

增材制造产业发展 简报

2024年5月10日

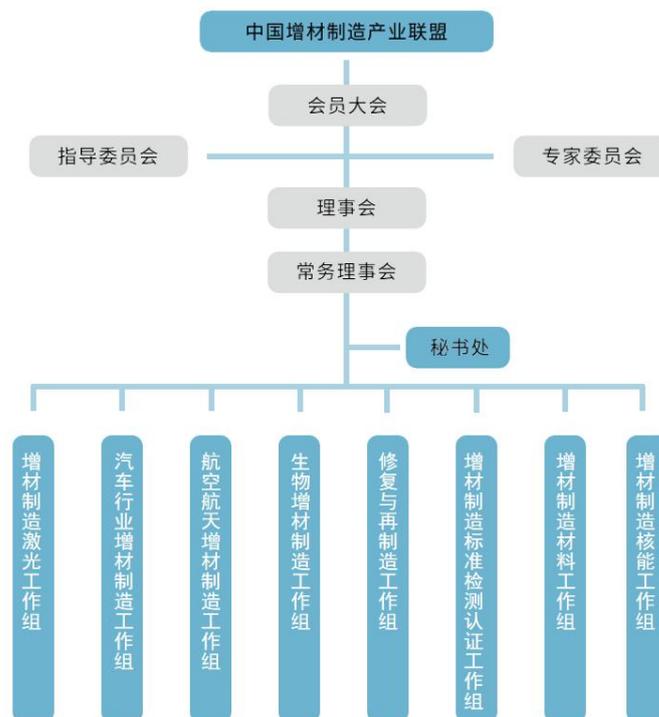
第04期

总第056期

【内容提要】

- 本期关注：TCT Asia 2024“入门级+国际化”双轮驱动
增材制造公司积极打造新增点
- 政策追踪：工信部等七部门联合印发《推动工业领域设备更新
实施方案》
- 技术进展：增材制造大尺寸跨尺度结构陶瓷催化剂
- 行业动态：《装备强国》系列活动——增材制造赋能医疗应用交流
对接活动在京举行
- 典型应用：增材制造一体化制造 我国可重复使用火箭发动机
第15次试验成功
- 成员展示：长三角先进材料研究院

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400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

TCT Asia 2024“入门级+国际化”双轮驱动 增材制造公司积极打造新增点

5月7日-5月9日，为期三天的全球3D打印盛会，第十届亚洲3D打印、增材制造展览会(以下简称TCT Asia 2024)在上海国家会展中心正式落下帷幕。此次盛会汇集了全球400多家展商，覆盖增材制造产业链从设计至成品的完整流程，深入挖掘并展示了增材制造技术的全面潜力，集聚行业力量以增材制造全产业链的优势，为企业提供决策依据和对接渠道，吸引了来自全球各地的专业观众纷至沓来。

展会现场，铂力特、华曙高科、西门子、惠普等业内知名企业集体亮相，来自海内外的参展者齐聚一堂，“入门”“出海”成为2024年的展会亮点。

随着国产增材制造设备不断迭代升级并向各个细分市场“开疆扩土”，增材制造技术将进入海内外更多用户的工作和生活中。入门级增材制造设备受追捧，造型奇特的花瓶、栩栩如生的龙形摆件、细节精致的动漫手办……各式各样的增材制造产品整齐有序地摆放在展台中。仅需花费一千多元，普通消费者就可以购买到一台品牌增材制造设备，并通过自建3D数字化模型或模型库下载数据，打印任意样式的3D产品。

增材制造可以帮助人们以更快的速度和更低的价格，将头脑中的想法变为现实。在 C 端消费群体中，工业设计师、手工爱好者、数码极客玩家等人群很热衷购买入门级的增材制造设备。越来越多消费者开始追求个性化的产品体验，带动了对增材制造的多元化需求。目前，自行车座椅、鞋垫、眼镜框、运动护具、耳机等产品均可以通过增材制造实现个性化定制。入门级增材制造设备已经不是业余爱好者和普通消费者的专利，在齿科、汽车、医疗保健、航空航天、珠宝和消费品等领域，许多专业人士意识到，可以以更加实惠的价格，获得类似的功能服务，另一方面，数字化浪潮推动了设备出货量增加。在数字化时代，数据在增材制造中的作用越来越重要，更多企业通过对相关数据的收集与使用，满足人们多种多样的打印需求。

出海成为增材制造企业关键词，增材制造的蜂窝式栅格翼、汽车管道、多孔型椎间融合器、精密成形技术生产的零件……展会现场，华曙高科、铂力特等公司展示了其增材制造设备在航天航空、汽车、医疗等领域的前沿应用。目前，中国已经成为全球最大的工业级增材制造设备市场，在工业级增材制造方面具有优势地位。许多入门级增材制造设备也在中国制造，并销往全球。海关总署数据显示，2023 年，全国 3D 打印机出口数量达到 355 万台，同比增长 89.2%；出口总额约 61.53 亿元，同比增长 68.7%。

从业内工业级增材制造厂商的海外布局可窥见一斑。工业级增材制造装备研发和生产商华曙高科，目前正在面向国内外销售工业级自有品牌 SLM、SLS 打印设备及 SLS 尼龙粉末材料，自主产品已经出口至全球 30 多个国家，销售规模位居全球前列。与此同时，铂力特旗下铂力特（欧洲）有限公司于 2023 年正式启用，陆续开展海外业务。该公司分别与韩国 Lincsolution、日本 ORIX Rentec 及波兰 CadXpert、尼日利亚 RusselSmith 签署代理商协议，并将分别在市场应用开发、设备销售、材料销售及技术咨询等方面开展合作，标志着公司向国际化发展迈出重要步伐。目前，铂力特的产品已经销往欧洲、北美、东南亚等地区。此外，Creality（创想三维）、Bambu lab（拓竹科技）、ELEGOO（智能派）等多家拥有入门级增材制造设备的公司也在积极出海。据业内人士介绍，目前，我国的入门级增材制造设备近九成出口海外，亚马逊增材制造设备前十大产品大部分都是中国品牌。

据业内人士表示，今年增材制造技术或将在消费领域进一步扩容，iPhone、Apple Watch、折叠手机轴盖等产品都会有越来越多的增材制造应用需求。

（来源：中国证券报）

● 政策追踪

（一）工信部等七部门联合印发《推动工业领域设备更新实施方案》

工业和信息化部、国家发展改革委、财政部、中国人民银行、税务总局、市场监管总局、金融监管总局等七部门近日联合印发《推动工业领域设备更新实施方案》（以下简称《方案》），提出到2027年，工业领域设备投资规模较2023年增长25%以上，规模以上工业企业数字化研发设计工具普及率、关键工序数控化率分别超过90%、75%，工业大省大市和重点园区规上工业企业数字化改造全覆盖，重点行业能效基准水平以下产能基本退出、主要用能设备能效基本达到节能水平，本质安全水平明显提升，创新产品加快推广应用，先进产能比重持续提高。



工业和信息化部等七部门关于印发推动工业领域设备更新实施方案的通知

图 1 通知文件

《方案》指出，推广应用智能制造装备。以生产作业、仓储物流、质量管控等环节改造为重点，推动数控机床与基础制造装备、增材制造装备、工业机器人、工业控制装备、智能物流装备、传感与检测装备等通用智能制造装备更新。重点推动装备制造更新面向特定场景的智能成套生产线和柔性生产单元；电子信息制造业推进电子产品专用智能制造装备与自动化装配线集成应用；原材料制造业加快无人运输车辆等新型智能装备部署应用，推进催化裂化、冶炼等重大工艺装备智能化改造升级；消费品制造业推广面向柔性生产、个性化定制等新模式智能装备。

（二）国家统计局：一季度增材制造装备产量同比增长 40.6%

国家统计局于 4 月 16 日公布我国一季度经济增长数据。2024 年一季度，全国规模以上工业增加值同比增长 6.1%，其中增材制造装备产量同比分别增长 40.6%。

桌面型增材制造装备预计是一季度产量增长的主要驱动因素。这一增长速度表明，全球消费级增材制造装备市场的需求巨大，中国增材制造装备厂商在新一轮的竞争中已经获得稳固优势。且近期以来，国内桌面型增材制造装备龙头企业动作频频，表现出将打破传统 FDM 及 DLP 技术固有表现（如打印速度慢、色彩单一等）的积极态度。总的来说，

这一增长或是由政策支持、技术创新以及市场需求等多方面因素共同推动的结果。

（三）陕西重点发展增材制造：培育千亿级增材制造产业创新集群行动计划

为抢抓新一轮科技革命和产业变革战略机遇，扎实推进陕西省千亿级增材制造产业创新集群培育，加快推动增材制造产业聚链成群，加快形成新质生产力，不断塑造高质量发展新动能，陕西省发展和改革委员会特制定印发了《陕西省培育千亿级增材制造产业创新集群行动计划》的通知，构建“一体五翼多点”产业发展格局，围绕集群化、生态化，推进上下游创新链和产业链协同融合发展。



图 2 通知文件

● 技术进展

(一) 增材制造大尺寸跨尺度结构陶瓷催化剂

西安交通大学李涤尘、田小永教授团队与中石油兰州化工研究中心、西安交大工业催化研究所、北京化工大学合作研究成果以题为“3D printed cross-scale structured TS-1 catalysts for continuous scale-up reactions”发表在增材制造顶级期刊《Additive Manufacturing》上。



图3 发表截图

结构化陶瓷催化剂和反应器由于具有优异的过程强化性能，在气液转化工程中具有广阔的应用前景。然而，传统的制备工艺限制了整体式陶瓷催化剂多层次结构的可设计性与多尺度可控制造，减慢了催化剂的研发速度。该研究团队创新建立了3D打印功能梯度模块化整体式钛硅分子筛TS-1催化剂（FGMMC）的跨尺度构效机制，提出化学反应模拟驱动的多层级结构设计方法，调控nm级材料孔隙、 μ m级工艺孔隙和mm级流道特征孔隙，以实现高效的选择性

氧化催化。探究了不同 TS-1 含量和晶胞尺寸的均一、梯度结构对模块化整体式 TS-1 催化剂 (MMC) 催化性能的影响。在乙烯一步氧化为乙二醇 (EG) 的放大反应中, FGMMC 表现出优于传统粉末、小球和均一结构催化剂的催化效率。经过长周期连续放大催化试验, FGMMC 表现出优异的磨耗性 (仅 1.39% 的质量损失) 和 EG 收率 (82.5%), 在快速活化处理后反应速率增加 37%。这项工作提供了一种整体式陶瓷催化剂低成本、大尺寸、快速高效的制造方法, 通过 3D 打印实现催化剂和反应器的结构-功能集成, 同时能够快速预测和验证放大反应效率。

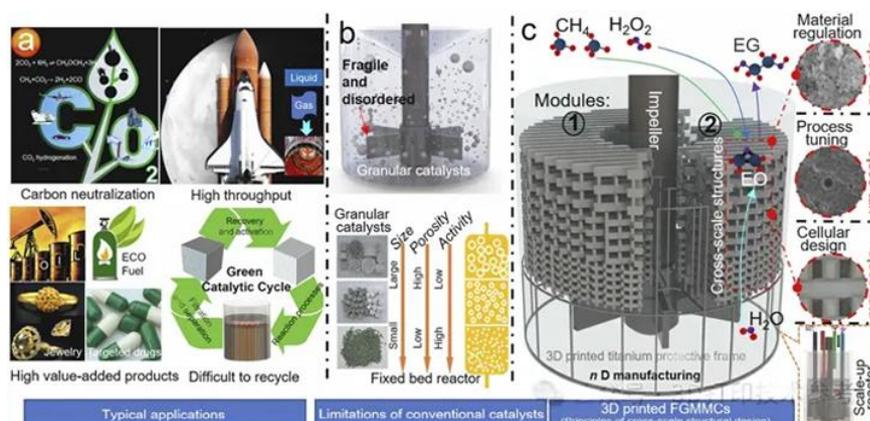


图 4 3D 打印功能梯度结构陶瓷催化剂与典型应用

受骨骼、贝壳和竹子等天然多孔材料的启发, 制造具有功能梯度结构化催化剂可定制比表面积和多层级结构, 精确控制活性位点的分布, 匹配传质和反应时间, 实现反应过程强化。现有研究难以实现催化剂和反应器的功能集成制造, 功能梯度结构与催化性能之间的构效机制仍缺乏研究。增材制造技术可快速制造复杂功能梯度结构, 打破传统工艺对设

计、制造自由度的限制。3D 打印结构化陶瓷催化剂在碳吸附与转化、极端环境高通量转化、高附加值化学品生产、难回收分离与安装等反应场景中具有应用优势，因此发展整体式催化剂/微反应器 3D 打印技术是近年来的研究热点。结合现有反应器的结构，3D 打印的 FGMMC 可以调节纳米级材料孔隙、微米级工艺孔隙和毫米级流道特征孔隙，控制反应传质和时间，实现效率提升和快速放大验证。

该研究团队采用自研的远端气动-近端螺杆的多自由度材料挤出 3D 打印工艺与装备，可支持高达 200 mm/s 的 3D 打印速度，是最接近化工行业现有陶瓷载体和催化剂制备工艺的增材制造工艺，有望大规模工业生产。在结构设计方面，竹子从表面到内部孔径呈现出由小到大的连续梯度变化，受竹子梯度孔道结构的启发，研究人员仿生设计了 MMC 的三维结构模型。为了提高 MMC 的比表面积和 3D 打印速度，选择超材料木堆结构作为 MMC 的基本结构单胞，调控壁厚（D）、间距（L）和高度（H）等孔道结构参数设计不同结构的 MMC，保持相同的设计域以确保一致的外部尺寸（高 39.6 mm、内径 32 mm、外径 80 mm）。根据模型 3D@A3.15 - 0° 制备了不同 TS-1 含量的 MMC，随着 TS-1 含量从 30 wt% 增加到 60 wt%，微观结构逐渐趋于多级分布，球形孔隙直径逐渐变小，表明二氧化硅含量对球形孔隙结构的孔隙率和孔径有影响；MMC 的比表面积从 170 增加到 290 m²/g。

TS-1 含量的变化调控了纳米孔径的分布，主要分布在 1.29 nm 和 17.63 nm 处，50 wt% TS-1 的 MMC 的微孔孔径分布占比为 0.57%，60 wt% TS-1 时降至 0.44%。MMC 在 9.06 nm、77.10 nm 和 2.06 μm 处具有多层次孔隙分布，其中孔隙占比分别为 1.12%、10.26%和 88.62%。

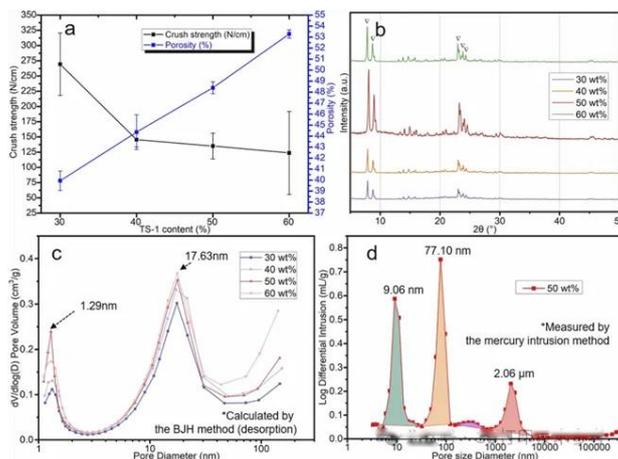


图 5 具有不同 TS-1 含量的 3D 打印 MMC 的物理性能表征

采用计算流体力学 CFD 和气液传质理论对乙烯一步氧化至 EG 催化反应进行模拟仿真，得到模块化整体式 TS-1 催化剂的孔道结构与催化反应效率的关系。考虑 nm 和 μm 孔隙的影响，将 MMC 多孔介质孔隙率带入模型计算。根据反应器中三维模型的速度矢量分布，建立了 MMC 二维截面、三维整体结构的催化反应模拟模型，对应于 MMC-S、MMC-M、MMC-L、FGMMC-SL 和 FGMMC-LS 结构，反应 6 秒时，FGMMC-SL 生成的 EG 量最大，EG 的质量分数为 2.4×10^{-12} ，而 MMC-L 产生的 EG 质量分数仅为 5×10^{-13} ，不同结构模拟催化反应效率排序如下：FGMMC-SL>MMC-S>MMC-M>FGMMC-LS>MMC-L。随着

TS-1 含量从 40 wt%增加到 50 wt%，催化效率显著提高，TS-1 含量超过 50 wt%后催化效率已处于峰值，因此考虑到经济性、力学性能、孔隙特征等综合因素，选择 50 wt% TS-1 整体式催化剂作为主要研究对象。

各种结构的间歇反应催化效率排序如下 FGMMC-SL>MMC-S>MMC-M>FGMMC-LS>MMC-L，验证了催化反应模拟的准确性。将 TS-1 粉末、小球和整体式陶瓷催化剂进行连续放大催化反应。与间歇反应结果一致，FGMMC-SL 结构催化剂的催化效率最高， $Y(EG) = 75.2\%$ ， $S(EG) = 90.4\%$ ， $X(H_2O_2) = 99.4\%$ ， $U(H_2O_2) = 75.7\%$ 。进行了 4 天的长周期连续催化试验，催化效率逐渐提高，在第 16 小时达到最高反应效率（ $U(H_2O_2) = 99.3\%$ ， $X(H_2O_2) = 97.3\%$ ， $Y(EG) = 96.6\%$ ， $S(EG) = 91.1\%$ ）。第 3 天 EG 选择性最高、最稳定的原因可能如下：(1)催化剂存在诱导期；(2)随着反应混合物在反应过程中的冲刷，尽管存在积碳，催化剂暴露出更多的活性位点。3D 打印功能梯度结构催化剂提供了最佳的机械性能，解决了快速循环分离的问题，制造了 nm 到 μm 的可控孔隙结构，实现了基于化学场驱动的宏微观结构可控分布设计与制造，与排列无序、孔径结构单一的传统颗粒催化剂相比，提高了催化效率与机械稳定性。

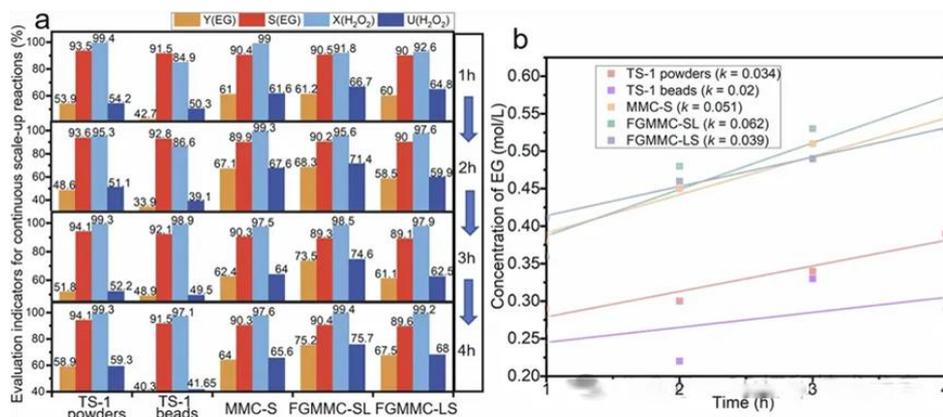


图 6 不同结构对连续放大反应性能的影响

自 2017 年起，该团队在 3D 打印多孔陶瓷催化剂跨尺度结构设计及性能优化技术研究领域已发表多篇 TOP 论文，并取得了产业化应用，解决了传统催化剂多级结构难以可控制造、制备工艺复杂、难分离、传质传热受限等问题，通过 3D 打印实现催化剂和反应器的结构-功能一体化设计与制造，为整体式催化剂/微反应器的形性调控与制造提供了理论指导与快速放大验证的方法，有望在吸附、分离、化工等工业领域实现应用。

(二) 近红外光交联水凝胶用于活体生物增材制造

最近，来自意大利帕多瓦大学的 Nicola Elvassore 团队在 Nature Biomedical engineering 上发表题为 “Intravital three-dimensional bioprinting” 的文章，提出了一种活体生物增材制造方法。他们开发的光敏水凝胶 HCC 通过生物正交双光子环加成法，可以在大于 850nm 的波长下交联，可实现在活小鼠的组织内制造复杂组织结构。

如图所示，他们选择香豆素衍生物作为光敏交联基团（HCC）。当暴露于在近红外光的双光子激发下时，香豆素衍生物有可以发生[2+2]环加成反应，从而使水凝胶发生交联固化，这种方式大大增强了对生物组织的穿透能力。同时由于香豆素介导的环加成没有自由基的产生，从而避免对活组织的损害。

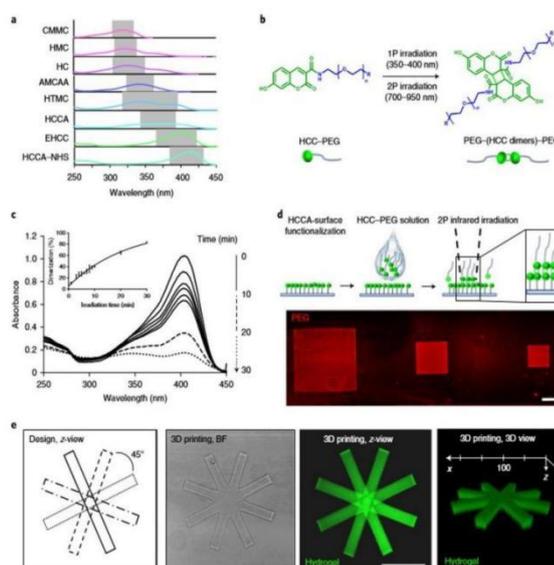


图 7 用于活体生物 3D 打印的可注射 HCC 共轭聚合物合成原理

作者通过一系列的表征手段来展示光敏水凝胶 HCC 独特的理化性质，结果表明，通过使用 HCC 聚合物溶液的红外光介导的光学交联，可以生产具有精确 3D 定位、微米分辨率和可调机械刚度的 3D 水凝胶。

为了验证活体生物打印的可行性，随后作者在小鼠的皮肤上进行了 3D 打印实验。使用双光子显微镜将 HCC 聚合物溶液暴露于聚焦脉冲近红外激光（ $\lambda = 850 \text{ nm}$ ）中。结果表明，在肌纤维表面制造 3D 水凝胶不会明显改变总体肌纤维

形态和结缔组织完整性，且水凝胶仅在进行光反应的区域形成，可以进行精确的 3D 打印。最后作者研究了该方法在生物组织中打印的可行性。通过在 HCC 明胶溶液中负载纤维细胞和 MuSCs，来验证生物打印是否可以促进骨骼肌的新生形成。结果表明，在小鼠后肢肌肉外膜下对供体肌肉来源的干细胞进行活体 3D 生物打印，可导致小鼠肌纤维的新生形成。

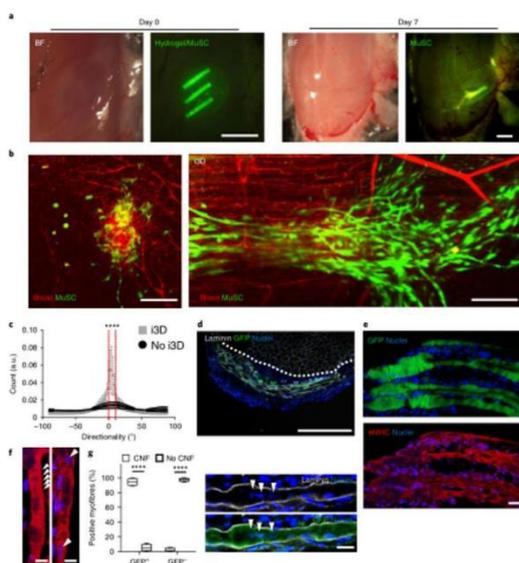


图 8 负载细胞的 3D 生物打印

该研究证实了近红外光激发下进行活体生物 3D 打印的可行性。这种活体 3D 生物打印不会对生物组织造成伤害且具有非常高的组织穿透能力，可以利用常用的多光子显微镜对生物打印结构进行精确定位和定位，使活鼠组织内部的复杂结构得以制造，包括真皮、骨骼肌和大脑。

(来源: <https://www.nature.com/articles/s41551-020-0568-z>)

（三）机器人辅助连续纤维增强复合材料增材制造取得突破

连续纤维增强复合材料构件以其轻质高强、性能可设计等优势成为支撑航空航天、地面交通、绿色能源等领域高端自主装备实现减重增效、提档升级的重要基石。增材制造作为实现连续纤维增强复材构件的新兴工艺，能够一体化且高效率地制备具有优异性能的复杂设计，因此备受广泛关注。然而，当前连续纤维复材增材（CFRP-AM）系统中广泛使用的三轴运动方案，不但成型空间受限难以制造中、大型构件，还仅能在二维平面内铺排连续纤维，导致构件沿材料堆积方向性能较弱，严重制约了连续纤维复材增材构件的大规模应用。

针对这种不足，提高设备运动自由度以直接成形空间曲面特征是一种有效的改进策略。多自由度运动允许沿任意所需方向铺排连续纤维复材，可以充分利用其力学各向异性，实现构件性能的显著提升，扩展结构、工艺、性能设计空间。南方科技大学熊异助理教授团队开发了一套基于机器人辅助的连续纤维复材共形增材制造系统，并展示了 CFRP-AM 的全新范式及其巨大潜能。相关研究成果 “Robot-assisted conformal additive manufacturing for continuous

“fibre-reinforced grid-stiffened shell structures” 发表在著名国际期刊 *Virtual and Physical Prototyping*。

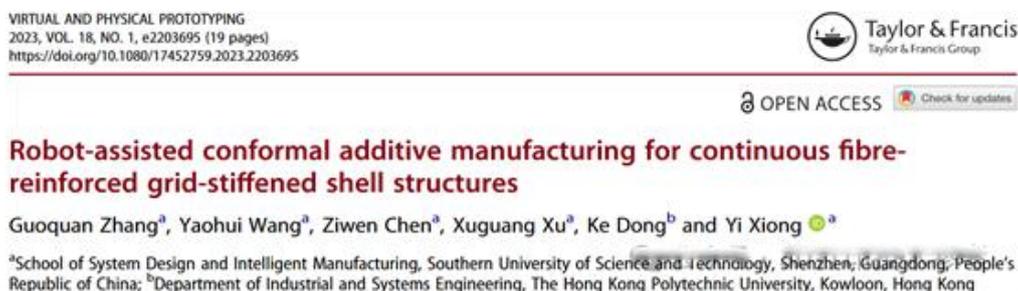


图9 期刊发表

针对现有基于三轴运动平台 CFRP-AM 系统的不足，该团队利用 6 轴协作机器人所具有的空间运动能力实现连续纤维选择性空间铺排，突破了平面铺层限制。此外，该团队所开发的纤维-树脂共挤出模块不仅提供了主动送丝、纤维切断、熔融挤出等功能，还基于多物理场模拟优化了共挤出喷嘴几何结构以改善打印质量。

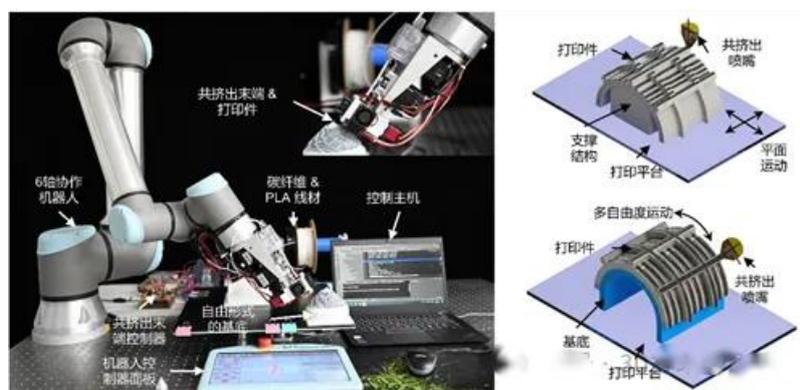


图10 机器人辅助 CFRP-AM 系统及工艺原理

系统的工作流程包括三个步骤：系统标定、三维打印路径生成和工艺执行。其中，系统标定步骤对机器人末端执行器和预制打印基板进行了精确校准以确保较高的打印质量

且避免碰撞损坏设备。三维打印路径生成步骤是该流程的核心，包含了基于曲面映射的共形路径生成方，并将打印路径转化为系统可执行文件。工艺执行步骤则用于解析该制造文件，并实现系统运动控制，确保较高的打印质量。

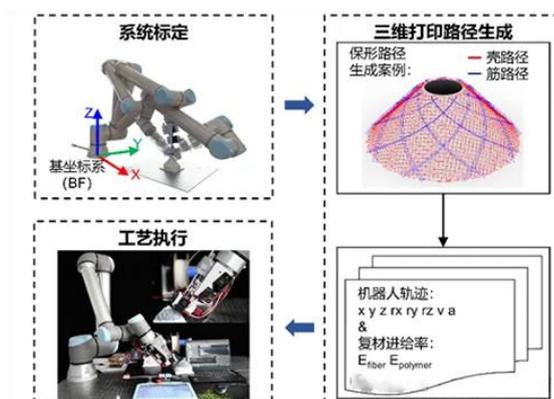


图 11 机器人辅助 CFRP-AM 系统工作框架

为充分使用机器人辅助共形 CFRP-AM 系统，该团队开发了基于曲面映射的共形路径规划方法并生成了多种打印路径验证该方法的有效性。该方法首先根据用户输入关键结构参数逐层生成工作曲面。随后，基于曲面映射原理并结合不同几何特征设计需求将空间曲面映射到所需二维平面中。在这些二维平面中，结合现有路径规划方法生成各种所需填充图案，如 Zigzag、轮廓偏置、格栅结构等，通过逆映射关系则可进一步将这些平面填充路径转换为三维曲面共形路径。最后，在所有层中执行上述步骤，并将生成的三维路径组合输出。

基于曲面映射的方法不仅通过曲面映射实现了降维计算进而降低了计算复杂度，还可以实现同时满足不同几何特

征的多种填充需求。例如，对于壳结构通常需要完全填充且受限于现有制造系统难以实现材料沉积率快速变化，因此壳填充路径往往要求保持间距恒定；对于分布在壳体上的加强筋路径，通常具有基于网格结构的布局，这些基于规则举行单胞的结构难以实现复杂曲面上的随形填充。

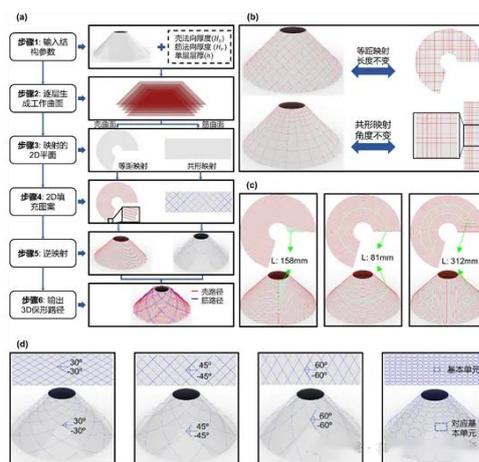


图 12 (a) 基于曲面映射的共形路径生成方法工作流程；(b) 曲面映射原理；(c) 基于等距映射路径生成案例；(d) 基于共形映射路径生成案例

该团队开发算法针对壳曲面采用等距映射，映射前后曲面上任何对应曲面长度相同，二维平面中完全填充图案映射会三维后仍能保持完全填充；针对筋曲面，采用共形映射，其映射后曲面可以等距嵌入到三种规范曲面之一：即平面、球面或双曲空间，有效规避了复杂曲面与规则多边形间的失配，同时共形映射可以保持映射前后任意对应曲面夹角不变，即保持结构局部形状，这有助于保持结构物理性质稳定，如对于结构力学性能有重要影响的加强筋角度。此外，该团队还分别生成了多种用于壳/筋曲面的填充路径，以验证该算法的有效性。

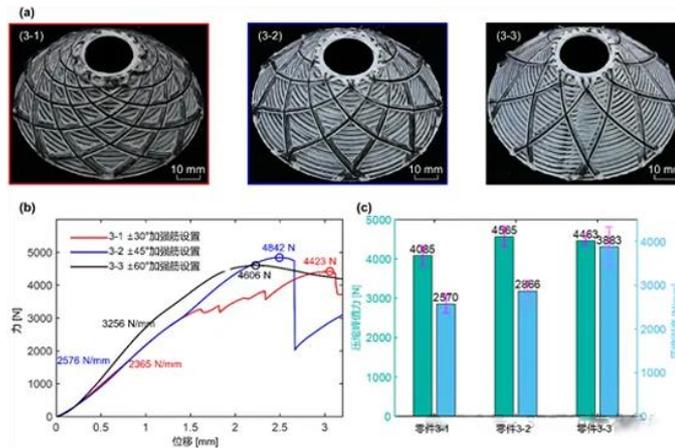


图 13 具有不同加强筋设计制造样品， $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 60^\circ$ ，及其压缩性能：(a) 制造样品，(b) 样品压缩过程力-位移曲线，(c) 压缩峰值力及压缩刚度

为验证所开发机器人辅助 CFRP-AM 系统用于复材增材结构制造的有效性，及其额外运动自由度的工艺优势。该团队以典型的平顶锥壳加筋结构为例，比较了不同制造工艺对于结构力学性能的影响，压缩对比实验验证了所提出曲面共形 CFRP-AM 系统及其工作流程通过选择性空间铺排连续纤维复材可以显著提高制件整体性能，测试案例中压缩刚度提升超过 200%。此外，该团队展示了多自由度运动所带来多样化打印路径和设计结构特征对于扩大结构性能设计空间的有利影响。其使用不同打印路径（即 Zigzag 和轮廓偏置的壳体打印路径）和几何设计（即不同角度的加强筋）制造的样件之间的性能差异接近 50%，且部分样件以较低的纤维含量取得了更优的力学性能。本研究得到国家重点研发计划、国家自然科学基金、深圳市科技创新委员会的支持。

（来源：<https://doi.org/10.1080/17452759.2023.2203695>）

● 行业动态

(一) 《装备强国》系列活动——增材制造赋能医疗应用交流对接活动在京举行

增材制造作为发展新质生产力的重要引擎，以强劲的势头赋能于各个行业，不断催生出新工艺、新模式、新动能，对推动我国制造业高端化智能化绿色化发展、促进实体经济和数字经济深度融合具有重要作用。医疗是增材制造的典型应用领域之一，已经广泛应用于定制化的牙科产品、骨骼植入物等场景，正向药物输送系统和仿生器官的制造方向延伸。4月20日，中国增材制造产业联盟携手中国老年学和老年医学学会泌尿和肾病分会以及中国职工技术协会增材制造专业委员会，共同举办了一场主题为“《装备强国》系列活动——“敲门行动”企业行暨增材制造技术赋能医疗领域应用”的交流对接活动。



图 14 增材制造技术赋能医疗领域应用

本次活动旨在搭建一个增材制造产业与医疗的交流促进平台，汇聚医疗领域的专家学者和增材制造技术的企业精英，共同探讨增材制造技术在医疗领域的应用前景，推动技术创新与产业升级。交流环节，医院专家与参会企业针对妇科领域解决盆底肌功能性障碍的个性化子宫托材质舒适度及抗炎性提升，骨科领域关节、脊柱翻修并承载载药功能、实现药械合一，外科领域膀胱材质选择使其兼具韧性与可降解功能，甲状旁腺微孔支架的打印材质选择、生物细胞打印等需求和场景进行了深入沟通与讨论，相互匹配供需、共谋发展。

此次交流对接活动的成功举办，不仅为医疗领域的专家学者和增材制造技术的企业精英提供了一个深入交流的平台，也为推动增材制造技术在医疗领域的应用研究和产业化进程注入了新的动力。未来，中国增材制造产业联盟将陆续面向新能源汽车、煤炭、电力、商业航天等领域开展“敲门行动”对接交流会；按区域开展典型应用场景推广会；出版《中国增材制造产业年鉴（2024年）》；发布《增材制造赋能新型工业化三年行动计划》；开展“增材制造区域服务中心评价”等活动。

（二）2024 中关村论坛年会展现 4D 打印机

2024 中关村论坛年会在北京举行，本届主题为“创新：建设更加美好的世界”，吸引了全球科技界的瞩目。



图 15 央视报道

4D 打印是一种颠覆性智能制造前沿技术，4D 打印是 3D 打印技术的升级，包括材料升级、技术升级、应用升级等方面。作为一种新型技术，这种技术不仅能够构建出更加复杂的物体，而且能够通过物体的自组装和自适应性，实现更加精确的控制和操作。Rheobot 创新团队带来的 4D 打印技术领域的突破性进展，成为了本次论坛的焦点之一，并被央视报道。Rheobot 创新团队由北京交通大学、中国劳动关系学院、清华大学深圳国际研究生院、河北省工业机器人产业技术研究院等院所长期从事前沿技术研发人员组成，是国内唯一同时具有磁控智能材料、4D 打印与软体机器人技术的团队。

4D 打印技术的引入将使得未来的增材制造技术更加具有智能化和科技感，为人们的生产和生活带来更多可能性和

便利。例如在智能穿戴领域，可以通过 4D 打印制造出能够变形适应身体姿态的跑鞋或鞋垫，在医疗领域，可以制造出可以变形的心脏支架和脑血管支架等。目前全球 4D 打印技术尚处于研发阶段，尚未实现规模化应用，未来 4D 打印技术市场发展空间巨大，相关机构预测至 2027 年，全球 4D 打印市场规模将达到 49.93 亿美元。

（三）Freemelt 与瑞典军火公司萨博签订 3D 打印合作用于国防工业创新解决方案

近期，金属增材制造制造商 Freemelt 与瑞典国防和安全公司萨博集团（Saab Dynamics）签订了合作协议。萨博在国防和民用安全领域提供先进的产品、服务和解决方案。萨博博福斯动力公司（Saab Bofors Dynamics）是萨博集团的子公司，专门生产导弹系统和反坦克系统等军用物资。



图 16 萨博博福斯动力公司专门生产导弹系统和反坦克系统等军用物资

Freemelt 专注于金属增材制造技术，它们的市场服务范围广泛，包括涉及广泛研发的复杂系统以及重复性很高的服

务。它们的业务遍布各大洲，不断开发、调整和改进新技术，以满足客户不断变化的需求。这次合作的重点是进行针对复杂材料的材料工艺开发的可行性研究，旨在为国防工业内的新创新解决方案提供支持。这一合作代表着 Freemelt 在金属增材制造领域的技术被认可，并为萨博提供了更高效、更灵活的制造解决方案。



图 17 专为材料研发设计的 3D 打印机 Freemelt ONE

瑞典经常被评为世界上最具创新精神的国家之一。其中一个重要原因是被称为“三重螺旋”的合作模式，即学术界、工业界和政府共同确定、研究和开发满足国家需求的创新技术和服 务。瑞典国防工业长期以来一直采用这种方法，萨博公司在其中发挥了突出的领导作用。为了加速开发新的创新产品，并建立基于增材制造的本地创新制造能力，Freemelt 和萨博展开了双方的首个合作项目。在该项目中，Freemelt 将以其专为材料研发量身定制的 3D 打印机 Freemelt ONE 为基础，针对国防应用进行可行性研究。

（四）奢侈品牌 GUCCI 推出增材制造运动鞋

GUCCI 将于米兰设计周期间（4月16日至21日）在 GUCCI 米兰旗舰店独家发售限量版运动鞋款「Cub3d」。价格目前还未公布。GUCCI 的官网上，看到了这款运动鞋的照片，整个鞋子颜色为安可拉红，鞋中底采用增材制造技术制造的晶格结构，鞋子被放置在一台 3D 打印机内部。



图 18 GUCCI 官网图

据悉，GUCCI 将其传统工艺与尖端技术相结合，「Cub3d」的独特鞋底通过选择性激光烧结（SLS）增材制造工艺制作而成——特点是受多面体的启发而形成晶格结构。鞋面主要由 Demetra 制成，这是 GUCCI 的开创性材料，其 70%的成分来自植物性来源，保护环境的同时兼具品质、柔软度和耐用性。鞋面使用的额外材料含有 100%的再生聚酯，内部材料则含有 88%的再生聚酯和由无金属或无铬鞣制工艺打造的皮革。该运动鞋，限量 20 双，每双都有一个独特的序列号和特殊包装。

● 典型应用

(一)增材制造一体化制造 我国可重复使用火箭发动机第 15 次试验成功

4 月 12 日，由航天科技集团六院自主研制的 130 吨级可重复使用液氧煤油发动机，圆满完成两次起动地面点火试验。至此，该台发动机累计完成 15 次重复试验，30 次点火起动，累计试验时长突破 3900 秒，重复试验次数突破我国液体火箭主发动机试验次数纪录，为后续我国可重复使用运载火箭首飞奠定了基础。

发展航天，动力先行。研制可重复使用火箭的前提是率先研制成功可重复使用的发动机。据悉，相比传统一次性火箭，可重复使用火箭将增加四项关键技术：一是“落得准”，二是“接得稳”，三是“用不坏”，四是“修得快”。而这些关键技术的突破，可重复使用发动机的研制首当其冲。该型发动机作为后续我国可重复使用运载火箭主动力，具有综合性能高、拓展能力强、可靠性高等特点。

在试验验证方面，六院研制团队围绕试验效能提升，大力创新研发，推动试验数字化建设，优化试验能力布局，通过数字建模、仿真计算、系统调试等手段，形成了 130 吨级可重复使用液氧煤油发动机柔性化试验能力。

（二）超 700 个增材制造 PEEK/钛合金植入物案例， 中国厂商助力拉美公司医疗创新

近几年在生物医疗 3D 打印领域，国外企业的创新实践不容小觑。智利-北美公司 ArcomedLab，大胆应用中国品牌的高性能 3D 打印机，打印出 PEEK（聚醚醚酮）植入物，成功植入到人体已经数百例。国产 PEEK 高温 3D 打印机在国外医疗领域得到批量临床应用，在国内应用却还比较不容易。便宜、个性化的治疗方式在临床上获得了巨大的成功，再次证明了增材制造在医疗领域将大有作为。

2024 年 4 月，专门从事生物医学增材制造的智利-北美公司 ArcomedLab，制造了世界上最大的颅颌面植入物，用的是产自中国远铸智能的高温 PEEK 3D 打印机。ArcomedLab 已经在拉丁美洲（包括智利、秘鲁、哥伦比亚和墨西哥）拥有超 700 个成功案例，不断革新医疗保健行业。



图 19 打印的 PEEK 骨科植入物，使用来自中国高性能聚合物 3D 打印机龙头厂商——远铸智能 INTAMSYS 的 FUNMAT HT 3D 打印机，腔室可达 90°C，挤出喷头可达 450°C，支持 PEKK 和 PEEK-CF、PEKK-CF 等高性能耗材

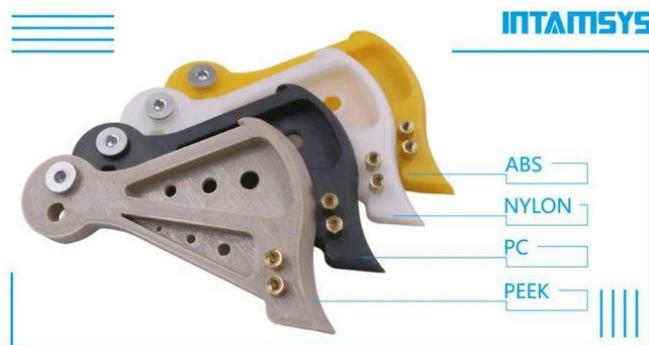


图 20 远铸智能高性能 3D 打印机支持大量高性能材料的打印

植入物使用 PEEK（聚醚醚酮）打印：

- 孔隙度和几何形状被完美复制
- 与肌肉和皮肤等软组织的生物相容作用
- 射线检查无失真
- 可以进行生物活化
- 具有与人骨相似的生物惰性和生物力学特性
- 如果出现并发症，可以轻松移除并重新安装到位
- 产生的废物更少

ArcomedLab 作为与学术界合作的平台，提供专业培训和进入专业生物医学增材制造实验室的机会。ArcomedLab 成功的核心在于位于智利的先进设施，拥有专门的洁净室，用于在高度控制的无菌环境中进行增材制造植入物和个性化医疗设备。这种独特的基础设施使 ArcomedLab 能够提供高质量的定制解决方案，满足患者和医疗保健提供者的特定需求。

（三）美国动物园大猩猩收到世界上第一个增材制造钛铸件来治愈断臂

我们都知道增材制造在为人类制造假肢和矫形器方面的好处，但是人类现存的最亲近的亲戚之一（仅次于黑猩猩和倭黑猩猩）呢？增材制造似乎是更好的兽医护理的关键。美国俄亥俄州辛辛那提动物园宣布，一只 11 岁的大猩猩格拉迪斯 (Gladys) 将获得世界首创的增材制造钛合金铸件。



图 21 为大猩猩制作 3D 打印钛铸件

根据辛辛那提动物园的一份新闻稿，格拉迪斯在与队伍中的两名年轻雌性扭打后，不得不接受手术来修复骨折的肱骨。这种完全倾斜的骨折在动物园里并不常见，兽医工作人员聘请了当地医院的顶级外科医生和麻醉师，在看到格拉迪斯面临毁坏铸件的风险后，他们决定制作钛金属增材制造铸件。

由于增材制造的灵活性和速度，格拉迪斯不需要等待很长时间就可以得到一个 8 磅重的固具，辛辛那提动物园希望

它能更“防大猩猩”。考虑到钛材料是地球上最坚固的材料之一，加上其生物相容性，也是它被用于制作螺钉和板的原因之一，这些螺钉和板将成为她余生手臂的一部分。此外，由于大猩猩手臂的力量巨大，重量应该不成问题。在钛铸件之前，格拉迪斯可以安全进入的空间非常有限。通过这一补充，可以使她全天有更多的选择和探索。

（四）增材制造已在国际空间站打印金属部件

4月2日消息，天鹅座 NG-20 任务于1月30日启程前往国际空间站，带去了一台特别的3D打印机，可在微重力环境下制造金属零件。



图 22 空间站金属 3D 打印机

这台金属 3D 打印机是由空客防务与航天公司为 ESA 研发，并由专注于微重力研究的法国国家空间研究中心(CNES)旗下 CADMOS 运营，标志着空间站科研的一个创新里程碑。

● 成员展示

长三角先进材料研究院

长三角先进材料研究院（以下简称长材院）成立于 2019 年 12 月，是由江苏省人民政府联合中国科学院、中国钢研科技集团和中国宝武钢铁集团共同支持建设的新型研发机构。长材院采用全新的管理运行机制，联合全国材料领域龙头企业、高校、科研院所，集聚多位院士等国内外顶尖科研团队，着力打通材料科学到技术转化的关键环节，构建集研发载体、产业需求和创新资源于一体的产业技术创新体系，营造人才、金融、空间等要素组成的开放式创新生态。目前长材院本部（入驻相城创新综合体）约 340 余人，包括管理及平台运行团队、项目经理团队和联合培养研究生等。增材制造事业部现有各类研发人员 20 余人，主要聚焦金属增材制造的材料设计研制和工艺装备开发，为市场提供满足应用需求的新材料、新工艺和新装备。



图 23 单位概况

长材院具有共性技术与平台支撑、资源集聚与融合创新、战略策划与集成攻关三大核心功能。在共性技术与平台支撑方面，已建成材料分析表征、材料大数据、仪器设备开发等公共服务平台。其中，材料分析表征平台拥有总值近3亿元147台套分析表征设备，涵盖元素成分分析、显微组织表征、物化性能测试和力学性能测试等功能。目前，该平台已取得CMA、CNAS、NADCAP资质。在资源集聚与融合创新方面，长材院整合了江苏省产业技术研究院在材料领域布局建设的专业研究所，与近80家材料及其应用领域龙头企业建立了联合创新中心，并联合浙江大学、上海交通大学、南京大学、中国科学技术大学等26家高校共同发起组建长三角高校先进材料创新联盟。

长材院已相继获批江苏先进材料技术创新中心、江苏省关键金属材料产业创新中心、江苏省材料大数据公共服务平台、江苏省特种合金技术创新中心。长材院同时承担长三角高校先进材料创新联盟秘书处等工作。在战略策划与集成攻关方面，长材院重点加强顶层设计与规划，构建中国工程院院士智库，瞄准国家重大战略需求，围绕材料领域关键应用技术的产业发展与科技创新，开展持续性、储备性、前瞻性战略研究，定期制定发布重点材料及其应用产业领域技术创新路线图，策划关键核心技术攻关的有效策略和路径。

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