

附件 8

“制造基础技术与关键部件”重点专项

2019 年度项目申报指南

(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，编制 2019 年度项目指南。

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“围绕产业链，部署创新链”，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技术保障五个方向部署实施。专项实施周期为 5 年（2018—2022 年）。

1.基础前沿技术类

1.1 多维融合感知智能轴承基础原理与方法

研究内容：研究智能轴承动态运行信息演化与传递机理；研究智能轴承集成感知机制与多维数据融合算法；研究智能轴承宽频高效自供电/无线供电原理与设计方法；研究智能轴承信息的高效、低功耗、高可靠传输原理与处理技术；研制多维融合感知智能轴承样机，并在数控机床、风电、轨道交通等行业开展试验验证。

考核指标：开发面向数控机床、风电和轨道交通等领域的智能轴承原理样机 3 类，其中至少 1 类具备自供电/无线供电功能；典型故障检测类型 ≥ 3 类，识别率 $\geq 90\%$ ；温度范围 $-50^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，精度优于 1%；振动范围 $\pm 100\text{g}$ 、 $\pm 300\text{g}$ 、 $\pm 500\text{g}$ （各行业选 1 项），精度优于 1%；载荷范围 $0\sim 100\text{kN}$ 、 $0\sim 500\text{kN}$ 、 $0\sim 1000\text{kN}$ （各行业选 1 项），精度分别优于 1%、2%、3%。

1.2 高性能轴承动态和渐变可靠性设计理论

研究内容：研究滚动轴承渐变劣化（如疲劳和磨损等）规律和内外部振动行为；研究渐变失效和振动效应交互影响机理，建立动态和渐变可靠性设计模型及相关理论；研究滚动轴承可靠性设计技术及试验测试装置，并开展相关试验。

考核指标：开发滚动轴承可靠性设计方法 1 套；构建滚动轴承的故障模式、失效案例、可靠性设计的数据库，覆盖疲劳、磨损、振动失效模式和可靠性设计数据 10 种以上；可靠性试验测试装置 1 套，完成 3 种典型产品的可靠性试验。

1.3 液压元件及系统智能化基础技术

研究内容：研究电液深度融合的智能液压元件及动力单元，探索液压元件内部流量、压力、温度和位移等信息的集成测量新技术；研究多液阻独立控制的离散型液压元件的强非线性控制与适应调节机制；研究液压元件及动力单元的服役性能与寿命预测、典型应用案例的安全风险评估方法。

考核指标：工业用有线或无线可编程电调制液压阀样机 2 种以上，具备介质的流量、压力、温度等测量功能，综合测量精度优于 1%；液阻离散独立的智能液压阀控制器、液压阀样机及测量系统，系统控制精度优于 3%；动力单元具有在线状态监测、故障诊断、服役性能与寿命预测等功能，故障诊断覆盖率不低于 80%。

1.4 齿轮传动系统动力学基础理论及其健康监测

研究内容：研究齿轮传动系统非线性动力学特性、几何与运动误差回溯、振动噪声预估与主动控制理论与方法；研究齿轮性能退化规律和典型损伤机理、监测信号解耦及故障诊断方法，建立多维监测参数特征与健康状态的映射关系；开发传动系统健康状态监测系统，并在风电等领域进行试验验证。

考核指标：建立齿轮传动系统动力学优化方法，完成不

少于 1 种产品动力学优化；开发传动动力学仿真软件 1 套，仿真精度不低于 85%；研制传动系统健康监测样机 1 套，故障监测准确度不低于 90%。

1.5 新型高性能精密传动基础理论与技术

研究内容：研究零隙精密传动及大速比传动新原理与新构型；研究相应的数字化设计方法、啮合副复杂曲面制造关键技术；开展传动效率、承载能力、温升、寿命等试验，并在航空等领域进行试验验证。

考核指标：开发新型精密齿轮传动装置不少于 3 种；其中，零隙精密传动空载回差小于 5 角秒，传动误差小于 60 角秒；在相同试验条件下，承载能力、寿命等较现有传动提高 20%。

1.6 高功率密度微纳振动能量收集器前沿技术

研究内容：研究工业振动环境下，振动摩擦、振动压电、振动电磁的高效能量收集转换方法；研究微纳振动能量收集器的先进材料和高效能量收集结构设计技术；研究能量存储及低功耗调理电路设计与系统集成技术；研制高功率密度摩擦能量收集器、压电能量收集器、电磁能量收集器原型器件，并在工业现场无线传感网节点试验验证。

考核指标：振动频率覆盖 1Hz~500Hz，摩擦能量收集器峰值功率密度 $\geq 400\mu\text{W}/\text{mm}^2$ ，压电能量收集器归一化功率密度 $\geq 5\mu\text{W}/(\text{mm}^3\text{g}^2)$ ，电磁能量收集器归一化功率密度 $\geq 0.5\mu\text{W}/(\text{mm}^3\text{g}^2)$ 。

1.7 跨尺度微纳米三坐标测量基础理论与技术

研究内容：研究三维纳米位移和定位的测量理论与技术；研制高分辨力三维组合纳米测头；研究微纳三坐标测量机量值溯源技术；研究典型微型零件三维准确测量方法及技术；研制微纳米三坐标测量机样机，在精密微型零件加工和微纳制造领域进行试验验证。

考核指标：微纳米三坐标测量机量程 $X \times Y \times Z \geq 100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 50\text{mm}$ ；三维测量分辨力优于 1nm ；最大允许误差(E3) $(250 + 4.5 \times 10^{-6}L)\text{nm}$ ；实现宽度低至 $100\mu\text{m}$ 的结构内尺寸及形状三维测量。

2. 共性关键技术类

2.1 工业机器人减速器轴承关键技术及工业验证平台

研究内容：研究工业机器人减速器轴承的高精度及长寿命设计方法；研究薄壁及柔性等特殊轴承套圈批量化磨削、热处理等精密加工技术；研究工业机器人减速器轴承性能和寿命试验验证技术及装备；制定工业机器人减速器轴承试验技术规范；搭建工业机器人减速器轴承系列产品工业性验证平台，开展系列产品的寿命、摩擦力矩、振动、温升等试验，研究成果在工业机器人上实现应用。

考核指标：开发工业机器人减速器轴承设计方法 1 套；RV 减速器轴承精度达到 P4 级、试验寿命 ≥ 6000 小时，谐波减速器轴承精度达到 P4 级，试验寿命 ≥ 8000 小时；平台具备 $80\text{mm} \sim 260\text{mm}$ 内径轴承的寿命、摩擦力矩、振动、温升等测试能力，试验技术规范数 ≥ 1 ；在 5 家以上企业应用，装机系列数 ≥ 6 。

2.2 大功率风电主轴及增速箱轴承关键技术及工业验证平台

研究内容：研究大功率风电主轴及增速箱轴承的长寿命、可靠性设计分析技术；研究抗疲劳制造工艺等轴承控型控性技术；研究轴承性能和耐久性强化试验技术及装备；制定大功率风电主轴及增速箱轴承试验技术规范；建立大功率风电主轴及增速箱轴承系列产品工业性验证平台，开展寿命、振动、温升等性能试验，研究成果在大功率风电机组上实现应用。

考核指标：开发风电主轴及增速箱轴承数字化设计软件 ≥ 1 套；4MW以上风机主轴及增速箱轴承精度等级不低于P5，增速箱高速端轴承温度 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ，理论寿命、强化试验寿命 ≥ 20 年；应用企业不少于2家，装机不少于10台套；平台具备200mm~1180mm内径轴承的寿命、振动、温升等性能测试能力，试验技术规范 ≥ 1 套。

2.3 微小型液压元件关键技术

研究内容：研究高功率密度电-机械转换器、低液动力阀口的设计和制造工艺；研究高功率密度液压泵旋转组件的设计和加工工艺；研究微小型液压阀和液压泵的性能测试方法；在航空航天、石油装备等领域进行试验验证。

考核指标：研制不少于4种规格的高压微小型液压泵和液压阀样机，泵排量 $\leq 5\text{mL/r}$ ，阀流量 $\leq 5\text{L/min}$ ，响应时间 $0.5\text{ms}\sim 1.5\text{ms}$ ；制定微小型液压阀和液压泵性能测试规范2项；开发微小型液压阀和液压泵性能测试装备1套。

2.4 海工装备用长寿命耐腐蚀液压元件及系统关键技术

研究内容：研究海洋环境下活塞杆耐腐蚀涂层技术与工艺；研究海洋环境下长寿命液压缸密封技术；研究液压控制系统的稳定性、工况适应性等关键技术，在大型海上风机、海洋平台升降与波浪补偿装置等海工装备中验证。

考核指标：缸径 250mm~650mm，活塞杆涂层弯曲疲劳试验 ≥ 500 次（无裂纹），中性盐雾实验时间 ≥ 5000 小时；研制 2 种以上典型海工装备用液压系统。

2.5 高性能机械密封关键技术与工业试验平台

研究内容：研究机械密封关键元件表面精密成形、智能化监控与检测技术；研究高温高压多介质机械密封试验和综合性能评估技术；研究面向油、水 and 气介质的机械密封元件工业试验平台。

考核指标：关键元件表面微槽深度误差不超过 5%，曲面轮廓误差 $\leq 1\mu\text{m}$ ，表面粗糙度 $Ra \leq 0.1\mu\text{m}$ ；平台可进行高温高压多介质试验，具备线速度 250m/s、温度 500℃、压力 25MPa、转速 50000r/min 的产品试验能力。

2.6 高速重载锥齿轮传动关键技术

研究内容：研究高速重载弧齿锥齿轮传动的动态设计理论，系统动力学仿真与结构动力学优化；研究锥齿轮复杂齿面高效切齿和精密磨齿数字化仿真技术及软件；研究锥齿轮疲劳寿命加速试验技术；在航空传动领域开展应用验证。

考核指标：开发不少于 2 类高速重载锥齿轮，转速 $\geq 8000\text{rpm}$ ，单对齿轮功率密度 $\geq 450\text{kW/kg}$ ；齿轮加工精度高

于 5 级，传动效率 $\geq 96\%$ ，寿命提高 20%；开发高速重载锥齿轮数字化制造软件 1 套，高速重载锥齿轮疲劳寿命试验装备 1 套。

2.7 高长径比零件高效清洁热处理技术

研究内容：研究高长径比零件热处理应力/变形演变规律、数值模拟与表面热处理强化机理及基础工艺，热处理表面强化层控制技术；研究高长径比零件高效感应热处理和真空热处理技术；开发高效清洁热处理装备，实现滚动部件等典型高长径比零件在微电子制造、航空航天等领域的应用验证。

考核指标：高长径比零件感应热处理装备 1 套，可处理零件直径 50mm~200mm、长度 $\geq 5\text{m}$ ，可实现零件淬硬层厚度 4mm~12mm、硬度均匀性 $\leq \pm 1\text{HRC}$ 、变形量 $\leq 1\text{mm/m}$ ；真空热处理装置 1 套，加热温度 $\leq 1150^\circ\text{C}$ ，有效加热区炉温均匀性 $\leq \pm 5^\circ\text{C}$ ，压升率 $\leq 5 \times 10^{-1}\text{Pa/h}$ ，可实现零件硬度均匀性 $\leq \pm 2\text{HRC}$ ；感应和真空热处理及变形控制后的零件表面硬度均匀性 $\leq \pm 1.5\text{HRC}$ ，淬透层深度均匀性优于 $\pm 0.03\text{mm}$ 。

2.8 清洁切削共性关键技术

研究内容：研究高速干切工艺使能关键技术，建立基础数据库；研究微量润滑切削与低温冷却切削装置及相关功能部件；研究高稳定性清洁切削工艺技术及高生物降解微量润滑切削液；开展航空航天典型材料的清洁切削试验验证。

考核指标：高速干切工艺基础数据库涵盖多种典型材料和工艺，及其相关的百种以上工况基础数据；适用于车、铣

加工工艺的低温微量润滑装置及相关功能部件不少于 6 种，低温冷却切削装置的最低输出温度低于 -190°C ；清洁切削机床周边悬浮颗粒物浓度 $\leq 0.5\text{mg}/\text{m}^3$ ；切削液生物降解率 $\geq 95\%$ ；完成不少于 3 种典型材料清洁切削试验验证。

2.9 硅基 MEMS 高深宽比结构无损测量技术

研究内容：研究 MEMS 高深宽比结构三维几何特征快速无损测量原理和方法；研究测量系统设计、光学显微传感、微弱信号采集与处理、校准与误差补偿、量值溯源等关键技术；研制高深宽比三维特征尺寸快速无损测量系统，并在 MEMS 工艺线试验验证。

考核指标：沟槽深宽比 $\geq 20:1$ ，深度测量范围 $10\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$ ，深度测量不确定度 $\leq 0.5\%$ ($k=1$)；线宽测量范围 $2\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ ，线宽测量不确定度 $\leq 1\%$ ($k=1$)；单点测量时间 $\leq 5\text{s}$ 。

2.10 硅基 MEMS 厚金属薄膜关键技术

研究内容：研究硅基 MEMS 厚金属薄膜工艺兼容性，研究高质量厚金属薄膜制造工艺、薄膜特性测试技术；研究硅基厚金属薄膜 MEMS 结构释放工艺技术，研究 MEMS 继电器的高可靠设计、制造及封装等关键技术；开发硅基 MEMS 厚金属薄膜成套制造工艺技术，在航空航天重大技术装备中应用。

考核指标：硅基衬底圆片直径 $\geq 150\text{mm}$ ，金属薄膜厚度 $\geq 5\mu\text{m}$ ，薄膜厚度误差 $\leq \pm 3\%$ ，薄膜应力 $\leq 150\text{MPa}$ ；MEMS 继电器负载电流 $\geq 500\text{mA}$ ，接触电阻 $\leq 500\text{m}\Omega$ ，开关寿命 $\geq 1\times 10^6$

次，成品率 $\geq 85\%$ 。

2.11 高性能微纳温度传感器关键技术

研究内容：研究耐高温柔性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，曲面衬底上高温温度传感器的高可靠性设计及制造关键技术；研究光学温度传感器回音壁谐振腔、模式调控、频率锁定等关键技术；研制曲面高温温度传感器和高分辨率温度传感器原型器件，并在航空航天重大技术装备中试验验证。

考核指标：曲面衬底高温温度传感器测量范围 $-60^{\circ}\text{C}\sim 1800^{\circ}\text{C}$ ，误差 $\leq \pm 1.5\% \text{FS}$ ，响应时间 $\leq 10\text{ms}$ ；高分辨率温度传感器测量范围 $20^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，分辨力 $\leq 1\mu\text{K/}$ 。

2.12 硅基 MEMS 气体传感器关键技术

研究内容：研究硅基 MEMS 气体传感器芯片集成化设计技术；研究硅基 MEMS 红外光源、光学微腔、光学天线、红外探测器、温度传感器等核心部件与集成制造技术；研究标校算法、边缘计算、ASIC 芯片闭环控制、环境效应等非色散红外 (NDIR) 气体检测系统集成关键技术；实现传感器在流程工业中应用。

考核指标：气体传感器量程二氧化碳 ($0\sim 5000\text{ppm}$)、二氧化硫 ($0\sim 100\text{ppm}$)、氮氧化物 ($0\sim 50\text{ppm}$)、甲醛 ($0\sim 100\text{ppm}$)、丙酮 ($0\sim 100\text{ppm}$)，测量误差 $\leq \pm 2\%$ 。系统芯片尺寸 $\leq 20\text{mm}\times 10\text{mm}\times 5\text{mm}$ ，长期稳定性 $\leq 1\% \text{FS/年}$ ，制定传感器规范或标准 ≥ 2 项。

2.13 高性能磁传感器关键技术

研究内容：研究并优化高性能磁传感器芯片制造工艺技术；研究高性能磁传感器的高灵敏结构设计和高可靠封装技术；研究磁编码器与转速测量涉及的 ASIC 芯片、软件算法、测控接口等；形成制程规范，在数控机床、工业机器人、伺服电机等装备应用。

考核指标：磁传感器灵敏度 100mV/V/Oe，本底噪声 $\leq 10\text{pT}/@1\text{Hz}$ ，体积 $\leq 30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 5\text{mm}$ ，成品率 $\geq 85\%$ ；伺服电机磁绝对位置编码器精度优于 0.02° ，成套制程规范 ≥ 2 项。

2.14 仪表专用微控制器芯片设计及应用关键技术

研究内容：研究数据采集、处理、存储、通信等高度集成的工业自动化仪表芯片设计技术；研究针对高度集成仪表芯片的软件可重用开发方法，开发典型功能库；研究仪表高密度集成设计等关键技术；基于上述芯片，开发核心零部件自主可控的温度、压力、流量、电动执行器等小型化仪表，并开展应用验证。

考核指标：微控制器芯片模/数转换精度不低于 16 位，内嵌 32 位微处理器，内嵌 HART、FF、Profibus 等通信控制器；完成不少于 100 台小型化仪表应用验证。

2.15 多参数危险气体在线分析关键技术

研究内容：研究在线分析仪器紧凑型核心部件高密度集成技术；研究含固、液杂质的工业气体在线测量预处理技术及装置；研究一氧化碳、二氧化碳、氧气、甲烷、硫化氢、氨气等多组分气体浓度、多参量集成测量技术；研制高安全

多参数小型化危险气体在线分析仪器；在典型工业过程领域开展应用示范。

考核指标：工业主要危险气体测量线性精度优于 $\pm 1\%FS$ ；温度在线测量范围 $30^{\circ}C\sim 1500^{\circ}C$ ，压力在线测量范围覆盖 $0\sim 0.3MPa$ ；在冶金、石化、化工等两类以上工业领域的爆炸性气体环境危险区域开展应用示范。

2.16 六自由度激光自动精准跟踪测量关键技术

研究内容：研究六自由度激光跟踪测量原理与方法，建立相应的数学模型，攻克目标捕获与跟踪、高精度绝对测距、高精度姿态测量、数据解算、性能校准与精度补偿等关键技术；研制六自由度激光跟踪测量原理样机，在机器人校准、飞机和燃气轮机装配等领域开展试验验证。

考核指标：最大跟踪测量半径 $30m$ ，空间坐标测量精度 $\leq 10ppm$ ，姿态测量精度 $\leq 0.03^{\circ}$ ，最大跟踪速度 $2m/s$ 。

2.17 工业现场通信质量分析关键技术

研究内容：研究典型工业通信协议的报文快速分析、在线通信质量评估与分析诊断技术；研究强干扰工业环境下工业通信物理层信号的多参数测量、环境干扰在线评估与分析诊断技术；研制工业现场通信质量分析仪器，在制造领域开展试验验证。

考核指标：工业通信协议分析种类 ≥ 6 种、工业以太网通信分析种类 ≥ 6 种，通信质量分析报文覆盖率 $\geq 90\%$ ；仪器具备通信物理信号的电压差、抖动、上升时间、下降时间、比特时间、传输速率、传输延迟、同步精度等指标在线监测功

能，具备数据链路层时间同步与 MAC 层、传输层、网络层和应用层分析功能，具备在线设备列表拓扑监视、错误报文率和循环通信调度分析等功能。

2.18 功能安全与信息安全融合的仪表共性关键技术

研究内容：研究仪表功能安全与信息安全融合理论与方法；突破仪表冗余设计、失效诊断、故障控制、安全通信、访问控制、事件及时响应等关键技术；研制具有功能信息安全融合能力的变送器/执行器等仪表；在石油、化工、火电等典型行业开展应用验证。

考核指标：仪表实现安全完整性等级 SIL2，信息安全等级 SL2，整体诊断覆盖率 $\geq 90\%$ 。

3.应用示范类

3.1 工程机械大扭矩轮毂驱动关键技术及应用示范

研究内容：构建大扭矩轮毂驱动系统多变工况下的载荷谱，研究驱动行星齿轮传动系统集成设计方法；研究轮毂驱动系统多体动力学及可靠性，轮毂驱动系统热平衡及传动效率；研究轮毂驱动系统零部件制造工艺与关键技术，在大型工程机械中应用示范。

考核指标：载荷谱数据库 1 个，设计分析软件 1 套；大扭矩轮毂驱动系统扭矩 $\geq 1 \times 10^6 \text{N m}$ ，减速比 ≥ 32 ，传动效率 $\geq 90\%$ 。

3.2 铝合金承力结构件挤压铸造成形技术及应用示范

研究内容：开发适合车辆承力结构轻量化的铝合金高性能挤压铸造成形关键技术；建立铝合金挤压铸造成形材料—

工艺—组织—性能仿真模型和测试平台；建立不同重量、形状、尺寸的挤压铸造产品开发试验平台；研究典型零件轻量化结构设计、工艺优化、性能评价技术，在车辆制造领域应用示范。

考核指标：挤压铸造产品开发试验平台具备 0.05kg~30kg 或投影面积 10cm²~3000cm² 承力结构件的挤压铸造能力；铝合金承力结构件抗拉强度≥280MPa，屈服强度≥220MPa，延伸率≥8%；铸件尺寸精度≥CT6 级；形成至少 5 种典型承力结构件的挤压铸造成形工艺示范生产线。

3.3 高强度铝合金大型薄壁件精密铸造技术及应用示范

研究内容：研究铝合金精密铸件控形控性方法及精密铸件凝固控制技术、数字化精密铸造技术；研究铝合金高真空压铸技术；研制典型高强度铝合金大型薄壁件，在航空航天、汽车等领域应用示范。

考核指标：铝合金铸件外形尺寸≥1.5m，300℃条件下抗拉强度≥185MPa、延伸率≥5%；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。铝合金真空压铸型腔真空度≤10kPa，铸件抗拉强度≥250MPa、延伸率≥10%；形成 3 种以上铝合金关键部件的生产应用示范。

3.4 高性能光栅位移传感器开发及应用示范

研究内容：研究玻璃、石英、金属及陶瓷基底光栅的超长大幅面、可复制、高精度制造技术；开发超精密、大幅面、多自由度、宽温域的高性能系列光栅位移传感器；研究超高细分技术、信号处理与融合技术以及系统集成技术。完成光

栅传感器的技术研发，并在精密制造和高端测量装备中应用。

考核指标：线位移纳米光栅分辨率 0.1nm，精度 200nm，光栅长度 $\geq 50\text{mm}$ ；角位移光栅分辨率 0.01"，精度 0.2"，光栅幅面最大外径 500mm；二维光栅分辨率 1nm，精度 1 μm ，光栅幅面 500mm \times 500mm；宽温域位移传感器温度范围-60 $^{\circ}\text{C}$ ~1000 $^{\circ}\text{C}$ ，测量精度 0.2mm，光栅长度 20mm；产品成品率 $\geq 90\%$ 。

3.5 工业仪表制造过程智能标定系统开发及应用示范

研究内容：研究压力和流量等仪表标定环境智能控制技术及其装置；研究多批量、多品种仪表自适应装夹，仪表标定系统参数自配置，仪表参数自修正等关键技术；研制核心零部件自主可控的压力和流量等仪表制造过程批量化智能标定系统。

考核指标：压力仪表批量标定最大允许误差 0.015%，温度补偿范围覆盖-40 $^{\circ}\text{C}$ ~80 $^{\circ}\text{C}$ ，单次温度补偿台数 ≥ 50 ；流量仪表标定系统最大允许误差 0.2%，单次标定台数 ≥ 10 ；在 2 家以上仪表制造企业开展应用示范。

3.6 芯片封装缺陷在线视觉检测仪开发及应用示范

研究内容：研究自适应多模式照明、光学自动对焦、高速图像采集与处理、精准定位与同步控制、图像配准与三维重构、复杂缺陷识别分类等关键技术，研制高灵敏度半导体芯片封装缺陷在线视觉检测仪，开展应用示范。

考核指标：仪器检测灵敏度优于 0.5 μm ，最大检测运动

速度 100mm/s, 缺陷检测准确率 $\geq 99\%$; 在 2 家以上芯片生产企业开展不少于 5 套样机的应用示范。