



## 大会

Distr.  
LIMITEDA/AC.105/C.1/L.213/Add.4  
26 February 1997  
CHINESE  
ORIGINAL: ENGLISH

和平利用外层空间委员会  
科学和技术小组委员会  
第三十四届会议  
1997年2月17日至28日，维也纳

科学和技术小组委员会第三十四届会议  
工作报告草稿

**B. 小组委员会 1997 年的技术报告**

1. 由于关注空间碎片对空间环境和航天器运行带来的影响，和平利用外层空间委员会将空间碎片问题作为一个项目列入了 1994 年的议程。人们一致认为，重要的是应为今后探明空间碎片各种复杂特性的工作打下坚实的科学和技术基础。
2. 小组委员会同意注重于认识有关空间碎片的研究的各个方面，包括碎片测量技术；确立碎片环境的数学模型；确定空间碎片环境的特点；以及减少空间碎片风险的措施，包括在航天器设计上针对空间碎片采取保护措施。为此，1995 年通过了一个多年工作计划，定出了 1996 年至 1998 年的具体研究专题。还同意这一工作计划在执行时应具有灵活性，以及能够涉及与空间碎片有关的各种相关问题。
3. 小组委员会的这一报告将按照工作计划所定 1996 年至 1998 年应予探讨的专题划分其章节。该报告将不断延续，逐年更改补充，融汇各方面的意见和指导，以便达成一种共同的认识，用以作为委员会进一步审议这一重要事项的基础。1997 年的这份报告侧重于空间碎片环境和风险评估的模型方

法。

## 2. 空间碎片环境和风险评估的模型化

### 2.1. 空间碎片环境的模型化

#### 2.1.1. 引言和方法

4. 空间碎片模型以数学方法描述空间物体的分布、物体的移动和流动，以及物体的物理特点（例如，大小、质量、密度、反射特性、固有运动）。这些模型可以是定性的（例如，描述每一物体的轨道参数和物理特点），统计类型的（例如，按照物体的一定抽样数来确定某一群体的特点）或两者的合并（混合型）。这些模型可运用于风险和损害评估、陆基感测器碎片探测率的估测、运行中航天器回避动作的测定，和碎片缓冲措施有效性的长期分析。

5. 空间碎片模型，必须考虑到下列各种来源机制对增大在轨物体总数的影响：

- (a) 发射器（包括运载火箭的顶级、有效载荷和与飞行相关的物体）；
- (b) 机动动作（用以启动固体燃料火箭发动机的点火）；
- (c) 碎裂（由爆炸和碰撞而造成）；
- (d) 物体表面的材料分离（老化效应，例如油漆成块剥落）；
- (e) 材料的逸漏（例如核动力源冷却液）。

6. 还须考虑到下列沉降机制：

- (a) 由于大气牵拽或其他干扰引致的轨道衰减；
- (b) 从轨道上回收；
- (c) 脱离轨道。

一个碎片环境模型必须含有这些要素的全部或一部分。

7. 空间碎片模型应利用所有能够利用的数据来源。这些来源包括：

(a) 美国空间指挥部卫星目录和俄罗斯空间监视目录中有关分米尺寸或更大物体的定性数据；

(b) 从低地球轨道中专门雷达运行中取得的厘米尺寸物体的统计数

据；

(c) 由于对回收航天器表面所作分析而推断的碰撞后亚毫米碎片群的统计数据；

(d) 与卫星和火箭主体发生超速碰撞的陆基模拟试验；

(e) 爆炸式碎裂的陆基模拟试验。

8. 这些模型受到的限制是可用以确证各种关系的数据很少。这些模型必须以关于卫星特点、发射活动和在轨碎裂的历史记载作依据；此外，还有少量的有关航天器应付轨道环境的物质反应的数据。此外，在运用这些模型预测未来环境方面必须作出一些重大假设。特别是，未来交通量设想和缓解措施的运用将对模型预测结果有重大影响。空间碎片模型必须不断加以更新和鉴定，使之反映出观测和试验的数据设备在细节上和大小上的改进。

9. 环境模型可采取两种形式，独立式模型以某种细节格式表示碎片总量，或以分布函数的形式表示工程近似值。而且，这些模型在性质上可以是短期的（考虑十年以下的时间范围），也可以是长期的（考虑的时间长度在 10 年以上）。在制作所有这些模型时，在某一具体起始期定出最初的碎片总量，然后根据各种来源和沉降机制和相关的轨道干扰，顺时间推移，按逐步增多的方式叠加。

10. 各模型的有关特点的比较见下面表\_\_\_\_\_。

### 2.1.2 短期模型

11. 科学和技术界现可利用下列短期模型：

(a) EVOLVE 由 NASA 约翰逊航天中心根据确定性总数扩散技术研制，可按广延来源值和详细交通模型提供低地轨道环境的短期和中期预报。

(b) ORDEM96 是美国航天局约翰逊航天中心研制的一种半经验性技术模型。其依据是广延性遥测和就地观测，用以支持美国航天飞机和国际空间站的设计和操作系统。

(c) MASTER 是欧空局根据空间密度和瞬变速度三维离散化研制的一种半确定性环境模型。该模型适用于从低地轨道到静地轨道的高度，提供短期环境估计数。已经设计制造出一种详细程度较低型 MASTER。这两种模型均由德国不伦瑞克技术大学研制。

(d) IDES 是一种半确定性环境模型，借助详细交通及卫星特点，模型

提供轨道碎片环境的短期和长期预测。该模型由法恩巴勒的 DERA 研制。

(e) Nazarenko 是科学方案委员会研制的一种用于低地轨道碎片环境中长期预测的半分析性随机模型，提供空间密度和速度分布数据。该模型以俄罗斯和美国的目录数据为依据。

模型名称	来源	运行期	现有设计 模型	最小尺寸 (毫米)	轨道范围
CHAIN	NASA	长期	无	1 厘米	低地轨道
CHINEE	欧空局	长期	无	1 厘米	低地轨道
EVOLVE	NASA	短期 + 长期	无	0.01 毫米	低地轨道
IDES	DERA	短期 + 长期	无	0.01 毫米	低地轨道
LUCA	TUBS	长期	无	1 毫米	低地/中地轨道
MASTER	欧空局	短期	有	0.1 毫米	低地/静地轨道
NAZARENKO	俄空局	短期	无	0.6 毫米	低地轨道
ORDEM96	NASA	短期	有	0.01 毫米	低地轨道
SDM/STAT	欧空局	长期	无		低地/静地轨道

### 2.1.3 长期模型

12. 轨道碎片环境长期模型的制作范围是按时间、高度和物体大小的函数长期（100 年以内）预测物体数目。这些预测对于评价减少碎片技术的必要性和效能很重要。

13. 除现有碎片总数的模型制作中考虑到的空间碎片的来源之外，还需考虑到较大物体（大于 10 厘米）之间的碰撞。目前，较大物体之间的碰撞机率很低，对物体数目的增加不起重要作用。但是，所谓破坏性碰撞、即产生较大碎片的碰撞互相作用的危险，今后可能增加。这种整体上所有物体之间发生所谓互相作用的碰撞的危险，与物体数目的平方成正比。因此，如果今后物体的数目会象过去一样增加（按线性关系计算，每年增加若干百分数），则互相作用碰撞的危险也会增加。

14. 为了评价较大物体之间发生碰撞的后果，必须拥有针对此类碰撞的破碎模型。但是，如果不获得用于证实目的的试验数据，要想在轨道上模拟碰撞，极其困难。因此，碰撞模拟试验在模型中留出一定程度的误差。

15. 与现有碎片总数模型制作不同的是，长期模型制作需要一些关于包括碎片生成机制在内的未来空间飞行活动的假设性说明，其中包括：

- (a) 未来的发射次数及有关物体;
- (b) 未来每次发射的有效载荷数目和大小;
- (c) 未来与飞行任务有关的物体(整留片、螺栓等)的数目;
- (d) 未来航天器及上级火箭爆炸的次数。

16. 所有这些参数都随时间推移而在技术、科学、资金和政治因素的作用下发生变化。因此,在数学模型(如破碎模型)本身造成的误差中增加了一些误差。

17. 已经为制作碎片环境长期模型研制出一些模型。以下按字母顺序简要介绍其特点。

(a) CHAIN, CHAINEE: CHAIN是德国不伦瑞克技术大学根据政府合同研制的。自1993年以来,美国航天局维持了这一模型并作了改进。CHAINEE是CHAIN欧洲发展,由欧空局使用。这一模型是一种“箱中粒子”分析模型,使用低地球轨道4个高度空间块和5种质量级描述2,000公里高度以下的总量和碰撞碎片。CHAINEE是一种极为高速的计算机编码(100年的模拟约需10秒钟),可查明与具体减缓政策相关的相对趋势。由于使用了分块法,CHAIN的分辨率是很有限的。

(b) EVOLVE: EVOLVE模型是美国航天局研制的。这是一种半决定性模型,即通过一系列参数来逐个描述碎片物体。除可模拟目前的碎片环境外,还可通过利用蒙特卡罗技术用于研究各种减缓措施下今后的演变特征。为此目的,使用了飞行任务模型数据。由于所采用的方法,这一模型在轨道高度和物体体积方面的可靠性和分辨率良好。

(c) IDES: IDES是在英国法恩巴勒DERA航天部研制的。历史数据模拟至1996年。为了对今后的情形进行分析,使用了空中交通模型,并从时间角度将环境变成未来环境,以说明卫星总体间的相互作用。

(d) LUCA: 为了详细分析未来的情形,特别是如果需要轨道高度和偏角的高分辨率,德国不伦瑞克技术大学研制了半决定性计算机编码LUCA。这种编码结合了空间高分辨率和所容许的计算机时间需要这二者的优越性。为了计算依时间而定的碰撞风险,采用了一种特别的工具。这种工具反映了偏角越高碰撞风险越大(例如在接近两极的极区)。

(e) STAT/SDM: 在意大利比萨大学,根据欧空局的合同,为长期模拟试验开办了两个方案。STAT(随机法)和SDM(半决定性模型)采用同样的初始总数和同样的来源及消逝假设。在SDM模型中,使用总数内一

个具有代表性的子集的轨道来计算碰撞率和绘制未来时空的总数图形。空间密度储存在依时间而定的高度和质量空间块中。通过参数研究，可分析出发射政策和减缓措施对总数发展动态的影响。STAT是相对于SDM的另一种计算机时间效率型箱中粒子模型，以一套数字积分运算的耦合式非线性微分方程组系统为基础。

18. 上述长期碎片模型的主要研究结果可归纳如下：

(a) 如果继续一如既往地继续进行空间飞行，碎片总数将来可能会无限制地增加，无法控制。这是因为较大物体之间发生的碰撞将会日益增加。

(b) 目前，爆炸产生的碎裂物是空间碎片的主要来源。在超过一定时间后，碰撞碎裂物可能将在总数中占多数。

(c) 如果出现这种演变的第二阶段，便会产生所谓的碰撞串联效应。这即意味着碰撞碎裂物将会促成随后发生更多的碰撞。到那时，总数将会成倍增加。

19. 长期碎片模型的结果并不完全统一。但是，这些模型得出的基本趋势和倾向则是统一一致的。

20. 较大物体之间的碰撞概率初始时并不高。因此，需要分析一系列单独的蒙特卡罗法运算结果或使用平均值法来求出可靠趋势和倾向。上述各模型即考虑到这种效应。

## 2.2. 轨道碎片风险评估

### 2.2.1. 导言

21. 风险评估包括发生某一事件的概率及其相应的后果。有了轨道碎片环境模型的帮助，可以评价运行中的航天器与轨道碎片碰撞的风险。低地球轨道上的航天器一般受到非常小的颗粒（小于100微米）的碰撞，因为这类碎片很多，但由于所涉及的质量和能量很小，影响通常也很小。由于较大的碎片物体总量很少，发生碰撞的可能性随碎片大小的增加而有很大的减少。但是，较大物体间的碰撞其严重性增加。

22. 主要风险因素是空间密度和有关空间物体沿轨道（高度和倾角）的平均相对碰撞速度，空间物体的截面积以及飞行的时间。碰撞的后果将取决于所涉物体的各自质量和构成。轨道物体与流星体的碰撞风险基本上与高度无

关，但轨道物体之间碰撞的概率与高度非常有关，一般来说在低地球轨道上的概率要比地球同步轨道上的概率高一个数量级。

## 2.2.2. 低地球轨道碰撞风险评估

### 2.2.2.1. 方法

23. 自六十年代以来就对低地球轨道航天器进行例行的风险评估。当有许多互不相关的事件而每一事件都有较小的发生概率时，使用 Poisson 模型。人为的碎片和微流星体符合这些互不相关的标准，但刚发生破裂或有流星雨时例外。

24. 计算空间碎片碰撞的概率需要有流星体/轨道碎片环境模型、航天器结构和飞行任务概况。计算由空间碎片造成的穿透和/或故障的概率需要有关于航天器结构的详细资料，包括：

- (a) 关键子系统的几何尺寸；
- (b) 每一子系统的抗穿透性或弹道极限公式；
- (c) 有关每一子系统承受破坏能力的数据库。

25. 根据这些资料，计算机编码可以计算：

- (a) 某一大小颗粒的空间碎片撞击的概率；
- (b) 某一子系统碰撞破坏的概率；
- (c) 作为其位置的函数的破坏的概率；
- (d) 人为碎片和微流星体造成的破坏的区分。

### 2.2.2.2. 风险评估的结果

26. 通常利用低地球轨道风险评估来提高空间操作的安全。当进行载人空间飞行时，风险评估在确保航天飞机运行的安全方面是极其有价值的。每当一次飞行前风险评估表明空间碎片风险达到不可接受的程度，实际上就会重新安排航天飞机的飞行任务。

27. 正在利用风险评估设计空间碎片屏障的位置和类型，以便保护国际空间站上的乘员以及重要的子系统。

28. 还利用风险评估设计无人航天器。风险评估在确定保护重要子系统屏障

的位置以及大型通信卫星群的系统设计中都有用。

表\_\_\_\_：横截面积 100 平方米卫星碰撞的平均时间

<u>轨道高度</u>	<u>物体 0.1-1.0 厘米</u>	<u>物体 1≥10 厘米</u>	<u>物体 &gt;10 厘米</u>
500 公里	1-10 年	350-700 年	15,000 年
1,000 公里	0.3-3 年	70-140 年	2,000 年
1,500 公里	0.7-7 年	100-200 年	3,000 年

### 2.2.3. 地球同步轨道碰撞风险评估

29. 目前,人们比较了解的地球同步轨道及其附近的空问物体只是航天器和火箭上级。由于这些物体数量有限,它们在空间分布得很开,而且相对速度较低(500米/秒),因此在地球同步轨道上发生碰撞的概率相当低。此外,由于大多数航天器和火箭上级遗留在高于或低于地球同步轨道的轨道上,因此与地球同步轨道相交的失控原始物体数量增加得很慢。在某些经度上运行的航天器由于靠得很近因此存在着特定碰撞的可能性,但这种碰撞危险可以通过控制航天器程序加以消除。地球同步轨道附近的大型物体数量有限还使人们得以有充分的时间来预测运行中的航天器与轨道碎片的接近,以便进行躲避安排。

30. 人们对地球同步轨道附近直径小于1米的轨道碎片的数量不太了解。已查明发生过两次破裂——一次是航天器破裂,另一次是火箭上级破裂,有迹象表明可能还发生过其他破裂。然而,这种碎片会受干扰而进入倾斜轨道,从而减少了在地球同步轨道的逗留时间但也增加了相对碰撞速度。在许多情况下,碎片会在高度和倾角上向两侧分散。需要对地球同步轨道上的轨道碎片进行更多的测量才能作出更精确的风险评估。可能还需要研究新的碰撞概率技术,以便将地球同步轨道上接近的非随机性考虑进去。

31. 地球同步轨道上的卫星没有自然消除机制。因此,运行中的航天器有可能受到失控航天器的破坏。一运行中的卫星年碰撞风险目前估计为  $10^{-5}$ 。



## 2.2.4. 轨道碎片重返风险评估

32. 这里所讨论的风险评估只限于来自地球轨道的失控重返。

33. 近 40 年来，登记在册空间物体重返已知的有 16,000 多起。尚未有报告造成重大破坏或伤害。这在很大程度上可归因于海洋水面辽阔，陆地上许多地区人烟稀少。在过去五年中，大约每周都有一个横截面一平方米以上的物体重返地球大气层，据知，有某些碎片尚存。

34. 重返风险不仅是来自机械冲击，而且还来自对环境的化学或辐射污染。经空气动力学受热仍残存下来的物体将会造成机械性破坏。这类风险取决于最后轨道的特点、物体的形状及其材料性质。

35. 评估重返风险必须包括物体的形状、对空气动力学破坏的分析、查明哪些构成部分可经受重返过程而残存下来、制造这类构成部分的模型以及计算受影响地区的总面积。

36. 在重返造成人类伤亡方面，尚无国际协商一致意见。据题为“限制轨道碎片的准则和评估程序”的“美国航天局安全标准 1740.14”所载，预期伤亡为  $10^{-4}$ 。

37. 小组委员会指出，它应在第三十五届会议上将注意力放在其每年工作计划的最后一个项目上，即空间碎片的缓减措施。它认为请国际航天学会通过其空间碎片小组委员会编写一份关于目前使用的缓减做法和拟议中的空间碎片缓减措施的全面工作文件是可取的。

38. 科学和技术小组委员会第三十五届会议将完成以下部分：

## 3. 空间碎片缓减措施

### 3.1. 及时减少碎片的增加

3.1.1. 避免与飞行任务有关的物体

3.1.2. 改进空间物体的结构一体性（防止爆炸等）

3.1.3. 空间物体的脱离轨道和重新进入轨道

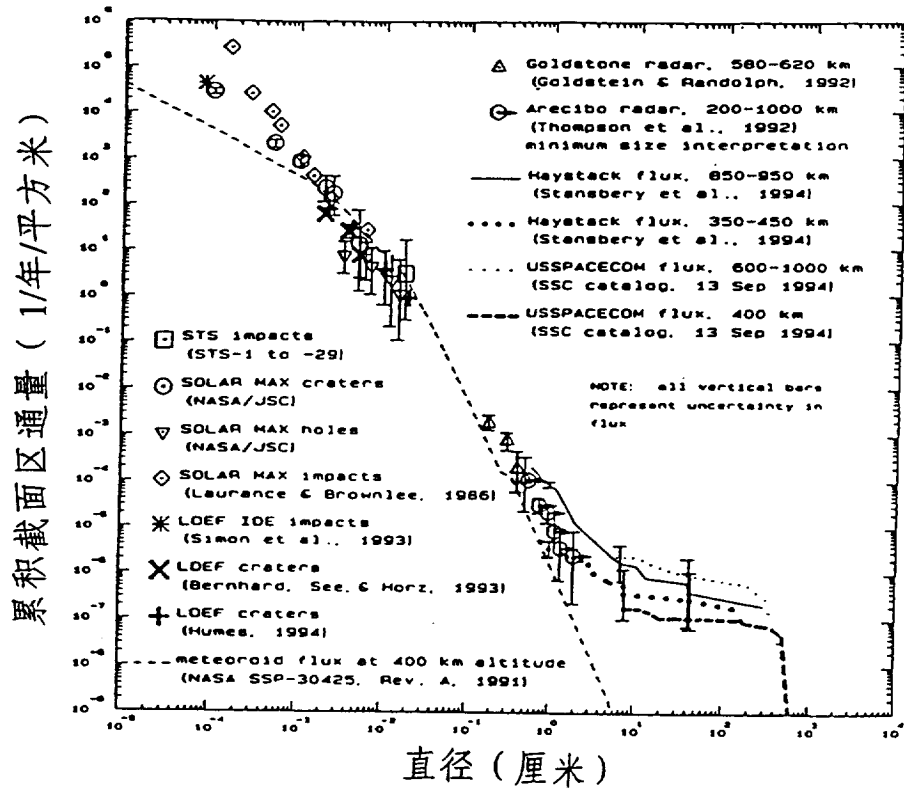
### 3.2. 预防战略

#### 3.2.1. 屏障

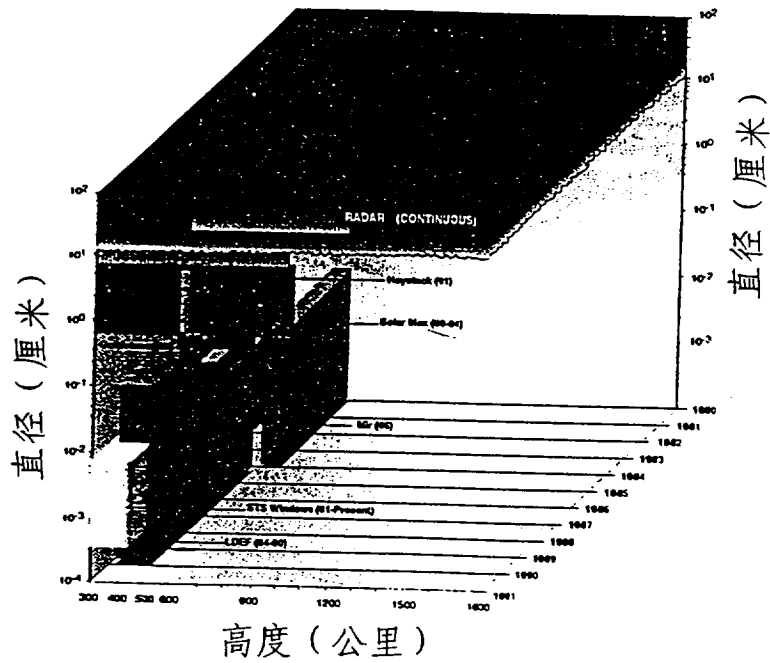
#### 3.2.2. 避免碰撞

### 3.3. 缓减措施的有效性

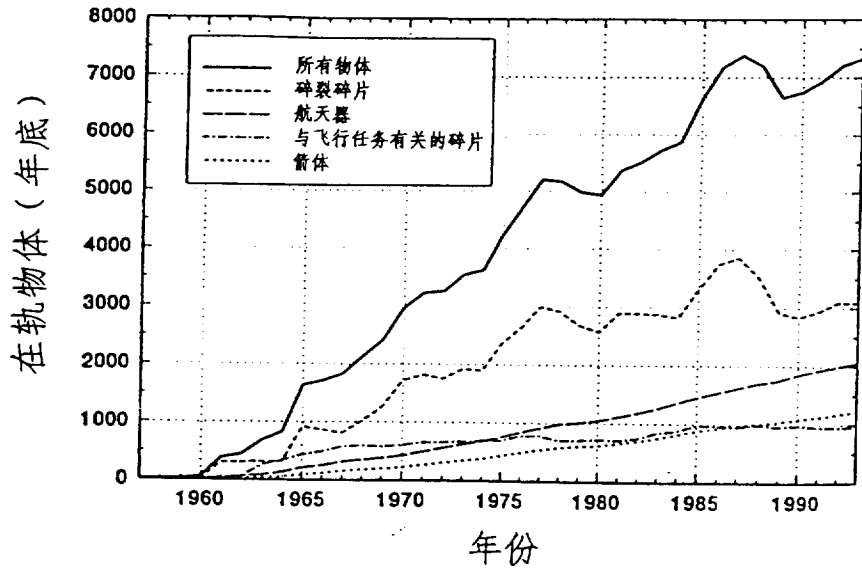
39. 下文所列图一至图八为初稿, 将纳入空间碎片小组委员会的最后技术报告。



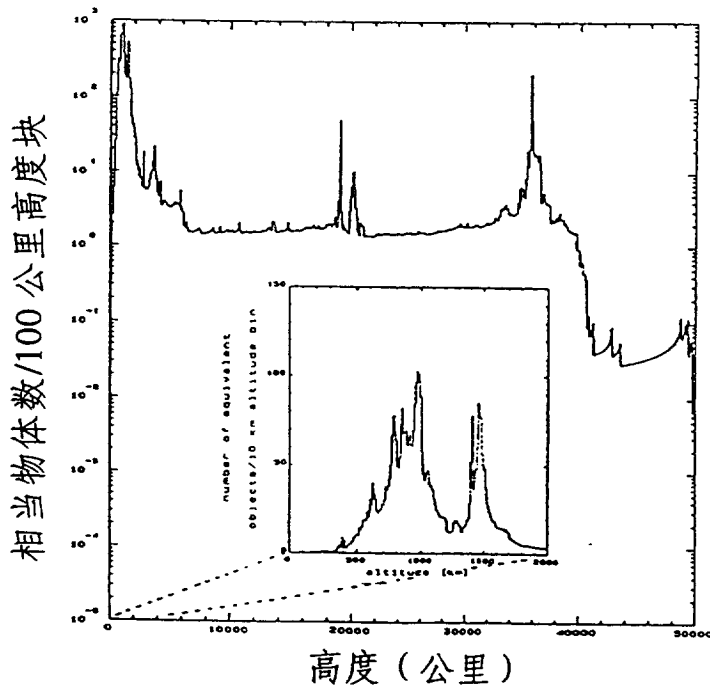
图一：按物体大小列出的低地轨道中的碎片通量近似值



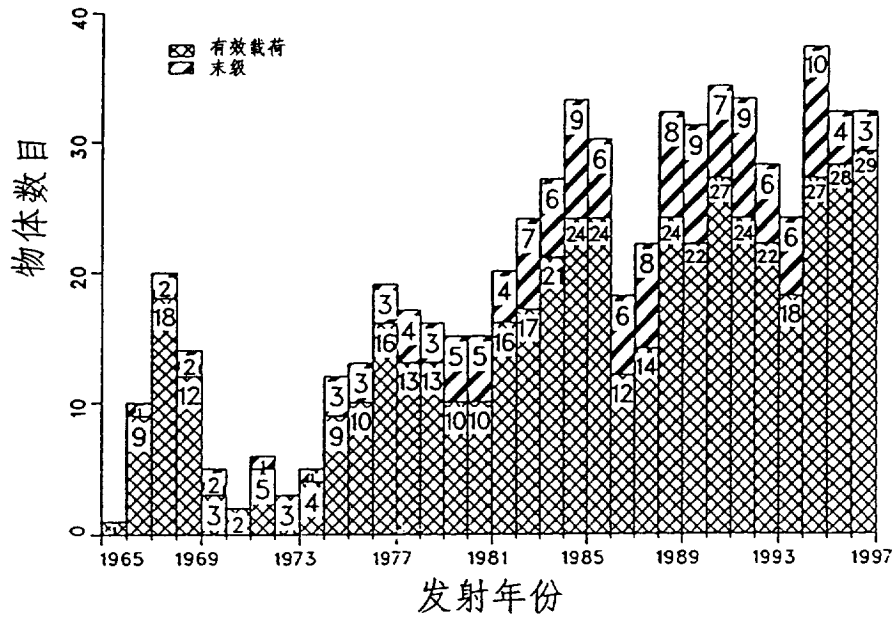
图二：轨道碎片特征数据 - 直径、高度、年份



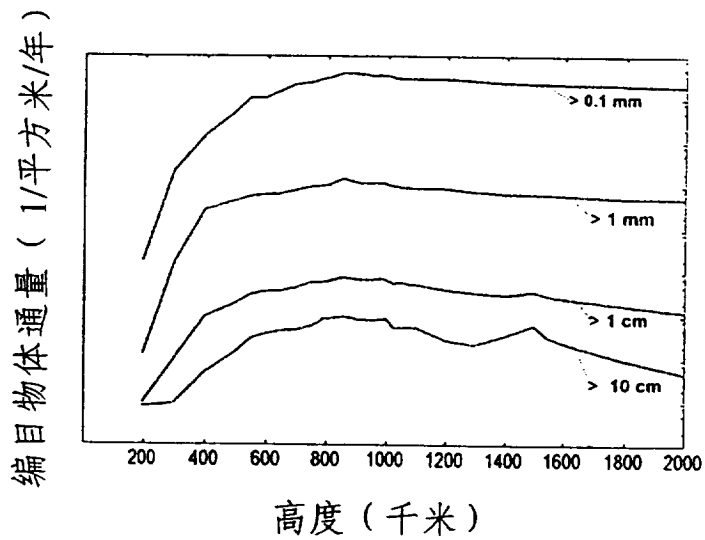
图三：在轨编目群，根据编目迟延进行了校正



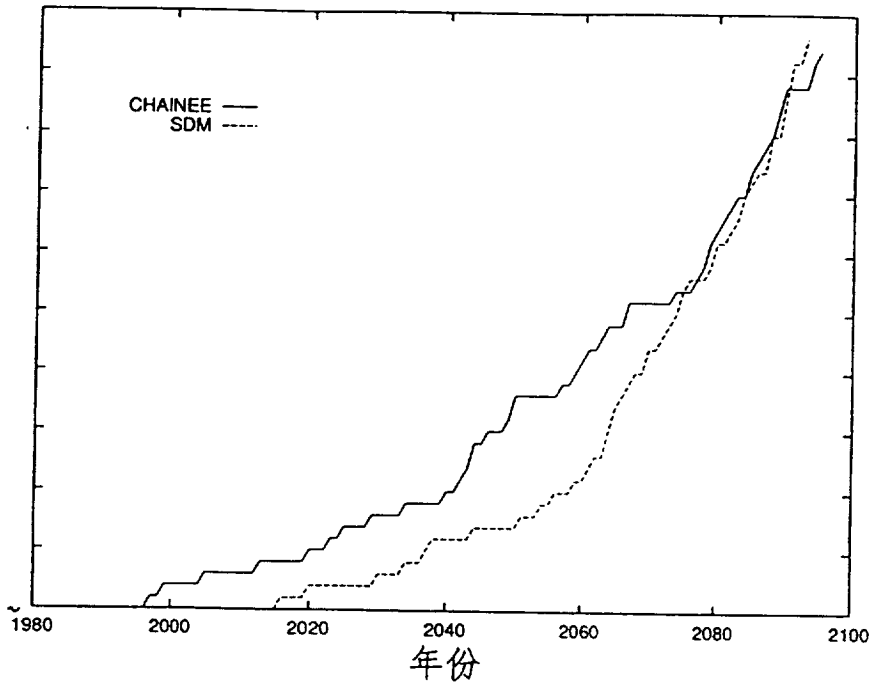
图四：地球轨道卫星分布图



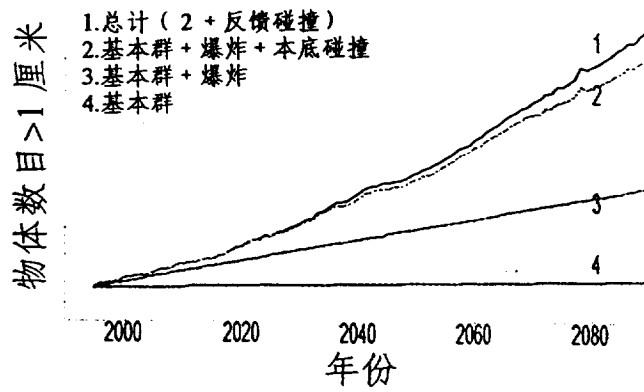
图五：射入静止轨道的有效载荷和末级



图六：低地轨道中的物体通量



图七：累积毁坏性碰撞数



图八：正常情况下的碎片群模拟