



联合国

联合国原子辐射影响问题 科学委员会的报告

第六十三届会议
(2016年6月27日至7月1日)

大会
正式记录
第七十一届会议
补编第46号

大会
正式记录
第七十一届会议
补编第 46 号

联合国原子辐射影响问题 科学委员会的报告

第六十三届会议
(2016 年 6 月 27 日至 7 月 1 日)



联合国 • 2016 年，纽约

注

联合国文件用英文字母附加数字编号。凡是提到这种编号，就是指联合国的某一文件。

目录

章次	页次
一. 导言	1
二. 联合国原子辐射影响问题科学委员会第六十三届会议的审议情况	2
A. 完成的评价	2
B. 目前工作方案	3
1. 自委员会 2013 年关于日本东部大地震和海啸后所致核事故造成的辐射照射水平及其影响的报告以来发生的进一步情况	3
2. 受环境辐射源低剂量率照射状况的癌症流行病学	4
3. 选定的一些关于辐射照射的健康影响和风险推论评估	4
4. 收集关于辐射照射的数据，特别是关于医疗照射和职业照射的数据	4
5. 宣传活动	4
C. 长期战略方向	5
D. 未来工作方案	6
E. 行政问题	7
三. 科学报告	8

第一章

导言

1. 联合国原子辐射影响问题科学委员会自根据大会 1955 年 12 月 3 日第 913 (X)号决议成立以来，其使命一直是广泛评价电离辐射源及其对人类健康和环境的影响。¹为完成这一使命，委员会深入审查和评估全球和区域辐射照射的情况。委员会还评估受照射人群中辐射所致健康影响的证据，以及关于辐射引起的可能对人类健康或非人类生物群产生影响的生物机制方面的认识进步。这些评价尤其为联合国系统相关机构制定保护公众、工作人员和患者免遭电离辐射的国际标准提供了科学基础；²这些标准继而又与重要的法律和监管文件相关联。
2. 电离辐射照射来自天然发生源（如来自外层空间的辐射和地球岩石散发的氡气）和人为来源（如医疗诊断和治疗程序；核武器试验产生的放射性物质；发电，包括核电；突发事件，如 1986 年切尔诺贝利核电站事故以及 2011 年 3 月日本东部大地震和海啸之后的核电站事故；以及所受人为或天然辐射源照射可能增加的工作场所）。

¹ 联合国原子辐射影响问题科学委员会由大会在 1955 年召开的第十届会议上成立。第 913 (X)号决议阐明了委员会的职权范围。委员会最初由以下会员国组成：阿根廷、澳大利亚、比利时、巴西、加拿大、捷克斯洛伐克（后为斯洛伐克接替）、埃及、法国、印度、日本、墨西哥、瑞典、苏维埃社会主义共和国联盟（后为俄罗斯联邦接替）、大不列颠及北爱尔兰联合王国、美利坚合众国。此后，大会 1973 年 12 月 14 日第 3154 C (XXVIII)号决议扩大了委员会的成员数量，增加了德意志联邦共和国（后为德国接替）、印度尼西亚、秘鲁、波兰和苏丹。大会 1986 年 12 月 3 日第 41/62 B 号决议将委员会的成员国增至 21 个，并邀请中国成为其中一员。在 2011 年 12 月 9 日第 66/70 号决议中，大会进一步将委员会的成员国增至 27 个，邀请白俄罗斯、芬兰、巴基斯坦、大韩民国、西班牙和乌克兰成为成员国。

² 例如，目前正由欧盟委员会、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、联合国环境规划署和世界卫生组织共同发起制定的国际辐射防护和辐射源安全的基本安全标准。

第二章

联合国原子辐射影响问题科学委员会第六十三届会议的审议情况

3. 委员会第六十三届会议于 2016 年 6 月 27 日至 7 月 1 日在维也纳举行。³担任委员会主席团成员者：Yoshiharu Yonekura（日本），主席；John Hunt（巴西）、Peter Jacob（德国）和 Hans Vanmarcke（比利时），副主席；以及 Michael Waligórski（波兰），报告员。

4. 委员会注意到大会关于原子辐射影响的第 70/81 号决议。委员会回顾称，曾期望报告其现行战略计划（2014-2019 年）时期之后的长期战略方向，以便协助为大会今后审议委员会成员情况提供信息。

A. 完成的评价

5. 委员会详细讨论了四项实质性评价。通过了在这些评价的结论基础上编写的科学报告（见第三章），并请求按照所商定的更改，以通常的方式出版科学附件。

6. 委员会第五十六届会议曾决定开始工作，对人体受到的发电产生电离辐射照射进行一次新的评估。因此，委员会曾决定审查和更新其 2000 年报告公布的以前用于评估公众所受排放物质照射情况的方法。委员会讨论并核准出版科学附件，更新所使用的方法及相关的电子作业本。

7. 委员会回顾，关于发电产生的辐射照射情况的科学附件，相关的工作进展受到阻碍，其中一个原因是职业照射数据和使用非核能来源发电附带生成的释放物质的数据欠缺。相比较而言，核能工业有丰富的数据，尽管在核燃料周期所谓幕后阶段的退出使用和其他方面，这些数据依然有些欠缺。在没有准确数据的情况下，完成的评估以合理和透明的设想为基础。2015 年，使用了电子作业本应用这一方法，以便以内在统一一致的方式，完成对各类发电形成的人口辐射照射情况的评估。

8. 在 2008 年 7 月 10 日至 18 日举行的委员会第五十六届会议上，在审议今后的工作方案时，委员会曾决定应当开展工作，处理辐射剂量和体内积存的放射性核素风险及影响的问题。在 2010 年 8 月 16 日至 20 日举行的委员会第五十七届会议上，委员会进一步决定将重点放在氚和铀的放射性同位素上。在本届会议上，委员会一致认为，文献资料的审查现已完成，有关的资料作了精简，结构安排上作了协调统一，从所评估的资料中得出了最终结论。委员会因此核准公布评估结果。

³ 出席第六十三届会议的还有国际原子能机构、国际劳工组织、世界卫生组织、欧洲联盟、国际癌症研究机构、国际辐射防护委员会和国际辐射单位和测量委员会的观察员。

B. 目前工作方案

1. 自委员会 2013 年关于日本东部大地震和海啸后所致核事故造成的辐射照射水平及其影响的报告以来发生的进一步情况

9. 委员会回顾了其对 2011 年日本东部大地震和海啸后所致核事故造成的辐射照射水平和影响进行的评估，这些评估列于其向 2013 年大会第六十八届会议提交的报告（A/68/46）以及佐证的详尽科学附件⁴中。委员会在该报告中的结论认为，总体来看，剂量较低，因此，伴随的风险也可能较低。预计癌症发生率保持稳定。但在该报告中，委员会也曾指出，在那些被辐射照射最多的儿童当中甲状腺癌症的风险有可能增加。然而还指出，对福岛县发生大量因辐射引致的甲状腺癌症情况——例如在切尔诺贝利事故之后那样——的可能性可以打折扣，因为在福岛事故之后甲状腺吸收的剂量低很多。报告的结论认为，预计在新生儿缺陷和遗传疾病发生率方面没有明显的变化，对陆地上和海洋中生态系统的影响也将是短暂和局部性的。工作人员的癌症率预计保持稳定。

10. 在评估之后，委员会作出了后续活动安排，以便能够保持随时了解所公布的更多相关信息。委员会第六十二届会议的报告已提交大会第七十届会议，其中包括截至当时所进行的后续活动而得出的结论。

11. 委员会继续查明截至 2015 年底所可以得到的进一步信息，并对相关的新出版物进行系统的评估，以评定这些出版物对委员会 2013 年报告的意义。一个值得注意的出版物是国际原子能机构（原子能机构）关于福岛第一核电站事故的报告。⁵其中根据对编写报告时可以得到的大量来源数据和信息进行的评估，描述了事故及其原因、发展和后果。该报告和大量的新出版物再次证实了委员会 2013 年报告中的主要假设和结论。没有任何一份出版物严重影响 2013 年报告的主要结论，或对其中主要假设提出质疑。经确定，对于若干出版物需作进一步分析，或需要通过更多的研究而得出更为确凿的证据。根据所审查的资料，委员会认为目前不需要对其主要结论作任何更改。但是，委员会所查明的需要研究的若干方面尚待科学界加以充分的处理。

12. 委员会计划继续查明和系统地评估关于该事故的新资料，并定期在委员会的年度会议上对结果进行评定。还计划与日本那些负责制定、实施和咨询主要研究方案的机构积极开展合作，以便迅速消化新出现的问题，突出指明需要进一步研究的问题。在适当的时候，根据研究的结果，委员会预期将考虑对其 2013 年报告进行更新的必要性。

13. 委员会请秘书处在可以得到资源的情况下，出版其系统审查新科学文献资料的结果，作为英文版的非销售出版物，并促成其日文版的出版。

⁴ 联合国出版物，出售品编号：E.14.IX.1。

⁵ 国际原子能机构，《福岛第一核电站事故：总干事的报告（GC(59)/14），及附带的技术卷本 1-5。

2. 受环境辐射源低剂量率照射状况的癌症流行病学

14. 委员会讨论了对环境辐射源低剂量率照射状况所致癌症发生率进行流行病学研究评估所取得的进展。委员会确认，科学审查有了相当的改进。欢迎就委员会的流行病学评审制定一个关于质量标准的附录。委员会要求科学审查和质量标准现在应当彼此相互一致。委员会要求附录最后完成作为一个独立的附件加以出版，因为其具有更广泛的适用性；预计科学审查和质量标准可在第六十四届会议上获准出版。

3. 选定的一些关于辐射照射的健康影响和风险推论评估

15. 委员会审议了对选定的一些电离辐射照射所致健康影响和风险推论进行评估的进展。根据商定的标准和初步的文献资料审查，提出了进行评估的四种假设情形：低剂量照射后的白血病；长期严重照射后实在的癌症风险；在儿童或青少年时期受到照射后的甲状腺癌症风险；以及长期严重照射后的循环系统疾病风险。委员会预计将根据质量标准对委员会的流行病审查进行评估，并预计在第六十四届会议上讨论评估草案。

4. 收集关于辐射照射的数据，特别是关于医疗照射和职业照射的数据

16. 委员会注意到秘书处关于收集、分析和传播辐射照射的数据，特别是医疗照射和职业照射数据的进度报告。委员会欢迎大会第 70/81 号决议鼓励各会员国提名一个国家联系人，为协调收集和传播关于公众、工作人员和病患者受照射状况的数据提供便利。截至委员会第六十三届会议，已有 51 个会员国提名了国家联系人。

17. 2014 年，秘书处启动了一个收集医疗照射数据的在线平台，曾邀请所有会员国参加委员会的《全球医疗辐射使用情况和受照射情况调查》。为筹备这项全球调查，委员会加强了与原子能机构、世界卫生组织和国际辐射防护协会的密切合作。20 个国家提交了其关于医疗照射的第一批数据；但并非所有提交的材料都完整无缺。由于迄今为止的答复率较低，并由于联合国行政和财务平台（Umoja）的改变而带来的拖延，提交数据的截止日期将延期至 2017 年 5 月。委员会请秘书处编写一份关于委员会第六十四届会议审查结果的首次评估报告，包括详细的文献资料评审。委员会还请秘书处加快关于职业照射的调查，加强与国际劳工组织和其他相关机构的密切合作，并开始细致工作，确定定义和收集公众所受来自天然和人造来源辐射照射的数据。

5. 宣传活动

18. 委员会注意到秘书处关于宣传活动的进度报告。特别感谢为传播委员会 2013 年关于福岛第一核电站事故所致辐射照射水平和影响的报告和关于自该报告以来的发展动态的白皮书而在日本开展的工作。委员会注意到大会曾鼓励秘书处继续向公众传播这些结论。委员会还欢迎围绕委员会成立六十周年、切尔

诺贝尔事故三十周年和日本核电站五周年而开展的宣传活动。联合国环境规划署（环境署）题为“辐射：影响和来源”的最新出版物，已出版了英文版；设想还将出版其他语文版本，该出版物的目的是作为一份公众的基础科学指南。秘书处还制作了记忆棒作为一种方便的参考工具，其中预先装载了委员会的所有出版物和所有与其活动相关的决议，在可能情况下，包括联合国所有正式语文的版本。

19. 关于委员会六十周年纪念日，维也纳市长兼州长在维也纳市政厅为应邀出席的贵宾、科学家和外交官举办了一场招待会，纪念委员会六十周年。联合国秘书长潘基文为这一时刻发来了一段录相讲话，其中他说到：“从 1950 年年代评估放射性尘埃的严重性开始，至如今评估放射性物质对人体基因组的影响，委员会始终采取一种独立和公正的做法。对于那些经常高度感情化和政治化的问题来说，这样做十分重要。”其他发言者宣读了其各自组织行政首长的致辞，包括世界卫生组织、原子能机构、全面禁止核试验条约组织筹备委员会和环境署。这些致辞赞扬委员会在其科学审查中表现出的专业知识和独立性，称赞委员会努力向更广大的民众传播其科学结论，并鼓励委员会进一步加强这些努力。

C. 长期战略方向

20. 委员会审议了其目前战略计划（2014-2019 年）时期之后的长期战略方向。委员会注意到秘书长提交大会第六十九届会议的报告（见 A/69/350），其中阐述了成员国数目增加到 27 个国家后的影响，以及实行进一步增加程序的可能方法。委员会还注意到大会关于核辐射影响的第 70/81 号决议，大会在该决议中请秘书长向大会第七十二届会议提供一份在第六十六届会议之后至第七十二届会议之前表示特别感兴趣参加委员会的会员国名单。

21. 委员会设想其今后工作的主要方向在下列科学领域：

(a) 改进对人类日常生活中、职业环境中、医疗程序期间和事故所致照射水平的评估；

(b) 改进对辐射作用机制和所有各级别生物组织即从分子级别到种群级别生物反应机制的认识；

(c) 获得关于健康影响特别是低剂量范围和长期照射所致健康影响的更加确定证据，以及关于人口受辐射照射所致健康影响的合理评估。

22. 委员会还预计，迅速出现的问题或重大事件可能导致短期或长期改变优先重点，工作方案将在每届会议上相应更改。例如，前段时期委员会调整了其努力方向，对 2011 年日本核事故所致放射照射水平和影响情况进行了及时的科学评估。⁴

23. 委员会认为，委员会将能够在上述科学领域继续发表权威性的科学评估。委员会充分支持秘书长的观点，认为成员国数目的任何增加，其主要目的都应当是提高委员会进行其科学工作的能力。委员会确信，成员国数目的限度是大约 30 个国家，这是委员会秘书处以其现有的规模可以合理应付的数目，而同时

又能够支持委员会的科学工作。任何增加超过这个数目都将需要进一步加强秘书处的人力资源（见 A/69/350 第 35 和 40 段）。

24. 委员会因此认为，对成员国数目的任何讨论都应当着重于委员会继续开展权威性科学评估的能力，以及秘书处支持委员会开展这一工作的能力。但是，鉴于科学数据库日益扩大，因此可能需要实施一系列的战略，支持委员会努力为科学界以及更广大的公众服务。这些战略也可以吸收委员会目前成员国以外的科学家。已经有了这类安排的实例，事实证明，这样安排有利于委员会的工作，同时仅仅造成秘书处的工作负荷少量增加或可忽略不计。

25. 委员会承认吸收所有成员国参加实施委员会的战略、未来审议工作和制作科学文件至关重要，并同时适当考虑到可以利用的资源，因而委员会可以考虑在以上段落所述的战略中包括下列内容：

- (a) 设立重点关注辐射源和照射或健康和环境影响领域的常设工作组；
- (b) 临时邀请联合国其他会员国的科学家参加关于上述领域的评估；
- (c) 加强委员会的努力，以一种吸引读者但又不损害科学严格性和完整性的方式介绍委员会的评估结果及其概要；
- (d) 在向大会提交权威性的科学评估方面保持主导地位的同时，与相关的国际机构密切联络，以尽可能避免重复努力。

26. 在未来的几届会议上，委员会将努力实施上述各项战略。

D. 未来工作方案

27. 委员会讨论了五个项目和两个较小型活动的初步计划。提出了项目建议的五个主题是：(a)放射治疗后的二次癌症；(b)评估核工业所致放射照射对生物群的影响；(c)可能对低剂量放射照射的健康影响产生作用的生物机制；(d)住家内和工作场所氡辐射的影响；以及(e)辐射与癌症的流行病学研究。在考虑了目前的工作方案和委员会及其秘书处的能力之后，委员会决定：

(a) 2016 年在主题(c)和(d)的基础上开始开展项目，并将主题(c)的项目重点放在癌症与遗传影响上；

(b) 2017 年在主题(e)的建议基础上开始开展项目，以美利坚合众国代表团进一步拟订的版本为准；

(c) 请法国代表团为更加深入讨论主题(a)的建议拟订工作材料，以期在 2017 年接受该建议。

28. 委员会还请秘书处编写一份短篇文件，阐述委员会对剂量和剂量率效应因子的科学看法，并编写另一份文件，介绍对 1986 年切尔诺贝利核电站事故受灾区域甲状腺癌症数据的评估，以便委员会第六十四届会议上加以讨论和认可。

E. 行政问题

29. 委员会确认，因为需要保持其工作的强度——特别是其制作照射状况的数据库的工作以及改进向公众传播委员会结论的工作，包括使用英文以外的联合国其他正式语文印发文件，因此，定期认捐向环境署执行主任所设立的普通信托基金提供自愿捐款极为重要。委员会建议，大会可鼓励各会员国考虑为此目的向普通信托基金作出自愿捐款的定期认捐，或提供实物捐助。

30. 委员会商定于 2017 年 5 月 29 日至 6 月 2 日在维也纳举行其第六十四届会议。委员会选出了新任主席团成员主导委员会第六十四届和第六十五届会议：Hans Vanmarcke（比利时）主席；Peter Jacob（德国）、Patsy Thompson（加拿大）、Michael Waligórski（波兰），副主席；以及 Gillian Hirth（澳大利亚），报告员。

第三章

科学报告

31. 四份科学附件（另行公布）提供了以下所述结论的理论根据。

A. 对放射性物质排放所致公众受照射状况的评估方法

32. 委员会时常对正常作业下放射性物质在环境中的排放，主要是来自核燃料周期设施的排放所形成的公众受照射状况进行评估。委员会每次都根据科学发展审查其对于受照射状况的评估方法，并在适当的情况下加以修订。委员会决定更新和扩展其过去对发电形成的电离辐射人体照射的评估结果。因此，委员会审查并更新了其以前在 2000 年报告中所公布的关于排放物质公众受照射状况的评估方法。因为需要更加灵活地适用于不同类别的发电，并为了透明度的原因，所以更新了采用的方法，以提供每一重要放射性核素排放的特有估算放射剂量结果。

33. 所更新的方法可用于估算大气、河流湖泊和海洋中排放物质所形成的具有特征性质的个体剂量和群体剂量。具有特征性质的个体计算是可表明在排放物质点周围地区生活的典型个人所接受的剂量。群体剂量是特定人群受到的特定来源平均剂量按该人群中的人数在所确定的时间期限内加以集合计算后的结果。换句话说，群体剂量是确定的时间期限内特定人群全体成员总合所接受的剂量。但是，计算得出的剂量是仅可用于比较不同照射来源的度量参数，而不能用于估算对健康的影响。另外，这一方法仅适用于可以设想为持续性的日常排放；评估事故产生的释放物质照射则需要更加复杂的方法。

34. 放射性排放可在许多方面导致公众受到照射，更新后的方法考虑到了这其中最重要的一些因素，即人体外也就是大气中和地面上放射性核素的照射，以及通过吸入和摄入方式进入体内的放射性核素的照射。为了能够估算核发电和非核发电的照射量，扩大了方法的适用范围，以便涵盖广泛的放射性核素。评估方法采用以试验数据和其他现场观测为依据的模型，以估算放射性核素通过环境发生的转移并从而形成对公众的照射。更新后的方法现在考虑到从前没有考虑过的一种增加的照射途径，即因为淡水中的排放物质使水源中含有放射性核素而人体摄入以这种水源灌溉的作物。

35. 在过去，使用的是人口密度和粮食消费的世界平均值，因为这些被认为足以估算来自核设施的全球照射量。但是，全世界有许多非核电站，其周围的人口密度和粮食消费大不相同。因此，委员会决定纳入区域因素。即使这样，现在所考虑中的区域仍然非常大，对个别的场所进行评估需要其他方法。照射量是使用一系列数学模型进行估算的，为此委员会选用了可达到实际照射估算结果的参数值，以此选用计算值以便故意过高估算照射量。

36. 与从前一样，仍然可以酌情按当地、区域和全球规模对人口的群体剂量进行估算。另外，使用的方法提供的信息可以指明按不同人群离开排放点的距离计算的一年内大气中连续排放对不同人群形成的群体剂量。现在已经可

以得出按 100、500 和 10,000 年期限集合计算的对世界人口群体剂量的估算。

37. 这一方法用在了一系列电子作业本中，以提供透明度和便于委员会今后进行任何研究时加以使用和修订。作业本载有关于最重要照射途径和放射性核素的信息，可以从委员会的网站上下载（www.unscear.org）。

38. 委员会确信，作业本中使用的通讯后的方法是可靠的，建立在前体板牢固状况的基础上，并可适用于估算各种环境中放射性核素日常排放所致区域和全球人口的受照射量。

B. 来自发电的放射照射

39. 世界的发电技术组合按照不同的气候、环境、资源、政治和经济挑战形势而随着时间发生改变。各国政府和研究人员可能进行各种比较研究，其中除其他外考虑到不同技术对公众、工作人员和环境造成的影响。电离辐射照射仅仅是作为这种评估的一部分而可能考虑到的众多因素之一。但是，委员会认为，更新和扩大其过去对公众和工作人员因发电所致辐射照射量进行的评估，可以是进行这类研究的一个实用信息来源。

40. 虽然对核动力发电所致公众和工作人员受辐射照射的状况从使用这一技术之初人们便十分关心，但使用其他发电技术产生的辐射照射却从未作过如此全面的研究。委员会定期审查与核动力发电相关的公众和工作人员受照射情况，也对其他形式的发电进行评估，不过研究的程度没有那么深入。⁶这些评估使用了各种方法，依赖核能行业以外一般不作系统监测或报告的工业活动所产生的数据，从而造成对不同发电技术产生的辐射照射量进行有意义的比较并非易事。

41. 对事故所致群体剂量进行评估超出了对发电所致公众和工作人员受辐射照射量进行评估的范围；但是，委员会已在其 2008 年报告中对以往事故进行了评估；在其 1988 年、2000 年和 2008 年的报告中对切尔诺贝利事故进行了评估；并在其 2013 年的报告中对福岛第一核电站事故进行了评估。对于事故产生的照射量和日常排放量产生的照射量，两者之间难以作出直接比较。其中一个原因是在事故之后公众随即受到的剂量分布，在地理范围上具有很大的局部性，而正常发电作业产生的群体剂量则在区域或全球人口中分布得更为平均。而且，严重事故产生的全球人口群体剂量，例如切尔诺贝利和福岛第一核电站发生的那些剂量，正如研究报告评估的那样，数量级远大于重要发电技术一年正常操作对世界人口造成的群体剂量。

⁶ 《电离辐射的来源和影响——1977 年提交大会的报告，附带附件》（联合国出版物，出售品编号：E.77.IX.1）；《电离辐射：来源和生物影响——1982 年向大会提交的报告及附件》（联合国出版物，出售品编号：E.82.IX.8）；《电离辐射的来源、影响和风险——1988 年向大会提交的报告及附件》（联合国出版物，出售品编号：E.88.IX.7）；《电离辐射的来源和影响——1993 年向大会提交的报告及科学附件》（联合国出版物，出售品编号：E.94.IX.2）；以及《电离辐射的来源和影响——2000 年向大会提交的报告及科学附件》，第一卷：来源（联合国出版物，出售品编号：E.00.IX.3）。

42. 如上所述，委员会更新了其对放射性排放物质所致公众受照射量进行评估的方法。这一方法现在更加灵活，可以评估更广范围的多种发电技术。除包括对现有数据的广泛分析外，更新后的方法为委员会提供了比从前可能达到的程度更加完善的比较研究基础。同时，委员会还对各种不同发电技术产生的职业受照射量重新进行了评估，使用的数据主要来自工作人员受照射量计量测定记录。这些评估构成对发电所致的公众和工作人员受放射照射量目前进行比较研究的基础。

43. 委员会进行了比较研究，调查了核能、燃煤、天然气、石油和生物燃料以及地热、风能和太阳能等发电技术产生的照射来源。对两项发电技术（核能和燃煤）进行了详细调查，因为关于这两项技术存在更加详实的数据库。委员会从放射性排放物质寿命周期的角度评估了放射性排放物质的主要来源。关于核能的寿命周期，放射性排放物质的来源包括铀矿开采、研磨和磨矿尾渣、发电厂运作和再处理活动。关于与燃煤相关的寿命周期，这些来源是煤矿开采、燃煤发电厂运作（现代化的和老式的），以及煤炭灰烬的沉积。为简单起见，我们将分别把这些周期称作核燃料周期和煤炭周期。

44. 为了比较照射量，委员会着重查看了两个计量参数。第一个是按若干特定时间段集合计算的每种技术全球和区域一年发电所致特定人口群体受到的群体剂量。第二个计量参数是按每种技术发电量计算的相关群体剂量。进行比较采用的参照年份是 2010 年。

45. 委员会估测，煤炭周期的贡献率占全球一年发电所致排放物质当地地区公众受到的群体总剂量一半以上。这一估测所依据的假设是排放物质来自现代化的煤炭工厂。而另一方面，核燃料周期的贡献率不足五分之一。煤炭周期的贡献率来自煤炭采矿、发电厂燃煤和煤炭灰烬沉积期间的天然放射性核素（主要是氦及其放射性子体）排放物质。同样，核燃料周期全球公众受照射量将近一半来自铀矿开采和研磨选矿活动期间的天然放射性核素排放物质。这些参数值取决于每种技术在总发电量中所占的比例；2010 年，煤炭周期的贡献率约为 40%，是最大的数量。虽然氦及其子体是核燃料周期和煤炭周期公众所受群体剂量比较重要的贡献来源，但与吸入住家中天然发生的氦及其子体的程度所产生的剂量相比较，相关联的个体剂量很小。

46. 但是，委员会发现，某一种技术对全球公众受照射量的贡献率并非计算该种技术发了多少电那么简单。还需要考虑到每种技术每单位发电量的群体剂量差别。在正常运作中，煤炭周期每单位发电量产生的群体剂量高于核能周期，并且远远高于所评估的其他技术每单位发电量产生的剂量，只有地热发电除外。根据地热发电厂氦排放物质的现有有限资料，地热能源每单位发电量产生的群体剂量可能十分可观。但是，因为地热技术的使用并不广泛，所以其对全球公众所受放射照射量的贡献率小于煤炭周期。

47. 以前对核能发电的调查，审查的是长效放射性核素对公众受照射量的贡献率，例如碳-14，这些放射性核素被排放之后在全球扩散，虽然形成的个体剂量极小，但对公众所受放射辐射量的贡献可持续到未来数百年。全球扩散的放射性核素对全球公众群体剂量的贡献率取决于计算群体剂量时集合使用

的时间长度。这些全球扩散的放射性核素一年排放所致的公众受照射量随着时间缓慢增加。从例如数百年的长时间集合计算来看，这些放射性核素对全球公众产生的群体剂量，其中来自核燃料周期的高于煤炭周期。

48. 委员会评估了职业受照射量。每单位发电量对工作人员产生的最大群体剂量来自煤矿开采，因为暴露在天然发生的放射性核素环境中。在评估的对公众和对工作人员的所有群体剂量中，工作人员受到的来自煤炭开采的照射量构成最大的贡献因素，尽管因为采矿条件的改善而使得贡献率逐步下降。据发现，每单位发电量工作人员受到的最大群体剂量是太阳能周期，其次是风电周期。这种情况的原因是这些技术要求大量的稀土金属，在低等矿土的开采过程中工作人员暴露在天然放射性核素环境中。

49. 煤炭周期每单位发电量的群体总剂量（即全球公众和所有受照射工作人员相加的剂量）大于在核燃料周期所发现的剂量。即使全球扩散的长效放射性核素按 500 年合成计算，情况也是如此。在考虑每种技术 2010 年的发电量时，煤炭周期导致对全球公众和工作人员相加总数最大的群体剂量，其次是核燃料周期。在其余的技术中，地热能源和天然气燃烧是其次的最大贡献因素。

50. 在解释和使用这些结果时应当特别小心。其唯一的作用是提供对每种技术所致不同规模放射照射量的深入认识。这些结果不适合用作唯一的计量参数来确定一种发电技术是否优于另一种发电技术。如前文所述，许多因素决定各国为什么可能选择采用发电技术的某种组合。放射照射只是其中的一个因素。

C. 选定的体内发射源的生物影响

51. “体内发射源”是对主要通过吸入或摄入但也可能通过伤口或完好的皮肤吸收放射性核素之后人体器官和组织内积存的放射性核素所常用的一个术语。取决于相关的放射性核素和摄入的生理化学形式，体内发射源在类型、结构和放射性发射期限以及器官和组织内及之间的能量积沉等方面差别巨大。

52. 直接研究受体发射照射至关重要，因为一些放射性核素的辐射距离短，并且在不同程度上产生高密度电离作用。另外，这些放射性核素在人体组织内可能分布不均匀。因此，一些体内发射源导致的剂量性质明显不同于例如日本广岛和长崎爆炸的原子弹从外部来源穿透的辐射所产生的剂量。辐射风险的大多数证据来自人体所受穿透辐射照射量的研究，而关于体内照射的健康影响则很少有直接的数据。因此，体内发射源对器官形成的剂量必须使用模型进行估算，风险因素主要从关于外部穿透辐射的研究推演而来。在这些情形下，非常需要通过取得具体放射性核素所致体内辐射照射人口实际观察数据来验证所依据的设想。

53. 一些国家提出对氚和铀的放射性同位素产生的适当剂量进行估算，并认识其相应的健康影响，为此，科学委员会审查了关于这些放射性核素的相关资料。两份科学附件提供了委员会在此阐述的结论的理论依据。

54. 氚(^3H)是氢的一个放射性同位素，仅仅通过发射低能 β 粒子衰变。氚可以是天然发生的，主要通过宇宙射线粒子与上层大气层之间的互动；也可以是人为发生的，例如运作核反应堆和其他工业装置、作为生物医学研究中使用的物质，以及在过去，还作为各种消费产品中使用的成分。预期氚在未来将大规模用于聚变反应堆。在环境和工作场所中，遇到的氚主要是液态或气态的氚化水。环境和食物链迁移值得进一步研究的一个方面是氚在食物的有机成分中的积累，也称作有机氚。

55. 铀是一种天然发生的元素，普遍分布在环境中。铀有三种天然发生的放射性同位素： ^{234}U 、 ^{235}U 和 ^{238}U 。这些同位素存在于岩石和土壤中，因而存在于人类的饮食中。这些同位素主要以发射 α 粒子的方式衰变，其半衰期非常漫长。工作人员受到铀在体内的照射主要是采矿活动及其用作核燃料的结果。在日常生活中，人们接触的铀主要来自饮用水和食物。人们已经对军事人员和公众受到弹药中使用的贫铀（含有较低比例的 ^{235}U 的同位素混合物）辐射照射表示关切，例如，大会关于使用贫铀武器弹药的影响的第 69/57 号决议。

56. 外部辐射来源照射造成的人体器官内的吸收剂量，是使用人体解剖模型计算的，通常称作人体模型，但估算体内发射源的剂量则还要求使用生物动能模型，这些模型描述放射性核素主要通过吸入或摄入进入体内后的状态特性。这种模型考虑吸入的微粒和气体在呼吸道的沉积和摄入的放射性核素在食道中的通过状况。模型还表现放射性核素随后从血液向人体器官和组织的扩散、在这些沉积处的留存及其分泌排泄。估算个别元素及其放射性同位素时所使用的模型的可靠性，取决于可以得到的实验数据和人体数据的质量。

57. 对于氚来说，已有氚化水形态的估算模型，表现整个人体器官和组织中按其含水量划分的分布状况。而各种形态的有机氚和其他氚化合物，包括氨基酸在内，可用于建造其状态特性适当模型的信息较少，其中一些化合物涉及 DNA 和相关蛋白质的合成。铀的吸收则部分取决于吸入的还是摄入的，并且根据铀的物理和化学形式而有巨大的差别。血液中吸收的铀主要积累在骨骼中，在迅速大量排尿时也有一些留存在肾脏中。

58. 不同类型的辐射造成癌症和其他健康影响的效能各不相同。两大类别的辐射是光子和带电粒子，如电子和 α 粒子。一些类型的带电粒子每单位吸收剂量造成癌症的结果，通常比穿透的光子效率更高。对这种差异的评估在很大程度上依赖关于其相对生物效率的实验数据，相对生物效率的定义是某一参照辐射的吸收剂量相对于为产生同样生物效应所需某一检测辐射吸收剂量的比率。

59. 关于氚 β 粒子的放射，有大量的相对生物效率研究文献。一系列生物终端点的相对生物效率值从大约等量到数倍于伽马射线和 X 射线。然而，关于哺乳动物的相关研究太少，限制了得出致癌结论的能力。估算铀同位素排放

的 α 粒子的相对生物效率值，可使用的资料有限。然而， α 粒子的相对生物效率值取决于粒子的能量、范围和能量沿着短通道的密集沉积，相对生物效率值将在很大程度上独立于相关的放射性核素，除非该放射性核素决定体内组织的辐射排放来源。 α 粒子报告的典型相对生物效率值，相对于伽马射线或 X 射线而言，对于终端点肝癌和肺癌大约为 10，白血病时的相对值较低些。

60. 虽然铀在动物体内导致肿瘤的效应可能与 α 粒子排放造成的放射性毒性相关，但一些效应显然与铀物种的化学毒性相关联，尤其是在肾脏内。化学毒性是确定目前饮用水铀的可接受水平的限制因素，

61. 对可能受到氡照射的工作人员和公众进行了一些流行病学研究。但是，迄今为止这些研究均无详实的资料显示受照射人群的癌症频率增加可能是氡的辐射照射的原因所致。关于核工作人员的流行病学研究表明，铀照射与肺癌发生率之间的联系较弱，而数据不足以确凿证明某种因果关系。

62. 委员会审议了军用弹药中使用贫铀的健康影响研究。在军事人员或公众中没有发现与接触贫铀相关联的具有临床意义的病理状况。鉴于测量或评估的受照射水平低，所以这与预期的情况相一致。

63. 委员会认识到，需要进行研究和审查，以评估体内受照射的影响。需要进一步开展工作，认识体内组织和细胞内发射源所致不均匀剂量相对于外部接触穿透辐射后产生的均匀剂量的相关影响。子宫内胎儿和新生儿发育期间受照射量和机体组织敏感性变化的复杂性也应是进一步研究的一个重点。

附录一

出席联合国原子辐射影响问题科学委员会第五十七至六十三届会议的
各国代表团成员

阿根廷	A. J. González (代表), A. Canoba, P. Carretto, M. di Giorgio, M. G. Ermacora
澳大利亚	C.-M. Larsson (代表), C. Baggoley, M. Grzechnik, G. Hirth, P. Johnston, S. B. Solomon, R. Tinker
白俄罗斯	A. Stazharau (代表), J. Kenigsberg (代表), A. Nikalayenka, A. Rozhko, V. Ternov, N. Vlasova
比利时	H. Vanmarcke (代表), S. Baatout, H. Bijwaard, H. Bosmans, G. Eggermont, H. Engels, F. Jamar, L. Mullenders, H. Slaper, P. Smeesters, A. Wambersie, P. Willems
巴西	J. G. Hunt (代表), D. R. Melo (代表), M. Nogueira Martins (代表), D. de Souza Santos, L. Holanda Sadler Veiga, M. C. Lourenço, E. Rochedo
加拿大	P. Thompson (代表), N. E. Gentner (代表), B. Pieterse (代表), C. Purvis (代表), D. Boreham, K. Bundy, D. B. Chambers, J. Chen, P. Demers, S. Hamlat, R. Lane, C. Lavoie, E. Waller, D. Whillans
中国	Pan Z. (代表), Chen Y., Dong L., Du Y., Gao H., Li F., Lin X., Liu J., Liu S., Liu Y., Pan S., Qin Q., Song G., Su X., Sun Q., Wang Y., Xuan Y., Yang H., Yang X., Zhang W., Zhou P., Zhu M.
埃及	W. M. Badawy (代表), T. S. El-Din Ahmed Ghazey (代表), M.A.M. Gomaa (代表), T. Morsi
芬兰	S. Salomaa (代表), A. Auvinen, R. Bly, E. Salminen
法国	L. Lebaron-Jacobs (代表), A. Rannou (代表), E. Ansoborlo, J.-M. Bordy, M. Bourguignon, I. Clairand, I. Dublineau Naud, A. Flury-Hérard, J.-R. Jourdain, R. Maximilien, F. Ménétrier, E. Quémeneur, M. Tirmarche
德国	P. Jacob (代表), W. Weiss (代表), S. Baechler, A. Böttger, A. A. Friedl, K. Gehrcke, T. Jung, G. Kirchner, J. Kopp, R. Michel, W.-U. Müller, W. Rühm, H. Zeeb
印度	R. A. Badwe (代表), S. K. Apte (代表), K. S. Pradeepkumar (代表), K. B. Sainis (代表), B. Das, P. C. Kesavan, Y. S. Mayya
印度尼西亚	E. Hiswara (代表), Z. Alatas (代表), S. Widodo (代表), G. B. Prajogi, G. Witono, B. Zulkarnaen
日本	Y. Yonekura (代表), K. Akahane, M. Akashi, S. Akiba, T. Aono, N. Ban, M. Chino, H. Fujita, K. Kodama, M. Kowatari, M. Nakano, O. Niwa, K. Ozasa, S. Saigusa, K. Sakai, G. Suzuki, M.

	Takahashi, T. Takahashi, Y. Yamada, H. Yamagishi, H. Yasuda
墨西哥	J. Aguirre Gómez (代表)
巴基斯坦	Z. A. Baig (代表), M. Ali (代表), R. Ali
秘鲁	A. Lachos Dávila (代表), L. V. Pinillos Ashton (代表), B. M. García Gutiérrez
波兰	M. Waligórski (代表), L. Dobrzyński, M. Janiak, M. Kruszewski
大韩民国	B. S. Lee (代表), M. Baek, K.-W. Cho (代表), K.-H. Do, J.-I. Kim, K. P. Kim, S. H. Kim, D.-K. Keum, J. K. Lee, J. E. Lee, S. H. Na (代表), S. Y. Nam, S. W. Seo
俄罗斯联邦	A. Akleyev (代表), M. Kiselev (代表), R. Alexakhin, T. Azizova, S. Geraskin, V. Ivanov, N. Koshurnikova, A. Koterov, A. Kryshch, I. Kryshch, B. Lobach, S. Mikheenko, O. Pavlovsky, A. Rachkov, S. Romanov, A. Samoylov, A. Sazhin, S. Shinkarev
斯洛伐克	L. Auxtová (代表), E. Bédi (代表), M. Zemanová (代表), M. Chorváth, A. Ďurecová, V. Jurina, Ž. Kantová, K. Petrová, L. Tomášek, I. Zachariášová
西班牙	M. J. Muñoz González (代表), D. Cancio, M. T. Macías Domínguez, J. C. Mora Cañadas, B. Robles Atienza, E. Vañó Carruana
苏丹	N. A. Ahmed (代表), I. Salih Mohamed Musa (代表), E.A.E. Ali (代表), A. E. Elgaylani (代表), M.A.H. Eltayeb (代表), I. I. Suliman
瑞典	I. Lund (代表), L. Hubbard (代表), L. Moberg (代表), A. Almén, E. Forssell-Aronsson, L. Gedda, J. Johansson Barck-Holst, J. Lillhök, A. Wojcik
乌克兰	D. Bazyka (代表)
大不列颠及北爱尔兰 联合王国	S. Bouffler (代表), J. Cooper (代表), J. Harrison (代表), A. Bexon, J. Simmonds, R. Wakeford, W. Zhang
美利坚合众国	R. J. Preston (代表), F. A. Mettler Jr. (代表), A. Ansari, L. R. Anspaugh, J. D. Boice Jr., W. Bolch, H. Grogan, N. H. Harley, E. V. Holahan Jr., B. A. Napier, D. Pawel, G. E. Woloschak

附录二

与联合国原子辐射影响问题科学委员会合作编写委员会 2016 年
科学报告的科学工作人员和顾问

L. Anspaugh
B. Lauritzen
M. Balonov
I. Dublineau
H. Grogan
L. Hubbard
B. Lambert
C. Robinson
E. Rochedo
R. Shore
J. Simmonds
R. Wakeford

联合国原子辐射影响问题科学委员会秘书处

M. J. Crick
F. Shannoun