



和平利用外层空间委员会
科学和技术小组委员会
第五十八届会议
2021年2月1日至12日，维也纳

最新的浅析《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

由意大利、法国、大不列颠及北爱尔兰联合王国和欧洲航天局编写

导言和背景

1. 本文件以 [A/AC.105/C.1/L.378](#) 号文件所载初次“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”为基础。本更新文件考虑到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在外层空间使用核动力源问题工作组内收到的评论意见和就 [A/AC.105/C.1/L.378](#) 号文件进行的讨论。
2. 1978年1月24日，苏联“宇宙954号”航天器再入大气层在加拿大西北地区上空造成放射性损害，在此过程中，碎片散落在西北地区、艾伯塔省和萨斯喀彻温省的部分地区，事件发生后，就《关于在外层空间使用核动力源的原则》进行了谈判。加拿大和苏维埃社会主义共和国联盟之间关于解决办法进行讨论时所遇到的问题和提出的疑问成为这套《原则》大多数内容结构的蓝图。
3. 1982年至1990年期间关于《原则》的谈判和讨论日益侧重于就有关安全使用核动力源的原则3寻求折衷。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这套《原则》。随后，1992年12月14日，大会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），反映了人们承认需要适应不断变化的技术能力。审查和修订原则最初只是针对原则3提出的，原则3是一条最直接具体关系到技术能力和知识变化的原则，但“审查和修订”条款后来扩大到涵盖其他原则。为了就《原则》达成共识，委员会同意把审查和修订条款中包括的重新开放修订《原则》的间隔期限从10年缩短到仅2年。尽管有这项条款，但委员会自1992年以来一直没有商定重新开放审查或修订《原则》。



5. 2003 年，委员会科学和技术小组委员会决定就外层空间核动力源应用安全目标和建议的国际技术性框架开展工作。这一举措最终于 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《原则》的修订，也不是补充、更改或解释《原则》。

6. 与《原则》相对照，《安全框架》完全致力于空间核动力源应用安全。受益于与国际原子能机构（原子能机构）的有效合作，以及所有在外层空间使用核动力源方面富有经验的委员会和原子能机构成员国，还有考虑或开始参与空间核动力源应用的会员国和政府间国际组织的积极参与，《安全框架》的起草工作产生了一份文件，完全侧重于对空间核动力源应用的一般安全要求，而不是与技术能力变化有关的具体解决办法。

范围

7. 在此背景下，本文件分析了《原则》如何有助于空间核动力源应用的安全，并酌情与《安全框架》所载的规定进行了比较。

8. 分析只涉及《原则》对空间核动力源应用安全的贡献，不考虑《原则》的任何其他潜在益处。

增进空间核动力源应用设计和开发期间的安全

9. 《原则》序言部分第六段规定，《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》通过时所执行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在特性上与 1992 年使用的系统和执行的飞行任务不可比的空间核动力源应用的设计，因而可被视为无助于具有这种特性的系统或飞行任务的安全。“大体相似”一词的主观性有可能导致混乱。

10. 《原则》中的原则 1 述及核动力源应用的安全问题，规定“涉及在外层空间使用核动力源的活动应按照国际法进行”。这些相关的国际公约包括在原子能机构主持下起草的公约（例如，《关于核损害民事责任的维也纳公约》、《及早通报核事故公约》、《核事故或辐射紧急情况援助公约》、《核材料及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规定而间接规定了空间核动力源应用的地面设计和开发阶段的相关安全规定。这些国际公约的适用性也包括在《安全框架》中。

11. 《原则》中的原则 2 涉及使用“发射国”、“可预见的”和“深入防范”等术语。这些术语需要结合 1992 年以来思考和理解的演变和进步来考虑。术语“可预见的”和“一切可能的”仅限于在发生概率上可信的事件或情形，以进行安全分析，这些术语并非绝对的。不一定需要用于确保每个部件实现“深入防范”的冗余安全系统，尽管针对故障的“深入防范”确实要求设备的设计和能够防止或减轻故障的影响。与《安全框架》不同，《原则》不包括“空间核动力源”一词的任何定义。鉴于《安全框架》所反映的 1992 年以来术语使用方面的变化和发展，《原则》的原则 2 被认为无助于空间核动力源应用在设计 and 开发阶段的安全。

12. 《原则》中的原则 3 提出了“尽量减少空间放射性材料数量”的目标，并具体规定，在外层空间使用核动力源应限于不能以合理方式由非核能源操作的空间飞行任务。这可被视为类似于已成为国际辐射防护委员会各项建议基础的理由要求。《安全框架》比原则 3 的导言段更全面、更有力地阐述了这一点。原则 3 的其余部分随后分为三个实质性部分，分别涉及辐射防护及核安全、核反应堆和放射性同位素发电机的一般目标。

13. 原则 3 第 1 节列出了与核安全有关的四个一般目标：(a)款指出，各国应保护个人、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到安全问题。(b)款和(c)款界定了使用空间核动力源的可接受安全水平。(d)款涉及空间核动力源安全系统的设计和可靠性。所有这四个目标在空间核动力源应用的设计和开发阶段都具有直接关系。由于辐射防护及核安全的一般目标自 1992 年以来发生了很大变化，原则 3 中的提法和数字限制现已过时。《原则》的案文在“本段提及的准则今后若有修改，应尽快适用”这句话中反映了这一点。提及这些过时的规定和要求而不是遵循《安全框架》中采取的现代办法，可能会对空间核动力源应用设计和开发期间的安全产生负面影响。

14. 原则 3 的规定旨在保护个人、人口和生物圈，并避免对外层空间的严重污染。《安全框架》的范围仅限于保护地球生物圈中的人和生物圈，特别排除了对其他天体环境的保护和对空间中和地球生物圈以外独特条件下的人员的保护，指称没有足够的科学数据为列入这种保护提供技术上合理的依据。因此，可以说，就地球生物圈以外的人员安全和外层空间的潜在放射性污染而言，《原则》范围的扩大有助于空间核动力源应用的安全。

15. 原则 3 第 2 节述及核反应堆，载有与涉及核反应堆空间核动力源应用的设计阶段有关的具体规定。这些规定包括要求仅使用高度浓缩的铀 235 作为燃料，以及与轨道设计有关的各种要求。这些规定已不再反映现有最新技术水平。过去二十年来，地面核技术部门已完全不再使用高浓缩铀 235 作为民用核应用的燃料，自 1992 年以来，对潜在替代燃料范围的认识也已加深。此外，科学和技术小组委员会不太可能仍然支持关于核反应堆如果在其飞行任务运行阶段之后存放在足够高轨道上就可以在低地球轨道上运行的规定。提及这种过时的规定可能促成空间核动力源应用的设计和开发方面陷入次优等级安全。

16. 原则 3 第 3 节述及放射性同位素发电机，还载有与空间核动力源应用的设计和开发阶段有关的规定。规定要求这种发电机包括一个设计建造的封闭系统，承受再入大气层时的热力和空气动力，并在一旦发生撞击时，封闭系统和同位素的物理形态必须确保没有放射性物质散入环境。该原则侧重于再入大气层，反映了 1992 年当时最新技术水平，然而，自 1992 年以来的科学和技术认知表明，再入大气层不一定构成在设计封闭系统时应考虑的一些最严格条件。因此，尽管对再入大气层的重点关注可能在空间核动力源应用的设计中使工程师们受到误导，但本节有助于增强安全性。

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有关，因为必须在发射之前的这些阶段进行必要的安全评估。原则 4 具体规定安全评估是对空间物体拥有管辖权和控制权的国家的义务，这为飞行任务设计者提供了明确性，因此有助于空间核动力源应用的安全。在发射空间核动力源应用之前进行安全评估的要求也以更详细和更彻底的方式包括在《安全框架》中。然而，与《原则》相比，《安

全框架》并不要求在发射前公布安全评估结果。《原则》的这项要求及其引起的进一步审查可被视为有助于空间核动力源应用设计和开发期间的安全。

18. 原则 8 和原则 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所负的国际责任，包括对非政府实体开展的这些活动所负的国际责任，以及对涉及事故损害的赔偿责任，这些规定有助于空间核动力源飞行任务在设计和开发阶段的安全，毕竟其中重申了《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》的规定，从而激励所有参与的国家 and 政府间组织确保遵守《原则》。

19. 总之，《原则》有助于核动力源应用设计和开发期间的安全。超越《安全框架》所载的指导，《原则》的主要贡献是进行与发射前公布安全评估结果的要求相关联的进一步审查，以及《原则》关于地球生物圈以外人员安全和外层空间潜在放射性污染方面更广泛的范围。然而，《原则》中过时的规定和要求可能对核动力源应用设计和开发期间的安全产生负面影响。

增进空间核动力源应用实施和运行期间的安全

20. 与上一节所作分析相类似，《原则》中的原则 1 可被视为间接规定了空间核动力源应用在实施和运行阶段的相关安全规定。关于适用有关国际公约规定的要求也包括在《安全框架》中。

21. 《原则》中的原则 2 无助于空间核动力源应用在实施和运行期间的安全。

22. 《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直接相关的规定。其中具体规定，核反应堆只有在到达其工作轨道后才能进入临界状态，并要求有一个极其可靠的操作系统，以确保在足够高的轨道以下对航天器的反应堆进行有效和有控制的处置。

23. 《原则》中的原则 4 要求在发射前进行彻底和全面的安全评估。安全评估必须涵盖飞行任务的所有相关阶段，必须针对所有涉及的系统，包括发射工具、空间平台、核动力源及其设备，以及地面和空间之间的控制和通信手段。空间核动力源应用的操作要求和规则应充分考虑到安全评估。因此，原则 4 有助于空间核动力源应用在实施和运行期间的安全。在发射核动力源应用之前进行安全评估的要求也以更详细和更彻底的方式包括在《安全框架》中。

24. 《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有关。要求有义务在空间物体发生故障并构成放射性材料重返地球的风险时及时通知有关国家，以及尽可能频繁更新关于这一风险的信息，以使国际社会有足够的时间规划任何认为必要的国家对策，这些可被视为通过支持采取行动减轻潜在事故的后果而有助于空间核动力源应用的安全。《安全框架》中的相关规定载于第 5.4 节(f)分段（减轻事故后果），其中要求拟备关于事故的相关信息分发给有关政府、国际组织和非政府实体以及一般公众，作为及时支持减轻事故后果的诸项活动的一部分。

25. 《原则》中的原则 6 和原则 7 与原则 5 密切相关，涉及与含有核动力源的航天器重返时事故有关的信息共享和援助。因此，原则 6 和原则 7 有助于空间核动力源应用的安全；其规定中与安全有关的方面也包括在《安全框架》中。

26. 总之，《原则》有助于在实施和运作核动力源应用期间的安全。其主要贡献源自于一项具体要求，即运作空间核动力源应用应以全面的安全评估为基础。这一点以更全面和总体规定的方式涵盖在《安全框架》中。

增进空间核动力源应用在寿终后的安全

27. 空间核动力源应用在寿终后的安全问题只在《原则》的原则 3 所载规定中提及，其中将航天器所载放射性同位素的半衰期在数值长度上与核动力源应用在寿终后的轨道寿命联系起来，但忽略了空间碎片及其在轨道上的密度分布问题。原则 3 一再提及“足够高的轨道”和“高轨道”这两个术语，但没有明确说明应如何解释。“足够高的轨道”的定义与放射性衰变有关，要求轨道寿命足够长，以允许裂变产物充分衰变到近似钢类元素的放射性活性。特别是关于放射性同位素动力源，原则 3 规定，“在任何情况下，最终处置是必要的”，但没有进一步解释这句话的含义。

28. 总之，《原则》有助于空间核动力源应用在寿终后的安全。然而，相关规定缺乏一致性，而《安全框架》采用更通用的空间核动力源应用寿终后安全办法，更加符合最新情况，对空间核动力源从业人员更有帮助。