

“高性能制造技术与重大装备”重点专项 2022 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“高性能制造技术与重大装备”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2022 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：围绕国家战略产业高端产品及重大工程关键装备在复杂环境、复杂工况下高性能可靠服役需求，突破高性能制造基础前沿和共性关键技术，研制具有高精度、高可靠、高效率、智能化、绿色化等高性能特征的基础件、基础制造工艺装备、基础试验与分析平台等，实施重大装备集成应用示范，推动制造技术向材料—结构—功能一体化的高性能设计制造转变，实现高性能制造技术和重大装备的自主可控，增强我国战略性新兴产业高端产品和重大工程关键装备的核心竞争力。

2022 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕基础前沿技术、高性能基础件、高性能基础工艺、高性能基础试验与分析、集成应用示范等 5 个技术方向，按照基础研究、共性关键技术、应用示范 3 个层面，拟启动 26 项指南任务，拟安排国拨经费 3.38 亿元。其中，在基础研究类拟部署 4 个青年科学家项目，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，应用示范类项目配套经费与国拨经费比例不低于 2:1。

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，每个方向拟支持项目数为 1~2 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不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 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 10 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，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1984 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1982 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。

指南中“拟支持数为 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. 基础研究类

1.1 高性能制造理论与技术体系研究

研究内容：研究性能与材料、几何及工艺参数的耦合机理与模型表达形式，性能指标的逐级分配方法与评价准则，面向性能

的设计、面向制造的设计与面向性能的制造的协同原理，跨层级性能仿真建模理论与调控机制等，突破以产品性能精准保证为目标的设计制造一体化、全流程制造工艺优选和高效参数反求、定域定量定式的性能可控制造等关键技术，构建高性能制造理论与技术框架体系，并面向空天及核电装备研发等国家重大需求进行试验验证。

考核指标：构建高性能制造理论和技术框架体系，并在典型产品制造中进行试验验证；开发出面向构件高性能制造的软件工具 1 套；在 2~3 个典型高端产品研制中应用验证高性能制造理论与技术成果，产品的关键性能指标提升 30% 以上；出版专著 1~2 部。

1.2 性能驱动的高端装备稳健性设计理论与方法

研究内容：研究多样化极端条件下重大装备多场信息驱动的稳健性建模与表征、重大装备关键件数字化模型的工程一致性校验、多精度数据驱动的重大装备性能快速预测等理论和方法，形成几何—材料—载荷等不确定性下装备性能稳健性优化设计方法，并在典型重大装备设计中试验验证。

考核指标：形成面向服役性能的重大装备稳健性设计理论与方法，建立重大装备几何—材料—载荷等不确定性分布类型数据库 ≥ 3 个，开发具有自主知识产权的云边协同装备稳健性优化设计软件 1 套，并在典型重大装备设计中应用验证，实现涵盖物理场信息 ≥ 3 种、融合精度数据 ≥ 3 种，集成优化参数 ≥ 100 种，2 种及以上重要性能快速预报的精度 $\geq 90\%$ ，优化后装备性能稳健

性较当前服役方案提高 $\geq 10\%$ ；出版学术专著 1 部，登记软件著作权 ≥ 8 项。

1.3 高端装备协同智能故障诊断理论与预测方法

研究内容：研究高端装备服役过程中关键性能的退化机制与失效机理，建立基于协同高精度故障诊断与预测的装备性能失效模型；研究数据非共享式协同特征提取、非直接读取式监测数据质量评估与无数据式多实体故障诊断知识靶向迁移方法，构建装备个体定制化故障诊断模型。

考核指标：建立高端装备协同智能高精度故障诊断与预测方法，形成高端装备状态监测软件，协同故障诊断方法 ≥ 5 种，故障诊断准确率 $\geq 90\%$ ，故障诊断方法优于 5 种及以上现有常用方法；寿命预测方法 ≥ 5 种，装备退化期后半段的平均寿命预测准确率 $\geq 75\%$ ，寿命预测方法优于 5 种及以上现有常用方法。建立高端装备高质量服役状态监测数据库，包含高端装备典型故障案例 ≥ 50 种，关键部件全寿命周期数据 ≥ 30 例。在风电装备、工业机器人、新能源汽车、高档机床等 4 类典型高端装备上试验验证，构建高端装备分布式多实体协同故障诊断与预测平台。

1.4 多场耦合下异质异形构件的材料—结构—性能一体化成形理论

研究内容：研究异质异形构件的强力学性能差异材料之间的属性匹配、应力与变形协调等机制，建立异质构件设计方法；研

究多场耦合下的异质异形构件层间界面结合性能的控制机制，构建层间界面和层内失效准则，形成异质异形构件的多尺度、多维度性能评价理论体系，实现异质异形构件的材料—结构—性能一体化设计与成形，并在典型异质异形构件成形中试验验证。

考核指标：形成异质异形构件的设计、制造、性能调控基础理论与方法，实现典型异质异形构件的材料—结构—性能一体化设计与成形；制备具有异质异形特征的试验件 ≥ 2 种，试验件尺寸 $\geq 500\text{mm}$ ，成形精度 $\leq \pm 0.3\text{mm}$ ，层间界面相对于低强度材料拉伸强度系数 ≥ 0.8 ，剪切强度系数 ≥ 0.9 。

1.5 面向性能的超精密加工理论与精准调控方法（青年科学家项目）

研究内容：研究超精密加工构件关键性能的表征方法，揭示构件关键性能与加工质量之间的关联机制，建立加工工艺与构件关键性能之间的模型，构建面向性能精确调控的超精密加工理论与方法，并在高温等离子体屏蔽防护件加工中试验验证，形成高能粒子吸缚性能可调控的超精密加工理论和方法。

考核指标：揭示构件关键性能演化机制、表面微观组织演化与调控机制，形成面向性能精确调控的超精密加工理论与方法。加工高温等离子体屏蔽防护模拟样件：最大直径 $\geq \Phi 100\text{mm}$ ，高度 $\geq 50\text{mm}$ ，轮廓度 $\leq 5\mu\text{m}$ 、表面粗糙度 $S_a \leq 30\text{nm}$ ，等离子体束流密度 $\geq 10^{23}\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，热负荷 $\geq 20\text{MW/m}^2$ ，耐辐射考核时间提升一倍、达到1000s以上。

1.6 极端服役条件基础件接触界面力学行为及性能调控方法 (青年科学家项目)

研究内容：研究极端条件下基础件接触界面力学行为及性能演变机理，建立面向高服役性能的几何形貌与表面织构协同设计理论，提出考虑奇异点的基础件接触面分区修形加工方法，开发基础件接触表面织构确定性调控新技术，研发极端条件下基础件服役性能测试系统，在承载能力、接触疲劳强度寿命等方面进行试验验证。

考核指标：形成面向极端条件的基础件接触界面力学行为演变理论和面向高服役性能的基础件接触界面确定性调控理论，研发具有知识产权的基础件接触界面确定性调控技术和支持工具，研发极端条件下基础件服役性能测试系统，并在基础件传动系统中进行试验验证，轮齿啮合接触面积提高 30% 以上，承载能力较传统方式提高 20% 以上，齿轮接触疲劳强度寿命提升 10% 以上，形成相关技术标准 ≥ 1 项，申请软件著作权 ≥ 3 项。

1.7 智能复合材料结构一体化成型理论与方法（青年科学家项目）

研究内容：面向未来复合材料结构健康监测—承载一体化的需求，研究光纤等传感器嵌入复合材料结构的新型方法，实现传感器的高效率、低损伤嵌入；探明传感器/高性能纤维混合预制体的变形跨尺度传递、宏—微观结构作用规律及多尺度建模方法，揭示传感器/高性能纤维二元异质混合体的树脂填充—固化过程

典型缺陷形成机制与时空演化机理；突破传感器/高性能纤维混合预制体高精度低缺陷预成型—固化一体化成型制造与控制技术，形成健康监测—承载一体的智能复合材料结构制造原始创新，研制智能复合材料模拟样件进行性能评价与试验验证。

考核指标：提出内嵌传感器的智能复合材料实现方案，形成内嵌传感器的智能复合材料结构一体化成型理论；建立智能复合材料结构变形分析理论和方法，形成仿真预测分析平台，实现预成型变形和固化变形预测误差 $\leq 15\%$ ；制备内嵌传感器智能复合材料试验件，相比于同结构复合材料试验件拉伸强度和层间剪切强度衰减率 $\leq 10\%$ ；制造内嵌传感器的复合材料模拟样件，成型结构型面公差 $\leq \pm 0.3\text{mm}$ ，内部传感器损失率 $\leq 10\%$ ，结构内部感知应变误差 $\leq 5\%$ 。

1.8 装备与工艺融合的制造精度可靠保障方法（青年科学家项目）

研究内容：探索机床装备与工艺融合的制造精度可靠保障新原理，突破传统固定装夹思路的局限，研究装备与工艺融合的数据监测原理与方法，研制面向变形控制的自适应装夹工艺装备，突破监测数据和知识混合驱动的制造精度可靠保障技术，保障机床装备服役过程中的制造精度可靠性，在新一代飞机铝合金、钛合金大型结构件加工中验证。

考核指标：实现高端机床装备与浮动装夹工艺融合，研制至少 2 套浮动装夹工艺装备，为机床装备服役过程中的制造精度提

供可靠保障，1 米级铝合金、钛合金大型结构件加工变形量分别从 0.2mm/m 以上和 0.5mm/m 以上控制在 0.1mm/m 和 0.25mm/m 以内，相较于传统方法，加工变形控制精度平均提升 50%以上；形成数控加工机床装备与浮动装夹工艺融合标准规范 1 项。

2. 共性关键技术类

2.1 超高速空气轴承电主轴关键技术

研究内容：研究超高速空气轴承气体支撑和润滑机理、超高速空气轴承电主轴设计方法、主轴电机气隙磁场调制方法；突破空气轴承高精度节流部件制造、轴承气浮间隙精密调节与控制、主轴内置高速电机发热控制、主轴在线动平衡测试等关键技术；研发超高速空气轴承电主轴，在典型高端制造装备中应用验证。

考核指标：研制出超高速空气轴承电主轴，电主轴产品的制造合格率提高至 90%以上，功率（S6 60%） $\geq 2200\text{W}$ ，转速 0~200000rpm，扭矩（S6 60%） $\geq 106\text{mN}\cdot\text{m}$ ，轴向刚度 $\geq 25\text{N}/\mu\text{m}$ ，径向刚度 $\geq 28\text{N}/\mu\text{m}$ ，主轴径跳 $\leq 0.35\mu\text{m}$ ，主轴端跳 $\leq 0.75\mu\text{m}$ ，转子平衡精度 0.4mm/s，热伸长波动： $\leq 0.2\mu\text{m}$ （80000rpm）， $\leq 0.5\mu\text{m}$ （200000rpm）。技术就绪度 ≥ 6 级；研制的超高速空气轴承电主轴在超精密磨床或铣削加工中心上应用验证。

2.2 空间机构长寿命高可靠齿轮传动系统关键技术

研究内容：研究空间环境高真空、微重力、温度交变载荷作用下齿轮失效机理和典型材料的服役性能，空间环境齿轮副固体润滑摩擦磨损仿真分析，超薄高强齿轮传动系统高可靠高转矩密

度设计方法；突破切—磨—渗—抛全工艺流程高效精密齿轮制造工艺技术；建立空间机构齿轮传动系统拟实工况下服役性能试验平台及评价体系；研制空间环境长寿命高可靠齿轮传动系统，并在重大型号空间机构中应用验证。

考核指标：研制空间机构齿轮传动系统 1 套，最大输出力矩 $\geq 1100\text{Nm}$ 、输出转矩密度 $\geq 15\text{Nm/kg}$ ，单级传动效率 $\geq 95\%$ ，设计寿命 ≥ 15 年；典型高强材料齿轮的轮齿精度优于 3~4 级、齿面硬度 $\geq \text{HRC}60$ 、粗糙度 $\leq \text{Ra}0.2\mu\text{m}$ ；研发空间环境摩擦磨损仿真分析软件 1 套；搭建空间环境高低温拟实工况试验平台，具备可靠性测试能力。技术就绪度 ≥ 6 级；在 $5\times 10^{-4}\text{Pa}$ 高真空度、 $-50^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ 高低温等特征空间环境下的典型空间机构中应用验证。

2.3 超高速动车组双斜齿形齿轮传动系统关键技术

研究内容：揭示 400km/h 以上高速动车组轮—轨—构架传动系统振动机理及辐射噪声映射关系；研究受限空间下双斜齿形齿轮传动系统设计、齿形宏观构型与微观修形、齿轮副高精齿面成形技术；突破高速时变地域和超长服役周期下系统振动、噪声、温升等控制关键技术，建立寿命评估方法与试验验证体系；研制智能感知、诊断、预测一体化的齿轮传动系统。

考核指标：设计研制小模数（4~7）、窄齿宽（ $\leq 70\text{mm}$ ）、小退刀槽（ $\leq 20\text{mm}$ ）双斜齿形齿轮，齿面精度达 ISO 5 级或以上，左右齿面对称精度 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ ；研制高速动车组齿轮传动系统，实现齿轮啮合派生轴向力较既有 CR400 动车组（3000~5500 N）

降低 90%以上，轴承服役寿命较既有 CR400 动车组（350km/h）提升 30%以上，系统振动 $\leq 12\text{mm/s}$ ，系统温升 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ ，噪声 $\leq 100\text{dB}$ ；建立传动系统振动、温度、润滑油品质等状态在线智能监测及关键部件寿命预测平台。技术就绪度 ≥ 6 级；在 400km/h 以上高速动车组实现应用验证。

2.4 高频响高可靠数字液压元件关键技术

研究内容：研究高频响数字先导级驱动和多模式主级的构型原理和结构设计；突破容腔压力、油液温度、阀芯位移、阀口流量等多状态信息的高频响应与精确感知、融合处理与集成传输等关键技术；研发高压数字液压元件精密加工与装配等关键工艺；研制具备多通讯接口的数字式控制器及其配套控制/调试软件，实现从元件、系统到主机层面的多功能控制。

考核指标：高频响数字式先导级驱动模块 1 套，先导级驱动频响 $\geq 17\text{Hz}$ ，位置闭环控制重复定位精度 0.01mm ；总线型数字式大流量液压阀 1 套，额定压力 $\geq 35\text{MPa}$ ，额定流量 $\geq 200\text{L/min}$ ，内置式阀芯位移、压力、温度测量误差 $\leq 0.5\%$ ，整阀换向耐久性次数 ≥ 200 万次；数字液压元件功能匹配与参数优化设计软件 1 套，“元件—系统—整机”多层级控制/调试软件 1 套，流量控制误差 $\leq 2\%$ 。技术就绪度 ≥ 6 级；实现在工程机械、农业机械等装备中的配套应用。

2.5 超低速大转矩永磁电驱动系统关键技术

研究内容：研究永磁电机“机—电—磁—力—热”多域协同、

基于电机—传动或直驱的永磁电驱动系统全域高效等设计方法；突破轻稀土复合磁体建构与抗失磁、振动噪声靶向主动抑制、热耦合与热管理、状态数据交互与智能控制等关键技术；研制超低速大转矩永磁电驱动系统，在典型高能耗领域配套应用。

考核指标：研发额定 10kV/1500kW 低速大转矩永磁电驱动系统，建成 50 万 Nm 电驱动系统测试平台，实现电驱动系统输出额定转速范围 5~60rpm、体积转矩密度 $\geq 40\text{Nm/L}$ 、系统最高效率 $\geq 95\%$ （效率 80% 以上高效工作区占 95% 以上），系统噪声 $\leq 80\text{dB}$ （A）、工作寿命 $\geq 150000\text{h}$ 。技术就绪度 ≥ 6 级；在煤矿、冶金、化工等典型高耗能领域配套应用，综合节电率达到 30% 以上。

2.6 非道路车辆大功率电驱动传动系统关键技术

研究内容：研究非道路车辆大功率电驱动用发电机、驱动电机、控制器、驱动单元等高性能、高功率密度协同设计方法；突破电驱动传动系统构型设计、深度集成与动力高效耦合技术难题；开展电驱动传动系统综合能源管理技术及能效提升控制策略研究；构建大功率电驱动传动系统性能综合测试与评价技术体系；研制非道路车辆用大功率电驱动传动系统，并在百吨级装载机、矿用卡车上进行应用验证。

考核指标：电驱动传动系统：系统额定效率 $\geq 92\%$ 、功率密度 $\geq 1000\text{kW/m}^3$ 、使用寿命 $\geq 20000\text{h}$ 、车轮动态响应 $\leq 600\text{ms}$ ；发电机：功率密度 $\geq 6.5\text{kW/L}$ 、最高效率 $\geq 97\%$ ；驱动电机：功率密度 $\geq 5\text{kW/L}$ 、最高效率 $\geq 97\%$ ；驱动控制器：功率密度 \geq

25kW/L、峰值效率 $\geq 99\%$ 。技术就绪度 ≥ 6 级；实现大功率电驱动传动系统在非道路车辆上示范应用 ≥ 2 台；形成大功率电驱动传动系统综合测试与评价规范。

2.7 大规模微细阵列结构超精密加工技术

研究内容：研究大规模阵列式光学结构的高效高一致性超精密切削原理、微细结构保形超光滑抛光机理和多工序误差传递规律；突破多尺度光学结构原位超精密测量、脆性材料高精度成型以及形性调控等关键技术；研制大规模阵列式光学结构的超精密加工—测量一体化装备，在红外探测、光电感知等领域实现应用验证。

考核指标：形成面向大规模微细阵列式结构的超精密加工—测量一体化装备，直线轴定位精度 $\leq 0.3\mu\text{m}$ ，旋转轴定位精度 $\leq \pm 1''$ ，原位测量分辨率 $\leq 1\text{nm}$ ；阵列单元加工时间 ≤ 5 秒，单元面形精度 $\leq \text{PV}0.1\mu\text{m}$ ，单元表面粗糙度 $\leq \text{Ra}2\text{nm}$ ；光学结构阵列规模 ≥ 10 万，光能利用率 $\geq 80\%$ 。技术就绪度 ≥ 7 级；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 1 项。

2.8 大口径复杂曲面光学元件超光滑制造技术

研究内容：攻克光学元件超光滑物化作用原子级材料去除基础理论；突破跨尺度气动磨头柔性研抛、磁流变高精度低损伤抛光、弹性自适应磨头超光滑控制、原位一体化轮廓测量与补偿、原位表面与亚表面损伤全口径检测等关键技术；研制复杂曲面柔性自适应抛光与原位一体化检测制造装备；在强激光系统、空间

遥感、天文观测等光学系统中应用验证。

考核指标：形成复杂曲面光学元件自适应加工与原位一体化检测装备及配套工艺软件，磨头柔性气动力精度 $\leq 0.02\text{N}$ 、定位精度 $\leq 10\mu\text{m}$ 。实现全频段误差高精度控制，低频面形精度 $\leq \text{RMS } 8\text{nm}$ ，中频平滑精度 $\leq \text{slopeRMS } 1.5\mu\text{rad}$ ，高频光滑精度 $\leq \text{Ra } 0.5\text{nm}$ ；光学元件口径 $\geq 1.5\text{m}$ ，曲面复杂度 $\geq 1\text{mm}$ ，损伤阈值 $\geq 500\text{W}/\text{cm}^2$ ，制造周期 ≤ 5 个月。技术就绪度 ≥ 7 级；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 1 项。

2.9 超薄碳碳材料筛网结构精密制造技术

研究内容：研究超薄碳碳材料筛网结构设计和精密控形加工理论；构建符合超薄碳碳材料特殊性能要求的纤维预制体结构；形成制备高精度超薄碳碳复合材料的致密化、热处理等工艺及相关辅助工具；突破高密度阵列孔热消散分区控参精密加工、耐溅射损伤检测与寿命评估、变形抑制与低损加工全流程协同调控的“材料制备—测量—再规划—加工”闭环制造等关键技术；研制超薄碳碳材料筛网结构精密制造成套装备及碳碳栅极组件，在深空探测器、通信卫星平台等电推进系统中应用验证。

考核指标：形成超薄碳碳材料筛网结构精密制造成套装备及工艺软件，空间定位精度 $\leq 0.01\text{mm}$ ，轨迹精度 $\leq 0.03\text{mm}$ ；碳碳材料密度 $\geq 1.80\text{g}/\text{cm}^3$ ，拉伸强度 $\geq 200\text{MPa}$ ，拉伸模量 $\geq 45\text{GPa}$ ；碳碳筛网口径 $\geq \Phi 300\text{mm}$ ，厚度 $\leq 0.6\text{mm}$ ，装配后的平面度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，厚度均匀性 $\leq 0.05\text{mm}$ ；筛网孔阵列密度 ≥ 20 个/ cm^2 ，直

径 $\leq \Phi 1.9$ 的孔径精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ (开孔率 $\geq 65\%$), 位置度优于 $\Phi 0.1\text{mm}$, 单孔加工时间 ≤ 5 秒。技术就绪度 ≥ 7 级; 制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

2.10 惯性器件硬脆复杂结构高效精密加工技术

研究内容: 研究硬脆材料表面去除、界面损伤与构件使役性能生成机制, 突破热力耦合加工形性一体化调控、亚表层微观去除与损伤抑制、构件性能高精度在位无损表征等关键技术, 研制硬脆材料精密复杂构件加工—检测—修调一体化成套装备, 在大型水面/水下平台、运载火箭等的高精度惯导系统上进行应用验证。

考核指标: 形成硬脆材料精密复杂构件加工—检测—修调一体化成套装备, 直线轴定位精度 $\leq \pm 0.4\mu\text{m}/50\text{mm}$, 切削力测量误差 $\leq 0.5\% \text{FS}$ (满量程), 实现表面形貌和加工缺陷在位检测; 硬脆材料构件加工形位精度 $\leq 3\mu\text{m}$, 表面粗糙度 $\leq \text{Ra}0.4\mu\text{m}$, 加工效率优于 $40\text{h}/\text{个}$; 高精度惯导单元随机漂移误差: 全角模式下 $\leq 0.001^\circ/\text{h}$ 或力反馈模式下 $\leq 0.0005^\circ/\text{h}$, 抗过载能力 $\geq 30\text{g}$ 。技术就绪度 ≥ 7 级; 制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 1 项。

2.11 大截面异形承力构件整体成形技术

研究内容: 研究微区快速凝固和非均匀强塑变成形全过程中组织缺陷演变、内应力遗传演化、特征微结构适配等共性问题, 突破大规格细晶和成分均匀的锭坯制备、大型异形截面整体构件成形成性控制、大尺寸结构残余应力消减等关键技术, 研制大截面铝合金异形整体成形框及成形装备, 在新一代直升机等装备应

用验证。

考核指标：形成基于快速凝固原理的铝合金锭坯制备装备，成锭速率 ≥ 1 吨/小时，材料收得率 $\geq 70\%$ ；铝合金锭坯 ≥ 3 吨，直径 $\geq 600\text{mm}$ ，致密度 $\geq 97\%$ ，晶粒尺寸 $\leq 100\mu\text{m}$ ，成分不均匀性 $\leq 8\%$ ；整体锻框尺寸 $\geq 3600\text{mm}\times 2800\text{mm}\times 160\text{mm}$ ，各方向抗拉强度 $R_m \geq 545\text{MPa}$ 、屈服强度 $R_{p0.2} \geq 515\text{MPa}$ 、断后延伸率 $\geq 7\%$ ，残余应力 $\leq \pm 50\text{MPa}$ ，平面应变断裂韧度 K_{IC} （L-T方向） $\geq 24.0\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，在应力集中系数 $K_t=1$ 、应力比 $R=-1$ 、周次 $N=1\times 10^7$ 条件下疲劳极限 $\geq 180\text{MPa}$ ；加工后整体框变形量 $\leq \pm 0.5\text{mm}$ 。技术就绪度 ≥ 7 级；制订国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

2.12 探测制导复杂光机电产品精密装配技术

研究内容：研究几何量和物理量复合的精密装配理论，揭示装配连接界面应力形成与非线性时变规律，突破装配应力形成机理与检测、极端服役环境下装配性能的多源不确定性分析与优化、跨尺度系统装配性能预测与工艺调控等关键技术，研制精密光机电产品测装调一体化自动装配系统，在航天、飞机等领域的光机电导航制导系统上进行应用验证。

考核指标：形成精密惯性产品测装调一体化软硬件系统，视觉检测精度 $\leq 2\mu\text{m}$ ，装配性能软件预测精度 $\geq 85\%$ ；装配精度 $\leq 3\mu\text{m}$ ，装配应力不均匀性 $\leq 15\text{MPa}$ ，组件装配效率 ≥ 60 套/8h，一次装调合格率 $\geq 90\%$ ；在高速、高过载、高冲击服役环境下光机电系统动态精度稳定性优于 $1'$ ，平均无故障运行时间 $\text{MTBF} \geq$

2000 小时。技术就绪度 ≥ 7 级；制定相关国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

2.13 高端装备核心零部件多维度应力场测量平台

研究内容：建立多维度应力场测量平台，研究核心零部件多维应力场高准确度定量表征、加工误差与残余应力的映射方法；突破高动态运动系统超精密控制、声功能新材料性能调测与制备等关键技术；形成跨尺度/高空间分辨率应力场的现场在役测量与分析、高动态下的应力场测量与评估等试验能力。

考核指标：应力场现场测量平台：分辨力 $\leq 5\text{Mpa}$ 、不确定度 $\leq 50\text{MPa}$ ($k=2$)、空间分辨率 $\leq 10\text{mm}$ 、测量深度 $\geq 100\text{mm}$ ；应力场在役测量平台：分辨力 $\leq 10\text{MPa}$ 、不确定度 $\leq 100\text{MPa}$ ($k=2$)、水平向分辨率 $\leq 20\text{mm}$ 、垂向分辨率 $\leq 1\text{mm}$ ；应力场动态测量平台：测量分辨力 $\leq 10\text{MPa}$ 、不确定度 $\leq 100\text{MPa}$ ($k=2$)、空间分辨率 $\leq 50\text{mm}$ 、加速度覆盖 $6g\sim 10g$ 。技术就绪度 ≥ 6 级；形成国防军工、航空航天、高端仪器等 3 个以上领域的核心零部件应力检测规范与评价体系，建成后对外服务不少于 500 机时/年，并提供相关试验报告。

3. 应用示范类

3.1 航发燃烧室环形薄壁件多品种混线制造技术

研究内容：研究航发燃烧室环形薄壁件混线加工误差形性协同控制机理与多工位误差流传递机制等理论，突破毛坯铸锻形性一致性控制、特征驱动的零件加工工艺自动规划、车/铣复合加工

误差自适应补偿、薄壁零件加工残余应力调控、多品种混线生产智能协同管控等关键技术；研发车铣、铣车两类复合加工中心以及工艺自动规划、智能协同管控等系统；在航发燃烧室火焰筒和机匣等多品种环形薄壁件混线制造中应用验证。

考核指标：形成航发燃烧室环形薄壁件柔性制造示范线，实现火焰筒和机匣两大类 10 种以上零件混线加工，加工工艺规划时间 ≤ 15 天，换产时间 $\leq 1\text{h}$ ；研发车铣、铣车复合加工中心不少于 1 套，平均无故障运行时间 $\text{MTBF} \geq 3000\text{h}$ ，车铣复合加工中心重复定位精度 $\leq 5\mu\text{m}$ ，摆角轴定位精度/重复定位精度 $8''/5''$ ，铣车复合加工中心重复定位精度 $\leq 4\mu\text{m}$ ，摆角轴定位精度/重复定位精度 $6''/4''$ 。技术就绪度 ≥ 8 级；制定相关工艺标准 ≥ 4 项。

3.2 大型构件柔性加工检测一体化智能制造技术与装备

研究内容：研究智能化柔性加工工艺，突破加工装备动态精度主动调控、自感知与性能自持、大场景测量及激光视觉引导定位、振动抑制等关键技术；研发高效率智能化的中空电机驱动部件、五轴联动加工单元；研制移动式或可重构龙门桁架式柔性加工检测一体化智能制造装备，在飞机、航天器、核岛汽轮机或盾构机等装备大型结构件的原位加工中应用示范。

考核指标：研制移动式或可重构龙门桁架式柔性加工检测一体化混联加工装备 ≥ 2 台套，装备轴向刚度和侧向刚度 $\geq 1.5\text{N}/\mu\text{m}$ ，覆盖尺度 $3\text{m}\sim 6\text{m}$ 的多种大型结构件，空间测量精度 $\leq 80\mu\text{m}$ ，加工精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，被加工表面粗糙度 $\leq \text{Ra}1.6\mu\text{m}$ ，表面

载荷安装精度 $\leq 0.2\text{mm}$ ，表面凹凸量公差带 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ 。技术就绪度 ≥ 8 级；在航空、航天、核工业、盾构等领域不少于2家重点企业应用示范。

3.3 一体化承载式车身压铸成型工艺与装备

研究内容：研究新型免热处理高强韧压铸铝合金材料性能调控机理；突破多材料一体化车身多目标优化设计、超大型复杂薄壁压铸件模具/工艺、大型车身一体化压铸件与环境件连接等关键技术；研发新能源乘用车一体化结构件及其压铸成型工艺；研制超大型智能压铸成套装备，在新能源乘用车下车体等实现示范应用。

考核指标：新型免热处理高强高塑压铸铝合金材料抗拉强度 $\geq 270\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 135\text{MPa}$ ，伸长率 $\geq 12\%$ ；完成铝合金压铸下车体开发，对应传统钢板冲焊件减重不少于10%；完成超大型智能压铸装备开发，压铸单元最大锁模力 ≥ 10000 吨，最短建压时间 $\leq 28\text{ms}$ ；完成一体化下车体压铸件智能化示范产线建设，设计产能 ≥ 10 万件/年，下车体压铸件产品合格率 $\geq 90\%$ 。技术就绪度 ≥ 8 级；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 3 项。

3.4 超薄界面异质异构晶圆键合关键技术与装备

研究内容：研究金刚石与 GaN、SiC 与 InP/GaAs 等异质晶圆键合机理与方法；突破异质晶圆精确对位、原位表面等离子体活化、异质化合物材料键合等关键技术；研制对准模块、静电卡盘、键合台等核心零部件，研发异质异构晶圆键合设备；研制金刚石与 GaN 微波功率器件、SiC 与 InP/GaAs 光电器件等异质异构器

件；实现设备在超大功率雷达、舰载激光器关键电子器件制造中的示范应用。

考核指标：研制超薄界面异质异构晶圆键合装备，适用于 4~6 英寸金刚石与 GaN、SiC 与 InP/GaAs 异质异构晶圆键合。对准模块：对准精度 $\leq \pm 0.5\mu\text{m}$ ，工作真空度 $6 \times 10^{-5}\text{Pa}$ ，平均无故障运行时间 MTBF $\geq 2000\text{h}$ ；静电卡盘：吸附力 $\geq 25\text{gf/cm}^2$ ，平均无故障运行时间 MTBF $\geq 2000\text{h}$ ；键合台：温度均匀性 $\pm 1\%$ (100~500)°C，平均无故障运行时间 MTBF $\geq 2000\text{h}$ 。研制超薄键合界面器件，基于金刚石异质/异构集成技术的 GaN HEMT 器件热阻 $\leq 15\text{K}\cdot\text{mm/W}$ ，键合界面 (3~10) nm；4 英寸 SiC 基 InP PD 异质键合空洞率 $\leq 10\%$ 。技术就绪度 ≥ 8 级。

3.5 大尺寸超高真空分子束外延技术与装备

研究内容：研究大尺寸生长室高流导仿真设计等方法；突破大尺寸超高真空腔体设计与制造、高流导冷阱、大面积基片均匀加热、全自动高效率晶圆传输、高稳定大容量阀控裂解源炉等关键技术；研发大容量束源炉、大尺寸高均匀衬底架和高可靠快门等核心功能部件；研制大尺寸全自动分子束外延装备；开展外延薄膜材料生长工艺研究，制备 III-V 族化合物外延材料，在光电器件或相控阵雷达/5G 基站通讯用固态微波射频器件等方向应用示范。

考核指标：分子束外延装备产能水平 7×6"（兼容 3×8"、14×4"）；外延生长室极限真空 $\leq 5 \times 10^{-9}\text{Pa}$ ；生长室束源炉端口 \geq

12 个，III 族束源炉的束流稳定性 $\geq 99\%$ ；真空腔室间自动传片；快门使用寿命 ≥ 50 万次；衬底架最高加热温度 1000°C ，衬底温度均匀性 $\leq \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。外延片膜厚/组分非均匀性 $\leq \pm 1.5\%$ ；GaAs HEMT 材料二维电子气迁移率 $\geq 7500\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ （@300K）。技术就绪度 ≥ 8 级；制定相关企业或行业技术标准 ≥ 2 项。

浙江工业大学 zjgydx