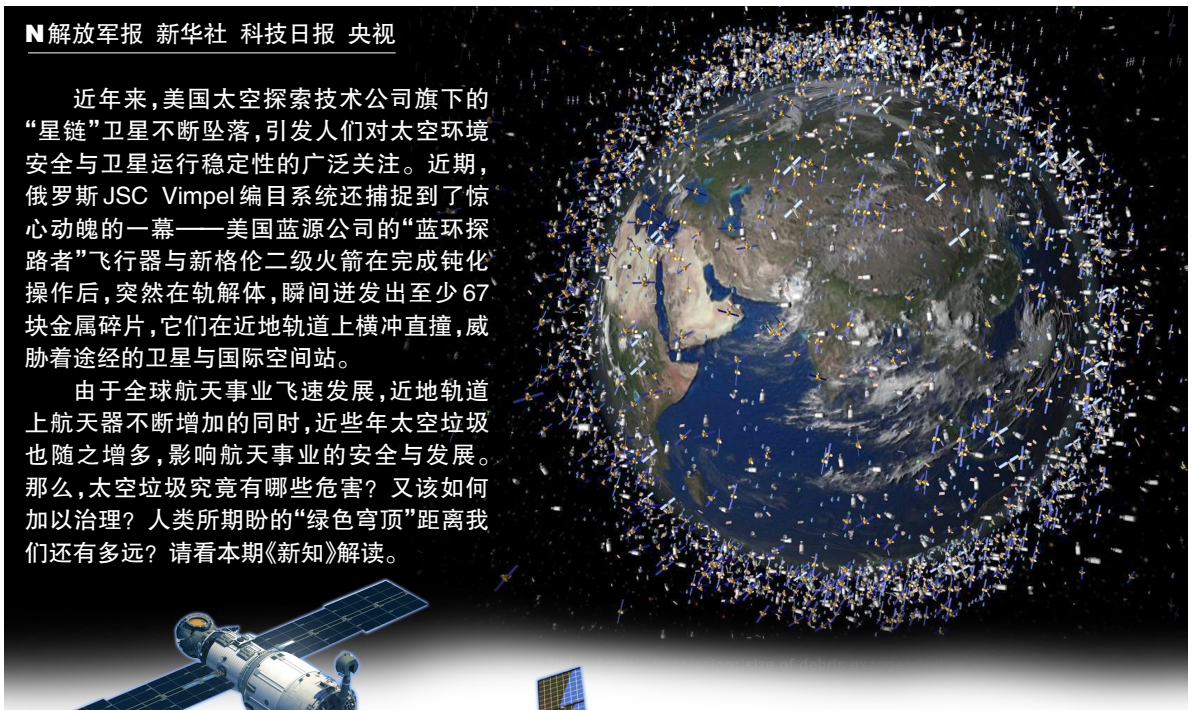
海峡都市报 报料：智慧海都 968880
2025年6月19日 星期四 责编/郭寿权 美编/建隆 校对/卓敏
智慧海都

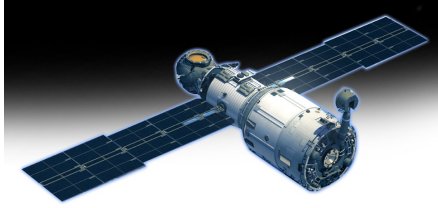
重塑『绿色穹顶』 4招太空大扫除

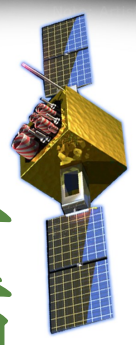
N解放军报 新华社 科技日报 央视

近年来，美国太空探索技术公司旗下的“星链”卫星不断坠落，引发人们对太空环境安全与卫星运行稳定性的广泛关注。近期，俄罗斯JSC Vimpel编目系统还捕捉到了惊心动魄的一幕——美国蓝源公司的“蓝环探路者”飞行器与新格伦二级火箭在完成钝化操作后，突然在轨解体，瞬间迸发出至少67块金属碎片，它们在近地轨道上横冲直撞，威胁着途经的卫星与国际空间站。

由于全球航天事业飞速发展，近地轨道上航天器不断增加的同时，近些年太空垃圾也随之增多，影响航天事业的安全与发展。那么，太空垃圾究竟有哪些危害？又该如何加以治理？人类所期盼的“绿色穹顶”距离我们还有多远？请看本期《新知》解读。







低地球轨道太空垃圾分布示意图

“碎片星云”从何而来

提起太空垃圾，大多数人脑海中浮现的可能是废弃卫星的残骸。但事实上，太空垃圾的构成远比想象中复杂：从重约9吨的废弃火箭发动机，到指甲盖大小的金属屑，甚至卫星表面脱落的黄色防锈漆斑点，都是环绕地球“碎片星云”的组成部分。

科学家根据尺寸将这些太空垃圾分为3个等级：直径大于10厘米的“大碎片”容易被雷达追踪，但破坏力巨大，足以将一颗价值数亿美元的卫星一击致碎；直径1到10厘米的“危险碎片”是太空中的“隐形杀手”，它们难以被监测，却能轻易击穿航天器的外壳；直径小于1厘米的“微碎片”看似微不足道，但其高速飞行带来的冲击力同样不容小觑。

根据NASA估算，即便是一粒直径仅有0.5厘米的铝屑，在轨道速度推动下，动能与地面上一颗刚出膛的子弹相当。1983年，挑战者号航天飞机被一块极其微小的涂料碎片击中，导致舷窗划伤，被迫提前返回地球；1986年，阿丽亚娜号火箭进入轨道后不久便发生爆炸，其残骸波及两颗日本通信卫星。

根据欧空局数据，截至2024年，太空中直径大于1厘米的碎片已经超过100万个。这些碎片主要源于卫星解体、火箭残骸碰撞等事件。

太空垃圾的密度分布并不均匀，风险最高的区域集中在低地球轨道和地球同步轨道。

低地球轨道是太空垃圾最密集的区域。据预测，到2050年，仅低地球轨道区域，直径10厘米以上的碎片数量就会超过5万个，到2100年将达到10万个，卫星碰撞几率将增加6倍。其密度之高，甚至迫使国际空间站平均每月要调整一次轨道，以避免碰撞风险。

与此同时，地球同步轨道的碎片分布则呈现显著的聚集性。这一轨道具有极高的战略价值，全球95%的通信卫星、气象卫星和导航卫星都集中于此。由于轨道位置固定且清理难度极大，碰撞风险正逐年上升，这给全球卫星通信和气象观测系统带来了严重威胁。

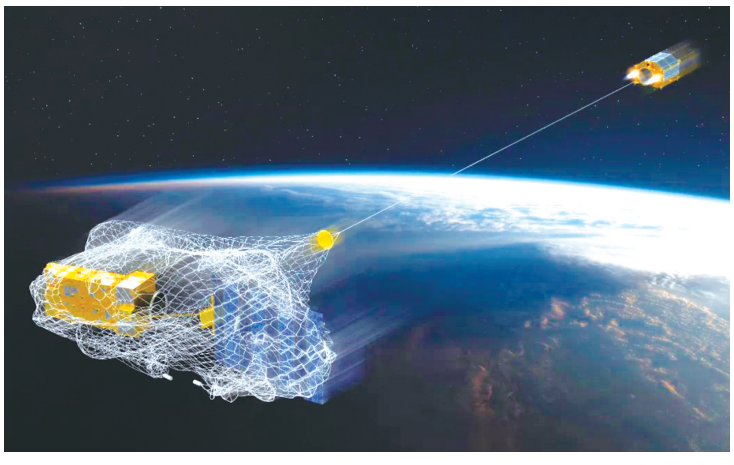
“十面埋伏”贻害无穷

随着地球轨道上的太空垃圾不断累积，其潜在威胁愈发令人担忧。尤其是这些碎片的运行状态各不相同，随着时间推移，它们酿成各种事故的风险与日俱增。

现代社会对卫星通信的依赖已深入各个领域，从移动通信到全球定位，大多数关键基础设施都依赖在轨卫星的支持。太空垃圾的存在，犹如悬在头顶的达摩克利斯之剑，不仅可能直接摧毁这些卫星，还可能触发“碰撞级联”效应——当轨道上的太空垃圾密度达到临界值时，碎片之间的碰撞会产生更多碎片，形成多米诺骨牌般的连锁反应，最终导致大范围的卫星系统瘫痪。一旦关键通信和导航系统失效，全球经济运行和社会生活都将遭受严重冲击。

由于高度依赖轨道望远镜和地面观测站的协同工作，天文学和气象学研究面临严峻挑战。以哈勃望远镜为例，这个已服役逾30年的“太空之眼”的镜面已布满微碎片撞击留下的痕迹，科学家不得不借助复杂的图像处理算法来修复受损区域的数据噪点。在地面，天文台的观测窗口也受到“太空垃圾云”的影响。更令人头痛的是，那些飘浮在近地轨道的金属残骸，将阳光反射成无数闪烁的“人造星辰”，在地基望远镜的视野中编织出一片虚假的银河。这些明亮的闪光在长时间曝光的天文照片上留下刺眼的划痕，随着太空垃圾数量的增加，这一问题将愈发严重。

尽管太空垃圾主要“盘踞”在轨道上，但其对地球环境的影响同样值得关注。当这些碎片重返大气层时，可能会对人类和地面设施的安全构成威胁。根据欧空局统计，有史以来发射的所有大型航天器约有75%已经重新进入大气层，被追踪的小型航天器碎片，更是以平均每天两个的频率持续坠落。1978年，苏联“宇宙-954”核动力卫星失控坠入加拿大北部，具有放射性的碎片散落在12万平方公里的冻土带，不仅致使多人死亡，清理行动更是持续了8个月之久。



飞网捕捉碎片示意图

“拂尘清理”刻不容缓

随着太空垃圾的数量呈指数级增长，被动防御已显得力不从心，主动清除才是扭转碎片增长的必要措施。目前，有以下几种方式清理太空垃圾。

遥控脱轨技术：“寿终正寝”的归宿。当运行在地球同步轨道的航天器寿命终结或发生故障时，可以通过遥控启动其推进系统，将它转移至更高的“墓地轨道”。这条轨道位于地球同步轨道上方约300公里处，专门用于安置废弃航天器。而低轨道运行的航天器报废后，通常通过地面遥控，引导航天器至特定区域销毁。比如100多吨重的俄罗斯和平号空间站，在轨服役15年后，被精准引导坠入南太平洋上的一个被称为“航天器坟场”的海域。

机械捕获技术：“碎片擒拿”的妙手。这种技术是目前太空垃圾治理中实用性较高的解决方案，其核心原理是通过物理接触或非接触式吸附实现碎片捕获与离轨，比如通过机械臂抓捕、飞网捕捉等手段清除碎片。以日本一家太空垃圾清除公司研发的ELSA-d任务系统为例，该系统由一颗“服务卫星”和一颗模拟太空垃圾的“目标卫星”组成。服务卫星搭载磁力对接装置，能够精准捕获并释放目标卫星。这种方法避免了直接接触带来的风险，但每次仅能处理一个目标，效率有限。尽管如此，机械捕获技术仍被视为清理大型太空垃圾的有效手段。

激光清理技术：“无痕消除”的利刃。高能激光技术是专门针对微小型空间碎片的解决方案。这是一种非接触式的清理方法，通过地面或太空中的高能激光束照射目标碎片，使其表面材料蒸发或产生等离子体，从而产生反冲力，改变碎片的轨道，促使其坠入大气层烧毁。莫斯科国立鲍曼技术大学的研究人员持续深入探索激光清理技术，通过对不同航天器材料进行激光脉冲辐射实验，系统研究其响应特性。他们指出，空基激光相比容易受到大气干扰的地基激光更具优势，且所需能源更为经济。不过，该技术在实际部署前仍需解决一系列技术难题。

太阳帆技术：“驭光而行”的巧思。借助太阳光压产生的推力，这种技术通过将太空垃圾附着在大型太阳帆上，逐渐降低其轨道高度，从而坠入大气层烧毁。2019年，美国行星协会发射了“光帆2号”航天器，成功利用太阳光变轨，验证了太阳帆技术的可行性。虽然太阳帆技术具有成本低、无需燃料的优势，但其清理速度较慢，且需要垃圾表面具有一定的反射率，因此在实际应用中仍面临一定限制。

□焦点

数百颗卫星坠落 “星链”咋了？

『星链』卫星在轨运行

6月8日，俄罗斯《共青团真理报》网站报道称，马斯克的太空探索技术公司发射的“星链”卫星近期出现大量坠落现象。美国航天局戈达德航天中心等机构研究人员近日发布一项新研究，首次系统揭示了太阳活动加剧对低轨卫星运行寿命的显著影响。据统计，从2020年到2024年，有1190颗卫星从极低地球轨道（VLEO）坠落，其中583颗是“星链”卫星。研究显示，2020年至2024年间，每年坠落的“星链”卫星数量呈上升趋势，这一趋势与太阳活动处于增强阶段高度相关。2020年仅有2颗坠落，2021年有78颗坠落，而2024年坠落数量多达316颗。

太阳活动以约11年为一个周期，呈现由弱到强、再由强转弱的周期性变化。2020年至2024年，太阳活动处于第25个周期的上升和高峰阶段。太阳活动增强会引发地磁强烈扰动，使地球热层升温并膨胀，导致高层大气的密度和阻力增加。而高层大气阻力增加会使得低轨卫星轨道衰减加剧，最终更早坠入大气层烧毁；还可能增加组成部署星座的卫星之间的碰撞风险。

研究显示，地磁活动对“星链”卫星的坠落影响显著，随着地磁活动增加，“星链”卫星的坠落往往比地磁平静期更早。研究团队呼吁，随着低轨卫星数量不断增加，需要在太阳和地磁活动剧烈时期加强监测和相关预测，以预防在轨碰撞及卫星碎片对地球的潜在影响。

新闻 发行 便民 一号直拨 968880
广告热线 福州：0591-87095489 厦门：0592-5057110 泉州：0595-22569013

印刷：晋江市梅岭南路507号福建日报社（泉州）印务有限公司 电话：0595-82033695