



## 大会

Distr.: General  
14 November 2014  
Chinese  
Original: English

和平利用外层空间委员会  
科学和技术小组委员会  
第五十二届会议  
2015年2月2日至13日，维也纳  
临时议程\*项目7  
空间碎片

## 各国对空间碎片、携载核动力源空间物体的安全 及其与空间碎片碰撞问题的研究

### 秘书处的说明

#### 一. 引言

1. 大会在其第 69/85 号决议中深为关切空间环境的脆弱性和外层空间活动长期可持续性面临的挑战，尤其是空间碎片的影响；这个问题事关所有国家。它认为各国必须更加关注空间物体尤其是携载核动力源的空间物体与空间碎片碰撞的问题和空间碎片所涉其他方面问题；呼吁各国继续研究这个问题，开发更完善技术来监测空间碎片，汇编和传播关于空间碎片的数据。大会还认为应尽可能向科学和技术小组委员会提供这方面的资料；并商定需要通过国际合作推广适当且负担得起的战略，以尽量减少空间碎片对未来空间飞行任务的影响。

2. 科学和技术小组委员会第五十一届会议商定，应当继续开展空间碎片研究，各会员国应当向所有利益相关方提供研究成果，包括介绍在尽可能减少空间碎片的产生方面证明行之有效的做法（A/AC.105/1065，第 103 段）。小组委员会还商定应当邀请会员国和在委员会享有常驻观察员地位的国际组织提交关于对空间碎片、携载核动力源空间物体的安全以及这类空间物体与空间碎片碰撞问题和落实碎片减缓准则的方式的研究报告（A/AC.105/1065，第 104 段），并以此为基础而在 2014 年 7 月 31 日的一份普通照会中发出在 2014 年 10 月 20 日之前提交报告的邀请，以便能够将此类资料提交小组委员会第五十二届会议。

\* A/AC.105/C.1/L.341。



3. 本文件由秘书处根据三个会员国即奥地利、德国和瑞士以及在委员会享有常驻观察员地位的三个非政府组织即空间研究委员会（空间研委会）、世界安全基金会和航天新一代咨询理事会提供的资料编写。列有空间碎片相关图片和数字的由航天新一代咨询理事会提供的资料将作为科学和技术小组委员会第五十二届会议的会议室文件提供。

## 二. 从会员国收到的答复

### 奥地利

[原件：英文]  
[2014年10月20日]

自从 1982 年以来，奥地利科学院空间研究所在格拉茨 Lustbühel 天文台设有卫星激光测距台站，该台站每周七天日夜工作，对 60 多个配备后向反光仪的卫星的距离进行测量，这些卫星包括测地卫星、全球导航卫星系统（伽利略系统、全球定位系统、全球轨道导航卫星系统、北斗卫星导航系统等）的卫星、地球观测卫星及各种科学和研究卫星等。格拉茨单点测量的准确度约为 2 到 3 毫米；可以判别的距离差一直到 0.2 毫米。由于取得了这些成果，格拉茨卫星激光测距台站被视为世界上最为准确的台站之一。

2012 年，格拉茨激光台站着手测试空间碎片物体的激光测距。开发了新型专业化单一光子探测器，并且因应开发了有关空间碎片追踪的激光测距软件。首次对由空间碎片物体漫光反射的光子进行了测量，以便确定与这些物体之间的距离。虽然测量的准确度不在毫米的幅度内，但由于若干碎片物体的面积在一至数米之间，这种做法仍然大大改进了对轨道的确定。

如果德国航天中心其他台站能够检测到漫光反射的格拉茨的光子，则有可能进一步改进对轨道的确定。2012 年，第一次这类实验取得了成功：格拉茨发射的光子由一颗卫星的星体漫光反射，并且在德国航天中心瑞士齐美尔瓦尔德台站检测到了这颗卫星，已经为此目的对该台站加以调试以便同格拉茨的台站保持同步。这一方法能够推广至其他几个只受站，而不会造成任何问题。

自从 2013 年以来，格拉茨激光台站参与了欧洲空间局的空间态势认知方案。今后几年将在欧洲和国际层面上加强合作。

### 德国

[原件：英文]  
[2014年10月27日]

在德国，有关空间碎片问题的研究活动正在所有相关领域展开，例如空间碎片环境建模、空间碎片观测、有关超高速撞击对航天器影响的研究以及保护航天系统以免遭到微型流星体和空间碎片的撞击。德国专家积极参加了空间碎

片研究领域的相关国际论坛，尤其是机构间空间碎片协调委员会（空间碎片协委会）和空间碎片缓减领域的国际标准化活动。

对于由德国航天中心空间管理机构主办的空间项目，空间碎片缓减要求是德国航天中心空间项目产品保证和安全要求的一个规定部分。这些要求确保了国际公认缓减措施的执行，包括空间碎片协委会《空间碎片缓减准则》与和平利用外层空间委员会所确定的措施。其总体目标是，限制制造新的空间碎片，并从而限制对现有和今后空间飞行任务以及对人的生命所造成的危害。为实现这些目标而应当采取的措施包括进行正式的空间碎片缓减评估并执行具体的设计措施，除其他外是为了防止与飞行任务有关的物体的释放、这些物体的碎片化、丧失功能及其在轨碰撞，同时还将采取与钝化处理、生命终了的处置以及再进入安全有关的措施。

在德国空间作业中心开展了开发工作以加强德国民用卫星飞行任务所用避免碰撞系统，该系统拥有支持评价和分析关键交会的各种工具。2013年年底，提高了卫星星座 TerraSAR-X/Tandem-X 的门槛，从而每天至多发出 10 次警告。自从 2013 年 8 月以来，针对这两颗卫星分析了 189 个关键事件，并且执行了四次避免碰撞的机动。

德国航天中心技术物理学研究所为科学目的安装了光学空间碎片观测站。该台站配备了 17 寸的达尔-奇克汉卡望远镜和各种高端照相机系统。自从 2013 年以来，使用光学手段即可被动监测小至面积为 0.1 米的低地轨道上的各种物体。对于可光学检测轨特别是对编入目录的物体的图像分析，使得有可能为开展精确追踪而推演出初始物体。不中断追踪方式达到了闭环环路为 2 寸的准确度。目前正在安装用于飞行时间激光测距的激光系统。该系统结合被动式光学追踪即可在台站争取达到准确度为几米的过程中将能展开对光学物体的三维追踪。

正在努力开发由德国空间作业中心与瑞士伯尔尼大学天文学研究所密切合作而设立的光学台站联络网，该联络网计划用于持续监测地球静止轨道圈，其望远镜将使用远程控制机器人的手段操作。所捕捉的数据将得以能够追踪和预测大于约 50 厘米的静地物体的轨道。已经选定南非萨瑟兰观测站作为拟在 2015 年设立的第一台望远镜的地点。首次测试活动取得成功，结果甚至超过预期。

另一项计划中项目的目标是，建立猎鹰望远镜网络欧洲节点。它应该让学术界有各种机会参与意义重大的实地和实际科学实验。这应当鼓励学生利用在该网络内部所可使用的独一资源而通过各种项目和举措参与科学工作，开展空间态势认知研究并改进空间态势认知目录。猎鹰望远镜网络是一个由小型孔径望远镜组成的全球网络，该网络由美国空军学院物理系空间态势认知研究中心与教育合作伙伴协作开发。与美利坚合众国内部各大学合作伙伴共享该网络并且在国际上予以共享，目的是开展大学本科生空间态势认知和天文学研究教育以及社区科学、技术、工程和数学推介活动。

为了开发自主空间侦察能力，一国必须具备利用感应器数据等建立空间物体目录的基本能力。作为该项工作的第一个步骤，正在准备开发和落实编制空间碎片目录的关键技术。将利用感应模拟器模拟测量数据。这些数据将能有助于进一步开发物体关联性、轨道确定及物体数据库落实之类关键功能。正在调

查关于轨道确定和扩展的补充方法，以便形成在被模拟空间侦察系统流程链范围内所可利用的快速准确的方法。

弗朗霍夫高速动力学研究所正在继续展开研究，以便改进新型轻汽枪装置的实验特性。该装置能够把体积在 100 微米到 2 毫米幅度内的粒子加速至超高速。该装置的目的是，使得撞击速度高于标准轻气枪装置，同时又减少该装置的磨损。这将导致在空间碎片环境中就航天器零部件存活性所作的实验室规模实验撞击测试性能的改进。

在空间物体进入大气层较稠密区域时，由于在轨道上运行的空间物体速度很快，与地球大气层之间的摩擦产生了热量。热能可以溶化或气化整个或部分空间物体。在许多情况下，空间物体在再进入大气层期间完全烧毁，但这些物体的一部分也可能在再进入过程中存活下来并坠落地面。

为了更好理解空间物体碎片化进程，并使得分析人员能够预先估计对地面上人员和财产所构成的威胁，正在准备一项开发校准方法的新项目。该项目将使对再入大气层及相关碎片化进程展开分析成为可能，并且能够评价幸存部分对人居地区所造成的威胁。

而且，布伦瑞克技术大学的一项进行中项目正在根据和平利用外层空间委员会《空间碎片缓减准则》而对航天器寿命终了阶段使其主动脱离轨道的影响以及活性碎片对未来空间碎片长期演化的影响展开调查。在此背景下，将分析高风险物体在发生碰撞时对环境的关键影响。这一做法试图更为准确地弄清碰撞级联进程所产生的影响。在另一项活动中，正在分析针对中地轨道星座物体的不同处置战略。特别有意思的是已处置星座航天器及其他星座和非星座物体发生碰撞的长期风险。

## 瑞士

[原件：英文]  
[2014 年 10 月 20 日]

伯尔尼大学天文学研究所继续其加深了解近地空间碎片环境的研究工作。伯尔尼大学天文学研究所为此使用了 1 米长的 ZIMLAT 望远镜、称作 ZimSMART 的小型程控望远镜和新型 ZimSpace 望远镜，所有这些均设在伯尔尼附近的瑞士光学地面台站和齐美尔瓦尔德地球动力学观测站，目的是发现小型碎片并确定其物理特性。该研究的一项重大成果是，创设了地球同步转移轨道和高椭圆轨道面积与质量高比碎片独一目录。该目录已经逐步充实，与欧洲空间局和莫斯科克尔德什应用数学研究所协作维持。后者负责国际科学光学网的运行，伯尔尼大学天文学研究所与该科学光学网多年合作，共享在科学协作工作上的观测数据。国际科学光学网正在与外层空间事务厅基础空间科学举措展开合作。伯尔尼大学天文学研究所的近期研究侧重于对包括地球同步转移等高椭圆轨道以及莫尼亚轨道之类轨道上小型碎片的深度调查。这些观测显示，在这些轨道区域的大量“不明”物体，即并未载入所能公开提供的任何轨道目录的物体。确定这些物体的特性对弄清碎片来源及最终设计高效并且在经济上可

行的缓减措施十分重要。2010 年启动了一项研究，以寻找导航卫星星座区域内的小型碎片。该项研究是在该轨道区域进行的首次这类研究。迄今结果表明，当前导航卫星星座发生了某一较大物体的解体。为支持就主动清除低地轨道较大物体而展开的讨论，伯尔尼大学天文学研究所正在使用光学枪曲线的手段开展评估直径 700 到 1000 公里轨道上较大碎片物体下跌比率的观测方案。

洛桑瑞士联邦理工学院的瑞士航天中心及其合作伙伴继续在其“Clean-mE”方案下展开积极清除碎片领域的研究和开发工作。在 2014 年期间，其工作重点是，开展应对非合作性交会挑战的系统研究。洛桑瑞士联邦理工学院在欧洲空间局的一项合同下开展评价工作，使用立方卫星技术对可能的在轨演示展开评估，并努力减少给未来展开的清除较大碎片飞行任务所造成的风险。立方卫星是质量在 1 到 10 公斤间的微型卫星。拟议立方卫星在轨演示包括测试交会传感器技术并测试净捕捉技术。清洁太空一号项目继续开展低层面活动。

### 三. 从国际组织收到的答复

#### 空间研究委员会

[原件：英文]  
[2014 年 11 月 4 日]

自从 1957 年发射第一颗人造卫星以来太空飞行活动已有超过 55 年的历史了，这些活动致使大量人造物体运行于地球轨道。其中绝大多数物体已经失去其功能，被称作“空间碎片”。这些空间碎片中有相当一部分日益威胁到程控机器人航天器和载人航天器。在过去二十年内，碰撞和解体事件让人越来越担心这一环境危害将成为今后几十年的一个中心问题。

虽然许多空间行动方目前使用各种措施来减少空间碎片的形成，但这却不足以控制空间碎片数量今后的增加，其原因是，地球轨道上报废碎片的数量已经十分庞大，足以在今后造成碰撞性解体，即便没有任何新的物体被放置在轨道上。每次发生灾难性碰撞，都会造成数以千计的新的碎片，因而，如何防止这类碰撞的发生，是环境的长期演变所面临的主要问题。预防碰撞的手段包括：碎片缓减、避免碰撞和清除环境中的碎片，后者也称作主动清除碎片。避免碰撞措施需要确切了解可能产生灾难性碰撞的所有物体的运行轨迹。如今只是对数量极为有限的物体才有这类了解。关于主动清除碎片以及涉及非功用性物体的避免碰撞，需要开发新的技术以改变碎片物体的运行轨迹，或使其脱离轨道。展开大量科学研究，是为稳定空间碎片数量而制定高效并且经济上可行的措施的关键。

空间研究委员会（空间研委会）处理空间碎片专题已经长达三分之一个世纪之多。多年来，空间研委会有关研究对环境潜在危害活动的专题小组在空间研委会每两年举行的科学大会上就空间碎片问题举行了多次会议。这些会议涉及：(a)通过各种措施和建模确定当前和未来空间碎片环境的特点；(b)与空间碎片发生碰撞而对航天器构成的威胁；(c)保护航天器的相关手段；(d)缓减新增空

间碎片的战略和政策；以及(e)修复空间碎片环境并从而限制空间碎片激增的科学基础和技术框架。

在 2014 年关于对环境构成潜在危害的活动专题小组会议上，与会者就“空间碎片：对动态环境的回应”这一主题宣读了 38 篇论文。在空间研委会第 41 次科学大会上，关于对环境构成潜在危害的活动专题小组 2016 年的各场会议将是关于“空间碎片：奠定行动的科学基础”，这是往前迈出的一步。每次半天的四场会议将侧重于在空间飞行任务碰撞风险评估、在轨碰撞评估、再进入风险评估、碎片缓减和碎片环境修复手段及其对环境长期稳定的效力等方面取得的进展，以及基于地面和空间的观测及其使用方法、现场测量手段、碎片和流星体环境模式、国家和国际碎片缓减标准和准则、超高速加速器技术以及在轨屏蔽概念等传统专题。关于空间气象和近地物体的学科间和多学科论文尤其得到鼓励。

在稳定空间碎片数量上面临巨大挑战，但航天国以及空间研委会之类国际科学组织作出巨大努力以集中推动能带来普遍惠益的近地空间作业的长期可持续性。

空间研委会继续率先推动加深了解空间碎片环境的性质及其风险并鼓励航天国和各组织在飞行任务的每个阶段均能在空间负责地行动，包括在部署、作业和处置方面。

## 世界安全基金会

[原件：英文]  
[2014 年 10 月 20 日]

2014 年，世界安全基金会作为其重点关注空间活动长期可持续性工作的一部分，继续开展有关空间碎片和在轨安全问题的工作。作为其宣传活动的一部分，世界安全基金会得以在美利坚合众国众议院的科学、太空和技术问题委员会的太空问题小组委员会作证，这是为应对空间碎片威胁而举行的听证会的一部分。书面证词包括一份全面概要，对空间碎片缓减、空中交通管理、空间碎片的清除和修复以及为尽量减少空间碎片对空间活动之威胁而开展空间态势认知的重要性加以解释。该证词还就美国政府如何在本国条例中改进对空间碎片缓减准则的执行以及如何为帮助所有空间运营方避免空间碰撞而改进空间态势认知服务向小组委员会提供了建议。

同样，在关于利用外层空间的大大小的会议上，世界安全基金会工作人员在本来可能不会述及该问题的讨论中经常提出空间碎片问题。这类举措的范例包括在由威尔顿公园国际（Wilton Park International）讨论论坛举办的题为“新兴空间经济体：走向繁荣的下一一些步骤”的一次讲习班上所作的发言和专题介绍。该论坛是外交关系理事会主持的关于推动空间安全和可持续性的一个圆桌会议，此外还在有关载人和商业航天飞行的国际专题讨论会上作了公开讲演，其中谈及日益增强的商业空间部门在积极参加减缓空间碎片实务上所负责任的问题。

世界安全基金会工作人员参加了 2014 年 6 月 16 日至 18 日在巴黎举行的空间碎片建模和修复问题的第三期欧洲讲习班。世界安全基金会的参与包括联合主持讨论空间碎片修复相关法律、政策及其他非技术性挑战的首次会议，并且就确定如何要求允许为修复目的而同空间物体互动的议定书草案作专门介绍。该议定书使用了现有外层空间各项条约就列举一国为确定究竟哪一个国家对空间物体享有管辖权和控制权而可采取的各种步骤所确立的原则。对于无法加以确定的情况，该议定书就为让国际社会了解其以安全负责的方式修复空间物体的意图而可采取的步骤提出了建议。

作为其为便利展开合作型讨论所作努力的一部分，世界安全基金会与毛伊岛经济发展局和日本空间论坛合作举行了有关毛伊岛先进的光学与空间监视技术的两次对话。这些对话的目的是，推动有关空间态势认知合作和数据共享政策问题的讨论。第一次对话就在为造福人类而实现可持续空间发展和利用的第三次日本空间论坛国际专题讨论会召开之前而于 2014 年 2 月 26 日在东京举行。第二次对话是在 2014 年有关毛伊岛先进的光学与空间监视技术的会议举行期间于 2014 年 9 月 11 日在美国毛伊岛举行的。这两次对话都聚集了多个国家的政府和私营部门的代表，目的是共商如何改进关于空间态势认知数据的共享与合作。

最后，作为其有关该问题一般性推介活动的一部分，世界安全基金会在其题为“空间可持续性：实务指南”的一份出版物中将空间碎片放在了突出的位置，该出版物今年已得到更新和补充，可从世界安全基金会的网址 [www.swfound.org/media/121399/swf\\_space\\_sustainability-a\\_practical\\_guide\\_2014\\_\\_1\\_.pdf](http://www.swfound.org/media/121399/swf_space_sustainability-a_practical_guide_2014__1_.pdf) 上免费下载。

## 航天新一代咨询理事会

[原件：英文]  
[2014 年 11 月 7 日]

## 空间碎片情况

自从 1957 年发射第一颗卫星以来，地球轨道已日渐拥挤。许多国家和商业企业均已将各自的航天器发射到地球周围的轨道上，其中许多航天器目前仍在轨道上。在空间物体中，仅有 6% 的物体仍在运行，而近 60% 属于由爆炸和碰撞所产生的碎片。这些失去控制的碎片以及空间碎片的其他断片，例如被废弃的火箭壳体和已经退役的卫星，均能彼此碰撞并从而产生更多碎片。俗称为凯斯勒综合症的这种周而复始的现象，导致随着时间的推移轨道碎片急剧增加，并从而对轨道上的作业机体构成日益严重的威胁。

空间碎片按照纬度情况的分布情况显示，1,000 公里纬度的空间碎片数量从 2007 年年初到 2012 年 4 月间增加了两倍多。由中国在 2007 年发射的拦截卫星的试验以及 2009 年铱星 33 号 (Iridium 33) 和宇宙 2251 号 (Cosmos 2251) 之间的碰撞所产生的碎片是造成空间碎片数量剧增的主要原因。铱星号卫星和宇

宙号卫星之间的碰撞等事故显示了碎片间碰撞在改变空间碎片环境上所可发挥的重要作用。

低地轨道的碎片场目前并不稳定。模拟情况表明，即便今后不再有任何发射，碎片场都将缓慢扩展。然而，这是一种乐观的并且不切实际的设想，因为空间发射预期绝不会马上停止。由于发射比率是固定的，并且又没有缓减措施，在轨碎片的数量可能会急剧增加。

500 个质量最大的空间碎片物体的分布，使得经由审视现有低地球轨道火箭壳体和质量最大并且碰撞可能性最高的产品的航天器之间在远地点和近地点纬度与倾角分布上的关系，即可确定其中究竟哪些物体的碰撞风险高。这些物体最有可能造成灾难性碰撞，从而增加低地轨道空间碎片的数目，这种情况此前已见于铱星号卫星和宇宙号卫星之间的碰撞。

### 携带核动力技术的航天器

在有关核动力航天器方面有三种一般设想值得考虑：

设想 1：航天器配备了用作机载电源和仪器加热（例如深空探测器）的放射性同位素热电发生器（RTG）；

设想 2：航天器以核为动力源，并且使用由此产生的动力来驱动航天器，包括在发射阶段（例如漫游者（Rover）项目）和火箭飞行器用核引擎方案（NERVA）；

设想 3：航天器的设计是为了将核技术用于驱动而非发射。只有当航天器在轨时方可使用核推进。

设想 2 和 3 的根本区别在于发射阶段，对此将在以下章节中加以考虑。

设想 1 最为常见，多数用于深空飞行任务。太阳阵列从太阳光中得到的能源按照平方反比定律递减：随着同太阳的距离的增加，利用太阳能的航天器所可利用的能源将会减少。一旦超过太阳阵列因为所有实际目的而失去效力之点，核技术即可为航天器系统提供一种可靠的热量和能源来源。RTG 基本上利用了塞贝克效应，将放射性材料（通常是钷-238）的自然衰化所释放的热量转换为电能。应当指出的是，这并非裂变反应。

火星科学实验室这类飞行任务（把好奇号探测器着陆在火星）及旅行者 1 和 2 号与先驱者 10 和 11 号之类太阳系探测器均利用 RTG 开展可靠的动力和热管理。

以往报告了涉及核动力源航天器的某些事故。首次事故发生于 1964 年，当时 TRANSIT 5BN-3 导航卫星在硬件发生故障后无控再入地球大气层。该卫星按照原先的设计在大气层上层完全烧毁，但其对人群的长期影响难以确定。这类再进入导致放射性核素在大气层上层的负荷增加，并且放射性核素随着时间的推移将急剧沉降到海平面。由于 RTG 材料的半衰期通常很长（数千年），因而有可能对公众和环境造成危害。

涉及核动力源航天器的其他两个广为人知的事例涉及到阿波罗 13 号飞行任务，该飞行任务是使用功能无损的机载 RTG 和宇宙-954 号雷达海洋侦察卫星（RORSAT）再入大气层的，该卫星无控再入大气层，坠毁在加拿大西北地区的无人居住区。RORSAT 原本计划再入时烧毁，但却未能如愿，致使大量核材料落到地球上。阿波罗 13 号飞行任务的 RTG 坠落南太平洋，并且至今仍在太平洋底。它虽历经再入和撞击但仍完好无损，未检测到有任何辐射的释放。

这些事故导致空间系统所用核动力系统设计的改变。这些核动力系统如今的设计是为了抵御再入和撞击的影响，从而能够在到达地面时完好无损。并且最为重要的是，不释放任何放射性材料。阿波罗 13 号 RTG 的设计已证明了这种做法的有效性。

## 发射

发射被视为涉及核动力源航天器飞行任务的最关键阶段，并且也是最有可能威胁到普通人群的飞行任务阶段。

目前推出“关键性”的概念也很重要。关键性基本上是指核芯启动裂变并且副产品开始积累之点。在关键性以前，核燃料中并无任何副产品。该燃料相对于副产品危害不大，因为它通常属于  $\alpha$ -辐射体，只是在被吸收之时方对人的健康构成重大危害。然而，一旦关键性得以实现，裂变副产品将开始在系统中积累。这就对人的健康构成更大危害，因为这些副产品中相当一部分属于  $\beta$  和  $\gamma$  辐射体，仅由于外部接触即可对人造成伤害。

设想 2 要求在发射前实现关键性，并且利用核反应产生的热量来驱动该航天器的上升。20 世纪中叶在 Rover-NERVA 的方案中对此展开了调查和测试。然而，根据这一设想，火箭发生的任何故障均有可能导致裂变副产品的释放。相形之下，设想 3 的假设是，使用常规推进方法将航天器射入轨道。显然，任何核材料的释放均不可取，而不论是在实现关键性之前或之后实现。然而，为了限制任何潜在后果的严重性，最好在核反应堆安全进入轨道之后实现关键性。

## 地球轨道飞行任务及碎片撞击风险

鉴于涉及到大量能源，作为最坏的设想，必须把涉及空间碎片的撞击视之为灾难性撞击。而且，最坏情况的实例是核芯容器受损，导致裂变产品被释放到太空中。对于 RTG 的情况，所作的假设是，碰撞造成 RTG 被毁，致使其作为颗粒物四处散落。取决于碰撞在轨道何处发生，这不一定构成公众或对地球的环境所担心的问题，因为只要大气阻力并非是造成这种现象的一个原因，而且轨道可被视为是稳定的，则通常可假设，核材料将仍在上面。然而，这类碰撞也可能对某些碎片产生足够的能量，能够将其推至大气阻力不致构成阻碍的轨道，这既可能是由于初始撞击，也可能是由于稍后随之发生的间接撞击。

鉴于对轨道碎片如何扩散至轨道纬度上轨道中心周围的壳的了解，这一模式将有效导致在某一轨道纬度上出现辐射带。

这将对航天员或航天器构成直接的重大威胁，但在相关纬度开展舱外活动的人的健康都将直接受到危害。因此，导致核材料释放至轨道的碰撞将会对所能开展的舱外活动构成限制。然而，也需要考虑对声誉的影响问题，因为普通公众通常不信任核技术。这类性质的事故实际上将会导致现有和未来核航天器方案过早终结。因此，这类事故的后果将是严重的，即便并不立即构成任何健康危害。

还需要评估与碎片发生碰撞的可能性。已经开展了评估在轨碎片面积和数量的研究，在此基础上建立碎片撞击可能性的模型比较容易。总体可能性普遍不高（在每年  $10^{-5}$  之间）。然而，如果辅之以上文提及的严重后果，总体风险排序可被视为不低，应当推动在任何工程方案中列入重要保障措施，以便防止在发生碰撞时放射性核素的释放。

## 处置

还需要考虑到航天器在完成飞行任务后的处置。关键核心会发生何种情况？

最简单的回答是，将航天器移至安全的墓地轨道并将它留在那里。这将导致在轨空间碎片物体数目的进一步增加，并从而导致空间碎片对未来飞行任务的影响的增加。而且，与寿命终了的核动力空间系统发生碰撞可能会产生其他后果，例如放射性材料泄露到太空。

较长期可持续解决办法是空间系统的有控再入。这就要求航天器特别是其核部件的设计能够抵御再入进程的高温、压力和撞击载荷。行星探索所用 RTG 系统以前采取了这种做法，但这可能提高航天器的成本。

在活性核反应堆（及其裂变副产品）的情况下，任务更具挑战性，其原因是，最终能否制造能够抵御再进入风险的反应堆尚不清楚。考虑到今后发生碰撞的可能性不高，将已用过的核芯移至为处置核驱动航天器而专门选定的墓地轨道相关风险将低于同其再进入有关的风险。这类墓地轨道的选择需要以尽量减少空间碎片碰撞并降低未来风险为目的。

## 深空探索飞行任务

利用核驱动航天器进行深空探索较之于地球轨道飞行任务更能让人接受。随着同太阳之间的距离增加，RTG 比太阳阵列的效率更高，从而更加有助于核动力的使用。虽然深空飞行任务在发射时的风险相同，但邻近地球时所费时间较少。因此，与深空飞行任务有关的空间碎片撞击风险较低。

然而，实情是否如此取决于飞行任务的概况。如果航天器在前往其目的地的直接转移轨道上偏离地球（这种情况很少发生），并且发生了事故，随之产生的放射性碎片将停留在轨道上，而这最终将与地球轨道交叉，从而最终导致放射性碎片进入地球邻近地带。

## 结论

将核动力源用于航天器使得以往几次重要的飞行任务成为可能（尤其是深空探索飞行任务），并且只要采取必要的安全措施，则将继续如此。航天新一代咨询理事会就此建议：

(a) 如果航天器使用核芯，则应当将该核芯带入轨道，并且只在轨道上开启裂变反应，而不是将核推进用作抵达轨道的一种手段；

(b) 对于使用核动力的所有航天器，应当特别强调核动力系统的坚固和牢靠。应当对其加以保护，以免受到碎片撞击、再进入压力和极端气温的影响；

(c) 携带核动力系统的深空飞行任务应当凡有可能则使用非直接转移轨道；

(d) 在到达其寿命终了时，都应当以有控方式再进入使用 RTG 系统的低地轨道上所有航天器，以确保核动力系统完好无损地存活下去；

(e) 在到达其寿命终了时，地球同步轨道上使用核反应堆或使用 RTG 的所有航天器都应当被转移到墓地轨道。该墓地轨道的选择应当确保核燃料半衰期期间的稳定（例如不致衰化，也不知构成碰撞风险），或直到所造成的辐射不再对人群构成危害；

(f) 对于考虑使用核动力的每一个飞行任务，都应当有一个独立的核安全专门小组（类似于美利坚合众国机构间核安全审查专门小组），以确保所有安全程序均得到遵行；

(g) 安全工作应当侧重于规划和预防，而不是对事故的调查。

## 关于航天新一代咨询理事会

航天新一代咨询理事会是一个专注于空间部门学生和年轻专业人员的国际非盈利性组织。它代表了下一代空间领导者在相关联合国机构及其他空间组织所发表的看法。

由于创建于联合国环境（即第三次联合国探索及和平利用外层空间会议），该理事会与联合国特别是与和平利用外层空间委员会携手合作对其任务至关重要。理事会定期向委员会提供咨询，并且成为传递其成员意见的管道。