



N 科技日报 新华社

科学家早已发现,地球轨道上的微重力环境能够孕育出比地面更优质的产品,这一发现催生了太空制造这一前沿概念。随着火箭发射成本持续下降,加上制造技术日新月异的发展,太空制造业的星星之火即将呈现燎原之势。

美国《连线》杂志描绘了这样一幅图景:太空制造正成为探索宇宙与工业生产相结合的变革性领域,或将彻底改写人类在太空中的生产方式与资源利用模式。

据预测,到2035年,太空制造业将达千亿美元产值。在这个独特的太空工厂里,人类有望制造出纯度更高的光纤、更完美的半导体晶体,以及更有效的抗癌药物。

太空制造 未来已来

新材料和生物医学的天然工厂

《新百科全书》将太空制造定义为:在地球以外的特殊环境(如微重力或强真空条件)下生产零部件或材料的过程。

美国内华达大学里诺分校机械工程系的普拉迪普·梅内塞斯等人在《制造和材料处理》杂志上撰文指出,太空制造可降低发射成本。在太空直接制造零部件,可大幅减少从地球运送完整结构的负担,从而减轻火箭的有效载荷,节省了高昂的发射费用。另外,太空制造可按需制造、减少依赖。宇航员可在太空现场制造工具、更换零件,而不必完全依赖预先携带的备件。这不仅缩短了设备维修的等待时间,还提升了任务的灵活性。而且,通过回收材料、利用月球土壤(风化层)、火星尘埃甚至太空碎片,人类可以就地取材,减少对地球补给的依赖,推动可持续的太空探索。

太空的微重力环境也为生产地球上难以实现的高纯度材料提供了理想条件。2024年《自然·材料》杂志报道,国际空间站生产的ZBLAN光纤性能远超传统二氧化硅光纤,有望用于高速通信和军事探测。美国加州理工学院团队发现,太空制造的半导体晶体缺陷率降低了85%以上,为下一代芯片技术开辟新可能。今年1月,中国科学家宣布在天宫空间站上制造出一款突破性金属合金,性能优于地球同类产品。

英国Space Forge公司首席执行官约书亚·威斯特恩指出,太空制造的晶体不仅适用于半导体,还可能催生更高效的药物。

据美国太空网报道,瓦尔达航空工业公司的W-1太空制造舱已于今年2月返回地球,其携带有独特的有效载荷——利托那韦的晶体。这种蛋白酶抑制剂不仅能延缓艾滋病病毒扩散,更是新冠治疗的重要药物。该公司表示,此类产品的市场潜力和健康益处“不可估量”。

太空还是3D打印人体器官的最佳地点:在微重力条件下培养的细胞不会形成二维层,且能在没有支架的情况下保持理想形状。2019年,国际空间站部署了全球首台太空生物3D打印机,可制造复杂的人体组织。

自主和机器人制造系统潜力巨大

自主化与机器人制造这些尖端系统,能够直接在外太空制造各类零部件并完成整体装配,实现从航天器构件、专用工具到太阳能设备等基础物资的太空本地化生产。以往受限于运载尺寸而无法整体运输的超大型构件,如今可以在太空直接制造,为月球基地建设、火星驻留任务以及深空探索提供了关键支撑。

现代自主制造系统展现出令人惊叹的智能化水平:从材料优选、结构设计到成品制造与质量检测,整个生产流程无需人工干预。智能质量监控系统通过图像识别与机械臂协同,能实时捕捉3D打印过程中的压痕变形、层间错位等缺陷,并立即进行太空原位修复。这种“自诊断—自修复”能力不仅大幅降低材料损耗,更避免了将故障部件运回地球的高昂代价。

美国国家航空航天局研发的自主可重构太空装配系统堪称太空机器人制造典范。这些看似小巧的机器人如同太空“乐高大师”,能协作组装出天线阵列、居住舱乃至完整的太空港设施。这种创新方式完美解决了大型太空结构的地面运输难题。

随着技术演进,这些智能制造系统必将成为人类开拓太空的得力伙伴,重塑在地球之外创新求存的发展范式。

可回收火箭降低太空运输成本

太空制造仍面临不少亟待解决的难题。

首先要解决的是如何经济高效地将设备送入太空,并将成品运回地球。令人欣喜的是,SpaceX的猎鹰9号火箭已大幅降低了太空运输成本,而Space Forge与瓦尔达航空工业公司正在研发可返回地球的无人太空舱,为太空制造铺就道路,后者业已执行两次任务,展示了其太空舱的运输能力。近年来,我国多家商业航天企业也在探索运载火箭的回收和重复使用并取得进展,验证火箭垂直起降飞行试验陆续成功。

微重力环境也似双刃剑。它既赋予材料新特性,也带来诸多挑战,如熔融金属难以均匀凝固、流体会自发形成球状、传统焊接与3D打印工艺面临重构。更棘手的是太空废料管理,比如漂浮的金属碎屑可能危及设备与宇航员安全。此外,太空真空环境既延缓金属氧化,又会导致某些塑料脆化解体。

宇宙辐射则是另一道难关。失去地球磁场的庇护,持续的高能粒子轰击会加速材料老化,导致金属变脆、聚合物降解、电子元件失灵。若要构建永久性太空基地,工具、产品甚至栖息地的设计必须能够耐受长时间辐射,从而保障太空作业的安全性和功能性,并确保生命维持系统数十年如一日稳定运行。

尽管前路漫漫,但每项技术突破都在助力人类叩开太空工业化的大门。

我国在太空成功验证第三代半导体材料制造的功率器件

航天电源有望升级换代

以碳化硅(SiC)为代表的第三代半导体材料是我国制造业转型升级的驱动因素和重要保证。记者从中国科学院微电子研究所获悉,我国在太空成功验证了首款国产碳化硅(SiC)功率器件,第三代半导体材料有望牵引我国航天电源升级换代。

据中国科学院微电子研究所刘新宇研究员介绍,功率器件是实现电能变换和控制的核心,被誉为“电力电子系统的核心”,是最为基础、应用最为广泛的器件之一。

随着硅基功率器件的性能逼近极限,以碳化硅(SiC)为代表的第三代半导体材料,以其独特优势可满足空间电源系统高能、小型化、轻量化需求,对新一代航天技术发展具有重要战略意义。

2024年11月15日,中国科学院微电子研究所刘新宇、汤益丹团队和中国科学院空间应用工程与技术中心刘彦民团队共同研制的碳化硅(SiC)载荷系统,搭乘天舟八号货运飞船飞向太空,开启了空间站轨道科学试验之旅。

“本次搭载主要任务是对国产自研、高压抗辐射的碳化硅(SiC)功率器件进行空间验证,并在航天电源中进行应用验证,同时进行综合辐射效应等科学研究,逐步提升我国航天数字电源功率,支撑未来单电源模块达到千瓦级。”刘新宇说。

通过一个多月的在轨加电试验,碳化硅(SiC)载荷测试数据正常,成功进行了高压400V碳化硅(SiC)功率器件在轨试验与应用验证,在电源系统中静态、动态参数均符合预期。

业内专家认为,我国在太空成功验证第三代半导体材料制造的功率器件,标志着在以“克”为计量的空间载荷需求下,碳化硅(SiC)功率器件有望牵引空间电源系统的升级换代,为未来我国在探月工程、载人登月、深空探测等领域提供新一代功率器件。

(新华社)