

芯动联科 (688582) 深度报告：高性能硅基MEMS惯性传感器领导者，看好高可靠领域渗透率持续提升

评级：买入(首次覆盖)

罗琨(证券分析师)
S0350522110003
luok@ghzq.com.cn

傅麒丞(证券分析师)
S0350524080001
fuqc@ghzq.com.cn

最近一年走势



相对沪深300表现

| 表现 | 1M | 3M | 12M |
|-------|-------|-------|------|
| 芯动联科 | 18.0% | 37.1% | 3.4% |
| 沪深300 | 22.0% | 12.1% | 6.0% |

市场数据

2024/10/11

| | |
|-------------|-------------|
| 当前价格 (元) | 39.91 |
| 52周价格区间 (元) | 21.61-49.93 |
| 总市值 (百万) | 15,964.40 |
| 流通市值 (百万) | 9,701.39 |
| 总股本 (万股) | 40,001.00 |
| 流通股本 (万股) | 24,308.16 |
| 日均成交额 (百万) | 306.31 |
| 近一月换手 (%) | 33.38 |

- ◆ **专注于MEMS惯性传感器技术，聚焦于高可靠领域。**芯动联科是国内领先的高性能硅基MEMS惯性传感器研发、测试与销售的芯片设计公司，成立于2012年，是国内拥有自主知识产权的高性能MEMS惯性传感器产品体系并批量生产及应用的高新技术企业。公司主要产品包括MEMS陀螺仪和MEMS加速度计，均包含一颗微机械（MEMS）芯片和一颗专用控制电路（ASIC）芯片，实现导航定位、状态监测、姿态感知、平台稳定等功能。公司产品已广泛应用于高端工业、无人系统、高可靠等领域，并逐步向自动驾驶、机器人、民用航空、商业航天等领域拓展。2019-2023年公司实现营业收入分别为0.80/1.09/1.66/2.27/3.17亿元，年均复合增速为41%，取得归母净利润分别为0.38/0.52/0.83/1.17/1.65亿元，年均复合增速45%。
- ◆ **MEMS惯导非标工艺技术壁垒高，向高精度/集成化/低成本/多领域发展。**MEMS产品包括传感器和执行器，其中MEMS传感器与传统机电传感器相比具备小型化、低功耗、集成化、智能化等特点，被广泛应用于消费电子、汽车、工控、医疗等领域，用于感知运动、声音、温度、压力等。据Yole Intelligence数据，2022-2027年全球MEMS市场规模有望从147.50亿美元增长至222.53亿美元，年均复合增速为8.57%；惯性类传感器和MEMS压力传感器是MEMS及MEMS传感器的主要产品类别。惯性传感器是将物体运动的加速度、位置和姿态转换为电信号的器件，包括加速度计、陀螺仪、磁力计和惯性测量单元（IMU），可有效实现导航定位、姿态感知、平台稳定的功能；零偏稳定性是衡量陀螺仪和加速度计产品性能高低的核心指标。2021年MEMS加速度计、MEMS陀螺仪、IMU和MEMS压力传感器合计占MEMS整体行业的39.92%、占MEMS传感器行业的62.66%；下游应用领域消费电子、汽车电子、工业控制的占比较高，2022年分别为53%/19%/17%。
- ◆ **核心技术自主可控独占性高，产业链上下游深度绑定可持续性高。**芯动联科是国内较早从事高性能MEMS惯性传感器研发的芯片设计公司，掌握高性能MEMS惯性传感器核心技术，公司采用Fabless经营模式运作，专注于MEMS惯性传感器芯片的研发、测试和销售。截至2023年12月31日，芯动联科已取得发明专利23项、实用新型专利22项，集成电路布图设计3个，主要涉及陀螺仪ASIC芯片闭环检测、MEMS加速度计设计和工艺方案开发、陀螺仪MEMS芯片工艺技术、陀螺仪闭环多模态控制算法、调频FM加速度计的耦合消除技术、调频FM加速度计低闪烁噪声技术等，在ASIC电路设计以及MEMS芯片敏感结构设计方面具备技术先进性。高性能MEMS陀螺仪核心性能指标已达到国际先进水平，亦可达到部分光纤陀螺仪和激光陀螺仪等传统陀螺仪精度水平。2020-2022年高可靠领域收入占比均在75%以上，公司综合毛利率达80%以上，下游用户以大型央企集团及科研院所为主，合作关系稳定，用户粘性较强。业务拓展布局高精度谐振式MEMS压力传感器，高性能谐振式压力传感器性能精度可达万分之一至万分之二水平，有望为公司打开新成长空间。
- ◆ **盈利预测与投资评级：**随着传感、5G通信连接、计算技术的快速进步和联网节点的不断增长，对智能传感器数量和智能化程度的要求将进一步提升，传感器的精度、可靠性要求将不断提高。未来自动驾驶汽车、工业物联网、车联网、智能城市、智能家居等新产业领域有望为MEMS传感器行业发展创造广阔的应用空间，引领MEMS传感器的应用浪潮。我们预计公司2024-2026年营业收入分别为4.51/6.52/9.43亿元，同比分别为+42%/+44%/+45%，预计归母净利润分别为2.35/3.40/4.87亿元，同比分别为+42%/+45%/+43%，对应PE分别为68/47/33倍。首次覆盖，给予“买入”评级。
- ◆ **风险提示：**公司行业经验及影响力、市场占有率、经营规模等方面和行业龙头存在差距的风险；客户集中风险；毛利率下降风险；经营季节性风险；关联交易占比较高的风险；宏观环境变化风险。

| 预测指标 | 2023A | 2024E | 2025E | 2026E |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 营业收入（百万元） | 317 | 451 | 652 | 943 |
| 增长率(%) | 40 | 42 | 44 | 45 |
| 归母净利润（百万元） | 165 | 235 | 340 | 487 |
| 增长率(%) | 42 | 42 | 45 | 43 |
| 摊薄每股收益（元） | 0.41 | 0.59 | 0.85 | 1.22 |
| ROE(%) | 8 | 10 | 13 | 15 |
| P/E | 87.89 | 67.94 | 46.90 | 32.75 |
| P/B | 7.32 | 6.80 | 5.94 | 5.03 |
| P/S | 48.78 | 35.38 | 24.49 | 16.93 |
| EV/EBITDA | 88.41 | 63.73 | 43.34 | 30.65 |

资料来源：Wind资讯，国海证券研究所

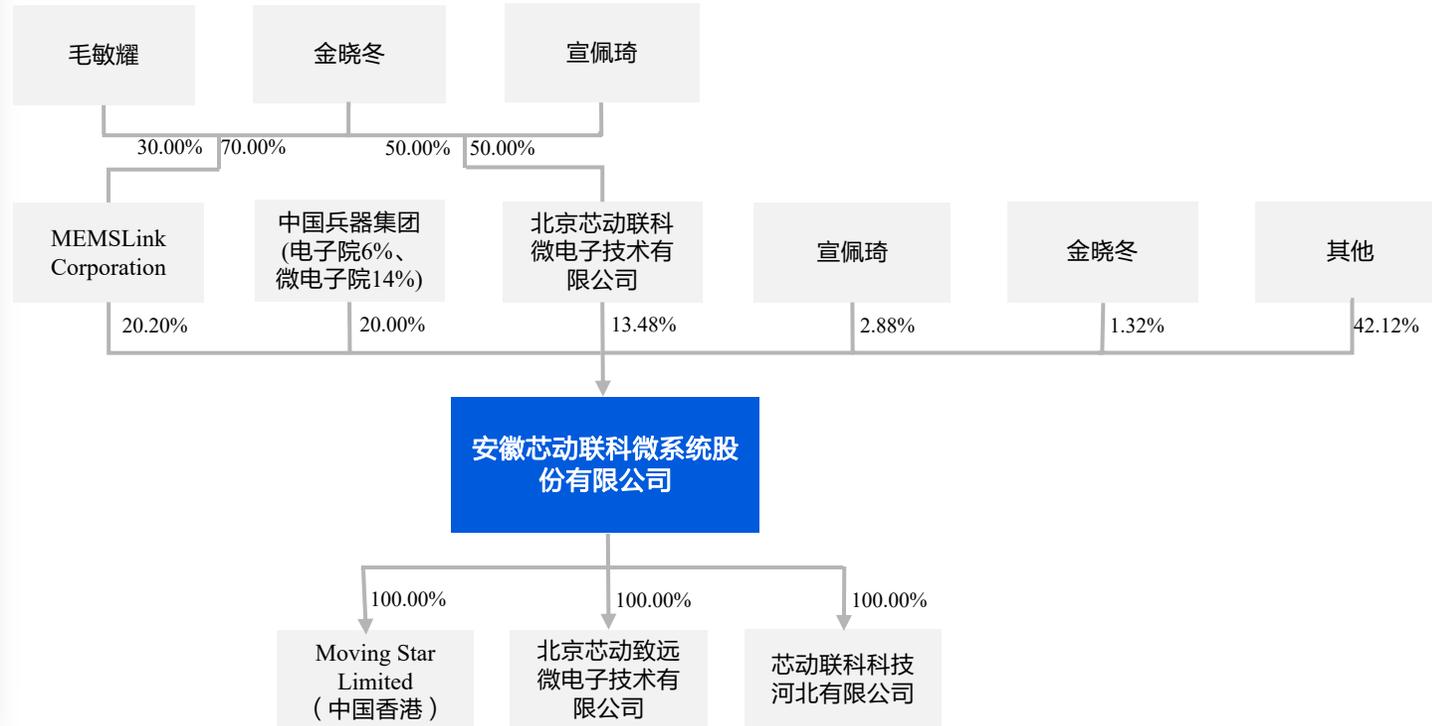
1 芯动联科：高性能硅基MEMS惯性传感器领导者

1.1 专注于MEMS惯性传感器技术，聚焦于高可靠领域

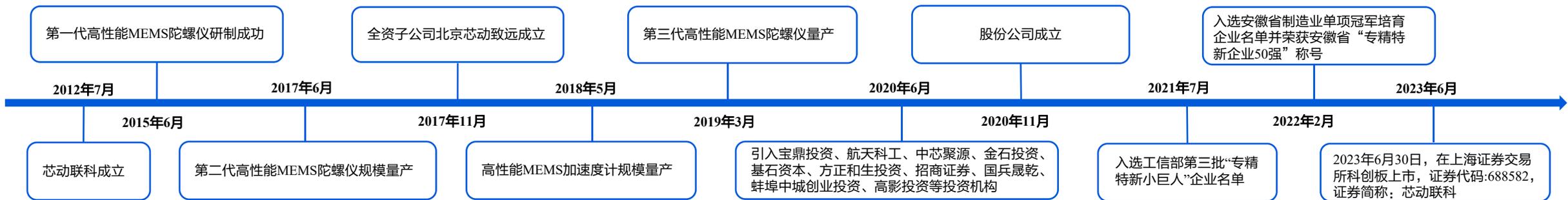
芯动联科是国内领先的高性能硅基MEMS惯性传感器研发、测试与销售的芯片设计公司。芯动联科成立于2012年，是国内拥有自主知识产权的高性能MEMS惯性传感器产品体系并批量生产及应用的高新技术企业。公司主要产品为高性能MEMS惯性传感器，包括MEMS陀螺仪和MEMS加速度计，均包含一颗微机械（MEMS）芯片和一颗专用控制电路（ASIC）芯片，实现导航定位、状态监测、姿态感知、平台稳定等功能。公司产品已广泛应用于高端工业、无人系统、高可靠等领域，并逐步向自动驾驶、机器人、民用航空、商业航天等领域拓展。公司客户主要为各大科研院所和央企集团下属单位，包括中科航星、航宇测通、星网宇达、重庆天箭等。

公司无控股股东，实际控制人金晓冬、宣佩琦、毛敏耀皆为技术背景出身，中国兵器集团持有公司20%的股份，管理层及核心技术人员与股东利益一致。2012年金晓冬、宣佩琦、毛敏耀三人通过MEMSLink和北京芯动以7项专利技术出资与兵器集团下属的北方通用等公司共同成立芯动有限，后于2020年成立股份公司。截至2024年9月30日，芯动联科三位实际控制人合计持有公司37.88%的股份（金晓冬/宣佩琦/毛敏耀分别持有22.2%/9.62%/6.06%），兵器集团通过北方电子研究院持有公司股20%的股份。管理层方面，公司董事会自上市以来已到期更换一届，其中董事长均由兵器集团旗下北方电子研究院（214所）指派人员担任。公司骨干人员于2019年通过自筹资金设立员工持股平台，核心技术人员华亚平、张晰泊、顾浩琦及其他核心管理层林明、胡智勇、白若雪均持有公司股份。管理层及核心技术人员持股与股东利益一致，股权激励计划有助于公司长久发展。

图表：芯动联科股权结构(截至2024年9月30日)



图表：芯动联科发展历程



1.1 专注于MEMS惯性传感器技术，聚焦于高可靠领域

图表：芯动联科子公司及分公司概况

| 关系 | 公司简称 | 设立时间 | 设立地点 | 主营业务 | 设立原因 |
|-----|-------------|------------|--------|-------------------------|-----------------------------------|
| 分公司 | 无锡分公司 | 2020.03.09 | 江苏·无锡 | MEMS惯性传感器产品的研发及测试 | 参与产品研发测试 |
| 子公司 | 芯动致远 | 2017.11.29 | 北京 | 主要从事MEMS传感器产品相关的研发设计工作 | 北京地区集成电路及MEMS传感器行业相关人力资源较为丰富，人才易得 |
| | Moving Star | 2019.03.08 | 中国香港 | 主要从事MEMS传感器产品的国际市场销售及服务 | 拓展海外业务 |
| | 芯动科技 | 2022.08.08 | 河北·石家庄 | 车载组合导航定位系统及相关产品的研发及生产 | 为车企和智能驾驶解决方案供应商提供车载组合导航定位系统及相关产品 |

图表：芯动联科主要产品矩阵

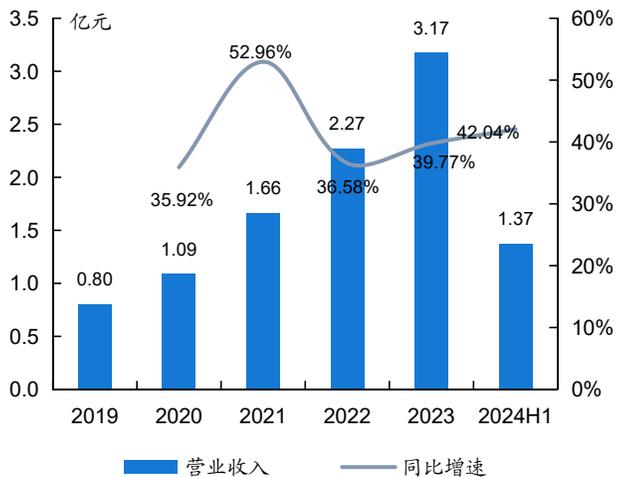
| 产品名称 | 产品简介 | 应用领域 | 产品型号（部分） | 起始导入时间 | 下游客户（部分） | 图例 |
|--------------|--|---|---------------------------------|---------|------------------------------|--|
| 惯性测量单元 (IMU) | MEMS陀螺仪 MEMS陀螺仪是测量角速率的器件，核心是一颗微机械（MEMS）芯片，一颗专用控制电路（ASIC）芯片及应力隔离封装。 | 惯性测量单元 (IMU) 是测量物体三轴姿态角（或角速率）及加速度的装置。一个IMU通常由三个轴向的陀螺和三个轴向的加速度计构成，以测量物体在三维空间中的角速率和加速度。 | 陀螺仪20L系列 | 2017年起 | 客户A、客户C、经销商阿尔福的终端客户I、西安北斗 |  XDR330：高性能Z轴MEMS陀螺仪 |
| | | | 陀螺仪32系列，后续逐渐被陀螺仪33系列和陀螺仪21H系列取代 | 2017年起 | 客户A、客户C、通过阿尔福导入其终端客户I和终端客户II | |
| | | | 陀螺仪21L系列 | 2018年起 | 西安比特联创科技有限公司 | |
| MEMS加速度计 | MEMS加速度计是测量物体线加速度的器件，其产品构造与陀螺仪基本相同。产品主要包含加速度计敏感结构和ASIC芯片，ASIC芯片由电容/电压变换电路和数字部分组成。利用敏感结构将线加速度的变化转换为电容的变化量，最终通过专用集成电路读出电容值的变化，得到物体运动的加速度值。 | 飞行体、车、船、机器人、卫星等惯性导航、平台稳定、姿态感知，工业设备、桥梁、高铁轨道、5G基站等设备的状态监测 | 加速度计35系列 | 2018年左右 | 阿尔福和客户A |  XDA1201V-高性能X轴MEMS加速度传感器  XDA1202V-高性能X轴MEMS加速度传感器 |
| MEMS压力传感器 | MEMS压力传感器工作原理以及基础技术与惯性传感器一致，均是基于谐振式MEMS器件与相匹配的ASIC控制芯片共同作用的结果。 | 航空电子、仪器仪表、工业制造、气象探测、高铁车辆控制等领域 | XDP8100-高精度硅谐振压力传感器 | | |  |

1.2 业绩增长稳步、盈利能力较强，持续加大研发投入

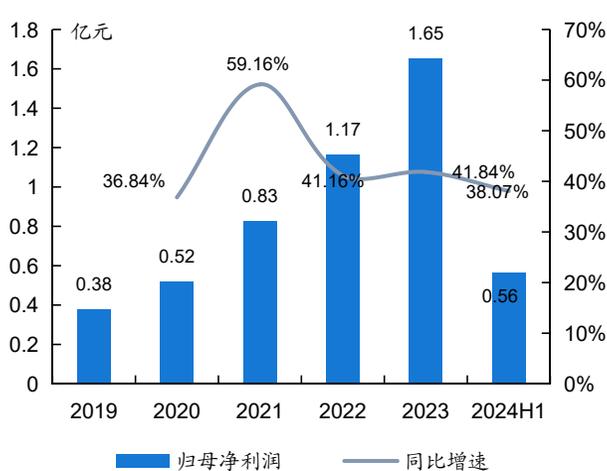
公司产品销量提升，营收业绩稳步增长。2019-2023年公司实现营业收入分别为0.80/1.09/1.66/2.27/3.17亿元，年均复合增速为41%，取得归母净利润分别为0.38/0.52/0.83/1.17/1.65亿元，年均复合增速45%。2017年以来公司产品陆续导入客户，历经产品测试、试产等环节后逐渐进入量产应用阶段，2020-2023年公司产量分别为31929/51819/78052/122441只、销量分别为30447/53873/80728/121949只，收入伴随产品放量同步增长。公司主营业务成本中直接材料2020-2023年占比超过50%，主要包括晶圆和其他材料；2022年公司销量最大的陀螺仪20L系列的主要供应商的晶圆价格远低于其他晶圆价格。总体上，2019-2023年公司MEMS产品产销两旺，营收利润逐年增加。

综合毛利率维持在80%以上，盈利能力较强，毛利率总体维持高位。2019-2023年芯动联科销售毛利率水平分别为90.24%/87.96%/85.39%/85.92%/83.01%，销售净利率水平分别为47.47%/47.80%/49.73%/51.40%/52.16%。毛利率方面，公司MEMS惯性传感器核心技术指标已达到国际先进水平，销售议价能力强，同时公司产品实现了批量化生产，生产成本相对较低，毛利率相对较高；近年来，公司毛利率有所下降（截至2024H1仍维持在80%以上），主要是毛利率较低的产品销售收入占比持续提升所致，另外公司采用阶梯定价策略，随着客户采购数量增长会给予一定价格优惠。净利率方面，2019-2023年公司净利率水平逐年稳步上升，2022/2023年净利率水平超50%。

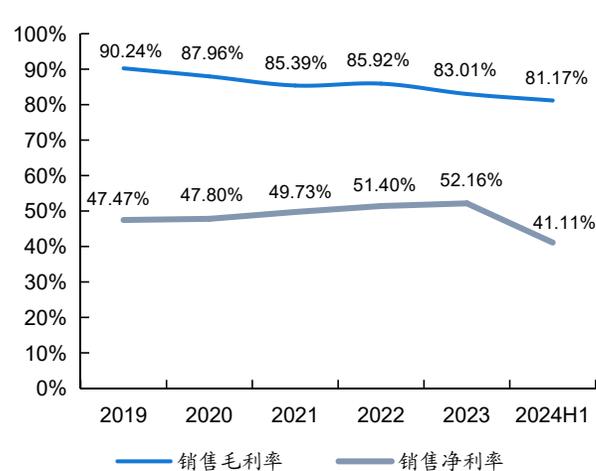
图表：2019-2024H1公司营业收入



图表：2019-2024H1公司归母净利润



图表：2019-2024H1公司毛利率&净利率

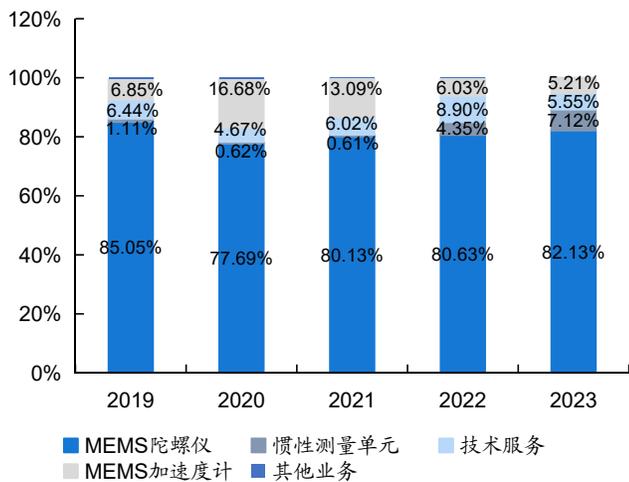


1.2 业绩增长稳步、盈利能力较强，持续加大研发投入

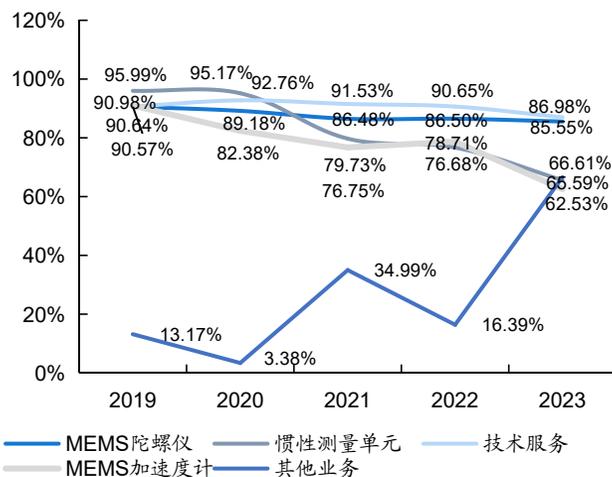
公司收入主要为MEMS陀螺仪和MEMS加速度计，各项业务毛利率水平较高，收入多在下半年确认。营业收入结构方面，2019-2023年公司MEMS陀螺仪、MEMS加速度计、惯性测量单元收入占比分别为85.05%/77.69%/80.13%/80.63%/82.13%、6.85%/16.68%/13.09%/6.03%/5.21%、1.11%/0.62%/0.61%/4.35%/7.12%。公司产品下游应用领域主要为高可靠、高端工业、无人系统等领域，其中2020-2022年高可靠领域收入占比均在75%以上。公司客户以大型央企集团及科研院所为主，2020-2023年公司前五大客户销售收入占比超过70%，受客户采购需求影响主营业务收入与净利润存在明显的季节性特征，多集中在第三和第四季度确认，2024H1各项业务收入水平相对较低，净利润为负。

持续加大研发投入，管理费用和销售费用费用率相对稳定，2024H1期间费用率上行较多因公司收入多在下半年确认。2019-2023年销售费率/管理费率/研发费率分别为2.26%/2.13%/1.95%/1.75%/2.24%、14.40%/12.20%/9.77%/10.48%/9.32%、19.20%/23.96%/24.39%/24.57%/25.29%，期间费用率基本保持稳定。随着公司业务扩张，销售费用方面销售人员总薪酬持续增加；2023年管理费用方面职工薪酬、折旧与摊销等费用同步增长。2023年公司利息收入1261.91万元主要因首发上市募集资金14.76亿元所致。公司研发费用方面，2023年/2024H1同比分别为43.85%/61.84%。2024H1销售费率/管理费率/研发费率分别为4.06%/11.35%/39.12%，2024H1期间费用率较2023年上行较多主要因公司收入多在下半年确认。

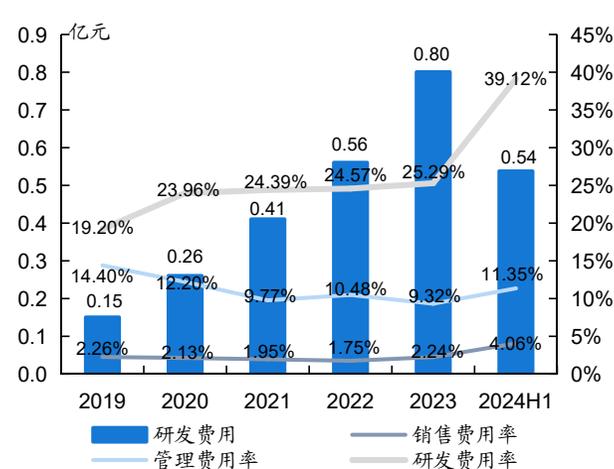
图表：2019-2023年公司营业收入结构



图表：2019-2023年公司各项业务毛利率



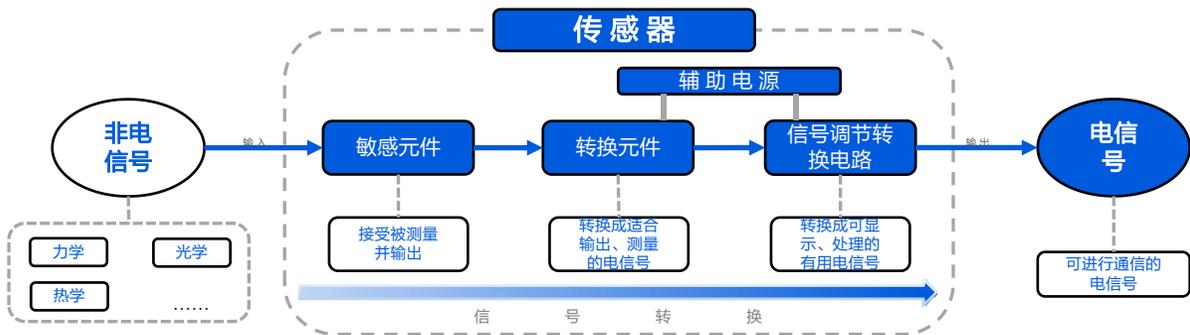
图表：2019-2024H1研发费用&期间费用率



2 MEMS惯导非标工艺技术壁垒高，向高精度/集成化/低成本/多领域发展

2.1 传感器：趋于MEMS化，研发周期长、高附加值

图表：传感器工作原理是把非电信号转化为电信号



图表：与传统机电工艺传感器相比MEMS传感器更具技术优势

| 项目对比 | 传统机电传感器 | MEMS传感器 (Micro Electromechanical System) |
|------|-----------------------------------|--|
| 尺寸 | 器件尺寸和质量较大，能耗较高 | 器件尺寸和质量小，能耗较低 |
| 加工 | 通过传统机械手段进行加工制造，加工成本高，无法在短时间内大批量生产 | 利用从IC制造工艺发展而来的微加工技术进行加工，能大批量加工，单件成本随产量增多、尺寸减少而降低 |
| 材料 | 使用传统材料，例如各类金属、高分子聚合物等 | MEMS加工中最为常见的是硅为代表的半导体材料，石墨烯、压电陶瓷等新材料逐渐扮演重要角色 |

图表：MEMS传感器商业化周期时间表，产品从研发设计到全面商业化平均耗时28年

| 传感器类型 | 研发设计 | 产品改进 | 降低成本 | 全面商业化 | 历时(年) |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|
| 压力传感器 | 1954-1960 | 1960-1975 | 1975-1990 | 1990 | 36年 |
| 加速度计 | 1974-1985 | 1985-1990 | 1990-1998 | 1998 | 24年 |
| 气体传感器 | 1986-1994 | 1994-1998 | 1998-2005 | 2005 | 19年 |
| 阀门 | 1980-1988 | 1988-1996 | 1996-2002 | 2002 | 22年 |
| 喷嘴 | 1972-1984 | 1984-1990 | 1990-2002 | 2002 | 30年 |
| 光学/显示 | 1980-1986 | 1986-1998 | 1998-2005 | 2005 | 25年 |
| 生物/化学传感器 | 1980-1994 | 1994-2000 | 2000-2012 | 2012 | 32年 |
| 速率传感器 | 1982-1990 | 1990-1996 | 1996-2006 | 2006 | 24年 |
| 射频器件 | 1994-1998 | 1998-2001 | 2001-2008 | 2008 | 14年 |
| 微继电器 | 1977-1993 | 1993-1998 | 1998-2012 | 2012 | 35年 |
| 振荡器 | 1965-1980 | 1980-1995 | 1995-2011 | 2011 | 46年 |
| 平均耗时 | 10年 | 8年 | 10年 | - | 28年 |

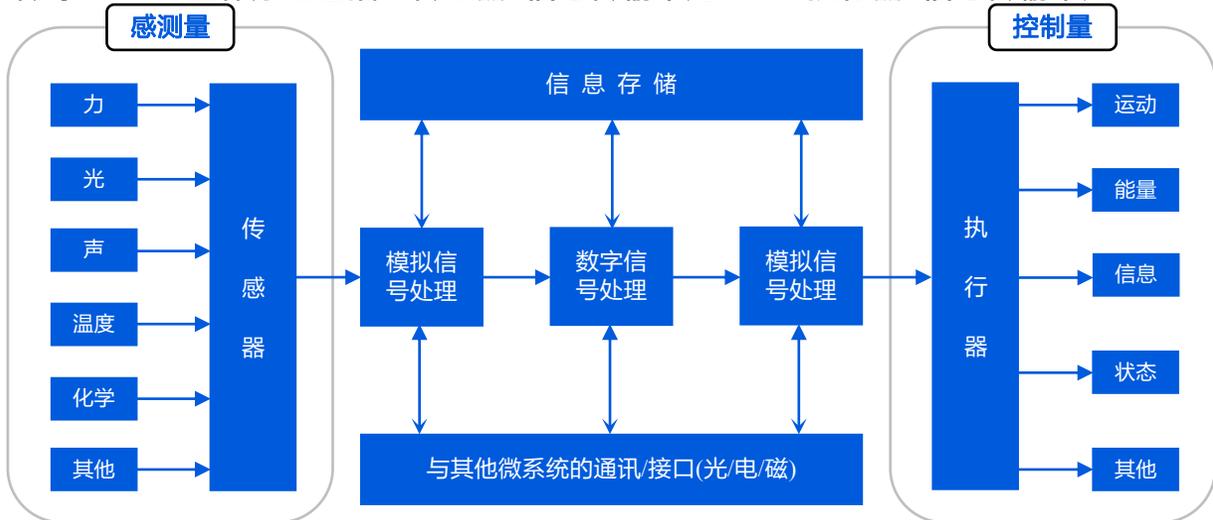
图表：MEMS传感器分类

| | 一级分类 | 二级分类 | 三级分类 | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| MEMS传感器 | MEMS物理传感器 | MEMS力学传感器 | MEMS加速计 | |
| | | | MEMS角速度计 | |
| | | | MEMS惯性测量组合 | |
| | | | MEMS压力传感器 | |
| | | | MEMS流量传感器 | |
| | | | MEMS位移传感器 | |
| | | MEMS电学传感器 | MEMS电场传感器 | |
| | | | MEMS电场强度传感器 | |
| | | | MEMS电流传感器 | |
| | | | MEMS磁学传感器 | MEMS磁通传感器 |
| | | | | MEMS磁场强度传感器 |
| | | | MEMS热学传感器 | MEMS温度传感器 |
| | | MEMS热流传感器 | | |
| | | MEMS热导率传感器 | | |
| | | MEMS光学传感器 | | MEMS红外传感器 |
| | | | MEMS可见光传感器 | |
| MEMS激光传感器 | | | | |
| MEMS声学传感器 | MEMS噪声传感器 | | | |
| | MEMS声表面波传感器 | | | |
| | MEMS超声波传感器 | | | |
| | MEMS化学传感器 | MEMS气体传感器 | 可燃性气体传感器 | |
| 毒性气体传感器 | | | | |
| 大气污染气体传感器 | | | | |
| 汽车用传感器 | | | | |
| MEMS湿度传感器 | | - | | |
| MEMS离子传感器 | | MEMSpH传感器 | | |
| MEMS生物传感器 | MEMS生理量传感器 | MEMS生物浓度传感器 | | |
| | | MEMS触觉传感器 | | |
| MEMS生化量传感器 | - | | | |

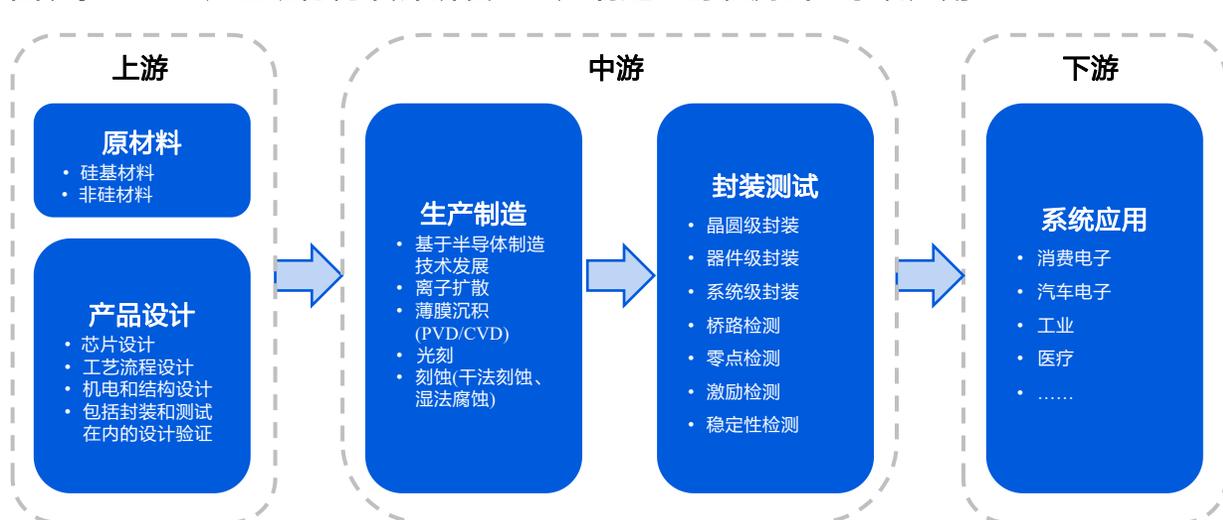
资料来源：《新型汽车传感器、执行器原理与故障检测》李伟，《汽车传感器从入门到精通》姚科业/顾惠烽，歌尔微招股书，赛迪顾问，通信产业网公众号，传感器技术公众号，上海控安研发与转化功能型平台公众号，国海证券研究所

2.1.1 MEMS全景架构：非标准工艺，产业链技术壁垒高

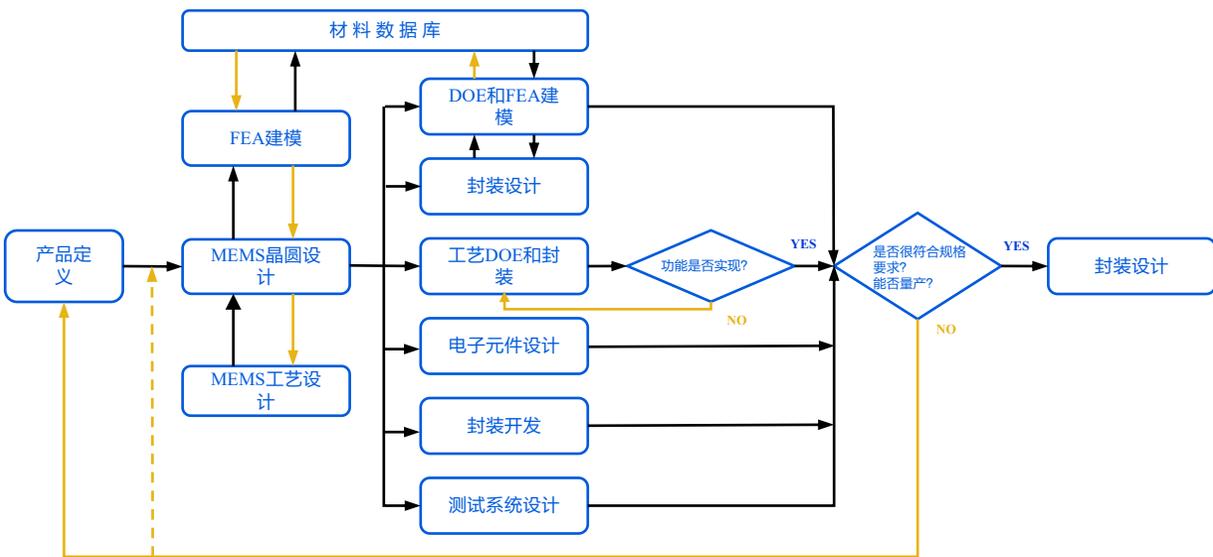
图表：MEMS工作原理包括“传感器+信号传输单元” & “执行器+信号传输单元”



图表：MEMS产业链分为设计研发、生产制造、封装测试、系统应用



图表：MEMS产品流程包括工艺流程+机电结构+封装和测试验证，之间相互关联



图表：MEMS加工工艺及生产模式

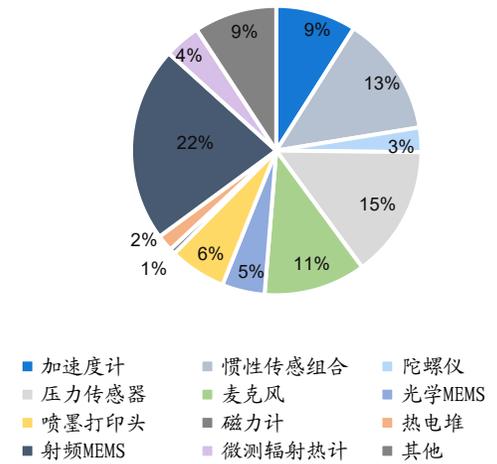
| 微加工技术分类 | 主要内容 |
|---------|---|
| 体微加工技术 | 沿着硅衬底的厚度方向对硅衬底进行刻蚀的工艺，包括湿法刻蚀和干法刻蚀，是实现三维结构的重要方法 |
| 表面微加工技术 | 采用薄膜沉积、光刻以及刻蚀工艺，通过在牺牲层薄膜上沉积结构层薄膜，然后去除牺牲层释放结构层实现可动结构 |
| 特殊微加工技术 | 特殊加工方法包括：键合、LIGA、电镀、软光刻、微模铸、微立体光刻、微电火花加工等 |

| 生产模式 | 特点 | 典型厂商 |
|-----------|--|------------------------------------|
| Fabless模式 | 以设计为主的垂直分工模式，企业主要负责MEMS产品的设计与销售，将生产、测试、封装等环节外包 | 楼氏电子、HP、佳能 |
| IDM模式 | 目前国际大厂主要的商业模式，厂商经营范围涵盖了设计、制造、封装测试等各环节 | Bosch(博世)、三星、TI(德州仪器)、东芝、ST(意法半导体) |

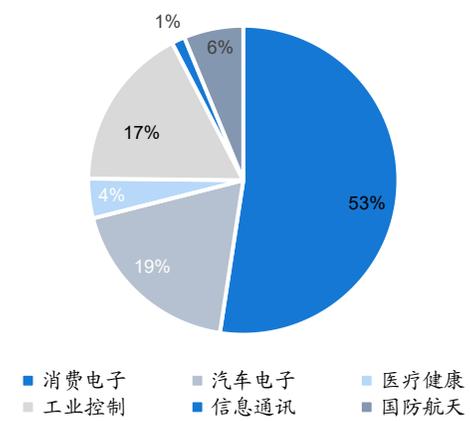
2.1.2 MEMS行业：惯性类传感器&压力传感器的应用占比居多

全球MEMS产品市场年均复合增速有望达8%以上，目前主要应用领域为消费电子/汽车电子/工业控制，惯性类传感器（加速度计、陀螺仪、IMU）和压力传感器应用最为广泛。MEMS全称Micro Electromechanical System，即微机电系统，是微型机械加工工艺和半导体工艺相结合的产品。MEMS产品是将微传感器、微执行器、微结构、信号处理与控制电路、通讯/接口单元集成在硅晶圆上，形成以机械和电子技术结合的微小装置。MEMS产品包括传感器和执行器，其中MEMS传感器与传统机电传感器相比具备小型化、低功耗、集成化、智能化等特点，被广泛应用于消费电子、汽车、工控、医疗等领域，用于感知运动、声音、温度、压力等。据Yole Intelligence数据，2022-2027年全球MEMS市场规模有望从147.50亿美元增长至222.53亿美元，年均复合增速为8.57%；惯性类传感器和MEMS压力传感器是MEMS及MEMS传感器的主要产品类别，2021年MEMS加速度计、MEMS陀螺仪、IMU和MEMS压力传感器合计占MEMS整体行业的39.92%、占MEMS传感器行业的62.66%；下游应用领域消费电子、汽车电子、工业控制的占比较高，2022年分别为53%/19%/17%。

图表：2021年全球MEMS行业市场结构



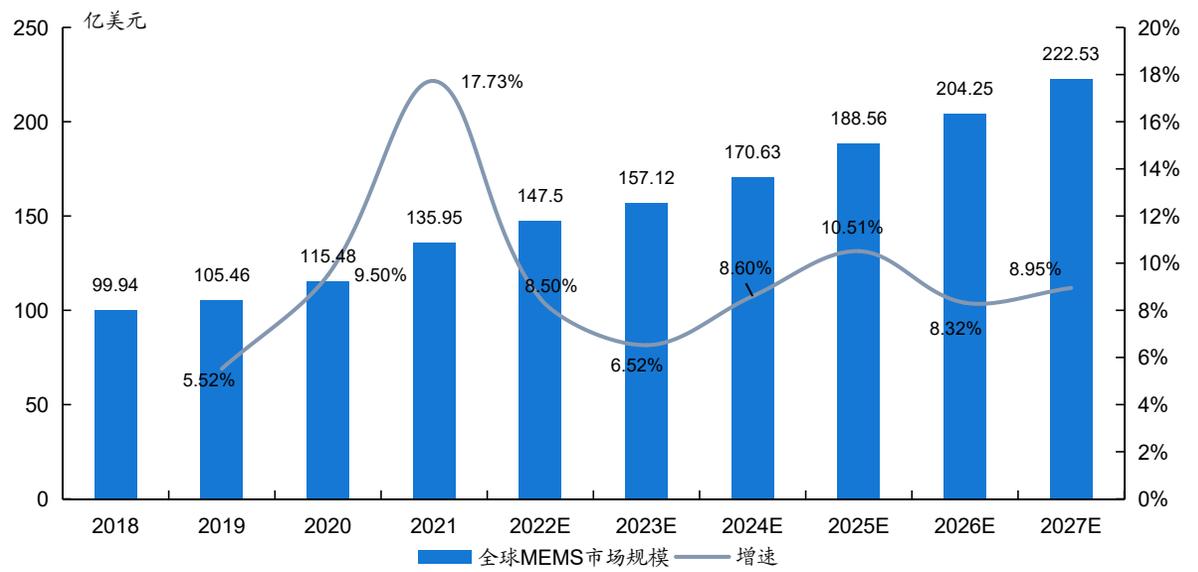
图表：2022年全球MEMS应用领域结构



图表：MEMS产品包括传感器和执行器

| 类别 | 领域 | 主要产品 |
|---------|---------|---|
| MEMS传感器 | 惯性传感器 | 加速度计、陀螺仪、磁传感器、IMU |
| | 压力传感器 | 压力传感器 |
| | 声学传感器 | 微型麦克风、超声波传感器 |
| | 环境传感器 | 温度传感器、气体传感器、湿度传感器、颗粒传感器 |
| | 光学传感器 | 傅里叶变换红外光谱、指纹识别、被动红外及热电堆、高光谱、环境光、三原色、视觉、三维视觉、微辐射热计 |
| MEMS执行器 | 光学MEMS | 微镜、自动聚焦、光具座 |
| | 微流控 | 喷墨打印头、药物输送、生物芯片 |
| | 射频MEMS | 开关、滤波器、谐振器 |
| | 微结构 | 微针、探针、手表元件 |
| | 微型扬声器 | 微型扬声器 |
| | 超声波指纹识别 | 超声波指纹识别 |

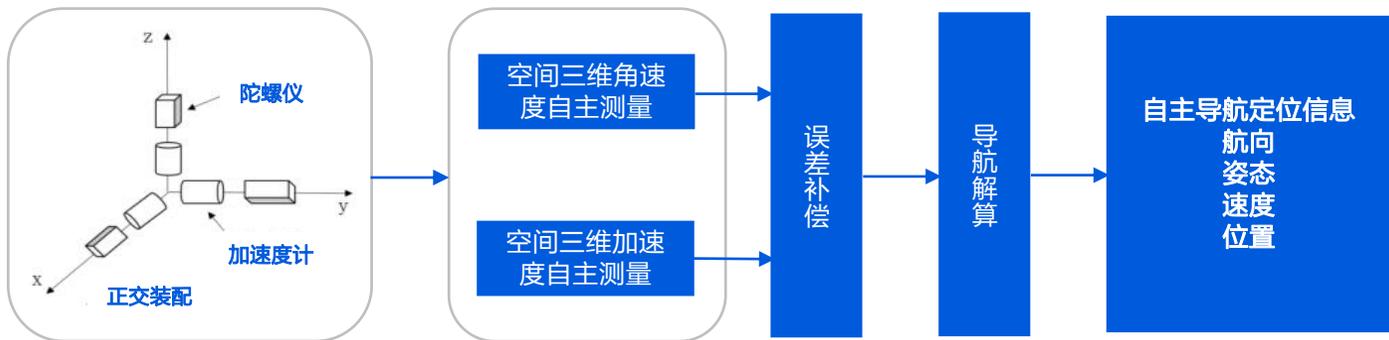
图表：2018-2027年全球MEMS市场规模及预测



2.2 惯性传感器：可实现导航定位、姿态感知、平台稳定

惯性传感器是将物体运动的加速度、位置和姿态转换为电信号的器件，包括加速度计、陀螺仪、磁力计和惯性测量单元（IMU），可有效实现导航定位、姿态感知、平台稳定的功能；零偏稳定性是衡量陀螺仪和加速度计产品性能高低的核心指标。磁力计可通过感知地球磁场的存在来计算磁北极的方向实现对物体运动朝向的确认，陀螺仪测量载体相对空间角速率，加速度计测量载体线加速度，一个IMU通常包含三个轴向的陀螺和三个轴向的加速度计。惯性导航系统是以测量角速度的陀螺仪和测量线加速度的加速度计为敏感元件，根据陀螺仪的输出建立导航坐标系，根据加速度计的输出并结合初始运动状态，推算出运载体的实时速度、位置和航向、姿态等导航参数的解算系统。

图表：惯性导航系统IMU基本原理



图表：惯性导航和其他常用导航比较

| 比较项目 | 惯性导航 | 卫星导航 | 惯性/卫星组合导航 |
|----------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| 对卫星信号的依赖性 | 不依赖卫星信号 | 依赖于卫星信号 | 无卫星信号时惯性导航系统仍能正常工作 |
| 工作时的隐蔽性 | 隐蔽性好，不受外界信息干扰 | 易受外界干扰 | 使用卫星导航时易受外界干扰 |
| 导航定位误差 | 误差随运动载体运行时间不断积累 | 误差与运载体运行时间无关 | 惯性导航系统的误差可由卫星导航系统修正 |
| 能否提供载体的姿态、航向信息 | 可提供载体的航向、姿态信息 | 单个终端无法提供载体航向、姿态信息 | 能提供载体的航向、姿态信息 |
| 产品经济成本 | 较高 | 较低 | 中等 |

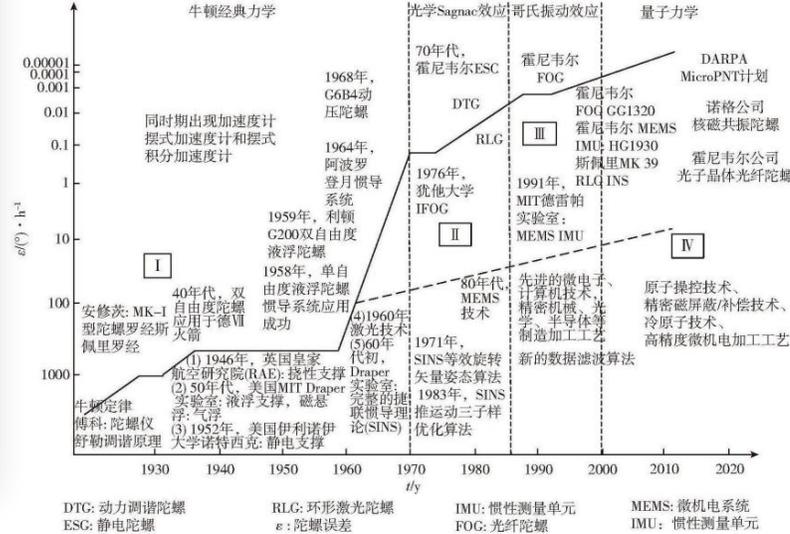
图表：陀螺仪和加速度计核心参数指标

| | 技术指标 | 说明 |
|------|---------|---|
| 陀螺仪 | 零偏稳定性 | 基于ALLAN方差法，衡量陀螺仪在一个工作周期内，当输入角速率为零时，陀螺仪输出值围绕其均值的离散程度。数值越小表示性能越高 |
| | 零偏重复性 | 在同样条件下及规定间隔时间内，多次通电过程中，陀螺仪零偏相对其均值的离散程度，以多次测试所得零偏的标准偏差表示。数值越小表示性能越高 |
| | 角度随机游走 | 表征陀螺仪角速率输出白噪声大小的一项技术指标，反映陀螺仪输出的角速率积分（角度）随时间积累的不确定性。数值越小表示性能越高 |
| | 标度因数精度 | 表征陀螺仪由于温度变化、非线性、重复性等影响因素，其标度因数围绕均值的离散程度，一般用ppm（parts per million）表示。数值越小表示性能越高 |
| 加速度计 | 零偏稳定性 | 基于ALLAN方差方法，衡量加速度计在一个工作周期内，当输入线加速度为零时，加速度计输出值围绕其均值的离散程度。数值越小表示性能越高 |
| | 零偏重复性 | 在同样条件下及规定间隔时间内，多天通电过程中，加速度计零偏相对其均值的离散程度，以多天测试所得零偏的标准偏差表示。数值越小表示性能越高 |
| | 线速度随机游走 | 表征输出白噪声大小的一项技术指标，反映加速度计输出的加速度随时间积累的不确定性。数值越小表示性能越高 |
| | 标度因数精度 | 表征加速度计由于温度变化、非线性、重复性等影响因素，标度因数围绕其均值的离散程度，一般用ppm（parts per million）表示。数值越小表示性能越高 |

2.2 惯性传感器：精度需求较高的战术/导航/战略级趋向低成本化

伴随MEMS技术的发展，精度需求较高的战术/导航/战略级惯性传感器趋向低成本化。以陀螺仪为例，惯性技术经历了四个发展阶段，逐渐从机械陀螺、激光/光纤陀螺、到HRG/MEMS陀螺、再到量子/光子集成陀螺演变，每代技术从起步到快速发展再到成熟历时约30年。根据零偏稳定性精度级别划分陀螺仪/加速度计产品可分为消费级/战术级/导航级/战略级，战术级/导航级/战略级的惯导产品主要应用于高端工业、航空航天、军工领域，对惯导产品的精度要求较高。伴随MEMS技术的发展并逐步从消费/汽车领域扩展到工业/航空航天等高端应用领域，战术级/导航级/战略级的惯导产品应用逐渐趋向于小型化、集成化、低成本化。

图表：惯性技术发展历程



图表：陀螺仪和加速度计核心性能参数

| | 类别 | 战略级 | 导航级 | 战术级 | 消费级 |
|-------|---|---|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 陀螺仪 | 应用领域 | 航天, 航海 | 航空, 长航时无人系统、测绘、制导武器 | 高端工业（如测绘、资源勘探）、车辆和飞行体、航空、地面装备 | 消费电子、小型武器、民用设备 |
| | 零偏稳定性 ($^{\circ}/h$) | <0.01 | 0.01-0.15 | 0.15-15 | >15 |
| | 标度因数精度 (ppm) | <1 | 1-100 | 100-1000 | >1000 |
| | 角度随机游走 ($^{\circ}/\sqrt{h}$) | <0.01 | 0.01-0.05 | 0.05-0.5 | >0.5 |
| 陀螺仪技术 | 机电陀螺仪、激光陀螺仪、光纤陀螺仪 | 激光陀螺仪、光纤陀螺仪、动力调谐陀螺仪、MEMS陀螺仪 | 激光陀螺仪、光纤陀螺仪、动力调谐陀螺仪、MEMS陀螺仪 | MEMS陀螺仪 | |
| 应用特点 | 对精度、可靠性要求极高，对成本、重量、体积等要求不高，部分场景下（如潜艇、航天器）对使用寿命有较高要求 | 部分场景下（制导武器）对可靠性、可承受过载、发射前校正（对准）时间等有极高要求 | 对可靠性、可承受过载、启动前校正（对准）时间等有一定要求 | 成本低廉，可大范围推广应用 | |
| 典型案例 | 战略导弹核潜艇、洲际弹道导弹、航天火箭等 | 远程导弹、海洋/地球勘探、载人航空器 | 装甲车辆、战术导弹 | 单兵武器、机器人、无人机、汽车导航、消费电子产品、玩具 | |
| 加速度计 | 应用领域 | 航天, 航海, 自校准 | 航空, 长航时无人系统, 陆地巡航 | 航空, 长航时无人系统, 陆地巡航 | 消费电子 |
| | 零偏稳定性 (μg) | <5 | 5-50 | 50-1000 | >1000 |
| | 标度因数精度 (ppm) | <10 | <500 | <1000 | >1000 |
| | 加速度计主要技术 | 机械摆式加速度计、石英加速度计 | 机械摆式加速度计、石英加速度计、MEMS加速度计 | MEMS加速度计、石英加速度计 | MEMS加速度计 |

图表：陀螺仪技术介绍及发展历程

| 发展阶段 | 技术演变 | 原理/技术 | 特点 | 应用情况 |
|------|--|-----------------|--|--|
| 第一代 | 机械陀螺：1920s起步，1940s快速发展，1950s成熟 | 基于牛顿经典力学 | 种类多、精度高、体积质量大、系统组成结构复杂、性能受机械结构复杂性和极限精度制约、产品制造维护成本昂贵。 | 逐渐从机械陀螺、激光/光纤陀螺、到HRG/MEMS陀螺、再到量子/光子集成陀螺演变 |
| 第二代 | 激光陀螺 (RLG)：1960s起步，1980s快速发展，1990s成熟 | 基于萨格奈克效应 | 反应时间短、动态范围大、可靠性高、环境适应性强、易维护、寿命长；但成本高、体积大。 | 技术较为成熟，精度高，随着产品迭代，光学陀螺及其系统应用从战术级应用逐步拓展到导航级应用，在陆、海、空、天等多领域中得到批量应用。 |
| | 光纤陀螺 (FOG)：1970s起步，1990s快速发展，2000s成熟 | | | |
| 第三代 | 半球谐振陀螺 (HRG)：1990s起步，2010s快速发展并成熟 | 基于哥氏振动效应和微纳加工技术 | 高精度 | 正逐步在空间、航空、航海等领域开展应用，但受限于结构及制造技术，市场上可规模化生产的企业较少。 |
| | MEMS陀螺：2000s起步，2020s快速发展，预计2020s-2030s成熟 | | 体积小、重量轻、环境适应性强、价格低、易于大批量生产。 | 率先在汽车和消费电子领域得到了大量应用；随着性能的进一步提高，其应用也被拓展到了工业、航空航天等领域，使得惯性系统应用领域大为扩展。 |
| 第四代 | 量子重力仪/陀螺：2010s起步，预计2030s快速发展，2030s-2040s成熟 | 基于现代量子力学技术 | 实现高精度、高可靠、小型化和更广泛应用领域的导航系统 | 仍处于早期研究阶段 |
| | 光子集成陀螺：2020s起步，预计2040s快速发展，2040s-2050s成熟 | | | |

2.2.1 陀螺仪：MEMS陀螺仪精度可达导航级，逐步替代两光陀螺

图表：各类陀螺仪发展时期情况

| 陀螺分类 | 陀螺类型 | 发展时期 | 图例 |
|-------|---------|---|----|
| 转子陀螺仪 | 液浮陀螺仪 | 20世纪50年代，美国麻省理工学院的查尔斯·斯塔克·德雷珀实验室采用液浮支承技术，研制出单自由度液浮陀螺仪（FFG），使得陀螺仪的精度达到了导航级要求 | |
| | 动力调谐陀螺仪 | 20世纪60年代初，美国人罗伯特·克雷格研制出了动力调谐陀螺仪（DTG），埃卡尔福特公司研制的SKN-2416、SKN-2610、MODII等型号产品，在战术导弹及军用飞机等平台进行了成功应用 | |
| | 静电陀螺仪 | 1964年，美国最先研制出静电陀螺仪（ESG），并于1979年首次为“三叉戟”弹道导弹核潜艇装备了静电陀螺仪，使得潜艇的导航能力出现了质的飞跃 | |
| 光学陀螺仪 | 激光陀螺仪 | 1963年，美国斯佩里公司最先研制出激光陀螺仪（RLG）；美国霍尼韦尔公司于1975年和1976年分别将激光陀螺仪应用到飞机和战术导弹，1982年，该公司利用GG-1342型激光陀螺仪，为美国海军研制出了第一台用于舰艇的高精度导航设备 | |
| | 光纤陀螺仪 | 光纤陀螺仪（FOG）出现稍晚于激光陀螺仪，与激光陀螺仪相比，光纤陀螺仪具有体积更小、成本更低、便于批量生产等显著优势，迅速获得了各大陀螺仪生产商的青睐 | |
| 振动陀螺仪 | MEMS陀螺仪 | 20世纪60年代，国外开始对MEMS陀螺仪进行研究，直到1988年，德雷珀实验室成功研制出世界上第一台MEMS陀螺仪；之后数十年，MEMS陀螺仪技术得到了国内外的高度重视，英国贝宜（BAE）系统有限公司，采用MEMS谐振陀螺仪实现了MEMS惯性测量单元IMU的系列化 | |
| | 半球谐振陀螺仪 | 半球谐振陀螺仪开始出现于20世纪60年代。自问世以来，备受各国关注，目前，美国、俄罗斯和法国在半球谐振陀螺仪的研制中处于领先地位 | |
| 原子陀螺仪 | 核磁共振陀螺仪 | 20世纪60年代，欧美先进国家开始对核磁共振陀螺仪技术展开研究并取得了阶段性成果；20世纪80年代，由于遭遇技术瓶颈和光学陀螺仪的迅速发展等多重原因，核磁共振陀螺仪发展出现停滞；21世纪初，随着量子技术理论体系不断完善，核磁共振陀螺仪再次进入人们视野 | |
| | 原子干涉陀螺仪 | 1991年，美国斯坦福大学朱棣文小组首次观察到了原子干涉仪的陀螺效应；2003年，DARPA制定了利用超冷原子干涉原理实现高精度惯性导航系统研究计划，2019年，奥森塞（AOSense）公司研制的原子干涉陀螺仪精度达0.000005（°）/h。 | |

图表：常规的不同类型陀螺仪性能指标对比

| 陀螺类型 | 精度（零偏稳定性）/（°）/h | 精度潜力 | 稳定时间 | 体积 | 成本 | 抗干扰能力 | 现阶段主要应用领域 |
|---------|------------------|------|------|----|----|-------|-----------|
| 原子干涉陀螺仪 | 10 ⁻⁵ | 超高 | - | - | - | - | 原理样机阶段 |
| 静电陀螺仪 | 10 ⁻⁴ | 高 | 慢 | 大 | 高 | 弱 | 主要在军用领域 |
| 半球谐振陀螺仪 | 10 ⁻⁴ | 高 | 快 | 小 | 中 | 强 | 主要在空间领域 |
| 液浮陀螺仪 | 10 ⁻³ | 中 | 慢 | 大 | 高 | 弱 | 主要在军用领域 |
| 激光陀螺仪 | 10 ⁻³ | 中 | 快 | 中 | 中 | 中 | 主要在军用领域 |
| 光纤陀螺仪 | 10 ⁻³ | 中 | 快 | 中 | 低 | 中 | 主要在军用领域 |
| 动力调谐陀螺仪 | 10 ⁻² | 中 | 中 | 中 | 低 | 中 | 主要在民用领域 |
| 核磁共振陀螺仪 | 10 ⁻² | 中 | 快 | 小 | 中 | 强 | 工程样机阶段 |
| MEMS陀螺仪 | 10 ⁻¹ | 中 | 快 | 小 | 低 | 中 | 主要在民用领域 |

图表：不同精度光纤陀螺仪应用领域

| 零偏稳定性（°）/h | 应用领域 |
|------------|------------------------------|
| > 10 | 陆地交通工具导航，机器人姿态控制，照相机或者天线稳定装置 |
| 1-10 | 无人驾驶、飞机，战术导弹制导 |
| 0.1-1.0 | 导航参考系统（SHRS），卫星姿态测量 |
| 0.01-0.1 | 火炮捷联惯导，航空器导航，地球测量，卫星定位 |
| 0.001-0.01 | 航空航天惯导系统，航海导航 |
| < 0.001 | 精密航天器应用，精密瞄准与跟踪 |

图表：MEMS陀螺仪和两光（激光/光纤）陀螺仪比较

| 类型 | 典型应用场景以及客户群体 | 优势 | 劣势 | 市场竞争情况 |
|-------------|--|-----------------|-----------------|--|
| MEMS陀螺仪 | 主要应用场景以及客户群体面向于消费领域、汽车、无人系统、高端工业、高可靠等；高性能MEMS陀螺仪主要面向无人系统、高端工业、高可靠等 | 低成本，小体积，高可靠，易批产 | 精度接近中低精度两光陀螺 | 消费类、汽车、高端工业、无人系统、高可靠等领域中对精度要求较低的应用场景主要应用MEMS陀螺仪，无人系统、高端工业、高可靠等领域中对精度要求较高的应用场景，主要应用两光陀螺，但目前随着高性能MEMS陀螺仪精度提升，其在部分战术级应用场景已经可以替代两光陀螺，并逐渐渗透至导航级应用场景 |
| 激光陀螺仪/光纤陀螺仪 | 两光陀螺主要应用场景以客户群体面向于无人系统、高可靠等，部分光纤陀螺仪也用于高端工业领域 | 超高精度 | 体积大，成本高，功耗大，难批产 | |

图表：陀螺仪在武器装备上的应用

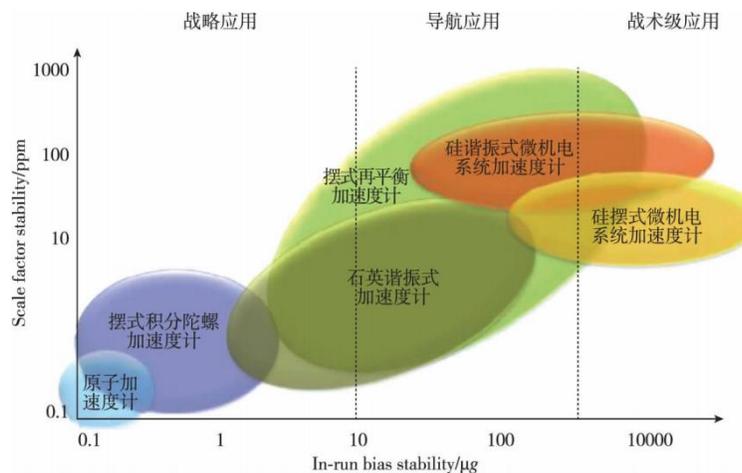
| 武器型号 | M344陀螺平台 | MAGU | M101 | POP200 | Star SAFIRE | 捕食者无人机 | Stryker装甲车 | 海狼导弹 |
|-------|----------|--------|---------------|--------|-------------|--------|------------|-------|
| 武器生产商 | SFIM | 诺格 | Recon/Optical | IAI | FLIR | - | - | - |
| 应用领域 | 瞄准线稳定 | 车载寻北仪 | 遥控武器站 | 光电吊舱 | 光电桅杆 | 光电吊舱 | 瞄准线稳定 | 导引头 |
| 陀螺类别 | 动力调谐陀螺 | 动力调谐陀螺 | 光纤陀螺 | 光纤陀螺 | 光纤陀螺 | 微机械陀螺 | 微机械陀螺 | 微机械陀螺 |
| 陀螺型号 | GAM-1G | G2000 | DSP3000 | - | - | QRS11 | GG5200 | SiIMU |
| 陀螺生产商 | SFIM | 诺格 | KVH | IAI | FLIR | BEI | 霍尼韦尔 | BAE |

资料来源：芯动联科招股书，天箭惯性招股书，理工导航招股书，《惯性稳定平台中陀螺技术的发展现状和应用研究》杨业飞/申文涛，《陀螺仪的发展与展望》史文策，《我国惯性导航用陀螺仪现状与发展趋势》曲研，传感器技术公众号，传感器专家网，清华大学官网，光子盒通讯号，重庆天箭惯性科技股份有限公司公众号，国海证券研究所

2.2.2 加速度计：MEMS加速度计可达导航级水平

相对于陀螺仪，加速度计技术较为成熟，MEMS加速度计可达导航级水平。按被测物理量的不同，加速度计可以分为电容式、压电式、热敏式、谐振式等；根据工作原理及应用材料不同，按照精度从高到低加速度计主要包括积分陀螺加速度计、石英振梁加速度计、挠性摆式加速度计、MEMS加速度计等，覆盖战略级/导航级/战术级应用场景。谐振式和电容式MEMS硅微加速度计正在步入技术成熟阶段，已经有多家公司的MEMS加速度计产品达到导航级性能。2015年美国DARPA提出“弹药精确鲁棒惯性制导”计划中包含了导航级惯性测量单元、先进惯性微传感器、弹药热稳定惯性制导的项目，旨在运用高性能的MEMS传感器发展高精度“导航级”IMU技术；2021年霍尼韦尔推出导航级MEMS IMU HG7930，加速度计的量程为±60g、TOTO零偏重复性为2.9μg、TOTO标度因数重复性优于2.2ppm。MEMS技术的加速度计已达导航级水平，与石英振梁加速度计和石英挠性摆式加速度计形成竞争替代关系，并将进一步向战略级精度发展。

图表：不同类别加速度计性能级别



图表：不同类别加速度计优缺点比较（根据被测物理量划分）

| 类型 | 优点 | 缺点 |
|----------|---|---|
| 压阻式微加速度计 | 结构简单，制作相对简易 | 对温度敏感，且灵敏度较低、蠕变和迟滞效应较大 |
| 压电式微加速度计 | 工作频带宽、功耗低、抗摔性好、温度稳定性高 | 低频噪声性能差 |
| 电容式微加速度计 | 结构简单、漂移率低、温度敏感性低 | 抗电磁干扰性差 |
| 隧道式微加速度计 | 灵敏度高 | 温度依赖性高，制造工艺复杂、工作电压高 |
| 热敏式微加速度计 | 不需要大体积的运动质量块 | 灵敏度较低、工作带宽较窄 |
| 谐振式微加速度计 | 测量谐振频率信号的准确度和精度高 | 只能应用于随时间缓慢变化的加速度量值测量 |
| 光学微加速度计 | 结合光学测量和微机电系统的优点，可实现高精度、高灵敏度、小体积和抗电磁干扰的加速度测量 | 传统光学微加速度计的制造封装工艺、光学激励及光学读出检测电路相对复杂，成本较高 |
| 腔光力微加速度计 | 灵敏度高、精度高、稳定度高、动态范围大 | 存在散粒噪声、量子反作用噪声等噪声源影响探测精度的问题 |

图表：常见加速度计性能和应用情况（根据工作原理及应用材料划分）

| 加速度计类型 | 精度 | 应用情况 |
|----------------|-------------------|--|
| 摆式积分陀螺加速度计 | 可达0.1μg | 主要用于战略导弹等高端武器装备 |
| 挠性摆式加速度计 | 石英摆式加速度计 | 是目前主流的工程应用加速度计，在陆、海、空、天、制导弹药等多个领域中得到大量应用 |
| | 硅摆式加速度计 | |
| 石英振梁加速度计 | 已达到10μg，最高接近1μg | 广泛应用于战术级导航应用领域，有望进入战略级应用领域 |
| 硅微机电加速度计 | 工程产品精度可达0.1mg-1mg | 应用于制导弹药、机器人、汽车消费电子等领域，在工业级领域应用尤为广泛 |
| 微光学加速度计、原子加速度计 | 可达10ng | 逐步走向应用 |

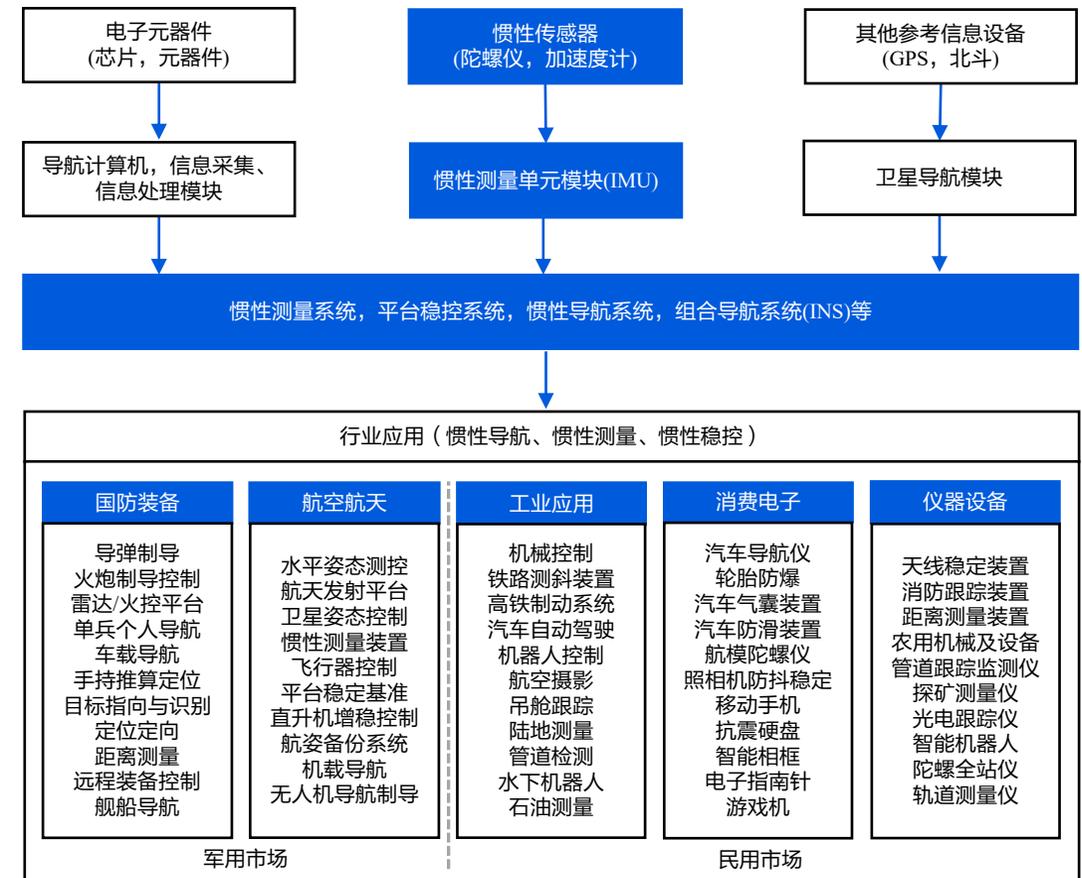
图表：电容式加速度计和谐振式加速度计比较

| 检测类型 | 原理 | 构成 | 特点 |
|---------|----------------------------------|-----------------------|--|
| 电容式加速度计 | 利用敏感质量块与检测电极间的相对运动所引起的电容变化来测量加速度 | 主要由敏感质量块梁和固定电极等组成 | 前期主要集中在中低精度应用领域，近年来，随着工艺、测控等单项能力的提升，整体性能有了较大的跨越，精度正逐步逼近谐振式加速度计 |
| 谐振式加速度计 | 石英谐振式加速度计 | 利用石英晶体压电效应进行激励和检测 | 主要由谐振梁、谐振子、摆和挠性支撑等组成 |
| | 硅谐振式加速度计 | 采用静电驱动和电容检测的方式实现加速度敏感 | |

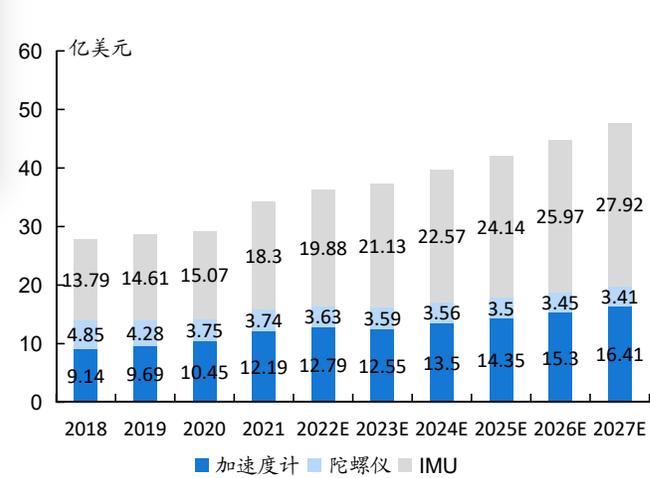
2.2.3 下游应用：高性能惯导技术主要面向高可靠领域

惯性技术应用的终端市场分为军用和民用市场，高性能惯导技术多应用于高可靠领域。惯性技术应用领域包括国防装备、航空航天、工业应用、消费电子、仪器设备等，技术正向高性能、小型化、低成本方向发展，以满足高精度需求、各种常规运载载体导航及稳定平台的高动态与高可靠性需求。高性能MEMS陀螺仪具有小体积、高集成、抗高过载的优势，可逐步应用于中低精度两光陀螺仪的应用领域，且成本更低。据Yole Intelligence，2018-2027年全球MEMS惯性传感器市场（加速度计+陀螺仪+IMU）规模有望从27.78亿美元增长至47.74亿美元，CAGR达6%，其中以IMU的形式出货居多。

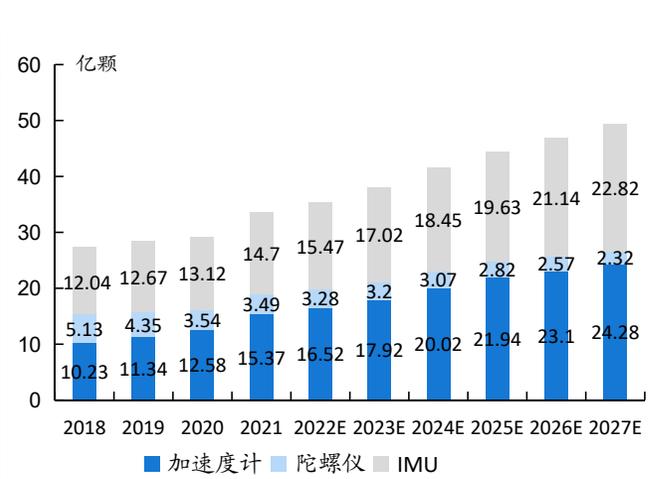
图表：MEMS惯性传感器产业链及应用方向



图表：2018-2027年全球MEMS惯性传感器市场规模结构及预测



图表：2018-2027年全球MEMS惯性传感器市场出货量结构及预测



图表：MEMS惯性传感器分类

| | 大类 | 分类标准 | 细分类别 |
|-----------|-----------|-------|--------|
| MEMS惯性传感器 | MEMS陀螺仪 | 振动结构 | 旋转振动结构 |
| | | | 线振动结构 |
| | | 驱动方式 | 静电式 |
| | | | 电磁式 |
| | | 工作模式 | 速率陀螺 |
| | | | 速率积分陀螺 |
| | MEMS加速度计 | 检测方式 | 压电性检测 |
| | | | 电容性检测 |
| | | | 光学检测 |
| | | | 压阻性检测 |
| | | | 隧道效应检测 |
| | | | 电容式 |
| MEMS加速度计 | 检测方式的测量方式 | 压电式 | |
| | | 压阻式 | |
| | | 隧道电流式 | |
| | | 谐振式 | |
| | | 热对流式 | |
| | | 光学式 | |
| MEMS加速度计 | 检测系统的测量方式 | 闭环式 | |
| | | 开环式 | |
| MEMS加速度计 | 运动方式 | 线性式 | |
| | | 扭摆式 | |
| | 大类 | 一级分类 | 二级分类 |
| MEMS惯性传感器 | MEMS磁传感器 | 磁电型 | 霍尔元件 |
| | | 电导型 | 磁阻元件 |
| | MEMS磁传感器 | 电流型 | 巨磁阻元件 |
| | | | 磁敏二极管 |
| MEMS磁传感器 | 声学型 | 磁敏三极管 | |
| | | 声表面波 | |

资料来源：Yole Intelligence，《MEMS惯性传感器研究现状与发展趋势》李晓阳，芯动联科招股书，耐威科技（已更名赛微电子）招股书，理工导航招股书，天箭惯性招股书，明瞳传感招股书，国海证券研究所

2.3 发展趋势：MEMS惯性传感器向高精度/集成化/低成本/多领域发展

图表：MEMS惯性传感器发展趋势

| 趋势 | 说明 |
|------|---|
| 高精度 | 导航/自动驾驶/个人穿戴设备等对惯性传感器的精度需求逐渐提高，MEMS惯性传感器主要性能指标零偏稳定性将达到 $0.05(^{\circ})/h$ 。 |
| 高集成度 | 惯性测量单元/惯性微系统均为提高器件的集成度设计，进而实现在更小的体积内具备更多的测量功能，满足装备小体积、低功耗、多功能的需求。 |
| 微型化 | 器件的微型化可以实现设备便携性，满足分布式应用要求。 |
| 强适应性 | 适应复杂环境（如高温、高压、大惯量和高冲击等）能够进一步拓宽MEMS惯性传感器的应用范围。 |
| 低成本 | 随着技术的不断进步，MEMS惯性传感器正朝着低成本的方向发展，行业的规模效应和头部效应也愈发明显。 |

图表：惯性传感器可应用于多领域

| 应用领域 | 介绍 | 市场前景 |
|--------|--|--|
| 无人系统 | 无人系统是指具有一定自治能力和自主性的无人控制系统，是人工智能、机器人技术以及实时控制决策系统的结合产物。通过利用惯性器件及捷联惯性导航技术，可以为无人系统提供精确的速度、位置和姿态等信息，从而实现其精确的导航定位和姿态控制。无人系统包含无人车、无人船、无人潜航器以及机器人等多种无人平台，其中尤以人形机器人、无人机应用最为广泛。 | 据Frost&Sullivan估计，2020年中国民用无人机行业整体市场规模达599亿元；据Drone Industry Insight数据，预计到2030年，全球无人机市场规模将达到546亿美元，2023-2030年商用市场复合增长率为7.7%。Markets and Markets数据显示，全球人形机器人市场规模将从2023年的18亿美元增长至2028年的138亿美元，无人机和人形机器人市场发展潜力较大。 |
| eVTOL | eVTOL即电动垂直起降飞行器，相比传统直升机，载人eVTOL具有纯电驱动、噪声低、性价比高、低成本、易维护、更安全、更环保等优点，被视为低空经济的核心。对于低空飞行器来说，自主导航系统感知三维信息非常关键，IMU可以利用飞行器的姿态、加速度、角速度等信息来推断其位置和速度，是GNSS定位的补充。 | 根据规划，预计在2025-2026年，国内会有大批量的eVTOL企业拿到适航证，并配备对应的运行标准，届时eVTOL将逐渐开始投入市场运营。 |
| 测量测绘 | 随着测绘装备体系逐步完成构建，测绘行业进入信息化测绘阶段。高精度MEMS惯性测量单元是信息化测绘体系的重要支撑。信息化测绘的数据采集方式包括传统测量、航空摄影测量、卫星遥感以及激光雷达测量等；除传统方式外，其他现代化测绘方式需要基于高精度惯性测量单元的飞行控制系统或光学稳定系统支撑，以便于载具在动态过程中采集到清晰的图像。 | 根据中国地理信息产业协会数据，2022年国内地理信息产业总产值达到7787亿元，较上年增长3.5%。预计未来高精度MEMS惯性测量单元将在信息化测绘体系中占据重要地位。 |
| 通信-动中通 | 动中通是指通过天线基座对天线进行动态调整，使平台保持和通讯卫星相对稳定的状态，从而保证通讯质量。动中通共分四类：车载、船载、机载和全自动便携站等产品，主要应用于应急通信、移动办公、电视台现场直播、航空宽带、商船通信、游艇、渔船等领域。惯性传感器是动中通的的核心部件，在运动过程根据惯性测量信息自动控制天线的方位、仰角和极化角，确保天线的波束中心始终精确指向卫星，使系统在静态、高速、高动态下均可稳定运行。 | 据智研统计显示，2023年中国卫星动中通设备行业的市场规模达859亿元人民币，同比增长10%，2024年Q1中国卫星动中通设备行业市场规模236.50亿元，同比增长10.13%。 |
| 工业物联网 | 各类传感器是工业物联网的感知器官，高精度的传感器保证系统长期稳定工作并提供高质量的数据。MEMS惯性传感器已在工业物联网中被广泛应用，例如风力发电塔姿态监测、光伏发电太阳跟踪系统、电网塔架安全监测、水电大坝监测、机器振动监测、矿井矿山监测、工程机械监测等。 | 根据statista的数据，2021年全球工业物联网（IIoT）市场规模超过了2630亿美元，预计未来几年市场规模将大幅增长，到2028年将达到约1.11万亿美元，2021-2028年复合增长率将达到22.83%，市场前景广阔。 |
| 资源勘探 | 惯性技术在资源勘探中，主要用于测量井身轨迹和钻头的实际位置，从而保证井深达到预定位置。随着石油资源日益枯竭，勘探和开发情况愈加复杂，因此需要精度更高、性能更加可靠的石油测斜仪器。惯性技术的应用使得这种需求得以满足，通过采用高精度、高分辨率的惯性及磁传感器来精确测量钻井过程中井斜角、方位角及工具面角等工程参数，从而实现井身轨迹与钻头位置的实时监测。 | 根据国家能源局发布的《中国天然气发展报告（2023）》，2022年国内油气企业加大勘探开发投资，同比增长19%，其中勘探投资约840亿元，创历史最高水平；开发投资约2860亿元。在国内油气消费持续稳定增长以及油气勘查开采投资持续增加的背景下，石油钻采专用设备作为石油勘探开发的重要设备，其市场需求将有望保持稳定增长。 |

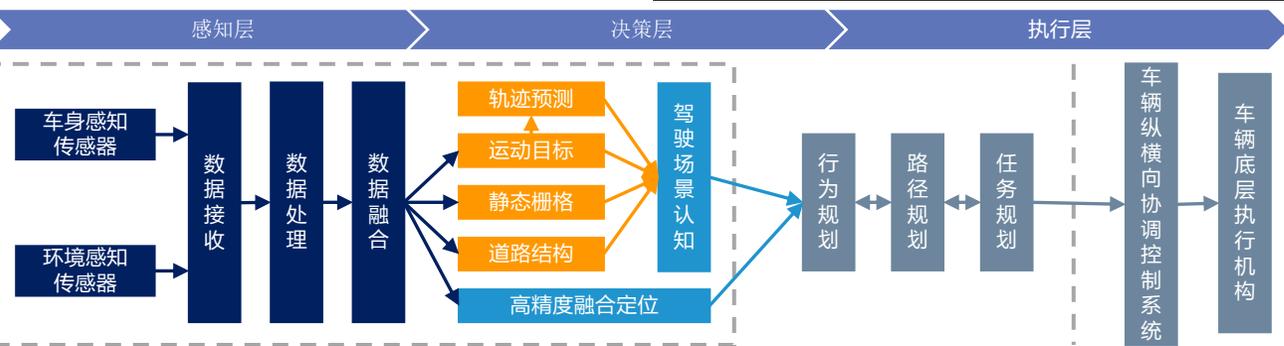
图表：捷联式惯导为未来主流形式

| 分类 | 技术特征 | 主要应用级别 | 定位误差典型值 | 定向误差典型值 | 优势 | 劣势 | 发展前景 |
|-----|-----------------------|-----------|----------|-----------|-------------------------------|-----------------------------|------------|
| 平台式 | 机电一体化系统，系统内部有三到四个实体框架 | 中高档、运动隔离 | 1~2海里/小时 | 0.1~0.2° | 保证敏感轴的正确指向，隔离载体的角运动，使得系统的精度较高 | 系统结构复杂、体积大、制造成本高；抗振、抗冲击能力有限 | 局部被淘汰，市场萎缩 |
| 捷联式 | 电子数字化系统，系统内部没有活动部件 | 高中低档、稳定控制 | 小于1海里/小时 | 0.05~0.1° | 系统体积和质量较小，维护目对方便；抗振、抗冲击能力强 | 会产生动态误差 | 主流应用形式 |

2.4 智能驾驶：高精度惯导优势凸显，GNSS+IMU成为主流方案

自动驾驶要求高精度定位，惯导+卫导+环境感知多维互补。SAE将车辆分为Level 0~Level 5共6个级别，当前自动驾驶行业处于由L2向L3过渡的阶段。汽车系统实现自动驾驶，需要感知两个层面的信息：(1)车辆自身的状态信息（如前进方向/位置坐标/速度/加速度/转向角度等）、(2)车辆所处环境的信息（如道路信息/交通标志/其他车辆/行人等），系统根据当前状态和环境信息进行分析决策，通过执行结构控制车辆。因此，自动驾驶传感器可分为感知车辆自身状态的传感器（以车辆定位传感器为主）和感知环境信息传感器（以视觉感知和雷达感知为主）。自动驾驶定位技术主要有三种：①基于信号的定位：以通过GNSS卫星信号进行定位为代表；②环境特征匹配：基于视觉或激光雷达，用观测到的特征和数据库里的语义地图或特征地图进行匹配，得到车辆的位置和姿态；③惯性导航定位：依靠惯性传感器获得加速度和角速度信息，推算出汽车的位置和姿态信息。智能辅助驾驶和自动驾驶对定位系统的要求包括高精度、高可靠性、高可用性，同时需满足功能和安全的要求。**惯性导航定位可保证系统不受外界信息影响，在任何时刻以高频次输出车辆运动参数，为决策中心提供连续的车辆位置、姿态信息，是高精定位中必不可少的关键部件。**目前GNSS-RTK（利用载波相位差分的实时动态定位）+IMU构成的组合导航系统是主流的定位系统方案。

图表：传感器在自动驾驶的结构中属于感知层



图表：惯性导航系统是自动驾驶中的关键部件

| 定位方法 | 优势 | 劣势 |
|------------|--------------------------------|----------------------------------|
| GNSS-RTK定位 | 可实现全球、全天候、全天时定位 | 依赖卫星信号，在受到遮挡时信号丢失无法定位；容易受到电磁环境干扰 |
| 环境特征匹配定位 | 可获得周围环境的3D信息 | 传感器会受到天气、环境、光线等外部因素影响 |
| 惯性导航定位 | 不依赖于任何外部信息，不受外界电磁干扰的影响；数据更新频率高 | 存在累计误差 |

图表：三种定位方法组合可实现高精度定位

| 特点 | 说明 |
|-------------|---|
| 输出完备的六自由度数据 | 能够计算x/y/z三个维度的平动量（位置、速度、加速度）和转动量（角度、角速度），并通过观测模型推测其他传感器状态的测量值，将预测值和测量值的差用于加权滤波，获得实时的姿态角、方位角、速度和位置。 |
| 数据更新频率高 | 摄像头的帧率一般为30Hz，时间不确定性为33ms；GNSS延迟一般为100-200ms；而惯导预测状态的延迟可低于1ms，因此惯导可用于估算并补偿其他传感器的延迟，实现全局同步。 |
| 定位信息的融合中心 | 在L3及更高级别的自动驾驶汽车中，将引入更多的传感器来支撑系统的功能，惯导系统是所有定位技术中最容易实现与其他传感器提供的定位信息进行融合的载体，将视觉传感器、雷达、激光雷达、车身系统信息进行更深层次的融合，为决策层提供精确可靠的连续的车辆位置、姿态的信息。 |

图表：驾驶自动化程度分为L0-L5六个层级

| SAE 分级 | 名称 | 概念界定 (在适用设计范围内，自动驾驶系统可持续执行的任务范围) | 动态驾驶任务(DDT) | | 动态驾驶任务执行者(复杂路况) | 适用范围 (行驶场景) | 驾驶员状态 | |
|--------|--|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------|-------|--------------------------|
| | | | 车辆运动控制·车辆横纵向加减速控制 | 环境感知探测·物体和事件的探测响应 | | | 无解脱 | 驾驶员执行部分或全部的动态驾驶任务 |
| L0 | 无驾驶自动化 (no driving automation) | 主动安全系统的辅助，由驾驶员执行全部动态驾驶任务 | 驾驶员 | 驾驶员 | 驾驶员 | 不可用 | 无解脱 | 驾驶员执行部分或全部的动态驾驶任务 |
| L1 | 驾驶辅助(driver assistance, DA) | 横纵向车辆运动控制的某一子任务(不可同时执行)，驾驶员执行其他动态驾驶任务 | 驾驶员和系统 | 驾驶员 | 驾驶员 | 有限 | 脱脚 | |
| L2 | 部分自动驾驶 (partial driving automation, PA) | 横纵向的车辆运动控制任务，驾驶员负责执行环境感知探测并监督自动驾驶系统 | 系统 | 驾驶员 | 驾驶员 | 有限 | 脱脚手 | |
| L3 | 有条件自动驾驶 (conditional driving automation, CA) | 完整的动态驾驶任务，用户需要在系统失效时接受系统的干预请求，及时做出响应 | 系统 | 系统 | 自动驾驶失效时驾驶员接管 | 有限 | 脱脚手眼 | 自动驾驶系统执行全部的动态驾驶任务(使用状态时) |
| L4 | 高度自动驾驶 (high driving automation, HA) | 完整的动态驾驶任务(支援)，用户无需对系统请求作出回应 | 系统 | 系统 | 系统 | 有限 | 脱脚手眼脑 | |
| L5 | 完全自动驾驶 (full driving automation, FA) | 在所有道路环境执行完整的动态驾驶任务(支援)，驾驶员无需介入 | 系统 | 系统 | 系统 | 无限制 | 无人驾驶 | |

资料来源：《智能汽车无人驾驶与自动驾驶辅助技术》瑞佩尔，《汽车驾驶自动化分级》国家标准委，《人工智能在自动驾驶研发中的应用》朱雅妹，《三十年不断发展的MEMS惯性传感器》丁衡高，《自动驾驶汽车定位技术》李晓欢，《汽车自动驾驶传感器发展》郭泉成等，前瞻产业研究院，传感器专家网，汽车标准化研究所，国海证券研究所

2.4 智能驾驶：车载IMU趋于高性能、集成化、低成本

车载IMU以P-Box形态为主，未来或将向贴片式集成域控发展。在高阶自动驾驶中，在隧道、地下车库、立交桥或者外部天气恶劣的情况下，激光雷达、摄像头等传感器失效/卫星信号被遮挡或失锁；IMU作为安全防线，可用航迹推算能力实现自动驾驶系统正常运作。IMU在高精度定位系统中的产品形态包括：（1）GNSS-RTK与IMU相结合的**P-Box**高精度组合定位方案；（2）有独立壳体保护且完成IMU内部误差补偿的**独立式IMU**；（3）没有独立外壳且集成于域控制器PCB版的**贴片式IMU**。目前乘用车的高精度定位硬件以P-Box为主流，其主要难点在于：（1）IMU芯片的设计、制造、封装和批量测试等能力和工艺；（2）IMU的精度和标定算法；（3）成熟的大规模量产能力；（4）AEC-Q100车规级器件认证和ISO 26262车规功能安全认证。随着域控制器技术的成熟和电子电气架构的演进，以及自动驾驶行业对低成本、批量化、集成化、标准化的要求提升，高阶自动驾驶域控制器集成高精度定位单元或将成为未来发展方向。

MEMS IMU装车逐步提升，有望成为高级别自动驾驶标配。相比于两光陀螺仪，MEMS惯性传感器在体积、质量、功耗、价格、寿命等方面更具优势，高精度定位需求牵引及MEMS技术驱动双重因素助推高性能MEMS惯性传感器在自动驾驶领域持续拓展。目前国内乘用车市场自动驾驶技术以L2级为主，随着L3及以上自动驾驶的逐步渗透，对自动驾驶的安全性和可靠性提出更高要求。

图表：车端组合定位技术指标

| 项目 | 内容 | 指标 |
|------------------------|--------------|--------|
| 卫星导航增强与惯导组合导航定位精度（95%） | 水平方向 | ≤0.5m |
| | 垂直方向 | ≤0.6m |
| | 航向 | ≤0.2° |
| 卫星定位失效10s内定位精度（95%） | 水平方向 | ≤0.8m |
| | 航向 | ≤0.3° |
| 定位收敛时间 | 定位收敛时间 | ≤10s |
| 数据更新频率 | 组合数据更新率 | ≥100Hz |
| 实时性 | 数据解算到输出之间的时延 | ≤10ms |

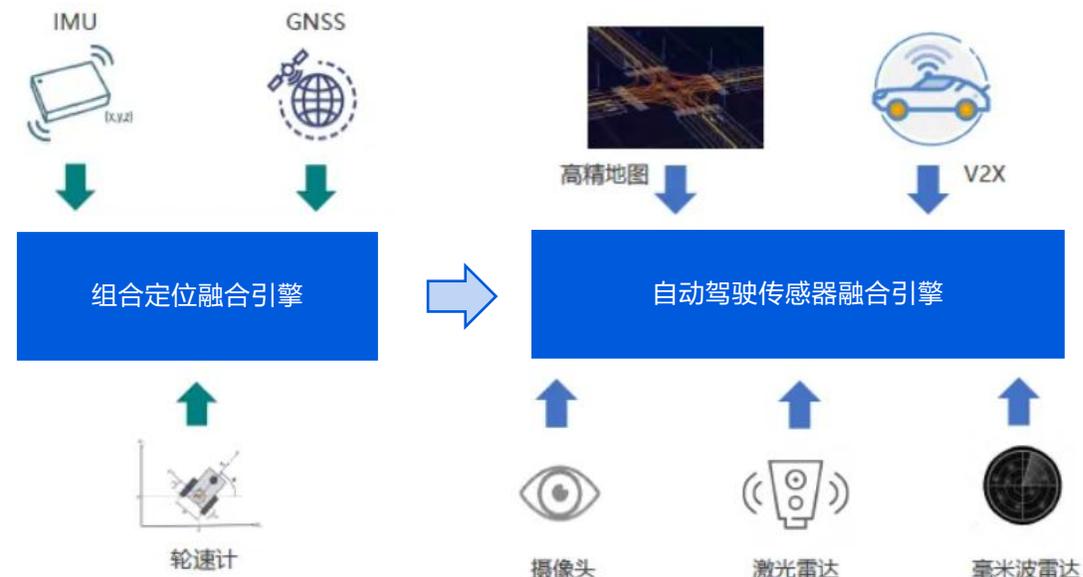
图表：车载IMU的性能指标

| 内容 | 陀螺仪 | 加速度计 |
|--------|--------------------|-----------------|
| 轴数 | 3轴 | 3轴 |
| 量程 | ≥250° /s | ≥4g |
| 零偏不稳定性 | ≤4°/h(Allan方差) | ≤0.1mg(Allan方差) |
| 全温零偏 | ≤0.3° /s(1σ,10s平滑) | ≤3mg(1σ,10s平滑) |
| 标度误差 | ≤0.2% | ≤0.3% |
| 角度随机游走 | ≤0.35° /√h | ≤0.04 m/s/√h |
| 输出频率 | ≥200Hz | ≥200Hz |

图表：基于可靠性、稳定性和安全性考量，独立IMU更适合智能驾驶

| 构型 | 特点 | 受环境影响程度 | 适用场景 |
|--------|---|---|--|
| 独立模块形式 | 具有高强度外壳保护，并且可以选择易于维护和维修的位置安装。最重要的是它采用全要素标定补偿技术，以及多物理场匹配技术，标定参数持久稳定，性价比高。国际大厂如ADI、霍尼韦尔，通常会使用独立IMU构型。 | 在典型环境影响（升温/降温/预紧力/振动）及长期环境影响（高温运行/热冲击/通电温度循环耐久）下表现更稳定 | 更适合高精度导航定位和安全相关场景，也可以满足隧道或地库等航位推算场景的定位需求 |
| 贴片形式 | 通过贴片方式将IMU直接焊接到主板固定位置，通常采用屏蔽罩保护或无保护，更容易受到环境影响，同时，经过二次焊接后标定参数可能会发生变化，但其制造成本低。 | 在典型环境影响（升温/降温/预紧力/振动）及长期环境影响（高温运行/热冲击/通电温度循环耐久）下更易受干扰 | 更适合低精度导航定位及非安全性应用场景，同时也适合卫星导航算法插值计算场景 |

图表：高精度卫惯组合定位系统



资料来源：《三十年不断发展的MEMS惯性传感器》丁衡高，《自动驾驶卫星导航增强与惯导组合定位技术规程》中国自然资源部，科创板日报，新浪科技，DAISCH官网，盖世汽车，高工智能汽车/AutoLab/佐思汽研/36氪Pro/高工智能汽车公众号，国海证券研究所

2.4 智能驾驶：车载IMU趋于高性能、集成化、低成本

图表：现阶段车载IMU以P-Box形式为主，未来向IMU模组形式发展

| 产品形态 | 线束接入 | 空间布局 | 稳定性 | 数据实时性 | 功能安全 | 成本 | 加工和标定 | 发展阶段 | 代表性供应商 | 图例 |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------------|---|---------------------|---|-----------------------------------|-------------------|----------|-------------------|--|
| P-Box (高精度定位盒子) | 需要电源、信号等多种线束接入使用 | 需要主机厂在设计E/E架构时预留安装位置 | 更稳定：P-Box提供了更加稳定的环境，不仅降低了非预期的应力影响，盒子内器件的功率也更低（通常不超过7W），温度更稳定，更有利于IMU性能发挥 | 授时精度可达微秒(μ s)级 | 需要整合外部传感器数据，同时还需要与其他ECU或域控制器进行实时通信，对于车载网络带宽的占用以及功能安全等不确定性因素较多 | 性价比较高 | 在产品出厂前进行标定，工艺成熟 | 已进入量产交付期 | 导远电子、戴世智能、意法半导体ST |  导远电子P-Box |
| IMU模组 (贴片式：集成到域控制器中/独立式) | 减少线束、接口的使用 | 增加了装配层级，也增加了域控设计、域控在车身布局安装以及整车布局的难度 | 较不稳定：将IMU模组采用回流焊工艺直接贴在域控制器电路板上，会经历高温到冷却的大幅度温度变化，电路板会受到额外的应力，可能导致其精度变差；域控制器为了满足高算力需求，通常搭载高性能、高功耗芯片，加上其他器件域控制器总功率可达百瓦级别，IMU集成到此类环境中，将经历较大的温度波动，进而影响IMU性能；此外IMU易受振动、电磁干扰影响 | 减少数据传输，有效降低信息延迟 | 当自动驾驶升级至L3+/L4/L5时，高精度定位模块须达到厘米级且符合更高的功能安全要求，具备集成到自动驾驶域控制器的条件 | 采购成本低：省去了壳体和部分接插件；其他成本：研发测试、标定成本高 | 标定效率更高，目前组装工艺尚不成熟 | 处于起步阶段 | 北云科技、新纳传感、U-blox |  新纳传感贴片式模组 |

市场现状：P-Box是高精度定位装车的主流形态

未来趋势：组合定位系统由P-Box向IMU模组演化

三种形式：①单独将IMU集成到域控板，GNSS信息可直接从T-box接收并在智驾域控内进行融合；②将GNSS和IMU分开集成到域控板；③将GNSS和IMU组成的模组集成到域控板

集成化、灵活性和降本需求：①汽车电子电气架构向中央集成发展；②目前市场正在走向软硬件解耦，架构更加灵活；③利用域控做集成，降低对硬件的要求，将算法的复杂度提升，最终实现成本控制的目标。

2.4 智能驾驶：高精度定位国产替代加速，自主可控迎来新突破

国内厂商已渗透车载IMU领域，芯片环节有望实现对国外品牌的国产化替代。国内车载高精度定位赛道于2018年前后开启，乘用车市场高精度定位产品的发展与智能驾驶普及的节奏基本同步。车厂方面，以蔚来/小鹏/理想/哪吒为首的造车新势力自动驾驶布局较为迅速，传统主机厂如吉利/上汽/长安/长城/广汽等也在跟进。车载高精度定位产品方面，P-Box的主流厂商包括导远电子/戴世智能/华测导航/移远通信/北斗星通/北云科技等，导远电子/戴世智能/华依科技等已实现了IMU模块的量产。各家的核心能力均不相同，导远电子自研算法和IMU；华测导航自研算法，外购GNSS和IMU；北斗星通和北云科技自研GNSS和算法，外购IMU。作为国内车载高精定位头部厂商，导远电子于2018年实现了对小鹏汽车量产供货，2020年开始大规模量产，截至2024年6月底已累计交付104.1万套定位感知传感器套件，获得30多家主机厂近100款车型定点，产品搭载于理想L9、吉利博越L、长安深蓝SL03等多款国内车型以及大众、丰田、沃尔沃等国际主机厂的多款全球化车型。由于国外IMU芯片厂商在陀螺仪、加速度计等元器件领域的积淀，目前国内车载高精定位的IMU芯片对外依存度较高，多采用村田的SCHA634、ST的ASM330LHHB、博世的SMI240以及TDK的IAM-20685等；导远于2024年5月推出业内第一款可编程化的用于导航定位的IMU芯片GST80，实现国产IMU芯片新的突破，也为其带来成本优势和议价权、更高的响应效率以及供应链的稳定和可控等多方面优势。车厂对于定位方案的考量主要在于精度、安全和成本。近年来国产MEMS传感器的性能指标以及可靠性不断提升，随着市场竞争的加剧，主机厂对于成本控制的要求越来越高，相比国外产品，国产IMU更具性价比，有望在车载高精度赛道逐步突围。

图表：国外代表性车规级MEMS IMU

| | |
|---------------------------------|-------------------------|
| TDK InvenSense IAM-20685 | 村田Murata SCHA634 |
| | |
| 意法半导体ST ASM330LHH | 博世Bosch SMI240 |
| | |

图表：国内代表性厂商及其车载IMU产品

| 公司 | 产品形式 | 特点 | 产品型号 | 图例 |
|------|-------|---|-------------------------|----|
| 导远电子 | P-Box | 将高精度传感器信号，双频或三频多星座GNSS/RTK/PPP-RTK和底盘数据信息，通过定位算法，提供低延迟位置、速度、姿态和授时（PVAT）的信息；典型应用场景包括高速公路自动驾驶辅助系统（HWP）/交通拥堵辅助系统（TJA）/自动代客泊车系统（AVP）。 | INS570D、INS5711、INS570L | |
| | IMU模组 | 采用不锈钢外壳，设备出厂前已经过航空级精密转台的温度和动态校准，确保在恶劣的环境下正常工作的可靠性；小体积、低功耗、环境适应性强、精准时间同步。 | IMU5115、IMU5104、IMU5121 | |
| 戴世智能 | P-Box | 集成载波相位差分定位模块，支持单/双天线，采用卡尔曼滤波和车辆运动学模型，融合IMU、卫星信号和RTK信号，输出3轴加速度、角速度、航向、速度和位置参数，刷新频率达到100Hz；专为恶劣工作条件工作的载具设计的高鲁棒性、高精度定位和定姿系统。 | IFS2100、IFS3000 | |
| | IMU模组 | 带RS232/CAN/CANFD通信接口，将高精度MEMS 6DOF惯性组件集成在一个经过工厂校准的微型模块中，拥有IP67防护等级的密封外壳和汽车8pin连接器，满足ASIL-B功能安全,适合各种动态控制和导航应用。 | MS1 | |
| 华测导航 | P-Box | 以全系统全频点GNSS基带板卡和6轴IMU为基础，采用紧耦合算法引擎对GNSS、INS、DR信息的融合解算，相比松耦合算法具有更高的固定率及鲁棒性；核心器件采用ASIL-B及以上选型，整机设计满足ASIL-B；符合IATF16949、ISO9001质量体系，支持完好性功能。 | CGI220 Pro | |
| | IMU模组 | 基于射频基带一体化SOC芯片开发的高精度GNSS模组，采用17*22mm、54LGA主流封装工艺，集成MEMS-IMU芯片，采用自研CLCTIB2.0解算引擎；通过AEC-Q104认证，符合IATF16949、ISO9001质量体系；支持北斗三代卫星信号，低功耗。 | M620 | |
| 华依科技 | P-Box | INS4050性能接近战术级别，整体车规级设计，支持外接国内主流定位厂商定位模块以及车辆（轮速、档位）信息进行数据融合；INS5050内置车规级GNSS模块和ASIL-B级别IMU，支持多传感器融合定位算法，NRTK、PPP-RTK定位模式满足全场景定位需求。 | INS4050、INS5050 | |
| | IMU模组 | 分系列化：C，E，S三个档次；成本可控、高一一致性、高精度小型化、高抗震，ISO 26262功能安全认证，广泛应用于智能驾驶L2+~L4域控集成方案。 | IMU3000 | |

2.5 机器人：人形机器人发展方兴未艾，“前庭系统”IMU前景广阔

人形机器人发展方兴未艾，“前庭系统”IMU前景广阔。2024年7月在上海召开的世界人工智能大会上，现场展出25款人形机器人，同时发布了全球首个全尺寸开源公版人形机器人青龙，以及国内首个全尺寸人形机器人开源社区；此外，特斯拉的Optimus人形机器人、宇树科技的国内首款实现奔跑功能的全尺寸通用人形机器人H1等也悉数亮相。据国际机器人联合会(IFR)的数据显示，全球人形机器人的市场规模正以每年超过20%的速度增长，2025年市场规模有望达数百亿美元。人形机器人站立运动发展依托各类传感器，其中IMU能够测量机器人躯干的倾斜及旋转，输出加速度、角速率和姿态的精确信息，帮助机器人在动态的环境中实现平衡维持、执行精确的运动控制，是实现人形机器人姿态控制的核心。据UCLA，Artemis机器人在骨盆位置放置了一颗3DM的战术级IMU，并在头部摄像头、足部亦有集成平价的替代品；目前导远IMU模组已成功交付国内多家企业的机器人项目，原极科技AHRs400 IMU产品也已经多家人形机器人验证。

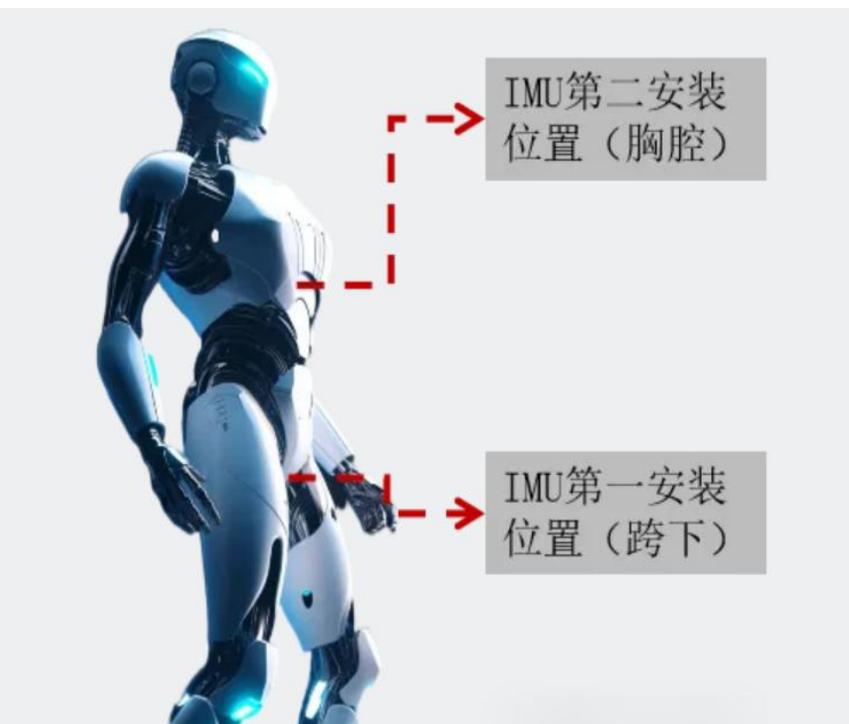
图表：IMU在人形机器人上实现四大功能

| 功能 | 说明 |
|-----------|--|
| 姿态控制和平衡 | IMU能够实时测量机器人的角速度和加速度，从而帮助机器人维持稳定的姿态和平衡。 |
| 导航和定位 | IMU可以与GPS等其他传感器结合，提供准确的室内和室外定位信息，这对于人形机器人在复杂环境中导航和定位至关重要。 |
| 动作执行和路径规划 | 基于IMU的测量数据，人形机器人可以更精确地执行各种动作，如行走、转弯、跳跃等；此外，IMU数据还可以帮助机器人避开障碍物，规划出更合理的运动轨迹。 |
| 提高安全性 | 通过IMU的实时监测，人形机器人可以更快地响应外部变化，如突然出现的障碍物或地面不平等情况，这有助于提高机器人的安全性，防止意外事故发生。 |

图表：IMU在机器人运动控制中发挥关键作用

| 机器人状态 | 说明 |
|-------|------------------------------------|
| 保持站立 | 初始化时，IMU输出姿态，配合质心使机器人站立。 |
| 直线行走 | 行走过程中，IMU反馈姿态数据，保证机器人按照路线行走，并且不踩脚。 |
| 原地转弯 | IMU协同控制模块，根据航向角其他数据进行原地转弯，并且不偏移。 |
| 及时停止 | IMU帮助机器人在需要时紧急制动，或者工作需要停止时能够立即站立。 |

图表：IMU常见安装位置



2.6 竞争格局：国际大厂垄断形势下本土企业市占率有待提升

MEMS惯性传感器领域以博世为首的国外厂商垄断地位依存，国内企业奋力追赶。目前MEMS惯性传感器市场仍由Bosch/TDK/ST/ADI/Honeywell等国际大厂主导，据芯谋研究统计，Bosch、ST和TDK合计占有国内MEMS IMU近80%的市场份额。高性能惯性传感器行业中，国际上Honeywell/ADI/Sensoror/Silicon Sensing/Colibrys等产品已有成熟的商业化应用；国内从事高性能MEMS惯性传感器研发及应用的单位主要为央企集团和科研院所，目前已实现产业化应用的单位主要包括美泰科技等。随着国内消费电子/自动驾驶汽车/机器人/工业设备等下游市场的蓬勃发展以及惯性技术的进步，越来越多的本土企业在MEMS惯性传感器领域崭露头角。

图表：2022年惯性传感器中国前五大厂商

| 排名 | 公司名称 | 市场份额 (%) |
|------|-----------|----------|
| 1 | Bosch | 33 |
| 2 | ST | 25 |
| 3 | TDK | 21 |
| 4 | ADI | 7 |
| 5 | Honeywell | 7 |
| 其他公司 | | 7 |
| 合计 | | 100 |

图表：国外高性能MEMS惯性传感器代表厂商

| 公司名称 | 国家 | 简介 |
|-----------------|----|--|
| Honeywell | 美国 | 由联合讯号公司及霍尼韦尔公司合并而成，是在多元化技术和制造业方面占世界领导地位的跨国公司。该公司主要产品被广泛应用于农业、自主式水下航行器、通信、工业设备、船舶及潜航器、石油和天然气、机器人、地图测绘、稳定平台、交通运输、无人机、地面无人车辆等领域。目前Honeywell在MEMS陀螺仪的研制开发领域是世界最高水平的公司之一，其高性能硅基MEMS惯性传感器销售位居世界前列。 |
| Analog Devices | 美国 | 全球领先的高性能模拟技术公司，致力于为客户解决复杂的工程难题。ADI将MEMS技术应用到传感器和执行器产品中，其MEMS产品组合包括用于感测线加速度的加速度计、用于感测旋转的陀螺仪、用于感测多个自由度（沿多个轴组合多种感测类型）的惯性测量单元，以及适用于无线电和仪器系统的宽带开关，其高性能硅基MEMS惯性传感器出货量位居世界前列。 |
| Sensoror | 挪威 | MEMS技术的全球领导者，在开发和制造高性能传感器方面拥有30多年的经验。该公司设计和制造高精度战术级陀螺仪传感器、MEMS陀螺仪模块和惯性测量单元，为工业和商业市场等领域客户提供服务。 |
| Silicon Sensing | 英国 | 家陀螺仪和惯性系统工程开发公司。该公司的产品包括MEMS陀螺仪传感器、加速度计、惯性传感器模块等，广泛应用于航空、测绘、钻井、精准农业、导航辅助、自动驾驶等多个领域。 |
| Colibrys | 瑞士 | 基于MEMS技术加速度传感器的全球领先的供应商之一，一直在开发和生产用于航空和安全关键应用的MEMS加速度计，具有完备的MEMS产品设计、研究开发、芯片生产、封装和混合机电元件测试技术。 |

图表：2022年惯性传感器全球前五大厂商及其市占率

| 排名 | MEMS加速度计 | | MEMS陀螺仪 | | IMU | |
|----|----------|---------|-----------|-----|-----------|---------|
| | 公司名称 | 市占率 (%) | 公司名称 | 市占率 | 公司名称 | 市占率 (%) |
| 1 | Bosch | 32 | TDK | 24 | Bosch | 35 |
| 2 | ST | 21 | ADI | 18 | ST | 20 |
| 3 | Murata | 13 | Honeywell | 19 | TDK | 20 |
| 4 | NXP | 11 | Bosch | 12 | Honeywell | 6 |
| 5 | ADI | 7 | ST | 10 | ADI | 7 |
| 总计 | - | 84 | - | 83 | - | 88 |

图表：国内外高性能惯性传感器厂商产品布局

| 公司 | 产品类别 | | | | 技术路线 | | | 性能等级 | | | |
|-----------------|------|-----|------|------|------|----|----|------|-----|-----|-----|
| | 加速度计 | 陀螺仪 | 惯性单元 | 惯性系统 | MEMS | 激光 | 光纤 | 工业级 | 战术级 | 导航级 | 战略级 |
| Honeywell | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| ADI | √ | √ | √ | | √ | | | √ | √ | | |
| Sensoror | | √ | √ | | √ | | | √ | √ | | |
| Silicon Sensing | √ | √ | √ | | √ | | | √ | √ | | |
| Safran | √ | | | | √ | | | √ | √ | √ | √ |
| 美泰科技 | √ | | √ | | | | | √ | √ | | |
| 芯动联科 | √ | √ | √ | | √ | | | √ | √ | √ | |

注：Sensoror于2021年被Safran收购

图表：国内外车规级IMU代表厂商

| IMU产品 | 国内 | 国外 |
|-------|--|---|
| IMU模组 | 导远电子、华依科技、星网宇达、华测导航、深迪半导体、北云科技、原极科技、戴世智能、瑞声科技、矽睿科技 | 博世 (Bosch)、意法半导体 (ST)、村田 (Murata)、TDK InvenSense、ADI (Analog Devices) |
| IMU芯片 | 导远电子、芯动联科 | |

2.6 竞争格局：军用惯导占据市场主体，民用领域未来可期

图表：中国惯导市场行业结构（亿元）



来自：惯导测试与标校公众号

图表：国内高可靠领域惯性传感器产业链

| 产业链 | 分类 | 公司名称 |
|--------|--------|---|
| 上游：器件层 | 激光/光纤 | 航空工业自控所、中国航天科工三院、航天十三所、航天电子、赛微电子、理工导航等 |
| | MEMS | 芯动联科、美泰科技、航空工业自控所、中国航天科工三院 |
| 中游：系统层 | 惯性导航系统 | 航天科技、导控所、航天科工二院、航天三十三所、航天十三所、中航六一八所、航天电子、航天七零四所、赛微电子、西安晨曦、中星测控、星网宇达、美泰科技、理工导航 |
| | 组合导航系统 | 航天二院十二所、航天电子、航天七院、航天五院、赛微电子、西安晨曦、星网宇达、美泰科技、理工导航 |
| 下游：应用层 | 军工领域 | 航空工业、航天科工、航天科技、兵器工业、湖南云箭、洪都航空、中航工业、中船重工 |
| | 航天领域 | 航天科技、航天科工、国星宇航、银河航天、长光卫星、九天微星、星河动力、中科宇航、蓝箭航天 |

图表：国内代表性MEMS惯性传感器厂商

| 公司名称 | 业务范围 | 公司定位 | 产品应用领域 |
|-------|--|--|--|
| 芯动联科 | 高性能MEMS惯性传感器（陀螺仪、加速度计）、压力传感器 | 高性能传感器的领导者 | 广泛应用于高可靠领域，将进一步开拓自动驾驶、机器人、民用航空、商业航天等市场 |
| 美泰科技 | 微机电系统(MEMS)器件与系统的研发、生产和销售 | 国内MEMS技术领导者 | 航空航天、新能源汽车、智能驾驶、智慧城市、物联网和5G通信等 |
| 深迪半导体 | MEMS陀螺仪芯片/六轴IMU/IMU模块/磁传感器，并提供增值算法服务 | 中国首家研发设计商用消费级和汽车级微机电系统（MEMS）陀螺仪系列惯性传感器的公司 | IOT, 手机智能终端, 智能家居, 人工智能, 工业和智能驾舱等 |
| 明皜传感 | 主要从事MEMS传感器的研发、设计和生产，产品包括加速度传感器、陀螺仪、压力传感器和磁传感器，并提供相关技术服务， | 国内MEMS传感器技术的创新者和开拓者 | 消费电子、汽车电子、工业自动化以及航空等 |
| 敏芯股份 | MEMS声学/压力/惯性/力/流量传感器以及红外热电堆传感器，其中惯性传感器包括加速度计 | 目前国内少有的掌握多品类MEMS芯片设计和制造工艺能力的企业 | 消费、车载、医疗、工控 |
| 美新半导体 | 从MEMS传感芯片、软件算法和应用方案的一站式解决方案；产品包括热式加速度计/电容式加速度计/AMR地磁传感器/低功耗霍尔开关和六轴IMU等 | 国内最早的IDM模式惯性传感器供应商之一，在测试、封装以及晶圆生产方面具有核心竞争力 | 汽车、工业、医疗、可穿戴、智能家居、消费电子等 |
| 矽睿科技 | 提供高质量传感器产品的设计、制造以及增值应用与服务，产品包括多款MEMS传感器（六轴IMU、加速度计、环境传感器、组合传感器等）、磁性传感器芯片及汽车与物联网智能模组和系统 | 2022中国半导体MEMS十强企业 | 聚焦智能手机、智能穿戴、物联网、智能制造，汽车电子，并向智慧医疗、元宇宙、与自动驾驶市场演进 |
| 士兰微电子 | 功率半导体&半导体化合物器件/功率驱动与控制系统/MEMS传感器（包括三轴加速度计/六轴IMU单元等消费级传感器/IMU单元等车用传感器）/ASIC产品/光电产品 | 国内规模最大的集成电路芯片设计与制造一体（IDM）的企业之一 | 家电、工业、LED照明、汽车、消费类电子、影音设备等 |
| 星网宇达 | 惯性组合导航、移动卫星通信、无源电子对抗、智能无人系统 | 以惯性技术为核心，专业从事智能无人系统及核心部件研发、生产、销售的国家高新技术企业 | 军事训练、卫星通信、智能探测、无人驾驶 |

资料来源：芯动联科招股书，赛微电子招股书，爱集微，传感器专家网，前瞻经济学人，深迪半导体/明皜传感/歌尔微/敏芯股份/美泰科技/美新半导体/矽睿科技/芯动联科/士兰微电子/星网宇达/航空工业/空空导弹研究院/航天科工/航天科技/兵器工业/湖南云箭/中国航天科工三院/航空工业西安飞行自动控制研究所/理工导航公司官网，北京理工大学大学机电学院官网，惯导测试与标校/民营军企服务公众号，国海证券研究所

3 公司优势：核心技术自主可控独占性高，产业链上下游深度绑定可持续性

3.1 核心优势：形成MEMS惯性传感器领域自主专利体系&技术闭环

芯动联科是国内较早从事高性能MEMS惯性传感器研发的芯片设计公司，掌握高性能MEMS惯性传感器核心技术。芯动联科设立时，MEMSLink以四项专利技术及一项MEMS陀螺仪加工工艺技术出资，北京芯动以其拥有的两项专有技术MEMS陀螺仪ASIC芯片技术出资，创始团队在股东出资无形资产的基础上进行了架构设计和技术开发，并构建了以此为基础的技术平台，研发团队在该技术平台上完成了第一代、第二代、第三代高性能MEMS产品研发。据公司2023年年报数据，公司已取得发明专利23项、实用新型专利22项，集成电路布图设计3个，主要涉及陀螺仪ASIC芯片闭环检测、MEMS加速度计设计和工艺方案开发、陀螺仪MEMS芯片工艺技术、陀螺仪闭环多模态控制算法、调频FM加速度计的耦合消除技术、调频FM加速度计低闪烁噪声技术等，在ASIC电路设计以及MEMS芯片敏感结构设计方面具备技术先进性。高性能MEMS惯性传感器具有一种产品一种加工工艺的特点，其种类多样且各产品的功能和应用领域不尽相同，各种高性能MEMS传感器的生产工艺和封装工艺均需要根据产品具体情况进行设计、调试，技术水平要求高、技术壁垒高。

芯动联科注重科技研发、技术自主可控，已形成核心研发团队专业背景深厚稳固。公司在MEMS陀螺仪、MEMS加速度计以及MEMS压力传感器等领域建立了梯度较完善的研发队伍，研发团队主要为张晰泊带领的ASIC芯片研发团队以及华亚平带领的MEMS芯片设计、工艺开发与封装研发团队。截至2024年6月30日，芯动联科研发人员共有82人，占公司总人数的47.40%，拥有硕士或博士学位的研发人员为48人，占研发人员的58.54%。

图表：芯动联科核心技术人员具备较强的专业资质和行业背景

| 核心技术人员 | 学历背景 | 专业资质 | 具体职责 |
|--------|------------------------------|---|---|
| 华亚平 | 本科，南京大学化学专业 | 曾在美新半导体（无锡）有限公司、深迪半导体（上海）有限公司、华润微电子有 限公司任职，现担任公司副总经理 | 主管公司MEMS芯片设计及工艺开发、封装测试及供应链管理，把握公司工艺及封装测试的总体方向，为公司多项专利的发明人 |
| 张晰泊 | 硕士，清华大学微电子专业本科，香港科技大学微电子专业硕士 | 曾在北京昆天科微电子技术有限公司、德州仪器半导体技术（上海）有限公司任职；2012年加入公司；具有近20年的ASIC模拟电路设计经验和10年以上的ASIC芯片项目开发经验 | 主管ASIC研发设计工作，领导并参与了陀螺仪、加速度计系列产品中ASIC芯片的研发，为公司核心技术研发工作的主要发起人与参与者 |
| 顾浩琦 | 硕士，南京大学电子信息本科、英国利物浦大学电子信息硕士 | 曾担任美新半导体（无锡）有限公司测试总监，2013年加入公司担任测试总监 | 负责公司产品测试工作，对公司封装和测试核心技术有主要贡献，为公司部分专利的发明人 |

图表：芯动联科出资人专利/专有技术及其在公司产品上的应用情况

| 专利/专有技术 | 类型 | 出资股东 | 产品应用 |
|------------------------|------|----------|-------------------------------------|
| 三轴陀螺传感器 | 发明专利 | MEMSLink | 出资技术构建了公司的技术平台，应用于历代MEMS陀螺仪及加速度计产品中 |
| 消除线性加速度响应的陀螺传感器 | 发明专利 | | |
| 消除线性加速度响应的陀螺传感器 | 发明专利 | | |
| 消除线性加速度响应的陀螺传感器 | 发明专利 | | |
| MEMS陀螺仪加工工艺技术 | 专有技术 | 北京芯动 | |
| MEMS陀螺仪ASIC芯片技术 | 专有技术 | | |
| MEMS陀螺仪ASIC芯片技术（高性能Z轴） | 专有技术 | | |

图表：芯动联科专有技术含MEMS陀螺仪的加工工艺技术/MEMS陀螺仪ASIC芯片技术

| 专有技术名称 | 具体内涵 | 主要细分技术 |
|------------------------|--|--------------------------------------|
| MEMS陀螺仪加工工艺技术 | 基于抑制线性加速度干扰专利技术的MEMS陀螺仪芯片设计技术，将MEMS陀螺仪结构的驱动电极和感应电极布置在同一方向，具有抗干扰能力强，芯片参数一致性好，良率高的优点。公司与代工厂合作开发的MEMS圆片加工工艺技术，采用熔融键合和共晶键合的圆片级封装技术，经历了设计版图和工艺参数的磨合匹配，满足高Q值，低正交误差、高可靠性的设计要求，工艺成熟并应用到产品量产。 | MEMS芯片的结构设计技术、正交误差补偿技术、模态匹配技术、去耦合技术等 |
| MEMS陀螺仪ASIC芯片技术 | ASIC用0.18um混合信号集成电路技术制造，具有I2C、SPI数字信号输出和模拟信号输出3种模式；具有数据先进先出功能，自动零点回归功能，双量程同时输出功能，可开发客户的自定义中断模式。已应用于大批量生产产品。 | |
| MEMS陀螺仪ASIC芯片技术（高性能Z轴） | ASIC用0.18um混合信号集成电路技术制造，具有校正信息储存模块，高精度正交分离电路、片识别码以及模拟信号输出模式，可实现自动检测功能，已应用于大批量生产产品。 | |

3.1 工艺设计&封装测试标定等多环节构筑高度壁垒

芯动联科在MEMS惯性传感器芯片设计、MEMS工艺方案开发、封装与测试标定等主要环节拥有自主知识产权的核心技术，并实现产品量产。MEMS惯性传感器行业是多学科融合的高科技领域，涉及物理/信息技术/机械/电子电路/半导体材料等，技术复杂程度高，工艺难度大。相对于传统惯性传感器而言，MEMS惯性传感器的技术难点在于保持自身低成本、小体积、可批量生产优势的前提下，达到传统惯性传感器的高精度。高性能MEMS惯性传感器的稳定量产对MEMS芯片设计及工艺方案、ASIC芯片设计、封装、测试等各个环节要求较高，需均具备相应的技术能力并建立完善的技术体系和工艺方案。芯动联科自主研发的高性能MEMS芯片采用自有专利技术设计，具有独特的驱动和检测结构，能有效地抑制质量块和电容检测结构对加速度的影响；同时公司自主研发了拥有完整、成熟算法的配套ASIC芯片，可以根据不同需求灵活、快速地调整ASIC模块的各项参数以获得最优的整体性能。据公司招股书，在技术水平方面，公司高性能MEMS惯性传感器产品已经达到行业内知名厂商同类产品的性能等级，在MEMS惯性传感器领域处于国际先进水平。

图表：芯动联科具备MEMS惯性传感器芯片设计、MEMS工艺方案开发、封装与测试能力

| 技术名称 | 说明 |
|----------|--|
| MEMS芯片技术 | 在MEMS芯片设计方面，公司采用自有专利技术设计，具有独特的驱动和检测结构，能有效地抑制质量块和电容检测结构对线加速度的影响。在驱动结构方面，全耦合的四质量块体系有效地抑制了振动对驱动模式的影响，创新的结构设计在保证高性能的前提下充分考虑了易量产性和环境适应性，最终能够满足客户不同惯性平台在不同应用场景下的差异化需求。 |
| ASIC芯片技术 | 在ASIC设计方面，公司建立了MEMS惯性传感器系统模型和仿真环境，掌握了MEMS闭环驱动、闭环检测、高性能低噪声数模混合IP模块等技术，并集成自适应、自校准、自补偿、自诊断等智能算法，相比传统惯性器件更易使用、成本更低、更智能。此外，公司自主研发的ASIC芯片可以支持开环、闭环等多种工作模式，可以根据用户实际需求进行相应配置，从而使同一款ASIC芯片可以适用于多款终端产品，以满足不同惯性平台在不同应用场景的差异化需求。 |
| 封装工艺方案 | 芯片封装具有机械支撑、电气连接、物理保护、应力缓和、散热防潮等多种功能。封装应力是影响MEMS惯性传感器性能的重要因素之一，可能导致零偏稳定性和标度因数稳定性变差、温度变化敏感等。公司通过对封装结构、材料和工艺方案的持续改进，可以显著降低封装应力对传感器性能的影响，同时提高抗冲击能力。 |
| 测试技术 | 与规模化批量测试的传统芯片不同，高性能MEMS惯性传感器芯片由体硅工艺加工形成，内部架构复杂，定制化产品较多，需要在长期的测试过程中不断摸索和提升与高性能MEMS惯性传感器匹配的测试技术，因此可进行定制化产品批量测试的单位较少。公司自研MEMS惯性传感器测试系统，包括硬件系统及相关测试软件，兼容陀螺仪和加速度计测试，可多只产品并行测试，自动分析传感器重要性能指标，提高了测试效率和产能。 |

图表：芯动联科技术特点

| 技术特点 | 说明 |
|---------------|--|
| MEMS芯片设计及工艺方案 | MEMS芯片主要功能是感应外界物理信号，高性能MEMS惯性传感器要求MEMS芯片具有高灵敏度、低噪声、高线性度、抗振动冲击能力强、易制造等特点，这对MEMS芯片设计和加工工艺提出了高要求。相比于标准CMOS制造工艺，MEMS代工厂一般仅提供基本工艺模块，公司根据具体MEMS芯片设计开发适宜的MEMS工艺方案，基本上一款MEMS芯片对应一套工艺方案；公司长时间深度参与晶圆代工厂的工艺方案开发，经多次设计、验证、流片迭代形成了自身竞争力较强的产品，技术门槛高，开发周期长。 |
| ASIC芯片设计 | 公司用于高性能MEMS惯性传感器的ASIC芯片需要对MEMS芯片进行驱动控制、信号检测、信号解调、误差补偿、运行状态控制、电源管理、外部通信，其设计涉及到系统算法开发、模拟电路设计、数字电路设计、后端实现、芯片验证等多个环节，是整个传感器的控制大脑。公司ASIC芯片设计水平高，较大程度上降低了产品的噪声水平，优化了重复性和非线性等指标，提升了惯性器件的性能。 |
| MEMS器件封装 | 公司综合考虑封装结构、材料和工艺条件对器件的影响，通过不断试验和持续改进，形成优化的封装工艺方案，降低封装应力对传感器性能的影响，同时提高器件的抗振动冲击能力，以满足工业应用对传感器在恶劣工况下连续稳定测量的需求。 |
| MEMS器件测试标定 | 高性能MEMS惯性传感器测试标定需要利用专用测试软硬件系统采集多温度点的静态和动态传感器输出数据，并对采集数据进行信号分析与处理，计算出优化后的传感器配置参数，再将配置参数写入ASIC芯片中。公司自研的MEMS惯性传感器成品测试系统，包括硬件及相关软件，可多只产品并行测试，自动数据处理，具有较高的测试效率。 |

图表：MEMS传感器具有一种产品一种工艺的特点，MEMS工艺可与传统集成电路CMOS工艺兼容

| 项目 | 标准CMOS工艺 | MEMS工艺 |
|------|---------------------|--|
| 结构 | 晶体管、电阻、电容等，无可动的机械构件 | MEMS结构和CMOS电路的集合体，其中MEMS结构负责感知信号，具有可动的机械构件，CMOS电路负责电性连接等功能 |
| 生产步骤 | 氧化、光刻、刻蚀、掺杂、沉积等 | 在部分CMOS工艺基础上增加深硅刻蚀、释放、抗粘连、键合等 |
| 作用原理 | 电信号的传递、放大、转换、整合等 | 将环境内的物理、生物、化学等信号转换为电信号 |
| 制造材料 | 通常以硅片作为开发基础 | 针对不同应用可选用低阻硅、压电材料、磁性材料、光敏材料等作为开发基础 |

3.1 专有技术独树一帜，高性能MEMS传感器技术达到国际先进水平

图表：MEMS陀螺仪的性能及技术水平是高性能MEMS惯性传感器行业技术水平的集中体现

| 公司名称（产品型号） | 技术水平 | | | 技术指标（零偏稳定性） |
|----------------------------|-----------------|-----------------|--|-------------|
| | 技术路线 | | | |
| | MEMS结构设计 | 电路设计 | 技术特点 | |
| Honeywell (HG4930) | 设计结构：双质量块音叉结构 | 分立电路，开环控制工作模式 | 可实现正交误差补偿 | 0.25° /h |
| ADI (ADIS16547) | 设计结构：四质量音叉结构 | ASIC电路，开环控制工作模式 | 可实现正交误差补偿 | 1.1° /h |
| Sensonor (STIM210) | 设计结构：蝶型结构 | ASIC电路，闭环控制工作模式 | 可实现正交误差补偿，模态匹配 | 0.3° /h |
| SiliconSensing (CRH03-010) | 设计结构：环形结构 | 分立电路，闭环控制工作模式 | 可实现正交误差补偿，模态匹配 | 0.03° /h |
| 芯动联科（陀螺仪33系列-HC-L1型号） | 设计结构：四质量全解耦音叉结构 | ASIC电路，闭环控制工作模式 | 全硅MEMS芯片工艺，可实现正交误差补偿，模态匹配，标度因数自补偿，标度因数自校准，耦合消除 | ≤0.05° /h |

图表：芯动联科专有技术具有独特技术内涵

| 项目 | 实现目标 | 其它代表性企业技术内涵 | 芯动联科技术内涵 |
|-----------------|------------------------------|--|---|
| MEMS芯片结构 | 检测科里奥利力，并将其转换为控制电路可识别的信号 | 双质量块音叉/四质量块音叉结构；双质量块音叉具有很高的环境鲁棒性，但是在驱动和检测模式上的对称性不足 | 四质量块全解耦音叉结构 ：具备四质量块结构的优点，同时能有效抑制振动对驱动模式的影响，在保证高性能的前提下考虑了产品易量产性和环境适应性，满足不同应用场景下的差异化需求 |
| 电路设计 | 检测MEMS芯片传输的信号，并转换为电信号 | 开环检测/闭环检测技术：开环检测技术下的产品标度因数指标较好、零偏稳定性等指标较差，闭环检测技术能够解决开环检测技术的问题，但刻度因子的重复性及动态噪声性能较差 | 闭环检测技术与标度因数自补偿技术 ：采用闭环检测技术提升零偏稳定性，并通过标度因数自补偿技术提高闭环检测模式下标度因数的重复性 |
| 去耦合 | 降低干扰信号对检测精度的影响 | 一部分企业采用频分工作降低耦合，但由于工艺上的失配，效果较差；另一部分企业采用时分工作降低耦合，但未考虑MEMS芯片结构寄生带来的影响 | 通过驱动和检测的精准时分工作，并考虑MEMS芯片结构寄生对时分工作有效性的影响 ，在一定程度上降低MEMS芯片结构设计、封装引入的驱动和检测的耦合，提高了陀螺仪系统的噪声性能，提升了稳定性与可靠性 |
| 模态匹配 | 将驱动模式、检测模式调整到一致的振动频率 | 固定、离线的模态匹配技术环境适应性较差；基于噪声和正交误差最大化的实时模态匹配技术对于输入信号与环境十分敏感 | 采用基于导频信号的实时模态匹配环路进行模态匹配 ，导频信号的频率和幅度灵活可调，环境适应能力强，具有真实环境适用性 |
| 正交误差补偿 | 修正加工过程中导致的实际输出信号相位和实际输入信号的误差 | 不能够独立控制质量块 | 结合ASIC算法，设置正交误差补偿电极 ，四质量块可实现分区控制 |
| 抗高过载 | 降低冲击带来的高过载对产品性能的影响 | 采用相同的阻挡结构间隙/尺寸 | 根据仿真和实验结果，结合弹性阻挡结构，以及闭环反馈结构， 设置不同阻挡间隙/尺寸 |

图表：高性能MEMS加速度计具有高灵敏度、环境适应性好，高精度等特点

| 公司名称（产品型号） | 技术水平 | | | 技术指标（零偏稳定性） |
|--------------------|----------|-----------------|-------------------------------------|-------------|
| | 技术路线 | | | |
| | MEMS结构设计 | 电路设计 | 技术特点 | |
| Honeywell (HG4930) | 跷跷板结构 | 分立电路，开环工作模式 | 以极简的设计和工艺实现了较高的精度 | 25 μg |
| Colibrys (MS1030) | 三明治结构 | ASIC数字输出，开环工作模式 | 特别的三明治结构和湿法腐蚀工艺实现了Z轴向敏感并达到较高灵敏度和可靠性 | 30 μg |
| ADI (ADXL357) | 梳齿结构 | ASIC数字输出，开环工作模式 | 极小面积下实现了单片三轴的较高精度 | 10 μg |
| 美泰科技 (8000D) | 梳齿结构 | ASIC数字输出，开环工作模式 | 通过较高的封装工艺实现了对应力的不敏感 | ≤100 μg |
| 芯动联科（加速度计35系列） | 阵列梳齿结构 | ASIC数字输出，开环工作模式 | 全硅工艺、可实现误差在线补偿与抑制技术 | ≤20 μg |

3.1 MEMS惯性传感器技术精益求精，三代产品性能节节提升

芯动联科主要产品为MEMS陀螺仪和加速度计，并提供MEMS惯性传感器相关的技术服务，产品经历三次迭代性能节节高升，第四代产品研发进行中。芯动联科成立于2012年，2015年公司第一代高性能MEMS陀螺仪研制成功；2017年，第二代高性能MEMS陀螺仪规模量产；2018年，高性能MEMS加速度计规模量产；2019年，第三代高性能MEMS陀螺仪规模量产，第四代高性能MEMS陀螺仪项目立项，性能预期比目前在售最高性能陀螺指标提升一个量级；目前公司仍在进行第四代高性能MEMS陀螺仪迭代研发以及新产品的研制，预计2025年下半年后量产。从第一代陀螺仪产品研制成功到第三代陀螺仪产品量产，芯动联科的MEMS产品经历了研发、验证及批量应用的产品周期，迭代周期约为2年；由于第三代产品性能优异，主要指标已经达到国际先进水平，因此第四代产品性能精进具有一定难度，迭代周期相对前三代产品的迭代周期较长。高性能MEMS惯性传感器具有技术壁垒高、研发周期长、生命周期长等特点，同时其应用领域多为高可靠、高端工业、无人系统、自动驾驶等高端领域，与客户需求需要较长的时间磨合，且在客户成功导入该产品后更换型号的成本较高、时间周期较长，因此产品和对应的技术迭代周期也相对较长。

图表：芯动联科产品迭代历程

| 时间 | 历程回顾 | 研发情况 |
|---------|--|--|
| 2012年7月 | 创始团队通过MEMSLink以及北京芯动以4项MEMS陀螺仪相关专利和3项专有技术出资设立芯动联科前身芯动有限，芯动有限成立后，一直处于前期研发投入阶段 | 为保证出资专利、技术的成功转化，创始团队带领华亚平、张晰泊等研发团队开展初代陀螺仪产品的研制工作，其中金晓冬与宣佩琦带领张晰泊等研发团队负责ASIC芯片设计工作，毛敏耀带领华亚平等研发团队主要负责MEMS芯片设计工作。 |
| 2015年6月 | 第一代高性能MEMS陀螺仪研制成功 | |
| 2017年6月 | 第二代高性能MEMS陀螺仪规模量产 | 2015年-2017年，金晓冬、宣佩琦、张晰泊等研发团队负责ASIC芯片设计工作，毛敏耀、华亚平等研发团队主要负责MEMS芯片设计工作，共同主导研制出了第二代陀螺仪产品并实现规模量产；创始团队决定将主要研发工作逐步过渡给以华亚平、张晰泊等为核心的研发团队。 |
| 2019年3月 | 第三代高性能MEMS陀螺仪规模量产 | 第二代陀螺仪成功量产，由华亚平、张晰泊等开始主导公司的核心研发工作，其中华亚平等研发团队主要负责MEMS芯片设计工作，张晰泊等研发团队负责ASIC芯片设计工作。 |
| 2019年 | 第四代高性能MEMS陀螺仪研发立项 | 华亚平、张晰泊等人主导研发工作的各个环节。 |

图表：芯动联科专利及专有技术预计使用寿命为18-20年

| 项目 | 预计使用寿命依据 | 期限（年） |
|---------|----------|-------|
| 软件 | 预计受益期限 | 5-10 |
| 专利及专有技术 | 预计受益期限 | 18-20 |

图表：国际知名厂商高性能MEMS惯性传感器产品具有较长生命周期

| 公司 | 产品 | 产品生命周期 |
|-----------------|---------------------------|--|
| Honeywell | 惯性测量单元HG1930 | 2005年HG1930研制成功，截至目前HG1930仍在Honeywell官网出售 |
| Silicon Sensing | VSG5 | 2010年，Silicon Sensing推出VSG5，截至目前仍用于其在其在售产品CRM200、CMS300、DMU11中 |
| Sensoror | 高性能MEMS陀螺仪STIM202&STIM210 | 2009年，Sensoror开始生产高性能陀螺仪STIM202&STIM210，截至目前STIM202&STIM210仍作为公司主要产品销售 |

图表：芯动联科产品迭代性能有较大提升

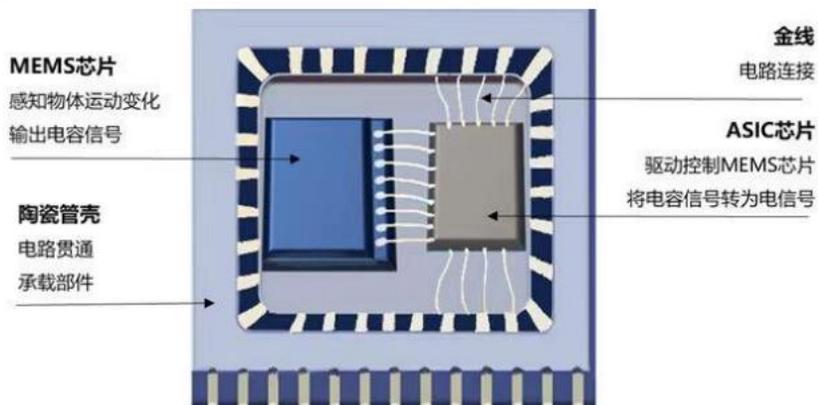
| 产品系列 | 一代产品 | 二代产品 | 三代产品 |
|----------------|---------|----------|---------|
| | - | 陀螺仪20L系列 | 陀螺仪33系列 |
| 量程 (° /s) | - | 400 | |
| 零偏稳定性 (° /h) | 1 | 0.3 | 0.05 |
| 标度因数精度 (ppm) | 500 | 200 | 100 |
| 角度随机游走 (° /√h) | - | 0.15 | 0.15 |
| 体积 (mm³) | 15*15*2 | 10*10*2 | 10*10*2 |
| 重量 (g) | 2 | 1 | 1 |
| 零偏重复性 (° /h) | 10 | 3 | 3 |

3.2 产品优势：高性能、高集成、小型化、低成本彰显市场竞争力

芯动联科MEMS陀螺仪采用静电驱动、电容检测的开环闭环兼容的工作模式，主要特点为：基于SOI体硅工艺采用独特的多质量块全对称解耦结构设计及自校准自补偿电极，在保持高性能的前提下易生产，对温度不敏感，同时能够起到对冲击和振动的抑制作用。MEMS陀螺仪的核心是一颗微机械（MEMS）芯片，一颗专用控制电路（ASIC）芯片及应力隔离封装。工作原理为：采用半导体加工技术在硅晶圆上制造出的MEMS芯片，在ASIC芯片的驱动控制下感应外部待测信号并将其转化为电容、电阻、电荷等信号变化，ASIC芯片再将上述信号变化转化成电信号，最终通过封装将芯片保护起来并将信号输出，从而实现外部信息获取与交互的功能。芯动联科MEMS芯片采用多质量块差分解耦结构，具有优良的正交误差抑制能力、抗振动特性以及温度特性，有利于保持陀螺仪运行中的稳定性和测量精准性；ASIC芯片可以实现微小电容检测，使陀螺仪具有较高的灵敏度，同时兼容开环和闭环检测的ASIC芯片可以根据应用要求配置成合适的模式，应用适应性强。MEMS陀螺仪的数模混合ASIC具备自校准、自诊断、自标定、自适应等算法，相比传统惯性器件具有易使用、低成本、更智能等特点，同时实现了批量化生产。

高性能MEMS陀螺仪核心性能指标已达到国际先进水平，亦可达到部分光纤陀螺仪和激光陀螺仪等传统陀螺仪精度水平。芯动联科陀螺仪33系列的零偏稳定性 $\leq 0.1^\circ/h$ ，角度随机游走 $\leq 0.05^\circ/\sqrt{h}$ ，标度因数精度 $\leq 100ppm$ 。与代表性两光陀螺仪相比，33系列性能优于Honeywell激光陀螺仪HG1700型号和Emcore光纤陀螺仪EG200型号，性能接近Honeywell激光陀螺仪HG5700型号和Emcore光纤陀螺仪EG1300型号，但产品体积、重量和价格明显低于上述激光陀螺和光纤陀螺产品；和世界范围内高性能硅基MEMS的代表性量产产品相比，33系列零偏稳定性指标优于HG4930中的陀螺仪，比肩CRH03-400陀螺仪，在高性能硅基MEMS陀螺仪领域处于国际先进地位。

图表：MEMS陀螺仪内部结构示意图



图表：芯动联科高性能MEMS陀螺仪具有高性能、小体积、轻量化、低成本优势

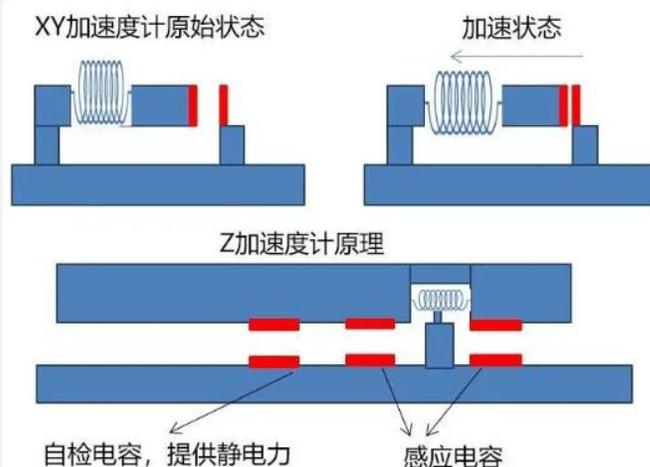
| 性能指标 | 指标说明 | 导航级 | Honeywell HG1700 (激光陀螺仪) | Emcore EG200 (光纤陀螺仪) | Honeywell HG5700 (激光陀螺仪) | Emcore EG1300 (光纤陀螺仪) | Honeywell HG4930 (含MEMS陀螺仪) | SiliconSensing CRH03 (MEMS陀螺仪) | Sensoror STIM210 (MEMS陀螺仪) | 芯动联科陀螺仪33系列 (MEMS陀螺仪) |
|------------------------------|---|-----------|--------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 零偏稳定性 ($^\circ/h$) | 稳定性指标越小，自主导航时间越长 | 0.01-0.15 | 0.25 | 1 | 0.02 | 0.01 | 0.25 | 0.12 | 0.3 | ≤ 0.1 |
| 角度随机游走 ($^\circ/\sqrt{h}$) | 反映角速率信号中白噪声的特性，姿态控制系统精度的主要误差源，数值越小代表误差越小，测量精度越高 | 0.01-0.05 | 0.125 | 0.04 | 0.012 | 0.002 | 0.04 | 0.017 | 0.15 | ≤ 0.05 |
| 标度因数精度 (ppm) | 动态输入下衡量陀螺测量是否准确，数值越小测量精度越高 | 1-100 | 150 | 100 | 10 | 50 | - | 200 | 500 | ≤ 100 |
| 产品体积 (立方毫米) | - | - | - | 83.8*83.8*20.3 | - | 83.8*83.8*20.3 | - | 29.0*24.0*17.4 | 44.8*38.6*21.5 | 11*11*2 |
| 产品重量 (克) | - | - | - | 127 | - | 380 | - | 18 | 52 | 1 |
| 平均价格 (单轴) (美元) | - | - | - | 12554 | - | 28129 | - | 1384 | - | 1100 |

3.2 产品优势：高性能、高集成、小型化、低成本彰显市场竞争力

芯动联科MEMS加速度计通过分散式多单元结构的设计，使MEMS敏感结构具有高灵敏度、低漂移、低温度系数、良好的重复性等特性，处于国际先进水平。MEMS加速度计主要包含加速度计敏感结构和ASIC芯片，ASIC芯片由电容/电压变换电路和数字部分组成。敏感结构将线加速度的变化转换为电容的变化量，最终通过专用集成电路读出电容值的变化，得到物体运动的加速度值。芯动联科MEMS加速度计基于SOI体硅工艺制造，配以高性能ASIC电路，可以实现 μg 级加速度测量精度。加速度计35系列为公司目前主要量产的MEMS加速度计系列产品，Colibrys的MS1030是目前已知可以购买的较优性能的单轴导航级模拟输出MEMS加速度计，ADI公司的ADXL357为目前世界上较高性能的单片三轴MEMS加速度计芯片之一，美泰科技8000D为目前其已经量产的MEMS加速度计代表性产品。零偏稳定性方面，芯动联科加速度计35系列优于Honeywell的HG4930系列和Colibrys的MS1030系列，优于美泰科技8000D系列中的部分产品，可达到ADI的ADXL357系列产品的零偏稳定性；在线速度随机游走和标度因数精度等指标方面，芯动联科加速度计35系列产品均优于上述同行业竞争对手的产品。

技术加持，服务增值。基于在MEMS惯性传感器芯片领域多年的研发设计和工艺方案积累，芯动联科掌握了较为系统、成熟的MEMS惯性传感器芯片设计及工艺方案。除了销售惯性传感器产品，芯动联科可以根据不同MEMS工艺开发验证需求进行定制设计，通过验证后转化为能用于MEMS芯片制造的工艺方案，并向客户交付一定数量的样品；根据客户特定产品需求，按照设定的技术指标进行定制化开发。

图表：MEMS加速度计基本原理（电容式）



图表：国内外知名MEMS生产厂商产品及技术对比

| 公司 | 产品及技术水平对比 |
|-----------------|---|
| Honeywell | Honeywell产品线较广，主要产品包括MEMS惯性传感器、激光传感器及相关惯性传感器系统。陀螺仪方面，Honeywell的MEMS陀螺仪是行业内战术级陀螺仪的标杆产品；加速度计方面，MEMS加速度计和石英加速度计可达到导航级和战术级水平，石英加速度计是该产品的行业标杆产品。目前Honeywell正推动高性能MEMS传感器替代光学陀螺仪。 |
| ADI | ADI主要产品为MEMS陀螺仪和MEMS加速度计，技术水平领先，产品耐环境能力强，性能覆盖工业级和低端战术级，在工业级陀螺仪领域具备较大影响力。 |
| Silicon Sensing | Silicon Sensing主要产品为MEMS陀螺仪，技术较为先进，产品耐环境能力强，性能覆盖工业级，战术级。 |
| Sensoror | Sensoror主要产品为三轴陀螺仪模块和IMU。产品主要以战术级为主。 |
| Colibrys | Colibrys产品有战术级MEMS加速度计和导航级加速度计。因其技术迭代慢，输出非数字化，市场份额呈下降趋势。 |
| 美泰科技 | 美泰科技产品有战术级MEMS加速度计，在国内加速度计产品领域具有一定的市场地位。 |
| 芯动联科 | 芯动联科主要产品为MEMS陀螺仪与MEMS加速度计，高性能MEMS陀螺仪、加速度计的核心性能指标可达到导航级精度，处于国际领先水平。 |

图表：芯动联科高性能 MEMS 加速度计可达到导航级水平

| 指标 | 指标说明 | 导航级水平 | Honeywell (HG4930) | Colibrys (MS1030) | 美泰科技 (8000D) | ADI (ADXL357) | 芯动联科 (加速度计35系列) |
|--|-------------------------------|---------|--------------------|-------------------|--------------|---------------|-----------------|
| 零偏稳定性 (μg) | 零偏稳定性指标越小，自主导航时间越长 | 5-50 | 25 | 30 | ≤ 100 | 10 | ≤ 20 |
| 线速度随机游走 ($\mu\text{g}/\sqrt{\text{hz}}$) | 反映加速度信号中白噪声的特性，姿态控制系统精度的主要误差源 | - | 30 | 100 | 50 | 110 | ≤ 50 |
| 标度因数精度 (ppm) | 动态输入下衡量加速度计测量是否准确，数值越小测量精度越高 | < 500 | 500 | 2,000 | 3,000 | 13,000 | ≤ 500 |
| 平均价格 (单轴) (美元) | - | - | - | 263 | 300 | - | 200 |

3.3 业务模式：Fabless模式下专注于MEMS惯性传感器芯片研发设计

芯动联科采用Fabless经营模式运作，专注于MEMS惯性传感器芯片的研发、测试和销售，将晶圆制造、芯片封装环节交由专业的晶圆制造厂商和封装厂商完成，在取得芯片成品并完成测试后对外销售。集成电路行业根据是否自建晶圆生产线及封装测试生产线，将经营模式主要分为IDM模式（Integrated Device Manufacturing，垂直分工模式）和Fabless模式（Fabless-foundry model，无晶圆厂制造模式）。IDM企业能独立完成从芯片设计到产品制造的所有环节，对企业资产实力、技术水平和业务规模等方面具有较高的要求，因此只有少数国际大型半导体企业采用该种模式。Fabless模式中产业链各环节由不同企业专业化分工进行，芯片设计企业主要从事产品的研发设计和销售，对集成电路设计企业的资金及规模要求相对较低。Fabless模式下，芯动联科专注于MEMS芯片设计，同时与MEMS晶圆代工厂合作开发适用于公司传感器产品的MEMS工艺方案，以及与封装厂合作开发MEMS惯性传感器封装方案，以保证产品的品质和良率，提高传感器芯片产品的性价比和市场竞争能力；此外，为了满足客户的多样化需求，芯动联科自主研发了专用测试系统，可对产品进行测试标定，满足了客户高定制化、高检测效率的需求。

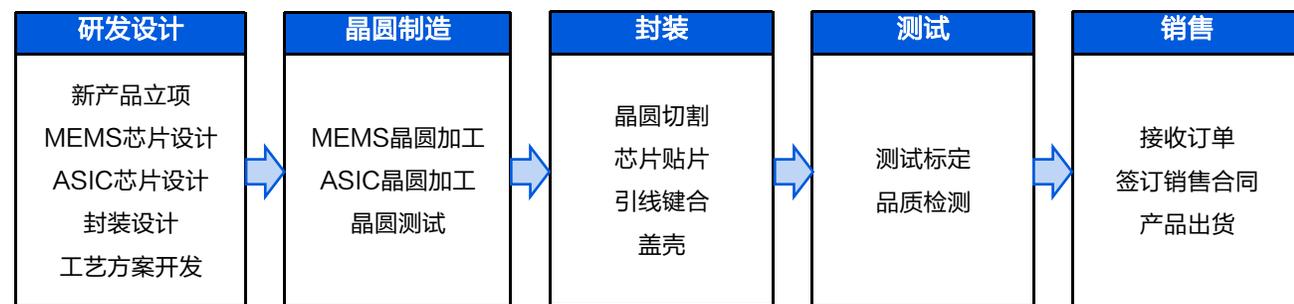
图表：芯动联科主要经营模式

| 项目 | 说明 |
|---------|--|
| 研发模式 | Fabless经营模式下，产品设计研发属于公司的核心环节，涉及到市场销售部、研发部、生产运营部、质量部等多个部门的分工合作。公司构建了产品研发流程和质量控制体系，将产品研发划分为概念、计划、开发、验证、试生产和量产等六个阶段；此外，公司MEMS芯片采用的MEMS体硅加工工艺具有非标准化的特点，MEMS晶圆代工厂只提供基础工艺模块，公司需要根据自身MEMS芯片设计的特点开发与之匹配的MEMS工艺方案，并导入晶圆代工厂，以达到批量生产目标。 |
| 采购和生产模式 | 市场销售部每年编制下一年度的销售计划，每月滚动更新未来六个月的销量预测，生产运营部根据年度需求计划下达采购订单；公司将完成的芯片设计交付晶圆代工厂进行晶圆加工，MEMS晶圆的生产周期通常为9-12个月，ASIC晶圆的生产周期通常为3-6个月，由于晶圆采购周期较长，公司需要根据市场情况进行一定量的备货；晶圆生产完成并入库，经测试合格之后由封装厂进行封装，再由公司进行产品测试与标定。 |
| 销售模式 | 公司目前主要采取直销和经销相结合的模式进行产品销售：直销模式下，客户直接向公司下订单；经销模式下，经销商可以帮助公司快速建立销售渠道、扩大市场份额，实现产品和资金的较快周转，节省资金及资源投入，有利于公司将主要精力投入到产品研发及供应链管控环节。 |

图表：大部分集成电路设计企业均采用Fabless模式

| Fabless模式优势 | 说明 |
|-------------|--|
| 降低成本 | 无需自建晶圆加工厂，大幅降低了资本投入和时间成本，也降低了大规模固定资产投资带来的财务风险 |
| 减小损耗 | 能够根据客户订单需求来制定生产计划，避免需求不足时生产线闲置的损耗 |
| 专注技术 | 使公司更专注于MEMS惯性传感器芯片的研发设计及市场推广，建立自己的技术优势，提升产品性能，树立公司品牌 |

图表：芯动联科主要业务流程图



图表：芯动联科直销和经销模式实现的主营收入占比情况

| 项目 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 2023年度 |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 直销 | 55.42% | 78.36% | 88.15% | 82.73% |
| 买断式经销 | 44.58% | 21.64% | 11.85% | 17.27% |

3.3 主营业务：陀螺仪&加速度计逐步放量，带动营收持续增长

芯动联科主营业务收入来自于MEMS陀螺仪和加速度计的销售以及提供MEMS惯性传感器相关的技术服务，另外公司根据客户的定制化需求，将MEMS陀螺仪和加速度计组合为惯性测量单元进行销售；当前公司业务重点在于基础惯性器件的研发与销售，主要收入来源于MEMS陀螺仪和MEMS加速度计。2019-2023年，芯动联科陀螺仪的收入分别为6795.11/8436.44/13309.31/18291.48/26041.05万元，呈快速增长趋势，主要因为随着公司客户进入试产和量产阶段的项目逐年增多，主要产品销量快速增长，其中尤以陀螺仪20L系列和陀螺仪33系列为代表；加速度计的收入分别为547.20/1811.00/2173.81/1369.05/1651.54万元，2022年受宏观因素影响，公司某客户的下游客户项目推后，加速度计35型号采购量减少，使得当年加速度计收入下降。2019-2023年，芯动联科惯性传感器产量分别为16559/31929/51819/78052/122441只，销量分别为16540/30447/53873/80728/121949只，产销量逐年上升；公司采用阶梯定价策略，随着客户采购数量的逐年增加，给予客户价格的优惠加大，主要产品的销售价格整体下降，公司主营业务发展态势良好。

图表：芯动联科主营业务构成情况

| 项目 | 2019年度 | | 2020年度 | | 2021年度 | | 2022年度 | | 2023年度 | | 2024H1 | |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 金额 (亿元) | 占比 |
| MEMS陀螺仪 | 0.68 | 85.52% | 0.84 | 77.96% | 1.33 | 80.25% | 1.83 | 80.70% | 2.60 | 82.13% | 1.23 | 89.43% |
| MEMS加速度计 | 0.05 | 6.89% | 0.18 | 16.74% | 0.22 | 13.11% | 0.14 | 6.04% | 0.17 | 5.21% | 0.10 | 7.62% |
| 惯性测量单元 | 0.01 | 1.12% | 0.01 | 0.62% | 0.01 | 0.62% | 0.10 | 4.36% | 0.23 | 7.12% | 0.04 | 2.94% |
| 技术服务 | 0.05 | 6.47% | 0.05 | 4.68% | 0.10 | 6.03% | 0.20 | 8.91% | 0.18 | 5.55% | - | - |
| 合计 | 0.79 | 100.00% | 1.08 | 100.00% | 1.66 | 100.00% | 2.27 | 100.00% | 3.17 | 100.00% | 1.37 | 100.00% |

图表：芯动联科主要产品型号试产和量产应用的数量

| 产品类别 | 型号 | 2019年度 | | 2020年度 | | 2021年度 | | 2022年度 | |
|------|------|--------|----|--------|----|--------|----|--------|----|
| | | 试产 | 量产 | 试产 | 量产 | 试产 | 量产 | 试产 | 量产 |
| 陀螺仪 | 20L | 4 | 0 | 5 | 4 | 9 | 8 | 16 | 12 |
| | 21L | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| | 21H | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| | 32系列 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 |
| | 33系列 | 1 | 0 | 2 | 0 | 5 | 3 | 10 | 5 |
| | 合计 | 7 | 1 | 10 | 5 | 20 | 13 | 37 | 19 |
| 加速度计 | 35系列 | 0 | 0 | 7 | 0 | 7 | 4 | 9 | 5 |
| | 36系列 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 1 |
| | 合计 | 0 | 0 | 7 | 0 | 10 | 4 | 12 | 6 |

图表：芯动联科各型号产品销售收入及占比情况

| 产品类别 | 型号 | 2019年度 | | 2020年度 | | 2021年度 | | 2022年度 | |
|------|------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | | 销售收入 (万元) | 占比 |
| 陀螺仪 | 20L | 2088.08 | 30.73% | 3390.97 | 40.19% | 6223.79 | 46.76% | 12192.34 | 66.66% |
| | 33系列 | 253.66 | 3.73% | 1777.19 | 21.07% | 3525.97 | 26.49% | 2907.65 | 15.90% |
| | 32系列 | 2644.63 | 38.92% | 1115.04 | 13.22% | 1121.84 | 8.43% | 185.25 | 1.01% |
| | 21H | 142.50 | 2.10% | 468.80 | 5.56% | 949.62 | 7.14% | 1249.13 | 6.83% |
| | 21L | 35.39 | 0.52% | 186.07 | 2.21% | 521.75 | 3.92% | 1006.88 | 5.50% |
| | 20H | 909.31 | 13.38% | 178.00 | 2.11% | - | - | - | - |
| | 其它 | 721.54 | 10.62% | 1320.37 | 15.65% | 966.34 | 7.26% | 750.23 | 4.10% |
| | 合计 | 6795.11 | 100.00% | 8436.44 | 100.00% | 13309.31 | 100.00% | 18291.48 | 100.00% |
| 加速度计 | 35系列 | 208.43 | 38.09% | 1152.84 | 63.66% | 1461.20 | 67.22% | 1040.43 | 76.00% |
| | 36系列 | 50.27 | 9.19% | 45.11 | 2.49% | 213.73 | 9.83% | 257.30 | 18.79% |
| | 其它 | 288.50 | 52.72% | 613.05 | 33.85% | 498.88 | 22.95% | 71.32 | 5.21% |
| | 合计 | 547.20 | 100.00% | 1811.00 | 100.00% | 2173.81 | 100.00% | 1369.05 | 100.00% |

资料来源：芯动联科招股书及公司公告，iFinD，国海证券研究所

3.3 主营业务：陀螺仪&加速度计逐步放量，带动营收持续增长

图表：芯动联科陀螺仪和加速度计产品整体销售量快速增长（销量单位：万只）

| 产品类别 | 型号 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | CAGR |
|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 陀螺仪 | 20L | 0.72 | 1.29 | 2.60 | 5.82 | 100.54% |
| | 33系列 | 0.03 | 0.23 | 0.50 | 0.38 | 143.25% |
| | 32系列 | 0.44 | 0.15 | 0.18 | 0.03 | -58.51% |
| | 21H | 0.02 | 0.06 | 0.11 | 0.14 | 99.67% |
| | 21L | 0.01 | 0.05 | 0.19 | 0.33 | 253.00% |
| | 20H | 0.10 | 0.02 | - | - | -76.91% |
| | 其它 | 0.10 | 0.26 | 0.16 | 0.14 | 12.82% |
| | 合计 | 1.41 | 2.06 | 3.75 | 6.85 | 69.40% |
| 加速度计 | 35系列 | 0.13 | 0.79 | 1.17 | 0.81 | 82.49% |
| | 36系列 | 0.03 | 0.03 | 0.13 | 0.17 | 73.94% |
| | 其它 | 0.05 | 0.17 | 0.33 | 0.07 | 12.97% |
| | 合计 | 0.21 | 0.98 | 1.63 | 1.05 | 70.48% |

图表：芯动联科采用阶梯定价，随着产品销量增长给予客户价格优惠（价格单位：元）

| 产品类别 | 型号 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | CAGR |
|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 陀螺仪 | 20L | 2894.08 | 2619.11 | 2389.72 | 2095.41 | -10.20% |
| | 33系列 | 9500.30 | 7716.85 | 6987.65 | 7566.11 | -7.31% |
| | 32系列 | 6055.94 | 7278.33 | 6263.79 | 5937.54 | -0.66% |
| | 21H | 8005.47 | 8431.58 | 8562.84 | 8815.31 | 3.26% |
| | 21L | 4718.87 | 4001.41 | 2728.80 | 3052.07 | -13.52% |
| | 20H | 9250.34 | 7841.41 | - | - | -15.23% |
| | 其它 | 7169.52 | 5143.57 | 6112.25 | 5191.80 | -10.20% |
| | 平均单价 | 4822.17 | 4095.95 | 3550.76 | 2670.21 | -17.88% |
| | 加速度计 | 35系列 | 1560.12 | 1464.85 | 1251.35 | 1281.48 |
| 36系列 | | 1570.93 | 1582.66 | 1675.04 | 1527.89 | -0.92% |
| 其它 | | 6340.53 | 3670.99 | 1509.47 | 1087.08 | -44.45% |
| 平均单价 | | 2592.12 | 1843.26 | 1337.07 | 1308.96 | -20.37% |

图表：芯动联科战术级产品销售金额占比较大，导航级产品占比呈上升趋势

| 产品类别 | 性能级别 | 指标 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|------|------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 陀螺仪 | 导航级 | 金额（万元） | 396.16 | 2245.99 | 4475.59 | 3973.79 |
| | | 占比 | 5.83% | 26.62% | 33.63% | 21.72% |
| | | 毛利率 | 95.51% | 93.40% | 92.54% | 94.35% |
| | 战术级 | 金额（万元） | 6398.96 | 6190.45 | 8833.72 | 14317.69 |
| | | 占比 | 94.17% | 73.38% | 66.37% | 78.28% |
| | | 毛利率 | 90.26% | 87.65% | 83.41% | 84.32% |
| 加速度计 | 导航级 | 金额（万元） | - | 16.19 | 4.20 | 65.87 |
| | | 占比 | - | 0.89% | 0.19% | 4.81% |
| | | 毛利率 | - | 69.95% | 78.73% | 79.45% |
| | 战术级 | 金额（万元） | 547.20 | 1794.80 | 2169.61 | 1303.18 |
| | | 占比 | 100.00% | 99.11% | 99.81% | 95.19% |
| | | 毛利率 | 90.98% | 82.49% | 76.75% | 78.67% |

图表：与同行业上市公司相比，芯动联科主营业务毛利率维持在较高水平

| 公司名称 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 敏芯股份 | 35.52% | 35.00% | 25.75% | 16.79% |
| 睿创微纳 | 63.13% | 58.45% | 46.93% | 50.51% |
| 星网宇达 | 47.52% | 46.74% | 44.63% | 35.76% |
| 理工导航 | 38.00% | 37.07% | 37.32% | 2.52% |
| 平均数 | 46.04% | 44.32% | 38.66% | 26.39% |
| 芯动联科 | 88.25% | 85.47% | 85.97% | 83.01% |

注：目前国内A股上市公司中暂无与芯动联科在细分业务领域完全可比的竞争对手，但为便于进行财务数据的比较，选取与公司的产品均属于MEMS传感器，但应用领域不同的企业，包括敏芯股份（主要产品为消费级MEMS传感器产品）、睿创微纳（产品包括非制冷红外热成像MEMS芯片等），以及A股上市公司从事MEMS或同类产品产业链下游应用领域的企业，包括星网宇达（信息感知产品中包含MEMS组合导航）、理工导航（主要产品为惯导系统及光纤陀螺仪等）。

3.3 业务上游：晶圆制造等供应商多元化供应保质求稳

晶圆制造等供应商多元化供应保质求稳。芯动联科不直接从事芯片的生产和加工，主要采购MEMS晶圆、ASIC晶圆、封装服务、技术服务等，其中采购的MEMS晶圆尺寸主要是6英寸晶圆和8英寸晶圆，采购的ASIC晶圆主要是8英寸晶圆。芯动联科主要的晶圆供应商为ERA Spread Limited、北方电子院安徽公司、上海花壳电子科技有限公司、供应商X、供应商V，其中公司通过ERA Spread Limited采购供应商Y的晶圆，通过上海花壳电子科技有限公司采购供应商X的晶圆，公司的晶圆代工厂主要为供应商Y、供应商X、北方电子院安徽公司和供应商V。供应商Y、供应商X、北方电子院安徽公司和供应商V均为国际或者国内知名的晶圆代工厂，拥有1条以上的晶圆生产线，年产能较为充足，供应较为稳定。

图表：芯动联科向前五名供应商采购情况

| 2020年度 | | | 2021年度 | | | 2022年度 | | |
|----------------------|------------------|----------|----------------------|-------------|----------|----------------------|------------------|----------|
| 供应商名称 | 采购内容 | 占采购总额的比例 | 供应商名称 | 采购内容 | 占采购总额的比例 | 供应商名称 | 采购内容 | 占采购总额的比例 |
| ERA Spread Limited | MEMS晶圆 | 33.24% | ERA Spread Limited | MEMS晶圆 | 45.95% | 安徽北方微电子有限公司 | MEMS晶圆、封装服务和技术服务 | 33.34% |
| 安徽北方微电子有限公司 | MEMS晶圆、封装服务和技术服务 | 19.26% | 安徽北方微电子有限公司 | MEMS晶圆和封装服务 | 20.81% | ERA Spread Limited | MEMS晶圆 | 25.31% |
| MEMSLink Corporation | ASIC晶圆和技术服务 | 16.90% | MEMSLink Corporation | 技术服务 | 14.26% | 上海花壳电子科技有限公司 | MEMS晶圆 | 14.97% |
| 上海花壳电子科技有限公司 | MEMS晶圆 | 14.78% | 上海花壳电子科技有限公司 | MEMS晶圆 | 8.77% | MEMSLink Corporation | 技术服务 | 10.16% |
| 供应商W | 管壳等其他材料 | 5.42% | 供应商V | ASIC晶圆 | 2.78% | 供应商W | 管壳等其他材料 | 3.30% |
| 合计 | | 89.60% | 合计 | | 92.57% | 合计 | | 87.08% |

图表：芯动联科采购情况

| 项目 | | 2020年度 | | 2021年度 | | 2022年度 | |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 金额(万元) | 占比 | 金额(万元) | 占比 | 金额(万元) | 占比 |
| 晶圆 | MEMS晶圆 | 1401.75 | 53.33% | 2402.78 | 61.47% | 2966.04 | 51.10% |
| | ASIC晶圆 | 88.94 | 3.38% | 111.10 | 2.84% | 163.48 | 2.82% |
| | 合计 | 1490.69 | 56.72% | 2513.88 | 64.32% | 3129.52 | 53.92% |
| 封装服务 | | 321.84 | 12.24% | 579.12 | 14.82% | 764.13 | 13.16% |
| 技术服务 | | 491.20 | 18.69% | 562.90 | 14.40% | 1187.68 | 20.46% |
| 其他 | | 324.60 | 12.35% | 252.78 | 6.47% | 722.98 | 12.46% |
| 总计 | | 2628.33 | 100.00% | 3908.69 | 100.00% | 5804.30 | 100.00% |

图表：芯动联科MEMS 晶圆、ASIC 晶圆采购单价和封装服务单位成本

| 项目 | | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | CAGR |
|-------------|-------|----------|----------|----------|--------|
| MEMS晶圆 | (元/片) | 42003.88 | 42390.78 | 43196.38 | 1.41% |
| | (元/颗) | 266.41 | 251.21 | 231.05 | -6.87% |
| ASIC晶圆(元/片) | (元/片) | 5201.40 | 6241.75 | 6239.62 | 9.53% |
| 封装服务(元/颗) | (元/颗) | 51.12 | 53.94 | 54.68 | 3.42% |

图表：芯动联科主要晶圆代工厂情况

| 公司名称 | 公司基本情况 | 产能情况 |
|-----------|---------------------------------|---|
| 供应商Y | 成立多年，为全球领先的MEMS代工厂之一 | 有3条MEMS晶圆生产线：拥有2条6英寸产线及1条8英寸产线，年产能1万片晶圆以上 |
| 供应商X | 成立多年，为全球领先的MEMS代工厂之一 | 拥有一座MEMS晶圆工厂，包含2条8英寸产线，年产能8.4万片 |
| 北方电子院安徽公司 | 成立于2012年，位于安徽省蚌埠市，为国内知名的MEMS代工厂 | 目前拥有1条6英寸MEMS晶圆生产线，年产能能为4万片左右 |
| 供应商V | 成立多年，为知名晶圆代工厂 | 年产能千万片以上 |

3.3 业务下游：高可靠等领域客户深度合作，业务可持续性较强

高可靠领域收入占比超七成，产品高毛利率可持续，用户粘性较强。芯动联科高性能MEMS惯性器件产品主要应用于高端工业、无人系统、高可靠等领域。2019-2022年，公司在高可靠应用领域分别实现收入5575.02/8618.04/12648.83/17049.65万元，占同期主营业务收入比分别为70.17%/79.64%/76.27%/75.22%，是公司收入构成及收入增长主要构成部分。高可靠等领域的最终用户通常需要经过2-5年时间决定是否导入某上游核心配套产品，一旦选用具体产品后，基于整个应用路线的可靠性、稳定性、一致性及替代成本等方面考虑，一般不会更换其主要设备及其核心配套产品供应商，并在其后续的产品升级、技术改进中与供应商进行持续合作，因此公司产品订单持续性和用户粘性较强。此外，高可靠领域产品具有高性能、高毛利特征，芯动联科的主要产品MEMS陀螺仪和MEMS加速度计核心性能指标已达到国际先进水平，销售价格较高，同时上述产品借助半导体技术实现了批量化生产，生产成本低于传统的惯性传感器，导致单位成本较低，公司主营业务毛利率较高。

下游用户以大型央企集团及科研院所为主，合作关系稳定。芯动联科产品的主要用户群体为从事惯性技术开发、应用的大型央企集团及科研院所，上述单位长期以来也是承担惯性技术专项任务的单位。芯动联科部分民营企业客户属于模组组装或集成厂商，基于其下游用户（主要为大型央企集团及科研院所）的需求，从公司大量采购高性能MEMS惯性传感器，主要用于进一步生产惯性模组及惯性系统等产品进行销售。2019-2022年，芯动联科产品直接或间接（统计前五大民营直销客户）向大型央企集团及科研院所销售金额占比分别为69.59%/73.35%/66.55%/65.83%，占比较高。整体而言，目前公司的产品已得到国内惯性传感器下游主流厂商的认可，与高端工业、无人系统及高可靠领域的科研院所和央企集团建立了良好的合作关系。

图表：芯动联科产品下游应用领域主要为高端工业、无人系统、高可靠

| 下游应用领域 | 指标 | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|--------|------------|---------|---------|----------|----------|
| 高端工业 | 主营业务收入（万元） | 771.26 | 1470.76 | 2122.11 | 3304.01 |
| | 占比 | 9.71% | 13.59% | 12.80% | 14.58% |
| | 毛利率 | 88.99% | 86.17% | 83.84% | 86.39% |
| 无人系统 | 主营业务收入（万元） | 1599.27 | 732.35 | 1814.20 | 2313.36 |
| | 占比 | 20.13% | 6.77% | 10.94% | 10.21% |
| | 毛利率 | 91.43% | 86.09% | 85.73% | 80.96% |
| 高可靠 | 主营业务收入（万元） | 5575.02 | 8618.04 | 12648.83 | 17049.65 |
| | 占比 | 70.17% | 79.64% | 76.27% | 75.22% |
| | 毛利率 | 90.67% | 88.78% | 85.70% | 86.57% |

图表：芯动联科前五大客户中直接或间接向大型央企集团及科研院所销售情况

| 项目 | 2019年度 | | 2020年度 | | 2021年度 | | 2022年度 | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | 金额（万元） | 占营业收入比例 | 金额（万元） | 占营业收入比例 | 金额（万元） | 占营业收入比例 | 金额（万元） | 占营业收入比例 |
| 直接销售给大型央企集团及科研院所 | 1162.28 | 14.55% | 2351.71 | 21.66% | 4518.75 | 27.21% | 5092.72 | 22.46% |
| 通过经销商销售给大型央企集团及科研院所 | 2991.98 | 37.45% | 4678.54 | 43.09% | 3527.91 | 21.24% | 2623.62 | 11.57% |
| 直销客户的下游用户为销售给大型央企集团及科研院所 | 1405.23 | 17.59% | 934.33 | 8.60% | 3007.05 | 18.10% | 7215.27 | 31.81% |
| 合计 | 5559.50 | 69.59% | 7964.58 | 73.35% | 11053.71 | 66.55% | 14931.62 | 65.83% |

图表：芯动联科按客户性质划分收入分布情况

| 年度 | 客户性质 | 数量（家） | 销售金额（万元） | 金额占比 |
|--------|-----------|-------|-----------|---------|
| 2019年度 | 民营 | 43 | 6,167.56 | 77.20% |
| | 央企集团及科研院所 | 17 | 1,821.54 | 22.80% |
| | 合计 | 60 | 7,989.10 | 100.00% |
| 2020年度 | 民营 | 54 | 8,273.91 | 76.20% |
| | 央企集团及科研院所 | 22 | 2,584.54 | 23.80% |
| | 合计 | 76 | 10,858.45 | 100.00% |
| 2021年度 | 民营 | 64 | 11,601.49 | 69.85% |
| | 央企集团及科研院所 | 18 | 5,007.82 | 30.15% |
| | 合计 | 82 | 16,609.31 | 100.00% |
| 2022年度 | 民营 | 86 | 17,143.11 | 75.57% |
| | 央企集团及科研院所 | 13 | 5,542.49 | 24.43% |
| | 合计 | 99 | 22,685.60 | 100.00% |

3.4 管理层：中坚力量稳固，骨干人员持股助力公司长远发展

实控人技术背景出身，管理层组成结构较稳定。金晓冬为公司的实际控制人，宣佩琦、毛敏耀为金晓冬的一致行动人。2012年7月，MEMSLink、北京芯动与兵器集团下属的北方通用、安徽国有投资平台蚌投集团共同投资设立芯动联科。其中金晓冬和宣佩琦作为两项专有技术共同原始权利人，通过北京芯动以无形资产作价人民币4314万元出资，占比20%；毛敏耀作为四项发明专利及一项专有技术的原始权利人，通过MEMSLink以无形资产作价人民币5273万元出资，占比25%；北方通用和蚌投集团分别以货币形式出资45%和10%。2020年4月，安徽高投和蚌投集团将全部注册资本额分别转让给华亚平、宣佩琦、金晓冬，作为安徽省及蚌埠市两级政府投资平台对芯动联科科技团队的奖励。管理层方面，公司董事会自上市以来已到期更换一届，其中董事长均由兵器集团旗下北方电子研究院（214所）指派人员担任，核心技术人华亚平、张晰泊同时担任非独立董事和公司高级管理人员。

自建持股平台，骨干人员个人利益与公司长远利益一致。2019年由芯动联科骨干人员通过自筹资金成立员工持股平台宁波芯思（现更名为南京芯思），针对董事、监事、高级管理人员和核心技术人员等实施股权激励。2023年度公司发布限制性股票激励计划，向符合授予条件的59名激励对象授予267.37万股限制性股票。该计划首次授予股份的考核年度为2023-2025年三个会计年度，每个会计年度考核一次。以公司2022年营业收入及净利润为业绩基数，对各考核年度的营业收入及净利润同比业绩基数的增长率进行考核；以达到业绩考核目标作为激励对象当年度的归属条件之一，根据考核指标每年对应的完成情况核算公司层面归属比例。

图表：2023年限制性股票激励计划激励对象获授的限制性股票分配情况

| 姓名 | 职务 | 获授的限制性股票数量（万股） | 占授予限制性股票总数的比例 |
|---------------------|----------------|----------------|---------------|
| 董事、高级管理人员、核心技术人员 | | | |
| 林明 | 董事、总经理、董事会秘书 | 15.77 | 4.72% |
| 张晰泊 | 董事、副总经理、核心技术人员 | 20.90 | 6.25% |
| 胡智勇 | 董事、副总经理 | 15.52 | 4.64% |
| 华亚平 | 董事、副总经理、核心技术人员 | 15.68 | 4.69% |
| 白若雪 | 财务总监 | 5.16 | 1.54% |
| 顾浩琦 | 核心技术人员 | 7.33 | 2.19% |
| 董事、高级管理人员、核心技术人员合计 | | 80.36 | 24.04% |
| 其他激励对象 | | | |
| 董事会认为需要激励的其他人员（53人） | | 187.01 | 55.96% |
| 首次授予部分合计（59人） | | 267.37 | 80.00% |
| 预留部分 | | | |
| 预留授予部分合计 | | 66.84 | 20.00% |
| 合计 | | 334.21 | 100.00% |

图表：芯动联科实控人具备相应专业能力和工作经历

| 实际控制人 | 基本情况 |
|-------|---|
| 金晓冬 | 毕业于电子工程相关专业，在半导体、电子工程等领域工作，“MEMS陀螺仪 ASIC 芯片技术”原始创始人 |
| 宣佩琦 | 毕业于电子工程相关专业，在半导体、电子工程等领域工作，“MEMS陀螺仪 ASIC 芯片技术”原始创始人 |
| 毛敏耀 | 毕业于半导体相关专业，曾任职于半导体公司，四项发明专利和“MEMS陀螺仪加工工艺技术”原始创始人 |

图表：董事、监事、高级管理人员、核心技术人员直接持股情况（截至2024年6月30日）

| 姓名 | 公司任职 | 持股数量（万股） | 持股比例 |
|-----|----------------|----------|-------|
| 华亚平 | 董事、副总经理、核心技术人员 | 640.00 | 1.60% |
| 林明 | 董事、总经理、董事会秘书 | 480.00 | 1.20% |

注：公司董监高林明、华亚平、张晰泊、胡智勇、顾浩琦通过南京芯思（曾用名：宁波芯思）间接持有公司股份。

图表：2023年度限制性股票激励计划公司层面业绩考核要求

| 归属安排 | 归属权益数量占授予权益总量的比例 | 对应考核年度 | 各年度营业收入增长率（A） | 各年度净利润增长率（B） |
|--------|------------------|--------|---------------|--------------|
| | | | 目标值（Am） | 目标值（Bm） |
| 第一个归属期 | 30% | 2023年 | 30% | 10% |
| 第二个归属期 | 30% | 2024年 | 69% | 21% |
| 第三个归属期 | 40% | 2025年 | 119% | 33% |

| 考核指标 | 业绩完成度 | 公司层面归属比例（X） |
|--|---------------------------|-------------|
| 以2022年的营业收入及净利润为基数，对应考核年度的营业收入增长率（A）及净利润增长率（B） | $A \geq Am$ 且 $B \geq Bm$ | $X=100\%$ |
| | 其他 | $X=80\%$ |
| | $A < Am$ 且 $B < Bm$ | $X=0$ |

注：如果公司满足当年公司层面业绩考核要求，激励对象当年实际归属的限制性股票数量=个人当年计划归属的数量×公司层面归属比例×个人层面归属比例

3.5 募集资金投研扩产，巩固技术优势+把握未来趋势+提质增效降本

IPO募集资金投资项目用于核心技术和产品、产业链和业务协同等方面。芯动联科于2023年6月30日在上海证券交易所科创板成功上市，拟投入10亿元募集资金用于MEMS惯性传感器、MEMS压力传感器开发和产业化以及封装测试基地建设。募投项目有助于公司提高技术水平和产品性能、开拓工业市场、丰富产品类别、提高生产运营效率，提升公司核心竞争力和市场影响力。

募投项目：“高性能及工业级MEMS陀螺开发及产业化项目”“高性能及工业级MEMS加速度计开发及产业化项目”分别拟投入2.30/1.47亿元募资，在现有产品的基础上沿高性能与工业级两个方向拓展产品系列，一方面继续提高现有产品的精度和环境适应能力，另一方面开拓广阔的工业市场；“高精度MEMS压力传感器开发及产业化项目”拟投入1.57亿元募资，用于开发高精度MEMS压力传感器陀螺，该项目的研发落地不仅为公司开辟新的销售市场提供了重要抓手，同时也为公司产品类别的扩充、经营业务的突破提供了重要推力；“MEMS器件封装测试基地建设项目”拟投入2.22亿元募资，使公司具备规模化的封装、测试能力，既可以实现对产品质量的把控，提高产品的交付能力，也可以大幅降低产品的生产成本。

图表：芯动联科IPO募投项目

| 序号 | 项目名称 | 项目概况 | 总投资额（亿元） | 拟投入募集资金（亿元） | 建设期 | 实施主体 |
|----|-------------------------|--|----------|-------------|-----|------|
| 1 | 高性能及工业级MEMS陀螺开发及产业化项目 | 本项目系在公司高性能MEMS陀螺仪的基础上，沿高性能与工业级两个方向拓展产品系列，一是继续提高Z轴陀螺仪的精度和环境适应能力，满足客户在复杂工作条件下精确测量的需求；二是开发小体积、低成本Z轴陀螺仪和单片3轴陀螺仪，凭借公司已有的技术积累和客户资源，开拓工业市场。 | 2.30 | 2.30 | 3年 | 芯动致远 |
| 2 | 高性能及工业级MEMS加速度计开发及产业化项目 | 本项目建设内容包括新一代高性能MEMS加速度计和工业级三轴加速度计的开发和产业化。其中，高性能MEMS加速度计采用谐振式原理，可以得到比目前普通电容式加速度计更高的性能，适用于地震监测、石油勘探等应用场景。工业级三轴MEMS加速度计具有低噪声、小体积、低功耗、高性价比等特点，适用于振动监测、倾角测量、惯性导航等多个领域，可不断扩大公司产品的应用范围，为客户提供更丰富的惯性传感器产品组合。 | 1.47 | 1.47 | 3年 | |
| 3 | 高精度MEMS压力传感器开发及产业化项目 | 本项目开发的高精度MEMS压力传感器是公司核心技术与新产品方向的有机结合。目前，国内外谐振式MEMS压力传感器产品的驱动控制和信号处理电路皆采用分立元器件搭建的PCB板级电路，公司首先利用CMOS集成电路技术将复杂的板级电路集成到单颗ASIC芯片中，大幅减小了传感器体积，并采用数字信号处理技术直接输出数字信号，简化了系统设计复杂度，降低了系统成本。产品可以在仪器仪表、工业制造、气象探测、航空电子、高铁等领域实现广泛应用。 | 1.57 | 1.57 | 3年 | |
| 4 | MEMS器件封装测试基地建设项目 | 本项目拟投资建设一条MEMS器件封装测试生产线。该生产线能够实现高性能MEMS传感器以及工业级MEMS传感器的封装生产，并可实现定制化封装。此外，通过购置新设备、研发新技术，可使公司具备圆片级测试能力，并且测试产能能够与封装生产线产能匹配，整体提高公司的生产效率。同时，生产线也可为MEMS封测工艺研发优化提供便利条件，为新产品的研发和技术的提升提供保障。 | 2.22 | 2.22 | 3年 | 芯动联科 |
| 5 | 补充流动资金 | 募集资金的补充流动资金到位后，公司将用于日常经营以及未来业务拓展，为公司落实发展战略规划提供充分的资金支持。此外，公司通过使用募集资金补充流动资金能够进一步优化财务结构，有利于提高公司的偿债能力，促进公司的稳健发展。 | 2.45 | 2.45 | 3年 | |
| 合计 | | | 10.00 | 10.00 | - | - |

3.5 募集资金投研扩产，巩固技术优势+把握未来趋势+提质增效降本

产品技术纵向持续深耕，业务领域横向积极拓展。（1）陀螺仪：芯动联科对Z轴陀螺仪持续进行研发迭代、提升性能，X轴陀螺仪完成量产备份，据公司2024年半年报，单片三轴陀螺仪、工业级陀螺持续在研发中；（2）加速度计：公司研发的FM加速度计可取代石英加速度计，已形成量产能力并开始小批量出货，全球范围内尚未有FM加速度计实现大规模量产，公司形成的量产能力在行业内具有重要的领先意义，符合市场对高性能加速度计小型化和成本效益提升的需求，加速度计产品线有望成为公司主力产品线；（3）压力传感器：小量程压力传感器已经基本定型，性能已经达到设计指标，正在进行工程化和生产准备工作以及客户验证，大量程高性能压力传感器、适用恶劣环境的高性能压力传感器持续在研发中；（4）IMU：可用于自动驾驶、低空航电系统以及人形机器人的6轴车规级IMU持续在研发中。

图表：芯动联科在研项目（截至2024年6月30日）

| 序号 | 项目名称 | 预计总投资规模（万元） | 进展或阶段性成果 | 拟达到目标 | 技术水平 | 具体应用前景 |
|----|-----------------|-------------|----------|-------------------------------|------|------------------------|
| 1 | 工业级陀螺仪 | 6630 | 验证阶段 | 研发并量产小尺寸单轴和三轴MEMS陀螺仪 | 国内领先 | 广泛应用于工业领域，涵盖自动驾驶、无人机等 |
| 2 | MEMS惯性导航系统 | 6550 | 开发阶段 | 研发并量产适用于L3+自动驾驶的高性能MEMS IMU | 国内领先 | 主要应用于自动驾驶领域 |
| 3 | 谐振式压力传感器 | 2795 | 验证阶段 | 研发并量产高精度谐振式MEMS大气绝压传感器 | 国际先进 | 主要应用于压力及气流测量等领域 |
| 4 | 光衰减器微镜 | 340 | 开发阶段 | 开发用于光通信系统的光衰减器MEMS微镜 | 国内先进 | 应用于光通信领域 |
| 5 | 大量程绝压传感器 | 2170 | 开发阶段 | 研发应用于工业的高精度大量程绝对压力测量 | 国际先进 | 主要应用于压力及气流测量等领域 |
| 6 | X轴陀螺仪36KHZ | 2500 | 验证阶段 | 实现X轴陀螺仪带电冲击能力的提升和转工艺 | 国内领先 | 应用于高可靠、高端工业、无人系统、测量测绘等 |
| 7 | 功能安全6轴IMU | 6450 | 开发阶段 | 汽车级功能安全6轴MEMS IMU | 国内领先 | 主要应用于自动驾驶领域 |
| 8 | 高性能全角陀螺仪 | 2790 | 开发阶段 | 基于目前自身软硬件条件和工艺设施基础量产MEMS全角陀螺仪 | 国内领先 | 应用于高可靠、高端工业、无人系统、测量测绘等 |
| 9 | 工业级加速度计 | 2250 | 验证阶段 | 研发并量产工业级MEMS加速度计 | 国内领先 | 应用于高可靠、高端工业、无人系统、测量测绘等 |
| 10 | 导航级Z轴MEMS陀螺仪 | 4532 | 开发阶段 | 量产第五代导航级Z轴MEMS陀螺仪 | 国内领先 | 应用于高可靠、高端工业、无人系统、测量测绘等 |
| 11 | 高精度MEMS水下组合导航系统 | 605 | 开发阶段 | 研发并量产应用于水下环境的高精度MEMS惯导系统 | 国内领先 | 主要应用于水下无人飞行器自主导航领域 |

3.6 业务拓展方向：布局高精度谐振式MEMS压力传感器

进军压力传感器赛道，打开广阔市场。MEMS压力传感器是一种基于MEMS技术制造的压力传感器，通常由压力敏感元件和信号处理单元组成，能够将压力信号转换成可用的输出的电信号，以便实现准确测量、控制和监测。MEMS压力传感器基于测量压力原理可分为压阻式/电容式/压电式/谐振式等，其凭借高精度和微型化优势，广泛应用于汽车、消费电子、医疗、工业及高可靠等领域，是MEMS产品中市场份额较大的细分市场之一。

图表：MEMS压力传感器按敏感原理分类

| 种类 | 工作原理 | 特点 |
|-----|--|---|
| 压阻式 | 利用压阻效应：当半导体材料受到应力作用时，引起能带的变化、能谷的能量移动，使半导体电阻的电阻率发生变化，再通过放大电路将电阻的变化转换为标准电信号输出 | 具有尺寸小、灵敏度高和快速响应等特点，但其工艺复杂，易受温度和振动的影响，需要温度补偿 |
| 电容式 | 一般采用圆形金属薄膜或镀金属薄膜作为电容器的一个电极，当薄膜感受压力而变形时，薄膜与固定电极之间形成的电容量发生变化，通过测量电路即可输出与电压成一定关系的电信号 | 优点是灵敏度高、稳定性好、线性范围宽等，缺点是成本较高、容易受到温度和湿度的干扰 |
| 压电式 | 大多利用正压电效应制成，膜片式压电式压力传感器主要由本体、膜片和压电元件组成，压电元件支撑于本体上，由膜片将被测压力传递给压电元件，再由压电元件输出与被测压力成一定关系的电信号 | 体积小、动态特性好、耐高温 |
| 谐振式 | 利用外界压力变化导致谐振子谐振频率变化的原理，将被测量压力变化转换为谐振频率变化 | 具有高精度、高分辨率、高抗干扰能力、适用于长距离传输、能直接与数字设备相连等特点，但其生产周期长、成本高、输出频率与被测量往往是非线性关系 |

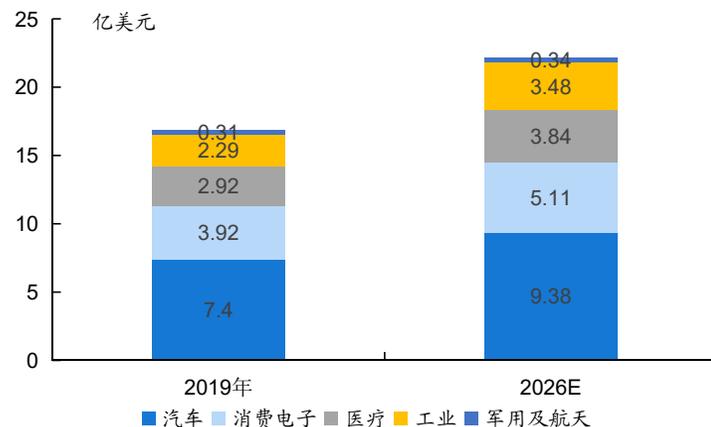
图表：MEMS压力传感器按压力测量类型分类

| 种类 | 原理和特点 |
|-------|--|
| 绝压传感器 | 绝压传感器是测量绝对压力值的压力传感器。一般以内部真空腔作为参考，测量的压力值和真空压相减后获得。绝压传感器一般可以测量真空管道的压力，真空罐体的液位高度以及大气压等 |
| 表压传感器 | 表压传感器是测量相对压力值的压力传感器。一种表压传感器的受压元件的膜片或膜盒的待检测面与大气压连通，测量介质压力与大气压的差压，加在受压元件单侧的压力是大气压，会随着大气压的变化而变化；另一种表压传感器为密封表压传感器，其受压元件膜片或膜盒的待检测面密封了一个标准大气压，密封压力保持恒定，与外界大气压的变化无关 |
| 压差传感器 | 压差传感器是用来测量两个压力之间差值的传感器，通常用于测量某一设备或部件前后两端的压差 |

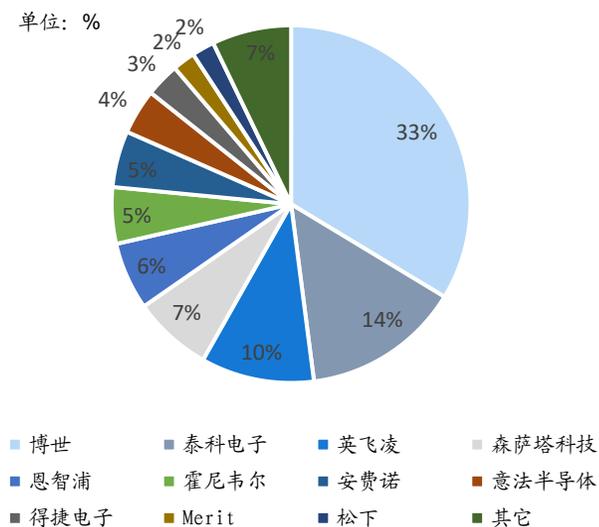
图表：MEMS压力传感器主要应用领域

| 应用领域 | MEMS压力传感器应用情况 |
|-------|---|
| 汽车行业 | 汽车领域是MEMS传感器重要下游应用领域之一。在汽车领域，MEMS压力传感器广泛应用于安全系统、排放控制、轮胎监测、发动机管理和悬挂系统等。高端的汽车一般都会有上百个传感器，包括30-50个MEMS传感器，其中就有10个左右的MEMS压力传感器。这些传感器可提供关键数据，帮助汽车制造商优化发动机性能、提高燃油效率并增加驾驶安全性 |
| 消费电子 | 智能手机、平板电脑和智能手表等设备中的压力传感器可用于气压计、高度计和室内导航等功能。智能可穿戴设备中的压力传感器还可以监测心率和体力活动等运动和健康指标。此外，MEMS压力传感器在无人机、航模等领域应用广泛，可提供海拔信息，与导航系统协同实现精准飞行控制 |
| 医疗行业 | MEMS压力传感器被广泛应用于各种医疗设备和检测系统中。它们可以用于血压检测、呼吸机和人工呼吸器的控制、体内压力监测以及药物输送系统等 |
| 工业自动化 | MEMS压力传感器用于监测和控制各种工业过程，被广泛应用于液体和气体管道系统、液位监测、压力控制和流量测量等领域 |
| 高可靠 | MEMS压力传感器可用于飞机和火箭的空气动力学性能测试、高空气压监测、气象数据收集以及航空器和天基设备的气压控制，能够满足严苛的环境要求 |

图表：2019-2026年全球MEMS压力传感器行业市场规模变动趋势



图表：2020年全球MEMS压力传感器竞争格局



注：市场份额（按销售收入）

3.6 业务拓展方向：布局高精度谐振式MEMS压力传感器

高精度MEMS压力传感器国产化尚存缺口。直接输出频率量的谐振式MEMS压力传感器是目前精度最高的MEMS压力传感器，具有数字化输出、抗干扰、长寿命和抗辐照等优点。高精度谐振式MEMS压力传感器在航天航空领域、军事领域的各项装备上应用广泛，同时也可用于气象、地质、航海、油井和工业检测等各种有高精度压力需求的领域中。长期以来，国内高精度MEMS压力传感器市场由海外企业主导，德鲁克/横河机电/艾默生/安费诺等国际知名厂商具有较强的市场竞争力。近年来，国内高精度MEMS压力传感器技术接连取得突破，国内代表性厂商有横河川仪/康斯特等。重庆川仪参股的金芯麦斯压力传感器精度可达±0.04%FS，其基于高稳芯片的M系列传感器已向川仪股份批量供货并实现全面进口替代；航空工业参股的思微科技实现了满足±0.01%FS精度的硅谐振压力传感器量产。另外，航天九院704所/厦门大学/金天弘科技等也已研制出万分级高精度MEMS谐振式压力传感器。

图表：国内外代表性高精度MEMS压力传感器厂商

| 公司名称 | 国家 | 基本情况 | 主要压力产品及技术 | 技术水平 | 产品图例 |
|------|----|--|---|--------------------------------------|---|
| 德鲁克 | 英国 | 德鲁克品牌创立于1972年，是世界著名的压力测量和校准仪器仪表制造商。德鲁克制造并交付的产品包括多种量程及用途的压力传感器和压力测试测量仪器等，广泛应用于航空航天、汽车、水文、船舶、气象、能源、化工、轨道交通、半导体等领域。德鲁克压力测量技术已在气象行业中得到了诸多认可，目前中高端市场占有率已逾40%（截至2022/8），其气象压力传感器已广泛应用于中国多个智慧城市项目中，为气象监测提供高精度气压测量数据 | 德鲁克压力测量产品基于业界领先的硅谐振和硅压阻技术，已经形成了压力传感器和测量校准设备两类成熟的产品线，可以满足压力测量、测试及校准的多方面需求。其中压力传感器包括可用于轨道交通、船舶、水文、气象、汽车、能源、半导体等领域的工业压力传感器（如UNIK系列），用于飞机飞控、环控、燃油、刹车、除冰、发动机等系统的航空压力传感器（如3000系列），及用于深海采油树的深海压力传感器（如PTX300/400） | 硅谐振传感器全温精度可达±0.01%FS |  德鲁克硅谐振压力传感器TERPS |
| 艾默生 | 美国 | 艾默生成立于1890年，深耕全球自动化领域，致力于推动工业制造转型。据公司官网（截至2024/9）目前艾默生在全球已安装超过1000万台压力测量设备，具有高可靠性和改进功能 | 艾默生压力技术解决方案包括电容式传感器、压阻式传感器和其他传感器，可以在差压、表压和绝压应用中提供重要的过程数据。其Rosemount、Paine和Roxar产品覆盖广泛的应用，其中Paine系列产品多应用于石油天然气、航空航天、卫星、军用、海洋和工业领域 | 压力传感器产品精度可达±0.025%FS |  艾默生Paine 310-38-0050 压力传感器 |
| 横河电机 | 日本 | 横河电机集团创建于1915年，经营领域涉及测量、控制、信息三大领域，在工业控制行业是全球最为专业的跨国公司之一。1975年率先研制出世界上第一套具有划时代意义的集散型控制系统（DCS系统），对石油、化工等大型工厂的生产过程进行测量、运行监视和控制，到目前已相继推出了7代CENTUMDCS系列产品，流量计、变送器、分析仪等现场仪表广受好评 | 横河电机的硅谐振压力传感器采用基于单晶硅谐振器谐振频率随压力变化的传感方法，具有低功耗、紧凑型、高灵敏度、高稳定性和高耐压性的特点。谐振器使用硅半导体制造技术密封在清洁的真空中，防止外来颗粒粘附在谐振器上降低其性能。此外，使用石英晶体谐振器的传感器不会因气体解吸而导致性能变化，并且可以实现稳定的测量 | 横河专有的硅谐振传感器技术可实现相对精度为±0.01%FS |  横河数字压力计MT300 |
| 横河川仪 | 中国 | 横河川仪由日本横河电机、重庆川仪与横河电机（中国）共同出资于1995年创立。据公司官网，2022年11月，主营产品EJA智能变送器突破总销量500万台大关，是世界主要智能差压/压力变送器的生产基地之一 | EJX-A系列智能变送器采用单晶硅谐振式传感器，实现更高的精度和更智能的工业应用；EJA-E系列智能变送器采用单晶硅谐振式传感器，结合了EJA-A系列和EJX系列的先进技术和性能，可应对工业传感高稳定和高精度的要求，能够在严酷的工业环境中长期并稳定地运行 | 采用单晶硅谐振式传感器的EJX-A系列压力变送器精度达±0.025%FS |  横河川仪EJX-A差压变送器 |
| 康斯特 | 中国 | 康斯特是一家集机电一体化、软件算法开发、精密制造于一体的高端校准测试仪器上市企业，主营业务为数字检测仪器设备研发、生产与销售，为全球用户提供高性能和高可靠性的压力、温湿度、过程及电学校准测试仪器与解决方案 | 康斯特压力产品包括压力校验仪、智能压力控制器、数字压力表、智能识别装置等，其产品广泛应用于电力、石油、化工、制药、计量、冶金、交通、机械、制造等行业 | 压力产品精度可达±0.01%FS |  康斯特CDPA模块式压力校验仪模块 |

注：%FS为描述压力传感器精度的指标，表示在传感器测量量程范围内，其输出的最大差值相对于满量程输出（Full Scale）的百分比。

3.6 业务拓展方向：布局高精度谐振式MEMS压力传感器

受益于已有惯性传感器谐振式的技术平台方案开发高精度MEMS压力传感器，高性能谐振式压力传感器性能精度可达万分之一至万分之二水平。“高精度MEMS压力传感器开发及产业化项目”是芯动联科在惯性传感器的研发基础之上，针对高性能MEMS传感器的未来发展方向开发的高精度MEMS压力传感器，拟投入1.57亿元募集资金（2023/4），并预期在航空电子、仪器仪表、工业制造、气象探测、高铁车辆控制等领域实现广泛应用。公司在研项目“谐振式压力传感器”“大量程绝压传感器”主要用于气象监测、压力校验仪表、高度计等，公司产品需要经过客户测试、试制等阶段后进入规模化应用，上述周期需要1-2年；此外公司还规划了在高铁及恶劣环境中应用的高性能压力传感器。目前公司小量程压力传感器已经基本定型，性能达到设计指标，正在进行工程化和生产准备工作以及客户验证，据公司公告，预计在2025年左右开始产生一定规模收入，大量程高性能压力传感器、适用恶劣环境的高性能压力传感器正在持续研发中。

公司积极拓展业务合作，MEMS压力传感器市场前景广阔。芯动联科目前主要产品为集成谐振式MEMS绝对压力传感器，是全球较早采用单片集成ASIC控制芯片的谐振式MEMS压力传感器，具有体积小、数字输出、系统简单等独特优点，主要进行大气压测量，可应用于气象监测，压力控制器，大气数据计算机等领域，产品已经开始向气象和飞行领域的客户发送样品进行长期验证，预计验证周期为半年到一年。据Yole Intelligence统计，2021年全球MEMS压力传感器市场规模达20亿美元，预计2027年达到26亿美元，复合增长率达4.6%；据前瞻产业研究院预测，随着行业需求推动及MEMS压力传感器国产化进程加快，2025年中国MEMS压力传感器市场规模有望达289亿元。

图表：芯动联科在研压力传感器项目及进展（2023/4）

| 项目名称 | 立项时间 | 技术水平论述 | 所处阶段及进展 |
|----------|---------|---|------------------------|
| 谐振式压力传感器 | 2019年5月 | 基于谐振式MEMS技术，最大量程350千帕，综合精度优于±0.02%FS，年稳定性±0.01%FS，达到国内领先、国际先进水平 | 处于小批量送货阶段，潜在客户正在进行性能验证 |
| 大量程绝压传感器 | 2022年1月 | 高精度3.5MPa量程绝对压力测量，支持数字或频率输出 | 处于开发阶段 |

图表：压力传感器领域芯动联科与客户具体合作情况及进展

| 客户名称 | 客户介绍 | 合作阶段 | 预计规模化收入时间及收入金额预测 |
|--------|---|------|-------------------|
| 合作中客户1 | 已发展成以传感器技术、仪表技术、电子技术、网络技术为基础，以传感器与仪表设计制造为特色的现代新型高科技企业 | 测试评估 | 预计2024年，收入金额千万元左右 |
| 合作中客户2 | 已发展成飞机大气数据系统、飞机集成数据系统、仪表及传感器、无线数据传输系统研发与制造的航空机载设备骨干企业 | 测试评估 | 预计2024年，收入金额百万元左右 |
| 合作中客户3 | 致力于为船舶、高校、科研院所提供光纤测试、应变测试、冲击爆炸测试、超高速测温、传感器定制、硅压阻压力测试及与之相关的产品和技术工程服务 | 测试评估 | 预计2024年，收入金额百万元左右 |
| 终端客户1 | 主要从事惯性仪表、惯性系统工作、是集研究、设计、试验和生产于一体的导航与控制系统专业单机构 | 测试评估 | 预计2024年，收入金额百万元左右 |

4 盈利预测与投资评级

4 盈利预测与投资评级

| 业务 | 项目 | 2023A | 2024E | 2025E | 2026E |
|--------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 陀螺仪 | 营业收入（百万元） | 260.41 | 372.39 | 535.21 | 763.41 |
| | 营业成本（百万元） | 37.63 | 65.09 | 91.37 | 127.81 |
| | 毛利（百万元） | 222.78 | 307.30 | 443.84 | 635.60 |
| | 毛利率 | 85.55% | 82.52% | 82.93% | 83.26% |
| 加速度计 | 营业收入（百万元） | 16.52 | 24.77 | 37.16 | 55.74 |
| | 营业成本（百万元） | 6.19 | 9.29 | 13.93 | 20.90 |
| | 毛利（百万元） | 10.33 | 15.49 | 23.23 | 34.84 |
| | 毛利率 | 62.53% | 62.51% | 62.51% | 62.51% |
| 惯性测量单元 | 营业收入（百万元） | 22.57 | 33.86 | 59.25 | 103.70 |
| | 营业成本（百万元） | 7.77 | 11.85 | 20.74 | 36.29 |
| | 毛利（百万元） | 14.81 | 22.01 | 38.52 | 67.40 |
| | 毛利率 | 65.59% | 65.00% | 65.00% | 65.00% |
| 技术服务 | 营业收入（百万元） | 17.58 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| | 营业成本（百万元） | 2.29 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| | 毛利（百万元） | 15.29 | 18.00 | 18.00 | 18.00 |
| | 毛利率 | 86.98% | 90.00% | 90.00% | 90.00% |
| 其他业务 | 营业收入（百万元） | 0.005 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| | 营业成本（百万元） | 0.002 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| | 毛利（百万元） | 0.003 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| | 毛利率 | 66.61% | 50.00% | 50.00% | 50.00% |
| 合计 | 营业收入（百万元） | 317.09 | 451.22 | 651.83 | 943.04 |
| | 营业成本（百万元） | 53.88 | 88.32 | 128.14 | 187.09 |
| | 毛利（百万元） | 263.21 | 362.90 | 523.68 | 755.95 |
| | 毛利率 | 83.01% | 80.43% | 80.34% | 80.16% |

首次覆盖，给予“买入”评级。芯动联科是国内领先的高性能硅基MEMS惯性传感器研发、测试与销售的芯片设计公司，主要产品为高性能MEMS惯性传感器，包括MEMS陀螺仪和MEMS加速度计，均包含一颗微机械（MEMS）芯片和一颗专用控制电路（ASIC）芯片，实现导航定位、状态监测、姿态感知、平台稳定等功能。公司产品已广泛应用于高端工业、无人系统、高可靠等领域，并逐步向自动驾驶、机器人、民用航空、商业航天等领域拓展。随着传感、5G通信连接、计算技术的快速进步和联网节点的不断增长，对智能传感器数量和智能化程度的要求将进一步提升，传感器的精度、可靠性要求将不断提高。未来自动驾驶汽车、工业物联网、车联网、智能城市、智能家居等新产业领域有望为MEMS传感器行业发展创造广阔的应用空间，引领MEMS传感器的应用浪潮。

考虑到公司规划及出货结构，我们预计2024-2026年公司陀螺仪产品收入分别为3.72/5.35/7.63亿元，维持40%以上的增速；公司加速度计产品体量尚小，我们预计2024-2026年收入分别为0.25/0.37/0.56亿元，增速或将高于陀螺仪；我们预计2024-2026年公司惯性测量单元收入分别为0.34/0.59/1.04亿元。我们预计公司2024-2026年营业收入分别为4.51/6.52/9.43亿元，同比分别为+42%/+44%/+45%，预计归母净利润分别为2.35/3.40/4.87亿元，同比分别为+42%/+45%/+43%，对应PE分别为68/47/33倍。

根据产品及业务的相似性，我们选取MEMS芯片工艺开发及晶圆制造商赛微电子、信号链模拟芯片&电源管理模拟芯片供应商思瑞浦、模拟集成电路设计商圣邦股份三家半导体领域厂商作为可比公司。可比公司2024/2025/2026年iFinD一致预测PE平均值为106/54/36倍，我们预计2024-2026年芯动联科PE分别为68/47/33倍。首次覆盖，给予“买入”评级。

图表：芯动联科可比公司估值对比

| 股票代码 | 公司简称 | 总市值（亿元） | 收盘价（元） | EPS | | | PE | | |
|-----------|------|---------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | | | 2024E | 2025E | 2026E | 2024E | 2025E | 2026E |
| 300456.SZ | 赛微电子 | 135.31 | 18.48 | 0.35 | 0.49 | 0.73 | 52.80 | 37.71 | 25.32 |
| 688536.SH | 思瑞浦 | 148.50 | 111.99 | 0.74 | 2.12 | 3.69 | 151.34 | 52.83 | 30.35 |
| 300661.SZ | 圣邦股份 | 426.60 | 90.40 | 0.91 | 1.44 | 2.01 | 99.34 | 62.78 | 44.98 |
| 平均 | | | | | | | 106.21 | 54.17 | 36.03 |
| 688582.SH | 芯动联科 | 159.64 | 39.91 | 0.59 | 0.85 | 1.22 | 67.94 | 46.90 | 32.75 |

注：相关数据取自2024年10月11日收盘

5 风险提示

- **公司行业经验及影响力、市场占有率、经营规模等方面和行业龙头存在差距的风险：**公司作为 MEMS 惯性传感器的研发企业，如若不能通过持续提升技术更新能力和产品研发能力来增强产品影响力及扩大市场规模，将因为市场竞争加剧而面临被淘汰的风险；
- **客户集中风险：**若公司在新业务领域开拓、新产品研发等方面进展不顺利，或主要客户因国内外宏观环境或者自身经营状况发生变化导致对公司产品的需求量下降，将对公司未来经营业绩产生不利影响；
- **毛利率下降风险：**随着市场竞争的加剧，若公司未能抓住高性能 MEMS 惯性传感器产品的发展趋势，研发出符合市场需求的产品、未能有效降低成本，将会对公司毛利率水平造成不利影响；
- **经营季节性风险：**公司下半年收入占全年收入比例较高，主要因为下游用户群体大部分为我国大型央企集团及科研院所，采购需求集中于下半年，公司确认收入时间多在第三和第四季度，经营存在一定的季节性风险；
- **关联交易占比较高的风险：**公司与相关关联交易主体保持了长期良好的合作关系，并积极拓展其他非关联客户与供应商，但公司仍面临关联交易金额占比较高的风险，上述风险可能对公司的经营业绩及财务状况造成重大不利影响；
- **宏观环境变化风险：**如果国内外宏观环境因素继续发生不利变化，如国际贸易摩擦进一步升级加剧、重大突发公共卫生事件引起全球经济下滑等，将会影响半导体材料供应链的稳定性以及下游应用需求的增长，从而给公司经营带来不利影响。

芯动联科盈利预测表

证券代码： 688582

股价： 39.91

投资评级： 买入(首次覆盖)

日期： 20241011

| 资产负债表 (百万元) | 2023A | 2024E | 2025E | 2026E | 利润表 (百万元) | 2023A | 2024E | 2025E | 2026E | 每股指标与估值 | 2023A | 2024E | 2025E | 2026E |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 现金及现金等价物 | 1386 | 1435 | 1487 | 1545 | 营业收入 | 317 | 451 | 652 | 943 | 每股指标 | | | | |
| 应收款项 | 364 | 484 | 697 | 1001 | 营业成本 | 54 | 88 | 128 | 187 | EPS | 0.44 | 0.59 | 0.85 | 1.22 |
| 存货净额 | 68 | 113 | 164 | 239 | 营业税金及附加 | 3 | 4 | 6 | 8 | BVPS | 5.28 | 5.87 | 6.72 | 7.94 |
| 其他流动资产 | 231 | 264 | 292 | 335 | 销售费用 | 7 | 9 | 14 | 20 | 估值 | | | | |
| 流动资产合计 | 2049 | 2296 | 2640 | 3120 | 管理费用 | 30 | 43 | 62 | 85 | P/E | 87.9 | 67.9 | 46.9 | 32.8 |
| 固定资产 | 26 | 33 | 44 | 63 | 财务费用 | -12 | -18 | -13 | -8 | P/B | 7.3 | 6.8 | 5.9 | 5.0 |
| 在建工程 | 0 | 11 | 31 | 68 | 其他费用/(-收入) | 80 | 108 | 156 | 217 | P/S | 48.8 | 35.4 | 24.5 | 16.9 |
| 无形资产及其他 | 100 | 110 | 113 | 109 | 营业利润 | 165 | 235 | 340 | 487 | 财务指标 | 2023A | 2024E | 2025E | 2026E |
| 长期股权投资 | 0 | 0 | 0 | 0 | 营业外净收支 | 0 | 0 | 0 | 0 | 盈利能力 | | | | |
| 资产总计 | 2175 | 2450 | 2828 | 3360 | 利润总额 | 165 | 235 | 340 | 487 | ROE | 8% | 10% | 13% | 15% |
| 短期借款 | 0 | 0 | 0 | 0 | 所得税费用 | 0 | 0 | 0 | 0 | 毛利率 | 83% | 80% | 80% | 80% |
| 应付款项 | 5 | 9 | 13 | 18 | 净利润 | 165 | 235 | 340 | 487 | 期间费率 | 8% | 8% | 10% | 10% |
| 合同负债 | 0 | 0 | 0 | 0 | 少数股东损益 | 0 | 0 | 0 | 0 | 销售净利率 | 52% | 52% | 52% | 52% |
| 其他流动负债 | 35 | 61 | 84 | 113 | 归属于母公司净利润 | 165 | 235 | 340 | 487 | 成长能力 | | | | |
| 流动负债合计 | 40 | 70 | 97 | 132 | 现金流量表 (百万元) | 2023A | 2024E | 2025E | 2026E | 收入增长率 | 40% | 42% | 44% | 45% |
| 长期借款及应付债券 | 0 | 0 | 0 | 0 | 经营活动现金流 | 19 | 77 | 85 | 114 | 利润增长率 | 42% | 42% | 45% | 43% |
| 其他长期负债 | 21 | 32 | 42 | 52 | 净利润 | 165 | 235 | 340 | 487 | 营运能力 | | | | |
| 长期负债合计 | 21 | 32 | 42 | 52 | 少数股东损益 | 0 | 0 | 0 | 0 | 总资产周转率 | 0.22 | 0.20 | 0.25 | 0.30 |
| 负债合计 | 61 | 102 | 138 | 184 | 折旧摊销 | 20 | 24 | 32 | 44 | 应收账款周转率 | 1.43 | 1.49 | 1.57 | 1.59 |
| 股本 | 400 | 400 | 400 | 400 | 公允价值变动 | -6 | -8 | -18 | -24 | 存货周转率 | 0.91 | 0.97 | 0.92 | 0.93 |
| 股东权益 | 2114 | 2349 | 2689 | 3176 | 营运资金变动 | -170 | -182 | -272 | -402 | 偿债能力 | | | | |
| 负债和股东权益总计 | 2175 | 2450 | 2828 | 3360 | 投资活动现金流 | -545 | -358 | -318 | -552 | 资产负债率 | 3% | 4% | 5% | 5% |
| | | | | | 资本支出 | -19 | -34 | -53 | -82 | 流动比 | 50.78 | 32.89 | 27.29 | 23.66 |
| | | | | | 长期投资 | -526 | -309 | -258 | -463 | 速动比 | 43.40 | 27.52 | 22.61 | 19.35 |
| | | | | | 其他 | 0 | -15 | -8 | -7 | | | | | |
| | | | | | 筹资活动现金流 | 1317 | 13 | 10 | 10 | | | | | |
| | | | | | 债务融资 | 0 | 13 | 10 | 10 | | | | | |
| | | | | | 权益融资 | 1376 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| | | | | | 其它 | -59 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| | | | | | 现金净增加额 | 790 | -268 | -223 | -428 | | | | | |

北交所&新兴成长组小组介绍

罗琨，现任国海北交所&新兴成长组首席分析师，毕业于香港浸会大学经济学硕士、湖南大学会计学本科，7年证券从业经验。曾任财信证券资管投资部投资经理、研究发展中心机械研究员、宏观策略总监。所在团队曾获得2022、2023年新财富最佳分析师入围、2023年金麒麟菁英分析师、2023年Choice最佳分析师。

傅麒丞，现任国海研究所证券分析师，谢菲尔德大学金融硕士、国际商务管理硕士，所在团队获得2022、2023年新财富最佳分析师入围，2022年加入国海证券研究所。

分析师承诺

罗琨，傅麒丞，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

国海证券投资评级标准

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；

增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%~20%之间；

中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

免责声明

本报告的风险等级定级为R4，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 北交所&新兴成长研究团队

心怀家国，洞悉四海



国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银
行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168
号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597