

2025 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

高精高稳微机械惯性测量阵列及应用

二、提名者及提名意见

提名单位：

陕西省教育厅

提名意见：

微机械惯性测量阵列用于测量载体的线运动与角运动，基于半导体制造 MEMS 工艺实现了传感器的微型化与低成本量产，在消费电子、汽车电子等领域广泛应用。但是，受制于敏感结构的微米级尺寸与硅材料的温度特性，微机械惯性传感器在后摩尔时代遇到了精度瓶颈。更为严重的是，在震颤等复杂工况下，其精度还会急剧下降，“精度极限”和“精度维持”问题严重制约了微机械惯性传感器从消费级向宇航级跨越。

项目发明了基于全对称环形耦合谐振器结构的惯性传感器、惯性传感器阵列差分抗震动干扰方法等，研制出角速率、线加速度等高精度传感芯粒，形成姿态测量、惯性导航等高稳定性功能模组，在自动驾驶、煤矿开采等领域批量应用，为新型预警机、空天飞机、巡飞弹等多个重点型号提供了不可替代的测量单元；获授权国家发明专利 35 项，近三年直接经济效益超 9000 万元。

第一完成人常洪龙同志政治立场坚定、拥护中国共产党、遵守国家法律法规和学校规章制度，治学严谨、廉洁自律，在科学研究、人才培养和教育教学成效显著；带领团队于 2024 年入选国家级创新团队，培养研究生获中国机械工程学会优秀博士论文银奖/佳作奖，陕西省优秀博士论文，连续 10 年获领域国际会议最佳论文奖，获 2025 陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖。

我单位认真审阅了该推荐材料及完成人资格，确认推荐材料真实有效，相关栏目符合填写要求。

提名该项目为陕西省科学技术一等奖。

三、项目简介

微机械惯性传感器是现代智能装备的运动感知核心，由三轴加速度计和陀螺仪组成，用于测量载体的线运动与角运动参数；基于半导体和 MEMS 制造工艺实现了微型化与低成本量产，已成为消费电子领域不可或缺的关键元器件，年销售量超过 50 亿颗。但是，受制于敏感结构的微米级尺寸与硅材料的温度特性，微机械惯性传感器在后摩尔时代逐渐逼近物理极限精度；更为严重的是，在温度冲击、震颤等典型宇航复杂工况下，其精度还会急剧下降。“精度极限”和“精度维持”问题严重制约了微机械惯性传感器从消费级向宇航级的跨越，无法满足航空航天、机器人、智能驾驶等领域的迫切应用需求。

项目在国家自然科学基金、部委重点基础研究项目支持下，历经十余年研究，首创了微机械传感器“加”“减”“乘”“除”多核敏感新范式，提出了模态局部化惯性敏感理论与阵列差分抗干扰方法，解决了微机械惯性传感器高精度设计制造，以及在未知震动干扰下的高稳定性测量难题。研制出角速率、线加速度等传感芯粒，形成姿态测量、惯性导航等功能模组，主要创新及技术发明点包括：

1、**发现弱耦合系统对称矩阵破缺对灵敏度的物理增强机制，发明基于全对称环形耦合谐振器结构的惯性传感器。**揭示谐振器在输入信号下的模态能量局部集中规律，利用能量集中造成的幅值变化构建模态局部化敏感机制。通过“乘”法运算将低频输入调制到高频谐振点，改变耦合系统对称性，通过系统本征矢量“除”法运算放大信号并抑制共模噪声，实现传感器精度极限提升 2 个数量级、温度漂移降低 1 个数量级。发明了全对称环形耦合谐振结构，提高了模态局部化传感器对加工误差的容错性，实现了耦合刚度可调节，研制出分辨力 $0.1\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的加速度传感器，为同原理国际领先水平，实现了单芯粒测量的“高精度”。中国仪器仪表学会理事长尤政院士独著评价“**为高精度惯性传感器研制开辟了一条新的道路**”。

2、**揭示阵列差分系统的随机变量信息熵趋于无穷小的规律，提出惯性传感器阵列差分震动干扰信号消除方法。**设计出对角速度与震动激励具有不同比例响应的并联阵列单元，提出扰动比例系数加权归零的“减”法运算对未知震动干扰进行消除，再通过动态求和平均的“加”法运算实现对随机噪声的自适应抑制，解决了传感器内部敏感结构与外部环境未知扰动的高效解耦与高精度维持难题，使 MEMS 陀螺阵列在 6.83Grms 典型宇航震颤环境中的零偏稳定性提升 1 个数量级，零偏稳定性维持在 $0.9^\circ/\text{h}$ 稳定工作超过 400 天，实现了复杂环境下的“高稳定”测量。IEEE 惯性技术大会主席 Langfelder 教授评价：“不但达到导航级性能，还具有光纤陀螺、半球谐振陀螺无法提供的冗余性能”。

3、**提出了化学腐蚀和电熔断结合的分步释放工艺。**避免了牺牲层释放、划片、裂片等制造过程中液体表面张力和力学冲击造成的结构损伤，大版图全对称敏感结构量产良率 $>97.5\%$ ，实现了微机械惯性传感器的高良率制造。**提出阵列模组分时非连续控制方法。**构建异构微机械惯性传感器测量阵列，研制出姿态测量和自主导航等功能模组，实现对光纤惯性传感器的低成本替代。

项目提出的微机械传感器高精高稳方法不仅用于惯性测量领域，还推广用于质量、压力、电压、电流、磁场等传感领域。典型地，项目研制出分辨力为 $1.57\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的电压传感器，形成水下电场测量系统，实现了对水下航行器的远距离非声探测，用于海防演训。

项目突破了微机械惯性传感器的“精度瓶颈”，实现了宇航工况下的“精度维持”，授权国家发明专利 35 项，在 Nature Communications、J-MEMS 等发表论文 74 篇。在自动驾驶、煤矿开采等领域批量应用，更为新一代战机、空天飞机、巡飞弹等多个重点型号提供了不可替代的测量单元，获取了以往无法获取的关键实飞数据，在无人机、智能战争等领域有广阔的应用前景。为中国工程物理研究

院、华为等单位供货超过 7500 支，近三年创造直接经济效益超过 9000 万元。

第一完成人带领团队入选 2024 年国家级创新团队，成为 MEMS 领域顶尖期刊 J-MEMS、Microsystems & Nanoengineering、Sensors & Actuators: A Physical 编委，入选领域顶级国际会议 IEEE MEMS 和 Transducers 技术委员会委员。项目培养研究生获蒋庄德传感器奖学金 2 项，叶声华奖学金 1 项，中国国际大学生创新大赛金奖 2 项，“明石杯”中国大学生微纳大赛一等奖 1 项，微米纳米技术创新与产业化科研成果转化大赛一等奖 1 项，中国机械工程上银优秀机械博士论文银奖、佳作奖共 3 篇，陕西省优秀博士论文 2 篇，连续 10 年获 IEEE MEMS、Transducers 等领域旗舰国际会议最佳论文奖，得到剑桥大学、牛津大学、加州大学伯克利等二十余家国际一流科研机构跟踪研究与高度评价，产生重要学术影响。

获 2025 年陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖。

四、客观评价

1. 验收鉴定意见

- 陕西省重点研发计划-“具有环境共模噪声自抑制能力的高精度谐振式加速度传感器”项目验收意见：“研制出具有良好环境共模噪声抑制能力的高精度谐振式加速度传感器，完成了合同书规定的技术指标（分辨率 $\leq 0.1\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ），完成了加速度计对温度、压力等环境共模噪声的抑制实验验证。”
- 中国工程物理研究院-“弱耦合谐振器超高灵敏度惯性检测机理研究”项目结题结论：“突破了精度与量程难以兼得的设计瓶颈，研制出大量程、高精度谐振式加速度计样机，为我国新型武器装备的研制提供了重要技术支撑。”
- 国家部委重点基础研究项目-“模态局部化传感机理与应用”验收评估结论：“项目组完成了距离指标探测，实现了项目研究目标。相关技术指标均达到合同约定的考核要求。”
- 国家部委研究项目-“微陀螺控制技术”验收报告：“完成任务书约定研究目标及内容，突破了环境干扰因素消除、多种误差因素下的稳定控制等关键技术；研制了微陀螺原理样机，环境适应提升能力为 10.4 倍，精度提升 5.6 倍。”

2. 检测报告

- 科技工业第一测试计量研究中心-导航仪器陀螺仪：“三轴角速率零偏稳定性均为 $1.60^\circ/\text{h}$ 。”
- 北京时代民芯科技有限公司-西北工业大学加速度计性能试验报告：“加速度计分辨率为 $0.1\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。”
- 科技工业 6112 二级计量站-模态局部化电压表测试报告：“电压表噪声水平 $1.57\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{Hz}$ 。”
- 中国船舶重工集团公司舰艇实船水下电磁场检测中心：“水下电极及水下电场传感系统检测报告，等效电压噪声分辨力高达 $1.05\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。”

3. 学术评价

项目相关成果在 Nature Communications、J-MEMS 等期刊会议发表论文 74

篇，被中国工程院院士尤政教授、中国科学院院士刘胜教授、英国皇家工程院院士 A. Seshia 教授、俄罗斯科学院院士 N. Morozov 教授等国内外同行高度评价。

- 中国工程院院士，中国仪器仪表学会理事长，尤政教授独著评价发明点 1：“展示了世界第一个基于模态局部化的谐振式加速度计。改变了传统谐振式加速度计通过检测谐振频率变化敏感加速度的方式，而是通过检测 2 个弱耦合谐振器振幅比的变化敏感加速度，将灵敏度提升 300 倍，为高精度惯性传感器的研制开辟了一条新的道路。”；评价发明点 2：“虚拟陀螺漂移性能提高了 200 多倍，为采用阵列化传感器提高精度提供了新方法、新思路。”
- 国际惯性传感器专家，J-MEMS 期刊编委，意大利米兰理工大学 G. Langfelder 教授评价发明点 2：“陀螺阵列技术不但达到导航级性能，还具有光纤陀螺、半球谐振陀螺无法提供的冗余性能（redundancy that other navigation-grade gyroscopes based on bulky technologies cannot reach）。”
- 英国皇家工程院院士，IEEE Fellow，剑桥大学 A. Seshia 教授独著评价发明点 1：“为形成新型惯性传感器奠定了基础（demonstrating the basis for new types of inertial sensors based on this transduction principle）”
- 俄罗斯科学院院士，圣彼得堡国立大学 N. Morozov 教授评价：“模态局部化加速度计是谐振式传感器中大有前途的一个进展（Mode-localized accelerometers are a promising development by this class of sensor）。”
- 中国科学院院士，武汉大学刘胜教授评价发明点 2：“常提出了一种方法提高了不相关陀螺阵列的精度，虚拟陀螺技术具有广阔的应用前景。”
- IEEE Sensors Journal 编委，牛津大学 B. Choubey 教授评价发明点 1：“开创了新型敏感方法将精度极限数值降低了几个数量级（opens up new sensing methods to push down the limit by several orders of magnitude）。”
- IEEE Transactions on Signal Processing 主编，美国华盛顿大学 A. Nehorai 教授评价发明点 2：“陀螺阵列滤波架构冗余测量显著降低了微陀螺的测量误差。”
- ASME Fellow，加州大学伯克利分校传感器 L. Lin 教授评价发明点 1：“通过降低串联谐振器的耦合系数来提高传感器性能是令人满意的(desirable)。”
- 中国工程物理研究院 MEMS 研究室主任唐彬研究员评价发明点 1：“该应力隔离结构大大降低了陀螺的面内和面外变形（the in-plane and out-of-plane deformations of the gyroscope have been greatly reduced）。”
- 美国海军水下战中心 A. Zaki 博士评价发明点 2：“陀螺阵列技术可以显著提高 MEMS 陀螺的精度（combining the outputs of multiple gyros can give much more accurate results than those for a single gyro）。”
- 火箭军工程大学刘洁瑜教授与汪立新教授评价发明点 2：“西工大常等人在推动陀螺阵列技术发展过程中发挥了重要作用。”
- IEEE Fellow，IEEE MEMS 2023 大会主席，日本东北大学 S. Tanaka 教授评价：“模态局部化效应超高灵敏度特性被用来研制高性能加速度计。”
- 比利时鲁汶大学 M. Kraft 教授评价发明点 3 相关工艺：“利用根切效应在器

件结构层下表面选择性地打毛，得到了良好的抗粘附能力。”

- 加拿大西蒙菲莎大学 B. Bahreyni 教授评价发明点 3 静电计：“目前为止室温下工作的最高水平微机械静电计（0.256e/√Hz charge resolution is the highest level of micromachined electrometers operating at room temperature up to now）。”

4. 科研奖励

2025 年陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖

五、应用情况和效益

1. 应用情况

项目研制出高精度角速度和线加速度传感器，以及姿态测量和惯性导航等功能模组，在益翔航电、中物院等单位取得批量化应用，具体情况见表 2。

表 2 项目应用情况汇总表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人
1	中国飞行试验研究院	超稳高精微机械惯性测量阵列及应用	新型预警机	2023.4-至今	闫鹏庆/
2	益翔航电	高精高稳微机械惯性测量阵列及应用	某型号惯导系统	2022.10-至今	宋维/
3	中国工程物理研究院	阵列差分抗干扰方法及模组	复杂物理场感知	2024.9-至今	陶奎霖/
4	中国兵器工业集团第 203 研究所	抗干扰高环境适应性 MIMU 阵列	巡飞弹	2025.4-至今	刘宇/
5	中国科学院微小卫星创新研究院	抗干扰高环境适应性 MIMU 阵列	CATCH-1 试验卫星	2024.3-至今	周衡/
6	陕西煤矿监察局安全技术中心	惯性传感器测量模组及应用系统	煤矿井下自主导航	2018.11-2022.9	陈厚丹/
7	上海无线电设备研究所	阵列差分抗干扰方法及模组	某型号空空导弹	2014.9-至今	吴晔/
8	中国航天科技集团公司	惯性传感器测量模组及应用系统	某型号空天飞行器	2013.5-2014.9	张剑/
9	中国船舶重工集团第 702 研究所	惯性传感器测量模组及应用系统	船舶水动力试验	2013.10-2014.10	田于逵/
10	中国人民解放军某潜艇部队	高精度传感器设计及制造技术	某型潜艇	2024.7-2024.7	苏晓宁/

- 中国飞行试验研究院：“采用阵列式复合 MEMS 多芯片传感技术在我院成功完成了该型发动机它机首飞试验，实现了发动机短舱内拉杆应变温度、振动和姿态的高精度监测，解决了短舱内恶劣工况环境干扰下的多物理量信息实时解耦及其高精度保持难题，为试飞安全提供了重要技术保障。”

- **益翔航电：**“在某型号惯导系统试验中，解决了 MEMS 陀螺在伺服稳定平台振颤干扰环境下的高精度保持难题，抗干扰能力提升 1 个数量级，显著降低了型号装备成本，加快了该型号工程的研制进度，为提升能力提供了重要支撑。”
- **中国兵器工业集团第 203 研究所（西安现代控制研究所）：**“微机械惯性测量组合阵列技术在某巡飞弹中完成了飞行试验，实现了高动态条件下载体角速率、比力、航姿角、速度与位置等物理量测量，试验数据表明该技术在巡飞平台长航时、复杂温度和力学工况条件下具有良好的适应性，可为未来攻坚破甲等精确制导弹药惯性制导方案提供一种低成本、高可靠、小型化的技术手段。”
- **中国工程物理研究院：**“多芯片差分阵列传感技术解决了某系统复杂飞行环境下 80 余分布点位姿态、振动等 10 类动态参数同步抗干扰测试难题，提升了系统复杂环境高精度测试技术水平，达到国内先进水平，为某项目提供了重要工程手段。”
- **中国科学院微小卫星创新研究院：**“抗干扰高环境适应性微机械惯性测量组合阵列在 CATCH-1 首发试验卫星空间飞行中成功开展了角速度测量，在轨运行时间达 400 余天。在太空环境干扰影响下，陀螺阵列环境适应性提高 2.5~5.2 倍，成本（0.1 万元）远小于光纤陀螺（>10 万元）。解决了硅微机械陀螺在干扰环境下高精度测量难题，为小卫星的低成本商业化应用提供了技术支撑。”
- **陕西煤矿监察局安全技术中心：**“煤矿井用自主导航系统能即时、高效的标校出煤矿井下图实不符、越层开采的作业地点，为实地监察人员判断是否存在违规开采现象提供了强有力的科学数据支撑，为避免矿难发生增添了技术安全保险。”
- **上海无线电设备研究所（中国航天科技集团公司第八研究院第 802 研究所）：**
“高精度硅微机械陀螺阵列在某型号位标器试验中成功开展了姿态角测量，解决微机械陀螺在伺服稳定平台振颤环境下的高精度难题，加快了型号工程研制进度。”
- **中国航天科技集团公司第一研究院研究发展中心：**“姿态测量系统技术指标达到国外禁运产品水平，经过多轮的实地实飞试验，获取了大量以往无法获取的宝贵实飞数据，有力保证了项目节点进度。”
- **中国船舶重工集团第 702 研究所：**“惯性姿态参照系统能够全程测量模型的姿态角、角速度等信息，主要性能指标超过国外同类产品水平，为多个在研项目水动力模型试验分析提供了关键的试验数据，有力地保障了科研项目的按节点顺利进行。”
- **中国人民解放军某潜艇部队：**“检验了水下电场传感系统对现役潜艇电场的探测能力，验证了潜艇在不同航行状态和关闭阴极保护电流装置下的电场特性。”

2. 经济和社会效益

■ 项目研制的惯性传感器阵列与测量模组已经在自动驾驶、煤矿开采等领域批量应用，更为新一代战机、空天飞机、巡飞弹等多个重点型号提供了不可替代的测量单元，获取了以往无法获取的关键实飞数据，在无人机、机器人、智能战争等领域有广阔的应用前景。

■ 近三年项目创造直接经济效益 9087.54 万元，西北工业大学销售合同收入 3150 万元（1050 万+1150 万+785 万+165 万）；西安励德微系统科技有限公司合同收入产生直接经济效益 5937.54 万元（1178.74 万+2202.93 万+2555.87 万）。

■ 第一完成人带领团队入选 2024 年国家级创新团队，成为 MEMS 领域顶尖期刊 J-MEMS、Microsystems & Nanoengineering、Sensors & Actuators: A Physical 编委，入选国际顶会 IEEE MEMS 和 Transducers 技术委员会委员。培养研究生获蒋庄德传感器奖学金 2 项，叶声华奖学金 1 项，中国国际大学生创新大赛金奖 2 项，“明石杯”中国大学生微纳大赛一等奖 1 项，微米纳米技术创新与产业化科研成果转化大赛一等奖 1 项，中国机械工程上银优秀机械博士论文银奖、佳作奖共 3 篇，陕西省优秀博士论文 2 篇，连续 10 年获 IEEE MEMS、Transducers 等领域旗舰国际会议最佳论文奖，产生重要学术影响。

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

（应填写直接支持本项目主要技术发明成立且已批准或授权的知识产权（包括发明专利、实用新型专利、植物新品种权、计算机软件著作权、集成电路布图设计权、论文等）和标准规范等，应按与项目主要技术发明点的密切和重要程度排序。

对于发明专利，知识产权类别写发明专利，然后依次填写发明名称，国家（地区），专利号，授权公告日，专利证书上的证书号，发明人，专利权人。对于其他类型，根据实际情况填写相应栏目，发明人一栏可不填。

所列知识产权应为本项目独有，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖推荐项目中作为支撑材料出现。用于推荐陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利指发明人）的同意。有关知情证明材料均存档备查。

所列专利证书颁发日期、标准规范发布日期、论文发表日期应在 2024 年 12 月 31 日之前。发明人均不是项目主要完成人的发明专利，不得列入本表。）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种适用于 MEMS 模态局部化传感器的环状耦合系统	中国	ZL202111236440.3	2024.04.26	6937663	西北工业大学	郝永存; 祖陆晗; 常洪龙
2	发明专利	MEMS 传感器阵列式高精度输出控制方法	中国	ZL202010873490.1	2022.07.26	5336243	西北工业大学	申强; 张益楠; 杨登锋; 常洪龙
3	发明专利	一种折叠式多芯片柔性集成封装方法及柔性集成封装芯片	中国	ZL202211560253.5	2023.04.18	5899127	西北工业大学	申强; 张学优; 邓力豪; 毕腾飞; 常洪龙
4	发明专利	一种基于模态局部化效应的弱耦合 MEMS 谐振式加速度计	中国	ZL201610834931.0	2019.04.09	3327940	西北工业大学	常洪龙; 李博洋; 张和民; 钟纪明

5	发明专利	一种高振型稳定性的 MEMS 环形谐振器	中国	ZL202110753958.8	2024.01.16	6627064	西北工业大学	申强; 张学优; 刘轩; 谢建兵; 常洪龙; 苑伟政
6	发明专利	极端环境下 MEMS 传感器未知扰动智能控制方法	中国	ZL201911103777.X	2022.03.18	5009449	西北工业大学	申强; 杨登锋; 张益楠; 苑伟政
7	发明专利	一种 MEMS 线性静电驱动技术	中国	ZL201911238250.8	2023.03.31	5831998	西北工业大学	郝永存; 张钊; 苑伟政; 常洪龙
8	发明专利	一种简化的 MEMS 多环谐振陀螺自适应闭环控制方法	中国	ZL201910642666.X	2022.11.01	5550901	西北工业大学	申强; 苑伟政; 王鑫鹏; 谢建兵
9	发明专利	一种超高灵敏度的微机械谐振式静电计	中国	ZL201610834554.0	2023.01.24	5713684	西北工业大学	常洪龙; 黄杰; 张和民; 李博洋; 杨晶
10	发明专利	一种低维飞行器芯片微系统、制备及控制方法	中国	ZL202211615513.4	2023.03.14	5782716	西北工业大学	申强; 王定玲; 杨时洪; 毕腾飞; 常洪龙; 白俊强

七、主要完成人情况（不超过 6 人）

（所列主要完成人应为在陕的个人，或与在陕个人合作的我国其他地域的个人，并对本项目的主要技术发明做出创造性贡献（其中完成人必须为全职在陕的个人）。同一人同一年度只能作为一个提名项目的完成人参加陕西省科技奖的评审。附件所列验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。

前三位完成人应为所列发明专利的发明人，其他完成人一般也应持有知识产权（含论文专著等）。

工作单位：根据人事关系填写完成人现工作的单位，已退休的填写退休前的工作单位。

完成单位：填写完成人参与本项目主要研究工作时所在单位，应为国内法人单位。如涉及多个单位，应根据贡献大小填写一个单位。完成单位与奖励证书关联，请根据实际情况审慎填写。

对本项目贡献：不超过 300 字。应具体写明完成人对本项目做出的实质性贡献。）

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
常洪龙	1	院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	提出耦合谐振器惯性敏感机理，主持了加速度和角速度传感器设计实现；提出了差分抗干扰方法，主持了微机械惯性传感器阵列设计实现；主持研制完成了微惯性姿态测量模组、行人导航模组和电压测量模组，并组织了相关模组的工程化应用；是项目 8 个核心专利的主要完成人。
申 强	2		研究员	西北工业大学	西北工业大学	完成了基于差分抗干扰方法的微机械陀螺阵列的研究；推进了微机械惯性传感器阵列模组与系统的工程化应用；是项目 6 个核心专利的主要完成人。
郝永存	3		副研究员	西北工业大学	西北工业大学	发明了全对称耦合敏感结构，提出了 MEMS 器件线性化驱动方法；提出了微机械惯性传感器高成品率制造工

						艺；研制出微机械电场传感器和测试系统，是本项目 2 个核心发明专利的主要完成人。
张和民	4		教授	西北工业大学	西北工业大学	研制了高精度微机械加速度传感器芯粒与行人自主导航模组；是本项目 2 个核心发明专利的主要完成人。
吕文杰	5	专业总师	高级工程师	中国飞行试验研究院	中国飞行试验研究院	完成了项目阵列差分抗干扰陀螺真实飞行条件下的试验验证工作。
蔡锐龙	6	总经理	工程师	西安励德微系统科技有限公司	西安励德微系统科技有限公司	主要实施了项目高良率制造及其规模化生产。

八、主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	<p>西北工业大学是一所以航空、航天、航海等领域人才培养和科学研究为发展特色的国家“双一流”建设高校，隶属于工业和信息化部。</p> <p>作为项目第一完成单位，承担了支撑本项目完成的国家部委重点基础研究项目、国家自然科学基金等项目，解决了高精高稳微机械惯性传感器的设计集成问题，拥有本项目成果的知识产权。研制出角速率、线加速度等高精度传感芯粒，形成姿态测量、惯性导航等功能模组，并组织项目成果在多家相关单位实施应用。</p>
中国飞行试验研究院	2	<p>中国飞行试验研究院是我国唯一经国家授权的军用飞机、航空发动机、机载设备等航空产品的定型鉴定机构，也是飞行试验预先研究、关键技术演示验证、作战效能研究单位。先后鉴定近百余型飞机、发动机及机载产品。</p> <p>作为本项目重要参与单位，为项目的机载惯性测量阵列在飞行环境下的试验验证做出了重要贡献。吕文杰为中国飞行试验研究院专业总师，将本项目传感器阵列应用在新型发动机飞行试验的重要参数测试中，搭建了机载参数测试系统，组织了飞行试验，收集分析了试验数据，给出了试验结论。</p>
西安励德微系统科技有限公司	3	<p>西安励德微系统科技有限公司是国内领先的提供 MEMS 一体化解决方案的高新技术企业。公司建有 8 寸 MEMS 产线一条，涵盖深硅刻蚀、双面光刻、薄膜、清洗、大压力晶圆键合和隐形划片等全产业链工艺设备和对应的测试能力，研发中试线能够完成从器件设计、工艺开发、工艺验证到批量生产等全产品孵化流程，为国内众多半导体龙头企业、顶尖微机电研究院所、多所“双一流”高等院校及科研团队提供了切实可行的定制化 MEMS 加工解决方案。2022 年入选国家级高新技术企业，2023 年入选陕西省创新性中小企业。</p> <p>对本项目发明点 3 中的高精度制造做出重要贡献，推动了 MEMS 加速度计、陀螺和电场传感器等芯粒的大规模高良率制造，为 MEMS 传感器功能模组由实验室走向工程化应用提供了技术保障。</p>

九、完成人合作关系说明

（应以第一完成人角度，介绍项目完成人之间的合作经历或合作关系，不局限于第一完成人与其他完成人的合作，也可以包括其他完成人之间的合作。）

常洪龙从 2006 年主持国家自然科学基金（50505038）开始微机械传感器芯片以及惯性传感器阵列研究。

常洪龙与申强共同完成核心专利 2、3、5、6、8、10。

常洪龙与郝永存共同完成核心专利 1、7。

常洪龙与张和民共同完成核心专利 4、9。

常洪龙、申强与吕文杰共同开展了微机械惯性传感器阵列的机载测试实验，共同在 *Sensors & Actuators A: Physical* 发表论文。

常洪龙担任西安励德微系统科技有限公司首席科学家，依托西安励德微系统科技有限公司（蔡锐龙为公司法人代表）牵头承担国家重点研发计划项目。