

3 February 2012

Chinese and English only*

和平利用外层空间委员会
科学和技术小组委员会
第四十九届会议
2012年2月6日至17日，维也纳
临时议程**项目 11
在外层空间使用核动力源

空间核动力源的安全问题探讨

由中国提交***

1. 引言

中国自 2007 年 10 月成功发射嫦娥一号月球探测器起，逐步加快了深空探测的步伐，在探测距离和探测形式等方式上也开始有了新的变化。计划 2013 年发射的月球探测器将携带着陆器和巡视器进行月球着陆和月面巡视。随着空间技术的不断发展，在条件成熟的前提下，我们将逐步开展深远空间的探测工作，拓展人类对宇宙空间的认知范围。

深远空间探测面临的首要问题是航天器的能源问题。对于远地行星探测，随着距离的增加，太阳常数显著减小，使太阳能电源技术几乎不具有任务支持能力。为了解决上述问题，引入核电源是当前技术条件下的必然选择。目前空间核电源主要使用同位素电池和反应堆电源，选用的核素为 ^{238}Pu 和 ^{235}U ，前者本身具有核辐射，后者反应产物具有核辐射，为了保护人类与环境，有必要对其安全问题进行研究。

* 本文件还经编辑后以联合国所有正式语文刊载于 A/AC.105/C.1/L.319 号文件，但无图像。

** A/AC.105/C.1/L.310。

*** 本文件编写者为朱安文（中国航天科技集团公司）和赵守智（中国核工业集团公司）。



国际上在空间开发和利用核动力已有 40 多年的历史，空间核动力在近地轨道和深远空间都得到了应用。在深空探测领域中，空间核动力是人类实现对太阳系木星以远的天体进行探测的关键设备。同时，无论是在地面还是在空间，空间核动力源都需要将安全风险降到最低。

鉴于此，联合国外空司和国际原子能机构于 2009 年共同发布了《外太空空间核动力源应用的安全框架》(以下简称《安全框架》)文件，作为国际上外太空使用空间核动力源的安全防护指导性条文，为各国发展空间核动力提供安全方面的管理和技术建议。

2. 空间核动力源的使用情况

中国正在实施的探月工程软着陆任务中，着陆器和巡视器均应用了基于 Pu238 的同位素热源，用于着陆器和巡视器在月夜温度的维持。

3. 空间核动力源的应用前景分析

目前可用于航天器的能源形式主要是化学能、太阳能和核能，其中核能主要包括同位素电源和反应堆电源。太阳能和核能装置的展开尺寸和构型将直接影响到航天器的系统尺寸和动力学特性。选择合适的能源形式，将有助于缩小航天器的总体规模，降低姿态控制、温度控制和结构机构的设计难度。

早期的返回式对地观测卫星一般选用化学能，在轨运行时间不超过 1 个月。

目前最常用的空间能源形式为太阳能。使用太阳电池片，转换效率对于输出功率不大的太阳能电源系统，应用非常成熟，其质量功率比和面积功率比都已经达到比较高的技术水平。

太阳能电源系统，随着功率需求的增加，需要的标准太阳翼不断增加，其锁定展开机构的技术复杂程度也不断增加，为保证其刚度还需要进行专门的结构加强。结构加强引起的能源系统总质量变化，呈现非线性快速增加的趋势。当航天器的功率需求达到一定程度时，需要的太阳电源系统的总质量和尺寸要求，将对飞行任务和航天器的系统设计造成非常大的技术困难。此时寻找新的能源形式，提高整个系统的效率成为必然。

随着航天器离太阳的距离越来越大，空间核电源相比太阳能电源的优势越来越明显。分析表明，当离太阳距离达到 5 个天文单位时，太阳能电池组效率将降低到不能接受的水平(理论上此处太阳常数将降低到地球附近参考值的 1/25)。这个现象使人类在向木星及更远的太阳系行星发射航天器时将优先考虑使用空间核电源。

由此可见，木星以远的行星际探测，空间核电源基本上是必然的选择。另外，对于空间，特别是深空探测任务，受自然环境的影响，如月夜等，无法应用太阳能电源且化学能电源不能满足使用要求，则需要选用空间核动力源。

4. 空间核动力源安全的认识

空间核动力源中存在着放射性材料或核燃料，并且可能因由此发生事故而对地球生物圈中的人与环境造成危害，因此，其使用安全性受到公众的广泛关注。

截止目前，世界上发生了多起核安全事故。地面核电站的事故，包括 1979 年的三哩岛(Three Mile Island)事故、1986 年的切尔诺贝利事故、以及 2011 年的福岛事故等地面核事故。空间核反应堆再入大气层事故，包括 1973 年 RORSAT 发射失败导致核动力源坠入日本北部的太平洋，1978 年 COSMOS 卫星再入加拿大西北部的大气层产生放射性碎片散落到约 100,000 平方公里的区域，以及 1983 年 COSMOS 再入大气坠入大西洋等。上述每次事故都成为了公众关心和议论的焦点，引发了公众对核应用安全问题的普遍关注。

核动力源在空间的应用已有 40 多年的历史，其应用范围包括低地轨道的海洋监视卫星，直到对太阳系外缘行星进行探测的航天器。绝大多数航天器都圆满完成了飞行任务，同时满足设计要求，没有对所处的环境造成核辐射污染。可见，这些航天器采取的安全措施是可行而且有效的，可以为后续空间核动力源的应用提供参考。

在可预见的未来时间内，针对远地深空探测等航天飞行任务，核动力源成为解决航天器能源问题的必要技术手段。但是我们必须加强对空间核安全的重视，必须把安全问题作为空间核动力源设计和应用的一个固有部分，贯穿空间核动力源应用的全过程，涵盖空间核动力源、航天器、发射系统、飞行任务设计和飞行管理等。必须从管理和技术上开展核安全防护和故障对策等研究工作，提高安全能力，确定应对措施，完善解决方案，努力降低核动力源使用的安全和事故风险。

5. 对使用空间核动力源安全管理的思考

空间核动力源是支持远地深空探测任务的必不可少的关键技术，该项技术可以为全人类认识宇宙、开发宇宙做出贡献。使用空间核动力源的同时，也有义务采取措施，在最坏的情况下，使人类及其生存环境受到的伤害限制在可接受水平。

为了更好的发展空间核技术，可以借鉴已发射空间核动力源国家的成功经验，吸取相关事故的经验教训，做好空间核安全和辐射防护工作。在政策措施及行政管理方面，在国家层面上应建立空间核动力装置的设计、建造和运行制度，规范空间核行为，发展空间核动力装置的安全和辐射防护技术，分析空间核装置发生故障后的可能后果，进行充分的风险判断并做好相应的故障对策预案，将风险降至可接受水平。

5.1. 安全评估管理工作

空间核动力装置的安全评估工作，将和整个项目一起，在项目立项、方案设计、研制、生产以及发射时开展。在飞行项目的安全性分析中，单独列出核动

力装置的安全防护和应急方案报告，报告作为项目顺利进行的必要评审文件，提交给审查组，获得同意通过后，上报国家相关管理机构批准。只有经过同意和批准，整个项目才能进入下一个研制阶段。

在安全评估标准和规范方面，参照和借鉴国家在相关领域的工作，将空间核动力源的安全标准分为多个部分，涵盖了空间核安全的相关范围。这些空间核动力源的安全标准主要包括辐射安全许可、职业卫生许可、职业健康、人员要求、运输、储存、防护、退役、事故应急等多个方面。

5.2. 空间核动力装置的安全管理

空间核动力装置的安全管理包括核动力装置启动，运行控制，寿命末处置和安全保卫等 4 个部分。

中国空间核动力源的管理职责主要由单机生产厂家负责。在安全管理方面涉及到的核动力研制方、航天器研制方和发射场等部门均承担相应的安全管理工作，并开展相关的安全管理工作。

(1) 核动力装置启动

空间反应堆的正常启动和运行都必须在航天器进入安全轨道后才能启动，在此之前反应堆置于关闭状态。安全轨道包括带核装置的深空探测器，其飞行轨道不会返回再入地球，同时在借力飞行中也不会再入地球的轨道。

(2) 运行控制

空间核动力装置正常运行时，核动力源的辐射释放对航天器的辐射剂量必须满足国家标准要求，并且经过一个特定时期之后对其所处的空间环境不能带来明显的影响。

带核航天器的飞行轨道设计不允许返回再入地球。尽可能提高运载可靠性将带核航天器的意外再入概率降到最低。对于穿过大气层的意外再入，核动力装置要保持基本完好。

(3) 寿命末处置

低地轨道带核航天器寿命终了，将被送入专门的弃置轨道。深空探测带核航天器需要具有明确的安全处置方式。

(4) 安全保卫

空间核动力装置采用一体化设计，以利于安全保卫工作的执行。针对航天器中的核装置，其地面包装箱采取专门设计利于标示，同时在相关装备上采取专门

的标识设计，利于安全保卫和搜寻。在安全保卫措施上，采取严格的手段用于控制和防止核装置及核材料被盗，转移，丢失或者破坏。

5.3. 空间核动力装置安全防护技术和相关工作

在确保不会发生临界安全事故的前提下，提高系统的可靠性，采取必要的核屏蔽措施，保障环境和航天器的安全。

方案设计阶段，在设计的功能性能指标体系中增加核安全的相关要求，并对涉及结果进行总结和评估。

初样阶段，除了完成常规的环境试验以外，针对空间核动力装置，开展专门的安全性试验，包括高量级振动试验，耐热耐烧蚀试验，耐压试验，冲击类试验，腐蚀类试验等。试验结束后，对试验结果进行总结和评估。

正样阶段，随整星一起完成所有的测试和试验项目，同时针对核动力源的核安全性开展必要的测试，并对试验结果进行总结和评估。

结束语

对于空间核动力源的安全问题，我们与《安全框架》有着类似的理解。

对于空间核动力源，我们要格外重视安全和辐射防护技术问题，在设计中考虑并落实空间核动力源的安全问题，在研制过程中实施并验证安全防护手段。而且在我国民用核设施安全风险评估的技术基础上，可以对空间核动力源的安全风险做出比较准确的评估，根据事故预案采取所有可能的措施降低潜在事故的后果。

空间核动力是实现人类走出地球探索宇宙空间不可或缺的关键技术，同时对生物圈环境具有潜在风险。在发展空间核动力时，我们积极支持联合国外空司和国际原子能机构在空间核动力的安全方面的工作，并认为空间核动力源的安全问题是发展空间核动力技术的一个关键问题。

我们呼吁世界各国，加强空间核动力源安全技术研究与合作，共同提升空间核动力源技术的安全和应用水平，消除空间核动力源安全性方面的不确定因素，在享用高新技术带给人类便利的同时，做好人与环境的保护。