



和平利用外层空间委员会

各国对空间碎片的研究，核动力卫星的安全及 核动力源同空间碎片碰撞的问题

秘书处的说明

增编

目录

	页次
一. 导言	1
二. 已收到的会员国的答复	2
意大利	2
日本	6

一. 导言

1. 秘书长于1998年7月17日发出了一份普通照会，请全体会员国介绍研究空间碎片的情况、核动力卫星的安全及核动力源同空间碎片碰撞的问题的资料。

2. 本文件载有1998年12月1日至1999年1月30日之间自会员国收到的答复中所介绍的资料。

二. 已收到的会员国的答复*

意大利

[原件：英文]

1. 引言

1. 外层空间已成为公营和私营两个部门进行科学研究和应用发展的不可或缺的资源。现正在不断开发安装和利用空间系统项目，包括大型的载人飞行项目。不过，这些活动正面临着轨道碎片失控造成的越来越大的危险。1960年代初期，刚开始载人轨道飞行时，微流星体是造成卫星碰撞的唯一危险，碰撞的概率极低。当前，最大的危险来自人造物体，主要是空间飞行期间产生的金属物体，其中包括：

- (a) 工作寿命结束时的航天器，如果它们载有放射性物质，则特别危险；
- (b) 部分或完全爆炸的卫星的碎片；从各级火箭和卫星分离出来的零部件；
- (c) 太阳能电池板的碎片；
- (d) 用过的火箭体，包括远地点发动机；
- (e) 由于各种原因爆炸的增压箱的碎片。

2. 由于此类碎片数量多，体积大和动能大，其危险性与日俱增。体积超过1毫米的碎片特别令人担心。碎片主要存在于地球同步轨道（1500公里以下）；它们具有很高的相对速度，采用雷达技术和光学方法难以发现，而且轨道寿命很长。比萨国家研究委员会研究所（比萨研究所）的研究小组证明，与轨道物体碰撞产生的新碎片可能造成连锁反应，从长远来看，这甚至会使地球同步轨道无法开展空间活动。

3. 参与空间活动规划和管理工作的组织已开始处理这个问题并发出了无数次警告。不过，在一个具有巨大商业利益的部门达成国际一致意见遇到了重重困难。有的技术评估项目，对技术进步作出评价需要很长时间，如此类评估项目一样，尽管对中长期的风险知之甚少，也必须作出决定。不能再维持排斥并非基于某些预测作出的限制，进而追逐短期利益的一贯做法了。可行的战略包括在发展新技术方面取得成果并使其具有很大的可靠性之前长期延迟一段时间，同时也因为需要投入大量的资金。另一方面，此种战略应具有灵活性和开放性，能够不断修正，以便确保在知识不断进化的框架内对空间活动提供长期保护。

4. 人们早已意识到空间飞行任务存在着风险，这体现在成立有关的国际委员会以协调同碎片相关的空间活动中，特别是机构间空间碎片协调委员会（空间碎片协委会）以及体现在1994年将此问题列入了和平利用外层空间委员会的科学技术小组委员会的议程中。各种技术和法律组织已就此事正式表态，它们尤其专注于采取具体措施的必要性上。有关的组织包括美国航空航天研究所（航研所）、空间研究委员会（空间研委会）、国际航天学会（航天学会）、国际航空联合会（航空联合会）、国际空间法研究所（空间法研究所）和国际法协会（国际法协会）。

5. 意大利出席科学技术小组委员会会议的代表团对审议这个问题表示满意。意大利代表团的立场促使就该问题的法律和政治方面进行了讨论。意大利还确认在国际一级和在有关机构中支持一切旨在加速获取草拟具体干预方案所需的技术的倡议。

* 答复按收到时的原样转载。

2. 意大利航天局

6. 自1980年代以来，意大利航天局（意航局）一直注意空间碎片问题，当前主要专注于危险空间物体失控重返大气层的问题。苏联宇宙1900号卫星于1988年重返大气层，携带着核材料，这是意航局开展有关空间碎片的活动的重要时机。与此同时，意大利民防局成立了一个常设委员会就大型空间物体重返引起的紧急情况提供咨询意见；几个公共行政机构派代表参加了该委员会，其中包括意大利国家核能和替代能源局（核能替代能源局），以研究可能的核风险。意航局在比萨研究所的支持下，参加了这一主管技术方面的委员会（监测、重返大气层预测等）。比萨研究所对意航局的技术支持根据意航局与国家研究委员会之间的协定管理。

7. 意航局还参加了欧洲航天局（欧空局）的活动和参加了意大利出席和平利用外层空间委员会的两个小组委员会的代表团。但意航局最重要的国际责任是它在空间碎片委员会担任委员。它于1998年7月被接纳为第十名委员，并对该委员会于1998年11月2日至6日在图卢兹举行的大会的活动作出了相关的贡献。

8. 意航局对空间碎片问题的关心导致于1995年2月建立了一个空间碎片工作组，该工作组对意大利空间碎片活动进行了一次调查，并就今后的工作提出了一些指导方针。工作组在其最后报告（1996年6月）中审查了这个问题的主要方面和取得的成果，并提出了一项拟在意大利实施的三年研究计划。还调查了国际司法框架。

9. 意航局支持了空间碎片领域的几项研究项目，特别是最近一项有关空间系统的研究，研究如何通过很长的导线在航天器使用寿命结束时将它拉出轨道。

3. 比萨国家研究委员会研究所

活动

10. 比萨研究所历来从事天体力学和航天飞行动力学领域的研究，它的这种角色自然导致它致力于研究空间碎片的有关领域。自空间实验室于1979年重返大气层以来，比萨研究所一直在研究如何确定具有潜在危险的失控空间物体重返大气层的轨道演变和预测问题。比萨研究所与逐步接管本领域紧急情况责任的国家机构及与从事有关任务的欧洲、日本、俄罗斯和美国的外国组织保持着直接联系。

11. 近年来，除了参加十多次重返运动外，比萨研究所与民防局和数据评价中心积极协作，研究管理包括航天器重返引起的核紧急情况，特别是有关手册和程序的编写。这项技术和组织工作使国家层面的职责、责任和程序得以加强，并使与其他有关组织的联系以及它们的业务准备状况大有改进。

12. 意航局于1988年成立后，比萨研究所在重返和空间碎片领域的传统活动，从国家空间活动和政府组织与民防机构之间的协作这一更广泛的角度来看，已有所扩大。在比萨设立了空间物体监测机构（空监机构），部分实施前民防部设立的专题工作组提出的建议，意航局和比萨研究所的代表也参加了该工作组。

13. 当有关人造空间物体引起的环地空间过分拥挤的问题突出后，比萨研究所/空监机构与比萨大学数学系空间力学组协作，开始研究日益先进的有关碎片群长期演变的数学模型。根据一项欧空局合同，产生了两个最后模型，从1992年延伸到1996年，随后一节作一简要说明。

14. 空监机构的活动除了预测具有潜在危险空间物体失控重返大气层之外，还定期监测地球轨道上的国际空间活动和位置，开发、改进和实现应用软件，发布报告，为意航局提供空间碎片领域的技术支持，研究轨道碎片群的长期演变和评价缓解措施的效果等。

软件开发

15. 地球轨道上碎片群的未来演变取决于许多变量，其中有的受人控制（发射的次数和类型、防止爆炸/碰撞事件的措施等），而其他的则更准确地说是物理变量（爆炸或碰撞造成的碎片的质量分布和速度、对其他物体冲击的抗冲击强度、不同轨道的碰撞概率和冲击速度、大气阻力对不同形状、大小和高度物体重返的效应）。这个问题的定量研究要求研制出颇为复杂的模型和算法，以便提供现实的模拟环境和足够的灵活性，允许调查众多备选的方案，并选择适当的选择方案或数值参数作为模拟的投入项。

16. 在过去的十年中，此种研究在意大利蓬勃发展起来。业已证明，只以两个微分方程体系为基础的简单的初始数学模型，适用于说明能够最终导致轨道碎片发生连锁反应的机理。后来，以碰撞概率作为高度和“下沉”及“来源”机理（空气阻力、发射爆炸、碰撞）的定量说明的精确估计为基础，发展了一个数值模型，上述机理可增减碎片群。借助于地球轨道物体的150个微分方程的体系，已将这些过程制成了数学模型，划分为15个高度的壳体和10个质量容器（其中每个以因子10不同于前一个，从10毫克至10吨）。这一模型证实了连锁反应的危险和这样一个事实，即有关的发生时间取决于参数，尤其是较大物体抵抗碰撞破坏的能力。

17. 1993至1995年期间，根据欧空局/欧空业务中心与比萨研究联合会订立的合同，在设于比萨的比萨研究所实施了下一个研究阶段的工作。它的目的是发展物理模型、数学算法和数值代码，用于分析地球轨道上空间物体群的长期演变。该项目专注于开发、在UNIX工作站上实现、验证和使用三种数值代码和对应的处理前和处理后的程序。

18. 该项合同还要求开展多种高度专业化的支持活动，其中有：详尽研究过去和未来的交通模式（发射、卫星座、空间站、军事和商业要求）；认定目前使用或拟将使用的所有运载火箭的物理特性和利用类型；发展大气密度模型，同时也考虑到日辐射通量的变化；发展足够精确和快速的轨道传播器以同时调查成千上万个物体；研究和评估不同的模型以说明碎裂事件（高低能量的爆炸和碰撞）；以及模拟目前质量超过1毫克的（发射、能量消减和以前碎裂造成的）空间碎片群。

4. 保护航天器

19. 航天工程师必须审慎考虑到与具有潜在破坏性的空间废物碰撞给运行的空间结构造成的风险。冲击速度为10公里/秒时，冲击压力的值高达毫巴左右；互动受冲击压力支配；材料发生固态—液态—气态三阶段的转变。轨道物体给国际空间站造成特别严重的威胁，原因是空间站体积大（表面积超过11,000平方米）、工作寿命长（10年以上）和长期载人。对碎片碰撞的潜在危险所做的评价表明，空间站的舱必须采用特殊的护层加以保护。

20. 意大利在这一领域开展了有关活动。在帕多瓦大学空间研究和活动中心，设计和制造了一种气枪，将小型金属抛射体加速到很高的速率。它依靠增压氦分两个阶段工作，第二阶段最大压力和峰值温度分别达到6,000巴和5,000度。精确的诊断法可以监测加速的所有阶段和高达每分钟射击一次的工作周期。0.5和2.5的质量分别加速到6和2.1公里/秒。虽然它们低于典型的碎片速度，但它们产生的冲击具有相同的物理结构和效应，而且十分有益于了解超速碰撞中的复杂快速现象，包括冲击波、熔化和汽化、碎裂、碎片向四面八方的弹射及目标物和抛射物的快速加热和快速冷却等。气枪也可作为更大型机器的原型，大型机能够达到更高的速度。

21. 虽然基本上已经知道所涉的微观现象，但超速碰撞的物理学太复杂，因而无法接受分析处理；需要复杂的计算机代码说明它们对一个金属层或多层保护板的效应。此种先进的代码以平滑粒子流体动力学技术为基础，已经得到实现，目前正在罗马“La Sapienza”大学使用。平滑粒子流体动力学代码原先系为天体物理学开发，它通过其运动和特性在一段时间内测量的扩展“粒子”说明介质的演变。

22. 都灵的Alenia Aerospazio负责国际空间站几个舱的结构设计和制造。对其中每个舱的保护层都进行了

精心设计和审慎的评价。保护层对总体设计影响甚大，使质量大幅度增加，每个舱可能重达1.5吨。为破坏性碎片冲击的冲击评估和为适当保护的设计及试验发明了一种方法。在Alenia形成了一种创新的保护概念。这一保护系统由三层组成，外层为薄铝层，中间为缓冲层，由陶瓷纤维和高强度的织物与环氧树脂混合而成；内层为铝合金，共同保护舱的结构。利用（德国）弗赖堡马赫研究所的轻气体枪进行了超速实验；以3至7公里/秒的速度发射直径为0.9至1.75厘米的铝质球体。与罗马“La Sapienza”大学协作，采用数字模拟对实验和保护层的效果进行了比较。依靠这些保护层，已将欧洲舱受压壳体穿孔的概率降低到了10年内不足1.5%。

5. 地面雷达调查的流星群对空间平台的效应

23. 自然流星体是近地球空间环境的一个重要组成部分，并对所有地球轨道空间平台构成潜在的风险；流星群活动加强（大爆发或流星雨）期间，流星体大大增加，例如有关狮子座流星群的流星体，它们每年发生一次。它们一般很小（毫米），但速度极高（最高达70公里/秒）；它们能毁坏或腐蚀卫星表面和外部结构，或造成电磁冲击。对流星流量进行预测并调查它们对穿透、电荷产生和等离子生成的效应，是制定近地轨道空间平台安全部署战略的有关方面。

24. 地面雷达是一种威力巨大的工具，可以观察空间物体，特别是具有全天候性能和日夜观察性能的那些雷达。波洛尼亚的CNR FISBAT研究所自1992年以来一直利用一种雷达设施观察和测量流星体发生后的电离云。利用所获的数据计算了流星雨对地球同步轨道空间平台的碰撞概率；现已证明，雷达测量求出的碰撞概率比目力观察得出的概率一般高出一倍。此外，雷达数据表明，流星雨的碰撞概率值比零星背景下的值高出 10^2 — 10^4 以上。

6. 司法工作

在罗马“La Sapienza”大学，对于研究政府在空间活动中的责任的课题很感兴趣；目前，产生碎片引起的责任处于主导地位。如果一个航天器的所有权不为人们正式承认，例如通过《关于登记射入外层空间物体的公约》规定的登记加以正式承认，此类责任就无从谈起。意大利尚未签署或批准此项公约，但外交部已开始采取步骤遵守这一对于空间碎片具有重大意义的国际立法的重要工具。

日本

[原件：英文]

1. 引言

1. 日本根据日本空间活动委员会1996年1月发布的《日本空间活动基本政策》进行了一系列与空间碎片有关的活动。¹

2. 自1990年日本航空和航天科学协会创建空间碎片研究组起，已开始进行有系统和有组织的活动。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和其他有关航天组织（集体代表日本参与）自1992年以来一直是机构间空间碎片协调委员会成员，还对空间研究委员会、和平利用外层空间委员会和国际宇航协会和其他国际组织作出了贡献。

3. 本报告是有关日本最近在空间碎片的测量、数据库、防护和减少方面的活动的概述。

2. 测量

4. 日本宇宙航空研究所和通信研究实验室在低轨道和地球静止轨道进行了空间碎片的光学观测。日本宇宙航空研究所和京都大学在低地球轨道进行了雷达观测。日本宇宙航空研究所使用了双基地雷达，京都大学使用了甚高频中高层大气雷达（MU雷达）。^{2,3,4}

5. 1998年，全国宇空实验室、日本宇宙开发事业团和日本空间论坛宣布了一项新的空间碎片雷达和光学观测系统的建造计划。⁵该系统将使得有可能观测直径1米以上的空间碎片（在600公里的高度），其建造将于2003年完成。

6. 全国宇空实验室和日本宇宙开发事业团于1995年进行了飞行后表面分析和自空间回收的空间飞行器的评估，这提供了空间碎片尘埃分布情况的额外数据。1997年8月与美国国家航空和航天局合作在航天飞机STS-85飞行中进行了关于操纵器开发设施的机上尘埃收集试验，日本宇宙开发事业团分析了装在尘埃收集设备内的气凝胶捕获的粒子。⁶由于飞行时间不够长，只捕获到几个粒子。目前正在为日本实验舱开发类似的装置，以便装在国际空间站上。⁷

7. 自1994年到1997年，日本宇宙开发事业团和日本航空和航天科学协会联合进行了关于新的可能的机上碎片观测系统的研究，以便监测1厘米以上的空间物体，并为类似国际合作飞行任务的系统提供基准规格。⁸

3. 模拟和数据库

8. 日本宇宙开发事业团于1997年开发了一种称为空间碎片轨道分析试验系统的空间碎片数据库，并于1998年4月开始运行。数据库的目的是为居留物体的轨道数据管理和轨道数据分析提供一种工具。还提供了类似返回预测、碰撞分析和碎片分散分析等几个子功能。

4. 防护

9. 全国宇空实验室和日本宇宙开发事业团已对用于日本实验舱的压力舱的开发系统进行了一系列研究和试验。到1998年，全国宇空实验室和日本宇宙开发事业团已进行了高速碰撞现象的数字分析，使用单级机动

滑脂枪、双级氢光气枪、导轨枪和聚能药包系统促进了高速碰撞损坏试验^{9,10,11,12}，并使分析和试验获得的数据反映到日本实验舱飞行模型的设计中。

5. 减少

10. 为了把空间碎片的损害降到最低程度，日本宇宙开发事业团于1996年3月制定了空间碎片减少标准NASDA-STD-18。日本宇宙开发事业团通过研究一次性使用火箭体和航天器的安全控制返回和地面减少危险的有关设计标准，不断努力减少新的空间碎片的产生。根据STD-18，日本宇宙开发事业团进行了火箭上级装置的钝化并最大限度地降低其轨道寿命，以便作为一个正常的程序减少空间碎片的产生。^{12,13}

6. 结论

11. 作为一个负责任的国际伙伴，日本将不遗余力地处理空间碎片问题和管理外层空间的环境。日本将继续最大程度地注意这些问题，并认为国际合作对于通过保护空间环境免受空间碎片的损坏而确保空间活动的安全和持久是必不可少的。

注释

- ¹ Fundamental Policy of Japan's Space Activities, Space Activities Commission of Japan, revised on 24 January 1996.
- ² T. Sato, and I. Kimura, "Debris observation with a VHF radar", *Earth Science Review*, vol. 4, No. 3 (1995).
- ³ T. Nakajima, and others, "Current and planned space debris activities in Japan", *Advanced space research*, vol. 19, No. 2 (1997), pp. 391-397.
- ⁴ A. Takano, T. Takano and S. Toda, "Technical problems of space debris and international cooperation" (in Japanese), Technical report of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, October 1997 (SANE97-64).
- ⁵ T. Tsujino, "Arrangement plan of the first Japanese space debris observation facilities" (in Japanese), 42nd Space Sciences and Technology Conference, October 1998.
- ⁶ Y. Kitazawa and others, "Development of a dust collector for a material exposure experiment on the manipulator development facility" (in Japanese), *Proceedings of the 17th Shock Wave Symposium*, 1997, pp. 253-256.
- ⁷ Y. Kitazawa and others, "Development of the micro-particle capturer of the JEM exposed facility" (in Japanese), 14th Space Station Conference, JSASS, April 1998.
- ⁸ A. Takano, Y. Arimoto and S. Isobe, "A baseline specification of the GEO debris observation satellite", 49th International Astronautical Congress, September 1998 (IAA-98-IAA.6.5.04).
- ⁹ A. Takano, "Space debris related activities in NASDA", *Proceedings of the Second European Conference on Space Debris*, March 1997 (ESA SP-393), pp. 31-34.
- ¹⁰ K. Shiraki, and others, "Hydrocode simulation for the JEM pressurized module structure performance for space

debris impact”, 7th ISCOPS(C-8-6).

- ¹¹ K. Shiraki, and others, “The results of hypervelocity impact tests”, *Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 44, September 1996.
 - ¹² M. Katayama, and others, “Analysis of JET formation and penetration by conical shaped charges with the inhibitor”, 1998 Hypervelocity Impact Symposium, Huntsville, AL, United States of America, 16-19 November 1998.
 - ¹³ A. Takano, T. Tajima and Y. Kanoh, “Recent efforts toward the minimization of GTO objects and its practices in NASDA”, *Acta Astronautica*, vol. 40, No. 11 (1997), pp. 807-813.
-