附件4：

机器人与高端装备专项申报指南

机器人与高端装备制造具有技术密集、附加值高、辐射带动力强等特点，是宁波重点发展的优势产业，也是宁波制造业高质量发展的重要支撑。经过多年发展，宁波市工业机器人产业已初具规模，形成了较为完整的产业链，但机器人核心零部件、整机系统以及集成应用水平还存在不足。以成型装备为代表高端装备产业优势明显，部分产品在全国乃至全球市场处于领先地位，但其可靠性和智能化水平还有待进一步提升。本专项围绕宁波市机器人与高端装备产业的重点发展领域，以打造具有战略性和全局性的产业链为目标，重点突破机器人核心零部件、机器人系统集成与应用、智能成型装备、高端半导体装备、新型工程装备、智能检测设备与人机交互等关键核心技术与前沿引领技术，推动机器人与高端装备产业的数字化、智能化、绿色化发展，抢占产业竞争的制高点。

**（一）产业链关键核心技术攻关项目**

**1**、**金属薄壁件超声波喷丸校形装备关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究高能超声波喷丸冲击头本体设计与控制方法，实现冲击头阵列应力优化分布和恒振幅控制；阐明工艺参数对残余应力的影响机理，提出超声波喷丸校形工艺建模与参数优化方法；研发大尺度曲面的形貌测量技术与装置，实现对校形区域的精确判定；研制超声波喷丸校形装备，实现对典型金属薄壁件校形应用。

**考核指标：**研制高能超声波喷丸冲击头与金属薄壁件机器人化超声波喷丸校形装备；超声喷丸装置超声频率为20-30kHz，最大输出功率不小于2kw；最大校形尺寸1.5m×2m，最大校形厚度30mm，校形精度优于±0.5 mm，校形最大进给速度3米/分钟；形貌测量装置的检测精度优于±0.1mm。申请或授权发明专利不少于3件；发表高水平论文不少于3篇；获得软件著作权不少于2件；项目执行期内实现销售收入2000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**2、大型智能高效挤压铸造装备关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究挤压速度、压力双闭环专用控制器及挤压系统压力、流量双闭环程序智能控制算法，实现挤压速度、压力双闭环实时控制；研究双向挤压系统结构及运动控制技术，实现双向挤压功能；研究两板式高压锁模结构及锁模力的智能补偿技术，提升锁模速度及平稳性；研究挤压铸造工艺特性，建立挤压工艺参数关联模型，实现工艺参数标准化应用；研究挤压生产单元集成智能控制技术，提供完善的挤压铸造成型解决方案。

**考核指标：**研发至少三款高效挤压铸造机型设备；锁模力≥18500 kN，开模行程≥1000 mm，下挤压缸挤压压力≥3150 kN；挤压充型速度0.03-0.5 m/s，挤压压力偏差±2 bar，开锁模位置重复精度≤1 mm，整机均达到 1 级能耗标准。申请或授权发明专利不少于5项，发表高水平论文不少于3篇，制定标准2项，获得软件著作权不少于1件。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**3、长寿命无砼轴转式智能伸缩装置研发及产业化**

**研究内容：**研究轴转式多向变位伸缩装置的结构构型，实现伸缩装置的模块化设计；研究轴转式多向变位伸缩装置的有限元分析方法，实现伸缩装置的结构优化设计，提高其对桥梁变位的适应性和可靠性；开展无过渡段砼结构设计和性能研究，消除过渡段浇注混凝土对桥梁伸缩装置影响；开发基于光纤传感技术的伸缩装置状态在线分析和故障诊断技术，实现关键运行参数的动态采集与实时监控。

**考核指标：**研发可实现模块化安装与维护、实时监测运行状态的无砼轴转式智能伸缩装置；位移顺畅性：拉伸、压缩时最大水平摩阻力 ≤4 kN/m；转角适用性：竖向转角达到0.06 rad，水平向转角达到0.06 rad；噪声增量≤5 dB(A)。申请或授权发明专利不少于5件，发表高水平学术论文不少于3篇。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**4、新能源汽车结构件激光焊接关键技术及装备研发**

**研究内容：**研究面向新能源汽车结构件的激光焊接工艺优化方法；研究激光焊缝跟踪、高速精准对中方法；研究激光焊接缺陷成形规律与影响要素分析及焊接缺陷检测方法；研究激光焊接变形规律分析及成形精度控制技术；实现激光焊接装备集成设计与制造，并在新能源汽车典型结构件激光焊接应用中进行示范应用。

**考核指标：**激光焊接速度大于15米/分钟，焊接精度优于0.1mm，焊接成品率大于98.5%。申请或授权发明专利不少于4件，发表高水平学术论文不少于2篇。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

5、**全向移动搬运机器人关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究主动万向脚轮的驱动-传动一体化设计方法，提高主动脚轮的驱动-传动效率和运动平稳性；研究基于主动万向脚轮的全向移动平台设计方法，研究起升机构的设计方法，实现全向移动搬运机器人的集成设计；研究全向移动搬运机器人运动学、动力学建模、轨迹规划方法，实现移动-搬运协调运动控制；研究基于多传感器融合的全向移动搬运机器人定位导航方法，实现高精度定位导航。

**考核指标：**研制基于主动万向脚轮的全向移动搬运机器人，实现 360°全向移动与自主搬运；主动万向脚轮传动效率≥80%，噪音≤60 dB，峰值转矩≥10N.m；全向移动搬运机器人转向精度优于0.2°，定位精度优于±10mm，移动速度大于1m/s，负载大于500kg。申请或授权发明专利不少于3件，发表高水平论文不少于3篇。项目执行期内实现销售收入2000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**6、全光纤中远红外超连续谱光源整机研发及产业化**

**研究内容：**研究中红外短脉冲光纤激光源功率提升与波长调制、高性能红外光纤制备及异质光纤间高效接续技术，探索高性能中远红外激光关键元器件的制备、异种光纤间耦合点封装及红外光纤端面宽带抗反射镀膜工艺，解决影响系统长时间稳定运行及紧凑一体化的精确热管理与系统的智能控制问题，研发全光纤中远红外超连续谱光源整机。

**考核指标：**研发光谱覆盖2-8 μm（30dB）、平均功率600 mW以上、连续10天稳定运行、功率抖动均方根值低于±2%的超连续谱激光。申请或授权发明专利不少于3件，发表高水平学术论文不少于5篇。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**7、基于压电材料的新型力/力矩传感器研发及产业化**

**研究内容：**研究小型化压电薄膜敏感单元设计方法以及压电力敏传感器电路设计方法，研发力/力矩传感器受力结构与补偿电路；研究压电力/力矩传感器制造技术，研制面向机器人与高端装备的压电力/力矩传感器，并实现产业化示范应用。

**考核指标：**研发主频24M、40M的压电效应力敏感单元，分辨率高于全量程1/10000；工作温度范围-20°C ~80 °C，温飘小于10 ppm/°C；传感器电路最高带宽大于1.5kHz，力/力矩传感器精度高于全量程1/1000，并在机器人、智能成型装备等领域实现产业化示范应用。申请或授权发明专利不少于5件，发表高水平学术论文不少于3篇。项目执行期内实现销售收入2000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

8、**超大深径比小孔激光与电化学复合加工技术与装备研发**

**研究内容**：针对高温合金、带热障涂层高温合金等难加工材料大深度小孔的高效精密加工难题，研究激光与管电极电解同步复合加工技术，探索基于液核光线的激光与电化学能量场高可靠耦合机制；揭示激光与电化学同步复合加工材料去除过程热力效应对材料表面/界面损伤产生的机制并提出抑制方法；研究激光与电化学同步复合加工关键工艺参数对加工精度、表面质量及效率的影响规律。

**考核指标：**研发五轴激光与管电极电解同步复合加工系统，激光平均功率不低于30W；加工等轴/单晶高温合金、钛合金等难加工材料，小孔直径 0.5~1.5mm，深径比≥80:1；加工带热障涂层高温合金材料微小孔，小孔直径 0.5-1.0mm，深径比大于 6:1。申请或授权发明专利不少于4件，发表高水平论文不少于3篇。项目执行期内实现销售收入 2000 万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励企业、高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**9、晶圆缺陷高精度自动光学检测关键技术与装备研发**

**研究内容：**研究晶圆缺陷高精度检测装备系统设计，开发系统层到部件层的精度分配算法；研发高精度线型感应器搭配高倍率成像光路的光学系统，提高缺陷成像精度；研究精密运动平台设计及运动控制方法，提高平台定位精度；开发人工智能缺陷检测算法，实现对晶圆缺陷自动评估和分类，提高缺陷检出率与检测速度。

**考核指标：**研制具有自主知识产权的晶圆缺陷高精度自动光学检测装备；检测精度：VLSI PSL 0.504μm2标准验证片的PSL颗粒检出率不小于90%；检测速度：每小时扫描数量12片；实现具有AI人工智能与深度学习自动缺陷分类功能，并在半导体龙头企业完成验证和示范应用。申请或授权发明专利不少于5件，发表高水平学术论文不少于2篇，获得软件著作权不少于2件。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**10、高解析度自适应定位喷码关键技术与装备研发**

**研究内容：**研究融合多维可变尺度运动特征的目标提取及定位方法，实现复杂工业环境下喷码对象的自适应动态实时定位及跟踪；研究全数字化脉冲序列喷射控制和多变量参数控制技术，实现高效率和高解析度的喷码精准控制；研究基于智能优化的喷码算法，提高喷码效率；研究基于机器视觉和深度学习的喷码质量检测方法及基于大数据和人工智能的故障分析及诊断，实现喷码标识过程的远程管理与喷码质量智能分析、追踪。

**考核指标：**研发高解析度自适应定位、喷涂、识别一体化智能喷码装备，实现可远程故障诊断、维护；喷码分辨率≥1200dpi，喷印速度≥260米/分钟，喷码误差≤0.05毫米，喷码质量检测正确率≥99.99%。申请或授权发明专利不少于5件，发表高水平论文不少于3篇。项目执行期内实现销售收入2000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**11、可交互浮空成像虚拟终端技术研发及产业化**

**研究内容：**研发高亮度、高分辨率、高灵敏度的可交互浮空成像虚拟终端；研发具备光场重构功能、能将发散光线在空中重新汇聚的新型材料-负折射平板透镜；研发基于交互传感控制技术的精确、灵敏手指感应操控装置，实现人与光场重构形成的浮空成像屏之间的直接交互信息传递；在需要零交叉感染安全交互的场合进行典型应用验证。

**考核指标：**显示屏最大尺寸≥15英寸，显示屏亮度≥600cd/m2，分辨率达到1024\*768，交互灵敏度<20ms；实现3个以上典型场景应用。申请或授权发明专利不少于2件，获得软件著作权不少于3件。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**12、高精度高效率3D埋丝关键技术与装备研发**

**研究内容：**研究雷达罩-加热丝-覆盖膜的热-机械结合特性以及不同埋丝布局下雷达罩的加热与透波特性，研究高效率高稳定性的3D自动化埋丝工艺；研究埋丝速度、埋丝压力、埋丝头材料及结构对埋丝过程的影响规律，设计耐磨、耐高温、低导热率的埋丝头；分析埋丝执行机构与埋丝头的动力学特性，研究其力-位置精密控制与误差补偿方法；研发高精度高效率3D自动化埋丝装备，开展性能测试，实现应用验证。

**考核指标：**埋丝装备可用于不同材质的汽车雷达罩；3D埋丝的丝径范围0.06-0.4 mm；稳定工作空间不小于600×600×300 mm；绝对定位精度优于±0.025 mm，重复定位精度优于±0.015 mm；埋丝速度不低于20mm/s；产品型面高低波动1 mm时，力波动量不超过0.5 N。申请或授权发明专利不少于5件，发表高水平学术论文不小于5篇，获得软件著作权不少于5件，制定企业（行业）标准2项。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**13、基于软磁复合材料的机器人关节轴向磁通电机关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究基于软磁复合材料的高力矩密度、低转矩波动轴向磁通电机设计方法；研究轴向磁通电机散热特性，提出高效散热结构与方法；研究复合软磁材料在电机使役工况下的性能演化机理，提出适用于轴向磁通电机铁芯的复合软磁材料成形与热处理工艺方法；探明轴向磁通电机在协作机器人关节内的使役特性，研发基于轴向磁通电机的协作机器人一体化关节。

**考核指标：**研制基于软磁复合材料的系列轴向磁通力矩电机，转矩为0.5~1.5Nm，转速为2000~3000rpm，转矩密度≥4N.m/kg，过载倍数≥3；研制轴向磁通力矩电机驱动的协作机器人一体化关节，输出力矩不小于50Nm。申请或授权发明专利不少于5件，发表高水平论文不少于3篇。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**14、小家电双臂协作机器人智能装配关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究小家电产品装配工艺，建立装配序列评价方法，优化装配序列；研究基于视觉信息融合的零件三维精准定位；研发变刚度柔顺夹持器，实现对不同形状、尺寸和材质零部件的高效抓取；研究机器人力位混合控制技术，实现小家电产品的柔顺装配；在典型的小家电装配生产线完成实验验证和示范应用。

**考核指标：**双臂协作机器人负载≥5kg, 重复定位精度优于0.1mm, 力控精度优于1N；装配系统视觉定位精度优于0.1mm；变刚度夹持器开合范围≥50mm，刚度调整范围为0.3N/mm~12N/mm。申请或授权发明专利不少于3件，发表高水平学术论文不少于4篇。项目执行期内实现销售收入2000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过300万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**15、高稳定性绿色智能旋挖钻机关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究动力中置旋挖钻机整机优化设计方法，实现高稳定性和“零配重”绿色作业；研究多点平衡加压技术，构建大加压力、大提升力动力系统智能控制策略；研究激振加速响应倒土技术，开发标准化作业流程智能管理系统，实现低噪音绿色施工；研究5G+AR实时监测、数据透视、远程维保技术，实施智慧施工；开展实际工程应用验证。

**考核指标：**研发高稳定性、零配重、高工效、低噪音智能旋挖钻机装备；钻孔直径3 m，钻斗容量14 m3，动力头扭矩0~700 kN.m，双点最大提升力700 kN，土层效率提升30%，岩层效率提升15%，倒土噪音<55 dB，配置5G+AR智能施工和技术服务系统。申请或授权发明专利不少于5件，其中PCT专利不少于2件，发表高水平论文不少于5篇，获得软件著作权不少于2件，制定标准1项。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**16、基于氢燃料电池的物料搬运装备关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究基于氢燃料电池的搬运装备结构设计方法，实现搬运装备轻量化、低重心及高转向稳定性；研发再生制动机构方法，设计机械制动与再生制动机构，实现制动能量可靠回收至氢燃料电池模块；研究动力系统优化设计方法，实现高能量、恒功率动力输出；开发整车智能控制系统，实现整车功率需求优化分配以及车辆状态实时感知。

**考核指标：**最大输出功率30KW，连续输出功率8KW；最大行驶速度≥12km/h, 最大起升速度≥0.35m/s, 最大起升高度≥3m, 最大爬行坡度≥13。，最小转弯半径≤2.2m。申请或授权发明专利不少于4件，发表高水平学术论文不少于3篇。项目执行期内实现销售收入3000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励与高校、科研院所等联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**17、超精密三维形貌测量装备关键技术研发及产业化**

**研究内容：**研究超精密三维形貌测量装备光路设计技术；研究白光干涉与激光共聚焦测量技术；研究白光干涉与激光共聚焦测量头切换技术；研究图像采集及处理方法；研发结合白光干涉与激光共聚焦测量技术的超精密表面三维形貌光学测量装备，并在典型产品的超精密三维形貌测量中实现产业化应用。

**考核指标：**超精密三维形貌测量装备具备白光干涉与激光共聚焦两种测量模式，可互相切换；测量分辨率10nm；可实现表面积、体积等三维形貌测量。申请或授权发明专利不少于4件，发表高水平论文不少于2篇，项目执行期内实现销售收入2000万元以上。

**有关说明：**要求企业牵头，鼓励企业与高校、科研院所联合申报。财政补助原则上不超过500万元，且不超过项目研发总投入的20%。

**（二）前沿引领技术攻关项目**

**18、难加工材料****精密微小孔成形加工关键技术与装备**

**研究内容：**研究难加工材料精密微小孔的成形加工机理及精密加工工艺，建立微小孔圆度预测模型，阐明微小孔加工精度的影响因素与误差形成规律；研究难加工材料微小孔加工工艺参数优化方法，建立加工工艺规范，实现微小孔的高效、高精度加工；研制微小孔成形加工装备与工艺检测装置，并进行实验验证。

**考核指标：**研制微小孔成形加工装备与工艺检测装置各一套，实现不少于两种难加工材料的微小孔加工，孔径≤Φ0.5mm，深径比不小于10，精度优于±10um；提供第三方检测报告1份；发表高水平论文不少于3篇，申请或授权发明专利不少于3件。

**有关说明：**高校院所、企事业单位均可牵头申报，财政补助不超过100万元，如企业牵头，则不超过项目研发总投入的30%。

**19、连续纤维增强复合材料铺丝机器人关键技术研发**

**研究内容：**研究铺丝头机构各模块间几何、运动和力约束耦合特性及协同运动规律，提出可适应多规格连续纤复合材料的铺丝头机构设计方法；研究连续纤维复合材料变带宽/变角度铺放轨迹规划技术；探索基于力/位混合控制的丝束铺放成型工艺参数调控与优化方法，实现复合材料结构的高质量成型；试制连续纤维增强复合材料结构件，开展其性能测试与评估研究。

**考核指标：**研制面向连续纤维增强复合材料的铺丝机器人样机，具有自主研制的铺丝头机构，实现单丝束变带宽、变角度纤维铺放功能；适应3mm到6.35mm带宽的预浸料，成形速度不低于30mm/s；力控范围0到100N，精度优于±5.0N；制备不少于3类典型的碳纤维增强复合材料构件。发表高水平论文不少于5篇，申请或授权发明专利不少于4件。

**有关说明：**高校院所、企事业单位均可牵头申报，财政补助不超过100万元，如企业牵头，则不超过项目研发总投入的30%。

**20、航空薄壁拉杆三辊柔性减径与端部挤压增厚一体化协同成形技术**

**研究内容：**研究三辊柔性减径与端部挤压增厚一体化成形工艺，建立薄壁管件三辊减径稳定塑性成形的力学模型；探究拉杆管件成形过程中多场耦合协调机制；研究拉杆管件三辊减径和端部增厚过程中的力能参数演变和微观成性规律；优化拉杆管件减径增厚形性协同控制参数，开发轧辊轨迹控制软件；研制航空拉杆减径增厚一体化成形装备，实现航空飞机操纵拉杆三辊柔性减径与端部挤压增厚一体化成形制造。

**考核指标：**建立航空薄壁拉杆管件三辊柔性减径与端部挤压增厚协同成形理论，研制出专用一体化成形装备；实现一体化整体航空拉杆成形，减径精度小于0.2 mm，增厚比达350%以上。发表高水平论文不少于5篇，申请或授权发明专利不少于3件。

**有关说明：**高校院所、企事业单位均可牵头申报，财政补助不超过100万元，如企业牵头，则不超过项目研发总投入的30%。

本领域项目申报指南编制专家组名单：

杨桂林 中科院宁波材料所研究员

崔玉国 宁波大学教授

倪培君 兵科院宁波分院研究员

贾庆伟 宁波韦尔德斯凯智能科技有限公司教授

连雪海 中电科（宁波）海洋电子研究院有限公司高工

刘西恒 宁波海天精工股份有限公司高工

邓立林 宁波市数字经济产业发展有限公司高工