

联合国 大会



Distr.
GENERAL

A

A/AC.105/619*
21 November 1995
CHINESE
ORIGINAL: ENGLISH/SPANISH

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

核动力源同空间碎片碰撞的问题

秘书处说明

目 录

	段 次	页 次
导言	1 - 4	2
来自会员国的答复		2
加拿大		2
智利		4
日本		4
大不列颠及北爱尔兰联合王国		12

* 本文件译自未经正式审编的英文本。

导言

1. 联合国大会在其 1994 年 12 月 9 日第 49/34 号决议第 32 段中认为，会员国必须对包括核动力源在内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予以更多重视，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，汇集和散发关于空间碎片的数据。大会认为，在可能的范围内提供有关资料给和平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会。
2. 大会在同一决议第 17 段中请各会员国就关于核动力卫星安全问题的国家和国际研究定期向秘书长提出报告。
3. 秘书长于 1995 年 8 月 4 日向所有会员国发出普通照会，请它们于 1995 年 10 月 31 日以前将上文所要求的信息资料送交秘书处，以便秘书处能起草一份关于这些信息资料的报告，提交小组委员会第三十三届会议。
4. 本文件是秘书处根据截至 1995 年 10 月 31 日收自各会员国的信息资料撰写的。在这一日期后收到的信息资料将编入本文件增编。

来自会员国的答复

加拿大

[原件：英文]

在获得并理解有关空间碎片环境及碎片减少技术特点的数据方面，加拿大航天局乐意报告如下：

- 低地球轨道材料照射实验(MELEO)：低地球轨道材料照射实验是一次有源实验，于 1992 年 10 月在航天飞机 STS - 52 次飞行任务中进行。该实验的主要目的是测量环境对材料样品（总共 313 件）的影响，这些材料样品放置在 CANADARM（装在美国航天飞机上的加拿大自动操纵机械臂）上并在飞行中朝“冲压”方向照射了总计约 30 个小时。该项实验中还有两架灵敏的石英晶体微量天平，以逆向方式测量照射期间原子氧积分通量。这一实验由许多研究人员共同开发，其中若干研究人员设置了用以捕捉小轨道碎片微粒和微流量的设备。在飞行过程中，当作为有效载荷的一颗卫星从航天飞机施放后用一个固体燃料火箭发动机将其送入高轨道。正是这一动作提供了飞行期间轨道碎片的大部分数

据。尽管在发动机点火期间材料样品受到保护，但是返回地面接受鉴定的样品中有许多曾受到大量微粒的碰撞。估计的微粒大小与固体燃料火箭流出物相一致，尽管预计不会发生碎片云长时间持续存在的情况。因此，本次实验提供了因固体燃料火箭发动机燃料而产生的轨道碎片的数据。

- 高级复合材料照射实验(ACOMEX): 高级复合材料照射实验也是用航天飞机进行的一项实验，于 1994 年 10 月在 STS - 41G 次飞行任务中进行。这次实验的目的是搜集复合材料在低地球轨道上降解的数据。实验材料由放置在 CANADARM 上的若干材料样品组成，CANADARM 在飞行过程中约有 40 个小时定位于“冲压”方向。虽然该实验并非为测量轨道碎片而设计的，但是飞行结束后对返回地面的材料样品的检查提供了某些发现，很可能被认为是在空间受到碰撞的结果。尽管没有获得详细数据，但这次实验确实为设计上文提及的低地球轨道材料照射实验做出了贡献。
- 长期照射设施(LDEF): 在长期照射设施上进行实验之一是由加拿大多伦多大学的研究人员进行的。关于包括上述加拿大实验结果在内的来自长期照射设施航天器的实验结果，目前许多已经公布。在返回地面后，对该实验设施进行了彻底检查，以确认碰撞点。总共明确确认了 70 多个碰撞点。另外，对轨道碎片特别研究小组报告的整个航天器的数据进行了分析，并以工程拼图形式予以提供，它可用于设计航天器。除此之外，还利用地面测试来研究材料样品所受碰撞痕迹的大小和类型同概率粒子大小和速度之间的关系。
- 空间与地球科学研究所和西安大略大学一道正在研究基于拉瓦尔大学提出的液态镜概念的大直径、不可调地面望远镜监测空间碎片的潜力。
- 魁北克 Point-Claire 的 MBP 工程学院现正研究是否有可能使用电 - 光和红外线传感器，特别是使用空间传感器和系统进行空间监测；其兴趣是利用毫米波雷达技术来观测、跟踪并确认碎片。
- 在长期照射设施记录的碰撞数据的基础上，多伦多大学航空研究所正在拟订设计拼图，用于预测由于高度、倾斜角、轨道上的时间和方向等因素宇宙飞船受碰撞的次数。
- 多伦多大学航空研究所正在开发保护技术，以减轻轨道碎片造成的损害。另外，它还在研究拟在空间站外部进行的飞行测试实验。

- 不列颠哥伦比亚大学物理系正在对高能量密度下物质的基本行为进行研究。这项研究有助于了解超高速时的碰撞现象；双级光-气枪以 4 公里/秒运作，速率可达 6 公里/秒，改进后可能达到 8 公里/秒。由于预算限制，近期内无大规模试验计划。

智利

[原件：西班牙文]

智利报告说，它现在未从事任何与空间碎片有关的研究，且不拥有核能卫星。因此，现在没有进行有关核动力源同空间碎片可能碰撞的研究。

日本

[原件：英文]

日本近期空间碎片活动

空间碎片在本质上是一个全球性问题，所有从事空间活动的国家必须合作加以解决，以便为今后的空间活动维持一个安全的环境。有关此问题世界最早的警告是由 M.Nagatomo 及其日本宇宙航空研究所的同事于 1971 年在日本发出的。¹ 从那时以来，日本各组织以就此课题进行了独立的研究。但是，直到 1990 年日本航空和航天科学协会创建空间碎片研究组时，才开始进行有系统有组织的活动。该研究组由来自各空间组织和企业的 30 多名成员组成，它于 1992 年 1 月发表了一份临时报告并于 1993 年 3 月发表了最后报告。² 该报告所列某些建议已得到落实即新近成立了两个日本航空和航天科学协会研究组。由于研究组的持续努力，日本各空间机构和组织现已认识到，空间碎片公害不再是一个抽象问题，而是对无人和载人空间活动的现实而严重的威胁。日本政府空间活动委员会在 1994 年 7 月发表的《日本空间长期设想》报告中阐明了日本关于空间碎片的政策。³ “日本将致力于开发产生尽可能少空间碎片的系统。至于现有的空间碎片，我们将与其他国家合作考虑减少碎片的方法。”负责在日本进行空间发展实际应用的日本宇宙开发事业团于 1993 年 8 月成立了自己的工作组，以研究空间碎片问题并制订该事业团的政策及减少碎片和保护标准。

本文简要回顾了日本在空间碎片领域目前正在进行和计划进行的活

动。

一. 空间碎片测量

A. 光学观测

利用设于东京小金井（北纬 35.42 度，东经 139.29 度）的光学观测系统，通信研究实验室(CRL)对地球同步物体进行了光学观测。该观测系统包括一架 1.5 米孔径的望远镜，一架液态氮冷却电荷耦合器件照像机，芯片大小为 1242×1152 像素，一台图像处理计算机及其他科学和通信设备。最初建造该系统的目的是作为使用地球静止卫星进行空间通信实验的固定地面站。随着有了这一通信研究实验室光学观测系统，从理论上讲可观测位于地球静止高度上小至 20 厘米的物体。因此，预计它能促进测量地球静止轨道上及周围的碎片群的国际合作项目。

作为与日本宇宙开发事业团合作进行的一项研究，日本国家天文台(NAO)自 1992 年以来利用日本宇宙航空研究所鹿儿岛空间中心(KSC)(北纬 31.13 度, 东经 131.04 度)和东京大学木曾天文台(北纬 35.48 度, 东经 137.38 度)的施密特望远镜，对地球静止轨道卫星进行观测。在日本使用其他望远镜的前景也很光明。但是，要进行更细致长久的观测，则需要一个专门的碎片观测系统。日本航空和航天科学协会和日本宇宙开发事业团将于 1995 年 7 月开始对一个地球静止轨道卫星进行初步共同研究，以探测地球静止轨道上的空间碎片。

B. 雷达观测

T.Takano 及其日本宇宙航空研究小组对通过双分雷达系统监测空间碎片进行了研究。他们成功地证明这一系统适用于“Yokoh”号科学卫星上的观测实验；该卫星重达 420 公斤，位于高度为 600 公里倾角为 31.3 度的环形轨道上。在实验中，他们将鹿儿岛空间中心直径为 20 米的天线用作发射站，将日本宇宙航空研究所 Usuda 深空中心（北纬 36.13 度，东经 138.37 度）直径为 64 米的天线用作接收站。两站之间距离为 1,000 公里。通过现代通信技术，可观测 500 公里高度上小至 2 厘米的物体。

由 T.Yokota 领导的一个日本宇宙航空研究所小组对使用激光雷达系统探测空间碎片进行了研究。该系统包括钕：钇铝石榴石激光器，光束扩展器，

望远镜, CCD 照像机, 光电倍增器和计算机。据估计, 它具有在 1 公里远发现直径为 1 毫米的微粒的观测能力。因此, 它可用作装在航天器上的空间碎片观测系统, 以探出小碎片并设法避免碰撞。已研制出该系统的工程模型, 正在测试其基本性能。

雷达一直是观测“其体积构成威胁”的低地球轨道碎片的最有效手段; 这种碎片比 1 厘米稍大一点。所有关于此类空间碎片的现有数据库和统计资料, 其中包括著名的美国空间指挥部目录, 都主要依赖于各种雷达的观测。它们通常都包含一个重要条目“体积”, 这是根据接收到的回波的强度确定的。例如, 在评估碎片与一堵屏蔽墙相撞的效应时, 人们通常把它解释为球体直径。

但是, 统计研究表明, 通过将雷达估计的体积与用大气阻力产生的轨道衰减而确定的实际预测面积所计算的体积相比较, 以上估计过高。⁴

目标的体积是通过雷达截面计算出的; 雷达截面被界定为各向同性散射体的面积, 它的回波功率与目标的功率相同, 它确实与大金属球体的实际断面一致, 但通常与形状不规则物体大不相同, 特别是在高频带观测时尤其如此。例如, 一条细电线也许会被误认为一个炮弹。

对于小于雷达波长的物体, 雷达截面与波长第 4 级功率 (或频率第 4 级功率) 成反比。因此, 大多数监测空间碎片的雷达都使用 5 至 10 千兆赫或更高的频率, 以便获得对于小碎片的高灵敏度。在此高频率下, 随着目标相对于雷达的方向变化, 雷达截面变化很大。因此就很难从观测到的雷达截面估计出实际截面。

另一方面, 在较低频率下, 实际截面与雷达截面的关系就变得简单得多了, 尽管我们要为降低对小目标的灵敏度付出高昂代价。

日本京都大学的中高层大气雷达是一种额定为 46.5 兆赫的高功率甚高频雷达; 在此频率下, 它的 1 兆瓦输出功率和 100 米天线补偿了降低的灵敏度。它与用于美国空间指挥部目录维修的雷达有差不多相同的灵敏度。⁵

这一雷达的主要目标是地球大气层, 或者更准确地说, 是大气湍流导致空气折射率不规则而产生的微弱后向散射。由于这一大气回波是如此的微弱, 科学家们一直为来自如空间碎片等各种物体产生的很强的“非期望”回波造成的混杂而烦恼。我们决定利用这些以前被忽略的回波, 并于 1988 年开始空间碎片统计研究。

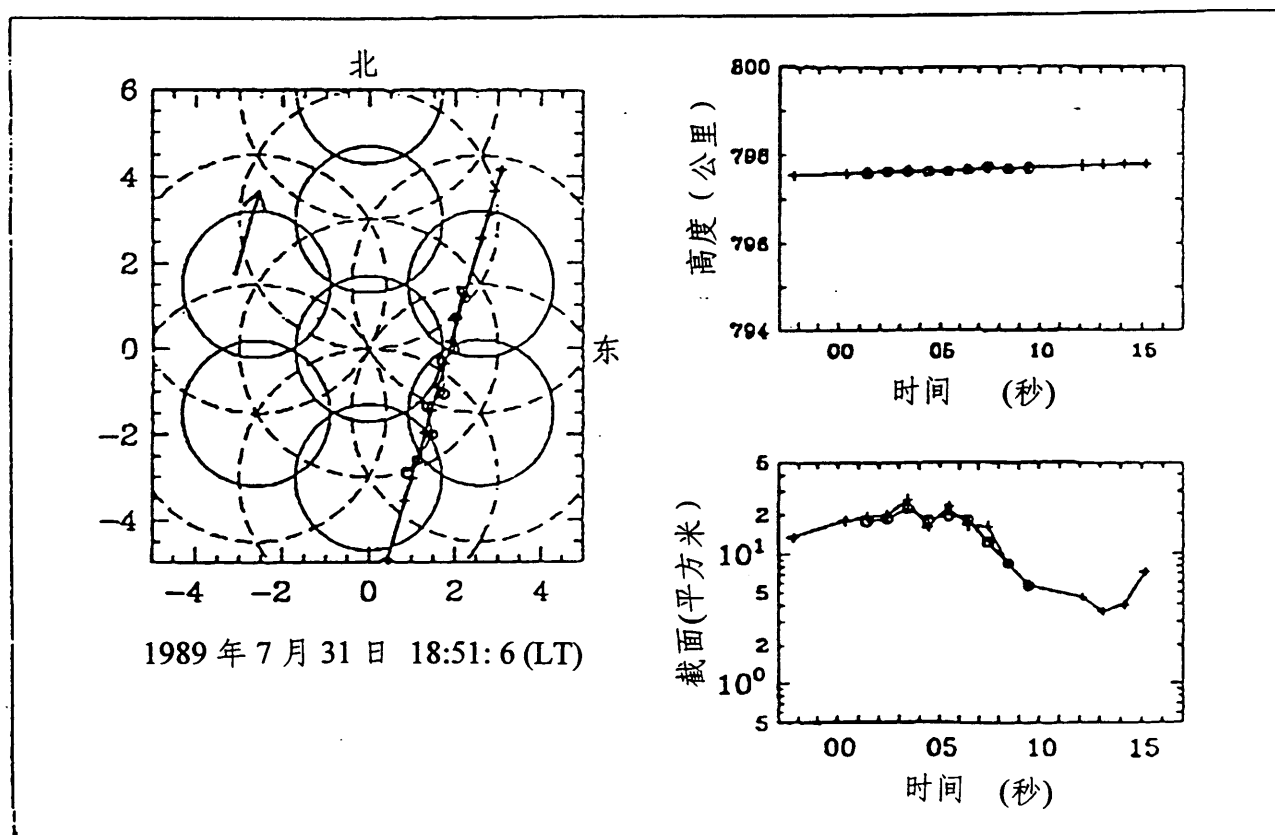
中高层大气雷达的天线由 475 根 Yagi 天线组成, 它们构成了有源相控

阵天线。这种天线的优点是通过电子转换多天线束，它能够几乎同时观测不同的方向。图一显示了一个观测碎片的例子，其中使用了8条天线束，它们在天顶周围按顺序从一个脉冲转换到另一个脉冲。⁶ 目标碰巧是宇宙(Kosmos)1023号火箭助推器，它经过了这些天线束，雷达截面的变化被跟踪了约20秒钟。仅从一次观测中也可粗略地确定目标的轨道。使用大型抛物状天线的常规雷达其连续观测一个轨道物体的时间超不过几分之一秒，除非其轨道已事先确定。

雷达截面随时间发生的大幅度而平稳的变化(见图1右下方)表明火箭助推器的旋转。其最大值大致与其最大实际截面一致。

使用雷达“看”一个目标形状的最直接方法是使天线束具有足够灵敏度，以便能分辨目标。但是，在100公里的距离要得到1米的分辨率是不切实际的，因为天线所需的直径大约是10公里。更明智的技术是利用目标的旋转。这一想法是通过测量多普勒速度谱来分辨以不同于雷达的速度运动的目标的不同部分。这一方法被称作逆合成孔径雷达(ISAR)或测距——多普勒干涉测量(RDI)并已广泛用于军用雷达和雷达天文学。通过使用德国应用科学研究所的雷达，它已应用于空间碎片领域；该雷达显示出一个清晰的礼炮号——宇宙号合成图象。⁷ 目前其分辨率仅限于约1米，因此它无法用来确定大小为1至10厘米的小目标的形状，而这是人们最为关心的问题。

图1.通过中高层大气雷达观测到的宇宙——0123火箭助推器的角转运动(左)，高度变化(右上)和雷达截面变化(右下)。
左上方的圆圈表示天线波束的覆盖范围



如上图所示,通过对照由大气阻力估计出的实际截面与雷达截面,可以得出一些关于空间碎片形状的统计信息。这一技术的主要局限是为了探出轨道衰减,必须对同一物体进行长时间的监测。

我们的中高层大气雷达观测结果也提供了类似信息。数字模拟表明,可根据物体的扁长形状来解释雷达截面变化的大小。鉴于一次观测只提供从一个方向看到的变化,我们需要以统计学方式来判读多种观测结果。这种分析的结果表明用中高层大气雷达观测到的相对较小的碎片其体积不到与雷达截面相同的球体体积的一半。

为了评估空间碎片的实际大小,必须获得有关形状的信息。尽管在设计未来碎片雷达时最优先考虑的是它应具有识别 1 至 10 厘米物体的灵敏度,它还应有能力对未知物体连续跟踪至少 10 秒钟,这是进行上述 ISAR(RDI)分析和(或)统计学分析所必需的。相控阵天线是实现这一能力的基本要素。

C. 碰撞测量

在历时一年的深入研究的基础上,日本航空和航天科学协会空间碎片和微流星体碰撞探测研究组向无人空间实验自由飞行器(USEF)研究所提出了空间飞行器飞行后分析。

空间飞行器是一种指向太阳,以三个轴平衡、无人平台设施。它于 1995 年 3 月 15 日由 H - II 第三次飞行发射,计划于 1996 年 1 月由 STS-72 号航天飞机回收。它将在高度为 300 至 500 公里,倾斜角为 28.5 度的环形轨道上飞行,它将成为日本第一个返回地面的空间装置。空间飞行器的照射面积总共约为 150 平方米,有四块主要区域是计划中飞行后分析的目标。

- 有效载荷部件多层绝热板(MLI),这是一个八边形结构,直径为 4.46 米,高度为 1.40 米;
- 照射装置飞行器(EFFU),这是一个看起来像盆子的结构物,顶面尺寸为 1.48 米 x 1.48 米,顶部覆盖着镀银聚四氟乙烯当作散热器,四侧面有高度 1.05 米的镀铝 Kapton 多层绝热板;
- 太阳能电池阵列面板,长 24.4 米,宽 2.36 米;
- 二维展开式高压太阳能电池阵列,完全开时是一个高 3.84 米、底边长 3.62 米的三角帆。

预计通过与长期照射设施、欧洲可回收装载系统和哈勃空间望远镜太阳

能电池阵列的飞行后分析数据进行比较, 可以得到大量信息。

计划在航天飞机上进行日本实验舱飞行示范(JFD), 它是对 Alpha 国际空间站日本实验舱的操纵系统的核实测试。日本宇宙开发事业团部件和材料实验室计划利用这一机会, 进行空间环境材料实验。空间环境材料实验系统包括空间碎片尘埃收集器和用于评价空间原子氧效应的材料样品架。它们将被放置在航天飞机有效载荷机舱内 JFD 实验装置的顶部, 并且将向航天飞机飞行方向照射 40 个小时。这一活动定于 1997 年 4 月进行。

二. 减少空间碎片

在各种不同轨道物体中, 最多的是爆炸产生的碎片。它们是火箭上级层爆炸、蓄意干扰和其它未知因素造成的。后者的性质尚不清楚, 但据信包括超高速碰撞引起的爆炸。为了避免大量意外碎片产生, 日本宇宙开发事业团已对残留推进剂(LOX, LH_2 , N_2H_4)和 H-I/H-II 第二级的残余氮气进行排放处理。除非在某些特殊飞行中, 如静止地球气象卫星使用过的远地点发动机的分离, 已不再在卫星分离时释放机械部件及展开太阳能面板。为防止 H-II 第二级在空间意外遭破坏, 在射入轨道后立即切断指令破坏系统, 其引爆装置被施以热绝缘, 以杜绝自行起动的。

地球静止转移轨道上的物体正在增加, 由于其轨道寿命长而被认为会对未来空间活动造成危险。现正努力缩短 H-II 第二级的空间寿命。⁸ 例如, 1994 年 8 月 28 日 H-II 第二次飞行的第二级(1994-056B)通过进行无用燃烧并消耗残余推进剂, 以远地点 32,298 公里、近地点 150 公里脱离了距地球静止转移轨道远地点为 36,346 公里近地点为 251 公里的技术试验卫星 VI 号地球静止转移轨道。据观测, 截止 1995 年 3 月 31 日, 其第二级已分裂为至少 6 个新物体, 它们已衰减。⁹ 自 1985 年以来, 日本宇宙开发事业团还对地球同步轨道卫星在其寿命结束后至少向上改轨了 150 公里, 并计划达到 300 公里。

根据日本宇宙开发事业团的要求, 日本航空和航天科学协会于 1993 年 9 月成立了空间碎片预防设计标准委员会。其主要目的是讨论技术背景并为大约于 1997 年判定的“日本宇宙开发事业团轨道碎片减少设计标准”起草初稿。该委员会成员来自日本全国宇空实验室, 日本宇宙航空研究所, 日本宇宙开发事业团, 各大学和与空间有关的大公司。对减少空间碎片措施的技术和经济可行性进行了深入研究, 重点放在:

- 宇宙飞船和火箭上级层钝化;
 - 在地球静止转移轨道上层脱轨;
 - 寿命结束后地球同步轨道卫星脱离轨道;
 - 其它可行的重要措施, 如预防运行的碎片;
- 1994 财政年度报告发表于 1995 年 3 月。¹⁰

三. 空间碎片防护

日本宇宙开发事业团已对日本实验舱空间碎片防护系统进行了研究。使用一支双级氦气枪, 已获得 100 多项碰撞试验数据, 碰撞速度可高达 5 公里/秒。超高速碰撞实验之所以重要不仅仅是对于设计空间站防护系统而言, 而且对于超高速碰撞基础科学的发展以及认识碎片产生和散射现象亦是如此。日本全国宇空实验室与许多组织合作进行了超高速碰撞基础研究。进行了不同速度范围的碰撞实验, 即在京都大学使用一级火药枪以 2 公里/秒的速度, 在东北大学使用双级氦气枪以 4 公里/秒的速度, 以及在日本宇宙航空研究所使用 rail 枪以约 7 公里/秒的速度。目标标本是由厚度为 3.5 毫米的 3 块铝合金板组成的, 每块板之间间隔 60 毫米。实验后发现, 这三块板都被打穿了, 上面布满花瓣状孔, 并且后面板上的孔比前面板上的大。这就证明在主板前面的两块缓冲板对于质量 14 克且碰撞速度 2 公里/秒的碎片碰撞起不到防护作用。为对速度最高达 15 公里/秒的超高速碰撞现象进行研究, 日本全国宇空实验室一直在与三菱重工株式会社合作研究能将质量以克计的铝弹射体加速到 10 公里/秒以上的成形负载发射系统。还计划进行一系列爆炸实验, 以模拟火箭上级层的碎裂。

四. 结论

保护空间环境是确保进行长期空间活动和扩大空间活动不可或缺的。迄今为止已提出了各种科学和技术建议, 在不同程度上, 这些建议都必然会要求增加费用并削弱空间系统能力。现在需要的是确定技术上有效并符合成本效益的可被接受的措施。在空间碎片问题上最主要的不确定性是源于我们对确切的碎片环境的无知。日本应同其它从事航天活动的国家和组织合作努力, 研究碎片群, 收集硬数据以对不同理论和建议进行核实, 并评价各种措施及有关的后果。

注

- ¹ M. Nagatomo, H. Matsuo 和 K. Uesugi, “未来近地球空间利用控制的一些考虑”, 第九次 ISTS 会议记录, 东京, 第 257 - 263 页 (1971 年)。
- ² S. Toda 和 T. Yasakka, “日本空间碎片研究”, 《高级空间研究》, 第 13 卷, 第 8 期, 第 289 - 298 页, (1993 年)。
- ³ 《创建新世纪的空间年代》(日本空间远期设想报告), 空间活动委员会远期设想特别委员会 (1994 年 7 月)。
- ⁴ G. D. Badhwar 和 P. D. Anz-Meador, “确定轨道碎片的区域和质量分布”, 《地球, 月亮与行星》, 第 45 期, 第 29 - 51 页 (1989 年)。
- ⁵ T. Sato, H. Kayama, A. Furusawa 和 I. Kimura, “轨道碎片的中高层大气雷达测量”, 《日本航天飞机》, 第 28 期, 第 677 - 682 页 (1991 年)。
- ⁶ T. Sato, T. Wakayama, T. Tanaka, K. Ikeda 和 I. Kimura, “从雷达截面变化估计的空间碎片形状”, 《日本航天飞机》, 第 31 期, 第 665 - 670 页 (1994 年)。
- ⁷ D. Mehrholz, “利用礼炮 7 号/宇宙 1686 号的重返雷达跟踪和观测不合作空间物体”, 《礼炮 7 号/宇宙 1686 号重返国际研讨会会议记录》, No. ESA SP-345, 第 1 - 8 页, (1991 年)。
- ⁸ T. Ujino, I. Yamazaki, T. Nakagawa 和 K. Mori, “H-II 火箭预防碎片计划”, 第 44 次国际宇宙航行联合会会议记录, IAF-93-V.5.633, 格拉茨, 奥地利 (1993 年 10 月)。
- ⁹ N. Johnson, 私人信函 (1995 年 4 月)。
- ¹⁰ 制订轨道碎片减少设计标准的研究报告, 日本宇宙航空科学协会 (1995 年 5 月)。

大不列颠及北爱尔兰联合王国

[原件：英文]

1995 年 3 月和 1995 年 11 月，英国国家航天中心继续与法国（法国国家空间研究中心）、德国（德国航天局）和意大利（意大利航天局）的国家航天机构以及欧洲航天局（欧空局）就协调碎片活动进行讨论。题目涉及技术目标、业务要求、已完成和进行中研究的结果、确定今后研究内容、活动协调以及寻求减少空间碎片的共同政策。英国国家航天中心对有关联合王国的工业界、学术机构和政府研究中心所从事活动和具备能力（软件工具和设施）数据的收集和处理进行协调。以上信息资料已递交欧空局以便与其它成员国介绍的情况作比较。欧空局将发表一份概括以上信息的报告，并提供给各成员国和非成员国。这些国际协调会议也为现代各成员国参加机构间碎片协调组的欧空局提供了机会，以散发在机构间碎片协调组会议上所交流的信息。机构间碎片协调组 1995 年度会议于 1995 年 3 月在得克萨斯州休斯敦举行。

第三次联合王国轨道碎片/协调组会议于 1995 年 4 月 7 日星期五在英格兰汉普郡的南安普敦大学召开。这次会议汇集了来自英国国家空间中心、南安普敦大学、伦敦大学、肯特大学、科学仪器研究会、防务研究局和高级系统建筑局的发言者。讨论的题目包括碎片危害短期和长期模型制作、地面光学和雷达探测碎片物体、通过分析回收物体的表面测量微小碎片以及与空间碎片有关的国际倡议。与以前一样，出席本次会议的人很多，会议为进一步传播有关欧空局和机构间碎片协调组一级国际方案的信息提供了机会。

1995 年期间，联合王国各研究组撰写了一些技术论文。本报告的引文部分列举了一些已发表的论文。

肯特大学空间科学组(UNISPACE)在对从轨道回收的航天飞机表面进行的分析研究在欧洲共同体仍处于领先地位。欧洲可回收装载系统和哈勃空间望远镜¹的一个太阳能电池阵列的返回提供了一大块照射表面，可据此检查碰撞点。通过对碰撞形态应用经验碰撞计算公式——即与冲撞物和航天飞机表面的物质特点以及冲撞物对这些表面的碰撞速度和发生率相关的公式，就可能通过对碰撞点残留物的计算、测量和化学分析推断出所遇到的微小碎片环境。²这将使工程师们得以评价现有的流星体和空间碎片群模型，

并核实不同亚系统成份的破坏预测。此类分析还需要一些碰撞校准测试，以研究单阵材料对超高速碰撞的反应。欧洲可回收装载系统太阳能电池阵列³在回收卫星面积为 99 平方米的最大照射区域上。已记录下电池阵列上碰撞点的高低分辨率图像，其总数多达 3,000 多个（大于 50 微米）。每个电池阵列上肉眼可观察到的碰撞点达 1,000 多个。对哈勃空间望远镜的分析着重于在 20 平方米的电池阵列区域内形态大于 1.2 毫米的碰撞点。总共记录有 704 个大的碰撞形态。对碰撞位置、大小参数、形态特征和方向都逐一进行了测量。所有这类图像都已数字化，并存入 CD 盘，可由欧空局提供，以便作进一步研究。哈勃空间望远镜碰到的微碎片流⁴比欧洲可回收装载系统碰上的大 2 至 8 倍。⁵有人认为，这证明了大气密度的强烈影响，大气密度随高度产生指数式减小，并决定碎片微粒的轨道寿命。空间科学组对这种效应⁶也进行了研究，他们得出的结论认为在哈勃空间望远镜和欧洲可回收装载系统的高度周围一定有比模型预测的要多的高轨道偏心率微粒群，只有这样才能解释所碰上的密集碎片流。令人感兴趣的是，这些模型中有很多都依赖于可观测得到的大碎片群，以此作为对其界定的基础。空间科学组还确定了在微粒群碰撞的规模和方向上的差异，⁷这就使区分人造碎片和自然流星体成为可能。在欧洲可回收装载系统平台上进行的时间带捕捉笼实验(TICCE)⁸提供了捕捉在诸如气溶胶等物质中完好无损微粒的能力。⁹对实验中碰到的微粒流¹⁰继而可进行化学分析，并借助碰撞的方向确定不同的碎片和流星群。在碰到的微粒流与诸如 ESABASE 之类设计环境模型之间的对比研究仍在继续进行。

另有两所大学的有关系正在积极地与工业部门进行合作研究，评估碎片对宇宙飞船构成的短期和长期碰撞危险。

在汉普郡南安普敦大学的第一组正借助其天体动力学高级研究中心的声望，努力发现用以确定碎裂对卫星系统可能构成碰撞危险特征的全新有效方法。有几项研究探讨了发射装置的碎裂对有效载荷造成的威胁，¹¹一个卫星部件的碎裂对卫星群的威胁¹²以及欧洲与美利坚合众国模型制作技术的对比。¹³

第二组设在伦敦大学 Queen Mary and Westfield 学院。其工作的重点是通过动用蒙特卡洛直接模拟技术代表环境演变，对碎片群进行长期预测。通过应用稀薄气体系统中碰撞动力学技术，这一组已能制作群体中碰撞引发碎裂的模型。这一模型将用于对碰撞级联现象进行充分研究。¹⁴

这两个组现正使用光学望远镜从地面对碎片物体进行探测和观察。科学仪器研究会现正利用它从以前帮助欧空局进行可行性研究中获得的经验，促进开始使用一台 1 米的欧空局望远镜。根据欧空局第 10623/93/D 号合同，科学仪器研究会已就使用电荷耦合器件组探测并分析碎片的规则系统向主要承包者——瑞士伯尔尼天文研究所——提供了咨询和指导。第二组，即皇家格林威治天文台，为探讨使用光学望远镜探测轨道物体的可行性和精确度的论文提供了材料。¹⁵ 这些研究证明，偏心轨道上的物体比环形轨道上的物体更不易被探测到，其选择效应十分显著。

设在法恩巴勒的防务研究局为联合王国内的所有团体提供技术重点，并在外空委员会上支持英国国家航天中心。它是第一个强调与在不同高度上散布的诸如卫星群等空间结构物有关的潜在问题的团体。它与南安普敦大学合著的一篇文章¹⁶指出，对于预测到本世纪末出现的大规模卫星群来说，由于碎片碰撞的原因，卫星群系统及其紧挨着它的周围飞行物都存在极大的危险。现正扩大这一研究范围，以便考虑到称作综合碎片演化的软件包的二级（级联）效应。还可将它用于减少碎片效率的研究。

这些研究证明联合王国现正从事，并且在许多情况下以其特有的能力从事广泛的活动，旨在界定轨道环境，评估对空间飞行的危险，并制定减缓日益加剧的空间碎片问题的政策。

技术目标	活 动	组 织
环境界定	回收表面分析	肯特大学
环境界定	光学探测	科学仪器研究会，皇家格林威治天文台
环境界定	群体模型制作	防务研究局，伦敦大学
危险评估	短期模型制作	南安普敦大学
危险评估	长期模型制作	防务研究局
减少碎片/政策	评价	防务研究局

注

¹ G. Drolshagen, J. A. M. McDonnell, T. Stevenson, R. Aceti 和 L. Gerlach, “欧洲可回收装载系统和哈勃太阳能电池阵列上流星体/碎片碰撞特征的飞行后测量”，《高级空间研究》，第 16 卷，第 11 期，第 85 - 87

页， 1995 年。

- ² Gardner, “比照 hydrocode 模拟的长期照射设施中层大气方案箔片被流星体和空间碎片超高速碰撞穿透”，提交《高级空间研究， 95》。
- ³ J. A. M. McDonnell, G. Drolshagen, D. J. Gardner, R. Aceti 和 I. Collier, “欧洲可回收装载系统近地球空间环境中的照射: 空间碎片增加期超高速碰撞凹痕形成”，《高级空间研究》，第 16 卷，第 11 期，第 73 - 83 页， 1995 年。
- ⁴ G. Drolshagen, W. C. Carey, J. A. M. McDonnell, T. Stevenson 和 J-C. Mandeville, “碎片和流星体对太阳能电池阵列造成的碰撞损害”，《为未来作准备》，第 5 卷，第 2 期，欧空局出版物， 1995 年 6 月。
- ⁵ R. Aceti, G. Drolshagen 和 J. A. M. McDonnell, “微流星体与空间碎片: 欧洲可回收装载系统飞行后分析”，《欧空局通报》，第 80 期，第 21 - 26 页， 1994 年 11 月。
- ⁶ J. A. M. McDonnell , P. R. Ratcliff 和 I. Collier, “低地球轨道高度上轨道微碎片的大气阻力模型”，《高级空间研究》，第 17 卷，第 12 期，第 183 - 188 页， 1996 年。
- ⁷ J. A. M. McDonnell, “欧洲可回收装载系统超高速碰撞痕迹: 特定方向上的小凹痕群减少，而大凹痕群增加”，月球与行星科学大会， 1994 年，文摘卷，第 867 页。
- ⁸ H. Yano, I. Collier, N. Shrine 和 J. A. M. McDonnell, “对欧洲可回收装载系统航天器时间带捕捉笼实验的大碰撞点的显微镜和化学分析”，提交《高级空间研究， 95》。
- ⁹ M. J. Burchell 和 R. Thomson, “在实验室用气溶剂完好无损地捕获超高速微粒”，在 1995 年 8 月西雅图关于压缩物质的冲击压迫的全美物理学会专题会议上提交。
- ¹⁰ D. J. Gardner, I. Collier, N. R. G. Shrine, A. D. Griffiths 和 J. A. M. McDonnell, “欧洲可回收装载系统航天器时间带捕捉笼实验的微粒碰撞物量”，《高级空间研究》，第 17 卷，第 12 期，第 193 - 199 页， 1996 年。
- ¹¹ S. P. Barrows, G. G. Swinerd 和 R. Crowther, “碎片云碰撞风险分析: 极台个案研究”，《航天器与火箭杂志》，第 33 卷，第 5 期， 1996 年。
- ¹² S. P. Barrows, G. G. Swinerd 和 R. Crowther, “卫星群级联碎裂”，《高

- 级空间研究》，第 16 卷，第 11 期，第 119 - 122 页。
- ¹³ S. P. Barrows, G. G. Swinerd 和 R. Crowther, “碎片云碰撞风险分析”，《航天器与火箭杂志》，第 32 卷，第 5 期，1995 年。
- ¹⁴ L. Wang, J. P. W. Stark 和 R. Crowther, “轨道碎片碰撞频率直接蒙特卡罗模拟”，国际航天学会论文，IAA-95-IAA. 6. 4. 02，第四十六次航空大会，奥斯陆。
- ¹⁵ R. Crowther, R. Walker, J. S. B. Dick, S. F. Green 和 J. Marchant, “高偏心轨道卫星碎裂的可探测性”，《高级空间研究》，第 16 卷，第 11 期，第 123 - 126 页。
- ¹⁶ R. Crowther, P. H. Stokes, R. Walker, S. P. Barrows 和 G. G. Swinerd, “空间系统对轨道碎片环境潜在影响的特征确定：卫星群”，在 1995 年 4 月佛罗里达航空遥感会议上提交的论文。