

附件 6

“增材制造与激光制造”重点专项 2024 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，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 2024 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：到 2025 年，使我国增材制造与激光制造成为主流制造技术之一，总体达到世界一流，基本实现全球领先，在战略新兴产业、新基建、大国重器中发挥不可替代的重大作用。同时，基本实现增材制造与激光制造全产业链主体自主可控，形成系列长板技术和一批颠覆性技术，并汇集为行业整体优势，为一批领军企业奠基强大的国际技术竞争力，高端装备/产品大批进入国际市场，实现大规模产业化应用，在制造业转型升级中发挥核心作用。

2024 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕“基础理论和前沿技术、核心功能部件、关键技术与装备、典型应用示范”4 个技术方向，按照基础研究、共性关键技术、应用示范三个层面，拟安排 38 条指南任务，拟安排国拨经费 3.54 亿元。其中，围绕超快激光制造过程高时空分辨电子动态观测、

磁/电致伸缩智能材料与结构增材制造等技术方向，部署青年科学家项目，每个项目 200 万元。围绕等离子束智能增材制造、石墨双极板激光图形化精密制造等技术方向，部署科技型中小企业项目，每个项目 200 万元。共性关键技术类项目，配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1，鼓励企业牵头，非企业牵头申报项目必须有企业参加。应用示范类项目鼓励产学研用紧密结合，充分发挥地方和市场作用，由企业牵头申报，配套经费与国拨经费比例不低于 2.5:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个指南任务拟支持项目数为 1 项，实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 5 家；共性关键技术类和应用示范类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 8 家。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。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，1984 年 1 月 1 日以后出生，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

中小企业项目要求由科研能力强的“专精特新”中小企业牵头申报。项目下不设课题，项目参加单位（含牵头单位）原则上不超过 2 家，原则上不再组织预算评估，在验收时将对技术指标

完成和成果应用情况进行同步考核。

1. 基础理论和前沿技术

1.1 抗腐蚀表面激光-声电力协同均质化沉积制造（基础 research 类）

研究内容：针对新一代能源装备领域关键部件在高温、高压、高流速极端环境下的抗碳-氧腐蚀表面制造与延寿难题，研究声电力多物理场一体化协同作用下的激光沉积层组织演化、元素均匀化扩散、微缺陷愈合、残余应力拉-压转换机制；阐明激光沉积层合金体系-协同制造工艺-服役性能间的对应关系；揭示激光沉积层在极端环境下的抗碳-氧腐蚀机理和寿命衰退机制；开展应用验证研究。

考核指标：建立声电力多物理场一体化协同作用下的激光沉积层组织演化及元素均匀化仿真模型，极端环境下激光沉积层抗碳-氧腐蚀行为的热力学-动力学模型；实现激光沉积层与基体冶金结合，单层沉积厚度 $\geq 0.5\text{mm}$ ，统计偏析度 ≤ 0.06 ，涂层无贯穿性缺陷，可愈合微缺陷最大尺寸 $\geq 200\mu\text{m}$ ，残余压应力 $\geq 800\text{MPa}$ ；激光沉积层在 $650^{\circ}\text{C}/20\text{MPa}$ 的超临界 CO_2 静态环境下 1000h 后增重 $\leq 0.03\text{mg}/\text{cm}^2$ 、10m/s 高流速动态环境下 1000h 后重量变化 $\leq 0.05\text{mg}/\text{cm}^2$ ；在核电等能源装备关键部件制造中实现验证或应用。

关键词：激光沉积，声电力协同，均质化制造，碳-氧腐蚀

1.2 匀化/矢量光场动态调制的激光增减材制造（基础研究类）

研究内容：针对高光谱遥感、探测、节能等领域对超常电磁调制的重大需求，探索激光动态调制光场辐照下的表面改性金属颗粒/光敏树脂界面控制、超构表面结构形貌演化及损伤机理，研究激光光场跨尺寸动态调制的复合材料光固化、柔性基底膜的平面光子结构大面积均匀成型、矢量光场时空紧聚焦超分辨加工的激光增减材制造方法；揭示三维超结构-平面光子结构膜-超构表面的电磁调控性能构效关系；研究集成功能构件的激光增减材光场动态调制制造工艺。

考核指标：建立 3 类电磁调制仿真模型；研制匀化/矢量光场动态调制系统，光斑调制尺寸跨 3 个数量级，光斑能量均匀性 $\geq 98\%$ ；实现集成功能构件的多材料-跨维有序结构激光增减材制造：最大加工幅面 $\geq 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 、膜厚误差 $\leq \pm 3\%$ 、激光加工最小线宽 $\leq 50\text{nm}$ 、含金属颗粒的树脂基复合材料的激光扫描光固化成形最小特征尺寸 $\leq 10\mu\text{m}$ ，抗拉强度 $\geq 10\text{MPa}$ ，金属颗粒体积分数 0~40% 可控；在卫星（电磁调制波长跨度 ≥ 5 个数量级、传输特性差异 ≥ 10 倍）、节能等领域实现应用验证。

关键词：激光增减材制造，复合材料，光场动态调制，集成功能构件

1.3 金属熔滴载能束诱导沉积高效增材制造（基础研究类）

研究内容：针对航空航天、船舶领域大型构件高效低成本快速制造需求，开展合金熔炼及熔滴高效形成、熔滴射流行为及稳定性控制、载能束诱导熔滴沉积及其相互作用机制等研究；发展基于热力耦合的金属熔滴喷射载能束诱导沉积增材制造成形过程模拟仿真方法；突破载能束诱导金属熔滴沉积成分、缺陷、组织和性能以及沉积精度等控制关键技术，探索沉积体强韧化协同控制方法，开发按需供给的金属熔炼-熔滴发生装置及载能束诱导沉积复合喷头；研发成套工艺与装备，并开展应用或验证研究。

考核指标：建立金属熔滴载能束诱导增材制造全过程模拟仿真方法；研制金属熔滴载能束诱导增材制造装备：成形尺寸 $\geq 350\text{mm} \times 350\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 200\text{mm}^3/\text{s}$ ，成形精度优于 0.5mm ；实现铝合金、铜合金、高温合金等不少于三类合金及复合材料的增材制造，合金构件孔隙率 $\leq 0.2\%$ ，复合材料构件孔隙率 $\leq 2\%$ ；增材制造 7 系铝合金的最高抗拉强度 $\geq 620\text{MPa}$ 且延伸率 $\geq 6\%$ ；增材制造铜合金的最高抗拉强度 $\geq 510\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 25\%$ ；实现尺寸 $\geq \Phi 300\text{mm} \times 500\text{mm}$ 构件的成形，并在航空航天和船舶等领域实现应用或验证。

关键词：金属熔滴喷射，高能束诱导沉积，增材制造，合金熔炼，高温熔滴发生系统

1.4 磁热协同金属芯高温超导材料结构融合制造（基础研究类）

研究内容：针对铜基高温超导材料面临本征脆性、低热导率、晶粒取向敏感、构型单一等难题，研究磁、热（冲击）协同作用下高温超导材料生长-晶粒取向调控一体化超导芯丝融合制备方法；建立超导材料韧性增强、材料结构界面力电耦合及热导率提升理论分析模型；开展长度为米级高温超导芯丝多场条件下晶体生长研究，明晰磁、热（冲击）耦合对晶粒生长影响规律及性能调控机制；开展应用验证研究。

考核指标：建立铜基超导材料晶体外延生长模型与外加磁、热（冲击）耦合调控晶粒生长的理论模型；激光沉积式制备铜基超导材料韧性增强、材料结构界面力、电耦合及热导率提升理论分析模型；实现 YBCO 超导块体制备工艺及参数：直径 $\geq 100\text{mm}$ ，厚度 $\geq 5\text{mm}$ ，断裂韧性 $(77\text{K})\geq 10\text{MPa}/\text{m}^{1/2}$ ，最大热导率 $(4.2\text{-}100\text{K})\geq 10\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ；实现 YBCO 超导芯丝(含包覆材料)制备工艺及参数：直径 $\leq 1.1\text{mm}$ ，载流能力 $(10\text{K}, \text{自场})\geq 10^4 (\text{A}/\text{cm}^2)$ ，长度 $\geq 1\text{m}$ ；铠装电缆芯丝数量 ≥ 50 条，载流能力 $(77\text{K}, \text{自场})\geq 100\text{A}$ ；完成超导陀螺模型等复杂形状 YBCO 超导构件 ≥ 3 个，电缆条数 ≥ 1 条。在能源装备关键部件制造中实现应用或验证。

关键词：金属芯超导丝，磁、热(冲击)协同，材料结构融合制造，米级超导电缆

1.5 面投影光固化与激光直写协同的石英玻璃增材制造（基础研究类）

研究内容：面向复杂石英玻璃微光学元件制造需求，开展面投影光固化与飞秒激光直写协同增材制造方法研究。研发光固化专用含二氧化硅纳米颗粒的光敏树脂基复合材料体系，发展高精度、高效率、跨尺度的全息图案化无掩模增材制造新方法，研究三维宏微结构与超衍射极限微纳结构的一体化制造方法，光固化宏/微/纳尺度结构在烧结过程中的形变规律及反向补偿调控和设计方法；研发成套协同制造工艺和平台，开展应用或验证研究。

考核指标：研制出固含量 $>50\text{wt}\%$ ，二氧化硅粒径尺寸 $\leq 50\text{nm}$ 的光敏树脂基复合材料；可成形结构尺寸 $\geq 10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 10\text{mm}$ ，加工分辨率 $\leq 200\text{nm}$ ，对准精度 $\leq 2\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $R_a \leq 20\text{nm}$ ；烧结过程脱脂率 $>90\%$ ；开展复眼透镜等石英玻璃精密器件的应用或验证。

关键词：面投影光固化，飞秒激光直写

1.6 三维金属微纳结构冷态电铸面域增材制造（基础研究类）

研究内容：针对 5G/6G、AI 领域芯片散热和高密度互联等金属微纳结构高质高效制造需求，开展无掩模冷态电铸面域微增材制造研究，研究冷态面域电铸增材制造过程中金属离子还原结晶过程，揭示金属离子在阴极附近的传输机制，明晰冷态氛围多能场耦合金属生长行为，构建工艺参数与金属沉积速率、质量和性

能之间的对应关系，开发三维微纳结构的冷态电铸面域增材制造工艺和平台。

考核指标：建立冷态电铸面域微增材制造过程仿真模型；可在低于 5°C 的冷态氛围中制备典型金属微纳结构：单体最小特征尺寸 $\leq 500\text{nm}$ ，长径比 ≥ 50 ，表面粗糙度 $Ra \leq 100\text{nm}$ ，晶粒尺寸 $\leq 300\text{nm}$ ；无掩模单层面域增材厚度 $\leq 10\mu\text{m}$ ，区域大小 $\geq 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，体积速率 $\geq 40\mu\text{m}/\text{h} \cdot \text{dm}^2$ ；实现不少于 2 种复杂三维空间结构的制造：最小壁厚 $\leq 40\mu\text{m}$ ，结构空隙率 $\geq 50\%$ ；在 5G/6G、AI 芯片散热等领域实现应用或验证。

关键词：冷态电铸，面域增材，金属微纳结构，5G/6G

1.7 亚纳米材料的液相脉冲激光制造（基础研究类）

研究内容：面向第三代光伏等低碳能源器件制造需求，研究基于非平衡过程调制的液相脉冲激光制造关键技术，原子簇、单原子等亚纳米材料在不同溶剂体系的可控制造方法；揭示液相脉冲激光诱导原子锚定、成簇动力学过程和亚纳米材料液相成核、生长机理，及其作为微观调控单元植入的主客体相互作用机制，并建立原子尺度高负载量与高原子利用率之间的调制工艺；开发亚纳米材料定制化、连续化的激光制造平台，研发亚纳米材料可控植入的低碳能源器件用关键材料，开展行应用或验证研究。

考核指标：在不少于 20 种材料中实现原子簇和单原子的定制化、连续化液相脉冲激光制造，尺寸 $< 1\text{nm}$ ，每类亚纳米材料制

造产率 $\geq 95\%$ ，溶剂分散稳定性 ≥ 30 天；在钙钛矿光伏、太阳能制氢、锂/钠二次储能电池等不少于2类器件中实现亚纳米材料制造与植入的应用或验证，光电转换效率、光氢转化效率、电池能量密度等关键性能指标较植入前提升 $\geq 20\%$ 。

有关说明：单原子指标采用球差电镜或同步辐射进行表征。

关键词：液相激光制造，亚纳米材料，低碳能源器件

1.8 载细胞极软生物材料增材制造（基础研究类）

研究内容：围绕体外神经类脑组织构建需求，研究载细胞极软生物材料多分辨率独立控制的面投影光固化增材制造机理，突破“宏-微观分辨率”跨尺度解耦调控关键技术；研究载细胞生物墨水的复杂非牛顿流体本构关系，揭示极软生物材料光交联的“液-固”相变机制；研究载细胞生物墨水的无重力动态支撑面投影光固化方法，载细胞极软生物材料三维结构及表面微图案的跨尺度同步制造工艺，构建工艺参数与成形精度、细胞功能之间映射关系，在神经组织体外打印及功能重建中开展应用或验证研究。

考核指标：同步实现 $10\mu\text{m}/100\mu\text{m}$ 双分辨率成形的载细胞极软生物材料（弹性模量 $\leq 10\text{kPa}$ ）面投影光固化增材制造，制造效率 $\geq 2\text{cm}^3/\text{min}$ ，表面微结构分辨率小于 $10\mu\text{m}$ ，非拼接情况下的成形幅面 $\geq 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 。实现不少于2种神经细胞的增材制造，增材制造后细胞活性 $\geq 90\%$ 、可体外连续存活 ≥ 2 周；在动物神经组织损伤修复和功能重建实现应用验证。

关键词：极软生物材料，投影式生物 3D 打印，细胞生物 3D 打印

1.9 精细多细胞结构组织器官芯片的增材制造(基础研究类)

研究内容：面向消化系统/女性生殖系统等重大恶性肿瘤个性化药筛及中枢神经系统/免疫系统药物评估的重大需求，开展高度仿生的多细胞三维精细结构设计研究，揭示功能性组织器官复杂微环境体外重构条件与影响规律，开发具有高适应性的生物墨水，研究多工艺协同的多细胞仿生组织器官芯片跨尺度增材制造方法，突破患者来源细胞的个性化功能动态调控关键技术；开展具有血管/免疫浸润微环境特征的仿生病理组织器官芯片高通量构建及动态培养；开展个性化药物高通量筛选及新药评估的应用研究。

考核指标：开发可实现单细胞操控的多工艺协同细胞 3D 打印装备 1 套，器官芯片高通量构建装备 1 套，以及相应的 5 种以上新型生物墨水；构建出含 3 种以上细胞的仿生三维组织模型和具备血管网络的中枢神经系统及免疫系统疾病模型，细胞密度 $\geq 5 \times 10^6/\text{cm}^3$ ，细胞间作用距离 $\leq 100\mu\text{m}$ ；建立患者来源的肝癌、胰腺癌、卵巢癌等 3 种以上重大恶性肿瘤器官芯片模型，原代肿瘤建模成功率 $\geq 90\%$ ，稳定传代 ≥ 4 代，药物筛选通量 ≥ 200 个模型/批次，回顾性药敏试验与临床结果一致性 $\geq 80\%$ ；完成不少于 100 例临床前瞻性用药试验。

有关说明：临床前瞻性用药试验指根据体外模型的药物筛选结果指导临床给药，属于临床研究。

关键词：器官芯片，细胞 3D 打印，病损组织器官模型，血管化，个性化药筛

1.10 超快激光制造过程高时空分辨电子动态观测(基础研究类，青年科学家项目)

研究内容：以阿秒激光光源作为观测探针，构建飞秒泵浦-阿秒探测的材料表面反射式全光学观测系统，研究表面/界面微观区域的电子动态演化过程观测方法；研制高时空分辨电子显微成像观测系统；测量不同材料在超快激光作用下电子激发和弛豫过程特征时间。

考核指标：飞秒泵浦-阿秒探测全光学时空观测系统：时间分辨率 $<200\text{as}$ ，空间分辨率 $<100\text{nm}$ ；超快电子显微成像系统：空间分辨率 $<20\text{nm}$ ；建立电子弛豫时间数据库，材料类型不少于 10 种，为实现观测调控一体化的闭环制造新方法提供关键支撑。

关键词：电子动态观测，阿秒-纳米时空分辨

1.11 磁/电致伸缩智能材料与结构增材制造(基础研究类，青年科学家项目)

研究内容：针对高端装备对智能构件的制造与应用需求，增材制造用磁/电致伸缩智能材料的成分优化及结构设计方法；增材制造高能束对磁/电致伸缩智能材料的交互作用机理，增材制造磁

/电致应变智能材料的组织选择机制和相变行为，及其对磁/电致伸缩功能特性的影响规律和调控方法；磁/电场作用下构件的结构特征对其磁/电致伸缩智能行为的影响规律；完成典型构型增材制造并开展功能验证研究。

考核指标：增材专用磁致和电致伸缩智能材料各 2 种，典型磁致和电致变形新型智能构件 ≥ 4 种；变形量 $\geq 0.5\%$ ，可控回复率 $\geq 95\%$ ；应力作用下电信号强度高于 $0.9\mu\text{C/N}$ ；结构尺寸 $\geq 100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 20\text{mm}$ ，制造精度优于 $\pm 0.5\text{mm}$ ，构件功能提升 $\geq 20\%$ 。

关键词：磁致伸缩材料，电致伸缩材料，变形

1.12 飞秒激光-离子束原位真空修调技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向航空、航天等精密器件对难加工材料三维构件的极端表面质量要求，开展飞秒激光-离子束原位真空修调技术研究。探索真空环境下复合“双能束”与材料表面的耦合作用机理；研究“双能束”对表面起伏、质量分布、应力层的高效精密修调新方法；建立典型难加工材料和结构的原位真空修调工艺，并开展应用或验证研究。

考核指标：研制飞秒激光-离子束原位真空修调样机 1 套，实现“双能束”的精确空间对准与时序同步触发，工作真空度 $\leq 10^{-4}\text{Pa}$ ；深度修调效率 $\geq 100\mu\text{m/h}$ ，修调后表面粗糙度 $R_a\leq 0.005\mu\text{m}$ ，应力

层深度 $\leq 10\text{nm}$ ，最大残余应力 $\leq 50\text{MPa}$ ；实现不少于两类构件的应用验证。

关键词：飞秒激光，双能束，原位真空修调

1.13 光波导阵列的飞秒激光制造（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对光芯片对高质量三维光波导阵列的需求，探索飞秒激光诱导透明介质内部非线性改性机理，揭示飞秒激光改性的焦斑畸变抑制机制，研究激光光束动态分束整形方法，发展大规模、高精度三维光波导阵列飞秒激光制造技术。

考核指标：建立飞秒激光跨时空尺度的改性、焦斑畸变抑制理论模型；实现焦斑形貌畸变 $\leq 5\%$ 、最大分束数目 ≥ 100 束，且子光束间光斑能量一致性优于 95% 、能量利用率 $\geq 80\%$ ；实现大规模、高精度三维光波导阵列飞秒激光制造：阵列数 $\geq 100 \times 100$ ，折射率对比精度优于 10^{-5} ；在光芯片核心功能器件中得到演示验证。

关键词：飞秒激光制造，三维光波导阵列制造，光束动态分束整形制造

1.14 难焊高温合金激光粉末床增材制造（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向航空、航天发动机等重大工程对难焊镍基高温合金精密构件增材制造的迫切需求，研究激光能量分布、光束特性、作用时间等因素对难焊高温合金熔池形态演变、热/应力/

应变场的影响规律，建立可描述激光光束形态对熔池形态行为、凝固组织演化和缺陷形成等作用的流-热-力耦合模型，阐明其裂纹形成机理，构建激光能量分布模式等关键工艺参数与难焊高温合金特征组织、裂纹形成及高温性能的关联关系，建立致密无裂纹难焊高温合金复杂构件的加工技术路线。

考核指标：建立适于不同激光光束形态的熔池流-热-力耦合模型；开发面向难焊高温合金的激光粉末床熔融装备 1 套；在无预热条件下，采用新型激光光束形态，相较于高斯激光光束，可降低熔池匙孔深度 10%以上，降低熔池表面温度梯度 50%以上；基于新型激光光束，实现不少于 3 种难焊高温合金无裂纹粉末床增材制造，致密度 $\geq 99.6\%$ ；经热处理后，室温/高温综合力学性能不低于同类合金的铸造制件。

有关说明：室温力学性能应至少包含拉伸性能，高温力学性能应至少包含静态拉伸性能、持久性能，温度不低于 850℃。

关键词：难焊镍基高温合金，粉末床熔融，凝固行为，裂纹抑制

1.15 轻质超高温金属间化合物复杂构件增材制造技术(基础研究类，青年科学家项目)

研究内容：围绕航空航天高端装备极端化发展对复杂超高温构件的制造需求，开展轻质耐高温金属间化合物增材制造研究，研究粉末床熔融增材制造金属间化合物成分优化设计方法，增材

制造过程强化相本征脆性的调控机制及工艺措施，突破开裂抑制关键技术，研究增材制造金属间化合物后续热处理组织调控工艺；研究轻质耐高温金属间化合物室温和高温力学行为及抗氧化机制，在航空航天热端部件模拟环境开展应用或验证研究。

考核指标：研发出适于增材制造的金属间化合物合金成分，实现基于粉末床增材制造的复杂构件无模成形制造工艺；增材制造成形态金属间化合物制件致密、无裂纹，致密度 $\geq 99.5\%$ ，延展率 $\geq 2\%$ ；经热处理后，金属间化合物密度 $\leq 7.5\text{g/cm}^3$ ， 1350°C 下拉伸强度 $\geq 200\text{MPa}$ ，制件精度优于 $\pm 0.05\text{mm}/100\text{mm}$ ；在航空航天热端部件模拟环境实现应用或验证。

关键词：轻质耐高温材料，金属间化合物，难熔金属-硅化物原位复合材料

2. 核心功能部件

2.1 高功率大能量紫外纳秒激光器（共性关键技术类）

研究内容：针对高端制造对高功率大能量紫外激光器的重大需求，研究高效多模大光斑纳秒脉冲非线性频率变换理论；研究紫外晶体内部与表面的缺陷产生机理与长期损伤机理，开发高损伤阈值晶体及晶体表面处理技术；研究高功率大能量纳秒激光系统集成工程化技术；研究工业级纳秒紫外激光器的剥离、退火和掺杂等的加工验证平台。

考核指标：纳秒紫外激光器平均功率 $\geq 300\text{W}$ ，最大单脉冲能

力 $\geq 30\text{mJ}$ ，脉冲宽度 $\leq 25\text{ns}$ ，重复频率 $10\text{kHz}\sim 1\text{MHz}$ ，波长 $340\sim 360\text{nm}$ ，输出功率稳定性（8h） $\leq \pm 1\%$ ，峰峰值脉冲稳定性 $\geq 95\%$ ，激光器连续工作1000h功率衰减 $\leq 5\%$ ，实现销售 ≥ 10 台，在激光剥离、掺杂、退火等显示半导体行业领域开展加工应用验证。

关键词：高功率大能量激光，紫外激光，频率转换，激光退火

2.2 粉末床增材制造用超高压电子枪及其应用（共性关键技术类）

研究内容：研发粉末床增材制造用的超高压、大功率电子枪及其电子光学部件、高压电源；研究超高压真空绝缘、电子光学系统设计、高精度扫描控制及自动标定等关键技术；研究超高压电子枪作用下难熔金属粉末床熔融增材制造中的裂纹、孔洞等缺陷抑制技术；突破难熔金属复杂结构粉末床熔融增材制造组织性能和形变控制关键技术，研发超高压电子枪粉末床熔融增材制造工艺和装备，并开展应用或验证。

考核指标：粉末床增材制造用超高压电子枪：加速电压 $\geq 150\text{kV}$ ，功率 $\geq 20\text{kW}$ ，阴极寿命 ≥ 500 小时，扫描幅面 $\geq 350\text{mm}\times 350\text{mm}$ ；超高压电子枪粉末床熔融增材制造装备：成形空间尺寸 $\geq 350\text{mm}\times 350\text{mm}\times 500\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 80\text{cm}^3/\text{h}$ ，精度优于 $\pm 0.2\text{mm}/100\text{mm}$ ；可成形钨、钼等不少于3种难熔金属或合金，

致密度 $\geq 99.5\%$ ，室温压缩强度不低于粉末冶金件；可成形尺寸 $\geq 300\text{mm} \times 200\text{mm} \times 500\text{mm}$ 的难熔金属构件，在航天难熔金属端头帽、核能用难熔金属构件中实现应用或验证。

关键词：超高压电子束，大型难熔金属增材制造

2.3 粘结剂喷射阵列喷头的研发和应用（共性关键技术类）

研究内容：围绕高精度粘结剂喷射金属增材制造需求，研究高效高精度阵列喷头流道结构设计、智能芯片设计和封装、一体化制造工艺和喷头自诊断和校准方法；研究阵列喷头的流体输送、喷射行为和控制技术以及喷头寿命影响因素；开展适用于金属增材制造的专用粘结剂设计和研发，研发相应的增材制造工艺，开展应用或验证研究。

考核指标：研制系列粘结剂喷射金属增材制造用阵列喷头，喷头采用模块化设计，单位阵列喷头的最大喷嘴数量 ≥ 6000 ，喷头直径范围不小于 $5\mu\text{m}$ - $30\mu\text{m}$ ；可实现 1200dpi 分辨率的金属粉末床增材制造，多喷头并行制造效率 $\geq 3000\text{cm}^3/\text{h}$ ；研制出专用粘结剂 ≥ 3 种，建立适用于钛合金、高温合金和铜合金等不少于5种金属的粘结剂喷射增材制造工艺数据库；应用于 $\geq 450\text{mm}$ 尺寸金属构件的增材制造，经烧结和致密化后，构件精度优于 $\pm 0.1/100\text{mm}$ ，致密度 $\geq 99.9\%$ ，拉伸强度不低于同质锻件标准的95%；在航空航天、能源动力等领域实现应用或验证。

关键词：阵列喷头，粘结剂喷射，金属

2.4 增材制造复杂整体结构形貌及缺陷无损检测与建模评价技术（共性关键技术类）

研究内容：探索点阵、拓扑等复杂整体结构的三维形貌和内部缺陷演化仿真与光-声-射线无损检测技术；揭示三维形貌和内部缺陷在线检测信号与离线检测结果的差异规律，研究离线与在线无损检测技术的校准方法、标准样品及计量校准装置；攻克离线、在线检测及仿真数据融合建模的三维可视化分析关键技术，研究基于多尺度时空演化特征的缺陷诊断与评价方法；形成点阵、拓扑等复杂整体结构的无损检测规格和标准，建立失效破坏准则。

考核指标：建立米级点阵、拓扑等复杂整体结构的三维形貌和内部缺陷在线无损检测系统，结构最小杆径、壁厚 $\leq 500\mu\text{m}$ ，内外三维形貌测量精度均优于 $50\mu\text{m}/\text{m}$ ；研发制造过程结构变形与内部缺陷多物理场建模仿真软件，热应力与变形预测精度 $\geq 90\%$ ；开发多源检测信号与仿真计算数据融合建模的三维可视化分析与评价系统，内部缺陷诊断调用熔凝过程数据层数 ≥ 10 层，气孔、裂纹等缺陷分析与分类准确率 $\geq 95\%$ ；申报行业标准（报批稿）2项；在航空、航天、兵器、文物保护等至少3个领域的10家以上企业应用验证。

关键词：复杂整体结构，形貌及缺陷，无损检测，建模仿真

3. 关键技术与装备

3.1 激光时空整形增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向激光增材制造效率提升和异质构件制造需求，从电子层面揭示超快激光辐照下大物性差异材料瞬时局域特性调控规律，发展时域-空域整形激光的高效熔融、异质界面调控方法；突破异质材料三维空间分布设计、整形光场原位预热/热处理、异质界面高质量冶金/烧结等关键技术，研究异质材料相变过程-界面形态-组织性能可控制造方法；研制精密异质构件和超大幅面高效率粉末床熔融增材制造装备。

考核指标：时空整形光场：面域整形光场尺寸 $\geq 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ ，均匀性 $\geq 98\%$ ，加热温度 $\geq 800^\circ\text{C}$ ；超快激光脉冲串子脉冲个数 ≥ 5 。
2套装备：（1）超快激光时空动态整形精密增材制造装备，尺寸 $\geq 0.4\text{m} \times 0.4\text{m} \times 0.3\text{m}$ ，异质界面致密度 $\geq 99.5\%$ ；对比均质材料， 750°C 服役金属-金属间化合物构件减重 $\geq 30\%$ ， 1500°C 服役金属/陶瓷构件界面结合强度 $\geq 40\text{MPa}$ ；（2）连续激光空域整形超大幅面增材制造装备，尺寸 $\geq \Phi 3\text{m} \times 3\text{m}$ ，制造钛基梯度耐压球壳尺寸 $\geq \Phi 2.5\text{m}$ ，抗压强度 $\geq 20\text{MPa}$ ，综合成本降低50%。2类装备的设备无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；在临近空间飞行器发动机、卫星推进系统、深海装备等应用或验证。

有关说明：金属-金属间化合物燃烧室构件通过地面热考核试验；金属/陶瓷异质构件完成单组元推力器装机，通过真空热试车

验证；钛基梯度耐压球壳完成 2000 米深水耐压性能验证或试验，对比传统制造方法，综合材料、能耗、周期、人工等费用因素，由第三方进行成本评价。

关键词：激光时空整形，大物性差异材料，异质界面，超大幅面

3.2 精密构件表面的激光并行制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向汽车/家电领域高档模具以及电子/半导体领域精密构件等的大幅面、多特征结构的高质高效制造需求，研究激光光束扫描精准调控的微小纹理、槽/孔成形控制原理，揭示激光辐照下“微观-介观”控形机制，攻克光束高速旋切、声光调制扫描、多轴-多加工头智能并行控制等关键技术，掌握多种结构特征-光束动态扫描实时匹配的并行制造新方法，开发激光并行制造成套装备与工艺。

考核指标：研制光束旋切加工头：转速 $\geq 40000\text{rpm}$ ，钻削精度 $<1\mu\text{m}$ ；声光调制扫描加工头：扫描速度 $\geq 250\text{rad/s}$ ，扫描光斑形状可编程调控；开发多轴-多加工头智能协同控制软件；研制激光并行制造装备：并行加工方式 ≥ 3 种，最大加工幅面 $\geq 1.5\text{m}^2$ ，最大加工效率 $\geq 200\text{cm}^2/\text{h}$ ，设备平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；实现大幅面纹理制造，纹理深度：1~1000 μm 、最小特征结构尺寸 $\leq 1\mu\text{m}$ 、纹理结构粗糙度 $R_a \leq 0.1\mu\text{m}$ ；直壁微细槽/孔制造：尺寸精度 $\leq 1\mu\text{m}$ 、

槽宽（孔径） $\leq 40\mu\text{m}$ 、深宽比/深径比 $\geq 10:1$ ；在高档模具上实现小规模应用，在电子、半导体领域实现应用或验证。

关键词：声光调制扫描，光束旋切加工，激光并行制造，纹理结构制造

3.3 超薄构件超快激光高频强化技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向先进航空飞行器及动力系统、核装备等领域超薄关键件（厚度 $\leq 1\text{mm}$ ）抗疲劳重大需求，探索超快激光诱导超高压冲击波传播规律及均匀应力场精准重构机制，揭示薄壁件表面完整性演化对服役疲劳性能的影响规律，攻克激光空间整形、应力/变形协同控制、路径自适应规划、信息智能监控等关键技术，研制智能化超快激光高频强化装备。

考核指标：开发超快激光强化工艺-结构-疲劳性能一体化设计软件；研制智能化超快激光高频强化装备：强化加工精度 $\leq 5\mu\text{m}$ ，加工幅面 $\geq 500\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，视觉引导非规则曲面自适应加工定位误差 $< 20\mu\text{m}$ ，加工效率相对纳秒激光冲击强化技术提升 10 倍，设备无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；超薄关键件超快激光强化后变形量满足装机要求，表面残余压应力大于 300MPa ，影响层深 $0.05 \sim 0.2\text{mm}$ ，高周疲劳极限提升 $10\% \sim 20\%$ ；在膜盘、导管、叶片超薄包边、点阵蒙皮结构等实现应用或验证。

关键词：超薄构件，超快激光强化，形性控制，抗疲劳设计

3.4 超快激光改性调控化学沉积-刻蚀融合制造技术与装备 (共性关键技术类)

研究内容: 研究超快激光限域改性调控化学沉积-刻蚀融合制造新技术和装备。探索超快激光诱导高粗糙表面前驱体光化学还原中光热反应和光致电子转移平衡调控机制, 研究超快激光诱导晶化-玻璃化-非晶化调控机制, 揭示超快激光诱导物化特性和组织结构对定向化学沉积和刻蚀性能影响机制; 攻克激光诱导前驱体高效预置、化学活性空间限域控制、三维图案激光加工轨迹自适应生成等关键技术, 发展单光束微区偏转-调制高效协同控制新策略; 研制超快激光限域改性制造装备。

考核指标: 声-光-电协同微区偏转-能量调制模块: 单光束微区偏转-能量调制同步控制速率 $\geq 100\text{K}$, 偏转精度优于 100nm , 相邻区域拼接精度优于 100nm 且累计误差优于 $\pm 2\mu\text{m}(\geq 200\text{mm} \times 200\text{mm})$; 超快激光限域改性制造装备: 成型尺寸 $700\text{mm} \times 300\text{mm} \times 500\text{mm}$, 最小曲率半径 $\leq 30\text{mm}$, 金属图案单元覆盖 $5\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$, 设备平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$; 异质材料金属层结合强度 $\geq 4\text{B}$; 开发互联-散热一体化三维封装载板, 功率芯片表面峰值温度 $< 100^\circ\text{C}$; 在通信、导航、数据链、识别等电子信息系统中实现应用验证, 带内透波率 $\geq 80\%$, 带外截止透波率 $\leq 20\%$ 。

关键词: 限域改性, 光化学还原, 化学沉积-刻蚀, 声-光-电调控

3.5 激光/机械协同加工关键技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对超硬复合材料等复杂成形面高精高效高质加工需求，研究复合材料及其回转体构件成形面激光随形加工过程中光、热、力的非线性动态耦合机制；攻克成形面焦斑空间形态动态调控、激光随形加工与机械抛光协同加工的复杂成形面精度达成、表面质量调控等关键技术；开发激光随形加工在线视觉检测、CAM 软件、数据库；研制激光机械复合加工成套工艺与装备。

考核指标：建立焦斑空间形态动态变化模型；在线视觉检测精度 $\leq 0.001\text{mm}$ ；激光机械复合加工头：随形范围不小于 $\pm 30^\circ$ 、重复定位精度 $\leq 20''$ ；激光随形加工与机械同步抛光多轴联动装备：最大加工直径 $\geq 400\text{mm}$ ，定位精度 $\pm 0.002\text{mm}/300\text{mm}$ ；设备无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ 。实现超硬复合材料成形面高精度加工：不少于两种成形面，凹形槽深宽比 $\geq 1.5:1$ 、凹梯形槽单侧角度 $\leq 4^\circ \pm 5'$ 、凹圆弧半径 $R \leq 0.1 \pm 0.005\text{mm}$ ，凹槽线轮廓度精度 $\leq 0.003\text{mm}$ ，表面变质层 $\leq 0.001\text{mm}$ ；实现不少于 2 类超硬复合材料成形面回转体构件加工的应用验证。

关键词：激光随形，超硬复合材料，激光复合，复杂成形面，凹槽

3.6 大型复杂结构激光增材-焊接一体化制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对大型飞机等对复杂构件高精密制造和长寿命服役的迫切需求，开展激光增材-焊接一体化制造技术与装备研究。构建包含“激光粉末床熔融、激光定向能量沉积、焊缝”等不同区域的一体化热-力-组织演化模型，探明钛合金激光增材-焊接一体化制造过程非均匀组织和缺陷演化机制，攻克激光粉末床熔融-激光定向能量沉积成形件激光焊接过程形质一体化调控技术，研发激光增材-焊接一体化制造装备。

考核指标：激光增材-焊接一体化制造装备：粉末床熔融幅面尺寸 $\geq 1300\text{mm} \times 1500\text{mm}$ ，激光定向能量沉积速度 $\geq 0.5\text{kg/h}$ ，激光焊接速度 $\geq 5\text{m/min}$ ，最大可焊间隙 $\geq 2\text{mm}$ ，激光增材-焊接一体化结构孔隙率 $\leq 1\%$ ，设备无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；钛合金激光增材-焊接一体化制造结构件拉伸性能 $\geq 900\text{MPa}$ ，力学性能离散度 $\leq 8\%$ ；激光增材-焊接一体化结构变形量 \leq 最大尺寸的 0.1% ；实现S形筒形结构工程样件制造，尺寸 $\geq 6\text{m}$ ，最薄处 $\leq 1.5\text{mm}$ 、最厚处 $\geq 35\text{mm}$ ；激光增材-焊接一体化制造结构件研制周期较现有制造工艺缩短 $\geq 50\%$ ，实现大型飞机构件的地面考核。

有关说明：由主机厂牵头申报或承担地面验证。

关键词：激光增材-焊接一体化，S形筒形结构，形质调控

3.7 连续激光-超快激光协同增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向能源、化工等领域反应功能结构跨尺度高质量制造需求，探究超快激光调控多元纳米颗粒电子动态的原位烧结、微纳结构形貌演化规律以及金属/金属、金属/氧化物等界面性质调控机理，发展连续激光与时空整形超快激光协同作用的多层级功能结构控形控性方法；攻克纳米颗粒高通量定域定量原位递送、纳米高熵材料超快激光原位合金化、反应功能结构表面调控等关键技术；研制连续激光-超快激光协同增材制造装备。

考核指标：连续激光-超快激光协同增材制造装备：成形尺寸 $\geq 600\text{mm} \times 600\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，设备平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；微纳结构特征尺寸覆盖范围： $500\text{nm} \sim 50\mu\text{m}$ ，可同时实现 Ir、Cu、Ni 等 ≥ 3 种纳米金属颗粒原位递送和合金化，反应功能结构表面法拉第层厚度 $\leq 1\text{nm}$ ，催化活性层脱落率 $\leq 10\%$ ；在全固态免烧结高温燃料电池、制氢反应器等领域实现应用或验证：全固态免烧结高温燃料电池 750°C 下最大发电功率 $\geq 1.5\text{W}/\text{cm}^2$ ，制氢微反应器 72 小时系统产氢质量比 $\geq 2\%$ ，千瓦级电解槽制氢效率 $\geq 600\text{L}/\text{h}$ 。

关键词：超快激光，连续激光，多层级功能结构，催化

3.8 硬脆光学元件表面微缺陷激光智能修复技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向先进光电系统对硬脆光学元件表面微缺陷高

效精密检测与修复技术需求，研究局域激光能场作用下材料无损抛光微量去除机理，攻克微缺陷智能无损检测与高效在线实时数据交互、激光修复能量时-空域实时精密调控等关键技术，明晰微缺陷修复后微结构对元件自身服役性能的影响规律，研制微缺陷高效自动化精密检测与激光修复一体化成套装备。

考核指标：硬脆光学元件表面微缺陷高效自动化精密检测与飞秒/连续激光修复一体化装备：可修复元件口径 $\geq 200\text{mm}$ ，检测分辨率优于 $3\mu\text{m}$ ，修复表面粗糙度 $Ra \leq 15\text{nm}$ ，设备平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；建立微缺陷自动化在线检测与修复数据库 1 套；可实现全流程检测修复时间 $\leq 1\text{h}$ （50 个缺陷），修复成功率 100%；激光损伤阈值恢复至无缺陷表面的 95% 以上；形成微缺陷自动化检测与修复工艺规范 1 项，实现平面、非球面 2 类典型硬脆元件修复，在强激光等模拟环境中进行典型应用。

关键词：硬脆光学元件，表面微缺陷，激光修复加工，智能无损检测

3.9 激光辅助固相增减材制造技术与智能装备（共性关键技术类）

研究内容：针对航天、交通、能源等领域对有限互溶异种金属薄壁构件的应用需求，开展激光辅助固相增减材技术和智能装备研究。研究异种金属材料激光辅助复杂曲面精确固相沉积、复杂结构异质界面性能强化机理，突破三维形貌在线检测、激光辅

助异质界面强化及沉积层厚精度控制、激光区域精准减薄等关键技术，开发异种金属结构激光辅助固相增减材工艺和成套装备。

考核指标：研制激光辅助固相增材智能制造装备：成形尺寸 $\geq 500 \times 500 \times 500 \text{mm}^3$ ，固相沉积效率 $\geq 1500 \text{cm}^3/\text{h}$ ，固相沉积轮廓误差 $\leq \pm 1 \text{mm}/100 \text{mm}$ ，层厚控制精度优于 0.05mm ，沉积层表面精度优于 0.1mm ，设备无故障工作时间 $\geq 1000 \text{h}$ ；异质界面抗拉强度 $\geq 90 \text{Mpa}$ ；激光辅助沉积 TC4 钛合金抗拉强度 $\geq 500 \text{MPa}$ ，致密度 $\geq 98\%$ ；可实现铝/镁、铝/钛、铝/钢等不少于 3 类异种金属材料结构制造，相比单一材料结构性能提升 30%以上，并实现工程应用。

关键词：固相增材，异种金属结构，激光复合，复杂曲面

3.10 激光多路熔丝智能增材制造技术与装备(共性关键技术类)

研究内容：研究基于激光熔丝增材制造的复合材料/复合结构设计方法，建立复合材料体系和专用复合配比丝材；研究典型金属基复合材料的平顶激光多能场复合熔丝原位制造方法；突破平顶激光及其复合多丝原位合成、长程精准高稳定送丝/均匀熔融、百米级分布式装备的加工终端小型化轻量化、沉积轨迹智能规划等关键技术；开发风电、交通、海洋等领域激光熔丝制造成套工艺和装备。

考核指标：研制移动式、小型化和大型高效等 3 类激光熔丝制造装备，熔丝加工头可承受功率 ≥ 1 千瓦，输出光斑边缘坡度

≥85°，可实现不少于 4 路异质丝材的同步送入；装备的长程精准送丝系统可实现在≥10m 距离上送丝误差≤3%；万瓦激光传输距离≥120m，移动式装备执行终端重量≤20kg，沉积效率≥1000cm³/h。研发铁基、钛基等复材丝材，主要性能较现有材料提升≥20%；铁基复材原位制造构件生成时间≤30 分钟；钛基复材在役制造构件尺寸≥500mm，通过 3000km 模拟行驶试验；仿生结构强韧化铝基复材构件尺寸≥Φ2m×10m，耐海水腐蚀性能提升 5 倍以上；在风电、交通、海洋等领域应用或验证。

关键词：激光熔丝增材制造，金属基复合材料，在役/原位制造

4. 典型应用示范

4.1 大规模群孔激光高效制造技术在电子制造领域的应用示范（应用示范类）

研究内容：面向集成电路、先进封装等领域高效制孔需求，开展大规模群孔激光高效制造技术在电子制造领域的应用示范研究。攻克基于声光调制的无惯性高速扫描关键技术；研究大惯量差下光机电协同控制及误差补偿技术；开发时空光场调控等的激光高效制孔成套工艺；研制高精高效群孔激光制孔成套装备，建立示范生产线。

考核指标：无惯性扫描模块：刷新频率≥1MHz，扫描角度≥5mrad，国产化率≥95%；2 类激光制孔装备：最大加工尺寸

≥800mm×800mm，定位精度≤0.005mm；孔径公差±5%；最大加工效率：无惯性扫描激光制孔装备≥1500 孔/秒（介质薄膜盲孔基板，深 0.05mm，孔径≥100μm），时空光场调控激光制孔装备≥10000 孔/秒（玻璃通孔基板，厚 0.5mm，孔径≤10μm）。分别实现介质薄膜和玻璃等 2 类材料的制孔装备在电子制造领域的应用示范，建立年产 100 台套规模的示范生产线；销售数量≥50 台。

有关说明：使用无惯性高速扫描器件结合时空整形技术，实现激光大规模群孔高效制造，在实际产线上进行抽检，统计同批次加工的 1000 个以上群孔，在达到制孔速度指标的同时，直径公差优于±5%。

关键词：大规模群孔，高效激光制孔技术，无惯性高速扫描，光机电控制

4.2 激光电弧复合与协同增材制造在海洋装备领域的应用示范（应用示范类）

研究内容：针对海洋装备超大型结构高性能低成本增材制造需求，开展激光电弧复合与协同增材制造装备研究，开发增材制造超大型结构创新设计方法，研究激光电弧复合与协同增材制造方式与服役场景的匹配性，突破激光电弧复合与协同增材制造应力和缺陷调控、AI 赋能增材制造视觉感知与智能控制、增材制造构件高性能低应力连接、增材制造质量稳定性控制等关键技术，研制移动式增材制造机器人、多机器人协同增材制造单元，发展

增材制造超大型构件质量评价与考核验证方法。

考核指标：增材制造结构幅面尺寸 $\geq 30\text{m} \times 3\text{m}$ ，尺寸误差优于 $\pm 3\text{mm}/10\text{m}$ ，可实现 $0^\circ \sim 90^\circ$ 悬空结构的自由成形；实现舰船和海洋装备 ≥ 10 米级典型结构增材制造，减重30%，防护性能提升 $\geq 50\%$ ；实现50m级浮式平台模块增材制造的演示验证，综合制造成本降低 $\geq 20\%$ ；形成相关规范或标准不少于5项；在大型舰船、巨型油轮、海洋石油平台、无人船等 ≥ 10 类以上海洋装备上应用示范。

有关说明：对比传统结构制造方法和创新结构制造方法所涉及的材料、能源、周期、人工等因素，由第三方进行综合成本评价。

关键词：激光电弧复合与协同，移动式机器人，超大构件，海洋装备

4.3 金属与混凝土复合增材制造在路桥建筑领域的应用示范 (应用示范类)

研究内容：面向规模化生产、长服役周期的金属与混凝土复合增材制造需求，研究面向混凝土增材制造的钢筋布局优化设计方法，混凝土增材制造与金属直接能量沉积匹配控制方法；研究金属与混凝土复合增材制造质量一致性控制、检测、评价方法；研究基于金属与混凝土复合增材制造的多环境路桥建筑设计方法、典型关键力学性能容许指标值、特殊功能材料、结构性能指

标值，建立关键数据库；研发金属和混凝土一体化增材制造工艺和装备，开展极端环境路桥、建筑应用示范研究。

考核指标：一体化增材制造装备：具有装配化拓展能力，可拓展至单次成形尺寸 $\geq 50\text{m} \times 30\text{m} \times 6\text{m}$ ，水平可拓展尺度 $> 100\text{m}$ ，制造精度 $\pm 2\text{mm}$ ，设备无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；钢筋增材制造效率 $\geq 3\text{m/h}$ ，增材制造钢筋材料强度 $\geq 400\text{MPa}$ ，可实现水平悬空成形；配筋后的增材制造结构承载性能提升 $\geq 100\%$ ；研制不少于 4 类增材制造专用材料，抗压强度 $\geq 150\text{MPa}$ ，抗折强度 $\geq 30\text{MPa}$ ，拉伸强度 $\geq 6\text{MPa}$ ，制造后强度折减率 $< 10\%$ ，抗冻性 $\geq \text{F300}$ ；特种复合结构最大电磁屏蔽效能不低于 50dB；平均降噪效果达到 35dB 以上；建立材料增材制造后的力学性能、特殊性能指标库；开展多环境服役期 ≥ 50 年的路桥、建筑典型工程应用示范不少于 10 项，其中不少于 5 项用于极端环境；编制相关技术标准 ≥ 2 项。

关键词：复合增材制造，工艺方法，技术标准，极端环境，示范应用

4.4 定制化增材制造在医疗可降解支架中的应用示范（应用示范类）

研究内容：面向冠脉、胆道以及骨骼等部位的病变或损伤个性化精准治疗临床需求，研究增材制造聚合物和金属可降解支架优化设计方法，研究聚合物熔融沉积、近场直写和金属粉末床熔融增材制造组织和结构特征对支架力学特征和降解行为的影响

机制，明晰支架降解行为对增材制造结构力学行为特征的影响规律，发展降解速率可控的增材制造专用聚合物和金属可生物降解材料体系，研究可降解医疗支架生物安全性的评价方法，开展临床试验研究。

考核指标：形成不少于三种增材制造专用可降解聚合物、金属生物材料体系；相比传统工艺，工艺开发时间缩短 $\geq 50\%$ ，制造效率提升 $\geq 300\%$ ；可成形尺寸范围大于 2.5~120mm，最小支柱厚度 $\leq 50\mu\text{m}$ ，定制最小外径尺寸 $\leq 2\text{mm}$ ，降解速率 $\leq 100\mu\text{m}/\text{年}$ ；实现覆盖冠脉、胆道和骨科等临床需求的 3 种以上医疗可降解支架定制化增材制造；至少完成 1 款产品不少于 100 例的多中心的临床试验，建立医疗可降解支架临床应用全流程可追溯云平台；申请相关国家或行业标准 ≥ 1 项，申请医疗器械注册证 ≥ 1 项。

有关说明：选取典型治疗病例，进行高适配可降解支架增材制造，对支架进行降解和力学性能测试；通过病历报告，临床手术报告对临床手术应用进行考核验证。

关键词：3D 打印，定制化，可降解支架，制造效率，材料利用率

4.5 大型构件激光智能刻型制造在航空航天领域的应用示范（应用示范类）

研究内容：围绕火箭贮箱/发动机喷管、航空发动机机匣等关键件轻量化制造重大需求，揭示激光刻型-化铣化学场作用下轻量

化结构控形控性机制，开展大型构件刚度/质量比溯源与轻量化结构的反求设计，攻克光束三维整形与空间姿态智能调控、多源信息融合的结构复刻自诊断、复杂构型复刻路径智能规划决策等关键技术；研制激光刻型成套装备，开发大型构件表面异型结构的智能刻型-化铣制造工艺。

考核指标：构建不少于 5 类高刚度轻量化刻型结构模型；研制光束三维整形与空间姿态智能调控(具备不少于 2 种整形模式，最大焦深长度 $\geq 2\text{mm}$ ，径向光斑匀化度 $\geq 95\%$ 、光束空间姿态调控精度优于 $6''$)、结构复刻自诊断(异形结构尺寸检测精度优于 $5\mu\text{m}$ 、焦点跟踪误差 $\leq 1\mu\text{m}$)关键模块，开发复刻路径智能规划决策软件；研制激光制造装备：最大加工范围 $\geq 1500\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 1500\text{mm}$ ，刻型制造精度优于 $30\mu\text{m}$ ，刻型效率 $\geq 3.5\text{m}^2/\text{h}$ ，刻型参数智能调控响应时间 $\leq 1\text{ms}$ ，设备平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ；制定不少于 5 类大型构件刻型-化铣工艺规范，最大综合减重比优于 45%；建设航空航天关重件的刻型-化铣应用示范生产线，实现不少于 4 个型号的规模化应用。

有关说明：选取航天航空领域典型大型结构件，分别对比激光智能刻型-化铣与传统激光刻型制造的构件的刚度/质量比、刻型效率、加工精度、减重比等考核指标。

关键词：航空发动机机匣，火箭贮箱、火箭发动机喷管，异型轻量化结构，激光智能刻型装备，激光智能刻型-化铣生产线

4.6 等离子束智能增材制造技术应用（应用示范类，中小企业项目）

研究内容：针对钛合金、高熵合金构件高效低成本制造需求，研究低成本原位制造工艺、增材制造过程形性调控、装备数字孪生模型，突破增材制造在线监测与智能控制、原位制备成分精准调控等关键技术，研制高效率等离子增材制造装备。

考核指标：成形效率 $\geq 10\text{kg/h}$ （钛合金），形成智能装备及其数字孪生模型；增材制造钛合金强度 $\geq 900\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ，零件制造成本与铸件或锻件相当；增材制造高熵合金 1200°C 高温强度 $\geq 200\text{MPa}$ ；增材制造钛合金/高熵合金构件尺寸大于 $\geq 600\text{mm}$ ；开展航空航天领域应用或验证。

关键词：等离子束，钛合金，高熵合金

4.7 石墨双极板激光图形化精密制造技术应用（应用示范类，中小企业项目）

研究内容：面向氢燃料电池电动车、氢储能等新能源领域构件对高精高效制造的迫切需求；开展双极板激光图形化精密制造技术示范应用研究；攻克大幅面激光制造图形拼接、热应力控制等关键技术；开发复杂图案条件下流道槽内材料高效、低损伤去除工艺；研制面向规模化生产的石墨双极板激光图形化加工装备。

考核指标：石墨双极板激光图形化精密制造装备：最大加工

幅面 $\geq 500\text{mm} \times 200\text{mm}$ ，图形拼接精度优于 0.01mm ，槽底部平整度 $\pm 0.005\text{mm}$ （以 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 参考）；相比传统工艺，制造成本降低 30%；平均无故障运行时间 ≥ 1000 小时；在能源动力等领域实现应用示范，销售数量不少于 5 台。

有关说明：分别采用激光和 CNC，在生产线上对 $200\text{mm} \times 500\text{mm}$ 尺寸的典型流道槽石墨双极板进行加工测试，对比加工效率、耗材以及最终的整体制造成本。

关键词：激光图形化，石墨双极板，槽

4.8 紫外飞秒光丝铝基碳化硅高速精密切片技术应用（应用示范类，中小企业项目）

研究内容：面向半导体芯片封装铝基碳化硅材料的切片需求，开展紫外飞秒光丝铝基碳化硅高速精密切片方法研究，攻克高重频紫外飞秒脉冲串和高能飞秒成丝动态调控等关键技术，研发集成机器学习的切片过程的智能化控制优化与切片质量评估方法，研制紫外飞秒光丝铝基碳化硅高速精密切片一体机装备。

考核指标：紫外飞秒光丝铝基碳化硅高速精密切片设备：表面粗糙度 $R_a < 0.5\mu\text{m}$ ，平面度 $< 0.1\text{mm}$ ，最大切片深度 50mm ，最小切片厚度 0.1mm ，切缝宽度 $< 0.1\text{mm}$ ，切片速率 $> 1\text{mm}^2/\text{s}$ ，热影响区 $< 20\mu\text{m}$ ；在微电子半导体领域应用示范。

关键词：紫外飞秒光丝，铝基碳化硅，激光切片，半导体封装

4.9 复杂金属构件激光三维智能切割技术应用(应用示范类, 中小企业项目)

研究内容: 研究复杂金属构件高效精密激光切割方法, 研制三维五轴激光智能切割装备; 突破金属构件统一信息模型构建、智能切割轨迹规划、生产智能管控等关键技术, 开展应用研究。

考核指标: 研制复杂金属构件激光三维五轴智能切割装备: 加工范围 12000mm×2500mm×800mm, 最大定位速度 $\geq 100\text{m/min}$, 移动轴重复定位精度 $\leq 0.05\text{mm}$, 旋转轴重复定位精度 $\leq 0.02^\circ$, 切割精度 $\leq 0.2\text{mm}$, 满量程落料尺寸误差 $\leq 1/10000$; 研发全生产过程智能管控系统: 具备智能排产、加工代码自动生成等功能, 原材料综合利用率 $\geq 99\%$; 应用于长度 12m 以内的复杂钣金件/结构件空间型面智能切割, 开展应用示范。

有关说明: 以汽车车门切割加工为考核内容, 考核原材料的实际利用率。

关键词: 复杂金属构件, 激光三维切割, 智能切割