

# 增材制造产业发展 简报

2023 年 10 月 30 日

第 10 期

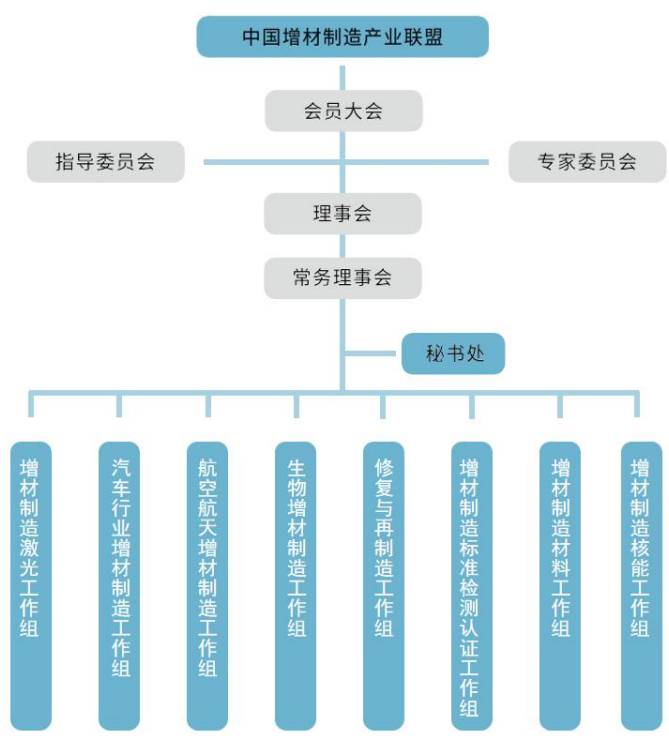
总第 050 期

---

## 【内容提要】

- 本期关注：超大尺寸、超多光束增材制造装备关键技术与典型应用场景分析
- 政策追踪：工业和信息化部组织开展增材制造典型应用场景征集工作
- 技术进展：纳米级精度直接增材制造无机材料
- 行业动态：空客与通快建立合作：增材制造批量生产直升机和飞机金属零部件
- 典型应用：NASA 增材制造铝制火箭发动机喷嘴助力实现深空探索
- 成员展示：苏州聚复科技股份有限公司

中国增材制造产业联盟成立于2016年10月19日，是在工业和信息化部指导下，由增材制造领域的企事业单位、高等院校、科研机构、产业园区等128家相关单位，按照自愿、平等、互利、合作的原则，共同发起组成的跨行业、开放性、非营利性的社会组织，秘书处设在工业和信息化部装备工业发展中心。联盟现有成员330余家，已设立工作组8个，是中国增材制造领域**层次最高、规模最大的**行业组织。中国增材制造产业联盟立足于为我国增材制造产业搭建合作与促进平台，着眼于将政府与产业界、顶层设计与企业实践紧密结合起来，致力于支撑行业管理、聚拢行业资源、营造创新环境、促进交流合作，助力中国增材制造产业发展壮大。



## ●本期关注

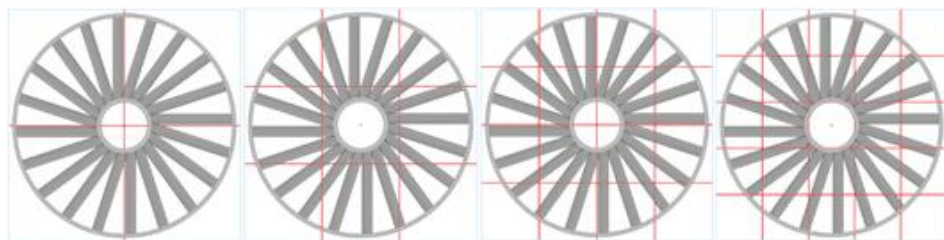
# 超大尺寸、超多光束增材制造装备关键技术与典型应用场景分析

在近期刚刚结束的 2023 亚洲 3D 打印、增材制造展览会（TCT Asia）期间，国内各大增材制造装备厂商纷纷推出了超大尺寸、超多光束的激光选区熔化装备，最大幅面超过 1500×1500mm，最大高度达到 2000mm，配备 10 光、16 光甚至 26、36 光束，更大尺寸、更多光束已成为激光选区熔化增材制造装备发展的主流方向。本文从装备发展、应用现状、典型场景等方面进行分析与预测。

### 一、多光束激光选区融化装备开发难度增加

#### 1. 多光拼接引起质量控制要求增加

光束数量的增加意味着拼接区数量的增加，以矩形布局进行测算，4 光拼接区域 4 处，9 光 12 处，16 光 24 处，25 光则达到了 40 处，是 4 光的 10 倍。而拼接质量与振镜长时间工作的温飘、机械结构稳定性等诸多因素相关，拼接区域越多，保证拼接质量的难度越大，产品出现质量问题的风险越高。



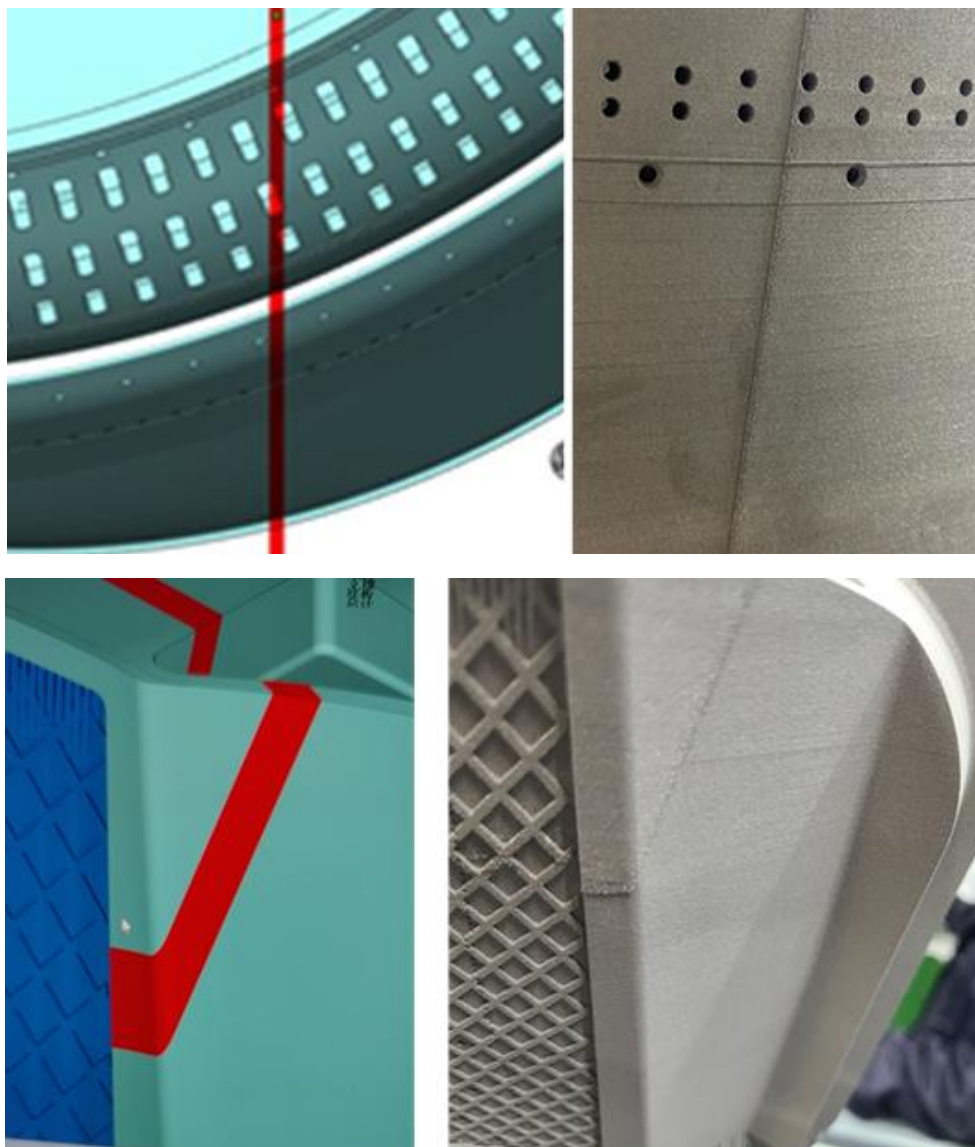


图 1 增材制造产品拼接区

## 2. 风场跨度较大，铺粉质量成为重中之重

当前主流的大幅面打印装备中，EOS M400-4 等采用中间入风、两侧出风的风场模式外，多数装备均采用一侧入风、一侧出风的“穿堂风”风场模式。在“穿堂风”风场模式下，风场跨度较小时，还能较好的保证全幅面的风场质量；当风场跨度较大、超过 800mm 后，出风口部位的风速很低，无法有效带走打印过程产生的黑渣。

如果进一步增加风机风速，有可能造成入风口风速过大影响粉床铺粉质量的问题。当风场跨度达到 1500mm 时，这个问题就更加明显。

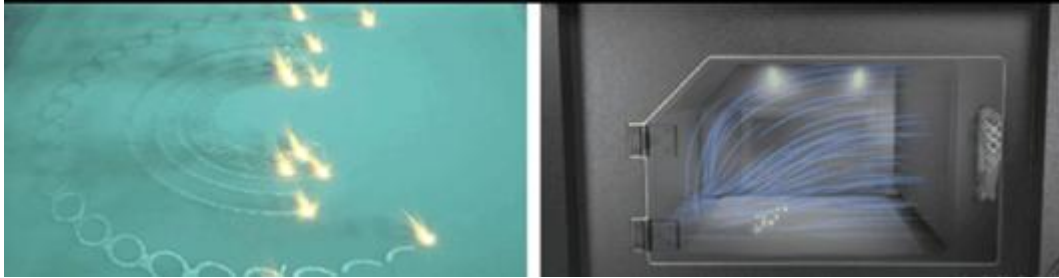


图 2 Slm Solutions 打印机风场

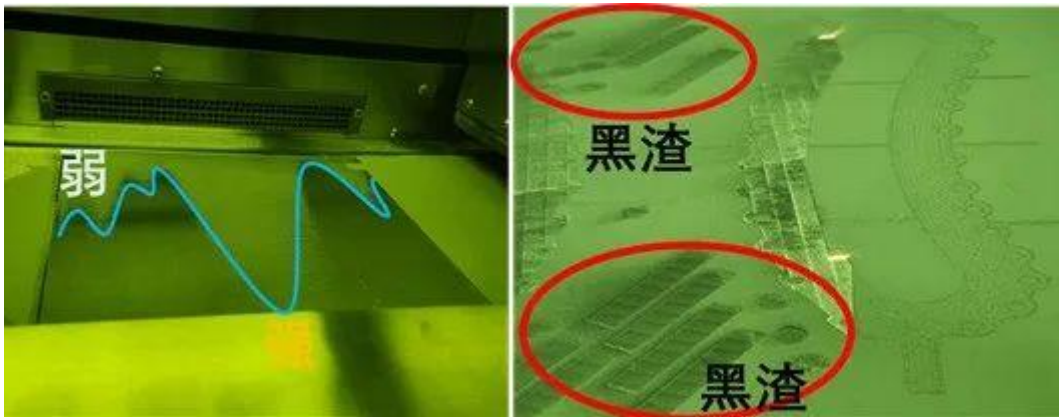


图 3 打印过程中零件表面留下的黑渣

### 3. 高负载对装备精度稳定性和可靠性要求提升

对于幅面超过  $1500 \times 1500\text{mm}$  的装备，200mm 厚的不锈钢基板重量就达到 3.5 吨左右，加上满仓填仓粉末，负载超过 20 吨。同时 Z 轴的机械设计还需要考虑传动机构与加热板、加热板与基板之间的稳定连接、Z 轴机械结构与成型舱之间的动密封、 $1500 \times 1500\text{mm}$  大幅面每次步进 0.03-0.06mm 的精度和可靠性等一系列因素，保证 Z 轴机械结构的长时工作稳定性和可靠性难度巨大。

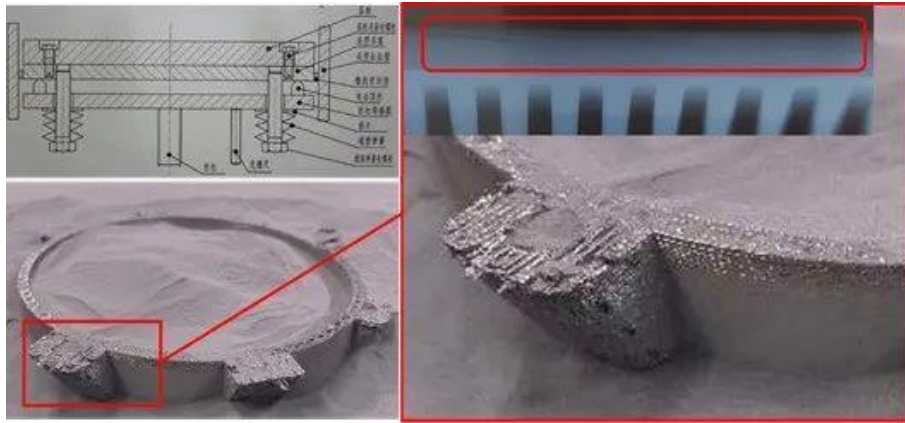


图 4 Z 轴下降过多造成未熔合



图 5 Z 轴下降高度不足造成错位

## 二、高打印成本为用户提出新要求

### 1. 填仓粉末昂贵，启动成本巨大

如需打印 1500mm 高度高温合金产品，按照松装密度 4450kg/m<sup>3</sup>、铺粉系数 1.3、单价 650-900 元/kg 进行测算，需要填仓粉末 19.5 吨，总价格 1500 万元左右，启动生产所需成本巨大。

### 2. 单仓打印周期更长，产品合格率需严格保证

幅面 1500×1500mm、光束数量 25 个的装备单光覆盖区域 300×300mm，与幅面为 600×600mm、4 光装备是相同的，而铺粉过程跨度远大于 600×600mm 幅面装备，

单次铺粉时间更长。打印截面积较大、高度 1000mm 以上的产品，时间很容易超过 50 天。通常认为，打印时间控制在 20 天、最好 15 天以内，装备稳定性和可靠性好，产品的合格率较高；50 天以上的打印时间对装备考验严苛，质量风险巨大；同时经济风险同样巨大，一次打印失败意味着损失了 50 天的有效工作时长，几乎相当于全年白干。

### **3. 需要大尺寸的线切割设备和热处理设备作为配套条件**

当前市面上能够完成截面 1500×1500mm 产品加工的线切割设备和热处理设备很少；此外，还要考虑厂房的地面承重、吊顶高度、吊车载重等一系列配套因素，配套条件苛刻。

### **三、面向批量和超大复杂零件将成为典型应用场景**

综合以上数据来看，当前如果采用超大尺寸、超多光束激光选区熔化装备打印单件大尺寸产品，存在打印周期长、装备稳定性和可靠性差、打印风险高、生产投入大、配套条件苛刻等诸多问题，应用场景少，应用前景不明朗。

一方面，超大幅面激光选区熔化装备有助于复杂零部件生产。少数产品极其复杂、对生产周期要求严苛、采用其他加工手段难以保证、对生产成本不敏感的研制

初期产品适合采用该类装备。



图6 超大尺寸、超多激光装备具备小尺寸零件批量打印潜力

另一方面，超大尺寸、超多光束激光选区熔化装备为批量化制造提供了新生产方式。采用超大尺寸、超多光束激光选区熔化装备不是为了打印单件大尺寸产品，而是为了打印多件小截面积、小高度产品，就可以规避拼接区域多、小区域问题导致单仓打印全部失败等高风险问题，一台装备可作为 10 多台  $300\times 300$  幅面单光装备或者 4~5 台  $600\times 600$  幅面 4 光装备，发挥出高集成度的性价比优势。

（本文作者：马瑞，北京动力机械研究所增材中心主任 由中国增材制造产业联盟秘书处整理编辑）



## ● 政策追踪

### （一）工业和信息化部组织开展增材制造典型应用场景征集工作

2023年10月20日，为加快推进新型工业化，推动增材制造更好服务经济社会发展，加速传统产业转型升级，助力培育新兴产业，工业和信息化部正式印发通知，组织开展增材制造典型应用场景征集工作。



图 7 《工业和信息化部办公厅关于征集增材制造典型应用场景的通知》

本次典型场景的征集方向将围绕研发与设计、生产制造、后处理与检验检测、服务与生态等全过程应用，面向但不限于工业、建筑、医疗、文物、体育等领域，征集一批技术水平先进、应用效果明显、复制推广价值突出的典型场景。鼓励运用自主可控、安全高效的新工艺、新材料和新装备，重点突出增材制造在实际应用中的定制化、智能化、绿色化等优势，积极探索形成可复制可推广的增材制造新业态、新模

式。

下一步，工业和信息化部将组织专家对征集到的场景进行评审，遴选出一批具有代表性的典型场景，并将结果在网上公示。经公示无异议，正式公布增材制造典型应用场景名单。此外，工业和信息化部将积极推动各地方、相关行业组织、有关企业强化典型场景经验总结，通过各大平台、媒体等采用线上、线下等多种方式，分领域、分专题开展系列宣传活动，构建多维度立体化宣传体系。通过展会、论坛、研讨、组织深度行等活动，及时宣传典型场景新技术、新装备和新应用，为促进行业交流合作与资源对接搭建平台。

## **（二）增材制造列为陕西省第十一批省级技术创新示范企业、工业品牌培育示范企业重点申报领域**

2023年10月23日，陕西省工业和信息化厅发布《关于组织申报2023年“陕西工业精品”及第十一批省级技术创新示范企业、工业品牌培育示范企业的通知》，将人工智能、云计算与大数据、物联网、**增材制造**、光子、量子信息、空天信息等新兴产业领域列为第十一批省级技术创新示范企业、工业品牌培育示范企业重点申报领域。

### 关于组织申报2023年“陕西工业精品”及第十一批省级技术创新示范企业、工业品牌培育示范企业的通知

发布时间：2023年10月23日 14:26:20 来源：科技处 【关闭】 分享： QQ好友 QQ空间 微信好友 新浪微博

各设区市工业和信息化局、财政局，杨凌示范区工业和信息化局、财政局，韩城市工业和信息化局、财政局：

#### 图 8 《关于组织申报 2023 年“陕西工业精品”及第十一批省级技术创新示范企业、工业品牌培育示范企业的通知》

申报技术创新示范企业要求各企业具有陕西省境内注册的独立法人资格，财务管理制度健全。近 3 年内无违法记录，未发生重大安全、环保、质量等事故，无不良失信行为；建有企业技术中心等研发机构，具有一定的生产经营规模，年营业收入 3000 万元以上。上年度研发经费不低于 1000 万元或研发经费占营业收入的比重不低于 3%。近 3 年连续盈利，新产品销售收入占营业收入的比重不低于 20%；具有核心竞争能力和领先地位，掌握核心技术并具有自主知识产权，整体技术水平在省内同行业居于领先地位，对省内行业发展具有较强的带动性或带动潜力；具有自主品牌和较高的管理水平，注重自主品牌的培育和创建，在市场中享有较高知名度。建立了比较完善的知识产权管理体系和质量保证体系。

申报工业品牌培育示范企业要求各企业在陕西省行政区域内登记注册，具有独立法人资格的工业企业。运营和财务状况良好，近 3 年内未发生安全、环保、质量事故，无不良失信行为；拥有自主品牌，产品质量稳定，在本地区、本

行业具有较强影响力；品牌战略和品牌培育目标明确，编制形成品牌管理体系文件并实施运行。有持续改进品牌管理体系的后续行动计划。品牌培育工作成效显著，品牌建设给企业带来明显质量提升和竞争优势；总结提炼的典型经验有创新性和示范性，具有广泛推广价值，并承诺在商业秘密得到保护情况下自愿交流分享品牌培育经验。

申报省级技术创新示范企业和工业品牌培育示范企业对于实现经济高质量发展、推动产业升级和提高地方经济的竞争力都具有重要的意义和作用。示范企业是创新的主体和品牌建设的典范，通过申报这些企业可以提升自身的技术水平和创新能力，提高产品质量和市场竞争力，从而推动整个行业的发展。同时，示范企业还可以获得政府的支持和保障，为企业的持续发展提供更加有力的支持。此外，示范企业能够充分发挥引领和带动作用，为其他企业树立榜样和标杆，推动整个行业的进步和发展。

## ● 技术进展

### （一）纳米级精度直接增材制造无机材料

2023年10月,《Science》(科学)期刊上发表一篇最新研究,来自清华大学化学系张昊副教授、李景虹院士和精仪系孙洪波教授、林琳涵副教授研究团队在无机材料的增材制造化学与技术方面取得了新突破。该研究基于纳米晶体表面配体的非特异性光化学交联反应和溶液中输运过程,实现了普适于无机功能材料的纳米级精度直接增材制造。

当前,增材制造技术在复杂结构建立与规模化制造都取得了显著进展,但实现纳米级分辨率的打印可选择材料有限,主要集中在金属与聚合物。三维结构的构建需要在打印的基本构建单元之间形成作用力,以使构建单元连接在一起,金属与聚合物可以很容易通过键合反应得到金属-金属键或共价键使其连接从而实现打印。

在其他功能材料特别是无机半导体中,这种键合反应无法在纳米级分辨率发生。半导体中化学键通常需要在高温、真空、惰性气氛保护等特殊条件中生成,且涉及复杂的化学反应,这样的反应无法在特定位置被触发,现有的增材制造设备也难以与这些特殊条件集成,因此半导体难以构建精密的三维结构。在直接合成困难的情况下,使用无机纳米晶体作为构建单元成为了替代的加工方法。但目前的方法通常

将无机材料与有机光固化树脂混合进行加工，有机组分的大量存在会严重影响无机材料的本征性能。

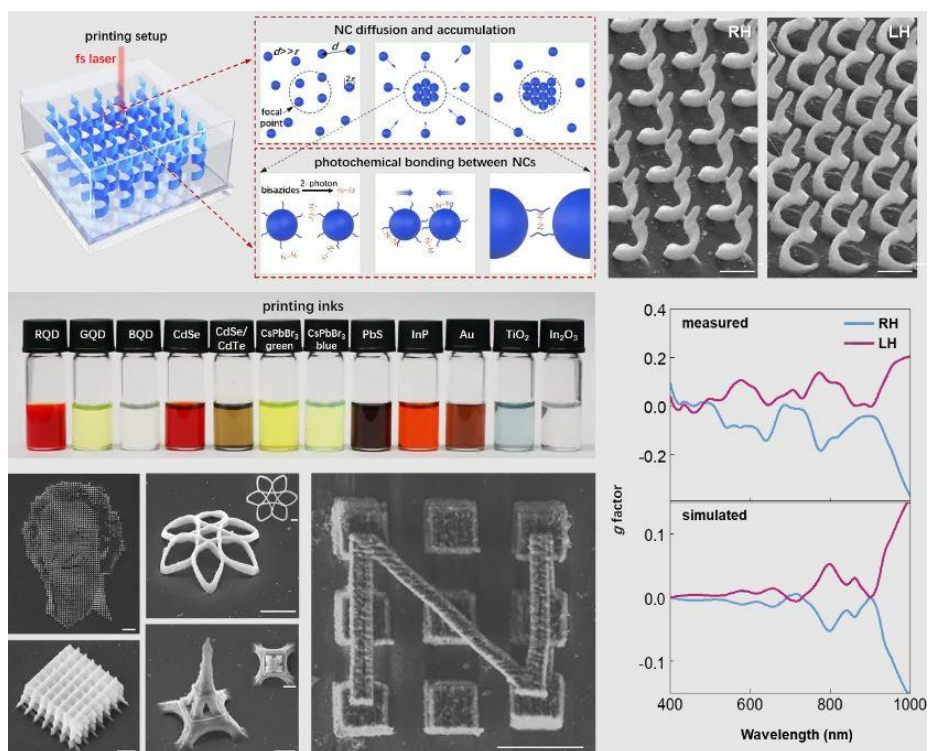


图 9 3D Pin 原理、材料多样性、结构复杂性与手性光学性质

鉴于此，清华大学化学系张昊副教授、李景虹院士、精密仪器系林琳涵副教授、孙洪波教授共同开发了一种普适性的纳米材料增材制造新方法，简称为 **3D Pin**，通过引入光敏氮宾小分子，实现了多种无机纳米材料（半导体、金属、氧化物纳米材料）的纳米级增材制造，结构具有较高的无机组分占比，并具有优异的力学性能与可调谐的光学性能。

胶体纳米晶体由内部的无机组分与表面配体组成，其中配体通过空间位阻或电荷排斥作用使纳米晶体在溶液中保持胶体稳定性，起到重要作用。**3D Pin** 通过光化学的方法，在胶体纳米晶溶液中添加少量小分子的双叠氮分子，用光引

发氮宾生成与有机配体的非特异性 C-H 插入反应，实现纳米晶之间的强共价键连接。随着光源在溶液中移动，纳米晶经历了扩散-聚集-键合的过程，形成复杂的三维结构。叠氮分子具有特定波段的紫外吸收，可以通过相应紫外光的单光子吸收过程与长波的双光子吸收过程实现不同分辨率的打印，FTIR 与 XPS 证实了该反应机理。这种非特异性的反应机理导致了该方法可以普适性地应用在各类胶体纳米晶体中。

胶体纳米晶体的组分多样性和氮宾与配体分子间的非特异性 C-H 插入反应使得该方法可以普遍适用于半导体（如 II-VI、III-V 和金属卤化物钙钛矿等）、金属（如金）和半导体氧化物（如氧化铟、氧化钛等），并可实现多种不同材料的混合和异质结构打印；非线性光激发具有的高时空分辨特征使得打印溶液中纳米晶体间的成键和扩散过程高度限域，实现了纳米级精度、复杂三维结构的精密构筑；纳米晶体所具有的尺寸和结构可调性及尺寸依赖的物理性质等使得所打印的 3D 结构展现出独特的多级结构、高机械性能和优异的光学性质。所打印的 II-VI 族半导体手性螺旋结构在宽光谱范围内展示出显著的手性光吸收特性，其不对称因子相比以往研究工作中利用自组装方法得到的半导体螺旋结构提升约 20 倍。该研究工作开发了无机材料的新的增材制造化学方法，为拓宽增材制造材料库并构建基于无机材料的 3D 结构与器件提供了新思路。

参考文献：《Science》期刊《3D printing of inorganic nanomaterials by photochemically bonding colloidal nanocrystals》作者：Fu li, shao-feng liu, wangyu liu, zheng-wei hou, jiayi jiang, zhong fu, song wang, yilong si, shaoyong lu, hongwei zhou, dan liu, xiaoli tian, hengwei qiu, yuchen yang, zhengcao li, xiaoyan li, linhan lin, hong-bo sun, hao zhang, jinghong Li

## （二）太空微重力环境下金属打印实验取得重大突破

2023年10月，德国航空和航天中心（DLR）材料物理研究所与德国联邦材料研究和测试机构（BAM）联合在《NPJ Microgravity》期刊发表最新研究成果，研究人员提出了一种在微重力下使用金属粉末建造零件的装备。这已在几次探测火箭飞行中得到验证，在这些飞行中，通过太空中的增材制造技术制造的基于锆的金属玻璃部件被成功构建。研究结果充分证明了在微重力条件下进行增材制造的可行性，并强调了进一步研究和优化的潜力。这显著推进了太空制造（ISM）和就地资源利用（ISRU）技术，并为未来在长时间微重力环境中的测试铺平了道路。

增材制造（AM）为太空飞行带来了革命性的潜力，其中，基于激光的粉床熔化（PBF-LB）技术因其在各种材料上的适用性而受到关注。与此同时，金属玻璃因其卓越的耐腐蚀性和机械性能而备受瞩目，但其在铸造中的尺寸限制一直是一个问题。为了探索在微重力环境下结合PBF-LB和金属玻璃的潜力，研究人员选择了发声火箭作为实验环境，这被



视为未来在轨增材制造装备发展的关键步骤。

研究人员通过独立于重力环境的粉末工艺中用块状金属玻璃制造零件实验，由此设计和建造了称为 MARS-M 的装备 (Multimaterial Additive manufacturing for Research and Space-flight for MAPHEUS), 总长 700 毫米, 直径 438 毫米, 净重 44 公斤, 火箭有效载荷的外部结构为 12 公斤。它包含一个紧密轻便的全自动策卡尔 AMI 设备, 包括控制计算、数据采集和处理、粉末稳定和电力供应, 使用 PBF-LB (即使用粉末原料) 在微重力下增材制造金属玻璃零件。

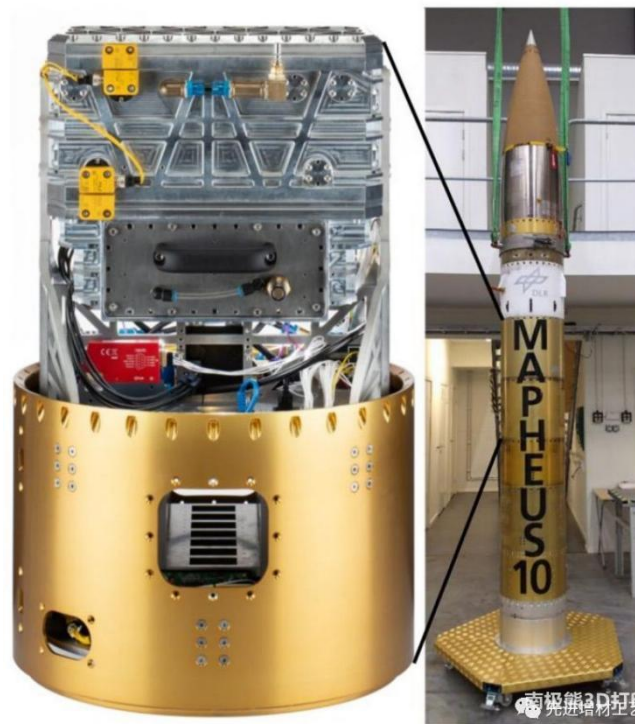


图 10 MARS-M 火箭有效载荷模块

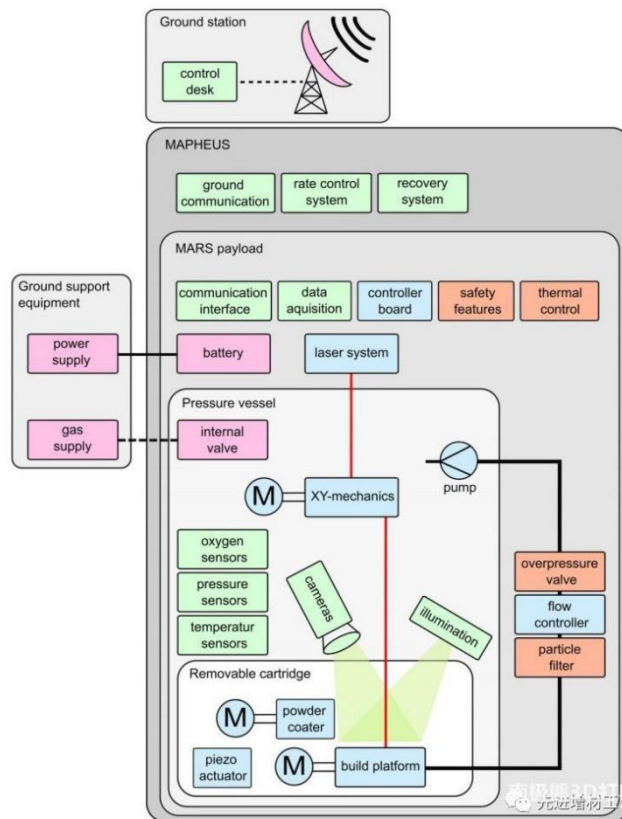


图 11 硬件和通讯系统

总的来说，MARS-M 是一种在太空中进行增材制造实验的先进装备。它具有自动化控制、紧凑轻便的机械结构和稳定的激光系统，可以在微重力环境中进行部件建造。该设备的机械结构采用了耐磨性好的聚合物轴承和碳纤维增强聚合物材料，以减轻重量，并且具有足够的强度来承受不同飞行阶段的静态和动态负载。激光系统采用光纤耦合二极管激光器，具有高功率和稳定的输出。为了在太空中进行连续工作，采用了一种特殊的冷却系统，以确保激光器的稳定性。压力室和气体流动系统确保了建造过程在恒定的气压和氧气浓度下进行。通过闭环气体流动系统，粉末颗粒可以被推向建造平台，实现部件的建造。



图 12 增材制造部件

参考文献：《NPJ Microgravity》期刊《Additive manufacturing of metallic glass from powder in space》作者：Christian Neumann, Johannes Thore, Mélanie Clozel, Jens Günster, Janka Wilbig & Andreas Meyer

### （三）生物增材制造构建关节类器官策略与应用

2023 年 10 月，《Small》期刊刊登一篇最新综述研究文章，上海交通大学新华医院/上海大学转化医学研究院苏佳灿教授团队从 3D 建模、打印方式、生物墨水和培养条件四方面总结了构建关节类器官的方法，特别强调了生物增材制造在这类器官领域的相关研究，提出了关节类器官构建的阶段性策略，为该领域的研究提供了新的思路。

骨关节炎（OA）是一种长期发展的疾病，主要侵袭成年人，引发疼痛和功能障碍，全球大约有三亿人受其影响。OA

的核心问题在于软骨遭受损害，包括细胞炎症和细胞外基质（ECM）的破坏。由于软骨组织缺乏血管和神经，其自我修复能力有限。再加上关节软骨具有独特的生物学特性和机械结构，使得对其进行重建和修复成为一项巨大的挑战。近年来，类器官技术成为软骨修复的新兴策略之一。类器官是由体外培养的干细胞构建的三维（3D）组织结构，能够模拟相应器官的组织 and 功能，为研究和开发提供了生理学相关的平台。构建关节类器官有助于模拟关节内的微环境，创建骨关节炎和类风湿关节炎等疾病模型，同时也可用于测试关节植入物的药物筛选和生物材料评价。

由于软骨代谢机制的复杂性以及对机械强度的高需求，与其他软组织的类器官相比，关节类器官的研究周期更长且具有挑战性。因此，目前对于关节类器官构建的研究仍然相对有限，仍是一个充满挑战的研究领域。近年来，生物增材制造和再生医学的发展为解决这些挑战提供了新的机会。生物增材制造具有高通量、高精度和自动化等优势，可以制造具有复杂结构的关节类器官，更好地模拟真实关节的微环境。

### **1. 关节组织的生物学结构**

以膝关节为代表的关节在解剖学上通常分为三个组成部分：关节面、关节囊和关节腔。关节面是关节头与关节窝相邻的表面，由关节软骨覆盖。关节囊具有外纤维层和产生滑液的内滑液层，可以帮助减少摩擦。髌下脂肪垫将关节囊的

纤维层与滑膜层分开，并将后者推向关节软骨表面。关节腔是由关节软骨和关节囊包围的狭窄空间。软骨退变是许多关节疾病的共同特征，但组织的相互关联性不可避免地导致其他关节成分的致病性改变，如滑膜炎、髌下脂肪垫炎症或软骨下骨重塑。因此，作者也重点讨论了关节软骨、滑膜和髌下脂肪垫等三个部分，其中关节软骨可以分为透明软骨、钙化软骨和软骨下骨。它们是关节的基本组成部分，对关节的健康和功能起着至关重要的作用。

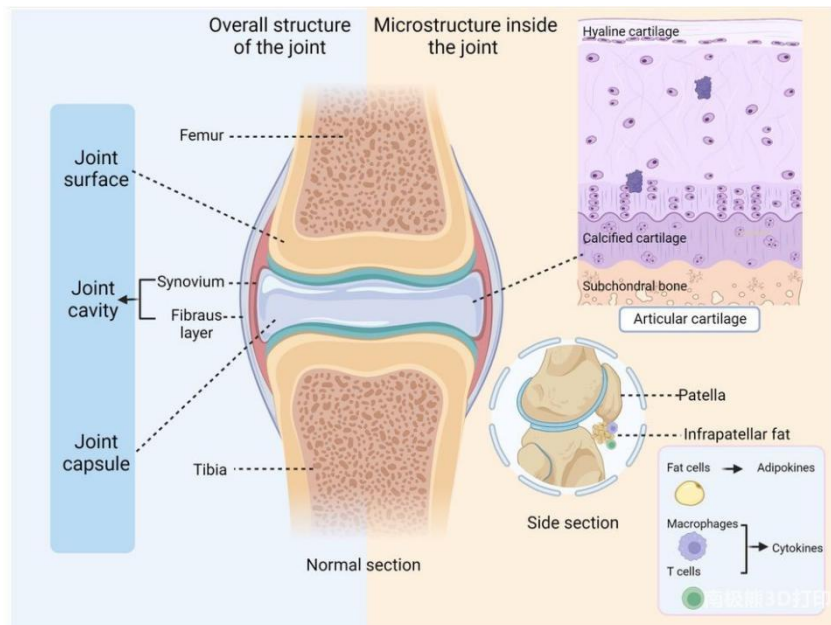


图 13 关节的生理学结构

## 2. 增材制造技术

### (1) 喷墨增材制造

喷墨增材制造是一种与传统喷墨打印机原理相同的方法，利用声波或热量来制造生物材料的液滴，从而形成所需的形状。这种技术可分为两类，声学喷墨增材制造和热敏喷

墨增材制造。声学喷墨的主要优点是它避免了对生物材料使用热量和压力，减少了喷嘴堵塞的可能性。然而，可以打印材料的粘度是有限的。热喷墨的优点，如打印速度快，易于控制和广泛的适用性。

## (2) 挤压式增材制造

基于挤压的增材制造是一种常见的生物增材制造方法，允许制造具有不同粘度和高密度聚合物的各种水凝胶聚合物溶液。这种印刷技术使用柱塞、旋转或气动压力将材料挤出喷嘴。与其他方法相比，机械驱动的方法提供了更好的流量调节，从而提高了制造精度。但是挤压压力太大会对细胞活性产生负面影响。

## (3) 激光辅助增材制造

激光辅助生物增材制造使用双层结构，可以对激光刺激做出反应。它由上面的能量吸收层和下面的生物墨水溶液层组成。激光脉冲聚焦在吸收层上，导致下层形成高压液体气泡。然后将混合了细胞的生物墨水喷射到打印平面上。激光辅助增材制造种细胞更加活跃，并且具有非常高的打印分辨率，甚至可以打印单个细胞。然而，由于高精度激光器的高成本，这些设备并没有广泛应用于实验室。

## (4) 光固化增材制造

光固化是一种广泛使用的增材制造方式，特别是在软骨和骨修复领域，能够通过利用光诱导聚合从一桶树脂中制造

出三维结构。它可以分为几种不同类型的光固化增材制造技术，如立体光刻技术(SLA)，数字光处理(DLP)和液晶显示技术(LCD)，每一个都有自己独特的特点。与其他方法相比，光固化生物增材制造相对较快，并且细胞存活率高，因为在打印过程中不需要对材料施加机械力。

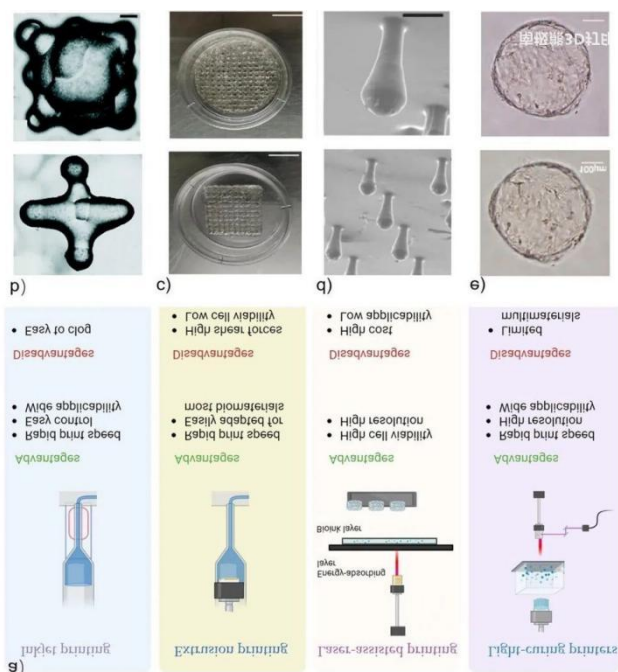


图 14 四种不同的增材制造方式

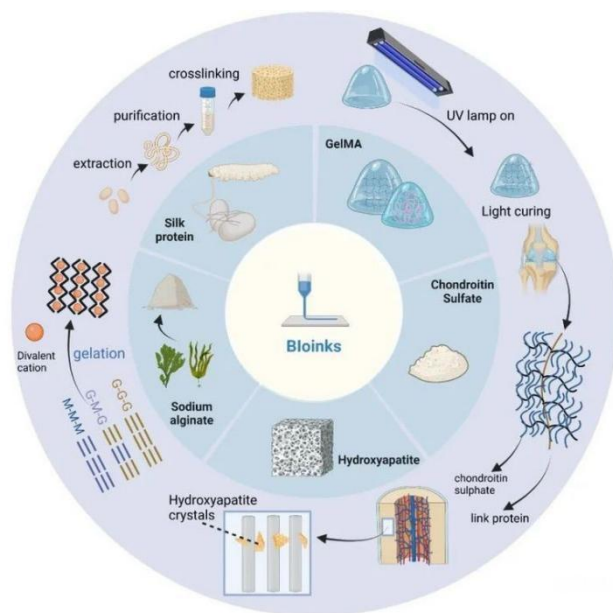


图 15 几种不同的生物墨水

### 3. 生物 3D 打印关节类器官的构建策略

在本文中，研究团队提出了构建关节类器官的三部曲，包括构建基础关节类器官策略、结构化关节类器官策略和功能性关节类器官策略。

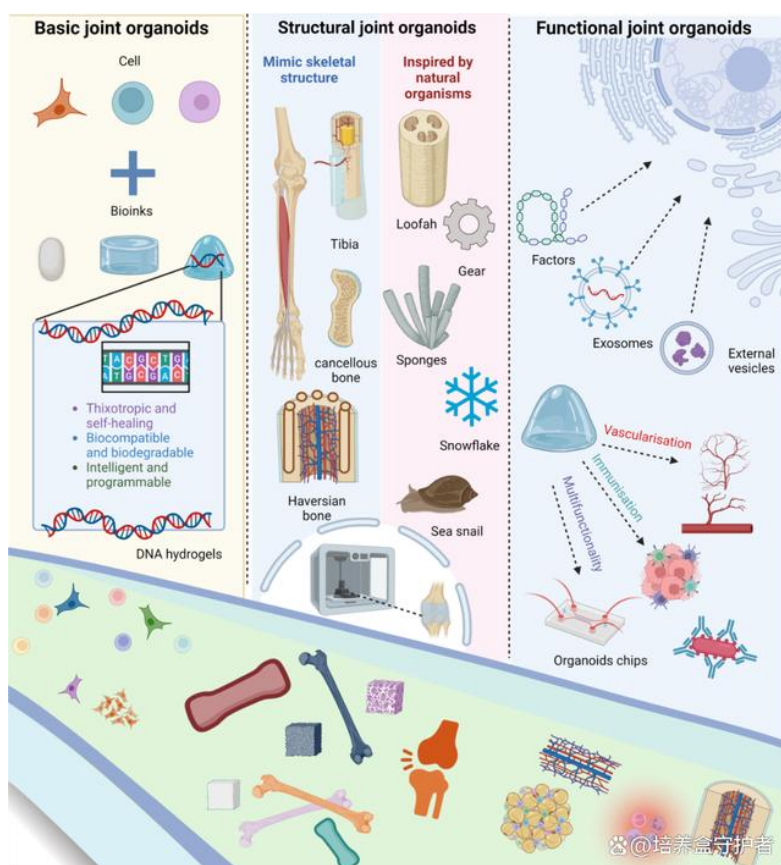


图 16 生物增材制造关节类器官的构建策略

类器官有可能彻底改变关节疾病的研究及其治疗。传统的 2D 和 3D 细胞培养模型缺乏体内关节组织的复杂性和生理相关性，相比之下，类器官提供了一种在器官水平上模拟关节病理的实验上更可行的方法。动物模型提供了现实的微环境，但也引起了伦理问题。类器官技术的出现提供了一个有希望的替代方案，提供了一种在器官水平上模拟关节病理的实验上更可行的方法。此外，关节类器官在关节修复方面也



具有广阔的应用前景。关节类器官在关节修复中的一个很有前景的应用是能够改造和再生软骨组织。由患者来源的组织构建的类器官可以通过确定每个患者的最佳药物来实现个性化医疗。就像药物测试一样，关节类器官可以用来评估各种植入材料的功效，包括医用金属、陶瓷和聚合物。这对于开发可用于治疗关节疾病和损伤的新型植入材料尤为重要。

构建关节类器官是一个复杂的过程，需要考虑多种细胞类型、生物材料组合和生长因子调节。关节类器官的可重复性和稳定性仍然需要改进，如干细胞定向分化、血管化和免疫等挑战是关键问题。尽管存在这些挑战，生物增材制造和干细胞研究在构建关节类器官方面具有巨大的潜力。我们相信生物增材制造作为一种新方法将为关节组织建模和关节疾病治疗提供很多机会。

参考文献：《Small》期刊《Small Joint Organoids 3D Bioprinting: Construction Strategy and Application》作者：Yuan Zhang, Guangfeng Li, Jian Wang, Fengjin Zhou, Xiaoxiang Ren, Jiacan Su.

## ● 行业动态

### （一）空客与通快建立合作：增材制造批量生产直升机和飞机金属零部件

2023 年 10 月，航空航空中客车直升机公司 Airbus 宣布将采用高科技公司德国通快集团（TRUMPF）的增材制造装备来批量生产其直升机和空中客车的飞机零部件。此外，Airbus 还在多瑙沃特新建了一个增材制造中心，以拓展其增材制造能力，相关装备由通快提供。



图 17 空客直升机公司开发的用于城市用的电动空中客车

据悉，Airbus 计划使用增材制造技术来制造电动 CityAirbus、实验性高速 Racer 直升机以及空中客车 A350 和 A320 等客机的零部件，这有助于减少飞机运营商的燃料消耗，从而降低成本，同时也有助于减少飞行过程中的二氧化碳排放。Airbus 多瑙沃特分厂的工厂经理赫尔穆特·费伯

(Helmut Färber) 先生表示：“借助创新的制造工艺，我们正在多瑙沃特打造未来的直升机，其中增材制造技术在减轻零部件重量方面发挥了关键作用。”

与传统的制造工艺不同，传统工艺通常需要多达十倍的原材料才能生产出最终的产品，而增材制造仅使用设计师实际所需的材料来制造零部件，并将这些零部件直接应用于飞机制造，因此，大大减少了资源浪费。此外，增材制造技术的独特之处在于它允许将整个组件作为一个单一部件进行打印，从而实现了重量的降低。当前，通快凭借其深厚的制造专业知识，已成为全球航空业的可靠合作伙伴，有效助力航空制造企业减少对长供应链的过度依赖。

## **(二) 联盟理事单位铖联科技与 GPAINNOVA 达成战略合作**

2023 年 10 月，联盟理事单位铖联科技与全球金属表面处理专家 GPAINNOVA 签订战略合作协议，铖联科技将成为 GPAINNOVA 在中国口腔领域的独家战略合作伙伴。双方将在中国成立合资公司，联合研发推广金属齿科产品表面处理技术。



图 18 铖联科技与 GPAINNOVA 签订战略合作协议

长期以来，铖联科技专注于口腔齿科全流程数字化，开创性地把硬件即服务（HaaS）的模式应用在齿科增材制造领域，将设备智联上网，在全球范围内建设大规模分布式义齿制造云工厂，打造义齿加工的数据—设计—制造全流程一体化网络，构建齿科全流程数字化服务平台。目前为止，铖联科技已进入全球 27 个国家，在世界各地落地 300 多个云工厂，日生产牙冠 100000 颗，支架 10000 个，为 1500 家义齿工厂提供服务。

GPAINNOVA 首创拥有全球专利的干式电解抛光技术（DryLyte 抛光技术），该技术可全方位覆盖义齿金属表面，尤其传统的机械和人工方式难以接触到的边角和内腔均可触达，是齿科行业金属表面处理的颠覆性解决方案。相较传统的手工加工模式，DryLyte 抛光技术可实现全自动化，简化加工步骤、替代繁重的人工，使打磨和抛光一步到位，呈现出出色的效果。另一方面，DLyte 有别于传统的等离子抛光

机，不需要封闭的循环水系统和污泥废物处理机械装置，既节省了空间、人工成本，对环境也更加友好。

此次铖联科技与国际知名企业 GPAINNOVA 达成合作，有望实现金属义齿表面抛光处理品质的统一标准化。双方的强强联合，将利用双方的技术和资源优势，共同为齿科行业提供更加高效、更优品质、安全可靠的金属表面优化处理方案，合力推动齿科行业数字化智造驶入“快车道”。

### （三）ABS 和 Pelagus 3D 合作推进增材制造在海事领域应用，完善舰艇零部件供应链

2023 年 10 月，美国船级社（ABS）和蒂森克虏伯与威廉森的合资公司 Pelagus 3D Pte. 签署了一份意向协议 (MOU)，以推进增材制造 (AM) 技术在船舶和近海备件中的应用。



图 19 ABS 和 Pelagus 3D 合作签约

ABS 是全球领先的船舶和近海行业入级和技术咨询服

务提供商。该公司专注于先进技术和数字解决方案的安全和实际应用，为海上客户提供具有成本效益、更优性能和更高运营效率的解决方案。近年来，ABS 参与了一系列行业领先的增材制造计划，包括一个专注于油轮上的功能性增材制造零件的联合开发项目。该公司还提供增材制造指南，定义了增材制造零件的标准化规程，以及用于制造零件的工艺和系统，包括粉末床融合和定向能量沉积。

在为期三年的合作期内，ABS 和 Pelagus 3D 将开展多项合作，包括通过 Pelagus 平台将 ABS 的测试要求引入到增材制造部件的生产中。该项目还将支持增材制造行业指南和标准的持续制定，包括全球增材制造制造商的资格认证和简化增材制造零件的认证。

ABS 的技术副总裁 Gareth Burton 说道：“增材制造技术有潜力简化供应链、简化采购和维护计划、最大限度地减少延迟并降低成本。ABS 致力于通过行业领先的项目（例如 Pelagus 3D 项目）以及我们的审批和认证流程，支持增材制造技术开发的持续创新，同时保持对质量和安全的关注。”

双方的意向协议在新加坡 ABS 技术论坛上被签署，该会议将整个海运价值链的主要利益相关者联系在一起，来自制造业、政府和学术界的与会者与 ABS 共同确定了未来合作和研究项目的领域。

## ● 典型应用

### （一）NASA 增材制造铝制火箭发动机喷嘴助力实现 深空探索

2023 年 10 月，美国国家航空航天局（NASA）运用增材制造技术成功制作新型火箭发动机喷嘴 RAMFIRE 并进行了喷管的热火测试，该喷管由新型铝合金 6061-RAM2 制成，可承受巨大的温度梯度。这种喷管比传统喷管更轻，为可携带更多有效载荷的深空飞行奠定基础。

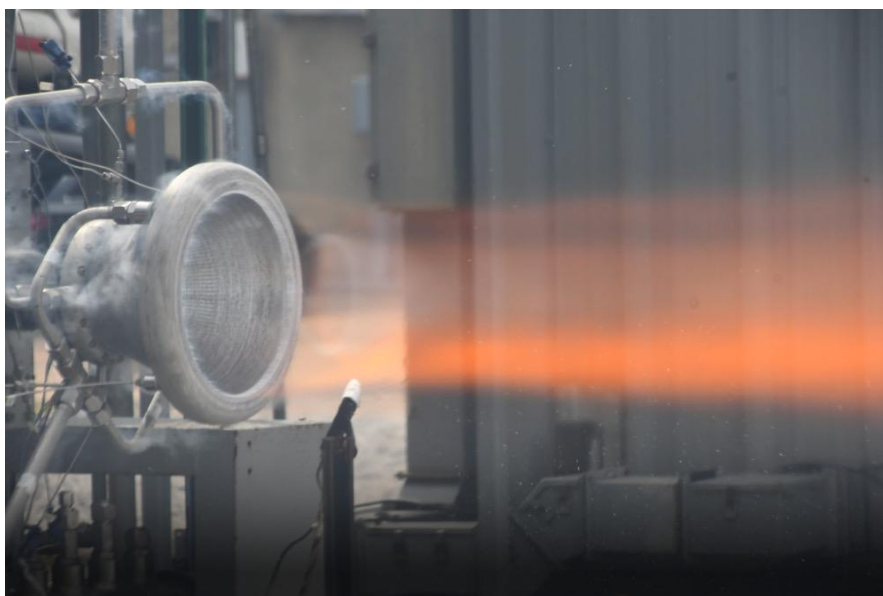


图 20 增材制造 RAMFIR 喷嘴的热火测试

来自亨茨维尔马歇尔太空飞行中心的 NASA 工程师与材料开发商 Elementum 3D 合作，共同研发了新型 RAMFIRE 喷嘴。通过这一合作，它们成功创造出一种可焊接的新型铝合金材料，被称为 A6061-RAM2，具备火箭发动机所需的耐高温性能，同时还开发了用于激光粉末直接能量沉积

(LP-DED) 工艺的专用粉末。

NASA 的铝合金喷管是一种新的突破，由于铝对极热的耐受性较低且在焊接过程中容易破裂，因此此前，铝通常不用于火箭发动机零件的增材制造。由于铝材料的低密度，它能够制造高强度且轻质的零部件。喷嘴利用新开发的铝材料和专用粉末，以及 LP-DED 技术进行增材制造。该喷嘴内部嵌入了小型通道，用于在运行时冷却喷嘴以防止熔化。此外，这种新型 RAMFIRE 喷嘴采用了单一增材制造过程，最大程度减少了需要进行粘合的零件数量，并大幅缩短了制造时间。传统的制造方法可能需要数百个独立的零件组装成一个完整的喷嘴。

当前，NASA 和行业合作伙伴正在努力与商业利益相关者和学术界共享数据和流程。多家航空航天公司正在评估这种新型合金和 LP-DED 增材制造工艺，并寻找将其用于制造卫星和其他应用部件的方法。

## (二) 太空中增材制造人体膝关节半月板

2023 年 10 月，太空系统制造商 Redwire 利用其在国际空间站 (ISS) 上的生物增材制造设备 (BFF)，成功地在轨道上打印出人体膝盖半月板。生物增材制造完成后，半月板在国际空间站上的先进空间实验处理器中培养 14 天。这是一个全自动的多功能装备，用于在国际空间站上进行一系列



生命和物理科学研究以及小批量生产。

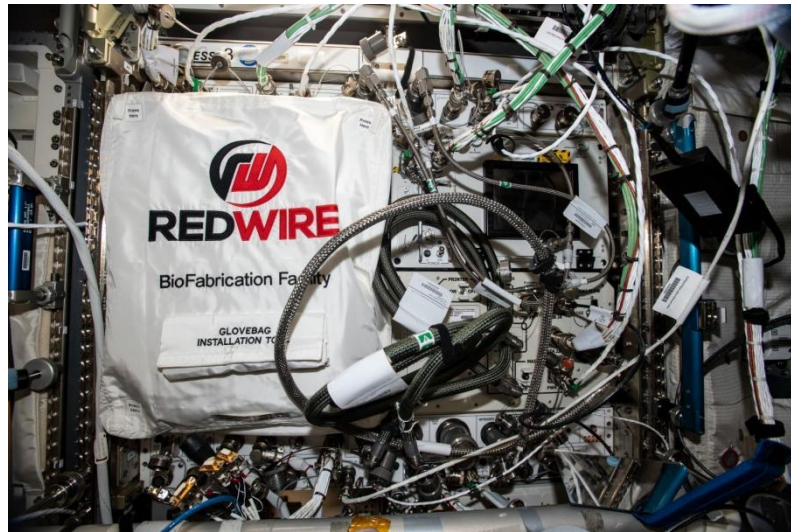


图 21 国际空间站上的 Redwire 生物增材制造装备

近年来，国际空间站上的增材制造技术日益受到关注，学术研究人员和商业企业都在寻求在微重力条件下测试新的增材制造技术。Redwire 公司去年宣布了向国际空间站发射升级版增材制造设备的计划，并于 2023 年 2 月成功将设备安装到轨道上。据悉，在使用对温度敏感的生物墨水进行增材制造时，新型设备可提供更强的温度控制。

这是首个能够在太空微重力条件下增材制造人体组织的系统，这套系统能精确放置干细胞，增材制造出比头发丝宽度小几倍的超细生物墨水层。然后，这些层可以建立起来，形成可存活的结构。为防止生物增材制造组织坍塌，Redwire 公司开发了细胞培养系统，可随着时间的推移增强组织强度，这个过程需要 12 到 45 天，最终生产出在重力作用下能自我支撑的组织。

Redwire 公司执行副总裁约翰-维林格（John Vellinger）

表示：“这是一个开创性的里程碑，对人类健康具有重大意义。成功打印半月板等复杂组织，是向可重复微重力制造、可靠的大规模生物打印迈出的一大步。”

### （三）国际著名品牌蒂芙尼标志性商店使用增材制造 设计门店外观

2023年10月，位于新加坡樟宜国际机场的著名奢侈品牌蒂芙尼(Tiffany & Co.)商店使用增材制造和回收材料作为生产方法，建造出独具特色的门店外观，与其品牌名称本身一样具有标志性。Tiffany & Co.商店位于机场的广场花园，其可持续结构由建筑师 Moshe Safdie 与 MVRDV 公司合作设计。这一创作的有趣之处，凸显了品牌对可持续发展的承诺。蒂芙尼商店外立面的增材制造过程还涉及荷兰公司 Aectual 和意大利公司 BUROMILAN 的几位工程师。其珊瑚风格的设计和配色方案肯定会吸引任何在机场漫步的旅客的目光。



图 22 Tiffany & Co. 商店增材制造外观

在创建蒂芙尼专卖店外观构型的过程中，MVRDV 团队强调了凸显品牌身份和历史的关键作用，包括融入 **Tiffany Blue®** 等标志性元素。他们以珊瑚礁图案为指导，创建了一个覆盖商店外墙的有机屏风。该屏幕包括具有渐变颜色的丝网印刷玻璃，颜色范围从标志性的蒂芙尼蓝到令人想起海洋环境的更深蓝色。这种渐变在增材制造设计的多个元素中重复出现，例如在商店入口处，显示屏显示从正面浅蓝色到背面深蓝色的渐变。此外，这种渐变在立面的拐角处是相反的，两种色调之间逐渐过渡，创造出三维的视觉效果。

该建筑中所使用的材料也有创新。MVRDV 团队解释说：“增材制造专家 **Aectual** 开发了一种工艺，使用回收塑料（包括回收和回收的渔网）生产 50 毫米厚的屏幕。这种材料和技术的选择不仅体现了来自海洋的灵感，而且也有助于保护海洋。**BUROMILAN** 解决了机场环境对严格消防安全标准的需求，这是由于他们的工程师开发了一种由海水制成的化学产品，这为建筑的实现提供了独特的解决方案。

当前，使用增材制造为商店、企业和商业场所创建装饰结构的设计项目越来越多。奢侈品牌 **Dior** 曾委托 **WASP** 创建一家环保快闪店。在荷兰，位于鹿特丹的 **RAP** 工作室为热门购物街 **PC Hoofstraat** 上的一家豪华精品店设计了外观。事实上，这些例子不仅展示了通过使用优化设计和增材制造来创造令人印象深刻的外观所带来的美感，而且还展示了创新

日益重要的重要性。无论是在建筑方面还是在提高可持续性方面，增材制造正在成为一种崭新的解决方案，助力建筑业的发展。

## ● 成员展示

### 苏州聚复科技股份有限公司

苏州聚复科技股份有限公司是国内增材制造材料行业的领军企业，专注于新型增材制造材料的研发、生产及销售。公司成立于2012年5月，在江苏常熟建有研发生产基地，在上海、萨凡纳（美国）、乌特勒支（荷兰）设有销售运营中心，业务遍布美国、欧洲、亚洲各国。聚复科技秉承技术领先与创新文化，坚持国际化发展战略与自主品牌的打造，致力于为全球增材制造用户提供完善的材料解决方案。

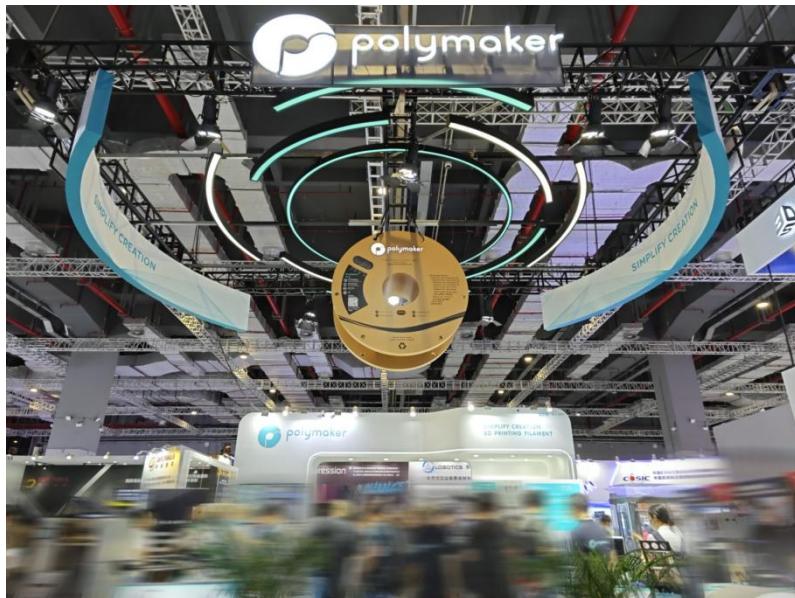


图 23 苏州聚复科技股份有限公司

针对高速发展的增材制造市场，聚复科技始终坚持“3D打印让创新更简单”的企业使命，通过材料创新不断拓展增材制造的应用范围。基于对技术创新的坚持，聚复科技重视研发投入与技术合作，目前集材料制备、测试表征和增材制造

应用工艺开发为一体的研发中心已投入使用，同时也与 **Covestro**、**Natureworks** 等企业达成合作，凭借各自优势，提升产品研发能级。基于对客户需求的洞察，聚复科技重视产品品质，公司自主品牌 **Polymaker** 系列产品远销北美、欧洲、日本等多个国家及地区，并已成为业内广受赞誉的高端材料品牌。聚复科技正加速拓展业务领域至增材制造服务解决方案及咨询，形成研发、生产、销售、打印服务与咨询的完整产业链。

---

报：工业和信息化部装备工业一司，各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆  
生产建设兵团工业和信息化主管部门

送：联盟各成员单位

---

工业和信息化部装备工业发展中心

中国增材制造产业联盟

通讯地址：北京市海淀区万寿路 27 号院 8 号楼 13 层

邮政编码：100846

联系电话：010-63942029

欢迎联盟企业提供各版块相关信息

供稿邮箱：[amac@miit-eidc.com.cn](mailto:amac@miit-eidc.com.cn)



联盟官方网站



微信公众号