

“高性能制造技术与重大装备”重点专项 2024 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

1 基础前沿技术

1.1 大型超结构波动行为调控理论与方法(基础研究类)

研究内容: 研究大型结构姿态-轨道-结构振动耦合动力学行为和结构波动行为, 研究基于等效时变负质量超结构的空结构波调控理论, 突破大型结构波动能量隔离、定向输运与低频宽带波吸收等关键技术, 形成大型空结构的整体和模块化单元设计方法, 研制典型空天线结构模拟样件, 并进行原理性试验验证。

考核指标: 形成大型超结构设计方法和设计软件, 可设计超结构尺寸 ≥ 200 m; 指定路径波传播非互易度 $\geq 50\%$, 指定路径能量耗散 $\leq 35\%$, 带隙频率 ≤ 50 Hz, 功能部件隔振频率 ≤ 5 Hz; 研制大型空结构缩比样件并开展试验验证: 结构尺寸 ≥ 15 m, 结构基频范围 0.1~1 Hz; 发表高水平论文 ≥ 3 篇, 申请发明专利 ≥ 5 项。

1.2 大面积柔性微纳功能结构制造理论与技术(基础研究类)

研究内容: 研究大面积聚合物微纳功能结构形性协同调控新原理与一体化制造基础理论, 提出大面积聚合物微纳功能结构连续无损赋形技术, 形成大面积微纳功能结构高精度赋形工艺; 提

出聚合物表面高硬度、高熔点无机层低温转化工序方法；在高铁、风电等领域开展应用验证。

考核指标：提出大面积柔性微纳功能结构形性协同调控新原理与一体化制造技术，研制大面积柔性微纳功能结构减阻样件：100 m²幅面尺寸成形加工时长≤2 h，弯曲曲率半径≤3 mm，幅面宽度≥0.5 m，无机层厚度≥30 nm，台阶覆盖率≥40%；在30~90 m/s风速范围内，最大减阻率≥8%；-60~120 °C条件下，微结构高度变化量≤10%；无机转化层界面粘附能≥1.5 N/cm。

1.3 大型镁合金构件高速整体挤压成形理论与技术（基础研究类）

研究内容：研究新型低成本镁合金高速挤压多级组织形成与织构调控机制，形成镁合金高速挤压成形缺陷控制方法，揭示大型构件型材高速挤压形性协同调控机理；突破高性能大型构件型材高速整体挤压成形关键技术，研制大型高速挤压装置，在汽车、国防军工等领域典型镁合金构件制造中试验验证。

考核指标：研发大型镁合金构件高速整体挤压装置，主缸最小速度0.20 mm/s、最大速度18 mm/s，最大挤压力≥50000 kN；挤压型材（密度≤1.78 g/cm³）截面最大幅宽≥500 mm，挤压速度≥3 m/min；抗拉强度≥250 MPa，屈服强度≥200 MPa，伸长率≥8%，腐蚀速率≤0.3 mm/年（3.5wt.% NaCl）；研制2种典型高速挤压镁合金样件，投影面积≥400mm×1200mm，在1000mm

长度直线度 $\leq \pm 1.5 \text{ mm}$ 。

1.4 微米级金属微球阵列定向沉积制备方法（基础研究类）

研究内容：研究无喷嘴约束的金属微滴定向沉积新方法，探明热力效应驱动下金属微滴自由喷射机理，揭示金属微滴高速飞行特性与动态演变规律，提出金属微滴沉积微球形性及界面行为调控方法；突破自由喷射金属微滴高稳定沉积、高精度对准、高效率排布等关键技术，研制微米级金属微球阵列无喷嘴定向沉积原型样机，在典型光电器件高密度互联金属微球阵列制造中试验验证。

考核指标：形成无喷嘴微球阵列定向沉积制备原理与技术，建立金属微滴喷射沉积工艺数据库 1 套，适用于纯铜、纯钨、金锡合金 3 种典型材料，微球最小尺寸 $\leq 5 \mu\text{m}$ ，尺寸偏差 $\leq 5\%$ ；研制金属微球阵列定向沉积原型样机 1 台，沉积幅面不小于 4 英寸，定位精度优于 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ ，沉积微球尺寸范围 $5\sim 50 \mu\text{m}$ ，对准精度优于 $\pm 1 \mu\text{m}$ ，效率 ≥ 1000 个/秒；制备光电器件高密度互联金属微球阵列样件 3 件，微球阵列最高密度 $\geq 10^5$ 个/ cm^2 、阵列面积 $\geq 10 \text{ cm}^2$ ，封装连接力学与电学性能优于现有植球工艺。

1.5 重载传动齿轮啮合表面服役性能感测与预测方法（基础研究类）

研究内容：研究重载齿轮表层接触滚-滑-弹宏观力学行为、服役过程中齿轮表层梯度微观组织演变行为及多维多尺度损伤

机制，揭示复杂外场条件下齿轮梯度表面结构与缺陷的动态演化规律，突破齿轮表层服役行为多元信息原位感测、表面梯度组织多维多尺度表征关键技术，建立齿轮失效模型与数据联合驱动的重载齿轮服役性能评估与寿命预测方法，在重载齿轮设计、制造、服役评估方面实现应用验证。

考核指标：提出多要素原位感测方法，服役过程中齿轮表面宏观参量原位感测信息种类 ≥ 3 类，其中感测最大应力 ≥ 2000 MPa；研发重载齿轮传动系统服役状态演化预测软件平台，修正的粘着磨损理论分析误差值 $\leq 7.5\%$ ；数模联合驱动的齿轮传动零部件服役寿命预测均方根误差 $\leq 3.3\%$ 。

1.6 精密电子表面焊装全工序调控理论与方法(基础研究类)

研究内容：研究精密电子制造表面焊装中锡印、点胶、贴装、焊接、检测等工序中焊接性能演化规律，构建基于数据驱动与机理建模混合的焊接质量与生产工艺参数关系模型；开展关键工艺参数辨识研究，提出基于多维动态数据的在线焊装质量预测方法；开发多层次网络环境下全工序工艺参数智能优化调控技术；在精密电子制造表面焊装中进行试验验证。

考核指标：形成焊装质量与生产工艺参数关系模型、在线焊装质量预测方法、全工序工艺参数智能优化调控技术；完成精密电子制造表面焊装全工序调控理论与方法试验验证，可协同调控的关键装备节点数 ≥ 10 个，数据采集节点数 ≥ 500 个，可预测表

面焊装质量问题 ≥ 10 种，焊装质量自动调控成功率达到 90%，换线至稳定生产时间降低 30%；申请发明专利 ≥ 5 项，发表高水平学术论文 ≥ 3 篇，申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

1.7 复杂环境下高端钻探装备虚实融合智能运维技术（基础研究类）

研究内容：研究大变速高负载等极限工况下高端钻探装备故障失效机理及表征图谱，建立物理感知受限下的虚拟传感监测理论，提出机电控耦合的钻探装备数字孪生模型构建方法，开发虚实融合的智能检测协同健康状态感知与异常预警技术，研发高端钻探装备智能运维系统样机，在深海钻井、深地钻探进行试验验证。

考核指标：形成钻探装备虚实融合智能运维算法模型库，分析算法不少于 50 个，异常预警准确率 $\geq 90\%$ ，诊断准确性 $\geq 85\%$ ；研发边缘智能监测终端 1 套，支持高频振动、电流、工艺参数等不少于 3 类；研发结构损伤电磁检测装置 1 套，异常检测分析准确率大于 90%；研制钻探装备虚实融合智能运维样机 1 套，在至少 2 个典型场景开展应用；申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 2 项。

1.8 多功能复合微型齿轮一体化设计制造方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究直驱、传动、传感多功能复合微型齿轮材料、

结构、工艺与性能的映射关系，提出多功能复合微型齿轮结构-功能耦合并行设计理论与方法；研究磁响应、自润滑、导电等不同功能材料异质融合机理，建立多材料按需定点设计数字模型；研究多功能复合微型齿轮一体化制造过程的形性演化规律，突破多功能复合微型齿轮形性协同一体化制造技术；研制安全鉴码器、微泵等器件用多功能复合微型齿轮样件，并开展试验验证。

考核指标：提出多功能复合微型齿轮结构-功能耦合并行设计理论与形性协同一体化制造技术，研制多功能复合微型齿轮样件：集成无线直驱、传动、传感等功能数量 ≥ 3 种，集成磁响应、自润滑、导电等功能材料 ≥ 3 种，尺寸 $\leq 3\text{ mm} \times 3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ ，密度 $\leq 3\text{ g/cm}^3$ ，微型结构特征尺寸 $\leq 20\text{ }\mu\text{m}$ ，角位移测量分辨率 $\leq 2^\circ$ ，无线直驱输出力矩密度 $\geq 1\text{ }\mu\text{N}\cdot\text{m/mm}^3$ ，多材料一体成形异质界面强度不低于母材的70%。

1.9 动力系统紧固连接装置故障诊断预警方法(基础研究类, 青年科学家项目)

研究内容：研究复合动态激励下紧固连接装置非线性动力响应特性及装配界面应力变化规律，建立紧固连接装置非线性接触动力学模型，阐明复杂动态载荷下紧固件失效机理，突破基于振动特征信号的非均匀分布式紧固件应力监测技术，搭建多模态数据驱动的复杂工况下紧固连接装置故障诊断预警系统，在风电、高铁等领域动力系统关键连接装置开展试验验证。

考核指标：提出复杂工况下紧固连接装置的故障诊断与预警方法；研制一套故障诊断预警试验平台：服役温度范围-40~200 °C，振动频率 ≥ 200 Hz，幅度 ≥ 1 mm；建立风电、高铁等领域动力系统关键紧固连接装置的非均匀分布式监测与故障诊断系统，单个紧固连接件应力衰退测量误差 $\leq 10\%$ ，可识别紧固连接装置的应力衰退、损伤、断裂及其耦合故障模式类别 ≥ 7 种，故障诊断准确率 $\geq 95\%$ 。

1.10 陶瓷基复合材料微结构功能表面设计制造理论与技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：揭示瓷基复合材料跨尺度微结构对高超声速飞行器边界层转捩的影响机理，建立转捩调控性能与微结构特征之间的关联关系，研究陶瓷基复合材料微结构功能表面设计制造基础理论，形成陶瓷基复合材料曲面构件的跨尺度微结构功能表面优化设计与高效低损伤精密加工方法，研制高超飞行器头锥模拟样件，开展风洞试验验证。

考核指标：形成陶瓷基复合材料微结构功能表面的设计制造理论与方法，研制具有跨尺度微结构功能表面的高超声速飞行器头锥模拟样件，构件尺寸 ≥ 500 mm，陶瓷基复合材料微结构形状精度优于 ± 0.01 mm，开展头锥模拟样件风洞对比试验，微结构头锥样件的转捩线前缘变化范围与典型特征长度比值 $\geq 5\%$ ，与光滑样件相比气动阻力减小 10%以上。

1.11 超临界二氧化碳润滑轴承设计制造理论与技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究超临界二氧化碳（S-CO₂）动静压混合润滑理论，揭示 S-CO₂ 润滑轴承内部湍流、传热、形变耦合效应与轴承性能形成机制，提出 S-CO₂ 润滑轴承结构-材料-界面-性能一体化设计方法，攻克 S-CO₂ 润滑轴承形性协同制造技术，研制高性能 S-CO₂ 润滑轴承样件，并开展试验验证。

考核指标：提出 S-CO₂ 润滑轴承形性协同设计制造理论与技术，开发 S-CO₂ 润滑轴承设计软件，研制 S-CO₂ 润滑轴承样件 2 件，最高转速 ≥ 20000 r/min，服役温度 ≥ 150 °C，最大承载 ≥ 50 kg，轴承寿命 ≥ 1000 h。

1.12 高刚度多自由度铰链设计制造理论与技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究多向复杂接触应力作用下铰链服役性能演变机理，揭示几何与承载力变形约束下的铰链动态精度演变规律，提出高承载多自由度铰链多轴共心保证方法，开发多自由度铰链无损装调技术，研制多自由度铰链，并在航空航天等重点领域高动态装备上进行验证。

考核指标：形成高承载多自由度铰链精密制造理论与技术，开发多自由度铰链：整体刚度大于 350 N/ μ m；服役寿命 ≥ 20000 h；X/Y/Z 方向转动角度 $\geq 90^\circ/45^\circ/360^\circ$ ；X、Y 向静载荷 ≥ 50 kN、Z

向静载荷 ≥ 20 kN，铰链中心点在各方向上的误差均小于 0.02 mm。

1.13 高陡度三维电磁结构自适应精密装配方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究高陡度三维不可展电磁结构的自适应自动精密装配基础理论，揭示高陡度三维辐射阵面高光反射成像误差抑制机理，突破大型三维多功能电磁结构跨尺度高精测量与精准定位、面向性能的自适应精密装配工艺优化与调控等关键技术，开发高陡度三维电磁结构自适应精密装配装置，并在新一代飞机的曲面蒙皮装配中试验验证。

考核指标：形成三维多功能电磁结构自适应精密装配技术及装置；三维辐射阵面上通孔、间隙等装配特征识别准确率 $\geq 99\%$ ，视觉位置测量精度优于 ± 10 μm ，力控精度优于 ± 0.1 N，装配双极化多功能曲面蒙皮样件 ≥ 200 mm \times 50 mm \times 50 mm 且曲率半径 ≤ 40 mm，装配效率优于 100 个特征/小时，在复杂力热服役环境下其相位一致性优于 15° ，幅度一致性优于 3 dB；申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

1.14 碳纤维复合材料构件原位固化方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究碳纤维复合材料构件电热耦合加热原位固化成型方法，揭示原位电热耦合效应下碳纤维-碳纳米管薄膜-树脂

固化与界面结合机理，探明电热效应与固化均匀性的影响因素及规律，开发碳纤维预浸料-碳纳米管薄膜布置与电流加载的匹配设计方法，形成碳纳米管薄膜原位电热固化的复合材料构件成型技术，并在典型变直径复合材料壳体样件制造中试验验证。

考核指标：形成碳纤维复合材料构件原位铺设碳纳米管薄膜电热耦合原位固化成型方法，研发典型变直径复材壳体样件，最大直径 ≥ 500 mm、长度 ≥ 500 mm；成型过程中壳体面内和厚度方向温度偏差均优于 ± 10 °C；与传统烘箱加热固化方法相比，原位电热固化成型复合材料的拉伸强度相当，固化能耗降低 $\geq 35\%$ ，固化效率提升 $\geq 20\%$ 。

2 高性能基础件

2.1 高速高负载磁悬浮轴承关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究高速磁轴承转子磁滞损耗机理、节能型多极独立高冗余磁悬浮轴承设计方法；突破高负载磁轴承流体脉动时变耦合高抗扰控制、高速磁轴承转子高频变频高效驱动、磁轴承变偏置电流分配策略与低功耗鲁棒控制等关键技术；研制高速高效磁悬浮轴承、高负载磁悬浮轴承，分别在高速空压机、透平真空泵等装备中应用验证。

考核指标：研制高速高效磁悬浮轴承，转速 ≥ 80000 rpm，效率 $\geq 99\%$ ，高速驱动变频器输出频率 ≥ 1500 Hz，低能耗鲁棒控制系统的能耗比差动驱动控制降低50%以上，在高速空压机上应用

验证，比无油螺杆压缩机能效 15%以上；研制高负载磁悬浮轴承，满载回转精度 $\leq 20 \mu\text{m}$ ，功率 $\geq 1.0 \text{ MW}$ ，在透平真空泵上应用验证，比水环真空泵节能 40%以上。申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

2.2 巨量微结构高稳定精密气浮轴承关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究气浮轴承高承载润滑机理与瞬稳态性能演化机制、高精度性能调控与形性协同设计方法、轴系稳定性评估与增稳抑振优化方法；突破巨量微结构材料制备与控形控性加工、气浮轴承高承载润滑与性能自适应调控、轴系高精度可控装配与调校工艺等关键技术，研制高稳定精密气浮轴承，在高端减薄抛光气浮轴和高稳定气浮载台上应用验证。

考核指标：开发巨量微结构气浮轴承性能预测、润滑控制和参数优化等功能设计软件；研制高稳定精密气浮轴承，转速 $\geq 4000 \text{ rpm}$ 、内径 $\geq 100 \text{ mm}$ 、径向旋转精度 $\leq 30 \text{ nm}$ 、轴向旋转精度 $\leq 20 \text{ nm}$ 、轴向刚度 $\geq 800 \text{ N}/\mu\text{m}$ ，轴向承载力 $\geq 2400 \text{ N}$ ，在高端减薄抛光机上装机应用，气浮载台盘面端跳 $\leq 0.5 \mu\text{m}$ 、平均无故障时间 $\geq 5000 \text{ h}$ ，满足 8 英寸 SiC 减薄抛光加工后局部厚度偏差 (LTV) $\leq 1 \mu\text{m}$ 、粗糙度 (Ra) $\leq 2 \text{ nm}$ ，单面去除 $100\mu\text{m}$ 时产能 (UPH) ≥ 15 片/h、等指标。申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

2.3 超精密陶瓷滚动轴承关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究宽温域、欠润滑、超高速等极端工况下陶瓷滚动轴承多界面系统的摩擦学行为与失效机理；突破陶瓷滚动轴承高可靠性设计、陶瓷组件高精度与高一致性的控形控性制造工艺、精密装配与服役性能评价等关键技术；研制超精密陶瓷滚动轴承，在超低温风洞压缩机、真空薄膜设备上应用验证。

考核指标：开发面向陶瓷滚动轴承的设计分析软件工具 1 套；研制两种以上不同型号的陶瓷滚动轴承，陶瓷轴承精度 $\geq P4$ 级，极限转速 $D_m N \geq 3.0 \times 10^6 \text{ mm} \cdot \text{r}/\text{min}$ ，使用寿命 $\geq 15000 \text{ h}$ ；搭建高低温拟实工况试验平台 1 套；在超低温风洞压缩机设备上应用验证，满足宽温域 $-150 \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$ 、转速 $\geq 8000 \text{ rpm}$ 、无油自润滑等工况要求；在真空薄膜设备上应用验证，满足宽温域 $20 \sim 400 \text{ }^\circ\text{C}$ 、真空度 $\geq 10^{-8} \text{ Pa}$ 、无油自润滑等工况要求。申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

2.4 耐高温干运转齿轮传动关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究高温环境下齿轮传动热弹耦合性能演化机理与齿轮干运转承载设计方法，突破热变形自适应性齿形设计、高强度齿轮钢抗回火组织调控、低热膨胀性干运转齿面改性/涂层制备、传动系统热态服役性能测试与评价等关键技术，研制耐高温干运转齿轮传动装置，在核电装备、高端航空装备等应用验证。

考核指标：开发极端工况齿轮传动系统设计分析软件，仿真

精度 $\geq 90\%$ ；研制耐高温干运转齿轮传动装置，服役温度 $\geq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，高温服役工况下齿轮热变形量 $\leq 3\%D$ ，齿面硬度下降 $\leq 2\text{ HRC}$ ，齿轮传动系统连续干运转时间 $\geq 40\text{ min}$ ，传动装置回程精度优于 $\pm 0.2^{\circ}$ ；搭建 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 齿轮热态服役性能试验平台；在核岛设备与航空飞行器等装备上应用验证 ≥ 3 台套。申请国家、行业或团体标准 ≥ 1 项。

2.5 高可靠双向机电传动行星减速器关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究双向机电传动精密行星减速器传动精度-传动效率-反驱能力-服役寿命多目标耦合设计理论、内齿轮复杂修形硬齿面车珩复合加工创成机制；突破内齿轮车珩复合高性能工具设计与制备、车珩复合加工装备制造及智能调控软件开发、车珩复合高效加工工艺等关键技术；研制双向机电传动高可靠精密行星减速器，在人形机器人、自动导引车等领域应用验证。

考核指标：开发双向机电传动精密行星减速器专业设计软件；形成内齿轮车珩复合加工装备、工具、工艺成套技术，内齿轮加工精度达到 GB/T 4-5 级，齿形/齿向形状误差 $\leq 3\text{ }\mu\text{m}$ ；珩磨轮齿形鼓形量偏差 $C\alpha$ 优于 $\pm 1.5\text{ }\mu\text{m}$ ；研制双向机电传动行星精密减速器，传动比 ≥ 30 ，传动误差 $\leq 2\text{ arcmin}$ 、回差 $\leq 2.5\text{ arcmin}$ ，传动精度保持性 $\geq 10000\text{ h}$ ，正向传动效率 $\geq 92\%$ 、反向 $\geq 85\%$ ，反驱力矩 $\leq 0.4\text{ N}\cdot\text{m}$ ，噪声 $\leq 52\text{ dB}$ ；在人形机器人关节、自动导

引车舵机等微小机电传动系统中应用验证；申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

2.6 高耐压全压差变载机械密封技术（共性关键技术类）

研究内容：研究适应高参数、变载工况机械密封摩擦润滑界面作用规律；突破高变压/大变速等机械密封自适应结构设计、低功耗机械密封摩擦端面织构与精密制造、全压差变载机械密封性能评价等关键技术；研制高耐压全压差机械密封样机，在海工装备、油气钻采设备等领域应用验证。

考核指标：研制全压差变载机械密封样机 ≥ 2 型，机械密封承受全压差 ≥ 15 MPa，密封摩擦功耗 ≤ 0.5 kW（轴径 ≥ 50 mm，转速 ≥ 2000 rpm），泄漏率 ≤ 20 mL/h，服役寿命 ≥ 4000 h；建立全压差变载机械密封性能测试试验系统，全压差 ≥ 20 MPa，功耗的测量精度优于 $\pm 1\%$ ；在海工装备的动力系统、油气钻采设备的集输装置等领域完成 $10\sim 15$ MPa范围的应用验证。申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

2.7 空间高压高功率密度伺服电机系统关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究空间极端环境对高压伺服电机系统的影响机理、“电-磁-热-机-材”近极限性能设计方法；突破伺服电机系统中空构型/驱控一体化及适应性装配工艺优化、稳定高效多机协同控制、空间环境服役特性表征评估与测试等关键技术；研制高压高

功率密度中空伺服电机系统，在空间太阳能装备上装机应用。

考核指标：研制高压高功率密度中空伺服电机系统，母线电压 DC ≥ 400 V，重量功率密度 ≥ 200 W/kg，体积功率密度 ≥ 1600 W/L，电机内外径之比 ≥ 0.6 ，额定负载下转速脉动 $\leq 2\%$ ；在温度 $-100\sim 150$ °C、真空度 $\leq 10^{-4}$ Pa、辐射剂量 $\geq 1.5\times 10^3$ Gy 模拟环境下伺服电机系统平均无故障时间 (MTBF) ≥ 10000 h。申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

3 高性能基础工艺

3.1 十米级高强环件整体近净成形技术（共性关键技术类）

研究内容：研究深空重型运载装备可复用大型铝合金与不锈钢关键环件的全流程多尺度结构演变和高强耐热极端服役性能生成机理；突破大型环件复杂成形界面跨尺度能量均匀传递及物质连续流变制造、残余应力与缺陷的检测及消减等关键技术；研发大型环件成形工艺与装备，研制铝合金和不锈钢两类大型复杂环件，形成大型环件可靠性评估及可重复使用寿命预测方法，实现高品质样件工程试验验证。

考核指标：形成超大型环件整体成形工艺装备 1 套，最大成形直径 ≥ 10 m、最大成形高度 ≥ 1.7 m；研制直径 10 米级铝锂合金和铝铜合金贮箱异形整体环件各 1 套、不锈钢贮箱薄壁（壁厚 ≤ 4 mm）环件 1 套，不圆度 $\leq 1\%$ ，铝合金投料减少 $\geq 30\%$ ；铝锂合金贮箱环件 -183 °C 低温比强度 ≥ 240 N·m/kg， 180 °C 屈服强

度 ≥ 400 MPa；铝铜合金贮箱环件 -183 °C 低温比强度 ≥ 190 N·m/kg， 180 °C 屈服强度 ≥ 250 MPa；不锈钢贮箱环件 -183 °C 低温比强度 ≥ 190 N·m/kg， 180 °C 屈服强度 ≥ 200 MPa；建立大型环件用铝合金与不锈钢的服役性能数据库及结构件的可重复使用评价方法，实现模拟载荷条件下重复承载 ≥ 20 次的工程化试验验证；申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 2 项。

3.2 变截面超高强梁类结构整体渐进冷成形工艺与装备（共性关键技术类）

研究内容：研究超高强钢变截面几何特征渐进冷成形过程的形性演变规律；突破超高强变截面梁类构件多维度成形协调控制、渐进成形高效建模、成形工具型面及路径优化等关键技术；研发变截面梁类构件整体渐进冷成形装备与产线；在新能源汽车变截面梁类构件制造中应用验证。

考核指标：研发变截面梁类构件整体渐进冷成形装备，最大成形力 ≥ 200 吨，截面调控自由度 ≥ 3 ，实现材料抗拉强度 ≥ 1500 MPa、单件长度 ≥ 1.6 m 变截面梁类构件整体成形；构件长度方向截面面积最大变化率 $\geq 20\%$ ，弯曲角度精度优于 $\pm 2^\circ$ ，外形尺寸轮廓精度优于 ± 1.5 mm/m，边波高度 ≤ 0.5 mm；建设产能 10~20 万米/年的渐进成形零件生产线，应用于 3~4 个汽车车型变截面超高强梁类结构的制造；申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 2 项。

3.3 等离子体高能束复合表面处理工艺及装备（共性关键技

术类)

研究内容：研究等离子体放电与高能束耦合机制、复合场状态下离子运动和分布规律、典型载荷条件下的表面防护结构设计、等离子体复合表面处理工艺与性能间的关系，突破等离子体与高能束协调匹配、高效金属渗层精确控制、表面处理均匀性控制等关键技术，研制等离子体高能束复合表面处理装备，在新能源汽车、流程工业装备及舰载武器等关键构件制造中应用验证。

考核指标：形成等离子体高能束复合表面处理工艺与装备，实现模具钢、不锈钢、钛合金等典型材料表面处理；最大选区处理面积 $\geq 1 \text{ m}^2$ ，等离子体密度 $\geq 10^{12}/\text{cm}^3$ ，脉冲电流 $\geq 5000 \text{ A}$ ；膜层厚度 $\geq 10 \text{ }\mu\text{m}$ ，均匀性 $\geq 90\%$ ，划痕结合强度 $\geq 40 \text{ N}$ ，硬度 $\geq 20 \text{ GPa}$ ，摩擦系数 ≤ 0.15 ，中性盐雾环境下 360 h 无明显腐蚀斑点，磨损率 $\leq 5 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$ ；建立复合表面处理工艺数据库，申请国家、行业或团体标准 ≥ 2 项。

3.4 高晶向性压电薄膜与金属电极沉积技术与设备（共性关键技术类）

研究内容：研究多物理场下压电薄膜与金属电极薄膜成膜机理，突破等离子体稳定性、大面积薄膜表面预处理及应力调控、薄膜成膜均匀性等关键技术，研发兼容多尺寸的集群式压电薄膜和金属薄膜沉积装备，在 5G 滤波器、智能传感器等领域的压电微机电系统（MEMS）加工中得到应用验证。

考核指标：形成高晶向性压电薄膜、金属电极薄膜沉积和表面预处理装备，集群式腔室数量 ≥ 5 个，兼容4、6、8英寸圆晶，真空度 $\leq 8 \times 10^{-8}$ Torr；沉积速率 ≥ 50 nm/min（AlN薄膜验证），预处理均匀性 $\leq 3\%$ （20 nm SiO₂薄膜刻蚀验证）；压电薄膜晶向性FWHM $\leq 1.5^\circ$ ， $g_{33} \geq 80 \times 10^{-3}$ Vm/N，厚度均匀性 $\leq 1\%$ ，应力 ≤ 200 MPa；技术就绪度 ≥ 8 级；申请相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

4 集成应用示范

4.1 大型重载掘进机主轴承性能与寿命试验平台（共性关键技术类）

研究内容：研究大型重载掘进机主轴承性能与寿命拟真试验、复杂载荷电液集成加载方法；突破试验台变工况监测及轴承载荷反求、性能评估、寿命预测等关键技术；研发主轴承性能与寿命试验平台，开发轴承运行状态智能化评测系统；建立主轴承服役性能试验数据库，在软土或硬岩隧道掘进装备主轴承性能考核试验中应用。

考核指标：研制主轴承性能与寿命试验平台，具备轴向、径向、倾覆加载能力，试验轴承最大直径 ≥ 8 m、种类 ≥ 3 种，最大加载力 ≥ 50000 kN，最大加载力矩 ≥ 100000 kN·m，无故障运行时间 ≥ 1000 h；开发主轴承运行评测系统，数据处理时延 ≤ 100 ms，振动、应力、温度等运行状态评估准确性 $\geq 85\%$ ；建立轴承

基础试验数据库；形成主轴承试验与评价方法，申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

4.2 风电机组传动链全功率智能测试平台(共性关键技术类)

研究内容：研究风电机组实际安装角度及风况下受到的各向时序载荷与试验平台多作动器之间的耦合机理，突破风电机组驱动动力学及动力仿真验证、风电机组五自由度载荷谱复合加载、叶片端低速大扭矩长寿命高响应驱动控制等关键技术，研制试验平台大功率低速直驱系统，开发 25 MW 级风电整机全功率智能测试平台，在 25 MW 风电整机全工况试验中应用验证。

考核指标：开发风电机组传动链全功率测试平台，最大驱动功率 25 MW，最大驱动扭矩 35 MN·m，最大驱动转速 11 rpm，试验台倾斜角度调节范围 6~10°。开发五自由度复合加载装置，X 向（轴向）、Y 向（侧向）、Z 向（垂直）最大加载力 ± 11 MN， M_y 向、 M_z 向最大加载弯矩 ± 90 MN·m，加载力测量精度优于 $\pm 0.2\%$ FS，加载力控制精度优于 $\pm 0.5\%$ FS，载荷谱模拟 RMS 精度 $\geq 95\%$ ；X 向、Y 向、Z 向最大位移 ± 50 mm，位移测量精度优于 $\pm 0.1\%$ FS，位移控制精度优于 $\pm 0.5\%$ FS；电网模拟输出侧容量 ≥ 90 MVA。形成风电机组在传动链试验平台上的试验方法及评价体系，申请国家、行业或团体技术标准 ≥ 1 项。

4.3 重特大森林火灾应急救援通道开辟装备及应用示范(应用示范类)

研究内容：突破高重心底盘作业稳定性控制、曲线齿轮滚磨一体化精密加工、大型高强钢异形承力构件小变形焊接、操作位姿变换自适应控制等关键技术，研发高通过性大马力底盘、大扭矩双功率流转向驱动桥、大扭矩全功率取力箱、多功能高耐久成套救援通道开辟属具等核心部件，研制大型高效应急救援通道开辟装备，开发智能化作业平台，在我国典型原始林区应用示范。

考核指标：开发高通过性大马力底盘，功率 ≥ 400 kW，最大爬坡能力 $\geq 32^\circ$ ，侧向稳定作业最大角度 $\geq 21^\circ$ ；转向驱动桥输入扭矩 ≥ 9 kN·m；取力箱曲线齿轮精度优于5级；大型承力构件焊接变形量 ≤ 0.5 mm/m，开辟属具功能 ≥ 5 种，作业宽度 ≥ 3 m；研发救援通道开辟装备：速度 ≥ 2.0 km/h，连续作业无故障时间 ≥ 1000 h；智能化作业平台响应时间 ≤ 2 s，在我国原始林区应用示范；申请行业/团体标准 ≥ 2 项。

4.4 新能源汽车热塑性复合材料构件绿色高效制造技术及装备（应用示范类）

研究内容：研究非极性热塑性材料与极性漆膜材料界面强化机制，开发热塑性复合材料构件制造过程综合排放评估与调控方法，突破热塑性树脂改性与在线混炼、热塑性复合材料混杂注塑成型、模内注射涂装以及多工序集成等关键技术，研制新能源汽车热塑性复合材料构件绿色高效制造成套装备，在新能源汽车制造中应用示范。

考核指标：形成热塑性复材构件绿色高效制造工艺，在线混炼纤维含量自动控制精度优于 2%，树脂注射精度优于 $\pm 0.1\%$ ，模压模具型面温度控制精度优于 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、重复定位精度优于 0.05 mm，玻纤热塑性复材双轴强度 $\geq 420\text{ MPa}$ ，模内注射涂装工艺综合能耗与排放降低 $\geq 50\%$ ；研制多工序集成制造装备，生产节拍 ≤ 25 秒/件，自动压装精度优于 $\pm 0.5\text{ mm}$ ，具备关键尺寸、零部件间隙和旋转动部件力矩检测功能；刹车踏板、控制臂、推力杆等热塑性复材主承力件成本不高于同类铝合金构件且重量下降 $\geq 15\%$ ，在不少于 5 种新能源汽车应用示范。

4.5 百米级轻量化智能臂架设计制造技术及装备（应用示范类）

研究内容：研究百米级超长柔性组合臂架的材料-结构-性能一体化设计方法，突破轻质高强材料整体成形、超高强钢薄臂箱型结构小变形焊接技术，研发整体成形与焊接装备，开发 100 米级高空作业装备及臂架作业智能控制系统，研制，在风电、桥梁、城市高层建筑等重大工程与基础设施的检修、维护、救援中应用示范。

考核指标：形成超长组合臂架轻量化设计制造方法，整车组合臂架长度/底盘桥数的比值 ≥ 21 ，与现有高强钢臂架相比减重 $\geq 10\%$ ；研发箱型臂架整体成形装备，单节臂架全长平面度 $\leq 2\text{ mm}$ ，每米直线度 $\leq 1\text{ mm}$ ；研制焊接装备，焊缝跟踪精度优于 $\pm 0.2\text{ mm}$ ，

随焊加热范围 ≥ 8 m；开发高空作业装备及臂架控制系统，整车臂架长度 ≥ 105 m，最大承载重量 ≥ 600 kg，整车臂架系统末端振动幅度 ≤ 400 mm；在风电、桥梁、城市高层建筑等重大工程与基础设施的检修、维护、救援等至少 3 个典型场景中应用示范。

南京航空航天大学 A000551