



和平利用外层空间委员会
科学和技术小组委员会
第五十六届会议
2019年2月11日至22日，维也纳
临时议程*项目7
空间碎片

对空间碎片、携载核动力源空间物体的安全及其与空间碎片碰撞问题的研究

秘书处的说明

一. 导言

1. 和平利用外层空间委员会科学和技术小组委员会在其第五十五届会议上一致认为，应继续邀请成员国和在委员会拥有常驻观察员地位的国际组织提交报告，介绍对空间碎片、携载核动力源空间物体的安全及其与空间碎片碰撞问题以及碎片减缓准则执行方式的研究（见 [A/AC.105/1167](#)，第146段）。因此，2018年8月29日向成员国和拥有常驻观察员地位的国际组织发送了信函，请它们在2018年11月5日之前提交报告，以便能够向小组委员会第五十六届会议提供这些信息。
2. 本文件系由秘书处根据两个成员国即日本和墨西哥以及国际宇宙航行联合会（宇航联）提交的资料而编写。日本和宇航联提供的更多资料，包括与空间碎片有关的数字，将作为小组委员会第五十六届会议的会议室文件予以提供。

* [A/AC.105/C.1/L.373](#)。



二. 成员国提交的答复

日本

[原文：英文]

[2018 年 11 月 2 日]

概述

按照秘书处外层空间事务厅提出的要求，日本报告说该国与空间碎片有关的活动主要是日本宇宙航空研究开发机构（宇宙机构）实施的。

宇宙机构在 2018 年开展的下述与碎片有关的活动被选为重大进展的例子，将在下届会议上予以介绍：

- (a) 机构间空间碎片协调委员会（空间碎片协委会）第三十六次年度会议；
- (b) 交会评估结果和空间态势认知核心技术研究；
- (c) 有关低地轨道物体和地球同步轨道物体观测以及此类物体轨道定位的技术的研究；
- (d) 实地微型碎片测量系统；
- (e) 微型碎片撞击防护；
- (f) 重返大气层过程中易解体的推进剂贮箱；
- (g) 主动清除碎片。

状况

机构间空间碎片协调委员会第三十六届年度会议

空间碎片协委会第三十六次年度会议在日本筑波举行。来自 11 个机构的 100 多位技术专家参加了这次会议。宇宙机构组织并主办了这次会议。主要议题包括：

- 空间碎片协委会关于低地球轨道大型卫星星座的声明

空间碎片协委会已发布该声明，该声明只对大型星座作了定性考虑，因为当时大型星座对空间碎片环境影响方面的研究成果有限。在这次会议上，展示了空间碎片协委会成员对大型星座的模拟结果，空间碎片协委会成员达成共识，认为大型星座对空间碎片环境有负面影响。因此，空间碎片协委会成员正在准备更新该声明，包括用数字表示的更具限制性的条件。

- 空间碎片协委会空间碎片减缓准则

该准则于 2002 年发布，并于 2007 年作了修订。目前，许多国家和国际实体开始为其标准规定空间碎片减缓的量化条件，而对于《准则》而言，当时不得不采用大量定性表述。因此，空间碎片协委会开始讨论用数值更新《准则》，以便在成员之间确立更具体的共同理解。

交会评估结果和空间态势认知核心技术研究

宇宙机构从联合空间业务中心接收交会通知。截至 2018 年 8 月，已经举行了 131 次会议，审议基于通知的避免碰撞机动操作，2009 年以来，宇宙机构为低地球轨道航天器执行了 26 次避免碰撞机动操作。

空间态势认知核心技术

宇宙机构利用上齐原空间防卫中心的雷达传感器以及美星空间防卫中心的光学传感器，确定空间物体的轨道，利用宇宙机构卫星的最新轨道星历，预测近距离接近；并且计算碰撞概率。宇宙机构还根据自身经验，评价交会评估和避免碰撞机动操作的标准。在这些评价中，分析每一交会条件和扰动（例如空气阻力不稳定）造成的预测误差的趋势。

有关低地轨道物体和地球同步轨道物体观测以及此类物体轨道定位的技术的研究

一般来说，低地球轨道上的物体主要通过雷达来观测，但宇宙机构一直在努力利用光学系统，以降低建造和运营成本。研制了一个用于观测低地球轨道的大型补充性金属氧化物半导体传感器。利用宇宙机构开发的基于现场可编程门阵列的图像处理技术分析补充性金属氧化物半导体传感器的数据，使我们能够发现低地球轨道上 10 厘米甚至更小的物体。已考虑利用美利坚合众国国家海洋和大气管理局的真实天气数据，建立一个光学观测网络，以减少避免碰撞工作量。为了增加对低地球轨道和地球同步轨道物体的观测机会，除了日本的筑山观测站之外，还在澳大利亚建立了一个远程观测站。两个 25 厘米望远镜和一个 18 厘米望远镜可用于不同的目标。

微型碎片撞击防护

低地球轨道上的微型碎片（直径小于 1 毫米）数量有所增加。微型碎片的撞击速度平均达到 10 公里/秒，微型碎片的撞击会给卫星造成严重破坏。

为了评估碎片对卫星的影响，宇宙机构研发了名为“图兰朵”的碎片撞击风险评估工具。“图兰朵”利用航天器的三维模型分析碎片撞击风险。

返回大气层过程中易解体的推进剂贮箱

推进剂贮箱通常用钛合金制造。钛合金重量轻，与推进剂有良好的化学兼容性，因此是优质材料。但是其熔点很高，以至于在重返期间推进剂贮箱无法自毁，有可能造成地面人员伤亡。

2010 年以来，宇宙机构着手研发一种铝衬贮箱，外部裹有熔点较低的碳复合材料。为开展可行性研究，宇宙机构进行了基本测试，包括一次确定铝衬材料与联氨推进剂兼容性的测试以及一次电弧加热测试。

在制造和测试较短小的工程模型 EM-1 贮箱之后，制造了全尺寸的 EM-2 贮箱。EM-2 贮箱的形状与正常贮箱相同，并包括一个推进剂管理装置。进行了耐压试验、振动试验（在潮湿和干燥条件下）、外部泄漏试验、压力循环试验和暴冲压力试验，均显示出良好的结果。在制造 EM-2 贮箱之后，计划制造和测试一个原型模型。

与钛推进剂贮箱相比，这种复合推进剂贮箱具有更短的交货周期和更低的成本。然而，更多的研究和测试正在进行中，以确定在返回大气层期间的可解体性。

主动清除碎片

宇宙机构组织安排了一个旨在实现低成本主动清除碎片任务的研究方案。主动清除碎片的关键技术有三个研发课题：非合作性交会；非合作性目标的捕获技术；以及清除大型完整空间碎片的离轨技术。宇宙机构正与将低成本主动清除碎片作为一项业务并努力为此提供这些关键技术的日本私营公司合作。

电动系绳是主动碎片清除活动中离轨推进的潜在候选技术，因为它有助于缩小整个系统的尺寸，从而降低成本。为了演示对电动系绳至关重要的一些技术，宇宙机构计划并实施了 KITE 任务，这是一项将电动系绳搭载于 H-II 运载飞船 6 号 (HTV-6) 上的在轨实验，于 2017 年进行。虽然系绳部署不成功，但场发射阴极作为电动系绳系统的重要组成部分，运行良好，并为进一步开发电动系绳取得了有效的在轨数据。

墨西哥

[原文：西班牙文]

[2018 年 11 月 7 日]

墨西哥通过墨西哥空间局，在以下四个专家组内与外层空间活动长期可持续性工作组开展协作，即支持全球可持续发展的可持续利用空间（A 专家组）；空间碎片（B 专家组）；空间天气（C 专家组）；空间领域行动方管理制度和指导（D 专家组）。

在这方面，关于国家空间碎片研究，根据清除这类碎片的实践，墨西哥通过其公立大学就这一主题开展了研究。例如，墨西哥国立自治大学通过其工程学院和设在克雷塔罗州尤里奎拉的高科技中心，一直在开展工作，以规划未来的任务，重点是可持续性。

这项工作包括探测空间粒子、开发碎片产生的数学模型、测量这些碎片和制定保护计划。此外，墨西哥国立自治大学在努力安装一个真空室和一个电磁辐射室，用于测试卫星及其消除这种干扰的能力，这降低了卫星在空间运行过程中发生故障并成为空间碎片的可能性。还在开展工作开发电力推进装置，以确保一旦卫星达到其使用寿命的终点即会离开轨道，重新进入地球大气层并解体，从而避免产生更多的空间碎片。

关于监测空间碎片以确保空间基础设施的安全，锡那罗亚州自治大学通过使用望远镜，参加了由国际科学光学网络牵头的一些国际举措。自 2012 年以来一直对空间碎片进行监测，每年发现十几个新的物体，包括残片和地球静止轨道以外的失

踪卫星。锡那罗亚州自治大学和国际科学光学网络联合运营的天文观测台每晚拍摄多达 864 幅图像，已发现 30 至 70 个空间物体。在该方案下进行自动处理并记录坐标。记录工作也可以手动进行。

新莱昂州自治大学物理和数学科学研究中心也加入了这些工作，该中心是国际空间碎片监测项目的一部分，该项目包括由 15 个以上国家的 25 个观测站组成的由俄罗斯科学院凯尔迪什研究所协调的网络。由物理和数学科学学院运营的该大学的空间碎片观测站也参与其中。该观测站进行空间碎片监测，目的是查明可能对卫星造成损害并因此中断移动电话信号或飞行等服务或导致全球定位系统错误的碎片。

此外，国立理工学院和提科曼机械和电气工程学院（提科曼机电学院）成立了提科曼机电学院提科曼航空航天协会，其活动之一是对空间碎片等主题进行研究。这些机构经常发表关于这一主题的文章，在研究所内部和公众中传播信息。

另一个组织是科学和技术网络，该网络自 2011 年开始运作，它是墨西哥有志于空间技术和科学的研究人员组成的团体，他们寻求筹集资金举办多学科研讨会、讲习班和项目，涉及学术界、政府机构、企业和民间社会的国家和国际行为者之间的协调，目的是促进墨西哥的空间技术和科学发展。其具体目标之一是促进对空间碎片等科学主题的研究，实施年度项目，并鼓励墨西哥专家和研究人員参与这项研究。

上述所有活动都是根据国际条例进行的，例如机构间空间碎片协调委员会的《空间碎片减缓准则》、国际电信联盟关于地球静止卫星轨道环境保护的 ITU-R S.1003 号建议、《欧洲空间碎片减缓行为准则》的标准和国际标准化组织的标准：“关于空间系统：空间碎片减缓要求”的 ISO 24113。

墨西哥还与德国、加拿大和捷克一道参加了关于编制空间碎片减缓标准汇编的倡议，这项倡议已提交和平利用外层空间委员会法律小组委员会第五十三届会议。这是第一份载有包括墨西哥在内的成员国就其减少和消除空间碎片的监管措施提供的信息的文件。

携载核动力源空间物体的安全及这些物体与空间碎片碰撞问题

外层空间活动的长期可持续性准则述及这一主题。按照《关于各国探索和利用包括月球和其他天体在内外层空间活动的原则条约》（《外层空间条约》），墨西哥坚持外层空间非军事化及和平利用外层空间的立场。使用核动力源不是墨西哥任何空间相关方案的一部分。国际原子能机构发布的标准对这种动力源的使用作出了规范。在这方面，以及在与使用核动力源有关的所有事项中，位于外层空间的人的安全和外层空间环境的安全是关键因素。

在这方面，上述准则为安全框架奠定了必要的基础。

《关于在外层空间使用核动力源的原则》和《准则》都没有约束力。《外层空间条约》第四条提供了保护，不过程度有限。

三. 国际组织提交的答复

国际宇宙航行联合会

[原文：英文]

[2018 年 11 月 5 日]

确保未来空间作业的可持续性：轨道碎片问题

在轨物体数量不断增长

1957 年 10 月 4 日，第一次向轨道发射物体，即发射人造卫星 1 号，为我们今天享受的所有空间应用打开了大门。我们的日常生活越来越依赖于对于气候以及电信、定位、安全、国防、科学和探索而言不可或缺并具有战略重要意义的应用。这些应用在经济上也非常重要，在全世界创造数百万个工作岗位，相应的活动价值数万亿欧元。

然而，人们必须认识到，人造卫星 1 号的飞行也标志着轨道污染的第一步；与这颗 82 公斤重的卫星在同一轨道上的是将其带入轨道的主要级，即 6.5 吨的 Semorka Block A，以及一个在大气层内上升期间保护人造卫星的 100 公斤重的小型整流罩。因此，在射入轨道的质量中，近 99% 在那里没有任何有用功能。人造卫星在 21 天内发出哗哗的声音，但在重返大气层之前在轨道上总共呆了 92 天。这意味着卫星在其四分之三的轨道寿命期间没有任何有用功能。这颗“死”卫星、其主要火箭级和防护罩都是人造的、在轨的、不起作用的物体，这就是轨道碎片的定义。

自 1957 年以来，在轨物体的数量及其质量急剧增加。

这显然是空间部门健康发展和相关应用数量接近爆炸的一个迹象，但也引发了关于我们的轨道作业的长期可持续性的问题。自 1957 年以来，在轨物体的质量呈线性增长，目前达到近 8,000 吨，编目物体的数量(大到足以从地面上跟踪，通常为低地球轨道上 10 厘米，或地球静止轨道附近 1 米)现已达到 20,000 个。鉴于与冷战时期(1967 年成功发射 140 次，2005 年成功发射 52 次)相比，成功的轨道发射数量急剧减少，并且控制在轨物体数量增长的国际条例最早已于 20 多年前即 1995 年出台，这种强劲的增长似乎令人惊讶。

在今天登记的 20,000 个编目物体中，约有 1,700 个是活动卫星；其余是空间碎片，占在轨物体数量的 92%。这些碎片大多位于低地球轨道，高度从 600 公里到 1,200 公里不等，也有的位于地球静止轨道附近，高度 35,800 公里。编目碎片中有一半是完整的部件、死卫星、留在轨道上的末级或空间作业的残余物；另一半则是大小不等的碎片、轨道碰撞或爆炸的残留物。

除了这些编目的大型物体之外，大约 750,000 个大于 1 厘米的物体和多于 1.7 亿个大于 1 毫米的物体也围绕地球运转。

这些数字可能看起来很多，但我们必须记住，我们头顶上的空间无限宽广。8,000 吨人造轨道物体，相当于埃菲尔铁塔的质量，分布在地球周围的空间。相应的密度非常小，在物体最稠密的区域，每 100 万立方公里最多有 0.1 个物体。

然而，这些物体有三个非常独特的特征。首先，一旦一个物体在轨道上，它通常在那里停留很长时间。例如，一颗放置在 1,000 公里高空的卫星将在那里停留 1,000 年或 2,000 年。其次，它以接近 8 千米/秒或 30,000 公里/小时的轨道速度行进。这种速度在数千年内累积起来，构成重大的碰撞风险。其三，任何被放入低地球轨道的物体都必然会掉落到地球上，这有可能造成人员伤亡。

轨道碎片引起两个主要问题

大型空间物体不受控制地重返大气层对人群构成风险

在重返过程中，碎片受到极高的动压而破碎，这种动压与速度的平方成正比。接下来，由于与空气分子的摩擦，产生的裂片会承受与速度的立方成正比的极高的热通量，这种热通量会使材料熔化和升华。不幸的是，这一过程通常不完整，碎片总质量中大约 10% 至 20% 可能在重返过程中依然存在，依其设计而定。耐火材料，如钛、碳和一些种类的钢，在重返大气层时不会熔化，会撞击地球表面。

幸运的是，地球表面的 71% 被水覆盖，其余大部分由大片沙漠地区组成。人口密集区仅占地球表面的 3%，因此人群面临的风险始终是较低的。

为了表明数量级，一周有一个大型卫星或运载火箭随机重返大气层，造成 1/10,000 人受伤的风险。迄今为止，从未造成任何已知的人员伤亡，尽管在有人居住的地区附近曾发现大量的大块碎片，对建筑物的某种轻微破坏也曾少量发生。这个问题像达摩克利斯之剑一样悬在我们头顶：我们继续发射大型火箭级或卫星，明明知道它们最终会随机重返大气层，给人群带来相当大的风险。

碰撞风险监测

碰撞产生不同的后果。它们不再是一个安全问题，而是一个与对活动卫星受到损害有关的商业风险，这些卫星对我们的日常生活有用，或者通常起着非常重要的作用。

有几个潜在风险。

一小块未编目碎片与活动卫星之间的碰撞会导致航天器功能损失。碰撞释放的动能非常高（与直径 1 毫米的碎片碰撞产生的能量为 1 千焦耳，相当于以 100 公里/小时速度发射的保龄球）。在这些情况下，即使是很小的冲击也会导致卫星的损失，例如，如果碎片击中了搭载的计算机。几项研究表明，由于碰撞而损失卫星的概率大约为 5%。目前空间碎片是卫星在轨道上损失的第一个原因。由于小碎片顾名思义是没有编入目录的，因此人们无从发现，没有办法防止这种碰撞。

大型物体之间的碰撞很少发生，每五到八年一次，视不同模型而定。然而，每次碰撞都会产生大量新的碎片，因此会大大增加轨道上的整体风险。碰撞后的这种再生效应增加了碎片数量不受控制地增加的风险。这被称为凯斯勒现象，早在 1978 年就有了相关理论。这可能会导致无法控制的局面，即使我们将来停止了任何空间活动。例如，2009 年 2 月铱星 33 号和宇宙 2251 号两颗卫星之间的碰撞产生了 2,200 多件大型编目碎片和无数更小的碎片。

先是由美利坚合众国国家航空和航天局（美国航天局）牵头，后来由机构间空间碎片协调委员会（空间碎片协委会）的七个机构牵头进行的模拟显示，即使我们完全停止所有空间活动，在轨碎片的数量在未来几年也会成倍增加。举例来说，美国航天局牵头、假设 2006 年之后不作进一步发射的模拟结果显示，由于大型物体之间的碰撞，碎片数量会明显、长期增加。

旨在限制未来轨道碎片数量和保证空间业务可持续性的措施

一套高效、普遍接受的国际要求

最重要的措施，实际上是最根本的措施，是在国际一级制定规则，防止未来空间业务产生新的碎片。这被称为空间碎片减缓，可以归结为五项高级别行动。

首先，必须限制正常发射业务期间产生碎片，并避免卫星在轨道上的任何自愿毁损。

第二，必须通过钝化留在轨道上的所有空间物体，即消除任何储存的能源，如残余推进剂、贮箱增压系统和电池能量，或通过阻止惯性轮，来避免轨道上的意外爆炸。

第三，有必要限制空间物体的轨道寿命。要求卫星和发射装置的末级在其运行寿命结束后，在两个保护区内停留少于 25 年，两个保护区即低地球轨道和地球静止轨道附近。

第四项措施是建议卫星运营商在有足够精确的信息且卫星可操纵时尽最大努力防止在轨碰撞。

最后，建议将不受控制地重返大气层对人群构成的风险降至最低。为此，运营商应对伤亡风险大于 1/10,000 的任何飞行任务执行控制下重返。

这些规则可以在国家和国际两级的许多文本中找到。以下清单只是为了表明这些建议现在已经提出了 20 多年。

第一份对空间业务的长期可持续性表示担心的出版物似乎是 1971 年日本的一份文件。在这些初步反思之后，美国航天局从 1974 年起出版的作品中以及欧洲在 1987 年之前出版的作品中也提到了许多其他参考资料，导致制定了第一批国家标准，尤其是美国航天局于 1995 年发布的标准、日本国家空间开发署（现为日本宇宙航空研究开发机构）于 1996 年发布的标准以及巴黎国家空间研究中心于 1999 年发布的标准。

国际一级通过的第一份案文是空间碎片协委会《空间碎片减缓准则》，这是目前由 13 个主要空间机构组成的空间碎片协委会编写的一套建议。该《准则》于 2002 年一致通过，2007 年作了修订。欧洲一级的类似标准于 2000 年定稿，并于 2004 年 6 月获得批准。

联合国空间委员会即和平利用外层空间委员会和联合国大会在 2007 年全体会议期间通过的一项决议中对空间碎片协委会《准则》作了修改。

法国是第一个颁布关于这一主题的法律即《空间行动法》的国家，该法于 2010 年生效，并于 2017 年修订。

自 2011 年以来，国际标准化组织（标准化组织）发布了一些专门针对空间碎片的标准，特别是作为最高标准的 ISO 标准 24113。如果这一标准能够有效地适用于所有运营商和建造商，将有可能有效地减缓空间污染增加的现象。

与此同时，2010 年，和平利用外层空间委员会设立了外层空间活动长期可持续性工作组，任务是编写一份协商一致的报告，其中载有自愿所有空间行为者最佳做法准则，以帮助确保外层空间的长期可持续利用。37 条准则的批准过程(即需要所有成员一致同意)提出了一些难点，迄今为止，只有 12 条准则获得批准。然而，工作组仍在积极开展工作，一旦完整的联合国准则简编获得批准，它将成为一个非常有效的工具。

最后，许多运营商最近起草了一份专门的章程，其中提出了比其他文件更严格的准则。这套最佳做法仍处于草拟阶段，目前尚不清楚它如何成为一份监管文件。

撞击防护

旨在减少在轨物体影响的第二项措施是为活动卫星配备防护罩。结构壁板外侧的金属或凯夫拉尔薄板，甚至是致密的泡沫，将粉碎飞来的碎片，并将其变成无法穿透或以其他方式损坏主体结构的微小颗粒云。

根据要阻止的碎片类型，潜在的组件非常多样，被屏蔽卫星的轨道、方向和防护区的临界点也是如此。世界各地都在进行大量测试，以寻找最佳组合。地面试验使用通常是两级的轻气枪进行，将直径为 1 毫米的小型金属弹珠推进至高达 12 公里/秒的速度。

遗憾的是，所述类型的防护罩效用有限。这些防护罩可以保护壁板免于直径 1 厘米以内撞击物的危害，但仅此而已。因此，为避免更大碎片撞击带来的损害，必须对卫星进行机动操作，使之脱离损害路线，但只有知道该碎片的轨道和位置才有可能这样做。对直径大于 10 厘米的碎片作了编目，因而可通过进行避免碰撞机动操作，保护卫星免受此类碎片的损害。不过，不可能保护卫星免受直径小于 10 厘米（因为不能对此类碎片作编目）但大于 1 厘米（因为防护罩无法抵挡此类碎片）的损害。

防护罩也带来了大量的体积、质量、成本问题，甚至是系统问题，比如卫星的热平衡。实际上，防护罩目前只部署在载人卫星上，如国际空间站、欧洲自动轨道转移飞行器、日本 H-II 转移飞行器或美国的一些大型军事卫星上。

避免碰撞

保护载有推进装置的运行卫星的有效措施是避免与编目物体发生碰撞。

这是一项非常复杂的活动，因为人们需要在几天内“传播”所有潜在危险物体的轨道，以识别可能的碰撞。统计计算基于由每个物体的协方差矩阵确定的碰撞概率。每一次警报都会触发对潜在撞击物轨迹的分析，追溯到过去，并且可能需要专

用的空间监视手段如雷达和望远镜进行专门的测量。联合空间业务中心也直接提供一些交会数据信息。

这一过程利用了现有的空间监视和跟踪网络，主要是美国的网络，但也利用了国际科学光学网络、一些国家网络，如基于 Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale (GRAVES)的法国系统，以及一些商业举措，如 AGI 商业空间业务中心或 LeoLabs。

这些分析使得有可能看到何时必须操纵卫星以降低碰撞的概率。作为粗略的数量级，每颗卫星都必须每年操纵一次，以避免碰撞。

主要问题是碎片轨道参数缺乏准确性，通常在 100 米至 1,000 米范围内。这导致极高的误报率，约为 99.99%。未来几年需要的优先改进之一是轨道参数准确性提高几个数量级。这可以通过激光测距技术实现，无论是从地面还是从轨道上。

即时避免大型不可操纵碎片之间的碰撞

上一段所述的避免碰撞过程仅涉及活动卫星，这些卫星在低地球轨道极大物体（卫星或发射级）中占不到 20%。这意味着它在保护运行中的卫星方面是有效的，但是无法减缓统计上占主导地位的大型不可操纵物体之间的碰撞造成的在轨物体数量的增长，因此在确保空间业务的长期可持续性方面作用有限。

因此，近年来正在研究另一项措施，即避免大型弃物之间可预测的碰撞。基本想法是，当未来几天内可能发生碰撞时，即当碰撞概率高于允许阈值时，执行一项任务，非常轻微地调整两块碎片之一的轨迹，以避免碰撞或恢复可接受的距离。

目前正在研究各种即时避免碰撞的技术，主要是美国和法国在研究，例如，使用探空火箭在碎片前散布一团气体、灰尘或微粒，以短暂增加阻力并减慢速度。这些方法很有前途，因为它们似乎比主动清除碎片更容易实现，而且仅在极有可能发生碰撞的情况下使用，通常每五年或六年使用一次。美国和法国也联合研究了其他技术，利用轨道激光器非常短暂但强烈的脉冲来调整碎片的轨迹，局部蒸发碎片表面，并略微改变碎片的速度。甚至有人提议使用相对较小的轨道激光器持续控制所有大型碎片的位置，以尽量减少碰撞的可能性（大型碎片交通管理）。

主动清除碎片

已经研究超过 15 年的一项重要措施是回收非常大的、有潜在危险的碎片，即碰撞后可能产生非常多次级碎片的碎片。这种措施和类似的措施称为主动清除碎片。

这一战略遵循了美国航天局首先得出并在 2010 年公布、随后由空间碎片协委会大多数代表团得出的研究结论。假设减缓措施得到了很好的遵守（轨道上不发生碎裂，低地球轨道 25 年规则），那么从这一在轨物体数量最多的轨道上回收 5 至 10 块适当选择的大碎片就足以稳定在轨物体数量。

为了“清理”外层空间，已提出、研究和测试在地面、零重力飞行条件下以及最近在轨道上进行的大量潜在解决方案。这些解决方案可分为若干类别（以下概述并非详尽无遗）。

首先，有一些非接触式解决方案，例如虚拟静电牵引带，或者用激光来提升废弃在地球静止轨道上的旧卫星的轨道。

其次，许多解决方案源自捕鱼技术，使用钩子、叉和网来捕获碎片，并使用长系绳拉动碎片，直到其以受控制方式重新进入大气层。

此外，有一些想法是基于增加碎片的阻力，以使其更加迅速地降低高度，例如使用一个特别的追踪器给碎片配备一个大的安全气囊或帆，从而大大增大组件的表面。还可以在碎片上安装电动系绳，这是一种导线，与地球周围磁场相互作用，产生洛伦兹力，减缓碎片速度，从而缩短其轨道寿命。尽管如此，这些解决方案仍有明显的缺陷，因为它们会导致不受控制的重返，因此对人群有潜在的危险。

最后，较传统的解决方案包括用机器人臂捕捉碎片（这种机器人臂有基于用来抓持碎片的触须或夹子的多种不同变式），然后以受控制方式使碎片脱离轨道，重返大气层。

这些解决方案的总体技术成熟度很高，已经进行了多次演示，包括在轨道上。因此，主要问题不是技术问题，而是财务问题，因为如果没有一个明确的商业计划打开商业活动的通道，这种业务将会非常昂贵。与这些行动有关，也有许多法律障碍，甚至有军事关切，其中一些行动可能打开空间军事化之门。

国际一级的几个工作组正在积极审议这些问题，特别是在和平利用外层空间委员会关于外层空间活动长期可持续性的倡议下。由于有了空间拖车，第一批主动清除碎片活动可能比预期来得更快。其中一些多用途轨道飞行器目前正在开发中，特别是在美国和法国，将大型碎片移离轨道可能是空间拖车在完成轨道运行后的最后一次行动或终结寿命操作。专门用于使搁浅星座卫星脱离轨道的轨道飞行器的开发也在进行中，这表明在主动清除碎片领域有可能制定积极的商业计划。

结论：情况令人担忧

目前对减缓规则的遵守程度很低

总体而言，合规率大约为 55%，但这个数字可能有点乐观，因为它包括所有发射到低空、迅速重返大气层的小型卫星。只考虑 600 公里以上高度的航天器时，合规率低于 20%。只考虑重量超过 100 千克的卫星时，则合规率下降到 6%。

轨道上碎片的质量和数量在继续增加，没有任何减少的迹象。每年在轨道上继续发生许多碰撞和碎裂，除了卫星和末级，发射作业期间会释放数十个大型物体。

许多研究表明，要想限制地球轨道碎片的增加，遵守减缓规则的程度应该高于 90%。

纳米卫星的出现提出许多问题

目前，射入轨道的非常小型的卫星的数量急剧增加。这些立方体卫星是游戏改变者，智能卫星充分利用小型化，以非常低的开发、生产和发射成本提供大量空间应用。因此，每年有数百枚立方体卫星发射，但在大多数情况下，它们没有推进装置，因此无法避免碰撞或缩短轨道寿命。它们经常被发射到高空轨道，并且不遵守

25 年规则。2017 年发射了约 430 颗立方体卫星，预计从 2018 年起每年将有 500 多颗。

空间碎片协委会和标准化组织目前正在为没有能力避免碰撞的卫星制定额外的规则，将卫星的轨道寿命限制在发射后 25 年，高度限制在 600 公里左右。

大型星座

大型星座带来不同的问题。目前有发射由数千颗每颗 200 至 500 公斤的卫星组成的星座的计划，通常在非常稳定的轨道上。例如，根据“一个网络”倡议，从 2018 年年中起，将在 1,200 公里的圆形高度倾斜轨道上部署近 1,000 颗互联网卫星，它们将稳定运行数千年。这可能只是个开始。波音公司宣布了自己由 2,900 颗卫星组成的星座。SpaceX 宣布了由 2,800 颗卫星组成的第一个星座，以及由 7,500 颗卫星组成的第二个星座。美国联邦通信委员会总共收到了在未来 10 年内发射 17,000 多颗新的卫星的请求（提醒一下，现在只有 1,700 颗活动卫星）。

运营商通常是新进入者，他们是来自硅谷、没有太空作业经验的行为方。不过，他们似乎很清楚所有的空间碎片减缓规则，因此，只要国际规则得到严格遵守，这些在非常稳定轨道上的大规模行动仍有希望导致长期可控的局面。

新的雷达太空篱笆

美国空军正在建造一个新的 S 波段雷达系统，称为太空篱笆，将于 2019 年投入使用。它将能够跟踪比今天编目物体小得多的物体，可能是直径在 3 厘米到 5 厘米之间的物体。空间监视和跟踪领域这一额外资产是一个好消息，但这意味着编目物体的数量将增加一个数量级，可能达到 200,000 个物体。如果轨道精度没有同时显著提高，这将大大增加碰撞警报的数量。

空间交通管理

人们似乎越来越认识到，需要迅速采取行动，以便未来还能够开展轨道活动。国际上在空间交通管理方面做了大量工作，以确保外层空间的安全，欧洲空间政策研究所将其定义为保护空间基础设施免受自然和人为威胁和风险，以确保空间活动的可持续性。一些研究人员提议创建一个新的国际民用空间组织，赋予其非常艰巨的系列任务，从管理减缓规则到征收空间使用费并赋予执行权，都包括在内。

这些举措非常好，但主要目的是在短期内保护运行中的卫星。迄今为止，几乎没有提出任何建议来避免由于大型不可操纵碎片之间的碰撞而产生成千上万的新碎片。只要没有解决办法，未来的空间作业将继续受到重大威胁。