

附件 7

“制造基础技术与关键部件”重点专项

2018 年度项目申报指南

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 2018 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：以高速精密重载智能轴承、高端液压与密封件、高性能齿轮传动及系统、先进传感器、高端仪器仪表以及先进铸造、清洁热处理、表面工程、清洁切削等基础工艺为重点，着力开展基础前沿技术研究，突破一批行业共性关键技术，提升基础保障能力。加强基础数据库、工业性验证平台、核心技术标准研究，为提升关键部件和基础工艺的技术水平奠定坚实基础。

通过本专项的实施，进一步夯实制造技术基础，掌握关键基础件、基础制造工艺、先进传感器和高端仪器仪表的核心技术，提高基础制造技术和关键部件行业的自主创新能力；大幅度提高交通、航空航天、数控机床、大型工程机械、农业机械、重型矿

山设备、新能源装备等重点领域和重大成套装备自主配套能力，强有力地支撑制造业转型升级。

本重点专项按照产业链部署创新链的要求，从基础前沿技术、共性关键技术、应用示范三个层面，围绕关键基础件、基础制造工艺、先进传感器、高端仪器仪表和基础保障技术五个方向部署实施。专项实施周期为 5 年（2018-2022 年）。

2018 年，在五个方向按照基础前沿技术类、共性关键技术类和应用示范类，拟启动不少于 43 个项目，拟安排国拨经费总概算约 6 亿元。为充分调动社会资源投入制造基础技术与关键部件的技术创新，在配套经费方面，共性关键技术类项目，配套经费与国拨经费比例不低于 1:1；应用示范类项目，配套经费与国拨经费比例不低于 2:1。鼓励产学研团队联合申报，由企业牵头申报的项目已在考核指标后明确。

项目申报统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向进行。除特殊说明外，拟支持项目数均为 1~2 项。项目实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容须涵盖该二级标题下指南所列的全部考核指标。项目下设课题数不超过 5 个，每个课题参研单位不超过 5 个。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。

指南中“每个项目拟支持数为 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. 关键基础件

1.1 高速精密悬浮轴承（基础前沿技术类）

研究内容：研究过临界磁悬浮转子动力学行为及控制理论；研究磁悬浮轴承测控模块的优化设计方法及保护轴承的失效与寿命演变机理；研究磁悬浮轴承与支承部件的耦合作用机理及设计方法；研究新型气体动压轴承设计方法及其支承转子动力学特性，研究高承载、大阻尼新型轴承结构；研究新型气体动压轴承关键制造技术及性能测试技术。

考核指标：高速电主轴验证用磁悬浮柔性转子原理样机 1 套，跨临界工作转速 $\geq 6 \times 10^4 \text{r/min}$ ，回转精度优于 0.003mm；无油润滑保护轴承在立式转子质量 $> 1000 \text{ kg}$ ，跌落转速 $\geq 3000 \text{ rpm}$ 条件下，无转子损伤抗跌落次数 ≥ 10 次；能源动力装备用气体动压轴承原理样机 1 套，径向承载能力 $\geq 0.6 \text{ MPa}$ ，轴向承载能力 $\geq 0.4 \text{ MPa}$ ，DN 值 $\geq 4.5 \times 10^6 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ ，最高工作温度 $\geq 650^\circ\text{C}$ 。

1.2 轴承服役性能演变机理与数字化设计方法（基础前沿技术类）

研究内容：研究高速精密轴承服役性能演变规律与轴承动静

刚度特性、热特性、精度特性设计理论与方法；研究轴承在变载、变速、非正常润滑、乏信息等复杂工况下早期失效机理与轴承服役寿命预测方法；开发包含轴承性能试验数据资源的工程数据库。

考核指标：开发具备轴承数字化结构设计、轴系仿真、寿命预测功能的设计工具，设计结果与试验偏差 $\leq 20\%$ ；工程数据库涵盖 3 类以上精密轴承系列产品试验数据；完成具有自主知识产权的轴承设计团体标准或行业标准 3~5 项。

1.3 轴承超精密制造及检测技术（共性关键技术类）

研究内容：研究工艺参数对磨削精度与表面质量影响机理，研究批量生产条件下轴承套圈、滚子精密磨削工艺；研究抛光过程中磨粒与滚道表面的滚轧与微量刻划耦合作用机制，研究批量生产条件下滚道曲面高表面质量抛光技术；研究针对轴承几何精度及能耗测试的快速精密测量技术及装置。

考核指标：批产圆锥滚子精度不低于国标 I 级；轴承部件曲面表面粗糙度 $Ra \leq 0.1\mu m$ ；大型轴承圆柱度测量仪样机 1 套，最大测量直径 $\geq 2000mm$ ，回转精度 $\pm 0.05\mu m$ ，导轨精度 $0.2\mu m/100mm$ ；轴承能耗系数检测仪测量样机 1 套，能耗系数检测精度 $\leq 1\%$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

1.4 精密机床主轴轴承示范应用及工业试验平台（应用示范类）

研究内容：研究精密机床主轴轴承高精度保持性设计技术；

研究 P2 级精密主轴轴承批产制造及精密装配技术；研究机床主轴轴承运行维护技术；研究精密机床主轴轴承试验数据采集、数据分析及性能评价技术，开发相关试验装备；建立主轴轴承系列产品工业性验证平台，相关研究成果在高速精密机床上实现应用。

考核指标：精密机床主轴轴承精度达到 P2 级，工作寿命 $\geq 6 \times 10^3 \text{h}$ ；试验 d_{mn} 值 $\geq 3.5 \times 10^6 \text{mm} \cdot \text{r}/\text{min}$ ，在 10 家以上机床企业批产示范应用；精密机床主轴轴承工业性验证平台满足 8 ~ 240mm 内径轴承测试要求，可实现寿命、刚度、密封、抗冲击等性能试验验证；研究制定精密机床主轴轴承试验技术规范。

有关说明：由企业牵头申报。

1.5 高速精密轴承新型润滑技术（共性关键技术类）

研究内容：研究润滑介质润滑性能、噪音特性等与微观结构间的构性关系，研发适应于极端工况的低噪音长寿命轴承润滑介质；研究高速轴承多场耦合摩擦润滑机理，开发轴承润滑分析/设计方法与工具软件；研究低噪声、长寿命含油保持架材料组分、制造及应用技术；研究新型润滑结构单元及微量润滑技术。

考核指标：润滑介质噪音等级优于 GN3 级；含油保持架润滑复合材料拉伸强度 $\geq 50 \text{MPa}$ ，含油率 $\geq 12\%$ ，微孔直径 $9 \times 10^{-4} \text{mm} \sim 12.5 \times 10^{-4} \text{mm}$ ，保持架批产应用；微量润滑条件下轴承 d_{mn} 值试验 $\geq 3.5 \times 10^6 \text{mm} \cdot \text{r}/\text{min}$ ；润滑特性计算结果与试验偏差 $\leq 20\%$ 。

1.6 液压元件与系统轻量化设计制造新方法（基础前沿技术类）

研究内容：研究非金属材料液压元件尺寸精度保持稳定性、服役蠕变等性能演变的规律；探索气体分离、污染物沉淀的新原理、新方法，研制小型化液压单元及原理样机；研究一体化电液执行器设计制造关键技术与液压元件轻量化制造新工艺。

考核指标：形成轻量化液压元件的设计理论与方法；研制轻量化液压元件样机 2 种以上，重量降低 30%以上；研制小型化液压单元和一体化电液执行器样机 2 种以上，体积减小 20%以上。

1.7 机械密封服役性能演化机理与可靠性评估方法（基础前沿技术类）

研究内容：研究机械密封服役过程表界面微观形貌和综合性能演化机理，基于多场耦合原理研究机械密封智能化基础理论及高压、多介质复杂工况下机械密封数字化分析与设计方法；研究机械密封在典型工作条件下的故障与失效模式，研究机械密封的可靠性模拟测试技术、机械密封的可靠性与寿命评估方法。

考核指标：开发复杂工况（压力 25MPa、线速度 250m/s、温度 500℃）机械密封数字化设计软件 1 套，模型与实验对比误差 <15%；建立机械密封故障与失效基础数据库 1 套。

1.8 液压元件可靠性评估方法与寿命测试技术（共性关键技术类）

研究内容: 研究液压元件可靠性设计与实验评估的通用规范; 研究典型液压元件(液压阀、液压泵、液压缸等)的可靠性与寿命实验评估方法, 建立典型液压元件的故障模式、失效案例数据库; 研制典型液压元件的耐久性与寿命测试装置。

考核指标: 液压元件可靠性评估的通用技术规范 1 项, 液压阀、液压泵、液压缸可靠性评估的国家标准或行业标准(报批稿) 3 项; 建立液压阀、液压泵、液压缸元件失效模式、失效案例数据库 3 个, 覆盖失效模式 10 种以上; 研制可靠性试验装备并完成液压阀、液压泵和液压缸 3 种典型产品的可靠性评估。

有关说明: 由企业牵头申报。

1.9 橡塑密封数字化设计及制造关键技术(共性关键技术类)

研究内容: 研究复杂工况和极端条件下橡塑动密封性能演变机制; 研究密封系统宏观参数、微观特征与服役性能之间的影响规律; 研究新型旋转密封和往复密封的设计方法; 研究橡塑密封工艺数字化、智能化控制方法及实现技术, 实现示范应用。

考核指标: 开发橡塑密封性能分析及数字化设计软件, 完成旋转和往复典型密封形式的设计应用, 通过台架试验验证关键密封性能指标误差 $\leq 10\%$; 建立橡塑密封元件数字化、智能化工艺管控系统, 主要工艺数字化率达到 85%以上, 关键工序能力指数 $C_{pk} \geq 1.33$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

1.10 大型压力成型机械轴向柱塞液压泵（应用示范类）

研究内容：研究高压大排量轴向柱塞泵摩擦副分布式测量技术及优化设计方法；研究适合高交变载荷的液压泵变量控制机构，研制高可靠的电液比例阀；研究轴向柱塞泵的材料与热处理、精密制造与装配工艺；在大型高端陶瓷成型机、压铸成型机等大型压力成型机械上实现示范应用。

考核指标：不少于 5 种规格的高压大流量轴向柱塞泵，排量为 125 ~ 500ml/r，额定压力 $\geq 35\text{MPa}$ ，寿命 $\geq 8000\text{h}$ ，在大型压力成型机械上实现配套 1000 台以上。

有关说明：由企业牵头申报。

1.11 工程机械用高压多路阀（应用示范类）

研究内容：研究阀内复杂流道与油路优化设计方法，高压片式结构的密封控制方法；研究整体式多路阀复杂阀体的精密铸造工艺；研究多路阀的负载敏感、比例分流等电液控制方式；在挖掘机、起重机等工程机械上实现示范应用。

考核指标：不少于 5 种规格的高压多路阀，额定压力 $\geq 32\text{MPa}$ ，额定流量为 50 ~ 200L/min 等，液压/电液/复合控制方式，寿命 ≥ 1000 万次，为工程机械配套不少于 3000 台。

有关说明：由企业牵头申报。

1.12 高性能齿轮动态服役特性及基础试验（基础前沿技术类）

研究内容：研究齿轮传动宏微观几何特征—润滑多场耦合动态接触特性和摩擦学—动力学耦合分析技术；研究齿轮表面完整性、制造全流程的组织与性能调控技术；研究齿轮疲劳试验和评价新技术，开发高性能齿轮材料接触疲劳强度和弯曲疲劳强度基础数据库。

考核指标：建立齿轮动态服役性能与失效分析数字化仿真平台；高性能齿轮在特殊环境下的服役寿命提高 15%；基础数据库中典型齿轮材料种类 > 3 种。

1.13 齿轮测量新方法 with 基准级齿轮渐开线样板（基础前沿技术类）

研究内容：研究齿轮非接触测量原理，建立拓扑齿面三维表征和齿面全信息数据点云处理方法，开发相应测量软件；研制非接触式齿轮快速测量装置；研究新型基准级齿轮渐开线样板的精密加工与测量技术，研制新型基准级齿轮渐开线样板。

考核指标：基于新原理的齿轮测量装置不少于 1 套，具有齿廓偏差、螺旋线偏差、齿距偏差和拓扑偏差等误差项的测量功能，测量重复性优于 0.002mm；研制两种规格以上精度优于 1 级(GBT 6467 - 2010)的新型基准级齿轮渐开线样板。

1.14 高速精密重载人字齿轮传动关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究精密重载人字齿行星传动均载机理、修形理论与方法、振动噪声分析与动力学优化；研究超高效率人字齿行星传动技术；研究齿轮热处理变形控制、齿面高精加工及传动装置装配工艺等关键技术；研究精密重载人字齿轮精度检测及部件动平衡技术；在船舶、航空等领域示范应用。

考核指标：人字齿轮模数 4~8mm，直径 $\geq 1000\text{mm}$ ，齿轮加工精度优于 4 级；精密重载人字齿行星齿轮箱 2 种以上，齿轮箱传动效率 $\geq 98\%$ ，噪声 $\leq 75\text{dB(A)}$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

1.15 大型风电齿轮传动系统关键技术及工业试验平台（应用示范类）

研究内容：研究大型风电增速箱机电集成设计方法；研究动态设计与减振降噪、抗疲劳制造与装配、密封及润滑等关键技术；构建大型风电齿轮箱工业性验证平台，研究在线远程监测、加速疲劳寿命试验和综合性能评价技术；在大型海上风电设备中示范应用。

考核指标：风电增速箱功率 5~10MW，寿命 ≥ 25 年，效率 $\geq 98\%$ ，工作环境温度 $-35^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ ，满足海上盐雾工作环境；

5MW 及以上大型风电增速箱实现批量装机。

有关说明：由企业牵头申报。

1.16 齿轮传动数字化设计分析与数据平台（应用示范类）

研究内容：研究齿轮传动及系统数字化设计理论与方法，开发齿轮传动数字化设计分析软件；研究齿轮传动设计制造信息、测试试验性能信息等的数字化及其与互联网的集成，开发“减速器+信息数据包”的数据平台；实现工程化与示范应用。

考核指标：齿轮传动系统数字化设计分析软件 1 套；基于数据平台的“减速器+信息数据包”不少于 2 种。

有关说明：由企业牵头申报。

2. 基础制造工艺

2.1 铝合金薄壁类零件的半固态流变铸造技术（应用示范类）

研究内容：研究高品质铝合金半固态流变充型过程数字模拟及成形精确控制技术，研究铸造浆料制备控制技术，开发成形工艺及模具，研制半固态流变成形专用制浆设备机构单元、专用压铸和挤压铸造成套技术，实现生产示范应用。

考核指标：半固态工艺专用合金材料性能 $\sigma_{0.2} \geq 180\text{MPa}$ ， $\sigma_b \geq 260\text{MPa}$ ， $\delta \geq 8\%$ ；模具精度要求为连续生产 2000 件以后，铸件毛坯合格率 95%以上；定量高效制备单次半固态制浆浆料重量 $\geq 30\text{kg}$ ，制浆时间 $\leq 20\text{s}$ ，半固态浆料初生晶粒当量直径 $\leq 60\mu\text{m}$ ；薄

壁类零件齿高 $\geq 65\text{mm}$ 、齿顶最小壁厚 $\leq 0.8\text{mm}$ ，薄壁类零件轮廓尺寸不小于 $900\text{mm}\times 500\text{mm}\times 80\text{mm}$ ，材料的导热系数 $\geq 170\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，整体平面度整形后在 1mm 以内；实现批量生产示范应用，年产值达到亿元以上。

有关说明：由企业牵头申报。

2.2 高强轻质合金大型薄壁精密铸造技术（应用示范类）

研究内容：研究轻质合金精密铸件控形控性机理及基础工艺；研究高强轻质合金精密铸件凝固控制技术、数字化精密铸造技术；研究大型复杂钛合金高精度整体铸造技术；研究铝合金高真空压铸技术；实现在航空、航天、汽车等领域示范应用。

考核指标：直径 $\geq 1.5\text{m}$ ，铝合金铸件 300°C 条件下本体性能抗拉强度 $\geq 185\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 8\%$ ；大型铝合金框架类铸件关键尺寸精度 CT7 - 8 级，内部质量达 I 类要求；钛合金熔模铸件单向尺寸 $\geq 2.5\text{m}$ 、硬模铸件本体单重 $\geq 0.6\text{T}$ ，铸件本体力学性能达到 GJB 要求、内部质量 I 类 B 级，关键尺寸精度 CT6 级，表面粗糙度 $R_a\leq 6.3\mu\text{m}$ ；铝合金真空压铸型腔真空度 $\leq 10\text{kPa}$ ，铸件本体抗拉强度 $\geq 250\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 10\%$ ；钛合金凝壳熔铸数字化设备最大熔铸量 $\geq 1.5\text{T}$ 、离心盘直径 $\geq 3.5\text{m}$ ；形成五种以上轻合金关键部件的生产示范应用。

有关说明：由企业牵头申报。

2.3 轴齿类零件真空可控气氛清洁热处理技术(应用示范类)

研究内容：研究可控气氛表面强化层组织性能控制技术；研究轴齿类零件真空热处理应力/变形数值模拟、气液复合淬火热处理精确控制技术；研究真空低压渗碳、碳氮共渗热处理技术；研究真空高压气淬等温淬火工艺技术；开展轴齿类零件真空清洁热处理装备开发及示范应用。

考核指标：实现多种类炉内气氛减量化，废气排放降低 30%；产品渗碳层深度均匀性 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ ，表面硬度均匀性 $\leq \pm 1.5\text{HRC}$ ，渗层金相组织符合相关国家标准要求；开发出真空渗碳工艺软件 1 套，用于轴齿类零件真空渗碳工艺与设备；真空热处理最高加热温度 1250°C ，炉温均匀性 $\leq \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，压升率 $\leq 0.27\text{Pa/h}$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

2.4 替代电镀铬的绿色表面处理技术(共性关键技术类)

研究内容：研究替代电镀铬碳化硅类涂层沉积机理，建立替代电镀铬复合微粒的关系模型；研究碳化硅类涂层材料设计及性能评价方法；研究碳化硅类复合电镀技术；研究超高速熔覆工艺技术及装置，研究专用金属粉末及制备工艺；在气缸、活塞、轧辊、液压活塞杆等部件上进行示范应用。

考核指标：镀层不含铅/汞/六价铬等有害物质，碳化硅类复合镀层的表面硬度 $\text{Hv} \geq 500$ ，形成镀层材料及性能评价规范；低

功率下超高速熔覆装置效率 $\geq 1.3\text{m}^2/\text{h}$, 产品表面粗糙度 $Ra \leq 10\mu\text{m}$, 寿命达到硬铬镀层的 2 倍以上, 形成专用金属粉末应用技术规范。

有关说明: 由企业牵头申报。

2.5 基础制造工艺资源环境属性数据库 (共性关键技术类)

研究内容: 研究资源环境负荷数据采集与获取方法, 研制数据采集工具和系统; 研发基础制造工艺和产品生命周期的环境影响评价支持系统, 实现典型工艺的应用验证; 构建基础制造工艺资源环境负荷的评价指标体系, 研究基础制造工艺的资源环境负荷评价模型, 开发资源环境负荷数据库。

考核指标: 开发数据采集工具和系统, 实现至少 3 种资源环境特征数据的采集; 开发的基础制造工艺资源环境影响评价支持系统, 在机械、能源、汽车等重点行业实现应用验证, 其中 1 家覆盖至少 4 种基础制造工艺的资源环境评价应用; 资源环境负荷数据库涵盖 4 种以上典型基础制造工艺。

有关说明: 由企业牵头申报。

2.6 清洁切削机理与前沿技术 (基础前沿技术类)

研究内容: 研究高温合金、钛合金、淬硬钢、复合材料等典型材料的高速干切削机理、新型机床结构和刀具设计理论与方法; 低温干式切削机理、内冷主轴、刀柄等功能部件设计理论与方法; 微量润滑切削机理、智能化微量润滑装置及相关工具系统设计理

论与方法;可降解环保切削液冷却润滑机理及其设计理论与方法;
清洁切削加工综合性能评价与检测技术等。

考核指标: 完成不少于 4 类材料的典型零部件清洁切削机理验证, 切削性能优于常规切削方式; 清洁切削综合比能 $10 \sim 20\text{J/mm}^3$, 切削环境空气质量 $\text{PM}_{2.5} \leq 0.5\text{mg/m}^3$, 切削液生物降解率 $\geq 80\%$, 且不含氯、硼、甲醛等有毒有害物质。

3. 先进传感器

3.1 高性能硅压力、加速度、角速度传感器前沿技术(基础前沿技术类)

研究内容: 研究新型谐振式硅传感器敏感原理和结构; 研究传感器非线性效应、耦合效应、温度效应及工艺误差影响; 研究传感器优化设计、制造工艺精确控制、低应力封装等关键技术; 开发闭环信号检测与控制电路系统集成技术; 研制高精度硅压力传感器、加速度传感器、角速度传感器原型器件, 并在流程工业与机器人领域试用验证。

考核指标: 压力传感器量程 $0 \sim 1\text{MPa}$, 精度优于 $0.01\%\text{FS}$; 加速度传感器量程 $\pm 15\text{g}$, 零偏稳定性优于 $1\mu\text{g}$; 角速度传感器量程 $\pm 200^\circ/\text{s}$, 零偏稳定性优于 $0.1^\circ/\text{h}$ 。

3.2 基于量子效应的微纳传感器前沿技术(基础前沿技术类)

研究内容: 研究基于量子效应的芯片式角速度传感器、磁场

传感器设计方法；研究传感器电子自旋-核自旋相互作用机理、温度效应；研究谐振频率控制、微型腔室制备、真空封装等关键技术；开发激光器、探测器、处理电路系统集成技术；研制高精度角速度传感器、磁场传感器原型器件，并在重大技术装备中试用验证。

考核指标：角速度传感器表头体积 $\leq 100\text{cm}^3$ ，量程 $\pm 200^\circ/\text{s}$ ，零偏稳定性优于 $0.1^\circ/\text{h}$ ；磁场传感器表头体积 $\leq 10\text{cm}^3$ ，灵敏度优于 $10\text{fT}/\text{Hz}^{1/2}$ 。

3.3 无线无源微纳传感器前沿技术（基础前沿技术类）

研究内容：研究微型化声表面波（SAW）、电感-电容（LC）无线传感器设计；研究传感器多参数敏感的耦合效应；研究传感器结构优化设计、曲面衬底上传感器制备工艺、封装、工业环境无线信号传输等关键技术；开发信号调制解调技术及处理电路系统集成技术；研制 SAW 和 LC 多参数监测传感器原型器件，并在燃气轮机主轴、轴承健康状况监测中试用验证。

考核指标：SAW 传感器：温度量程 $-40^\circ\text{C} \sim +1000^\circ\text{C}$ ，误差 $\pm 1\%$ ；应变量程 $\pm 3000\mu\epsilon$ ，误差 $\pm 1\%$ ；气压量程 $0 \sim 4\text{MPa}$ ，误差 $\pm 1\%$ 。LC 传感器：温度量程 $-20^\circ\text{C} \sim +120^\circ\text{C}$ ，误差 $\pm 1\%$ ；应变量程 $\pm 1000\mu\epsilon$ ，误差 $\pm 1\%$ ；振动量程 $\pm 6\text{g}$ ，误差 $\pm 1\%$ 。

3.4 微纳传感器与电路协同设计技术及设计工具（共性关键

技术类)

研究内容: 建立热/机械/电学多物理场耦合模型、硅表面加工与体加工工艺模型、闭环控制传感器宏模型; 研究具有完全自主知识产权、包含器件级、工艺级、系统级设计功能的微纳传感器综合设计工具; 研究微纳传感器与电路协同设计技术, 并实现与集成电路(IC)设计工具的无缝连接; 形成集成传感器知识产权库(IP), IP 经过生产线验证。

考核指标: 器件级耦合分析自由度 $\geq 1 \times 10^7$; 工艺级仿真与实验偏差优于 5%; 系统级仿真与实验偏差优于 10%; 闭环控制集成传感器 IP 不少于 3 种, 软件销售 ≥ 10 套。

3.5 微纳传感器与电路单片集成工艺技术及平台(共性关键技术类)

研究内容: 研究在同一芯片上制造微纳传感器与 IC 的工艺技术; 以互补-金属-氧化物-硅(CMOS)工艺线为基础, 研究与 CMOS 工艺兼容的微纳传感器表面加工、体加工、硅直接键合加工等关键技术; 建立可量产的微纳传感器与电路单片集成制造技术并形成标准制程规范, 实现单片集成微纳传感器规模化生产。

考核指标: 圆片直径 $\geq 150\text{mm}$, 单片集成传感器成品率 $\geq 80\%$, 成套制程规范或标准 ≥ 3 项; 服务用户数 ≥ 3 家, 开发单片集成传感器不少于 3 种, 生产能力 ≥ 5000 片/年, 销售单片集成传感器 ≥ 100

万只。

3.6 圆片级真空封装及其测试技术与平台（共性关键技术类）

研究内容：研究微机电系统（MEMS）圆片级真空封装设计技术；研究圆片级多层布线、金属和绝缘薄膜平坦化技术、低温键合、吸气剂生长及激活、真空测试等关键技术；研究可量产的圆片级真空封装技术并形成标准制程规范，实现多种器件规模化圆片级真空封装。

考核指标：圆片直径 $\geq 150\text{mm}$ ，圆片级封装真空度 $\leq 0.1\text{Pa}$ ，漏率 $\leq 5.0 \times 10^{-12}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ ，真空封装成品率 $\geq 90\%$ ，真空封装器件种类 ≥ 3 种；成套标准制程规范 ≥ 3 个，服务用户数 ≥ 3 个，生产能力 ≥ 5000 片/年，销售量 ≥ 1 万只。

有关说明：由企业牵头申报。

3.7 高温硅压力传感器关键技术及应用（应用示范类）

研究内容：研究高可靠性 MEMS 高温硅压力传感器结构优化技术；研究低应力无引线封装、温度补偿、高温专用电路（ASIC）芯片等关键技术；开发测控接口电路；实现批量化生产并在重大技术装备中应用。

考核指标：温度范围 $-55^{\circ}\text{C} \sim +225^{\circ}\text{C}$ ，量程 $0 \sim 200\text{kPa}$ 、 $0 \sim 60\text{MPa}$ ，精度优于 $0.25\%\text{FS}$ ，零点漂移优于 $2\%\text{FS}@100^{\circ}\text{C}$ ，长期稳定性优于 $0.1\%\text{FS}/\text{年}$ ，固频率 $\geq 200\text{kHz}$ ，过载压力 ≥ 2 倍额定压

力；形成传感器芯片制造、封装到应用的产业化链，生产能力 ≥ 5000 套/年，销售量 ≥ 1000 套。

有关说明：由企业牵头申报。

3.8 单片集成多轴传感器关键技术及应用（应用示范类）

研究内容：研究单芯片集成多轴传感器可复用的模块化设计技术；研究传感器单面微机械加工工艺、芯片内薄膜真空封装等关键技术；开发多轴传感器信号处理、融合与测试技术；形成单芯片集成多轴传感器制程规范，实现批量化生产并在大型起重运输装备、电梯生产线等行业应用。

考核指标：晶圆直径 $\geq 150\text{mm}$ ，成品率 $\geq 90\%$ ；单片三轴磁场传感器分辨率优于 50nT ，单片三轴加速度传感器分辨率优于 $100\mu\text{g}$ ，单片三轴角速度传感器偏置稳定性优于 $1^\circ/\text{h}$ ，单片三分量应力传感器分辨率优于 10kPa ；生产能力 ≥ 5000 片/年，销售量 ≥ 100 万只。

有关说明：由企业牵头申报。

3.9 无线红外高温微纳传感器关键技术及应用（应用示范类）

研究内容：研究硅基红外传感器设计优化、制造工艺、封装、可靠性、测试等关键技术；研究工业现场环境下，高精度、非接触、红外高温温度测量技术；开发无线能量收集及信号传输技术；实现无线红外高温微纳传感器批量化生产，并在高温熔炼炉监测

中应用。

考核指标：传感器量程 $600^{\circ}\text{C} \sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，误差 $\pm 0.5\%$ ，响应时间 $\leq 20\text{ms}$ ，生产能力 ≥ 5000 套/年，销售量 ≥ 1000 套。

有关说明：由企业牵头申报。

3.10 运动部件壁面温度微纳传感器关键技术及应用（应用示范类）

研究内容：研究微纳温度传感器优化设计方案；研究运动部件曲面基底上高温绝缘层、缓冲层、温度敏感层的原位制造和微加工技术；研究微纳温度传感器在高温、高速、强振等恶劣环境下的可靠性；研究传感器标定、信号无线引出及多传感器系统集成技术；实现微纳温度传感器批量化生产，并在重大技术装备中示范应用。

考核指标：传感器量程 $100^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$ ，误差 $\pm 1.0\%$ ；响应时间 $\leq 10\text{ms}$ ，无线传递距离 $\geq 2\text{mm}$ ；抗振动 $1000\text{Hz}/20\text{g}$ ，抗冲击 $100\text{g}/8\text{ms}$ 半正弦波，生产能力 ≥ 5000 套/年，销售量 ≥ 1000 套。

有关说明：由企业牵头申报。

4. 高端仪器仪表

4.1 基于语义交互集成的仪器仪表新型体系架构（基础前沿技术类）

研究内容：研究标准化语义描述、元数据提取、分类编码规

则等仪器仪表信息交互基础方法；研究基于语义交互的仪器仪表信息集成与智能互联技术；开发适应语义交互集成、可重构的仪器仪表新型技术架构；在面向智能工厂应用的典型仪器仪表上开展原理验证。

考核指标：语义描述基础数据库覆盖仪器仪表数 ≥ 50 种、数据量 ≥ 30 万条；新型技术架构具备语义交互集成、自主智能、模块可重构等功能，自主重构装载任务配置能力达到 10ms 量级，在 2 类以上的智能化仪器仪表进行原理验证。

4.2 微弱电信号精密检测及高速数据处理技术（基础前沿技术类）

研究内容：研究微弱电信号精密检测算法以及调理技术；研究超高速和高精度模数转换器设计技术，超高速并行采样、并行触发定位与存储同步等关键技术；研制微弱电信号精密检测及高速数据处理的原理样机，面向先进半导体制造行业典型需求开展试验验证。

考核指标：微弱电信号的电流测量分辨率 $\leq 1\text{pA}$ 、电压测量分辨率 $\leq 100\text{nV}$ ，高精度模数转换器转换率 $\geq 5\text{MSPS}$ ，单芯片分辨率 ≥ 18 位；高速数据采样系统采样率 $\geq 20\text{GSa/s}$ 、分辨率 ≥ 12 位、信号处理带宽 $\geq 2.5\text{GHz}$ 。

4.3 基于量子效应的仪表原位标校技术（基础前沿技术类）

研究内容: 研究基于量子效应实现仪表原位标校的基础方法; 研究量子磁通调控和数模转换技术、量子准确度任意电压信号合成技术; 建立以量子数模转换为核心的标准级电压校准器物理系统并在仪器仪表制造行业开展原理验证。

考核指标: 实现直流至 10kHz 量子电压信号输出, 幅度有效值达到 1V, 有效值准确度优于 $2\mu\text{V}@ (1\text{V}, \text{直流} \sim 1\text{kHz})$ 、 $3\mu\text{V}@ (1\text{V}, 1\text{kHz} \sim 10\text{kHz})$, 最大谐波失真优于 $-100\text{dBc}@ (1\text{V}, 1\text{kHz})$, 基于量子数模转换物理系统实现电压源/表的原位标校方法不确定度优于 $5\mu\text{V/V}@ (1\text{V}, 1\text{kHz})$ 。

4.4 具备边缘计算能力的新型仪器仪表（共性关键技术类）

研究内容: 研究仪器仪表嵌入式硬件计算资源分配、计算效能等的基础理论与技术; 研究仪器仪表边缘计算的数据实时分析与处理等技术; 研制面向智能工厂应用的基于边缘计算技术的新型仪器仪表, 并在典型流程行业示范应用。

考核指标: 研发具备自诊断、自学习、自决策和网络服务能力的压力、流量、气体分析等 3 类智能化仪器仪表, 仪器仪表边缘计算响应时间 $\leq 100\text{ms}$, 自学习压力、流量、气体分析趋势变化率等, 自诊断效率 $\geq 95\%$ 。

4.5 面向恶劣环境的仪器仪表可靠性设计及验证技术（共性关键技术类）

研究内容：研究冶金、化工、船舶等高温和高盐雾腐蚀等恶劣环境条件下典型仪器仪表失效机理与模型、可靠性设计与仿真方法；研究可靠性高加速寿命和加速筛选等试验方法；建立恶劣环境下仪器仪表可靠性保障体系与验证平台；研制高可靠仪表，开展可靠性设计验证。

考核指标：恶劣环境下仪器仪表可靠性设计与试验分析软件1套；建立可靠性保障规范与验证平台；研制温度、压力、流量等恶劣环境条件下使用的验证性仪表，仪表平均故障间隔时间 $\geq 8000\text{h}$ 。

4.6 高性能真空监测仪表（应用示范类）

研究内容：研究高真空测量用阀体组件、标准连接装置等关键部件，以及高真空密封装配技术；研制高密封、高真空、宽量程、低功耗的真空监测仪表；在易燃易爆流体储运、真空镀膜、真空冶炼等制造领域示范应用。

考核指标：组件整体漏率 $\leq 10^{-11}\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ，压力测量范围 $10^5\text{Pa} \sim 10^{-5}\text{Pa}$ ，测量误差优于 $\pm 15\% @ (10^{-2}\text{Pa} \sim 10^{-5}\text{Pa})$ ；仪表总功耗 $\leq 5\text{W}$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

4.7 汽车关键部件装配缺陷视觉检测仪（应用示范类）

研究内容：研究适用于工业现场的汽车关键部件装配缺陷检

测原理及方法，建立装配缺陷视觉检测模型；研究三维光学传感系统设计与集成、工业现场装配环境下的复杂形貌三维重构、装配缺陷特征表示及识别等关键技术；研制具有自主知识产权的汽车关键部件装配缺陷视觉检测仪；在汽车发动机等关键部件装配生产线开展示范应用。

考核指标：单视点检测时间 $\leq 3s$ ，装配缺陷检测灵敏度 $\leq \pm 20\mu m$ ，形貌重构精度 $\leq 0.1mm$ ，装配缺陷识别种类 ≥ 20 种，装配缺陷识别准确率 $\geq 99\%$ ；形成汽车装配缺陷视觉检测标准；仪器销售量不少于10套；在不少于2个汽车关键部件装配环节示范应用。

有关说明：由企业牵头申报。

4.8 特种工况实时在线测量仪表（应用示范类）

研究内容：研究特种工况实时在线测量仪表的材料改性、敏感元器件优化、防护提升等工程化关键技术，开发适用相应工况的压力变送器、流量计和液位计等测量仪表；在光热发电、核电、化工等领域示范应用。

考核指标：压力测量范围0~7MPa，精度优于 $\pm 0.075\%FS$ ；流量测量范围0~5m³/h，精度优于 $\pm 1\%FS$ ；液位测量范围0~10m，精度优于 $\pm 0.03\%FS$ ；上述3类仪表可测量介质温度 $\geq 550^{\circ}C$ ，原位测量特殊介质包括熔融金属、高温盐质、加氢原料、氧化流体等；至

少在 2 个领域开展示范应用且满足该领域的其他特殊使用要求。

有关说明：由企业牵头申报。

4.9 高性能特种控制阀（应用示范类）

研究内容：研究适用于高温、高压差和高流速等特殊工况的特种控制阀整体构造、减压结构、材料处理、密封形式等关键技术；开发特种控制阀门，并在石化高压反应、核电等领域开展示范应用。

考核指标：控制阀使用温度 $\geq 350^{\circ}\text{C}$ ，控制压差 $\geq 17.0\text{MPa}$ ，调节精度优于 $\pm 1.5\%$ ，可调比 $\geq 100:1$ ，阀座泄漏率达到 V 级，系列化阀门口径最大可达 DN450。

有关说明：由企业牵头申报。

5. 基础保障技术

5.1 测控设备高等级安全完整性关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究变送器/控制器/执行器等测控设备的高等级安全完整性设计、测试、应用和评估认证关键技术；研制高等级安全完整性相关装备和安全测评软件；在石化、化工、机械制造等典型行业高危环境下应用验证。

考核指标：可编程控制器/专用控制系统安全完整性等级达到 3 级，诊断覆盖率 $\geq 95\%$ ，硬件故障裕度 ≥ 1 ，控制系统站间安全通信残余失效率 $< 10^{-10}/\text{h}$ ；智能变送器、执行器满足安全完整性等

级 3 级应用，诊断覆盖率 $\geq 90\%$ ；功能安全报警监控与管理软件安全完整性能力达到 3 级；开发高等级安全完整性验证测试工具 2 套，开发功能安全分析评估相关软件 3 种，制定典型高危应用环境下验证测评标准 1 项。

5.2 测控装备信息安全关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究测控系统遭受内外信息安全威胁的攻击机理和攻击路径，研究典型工业测控装备的访问控制、权限控制、信息加密、完整性保证、受限数据流、资源可用性、事件及时响应等 7 类信息安全设计与评测技术，研制满足全生命周期信息安全设计规范的变送器/控制器/执行器等测控装备，开发相关评测软件和系统；在光热/光伏发电、机械制造、轨道交通等典型行业开展应用验证。

考核指标：控制器具备可编程组态和软硬件冗余等功能，应具备可配置 7 类信息安全功能，且至少 4 类达到 GB/T 30976.1 规定的信息安全二级或以上技术要求，应通过 ISASecure 认证工具的通信健壮性测试，安全控制策略对控制周期无影响，人机界面与控制器通信延迟低于 10%；变送器/执行器应具备无线通信、自诊断和远程管控等功能，7 类信息安全功能可配置数 ≥ 4 ，且至少 2 类达到 GB/T 30976.1 规定的信息安全二级或以上技术要求；测控装备信息安全评测软件 1 套；应用验证规模 ≥ 10000 点。