

“智能机器人”重点专项 2023 年度项目申报指南

(征求意见稿)

1 核心零部件与算法

1.1 机器人系统参数在线辨识与动力学建模（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对机器人参数辨识精度不高、动力学模型不准的问题，研究机器人关键参数高精度离线辨识、变负载参数快速精准在线辨识、机器人刚柔耦合系统的动力学建模与数值计算方法，建立参数化模型体系。在国产高端机器人产品上实现应用验证。

考核指标：建立机器人参数在线辨识与动力学建模的新方法，并开发软件。机器人关键参数辨识相对标准差 $\leq 2\%$ ，模型计算误差 $\leq 5\%$ 。对不少于 5 种机器人上实验应用验证。

有关说明：拟支持项目数 2 项。

关键词：参数辨识，动力学建模

1.2 机器人关节驱控一体化芯片（共性关键技术类）

研究内容：针对机器人关节对底层伺服驱控自主专用芯片需求，研究多功能高集成芯片和复杂数模混合设计、抗共模干扰、多模冗余备份、机器人感知信息获取和高精度数字/模拟信号 SOC 集成、内部固化机器人伺服驱动专用控制算法等技术；开发高性

能机器人模块化关节驱控一体化芯片，在工业机器人、服务机器人中实现规模化应用。

考核指标：开发高安全性的机器人关节驱控一体化专用芯片。芯片主频 $\geq 168\text{MHz}$ ，FLASH $\geq 512\text{KB}$ ，静态随机存取存储器（SRAM）缓存 $\geq 128\text{KB}$ ；支持3相电机预驱动，支持FD-CAN和EtherCAT总线，模块内部集成电源管理模块。芯片内置矢量控制、数字比例积分微分（PID）控制等伺服控制算法不少于2种，闭环控制频率 $\geq 10\text{kHz}$ ；支持无刷直流电机/永磁同步电机等电机类型不少于2类；实现机器人专用控制芯片在工业机器人、服务机器人中的规模化应用，3年销量不少于2万片，不少于3000台国产机器人使用。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：机器人专用控制芯片，驱控一体化

1.3 机器人控制器专用芯片研发与应用（共性关键技术类）

研究内容：面向机器人实时闭环反馈低延时高稳定高集成化的需求，研究“感-算-控”一体化机器人专用芯片架构与专用指令集、规划决策和多轴多通道运动控制的IP模块、硬实时高精度闭环反馈专用电路、内核接口函数与芯片硬实时驱动算法的融合集成等技术；研发机器人系统硬实时运动控制专用芯片，并在多轴联动的机器人高实时控制系统中得到规模化应用。

考核指标：开发机器人专用控制芯片，实现多通道/多轴机器人运动规划；具有多模态感知模块，感知精度优于20bits；运动

控制反馈响应时间的抖动偏差 $\leq 0.2\mu\text{s}$ ；伺服实时性反馈响应时间 $\leq 20\mu\text{s}$ ；具有标准机器人的 6+3 轴运动反馈控制能力，可扩展通道数 ≥ 3 个，机器人控制实时反馈响应时间 $\leq 200\mu\text{s}$ ；3 年芯片销量不少于 2 万片，不少于 3000 台国产机器人应用；可自适应支持 5 种品类的电机（无刷直流电机，永磁同步电机，异步电机，步进电机，磁阻电机），实现多厂家电机的应用。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：内核芯片，硬实时控制

1.4 机器人准双曲面齿轮传动减速器（共性关键技术类）

研究内容：针对机器人对高刚度、高精度和轻量化设计的需求，研究高精度高减速比准双齿轮啮合理论、齿廓修形技术、运动特性与动态特性仿真技术、批量化制造与装配工艺技术；研制准双曲面齿轮传动减速器，在机器人中实现规模化推广应用。

考核指标：研制 3 款高精度、高减速比准双曲面齿轮传动减速器；力矩覆盖 $100\text{N}\cdot\text{m}\sim 600\text{N}\cdot\text{m}$ ，传动比 ≥ 10 ；单关节传动误差 ≤ 1 弧分，齿轮齿隙 $\leq 0.01\text{mm}$ ，传动效率 $\geq 87\%$ ，精度寿命 ≥ 10000 小时；实现不少于 3000 台机器人应用。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：准双曲面齿轮，啮合理论，齿廓修形

1.5 机器人智能谐波减速器（共性关键技术类）

研究内容：针对机器人对力矩感知、实时故障状态监测智能

减速器的需求,研究 MEMS 传感器在减速器上的原位集成设计与制造技术、减速器动态性能参数辨识及动态啮合性能优化技术、实时多维度数据分析和状态预测算法;形成智能减速器的设计、制造、试验等技术规范,研制机器人智能减速器,开展规模化应用。

考核指标: 研发智能减速器产品,具备力矩自感知功能,并实现振动监测、温度感知、健康状态预测等不少于 3 种以上功能;减速器的输出负载和力矩测量范围 $\geq 200\text{N}\cdot\text{m}$;减速器的传动精度 ≤ 40 角秒;力矩测量精度 $\leq \pm 0.5\% \text{ F.S.}$,非线性 $\leq \pm 0.5\% \text{ F.S.}$;项目执行期内累计实现 2000 台以上应用。

有关说明: 由企业牵头申报。

关键词: 减速器,力矩传感,状态监测

1.6 多异构机器人自主协同探测技术(共性关键技术类)

研究内容: 针对地下非结构化不规则空间高效环境探测中存在的卫星信号拒止、机器人行动能力受限、精密控制难度大等问题,研究信息拒止条件下的仿生自组网、非结构化空间机器人自主定位与无缝导航、精密运动控制与分布式协同优化策略、基于空地异构机器人自主协同的立体空间构建、高动态立体路径规划与重构、被测目标周边环境融合感知与精准探测等关键技术;形成适用于地下非结构化不规则空间的多异构机器人自主协同探测系统,并针对典型场景开展验证与应用。

考核指标: 形成非结构化不规则空间多异构机器人自主协同

探测系统；支持不少于 3 类 10 台空地异构机器人自主协同作业；动态条件下机器人绝对定位精度 $\leq 5\text{cm}$ ；空地异构机器人相对定位精度 $\leq 10\text{cm}$ ，协同编队位置误差 $\leq 20\text{cm}$ ； 100m^2 范围内环境建图精度 $\leq 5\text{cm}$ ，协同探测时间 ≤ 1 分钟，被测目标识别率 $\geq 95\%$ ；在不小于 5 万平方米城市地下管廊等非规则空间开展应用验证。

有关说明：无。

关键词：密闭空间，空地异构机器人，协同探测

1.7 机器人工艺知识图谱生成与离线编程软件平台（共性关键技术类）

研究内容：针对工业机器人工艺种类繁多、流程复杂阻碍敏捷应用的问题，研究基于工艺数据的知识抽取与建模、基于工艺规则的知识图谱生成、基于知识图谱的工艺规划，面向多种工艺的复杂曲面机器人路径规划、基于工艺约束和动力学优化的机器人参数优化、支持多种国产机器人语言的后置处理与输出等关键技术；建立工艺知识图谱生成与离线编程软件平台，并针对典型任务开展推广应用。

考核指标：建立机器人工艺知识图谱生成与离线编程软件平台，支持焊接、磨抛、喷涂、激光加工等不少于 4 种工艺的知识图谱生成与离线编程，推荐工艺参数准确率 $>90\%$ ，工艺可实现性 $>80\%$ ；离线编程程序在线修正量少于 10%，工艺仿真准确率优于 90%；支持不少于 4 家国产厂商的 6 款以上机器人系统；不少于 20 家工业机器人集成商应用。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：工艺知识图谱生成，离线编程，机器人动力学

1.8 机器人人机交互安全与试验验证（共性关键技术类）

研究内容：针对非医用协作机器人和外骨骼机器人人机交互安全测试评定缺失的问题，研究生物力学约束下机器人人机交互与协作的安全性测评、机器人与人体紧密交互下运动跟随、静动态约束的安全性测评、复杂应用场景和工况下机器人系统的交互安全准则和评估模型等关键技术；研制人机交互安全性测试验证平台，开展应用验证。

考核指标：建立非医用机器人人机交互安全测评体系，形成评价指标和评价方法，构建机器人人机交互安全测试评估系统；协作机器人人机交互安全测试：碰撞力测量精度 $\leq 0.5\text{N}$ ，停止距离测量分辨率 $\leq 0.5\text{mm}$ ，最大碰撞压力测量 $\geq 600\text{N}/\text{cm}^2$ ，并具备压力分布测量功能；外骨骼机器人人机交互安全测试：阻力测量精度 $\leq 0.5\text{N}$ ，压力测量精度 $\leq 0.5\text{N}$ ，运动位移测量分辨率 $\leq 0.1\text{mm}$ ；立项行业/国家评测规范 2 项。

有关说明：具有机器人相关 CMA 资质认定/CNAS 实验室认可的机构牵头申报。

关键词：安全，测试方法，测试平台

2 工业机器人

2.1 驱动感知一体化软体机器人设计理论（基础研究类）

研究内容：从软体结构新原理与新技术的前沿科学研究出发，研究对环境有适应能力的软体机器人基础理论，探索软体结构变形致动机理与连续变刚度机制，形成深海复杂环境与任务下软体结构变形适应与驱动感知一体化设计方法。研制适应环境与任务的软体机器人原理样机，结合典型应用需求开展实验验证。

考核指标：攻克软体结构相关新原理、新技术和新方法，开发不少于 2 种基于软体结构功能驱动单元，研制驱动感知一体化软体机器人样机，驱动变形 $\geq 20\%$ ，刚度连续变化比值 ≥ 3 倍，感知精度优于 5%，完成不少于 2 种水下作业任务，并在静水压环境下进行验证。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先进水平，并提供佐证材料。

有关说明：无。

关键词：软体机器人，驱动感知一体化，连续变刚度

2.2 多机器人协同制造中的自主智能与群智涌现（基础研究类）

研究内容：面向机器人自主智能与群智涌现的学术前沿，探索机器人自感知、自学习、自适应机制，研究高效连接外部环境、传感系统、控制系统、执行末端的自主智能闭环技术；探索多机器人群智涌现与反馈机制，研究自组织协同规划技术；探索多机器人通用智能演绎、群体协同进化与智慧共生机制，研究自学习进化作业技术；研制自主智能机器人与群智涌现集群系统。面向多机器人协同制造典型任务开展实验验证。

考核指标：提出机器人自主智能与群智涌现相关理论与方法，研制不少于 2 类自主作业智能机器人试验样机，构建不少于 2 类群智涌现机器人集群系统，在不少于 2 种典型智能制造场景中进行技术验证；每个场景机器人节点数 ≥ 8 ，单任务调度决策时间 ≤ 1 秒，可实现 3 类以上任务的知识迁移与进化学习；并结合典型场景任务建立相应的考核指标体系；至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到国际领先水平，并提供佐证材料。

有关说明：无。

关键词：自主智能，群智涌现，协同制造

2.3 动态非结构环境下机器人自然交互与共融协作（基础研究类）

研究内容：面向机器人自然交互与共融协作的学术前沿，揭示动态非结构环境下以人为中心的人-机-物交互作用机理，研究表情/语音/手势等视-听-触多模交互信息融合、人类作业意图理解与行为预测等技术；突破人机共享环境重构建模、高效互助行为规划等技术；探索人机共融协作安全保护机制，构建人-机-环境多元共融协作机器人系统，在 3C 装配等作业任务典型场景开展实验验证。

考核指标：建立机器人自然交互与共融协作相关理论与方法，研制出不少于 3 类的共融协作机器人系统，实现表情/语音/手势的综合识别正确率 $\geq 95\%$ ，动态规划频率 $\geq 100\text{Hz}$ ，碰撞力觉感知 $\leq 0.5\text{N}$ ，反应式行为重规划时间 $\leq 100\text{ms}$ ，在不少于 3 类

典型场景中进行技术验证，并结合典型场景任务建立相应的共融协作考核指标体系；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。

有关说明：无。

关键词：协作机器人，自然交互，共融协作，动态非结构环境

2.4 机器人自动化产线快速重构技术（共性关键技术类）

研究内容：面向消费类电子产品等高端制造业对多品种、定制化、混流生产、快速换产的新型制造模式需求，研究即插即用型机器人加工/检测/装配制造单元模块化设计方法；突破机器人/设备/制造执行系统间多协议自适应交互与高效互联，异构制造单元动态配置与组合优化，产线仿真、重构与快速组线接入等关键技术；开发任务驱动的工业机器人快速配置、快速标定、快速示教与低代码编程方法，研制多工艺适配移动作业机器人，构建快速换产可重构机器人自动化生产线，面向消费类电子等产品制造需求，实现技术验证。

考核指标：围绕电子产品等高端制造业需求研制出模块化、高稳定性、高速、灵巧作业机器人制造单元，加速度 $\geq 2g$ ，运行速度 $\geq 2m/s$ ，不同工艺末端执行器更换时间 ≤ 2 分钟，更换后重复定位精度 $\leq \pm 0.02mm$ ；研制出即插即用多工艺适配移动作业机器人，移动定位精度 $\leq \pm 10mm$ ，可与不少于 3 种执行单元重构组合，实现适配工艺不少于 3 种；研制出满足消费类电子等产品

制造的可重构机器人自动化生产线，生产效率比人工生产提升不小于 30%，产品换线后产线装备复用率不低于 80%。在国内消费类电子等产品制造骨干企业开展应用验证。

有关说明：无。

关键词：可重构，即插即用，移动作业

2.5 重载工业机器人研发与应用（共性关键技术类）

研究内容：面向机器人高精度重载作业技术需求，研究机电控参数耦合的联合建模与一体化协同设计，基于多目标优化的运动学、动力学联合建模，动态负载工况下运动控制、轨迹规划与误差实时补偿，高速运动振动抑制与轨迹精度保持等关键技术，研制 500kg 级国产重载工业机器人产品，面向国家重点行业战略需求开展相关应用工艺研究，实现应用验证。

考核指标：研制 500kg 级串联多关节重载机器人；位置重复定位精度 $\leq \pm 0.08\text{mm}$ ，轨迹重复定位精度 $\leq \pm 0.30\text{mm}$ ；平均无故障时间 $\geq 60000\text{h}$ ，国产化率 $\geq 85\%$ 。面向航空、航天、船舶等国家重点行业开展应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：重载机器人，精度保持，振动抑制

2.6 国产机器人汽车焊装生产线关键技术与应用示范（应用示范类）

研究内容：面向汽车产业对工业机器人焊装生产线的巨大需

求，开展点焊机器人系统可靠性及易用性设计、焊接质量在线控制、国产控制通讯协议，以及焊装整线设计与控制技术研究，突破点焊加压压力精度及分段控制、修模量精度提升及挠度补偿、混线生产等关键技术。研发国产整线总控系统 & 国产控制通讯协议，以国产工业机器人为核心单元构建汽车白车身焊装生产线，并开展应用示范。

考核指标：在整车厂建成分总成国产工业机器人焊装生产线，单条产线国产工业机器人数量 ≥ 90 台，点焊机器人负载能力 210kg 以上，重复定位精度优于 0.1mm，平均无故障工作时间优于 6 万小时；产线纲领为年产 ≥ 10 万辆，产线兼容车型 ≥ 2 种；点焊机器人加压压力误差 $\leq 3\%$ ，修模量计算误差 $\leq 0.2\text{mm}$ ，焊接位置误差 $\leq 0.06\text{mm}$ ，机器人平均单点焊接时间 ≤ 2.2 秒。在国家汽车制造骨干企业开展应用示范。

有关说明：揭榜挂帅，由企业牵头申报。

关键词：白车身点焊，焊钳快换，挠度补偿

3 服务机器人

3.1 医工交叉新概念机器人（青年科学家项目）

研究内容：针对医工交叉前沿学科发展态势，通过材料、机械、信息、医学、微纳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，实现医工交叉新概念机器人创新设计。

考核指标：形成具有原创性的医工交叉新概念机器人，研制系统样机，展示在相关重要领域的潜在应用，具体任务目标和系统考核指标由申报项目团队自主设计。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。

有关说明：拟支持项目数 3 项。

关键词：医工交叉，新概念机器人，微纳机器人

3.2 基于脑机智能融合的行为增强理论与方法（基础研究类）

研究内容：面向融合机器人智能与动物智能的行为增强需求，探索高生物相容微创中枢神经信号的超前传感、生机系统控制权转换、混合智能决策、动态多目标群体博弈等基础理论，研究双向脑控与控脑并举的控制模式、基于中枢神经信号直接快速准确感知的智能机器人行为增强等关键技术，集成脑机智能与行为增强机器人原理样机，开展典型应用验证。

考核指标：提出生机融合系统中基于脑机智能融合的行为增强技术，研制出不少于 3 类微创自展开高通量神经电极，创口面积与电极面积比 ≤ 0.2 ，通量数 ≥ 1024 ；在不少于 3 种大小鼠、猪、狨猴等模式动物上进行不少于 3 个脑区实时感知与闭环调控、控制权转换、生机混合决策及行为增强的实验验证。至少 2 项先进技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平。

有关说明：无。

关键词：生机智能融合，行为增强，群智博弈

3.3 药物靶向递送场控微纳机器人与驱控系统（基础研究类）

研究内容：针对大型动物大时空高干扰体内环境引起的药物靶向递送难题，研究高生物相容微纳机器人的仿生设计、环境感知、运动控制等基础理论与实现方法；探索微纳机器人多模式运动机理及群体调控机制，突破大型动物活体腔道内药物靶向运输、多重响应复合治疗、降解/回收等关键技术；构建微纳机器人演示验证平台，结合典型疾病开展大动物活体试验。

考核指标：突破大型动物活体药物靶向递送场控微纳机器人系统的前沿关键技术；研制出不少于 2 类生物相容微纳机器人及其驱动系统，具备三维游动能力，至少 1 种机器人运动速度达到每秒 30 倍体长、轨迹跟踪精度优于 10% 体长；体液环境下群体导航定位精度优于群体尺寸的 1 倍；研制出面向实验用猪等大动物疾病治疗样机系统，实现关节腔、眼内等典型疾病的大动物活体试验；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。

有关说明：无。

关键词：场控微纳机器人，药物靶向递送，大型动物活体试验

3.4 变内径自然腔道复杂操作柔性机器人技术（共性关键技术类）

研究内容：针对消化道等柔性变形腔道尺寸变化大、操作复杂、手术风险高的难题，研究具有大弯曲曲率适应和跨管腔能力

的柔性机器人构型、力觉交互感知、变内径腔道建模与术中实时导航、变内径腔道运动自主控制等关键技术，研制机器人系统样机，建立机器人操作流程及规范，开展动物实验及有效性评价，在胆胰管介入手术等场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制柔性变内径腔道复杂操作机器人系统，实现插管、取物等复杂操作；柔性机器人末端外径 $\leq 2.8\text{mm}$ 、曲率半径 $\leq 15\text{mm}$ ，弯曲角度 $\geq 120^\circ$ ，自由度满足相应术式要求；柔性机器人末端三维力感知精度 $\leq 0.05\text{N}$ ；综合定位精度 $\leq 1.5\text{mm}$ ，导航误差 $\leq 5^\circ$ ；系统就绪度 ≥ 7 级，完成不少于 10 例动物实验，并提交有效性评价报告。

有关说明：无。

关键词：介入手术机器人，力觉交互感知，自主导航

3.5 狭小空间注射采样连续体机器人技术（共性关键技术类）

研究内容：针对刚性狭小、弯曲孔道内灵巧操作难题，研究多重约束下微型灵巧连续体机构创成、复杂孔道精细化三维建模、路径和姿态规划与位姿精准控制、内镜影像增强引导与人机协同安全操作等关键技术，研制机器人系统样机，实现其在狭小、弯曲孔道内多重约束下灵活运动、精准操作；建立机器人操作流程及规范，开展动物实验及有效性评价，在经耳道的内耳注射和采样手术等场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制狭小空间多重约束下连续体机器人系统，具备注射和采样等功能；执行器连续体外径 $\leq 2\text{mm}$ 、自由度 ≥ 5 ，

连续体轨迹跟踪误差 $\leq 0.3\text{mm}$ ；末端执行器直径 $\leq 100\mu\text{m}$ ，目标点识别准确率 $\geq 90\%$ ，穿刺操作重复定位精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ；系统就绪度 ≥ 7 级，完成动物实验不少于 10 例，并提交有效性评价报告。

有关说明：无。

关键词：连续体机器人，位姿规划，注射采样

3.6 异质组织清创切除机器人技术（共性关键技术类）

研究内容：针对狭小空间、软-硬组织交错混杂场景下机器人操作与控制难题，研究多器械协同灵巧清创切除操作机构、基于功能与结构影像融合的异质组织精确感知与辨识、规划与视觉融合导航、任务动态分配与决策、人机协作安全交互控制等关键技术，研制复杂场景下异质组织清创切除机器人系统样机，建立机器人操作流程及规范，开展实验验证及有效性评价，在关节内感染清创手术等场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制复杂场景下异质组织清创机器人系统，机械臂自由度满足相应术式要求，携带末端清创器械种类 ≥ 5 、自由度 ≥ 3 ；异质组织边界辨识率 $\geq 95\%$ ；协同操作下机器人边界控制精度 $\leq 1\text{mm}$ ；系统就绪度 ≥ 7 级，完成不少于 10 例实验验证，并提交有效性评价报告。

有关说明：无。

关键词：清创切除机器人，异质组织识别，多器械协同

3.7 腔镜手术机器人自主缝合作业技术（共性关键技术类）

研究内容：针对腹腔镜手术机器人自主缝合作业难题，研究基于视觉的触觉虚拟力精准生成、手眼协同标定、实时精准定位导航、术者经验数据学习与知识迁移、基于手术操作指令集的自主缝合动作生成等关键技术，研制高效腹腔镜手术自主缝合作业机器人系统样机，建立自主缝合机器人操作流程及规范，开展动物实验及有效性评价，在肾脏外科等手术场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制高效腹腔镜手术自主缝合作业机器人系统，实现手术创面自主缝合操作，支持不同孔数的手术入路类型 ≥ 2 ；视触觉力转化率 $>90\%$ ，虚拟力转化精度 $\leq 0.5\text{N}$ ；手眼标定精度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；软组织导航定位精度优于 1mm ；缝合精度 $\leq 2\text{mm}$ ，单针缝合时间 $\leq 15\text{s}$ ；系统就绪度 ≥ 7 级，完成不少于10例动物实验，并提交有效性评价报告。

有关说明：无。

关键词：腹腔镜手术机器人，自主缝合操作，视触转换虚拟力

3.8 弱能老人高相容性照护康复机器人技术与系统（共性关键技术类）

研究内容：针对创伤弱能老年人的照护与康复难题，研究照护康复机器人多位姿支撑、多旋转中心高相容性机构设计，弱能老人意图理解与人机交互，康复改善机理与安全照护方法，量化评估与个性化处方生成，智能照护与多模态康复干预等关键技术，建立运动能力评估、照护和康复训练智能信息平台，研制创伤弱能老人高相容性照护康复机器人系统，开展临床验证。

考核指标：研制创伤弱能老人高相容性照护康复机器人系统，具有多位姿支撑、肢体运动自适应、多模康复干预等功能；机器人本体自由度数 ≥ 10 ，照护康复体位 ≥ 5 种，关节运动匹配度 $\geq 80\%$ ；运动能力综合评估准确率 $\geq 90\%$ ，弱能意图理解准确率 $\geq 80\%$ ；康复干预种类 ≥ 5 种，康复训练模式 ≥ 3 种；系统就绪度 ≥ 7 级，完成不少于 10 例临床验证。

有关说明：无。

关键词：康复机器人，机构相容性，康复干预

3.9 活动靶区位姿实时精准调控肿瘤放射治疗机器人系统(应用示范类)

研究内容：针对胸、腹腔活动肿瘤靶区与放射线精确对准的放射治疗操作难题，研究体表与体内肿瘤靶区关联运动建模，体表微运动实时高精度追踪，大负载、高刚性定位机器人设计与高精度动态控制等关键技术，开展机器人临床操作规范与放疗手术室兼容性设计，研制活动靶区位姿实时精准调控肿瘤放射治疗机器人系统，开展机器人系统操作规范、临床诊疗规范研究，完成产品注册。

考核指标：研制活动靶区位姿实时精准调控肿瘤放射治疗机器人系统，整机系统获 NMPA 医疗器械三类注册证；定位机器人最大负载 $\geq 200\text{kg}$ ；定位精度误差 $\leq 0.5\text{mm}$ ，角度偏差 $\leq 0.2^\circ$ ；体表追踪精度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；肿瘤靶区实时跟踪位置偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，角度偏差 $\leq 1^\circ$ ；系统就绪度 ≥ 8 级，完成 NMPA 规定的临床病例

数。

有关说明：由企业牵头申报。结题时提供肿瘤放射治疗机器人整机系统和医疗器械Ⅲ类注册证，按照 NMPA 医疗器械产品注册的要求完成产品检测和临床试验。

关键词：放射治疗机器人，活动靶区，实时调控

3.10 骨肿瘤切除机器人系统（应用示范类）

研究内容：针对骨肿瘤切除等异形截骨手术操作难题，研究基于 CT/MR 的多模影像融合、特征识别、分割和病灶重建，复杂不规则曲面切除路径规划和增强导航，交互作用智能感知及机器人精准控制等关键技术；研制骨肿瘤切除机器人系统，以及配套动力装置和手术工具，完成 NMPA 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，完成产品注册。

考核指标：研制骨肿瘤切除机器人系统，具有异形曲面智能规划和组织精准切除等功能，整机系统获得 NMPA 医疗器械三类注册证；机器人自由度 ≥ 6 ，负载 $\geq 7\text{kg}$ ，绝对定位精度 $\leq 1.0\text{mm}$ ；系统动态轨迹误差 $\leq 1.0\text{mm}$ ；肿瘤组织识别、分割准确率 $\geq 90\%$ ；切削力识别分辨率 $\leq 0.5\text{N}$ ；生理运动补偿延迟 $\leq 10\text{ms}$ ；系统就绪度 ≥ 8 级，完成 NMPA 规定的临床病例数。

有关说明：由企业牵头申报。结题时提供新型骨肿瘤手术机器人整机系统和医疗器械Ⅲ类注册证，按照 NMPA 医疗器械产品注册的要求完成产品检测和临床试验。

关键词：骨肿瘤切除机器人，不规则曲面规划，异形截骨

4 特种机器人

4.1 仿生新概念机器人（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：围绕国家重大需求场景，基于仿生学的前沿理论与先进技术，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，实现仿生新概念机器人创新设计。

考核指标：形成具有原创性的仿生新概念机器人，研制系统样机，展示在相关重要领域的潜在应用，具体任务目标和系统考核指标由申报项目团队自主设计。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。

有关说明：拟支持项目数 3 项。

关键词：仿生原理，新概念机器人

4.2 机器人精密装配微纳操控原理与技术（基础研究类）

研究内容：针对微小尺度下精密作业的需求，研究柔性精密传动原理，突破超高精密运动创成的非线性补偿、高分辨率位移控制、微小尺度下的精准力控等关键技术，形成宏-微-纳跨尺度的精密传动力位同步驱控理论与设计方法，研制微纳操控机器人原理样机，并结合典型应用开展实验验证。

考核指标：建立机器人精密装配微纳操控新原理与新技术；

研制微纳操控机器人原理样机，实现定位、夹持、进给、旋转等典型微纳操作，直线位移 $\geq 2\text{mm}$ ，分辨率 $\leq 20\text{nm}$ ；旋转运动范围 $\geq 10^\circ$ ，角分辨率 $\leq 0.01^\circ$ ；最大操作力 $\geq 10\text{N}$ ，分辨率 $\leq 10\text{mN}$ ；最大操作力矩 $\geq 1\text{N}\cdot\text{mm}$ ，分辨率 $\leq 1\text{mN}\cdot\text{mm}$ 。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。

有关说明：无。

关键词：微纳操控，柔性精密传动，力位同步驱控

4.3 自主移动机器人集群系统动态调度与优化(共性关键技术类)

研究内容：针对智能仓储和智能制造对自主移动机器人大规模集群作业的迫切需求，研究复杂动态环境下多智能体高精度导航与分布式协同感知、自主移动机器人集群大规模实时调度、基于数据驱动和深度学习的协同作业优化等技术；研发自主移动机器人集群系统动态调度与优化方法，并进行实验验证。

考核指标：形成自主移动机器人集群系统动态调度与优化方法，机器人种类不少于 3 种，具备二维码导航和同步定位与建图（SLAM）导航 2 种模式，SLAM 导航精度 3σ 概率下误差 $\leq \pm 1\text{cm}$ ；二维码导航系统调度能力 ≥ 3000 台；SLAM 导航系统调度能力 ≥ 1000 台；在医药流通、电商零售、鞋服、智能制造等典型场景下开展机器人总数不少于 20000 台的应用验证。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：自主移动机器人，集群调度

4.4 冶炼炉高温强冲击载荷作业机器人技术（共性关键技术类）

研究内容：面向机器人冲击类作业技术需求，探索强冲击载荷对机器人传动结构的力学作用与失效机理，开展恶劣工况下强冲击类作业机器人机构设计与卸荷方法、瞬时大扭矩高功率电机、强冲击载荷下机器人振动抑制、基于视觉-力伺服控制的大负载复杂作业等关键技术研究，研制强冲击载荷作业机器人，面向典型场景开展应用验证。

考核指标：形成强冲击载荷作业机器人设计方法，研制强冲击载荷作业机器人系统，针对工业硅、电石以及硅锰、硅铁等高温冶炼等典型场景开展应用验证。冲击作业机器人自由度不少于5个；末端最大冲击载荷 $\geq 80000\text{N}$ ，工作温度 $\geq 2000^\circ\text{C}$ ；定位精度 $\leq 3\text{cm}$ ，最大冲击作业行程 $\leq 3.5\text{m}$ ，最大速度 $\geq 1.8\text{m/s}$ ；无故障冲击次数 ≥ 10000 次，开展不少于5台的应用验证。制定团体/行业标准不少于2项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：强冲击环境，机器人设计方法，卸荷方法

4.5 海上新能源发电场水下敷缆作业机器人系统与应用示范（应用示范类）

研究内容：针对国内海上新能源发电场海缆敷埋施工作业难

度大、持续作业能力差问题，开展高压环境滩涂、海底不同土壤敷缆作业载荷分析、水下稀软土行走与推进技术、水下自主定位导航技术、水下电缆探测定位与自动控轨技术等关键技术研究。研制适应不同土壤底质的海底敷缆作业机器人系统，在典型场景开展应用验证。

考核指标：研制应用不同土壤底质的海底敷缆作业机器人系统。机器人最大工作水深 $\geq 200\text{m}$ ；作业适用海床底质为沙土、黏土、淤泥等，土壤最大硬度 $\geq 100\text{kPa}$ ；可配置履带、雪橇等行走能力；水下电缆埋深探测能力 $\geq 9\text{m}$ （电缆通电/加入信号）以及 $\geq 3\text{m}$ （电缆不通电/无信号加入）；可敷埋电缆最大直径 $\geq 400\text{mm}$ ，海缆敷埋作业速度 $\geq 700\text{m/小时}$ ，水下连续工作时间 ≥ 35 天；敷埋深度能力 $\geq 5\text{m}$ ，敷埋位置误差 ≤ 0.5 米。在海上新能源发电场海缆敷埋施等场景开展应用示范。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：水下机器人，水下自主定位，海缆敷埋

4.6 大口径油气管道柔性焊接机器人关键技术与应用示范(应用示范类)

研究内容：面向国家油气管网野外高效高质焊接的迫切需求，研究管道柔性内焊机器人、冗余自由度外焊机器人系统构型及轻量化设计技术；研究基于视觉引导的焊缝跟踪和熔池监控技术；研究多层多道焊机器人运动轨迹规划、焊缝数字建模、焊缝表面评估与缺陷自动补偿、焊接机器人工艺数据库及深度学习等

关键技术；研究机器人柔性焊接系统野外复杂环境作业的适应性和可靠性。突破管道全位置焊接机器人智能化自适应焊接控制方法，研制大口径高压力油气管道自动焊接机器人，构建柔性成套作业系统，并在国家骨干油气管网新建工程开展应用示范。

考核指标：研制出大口径高压力油气管道柔性焊接机器人成套系统，实现野外油气管道自动化焊接。机器人自由度数 ≥ 5 ，末端载荷 $\geq 7\text{Kg}$ ，机器人运行速度 $\geq 2.5\text{m/min}$ ；焊缝三维重构精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，焊缝表面缺陷自动补偿率 $\geq 90\%$ ，焊缝跟踪 TCP 定位精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，姿态角误差 $\leq 1^\circ$ ，轨道自动装夹时间 ≤ 3 分钟；通过弯管能力优于 6D（弯管的曲率半径为 6 倍管径的能力）、爬坡能力 $\geq 25^\circ$ ；管径覆盖范围 610~1422mm；作业效率比传统自动焊效率提升 20%以上，MTBF（平均无故障工作时间） $\geq 8000\text{h}$ ；湿热、高寒等环境下的焊接一次合格率 $\geq 98\%$ 。研制不少于 3 套国产高压力管道全位置机器人柔性焊接系统，且每套系统均不少于 5 台机器人，在国家骨干油气管网新建工程开展不少于 6 万道焊口，20 万米焊缝长度以上的应用示范，形成行业/国家规范。

有关说明：揭榜挂帅,由企业牵头申报。

关键词：油气管道，柔性焊接，缺陷补偿