

“制造基础技术与关键部件”重点专项
2020 年度项目申报指南建议
(征求意见稿)

为落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》《国家创新驱动发展战略纲要》和《中国制造 2025》等规划，国家重点研发计划启动实施“制造基础技术与关键部件”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2020 年度项目申报指南。

1. 基础前沿技术类

1.1 先进轮毂电机轴承单元设计理论与方法

研究内容：研究同步轮毂电机轴承单元设计理论与方法；研究轮毂电机动态载荷传递路径及轴承动静刚度服役性能演变特性；研究轴承单元表面润滑增效与表面创成设计方法；研究轴承单元主动散热系统及热管理方法；研究轴承单元可靠性设计及性能评价。

考核指标：开发轴承单元设计方法及软件 1 套，研制轴承原理样机，研制轮毂电机轴承单元原理样机 1 台，最大扭矩 $\geq 800\text{Nm}$ ，平均温度 $\leq 100^\circ\text{C}$ ；轴承单元设计寿命 $1 \times 10^5\text{km}$ ，摩擦系数降低 20%以上，开展相关耐久性试验；申请发明专利

利 ≥ 3 项。

1.2 MEMS 高能量密度电池前沿技术

研究内容：研究硅基 MEMS 薄膜锂离子电池的电化学-力-热多场模型和多层膜材料参数在线提取方法；研究电极与电解质界面原位表征方法和低阻抗、高稳定界面构筑技术；研究高性能电池材料、结构、制备工艺与高可靠性封装技术；研制出硅基 MEMS 薄膜锂离子电池原型，在工业现场无线传感网节点试验验证。

考核指标：多层膜材料参数在线提取结果与实验结果对比误差 ≤ 15%；电池尺寸 ≤ 2mm × 2mm，能量密度 ≥ 2mWh/cm²；循环稳定性 ≥ 5000 次 @100% 放电；工作温度 -40°C~300°C；申请发明专利 ≥ 3 项。

1.3 光学元件亚表面缺陷原位测量基础理论与方法

研究内容：研究光学元件亚表面缺陷非接触无辐射原位显微测量原理与方法，缺陷测量误差与不确定度评估方法；突破亚表面层叠缺陷分离与定位、缺陷深度定位非线性补偿及动态校正、亚表面损伤评估等关键技术；研制光学元件亚表面缺陷原位测量样机，开展应用验证。

考核指标：可测最大面尺寸 ≥ 1000mm × 1000mm，横向分辨力 ≤ 150nm，深度定位精度 ≤ 1 μm，最大检测深度 ≥ 100 μm；缺陷检测识别率 ≥ 90%；申请发明专利 ≥ 5 项。

2. 共性关键技术类

2.1 高刚度超精密静压轴承关键技术

研究内容：研究静压轴承精准流固耦合与润滑技术；研究高刚度超精密静压轴承结构创新与轴承设计方法；研究高性能静压轴承关键性能测试技术；研究静压轴承支承精密运动部件系统集成方法与性能调控；原理样机在超精密数控机床、精密实验仪器或空间模拟器等高端装备中应用验证。

考核指标：研制出高刚度超精密静压轴承原理样机，轴承回转精度 $\leq 0.05 \mu\text{m}$ ，工作刚度 $\geq 150\text{N}/\mu\text{m}$ ；不同场景样机 ≥ 3 台；申请发明专利数 ≥ 3 项，制定技术规范 ≥ 2 项。

2.2 高端轴承状态监测与健康管理技术

研究内容：研究轴承监测大数据完备获取与质量保障技术；研究多源信息融合与运行状态动态监测技术；研究轴承故障信息智能表征与多故障模式深度识别技术；研究数模驱动的轴承服役寿命预测与性能评估技术；研发轴承故障诊断系统；在数控机床或风电等行业应用验证。

考核指标：开发轴承远程监控软件1套，具有早期故障预警、智能故障诊断、故障趋势预测、维修决策支持、动态备件管理等功能；早期故障监测的漏报率和误报率 $\leq 10\%$ ；典型故障确诊率 $\geq 95\%$ 。

2.3 高性能电机绝缘轴承技术

研究内容：研究高性能电机绝缘轴承优化设计方法；研究微米级精度的高密度绝缘涂层技术；研究镀膜工艺、带绝

缘涂层轴承套圈加工技术；研究轴承绝缘性能及寿命试验验证技术，开发相关试验装备；研究成果在轨道交通或风力发电机等上应用验证。

考核指标：轴承精度达到 P5 级；交流极限耐压值：50Hz， $\geq 2000\text{V}$ ；涂层最大冲击功 $\geq 5.4\text{J}$ ，工作温度范围： $-40^{\circ}\text{C}\sim+150^{\circ}\text{C}$ ；试验装备满足 50mm~100mm 内径轴承测试要求；轴承试验技术规范 ≥ 3 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.4 高温高压石化承压密封件性能检测评价关键技术

研究内容：针对高温、高压苛刻环境，研究密封性能演化机制及泄漏模型；研究密封件特征参量表征、性能检测及评价方法；研究典型密封件加速试验方法及寿命预测技术；研制密封件综合性能测试装置。

考核指标：研制出密封件综合性能检测装置，最高温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$ ，最高压力 $\geq 20\text{MPa}$ ，具备测试热态机械性能、密封性能、吹出性能等；密封件特征参数数据库涵盖密封件类型 ≥ 10 种；申请发明专利 ≥ 3 项，制定标准 ≥ 2 项。

2.5 高线速度轻量化齿轮传动系统关键技术

研究内容：研究高线速度齿轮传动系统动力学优化技术；研究传动系统正向设计方法、齿轮齿面高性能复合修形方法；研究传动系统油气混合润滑特性与强制润滑技术；研究高强度齿轮材料改性及表面强化技术；研究齿轮箱轻量化关键技术，在航空领域或透平机等重大技术装备应用验证。

考核指标：研制轻量化高速齿轮传动系统，重量较原有系统减轻5%以上，高线速度 $\geq 110\text{m/s}$ ，单级传动效率 $\geq 98.5\%$ ；申请发明专利 ≥ 2 项，制定技术标准或规范 ≥ 2 项。

2.6 高性能小模数齿轮传动设计制造关键技术

研究内容：研究高性能小模数齿轮传动系统正向设计及减振降噪关键技术；研究粉末冶金齿轮模具设计制造关键技术；研究小模数齿轮检测关键技术；研究小模数齿轮疲劳试验和评价技术，建立小模数齿轮材料疲劳强度基础数据库；在通信、机器人或其他装备中开展应用验证。

考核指标：开发小模数齿轮（模数 $\leq 1\text{mm}$ ）传动系统设计分析软件1套，传动类型 ≥ 3 种；齿轮成型精度达到国标7级；申请发明专利 ≥ 2 项，制定技术标准或规范 ≥ 2 项。

2.7 大型钛合金复杂结构件精密铸造技术

研究内容：研究大体积、高纯、高均质钛合金锭的感应熔炼控制技术；研究熔模精密铸造技术、缺陷形成机理与性能调控方法；研究铸造过程高精度有限元模拟与预测技术；研究短流程精密铸造和改性一体化绿色制造技术；在航空航天或航海等领域应用验证。

考核指标：典型钛合金薄壁铸造件轮廓尺寸 $\geq 2000\text{mm}$ ，70%区域的壁厚 $\leq 3\text{mm}$ ；变形量 $\leq 1.5\text{mm}/1000\text{mm}$ ，关键尺寸精度 $\leq \text{CT}6$ 级；表面粗糙度 $R_a \leq 3.2 \mu\text{m}$ ；抗拉强度 $\geq 900\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ；申请发明专利 ≥ 2 项。

2.8 基础制造热加工工艺数据库

研究内容：研究铸造、锻压、焊接、热处理等多种加工工艺数据获取方法；研发智能化全过程宏微观数值模拟与组织性能预测仿真平台，采集、整合工艺设计及计算数据，提供工艺设计数据分析及优化方案；建立基础制造工艺技术数据库，开发基于云服务数据共享平台。

考核指标：仿真平台 1 套；工艺技术数据库的数据子集 ≥ 60 个，数据量 ≥ 100 万条；云服务数据共享平台在机械或汽车等领域应用验证，其中 1 个行业覆盖不少于 2 种制造工艺。

2.9 大面积柔性衬底微纳传感器关键技术

研究内容：研究大面积柔性衬底设计和控调方法；研究有机柔性衬底功能结构图案化工艺，研究衬底上多种金属和介质薄膜一体化微纳集成制造；研究金属基柔性衬底成型技术，金属复合柔性衬底与敏感单元异质集成技术；研制高性能柔性应变、温度和加速度传感器，并在重大技术装备、工业机器人或轴承状态监测应用验证。

考核指标：柔性衬底直径 $\geq 100\text{mm}$ ；金属复合柔性衬底弯曲曲率半径 $\leq 20\text{mm}$ ，热膨胀各向异性比 1~3 可调；有机柔性衬底厚度不均匀性 $\leq 2\%$ ，图案分辨率优于 50nm，弯折可靠性 $\geq 10^6$ 次；应变灵敏度 $\geq 1.5\text{mV/V}$ ，温度测量误差 $\leq \pm 1.5\%\text{FS}$ ，加速度灵敏度 $\geq 100\text{mV/g}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

2.10 硅基气体敏感薄膜兼容制造关键技术及平台

研究内容：研究硅基 MEMS 气体传感器纳米敏感材料均匀涂覆工艺；研究薄膜材料热学特性测试技术；研究低功耗、阵列传感器单元加工技术；研究晶圆级传感器芯片封装测试技术；研究气体传感器设计、制造、封装等关键技术，实现应用验证。

考核指标：圆片直径 $\geq 150\text{mm}$ ；传感器持续工作功耗 $\leq 30\text{mW}$ ；气体传感器检测下限：硫化氢 $\leq 20\text{ppb}$ ，甲醛 $\leq 70\text{ppb}$ ，氢气 $\leq 50\text{ppm}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

2.11 硅基 MEMS 压电薄膜关键技术

研究内容：研究高声速高压电系数的掺杂工艺；研究压电薄膜制备工艺和薄膜特性测试技术；研究压电薄膜器件设计及制造技术；研制硅基 MEMS 压电薄膜射频谐振器 (FBAR)、滤波器、超声换能器，实现应用验证。

考核指标：压电薄膜最大厚度至少可达 $2\ \mu\text{m}$ ，厚度误差 $\leq \pm 0.2\%(1\sigma)$ ，薄膜应力 $\leq 150\text{MPa}$ ；谐振器优值 ($k_t^2 \star Q$) ≥ 200 ；滤波器带宽 $\geq 4\%$ 中心频率，插入损耗 $\leq 2.0\text{dB}$ ；超声换能器谐振频率 $\geq 10\text{MHz}$ ，灵敏度 $\geq 10\ \mu\text{V/Pa}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项，制定规范或标准 ≥ 3 项。

2.12 工业微纳传感器可靠性关键技术及测试平台

研究内容：研究微纳传感器芯片及封装材料和结构的力学、热学及力-电耦合特性等原位测试技术；研究材料特性、

工艺参数和器件结构对微纳传感器可靠性的影响；研究微纳传感器典型失效类型和故障分析方法；研究表征微纳传感器典型失效类型的特征测试结构和试验验证技术；研究加速老化试验方法和工业微纳传感器可靠性评价方法。

考核指标：多应力下微纳传感器退化机理模型 ≥ 5 个，可靠性模型误差 $\leq \pm 5\%$ ；测试平台真空高温环境下微结构振动频率分辨率 $\leq 0.1\%$ ，位移分辨率 $\leq 0.05\mu\text{m}$ ，温度分辨率 $\leq 0.1^\circ\text{C}$ ，空间分辨率 $\leq 3\mu\text{m}$ ；制定可靠性评价标准 ≥ 1 项，测试规范 ≥ 1 项。

2.13 液体检测微流控传感器与系统

研究内容：研究液体样本采集、预处理的微流体控制技术；研究基于适配体的高灵敏检测技术；研究微纳尺度热塑材料微流体芯片高速加工技术；研究材料表面功能化处理技术；研究微弱信号的电路处理设计技术；研发智能检测系统，开展环境现场的应用验证。

考核指标：传感系统同时可测化学需氧量、磷酸盐、氨氮、重金属等 8 项以上水质目标物，整机可便携应用，重金属离子检测限 $\leq 0.02\text{mg/mL}$ ；传感系统同时可测生物标志物数量 ≥ 15 种，蛋白标志物检测限 $\leq 0.1\text{pg/mL}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

2.14 高性能 MEMS 高温温度传感器关键技术

研究内容：研究薄膜温度传感器结构设计和加工工艺；

研究曲面衬底上薄膜材料热电特性、快速响应敏感单元设计技术；研究高温温度传感器设计、制造、测试以及耐腐蚀、抗老化等可靠性关键技术。研制高性能 MEMS 高温温度传感器，并在航空航天、石油化工或钢铁冶金行业应用验证。

考核指标：曲面衬底温度传感器测量范围 $-60^{\circ}\text{C}\sim 1800^{\circ}\text{C}$ ，误差 $\leq \pm 1.5\%FS$ ，响应时间 $\leq 10\text{ms}$ ；薄膜温度传感器测量范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，误差 $\leq \pm 0.4\%$ （ $400^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ），响应时间 $\leq 1\mu\text{s}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

2.15 高动态过程仪表及其原位校准技术

研究内容：研究生产过程仪表动态测量理论与方法；研究服役工况对仪表动态特性影响规律及动态性能评估方法；研究原位校准及动态测量不确定度评估方法；研制高动态流量、压力、控制阀等仪表及原位校准和性能评估辅助装置，在石化或油气运输等领域试验验证。

考核指标：建立高动态过程仪表动态测量不确定度评估方法；原位动态流量校准上升时间 $\leq 0.5\text{s}$ ，误差 $\leq 5\%$ ；原位动态压力校准频率 $\geq 2500\text{Hz}$ ，误差 $\leq 4\%$ ；高端控制阀压力检测误差 $\leq 0.3\%$ ，行程检测误差 $\leq 0.3\%$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

2.16 高性能光波探测器核心技术

研究内容：研究长波红外焦平面探测器、紫外光和可见光联合探测器，以及超表面太赫兹反射器的设计及制造方法；

研究探测器和反射器性能测试技术及装置；研制高性能长波红外探测器、紫外-可见 CCD 探测器和太赫兹光学反射器，在工业探测领域试验验证。

考核指标：红外探测响应波长范围 $10\ \mu\text{m}\sim 16\ \mu\text{m}$ ，峰值波长噪声等效温差 $\leq 15\text{mK}$ ，电流谱系统空间分辨率 $\leq 1.0\ \mu\text{m}$ ；紫外-可见 CCD 探测响应波长范围 $0.2\ \mu\text{m}\sim 1.0\ \mu\text{m}$ ，光响应非均匀性 $\leq \pm 3\%$ ；太赫兹光学反射相位覆盖 $\geq 270^\circ$ ，适用频段范围 $\geq 0.8\text{THz}\sim 1.7\text{THz}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

2.17 仪器仪表智能运维及性能测试平台

研究内容：研究仪器仪表状态参数动态监测、运行特征智能识别、故障表征、预测性维护等技术，研制仪器仪表智能运维平台；研究仪器仪表性能测试和评定方法、多应力可靠性仿真分析和试验验证、异构数据快速接入等技术，研制工业性试验验证平台，在典型流程行业应用验证。

考核指标：仪器仪表故障漏报率和误报率 $\leq 5\%$ ，产品性能衰减预测精度 $\geq 80\%$ ；平台具备温度、压力、流量、物位等 10 种以上典型智能工业仪器仪表性能和功能测试能力；可靠性数据库覆盖 50 种以上仪器仪表，数据量 100 万个以上；申请发明专利 ≥ 2 项，制定国际或国家标准 ≥ 3 项。

2.18 工控系统安全可信关键技术

研究内容：研究可信启动、动态度量 and 关键数据防篡改等工控系统安全可信基础理论与方法；研究云-边-端协同场

景下设备、控制、网络、数据、应用等的安全协同机制，建立智能网联安全架构下的工控安全风险评估方法和协同防护策略；在流程工业开展应用验证。

考核指标：建立 1 套面向工控系统主动免疫的可信计算体系架构；建立云-边-端协同体系下工控安全监测与态势感知方法；研发 3 种以上安全可信工业控制设备和系统样机。

3. 示范应用类

3.1 高性能减速器轴承关键技术及工业验证平台

研究内容：研究减速器轴承高精度及长寿命关键技术；研究轴承性能及寿命试验验证技术，开发相关装备；搭建工业性验证平台，开展系列产品的寿命、摩擦力矩、振动、温升等性能试验；在高精度机器人传动、高动态伺服系统等示范应用。

考核指标：RV 减速器轴承精度达到 P4 级，试验寿命 $\geq 7000\text{h}$ ；谐波减速器轴承精度达到 P4 级，试验寿命 $\geq 8000\text{h}$ ；平台具备 80mm ~ 260mm 内径轴承测试能力；申请发明专利 ≥ 3 项，制定标准或规范 ≥ 2 项。

3.2 阀口独立控制型大流量液压阀关键技术示范应用

研究内容：研究阀口独立控制型大流量液压阀构型与控制原理，研究压力、温度、阀芯位移等状态参数的高精度测量原理与集成化设计制造技术；研究阀口独立控制系统流量分配、负载适应性控制等技术，实现阀芯位移闭环及压力流

量复合控制，集成电控与总线通信模块；在工程机械或矿山设备等重载装备上实现示范应用。

考核指标：阀口独立控制型液压阀额定流量 $\geq 200\text{L}/\text{min}$ ，额定压力 $\geq 35\text{MPa}$ ，先导级频响 $\geq 15\text{Hz}$ ，耐久性试验次数 $\geq 1\times 10^6$ 次，申请发明专利 ≥ 3 项。

3.3 高压重载四象限液压泵关键技术示范应用

研究内容：研究高压重载四象限液压泵配流原理与机构设计技术；研究变排量机构高频响高鲁棒性控制技术；研究脉动抑制与减振降噪设计技术；研究高功率密度液压泵/马达旋转组件制造工艺和精密装配技术；研究能量高效回收与释放动态调节技术；在大型重载工程机械示范应用。

考核指标：高压重载四象限液压泵排量 $\geq 100\text{mL}/\text{r}$ ，额定压力 $\geq 35\text{MPa}$ ，响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，能量回收率 $\geq 50\%$ ，寿命 $\geq 8000\text{h}$ ，申请发明专利 ≥ 3 项。

3.4 多相介质高参数机械密封件关键技术示范应用

研究内容：研究超高转速干气密封气膜稳定性、窄端面槽型结构设计技术、智能监测与试验技术；研究端面密封混相润滑膜膜压特性、影响因素，表面膜改性及混相介质试验技术，在大型石化或海工装备等示范应用。

考核指标：干气密封转速 $\geq 40000\text{r}/\text{min}$ ，压力 $\geq 4\text{MPa}$ ，寿命 $\geq 8000\text{h}$ ；多相介质端面密封压力 $\geq 15\text{MPa}$ ，寿命 $\geq 10000\text{h}$ ，适用于气体含量 $0\sim 97\%$ ；申请发明专利 ≥ 4 项，制

定技术标准 ≥ 2 项。

3.5 高可靠齿轮箱关键技术示范应用

研究内容：研究能源装备齿轮箱的高可靠性设计方法；研究大功率行星传动功率多分流组合均载技术、高承载齿形设计与优化技术、组合动静压专用轴承新结构；研究齿轮箱试验与健康监测技术；在核电装备或其他能源装备示范应用。

考核指标：齿轮箱额定功率 $\geq 6000\text{kW}$ ，传动效率 $\geq 98\%$ ；示范应用 ≥ 3 套；申请发明专利 ≥ 2 项，制定试验与健康监测相关技术标准或规范 ≥ 2 项。

3.6 高性能锥齿轮传动关键技术示范应用

研究内容：研究弧齿锥齿轮传动系统动力学优化技术、啮合齿面宏微观主动设计与传动效率提升技术；研究锥齿轮复杂齿面高效切齿和精密磨齿数字化仿真及软件；研究锥齿轮疲劳寿命加速试验关键技术及装备，并在航空或车辆等领域示范应用。

考核指标：开发弧齿锥齿轮设计及加工软件1套；弧齿锥齿轮加工精度高于5级，传动效率 $\geq 96\%$ ；研制出疲劳寿命试验台1套；示范应用企业 ≥ 2 家；申请发明专利 ≥ 2 项。

3.7 模具高效清洁热处理技术示范应用

研究内容：研究模具真空热处理应力和变形演变规律、数值模拟技术；研究模具激光热处理强化和多层物理气相沉积（PVD）强化机理及基础工艺；研究大型汽车覆盖件模具

激光强化技术和装备；研究精密模具多元多层 PVD 镀膜技术及装备；在模具制造行业示范应用。

考核指标：大型汽车覆盖件模具激光强化淬硬层深 $\geq 0.5\text{mm}$ ，硬度 $\geq 800\text{HV}$ ；精密模具 PVD 镀膜硬度 $\geq 2500\text{HV}$ ，抗氧化温度 $\geq 1000^\circ\text{C}$ ；申请发明专利 ≥ 4 项。

3.8 细长孔零件化学气相沉积涂覆关键技术示范应用

研究内容：研究高温运行合金部件超长超细内孔化学气相沉积（CVD）渗层的催渗机理及动力学；研究高温合金超长超细内孔 CVD 涂覆关键技术与装备；研究涂层工艺对其组织结构、成分、厚度及热应力的影响机制和调控规律；研究涂层的抗高温氧化和热腐蚀性能，建立性能评价方法和技术标准；在航空发动机或燃气轮机等典型部件示范应用。

考核指标：高温合金 CVD 涂覆装备温度范围 $700^\circ\text{C} \sim 1050^\circ\text{C}$ ，压力范围 $5 \times 10^2\text{Pa} \sim 9 \times 10^4\text{Pa}$ ；部件涂层厚度 $\geq 10 \mu\text{m}$ ，涂层连续均匀，选择性涂覆效果 $\geq 95\%$ 。申请发明专利 ≥ 3 项，制定技术标准或规范 ≥ 2 项。

3.9 清洁切削成套技术与示范应用

研究内容：研究集成清洁切削成套工艺及智能化支持系统；研究高速干切削、微量润滑、油雾分离、低温冷却等与机床集成技术；开发新型环保切削液，研究切削液无害化回收处理技术；在航空航天或汽车等领域示范应用。

考核指标：微量润滑机床周边悬浮颗粒物浓度小于

0.5mg/m³；环保切削液寿命大于 1 年，实现近零排放；切削液无害化回收处理能力：切削液回收率 ≥ 90%，杂质及微生物去除率 ≥ 99%，浓度及 PH 值保持率 ≥ 95%；在 3 家以上企业完成批量典型零部件清洁切削工艺的示范应用；申请发明专利 ≥ 3 项，制定技术标准或规范 ≥ 2 项。

3.10 大型复杂高光零部件三维测量技术示范应用

研究内容：研究复杂高光零部件高速高精度三维测量方法；研究大尺寸弱纹理点云拼接、大尺寸小加工余量分析与优化、视觉辅助装夹与定位等技术；研制高速投射器件、三维测量和余量分析软件及工程化样机；在航空航天制造领域示范应用。

考核指标：复杂半透明/多次反光型面三维点云数据完整率 ≥ 99%；单视场测量时间 ≤ 1s，三维坐标测量不确定度优于 0.08mm@4m×2m×0.5m；具备虚拟划线和指导装夹定位能力；申请发明专利 ≥ 5 项，制定技术标准 ≥ 2 项。

3.11 高转速叶片在线故障监测与诊断技术示范应用

研究内容：研究重大装备高转速叶片典型故障表征、预测性维护模型、寿命预测等关键技术；研发传感器、信号处理与虚拟测量模块；研制叶片高转速的重大装备在线智能运维分析系统；在汽轮机或燃气轮机等重大装备示范应用。

考核指标：多型传感器响应带宽范围 200kHz~10MHz，最高耐温 1300℃；振动位移测量精度 ≤ 10 μm，振动频率测

量精度 $\leq 1\text{Hz}$ ；间隙测量精度 $\leq 1\%$ ；叶片故障预判准确率 $\geq 90\%$ ，寿命预测准确率 $\geq 80\%$ ，形成涵盖裂纹、碰摩、冲击等 5 种以上故障模型的数据库。申请发明专利 ≥ 3 项，制定标准或规范 ≥ 2 项。

3.12 智能控制设备安全一体化关键技术示范应用

研究内容：研究智能控制设备功能安全和信息安全一体化基础理论和方法；研究控制器安全和非安信道隔离通信协议、安全一体化控制与组态等技术；研究智能控制安全一体化风险评估建模、安全功能执行有效性和时效性测试等技术；研制安全一体化控制器，开发安全一体化测试工具和测试验证系统；在典型危险流程工业示范应用。

考核指标：安全控制器的功能安全完整性达到 SIL3 级，信息安全达到 SL2 级；系统整体诊断覆盖率 $\geq 90\%$ ，IO 单通道诊断覆盖率 $\geq 99\%$ ；支持安全和非安全输入输出模块，千兆以太网 IO 安全总线，以及工业互联网无线接入控制和通信加密；申请发明专利 ≥ 2 项，制定标准或规范 ≥ 2 项。

3.13 大型掘进机主驱动轴承关键技术示范应用

研究内容：研究硬岩隧道掘进机（TBM）和盾构机大直径主轴承多参数优化及可靠性设计方法；研究 TBM 和盾构机主轴承批量生产的精密加工、装配、动态性能测试等技术；研究 TBM 和盾构机主轴承的复杂工况环境适应性和安全运行关键技术；在 10m 级及以上 TBM 和 12m 级及以上盾构机

上开展示范应用。

考核指标: TBM 主轴承直径 $\geq 6\text{m}$, 轴向载荷 $\geq 2.5 \times 10^4\text{kN}$; 使用寿命 $\geq 15000\text{h}$; 盾构机主轴承直径 $\geq 6\text{m}$, 轴向载荷 $\geq 2 \times 10^4\text{kN}$; 使用寿命 $\geq 10000\text{h}$; 申请发明专利 ≥ 6 项。

3.14 大型掘进机主驱动密封关键技术示范应用

研究内容: 研究复杂掘进工况对掘进机大直径动密封性能的影响; 研究大直径密封的设计与精密成型技术; 研究大直径密封材料处理工艺技术; 研究大直径密封的工况模拟试验技术; 研究大直径密封状态监测技术及系统; 研制大直径密封产品, 在 10m 级及以上 TBM 或 12m 级及以上盾构机上开展示范应用。

考核指标: 密封产品配套掘进机直径 $\geq 10\text{m}$; 承压能力 0~1MPa; 使用寿命: 掘进长度 $\geq 4\text{km}$; 申请发明专利 ≥ 3 项, 制定技术规范 ≥ 1 项。

3.15 大型掘进机行星减速器关键技术示范应用

研究内容: 研究大型掘进机高功率密度行星齿轮减速器设计方法; 研究地质载荷耦合冲击振动等极端环境下的可靠性技术; 研究掘进机刀盘—减速器—动力源多场耦合系统动力学特性; 研究大型掘进机行星齿轮减速器零部件制造工艺、试验技术与装备, 并在 10m 级及以上 TBM 或 12m 级及以上盾构机上开展示范应用。

考核指标: 减速器功率 $\geq 350\text{kW}$; 单级传动效率 $\geq 98\%$;

使用寿命 $\geq 10000\text{h}$ ；环境适应温度 $-30^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ ；装机台套数 ≥ 10 台，申请发明专利 ≥ 2 项。

3.16 掘进机液压泵和马达关键技术示范应用

研究内容：研究高压大排量液压泵/马达配流盘卸荷槽设计、滑靴柱塞封包、缸体成型、液压元件摩擦副表面处理、变排量控制等技术，研制高压大排量液压泵和马达，在 TBM 或盾构机上开展示范应用。

考核指标：液压变排量轴向柱塞泵排量 $\geq 750\text{mL/r}$ ，额定工作压力 $\geq 35\text{MPa}$ ，额定转速 $\geq 1800\text{r/min}$ ；液压变排量轴向柱塞马达排量 $\geq 500\text{mL/r}$ ，额定工作压力 $\geq 35\text{MPa}$ ，额定转速 $\geq 2000\text{r/min}$ ；变量控制方式：电控/液压控制；平均无故障运行时间 $\geq 2000\text{h}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

3.17 大型掘进机关键部件监测诊断关键技术示范应用

研究内容：研究恶劣环境下轴承、密封件、减速机和液压元件等关键部件运行状态在线传感、参数辨识、多信息融合故障诊断等技术，研制多型传感器、信号调理与处理模块、相关软件和数据库；研究掘进地质成分动态监测技术，开发在线分析装备；在 TBM 或盾构机上开展示范应用。

考核指标：主驱动密封温度测量范围 $-35^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，温度测量精度 $\leq \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，磨损量检测分辨率 $\leq 20\mu\text{m}$ ；主轴承游隙测量精度 $\leq 5\%\text{FS}$ ；盾尾密封油脂压力测量范围 $0\sim 6\text{MPa}$ ，综合精度 $\leq 0.5\%\text{FS}$ ；使用寿命（掘进长度） $\geq 4\text{km}$ ；出渣成

分含量分析误差 $\leq 10\%$ ；申请发明专利 ≥ 4 项，制定标准或规范 ≥ 2 项。