

2021 年度广东省重点领域研发计划“激光 与增材制造”重大专项申报指南 (征求意见稿)

为全面贯彻落实党的十九届五中全会和习近平总书记关于加强关键核心技术攻关的系列重要讲话精神，按照省委省政府关于科技创新的相关部署，根据《广东省人民政府关于培育发展战略性新兴产业产业集群和战略性新兴产业集群的意见》《广东省培育激光与增材制造战略性新兴产业集群行动计划（2021-2025 年）》《广东省重点领域研发计划实施方案》等提出的任务，现启动 2021 年度“激光与增材制造”重大专项。

本重大专项的实施目标是：面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家和广东重大需求，拟在激光与增材制造领域的高性能关键器件/部件、重大装备与应用系统、重大应用示范等方面，开展关键核心技术攻关与应用研究，突破高性能器件/部件、共性关键技术以及核心装备等方面的短板弱项，加快培育激光与增材制造战略性新兴产业集群，推动产业迈向全球价值链高端。

本重大专项共部署 3 个专题、12 个研究方向。每个研究方向拟支持 1 个项目，项目实施周期为 3 年。项目申报要求产学研合作，须覆盖该研究方向的全部研究内容和考核指标，参研单位总数不超过 6 个。

专题一、高性能关键器件/部件

项目 1.1：大功率无源光纤隔离器、光栅、合束器等器件及激光器研制

研究内容：

面向 2 微米大功率光纤激光器，开展新波段大功率器件的光学和机械元件的热机理研究，提高光学材料的抗激光损伤阈值，降低器件的破坏效应；开展光学材料的热效应管理研究和非线性效应对光束波前影响研究，解决大功率下由热产生的光束波前畸变，实现快速、均匀散热技术，补偿材料热透镜效应；开展大功率光纤光栅失效机制与热管理技术研究，提高单腔大功率激光输出的光学性能的一致性和可靠性；开展 2 微米大功率无源光纤隔离器、光栅、合束器的设计、制造、封装等技术研究，实现器件制造、集成、封装、可靠性等自主保障和小批量生产，完成 2 微米大功率光纤激光器研制及应用。

考核指标：

研制完全自主 2 微米大功率无源光纤隔离器、光栅和合束器等器件及激光器，使用寿命 $\geq 20000\text{h}$ 。其中：

1) 2 微米光纤隔离器：最大承受功率 $\geq 100\text{瓦}$ ，插入损耗 $\leq 1.2\text{dB}$ ，峰值隔离度 $\geq 30\text{dB}$ ，回波损耗 $\geq 50\text{dB}$ 。

2) 2 微米光纤合束器：泵浦单臂承受功率 $\geq 350\text{W}$ ，泵浦效率 $\geq 97\%$ ，信号插损 $\leq 0.3\text{dB}$ ，信号光承受能力 $\geq 1\text{kW}$ 。

3) 2 微米低水峰光纤光栅：泵浦光功率耐受能力 $\geq 300\text{W}$ ，信

号光功率耐受能力 $\geq 150\text{W}$ ，中心波长失配 $\leq 0.2\text{nm}$ 。

4) 2微米光纤激光器：中心波长 $1.9\sim 2.2\mu\text{m}$ ，输出功率 $\geq 1\text{kW}$ ，线宽 $< 0.1\text{nm}$ ，功率不稳定性 $< 5\%$ ，光信噪比 $> 30\text{dB}$ ，光束质量 $M^2 < 2$ 。

5) 申请本项目相关发明专利不小于10件，实现大功率无源光纤隔离器、光栅和合束器等在2微米光纤激光器中的应用各不少于1000件。

项目 1.2：工业用大功率准分子激光器

研究内容：

面向高端平板显示制造等工业领域对准分子激光器的需求，开展大功率准分子激光高压快脉冲激励技术研究，突破高压开关技术、快脉冲形成技术以及能量回收技术等关键技术。开展600W级激光放电腔技术研究，突破激光放电腔设计、放电腔材料和长时放电气体净化、流场稳定以及紫外光学元件长寿命等技术。开展光束波前精细控制、放电过程稳定性控制、精密工装调谐等技术研究，突破光学元件的面型误差优化、反射特性优化、光束发散特性优化以及温度-应力补偿技术等。开展高稳定激光输出技术研究，建立快速可靠的脉冲能量反馈以及控制机制。开展大功率准分子激光器的一致性、稳定性和可靠性技术研究，实现小批量生产和应用示范。

考核指标：

研发完全自主的大功率高光束质量准分子激光器。其中：

1) 激光器中心波长308nm, 脉冲宽度30ns±5ns, 单脉冲激光能量≥1J, 重复频率≥600Hz, 平均输出功率≥600W, 单脉冲峰值功率≥20MW (峰值功率密度≥4MW/cm²), 输出能量稳定性σ≤2%, 平均无故障工作时间MTBF≥4000h。

2) 实现大功率准分子激光器的小批量生产, 并在 2 家以上单位的高端平板显示制造装备上实现应用示范, 销售不少于 12 台。

3) 申请本项目相关发明专利不小于10件, 围绕项目创新成果发表高水平论文。

项目 1.3: 大功率大能量飞秒光纤激光器

研究内容:

研究大功率、大能量飞秒光纤激光技术, 开展重频可调飞秒光纤激光种子源、飞秒激光时间和光谱稳定性技术研究; 研究大功率脉冲激光放大与脉冲压缩技术, 实现百瓦级全光纤非线性飞秒激光放大; 研究飞秒光纤激光多路合束技术, 突破大功率合束器、脉冲压缩器设计与制备技术; 研究多路合束飞秒光纤激光的时间和空间稳定性、延时锁定和空间相干性技术, 实现 1.0μm 大功率、大能量飞秒光纤激光输出; 完成在医疗健康、精细加工等领域应用。

考核指标:

研制完全自主高性能飞秒光纤激光种子源、大功率飞秒光纤激光放大器, 通过多路合束实现1.0μm大功率、大能量飞秒激光

输出，其中：

1) 高性能飞秒光纤激光种子源：重频1-100MHz可调，输出功率 $>100\text{mW}$ ，脉冲宽度 $<200\text{fs}$ 。

2) 高功率飞秒光纤激光放大器：重频1-100MHz可调，单路饱和输出功率 $>200\text{W}$ ，脉冲能量 $>0.2\text{mJ}$ ，脉冲宽度 $<200\text{fs}$ ，光束质量 $M^2<1.25$ 。

3) 多路合束飞秒光纤激光器系统：重频1-100MHz可调，输出功率 $>1000\text{W}$ ，脉冲能量 $>1\text{mJ}$ ，脉冲宽度 $<200\text{fs}$ ，光束质量 $M^2<1.3$ ，脉冲能量稳定性（RMS） $<1\%$ 。

4) 申请本项目相关发明专利不小于10件，实现 $1.0\mu\text{m}$ 高功率大能量飞秒光纤激光器应用示范和产业化。

项目1.4：面向3D打印高像素紫外Micro LED数字光场芯片与核心部件研制

研究内容：

面向增材制造领域对千万像素级紫外数字光场芯片的需求，研究基于自发光紫外Micro LED数字光场芯片用底层硅基CMOS集成电路设计技术，研究微米级紫外Micro LED材料与刻蚀技术，研究CMOS集成电路与紫外Micro LED键合技术，研究DEMURA外部补偿技术，研究像素隔离型小发散角紫外Micro LED技术，完成大幅面图像分割高速扫描驱动器研制，解决微米级紫外Micro LED的巨量转移问题和紫外Micro LED数字光场芯片封装及光场均匀性等问题。开展基于千万像素级紫外Micro LED数字光场芯

片在增材制造领域的应用研究，实现应用示范。

考核指标：

1) 研发具有自主知识产权的主动寻址自发光紫外Micro LED数字光场芯片。单Micro LED芯片数字调制像素分辨率 ≥ 1200 万；单发光单元尺寸 $\leq 8\mu\text{m}$ ，相邻发光单元间距 $\leq 2\mu\text{m}$ ；发光单元全开时波长 $405\text{nm}\pm 8\text{nm}$ ；芯片光发散角 $\leq 15^\circ$ ，光场均匀性 $\geq 85\%$ ，芯片帧率 $\geq 50\text{fps}$ ；发光单元全开输出光功率 $\geq 6\text{W}$ ；使用寿命 $\geq 10000\text{h}$ 。

2) 基于自发光紫外Micro LED数字光场芯片的光固化增材制造装备成形尺寸 $\geq 200\text{mm}\times 100\text{mm}$ ，曝光面感光像素良率均 $\geq 99\%$ ，曝光面光场均匀度 $\geq 85\%$ 。

3) 实现自发光紫外Micro LED数字光场芯片与核心部件的小批量生产，并在增材制造领域实现应用示范。

4) 申请本项目相关发明专利不小于10件，围绕项目创新成果发表高水平论文。

项目 1.5：超短脉冲激光多轴振镜旋切加工头研制

研究内容：

研究超短脉冲激光与金属、碳纤维复合材料等材料相互作用机理；研究激光脉冲时域特性对热影响区、重熔层厚度及孔内壁粗糙度的影响；研究激光束能量空间分布、光学偏振特性对加工尺寸与精度的影响；攻克超短脉冲圆偏振激光高速旋转扫描对微孔和切割加工质量与精度控制关键技术；研发光路、镜片、振镜电机与编码器等核心部件，开发多轴同步控制的算法与控制卡等

软硬件；开发多轴振镜旋切加工头与相应的控制软件和与之配套的双摆头、机床以及工艺数据库，实现应用示范。

考核指标：

采用自主可控超短脉冲激光器和数控系统，自主研发光路、镜片、振镜电机与编码器、控制软硬件等核心部件，开发超短脉冲激光多轴振镜旋切加工头及其配套设备，开展工艺验证研究实现应用。其中：

1) 光束加工最大范围 $0\sim 1\text{mm}$ ，焦点调节范围 $\pm 1\text{mm}$ ，光束倾角范围 $\pm 8^\circ$ ，重复精度 $\leq 0.5\mu\text{m}$ ，旋转频率 $\geq 200\text{Hz}$ ，入射角理论分辨率 $\geq 2\mu\text{rad}$ ；输出激光为圆偏振光。

2) 编码器的分辨率 $\geq 40\mu\text{m}/2^{12}$ 。光栅式振镜电机的运行精度：重复精度 $< 2\mu\text{rad}$ ，零位漂移 $< 15\mu\text{rad}/\text{k}$ ，增益漂移 $< 8\text{ppm}/\text{k}$ ，位置解析度 24 位。

3) 五轴联动机床精度：直线轴 X、Y、Z 轴，定位精度 $\leq 0.02\text{mm}$ ，重复定位精度 $\leq 0.015\text{mm}$ ；双摆 A、C 轴，定位精度 $\leq 30''$ ，重复定位精度 $\leq 20''$ 。

4) 加工金属材料的最小孔径 $\leq 25\mu\text{m}$ ，最小深径比 $\geq 20:1$ 。加工孔径为 0.3mm 、角度为 20° 的斜孔时，出口与入口直径偏差 $\leq 0.03\text{mm}$ ，孔内壁粗糙度 $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ ，重熔层 $\leq 0.05\text{mm}$ ，内壁无裂纹。

5) 采用旋转扫描加工切割厚度 $\geq 10\text{mm}$ 、直径 $\geq 10\text{mm}$ 的碳纤维复合材料时，孔形圆度误差 $\leq 0.04\text{mm}$ ，圆柱度误差 $\leq 0.05\text{mm}$ 。

6)建立工艺数据库,申请本项目相关发明专利不小于 10 件,核心软件拥有著作权,实现在航空航天、电子信息、汽车等领域精密加工装备上的应用示范。

专题二、重大装备与应用系统

项目 2.1: 高均匀性高功率密度激光线光斑加工技术与装备

研究内容:

针对激光加工大幅面材料的精度、质量和效率低的问题,开展微光学匀化技术、光学整形技术、光斑线长和功率拓展技术、以及线光斑控制技术研究,开发高均匀性的线光斑光学整形系统,开发高功率的线光斑激光光源模块、高均匀性高功率线光斑系统的控制系统,研发自主知识产权的高均匀性高功率密度激光线光斑加工装备,开展在航空航天、电子信息等领域的应用技术研究,建立有关工艺、规范或标准,实现应用示范。

考核指标:

研制完全自主知识产权的高均匀性高功率密度激光线光斑加工装备。其中:

1) 单模块激光光源: 输出功率 $\geq 18\text{kW}$, 光斑长度 $\geq 350\text{mm}$, 光斑宽度 $\geq 400\mu\text{m}$; 功率密度 $\geq 15\text{kW}/\text{cm}^2$, 能量均匀性 $\geq 95\%$ 。

2) 激光线光斑加工装备: 总输出功率 $\geq 300\text{kW}$; 光斑长度可调, 最大长度 $\geq 4000\text{mm}$; 能量均匀性 $\geq 95\%$; 电光转化效率 $\geq 45\%$; 装备无故障工作时间 $\text{MTBF} \geq 2000\text{h}$ 。

3) 申请本项目相关发明专利不小于10件, 制定工艺、装备

等规范或标准，实现在航空航天、电子信息等领域应用不少于5项，产品销售不小于20台/套。

项目 2.2：多激光增减材复合精密加工集成制造技术与装备

研究内容：

开展精密复杂内腔结构构件激光增材制造、超快激光高速减材与激光表面加工等多光束系统集成的制造工艺技术研究，实现增材、减材与表面加工等多种制造技术的硬件系统有机集成；开发多种制造模式实时自由组合的高动态响应复合控制系统；研究制造过程激光增材与超快激光减材、激光分层切削与表面加工等工艺耦合产生的热循环作用；研究应力与应变、微观组织和力学性能等参量的相互影响机理；探讨多激光作用下材料微观结构演变与强化机理、切削抛光机制；研究复合装备智能工艺调控与优化，制造过程在线监控数据反馈闭环系统和大型构件质量一致性调控，建立构件内部缺陷在线检测与质量评价的方法与规范，实现在航空航天、汽车、模具等领域应用示范。

考核指标：

采用国产激光器等器件，研制完全自主知识产权的多激光增减材复合装备。其中：

1) 多激光增减材复合装备的成形构件尺寸 $\geq 300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，成形效率 $\geq 200\text{cm}^3/\text{h}$ ，重复定位精度 $\leq 3\mu\text{m}$ ，激光分层切削加工速度 $\geq 3000\text{mm/s}$ ，单次切削厚度 $1\text{-}20\mu\text{m}$ 连续可控，复合制造表面粗糙度 $Ra \leq 1\mu\text{m}$ ，内腔结构及外形成形

精度优于 $\pm 3\mu\text{m}/100\text{mm}$ ，装备无故障工作时间 $\geq 2000\text{h}$ 。

2) 开发快速生成构件的增减材复合制造路径CAM软件模块；装备具有工艺缺陷在线监测与自动工艺调控，远程网络化管控等功能。

3) 开发在航空航天、汽车、模具等领域不少于5类典型构件用材料（包括不锈钢、高温合金和淬硬钢等）的复合制造工艺以及应用验证，且满足有关使用要求，制定工艺、装备等规范或标准。

4) 申请本项目相关发明专利不小于10件，实现产品小批量生产，建立在航空航天、汽车、模具等领域5家以上企业的应用示范。

项目 2.3：高性能梯度材料结构/功能一体化增材制造技术与装备

研究内容：

开展多材料结构功能一体化增材制造技术研究，突破高性能异质梯度材料制件梯度尺寸、梯度成分、梯度组织与性能调控等关键技术，实现异质材料大型复杂构件复合一体化增材制造。开发多种适用于梯度材料制备的材料粉末（如高性能铝合金、钛合金、铜合金、镍基高温合金、难熔金属、高强不锈钢、陶瓷材料等），同时实现混合粉末分离回收再利用技术，解决大尺寸多材料部件连接界面质量、整体成形精度、内部缺陷、应力组织在线调控等技术问题。开展以航空航天、核电、船舶、生物医疗等领

域典型零部件的应用研究，建立相关制造工艺、规范或标准，实现应用示范。

考核指标：

1) 研发完全自主的连续梯度材料增材制造装备，满足至少4种材料（如高性能铝合金、钛合金、铜合金、镍基高温合金、难熔金属、高强不锈钢、陶瓷材料等）的制造，成形尺寸 $\geq 400\text{mm} \times 400\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，致密度大于99%，成形几何精度优于 $\pm 50 \mu\text{m}/100\text{mm}$ 。

2) 满足多材料成分在Z轴上连续梯度变化，在XY平面单一轴向方向成分连续梯度变化，任意区域材料成分可进行预置，材料混合比例及工艺参数连续变化可控，实现构件三维空间内的梯度功能化设计，同时满足梯度功能材料过渡最小变化区 $\leq 50\mu\text{m}$ ，最小梯度变化率 $< 0.1\%/ \text{mm}$ ，梯度方向制备尺寸 $\geq 100\text{mm}$ 。

3) 研发铁基、铜基、钛基、镍基、钽基等6种以上专用粉末材料，满足连续梯度材料增材制造技术要求。

4) 研发多波长激光选区熔化的梯度材料一体化成形工艺、制定相应的装备设计、工艺使用、安全操作、材料构件评定等规范或标准。

5) 申请本项目相关发明专利不小于10件，实现在航空航天、核电、船舶、轨道交通、医疗器械等领域的2家以上单位各不少于3项应用构件。

项目 2.4：高仿生高通量器官芯片增材制造技术与装备

研究内容：

面向生物医疗领域对高仿生器官芯片的重大需求，开展含活细胞高仿生复杂微生理环境器官芯片增材制造技术研究，开发芯片基质材料和细胞打印材料，突破芯片基质打印、活细胞加载打印、芯片集成封装、芯片信号读取等关键技术；开展高仿生高通量器官芯片设计、制造工艺、检测方法等技术研究，实现高仿生高通量器官芯片一体化增材制造；开展生物医学临床应用研究，实现在肿瘤个体化治疗、疾病机理、药物筛选和疫苗开发等生物医学领域的应用示范。

考核指标：

研发以人源活细胞为主要载体的高通量器官芯片制造和检测专用装备系统，开发满足药物筛选或疫苗开发的高通量器官芯片一体化制造技术及配套的芯片检测方法；申请本项目相关发明专利不小于10件，围绕项目创新成果发表高水平论文，构建单器官高通量芯片模型2种以上，多器官高通量模型1种以上，实现在不少于2家应用示范单位的肿瘤个体化治疗、疾病机理、药物筛选和疫苗开发等生物医学领域的应用。其中：

1) 基片打印技术指标：结构特征尺寸优于 $5\mu\text{m}$ ，层厚 $\leq 3\mu\text{m}$ ，XY方向最高分辨率优于 $2\mu\text{m}$ ；成型尺寸 $\geq 100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 50\text{mm}$ ；成型效率 $\geq 500\text{mm}^3/\text{h}$ 。

2) 活性单元打印技术指标：喷头数量 ≥ 3 个；实现挤出、喷墨、静电直写等多工艺复合打印，复合打印（含细胞）分辨率优

于50 μm 。

3) 所构建器官芯片系统技术指标：细胞存活率85%以上，可连续稳定培养2周以上，生物结构稳定2周以上，细胞特异性基因表达良好，芯片容纳10个以上类器官模型，模型一致性（尺寸、细胞组分）不低于80%且可传代培养。

4) 芯片检测指标：开发3种以上光学、电化学传感检测技术和工艺。

5) 材料开发：开发2~3种光学性能良好，生物安全性高的芯片基质材料；开发3~5种适用于不同组织器官，生物相容性好的细胞打印材料。

专题三、重大应用示范

项目 3.1：连续纤维增强热固性复合材料增材制造技术与应用

研究内容：

开发高韧性快速定型热固性环氧树脂及增材制造用高碳纤维含量的预浸丝束制备方法与工艺；研制多规格丝束集成、模块化、轻量化的增材制造头，实现多种不同直径连续碳纤维预浸丝束精准输送与打印；研究复合材料分层打印层间性能强化工艺与方法，提高复合材料层间强度；研究复合材料增材制造成型工艺及低变形固化工艺方法，制定打印工艺参数；研究复合材料曲面增材制造路径规划算法及软件开发，实现大曲率复合材料构件高效打印；开发大型多自由度连续纤维增强热固性复合材料增材制造装备，完成多种典型复合材料构件打印验证及相关性能测试；

开展在航空航天、新能源汽车、轨道交通等领域的应用研究，形成应用示范。

考核指标：

1) 研发多自由度复合材料增材制造装备，装备连续运行168小时以上无故障，单向成形尺寸50mm~3000mm，成形精度优于 $\pm 1.5\text{mm}/1000\text{mm}$ ，打印速度 $\geq 1000\text{mm}/\text{min}$ 。

2) 开发热固性复合材料增材制造打印头，可实现曲面直径0.6mm~1.5mm多种不同规格碳纤维丝束打印。

3) 预浸丝束碳纤维含量 $\geq 55\%$ ，树脂与纤维分布均匀。

4) 打印复合材料构件孔隙率 $\leq 3\%$ ，沿纤维方向拉伸强度 $\geq 1300\text{MPa}$ ，压缩强度 $\geq 700\text{MPa}$ ，弯曲强度 $\geq 800\text{MPa}$ ，层间剪切强度 $\geq 60\text{MPa}$ 。

5) 申请本项目相关发明专利不小于10件，制定工艺、装备等规范或标准，并完成3类典型构件在航空航天、新能源汽车、轨道交通等领域应用验证，形成应用示范。

项目 3.2：大功率水导激光多轴精密加工硬脆材料技术与应用

研究内容：

面向硬脆材料低损伤、高精度、高效率、高一致性精密加工的需求，研究水导激光精密加工中激光与材料间的作用机理、同轴水冷却作用下的工件材料去除特性、水导激光加工材料去除机理；研究大功率短脉冲激光—小直径水射流耦合技术；研究水导激光微结构加工理论、水导激光制造微结构加工工艺方法、硬脆

材料微结构水导激光加工工艺参数优化；开发大功率水导激光—小直径水射流耦合装备及加工工艺标准等，实现在航空航天、汽车、3C电子、光伏电子、珠宝加工等领域的应用示范。

考核指标：

基于完全自主的大功率激光—小直径水射流耦合装置等器部件，研发大功率水导激光多轴精密加工装备。

1) 激光器中心波长 $510\text{ nm}\pm 20\text{ nm}$ ，输出功率 $\geq 400\text{ W}$ ，水光束最小直径 $\leq 20\text{ }\mu\text{m}$ ，水光束最大长度 $\geq 100\text{ mm}$ 水导激光系统。装备无故障工作时间 $\geq 2000\text{ h}$ 。

2) 实现多轴联动一次加工成型，满足硬脆材料切割、异形孔加工等要求，表面粗糙度 $Ra\leq 0.6\text{ }\mu\text{m}$ ，尺寸精度误差优于 $\pm 3\text{ }\mu\text{m}$ 。重复性精度优于 $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$ ，切割速度 $\geq 10\text{ mm/s}$ ，平行切割宽度 $\leq 25\text{ }\mu\text{m}$ ，切割深宽比 $100:1$ ，钻孔深径比 $30:1$ 。

3) 孔壁无再铸层、微裂纹和热影响区，无涂层开裂、分层和缺口。

4) 申请本项目相关发明专利不小于10件，制定工艺、装备等规范或标准，实现小批量生产，并在航空航天、汽车、3C电子、珠宝加工等领域典型工程应用。

项目 3.3：大尺寸高效精密熔模铸造技术与应用

研究内容：

研发基于光固化的大尺寸高效精密增材制造装备。开展大尺寸高效精密熔模铸造技术研究，突破低熔点、低灰分、高流动性、

高精度的气化铸造专用熔模材料制备技术；研究基于可铸造性的智能浇流道设计技术；开展先进壳模真空干燥工艺与全机械自动化生产工艺流程研究，实现铝合金、钛合金等材料的高效高质熔模智能铸造；开展在航空航天、汽车、船舶等领域的应用研究，建立有关工艺、规范或标准，实现应用示范。

考核指标：

1) 研制完全自主知识产权的高稳定性、低灰炆率的高速成型气化铸造专用熔模材料，熔模材料在光固化后的拉伸强度 $\geq 54\text{MPa}$ ，灰炆率 $\leq 0.05\%$ 。

2) 研发完全自主光固化增材制造装备，成形尺寸 $\geq 3600\text{mm} \times 1800\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，成形精度达到CT4-6，日制造熔模产量 $\geq 300\text{kg}$ 。

3) 可铸造铝合金、钛合金等材料，铸件成形尺寸 $\geq 2000\text{mm} \times 800\text{mm} \times 400\text{mm}$ ；铸件表面质量 $Ra 2.5\mu\text{m}$ ，超薄壁厚 $< 0.8\text{mm}$ ，熔模铸造构件主要力学性能指标不低于同成分铸件。

4) 制定工艺、装备等规范或标准，申请本项目相关发明专利不小于10件。

5) 项目执行期，实现在航空航天、汽车、船舶等领域50种以上关键铸件的示范应用。