

增材制造产业发展 简报

2024年4月2日

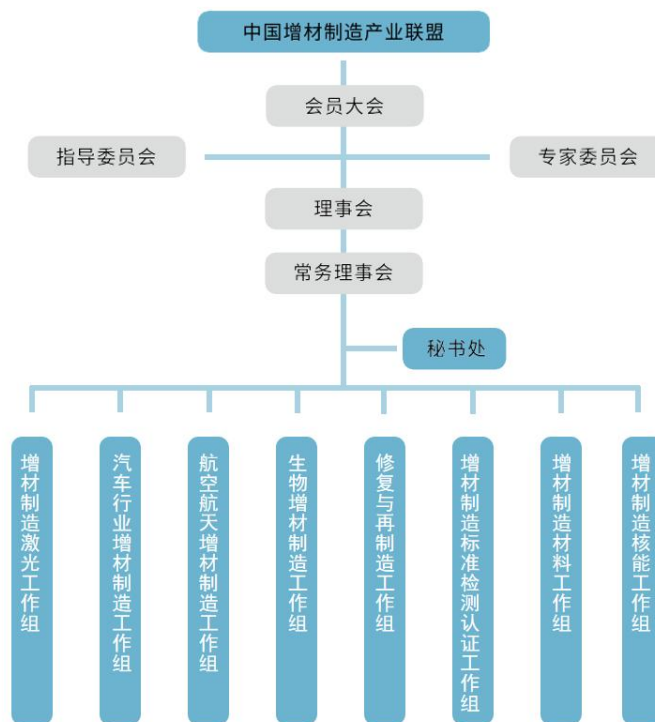
第03期

总第055期

【内容提要】

- 本期关注：《Wohlers Report 2024》最新报告：2023年全球增材制造市场破200亿美元 增长11.1%
- 政策追踪：国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》的通知 明确推广增材制造技术
- 技术进展：增材制造微晶格超材料 实现突破性的结构-功能一体化
- 行业动态：国家统计局：1-2月份3D打印设备产量同比增长49.5%
- 典型应用：增材制造被用于制造我国探月卫星燃料贮箱
- 成员展示：贵州森远增材制造科技有限公司

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7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

《Wohlers Report 2024》最新报告：2023 年全球增材制造市场破 200 亿美元 增长 11.1%

4 月 2 日，由 ASTM International 提供支持的 Wohlers Associates 发布《Wohlers Report 2024》（沃勒斯报告 2024）。整个增材制造行业首次突破 200 亿美元大关，销售额达到 200.35 亿美元，同比增长 11.1%。

根据目前该机构主动透露的信息，与金属增材制造相关的市场 2023 年实现了 24.4% 的增长，去年，共出货约 3793 套金属增材制造系统，相比之下，2022 年出货量为 3049 套。

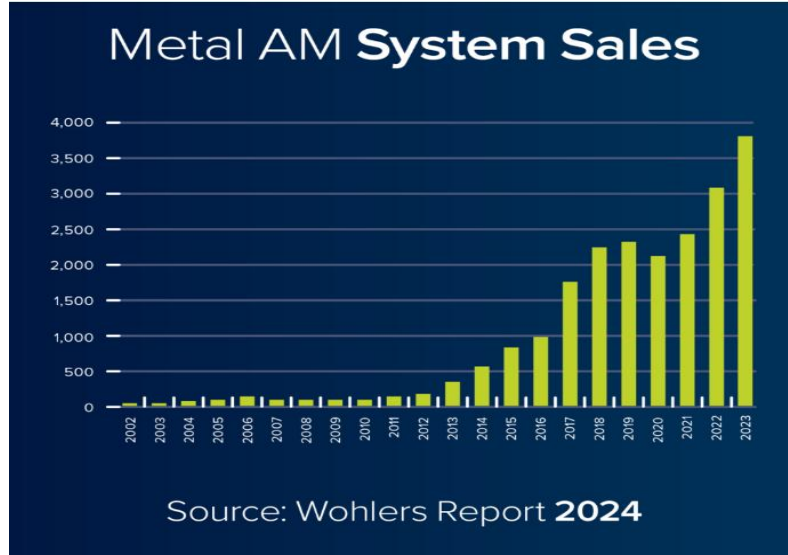


图 1 金属增材制造系统销售量

《Wohlers Report 2024》详细探讨了推动增长的因素，包括新材料、资质流程以及行业标准等，特别是在航空航天、国防、医疗技术和能源等领域。分析团队还预计，通

过提高机器精度和后期处理，增材制造（AM）解决方案将变得更加可靠。增材制造比传统制造便宜的成本阈值可能会从数千个单位转变为数十万甚至数百万个单位。



图 2 《Wohlers Report 2024》电子版

来自 35 个国家的 100 多名专家为该报告做出了贡献。来自 245 家制造商、服务提供商和材料生产商的大量数据使该研究成为对增材制造行业状况最全面的评估之一。

● 政策追踪

(一) 国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》的通知 明确推广增材制造技术

近期，国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》（以下简称《行动方案》），提及增材制造技术。



图 3 通知内容

《行动方案》涵盖了五个主要方面：设备更新、消费品以旧换新、回收循环利用、标准提升以及强化政策

保障。在方案第四部分“实施回收循环利用行动”中提出，有序推进再制造和梯次利用。鼓励对具备条件的废旧生产设备实施再制造，再制造产品设备质量特性和安全环保性能应不低于原型新品。推广应用无损检测、增材制造、柔性加工等技术工艺，提升再制造加工水平。

（二）18 部门联合印发《国家标准化发展纲要》行动计划 涉及增材制造

近日，市场监管总局、国家发展改革委等 18 部委联合印发文件，锚定 2025 年发展目标，明确未来两年重点工作，共涉及 8 大方面，35 项要求。3 月 18 日，市场监管总局会同中央网信办、国家发展改革委、住房城乡建设部等 18 部门联合印发《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划（2024—2025 年）》，就 2024 年至 2025 年贯彻实施《国家标准化发展纲要》提出具体任务。



图 4 通知文件

其中，在健全产业基础标准体系中提到“制修订精密减速器、高端轴承、车规级汽车芯片等核心基础零部件（元器件）共性技术标准，推动解决产品高性能、高可靠性、长寿命等关键问题。强化粉末床熔融等**增材制造**工艺标准研制，健全元器件封装及固化、新型显示薄膜封装等电子加工基础工艺标准。推动高端金属材料、新型高分子材料和电子专用材料标准制定。加快补齐研发设计、生产制造等工业软件标准短板。制修订一批工业基础标准，助推产业基础高级化。〔工业和信息化部、市场监管总局（国家标准委）牵头，各有关部门和单位按职责分工负责〕”。

（三）东莞市印发《东莞市加快推动模具产业高质量发展的若干措施》 多次强调增材制造

3月25日，东莞市印发《东莞市加快推动模具产业高质量发展的若干措施》（以下简称《措施》）。《措施》提出，要聚焦东莞模具这一优势产业，旨在加快推动模具产业发展，夯实东莞市模具产业基础配套能力，支撑东莞市制造业高质量发展。《措施》中明确提出，为了促进企业引进和培育，落实省级政策以加速先进制造业项目的投资和建设，对符合条件的模具项目按照新建工业厂房和新购置生产设备投入金额对企业予以奖励。同时推动东莞市模具产业向新能源汽车、**增材制造**等领域扩展，重点支持引进激光制造、**增材制**

造、一体化压铸等先进方向模具制造项目。

索引号: 11441900732158786R/2024-00135
分类:
发布机构: 东莞市工业和信息化局
成文日期: 2024-03-14
名称: 关于印发东莞市加快推动模具产业高质量发展的若干措施的通知
文号:
发布日期: 2024-03-25
主题词:

关于印发东莞市加快推动模具产业高质量发展的若干措施的通知

发布日期: 2024-03-25 浏览次数: 617

图 5 通知文件

在产品研发和创新领域，该措施提出，东莞市将在关键核心技术攻关领域提供支持，针对模具设计制造技术、模具材料热处理、模具成形工艺、**增材制造**随性冷却水路设计与加工技术等关键技术与工艺等重点领域开展关键技术攻关，开展成型复合材料的大型、精密、复杂模压模具关键技术、微米级精密注塑模具技术的前沿攻关，研发项目符合《东莞市重大科技项目实施办法（试行）》规定的，根据相关项目标准给予资助。

● 技术进展

(一) 增材制造微晶格超材料 实现突破性的结构-功能一体化

增材制造技术的重要作用之一，是制造那些能够提高传统工业设备工作效率的相关部件。近年来，关于具有非常规特性的超材料的研究越发广泛，可以从微观尺度到宏观尺度通过灵活设计来改变物理性质，对工业领域显示出强大的吸引力。得益于增材制造技术的发展，高度复杂的微晶格超材料的制造得以实现。微晶格超材料的几何基础源自对原子晶格的研究，这些原子晶格由具有连接支柱和定制孔的互连单元周期性排列。在微晶格超材料中，支柱决定机械强度，而孔径分布影响流体/气体传输。因此，它们广泛应用于需要稳定和高通量运输调节的机械工程和生物/化学/环境领域。微晶格超材料已应用于人体植入物的设计，以模拟人体骨骼的刚度和物质结构，同时支持人体运动、营养运输和新陈代谢。此外，微晶格合理的孔隙分布设计可以调节热传输，使其可以用作高效的隔热装置。微晶格超材料的多物理特性（如机械和传输特性）的可控性允许功能集成、灵活的设计和特性可调性。因此，其可用于抵抗复杂负载环境，也可用于高流量水净化系统。然而，传统周期性微晶格的几何特征是高度耦合和相互约束的，

这限制了其物理性质的可调性。高机械强度通常对应于较少的孔隙分布，因此限制了传输，从而抑制了可能的设计和可调范围。如今，仿生学允许微晶格超材料通过模仿自然形状、性能和功能来实现卓越的物理特性。例如，将竹子状空心支柱元素引入微晶格可以大大提高比刚度和比强度，以接近设计极限；设计多孔莲藕状微晶格可以提供优异的骨再生和修复能力，满足种植体的强度和运输要求。

华中科技大学史玉升教授团队和香港城市大学吕坚院士等团队联合，提出了一种受花旗松启发的创新超材料设计。花旗松可以长到 100 m 高，但直径仅约 1.5 m，这种超高但并不粗壮的树需要相当大的强度来抵御强风，以及具有允许水分和养分从根部到达最顶端的养料传输机制。微观结构分析表明，支持树木强劲生长的关键因素在于源自导管和纤维的交错/双峰孔隙分布模式。棋盘孔有利于利用有限的体积空间进行物质传输，而交错模式类似于三明治结构以提高强度，从而解耦机械传输性能，并实现机械传输性能的协同改进和优异组合，这在很大程度上不同于传统周期性微晶格中的规则均匀孔隙。受花旗松树双峰孔径分布的启发，研究团队采用体心立方（BCC）微晶格重叠策略构建双峰孔隙。重叠微晶格结构的特点是大小孔隙区域交错分布。通过叠加微晶格并改变内部孔隙区域的空间形状，这种受木材启发的重叠设计策略可以大大增加超材

料设计的自由度以及机械和传输性能的可调性。研究团队基于此采用 SLM 工艺打印了 316L 不锈钢微晶格超材料，来满足污水处理系统对支撑框架的尺寸、精度、强度、传输和催化剂粘附能力的综合要求。相关研究成果，以“Wood-inspired metamaterial catalyst for robust and high-throughput water purification”发表在顶尖期刊《Nature Communications》上。



图 6 《Nature Communications》

增材制造过程结束后，研究人员通过电化学沉积工艺在 316L 不锈钢表面沉积一层钴（Co），从而获得高效的污水处理系统。该系统集成了高效的 Co/SS 催化剂和受木材启发的结构优势，从而具有优化的稳定性和高流通量。通过进一步的优化，研究人员实现了突破性的结构-功能一体化——“超材料催化剂”，其具有新兴超材料概念突破所带来的物理-化学特性。Co/SS 基超材料催化剂在机械-传输-催化性能可调性方面具有卓越的性能和更大的自由度。超材料催化

赋予了材料在水净化应用中的机械和传输性能的结构-功能集成，以及高效协同催化性能。为了全面展示木质结构超材料催化剂的高强度和良好的水净化传输能力，研究人员构建了一系列具有不同支柱直径（0.30、0.35 和 0.40 mm）和重叠率（0、30、50 和 70%）的 316L 不锈钢微晶格结构。重叠设计策略旨在增加因节点数量增加和支柱内部约束而产生的相对密度，这可以显著提高结构刚度，有效承受流动冲击。同时，木质双峰孔旨在延缓废水的流速，从而增加物质输送过程中的液固接触时间，实现高效催化净化。基于木材结构启发的重叠设计增加了单位体积的表面积，从而增加了流动摩擦。

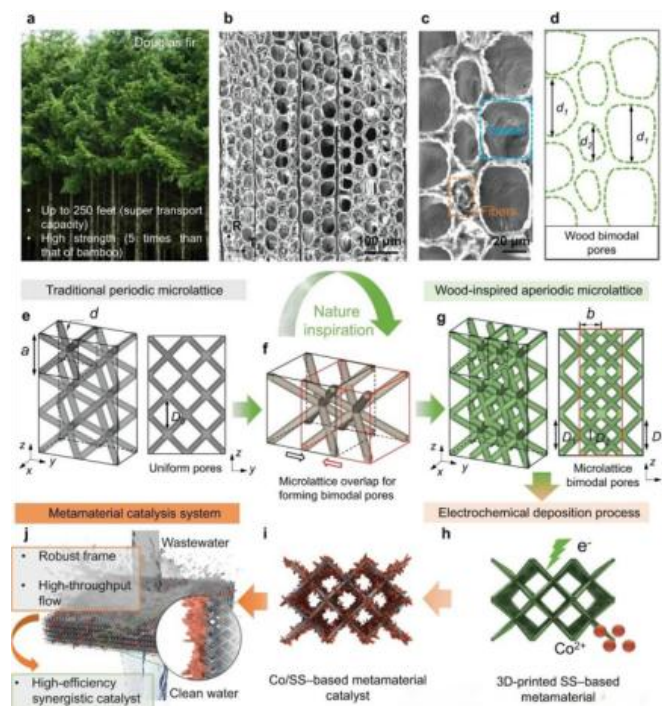


图 7 受木材启发的超材料催化剂

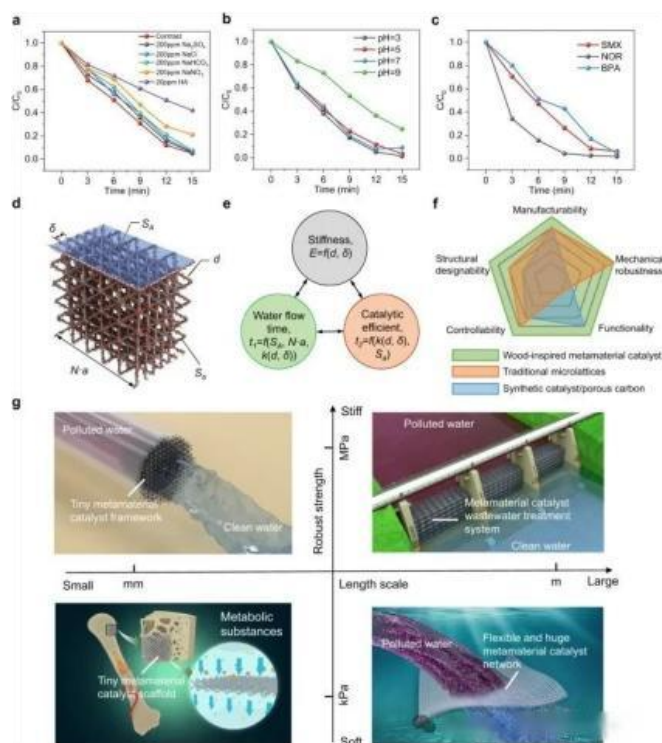


图 8 受木材启发的超材料催化剂的稳健性、可设计性和适用性

实验结果证明了仿木超材料催化剂的实用性，受木材启发的超材料催化剂的刚度、传输性能和催化能力是可调的，这表明通过超材料结构设计和增材制造可以轻松实现净水系统的结构功能集成制造。微晶格或多孔结构具有很强的结构可设计性和可打印性，同时在增材制造组件制造中金属基材料也表现出显著的抵抗机械破坏的特性。与微晶格/多孔结构和合成催化剂相比，金属增材制造和电化学沉积相结合的工艺，通过简单的制备而成，集结构强度和功能催化双重功能于一体，具有较强的可制造性、较高的宏观和微观结构可设计性、较强的几何和性能可控性，更高强度和高通量的净水能力。

(来源: <https://www.nature.com/articles/s41467-024-46337-1>)

（二）增材制造突破粒子制造的工程挑战

纳米到微米尺度的颗粒在生物学设备、药物和疫苗输送、微电子、微流体和能量存储系统领域具有广泛应用。然而传统的制造方式需要在制造速度、可扩展性与粒子形状和均匀性以及粒子性能等多个因素之间进行平衡。

对此，来自斯坦福大学的研究人员介绍了一种更高效的处理技术，借助增材制造，每天可制造多达 100 万个具有高精度且可定制的微米级颗粒。3 月 13 日，该研究以“Roll-to-roll, high-resolution 3D printing of shape-specific particles”为题发表在 nature 上，这也是本年度第二篇增材 nature 研究。

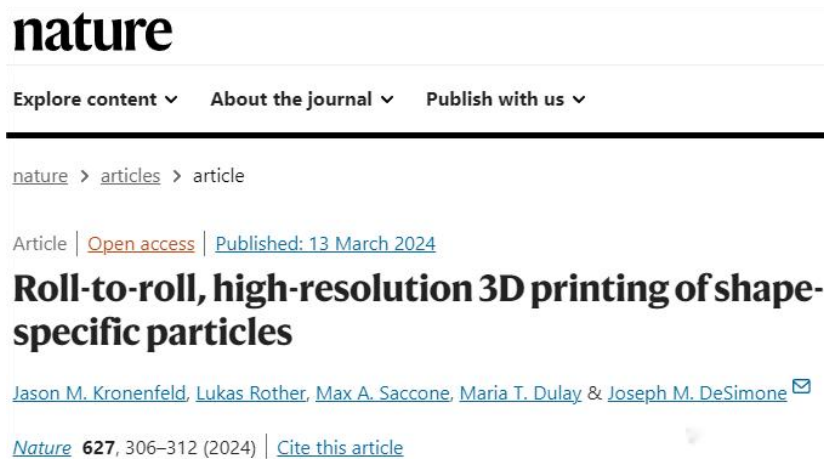


图 9 《nature》发布

传统的颗粒粒子制造方法包括研磨、乳化技术以及光刻等。研磨、乳化、沉淀、成核和生长以及自组装技术，是一种自下而上的制造方法，具有高通量制造的特点，但会导致导致颗粒群体异质，对形状和均匀性的控制有

限。为了解决这些颗粒几何缺陷，人们开发出了直接光刻、单步滚对滚软光刻和多步模具制造等自上而下的制造方法，被证明最高能够实现每天 86400 个粒子的制造速度，但仍然面临同时实现微米级尺寸、几何复杂性、制造速度、材料选择和可排列性等多维度的同时控制。

总的来说，传统的粒子制造技术需要在多个因素之间进行权衡，制造方法各有优缺点。斯坦福大学的研究人员以该校迪西蒙尼实验室 2015 年开发的连续液体界面生产 (CLIP) 技术为基础，开发了一种可扩展、高分辨率的 r2rCLIP 增材制造技术，使用单数字微米级分辨率的光学与连续胶卷（代替静态平台）相结合，能够快速、可变的制造和收获具有各种材料和复杂几何形状的粒子。通过这项技术，研究人员可以实现微米级精度的增材制造，同时保持高生产速度和材料选择的灵活性，为粒子制造带来了新的可能性。

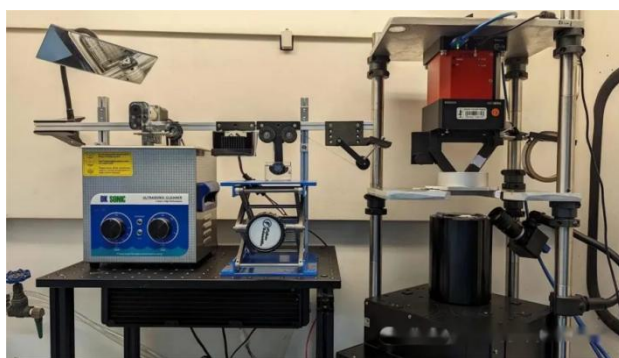


图 10 r2rCLIP 3D 打印装置

需要指出的是，增材制造需要在分辨率和速度之间进行权衡。宏观尺度的增材制造已经在大规模制造领域证明了可用性，如消费品、航空航天、汽车、医疗等领域。为了实现

快速且全自动的粒子打印过程，研究人员使用连续薄膜的模块化滚对滚系统取代了高分辨率 CLIP 打印机的传统静态构建板，实现了半连续打印和自动化的在线后处理，包括清洁、后固化和粒子剥离。选择镀铝的 PET 薄膜作为主要薄膜基底，在打印过程中可保持粒子粘附力高于原位正交树脂得回流力和正常吸力，同时仍允许从薄膜上剥离而不破裂。

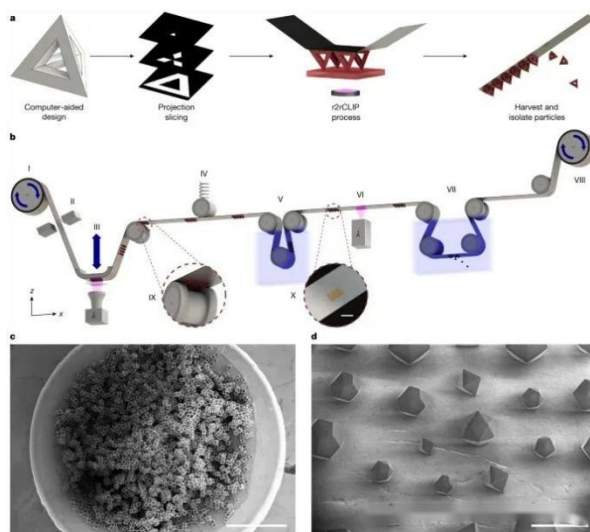


图 11 r2rCLIP 3D 打印原理

为了展示 r2rCLIP 在制造微尺度尺寸和复杂结构方面的潜力，研究人员设计了一系列几何复杂度不断增加的形状。这些设计不仅反映了以前 2D 制造和多步模具制造技术的成果，还包括一些无法使用模具制造的几何形状，体现了新技术的强大能力。研究人员将几何复杂度分为可模具制造和不可模具制造两类。

使用 r2rCLIP 方法进行粒子制造的一个显著优点是它固有的无模具特性，该工艺仅通过优化打印参数即可实现在阵列内部或之间改变制造的几何形状。这意味着可以生产各种

粒子几何形状，而无需像以前的粒子制造方法那样更换模具。当需要调整几何要求时，这种灵活性特别有益，例如当制造多分散粒子的异质混合物的精确比例时。

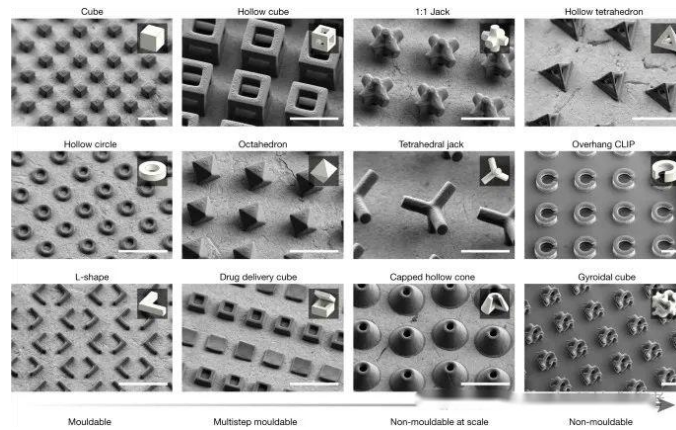


图 12 由 r2rCLIP 制造的可塑到不可塑几何形状的 SEM 图像

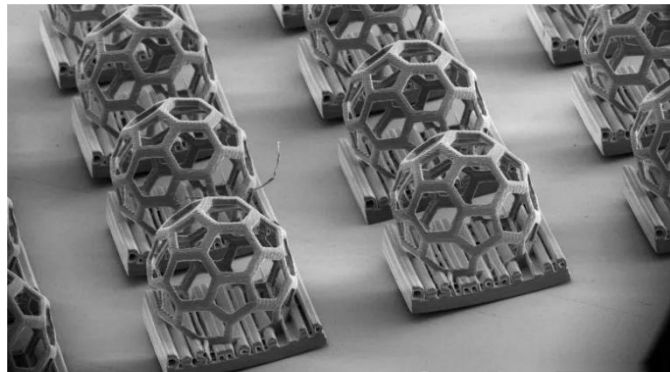


图 13 由 r2rCLIP 制造的可塑到不可塑几何形状的 SEM 图像

新的滚对滚高分辨率连续液体界面生产技术，能够以高达 2.0 微米特征分辨率批量生产直径 200 微米的粒子。打印机和树脂的光学设计优化使得以高达单位数字微米的无支撑 z 轴分辨率打印物体成为可能。在可模具制造、多步可模具制造和不可模具制造的粒子几何形状的制造中，展示了快速可变性、复杂 3D 制造能力以及对各种树脂化学成分的固有适应性。此外，对于直径小于 200 微米的单元，快速粒子生产能够在大约 24 小时内实现克级潜在产量。这种可扩展

展的粒子生产技术已经展示了从陶瓷到水凝胶歧管等广泛领域的制造潜力，随后在微工具、电子和药物输送方面具有潜在应用。

总的来说，r2rCLIP 技术有望解决当前粒子制造面临的主要工程挑战，为先进应用提供更高质量、更复杂几何形状的粒子。随着该技术的进一步发展和优化，我们期待看到它在生物医学、药物输送、微电子和其他领域的广泛应用。

(来源: <https://www.nature.com/articles/s41586-024-07061-4>)

(三) 增材制造功能晶格结构对力学性能和失效性能的影响

来自香港理工大学、法赫德国王石油与矿业大学（沙特）、大阪大学组成的团队在《国际先进制造技术杂志》发表了题为“Effect of additive manufactured hybrid and functionally graded novel designed cellular lattice structures on mechanical and failure properties”的文章，结合基于梁和基于表面的结构的不同单元，设计和评估了新型功能梯度径向杂交结构。该研究引入了一种圆柱形/径向杂交方法，结合了来自束基结构的 BCC、FCC 和八隅体，以及来自表面结构的金刚石、陀螺体和 split-p。

Effect of additive manufactured hybrid and functionally graded novel designed cellular lattice structures on mechanical and failure properties

ORIGINAL ARTICLE | Published: 04 September 2023 | 128, 4873–4891 (2023)

图 14 《SPRINGER LINK》

研究人员表示，这是第一篇研究放射杂交功能梯度结构的论文。他们设计并研究了四种不同的模型：

- 1) 均匀密度的基于表面的混合结构
- 2) 均匀密度的基于梁的混合结构
- 3) 功能梯度的基于表面的混合结构
- 4) 基于梁的功能梯度的混合结构

本研究以聚乳酸为原料，采用熔丝制造(FFF)制造。进行了准静态压缩试验，以评估杂交和功能梯度对压缩模量、极限强度、比能吸收和失效性能的影响。

1a 通过采用 NTOTI 软件设计的带参数的圆柱体和带参数的(A-II)设计的格子结构；1b (b-i) 具有不同半径和相同高度的三个圆柱体 (b-ii) 三个基于表面的晶胞，以及 (b-iii) 三个以梁为基础的晶胞。

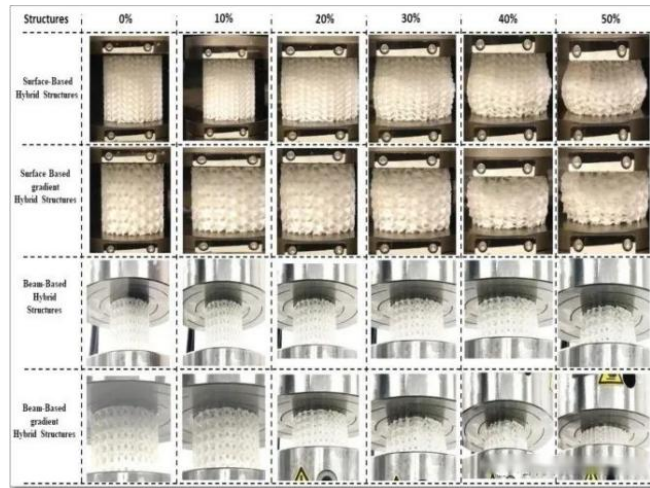


图 15 压缩试验中不同品系表面基和梁基杂交和功能梯度晶格结构的变形行为

根据研究，得出以下主要结论：

与混合结构相比，基于表面的功能梯度晶格结构在力学性能上有显著改进。压缩模量分别提高了 71.97%、71.86% 和 5.16%，极限强度分别提高了 8.97%、12.15% 和 36.05%。另外，比能吸收率提高了 2.85%，4.76%，19.10%。这些改进可以归因于该晶格结构的独特设计和优化，使其能够经受更高的压缩载荷和应力之前的失败。

基于梁的功能梯度结构展示了不同的机械行为。前两个模型的压缩载荷分别为 50.67% 和 0.59%，第三个模型的压缩载荷分别为 34.99%。同样，在第一个模型中，极限强度增加，但在第二个和第三个模型中分别减少。前两个波束模型的比吸收能量增加，而第三个模型的比吸收能量减少 12.82%。这些变化可以归因于单元晶格的定位、体积分数和结构内屈曲的发生。

在功能性梯度梁基晶格结构中主要观察到屈曲现象，主要是由于单位单元位置、体积分数和结构几何的变化。单元类型的重新定位导致体积分数的减少，导致支柱的破坏和随后结构的屈曲。

总之，本研究通过对功能梯度放射性杂交晶格结构的设计和 optimization 提供了有价值的见解。研究结果展示了功能梯度结构的优越力学性能，并强调了与梁基结构中屈曲相关的挑战。这些见解可以为未来的研究提供参考，并有助于各种应用的晶格结构的发展，使它们能够在失效之前经受更高的压缩载荷和应力。通过利用独特的混合和功能梯度方法，设计师和工程师能够提高晶格结构的性能和可靠性，能够设计轻量级部件，并扩大其在航空航天、汽车等行业的潜在应用。

(四) 中美学者在增材制造钛合金抗疲劳设计制备方面取得进展

在国家自然科学基金项目(批准号: 52321001、52322105)等资助下,中国科学院金属研究所张哲峰研究员、张振军研究员与美国加州大学伯克利分校 Robert O. Ritchie 教授等合作,制备出一种具有超高抗疲劳性能的增材制造钛合金材料,疲劳强度高达 978MPa。相关研究成果以“近无微孔 3D 打印钛合金高抗疲劳性能 (High fatigue resistance in a titanium

alloy via near void-free 3D printing) ” 为题，于 2024 年 2 月 28 日发表于《自然》（Nature）杂志。

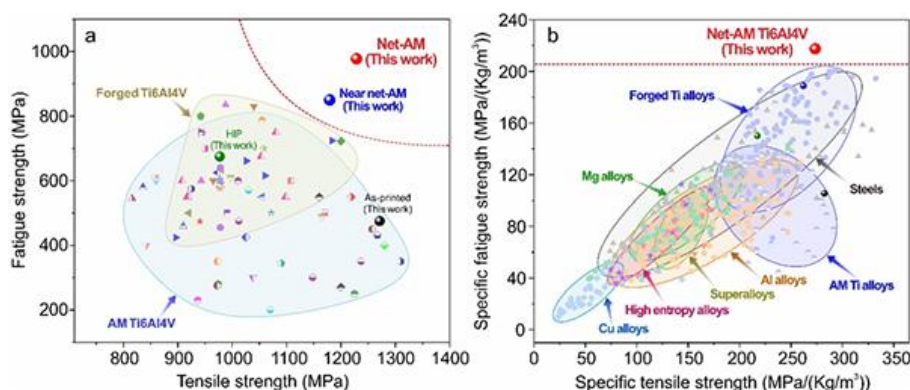


图 16 近 Net-AM 组织钛合金的超高拉-拉疲劳强度 (a) 与比疲劳强度 (b)

增材制造技术因其得天独厚的自由成形能力充分满足了高端装备和构件对高集成性、多功能性、轻量化、一体化的需求，被认为是制造领域的颠覆性技术，并在航空航天等领域得到极大关注和初步应用。然而，与传统制造技术相比，增材制造制备的材料在循环载荷下的疲劳性能普遍较差，严重制约了其作为结构承力件的广泛应用。因此，如何提升增材制造材料与构件的疲劳性能是国内外学术界与工程界热切关注的焦点问题。

研究团队首次提出：理想状态下增材制造技术制备出的原始组织本身（称为 Net-AM 组织）应具有天然的超高疲劳性能，但打印过程中产生的气孔等缺陷掩盖了其自身组织抗疲劳的优点，导致其实际测量的疲劳性能严重偏低。然而，目前消除气孔的工艺往往伴随组织粗化，而细化组织的处理又会带来气孔复现，甚至引发晶界 α 相富集等新

的不利因素；因此，如何在消除打印气孔的同时尽可能保留原始打印组织状态，是亟待突破的难点。为此，研究团队巧妙利用增材制造态组织晶界迁移及气孔长大与相转变过程的异步特性，发明了缺陷与组织分步调控的 NAMP 新工艺（Net-Additive Manufacturing Process）。该工艺既可实现板条组织细化，又能有效抑制晶界 α 相富集及气孔复现，最终在 Ti-6Al-4V 合金中成功制备出几乎无气孔的近 Net-AM 组织。这一近 Net-AM 钛合金充分展示出增材制造原始组织自身的超高疲劳性能，其拉-拉疲劳强度从初始态的 475 MPa 提升至 978 MPa，增幅高达 106%；这一疲劳强度水平不仅超越了所有已知的钛合金材料，而且打破了目前已报道所有材料中的比疲劳强度纪录。该成果更新了人们对增材制造材料疲劳性能不高的固有认识，揭示了增材制造技术在抗疲劳设计制造方面的独特优势，展现了增材制造材料作为结构承力件在航空航天等重要领域的广阔应用前景。

（来源：<https://www.nature.com/articles/s41586-024-07048-1>）

● 行业动态

(一) 国家统计局：1-2 月份 3D 打印设备产量同比增长 49.5%

日前，国家统计局发布数据显示，1-2 月份我国国民经济稳中有升，包含多项工业和信息化发展数据，其中提到今年前 2 个月，我国 3D 打印设备、充电桩、电子元件产品产量同比均增长超 4 成。



图 17 文件内容

数据显示，1-2 月份，全国规模以上工业增加值同比增长 7.0%，比上年 12 月份加快 0.2 个百分点。制造业增长 7.7%。消费品制造业增加值增长 4.7%，比上年 12 月份加快 4.4 个百分点；高技术制造业增加值增长 7.5%，加快 1.1 个百分点。3D 打印设备、充电桩、电子元件产品产量同比分别增长

49.5%、41.8%、41.5%。

（二）首都航天机械 2023 年增材制造年产值近 1 亿

首都航天机械有限公司隶属中国航天科技集团运载火箭技术研究院，是我国规模最大的运载火箭总装集成企业，唯一的火箭氢氧发动机制造企业。据了解，该公司的增材制造技术已经在 40 多项型号产品中应用，2023 年创造了近 1 亿元的年产值。目前，该公司已经将这种结构件应用于多型航天型号产品舵翼、套筒等产品中，它能够同时满足减重、承载、隔热的多功能复合需求，堪称颠覆性的突破。此外，该公司还突破了负泊松比结构设计与制造关键技术，自主开发了极小曲面结构设计平台，突破了多孔结构的精准制备技术。在航天特种材料方面，建立了涵盖 8 类、10 余种牌号的增材制造体系，为航天产品升级换代提供了有力支撑。

（三）通用航空将投资 6.5 亿美元 助力扩大增材制造喷气发动机的生产规模

近期，美国能源跨国公司通用电气集团（GE）的航空航天部门 GE Aerospace 宣布，今年计划向其全球制造工厂和供应链投资超过 6.5 亿美元（约合 46 亿人民币）。这家总部位于俄亥俄州的发动机制造商希望这项投资能够提高其生产能力，从而满足商业和国防客户不断增长的需求。



图 18 波音 777X 喷气式飞机和 GE9x 发动机

特别是在 2024 年的投资计划中，它们将通过投资进一步扩大在增材制造 LEAP 发动机方面的生产能力。这些发动机由通用与法国航空航天制造商赛峰（Safran）集团的合资企业 CFM International 开发，为空客 A320neo、波音 737 MAX 和中国商飞 C919 飞机提供动力。这笔资金还将用于全面生产通用的 GE9X 发动机，该发动机拥有 300 多个增材制造零件，且专为波音 777X 喷气式飞机设计。此次通用航空新投入的 6.5 亿美元，将进一步扩大它的 3D 打印喷气发动机的生产规模。这一举措旨在加速 3D 打印技术在航空业的应用，提高发动机制造的效率和性能。

● 典型应用

（一）增材制造被用于制造我国探月卫星燃料贮箱

近期，长征八号遥三运载火箭在海南文昌卫星发射中心顺利升空，成功将“鹊桥二号”卫星送入预定轨道。作为公共中继星平台，“鹊桥二号”将为后续嫦娥六号、七号、八号任务提供中继通讯服务，本次发射正式开启了我国探月工程四期的新征程。

航天六院在相关报道中指出，“在此次发射中，有卫星贮箱结构应用增材制造工艺实现，这对于微小卫星批量生产和组网发射奠定了良好的基础，具有重大商业价值”。

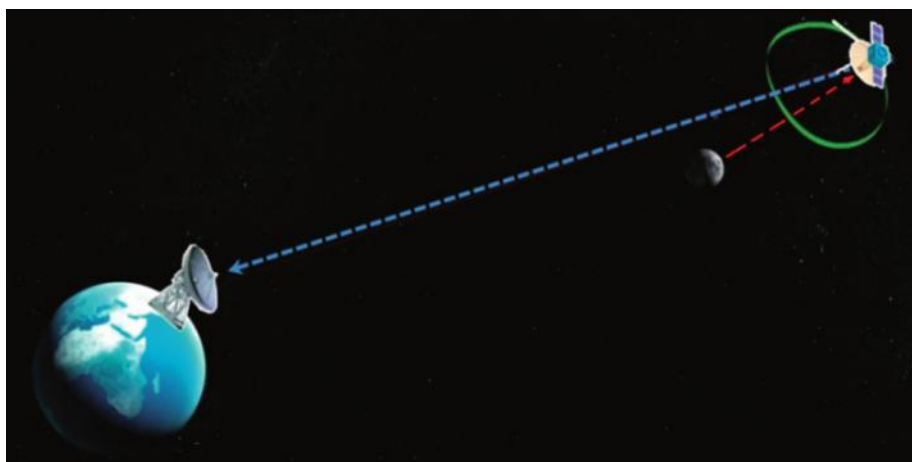


图 19 中继星轨道位置与工作示意图

贮箱由钛合金制造，涉及锻造、热处理、机加工和焊接等工艺组合。使用传统工艺，无法实现有针对性的质量减少。复杂的设计对于制造来说要么不可行，要么不经济。传统方法制造的贮箱浪费了大约 80% 的原材料。因此，燃料贮箱的传统制造技术成本高，生产周期长。

目前的工作证明了增材制造作为制造燃料贮箱的替代路线的有效性。通过面向增材制造的设计，现在可以进一步对贮箱进行轻量化设计，实现高容积利用率，同时保持整体结构的完整性。这种重量减轻可转化为有效载荷容量的增加和任务效率的提高。

（二）西屋实现核电部件的批量增材制造

西屋电气(Westinghouse)公司最近制造出第 1000 块用于 VVER-440 反应堆燃料的增材制造燃料流板。这些流动板被认为是有史以来第一个进入批量生产的安全相关增材制造组件，并安装在 VVER-440 燃料组件中。该设计利用了增材制造的设计，重新设计了组件的底部，据说可以提供更强大的性能。这些板材已经入围 2024 年 TCT Awards 工业产品应用奖的决赛。

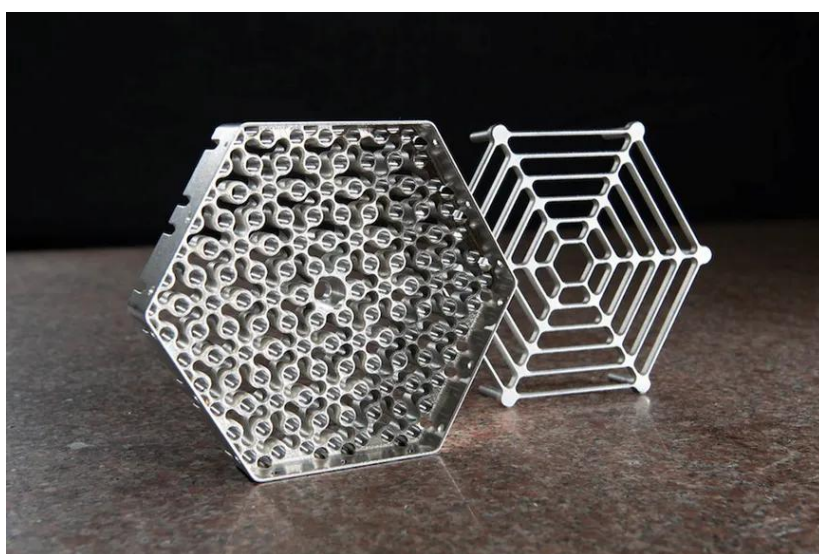


图 20 西屋电气 3D 打印燃料流量板

据了解，西屋电气公司的技术是全球近一半运营中的核电站的基础。这家总部位于宾夕法尼亚州的公司早在 2015 年就首次开展了 AM 核部件材料辐照研究，此后一直使用该技术来探索降低能源发电的成本和交货时间。五年后，它在运行中的商业反应堆中安装了第一个安全相关的增材制造组件，即采用金属粉末床熔融技术制造的顶针堵塞装置。该装置用于核反应堆，帮助将燃料组件降低到核反应堆堆芯中，并在春季加油停运期间安装在 Exelon 的拜伦 1 号核电站中。

（三）宝马将使用电弧增材制造生产汽车部件

宝马集团长期以来一直是增材制造技术的用户和创新者。该公司最近几年在增材制造技术领域的应用进展，尤为突出的是，它已经实现了塑料、金属和砂型增材制造的初步自动化制造。大约在 2015 年，该公司开始关注电弧增材制造技术(WAAM)，根据最新的消息，宝马计划从明年开始在车辆中测试电弧增材制造的零件。

电弧增材制造技术与其他金属增材制造及传统制造工艺不同，它利用通过电弧熔化的金属丝来实现层层制造。该技术能够创建中空结构，生产出具有卓越刚性重量比的部件，超越了通过传统压铸方法生产的零件性能。这不仅可以使零件变得更轻、更坚固，而且还可以降低能源需求并最大限度减少材料浪费。

● 成员展示

贵州森远增材制造科技有限公司

贵州森远增材制造科技有限公司成立于 2015 年，隶属于贵州科学院冶金化工研究所，位于贵阳国家高新技术产业开发区沙文园区内。



图 21 公司一角

公司以增材制造技术咨询、加工服务，增材制造产品的设计、研发、生产、销售为主要经营范围，2024 年被认定为国家工程研究中心共建单位，建设有高分子复杂结构增材制造国家工程实验室在贵州的分支机构（贵州工业设计应用中心），增材制造生产体系通过 ISO9001 质量管理体系认证。公司现有研发人员 10 人，其中硕士研究生 8 人，高级工程师 6 人。现阶段装备有华曙高科选择性激光高速烧结设备 11 台，装机数量位于全国前列，专业从事尼龙 12 高分子制件的增材制造加工业务。拥有大型增材制造生产辅助、检测装备五十余台/套；配套建设有材料科学专用实验室，拥有自主

知识产权的增材制造成套专利技术。公司致力于数字化智能制造技术的推广应用及加工服务，拥有多个行业内领先的增材制造创新应用技术与服务经验，重点面向制造业发展需求，提供增材制造技术咨询、产品数据处理、快速原型制造、终端零部件批量制造到产品后处理的全链条技术服务，为客户提供优质、高效的增材制造加工、技术服务，帮助客户提高市场竞争力，实现数字化智能制造技术与相关产业的密切结合。

应用突破方面，公司参与建设贵州科学院 3D 打印工程中心，中心拥有各类型工业级增材制造设备 35 台，工程化能力与技术孵化能力国内领先，已成为高分子复杂结构增材制造国家工程技术研究中心的共建单位；除制造平台外，中心还搭建了年产 50 吨增材制造聚合物粉末中试平台、增材制造聚合物粉末改性技术中试平台、聚合物材料基础实验室等研发平台，拥有各类中试设备、检验检测仪器 50 余台。形成了以增材制造专用聚合物材料制备与改性技术为主的研发方向；积极推进制造平台数字化转型，引进增材制造专用生产管理系统软件 1 套、建设互联网订单平台 1 个，增材制造生产基本实现数字化管理，选择性激光烧结平台已具备年产 5000 公斤以上聚合物复杂结构制件的生产能力。

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



联盟官方网站



微信公众号