

★

热点追踪

请想象一下,如果将我们日常生活中的材料丢进太空,会发生什么?塑料会变得像玻璃一样脆;普通的润滑油会直接蒸发;金属会发生“冷焊”现象——两块干净的同种金属碰在一起,会像被胶水黏住一样,直接黏合成一体……

这不是科幻情节,而是会发生的真实情况。高真空、强辐射、强温差……性能再优越的材料一旦被送入太空,都要面临严酷的极端环境考验。据统计,70%以上的航天器故障,都直接或间接由空间环境导致。

不过,从科研人员的视角来看,太空中独特的物理条件,也为材料科学研究开辟出一个全新的研究维度:这里没有重力沉降和对流干扰,有助于

生长出原子、分子排列更加规整均匀的材料。聚焦这一重要领域,太空材料科学研究应运而生。

今年5月,随神舟二十二号飞船返回地面的中国空间站第十批科学实验样品中,包含了新型钛合金、高强度钢等太空材料。通过精密分析这些材料,科研人员可以研究微重力环境对材料生长的影响,从而优化太空材料性能。

7月,美国萤火虫航天公司获得美国国家航空航天局(NASA)喷气推进实验室订单,确认将碳纤维复合材料应用于未来火星登陆器的核心防护结构。

那么,太空材料具备哪些独特的性能呢?其发展进程如何?又将为人们的生活带来哪些改变?请看本期关注。

★

AI+军事

6月,美国公司 Reach Power 和 Gambit 宣布,他们联合开发的“可扩展无线空中充电矩阵”项目已经获得美国战争部的资助。该项目将无线电力传输与人工智能驱动的群体智能相结合,有望使无人机摆脱电池容量限制的困扰,实现无人机蜂群24小时全天候飞行。

5月,俄罗斯《俄罗斯报》也曾刊发一篇关于无人机蜂群战术的文章,标题为:无人机蜂群作为新型大规模杀伤性武器,是否有可能被克制?

近年来,无人机蜂群战术备受世界各国关注。

所谓无人机蜂群,不是指许多无人机“简单抱团”,而是指一套高度智能的“感知—决策—打击”一体化作战系统。它将大量低成本、小型化无人机协同编组,编组后的无人机如同自然界的蜂群,无需人工逐架遥控,只需通过预设算法和AI自主决策,即可自主完成编队、避障、侦察、打击等动作,是当前极具颠覆性的作战形态之一。

无人机蜂群的核心优势在于其“高效精准打击、自主智能协同、高性价比保障”等独特作战特质,这使其能全方位突破传统火力打击的局面。

太空材料又有新突破

■高化猛 陈信波 张翔宇

从零星实验到“太空工厂”

人类最早利用太空环境制备新材料,可以追溯到1969年。

那一年,苏联“联盟6号”飞船搭载了一台名为“火神”的空间炉。正是这台空间炉,完成了人类历史上首次太空焊接实验,拉开了太空材料科学的序幕。

此后,苏联依托“礼炮号”空间站开展系统研究,成功制备出铝镁、铜钢等多种合金,逐步揭开了微重力环境下材料生长的规律。

苏联的探索成果,迅速点燃了全球对太空材料的热情。

2001年,美国启动 MISSE 项目,把近4000种材料样品像“晒衣服”一样固定在空间站舱外,让这些材料直接经受原子氧与空间辐射的长期“烤”验,部分样品在轨暴露时间甚至长达数年,这为后续航天材料的制备与寿命评估积累了大量数据。欧空局与日本也紧随其后,分别搭建了太空材料研究设施。

我国在太空材料领域的研究实现了稳步跨越。1987年,利用返回式卫星搭载的太空材料加工炉,我国成功培育出高质量的砷化镓单晶。2016年,天宫二号在轨期间,航天员首次参与了空间材料科学实验,完成了多批次样品的管理和更换工作。搭载于天和核心舱的无容器材料实验柜,自2021年4月发射入轨后,持续开展研究,可将样品加热至3000℃以上。2025年,实验柜成功把钨合金加热到3100℃以上,创造了新的世界纪录。

从短期的零星实验到长期运行的“太空工厂”,目前,世界在太空材料领域的研究已迈入体系化、规模化的阶段。太空微重力环境消除了重力造成的对流和沉降干扰现象,科学家可在更纯净、更稳定的环境条件下研究物质演变规律,合成地面难以制备的高性能材料。

地面环境“炼”出的典型太空材料

理解太空材料,需从两个维度出发:一类是利用太空环境制备的新材料;另一类则纯粹来自地面,特指能够耐受太空极端环境的先进材料。



图①:碳纤维材料。
图②:我国无容器材料实验柜。
图③:发射至国际空间站的美国太空3D打印机。

从用途看,太空材料可分为结构材料与功能材料。前者如铝合金、钛合金,主要用于承担载荷;后者如防辐射涂层、半导体晶体,主要用于发挥特定功能。

厘清了太空材料的定义,我们不妨将视线拉回当下。如今,越来越多的太空材料正逐渐走进公众视野。

——耐受太空极端环境的超高强度碳纤维材料。

3月11日,我国正式对外公布自主研发的T1200级超高强度碳纤维材料。该材料直径不到头发丝十分之一,拉伸强度却能达到8000兆帕以上,相当于普通钢材的10倍,而密度仅为钢材的四分之一。一根手指粗的T1200级碳纤维,足以吊起一架最大起飞重量约80吨的大飞机。

凭借轻量化、高强度等核心特性,碳纤维复合材料已成为卫星与火箭关键部件的首选材料。

——抗辐射的新型金属陶瓷复合材料。

宇宙辐射是航天器遇到的主要威胁之一,它像看不见的“子弹”,既威胁航天

员健康,也损害航天器设备。据悉,今年1月,俄罗斯科研团队将六硼化镧粉末与铝镁合金混合,借助电脉冲等离子烧结技术,制成一种新型金属陶瓷复合材料。

研究表明,当该复合材料中六硼化镧的含量为50%时,热辐射强度可衰减一半。用该材料制作出的航天部件,可在承受机械载荷的同时具备良好的辐射防护能力。

缺什么就在天上造什么

如果说上文提到的碳纤维等材料的制备还是在地面环境中完成,那么太空3D打印技术则为制备太空材料开启了另一种可能——缺什么,就直接在天上造什么。

据欧空局官网介绍,2024年1月,首台专为微重力环境设计的金属3D打印机随货运飞船抵达国际空间站,被安装在哥伦布实验舱中。据悉,经过多次打

印实验后,首个在轨打印出的完整金属部件已于2025年2月返回地球,运抵欧空局技术中心接受测试分析。

此外,除了太空3D打印技术,太空环境还有助于改进半导体材料制作工艺,提高材料性能。

在地面上培育半导体晶体材料,重力带来的对流和沉降干扰会让材料原子排列混乱,给材料制造留下大量缺陷。相比之下,近地轨道的微重力环境恰好消除了这一干扰。

2025年,英国太空锻造公司在ForgeStar-1卫星上成功演示了其半导体制造工艺。该公司称,在太空环境中制造的半导体纯度可达地面半导体纯度的4000倍。

美国瞄准了性能更高的半导体——氮化铝。2026年初,美国一研究团队已开发出一套用于微重力环境下,生产氮化铝的反应原型机。据悉,该设备可在2800~3200℃的高温下工作,功耗仅为250~400瓦。目前,这项研究已进入第二阶段,研究团队正在开发可部署于国际空间站的飞行验证版反应器原型机,用以推动“太空制造氮化铝”从可行性验

证走向实际应用。

材料科学助力人类驶向更远的深空

航空界有“一代材料,一代飞机”的说法。同样,材料科学对于人类的航天之路也有着决定性影响。驶向更远的深空,太空材料的性能将向智能化、自修复等更广阔的维度发展。

——复合防护与自修复材料。未来的航天器材料将集辐射防护、电磁屏蔽等功能于一身。2025年8月,我国上海交通大学在国际上首次提出“超支化聚合物涂层一体化防护”技术路线,该技术颠覆了传统隔热片拼接技术,在航天器防护涂层领域实现了新的突破。

——AI驱动材料智能化研发。未来空间站或深空探测器上有望部署AI实验平台,借助AI算法,平台可以快速预测新型复合材料在强辐射环境下的使用寿命,推动材料研发模式从“经验试错”向“预测设计”转变。2022年,中国航空学会将“如何利用大数据和人工智能技术精确预测复合材料失效”列为前沿科学问题。今年2月,大连理工大学公布最新研究成果,他们利用机器学习,辅助预测碳纤维复合材料在高温下的使用寿命。

——太空生物制造。2025年底,沙特宇航员在国际空间站上成功制造出全球首个软骨修复纳米材料。今年初,美国某生物技术公司与Starlab商业空间站签署了预留舱位协议,计划在微重力环境下制造蛋白质人工视网膜,用于治疗色素性视网膜炎等眼部疾病。

从目前来看,太空材料也存在一些短板。

例如,部分太空材料的极端环境适配性仍有待提升,许多材料在极端温差、星体撞击下,会发生材料性能退化的现象;有些高性能材料回收困难,这容易带来环境污染问题;还有一些热防护材料,长期暴露于强辐射环境下,容易产生微小裂纹,导致材料性能衰减,使用寿命大大降低……解决上述问题,还需要科研人员走在先进制造技术等方面久久为功。

太空探索永无止境。从最初的零星实验到如今的“太空工厂”,从被动适应环境到主动制备材料,微重力、超真空的太空环境为材料研究提供了独一无二的“实验室”。期待太空材料未来能有更多突破!

本文供图:阳 明

现代火力打击规则的『改变者』

无人机蜂群战术——

其一,高效精准的打击能力。传统火力打击常存在精度不足、损耗较大的问题。无人机蜂群小巧灵活、机动迅速,可快速抵近复杂战场区域,构建密集火力网,对目标实施饱和式打击。同时,无人机蜂群能与全域侦察设备实时联动,精准捕捉目标信息,彻底解决传统火力“打得慢、打不准、效率低”的痛点。

其二,自主智能的协同能力。依托通信技术与智能算法,无人机蜂群内部各作战单元可实现信息互通、自主联动,无需人工干预即可完成包围、分割、打击等战术动作。同时,无人机、无人车等多类型无人装备可实现异构组网,覆盖全域作战空间,契合智能化战争的发展方向。

其三,高性价比的保障能力。传统大型装备造价高昂,一旦战损会大幅削弱其整体战斗力。而无人机蜂群的单个作战单元成本低廉,又可以批量生产快速部署,即便部分损毁也不会影响整体作战能力,容错率较高。同时,无人机蜂群可替代人员深入高危污染区、火力密集区、高风险封闭区执行任务,最大限度规避人员伤亡。

当然,无人机蜂群并非无懈可击。2025年红海护航行动中,美国海军也曾使用电子干扰、激光、微波和近防导弹的组合,取得了出色防御成果。智能化战争浪潮之下,无人机蜂群已经成为新质战斗力的核心代表,深刻改变着现代战场的攻防逻辑与作战规则。它是助力战斗力跃升的智能利器,而非保证绝对制胜的万能战士。想要持续释放其作战价值,需要科研人员不断深化基础理论研究、攻坚核心智能算法等,不断补齐短板、放大优势。

★

论 见

恩格斯曾深刻指出:“一旦技术上的进步可以用于军事目的并且已经用于军事目的,它们便立刻几乎强制地,而且往往是违反指挥官的意志而引起作战方式的变化甚至变革。”这一论断在工业化时代被反复验证,技术突破强制性地推动着作战方式的演进。

然而,当历史的车轮驶入智能化时代,战争的底层逻辑正在被重塑。人工智能、大数据、无人系统等技术的爆发,并未完全遵循“技术—装备—战法”的单向传导模式,反而催生了一种新的范式:战法创新正从装备发展的“追随者”转变为“方向盘”。技术与战法的辩证关系权重发生了历史性倾斜,战法创新牵引装备发展的特征愈发明显,正成为制胜未来智能化战场的关键变量。

曾经,物质技术条件决定了作战方式的边界。从线膛枪到坦克、飞机,每一次技术突破都强制性地引起战术变革,军事强国普遍遵循“装备预研—列装定型—战法创新”的线性路径。在这

一阶段,技术是绝对的主导变量,战法只能围绕现有装备进行适应性调整,长期处于被动适配状态。

随着第四次工业革命到来,这一固有模式逐步被颠覆,“软件定义硬件、算法主导功能、数据驱动效能”成为新趋势。例如,美军“复制器”计划并非先研发平台再寻找战法,而是立足无人蜂群作战构想,反向确立了装备的低成本、可量产及模块化等技术指标。这种以战法需求倒逼装备技术指标和采办规模的做法,意味着装备建设模式正发生转变。

同一时刻,对于无人装备而言,其内在结构也发生了重要变化:算法、软件和数据链主导核心作战环节,而硬件

则受能源、载荷等客观条件约束,演变为可灵活重组的基础载体。这种“软硬解耦”的结构特点,使得装备研发能够直接依据战法需求,反向制定硬件指标和配置标准。

战法由此获得了对联备的部分“反向定制”权。例如,以色列“长钉萤火虫”微型巡飞弹,其装备全重、尺寸等指标,不再由技术人员闭门造车完成,而是围绕“城市立体攻防”这一具体战法需求而确定;美军XQ-58A无人机,则严格按照“低成本、可消耗”的目标研制,以支撑集群消耗类战法的创新运用……这两款装备的研发实践表明:在智能化战争时代,不是“有什么武器打什么仗”,而是“打什么仗,就造什么武器”。

此外,一线战法创新也在加速这一供需链路的重构。智能化战争条件下,数字技术的普及打破了信息壁垒,推动信息权持续下沉至一线。单兵、班排可实时掌握态势、共享情报,这意味着战术创新不再局限于高层指挥机构。

俄乌冲突中,一线官兵的战法创新成果,能够快速转化为具体的装备改进需求,战场痛点直达生产端。这种扁平化的供需响应链路,让装备迭代速度从“年”级压缩至“天”级,改变了以往“后方研制什么,前线用什么”的被动局面,实现了战法创新对装备发展的实时、动态牵引。

从“技术强制”到“战法驱动”——

智能化战场:打什么仗,就造什么武器

■刘志鸿 钱 乐

不过,我们仍要意识到,战法创新牵引装备发展,并非弱化技术的作用,而是强调二者进入一种更深层次的互动——依托仿真推演和强化学习,智能算法能够探索出超越传统经验的作战样式,为人机协同作战开辟新路,最终形成“战法构想—仿真推演—指标优化—装备升级—战法再升级”的良性闭环,持续推动装备迭代。

技术是装备研发的客观前提,它划定了能力的下限;战法创新则为技术实战应用指明了方向,它定义了胜算的上限。未来智能化战场上,我们只有以对“明日之战”的设计,牵引“今日之装备”的研发,才能牢牢掌握制胜未来战争的主动权。