



太空垃圾治理：人类呼唤“绿色穹顶”

■ 宋可旸 王睿婷 杨润鑫

“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月同步轨道。

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。



低地球轨道太空垃圾分布示意图。

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。

更令人不安的是，这些碎片并非静止不动。在距离地面2000公里以下的近地轨道，它们正以第一宇宙速度飞驰——在这样的相对速度下，直径10厘米的碎片的冲击力就相当于7公斤TNT炸药爆炸产生的威力。

失效卫星之间的碰撞，会让这种情况雪上加霜。2009年2月11日，美国“铱星33”通信卫星与已经报废多年的俄罗斯“宇宙2251”卫星在西伯利亚上空发生碰撞，酿成了人类历史上首次卫星与卫星相撞的重大事故。这次碰撞产生了2300多块可追踪碎片和数万块

“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声。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，那些漂浮在

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。此次事件不仅致使多人死亡，还迫使当地居民接受全面的辐射筛查，清理行动更是持续了8个月之久。

航天器的制造和发射，也因太空垃圾的存在而“负重前行”。把珍贵的航天器送到地球轨道上，科学家们时刻牵挂着它们的安危。最容易想到的办法，就是为航天器穿上屏蔽防护。然而，这种“武装到牙齿”的策略虽能显著提高航天器的抗碰撞能力，却会大幅增加其制造成本和发射成本，从而进一步增加发射航天器的经济负担。

随着太空垃圾的数量呈指数级增

“拂尘清理”刻不容缓

随着太空垃圾的数量呈指数级增

新成果速递



可穿戴智能眼镜。 资料图片



可穿戴智能戒指。 资料图片

可穿戴智能眼镜

——帮助视障人士正常行走

■ 刘奕君 谭惠国

前不久，《自然—机器智能》杂志介绍了一款由上海交通大学联合复旦大学、香港科技大学、华东师范大学等科研团队最新研发的可穿戴智能辅助系统，其外观如同一副眼镜，能够帮助视障人士正常行走。

该设备的“镜框”前方安装有两个摄像头，用户在行走时可通过摄像头拍照实时采集周围环境数据，待数据导入系统后经过AI算法精准预估目标方位并规划无障碍路线。骨传导耳机通过空间音频技术，为用户提供方位导航提示。贴在手腕处的人工皮肤则能帮助用户有效探测侧方障碍物，并通过差异化振动模式扩展用户周边环

境感知能力。此外，该设备还提供了可以摩擦供电的智能鞋垫和VR训练平台，让使用者在正式出行前可以在虚拟系统中进行模拟训练，从而降低摔倒、碰撞等风险。

据了解，人形机器人以及部分视力障碍者，在虚拟和真实环境中分别测试了该设备。测试结果显示，测试者接受导航后的行走能力显著提升，甚至能在穿越迷宫时避开障碍物。

该团队希望通过软件和硬件的完全自主开发，实现该设备的定制化，不仅为视障人士提供便利，还能给予他们更多人文关怀，帮助他们尽可能像正常人一样生活。

近期，俄罗斯JSC Vimpel编目系统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。这场太空中静谧“烟花”，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。

事实上，这些金属碎片仅是漂浮在地球轨道上无数“定时炸弹”中的冰山一角，它们有一个共同的名字——太空垃圾。近些年，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，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？请看本期解读。

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。

如今，太空就像大航海时代的海洋一样充满机遇，但正如欧空局碎片监测中心主任霍尔格·克拉格的警告：“我们正用垃圾铸造镣铐，而钥匙早已被抛向深空。”破解困局需全球协同，更需将地球生态治理的智慧延伸至太空。毕竟，太空不仅是世界航天大国竞逐的领域，更是人类赖以生存的第四环境。唯有以敬畏之心编织起技术、法律与合作的立体防护网，方能让人类的“绿色穹顶”变为现实。



论见

随着ChatGPT、Gemini等大模型相继问世，科技视野下，各科技巨头在大模型赛道竞相角逐，其产品渗透在工作生活的各个领域。窥探大模型这个神秘的万花筒，其快速的回答能力、强大的多模态能力和推理与生成能力，正在以超乎想象的速度改变着世界。大模型每一次发布升级、每一次检索表达，无不体现着强大魅力，展现着大模型技术势如破竹的发展。

透过“万花筒”，大模型在带来创新变革、广泛应用的同时，“陷阱与幻觉”也如潮水般涌来，在迷人双眼的同时引人深思、让人警惕。

■ 赵辉

大模型的“陷阱与幻觉”

首先，大模型野蛮生长会带来资源浪费。大模型的训练和推理过程需要大量资源支持，但也会跌入资源“陷阱”。例如Grok-3的训练需要使用20万块GPU，整个集群功能的总功耗高达250兆瓦，碳排放量更是相当于4万多辆燃油车一年的排放量，而这仅仅是大模型本身训练过程的“冰山一角”。数据中心的能耗需求、硬件资源的更换老化和运行过程中的冷却消耗等问题，也需要资源的支持。在大模型快速发展之下，既有行业内卷、跟风模仿、重复开发带来的资源占用，也有抢占场景、无序运用、质量堪忧导致的成本消耗。

其次，过度依赖大模型会导致人的懈怠钝化。大模型会引发“技术依赖症”，即人类过度依赖技术导致“能力退化”，在获得“解放”的同时又受到“抑制”，久而久之，容易使人的思想和行为逐渐迟钝和弱化，一旦脱离大模型辅助，人的认知技能和情感就会掉入“陷阱”。比如，学生过度依赖AI解题会失去主动思考的能力；司机过度依赖自动驾驶会导致驾驶技能退化；职场人士不假思索地将撰写文案、分析数据的任务交给大模型，一键生成的轻松与满足会导

致他们失去创新能力。再次，大模型可能会引人误入歧途。大模型常常会生成看似形式合理、却存在着错误的信息和内容，这种现象叫大模型幻觉。这源于模型架构限制、基于概率的生成方式以及训练数据质量规模等核心技术方面的挑战。AI本质上是通过概率最大化来生成内容，而不是通过逻辑推理来生成内容。在遇到模糊输入以及信息缺失的情况下，大模型会根据“经验数据”自行逻辑推理、填补空白，形成的偏差就会如滚雪球般越滚越大，加之数据中心存在大量的冗余数据，一定程度上又加重了“幻觉”程度，进而出现大模型答非所问甚至胡说八道的现象。

最后，需要警惕大模型技术滥用带来的安全冲击。大模型因其强大的学习能力、生成能力被广泛用于各领域，所带来的安全冲击不可避免。基于大模型的深度伪造技术导致虚假信息传播，扰乱社会认知，危害国家安全和社会稳定；网络黑客利用大模型开发恶意软件实施快速隐蔽的网络攻击，甚至可能瘫痪关键基础设施；带有偏见、歧视和恶意诱导的信息生成，极易引起价值观冲突、情感操纵进而影响行为决策。

当前，需在激发大模型潜力、善用优势的同时多措并举消解其负面影响。相关部门出台措施规范大模型运行机制、适用范围、运用边界，为用户提供监测工具和服务；大模型企业着力技术研发、加强模型训练、减少资源浪费，建立安全可信、可控的数据库；大模型使用者提高思维敏锐性和辨别力，形成人机协作合理运用关系，在充分利用大模型的同时，谨防陷入盲目依赖的困境和险境。

可穿戴智能戒指

——帮助听障人士无障碍沟通

■ 刘奕君 李飞

近期，康奈尔大学联合卡内基梅隆大学和纽约州立大学石溪分校的科研人员，共同研发了一款可穿戴智能辅助系统，其外观如同一副眼镜，能够帮助视障人士正常行走。

据了解，人形机器人以及部分视力障碍者，在虚拟和真实环境中分别测试了该设备。测试结果显示，测试者接受导航后的行走能力显著提升，甚至能在穿越迷宫时避开障碍物。

该团队希望通过软件和硬件的完全自主开发，实现该设备的定制化，不仅为视障人士提供便利，还能给予他们更多人文关怀，帮助他们尽可能像正常人一样生活。

该设备的“镜框”前方安装有两个摄像头，用户在行走时可通过摄像头拍照实时采集周围环境数据，待数据导入系统后经过AI算法精准预估目标方位并规划无障碍路线。骨传导耳机通过空间音频技术，为用户提供方位导航提示。贴在手腕处的人工皮肤则能帮助用户有效探测侧方障碍物，并通过差异化振动模式扩展用户周边环