

## **“智能机器人”重点专项 2022 年度 项目申报指南**

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，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 2022 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：构建适合我国国情的智能机器人技术体系，推动技术与产品持续创新；实现产业链高级化、产品与系统应用高端化，推动我国机器人技术与产业高质量发展；支撑国民经济主战场、国家重大需求、人民生命健康等相关行业/领域自主发展。

2022 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕基础前沿技术、共性关键技术、工业机器人、服务机器人、特种机器人等 5 个技术方向，拟启动 25 项指南任务，拟安排国拨经费 3.15 亿元。其中，围绕基础前沿技术方向，拟部署青年科学家指南任务 1 项，拟安排国拨经费 1000 万元，每个项目 200 万元，拟支持青年科学家项目数不超过 5 项。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个方向拟支持项目数为 1~2 项，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。基础研究类项目下设课题不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家；共性关键技术类和应用示范类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。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。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1984 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1982 年 1 月 1 日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“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. 基础前沿技术**

### **1.1 机器人结构—功能—性能一体化设计理论（基础研究类）**

研究内容：面向复杂环境机器人自适应运动需求，研究结构—功能—性能一体化设计中的机构综合设计以及运动与力分析理论，揭示机器人功能生成、多构态转换、动态性能演变的内在机理，形成设计—力学—材料—制造—运行全过程协同的机器人设计制造与驱控运维理论。研制机器人原理样机，能够根据外界环境通过机构重构自主变换结构，实现不同环境下的运动操作，结合典型需求开展实验验证。

考核指标：研制机器人原理样机，通过单一结构/机构构型的主/被动调控，在不少于 4 类工作环境下验证环境适应能力与运动操作功能。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/获得不少于 5 项发明专利。

### **1.2 可控型跨介质生机融合机器人（基础研究类）**

研究内容：面向生命系统和机电系统深度融合的学科前沿，研究可控型跨介质融合机器人基础理论与实现方法，探索生物神经反馈和运动控制机制与模型理论，发展基于神经信号传递模式的生物机电跨介质一体化双向接口技术，研究内嵌式多模运动信息传感与在线检测方法，构建神经—肌肉—机电融合的跨介质生机系统和实验平台，开展实时反馈下的精确驱动控制实验验证。

考核指标：构建可控型跨介质融合机器人系统，具备生物神经响应机制，准确率  $\geq 70\%$ ，基于内嵌式传感形变量检测误差  $\leq 5\%$ ，在不少于 3 种场景下进行实时反馈运动控制验证。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/获得不少于 5 项发明专利。

### **1.3 生机电系统交互控制与行为融合（基础研究类）**

研究内容：针对生机电交互信息模态单一、难以解析问题，研究肌电、肌声、血流、血氧等生理信息与力、位姿等物理信息的同步测量与多模态融合方法，探索混合超声和电刺激影响人体运动与感觉的反馈作用机制，研制多功能集成柔性双向神经肌肉

接口装置，构建具有人机协同运动功能的生机电系统交互控制实验平台，实现人在回路的精准意图识别理解和运动行为融合，面向典型需求开展实验验证。

考核指标：研制柔性双向肌肉接口装置，具有物理信号和生理信号同步检测功能，能够实现三维力、温度、肌声、肌电的原位同步测量和超声刺激功能，超声刺激空间分辨率 $\leq 8$ 毫米；人机交互意图识别率 $\geq 90\%$ ；构建生机电系统交互控制实验平台，行走速度 $\geq 1.6$ 米/秒，实现3种以上场景人机融合的典型应用。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/获得不少于5项发明专利。

#### **1.4 多机器人协同全域感知技术（基础研究类）**

研究内容：针对传统机器人感知受限等问题，研究机器人、环境、地理、社交等信息融合的全域场景感知和模型表示方法，多机器人群集智能的涌现与反馈机制，多类型信息跨域匹配和交叉融合，全域感知支撑下的多机器人导航定位、目标检测跟踪、交互决策等关键技术；构建多机器人协同的全域感知与智能决策系统，并进行典型应用验证。

考核指标：研制多机器人集群的全域感知与智能决策系统，实现不少于3类跨域信息的感知融合，在不少于2个典型场景实现应用验证，每个场景机器人不少于5种10台套。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/获得不少于5项发明专利。

### **1.5 机器人技能学习与智能发育（基础研究类）**

研究内容：针对机器人复杂任务智能作业及摆脱人工编程便捷应用的迫切需求，研究灵巧作业臂一手的建模规划与精确控制，复杂场景物体多模感知与操作，复杂作业技能知识表达与学习，作业技能复现优化、累积泛化、迁移应用等关键技术；研制基于灵巧作业手的机器人技能学习发育系统与平台，开展实验验证。

考核指标：灵巧作业手具有力、位/触觉等多种感知能力，可执行操作动作不少于 5 种，可操作物体不少于 5 类；机器人技能学习发育系统与平台可支持人机交互技能传递和自主发育，可实现不少于 5 种复杂操作技能学习，可实现工具功能理解与自主使用；开展 3 个以上针对同类但未见对象的场景实验验证，并无需重新编程，展现泛化应用能力。至少有 2 项技术/系统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/获得不少于 5 项发明专利。

### **1.6 高原复杂环境高机动轮足仿生机器人（基础研究类）**

研究内容：面向高原山地对机器人高通过能力的需求，研究轮足复合功能结构一体化设计、多传感器融合感知、敏捷步态与稳定性控制、轮足复合行为规划与决策等方法，突破复杂环境高速建模、自主攀爬/敏捷跳跃/全向移动行为控制、组合运动模式自主生成与切换等关键技术，研制高机动轮足仿生机器人样机，实现高原山地典型环境下的轮足复合敏捷运动，并开展实验验证。

考核指标：研制高机动轮足仿生机器人，具备高原山地环境

适应能力，支持轮式、足式、轮足复合等不少于 3 种运动模式，可形成不少于 4 种组合行为，可实现壕沟台阶、垂直障碍、泥泞地、陡坡爬坡等地形快速跨越；自重  $\leq 350$  千克，载重  $\geq 200$  千克；轮式运动速度  $\geq 30$  千米/小时，爬坡度  $\geq 45$  度；足式运动垂直越障  $\geq 1$  米，跳跃距离  $\geq 2$  米。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/获得不少于 5 项发明专利。

### **1.7 新概念机器人系统创成（青年科学家项目）**

研究内容：围绕国家需求场景，针对基于材料、生命、化学、物理、脑科学、纳米等多学科与机器人的交叉融合，研究提升机器人环境适应能力、任务作业能力或智能决策能力的新原理、新方法、新形态，开展创新设计，实现新概念机器人系统创成。

考核指标：形成具有原创性的新概念机器人系统样机，展示在国家需求中的潜在应用，具体任务目标和系统考核指标由申报项目自主设计。相对于领域已有技术，至少 1 项单项技术在提升机器人环境适应能力、任务作业能力或智能决策能力上具有突破性创新。申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：拟支持项目数不超过 5 项。

## **2. 共性关键技术**

### **2.1 机器人核心零部件性能提升与应用（共性关键技术类）**

研究内容：面向机器人核心零部件性能提升需求，开展机器人精密减速器精度保持性、可靠性设计与优化技术研究，突破齿

形优化设计与高精度加工工艺；研究机器人控制器性能与可扩展性等设计，突破控制器动力学轨迹规划、高速振动抑制、高性能插补、高性能力控等核心算法；研究高品质高功率密度驱动器、伺服电机性能优化设计，突破驱动器、伺服电机转矩脉动与扰动抑制等关键技术；研制出具有国际同类产品先进水平的机器人核心零部件，并实现推广应用。

考核指标：建立与国外同类产品对标的指标体系，控制器、伺服电机与驱动器、减速器性能及一致性达到同类产品国际先进水平；机器人用精密行星摆线（RV）减速器额定寿命优于 10000 小时，寿命期间齿隙精度 $\leq 1$  弧分，角传动精度 $\leq 1$  弧分；谐波减速器额定寿命优于 10000 小时，寿命期间 K1 刚度下降 $\leq 50\%$ ，双向角传动精度 $\leq 40$  弧秒；伺服电机及驱动器平均无故障时间优于 30000 小时，全系具备 3 倍以上过载能力和 $\geq 5000$  转/分的速度，齿槽转矩波动 $<1\%$ ；控制器平均无故障时间优于 10000 小时，具备动力学模型辨识、控制与规划功能，辨识精度 $\geq 90\%$ ，跟踪误差 $\leq 0.004$  电机圈，支持 9 轴插补及多机协同插补，支持附加轴共 16 轴联动；申请/获得不少于 10 项发明专利，并形成不少于 2 万套本体配套。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

## **2.2 多关节型工业机器人整机性能优化与应用（共性关键技术类）**

研究内容：针对我国 6 自由度关节型工业机器人整机性能提

升的迫切需求，开展机器人轻量化设计，整机高速、高负载、高精度动力学设计与控制，离线编程与免示教部署等研究，突破机电耦合参数标定与位姿误差补偿、变惯量高速振动抑制等关键技术，提升国产工业机器人精度、静动态性能和易用性，使典型负载能力国产 6 自由度关节型工业机器人产品性能指标达到国际同类产品先进水平。

考核指标：建立与国外同类产品对标的指标体系，系列机器人负载可覆盖 6~1000 千克，机器人直线/圆弧在 500 毫米/秒速度下绝对轨迹精度优于 $\pm 0.2$  毫米，各速度段下运动轨迹偏差不高于 1 毫米，全空间下轨迹重复精度优于 $\pm 0.08$  毫米，运动过程无肉眼可见过冲、抖动，到位 0.1 毫米内定位稳定时间优于 0.3 秒，关节最大转矩利用率超过 90%；在不少于 5 家国产工业机器人骨干企业实现其典型负载能力的 6 自由度关节型工业机器人产品性能指标达到国际同类产品先进水平，并实现整机销售 2 万台套以上。申请/获得不少于 10 项发明专利。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

### **2.3 工业机器人工艺应用程序集成开发平台（共性关键技术类）**

研究内容：针对工业机器人高端行业应用工艺不足的问题，研究焊接中的电弧实时跟踪、激光焊缝定位与跟踪，装配、钻铆及磨抛等接触应用中的力控及补偿，喷涂流量精确控制及路径规划等工艺与技术，突破工艺规则与工艺参数的智能学习优化，智能工艺数据中台及虚拟仿真等关键技术。研发工业机器人工艺应



用程序集成开发平台，针对焊接、喷涂、打磨、抛光、装配等典型场景需求开展应用验证。

考核指标：研发工业机器人工艺应用程序集成开发平台，包含智能工艺规划、数据中台、虚拟仿真平台等，支持包括焊接、喷涂、打磨、抛光、装配在内的不少于 6 种典型工艺，模拟和仿真的准确率不低于 95%；支持不少于 10000 笔交互的并发操作，支持不低于 1 亿级别的海量数据吞吐，同时支持在线用户不小于 1000 人；在不少于 3 个高端领域、不少于 5 家重点企业推广应用，销量不少于 500 套。申请/获得不少于 10 项发明专利/软件著作权。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

#### **2.4 工业机器人智能操作系统（共性关键技术类）**

研究内容：针对现有机器人操作系统的开放性低、兼容性差、实时性差、使用门槛高等问题，开展开放式与分布式网络控制系统架构设计、机器人通用构型运动控制与动态轨迹规划、适应用户行为模式的自学习、工艺应用集成与兼容性移植等研究，突破系统多任务并行实时处理、高可靠性网络控制与信息安全传输、系统多感知融合与机器人控制安全等关键技术，开发工业机器人智能操作系统，开展应用验证。

考核指标：研发通用型工业机器人智能操作系统，具备至少 1 个 2 毫秒内的实时任务接口；系统内集成应用算法库，算法平均耗时 < 50 毫秒；支持不少于 3 种构型机器人的配置、使用，具备运动学/动力学/轨迹规划二次开发环境和接口；网络同步时钟

抖动 $\leq 1$  微秒,各节点最小控制周期 $\leq 1$  毫秒,网络带宽可达 1000 兆比特/秒;在不少于 2 个典型场景实现应用验证,在国产机器人规模化配套应用不少于 2000 套;申请/获得不少于 10 项发明专利。

有关说明:企业牵头,配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

### 3. 工业机器人

#### 3.1 高铁白车身涂装全流程机器人自动化生产线及应用示范 (应用示范类)

研究内容:面向高铁、地铁等轨道交通车辆白车身涂装作业需求,开展车体自动定位与测量技术,自动喷砂、底漆/腻子/中涂漆/面漆等机器人自动喷涂、腻子/油漆机器人自适应打磨工艺等研究,突破高精高效校准与测量、喷涂作业规划、自适应力控制、弱特征涂层缺陷自动识别等关键技术,研制车体机器人自动涂装系统,构建轨道交通车辆涂装机器人自动化生产线,并开展应用示范。

考核指标:研制车身高精高效视觉测量系统,测量分辨率优于 0.05 毫米(深度方向)、测量效率 $\geq 4.7$  平方米/分钟。建成国产机器人全流程作业自动化生产线 1 条,包含自动喷砂、腻子喷涂、涂层打磨、油漆喷涂、涂层质量自动检测等机器人作业系统 10 套以上,实现喷砂效率 $\geq 150$  平方米/小时,打磨效率 $\geq 40$  平方米/小时,油漆喷涂效率 $\geq 200$  平方米/小时,车体平整度优于 0.5 毫米/米,车体表面腻子和油漆的自动化作业覆盖率 $\geq 95\%$ ,作业效率比人工提升 20%以上。申请/获得不少于 10 项发明专利、3 项软件著作权,制定企业标准不少于 2 项。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

### **3.2 动力电池组多机器人柔性集成制造系统及应用示范（应用示范类）**

研究内容：面向新能源汽车电池包多品种批量制造中装配、焊接、涂胶、紧固等复杂工艺需求，研究电池模组自动焊接、箱体自动涂胶、紧固件人机协同作业、多品种混排敏捷生产等关键技术，研制动力电池包装配、焊接、涂胶、紧固等机器人工作站与柔性物流系统，构建多品类动力电池包机器人协同作业柔性制造系统，开展应用示范。

考核指标：研制动力电池组多机器人柔性集成制造系统，包括装配、焊接、涂胶、紧固、测试等机器人柔性作业单元工作站。焊接定位误差优于 $\pm 0.1$  毫米，紧固件扭矩误差 $\leq \pm 5\%$ ；柔性制造系统生产节拍 20 工作量/小时，能力指数  $CMK \geq 1.67$ ，综合利用率不低于 90%，年产能不低于 10 万套，兼容不少于 3 种新能源汽车电池包产品型号；开展不少于 3 条生产线的应用示范，每条线所应用的国产机器人数量不少于 3 类 50 台。申请/获得不少于 10 项发明专利/软件著作权，制定相关技术标准不少于 2 项。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

### **3.3 面向织材行业的机器人自动化生产线及应用示范（应用示范类）**

研究内容：针对我国织材行业作业对象复杂、自动化水平低、劳动强度大、招工难等问题，开展面向民用机织生产的机器人化

理纱、找纱头、挂纱、上下轴，面向工业用立体织造生产的机器人化辅助复杂立体织造、上下筒（轴）、织物运装与整理，面向医卫用非织造布生产的机器人化排包、在线检测、分拣、后整理等关键技术研究；突破织材作业机器人专用自适应末端执行器设计，受限空间大负载织轴转运与灵巧操作，织物缺陷检测与实时处置等关键技术；研制系列织材作业专用机器人，实现机器人化工艺集成与信息化管理，研制面向织材复杂生产流程的机器人自动化生产系统，开展应用验证。

考核指标：研制面向织材行业的国产机器人自动化生产线，具有质量检测、故障检测、流程信息化、数据可追溯等功能。机器人专用末端执行器可适应内径 24~60 毫米的纱管，织轴转运负载可达 1.5 吨，实现医卫用非织造布无菌、无人污染的作业模式，在线检测速度达到 240 米/分钟。生产线筒子纱挂纱效率可达 700 个/小时，上下织轴直径可达 1.2 米，分拣布卷效率可达 4 盘/分钟。生产线自动化率不小于 90%，平均无故障时间大于 8000 小时，减少用工 25% 以上；面向民用/工业/医卫等行业开展不少于 3 条国产机器人自动化生产线的应用示范，且每条产线均不少于 10 台机器人应用（含项目研究开发的纺织专用机器人）；申请/获得不少于 10 项发明专利。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

## **4. 服务机器人**

### **4.1 辅助脊柱椎板切除手术机器人系统产品研发（应用示范类）**

研究内容：面向椎板减压手术机器人对易用性、可靠性、稳

定性以及临床适应性等需求，研究椎板减压手术机器人的自主规划、人机协同、安全有效的局部自主操作等关键技术，提升人机交互性能和手术智能化水平。研究机器人临床操作规范与手术室兼容性设计，建立椎板切除机器人手术临床评价方法，提升临床适应性。完成药监局规定的产品检测与临床试验，实现产品化。

考核指标：辅助脊柱椎板切除手术机器人整机系统获得三类医疗器械许可证；实现机器人自动规划和局部自主操作，切除效果与术前手术规划相比体积相差 $\leq 5\%$ ；建立手术效果评估体系，术后感知功能及视觉模拟评分法（VAS）评分明显改善；申请/获得不少于5项发明专利，在不少于5家医院开展不少于60例临床示范应用，产品技术就绪度 $\geq 8$ 级。

有关说明：企业或者医院牵头，配套经费与国拨经费比例不少于2:1。

#### **4.2 肺部等软组织穿刺手术机器人系统产品研发(应用示范类)**

研究内容：研究穿刺诊疗手术机器人的易用性、稳定性以及临床适应性等内容，提升产品临床手术能力；突破手术机器人高可靠性、高安全性保障技术，实现整机可靠性设计；研究面向肺部、肝脏、肾脏等胸腹腔穿刺的临床操作规范与手术室兼容性设计，提升临床适应性。完成药监局规定的产品检测与临床试验，开展机器人系统操作规范、临床诊疗规范研究，并形成产品配置方案，实现产品化。

考核指标：肺穿刺手术机器人整机系统取得三类医疗器械注

册许可证，在不少于 5 家医院开展不少于 60 例临床示范应用；可实现肺、肝脏、肾脏等软组织器官的精准穿刺，目标靶直径 $\leq 8$  毫米，穿刺一次进针到位率 $\geq 90\%$ ，一次调针到位率 $\geq 99\%$ ，CT 扫描次数 $\leq 3$  次；穿刺定位机构可携带取样针、消融针等不少于 2 种穿刺工具；完成规定的临床试验例数，形成临床试验报告；申请/获得不少于 5 项发明专利；产品技术就绪度 $\geq 8$  级。

有关说明：企业或者医院牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

#### **4.3 脑神经介入核磁兼容穿刺机器人技术与系统（共性关键技术类）**

研究内容：面向脑神经功能性疾病核磁引导下高精度介入手术的临床需求，研究核磁兼容脑神经介入机器人系统设计、核磁影像处理与实时导航、脑神经介入手术设计与穿刺针三维路径规划、精准控制与安全保障技术，研制面向脑神经介入的核磁兼容穿刺机器人样机系统，开展动物、人体标本实验验证。

考核指标：脑神经介入穿刺机器人系统与核磁扫描机兼容，可在 3 特斯拉磁场下工作，自由度 $\geq 7$ ，满足远心运动（RCM）条件；机器人末端重复定位精度优于 $\pm 0.3$  毫米；穿刺针直径 $\leq 2.0$  毫米；末端力感知分辨率优于 0.5 牛顿、量程 $\geq 5$  牛顿；核磁影像导航下，穿刺针在体内定位精度优于 1.0 毫米；完成核磁导航下 10 例活体动物及 5 例人体标本的系统功能验证。系统技术就绪度 $\geq 7$  级；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### **4.4 眼底显微注射手术机器人技术与系统(共性关键技术类)**

研究内容：面向眼底疾病精准显微注射的临床需求，开展封闭眼球狭小空间内显微注射机器人机构研究，实现微创条件下的精准、灵活操作；研究光学相干断层扫描（OCT）与显微影像融合技术，实现精准靶向定位；研究基于多模态信息感知的操作状态认知、医生意图理解，构建人一机共享的智能交互体系；研究复杂软组织机器人精准微注射技术，实现眼底显微精准注射；研究基于虚拟约束的主从操作技术，提升机器人手术操作的安全性。研制机器人辅助眼底显微注射手术系统，制定手术操作规范，建立手术评估方法，完成动物实验验证。

考核指标：研制眼底显微注射手术机器人系统，微注射的穿刺运动分辨率优于 2 微米，穿刺力感知灵敏度优于 5 毫牛，穿刺针的直径 $\leq 80$  微米；显微镜下图像目标识别精度优于 10 微米，OCT 探针直径 $\leq 200$  微米，并集成于手术器械；完成机器人辅助眼底视网膜血管和视网膜下药物注射动物实验不少于 10 例，成功率 $\geq 90\%$ ，建立机器人手术操作流程及规范；系统技术就绪度 $\geq 7$  级；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### **4.5 经皮脊柱内镜手术机器人技术及系统(共性关键技术类)**

研究内容：面向经皮脊柱内镜手术空间狭小、操作灵活性不足、手术风险高等问题，研究适应于脊柱内镜手术操作需求的刚柔耦合机器人机构、狭窄水环境下的多源信息感知与影像融合、视觉增强引导与人机协同安全控制等关键技术；研制狭小空间脊

柱内镜操作机器人系统，实现脊柱内镜下剥离、探查、夹持、烧灼、切削等手术操作功能，建立机器人手术操作流程及规范，开展实验验证。

考核指标：研制经皮脊柱内镜手术机器人系统，实现内镜下剥离、探查、夹持、烧灼、切削等灵巧精细操作；手术通道直径 $\leq 10$  毫米，末端自由度 $\geq 5$ ，活动范围 $\geq 30 \times 20 \times 20$  立方毫米，末端负载 $\geq 5$  牛顿，操作误差 $\leq 0.5$  毫米，主从操作响应时间 $\leq 100$  毫秒；完成动物实验 10 例，标本手术实验 5 例，成功率优于 90%；系统技术就绪度 $\geq 7$  级；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### 4.6 中医智能针灸机器人技术与系统（共性关键技术类）

研究内容：针对针灸治疗规范化智能化的迫切需求，研究模拟提插/捻转等专家针灸手法操作的机器人灵巧机构、机器人仿人针灸操作的状态感知与精细控制、针灸穴位在影像引导下的数字化建模及自动辨识、针灸穴位的自动定位规划等关键技术，研究基于专家经验的行针手法量化表征，构建不同疾病行针手法数据库，建立安全性与有效性量化评估方法。研制中医智能针灸机器人系统，实现动物与人体应用验证。

考核指标：研制自主针灸机器人系统，适应症包含神经损伤、尿失禁、疼痛治疗等；基于解剖特征的穴位自主定位精度优于 1 毫米；进针深度精度优于 1 毫米；扭转角度在 0~3600 度之间准确控制，误差小于 3 度；提插深度在 0~100 毫米之间准确控制，误差小于 3 毫米；力感知的检测精度优于 0.5 牛顿；穿



刺失败率 $\leq 0.5\%$ ；构建人体穴位知识图谱；形成机器人针灸操作的流程及规范；动物实验验证不少于 10 例，临床实验验证不少于 20 例；系统技术就绪度 $\geq 7$  级；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### 4.7 危重病获得性衰弱康复机器人技术与系统（共性关键技术类）

研究内容：针对重症获得性衰弱患者康复过程中存在的交流障碍、呼吸功能衰弱、神经肌肉功能障碍、肢体运动功能衰退等问题，研究视觉、触觉、电生理、超声等多模态信息融合的交互技术，实现患者认知状态识别、行为意图理解与人机交互控制；研究辅助呼吸康复评估与治疗技术、精准电刺激的肌肉功能恢复方法、可变构型机器人创成方法，研制重症获得性衰弱患者康复机器人，实现患者呼吸—运动一体化协同康复，基于脑肌电等生理参数及呼吸、运动参数建立康复量化评估系统。

考核指标：可穿戴系统可采集脑电、肌电、超声等生理与形态信息，支持脑肌电、表情等自然交互方式；认知状态、意图识别种类 $\geq 20$  种，识别正确率 $\geq 90\%$ ；机器人平台支持患者完成自主呼吸康复训练，可利用电刺激促进肌肉功能的恢复；可辅助患者完成坐站体位自主转换、辅助自平衡行走，主动驱动自由度 $\geq 12$ ；建立康复安全性及量化评估体系；完成患者临床试验不少于 5 例；系统技术就绪度 $\geq 7$  级；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### **4.8 卧床老人二便能力增强训练与清洁护理机器人系统（共性关键技术类）**

研究内容：针对失能老人易失禁、卧床排便难、护理难等问题，研究排便能力的评估与增强训练方法，研制排便能力增强训练机器人，具有自主诊断评估、个性化康复处方生成、康复训练与效果评估等功能；突破排便意图监测、人体位姿识别与定位、人机接触力控制、臀部清洗机器人操控、系统舒适性安全性设计等关键技术，研发二便护理机器人；构建卧床老人排便能力增强训练与清洁护理机器人系统，开展应用验证。

考核指标：研制卧床老人排便能力增强训练与清洁护理机器人系统，具备排便能力评估与增强训练、便意监测、排便辅助、自动清洁消毒、二便收集处理等功能，进行不少于 30 例的应用验证；二便监测预警准确率不低于 95%，排便能力训练模块支持 3 种以上的训练模式，训练后排便与排尿能力提升 20%；增强训练人机交互作用力控制误差  $\leq 0.5$  牛顿；系统技术就绪度  $\geq 7$  级；申请/获得不少于 5 项发明专利。

#### **4.9 单孔心脏外科手术机器人技术与系统（共性关键技术类）**

研究内容：面向复杂心脏外科小空间、高风险、高精度手术的难题，研究狭窄空间下机器人机构构型与末端执行器设计，满足手术操作要求；研究高精度多维力感知技术，实现手术操作的精准力反馈；研究基于图像信息的手术目标精准识别，实现术区的实时动态跟踪控制；研究主从、协作等手术模式，拓展医生手

术能力。研制单孔心脏外科手术机器人原型样机系统，实现乳内动脉获取以及二尖瓣手术等典型心脏手术操作，建立机器人手术操作流程及规范，开展动物实验验证。

考核指标：研制单孔心脏外科手术机器人系统，具有柔性灵活的末端手术执行器，能够实现乳内动脉获取、二尖瓣手术等心脏外科手术；单孔通道直径 $\leq 30$  毫米，可同时容纳的能量器械与多功能器械数量 $\geq 3$ ；手术执行器末端自由度 $\geq 6$ ；手术执行器定位精度 $\leq 1$  毫米；手术执行臂末端有效操作力 $\geq 3$  牛顿；力感知精度优于 0.1 牛顿；完成动物实验 10 例，成功率优于 90%；系统技术就绪度 $\geq 7$  级；申请/获得不少于 5 项发明专利。

## 5. 特种机器人

### 5.1 大型水电站坝体水下智能缺陷检测机器人系统（共性关键技术类）

研究内容：针对大型水电站大深度水下坝体的表面缺陷检测问题，开展水下检测机器人轻量化结构设计、惯性自主定位导航技术、坝体缺陷测量与识别、水下抗扰运动控制、水下供电与通信、遥操作与局部自主融合等关键技术研究，研制大型水电站坝体水下智能缺陷检测机器人，满足水下坝体的水平面、直立面和斜坡面等多种工况检测要求，实现水电站水下坝体大范围裂缝、掉块、露筋等表面缺陷检查、缺陷定位、缺陷尺寸测量及数据记录分析等功能，并开展应用验证。

考核指标：研制大型水电站坝体水下智能缺陷检测机器人，

实现水下机器人悬停、定深/定高/定向/定速等运动，最大工作水深  $\geq 300$  米，方向定位精度优于 1 度，距离定位精度优于斜距 0.5%，深度定位精度优于 0.05%，速度估计精度优于 0.5%，整机水下综合抗流能力不小于 2 节，正向抗流能力不小于 3 节；集成高清摄像机、图像声纳、水声定位、激光扫描仪等多功能任务模块，实现裂缝、掉块、露筋等缺陷检测，缺陷测量面积误差  $\leq 5\%$ 、体积误差  $\leq 10\%$ ，缺陷定位误差不超过 0.5 米；系统技术就绪度  $\geq 7$  级。在三峡大坝等重大工程中开展应用验证。申请/获得不少于 10 项发明专利。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

## **5.2 Mini LED 巨量转移用高速机器人关键技术与应用示范** **（应用示范类）**

研究内容：面向新型显示面板 Mini LED 巨量转移技术瓶颈，研究 Mini LED 一次性、高速、精准、稳定的巨量转移方法；研究超高速、高精度、高频率的间歇运动转移机器人轻量化设计、多源误差传递与补偿、交变载荷下疲劳寿命设计、高频激励下系统抑振等关键技术；研究巨量转移机器人的几何误差特性，多源误差复合作用下误差测量与补偿技术；研究转移策略、工艺参数与综合效率、精度的关系，突破高效低漏固工艺与优化技术；研制 Mini LED 巨量转移用高速机器人系统，开展应用示范。

考核指标：研制 Mini LED 巨量转移用高速机器人系统，系统整体满足 1000 级洁净度要求；X、Y 轴定位精度  $\leq 5$  微米，最

大转移目标区域  $\geq 1450$  毫米 $\times$ 850 毫米，转移芯片最小尺寸不大于 125 微米 $\times$ 75 微米，转移速度（UPH@间距 $\leq 2$  毫米） $\geq 18$  万颗/小时；芯片转移精度 15 微米@ $3\sigma$ ；漏固率小于 0.001%；晶圆交换时间不大于 11 秒；支持 Z 形及 S 形转移路径。开展不少于 15 台的应用示范，申请/获得不少于 5 项发明专利。

有关说明：企业牵头，配套经费与国拨经费比例不少于 2:1。

浙江工业大学 zjgydx