

增材制造产业发展 简报

2024年1月30日

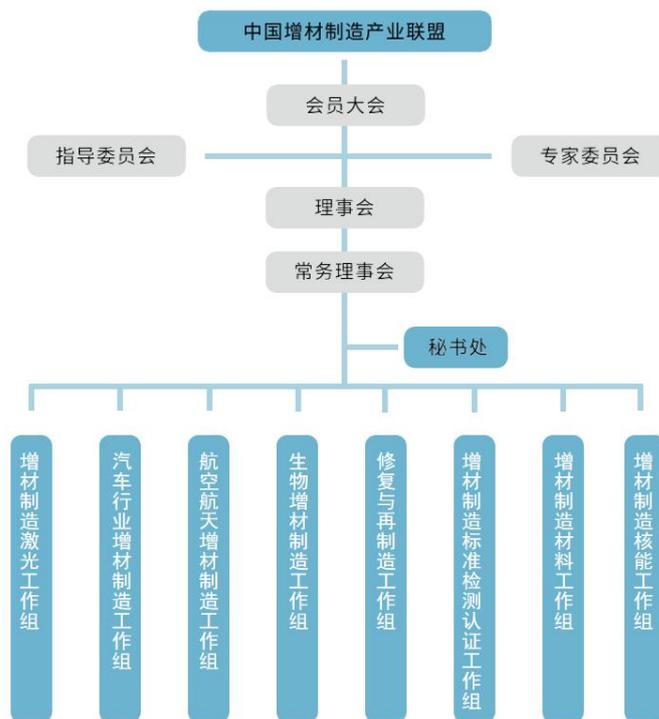
第1期

总第053期

【内容提要】

- 本期关注：中国增材制造产业联盟发布2023年度工作总结和2024年工作计划
- 政策追踪：国家发改委发布《产业结构调整指导目录（2024）年本》，鼓励发展增材制造
- 技术进展：国产多光速集成丝光同轴激光定向能量沉积技术重大突破
- 行业动态：2023年国产增材制造装备出口61亿，同比增长84%
- 典型应用：增材制造赋能口腔齿科 引领齿科数字化
- 成员展示：亚琛联合科技（天津）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370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

中国增材制造产业联盟发布 2023 年度工作总结和 2024 年工作计划

一、2023 年工作总结

（一）联盟秘书处

1.联盟内部建设。2023 年联盟新增 21 家会员单位、3 家理事单位、1 家副理事长单位，新增核能工作组。新增单忠德院士、李应红院士为专家委副主任，新增杨继平、杜宝瑞、顾冬冬为专家委专家委员。截止目前，联盟共计 370 家联盟单位、31 位专家。

2.政策研究制定。支撑工信部遴选并发布《2023 年度增材制造典型应用场景》。支撑国家发改委编制《产业结构调整指导目录（2024 年本）》。协助工信部、人社部编制发布《增材制造工程技术人员国家职业标准（2023 年版）》。

3.论坛交流活动。组织召开“增材制造产业发展(广州)论坛暨 2023 年增材制造产业年会”，指导召开“全国增材制造工程产教融合研讨会”，支持召开“2023 产业技术创新—数字产业人才交流会暨首届东西部数字制造产教融合协作会议”“第二届大飞机增材制造创新应用大赛”“中国航天增材制造技术高峰论坛”等会议赛事活动。

4.行业统计研究。出版《增材制造产业年鉴（2022）》，编制《增材制造产业发展简报》。

5.联盟创新发展。联盟 11 家企业获评国家专精特新“小

巨人”企业，遴选并发布“首批增材制造优质供应商”。

（二）航空航天工作组

1.开展超大尺寸激光选区熔化成形装备、大尺寸轻量化结构高效率增材制造等6项关键技术攻关；

2.工作组成员单位入选了12项《2023年度工信部增材制造典型应用场景名单》；

3.2023年3月组织召开“航天增材制造高峰论坛”。

（三）核能工作组

1.组织召开“中国首届核能增材制造高端技术论坛”；

2.组织召开“核能增材制造2023年学术年会”；

3.成立核能增材数字工作小组。

（四）标准检测工作组

1.推动《增材制造 工艺参数库构建规范》等21项国家标准发布；

2.推动JB/T 14627-2023《增材制造 点光源立体光固化工艺规范》等5项增材制造机械行业标准发布；

3.推动8项团体标准发布。

（五）生物工作组

1.组织海外医学专家在国内开展学术交流与参观学习活动；

2.组织召开“神经外科修复关颅全产品解决方案招商会”。

（六）材料工作组

1.开展金属粉末的持续评价及规范建立工作；

2.开展增材制造金属粉末检测评价。

（七）汽车工作组

成立《汽车先进材料与工艺蓝皮书》编委会。

（八）激光工作组

组织或参与标准研讨会 3 场，牵头或参与研制国家及行业标准等 15 项，其中国标 4 项，行标 10 项，团标 1 项。

（九）激光再制造工作组

4 月 7-8 日举办“全国再制造学术会议暨高端装备绿色制造与再制造论坛”。

二、2024 年工作计划

（一）联盟秘书处

1.强化支撑工作。落实工信部等部委指示精神，开展产业研究与政策研究，持续深化支撑工作。

2.深化联盟职能。编制发布《增材制造产业创新应用三年行动计划》。组织成立“中国增材制造产业联盟青年专家委员会”。拟成立中试验证工作组、可靠性工作组、电子电路工作组。

3.开展行业交流。召开“中国增材制造产业联盟理事会”“增材制造产业发展论坛暨增材制造产业年会”。分片区召开 4 场“增材制造典型应用场景推广会”。

4.加强行业研究。编制出版《增材制造产业年鉴(2024)》。

5.持续创新发展。启动“增材制造区域服务中心”评价工作。

（二）航空航天工作组

- 1.举办“空天结构增材制造技术创新中心成立大会”；
- 2.参加2024年国际产业合作大会（新加坡）暨中国机电产品展览会。

（三）核能工作组

- 1.2024年5月，拟在成都举办“第二届核能增材制造高端技术论坛”；
- 2.2024年10月，拟在成都举办“核能增材制造2024学术年会”；
- 3.推动核能增材标准化工作；
- 4.推动核能增材部件质量鉴定示范工作。

（四）标准检测工作组

- 1.编制《增材制造产业路线图》；
- 2.加快推进标准制定和关键技术标准预研工作。

（五）生物工作组

- 1.2024年1月，在沈阳、成都、重庆、贵阳、昆明等城市发布“中国增材制造产业联盟生物工作组创新产品推广会”等活动；
- 2.2024年4月，组织参加中国国际医疗器械展览会(CMEF)，并召开研讨会。

（六）材料工作组

建立并完善增材制造材料技术标准体系。

（七）汽车工作组

- 1.出版第一版《汽车先进材料与工艺蓝皮书》；

2.举办“汽车新材料与新工艺高端论坛”，组织工作组小组会议每月1次。

(八) 激光工作组

计划发布国家标准1项，行业标准2项。

(九) 激光再制造工作组

拟第二季度组织开展行业应用论坛会议。

● 政策追踪

(一) 国家发改委发布《产业结构调整指导目录(2024年本)》，鼓励发展增材制造



图 1 国家发展和改革委员会令

4. 增材制造装备和专用材料：金属增材制造装备及专用材料，非金属增材制造装备及专用材料，生物增材制造装备及专用材料，激光器、电子枪、扫描振镜等关键零部件，增材制造专用软件，增材制造综合解决方案和生产服务

图 2 《产业结构调整目录（2024 年本）》增材制造方向被列入鼓励类

国家发展和改革委员会产业司修订发布《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，自 2024 年 2 月 1 日起施行。目录 2024 年本共有条目 1005 条，其中鼓励类 352 条、限制类 231 条、淘汰类 422 条。

与上一版相比，鼓励类新增了“智能制造”“农业机械

装备”“数控机床”“网络安全”等行业大类及相关领域有利于产业优化升级的条目，限制类、淘汰类中新增了“消防”“建筑”行业大类及相关领域不符合绿色发展和安全生产要求的条目。

中国增材制造产业联盟支撑编写的涉及增材制造方向全部被列入鼓励类，在《目录（2024年本）》智能制造大类中，明确提出鼓励增材制造装备和专用材料：“金属增材制造装备及专用材料，非金属增材制造装备及专用材料，生物增材制造装备及专用材料，激光器、电子枪、扫描振镜等关键零部件，增材制造专用软件，增材制造综合解决方案和生产服务。”

（二）国家标准委发布《2024年标准化工作部署》， 加快制定增材制造相关标准

国家标准委在《2024年标准化工作部署》中指出，要推进新产业标准化领航，以新技术新材料新产品新业态标准抢占新赛道、塑造新动能。大力建设现代化产业体系，集中力量开展一批标准稳链重大标志性项目，以标准强链，促进产业基础再造和高级化。要加快制定增材制造专用材料、关键金属件检测等标准，推动增材制造普及利用。

（三）商务部、科技部发布《中国禁止出口限制出口技术目录》涉及到 2 项增材制造

2023 年 12 月 21 日，商务部、科技部公告 2023 年第 57 号发布《中国禁止出口限制出口技术目录》，包括空间数据/传输技术等 24 项禁止出口项目，稀土的提炼、加工、利用技术等 110 项限制出口项目。其中涉及 2 项增材制造技术，分别是“1.‘铸锻铣一体化’金属 3D 打印关键技术。2.3D 打印用耐高温纤维树脂材料及其同步固化工序等。”

The screenshot shows the official website of the Ministry of Commerce of the People's Republic of China. The page title is '商务部 科技部公告2023年第57号 关于公布《中国禁止出口限制出口技术目录》的公告'. Below the title, there is a table titled '《中国禁止出口限制出口技术目录》 禁止出口部分'. The table has five columns: '序号' (Serial Number), '行业领域' (Industry Field), '编号' (Number), '技术名称' (Technology Name), and '控制要点' (Control Points). Two rows are highlighted with a red border: row 40 for '燃气轮机制造技术' and row 41 for '3D 打印技术'. Row 41 is the focus of the image.

序号	行业领域	编号	技术名称	控制要点
40		083404X	燃气轮机制造技术	同时具有下列指标的燃气轮机高温叶片材料生产技术 1. 不含钽的镍基合金铸造与加工 2. 用于工作温度 $\geq 850^{\circ}\text{C}$ 的表面防高温腐蚀涂层，寿命 $\geq 10,000\text{h}$
41		203405X	3D 打印技术	1. “铸锻铣一体化”金属 3D 打印关键技术 2. 3D 打印用耐高温纤维树脂材料及其同步固化工序等

图 3 《中国禁止出口限制出口技术目录》公告

● 技术进展

(一) 国产多光速集成丝光同轴激光定向能量沉积技术

激光定向能量沉积技术兼顾效率、成本、质量，适用于中大型构件增材工程应用场景。南京理工大学与英尼格玛强强联合，共同研发了高性价比的多光束集成丝光同轴激光定向能量沉积技术，填补该项技术国内空白。目前已完成整套装置的原型开发、制造、调试，正式进入实测和迭代优化阶段。这标志着我国在这一领域已取得重要突破，有望在未来实现自主可控的产业化应用。

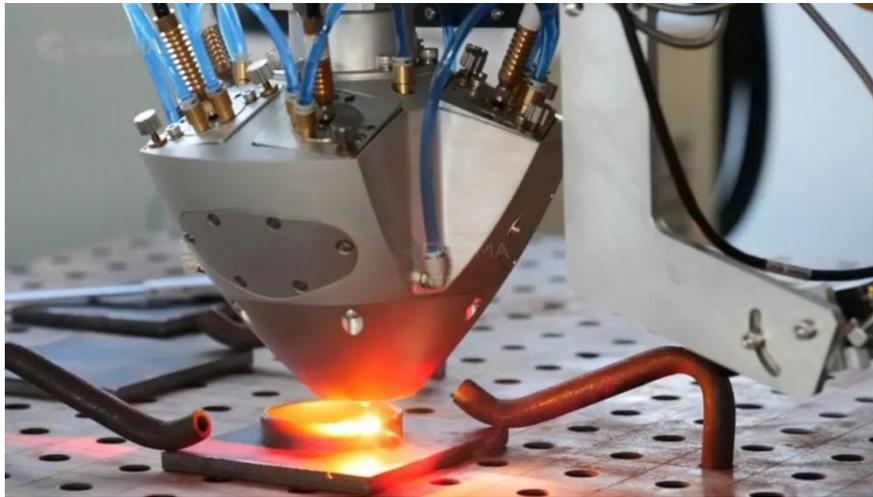


图 4 激光定向能量沉积技术

一、激光定向能量沉积

采用激光作为热源，可以更精准的控制热输入从而提升增材精度，实现更复杂的几何形状，包括各种内部

空腔结构和细节的增材制造。同时激光工艺过程更稳定，飞溅和爆破更少，从而减少缺陷的产生。相对于电弧成本低、精度低和电子束效率高、成本高的特点，激光定向能量沉积具备兼顾效率、成本、质量的前景。另一方面，由于激光无需考虑材料的导电特性，因此激光增材材料不仅可以选择金属，还可以选择陶瓷、塑料等非金属，也为复合材料的增材难题提供了解决思路。

激光定向能量沉积技术，又可依据所采用的材料形式不同，细分为激光送粉和送丝两类。相比于送粉增材制造，送丝具有更高沉积速率和低气孔缺陷倾向的优势，同时由于材料利用率更高、原材料成本更低从而整体加工成本更低，因而更适用于中大型构件增材工程应用场景，具有更大的商业化价值。

早期的激光熔丝增材研究多采用传统激光焊接采用的旁轴送丝形式，虽然加工平台易于搭建，但在增材制造场景下，一方面存在扫描方向性和受热不均匀性等问题，难于满足沉积层尺寸和性能在各方向的一致性，另一方面成形路径复杂多变时，送丝方向与扫描方向相位关系的保持依赖于结构设计，增大了成形控制系统的复杂性。因此，解决丝光同轴问题是激光定向能量沉积技术发展必须攻克的技术难点。

二、丝光同轴技术路线选择

（一）光内或光外

实现光粉同轴，总体思路分为光内、光外两种。然而送丝与送粉不同，由于丝材直径较大、激光光斑较小，无法实现将多束丝送至同一光斑内熔化。因此实现丝光同轴，多采用光内同轴技术。

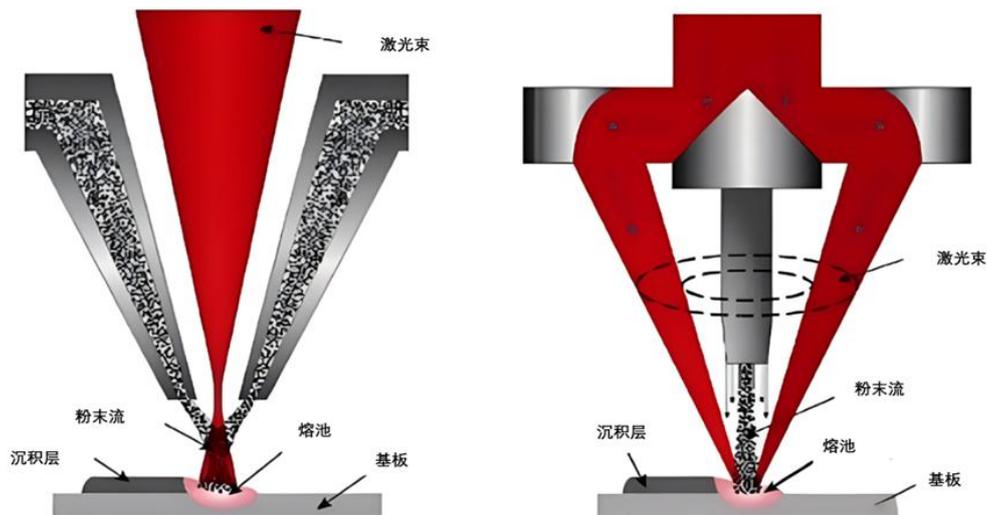


图5 光外同轴送粉

光内同轴送粉

（二）分光束或多光束

光内同轴送丝，即是采用“光包丝”的光丝耦合方式，实现光束中空、丝路居中的光内送丝。

早期光内同轴送丝的思路，是采用一束激光分三光束再将光斑拼接形成环状分布。这一技术近年来逐渐发展成分环形光束光内同轴技术，可以有效的将材料与光束同轴地送到熔化区域，光束轮廓呈中空环形，并直接聚焦到丝材和工件表面之间的交汇区域处。

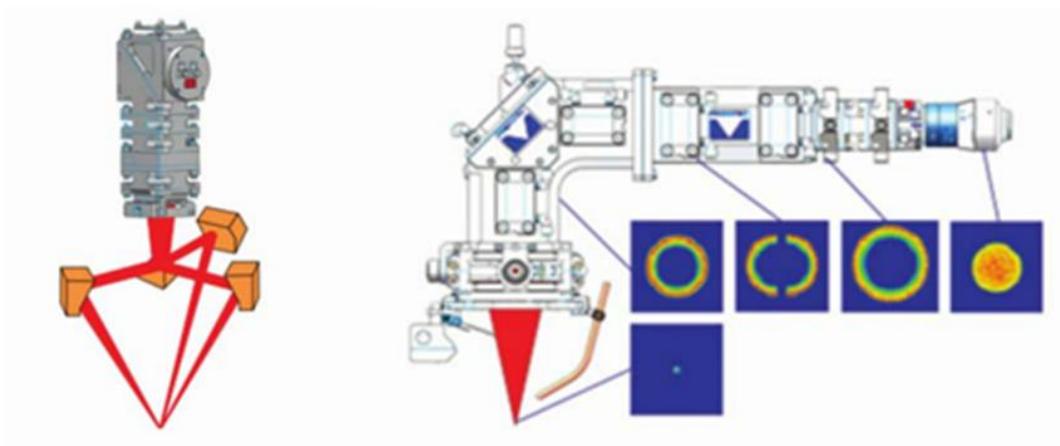


图6 分三光束光内同轴

分环形光束光内同轴

实现分环形光束光内同轴需要依赖非常复杂的镜组设计，导致设备硬件投入及维护成本直线飙升，与中大型构件增材工程应用场景所追求的低加工成本相悖，依旧制约着激光定向能量沉积技术的广泛应用。因此，具有更高性价比的多光束集成光内同轴技术应运而生。

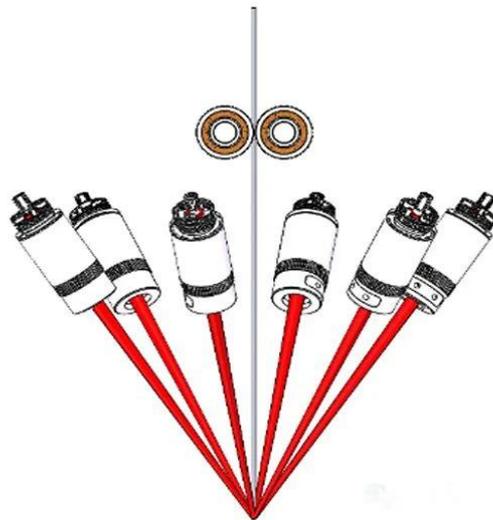


图7 多光束集成光内同轴

（三）多光束集成光内同轴技术

如西班牙 Meltio 公司，依托多光束集成光内同轴技术开发的核心产品包括 Meltio M450 小尺寸工业金属 3D 打印机和 Meltio 引擎，首次将激光定向能量沉积系统成本降至 10 万欧元级别，其产品一经问世即对国外增材市场格局造成重大影响，成立 4 年时间即达成销售近 300 台套的抢眼战绩，一跃成为 DED 领域的头牌，足见市场对这一技术的认可。

为打破多光束集成光内同轴技术被国外企业垄断和封锁的格局，2022 年末由南京理工大学智能焊接与电弧增材技术团队牵头，与国内定向能量沉积增材领域领军企业南京英尼格玛工业自动化技术有限公司联合，开始布局多光束集成丝光同轴激光定向能量沉积技术的装备研发。历时 1 年，现已完成整套装置的原型开发、制造、调试，正式进入实测和迭代优化阶段。该套设备包括机器人、激光同轴装置、水冷装置和电控柜，通过电控柜上的控制装置和路径切片软件 IungoPNT，来实现模型的增材成形。其中，核心的激光同轴装置采用多光束集成丝光同轴技术，实现近似环形光斑拼接，同时通过更简洁的镜组设计，可以大幅降低硬件造价和维护成本；实现直立式结构形式，相较于分环形光束常见的 L 型和 Z 型结构，更利于机器人集成，在复杂结构增材场景中具有更高的灵活性；同时，实现光束独立控制功率、波形，为工艺控制提供更多灵活性。

使用该设备进行不锈钢增材测试，路径选择窄道薄层的弓字形，表面较为光洁，纹路无明显宏观缺陷。通过 Tardis IGNIS 熔池相机观察并记录，过程稳定，无飞溅。

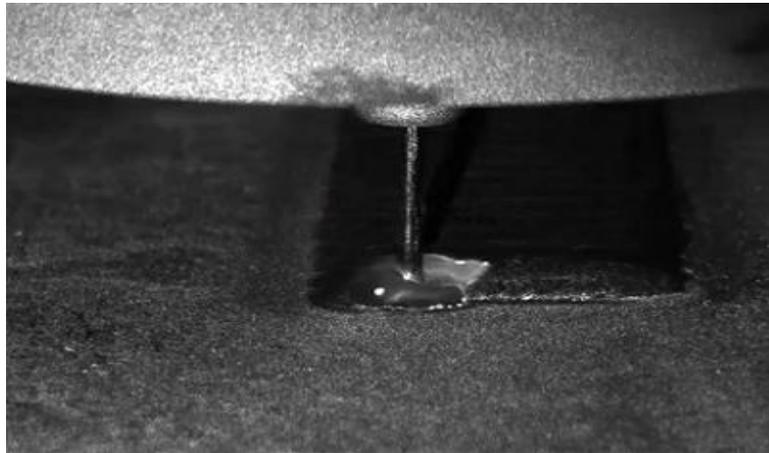


图8 直线往复增材测试-激光 DED-熔池

目前，该套设备能满足长时间连续稳定增材，包括稳定的激光出光和操作界面各种参数实时调节的准确性。

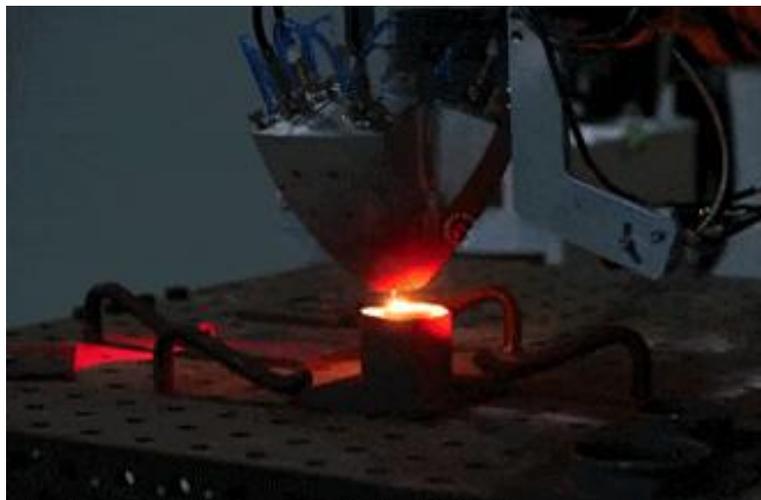


图9 圆柱增材测试-激光 DED

通过 Tardis IGNIS 熔池相机，能观察到在优化的工艺参数下，熔滴过渡为液桥过渡，材料熔覆沉积的情况良好，过

程稳定。

在优化的工艺参数下，其增材件的表面纹路较为细腻，外壁表面粗糙度可达 $Ra6.3\sim12.5$ 。

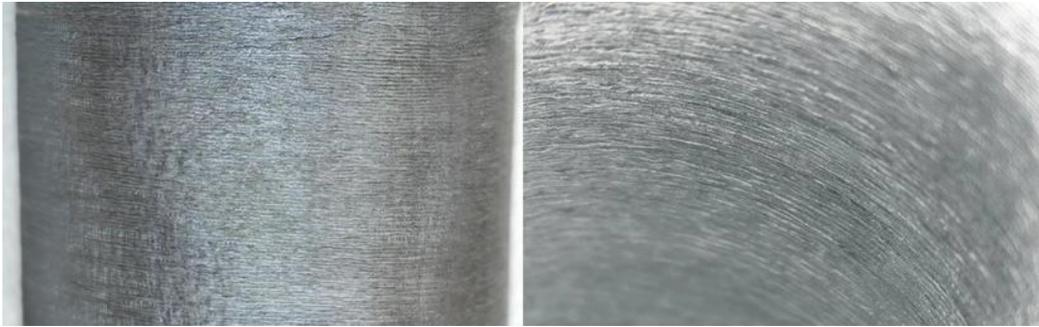


图 10 增材件表面纹路对比

未来，项目团队将持续对该系统进行测试和迭代，自主可控的成熟产业化产品将会走向市场，为国内增材行业拓展新方向。

（翻译来源：3D 打印技术参考）

（二）史玉升教授团队：高能量吸收梯度仿生超材料的设计和增材制造

华中科技大学史玉升教授团队在《Materials Today》（IF=31.041）上发表论文，对超材料的增材制造技术与发展趋势进行了论述。机械超材料是具有特定元素/晶胞排列的人造材料，可实现新颖的特性，例如零或负泊松比、消失剪切模量和高比能量吸收(SEA)。SEA 是抗冲击超材料设计最重

要的特性，与材料有关。硬质材料通常比软质材料具有更高的 SEA 值。SEA 很大程度上取决于相同材料的结构配置，例如，基于支柱和基于板的超材料。研究表明，基于支柱的八位体桁架超材料具有比体心立方超材料更高的 SEA。具有高 SEA 的新型超材料可以源自自然生物。例如，在骨骼和蝴蝶翅膀中观察到的三周期最小表面（TPMS）显示出优异的 SEA 特性，而竹子的中空结构承受横向力并避免断裂。原则上，从自然结构中学习的仿生超材料可以改善高比能量吸收特性；受竹子中空结构启发的八面体桁架呈现出优异的 SEA，超越了基于支柱的面心立方和八面体超材料；具有高机械性能和 SEA 的蜂窝结构已广泛应用于航空航天领域。这些发现表明仿生超材料可用于改善 SEA。

柚子皮是一种厚度为 3-20 毫米的泡沫状结构，由细长且相互连接的八臂细胞组成，具有较大的细胞间隙。整个柚子的自由落体试验表明，由于柚皮的保护，柚子可以承受 70J 的冲击力。因此，重构和优化柚子皮有望实现较高的 SEA。受柚子皮启发，有研究人员提出了一种分层蜂窝结构，与传统蜂窝相比，其 SEA 和等效平台应力分别提高了 1.5 倍和 2 倍。然而，分层蜂窝表现出极大的各向异性，无法承受另一个方向的外力。另有研究人员探索了板晶格柚皮状多面体超材料的高应变率压缩行为，该行为表现出增强的 SEA。然而，板晶格超材料存在于封闭腔附近，这导致制造困难。功能梯

度 (FG) 超材料通常用于改善沿相对密度增加的方向逐层断裂的 SEA, 同时承受单轴压缩。连续相对密度表现出延迟的初始致密化应变。例如, 功能梯度基元和陀螺仪的初始致密化应变比均结构高 19.18% 和 18.5%, 同时观察到仿生梯度竹结构的能量吸收比传统蜂窝结构高四倍。基于支柱的仿生柚皮多面体超材料具有高散热、抗冲击和可制造性, 但它们的局限性能量吸收能力限制了它们的应用。华中科技大学史玉升教授团队将分级设计引入基于仿生柚皮多面体超材料中, 以改进高比能量吸收能力并扩展其应用, 并研究了材料对功能梯度设计的 SEA 定律的影响。

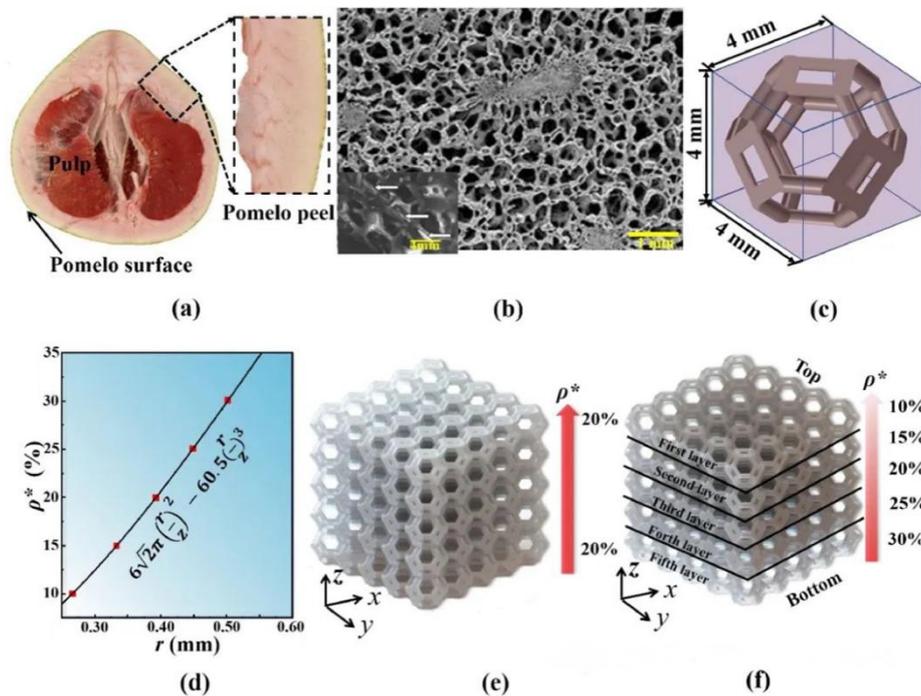


图 11 BPM 的形态演变: (a) 自然界中的柚子表面和柚子皮; (b) 柚皮的显微结构[8 , 15]; (c) 受柚子皮启发设计的 BPM 单元; (d) 支柱的相对密度-直径关系; (e) 设计的 UBPM 模型; (f) 设计的 GBPM 模型

研究人员受柚子皮保护果肉的抗冲击性和功能梯度结构可提高 SEA 能力的启发，采用软材料（光敏树脂）和硬材料（Ti-6Al-4V）进行 3D 打印，制备了梯度仿生多面体超材料（GBPM），其 SEA 超过了前期报道中大多数软材料和硬质材料制造的超材料 SEA。

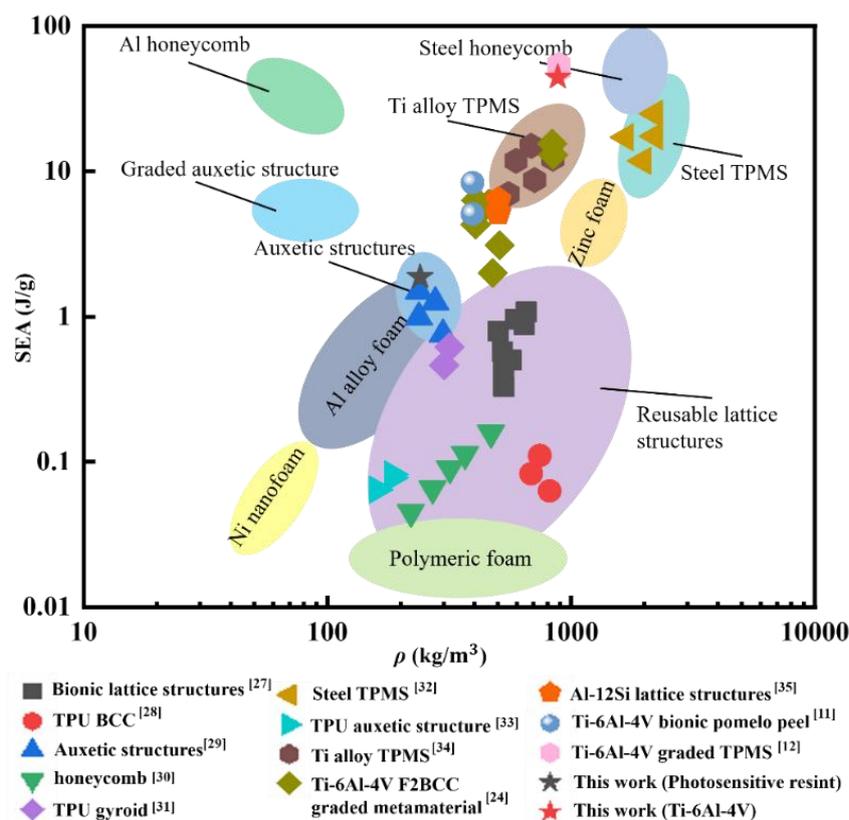


图 12 SEA Ashby 图与各种现有超材料的对比

激光选区熔化 Ti-6Al-4V 粉末及数字光处理光敏树脂制造仿生多面体超材料，扫面电镜观察仿生多面体形貌，准静态压缩仿生多面体超材料，Abaqus 动力学显式仿真准静态压缩过程。

在压缩试验和数值模拟的指导下，SEA 能力的提高与材

料无关。在应力-应变曲线中，波动区出现在硬材料制造的仿生多面体超材料（BPMs）中，在软材料制造的 BPMs 中不存在，导致软材料制造 GBPM 的 SEA 值的增长率比硬材料制造 GBPM 提高了 5.9 倍。软材料和硬材料制造的 GBPM 的 SEA 值分别为 1.89 J/g 和 44.16 J/g，超过了先前研究中报道的大多数软材料和硬质材料制造的超材料的 SEA。

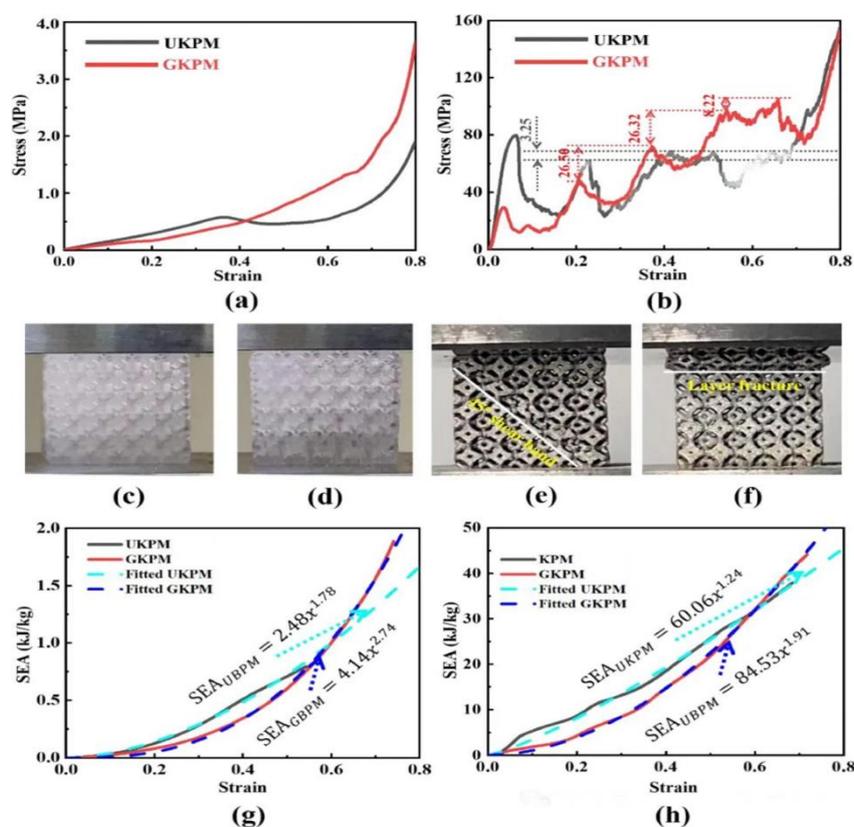


图 13 UBPM 和 GBPM 的压缩结果、力学性能和 SEA：(a)软材料制造的 UBPM 和 GBPM 的应力-应变曲线；(b) 硬质材料制造的 UBPM 和 GBPM 的应力-应变曲线；(c, d) 软材料制造的 UBPM (c) 和 GBPM (d) 的压缩结果；(e, f) 硬质材料制造的 UBPM (e) 和 GBPM 在 $T = 0.1$ (f) 时的压缩结果；(g) 通过压缩试验和功率拟合获得的软材料制造的 UBPM 和 GBPM 的 SEA 应变曲线；(h) 从压缩测试和功率拟合中获得的硬质材料制造的 UBPM 和 GBPM 的 SEA 应变曲线

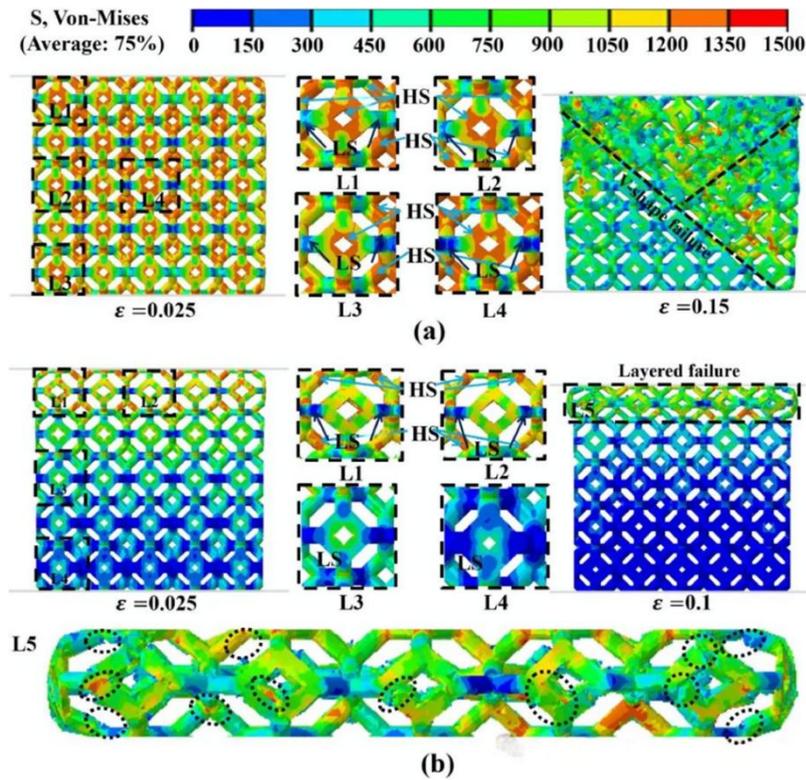


图 14 FEM 中的 von-Mises 应力分布：(a) UBPM；(b) GBPM 结论 1. 分级设计降低了力学性能，将 45° 剪切断裂转化为逐层破坏。与硬材料制造的 BPMs 相比，软材料制造的 BPM 表现出延迟的致密化应变。2. 提高 SEA 的梯度设计与所用材料无关。与 UBPM 相比，GBPM 可以实现增强的 SEA。在软材料制造的 BPMs 的断裂阶段没有出现波动区，与硬材料相比，软材料制造 GBPM 的 SEA 值的增长率提高了 5.9 倍。

仿生梯度设计可提高超材料的能量吸收效果，仿柚子皮梯度超材料的 SEA 超过了先前研究中报道的大多数软材料和硬质材料制造的超材料的 SEA。以上发现可以指导具有高能量吸收以抵抗外部冲击的超材料的设计。

(来源：《Materials Today》 翻译：机械工程学报)

● 行业动态

（一）2023 年国产增材制造装备出口 61 亿，同比增长 84%

据海关总署数据显示，2023 年中国出口增材制造装备和材料、零件等总额 69.25 亿元，相比上年度增加 27.96 亿元，增幅 67.73%，进出口总额达到 75.4 亿元。

其中，增材制造装备出口数量为 355 万台，总额为 61.526 亿人民币，同比增长 84%。细分领域上看，“用金属材料的增材制造设备”出口 32872 台，金额为 3.968 亿人民币，同比增加 1.9 万台；“用于塑料或橡胶材料的增材制造设备”出口数量为 351 万台，同比增加约 166 万台；出口额 55.94 亿元人民币，占比 90.92%，平均价格约 1591 元人民币，是出口数量最多的增材制造装备类型。

2023 年中国进口增材制造装备数量为 6456 台，总额 4.626 亿元。其中，“用金属材料的增材制造设备”仅 33 台，相比 2022 年减少 27 台；“用于塑料或橡胶材料的增材制造设备”进口数量为 6279 台，相比 2022 年增加 2636 台，进口额 2.16 亿元。

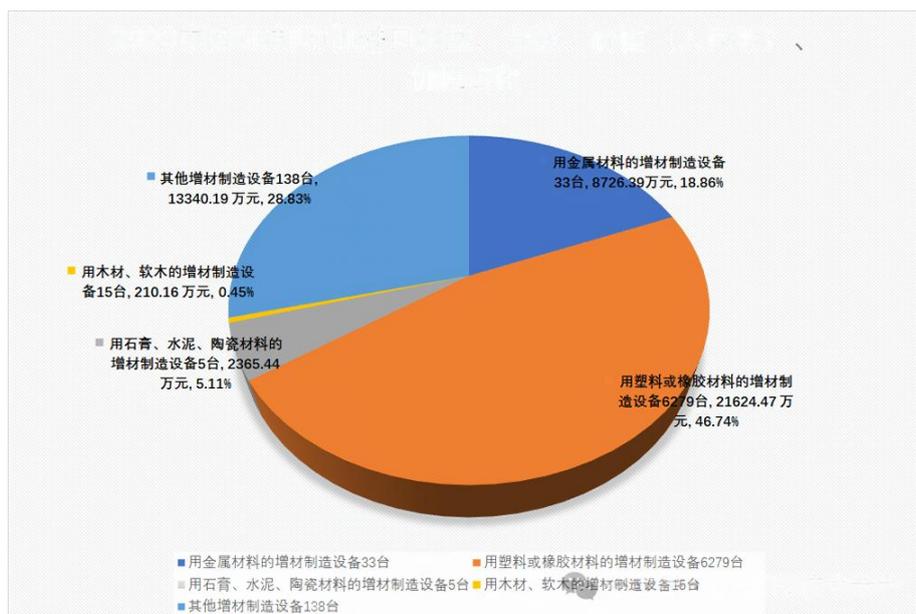


图 15 2023 年中国 3D 打印进口 3D 打印装备和材料、零件等总价值 6.16 亿人民币，同比增加 20.98%

(二) 太空中第一台金属 3D 打印机前往国际空间站

2024 年 2 月 1 日，法国 OEM AddUp 与空中客车公司合作，向欧洲航天局 (ESA) 交付了第一台太空金属 3D 打印机。这台打印机是在 NASA NG-20 任务中发射的，搭乘 SpaceX Falcon 9 火箭前往国际空间站 (ISS)。打印机专为微重力环境而开发，将在 Huginn 任务中发挥关键作用。

该打印机自 2016 年起由 AddUp 和空中客车公司在克兰菲尔德大学和航空航天承包商 Highftech Engineering 的协助下开发，是一种线控能量沉积 (DED) 系统，包含一个用于存储电线的盒，同时最大限度地减少热量和颗粒排放并进行补偿运动。该打印机标志着太空应用金属 3D 打印的重大

进步。

此前对太空金属 3D 打印的探索主要集中在用于备件修复的电子束熔化等技术。这款新型打印机代表着技术向前迈出的重要一步，特别是在太空任务变得更长、成本更高、更关键的情况下，不仅能够更换损坏的零件，还能为不可预见的紧急情况或设备升级等创建临时组件。太空 3D 打印的引入为更多定制和有效解决方案开辟了可能性。

如果人类想要殖民其他行星、在太空采矿、在轨道上产生能源以及管理数千颗卫星，3D 打印将成为必不可少的工具。它在减少任务所需货物、再利用潜在废物、回收机载金属以及按需制造必需品方面有很大的优势。现场按时生产零件能够显著提高任务效率，比启动新的供应任务更快，对于挽救生命和延长任务持续时间至关重要。

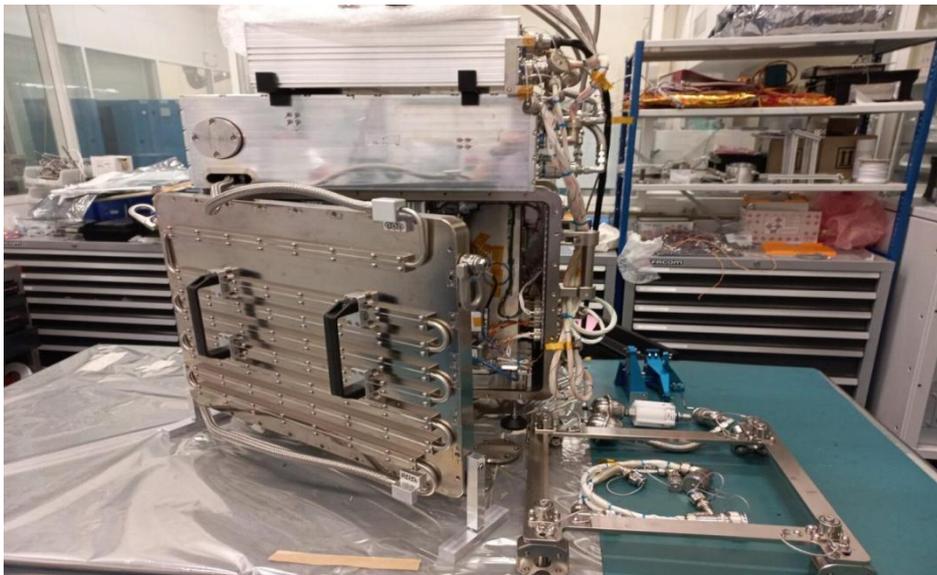


图 16 用于国际空间站的金属 3D 打印机

除了金属增材制造 (AM) 之外, 进一步开发再生材料聚合物 3D 打印以及生物打印的进步也是必要的。增材制造作为太空探索的重要工具, 不仅证明了其在关键应用中的可信度, 而且也使该行业能够利用不断扩大的太空市场。

此外, 该合资企业为 DED 和线激光沉积工艺提供了独特的机会。与粉末床熔融相比, 这些技术通常被认为不够精致, 但它们必将获得更高的声望、研究资金和关注。DED 和其他基于电线的技术以其安全性和使用不同质量和特性的回收材料的多功能性而著称。此外, 激光 DED 系统作为切割和打标工具的适应性也是一个额外的优势。DED 通过在磨损零件上添加新层来实现零件再生的能力也是有益的。

太空背景下加强的审查和测试可以吸引来自各个国家的太空、航空航天和国防部门的新客户, 鼓励他们以新的眼光看待 DED 技术。

● 典型应用

（一）增材制造赋能口腔齿科 引领齿科数字化



图 17 央视财经频道《专精特新·制造强国》

近期，央视财经频道《专精特新·制造强国》走进中国增材制造产业联盟理事单位铖联科技，深度报道了铖联科技在齿科数字化领域的绝活——快，“运用 3D 打印和数字化技术生产义齿，在生产上做减法，在指缝里抢时间，分秒必争，让牙齿加工可以‘事半功倍’。”

铖联科技快的秘诀是全流程数字化，跑出假牙生产加速度。铖联云平台作为中枢大脑，指挥着设计、数据、生产精密高效运行，用户通过云平台发送订单需求，云平台设计师通过智能设计软件完成 CAD/CAM 设计，完成处理的数据将通过智能生产调度中心发往最合适的打印中心完成打印，质

检出货，平均时间仅需 24 小时，最快可达到 6 小时出货。

铖联科技自研的齿科智能设计软件，基于人工智能和大数据等新一代信息技术，采用图形识别算法，可实现自动设计，人工后期只需要微调即可，大幅缩短了设计时间，设计效率提升数倍。

工欲善其事，必先利其器，铖联科技持续研发高投入，自主研发齿科 3D 打印机和全套后处理设备，不断缩短 3D 打印和后处理的时间，解决了变形、层纹，砂眼等诸多行业质量难题，良品率从 93%提高到 99%。

（二）核能装备全过程监控成形制造

中国增材制造产业联盟理事单位中国核动力研究设计院申报的“核能装备全过程监控成形制造”成功入选工业和信息化部公布了“2023 年度增材制造典型应用场景名单”。

增材技术在核能领域应用前景巨大，有望开发出性能跨越式提升的核能装备。同时，也能提高核能装备的制造效率和精度、加强核能装备的安全可靠性。但目前国内增材制造过程缺乏监控手段，尚无法何保证增材制造过程完全受控。而核动力院的“核能装备全过程监控成形制造”项目正是为了疏通这个卡点。

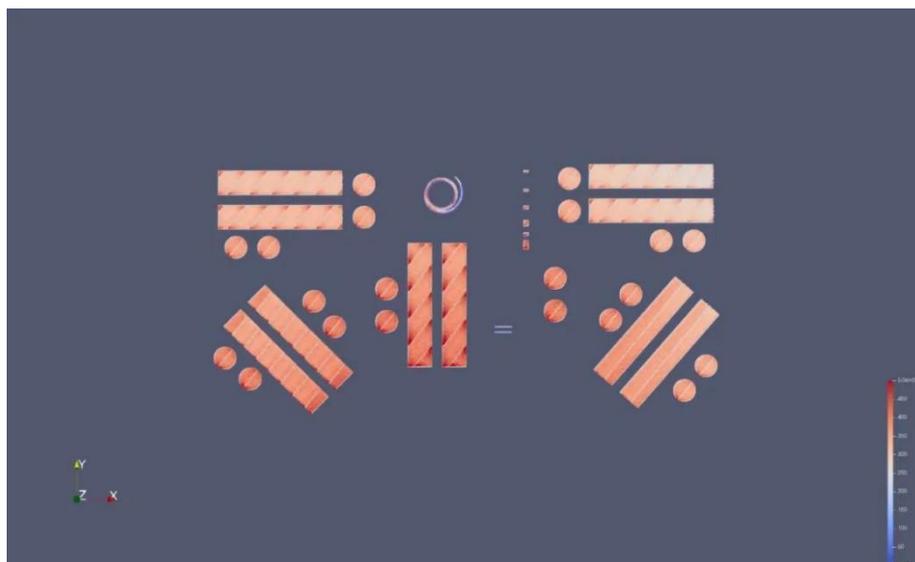


图 18 “睿眸”过程监测系统

核动力院开发的“睿眸”过程监测系统，不仅能对生产状态进行实时监控，还可以对打印异常进行智能判断，最终形成增材产品制造全过程数字质量全程记录文件。目前该技术已与国内多个品牌的打印机完成了适配，也在核动力院增材研发鉴定过程中进行了示范应用。

（三）船用高强薄壁复杂曲面结构件整体化制造

海为高科牵头申报的“船用高强薄壁复杂曲面结构件整体化制造”成功入选“2023 年度增材制造典型应用场景名单”，成为中国船舶集团首家入选的单位。

在航空航天、船舶和核电等众多领域，都十分需要具有高强度、薄壁厚特征的复杂曲面结构件。而传统的加工方式，往往存在成本高、流程复杂、时间周期长、成形结构受限等

问题。具备高成形自由度、短成形周期和成形质量好等众多优点的 SLM 工艺有效地解决了这个问题。

针对某船用高强薄壁复杂曲面结构件需求，利用 SLM 工艺，通过理论分析、实验测试和模拟仿真三者相结合的手段，使得结构设计突破常规的制造限制，有效克服了成形过程中变形和缺陷难控的问题，成功整体化制造出某船用高强薄壁复杂曲面结构件，大大减少了加工周期，降低了使用成本。

栓接技术项目团队结合增材制造技术应用背景特征，积极探索创新，运用自主可控、高效的技术工艺，实现了增材制造技术在船用高强薄壁复杂曲面结构件的应用，提升了船舶关键装备的性能，也用自身实力证明了海为高科在增材制造领域强劲的业务能力和可靠的产品质量。后续，该团队也将进一步加强增材制造技术研究，扩大应用范围，推动增材制造技术产业发展，助力船舶装备绿色制造体系建设。

● 成员展示

亚琛联合科技（天津）有限公司

亚琛联合科技（天津）有限公司于 2018 年成立。公司在天津滨海新区和德国亚琛工程谷内的光制造中心均有研发、设备制造基地，并分别在北京、郑州、南京、哈尔滨设有生产基地。公司专注提供定制化的超高速激光熔覆整套生产链解决方案，包含：成套装备、核心工艺、材料制备。该技术为通用技术类型，目前已在煤矿机械、轨道交通、航空航天、石油钻探、钢铁冶金、新能源等行业进行应用。

公司多年来投入大量研发资金，用于新产品、新技术研发及既有产品持续改进，包括实现设备状态与生产过程的智能监控、集成不同涂层的制备工艺数据库、以及开发新一代高效熔覆喷嘴等，牢固掌握具有自主知识产权的智能化超高速激光熔覆装备核心技术，成为国内及国际独家提供超高速激光熔覆技术自主研发、成套生产和配套服务能力的企业。

公司项目研究团队共由 46 人组成，包括博士 4 人，硕士 4 人，本科 37 人，高级技工 1 人，其中 3 人具有高级职称。研究团队主要由哈尔滨工业大学与德国弗朗恩霍夫激光技术研究院的资深专家与博士、硕士组成的国际化研发团队。集合了激光装备制造、工艺研发、金属冶金方面的专业人士。研究团队成员大多具有海外留学与工作经验，核心技术人员

均有 10-20 多年的激光加工技术研究经历，在国内乃至国际激光加工领域具有较高影响力。团队承研过国际合作、国家重点研发计划、国家自然科学基金、04 专项、国防重点项目等多项国家与省部级项目，研究经验丰富、科研作风严谨。具有丰富的中德激光制造领域高端技术资源与合作伙伴，与上海飞机制造、郑州煤机、宝钢、机械研究总院等国内多个行业的领军企业、研发机构建立了长期战略合作关系。

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