

## 附件 1

# “智能机器人”重点专项 **2017** 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）》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 2017 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。本专项协同标准体系建设、技术验证平台与系统建设、典型示范应用，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）。

2017年，拟在6个方向，按照基础前沿技术类、共性技术类、关键技术与装备类和示范应用类四个层次，启动42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机器人研发，在配套经费方面，由企业或医院牵头的项目，配套经费与国拨经费比例不低于1:1；第4部分应用示范类项目，配套经费与国拨经费比例不低于2:1。

项目申报统一按指南二级标题（如1.1）的研究方向进行。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必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。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“拟支持项目数为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. 基础前沿技术**

### **1.1 机器人新型机构设计理论与技术**

研究内容：面向仿生飞行、仿生游动、仿生跳跃等仿生机器人前沿技术，研究机器人新型机构的设计理论与技术，实现与新型材料、新型驱动、新型传感器技术的高度融合，研究新结构、新机构的建模与控制技术，研制相应仿生机器人实验样机，实现验证。

考核指标：研制仿生飞行、仿生游动、仿生跳跃等不少于 3 类仿生机器人实验样机，性能达到国际同类研究领先水平，取得 2-3 项原创性成果。

### **1.2 机器人智能发育理论、方法与验证**

研究内容：利用机器学习、人工智能与脑科学的研究成果，研究基于模仿学习、自主学习的机器人知识、技能获取与增长机制及实现方法；面向自主作业和自主移动，研究机器人智能发育的软硬件实现方法；研制机器人实验平台，实现技术验证与示范。

考核指标：面向自主作业和自主移动，构建不少于 2 类智能机器人实验平台；实现基于发育的动态非结构化环境认知与行为优化决策，针对 5 种以上典型应用场景对技术成果实现实验验证。

### 1.3 生-机智能交互与生机电一体化机器人技术

研究内容：研究神经信号的时频空高分辨率测量、解码与神经控制技术，脑电、肌电、视觉、触/力觉信息的融合方法，行为意图识别与理解、人机交互控制及生机电系统功能集成等技术；构建基于多模态传感信息的人机自然交互系统实验平台。

考核指标：研制出神经信号高分辨率在体测量系统；神经控制接口实现 20 种以上离散模式实时解码与控制，单次解码时间不大于 200ms，准确率不低于 95%；实现在康复辅助机器人、协作型机器人及运动神经假体中的实验验证。

### 1.4 人机协作型移动作业机器人

研究内容：研究一体化柔顺关节设计、高负重比轻型机械臂结构设计、基于关节力感知的机械臂柔顺控制等技术；研究高集成度多指灵巧手机构设计、触/力觉感知与多指协调控制等技术；研究全方位移动平台设计技术；研究基于视觉等传感器的环境感知、作业对象识别与定位、移动臂自标定、臂-手协调控制、反应式行为规划与控制等技术；研究人的行为意图理解与人机互助协作技术；研制高负重比轻型机械臂、多指灵巧手及移动平台集成系统，面向典型应用开展试验验证。

考核指标：机械臂不少于 7 个自由度，重量不超过 25kg，工作半径不小于 900mm，负载能力不小于 7kg，重复定位精度优于 0.05mm；具备碰撞检测与预警、整臂动态避碰、力顺应及柔顺作

业能力。灵巧手具备仿人 5 指结构、集成力/触觉传感器，每指主动自由度不少于 2 个。移动平台具备全方位移动、自主避碰能力，定位精度优于 5mm。面向不少于 2 个应用领域开展试验验证。

### 1.5 助力型外骨骼机器人

研究内容：研究助力外骨骼机器人的人机相容性设计、关节变刚度驱动、人体运动感知、人机耦合协同控制，以及高功率密度动力源、系统轻量化等关键技术，研制负重移动型外骨骼、以及作业增强型外骨骼机器人，面向典型需求开展试验验证。

考核指标：负重移动型外骨骼机器人支持行走、站立、转体、下蹲、上下楼梯、上下斜坡等人体运动，可适应水泥、硬质泥土、砂砾等复杂地面，本体重量不大于 30kg，最大承载能力不小于 90kg，负重 50kg 状态下行走速度不低于 4km/h，连续工作时间不小于 6h。作业增强型外骨骼机器人本体重量不大于 50kg，搬移托举能力不小于 50kg，负重 30kg 状态下连续工作时间不小于 3h。上述两种机器人平均助力效率不小于 70%；面向不少于 2 个应用领域开展试验验证。

## 2. 共性技术

### 2.1 机器人系列化高精度谐波减速器产品性能优化

研究内容：针对我国机器人产业对高精度、高可靠性、系列化谐波减速器需求，开展谐波传动啮合齿形设计、啮合过程动态仿真模拟与优化等关键技术研究，形成完善的谐波减速器设计体

系；突破谐波减速器制造工艺技术，提高批量生产过程中产品的一致性和可靠性；研究检测工艺，完善产品质量检验手段；开展工程化开发和规模化推广应用。

考核指标：开发出不少于 15 种高精度谐波减速器；在谐波减速器寿命周期内，背隙初始值小于 10 弧秒，双向传动精度优于 2 弧分，重复定位精度优于 20 弧秒，额定寿命超过 10000 小时，满负荷条件下噪声小于 60 分贝，效率大于 70%；批量化生产产品合格率优于 97%；实现 5 万台/年的生产能力，项目执行期内累计销售谐波减速器 10 万台以上。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.2 机器人系列化高精度 RV 减速器产品性能优化

研究内容：针对高精度、高可靠性、系列化 RV 减速器设计、制造和检测需求，开展传动齿形啮合三维动态仿真模拟与优化等关键技术研究，形成 RV 减速器优化设计技术体系；突破批量制造工艺技术，提高批量生产过程中产品的一致性和可靠性；研究检测工艺，完善产品质量检验手段；开展工程化开发和规模化推广应用。

考核指标：研制覆盖负载 6-500kg 工业机器人所需系列化 RV 减速机；在 RV 减速器寿命周期内，齿隙精度优于 0.5 弧分，传动精度优于 1 弧分，额定载荷条件下效率高于 85%，额定寿命不小于 8000 小时，满负荷条件下噪声不大于 70 分贝；批量化生产

产品合格率优于 97%；实现 5 万台/年的生产能力，项目执行期内累计销售 RV 减速机产品 5 万台以上。

有关说明：由企业牵头申报。

### 2.3 工业机器人伺服电机与驱动产品性能优化

研究内容：针对我国机器人产业对专用伺服电机和驱动器的需求，开展网络化、模块化、智能化、安全、高效节能等关键技术研究，研制高可靠性、高性能的伺服电机和驱动器产品；提高批量生产过程中产品的一致性和可靠性；研究检测工艺，完善产品质量检验手段；开展工程化开发和规模化推广应用。

考核指标：研制覆盖负载 6-500kg 工业机器人所需系列化工业机器人伺服电机与驱动产品，支持两种以上高速工业现场总线接口，具备惯量自动识别和控制参数自整定等功能；平均无故障时间不小于 30000 小时；项目执行期内累计实现在工业机器人上示范应用 5 万台以上。

有关说明：由企业牵头申报。

### 2.4 工业机器人控制器产品性能优化

研究内容：基于嵌入式实时多任务操作系统，支持两种以上硬件架构，开发支持智能控制算法、外部传感器接入以及结合工艺定制化的二次开发接口，研制工业机器人网络化、高安全性、高实时性、高可靠性、高适应性的控制器产品；提高批量生产过程中产品的一致性和可靠性；研究检测工艺，完善产品质量检验

手段；开展工程化开发和规模化推广应用。

考核指标：具备 2 种以上高速总线接口，可实现机器人视觉、力等外部传感器的接入；具备开放式二次开发环境；安全性符合国家或行业相关标准；平均无故障时间不小于 10000 小时；具有 5 种以上工艺软件包；项目执行期内累计实现工业机器人上示范应用 5000 台套以上。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.5 机器人操作系统

研究内容：研究支持多核与网络化分布处理的实时任务分割与通信技术、实时数据分发与交互技术；研究对多种主流硬件体系结构和智能硬件加速芯片的支持技术；研究设备即插即用式动态配置技术、机器人功能组件标准化技术、机器人应用框架描述技术；开发兼具实时性、多任务和交互性的机器人操作系统。

考核指标：提供机器人作业与移动 8 类以上常用功能模块库，支持不少于 2 种的主流硬件架构，支持 2 种以上现有主流操作系统的运行环境和应用框架，支持 10 种以上机器人驱动器及传感器，实现微秒级中断任务调度延时和任务切换时间，提供一套可视化调试测试平台，在 5 家以上机器人企业、6 类以上机器人产品进行应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.6 面向工业机器人生产线的工艺规划仿真与离线编程软件



研究内容：研究工业机器人和周边设备作业环境三维建模与可视化、运动仿真、轨迹生成、碰撞检测、虚拟交互、程序载入等技术；研究生产制造流程和工艺规划的效率分析、故障检测与优化技术；面向行业自动化生产线研制需求，研发工业机器人生产线的工艺规划仿真与离线编程软件。

考核指标：开发面向工业机器人生产线的工艺规划仿真与离线编程软件，提供不少于 3 种典型工艺应用软件包；建立机器人及智能设备单元虚拟仿真模型数据库，涵盖不少于 3 家国产工业机器人主机龙头企业系列产品；生产线中可运动执行部件工作轨迹、可达性、干涉性模拟达 100%；在不少于 3 种工业机器人生产线研制中进行应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.7 工业机器人可靠性质量保障技术

研究内容：研究工业机器人可靠性工作基本规范、可靠性影响因素与特性；研究工业机器人高可靠性设计方法、可靠性评估建模方法、指标预测与分配技术；研究核心部件与整机的可靠性测试、破坏性测试和加速测试方法；完成相关实验验证，形成工业机器人可靠性质量保障技术体系。

考核指标：建立机器人可靠性质量保障技术体系，应用于 3 家以上国产工业机器人重点主机厂产品，使国产工业机器人平均无故障工作时间达到 80000 小时。

## 2.8 工业机器人整机性能测试与评估平台

研究内容：研究工业机器人整机性能所需参数及其测量方法，研究温湿度、震动、电磁等环境方面对于机器人整机性能的影响，研究伺服电机、减速器等核心部件静动态特性、性能退化评估方法与测试技术，研究由控制器、伺服电机和关节减速器组成的机器人驱动系统的机电耦合动力学特性、系统性能运行品质的仿真模型和评估方法，研究基于多基站激光跟踪仪联动的机器人精度测量技术，建立工业机器人整机性能评估模型，形成机器人性能测试与评价的技术规范，研制机器人整机性能测试与评估系统。

考核指标：形成机器人测试分析与评估的软件与技术规范、机器人定位精度测试分析规范、机器人联动性能评价方法及其测量技术规范，构建机器人整机性能综合测试与评估系统，完成不少于 10 种国产主流品牌工业机器人的综合测试与评估；形成相关国家标准草案。

## 3. 关键技术与装备

### 3.1 大型复杂曲面叶片智能磨抛作业机器人技术与系统

研究内容：研究大型复杂曲面叶片定位与型面检测、力控磨抛、视觉检测技术及效率提升等机器人磨抛工艺技术；研究多机器人协同作业碰撞与干涉规避技术、多机器人磨抛系统集成技术；研制大型叶片多机器人智能磨抛作业系统，在风电等行业开展应

用验证。

考核指标：多机器人协同打磨，叶片一次装夹打磨区域不小于 90%，打磨后粗糙度优于 Ra3.2，叶片型面过渡平滑，无氧化烧伤，磨抛面与要求型面的尺寸偏差不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，机器人磨抛速度：不少于人工磨抛速度的 1.5 倍。打磨质量符合叶片质量检测行业标准。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.2 大型复杂结构机器人智能激光焊接技术及系统

研究内容：研究大型复杂结构焊缝位置识别和焊缝特征尺寸提取、激光自动化焊接工艺和焊接质量稳定性控制、焊接路径规划与编程等技术；研制大型复杂结构的机器人智能激光焊接技术及系统，形成工艺规范、工艺数据库；焊缝质量符合行业标准。在航空、航天等典型行业实现应用验证。

考核指标：实现全位置焊缝的激光自动识别、寻位、聚焦及焊接；机器人重复定位精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ ；焊缝轨迹跟踪精度优于 $\pm 0.10\text{mm}$ ；焊接加工速度不小于  $10\text{m/min}$ 。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.3 面向飞机装配的机器人智能钻铆技术与系统

研究内容：针对飞机部件装配中对于异形曲面钻铆精度的需求，研究钻铆工艺规划、精确定位、作业状态实时监测及精确控制、精度实时补偿、质量评估等关键技术；开展智能钻铆单元设

计，研制多功能末端执行器；研制面向飞机复杂构件装配的智能钻铆系统，开展应用验证。

考核指标：机器人末端执行器定位精度优于 0.4mm；制孔法向精度优于 0.4°；满足制孔直径 $\Phi 2.6-8.5\text{mm}$ 、厚度 3-15mm 的铝合金单层及叠层材料、铝合金与复合材料叠层材料、铝合金与钛合金叠层材料的紧固孔制孔要求，精度达到 H9，铤窝深度误差 $\leq 0.05\text{mm}$ ；孔径在线检测精度优于 0.01mm；铆钉头与工件表面平齐度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，形成飞机构件智能钻铆工艺规程与规范。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.4 混联机构加工机器人

研究内容：研究混联机器人构型综合与虚拟样机技术；研究混联机器人轨迹规划、高速高精度运动控制技术；研究系统误差补偿、工件局部三维形貌快速检测与加工过程监控技术；研究系统整体加工精度与局部表面形貌测量评价技术；研制高性能 5 自由度混联机器人，开展应用验证。

考核指标：机器人工作空间优于 $\Phi 1200 \times 250\text{mm}$ 圆柱体，最大速度优于 50m/min，定位精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，重复定位精度优于 $\pm 0.02\text{mm}$ ，主轴功率不小于 7.5kW,可以完成钻铣加工。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.5 室外无轨导航重载 AGV

研究内容：研究高速、大负载、高精度室外无轨自主移动 AGV

设计与优化技术；研究室外复杂环境无轨安全导航技术；研究室外多 AGV 高效规划、调度、管理与监控技术。开展室外无轨导航 AGV 典型应用场景应用验证。

考核指标：AGV 最大直线行走速度 $\geq 30$  公里/小时，续航时间不少于 8 小时，重复定位精度优于 50 毫米，负载重量 $\geq 60$  吨；开展港口物流等典型行业应用验证，项目执行期内部署运行 AGV 不少于 30 台。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.6 液压重载机械臂

研究内容：面向工业领域大负载作业需求，研究多自由度液压重载机械臂的机构设计、液压驱动伺服控制、动力匹配、重载条件下动态稳定夹持等关键技术，研制多关节液压重载机械臂，实现面向典型行业的应用验证。

考核指标：机械臂自由度不少于 6 个，有效工作半径不小于 2.5m，最大夹持负载不小于 3000kg，额定负载下最大运动速度不小于 0.2m/s，末端重复定位精度优于 0.4mm。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.7 智能护理机器人

研究内容：面向卧床老人进餐/吃药等物品递送和远程监护等需求，开展机器人机构设计、自主移动、物品自动检测与识别、机器人灵巧作业、人机交互、远程监控等关键技术，研发保姆型

护理机器人及相关智能家居系统。面向失能老人移乘搬运需求，研制移乘搬运护理机器人，开展应用验证。

考核指标：保姆型护理机器人机械臂不少于 6 个自由度,最大抓取负载不小于 2kg，可实现远程监控、自主物品递送等功能；智能家居系统可支持不少于 5 种常用家电的机器人操控。移乘搬运护理机器人最大负载能力不小于 80kg，可实现卧床老人的安全移乘。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.8 截瘫患者助行机器人

研究内容：面向下肢截瘫患者，研究兼顾运动相容性与穿戴舒适性的助行机构设计、协调控制 and 安全性保障等关键技术，研制截瘫患者助行机器人，实现截瘫患者自主站起、在不同路面行走、上下楼梯以及上下坡等功能。

考核指标：助行机器人可适用于身高 150-185cm 的截瘫患者穿戴，本体重量不超过 25kg，关节主动自由度不少于 4 个，续航时间不小于 2h，平均行走速度不低于 1km/h；完成不少于 50 例截瘫患者穿戴站立行走实验，每例截瘫患者穿戴站立行走不少于 1.0 小时。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.9 服务机器人云服务平台

研究内容：建立基于互联网的开源共享云端数据库，研究服

务机器人环境、目标、交互等海量数据的获取与云端存储技术，以及自主推理与规划、自主学习等数据挖掘技术，构建机器人云服务平台，提供环境感知建模、目标识别理解、智能交互等云服务，开展应用验证。

考核指标：建立百 PB 级分布式数据库系统，实现对 TB 级别数据检索结果的秒级响应。可实现下述云服务：动态场景快速三维重建，精度优于 1cm；20 类以上场景分类，正确率优于 95%；复杂环境下人脸识别比对，正确率优于 98%；7 种以上表情识别，正确率优于 90%；15 种以上人体行为识别，正确率优于 92%；语音识别正确率优于 95%，具备长句语义理解能力；制定接入标准，具备支持千万级用户的服务能力，开展不少于 5 类服务机器人应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.10 核电站机器人检修智能作业系统

研究内容：面向核电站一回路运行维护，确保核电站安全运行的需求，研制蒸汽发生器传热管检修定位机器人、核燃料组件破损泄露监测机器人、核燃料组件检测机器人、核燃料组件骨架修复机器人，实现蒸汽发生器传热管的检查、定位与破损封堵、核燃料棒包壳破损的定量检测、核燃料组件关键指标检测，以及核燃料组件骨架的更换，并开展应用验证。

考核指标：蒸汽发生器传热管检修定位机器人最大爬行速度

不小于 1m/min，定位精度偏差小于 1mm，耐辐照剂量率大于 2Gy/h；核燃料组件破损泄露监测机器人检测气态核素种类 $\geq 2$ ，检测裂缝当量长度 $\geq 30\mu\text{m}$ ，累计耐辐照剂量 $> 106\text{Gy}$ ；核燃料组件缺陷检查机器人工作水深 $> 12\text{m}$ ，氧化膜厚度检测精度 $\pm 5\mu\text{m}$ ，累计剂量 $> 106\text{Gy}$ ；核燃料组件骨架修复机器人在 4 米工作水深下夹爪对中精度 $\pm 1\text{mm}$ ，抽棒最短时间 12min/根，累计剂量 $> 106\text{Gy}$ 。

有关说明：由核电企业牵头申报。

### 3.11 面向盾构施工的机器人智能作业系统

研究内容：研究集成环与撑紧功能为一体的安装机器人机构设计、局部塌方与破碎围岩快速支护、隧道底部积渣清理等技术，研制敞开式硬岩掘进机钢拱架安装机器，开展应用验证。

考核指标：敞开式硬岩掘进机钢拱架机器人自动安装系统，环钢拱架拼装时间不超过 20min，旋转环速度不小于 2rpm，实现自身 360°钢拱架安装。

有关说明：由企业牵头申报。

### 3.12 眼科手术机器人系统

研究内容：面向精准安全的眼科手术治疗，重点突破眼科机器人灵巧机构与新型手术器械设计、多源传感信息融合与导航、高精度自适应控制、安全性保障等技术，研制眼科机器人手术系统，适用于青光眼靶向治疗、白内障和玻璃体等手术，建立全手



术过程的安全性及有效性评估体系，开展模型及动物试验验证。

性能指标：机器人自由度数不小于 6 个，工作空间不小于 30mm×30mm×30mm，负载重量不小于 1kg，重复定位精度优于 0.05mm；机器人操控装置具有力反馈功能；建立眼科机器人的操作规范，完成动物实验不少于 10 例。

有关说明：由医院牵头申报。

### 3.13 经输尿管肾内介入诊疗机器人系统

研究内容：面向软性输尿管镜体内精确操控，重点突破软性输尿管镜体高精度操控机构设计、基于内窥镜图像的辅助定位导引、力反馈操控等技术，研制经输尿管肾内介入诊疗机器人系统，建立全手术过程的安全性及有效性评估体系，开展模型和动物试验验证。

技术指标：机器人自由度数不少于 3 个，推送相对位置精度优于 0.5mm，末端弯曲角度范围大于 120°，末端指向定位精度优于 0.5mm；机器人操控装置具备力反馈功能以及内窥镜图像显示及辅助导引功能；建立机器人辅助经输尿管肾内介入诊疗操作流程及规范，完成动物实验不少于 10 例。

有关说明：由医院牵头申报。

### 3.14 口腔及喉部微创手术机器人系统

研究内容：面向口腔、喉部软硬组织微创手术，重点突破三维实时图像监控下机器人精准切除软硬组织病灶技术、精确制备

种植手术窝洞技术，刚柔可控多自由度手术器械设计技术、多源图像融合及导引精准定位技术、以及患者突发吞咽动作时机器人敏捷反应及应急保护技术等；研制喉部微创手术机器人系统；建立全手术过程的安全性及有效性评估体系，开展模型和动物试验验证。

考核指标：机器人自由度数不少于 6 个，重复定位精度优于 0.5mm，有效工作半径不小于 1m，器械夹持力不小于 5kg；口腔工作端自由度不少于 3 个，种植体窝洞制备精度之误差 $\leq 50\mu\text{m}$ ，轴向偏差 $\leq 1^\circ$ ；可实现口腔狭小空间三维图像实时获取，导航和定位；可实现深腔空间缝合打结；建立机器人辅助喉部微创手术操作流程及规范，完成动物实验不少于 10 例。

有关说明：由医院牵头申报。

### 3.15 微创膝关节置换手术机器人系统

研究内容：面向微创膝关节置换手术，开展机器人机构设计、基于多模医学影像信息的空间映射建模、具备力反馈功能的机器人操控技术、个性化手术方案设计等研究；研制微创全膝关节置换手术机器人系统，实现手术器械高精度动态跟踪、精准微创关节置换操作；建立全手术过程的安全性及有效性评估体系，开展模型和动物试验验证。

考核指标：机器人自由度数不少于 6 个，末端动态定位精度优于 0.5mm，工作空间不小于 300mm $\times$ 300mm $\times$ 300mm，负载能

力不小于 5kg，力反馈控制精度优于 5%；膝关节置换假体压力误差不超过 10N、位移误差不超过 1mm，角度误差不超过 1 度；建立机器人辅助膝关节置换手术操作流程及规范，完成动物实验不少于 10 例。

有关说明：由医院牵头申报。

### 3.16 实时导航穿刺手术机器人

研究内容：面向经皮穿刺消融、活检等诊疗需求，开展软组织变形建模、生理运动补偿、生物组织选择性消融、穿刺手术路径规划、实时导航与靶点跟踪等关键技术研究；构建 CT 影像引导下的手术导航及精准定位单元；研制实时导航穿刺手术机器人系统，实现对运动器官软组织高精度穿刺；建立全手术过程的安全性及有效性评估体系，开展模型和动物试验验证。

考核指标：机器人自由度不少于 5 个，重复定位精度优于 0.2mm，目标靶小于 1cm；医学影像空间位置配准误差不大于 1mm；建立机器人辅助穿刺消融手术操作流程及规范，完成动物实验不少于 10 例。

有关说明：由医院牵头申报。

### 3.17 脑卒中康复机器人系统

研究内容：面向脑卒中肢体功能障碍患者，研究上、下肢康复机器人的构型综合与尺度优化方法，个性化康复训练范式，以生理信号为基础的多模态康复训练技术，以及功能电刺激技术等；

研制具有自适应功能的上肢康复机器人，建立脑卒中康复规范，实现肩、肘、前臂和腕关节、下肢髋、膝、踝关节的独立或协同康复训练；开展康复训练试验和临床示范应用。

考核指标：研制一套上、下肢康复机器人系统，具有肌电信号反馈和电刺激闭环，可实现主动、被动和抗阻等多模态康复训练；主动运动意图识别率大于 90%，识别时间不大于 200ms；建立机器人康复操作流程及规范，临床试用病例 200 人次以上。

有关说明：由医院牵头申报。

#### **4. 示范应用**

##### **4.1 面向港口机械超大型构件的机器人制造技术与系统**

研究内容：针对港口机械超大型结构件制造过程自动化需求，研究超大工作空间内机器人定位与识别技术，研究焊接、打磨、涂装等多种工艺规划、多机器人协同作业控制等技术；开发生产现场信息交互与智能评判系统，构建超大型结构件的集群化机器人制造系统，并开展应用验证。

考核指标：支持 3 种以上超大型结构件的机器人制造，最大工件尺寸优于 10m×20m×80m；最大机器人单丝气体保护焊速度 1.6m/min；焊缝跟踪精度优于 0.5mm；打磨速度不小于 1m/min；机器人喷涂速度不小于 5m/min；形成年产 20 台套超大型结构件的生产能力，产品质量通过第三方验证；建立机器人智能作业集群化制造系统，配置各类国产工业机器人不少于 10 台。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.2 高铁白车身机器人自动化生产线

研究内容：研究高铁白车身型材机器人切割、焊接、打磨、拉丝、喷漆等制造工艺及工艺流程参数优化技术；研制高铁白车身机器人自动化生产线，实现高铁车身型材切割与清理、焊接拼装、焊缝打磨、拉丝、腻子打磨、喷漆等自动化作业，开展应用验证。

考核指标：生产线配置国产工业机器人不少于 10 台套，可实现 3 种以上白车身关键部件的自动化制造；装配配合精度优于 0.2mm；生产线无故障时间不小于 8000h。在典型企业开展不少于 2 条生产线的示范应用。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.3 面向新能源汽车全铝车身制造机器人生产线

研究内容：面向多车型铝合金车身柔性自动化生产的需求，研究铝合金车身铆接质量工艺及质量评价体系，实现铆接质量在线检测，建立铆接质量检测标准；构建铝合金车身柔性机器人自动化生产线，开展应用验证。

考核指标：实现 2 种以上车型并线自动化生产，生产线生产纲领不低于 10 万台/年，生产节拍不大于 120 秒；国产工业机器人应用数量不少于 50 台套；可实现 3 层、总厚度 8 毫米铝合金板件组合的铆接；车身下线尺寸精度合格率达 95%以上，伺服铆

接合格率高于 99.5%。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.4 面向炼钢工艺流程的机器人自动化作业系统

研究内容:围绕钢铁业炼钢区域环境恶劣、危险及繁重人工作业替代及炼钢精准化工艺需求，构建智能炼钢的全流程、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，实现炼钢铁水预处理、精炼、电炉及连铸等过程的定量取料、实时投料、测温、取样等的机器人化作业，开展应用验证。

考核指标:生产线配置国产工业机器人不少于 6 台。机器人本体末端载荷大于 350kg, 20 秒作业时间内适应温度不小于 1000℃, 机器人投料作业效率不低于 50kg/min, 接插测温取样周期小于 2min/次。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.5 面向电子行业制造的机器人自动化生产线

研究内容：面向电子行业小型、轻质、多样化机械、电子零部件的快速精密自动化生产需求，研究视觉引导、精密快速定位、手眼力协调控制等关键技术，开展针对贴附、组装、分拣、打磨、点胶、检测等电子行业典型工艺的机器人智能作业技术研究，并实现应用验证。

考核指标：生产线配置国产机器人不少于 10 台，与传统人

工生产相比生产效率提升 50%以上；机器人具备视觉检测与定位功能，定位精度优于 0.02mm。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.6 矿热炉冶炼机器人作业系统

研究内容：针对我国矿热炉冶炼行业生产环境危险恶劣、劳动强度大等问题，研究高温强冲击载荷出炉机器人、移动式重载捣炉机器人以及相关技术；构建电石冶炼出炉作业机器人生产系统，实现电石炉前烧炉眼、开眼、带钎、堵眼、清炉舌以及料面翻撬等自动化生产和机器人化捣炉与出炉等作业，开展示范应用。

考核指标：研制面向 40500kVA 及以上大型密闭式电石炉的出炉机器人与捣炉机器人集群化示范系统。机器人末端最大冲击载荷 20000N，带钎行程大于 1.2m，最大速度优于 3m/s，机器人本体适应环境温度不低于 80℃。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.7 喷涂机器人技术及在家具行业的示范应用

研究内容：针对多品种实木板式家具、组装家具等产品的柔性化并线喷涂需求，研究多品种家具产品识别技术、在线喷涂工艺设计与轨迹规划技术、机器人快速示教技术、废漆自动回收技术；构建家具机器人喷涂柔性化生产线，实现喷涂机器人在家具行业的示范应用。

考核指标：研制支持不少于 3 种家具产品并线喷涂的柔性机

器人喷涂生产线，每条线使用国产工业机器人数量不少于 5 台，喷涂质量符合行业标准，喷涂机器人具备防爆认证。示范应用生产线数量不少于 6 条。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.8 面向纺织行业的机器人自动化生产线示范应用

研究内容：面向纺织行业制造自动化需求，研究纺织行业典型产品生产或典型工艺流程的机器人应用工艺，研制面向纺织行业的机器人自动化生产线，开展示范应用。

考核指标：配置国产工业机器人数量不少于 10 台，生产线自动化率不低于 95%，无故障时间不小于 8000 小时，具有故障检测与诊断、流程信息化、数据可追溯功能；在典型企业示范应用生产线数量不少于 3 条。

有关说明：由企业牵头申报。

#### 4.9 面向敬老院的老人辅助机器人系统典型示范应用

研究内容：围绕老年人照护需求，重点研究助行、助浴、情感陪护、安全监护等方面辅助机器人安全性、可靠性和实用性等关键技术，形成助老机器人系列产品；研究网络化监控和助老机器人系统集成等技术；依托敬老院建立助老机器人集成应用系统，开展典型示范应用。

考核指标：研制不少于 6 类助老机器人产品，开发网络化监控系统 1 套，依托敬老院建立助老机器人集成应用系统，每类机



机器人不少于 5 台，并进行应用示范；助老机器人完成推广应用 100 台套以上。

有关说明：由企业或医院牵头申报。

#### 4.10 面向边远地区的远程骨创伤手术机器人示范应用

研究内容：研发面向边远地区的远程骨创伤手术机器人产品，实现骨创伤疾病的远程诊断、个性化手术方案设计、骨折的精准复位和固定操作、远程康复服务。

考核指标：手术机器人定位精度优于 0.5mm，骨折复位位置精度优于 1mm，角度精度优于 1.5°，复位力大于 400N；建立长骨骨折、骨盆骨折等常见骨科手术适应症的机器人手术技术规范；建立远程骨创伤手术机器人的医疗器械检测标准与方法；完成患者临床试验不少于 60 例，整机取得医疗器械注册证。

有关说明：由企业或医院牵头申报。

#### 4.11 颅底及面侧深区穿刺诊疗机器人示范应用

研究内容：研制颅底及面侧深区穿刺诊疗机器人产品，实现活检、放射性粒子植入、射频消融等穿刺类手术。

考核指标：机器人导航定位精度优于 2mm；机器人自由度不少于 5 个，能够完成颅底及面侧深区肿瘤活检、多点放射性粒子植入、射频消融等 3 种穿刺手术；建立颅底及面侧深区穿刺诊疗机器人的医疗器械检测标准与方法；完成患者临床试验不少于 60 例，整机取得医疗器械注册证。

有关说明：由企业或医院牵头申报。

#### 4.12 微创血管介入手术机器人示范应用

研究内容：研制微创血管介入手术机器人产品，实现自主和半自主高精度血管介入手术。

考核指标：形成微创血管介入手术机器人产品，递送装置推进速度优于  $0-100\text{mm/s}$ ，旋转速度优于  $0-4\pi\text{rad/s}$ ，最大推进力优于  $5\text{N}$ ，推进精度优于  $1\text{mm}$ ，旋转精度优于  $3^\circ$ ，术中导管实时定位和跟踪精度优于  $1\text{mm}$ ；建立微创血管介入手术机器人的医疗器械检测标准与方法；完成患者临床试验不少于 60 例，整机取得医疗器械注册证。

有关说明：由企业或医院牵头申报。