“杀鸡用牛刀”。在可以使用 Natrium 等技术之前，任何合理的系统设计都不太可能偏爱电池解决方案，除非完全不可避免。显然，随着氢气的生产，人们将渴望拥有巨大的存储容量，除非氢气能在一两天内完全满足需求。蒸汽重整甲烷的过渡技术显然会有所帮助，但通过将 Natrium 等技术与可再生能源相结合，具有内在可控性和可预测性的一次能源系统很可能成为成本最低的解决方案。怀俄明州的开发值得非常仔细地观察，这不仅是因为巧妙的技术，而且还有比尔·盖茨和精心挑选的专业团队的强大支持。

## 6.8. 作为工业脱碳剂的核能

### 6.8.1. 小型模块化反应堆和工艺热

在工业脱碳方面，波兰的私营企业正在树立榜样。在那里，三位亿万富翁正在共同努力建设核反应堆，为他们的工艺流程提供工艺热和电力。塞巴斯蒂安·库尔奇科的 Ciech 公司与麦克·索沃沃的 Synthos 公司签署了意向书。最近，齐格蒙特·索罗茨-扎克也与索沃沃联手。Ciech 与 Synthos 公司正在合作开发小型模块化反应堆和微堆。对波兰经济具有重要意义的能源密集型企业代表 Ciech 公司与 Synthos 绿色能源公司（Synthos Green Energy）的合作可能会加速波兰国内工业的脱碳进程，同时也会提高其在全球市场的地位。在以 BWRX-300 反应堆实施小型模块化反应堆技术方面，Synthos 已成为通用电气-日立核能美洲公司的战略和独家合作伙伴。实际上还有很多，在撰写本文时，有大量的项目正在讨论中。

### 6.8.2. 先进模块堆和离网使用（采矿、其他远程工业应用）

这方面最好的例子来自加拿大，那里的远程能源需求是一个重大挑战。有许多地方的能源是由柴油发电提供的，最坏的情况下，柴油是空运进来的。联邦和省政府为建立对加拿大核能前景的信任和信心，采取了令人印象深刻的政策，这不仅包括以令人印象深刻和创造性方式开发国家实验室，而且还包括由安大略电力集团（Ontario Power Group）推动目前正在自上而下

对三种小型模块化反应堆（通用电气的 BWRX300、陆地能源公司的 IMSR 和 X-Energy 反应堆）进行选择。

但对于离网使用，诸如 uBattery 之类的反应堆对于社区利用或作为工业/采矿电力最为理想。加拿大政府已经制定了许多明确的政策文件，并且将继续执行这些文件。加拿大核协会的 2018 年路线图 [40] 是一个明确的参考点，并得到政府的大力支持。此后，联邦政府于 2020 年 12 月启动了一项行动计划 [41]，并且势头仍在继续。

### 6.8.3. 先进模块堆和海运脱碳

如其他地方所述（参见第 6.2 节和第 6.11 节），人们对氨作为航运燃料越来越感兴趣。然而，这将对所有港口的主要基础设施提出更高要求，因为它们要处理比传统船用燃料更恶劣和风险更高的物质。一群斯堪的纳维亚航运专家创建了一个名为 Core Power [42] 的组织，并在伦敦和新加坡开展业务，他们正在与泰拉能源等合作设计核动力船舶。核动力与常规动力大型集装箱船之间的根本区别之一是其燃料消耗在很大程度上无关紧要（相比之下），因为核动力船舶的燃料可以使用 15 至 20 年。考虑到核能提供的巨大动力，大型集装箱船也可设计成以 30 节以上的速度巡航。如果证明这是可行的，它将改变散装航运 — 跨太平洋贸易将变得大不相同和更加实际，苏伊士运河的必要性将减弱，因为以 30 节的速度在南部非洲航行将完全在客户预计的时间范围内。

这方面的发展很有意思，在很大程度上是可预见的。

---

[40] https://smrroadmap.ca，2021 年 7 月 14 日数据。

[41] https://www.nrcan.gc.ca/our-natural-resources/energy-sources-distribution/nuclear-energy-uranium/canada s- small-nuclear-reactor-action-plan/21183，2021 年 7 月 14 日数据。

[42] https://corepower.energy，2021 年 7 月 14 日数据。

## 6.9. 燃烧我们的遗留物：消耗废物的新反应堆设计

### 6.9.1. 闭式燃料循环

由于核废物问题，核电行业一直是公众心目中的阿喀琉斯之踵。当对核能展开公开讨论时，核废物问题几乎总是位列第一或第二，并广受非议。芬兰［安克罗（Onkalo）地下核废物处置库 —2021 年 5 月开工建设］、美国［尤卡山废物处置库和位新墨西哥州废物隔离中试厂的废物处置场］和英国在深层地质处置方面做了大量工作。英国放射性废物管理机构的工作继承了核废物管理公司（NIREX）数十年的成果。在英国，多个地区都在争取建设深层地质处置设施的机会，其中阿勒代尔（Allerdale）和科普兰（Copeland）（都在塞拉菲尔德附近）两个场址正在讨论中。有人建议，其他地区也可能会在适当的时候站出来。

这个话题非常敏感。在英国 2008 年的白皮书中，各种政策都是基于一次通过式燃料循环（即不进行后处理）的假设，并要求在允许任何核项目建设之前，国务大臣必须满足“政府需要确信存在或将存在有效的安排来管理和处置它们将产生的废物”。

但深层地质处置并不是唯一的选择。中国和俄罗斯一直对“闭式燃料循环”感兴趣。当铀在常规反应堆中燃烧时，仅消耗掉少量的铀（$^{235}U$）。大部分铀（通常为 97%）仍未燃烧。但是，任何原子序数高于 56（铁）的元素理论上都可以通过裂变反应释放能量。广义上讲，原子序数越高，每个原子的裂变释放的能量就越大。这背后的物理学可以在许多教科书中找到，关键概念是“每种核子的结合能”（见图 6.17）— 即在原子核中将每个质子和中子结合在一起的能量有多少。

原则上，每一个铀原子都可以通过适当的技术分裂以释放能量。传统核反应堆的设计目的是使用慢中子进行链式裂变反应 — 每座反应堆中慢化剂的功能是减缓核链式反应中发射的中子，以便在中子围绕反应堆堆芯移动时，它们有更多时间与另外一个铀原子发生反应。这些慢中子通常被称为“热中子”，因为它们的速度与正常运行温度下的分子所预期的速度相同，而当中子从裂变过程中发射时，其初始速度非常接近光速。这可以在核反应堆贮存乏燃料并发出蓝光的燃料池中观察到。这被称为切伦科夫辐射，当 β

粒子（电子）从铀燃料中的（近乎）光速减慢到水中的（较低）速度时，就会产生这种辐射。[43]

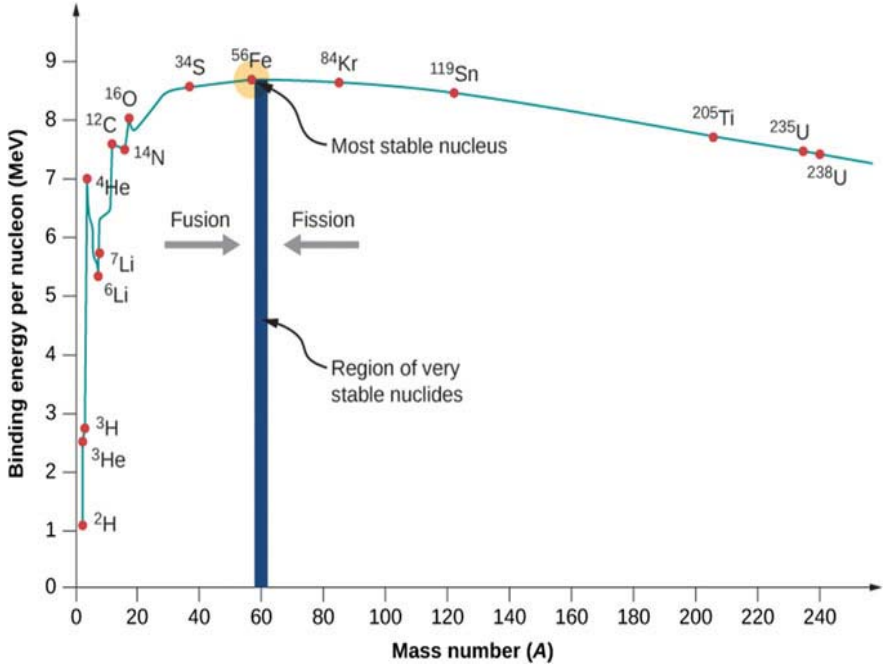



图 6.17　每个核子的结合能。来源：Ling 等，2016 年

### 6.9.2. 快中子反应堆

可以设计一种不同类型的反应堆，它将直接利用快中子而无需减慢它们的速度。这种反应堆被称之为快堆，自核电出现之初就为人所知 —EBR-1 及后续的 EBR-2 反应堆，分别于 1951 年 12 月和 1964 年 7 月首次投运。简而言之，快堆可以被认为是中子非常猛烈地撞击铀原子并迫使铀原子分裂以释放能量。在此基础上，如果铀燃料要长时间运行（60 年通常被视为必要的时间尺度），那么仅有小得多（即原子序数更低）的元素才会被留下。一般来说，中等原子序数元素的放射性半衰期比在轻水堆和其他热中子反应堆中铀原子衰变时产生的高原子序数元素的半衰期短得多。

[43] https://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Cherenkov_Effect.htm，2021 年 7 月 14 日数据。

因此，闭式燃料循环 [44] 的概念是从铀矿石开始，到浓缩（或不浓缩），再到在一系列反应堆中进行处理 — 慢和快 — 并导致尽可能长时间地发生裂变。然后取出半衰期相对较短的废物，尽可能安全地贮存数百年，然后将剩余的放射性水平较低的废物送回最初开采铀的矿场。中国、印度和俄罗斯联邦 [45] 已对这些工艺开展了研究，法国和英国也如此。在 20 世纪 70 年代，英国中央电力局（CEGB）内部有一个明确的观点，即闭式燃料循环在英国可以很好地开展，因为在后处理（燃料回收过程必不可少的部分）方面的经验和在敦雷钠冷快堆上开展的工作是朝这个方向努力的早期工作的一部分。在敦雷建设了两座快堆。第一座是敦雷快堆（DFR），电功率为 1.5 万千瓦，于 1960 年开始运行，并于 1962 年成为第一个向国家电网供电的快堆发电厂。敦雷快堆于 1977 年关闭。1975 年，第二座快堆，即原型快堆（PFR）并网。该堆电功率为 25 万千瓦。它于 1994 年关闭。就像中央电力局对未来的前瞻性思考一样，一旦国家对未来能源发展的支持变得不合时宜，并完全下放给“市场”，英国在核技术的许多方面就失去了对其他国家的领导地位。

在许多国家，闭式燃料循环的工作仍在继续，“乏”燃料在核工业中通常被称为“用过的”燃料。

## 6.10. 核能作为低成本一次能源

### 6.10.1. 资本成本的强大影响

核电有一个重大优势，即 21 世纪建设的反应堆的运行寿期通常以 60 年作为初始设计寿命，但其设计本身极有可能再延长 20 年，甚至 40 年的寿期。如果考虑到合理的、低成本的资本成本，即使在考虑间歇性系统成本之前，核电也能与可再生能源竞争。如剑桥大学大卫・纽伯里（David Newbery）的工作所示 [46]，法电能源公司（EdF Energy）目前对塞兹韦尔 C 项目电价的预测，以及更广泛的核电成本，清楚地证明了这一点，如图 6.18

[44] 原子能机构 2011。

[45] https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Russia-proposes-new-closed-fuel-cycle，2021 年 7 月 14 日数据。

[46] Newbery 2020。

所示（原作者许可，特此转载）。纽伯里的结论是：“在使用核工业委员会（NIC）（2020b）的数据时，在广泛的加权平均资本成本范围内，核能的成本预计在未来 30 年内不会下降，但它仍比可再生能源便宜（包括间歇性成本），即使采用塞兹韦尔 C 的成本假设，在加权平均资本成本低于 4%时还会更便宜。”在撰写本文时，核工业中有许多人会与纽伯里对核的未来成本持不同的看法，并且在英国核工业委员会正在最终敲定的《核能 2050》[47] 报告中，核工业已经表明，通过持续的新建和迭代学习，成本将降低至少 30%。这已在风能和太阳能的系列化部署中得到了证明，据说在中国的系列化核电部署中也是如此。

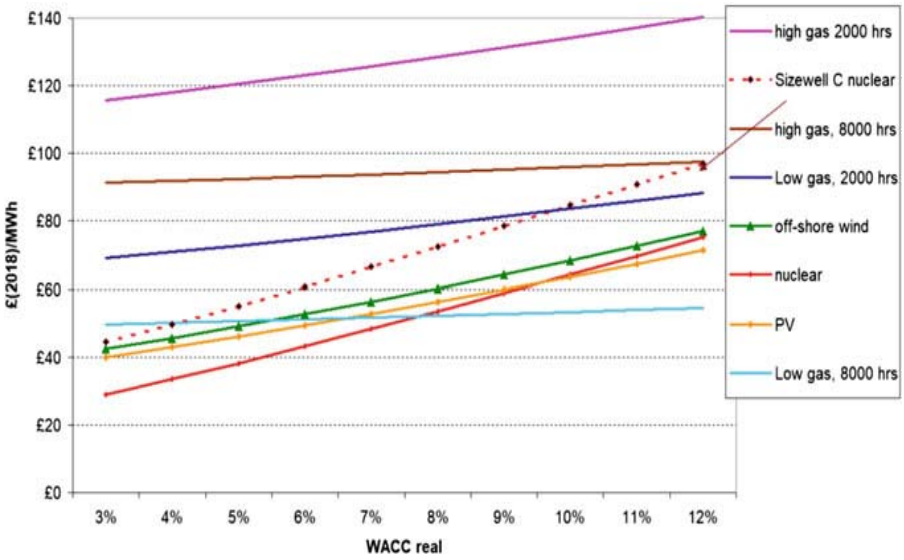



图 6.18　电价对加权平均资本成本的敏感度。每小时运行的平均成本（英镑/兆瓦小时）。注：低和高天然气成本包括从 FES 2020 起的低和高二氧化碳价格预测。来源：纽伯里，2020 年

然而，人们对加权平均资本成本对不同形式一次能源生产的电价影响认知甚少。对于英国一个百万千瓦规模的项目，电厂的资本成本每变化 10 亿英镑，其近似敏感度变化约为 8 英镑/兆瓦小时。然而，资本成本每变化一个*百分点*，这个数字就会发生约 13 英镑/兆瓦小时的变化。将项目融资电

[47] 在撰写本文时，报告正在编制中，可到如下网址访问：https://www.niauk.org（即将发布）。

厂的资本成本从 9%的加权平均资本成本降低至 8%的加权平均资本成本，每兆瓦时的电价可降低约 13 英镑。根据《碳简报》（Carbon Brief）[48] 的数据，加权平均资本成本每变化一个百分点，风能的变化数值约为 2.50 英镑/兆瓦小时。在考虑经济模型时，当对加权平均资本成本模型做出标准假设时（正如许多模型所做的那样），必须清醒地认识到加权平均资本成本的敏感度变化。

值得考虑资本成本差异的道德后果。首先，加权平均资本成本的定义是指一个项目或企业的混合融资成本，考虑到它所使用的所有资本来源，并对其进行调整 — 特别是债务利息可以抵税。有关更多详细信息，请参阅企业金融研究所的资源 [49]。加权平均资本成本的简单公式为：

$$WACC = \left(\frac{E}{V}\right)R_e + \left(\frac{D}{V}\right)R_d(1 - T)$$

其中：

E=公司股本的市场价值（市值）[50]

D=公司债务的市场价值

V=资本总价值（股本加债务）

E/V=资本占股本的百分比

D/V=资本占债务的百分比

$R_e$=股本成本（要求的回报率）[51]

$R_d$=债务成本（现有债务的到期收益率）

T=税率

---

[48] https://www.carbonbrief.org/wind-and-solar-are-30-50-cheaper-than-thought-admits-uk-government，2021 年 7 月 14 日数据。

[49] 参见示例 https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finanance/what-is-wacc-formula，2021 年 7 月 14 日数据。

[50] https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/what-is-market-capitalization，2021 年 7 月 14 日数据。

[51] https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/trading-investing/required-rate-ofreturn，2021 年 7 月 14 日数据。

### 6.10.2. 融资不应该比实体更难

众所周知，在任何国家，最低的资本成本来自政府的简单借贷。部分归因为在政府融资中并没有真正承认“股权”— 对于传统的政府资助项目，如果出现重大成本超支，没有股权可以消逝，只有政府债务似乎会受到影响。在实践中，该项目不会受到任何处罚，实际上，任何损失都是通过削减其他政府开支或增加预算（增税）来弥补的。

#### 6.10.2.1. 项目融资 — 各种限制

在用于传统项目的融资方法中，使用了股权和债务的混合。债务和股权的成本取决于项目的感知风险，但这两者的成本都大大高于政府借款。直到 21 世纪 20 年代，以加权平均资本成本融资的项目以较高的个位数百分比（略低于 10%）上升到两位数，这也不足为奇 — 一些早期的可再生项目吸引了超过 30%的股本回报率，而加权平均资本成本吸引了接近 20%的股本回报率。[52]

在世界各地的许多 PFI/PPP（民间主动融资/公私伙伴关系）项目中，都使用了私人资本，并且在良好的 PFI/PPP 交易中，与使用更便宜的政府债务相比，需要权衡使用更昂贵的私人资本。在考虑项目的全生命周期成本时，这种权衡是显而易见的。对于某些类型的项目、道路、医院、某些类型的国防合同，人们认为公共部门内的乐观偏见和不良项目管理的倾向会导致高于必要的全生命周期成本。在 PFI/PPP 交易中，全生命周期成本是在较高的资本成本与私营部门更有效地设计、管理和运营项目的能力之间进行权衡，从而降低整个生命周期成本。这种权衡来自于私人业主和运营商承担了项目的许多风险，而这些风险又比公共部门能够或将会更好地管理；传统的信条是*风险被分配给最有能力管理和控制每项风险的一方*。在某些情况下，这种方法无疑是行之有效的，但在现实中，很大程度上取决于商业安排的设计质量，以及与以往一样，创造交易和运营交易的人的内在智慧。

然而，在资本成本为 130 亿至 200 亿英镑之间的大型核电项目中，至少对于早期交付的项目来说，这种权衡是不可能的。在这种规模的项目中，

[52] 在早期可再生能源项目中的一位主要投资者的经理给作者的私信。

潜在风险的规模如此之大，以至于任何理性的公司都不会接受。日立公司在2012 年从德国意昂公司（E.ON）和莱茵集团（RWE）购买地平线公司（Horizon）的核电项目，据报道为此支付了近 8 亿英镑，这非常痛苦地证明了这一点。2019 年，尽管英国和日本政府都密切参与，但为该项目集资的长期努力最后以失败告终，日立从该项目的股权中注销了 27.5 亿美元。通常情况下，一家报告如此大规模股权注销的公司管理层，通常还有董事会，会被不光彩地解雇。但由于日媒泄露了此消息，日立的股价上涨。[53] 在与笔者的私下交流中，有人暗示，日立宣布停止该项目的进一步工作后，实际股价的回升实际上为日立创造了比股权注销的价值更大的价值，这是投资者对项目未来的深切担忧。

现实情况是，对于高铁、大型地下隧道和大型能源工程（无论是一次能源的创造，还是输配电系统的大规模改造）等国家重大项目，“政府自身的失败”是无法逃避的事实。早期的同类首堆百万千瓦级核电项目（甚至可能是小型模块化反应堆项目）最终是主权风险。没有一家私人公司会再以传统的项目融资为基础在英国承接核电项目的首堆这一事实简单地证明了这一点。PLC（Public Limited Company）中的 L 包含某些逻辑，公司可以承担的风险受到其股本资本的限制。

因此，在传统项目融资中没有权衡更高的资本成本，再加上如图 6.18 中所示的电价对资本成本的高度敏感性，显然，核电（无论项目规模如何）都应该由尽可能低的资本成本来融资。不这样做只会对一个国家经济的能源成本产生人为征税，在这种情况下，“税收”的收益（不必要的高利率或股本回报）不会流向国家财政，而是流向那些很可能不是在项目所在国注册的投资者。

### 6.10.2.2. 受监管资产基础融资

2021 年，英国的重点是利用受监管资产基础（RAB）融资模式为新核电项目及潜在的其他能源项目融资。继 2020 年 12 月发布的《英国能源白

[53] https://www.reuters.com/article/us-hitachi-nuclear/hitachi-shares-rise-after-report-it-is-considering-scrapping- britain-nuclear-project-idUKKBN1O90KI，2021 年 7 月 14 日数据。

皮书》[54] 中的早期磋商 [55] 之后，现在人们认识到，自英国早期私有化以来使用的融资形式可以适用于大型新能源项目。为了解差异，2019 年 9 月发布的《英国监管机构网络》出版物 [56] 具有指导意义，里面显示了加权平均资本成本在受监管的能源、电信和水务领域的情况。在 2020 年向竞争和市场管理局提出上诉后，水公司的加权平均资本成本最终确定，在常规 RPI（零售价格指数）基础上约为 2.3%的实际值，或在 CPI（消费物价指数）基础上约为 3.3%的实际值。正如纽伯瑞所表明的那样，如果核能在 4~4.5%的区域内取得成果，对核电价格的影响将非常显著。

鉴于需要实现净零排放意味着大多数国家几乎所有的一次能源生产都将被替代，新能源项目融资方式的结果将最终推动国家的能源竞争力，并由此推动国家经济竞争力。21 世纪最初几十年对未来能源系统及其融资做出的决策将决定 21 世纪 50 年代及以后的国家经济竞争力，在国家层面上将有实质性的赢家和输家。在撰写本文时，似乎很少有国家完全了解其能源政策的长期遗留性质，更不用说第 6.11.6 节中提到的实际挑战了。

## 6.11. 能源市场

### 6.11.1. 低碳时代的市场

全球电力市场的许多逻辑和结构都来自于基本完整的电力系统私有化和创造它们的垄断国家结构被打破的时代。稍后，我们将就这方面内容进行一些实质探讨，但首先要介绍一下背景知识，考虑一下：在电力市场中，几乎所有的低碳电力来源都源自边际成本为零或几乎为零的来源。风能、太阳能、核能和水电都具有这一共同属性。如果世界上任何时候都将氢作为燃气轮机的燃料，那么这种情况有可能会被打破。

但边际成本接近于零的市场显然很奇怪，在任何其他实际运行的世界市场都难以想象。

---

54 商业、能源和产业战略部国务大臣，2020。

55 商业、能源和产业战略部，2020a。

56 英国监管机构网络（UKRN）2019。

就目前而言，重要的是退后一步，考虑当前高度复杂的市场模型和机制是否适合整个系统正在重建的低碳电力世界。当然，如果压力足够大，现有市场就会被迫应对这样的一个世界。

但现在是时候让明智的人们从一开始就思考低碳世界中的电力市场了。随着这种变化的速度和规模，以及在第 6.11.6 节中提及的明显的实际约束，重新审视市场是为了什么，社会希望市场提供什么以及如何最好地提供，我们需要对此进行全面的评估。继续当前的市场模式，无休止地将它们扭曲成新的和奇特的形状，恰恰符合“仅仅因为你能，而不意味着你应该”这句话。

### 6.11.2. 市场何时运作良好？

有两种情况可以考虑市场是否适用。首先，市场对国家重大基础设施或大型基础设施系统建设的适用性。在民间主动融资和公私伙伴关系的背景下，这是一个公认的问题。表 6.5 列出了有效市场的条件以及每个条件是否适用于建设具有国家意义的基础设施或大规模基础设施系统。从这一分析中可以清楚地看出，对于这样的项目和企业，简单的市场做不到也不能很好地发挥作用。

**表 6.5　市场属性 — 它们是否适用于基础设施建设？**

| 条件 | 是否适用于基础设施建设 |
|---|---|
| 大量买家和卖家⇒大量有意愿和能力以一定价格购买产品的消费者，以及大量有意愿和能力以一定价格供应产品的生产商 | × |
| 信息完善⇒所有消费者和生产商都知道每个人从拥有每种产品中可以获得的所有产品和效用的价格 | × |
| 同质产品⇒产品是彼此的完美替代品（即市场商品或服务的质量和特性在不同的供应商之间不会有所不同） | × |
| 明确界定的产权⇒决定了什么可以出售，以及赋予买方什么权利 | √ |
| 进或出无障碍 | × |
| 每个参与者都是价格接受者⇒参与者没有制定价格的市场权利 | × |
| 完善的要素流动性⇒从长期来看，生产要素是完全流动的，允许根据不断变化的市场条件进行自由长期调整 | ？？ |

| 条件 | 是否适用于基础设施建设 |
| --- | --- |
| 卖家利润最大化⇒企业在产生最大利润的地方销售，在那里边际成本与边际收入相符 | √？？ |
| 理性买家⇒买家进行的所有交易，均增加其经济效用，而非不增加其经济效用 | × |
| 无外部效应⇒某项的成本或收益不影响第三方。这些准则也排除了任何政府干预 | ×× |
| 零交易成本⇒买家和卖家在完全竞争的市场中进行商品交换时不会产生成本 | ××× |
| 规模收益不增加且无网络效应⇒缺乏规模经济或网络效应可确保行业内始终存在足够多的公司 | × |

但市场标准运作模式的另一个背景是能源定价，这里情况有点复杂。围绕能源市场的大部分创新出现在英国私有化之后，当时经济理论成了被强劲的效率驱动的仆人。哈里斯的《电力市场 — 定价、结构和经济学》这本书是研究全球电力市场的宝贵资源”。[57] 该书第 4 章介绍了电力市场自由化的历史。与其在此重复历史，不如说这个故事很长、很复杂，且结构缜密。英国对能源采用市场化方法的大部分起源可以追溯到当时的能源部长奈杰尔·劳森。劳森在 1982 年的英国能源经济协会（BIEE）会议上称：“我不认为政府的任务是尝试和规划能源生产和消费的未来形态。其主要任务甚至不是试图平衡英国能源的供需关系。相反，我们的任务是建立一个框架，确保市场在能源领域以最小的失真状态运行，并有效地生产和消费能源。”[58]

显而易见的是，在实行自由化的近乎实验性的方式中出现了一些重大问题，导致 21 世纪和目前在世界不同地区运作的能源系统出现了一些无益的持久性问题。这些问题的一些例子包括：

[57] Harris 2006。

[58] 这随后在英国议会有关电力价格，电力改革和市场内容的报告中被引用：https://publications.parliament.uk/pa/ld201617/ldselect/ldeconaf/113/11305.htm，2021 年 7 月 14 日数据。

- 英国的监管体系专注于在五年内降低消费者的成本，而整个体系的设计却会影响几代人；
- 这一监管体系限制了能源系统自身的运作，降低了系统的容量裕度，导致如何平衡监管体系的作用成了一个主要的交易机会；
- 2021 年 2 月得克萨斯州独立电网[59]的主要市场价格波动的问题是由于极端天气造成。根据得克萨斯州电力可靠性委员会（ERCOT）的数据[60]，在周一上午晚些时候，该委员会运营的电网实时市场批发价超过 9000 美元/兆瓦小时，而暴风雨前的价格低于 50 美元/兆瓦小时；
- 澳大利亚的电力市场：许多个别问题使情况变得更复杂。其电力系统设计缺陷的一个很好的例子是将大量屋顶太阳能引入系统后，其中配电费用仅基于千瓦时的使用量，而不是购买用户所需的最终容量；随着使用量的下降，在定价机制没有显著变化的情况下，澳大利亚的超长电缆变得不经济；西姆豪瑟（Simshauser）[61]指出，“由于缺乏应对气候变化、天然气和电厂退出运行的相关政策，最近由此产生的后果是对政治承受力的一种考验。”
- 英国和澳大利亚市场的负定价日益成为间歇性发电增长的结果，如图 6.19 所示。2019 年 12 月初，阿提亚风暴以约 70 英里/小时的风速袭击了英国。由此导致电价升至 88 英镑/兆瓦小时，一位可再生能源评论员将其描述为“很棒的提前圣诞礼物”（见图 6.20）。

[59] 得克萨斯州、夏威夷州和阿拉斯加州拥有独立网路。

[60] https://www.reuters.com/article/us-electricity-texas-prices-idUSKBN2AF19A，2021 年 7 月 14 日数据。

[61] Simshauser 2019。

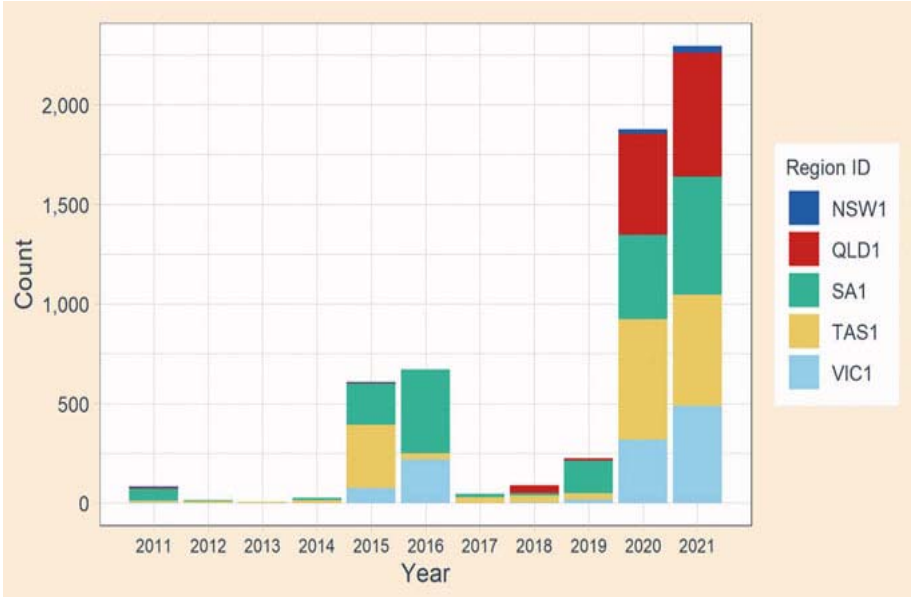



图 6.19　澳大利亚国家电力市场 2011－2021 年 5 月的零或负 5 分钟调度价格。来源：Grant Chalmers

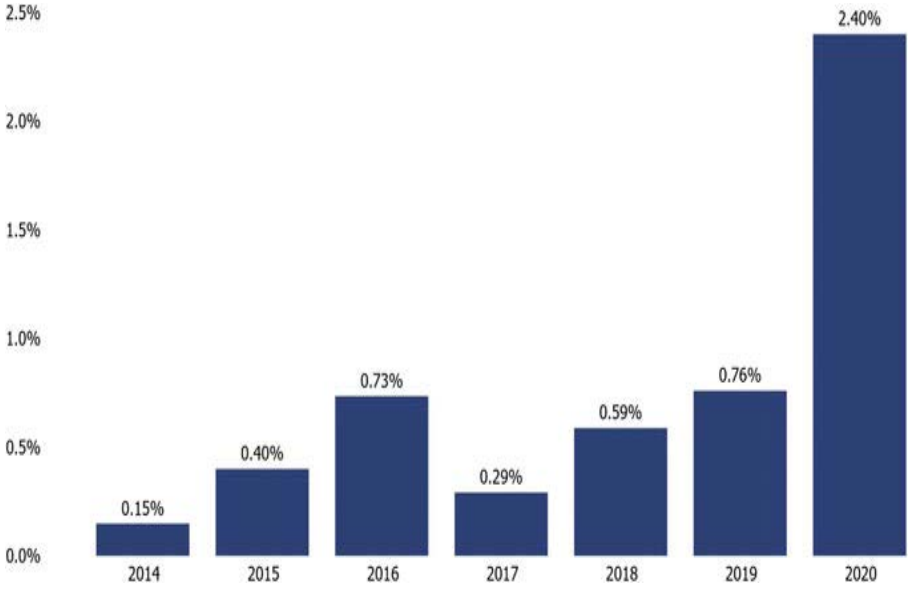



图 6.20　2014 年以来英国系统价格为负的结算期百分比。注：低天然气成本和高天然气成本包括 FES 2020 年并非全年的低 $CO_2$ 和高 $CO_2$ 价格预测 — 包括 2010 年 1 月 1 日至 2020 年 5 月 31 日。来源：艾克斯龙电力公司（Elexon），见 https://www.Elexon.co.uk/article/Elexon-insight-negative-system-prices-during-covid-19（2021 年 7 月 14 日数据）

这些看起来越来越不稳定的能源系统的扭曲因素的例子，来自本世纪20年代初期的英国电力改革。这些改革引入了差价合约（CfD），通过提供相对于前一天市场价格的保证价格，来保护可再生能源发电免受批发市场价格波动的影响。这是可再生能源部门继续快速发展，并使间歇性能源固有的且不可避免的不断上升的成本社会化激励措施的一部分，以便更广泛的市场为这些成本买单。根据差价合约制度，仅在发电商将其产出的电力出售给日前市场时，才能获得付款，这当然会成为理性和标准的行为。在实践中，如果当天发电机的发电量超过了合同约定的产量（如果天气比预报的风力大，风力发电场的发电量可能会超过预期），那么发电机将受到不平衡成本的影响。从平衡成本来看，没有抑制过度生产的动机，因为如果系统运营商要求发电机减少产量，它将获得的款项将削减 — 发电机实际上是通过向电力市场添加意想不到的问题来获得回报的。这造成了严重的市场扭曲，零边际成本生产来源的增加将压低批发电力价格，降低不可再生能源发电和零边际成本发电的收益，而这些发电项目要么是在没有补贴的情况下建设的，要么是通过其他补贴计划建设的。

随着系统平衡问题和机会不断增加，一个工程小组从系统层面对该问题进行了描述：“需求侧响应的反面是供给侧失败”。[62]

### 6.11.3. 市场的目的是什么？

从历史上看，市场一直是支持达尔文式能源生产进化方法的强大机制。它们很好地向潜在投资者提供了关于哪些技术变得更有效（比如产生更大或更稳定的财务回报）的信号。这使得燃气轮机发电得以发展，例如，发电机组的成本和能源价格的相对可预测性在正常商业组织的风险偏好范围内。

在根本上，从技术角度讲，市场机制对任何时候相对缓慢和小幅度的变化都有很好的反应。然而，监管体系的中断，例如英国引入新电力交易安排（NETA），导致了一些严重的财务失败，例如：

---

[62] 由预测物联网创造力“仪表背后”的文章引发的私人交流可以解决可再生能源密集型电网中的许多间歇性问题。

- 英国能源公司（British Energy）破产；
- 淘汰“过剩”产能，导致电力系统的自身运行严重受损；
- 2002 年 10 月，曾被该市视为典范的德国 Power Gen 集团于 2002 年 10 月宣布，它已关闭了其四分之一的发电装机容量，并直截了当地告诉部长们，整个行业已经“破产”；
- 美国 TXU 欧洲分公司（TXU Europe）在英国拥有超过 500 万客户，濒临破产，但其陷入困境的美国母公司拒绝出资 4.5 亿英镑，以帮助其履行与其他生产商的长期合同，并将其挂牌出售。TXU 表示，已决定采取“断然行动”来保护其在美国的财务状况和信用评级。其股价于 2002 年 10 月上旬在华尔街大幅下跌。随后在早盘交易中又下跌 39%至 11.50 美元。一位发言人说，“只有两种选择：保护 TXU 欧洲分公司或 TXU 母公司，做出这个选择并不难。”但不可避免的市场反应从长远来看是否适合英国公民，则是另一回事。

考虑到在短短 30 年内替代大多数国家几乎所有的一次能源所需的改变的速度和规模，有关能源市场的整个章节（第 6.11 节）清楚地表明了重新设计整个能源市场所面临的挑战的规模。私有化后英国电力市场的复杂性无法重现，因为市场解决方案无法及时提供必要的一次能源生产。在撰写本文时，人们对此的信任和信心太少了，甚至连白日梦都没有。

### 6.11.4. 如达尔文进化论的市场

在完成本节之前，有必要将市场视为一个达尔文进化过程。[63] 要使市场取得成功，该过程本质上是一种“生成和测试”方法，以逐步找到更好的问题解决方案。从生物学上讲，这是通过基因突变自然发生的，每个细胞分裂和每个生殖周期都可能发生这种突变。在工业上亦是如此，生产线上可能发生小的产品调整。

[63] 作为一个例子，见 Rajagopal，2015。

考虑进化的另一种方法是在多维曲面（如图 6.21 中的简单曲面）中找到最小值的一种方法。

系统设计的现实世界解决方案将不得不处理具有许多局部最小值的更复杂的多维曲面，即使存在全局最小值，在曲面周围移动以寻找真正最优化最小值的过程也需要多次迭代。

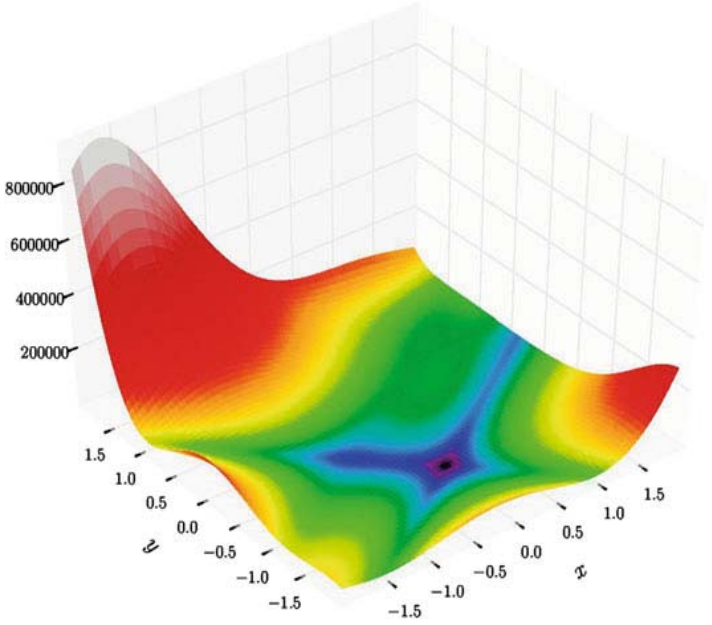



图 6.21　简单的优化曲面。来源：Gaortizg，2012 年

该过程必须创建要测试的示例和能够快速排除故障的测试过程。同样，从生物学上讲，这使得流感和普通感冒等病毒能够持续进化，需要迅速适应任何潜在的治疗方案。对于像能源系统这样庞大的系统来说，输电或配电系统等单一的要素需要多年才能建成，市场驱动的进化是行不通的。就能源系统的各种裕量而言，系统设计的实际运行可以在其不可避免地所处的局部最小值内进行微调。但是，如果没有一个非常、非常准确的系统设计指南，该指南可以为对一个经过深思熟虑的计划进行细微改进指明一条道路，任何一个好的（更不用说完美的）能源系统的进化方法都将失败。

### 6.11.5. 系统方法的一个实例

系统模型的最早尝试之一是在已故的大卫·麦凯（David MacKay）爵士设计的最初的“英国能源与气候变化部 2050”路径计算器[64]中，他当时是英国能源与气候变化部的首席科学顾问，并且可以说是关于低碳能源的最佳书籍《可持续能源 — 没有热空气》的作者。[65] 该计算器是第一个使决策者能够全面审查政策构想的潜在影响的工具，并产生了一些令人非常惊讶的结果。该模型中的示例值得研究，以了解各种碳减排途径相互作用的复杂性。特别有趣的是，“低成本”路径究竟意味着什么，这在当时是一个非常不受欢迎的例子。我们鼓励读者尝试这个模型，以了解碳减排的世界有多么复杂和不直观。该模型本身被其他国家迅速复制（代码本身免费提供），并在其他国家创建了超过 25 个类似模型。[66]

英国国家核实验室与技术中立的 Energy Systems Catapult 公司合作，对 2050 年世界的一次能源进行了全系统建模，这是最新的尝试之一。[67] 其于 2021 年 6 月发表的研究成果[68]使用了一个由 Energy Systems Catapult 公司开发的系统模型，称为“ESME”。[69] 这与英国商业、能源和产业战略部在《2020 年能源白皮书》[70]中所述的工作形成鲜明对比，该白皮书基于莱恩（Lane）、克拉克（Clark）和皮科克（Peacock）最初于 2012 年为该部创建的动态调度模型。[71] 然而，虽然整体系统方法是考虑为一个国家重新设计整个能源系统的唯一合理方式，但迄今完成的此类工作太少，而且尚未广泛用

---

64 http://classic.2050.org.uk，2021 年 7 月 14 日数据。

65 MacKay2009。作者认为，这应该是任何对净零成就感兴趣的人的必读内容。

66 https://www.gov.uk/guidance/international-outreach-work-of-the-2050-calculator，2021 年 7 月 14 日数据。

67 https://es.catapult.org.uk.，2021 年 7 月 14 日数据。

68 英国国家核实验室 2021。

69 https://es.catapult.org.uk/capabilities/modelling/national-energy-system-modeling，2021 年 7 月 14 日数据。

70 商业、能源和产业战略部 2020b。

71 能源与气候变化部 2011。

于政策制订。当然还有其他模型 — 伦敦大学学院有广泛的建模方法[72] — 但在国家层面还没有一致的系统建模方法，考虑到当前仍然有效的各种假设尤为重要。例如，在撰写本文时，没有一个模型考虑受监管资产基础（RAB）制度降低资本成本的潜在影响，而受监管资产基础制度将极大地改变所有的经济分析。

### 6.11.6. 作为系统方法约束的实际挑战

对未来系统进行建模的最大挑战之一不仅是对整个系统的经济性进行合理评估，而且还包括从现在到 2050 年替代许多以百万千瓦/年为单位的一次能源生产的实际约束和可行性。两种不同类型的约束尤为重要 — 实际的施工约束和最终将能源输送给家庭或商业和工业终端用户的机制。

#### 6.11.6.1. 一次能源创造 — 实体建造

关于如何生产一次能源的各种选择的实际限制的一个实例是考虑第 6.11.5 节中提到的英国《2020 年能源白皮书》模型中的情景。在本报告中，图 6.22 提供了包括 500 万~4000 万千瓦核能、6500 万~1.8 亿千瓦风能以及 1500 万~1.2 亿千瓦太阳能的情景。

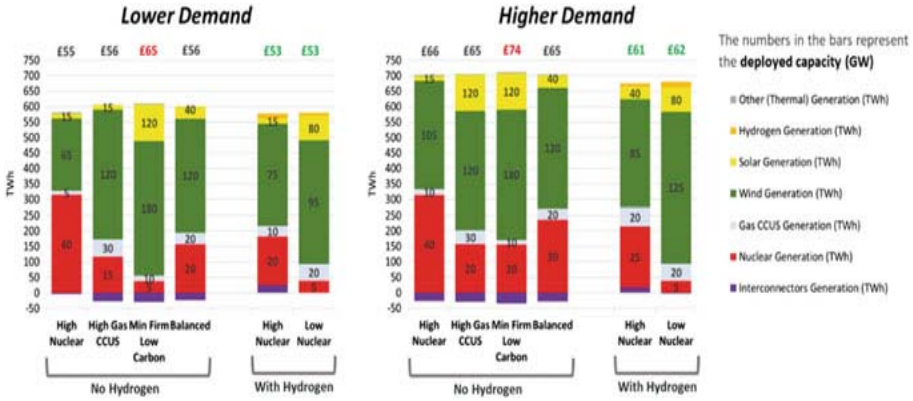



图 6.22　低成本能源情景。来源：商业、能源和产业战略部，2020 年

[72] https://www.ucl.ac.uk/energy-models/models，2021 年 7 月 14 日数据。

首先，考虑风力发电数据。到 2021 年，陆上和海上风电装机容量约为 2450 万千瓦。考虑到英国的政治和大型风能资源所在的地区的情况，增加的风电装机容量可能主要来自海上。在撰写本文时，可用的最大风力发电机是来自通用电气公司的 1.4 万千瓦机组（Haliade-X）。这是一项工程奇迹，这台与埃菲尔铁塔一样高的风力发电机已投产。该模型显示，到 2050 年，英国将需要新建约 4000 万~1.55 亿千瓦的风电装机容量。为了实现技术进步，假设这将由每台 2 万千瓦的风力发电机提供，这将意味着在更深的水域中建造大约 2000~7500 个浮动平台，用于安装这些风力发电机。从 2025 年到 2050 年，每年建造 80~300 个浮动平台。即使每年建造 80 个，这个目标也将是非常具有挑战性的。另外，项目所占的区域也可能是一个问题。多格滩（Dogger Bank）风电项目目前预计将使用 190 台每台装机容量 1.3 万千瓦的风力发电机。该项目将占用两块单独的土地，一块为 199 平方英里，另一块约为 231 平方英里。按此计算，2000 台风力发电机将需要大约 4500 平方英里，而 7500 台风力发电机将需要近 1.7 万平方英里。

对于太阳能，这个问题并没有什么不同。太阳能的用地要求数据尚不清楚，但在英国，最密集的项目是计划在克利夫山的项目，该项目装机容量达 35 万千瓦 [73]，并且将占用约 1.89 平方英里 [74] 的土地。按此计算，1.2 亿千瓦的太阳能将占用大约 650 平方英里的土地。

这些可行性因素 — 平台的建造速度、陆地和海上所需的区域，以及说服国民接受这些实用性所涉及的政治努力 — 仍然是非常大的挑战，许多建模充其量只是掩盖了这些挑战。

### 6.11.6.2. 向最终用户输送能量

在重新设计能源系统时需要考虑的可行性的第二个方面是向最终用户提供能源的方法 — 无论是一次能源还是氢能源等衍生载体。例如，在英

[73] https://www.clevehillsolar.com，2021 年 7 月 14 日数据。

[74] https://www.kentwildlifetrust.org.uk/campaigns/planning-and-development/cleve-hill-solar-park，2021 年 7 月 14 日数据。

国，大约 17%的最终能源以电力的形式通过输配电系统提供给用户。剩余约 80%以气体或液体形式输送，如图 6.23 所示。

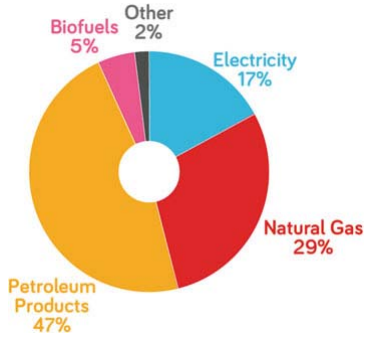



图 6.23　英国能源输送渠道。来源：核工业协会

将 76%的能源以石油产品或天然气输送到不同的输送渠道是一项巨大的挑战。目前世界上几乎任何地方的能源系统的所有脱碳计划都需要大幅增加发电量。在英国，提出了高达当前发电量四倍的建议。无论规模有多大，输配电系统的整体改造似乎不可避免。鉴于第 6.2 节所述系统设计的历史，大规模重建几乎可以肯定是合理的，但将需要根据被视为许多项目计划的最终系统设计来进行。重建配电系统和至少加固最后一英里 — 更不用说通过可能更换房屋内主要布线来升级国内连接 — 的实际敏感性将需要得到公民的认同，而这本身就需要政治家们的强有力领导。因此，如果目前由天然气输送的 29%的能源可以被不同载体输送的相同数量的能源所替代，这可能会有所帮助 — 氢目前在很多国家是最受欢迎的路线。诸如管道系统钢脆化、氢泄漏的强大能量及其较低的能量密度等问题，构成了现在被认为是可以解决的挑战。氢的单位体积能量约为天然气的三分之一，尽管人们认为氢的较高可压缩性应使输送约三倍于当前体积的天然气具有潜在可行性。

取代液体输送的能量，不仅仅是汽油，还有航空汽油和所有其他液态石油燃料，再次成为实际可行性问题。虽然氢作为一种主要的替代能源载体受到许多人强烈支持，但氨作为一种可能的船用燃料正越来越引起人们的兴趣 — 尽管它的火焰速度太低，无法在船舶上的大型发动机中单独用作燃料，但据报道，在氨中添加少量甲烷、氢或柴油可能会解决这个问题。据

报道，德国的曼恩（MAN）和韩国的三星都在研究这种发动机，并预测到2024 年左右，一种氨动力油轮将投入运营。

## 6.12. 我们的选择和方法

### 6.12.1. 我们如何寻求解决方案？

#### 6.12.1.1. 勇敢、领导力和决策

首先，鉴于到 2050 年的剩余时间很短，要实现必要的变革步伐和规模，将需要重大、大胆的政治决策和领导。它的重点将是根据价格上限，使以百万千瓦/年为单位的新建低碳一次能源最大化，而不是使英镑/兆瓦小时的价格最低化。它还需要根据国民经济的价格来衡量价格，而不是从来源和终点的诸如间歇性成本等“社会化”外部因素（如间歇性成本）的误导性做法的连接点来衡量价格。

其次，这种领导力将产生各种遗产。当然，不同的国家会有不同的解决方案，但这方面的历史书籍将成为领导力有效性的评判者。不管你喜不喜欢，21 世纪 20 年代初期至中期做出的决定将决定未来几代人的能源成本及国家经济竞争力。由此产生的遗产规模，如果不是更大的话，将与 20 世纪 40 年代后期在英国引入福利国家的规模相当。随着各国适应净零排放，全球竞争格局很可能会因各国的能源政策而发生重大变化。政治家面临的挑战是勇气，包括忘记追求完美的诱惑，并将成本降至虚假精度的水平。创建一个对国民经济来说成本更低/最低的体系将不可避免地不完善，还要认识到短期内做出重大决定也并非就是风险最低的路径。技术变革无疑将继续发生，但任何技术要达到能够及时大规模部署以对 2050 年的结果产生影响的技术成熟度水平（TRL）的时间很可能太长而无法产生实际的影响。

所有今天运行良好或处于较高技术成熟度水平的技术现在都应该以最快的速度应用，这样才能以较低的系统成本实现极快的交付速度。显然，任何规划都需要应对重大技术发展成为现实的情况，但押注于一些灵丹妙药的出现将是愚蠢的，甚至是对一个国家前景的损害。

### 6.12.2. 少有遗憾 — 立即使用并重点投资可部署的技术

因此，现在可以大规模部署什么。显然，海上风电发展良好，利用通用电气 1.4 万千瓦的哈利阿德-X（Haliade-X）风力发电机的海上风电可在英国以百万千瓦规模部署。而太阳能无法在英国等国家以相同规模部署。在碳捕集利用与封存（CCUS）技术经过验证之后，采用该技术的蒸汽重整甲烷可以合理的规模部署，并可大规模制氢。它是否会比高温电解或先进反应堆的高温热应用制氢便宜，仍有待观察。百万千瓦级核反应堆可在严格的项目管理、发达的供应链和经验丰富的承包商都到位、且资金和管理得当的情况下快速交付。在图 6.24 中可以清楚地看到核反应堆的部署速度。

“什么是低遗憾选项？”这个问题的答案完全取决于国家的选择。除了可再生资源的规模之外，按时建造新系统的能力可能是最大的单一决定因素。在核电界中，重要的是要准确考虑为什么日本和韩国核反应堆的建设时间与美国和英国相比差别如此之大。很明显，稳健和一致的项目管理方法是这一差异的重要原因，英国能源技术研究所 [75] 用的“核成本驱动因素”研究特别强调了这一因素。该研究的主要成果列于表 6.6。

[75] 能源技术研究所 2018。

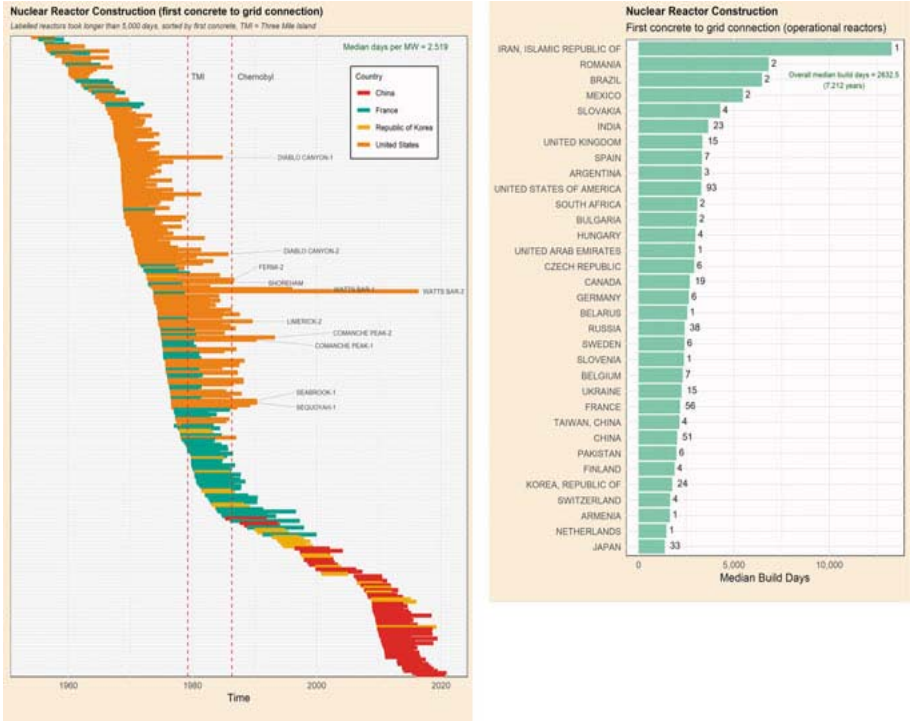



图 6.24　反应堆建设时间。来源：Grant Chalmers

## 表 6.6　核电成本驱动 — 低成本和高成本电厂属性

| 低成本电厂 | 高成本电厂 |
|---|---|
| 施工前设计完成或接近完成 | 施工开始前缺乏完整的设计 |
| 高度的设计再利用 | 施工期间的主要监管干预 |
| 经验丰富的施工管理 | 首堆设计 |
| 低成本、高生产率的劳动力 | 项目参与者之间的诉讼 |
| 经验丰富的设计采购施工团队 | 由于供应链原因，需要大量延迟和返工 |
| 经验丰富的供应链 | 工期长 |
| 开工前的详细施工计划 | 相对较高的劳动力和较低的生产率 |
| 以降低成本和提高绩效为重点的有目的的新建计划 | 业主监督不足 |
| 单一场址多机组 | |
| 同类中第 N 台机组的设计 | |

当然，现实情况是核电项目是大型、复杂的项目，而石化行业多年后才掌握了这种规模和复杂性。那些在时间和成本上严重下滑的核项目的例子通常不是由未知或被误解的技术驱动的问题。它们通常是任何大型项目中的典型问题。作为国家新能源系统设计方法的一部分，应适当检查一个国家可以在速度和规模上建设哪些技术，同时应考虑表 6.6 中列出的因素。想一想阿联酋是如何设法做到的，尽管阿联酋核工业完全是白手起家，但其首座反应堆的建设时间比英国或美国的平均建成时间还快，这是非常有启发性的。显然，重复建设一个与在其他地方建设的设计非常接近的复制品有一个巨大的优势，使用与以前相同的团队来建设，接受原产国的设计认证，同时建立一个经验丰富的核安全监管机构，该监管机构将对调试和运行进行许可控制。但另一个毫无疑问会产生重大影响的因素是在任何建设开始之前进行的思考和准备的质量。聘请经验丰富且久经考验的项目总监，制定稳健而全面的施工计划，使用经验丰富的承包商和工程设计的完整性也有帮助。从一开始就建立项目信誉的整个方法可能是其他关键因素之一。从项目的早期开始，一位明智并有声誉的管理专家就坐在首席执行官的隔壁，而首席执行官对项目信誉重要性的关注非常明确。毫无疑问，位于阿布扎比的阿联酋核能公司（ENEC）的项目为其他项目树立了一个榜样。

阿联酋核能公司的巴拉卡核电厂虽然在阿联酋是首台，但它却是同类中的第 N 台，之前在韩国已经建成并运行着完全相同的反应堆。巴拉卡核电厂对阿联酋来说确实是全新的，但却使用了与韩国建设完全相同的设计。在考虑到按时和按预算建设的成功因素时，巴拉卡具有同类中第 N 台的许多相同属性。事实上，少数反应堆设计的系列化建设是 2008 年白皮书中重启核电建设的核心，该白皮书引发了英国向低碳能源系统迈出的第一个重大立法举措。有趣的是，英国是否能够实现任何核技术的系列化建设 — 在撰写本文时，欣克利角 C 核电厂正在建设中，该系列中的第二台核电厂塞兹韦尔 C 正在考虑中。但除此之外，我们一无所知。这与现在的加拿大、中国、美国以及越来越多的欧洲许多国家的态度形成鲜明的对比。上一次英国建设新的塞兹韦尔 B 核电厂时，它原本是打算系列化建设的 10 台机组之一。但此政治意愿在首台机组建成后就消失了，尽管该机组可能是目前唯一运行的且直至 2050 年仍将运行（当然，假设其延寿 20 年）低碳一次能源。

许多其他国家正在将英国视为一个潜在的重要核电市场，但他们对此持一定的怀疑态度，只有通过注入强有力的政治领导力、意愿和真正的承诺

才能打消他们这种顾虑。没有这些作为保障，即使是核电厂投运了，投资者凭什么为核电厂提供融资（无论是债务或是股权）？更不用说是在受监管资产基础模式下的建设期间了。供应链凭什么会提前投入更多资金来建设他们在英国的业务能力、产能和恢复能力？日本股市已通过拒绝为日立收购英国地平线核电公司买单表明了投资者的看法。投资者目前已在能源市场因政治损害而伤痕累累 — 西班牙政府自 2010 年以来在可再生能源市场上的转变，最终导致运营项目具有合同约束力的上网电价大幅下调，这些记忆并未被忘记。

近年来，投资者对仅符合环境、社会和治理（ESG）资格的投资要求进一步增加了潜在的政治风险。黑石（BlackRock）[76] 等主要投资商施加的压力加大了对非环境、社会和治理投资的排挤。这为来自多方面的反核情绪创造了一个巨大的战场。欧洲和其他地方的政府分类法 [77] 很少在开始时是技术中立的 — 欧洲分类法就是这种情况，尽管有技术专家组 [78] 得出的结论是："这些分析没有揭示任何基于科学的证据，表明核能对人类健康或环境的危害比已列入分类法的其他电力生产技术作为支持减缓气候变化的活动更大。"除非核能被正确地认定为低碳、可持续的一次能源，否则它会承受无法吸引大量投资者的风险。

## 6.13. 最后的想法

一位美国军方领导人在评论美国对"911 事件"的反应时说："当情绪高涨时，理性就会变得迟缓，并做出糟糕的决定。"在许多关于核能可在理性、平衡、安全和有韧性的能源体系中利用的讨论中，核能一直并将继续受到情绪的困扰。已经并将继续做出非常糟糕的决定。"核"这个字眼使太多的政策制定者和政治家陷入智力麻痹，因为它蕴含着咄咄逼人的、理所当然令人憎恨的武器含义。

---

[76] https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter，2021 年 7 月 14 日数据（致客户的信）。

[77] https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/germany-leads-call-to-keep-nuclear-out-of-eu-green-finance-taxonomy；
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/qanda_19_6804，2021 年 7 月 14 日数据。

[78] 欧盟委员会 2021。

但社会可以在其他地方处理这样的认知矛盾。硝化甘油在许多公众的脑海中，是保险柜爆破的首选炸药 — 至少在电影中是这样。对于一小部分人来说，它也是制造炸药的物质，它让年轻的阿尔弗雷德·诺贝尔变得非常富有，并使他捐赠了同名奖项。但是对于极少数人来说，当他们因心脏问题被送进急诊室时，当他们接受名为“硝化棉”或“硝化剂”之类的药物治疗时，使用的是同一种硝化甘油 — 但采用的是非爆炸性配方。重要的是如何使用科学，而不是科学本身。同样，对于辐射，如果你在 7 月份阿布扎比的正午太阳下坐上几个小时，你将被严重晒伤。而当天晚上坐在月光下则是完全无害的（至少从晒伤的角度来看是这样）。它是完全相同的辐射 — 波长相同的光子（发出和吸收），只是数量不同。对于电离辐射，联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）明确表示，对于低于 100 毫希沃特的剂量，没有证据表明癌症风险会增加。这并没有阻止人们在被告知自己受到一至两毫希沃特的剂量（相当于月光的电离辐射）时的恐慌。虽然他们对一至两毫希沃特感到恐慌，但他们接受癌症放射治疗的朋友很可能正在接受 20 希沃特（2 万倍以上）的剂量，旨在让他们的朋友好起来。这是如何使用科学，而不是科学本身的问题。

对于公众来说，政治家需要发挥领导作用。不是通过在克雅氏病疫情期间吃汉堡，而是通过讨论和使用政治家被选中的技能 — 让选民相信，他们的领导人总体上会让选民的世界变得更美好，并建立信任和信心。如果未来的能源政策受情绪驱动，就会导致错误的决策。其结果将是我们的孙辈们将变得更加贫穷，许多人很可能最终移居国外，前往一个在 21 世纪 20 年代做出更好决策的国家。

现在有一点很清楚了。世界已经没有时间了，必须立即行动，全力以赴，最大限度地以百万千瓦/年为单位建设新的低碳一次能源产能。在做出有关能源政策的决策时，将留下英国在 1948 年创建福利国家时留下的巨大遗产 — 他们的名字将被人们铭记，包括温斯顿·丘吉尔、拉布·巴特勒、威廉·贝弗里奇和奈·贝文。但这只适用于那些有勇气、有洞察力、愿意遵循科学、工程和事实进行学习和行动的政治家。对于那些梦想着明年会出现一些令人惊叹的新技术以使他们免于今天做出决策的人，或者那些行事方式是“不在我的任期内”（NIMTO）的人，他们的遗产将成为他们子女、孙辈和后人脖子上的沉重负担，他们的名字将被钉在历史的耻辱柱上。

相信我们的领导人会做出正确的选择。

# 参考文献


Black G, Aydogan F, Koerner C (2019) Economic Viability of Light Water Small Modular Nuclear Reactors: General Methodology and Vendor Data. Renewable and Sustainable Energy Reviews 103:248–258

Cheng V, Hammond G (2017) Life-Cycle Energy Densities and Land-Take Requirements of Various Power Generators: A UK Perspective. Journal of the Energy Institute 90:201–213

Chivers J, Foxon T, Galloway S, Hammond G, Infield D, Leach M, Pearson P, Strachan N, Strbac G, Thomson M (2017) Realising Transition Pathways for a More Electric, Low-Carbon Energy System in the United Kingdom: Challenges, Insights and Opportunities. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, PartA: Journal of Power and Energy 231:440–477

Climate Change Committee (2020) Sixth Carbon Budgethttps://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2020a) RAB Model for Nuclear https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/943762/Nuclear_RAB_Consultation_Government_Response-.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2020b) Modelling 2050: Electricity System Analysis https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/943714/Modelling-2050-Electricity-System-Analysis.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Department of Energy and Climate Change (2011) DECC Dynamic Dispatch Model (DDM) https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65709/5425-decc-dynamic-dispatch-model-ddm.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Elder R, Cumming D, Mongensen M (2015) High Temperature Electrolysis. In: Styring P, Quadrelli E A, Armstrong K (eds) Carbon Dioxide Utilisation: Closing the Carbon Cycle. Elsevier, pp183–209

Energy Technologies Institute (2018) The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Summary Report https://d2umxnkyjne36n.cloudfront.net/documents/D7.3-ETI-Nuclear-Cost-Drivers-Summary-Report_April-20.pdf?mtime=20180426151016. 2021 年 7 月 14 日访问网页

EuropeanCommission (2021) Technical Assessment of Nuclear Energy with Respect to the 'Do No Significant Harm' Criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('TaxonomyRegulation'), JRC 124193. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Fuchs C, Poehls A, Skau K, Kasten J (2021) Economics of Battery Use in Agriculture: Economic Viability of Renewable Energy Complemented with Batteries in Agriculture. Energies 14:2430

Funk J (2001) Thermochemical hydrogen production: past and present. International Journal of Hydrogen Energy 26:185–190

Gagnon L, Belanger C, Uchiyama Y (2002) Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. Energy Policy30:267–1278.

Harris C (2006) Electricity Markets: Pricing, Structures and Economics. Wiley, Hoboken, NJ

HMGovernment (2020) The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution.https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution. 2021 年 7 月 14 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011) The Nuclear Fuel Cycle.https://www.iaea.org/sites/default/files/ nfc0811.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Keçebas¸a A, Muhammet K, Mutlucan B (2019) Electrochemical hydrogen generation. In: Calise F, Dentice D'Accadia M, Santarelli M, Lanzini A, Ferrero D (eds) Solar Hydrogen Production. Academic Press, pp 299–317

Ling S, Sanny J, Moebs W (2016) Nuclear Binding Energy. In: Ling S, Sanny J, Moebs W (eds) University Physics Volume 3. OpenStax, Texas

Lucid Catalyst (2020) Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals. https://www.Lucid Catalyst.com/hydrogen-report. 2021 年 7 月 14 日访问网页

MacKay D (2009) Sustainable Energy—Without The Hot Air. UIT, Cambridge

Marx C (2014) Failed Solutions to the Energy Crises: Nuclear Power, Coal Conversion, and the Chemical Industry in West Germany since the 1960s. Historical Social Research / Historische Sozialforschung 39:251– 271

National Nuclear Laboratory (2021) UK Energy System Modelling: Net Zero 2050https://www.nnl.co.uk/wp-content/uploads/2021/06/NNL-UK-Energy-System-Modelling-for-Net-Zero.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Newbery (2020) Net Zero and Future Energy Scenarios: A Response to the National Infrastructure Commission's Report on Future Power Systems.https://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/03/D.-Newbery_Comment_26March2020.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Nishihara T, Yan X, Tachibana Y, Shibata T, Ohashi H, Kubo S, Inaba Y, Nakagawa S, Goto M, Ueta S, Hirota N, Inagaki Y, Iigaki K, Hamamoto S, Kunitomi K (2018) Excellent Feature of Japanese HTGR Technologies. Japan Atomic Energy Agency, Ibaraki

OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2011) Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants. https://www.oecd-nea.org/ndd/reports/2011/load-following-npp.pdf. Accessed 14 July 2021

Rajagopal (2015) The Butterfly Effect in Competitive Markets. Palgrave Macmillan, London Secretary of State for Business, Energy and Industrial Strategy (2020) Energy White Paper: Powering Our Net Zero Future. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/945899/201216_BEIS_EWP_Command_Paper_Accessible.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

Simshauser P (2019) Lessons from Australia's National Electricity Market 1998–2018: TheStrengths and Weaknesses of the Reform

Experience.https://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2019/08/1927-Text.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

UKRN (2019) Cost of Capital—Annual Update Report. https://www.ukrn.org.uk/wp-content/uploads/2019/09/2019-UKRN-Annual-Cost-of-Capital-Report-Final-1.pdf. 2021 年 7 月 14 日访问网页

World Nuclear Association (2021a) Advanced Nuclear Power Reactors. https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/advanced-nuclear-power-reactors.aspx. 2021 年 7 月 14 日访问网页

World Nuclear Association (2021b) Small Nuclear Power Reactors. https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx. 2021 年 7 月 14 日访问网页

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 7. 辐射照射情况致辐射损害的法律归责

**阿贝尔·胡里奥·冈萨雷斯**

**摘要** 多年来，将有害健康效应的法律责任归结于辐射照射情况的责任方的归责原则（包括衍生概念如：依法指控、起诉、控告、公诉和审判），一直存在争议，其解决方案仍不清楚。虽然在涉及高辐射剂量的情况下，伤害的归因基本上是明确的，但在中等辐射剂量的情况下，伤害的归因却具有挑战性，而在很常见的低辐射剂量照射的情况，就成为一个真正的难题。这些不明确的情况可以说是涉及职业和公众辐射照射领域复兴工作的一把达摩克利斯之剑。本章根据联合国原子辐射效应科学委员会（辐射科委会）向联合国大会报告的估计值，描述了辐射健康效应归因和辐射危险推断的认识论，讨论了辐射科委会改进的范式对法律归责的影响，本章最后给出的一项建议是：制定关于有害辐射健康效应归责能力的国际法律原则。

**关键词** 辐射照射情况；法律归责；辐射效应归因；辐射危险推断；放射病理学鉴证；放射流行病学鉴证；联合国原子辐射效应科学委员会（辐射科委会）；确定性健康效应；随机性健康效应；辐射安全

## 7.1. 目的

本章的目的是讨论辐射照射情况[1]致辐射伤害[2]的法律归责。[3]本章提出的法律归责概念后期会衍生出起诉和公诉、指控、控告和审判的法律概念。

辐射伤害的法律归责一直以来都是有争议的，特别是涉及低辐射剂量的情况。如此重要的问题没有界定清楚，对核能发电，辐射和放射性在医学、工业和科研中的应用等涉及人的辐射照射事业的正常开展是一个挑战。

因此，本章旨在促进国际社会达成对该问题的共识。

本章包括以下内容：

- 概述辐射健康效应的基本科学国际共识，以提供该问题的背景。之后，讨论估算效应、伤害归责，描述基本范式，包括对可验证的事实与主观推测的讨论。

---

[1] *辐射照射情况*的概念用于表示：人处于电离辐射照射的状态或条件下的任一组情况，不论是来自体外源还是体内源的电离辐射，这里所说的源是指可能导致辐射照射的任何物体，例如发射电离辐射或释放放射性物质或放射性材料。

[2] *辐射伤害*的概念用于表示：人（即已确定的个体或群体）所遭受的任何辐射健康效应或身体伤害，可被鉴证是由辐射照射导致的。此处，辐射是指电离辐射，辐射健康效应是指因辐射照射而产生的任何健康效应。

[3] *法律归责*的概念用于表示：根据法律将辐射伤害归因于辐射照射情况的行为。其衍生概念有：指控、起诉、控告、公诉和审判。在法律层面，归责是指：将归因于辐射照射的身体伤害、实际或潜在的有害健康效应，追责到某人，即对辐射照射导致效应的责任归属。需要注意的是，归因不同于归责，但不幸的是，这些术语在国际上被当做同义词使用。见国际劳工组织（ILO）等机构的文献，2010。

- 讨论辐射伤害的归因[4]与从辐射照射情况的辐射危险[5]推断。[6]
- 由所谓专家证人[7]鉴证[8]辐射健康效应实际发生的相关问题。
- 由此产生的把此类辐射伤害的法律责任归结于这些辐射照射情况的可能性。

---

[4] *归因*用于表示：使用客观事实证据将健康效应归咎于辐射照射。

[5] *辐射危险*用于表示：与辐射照射相关的健康效应（如癌症发作）在特定时间内（比如受照后的余生）可能发生的（即这是一个前瞻性概念）概率。对辐射危险的归因，只能通过以前的受照群体中疾病率的流行病学调查（即基于过去的观察）得到的事实证据来确定。尽管如此，值得注意的是，当缺乏直接的流行病学数据时，这种追溯性分析的结果也可以用于推断涉及不同群体的其他照射情况的危险。

[6] *推断*（与归因相反）用于表示：在存在不确定性的情况下，从涉及间接的科学观察、证据和推理的主观推测中得出结论的过程，（虽然推理的使用通常侧重于对危险的前瞻性推测，但需要注意，估算分配的份额或因果关系的概率也是一种推断，但具有追溯性）。

[7] *专家证人*用于表示：辐射效应专家，他/她可以表述他/她的专业观点，他/她不一定是与辐射有关的诉讼或刑事案件的证人，但可以针对实际发生的辐射效应表述他/她的专业观点，专家证人包括：

*放射病理学家*是证明个体中被诊断出的辐射健康效应的实际发生的专家证人，也就是说，他们是公认和经过认证的研究辐射诱发疾病的原因和效应的科学家，特别是通过检查体组织的实验室样本进行诊断或取证。

*放射流行病学家*是对于不能单独诊断而只能对群体进行估计的辐射健康效应的实际发生进行证明的专家证人（他们是在医学统计学方面具有专业知识的、公认和经过认证的科学家，医学统计学是研究与辐射照射有关的疾病的发病率和分布的一门学科）。

*放射生物学专家*是通过分析专门的生物测定标本（如一些血液学的和细胞遗传学的样本）对归因于辐射照射的生物变化的实际发生进行证明的专家证人（他们是在电离辐射对生物体、器官、组织和细胞的效应的生物学分支领域具有专业知识的、公认和经过认证的科学家）。

*放射防护专家*（也称为辐射防护专家或保健物理师）是与猜测、推断辐射危险有关的专家证人（他们是经过认证的、获得正式认可的科学家，拥有保护人们免受电离辐射有害影响以及在实现这种保护的手段方面的专业知识）。

[8] 鉴证用于表示：专家证人正式表明辐射效应存在或者成立而提供或作为明确的证据。

## 7.2. 基本科学共识概述

多年来，联合国原子辐射效应科学委员会（辐射科委会）在国际上就辐射健康效应的估计达成了普遍共识，并定期向联合国大会报告。辐射科委会是联合国大会指定的负责评估全球辐射水平和效应的国际政府间组织。

国际范式下的基本论断是本章的基础，现简述如下：

- 科学共识：在相对短的时间内受到高辐射剂量水平的照射会对受照个体造成急性（即危急、严重）的有害效应。这些效应可以由合格的放射病理学家诊断、证明和鉴证。总的来说，如果个体发生了组织反应（通常称为“确定性”效应），并且可以通过病理鉴别诊断排除可能的其他病因，那么观测到的健康效应能明确地归因于辐射照射。这类确定性效应是事故或放射治疗所致照射后可能发生的在相对短的时间内遭受到高吸收剂量的结果。因此，这类确定性效应可通过常规的诉讼 [9] 单独归责于这种照射情况；低剂量时，可能引起受照人群的集体伤害，可能表现为某些效应发生率的增加。这种增加量可以由合格的放射流行病学家进行评估、证明和鉴证。个体中已知与辐射照射有关的这些健康效应 — 比如辐射诱发的恶性肿瘤（以及理论上还包括受照人群后代的遗传效应）— 不能明确地归因于辐射照射，因为辐射照射不是唯一可能的病因，而且目前还没有辐射照射特有的生物标志物。这些效应就是所谓的“随机”效应。因此，不可能对随机效应进行明确的病理鉴别诊断。只有当特定类型随机效应的自然发生率很低，同时这种随机效应的放射敏感度很高（比如一些儿童甲状腺癌症）时，才能将特定个体中的效应归因于辐射照射，特别是在辐射照射较高时。然而，即使在这种情况，个体中的这种效应还不能明确地归因于辐射照射，因为还有可能的竞争性病因。总的来说，通过流行病学分析，人群中随机效应发生率的增加可归因于辐射照射，前提是，除其他外，特定随机效应病例发生率的增加量足以克服固有的统计不确定度。这种情况下，在该受照群体中随机效应发生率的增加量可以得到适当证实，从而归因于辐射照射。

[9] 诉讼一词是指一方或多方当事人在民事法院对另一方提出法律归责的诉讼。

需要注意的是，尽管在动物研究中已得到证明，但人类群体中的遗传效应的发生率的增加目前还不能归因于辐射照射。其中一个原因是这些效应的自然发生率波动很大。在一些司法辖区，随机效应造成的辐射伤害可以集体（而不是个体）归责于该照射情况，或许可以作为集体诉讼案件；[10] 专业的生物测定标本（比如血液学和细胞遗传学样品）能表明可归因于辐射照射的生物学变化，可由合格的放射生物学家对受照个体进行诊断。即使是在非常低的照射水平下，这些样品也可作为辐射照射的生物学指标。但需要注意的是，从个体采集的样品中出现这种生物学指标并不一定意味着该个体会因这种照射而产生健康效应。尚不清楚在这些情况下的“伤害”是否可以被追责。

- 近期达成了一项国际共识：辐射健康效应不可归因于涉及低剂量（即剂量类似通常的天然本底剂量）的情况，但仍然可以从这些情况推断出辐射危险，而这只能是主观推测。总之，当辐射水平处于通常的全球平均本底辐射水平时，人群中健康效应发生率的增加不能可靠地归因于在这种辐射水平下的慢性照射。这是因为低剂量下辐射危险评估相关的不确定度、目前缺乏健康效应的特有辐射生物标志物以及流行病学研究的统计能力还不足。这方面的国际共识是：在辐射水平等于或低于天然本底水平时，受这种水平下增量剂量照射的人群中辐射诱发健康效应的数量不能用很低的剂量乘以大的个体数进行估算。这些照射情况在实践中很常见，假设性地将辐射伤害的法律责任归咎于这些照射情况是有争议的。已经注意到，公共卫生机构需要适当地配置资源，这可能会涉及出于比较之目的对健康效应数进行预计。这种方法虽然基于合理而无法检验的假设，但如果能一致性地应用、充分考虑到评估中的不确定性，则对此类目的是有用的，且也不能推断出预计的健康效应不是假设上的。

[10] 集体诉讼是指当事人中有一方是一个人群组的诉讼，由该人群组中的一个人来代表这个集体。

## 7.3. 从效应估算到伤害归责

多年来，辐射伤害的法律归责一直引起争议，却没有给出一个普遍的解决办法。这个问题可以概括如下：

(a) 将健康效应归因于辐射照射情况；

(b) 由合格专家鉴证其发生；

(c) 根据适用于管辖范围内的法律实践，开展立法行动，如先归责，然后进行指控、起诉、控告、公诉和审判。在涉及个体辐射剂量较低的情况，这个问题似乎特别难以解决。

虽然这个问题的起源可以追溯到多次核武器试验的时代，但在大型核事故之后，如三哩岛、切尔诺贝利和福岛第一核电站的事故，以及最近对放射治疗和放射诊断等医疗实践中所谓的辐射剂量“管理不当”的关注，使这一问题重新得到了重视。

这场辩论在切尔诺贝利核电站事故发生后愈演愈烈，并在 1993 年由经济合作与发展组织核能机构召开的“核事故：责任与担保”专题讨论会上首次被报道。[11] 在那次会议上，讨论了与切尔诺贝利事故辐射健康后果有关的因果关系难题。[12] 这场最初辩论后的十年，这个问题在核法律中的影响已经成为法律文献中讨论的主题。[13]

因此，人们很早就对将健康效应归因于涉及相对较低剂量的辐射照射及其法律后果在认识上的局限性表示关切。尽管存在这些担忧，但理论上的效应仍被归因于事故后的低辐射剂量，这不仅体现在有参考价值的科学文献中，[14] 而且在学术层面上更为明显（例如在《纽约科学院年鉴》中）。[15]

---

[11] 经合组织核能署 1993。

[12] González 1993，第 25 页。

[13] González 2002。

[14] 见，例如 Cardis 等 2006。

[15] Yablokov 等 2010。

这些观点与国际组织报告的判断相矛盾。[16] 这些矛盾引起了公众及其代表的严重关切。

不出所料，在福岛第一核电站事故发生后，同样类型的无法证实的效应报告在科学文献中流行了起来。[17] 这些报告与国际组织的科学估计完全相反。[18]

因此，关于低水平辐射的健康效应，专家们的论战一直处于混乱和令人费解的辩论之中。毫不奇怪，涉及相对较低辐射剂量照射的案件的法律回应一直模棱两可：虽然在过去几年里，大多数国家的法律索赔通常是不成功的，但有一些案件已经获得了成功，特别是在日本，这些成功案件可能有许多的法律影响。[19]

可以预见，对这个问题模棱两可的处理方式以及围绕这一问题法律上的模糊性会引起公众的困惑和助长媒体的耸人听闻，而且在公众对低剂量辐射的恐惧方面已经付出了高昂的代价。[20] 因此，在许多情况下，为避免法律影响，防止低水平辐射照射的监管程序已经对社会施加了严厉的惩罚，并在不知不觉中阻碍了涉及辐射照射有益实践的利用。

这些问题最初可能是由于法律专家与放射生物学家、放射流行病学家、放射病理学家和辐射防护学家等不同专业的群体之间的误传和沟通不畅而产生的。此外，与公众及其政治代表的沟通也不甚理想。尽管这些失误已经被充分讨论过了，[21] 但还没有找到解决办法。

主要的法律难题是如何处理将辐射效应归因于照射情况时的认知错误，在这种情况下，辐射效应可以推测，但无法证实。这个问题在文献中已

---

16 原子能机构 1996；联合国原子辐射影响科学委员会 2008。

17 参见，例如 Ten Hoeve 和 Jacobson 2012。

18 联合国原子辐射影响科学委员会 2013；原子能机构 2015；冈萨雷斯等 2013。

19 参见，例如 https://www.bbc.com/news/world-asia-38843691，2011 年 10 月 11 日访问。

20 Waltar 等 2016。

21 原子能机构 2018。

经得到了充分的讨论，[22] 但多年来，它似乎在法规和法律实践中都被忽视了。

国际劳工组织为解决这一问题做出了重要努力，[23] 发表了一份报告，介绍了将有害健康效应归因于职业性电离辐射照射的方法及其在癌症赔偿方案中的应用。尽管其范围有限（仅涉及职业照射并侧重于赔偿），但这是在归责问题上取得进展的一次有重大意义的尝试。该文件回顾了国际劳工组织第 115 号公约，要求对因职业性辐射照射而罹患癌症的工作人员进行赔偿，并认可必须选择一种疾病赔偿程序，它能够区分最有可能是由职业照射引起的病例和由其他原因而产生的本底病例。

然而，幸运的是，最近已经就可证实的辐射健康效应的归因与推测危险的结论达成了国际政府间的共识。辐射科委会在几年前终于迈出了这重要的一步。[24]

2012 年，辐射科委会通过讨论辐射照射对健康效应的归因和危险推断，完善了对这一范式的理解。[25] 联合国大会一致赞赏地接受了这份科学报告。[26] 联合国环境规划署（环境署）在一本小册子中概述了辐射科委会的评估，本章使用了该小册子的主要相关结论和说明。[27] 这一重要的全球协议在文献中被广泛报道，[28]但在监管实践中仍远未实施。安全标准委员会一直在处理这个问题，并且正在编写一份报告（安全标准委员会是一个国际机构，负责核可在原子能机构主持下由所有相关国际组织共同倡议制定的国际安全标准）。

经过漫长的历程，科学界似乎已经在辐射科委会的支持下就低剂量的健康效应达成了共识：危险可以推断，但实际效应无法归因。这一重要的科学共识现在应该转化为法律文书，以解决在辐射照射情况下的归责、指控、

---

22 González 2011。

23 国际劳工组织等 2010。

24 联合国原子辐射影响科学委员会 2012。

25 同上。

26 联合国大会 2012。

27 联合国环境规划署 2016。

28 González 2014b、c。

起诉、控告、公诉和审判问题。关于从科学归因和推断向法律归责（进而到指控、起诉、控告、公诉和审判）过渡的讨论紧随着这些进展，[29] 但尚未形成普遍的方法。

## 7.4. 基本范式

这一新的辐射科委会范式 [30] 比以前的估计 [31] 更为精确，而这些估计值目前被国际政府间规则用于保护人免受辐射照射的有害效应，[32] 因此，也被大量的核安全法规所采用。举例来说，现行法规并没有明确区分实际效应的归因和预计危险的推断。然而，新的国际范式为与辐射照射情况下的伤害归责有关的立法问题提供了科学和监管基础。

这一范式可以简单地概括为一个注释过的剂量-响应关系（见第 7.4.1 节）。

### 7.4.1. 剂量-响应关系

人受到的辐射剂量与健康效应发生的概率之间的关系（称为剂量-响应关系）可从辐射科委会的估算中得出，联合国环境规划署已在图 7.1 所示的图表中进行了汇总。[33]

[29] González 2014a。

[30] 联合国原子辐射影响科学委员会 2012；国际放射防护委员会 2005。

[31] 联合国原子辐射影响科学委员会 2008。

[32] 原子能机构 2014；国际放射防护委员会（2007）2010。

[33] 联合国环境规划署 2016，第 25 页。

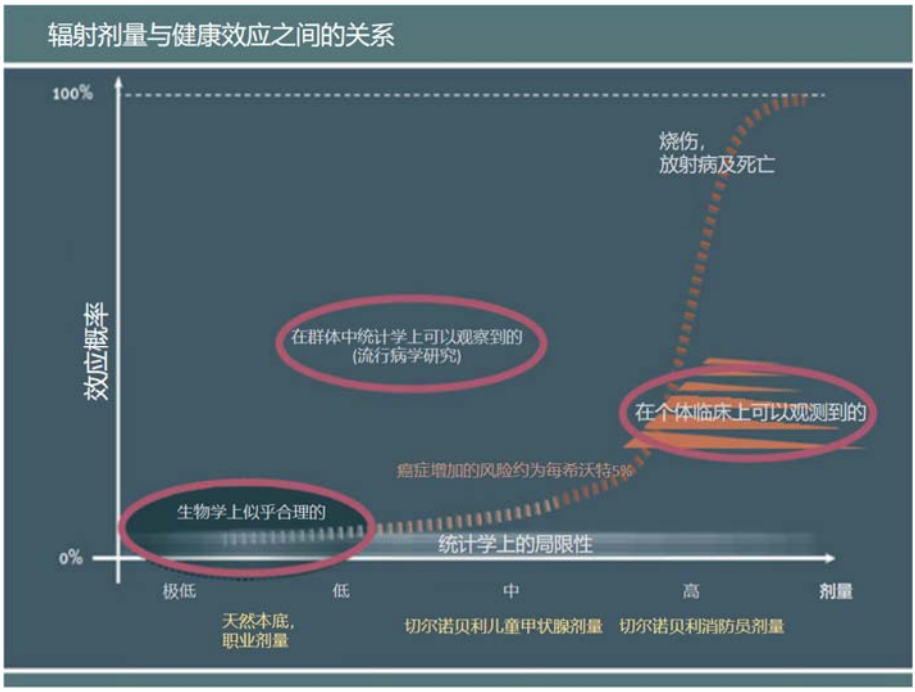



图 7.1　剂量-响应关系（资料来源：UNEP 2016，第 25 页）

剂量表示为：

- 高剂量：大约一个“希沃特”的有效剂量（注：平均天然本底剂量是每年 0.0024 希沃特，因此一个希沃特比每年的天然本底辐射水平高几千倍）；
- 中等剂量：大约几百个千分之一希沃特（千分之一希沃特被称为“毫希沃特”）；
- 低剂量：约几十毫希沃特；
- 极低剂量：约 1 毫希沃特。

概率以 0 到 100%之间的百分比表示，其中：

- 100%对应于效应确定会发生；
- 0%对应于效应确定不会发生。

应当指出，辐射科委会估计的概率有两种不同的类型：

- 频率论法概率：在高剂量区，以真实的和可核实的辐射健康效应的存在为基础，并定义为在一系列可证明的流行病学研究中该效应发生的相对频率的极限；
- 主观概率（也称为“贝叶斯法”）：指在低剂量区，表示为可能发生辐射健康效应的一个可能预期，并以个人见解或专家判断进行量化，而这些个人见解或专家判断并未由该效应实际发生的频率或趋势所证实。

频率论法概率和主观概率在数学上是兼容的，但在认识论上有很大不同：前者是基于事实，后者是基于推测。

辐射科委会强调了区分以下两者的重要性：

- 在受照个体和群体中对健康效应的验证性观察，从而可以明确地将此类效应归因于产生这些效应的照射情况；
- 对健康效应的理论推测，用于推测发生的频率是可行的，但无法验证，即这些推测只允许对风险做出一些推断。

对于这两种情况，重要的是要考虑到与估计相关的不确定性和不准确性。

鉴于目前的认知水平，如果专家诊断出辐射对特定受照人群健康的某些效应，即“确定性效应”，则可以有把握地对这些效应进行归因。这些效应通常是急性的，并在受到高剂量照射的个体中早期发生。它们之所以被称为确定的，是因为如果剂量超过已经被认为是高剂量的某个阈值，它们就被确定为发生。

也有可能将人群中某些效应的正常发病率的增加归因于辐射，即“随机效应”（例如，在受到高剂量照射的人群中观察到癌症发病率的增加）。这些效应可以在受到中、高剂量辐射的人群中显现出来，并在长时间潜伏后出现。通过观察其在受影响人群中的发病率，可以将其归因于照射，但前提是所观察到该效应的基本发病率的变化高到足以克服统计和认知上的不确定性。由于其表现出的随机性，它们被称为“随机效应”。随机效应发生的

概率是根据所测量效应的频率计算的，一般称为“辐射危险”，或简称为“危险”；这种危险通常用受到每单位辐射剂量的无因次数来表示。

目前还没有生物标志物可用于区分个体中的随机效应是由辐射照射或其他原因引起的，还是仅仅是自然发生的。也就是说，没有生物标本标准可以对个体的随机效应进行具体诊断。由于这个原因，随机效应不能归因于特定个体受到的照射，而只能归因于群体受到的集体照射。这里，以该效应基线发生率的变化来表示。

在辐射照射水平较低或极低的情况下（例如，在环境辐射照射和职业辐射照射的典型情况下），健康效应的发生率没有被证实有任何变化。除其他原因外，低剂量和极低剂量流行病学研究的统计和认知的不确定性导致不可能对其下定论。

尽管如此，原则上不能排除此类效应的静默事件，并且可以为这种假设的事件指定一个概率。因此，在低剂量和极低剂量下发生随机效应的概率只能通过专家判断进行主观推断。所以，在低剂量和极低剂量下，有必要做出假设并使用数学模型来估计健康效应发生的主观概率，这导致结果是不确定的。这种主观概率通常也被称为“风险”。

因此，对于低和极低辐射剂量，辐射科委会在预测辐射健康效应（或甚至死亡）例数的评估中选择不使用这种数学模型，因为这种预测必然会产生不可接受的不确定性。然而，辐射科委会估计，出于公众健康比较和辐射防护之目的，这些计算可用于做出一些推定，前提是，正如辐射科委会所提醒的那样，考虑到不确定性并明确解释了局限性。

总之，如图 7.1 中用椭圆形标记的那样，辐射科委会明确区分了在剂量-响应关系中与观测到效应有关的三个独立区域，即：

- 通过放射病理学诊断和鉴定证明，在个体中可临床观察到的效应的区域；
- 通过放射流行病学估计和鉴证或鉴定，只能在群体中（但在个体中无法识别）统计学上可观察到的效应的区域；
- （在这两种情况下，可用的概率都是频率论的概率）。

- 该区域的效应无法观测到，但在生物学上似乎是合理的，并且只能通过专家的主观判断来推断（即仅在此处方可用主观概率）。

## 7.5. 可验证的事实与主观推测

根据先前对该范式的讨论，剂量-响应关系图中的横坐标（量化的剂量）可分为两个不同区域，如图 7.2 所示，在本节中描述为：

- 导致由客观上可验证的事实造成的那些效应时的剂量，即真实而非解释性的事件，那些毋庸置疑地发生了的，且不受个人主观感知或观点的影响的事件；
- 基于推测导出主观推论时的剂量，也就是说：基于未经证实的不完整信息的观点或结论，并且可能受个人感知或观点的影响。
- 因此，这两个可区分的区域如下：
- 可以客观地将效应归因于辐射照射情况的区域；
- 虽然存在主观推断危险的可能性，但客观上无法将效应归因的区域。

## 7.6. 鉴证

如前所述，发生辐射效应的鉴证，对个体的确定性效应，可以由放射病理学家进行；对群体的随机效应，可以由放射流行病学家进行。只有专家判断的鉴证是不可行的。

如图 7.3 所示，剂量-响应关系中可将效应归因的区域仍可分为两个子区域，如下所示。

- 在高剂量区域，可在受照个体中诊断出效应的发生。
- 在中等剂量区域，只能评估受照群体中效应发生率的变化，通常是通过统计计算，即在整个流行病学研究中进行估计。

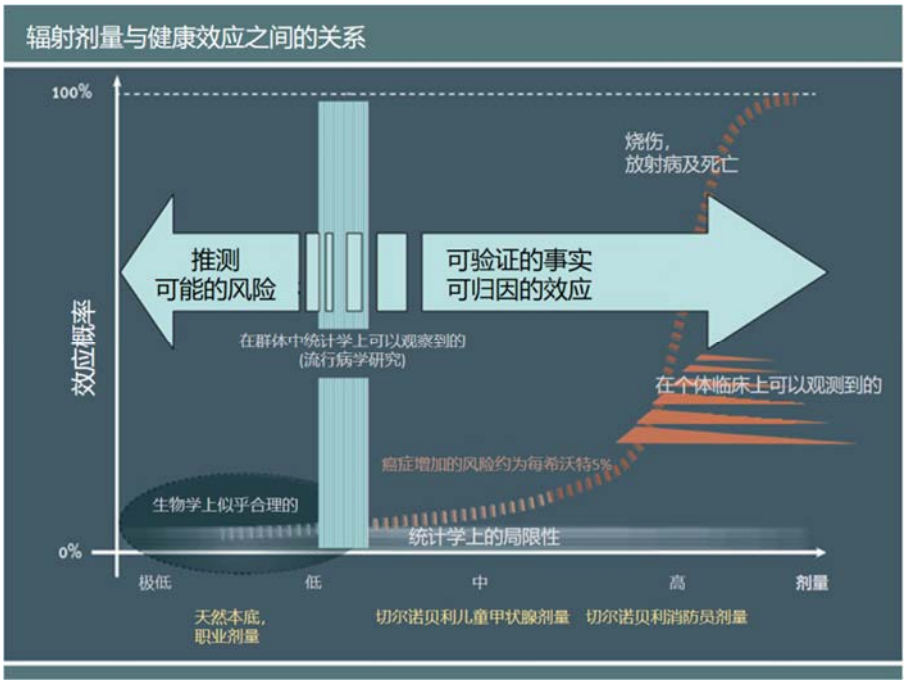



图 7.2　剂量-响应关系的横坐标被分为两个不同的区。资料来源：联合国环境规划署 2016，第 25 页（改编）

- 在低和极低剂量区，只有专家判断和知识外推的可能性，而不可能对受照者进行单独诊断，也不可能通过流行病学研究确定受照群体中效应的集体发生率的变化。

因此，如图 7.3 所示，在效应的归因方面可以作进一步的区分：

- 在高剂量区，效应可以被单独归因，也就是说，可以通过病理程序诊断和证实受照个体发生了这种效应；
- 在中等剂量区，效应可以进行集体估计。也就是说，尽管对这些效应进行单独诊断是不可行的，但可以评估在受照群体中的效应发生率的增量；

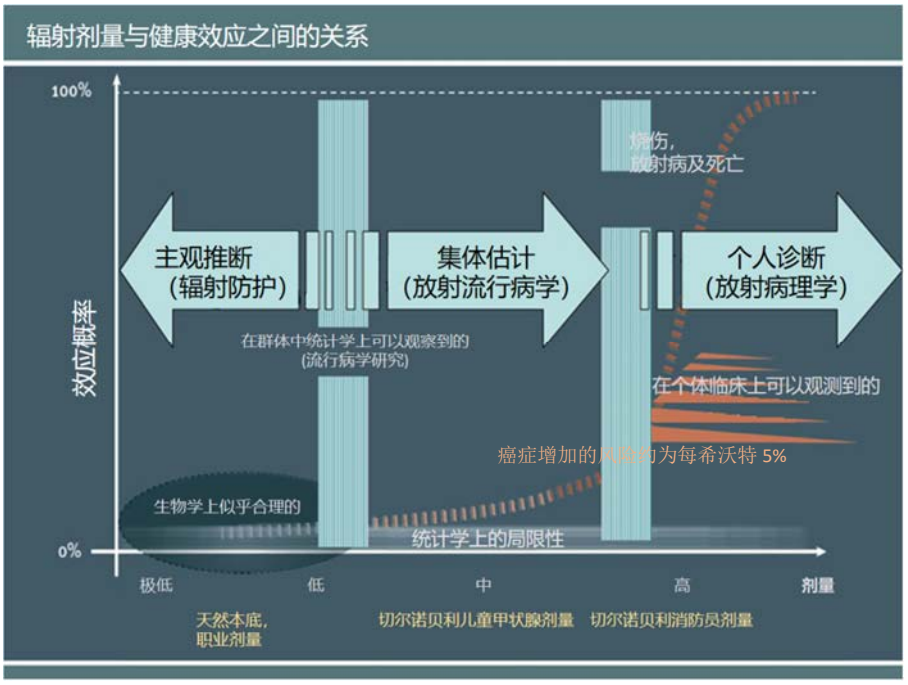



图 7.3　影响的剂量-反应关系子区域。资料来源：联合国环境规划署 2016 年，第 25 页（改编）

- 在低剂量区的其余区域，无论是单独地还是集体地，都无法对效应进行归因。尽管可以推断出一个“危险”，以主观概率表示，但这种概率不是基于可测量的频率，而是基于专家的个人推断或监管决策的主观概率。

如图 7.3 所示，这个过程需要下列不同专业的鉴证：

- 效应的个体归因，只能通过诊断，然后由合格的放射病理学家出具正式的证明；
- 效应的集体归因，只能通过统计估计，然后由合格的放射流行病学家出具正式的证明；
- 效应的主观推断可能需要相关专家组成的专业机构的一致意见，主要是放射生物学家和放射流行病学家作为放射防护学家的意

见，他们必须对危险（如果有）及其不确定性和局限性做出“专家判断”，这种判断应由监管决定加以确认。

## 7.7. 法律后果

将对健康效应归因于特定照射情况的能力，会影响受害者依法将损害归责于他人的能力。这种归责可能包括给那些故意引发照射造成人身伤害或有害效应的人分配责任。例如，工作人员可以归责于他们的雇主；公众可以归责于在他们生活环境中运营装置的许可证持有者。然而，有关辐射健康效应归因、辐射危险推断、特别是损害归责的立法，在各国之间以及在一国的不同司法管辖范围内审理的案件中是不同质的、无条理的和不一致的。将判例法与成文法相比较，可以得出一个重要的区别。

归责的名词（imputation）、动词（impute）及其动名词（imputing）在许多司法管辖区（例如在伊比利亚美洲的司法管辖区）都是非常常见的用法。然而，在一些法律文化中（例如在一些盎格鲁-撒克逊司法管辖区），归责动名词的用法并不是那么普遍。归责名词及其衍生词在语法上是正确的，因为它们意味着将一些不好的东西（在这种情况下是由辐射照射造成不好的东西）归责于某人（例如，受到辐射照射工作人员归责于雇主，或受影响的公众归责于与辐射有关的营运者）。总而言之，归责（imputing）的意思是把责任归咎于某个自然人或者法人，[34] 其他相关术语也用于类似的法律目的，包括以下术语：起诉（suing）和公诉（prosecuting），是指在受到辐射照射后提起法律诉讼；指控（charging），是指对违法行为正式提出控告（例如违反辐射防护法规）；控告（indicting），是指正式告发一项罪行（例如用辐射杀死某人）；当然，还有审判（judging），是指由被任命在法庭上裁决案件的公职人员做出裁决。需要强调的是，本章的描述经必要的修改后适用于上述任何一个概念。

[34] 这个词来源于拉丁语 imputar，意思是“进入账户”。

### 7.7.1. 法理学（判例法）立法

以法理诠释学为基础的判例法立法与成文法立法的区别在于其灵活性。这种立法可以很容易地处理涉及确定性效应的情况，并且可以灵活地解释概率性的情况，例如中、低和极低剂量辐射照射后可归因的或可推断的损害。

例如，在一些盛行这类立法的国家，分配份额 [35] 这个概念已被用来解决由随机效应造成的辐射损害的归责案件。

分配份额等于在个体中某一特定类型癌症确诊病例总数中，超过具有相同属性（如器官吸收剂量、年龄、自上次受照以来的时间、性别、吸烟史）的个人基线病例数的分数。分配份额被量化为超额相对危险与相对危险 [36] 之间的关系。分配份额通常被称为“归因分数”或“病因概率”，以此假设所计算出的超额相对危险代表了被诊断患有疾病的特定个体的疾病表现机制的净后果。

### 7.7.2. 成文法立法

大部分地区（例如在伊比利亚-美洲）的许多法律制度都有“成文法”的立法，即根据编纂和重新拟订法律的过程立法，一般按主题分类，形成了法典，即法律法典化。法典化运动在启蒙运动期间获得良好的发展势头，并在《拿破仑法典》颁布后得到广泛应用。

---

[35] 分配份额是指由特定辐射照射引起的在个体中观察到的健康效应（确定的或随机的）的概率。

[36] 相对危险是指在不同群体（如受照组和未受照组）中或在不同照射条件（如高剂量率受照组和低剂量率受照组）下的疾病率之比。将相对风险视为一些变量的函数，如剂量、性别或年龄，通常是有用的（需要注意的是，虽然这一比率通常被称为相对危险，但这是一个用词不当的说法；它实际上是一个比率的比率，从它得出的统计数据也是如此）；严格地说，虽然有关比率是从观察到的频率/比率中统计出来的，但超额相对危险是一个从数据和推理中推断的前瞻性估计。超额相对危险是指相对危险减去 1，它经常被视为剂量和其他因素的函数。

成文法的法律制度防止了多年前君主专制政体中相对普遍的专断和歧视。但是，必须承认，一个成文法制度从根本上说是一种确定性制度，一种由法典预先确定的法律制度。

因此，成文法的立法制度非常适合处理导致确定性效应的照射情况，因为有剂量阈值来界定某种效应是否一定会发生，即是否可归因。效应的发生可以由具有放射病理学资质的合格专家明确地证实，并且由于处罚可以编纂成法，归责就变得简单明了。但是，该系统并不完全适合处理概率性的情况，特别是低概率情况，例如那些与辐射照射可能造成的损害有关的情况，其概率甚至没有得到实际发生频率的支撑，而只是一个“专家的主观判断”，这不适合法典化。因此，成文法立法在解决随机效应的归责方面存在问题。

### 7.7.3. 个体归责、集体归责和虚拟归责之关系

与辐射照射有关的损害归责仍然是一个法律难题。在法理学的判例法制度中解决这个问题可能比较简单，但当判例法不适用的情况下，这对于成文法立法来说特别麻烦。如图 7.4 所示，有可能出现以下情况：

- 在高剂量区，直接从受影响的个体归责到肇事者。
- 在中等剂量区，似乎只有集体或群体归责是可行的。
- 在低剂量区，这种情况至少需要加上一个问号 — 是否有可能根据主观判断来归责辐射危险引起的感知后果？

在高剂量区，个体健康效应在临床上是可归因的和可证实的，因此，对受影响个体的伤害进行归责是可行的。在中等剂量区，人群中有害效应发生率的增加在流行病学上是可归因的和可证实的，因此，对受影响人群进行归责是可行的。在低剂量区，辐射伤害既不能归因，也不能证实，既不能单独归责，也不能集体归责，但是可以推断出辐射危险，这种情况似乎在法律上处于困境。

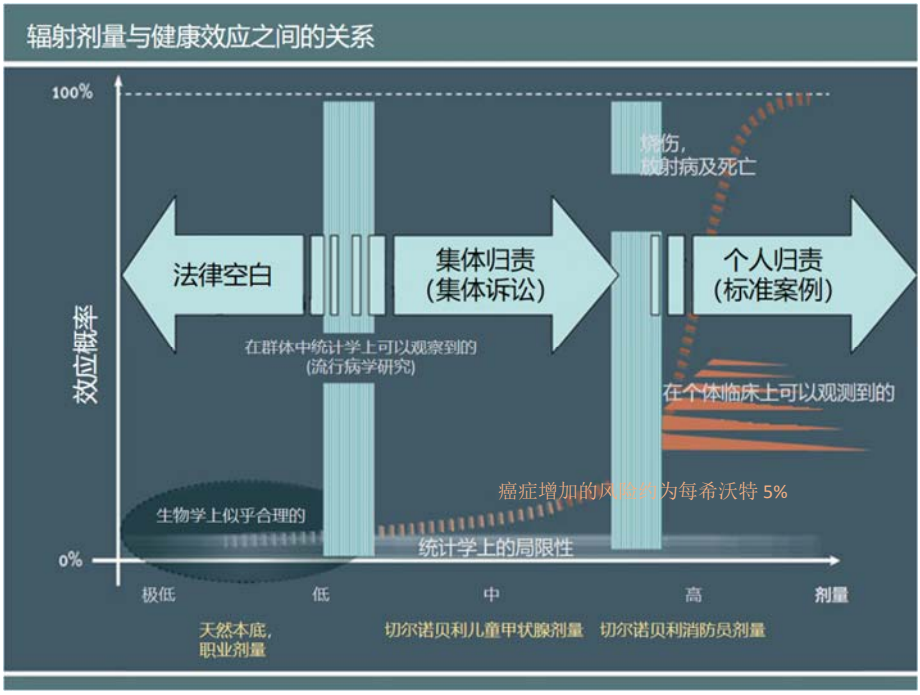



图 7.4　对不同辐射剂量后进行归责的能力的示意图。资料来源联合国环境规划署 2016，第 25 页（改编）

## 7.8.　结论

经过漫长的历程，科学界似乎已经在辐射科委会的主持下就辐射照射情况造成的伤害的归因达成了一项共识。这一重要的科学共识现在应当转化为法律文书，解决法律归责问题，以及在辐射照射情况下的起诉、公诉、指控、控告和审判的衍生问题。虽然随着共识的健全，已初步讨论了从科学归因和推断向法律归责的过渡，[37] 但尚未形成明确的普遍方法。

现在时机似乎已经成熟，法律专家可以将辐射照射情况下辐射效应归因和辐射危险推断的科学成果转化为立法指南。

考虑到各国在文化、监管和立法方面的差异，在国际上处理这一法律问题被认为是慎重和必要的，其基本目标有两个：

[37] González 2014a。

(a) 促进对归因于辐射照射情况的辐射伤害的相关政策形成共同的法律理解；

(b) 探讨采用普遍的法律释义的可行性，以规范法律在这些情况下的适用，这可成为对不同国家立法的潜在投入。

现在，重任落在核法律方面专家身上。

## 参考文献


Cardis E, Krewski D, Boniol M, Drozdovitch V, Darby S C, Gilbert E S, Akiba S, Benichou J, Ferlay F, Gandini S, Hill C, Howe G, Kesminiene A, Moser M, Sanchez M, Storm H, Voisin L, Boyle P (2006) Estimates of the Cancer Burden in Europe from Radioactive Fallout from the Chernobyl Accident. International Journal of Cancer 119:1224–35

González A J (1993) The Radiological Health Consequences of Chernobyl: The Dilemma of Causation. In: Nuclear Accidents: Liabilities and Guarantees. OECD/NEA, Paris

González A J (2002) The debate on the health effects attributable to low radiation exposure. Pierce Law Review 1:39–67

González A J (2011) Epistemology on the Attribution of Radiation Risks and Effects to Low Radiation Dose Exposure Situations. International Journal of Low Radiation 8

González A J (2014a) Key Note Address: Imputability of Health Effects to Low-Dose Radiation Exposure Situations. In: Manóvil R M (ed) Nuclear Law in Progress. Legis Argentina S.A., Buenos Aires

González A J (2014b) Clarifying the Paradigm on Radiation Effects & Safety Management: UNSCEAR Report on Attribution of Effects and Inference of Risks. Nuclear Engineering and Technology 46:467–474

González A J (2014c) Clarifying the Paradigm for Protection Against Low Radiation Doses: Retrospective Attribution of Effects Vis-à-Vis Prospective Inference of Risk. Radiation Protection in Australasia 31:2–12

González A J, Akashi M, Boice Jr J D, Chino M, Homma T, Ishigure N, Kai M, Kusumi S, Lee J–K, Menzel H–G, Niwa O, Sakai K, Weiss W, Yamashita S, Yonekura Y (2013) Radiological Protection Issues Arising During and After the Fukushima Nuclear Reactor Accident. Journal of Radiological Protection 33:497–571

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1996) One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Co-sponsored by European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Labour Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) The Fukushima Daiichi Accident. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Report of the 2018 International Symposium on Communicating Nuclear and Radiological Emergencies to the Public. https://www.iaea.org/sites/default/files/19/01/cn-265-report.pdf. 2021 年 10 月 3 日访问网页

International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2005) Low dose Extrapolation of Radiation-Related Cancer Risk. Elsevier, Amsterdam

International Commission on Radiological Protection (ICRP) (2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Elsevier, Amsterdam

International Labour Organization (ILO), International Atomic Energy Agency (IAEA), World Health Organization (WHO) (2010) Approaches to Attribution of Detrimental Health Effects to Occupational Ionizing Radiation Exposure and Their Application in Compensation Programmes for Cancer: A Practical Guide. ILO, Geneva

OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (1993) Nuclear Accidents: Liabilities and Guarantees. OECD/NEA, Paris

Ten Hoeve J E, Jacobson M Z (2012) Worldwide Health Effects of the Fukushima Daiichi Nuclear Accident. Energy & Environmental Science 5:8743–57

United Nations Environment Programme (UNEP) (2016) Radiation: Effects and Sources. Nairobi, Kenya

United Nations General Assembly (UNGA) (2012) Effects of Atomic Radiation, A/RES/67/112

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2008) Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I-CORR.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.II.pdf. 2021 年 10 月 3 日访问网页

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2012) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR_2012_Report.pdf. 2021 年 10 月 3 日访问网页

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (2013) Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf. https://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.II.pdf. 2021 年 10 月 3 日访问网页

Waltar A E, Brooks A L, Cuttler J M, Feinendegen L E, González A J, Morgan W F (2016) The High Price of Public Fear of Low-Dose Radiation. Journal of Radiological Protection 36:387Yablokov A V, Nesterenko V B, Nesterenko A V (2010) Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment. In: Sherman-Nevinger J D (ed) Annals of the New York Academy of Sciences. Blackwell, Bostom

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 8. 先进核反应堆技术未来发展背景下全球核安保法律体系有效性和各国实施能力

**邦妮·丹尼斯·詹金斯**

**摘要** 小型模块化反应堆和其他先进核反应堆技术的即将到来，对全世界共同追求能源安全和实现气候变化目标会是非常有益的发展。关键问题是，这些新的反应堆技术是否会显著改变现有核安保法律制度的基本前提。《核材料实物保护公约》及其修订案是关于核材料和核设施实物保护的唯一具有法律约束力的国际文书。《核材料实物保护公约》及其修订案和核安保国际导则共同构成了目前的核安保法律框架。本章详细分析《核材料实物保护公约》及其修订案是否充分涵盖先进核反应堆技术；以及有兴趣获得这些新反应堆技术的国家是否有能力有效执行与这些技术相关的法律要求、监管标准和国际导则。这些分析涉及国际原子能机构（原子能机构）的作用、原子能机构“核安保导则”和网络安保问题。

**关键词** 《核材料实物保护公约》；《核材料实物保护公约》修订案；实物保护；小型模块化反应堆；先进核反应堆技术；网络安保；原子能机构《核安保丛书》；供应国；供应商

## 8.1. 引言

随着核能的使用在 20 世纪 60 年代和 70 年代变得更加广泛，国际社会越来越认识到需要一套共同的实践，以确保民用核材料的适当实物保护。当时，轻水反应堆技术是唯一一种广泛商业化的民用反应堆，因此，国际社会制定与核安保有关的协定、条例和导则都考虑到了这一点。展望未来，在未来几十年里，轻水反应堆的主导地位可能会逐渐失去，让位于先进核反应堆技术，包括小型模块化反应堆。鉴于此，负责全球核安保法律制度长期有效性的从业人员不得不质疑是否需要更新现有制度。关键问题是，这些新的反应堆技术是否显著改变了现有核安保法律制度的基本前提。有关国际公约

《核材料实物保护公约》及其修订案[1]的覆盖范围是否能够确保其规定适用于先进核反应堆技术？其他相关国际导则是否足够广泛？获得这些新反应堆技术的国家是否有能力有效实施与这些技术相关的法律要求、监管标准和国际导则？为此，我们必须首先分析研究《核材料实物保护公约》及其修订案和国际导则，因为这些文件共同建立了我们目前的法律框架。第二个关键问题是，一旦这些新的反应堆技术成为现实，各国是否有能力对其管辖下的核材料和核设施的实物保护承担首要责任？最终，我们认为，无需为应用新兴的民用核反应堆技术，修订现行核安保法律制度和有关导则，并在本文中阐述这一结论的依据。

## 8.2. 审查全球核安保法律制度的主要国际要素

### 8.2.1. 《核材料实物保护公约》及其修订案

认识到需要一套共同的国际标准，以规定核材料国际运输适当的实物保护，《核材料实物保护公约》于 1980 年 3 月 3 日开放供签署，并于 1987 年 2 月 8 日生效。到 1990 年代后期，特别是在 2001 年 9 月 11 日事件之后，许多拥有核材料的国家认识到有必要扩大《核材料实物保护公约》的范围，增加关于国内使用、贮存和运输中的核材料实物保护以及保护核材料和核设施不受破坏的内容。因此，缔约国根据《核材料实物保护公约》第 20 条第 2 款，于 2005 年 7 月 8 日以协商一致方式通过了《核材料实物保护公约》修订案，该修订案于 2016 年 5 月 8 日生效。《核材料实物保护公约》及其修订案共同构成了关于核材料和核设施实物保护的唯一具有法律约束力的国际公约。在先进核反应堆技术方面，必须指出，与《核材料实物保护公约》不同，《核材料实物保护公约》修订案的范围包括了核设施。

在考虑《核材料实物保护公约》修订案是否充分涵盖先进核反应堆技术的问题时，我们必须审查与其范围有关的第 1、2 和 2A 条。第 1(d)条定义了“核设施”，就《核材料实物保护公约》修订案，核设施系指“生产、加工、使用、处理、贮存或处置核材料的设施，包括相关建筑物和设备，这

[1] 《核材料实物保护公约》，1980 年 3 月 3 日开放供签署，1987 年 2 月 8 日生效；《核材料实物保护公约》修订案，2016 年 5 月 8 日生效。

种设施若遭破坏或干扰可能导致显著量辐射或放射性物质的释放”。[2] 第 2 条规定，《核材料实物保护公约》修订案“应适用于用于和平目的核材料的使用、储存和运输和用于和平目的的核设施 [3]，第 2A 条规定，各缔约国应“建立、执行和维护适用于其管辖范围内的核材料和核设施的适当的实物保护制度，以便：(a) 防止盗窃和其他非法获取在使用、贮存和运输中的核材料……[和] (b) 保护核材料和核设施免遭蓄意破坏。[4] 第 2A(3)条还要求各缔约国对核材料和核设施实行实物保护的基本原则。

这些基本原则中有几项与有关核设施的性质有关。基本原则六（安保文化）规定，“所有参与实施实物保护的组织都应对必要的安保文化及其发展和保持给予适当优先地位，以确保在整个组织中有效地实施实物保护。”[5] 基本原则七（威胁）规定，一国的实物保护“应基于该国目前对威胁的评估。”[6] 基本原则八（分级方案）指出，在某种程度上，实物保护要求“应以分级方案为基础，同时考虑到目前对威胁的评估。以及与蓄意破坏核设施的相关潜在后果。”[7] 基本原则九（纵深防御）规定，一国的实物保护“应反映结构上的或其他技术、人事和组织方面的多层保护和保护措施的概念，敌方要想实现其目的必须克服或绕过这些保护层和保护措施。”[8]

在确定了这些要求之后，我们必须根据未来的先进核反应堆设计，检视其中是否需要有更改的内容。《核材料实物保护公约》修订案第 1 条中“核设施”的定义没有具体说明任何类型的核技术或反应堆运行的性质。第 2 条的要求也没有施加任何此类限制。由于设施或反应堆技术的类型不同，第 2A 条关于偷窃、非法获取和破坏的具体要求同样不以任何方式限制其适用范围。因此，基本原则六、七、八和九的语言具有足够的包容性，从而不必为了覆盖这些新技术而对公约进行修正。

---

2 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1。

3 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1。

4 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1。

5 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1。

6 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1。

7 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1。

8 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1。

因此，在其范围内已充分涵盖未来的先进核反应堆技术的情况下，不需要对《核材料实物保护公约》修订案进行修正。

### 8.2.2. INFCIRC/225/Rev.5 号文件

1975 年，原子能机构总干事召集了一个专家组，审查原子能机构成员国核材料实物保护建议手册草稿。[9] 这些建议随后得到更新，并于 1975 年 9 月以 INFCIRC/225 [10] 号文件的形式出版，并请原子能机构成员国关注。在随后的几年里，INFCIRC/225 号文件实质上进行了更新并扩展了其范围。目前的版本《关于核材料和核设施实物保护的核安保建议》（INFCIRC/225/Rev.5 号文件）[11]，于 2011 年 1 月定稿并出版。INFCIRC/225/Rev.5 号文件反映了原子能机构关于核材料和核设施实物保护的一套最深入、最全面的建议。这是向前的重要一步，首次就若干新问题提供指导，包括使得用于实物保护、核安全以及核材料衡算与控制的数字系统免受网络攻击。[12] 第 5 修订版还提到了对内部威胁的关切，并重点强调在国家核计划中推进适当的核安保文化的重要性。[13]

INFCIRC/225/Rev.5 号文件第 1 节和第 2 节是介绍性的，第 3 节列出了国家核材料和核设施实物保护制度的要素，并符合《核材料实物保护公约》修订案的基本原则。如何应用这些要素将取决于所涉及的核设施类型。第 3 节建议建立威胁评定，并酌情建立设计基准威胁。该节建议实物保护要求应以分级方案为基础，同时考虑到核材料的性质，以及未经授权转移材料和破坏核材料或设施的潜在后果。[14] 该节建议实物保护反映敌手必须突破多重保护的概念 [15]，并强调需要优先推进和维护安保文化。[16]

---

9 原子能机构 1975。

10 同上。

11 原子能机构 2011。

12 Bunn 等，2020。

13 同上。

14 原子能机构 2011

15 同上。

16 同上。

INFCIRC/225/Rev.5 号文件第 4 节更详细地阐述了，防止未经授权转移、使用和贮存中核材料的措施的要求。第 4.9 节建议，核设施的实物保护系统应是综合的，并应有效防止蓄意破坏和未经授权的转移。[17] 第 4.13 至 4.49 节列出了关于持有第一类材料的设施的具体实物保护建议，但这些建议不适用于任何具体的反应堆技术。第 5 节列出了防止蓄意破坏核设施和正在使用或贮存的核材料措施的具体要求。[18] 本节还突出了在实物保护设计中减轻蓄意破坏风险的多种方式。一些与空间有关的问题（例如建立具体界定的和不同的区域，在距离要害区适当距离处设置车辆障碍），但不限于任何特定的反应堆技术。[19]

总之，在详细分析 INFCIRC/225/Rev.5 号文件第 3－5 节的具体规定后发现，虽然有许多建议涉及核设施的建造和运行，但其中没有一项规定是专门针对特定核设施类型的。因此，预计无需对 INFCIRC/225/Rev.5 号文件做出任何修改，即可具体用于各类先进核反应堆的设计。

### 8.2.3. 原子能机构《核安保丛书》

2002 年 3 月，原子能机构理事会批准了该机构的第一个“核安保计划（2002－2005 年）”。[20] 该计划包括制定相关的“标准、准则和建议”，以涵盖理事会批准的扩大的核安保活动范围。[21] 同年，原子能机构总干事设立了一个专家组 — 原子能机构核安保咨询委员会，就原子能机构核安保活动的内容和优先事项提供咨询意见。机构理事会通过该计划后，核安保咨询委员会（立即开始参与制定这些标准、导则和建议。[22] 原子能机构出版

[17] 同上。

[18] 同上。

[19] 原子能机构 2011，第 5.25 至 5.31 段。

[20] 原子能机构核安保指导委员会 — 核安保指导委员会第一个三年任期（2012－2014 年）主席的报告，第 6 页。

[21] 同上。

[22] 同上。

物委员会根据该委员会的建议，于 2004 年批准设立《核安保丛书》。[23] 从 2006 年起，原子能机构《核安保丛书》出版物分为以下四类：

- 核安保基本法则包含核安保的目标、概念和原则，并为安保建议提供基础；
- 建议提出成员国在实施核安保基本法则时应当采用的最佳实践；
- 实施导则进一步详细阐述这些广泛领域内的建议并提出其执行措施；
- 技术导则出版物包括：参考手册 — 在具体领域或活动中就如何适用实施导则提供详细措施和（或）指导；培训导则 — 包括原子能机构在核安保方面的培训班教学大纲和（或）手册；以及服务导则 — 在原子能机构核安保咨询工作组的行为和工作范围方面提供指导。[24]

虽然核安保基本法则和建议文件都由高层草拟，但基本原则和建议文件都不可能详细到适用于特定的反应堆设计。“实施导则”和“技术导则”的阐述更为详细，适当研读一些可能包含相关涉及特定反应堆内容的文件。

《核安保丛书》第 8-G（Rev.1）号“实施导则”《针对内部威胁的预防和保护措施》讨论了与探测、延迟、响应和突发事件应对计划有关的具体预防措施，但无针对反应堆技术的规定。[25]《国家核安保威胁评价、设计基准威胁和代表性威胁文本》就进行威胁评价以及为特定设施制定和维护设计基准威胁提供了指导，但并未提出任何针对特定反应堆技术的建议。[26]《核安保丛书》第 27-G 号“实施导则”《核材料和核设施实物保护》（实施 INFCIRC/225/Rev.5 号文件），是各国实施 INFCIRC/225/Rev.5 号文件的一系列导则的主要“实施导则”。然而，该导则行文中并未细化至任何特定类型反应堆技术。相应的，与《核材料实物保护公约》修订案和 INFCIRC/225/

[23] 同上。

[24] 同上。

[25] 原子能机构 2020。

[26] 原子能机构 2009。

Rev.5 号文件一样，《核安保丛书》导则中的所有现有规定都充分兼容先进核反应堆技术。

总而言之，国际社会现有的一套具有法律约束力的协定和无约束力的导则覆盖范围广泛，已考虑到先进核技术的发展。尽管如此，各国执行上述要求和导则，有效应对国内在其领土内具体核安保挑战和风险时，仍会遇到棘手的情况。随着各国建造和运行新的反应堆，吸取经验教训和更新或增加原子能机构执行导则、技术导则更具参考意义。

### 8.2.4. 网络安保

除了前面所述的具体公约和相关导则之外，还有一个独特的问题值得特别考虑：网络安保。所有先进核反应堆设计的未来趋势，都会包括数字自动化作为运行的一个不可分割的组成部分。由于这种自动化，网络安保相关事件的风险增加。原子能机构以前发表了若干相关的实施导则和技术导则（将网络安保称为计算机安全），这些实施导则和技术导则直接和/或间接地考虑了缓解网络安保风险的技术的进展。现有的补充导则和技术导则的编写覆盖范围很广，足以适用于先进核反应堆技术，但随着这些新技术层出不穷，原子能机构及其成员国应优先考虑制定额外的具体实施导则或技术导则，以应对先进核反应堆设计的实物保护面临的网络安保有关的挑战。

## 8.3. 评估各国实施核安保相关新要求或导则的能力

除了考虑与核安保有关的国际法律要求和建议是否足以涵盖先进核反应堆设计之外，第二个关键问题是，有意获得这些新技术的国家是否有能力有效实施与这些技术有关的法律要求、监管标准和补充导则。由于一国建立、实施和维护实物保护制度的责任完全在于该国，如果一些国家缺乏这种能力，有哪些方法可以帮助这些国家获得这种能力？虽然全球核安保法律制度是健全的，但仍然需要持续加强国内法律和监管框架。

### 8.3.1. 供应国和供应商的作用

在设计和建造新技术反应堆时，供应国（通过其许可机构）和供应商都必须考虑到相应的核安保系统的所有要素，包括前面讨论过的安保文化、威胁（包括制定相应的设计基准威胁）、分级办法和纵深防御原则。作为各国政府的代表，许可授权机构有责任确保这些反应堆的供应符合全球最高安全、安保和不扩散标准。因此，许可证颁发机构负有更高和具体的责任，以确保在其决策过程中，考虑到这些新技术所特有的实物保护因素。政府应积极主动地向供应商说明，将安保文化、威胁、分级办法和纵深防御原则纳入其反应堆设计的重要性。同样，应鼓励供应商尽早与其许可证颁发机构协商，以确保反应堆设计符合国际法律要求和导则。

美利坚合众国（美国）非常认真地对待这些责任，多年来一直为先进核反应堆技术与核安保有关的影响作准备。美国核管会一直重视这些技术许可的影响，并设立了若干内部工作组，以研究其影响及其全面和及时地审核这些技术的能力。2019 年，美国核管会确认有必要修改其法规，为先进核反应堆制定更具体的实物保护要求。这一行动旨在为先进核反应堆实物保护提供“一套明确的基于性能的要求和导则”，并为先进核反应堆许可申请者“建立更强的监管稳定性、可预测性和清晰度”。[27]

美国核工业还与核管制委员会合作，早在 2015 年就致力于应对先进核技术的兴起导致核安保实践的变化。总部位于华盛顿特区的核技术行业政策组织美国核能研究所分别于 2015 年 11 月和 2016 年 12 月，发布了两份白皮书，提出了先进概念核反应堆的新实物保护要求，并敦促核管制委员会将该文件作为规则制定的基础。核管制委员会继续与美国核工业官员合作，努力完成上文提到的规则制定。

为确保营运国拥有这一领域的所需工具，另外一个方式是促进政府间双边合作。美国提供了广泛的双边和多边核安保援助。几十年来，美国能源部和核管制委员会的技术专家一直与外国合作伙伴接触，帮助确保合作伙伴核设施的安保，并计划随着新反应堆设计的出现，与时俱进更新措施。美国与核合作伙伴进行双边合作，共同商讨先进核反应堆技术的影响。2021 年 4 月，白宫在领导人气候峰会上宣布了美国在这方面的最新举措：负责任地

[27] 美国核管会 2019

使用小型模块化反应堆技术（FIRST）的基础设施计划。小型模块化反应堆技术计划提供符合原子能机构里程碑方案的能力建设支助，以使伙伴国家能够从先进的核技术中受益，并在核安全、安保和不扩散的最高标准下实现其清洁能源目标。

### 8.3.2. 原子能机构的作用

除了上文所述的双边政府对政府和公共-私营部门伙伴关系之外，原子能机构还应响应各国要求，在协助各国履行其先进核反应堆设施的实物保护义务方面发挥不可或缺的作用。

原子能机构应通过其国际实物保护咨询服务和国际核安保咨询服务工作组访问，向感兴趣的成员国提供与反应堆设计相关的实物保护培训。最后，随着这些新技术的用户在全球获得更多经验，原子能机构将成为这种集体智慧的汇集者，通过各种外联活动向所有用户积极传播指导意见和良好实践。原子能机构成员国必须确保原子能机构有足够的资源来制定必要的导则，并提供适当的培训和咨询服务，以支助使用这些技术的成员国。

## 8.4. 结论

小型模块化反应堆和其他先进核反应堆技术的即将到来，有利于全球共同追求能源安全和实现气候变化目标。为了使这些技术成功地为这些目标做出贡献，全球民用核合作界的所有利益相关方都必须积极参与这一进程。幸运的是，我们现有的全球核安保相关法律制度已经设计得当，能够促进核技术有益发展。为了确保各国能够获得这些惠益，各国必须与供应国、供应商和原子能机构合作。只有通过利益相关方的协调一致和深思熟虑的努力，才能在这些新反应堆投入市场时，确保营运这些反应堆的国家有足够的实物安保措施用于其设施。

# 参考文献

Bunn M, Holgate L, Kovchegin D, Tobey W (2020) IAEA Nuclear Security Recommendations(INFCIRC/225): The Next Generation. https://www.stimson.org/2020/iaea-nuclear-security-rec ommendations-infcirc-225-the-next-generation. 2021 年 10 月 11 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1975) The Physical Protection of Nuclear Material, INFCIRC/225. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2009) Development, Use and Maintenance of the Design Basis Threat, IAEA Nuclear Security Series No. 10-G (Rev.1). IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011) Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5). IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020), Preventive and Protective Measures Against Inside Threats, IAEA Nuclear Security Series No. 8-G (Rev.1). IAEA, Vienna

United States Nuclear Regulatory Commission (2019) Physical Security for Advanced Reactors—Regulatory Basis for Public Comment.

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 9. 建立核安保制度：需要提出的问题

**雷金·高彻、托马斯·兰金和埃里克·杜库索**

**摘要** 本章概述了一国在制定核计划和相应的核安保制度时，应了解的一些关键问题。在全球化和各国相互依存的背景下，人们认识到，一国履行其保护核材料和核活动的使命的方式也关系到其他国家。针对这一情况，尽管各国不愿披露其国内主权的安保实践，但一个具有法律约束力和不具有法律约束力的文书组成的国际框架已经建立，其理念是促进更大的一致性，从而为所有国家提供保障。对一个国家而言，理解其所处的超越核安保的国家和国际相关背景也很重要。然后，这个国家必须根据安保问题和国家主权的基本原则，对核领域某些组成部分的基本概念进行自我审视，例如主管部门的定位、信息的保护、透明度或营运者的作用。

**关键词** 核安保；核安保制度；威胁评价；设计基准威胁；国际框架；法律和监管框架；国家主权和责任；《核材料实物保护公约》及其 2005 年修订案；合规性方法；基于绩效的方法；运输；保密性

## 9.1. 概述

核能领域，特别是民用核能领域，使一国在考虑为工业（例如核能）、医疗或研究目的建立核设施或开展核活动时，必须考虑到多个要素。一个国家实施核计划过程中必须始终考虑的基本要素之一，是防止对公众和环境造成任何不可接受的危险后果。这一基本要素有三个组成部分：核安全和辐射防护、确保核活动和平利用（保障）和核安保。

核安保在历史上是在冷战的背景下发展起来的，当时的主要威胁是使用核材料制造核武器。这一背景导致了一个致力于打击核扩散的国际框架的建立（特别是随着《不扩散核武器条约》的签署，该条约于 1970 年开始

生效）。[1] 这一框架规定了缔约国必须履行的义务，以证明其设施和开展的核活动并未被滥用，以及核材料没有被该国从事除和平用途外的其他活动。作为对这一保障原则的补充，核安保最初是为了防止恶意分子盗窃和挪用用于核活动的核材料。此后，这一概念扩展到所有可能导致放射性后果的恶意行为和恐怖主义行动。这包括对核材料和其他放射性物质、设施和运输的破坏，以及为制造放射性散布装置而偷窃或挪用的风险。因此，人们普遍认为，核安保一词包括预防、探测和应对涉及核材料、放射性物质或核设施的任何盗窃、破坏、未经授权进入、非法贩运或任何其他形式的恶意行为。

在过去的几十年里，国际舞台上呈现出多种挑战的普遍性，并且各国在经济、政治和社会上越来越相互依存。因此，多边主义是应对其中一些挑战的必要步骤之一。

核领域与这一说法特别相关，因为风险具有普遍性，并且可能超越国家的实际边界。恐怖主义是一种行动方式，有时也是一种目标，任何国家都无法逃脱。因此，每个人都必须为这种不断演变的威胁做好准备，这种威胁会跟踪并利用微小的技术发展。核工业可以成为这类行动的主要目标，这不仅是因为后果严重，也是由于其对公众的影响。这就是为什么核恐怖主义可以采取各种形式的原因。

由于核挑战非常普遍，人们通常认为，一国履行其保护核材料、放射性物质或核设施任务的方式也与其他国家有关联。这就是为什么在过去三十年里，制定了一些国际文书（具有法律约束力的文书，如《核材料实物保护公约》及其 2005 年修订案 [2]，或不具约束力的文书，如行为准则或原子能机构的一系列关于核安保的建议。这一国际框架旨在帮助各国加强其核安保制度，并向其他国家提供保障。需要注意的是，为这一具有高度挑战性的领域制定的各项规定需要保持一致性。

然而，必须指出，属于国家安全范围的内容应符合国家主权的基本原则。一国采取的核安保措施虽然也是为了实现国际目标，但其初衷是保护本

---

1 《不扩散核武器条约》于 1968 年 7 月 1 日开放供签署，于 1970 年 3 月 5 日生效。

2 《核材料实物保护公约》于 1980 年 3 月 3 日开放供签署，1987 年 2 月 8 日生效，2016 年 5 月 8 日生效的《核材料实物保护公约》修订案。

国公众和环境，这与当地情况有关。因此，反映了现行国际体系起源的威斯特伐利亚体系原则的主权基本概念，仍然是制定国际框架和开展各种多边论坛工作的一个基本要素。

本章的目的是，介绍希望建立核计划的国家必须考虑的重要步骤，以建立一方面要符合其国情和挑战，另一方面要符合国际框架提出的建议和良好实践的核安保制度。

## 9.2. 国家主权和责任

### 9.2.1. 核安保在国家的全球安保体系中处于什么位置？

国际公认，核安保的责任完全由一个国家承担，正如 2005 年《核材料实物保护公约》修订案 [3] 的两项原则所规定：

**基本原则一**：国家的责任

一国建立、实施和维护实物保护制度的责任完全在于该国。

**基本原则二**：国际运输中的责任

一国确保核材料受到充分保护的责任延伸到核材料的国际运输，直至酌情将该责任适当移交给另一国。

核安保是国家安全的一个重要组成部分，因此，从根本上说，这是一项国家的基本职能。至少自 19 世纪以来，各国越来越多地从全球的角度来理解国防和安全、战争和经济之间的内在联系。

同样，内部安全和外部安全是密不可分的。最近的事件证实了，外部行动强烈影响着内部安全，反之亦然。例如，近年来法国恐怖主义威胁的上升与国际环境密不可分，特别是与基地组织和自称伊斯兰国的行动，以及法国针对这些组织的政策有关。

因此，犯罪、恐怖主义和国家威胁之间是不可分割的，并且这些威胁的不同组成部分可能有着密切的联系。

---

[3] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1，第 2a 条第 3 款。

在这种情况下，核材料、核设施和核运输，以及核计划的发展，都可能成为重要目标。为了说明这一点，我们可以考虑 2010 年用震网（Stuxnet）蠕虫病毒对伊朗伊斯兰共和国铀浓缩设施进行的计算机攻击，或者阅读安德斯·布雷维克的宣言 [4]，该宣言呼吁“将欧洲核电厂用作大规模杀伤性武器”。

因此，希望发展核计划的国家必须尽早考虑，该计划对其国防和国家安全的影响。

首先要问的问题是，对于核电相关风险的承受能力。因此，建立核安保制度将是管理威胁和风险的一个重要部分。应当铭记，一国风险承受能力越低，保护水平就越高，因此成本也越高。此外，这种风险的可接受水平明显是一种政治选择，必须定期面对威胁的变化。因此，在法国，过去几年来，民众对风险控制的更高需求以及威胁升级，共同导致所需安保水平大幅提高，从而使国家和核营运者的人力和财力也大幅增加。这方面不应被低估，由于安保的成本可能很高，因此必须在项目的经济成本中充分考虑。

国家已经建立了国家安全相关的法律、法规和制度。因此，政府必须确定如何将核安保纳入这一范围（见第 9.5.3 节）以建立核安保制度。例如，在法国，核安保受《国防法典》调整 [5]，其中包括与核材料、核装置及核运输的实物保护的相关内容（第 1333 条），与保护关键装置的相关内容（第 1332 条），归属于经济防卫。因此，核安保与核安全是分开处理的，核安全由主要考虑防止污染和环境风险《环境法典》所涵盖。

核安保主要是国家的事情，这一事实意义重大，因为它带来了在核安全方面不太常见的特殊限制。事实上，如果执行核安全的责任可以完全交给营运者，那么核安保就不是这样，因为安保总是需要国家资源。各国所作的选择将对开展国际合作（见第 9.4 节）、法律和监管框架（见第 9.5.3 节和第 9.6 节）以及沟通（见第 9.9 节）产生重大影响。

---

4 Breivik 2011。

5 https://codes.droit.org/PDF/Code%2520de%2520la%2520d%25C3%25A9fense.pdf，《法国国防法》，2021 年 8 月 30 日版本。

## 9.3. 威胁：威胁评定和设计基准威胁

### 9.3.1. 我们需要抵御什么来保护自己？

在核安保领域，国家主权的主要标志之一是设计基准威胁。这通常是国家的和机密的安保信息，应受到相应的保护。

无论核活动保护系统必须满足规定方法（合规性方法）还是结果目标（基于绩效的方法），其目的始终是相同的：防范已查明的和认定的威胁。

在国家的许多责任中，一个主要责任是确定其国家面临可能影响其活动的威胁。这一分析需要负责国家安全的政府部门和机构（如警察、情报、网络安全）的参与，这种分析必须基于该国已知的事件，也必须包括国外正在发生的事件。

### 9.3.2. 营运者应承担何种安保责任？核安保法规应考虑何种程度的威胁？

在保护与恐怖主义威胁相关的具体活动，如与核行业有关的活动时，国家面临着政治选择。考虑到所认定的威胁是详尽无遗的，很难想象国家会决定将保护核活动的责任完全交给给营运者。因此，国家可以决定要么单独承担责任，要么在公共机构和营运者之间进行分担。国家使用第一种解决方案将导致营运者完全免责，这是毫无道理的。

如果没有营运者的知识和经验，则不可能确保安保措施的有效性，特别是在处理那些技术和组织复杂的设施时，就像我们在核行业发现的那些设施（例如，安保与设施固有的其他风险之间的接口）。内部敌手威胁是一个相关的例子，充分说明了营运者主要作用，既要防止在组织内部出现这种威胁，又要尽可能有效地保护自身免受这种威胁（采取预防措施）。的确，国家发挥着重要作用，特别是在可信任性审查方面，仅靠国家发挥作用是不够的。

因此，国际社会普遍认为，为确保对核活动的保护，更可取的做法是采取互补的方法。这一点在安保计划中表现得尤为明显，该计划旨在制定为发现、缓解、阻止事态发展和消除威胁而采取的战略。在这种情况下，国家必

须决定营运者能够用自有的资源必须应对哪些已确定的威胁。这通常被称为设计基准威胁，用于原子能机构建议中的保护系统的设计和评价。

### 9.3.3. 如何从设计阶段考虑威胁？

为了确保切实有效，必须在项目设计（无论是新活动还是对现有活动的变更）时尽早考虑核安保问题。

这意味着，各国在希望开始实施核计划时，首先必须确定设计基准威胁。必须在设计基准威胁中考虑适用的国家法律和监管规定。对于任何希望倡导“安保始于设计”方法的国家来说，这一套要素是必不可少的。这种方法是通过将固有的安保设计与设施的固有特征相结合，这将有助于减少保护目标的数量，更好地减轻剩余漏洞的潜在后果，从而促进主动的实物保护，以解决设施的薄弱性。这种“安保始于设计”方法被称为“一体化方法”，因为除了核安保之外，它还包括安全事项和维护。

威胁的行动方式和手段会随着时间的推移而演变。“安保始于设计”的概念使得考虑当前的威胁和预测它们在设施生命周期内的演变变得更加容易。例如，可以设计用于额外的实物保护系统的空间。在威胁持续不断演变的过程中，国家应定期预测并重新审查其设计基准威胁以及由此产生的法律和监管框架的义务。

如上所述，这一设计基准威胁适用于营运者，但这也是国内安保武装力量需要考虑的一个基本要素。作为补充办法之一，国内安保武装力量可以对设施进行干预，向营运者的保卫力量提供援助，以确保设施场址的安保，或阻止安保危机。

一些恶意者可以利用威胁手段，如网络攻击，甚至无人机飞越，使国内安保武装力量的干预更加困难，这些手段甚至可阻止干预。因此，应确定相关的跨学科实践，以便在所有情况下都能做出有效应对，并确定管控潜在恶意行为的协调战略。

## 9.4. 国际框架

### 9.4.1. 核安保如何适应国际水平？

如参考文献 [6] 所述，核法律的目标是提供一个法律框架，确保在开展涉及核能和电离辐射的活动时充分保护个人、财产和环境。如上所述，民用核问题的普及导致了一些国际文书的制定，这既有助于加强实物保护，又促进核领域诸多规定更高的一致性。然而，与核领域的其他组成部分一样，核安保汇集了国际和国家两个层面的若干文书（具有或不具有法律约束力）（见第 9.5.3 节）。在国际层面，这些不同组成部分拥有各自具体的逻辑，并旨在实现与安保有关的广泛目标，甚至包括与核安保密切相关的其他领域目标的实现，但这不是主要关切问题。因此，一个国家必须能够了解和理解这些重要的接口，以便采取既满足国家需要又符合期望的政策，同时对各种国际关注的问题做出反应。

要了解核安保的国际框架，有必要从联合国开始，联合国的历史与核电的历史相关联。1946 年 1 月 24 日，联合国大会通过的第一项决议 [7] 是设立一个委员会，来处理原子能的发现引起的问题和其他相关问题。联合国打击恐怖主义的职责，促使其常常以决议的形式做出大量决定。在这些决议中，有些涉及核安保。例如，联合国安全理事会“第 1540（2004）号决议”[8] 虽然主要涉及防止核武器扩散，但提到了“《核材料实物保护公约》所要求的措施和原子能机构《放射源安全和安保行为准则》所建议的措施”，呼吁各国“制定和维护有效的实物保护措施”。联合国 1996 年 12 月第 51/210 号决议 [9] 发起了与国际核安保框架有关的三项国际条约准备工作：《制止恐

6 Stoiber 等，2003。

7 联合国大会 1946。

8 联合国教科文组织 2004，2—3 页。

9 联合国大会 1997。

怖主义爆炸的国际公约》《制止向恐怖主义提供资助的国际公约》和《制止核恐怖主义行为国际公约》。[10]

原子能机构的主要目标，是与其成员国一道促进安全、安保和和平利用核技术。为此，原子能机构鼓励成员国签署由其作为保存人的现行公约和行为准则。除此之外，原子能机构还广泛评估了核安保、需求、优先事项和威胁，特别是那些与恐怖主义有关的威胁。因此，原子能机构支持建立国际伙伴关系和国际网络。原子能机构还拟订不具法律约束力的文书，其中包括基本法则、建议、实施导则和技术导则，构成了《核安保丛书》出版物。原子能机构还向各国提供服务，如国际核安保咨询服务。这项服务旨在协助各国建立和维护有效的核安保系统。国际实物保护咨询服务计划是原子能机构核安保战略的一个基本要素，应邀协助成员国评价其实物保护系统。这一评价包括在国家层面法律和监管框架，以及在设施层面和运输过程中为满足监管要求而实施的措施和程序。评估的依据是国际文书以及原子能机构的建议和导则中的要求。这些文件包括这里所列的主要案文，以及原子能机构所有其他相关文件，包括《核安保丛书》出版物或其他导则/建议：《核材料实物保护公约》及其 2005 年修订案、《实物保护的基本原则和目标》（原子能机构 GOV/2001/41 号文件）[11]，原子能机构《放射源安全和安保行为准则》[12]，以及原子能机构《核安保丛书》出版物第 20 号、第 13 号和第 14 号。[13]

《核材料实物保护公约》是 1979 年 10 月 26 日通过的一项国际条约，并于 1987 年 2 月 8 日生效。[14] 该公约是许多打击恐怖主义的国际工具之一，且仍然是针对核材料实物保护的唯一具有法律约束力的文书。该公约技术条款涉及在国际运输过程中对核材料的保护，而其刑事条款以及与司法

---

[10] 《制止恐怖主义爆炸事件的国际公约》，于 1998 年 1 月 12 日开放供签署，于 2001 年 5 月 23 日生效。《制止向恐怖主义提供资助的国际公约》于 2002 年 1 月 10 日开放供签署，于 2002 年 4 月 10 日生效。《制止核恐怖主义行为国际公约》于 2005 年 9 月 14 日开放供签署，2007 年 7 月 7 日生效。

[11] 《实物保护的基本原则和目标》（原子能机构 GOV/2001/41 号文件）。

[12] 原子能机构 2004。

[13] 原子能机构 2011a、b、2013。

[14] 《核材料实物保护公约》，见上文脚注 1。

合作有关的条款也适用于在国家领土上使用、贮存或运输的核材料。2005年，通过了对《核材料实物保护公约》的一项修订案，旨在将《核材料实物保护公约》的适用范围扩大到在国家领土上使用、贮存和运输的核材料。此外，该公约还介绍了实物保护的十二项基本原则（国家责任、国际运输期间责任、法律和监管框架、主管部门、许可证持有者责任、安保文化、威胁、分级方法、纵深防御、质量保证、突发事件应对计划和保密）。因此，当一个国家考虑开始实施民用核计划时，强烈建议其成为这两项国际文书《核材料实物保护公约》及其修订案的缔约国。

### 9.4.2. 如何管理接口？

这一简短的导言界定了构成国际核安保框架的诸多主要工具，说明核安保与一套更广泛的国际法有着内在的联系，这些国际法处理具体的关切问题，有时可能超出核行业的范围。

核安保只是核问题的一部分，在核安全和辐射防护以及核保障方面情况也类似。这些不同的组成部分虽然是共同为了保护公众和环境免受核能所代表的风险的，但却有各自的目标，因而也有各自的逻辑。因此，重要的是明确和评估必要的接口，以便各个组成部分都能实现其基本目标，而不损害全球的整体利益。目前的国际组织结构，包括允许在原子能机构单一组织的监督下，制定一个专门针对核行业各个组成部分的国际框架。原子能机构设立了一个组织，使来自不同成员国的专家能够有效地建立和发展与其专业领域相关的国际框架，促使专家们能够考虑到核行业以外其他相关领域的情况，同时提供必要的桥梁，以明确并有效处理与核行业其他组成部分的接口问题。这种实践避免了将所有核问题汇集在单一国际框架下。尽管从接口管理的角度可以理解这种方法，但这种方式可能有难以忽视的缺点。

主要风险之一是陷入限制性的核方案，导致专家无法发挥其特定领域的才能，倾向于培养通才，这种情况将不允许与其他相关部分建立必要的关系。从长远来看，这可能导致核行业脱离其广泛的背景，而融入广泛的背景和与这些背景的接口是不可或缺的。

### 9.4.3. 如何平衡国际和国内问题？

如前所述，核安保是国家安全的一个组成部分，有时是非常重要的组成部分。当前国际背景下，显现出问题的普遍性，和世界各国的相互依存性。这并不意味着几十年来指导国际关系的某些主要原则已经消失了，例如国家主权、国家自身利益（新冠肺炎健康危机就是最近的具体实例），或者随着时间演变的国家之间的紧张关系。因此，在国际范围内必须非常谨慎地处理核安保问题。2005 年《核材料实物保护公约》修订案提出的保密的基本原则，对于应对全球核行业威胁的挑战而建立的多边关系框架具有非常重要的意义，即使其范围主要是国家层面。例如，其基本要素之一，是确保实物保护系统敏感信息的机密性。

在其他核领域（如核安全或辐射防护），汇集代表最新技术的实践相关的透明度是有意义的。这些领域的措施必须应对的风险是，气候危害、材料失效或无恶意的人为行为造成的后果。风险是不断演化的，而措施无法适用于所有情况。因此，这一标准化办法可能有效地对全人类共享的高水平保护目标以及需要对不同国家和社会要求实现保护目标的信心作出反应。核事故的后果必然会产生跨越边境、放射学、经济学或社会影响。

在核安保乃至整个安全领域，各国对面临的威胁具有自适应能力。根据定义，这是一种恶意的人类行为。因此，与允许透明领域的目标相反，可以这么认为，任何试图公开、趋同核安保方面共同实践的努力，都可能被怀疑是某些国家的虚假把戏，甚至是为了获取信息而进行的操纵手段。在这方面，保密的基本原则对各国特别重要，尤其是在安保领域，必须在可共享的内容和必要知情者所需的内容之间获得适当的平衡。

近几十年来出现的诸多国际条约，解释了国际社会的各种因素越来越紧密地联系。各国可能无法单独解决国家间的共同利益的问题，推动了在多边框架内处理问题的必要性。正如本章前面所强调的，当今的核安保挑战是全球性的。因此，各国迫切需要国际社会参与解决这些问题。公约，如《核材料实物保护公约》及其修订案，是最适当的文书。鼓励各国批准这些文书并参加审议大会是确保全球加强核安保的第一步，当然也是最重要的一步。然而，这些工具的应用程度各不相同。一方面，是政治因素，其目标是确保缔约国对挑战和应对挑战所需做出的努力有共同的认识。另一方面，是技术

因素，目标是确保国际文书能够对缔约国采取的实物保护措施产生具体影响。

这两个方面突出了执行任何国际条约的基本原则，这一原则基于缔约国的诚意及其固有的不可核查性。这反映了当事方之间需要信任（应理解为信守诺言），这是善意概念的基本要素。当从技术角度考虑《核材料实物保护公约》及其修订案等工具时，这一点尤其重要。在多边对话的框架内，很难以具体和定性的方式核实各国采取的安保措施水平是否能够应对所面临的威胁。出于对安保的保密和主权原则，国家之间的交流被限制，这涉及国家之间的信任问题。在更有限的交流中，例如在地区甚至双边对话时，当找到共同利益，可建立信任关系时，某些障碍可能会被消除。原子能机构同行评审（国际实物保护咨询服务）工作组访问相应考虑到了这些限制因素，东道国可以在来自若干国家的国际专家库中，选择来自相应关系国家的专家。

经过原子能机构领导下多年的发展，国际核安保框架已达到如此成熟的程度，但是很难确定任何近期的结构发展需要。这是从现实观察得出的结论，目前国家关系将在区域乃至双边仍在进一步发展。然而，原子能机构有必要继续在协调国际合作方面发挥核心作用，向各国提供援助，如组织培训和同行评审（国际实物保护咨询服务）工作组访问，或提供国际核安保咨询服务等服务。

原子能机构必须继续促进国际合作，使各国能够长期保持相应的核安保水平。此外，研讨班、会议和其他活动有助于建立或维持国际专家网络，每个国家在分享和获取关于某一特定主题的参考文献时，都可以在此网络上找到良好的合作伙伴。原子能机构的桥梁作用也至关重要，这对于明确和适当管理核行业三个组成部分之间的接口至关重要，同时保证尊重其独特性，以便适当地考虑超越核领域关切的相关环境。

## 9.5. 法律和监管框架

国家需履行的另一项重要责任，是建立法律和监管框架，正如《核材料实物保护公约》修订案的基本原则三所重申的那样 [15]：

[15] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1，第 2a 条第 3 款。

**基本原则三**：法律和监管框架

国家负责建立和维护管理实物保护的法律和监管框架。这一框架应规定建立适用的实物保护要求，并包括评估和许可证审批或其他授权程序的系统。这一框架应包括对核设施和运输的视察系统，以核实适用要求和对许可证或其他授权文件的条件的遵守情况，并确立加强适用要求和条件的手段，包括有效的制裁措施。

### 9.5.1. 如何才能最好地将核安保纳入全球国家框架？

核安保监管属于现有复杂的法律和监管框架。正如原子能机构《核法律手册》[16] 所说，必须指出，核监管没有任何单一、确定的模式。考虑到核安保与其他法规之间的许多监管接口，核安保尤其如此：

- 保护信息；
- 保护重要基础设施；
- 保护信息系统；
- 与国家安全有关受监管的职业、可能需要行政调查或审查；
- 持有和使用武器的制度；
- 对陆地、空中和海洋空间的监管和限制；
- 危机管理。

鉴于上述所述接口，并如 9.2 节中所示。核安保是国家安全的组成部分。因此，核安保是关于如何平衡安全与公共自由公开辩论的一部分。

例如，需要进行可信任调查，以查明员工可能存在弱点的情况，这些弱点不允许该员工进入核场所或履行核行业的敏感职能。在法国，营运者要求行政机构进行这种调查。这些调查行为看起来可能是侵入性的，与自由背道而驰。然而，必须指出，所实施的规则是众所周知的公开内容，并为那些认为自己被不公平地排除在所申请的敏感职位外的人提供了申诉的可能性。

[16] Stoiber 等，2003。

这些自由不是绝对的，而是在管辖这些自由的法律和监管框架内行使的权力。行政机构就该员工可能存在的弱点向营运者提出意见，然后由营运者决定是否授予访问权限。

因此，必须最严格地界定“敏感职位或敏感信息”的概念，才能确保应对安保挑战中达到良好平衡。例如，许多人可能参与核材料运输的准备工作，组织工作是复杂的，这可能导致对大量人员的组织指挥。因此，必须考虑到这些措施的可行性以及对公共自由的影响程度。

核安保挑战如此重要，立法部门的决定使得接触设施或信息受到可信任调查的约束，或者通过可信任调查程序，或者基于强化的可信任调查国防许可程序。核工业就是这种情况，审查程序必须用于主管部门制定的目录中所列职位。未通过审查不予录用。

在应对威胁时，不可避免地会出现武装响应问题。拥有和使用武器是由国家文化决定的，因此不同国家之间有很大差异。在法国，武器使用受到高度管制，只有在国内安全法规定十分具体的情况下，才可以在国家武装部队之外使用武器。在核领域，营运者可能拥有内部武装力量，或者要求就近的外部武装力量 [17] 支援，这满足了对威胁做出快速部署、第一响应的要求。

### 9.5.2. 如何在专门的行政制度和与其他领域共同的制度之间做出选择？

核安保在国家的监管框架中应处于什么地位？毫无疑问，将核安保纳入现有的安全、环境保护、关键设施、国防、国家安全、辐射防护等进程是可行的，但是，仍存在无法适当处理核安保特殊性的风险，无法识别目标或手段与目标之间的某些冲突的风险，或无法在各种备选方案之间做出正确选择的风险。这就是法国选择了专门负责核安保的制度，并决定将其责任交给一个国家部门的原因。

[17] 为执行该法令第 35 条而发布的 2017 年 12 月 29 日第 2017－1844 号法令和 2019 年 11 月 15 日部长令。

### 9.5.3. 合规化还是绩效化管理模式？国家该如何抉择？

合规性为营运者规定了非常精确的义务，以及需要采取的手段。这种模式的优点更全面、营运者更容易实施、主管机构更容易监管。

即使营运者不熟悉安保文化，这种模式也非常适合最低水平要求的场合。法国将该模式，用于放射源安保以及风险最低核材料（第三类和以下类别）运输和核装置的安保。然而，它也有局限性，由于随着技术和威胁的变化，这些要求可能会中短期内过时。还必须特别注意，避免与核安全和辐射防护等其他领域的要求发生冲突。例如，就放射源而言，有关存放地点的信息最初被认为是敏感的，因此本应加以限制。然而，从辐射防护的角度来看，辐射防护要求报告与源有关的任何潜在危险，这种信息必须公开。

绩效模式包括为营运者设定基于结果的目标，并由营运者确定实现这些目标的手段。这种模式可以实现更高级别的保护，但需要营运者和负责安保管理的人员具有非常高水平的专业知识。

这种模式的优点是能够更容易地适应各种不同设施、操作规程、地点等，并且能适应技术发展和威胁的变化。此外，该模式还允许制定针对每个营运者的初始的解决方案，因此鲜为人知，而且不需要紧跟时事而经常修订。在法国，这种模式普遍适用于高风险核设施。尽管由于计算机威胁、无人机攻击等发生了变化，但因为获得了反馈和经验教训，2009 年制定的要求仍然有效。

绩效管理模式让高水平安保成为可能，因为这将迫使营运者设计一个非常有效和与受保护对象高度匹配的核安保系统。特别是，评估所达到的性能，可以查明遗留的薄弱性，并计划必要的整改。在法国，这种实践已经取得了实质性进展。起初看起来非常强大的安保资源，被证明是不足够的。一个非常重要的教训标明，简单的把大量的资源堆积起来并不是有效的。这使得，一些营运者改变了安保策略，采取了不同的且更重要的手段，以达到所需的性能。

这种模式要求营运者和主管部门都有很高水平的专门知识，这就需要主管部门提高技能和增加人数。事实上，对达到绩效的评估是在审查授权申

请期间进行的，包括初次申请，定期复审，或基础设施或运行程序发生变更时的审查。

在过去的五年里，法国政府设立了一个独特的授权流程 —“深入技术审查”。这一过程包括：首先，确定营运者安保存在的最重要技术问题；其次，主管部门要将该问题提交给技术支持部门（法国，放射防护和核安全研究所）[18]，技术部门将讨论对营运者提出问题，并向主管部门提出解决争议问题的建议。根据所涉及专业知识的性质和提出问题的复杂性，这一分析可能需要几个月甚至几年的时间。这一过程包括了会议，会议期间，主管部门对营运者和技术支持部门之间潜在的分歧做出决定。

当然，这种档案审查只是评估的一个部分。主管部门亦进行多次现场视察，以测试营运者的安保策略。在检查中，纸面上看似妥当的安保解决方案会受到质疑。还可要求进行测试，包括破坏性测试，以检测营运者的方案，例如，测试屏障抵抗爆炸穿透或破坏的能力。最后，为评估整体安保还需进行演练，用于识别营运者安保方案中的薄弱点。

该模式是为了使用最佳的方案，应对变化。当考虑到核设施有几十年的寿命时，这是一个挑战。因此，必须要心存远见，要用前瞻性的眼光看待未来发展。

## 9.6. 核安保主管部门

为了确保核安保措施的有效性，必须由 2005 年《核材料实物保护公约》修订案的原则四所规定的部门加以管理 [19]：

**基本原则四**：主管部门

国家应设立或指定负责实施法律和监管框架的主管部门，并赋予充分的权力、权限和财政及人力资源，以履行其所担负的责任。国家应采取步骤确保国家主管部门与负责促进或利用核能的任何其他机构之间在职能方面的有效独立性。

---

[18] 放射防护和核安全研究所。

[19] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1，第 2a 条第 3 款。

### 9.6.1. 一个负责核安保的部门？

这时可能会出现设立一个单独的、与负责核安全的部门分开的部门的问题，例如：

法国采用的原则是，由一个单一部门主管核安保和核安全，由主管能源的部长负责，下辖两个不同的部门：一个负责安全，即风险预防总局，另一个负责安保，即国防和安保高级管理局/核安保部门。法律还指定了一个独立于政府的部门[20]，即国家安全管理局，负责监管营运者执行安全法规的情况。

选择建立独立于政府的部门不适用于安保，因为管理不仅涉及营运者，而且涉及上文所述与核安保相关的政府服务。这一制度的好处是，能够确保全球视野，与开展活动的国家部门或私人机构保持高度的一致性。

许多国家，特别是在一开始建立核安保制度时，对建立一个主管核能所有方面的机构感兴趣。当然，从实际角度来看确实很有意义。然而，我们绝不能忘记上述所有问题。

核安保部门必须与各部委和其他机构建立牢固的联系。在这方面，该部门的独立性质并不会被影响。在核安保问题上，这种独立性只能是相对的。很难想象一个独立于政府的机构如何评估参与国家安全的各机关所作的反应。然而，如前所述，核安保不应仅限于营运者的产权边界。重要的是，一个国家主管部门的选择不应与基本原则四相冲突：必须与负责促进和利用核能的组织保持独立性。

### 9.6.2. 如何保证主管部门适用的要求水平？

要求主管部门与促进核活动方面保持独立的原因是，确保主管部门不受政治或经济问题的影响。

---

[20] 独立行政机构：一个国家实体，没有法律义务，但有自己的权力，负责下列任务：确保保护公民的权利和自由，确保行政机构在与公民的关系中正常运作，或参与某些活动部门的管理。

有一种选择，是将主管部门的权限严格限制于管理，并另设立一个符合客观独立的监管机构。在这些条件下，负责管理的部门本身并不制定规则，只确保法律和监管框架的落实。如果出现任何不遵守规则的行为，必须由主管部门采取行动，该主管部门不能为做出任何有利于营运者的决定而修改规则。因此，该部门必须根据国家法律和监管框架行事。

然而，这样一个组织是不完备的。如果国家法规的目标与国际框架（《核材料实物保护公约》及其修订案和应用指南）规定的最低要求不一致，而被国家机构认为该法规是适当的，却不能保证充分的安保。因此，遵守国际框架也十分重要。为此，需要广泛推广《核材料实物保护公约》及其 2005 年修订案，其中包括请所有国家按第 14.1 条所要求，提供所需的资料，证明其行为遵守了国际框架。第 14.1 条内容是，鼓励各国利用国际实物保护咨询服务，确保其制度符合《核材料实物保护公约》的规定，并向国际社会其他成员证明本国的承诺。

《核材料实物保护公约》的要求应被视作最基本的要求，这对一个国家的核安保而言并不足够。因此，必须将保护水平与所评估的威胁进行比较。对于拥有高风险核设施的国家，这种评估再次主张采取基于绩效的模式（见第 9.5.3 节）。

一个国家是否能拥有高水平安保的能力，这将取决于其服务部门是否以简单和真诚的方式，评估其建立的系统效率和能力。这就需要勇气，因为良好的愿望往往是让政治家和人民放心，而不是提高对挑战的认识时；是证明效率和能力，而不是指出其局限性和整改的必要性。需要全规模的演习或模拟才能进行有效评估，这些演习或模拟结合营运者和国家资源的响应，并基于与相关威胁水平相一致的情景。当然，我们需要意想不到的场景。没有什么比一场准备已久的演习更糟糕的了，因为每个人都能够预计到会发生的事情，并能够计划如何应对，结果只是把场景按计划演示。其他的评估方法包括，通过模拟（缩小规模或数值工具）以及通过经验反馈。

### 9.6.3. 如何保证主管部门的能力水平？

在技术层面，核安保需要广泛的技能，而核安保部门不需要具备所有这些技能。例如，在无人驾驶飞机或计算机安保领域，核安保部门往往必须

依赖其他国家部门开发的专业知识。如果核工业的特殊性，可简化为确定需要保护的目标，那么威胁的攻击能力评估和应对威胁的手段，跟其他所有领域（银行、监狱等）是相同的。可以在涉及国家安全的其他部门中找到专家。例如，在法国，我们可以找国家信息系统安保局。[21]

由于上文所述的基本合作，在核安保问题上，在政府机构内部需要设立一个级别较高的部门，能够制定核安保相关的法律和监管框架。

因此，在核安保管理部门的领导下，各种能力将得到协调，各相关职能部门能够参与管理的实施。例如，警察或军队管理营运者的武装响应措施，或由网络安保机构管理信息系统的保护等。

法国政府决定，对于信息系统安保总体监管框架中已有的核安保要求，不提出任何额外要求。因此，政府正在与核安保研究所合作开展工作，具体说明如何将这一总体框架适用于核安保具体的问题，并充分利用各种方法的协同作用和互补性，特别是在对营运者的管理方面（视察和演练）。

## 9.7. 营运者责任

《核材料实物保护公约》修订案确立的另一项基本原则，是营运者的责任[22]：

**基本原则五**：许可证持有者的责任

应当明确规定在一国境内实施实物保护各组成部分的责任。国家应确保实施核材料或核设施实物保护的主要责任在于相关许可证持有者或其他授权文件的持有者（如营运者或承运者）。

然而，在一些监管模式中，如法国的模式，营运者在核安保中的地位看起来并不明显。

---

[21] 该机构由总理决定。

[22] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1，第 2a 条第 3 款。

### 9.7.1. 营运者在核安保中的地位和责任是什么？

国家必须考虑，营运者的地位和责任，与国家的地位和责任之间的关系。乍一看，在像法国这样的模式中，并不是显而易见地应该将核安保交给营运者。事实上，《民法典》[23] 是法国法律的基本法之一，自拿破仑一世以来几乎没有修订，其责任原则如下：

> 第 1241 条
>
> 每个人都要为其行为所造成的损害负责，也要为其不作为或漠不关心所造成的损害负责。
>
> 第 1242 条
>
> 个人不仅要对自己的行为所造成的损害负责，而且要对其所负责的个人的行为所造成的损害负责，或者对其所保管的物件所造成的损害负责。

将上述原则适用核领域的特殊情况，即解释为营运者在核安全事件上的责任：营运者对其核装置负责。营运者负责经营有可能造成非常重大损害危险的核装置，营运者有责任采取与这些风险相称的措施。

然而，核安保呢？上述这些原则意味着个人不对他人的行为造成的损害负责。1941 年 12 月 2 日的 Franck 案判决 [24] 就说明了这一点，该判决因确立了一个重要的判例法而闻名。在案件中，Franck 博士把他的车借给了他儿子，汽车被偷，身份不明的小偷撞伤了一名邮政工作人员致其致命伤。法院随后裁定 Franck 博士对给邮政工作人员造成的伤害没有法律责任。

因此，如果我们回到核领域，如果恶意的个人故意攻击营运者造成其设施的损害，营运者是否被认为负有责任？如果我们回到国际框架和核责

---

[23] 译自 Cartwright 等 2016。

[24] 最高法院 Chambre Réunies，Connot 诉 Franck，1941 年 12 月 2 日，第 N 号，Bull.，Civ.第 292 页。523. https://www.statiine.fr/d/cass/1941/juritext000006953144。

任的条件，我们会看到，上述原则，特别是“巴黎公约”[25] 所规定的原则，适用于核安全问题引发的事故。但是，该原则不太适用于恶意行为的情况下，特别是恐怖主义行为。

因此，在法国，营运者开展其核活动，必须满足核安保的条件。营运者在这方面的责任不是自动赋予的，它严格限于法规所规定的适用范围。这与核安全是完全不同的，在核安全领域营运者系统地履行核安全责任，采取何种确保核安全的手段完全取决于营运者。

### 9.7.2. 为什么是营运者的责任？

因此，国家必须首先问自己，营运者在核安保领域的责任是什么？为什么核安保应该是营运者的责任而不是国家的责任？有以下几个原因：

逻辑表明，在尽可能靠近需要保护的材料和设施的核安保措施最有效。因此，核安保措施必须纳入营运者的管理系统，并与其他要求，特别是核安全要求相协调。而只有营运者才能确保这种适当的整合。在安保危机管理方面尤其如此，需要处理恶意行为者的同时，还要处理恶意行为对核安全造成的后果。因此，营运者的参与是必不可少的。

此外，核安保人人有责。在营运者中，每个员工都必须了解核安保措施的重要性，并参与其实施，能够尽可能早的发现任何恶意行为或企图。这就是基本原则六 [26] 的含义：

**基本原则六**：安保文化

所有参与实施实物保护的组织应对必要的安保文化及其发展和保持给予适当优先地位，以确保在整个组织中有效地实施实物保护。

内部威胁是核安保的一个重要薄弱点。员工有可能潜在地对恶意行为或为恶意行为提供便利承担责任，由于与员工距离近和有上下级联系，营运

---

[25] 1960 年 7 月 29 日《核能领域第三方责任公约》，经 1964 年 1 月 28 日“附加议定书”和 1982 年 11 月 16 日“议定书”修正。https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_31788/paris-convention-full-text，2021 年 8 月 30 日访问网页。

[26] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1，第 2a 条第 3 款。

者具有非常重要的作用。营运者必须有组织地防范这种威胁，并且要发现和处理这种威胁。

因此，即使在法国这样一个长期以来被认为安保是国家职能的国家，如果没有营运者的参与和贡献，也不可能实现良好的核安保水平。然而，国家的作用将始终是重要和决定性的。

### 9.7.3. 营运者的核安保义务是什么？

因此，在实践中，核安保是国家和营运者之间责任互补的问题。因此，国家法规必须明文规定营运者的责任。

如果国家选择基于绩效的模式，营运者根据设计基准威胁，建立其保护系统。如果国家认为营运者必须具备自行处理国家已确认的的所有威胁的能力，设计基准威胁应该包括所有这些威胁。然而，国家可能认为要求营运者单独应对所有威胁是不适当的。在法国，人们认为营运者的武装力量无法单独处置危机，营运者会给国家武装力量干预留有时间，这是一个互补、协调响应的配置。在这种情况下，设计基准威胁将只能覆盖国家所确认的部分威胁。例如，在法国，关于民用核行业的国家安全指令明确了专门针对核行业的设计基准威胁，其中规定了哪些任务由营运者负责，哪些任务由国家负责。

### 9.7.4. 与其他政府部门有何合作？

营运者的作用受限于可赋予私人的特权和手段，例如：

- 收集信息和情报的可能性；
- 使用武器、特别是战争武器的可能性；
- 在公共场所或仅对私人财产使用武器进行干预的可能性；
- 在私人财产之外（建筑物周边、海上和空中、接近私人财产等处）使用摄像机、探测器等；
- 控制、约束人员的可能性等；

- 对属于私有财产的物品进行管控的可能性，以及对人员或车辆进行搜查的可能性。

所有这些问题往往已经由国家规定，并对国家和营运者在核安保方面的分工产生重大影响。

在崇尚个人自由的国家中，这些手段会受到高度监管和控制，国家在核安保方面保持着主导地位，例如在情报、反恐（在恶意行为发生之前就加以制止）、空中和海上安保、在发生恐怖袭击时的武装响应和刑事处罚等方面的作用。

## 9.8. 技术选项、场址和运输路线的选择

### 9.8.1. 如何将核安保纳入技术选项？

当一个国家考虑执行一项核计划时，核安保必须是其首要关注的问题之一，就像考虑核安全等其他问题一样。前面提到的“安保始于设计”的概念，重点考虑设计基准威胁，为更好的确定装置的保护措施，这些措施应适合装置的运行。

特别是在评价了与国家框架和适用的设计基准威胁的现有的技术选择后，这种方案导致了选择这种技术而不是其他技术。

国家可能面临需要与他国实体分享涉及从国防（设计基准威胁）的角度被视为敏感信息的困境，记住大仲马的名言总是好的：“今天的朋友是明天的敌人”，反之亦然。

因此，一国质疑它愿意与他国实体分享什么信息是正常的。尽管，在一开始选择这种技术的决定可能是出于与制造商，甚至是制造商的原籍国的信任关系。

如上所述，设计基准威胁是由国家决定，要求营运者有足够能力保护其设施，免遭国家不得不面对的一些威胁。

在评定一项外国技术时，国家可选择确定一个标准，其中应有适当的信息，在不损害国家安全完整性的情况下共享信息，同时确保其在保护该设施方面的互补责任。

### 9.8.2. 运输问题是什么？

“安保始于设计”也可以扩展到核活动的运行，以及核活动安保所需的整个链条。通常，核活动本身几乎不可能单独存在，它取决于与其生命周期有关的其他活动，如供应燃料或其运行所需的物料、乏燃料的后处理、材料的贮存等。

这些不同活动的地点可就近或异地开展（特别是，受到土地规划的限制，这些问题通常受到政治关注，但在安保方面具有不可忽视的影响）。这就提出了核材料和其他放射性物质的运输问题，包括其中的固有风险。当然，这意味着当国家必须进出口这类产品时，需要在国家及国际层面对这些产品运输的实物保护做出特别规定。

就核材料而言，《核材料实物保护公约》在通过修订案扩大范围至核设施之前，已经规定了运输义务。“INFCIRC/225/Rev.5 号文件”[27] 所载国际承认的建议具体记载了这些国际要求的执行情况，但这些建议没有法律约束力。这些运输的目的是将核材料或其他放射性物质运至该设施。因此，同样重要的是，从核设施的设计阶段就必须考虑到这一运输环节（接收/发运），并找到最合适的方法对其进行保护。

### 9.8.3. 如何将安保与选址及其环境相结合？

在上面已经指出土地规划方面的挑战，并呼应了“安保始于设计”的重要原则：慎重选择将进行核活动的设施的位置。这一选择可能往往是迎合与安保无关的其他利益：政治、经济、社会（特别是当地居民对项目的接受程度）、运行限制等。

但是，在选址的过程中不应忽视安保。在安保领域，不存在单一的解决方案（标准化的安保解决方案），可以在不考虑当地条件的情况下直接采用。

---

[27] 原子能机构 2011。

保护策略必须因地制宜，以便以最适合的方式，适应设施，特别是环境。对手的作战模式和战术将取决于设施的场址，这需要为设施和国家的响应建立适当的保护系统，这需要相应确定其规模。

让我们用一个来自核行业以外的例子，来说明这一点，其实这些概念并不新鲜。加尼亚宫（巴黎两个歌剧院之一）就是一个具体的例子，说明了“安保始于设计”原则的这两个组成部分。1858 年 1 月 14 日，拿破仑三世在歌剧院前遭到炸弹袭击，当时歌剧院位于勒佩利蒂埃街。这次袭击后，他决定建造一座新的歌剧院，更有声望，但也更安全。那就是现在巴黎最著名的国家保护建筑之一加尼耶宫。该建筑的主要设计关注点就是安保，在这次袭击后，为应对类似情况，在皇帝的居住地和这座新歌剧院之间建立一条捷径、快速和安全的通道，那就是歌剧院大道，道路宽阔，是两个地点间直线最短的距离，很难在途中策划攻击。

这完全反映了对核设施周围的工业环境进行综合评估的必要性，以及从活动选址阶段就考虑运输的必要性。加尼耶宫原创设计的另一个有趣的元素是“皇帝圆形大厅”。这一建筑为保护皇帝的安全设计了特殊的通道，有效防范任何远程的攻击。

这就突显了运输阶段的重要性，如果不事先考虑，在核材料或放射性物质运抵设施的情况下，运输阶段有时是安保的显著薄弱环节。

## 9.9. 保密、透明和沟通

保密是 2005 年修订案 [28] 中包含的十二项核安保基本原则之一：

**基本原则十二**：保密问题

国家应就那些若被擅自泄露则可能损害核材料和核设施实物保护的资料制定保密要求。因此，正如本章多次提到的那样，各国在国家和国际层面，特别是在制定和起草国际文书时，都要适用这一原则。该原则还与核行业特有的其他要素相互作用，如透明度原则，或放射性危机的管理原则和所需的相关沟通。

[28] 《核材料实物保护公约》修订案，见上文脚注 1，第 2a 条第 3 款。

### 9.9.1. 面对恐怖主义，沟通面临哪些挑战？

在安保领域，威胁的特征通常是动机（意识形态、个人事业等）、能力（可获得的物质和人力资源、相关领域的知识等）和对敌手有吸引力的目标。最后一个方面涵盖了目标所表示的象征性维度。目前，各国主要的安全威胁来源于恐怖主义。在不希望给难以界定的概念定下一个普遍的定义的情况下，此处引用 Raymond Aron 的话是很有趣的，他对恐怖主义的定义如下："当一个暴力行动的心理影响远远超出其纯粹的物理伤害时，它就被称为恐怖主义"。[29] 另一种描述恐怖主义的方式反映了潜在目标可能具有的象征意义，这就是下面这句谚语："杀死一人而被千人所见，胜于杀死千人而被一人所见"。当人们想到一项核活动时，特别是在某些拥有大量核动力装备的国家，其象征意义是显而易见的。因此，在发生恐怖主义行为事件时，沟通和接受核能的问题必然是至关重要的，每个国家都必须做好充分准备。

### 9.9.2. 为什么要保护信息？

从更实际的角度来说，目标的吸引力表现在敌手可用手段所能造成的实际情况。威慑原则是可以采取的使目标更难达到的各种措施之一。有几种方法可以实现这一目的：在国家法律框架中明确制裁措施、展示设施的高度安保（例如设置路障、许多摄像头）、在核设施限制区内外设立警卫和干预部队的随机巡逻等等。然而，威慑并不要求完全透明，这会更容易让对手得逞。因此，有必要仔细评估哪些信息是必须保护的。

### 9.9.3. 如何平衡核行业的信息保护和透明原则？

在核行业，公开透明往往被确立为一项基本价值。在法国，核领域的主要法律称为《核领域透明和安保法》。[30] 该法将透明定义为"为确保公众有权获得可靠的核安保信息而采取的所有措施"。因此，这一原则与上文提到的与核安保有关的保密目标相互影响。需要在可公开内容和必须只让需要

---

[29] Aron 1962，第 2 页，276。

[30] 在本法中，核安保包括核安全、辐射防护、防止恶意行为以及发生事故时的民事保安行动。

了解的人知道的内容之间找到适当的平衡。这凸显了当涉及到沟通时核安全与核安保之间接口的重要性，特别是从技术角度来看。例如，当法国发生重大安全或辐射防护事件时，会有相关的沟通。这种沟通是根据事件的重要性和范围来分级的。因此，这种沟通可能保持在地方，也可能是全国的，甚至是国际的。为了尊重上述法律的目标，在沟通中可能会包含事件起源和后果的技术细节。这些信息可能会给相关设施带来漏洞，并可能被某些人滥用。在法国，核安保透明及信息高级委员会是一个负责公共信息和组织关于核活动相关风险的咨询和辩论的机构。该机构内部的大量辩论，为更好地界定为核安保目的而需要保护的信息提供了指导。

### 9.9.4. 如何在危机管理中保护信息？

透明规定也适用于管理安保危机时。沟通必须是平衡的，要知道会有报道事件和向公众提供信息的媒体压力。

在危机源自安保的情况下，某些沟通或行为可能会干扰国家安全部队行动的正常实施。在 2015 年，法国受到重大袭击的影响。在危机期间，一些媒体行为可能干扰了安保行动。媒体公布的信息被恐怖分子滥用。媒体的信息使命可能导致他们传播被恐怖分子利用的信息。例如，其中一名恐怖分子经常使用电脑观看不同的新闻频道，了解外部情况（特别是现场国家安全部队的组织情况）。在这种情况下，在这方面，我们再次强调，管理与所有行为者的接口、考虑所有行动者目标差异的重要性。

在法国，任何重大的危机都是在国家层面上的单一框架内进行管理的，不论其来源如何：核（技术、自然、恶意等）、恐怖主义或任何其他性质。由一个单一的机构来管理它。恶意来源的核危机将主要由通常处理反恐的部门（总理和内政部事务）管理。负责核安全和核安保的部门 [31] 将在其职权范围内提供建议和最新情况，但不会有任何决策职能。应当指出，决策机构一般不直接参与原子能机构开展的工作。因此，在国家层面上，由核安保部门的专家就与其主管领域相关的事项确保接口。这些专家将优先利用根

[31] 在法国，安保机构负责条例制定和监管其执行。因此，该机构是原子能机构等多边机构中享有特权的对话方。

据其需要和目标发展的国际交流渠道。这突出了原子能机构在协调发展应对核行业具体挑战的工具方面的作用的重要性。

## 9.10. 结论

本章的目的不是要在几页纸中概述建立核安保制度所需的整个过程，而是要概述一个国家在计划实施核计划并因此制定核安保制度时必须考虑的一些主要问题。

各国必须了解，核安保是国家紧密合作的一部分，特别是在有强大接口的领域，如情报、侦查、与国家安全部队合作和计算机安保等。因此，建立国家主管部门至关重要。负责核安保的管理方应与国家安全环境相适应，并在必要时参与协调，促进国家和国际核安保框架的一致性。该部门还与核行业的其他组成部分和民间组织进行互动。通常来说，透明是一种与信息保密或保护相冲突的基本价值观。为了避免主管机构与合作伙伴的孤立，必须在信息保护和分享之间找到最佳平衡。

营运者所面临的威胁是核安保的另一个特性，因为恶意行为是能够调整的人类行为，因此营运者必须在预防风险方面考虑到自然或无意的侵害。在设计和授权过程中，营运者和主管部门必须从恶意攻击方的角度进行分析。这种模式的改变并不直观，因为风险评估中的逻辑通常是从“防御者”的角度进行的。为确保核活动的安保而提倡的一些措施，最初是为了核安全功能而设计的。因此，必须确保这些措施在应对一个或多个恶意攻击者时是有效和可靠的。这样，我们也可以识别到某些用别的方法难以预测的操作模式或恶意场景。

尽管各国负有主权责任，但我们必须意识到核安保是全球安全问题的一部分。恐怖主义威胁往往是国际性的，需要有效的国际合作来打击它们。针对核活动的恶意行为的后果，使得每个国家都关注其他国家处理核安保问题的方式。

核安保作为一个与国家安全有关的领域，有非常具体的方面，特别是在主权和信息保护方面，这使得它与核行业的其他组成部分不同。核安保与一套更广阔的国际法律框架相联系，通过其自身的逻辑和目标，对具体的关

切做出回应。核安全和核保障也存在这种情况。过于专注于核领域的实践会导致行业专家在进行跨领域支持时渐行渐远，无法确保与核行业关切之外的相关环境保持一致，例如国家和国际层面的广义安保。根据这一逻辑，原子能机构发挥了必要的协调作用，使其能够建立起识别和相关处理核行业三个组成部分之间接口所不可或缺的桥梁，同时保证保持其独特性，以便适当整合上述考虑。

国际合作对于在核安保专家之间分享良好实践和制定国际社会认可的建议至关重要。

在这方面，无论是通过其核安保丛书，还是通过其举办的众多培训课程、讲习班和会议，或是通过其向各国提供的各种服务，原子能机构都占据着核心地位。

然而，人们应牢记，在许多领域，利用区域或双边关系可能也是合适的。例如，有一个由几个欧洲国家的核安保当局组成的协会，称为欧洲核安保监管机构协会，提供了比在原子能机构更开放的框架，能够让各国更自由地讨论具体问题和交流信息。此外，各国通常与其他国家订立载有保密规则的双边合作协定。

## 9.11. 更进一步……

尽管《核材料实物保护公约》可被视为一项政治文书（仅标明缔约国尊重公约的义务，但没有详细说明其执行方式），但这并不意味着缔约国在履行其承诺时不会真诚地采取行动。一些缔约国持不同观点，认为公约的目标是以非常具体的方式确保其他国家对其设施提供有效保护并为其提供保障。可以期待这些国家建立一个核查机制。然而，这一设想与上述原则背道而驰。

缔约国根据《核材料实物保护公约》第 16 条及其修订案召开会议，也是一种基于诚意原则的评估方法。人们普遍认为，各国必须依靠各缔约国提供信息的准确性和完整性来进行这类活动。民用核能在国家和国际层面都是敏感问题，因为民间社会对此项技术有切实关切。这就提出了以下问题：一个国家准备在多大程度上，以非常透明的方式在国际舞台上分享其设施

或组织的任何弱点？即使这些信息不对公众开放，各国也需要考虑保持良好声誉。

由于这些限制因素，会议似乎很难以具体和有价值的方式成为确保所有国家遵守公约义务的合适工具。

如上所述，原子能机构有一个国际实物保护咨询服务计划，根据《核材料实物保护公约》及其 2005 年修订案和 INFCIRC/225/Rev.5 号文件所规定的义务，评价一国的实物保护制度。这一评价包括在国家层面详细审查法律和监管框架以及根据国际框架的规定执行的措施和程序。原子能机构提出的这一方案，提供了一个适用于核安保的同行评审框架。在一个公认的国际专家小组进行详细分析后，有关国家会收到一份详细报告。虽然不能与专家分享最敏感的信息，但这一工具非常适用于一些缔约国可能希望赋予“公约”的保障目标。因此，应该鼓励所有缔约国接受组织培训和同行评审的首次考察，并计划要求进一步的定期考察。

## 参考文献


Aron R (1962) Paix et guerre entre les nations. Calmann-Lévy, Paris

Breivik A (2011) 2083—A European Declaration of Independence. https://info.publicintelligence.net/AndersBehringBreivikManifesto.pdf. 2021 年 8 月 20 日访问网页

Cartwright J, Fauvarque-Cosson B, Whittaker S (2016) The Law of Contract, The General Regimeof Obligations, and Proof of Obligations. The New Provisions of the Code Civil Created byOrdonnance n° 2016-131 of 10 February 2016 Translated into English. http://www.textes.justice.gouv.fr/art_pix/THE-LAW-OF-CONTRACT-2-5-16.pdf, https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000032004939/. 2021 年 8 月 20 日访问网页

Code de la Défense (2021) https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006071307/. 2021 年 8 月 20 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2004) Code of Conduct on the Safety and Securityof Radioactive Sources, IAEA/CODEOC/200. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011a) Nuclear Security Recommendations on PhysicaProtection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEANuclear Security Series No. 13. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011b) Nuclear Security Recommendations onRadioactive Material and Associated Facilities, IAEA Nuclear Security Series No. 14. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) Objective and Essential Elements of a State'sNuclear Security Regime: Nuclear Security Fundamentals, IAEA Nuclear Security Series No.20. IAEA, Vienna

Stoiber C, Baer A, Pelzer N, Tonhauser W (2003) Handbook on Nuclear Law. IAEA, Vienna

United Nations General Assembly (UNGA) (1946) Establishment of a Commission to Deal withthe Problems Raised by the Discovery of Atomic Energy, Resolution 1(I). https://undocs.org/en/A/RES/1(I). 2021 年 8 月 20 日访问网页

United Nations General Assembly (UNGA) (1997) Resolution 51/210, A/RES/51/210. https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N97/761/65/PDF/N9776165.pdf. 2021 年 8 月 20 日访问网页

United Nations Security Council (UNSC) (2004) Resolution 1540, S/RES/1540. https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1540%20(2004). 2021 年 8 月 20 日访问网页

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 10. 国际原子能机构保障：国家保障申报的正确性和完整性

劳拉·洛克伍德

**摘要** 鉴于近年来国际原子能机构（原子能机构）在核查当事国依照“全面保障协定”所作申报的正确性和完整性的过程中，其法律权威性时而面临挑战，本章评估了自 20 世纪 90 年代初以来这一问题的法律和实践，尤为聚焦原子能机构在核查国家申报正确性和完整性中的权利和义务，这也是实施“全面保障协定”的最基本原则之一。本章列举了详细的文本资料并进行了历史分析，藉此表明：为履行该义务，原子能机构并不局限于接触当事国已申报的有关核材料的资料或者已向原子能机构申报的这些核材料的存放场所。与此相反的解读将导致原子能机构返回到 1991 年以前采用的核查方案，当时重点关注申报的核材料，而这种方式导致原子能机构未能发现伊拉克的秘密核计划。

**关键词** 国际原子能机构（原子能机构）；不扩散核武器条约；核保障；正确性和完整性；全面保障协定；原子能机构理事会；原子能机构总干事；已申报活动中的核材料；未申报核活动；附加议定书

## 10.1. 引言

在国际核保障方面，很少有法律问题得到过激烈的辩论，就比如原子能机构核查当事国依据“全面保障协定”所作申报正确性和完整性的权力。确切地说，问题在于原子能机构是否获得了授权并有权力来核查一个缔结了“全面保障协定”的国家未将已申报的核材料转用于被禁止的用途以及该国没有未申报的核材料与核活动。[1]

[1] 本章中包含的大部分材料经许可来自劳拉·洛克伍德（Laura Rockwood）撰写或合著的多家出版物，她曾担任原子能机构保障措施谈判、解释和实施各方面的高级法律顾问 28 年，是“附加议定书”范本文件的主要作者。出版物包括洛克伍德和 Johnson 2015；洛克伍德 2014。作者还借鉴了 Albright 等 2012 年的资料。

虽然这方面的法律和实践自 20 世纪 90 年代初已获得了肯定回应，鉴于近年来时而面对对这种权威的挑战，需重申执行“全面保障协定”的最基本原则：原子能机构有权利和义务核查国家申报的正确性和完整性，并且这种权利和义务来自于协定本身。

## 10.2. 历史概述

《不扩散核武器条约》[2] 赋予国际原子能机构任务，即核查无核武器国家是否履行了该条约下“防止将核能从和平用途转用于核武器或其他核爆炸装置”的义务。基于此，《不扩散核武器条约》要求每个无核武器国家与原子能机构缔结协定，对在该国领土内、受其管辖或在其控制下的任何地方进行的一切和平利用核活动中的所有源材料或特种可裂变核材料实施保障，即所谓“全范围的”或“全面的”保障协定（全面保障协定）。

《不扩散核武器条约》于 1970 年生效，原子能机构成员国在理事会的一个开放委员会（第 22 委员会）下磋商制定了作为所有“全面保障协定”基础的文件：INFCIRC/153 号文件（修订本），即“根据《不扩散核武器条约》的要求原子能机构与各国之间协定的结构和内容”。自那时起，原子能机构缔结的所有“全面保障协定”都是以 INFCIRC/153 号文件和由此衍生并以 GOV/INF/276 号文件中转载协定范本为基础。[3]

原子能机构在执行“全面保障协定”20 年之后，于 1991 年发现伊拉克秘密从事核活动。在这二十年间，原子能机构的核保障活动主要集中于申报设施中已申报核材料的核查，这更多的是可行性问题而非缺少法律权限。保障的执行和评估局限在设施层面，并未将国家作为一个整体来进行审查。这种方式造成的结果是，尽管原子能机构的例行视察谋求在一个已申报的设施，尤其是研究堆中，核查不存在未申报的核材料生产，但它不能奢望核查当事国其他地方没有未申报的核材料。

1991 年原子能机构发现伊拉克的未申报核活动和秘密核武器计划，使这种保障视察活动的弊端展现出来。因此也促使重新评估当时的常规观念，

---

[2] 《不扩散核武器条约》于 1968 年 7 月 1 日开放供签署，1970 年 3 月 5 日生效。

[3] 原子能机构 1974。

即原子能机构在“全面保障协定”的法律权限仅限于核查该国申报的核材料与核设施，尽管这种观念缺乏根据。

原子能机构成员国明确表示，原子能机构应该也可以做更多的工作，以期保证申报的核材料未被转用，而且保证这些国家不存在未申报的核材料及核活动。理事会与原子能机构秘书处一起重新审查了原子能机构对已申报核材料的关切，并得出结论，依据 INFCIRC/153 号文件所反映的现有法律授权，原子能机构具享有核查当事国申报正确性和完整性的权利和义务。

如本章后文所述，1991 年至 1993 年期间，原子能机构理事会和大会做出了一系列决定，重申了这一权力和义务，以确保在一个签署了“全面保障协定”的国家中，无论是否进行了申报，均不存在任何核材料被转用于核武器或其他核爆炸装置。值得注意的是，所有这些决定远在原子能机构考虑增加法律授权之前做出的，而且自 20 世纪 90 年代初以来，原子能机构的决策机关一直确认该权利和义务。

1993 年底，原子能机构秘书处应理事会的要求，启动了一项雄伟计划，目的是制定一整套加强的保障措施：即“93+2 计划”。这些措施由两部分组成，于 1995 年 2 月提交理事会。[4] 第一部分包括在“全面保障协定”现有法律授权下可以实施的措施。这些措施中最关键的地方是原子能机构对其所能得到的一个国家资料的评估方式发生了很大变化。原子能机构不再将当事国每个设施核查活动结果分别对待，而是将整个国家作为一个整体，用一种关联的、相互联系的方式分析国家整体的核活动。第二部分是秘书处根据新的法律文书提议实施的措施，这些措施最终演化为理事会于 1997 年 5 月批准的“附加议定书范本”。[5]

“附加议定书范本”由理事会的另一个开放委员会（第 24 号委员会）协商制定。它被设计为“全面保障协定”缔约国缔结议定书的范本，以加强原子能机构履行其义务的能力。议定书为原子能机构提供了补充授权，并超越常规获得与国家核燃料循环有关的其它信息和场所的准入许可。

---

4 原子能机构 1995，附件 1 和 4。

5 原子能机构 1997。

从那时起，我们已经走过了很长的路，但仍然会听到有关在原子能机构相关行动中的法律基础问题。其中一些原因是，人们对这些事务比较陌生，也不熟悉历史；有的问题的动机则是希望限制原子能机构采取这些行动的权力。当然，无论出于什么原因，明确原子能机构的权威性是很重要的。

## 10.3. 条约解释

在《国际法之核不扩散》第二卷“核查和守约”中，对条约解释一般规则的适用情况作了广泛的分析。[6] 以下内容是根据分析得出的结论。

根据《维也纳国家间条约法公约》和《关于国家和国际组织间或国际组织相互间条约法的维也纳公约》（合并称之为“维也纳条约法公约”）[7] 所载的一般性解释规则，这些保障协定的解释应根据协定条款在上下文中的一般含义，并根据其目的和宗旨善意地加以解释，还应考虑缔约国嗣后所订关于条约之解释或其规定之适用之任何协定，以及嗣后在条约适用方面确定各缔约国对条约解释之协定之任何惯例。

INFCIRC/153 号文件通俗易懂地阐明，“全面保障协定”要求原子能机构保证当事国申报的所有核材料都处于其保障之下，而当事国也需要保证所有应申报核材料均已申报并置于保障之中。INFCIRC/153 号文件第 1 段和第 2 段分别涉及国家接受保障的基本承诺（第 1 段）和原子能机构实施保障的权利和义务（第 2 段）。每一份“全面保障协定”都包含这些段落的相应条款。

INFCIRC/153 号文件第 1 段，要求当事国“接受对其领土范围内、受其管辖或在其控制下的任何地方进行的一切和平核活动中的所有的源材料或特种可裂变材料，实施专为核查此类材料未被转用于核武器或其他核爆炸装置的保障”（重点强调）。

---

6 洛克伍德和 Johnson 2015，第 57－94 页。

7 《维也纳条约法公约》于 1969 年 5 月 23 日开放供签署，1980 年 1 月 27 日生效；《关于国家和国际组织间或国际组织相互间条约法的维也纳公约》于 1986 年 3 月开放供签署，尚未生效。

INFCIRC/153 号文件的第 2 段，规定了机构“有权利和义务对当事国领土范围内、受其管辖或在其控制下的任何地方进行的一切和平核活动中的所有源材料或特种可裂变材料，实施专为核查此类材料未被转用于核武器或其他核爆炸装置的保障”（重点强调）。INFCIRC/153 号文件的起草人经适当考虑之后，明确拒绝了一个成员国提出的“在实施保障和核查中……，仅需关注当事国申报的核材料”的建议，并就第 2 段的上述表述达成一致。[8]

对 INFCIRC/153 号文件其他条款的审查也进一步证实了这一解释。

INFCIRC/153 号文件要求，在“全面保障协定”生效后，当事国应向原子能机构提交所有接受保障的核材料的初始报告，以及所有现有核设施的相关信息。[9] 它授权原子能机构进入该国以视察（特别视察、例行视察和专门视察）和设计资料核实的方式核查这些信息。

除此之外，特别视察被用来核查国家最初的核材料申报中所载的资料[第 71 段(a)]。第 76 段(a)规定，针对这些目的的特别视察可以在“初始报告或与此报告[初始报告]有关而进行的任何视察所表明有核材料存在的地方（进行）”（重点强调），因而允许原子能机构不仅有权进入当事国在初始报告中申报的地点，也有权进入当事国在初始报告中未列出的其他地点。

例行视察在设施中和设施外使用核材料的场所（设施外场所）进行，核查当事国报告及其记录的一致性，核查“依据协定接受保障的所有核材料的位置、标识、数量和组成”等这些申报信息，并判断是否存在差异。根据 INFCIRC/153 号文件第 76(c)段，例行视察仅限于商定的战略点和根据“全面保障协定”保存的记录。第 78－82 段限定了例行视察的次数、频率和强度。

INFCIRC/153 号文件第 73 段(b)授权原子能机构进行专门视察，包括如果原子能机构“认为当事国提供的资料，包括当事国的解释和从例行视察中获得的资料，不足以使原子能机构履行协定规定的责任”（重点强调）。如 INFCIRC/153 号文件第 2 段中所述，这些责任包括确保对当事国需要申报的所有核材料采取了保障。第 73 段明确规定，如果一项视察是第 78－82 段

[8] 国际能源协会有限公司 1984，第 33－44 段。

[9] 原子能机构 1972，第 62 段和 42 段。

规定的例行视察之外增加的或“在第 76 段规定的特别视察和例行视察（或二者兼而有之）范围以外增加的信息或场所的接触”（重点强调），则该视察即定义为专门视察。

INFCIRC/153 号文件第 19 段规定，“如果理事会根据对总干事向其报告的有关资料的审查后，发现原子能机构无法证实根据协定接受保障的核材料没有被转用到核武器或其他核爆炸装置”[10]（重点强调），理事会“可编制《规约》第 12 条 C 款规定的报告，并可在适用情况下采取该款规定的其他措施。”[11] 第 19 段中的措辞重点强调原子能机构的权利不仅是要确保没有任何申报的核材料被转用于被禁止的目的，而且需要确保任何核材料，无论申报与否，均未被用于这些目的。[12]

如 INFCIRC/153 号文件第 28 段中所述，“全面保障协定”下的保障目标有两方面：

> 协定应规定，保障的目的是及时查出是否有重要量的核材料从和平核活动被转用于制造核武器或者其他核爆炸装置或被用于其他不详目的，并通过早期查出这种危险来制止此类转用（重点强调）。

正如前面分析所指出的，INFCIRC/153 号文件用语以及原子能机构根据该文件的上下文内容、其目的及宗旨等所缔结的“全面保障协定”的一般含义是“旨在对当事国不滥用任何核材料的情况进行核查，无论该材料申报

---

[10] 原子能机构 1972。

[11] 原子能机构《规约》第十二条 C 款要求总干事向理事会违约行为的报告，并补充说明理事会应“促使一个或几个接受国立即纠正理事会查悉发生的一切违约行为。理事会应将此种违约行为报告全体成员国、联合国安全理事会及联合国大会。”

[12] INFCIRC/153 号文件中还有许多其他条款，表明了起草者的明确意图。INFCIRC/153 号文件的第 7、8、11、12、13 和 18 段中都提到“受保障的核材料”，委员会认为，其不仅局限于申报的应接受保障的材料，而且包含需要实施保障的那些材料。据 INFCIRC/153 号文件的美国首席谈判代表迈伦 • 克拉策说，第 19 段使用了更明确的术语“需要接受保障的核材料”，以强调“其含义可能更明确，但与“提交保障的核材料”没有区别，国际能源协会有限公司 1984。

与否。总之，INFCIRC/153 号文件的文字表述得很明确，基于该文件的协定对原子能机构核查当事国保障申报正确性和完整性的权利作出了规定。”[13]

显然，如果原子能机构被排除在提供没有核材料处于非保障状态或者可用于被禁止活动的保证之外，这将破坏保障协定的最基本目的和宗旨。

根据“维也纳条约法公约”，在解释条约时，还应考虑缔约国嗣后所订关于条约之解释或其规定之适用之任何协定，以及嗣后在条约适用方面确定各缔约国对条约解释之协定之任何惯例。后续章节阐述了共同重申解释的嗣后协定和惯例。

## 10.4. 全面保障的基础原则

### 10.4.1. “全面保障协定”要求当事国向原子能机构申报其所有核材料，如不完全申报则属未履行义务

简单解读 INFCIRC/153 号文件以及理事会的决定，当事国应根据其签署的“全面保障协定”第 1 段向原子能机构申报其所有核材料和核设施，如不完全申报则属未履行义务。

(a) INFCIRC/153 号文件：INFCIRC/153 号文件第 1 段要求当事国“按照协定条款的规定接受对其领土范围内、受其管辖或在其控制下的任何地方进行的一切和平核活动中的所有源材料或特种易裂变材料，实施专为核查这些材料未被转用于核武器或其他核爆炸装置的保障”（重点强调）。第 62 段要求，当事国需要提交“受保障的所有核材料”初始报告。

“所有”二字也被包含在下列内容中，例如，第 7、31 和 32 段的要求 — 当事国有义务建立并维护‘受保障的所有核材料’的衡算与控制系统；第 41 段的要求 — 要求原子能机构对当事国‘受保障的所有核材料’编制一份统一的存量单。

INFCIRC/153 号文件的谈判历史表明，用于“和平核活动”中的核材料是针对《不扩散核武器条约》允许在非禁止（非爆炸）军

[13] 洛克伍德和 Johnson2015，第 57－94 段。

事活动中使用核材料而言的，因而根据“全面保障协定”而置于保障之下的核材料，可根据与原子能机构达成的安排退出保障。

当事国可能将核材料用于非和平/军事活动，而将其排除在申报清单之外，这不是保障的真正意图，也不应该故意这样解释。在第1段中讲到的，军事用途的例外核材料，与“全面保障协定”的基本目标和宗旨是相悖的，违反《维也纳条约法公约》第31条第(1)款的内容。

(b) 理事会的决定：根据“全面保障协定”，当事国应向原子能机构申报其所有核材料，如果不这么做的话则属于违反国际义务，理事会已在多种场合对此予以确认：

- 1991年7月，总干事就原子能机构在伊拉克的调查结果向理事会提交了第一次实质性报告[14]，并向理事会通报了伊拉克未能根据其“全面保障协定”申报核材料的情况，并得出伊拉克未履行协定中规定义务的结论，“特别是在一切和平核活动中对其所有核材料接受保障的义务”。根据该报告，理事会于1991年7月18日通过了GOV/2532号决议[15]，谴责伊拉克由于未向原子能机构申报某些核材料及活动，不履行其在一切和平核活动中对其所有核材料接受保障的义务。1991年9月，理事会注意到伊拉克依然未履行其报告（义务）[16]，即要求总干事向联合国安理会报告具体情况。
- 1992年6月，理事会通过主席摘要注意到总干事关于罗马尼亚前政权违约行为的报告，因为前政权在1985年没有申报有关少量钚后处理的活动[17]（已由继任者罗马尼亚政府提请原子能机构注意），并提出要求总干事向联合国安理会报告违约行为，“以供参考”。[18]

---

14 原子能机构1991f。

15 原子能机构1991g。

16 原子能机构1991h，第46－47段。

17 Findlay 2015。

18 原子能机构1992a。

- 1993 年 2 月 25 日，理事会通过了关于朝鲜民主主义共和国（朝鲜）的 GOV/2636 号决议 [19]，指出朝鲜申报的信息与秘书处发现的情况不一致，从而怀疑朝鲜最初申报的受保障的核材料信息的完整性。回顾 1992 年 12 月的理事会会议，理事会强调“有必要核查[朝鲜]初始报告的正确性和评价其完整性”，决定由总干事根据专门视察有关条款规定提出接触额外的核材料信息和额外两处场址的要求，这是“必要和紧迫的，以解决分歧，并确保核查符合 INFCIRC/403 号文件。”

- 由于朝鲜没有立即准入，理事会于 1993 年 4 月 1 日通过了 GOV/2645 号决议 [20]，决议指出：根据朝鲜签订的“保障协定”第 19 条，原子能机构无法核查其保障协定条款规定的要求接受保障的核材料是否被转用于发展核武器或其他核爆炸装置，并决定向联合国安理会报告朝鲜的违约行为。

- 2003 年 9 月，理事会通过了 GOV/2003/69 号决议（2003 年 9 月 12 日）[21]，其中引用了总干事 2003 年 6 月 6 日（GOV/2003/40 号文件）[22] 的报告，对伊朗未根据“全面保障协定”要求向原子能机构申报其核材料、核设施和核活动的行为表示关切，并呼吁伊朗确保不再发生“未能根据[全面]‘保障协定’规定的义务向原子能机构申报所有核材料、核设施和核活动的情况”。

- 2003 年 11 月，理事会通过了另一项决议，深切关注伊朗在很长一段时内多次未能“履行其在‘全面保障协定’中的义务，即申报其所有核材料及其加工和使用，以及此类材料的加工和贮存设施”，“严重深切关注伊朗在没有原子能机构保障的情况下，在未申报设施内进行铀浓缩和钚分离的行为”，并强调需要采取有效保障，以防止违反[全面保障协定]而将核材料转用于明文禁止的目的，并要求总干事“采取一切必

[19] 原子能机构 1993a。

[20] 原子能机构 1993b。

[21] 原子能机构 2003a。

[22] 原子能机构 2003b。

要措施确认伊朗过去和现在的核活动的信息正确性和完整性，并设法解决那些悬而未决的问题”（执行部分第 4 段）。

因此，在签订了“全面保障协定”的国家中，存在根据“协定”应向原子能机构申报但未申报的核材料、核设施及核活动，构成当事国违反“协定”义务的情况，这是不容置疑的。

### 10.4.2. “全面保障协定”要求原子能机构核实所有这类核材料确实处于保障之下

根据对 INFCIRC/153 号文件的简单解读以及理事会和大会的决议，依据第 2 段的内容，要求机构不仅要核查各国申报的核材料、核设施和核活动信息的正确性，而且要核查申报信息的完整性：

(a) INFCIEC/153 号文件：根据 INFCIEC/153 号文件的第 2 段，原子能机构有权利同时也有义务对“一切”和平核活动实施保障。事实上，如上所述，在 INFCIEC/153 号文件谈判期间，有提议将原子能机构的义务限定于当事国报告的核材料；后来这一提议被否决，取而代之的用“一切”。这一段中，秘书处指出“当事国故意未向原子能机构申报核材料，原子能机构即可认为存在‘转用’可能性”。“所有”一词也包括在下列条款中。例如，第 72 段(b)中提及“据此条款，原子能机构可进行例行视察，以‘核实按协定受保障的所有核材料的位置、标识、数量和组成’”；第 74 段(b)中指出，“授权原子能机构对按协定‘受安全保障的所有核材料’进行独立测量”。

在第 76 段(a)中提出特别视察，该段明确了原子能机构期望进入国家初始报告中未包括的地点的可能性，规定原子能机构可以对照初始报告对“表明”存在核材料的任何地方进行此类视察。

如上所述，第 19 段规定，“如果理事会根据对总干事向其报告的有关资料的审查发现，原子能机构无法核实按协定需受保障的核材料未被转用于核武器或其他核爆炸装置”（重点强调），理事会“可提出第 12 条第 C 款规定的报告，并在适用情况下也可采取该

款所规定的其他措施”。[23] 第 19 段中使用的“需受保障”一词 [24]，其含义没有什么不同，但表述的更清晰，更明确。

(b) 理事会和大会：

- 1991 年 9 月，原子能机构成员国在理事会 [25] 以及大会 [26] 通过的决议中指出，要求总干事根据最新核准的“全面保障协定”，核实“南非核装置和核材料存量清单的正确性和完整性”。
- 1992 年 2 月，根据“全面保障协定”，理事会通过主席摘要重申了原子能机构的权利，以确保所有和平核活动中的所有核材料都处于保障中。[27]
- 1993 年 2 月，总干事向理事会提交了一份报告，通报了秘书处在朝鲜发现的异常情况。这种反常现象使大家对该国根据其“全面保障协定”提交的核材料初始报告的完整性产生了怀疑。根据总干事报告和秘书处的详细简报，理事会通过决议，强调“必须核实[朝鲜]初始报告的正确性和完整性，由总干事要求增加额外的资料和场所接触，对照朝鲜签订的‘全面保障协定’解决分歧并确保履约核查非常必要和急迫”。[28]

---

[23] 原子能机构《规约》第十二条 C 款要求总干事向理事会转交违约行为报告。它还规定，理事会“应促使一个或几个接受国立即纠正理事会查悉发生的一切违约行为。理事会应将此种违约行为报告全体成员国、联合国安全理事会及联合国大会。”

[24] 第 14 段关于不适用将在非和平活动中使用的核材料的保障也使用了同样的措辞。第 14 段规定了某些程序，“如果当事国打算实行自己的决定，即把需受保障的核材料用于按协定不需实施保障的核活动”（重点补充）。

[25] 原子能机构 1991a。扎伊尔代表非洲集团提交的决议草案未经表决获得通过。

[26] 原子能机构 1991b。

[27] 原子能机构 1992b，第 48、83 和 84 段。

[28] 原子能机构 1993a。该决议草案未经表决获得通过。总干事在非公开会议上举行的报告和董事会讨论的正式记录尚未由原子能机构公开公布。

- 1993 年 10 月，在一个新的关于加强保障的项目中，大会通过了一项决定，回顾了过去 12 个月里加强核保障方面的努力，并呼吁成员国在实施全面保障方面通力合作。[29]

所有这些行动都是在 1993 年 12 月宣布“93+2 计划”之前进行的。

1995 年 2 月，总干事提出关于加强核保障体系系统性和一体化的建议，并辅以每一项拟议措施的资料，包括费用、利益，以及秘书处是否已具有法律依据来执行该措施，或者是否需要补充授权。

该报告审议结束时，理事会决定通过主席对其审议情况的总结，其中包括：

> [重申]“全面保障协定”的目的，即保障适用于当事国领土范围内、受其管辖或在其控制下的任何地方进行的一切核活动中的所有核材料，并核实这类材料没有转用于核武器或其他核爆炸装置。为此，实施“全面保障协定”的保障体系的设计应使原子能机构能够核查国家申报信息的正确性和完整性，以便可靠地保证核材料不会从已申报的核活动中转移，也不会有未申报的核活动（重点强调）。

### 10.4.3. 机构为履行其保障的接触范围不局限于已申报的核材料或场所

原子能机构在履行义务，核实当事国根据“全面保障协定”申报信息的正确性和完整性时，其接触范围不局限于当事国已申报的有关核材料的资料或者已向原子能机构申报的这些核材料的存放场所：

(a) INFCIRC/153 号文件：有关特别视察的规定确认，原子能机构的视察不仅有权接触当事国申报的核材料，也有权接触有迹象表明存在核材料的地点。在专门视察时，即使没有确凿证据表明在这些地方存在核材料，（原子能机构）也可以接触特别视察和例行视察规定外的信息和地点；

[29] 原子能机构 1993c。

(b) 理事会的决定：在 1993 年 2 月 25 日理事会通过的关于朝鲜问题决议（GOV/2636 号文件）中决定，总干事根据专门视察的相关规定要求，接触额外信息和另外两个场址是“必要和紧迫的，以便解决分歧，确保与 INFCIRC/403 号文件一致性得到核实”。这两个场址之前未向原子能机构进行申报。此外，要求接触这两个场址不仅是因为怀疑这些场址存在未申报的核材料，而且这对原子能机构是有必要的，以进入这些地方对废物进行取样，确定朝鲜是否进行了未申报的后处理活动，如果是的话，进展到何程度。

### 10.4.4. 原子能机构有权使用其获得的所有信息来评估当事国申报是否正确和完整

原子能机构有权使用其掌握的所有信息来评估当事国是否事实上已向其申报了“全面保障协定”要求实施保障的所有核材料。

(a) INFCIRC/153 号文件：总干事在 1991 年对 GOV/2554 号决议中所载专门视察的分析中，列举了原子能机构应获得的信息类别，其中包括 (1) 例行保障活动中收集到的信息；(2) 公开渠道获取的信息；以及 (3) 成员国通过国家手段获得的信息。[30]

总干事在 1991 年 12 月 5 日对理事会的陈述中说，加强保障体系能力，以在签署“全面保障协定”的国家探知任何秘密核活动的关键因素是信息。在理事会官方正式记录的广泛声明中，他补充道：

如果当事国隐瞒了一项核活动，视察员必须像（应对）伊拉克问题一样，掌握一些关于去哪里调查的其他信息。任何视察机构都不能“盲目地在一个国家整个领土范围内搜索未申报的核设施”。他说，出于这些原因，需要对原子能机构的做法做出根本性的改进：更广泛地利用原子能机构已经掌握的信息，并准备接受从外部提供给原子能机构并经严格审查的信息。有人有时会听到这样的评论，即原子能机构只应考虑从官方渠道传递的信息，而从其

[30] 原子能机构 1991c。

他渠道获取的信息是存疑的（不管是来自媒体还是国家情报机构）。而他本人则认为，所有信息，无论是官方的还是非官方的，都必须经过严格审查。他也承认，信息可能是出于不可告人的动机而提供的，不加甄别的引用可能会导致错误。但是拒绝接受任何其他信息将可能是一个严重错误。但也不是说这些信息就应该自动触发，要求有关国家进行解释。这些信息应被仔细和严格地评估，以便总干事判断是否应支持或拒绝进行专门视察的建议。[31]

值得注意的是，第八条第 A 款指出，成员国应自主判断并提供这些信息，以协助原子能机构开展工作。

(b) 理事会的决定：

1993 年 2 月朝鲜的情况，是理事会默许原子能机构使用受保障当事国以外的成员国所提供信息最典型的例子。根据总干事报告，未经表决投票，理事会即通过决议，即因“必要和紧迫的”需求，决定针对额外信息和地点开展专门视察活动。总干事明确表示，原子能机构通过自己的核查活动发现了异常情况后，还利用“国家技术手段”获得的卫星图像来确定嫌疑地点，认为这些地点有助于解决朝鲜未能申报核材料的问题。

还应指出的是，原子能机构寻求进入这些存疑地点，并非是其确信这些地点存在未申报的核材料，而是认为获得这些地方贮存的废物样品将有助于异常情况的解决。

### 10.4.5. “全面保障协定”赋予原子能机构核实当事国申报完整性的权利和义务

事实上，理事会早在考虑其他法律授权之前就做出了要求原子能机构核实完整性的决定，这表明理事会接受原子能机构核实当事国申报完整性的义务源于“全面保障协定”本身，不依赖附加议定书的存在。虽然原子能机构在所有签订“全面保障协定”的国家范围内寻找未申报核材料和核活动

[31] 原子能机构 1992c；原子能机构 1992d，第 131－132 段。

的迹象，但作为一项政策，对于一个没有“附加议定书”所载措施提供额外保证的国家，原子能机构不对其不存在未申报核材料的情况进行报告。

“附加议定书”为我们更好地开展这项工作提供了额外的工具，而且是在更常规的基础上，这一点已在大量年度保障执行报告和其他机构出版物中得到阐述。理事会从未质疑这一观点。

## 10.5. 总结

像一些国家近期所做的那样进行争论是肤浅的。例如，理事会和大会做出的决定与原子能机构在“全面保障协定”下的权力无关，因为它们或者仅与在特定国家实施的保障措施有关，或者通过的主席总结并不是正式的决议。[32] 南非和朝鲜的保障协定以及所有“全面保障协定”在实质上是相同的。此外，理事会已多次通过主席总结机制做出过各种决定，包括就最敏感问题、违约行为。伊拉克和罗马尼亚问题都是如此。[33]

同样，对原子能机构在“全面保障协定”下核实信息完整性的义务来自于“附加议定书”的说法进行争论也是肤浅的。成员国敦促原子能机构保证不存在此类协定下未申报的核材料及核活动 — 事实上，理事会和大会确认原子能机构有权这样做的决定甚至早于考虑建立新的法律授权。

有些国家质疑，如果原子能机构已经有权根据“全面保障协定”核实国家申报信息的完整性，那么是否还需要“附加议定书”。答案很简单：“全面保障协定”赋予原子能机构的义务是核实国家申报信息的正确性和完整性，但在这样的协定中，可采用的手段是有限的，比如专门视察。而“附加议定书”则可保证原子能机构在更常规、更可预测和更可靠的基础上更广泛地获得相关信息和进入相关场所。这使得原子能机构能够比过去更及时、更有效地探查未申报的核材料及核活动。

---

[32] 原子能机构 2014，第 25－160 段。

[33] 1991 年 7 月和 9 月，委员会发现，伊拉克没有申报与其秘密的铀浓缩和钚分离方案有关的核材料和设施，构成不遵守其“全面保障协议”，并请总干事向联合国安理会报告此事。第一个决定是通过一项决议做出的，第二个决定是通过双方同意通过一名主席的委员会审议工作摘要的机制做出的。原子能机构 1991d，e。

原子能机构核实当事国不存在未申报核材料及核活动的权威所面临的另一个挑战是，不可能证明反面情况。汉斯·布利克斯在向理事会提交的一份关于“93+2 计划”的报告中指出，“无论措施多么全面，任何保障体系都无法绝对保证当事国没有核材料非法转移或不存在未申报的核活动。”[34] 2003 年，原子能机构在向联合国安理会提交的伊拉克问题报告中再次提到这一点，并在报告中承认，即使拥有安理会决议赋予的权力，也是不可避免的。[35]

然而，原子能机构可以寻找未申报核活动的迹象。在 2003 年的伊拉克问题上，原子能机构在寻求但没有发现任何迹象后，可以高度自信地得出结论，伊拉克没有重启核武器计划。事实证明，原子能机构是对的。

一些持批判态度的人士认为，尽管原子能机构有权对未申报的核材料及核活动的迹象采取后续行动，但它无权寻找这类迹象,这种说法也是肤浅的。如果一个人不去寻找东西，他就不太可能找到它。对核实完整性持批判态度的人认为，原子能机构是否应该试图去确定这种迹象是否存在？1995 年，布利克斯讲到了这一点，他引用了一个人“在一盏亮着的路灯附近寻找丢失的钥匙”的故事，当被问及他是能否确定在此处丢失钥匙时，他肯定会说“不，在这里找更容易一些”。[36]

正如我早些时候引用的一份出版物中指出的，同意这种重新解读的最直接和现实的影响将是，允许一个只有“全面保障协定”而没有“附加议定书”的国家阻止原子能机构去调查该国（是否存在）未申报核材料及核活动的迹象。如果这种重新解读没有得到直接解决或明确拒绝，保障措施可能被迫恢复到 1991 年以前采取的核查方法上，即主要集中于已申报的核材料上，这直接导致原子能机构未能及时发现伊拉克未申报的核计划。所有各方都有责任了解在加强保障措施方面已经取得了什么成就，也没必要重塑这些成就。

---

34 原子能机构 1995，附件 1，第 15 段。

35 “重要的是要强调，核实过程总是有一定程度的不确定性，机构不能提供小规模核活动的绝对保证，如科学家进行的个人电脑模拟或实验室工作（确实也包括国际直接获取武器用核材料）。然而，侵入性检查措施[例如原子能机构在伊拉克执行的检查]将被禁止活动未被发现的风险降至最低，并通过早期发现的风险阻止核武器计划的恢复。”联合国安全理事会 2003（载有根据安全理事会第 1284 号决议提出的原子能机构在伊拉克的工作方案）。

36 原子能机构 1995，附件 3，第 49 段。

# 参考文献


Albright D, Heinonen O, Kittrie O (2012) Understanding the IAEA's Mandate in Iran: Avoiding Misinterpretations.

https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/Misinterpreting_the_IAEA_27Nov2012.pdf. 2021 年 9 月 14 日访问网页

Findlay T (2015) Proliferation Alert! The IAEA and Non Compliance Reporting.

https://www.belfercenter.org/sites/default/files/files/publication/proliferationalert-web.pdf. 2021 年 9 月 14 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1972) The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/153

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1974) The Standard Text of Safeguards Agreements in connection with the Treaty on the Non Proliferation of Nuclear Weapons, GOV/INF/276, Annex A

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991a) Safeguards: Draft Resolution Submitted by Egypt, Morocco, Nigeria and Tunisia on Behalf of the African Group, GOV/2547/Rev.1

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991b) South Africa's Nuclear Capabilities, GC(XXXV)/RES/567

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991c) Strengthening of Agency Safeguards: The Provision and Use of Design Information, GOV/2554

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991d) Iraq's Non Compliance with Its Safeguards Obligations, GC(XXXV)/978

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991e) Iraq's Non Compliance with Its Safeguards Obligations, GC(XXXV)/978/Add.1

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991f) A Report by the Director General on NonCompliance by Iraq with its Obligations under the Safeguards Agreement Concluded with the Agency, GOV/2530

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991g) Iraq's Non Compliance with its Safeguards Obligations, GOV/2532

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1991h) Record of GOV/OR Meeting 763, GOV/OR.763

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992a) Record of GOV/OR Meeting 783, GOV/OR.783

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992b) Record of GOV/OR Meeting 776, GOV/OR.776

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992c) Excerpts from Statements Made by the Director General under the Agenda Item "Strengthening of Agency Safeguards" at the Board's December 1991 Meetings, GOV/INF/646, Attachment 1

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992d) Record of GOV/OR Meeting 768, GOV/OR.768

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1993a) Report on the Implementation of the Agreement Between the Agency and the Democratic People's Republic of Korea for the Application of Safeguards in Connection with the Treaty on the Non Proliferation of Nuclear Weapons, GOV/2636

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1993b) Report by the Director General on the Implementation of the Resolution Adopted by the Board on 25 February 1993 (Gov/2636) and of the Agreement Between the Agency and the Democratic People's Republic of Korea for the Application of Safeguards in Connection with the Treaty on the Non Proliferation of Nuclear Weapons (INFCIRC/403), GOV/2645

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1993c). Strengthening the Effectiveness and Improving the Efficiency of the Safeguards System, GC(XXXVII)/RES/619

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1995) Strengthening the Effectiveness and Improving the Efficiency of Agency Safeguards: Report by the Director General to the General Conference, GC(39)/17

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1997) Model Protocol Additional to the Agreement(s) Between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards, INFCIRC/540 (Corrected)

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2003a) Implementation of the NPT Safeguards Agreement in the Islamic Republic of Iran, GOV/2003/69

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2003b) Implementation of the NPT Safeguards agreement in the Islamic Republic of Iran: Report by the Director General, GOV/2003/40

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014) Committee of the Whole: Record of the Seventh Meeting, GC(57)/COM.5/OR.7

International Energy Associates Ltd (1984) Review of the Negotiating History of the IAEA Safeguards Document, INFCIRC/153. US Arms Control and Disarmament Agency

Rockwood L (2014) The IAEA's State Level Concept and the Law of Unintended Consequences. Arms Control Today 44:25–30

Rockwood L, Johnson L (2015) Verification of Correctness and Completeness in the Implementation of IAEA Safeguards: The Law and Practice. In: Black Branch J, Fleck D (eds) Nuclear NonProliferation in International Law, Volume II: Verification and Compliance. Springer/TM Asser Press, Heidelberg/New York

United Nations Security Council (2003) Letter Dated 19 March 2003 from the Secretary General Addressed to the President of the Security Council, S/2003/342

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 11. 未来保障

**特雷弗·芬德利**

**摘要** 新的环境、制度、技术和实践，包括文化现象，不断地推动着保障的演变。本章从历史角度审视保障，认为它是推进保障法律文书谈判政治进程的产物。特别是，本章从对保障法律框架进行调整是必要的，而且往往是困难的角度，论述国际原子能机构（原子能机构）的保障。促进变革的因素包括：原子能机构秘书处利用在加强保障执行方面赋予它的权力和责任；作为过程重要组成部分的技术和方法 进步；以及保障的非技术方面，特别是人的因素。

**关键词** 《不扩散核武器条约》；原子能机构保障体系；原子能机构《规约》；全面保障协定；小数量议定书；附加议定书；保障培训

## 11.1. 引言

原子能机构运行的核保障体系是国际法的最高成就之一。保障旨在通过早期探测来阻止核材料从和平目的转用于军事目的，是防止核武器向无核武器的国家扩散的前所未有的努力。原子能机构利用其保障体系，率先进行了侵入性的国际现场视察、监测和报告，此后也得到了其他领域的仿效。

很自然地，保障是条约法律文书谈判政治进程的产物，具有达成妥协、创造性的歧义和物质限制所产生的所有缺陷。与大多数法律安排一样，保障也因时间推移而受到影响。它未曾预见到出现新的环境、制度、技术和实践，包括文化现象。它有必要寻求适应，这个过程往往是艰难的。本章从这个角度审视原子能机构的保障，需铭记在心的是，重大变革往往通过原子能机构成员国之间的政治进程而非法律过程实现的。与此同时，原子能机构秘书处可以而且应该利用赋予它的全部权力和责任来加强保障的执行。虽然技术

和工艺的进步是该进程的一个关键因素，但本章侧重于保障的非技术方面，特别是人的因素。

## 11.2. 原子能机构保障现状

核保障建立在两个主要的国际法律基础之上，即 1957 年原子能机构《规约》和 1968 年《不扩散核武器条约》。[1]《规约》授权原子能机构“建立和管理保障，保证特种裂变材料及其它材料、服务、设备、设施和情报”不被用于“推进任何军事目的”。[2] 保障既适用于提交原子能机构保障的核材料和核活动，也可应当事方的请求适用于双边或多边安排。根据《不扩散核武器条约》第三条，原子能机构成员国商定了一套强制性、具有法律约束力的全面保障协定体系，适用于作为该条约缔约国的无核武器国家。[3] 在《不扩散核武器条约》生效之前，只有特定项目的保障，在自愿的基础上，适用于零散数量的核材料或设施 [4]。全面保障协定现在涵盖当事国申报的所有核材料和核设施。为了缓解对《不扩散核武器条约》核武器国家缔约国和平用途核工业不受到任何限制的关切，谈判达成了自愿提交保障协定，对每个核武器国家国家都实行有限的保障。[5] 此外，还谈判了一系列地区无核武器区条约，要求缔约国接受原子能机构的核保障。对于没有核材料或核材料很少的无核武器国家，1971 年通过了全面保障协定的“小数量议定书”，允许它们无限期地暂停其大部分保障义务。[6]

1991 年发现伊拉克违反其保障协定和《不扩散核武器条约》— 存在一个与其申报的核设施平行建造的未申报的核设施— 导致了一场原子能机构保障的“革命”，这场革命至今仍在上演。它促使原子能机构通过两个法律

---

[1] 原子能机构 1989；1968 年 7 月 1 日开始签署的《不扩散核武器条约》，1970 年 3 月 5 日生效。

[2] 原子能机构 1989，第 III.5 条。

[3] 原子能机构 1972。

[4] 原子能机构 1965（1966 年和 1968 年暂时延长）。

[5] https://www.iaea.org/topics/safeguards-legal-framework/more-on-safeguards-agreements.，已于 2021 年 9 月 30 日通过。

[6] 同上。

程序改革保障体系：确定和利用它已经拥有但仍然未充分行使的法律授权；并谈判一份后来被称为“附加议定书”的全面保障协定自愿补充条款。[7] 各国于 1997 年开始接受“附加议定书”，该议定书要求它们扩大申报其核活动和核资产资料，同时也赋予原子能机构更大的资料收集和视察的权力，特别是对关注地点的补充接触。

## 11.3. 追求普遍性

从法律角度看，持续存在的挑战之一是促进所有《不扩散核武器条约》的无核武器国家缔约国使得全面保障协定生效。目前，全面保障协定仍未生效的国家中没有一个具有已知的核能力或核野心，除索马里外，它们都是发展中的小国。[8] 但它们仍然未遵守《不扩散核武器条约》。许多核活动很少或根本没有核活动的国家在接受全面保障协定的同时，也接受“小数量议定书”，暂时搁置了全面保障协定的大部分报告和核查要求。现在看来，这并不比完全没有全面保障协定好多少。

2005 年，引入了一个修订的“小数量议定书”，对即使尚未获得重要的核能力的“小数量议定书”国家，也扩大了履行保障义务的范围。[9] 这包括定期报告、及早通知建造核设施的意向（而不是核设施进料前 180 天通知）以及接受特别视察和专门视察的可能性。新的“小数量议定书”明显地堵塞了一个法律漏洞，因为根据原协议，对于相当先进的国家，在顺利获得大量核材料并已经建造了核设施之前可免受核保障。签订“小数量议定书”的国家越来越多地采用了新版本。在 31 个仍未签署新“小数量议定书”的国家中，吉尔吉斯斯坦、蒙古、缅甸、纳米比亚、沙特阿拉伯、塞拉利昂、苏里南和赞比亚等并非无关紧要。[10] 2020 年 9 月，原子能机构总干事拉斐尔·马里亚诺·格罗西致函这 31 个国家，要求它们接受经修订的“小数量议定书”，并警告说，原子能机构为这些国家得出充分可信和合理的年度保

[7] 原子能机构 1997。

[8] 原子能机构 2021a。

[9] 原子能机构 2006。

[10] 原子能机构 2021a。

障结论的能力正变得“越来越具有挑战性”。[11] 目前为止，马尔代夫和苏丹是仅有的响应了他的呼吁的两个国家。[12] 除此之外，立陶宛、阿拉伯叙利亚共和国和阿拉伯联合酋长国这三个国家已表示，它们希望完全撤销其“小数量议定书”。

一个更艰巨的挑战是实现“附加议定书”的普遍性。自 1997 年以来，接受“附加议定书”的进程一直缓慢。现有 137 个国家，加上欧洲原子能联营，具有生效的“附加议定书”。然而，在它通过后的近四分之一个世纪以来，尽管“附加议定书”被认为是保障的“黄金标准”，但仍有几个重要的例外，即现已实际拥有核基础设施的国家（阿根廷、巴西、朝鲜民主主义共和国（朝鲜）和阿拉伯叙利亚共和国）或者计划获得核设施的国家（埃及、马来西亚和沙特阿拉伯）。[13] 伊朗伊斯兰共和国是一个特例，它自愿同意执行其“附加议定书”，但没有正式接受该议定书（尽管目前没有充分遵守所有条款）。[14] 阿根廷和巴西构成了一种特殊情况，它们有双边保障安排以及专门的核查机构：阿根廷-巴西衡算与控制机构。[15] 但这并不免除他们作为国际社会负责任成员以身作则的义务。

秘书处于 2001 年通过了一项说服更多国家承担保障义务的行动计划，并定期更新，最近一次更新是在 2018 年。[16] 2019 年，原子能机构的外聘审计员高度肯定了秘书处取得的重大进展和和加强外联的努力，但除了“继续努力”之外，无法就如何开展工作提出任何建议。[17] 非原子能机构成员国与原子能机构的工作人员之间没有工作层面的关系，对原子能机构授权的活动知之甚少或者毫不知情，这也是一个特殊的挑战。过去，举办地区研讨班成功地说服了一些国家采取行动，但随着此类国家数目的减少，这种活动

---

11 https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-director-general-steps-up-efforts-to-strengthen-safeguar ds-implementation，2021 年 9 月 30 日访问网页。

12 原子能机构 2021b。

13 原子能机构 2021c。

14 https://www.iaea.org/iaea-director-generals-introductory-statement-to-the-board-of-governors-7-june-2021，已于 2021 年 6 月 15 日通过。

15 阿根廷-巴西衡算与控制机构（ABACC）。

16 原子能机构 2020a。

17 原子能机构 2020b。

对仍不采取行动的国家来说可能有失脸面（往往缺乏理解或能力是问题所在）。尽管需要更多资源，我们仍需采用一种更具有针对性的办法，包括与有关国家当局进行个人接触。原子能机构秘书处的影响力当然是有限的，受托成员国、联合国安理会和核供应国集团应为这项工作多施加影响。

## 11.4. 进一步加强保障

保障体系自建立以来一直在改进过程中，不仅通过采用新的法律文书，而且通过原子能机构秘书处修改程序和实践。其中一些已得到理事会的特别批准或许可，而另一些则属于秘书处建立和运行保障体系的任务范围。各种因素共同促使原子能机构加强保障体系的有效性和提高效率。其中一个因素是所有军备控制和裁军核查体系的基本特征：如果侵入性和费用未达到所有国家都认为不可接受的程度，就无法实现条约得到 100%遵守的核查。与此相反，在这种有限制的条件下，核查必须产生一种可以接受的保证和信心，即履约的情况正在发生，违约行为将会被及时发现，以便采取国际行动予以处理。

第二个因素，特别是寻求更高效率的因素，接受保障的国家越来越多，适用保障的核材料数量和核设施数目也在与日俱增，所有这些都发生在在预算持续限制毫无放松迹象的情况下。此外，新型核设施也需要执行保障，比如新型核电设施（中小型反应堆、浮动反应堆、快中子增殖反应堆和聚变反应堆）；高放废物和乏燃料储存设施、退役的核设施，以及可能的采用新型浓缩和后处理技术（如激光和高温冶金法）的设施。原子能机构还定期（和临时）被要求为特别协定承担额外的重要核查任务，例如伊拉克、朝鲜和伊朗伊斯兰共和国的案例。这些事件使关键人员和资源偏离其正常目的，有时未获得足够的补偿资金。

第三个因素是面临财政困难的成员国给秘书处施加的压力，就像在联合国的所有组织一样，要求采取最佳管理实践，包括战略规划和强化招聘、培训、预算和财务管理。这些要求同样适用于保障部，也适用于原子能机构的其他任何部门。

虽然不断努力加强保障的执行意味着逐步收紧对成员国的约束，但实际上，对保障的一些改进减少了全面履约国家的保障负担。这是自“附加议

定书”问世以来采用“一体化保障”收获的经验。对于全面履约的国家来说，这使多年来实行的重复性保障活动合理化，从而与原子能机构作出更加精简、更有针对性、更有效和更高效的保障安排。正是本着这种精神，我们应当进一步改进保障，使得所有成员国都参与进来。

有人不时地呼吁，为加强保障就更多法律文件进行谈判，有时将之称为“附加议定书+”。理事会的最后一次努力是在 2004 年成立了保障与核查委员会（第 25 委员会）。该委员会在这方面（或任何其他方面）收效甚微，并于 2007 年结束工作。第 25 委员会的成员不仅在是否有必要采取新措施的问题上存在分歧，而且即使是热衷于这些措施的国家也未能提出可行的想法。经过近十五年的时间，可以说是时候重新审视这一努力了。然而，使委员会偏离轨道的原因之一，即伊朗伊斯兰共和国的违约问题仍然存在，至少在 2015 年《联合全面行动计划》（全面行动计划）的命运得到妥善解决之前可能会阻碍理事会提出新倡议。

1975 年成立的保障执行常设咨询组（保障咨询组）对保障改革作出了重大贡献。然而，保障咨询组的建议只提交给总干事，其成员（由总干事任命）来自数量有限的成员国（主要是退休大使或高级保障人员），而且其运作机制并不透明。它的报告并不公开，甚至其议程也未曾公布过。可以说，自从为“附加议定书”的概念化做出贡献以来，它未能提出前瞻性建议。保障咨询组可通过扩大其成员范围、寻求外部贡献者的意见并公布其研究结果，以转变成为一个更具活力、更有创造性和更开放的咨询组。

在第 25 号委员会的会议期间，秘书处提出了许多加强现有保障运行机制的想法，而不是寻求新的授权。这表明它看到了在缺乏法律补救措施的情况下进行改进的充分可能性。[18] 自那时起，保障部主动向前推进，在其职权范围内寻求更高的有效性和效率，特别是在战略规划、管理、技术（特别是信息技术）和人力资源发展方面。

[18] Boureston 和 Ferguson 2005。

## 11.5. 保障管理

保障部是一个联合国方式为基础的国际组织，这决定了它的组织结构、工作程序、工作人员招聘和任命规则、经费安排等，尤其是组织文化。尽管如此，在这些制约因素下，保障部近年来为改进保障管理作出了巨大的努力。视察员写出的书面视察报告不知道是否被读过就盲目地归档留存的日子已经一去不复返。通过成员国提名进行候选人招聘和培训的日子也一去不复返了。更值得注意的是，早期保障文化中占主导地位的衡算思维和只关注已申报材料及设施的旧观念也已成往事。

现在，保障部的管理比以往任何时候都好，这归因于整个原子能机构范围的改革，例如对计划编制、监测和报告采取注重成果的管理办法。据报告，在引入十多年后，原子能机构“计划支助信息系统”（计划支助信息系统）继续通过过程自动化不断提高工作效率。[19] 随着 2011 年采用了联合国《国际公共部门会计准则》，财务管理也有所改善。该准则“使人们对原子能机构的实际资产、负债、收入和支出情况有了更深入的了解。”[20] 秘书处报告称，“计划支助信息系统”和《国际公共部门会计准则》“继续需要微调、调整、改进和增强。[21] 目前整个原子能机构正在“实施”一个问责制框架 [22]。

此外，保障部还采取了自己的步骤提高有效性和效率。其《长期战略计划》（2012－2023 年）不仅在组织形式上，而且在实质上是一个开创性的举措，这是原子能机构唯一的此类计划。[23] 该计划是在与工作人员协商后在内部起草的，为保障部提出了一个愿景，并试图系统地鉴别核不扩散将来面临的挑战。尽管该文件只能以摘要的形式发布，但它具有启发性。它说，原子能机构应立志成为“卓越的国际核问题核查机构”，并取得“国际社会的信心和支持”。[24] 它还强调需要持续改进保障及其有效性和效率。在实质

[19] 原子能机构 2019b。

[20] 原子能机构 2020b，第 141 页。

[21] 原子能机构 2019b，第 142 页。

[22] 原子能机构 2020c，第 19 页。

[23] 原子能机构 2011，第 2 页。

[24] 这并不像听起来那么雄心勃勃，因为目前只有另一个组织，即全面禁止核试验条约组织（CTBTO），而且它仍处于筹备模式中。

性问题上，它不同寻常地告诫说，它是“及早发现并报告任何潜在的滥用核材料和活动是至关重要的……”。[25] 而在传统意义上，保障的前提是，只能在事件发生后发现令人关切的活动。

《长期战略计划》旨在成为一份动态的文件，每两年审查和更新一次，最近一次修订是在 2018 年。遗憾的是，修订版文件即使是摘要也未公开。保障部应至少公开一份摘要，以持续确保其战略方向。作为其战略规划的一部分，保障部还为核问题核查制定了两年一度的发展和实施支助计划，并制定了一项 2012－2023 年的长期研发计划，这两个计划都是公开的。[26]

另一个喜人的核保障管理改进趋势是保障部的质量管理系统，该系统自 2004 年开始启动运行。[27] 2018 年 8 月，负责保障部的副总干事马西莫阿帕罗发布了最新版的质量政策（第一版于 2004 年发布），其中包括以下告诫：“质量关系到建立对我们保障结论的信任和信心。”[28] 保障部的质量管理原则基本上与 2004 年确定的原则相同，即：领导力、全员参与、过程方案、循证决策、改进（尽管由于某些原因不再像 2004 年版本那样强调“持续”）、以客户为中心和客户关系管理。为了支持该政策，制定了两个质量目标：“提升质量文化并强化质量责任与义务的承担人负责制”和“在工作过程中贯彻质量政策并遵循质量管理原则。”

尽管有这些值得追求的目标，但保障部在运行质量管理系统方面仍举步维艰，总干事的年度报告里提及改进质量管理系统也证实了这一点。[29] 公平地说，这是因为就质量管理的本质而言，涉及一种永无止境的评审、评估和改革的过程。成员国也认识到在其 2020－2021 年支持计划中反映的持续挑战。该计划包括了一个项目，在 2017 年对其“成熟度”进行内部自评估结果的基础上开展的“加强和完善保障部质量管理系统，并监督和报告其有效性”。[30]

---

25 原子能机构 2011，第 4 页。

26 原子能机构 2020d，2013。

27 原子能机构 2019b，第 130 页。

28 原子能机构 2020d，第 96 页。

29 同上，第 43－48 页。

30 同上，第 90－96 页。

更具体的是，在保障方面，保障部还启动了国家一级有效性评价审查，由专门的保障部国家一级有效性评价审查组负责实施。国家一级有效性评价审查组汇集了部内跨部门的专业特长，评审保障的规划、发展、执行和结论。其目的是为副总干事对保障结论的正确性提供额外的保证。[31] 2019 年，外聘审计员专门对保障部在多大程度上真正建立了“支持保障执行的有效质量控制”进行了评估。[32] 调查发现，保障部工作人员对国家级有效性评价评审小组的反应各异：“一些人支持它，认为它是有效性评估的一个重要方面，而另一些人认为它是简单的重复工作，给他们的日常工作带来了额外负担，特别是在涉及到资源的时候。”[33] 审计员批评指出，缺乏适当的行动计划来规定执行国家一级有效性评价审查组建议的关键活动、日期和里程碑，[34] 原子能机构同意审计员的建议。

澳大利亚保障专家 John Carlson 提出了一种有所不同的保障质量控制方案。他提议由一组可信赖的专家进行保障审计，假定这些专家来自保障部外部，向总干事报告，总干事可以审查保障决定，并在适当情况下就进程提出建议。[35] Carlson 指出，这种安排在上世纪 80 年代曾经运作过，并表示，“当各国正在寻求保障实践向正确方向发展的今天，它可能会发挥积极作用。”

关于保障技术的改进，2015 年启动的一个投资 4100 万欧元的“保障信息技术的现代化”项目，于 2018 年完成。该项目聘请了 150 名内部专业人员，开发了 20 多个专用的应用程序，旨在使保障更有效、更高效和更安全。近期保障部建立了一个协作分析平台，将大数据收集和分析工具集成服务于保障工作。“加强保障分析服务的能力”项目也对保障有效性作出了巨大贡献。该项目通过多年的努力，为塞伯斯多夫的保障分析实验室设计和建造了新的实验室设施，包括核材料实验室和环境样品实验室。[36] 重新设计的

---

31 原子能机构 2020b，第 180 页。

32 同上。

33 同上。

34 同上。

35 Carlson 2018。

36 https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-safeguards-labs-more-efficient-and-accurate-thanks-to-recent-u pgrades，2021 年 7 月 12 日通过。

核材料实验室，被称为是原子能机构样品分析的“主力”，能力提升超过50%。该项目由成员国自愿捐款资助，已在 2015 年在预算范围内如期完成。当然，随科学和技术的不断进步，原子能机构也需要不断确保其实验室能力保持最先进的水平，以应对未来的核扩散挑战。

最近保障部关注的新焦点问题是组织的自我应变能力，特别在面临如 2019 冠状病毒病大流行的冲击时，可能对保障执行产生重大影响。总部工作人员不仅需要适应居家办公模式，同时要处理敏感保障资料带来的复杂性，而且视察员必须非正常地延长出差期开展现场活动，维持核查的连续性。总干事格罗西称，“保障执行一分钟也没有停止过。”[37] 尽管受到旅行和防疫限制，但找到了创造性的方法，使总部和现场任务能够做到有增无减。由于成员国的支持，原子能机构首次能够在必要时租用专用飞机将视察员运送到目的地。总的来说，迄今为止原子能机构在应对 2019 冠状病毒病大流行的影响方面表现出了很高的组织健稳性。为了查明将来全球紧急情况对保障运行带来的脆弱性，原子能机构完成了“保障业务影响分析”。[38] 原子能机构的运行风险管理方案值得赞扬。

## 11.6. 透明度和公开性

关于原子能机构缺乏透明度的辩论往往将三种不同的挑战混为一谈：秘书处内部的透明度、秘书处与成员国之间的透明度和面向公众的透明度。每种挑战都需要不同的应对方法。穆罕默德 • 巴拉迪总干事在其任期内发起了“一个机构”的行动倡议，以打破秘书处出了名的内部信息交互壁垒，保证协调原子能机构所有部门步调一致。2020 年，格罗西总干事在其第一个计划和预算报告中介绍政策、管理和行政部分时，仍然认为，实现成员国的目标需要“有效协调，以确保‘一个机构’方案”。[39] 随后，他将原子能机构几乎所有活动列为需要这一方案，包括“秘书处内部、秘书处与成员国

[37] https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-nuclear-verification-continued-during-the-covid-19-pandemic-s a feguards-statement-2020，2021 年 9 月 30 日通过。

[38] 原子能机构 2020e，第 15 页。

[39] 原子能机构 2019b，第 141 页。

之间以及与有益于公众和媒体之间的信息管理”。所有这些方面都与保障执行有关。

然而，作为原子能机构大部分机密信息的持有部门，保障部多年来一直比其他司更加努力接受“一个机构”理想。事实上，保障协定中规定的保密原则是为了防止信息在原子能机构内部扩散而设计的。保密箴言，对一个国际组织来说是不寻常的，但是，现在它如此牢固地植根于原子能机构的保障文化中，以至于它助长了对所有保障事务的普遍不透明文化，以及原子能机构总体缺乏透明度。

近年来，作为国家一级概念的副产品，保障部内部的透明度有所提高，这要求国家评价小组的管理人员、分析人员和视察员之间密切合作，根据多种信息来源为每个国家得出保障结论。尽管如此，这显然是不够的，因此在成员国的支持下，正在继续努力实施该司 2013 年内部沟通战略计划，以“加强高级领导和保障部工作人员的沟通能力”。[40]

至于秘书处与成员国之间的透明度，长期以来一直有人呼吁保障部更好地解释不断变化的保障方案。2012 年出现了一个特别的问题，当时一些成员国批评国家级保障概念缺乏官方层面的信息和分析。尽管，其中一些是属于政治上的分歧，但有些成员国也对这一最新的保障不清晰的例子表示真正关切。[41]

接踵而来的是对年度“保障执行情况报告”的不透明问题展开了长期辩论。自 1977 年推出以来，用 Roger Howsley 令人难忘的话来说就是“数据丰富，信息匮乏”。[42] 比如，公开发布的“保障执行情况报告”简化版，2019 年的保障情况说明，有益地揭露了某个国家失去了更广泛的结论。然而，它没有以典型的方式直接宣布相关的国家就是利比亚，只是把获得更广泛结论国家的数量从 71 个降为 70 个。这是一个绝佳的推动年度“保障执行情况报告”提高透明度的机会。因为利比亚陷入了一场内战，很难将其保障的失效归咎于此。同样，保障还面临其它类似的挑战，比如福岛第一核电站事故发生后，以及原子能机构无法进入乌克兰的某些地点。这些情况下，

---

[40] 原子能机构 2020d，第 16－17 页，第 43－48 页。

[41] Mayhew 2020。

[42] Howsley 2011。

重新得出更广泛结论的“不具备技术支撑的确凿事实”。[43] 正如澳大利亚在原子能机构理事会上的发言指出，“‘保障执行情况报告’应该包含足够的细节，使成员国能够理解原子能机构保障体系的运作，并评价保障执行的有效性。”[44]

其他一些呼声则认为，“保障执行情况报告”应该“当问题可归咎于原子能机构时，应说明是由于设备故障，人员问题还是管理方面的原因。”。[45] 目前，成员国和公众只能猜测，这助长了对保障所面临问题的记忆缺失：似乎无人需要对此负责。2020 年，外聘审计员建议，在“保障执行情况报告”中应强调延迟提交国家申报及其对得出保障结论产生的影响，包括是（否）使用了“国家申报门户”的信息。“国家申报门户”是一个用于支持原子能机构与成员国之间的数据交换的，安全和基于网络的应用程序。[46] 保障部前部长奥利•海诺宁先生认为，“保障执行情况报告”还应着重强调保障新出现的问题，这也应在向理事会提交的技术简报中提及。[47]他还建议，秘书处应就存在问题的国家给出独立的报告，可能不是像目前的做法那样，仅仅在发现这些国家违约之后（才给出报告）。

2020 年“保障执行情况报告”中有一些较受欢迎的新元素。在 2020 年核材料管理协会和欧洲保障研究与发展协会的年会中可听到这样的评价 —“‘保障执行情况报告’中有更多更丰富的有意义的数据”（Carrie Mathews，主席），包括了新趋势和新图表，以及“一个新的花哨的封面”（副总干事阿帕罗）。阿帕罗还宣布了总干事打算向成员国额外提供关于“我们正在如何开展业务”的信息，包括来自“国家一级保障方案”的数据，同时告诫不要使“保障执行情况报告”“不可读”。[48]

---

[43] Otto 2021。

[44] https://austria.embassy.gov.au/vien/AEIASIRJune2021.html，已于 2021 年 9 月 30 日通过。

[45] Rockwood 等 2019 第 29 页。

[46] 原子能机构 2020b，第 177－178 页。

[47] Heinonen 2013。

[48] Mathews and Aparo 2020。

至于外部或面向公众的透明度，这很可能只能通过组织文化转变来改变。原子能机构在其战略目标、预算和财务、组织结构调整和绩效考核等方面更加公开，将使保障部在保障有效性、新出现的核扩散挑战以及对成员国违约的普遍关切方面的信息更加公开。海诺宁主张，作为开端，向包括研究人员和吹响警笛的人在内的所有利益攸关方公开整个“保障执行情况报告”，强调执行和履约问题，他们可以利用它来宣传和帮助进一步揭示国家的不作为行为。[49] 秘书处本身也支持这一提议，但是，由于一些成员国具有疑虑而受到抵制。

另一个困难是，秘书处不愿意面对批评原子能机构的评论者做出公开回答，这使得保障部失去了解释的机会，因而易受到误解和进一步的批评。前总干事田野之弥也指出，各成员国和公众有时很难理解原子能机构在做什么，他承认，“当我们看到公众讨论的信息不准确时，也会感到沮丧。”[50] 答案当然是应该更加透明。Laura Rockwood 和她的同事们在给维也纳裁军和防扩散中心的撰稿中建议，“各成员国和秘书处应勇于挑战对原子能机构法律权威的错误主张”。[51] 他们建议，“由于成员国对秘书处的不信任造成了对原子能机构权威性的挑战，可以通过提高透明度、磋商和信息传递来缓解，这里应强调以伙伴关系而不是竞争为特征的保障关系”。他们还建议给保障执行常设咨询小组（保障咨询组）一个面向公众的角色，以帮助应对有关保障的虚假陈述，并就保障问题向公众和理事会提供独立见解。

核不扩散界大力支持原子能机构及其使命，在宣传其成就和挑战时被视为“力量倍增器”，特别是在面临一些成员国严重不支持的时候尤其重要。总干事格罗西似乎更愿意分享信息，他在公开声明中也直言不讳，包括一些临场发挥而不是照本宣科地回答问题。但是，他仍然需要修复原子能机构与媒体、学术界和民间的关系，近年来这些关系已经变得脆弱。令人鼓舞的是，自担任总干事以来，他一直主张建立包容性的伙伴关系，不仅与成员国，而

[49] Heinonen 2013，第 5 页。

[50] https://www.iaea.org/newscenter/statements/challenges-in-nuclear-verification，2021 年 9 月 30 日通过。

[51] Rockwood 等，2019，第 26 页。

且通过与非政府组织和国际组织、工业界和民间社会接触，这样可以帮助原子能机构在构建更美好的未来方面实现效果最大化。[52]

## 11.7. 保障培训

近年来保障部在改进培训方面取得显著效果，其培训处负责为原子能机构人员和国家或地区当局的人员设计和提供保障技术培训。[53] 后一种有助于向地区核当局传授原子能机构保障实践和文化，同时还使得秘书处能够发现这些机构中保障实践和文化的不足。

对新视察员的培训从为期三至四个月的原子能机构保障入门培训班开始。课程模块涵盖必要的技术科目，包括非破坏性分析技术、封隔和监视、辐射防护和设计资料核实。培训也越来越多地涉及软技能，包括观察、谈判、沟通和访谈技巧。受训人员需要熟悉保障的历史，包括过去的违约案例，以及保障条约和协定的背景情况。在完成对一座轻水反应堆开展的全套视察练习和对一个案例研究的口头报告后，入门课程结束。

自伊拉克核问题以来，加强保障体系体现了新的“完整性和正确性”原则，现在正通过培训将其植入保障文化。视察员正在接受培训，使他们更具有好奇心，更注重调查，更愿意向核设施或政府代表提出问题，更愿意在现场采取主动行动，而不是习惯于要求维也纳的授权。一位负责部分入门培训课程授课的经验丰富的视察员称，新方法正在发挥作用：“但除了测量核材料，检查衡算和审计账目外，我们一直在寻找可能存在未申报核材料和活动的蛛丝马迹”。”[54] 其目的是教导视察员不要像物理学家、化学家或工程师那样，而是要像调查员那样思考问题。[55] 从本质上讲，视察员必须学会成

[52] 格罗西 2021，第 13－14 页。

[53] 原子能机构 2020d，第 97 页。

[54] https://www.iaea.org/newscenter/news/training-iaea-inspectors，已于 2015 年 2 月 10 日通过。

[55] https://www.iaea.org/newscenter/news/a-day-in-the-life-of-a-safeguards-inspector，已于 2021 年 9 月 30 日通过。

为吹响警笛的人。他不仅能够准备发现违约行为的证据，而且还要有足够的信心向可能持怀疑态度的原子能机构高级主管说明违约的理由。

除了培训新工作人员外，培训科还为继续任职的保障人员提供课程，涵盖在设施和总部的一系列保障活动，达到提高“技术和行为技能”的目的。[56] 最近加强了对包括视察员在内的所有保障工作人员的质量管理培训。[57] 鉴于国家级方案地位突出，特别重要的是，所有保障人员都必须接受系统地使用新分析技术的培训，包括质疑性思维和“结构化分析”。[58] 分析技能培训旨在帮助分析员和视察员避免“群体思维”；采用据称是非常有效的竞争性假设分析法；并尽可能地消除个人偏见。受训人员可学到三个层次的分析：客观分析，大家都能接受；主观分析，需要一定程度的主观研究才能根据证据得出结论；政治层面分析，他们不该在这方面冒险。培训科正在举办一系列为期一天的研讨班，培训国家评估小组的参与者在工作中如何开展团队协作。[59]

尽管培训旨在改变核保障文化，以适应加强保障的新价值观，但在保障培训文件或计划中并未有意识地提及保障文化。这与全球核安全和核安保领域的实践形成了鲜明对比。在这些领域的实践中，没有一门值得称颂的入门课程完全不提及文化，或者至少有一节关于文化是什么以及如何加强文化的课程。这一缺陷应予以纠正。人们日益认识到，有必要传播“隐性知识”，这种知识不在手册或指令中，但在很大程度上是文化知识。高级视察员是指导新员工和传承保障文化的关键，特别是在帮助他们了解在积极主动和坚定自信方面可以走多远。自 2007 年以来，原子能机构一直在开展知识管理工作，以支持主管人员识别退休或以其他方式离职的工作人员保留下来的关键岗位相关知识。[60]

---

[56] https://www.iaea.org/newscenter/news/training-iaea-inspectors，已于 2015 年 2 月 10 日通过。

[57] 原子能机构 2007，第 6 页。

[58] 原子能机构 2020d，第 104 页。

[59] 同上，第 107 页。

[60] 原子能机构 2007。

为应对将来的核不扩散挑战作好准备，原子能机构称，它现正在不断更新培训计划，适应保障执行的演变。[61] 例如，为了应对 2011 年福岛第一核电站事故发生后的现场核查挑战，以及 2015 年达成“全面行动计划”后为支持在伊斯兰伊朗共和国的核查工作，均在短时间内提供了额外培训。[62] 为可能恢复对朝鲜视察的培训也在继续。[63] 培训科还认识到，需要为即将采用的新技术开展培训，无论是原子能机构本身采用的核查技术，还是核工业中涌现的新技术。[64]

2019 冠状病毒病大流行对有效的保障培训带来最新挑战。面对面学习在很大程度上已被电子课程所取代，需要重新认识教学技巧和预期成果。培训科认为，这种体验可能会对培训产生长远影响，将重点从传统的教学方法（讲座、问与答等）方式转向“以学员为中心的学习方式”。这种方式增强了互动性，随时学员反馈，进而为实现教学目的更关注目标和方法，以及对非英语母语的学员配备同声翻译等。[65] 在多元文化环境中开展的保障培训一直面临诸多挑战，当前的 2019 冠状病毒病的流行可能加快了对重大革新的思考。

很显然，没有任何一个培训计划是完美无缺的。2019 年出自瑞典辐射安全管理局的报告中指出一些惊人的例子，有的视察员“不知道或不遵守设施的安全及安保要求，他们没有充分了解法律框架（包括对原子能机构的限制），或者行为不端，或与设施运行人员或者国家工作人员发生了争执。”[66] 报告的结论是，虽然“幸运的是，这些例子很少”，但它们“值得关注”。经济合作与发展组织建议，监管型组织应遵循国际标准化组织的标准开展视察活动并寻求认证。[67] 原子能机构已对保障分析实验室进行了认证。鉴

61 原子能机构 2014a。

62 原子能机构 2017。

63 SGCP-102 项目，见原子能机构 2020d，第 98 页。

64 同上，第 100－1001 页。

65 Stevens 等 2021。

66 Rockwood 等 2019，第 29 页。

67 经合组织 2014；国际标准化组织 2017。

于原子能机构认为其保障体系是独一无二的，尽管它可以通过广泛接受的标准本身进行学习，但可能不愿意接受这样的认证程序。

培训科承认，由于预算限制、人员流动、过于依赖外部授课人员（60%）、在设施开展现场培训的准入限制等因素增多，以及需要更新管理和培训工具，其工作变得更为复杂。[68] 大多数培训课程费用和课程差旅费都需要成员国（多数是西方国家）的预算外支助，并且需要一些免费的专家承担授课工作。[69] 依赖自愿捐款不仅使计划变得复杂化，而且不幸的是，使一种误导性的想法永久化，即保障是西方国家的事务，并非发展中国家优先考虑的项目。尽管鉴于目前的财政限制，这具有挑战性，但是，理想情况下，应扩大资金来源和免费培训工作人员的范围，以说明保障是国际社会普遍关注的问题。这可能是一个可以建立公共-私营机构伙伴关系的领域。

## 11.8. 进一步加强保障工作人员队伍

原子能机构的重点优先事项是建立一支高度积极进取、敬业的、适应性强的、随时准备应对当前和未来核查挑战的保障工作人员队伍。尽管，保障部在改进招聘和培训方面做出了值得肯定的努力，但是，由于制度遗留问题的制约该组织仍无法取得最佳效果。一是原子能机构采用的联合国工作人员“轮换”制度。为了防止出现秘书处长期职业生涯，它规定视察员和其他专业保障人员的最长任期为七年（通常是首次三年合同，然后每两年延长一次，最多顺延两次）。七年期满后，大多数人被要求离职，但离职一年后可以重新申请再聘用。考虑到具有保障专门知识的候选人数目有限，需要最大限度地提高原子能机构在视察员培训方面的投资回报（每人五年内最多240 000 欧元），以及保障日益复杂和专业的技术要求，经总干事酌情决定，合同可无限期延长。目前，大约 30%的原子能机构专业技术人员签订了长期合同，其中大多数在保障部。[70]

“轮换”制度的优点是，它使更多成员国的公民有机会在原子能机构工作，而发展中国家一直在倡导这种制度。它还允许定期将具有新想法和技能

[68] SGCP-102 项目，见原子能机构 2020d。

[69] 同上。

[70] 原子能机构 2020b，第 182 页。

的“新鲜血液”注入系统。还有未被广泛认可的是，它还使秘书处能够将有经验的保障工作人员送回本国，在那里他们可以在其国家保障部门中宣传保障最佳实践和文化。最后，“轮换”制度也有利于原子能机构裁减工作表现不佳的雇员。

但是，“轮换”的缺点是明显。它用词不当，因为它表明工作人员有条不紊地进出秘书处。事实上，许多获得很高评价的视察员从未返回原岗位，或者由于返回太晚需要接受重新培训。人员流失会导致专业知识流失、制度化知识储存减弱，同时不利于在组织人力资源中植入一种强大的保障文化。离职人员的遣返费用也相当可观。在招聘新工作人员时，原子能机构无法提供有保证的职业道路。“轮换”制度还帮助管理人员逃避采用标准的员工评估流程，记录员工好或不好的表现，“大多数人认为，这不像原子能机构的普遍文化。”[71] 这些都是任何现代公司都不会容忍的做法。与此同时，特别是在专业资质要求提升的情况下，原子能机构努力按照《规约》的要求，从所有地理区域招聘合格的工作人员。在受到无法提供职业通道的有限期合同约束的条件下，原子能机构不具有人才市场竞争能力。尽管有维也纳的诱惑力，一些国家（包括孟加拉国、埃及、印度、土耳其和阿联酋）的大型核项目正在吸引潜在的人才。另一个特别的挑战是招聘分析师，包括具备卫星图像分析和社交媒体分析技能的专业人员（尽管原子能机构涉及的业务只需要浅显的技能）。

虽然原子能机构《规约》要求“其长期工作人员应保持在最低限度”，[72] 前原子能机构法律顾问 Laura Rockwood 称，立即修改“轮换”政策并无法律限制（最好是理事会批准或默许）。[73] 同时，可以采取若干步骤，通过其他手段实现“轮换”制度的优点。应按照外聘审计员的建议（并经保障部同意），在部内实现“轮换”制度化。与其将工作人员从原子能机构轮换出去，不如利用休假、人员交流计划和借调方式来更新工作人员的资格和经验。国家核机构或核相关组织，包括欧洲原子能联营、巴西-阿根廷核材料衡算与控制机构（巴阿核材料衡控机构）、全面禁止核试验条约组织、世界核能大

[71] Rockwood 等 2019，第 31 页。

[72] 原子能机构 1989，第七条 C。

[73] Rockwood 等 2019，第 31 页。

学和经合组织核能机构，都可能成为潜在的合作伙伴。无论如何，也许由一名外聘顾问对原子能机构的人员配置实践进行彻底研究，似乎是合理的。

尽管在上世纪 90 年代初伊拉克核事件之后有人呼吁促进保障文化，但与安全和安保领域不同，文化变革尚未被广泛承认为维持原子能机构保障有效性对策之一。[74] 秘书处未采取深思熟虑的文化变革战略，在多数场合也未使用文化这一词汇。然而，自伊拉克事件以来，保障体系的革命性变化不可避免地使得组织理论家认为，在关键的人为现象、价值观和基本假设三个领域中，产生了保障文化的变化。[75]

价值观念的最大变化涉及正确性和完整性，视察员需要采取更适合于调查的方案，以及所有工作人员采取更加协作的方案。保障部进行了文化上敏感的改革，例如编制《战略计划》及其更新版的协商过程、招聘和培训方面的改进以及质量管理程序产生的变革。工作人员的更替和代际变化将有助于确保一种新的文化随着时间的推移而变得普遍，这也意味着这种文化可能会以意想不到的方式发生变化，特别是随着之前“代表性不足的国家”的妇女和人员比例持续增加带来的变化。保障部还面临着整合或至少是协调若干亚文化的持续挑战，特别是官僚亚文化和科学亚文化，以及视察员亚文化和分析人员亚文化。

然而，文化改革需要时间，而且这种变化可能尚未在保障人员所持有的基本假设中得到充分反映。保障部内对文化方案的价值持怀疑态度仍然比比皆是，这可能是因为大家对它的内涵缺乏理解，也可能是担心它可能揭露出来的问题。原子能机构也经常努力敦促其成员国关注文化方面，这不仅体现在安全和安保领域，也体现在加强其国家核能组织机构。[76]

最佳保障文化的要素应当是显而易见的，其中一些是所有组织都应致力追求的愿景：组织卓越、志诚服务和忠于组织的风尚，以及对有效性和效率的承诺。原子能机构作为一个国际组织有其特别的其他价值观，致力于一个比其自身福祉更高的事业，尤其是国际和平与安全事务。最佳的保障文化应该体现原子能机构对核不扩散机制的坚定承诺。尽管有良好的意图，但仅

---

74 有关原子能机构保障文化的全面研究，请参阅 Findlay 2022（即将出版）。

75 Schein 2004，Schein 和 Schein 2017。

76 原子能机构 2008a、b、2014b。

靠保障部无法改变整个原子能机构的文化规范，更不用说联合国系统的文化规范了，这些规范深深地影响了保障文化，其中最突出的是与领导力、管理风格、招聘和晋升相关的文化规范。当然，这种改革需要原子能机构最高层、总干事、高级工作人员和理事会以及全员人员采取行动。

具体到保障文化，秘书处应该像核安全和核安保界所做的那样，让包括成员国在内的整个保障界参与进来，就核保障文化的定义达成共识，并确定构成最佳文化的要素。虽然这种做法不能自动促使文化变革，但它可以为秘书处、成员国和其他利益相关方提供指导和启发。此外，原子能机构应委托有资质的管理专家对其组织文化进行调查和研究，重点关注保障事务和相关工作人员。这应该包括反思工作人员“轮换”制度、招聘和培训实践、工作人员评定咨询和奖励制度对保障文化的影响等。当然，还应向其它具有监管职能的组织寻求经验。在考虑重大组织变革时，原子能机构应从一开始就考虑可能产生的文化影响，并采取措施以达到预期的文化转变。任命一名官员负责文化改革管理将可促进这一过程的实现。

## 11.9. 未来的核查挑战

保障规划面临的挑战之一是定期的、出乎意料的临时核查需求，这些需求来自于原子能机构未直接参与下达成的一些国际协议。迄今为止，最突出的案例是伊拉克、朝鲜和伊朗伊斯兰共和国的核问题。在多年的实际预算零增长之后，原子能机构的体系中没有“富裕”来应付与此类事件相关的成本（财务、技术、人力资源和管理）。这迫使原子能机构不得不依赖各成员国的自愿捐款。虽然经常会收到这些捐款，有时还能即时到账，但对原子能机构的正常运行造成的影响相当大。这不仅造成可用资金短缺，而且使关键工作人员偏离了日常工作职能。伊拉克行动小组、伊朗工作队和后来的伊朗核查办公室均出现了这种情况。原子能机构今后在处理这类事件时的一种方法是设立一个特别紧急基金。这不仅可用于处理违约案例，也可以用于处理核事故，比如在福岛第一核电站事故等，当时秘书处必须仓促地采取应急响应措施。

另一方面，原子能机构应设法从临时安排必然带来的新核查挑战中获益。在伊拉克问题上，与联合国特别委员会以及联合国监测、核查与视察委

员会等机构的合作，使原子能机构无论是好是坏，接触了多种不同的核查方法，包括文件检索、与关键人员的访谈和环境取样等新技术。在伊朗伊斯兰共和国，原子能机构无疑从一些设施维持 24 小时不间断监测中，以及正如“全面行动计划”含蓄地指出的那样，从“使用现代监测技术”中吸取了一些教训并获得了宝贵的经验。[77] 尽管“全面行动计划”明确表示，其规定和措施“不应被视为开创先例”，[78] 但原子能机构从伊朗核问题上获得的知识和经验也不会完全留在其核查资料库和工具箱中被束之高阁。秘书处应确保经验教训得到适当的记录、建档和研究。虽然有人可能会认为秘书处为重返朝鲜做准备是一种资源浪费，但维持这种能力确实提高了原子能机构整体的能力，并消除了一旦朝鲜迅速返回保障或接受附加的监测措施时，核查毫无准备的缺陷。

除了这些不可预见的一次性核查工作外，长期以来关于原子能机构在核查未来多边或双边协定方面的作用的争议一直存在。几十年来，“禁产条约”一直被认为是核裁军的下一个关键多边活动，可能发挥原子能机构的核查作用。也有人建议原子能机构核查核武器国家，特别是俄罗斯联邦和美利坚合众国核裁军产生的退役核材料。20 世纪 90 年代和本世纪初的三边倡议旨在为这种参与模式铺平道路。[79] 最后，2017 年《禁止核武器条约》呼吁对彻底核裁军进行多边核查，但它并没有利用像原子能机构这样经验丰富的机构来执行这项任务。尽管如此，在穆罕默德·巴拉迪的任期结束后，原子能机构一直并不积极提出其承担任何这些未来角色的理由。事实上，在过去 60 年，已经证明了原子能机构《规约》在适应新任务方面非常灵活，如果成员国提出要求，它承担任何和所有这些职能似乎不存在不可逾越的障碍。

技术进步对保障的有效性持续提出挑战，原子能机构不仅要确保其拥有最先进的核查技术和手段，而且还要保证其核查程序适用于成员国的新型核设施和技术。原子能机构的研发活动的预算十分有限，只能依赖成员国支助计划来推动其技术现代化。秘书处每年都要处理海量的新数据，现代信息管理方法就显得尤其重要，随时都面临努力应对永恒的“信号/噪音”的

---

77 《2015 年联合综合行动计划》，附件 1 第 67 段。

78 同上，序言及一般条款，第十一章。

79 Shea and Rockwood 2015。

挑战，并面对将所有可用的信息纳入国家级方案的要求。[80] 保障部发起的“保障统计评价平台”、“国家一级方案执行计划”和“环境取样的环境强化”项目正在努力探索应对这些挑战。与此同时，具有先进侦察能力的小型卫星数量激增，有望持续提升太空远程监测能力，保障部必须做好利用这些监测手段的准备。先进的社交媒体监控技术、大数据挖掘技术、分布式账目和区块链技术也有待被保障部充分利用。资金和人员限制是持续存在的。在现场视察期间使用人工智能是一个有希望的想法，例如通过视察员使用人机交互的手持设备，可以节省视察员的时间，更好地用于其他任务。[81]

## 11.10. 需要更多的地区办公室吗？

多年以前，原子能机构在东京和多伦多分别设立了两个地区办公室，以便分别为日本和加拿大大量的保障工作提供便利。事实证明，在 2019 冠状病毒病大流行期间，这两个地区办公室能够继续执行现场视察，在应对封控或者旅行禁令等原因造成工作中断方面发挥了积极作用。副总干事阿帕罗提出了增设地区办公室的想法，使得在将来发生危机时保障体系具有较强的韧性。[82]

增设的地区办公室不仅有上述优势，同时能在远离维也纳总部的地区扩大原子能机构的影响力。这些办公室还可管理原子能机构的任务，包括：国家当局或地区当局、国家核材料衡控系统和地区核材料衡控系统的能力建设，支持保障培训，加强技术合作项目以及其他方面的原子能机构任务，特别是核安保。这将产生费用的问题，但可以设想原子能机构与联合国开发计划署等现有的联合国机构在成员国的办事处共享办公室开展合作，这些办事处经常作为联合国在发展中国家活动的协调中心。当然，选择每个地点将是一个政治挑战。也许争议最小的办法是原子能机构新的地区办公室与联合国裁军事务厅现有的区域中心（拉丁美洲，秘鲁的利马；非洲，多哥的洛美；亚洲和太平洋地区，尼泊尔的加德满都）合用办公地点。可能能够证

[80] Baute 2021。

[81] Smartt 2021。

[82] Aparo 2020。

明，将一些工作人员从费用高的维也纳转移到费用较低的地方是不增加成本的。这个想法值得深入研究。

## 11.11. 保障资金

几十年来，保障资金一直受到各种因素的挤压，包括不断增加的保障需求、实际零增长预算以及与技术合作资金挂钩。保障部为最大限度地提高保障有效性可以采取措施所需的费用，与通过年度经常性预算获得的经费之间，存在着巨大的缺口。在 2020－2021 双财年，与约 1.49 亿欧元的经常性预算相比，保障部的“事项清单”的资金缺口约为 3300 万欧元。[83] 尽管保障经常性预算逐年增加，但不足以应对秘书处称之为“主要挑战”而增加的需求。除了在本章中详细讨论的内容外，还包括在具有挑战性的安保环境中计划和开展核查活动的费用，用于可能需要采取的附加措施，以确保现场工作人员的人身安全和信息安全。

美国乔·拜登总统领导的政府比前任更加支持国际组织。尽管美国的自愿捐助资金可能会增加，但不太可能领导一场增加保障预算的重大运动。不管怎么说，像美利坚合众国承担原子能机构 25%预算份额，对于任何国际机构来说都是不健康的，更不用说像原子能机构那样对国际和平与安全如此重要的机构了。就保障而言，这种现象更加强化了保障是“第一世界（国家）”游戏的概念。“减免”制度最初是为了保护发展中国家免受不断增长的保障费用的影响而设计的。随着该制度的结束，保障经费分摊变得更加公平。[84] 2024 年，包括中国和印度在内的第三类国家将失去其减免，包括最不发达国家的第四类国家随之也将于 2032 年失去减免（它们已经在总经常性预算评估中享有一定折扣）。像中国这样一个正迅速崛起为经济大国的国家，不资助更大份额的核保障资金似乎不够公平。鉴于中国的经济实力，很难理解它为什么不资助与美国一样多的保障金额。印度出于保障目的将其民用核设施从军事设施中剥离出来，它缔结了一份定制的附加议定书，大大增加了保障预算。与“自愿提交保障协定”一样，这种安排更具有象征意义，因为印度实际已经拥有了核武器，但它允许印度可以获得更多的和平核技

[83] 原子能机构 2019b，第 139－140 页。

[84] 原子能机构 2019a.

术而使之受益。印度应该至少准备补偿保障的费用。与保加利亚、爱沙尼亚、拉脱维亚、立陶宛、波兰和土耳其等这些日益繁荣的欧洲国家一样，中国和印度都应该在 2024 年之前自愿退出减免制度。

理论上，另一种增加保障预算的方法是将其与技术合作资金永久性关系脱轨。[85] 本文作者之前曾提出一项“大交易”的想法，即将技术合作纳入经常性预算，以换取也将发达国家的优先事项核安保纳入其中。然后，年度预算谈判将至少从原子能机构所有主计划都应获得经常预算资金这一前提开始。另一种可能性是进一步寻求公共-私营机构伙伴关系。这些在技术层面运作良好，可支持原子能机构的实验室和视察设备，但对于其他保障活动来说可能性较小，而且可能在政治上过于敏感。有人建议设立紧急核查基金，可部分由非政府组织提供资金。借助于“核威胁倡议”对原子能机构低浓铀银行作出的重大贡献，原子能机构已经开创了这种供资模式。

## 11.12. 结论

自 20 世纪 90 年代初伊拉克核问题以来，原子能机构的保障框架确实经历了一场变革。加强的保障体系运行良好。原子能机构现在充分认识到存在未申报的核材料和核活动的威胁。保障部相应地也采用了战略计划，改进了管理和预算编制，并改革了招聘和培训。保障部采用了包括 IT 技术在内的现代科技，可能是有效的，而且是能够负担的。

但是，原子能机构也意识到保障持续暴露的薄弱性，以及在处理当前和未来违约案例、核技术进步和网络攻击等外部威胁，还有最近的流行病所面临的挑战。伊朗伊斯兰共和国旷日持久的核问题直接威胁到保障的完整性，因为它挑战了加强保障体系的关键要素，包括执行附加议定书的内容和达成更广泛结论等。秘书处还意识到，即使采用加强的保障，也不能保证可以及时发现不断演变的和日益复杂的违约行为。因此仍然需要提升加强技术能力，如大范围（环境）取样（目前费用高得令人望而却步）和数据挖掘等新技术，以及各国在必要时继续提供适当的情报信息。各成员国还必须在努力实现保障协定普遍性和建立强有力的国家保障机构方面尽自己的职责。总体而言，它们和国际社会需要为原子能机构保障体系提供政治、财政

[85] Findlay 2016。

和技术支持，这一支持的水平应与其所面临的挑战相称。正如许多人所指出的那样，原子能机构本身就是一项国际安全交易。

## 参考文献


Aparo M (2020) 61st Annual Meeting of INMM & ESARDA. Journal of Nuclear MaterialsManagement XLVIII, 3/4:21–26

Baute J (2021) Information Management for Nuclear Verification: An Update, Concurrent SessionVII-A, The State of InformationManagement for Safeguards,INMM&ESARDAVirtualAnnualMeeting 2021

Boureston J, Ferguson C D (2005) Strengthening Nuclear Safeguards: Special Committee to theRescue? Arms Control Today 35

Carlson J (2018) Future Directions in IAEA Safeguards, Project on Managing the Atom. https://www.belfercenter.org/publication/future-directions-iaea-safeguards. 2021 年 9 月 30 日访问网页

Findlay T (2016) What Price Nuclear Governance? Funding the International Atomic Energy Agency.https://www.belfercenter.org/publication/what-price-nuclear-governance-funding-international-atomic-energy-agency. 2021 年 9 月 30 日访问网页

Findlay T (2022) Transforming Safeguards Culture: The IAEA, Iraq, and the Future of Non-Proliferation. MIT Press, Cambridge, MA (Forthcoming)

Grossi R M (2021) Emerging Roles, Challenges, and Prospects for the Future, in Pilat J (ed)

International Atomic Energy Agency: Historical Reflections, Current Challenges and Future Prospects. Routledge, London and New York

Heinonen O (2013) IAEA Safeguards—Evolving its 40-Year Old Obligations to Meet

Today’s Verification Challenges, https://www.belfercenter.org/publication/iaea-safeguards-evolving-meet-todays-verification-undertakings. 2021 年 9 月 30 日访问网页

Howsley R (2011) The Safeguards Implementation Report: Time for Transparency? SAGSI, IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1965) The Agency's Safeguards System (1965), INFCIRC/66. https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/agencys-safeguards-system-1965. 2021 年 9 月 30 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1972) The Structure and Content of AgreementsBetween the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, INFCIRC/153 (Corrected). https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1972/infcirc153.pdf. 2021 年 9 月 30 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1989) Statute as Amended up to 28 December 2019.IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1997) Model Protocol Additional to the Agreement(s) Between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Applicationof Safeguards, INFCIRC/540. https://www.iaea.org/publications/documents/infcircs/modelprotocol-additional-agreements-between-states-and-international-atomic-energy-agency-application-safeguards. 2021 年 9 月 30 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2006) Revision of the Standard Text of the SmallQuantities Protocol, GOV/INF/276.Mod.1

InternationalAtomic EnergyAgency (IAEA) (2007) Strengthening the Effectiveness and Improvingthe Efficiency of the Safeguards System Including Implementation of Additional Protocols: Report by the Director General, GC(51)/8

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2008a) A Harmonized Safety Culture Model, IAEAWorking Document (Last Revised 5 May 2020). https://www.iaea.org/sites/default/files/20/05/harmonization_05_05_2020-final_002.pdf. 2021 年 9 月 30 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2008b) Nuclear Security Culture ImplementingGuide, IAEA Nuclear Security Series No. 7. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011) Department of Safeguards Long-TermStrategic Plan (2012–2023) Summary, 2011.

www.iaea.org/safeguards/documents/LongTerm_Strategic_Plan_%282012 2023%29-Summary.pdf. 2021 年 9 月 30 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) Department of Safeguards Long-Term R&DPlan, 2012–2023, STR-375. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014a) Annual Report 2013. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014b) Managing Organizational Change in NuclearOrganizations, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-1.1. IAEA, Vienna

InternationalAtomic EnergyAgency (IAEA) (2017) Strengthening the Effectiveness and Improvingthe Efficiency of Agency Safeguards: Report of the Director General, GC(61)/16

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2019a) Scale of Assessment of Member States'Contribution Towards the Regular Budget for 2020, GC(63)/12

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2019b) The Agency's Programme and Budget 2020–2021, GC (63)/2

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Plan of Action to Promote the Conclusionof Safeguards Agreements and Additional Protocols, https://www.iaea.org/sites/default/files/20/09/sg-plan-of-action-2019-2020.pdf. 2021 年 9 月 30 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020b) The Agency's Financial Statements for 2019,GC(64)/4

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020c) Annual Report 2019, GC(64)/3

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020d) Development and Implementation SupportProgramme for Nuclear Verification 2020–2021, STR-393. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020e) Strengthening the Effectiveness andImproving the Efficiency of Agency Safeguards: Report by the Director General, GC(64)/13

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021a) Status List, Conclusion of Safeguards Agreements,Additional Protocols and Small Quantities Protocols

Status as of 1 June 2021. https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-agreements-comprehensive-status.pdf. 2021 年 6 月 10 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021b) Status List, Amendment to Small QuantitiesProtocols Status as of 1 June 2021. https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-sqp-status.pdf. 2021 年 7 月 15 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2021c) Status List, Conclusion of Safeguards Agreements,Additional Protocols and Small Quantities Protocols Status as of 1 June 2021. https://www.iaea.org/sites/default/files/20/01/sg-agreements-comprehensive-status.pdf. 2021 年 6 月 10 日访问网页

International Organization for Standardization (ISO) (2017) ISO/IEC/17020, Conformity Assessment—Requirements for the Operation of Various Types of Bodies Performing Inspection(Revised and Confirmed in 2017). https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17020:ed-2:v1:en:en. 2021 年 9 月 30 日访问网页

Matthews C, Aparo M (2020) Plenary Meeting, 61st Annual Meeting of INMM, 12–16 July 2020.Journal of Nuclear Materials Manage XLVIII(3/4):21–26

Mayhew N (2020) A Lexical History of the State-Level Concept and Issues for Today, OccasionalPaper. Vienna Center for Disarmament and Non-Proliferation, Vienna

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2014) OECD Best PracticePrinciples for Regulatory Policy: Regulatory Enforcement and Inspections. OECD, Paris

Otto T et al. (2021) Reimaging the Broader Conclusion, Proceedings of the INMM & ESARDAJoint Virtual Annual Meeting, August 23–26 and August 30–1 September 2021 (forthcoming)

Rockwood L, Mayhew N, Lazarev A, Pfneisl M (2019) IAEA Safeguards: Staying Aheadof the Game. https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/dbd8127f5cc44dadba96d4f20f6e530f/201914-iaea-safeguards-staying-ahead-of-the-game. 2021 年 9 月 30 日访问网页

Schein E H (2004) Organizational Culture and Leadership, 3rd ed. Jossey-Bass, San Francisco

Schein EH, Schein P (2017) OrganizationalCulture and Leadership. JohnWiley and Sons,Hoboken

Shea T E, Rockwood L (2015) IAEAVerification of Fissile Material in Support ofNuclear Disarmament.Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, Cambridge,MA

Smartt H et al. (2021) Hey Inspecta! Proceedings of the INMM & ESARDA Joint Virtual AnnualMeeting 2021 (forthcoming)

Stevens R et al. (2021) Lessons Learned From a Year of Online Training and Engagement inSafeguards, Concurrent Session VII-H,GoingVirtualwith E-Learning,INMMESARDAVirtualAnnual Conference (forthcoming)

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 12. 核责任及后福岛时期发展

史蒂文·麦金托什

**摘要** 为确保核事故引起的损害（包括跨境损害）能够得到赔偿，国际社会已经制定了一系列有关核损害民事责任的公约。但这些公约却难以实现广泛缔结，2011 年提出的“全球体系”充其量只是东拼西凑，很多条约的成员国都不同，还有许多国家（包括核行业规模庞大且不断增长的国家）没有加入任何公约。尽管如此，在大多数有核反应堆和相关设施在运的国家的国内法中仍体现了这些公约的原则。本章对当前的全球核责任制度进行了评估，并对国际核责任问题专家组（核责任专家组）为使国际社会能够应对核工业持续发展而提出的一系列建议进行了讨论研究。

**关键词** 核责任；核损害民事责任；全球核责任制度；国际核责任问题专家组；福岛；《核损害补充赔偿公约》；巴黎公约；维也纳公约；联合议定书；核事件；放射源；移动式核电厂；《核事故或辐射紧急情况援助公约》；退役；废物处置；核聚变；小型模块化反应堆；核动力舰船

## 12.1. 引言

核责任问题可能看起来有点神秘，但它对核工业的未来至关重要。除非公众相信在发生核事故时，无辜的受害者会得到妥善赔偿，否则，无论从国家层面还是国际层面，核工业都将很难获得需要的社会许可。国际社会已经制定了一系列公约，这些公约反映了包括严格赔偿责任、责任主体、索赔审理法院、必备资金额度以及保护非责任主体所在国以外他国受害者的共同原则。虽然这些公约难以实现广泛缔结，但在大多数拥有在运核反应堆和相关设施国家的国内法中均体现了这些公约的原则。国际核责任问题专家组（“核责任专家组”）会就这些公约的执行及其在不断变化的核行业发展环境中的应用问题向国际原子能机构（原子能机构）总干事提出相关咨询意见。

## 12.2. 核责任专家组

原子能机构总干事在2003年成立了核责任专家组。核责任专家组有三大职能，即：

(a) 创建专门知识论坛，以探讨与核责任有关的问题并提供咨询；

(b) 加强全球有核和无核国家对有效核责任制度的遵守；

(c) 协助制订和加强原子能机构成员国的国家核责任法律框架，以保护人类和环境，并加强核安全。[1]

核责任专家组自设立以来一直定期举行年会。在这些会议的过程中，核责任专家组就与现行核损害国际责任制度有关的各种问题进行探讨并提供咨询。在这方面，核责任专家组最终确定了《1997 年在国际原子能机构主持下通过的核责任文书—解释性文本》[2] 以及《1988 年〈关于适用“维也纳公约”和“巴黎公约”的联合议定书〉—解释性文本》。[3]

## 12.3. 对事故采取的直接措施

2011 年 9 月，在福岛第一核电站事故发生 6 个月后，原子能机构理事会批准了一项核安全行动计划，该计划也得到了原子能机构大会的认可。[4] 关于核责任，该计划呼吁：

> 成员国需努力建立设法解决所有可能受核事故影响的国家关切问题的全球化核责任体系，旨在为核损害提供适当赔偿。原子能机构的核责任专家组需为促进达成这种全球制度提供相关行动建议。成员国需考

[1] https://www.iaea.org/about/organizational-structure/offices-reporting-to-the-director-general/office-of-legal-affairs/international-expert-group-on-nuclear-liability-inlex，2021 年 7 月 13 日访问网页。

[2] 原子能机构 2017。

[3] 《关于适用“维也纳公约”和“巴黎公约”的联合议定书》，1988 年 9 月 21 日开放供签署，1992 年 4 月 27 日生效（联合议定书）；原子能机构 2013。

[4] https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-action-plan，2021 年 7 月 13 日访问网页；见原子能机构，2011a。

虑尽可能加入国际核责任法律文书，以此作为实现这种全球体系的一项举措。[5]

对应行动的第二句，专家组对日本根据其国内核责任法采取的事故受害者赔偿行动进行了审查，确定是否存在因法律漏洞而导致受害者未得到适当赔偿的情况。虽然在事故发生时日本未加入任何国际公约，但其国内法律整体上反映了国际公约的内容。有关日本国内法律的细节、修正以及在事故后的实施情况在其他报告中已有详细说明[6]，此处不再赘述。

审查并未发现明显的漏洞。但如果损害蔓延到日本以外，国家间条约缺失显然会导致重大国际争端，[7] 并且福岛第一核电站事故造成的损害数额表明，如若发生重大核事故，国际公约（20 世纪 60 年代的公约、1997 年和 2004 年通过的《修正议定书》以及《核损害补充赔偿公约》（补充赔偿公约））[8] 规定的最低数额是不够的。[9] 因此，专家组提出了一系列建议[10]旨在建立一个全球核责任体系并增加国家级的赔偿金额。

### 12.3.1. 加强全球核责任制度

与核责任一直以来的情况一样，专家组建议建立全球核责任体系是一种政治妥协：

(1) 所有拥有核装置的成员国都应缔结一项或多项相关的国际核责任法律文书，且文书中应包含能够反映 20 世纪 90 年代原子能机构制定的强化措施的国际共同原则。此外，所有拥有核装置的成员

---

5 原子能机构 2011b。

6 经合组织核能机构 2012。

7 尽管损害仅限于日本，但并不妨碍在美国提起诉讼；详见下文讨论。

8 《核损害补充赔偿公约》，1997 年 9 月 29 日开放供签署，2015 年 4 月 15 日生效。

9 请注意日本的国内法律并未规定赔偿责任上限，日本政府已制定了一项立法计划，以此确保所有索赔得到全额赔偿。

10 原子能机构 2012

国都应通过符合国际文书原则以及包含下文所定最佳实践的国内法律；

(2) 所有拥有核装置的成员国都应设法与尽可能多的国家缔结条约，从而最终实现全球核责任体系的实现，在所有国家之间都建立起条约关系。专家组发现，“补充赔偿公约”为属于“巴黎公约”、“维也纳公约”[11] 的国家或两者都不属于的国家创造了条约关系，且对属于“巴黎公约”或“维也纳公约”的各国间缔结条约的“联合议定书”[12] 的情况并无影响。除了建立条约关系之外，“补充赔偿公约”还要求采用原子能机构制定的含有一些促进妥善赔偿的机制的强化措施，其中包括一项追加核损害赔偿资金的国际基金；

(3) 没有核装置的成员国应认真考虑加入全球体系，因为在加入该制度的有核装置国家数量达到相当程度后会对受害者十分有利。

遗憾的是，国际社会大多都忽略了这些建议。自 2011 年以来的十年中，1997 年“维也纳公约”[13] 的缔约国数量从仅 6 个增加到 15 个，新增的 9 个缔约国中只有阿拉伯联合酋长国有在运核反应堆。[14]《核损害补充赔偿公约》[15] 的情况稍好一些：在 2011 年 3 月之前，只有四个国家 [16] 正式批准了该公约，此后又新增了 7 个国家，包括拥有核电的加拿大、印度、日本和阿拉伯联合酋长国，公约如今已覆盖全球约 40%的运行核反应堆。

---

[11] 《核能领域第三方责任巴黎公约》（巴黎公约），1960 年 7 月 29 日开放供签署，1968 年 4 月 1 日生效；《维也纳核损害民事责任公约》（维也纳公约），1963 年 5 月 21 日开放供签署，1977 年 11 月 12 日生效；这两项公约的修正附加议定书在最初通过后已经生效。

[12] 《联合议定书》，见上文脚注 3。

[13] 1963 年 5 月 21 日《维也纳核损害民事责任公约》（1997 年“维也纳公约”），后经 1997 年 9 月 29 日《修正〈关于核损害民事责任的维也纳公约〉的议定书》修订，2003 年 10 月 4 日生效。

[14] 请注意，在 2011 年 3 月之前的缔约国中，阿根廷、白俄罗斯和罗马尼亚有核反应堆。

[15] 《核损害补充赔偿公约》，见上文脚注 8。

[16] 包括阿根廷、罗马尼亚、美国。

最近一个好消息是“巴黎公约”[17] 及其“布鲁塞尔补充公约”[18] 的 2004 年议定书宣布将于 2022 年 1 月 1 日生效。生效延迟主要是因为欧盟委员会规定欧盟的所有“巴黎公约”[19] 缔约国只能同步批准相关议定书，这表示议定书的实际生效取决于立法进程最慢的成员国。[20] 幸运的是，在此期间，“巴黎公约”的所有缔约国境内都没有发生核事故。虽然相关议定书生效确实令人欣喜，但公约的缔约国仅拥有世界运行核反应堆的 23%，并且由于有些欧盟成员国出于政治因素逐步淘汰核电以及发展中国家新建核电项目不断增长，这一比例会继续下降。

所有这些表明，目前还没有一个全球性的核责任体系。然而，我们目前有：

- 1960 年“巴黎公约”，后经 1964 年 1 月 28 日“附加议定书”、1982 年 11 月 16 日“议定书”和 2004 年 2 月 12 日“议定书”[21] 修正，2022 年 1 月 1 日之后，公约规定的最低赔偿责任限额（因此赔偿额也更高）[22] 比其他所有其它公约都高很多。但“巴黎公约”的地理范围仅限于核电工业衰退的地区。[23]
- 1963 年“维也纳公约”[24]，缔约国中东欧和其他地区国家有不少在运核反应堆，但在 20 世纪 90 年代发现公约对受害者的保护力度不足。

---

17 《修正〈核能领域第三方责任巴黎公约〉的议定书》（2004 年“巴黎议定书”），2004 年 2 月 12 日开放供签署，目前尚未生效。

18 《修正“巴黎公约”的“布鲁塞尔补充公约”议定书》（2004 年“布鲁塞尔补充公约议定书”），2004 年 2 月 12 日开放供签署，目前尚未生效。

19 “巴黎公约”，见上文脚注 11。

20 最后是意大利。

21 2004 年布鲁塞尔补充公约议定书，见上文脚注 18。

22 特别在“2004 年布鲁塞尔补充公约议定书”发布后，见上文脚注 18。

23 但土耳其对此例外，它既是“巴黎公约”的缔约国，同时又是一个积极发展新建项目的国家，而到本文撰写之日，土耳其也尚未批准 2004 年“巴黎议定书”。

24 “维也纳公约”，见上文脚注 11。

- 1997 年“维也纳公约”[25]，缔约国很少，有核反应堆的更少。
- “联合议定书”[26]，为“巴黎公约”的大多数缔约国以及 1963 年“维也纳公约”和 1997 年“维也纳公约”的部分缔约国建立缔约关系。但“巴黎公约”[27] 缔约国与 1963 年“维也纳公约”缔约国之间在最低赔偿责任限额方面存在差异，这在“巴黎公约”缔约国中引起了一些不安。在 2014 年“联合议定书”批准时，法国提出了一项保留意见，实际是一种对“维也纳公约”缔约国提出的对等要求。[28]
- 《核损害补充赔偿公约》[29] 缔约方很少，但其中包括一些核大国，然而没有一个是“巴黎公约”的缔约国。

由此可见，2011 年提出的“全球制度”充其量只是东拼西凑，很多条约的成员都不同，还有许多国家（包括核行业规模庞大且不断增长的国家）没有加入任何公约。尽管大多数核事件的后果会被限制在事件发生国境内 [30]，且大多数核电国家的国内立法都反映了这些公约的原则，但在福岛第一核电站事故发生后，美国加利福尼亚州、哥伦比亚特区和马萨诸塞州联邦法院有五起与福岛相关的诉讼，由此可以看出条约关系缺失的风险。[31]

起诉人偏向诉诸美国法院，特别是考虑到许多其他国家的核责任限额较低，更加慷慨的美国陪审团态度、潜在的惩罚性赔偿、损害发现时效宽松、胜诉费用和巨额损害赔偿。此外，非政府实体由于更有可能采取陪审团审

---

[25] 1997 年“维也纳公约”，见上文脚注 13。

[26] “联合议定书”，见上文脚注 3。

[27] 特别在经 2004 年“巴黎议定书”修正后，见上文脚注 17。

[28] “法国对第四条第 2 段提出保留意见，规定：对于限制营运者赔偿责任数额的国家以及“维也纳公约”和“联合议定书”的缔约国，法国保留权利要求在法国境内发生核事故时，责任营运者应对在上述国家境内造成的核损害承担赔偿责任，责任上限为事故发生时相关国家的国内法对在法国境内造成核损害所规定的赔偿额。”

[29] 《核损害补充赔偿公约》，见上文脚注 8。

[30] 切尔诺贝利事故在许多方面都不具有代表性。

[31] 对于后续讨论，此处非常感谢 Omer Brown 在 2021 年 6 月提供还未发表的向经合组织核能机构核法律委员会的报告内容。

判、对判决的辩护较少以及缺少主权豁免等原因，通常会成为更吸引原告律师的目标。

由于事故发生时美国与日本之间在核赔偿责任方面并无条约关系，因此美国法院没有义务服从日本法院的管辖，也不受将赔偿责任完全转移给营运者相关规则的约束。因此，美国起诉案件的被告不仅包括福岛第一核电站的营运者东京电力公司（TEPCO），还包括许多供应商。原告不仅包括美国公民，还包括与美国没有联系的日本公民。

尽管根据日本的核责任法律规定，核损害责任仅由核电营运者无限承担（截至 2021 年 2 月，日本政府承诺 760 多亿美元用于解决福岛相关索赔问题），但对于美国的五起诉讼，美国仍然有三个地方法院、两个上诉法院和美国最高法院受理，最后两起到 2021 年 5 月 20 日才被驳回。毫无疑问，最终决定驳回的一个关键因素是日本法律中没有规定赔偿责任上限，这意味着被告最终可成功辩称日本法院是索赔审理的最佳地点。

### 12.3.2. 提高赔偿金额

在建议增加国家提供的赔偿金额时，专家组曾含蓄承认，修正公约来提高其中规定的最低赔偿责任限额，或者利用公约中规定的复杂机制来提高限额，都不切实际。[32] 建议的具体内容如下：

所有拥有核装置的原子能机构成员国都应确保有足够的资金，能够一视同仁地补偿核事件的所有受害者。因此，成员国宜满足下列具体要求：

a. 设置远高于现有文书规定最低额度的赔偿和财务保障金额；

b. 定期评审赔偿额度是否充足，确保其价值得以维持并能够反映对该国境内核装置相关事件潜在影响认识的进步，认识到营运者无限责任的发展趋势；

c. 定期评审财务保障金数额是否充足，确保其能够反映保险市场当前的赔偿能力，以及其他保障金的来源；

---

[32] 1997 年“维也纳公约”（见上文脚注 13）第 V D 条；《核损害补充赔偿公约》（见上文脚注 8）第 XXV 条。

d. 做好建立适当筹资机制准备，防止待赔偿损害金额超过现有的赔偿和财务保障金数额；

e. 为潜在伤害提供赔偿，认识到修正后的“维也纳公约”和“巴黎公约”对人身伤害索赔设置了 30 年的时效期限；

f. 确保由罕见严重自然灾害直接造成核事故时可以获得赔偿。

调研原子能机构成员国（不仅仅是公约缔约国）对专家组建议的落实程度是有价值的。[33] 笔者发现：

(a) 加拿大正式批准《核损害补充赔偿公约》[34] 后通过了一系列立法，国家的核责任限额因此提高到 10 亿加元 [35]。根据加拿大国内法律要求，负责的部长至少每五年进行一次赔偿限额审查，因此，加拿大政府在 2021 年对 10 亿加元的限额进行了审查；[36]

(b) 根据《普莱斯-安德森法案》立法计划，美国将继续对其境内各个营运者 [37] 在发生严重核灾难时应支付的金额进行指数化，由此提高在相关事件中用于赔偿受害者的资金池总额。每个核电厂的强制投保金额也有所增加。综合这两项措施，发生严重核灾难 [38] 时，可用于支付赔偿的资金总额现为 13 522 836 000 美元；[39]

(c) 多年来，全球核保险市场的可用资金额度持续增加，现已远远超过公约规定的数额。

---

[33] 就日本而言，其中有些建议在事故发生前或事故发生后立即得到落实。

[34] 《核损害补充赔偿公约》，见上文脚注 8。

[35] 约 5.6 亿特别提款权（截至 2021 年 9 月 7 日）。

[36] 在本文撰写之时，审查还在进行中。

[37] 请注意，当核电厂永久关闭时，相关电厂的原营运者即不再需要支付核事故后的延期保费，这表示可用的总赔偿金额减少。

[38] 不考虑其他缔约国根据《核损害补充赔偿公约》应支付的资金，也不考虑国会根据《普莱斯-安德森法案》投票赞成政府增加额外资金的可能。

[39] 约 95 亿特别提款权（截至 2021 年 9 月 7 日）。

### 12.3.3. 其他建议

专家组的其他建议有：

所有成员国都宜：

a. 确保核事故引起的所有索赔都能够在最小化诉讼程序的前提下得到及时、平等、非歧视的一次性处理，其中可设置索赔处理系统（可与保险公司或其他财务保证人密切合作建立）用于平等和迅速地处理所有索赔；

b. 在起草或修订国家核责任法律时，酌情参考原子能机构制定的范本。

日本利用索赔处理系统处理绝大多数索赔的经验为其他一些国家在发生重大核事故时迅速建立类似系统作好准备。

## 12.4. 2012年后专家组考虑的其他议题（主要应对全球核工业的发展和创新）

全球核工业并非一成不变，而是处在不断变化中。特别是，最近由气候变化问题驱动的更广泛的能源生产格局发生了变化，核工业届开始质疑长期以来在场内建造超大型水冷反应堆是否是核电唯一的可行模式，设计先进、可移动反应堆和/或小堆是否更灵活 [40]、建造成本方面更可预测。正如必须更新国际和国家安全标准来应对事态发展一样，还需要考虑现有的核责任制度是否足以应对出现的新风险，或专家对现有风险程度的评估发生改变。此外，专家组还宜考虑现有公约范围之外的辐射风险。

在考虑这些问题时，专家组需注意，核责任原则在国际条约中有详细规定，很难改变。这与安全领域正相反，公约以通用术语编写，安全细则包含在不具约束力的安全标准中，而这些标准会进行定期评审和更新。因此，专家组采取向各国提出建议的方式，建议的范围有时会超出公约的措辞范

[40] 从选址以及搭配间歇性可再生能源一起使用的能力两方面考虑。

围，这是因为考虑到核责任原则通常来说是向受害者提供比普通侵权法更大的保护以及尽可能地确定性。

### 12.4.1. 确立将少量核材料排除在维也纳各核责任公约适用范围之外的最大限值

2013 年，专家组决定，根据原子能机构运输条例的最新修订（特别是易裂变材料有关的修订内容），需要对理事会 2007 年关于将少量核材料排除在维也纳各核责任公约适用范围之外限值的决定进行相应微调。[41] 专家组在 2014 年批准了一项对理事会早前决定进行修订的决议草案，在相关安全标准委员会批准后，理事会于 2014 年 11 月通过该决议草案。[42]

### 12.4.2. 放射源

因为放射源通常由非核设施营运者管控，[43] 因此所有核责任公约都将放射源（无论密封与否）排除在外（例如，见 1997 年“维也纳公约”第 I(g)条）。[44] 这就意味着，达到制造阶段的材料属于一般侵权法（包括适用的环境法）的范畴。根据原子能机构：

> 放射源在世界各地的应用广泛，有各种有益的用途，特别在医疗、一般工业、农业研究和教育领域。多年来，人们已经认识到需要确保这些放射源的安全和安保，许多成员国都为此建立了相应的监管基础结构。即便如此，20 世纪 80 年代和 90 年代发生的一些严重事故导致国际社

---

41 将《国际原子能机构放射性物质安全运输条例》（2005 版）第 672 段替换为《国际原子能机构放射性物质安全运输条例》（2012 版）第 417 段、第 674 段和第 675 段”。

42 原子能机构 2014。

43 当核设施中会使用放射源时，根据《责任公约》，由此造成的损害可以得到赔偿；见 1997 年“维也纳公约”（上文脚注 13）第 IV(4)条及其他公约的类似规定。

44 “‘放射性产品或废物’是指在核燃料的生产或利用过程中产生的放射性物质，或因受到附带辐射而具有放射性的物质，但不包括达到制造最后阶段可用于科研、医疗、农业、商业或工业目的的放射性同位素”（斜体强调为笔者设置），见 1997 年“维也纳公约”（上文脚注 13）。

会开始质疑这些管控措施的有效性。……人们越来越认识到，由于对放射源管控不力，导致了一些重大的放射性事故，其中部分甚至还造成了严重伤亡和重大经济问题。这些事故的根源在于故障或者适当监管的缺位，并不是恶意行为的结果。2001 年后，对放射源可能被用于恶意目的的担忧导致国际社会的讨论重点扩大，开始考虑加强放射源安保领域管控的必要性。[45]

认识到这些危险因素，原子能机构在 21 世纪初通过了《放射源安全和保安行为准则》。[46] 准则中向各国提供的全面建议，涉及各国应建立监管体系来确保其管辖范围内密封放射源（无论是在使用中还是在存储中）的安全和安保，但其中未包含任何关于第三方责任的规定。2013 年的一次重要国际会议建议，核责任专家组可考虑这个问题。[47]

当专家组讨论这一问题时，普遍认为损害（特别是跨境损害）的可能范围并没有达到需要专门设置国际制度的程度。但建议各国在对涉及高活度放射源活动发放许可证时应要求许可证持有者必须按照规定的保险金额 [48] 为其潜在的第三方责任投保，以此作为许可证发放条件。有些国家已经制定了这样的要求，保险公司对此设立了现成的保险产品。[49] 因此，专家组鼓励原子能机构秘书处在其立法援助活动中向成员国传达放射源投保的重要性。

专家组指出，用于将反应堆中的辐照散装材料加工成最终形式的设施以及这种散装材料的运输，不属于例外情况。例如，钴-60 棒通常以散装形式从核设施运到放射源制造商处。另一个例子是核医疗用钼-99，它在反应堆中产生，然后通常以散装形式运往其他地方，之后再分配到不同的“发生器”中供医院和医疗诊所使用。在这种情况下，例外条款不适用，因为运输

---

45 原子能机构 2015，第 707－708 页。

46 原子能机构 2004。

47 原子能机构 2015，第 720 页。

48 保险金额可在条例中或在某一特定放射源的相关许可证中具体规定。

49 对于医院等设施，一般保险范围通常涵盖其可能拥有的放射源引起的风险，风险相对较小。

的材料不符合“达到制造最后阶段”的放射性同位素条件。根据公约定义，“核装置”指用于将材料转化为最终形式的设施。[50]

### 12.4.3. 移动式核电厂

公约是否涵盖移动式核电厂这一问题专家组已讨论多年。这一问题围绕公约的“核装置”定义，特别排除了“无论是用于推进还是用于任何其他目的，配备海上或空中运输工具以用作动力源”的核反应堆。[51] 专家组普遍认为，虽然核责任制度不适用于海运或空运工具（或根据“巴黎公约”，[52] 任何运输工具）为自身运行目的而配备的反应堆，但核责任制度适用于专门为外界生产核能的移动式核电厂。专家组认为，“作为动力来源”一词必然意味着这种动力是在与海运或空运工具运行有关的情况下使用。[53] 这一结论符合“维也纳公约”[54] 最初起草者的明确意图，即在“核装置”的定义中包括使用卡车或铁路运输的，处于静止位置并运行的“中低功率移动式核电厂”（同时不包括海运、空运或太空运输工具推进用反应堆）。[55]

一旦确定移动式核电厂原则上属于“核装置”定义的范畴，问题就转向哪个国家将是公约规定的装置所在国。目前所有关于移动式核电厂的提案都设想，只有在固定的位置上，很可能是在一国（即装置所在国）境内 [56]，反应堆才能运行。如果移动式核电厂在任何国家的领土或领海之外（如专属经济区或大陆架的人工岛、装置或其他结构）运行，对于这种不大可能发生

---

[50] 注意“装置所在国可将同一营运者位于同一地点的几个核装置整体视为一个核装置”，见 1997 年“维也纳公约”（上文脚注 13）第 I(1)(j)条；《核损害补充赔偿公约》（上文脚注 8）附录第 1(1)(b)条；“巴黎公约”中定义措辞不同，但实际含义一致。

[51] 1997 年“维也纳公约”（上文脚注 13）第 I(1)(j)(i)条；《核损害补充赔偿公约》（上文脚注 8）附录，第 1(1)(b)(i)条；“巴黎公约”中定义措辞不同，但实际含义一致。

[52] “巴黎公约”，见上文脚注 11。

[53] 这一结论不适用于船舶推进用反应堆。对于船舶移动，不属于所有公约所载的“核装置”定义的范畴。

[54] “维也纳公约”，见上文脚注 11。

[55] 原子能机构 1964。

[56] “境内”包括领海。

的情况，原则上可以按照《海洋法公约》中有关专属经济区和大陆架的管辖规则来确定装置所在国。如果所在国不是国际公约的缔约国，就会出现不确定性，但这些不确定性原则上与位于这些国家的陆基反应堆的不确定性没有什么不同。

因此，虽然确定移动式核电厂在运行时的装置所在国很简单，但移动式核电厂的移动性质意味着还需要考虑在反应堆运输过程中发生核事件的责任。在从制造地到部署地的运输过程中，移动式核电厂可以装载也可以不装载新燃料。如果装载新燃料，出于定责需要，将其视为核材料的运输。如果不装载新燃料，则责任公约不适用。在从部署地返回制造地时，移动式核电厂可装载乏燃料也可以不装载乏燃料（尽管考虑到结构材料的活化，移动式核电厂仍不可避免地具有放射性）。不论是否装载乏燃料，出于定责需要，均视为核材料运输。

但如果东道国与供应国不是同一公约的缔约国，或者不是任何公约的缔约国，则可能不存在公约所设想的“接收营运者”。如果从字面理解这些公约，“发送营运者”可能在整个部署期间要始终承担责任；据此，来源国仍将是装置所在国。特别是，如果供应营运者是“维也纳公约”的缔约国，而反应堆正送往非缔约国的某接收者处，则“维也纳公约”[57] 第 II.1(b)(iv) 条规定，发送营运者应对在核材料“从其抵达该非缔约国境内的运输工具上卸下”之前发生的核事件造成的损害负责。所有公约中都有类似的措词。这种措词视为不适用于移动式核电厂，因为这意味着，如果核材料未从移动式核电厂抵达目的国的运输工具上卸下，无论移动式核电厂此后是否由东道国的另一营运者运行并由监管机构监管，供应营运者都将无限期地承担责任。经过大量讨论后，专家组认为“维也纳公约”和《核损害补充赔偿公约》[58] 应这样解释：在运输浮动核电站这种特殊情况下，如果在运行前没有从船上卸下燃料，则当移动式核电厂由目的国的授权控制时，发送营运者将不再承担责任。如果之后由原发送营运者负责将移动式核电厂送回发送国，则该营运者要再次承担责任。虽然看起来复杂，但实际上，在来源国以外的一个国家部署和运行任何移动式核电厂将不可避免地成为所涉两国之间政府间协议

[57] “维也纳公约”，见上文脚注 11；1997 年“维也纳公约”，见上文脚注 13。

[58] 《核损害补充赔偿公约》，见上文脚注 8。

的内容。政府间协议将确定对设施的监管责任，以及在当前两国均不是任一公约的缔约国的情况下适用的责任规则等。[59]

### 12.4.4. 责任公约与“紧急援助公约”间的相互作用（如有）

2014 年，专家组审议了责任公约与《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约）[60]，间的相互作用（如有），特别是其中第 10 条。第 10 条规定，在提供所请求的援助过程中，对于在其境内或在其管辖或控制下的其他地区造成的人员伤亡、财产损害或损失或环境损害，请求援助的国家应：(a) 不对援助方或代表其行事的个人和实体提起法律诉讼；(b) 承担处理第三方可能提起的此类法律诉讼的责任；(c) 使援助方或代表其行事的个人和实体在任何此类法律程序中免受损害；(d) 对援助方或代表其行事的个人和实体因提供援助而遭受的损害进行赔偿。

专家组指出，“紧急援助公约”[61] 第 10 条只有在公约适用的情况下才适用，在各种情况下都应明确是否援引了“紧急援助公约”。专家组还指出，“紧急援助公约”的许多缔约国对第 10 条提出了保留意见，这可能会影响其他缔约国提供援助的意愿。专家组注意到，如果在一项国际责任公约下存在条约关系，则第 10 条对属于适用的责任公约范围内的事件将不再有实质相关性，因为在任何情况下，将责任转给营运者都能有效免除援助方或代表其行事的个人和实体的责任。然而，“紧急援助公约”的范围比责任公约的范围要广得多，因为“紧急援助公约”适用于所有放射性事件，包括涉及放射源的事件，第 10 条也适用于核损害以外的损害。“紧急援助公约”第 10 条也可能适用于在请求援助国以外的国家提出索赔，而这两个国家之间没有根据任何一项核责任公约建立条约关系。

---

[59] 但是，这种协议不能减损其他国家在适用的责任公约下享有的权利。

[60] 《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约）分别于 1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）发布，1987 年 2 月 26 日生效。

[61] “紧急援助公约”，见上文脚注 60。

### 12.4.5. 正在退役的装置

原则上，判定正在退役的反应堆或其他核设施是否受这些公约约束并不困难。虽然可能不再“安装有在没有额外中子源的情况下可在内部引发自持链式核裂变的核燃料”，但仍然是“核材料（放射性废物）的贮存”设施。只有当该场址完全脱离核设施监管控制时，才不再受公约的约束。

困难在于，当一个反应堆在运行时，责任限额，特别是保险金额非常高。反应堆的危险性在退役过程中的哪个阶段会大大降低，不再需要投保该数额的保险，或者说根本不需要投保？根据 2004 年“巴黎公约”，这一问题尤其严重，因为风险较低的装置的最低责任和保险限额为 7000 万欧元。[62] 如果政府希望在装置退役的后期进一步减轻装置“营运者”的负担，唯一的选择是根据《公约》第 1(b)条的规定，将该装置完全排除在公约的范围之外。[63] 经合组织核能指导委员会制定了根据该条款排除某些装置的标准。类似考虑也适用于某些类型的低放废物的处置装置。

2017 年，专家组考虑了原子能机构理事会是否需要采取类似行动。[64] 但 1997 年“维也纳公约”（第 V(2)条）和《核损害补充赔偿公约》（附录第 4(2)条）都允许装置所在国根据核装置或所涉核物质的性质以及此类装置引起的事件可能产生的后果，对营运者设置较低责任限额（500 万特别提款权）。考虑到这一点，以及将一些装置排除在“维也纳公约”和《核损害补充赔偿公约》范围之外可能对考虑参与退役活动的公司起到抑制作用的观点，专家组的结论是，没有必要将正在退役的装置或低放废物处置设施排除在 1997 年“维也纳公约”和《核损害补充赔偿公约》的范围之外。

---

62 2004 年“巴黎议定书”（上文脚注 17）第 7(b)条和第 10(a)条。

63 “巴黎公约”，见上文脚注 11。

64 “巴黎公约”，见上文脚注 11，1997 年“维也纳公约”（上文脚注 13）第 I(2)条；《核损害补充赔偿公约》（上文脚注 8）附录，第 1(2)条。

### 12.4.6. 废物处置设施

2016 年至 2018 年，专家组考虑让公约适用于放射物废物处置设施。在原子能机构主持下通过的公约只明确包括放射性废物等核材料“贮存”设施 [65]。专家组考虑了此类设施寿期内的以下三个不同时期：

(a) 设施的积极利用时期，其中废物由持有许可证的营运者进行处置；

(b) 设施关停后时期 [66]；在此期间，有组织的控制继续有效，设施继续由持有许可证的营运者进行监管控制；

(c) 有组织的控制结束后时期 [67]；在此期间，应交出或以其他方式终止运行许可证。

专家组指出，尽可能将这些装置保持在公约范围内是有益的；否则此类装置发生事故时，将适用于其他法律或一般侵权法。对于放射性废物仍归废物产生者所有的问题，尤其值得关注。

对于(a)和(b)两个时期，专家组得出结论：在有组织的控制仍然有效的阶段（具体期限因国别和不同废物类别而异），仍然会有营运者，且废物可视为处于贮存状态。因此，在有组织的控制期间，核责任公约将继续适用。

在停止对该场址进行有组织的控制后[(c)时期]，专家组指出，若没有经营者，核责任公约则不能适用。因此，同意停止有组织控制的国家在核事件发生时必然要承担责任。在这种情况下，国家将会负责赔偿核事件造成的核损害，意味着国家将承担核责任。

---

[65] 2004 年“巴黎议定书”（见上文脚注 17）的“核装置”定义明确包括了“核物质处置装置”。

[66] 该时期可能持续长达 300 年。

[67] 尽管这一时期所涉及的风险可能非常有限，而且引发跨境损害的可能性很低，但这些公约也有助于协调各国的责任性法律。

## 12.5. 当前和未来的探讨领域

显而易见，专家组正在兴趣盎然地审视当前核工业的创新浪潮，并正在考虑其对核责任的影响。目前，已经开始考虑核聚变，并将很快把注意力转向小型模块化反应堆和船用反应堆。

### 12.5.1. 核聚变装置

虽然最著名的聚变反应堆项目是法国的国际热核聚变实验堆（ITER）项目，但目前有多个国家的多个项目正在推进多种聚变设施设计方案。大多数新概念都比国际热核聚变实验堆小得多，开发者们也着眼于更短的商业部署时间期限。目前，聚变正从学术领域发展成一种更具技术性的途径，由更先进设施产生的放射性物质的数量将远远高于现有实验设施当前产生的数量。此外，私人实体正在作为新型参与者投入到未来聚变设施的开发中。因此，可能需要制定一个更强有力的监管框架。事实上，美国、英国 [68] 等地目前正在考虑这样做。

目前已经达成了一个技术共识：灾难性的事故场景并不可信，聚变反应堆的放射性积存量（主要是氚）比商业裂变设施的放射性积存量小得多。然而，未来聚变设施的运行将会导致产生大量中低放废物，包括氚和反应堆运行期间所活化的材料。

核聚变设施不在所有公约中“核装置”的定义范围之内 [69]，其运行期间产生的放射性物质同样不在“核材料”的定义范围之内。因此，目前仅有国内法涵盖了此类设施的责任安排。

---

[68] 英国商业、能源和产业战略部（2021）《迈向聚变能源》，https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1022286/towards-fusion-energy-uk-government-proposals-regulatory-framework-fusion-energy.pdf，2021 年 10 月 12 日访问网页。该文件包括对第三方责任的具体讨论，见第 50－54 页。

[69] “核反应堆”和“核燃料”的定义明确指裂变。

专家组讨论了是否应该将核聚变装置纳入 1997 年“维也纳公约”[70] 的范围或者在国际或国家层面上通过某项特殊体系来处理核聚变设施和相关活动所引起的损害赔偿责任。但这次讨论最后并未形成定论。一方面，聚变设施造成的危险与大型裂变反应堆造成的危险程度不同，更接近于大型化工厂或铀矿开采和提炼作业造成的危险，但不属于公约的范围。根据这一观点，将聚变设施纳入现有核责任公约的范围可能会导致公众认为它们产生了与大型裂变反应堆类似性质的危险。另一方面，现有公约涵盖了研究堆和放射性废物贮存设施等具有类似危险程度的设施，核责任制度为受害者提供了比普通侵权法更大程度的保护。有关议题将在 2022 年专家组第 22 次会议上继续讨论。

### 12.5.2. 小型模块化反应堆

在 2021 年度会议上，专家组决定在 2022 年讨论有关小型模块化反应堆的责任问题。原则上，小型模块化反应堆不会给核责任制度带来新的问题。由于其放射性存量较小，比大型动力反应堆可能造成的危害更小 [71]，研究堆亦是如此，且从一开始就被纳入到了核责任制度的范围内。可能值得讨论的是，专家组是否认为，如 1997 年“维也纳公约”[72] 第五条和第七条以及其他公约的类似规定所预见的那样，各国降低营运者赔偿责任限额和/或财务保障金额是否可取。听取政府、行业和保险公司专家介绍各国利用这些规定开展其他低危害设施和活动等情况下的经验，将会十分有益。

---

[70] 1997 年“维也纳公约”（见上文脚注 13），理事会根据该公约第 I(1)(j)(iv)条做出决定。根据 1963 年“维也纳公约”（见上文脚注 11）或《核损害补充赔偿公约》（见上文脚注 8），因没有相应的条款，这一决定可能无效。

[71] 同时，还注意到熔盐反应堆和球床反应堆等下一代小型模块化反应堆的安全裕度增加了。

[72] “装置所在国在考虑到核装置或所涉核物质的性质以及相关事件的可能后果后，可确定较低的营运者责任限额，且此类限额在任何情况下均不得低于 500 万特别提款权，而且装置所在国应确保提供的公共资金不超过根据第 1 款确定的限额”。1997 年“维也纳公约”，见上文脚注 13。

### 12.5.3. 核动力舰船

专家组在 2022 年很可能开始考虑有关核动力舰船的责任问题。核行业媒体 [73] 最近报告了营运者和监管机构准备引进核动力民用舰船的计划。随着人们越来越关注以柴油为燃料的舰船产生的温室气体排放问题，建议使用核能，或者使用核能制氢或氨来代替内燃机中的柴油，或者直接作为舰船的动力源。虽然前者没有产生新的核责任问题，但后者却值得探讨。而人们认为各公约中最好涵盖船装反应堆（见第 12.4.3 节），核动力舰船显然不属于“维也纳公约”[74]《核损害补充赔偿公约》[75] 和“巴黎公约”[76] 的定义范围。早在 20 世纪 60 年代就认识到了这种潜在的保障缺口；为了解决这一问题，1961 年 4 月 17 日至 29 日比利时政府和原子能机构在布鲁塞尔资助举办的第十一届海商法外交会议通过了 1962 年《核动力舰船营运者责任公约》[77]。然而，该公约却从未生效。之前已详细探讨了具体原因 [78]，此处不再赘述。20 世纪 90 年代，在核责任常设委员会讨论修正“维也纳公约”时，人们对民用核动力舰船前景持怀疑态度，这意味着人们对最近提出的将民用核动力舰船纳入修正公约范围内的建议没什么兴趣 [79]。而且，鉴于消除纳入军事设施可能存在的模糊性这一决议，将军用核动力舰船纳入范围内肯定没有前景 [80]。

---

[73] https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Q-A-Core-Power-Chairman-and-CEO-Mikal-B%C3%B8e.，2021 年 9 月 13 日访问网页；https://www.world-nuclear-news.org/Articles/UK-introducing-regulation-for- nucle ar-shipping，2021 年 9 月 13 日访问网页。

[74] “维也纳公约”，见上文脚注 11。

[75] 《核损害补充赔偿公约》，见上文脚注 8。

[76] “巴黎公约”，见上文脚注 11。

[77] 《核动力舰船营运者责任公约》（1962 年《核动力舰船营运者责任公约》）及其附加议定书于 1962 年 5 月 25 日开放供签署，但目前尚未生效。

[78] Handrlica 2009。

[79] 原子能机构 2017，脚注 73。

[80] 同上，第 28 页。

如果专家组认为有必要采取行动解决未来责任保障的潜在缺口问题，可考虑以下几个问题：

- 1962 年“布鲁塞尔公约”[81] 生效的可能性，注意到不仅存在军事舰船的问题，20 世纪 90 年代的公约已超过赔偿责任限额，而且根据该公约可以预见管辖权可能归多个缔约国的法院所有；
- 修正 1962 年“布鲁塞尔公约”的可能性，注意到保存人不是原子能机构，而是比利时政府；
- 考虑到 20 世纪 90 年代公约的批准进展缓慢，有可能对现代化的责任公约进行修正，取消“核装置”定义中的例外情况；
- 原子能机构理事会是否能够通过根据 1997 年“维也纳公约”[82] 第 I(1)(j)(iv)条的规定做出决定将核动力舰船纳入到 1997 年“维也纳公约”的范围内 [83]。需要注意的是，这一决定根据 1963 年“维也纳公约”[84] 或《核损害补充赔偿公约》[85] 规定可能无效，因为它们缺乏相应的条款；
- 正如以前的提议，是否可以通过船只的船旗国和停靠港所在国之间的双边安排来解决这个问题 [86]，但这种办法并不会解决过境国 [87] 的担忧问题 [88]。

---

[81] 1962 年《核动力舰船营运者责任公约》，见上文脚注 77。

[82] 1997 年“维也纳公约”，见上文脚注 13。

[83] 根据“巴黎公约”，经合组织核能机构指导委员会也有类似的权力。

[84] “维也纳公约”，见上文脚注 11。

[85] 《核损害补充赔偿公约》，见上文脚注 8。

[86] Handrlica 2009。

[87] 虽然不就这种担忧的技术合理性做出评判，但仍会存在。

[88] 包括专属经济区可能经过的国家。

## 12.6. 结论

核工业正在持续发展，其发展方式是 20 世纪 60 年代初制定核责任原则的人们所无法预见的。[89] 专家组提出的建议能够让国际核责任体系及时响应新的发展演变，并始终忠于其基本原则。

# 参考文献


Handrlica J (2009) Facing Plans for Multiplying Nuclear Powered Vessels: Lessons Gained from the Brussels Convention on the Liability of Operators of Nuclear Ships of 1962. International Journal of Nuclear Law 2:313–333

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1964) Civil Liability for Nuclear Damage, Official Records.

https://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub54web.pdf. 2021 年 9 月 13 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2004) Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources.

https://www.iaea.org/publications/6956/code of conduct on the safetyand security of radioactive sources. 2021 年 9 月 13 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011a) Measures to strengthen international cooperation in nuclear, radiation, transport and waste safety, GC(55)/RES/9

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011b) IAEA Action Plan on Nuclear Safety. https://www.iaea.org/sites/default/files/actionplanns.pdf. 2021 年 9 月 13 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012) IAEA Action Plan on Nuclear Safety – Nuclear Liability.


[89] 阅读 1963 年“维也纳公约”的准备工作文件（见上文脚注 11）并了解文件是如何论述可移动核电厂等几十年后才取得成果的问题是很有意思的。

https://www.iaea.org/sites/default/files/17/11/actionplan nuclear liability.pdf. 2021 年 9 月 13 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013) The 1988 Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention — Explanatory Text. IAEA International Law Series No. 5. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014) The Establishment of Maximum Limits for the Exclusion of Small Quantities of Nuclear Material from the Application of the Vienna Conventions on Nuclear Liability: Resolution adopted by the Board of Governors on 20 November 2014, GOV/2014/63

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) Safety and Security of Radioactive Sources: Maintaining Continuous Global Control of Sources throughout Their Life Cycle, Proceedings of an International Conference Held in Abu Dhabi. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2017) The 1997 Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage and the 1997 Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage — Explanatory Texts. IAEA International Law Series No. 3 (Revised). IAEA, Vienna

OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2012) Japan's Compensation System for Nuclear Damage.

https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14806/japan-s-compensation-system-fornuclear damage. 2021 年 9 月 13 日访问网页

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 13. 造福人类的原子：核能在实现联合国可持续发展目标方面的作用

**萨马·毕尔巴鄂·y·里昂和约翰·C.H. 林德伯格**

**摘要** 对气候变化问题的高谈阔论已有几十年，现在必须采取强有力的紧急行动，以避免其最恶劣的影响。然而，能源转型的论述反映了一种反人道主义哲学，它将破坏任何实现脱碳的认真努力，并且只会加剧已存在的全球不平等。核能对于从根本上减少温室气体排放的潜力已得到充分探索。然而，迄今，很少有人尝试去充分了解核技术对实现可持续和公平发展的更广泛积极影响。核科学和技术具有广泛的应用，应被置于旨在消除能源贫困、减少空气污染、提供清洁饮水、解决粮食不安全问题或实现联合国 17 项“可持续发展目标”中任何其他目标的核心。本章探讨能源在确保可持续发展、公正的能源转型中的核心地位，以及核能的重要性，核能远远超出单纯提供低碳电力的范畴。

**关键词** 气候变化；可持续发展目标；核能；低碳能源；核技术；癌症；清洁饮水；饥饿；清洁空气；生物多样性；环境；净零；能源转型

## 13.1. 引言

冠状病毒病大流行增加了人类面临的许多挑战，从气候变化和空气污染的影响到长期营养不良、缺水、被迫流离失所和日益加剧的不平等。即使在大流行病发生之前，为了在 2030 年最后期限之前实现联合国“可持续发展目标”，也需要作出重大变革。[1] 虽然大流行病突显了许多依然存在的全球不平等，但自第二次世界大战结束以来人类发展已取得的巨大进步绝不能减少。世界各地的生活水平都有所提高：1950 年，全球极度贫困人口比

[1] 联合国 2021。

例为 55%，贫困人口比例为 72%；[2] 而 2017 年，这两类人口占比分别为 9.3%和 40%。[3] 1950 年，5 岁前夭折儿童比例为 24.7%，而 2018 年，这一数字为 3.9%。[4] 在不到 50 年的时间里，遭受饥饿或营养不良的人数减少了 17%，[5] 而在不到 20 年的时间里，能够用上电力人数已增加，从 2000 年的 72.8%增加到 2019 年的 90%。[6]

人类生活水平的这一惊人进步，很大程度是由化石燃料推动的。对于人类进步的下一章，面临的挑战是找到保障已取得进步的方法，同时确保人类对资源和环境的利用是可持续的。人类活动对地球系统产生了不可忽视的影响，需要采取紧急行动，以避免进一步破坏地球的宜居性。[7] 一个主要驱动因素是当前发展轨迹的不可持续性，人为气候变化已初现端倪，联合国称之为“我们时代的决定性问题”。[8] 为了将全球变暖控制在 1.5℃以下，人为温室气体排放必须迅速下降，2050 年左右达到净零排放。[9] 然而，尽管已进行几十年的政治老生常谈，缓解气候变化一直被视为一个关键政治目标，但在 1985 年至 2018 年期间，化石燃料的使用在绝对值和相对值上都有所增加。[10] 这导致每年全球温室气体排放继续增加，从 1990 年的 205 亿吨二氧化碳增加到 2019 年的 333 亿吨二氧化碳。[11] 中低收入国家（包括连

---

2 Bourguignon 和 Morrisson 2002。

3 https://data.worldbank.org/topic/pooth，2021 年 7 月 1 日访问网页；https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2020/10/07/covid-19-to-add-as-many-as-150-million-extreme-poor-by-2021，2021 年 7 月 1 日访问网页。

4 https://www.gapminder.org/data/documentation/gd005/，2021 年 7 月 1 日访问网页。

5 Rosling 等，2018。

6 https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity，2021 年 6 月 1 日访问网页。

7 Rockström 等，2009 年；Steffen 等，2015。

8 https://www.un.org/en/sections/issues-dept/climate-change/，2021 年 1 月 1 日访问网页。

9 IPCC 2018。

10 BP 2020；Ember 2020。

11 Schlömer 等，2014。

基本用电都没有的 7.7 亿人）[12] 的类似化石燃料发展之旅，会使任何将全球平均温度保持在 2℃以下的努力徒劳无功。因此，就减排而言，现状显然是远远不够的。要解决气候变化问题，建立一个更加繁荣、更加公平和更加可持续的全球社会，就必须彻底改变传统应对办法。

然而，与能源转型有关的许多论述都暴露出理智上坚持一种悲观的“零和”心态，这种心态有可能削弱全球以公平的方式实现世界经济脱碳的努力。这种稀缺心态导致了一种广泛的说法，即有必要剥夺生活在高收入国家的人的特权，限制生活在中低收入国家的人的增长。历史上，这一点颇受争议，人们以环境保护为由，反对人口增长或经济增长。然而，这是错误的。剥夺人民更好的生活水平，必然导致公众不满和不遵守解决当前挑战的政策。建设一个可持续的全球社会，核心是提供一个真正经济适用、清洁和按需供给的能源系统，该系统的足迹（生态、经济、社会）尽可能少。核能就是这个新能源系统的核心。

自 20 世纪 50 年代第一座民用反应堆并网发电以来，核电在向世界各地社区提供低碳、经济适用和可靠的电力方面发挥了重要作用。由于其生命周期排放低，[13] 据估计，在 1970—2015 年期间，核能的使用，通过取代主要燃煤电厂，减少了 680 亿吨温室气体的排放，[14] 核能在减缓气候变化方面的潜在作用获得了广泛认可。[15] 国际能源署指出，“如不采取行动更多支持核电，全球转向清洁能源系统的努力将变得更加困难，成本也将大大增加”。[16] 然而，核技术的潜力远远超出缓解气候变化的范围。核技术由于其独特性和广泛应用，应将被置于旨在消除能源贫困、减少空气污染、提供清洁饮水、解决粮食不安全问题或实现联合国其他“可持续发展目标”的政策的核心。然而，迄今，很少有人试图去充分认识核技术对可持续发展的积极影响。[17] 本章将探讨能源在确保可持续发展中的核心地位，以及核能的重

[12] 国际能源署 2021a、b。

[13] Schlömer 等，2014。

[14] 原子能机构 2018。

[15] Brook 2012；Baek 和 Pride 2014；Hong 等，2015；Liddle 和 Sadorsky 2017；麻省理工学院能源倡议 2018，2012；经合组织核能机构 2019。

[16] 国际能源署 2019。

[17] Lindberg（正在出版）。

要性，核能不仅仅是提供低碳电力。本章将按主题编排，重点介绍核技术如何提供更好的健康、更好的环境和更公正的世界。

## 13.2. （清洁）能源对可持续发展的核心作用和核能的作用

能源是生活各个方面的核心，历史上人类生活许多最根本的变化都与我们和能源关系的突破密切相关。这些革命，无论是对火的征服、蒸汽机的发明，还是电力的出现，都与许多人生活水平的重大改善有关。尽管能源在现代生活中的核心地位毋庸置疑，但能源政策的制定往往被忽视，而且经常以脱节、危机驱动和短视的方式进行。它往往受制于短暂的政治时限（几年），而不是通常所需的一代基础设施时限（30 年以上）。联合国第七个“可持续发展目标”，即“经济适用的清洁能源”，虽然只是 17 个“可持续发展目标”中的一个，但却是大多数（即使不是所有）“可持续发展目标”的基础。

在各种能源形式中，电力可能是最具影响的。没有电，就不可能真正地赋予人们权力或保护环境。没有电，就不可能有现代医疗系统，也不可能普遍获得清洁饮水或卫生设施，更不可能有高质量的教育。电力供应和人类发展之间有明显的关系，越来越多的电力使用促进了更好的生活质量，[18]而获得低成本的清洁电力是减少社会经济不平等的关键所在。[19] 还有确凿证据表明，电力供应与减少贫困之间存在密切的联系，[20] 尤其是对妇女赋权和福利产生积极的影响。[21] 电力打破了白天和生产时间之间的联系，使妇女可以减少花在家务上的时间，使她们更有可能获得有报酬的工作，并有助于提高教育程度。[22]

[18] Niu 等，2013。

[19] 联合国欧洲经委会 2021。

[20] Khandker 等，2014；Dinkelman 2011；Rao 和 Pachauri 2017；Karekezi 等，2012。

[21] Winther 等，2017。

[22] Khandker 等，2014。

全球温室气体排放的 73.2%来自能源，热和电约占排放的三分之一。[23] 就能源生产总量（电、热、运输）而言，化石燃料完全占主导地位，占所有能源的 84.3%。[24] 全球电力的约 63.3%由化石燃料生产，其余电力源自低碳能源。正如国际能源署最近一份关于全球电力市场的报告所强调的那样，尽管可再生能源发电量大幅增长，但仍跟不上电力需求的更大、更快增长，不足部分（约 90%）由燃煤电厂满足。[25] 这一挑战的紧迫性和规模惊人，特别是为了将升温限制在 1.5℃，需要“在本世纪中叶，电力部门几乎完全脱碳”。[26] 相反，全球碳排放量一直在逐年增加，只是在危机时期（例如，20 世纪 30 年代、20 世纪 80 年代初和 2008－2009 年全球经济衰退、第二次世界大战结束、苏联解体，以及冠状病毒病大流行）减少。[27]

考虑约有 7.7 亿人（主要在撒哈拉以南非洲）仍无法获得电力，[28] 并且假设全球人口停止增长，将全球人口用电量提高到欧盟平均水平（700 瓦/人/年），将需要发电容量在现有 2500 吉瓦的基础上，约增加 5000 吉瓦，[29] 这一挑战的艰巨性变得更加突出。鉴于经济的广泛电气化可能导致电力需求增加，需求可能会进一步增长。

很多时候，政策论述几乎只关注脱碳，标志是认为“能源是一种制约因素”。这种错误的观念表现在许多方面，最明显的是，由于能源的不可持续性，人们认为需要减少能源消耗。在许多方面，能源应该被视为影响社会经济变化的驱动力，因为它在现代生活的所有方面都很重要。在应对气候变化方面，有一个机会窗口，可以使全球经济脱碳，同时创造一个更加可持续和公平的全球社会。虽然间歇性的电力供应（例如通过不入网的太阳能电池

---

[23] https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[24] BP 2020。

[25] 国际能源署 2021a、b。

[26] Rogelj 等，2018。

[27] https://www.wri.org/insights/history-carbon-dioxide-emissions，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[28] https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity，2021 年 6 月访问网页。

[29] Devanney 2021。

板）代表着朝着正确方向迈出了一步，但很明显，它不足以为现代经济提供动力。[30] 要使向全球低碳社会的过渡被认为是公平的，关键是要发展可靠、全天候、无污染的能源组合，以匹配每个国家的需求和自然禀赋。

核能为中低收入国家以可持续的方式从根本上改变其能源系统，跨越发达国家历史上走过的碳密集型道路提供了机会。正如瑞典 [31] 和法国 [32] 所强调的那样，核能已证明有可能将经济增长与温室气体排放脱钩。的确，瑞典和法国 1960 年以来的核电快速扩张表明，有可能在 20 年内，即类似于 2015 年《巴黎协定》为避免气候变化的最坏影响所设定的时间框架，将发达工业经济体的电力系统从主要依赖化石燃料迅速转变为世界上排放量最低的电力系统。[33] 模拟得出的结论是，以这些历史速度在全球扩张核电，将使化石燃料在规定的时间范围内从全球电力系统中淘汰。[34]

核能是唯一一种既能发电又能供热的低碳能源。这为经济中其他难以缓解的部门的脱碳带来了巨大的机会。虽然气候变化可能导致世界许多地方冬季变暖，但建筑供暖仍将至关重要，世界各地，例如瑞士、俄罗斯联邦和中国，[35] 已使用核电厂余热为附近城市提供区域供暖。此外，中国和芬兰还在努力探索建造专门用于建筑空调供暖的小型堆的可能性。[36] 核能还可用于产生许多工业过程（如混凝土、钢铁和纸张的生产）所需用热，以及用于化学工业、[37] 航运和运输所需的氢和合成燃料 [38] 的生产。专门建造的可

[30] Clack. 2017；Heard 等，2017。

[31] Lindberg 2017。

[32] 世界核协会 2019。

[33] Cao 等，2016。

[34] Qvist 和 Brook 2015。

[35] Csik 和 Kupitz 1997；Jasserand and Devezeaux de Lavergne 2016；https://www.world-nuclear-news.org/ articles/haiyang-begins-commerced-scale-retical-heat-supp，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[36] Värri 和 Syri 2019。

[37] 皇家学会 2020。

[38] Ingersoll 和 Gogan 2020。

在更高温度下运行的反应堆，或者将核反应堆改造成现有的燃煤电厂以重新利用现有基础设施，已被认为是使这些其他经济部门脱碳的潜在途径。[39]

除了为经济适用的清洁能源提供零碳电力和热能之外，核技术还以多种方式直接推动全球努力实现许多“可持续发展目标”，包括目标 2（零饥饿）、目标 3（良好健康与福祉）和目标 6（清洁饮水和卫生设施），以确保世界更健康。

## 13.3. 核技术促进健康

实现人类潜力的最基本要求之一是良好的健康，而获得高效和负担得起的医疗保健对这一点至关重要。全球冠状病毒大流行以前所未有的方式将注意力集中在公共卫生上，它以非常鲜明的方式突显了全球以及各国内部存在的巨大卫生不平等。获得可靠、全天候和清洁的电力在直接和间接地加强公共卫生方面发挥着重要作用。提供良好的公共卫生不仅仅是为医疗设施供电，还包括保护儿童肺部免受已知的空气污染危险，防治昏睡病等传染病和癌症等非传染病，提供安全饮用水，以及消除饥饿和粮食不安全。几十年来，核技术在所有这些领域都发挥了重要作用，应该大力扩展这一作用，以改善全世界每一个男人、女人和儿童的健康，无论他们身在何处。

### 13.3.1. 利用核电净化空气

空气污染是困扰世界各地社区的一个重大公共卫生问题，是造成慢性肺病、缺血性心脏病、出血性和缺血性中风以及下呼吸道感染等疾病的主要原因。空气污染往往与污染性能源有关，无论是肮脏的烹饪燃料还是使用污染性燃料发电，以及内燃机。《2015 年全球疾病、伤害和风险因素负担研究》将空气污染（室内和环境）列为主要疾病原因，[40] 全球约 91%的人口暴露在超过世界卫生组织（世卫组织）空气质量标准的空气中。[41] 这对全球公

[39] Qvist 等，2021。

[40] Cohen 等，2017。

[41] https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health，2021 年 6 月 12 日访问网页。

共卫生产生了有害影响，空气污染导致全球约 9%的死亡，中低收入国家，特别是南亚和东亚中低收入国家，受影响更严重。[42] 据世卫组织估计，环境空气污染每年造成 420 万例过早死亡，其中约 380 万例过早死亡为室内空气污染所致，[43] 而一些研究估计，仅 2018 年，使用化石燃料就导致约 870 万例过早死亡。[44]

如果用电取代固体燃料（如木材、粪便、木炭）和煤油进行烹饪，大部分室内空气污染都可以消除，如果这种电力来自低碳能源，还会避免大量的环境空气污染。空气污染目前在中低收入国家特别普遍，[45] 这也是预计电力需求增长最多的地方。目前，全世界有 26 亿多人无法使用清洁的烹饪设施（撒哈拉以南非洲只有 17%的人口能够用上这些设施，[46] 依赖生物质、煤炭或煤油）。因此，向清洁电力系统转型不仅为防止数百万人过早死亡，而且为保护当地森林提供了重要机会。

由于核电厂不排放任何空气污染，几十年来，核电在保护当地社区免受已知的空气污染危险方面发挥了重要作用。哈雷查（Kharecha）和汉森（Hansen）在 2013 年进行的一项研究估计，1971 年至 2009 年期间使用核能，通过取代污染更严重的能源，或者使这些能源变得不必要，减少了约 180 万例空气污染相关死亡。[47] 核能对空气污染的影响也可以在核电厂因政治原因提前关闭的地方看到，如 2011 年福岛第一核电站事故后的德国情况。据估计，2010 年至 2017 年期间，德国逐步淘汰核电，导致每年增加 1100 例空气污染相关死亡，主要原因是核电在很大程度上被煤炭取代。[48]因

---

[42] https://ourworldindata.org/air-polution#air-polution-is-one-of-world-s-leading-risk-facTors-for the-death，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[43] https://www.who.in t/health-topics/air-dolution#tab=tab_1，2021 年 6 月 12 日访问网页。

[44] https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-clean-cooking，2021 年 6 月 15 日访问网页。

[45] https://ourworldindata.org/air-pollution#air-pollution-is-one-of-the-world-s-leading-risk-factors-for-death，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[46] Kharecha 和 Hansen 2013。

[47] Jarvis 等，2019。

[48] Vohra 等，2021。

此，至关重要的是，现有反应堆只要有能力继续运行，就必须继续运行，并将核电扩大到中低收入国家，以取代化石燃料发电。

### 13.3.2. 抗击癌症和其他疾病

数十年来，辐射在现代医学中被用来诊断和治疗许多疾病，但它与癌症治疗有着最密切的联系。很少有疾病像癌症一样在人类社会中容易引起情绪波动。最早提到癌症见于拥有 5000 多年历史的纸莎草，“癌症”一词最初由希波克拉底（公元前 460－370 年）创造。[49] 癌症是最常见的疾病之一，每年有 1400 多万新确诊病例。[50] 大约 20%的男性和 17%的女性在其一生中被诊断患上癌症，[51] 但这些数字因国家而异。然而，随着预期寿命的增加，癌症风险也随之增加，[52] 例如，在美国，癌症风险为 40%，[53] 而在英国，癌症风险约为 50%。[54]

辐射在全世界抗击癌症中发挥着极其重要的作用。放射治疗通常使用反应堆中生产的放射性元素，可用于大约 50%的癌症病例，用于治疗或缓解目的。[55] 一些放射治疗技术可以解决任何其他方式难以处理的情况，如 Leksell 伽马刀，通过将大量小型外部辐射束集中到目标肿瘤中，可以杀死手术难以达到的地方（如脑部）的癌症。早期成像技术，如 X 射线，彻底改变了医学，但目前的核成像技术，如计算机断层照相（CT 或 CAT）、单光子发射计算机断层照相（SPECT）或正电子发射断层照相（PET），可提供三维图像，使医生能够查看骨骼和组织，并评估器官功能，这使我们诊断和治疗疾病的能力上了一个台阶。其他诊断方法包括实时 RT-PCR，这是一种核衍生诊断方法，可在数小时而不是数天内检测出潜在病原体，包括冠状

---

49 美国癌症协会 2014。

50 Jaffray 和 Gospodarowicz 2015。

51 世界卫生组织 2018。

52 国际癌症研究机构 2020。

53 美国癌症协会 2020。

54 Smittenaar 等，2016。

55 Jaffray 和 Gospodarowicz 2015。

病毒病或埃博拉等病毒。每年进行的核医学手术有 4000 多万例，对放射性同位素的需求每年正以高达 5%的速度增加。

核技术在全球改善人类健康方面的另一个重要应用是昆虫不育技术。全球约 17%的传染病是通过病媒传播的，包括疟疾、黄热病、登革热和寨卡病毒。[56] 由于气候变化，病媒传播疾病和人畜共患疾病很可能会扩散到其当前范围之外；事实上，有证据表明这种情况已经发生。[57] 随着蚊子和其他病媒对最常用杀虫剂产生抗性，这一问题可能会更加严重。[58] 昆虫不育技术利用钴-60 或铯-137 等放射源的辐射，对大量雄性目标害虫（如采采蝇或按蚊）进行绝育，然后释放到环境中。由于这些雄性害虫将无法成功繁殖，害虫数量将从根本上减少或根除，并且通过广泛推广应用，使人类感染任何病媒传播疾病的风险显著降低。[59] 昆虫不育技术已在世界各地成功用于控制作为大量疾病（包括由螺旋蝇引起的蝇蛆病和由采采蝇引起的非洲锥虫病）病媒的害虫，[60] 并且可以在防治疟疾、登革热等蚊子传播疾病中发挥重要作用。[61] 昆虫不育技术还可以取代或减少对杀虫剂的需求，而杀虫剂往往会带来额外的健康和环境后果。

### 13.3.3. 利用核技术提供清洁淡水

水是地球上几乎所有生命的关键，水对人类的关键作用怎么强调都不过分。全球对水的需求稳步增长，而现有淡水储量却在缩减，[62]预计气候变化将对全球水资源产生不利影响，加剧水资源短缺。[63] 水是一种分布不均的资源，全球三分之二的人口每年至少有一个月经历严重缺水，[64] 超过 14

[56] 世界卫生组织和原子能机构 2020。

[57] Higgs 2018，第 285 页。

[58] Bouyer 等，2020。

[59] Klassen and Vreysen 2021。

[60] Klassen 等，2021。

[61] Klassen 2009。

[62] Boretti 和 Rosa 2019。

[63] Jiménez Cisneros 等，2014。

[64] Mekonnen 和 Hoekstra 2016。

亿人（其中 4.5 亿是儿童）生活在水资源高度或极端脆弱的地区。[65] 此外，缺乏安全饮用水也使这种情况更加复杂，据估计，2017 年有 120 万人死于缺乏安全饮用水，[66] 霍乱、痢疾等腹泻病每年造成近 50 万人死亡。[67] 不幸的是，联合国水机制最近得出结论，在实现“可持续发展目标 6”（清洁饮水和卫生设施）方面没有取得足够的进展，水源干涸和（或）污染加剧。[68] 核放射性示踪剂是调查地下水资源、确定和绘制其来源、分布、数量和质量以及制定合理和可持续的开采和管理计划的重要工具。这些核技术也被用来评估和管理海水渗入淡水含水层的情况，研究生态系统动态，追踪水流中的污染物，以及分析污染控制和治理技术的有效性。[69]

确保为家庭和工业稳定供应饮用水的一个重要工具是海水淡化。目前，全世界约有 16 000 个海水淡化设施，其中大部分位于中东地区。海水淡化需要大量的能源才能运作，当依赖化石能源（通常是这样）时，就会产生大量的排放足迹。[70] 除非海水淡化设施的淡水成本能够与传统水源的水成本相当，[71] 否则到 2030 年，世界上许多最易受气候影响的社区（约有 7 亿人）将被迫搬迁。[72] 日益增长的水需求加上脱碳的需要，意味着核能是可以取代化石燃料，为海水淡化设施提供动力的合适选择。[73] 这可以通过将大型动力堆作为额外应用与海水淡化厂耦合来实现，也可以使用专门用于海水淡化的反应堆来实现。[74] 核能海水淡化绝不是新应用，它已累积约 200 堆

---

65 儿童基金会 2021。

66 https://ourworldindata.org/water-access#unsafe-water-is-a-leading-risk-factor-for-death，2021 年 1 月 1 日访问网页。

67 https://www.who.in t/news-room/fact-sheets/detail/dring-water，2021 年 7 月 1 日访问网页。

68 联合国水机制 2021。

69 原子能机构 2015。

70 Jones 等，2019；Darre 和 Toor 2018。

71 Ziolkowska 2015。

72 https://www.unicef.org/wash/water-scarcity，2021 年 6 月 25 日访问网页。

73 Ingersoll 等，2014a。

74 Ingersoll 等，2014b。

年的经验，主要是较小规模的运行，特别是在日本、印度和哈萨克斯坦。[75] 核能海水淡化也是一个已得到广泛研究的概念，经验测试和可行性研究的结合已证明，核能海水淡化在技术上和经济上都是可实现的。[76] 例如，科学研究表明，在已遭受缺水之苦的中国，[77] 核能海水淡化计划将能够以经济适用的水平显著增加缺水地区的水资源。[78]

### 13.3.4. 利用核技术抗击饥饿

约 7.68 亿人（2020 年）遭受饥饿，[79] 每年，营养不良是造成 45%儿童死亡的直接或根本原因。[80] 此外，超过五分之一的五岁以下儿童（约 1.44 亿儿童）发育不良，虽然大流行病导致粮食不安全水平增加，但大流行病前的趋势已经表明，2014 年至 2018 年期间，粮食不安全水平已增加 3.2%。[81] 与此同时，每年约有 13 亿吨粮食被消费者或零售商浪费，或因储存、运输或收割方法不当而变质。[82]

电力是消除世界饥饿的重要组成部分，有助于提高粮食产量，减少收获后损失以及更好地储存粮食（包括冷藏）。[83] 经验研究得出的结论是，获得电力对粮食安全具有直接的积极影响，特别是在粮食生产、保存和准备方面。[84] 核电已在提供无污染电力方面发挥重要作用，并且与其他核技术相

---

[75] https://www.iaea.org/topics/non-electric-applications/crucle-desalining，2021 年 1 月 1 日访问网页。

[76] Belessiotis 等，2010。

[77] Jiang 2009。

[78] Avrin 等，2015，018。

[79] 粮农组织等，2021。

[80] Mark 等，2020。

[81] https://sdgs.un.org/goals/goal2，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[82] 环境署 2020。

[83] Willcox 等，2015。

[84] Candelise 等，2021。

结合，可以在全球消除饥饿方面发挥关键作用，从而实现第二个“可持续发展目标”。

核技术可用于促进作物更有效地利用水和营养物质，确保提高农业产量，为大自然留下更多空间。其中一项核技术是食品辐照，即对食品进行精心控制剂量的辐射照射，通常使用在核反应堆中制造的钴-60 来杀死致病真菌、寄生虫和细菌。这一过程大大延长了食品的保质期，有助于避免浪费。[85] 同样重要的是，从公共卫生的角度来看，食品辐照也可以在解决食源性疾病方面发挥重要作用，这些疾病每年造成 42 万多人死亡，其中五岁以下儿童受到的影响尤为严重。此外，食源性疾病可造成长期健康损害，并使中低收入国家每年损失 1100 亿美元的生产力和医疗费用。[86] 食品辐照已获得世卫组织、粮农组织以及美国食品药品监督管理局 [87] 批准，尽管目前全球 60 多个国家都在使用辐照技术，[88]但仍有大量机会增加其使用。

核技术在减少粮食不安全和饥饿方面的另一个应用是前面提到的昆虫不育技术。每年约有 20%～40%的作物产量因不同的病虫害而损失。[89] 这种损失可能会因气候变化而加剧，[90] 届时粮食产量需要增加近 50%，以满足日益增长的需求。[91] 世界各地的昆虫不育技术计划已证明该技术在控制害虫（如果蝇）和防止其扩散到新地区方面的价值。该技术具有成本效益和环境友好性，因为它有助于减少农药和化肥的使用，而这两者都与健康和环境风险相关。[92]

---

[85] Verma 和 Gautam 2015；Thayer 1993。

[86] https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-security，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[87] https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/food-irradiation-what-you-need-know，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[88] https://www.iaea.org/topics/food-irradiation，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[89] http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[90] 《国际植物保护公约》秘书处 2021。

[91] 粮农组织 2017。

[92] Enkerlin 2005。

## 13.4. 利用核能保护环境

### 13.4.1. 栖息地破坏和生物多样性丧失

我们发展历程的一个后果是，在过去 500 年里，生物多样性遭受了前所未有的丧失，灭绝速度几乎是预期的 100 倍。[93] 现在几乎毫无疑问，整个物种的灭绝和种群的减少在很大程度上都是由人类学驱动的，其规模和速度与过去 4.5 亿年中发生的前五次大灭绝事件相当。[94] 1970 年至 2016 年期间，哺乳动物、鱼类、爬行动物、两栖动物和鸟类的种群规模平均下降了 68%，[95] 这种趋势在“传统”脆弱物种（如顶级捕食者）和低关注度物种中都有体现。[96] 这种下降主要是由于自然栖息地的改变或完全被破坏而造成的，地球 75%的无冰表面已被人类活动 [97] 直接通过过度开发和间接通过气候变化的影响而显著改变。[98] 生物多样性丧失可能对生态系统的长期稳定性和动态性产生重大影响，继而可能导致二次影响，如粮食生产中断（由于害虫密度增加或授粉者减少）[99] 和环境退化（反过来又与被迫迁徙和传染病等增加有关）[100]。

阻止生物多样性丧失的一个关键步骤是减轻栖息地破坏、气候变化和不可持续的开发对当地环境和物种造成的压力。[101] 从获取和来源的角度来看，能源在造成这些压力方面起着至关重要的作用。例如，森林退化（和毁林）与能源获取之间存在直接关系。在人们完全无法获得电力或电力供应不足的地方，他们往往依靠生物质（通常从当地森林收集）作为燃料。这不仅破坏当地栖息地，导致生物多样性减少，而且也是家庭空气污染的主要来

---

93 Ceballos 和 Ehrlich，2018。

94 Dirzo 等，2014。

95 世界自然基金会 2020。

96 Ceballos 等，2017。

97 世界自然基金会 2020。

98 生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台 2019。

99 Tcharntke 等，2012。

100 Schmeller 等，2020。

101 Ceballos 等，2015。

源。对大约 158 个国家的森林砍伐和农村用电情况进行的广泛分析发现，农村电气化由于电力取代了生物质，在减少森林砍伐方面发挥了非常重要的作用。[102] 这再次突显了这一挑战的规模或确保农村电气化的诸多好处，也突显了以电取代生物质的一个必然结果，即电力需求大幅增长。

### 13.4.2. 为大自然提供更多空间

满足这一能源需求将需要所有可用的低碳能源，但从环境保护的角度来看，核能是最有益的。核能保护价值的关键在于其物理足迹非常小。由于核燃料固有的能量密度，核电厂的物理足迹比所有其他低碳能源小得多。事实上，一个铀燃料芯块（约 10 克重）所含能量相当于三桶石油（149 加仑）、一吨煤或 481 平方米天然气。[103] 与其他能源（2019 年太阳能光伏 18%，2019 年陆上风电 35%，2019 年海上风电 43.5%，2019 年煤炭 49%，2018 年天然气 29%～63%）相比，核燃料的能量密度以及核反应堆的极高容量因子（2019 年全球平均为 82.5%，许多个别反应堆超过 90%）意味着，以核为中心的能源系统所需的土地将大大少于高度或完全依赖间歇性可再生能源的任何能源系统。[104] 一个平均规模（1000 兆瓦）的核反应堆，能够为欧洲 200 多万户家庭供电，占地约 3.4 平方千米，90%～95%的时间都能发电。相比之下，一个具有相同装机容量（1000 兆瓦）的太阳能发电站将占地 194 平方千米，而同等的风力发电站将占地 673～963 平方千米。[105] 考虑可再生能源仅部分时间发电，而且还需要备用发电，高度或完全依赖间歇性可再生能源的能源系统的物理足迹可能会导致环境退化和栖息地丧失。物理足迹越大，自然环境受到干扰的风险就越大。事实上，公认的事实是，这些设施

[102] Tanner 和 Johnston 2017。

[103] https://www.nei.org/guritials/nucle-fuel，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[104] 世界核协会 2020；https://www.energy.gov/ne/articles/what-generation-capacity，2021 年 7 月 1 日访问网页；https://www.irena.org/statistics/view-data-by-topic/coss/global-trends，2021 年 7 月 1 日访问网页；国际能源署 2020 年；https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[105] https://www.nei.org/news/2015/land-needs-for-wind-solar-dwarf-nuclear-plants，2021 年 7 月 1 日访问网页，Stevens 2017。

会对当地野生动物造成不利影响，包括直接死亡（如撞击创伤、诱捕、焚烧）、间接死亡（如因栖息地变化导致的捕食、竞争加剧）以及栖息地退化或丧失。[106] 国际能源署在其最近的“2050 年净零排放”报告中强调，为了在 2050 年前达到既定的政策目标，将需要前所未有地扩大太阳能和风能；到 2030 年，每年必须安装约 630 吉瓦的太阳能光伏和 390 吉瓦的风能，比 2020 年水平高出 4 倍。[107] 对于太阳能光伏，这将需要每天安装相当于世界上最大的太阳能发电站。截至 2021 年 7 月，世界上投运的最大太阳能发电站，即印度拉贾斯坦邦的巴德拉太阳能公园，占地 14 000 英亩（约 57 平方千米）。[108] 这意味着，在未来十年内，必须建造累计面积略大于白俄罗斯国家的太阳能发电站，约占地 20.8 万平方千米。

核电厂不仅比任何其他低碳能源占用的空间少得多，而且还以非常节约资源的方式使用所需的材料，部分原因是与风力涡轮机（20 年）[109] 和太阳能电池板（取决于类型，5～35 年）[110] 相比，反应堆的寿命（80 年以上）[111] 比较长。毫无疑问，任何能源基础设施的建设都需要从混凝土到各种不同金属和矿物的材料，这些材料的环境足迹都需要考虑。核反应堆使用的关键矿物比太阳能/太瓦时少 10 倍，比风能/太瓦时少 10～15 倍 [112]。所用材料的类型在确定潜在的环境（和健康）影响方面起着重要作用。风力涡轮机和太阳能电池板需要大量的稀土元素和重金属，其中大部分（90%）产自中国，[113] 而这些采矿作业对环境和公众健康有着公认的严重不利影响。[114]

---

[106] Chock 等，2021。

[107] 国际能源署 2021a、b。

[108] https://www.nsenergybusiness.com/features/mastage-solar-power-plants/，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[109] https://www.energy.gov/ne/articles/whats-lifespan-nuclear-reactor-much-longer-you-might-think，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[110] Ziegler 等，2018。

[111] http://solarenergyforus.com/solar-panel-encost-lifespan/，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[112] 国际能源署（2021）和国际能源署（2021）。

[113] Van Gosen 等，2017。

[114] Lee 和 Wen 2017；Arshi 等，2018。

此外，所需的可再生能源容量的空前扩大，以及所需的大量物理空间，面临着一个重大挑战和潜在障碍：公众接受。虽然国家层面的民意调查普遍显示支持率很高，[115] 但地方层面的情况往往大相径庭。已有迹象表明，在潜在的东道主社区中，无论是在托管可再生能源装置方面，还是在必然需要的输电基础设施方面，反对情绪越来越强烈。此类当地反对意见通常基于视觉影响、（感知或实际）成本和收益分配不公、对当地经济不利影响的担忧、对野生动物的影响或与其足迹（土地使用）相关的问题。[116]

确保公正能源转型的基本原则之一是保障当地社区的自决权，并保证只有自愿的社区才能作为任何能源基础设施的东道主。在制定未来能源政策时，必须考虑可再生能源扩张所需的巨大规模，以及公众反对意见已在不断增加这一事实。在未来任何能源系统中使用相当大的核组件，将大大限制能源基础设施对当地社区的影响。关键因素是能量密度，核电厂能够产生大量电力，其足迹与所有其他低碳能源相似，甚至更小。

## 13.5. 确保公正的能源转型

至关重要的是，向清洁能源系统转型的方式意味着无论是在个人层面、部门层面，还是在国家层面，都没有人被遗弃。事实上，提供强大的能源基础设施对于确保国家繁荣，而不仅仅是生存至关重要。能源转型确实为地球上每个人创造财富和繁荣提供一个绝佳机会，但要充分利用这个机会，需要思想领导力和富足心态。核能在确保公正的能源转型方面可以发挥核心作用，而且在向希望将核技术纳入其能源组合的中低收入国家推广核技术时，不施加任何不合理的限制，包括政治、立法、财政或其他方面的限制，这一点至关重要。

---

[115] Tyson 等，2021；商业、能源和工业战略部 2021；https://ec.europa.eu/clima/citizens/support_en，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[116] 2020 年 Gross；Goyal 等，2021；O’Neil 2021；https://www.cleanenergywire.org/factsheets/fighting-windmills-when-growth-hits-resistance，2021 年 7 月 1 日访问网页。

### 13.5.1. 核能加强能源独立

由于能源和电力对现代生活的方方面面都至关重要，因此确保能源供应安全并能抵御外部压力，应该是各国政府的首要任务。事实上，纵观历史，有充分的证据表明，国家利用能源作为政治工具（如 1973 年的石油危机）来维持、施加和扩大其影响力。[117] 此类行动可以而且已经产生相当大的政治、社会经济和人道主义后果。在向清洁能源系统转型的过程中，这些新系统必须促进社会、经济和政治稳定，并确保国家在很大程度上的独立性和韧性。包括核能在内的多样化能源组合有助于确保自力更生。

核能不使用大量战略性原材料，其燃料铀可以在世界许多地方找到。[118] 此外，正在探索从海水中提炼天然存在的铀 [119] 或使用丰富的钍作为燃料 [120] 的前景。铀不仅是一种相对丰富的物质（它是地球上第 48 种最常见的元素，大约是黄金的 1000 倍），而且世界上许多国家也发现了铀。与仅在少数国家发现的天然气或稀土元素不同，核燃料矿床的普遍性意味着核燃料供应链的地缘政治风险大大低于依赖天然气 [121] 或可再生能源 [122] 的能源系统。铀的成本历史上一直处于低位，原因一是铀比较丰富，二是铀的竞争使用很少。此外，核电成本对铀价相对不敏感（铀价翻倍将导致电价上升 10%）[123]。

---

[117] 欧盟（欧洲议会）对外政策总局 2018。

[118] https://www.world-nuclear.org/information-library/nucle-fuel-cycle/unuary-resources/suply-of-uranium.aspx，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[119] https://www.scientificamerican.com/article/uranium-extraction-from-seawater-takes-a-major-step-forward/，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[120] https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/thorium.aspx，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[121] https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-security.aspx，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[122] Habib 等，2016；Stegen 2015。

[123] https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nucle-power.aspx，2021 年 7 月 1 日访问网页。

### 13.5.2. 尽量减少对后代的遗留问题

每个工业过程都会产生某种形式的废物。事实上，人类面临的一些最大挑战，如气候变化，都是由废物管理失败造成的。确保公正的清洁能源转型，核心是在废物数量和寿命方面尽量减少其遗留足迹。这种整体方案对于确保旨在解决当前问题的潜在短视政策不会对子孙后代造成潜在的更大危害至关重要。在低碳能源中，核能是唯一一个从一开始就致力于在其整个生命周期内管理其废物流并将所有成本内化为核电价格的行业。核电厂是每单位发电量对原材料要求最小的行业之一，因此产生的废物足迹最小。一座平均规模（1000 兆瓦）的核反应堆每年排放约 25～30 吨的乏核燃料，[124] 自 20 世纪 50 年代末第一台核电机组投运以来，整个行业估计共排放了 40 万吨乏核燃料，其中约 30%的材料被回收再用于反应堆中。[125] 同等的燃煤发电厂每年平均产生 27.5 万吨有毒灰烬（含汞、砷和铍等），此外还有 3 吨多的二氧化碳。同样，据估计，到 2050 年，使用太阳能光伏将产生约 6000～7800 万吨电子废物，[126] 分析表明，由于太阳能电池板过早更换，实际数字可能会高得多。[127] 太阳能废物通常含有镉、锑和铅等有毒物质，而构成电池板主体的玻璃由于含有杂质，很少能回收利用，这意味着太阳能电池板通常会被填埋，或作为电子废物出口到中低收入国家。如果电池板破裂，有毒物质会渗入当地环境，对健康造成潜在的有害影响。[128] 相比之下，大多数核废物可以回收利用，包括乏核燃料。核材料的回收利用是核工业的常见做法，目前正在进行广泛的努力，以使核电已经很小的废物足迹进一步减少。这一领域的主攻方向是所谓的“燃烧反应堆”的研究和商业化，这类反应堆能够由当前核反应堆的乏燃料提供动力，从而将核废物总量减少 97%。

---

[124] https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-wastes-myths-a nd-realities.aspx，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[125] 原子能机构 2020。

[126] 国际可再生能源机构，国际能源署光伏发电系统 2016。

[127] https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[128] https://www.discovermagazine.com/environment/solar-panel-waste-the-dark-side-of-clean-energy，2021 年 7 月 1 日访问网页。

核电遗留废物少和对自然资源的有效利用，使其成为确保实现公正的能源转型的不可或缺的工具。事实上，民用核废物按照最高标准管理，没有对人或环境造成任何伤害。随着核废物处置库的建设，核工业可以证明，长期管理解决方案随时可用。

### 13.5.3. 经济适用、创造价值的核能转型

成本效益问题对于确保公正的能源转型是不可或缺的。未来能源系统的设计必须优化使用现有资源，包括财力、人力和物力，以便向所有经济部门提供可靠、全天候、经济适用和清洁的能源。任何解决方案都必须是真正物有所值的，是持久的，并为地方、国家和地区经济带来社会经济溢出效应。[129] 例如，国际能源署、麻省理工学院能源倡议、经合组织核能机构和其他机构的研究发现，与依靠大量可变可再生能源的发电组合相比，通过核能发电的更大贡献实现同样的低碳排放，使最终消费者或纳税人的总电力成本更加实惠。[130]

低碳能源部门，特别是核能，可以在创造就业和引领建设更具可持续性和韧性的未来方面发挥重要作用。对核能部门的投资已证明有助于社会可持续和公平的经济发展，同时有助于建立可靠的低碳现代能源系统，为应对气候波动或未来地缘政治和经济冲击提供韧性。历史证明，核能的发展是全世界工业、经济增长和繁荣的催化剂。法国、日本和大韩民国等国内能源资源有限的国家是核能如何在实现能源独立、供应安全和抵御地缘政治冲击的同时带来广泛增长的绝佳例子。

核能在相当长的一段时间内，通常是在包括建造、运行和退役在内的 80 至 100 年内，创造大量高技能、高薪且以本地为主的工作岗位。将核能置于现代工业战略的核心，将为技能发展、研发、贸易和投资提供支持。对欧洲核工业的分析发现，核工业创造的每一个直接工作岗位都会为另外 3.2 人创造工作机会。[131] 据估计，在欧洲核工业中每花费一欧元，就会在欧洲

[129] Batini 等，2021。

[130] 麻省理工学院能源倡议 2018；经合组织核能机构 2012，2019；国际能源署 2019；Zappa 等，2019。

[131] https://www.foratom.org/downloads/nuclear-energy-powering-the-economy-full-study/?wpdmdl=42758&re fresh=5f61d7fee0ce71600247806，2021 年 7 月 1 日访问网页。

经济中产生额外的四欧元。[132] 同样，美国核电厂一年中每花费一美元，就会为当地经济创造额外四美元。[133] 因此，核能投资不仅提供可靠和经济适用的电力来源，而且还带来可观的社会经济效益，加强将核电项目置于任何公正能源转型政策核心的重要性和效益。

## 13.6. 结论

目前正在全世界流行的全球冠状病毒病大流行在许多方面突出了不同国家之间和国家内部存在的相当大的不平等。它还表明，当人类团结起来应对紧急情况时，就有可能取得巨大的成果。在不到一年的时间里开发出安全有效的冠状病毒病疫苗就是一个很好的例子，特别是考虑到之前的疫苗开发记录时间超过了四年。[134] 在对气候变化进行了几十年的高谈阔论后，必须以同样的紧迫感采取有力行动，以避免气候变化的最恶劣影响。

然而，与清洁能源转型和更广泛的经济发展相关的现代政治话语具有“零和”心态的特点，认为高收入国家居民必须接受降低其生活标准，以使中低收入国家变得更强大，同时限制这些国家可以期待的发展水平。这是一种反人道主义哲学，它将破坏任何实现脱碳的认真努力，并且只会加剧已存在的全球不平等。虽然可以想象，世界上最富有的国家将经历一场重大的行为转变，并同意限制能耗的生活方式，但难以相信，同样的情况将适用于占全球人口 85%以上的世界中低收入国家。[135]

这些国家需要更加可靠、全天候的能源，以确保提高其居民生活标准，而且他们有权利争取高收入国家几代人一直享受的高能生活方式。当前的关键问题是，这些中低收入国家是否会像其他国家过去一样致力于高碳、高污染的道路，或者他们是否有机会获得所需的技能、资金和技术，直接跃升到一个经济适用、低碳和可靠的能源系统。

---

[132] 同上。

[133] 核能研究所 2012。

[134] https://www.nationalgeographic.com/science/article/why-coronavirus-vaccine-could-take-way-longer-than- a-year，2021 年 7 月 1 日访问网页。

[135] https://www.gapminder.org/fw/income-mountains/，2021 年 7 月 1 日访问网页。

核技术具有从根本上改变世界各地生活前景的巨大潜力，无论是通过提供丰富、可持续和可靠的电力，还是通过利用各种放射性同位素对抗饥饿和疾病。核能提供了一个千载难逢的机会，让人们一劳永逸地接受富足的心态，它是唯一一种有记录证明不仅能够以所需的速度实现深度脱碳，而且能够有助于为世界各地居民带来大量电力的技术。核电打破了经济增长与排放增长之间的关联，表明发达经济体的电力系统有可能在避免气候变化最恶劣影响所需的时间范围内脱碳，同时实现高能但可持续的生活方式。

乔治·桑塔亚纳的格言“忘记过去的人，注定会重蹈覆辙”[136]，为人类正在进行的能源转型提供了一些指导。很明显，世界各地社区必须摆脱对化石燃料的长期依赖，获得更多的电力和更好的生活质量将胜过对温室气体排放的担忧。有了核能，就不必进行这样的权衡。实现这一目标的关键第一步是，无论是地方、国家还是国际各级的决策者，都要敢于挑战关于核技术的先入为主的观念，支持这些技术所提供的机会。同样重要的是，世界高收入国家的领导层，由于过去排放的遗留问题，有责任帮助中低收入国家跨越化石能源发展阶段。这可以通过鼓励多边银行支持包括核电在内的所有低碳技术以及促进技术合作和知识转让来实现。如果他们这样做，在全世界建立真正公平、可持续和有抱负的社会这一重大任务就会变得容易得多。

## 参考文献

American Cancer Society (2014). The History of Cancer. https://www.cancer.org/content/dam/CRC/ PDF/Public/6055.00.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

American Cancer Society (2020) Lifetime Risk of Developing or Dying From Cancer. https://www.cancer.org/content/dam/CRC/PDF/Public/ 509.00.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Arshi P S, Vahidi E, Zhao F (2018) Behind the Scenes of Clean Energy: The Environmental Footprint of Rare Earth Products. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 6:3311–3320

[136] Santayana 1905。

Avrin A-P, He G, Kammen D M (2015) Assessing the impacts of nuclear desalination and geoengineering to address China's water shortages. Desalination 360:1–7

Avrin A-P, He G, Kammen D M (2018) Chapter 7—Relevance of Nuclear Desalination as an Alternative to Water Transfer Geoengineering Projects: Example of China. In: Renewable Energy Powered Desalination Handbook. Butterworth-Heinemann, Oxford, pp 265–286

Baek J and Pride D (2014) On the income–nuclear energy–CO2 emissions nexus revisited. Energy Economics 43:6–10

Batini N, Di Serio M, Fragetta M, Melina G, Waldron A (2021) Building Back Better: How Big Are Green Spending Multipliers? https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WP/2021/Eng lish/wpiea2021087-print-pdf.ashx. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Belessiotis V, Papanicolaou E, Delyannis E (2010) Nuclear desalination: A review on past and present. Desalination and Water Treatment 20:45–50

Boretti A, Rosa L (2019) Reassessing the projections of the World Water Development Report. npj Clean Water 2

Bourguignon F, Morrisson C (2002) Inequality among World Citizens: 1820–1992. The American Economic Review 92:727–744

Bouyer J, Culbert N J, Dicko A H, Gomez Pacheco M, Virginio J, Pedrosa M C, Garziera L, Macedo Pinto A T, Klaptocz A, Germann J, Wallner T, Salvador-Herranz R, Argiles Herrero R, Yamada H, Balestrino F, Vreysen M J B (2020) Field performance of sterile male mosquitoes released from an uncrewed aerial vehicle. Science Robotics 5

BP (2020) BP Statistical Review of World Energy. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Brook B W (2012) Could nuclear fission energy, etc., solve the greenhouse problem? The affirmative case. Energy Policy 42:4–8

Candelise C, Saccone D, Vallino E (2021) An empirical assessment of the effects of electricity access on food security. World Development 141

Cao J, Cohen A, Hansen J, Lester R, Peterson P, Xu H (2016) China-U.S. cooperation to advance nuclear power. Science 353:547–548

Ceballos G and Ehrlich P R (2018) The misunderstood sixth mass extinction. Science 360:1080– 1081

Ceballos G, Ehrlich P R, Barnosky A D, García A, Pringle R M, Palmer T M (2015) Accelerated modern human–induced species losses: Entering the sixth mass extinction. Science Advances DOI: https://doi.org/ 10.1126/sciadv.1400253

Ceballos G, Ehrlich P R, Dirzo R (2017) Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinc- tion signaled by vertebrate population losses and declines. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114:6089–6096

Chock R Y, Clucas B, Peterson E K, Blackwell B F, Blumstein D T, Church K, Fernández-Juricic E, Francescoli G, Greggor A L, Kemp P, Pinho G M, Sanzenbacher P M, Schulte B A, Toni P (2021) Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective. Conservation Science and Practice 3:319–328

Clack C T M, Qvist S A, Apt J, Bazilian M, Brandt A R, Caldeira K, David S J, Diakov V, Handschy M A, et al. (2017) Evaluation of a proposal for reliable low-cost grid power with100% wind, water, and solar. Proceedings of the National Academy of Sciences 114:6722–6727

Cohen A J, Brauer M, Burnett R, Anderson H R, Frostad J, Estep K, Balakrishnan K, Brunekreef B,et al. (2017) Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. The Lancet 389 10082:1907–1918

Csik B J, Kupitz J (1997) Nuclear power applications: Supplying heat for homes and industries. IAEA Bulletin 39:21–25

Darre N C, Toor G S (2018) Desalination of Water: a Review. Current Pollution Reports 4:104–111 Deloitte (2019) Economic and Social Impact Report FORATOM. https://www.foratom.org/downloads/nuclear-energy-powering-the-economy-full-study/?wpdmdl=42758&refresh=5f61d7fee0ce71600247806. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Department for Business, Energy, and Industrial Strategy (2021) BEIS Public Attitudes Tracker (March 2021, Wave 37, UK) https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/985092/BEIS_PAT_W37_-_Key_Findings.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Devanney J (2021) Why Nuclear Power has been a Flop. The CTX Press, Stevenson, WA

Dinkelman T (2011) The Effects of Rural Electrification on Employment: New Evidence from South Africa. American Economic Review 101:3078–3108

Directorate-General for External Policies of the Union (European Parliament) (2018) Energy as a tool of foreign policy of authoritarian states, in particular Russia.https://op.europa.eu/en/pub lication-detail/-/publication/1c80b8c6-58b6-11e8-ab41-01aa75ed71a1/language-en. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Dirzo R, Young H S, Galetti M, Caballos G, Isaac N J B, Collen B (2014) Defaunation in the Anthropocene. Science 345:401–406

Ember (2020) Global Electricity Review. Ember, London https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020GlobalElectricity Review-Web.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Enkerlin W R (2005) Impact of Fruit Fly Control Programmes Using the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A (eds) Sterile Insect Technique, Springer, Dordrecht, pp 651–676

Food and Agriculture Organization (FAO) (2017) The future of food and agriculture: Trends and challenges. http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Food and Agriculture Organization (FAO), International Fund for Agricultural Development, UNICEF, World Food Programme (WFP), World Health Organization (WHO) (2021) The State of Food Security and Nutrition in the World 2021 – Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Public ations/PDF/TE-1760_web.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Goyal R, Marsh K, McKee N, Welch M (2021) Opposition to Renewable Energy Facilitiesin the United States. https://climate.law.columbia.edu/sites/default/files/content/RELDI%20r eport%20updated%209.10.21.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Gross S (2020) Renewables, Land Use, and Local Opposition. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/01/FP_20200113_renewables_land_use_local_opposition_gross.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Habib K, Hamelin L, Wenzel H (2016) A dynamic perspective of the geopolitical supply risk of metals. Journal of Cleaner Production 133:850–858

Heard B, Brook B, Wigley T, Bradshaw C (2017) Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews 76:1122–1133

Higgs S (2018) It Is Official: Vector-Borne and Zoonotic Diseases in the United States and Territories on the Rise-Now What? Vector-Borne and Zoonotic Diseases 18:285

Hong S, Bradshaw C J A, Brook B W (2015) Global zero-carbon energy pathways using viable mixes of nuclear and renewables. Applied Energy 143:451–459

Ingersoll D, Houghton Z, Bromm R, Desportes C (2014a) NuScale small modular reactor for Co-generation of electricity and water. Desalination 340:84–93

Ingersoll D, Houghton Z, Bromm R, Desportes C (2014b) Integration of NuScale SMR With Desali- nation Technologies. In: Proceedings of the ASME 2014 Small Modular Reactors Symposium. ASME 2014 Small Modular Reactors Symposium, Washington, DC

Ingersoll E, Gogan K (2020) Missing Link to a Livable Climate: How Hydrogen-Enabled Synthetic Fuels Can Help Deliver the Paris Goals. LucidCatalyst, London & Cambridge, MA

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2019) Summary for policymakers—Global Assessment. http://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_en.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

International Agency for Research on Cancer (2020) World Cancer Report: Cancer research for cancer prevention. Wild C P, Weiderpass E, Stewart B W (eds).https://shop.iarc.fr/products/ world-cancer-report-cancer-research-for-cancer-prevention-pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) Use of Radiotracers to Study Surface Water Processes. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018) Climate Change and Nuclear Power 2018. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) Nuclear technology review. https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc64 inf2.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

International Energy Agency (2019) Nuclear Power in a Clean Energy System. https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system. 2021 年 7 月 1 日访问网页

International Energy Agency (2020) Coal 2020 Analysis and forecast to 2025. https://iea.blob.core.windows.net/assets/00abf3d2-4599-4353-977c-8f80e9085420/Coal_2020.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

International Energy Agency (2021) Electricity Market Report. https://www.iea.org/reports/electr icity-market-report-july-2021. 2021 年 7 月 1 日访问网页

International Energy Agency (2021) Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050. 2021 年 7 月 1 日访问网页

International Energy Agency (2021) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA: Paris. World Nuclear Association (2021). Mineral Requirements for Electricity Genera-tion. Accessed here: https://world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/mineral-requirements-for-electricity-generation.aspx. Accessed 30 November 2021

International Renewable Energy Agency, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems (2016) End-of-life management: solar photovoltaic panels. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018) Summary for Policymakers. In: Masson- Delmotte V, Zhai P, Pörtner H, Roberts D, Skea J, Shukla P, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews J, Chen Y, Zhou X, Gomis M, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

IPPC Secretariat (2021) Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems. FAO on behalf of the IPPC Secretariat, Rome

Jaffray D A, Gospodarowicz M K (2015) Radiation Therapy for Cancer. In: H. Gelband H, Jha P, Sankaranarayanan R, Horton S (eds) Cancer: Disease Control Priorities, 3rd edn, Vol. 3. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington DC

Jarvis S, Deschenes O, Jha A (2019) The Private and External Costs of Germany's Nuclear Phase-Out (Working Paper 26598). National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA

Jasserand F, Devezeaux de Lavergne J-G (2016) Initial economic appraisal of nuclear district heating in France. EPJ Nuclear Sciences & Technologies 2

Jiang Y (2009) China's water scarcity. Journal of Environmental Management 90:3185–3196 Jiménez Cisneros B E, Oki T, Arnell N W, Benito G, Cogley J G, Doll P, Jiang T, Mwakalila S S (2014) Freshwater resources. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 229–269

Jones E, Qadir M, van Vliet M T, Smakhtin V, Kang S-M (2019) The state of desalination and brine production: A global outlook. Science of the Total Environment 657:1343–1356

Karekezi S, McDade S, Boardman B, Kimani J, Lustig N (2012) Energy, Poverty, and Develop- ment. In: Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future. Cambridge University Press, Cambridge, pp 151–190

Khandker S R, Samad H A, Ali R, Barnes D F (2014) Who Benefits Most from Rural Electrification? Evidence in India. The Energy Journal 35:75–96

Kharecha P A, Hansen J E (2013) Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power. Environmental Science and Technology 47:4889–4895 Klassen W (2009) Introduction: development of the sterile insect technique for African malaria vectors. Malaria Journal 8

Klassen W, Curtis C F, Hendrichs J (2021) History of the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A S (eds) Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management, 2nd edn. Boca Raton, FL, pp 1–44

Klassen W, Vreysen M J B (2021) Area-Wide Integrated Pest Management and the Sterile Insect Technique. In: Dyck V A, Hendrichs J, Robinson A S (eds) Sterile Insect Technique. CRC Press, Boca Raton, pp 75–112

Lee J C K, Wen Z (2017) Rare Earths from Mines to Metals: Comparing Environmental Impacts from China's Main Production Pathways. Journal of Industrial Ecology 21:1277–1290

Liddle B, Sadorsky P (2017) How much does increasing non-fossil fuels in electricity generation reduce carbon dioxide emissions? Applied Energy 197:212–221

Lindberg J C H (2017) Sweden's silent phaseout. Nuclear Engineering International 62:12–14 Lindberg J C H (in press) Building an atomic future: The role for nuclear power in addressing

major humanitarian challenges in the 21st century. Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science

Mark H E, Dias da Costa G, Pagliari C, Unger S A (2020) Malnutrition: the silent pandemic. BMJ 371

Mekonnen M M, Hoekstra A Y (2016) Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances 2

MIT Energy Initiative (2018) The Future of Nuclear Energy in a Carbon-constrained World: An Interdisciplinary MIT Study. https://energy.mit.edu/research/future-nuclear-energy-carbon-con strained-world/. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Niu S, Jia Y, Wang W, He R, Hu L, Liu Y (2013) Electricity consumption and human development level: A comparative analysis based on panel data for 50 countries. International Journal of Electrical Power & Energy Systems 53:338–347

Nuclear Energy Institute (2012) Nuclear Energy's Economic Benefits — Current and Future. http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/may2/ docs/nei-apr12.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

O'Neil S G (2021) Community obstacles to large scale solar: NIMBY and renewables. Journal of Environmental Studies and Sciences 11:85–92

Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2012) The Role of Nuclear Energy in a Low-carbon Energy Future. https://www.oecd- nea.org/jcms/pl_14562/the-role-of-nuclear-energy-in-a-low-carbon-energy-future?details=true. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency (OECD/NEA) (2019) The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renew-ables. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15000/the-costs-of-decarbonisation-system-costs-with-high-shares-of-nuclear-and-renewables. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Qvist S A, Brook B W (2015) Potential for Worldwide Displacement of Fossil-Fuel Electricity by Nuclear Energy in Three Decades Based on Extrapolation of Regional Deployment Data. PLoS ONE 10

Qvist S, Gladysz P, Bartela L, Sowizczal A (2021) Retrofit Decarbonization of Coal Power Plants— A Case Study for Poland. Energies 14

Rao N D, Pachauri S (2017) Energy access and living standards: some observations on recent trends. Environmental Research Letters 12

Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. (2009) A safe operating space for humanity. Nature 461:472–475

Rogelj J, Shindell D, Jiang K, Fifita S, Forster P, Ginzburg V, Handa C, Kheshgi H, Kobayashi S, Kriegler E, Mundaca L, Séférian R, Vilariño M V (2018)

Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H, Roberts D, Skea J, Shukla P, Pirani A, Moufouma-Okia W, Péan C, Pidcock R, Connors S, Matthews J, Chen Y, Zhou X, Gomis M, Lonnoy E, Maycock T, Tignor M, Waterfield T (eds), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways.World Metorological Organisation, Geneva, pp 93–174296 S. B. y Leòn and J. C. H. Lindberg

Rosling H, Rosling O, Rosling Rönnlund A (2018) Factfulness. Sceptre, London

Royal Society (2020) Nuclear cogeneration: civil nuclear energy in a low-carbon future policy briefing. https://royalsociety.org/topics-policy/projects/low-carbon-energy-programme/nuclear- cogeneration/. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Santayana G (1905) The Life of Reason; or the Phases of Human Progress. Charles Scribner's Sons, New York

Schlömer S, Bruckner T, Fulton L, Hertwich E, McKinnon A, Perczyk D, Roy J, Schaeffer R, Sims R, Smith P, Wiser R (2014) Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx J (eds) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp 1329–1356

Schmeller D S, Courchamp F, Killeen G (2020) Biodiversity loss, emerging pathogens and human health risks. Biodiversity and Conservation 29:3095–3102

Smittenaar C R, Petersen K A, Stewart K, Moitt N (2016) Cancer incidence and mortality projections in the UK until 2035. British Journal of Cancer 115:1147–1155

Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell S E, Fetzer I, Bennett E M, Biggs R, Carpenter S R, de Vries W, de Wit C A, Folke C, Gerten D, Heinke J,

Mace G M, et al. (2015) Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347

Stegen K S (2015) Heavy rare earths, permanent magnets, and renewable energies: An imminent crisis. Energy Policy 79:1–8

Stevens L (2017) The Footprint of Energy: Land Use of U.S. Electricity Production. https://docs. wind-watch.org/US-footprints-Strata-2017.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Tanner A M, Johnston A L (2017) The Impact of Rural Electric Access on Deforestation Rates. World Development 94:174–185

Thayer D W (1993) Extending Shelf Life of Poultry and Red Meat by Irradiation Processing. Journal of Food Protection 56:831–833

Tscharntke T, Clough Y, Wanger T C, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whit- bread A (2012) Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. Biological Conservation 151:53–59

Tyson A, Kennedy B, Funk C (2021) Gen Z, Millennials Stand Out for Climate Change Activism, Social Media Engagement With Issue. https://www.pewresearch.org/science/wp-content/uploads/sites/16/2021/05/PS_2021.05.26_climate-and-generations_REPORT.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

United Nations Environment Programme (UNEP) (2020) Responsible consumption. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22747/12_Responsible%20consumption%20and%20production_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 2021 年 6 月 12 日访问网页

UNICEF (2021) Reimagining WASH—Water security for all. United Nations Children's Fund (UNICEF), New York. https://www.unicef.org/media/95241/file/water-security-for-all.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

United Nations (UN) (2021) Progress towards the Sustainable Development Goals. E/2021/58. https://digitallibrary.un.org/record/3930067?ln=en. 2021 年 7 月 1 日访问网页

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) (2021) Use of Nuclear Fuel Resources for Sustainable Development – Entry Pathways. https://unece.org/sites/default/files/2021-03/

UNECE%20Use%20of%20nuclear%20fuel%20resources%20for%20sustainable%20develop ment_%20Final_0.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

United Nations Water (UN-Water) (2021) Summary Progress Update 2021: SDG 6—water-and-sanitation-for-all. https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Van Gosen B S, Verplanck P L, Seal II R R, Long K R, Gambogi J (2017) Rare-earth elements. In: Schulz K J, DeYoung Jr J H, Seal II R R, Bradley D C (eds) Critical Mineral Resources of the United States — Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply, U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, Reston, pp 539–571

Värri K, Syri S (2019) The Possible Role of Modular Nuclear Reactors in District Heating: Case Helsinki Region. Energies 12

Verma J, Gautam S (2015) Food irradiation and its role in shelf life extension of horticulture produce: a comprehensive evaluation of studies carried out in India and abroad. In: Proceedings of the DAE-BRNS life sciences symposium on advances in microbiology of food, agriculture, health and environment. Bio-Science Group, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai

Vohra K, Vodonos A, Schwartz J, Marais E A, Sulprizio M P, Mickley L J (2021) Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS- Chem. Environmental Research 195

Willcox M, Waters L, Wanjiru H, Pueyo A, Hanna R, Palit D, Sharma K R (2015) Utilising Electricity Access for Poverty Reduction. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08975e5274a27b20000b5/61290-Electricity_Access_for_Poverty_Reduction_MainReport.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Winther T, Matinga M N, K. Ulsrud K, Standal K (2017) Women's empowerment through elec- tricity access: scoping study and proposal for a framework of analysis. Journal of Development Effectiveness 9:389–417

World Health Organization (WHO), International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020) Guidance Framework for Testing the Sterile Insect Technique as a Vector Control Tool against Aedes- Borne Diseases.

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331679/9789240002371-eng. pdf?ua=1. 2021 年 7 月 1 日访问网页

World Health Organization (WHO) (1994) Safety and nutritional adequacy of irra-diated food. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/ 10665/39463/ 9241561629-eng.pdf?seq uence=4&isAllowed=y. 2021 年 7 月 1 日访问网页

World Health Organization (WHO) (2018) Latest global cancer data: Cancer burden rises to 18.1 million new cases and 9.6 million cancer deaths in 2018. https://www.who.int/cancer/PRGlob ocanFinal.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

World Health Organization (WHO), Food and Agriculture Organization (FAO) (1988) Food irradiation: A technique for preserving and improving the safety of food. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38544/ 9241542403_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 2021 年 7 月 1 日访问网页

World Nuclear Association (2019) The Silent Giant: The need for nuclear in a clean energy system. https://www.world-nuclear.org/getattachment/Our-Association/Publications/Position-statements/the-silent-giant/the-silent-giant.pdf.aspx. 2021 年 7 月 1 日访问网页

World Nuclear Association (2020) World Nuclear Performance Report 2020. https://www.world-nuclear.org/getmedia/3418bf4a-5891-4ba1-b6c2-d83d8907264d/performance-report 2020-v1.pdf.aspx. 2021 年 7 月 1 日访问网页

World Nuclear Association (2021) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, IEA: Paris. World Nuclear Association (2021). Mineral Requirements for Electricity Generation. Accessed here: https://worldnuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/ mineral-requirements-for-electricity-generation.aspx. 2021 年 11 月 30 日访问网页

WWF (2020) Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/4783129/LPR/PDFs/ENGLISH-FULL.pdf. 2021 年 7 月 1 日访问网页

Zappa W, Junginger M, van den Broek M (2019) Is a 100% renewable European power system feasible by 2050? Applied Energy 233–234:1027–1050

Ziegler L, Gonzalez E, Rubert T, Smolka U, Melero J J (2018) Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK. Renewable and Sustainable Energy Reviews 82:1261–1271

Ziolkowska J R (2015) Is Desalination Affordable?—Regional Cost and Price Analysis. Water Resources Management 29:1385–1397

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 14. 新晋核电国家 — 阿拉伯联合酋长国核电之路

**哈马德 • 阿尔卡比**

**摘要** 新建核电需要高层政治决定和承诺、大量规划工作、财政投资和商业考虑、安全的长期可持续性，以及核电计划的国际和法律框架。围绕政府将核电引入国家能源结构的决定，存在许多挑战。本章重点介绍阿拉伯联合酋长国（阿联酋）发展和监管核电计划的经验和成就，尤其侧重于阿联酋核电发展道路上的里程碑事件，这些事件可能对新晋核电国家、甚至更广泛国际社会具有重要意义。本章从所谓的“核政策”开始，概述阿联酋全面国家核法律和监管框架的发展，以及为确立阿联酋和平核计划的早期路径而制定的一项战略，包括具体目标时间表。本章还提到国际公约和阿联酋核合作协定，以及与国际原子能机构（原子能机构）合作，特别关注了阿联酋核监管机构的作用及其任务，以及阿联酋法规和监管导则的制定。本章还介绍了核电计划的许可证审批情况，以及涉及辐射源的其他活动和实践的许可证审批情况。最后，本章分享了阿联酋吸取的一些经验教训，并将在此基础上继续努力加强其法律框架。

**关键词** 阿拉伯联合酋长国（阿联酋）；核电新建项目；新晋核电国家；法律框架；经济和环境；电力；核能；核电计划

## 14.1. 阿联酋核电计划伊始：核政策

2007 年全年，阿联酋政府评价了未来能源选择，研究了核能在阿联酋未来能源战略中的潜在作用。

“能源研究”的结论是，核能有可能在满足阿联酋日益增长的能源需求方面发挥重要作用。在这些研究的基础上，阿联酋政府制定了《阿拉伯联合

酋长国关于评价和潜在发展和平核能的政策》（核政策）[1]。该政策由阿联酋部长内阁通过，于 2008 年 4 月发布。制定“核政策”，需要深入研究国际最佳实践，在阿联酋政府内部以及与国外和国际利益相关方（如原子能机构）进行广泛磋商，以及确定阿联酋和平发展核能的指导原则。

“核政策”概述了核能在阿联酋能源战略中的作用以及阿联酋的民用核能方案。

最重要的是，在“核政策”中，阿联酋政府明确了政府对最高安全、安保和防扩散标准的战略和承诺，并概述了在阿联酋建立和平民用核能计划的六项关键原则。

(1) 完全透明操作；

(2) 最高防扩散标准；

(3) 最高安全和安保标准；

(4) 与原子能机构密切合作，并遵守原子能机构标准；

(5) 与负责任的国家政府和公司合作，并在适当专家组织的协助下，发展本国和平利用核能能力；

(6) 确保阿联酋本国和平利用核能计划的长期可持续性。

当时，阿联酋政府还在“核政策”中反映了几个关键战略选择。这些选择包括，一旦核电成为阿联酋能源结构的一个组成部分，则放弃在本国进行核燃料浓缩和后处理。

[1] 《阿拉伯联合酋长国关于评价和潜在发展和平核能的政策》2008。

## 14.2. 从核政策到法律框架

### 14.2.1 国际公约

为了履行阿联酋对透明度，防扩散、安全和安保最高标准的承诺，以及在“核政策”的支持下开展国际合作，阿联酋已加入核安全、核安保、防扩散和核损害民事责任领域的相关主要国际文书、条约、公约和协定。[2]

(1) 《及早通报核事故公约》：阿联酋于 1987 年 10 月 2 日加入，1987 年 11 月 2 日对阿联酋生效。[3]

(2) 《核事故或辐射紧急情况援助公约》：阿联酋于 1987 年 10 月 2 日加入，1987 年 11 月 2 日对阿联酋生效。[4]

(3) 《不扩散核武器条约》：阿联酋于 1995 年 9 月 26 日加入。[5]

(4) 《阿拉伯联合酋长国和国际原子能机构实施与〈不扩散核武器条约〉有关的保障协定》（保障协定）：2003 年 12 月 15 日签署，2003 年 10 月 9 日对阿联酋生效。[6]

---

[2] 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》、“及早通报公约”和“紧急援助公约”、经修正的《关于核损害民事责任的维也纳公约》、《核损害补充赔偿公约》、“联合议定书”、《核材料实物保护公约》及其修订案、“全面保障协定”及其附加议定书。

[3] 《及早通报核事故公约》（及早通报公约）于 1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1986 年 10 月 27 日生效。

[4] 《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约）于 1986 年 9 月 26 日（维也纳）和 1986 年 10 月 6 日（纽约）开放供签署，1987 年 2 月 26 日生效。

[5] 《不扩散核武器条约》于 1968 年 7 月 1 日（维也纳、莫斯科和华盛顿）开放供签署，1970 年 3 月 5 日生效。

[6] 《阿拉伯联合酋长国与国际原子能机构实施与〈不扩散核武器条约〉有关的保障协定》（保障协定）于 2002 年 12 月 15 日在阿布扎比签署，2003 年 10 月 9 日生效。

(5) 《阿拉伯联合酋长国与国际原子能机构实施与〈不扩散核武器条约〉有关的保障协定的附加议定书》（附加议定书）：2009 年 4 月 8 日签署，2010 年 12 月 20 日对阿联酋生效。[7]

(6) 《核安全公约》：阿联酋于 2009 年 7 月 31 日加入，2009 年 10 月 29 日对阿联酋生效。[8]

(7) 《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》，阿联酋于 2009 年 7 月 31 日加入，2009 年 10 月 29 日对阿联酋生效。[9]

(8) 《核材料实物保护公约》：阿联酋于 2003 年 10 月 16 日加入，2003 年 11 月 15 日对阿联酋生效。[10]

(9) 《核材料实物保护公约》修订案：阿联酋于 2009 年 7 月 31 日接受，2016 年 5 月 8 日生效。[11]

(10) 《制止核恐怖主义行为国际公约》：（2008 年 1 月 10 日加入）。[12]

### 14.2.2. 阿联酋核合作协定

阿联酋认为，国际伙伴关系和合作是核能计划取得成功的基石。由于有了这样的安排，技术上先进国家能够为新晋核电国家实现和平利用核能提供便利。

---

7 《阿拉伯联合酋长国与国际原子能机构实施与〈不扩散核武器条约〉有关的保障协定的附加议定书》于 2010 年 12 月 20 日生效。

8 《核安全公约》于 1994 年 9 月 20 日（维也纳）开放供签署，1996 年 10 月 24 日生效。

9 《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》（联合公约）于 1997 年 9 月 29 日开放供签署，2001 年 6 月 18 日生效。

10 《核材料实物保护公约》于 1980 年 3 月 3 日开放供签署，1987 年 2 月 8 日生效。

11 《核材料实物保护公约》修订案于 2006 年 5 月 8 日生效。

12 《制止核恐怖主义行为国际公约》于 2005 年 9 月 14 日开放供签署，2007 年 7 月 7 日生效。

根据“核政策”规定的原则，阿联酋承诺与负责任的国家政府和公司合作，发展本国和平利用核能能力，并确保阿联酋本国和平利用核能计划的长期可持续性。

因此，阿联酋缔结了许多双边协定，以便从和平利用核能合作中获益（《核合作协定》）。

(1) 《阿拉伯联合酋长国政府和法兰西共和国政府发展和平利用核能合作协定》，2008 年 1 月 15 日。

(2) 《阿拉伯联合酋长国政府和美利坚合众国政府和平利用核能合作协定》，2009 年 5 月 21 日。

(3) 《阿拉伯联合酋长国政府和大韩民国政府和平利用核能合作协定》，2009 年 6 月 22 日。

(4) 《大不列颠及北爱尔兰联合王国政府和阿拉伯联合酋长国政府和平利用核能合作协定》，2010 年。

(5) 《阿拉伯联合酋长国政府和澳大利亚政府和平利用核能合作协定》，2012 年 7 月 31 日。

(6) 《阿拉伯联合酋长国政府和加拿大政府和平利用核能合作协定》，2012 年 9 月 18 日。

(7) 《阿拉伯联合酋长国政府和俄罗斯联邦政府和平利用核能合作协定》，2012 年 12 月 17 日。

(8) 《阿拉伯联合酋长国和阿根廷共和国和平利用核能合作协定》，2013 年 1 月 14 日。

(9) 《阿拉伯联合酋长国政府和日本政府和平利用核能合作协定》，2013 年 5 月 2 日。

这些协定为在业界以及政府等各个层面开展合作奠定了基础。因此，阿联酋企业与相应外国企业签署了若干双边协议和谅解备忘录，以进一步开展源自“核合作协定”的合作。

### 14.2.3. 与原子能机构合作

为确保核电计划成功、可持续开展，阿联酋正在与原子能机构和国际伙伴密切合作。正在进行的涵盖多个领域的技术合作计划反映了阿联酋直接与原子能机构合作并遵守原子能机构标准的决心，特别是在建设原子能机构成员国的科学和技术能力方面，包括开发人力资源。

阿联酋就发展其核能计划所采取的每个步骤都与原子能机构进行了磋商，并利用原子能机构评审服务的优势。

2011 年 1 月，阿联酋接受了一次原子能机构综合核基础结构评审工作组访问，评审结果良好，没有发现任何重大差距。此外，阿联酋在利用原子能机构综合指导方案发展新的核电计划方面积累了宝贵经验。

阿联酋还向《核安全公约》缔约方第五次审议会议提交了第一份国家报告，会议称赞了阿联酋核安全基础结构建设工作。

2011 年 12 月，阿联酋在核计划前所未有的早期阶段，接受了第一次原子能机构综合监管评审服务工作组访问。因此，阿联酋在展示透明度和负责任方面正在发展成为其他新晋核电国家的典范。

到 2011 年底，在巴拉卡核电厂 1 号机组开始建造之前，阿联酋批准了八项关于安全、可靠和和平利用核应用的新法规，并制定了许可证审批和检查程序。

阿联酋第一座核反应堆设计考虑了福岛第一核电站事故的早期教训，在进行详细设计评价后，于 2012 年 7 月开始建造，使阿联酋成为 27 年来第一个建造核电厂的新晋核电国家。第二台机组已于 2013 年 5 月开始建造。[13]

阿联酋继续请求和接受原子能机构全面同行评审，这对于确保安全措施和国家基础结构的适当性至关重要。阿联酋也是第一个接受综合核基础结构评审第三阶段工作组访问的国家，以审查阿联酋核电计划的基础结构进展。综合核基础结构评审工作组访问是应阿联酋政府之邀，也是原子能机

[13] 原子能机构 2014，第 274 段。

构对处于其“里程碑方案”最后阶段的国家进行的第一次评审。“里程碑方案”为发展核电计划所需的基础结构提供详细指导。

阿联酋签署了“2013－2017 年综合工作计划”，其中确定了与原子能机构所有部门合作的整体框架。

目前，阿联酋通过能力建设，特别是国际同行评审服务，继续从原子能机构获得经验，并从原子能机构的持续支持中受益，但阿联酋也能够与其他国家分享其在加入国际核法律文书、制定必要法律和监管框架以及监管核活动方面的经验。分享经验方式包括双边合作，以及在国际层面上，为国际会议提供输入，参加经合组织核能机构核法律相关工作组。在这方面，阿联酋还通过参加原子能机构五个安全标准分委员会和核安保导则委员会，积极促进国际标准制定。

### 14.2.4. 通往成功的路线图

在发布“核政策”后，阿联酋在原子能机构建议下开始组建核能计划实施组织，在计划早期阶段确定该组织为阿布扎比行政事务局（EAA）。

2008 年 9 月，行政事务局制定了名为《通往成功的路线图》的内部战略文件。文件以最佳国际实践和涵盖 19 个核基础结构问题的原子能机构“里程碑”为基础。

“核政策”指出，阿联酋还考虑了原子能机构在《国家核电基础结构发展中的里程碑》（原子能机构“里程碑”）[14] 中提出的规划建议，并打算以此为指导。

原子能机构“里程碑”涵盖支撑核电计划所需基础结构发展的三个阶段。完成 19 个核基础结构问题的每个阶段都有一个具体里程碑，在此里程碑节点上，可以评估工作进展情况，并决定是否进入下一个阶段。

[14] 原子能机构 2007，2015。

《通往成功的路线图》将各种实际行动化作一套明确的建议、目标和目的、阿联酋利益相关方的责任以及实现预期运行日期（当时定为 2017 年）的具体目标时间表，以此为阿联酋和平核计划确定早期道路。

## 14.3. 建立全面国家核法律

阿联酋对最高核安全标准的承诺体现在其法律、监管和制度框架中。“核政策”为制定阿联酋核部门法规提供了参考。“核政策”规定，阿联酋应起草一部全面国家核法律，涵盖核法律的所有方面，包括安全、安保、防扩散、核责任以及其他立法、监管和商业方面，并且除其他职能外，为建立一个完全独立的核监管机构提供法律授权。完全独立的核监管机构对于维护和维持核能部门的运作透明度至关重要。根据“核政策”，全面国家核法律旨在把阿联酋根据国际文书承担的义务转化为国家法律。此外，“核政策”还明确了阿联酋核法律范围，应包括以下规定：监管机构和许可证审批制度建立、核损害民事责任、许可证持有者责任、放射性废物和乏燃料管理、核设施退役、核材料和核设施实物保护，以及防扩散义务、管制和执行。

由于阿联酋法律结构分为两个系统，即联邦法律系统和阿联酋七个酋长国地方系统，政府必须决定是在联邦一级，还是在地方一级 — 即在未来核电厂所在的阿布扎比酋长国 — 制定阿联酋的法律和监管框架。此外，还必须决定是在现有法律基础结构内容的基础上建立核部门法规，还是在联邦一级制定新法律。例如，在进行“能源研究”和制定“核政策”之前，阿联酋已有辐射保护委员会，而且委员会已经当时部长内阁批准。此外，阿联酋已颁布《2002 年第 1 号法令：辐射源使用的监管和控制及其危害防护联邦法》。

另一个挑战是确定监管机构的任务范围，并确保其作为一个独立核监管机构，不向阿联酋任何部委报告，也不隶属于任何部委。

确保核监管机构独立性的制度特征反映在“核政策”中。“核政策”规定，独立核监管机构“将被赋予原子能机构建议的以下权力：(1) 制定要求和法规；(2) 颁发许可证；(3) 检查和评估设施及设施相关结构；(4) 监测和强制执行法规；以及 (5) 根据原子能机构保障义务，建立国家核材料（包括

乏燃料和放射性废物）衡算和控制系统。”[15] 此外，“核政策”还规定，监管机构将负责与原子能机构进行持续沟通，提供阿联酋加入的国际协定所要求的报告等。另一个具有挑战性的方面是确保法律能够保证核监管机构在决策方面的独立性，特别是在安全相关决策方面的独立性。

来自美国、欧洲和亚洲的许多外国专家以及原子能机构为制定全面国家核法律提供了帮助。他们考虑了从各种法律制度和国际标准中吸取的经验教训，提出了许多旨在贯彻落实迄今所吸取经验教训的想法。原子能机构通过其立法援助计划提供了支持，对法律草案进行了修改，并对阿联酋未来全面核法律的某些条款提出了意见和建议。

阿联酋曾面临的挑战是如何选择正确的方案来制定一部真正反映全球最佳实践、国际标准以及经验教训的全面技术立法。在起草和通过阿联酋立法程序处理如此复杂的立法方面，阿联酋的经验有限。外部专家提供了许多意见和方案，但评价和选择最合适的方案始终是阿联酋的责任。

2009 年 9 月 23 日，阿联酋通过了全面的联邦法，即《2009 年第 6 号法令：和平利用核能联邦法》（核法律），规定建立全面核材料许可证审批和控制系统，并建立联邦核监管局（FANR）负责监督阿联酋核能部门安全、安保和保障工作。“核法律”规定了营运者的责任以及监管机构联邦核监管局的职能和责任。

在联邦核监管局成立后，根据阿联酋总统以阿布扎比酋长身份颁布的 2009 年第 12 号法令，阿联酋核能公司（ENEC）于 2009 年 12 月 23 日成立。阿联酋核能公司作为负责实施阿联酋核能计划的组织而成立，开展核能计划实施组织的非监管工作。根据 2009 年第 12 号法令，阿联酋核能公司负责开发、建设、资助、运行、维护、管理和拥有依照“核法律”为和平目的用于能源生产和海水淡化的核反应堆。按照“核政策”目标，阿联酋核能公司保留了核能计划实施组织的职能，这一点随着公司加强涉及所有利益相关方的协调机制，对于核能计划的长期可持续性非常重要。

[15] 《阿拉伯联合酋长国关于评价和潜在发展和平核能的政策》2008 年，第 6 页。

此后不久，2009 年 12 月 27 日，阿联酋核能公司宣布选中由韩国电力公司领导的团队设计、建造以及协助运行和维护四台 1400 兆瓦的民用核电机组。宣布之前，进行了长达一年的广泛招标过程。

为了建立全面核法律框架，并符合阿联酋加入的国际核责任文书的要求，2012 年 8 月，阿联酋颁布了《2012 年第 4 号法令：核损害民事责任联邦法》（核责任法），并于 2012 年 10 月付诸生效。“核责任法”旨在落实核责任原则，如责任归结于核营运者、核营运者责任全额和时效限制、财务担保义务、无歧视原则等，一旦阿联酋核装置内发生核事件并引发核损害，将适用这些原则。“核责任法”的规定符合阿联酋根据其 2012 年 5 月加入的 1997 年《关于核损害民事责任的维也纳公约》所承担的义务，并考虑了最佳国际实践。还值得注意的是，根据国际核责任问题专家组提出的建议，为了促进实现全球核责任制度，阿联酋还于 2012 年 8 月加入《关于适用“维也纳公约”和“巴黎公约”的联合议定书》，于 2014 年 7 月加入《核损害补充赔偿公约》。

### 14.3.1. 国际咨询委员会

阿联酋核电计划，包括其立法和监管框架的进一步发展，得益于国际咨询委员会的意见和建议。成立国际咨询委员会的目的是确保核电计划的运作透明度，并向阿联酋和平利用核能计划提供由核安全、核安保、防扩散和人力资源开发领域国际公认专家组成的高精团队的专业技能和知识。国际咨询委员会于 2010 年 2 月 22 日在阿布扎比举行了第一次会议，并在随后的八年里，继续每半年举行一次会议，直到 2017 年 10 月举行最后一次会议。在整个任期内，国际咨询委员会审查了阿联酋在实现和保持安全、安保、防扩散、透明度和可持续性的最高标准方面取得的进展，国际咨询委员会成员对优化核电计划以实现这些目标提出了宝贵意见。[16] 国际咨询委员会的建议记录在委员会的 16 份半年度报告中，这些报告可公开获取。[17]

---

[16] http://www.uaeiab.ae，2021 年 10 月 15 日访问网页。（国际咨询委员会工作信息。）

[17] http://www.uaeiab.ae/en/publications.html，2021 年 10 月 15 日访问网页，（国际咨询委员会所有报告。）

### 14.3.2. 阿联酋核监管机构

阿联酋核监管机构 — 联邦核监管局由阿联酋总统谢赫 • 哈利法 • 本 • 扎耶德 • 阿勒纳哈扬殿下于 2009 年 9 月成立。“核法律”第 4 条第(1)款规定，“应特此设立一个名为‘联邦核监管局’的公共组织，其资产负债表是独立的，它应具有独立的法人资格、充分的法律权限以及所有事务的财务和行政独立性”。

根据国际建议，联邦核监管局作为一个独立实体成立，与负责发展或促进核能和核应用的实体以及用户分开。联邦核监管局管理委员会成员不得直接或间接从事“核法律”规定的活动（“核法律”第 10 条第(2)款），联邦核监管局通过向总统事务部长提交年度报告向政府报告（“核法律”第 11 条）。另一项重要内容是“核法律”第 18 条规定的联邦核监管局的财务独立性，其中规定，除其他外，联邦核监管局的资金包括政府拨款和履行其职能产生的收入。

“核法律”第 4 条和第 5 条以及其他条款明确规定了联邦核监管局的职责，其中包括监管、控制和监督阿联酋核部门仅为了和平目的的权力，以及确保安全、核安全、核安保、辐射防护和保障的权力。联邦核监管局还有责任确保履行阿联酋签署的与其任务相关的国际条约、公约和协定所规定的义务。

为了履行“核法律”规定的职责，联邦核监管局开展了“核法律”所列的一系列活动，这些活动可重新归纳为四项核心监管职能。

(1) 制定和发布法规和监管导则，以支持“核法律”的实施。这些法规旨在明确适用于特定受监管活动和相关设施的要求，包括安全、实物保护、应急准备、核材料衡算和控制、放射性物质运输、进口、出口、辐射防护或退役。这些法规还应规定全部或部分监管控制的不适用和豁免情况；

(2) 许可证审批，包括评审和评价许可证申请，发放许可证，同时确定许可证条件及其修改、更新、暂停或撤销；

本章下文将进一步详细介绍这两项核心活动；

(1) 对所有受监管活动进行检查和评价，包括在联邦核监管局内部制定一项系统检查计划；

(2) 确定和实施执法行动，包括按照分级方法进行罚款和其他行政处罚，最高为刑事处罚。

这些核心活动还要求联邦核监管局与阿联酋其他主管部门在应急准备、核安全、防扩散和危险品运输等各个领域进行协调。此外，联邦核监管局还就与核安全、辐射防护、安保以及环境保护、公共健康和职业健康、放射性废物等有关的事项与政府实体合作，并向政府实体提供建议。

在国际层面上，联邦核监管局与许多外国核监管机构建立了合作关系，以交流监管经验，并与外国研究中心、研究所和国际组织合作，支持其在核安全、辐射安全或研究与发展等各个领域的活动。根据阿联酋的国际承诺和“核法律”规定，联邦核监管局最终负责与相关国际组织联络，提供所需的信息、通知和报告。

### 14.3.3. 监管框架制定：法规和监管导则

制定核法律是重要一步，它确定了一个允许国家核和辐射部门开展所有活动的框架，同时确保充分保护人类和环境免受电离辐射的有害影响。然而，这只是一个国家制定全面核法律框架的第一步。

从本质上讲，阿联酋《2009 年第 6 号法令：和平利用核能联邦法》（核法律）虽然是关于核和辐射事务的“全面”法律文书，但无法规定本国核和辐射部门开展所有活动的所有条件和要求。适用于每项具体活动和相关设施的详细监管要求将纳入一套全面法规中，并辅之以监管导则。如上所述，“核法律”赋予联邦核监管局制定和发布法规的权力，该法第 11 条第(4)款(j)项规定，联邦核监管局管理委员会应具有发布联邦核监管局运作所需执行技术法规的职能和权力，包括“建立、制定或通过其监管行动所依据的法规和准则”。“核法律”第 38 条规定中也重申了同样内容。

考虑一些法规的出台对阿联酋核部门发展至关重要，联邦核监管局成立后立即启动了法规制定工作。早在 2010 年，《核设施辐射剂量限值和辐射防护最优化条例》（FANR-REG-04）、《核设施实施概率风险评价条例》（FANR -REG-05）、《核设施管理系统条例》（FANR-REG-01）、《核设施建造许可证申请条例》（FANR-REG-06）和《放射性物质运输条例》（FANR-REG-13）就已获得批准。随后，《核设施应急准备条例》（FANR-REG-12）、《核设施辐射防护和放射性废物预处置管理条例》（FANR-REG-11）以及《核材料衡算和控制系统及附加议定书适用条例》（FANR-REG-10）于 2011 年获得批准。后来，《核设施选址条例》（FANR-REG-02）、《核设施以外电离辐射设施和活动基本安全标准条例》（FANR-REG-24）、《核设施运行人员认证条例》（FANR-REG-17）和《核电厂设计条例》（FANR-REG-03）于 2013 年获得批准。重要的是，《核设施场外应急预案要求条例》（FANR-REG-15）、《核设施运行许可证申请条例》（FANR-REG-14）和《包括调试在内的运行安全条例》（FANR-REG-16）于 2014 年获得联邦核监管局批准。

最终，联邦核监管局制定了 23 项条例，涵盖了在阿联酋开展的各种活动及其相关设施，包括核设施的选址、设计、建造、运行和退役、应急准备和响应、放射性废物预处置和处置、辐射防护、核材料和相关设施的实物保护、放射源安保，还涉及核材料衡算和控制、进出口管制、现有照射情况和操作人员认证等问题。

所有这些条例的制定都考虑了原子能机构相关安全标准和安保导则文件，并参考了外国监管机构制定的法规。这些条例的阿拉伯文和英文版本可在联邦核监管局网站上查阅。

联邦核监管局建立了与法规制定和修订程序配套的专门流程。流程确保以系统方案制订法规，通过与公众和利益相关方协商，收集必要的内外部实体意见。对协商过程中提供的意见进行评估，并在制定最终法规草案时加以考虑。条例批准和印发后，以两种语言发布在联邦核监管局网站上，同时在阿联酋《官方公报》上发布。联邦核监管局还组织了针对这些条例用户的具体活动，以提高他们对新要求或经修订要求的认识和理解。

核监管机构还制定了一套系统方案，规定定期评审和修订（如有必要）条例，并确定制定新条例的必要性。条例的定期评审最迟在条例发布之日起五年内完成，也可以考虑具体需要或情况，提前启动审查。审查要在考虑原

子能机构安全标准或安保导则文件更新、运行、监管和实施经验、国际事件响应或研发结果等因素的情况下，解决条例是否依然适当的问题。

例如，在 2011 年 3 月福岛第一核电站事故发生后，联邦核监管局审查了其与核设施有关的条例，以评定是否需要立即修订。在这项工作之后，联邦核监管局确定没有必要立即修改现有的条例，但列出了一些在更新监管框架过程中需要考虑的事项。

联邦核监管局通过一套监管导则对法规加以补充完善，这些导则的发布旨在描述满足和落实联邦核监管局法规所载具体要求的方法和（或）标准。与法规类似，监管导则也广泛考虑了原子能机构安全标准和安保导则文件，并采用了核技术来源国监管机构发布的许多导则。

迄今，联邦核监管局已发布 22 份监管导则，以支持法规的落实，目前还有四份监管导则正在制定中。监管导则的制定和修订也遵循联邦核监管局综合管理系统的系统化流程，涉及联邦核监管局各技术部门和外部利益相关方。监管导则的英文版本可在联邦核监管局网站上查阅。

### 14.3.4. 许可证审批制度

所有涉及和平利用核能和电离辐射的活动和实践，包括在阿联酋的相关设备、信息和技术，即受监管活动，都必须接受联邦核监管局的许可证审批。“核法律”第 6 条规定，联邦核监管局拥有为开展这些受监管活动发放许可证的专属权力，而“核法律”第 23 条则禁止任何人在没有获得许可证的情况下在阿联酋开展任何受监管活动。

“核法律”第 25 条规定了必须获得许可证的受监管活动清单，其中包括核设施的选址、建造、运行、调试和退役。“核法律”还制定了与许可证审批有关的具体规定，包括授予、撤消和暂停许可证的一些具体标准。

“核法律”第 28 条要求许可证申请人提交详细安全证据，由联邦核监管局按照既定程序进行审查和评定。在对许可证申请进行审查和评定后，联邦核监管局通过其管理委员会决定是否发放许可证、有条件发放许可证或拒绝发放许可证，并记录这些决定的依据。根据“核法律”的规定，联邦核监管局制定了一套规章制度，例如，规定了与申请建造核设施许可证有关的

许可证审批要求（FANR-REG-06），或申请核设施运行许可证的要求（FANR-REG-14）。最近，联邦核监管局还发布了辐射源登记和许可证审批专门条例（FANR-REG-29）。

这些法规旨在明确申请人获得联邦核监管局许可证所需遵守的要求，必须结合联邦核监管局制定的配套监管导则阅读（例如，见联邦核监管局关于核设施建造和运行许可证申请内容的监管导则，FANR-RG-001-V1）。

根据 2009 年第 6 号法令《联邦法》第 32 条第(3)款的规定：

联邦核监管局有义务对申请人提交的材料进行全面审查，以确信：a) 现有资料能够证明设施或拟议活动的安全性；b) 提交文件中的资料……准确并足以确认符合监管要求；c) 技术解决方案，特别是任何新的技术解决方案，已获得主管部门、经验或测试证明或鉴定合格，并能够达到所需的安全水平。

因此，2010 年，联邦核监管局在其综合管理系统中制定了符合“核法律”和相关原子能机构安全要求的专门内部流程，一方面用于与核设施有关的受监管活动的许可证审批，另一方面用于所有其他受监管活动的许可证审批。每个流程都规定了监管主管部门在以下环节的相应职责：接收许可证申请、发布内部计划以及审查许可证申请的责任和时间表、初步评价和提供补充资料要求、最终评价和许可证建议、许可证审批决定和许可证发放。流程配有一套程序和说明，详细介绍联邦核监管局在审查许可证申请时采用的方法和标准。

在对核设施相关受监管活动进行许可证审批方面，阿联酋在过去 12 年中取得了重大里程碑式进展，至今已颁发 7 个重要许可证：

(1) 2010 年 2 月颁发给阿联酋核能公司的《核设施建造选址许可证》；

由于当时还没有制定相关法规，因此对选址的许可证审批基于原子能机构导则和美国核管会参考文献。联邦核监管局管理委员会作为联邦核监管局的最高决策机关，在联邦核监管局对阿联酋核能公司提交的申请进行审查后，批准了该许可证。向阿联酋核能公司发放许可证，标志着联邦核监管局作为阿联酋核电计划的独立安全监管机构的重要作用正式开始。

(2) 2010 年 7 月颁发给阿联酋核能公司的《核设施建造筹备许可证》；

该许可证和上述“选址”许可证授权阿联酋核能公司在巴拉卡场址开展现场调查和准备活动，如安装现场基础设施，建造与核安全无关的设施部分。

(3) 2010 年 7 月颁发给阿联酋核能公司的《有限施工许可证》；

该许可证授权制造、组装和测试许可证中具体规定的某些部件，包括反应堆容器、蒸汽发生器和反应堆一回路其他系统部件。许可证授权阿联酋核能公司及其主承包商韩国电力公司制造和装配结构、系统和部件，如反应堆压力容器、蒸汽发生器、冷却剂泵和核电厂其他安全重要部件。由于这些工艺的交付时间较长，阿联酋核能公司决定在这个早期阶段申请该许可证。

正如许可证本身所表明的，该许可证的颁发由申请人承担风险，并且不影响联邦核监管局随后对核设施或其系统、结构和部件的选址、设计和施工的适宜性做出的任何决定。重要的是，许可证的有效期到核设施建造工作完成为止，或到联邦核监管局提前中止或撤销或许可证持有者放弃为止。

随后，分别于 2011 年 3 月、2012 年 3 月和 2012 年 5 月对许可证进行了三次修订，以涵盖现场的一些土木工程。

(4) 2012 年 7 月颁发给阿联酋核能公司的《巴拉卡核电厂 1 号和 2 号机组建造许可证》；

值得注意的是，为了颁发该建造许可证，联邦核监管局考虑了福岛第一核电站事故的所有早期教训，联邦核监管局积极参加了原子能机构核安全标准委员会会议和相关工作组，讨论福岛第一核电站事故结论对原子能机构安全标准的影响。联邦核监管局对反应堆设计以及许可证申请中与防范外部事件和减少严重事故有关领域进行了彻底审查，并要求许可证申请人进行评估，确定从福岛第一核电站事故中吸取的教训是否适用于拟议巴拉卡核电厂 1 号和 2 号机组，并提供一份许可证申请补充文件。

(5) 2014 年 7 月颁发给阿联酋核能公司的《巴拉卡核电厂 3 号和 4 号机组建造及相关受监管活动许可证》；

(6) 2016 年 12 月颁发给纳瓦能源公司 PJSC 的《经辐照核燃料处理和贮存许可证》；

(7) 2020 年 2 月 17 日颁发给核营运者纳瓦公司的《巴拉卡核电厂 1 号机组运行许可证》。

在阿联酋发放第一份核电厂运行许可证是该国一项重大成就，也是行业和核监管机构方面广泛投资的结果。联邦核监管局对申请人提交的 14 000 页申请文件进行了彻底审查，另外还发出了 2000 次提供补充资料请求，并在颁发许可证之前进行了 180 多次检查。

在法律事务部门的支持下，联邦核监管局运营部所有部门参与了许可证申请审查和评价，有关情况记录在《运行许可证申请安全评价报告》（评价报告）中。“评价报告”描述了巴拉卡核电厂 1 号机组运行许可证申请监管审查和评价的框架、方法和结论。“评价报告”采用了系统方案，考虑了 22 个主要议题（如公司治理、厂址特征、反应堆、仪器仪表和控制、电力、放射性废物管理、辐射防护、事故分析、质量保证计划、实物保护、保障或退役）。作为对“评价报告”的补充，编写了“按要求建造”报告和“运行准备”报告，前者提供了巴拉卡核电厂 1 号机组按照监管要求完成建造的资料和支撑证明，后者总结了用于得出监管结论的过程和支撑证明，即运行许可证申请人在组织上已做好运行准备。

巴拉卡核电厂 2 号机组的运行许可证于 2021 年 3 月 8 日颁发给纳瓦公司，同时颁发的还有巴拉卡核电厂 1 号机组运行许可证修订版。这些许可证授权纳瓦公司在 60 年内运行巴拉卡核电厂相关机组，并开展与相关机组运行直接相关的受监管活动。[18] 巴拉卡核电厂 3 号和 4 号机组的建造已接近尾声，联邦核监管局目前正在审查巴拉卡核电厂 3 号机组投运许可证申请。

[18] https://www.fanr.gov.ae/en/rules-regulations/licenses-regulatory-approval，2021 年 10 月 15 日访问网页。

除了与核电计划有关的许可证外，联邦核监管局正在评价、审查和发放大量涉及辐射源的所有其他活动和实践的许可证，以及核材料和两用物项的进出口许可证。例如，2020 年，联邦核监管局发放了 1097 份涉及辐射源活动开展的许可证，包括 301 份新许可证、304 份续期许可证和 469 份现有许可证修订版。为了支持联邦核监管局进行申请处理和评价，支持许可证申请人和监管机构之间的文件和信息交流，以及符合打造智慧政府的国家倡议，联邦核监管局建立了一个“电子许可证审批平台”，允许联邦核监管局许可证申请人提供联邦核监管局要求的所有相关资料和证明文件。“电子许可证审批平台”是一个综合系统，将反映所有与活动许可证审批有关的监管要求，并将安全、安保和防扩散问题统一纳入一个门户。这个电子许可证审批系统不断更新，以反映联邦核监管局制定的最新要求，并使联邦核监管局能够更迅速、更准确地审查被许可人的请求和报告。

### 14.3.5. 加强阿联酋法律框架

回顾过去十年，阿联酋取得了如此多的成就。阿联酋几乎从零起步，建立了全面核法律框架，包括涉及安全、核安保和保障的“核法律”以及配套的核责任法律。联邦核监管局已发展成为一个强有力的独立核监管机构。制定了一整套支持阿联酋核电计划发展以及所有其他涉及电离辐射活动开展的条例规章，并辅之以若干监管导则。评价了数百份许可证申请，并颁发了许可证，包括具有重要里程碑意义的许可证，如巴拉卡核电厂 4 号机组建造许可证和 2 号机组运行许可证。最后但同样重要的是，阿联酋一直在努力履行国际承诺，在国际层面建立强有力的合作关系。阿联酋如果没有坚实的法律框架、强有力的核监管机构和可用的扎实专业知识，就无法做到这一切。

然而，这并不意味着这项工作已经结束。核领域没有自满一词，必须从这些年制定这一宏伟核电计划和实施核法律框架的经验中吸取教训。此外，要不断发现新的最佳实践，不断改善监管方案，不断发展新技术。考虑到这一点，并根据原子能机构建议，必须不断对阿联酋核法律框架进行评审。

在这种情况下，必须考虑两套不同的文件。一方面，核监管框架需要不断更新。事实上，必须确保我们的法规和导则与时俱进，与最新国际标准接

轨，并从实施过程中吸取经验教训。如前所述，联邦核监管局已建立系统化机制，定期评审法规的适当性，但也有必要仔细研究和跟踪其他国家和国际组织的发展和进展，这可能需要及早进行评审。

这也意味着要加强制定此类监管框架的内部流程和程序。联邦核监管局在努力不断地改进法规制定和评审过程，以确保起草工作保持最高质量，并根据国家需要和情况强化内容，确保所有活动的开展能够为阿联酋工作人员、人民和环境提供最好的保护。在此情况下，最近在法律事务部门的系统协助下，加强了法规制定和修订过程，以增强联邦核监管局业务部门之间的早期参与和合作。阿联酋通过其监管机构，正在努力建立灵活而坚实的监管框架。

另一方面，另一项非常重要的工作是对核立法的定期评审。正如前文所强调的那样，如果没有坚实和可持续的核法律框架，就无法发展核电计划。为确保核电计划的顺利启动和发展，需要一定的稳定性。然而，保持对基础核立法的不断审查，找出差距，从法律条款实施中吸取教训，确定潜在的问题并最终制定解决问题的一些行动计划，这些同样重要。

“核法律”于 2009 年通过，距今已超过 12 年。国际和国家层面都出现许多事态发展：阿联酋加入了新的国际核法律文书，阿联酋核监管框架已日臻成熟，国际同行评审工作组明确了许多经验教训并提出建议，发生了福岛核事故。此外，在过去两年里，大流行病给世界带来了挑战，核工业和监管机构不得不以不同的方式开展工作。出现了挑战，制定了解决方案。这些全球性危机表明，有必要建立一些框架，以便对不可预见的情况和环境做出灵活、创新和迅速的反应，同时保持基本安全目标，即确保以最佳方式防止人类和环境受到电离辐射的有害影响。所有这些因素都必须加以考虑，阿联酋目前正在努力审查其基本核立法，以确保其继续服务于该国未来 50 年发展目标。

加强核法律框架需要经验丰富人员，也需要有法律专家支持的各种技术投入。为此，阿联酋需要发展和保持适当的核法律专业知识，拥有在制定、修订和实施核法律和法规方面训练有素和经验丰富的律师。阿联酋受益于原子能机构和经合组织核能机构等其他国际组织的广泛支持，它们为核律师提供了高度认可的强化培训。此外，联邦核监管局还积极地与一家知名律

师事务所合作，量身定制核法律发展计划，结合理论课程和在职培训，对阿联酋年轻的毕业生进行核法律问题培训。

## 参考文献

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2007) Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, Nuclear Energy Series No. NG G 3.1. IAEA, Vienna

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2014), General Conference Plenary Record of the Fourth Meeting, GC(57)/OR.4. https://www.iaea.org/sites/default/files/gc/gc57or 4_en.pdf. 2021 年 10 月 15 日访问网页

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, Nuclear Energy Series No. NG G 3.1 (Rev. 1). IAEA, Vienna Policy of the United Arab Emirates on the Evaluation and Potential Development of Peaceful Nuclear Energy. (2008) www.fanr.gov.ae/en/Lists/LawOfNuclear/Attachments/2/20100523_nuclear policy eng.pdf

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 15. 摩洛哥王国建立核与辐射安全和安保监管机构的经验与教训

卡马尔·姆拉比特

**摘要** 摩洛哥王国于二十世纪中叶开始效法其他国家在医疗及工业领域采用核技术，自 1957 年加入了国际原子能机构以来，其核技术应用实现了迅速且稳定的扩增。本章介绍了摩洛哥核及辐射基础设施在过去 60 年中的演化及其未来发展前景。本章还简要介绍了摩洛哥政府主管部门遵照相关国际义务不断努力改进国家核及辐射安全与安保监管框架的过程。总体来看，摩洛哥核与辐射安全安保局以成为独立、高效、可信且透明的国家级核及辐射安全监管机构、成为非洲核及辐射安全与安保领域的领导者以及国际核及辐射安全与安保领域的重要贡献者作为自己的长期愿景，并且自成立以来一直都在朝着实现这些远大目标而努力。本章重点介绍并分享了摩洛哥在核及辐射安全与安保领域方面的治理及管理经验，特别是核与辐射安全安保局在此方面的经验与教训。

**关键词** 医疗及工业领域核技术；核及辐射基础设施；国家核及辐射监管框架；摩洛哥核与辐射安全安保局；安全治理与管理；经验教训；核与辐射安全安保局战略计划

## 15.1. 引言

国际原子能机构（原子能机构）于 2020 年 9 月第 64 届大会结束时发表了一份报告，[1] 该报告指出，国际核技术正在飞速发展，特别是在核能应用、加速器及科研反应堆应用领域，以及放射性同位素与辐射技术、人类健康以及食品与农业应用核技术方面。在《2020 年核安全评论》中，[2] 原子能

[1] 原子能机构 2020a

[2] 原子能机构 2020b

机构介绍了核能发展全球性趋势以及与其各个项目有关的活动，同时强调了在国际上加强核安全与辐射安全以及推进运输与废物安全事务的进展及优先事项。

这些声明主要涉及以下事务：

- 修订原子能机构的安全标准及安保导则，通过为成员国按需提供教育、培训、同行评审、咨询等服务落实此类标准与导则，以及从戈亚尼亚放射性污染事故，福岛第一核电站、切尔诺贝利核电站事故以及其他事故与事件中吸取的教训。
- 核能应用、核辐射、核运输、核废物安全应急准备与响应法规及其实施效果。

所述事务还包括推动各成员国签署具有国际约束力的公约以及各类意向性文件，如放射源安全与安保行为准则、核安全管理行为准则、乏燃料管理安全行为准则、放射性废物管理安全行为准则等。

在核安保领域，原子能机构向第六十四届大会提交了一份报告，[3] 此份报告介绍了在该领域开展的各项活动、“事件和贩卖数据库”的外部用户，以及已开展及待开展的各项教育、培训与合作网络活动。

为此，要求各成员国必须承诺不断加强安全、安保及保障的管理，并在相互合作及各自专业能力的基础之上确立一套核能应用与安全治理体系结构。此外，原子能机构必须继续应其成员国的请求，支持各国建立并维持高效且可持续发展的核安保制度。

本章基于该框架介绍了摩洛哥核及辐射基础设施在过去 60 年中的演化及其未来发展前景，以及政府主管部门根据相关国际义务不断努力改进国家核及辐射监管框架的过程。本章重点介绍了摩洛哥在核及辐射安全与安保方面的治理及管理经验，并分享了摩洛哥核与辐射安全安保局在推进相关工作期间所吸取的经验与教训。

[3] 原子能机构 2020c

## 15.2. 摩洛哥核应用的演化

摩洛哥王国于二十世纪中叶开始效法其他国家在医疗及工业领域采用核技术，自 1957 年加入原子能机构以来，其核技术应用实现了迅速且稳定的扩增。在这一框架下，摩洛哥逐步在各社会经济部门，特别是卫生、工业、采矿、农业、高等教育以及研究领域推出了很多全新的计划。各部门现状如下：

- 医学（放射学、核医学、放射治疗等）设施与活动占电离辐射源应用的 80%以上。根据记录，医疗领域拥有 7000 多台放射设备、300 多台扫描仪、40 台用于治疗的电子加速器以及 24 个核医学中心。随着地区性核医学中心的新建以及强制性医疗保险覆盖范围的扩大，这些数字预计在未来还会增加。
- 辐射性药物的生产在布兹尼盖及博斯克的两个回旋加速器中进行。这些设施由私营公司管理经营，这些公司向核医学中心提供用于放射诊断目的的辐射产品，特别是氟-18。国家能源、科学与核技术中心通过 TRIGA Mark II 科研反应堆生产其他辐射性元素，如碘-131。该中心还管理着核医学中心所需几种放射性元素的常规进口与分销，属于涉及国家重要放射性物料运输活动。
- 工业部门涉及若干使用电离辐射源的设备与活动，尤其是糖、水泥、纸张、炼油、采矿、冶金等生产控制过程。十多家公司通过电离辐射源提供工业射线照相服务，其中最重要的是公共研究与测试实验室，此类实验室为建筑施工、道路以及工业项目等土木工程提供服务。
- 在农业方面，由国家农艺研究所、哈桑二世农艺及兽医学院以及农业发展地区办公室负责开展农艺研究。在丹吉尔的地区中心，国家农艺研究所使用高活性钴-60 辐射源运行半工业辐照器，并设有专门从事农业研究与剂量测定的实验室。在兽医领域，除了提供教学、培训及研究活动的哈桑二世农艺及兽医学院之外，还有十几个公共与私人区域中心使用放射设备进行兽医科学研究。国家食品安全办公室计划在阿加迪尔安设一套辐照设施，使用钴-60 源灭杀害虫。

- 在运输及边境管制领域，约有十家公司参与放射性物质的运输，拥有专用车辆及授权。在边境、港口与机场配备了用于货物控制及安检的扫描仪。在港口及机场运输方面，由皇家宪兵、警察、海关等机构负责安全及安保方面的工作。
- 研究与培训主要由国家能源、科学与核技术中心进行，该中心自2009 年起开始在马莫拉核研究中心运行一座 2 兆瓦的核研究堆。马莫拉核研究中心还拥有使用电离辐射源的其他设施并从事相关活动，包括生产放射性药物、管理国内放射性废物、工业与环境应用、科研、辐射防护设备校准、运输以及培训。各大学还拥有利用电离辐射源进行研究、校准测量设备、在物理学、计量学、医学、地质学等领域进行培训与教学的科研实验室。
- 在放射性废物管理方面，根据其创设法规，国家能源、科学与核技术中心被指定为负责集中管理所有医疗、工业及其他用户产生的放射性废物的国家组织。该中心拥有放射性废物处理、预处理及贮存所需的设施与设备。核与辐射安全安保局与国家能源、科学与核技术中心合作，制定适用于放射性废物安全管理的国家政策与战略，并负责依照《乏燃料管理安全联合公约》要求定期编制国家报告。
- 在核电领域，能源、矿产与环境部于 2009 年成立了核电与海水淡化论证委员会，并责成该委员会根据原子能机构的指导方针与建议，研究摩洛哥引进核电的条件。为推进相关工作，摩洛哥于 2015 年接受了一次原子能机构综合核基础机构评审工作组访问，产生了大约 15 项建议与意见，其中许多都与立法与监管框架、核安全及辐射防护有关。
- 根据原子能机构的安全标准防备并管理核或辐射紧急情况，编制、实施了具体的管理条例，并为此成立了一个囊括各种利益相关方的组织，所述利益相关方包括内政部、国防部、民防总局，皇家宪兵队以及国家安全总局。

## 15.3. 国家核及辐射安全与安保监管框架的演化

自 1957 年成为原子能机构成员国以来，摩洛哥王国一直都在努力落实原子能机构的安全标准以及后续的安保导则，并且一直都在力求以安全、可靠与和平的方式推广核技术及辐射技术。

出于上述目的，摩洛哥于 1971 年通过了关于电离辐射防护的第 005-71 [4] 号法律及其相关法令，针对所有设施、设备（包括该国唯一的研究反应堆设施）以及涵盖从设计、建造、调试、运行到退役的所有活动，制定了适用于电离辐射源风险防范的一般原则。所述科研反应堆设施是经能源部与卫生部联合授权设立，能源部与卫生部在 2016 年 10 月之前负责核安全管理及辐射防护。

2014 年，摩洛哥参照原子能机构的安全、安保及保障（“3S 概念”）示范立法，制定并通过了核与辐射安全安保局新的关于核与辐射安全的“第 142-12 [5] 号条例”，从而朝着依照原子能机构核安全标准及核安保导则加强监管框架迈出了重要一步。

核与辐射安全安保局作为该国唯一的监管机构，旨在监管核及辐射安全管理、安保及保障活动，并将致力于促进的活动与需要监管控制的活动分开。在国际上，摩洛哥签署了所有关于核安全及保障的国际条约与公约，包括最近于 2019 年 5 月签署的《核安全公约》。

## 15.4. 核与辐射安全安保局的作用与成就

核与辐射安全安保局作为一个具有战略性质的公共机构，其任务是确保核及辐射安全以及涉及电离辐射源的各种活动与设施符合“第 142-12 号条例”及其他适用法规所述之要求，同时确保此类法规能够全面反映各类国际文书、核安全标准以及核安保导则所述之要求。核与辐射安全安保局的主要职能是监管、审查、评估、授权、检查、制裁及公布安全与安保问题；保

[4] 1971 年官方公报，第 1204 页

[5] 2014 年官方公报，第 4090－4113 页

护敏感及机密信息；就相关事务为国家提供支持；以及促进地区与国际合作。

依照“第 142-12 号条例”设立核与辐射安全安保局后，我于 2016 年被穆罕默德六世国王陛下任命为第一任局长，负责将其打造成能够在国家、地区以及国际上独立、高效、可信、透明地行使监管职能的战略机构。

### 15.4.1. 核与辐射安全安保局的治理与管理模式

基于原子能机构三十多年来在安全与安保方面所积累的深厚的专业经验，我提出了核与辐射安全安保局的愿景、2017－2021 年战略计划、相关路线图以及 2016 年 10 月在摩洛哥政府首脑主持下举行的董事会第一次会议所通过的治理与管理机制。

### 15.4.2. 长期愿景

核与辐射安全安保局以成为独立、高效、可信且透明的国家级核及辐射安全监管机构、成为非洲核及辐射安全与保障领域的领导者以及国际核及辐射安全与保障领域的重要贡献者作为自己的长期愿景，并且自成立以来一直都在朝着实现这些远大目标而努力。

### 15.4.3. 2017－2021 年战略目标

基于创设之初的国内与国际环境，核与辐射安全安保局制定了 2017－2021 年战略与目标：

(a) 改进国家核及辐射安全监管框架；

(b) 针对涉及电离辐射源的所有设施与活动，加强核与辐射安全管理与安保水平；

(c) 制定并实施国家核安保体系以及国家核或辐射应急响应计划；

(d) 就安全管理及安保问题制定透明可靠的沟通政策；

(e) 培养并保持人员与组织能力；

(f) 参与、推动并加强地区及国际合作；

(g) 密切注意核及辐射安全与安保领域的经验。

核与辐射安全安保局依照“第 142-12 号条例”并借鉴国家及国际最佳实践制定了自己的发展路线图，在过去五年中每年都会定期向由摩洛哥政府首脑担任主席的董事会报告，并定期执行自评定，以确保在全国范围内不断改进安全与安保监管工作，为加强地区及国际安全做出贡献。核与辐射安全安保局还计划从 2021 开始开展各类同行评审活动，包括原子能机构国际监管审查服务活动及应急准备评审活动（已推迟到 2022 年），以及实物保护国际咨询服务、国家核原料核算控制制度国际咨询服务等其他原子能机构同行评审活动。

### 15.4.4. 采用善治原则

为实现其战略目标，核与辐射安全安保局采纳了《摩洛哥公共企业与机构良好治理行为准则》所述基本原则，并为此于 2018 年设立了审计委员会与科学委员会。核与辐射安全安保局还落实了董事会在年度会议上就责任落实、绩效管理及透明运作所作决定，以及上级主管部门与经济财政部所作相关决定。

### 15.4.5. 综合管理系统的开发

根据原子能机构的建议，核与辐射安全安保局于 2018 年启动了其综合管理系统的设计与实施，该系统涵盖其监管职能以及涉及人力、财务、质量资源开发、组织等方面的组成部分。综合管理系统的设计与实施是核与辐射安全安保局与欧盟合作的一部分，多个欧洲监管机构通过提出建议与意见提供了诸多帮助。核与辐射安全安保局的综合管理系统全面符合国家就安全、安保、保障以及良好治理所提出的要求，符合质量、环境保护、健康保护、信息以及安保系统的国际标准。综合管理系统旨在支持核与辐射安全安保局树立安全与安保文化，加强领导能力，进而确保摩洛哥能够以较高的安全水平管理使用电离辐射源的设施与活动。

## 15.5. 战略落实方面的主要成果

本节重点介绍了 2017－2021 年落实各项战略计划与任务的主要成果，包括相关经验与教训以及各类安全改进活动所带来的影响，以供参考。

### 15.5.1. 升级国家核安全、核安保与核保障监管框架

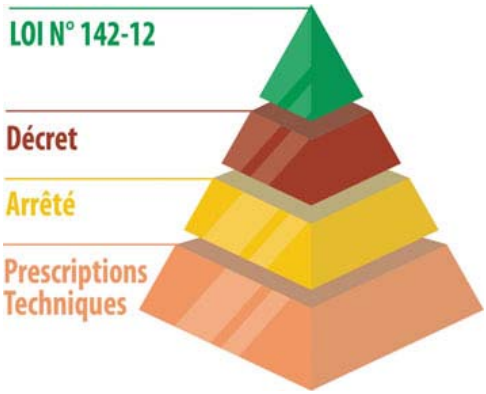
依照“第 142-12 号条例”所规定之要务以及董事会所通过的战略方向，核与辐射安全安保局自 2017 年起开始实施核安全、核安保与核保障监管框架升级战略，以履行其在国家法规制定方面的主要职能。

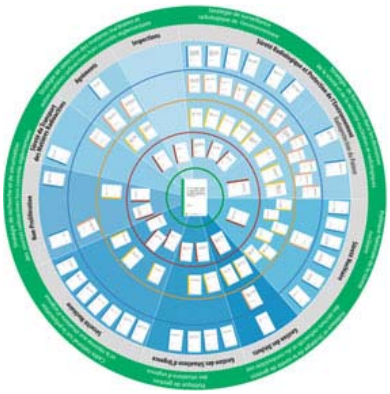
在 2017 至 2021 年的五年计划期间，核与辐射安全安保局依照“第 142-12 号条例”就安全、安保以及保障所提出之要求，草拟了 56 项实施条例并提交给政府首脑审核（见图 15.1）。所述草案为包含所有国家利益相关方在内的全国委员会 30 多个成员经共同协商所得到的工作成果。成立该委员会是为了升级 2017 年确立的核及辐射安全监管框架，所有成员共同为该委员会制定了明确的政策与战略，并且已在实际工作中切实落实了这些政策与战略。

### 15.5.2. 从国家层面加强核安全与核安保

作为履行安全及安保审查、评估、监督与监管职能的一部分，核与辐射安全安保局实施了一项计划，以针对所有涉及电离辐射源的设施与活动加强核及辐射安全与安保能力。2017－2021 年取得的工作成果：

- 完成 4650 多项授权；
- 完成活动与设施检查 2540 次；
- 针对国家能源、科学与核技术中心研究堆组织并执行了六次监管检查；
- 确立了电离辐射源国家登记制度。



“第 142-12 号条例”实施条例草案金字塔结构
“第 142-12 号条例”实施条例草案树形结构

图 15.1　实施条例草案层级结构。资料来源：Official Bulletin 2014

以上为核与辐射安全安保局与所有利益相关方在广泛参与、有序推进的基础之上共同取得的成果，各利益相关方在改善安全及安保文化方面贡献良多。

### 15.5.3. 为政府主管部门提供支持

在为政府主管部门提供支持方面，特别是在辅助政府开发国家核安保系统、制定国家辐射事件应急响应计划方面，核与辐射安全安保局已经设法全面实施了 2017－2021 年战略计划。在该计划实施期间，核与辐射安全安保局与相关部门密切合作，取得了以下成果：

- 国家核安全系统；
- 《核安保综合支持计划》；
- 国家核探测战略；
- 辐射源安保计划；
- 为落实《打击核恐怖主义全球倡议》做出实际贡献；
- 落实《不扩散核武器条约》所列各项规定；

- 《国家辐射事件应急响应计划》。

此外，核与辐射安全安保局还以建议等形式协助摩洛哥政府履行其所签署的各项公约、条约及相关承诺（指定联络点、起草国家报告并提交给原子能机构、参加评审会议、参与公约评审）。

### 15.5.4. 信息公开与沟通

依照及时向公众通报国家核及辐射安全状况以及与所有利益相关方沟通信息的义务，核与辐射安全安保局根据利益相关方的情况制定了相应的政策与战略，并明确了内外沟通以及媒体、非媒体以及社交网络沟通政策与战略。沟通战略还包括国际沟通以及核或辐射紧急情况监测。

在成果方面，核与辐射安全安保局目前已建立了一份名录、开发了各类工具并积累了相关经验，具体涉及：

- 机构网站及社交网络账户；
- 年度活动报告、小册子及传单；
- 与专业人士举行的地区会议以及其他会议与研讨会；
- 新闻报道（媒体报道 1000 多次）、媒体宣传资料以及新闻发布会。

通过落实信息公开及信息沟通政策，提升透明度与威信度。

### 15.5.5. 人员与组织能力的培养与保持

核与辐射安全安保局非常重视依照原子能机构及全球核安全与安保网络的建议，在组织内部及国家层面培养并保持核及辐射安全与保障能力，特别是与人力资源、安全教育及培训、知识管理以及合作伙伴关系培养四大支柱相关的能力，并为此制定并实施了相应的计划。

在人力资源开发方面，核与辐射安全安保局将员工数从 2016 年的 1 人增加到 2021 年的 84 人，同时将性别平等放在首位，48%的员工为女性，

43%的领导职位由女性担任。此外，核与辐射安全安保局在报告期内完成了每人大约 2300 天或平均 7 周的培训，并且非常重视技能培养及持续培训。

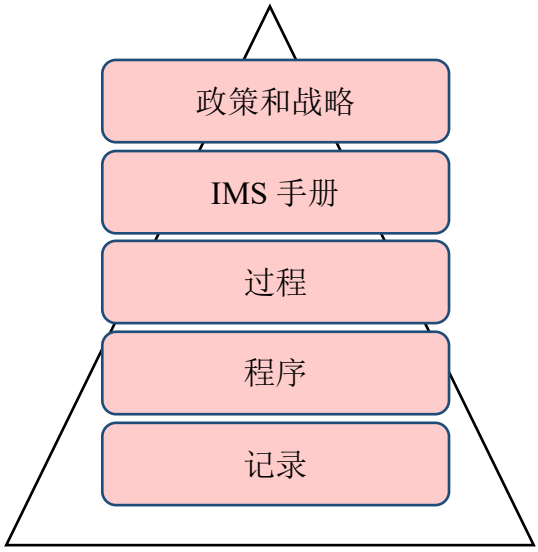



图 15.2 综合管理系统的层级结构。资料来源：核与辐射安全安保局

在国家事务方面，核与辐射安全安保局制定了核及辐射安全与安保相关的理论及实践培训战略，帮助 13 000 多人接受国家层级的培训或取得相应资格认证，帮助 300 多人接受非洲层级的培训或取得相应资格认证。

在内部管理方面，核与辐射安全安保局通过制定手册、流程图以及涵盖业务、治理与支持等主体过程的流程表，为其综合管理系统的设计及实施制定了战略（已制定 22 个流程表、36 个程序以及 19 个子程序）（见图 15.2）。

作为有序推进方略的一部分，核与辐射安全安保局在 2020 年启动了三个试点业务流程（授权、监管及核保障），并计划在 2022 年底之前完成测试、实施及改进研究操作，之后再更新相应文件。

除各类流程与程序之外，核与辐射安全安保局的综合管理系统旨在推动组织以及行业运营商树立安全与安保文化、培养所需领导能力。为此，核与辐射安全安保局制定了一系列适用于内部管理及国家事务推进的政策与战略，具体涉及：

- 环境辐射监测；
- 放射性废物及废弃源管理安全；
- 核安全；
- 检测不受监管的核物料及其他放射源；
- 核及辐射紧急情况防备与响应；
- 核及辐射安全与安保培训。

还应指出，将各种不同的政策与战略整合到一起，形成一套完整的管理系统会遇到很多挑战，但能确保实现更高的核及辐射安全与保障水平。

在实施综合管理系统的同时，核与辐射安全安保局还建立了一系列信息管理系统，分别用于：

- 与许可证、监管、检查、保障、制裁以及核及辐射应急响应相关的业务活动的数字化；
- 人力资源管理；
- 预算及财务管理。

### 15.5.6. 推动并加强地区及国际合作

在实施 2017－2021 年战略计划期间，核与辐射安全安保局通过签署以下协议，推动建立并加强了国内及国际合作伙伴网络：

- 与直接或间接参与核或辐射安全与安保事务的相关部门、政府主管部门签订了 10 份合作协议；
- 与加拿大、中国、法国、德国、匈牙利、俄罗斯、西班牙及美国的对等机构签订了八份合作协议；
- 与布基纳法索、科特迪瓦、毛里塔尼亚及卢旺达的对等机构签署了四份合作协议；
- 与欧盟达成了一项为期五年期、金额多达 200 万欧元的项目；

- 分别与科特迪瓦及毛里塔尼亚签订了两份原子能机构+AFRA+非洲国家合作三方合同。

核与辐射安全安保局还依照其合作战略框架开展了以下工作：

- 在 2017－2020 年期间，组织了 100 多次国家、地区与/或国际活动；
- 积极参与培训活动，选派人员 2000 人次，总时数 10 000 多天；
- 组织了 100 多次专家周活动，涵盖了核与辐射安全安保局的所有安全与安保活动；
- 接待了 20 多名非洲研修人员，帮助他们加强本国的核及辐射安全与安保活动；
- 加强核与辐射安全安保局在全国范围内对涉及电离辐射源的设施与活动进行检查及控制能力。

此外，核与辐射安全安保局在其合作计划中非常重视与其主要国际合作伙伴，特别是原子能机构之间的密切互动，具体途径包括：

(a) 争取让原子能机构将核与辐射安全安保局认定为：
    - 地区辐射应急准备与管理能力建设中心；
    - 原子能机构在非洲的第一个核安保能力建设合作中心。

(b) 主持合作网络活动：
    - 非洲核监管机构论坛；
    - 全球核安全与安保网络；
    - 核及辐射应急准备与响应国际教育与培训网络。

### 15.5.7. 密切关注国际动态

通过密切关注国际发展动态、积极与其他国家开展核及辐射安全经验交流，核与辐射安全安保局：

- 为相关国际公约与意向书的签署及相关会议举办做出贡献；
- 与国家利益相关方协商编制国际公约（《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》《核安全公约》《及早通报核事故公约》等）所要求的国家报告，并提交给相应的协调机构。

此类活动目的是确保能够严格遵守国际核及辐射安全与安保制度，并依国际公约委员会及其指导与管理机构的指示行事。

## 15.6. 结论

核与辐射安全安保局通过实施 2017－2021 年战略计划及相关评定活动：

- 加强国家核及辐射安全与安保制度，推动摩洛哥落实就开放、透明过程及持续改进所作承诺，进而提升核与辐射安全安保局的国际信誉，实现其地区战略定位；
- 通过提升国内利益相关方的参与意识、加强国际沟通以及提升透明度，巩固核与辐射安全安保局全面提升国家核及辐射安全与安保的能力与实力；
- 推动在国家与地区两级树立安全与安保文化、加强领导能力，保持活力、发挥领导作用；
- 确保以动态方式履行监管职责，时刻关注相关技术与科研活动；
- 推动地区及国际合作，推动结成合作伙伴关系；
- 启动原子能机构计划于 2022 年开展的外部评估活动，特别是国际监管审查服务活动及应急准备评审活动；
- 通过知识网络、教育与培训以及经验与教训分享活动，推动开展并持续改进安全与安保活动。

所有这些成就可确认核与辐射安全安保局作为核及辐射安全与安保监管机构，已凭借其专业能力在国家、地区以及国际事务方面做出了积极贡献。核与辐射安全安保局乐于分享经验，愿意与其他国家的同等机构以及其

他合作伙伴加强合作关系。未来，核与辐射安全安保局会进一步加强与地区及国际合作伙伴之间的合作，持续提升地区及全球核安全与安保能力。

## 参考文献

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020a) Nuclear Technology Review 2020, GC(64)/INF/2

International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020b) Nuclear Safety Review 2020, GC(64)/INF/3 International Atomic Energy Agency (IAEA) (2020c) Nuclear Security Report 2020, GOV/2020/31–GC(64)/6

Official Gazette [Bulletin officiel] (1971) Law No. 005 71 of 12 October 1971 on the protection against ionizing radiation [Loi n° 005 71 du 12 octobre 1971 relative à la protection contre les rayonnements ionisants]. In: El Fekkak M (ed) Labour Legislation Directory [Répertoire de la législation du travail] (1994). Librairie Al Wahda Al Arabia, Casablanca, p 717

Official Gazette [Bulletin officiel] (2014) Law No. 142 12 of 22 August 2014 on nuclear and radiological safety and security and the creation of the Moroccan Agency for Nuclear and Radiological Safety and Security [Loi n° 142 12 du 22 août 2014 relative à la sûreté et à la sécurité nucléaires et radiologiques et à la création de l'Agence marocaine de sûreté et de sécurité nucléaires et radiologiques]. https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/SERIAL/93657/109579/F930113526/MAR 93657.pdf. 2021 年 10 月 15 日访问网页

本章所表达的观点系属作者观点，不一定反映国际原子能机构、其理事会或作者所代表国家的观点。

# 核法律：
## 全球辩论

本书追溯核法律的发展历程：核法律的起源、如何发展、目前状况和未来走向。作为一门学科，这一高度专业化的法律体系使我们从核科学技术拯救生命的应用（包括诊断癌症以及避免和减轻气候变化的影响）中获益成为可能。本书力求使读者了解核法律、核科学和技术的未来。本书旨在引发思考和讨论，探索我们如何才能最大程度地从核科学技术受益，并将其固有的风险减少到最低限度。这本论文汇编在学科及地理维度提供一个全球视野。本书面向政府代表 — 包括监管者、决策者和立法者 — 以及国际组织和法律界及保险业的代表。本书对所有渴望更好地了解法律在使全世界能够安全、可靠、和平地利用核技术方面所起作用者都会有吸引力。

本书中的文章由包括国际原子能机构总干事在内的权威专家撰写，讨论核法律的四个分支 — 安全、安保、保障和核责任 — 以及核法律与其他国家和国际法领域的相互作用。

IAEA
国际原子能机构