

## 附件 2

# “制造基础技术与关键部件”重点专项

## 2021 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》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，现提出 2021 年度项目申报指南建议。

### 1. 基础前沿

#### 1.1 滚动轴承基础物理参数检测技术

**研究内容：**研究滚动轴承润滑性能检测原理与技术；研究滚动轴承旋转组件温度检测原理与技术；研究滚动轴承内部游隙及受力状态检测原理与技术；滚动轴承基础物理参数检测技术在高端轴承设计及服役中应用验证。

**考核指标：**研制出真实工况条件下轴承的油膜厚度与分布、旋转组件温度、轴承内部游隙及受力状态的检测装置；油膜厚度测量范围  $0.1\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$ ，分辨率优于  $0.1\mu\text{m}$ ；运转条件下轴承内外套圈、保持架的温度测量精度优于  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，测量转速不低于  $30000\text{r}/\text{min}$ ；运行状态下力测量精度优于

$\pm 1\%FS$ ; 申请发明专利 $\geq 3$ 项。

## 1.2 滚动轴承装配基础与智能装配方法

**研究内容:** 研究滚动轴承组件装配工艺对服役性能影响机理, 滚动轴承装调工艺对转子系统服役性能影响机理; 研究滚动轴承组件/转子系统装配工艺参数优化方法与软件系统; 研制针对滚动轴承组件/转子系统装调过程, 具备精准检测、自动调整、自适应压装的智能装配原理验证系统。

**考核指标:** 考虑滚动轴承装调工艺参数的轴承服役性能仿真预测准确率  $> 70\%$ ; 装配工艺参数优化软件可实现轴承组件最优选配、装调载荷、装调相位、连接载荷等参数精准计算; 滚动轴承智能装配工艺装置装配过程力载荷检测与控制精度优于  $\pm 0.5\%FS$ ; 位移测量与调控分辨率优于  $0.2\mu m$ ; 申请发明专利 $\geq 3$ 项。

## 1.3 高功率密度液压元件摩擦副寿命预测与延寿设计

**研究内容:** 研究液压元件摩擦副的多尺度多自由度动力学特性、固-液-热多场耦合建模理论; 研究摩擦副间隙油膜关键参数原位测试原理; 研究高速重载摩擦副性能退化规律和典型损伤机理, 建立界面累积损伤和元件性能动态劣化评估模型; 研究新型摩擦副调控延寿设计方法, 并开展相关试验验证。

**考核指标:** 2种以上液压元件摩擦副油膜性能分析与动态演化仿真软件各1套, 仿真精度 $\geq 85\%$ ; 液压元件摩擦副

油膜参数分布式测试装备 1 套；申请发明专利 $\geq 2$  项。

#### **1.4 高性能液压阀性能在线监测与智能控制**

**研究内容：**研究液压阀口的冲蚀磨损及阀芯卡滞机理与演化规律；建立多维融合感知的液压阀性能衰退与预测模型；研究电液控制阀服役过程的实时补偿技术，开发具有性能监测和故障诊断功能的可编程集成控制器；研制高可靠智能型电液控制阀样机并通过测试验证。

**考核指标：**高可靠智能型电液控制阀样机 2 种以上；平均故障间隔时间 $\geq 10000\text{h}$ ，控制精度 $< 0.1\%$ ，典型故障检测类型 $\geq 5$  类，识别率 $\geq 80\%$ ；具备 IO-link 总线通讯接口的位置轴控精度不低于 1%FS；申请发明专利 $\geq 3$  项。

#### **1.5 齿轮传动系统多维信息感知及智能运维基础研究**

**研究内容：**研究传动/感知/控制等深度融合的智能化齿轮传动系统，探索传动系统全生命周期内齿面损伤、应力、温度、振动等多维信息的监测新方法；研究齿轮传动系统多维信息的故障自诊断及自适应调控等智能运维机制；研究齿轮传动系统服役性能及残余寿命的智能预测方法。

**考核指标：**齿轮传动系统智能感知及智能运维验证系统 1 台套；具备传动系统内部应力、温度、振动及齿面损伤等监测功能，综合监测精度优于 5%；具备智能运维功能，故障自诊断正确率不低于 80%；申请发明专利 $\geq 3$  项。

#### **1.6 基于二维材料的柔性应变传感器阵列**

**研究内容:** 研究基于二维材料的柔性应变传感器敏感材料的性能调控方法和微观机理; 研究与微纳加工、印刷工艺兼容的应变敏感材料、传感器结构、可靠性及封装技术, 以及柔性应变传感器阵列的加工方法; 研制应变传感可穿戴集成系统原型, 在工业或人体表皮进行长期连续监测验证。

**考核指标:** 传感器应变系数 $\geq 500$ , 拉伸性 $\geq 50\%$ , 最低检测限 $\leq 0.08\%$ , 循环稳定性 $\geq 50000$ 次@5%应变, 响应时间 $\leq 50\text{ms}$ ; 阵列性能离散性 $\leq 5\%$ ; 申请发明专利 $\geq 3$ 项。

### **1.7 高灵敏磁电阻传感器基础研究**

**研究内容:** 研究高灵敏磁电阻传感器敏感材料、原理和结构; 研究低噪声磁性多层膜结构材料; 研究磁电阻-微机电和磁电阻-超导一体化调制效应的影响机理; 研究高灵敏磁传感器芯片制造工艺; 研究传感器的噪声抑制、磁通汇聚、三维集成、封装等关键技术; 研究传感器 ASIC 芯片设计; 研制原型器件, 并在工业现场试验验证。

**考核指标:** 磁传感器灵敏度优于  $200\text{mV/V/Oe}$ , 量程 $\pm 100\mu\text{T}$ , 功耗 $\leq 100\text{mW}$ , 本底噪声 $\leq 1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{Hz}$ ; 申请发明专利 $\geq 3$ 项。

### **1.8 高灵敏 MEMS 三维电场传感器**

**研究内容:** 研究高灵敏 MEMS 三维电场传感器的敏感机理和结构; 研究三分量电场耦合干扰抑制方法及高精度测量方法; 研究传感器制备工艺、抗表面电荷积聚封装等关键

技术；研究传感器弱信号检测方法，研制出传感器原型，并在工业现场试验验证。

**考核指标：**传感器测量范围 0~100kV/m；单分量电场分辨力优于 1V/m；轴间耦合度 < 5%；准确度优于 5%；传感器敏感结构尺寸 ≤ 12mm×12mm；申请发明专利 ≥ 3 项。

### 1.9 硅基厚金属膜制造工艺基础

**研究内容：**研究硅基 MEMS 厚金属膜工艺兼容性技术；研究高质量厚金属膜材料力学性能匹配技术、工艺和原位测试技术；研究硅基厚金属膜微结构释放技术，开发基于硅基 MEMS 厚金属膜的原型器件。

**考核指标：**圆片直径 ≥ 150mm，金属膜厚度 ≥ 5μm，厚度误差 ≤ ±3%；MEMS 继电器负载电流 ≥ 500mA，接触电阻 ≤ 500mΩ，开关寿命 ≥ 10<sup>6</sup> 次；申请发明专利 ≥ 3 项。

## 2. 共性关键

### 2.1 分布式独立电液控制系统关键技术

**研究内容：**研究典型非道路移动机器的电液控制系统构型原理与参数优选方案；研制集成化一体化的电液控制执行机构；开发硬件在环仿真和试验测试系统，研究全局功率匹配和高效能量管理方法；研究分布电液控制系统的高动态泵阀复合控制技术，并开展相关试验验证。

**考核指标：**分布式电液控制执行机构 1 套，整机燃油消耗降低 40%；分布式电液控制系统能效分析与优化设计软件

1 套；总线型数字式综合控制器 1 套，流量控制误差 $\leq 2\%$ ；模拟测试系统平台 1 套；申请发明专利 $\geq 2$  项。

## 2.2 工业测控高精度硅基压力传感器关键技术

**研究内容：**研究差压、表压和绝压高精度压力传感器芯片设计制造关键技术；研究硅基 MEMS 加工应力控制方法与传感器高可靠封/组装技术；研究宽温区温度补偿校准方法，实现系列化压力传感器在流程工业、装备工业等重点领域应用验证。

**考核指标：**差压传感器量程 0.015MPa，非线性误差 0.3%FS，迟滞 0.05%FS，工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ；表压传感器量程 0.5MPa，非线性误差 0.2%FS，迟滞 0.05%FS，工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ；绝压传感器量程 3MPa，准确度 0.02%FS，工作温度 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ；高温压力传感器量程 2MPa，准确度 0.25%FS，工作温度 $-55^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，响应频率 $\geq 400\text{kHz}$ ；压力变送器准确度 0.05%FS；申请发明专利 $\geq 5$  项。

## 2.3 工业机器人减速器状态监测传感器关键技术

**研究内容：**研究薄膜应变传感器在机器人减速器部件表面上的原位集成工艺、设计制造及可靠性技术；研究适应减速器内部环境的无线应变传感器设计制造及测量技术；研究 MEMS 薄膜声发射传感器设计制造及可靠性技术；研制的传感器在谐波减速器和 RV（旋转矢量）减速器应用验证。

**考核指标：**谐波减速器应变传感器灵敏度因子 $\geq 1.5$ ，TCR

(电阻温度系数)  $\leq 110\text{ppm}$ , 线宽  $\leq 10\mu\text{m}$ @曲率半径  $62.5\mu\text{m}$  基底; RV 减速器无线应变传感器测试范围  $0\sim 1000\mu\epsilon$ , 误差  $\leq \pm 1\%$ ; 声发射传感器工作频率范围  $40\text{kHz}\sim 400\text{kHz}$ , 灵敏度优于  $60\text{dB}$ ; 申请发明专利  $\geq 3$  项。

## 2.4 开放式数控系统安全可信技术

**研究内容:** 研究开放式数控系统协议安全、密码资源管理、数据安全等应用技术; 研究数控系统密码应用、身份管理及管理平台等关键技术; 开发与数控系统融合的可信密码控制模块; 构建可信度量、可信验证、信任链传递方法等数控系统安全可信体系结构及标准规范; 在航空航天、装备制造等领域开展安全可信数控系统的应用验证。

**考核指标:** 可信密码模块符合 GMT 0028-2014 《密码模块安全技术要求》, 加/解密时延  $< 1\text{ms}$ ; 基于可信密码模块的安全数控系统对程序、数据和功能具有不少于 8 个级别的存取权限; 数据传输加解密吞吐率  $\geq 100\text{MB/S}$ ; 可信互操作协议支持数控装备互联互通等协议  $\geq 3$  种; 制定标准规范  $\geq 3$  项。

## 2.5 智能网联工业控制安全一体化增强技术

**研究内容:** 研究智能网联工业控制安全一体化风险多重耦合机理、失效判定方法及入侵/故障检测技术; 研究实时状态分析、动态风险预测和智能决策支持技术; 研究设备安全增强的信息模型和数据接入方式; 研制工业控制安全一体化

增强装置，在重大装置、流程工业等开展应用验证。

**考核指标：**增强装置 2 套，支持工业协议 $\geq 6$  种，具备关键安全指标在线分析、动态适配和协同性验证功能；知识库和算法库 $\geq 5$  类；具备功能安全完整性 SIL3、信息安全 SL2 的仪表和控制设备 $\geq 3$  种；制定标准规范 $\geq 2$  项。

## 2.6 典型流程工业信息安全防护关键技术

**研究内容：**研究工业互联网架构下典型生产过程和装置的攻击脆弱性机理及响应机制；研究内嵌工业特征的信息安全防护关键技术；开发智能型安全防护原型系统；搭建测试验证平台，并在石油、化工等典型流程工业开展应用验证。

**考核指标：**可配置、可移植的智能型信息安全防护原型系统 2 套，支持工业协议 $\geq 6$  种；功能安全完整性等级 SIL2，信息安全等级 SL2；申请发明专利 $\geq 5$  项，制定标准规范 $\geq 2$  项。

# 3. 示范应用

## 3.1 动力系统关键传感器开发及示范应用

**研究内容：**研究集成式多路电压传感器设计、高低压可靠隔离、高压切换开关及高精度模数转换技术；研究宽量程电流传感器芯片设计及可靠性技术；研究高精度电机位置传感器薄膜材料工艺、设计及制造技术，开发信号调理电路；开发传感器及模块应用技术，在电动汽车等领域示范应用。

**考核指标：**多路电压传感器最高检测电压 $\geq 1000\text{V}$ ，电



压检测精度 $\geq 0.5\%$ ，采样率 $\geq 1\text{MHz}$ ，分辨率 $\geq 12\text{ Bit}$ ；电流传感器直流量程 $\pm 1000\text{A}$ ，精度 $0.1\%$ ；电机位置传感器转速范围 $0\sim 30000\text{r/min}$ ，分辨率 $\geq 16\text{ Bit}$ （ $360$ 度角度范围），系统延时 $\leq 2\mu\text{s}$ ；检测高压母线电流，功能安全等级 $\text{ASIL B}$ ；传感器可靠性水平满足用户单位要求。

### 3.2 动力电池组控制安全传感器开发及示范应用

**研究内容：**研究动力电池组单体电压与温度检测方法，高速高精度模数转换及多芯片扩展技术；研究电池热失控的压力、VOC（挥发性有机化合物）、气溶胶等传感器设计制造技术；开发传感器及模块应用技术，在电动汽车等领域示范应用。

**考核指标：**单体直流电压监测范围 $\pm 5\text{V}$ ，测量精度优于 $\pm 2.5\text{mV}$ ；热失控监测传感器压力测量范围 $50\text{kPa}\sim 250\text{kPa}$ ，误差 $\leq \pm 1.5\text{kPa}$ ；VOC传感器检测气体成分包括： $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{CH}_2\text{O}$ 有机挥发物，测量范围 $0\sim 5000\text{ppm}$ ，误差 $\leq \pm 15\%$ ；气溶胶传感器测量范围 $200\mu\text{g}/\text{m}^3\sim 5000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，误差 $\leq \pm 15\%$ ；整机安全：防止乘客仓起火 $\text{ASIL D}$ ，防止人员触电 $\text{ASIL D}$ ；传感器可靠性水平满足用户单位要求。

### 3.3 医疗影像装备关键传感器开发及示范应用

**研究内容：**研究SiPM（硅基光电倍增管）辐射传感器设计制造；研究磁栅位置传感器设计制造及抗辐照技术；研究强磁场背景下高分辨磁场传感器设计制造技术；研究传感

器敏感元件与相关抗辐照调理电路设计；研制的传感器在 CT（断层扫描仪）、PET（正电子发射断层成像）、RT（影像引导放疗）或 MR（磁共振）等医疗影像装备示范应用。

**考核指标：**辐射传感器光子探测效率 $\geq 50\%$ ，增益 $\geq 2.5 \times 10^6$ ；磁栅位置传感器分辨力 $\leq 1\mu\text{m}$ ，抗辐照能力 $\geq 100000\text{cGy}$ ；磁场传感器分辨率 $\leq 10\mu\text{T}@1.5\text{T}$ ，灵敏度优于 $30\text{nT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；上述传感器至少在 2 类医疗影像装备上示范应用；传感器可靠性水平满足用户单位要求。