

# 延误航天员返回的太空垃圾有多可怕?

以每年2%至5%的速度增加,严重威胁航天器和航天员安全

## 空间碎片破坏力惊人 时刻威胁航天员安全

空间碎片也叫太空垃圾,指的是在地球轨道上运行的各种人造物体的碎片。由于空间碎片飞行速度很快,它们会对在轨运行的航天器产生巨大危害,甚至威胁到航天员的生命安全。

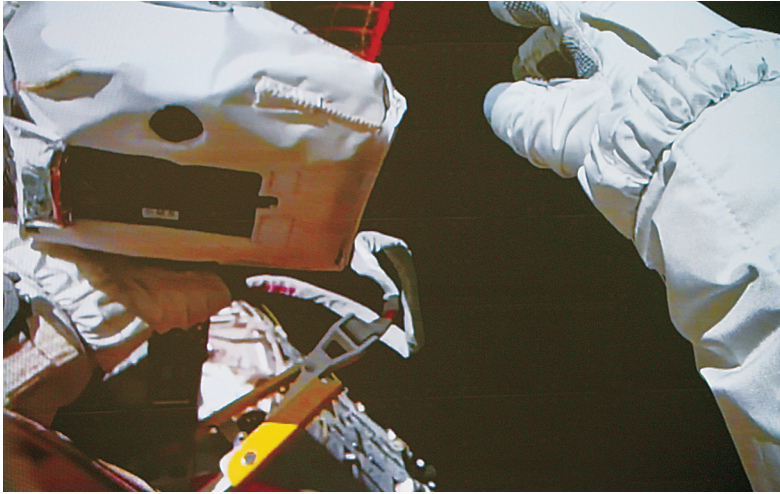
随着人类发射的航天器越来越多,空间碎片也相应增加。据统计,目前至少有超过3000吨的空间碎片绕着地球飞奔,且数量正以每年2%至5%的速度增加。

由于空间碎片运动速度普遍在7—10千米/秒,而破坏力与速度的平方成正比,因此哪怕一个仅10克重的空间碎片,其太空撞击能量不亚于一辆时速100千米的小汽车。当空间碎片的能量足够大时,不仅会改变航天器轨道或打散其整个结构,甚至可导致航天器爆炸。

一般而言,毫米级碎片会划伤航天器舷窗、太阳翼,导致透光率下降或供电效率受损。厘米级碎片可直接穿透航天器外壳,击穿燃料箱、管线等关键部件,引发泄漏或爆炸;即使未完全穿透,其撞击产生的冲击波也可能震坏内部精密仪器,导致导航、通信等系统失灵。

空间碎片更是时刻威胁着航天员的安全。在舱外活动时,航天服仅能抵御极微小的颗粒,稍大一点的碎片就可能击穿防护层,引发失压、缺氧等致命后果。即便在舱内,若碎片穿透密封舱壁,也可能造成快速失压或破坏生命保障系统,危及生命安全。

欧洲航天局《2025年太空环境报告》称,各类空间监测网络能够追踪的目标约有4万个,其中约1.1万个为在轨工作的有效载荷。但事实上,尺寸超过1厘米(足以造成灾难性破坏)的空间碎片数量估计已超过120万个,而其中尺寸大于10厘米的碎片超过5万个。当低地球轨道空间碎片密度达到临界值时,一次空间碎片撞击产生的新碎片会引发更多撞击。最终,空间碎片可能在轨道上形成一层“碎片云”,彻底阻断人类进入太空或使用卫星的通道,这将是长期灾难性的影响。



这是12月9日在北京航天飞行控制中心屏幕上拍摄的神舟二十一号乘组航天员张陆进行神舟二十号飞船返回舱舷窗巡检拍照。

## 太空垃圾 是从哪里来的

人造地球卫星、空间站等航天器,在寿终正寝或中途夭折后,就会变成太空垃圾。一般来说,距地300千米的空间碎片寿命约为一年,到了600千米高度就会飞上几十年,4000千米以上则要飞上千年,再高的空间碎片几乎会永远飞下去。

所以,妥善处理废旧航天器十分重要。废旧航天器通常分为可控和不可控两大类,根据轨道高低、航天器大小等采用不同方式处置。

当高轨运行的卫星出现故障或寿命到期时,一般通过遥控卫星上的发动机,使其变轨到更高的无用轨道上。这一方面因为地球静止轨道资源宝贵,已“星”满为患,必须让废旧卫星腾出空地;另一方面,废旧卫星已成为空间碎片,必须将其存放到一个安全位置,不对其他航天器造成威胁。

当低轨运行的航天器报废,对于小型航天器,一般可任其在大气阻力下自行降低轨道,最终再入大气层烧毁;而大型航天器的最佳处理方式则是通过地面遥控,使它坠毁在无人区。例如,17吨的美国“康普顿” $\gamma$ 射线空间望远镜,上百吨的俄罗斯和平号空间站,均通过人工控制,最终坠毁到南太平洋的“航天器坟场”。货运飞船绝大部分器件会在再入大气层的过程中烧蚀销毁,少量残骸落入南太平洋预定安全海域,我国“天舟”系列、俄罗斯“进步”系列等货运飞船均是如此处理。不过,对于低轨运行且失控的大型航天器,目前还没有成功回收的经验。

## 太空垃圾 如何应对

当近地轨道的空间碎片超过一定数量,容易发生类似多米诺骨牌的连环碰撞事件,形成恶性循环,导致空间碎片多到无法跟踪,这种现象称为“凯斯勒综合征”。为此,人类需要采取空间碎片减缓措施,如建立跟踪预警机制、限制新碎片产生、主动移除轨道上的碎片、加强国际立法等。

目前,对付空间碎片最有效的方法是尽量减少其产生的数量,具体措施包括消能、系留和设置垃圾轨道等。同时,空间技术专家还在研究运载火箭和某些航天器的重复使用。

减少空间碎片还需制定相关太空法律法规。近年来,小卫星的飞速发展,使空间飞行器数量猛增,其中不少卫星因功能低、寿命短,产生大量空间碎片。因此,小卫星立法已成为当前国际外空领域关注的热点问题,有关国际机构正在研究针对小卫星管理的空间交通管理规则,这是解决小卫星在轨运行安全的根本途径。

对于已有空间碎片该如何应对?现在,人类已可对大于10厘米的空间碎片进行监测,在它们与正常工作的航天器发生碰撞前,通知航天器“躲避”。预报空间碎片撞击风险的技术有多种,主要分为光学观测和雷达监测两大类。前者可分辨直径10微米以上的微小碎片;后者具有全天候、远距离探测能力。此外,激光雷达、多传感器融合、天基太空监视系统卫星等新技术也在用于这一领域。

事实上,所有航天器都可采用屏蔽防护结构来对付0.1—1厘米的碎片,但要对付1—10厘米的碎片则需通过特殊设计来实现。目前,我国航天员乘组已为“天宫”安装了多个空间碎片防护装置,它能抵御个头不足1厘米、很难被监测到的巨量微小碎片。

对于无法躲避且难以对抗的空间碎片撞击,只能实施在轨维修。据中国空间站专家的公开介绍,中国空间站在任务级安全措施上考虑了多重故障下的最坏情况,例如“神舟”飞船采用“备一打一”的滚动备份方式,始终保持每一次任务均有托底。

## 我国曾试验机械臂 抓取空间碎片

目前,空间碎片防控已成为航天器设计的核心理念之一,通过优化结构、采用防爆燃料贮箱、减少外露部件等方法,可从源头上减少空间碎片产生。而在治理现有空间碎片方面,不少国家已在积极尝试机械臂捕获、太空拖网等新方法。

2016年6月,我国在长征七号火箭首次发射时,就曾将遨龙1号试验载荷送入轨道,首次在上进行了空间碎片主动离轨试验。它用一台自带机械臂模拟抓取空间碎片,为未来空间环境治理机器人等验证清除空间碎片的关键技术。

2028年,欧洲航天局计划发射世界第一个在轨移除空间碎片任务——太空清洁一号航天器。这是一种新型四臂垃圾收集机器人,重量不到400千克,其体外装有一个网状或机器触角状的特殊设备,可抓住并抱紧空间碎片。它将在600多千米轨道上捕获“织女星二次有效载荷适配器”,最终将其拖入大气层烧毁。如果上述试验获得成功,将为未来在轨移除空间碎片任务铺平道路。

上述尝试均采用交会捕捉移除技术来抓捕空间碎片,该方法技术成熟、可靠,但成本较高。因此,各国还在尝试用激光烧蚀、离子束偏转、电磁吸附清除等技术来清除空间碎片。

烧蚀是用大功率激光照射空间碎片,使其粉碎成微粒后从轨道上迅速衰落,或将小型太空垃圾直接烧毁汽化。

脱轨则是通过空间碎片自身推进,增加大气阻力(如大面积帆板或充气伞)或利用太阳光压等方法降低其速度,使其脱离原来的运行轨道,坠入大气层烧毁或转移到一条短寿命轨道上去。

激光主动移除技术则通过高能脉冲激光束照射空间碎片表面,通过外喷等离子体的反作用力降低空间碎片速度。此技术满足主动移除空间碎片技术的各项要求,前景广阔,现正进行关键技术攻关。

移除空间碎片技术不能产生更多的空间碎片,且必须以较低成本实现。目前,大部分技术还停留在“纸上谈兵”阶段,需要较长时间的深入探索、不断试验。比如,用泡沫金属、木质材料制造航天器,使它在重返大气时能迅速彻底燃烧化成气体。

总之,空间碎片应对与防治是一项多学科综合性长期工作,未来有望形成一个新产业。

## 空间碎片 三大来源



### 1 废弃航天器 及相关部件

空间碎片最主要、最直接的来源,占比超过40%,包括退役卫星、运载火箭的末级、航天器解体残骸。



### 2 航天活动中的 操作废弃物

多为航天任务执行过程中有意或无意丢弃的物品,尺寸虽小但数量庞大。如卫星分离时的固定螺栓、火箭保护罩、航天员出舱活动时不慎遗落在太空的螺母、工具等。此外还包括航天器表面老化脱落的涂层碎片、太阳能电池板的微小碎片、发动机燃烧产生的残渣等。



### 3 碰撞与爆炸产生的 次生空间碎片

包括主动碰撞事件和次生连锁反应。历史上曾发生过卫星与空间碎片、卫星与卫星的主动碰撞,一次碰撞或爆炸产生的新空间碎片会继续撞击其他航天器,形成“碎片雪崩”,导致空间碎片密度呈指数级增长。

## 空间碎片如何防撞

### 主动规避技术

对尺寸超过10厘米的较大空间碎片,航天器倾向于通过空间碎片预警信息,主动实施轨道规避。惹不起就“躲”,这是目前最实用的方法。

### 被动防护技术

对难以观测的小型、微型空间碎片,航天器主要采取调整易损组件位置、屏蔽防护法加固外表等技术进行自我保护。

## 空间碎片 尺寸分类

### 大空间碎片

尺寸>10厘米  
约有5.4万个

可被监测到

### 小空间碎片

1厘米≤尺寸≤10厘米  
约120万个

### 微小空间碎片

1毫米≤尺寸<1厘米  
约有1.4亿个  
尺寸<1毫米  
约有数十亿个