



大会

Distr.
GENERAL

A/AC.105/680/Add.1
2 February 1998
CHINESE
ORIGINAL: ENGLISH

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

核动力源同空间碎片碰撞的问题

秘书长的说明

增编

1. 秘书长于 1997 年 8 月 7 日向全体会员国发出了一份普通照会，请它们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 1997 年 12 月 1 日至 1998 年 1 月 30 日间自会员国处收到的答复中所介绍的资料。

目 录

	页 次
已收到的会员的答复	2
德国	2

已收到的会员国的答复

德国

[原件：英文]

德国继续为和平利用外层空间委员会空间碎片问题的工作作出了贡献，具体体现在编写了载于 1997 年 2 月 6 日的 A/AC.105/659/Add.1 号文件中的德国的活动报告和科学技术小组委员会 1997 年会议上就碎片观测作了专题介绍。

德国航天局(德空局)已在 1997 年 3 月于达姆施达特举行的机构间空间碎片协调委员会会议时成为该委员会正式成员。由于 1997 年 10 月 1 日德空局和德国航空和航天研究所合并成为德国航空和航天中心，成员资格由该中心接替。第 14 次机构间空间碎片协调委员会会议于 1997 年 3 月 20 日至 21 日与由德国航天局等赞助并由欧洲空间业务中心组织的第二次欧洲空间碎片会议同时举行。¹许多德国科学家和法律专家都出席了这次欧洲空间碎片会议。第 15 次机构间空间碎片协调委员会会议于 1997 年 12 月 9 日至 12 日在美利坚合众国得克萨斯休斯敦举行。德国代表团参加了这两次协调委员会会议，并为负责测定、环境与数据库、保护和减缓问题的四个工作组作出了贡献。

正如以往报告中所指出的那样，德国的碎片研究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洲空间业务中心的合同筹资开展的。研究活动大都集中在：(a)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)；(b)Wachtberg-Werthhoven 应用科学研究所。下文 A 节和 B 节分别载有这些机构在 1997 年期间活动的成果；C 节则是德国各研究所和业界开展的其他研究活动。

A. 空间碎片模型制作和缓减

同以往一样，空间碎片模型制作的研究是 1997 年飞行技术研究所工作的一个重要方面。

德空局/德国航空和航天中心的一份关于空间碎片讨论的实际方面的研究已接近完成，其中包括额外空间碎片源(RORSAT 液粒、表层降解粒子、固体火箭发动机燃烧的氧化铝粉/渣)或倾弃轨道与地球同步轨道间所需的最低限度间隔。

飞行技术研究所还从事欧空局空间碎片模型 MASTER 的发行版的开发工作。该模型现在包括一个评估自然流星体通量的选项。现在可通过欧空局欧洲空间业务中心提供的 MASTER 发行版是 1997 年 5 月版。自 1997 年 8 月以来，飞行技术研究所还在就几项加强功能开展研究，以期并入可望于 1999 年问世的 MASTER 版本之中。

除这项工作之外，飞行技术研究所还在为欧空局编写一份欧洲空间碎片手册，其中将包括轨道碎片评价和缓减的科学和技术的各个方面。

1. 轨道碎片造型中的其他来源项

由于已有许多迹象表明除爆炸和碰撞之外还有其他来源大大增加了地球轨道目标中的碎片通量，所以对碎片物体在轨道中释放的多种可能的机制进行了审查。以下几项目前被认为是最可能的来源：

- (a) 弃入 950 公里存储轨道的核反应堆堆芯溅出的液态金属(钠钾)冷却液粒；
- (b) 轨道固体火箭发动机燃烧产生的氧化铝渣和微粒；
- (c) 由于原子氧的影响和与远紫外线辐射有关的脆化和热循环而产生的表层降解粒子。

在这些来源中，只有冷却液块和称为渣的大量氧化铝物体从碰撞级联角度看才具有考虑的价值。微细的氧化铝粉粒及表层降解粒子只能促进那种造成这类降解效应的微碎片通量的形成。

目前，空间飞行技术研究所正在研拟可生成两种有关来源项的造型办法，以便评价其对全球空间碎片环境的影响及其演变过程。

(a) 钠 - 钾液粒

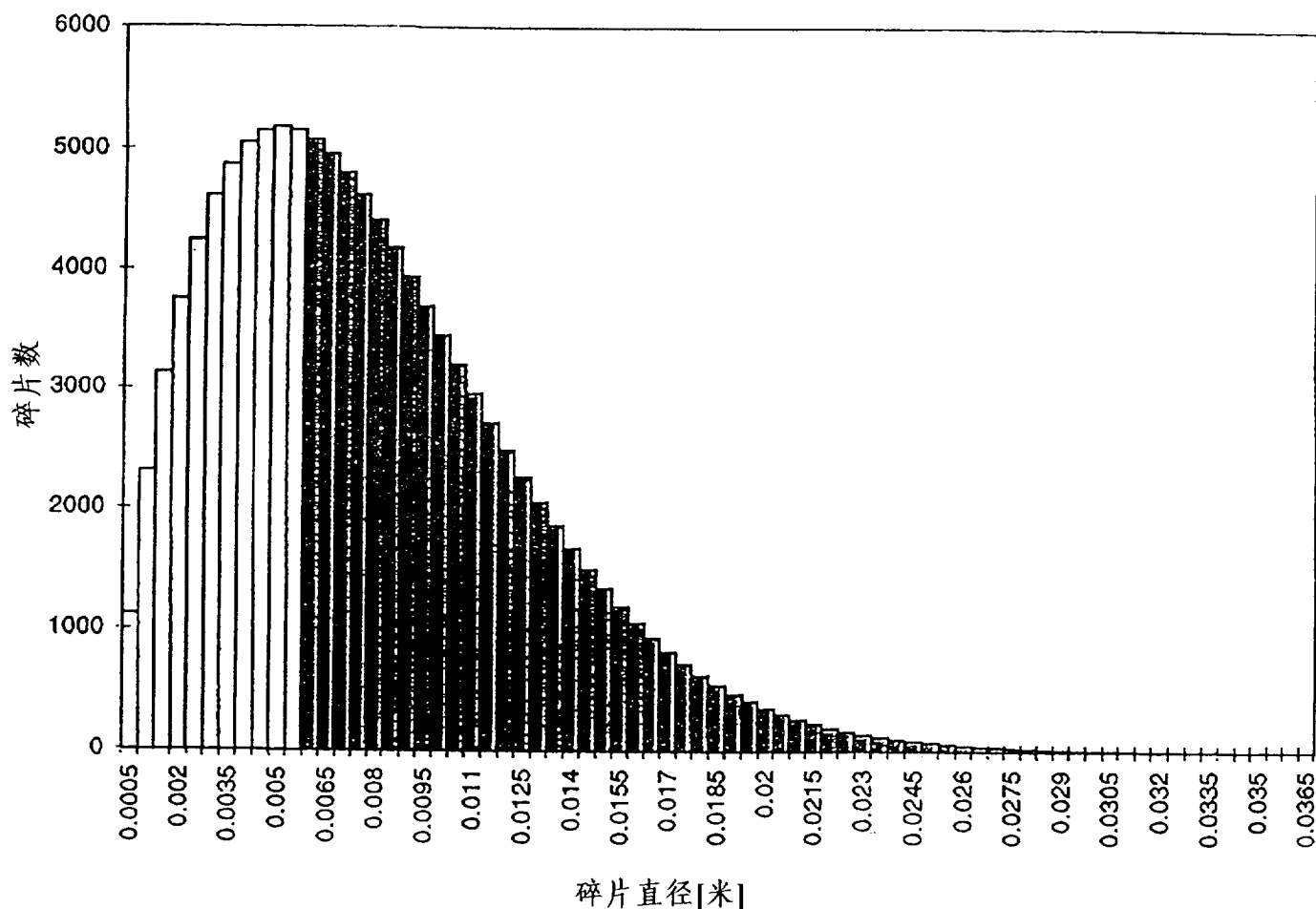
这两种来源中的第一种(显然也是最严重的一种)，即所谓的 RORSAT 液粒，在以草堆式雷达进行抽样测定的过程中可以看到。雷达探测到在高度约为 900 公里、倾角 65 度的近圆形的轨道中有大量的这类物体。利用 Millstone Hill 和 Goldstone 雷达站对这些物体进行更仔细审查及光学观测可以看出，其直径长达 5.6 厘米，呈球形，而且具有镜面金属的特性。从衰变测量看，可以推算出稠度为每立方米 900 公斤。所有这些都表明它们是使用钠 - 钾为冷却剂的俄罗斯 RORSAT 卫星的核反应堆用完后的液态钠 - 钾液粒。

这些现已不再用的卫星被倾弃在一个 950 公里高的存储轨道，后来的 RORSAT 卫星从反应堆堆芯释放燃料棒，以确保后来的再进入期间的完全解体。也许在进行这一程序的过程中有大量的钠钾冷却剂被排入空间。冲出流中的气蚀爆炸效应可能导致大量均匀的小液粒的产生。² 由于蒸发率很低，如此产生的形成金属球面的液粒在其轨道寿命期间大小几乎不会改变。

这里的问题同轨道碎片对造型构成的问题相类似：只能对直径的上端通过直接测量进行核查。因此，任何通过对外流过程的理论性造型推算出的体积或直径的分布情况都会带有相当大的不确定性——特别是在这里所述的这种情况下，几乎没有任何关于大小系列中较小一端的数据。

钠 - 钾的材料数据，通常只列出那些对热力学过程有一定意义的参数区间的参数，而且对喷射入真空中的液体的效应的检查实验，至今仅仅对水进行过。不过，水和钠 - 钾之间，特别是在稠性方面，存在的某些类似之处，再加上数据的普遍缺乏，似乎有理由至少针对钠钾问题采用水液粒直径分布数据的基本特性。热钠钾(753 K)的蒸汽压同室温时的水(293 K)的蒸汽压相同也可印证这一假设。

图 1：钠-钾液粒直径分布情况总图，根据为高度为 800 公里的
RORSAT 组制作的模型绘制



从这种意义上讲，所选择的是韦布尔分布，这种分布适合于雷达和光学检测所测定的数据点，也适合于集成体。这种做法因利用幂分布定律的模型相比的好处在于，它对此类事件生成的微粒数的评估较为保守。这似乎是一种合理的办法，尤其是因为微液粒的轨道蒸发同较大的液滴相比要更为有效，所以微液粒最终将会消失。

尽管这些假设相当保守，但与冷却剂有关的物体总数就 950 公里存储轨道范围内——不包括只达到 750 公里存储轨道的 C1900——的 15 个 RORSAT 事件而言却累积到 115,000 个。总质量为 54 公斤。

(b) 固体火箭发动机铝渣

生成各种对碎片环境有着重大影响的物体的第二个来源是那些用于导入地球静止转移轨道或地球同步轨道活动的固体火箭发动机的燃烧。

在固体火箭发动机燃烧过程中射出氧化铝微粒是一种可以很容易地从装入的大量铝添加剂中引出的常见现象，但在熄火阶段中排出较大的渣状物体却是最近才发现的现象。因此，在制作这类二氧化铝渣生成过程模型中的主要问题是缺乏可靠的数据。迄今

为止，只有为数甚少的通过固体火箭发动机地面测试和对上升运载火箭固定助推器火舌的雷达观测测算数据。而且，这些测算所得出的数据也相当不一致，需要按照发动机大小进行伸缩和根据轨道状况进行外推计算。

对模型假设的检测，主要限制于少量的已超出低地轨道中直径约为 6 毫米的雷达观测阈值的生成物体。因此，目前的模型所反映的只是有关铝渣的生成和释放机制的十分粗略的印象，尤其是就质量或直径的分布而言。

不过，不论较小的直径范围内的任何模型的假设如何，测算的数据已证明每一单个的固体火箭发动机的燃烧都有相当多的大型物体排出。这些物体与粉状粒子不同，它们造成了其直径范围对目标具有潜在破坏性的本底通量的形成，还可能引起未来的碰撞级联效应。因此，应当将轨道固体火箭发动机燃烧产生的铝渣看成是有关空间碎片的来源。未来的分析尚须加以证明的一点是，考虑到大气阻力或太阳辐射压力等下沉机制的影响，渣群可积累到多高的水平。

2. 地球同步轨道和倾弃轨道间的间隔

目前，地球同步轨道中的航天飞机在操作寿命终止时并未脱离轨道，这主要是因为脱轨需要有大量的附加燃料。于是，便将它们升高送至一略高于地球同步轨道的倾弃轨道中，以便至少减少物体密度，并因此减少在高度拥挤的静地环本身中的碰撞危险。

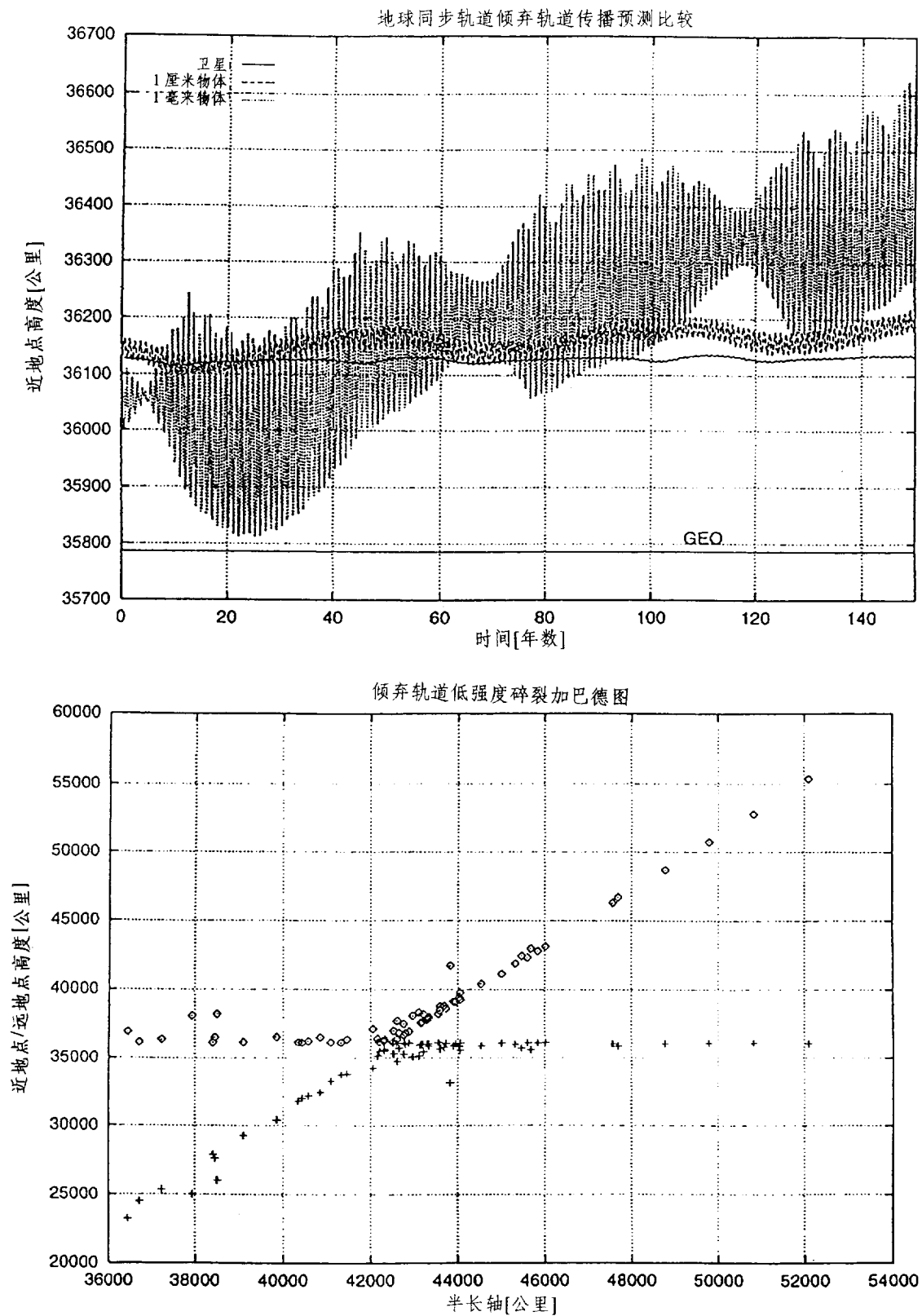
在就这一又被称为转轨的程序达成国际一致意见的呼声日高的情况下出现的一个问题是，倾弃轨道与地球同步轨道之间应有什么样的最低限度间隔，才不致使被弃航天器以后飘移至敏感的对地静止地区。近来，讨论似乎已确定出一个 300 公里的值，这一数值已为某些国际机构如欧空局或国际电信联盟所采用，而且已由美国国家航空和航天局空间碎片缓减手册加以推荐。

飞行技术研究所进行的长期轨道演变情况模拟实验表明，由摄动影响造成的近地点高度的变化对于大于 1 厘米的物体来说一般是很小的(见图 2，上)。只有对直径在亚毫米范围内的粒子，太阳辐射压力才会造成相当大的近地点高度的飘移，不过这类粒子只能从倾弃轨道本身中的碰撞事件产生。但是，在这种情况下，被自由释放的动能将把碎片投入那些特别是对小粒子而言具有高度偏心力的众多不同轨道之中(见图 2，下)。由于根本没有使地球同步轨道免受这类小碎裂碎片干扰的间隔，所以就倾弃轨道间隔而言，这一问题是无从解决的。

倾弃轨道本身虽然似乎相对稳定，但应当予以考虑的并不仅仅是轨道摄动。除了地球同步轨道本身以外，在其上方应保持一没有碎片的空间，以便在卫星定位阶段进行升举操作。另外，就各种技术考虑而言，还应给上述基本要求所提出的最低限度间隔采用某种合理的安全幅度。

从这种情况看来，提议的 300 公里间隔至少对完整无损的卫星来说，似乎不失为一种兼顾安全和经济的折衷办法。

图 2：由摄动引起的轨道改变情况(上)和
由地球同步轨道倾弃轨道中低强度碰撞造成的碎裂轨道(下)



3. 大星群及其对碰撞危险的影响

关于在低地轨道中引入大型商用卫星群的问题，已对如此大量卫星对空间和空间碎片环境的影响进行了讨论。总的说来，注意力一方面集中在星群内碎裂的内部碰撞危险上，另一方面则集中在这对总体碎片形成的作用方面。

飞行技术研究所进行的研究表明，这两个问题中的第一个可以忽略不计。当然，星群中的个体在同一高度范围内运行，往往是处于那些相位为赤经而且在高赤纬处相交的多重近极轨平面之中。不过，由于运转寿命期间地面站对卫星进行的有源控制及后来拟采取的脱轨战略，星群内个体间彼此发生碰撞是极不可能的。即使是由于同本底碎片群中某一物体碰撞而使某一个体碎裂，这种裂片云对星群中其余卫星构成的额外通量同本底通量相比仍要低出好几个数量级。³

第二个问题，也就是星群对总体碎片发展变化的影响问题，却是一个严重得多的问题。计划中的未来星群，将由好几百颗卫星构成，因此，将会在其高度状态下大大增加在轨区的拥挤。此外，这些星群大都将在 700 公里至 1,400 公里的高度运作，而这一地区即使是在现在也已是物体密度最高的地区了。因此，目标完全解体之后发生碰撞的危险将曾至一个相当高的水平。

在一个存在着碰撞事件引发的巨大危险的环境中，将实际碰撞数保持在低水平上的办法是减少总的范围和时间的乘积。就与计划中的低地轨道星群有关的新卫星发射的情况而言，范围是增大了，剩下的便只有轨道穿透时间作为可调系数了。大多数负责这些星群发射工作的公司已经同意在其系统构想中纳入一个寿命终止时脱轨程序。但是，即使是在每颗发射的卫星都能在其运营寿命后除掉这种理想的情况下，由于本底总量中运营卫星数持续而大量地增加，碰撞的危险仍然是大大增加了。利用长期预测软件进行的模拟已空出强调了上述结果，因为据预测，在涉及星群问题时，小物体的密度会有较快的增长。

4. 1997 年 MASTER 空间碎片模型的新特点

同正式发行以前的版本最明显不同的变化是，在 MASTER 软件环境中采用了现有最尖端的流星体模型之一，具体说就是使用了迪万/斯托巴赫理论。MASTER 软件包所提供的应用现在不仅包括以前便有的对任何目的卫星的低至 0.1 毫米的物体的人造碎片通量进行评估，而且还包括确定天然流星体本底通量。⁴

由于天然流星体的质量通常较低，这一来源的内部质量阈值被降至 10^{-13} 公斤 ($d=4.243 \cdot 10^{-6}$ 米)。在 MASTER 模型的实现中，仅包括了 5 个斯托巴赫流星体类别中的核心、流星体和 A 总量等来源，因为在质量范围高于 10^{-13} 公斤的情况下 B 总量和 C 总量是可以忽略不计的。另外，MASTER 碎片分支中的参考总量也已更新至 1996 年 3 月 31 日。

5. 欧空局空间碎片缓减手册

手册的目的是介绍空间碎片状况的技术资料并就如何在进一步的航天器设计和任务规划中避免空间碎片提供指导。手册旨在在以上方面供欧空局和欧洲业界以及空间研究规划等方面使用。⁵

图 3：手册主要章次

碎片缓减手册概要——1997 年 9 月 18 日修订

1. 术语定义、缩略语
2. 欧空局碎片缓减准则范围界定
3. 空间碎片和流星体的目前环境
4. 碰撞危险评估和碰撞通量
5. 未来的空间碎片环境
6. 缓减措施
7. 航天器和运载装置在寿命终止时的钝化
8. 航天器和顶级的脱轨和重返
9. 避免(低地轨道)在轨碰撞
10. 在轨屏蔽技术
11. 结论

手册本身并不具有条例性质。不过，如果拟以其他文书在欧洲规定条例，可在其中提及手册的适当段次。已经开始的这类做法之一是欧洲通信卫星系统的“空间标准化欧洲合作”的编写，其中载有有关空间碎片的初步段次，以后还可列入对手册的参照条目。

手册是用一基础软件打印而成的。该软件可控制文本以及诸如图表、草图、表格等图解材料。只需改动基础软件的参数，便可很容易地根据技术和环境的变化情况更新手册。基础软件访问诸如 MASTER、CHAINEE 等一系列计算机代码并以自动编辑方式制作手册中的图表(或对其进行更新)。正考虑出一活页版，以更新所有用户的手册。

B. 空间碎片和流星体雷达观测和分析

应用科学研究所的高频物理学研究所的跟踪和成像雷达系统，主要是用来研究航天器和飞机分类和识别的方法和技术。有时还用跟踪和成像雷达系统来获取空间碎片和流星体方面的雷达数据。^{6、7、8}为此目的而主要开发了三种操作方式。一是用以测量低地轨道、地球同步轨道和地球静止转移轨道中某些物体的跟踪操作方式。一是用以采集在

某一空间体积中人为形成的空间物体的总量密度的数据的波束区操作方式。第三种是带有地球自转补偿的波束区操作方式，用以在重大流星流活动期间获取流星体通量的信息。

跟踪和成像系统由一个窄波段跟踪雷达和一个高分辨成像雷达组织。两个雷达都由一个 34 米的抛物面天线支持。已研拟出各种方法和算法来分析窄波段雷达的特征，根据高分辨雷达数据计算雷达图象，并估算诸如大小、形状、体积、本征运动、质量、轨道和轨道寿命等空间碎片物理特性。仍在继续改进和完善这些方法和技术，以便用于对中等空间碎片(1 至 50 厘米)和流星体的分析。

1997 年，应用科学研究所和高频物理研究所主要是在下述三项欧空局/欧洲空间业务中心研究合同的范围内开展与空间碎片和流星体有关的活动的：

- (a) 空间碎片观测高级雷达技术(1995 年 2 月至 1998 年 9 月)；
- (b) 合作开展碎片跟踪(1997 年 4 月至 1998 年 7 月)；
- (c) 用雷达探测中等碎片的算法的研拟(1997 年 4 月至 1999 年 7 月)。

这些活动的主要目的是：

- (a) 对经过改进的碎片观测和数据采集技术进行调查研究；
- (b) 为数据处理、碎片和流星探测与分析研拟和实现各种有效率的、高度自动化的技术和算法；

- (c) 为在测定结果和造型预测之间确定一种独特的、明确界定的界面创造条件。

1. 雷达观测和数据分析

审慎的敏感度评估表明，跟踪和成像雷达 L 波段雷达目前可探测到 100 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范围内提出和实现的对所有硬件和信号处理的更改与改进考虑在内。1996 年，在一次收发分置雷达实验中大大提高了探测性能：实验中将由马克斯·普朗克射电天文研究所运营的设在 Bad-Münstereifel-Effelsberg 的世界上最大的可控射电望远镜(孔径直径为 100 米)用作高灵敏度的二级接收装置。⁹

1996 年 11 月 25 日至 26 日成功地进行了 COBEAM-1/96 号实验，收集到了约 150 千兆的 24 小时连续观测的原始雷达数据。所确定的该望远镜的阈值是 1,000 公里距离内为 9 毫米。对 COBEAM 数据的分析已于 1997 年 9 月完成。¹⁰ 其结果在多方面都同使用其他传感器(例如草堆式雷达)及模型预测的大致一致。特别对目前未受到环境模型适当重视的碎片环境总量中的那些子集进行了专门研究，例如钠-钾液粒(据称是 RORSAT 核动力反应堆中逸出的冷却剂)和 PEGASUS/HAPS 爆裂生成的一类碎片(1996 年 6 月)。

1999 年 11 月会发生的狮子座流星群的一项重大流星流活动，据美国航天局的预测，会使本底通量增加 1 万至 3 万倍，有可能给运行卫星造成损害。根据 1996 年对狮子座流星群观测所取得的经验，计划在 1997 年 11 月 17 日前后就预测中的年度最高活跃期开展为期 4 天的雷达观测活动，这一活动已经完成。所采集到的数据将用改进实验

结构，并帮助研拟估计流星体通量的算法。

2. 雷达测定与模型预算的比较

为了使碎片测定数据有利于欧空局 MASTER 模型的检验，已经开始讨论如何界定和实现模型与测定数字间的独特界面的问题。在由欧空局/欧洲空间业务中心、不伦瑞克技术大学、eta_max 空间有限公司和应用科学研究所联合举行的工作会议期间，据认为，应当与模型制作和传感器专家合作而适当扩展 MASTER 模型，以解决这一问题。

3. 对失灵卫星的雷达观测和分析

在运行卫星与碎片碰撞及其他卫星失灵的意外情况下，采用了跟踪和成像雷达以协助对问题的分析。在研究合同的框架内，利用 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结果。1997 年的例子包括对 CERISE 卫星(因与阿丽亚娜顶级碎片碰撞而受损)、高级地球探测卫星(因机械应力而使太阳能电池板毁坏)和 SPOT-3 号卫星(由于自转失控而丧失作用)等的观测和分析。

4. 对高危空间物体重返的预测

这项活动的目标是在高危空间物体重返期间向联邦内政部提供关于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。在合作协定的范围内，应用科学研究所的高频物理学研究所向欧空局/欧洲空间业务中心提供高危空间物体的跟踪雷达数据，以支持对欧洲重返的预测。为了检测现有的程序和算法，1997 年 9 月用跟踪和成像室雷达对(美国)刘易斯卫星的重返进行了监测。

C. 其他研究活动

在流星体和碎片防护领域进一步开展了一些工作。继续进行了头几年在马赫研究所开展的研究。根据欧空局的合作，马赫研究所进一步研究了超高速冲击对高压罐的影响，特别是在卫星应用方面。马赫研究所的其他研究是根据欧空局方案分包合同进行的、在卡西尼-惠更斯飞行任务项下，通过试验对碎片冲击对隔热系统的影响进行了模拟；在欧洲 COF 国际空间站内容项下，对可增固处于很高位置的冲击防护层的样品进行了超高速冲击试验。

在过去几个月中，在马赫研究所开始了一项国内集资的研究，以模拟通信卫星光学终端光学表层的降解效应。

注

¹K.-U. Schrogl, "Second European Conference on Space Debris", *Space Policy*, No. 3 (1997), p. 265.

²C. Wiedemann and P. Wegener, "Internal report on new space debris sources; RORSAT droplet generation" (IFR/TUBS, 1997), unpublished.

³S. Theil, "Vergleich der Ausfallwahrscheinlichkeit unterschiedlicher Satellitenkonstellationen zu Navigationszwecken durch deterministische Untersuchung des Kollisionsrisikos", diploma thesis (IFR/TUBS, 1996), unpublished, German only.

⁴"MASTER Software User Manual", postscript documentation distributed with the MASTER software, available through ESOC, Darmstadt, Germany.

⁵D. Rex, H. Klinkrad and J. Bendisch, "The ESA Space Debris Mitigation Handbook", *Proceedings of the Second European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 17-19 March 1997* (ESA SP-393).

⁶K. Magura and D. Mehrholz, "Measurement and analysis techniques for satellite observations used at FGAN-FHP", *FGAN-FHP, Technical Report*, 8-93 (Wachtberg-Werthhoven, December 1993).

⁷L. 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).

⁸L. Leushacke and D. Mehrholz, "Determination of physical characteristics of space debris, final report No. 6-95, DARA contract No. 50 ST 9003 (Wachtberg-Werthhoven, FGAN-FHP, July 1995).

⁹L. 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).

¹⁰L. Leushacke, "Mid-size space debris measurement with the TIRA system", *Proceedings of the Forty-eighth International Astronautical Congress, Turin, 1997*.