

附件 9

“增材制造与激光制造”重点专项 2017 年度项目申报指南

为落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020 年）》和《中国制造 2025》等提出的任务，国家重点研发计划启动实施“增材制造与激光制造”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2017 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：突破增材制造与激光制造的基础理论，取得原创性技术成果，超前部署研发下一代技术；攻克增材制造的核心元器件和关键工艺技术，研制相关重点工艺装备；突破激光制造中的关键技术，研发高可靠长寿命激光器核心功能部件、国产先进激光器，研制高端激光制造工艺装备；到 2020 年，基本形成我国增材制造与激光制造的技术创新体系与产业体系互动发展的良好局面，促进传统制造业转型升级，支撑我国高端制造业发展。

本重点专项按照“围绕产业链，部署创新链”的要求，围绕增材制造与激光制造的基础理论与前沿技术、关键工艺与装备、创新应用与示范部署任务。专项实施周期为 5 年（2016-2020 年）。

2016 年，本重点专项在增材制造与激光制造 2 个方向已启动实施 27 个项目。2017 年，拟在 2 个方向启动 19-38 个项目，拟安排国拨经费总概算为 6.4 亿元左右。凡企业牵头的项目须自筹配套经费，配套经费总额与国拨经费总额比例不低于 1:1。

项目申报统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向进行。除特殊说明外，拟支持项目数均为 1-2 项。项目实施周期不超过 4 年。申报项目的研究内容必须涵盖该二级标题下指南所列的全部考核指标。项目下设课题数原则上不超过 5 个，每个课题参研单位原则上不超过 5 个。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

指南中“拟支持项目数为 1-2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

1. 增材制造

1.1 面向增材制造的产品创新设计技术（基础前沿类）

研究内容：研究面向金属增材制造的工艺约束建模方法，结合结构功能与承载性能约束，发展复杂整体结构的高性能轻量化拓扑优化方法，实现结构构型、功能组件布局、多材料梯度布局的整体匹配优化设计；制定面向增材制造的

整体结构、多材料梯度结构优化设计的标准规范、软件，形成可供工程化应用的增材制造结构优化设计技术体系。

考核指标：建立增材制造工艺约束模型和实现方法、典型零部件结构优化设计方法及其性能评估模型，可处理 100 万以上变量及 2 种以上不同类型设计变量的混合优化；整体结构优化设计实现结构件数量减少 50%以上、功能和效能提升 15%以上；形成相关设计软件平台、设计标准和规范；实现在航空、航天、能源、动力等领域的应用验证。

1.2 高效宽幅微滴喷射阵列打印头的研发（重大共性关键技术类）

研究内容：微滴喷射阵列打印头的流体输送特性、微小液滴形成与喷射过程、打印头寿命影响因素，液滴喷射品质的评价方法；微滴喷射阵列打印头流道结构设计、芯片封装过滤系统设计、MEMS 制造工艺和 CMOS 工艺设计优化及集成方法；智能芯片设计及开发，芯片模块集成方法和校准方式；打印头微滴喷射控制技术。

考核指标：模块化设计，微滴喷射阵列打印头喷嘴密度大于 600 个/英寸；单位打印头模块 $\geq 100\text{mm}$ ，集成打印宽幅 $\geq 900\text{mm}$ ，打印头最高工作频率 $\geq 20\text{ kHz}$ ，打印喷嘴寿命大于 2.5 亿次；可喷液体粘度范围大于 1-100 CP。

1.3 智能化增材制造系统平台（重大共性关键技术类）

研究内容：增材制造元器件、材料工艺数据库、在线检

测反馈系统、系统决策控制融合，构建增材制造智能化平台技术。建立工艺参数库和知识库，开发支持高精度成形的数据处理算法和工艺数据库；建立在线检测系统与信息反馈系统，形成保证成形精度和制件质量的智能化工艺参数系统；研究装备系统的自诊断和自检测系统，形成智能在线预警和设备自保护系统；建立增材制造过程的工业标准体系，实现制造精度和质量的在线智能化控制。

考核指标：形成 3D 打印通用层面数据接口文件格式、3D 打印装置通用加工指令代码规范和通用增材制造工艺数据库接口规范 3 项标准；工艺数据库和工艺参数系统匹配不少于 10 种金属、高分子（含覆膜砂）和陶瓷材料，以及 5 种以上的增材制造工艺或装备；在线检测和反馈系统实施后，增材制造制件的变形、孔隙和裂纹等缺陷工艺可控，制件质量稳定性提高 1 倍；在工程中得到实际应用，实施不少于 100 个案例。

1.4 高性能大型金属构件电弧/电子束熔丝增材制造装备与工艺（重大共性关键技术类）

研究内容：围绕国家重大工程应用需求，针对电弧/电子束熔丝增材制造的三维数模分析、成型策略优化、数模分层及路径规划软件；大跨度高精度载能束/数控工作台或机器手的联合运动控制技术与装备；高性能大型金属构件电弧/电子束熔丝成形构件质量控制及性能预测评估方法；成形过程实

时监控技术；工艺和装备的相关标准规范。

考核指标：装备最大成形尺寸 $\geq 3500\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 500\text{cm}^3/\text{h}$ ，变形控制在 $0.4\text{mm}/100\text{mm}$ 以内，构件主要力学性能指标不低于同成分铸件或者锻件，装备连续工作时间不低于240小时；形成工艺和装备的相关标准规范；实现应用验证。

有关说明：电弧增材制造装备与工艺、电子束熔丝增材制造装备与工艺可以分别申报。

1.5 复杂精密金属构件电子束粉末床增材制造装备与工艺（重大共性关键技术类）

研究内容：针对国家重大工程应用需求，研究高精度电子束扫描系统设计原理与实现方法；粉床电子束增材制造装备系统集成与效能提升技术，包括定量送铺粉技术、辐射防护技术、快速冷却与气氛控制系统集成技术，成形过程实时可视监控与在线质量诊断技术等；复杂精密构件粉床电子束成形工艺与软件；复杂精密金属构件电子束粉末床增材制造装备。

考核指标：增材制造装备及其工艺控制软件能够支持钛合金、难熔金属和金属间化合物等多种金属材料的精确成形；成形区域尺寸 $\geq \Phi 350\text{mm} \times 380\text{mm}$ ，成形精度 $\leq \pm 0.2\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 80\text{cm}^3/\text{h}$ （以成形标准钛合金试样块为参考）；装备与工艺实现应用验证。

1.6 高性能非金属材料增材制造工艺与装备（重大共性关键技术类）

研究内容：高性能陶瓷及其复合材料增材制造技术；连续纤维增强复合材料增材制造技术；研制相应的工艺装备，建立相应工艺装备的适应材料、设备可靠性、环保安全等标准规范；针对国家重大工程需求的应用研究。

考核指标：（1）高性能陶瓷及其复合材料增材制造装备的成形尺寸大于 $200\text{mm}\times 200\text{mm}\times 200\text{mm}$ ，成形相对精度高于 $\pm 2\%$ ，对于高致密度陶瓷，后处理后成形件致密度高于99%，对于陶瓷基复合材料构件，其室温断裂韧性不低于常规工艺；（2）连续纤维增强复合材料增材制造装备尺寸不大于 $400\text{mm}\times 400\text{mm}\times 600\text{mm}$ ，可以实现尺寸 $\geq 2\text{m}$ 的复杂结构件增材制造，形成相关工艺规范，性能满足应用要求。

有关说明：陶瓷及其复合材料增材制造工艺与装备、连续纤维增强复合材料增材制造工艺与装备可以分别申报。

1.7 增材制造修复与再制造技术与装备（重大共性关键技术类）

研究内容：不同工业领域失效零件增材修复工艺与装备设计原则；零件可修复性评价与修复判据；损伤部位前处理及在线 3D 测量方法、待修复部位几何模型快速重建、分层切片及扫描路径规划；面向工程化应用的增材修复与再制造专用合金材料设计和制备技术；增材修复与再制造的控形控

性工艺与装备技术；后处理与无损检测、性能表征及性能考核。

考核指标：变形量 $\leq 0.1\text{mm}/100\text{mm}$ ；缺陷部位几何重建时间小于 0.5h，可实现修复层厚和扫描路径调节；修复和再制造后综合力学性能不低于原件性能的 90%；增材修复与再制造装备满足工程应用要求；建立增材修复与再制造标准及规范。

1.8 复合增材制造技术及装备（重大共性关键技术类）

研究内容：增材/锻造复合制造技术；增材/减材复合制造技术（可任选材料同步送进增材制造技术或粉末床增材制造技术）；研制相应的工艺装备；建立工艺数据库以及工艺、装备、制件的相关标准规范；针对国家重大工程需求的应用研究。

考核指标：（1）增材/锻造复合制造装备支持多种金属材料增材成形，实现成形组织等轴细晶化，晶粒度及其均匀性超过锻件水平；成形效率 $\geq 3\text{kg}/\text{h}$ （以 Ti-6Al-4V 合金沉积为参考），最大成形尺寸 $\geq 3500\text{mm}$ ；变形控制在 $0.3\text{mm}/100\text{mm}$ 以内；（2）增材/减材复合制造技术方向，对于材料同步送进增材/减材复合制造技术，装备具有成形复杂曲面以及带有内腔、内孔、内流道零部件的能力，成形零件精度不低于 0.5%，表面粗糙度不大于 $2\mu\text{m}$ ，最大成形尺寸 $\geq 1000\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 200\text{cm}^3/\text{h}$ ，连续工作时间 $\geq 240\text{h}$ ；对于粉末床增材/减材复合

制造技术，装备最大成形尺寸 $\geq 250\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 15\text{cm}^3/\text{h}$ ，成形精度 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ ，无故障工作时间 $\geq 2000\text{h}$ ；（3）建立相关的标准、规范。

有关说明：增材/锻造复合制造技术与装备、增材/减材复合制造技术与装备可以分别申报。

1.9 金属增材制造缺陷和变形的射线检测技术与装备(重大共性关键技术类)

研究内容：增材制造过程冶金缺陷与应力应变的在线射线（包括 X 射线、红外和自然光等）无损检测方法；元素含量的高精度在线检测；增材制造特殊冶金缺陷的形成机理、缺陷特征和无损检验特性；检测信息与材料、结构性能之间的关联。

考核指标：研制出金属增材制造在线射线检测装备，实现钛合金、合金钢、铝合金、高温合金等 4 类金属结构件增材制造过程的在线检测；主要成分探测值误差优于 $\pm 3\text{at.}\%$ ，缺陷的检测识别精度 $\leq 0.05\text{mm}$ （以 25mm 厚的钛合金为参考），变形的检测精度 $\leq 0.1\text{mm}/100\text{mm}$ ；形成相关射线的检测规范和标准。

1.10 增材制造技术在航空航天制造领域的产业化应用示范（应用示范类）

研究内容：针对飞机和航天器的国家重点工程任务，提出基于增材制造的系统级结构设计新思路，梳理出适合于增

材制造的结构件的类型，进行基于增材制造工艺的结构与材料优化设计，采用适当的增材制造技术完成相关零部件的制造和后处理，形成成套的增材制造过程与制件性能的分析检测技术，进行增材制造结构件以及采用增材制造件后系统的功能、性能、制造效率与成本的综合评价。

考核指标：结构件减重>30%，功能提升>15%，制造全周期缩短>20%，成本降低>20%；可覆盖的零件应用比例不低于铝合金和钛合金结构总重量的 3%；建立整套设计方法、制造工艺及评价体系；实现增材制造结构件的批量生产并装机应用；优先采用科技计划（专项、基金等）支持的技术成果。

有关说明：由企业牵头申报。

1.11 个性化定制医疗器械增材制造技术与应用示范（应用示范类）

研究内容：开展金属与非金属医疗器械（含医用非医疗器械）的个性化建模、设计与定制增材制造技术研究，并在临床需求量较大、个性化特征需求较高的方向开展临床应用研究，主要包括增材制造个性化人工关节，个性化人工脊柱植入物，个性化义齿及种植体（包含相关口腔模型），个性化颅颌面缺损修复体，增材制造人体疾病精准治疗等；建立增材制造生物医疗临床应用的服务、设计、定制生产和综合评价的标准规范及质量监控体系。

考核指标：产品打印精度和性能满足临床使用要求（一般精度优于 0.1mm）；对于增材制造 I 类、II 类和 III 类医疗器械（含医用非医疗器械）的临床试用或应用病例达到 200 例以上；相关产品进入 CFDA 评价；优先采用科技计划（专项、基金等）支持的技术成果。

有关说明：由临床应用单位牵头申报。

1.12 面向创新创业的 3D 打印技术平台及应用（应用示范类）

研究内容：针对不同层次人群创新创业的需求，开发 3D 打印创意设计和建模软件，研发一体化创新创业平台，汇聚 3D 打印创新设计、打印设备等资源，面向教育、培训、创新设计、文化创意等开展应用示范。

考核指标：在线 3D 设计软件支持 1000 人并发；平台活跃用户 10 万人以上；优先采用科技计划（专项、基金等）支持的技术成果。

有关说明：由企业牵头申报。

2. 激光制造

2.1 超快激光微纳制造机理及新方法（基础前沿类）

研究内容：面向新能源、航空航天等领域国家重大需求和新型功能器件制造，建立超快激光与材料相互作用多尺度理论与观测体系，从电子层面理解光场调控下微纳加工的新现象和新效应；研究超快激光时域/空域分布对电子动态和材

料性质调控的加工新原理、新方法及其前沿应用，设计和加工若干具有重大应用前景的新型微纳功能器件。

考核指标：建立超快激光与材料相互作用的多尺度模型；实现加工过程的多尺度观测，跨越 10 个以上时间数量级；加工面积达到平方厘米量级、含超过 10 万个微纳结构；解决新能源、航空航天等领域 1-3 个国家重大需求中核心构件的制造难题，发展 1-3 个有重大应用前景的新型功能器件。

2.2 制造用大功率光纤激光器（重大共性关键技术类）

研究内容：针对激光制造/增材制造装备需求，开发传输组件、功率合束器等大功率光纤激光关键器件；开展光束质量控制、非线性抑制、光谱控制、多路光纤激光功率合成等关键技术研究；研究高功率泵浦、散热、输出功率稳定性及光致暗化等关键技术；发展工业化大功率光纤激光器系统集成和模块化组装技术。

考核指标：开发出长寿命 3kW 单模光纤激光器和高可靠性 20kW~30kW 的多模光纤激光器（输出光纤芯径 $\leq 200\mu\text{m}$ ）；实现>2kW 单模光纤激光器与>20kW 多模光纤激光器的小批量化制造；项目验收时实现激光制造用>2kW 单模光纤激光器 100 台以上、以及>20kW 多模光纤激光器 10 台以上的销售量；实现项目研制大功率光纤激光器在激光制造装备上的应用示范。

2.3 制造用紫外激光器（重大共性关键技术类）

研究内容：针对激光制造/增材制造装备需求，开发紫外激光元器件加工工艺，解决抗损伤紫外晶体等光学元件产品化难题；研究工业激光器数值设计与仿真方法，研究高功率紫外激光器的制造技术；研究激光器光场分布、偏振/相位特性等调控新方法，构建紫外激光器性能验证的加工工艺平台，研究紫外激光器工业化解决方案。

考核指标：研制出 40W 级以上 100kHz~1MHz 的 355nm 与 10W 级 50kHz~150kHz 的 266nm 纳秒脉冲激光器；建立半自动化紫外激光器批量装配生产线；项目验收时国产化工业紫外激光器实现 200 台以上销售，其中>20W 的激光器销售不少于 20 台、>10W 的激光器销售不少于 30 台；实现项目研制紫外激光器在激光制造装备上的应用示范。

2.4 硬脆材料的激光高效加工装备（重大共性关键技术类）

研究内容：研究硬脆材料的微结构成形机理及工艺方法，研究硬脆材料激光高效精密制造技术及表面质量控制方法；攻克激光脉冲调制、光束稳定性控制、多轴运动协同等关键技术；研制高精度高速扫描振镜等激光制造用元器件，开发成套专用激光制造装备。

考核指标：瞄准航天航空、电子制造等领域的典型硬脆材料加工需求，研制动态三维扫描振镜（最大扫描速度不低于 8m/s、瞬态特性不大于 160μs）；开发光机电协同控制系统；

研发不少于 2 类激光精密自动化制造装备，表面粗糙度 $Ra \leq 0.0004\text{mm}$ ，尺寸精度误差优于 0.005mm ，进行典型工程应用。

2.5 复杂微细结构的激光加工与测量技术及装备（重大共性关键技术类）

研究内容：研究微细激光光束聚焦机理及激光扫描方法；研究突破激光衍射极限的高深宽比纳米结构的激光加工技术；研究超细激光制造过程监测和加工质量控制方法；开发超细激光聚焦加工样机及质量检测设备。

考核指标：研制出微细激光聚焦加工样机，加工范围不小于 $100\text{mm} \times 10\text{mm} \times 100\text{nm}$ ，实现深宽比 $>10:1$ 三维纳米结构，以及特征尺度 $<10\text{nm}$ 的二维纳米结构激光制造；开发出横向分辨率 $<100\text{nm}$ ，轴向分辨率 $<1\text{nm}$ 并且测量范围不小于 $100\text{mm} \times 10\text{mm} \times 100\text{nm}$ 的超分辨三维光学测量装置。实现 1-2 件微纳器件制造应用。

2.6 激光高性能连接/超精密焊接装备（重大共性关键技术类）

研究内容：面向国家重大需求，研究两个方面内容：（1）研究纳米材料/结构的激光制造并用于低温连接高温服役电子器件的连接技术；研究复杂微纳尺度操作与激光光束协同控制、同质/异质材料可控纳米连接技术与装备。（2）研究光电器件超精密激光焊接技术；突破位置精确搜索、亚微米精

度运动控制、激光束精确整形传输、焊点微位移控制等关键技术；研制光电器件的超精密激光焊接装备。

考核指标：（1）研发激光纳米连接装备，精度优于 40nm；实现低温连接(<250℃)高温服役(>300℃)的微纳功能器件连接制造，寿命加速实验满足相关器件国际标准；实现纳米材料激光无损连接，且接头强度超过母材的 90%；应用于 2-3 项新型微纳功能器件。（2）研制不少于 3 类超精密激光焊接装备，焊接精度优于 1μm，支撑光电器件精密焊接的重大应用，如光通信激光器焊接、有机显示屏密封、卫星准直器焊接等。

有关说明：激光纳米连接装备、超精密激光焊接装备可以分别申报。

2.7 大型构件的激光高效清洗装备（重大共性关键技术类）

研究内容：研究激光对材料涂层、污物及微小颗粒等作用的物理机制及激光清洗方法；研究激光时间-空间-功率、热变形等对制造性能影响的多元参数实时在线检测与矫正技术；开发针对大型构件高效激光清洗、复杂构件选区清洗成套装备技术。

考核指标：面向航天、高铁、海洋等领域的重大需求，研发多元参数矫正系统（光斑尺寸与平均功率输出精度误差优于 1%）；研发不少于 2 类激光清洗装备并实现典型工程应用验证：（1）大型构件涂层清洗效率大于 40m²/h，清洗厚度

精度优于 $10\mu\text{m}$; (2) 选区清洗定位精度优于 0.1mm , 金属构件清洗质量不低于 Sa3 级。