

# “智能机器人”重点专项 2018年度项目申报指南建议

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“智能机器人”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布2018年度项目指南。

本重点专项总体目标是：突破新型机构/材料/驱动/传感/控制与仿生、智能机器人学习与认知、人机自然交互与协作共融等重大基础前沿技术，加强机器人与新一代信息技术的融合，为提升我国机器人智能水平进行基础前沿技术储备；建立互助协作型、人体行为增强型等新一代机器人验证平台，抢占“新一代机器人”的技术制高点；攻克高性能机器人核心零部件、机器人专用传感器、机器人软件、测试/安全与可靠性等共性关键技术，提升国产机器人的国际竞争力；攻克基于外部感知的机器人智能作业技术、新型工业机器人等关键技术，推进国产工业机器人的产业化规模及创新应用领域；突破服务机器人行为辅助技术、云端在线服务技术及平台，创新服务领域和商业模式，培育服务机器人新兴产业；攻克特殊环境服役机器人和医疗/康复机器人关键技术，深化

我国特种机器人的工程化应用。本重点专项协同标准体系建设、技术验证平台与系统建设、典型应用示范，加速推进我国智能机器人技术与产业的快速发展。

本重点专项按照“围绕产业链部署创新链”的要求，从机器人基础前沿技术、共性技术、关键技术与装备、应用示范四个层次，围绕智能机器人基础前沿技术、新一代机器人、关键共性技术、工业机器人、服务机器人、特种机器人六个方向部署实施。专项实施周期为5年（2017—2021年）。

## **1. 基础前沿技术**

### **1.1 仿灵长类高机动运动机器人**

研究内容：面向野外丛林等复杂环境自主移动需求，研究足、踝、腿、脊椎、臂、爪等仿生机构和爆发式高功率密度驱动技术、高机动运动控制方法等，研制仿灵长类机器人原理样机，实现走、跑、跳、攀爬等多种运动方式，开展典型地形环境的实验验证。

考核指标：机器人自重 $\leq 100\text{kg}$ ，具有两足直立行走、四足行走和攀爬能力；最大运动速度 $\geq 5\text{km/h}$ ，跳跃高度 $\geq 0.5\text{m}$ ，跳跃距离 $\geq 1\text{m}$ ，攀爬垂直障碍高度 $\geq 0.8\text{m}$ ，自然坡坡度 $\geq 30^\circ$ ；发表系列高水平论文，申请/获得不少于10项发明专利。

### **1.2 机器人新型复杂变构型机构设计理论与技术**

研究内容：面向冗余柔性变形、模块化自重构、刚软耦合等机器人前沿技术，研究具有环境自适应能力的可变形、冗余柔性、

刚软耦合结构设计理论和技术，研究相关机器人的建模、感知、规划、控制技术，研制相应的机器人实验样机，实现验证。

考核指标: 研制出具有 10 种以上变形能力的模块化自重构机器人、具有 20 个自由度以上的高冗余柔性机器人、可抓取不少于 10 种外形材质有显著差异物体的刚软耦合多指灵巧手等 3 类实验样机。至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；发表系列高水平论文，申请/获得不少于 10 项发明专利。

### 1.3 机器人仿生感知与驱动技术

研究内容: 基于仿生原理，研究新型可穿戴柔性传感器阵列；研究基于生物细胞机理的类生命视觉感知成像技术与器件实现；研究基于生物细胞机理的类生命驱动技术与器件实现；研制实验样机，实现原理验证及功能演示。

考核指标: 可穿戴柔性传感器阵列具有压力与温度感知功能，集成度不低于每平方厘米 100 个，单个传感单元（敏感区域）尺寸小于  $60\mu\text{m}\times 60\mu\text{m}$ ；最小可检测压强  $< 1\text{Pa}$ ；压力响应时间  $< 50\mu\text{s}$ ；温度检测范围  $-20\sim 80^\circ\text{C}$ ，检测分辨率  $\leq 0.5^\circ\text{C}$ 。研制可见光和红外 2 类类生命视觉感知器件，成像平面内目标姿态分辨率均优于  $0.2\text{Rad}$ ；类生命红外感知器件可在室温下正常工作，成像光谱范围  $900\sim 1400\text{nm}$ 。所研制类生命驱动器器件，实现不少于 3 种可控动作。至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；发表系列高水平论文，申请/

获得不少于 8 项发明专利。

#### 1.4 机器人用新型精密减速器

研究内容：有别于现有机器人 RV、谐波等减速器传动原理，研究机器人用减速器新型传动原理、新型结构，满足机器人关节大减速比、高精度、高刚度、高效率、高可靠性的要求；研制原理样机，与现有 RV、谐波减速器进行综合性能对比测试，实现工业机器人的应用验证。

考核指标：研制出至少 3 种类型新型原理减速器，在相同减速比、相同输出扭矩条件下，综合性能达到或优于现有 RV、谐波减速器性能水平，在不少于 5 自由度工业机器人上装机验证。至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；申请不少于 5 项发明专利。

#### 1.5 微纳操作机器人技术与系统

研究内容：研究亚纳米精度跨尺度驱动机理与运动控制技术，复杂环境下纳米探针动力学建模、宽频域/低噪声驱动与传感技术、多探针协调控制技术、多参数原位测试表征技术，纳米探针复杂三维轨迹实时跟踪与控制技术，微米尺度应变感知与流体负压控制技术；研制微纳操作机器人集成样机系统，结合典型需求开展技术验证。

考核指标：研制出基于光学显微镜、原子力显微镜（AFM）、扫描电镜—透射电镜（SEM-TEM）的 3 种微/纳米操作机器人。基于光学显微镜的微操作机器人：不少于 8 个自由度，定位精度

优于  $1\mu\text{m}$ ，力测量精度优于  $10\mu\text{N}$ ，压强控制精度优于  $0.1\text{Psi}$ ；基于 AFM、SEM-TEM 的 2 种纳米操作机器人：不少于 6 个自由度，定位精度优于  $2\text{nm}$ ，力测量精度优于  $20\text{pN}$ ，力控制精度优于  $50\text{pN}$ ；面向细胞等生物活体、微纳米器件操作等不少于 5 类典型操作开展实验验证；申请/获得不少于 5 项发明专利。

### 1.6 基于视觉的机器人环境建模与定位导航

研究内容：针对少/弱纹理、运动模糊、光线变化、空旷区域、复杂动态等室内外环境中机器人环境建模和定位导航，研究基于视觉的语义级高精度地图自动构建和增量式自动更新、鲁棒定位与实时导航、动态目标检测与自主适应等技术，搭建机器人实验平台，实现技术验证与示范。

考核指标：针对写字楼、商场、厂区、社区、废墟等 5 种以上、面积大于  $5000$  平方米的典型室内外环境，机器人基于视觉构建三维地图覆盖度  $\geq 90\%$ 、精度  $0.2\text{m}$  以内；识别柱、窗、门、标志牌、室内外固定设施等 10 类以上部件，准确率  $\geq 95\%$ ；在存在  $30\text{m}$  以上长通道/走廊/强光线/弱纹理情况的室内场景下， $1\text{km}$  行走测试平均实时定位精度优于  $15\text{cm}$ ；在存在光照变化、复杂动态等情况的室外场景下， $1\text{km}$  行走测试平均实时定位精度优于  $50\text{cm}$ ；动态环境下基于视觉避障成功率  $\geq 90\%$ 。至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；发表系列高水平论文，申请/获得不少于 10 项发明专利。

### 1.7 人一机器人智能融合技术

研究内容：针对人一机协作型新一代机器人所处环境和完成任务的复杂性、多变性、不确定性，研究人在回路移动、作业机器人的人机协作环境认知、行为优化决策、自主学习、任务级指令交互等混合智能技术，研制机器人实验平台，实现技术验证与功能示范。

考核指标：构建不少于 2 类人机智能融合机器人实验系统，实现人在回路的机器人协同混合智能；针对不少于 5 种典型应用场景，实现技术验证与功能演示。至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；发表系列高水平论文，申请/获得不少于 8 项发明专利。

### 1.8 多模态融合的机器人自然交互

研究内容：研究自然语言、手势、体势、面部微表情等多模态融合的人机自然交互理论和方法，研究机器人与人的交互关系模型、对基本社交准则的学习、交互意图的识别方法，实现多模态的机器人与人自然交互，研制机器人实验平台，实现技术验证与功能示范。

考核指标：面向机器人与人多模态融合自然交互，构建不少于 2 类智能机器人实验平台；实现自然语言、手势、体势和微表情的识别，识别正确率  $\geq 95\%$ ，可基于多模态信息实现交互意图理解；针对 5 种以上典型应用场景实现实验验证。至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；发表系列高水平论文，申请/获得不少于 10 项发明专利。

## 1.9 互助型冗余灵巧作业机器人

研究内容：研制具有轻量化、高精度、大负载自重比、可变刚度、安全性高、编程简单、易于使用等特征的互助型冗余灵巧作业机械臂系统，具备牵引示教、柔顺力控作业、安全行为决策、人机友好交互等功能，支持应用程序二次开发；对整机功能与性能进行综合测试与验证，并面向典型应用开展实验验证。

考核指标：互助型冗余灵巧作业机器人不少于 7 个自由度，重量  $\leq 20\text{kg}$ ，工作半径  $\geq 900\text{mm}$ ，负载能力  $\geq 7\text{kg}$ ，末端最大运动速度  $\geq 1\text{m/s}$ ，重复定位精度优于  $\pm 0.1\text{mm}$ ；整臂碰撞检测精度优于  $10\text{N}$ 。面向不少于 2 个应用领域开展实验验证。

## 1.10 穿戴式外肢体辅助作业机器人

研究内容：面向单人作业对辅助作业机械臂（穿戴式外肢体）的需求，开展穿戴式外肢体机构设计、便携式动力源与高功率驱动系统、人机混合系统动力学建模、机械肢体的智能操控、机器人辅助作业策略等研究，研制穿戴式辅助作业机器人系统，实现复杂作业过程中机器人辅助操作、安全保护等功能，开展应用验证。

考核指标：研制出穿戴式辅助作业双臂机器人系统，总自重  $\leq 15\text{kg}$ ，具备支撑卸荷能力，单臂主动驱动自由度不少于 2 个，单臂最大出力  $150\text{N}$ ，重复定位精度优于  $\pm 0.5\text{mm}$ ，精细作业力控误差  $< 1\text{N}$ 。针对 3 种以上典型作业场景开展实验验证。

## 2. 共性技术

### 2.1 面向机器人应用的激光扫描测距仪

研究内容：针对机器人环境建模、导航定位、姿态测量等任务对激光扫描测距传感器的需求，研发低成本、可靠的单线、多线激光扫描测距仪，实现高精度高速解码、跟踪滤波、高精度深度感知。开展单线激光测距仪、多线激光扫描测距仪工程化开发和规模化推广应用。

考核指标：单线激光扫描测距仪：水平测量角度 $\geq 270^\circ$ ，角分辨率 $\leq 0.25^\circ$ ，扫描频率 $\geq 25\text{Hz}$ ，测量距离 $\geq 70\text{m}$ ，精度优于 $\pm 30\text{mm}$ ，工作温度 $-30\sim 50^\circ\text{C}$ ；多线激光扫描测距仪：不少于16线，水平测量角度 $360^\circ$ ，水平角分辨率 $\leq 0.1^\circ$ ，垂直测量角度 $\geq 30^\circ$ ，垂直角分辨率 $\leq 2^\circ$ ，扫描频率 $5\sim 20\text{Hz}$ ，测量距离 $\geq 100\text{m}$ ，精度优于 $\pm 20\text{mm}$ ，工作温度 $-10\sim 60^\circ\text{C}$ 。实现激光测距仪推广应用不低于2000套。

有关说明：由企业牵头申报。

### 2.2 机器人六维力和触觉传感器

研究内容：针对我国机器人产业对高精度、高可靠性、系列化力触觉传感器需求，研发六维力传感器的新型结构、多维力信息的全方位提取和动态解耦算法；研究仿生触觉传感器的制备、信号解耦、传感器标定、触视觉协同感知等技术。开展力和触觉传感器工程化开发和推广应用。

考核指标：研制出不少于5种型号六维力传感器产品，力/



力矩量程范围 $\pm 10\text{N} \sim \pm 5000\text{N}/\pm 0.2\text{N}\cdot\text{m} \sim \pm 350\text{N}\cdot\text{m}$ ，测量精度优于5%F.S.（满量程），其他指标达到或优于国际同类产品先进水平，提交第三方权威机构检测报告，实现机器人典型作业的应用验证，实现推广应用不少于200台套；研制触觉传感器，传感器单元厚度 $< 1\text{mm}$ ，点阵密度不低于每平方厘米16点，全向弯折角度达 $90^\circ$ ，力觉测量范围 $0\sim 50\text{N}/\text{cm}^2$ ，测量精度优于5%F.S.（满量程），响应时间 $\leq 90\text{ms}$ 。实现机器人典型应用验证，实现推广应用不少于200套。

有关说明：由企业牵头申报。

### 2.3 面向工业机器人的三维视觉测量单元

研究内容：研制面向工业机器人的大场景固定基座高精度三维视觉测量单元，实现弱纹理材质、混叠场景条件下工件的三维识别、测量和定位；研制面向机械臂手眼系统的三维视觉测量系统，实现局部三维识别、关键尺寸高精度测量和定位。形成相应产品并实现推广应用。

考核指标：大场景固定基座模式下，尺寸测量误差 $\leq 0.1\text{mm}$ ，工件位置测量误差 $\leq 0.1\text{mm}$ ，姿态测量误差 $\leq 1^\circ$ ；可同时识别的最大工件数量不低于5个，三维工件识别速度 $\geq 5\text{fps}$ ；混叠复杂场景下，工件识别准确率 $\geq 95\%$ ；手眼系统模式下，尺寸测量误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ，工件位置测量误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ，姿态测量误差 $\leq 0.5^\circ$ ，工件识别速度 $\geq 5\text{fps}$ ，工件识别准确率 $\geq 97\%$ 。实现在工业机器人上推广应用不少于200套。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.4 面向服务机器人的三维视觉传感器

研究内容：研究双目深度计算算法芯片化和结构光深度计算算法芯片化技术，研制面向服务机器人应用的低成本三维视觉传感器，实现室内外环境下高分辨率、高帧速的深度图获取，同时具备嵌入式智能计算功能。开展低成本工程化开发和规模化推广应用。

考核指标：三维传感器深度图输出分辨率不低于  $1920 \times 1080$ ，帧速  $\geq 30\text{fps}$ ；室内测量距离  $0.3 \sim 8\text{m}$ ，深度测量相对精度最优达到  $1\text{mm}$ ；室外测量距离  $0.4 \sim 30\text{m}$ ，相对深度测量精度达到距离的  $5\%$ 。实现在服务机器人上推广应用不少于 1 万台。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.5 工业机器人中间件应用平台

研究内容：研制面向工业机器人的中间件和应用框架，提出机器人中间件设计规范，制定机器人组件及数据交互建模与封装规范，实现基于网络的设备和模块间数据交互管理、面向分布式实时应用的数据分发服务、灵活集成第三方功能库和应用的机制等功能；构建基于模块化的工业机器人组件平台，实现在工业机器人系统上的应用验证。

考核指标：提供支持不少于 2 种主流硬件架构、2 种主流操作系统的中间件和应用框架；支持微秒级本地任务调度及毫秒级分布式任务调度；支持面向分布式实时应用的数据分发服务；支

持不少于 10 种通用组件、不少于 10 种应用组件；支持可视化编程环境。在不少于 3 家机器人企业、6 类工业机器人产品上进行应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.6 工业机器人云平台

研究内容：研制面向工业机器人的混合云平台，实现工业机器人网络实时、可靠接入；实现工业机器人运行参数、环境参数等海量数据的获取、传输和云端存储；实现基于自主学习的云端数据处理；构建面向多应用场景的工业机器人云端数据库，提供工艺过程优化、远程监控、智能状态分析、预测性维护等云服务。开展应用验证。

考核指标：建立 PB 级工业机器人分布式数据库系统；支持工业机器人接入不少于 3 种主流工业网络，支持 1000 点并发网络接入，数据传输可靠性 99.99%，接入网络延迟  $\leq 100\text{ms}$ 。实现 5 个应用场景的工业机器人云服务，开展不少于 5 类工业机器人的应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.7 工业机器人故障诊断及健康评估系统

研究内容：研制工业机器人在线健康评估和故障预警系统，基于机器人性能参数获取、特征提取和智能诊断，实现工业机器人的健康评估和故障预警功能；研制工业机器人整机离线健康评估和故障诊断系统，基于振动、噪声、温度、运行状态等多源特

征参数融合，实现工业机器人的健康评估和故障诊断。建立工业机器人健康评估和故障诊断技术规范。

考核指标：研制出工业机器人在线健康评估和故障预警系统、工业机器人整机离线健康评估系统和故障诊断系统各 1 套，整机故障诊断准确率  $\geq 90\%$ 。在 5 类以上国产主流品牌工业机器人产品上获得应用示范；形成工业机器人健康评估和故障诊断技术规范和行业/团体标准草案。

有关说明：鼓励产学研联合申报。

## 2.8 工业机器人整机性能提升与验证

研究内容：针对我国 6 自由度关节型工业机器人整机性能与国外同类产品存在差距，急需实现产品中高端化的需求，突破轻量化设计、机电耦合参数标定、位姿误差补偿与振动抑制、基于动力学控制、轨迹规划、新型示教、快速部署等关键技术；建立验证平台，并在我国工业机器人整机企业进行技术验证。

考核指标：提出与国外同类 6 自由度机器人产品对标的指标体系，突破不少于 10 项工业机器人性能优化关键技术，使工业机器人整机企业的不少于 6 种典型负载能力工业机器人产品性能与技术指标达到国际同类产品先进水平。

有关说明：鼓励产学研联合申报。

## 3. 关键技术与装备

### 3.1 个性化图案智能涂装机器人技术与系统

研究内容: 针对车辆外观个性化图案喷涂的需求, 开发车辆数字化三维建模和仿真平台, 研究智能自动喷涂轨迹规划算法, 实现外观图案数字化涂装程序自动生成; 研究涂层自动检测系统, 实现涂层厚度、质量在线精确控制; 研究自动供漆和换色系统, 实现高速智能换色; 研制机器人柔性智能涂装系统, 实现应用验证。

考核指标: 研制出机器人柔性智能涂装系统, 应用国产防爆喷涂机器人数量不少于 2 台; 喷涂范围不小于  $10.0\text{m}\times 3.5\text{m}\times 3.0\text{m}$ ; 曲线形团块图案边缘清晰, 网格状图案边缘水平垂直, 相邻色块无污染; 喷涂效率较传统手工喷涂提高 1 倍以上; 系统具备涂层厚度在线测量功能, 测量精度优于  $30\mu\text{m}$ ; 涂料组份、类别可根据需要自动更换, 换色时间  $\leq 10\text{s}$ 。

有关说明: 由企业牵头申报。

### 3.2 复杂曲面壁板结构搅拌摩擦焊接机器人技术及系统

研究内容: 研制适用于铝合金复杂曲面壁板结构搅拌摩擦焊的机器人产品与系统, 实现工件轮廓与姿态自动识别及测量、缝焊跟踪及焊接过程位姿精度自动控制、离线编程/在线力位混合控制、典型壁板结构的搅拌摩擦焊工艺自动规划等功能; 开发搅拌摩擦焊接工艺系统, 实现焊接过程数据收集、分析、挖掘和优化, 实现应用验证。

考核指标: 研制出适用于铝合金复杂曲面壁板结构搅拌摩擦焊的机器人系统 1 套, 机器人负载  $\geq 500\text{kg}$ , 机器人重复定位精度

±0.1mm; 高强铝合金及铝锂合金焊接厚度范围 0.5~4mm; 实现在线工件高精度监测和定位, 标定误差 ≤ 0.25mm; 焊缝偏移量 ≤ 0.5mm; 申请不少于 5 项发明专利。

有关说明: 由企业牵头申报。

### 3.3 大型复杂复合材料结构打磨机器人技术及系统

研究内容: 研制面向大型复杂复合材料结构的机器人打磨作业系统, 实现弱刚性自由曲面复杂结构零件逆向扫描与建模、机器人运动精度误差补偿、工件快速测量、打磨轨迹优化等功能; 构建复合材料结构机器人打磨工艺系统, 实现打磨的自动编程、仿真验证功能; 构建工艺专家数据库。实现大型关键复合材料部件自动打磨应用验证。

考核指标: 研制出基于国产机器人研制大型复合材料结构的打磨与喷涂作业系统各 1 套, 可打磨的规格不小于 5000mm×2000mm, 力控精度优于 1.5N, 轨迹跟踪精度优于 1mm; 复合材料打磨表面去除量精度优于 0.03mm, 打磨表面覆盖率 ≥ 90%; 与人工作业相比打磨效率提高 50%以上。申请不少于 5 项发明专利。

有关说明: 由企业牵头申报。

### 3.4 面向酿造工艺流程的机器人智能作业系统

研究内容: 面向酒类等酿造行业对酿造工艺自动化的需求, 突破机器人自动接料、自动识别上甑位置、自动探汽上甑、均匀铺撒物料、自动控制蒸汽流量、自动识别定位窖池等关键技术,

实现从窖池到拌料工位、上甑工位、摊晾工位、回窖池发酵等全过程自动化作业，研制面向酿造工艺全流程的机器人智能作业系统，实现应用验证。

考核指标：上甑机器人不少于6个自由度，最大负载 $\geq 150\text{kg}$ ；实现自动探汽、测距、调控蒸汽流量等功能；上甑料面不平度 $\leq 30\text{mm}$ ；测距误差 $\leq 20\text{mm}$ ；探汽保证汽上升跟随料顶面不超过 $120\text{mm}$ 且不穿汽，同一时刻甑内各见汽点高度偏差 $\leq 30\text{mm}$ ；智能摘酒机器人酒精度分析误差率 $\leq \pm 0.5$ 度；智能天车三坐标位置误差 $\leq 10\text{mm}$ ，水平移动速度 $\geq 30\text{m/min}$ ，纵向移动速度 $\geq 8\text{m/min}$ ，起吊重量 $\geq 3\text{t}$ ；单套系统采用的国产机器人等装备不少于8套，示范生产线数量不少于3条。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.5 汽车板材机器人激光落料和三维切割系统

研究内容：面向汽车板材激光连续落料和复杂部件三维切割作业需求，研究新型高灵巧度冗余激光切割机器人机构、多机器人高精度协同作业、机器人堆垛、在线轮廓测量、废料自动剔除识别等技术，攻克以异形汽车板件布料、切割轨迹、高速切割工艺等关键技术，形成典型工艺知识库，研制无模具数字化机器人激光落料系统，和车体冲孔和切边等三维柔性机器人激光切割系统，并进行应用验证。

考核指标：研制出基于高性能激光切割机器人的汽车板材激光落料和三维切割系统，激光切割机器人系统工作空间大于

3000mm×2000mm×600mm，连续轨迹最大切割速度 100m/min，支持切割程序和工艺参数自动生成；双激光头协同切割落料实现年产量 100 万片，支持废料识别与回收，边部毛刺挂渣小于板厚 10%，机器人堆垛错层小于 1mm，垛差不超过 3mm；对于同一类车身部件，综合切割效率达到传统的五轴三维激光切割机的 3 倍以上。申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.6 全断面掘进机刀盘刀具检测换刀机器人

研究内容：针对隧道施工中高水压条件下盾构机刀盘刀具定期检测和刀具更换的迫切需求，研究高水压下盾构机狭小密封舱大负载检测换刀机器人结构与驱动设计、机器人定位与控制、刀盘刀具在线检测识别、高抗压/高耐磨/自润滑/耐海水换刀密封等技术，研制全断面掘进机刀盘检修换刀机器人系统，并开展应用验证。

考核指标：研制出检测、换刀机器人样机各 1 台，末端定位精度均优于 1mm；检测机器人关节数量不低于 6 个，末端最大负载  $\geq 5\text{kg}$ ；换刀机器人末端最大负载  $\geq 250\text{kg}$ ，换刀系统接触外界部位最大承载海水压强  $\geq 2\text{MPa}$ ，常压换刀密封开合次数不低于 1000 次；换刀机器人工作环境最大湿度  $\geq 90\%$ ；可在截面为 1m×1m（长×宽）的长形腔体内完成检测及换刀作业；完成单把换刀时间  $\leq 8\text{min}$ 。申请不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。



### 3.7 大型结构件可移动多机器人协同原位加工系统

研究内容：针对重大装备中超大构件制造难题，攻克原位检测、多机器人系统自寻位、加工空间分割、协同加工与拼接等关键技术，研制可移动多机器人原位加工系统，实现大型结构件表面的钻、铣、磨等加工功能，并进行应用示范验证。

考核指标：系统配置原位加工机器人数量不少于 5 台；大型结构件尺度  $\geq 50\text{m}$ ，加工尺寸精度等级 IT8，原位加工机器人本体自由度不少于 5 个，加工范围  $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 300\text{mm}$ ；转角  $\geq 90^\circ$ ；最大移动速度  $\geq 50\text{m}/\text{min}$ ；重复定位精度优于  $0.02\text{mm}$ ；主轴功率  $\geq 7.5\text{kW}$ ；协调定位跟踪精度优于  $0.05\text{mm}$ 。申请不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.8 面向建筑行业典型应用的机器人关键技术与系统

研究内容：研制中大型板材构件安装双臂作业机器人，实现楼宇建造过程中大型装饰面板的高精度装配作业；研制面向典型木结构建筑装备的加工机器人，完成大曲率、异形木质构的高精度加工；研制建筑结构打印机器人系统，实现基于高性能混凝土、陶土、改性塑料等材料的复杂建筑结构打印。

考核指标：研制出不少于 3 类建筑机器人，实现不少于 10 台套应用示范。安装机器人：不少于 12 个自由度，末端工具不少于 3 种，操作工件最大尺寸不小于  $1500\text{mm}\times 2500\text{mm}$ ，最大工件重量  $\geq 350\text{kg}$ ，最大安装高度  $\geq 3500\text{mm}$ ；木构加工机器人：工作

范围不小于 11m×12m×6m，具有大曲率、异形木构加工能力，加工误差  $\leq 0.1\text{mm}$ ；建筑打印机器人：工作范围不小于 11m×12m×6m，打印精度优于  $\pm 0.5\text{mm}$ ，实现 16 轴联动打印。申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.9 面向半失能老人的辅助机器人技术与系统

研究内容：面向半失能老人的起居护理、行走辅助、肌力训练和健康监护等护理需求，研究具有多体位变换、二便检测和床椅变形的多功能辅助护理系统；研究无动力可穿戴老人助行机器人，利用自然行走过程中双腿交替能量储存与转换实现助行；研制面向老人的肌力训练机器人，对上下肢体和躯干部位肌肉进行智能化训练，延缓老年人肌肉的退行性变化；研究老人无线定位与跌倒检测系统；研究基于云平台的便携式老人健康监测系统。开展养老应用验证。

考核指标：研制出不少于 5 类助老机器人。多功能辅助护理系统具有坐、躺、翻身等体位变换、床椅自动转换及与马桶对接等功能；无动力可穿戴老人助行机器人自由度数不少于 5 个，重量  $\leq 1.5\text{kg}$ ；肌力训练机器人能够实时检测和反馈使用者的肌力值、抗阻力等肌力训练数据；老人室外无线定位精度小于 10m，老人跌倒报警准确率  $> 90\%$ ；老人健康监测系统可检测不少于 10 种生理参数，准确率  $> 90\%$ 。申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：由北京市、福建省、江苏省组织项目申报，

项目所在地政府需协调落实相关政策和经费配套措施，保障定向择优项目实施及有效运行。由企业牵头申报。

### 3.10 智能家居服务机器人技术与系统

研究内容：研制面向智慧家庭应用的服务机器人，基于物联网、智能空间与云平台技术实现服务机器人与智能家居系统的有机集成，基于语音、图像、动作识别及远程控制等多种人机交互方式，实现机器人对家电、灯光、门窗等家用设备的操控以及对入侵者、火灾、煤气泄露等环境信息的监测。构建机器人技术与智能家居技术相结合的全场景智慧生活系统，并开展技术应用验证。

考核指标：研制出家居控制、家庭安防和家庭辅助操作机器人系统，可支持电视/冰箱/空调等 10 种大型、净化器/微波炉/电饭煲等 20 种小型家用设备的交互控制和 5 种异常环境信息的监测；构建包含智能客厅、智能厨房和安防监控等全场景智能家居系统，实现不少于 2 套的应用验证。申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.11 双向神经通路的智能上肢假肢

研究内容：以仿人手臂操作、感知功能再造为目标，重点研究运动功能丧失后上肢运动—感觉神经功能重建技术，实现基于生理电信号接口的运动意图精准识别、截肢患者神经信息通道重建、感觉信号的神经传入、生机接口闭环交互训练等功能；研制兼顾运动相容性与穿戴舒适性、具备运动—感觉双向神经通路的

上肢假肢，并开展应用示范。

考核指标：研制模块化假肢大臂、前臂、手单元，可根据残疾人士具体情况进行配置；假手部分 5 手指、自由度不少于 12 个、其中主动自由度不少于 5 个，前臂主动自由度不少于 3 个，假肢大臂主动自由度不少于 21 个；在线识别出 15 种以上臂、手运动意图，准确率  $\geq 90\%$ ；实现触觉、温度觉等 2 种以上感觉信息的神经传入，电触觉系统可以感知和分辨不同手指的触觉信息；完成不少于 30 例截肢患者穿戴实验。至少有 1 项先进前沿技术达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；发表系列高水平论文，申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.12 智能动力下肢假肢系统

研究内容：面向下肢截肢残疾人，研究下肢假肢仿生结构、关节驱动机制及人一假肢感知运动融合技术；研制含有动力膝、踝关节的智能下肢假肢，实现复杂地形（平地、楼梯、斜坡、凹凸路面等）和步态/速度自适应、环境感知反馈增强、运动泛化与学习等功能；解决智能下肢假肢关节关键部件制造及碳纤维储能脚板结构成型工艺。研制智能动力下肢假肢系统，开展技术应用验证。

考核指标：智能大腿假肢具有动力膝、踝关节，总重量  $\leq 4.5\text{kg}$ ；智能小腿假肢具有动力踝关节，总重量  $\leq 2\text{kg}$ ；智能假肢整机满足连续 100 万次疲劳测试，续航时间  $\geq 8\text{h}$ ，脚板储能性  $\geq$

90%，最大承重 $\geq 100\text{kg}$ ；采用非植入式接口识别人体运动意图，识别准确率 $\geq 95\%$ 、识别延时 $\leq 50\text{ms}$ ，实现对步速和地形变化的自适应，及对步态差异的泛化学习。完成推广应用 100 台套；申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.13 面向电力行业的作业机器人系统

研究内容：面向电力行业的检测和作业需求，研制气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）检修机器人，实现 GIS 腔体的检测和维修；研制电缆隧道检测机器人，实现机器人在电缆隧道内的全自主巡检以及对隧道环境与电缆设备状态的综合监测与分析；研制配网带电作业机器人，实现目标识别和锁定，带电拆接引、导线清障等典型作业；研制 500kV 架空输电线路带电作业机器人，实现异物清除、断股修补、防震锤复位等带电作业功能。开展应用示范。

考核指标：气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）检修机器人：最大爬行速度 $\geq 1\text{m}/\text{min}$ ，定位精度偏差 $\leq 2\text{mm}$ ，障碍遮挡情况下空间环境识别率 $\geq 95\%$ ，开展实际应用验证；电缆隧道检测机器人：最大运行速度 $\geq 1\text{m}/\text{s}$ ，连续运行时间 $\geq 4\text{h}$ ，停靠定位精度优于 $\pm 25\text{mm}$ ，在电缆隧道开展应用验证；配网带电作业机器人：整体重量（含特种作业末端） $\leq 200\text{kg}$ ，工作半径 $\geq 1200\text{mm}$ ，末端定位精度优于 $\pm 1\text{mm}$ ，配备不少于 10 种特定作业工具，可识别并锁定作业目标及自主避障，识别率 $\geq 90\%$ ，开展实际应用验证；

架空输电线路带电作业机器人：定位精度 1mm，续航时间  $\geq 2\text{h}$ ，通讯距离  $\geq 2\text{km}$ ，能够跨越防震锤、悬垂线夹等，开展实际应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.14 高海拔环境科考站辅助值守机器人

研究内容：研制极端环境科考站站内移动作业机器人，实现站内自主定位、导航、避障移动、自动充电等功能，搭载机械臂/灵巧手，实现对站内典型对象的精细操作，完成典型设备维护、更换、实验操作等任务；研制站外移动作业机器人，可自主进、出科考站，可适应站外恶劣气候条件与地理环境，可搭载机械臂及即插即用科考任务载荷，在科考站周边完成相关科考任务；研制人一机友好遥操作系统，建立遥操作安全机制。在实际科考站开展应用验证。

考核指标：研制出面向极端环境科考站辅助值守的站内、站外移动作业机器人系统各 1 套。站内移动作业机器人：最大运动速度  $\geq 5\text{km/h}$ ，可适应我国相关科考站内的典型环境，集成不少于 7 自由度机械臂和灵巧手，可完成不少于 10 项站内典型科考任务；站外移动作业机器人：可适应相关科考站外典型地理与气候环境，集成不少于 6 自由度机械臂及模块化作业工具，完成不少于 5 项站外典型科考任务。分别针对站内、站外机器人提出环境适应量化考核指标，在实际科考站开展应用验证；申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：鼓励产学研用联合申报。

### 3.15 面向石油/化工等危险环境的防爆消防机器人

研究内容：针对石油/化工等高危环境的消防需求，突破有毒/易爆/高温/复杂地形等环境适应技术、多机器人协作与远程监控等关键技术，研制具有环境感知能力的高可靠性、高适应性系列化防爆型消防机器人，实现在石油/化工等高危环境的规模化推广应用。

考核指标：形成防爆高倍数泡沫消防机器人、防爆消防排烟机器人、防爆搬运机器人、防爆消防灭火机器人、防爆消防侦察机器人等不少于 5 种防爆型消防机器人；达到石油/化工等高危环境下作业防爆等级要求；机器人爬坡坡度  $\geq 40^\circ$ ，越障高度  $\geq 250\text{mm}$ ，涉水深度  $\geq 350\text{mm}$ ，防护等级 IP65，适应环境温度  $\geq 300^\circ\text{C}$ ；远程操控平台可同时管控不少于 50 台机器人。推广应用不少于 1000 台。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.16 面向脊柱椎板切除手术的机器人系统

研究内容：面向脊柱手术中脊髓或神经根精准减压需求，研制椎板切除手术机器人系统，具备术前规划、术中精准导航与椎板切除操作、手术效果评估等功能，实现安全、高效、精准、便捷的椎板切除手术。开展模型、动物试验验证。

考核指标：研制出脊柱椎板切除手术机器人集成样机系统，与现有术中影像设备、手术环境良好融合；实现高精度导航、控

制，手术器械末端操作精度优于 0.3mm；机器人力反馈精度优于 5%；具有良好人机交互能力、安全性保障机制；建立机器人辅助脊柱椎板切除手术操作流程与规范，完成不少于 10 例动物试验。申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：鼓励产学研医检联合申报。

### 3.17 面向人体狭窄腔道的微创手术机器人

研究内容：面向狭窄空间微创手术，研究软组织生物形变建模以及手术器械与软组织界面的交互作用机理、柔性传动机构设计、动力传输、系统运动学模型、柔性机器人力感知与反馈、手术工具集成与远端控制等技术，研制可完成狭窄空间微创手术机器人系统。

考核指标：微创手术机器人集成柔性内镜与手术执行器，直径  $< 12\text{mm}$ ，重复定位精度  $1\text{mm}$ ，手术执行器不少于 3 种且术中可更换；单个手术执行器端部自由度不少于 4 个，弯曲角度  $\geq 160^\circ$ ，夹持力  $\geq 3\text{N}$ ；建立全手术过程的安全性及有效性评估规范，面向切割、烧灼等典型手术操作完成动物实验不少于 10 例；申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：鼓励产学研医检联合申报。

### 3.18 面向下肢骨折精准复位手术与康复一体化机器人系统

研究内容：针对下肢及踝关节骨折复位手术与康复治疗，重点突破机构设计、基于医学影像的多体实时追踪、骨折精准复位轨迹规划与软件实现、生物力学信息在线采集与评估、基于骨愈



合机理的主被动融合康复等技术，研制下肢骨折复位手术与康复一体化机器人系统；面向下肢长骨、踝关节骨折治疗，开展临床试验验证，建立手术与康复过程的安全性及有效性评估体系。

考核指标：研制出下肢骨折复位手术与康复一体化机器人系统，不少于6个自由度，工作空间不小于150mm×100mm×100mm，重复定位精度优于0.05mm，重量≤15kg，具有骨折部位六维力和力矩实时反馈功能；针对长骨和踝关节提出骨折复位手术与康复量化指标；建立机器人操作规范，完成临床试验不少于10例。申请/获得不少于5项发明专利。

有关说明：鼓励产学研医检联合申报。

## 4. 应用示范

### 4.1 大型轴类楔横轧制机器人化生产线及其应用示范

研究内容：面向高铁、轨道交通、大型工程机械等领域对大型轴类零件产品高效、环保制造需求，针对轴类楔横轧制过程中存在的工件温度高、质量大、规格品种多变的特点，开发大型工业机器人作业系统，研制面向大型轴类零件的全自动楔横轧制生产线，实现大型轴类轧制过程中上料、下料、翻转、穿/抽取芯棒和收集等机器人化作业，并开展应用示范。

考核指标：研制出机器人化楔横轧制生产线不少于1条，每条生产线应用不少于5台国产机器人；机器人负载≥5000N；工作效率提高到2倍以上；适应产品规格：直径200~250mm，长度2300~2500mm，工件温度≥900℃；轧制轴类预留加工量≤2.5mm；

可轧制品种不少于4种类型的轴类零件。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.2 面向五金行业制造的国产机器人系统应用示范

研究内容：针对五金行业品种多样化，市场需求变化迅速的特点，开展智能工厂数字化建模和仿真优化，实现工艺和物流布局的全局最优，大幅提升五金行业制造运营效率。在制造加工环节，实现机器人冲压、焊接、抛光、喷涂、码垛；在物流环节，运用机器人贴标、码垛、包装以及AGV转运；研究多机器人协作，提升生产线柔性和智能化水平；研制机器人并与周边加工设备、成套物流装备进行系统集成，实现国产机器人在五金行业柔性智能工厂的批量应用示范。

考核指标：实现300台以上国产机器人的系统集成，较传统制造模式，生产效率提高20%以上，运营成本降低20%以上，产品升级周期缩短30%以上，产品不良率降低20%以上，单位产值能耗降低20%以上。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.3 面向铸造行业的机器人自动化生产线

研究内容：针对铸造生产的自动化智能化需求，研制铸造行业机器人自动化生产线，实现机器人砂芯抓取、浇冒口切割、铸件检测、识别、打磨、切割取样、防腐涂装等功能，实现产品信息跟踪和可追溯，具备2种以上铸件的混流生产能力，开展应用示范。

考核指标：一条生产线配置国产机器人应用数量不少于 10 台；砂芯抓取定位夹具重复定位精度 $\pm 0.3\text{mm}$ ，夹紧力不破坏砂芯；机器人去除铸件的浇冒口和铸件打磨效率提升 30%以上；实现不少于 3 条生产线的应用示范。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.4 面向定制式木工家具制造的机器人自动化生产示范线

研究内容：研究面向定制式木工家具制造的自动化生产线关键技术及装备，开发面向装修规模化和个性定制式木工家具制造的设计软件系统及制造生产运行管控系统；开发大跨距高精度曲臂龙门机器人、高速堆垛机器人、木工家具自动组装系统、快速包装箱定制裁切及全自动包装系统等，研制木工家具柔性自动化生产线，实现面向定制式木工家具制造的机器人自动化生产应用示范。

考核指标：大跨距高精度曲臂龙门机器人：跨距 $\geq 15\text{m}$ ，移动距离 $\geq 90\text{m}$ ，速度  $3.5\text{m/s}$ ，定位精度 $\pm 0.2\text{mm}$ ，负载  $100\text{kg}$ ；堆垛机器人：速度  $3.5\text{m/s}$ ，负载  $200\text{kg}$ ；木工组装机机器人：工作节拍 2.5 秒/件，装配精度 $\pm 0.05\text{mm}$ ；上下料一体柔性定制裁纸箱机器人：切割速度  $2.5\text{m/s}$ ，切割厚度  $2.5\sim 8\text{mm}$ ；全自动包装机机器人：工作节拍 2.5 秒/件。申请不少于 5 项发明专利；国产机器人应用数量不少于 100 台套，实现不少于 6 条生产线的应用示范。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.5 卫浴陶瓷制造机器人自动化生产示范线

研究内容：针对卫浴陶瓷行业劳动强度大、生产环境恶劣、效率低等问题，研究机器人高压成型工艺，研制新型模具，实现自动注浆、开模、脱模、洗模和粘接；基于施釉、修坯工艺和抛磨力精确控制，实现机器人施釉、修坯、在线检测、分级分拣；研制卫浴陶瓷成型、施釉、检测一体化机器人柔性自动化生产线，并开展应用示范。

考核指标：研制出 3 条以上卫浴陶瓷自动化生产线，实现机器人高压注浆成型、干法修坯、机器人施釉、干燥与检测，应用国产机器人数量不少于 30 台，单线产能  $\geq 3000$  件/天；典型陶瓷卫浴产品成型制坯合格率  $\geq 99\%$ ，釉面缺陷在线检测精度优于  $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.6 洁净环境大尺寸玻璃基板搬运机器人系统及应用示范

研究内容：面向高世代平板显示面板制造需求，研制洁净环境大尺寸玻璃基板搬运机器人系统，实现高刚性轻量化、精密快速定位、高性能平稳控制、洁净无痕抓取等功能，并开展批量化应用。

考核指标：研制出玻璃基板搬运机器人，手臂横向振动量  $\leq 7\text{mm}$ ，手臂承担载荷  $\geq 65\text{kg}$ ，最高行走速度  $2.2\text{m/s}$ ，重复定位精度优于  $\pm 0.25\text{mm}$ ，可搬运玻璃基板尺寸不小于  $2900\text{mm}\times 3300\text{mm}$ ，可搬运玻璃基板最小厚度  $0.3\text{mm}$ ，环境洁净度等级 Class10 ( $0.3\mu\text{m}$ )；实现 100 台套以上推广应用。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.7 面向手机/笔记本电脑制造的机器人自动化生产线

研究内容：研制面向手机/笔记本电脑制造的高效率柔性机器人自动化生产线，实现零部件高精度的视觉定位检测、柔性精密装配、整机检测、不良品下线、柔性包装，并具备返修追踪及物料信息追溯等功能。开展应用示范。

考核指标：零部件装配精度 $\pm 0.02\text{mm}$ ，自动组装重复定位精度 $\pm 0.01\text{mm}$ ，装配生产线生产节拍 $\leq 10$ 秒/件；单条生产线采用国产机器人不少于30台套，在典型企业开展不少于5条生产线的应用示范。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.8 面向特钢棒材精整作业的机器人系统

研究内容：围绕特钢棒材精整区域转运频繁、危险及繁重人工作业替代及精整工艺高质量、高效率的需求，构建智能精整的全流程、集群化机器人作业生产线，建立网络化可追溯的工艺、作业及设备数据的质量管理平台，实现精整拆捆、打捆、修磨、贴标，以及标准样品、成品存取等机器人化作业，实现半成品至成品自动转运，信息流跟踪，并开展应用示范。

考核指标：构建特钢棒材精整作业生产线系统不少于3条，实现高效智能化精整作业，每条生产线配置国产工业机器人不少于10台；标准样品存取机器人本体末端载荷 $\geq 800\text{kg}$ ；对于直径50~200mm特钢棒材上深度大于0.2mm和长度大于0.5mm的缺

陷，修磨符合率  $\geq 95\%$ ；建立网络化可追溯的工艺、作业及设备数据的质量管理平台，实现精整质量可追溯，满足年产 20 万吨以上特钢棒材精整作业需求。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.9 面向鞋服行业的机器人自动化生产线

研究内容：面向鞋服行业急需自动化、个性化改造的需求，研制针织面料鞋/服机器人自动化生产线，具有鞋/服织物的数字化设计、织物三维立体编织、基于视觉的机器人作业轨迹实时编程等功能，实现剪裁、缝合、粘贴等工序全自动化以及全流程数字化管理。

考核指标：研制出鞋/服生产机器人自动化生产线，每条产线配置不少于 5 台国产工业机器人和一套 3D 机器视觉系统，产能  $\geq 200$  件/小时，剪裁、缝合、粘贴误差  $\leq 1\text{mm}$ ，产线换型时间  $\leq 30\text{min}$ 。实现不少于 5 条生产线应用示范。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.10 汽车轮毂智能磨抛机器人系统

研究内容：针对汽车轮毂行业磨抛自动化生产需求，研制汽车轮毂智能磨抛机器人系统，具备满足全方位磨抛姿态要求，实现机器人力位混合控制和磨抛量补偿等功能，开发智能磨抛系统软件包，完成表面打磨抛光、去毛刺等作业。开展应用示范。

考核指标：使用国产机器人的智能磨抛系统不少于 100 台套；机器人负载能力  $\geq 50\text{kg}$ ，重复定位精度优于  $\pm 0.1\text{mm}$ ，机器人腕端

(五轴)运动范围 $\geq 360^\circ$ ；打磨力控制精度优于2N；打磨效率提升30%以上。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.11 面向有色金属浇铸过程的机器人作业系统

研究内容：针对有色金属冶炼浇铸过程自动化操作的实际需求，研究基于视觉识别、力觉感知的机器人操作控制等技术；研制面向浇铸、扒渣和铸锭码垛等工序的特种机器人，实现有色金属溶液浇铸、扒渣和铸锭码垛等过程的实时感知、快速识别和精准操作等机器人智能化作业；构建金属浇铸全生产流程的智能机器人作业生产线，并开展应用示范。

考核指标：研制出可支持不少于3种有色金属铸锭过程的机器人化生产线；机械臂不少于6个自由度，定位精度优于1cm，最大速度 $\geq 0.5\text{m/s}$ ；机器人作业操作适应温度 $\geq 500^\circ\text{C}$ ，负载 $\geq 50\text{kg}$ ；处理后的氧化渣中主金属含量 $\leq 10\%$ ；金属锭平整度 $> 90\%$ ，单个铸锭模具机器人扒渣和切削毛刺处理时间 $\leq 3\text{min}$ 。每条生产线国产机器人系统应用数量不少于6台套，应用示范生产线不少于3条。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.12 面向锻造行业机器人自动化生产线

研究内容：针对汽车零配件锻压生产制造过程中的高温、振动、噪音、作业环境差、危险性高、劳动强度大等问题，突破多自由度夹具设计、冲击与振动吸收、故障诊断与高温防护等关键

技术，开展多机器人多级联动的协调操作与控制研究，研制集制坯、成型、精整、冲孔与检测制造过程于一体的全自动锻压机器人生产线。

考核指标：构建机器人自动化锻压生产线，生产工作节拍 $<10$ 秒/件，机器人末端执行器承受锻件温度 $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，夹持精度优于 $\pm 1\text{mm}$ 。每条生产线配置国产机器人不少于4台套，在典型企业开展不少于4条生产线的应用示范。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.13 钣金制造机器人智能化生产线及应用示范

研究内容：面向钣金行业多品种小批量的快速切换、可靠生产需求，研制高柔性钣金加工制造机器人系统及智能化生产线，实现自动更换工装、自动更换模具、离线编程、设备联网、远程监控等功能，并开展应用示范。

考核指标：研制出钣金制造机器人智能化生产线，实现20种以上产品生产，不同产品生产程序切换完成时间 $\leq 2\text{s}$ ，全部配套设备切换完成时间 $\leq 10\text{min}$ ；离线编程时间 $\leq 30\text{min}$ ，自动更换工装和模具的时间 $\leq 5\text{min}$ ；生产效率比人工生产提高30%以上，良品率 $\geq 99\%$ 。国产工业机器人系统应用数量不少于50台套，应用示范生产线不少于5条。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.14 面向电商的无人化仓储物流机器人系统及应用示范

研究内容：针对电商大规模无人化仓储物流需求，研制快速



移动的物流搬运机器人、高速自动码垛机器人、灵巧作业的物流分拣机器人和包装机器人等；研究多传感器融合的物品/包裹快速识别和测量技术；研究基于云端的多机器人智能调度与优化技术；研究适用于上千种货物品类的高密度自动存储系统；构建电商无人化仓储物流中心，实现物流拆包、入库、出库、分拣、搬运和包装等自动化作业，开展应用示范。

考核指标：构建不小于 30000 平方米的电商无人化仓储物流中心，配置不少于 100 台国产物流搬运机器人、不少于 15 台国产码垛、分拣和包装机器人、不低于 10000 个托盘存储能力的高密度自动化立体货仓、不少于 5 条具有货物称重及体积测量与扫描功能的智能化高速输送线；可同时存储不少于 2000 种不同规格和类型的货物，可处理订单量  $\geq 10000$  单/天。申请不少于 10 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.15 面向大型立面维护的作业机器人与应用示范

研究内容：面向石化储罐、船舶、锅炉等大型立面维护需求，研制高负载、曲面自适应灵活爬壁机器人及维护作业功能模块，开发智能作业信息管理系统，研制大型立面维护作业机器人系统，实现机器人除锈、喷漆、检测、除海生物等作业，以及无污染的废物回收。

考核指标：研制出大型立面维护作业机器人，机器人重量  $< 65\text{kg}$ ，机器人载重自重比不低于 2，机器人最大运动速度  $\geq$

8m/min，最大越障高度  $\geq 20\text{mm}$ ；开展除锈、喷漆、检测、除海生物等作业，机器人防水、防尘、防爆等能力达到行业规定等级，作业效果符合相关行业标准，作业效率为人工的 2 倍以上。实现 50 台套以上推广应用。

有关说明：由企业牵头申报。