



---

和平利用外层空间委员会

各国对空间碎片、有核动力源空间物体的安全以及这些物体  
与空间碎片碰撞问题的研究

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
德国 .....	2
日本 .....	9



## 一. 引言

1. 大会在其 2008 年 12 月 5 日第 63/90 号决议中认为会员国必须更多地注意包括有核动力源的物体在内的空间物体与空间碎片碰撞问题，及空间碎片的其他方面；要求各国继续对这个问题进行研究，发展更佳的技术来监测空间碎片，汇编和散发关于空间碎片的数据；还认为应在可能范围内向和平利用外层空间委员会科学技术小组委员会提供有关资料；并同意需要进行国际合作，以便扩大适当和量力而行的战略，尽量减少空间碎片对未来空间任务的影响。
2. 科学技术小组委员会在其第四十五届会议上一致认为，应当继续对空间碎片进行研究，各会员国应当向所有的利益相关方提供研究结果，包括介绍在尽可能减少空间碎片产生方面已证明行之有效的做法（A/AC.105/911，第 91 段）。在 2008 年 8 月 5 日的一份普通照会中，秘书长请各国政府在 2008 年 10 月 31 日之前提交关于这一事项的资料，以便能够将此类资料提交给科学技术小组委员会第四十六届会议。
3. 本文件是由秘书处根据从德国和日本收到的资料编写的。

## 二. 从会员国收到的答复

### 德国

[原件：英文]

1. 在德国，与总的空间碎片问题有关的研究活动涵盖多个方面，其中包括空间碎片观测技术、空间碎片环境建模、研究撞击物理学以便增进对超高速撞击现象和技术的了解以保护空间系统免遭空间碎片的损害，以及限制未来产生空间碎片。
2. 直接通过德国的国家空间预算或通过欧洲空间局（欧空局）确保了供资。德国根据欧空局合同开展的活动在相应的欧空局报告中作了介绍。
3. 有关 2008 年在德国发起和开展的由国家资助的研究活动的情况介绍如下。

### 再入大气层风洞试验和物体再入大气层生存分析工具与航天器再入大气层气动热碎裂的比较

4. 德国戈丁根高超音速技术公司和美利坚合众国国家航空航天局（美国航天局）继续在旨在比较以下两个再入大气层模拟方案的项目框架内开展合作：戈丁根高超音速技术公司的航天器再入大气层气动热碎裂模拟方案和美国航天局的物体再入大气层生存分析工具模拟方案。该项合作始于 1998 年。研究证实，对于简单形状物体（即球体、箱状体或圆柱体）的再入大气层，这两个工具都提供了几乎相同的结果。不过，涉及一颗复杂卫星的分析表明在预测的地面风险之间存在着巨大差异。
5. 该项目的目标是增进对航天器再入大气层过程中材料特性的了解，从而能够对碎裂过程作出更为准确的预测。

6. 该项目侧重于被视为不确定因素最重要来源的下列活动：

(a) 开发更切合实际的建模办法并改进对再入大气层过程中碳纤维强化塑料元件的气动热破坏的分析。在德国航天局设于科隆的拱形加热风洞设施内进行了试验，以研究再入大气层条件下的材料破坏情况；

(b) 改进气动力学上畸形建筑构件（沿任意流动方向移动的空心或箱状物体）的气动热力作用。在设于德国戈丁根的德国航天局高超音速真空风洞设施内进行了试验，以研究在再入大气层条件下的气动热加热；

(c) 在物体再入大气层生存分析工具和航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案的框架内对简化通用试验卫星的碎裂过程进行了比较，结果，将物体再入大气层生存分析工具与航天器再入大气层和气动热碎裂模拟再次进行了比较。

为评估材料破坏情况进行的风洞试验

7. 对材料进行实验性试验的必要性源于先前的航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案再入大气层情况分析，当时气动热破坏机理和关于包括如殷钢与铜合金在内的难熔材料、玻璃陶瓷材料和大宗碳纤维强化塑料的相应材料数据尚不为人知。因此，在设于科隆的拱形加热风洞设施被用于进行在再入大气层条件下的材料破坏试验。

8. 那些试验表明，碳纤维强化塑料由于与气流中的氧原子的化学反应而非常缓慢地燃烧，但是在非常高的表面温度（超过 2,000 绝对温度）时受到破坏，从而确保有效的辐射冷却。因此，碳纤维强化塑料具有为航天器零部件提供抵抗力很强的烧蚀防热的作用。试验结果用于了航天器再入大气层和气动热碎裂方案，但只是初步依据了标准金属材料破坏机理。化学破坏机理，例如氧化作用，未予实施。

9. 空间业正在越来越多地在卫星飞行任务中使用由碳纤维强化塑料制成的蜂窝结构。典型的例子有欧空局科学卫星飞行任务“重力场和稳态海洋环流探测器”以及德国的雷达卫星飞行任务“TerraSAR-X”，但碳纤维强化塑料还用于阿里安 5 号上面级的大型零部件。为了改进对这种建筑元件的再入大气层破坏情况预测，有必要进行更多的材料试验。只有在此类试验的结果的基础上，才可在航天器再入大气层气动热碎裂方案中实施新的破坏机理，以减少对于再入大气层地面风险预测的重大不确定性。

10. 在设于科隆的拱形加热风洞设施内进行了材料破坏试验。对 14 个材料样品和一个热流探针进行了再入大气层条件下的试验。与航天器再入大气层气动热碎裂模拟进行的比较表明，所使用的风洞条件与高度为 53.6 公里和速度为 3.6 公里每秒的真实条件相似。相应的冷壁流为大约 1.4 兆瓦每平方米。

11. 七个样品是铝质蜂窝结构，夹在碳纤维强化塑料面板中间，是欧空局提供的阿里安 5 号有效载荷连接件“SYLDA”的代表性样品。

12. 另有三个样品来自重力场和稳态海洋环流探测器项目。其中一个样品也是夹在碳纤维强化塑料面板中间的铝质蜂窝结构，用于重力场和稳态海洋环流探

测器太阳能电池板。另外两个样品是意大利的阿莱尼亚空间公司提供的特殊碳材料，用于重力场和稳态海洋环流探测器的重力仪仪器之内。

13. 其余四个材料样品包括：一个有玻璃纤维/环氧树脂面板的铝质蜂窝结构核心、一个平板钛合金、以碳纤维强化塑料作为阿里安 5 号上面级所用钛高压容器外包装的包有碳纤维强化塑料的钛合金，以及一个含有两个部分的铜质模型，其中一半包有镍铬合金，供进行表面催化研究。

14. 有着碳纤维强化塑料面板或玻璃纤维面板的所有铝质蜂窝结构模型的破坏特性都很相似。第一个面板的破损是特性破坏事件。对各种破损进行了观察。碳材料证明具有非常强的阻抗性。平板钛模型未受到破坏；经过测试后，该模型只是被一个多孔氧化层所覆盖。不过，同一钛合金在包了一层碳纤维强化塑料后却受到破坏。包有一层镍铬的铜模型未显示受到任何破坏。

15. 为了将测量结果与数值模拟进行比较，在一个新的实验性的风洞模型中使用了航天器再入大气层和气动热碎裂。航天器再入大气层和气动热碎裂模拟的主要目标是复制风洞条件，特别是用于在设于科隆的拱形加热风洞设施进行的试验的热流。

16. 从各项比较试验得出了下列一般性结论：

(a) 在设于科隆的拱形加热风洞设施得出的航空器再入大气层和气动热碎裂模拟结果和测量数据显示非常符合对破坏情况的一般预测（即钛不会受到破坏、碳纤维强化塑料的烧蚀率相类似、碳纤维强化塑料铝质蜂窝夹层结构受到破坏的顺序相类似），以及在温度变化上的某些相似性；

(b) 由于缺乏对航天器再入大气层和气动热碎裂的分析，在温度变化的细节上存在着巨大差异。例如，没有任何化学破坏过程（如表面氧化和烧蚀）以及有层次的模型的辐射表面不正确；

(c) 由于热传导至模型支架而出现的热损失应予量化。

#### 气动热加热的风洞试验

17. 卫星和大多数航天器零部件通常不具有气动力形态。在再入大气层过程中，原则上任何飞行高度都是可能的。在大多数情况下，卫星构件的形态有空心圆柱体（管状体）、箱状体、还有各种交叉部分或薄壁板和壳的支柱体。

18. 对于这些非气动力形态的物体，只有数量有限的实验数据可用于核实数值分析方法，这就是为何有必要从所有各个攻角进行实验性测试。

19. 由于这些物体中的大多数是钝头体，可根据经修改的牛顿的理论足够准确地计算空气动力系数。不过，对这种物体总的热流分布和相应的整体热流的计算仍然引起相当多的问题。此外，虽然空心物体在某些高度上翻滚和开放时也可进行内部流动，但很难从数值上对这种流动进行分析。尽管如此，此类物体还是常用作航天器中的部件。

20. 在 22 个不同形态的物体上进行了传热试验，就物体形态上的整体加热率与攻角之间的关系提供了一套有价值的数据库。

21. 在这些试验中，将各物体分别置于了 A 组和 R 组这两组中的一组：A 组物体用于试验负 90 度和正 90 度之间的攻角，R 组物体则用于试验旋转模型。这两个组都包括了实心物体和空心物体。

22. 对实心物体和还允许进行内部流动和内部加热的空心物体的试验结果进行了比较。与具有类似迎面面积的实心物体相比，以空心部分朝对着流动方向的空心物体经历了大量内部加热流动并且加热率大幅度上升。随着攻角的加大，内部流动和加热有所减少，但外部加热由于暴露于气流中的外部面积较大而有所增加。这两种相反效应的结合导致以攻角来均衡加热率变化。

23. 将实心物体上的某些加热流结果与航天器再入大气层和气动热碎裂分析方法进行了比较。用航天器再入大气层和气动热碎裂方法对依赖于归一化攻角的加热率作了合理预测。预计将在目前正在开发中的新的 3.1L 版航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案的核查程序内与航天器再入大气层和气动热碎裂分析方法进行更详细的比较。

物体再入大气层生存分析工具与航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案的比较

24. 为了使物体再入大气层生存分析工具和航天器再入大气层和气动热碎裂这两个软件系统在航天器再入大气层实际条件下达到更好的协调与适应，使用了一颗简化的通用试验卫星对碎裂过程和预测的数值模拟的结果进行比较。以往有证据表明此类比较非常困难，至少对于复杂的卫星来说是这样。

25. 试验卫星是由美国航天局和戈丁根高超音速技术公司的团队联合开发的。该卫星重约 400 公斤，不一定是一个切合实际的模型，因为其主要目的是帮助查明在再入大气层过程中发生的导致地面上同不结果的不同破坏过程。

26. 物体再入大气层生存分析工具与航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案之间的主要差异在于如何对待碎裂。在物体再入大气层生存分析工具中，假定的发生碎裂的高度为 78 公里。在这一高度上，将所有模型物体释放到了气流中，然后分别予以分析。在航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案中，对模型物体之间的连接性（接触）进行了分析，以便查明由于已熔入航天器其他零部件中而不再连接的碎片。对松动的碎片进行了单独分析。在物体再入大气层生存分析工具框架内采用的办法导致在 78 公里的高度出现单一瞬时碎裂事件，而航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案办法则引起达到高度为 60-80 公里的高峰更具连续性的碎裂机制。

27. 物体再入大气层生存分析工具和航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案对试验卫星所作分析的结果表明在轨道方面非常符合。地面撞击着陆地帯具有类似形状，沿航迹方向移位了大约 70 公里。

28. 生存能力比较也表明了相当程度的吻合。不过，令人惊讶的是，物体再入大气层生存分析工具所预测的幸存碎片数量略多于航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案的预测数，造成人员伤亡的面积也大于该方案所作的预测。

29. 对幸存碎片所作的详细比较表明，地面风险上的主要差异是由于电池箱的不同碎裂所致。在物体再入大气层生存分析工具情形下，其中碎裂发生在 78 公里的高度，所有内部构件都作为单独的碎片予以释放并在再入大气层后幸存下来。这导致产生更大数量的撞击物。在航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案情形下，内部电池构件仍相互依附，作为一个碎片幸存下来。物体再入大气层生存分析工具情形下的更大数量地面撞击碎片大大增加了地面风险。总之，两种设想情况都是可能的，其中任何一种的可能性都不比另一种更大。

30. 尚不可能确定究竟是物体再入大气层生存分析工具的结果还是航天器再入大气层和气动热碎裂模拟方案的结果更好地反映了航天器在再入大气层过程中的实际碎裂过程。有必要进行进一步的研究，特别是在通过对实际再入大气层事件进行观测来核实或更好地核查再入大气层模拟方案方面进行进一步的研究。

### 改进超高速撞击测试

开发一个加速器，用于在实验室里模拟毫米单位的空间碎片颗粒以每秒 10 公里的速度进行的撞击

31. 该项目的目标是评估和改进在德国的 Ernst-Mach 研究所的有关试验设施的性能，以模拟毫米单位的空间碎片以大约 10 公里每秒的速度对航天器结构和部件进行的超高速撞击。为了模拟超高速撞击，该研究所正在使用光气枪技术，这种技术使得有可能射击多个颗粒而不会改变其物理性质。该项目的另一个目标是要通过减少光气枪的有效载荷降低进行这种试验的成本。

32. 在项目开始时，利用分析理论对该枪的性能的局限性进行了评估，经过数值模拟，查明了可通过作出几何学上的改变对性能加以改进。据发现，为了改进性能，需要更大的光气压力。就对 4 毫米口径两级光气枪（所谓的“袖珍光气枪”）的几何学改良所作的试验表明，改进加速循环是可能的。最重要的是，对高压部分进行了重新设计后，使该部分得到了加长，并呈凹形。

33. 在头六个月的报告期间，发射管方面的筹备工作得到最后完成。已开始采购所需的材料。正在制作新的高压部分。高压部分与发射管之间的封接已作了改良。已通过其安装工作的数值模拟对这一功能作了演示。

### 双枪：新的加速器概念

34. 在 2008 年开始时，德国航天局和 Ernst-Mach 研究所之间启动了一个新的项目，即发展一个新的加速器概念，用于实验性模拟对空间碎片的超高速撞击。在上述项目中，对所知的“双枪概念”的这一新的加速器概念的可行性进行了试验。这一概念的目标是使 1 毫米大小的颗粒的移动速度快于目前的光气枪，但限于采用复制和减少磨损的方式。这一概念依据的是光气枪技术，但双气枪的目标是提高颗粒的速度，方法是在两个平行导管中使用两个活塞，该导管连接同一火药室并通向一个发射管。

35. 通过将作业参数适当地结合起来，发射管入口处的压力脉冲变得比常规光气枪的压力脉冲更宽广。通过这一“压力脉冲成形”，并且因为加速部分更加有效，一个抛射体可达到更高的速度。此外，不得超过临界压力界限。

36. 对双枪概念的性能和设计的研究正在进行中。

#### 德国在与经济和可持续力有关的减少空间碎片措施方面的立场

37. 对德国在与经济和可持续力有关的减少空间碎片措施方面的立场进行分析，目的是支持国家在影响经济和可持续力的科学技术讨论中对这种措施所持的立场。这种分析还旨在支持德国代表团在欧空局和如机构间空间碎片协调委员会（空间碎片协委会）和和平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会等国际委员会中所持的立场。

38. 下文所作分析虽然以题为“空间碎片终端至终端服务”的项目框架内已进行的成本效益分析为基础，但更为详细。已纳入航天器设计和运行之内的对从减少空间碎片措施中取得的经验的考虑等方面，以及对从空间消除碎片的建议作出的判断，都使这种分析得到深化。

39. 相关文献详细介绍了成本模型的基本情况和空间碎片环境模型对确定丧失航天器所带来的风险的适用性。对现有成本模型进行了研究，在此基础上，使用了一个经改进的模型来估算超高速撞击对以往所有卫星飞行任务造成的损害的代价。

40. 基于 2005 年版流星体和空间碎片地面环境参照软件（又称“MASTER-2005”）所提供的颗粒流数据，空间碎片环境的影响和风险的暂时发展可通过使卫星成本估算与风险分析相结合来加以量化。就超高速撞击对以往卫星飞行任务的影响进行系统分析的目的是估计空间碎片对空间飞行任务构成的威胁的暂时变化和由此对卫星运营人带来的风险成本。就对 3,893 个卫星进行的分析的全部结果进行了审查。为所有卫星确定的服务寿命为七年。对这些卫星各自的轨道和不同的规模作了考虑。对于诸如卫星壁的设计和规模以及有效载荷的数量和类型等其他参数，推定为对所有卫星而言都是相同的。就每个卫星而言，成本是按其“寿命初始”质量估算的。利用 MASTER-2005 软件为每一个卫星产生了颗粒流环境大型数据库。在壁结构损害情况方程式基础上，就哪一个撞击颗粒能够穿透卫星壁这一问题进行了分析。为每个卫星确定了失效概率。最后，鉴于卫星成本和失效概率，对风险成本作了计算。

41. 这些成本表示由于颗粒撞击造成的损害使卫星过早地失效而可能给投资者带来的损失。在阻尼上的损失表示由于颗粒对卫星的撞击而造成的风险成本。通过概括这些成本，有可能确定由于某一特定时间点上发生的损害所造成的经济损失总额。这一模拟非常复杂，因其要求对大约 4,000 个卫星进行风险分析，其中包括确定系统分布、失效概率和成本估算。总体损害成本为 2 亿至 7 亿美元不等，据此甄选出了脆弱程度模型。这相当于因丧失 2 至 5 个卫星所损失的价值。由于必须大大简化卫星脆弱程度的定义，只应将该数字理解为对规模等级的估计。该项工作表明，对空间碎片与大量卫星的相互作用进行风险和成本分析是可能的。

42. 作为该项目的一部分，对相关文本进行了研究，文本中提出了从空间消除碎片的各种方法。此类方法主要是以用激光或绳系技术或机器人技术使物体进行变轨或脱轨为基础的方法。现有一套所知的建议，但并未对所有这些建议都作了评价。

#### 将国家减少空间碎片准则适用于德国空间飞行任务

##### 环境监测与分析方案\*

43. 环境监测与分析方案（EnMAP）是德国的一项飞行任务，所使用的高光谱卫星在 420-2,450 纳米宽谱段内有 200 多个频道，地面分辨率为 30 米。EnMAP 将由一个用最先进的共用平台技术建造的小型卫星实施，该卫星将被送入地球表面上空大约 650 公里处的轨道。EnMAP 飞行任务的主要任务涉及总体确定生态系统参数以及生物物理、生物化学和地球化学变量。EnMAP 还将使得对自然灾害和土地与水污染进行分析成为可能。将使用飞行任务数据筹备未来的商业化和业务服务。

44. 正在评估有否可能使从《欧洲减少空间碎片行为守则》改编而来的国家减少空间碎片准则适用于 EnMAP 的需要的可能性。这一工作包括分析寿命终止措施（尤其是分析钝化过程和处置手法的实施）和再入大气层安全措施（尤其是评估来自航天器的碎片有否可能到达地球表面，研究地面人口和财产遭受的有关风险，以及评估地球环境受到有害污染的潜在风险）（A/AC.105/918，第 4-7 段）。

##### 技术试验载体

45. 技术试验载体方案的目标是发现可应用于空间项目的新技术。该方案侧重于进行飞行中演示，并测试用于发电、制导、导航和控制等方面的构件和航天器系统。

46. 德国航天局为在各种平台和卫星上测试新技术提供飞行中机会。这一方案以技术试验载体的使用为基础，该载体是一个德国建造的卫星，重大约 120 公斤，有效载荷能力大约为 50 公斤。

47. 一颗技术试验载体卫星将被射入低地球轨道。计划中的飞行任务期限为一年。德国航天局为该卫星提供飞行任务作业并将数据转让给用户，此外还确保有关系统的组装、集成和测试。

48. 对于使从《欧洲减少空间碎片行为守则》改编而来的国家减少空间碎片准则适用于该项目的需要的可能性，将在技术试验载体框架内加以研究。将特别侧重于预防措施（例如与飞行任务有关的物体和碎裂）、寿命终止措施（例如钝化、脱轨和处置）以及再入大气层的安全（A/AC.105/918，第 8-11 段）。

---

\* 德国提交的英文原件可在秘书处外层空间事务厅的网站（<http://www.unoosa.org/oosa/nataact/sdnps/2008/index.html>）上查阅。

## 日本

[原件：英文]

1. 与主要是由日本宇宙航空研究开发机构和九州大学进行的空间碎片研究有关的活动侧重于下文所述各领域。

### 地基空间碎片观测

2. 光学望远镜被日常用于观测地球同步轨道上的物体并确定这些物体的轨道特点。正在进行研究以开发可自动探测地球同步轨道上较小物体的软件。对低地球轨道上的物体是用雷达望远镜观测的。正在使用高速跟踪光学望远镜为更好地观测低地球轨道上的物体进行研究。此外，还对某些航天器的光曲线进行了观测，并对其翻滚运动特点进行了分析（见日本在 A/AC.105/918 号文件第 2 段中提交的资料）。

### 建模和分析工具

3. 由九州大学和日本宇宙航空研究开发机构开发的低地球轨道碎片环境演变模型和减少碎片标准支持工具都在进行升级。还正在开发一个碎片碰撞风险分析工具。迄今为止，已有可能对碎片撞击概率进行分析，但也在利用弹道限制方程式进行损害风险评估。

### 轨道碎片演变模型

4. 九州大学计划代表日本宇宙航空研究开发机构对“在低地球轨道碎片总数上积极消除碎片的益处”这一“行动项目”作出贡献，该行动项目正由机构间空间碎片协调委员会（空间碎片协委会）第二工作组进行探索。通过该行动项目，第二工作组的目的是就低地球轨道上目前轨道碎片总数的稳定与不稳定达成协商一致意见。将对积极消除碎片的效应进行参数研究，并对不同工具的结果进行比较。美利坚合众国国家航空航天局（美国航天局）将领导来自意大利航天局、英国国家空间中心、印度空间研究组织和日本宇宙航空研究开发机构的参加研究人员，并在定于 2009 年 4 月举行的空间碎片协委会下次会议之前提供首批研究结果。
5. 国际空间界已建议将老旧的地球同步航天器置于更高空的飘移轨道上，以防其干扰运行中的航天器。在过去八年里，已有超过 80% 的老旧地球同步航天器被从原轨道转至高于名义地球同步高度之处。不过，其中有些航天器无法到达空间碎片协委会所建议的高度。
6. 九州大学通过就目前的处置做法设想未来的情况，预测今后 100 年地球同步机制内轨道碎片总数的规模。该设想表明，为了保存地球同步轨道，应当努力：根据国际空间界的建议确保进行飞行任务后处置，并在所有火箭箭体和航天器在其飞行任务结束后采用使其得以安全保存的程序。有关设想也帮助查明

了将老化（寿命终止）的航天器置于更高空处的飘移轨道所涉技术问题：在评价燃料消耗（残余燃料）方面的困难以及寿命终止的航天器缺乏系统可靠性（功能失效）。

7. 九州大学和日本宇宙航空研究开发机构计划开发一个全尺寸低地球轨道至地球同步轨道模型，目的是为所有地球轨道物体进行核算。根据这一计划，九州大学已开始对其地球同步轨道模型进行升级，从而使其所基于的模型技术比低地球轨道模型中采用的技术更加切合实际。

### 超高速撞击测试

8. 通过使用由日本东北大学和意大利帕多瓦大学开发的两级气枪，对铝板和碳纤维强化塑料板进行了超高速撞击测试。在试验过程中，由一台高速照相机对目标的断裂特征进行了观测。在由铝合金和环氧基碳纤维强化塑料引起的损害程度和碎片云方面存在着差异。日本宇宙航空研究开发机构采用了两级枪，以促进获得新的试验数据。

9. 还使用了聚能装药撞击装置进行超高速撞击试验，其中涉及使用抛射体，这些抛射体重量超过 1 公斤，以超过每秒 10 公里的速度行进。开发了一种喷气消除系统，专门用于获得主要喷气碰撞的结果。

### 微型卫星撞击测试

10. 九州大学和美国航天局轨道碎片方案办公室就一系列微型卫星撞击试验开展了协作。将两颗包有多层绝缘材料并装备有一块太阳能电池板的微型卫星用作目标。这两颗微型卫星的尺寸为 20 厘米 x 20 厘米 x 20 厘米，质量大约为 1,500 克。进行了撞击试验，以调查太阳能电池板零件和包有多层绝缘材料的零件的情况。随后将撞击试验的结果与美国航天局标准碎裂模型进行了比较。撞击速度大约为 1.7 公里每秒，两次试验的撞击动能与卫星质量的比率大约为 40 焦耳每克。利用日本广播公司的一台超高速照像机拍摄了撞击现象。将利用这些结果增进对面积与质量比率高的物体的了解并为更好的轨道碎片环境建模改进碎裂模型。

11. 对碎片形状有更多的了解对于改进每一碎片的面积与质量比率估算非常重要。不过，对如国际空间站等航天器的非穿透性概率进行可靠的评估也很重要。对于从以往撞击试验搜集的所有碎片（A/AC.105/918）进行的分析所依据的是其三个正交维度： $x$ 、 $y$  和  $z$ 。其中  $x$  是最长的维度， $y$  是与  $x$  垂直的平面上最长的维度，而  $z$  则是与  $x$  和  $y$  垂直的平面上最长的维度。可在  $x/y$  相对于  $y/z$  的碎片分布中观测两组情况：具有较大  $x/y$  值的碎片呈现为针形，具有较小  $x/y$  值的碎片呈现为盘形。具有较小  $x/y$  值的碎片可具有各种  $y/z$  值，可呈箱形（当其具有较小  $y/z$  值时）、针形（当其具有较大  $y/z$  值时）和盘形（当其具有中等  $y/z$  值时）。

### 以电动绳系加快无用航天器的轨道衰变

12. 仅仅减少碎片的产生不足以保护轨道环境，因为已在特定轨道区域观测到现有碎片之间碰撞的连锁反应。改善这一环境的最佳办法是从物体密布的轨道区域完全消除大型物体。为确保以有成本效益的方法实施这种消除任务而采取的一种技术解决办法是利用电动绳系系统，该系统使无用的空间物体的速度放缓并缩短其轨道寿命。日本宇宙航空研究开发机构进行了与电动绳系系统有关的研究和开发活动。目前的努力方向是开发一个旨在使用一颗小型卫星进行在轨道演示的小型电动绳系系统。

### 用电动绳系积极消除碎片的任务成功率

13. 空间碎片协委会将“用电动绳系进行低地球轨道航天器终结寿命脱轨的潜在惠益和风险”确定为其行动项目之一。系绳较细，但却很长，涉及面积广大，从而使其易受较小颗粒的损害。这一脆弱性可能是绳系系统相对于轨道碎片而言的最严重弱点。为了克服这一最严重的弱点，已有人建议采用一种有希望的系统，即每隔一段距离将两根系绳拴在一起，以形成一个个等距离的绳圈。为了对该行动项目作出贡献，九州大学开发了一个旨在评价这种双绳系系统继续生存的概率。

14. 九州大学然后在完成该行动项目方面的工作之后立即延伸了其开发的数学模型。由此建立的模型可提供不论绳圈数目多少而都具有有限清除作用的双绳系系统可达到的最高任务成功率。九州大学正在利用该新模型评价日本宇宙航空研究开发机构建议的电动绳系系统的任务成功率。关于这一议题的更多信息将发表于《空间研究进展杂志》。