



和平利用外层空间委员会
科学和技术小组委员会
第五十七届会议
2020年2月3日至14日，维也纳
临时议程*项目15
外层空间使用核动力源

浅析《关于在外层空间使用核动力源的原则》如何促进空间核动力源应用的安全性

由外层空间使用核动力源工作组主席编写

导言和背景

1. 本文件由和平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会外层空间使用核动力源工作组主席与法国代表团和欧洲航天局的代表合作编写。
2. 1978年1月24日苏联“宇宙954号”航天器重返大气层时残片散落在加拿大西北地区、艾伯塔省和萨斯喀彻温省的部分地区，对加拿大西北地区造成了放射性损害，因此随后开始了有关《关于在外层空间使用核动力源的原则》的谈判。加拿大和苏维埃社会主义共和国联盟在讨论解决办法期间遇到的难题和提出的问题构成了后来形成的大部分《原则》的结构框架原型。
3. 1982-1990年期间关于《原则》的谈判和讨论越来越侧重于就有关在外层空间安全使用核动力源的原则3寻求一种折衷办法，这已成为加拿大在谈判期间所提要求的核心目标。和平利用外层空间委员会最终于1992年6月26日以协商一致方式通过了上述《原则》。随后，大会于1992年12月14日未经表决通过了题为“《关于在外层空间使用核动力源的原则》”的第47/68号决议。
4. 《原则》中载有一项“审查和修订”条款（原则11），反映了确认需要根据有时候是日新月异的技术能力进行调整。这条审查和修订原则最初只针对与不断变化的技术能力和知识关联最紧密的原则3，但后来扩展到涵盖其他原则。为努力就《原

* A/AC.105/C.1/L.383。



则》达成一致，委员会同意把审查和修订条款中所列的重开对《原则》的修订讨论时间从间隔十年缩短至仅间隔两年。

5. 2003 年，委员会科学和技术小组委员会决定拟定一个关于外层空间核动力源应用安全的各项目标和建议国际技术性框架。该举措最终成果是 2009 年 5 月通过了《外层空间核动力源应用安全框架》。《安全框架》不是对上述《原则》的修订，也不是对其的补充、更改或解释。

6. 与《原则》相对比，《安全框架》专门讨论空间核动力源应用安全问题。得益于有效的国际合作，《安全框架》的草拟工作最终形成了一份侧重于空间核动力源应用一般安全要求的文件，而非针对不断变化的技术能力提出具体的解决方案。

范围

7. 在此背景下，本文件分析了《原则》如何有助于确保空间核动力源应用的安全性，并在适当情况下与《安全框架》所载规定进行对比。

8. 本文所作分析仅讨论《原则》对空间核动力源应用安全性的促进作用，不考虑《原则》的任何其他潜在益处。

对空间核动力源应用设计和开发阶段确保安全性的促进作用

9. 《原则》序言第 6 段申明，《原则》适用于专门在空间物体上为非推进目的发电的、其特性大体上与《原则》通过时所使用的系统和执行的任务相似的外层空间核动力源。因此，《原则》不适用于专门用于推进目的或不具有与 1992 年所用系统和所执行任务相似特性的空间核动力源应用设计，因而可被视为无助于确保具有上述特点的系统或任务的安全性。

10. 《原则》中的原则 1 间接涉及空间核动力源应用的安全，该条原则申明，作为空间法律体系的一部分，《原则》应被视为特别法，是对一般国际法的补充，以便妥当规范和平利用外层空间的活动。因此，当在外层空间开展涉及核动力源应用的活动时，有必要遵守相关国际公约，例如在国际原子能机构主持下起草的公约，包括《维也纳核损害民事责任公约》、《及早通报核事故公约》、《核事故或辐射紧急情况援助公约》、《核材料和核设施实物保护公约》、《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》和《核损害补充赔偿公约》。因此，原则 1 可被视为通过上述国际公约的条款而间接规定了空间核动力源应用的地面设计和开发阶段相关安全条款。应当指出，这些国际公约的适用性问题也载于《安全框架》之中。

11. 《原则》中的原则 2 涉及所用术语，例如“发射国”、“可预见的”和“深入防范”等。需要结合自 1992 年以来思考和认识的演变与进步来考虑这些术语。“可预见的”和“一切可能的”两词仅限用于其实际发生概率对安全分析来说是可信的事件或情况，而且这两个术语不是绝对的。并非一定要求配备冗余的安全系统来确保每一部件都实现“深入防范”，但是“深入防范”故障的发生则要求设备的设计和运作形式能够防止发生故障或减轻其影响。与《安全框架》不同，《原则》没有对“空间核动力源”一词做出任何定义。鉴于自 1992 年以来所用术语方面的变化和发展（这一点在《安全框架》中有所体现），《原则》中的原则 2 被认为无助于在空间核动力源应用的设计和开发阶段确保应用的安全。

12. 《原则》中的原则 3 列出了“尽量减少空间放射性物质的数量”这一目标，并明确说明核动力源在外层空间的使用应限于用非核动力源无法合理执行的航天任务。这可被视为类似于正当理由要求，该理由已成为国际辐射防护委员会建议的基础。与原则 3 的前导段相比，《安全框架》对此做出了更全面、措辞更有力的规定。原则 3 的其余部分由三项实质性部分构成，分别涉及放射性防护和核安全的一般目标、核反应堆和放射性同位素发电机。

13. 原则 3 的第 1 部分列出了与核安全相关的四个一般目标：(a)段指出国家应力求保护个人、人口和生物圈免受辐射危害，并规定在设计和使用空间核动力源时普遍需要考虑安全问题。(b)段和(c)段界定了使用空间核动力源时可接受的安全水平。(d)段述及空间核动力源安全系统的设计及可靠性。所有四个目标均与空间核动力源应用的设计和开发阶段直接相关。自 1992 年以来，关于放射性防护和核安全的一般目标发生了很大变化，原则 3 中的规定和数值限制已经过时。《原则》的案文指出“本段提及的准则今后若有修改，应尽快适用”，即体现了这一点。如果引用这些过时的规定和要求，而不是遵循《安全框架》中采取的现代方法，可能会在空间核动力源应用的设计和开发过程中损及安全性。

14. 原则 3 的规定旨在保护个人、人口和生物圈，以及避免显著地污染外层空间。《安全框架》的范围仅限于保护地球生物圈内的人与环境，并特别排除了对其他天体环境的保护和对外层空间中地球生物圈以外独特条件下人员的保护，认为尚无足够的科学数据可为纳入此两类保护提供良好的技术基础。因此可以说，就地球生物圈以外的人类安全和外层空间的潜在放射性污染而言，《原则》的范围更广泛，有助于保证空间核动力源应用的安全性。

15. 原则 3 的第 2 部分阐述了核反应堆，载列了有关涉及核反应堆的空间核动力源应用设计阶段的具体规定。相关规定包括要求只能使用高浓缩铀 235 燃料，以及涉及轨道设计的各种要求。这些规定已不再反映最新技术水平。在过去二十年中，地面核技术部门已经完全不再使用高浓缩铀 235 作为民用核应用的燃料，而且自 1992 年以来，人们对潜在替代燃料范围的认识有了提升。此外，科学和技术小组委员会不太可能继续支持曾经的规定：核反应堆可用于低地球轨道，条件是航天任务执行完毕后核反应堆须放置在足够高的轨道上。

16. 原则 3 的第 3 部分涉及放射性同位素发电机，也载列了与空间核动力源应用的设计和开发阶段相关的规定。其中规定此类发电机应配备封闭系统，该系统的设计和构造应保证在再入大气层时承受热力和空气动力，并且一旦发生撞击，封闭系统和同位素的物理形态应确保没有放射性物质散入环境中。这项原则以重返大气层为重点，反映了 1992 年的最新技术水平，但自 1992 年以来，科学和技术理念已表明，在设计封闭系统时，重返大气层不一定构成需要考虑的最严苛条件。因此，这一部分有助于确保安全性，但其对重返大气层的侧重可能会在空间核动力源应用的设计过程中误导工程师。

17. 《原则》中的原则 4 与空间核动力源应用设计和开发阶段的安全性相关，因为必要的安全评价必须于发射之前在这两个阶段进行。原则 4 具体规定，对空间物体拥有管辖权和控制权的国家有义务开展安全评价，这一明确说明可避免飞行任务设计者们误解，因此有助于确保空间核动力源应用的安全性。《安全框架》也以更详尽和全面的方式载列了在发射空间核动力源应用之前进行安全评价的要求。但与《原则》不同的是，《安全框架》不要求在发射前公开安全评价结果。《原则》的这

一要求及其恳请的附加检查可被视为有助于在空间核动力源应用设计和开发阶段确保安全性。

18. 原则 8 和 9 的规定界定了各国对涉及在外层空间使用核动力源的活动应承担的国际责任，包括对由非政府实体开展的此类空间活动承担国际责任，以及对事故造成的损害进行赔偿的责任，这只有在其重申《关于各国探索和利用包括月球和其他天体在内外层空间活动的原则条约》和《外空物体所造成损害之国际责任公约》的条款的情况下，才有助于在载有核动力源的空间飞行任务设计和开发阶段确保此类任务的安全性，从而激励所有相关国家和政府间组织确保遵守这些《原则》。

对空间核动力源应用实施和运行阶段确保安全性的促进作用

19. 与上一节所作分析相类似，《原则》中的原则 1 可被视为间接做出了空间核动力源应用实施和运行阶段的相关安全规定。《安全框架》也载列了适用相关国际公约条款的要求。

20. 《原则》中的原则 2 无助于在空间核动力源应用的实施和运行阶段确保其安全性。

21. 《原则》中的原则 3 载有与空间核动力源应用实施和运行期间的安全性直接相关的规定。其中具体规定，核反应堆只有在达到工作轨道之后方可进入临界状态，并要求应有一个极可靠的操作系统，以确保有效地和有控制地处置在足够高轨道以下的航天器反应堆。

22. 《原则》中的原则 4 要求在发射之前进行彻底和全面的安全评价。这一安全评价必须涉及航天任务的所有有关阶段，并须顾及所涉一切系统，包括发射手段、空间平台、核动力源及其设备，以及地面与空间之间的控制和通信手段。空间核动力源应用的运行要求和规则应充分考虑到安全评价。因此，原则 4 有助于在空间核动力源应用的实施和运行阶段确保其安全性。

23. 《原则》中的原则 5（重返时的通知）与空间核动力源应用实施和运行期间的安全性相关。其中规定各国在空间物体发生故障并产生放射性物质重返地球的危险时，及时通知有关国家，以及有义务尽可能频密地更新有关上述危险的资料，以便国际社会有充分时间计划任何被认为是必要的国家应变措施，这些义务可被视为向减轻潜在事故后果的行动提供支助，从而促进确保空间核动力源应用的安全性。《安全框架》中的相关规定载于第 5.4 节(f)项（减轻事故后果），其中要求汇编事故相关信息，以便向有关政府、国际组织和非政府实体以及向广大公众公布，以此作为及时为减轻事故后果的活动提供支助的一部分。

24. 《原则》中的原则 6 和 7 与原则 5 密切相关，内容涉及就载有核动力源的航天器重返大气层的事故通报信息和提供协助。因此，原则 6 和 7 有助于确保空间核动力源应用的安全性；这些规定中的安全相关内容也载于《安全框架》之中。

对空间核动力源应用使用期结束后确保安全性的促进作用

25. 《原则》中只有原则 3 所载规定涉及空间核动力源应用使用期结束后的安全问题，其中把所携带放射性同位素的半衰期与核动力源应用使用期结束后的轨道寿命

定量联系起来，但忽略了空间碎片及其在轨道上的密度分布问题。原则 3 反复提到“足够高的轨道”和“高轨道”两个词，但没有明确说明如何解释这些用语。“足够高的轨道”的定义与放射性衰变相关，用以要求轨道寿命应足够长，足以使裂变产物衰变到大约为锕系元素的活性范围。在具体涉及放射性同位素动力源时，原则 3 表示“在任何情况下都须作出最终的处理”，但没有进一步解释这句话的含义。

26. 这些规定略显特案特办的特性，缺乏连贯的统一性。《安全框架》在空间核动力源应用使用期结束后的安全性问题上采用了更为通用的办法，这一办法被认为更加与时俱进，对空间核动力源领域从业人员的帮助更大。