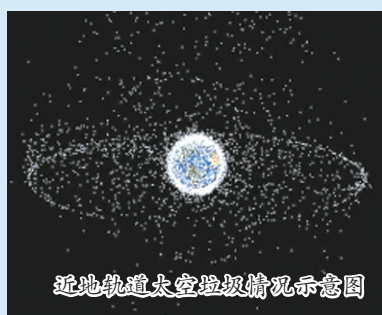
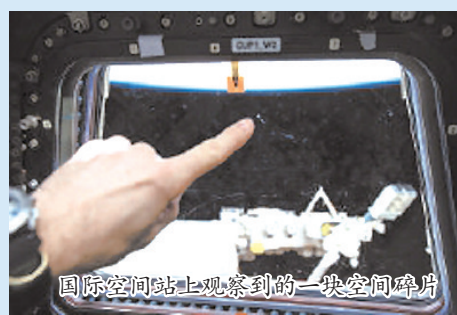


太空垃圾一直是困扰着航天活动开展的一个问题。随着微小卫星技术的成熟,拥有一颗卫星的门槛越来越低,地球轨道上航天器数量持续快速增长,使太空垃圾带来的潜在风险进一步增大。

近期,欧空局和“清洁太空”公司签订合同,将在2025年发射世界上第一个太空垃圾清洁卫星“清洁太空一号”。



近地轨道太空垃圾情况示意图



国际空间站上观察到的一块空间碎片

# 清理太空垃圾要动真格的

## 采用“吃豆人”方式捕捉

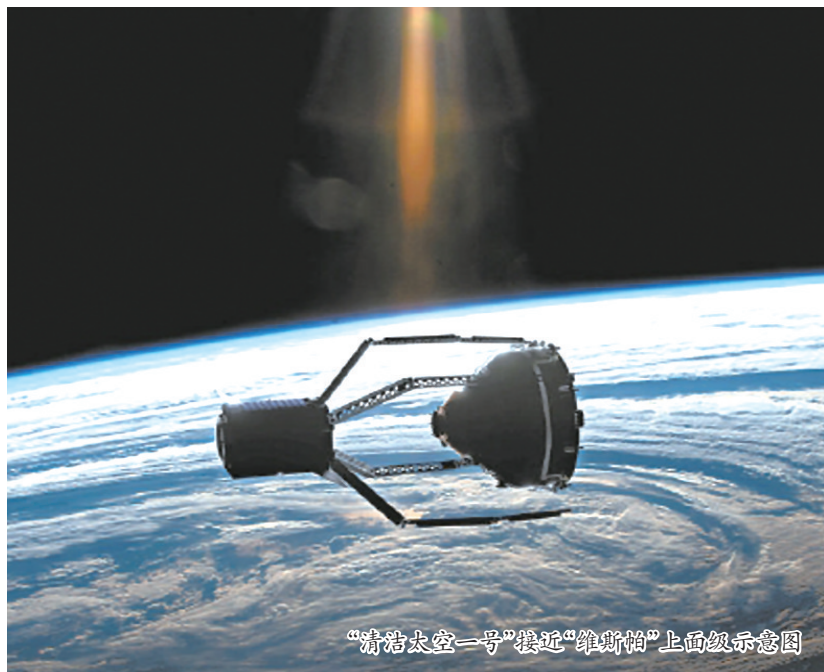
目前,人们已经提出了许多清除太空垃圾的技术路线,而利用航天器将太空垃圾抓取后带离轨道的主动清除技术发展得最为成熟。我国的“傲龙一号”曾进行过在太空中抓取目标的试验;欧空局的“清理碎片”计划,以国际空间站为试验平台,成功测试了网式和鱼叉式的太空垃圾清理手段。不过,以往开展的试验,都人为释放了“靶星”,并没有清理实际存在的太空垃圾。

“清洁太空一号”也采取主动抓取后带离的清除方式。然而,它的目标却是已经在太空中飘荡了7年的一块太空垃圾——2013年发射升空的“维斯帕”上面级。“维斯帕”上面级的外形为圆柱和圆锥的结合体,直径约为2.1米,高约为1.3米,重量约为100千克。这个航天器在完成帮助卫星入轨的任务后,就滞留在高度达七八百公里的轨道上。“维斯帕”具有简单的形状和坚固的外形,抓取这种外形的航天器相对比较简单,也不用担心抓取过程中目标航天器解体从而制造出更多的太空垃圾,因此是初次试验时难度合理的目标。而它的重量也与近年来发展迅猛的微小卫星接近,任务所获得的数据和经验能够为未来清理失效的微小卫星提供重要参考,而这正是“清洁太空”公司未来的目标市场。

按照计划,“清洁太空一号”将由“织女星-C”火箭发射升空,先被部署到500公里高度的轨道上进行一系列的测试。当卫星的状态确认正常后,将会逐步调高轨道,开始进行捕捉“维斯帕”的工作。在此过程中,卫星将以自动化的方式完成大部分工作,但在一些关键的状态点,仍然需要人工介入,确认能否继续。成功捕获目标后,“清洁太空一号”将会和太空垃圾一起进入破坏性轨道,通过与大气层相互作用的方式燃烧殆尽。

“清洁太空一号”采用了类似“吃豆人”的方式捕捉“维斯帕”。它装备有四个机械臂,当靠近目标时,张开的机械臂向中央合抱,完成捕获过程。和之前开展的捕捉合作目标的试验性任务所不同的是,“维斯帕”和其他太空垃圾都是非合作目标,其运动状态具有很大的不确定性和随机性,因此“清洁太空一号”必须利用基于视觉的人工智能等技术,准确判断目标的位置和状态,才能成功完成捕获。实际上,“清洁太空一号”的雏形在2012年就已经提出,在技术迭代过程中一度计划使用其他的捕获方式。例如,在2013版的方案中,计划采用柔性捕获装置,抓握器在高电压作用下展开,撤除电压后会收缩,像一层外皮一样包裹住目标,完成捕获。而在2015版的方案中,则提出了利用外形类似蜘蛛网的捕获装置。而最终选择四个机械臂,则是综合考虑了抓取能力、技术成熟度的选择。

“清洁太空一号”的设计最初由洛桑联邦理工大学下属的瑞士航天中心提出。经过多轮技术迭代后,项目的运行方式也发生了变化。目前,“清洁太空一号”由创业公司“清洁太空”负责,以商业化的方式获得欧空局资助。本次任务获得了欧空局8600万欧元的资金,而资金的用途是购买一次太空垃圾清理服务,并非为“清洁太空一号”的研发全部买单。项目所需的其余2400万欧元经费则由“清洁太空”公司自行筹集。一旦技术成熟,“清洁太空”公司将会提供太空垃圾清理的商业服务,供各航天机构和公司使用。



“清洁太空一号”接近“维斯帕”上面级示意图

## 太空垃圾来源都是些什么?

1989年,空间碎片监测机构发现一颗名为“宇宙线背景探测器”的卫星产生了约76块空间碎片,且这些碎片都是直径大于10厘米的较大空间碎片。卫星失效后在轨道上解体,是太空垃圾的主要来源之一。奇怪的是,这颗卫星在碎片产生后仍在正常工作,并没有发生因运行异常而解体的情况。后来,这颗卫星甚至圆满完成了寿命期内的全部观测工作,但产生空间碎片的原因仍然没有找到。虽然类似的事件并不多见,但这种“奇特”现象的发生说明目前人们对空间碎片产生的机制仍然没有完全充分的理解。

除了失效的卫星外,火箭的二级、三级或上面级等推动卫星入轨的部分,也是太空垃圾的主要来源之一。这些航天器中一般还残留着部分推进剂,在发射后一天至几十年的时间中,残留的推进剂有可能发生爆炸,产生少则几块、多则数百块的空间碎片,且这些碎片的飞行速度各异。根据欧空局今年10月发布的年度空间环境报告,由火箭剩余部分爆炸产生的太空垃圾危险程度最高。

卫星间的碰撞会产生数量极为庞大的太空垃圾。2009年2月11日,美国通信卫星“铱星33”与已经报废多年的俄罗斯卫星“宇宙2251”在西伯利亚上空发生激烈碰撞,酿成了人类历史上首次卫星与卫星相撞的重大事故。本次碰撞产生了多达2000块体积较大的太空垃圾,以及数量更多又无法追踪的小太空垃圾。

## 谨防可怕的“凯斯勒效应”

如果太空垃圾无节制地继续增长,将会引发“凯斯勒效应”——空间碎片在太空中进入连环撞击的状态,轨道资源因为太空垃圾的污染而枯竭,人类再也无法将航天器发射到特定轨道上去。

近年来,如SPACEX“星链”等近地通信卫星星座,为太空垃圾问题带来了新的挑战。按照目前SPACEX的设想,星链卫星网使用的卫星总数将高达1.2万颗,相当于全世界现在在轨工作卫星数的好几倍。其他商业太空公司也提出了类似的近地通信卫星星座计划,卫星数量从几百颗到上千颗不等。根据有关机构的研究,对于成千上万颗小卫星组成的地轨星座系统,必须有99%以上的卫星能够在结束工作后即时离轨。对于正常工作的卫星来说,一般都会预留燃料,在寿命将尽时利用发动机控制卫星降低轨道,快速进入与大气层强烈相互作用并下坠焚毁的阶段。然而,如果卫星在工作过程中意外失效,就不能完成即时离轨,只能等待卫星与中高层稀薄大气的缓慢作用,使卫星的轨道逐渐降低,经历很长的时间后才能进入大气层焚毁。而根据今年11月哈佛-史密松天体物理中心的研究,目前入轨的800颗星链卫星已经有约3%失效,成为了新的太空垃圾。有关研究人员已经通过多种渠道呼吁政府部门和航天企业对大规模通信卫星星座带来的太空垃圾新威胁加以重视。

## 延伸阅读

### 国际空间站曾遭遇“惊魂一刻”

2015年7月16日凌晨,空间碎片监测机构发现了一块太空垃圾正以危险的方式接近国际空间站。这块编号为36912号的太空垃圾的大小大概相当于一个餐盘,来源于一颗解体的苏联军事气象卫星。这颗卫星在入轨两年多后停止工作,在随后的几十年中,碎片一直在不停地从这颗卫星上脱落,成为太空垃圾。36912可能曾经是这颗卫星的热屏蔽罩的一部分。

由于36912的轨道比较特别,空间碎片监测网中只有极小一部分台站能够对其实施监控。36912盘状的形状和较低的质量,使得其轨道很容易受到太阳活动引起的高层大气密度变化的影响。当它从监控的盲区再次出现在台站的监控范围中时,轨道较之前可能已经发生了较大的变化。2015年7月16日凌晨,空间碎片监测机构更新了碎片的轨道数据后,惊恐地发现这块碎片将在几小时内接近国际空间站,而碰撞概率已经提高到了非常高的千分之一。

按照目前载人航天的避碰规程,当撞击概率大于十万分之一时,撞击风险为中等,如果不影响任务的正常开展,航天器需要进行轨道机动以规避太空垃圾。而当撞击概率大于万分之一时,航天器在任何情况下都必须采取轨道机动。千分之一的撞击概率已经属于高风险威胁。

然而,由于发现风险的时间太晚,国际空间站已经来不及对碎片进行规避。国际空间站的舱体在设计时已经考虑了太空垃圾的防护问题,在舱体外部安装了惠普尔保护罩。这种保护罩由一层或多层薄的金属片构成。当空间碎片击中保护罩时,保护罩能够吸收一部分撞击的能量,并让碎片解体,从而降低碎片对舱体外壁的冲击。然而经过估算后,技术人员发现国际空间站的防护能力不足以抵御36912的撞击。他们只能让空间站上的宇航员进入对接在空间站上的“联盟”号飞船中避险,并关闭部分舱室的舱门。如果空间站彻底崩溃,“联盟”号则可以充当救生艇,带宇航员们离开空间站。

好在这一事件最终有惊无险。这块碎片最终以约每小时5万公里的相对速度掠过国际空间站,距空间站仅有几公里。虽然这次国际空间站幸免于难,但在太空垃圾数量持续增长的情况下,空间碎片撞击的威胁将会长期存在,而且会越来越高。(据《北京日报》)