

## 附件 6

# “智能机器人”重点专项 2019 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）》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 2019 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，创新应用领域，推进国产工业机器人的产业化进程；突破服务机器人行为辅助技术、云端在线服务及平台技术，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 高性能仿生足式机器人

**研究内容：**面向室外复杂地形足式机器人自主鲁棒灵活移动需求，研究快速跑跳运动机理与方法、仿生腿足机构、高爆发高功率密度电机驱动、未知扰动动态平衡控制、复杂环境感知与运动控制等技术，研制仿生双足、四足、六足机器人样机，实现室外自然地形快速稳定跑跳运动实验验证。

**考核指标：**研制仿生双足、四足、六足机器人，实现室外草地、坡地、雪地等多种地形的稳定行走，单位里程能耗达到国际同类产品先进水平，具备抗未知外力扰动能力。双足机器人：最快速度不低于 6km/h，无缆连续测试距离不低于 1km；四足机器人：最快速度不低于 10km/h，最大爬坡角度不低于 20°，最大跨越高度不低于 0.3m，无缆连续测试距离不低于 5km；六足机器人：负载不低于 1000kg，最大爬坡

角度不低于  $35^\circ$ ，最大跨越宽度不低于 1m，最大越障高度不低于 1m，最大续航里程不低于 12km。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；发表高水平论文不少于 5 篇，申请/获得不少于 10 项发明专利。

### **1.2 机器人仿生攀附机理与机构创新设计**

**研究内容：**面向机器人仿生攀爬与附着前沿技术，研究生物在不同表面介质下的附着机理，开展新型仿生附着机构创新设计，研制新型仿生附着装置；研究仿生攀附运动机构、仿生攀爬步态、运动稳定性与驱动控制，研制仿生攀附机器人验证平台，在复杂表面实现攀附运动实验验证。

**考核指标：**研制不少于 3 种仿生附着装置和相应的仿生机器人验证平台，实现在不同表面介质下、不同表面状况下的攀爬行走，攀爬斜面不低于  $40^\circ$ ；具有转弯、前行、后退等行走能力，附着力和攀附机构重量比值优于 5。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；发表高水平论文不少于 5 篇，申请/获得不少于 10 项发明专利。

### **1.3 靶向药物输送场控微纳机器人**

**研究内容：**研究微纳机器人场驱动机理与控制技术，研究微纳米尺度场控机器人的设计与制造技术，研究微纳机器人对细胞、基因和靶向药物等微小目标体的抓取/装载、释放

控制技术以及生物活体中的靶向药物递送；研制场控微纳操作机器人集成样机系统，结合典型应用开展验证。

**考核指标：**研制不少于 3 类不同场机理驱动的微纳机器人，运动自由度不少于 4 个，体外实验定位精度优于 500nm，实现微纳机器人的制造、靶向药物装载和投递等功能。至少针对 1 种场驱动方式开展小鼠、斑马鱼等生物活体试验验证。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；发表高水平论文不少于 5 篇，申请/获得不少于 10 项发明专利。

## 2. 共性技术

### 2.1 面向服务和工业领域的实用多指灵巧手

**研究内容：**面向服务与工业机器人灵巧操作需求，研究灵巧手的仿生结构设计、伺服驱动、力感知与智能控制、多指协调与灵巧操作等关键技术，研制低成本、实用化的刚性多指灵巧手，实现典型工件/工具的操作；研究灵巧手的多关节柔性机构、驱动和智能控制技术，研制高灵活度的柔性多指灵巧手，实现典型物品的灵巧操作；面向实际应用场景进行应用验证。

**考核指标：**研制低成本、实用的刚性多指灵巧手和柔性多指灵巧手不少于 5 种，完成推广应用不少于 50 台。刚性多指灵巧手：抓取重量不低于 2kg；柔性多指灵巧手：实现对不少于 10 种柔性/易碎物品的操作，抓取重量不低于 1kg。发

表高水平论文5篇，申请/获得不少于10项发明专利。

## **2.2 机构/驱动/感知/控制一体化机器人关节**

**研究内容：**面向工业制造业、社会服务业中的智能协作机器人应用需求，研制国产化机构/驱动/感知/控制一体化、模块化机器人关节，研究伺服电机驱动、高精度谐波传动动态补偿、多类型编码器高精度实时数据融合、模块化一体化集成等技术，实现高速实时通讯、关节力/力矩保护等功能；并在协作机械臂上开展应用示范。

**考核指标：**研制不少于4种型号系列一体化关节，性能指标达到国际同类产品先进水平；搭建4种型号6自由度以上协作机械臂，具有非预期碰撞条件下安全保护功能，实现500台套一体化关节的应用示范。申请不少于5项发明专利。

## **2.3 机器人环境建模与导航定位专用芯片及软硬件模组**

**研究内容：**针对机器人环境建模、导航定位对低功耗、高运算能力、高处理效率等软硬件的需求，研究高性能异构多核芯片和硬件运算加速器的集成及核心软硬件模组技术，研制面向环境建模与导航定位的机器人专用芯片，实现机器人视觉处理、环境建模、定位导航等算法，并在不同类型机器人产品上实现应用示范。

**考核指标：**提供专用 SoC 芯片和软硬件模块化组件及 SDK 开发包；支持单（多）目视觉、激光导航算法的芯片化。实现在5种以上不同类型机器人产品中的应用示范；实现芯

片或核心模组应用不少于 20 万片(套)。

#### **2.4 工业机器人高精度在线校准关键技术**

**研究内容：**针对工业机器人现场在线高精度校准需求，研究适合工业现场应用的机器人在线校准方法；研制工业机器人在线校准系统样机，完成工业现场适应性测试与验证，并在工业现场实现工业机器人在线校准应用。

**考核指标：**建立工业机器人在线校准系统，在 10m×10m×10m 范围内，三维位置测量精度优于 $\pm 0.01\text{mm}$ ，姿态角度测量精度优于 $\pm 0.01^\circ$ ；开发工业机器人在线校准软件，三维位置校准精度优于 $\pm 0.1\text{mm}$ ，姿态校准精度优于 $\pm 0.1^\circ$ 。实现工业现场应用不少于 10 套。

#### **2.5 基于视觉与电子皮肤的机器人安全控制技术**

**研究内容：**面向机器人安全控制的共性关键技术需求，研究基于视觉的作业空间快速三维重建算法、安全区域动态设定、侵入体实时识别以及碰撞判断算法等技术；研究具有新型传感方式的机器人电子皮肤，实现对机器人的包裹和穿戴，研究基于电子皮肤的碰撞检测与机器人的柔顺控制技术。在工业现场开展应用验证。

**考核指标：**研制基于视觉的机器人安全控制系统，视野范围大于  $50\text{m}^2$ ，检测分辨率优于  $10\text{mm}\times 10\text{mm}\times 10\text{mm}$ ，响应时间优于  $500\text{ms}$ ；研制具有力反馈功能的电子皮肤，最小碰撞力检测优于  $0.5\text{N}$ ，响应时间优于  $10\text{ms}$ 。与机器人控制器

配合使用，符合相关行业标准。基于视觉的机器人安全控制系统实现工业场景示范应用 20 套以上，穿戴安全电子皮肤的工业机器人实现应用 50 套以上。

## **2.6 水下机器人近底精细目标检测与避障控制共性技术**

**研究内容：**面向水下机器人在海山、海沟、洋中脊等区域复杂环境下的目标搜索、环境监控自主作业需求，研究典型海区海底环境特征识别技术，研究水下复杂环境中动态、高精度精细目标检测技术，研究水下机器人深海近底高速运动下自主避障与规划控制技术。结合典型水下机器人平台开展共性技术验证。

**考核指标：**研制出水下机器人深海近底复杂环境精细目标检测与快速避障控制系统，在近底 1m 内且航速不低于 6kn 情况下，实现目标视觉检测分辨率优于 2cm×2cm、自主运动与避障实验验证。发表高水平论文不少于 5 篇，申请/获得不少于 5 项发明专利。

## **3. 关键技术与装备**

### **3.1 重大科学基础设施 FAST 运行维护作业机器人系统**

**研究内容：**针对 500 米口径球面射电望远镜（FAST）的激光靶标、索驱动钢丝绳与滑车、馈源接收机、液压促动器、馈源舱位姿测量、环境监测与整治等运行维护需求，研制系列化运行维护作业机器人及支撑系统，实现大坡度、高落差下球反射面的激光靶标维护、坡面植被清理、驱动缆索与滑

车的巡检维护、馈源接收机拆装搬运、馈源舱位姿测量、促动器自动化维护、干扰自动检测、周界安防等作业，并开展现场应用验证。

**考核指标：**满足 FAST 工程运行维护要求，提供支撑保障。其中：单个激光靶标的清洁、更换和标校调整等完成时间优于 6h；完成单条钢索及其上滑车等零部件检查的时间优于 8h；馈源接收机拆装搬运机器人指标体系满足馈源接收机拆装搬运要求；主动反射面下植被维护机器人指标体系满足 FAST 工程植被清整要求；FAST 智能化测量系统实现馈源舱全天候测量；促动器自动化维护平台具备至少 50 台/天的流水维护能力；无线电干扰自动监测站具有光纤通讯、多站点协同干扰监测、数据自动识别、定位、实时预警等功能；核心区周界安防智能系统，实现多个入侵事件识别、定位功能。

### 3.2 大跨度桥梁检测作业机器人

**研究内容：**面向大跨度桥梁的检测需求，重点开展桥面、缆索和桥梁下部结构等检测技术研究，研制长臂展高柔性桥梁表面检测、桥梁主缆和拉索攀爬检测、桥梁下部结构水下检测等机器人，实现对桥底主梁表面缺陷的图像获取和检测、缆索 PE 外观损伤和拉索内部钢丝腐蚀断丝等缺陷及主缆索夹滑移的检测和识别、桩基破损和露筋及冲刷深度的检测识别，开展应用验证。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的大跨度桥梁检测

作业机器人系统，形成系列化技术专利，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系。桥梁表面检测机器人：可检测钢箱梁桥底 5mm（长）×5mm（宽）表面损伤，混凝土桥底 0.1mm（宽）×10mm（长）裂纹或直径 3mm 的凹坑；缆索桥梁检测机器人：适应索径直径 50~200mm，缆索最大倾斜角度 90°，自由段缆索检测单次长度大于 400m，外部 PE 检测精度优于 0.5mm（宽）×0.5mm（长），自由段可检出单根断丝，锚固段可检出 5%金属截面积损失；桥梁主缆检测机器人：具有跨越索夹障碍和检测外观破损功能，表面裂纹检测精度 0.5mm，索夹滑移检测精度 5mm；桥梁下部结构水下检测机器人：下水深度优于 50m，水下成像分辨率优于 4mm。

### **3.3 大直径长引水隧洞水下检测机器人系统**

**研究内容：**针对大型和特大型水电站、大型引水工程中的大直径长引水隧洞定期检测的重大需求，研究机器人水下运动与载荷匹配、水下动静密封与特殊环境适应、超远程运动控制与机械手精细作业、超长水下高压供电与脐带缆安全释放回收、光学与声纳融合集成精细检测等技术；研制大直径长引水隧道多功能水下检测机器人，开展在水状况下的隧洞缺陷检测，并在南水北调等重大工程中开展应用验证。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的大直径长引水隧洞水下检测机器人系统，形成系列化技术专利，根据任务需

求提出所研制机器人的量化指标体系。机器人水下耐压不小于 3MPa；机器人手臂搭载工具，实现近距离精细化检测；配备车载脐带绞车，电缆长度不低于 25km，实现零浮力布放与回收；支持高清摄像机、图像声纳、水下激光成像雷达等多功能任务模块，实现裂缝、塌方、掉块、露筋等隧洞缺陷检测，检测裂缝最小宽度小于 3mm，检测掉块最小面积小于 10cm<sup>2</sup>。

### **3.4 机场跑道道面安全检测机器人**

**研究内容:**针对民航机场对跑道道面形貌特征、强度特性、异物障碍等安全检测需求，研究机器人在不同环境条件下道面纹理采集与形貌表征、道面抗滑性与耐久性检测、道面外来异物识别与自主回收、机器人检测路径规划与智能控制等关键技术，研制民航跑道道面安全检测机器人系统，实现机场道面的高效检测，进行道面质量评估与危险预警，并开展应用验证。

**考核指标:**研制出具有自主知识产权的机场跑道道面安全检测机器人系统，形成系列化技术专利，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系。具有在多种环境条件下的道面安全检测能力，检测载荷不少于 3 类；道面裂缝检测精度优于 1mm；道面外来异物有效检出率不低于 95%；道面抗滑系数测试误差不超过 5%，滑跑区连续测试区域覆盖度不低于 90%；路面浅层强度检测深度不小于 5cm，深度误差优

于 5%；道面状况（雨/雪/冰/橡胶污染等）检测准确率 100%。实现不少于 10 台套的应用验证。

### **3.5 面向国家石油战略储备库安全的储罐检测机器人**

**研究内容：**面向国家石油战略储备库大型储油罐安全检测的需求，开展储罐底板和罐壁腐蚀在油检测技术研究，研制具有吸附、定位、导航等功能的大型储罐检测机器人系统，实现储罐在油检测与安全评价，并开展应用示范。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的大型储罐腐蚀检测机器人系统，形成系列化技术专利，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系。检测机器人实现储罐底板和罐壁厚度测量与腐蚀量化检测，在油检测速度不低于 5m/min，最大越障高度不低于 20mm，防水、防油、防爆达到行业规定等级；无固体沉积物条件下，对于 8~20mm 的碳钢底板和罐壁，壁厚测量精度优于 0.1mm，可检测出 JB/T 10765 中规定的底板下表面壁厚 20% 深的人工缺陷；在固体沉积物厚度为 200mm 条件下，可检测出底板不小于 20% 的壁厚减薄量，测量精度优于 1mm。提出大型常压储罐底板安全评价方法，制（修）订国家或行业标准 1 项；实施检测应用的国家战略储备基地不少于 2 个。

### **3.6 涉核装置事故应急处置机器人系统**

**研究内容：**面向涉核装置事故应急处置和作业需求，研究强辐射条件下机电安全防护、实时图像采集与信息传输、

大负载低超调多自由度机械臂、高刚度混联切削、自主规划与远程控制等关键技术；研制涉核装置事故应急处置的搬运和拆解机器人，并进行实验验证。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的涉核装置事故应急处置机器人系统，形成系列化技术专利，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系。应急处置机器人，耐辐射剂量率不低于 100Gy/h，累计总剂量不低于 1000Gy。搬运机器人：具备移动、抓取、爬坡、避障、越障等功能，最大爬坡坡度不低于 30°，抓取搬运重量不低于 800kg，夹持力超调量不高于 5%，遥控距离不低于 2km；拆解机器人：最大切割厚度不低于 15mm，空间重复定位精度  $\pm 0.02\text{mm}$ 。

### **3.7 微器件机器人检测装配一体化系统**

**研究内容：**面向微机电系统与微器件中不规则形状、易变形微小部件高精度装配与测量需求，研究微器件的高精度快速定位、位姿测量及对准、视觉伺服控制、装配协调控制等关键技术，研制微器件机器人检测装配一体化系统，结合典型微器件的精密组装与检测实现应用验证。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的机器人系统，形成系列化技术专利，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系。微器件机器人检测装配一体化系统装配效率提升 50% 以上。

### **3.8 畜禽类肉品高效精准机器人自主分割系统**

**研究内容：**针对我国畜禽肉分割效率低、损耗多、肉品容易污染及无法溯源等问题，研究快速、精准分割控制技术，基于视觉、力觉的识别与定位技术，研制畜禽类肉品机器人自主精准分割系统，实现精准扫描、快速自主剔骨、肉品追溯等功能，研制基于国产工业机器人的畜禽类肉品机器人自主精准分割工作站，并基于该工作站研发畜禽肉自主分割生产线，在国内大型畜禽肉分割企业开展综合应用验证。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的机器人系统，形成系列化技术专利，提出所研制机器人的量化指标体系。畜禽类肉品机器人自主精准分割工作站胴体剔肉率高于 95%，合格率大于 98%，分割操作工序减少 30%，畜禽肉品分割速度提高 100%，损耗率降低 75%；畜禽类肉品高效精准机器人自主分割生产线实现畜禽肉品分割全程自动化作业，每条禽类分割线作业效率不小于 10000 只/小时，畜类分割线作业效率不小于 1500 头/小时。在国内大型畜禽肉分割企业完成 4 条以上生产线的应用验证，每条生产线应用国产机器人不少于 10 台套，形成我国畜禽肉分割机器人作业体系行业标准 2 项。

### **3.9 发动机高温合金构件修复及磨抛机器人系统**

**研究内容：**面向发动机高温合金构件损伤修复需求，研究构件表面变形、区域随机状态下的损伤部位识别、修复及磨抛等技术，研究修复/磨抛热变形及应变在线视觉表征评估

方法，突破多源参数在线补偿控制、基于力控-位置数据驱动的自适应磨抛、熔敷/磨抛轨迹规划等关键技术；研制快速修复及磨抛机器人加工系统，并开展应用验证。

**考核指标：**采用国产工业机器人开发修复及磨抛机器人加工系统样机 1 套，形成系列化技术专利，提出所研制机器人的量化指标体系；开发智能磨抛软件 1 套。修复成形效率不低于  $600\text{cm}^3/\text{h}$ ，变形误差优于  $0.8\%$ ，磨抛表面误差优于  $0.05\text{mm}$ ，修复后抗拉强度、疲劳性能等指标不低于母材的  $90\%$ 。实现 2 种以上典型件修复及磨抛的应用验证；形成修复工艺标准或规范 1 套。

### **3.10 复杂狭窄舱内结构探测清除作业机器人**

**研究内容：**针对大型复杂机电产品装配、检修过程中复杂狭窄舱内多余物检测难度大、效率低、失误率高的难题，研究机器人本体结构优化、探测轨迹自主规划、多余物自动识别和抓取等技术；研制复杂舱内多余物探测和清除作业机器人系统，实现多余物探测、识别和排除，并开展应用验证。

**考核指标：**研制复杂狭窄舱内多余物探测及清除机器人系统 1 套。机器人手臂直径不超过  $50\text{mm}$ ，可伸入长度不低于  $2\text{m}$ ，负载不低于  $1\text{kg}$ ，最大弯曲角度  $90^\circ$ 、半径不大于  $400\text{mm}$ ，可识别和清理的多余物不少于 3 种，多余物自动识别准确率不低于  $90\%$ 。完成不少于 2 种场景的应用验证。

### **3.11 近距离放疗微创机器人系统**

**研究内容：**针对颅颌面、肝部与肺部等晚期恶性肿瘤、复发性肿瘤等疾病放疗存在的手术进程周期长、多次照射、影像偏移等问题，重点研究多模态影像数据融合、靶区自动识别、放射性粒子布源规划、术中可视化导引、放疗操作臂定位与控制等技术；研制面向颅颌面、肝部与肺部等近距离放疗微创机器人系统，开展模型及动物实验。

**考核指标：**研制近距离放疗微创机器人系统，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系。手术图像导引系统定位精度优于 0.5mm，机器人在手术图像导引系统下定位精度优于 1.5mm，粒子布源偏差度不大于 5%；具有自主导航、主从控制等多种作业模式；建立放疗过程安全性与有效性评估体系、机器人操作流程及规范；完成动物实验不少于 10 例。申请/获得不少于 5 项发明专利。

### **3.12 平衡障碍患者康复机器人**

**研究内容：**针对平衡障碍患者康复过程中环境单一、个性化不足、运动状态量化评估缺失等问题，重点研究康复机器人构型、运动环境仿真、平衡障碍量化评估标准、个性化康复处方生成等技术；研制平衡障碍患者康复机器人，开展临床试验验证。

**考核指标：**研制平衡障碍患者康复机器人系统，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系；系统能够模拟平路、台阶、山路、沙滩等场景；足底力量测量精度优于 0.5N，

动作捕捉精度优于 2mm，可实时监测患者姿态、肌电等信息；建立平衡障碍康复安全性及量化评估体系；完成患者临床试验不少于 10 例。申请/获得不少于 5 项发明专利。

### **3.13 面向消化道等基于实时显微成像诊疗一体化手术机器人系统**

**研究内容：**针对中国早期癌症诊断率低导致癌症死亡率高的问题，重点研究多自由度操作机构与自适应控制、成像探针力感知与控制、多模影像融合、控制单元-实时显微成像一体化协同、手术工具集成等技术；研制面向消化道等早期癌症的诊疗一体化手术机器人系统，开展模型及动物实验。

**考核指标：**研制面向消化道等早期癌症的诊疗一体化手术机器人系统，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系；诊疗工具直径不大于 10mm，具有可更换功能；浅表显微成像分辨率优于 5 $\mu$ m，显微图像拼接面积大于 25mm<sup>2</sup>，立体显微图像成像深度大于 2mm；建立全手术过程的安全性与有效性评估体系、机器人手术操作流程及规范；完成动物实验不少于 10 例。申请/获得不少于 5 项发明专利。

### **3.14 飞秒激光微创手术机器人系统**

**研究内容：**针对口腔、咽喉等软组织切除手术视野受限、术区暴露程度差、周围神经血管密集、危险性高等问题，重点研究飞秒激光刀机器人操控精准病灶切除、狭小空间三维实时图像监控与实时检测、机器人自动缝合以及人体突发生

理动作应急安全保护等技术；研制飞秒激光微创手术机器人系统，开展模型和动物实验。

**考核指标：**研制飞秒激光微创手术机器人系统，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系；系统具备在狭小空间内的三维图像实时获取、导航定位、精准切除及自动缝合等功能。导航定位精度优于 0.5mm；飞秒激光刀病灶切割精度优于 20 $\mu$ m、轴向偏差不大于 1°；建立全手术过程的安全性及有效性评估体系、机器人手术操作流程及规范；完成动物实验不少于 10 例。申请/获得不少于 5 项发明专利。

### **3.15 多器械协同递送心血管支架植入手术机器人**

**研究内容：**研究具有多器械协同递送功能的心血管支架植入手术机器人设计方法；研究手术器械操作的精确力觉感知、实时反馈与安全性机制、动态心脏环境下多模态影像数据融合以及实时力感数据融合、术中器械的精准定位和预测控制及智能化导引控制、术中影像和控制信息流近程/远程双向实时传输接口与实现等技术；研制心血管支架植入手术机器人，开展模型与动物实验。

**考核指标：**研制多器械协同递送心血管支架植入手术机器人系统，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系；同时协同递送不少于 2 种器械；心脏跳动情况下，基于图像数据信息的器械定位精度优于 1mm；在机器人辅助工作状态下，手术器械的操控推送精度优于 0.5mm；手术机器人

轴向推进力感的检测精度优于 0.1N；建立全手术过程的安全性及有效性评估体系、机器人手术操作流程及规范；完成动物实验不少于 10 例。申请/获得不少于 5 项发明专利。

### **3.16 人工耳蜗微创植入机器人系统**

**研究内容：**针对人工耳蜗植入手术创伤大、精度低、手术视野小等问题，研究人工耳蜗微创植入机构与控制、电极植入通道自动规划、自动钻制、电极植入等技术，研制人工耳蜗微创植入机器人系统，制订机器人手术操作流程与规范，进行手术疗效评价，并开展模型及动物实验验证。

**考核指标：**研制人工耳蜗微创植入机器人系统，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系；具有精细力控制功能，力控制最小分辨率优于 0.5N；建立全手术过程的安全性及有效性评估体系、机器人手术操作流程及规范；完成动物实验不少于 10 例。申请/获得不少于 5 项发明专利。

### **3.17 人机协同开颅手术机器人系统**

**研究内容：**面向神经外科开颅手术的临床需求，研究颅骨术区不规则复杂结构力学特性、工具器械与生物组织交互作用建模、术前手术规划与术中实时导航、基于虚拟约束与稳定手术切削相融合的人机协同共享控制、手术操作意图识别与预测、颅钻/铣切削边界失稳失速状况下的安全交互控制等技术；研制人机协同开颅手术机器人系统，开展模型及动物实验验证。

**考核指标：**研制人机协同开颅手术机器人系统，根据任务需求提出所研制机器人的量化指标体系；导航系统空间定位精度优于 0.5mm；力交互最小分辨率优于 0.5N；分离硬膜操作末端手术器械安全活动度范围分级可控，颅钻/铣切削边界失稳失速状况下系统响应时间优于 0.2s。建立全手术过程的安全性及有效性评估体系、机器人手术操作流程及规范；完成动物实验不少于 10 例。申请/获得不少于 5 项发明专利。

## 4. 应用示范

### 4.1 协作机器人系统典型应用示范

**研究内容：**面向汽车主要零部件装配对协作机器人柔性作业的需求，研究高可靠的人机安全、碰撞检测、人机紧密协调作业、快速示教和配置等关键技术；研究人-机协同装配、多机器人协同装配和柔性作业等工艺，形成典型工艺库；研究人机协作作业模式；研制轻量化、低功耗协作机器人系统，实现精密装配、涂漆、检查等功能，开展应用示范。

**考核指标：**实现 5 种典型场景应用，实现不少于 6 自由度国产协作机器人 100 台套以上示范应用。

### 4.2 大场景自主清洁机器人典型应用示范

**研究内容：**面向大型室内场所、城市道路等的清洁需求，研究大面积环境建图与导航定位、动态路径规划和自动避障、清洁作业策略分配和作业路径规划等技术，研制室内外大场景自动清洁机器人，实现大面积无人化清洁作业，开展

应用示范。

**考核指标：**室内清洁机器人：运行速度不低于 0.6m/s，清洁效率不低于 1200m<sup>2</sup>/h，续航时间不低于 5h，定位精度优于 ±5cm，通过一体式多功能工作站可实现机器人全自主加水排水和充电，实现 100 台以上应用推广；室外清洁机器人：清洁效率不低于 3000m<sup>2</sup>/h，运行速度不低于 1m/s，续航时间不低于 6h，定位精度优于 ±10cm，实现 100 台以上应用推广。

### 4.3 石化爆燃等危险环境防爆型作业机器人

**研究内容：**面向石油、化工、危爆品生产储存等高危场所巡检侦测、救援灭火、应急处置等需求，研究有毒、易爆、高温、浓烟、复杂地形等情况下机器人恶劣环境适应性、自主定位与导航、设备识别与仪器仪表智能读取、多模式人机交互与远程监控、自主或半自主应急处置作业等关键技术；研制具有自主/半自主作业与多机协作能力的高可靠性、高适应性的防爆型作业机器人，实现在石油、化工等典型高危环境的应用验证。

**考核指标：**研制出巡检、应急处置、高倍数泡沫、排烟、灭火等不少于 5 种防爆型机器人，达到石油、化工等高危环境下作业防爆等级要求，防护等级优于 IP65，适应环境温度不低于 300℃；机器人底盘爬坡不小于 40°，越障高度不小于 250mm，涉水深度不小于 350mm；处置作业臂不少于 4 自由度，负载不低于 25kg。在典型行业实现应用验证，推广应用

不少于 1000 台，制订行业标准不少于 2 项，申请不少于 10 项发明专利。

#### **4.4 国产机器人核心零部件应用示范**

**研究内容：**面向工业机器人国产核心零部件批量应用的迫切需求，突破机器人精密减速机、伺服电机和驱动器、机器人控制器等核心零部件的集成及应用技术，研制核心零部件全国产化的焊接、搬运、喷涂、装配等机器人系列产品，实现应用示范。

**考核指标：**研制不少于 5 种规格、6 自由度及以上关节型工业机器人，重复定位精度等指标达到国际同类产品水平；实现机器人核心零部件的全国产化，包括基于高速总线的通用型机器人控制器、高密度伺服电机和高性能伺服驱动器、高精度 RV 减速器和谐波减速器。工业机器人产品平均无故障时间大于 50000h；实现工业机器人批量应用 300 台套以上。

#### **4.5 大型农业机器人智能协同作业系统**

**研究内容：**面向国有规模化农场对大型农田作业机器人高质、高效、精准作业的需求，研究雷达/视觉等多元异构传感信息融合、北斗/惯导组合导航、自动驾驶与避障、路径规划与机群调度、多机协调与智能控制等关键技术，研制支撑关键农田作业环节的智能农业机器人，研发基于云平台的农业机器人机群协同作业管控系统，在国有规模化农场进行应

用示范。

**考核指标：**研制农业机器人自动驾驶、导航与控制系统 5 种 100 套，作业路径跟踪精度 $\pm 2.5\text{cm}$ ；施肥、播种、喷洒等精准作业相对误差不超过 5%；开发智能农业机器人机群作业平台系统 1 套，支持协同作业机器人不少于 20 台，示范作业面积不小于 10 万亩。

#### **4.6 主动运动结肠检查机器人**

**研究内容：**面向结肠检查的临床需求，重点研究结肠内移动机器人驱动、活检微操作机构、位姿检测与控制、路径规划、能源与信息传递、基于图像信息的结肠区域三维重构等技术；研制主动运动结肠检查机器人，开展安全性、有效性评估。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的主动运动结肠检查机器人，形成系列化技术专利，提出所研制机器人的量化考核指标体系。主动运动结肠检查机器人最大直径不超过 18mm，长径比小于 2，成像分辨率不低于 1080×720 像素，机器人在活体肠内前进 1.5m 用时不超过 30min；可完成多次活检操作，并具有供气、供水功能；建立主动运动结肠检查机器人的医疗器械检测标准与规范，完成患者临床试验不少于 60 例。整机申报医疗器械产品注册证；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### **4.7 脊髓损伤康复机器人**

**研究内容：**面向脊髓损伤后个性化、规范化康复治疗需求，研究基于脊髓损伤瘫痪患者病理大数据的个性化康复行为设计、基于生理信息的运动功能分析、功能性电刺激、模块化行为辅助机器人机构设计与自适应控制等技术；研制脊髓损伤康复机器人系统，开展临床试验及康复有效性评价。

**考核指标：**研制出具有自主知识产权的脊髓损伤康复机器人，形成系列化技术专利，提出所研制机器人的量化指标体系。康复机器人涵盖肩、肘、腕、髌、膝、踝等不少于 6 个关节训练模块，实现力/力矩反馈及人机协调运动柔顺控制，力感知分辨率优于 0.5N，力矩感知分辨率优于 0.05N·m；具备生理信息接口以及功能电刺激单元；完成患者临床试验不少于 60 例。整机申报医疗器械产品注册证；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### **4.8 面向国产工业机器人职业培训的教育机器人系统**

**研究内容：**针对国产工业机器人操作维护、安装调试、系统集成等应用人才的需求和职业教育领域缺乏工业机器人教学资源的现实问题，研制基于国产工业机器人的编程、操作、二次开发、集成应用等技能知识的工业机器人实训系统和教学软件；研发工业机器人技术资源服务平台，建立国产机器人应用实训体验基地，在职业教育领域开展示范应用。

**考核指标：**覆盖 5 个以上主流国产机器人厂商的自主知

识产权工业机器人产品，研制出国产工业机器人实训系统和教学软件不少于 5 套，基于每种机器人的教学及实训模块不少于 20 套，实训系统和教学软件分别推广应用 200 套以上；开发工业机器人技术资源服务平台 1 个，建立国产机器人应用实训体验基地 5 个以上，服务职业院校超过 500 家，培养工业机器人技能人才 1 万人以上，推广应用国产工业机器人 100 台套以上。