



News & Highlights

清除太空垃圾

Chris Palmer

Senior Technology Writer

2019年3月，“清除碎片”（RemoveDEBRIS）卫星任务圆满完成，该任务展示了一系列有朝一日可能有助于解决太空垃圾问题的技术。这种在近地轨道上迅速增长的碎片收集正慢慢走向一场危机，这场危机有可能使距离地球表面2000 km以内的太空区域变得难以使用。

美国国防部估计，在近地轨道上有大约500 000块碎片或空间垃圾，其中，大约23 000个物体比该机构用地面仪器追踪的葡萄柚还大[1]。随着火箭发射的继续和卫星进入轨道的数量的增加，这些物体可能会相撞——从而产生更多的碎片，形成一种危险的级联效应，被称为凯斯勒综合征[2]——正在使现有的、新的和替代的卫星部署处于危险之中。

世界上主要的航天机构都认为轨道碎片是一个严重的问题。机构间空间碎片协调委员会的研究表明，减少新碎片的产生对于轨道飞行任务的未来至关重要，清除现有的碎片也是如此[3]。美国国家航空航天局（NASA）的另一项研究得出的结论是，为了稳定太空碎片的生长，每年必须清除5 ~ 10个最大的碎片物体——从冰箱到城市公交车大小不等的报废卫星[4]。

然而，由于技术和经济方面的挑战，只有少数碎片从轨道上被移走。Brian Weeden说：“实际上有一些想法对如何上去清除空间碎片是有意义的。”但到目前为止他对资助太空任务的兴趣不大。Brian Weeden是世界安全基金会的项目规划主任，该基金会是一家位于科罗拉多州布鲁姆菲尔德的组织，致力于促进外层空间的和平和可持续利用。

作为欧盟委员会自2012年以来资助的一个名为“清

洁空间”（Clean Space）的更大项目的一部分，欧洲航天局（ESA）投入了最大的精力来开发和测试主动清除碎片的技术。Weeden说：“欧洲在这类环境问题上更有前瞻性。”

RemoveDEBRIS由欧盟委员会赞助，是迄今为止最受关注的活跃碎片清除项目。ESA正在评估的其他主动清除技术包括：一颗带有机械臂的卫星，该卫星的机械臂可以抓住碎片并将其拖到较低的轨道上，碎片会在大气中燃烧；一种安装在卫星上的锥形网，可以打开并夹住废弃的卫星[5,6]。其他航天机构正在探索使用地面激光烧蚀废弃的卫星和其他碎片的前缘，使这些物体减速并重新进入大气层[7]。

RemoveDEBRIS航天器由航空航天公司和研究机构组成的国际财团设计和建造，包括空中客车公司（Airbus）、萨里卫星技术有限公司、瑞士电子与微技术中心（CSEM）、法国国家信息与自动化研究所（INRIA）、荷兰小卫星公司（ISIS）、斯泰伦博斯大学（南非），以及萨里大学（英国）的萨里航天中心共同领导该项目。2018年4月，重100 kg的RemoveDEBRIS实验平台（图1）搭载SpaceX猎鹰9号火箭前往国际空间站（ISS），以测试四种明显具有航空探测能力的碎片清除技术：网、导航系统、鱼叉和拖帆[8]。

2018年6月，ISS上的Canadarm2机械臂将RemoveDEBRIS任务定位到轨道上。三个月后，RemoveDEBRIS发射了一颗鞋盒大小的卫星。这颗立方体卫星向外漂移了7 m，并将一组帆充气，使其整体尺寸增加到1 m宽。然后发射出一个直径为5 m的网，将立方体卫星



图1. RemoveDEBRIS卫星是国际空间站上部署的最大的卫星，由NASA宇航员Ricky Arnold送入气闸中。该卫星成功地完成了四个任务中的三个，以测试从轨道上清除碎片的技术。图片来源：NASA/NanoRacks。

包裹起来[9]。在接下来的几个月里，网慢慢地增加了立方体卫星的阻力，将它扔进地球大气层，并于2019年3月烧毁。

RemoveDEBRIS随后于2018年12月发射了另一颗立方体卫星，利用机载的视觉导航系统，包括一组二维摄像头和三维激光雷达技术，在太空中密切跟踪旋转的物体[10]。这项试验表明，导航系统可以在未来的任务中用于跟踪空间碎片，以将其作为目标进行清除。

在其任务的第三阶段，即2019年2月，RemoveDEBRIS发射了一个乒乓球拍大小的铝靶，由卫星部署的碳纤维吊杆支撑。然后，卫星以 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度向目标发射了一支钢笔大小的钛鱼叉，并将其卷起（图2）[10]。

一个月后，RemoveDEBRIS太空船部署了薄纸般的聚酯板拖帆[10]。假设 10 m^2 的帆在卫星400 km的高度捕获剩余空气分子，最终使卫星减速并加速降落到地球大气中。由于设计上的限制，在飞船的一侧展开了帆，而飞船的车载摄像头看不到它。地面观测表明，航天器的轨道没有明显改变，其太阳能电池板仍能接收到充足的阳光，这表明该帆可能没有完全展开。因此，目前为止，最后一次实验的结果还不确定。

不管怎样，萨里空间中心主任Guglielmo Aglietti说，这次任务在多个方面都取得了成功。“在技术方面，我们已经证明这些方法可以在太空中工作，”他说，“太空中任何物体的行为都与地面上的有所不同，所以对我们来说，了解某些物体在轨道上的实际行为是一项重要的学习活动，将有助于设计下一个任务。”

该任务的另一项成就是提高了公众对空间碎片问题的认识。“这很重要，”Aglietti说，“因为如果清洁空间的最终任务最终要由政府或国家航天机构资助，拥有良好的公众舆论显然会有所帮助。”

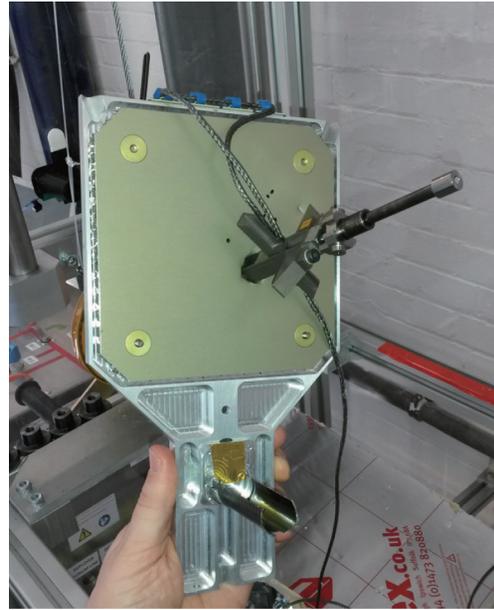


图2. RemoveDEBRIS卫星的“太空鱼叉”设计用于碾碎和卷绕轨道上的太空垃圾。在地面测试中，鱼叉的设计是在类似于轨道测试任务中使用的铝制乒乓球拍板上进行测试的。图片来源：Airbus/The RemoveDEBRIS Consortium。

尽管大多数的RemoveDEBRIS演示都有效，但它们还是有一定的局限性。“还有很长的路要走，”Weeden说，“我希望其他政府——中国、日本、俄罗斯和美国的政府将资助他们自己的示范技术，以进一步开展此类研究。”

太空碎片问题仍有可能得到解决——或许在一定程度上从商业上解决。Aglietti说，RemoveDEBRIS的一些工业合作伙伴正在考虑利用这一点开展业务。

Airbus的任务系统工程师Alexander Hall在一封电子邮件中说：“空客正在研究与主动清除碎片有关的方案，包括已在RemoveDEBRIS项目中证明的技术之外的其他技术。”“目前我们正在决定，积极清除碎片是否是个可行的商业模式，特别是考虑到越来越多的巨型星座投入使用。”

与此同时，随着阻力帆实验的结果悬而未决，具有讽刺意味的是，至少在目前，RemoveDEBRIS已经成为另一块太空垃圾。

References

- [1] Garcia M, ed. Space debris and human spacecraft [Internet]. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration; 2013 Sep 27 [updated 2017 Aug 7; cited 2019 May 13]. Available from: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html.
- [2] Kessler DJ, Johnson NL, Liou JC, Matney M. The Kessler syndrome: implications to future space operations. *Adv Astronaut Sci* 2010;137(8):2010.
- [3] Inter-Agency Space Debris Coordination Committee. IADC space debris

- mitigation guidelines. Vienna: United Nations Office for Outer Space Affairs; 2007.
- [4] Liou JC. NASA's long-term debris environment and active debris removal modeling activities [presentation]. In: International Conference on Orbital Debris Removal; 2009 Dec 8–10; Chantilly, VA, USA; 2009.
- [5] From active debris removal to in-orbit servicing: the new trajectory of e.Deorbit, part two [Internet]. Paris: European Space Agency; 2018 Dec 18 [cited 2019 May 29]. Available from: <http://blogs.esa.int/cleanspace/2018/12/18/from-active-debris-removal-to-in-orbit-servicing-the-new-trajectory-of-e-deorbit-part-two/>.
- [6] Perrin S. How a startup plans to clean up space [Internet]. Lausanne: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne; 2019 Apr 5 [cited 2019 May 29]. Available from: <https://actu.epfl.ch/news/how-a-startup-plans-to-clean-upspace/>.
- [7] Phipps C, Baker KL, Libby SB, Liedahl DA, Olivier SS, Pleasance LD, et al. Removing orbital debris with pulsed lasers. *AIP Conf Proc* 2012;1464: 468–80.
- [8] Forshaw J, Aglietti GS, Navarathinam N, Kadhemi H, Salmon T, Pisseloup A, et al. RemoveDEBRIS: an in-orbit active debris removal demonstration mission. *Acta Astronaut* 2016;127:448–63.
- [9] Amos J. RemoveDEBRIS: UK satellite nets “space junk” [Internet]. London: BBC; 2018 Sep 19 [cited 2019 May 13]. Available from: <https://www.bbc.com/news/science-environment-45565815>.
- [10] Amos J. Space harpoon skewers “orbital debris” [Internet]. London: BBC; 2019 Feb 15 [cited 2019 May 13]. Available from: <https://www.bbc.com/news/science-environment-47252304>.