



## 大会

Distr.  
LIMITEDA/AC.105/C.1/L.217  
12 January 1998  
CHINESE  
ORIGINAL: ENGLISH

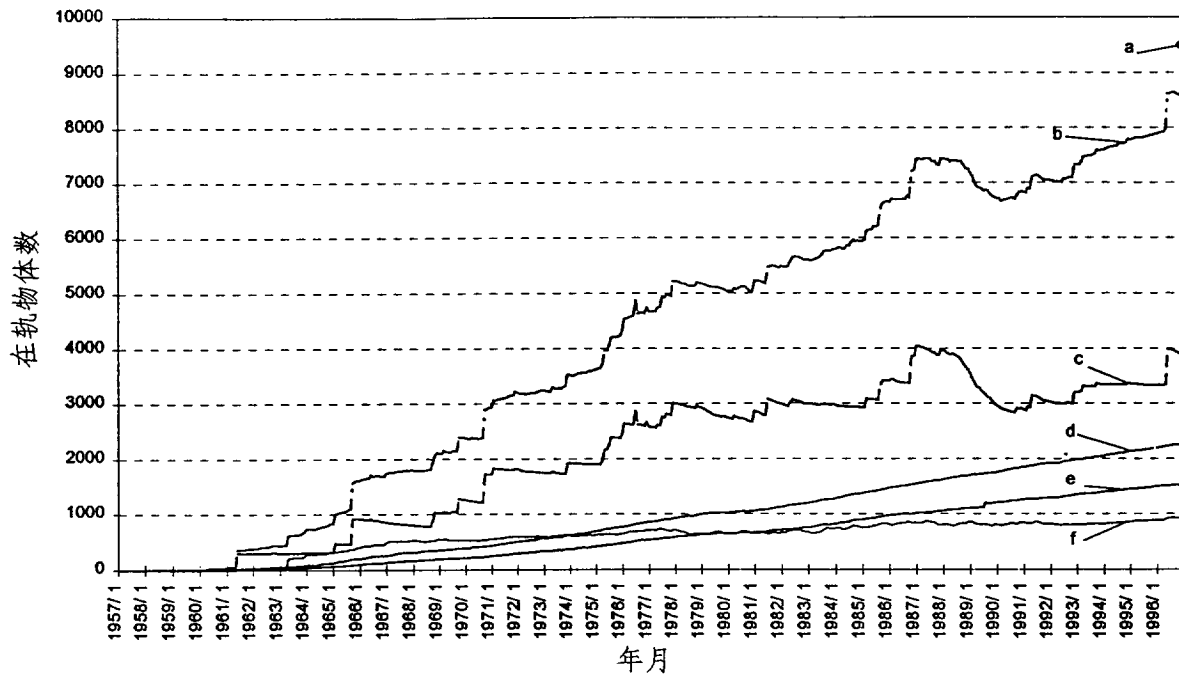
和平利用外层空间委员会  
科学和技术小组委员会  
第三十五届会议  
1998年2月9日至20日，维也纳  
议程项目9

## 空间碎片

国际航天学会提交的工作文件

## 导言

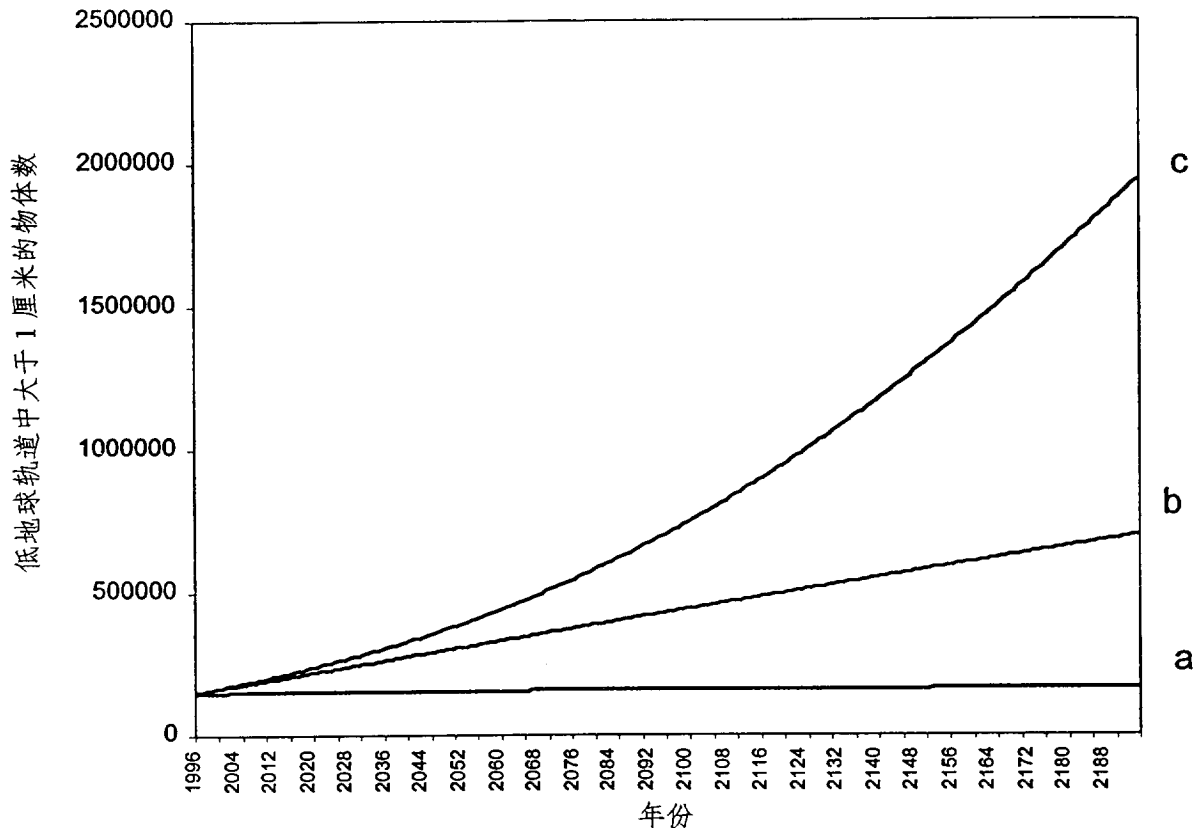
1. 只在数十年内，空间已成为科学、公共和商业利用的一种非常重要的资源。然而，由于人为的空间碎片不加控制的产生，空间活动越来越多地遭受着风险。目前，绕地球运行的登记的物体有 8,600 多个，其中，只有约 500 个物体可视作工作的航天器。另有约 1,000 个物体正在被跟踪，但尚未进行登记。环境统计取样调查确定，还有更多的 1 厘米大小的物体处于轨道中。由于这些空间物体具有巨大的动能，所以任何这些物体同某一工作航天器发生碰撞都可能导致航天器遭受破坏，甚至功能丧失。已登记的空间物体数量是预测轨道环境未来情况的一种可观察到的重要参数。图一标绘出了自 1960 年至今可以跟踪的轨道碎片总量。卫星和火箭末级（由于爆炸）碎裂是已登记物体的主要来源(42%)。因此，一项主要的缓减碎片技术包括尽量减少未来爆炸率。



图一. 编目碎片量的增长。编目地球轨道碎片量的增长几乎是线性的，主要变化是由碎裂情况和太阳活动周期引起的。a:物体总数，包括未列入正式登记的物体；b:根据正式登记统计的物体总数；c:碎裂碎片；d:航天器；e:火箭末级；f:作业产生的碎片。

2. 登记碎片量增长的一个较长期的可能来源是登记物体之间碰撞造成的碎裂。如果登记物体继续增加，碰撞造成的碎裂率可能超过爆炸碎裂率。已进行过一些研究，以探讨低地球轨道发生级联效应的可能性，在发生级联效应时，碰撞产生碎片的速度比由于大气阻力清除碎片的速度快。因此，这种现象可造成轨道碎片增长率的增加，尽管有限制未来爆炸率的缓减碎片努力。图二说明未来碎片可能增加的情况，它显示了大于1厘米的物体可能长期增加的情况。

3. 照常做法曲线显示，轨道碎片环境将继续增加。在近期内，这种继续增加主要是爆炸造成的。从长远看，由于较大物体之间的偶然碰撞造成的碎裂，会出现碎片量的大量增加（碰撞级联）。因此，某些高度上的空间业务活动将受到严重妨碍。所以，必须避免在稠密碎片区域积聚大的物体，以消除碰撞造成大量碎片的可能性。



图二. 大于1厘米的碎片长期演化情况(照常做法)。促使未来碎片增加的来源有多种: a:卫星、火箭末级和与飞行任务有关的物体; b:爆炸碎片; c:碰撞碎片。

4. 以往的研究认为卫星群相当均匀地散布在数百公里的范围内,但是,随着像铱星或遥测卫星之类的星座式结构的产生,可能需对这种分析增加新的补充。聚集在窄而高的范围内的多卫星群可能对导致碰撞碎裂的碎片密度敏感得多。各卫星系统设计者和经营者应不仅认真注意在任务结束时如何布放、操纵和处置自己的系统,还应注意相邻空域的其他用户的行动。

5. 由于越来越多的空间用户发射率可能增加,特别是鉴于新的小型卫星技术和星座式通信卫星的出现,不可能精确预测轨道碎片环境的演变情况。未来爆炸和碰撞频率的不确定性也使未来环境的不确定性增加。两个物体的碰撞可能导致产生大量的碎片,碎片的数量和大小视若干因素而定,如相互碰撞体的质量和碰撞速度。

6. 缓减包括两个方面:第一,保护空间碎片不受碰撞或避免碰撞,第二,采取避免制造空间碎片的措施。在我们的专题介绍中,我们将着眼于碎片控制问题。因为目前没有清除空间碎片的经济可行的方法,碎片控制措施必须着眼于避免制造碎片的措施。

### 碎片控制方案和问题

7. 在发射、布放、操纵和结束任务期间,需要改变进行空间飞行任务的方式,这

一问题已经辩论了许久。针对轨道碎片长期演变的所有调查都得出结论，认为如果不改变进行空间飞行任务的方式，某些近地空域将会布满碎片，导致将来通常的空间业务活动花费增加。减少轨道碎片增加的现有方案大都视飞行任务的高度、硬件的设计和从事空间活动的团体的努力而定。

### 碎片控制方案

8. 可以两种方法控制碎片量：预防碎片或清除碎片。消除意味着立即或稍后将碎片移出轨道，包括将碎片转移到一个中间轨道，使之在轨寿命不超过某一规定的极限。表 1 显示了各类具体技术。

表 1. 预防或清除碎片的方法

预防	清除
设计和操纵	回收
钝化	推动操纵
留置防护罩和分离装置	系栓脱轨、增加阻力、太阳帆
转移至墓地轨道	激光

9. 目前，空间用户已自愿采用若干这些技术。然而，在该领域需要继续进行研究。寻找现实而有效的方法是最重要的问题。业已得到有限利用的一些预防方法包括：

- 火箭末级钝化；
- 采用易爆螺栓碎片收集器；
- 减少可释放部件；
- 转移到墓地轨道（地球同步轨道）；
- 一次发射多有效载荷。

10. 迄今，已有几次采用了清除碎片办法，如通过美国的航天飞机回收或脱轨，例如进步供应飞行器。

### 钝化

11. 一种重要预防碎片方法是钝化硬件以避免爆炸碎裂。钝化系指通过将推进剂和挤压剂耗尽和/或排掉以除掉航天器或火箭末级的所有储存能，并将电池断路，以使物体钝化。回收大的遗弃物体可能既昂贵而又困难，但是，回收此一物体碎化而产生的碎片肯定更难和更加昂贵。就低地球轨道火箭箭体而言，过去已成功采用过去去除推进剂和挤压剂的办，从而为今后提供了很大程度的安全性。一些火箭飞行器通常进行此种排除程序，以便减少未来碎裂的机会。从 V59 号飞行以后，所有阿丽亚娜的火箭末级都进行了排空，不管其在何种轨道。Delta 和长征号的火箭末级在布放有效载荷并调度以避免

碰撞之后都烧毁耗尽。日本的 H-1 二级火箭(LE-5)在完成有效载荷分离之后排空了主机的残留推进剂和煤气喷嘴推进剂。对 H-2 运输火箭也采用了类似的程序。质子号运载火箭第四级和半人马座号的末级在飞行任务结束时耗尽了其推进剂。遗憾的是，在静止轨道附近，对 30 多个液体火箭末级没有采取排空燃料的措施。应根据实际可能尽快适用此一程序，其中包括固体火箭助推级的液体飞行姿态配平系统。过去有几次对卫星上的电池过量充电引起发生微小的碎裂现象，因此，应谨慎小心以防止今后发生此类情况。

### 弃星轨道

12. 另一类重要预防行动是使碎片改变轨道转到弃星轨道上去。例如，在地球同步轨道，可将结束使用的卫星助推到地球同步轨道以上几百公里，以防止其继续影响干扰其他运作飞行器。改轨是目前减少地球同步轨道内碰撞风险的唯一实际可行的方法。这种程序已进行过 90 次以上。据建议，将轨道至少应推高 300 公里。应采取多次发动策略，以顾及推进剂情况判断的不确定性。最后，必须考虑一种更长久的处置方法。应用先进技术，如太阳电发动机，可能提供新的可能性。

### 回收

13. 回收系指通过可进入大气层的航天器，如美国的航天飞机或联盟号密封舱，使航天器或其他空间硬件不受损坏地返回地球。回收空间硬件的例子是 Palapa-A、Westar-B、长期照射设施、欧洲可回收装载系统、空间飞行器组件和哈勃航天望远镜太阳能电池陈列。然而，回收这些物体并不是为了缓减碎片。另外，航天飞机回收的能力仅限于在约 600 公里以下。

### 脱离轨道

14. 将物体从轨道中清除出去的一种有效方法是脱离轨道法。这包括推进操纵，强迫立即进入大气层自毁，转移到一条轨道寿命有限(例如 25 年)的中间轨道，使用栓链立即脱离轨道或缩短轨道寿命，或使用其他办法(增加阻力、太阳辐射压力)缩短轨道寿命。

15. 推进操纵强迫脱离轨道或至少缩短轨道寿命，对有些火箭推进级可能是立即可行的，但对大多数残留的硕大硬件来说，则是不可能办到的。只要火箭推进级上还保留着飞行姿态和控制能力，略微操纵一下(飞离所发射出去的航天器以避免火箭燃烧的污染)，接着再启动一次，便可造成轨道要素的适当改变。

16. 在俄罗斯和前苏联的载人飞行计划中，进步号补给飞行器和空间站最终脱离轨道进入偏远的海洋地区，但宇宙 557 号、礼炮 2 号和礼炮 7 号/宇宙 1686 号除外。

17. 采用增加阻力，太阳压力推动或栓链清除法，要求研制目前空缺的硬件，并会造成性能上的损失。增加阻力的硬件可包括充气式装置，在布放后固定下来，形成大得

多的横截面承受大气，从而增加对物体构成的阻力。增加阻力法的效果对低空飞行任务最好，即在 600-700 公里以下，不过对高达 1,200 公里的高度，也可起到一些作用。但是应该指出，采用增加阻力法和太阳压力装置将会增加被清除出轨道的物体的面积，因而增加相撞的横截面。

### 对地面的危险

18. 自从 Sputnik 1 号(苏联人造地球卫星)以来，共登记了约 25,000 个环绕地球轨道的物体。约有 16,000 个物体进入地球大气层，大多数已解体或汽化，只有极少数残余物对地球造成影响。在有些情况下，航天器或火箭推进级的固体碎片落到地球表面(宇宙 954 号、空中实验室、礼炮 - 7 号/宇宙 - 1686 号)并被发现。可能落下的物体更多，只是未发现而已。如果预计航天器或火箭推进级将有残留部件，那么控制下自毁式重返大气层进入偏远的海洋地区就是最佳选择的处置办法。

### 清理残留的空间物体

19. 经多年使用后能否清除从无任何推进能力的物体是一个难题。附带某种系统与物体(航天器或火箭体)保留在一起，经多年后再进行一次操纵，这样可能造成飞行上的阻碍和安全问题。在适当时候装上某种遥控推进系统将需要花费大量的精力安排会合、接合(到一个可能相当危险的硬件上)和对操纵进行协调。采用一种遥控“空间拖链”用于会合残留的硕大物体并使之脱离轨道，可能是消除碎片的一种有效手段。但是，这种工具的理论设计表明，采用现有技术的成本非常高。可清除残留物体的另一种方法是太阳帆，利用太阳辐射压力改变其轨道要素。这种技术将需要增加硬件的成本，并会引起轨道要素非常缓慢地改变，但对于广泛的各种高度都十分有效。使用栓链可独自从一些方面协助物体的清除：通过在布放时或回收时的动量改变以及电磁阻力。总之，使用栓链将需要一些硬件开发和制造，另外还有对已经复杂的系统增加其他类硬件而带来的本身运作可靠性问题。另一种可能性是使用(地面)大功率激光将碎片从轨道中清除。通过能量吸收和释放，动量可传给空间中的一个物体，从而可导致立即脱离轨道或缩短轨道寿命。这可能是将来一种令人感兴趣的技术，如果其中一些困难可以克服(不对飞行中的航天器造成损害，不造成更多的微小碎片)。

20. 从以上的考虑中得出的一个直接结论是，具有成本效益的清除碎片法意味着在项目周期的开始阶段便实行相应的规程要求。设计上的一些小小改动可开创以较低成本清除碎片的新的可能性。

### 建议的碎片控制措施

21. 需要定义国际公认的碎片控制措施维护航天器运行的实用高度，但对于选择措施的实施时间和程度还有争议。如何确定应选择哪类技术和设计，一个好办法是进行一

系列彻底的成本效益利弊得失研究。虽然这些分析对查明拟议选择办法的相对优点至关重要，但国际航天学会主张应立即开始采取若干行动，以确保空间活动未来的可行性，这些行动将列在本文的末尾。航天国及其航天工业的参与将解决成本与利益的权衡。轨道碎片碰撞虽然只造成少数运行中航天器损失以及(或者)不得已需要放弃某些高度段，但这些损失可能大于本文提出的控制措施所需的开支。应考虑的控制措施分为两类：对设计和操作影响极微的措施和需对硬件或操作进行重大改动的措施。这两类措施并不需要开发新技术。第一类措施应立即实施，第二类措施则应由所有空间运营者自一个商定的时刻开始实施。

### 一类措施

22. 一类措施包括那些不需要改动设计或只需对设计作有限改动的措施，其成本影响一般极微。这些措施可意味着硬件和操作上的一些改动。但是，可能造成性能上的一些降低。这些措施在实施上具有第一优先，所有空间运营者应立即加以实施。一类措施包括如下：

- (a) 不特意设计让航天器发生碎裂之后在长寿轨道上生成碎片；
- (b) 尽量减少与飞行任务有关的碎片。常常有现成的成本效益良好的工程设计解决办法，而且在实施上成本低廉。但在有些情况下，将不再是成本微少，因为将需要设计上的重大改动(例如游游拉线盘装置和单独的远地点发动机)；
- (c) 在环绕地球的任何轨道中火箭上层推进级和航天器在飞行任务结束时实行钝化(排放、燃尽和电池恢复安全状态)；
- (d) 2,000 公里高度以下的航天器和火箭上层推进级携带剩余燃料在飞行任务结束时降低近地点高度，以尽量缩短轨道寿命；
- (e) 地球静止卫星在寿命结束时改轨进入弃星轨道。高度至少高于地球静止轨道 300 公里(地球静止轨道以上的近地点位置)；
- (f) 用于将地球静止卫星从 GTO 推入 GEO 的上层推进级和用完的远地点发动机，也应进入地球静止轨道以上至少 300 公里高度的弃星轨道，并且不带剩余推进剂。

### 二类措施

23. 二类措施包括需要对硬件或运行程序进行重大改动的选择办法。但是，不需要进行新技术开发。二类选择办法目的是在最大允许年限内从轨道中清除已用过的上层推进级和废弃的航天器，从而消灭一个产生碎片的重要来源。下述措施提供了备选定量值。应通过在机构间空间碎片协调委员会及和平利用外层空间委员会这样的适当国际论坛进行讨论和协商来商定最大允许年限和自何时起即实施这些措施。对一些轨道区段来说，实施二类措施的必要性相当紧迫。不适当地拖延实施这些措施将会导致空间环境进一步退化。进入大气层燃烧后仍可能有部分残留的大小物体，其清除工作是通过操纵脱

离轨道而完成的，以确保在下一次通过近地点时在海洋地区上空进入大气层。进入大气层后将完全烧尽的物体应定位于有限寿命的轨道中，例如 25 年(最大允许年限)。因此在这些情况下，将利用自然摄动。二类措施包括如下：

(a) 在飞行任务结束后在最大允许年限内将远地点为 2,000 公里高度以下的轨道中的所有火箭上层推进级和废弃的航天器清除；

(b) 在飞行任务结束后在最大允许年限内将地球静止轨道、12 小时轨道去向的转移轨道或近地点高度在 2,000 公里以下的其他偏心轨道上的所有火箭上层推进级和废弃的航天器清除；

(c) 将上层推进级和寿命终止后的卫星改轨，使之转入弃星轨道(作为一项临时措施)，进入 2,000 公里高度以上的环形轨道。

24. 一类和二类碎片控制措施可以使用现有的技术完成。

### 未来展望

25. 应进一步寻找新的减缓办法、技术可能性和提高成本效益。先进的推进能力和可重复使用的发射系统，特别是可重复使用的上层推进级，对空间环境具有极大的帮助作用。先进的推进技术可降低转轨成本或促成从高能轨道上转轨。

### 结论

26. 尽管采取了一系列预防碎片的措施，但空间中人为造成的物体数量和群体在不断增加。

27. 对未来碎片总量的预测明显表明需要对某些轨道区段实行更加严格的碎片控制措施。凡在长寿轨道产生碎片的每次碎裂(碰撞、爆炸)，都使碎片的空间密度增加，并对未来造成负担。

28. 碎片控制措施的目标是使重要轨道上人造物体的空间密度保持在容许限度内，并确保空间飞行的安全。如不能控制碎片总量的增加，将可造成一些轨道区段无法进行空间运行。

29. 因为一些最有用的轨道区段已出现无可弥补的退化，所以国际航天学会促请航天国采取充分的措施确保未来空间运行的安全。