附件3：

高性能电机与机器人专项申报指南

电机及其驱动控制系统是机器人和高端装备关键核心部件，我国大部分高档数控机床仍需进口，伺服电机、驱动器、精密减速器、数控系统与国外差距显著。宁波是稀土磁钢、模具和轴承之都，同时装备制造业的支柱地位突出，而作为产业链的中间关键环节--电机产业却主要以低技术、低附加值的小型直流励磁电机为主，电机产业相对孱弱，急需强链补链。本专项聚焦电机创新设计、制造、测试和应用技术，面向我市电机及机器人技术提升与产业高端引领发展，以高性能磁性材料的应用为基础，以航空航天、高端装备制造和机器人及新能源汽车等产业的重大需求为导向，突破高精伺服直驱电机、高功率密度永磁电机及其驱控系统、超高效电机产业化应用瓶颈，补足现有电机和数控机床技术短板，构建强化“材料—电机—机器人和装备”产业链。

**（一）产业链关键核心技术攻关项目**

**1、电机-驱动-减速器一体化智能执行单元研发及产业化**

**研究内容：**研究电机-驱动-减速器一体化智能执行单元集成设计优化技术；基于等寿命的电机与减速器功率密度匹配技术、寿命测试方法；高可靠性密封性能测试与优化方法、高效率集成化散热结构设计方法、电磁抗干扰设计技术。研究基于矢量控制的电机驱动器智能控制算法，建立电机-驱动-减速器全闭环智能、可靠、精密控制技术；研究电机-驱动-减速器一体化智能执行单元量产工艺及测试技术。

**考核指标：**行星减速执行单元：功率0.05-7.5kW，减速比5-50，最大允许扭矩1000N.m，传动精度≤5弧分；谐波减速器执行单元：减速比50-120，最大允许扭矩380N.m，传动精度≤30角秒；摆线针轮减速器执行单元：功率0.4-5kW，减速比100-250，最大允许扭矩4700N.m，传动精度≤1弧分。项目执行期内实现销售3000万元以上。发表学术论文不少于4篇，申请发明专利不少于4件。

**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、无稀土永磁超高效（IE5）电机及驱动控制系统的关键技术研发**

**研究内容：**开展超高效（IE5）无稀土永磁电机与驱动控制技术的设计；研究高性能无传感器驱动技术，实现电机系统在不同负载下的最优效率（MTPA）控制运行；实现额定扭矩平滑起动和额定速度下过载（150%）运行；在保证高效输出的前提下，研究电机的扭矩波动最小化，从而提升扭矩质量并做到噪音最小化；研究同步磁阻电机及其控制器的规模化生产工艺路线与方案。

**考核指标：**开展工业应用领域电机标准基座号全系列，全功率段的无稀土永磁电机及控制器研发，包括 7.5kW-200kW之间的至少5个功率等级；全系列电机效率均达到IE5能效标准；项目执行期内实现销售2000万元以上；申请发明专利不少于5件，发表学术论文不少于8篇。

**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、涡喷航空发动机集成高功率密度高温电机驱动的关键技术与产业化**

**研究内容：**针对下一代多电涡喷航空发动机系统开展研发内置集成高功率密度耐高温起发一体化电机驱动系统，研究高功率密度电机在航空极端运行工况和环境下的高效热管理策略，形成极端环境下的高功率电机设计技术方法；研究电机和控制器联合设计与优化技术，实现效率区间最大化；实现高功率密度高温电机驱动与航空涡喷发动机的集成，开展地面发动机推力、耗油率、功率提取等地面性能测试。

**考核指标：**内置式集成高功率密度电机速度达到25000rpm，峰值速度达到30000rpm，额定功率3kW、峰值功率5kW，电机最高效率不小于92%，其有效材料功率密度超过5kW/kg；装配至少1台多电涡喷发动机工程样机，并开展相应的地面试验测试；项目执行期内实现销售2000万元以上；发表学术论文不少于8篇，申请发明专利不少于5件。

**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、高档立式加工中心产业链关键技术研究及产业化**

**研究内容：**研究高档立式加工中心用低转矩脉动、高过载能力永磁力矩电机设计以及制造、材料工艺技术，永磁伺服电机高动态响应、高精度伺服控制及高可靠伺服驱动器硬件技术，支持多轴联动及多插补算法的开放式数控系统技术，高速电主轴设计技术，整机温度补偿及精度保持技术，机床维护保养智能化提示技术等产业链关键技术，并在高档立式加工中心进行示范应用。

**考核指标：（1）关键核心部件技术指标：**永磁力矩电机额定转矩100Nm，转矩脉动<±1%，过载能力≥3.5；控制器电流环响应频宽≥1.5kHz，位置精度达到18位；电主轴功率达到11kW，最高转速不低于12000rpm；拉刀力：10000±10%N，动平衡等级G0.4。**（2）整机技术指标：**快速移动速度≥48m/min，加速度≥0.5G，定位精度≤0.008mm，重复定位精度≤0.005mm。控制进给轴不低于12个。项目执行期内实现销售2000万元以上；申请发明专利不少于5件，发表学术论文不少于5篇。

**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、低空，城际重载物流无人机推进系统及其驱动关键技术研发**

**研究内容：**开展高可靠冗余高载荷无人机推进系统及其驱动关键技术；研究新型多冗余层级电机拓扑结构，提高电驱系统容错能力，实现系统缺相带障运行；研究冗余容错控制算法；实现在线实时故障检测功能，实现故障检测后快速响应容错控制机制，实现系统快速高效容错带障控制。

**考核指标：**功率等级实现额定功率8kW，峰值功率15kW，缺相运行峰值功率6kW（3分钟）；电驱动系统具有过流容错保护、断路容错保护、故障检测功能，实现控制系统在线补偿切换及缺相运行，补偿切换时间小于0.5s；实现电驱系统装机示范应用，起飞重量不低于200kg。项目执行期内实现销售2000万元以上；申请发明专利不少于5件，其中PTC专利1件以上，发表学术论文不少于10篇。

**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、基于高精度接口和信号处理电路芯片的高性能MEMS陀螺仪研究及应用**

**研究内容：**研究陀螺仪驱动回路的高性能自启动、相位锁定和自动增益控制方法；研究陀螺仪检测回路的高精度闭环量化机制，陀螺仪主轴的谐振通过科里奥利力耦合到从轴，检测回路通过对陀螺仪的从轴进行检测，运用高精度机械-电子带通delta-sigma闭环的方式，实现陀螺仪角速度信息的数字化信号；研究陀螺仪的数字信号处理，包括正交误差补偿算法，高性能解调算法和温度补偿算法等。

**考核指标：**陀螺仪测量范围±400 °/s，零偏稳定性0.5 °/h，全温零漂稳定性10 °/h，分辨率0.22 °/h。工作温度范围-40°C到85°C，接口电容范围0.25-15pF，等效噪声小于0.1aF/$\sqrt{Hz}$，带通ADC动态范围100dB，输出量化位数24位。发表学术论文不少于5篇，申请发明专利不少于5件。项目执行期内实现销售2000万元以上，实现不少于3个行业领域的示范应用。

**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、基于工业物联网32轴高性能CNC智能工业控制器开发及产业化**

**研究内容**：研究设计基于ARM多芯片组的硬件控制器；研究参数曲线实时插补、空间刀补和误差动态补偿等数控插补算法；开发智能化、网络化数控软件系统；建设数控系统的OPC UA标准信息模型。实时插补、误差补偿、增强特殊插补开发。研发基于TSN的多轴数控加工控制系统。开发基于标准信息模型的数控机床数字孪生平台。

**考核指标：**设计控制器样机及数字孪生平台，128个NC轴，64个子系统，32轴联动，插补周期≤100us，主频≥1.5 GHz，通信接口≥6种，插补曲线类型≥6种，控制轨迹类型≥4种，控制补偿模式≥7种。申请发明专利不少于3件，发表论文不少于2篇。项目执行期内实现销售2000万元以上，实现不少于3个行业领域的示范应用。

**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、基于直线驱动的太阳能发电调姿系统研发及产业化**

**研究内容：**研究高可靠性、低成本的无刷直流电机设计及制造技术，驱动器电子电路宽温域、耐辐射设计及制造工艺，提高电机及驱动系统的使用寿命与可靠性；高精度、耐磨损的齿轮成型工艺和基于无刷直流电机的闭环式位置跟随控制器设计技术，提高传动机构的机械精度和跟随精度；研究基于机械结构和位置闭环的全数字同步控制技术，实现多点同步驱动控制；研究智能化、网络化控制技术，实现与太阳能发电设备的互联互通、优化生产。

**考核指标：**所开发直线驱动调姿产品，位置控制精度±1mm，最大动载荷达80kN，防护等级 ≥ IP66，使用寿命＞10000次循环。形成具有自主知识产权的直线驱动调姿系统与控制技术，申请发明专利不少于2件，实用新型专利不少于5件；形成直线驱动调姿系统应用示范基地1个，项目执行期内实现销售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%。

**9、排水管网带水检测与修复机器人关键技术研发及应用示范**

**研究内容：**针对排水管网水下作业的特点，设计一种能够自动适应管径变化的水陆两栖履带式管道机器人。具体研究内容包括：水陆两栖履带式管道机器人底盘及其控制系统，实现机器人的遥控与全自动控制；管道三维检测模块与水下复合成像模块：研究水下图像生成与处理技术以及激光与CCD相机融合成像方法与技术；实现浑浊水下环境的智能识别与感知；带水高压真空吸污清淤方法与技术：高压真空吸污原理与方法、吸污清淤系统、多防水作业工具，实现机器人自动带水作业与修复。

**考核指标：**设计水陆两栖履带式管道机器人样机及其遥控系统，机器人作业水深≥ 10m；管道作业机器人自由度数7-10自由度；视觉系统检测破裂裂缝宽度≤ 2cm；续航时间≥5小时；水下作业工具≥4种。申请发明专利不少于3件，发表学术论文不少于4篇。项目执行期内实现销售2000万元以上，实现不少于3个行业领域的示范应用。

**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%。

**10、高效高可靠无刷空心杯电机及控制器研制**

**研究内容：**研究双余度无刷空心杯电机的绕组拓扑结构，力热优化设计，电机定、转子电磁设计及加工工艺，确保电机在结构上具有冗余功能；研究无位置传感器控制技术、故障诊断及冗余容错技术、多模控制及稳定切换技术、基于FPGA的高可靠数字控制技术，实现电机的高可靠运行；研究电流、转速、转矩最优控制策略，提高电机的效率及转速精度；研制双余度无刷空心杯电机及控制器，完成性能测试。

**考核指标：**研制双余度无刷空心杯电机及控制器，转速5000-20000rpm额定功率50W、250W，至少3个转速等级；效率≥93%，转速控制误差≤±0.1%；工作环境温度：-40-100℃。项目执行期内实现销售1500万元以上；申请发明专利不少于5件，发表论文不少于6篇。

**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%。

**（二）前沿引领技术攻关项目**

**11、全海深无轴轮缘推进电机及驱动控制器关键技术研究**

**研究内容：**突破深海极端环境下推进电机的优化设计、低噪音优化、密封防护及智能控制等关键技术，研究全海深永磁电机-螺旋桨一体化高效设计技术，全海深无轴轮缘推进电机密封与防护技术，无轴轮缘推进电机无位置传感控制策略，无轴轮缘推进电机及驱动控制器噪声控制方法；研制出全海深高效低噪推进电机及控制器。

**考核指标：**研制出全海深水下推进电机及驱动控制器样机，功率≥2kW，额定速度下陆上电机总声压级指标≤55dB，额定效率≥90%；关键部件耐压等级不低于100MPa，消声水池测试电机总声压级＜125dB（频段范围为500Hz-30kHz）。发表学术论文不少于3篇；申请专利5件，其中发明专利不少于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%。

**本专项项目申报指南编制专家组名单：**

张 何 宁波诺丁汉大学教授

张 驰 中科院宁波材料所研究员

刘增岗 余姚市浙江大学机器人研究中心教授

郑世强 北京航空航天大学宁波创新研究院研究员

仇一鸣 宁波菲仕技术股份有限公司高工

汤 杰 宁波中大力德智能传动股份有限公司研究员

贾庆伟 宁波韦尔德斯凯智能科技有限公司教授