



## 和平利用外层空间委员会

各国研究空间碎片的情况，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

增编

### 目录

|                     | 段    | 次 | 页 | 次 |
|---------------------|------|---|---|---|
| 一. 导言 .....         | 1—2  |   | 2 |   |
| 二. 已收到的会员国的答复 ..... | 1—32 |   | 2 |   |
| 德国 .....            | 1—32 |   | 2 |   |

## 一. 导言

1. 秘书长于 1998 年 7 月 17 日发出了一份普通照会, 请全体会员国介绍各国研究空间碎片的情况、核动力卫星的安全和核动力源同空间碎片碰撞的问题的资料。
2. 本文件载有 1999 年 1 月 30 日至 2 月 23 日之间自会员国收到的答复中所介绍的材料。

## 二. 已收到的会员国的答复\*

### 德国

[原件: 英文]

1. 德国继续大力开展空间碎片研究。这些活动既有立足于本国的, 也有根据同欧洲航天研究和技术中心和欧洲航天局(欧空局)欧洲空间业务中心的合同筹资开展的, 欧空局通过其会员国的捐款筹资, 德国提供大约 25% 的份额。德国与空间碎片有关的活动大都集中在不伦瑞克技术大学飞行力学和空间飞行技术研究所(飞行技术研究所)和 Wachtberg-Werthhoven 应用科学研究所。此外, 还进行了其他研究活动, 如在德国航天工业界进行的活动。
2. 本报告下列章节的结构据此作了安排, 涉及关于模型制作的有关空间碎片的研究活动; 雷达观测和数据分析; 及其他有关空间碎片的研究活动。
3. 报告叙述自上次提交报告以来进行的活动(见 1998 年 2 月 2 日 A/AC.105/680/Add.1 号文件)。在此期间, 德国航空和航天中心于 1998 年 10 月 22 日举行了一次关于审查国家空间碎片战略的讲习班。这项新的战略的主要特点有:
  - (a) 协调德国工业界和科学界与空间碎片有关的活动以及德国航空和航天中心自己的活动;
  - (b) 拟定对欧空局综合的欧洲空间碎片战略的自主贡献, 包括德国可以利用的实体;
  - (c) 发展在国家利益受到影响的时候进行危险分析的能力;
  - (d) 起草避免和缓减碎片的意见和建议;
  - (e) 设计对由国家或政府补贴或供资的有关避免产生空间碎片以及遵守国际要求和条例的空间项目的监测办法;
  - (f) 德国航空和航天中心在拟订国际条例和协定时进行协调, 包括在国际委员会(如欧空局空间碎片协调委员会、机构间空间碎片协调委员会(空间碎片协委会)及和平利用外层空间委员会)上代表德国的利益。
4. 国家战略已在空间碎片协委会年度会议上介绍。一个由德国航空和航天中心率领的代表团参加了这次会议, 五名代表来自德国不同的机构。目前, 一名来自应用科学研究所的专家目前担任第 1 工作组(测量)的主席。

---

\* 答复按收到时的原样转载。

5. 德国大力支持和利用外层空间委员会科学和技术小组委员会及法律小组委员会旨在最后完成有关载有关于空间碎片的多年工作计划结果的报告工作的活动。这份报告应于科学和技术小组委员会 1999 年届会上通过，以便提交第三次联合国探索及和平利用外层空间会议（第三次外空会议）、政府间会议以及技术论坛。出席第三次外空会议的德国代表团以及出席技术论坛的德国专家准备积极参加关于本报告的讨论，并积极参加和平利用外层空间委员会内就有关进一步讨论空间碎片问题的审议。

## 1. 关于模型制作的有关空间碎片的研究活动

6. 1998 年，飞行技术研究所主要为欧空局进行了两项有关空间碎片的研究。两项研究都侧重于欧空局流星体和空间碎片地面环境参考（MASTER）模型。

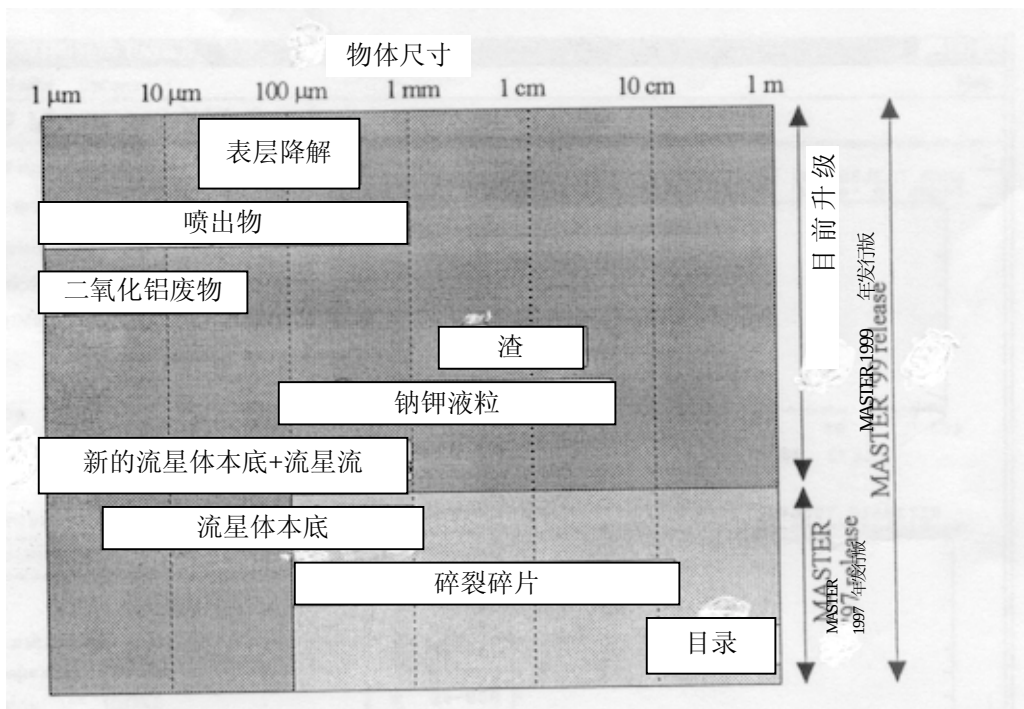
### (a) MASTER 模型的升级

7. 如上次所提交报告（见 A/AC.105/680/Add.1）指出的那样，正在对欧空局 MASTER<sup>1</sup> 模型进行有关最小尺寸为 1 毫米的非碎裂碎片的升级。由于若干测量和观测表明人为碎片不全是由碎裂过程产生的，因此这种升级是必要的。地面雷达设施已探测到称为“渣”的固体火箭发动机燃烧产生的较大剩余物以及空间用完的核反应堆<sup>2</sup>释放的冷却液粒（钠钾（NaK））。<sup>3</sup> 这些物体的尺寸从直径大约 5 毫米到几厘米不等。可以根据被探测物体的倾角频谱和有关的密度预测到这些来源占较大份量。人们认为，在较小尺寸系列中，来自固体火箭发动机燃烧排出的较小燃烧产物、表层降解产生的粒子、以及由较小的原始冲撞物体产生的喷出物<sup>4</sup>，加重了较小的人为碎片环境。

8. MASTER 模型的本底流星体分项原先基于 Divine/Staubach 法，该分项被重新设计，并补充一个流星体流模型。<sup>5、6</sup> 图 1 说明在考虑的碎片来源和尺寸范围方面总体模型改进情况。

图 1

## MASTER 升级和考虑的非碎裂碎片源概览



9. 根据 MASTER 模型的结构，非碎裂源是采用从 200 公里高度(低地球轨道)到地球同步轨道区的高空间分辨率确定的。在该模型的开发阶段，所有来源都是以半确定方式处理的。这样产生了一个个单独的物体。这些物体通过按生成时代和按质量与尺寸划分的一套轨道要素来说明。在该过程的下一阶段，所有物体都被外推到一个共同时代，即所谓的“参照时代”。该模型将于 1999 年第四季度正式发行。

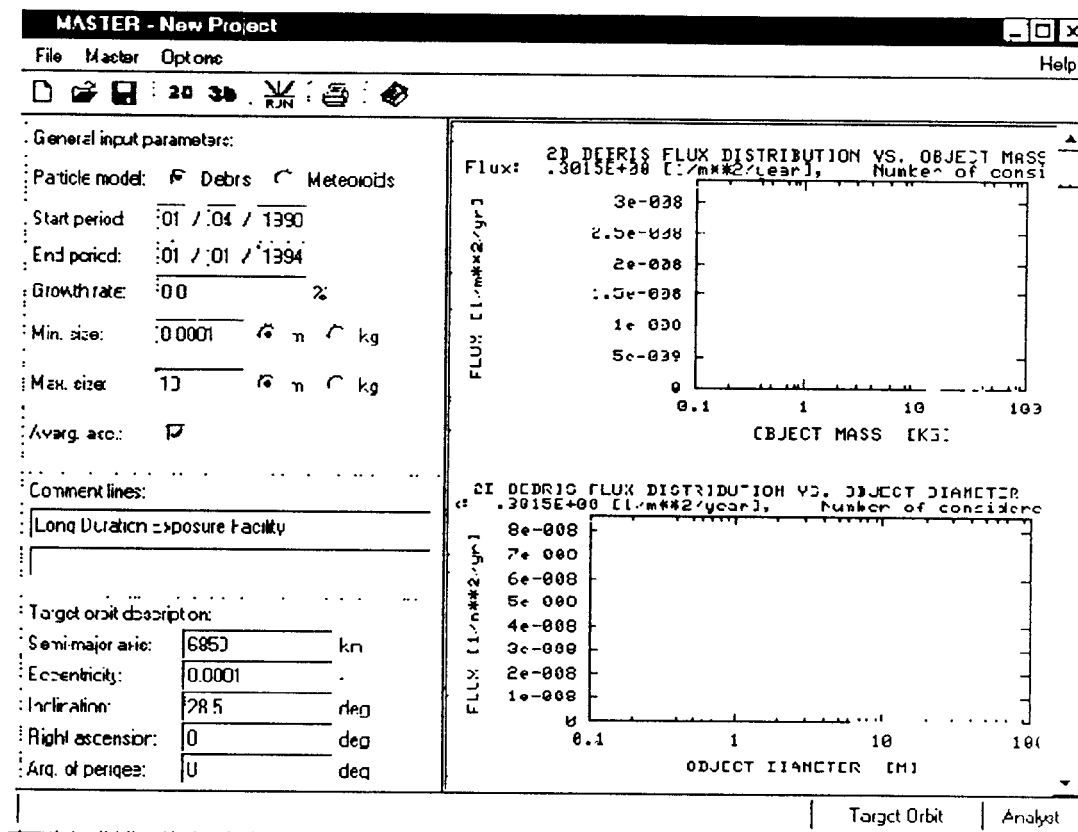
10. 扩展 MASTER 的结果是提高了程序的复杂性，因而提高了对输入数据获取和输出数据可视化的要求。因此，MASTER 目前正在从命令行程序转移到最先进的菜单控制应用程序。

11. 正在开发一个图形用户界面，该界面为 MASTER 二进制程序提供一个外壳。用户仅通过该界面就可进行交互式操作，MASTER 二进制程序在背景中执行。MASTER 界面提供下列服务（见图 2 中的示例）：

- (a) 提供符合人机工程学和直观的界面，以便把所有必要的输入数据发往 MASTER 应用程序；
- (b) 执行 MASTER（分析和工程应用）；
- (c) 在屏幕上或用附言设备显示 MASTER 结果的图形分布；
- (d) 向用户提供在线帮助。

图 2

MASTER 图形用户界面



#### (b) 扩展 MASTER 模型以预测碎片探测

12. 本研究的主要目的是为预测美国空间指挥部卫星目录阈值下物体的交叉率和统计探测特性并预测确定的目录物体的采集时间与通过特点而开发和实现一种模块化软件工具。预测带有相关系统约束的雷达和光学观察系统将是可能的，预测地面和空间装置也是可能的。数学方法（用于统计和确定性分析）导致特定传感器视场（及雷达系统的距离 / 距离变化率窗口）的交叉或预测采集。基于传感器特有的系统性能模型，然后将交叉率转换成特定概率水平的探测率和探测尺寸阈值，假设预先确定目标物体的形状、材料和表面性能的话。

13. 产生的软件系统雷达和光学观察预测程序（PROOF）高度模块化。它包括对已升级的 MASTER 模型集（用于统计分析）和某一日期的目录文件（用于确定性分析，数据以两行的格式、作为每个物体独特的输入内容出现）的接口。本软件系统能够根据现有测量数据（例如 Haystack 或 COBEAM）验证 MASTER 模型集的单贡献（例如钠钾液粒）。该软件能够帮助规划观测系统和行动。

14. PROOF 软件考虑：

(a) 物体直径大于 1 微米的所有已知的粒子源（由 MASTER 升级模型集界定的环境，及对于较大的物体，由 USSPACECOM 目录界定的环境）；

(b) 150 公里（低地球轨道以下）和 38 000 公里（地球同步轨道以上）之间的高度；

(c) 地面和空间的雷达和光学系统；

并将于 1999 年第四季度正式发布。

## 2. 空间碎片和流星体的雷达观察和数据分析

15. 1998 年，应用科学研究所的高频物理学研究所有关空间碎片和流星体的活动主要是在欧空局 / 欧洲空间业务中心三项研究合同的框架内进行的：

(a) 用于空间碎片观测的高级雷达技术（1995 年 2 月至 1998 年 9 月）；

(b) 合作跟踪碎片（1997 年 4 月至 1998 年 7 月）；

(c) 研究用雷达探测中型碎片的算法（1997 年 4 月至 1997 年 7 月）。

16. 这些活动的主要目标是：

(a) 研究更好的碎片观测和数据收集技术；

(b) 开发和实现数据处理、碎片和流星体探测和分析的有效、高度自动化的技术和算法；

(c) 支持在测量结果和模拟预测之间建立独特的、明确界定的界面。

### (a) 流星体的雷达观测和数据分析

17. 敏感度评估表明跟踪和成像雷达 L 波段雷达目前可探测到 1 000 公里距离内 2 厘米的球体，但应采用最佳探测战略并将在欧空局研究合同内提出和实现的对所有硬件和信号处理的修正与改进考虑在内。<sup>7、8、9</sup>

18. 应用科学研究所/高频物理学研究所的跟踪和成像雷达系统主要用于调查划分和鉴定航天器和航空器的方法和技术。跟踪和成像雷达在某种程度上还用于探测流星体、观测其电离化尾迹并确定其通量。这些尾迹长约 10 公里，在距地面大约 100 公里处。为了评估预计在 1999 年 11 月 17 日发生的狮子座流星群流星雨的一项重大流星流活动对运行卫星的危险，要求了解它们的通量，美利坚合众国国家航空和航天局（美国航天局）预测这会使本底通量增加 10 000 到 30 000 倍。跟踪和成像雷达天线的窄波束从该流星流中截取相对小通量的流星体。因此，也必须能探测到即使比大型流星体数量大得多的非常小的流星体，以便在测量期间实现从统计角度看数量很大的探测。1997 年一次观测狮子座流星群导引天线与该流星流正交的努力失败了。<sup>10</sup> 如要求那么小的流星体则导致来波穿透低电子密度电离化尾迹。由于电离化尾迹的最初半径有跟踪和成像雷达的几个波长那么大，单电子反映的波在很大程度上被干扰取消。<sup>11</sup> 这就是使用像跟踪和成像雷达这样的短波长雷达没有观测到需要的小流星体的原因，即使使用直径 34 米的大型反射器天线和 1.5MW 的高发射功率。

19. 1998 年，一个主要目标是研究可替代的观测方式。这是在欧空局 / 欧洲空间业务中心研究用雷达探测中型碎片的算法的研究合同框架内进行的（1997 年 4 月—1999 年 7 月）。

### (一) 观测流星体通量

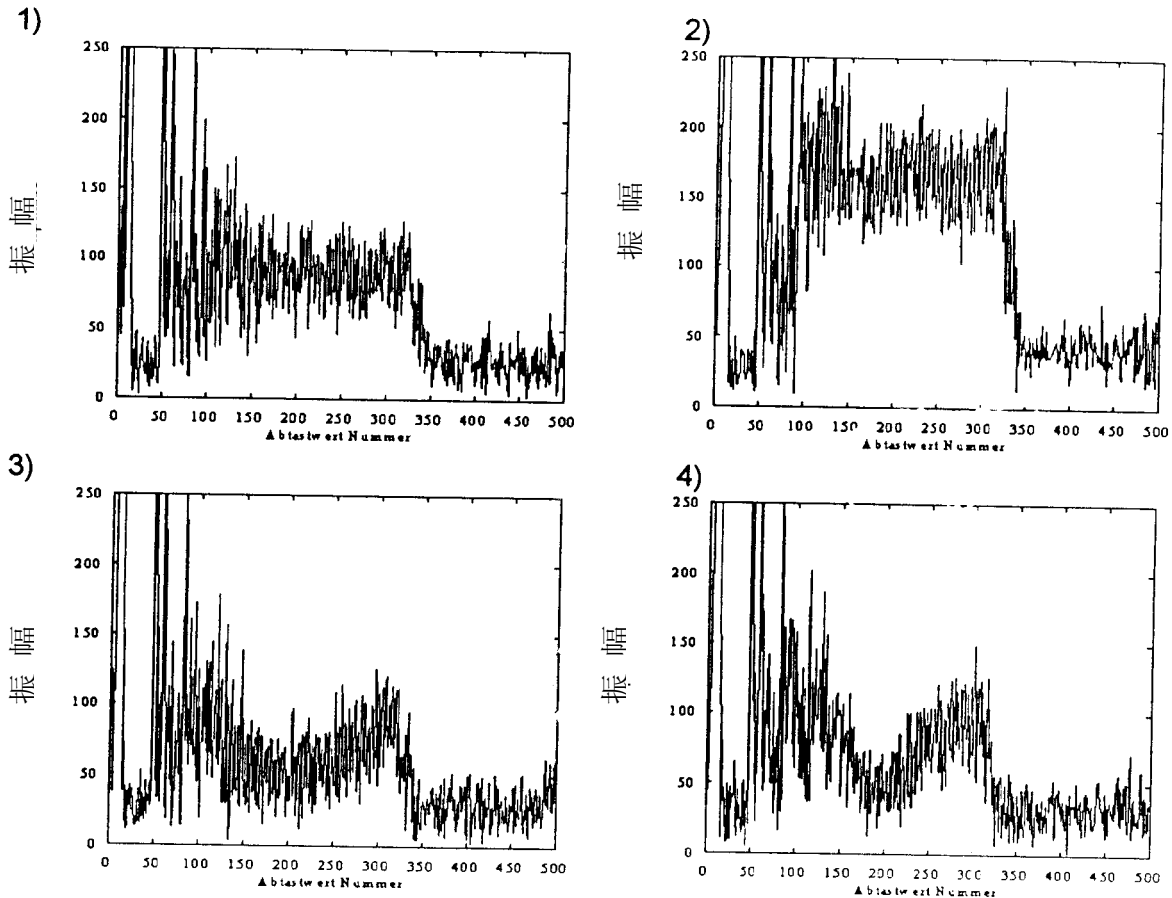
20. 作为与流星流正交观测的替代方法，1998 年研究了观测流星流的问题。再次对天线进行控制以补偿地球的旋转。理论<sup>12</sup>表明相对于小到大约 3 微克的质量、产生  $1.74 \cdot 10^{12} \text{m}^{-1}$  的电子行密度可以在 100 公里的距离内探测到，这足以产生由雷达波束截掉的合理小时速度，即使截面小于正交作业方式下的截面。探测算法得到进一步改进和自动化。

### (二) 测量结果

21. 根据从 1997 年进行的狮子座流星群观测得到的教训，于 8 月 12 日和 13 日对预测的处于年度最高活跃期的英仙座流星群进行了 15 小时的测量行动，从而对观测流星群的理论进行了试验。探测的数量与从其他观察者测得的小时速度和几何考虑因素而预测的数量是一致的，从而印证了这一理论。受这一结果鼓舞，研究人员于 11 月 17 日和 18 日又对狮子座流星雨进行了大约 12 小时的测量行动。由于预测的最大通量时间不正确，探测到的数量比预期要低。图 3 给出在英仙座流星群测量行动中探测总共 17 个连续脉冲所包含的最后五个回波中的四个。对于每个脉冲，接收到的信号样本的绝对值被按 2 微秒的采样间隔绘到样本数量上。采用 500 微秒的脉冲持续时间和 13.75 毫秒的脉冲重复周期。很明显，在消失之前出现过小小的干扰。

图 3

四个后续脉冲的雷达回波



#### (b) 用于较大空间碎片的碎裂和损坏分析的雷达技术

22. 在碎片碰撞运行卫星导致发生碎裂或损坏等意外情况下，采用了跟踪和成像雷达系统以协助对问题进行分析。在研究合同的框架内，用 L 波段和 Ku 波段成像雷达进行了观测，而分析结果则被用来印证对损害的原因和程度的检查。1998 年的例子包括观测和分析日本开发事业团于 1996 年发射的高级地球探测卫星。这颗卫星的预算大约 10 亿美元，设计使用寿命超过 3 年。然而，由于电源系统失灵，高级地球探测卫星自 1997 年 6 月 30 日起不能正常工作。

23. 根据有关空间碎片观测的高级雷达技术的合同，欧空局请应用科学研究所用其跟踪和成像雷达系统测量和分析高级地球控制卫星的几个路径。为了检查失灵的原因，对一系列分辨率为 25 厘米的雷达图象进行了计算。图 4 和图 5 是经过计算的雷达图象的例子。这

些图象清楚显示出尺寸大约为 4 米 x 4 米 x 7 米的高级地球探测卫星的主体。上面安装的美国航天局的散射仪——这是高级地球探测卫星的一个特点——也可看见。所有雷达图象还显示出太阳能电池板的杆端有若干散射体。太阳能电池板长 24 米，宽 3 米，厚仅 0.5 毫米，使用碳纤维做的补强胶条将其固定到杆上，雷达图象上也应可看到补强胶条。图象上看不到这些散射体中心，加上在杆端观测到的散射体数量，导致人们产生这样的假设，即太阳能电池板不再在杆上固定，而是移向杆端。从日本宇宙事业开发团得到的信息证实了这一假设（太阳能电池板上的传感器记录温度升高和有振动）。

图 4

高级地球探测卫星的雷达图象

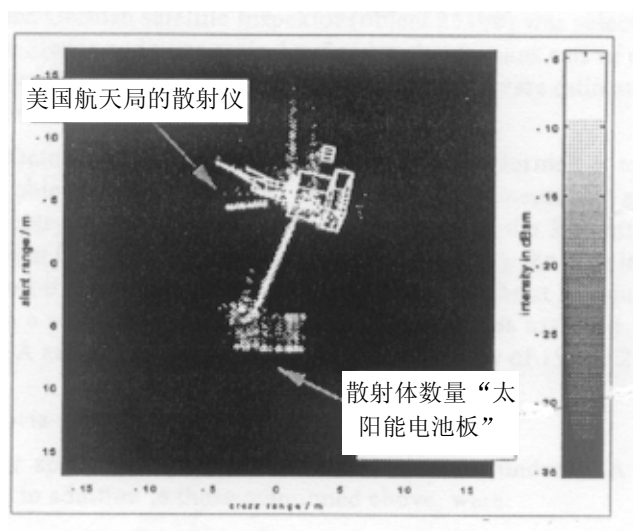
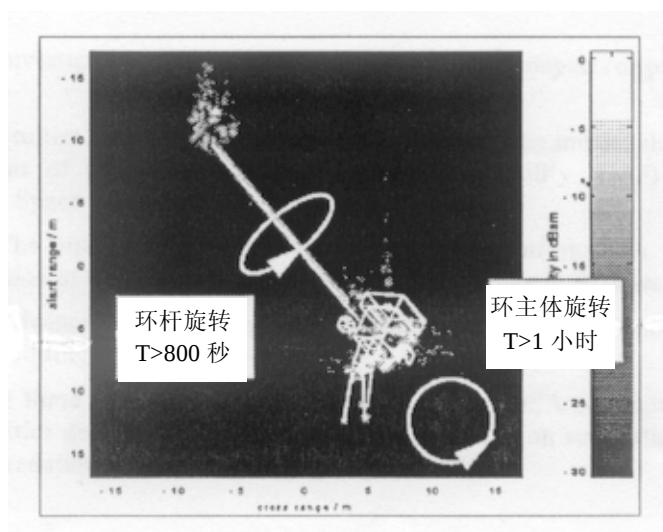


图 5

高级地球探测卫星的内在移动



24. 为了研究高级地球探测卫星的内在移动，开发了一个简单的三维线栅模型。人们发现高级地球探测卫星环杆旋转周期大于 800 秒，环主体旋转周期大于一小时。

**(c) 参与验证机构间空间碎片协调委员会重返数据库功能的试验行动**

25. 最近几年，应用科学研究所开发了用于高危空间物体的重返观测的雷达技术和分析方法。目标是向联邦德国内政部提供对重复通过区的可靠预测（时间和地面轨迹）、物体态势估计和风险评估。因此，应用科学研究所（由德国航空和航天公司的合同提供资金）有资格参与一次试验活动，这次活动的主要目的是证实协委会重返数据库的功能。重返数据库是由马德里的 GMV 公司根据与欧空局的合同开发和完成的。德国卫星 *Inspektor* (第 25100 号物体) 被选为试验物体。在全球对该卫星进行观测，并利用光学和雷达观测轨道参数集，估计出轨道寿命和重复通过区（时间和地点）并存储在重返数据库以便进行比较。

26. 从 1998 年 10 月 27 日到 11 月 1 日，应用科学研究所对第 25100 号物体进行了总共 20 次雷达观测，计算了轨道参数集，并估计了轨道寿命和重复通过区。所有结果都储存在重返数据库中。1998 年 11 月 1 日协调世界时 9 时 6 分，在能量削减大约 12 小时前进行了最后一次测量（对于跟踪和成像雷达系统的最后可见轨道）。采用这些数据，估计出  $2138 \pm 2.1$  小时的重复通过区。由欧空局和美国航天局进行的事后分析得出重复通过区为  $1949 \pm 2$  小时。

**3. 其他与空间碎片有关的研究活动**

27. 除上文所述活动之外，在报告期内在欧空局合同项下进行的其他一些与空间碎片有关的研究活动有：

(a) 在西班牙加那利群岛 Taide 观察台对直径为 1 米的蔡斯望远镜（卡尔·蔡斯，耶拿）进行升级；

(b) 马赫研究所在弗莱堡制作进行超高速撞击模拟用的高级材料模型，以找到各种材料的动态参数；

(c) 研究超高速撞击对高压罐的影响（马赫研究所）；

(d) 马赫研究所对国际空间站欧洲哥伦布轨道设施（COF）舱暴露程度高的地方进行可能的撞击防护增固的研究；

(e) 不伦瑞克的 eta\_max 公司对欧空局识别空间物体特征数据库和信息系统进行升级；

(f) 高超音速技术研究所开发的重返期间航天器分裂的高级模型。

28. 除了德国在欧空局合同项下进行的这些活动，下文描述的由国家供资的活动主要集中于支持风险分析、研究降解效应对空间碎片协委会作出贡献。

29. 马赫研究所正在研究微流星体和碎片粒子撞击高度 700 公里和 1 400 公里、倾角  $48^\circ$  E 轨道内光学通信终端粗糙的照准镜所造成的损坏。计算出了这些轨道在固体粒子撞击的情况下最大的损坏级，以及全部毁坏的概率。

30. 位于亚琛的莱茵-威斯特法伦工学院正在对用于风险分析的计算机代码进行基准试验。此外，正在准备建立一个服务器以收集和发布试验结果、计算机程序和设计公式。这项

工作是对空间碎片协委会第3工作组（防护）所做的贡献。

31. 德国航空和航天中心组织了一次全国讲习班，向参与空间碎片领域的人通报国家战略、近期事件（如和平号空间站返回和狮子座流星雨）、关于欧空局空间碎片缓减手册的进展状况、和平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会以及空间碎片协委会的工作。再保险公司 Bayerische Ruck 公司的代表概要介绍了空间业务保险和再保险的背景情况。

32. 德国是空间碎片协委会的成员，德国航空和航天中心在协委会代表德国，它以信息交流、筹备工作组的活动和协调德国代表团等方式持久地对协委会做出贡献。德国航空和航天中心提出了在因特网上设立空间协委会主页的倡议。参加 1998 年 11 月在图卢兹举行的第 16 届空间碎片协委会的德国代表团由五名代表组成，其中一名现任第 1 工作组（测量）主席。还向会议提交了德国航空和航天中心关于空间碎片的立场文件，该文件说明上文所述的国家战略。

注

<sup>1</sup> J. Bendisch and others, "The consideration of non-fragmentation debris in the MASTER Model", paper presented at the forty-ninth Congress of the International Academy of Astronautics, held in Melbourne, Australia, in 1998 (IAA.6.3.04).

<sup>2</sup> C. Wiedemann and others, "Debris modelling of liquid metal droplets released by RORSATs", paper presented at the forty-ninth Congress of the International Academy of Astronautics, held in Melbourne, Australia, in 1998 (IAA.6.3.03).

<sup>3</sup> T. J. Settecerry, E. G. Stansbery and M. J. Matney, "Haystack measurements of the orbital debris environment", paper presented to the thirty-second Scientific Assembly of the Committee on Space Research, held at Nagoya, Japan, in 1998 (to be published).

<sup>4</sup> J. C. Mandeville and M. Rival, "Review and selection of a model for ejecta characterization", Technical Report 452200/01 under European Space Technology Research Centre contract (Toulouse, Centre d'études et de recherche de Toulouse/Office national d'études et de recherche aérospatiales, 1996).

<sup>5</sup> N. Divine, "Five populations of interplanetary meteoroids", *Journal of Geophysical Research*, vol. 98 (1993), pp. 17,029-17,048.

<sup>6</sup> P. Staubach, "Numerische modellierung von Mikrometeoriden und ihre Bedeutung für interplanetare raumsonden und geozentrische Satelliten", thesis presented at the University of Heidelberg, Germany, April 1996.

<sup>7</sup> L. Leushacke and others, "Radar detection of mid-size space debris", final report No. 6-94, ESA/ESOC contract No. 10182/92/D/IM (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, November 1994).

<sup>8</sup> L. Leushacke, "First FGAN/MPIfR Cooperative Debris Observation Campaign: experiment outline and first results", *Proceedings of the Second European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 17-19 March 1997* (ESA SP-393).

<sup>9</sup> L. Leushacke, "Mid-size space debris measurements with the TIRA system", *Proceedings of the*

*Forty-eighth International Astronautical Congress, Turin, 1997.*

- <sup>10</sup> J. Rosebrock, "Beobachtung des Leonidenstroms 1997", *FGAN-FHP Jahresbericht 1997* (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, 1997), pp. 87-92.
- <sup>11</sup> D. W. R. McKinley, *Meteor Science and Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1961, p. 233.
- <sup>12</sup> J. Rosebrock, "Radarreflexionen an unterkritischen Ionisationsschläuchen von Meteoriten bei Sicht in den Radianten", *FGAN-FHP Jahresbericht 1998* (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, 1998).