



和平利用外层空间委员会

外层空间核动力源应用安全框架

前言

在对电力和热管理具有独特要求和限制的空间飞行任务中，无法使用非核动力源，因而开发了用于外层空间的核动力源并用于空间应用。这些飞行任务包括飞往太阳系边缘的星际飞行任务，由于远离太阳长时间飞行，太阳能电池板不适合作为这些飞行任务的电力源。

按目前的知识和能力，某些空间飞行任务除了以空间核动力源为动力之外别无其他可行的选择，有些空间飞行任务也只有如此才能大大提高其动力。若不使用空间核动力源，一些正在实施的和预计实施的飞行任务将无法进行。过去、现在和可预见的空间核动力源应用包括放射性同位素动力系统（例如放射性同位素热电发电机和放射性同位素加热器）和用以提供动力和推进力的核反应堆系统。空间核动力源中存在着放射性材料或核燃料并且可能因为发生事故而对地球生物圈中的人与环境造成危害，这即要求安全应当始终是空间核动力源设计和应用的一个固有部分。

与地面应用相比，外层空间核动力源应用具有独特的安全考虑。与许多地面核应用不同，空间应用的使用频繁度一般不高，而且其要求也可能根据具体的飞行任务而有很大差别。飞行任务的发射和在外层空间的运行要求对体积、质量和其他空间环境都有一定的限制，这些对许多地面核设施来说都是不存在的。就某些应用而言，空间核动力源必须在远离地球的恶劣环境中自主运行。因发射失败和意外再入大气层导致的潜在事故状况，可能使核动力源暴露在极端的物理条件下。空间核动力源使用方面的这些及其他独特的安全考虑，与地面核系统大不相同，在地面核应用的安全指南中也没有述及。

经过一段时间的初步讨论和准备之后，联合国和平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会与国际原子能机构（原子能机构）于 2007 年商定，联合起草一个外层空间核动力源应用的安全框架。这一合作使科学和技术小组委员会在空



间核动力源利用方面的专业知识与原子能机构在拟定地面应用核安全的安全标准方面的既定程序相结合。《外层空间核动力源应用安全框架》代表了这两个组织的技术共识。

《安全框架》意在作为国家指南使用。因此所提供的是供自愿遵守的指导，不具有国际法的法律约束力。

《安全框架》不是原子能机构的《安全标准丛书》出版物，但其意图在于对《安全标准丛书》加以补充，就空间核动力源应用在飞行任务的相关发射、运行和寿终阶段独特的核安全考虑因素提供高级指导，对涉及空间核动力源设计、制造、测试和运输的地面活动的现有国家和国际安全指南和标准加以补充。《安全框架》在制定时适当考虑到各项相关的原则和条约。《安全框架》并不对其中任何原则或条约加以补充、更改或解释。

《安全框架》的重点是保护地球生物圈中的人与环境，使其免受空间核动力源应用在飞行任务中有关的发射、运行和寿终阶段可能带来的危害。空间人员的保护问题是一个持续研究的领域，不在《安全框架》的范畴之内。同样，对其他天体的环境保护也不在《安全框架》的范围之内。

《安全框架》中使用的安全术语含义按《原子能机构安全术语汇编》定义。如本文所用的“核安全”一词包括辐射安全和辐射防护。其他一些空间核动力源应用的特有术语在《安全框架》题为“术语表”的一节中定义。

简而言之，《安全框架》的目的是促进外层空间核动力源应用上的安全；因此，对所有空间核动力源应用一律适用。

科学和技术小组委员会和原子能机构谨向协助起草和审查《安全框架》案文以及在达成共识的过程中予以协助的所有人员表示感谢。

目录

	页次
1. 导言	4
1.1. 背景	4
1.2. 目的	4
1.3. 范围	5
2. 安全目标	5
3. 政府指南	5
3.1. 安全政策、要求和程序	6
3.2. 空间核动力源应用的理由	6
3.3. 飞行任务发射授权	6
3.4. 应急准备和反应	6
4. 管理指南	7
4.1. 安全责任	7
4.2. 安全领导与安全管理	7
5. 技术指南	8
5.1. 核安全方面的技术能力	8
5.2. 安全设计和开发	8
5.3. 风险评估	9
5.4. 减轻事故后果	9
6. 术语表	10

1. 引言

1.1. 背景

在对于电力和热管理具有独特要求和限制的空间飞行任务中，无法使用非核动力源，因而开发了用于外层空间的核动力源¹并用于航天器。这些飞行任务包括飞往太阳系边缘的星际飞行任务，由于远离太阳长时间飞行，太阳能电池板不合作为此种飞行任务的电力源。

过去、现在和可预见的空间核动力源应用包括放射性同位素动力系统（包括放射性同位素热电发电机和放射性同位素加热器）和用以提供动力和推进力的核反应堆系统。空间核动力源已促成了一些正在进行的飞行任务。按目前的知识 and 能力，某些可预见的空间飞行任务除了以空间核动力源为动力之外别无其他可行的选择，有些空间飞行任务也只有如此才能大大提高其动力。

空间核动力源应用在发射、运行和寿终阶段的正常运行条件和潜在事故条件均与地面应用的条件有根本区别。发射环境和外层空间环境对空间核动力源提出极为不同的安全设计和运行标准。另外，由于空间飞行任务的各种要求，每次飞行任务都有单独设计的空间核动力源、航天器、发射系统和飞行任务操作。

空间核动力源中存在着放射性材料或核燃料并且可能由此因为发生事故而对地球生物圈中的人与环境造成危害，这就要求安全必须始终是空间核动力源设计应用的一个固有部分。安全（即保护人与环境²）应当侧重于应用的全过程，而不是只侧重于空间核动力源这一部分。应用中的所有元素都可能对核安全方面产生影响。因此，处理安全问题需要考虑到空间核动力源应用的全部内容，这包括空间核动力源、航天器、发射系统、飞行任务设计和飞行规则。

1.2. 目的

本出版物的目的是以示范安全框架的形式提供高级指导。该框架为制定国家和国际政府间安全框架奠定基础，也使这些框架可作灵活调整以适合具体的空间核动力源应用和组织结构。这类国家和国际政府间框架应包括各种技术和程序设计元素以降低使用空间核动力源所产生的风险。实施此类框架不仅将可向世人保证，空间核动力源应用将以安全的方式发射和使用，而且还可在使用核动力源的空间飞行任务方面促进开展双边和多边合作。本文提供的指导反映了在为实现安全所需要采取的措施上达成的国际共识，对所有空间核动力源应用一律适用。

¹ 此处所用“外层空间”一词与“空间”同义。

² 此处所用“人与环境”一词与“地球生物圈中的人与环境”同义。

1.3. 范围

《外层空间核动力源应用安全框架》着重论述空间核动力源应用的相关发射、运行和寿终阶段的安全问题。为安全程序设计和技术方面提供高级指导，包括空间核动力源的设计和应用方面的高级指导。然而，如何详细使用这一指导取决于具体的设计和应用。实施《安全框架》中提供的指导将是对涉及空间核动力源应用其他方面的现行标准的补充。例如，有关地面核设施和活动的国家标准和国际标准述及了空间核动力源应用在地面阶段的活动，如开发、测试、制造、处理和运输。同样，国家政府和国际政府间组织（如区域空间机构）有关这些方面的安全标准述及了空间核动力源应用的非核安全方面的问题。

在为地球生物圈中的人与环境制定空间核动力源应用安全框架方面，现已存在大量知识。但尚无可比较的科学数据来为制定在空间中和地球生物圈以外的独特条件下保护人员安全的空间核动力源应用框架提供良好的技术基础。因此，《安全框架》的范围不包括在空间中保护使用空间核动力源应用的飞行任务的参与人员。同样，保护其他天体的环境也不在《安全框架》的范围之内。

2. 安全目标

根本安全目标是保护地球生物圈中的人与环境，使其免受空间核动力源应用在有关的发射、运行和寿终阶段可能造成的危害。

凡参与空间核动力源应用的政府、国际政府间组织和非政府实体，应当采取措施，确保保护人（个人和群体）与环境而又不过分限制使用空间核动力源应用。

有关满足这一根本安全目标的指南分为三类：政府指南（下文第 3 节）适用于负责授权、批准或执行空间核动力源飞行任务的政府和有关国际政府间组织；管理指南（下文第 4 节）适用于对执行空间核动力源飞行任务的组织的管理；技术指南（下文第 5 节）适用于空间核动力源应用的设计、开发和飞行任务阶段。

3. 政府指南

本节对负责授权、批准或执行空间核动力源飞行任务的政府和有关国际政府间组织（如区域空间机构）提供指导。政府职责包括：制定安全政策、要求和程序；确保这些政策、要求和程序得到遵守；确保在与其他备选办法进行权衡时，使用空间核动力源有可接受的理由；制定正式的飞行任务发射授权程序；防备和应对紧急情况。对于多国或多组织飞行任务，管辖文书应当对这些职责进行明确划分。

3.1. 安全政策、要求和程序

负责授权或批准空间核动力源飞行任务的政府应当制定安全政策、要求和程序。

无论空间核动力源飞行任务是由政府机构还是非政府实体执行的，负责授权或批准这类活动的政府和有关国际政府间组织都应当制定其各自的安全政策、要求和程序并确保其得到遵守，以满足根本安全目标和达到各项安全要求。

3.2. 空间核动力源应用的理由

政府在批准飞行任务的过程中应当核实使用空间核动力源应用有合适的正当理由。

空间核动力源应用可能给人与环境带来风险。因此，负责授权、批准或执行空间核动力源飞行任务的政府和有关国际政府间组织应当确保对每次使用空间核动力源应用的论证均考虑到其他选择，并有合适的正当理由。这一过程应当考虑到空间核动力源应用的有关发射、运行和寿终阶段给人与环境带来的惠益和风险。

3.3. 飞行任务发射授权

应当为空间核动力源应用制定并维持飞行任务发射授权程序。

监督和授权空间核动力源飞行任务发射作业的政府应当制定注重核安全方面的飞行任务发射授权程序。该程序应当包括评价来自其他参与组织的所有相关信息和考虑因素。这一飞行任务发射授权程序应当是对关于发射安全所涉非核方面和地面方面的授权程序的补充。独立的安全评价（即独立于执行飞行任务的管理组织之外，对安全情况充分性和有效性进行的审查）应当是授权程序的一个组成部分。在评估空间飞行任务的相关发射、运行和寿终阶段给人与环境带来的风险时，独立的安全评价应当考虑到空间核动力源应用的全部内容，包括空间核动力源、航天器、发射系统、飞行任务设计和飞行规则。

3.4. 应急准备和反应

应当作好准备，应对可能发生的涉及空间核动力源的紧急情况。

负责授权、批准或实施空间核动力源飞行任务的政府和有关国际政府间组织应当随时准备对可能导致人员受到辐照和地球环境受到放射性污染的发射和飞行任务紧急情况迅速作出反应。应急准备活动包括制定应急计划，进行培训和演习，制定程序和通信规程，包括起草潜在事故通知。应当制定应急响应计划以便限制放射性污染和辐照。

4. 管理指南

本节为参与空间核动力源应用的组织提供管理方面的指导。《安全框架》规定，管理工作应当遵守政府的和相关的政府间安全政策、要求和程序，以满足根本安全目标。管理职责包括承担主要的安全责任，确保为安全工作提供充足的资源，并确保在组织内从上到下促进和维持一种牢固的安全文化。

4.1. 安全责任

执行空间核动力源飞行任务的组织应当担负主要的安全责任。

执行空间核动力源飞行任务的组织负有主要的安全责任。该组织应当要求飞行任务的所有有关参与方（如航天器提供方、运载火箭提供方、核动力源提供方、发射场地提供方等）均满足所制定的空间核动力源应用的安全要求，或在这方面与其订有正式安排。

管理上的具体安全责任应当包括如下：

- (a) 建立和维持必要的技术能力；
- (b) 向所有有关参与方提供适当的培训和信息；
- (c) 制定程序以加强在一切可合理预见情况下的安全；
- (d) 为使用空间核动力源的飞行任务酌情制定具体的安全要求；
- (e) 进行安全测试和分析并作详细记录，为飞行任务发射政府授权程序提供参考依据；
- (f) 对在安全问题上提出的令人信服的反对意见给予考虑；
- (g) 向公众提供相关、准确和及时的信息。

4.2. 安全领导与安全管理

在执行空间核动力源飞行任务的组织中，应当建立和保持有效的安全领导与安全管理。

执行飞行任务的组织的最高层应当在安全问题上发挥领导作用。应将安全管理纳入飞行任务的总体管理。管理层应当发展、推行和保持一种安全文化，确保安全并满足飞行任务发射政府授权程序的各项要求。

安全文化应当包括以下内容：

- (a) 明确划分职权、责任和通信工作；
- (b) 积极反馈和不断改进；
- (c) 组织内从上到下、从个人到集体，作出安全承诺；

- (d) 全组织和个人从上到下实行安全责任制；
- (e) 保持好问好学态度，在安全方面克服自满情绪。

5. 技术指南

本节为参与空间核动力源应用的组织提供技术指南。这一指南涉及空间核动力源应用的设计、开发和飞行任务阶段，包含有助于为授权和批准程序及为应急准备和反应制定和提供技术基础的以下四个关键领域：

- (a) 建立和保持核安全设计、测试和分析能力；
- (b) 将此种能力用于空间核动力源应用（即空间核动力源、航天器、发射系统、飞行任务设计和飞行规则）的设计、鉴定和飞行任务发射授权程序；
- (c) 评估可能发生的事故对人与环境造成的辐射风险，确保风险度保持在可以接受的水平并降至可以合理达到的最低限度；
- (d) 采取行动处理可能发生的事故的后果。

5.1. 核安全方面的技术能力

应当为空间核动力源应用建立和保持核安全方面的技术能力。

拥有核安全方面的技术能力对于满足安全目标至关重要。在开发空间核动力源应用之初，有关组织就应当根据其职责建立核安全设计、测试和分析的能力，包括酌情配备合格的人员和设施。在空间核动力源飞行任务的相关阶段应当始终保持这些能力。

核安全能力应当包括：

- (a) 严格界定空间核动力源应用的事故情形及其预计发生概率；
- (b) 说明空间核动力源及其组成部分在正常运行中可能暴露于何种物理条件以及潜在事故的特点；
- (c) 评估可能发生的事故可能对人与环境造成的后果；
- (d) 确定有哪些固有的和工程设计上的安全设置可以减少可能发生的事故对人与环境造成的风险，并对其进行评估。

5.2. 设计和开发方面的安全

设计和开发过程应当达到可合理达到的最高安全水平。

满足安全目标的根本方法应当是通过制定综合设计和开发程序，在其中纳入对空间核动力源应用全部内容（即空间核动力源、航天器、发射系统、飞行任务设计和飞行规则）的安全考虑因素，从而将正常运行和潜在事故造成的风险减

至可合理达到的最低限度。从设计和开发的最初阶段以及在飞行任务的各个阶段，均应考虑到核安全问题。设计和开发过程应当包括：

- (a) 确定、评价和落实设计上的设置、控制和防备措施，以便：
 - (一) 降低可能释放放射性材料的潜在事故的概率，
 - (二) 减轻可能释放的强度及其潜在后果；
- (b) 吸取以往的经验教训；
- (c) 通过酌情进行测试和分析，验证和鉴定设计上的安全设置和控制；
- (d) 采用风险分析，评估设计上的设置和控制的效能并向设计过程提供反馈；
- (e) 采用设计复查，为设计的安全性提供保证。

5.3. 风险评估

应当进行风险评估，描述辐射对人与环境造成危害的特征。

应当评估空间核动力源应用在有关发射、运行和寿终阶段可能发生的事故对人与环境造成的辐射风险并尽可能量化不确定因素。风险评估是飞行任务发射授权程序的一个必要组成部分。

5.4. 减轻事故后果

应当作出各种切实努力，减轻潜在事故的后果。

作为空间核动力源应用安全程序的一部分，应当对各项措施进行评价，以减轻有可能向地球环境释放放射性材料的事故的后果。应当建立必要的能力并酌情利用这种能力，及时为减轻事故后果的活动提供支助，这些活动包括：

- (a) 制定和实施应急计划，以中断可能导致辐射危害的事故连锁进程；
- (b) 确定放射性材料是否已释放；
- (c) 说明放射性材料释放的位置和性质；
- (d) 指明放射性材料污染区；
- (e) 建议采取保护措施，限制受灾地区人群的受照量；
- (f) 编写事故相关信息，以便向有关政府、国际组织和非政府实体以及向广大公众传播。

6. 术语表

以下术语表界定了空间核动力源应用方面特有术语的定义。《安全框架》中使用的一般安全术语的定义见《原子能机构安全术语汇编——2007年版》³。

寿终阶段：航天器使用寿命结束后的时期

飞行规则：一组事先策划的决定，目的是尽量减少在标称和非标称情形下必须实时作出的影响飞行任务的决定

发射：发射场上发生的一系列可将航天器送入预定轨道或飞行轨道的行动

发射阶段：一个时间段，其中包括下列步骤：发射场上发射前准备、起飞、升空、末级（或助推级）运行、有效载荷展开以及将航天器送入预定轨道或飞行轨道的其他任何有关行动

运载火箭：任何推进装置，包括为将有效载荷送入太空而建造的末级（或助推级）装置

发射系统：将有效载荷送入太空所需的运载火箭、发射场基础设施、配套设施、设备和程序

飞行任务：有效载荷（如航天器）为特定目的离开地球生物圈的发射和运行（包括寿终阶段的各个方面）

飞行任务核准：政府当局对进行飞行任务发射和运行的准备活动下达的批准

飞行任务设计：根据飞行任务目标、运载火箭和航天器能力以及飞行任务限制而对空间飞行任务轨道和机动操作的设计

飞行任务发射授权：政府当局对飞行任务的发射和运行下达的批准

空间核动力源：空间应用中使用放射性同位素或核反应堆进行发电、加热或推进的装置

空间核动力源应用：实施带有空间核动力源的空间飞行任务所使用的整个体系（空间核动力源、航天器、发射系统、飞行任务设计、飞行规则等）

³ 国际原子能机构，《原子能机构安全术语汇编：核安全和辐射防护用语，2007年版》（2007年，维也纳）。