



和平利用外层空间委员会

各国对空间碎片的研究，
核动力卫星的安全和
核动力源同空间碎片碰撞的问题

秘书处的说明

目 录

	页 次
一、导言	2
二、从会员国收到的答复	2
塞浦路斯	2
爱尔兰	2
以色列	2
大韩民国	2
荷兰	2
大不列颠及北爱尔兰联合王国	2

一、导言

1. 大会 1998 年 12 月 31 日第 53/45 号决议第 31 段认为，会员国必须更多注意包括有核动力源的空间物体与空间碎片碰撞的问题和空间碎片的其他方面问题，并要求各国继续对这个问题进行研究，以发展监测空间碎片的更佳技术，编纂和散发关于空间碎片的数据。大会认为应尽可能将有关资料提供给和平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会。

2. 秘书长在 1999 年 8 月 30 日给所有会员国的普通照会中，请各会员国在 1999 年 10 月 31 日之前，将上文要求的资料送交秘书处，以便秘书处能够编写关于这些资料的报告，提交该小组委员会第三十七届会议。

3. 本文件是由秘书处根据截至 1999 年 12 月 10 日收到的会员国和国际组织的资料编写的。该日期之后收到的资料将列入本报告的增编中。

二、从会员国收到的答复

塞浦路斯

[原文：英文]

有关空间碎片问题和在外层空间利用核动力源的问题，塞浦路斯政府荣幸地通知秘书长，它无可奉告。

爱尔兰

[原文：英文]

爱尔兰认识到空间碎片这一日益严重的问题的问题和相关的碰撞风险，它支持采取行动，研究和推广控制和处置发送到空间的物质的适当标准。

各机构有时使用热电核动力源，例如太阳光电能不充足时用来完成深空飞行任务，爱尔兰支持采取行动，研究和推广这种动力源的严格标准和保障措施。

以色列

[原文：英文]

以色列没有开展过在外层空间使用核动力源的任何活动。

大韩民国

[原文：英文]

有关空间碎片问题，大韩民国提出“发射国付钱原则”，即作为空间碎片制造国的发达国家应对外层空间的碎片负责。这符合当今的实际环境政策趋势。在外层空间留下空间碎片的国家，如法国、俄罗斯联邦和美利坚合众国，应在处置碎片、制定标准及寻求减少碎片措施方面起带头作用。它们还需要通过设立支助这些活动的国际基金，支持发展中国家减少未来的空间碎片。

除深空飞行任务等特殊飞行任务之外，应严格限制使用核动力源。在不可避免的情况中，需要制定安全计划和标准。发达国家与发展中国家需要分享这些技术，以便使我们的地球和外层空间保持安全洁净。

荷兰

[原文：英文]

关于确定可能与外层空间的核动力源有关的地球进程和技术标准，荷兰在这一领域里没有开展任何活动。因此，荷兰无法进一步评论区分外层空间的核动力源与地面核应用的因素。

大不列颠及北爱尔兰联合王国

[原文：英文]

A. 导言

联合王国继续在解决空间碎片问题方面发挥关键作用。这一点是在国家一级通过联合王国空间碎片协调小组、在国际一级通过机构间空间碎片协

调委员会(空间碎片协委会)和联合国和平利用外层空间委员会实现的。英国国家航天中心继续协调联合王国参与这些论坛的活动。

最近一次联合王国协调小组会议是1999年4月在联合王国防务评价和研究局(防务研究局)举行的。出席会议的有联合王国工业界和学术界所有重要的碎片研究机构,其中包括世纪动力公司、防务研究局、流体重力工程公司、国防部、马特拉马可尼航天公司和肯特大学、伦敦大学和南安普敦大学。与会者就各种不同的主题作了专题介绍,其中包括在图卢兹举行的上届空间碎片协委会会议的活动;研制碎片跟踪设备的进展情况;新的碎片/流星体模型的进展情况和从中取得的结果;及与碎片屏蔽有关的研究活动。

在国际上,联合王国参加了1998年11月在图卢兹举行的空间碎片协委会全体会议,和1999年7月在维也纳举行的空间碎片协委会指导小组会议。

在过去的一年里,联合王国开展了下列空间碎片研究与开发活动。

B. 碎片群的测量

1. 碎片探测器

空间的实时探测使人们对空间碎片和流星体环境获得了宝贵的深刻认识。探测方法一般利用撞击微粒的能量以触发测量并且随后摧毁该微粒的物理实体。设在坎特伯雷的肯特大学空间科学和天体物理学小组在称为 DEBIE 的空间碎片探测器的三次飞行机会中继续取得进步。芬兰一家企业集团对第一次飞行机会给予援助,提供产品以便探测器能够搭载欧洲航天局(欧空局)PROBA号航天器,该航天器定于2000年年中发射。飞行传感器预定于1999年11月在肯特大学校准。关于第二次飞行机会,即防务研究局空间技术研究飞行器(STRV IC号卫星),肯特大学对飞行传感器进行了校准,并在1999年8月和9月交付了全部飞行硬件。所有单元都已集成到该航天器上,预定于2000年第一季度进行发射。最后一次飞行机会是在国际空间站上。欧空局技术照射设施将于2000年6月发射,其飞行期限为三年,随后重返地球。因此,这将为对回收表

面进行飞行后检测提供一次机会。

肯特大学也在探讨使用称为对位置敏感的气凝胶撞击感应器(APSIS)的一种新探测技术,这种技术综合了实时探测与回收试样分析¹。通过测量可回收收集器的撞击位置和时间、飞行后扫描和残留物分析可以提供有关撞击物的化学和物理数据。此外,如果在探测时与航天器的速度矢量相结合,APSIS可在适当的轨道空间坐标系中产生流轨。系统要求分析结果有利于作为大范围的探测器部署APSIS,这使它成为国际空间站的理想候选设备。

2. 回收表面的分析

如同原位探测器一样,分析从空间重返的表面提供了有关空间环境的宝贵数据。最近,肯特大学分析了哈勃太空望远镜上太阳能电池阵列中的太阳能电池,该望远镜在空间停留了3.62年之后重返。此项分析使用分析扫描电子显微镜,成功地查明了被选电池上29个撞击陷坑中的23个的起因。观察到的撞击残余物在流星与碎片方面的化学分类与通量模型预测完全相符。此外,通过比较残余物结果与使用肯特光气枪对太阳能电池进行的地面撞击试验,认真评价了残余物结果。这证实了陷坑中产生了类似的结构和化学效应,因此使人们对显微镜分析结果充满信心。在若干会议上宣读了和在若干享有盛名的杂志上刊登了关于此项工作的各种论文。^{2, 3}

C. 碎片环境模型制作

碎片环境、其长期演变和它可能对未来的空间体系造成的潜在风险的模型制作仍然是联合王国碎片研究人员的主要活动。不断向近地空间发送新资产所产生的影响及因此对碎片环境产生的后果也成为重要的研究领域。

1. 碎片源模型制作

碎片环境模型制作中最难的一个方面是,精确制作小型碎片(<1毫米)群模型。现用模型过低预测了这种大小的碎片群。其中一个主要原因是,这些模型没有包括所有的碎片源。例如,尚未考虑到在轨航天器表面产生的油漆薄片。但是,在防务研究局资助和指导下由伦敦大学玛丽

皇后和韦斯特菲尔德学院进行的研究促进了调查微型碎片的生产机制。人们正在研制微型碎片生成的模型，该模型考虑到了原子氧、温度的循环变化和紫外线辐射的效应。人们也进行了实验性测量，以查明其中各种物理现象的作用，人们还使用最初表面制备和缺陷问题来生成潜在的微型碎片物体大小的统计分布情况。最后，人们打算，取得的模型将融入碎片环境和演变模型(如防务研究局的碎片演变综合套件)中，从而消除偏低预测的一种主要原因。

2. 制作当前的地球同步轨道碎片环境模型

尽管当前低地球轨道碎片环境的模型已经相当全面，但在地球静止高度(即地球同步轨道)仍然非常不确定。由肯特大学、防务研究局、法国国家航空及航天研究局(图卢兹)、马克斯·朗克研究所(海德堡)和马里兰大学组成的企业集团得到一份欧空局的合同，将空间碎片和其他环境因素的模型制作从低地球轨道扩展到地球同步轨道。此项工作正在进行之中，将在明年汇报有关情况。

3. 碎片环境的长期演变

随着人们得到新的碎片源和新的碎片环境测量数据，防务研究局的碎片演变综合套件碎片模型最近得到了增强和重新验证。由于集成了涉及1957年至1998年年中发射情况的一个新的历史性发射物体数据库，而且补充模拟了该模型以前的基准时期1996年1月1日以来出现的碎裂事件，该模型的基准时期被更新到1998年3月31日。现在，碎片演变综合套件包括最新研制的钠钾冷却液小滴源模型，这导致厘米大小碎片的环境的模型预测的精确度得到大幅度提高。增强型碎片演变综合套件碎片模型广泛地用于详细研究低地球轨道碎片环境的长期演变情况，包括低地球轨道卫星群的影响和碎片减少措施。在最近收到美国国家航空和航天局(美国航天局)的一些试验个案数据之后，碎片演变综合套件模型向英国国家航天中心提供了对在空间碎片协委会内进行的一项国际低地球轨道模型长期比较研究的投入。完成此项基础性比较研究，将为基于类似框架和共同模型投入数据进行更复杂的比较铺平道路。空间碎片协委会这些更先进的研究可能使国际上对普通卫星群和商业卫星群系

统实施的不同的碎片减少措施的有效性等重要问题达成共识。

防务研究局的碎片演变综合套件模型获得成功，导致与欧空局和欧洲空间业务中心签订了一份合同，开发供其使用的碎片演变综合套件版本。将在2000年年初向欧空局交付的新模型称为碎片环境长期分析(DELTA)。DELTA将依赖欧空局流星体和空间碎片地面环境参考模型获得的最初的碎片群，该碎片群最近由德国不伦瑞克理工大学进行了更新。DELTA将对今后100年内大于1毫米的低地球轨道碎片环境和相关的飞行任务碰撞风险进行长期预测。DELTA在以下各方面取得了重大进步：长期轨道扩大展的速度和精确度；未来发射量模型的高分辨率；按不同碎片源内容进行的模型预测的细分情况；及碰撞级联过程的直接预测。总的说来，欧空局普DELTA应是最先进的，具有比其他模型更先进的能力。

在伦敦大学玛丽皇后和韦斯特菲尔德学院，研究人员继续开发创新性直接模拟蒙特一卡罗碎片模型。该模型只有统计分析能力，以预测轨道碎片环境的长期演变情况，其目的是改进航天器的风险评价。实现这一目标的手段是，设想用试样微粒代表真正的碎片群便能够制作出碎片模型。根据标准微粒运动理论，粗略评价了碎片碰撞概率。航天器破裂模型、碰撞概率模型和碎片微粒脱轨空气动态阻力模型结合起来，便可以预测碎片群的增长情况。利用长期照射设施卫星的撞击实验结果进行的比较预测验证了直接模拟蒙特一卡罗模型。该模型的模拟还用来预测多少个航天飞机窗户需要更换并将预测结果与实际数据进行比较。最近，人们开始一项工作以便将环境模型扩大到包括自然微型陨星在内。一份重要的空间杂志刊登了直接模拟蒙特一卡罗碎片模型的研究情况。⁴

格拉斯哥大学航空航天工程系开展的研究侧重于使用封闭式分析法调查地球轨道中的大型微卫星群的长期演变情况。由于微卫星被视为实现各种不同的创新性任务应用的低成本手段，此项工作越来越引起人们的兴趣。未来的微卫星系统可能包含成千上万颗卫星，每颗卫星的质量在0.001公斤至1公斤之间。这些卫星有可能没有主动控制装置，因此，环境效应，如空气阻力，将影响卫星群的演变情况。格拉斯哥大学的制作模型工作旨在推断出在空气阻力作用下典型卫

星群的平均空间密度，同时考虑到在轨卫星故障和部署新卫星以补充该卫星群的情况。最有趣的一项调查结论显示，微卫星数量密度将随着时间的推移而降低，但其高峰将移向更高的高度。实际上在通过该卫星群向外移动。使用此种技术也可以得到维持该卫星群所需的新微卫星放置速度的估计数。此项研究即将刊登在一份享有盛名杂志上。⁵

4. 碎片对空间资产造成的短期风险

南安普敦大学对主要的空间资产积极进行短期碎片风险评价。最近，这些评价包括对一个800颗卫星组成的卫星群(根据最初的Teledesic配置)和新的国际空间站的碰撞风险分析。这两次评价都使用空间碎片模拟软件模型，该软件是南安普敦大学依据与防务研究局的合同开发的。对于卫星群风险评价，人们考虑了构成潜在威胁的两种环境：(a)卫星群其中一颗卫星碎裂；和(b)卫星群运载火箭的破裂。人们发现，短期内该卫星群的碰撞风险较低。在所分析的环境中，碰撞引起的卫星群卫星的破裂对该系统构成最大的威胁。对于国际空间站风险评价，人们考虑了末级或邻近轨道中的航天器碎裂的威胁。根据所考虑的个案研究，人们发现，短期内由于国际空间站遇到碎裂碎片云发生碰撞的概率比背景碎片群引起的碰撞概率高四个数量级。在重大国际会议和一份享有盛名的杂志上都报告过这些研究成果。^{6, 7}

D. 航天器碎片保护

保护航天器免受超高速碎片撞击是联合王国积极参与的另一个研究领域。

1. 超高速撞击试验

由马特拉马可尼航天公司、防务研究局、肯特大学和流体重力工程公司组成的企业集团即将完成欧空局的两年期合同，为无人航天器调查具有成本效益的碎片屏蔽解决办法。由于经费和质量方面对普通航天器的设计的限制，所以只能提供数量有限的可靠的屏蔽选择。该企业集团提出了一套新的碎片屏蔽解决办法，这套解决办法应该提高未来航天器的存活率，其中包括：用双层构造代替许多航天器上典型的标准单层铝质

蜂窝构造；及对遮盖卫星结构的多层绝热垫添加数层β布。人们已制造出试样屏蔽，并使用光气枪对它进行了一系列超高速撞击试验。这些试验结果使人们能够得出各类新屏蔽的冲击极限方程式。这种方程式确保应能够预测用于卫星时屏蔽的效果。在该合同期限的其余时间，将进行成本风险效益分析，以使用数量表示屏蔽解决办法的成本效益。最后，将编写准则，向航天器系统设计者建议具体的航天器设计的最适当屏蔽选择并确定屏蔽位置。

2. 卫星可存活性模型制作

防务研究局继续开发一种称为SHIELD的创新性软件模型。SHIELD的目的是为具体卫星飞行任务确定最佳的碎片保护战略。完成此项工作的方法是，使用基因算法，自动寻找并评价卫星体三维几何表达式内的设备配置的几千种相互竞争的可能性，同时提供对该卫星进行屏蔽的许多选择和位置。该评价过程利用最新拟订的可存活性衡量标准，快速确定各种解决办法的有效性。对该衡量标准的一项投入是蒙特卡罗模型生成的卫星体上碎片撞击物的分布情况，这种分布情况又是从防务研究局碎片演变综合套件模型生成的定向碎片通量数据中获得的。该衡量标准的结构使它能够揭示出关键物品是否得到了邻近设备的充分保护，增加屏蔽的好处是否成为增加费用和质量的正当理由。这样，该模型能够确定为重要设备提供最大限度保护的最佳解决办法。人们设想，当设计变化非常灵活时，该模型最终能够成为卫星项目最初阶段的一种额外的工程工具。SHIELD 0.1版本刚刚完成，现在正等待验证。在一次重要的空间会议上和英国一份有名的国防杂志中，作为特邀论文介绍和刊登了这项工作的情况。^{8, 9}

3. 水码模型制作

使用Nextel和凯夫拉尔等新材料设计改进的缓冲屏蔽对于使未来长寿命空间飞行任务，特别是要求载人的飞行任务的撞击风险降低到最低限度至关重要。因此确定这些新材料对超高速撞击的反应特性对于确保最佳的屏蔽设计至关重要。必要时要求用水码软件模拟验证这些屏蔽在轨道碎片撞击的典型速度(> 10公里/秒)时的效果。为此，水码利用高压和高应变条件下的材料

模型。现在已经开发了铝材料模型，但没有开发 Nextel 和凯夫拉尔材料模型，因为铝是航天器上的标准材料。联合王国的一家公司即世纪动力公司根据与欧空局的合同，为这些具体材料开发了材料模型。通过比较水码模拟与撞击试验，证明了所获得模型的质量。在一次重要的国际专题讨论会上，宣读了介绍此项研究的论文，随后该论文获得最佳论文奖提名。¹⁰

世纪动力公司为改进本公司名为 Autodyn 的水码软件作出了巨大努力。对名为光滑粒子流体力学(SPH)的技术仍在进行长期研究与开发，此项工作综合利用内部投资和国防部/防务研究局的资金。最显著的是，一种三维 SPH 功能现在已在 Autodyn 中实施并通过验证。现在，Autodyn 在全世界越来越受到高度重视，去年欧空局及美国航天局购买了将其安装在大型计算机上的许可权。

注

¹ J. A. M. McDonnell and others, "Aerogel position-sensitive impact sensor: capabilities for in-situ collection and sample return", preprint.

² G. A. Graham and others, "Hypervelocity impacts in low Earth orbit: cosmic dust versus space debris", *Advances in Space Research*, vol. 23, No.1 (1999), pp. 95-100.

³ G. A. Graham and others, "Natural and simulated hypervelocity impacts into solar cells", to be published in *International Journal of Impact Engineering*.

⁴ L. Wang, and J. P. W. Stark, "Direct simulation of space debris evolution",

Journal of Spacecraft and Rockets, vol. 36, No. 1(Jan-Feb 1999).

⁵ C. R. McInnes, "A simple analytical model of the long term evolution of nanosatellite constellations", to be published in *Journal of Guidance, Control and Dynamics*.

⁶ G. G. Swinerd, S. P. Barrows and R. Crowther, "Short-term debris risk to large satellite constellations", *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, vol. 22, No. 2, (1999), pp. 291-295 .

⁷ G. G. Swinerd, S. P. Barrows and P. H. Stokes, "Short-term debris risk to the International Space Station arising from a spacecraft fragmentation", presented at the *49th International Astronautical Congress, held in Melbourne, Australia, 28 Sept. to 2 Oct. 1998*, paper No. IAA-98-IAA.6.4.04.

⁸ P. H. Stokes and others "Novel modelling solutions for debris risk reduction", *Advances in Space Research*, vol. 23, No. 1, 1999, pp. 231-241 .

⁹ P. H. Stokes and others "Protecting satellites against orbital debris", *Journal of Defence Science*, vol. 4, No. 2, 1999, pp. 121-131.

¹⁰ C. J. Hayhurst and others "Development of material models for Nextel and Kevlar-epoxy for high pressures and strain rates", paper presented at the *Hypervelocity Impact Symposium*, held in Huntsville, Alabama, US, in Nov. 1998, paper No. 1044.