



大会

Distr.
GENERAL

A/AC.105/659/Add.1
6 February 1997
CHINESE
ORIGINAL: ENGLISH

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的碰撞的问题

秘书处的说明

增编

1. 1996年7月19日，秘书长向各会员国发送了普通照会，请各国就本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的碰撞问题提供资料。
2. 本文件载有在1996年12月7日至1997年2月6日自会员国收到的答复中提供的资料。

目 录

	页 次
来自会员国的答复	2
德国	2

来自会员国的答复

德国*

[原件：英文]

德国正在密切注视着和平利用外层空间委员会科学技术小组委员会对空间碎片工作方案的讨论。它已经通过进行技术专题介绍等为这些活动作出了贡献，并对迄今已汇集到的资料表示赞赏。这项工作的成果对于确定空间碎片研究和预防领域的今后做法将具有极大意义。下文的报告将继续介绍上一次在 1996 年 2 月 1 日 A/AC.105/619/Add.1 号文件中述及的德国的活动，应将其看作是对这项工作的又一个贡献。

德国的空间研究活动或者是依靠本国的力量进行的，或者是由与欧洲空间研究技术中心和欧洲航天局（欧空局）的欧洲空间业务中心订立的合同提供经费。研究活动集中在(a)不伦瑞克技术大学的飞行力学和空间飞行技术研究所，和(b)Wachtberg-Werthhoven 应用科学研究所。1996 年这两个研究所的主要研究成果分别载于下文第一和第二节；第三节则载有弗赖贝格的马赫研究所和埃施博的巴特尔研究所进行的其他研究活动。

在介绍德国的研究活动之前，必须提及的是德国航天局（德空局）最近已申请成为机构间空间碎片协调委员会的正式成员。在 1996 年 10 月机构间空间碎片协调委员会指导小组会议期间，建议在机构间空间碎片协调委员会的下一全体会议上执行德空局正式加入事宜，这次会议将于 1997 年 3 月在德国达姆施塔特举行。与此同时，德空局将联合主办在欧洲空间业务中心举行的第二次欧洲空间碎片会议。

A. 空间碎片模型制作

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）在继续进行空间碎片的研究工作。

飞行技术研究所在欧空局的流星体和空间碎片地面参考模型(MASTER)中增加了新的内容。¹在应用该工具进行分析时现在又有了一个先进的流星

* 本答复译自未经正式审编的英文本。

体模型。² 最新版本的参考模型计划将在第二次欧洲空间碎片会议（1997年3月，达姆施塔特）的范围内提供。

1. 对赤道平面外地球同步高度 空间碎片碰撞风险的分析

任何有关高度达到地球同步轨道那么高的模型都有局限性，因为关于这一区域中小于一米的物体的测量数据缺乏，因而不能验证模型所预测的数据。然而，在相同的模型假设条件下对目标轨道进行比较分析³是有效的，能为设计今后的飞行任务提供有关的数据。过去几年中，制作近地空间环境的模型的努力主要集中在赤道平面的低地球轨道卫星和地球静止环。

地球同步高度上倾斜度很大的轨道在过去没有运行意义。但是，最近人们正在为了一些卫星群集概念研究这类倾斜地球同步轨道。特别是欧洲的民用导航界正从未来的全球导航卫星系统的角度研究这类轨道。轨道倾斜度高达75°的倾斜地球同步轨道卫星在其初级阶段将提供充分的地区覆盖面，而最终将成为一个全球系统。

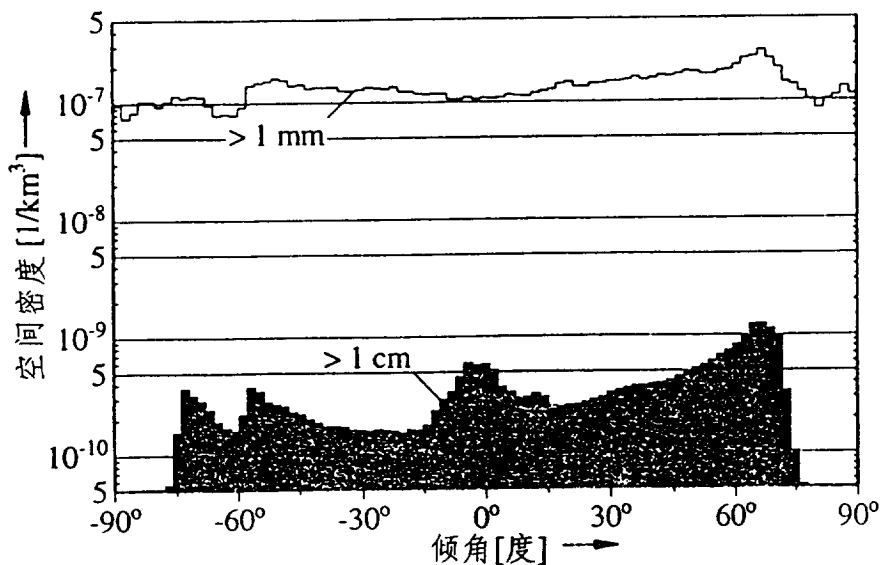
这是一个半径 $r = 42,164$ 公里 $\pm 1,000$ 公里的完整球壳，按 $\Delta r = 25$ 公里、赤纬 2°和赤经 10°分成若干个控制体积。使用了历元为 1995.0 的 MASTER 基准总量来求出这一块块空间中的空间密度值。图 1 列出了直径阈值分别为 1 厘米和 1 毫米的结果。地球静止轨道上被跟踪的物体凡尺寸大于 1 厘米的，在倾角为 0°达到最高值时仍然是可以辨认的。但是，在这两条曲线中主要是闪电号类型轨道上的物体。较小的碎片主要来自于这些偏心度很大的轨道上的碎裂事件。由于它们最初的倾角约为 63.4°，某些碎片拱点线的旋转仍然较小。这造成了北半球通常较高的空间密度值和倾角约 - 63°处的局部最小值。

但是，对地球静止轨道和倾斜地球同步轨道上的目标卫星来说，它们的冲撞特性异差很大。由于轨道是倾斜的，碰撞的速度范围向较高的数值移动，可以达到 4 和 5 公里/秒，相比之下，在地球静止轨道数值较小，低达 500 米/秒甚至更低（见图 2）。毫米一级的碎片物体如果与倾斜地球同步轨道上的较大物体碰撞，产生的破坏力可能会与目前地球静止轨道环境中厘米级的颗粒产生的破坏力相同。不同的冲撞几何学还反映在碰撞的方向上：方位角（从飞行方向的水平面测量）小达 30-50°（见图 3）。仰角分布为平均

值和零度峰值周围的 $\pm 20^\circ$ 。

地球同步高度上的轨道寿命一般假定几乎是无限的。虽然这个轨道受到日月引力影响、太阳辐射和不对称位势的干扰，但轨道参数并没有相应的缓慢变化。特别是在地球静止轨道上，偏心率增加得很慢，也没有能量消散。但是，使用频闪仪计算机编码 LOPEX⁴ 进行长期模拟并考虑到所有有干扰，则倾斜地球同步轨道在倾角大于 45° 时，其行为会发生突然的变化。图 4 显示了 3,000 个物体的轨道寿命，以及随机产生的倾角、偏心率、上升交点赤径和近地点幅角的最初值。最初倾角主要在 45° 和 80° （相应的对称值为 $i > 90^\circ$ ）之间的许多物体在 30 至 200 年这样短的时间内就衰变了。

图 1. 倾斜地球同步轨道上的空间密度与倾角



从碎片缓减角度看，使用倾斜地球同步轨道有利有弊。对地球静止环上的现有物体来说存在着潜在的风险，特别是因为它们有较高的相对速度。有利之处是当在倾斜地球同步轨道和地球静止轨道上发生碎裂事件时，碎片云会很快地向一个大体积扩散。许多这类碎片的轨道参数要比在低地球轨道上发生碎裂时分布得开，因为后者的母体速度较小。将对这一高度上的碎片云的演变情况作进一步的模拟试验，以便更好地了解短期通量增加相对于碎裂的位置和参数的函数关系。

可以通过利用自然干扰来选择卫星运行寿命终了后取走该卫星的最佳方法。地球静止卫星通常是利用最后一部分尚剩的燃料来离开地球静止轨道，进入尽可能高的墓地轨道，但倾斜地球同步轨道上的卫星应当使用它们

图 2. 倾斜地球同步轨道(IGSO)与地球静止轨道(GEO)上的碰撞速度

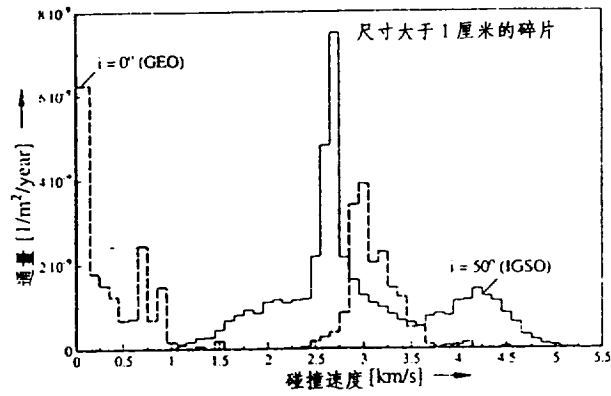


图 3. 水平面上的角通量分布

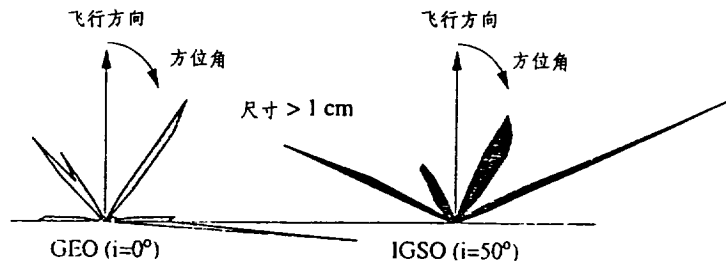
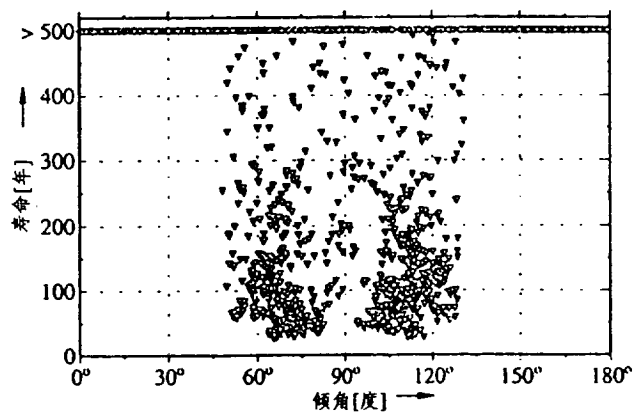


图 4. 倾斜地球同步轨道上随机产生的 3000 个物体的寿命
($i_0 = 0^\circ \dots 180^\circ$, $e_0 = 10^{-5} \dots 10^{-1}$)



的燃料来改变它们的轨道参数，以便使它们留在常规轨道上的时间尽可能短，可能的话尽早重返地球大气层。倾角和偏心率这两者都是应当处理的潜在参数。然而，由于有限的 ΔV 对倾角的影响较小，计算偏心度的增加在许多情况下将是最好的方法。某一种刚刚产生的群集也有可能导致偏心率值的减少，这表明有必要逐一地选择最佳化方案。所需要的工具是精确的轨道扩展函数和可靠的数字最佳化方法。该研究所已经有了这些工具，将使用这些工具来为倾斜地球同步轨道活动制定风险最小化战略。

2. 碎片环境的长期演变

在大多数情况下，在考虑到相互间碰撞作用的同时制作轨道碎片环境和碎片缓减措施的长期模型使用的是简化的方法。这些方法使用某些质量和高度空间块以便描述碎片总量，它们能够很快地但在大多数情况下又充分地从事体趋势的角度来分析今后的可能情况和碎片缓减措施。

但是，由于模型的分辨率有限，以往不能研究某些可能是很重要的效应和相互影响。在飞行技术研究所已经开发了一个新的半决定论的模型制作工具（碰撞分析长期工具（LUCA）），从而能够对今后的情况进行更详细的分析。这一编码不再使用离散的质量和高度空间块来描述总量及其随时间的演变情况，而是使用试样物体（约为总量的10%）。这些物体各自扩散，由此产生的碰撞概率按离散的时间间隔重新进行计算。这种方法考虑到了总量特性在今后可能发生的变化，而先前的方法只是根据物体数目的变化而不是根据轨道分布的变化来确定今后碰撞的可能的。

在进行首次评价时，将新的高分辨率和计算机耗时分析工具(LUCA)的结果与现有的低分辨率快速分析模型(CHAINEE)进行了比较。为此目的，研究了小于2,000公里的低地球轨道高度上的1厘米以上的物体。这一比较表明，CHAINEE在其可应用的范围内得出了充分的结果，但对有些情况来说，这个模型的分辨率并没有反映出所有的效应。从图5可见，在某一比较简单的情况，即假设基本总量在今后100年内的恒定增长率为1.7%，作为时间的函数的大于1厘米物体的高度平均数在这两种模拟情况下结果是相似的。

但是，新的手段能够对总量随时间演变的情况进行更仔细的观察。在上

文所述的同一情况下，现在可以求得高度相关性，图 6 所示即为 LUCA 两次蒙特-卡洛统计操作后的结果(图 5 中的曲线代表的是对许多次蒙特-卡洛操作后取平均值所得的趋势)。由此例可见，由碰撞所触发的总量增加会

图 5. CHAINEE 和 LUCA 方案的比较，假设 100 年内
2,000 公里以下总量的恒定增长率为 1.7%
(求得的平均曲线)

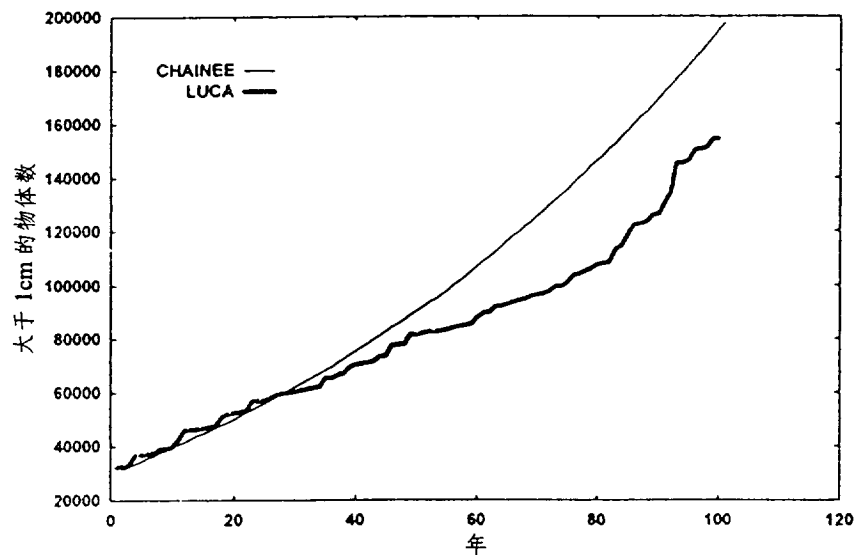
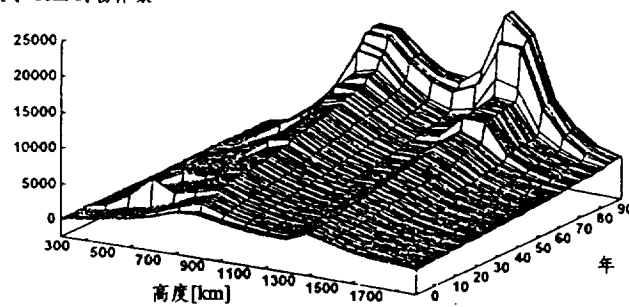
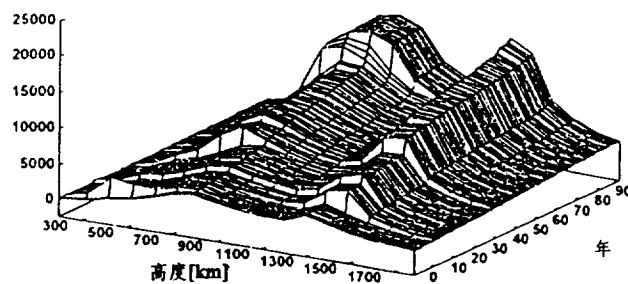


图 6. 以时间为函数的每 100 公里高度壳层中大于 1 厘米的物体数
(在图 5 条件下进行的 LUCA 模拟蒙特-卡路操作)

大于 1cm 的物体数



大于 1cm 的物体数



有随机的变化。这是因为今后几十年中预期的碰撞率较低。还可看出，在某些高度区，总量的增加要比图 5 所得出的总体增加快得多。

对今后可能情况包括缓减措施的高分辨率分析正在进行之中。其结果可能会使人们更好地了解今后总量增加的动态和碎片缓减的有效性。

B. 空间碎片和流星体的雷达观测

应用科学研究所的高频物理学研究所进行了与空间碎片有关的研究，主要目的是研究和发展雷达技术和分析方法，以探测、分类处理并确定人为形成的空间物体和天然流星体。采用跟踪和成象雷达系统，在跟踪状态下工作，可获得某些空间碎片的雷达数据。从这些数据可推导出大小、形状、体积、内动、质量、轨道和轨道寿命等物理特性。在波束区状态下工作，可通过对确定的空间体积的雷达观测，推导出空间碎片总量的密度。借助雷达测量，可以在流星雨期间测得流星率，在进行此种测量时，天线应垂直地指向预计发生的流星流（在波束区状态下工作，有地球自转作补偿）。空间碎片通量和流星体流量对于验证空间碎片环境模型至关重要。1996 年的活动主要由欧空局/欧洲空间业务中心资助。

高频物理学研究所的跟踪和成象雷达系统主要用于研究航天器和航空器的分类、鉴定方法和技术。在一定程度上，该系统还用于获得空间碎片和流星体的雷达数据。^{5, 6, 7}为此，主要研制了三种工作状态：跟踪状态，用以测量低地球轨道、地球同步轨道和地球静止转移轨道上的某些物体。其次是波束区状态，用以收集关于在某一确定空间体积中人为形成的空间物体的总量密度的数据。最后是带有地球自转补偿的波束区工作状态，用以在重大流星流活动期间获取流星体流量的资料。

跟踪和成象雷达系统由一个窄波段跟踪雷达和一个高分辨率成象雷达组成。这两个雷达都由一个 34 米抛物面天线支持。研究出了一些方法和算法用以分析窄波段雷达特征，根据高分辨率雷达数据计算雷达图象，并估算空间碎片的大小、形状、体积、内动、质量、轨道和轨道寿命等物理特性。这些方法和技术需进一步改进和完善，以对付中型空间碎片（1 - 50 厘米）和流星体。

1. 雷达观测

1996年，在欧空局一项研究（ESA/ESOC Contract，2/95 3/98）的框架内，在高频物理学研究所进行了与空间碎片有关的研究。这项研究的目的是改进应用科学研究所现有跟踪和成像雷达系统的探测能力。主要目标之一是探测和跟踪低地球轨道中的中型空间碎片（1 - 50厘米）。获得的资料将用于验证和改进现在的环境模型。在欧空局的这项研究范围内，更新了所有必要的硬件，以提高跟踪雷达的探测性能。小型雷达校准卫星的测量发现，L波段雷达现在可以观测800公里距离内的1.7厘米大小的空间碎片。

1995年，开始利用收发分置雷达实验来进一步改进对1 - 50厘米物体的探测。由波恩马克斯·普朗克射电天文研究所操作的设在巴特明斯特赖费尔 - Effelsberg的世界上最大的可调射电望远镜（100米孔径直径）与高频物理学研究所的大功率跟踪和成像雷达系统相距之近，在欧洲绝无仅有，为合作观测远距离小型物体提供了大有可为的条件。因此，在上述欧空局研究的框架内，由德空局协助，高频物理学研究所向马克斯·普朗克射电天文研究所董事局提出了合作进行24小时波束区实验的建议，以收集空间碎片雷达数据，验证欧空局的流星体和空间碎片地面参考模型。1996年11月25日，成功地进行了COBEAM-1/96号实验，收集到了150千兆位的雷达数据。对同时进行的校准实验所作的分析表明，100米的望远镜应当能够探测到800公里距离内小于1厘米的物体。

1999年11月会发生的狮子座流星重大流星流活动，按美国航天局的预测，会使本底通量增加10,000-30,000倍，有可能给运行卫星造成损害。1996年11月17日，高频物理学研究所测试了跟踪和成像雷达系统的观测方法。初步分析表明，探测到了密度过低和密度过高的电离化流星体的痕迹。收集到的数据将用来改进实验装置，协助研究估算流星体流量的算法。

2. 高风险空间物体的重返预测

此项活动的目标是在高风险空间物体重返期间为联邦内政部长提供关于重返通过区的可靠预测（时间和地面轨迹）物体位置估计数以及风险评估。根据合作协定，高频物理学研究所为欧空局/欧洲空间业务中心提供高风险空间物体跟踪雷达数据，用以佐证欧洲的重返预测。

C. 其他研究活动

过去一年当中，继续进行了超高速冲撞模拟领域中的大部分调查研究。这些活动由欧空局和工业界提供资金。

在马赫研究所用光气枪进行了一些试验，以便为国际空间站欧洲的“哥伦布”部分筛选防护材料和造形结构。另外，超高速冲撞对承压容器的作用的研究仍在进行，以便求得较能得到统计数字检证的结果。试验结果证实了容器承压的比较关键的效应。研究的结果之一是增固了空间站各组成部分的空间碎片和流星体冲击防护层。

为研究重返飞行器热保护系统的碎片冲撞方式，还在马赫研究所进行了其他试验。研究主体是非烧蚀材料（纤维强化陶瓷）、烧蚀材料、柔性和多层绝缘以及碳纤维强化塑料板和夹层板。碳纤维强化塑料板和夹层板的极限弹道性能优于铝板的性能。由于多冲击破碎，铝制目标前面的多层绝缘外壳起到极为有效的作用。碳碳材料的耐冲击性与铝相当，但有一些脆性（剥落效应）。

在巴特尔研究所实现了为发射超高速轰击粒子而研制锥型装药技术的目标，获得了质量近1克的轰击粒子11公里/秒以上的速度的正向和斜向冲撞的可重复结果。

用所谓的空心装药技术对1995年底在TDW（Gesellschaft für verteidigungstechnische Wirksysteme mbH）进行的超高速冲撞试验所作的评价已经完成。以25公里/秒左右的顶端速度进行的超高速喷气机冲撞试验得出的结论是，在轰击粒子质量的确定和喷气机顶端的状态方程中存在着不确定性，因此，冲撞现象肯定与其他碎片冲撞模拟方法大不相同。为研制此种技术还需进行更多的研究。

参考资料

1. ESOC-Contract 10453/93/D/CS, ESA/ESOC（MAS）最后报告，1994年。
2. H. Klinkrad 和 H. Sdunnus 合著：“MASTER 空间碎片环境模型的概念和应用”，空间研委会第31次科学大会，联合王国伯明翰，1996年7月14日至21日。

3. R. Westerkamp、J. Bendisch、S. Theil 和 P. Wegener 合著：“对赤道平面以外地球同步轨道高度上空间碎片碰撞风险的分析”，第 B 0.7-0032 号论文，空间研委会第 31 次科学大会，大不列颠及北爱尔兰联合王国伯明翰，1996 年 7 月 14 日至 21 日。
4. J. Bendisch 所著：“Die langfristige Entwicklung von Erdumlaufbahnen im Hinblick auf die Objektdichte im erdnahen Weltraum”，ISBN 3-8265-0247-7, Shaker (1994 年)。
5. K. Magura 和 D. Mehrholz 合著：“高频物理学研究所使用的卫星观测测量和分析方法”，第 8 - 93 号技术报告，高频物理学研究所，Wachtberg-Werthhoven，1993 年 12 月。
6. L. Leushacke、D. Mehrholz、D. Perkuhn 和 H. G. Peters 合著：“中型空间碎片的雷达探测”，第 6 - 94 号最后报告，ESA/ESOC Contract 10182/92/D/IM，高频物理学研究所，Wachtberg-Werthhoven，1994 年 11 月。
7. L. Leushacke 和 D. Mehrholz 合著：“确定空间碎片的物理特性”，第 6 - 95 号最后报告，DARA Contract 50 ST 9003 号，高频物理学研究所，Wachtberg-Werthhoven，1995 年 7 月。