

“高性能制造技术与重大装备”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

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。本重点专项的总体目标是：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，突破高性能制造前沿基础理论和共性关键技术，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、基础制造工艺及装备等，实施重大装备的集成示范应用，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，增强我国战略性高端产品和重大工程关键装备的核心竞争力。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持“需求牵引、整机带动、分步实施、重点突出”的原则，拟围绕高性能制造的基础前沿技术、共性关键技术、重大装备应用示范 3 个技术方向，启动 18 个指南任务。

1. 基础前沿技术

1.1 重大装备设计基础前沿

研究内容：研究性能/功能驱动的复杂装备机-电-液-智耦合设计理论与方法、材料-结构-组织-表界面一体化的高性能构件设计模型与方法、极端环境和复杂工况服役关键特性参数的表征与评价等重大装备及关键构件的设计新原理、新方法。

考核指标：形成典型高性能重大装备设计模型、理论与方法，并开发具有自主知识产权的设计软件和原理样机/系统，完成相关成果的技术验证，并在典型高性能重大装备或高性能构件的形性一体化设计中实现验证；明确发明专利等知识产权数量。

1.2 高性能基础件基础前沿

研究内容：面向轴承、齿轮、液压元件等基础件高性能服役需求，研究极端工况下接触界面动力学理论及服役性能调控方法、材料-结构-功能一体化的设计制造理论和方法、极端条件下的服役性能先进测试理论与方法等，为新型高性能基础件研发提供支持。

考核指标：形成典型高性能基础件的创新设计、制造、测试等基础理论、方法和支持工具，开发具有自主知识产权的新型基础件原理样件或装置，在典型高性能基础件制造中实现验证；明确发明专利等知识产权数量。

1.3 高性能制造工艺基础前沿

研究内容：研究高性能制造过程中的加工、成形、表面改性、焊接、装配等新原理与技术，重点突破难加工材料构件的高效精密加工、复杂结构形性协同成形、大差异异质材料高可靠连接/高强度焊接等新工艺。

考核指标：形成高性能加工、成形、表面改性、焊接、装配等创新理论方法，研发具有自主知识产权的制造新工艺，在典型关键零部件的高性能制造中实现验证；明确发明专利等知识产权数量。

2. 共性关键技术

2.1 耐高温抗腐蚀传动系统轴承

研究内容：研究轴承高温、腐蚀环境适配性设计方法；突破轴承自润滑与供油润滑技术、轴承高功率密度适应性技术、轴承高精度及长寿命关键技术、轴承性能及寿命试验验证技术等；研发耐高温、抗腐蚀环境传动系统轴承，建设基于工业性验证平台的轴承性能试验平台。

考核指标：研制耐高温抗腐蚀环境轴承，实现高速（ $\geq 20000\text{r/min}$ ）、重载（ $\geq 10\text{kN}$ ）状态下，轴承接触应力 $\leq 2500\text{MPa}$ ，轴承正常运行工作温度达到 300°C ，轴承 $d_m N$ 值 $\geq 2.3 \times 10^6\text{mm}\cdot\text{r/min}$ 。在 pH 值 3.5 ± 0.5 的酸性、盐雾环境下，轴承耐腐蚀等级达到 7 级以上。轴承的首翻期寿命 1800h，总寿命 3600h；技术成熟度达到 7 级以上，在重型无人机等领域得到应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2

项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.2 深海高可靠耐腐蚀齿轮箱

研究内容：突破深海装备齿轮箱可靠性及减振降噪设计、关键构件形性可控制造、基于深海环境的齿轮箱温压差等多物理场耦合、开放环境下防腐与密封、智能故障诊断及健康监测等关键技术，搭建深海装备齿轮箱模拟环境试验平台，研制深海装备齿轮箱。

考核指标：齿轮箱传动功率达到兆瓦级；设计寿命 ≥ 25 年、可靠度 $\geq 98.5\%$ ，空气噪声 $\leq 95\text{dB}$ ；齿轮箱抗腐蚀防护达到海洋腐蚀环境级（C5-M），密封耐压水深 $\geq 200\text{m}$ ，防腐及密封设计大修寿命 ≥ 5 年；深海环境综合模拟试验平台可满足兆瓦齿轮箱满负荷试验，具备模拟 200~300 米水深耐压、密封、浸泡等试验能力；开发齿轮箱智能在线监测系统，故障识别率 $\geq 80\%$ ；技术成熟度达到 7 级以上，在深海勘探开采装备上得到应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.3 内曲线低速大扭矩液压马达

研究内容：研究内曲线马达低速重载摩擦副的油膜承载特性、界面轮廓形貌设计方法、马达低速稳定性机理等，突破高效率配油系统设计、摩擦副材料及表面功能改性、内凸轮廓曲线轮廓精密加工等关键技术，开发界面参数评价与测试设备，研制内曲线低速大扭矩液压马达。

考核指标：内曲线低速大扭矩液压马达排量 5~20L/r；额定压力 28~35MPa；转速范围 0.5~100r/min；扭矩 15000~75000N·m；总效率 $\geq 85\%$ ；噪声 $\leq 77\text{dB}$ ；耐久性 $\geq 1500\text{h}$ ，且马达容积效率下降不超过 4%。技术成熟度达到 7 级以上，在大型舰船、掘进机等装备中得到应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.4 航空液压系统高性能密封件

研究内容：研究航空液压系统高性能密封件材料与性能评价技术与标准；突破高性能密封-主机系统协同设计、密封件高形状精度与高质量表面加工、可靠性评价等关键技术；搭建极端工况拟实基础试验平台；研发密封件生产过程典型工艺绿色化技术及装备；研制航空作动器、起落架等液压系统高性能密封件。

考核指标：航空液压系统高性能密封件工作压力 21~35MPa，工作温度 $-60^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，工作寿命 $\geq 3000\text{h}$ ，泄漏率 $\leq 0.2\text{mL}/1000$ 次往复循环；航空高性能密封系统设计软件 1 套；试验平台：最大工作压力 $\geq 56\text{MPa}$ 、最大往复速度 $\geq 15\text{m/s}$ ，工作温度 $-70^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。技术成熟度达到 7 级以上，在航空液压系统中实现应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.5 高速列车传动系统综合试验平台

研究内容：突破高速列车轮轨关系模拟、牵引动力能量

回馈、实车线路运行工况全参数模拟等技术，研发高速列车传动系统拟实综合试验平台；研究转向架用轴箱轴承、齿轮箱轴承、牵引电机轴承等高铁轴承综合试验方法及评价体系。突破高铁轴承试验大样本数据采集、分析与故障诊断、基于大数据的高铁轴承建模与优化设计等关键技术，模拟实车线路运行工况开展高铁轴承耐久性试验。

考核指标：建成 400km/h 速度级的高速列车传动系统综合试验平台，能量回馈技术节约试验能耗 80%以上，实现运行工况全参数模拟，替代检测实车路试考核，考核周期缩短 15 倍以上（不超过 8 个月）；完成不少于 15 种高铁轴承耐久性试验；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.6 高强极薄铜箔制造成套技术

研究内容：研究高性能铜箔微纳组织结构与性能关联关系及其调控机理；突破极薄铜箔电沉积、高抗拉高挠曲纳米孪晶组织极薄生箔制备、铜箔超低轮廓高剥离微粗化、硅烷偶联化表面处理、镀液成分监控、铜箔性能检测评价等全流程精准控制关键技术，研制极薄铜箔制造装备，制备极薄高性能铜箔。

考核指标：研制高性能铜箔制备成套装备，阴极辊直径 $\geq 2.7\text{m}$ ，铜箔宽幅 $\geq 1.35\text{m}$ ；极薄铜箔厚度 $\leq 4.5\mu\text{m}$ ，粗糙度 $\leq R_z 1.3\mu\text{m}$ ，面密度均匀性 $\pm 1\text{g/m}^2$ 以内，重量重复性 $\geq 97\%$ ；抗拉

强度 $\geq 460\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 4.5\%$ ，剥离强度 $\geq 1.2\text{N/mm}$ 。技术成熟度达到 7 级以上，在通信、新能源等领域应用验证。申请发明专利 ≥ 3 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

2.7 大型薄壁铝合金整体构件精确成形技术

研究内容：研究大型网格筋薄壁整体构件复合成形原理，突破多级网格筋成形几何连续性、成形精度控制、跨尺度组织性能均匀调控等关键技术，研制测量-规划-成形一体化制造技术与成套装备。

考核指标：研制大型薄壁构件精确成形装备，实现多级网格筋整体构件精确近净成形；筒体构件直径 $\geq 2000\text{mm}$ ，径厚比 ≥ 400 ，筋高壁厚比 ≥ 2 ，轮廓精度 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内；抗拉强度 $\geq 430\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 7\%$ ；与传统制造构件相比结构重量降低 10%以上，制造周期缩短 40%以上；技术成熟度达到 7 级以上，在运载火箭、空间站等应用验证；申请发明专利 ≥ 5 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 3 项。

2.8 超大规格 H 型钢高性能热轧成形技术

研究内容：构建超大规格 H 型钢的异形坯连铸、冷却控制、轧制规程、孔型设计等全流程生产工艺模型；突破温度场-应力场-应变场耦合作用的形性一体化调控技术；研制超大规格 H 型钢的连铸、轧制及精整成套装备。

考核指标：研制超大规格 H 型钢高效率热轧成套装备及控制系统，轧机轧制力 ≥ 3000 吨，生产效率提高 20%以上；

实现高度 1200~1600mm、宽度 300~500mm、屈服强度 420MPa 级的超大规格 H 型钢产品一体化成形；产品高度偏差 $\pm 0.5\%$ 以内，宽度偏差 $\pm 1.2\%$ 以内，弯曲度 \leq 长度的 1/1000；技术成熟度达到 7 级以上，在重要桥梁施工中应用验证；申请发明专利 ≥ 10 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

2.9 大尺寸钛合金结构高强韧焊接技术

研究内容：研究低熔蚀钛合金焊料原位合成机理，突破大尺寸钛合金结构焊接界面强韧化调控、界面温度自适应调控技术，研制大尺寸钛合金结构高可靠高效焊接装备。

考核指标：研制钛合金构件焊接设备，有效区尺寸 $\geq 1200\text{mm} \times 800\text{mm} \times 800\text{mm}$ ，温度控制精度 $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内；焊接构件尺寸 $\geq 1000\text{mm} \times 600\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，且焊后变形 $\leq 1\text{mm/m}$ ，脆化层厚度 $\leq 50\mu\text{m}$ ；结构耐压强度 $\geq 4\text{MPa}$ ，焊缝 450°C 高温强度不低于母材 80%；与传统工艺相比制造周期缩减 60%以上；技术成熟度达到 7 级以上，在重型舰船等应用验证；申请发明专利 ≥ 8 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 3 项。

2.10 冷冻砂型绿色铸造技术

研究内容：研究水基冷冻砂型复合成形机理及宏微尺度精准控制机制、水粘接剂低温喷射渗透和沉积固化多参数耦合机理；突破冷冻砂型浇冒口及浇道优化设计、冷冻砂型加工精度闭环控制及补偿、高温熔体和冷冻砂型界面瞬态热流

传导、大温度梯度下凝固组织转变和多尺度协调控制等关键技术；研制数字化冷冻砂型绿色成形装备。

考核指标：研制数字化冷冻砂型加工成形装备，有效成形尺寸 $\geq 1000\text{mm} \times 800\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，重复定位精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内；冷冻砂型水加入量 $\leq 5.0\text{wt.}\%$ （水与砂型重量的百分比），冷冻温度 $\leq -25^\circ\text{C}$ ，砂型透气性达到 70，砂型抗拉强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ ，抗压强度 $\geq 1.8\text{MPa}$ ，发气量 $\leq 18\text{mL/g}$ ；与传统砂型铸造相比，铸件性能提高 8%以上，有机粘接剂/固化剂含量降低 70%以上，型砂直接回收率 $\geq 90\%$ 。技术成熟度达到 7 级，在大型柴油发动机上实现应用验证；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 5 项。

2.11 Micro-LED 用新型 MOCVD 技术

研究内容：研究新型 MOCVD 设备的腔体设计、流场结构和外延生长机理，突破加热器温场均匀性提升以及实时调控、LED 外延片表面低颗粒度的硬件结构设计等关键技术，开发新型基于模型的温度控制系统、片盒到片盒传输的自动化取放片系统，研制大尺寸衬底上 Micro-LED 量产的高可靠性 MOCVD 外延设备。

考核指标：研制 Micro-LED 量产的高可靠性 MOCVD 外延设备，腔体控温范围 $450^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ ，温度控制精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内。设备能实现片盒到片盒传输取放片，平均开腔(PM)炉次 ≥ 50 炉次，设备稼动率 $\geq 90\%$ 。研制 6 英寸蓝宝石或硅衬底

上氮化镓基 Micro-LED 外延生长工艺及装备，实现 100mm×100mm 方片波长均匀性 (1σ) $\leq 0.6\text{nm}$ ，炉间波长均匀性 (1σ) $\leq 0.8\text{nm}$ ，颗粒度 ≤ 0.3 颗/cm² (颗粒尺寸 $\geq 0.3\mu\text{m}$ ，边缘去边 3mm)。技术成熟度达到 7 级以上，实现客户端生产应用；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 5 项。

3. 重大装备应用示范

3.1 深远海船舶大推力全回转推进器设计制造关键技术与装备

研究内容：研究深远海船舶大推力全回转推进器服役性能演变规律与设计方法；突破大推力全回转推进器高精度电液控制、变截面厚壁导流管多能场复合焊接控形控性、大型桨叶加工高表面完整性调控、伞齿轮高性能加工等关键技术；研发大推力全回转推进器高质高效大型导流管焊接、桨叶加工工艺与装备；自主研制大推力全回转推进器。

考核指标：导流管焊接总体变形量 $\leq 1.5\%$ ，接头强度系数 ≥ 0.9 ，桨叶疲劳寿命提高 30% 以上，桨叶-导管间隙 $\leq 0.5\%$ ；导流管焊接装备焊接速度 $\geq 1.5\text{m/min}$ ，桨叶加工装备铣削面型精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内，伞齿轮加工精度达到 ISO 4 级以上。研制 6000kW 功率级别及以上的船舶大推力全回转推进器，在深远海钻井平台、特种救援船或极地船舶等示范应用，推力 ≥ 65 吨，伞齿轮主传动效率 $\geq 95\%$ ，转舵控制精度 $\pm 1^\circ$ 以内，

转舵速度 $\geq 180^\circ/12s$ ，设计寿命 ≥ 20 年。申请发明专利 ≥ 10 项、软件著作权 ≥ 5 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 3 项。

3.2 深水海底钻井系统关键技术与装备

研究内容：研究深水海底钻井系统集成设计与布局优化方法，开展深水海底钻井系统总体方案、永磁电动钻具结构创新设计；突破钻井系统海底模块快速安装、下放回收、精准定位、紧急脱离等关键技术；研发深水海底钻井系统集成控制软件，研制深水海底钻井系统装备。

考核指标：深水海底钻井装备一套，设计工作水深 $\geq 1200m$ ，设计钻井深度 $\geq 400m$ ，井眼直径 $\geq 127mm$ ，海底目标井位定位误差 $\leq 1m$ ，永磁直驱电动钻具额定输出扭矩 $\geq 4000N\cdot m$ ；连续工作时长 $\geq 30h$ ；在海上工程示范应用；申请发明专利 ≥ 4 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

3.3 千米竖井硬岩全断面掘进机关键技术与装备

研究内容：研究深部地层岩体原位精细化探测与岩性识别方法、大体积硬岩高效机械破碎机理；突破竖井岩石-泥浆-压缩空气多相流垂直排渣、高效掘进与支护协同等关键技术；开发集中控制的撑靴与悬吊系统、新型破岩刀具与刀盘；研制千米竖井硬岩全断面掘进机装备。

考核指标：研制竖井全断面掘进机装备，适用于岩石抗压强度 $80\sim 150MPa$ ，承压 $\geq 10MPa$ ，掘进速度 $\geq 4m/天$ ；研制

高强度耐久性新型刀盘，连续工作进尺 $> 200\text{m}$ ；主轴 $\text{MTBF} \geq 15000\text{h}$ ；悬吊系统深度 $> 1000\text{m}$ ，重量 $> 1000\text{t}$ ；岩石破碎和垂直排渣速度 $> 25\text{m}^3/\text{h}$ 。在千米硬岩竖井工程示范应用，竖井深度 $\geq 1000\text{m}$ ，直径 $6\sim 12\text{m}$ ；申请发明专利 ≥ 5 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

3.4 第三代半导体高性能碳化硅单晶制备和外延工艺及成套装备

研究内容：建立大尺寸反应室热力学和动力学模型，突破高温真空低漏率、耐高温耐腐蚀材料及老化特性、中频热场精确控制和扩径生长、膜厚及表面形貌的高精度实时监控等关键技术，研制反应室及加热、大尺寸高效能碳化硅单晶生长、碳化硅高性能外延生长等关键装备，实现 6 英寸碳化硅单晶生长和外延装备的国产化和批量应用，推动第三代半导体产业发展。

考核指标：6 英寸半绝缘碳化硅单晶生长装备：最高温度 $\geq 2400^\circ\text{C}$ ，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内；控压精度 $\pm 1\%$ 以内；单晶生长速率 $\geq 1\text{cm}/100\text{h}$ ，单位能耗 $\leq 3500\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ 。6 英寸碳化硅外延装备：最高温度 $\geq 1700^\circ\text{C}$ ，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，温度不均匀性 $\leq 2^\circ\text{C}$ ，漏率 $\leq 1.0^{-9}\text{mbar}\cdot\text{L}/\text{s}$ ；平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ，平均修复时间 $\leq 8\text{h}$ ；衬底表面粗糙度 $\leq \text{Ra } 0.2\text{nm}$ ，外延片掺杂浓度不均匀性 $\leq 3\%$ ，最高生长速率 $\geq 50\mu\text{m}/\text{h}$ ，表面形貌缺陷密度 ≤ 0.5 个/ cm^2 。技术成熟度达到 8 级以上；申请

发明专利 ≥ 10 项，制定装备相关标准 ≥ 4 项；形成在 5G 通信、新能源汽车、空间抗辐射等领域应用 ≥ 10 台套。