



曾经,太空碎片碰撞还是科幻电影中的桥段。现在,这种危险真实存在了——2021年7月和10月,美国太空探索技术公司发射的星链卫星先后两次接近中国空间站,导致中国空间站采取紧急避碰措施。而这,并不是个案。太空如此广袤,为何也会出现这种情况?卫星不能随便“飞”吗?太空“交通规则”该如何建立?

太空碰撞,危险如何规避?

□刘卫

碰撞的根源

空间物体近距离交会无法避免

人类在从地心说到银河系的认识过程中,发现天体普遍具有自转的特征,牛顿无法解释其产生的原因,于是说可能是“上帝之手推了它一把”。根据高中物理所学的“万有引力”定律,地球轨道上的空间物体,在地心引力作用下在各自的圆或椭圆轨道上运行。在没有外部干扰力时,在轨空间物体的轨道是不会发生变化的,更不会发生碰撞。

如今我们已经明白,地球并非正球形天体,赤道半径比极地半径约长21公里,且赤道面也存在轻微隆起。可以将地球形象地比作被压扁的篮球,并在赤道对称位置粘贴上两块“泥巴”。这两块“泥巴”正是同步轨道卫星会产生东西方向漂移的奥秘之一,同步轨道卫星需要定期耗费一定燃料“抵御”干扰,进行轨道位置保持。由于携带燃料有限,所以存在轨道寿命的制约。

但是,没有“但是”——在地球非球形、海洋潮汐、大气阻尼、日月等天体的作用下,绕地球运行的空间物体轨道始终处于缓慢变化之中。根据干扰力的性质不同,轨道变化分为周期性变化和长期变化。轨道缓慢变化,高度相近的空间物体存在近似周期性的接近,称之为“近距离交会事件”。

事物总具有两面性,既对立又统一。正如地球扁率扰动加以利用,可设计出太阳同步轨道,便于遥感等卫星获取相同光照条件下的图像。与此同时,干扰力的存在给精确预报轨道带来困难和挑战。尤其是在太阳活动的扰动下,难以准确预计低地球轨道上的大气密度环境,导致空间碎片预警工作中的虚警和漏警问题。所谓“虚警”,即高估了两空间物体的交会风险,引发不必要的避碰工作,既浪费航天器宝贵的燃料,又影响正常的卫星观测任务等工作开展。“漏警”指低估了空间物体的交会风险,使航天器或航天员处于极度危险之中。

空间碎片现状

太空拥挤碰撞后果不堪设想

机构间空间碎片协调委员会(IADC)关于空间碎片的定义是:人类航天活动产生的、在轨无效的空间物体。自1957年10月4日人类将第一颗人造卫星Sputnik-1送入太空,时至今日,已记录的航天发射为5775次,共计将12803颗航天器送入太空。

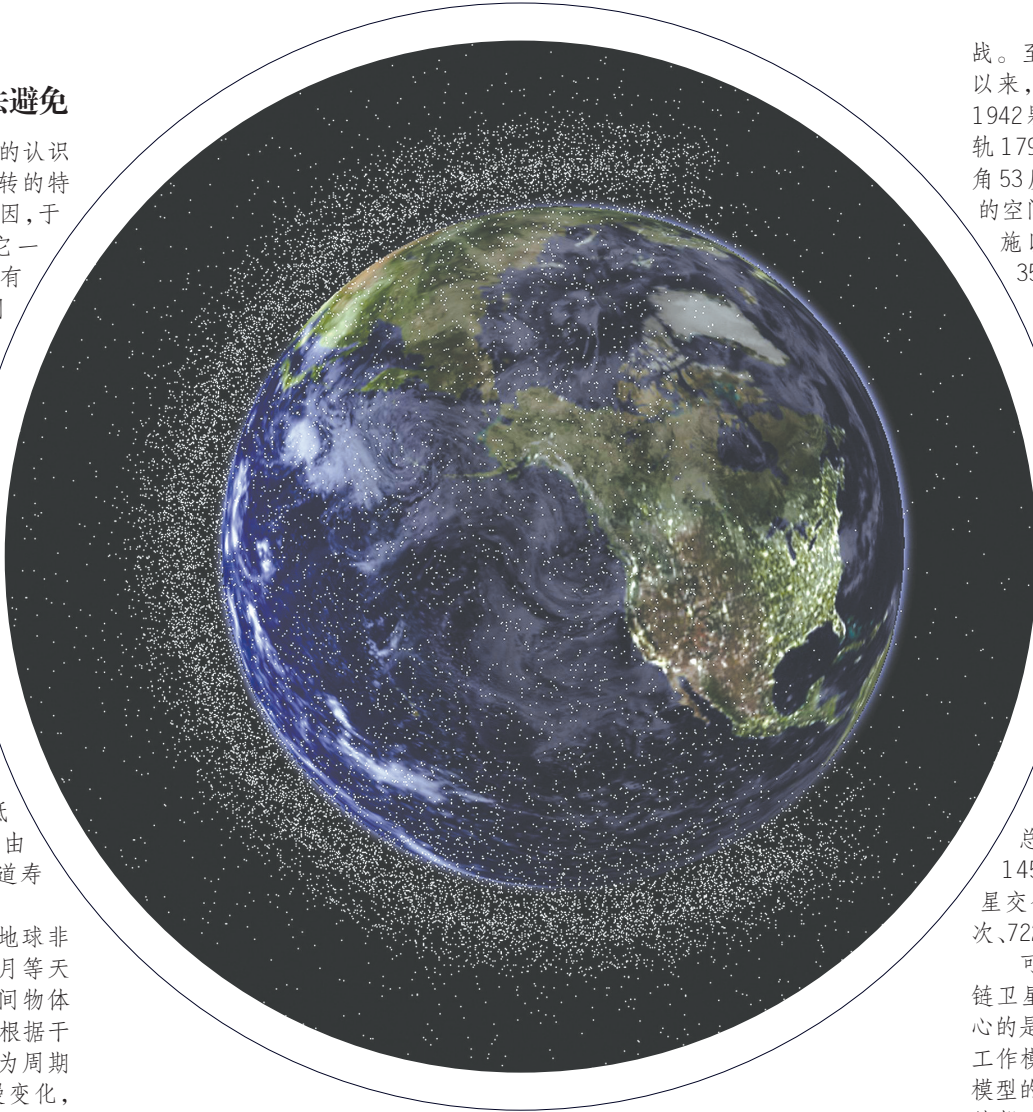
据美国空间监视网公布数据,截至2021年12月,编目的空间物体为50454颗,目前仍然在轨的数量为24687颗。在这5万颗空间物体中,近4万颗源自碰撞、爆炸等在轨解体事件。1977年美国航空航天局约翰逊航天中心科学家凯瑟勒等人预计,人类

活动产生的空间碎片很快会对低地球轨道卫星产生巨大的威胁。深入研究后,凯瑟勒在1990年发表了《碰撞级联效应:低地球轨道碎片数量极限》一文,讲述空间碎片的快速增长,终将产生碎片间的级联碰撞,广袤的空间将一去不复返……

不断增长的空间碎片,使得地球轨道资源拥挤不堪,对在轨航天器的安全运行产生威胁。尺寸在厘米级及以上的空间碎片撞击,可导致航天器穿孔甚至解体,直至彻底损坏。厘米级及以下的空间碎片撞击,可导致航天器部分功能受损或失效,关键部件的受损也可能引起整星失效。

1992年美国航天飞机亚特兰特斯号在505公里高度运行了11个月,返回后发现太阳能帆板存在2000余个碰撞点,碎片在舷窗上留下撞击孔,部分已穿透铝制隔板。但幸运的是,并没有造成航天飞机的灾难性事件。另一些卫星就没那么幸运了——1996年法国Cerise卫星的重力梯度杆,被Ariane卫星爆炸产生的碎片撞击损坏,卫星姿态失控,最终报废;2009年2月10日,美国铱星33和俄罗斯宇宙2251两卫星发生在轨碰撞事件,卫星解体产生10厘米以上空间碎片数量超过2000颗。

那么,这么多的碎片如何监测?众多的空间物体在围绕地球的轨道上运行,为掌握它们包括轨道信息在内的运行状态,需要借助地面测站、星载雷达和望远镜等设备对空间物体进行



环绕地球的太空碎片。图据视觉中国

跟踪观测,称之为编目工作。

空间物体的编目工作,可比作公安机关的户口管理,每个空间物体从“出生”起都会被赋予唯一的身份识别号码。履行空间物体管理职责的是各航天大国的空间监视部门,比如美国的空间监视网、俄罗斯的空间监视系统等。限于监测设备的探测能力,现阶段编目工作通常仅对尺寸大于等于10厘米的空间物体进行稳定跟踪,周期性更新其轨道数据。随着空间物体数量的快速增长,解体事件和巨型星座等产生的大量相似轨道空间物体,给编目工作带来了巨大挑战,需要同步提升跟踪探测和数据处理能力,以应对挑战。

有人提出要清除空间碎片,但从保护空间资产和空间轨道资源的角度,相比动辄数亿的碎片清除费用,碰撞规避是经济有效、立竿见影的手段。航天器日常碰撞预警工作是预警规避的基础,当识别到重要空间资产的碰撞风险超过规避阈值时,通常采取轨道机动规避碰撞。

未来面临挑战

太空中也需要遵守“交通规则”

空间的发展需要有序规划、遵守秩序。动辄数万颗的巨型星座规划是否必要?太空中的跑马圈地是否应当被限制呢?

以规划4.2万颗卫星的星链卫星星座和4.8万颗的一网星座为例,下面,我们来概述其带来的风险与挑

战。至2021年12月底星链开始实施以来,已先后发射了35批次,共计将1942颗卫星送入地球轨道,目前仍在轨1794颗。星链卫星主要分布在倾角53度,运行高度覆盖200~550公里的空间区域内。一网卫星星座开始实施以来,已发射11批次,共计将358颗一网卫星送入地球轨道,目前仍在轨358颗。这些卫星主要分布在倾角88度,高度600/900/1200公里的空间区域内。为提高运载效率,节省成本,钢铁侠埃隆·马斯克的星链卫星通常采用一箭60星的方式,批量送至约300公里高度的轨道,大约需要两个多月的时间,爬升到550公里的运行高度。

轨道爬升期间,要穿越空间站运行的近圆形轨道区域,下面,我们随机选取2021年一个月内,与天和空间站的近距离接近事件进行统计。结果显示,交会距离在10、30、50、70和100公里以内的总交会次数分别为28次、468次、1452次、2680次、6034次,与星链卫星交会次数分别为4次、134次、428次、722次、1232次。

可以看出,近距离交会事件中,星链卫星占比最高接近31%。更令人担心的是,星链卫星爬升过程处于电推进工作模式。在不掌握机动策略和机动模型的情况下,具有小推力或变推力持续机动目标的轨道预报误差难以估计。预报误差可达数十公里级或百公里量级,由预测时长来确定,并且此误差概率密度分布不符合统计学规律,难以精确评估碰撞概率。要保护重要空间资产“万无一失”,只能放大误差球半径,识别潜在的碰撞风险。但是,放大误差球同样具有负面效应,那就是虚警次数增加,造成推进剂损耗。同时,避碰机动过程会破坏空间站实验舱的零重力环境,影响科学实验的开展。

地球上行进需要交通规则,太空中也是如此,科学技术研究、特别是在太空等公共区域的探索也应该在一定的规则框架内进行。古语讲“无规矩不成方圆”,太空交通也有相应的“规矩”。联合国已经制定了外层空间行为的国际法,例如1967年10月10日生效的《关于各国探索和利用外层空间包括月球与其他天体活动所应遵守原则的条约》,简称《外空条约》;1976年9月15日生效的《关于登记射入外层空间物体的公约》,简称《登记公约》等。条约中规定:本条约各缔约国如发现在包括月球与其他天体在内的外层空间有对航天员的生命或健康可能构成危险的任何现象,应立即通知本条约其他缔约国或联合国秘书长。很显然,美国太空探索技术公司并没有遵守这一法规。

各个国家需要在国际法框架下进行科学研究和空间活动,否则将会害人害己。探索太空、利用太空是人类共同的事业,需要我们携起手来,共同前行。

据《光明日报》