

“人形机器人的 Optimus 时刻”系列（六）

IMU（姿态感知）：旧火新茶，其时已至

- **IMU（惯性测量单元）：姿态测量和惯导的核心传感器。**IMU 是测量物体三轴角速率及加速度的装置，通常由两个及以上的加速度计和陀螺仪组成。IMU 作为惯性定位技术的核心设备，经过误差补偿和惯性导航解算，最终输出载体相对初始位置的坐标变化量、速度等导航信息。IMU 按使用性能从低到高可分为消费级、工业级和军用级，不同级别的 IMU 在设计、制造和成本方面都有所差异，以满足不同领域对性能和可靠性的需求。IMU 下游应用广泛，涵盖从消费电子、汽车电子到工业与通信、医疗健康等各个领域。
- **IMU 成长空间广阔，国产替代蓄势待发。**MEMS 传感器细分种类繁多，IMU 及核心零部件在所有细分产品中占比最高。据 Yole 数据，全球 IMU 市场规模有望从 2018 年的 13.79 亿美元、12.04 亿颗增长至 2027 年的 27.92 亿美元、22.82 亿颗；消费电子、汽车电子是其下游主要的应用领域。受益于新能源车需求增量和替换量的双重利好，2027 年我国 IMU 市场有望达到 75.5 亿元。博世、ADI 等海外大厂在技术研发、制造工艺和市场拓展方面拥有雄厚的实力和经验，形成了核心壁垒，2021 年全球 IMU 市场的前五大厂商均为国际大厂，总计占据 88% 的市场份额。国内 IMU 市场中，相比外资厂商，本土厂商在本地化服务、供应链整合等方面积极进行差异化竞争，未来国产替代空间广阔。
- **人形机器人和智能汽车双轮驱动，IMU 迎来发展新机遇。**1) **智能汽车：**L2+ 车型选择“GNSS+IMU”组合导航方案正迅速普及。据百度 Apollo，GNSS+IMU 的卫惯组合可以实现 85% 左右的场景覆盖，增强导航系统在各类环境下的稳定性。伴随着我国自动驾驶 L2+ 级别的渗透率到 2030 年有望达到 65% 的水平，经过我们的测算，**2023 年我国自动驾驶领域车载 IMU 市场规模为 31.51 亿元，到 2030 年将提升至 154.94 亿元，期间 CAGR 为 25.55%。**2) **人形机器人：**在特斯拉近期发布的视频中，Optimus 可以做出高难度的瑜伽、舞蹈动作，展示出强大平衡控制和行走导航能力。IMU 在人形机器人中主要应用在平衡维持、导航定位和动作执行三个方面，基于合理假设，经过我们的测算，**在特斯拉 Optimus 量产达到 10/50/100 万台时，对应的 IMU 市场规模分别为 2.4/10/16 亿元。**
- **国产厂商迎难而上，加速破局。**1) **华依科技：**公司前瞻布局惯性导航业务，2020 年与上汽集团签署技术开发备忘录，联合开发高级别自动驾驶中的定位技术。公司积极进行 IMU 前期研发布局，继 2022 年获奇瑞汽车定点后，2023 年公司分别获得智己汽车某项目惯性导航总成和某客户某车型惯性导航定点的开发通知书，惯导产品实现从“0”到“1”的突破。2) **芯动联科：**公司以陀螺仪为核心产品，向 IMU 积极延伸。公司的高性能 MEMS 惯性传感器具有小型化、高集成、低成本的优势，核心性能指标达到国际先进水平，具备较强的市场竞争力。3) **明皊传感：**公司形成了以 MEMS 加速度计为核心的产品组合，凭借小型化、低成本、高性能、高可靠性的优势，公司已向荣耀、小米、联想、歌尔等行业知名终端客户批量供货。此外，公司车规级 MEMS 加速度计已向东软集团批量供货，并已导入比亚迪等汽车级客户。根据公司招股书披露，2021 年度公司 MEMS 加速度计全球市占率 2.11%，位列 MEMS 加速度计厂商的全球第七位，打破海外厂商垄断。
- **行业投资评级与投资建议。**IMU 应用空间广阔，核心技术壁垒高筑，人形机器人、智能汽车等新兴产业驱动 IMU 市场高速增长。国内厂商有望通过多年产业、技术积累和高性价比，加速导入核心客户，实现国产替代。给予 IMU 行业“推荐”评级。重点关注华依科技、芯动联科。
- **风险提示：**人形机器人进展不及预期；国内厂商产品开发进度、核心客户导入不及预期；原材料价格上涨增加成本风险；市场竞争加剧等。

推荐（维持）

华创证券研究所

证券分析师：范益民

电话：021-20572562

邮箱：fanyimin@hcyjs.com

执业编号：S0360523020001

证券分析师：丁祎

邮箱：dingyi@hcyjs.com

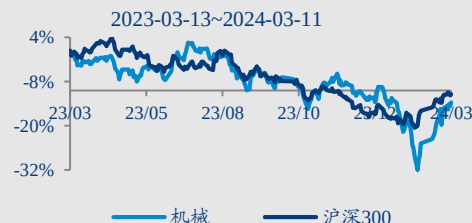
执业编号：S0360523030001

行业基本数据

		占比%
股票家数(只)	611	0.08
总市值(亿元)	41,881.20	4.79
流通市值(亿元)	32,371.86	4.78

相对指数表现

%	1M	6M	12M
绝对表现	14.8%	-7.9%	-14.0%
相对表现	9.5%	-2.7%	-1.9%



相关研究报告

《机械行业周报(20240225-20240302)：2月PMI环比微降，大中小企业PMI呈现差异化》

2024-03-04

《机械行业重大事项点评：从四大更新维度思考《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》》

2024-03-03

《科学仪器行业重大事项点评：国常会通过大规模设备更新方案，科学仪器板块22Q4贴息行情有望重演》

2024-03-02

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

投资主题

报告亮点

“旧火”指的是惯性传感器历史悠久，从基于牛顿经典力学原理、基于萨格奈克效应到当下基于哥氏振动效应和微纳加工技术到未来基于现代量子力学技术，有着非常长的研发周期和丰富的应用场景。

“新茶”指的是人形机器人、智能汽车等新兴应用场景，带来 IMU 全新发展机遇。

报告第一章参考国际大厂 ADI 的产品线，对 IMU、加速度计和陀螺仪进行详细原理层、产品层和应用层介绍；第二章梳理了 MEMS 传感器产品结构，并对惯性传感器的市场规模、结构占比、下游应用和竞争格局进行分析；第三章拆解了两大增量市场，智能汽车和人形机器人，并对未来空间进行测算；第四章挖掘了核心标的。

投资逻辑

IMU 应用空间广阔，核心技术壁垒高筑，人形机器人、智能汽车等新兴产业驱动 IMU 市场高速增长。国内厂商有望通过多年产业、技术积累和高性价比，加速导入核心客户，实现国产替代。1) 华依科技：公司前瞻布局惯性导航业务，2020 年与上汽集团签署技术合作开发备忘录，联合开发高级别自动驾驶中的定位技术。公司积极进行 IMU 前期研发布局，继 2022 年获奇瑞汽车定点后，2023 年公司分别获得智己汽车某项目惯性导航总成和某客户某车型惯性导航定点的开发通知书，惯导产品实现从“0”到“1”的突破。2) 芯动联科：公司以陀螺仪为核心产品，向 IMU 积极延伸。公司的高性能 MEMS 惯性传感器具有小型化、高集成、低成本的优势，核心性能指标达到国际先进水平，具备较强的市场竞争力。3) 明皜传感：公司形成了以 MEMS 加速度计为核心的产品组合，凭借小型化、低成本、高性能、高可靠性的优势，公司已向荣耀、小米、联想、歌尔等行业知名终端客户批量供货。此外，公司车规级 MEMS 加速度计已向东软集团批量供货，并已导入比亚迪等汽车级客户。根据公司招股书披露，2021 年度公司 MEMS 加速度计全球市占率 2.11%，位列 MEMS 加速度计厂商的全球第七位，打破海外厂商垄断。给予 IMU 行业“推荐”评级。重点关注**华依科技**、**芯动联科**。

目 录

一、IMU（惯性测量单元）：姿态测量和惯导的核心传感器.....	6
（一）IMU：测量物体三轴姿态角和加速度.....	6
（二）IMU 核心组成部分（1）：加速度计.....	9
（三）IMU 核心组成部分（2）：陀螺仪	11
二、IMU 成长空间广阔，国产替代蓄势待发.....	13
（一）MEMS 传感器细分种类众多，应用场景丰富.....	13
（二）惯性传感器市场蓬勃发展，IMU 占比快速提升.....	16
（三）海外龙头占据主要份额，国内厂商奋力突围	17
三、人形机器人和智能汽车双轮驱动，IMU 迎来发展新机遇.....	19
（一）“GNSS+INS”组合导航系统加速成为 L2+智能汽车的方案	19
（二）IMU 是人形机器人导航和稳控的关键.....	22
四、国产厂商迎难而上，加速破局.....	24
（一）华依科技：IMU 获得车厂定点，实现从“0”到“1”的突破.....	24
（二）芯动联科：陀螺仪为优势产品，性能指标已达国际先进水平	25
（三）明皊传感：2021 年位列全球 MEMS 加速度计厂商第七位.....	26
五、行业观点及重点关注个股.....	27
六、风险提示	29

图表目录

图表 1	IMU 结构	6
图表 2	IMU 价格&使用场景	7
图表 3	IMU 应用领域	7
图表 4	IMU 测量五大物理量	8
图表 5	组合惯性导航系统	8
图表 6	三轴加速度计工作原理	9
图表 7	加速度计性能指标	9
图表 8	不同技术加速度计性能情况	10
图表 9	各类别加速度计主要应用领域、主要技术	10
图表 10	ADI 加速度计划分指标	11
图表 11	ADI 加速度计应用版图	11
图表 12	陀螺仪工作原理	11
图表 13	MEMS 陀螺仪内部结构示意图	12
图表 14	MEMS 陀螺仪与“两光陀螺”具体差异	12
图表 15	不同技术陀螺仪性能情况	13
图表 16	MEMS 声学传感器结构示意图	13
图表 17	MEMS 传感器芯片构成	13
图表 18	手机集成多种 MEMS 传感器	14
图表 19	2018-2027 年全球 MEMS 传感器市场规模（亿美元）	14
图表 20	2020 年全球 MEMS 传感器下游应用占比	15
图表 21	2026 年全球 MEMS 传感器下游应用占比预测	15
图表 22	2020 年全球 MEMS 传感器细分产品占比	15
图表 23	2026 年全球 MEMS 传感器细分产品占比预测	15
图表 24	全球 MEMS 惯性传感器市场结构（亿美元）	16
图表 25	全球 MEMS 惯性传感器市场结构（亿颗）	16
图表 26	2018 年全球 MEMS 惯性传感器产品结构	16
图表 27	2027 年全球 MEMS 惯性传感器产品结构预测	16
图表 28	2021 年全球惯性传感器应用领域	17
图表 29	2027 年全球惯性传感器应用领域	17
图表 30	2018-2027 年我国惯性传感器市场规模（亿元）	17
图表 31	2021 年全球 MEMS 惯性传感器市场占有率	18
图表 32	2022 年我国 MEMS 加速度计市场占有率	18
图表 33	2022 年我国 IMU 市场竞争格局	19

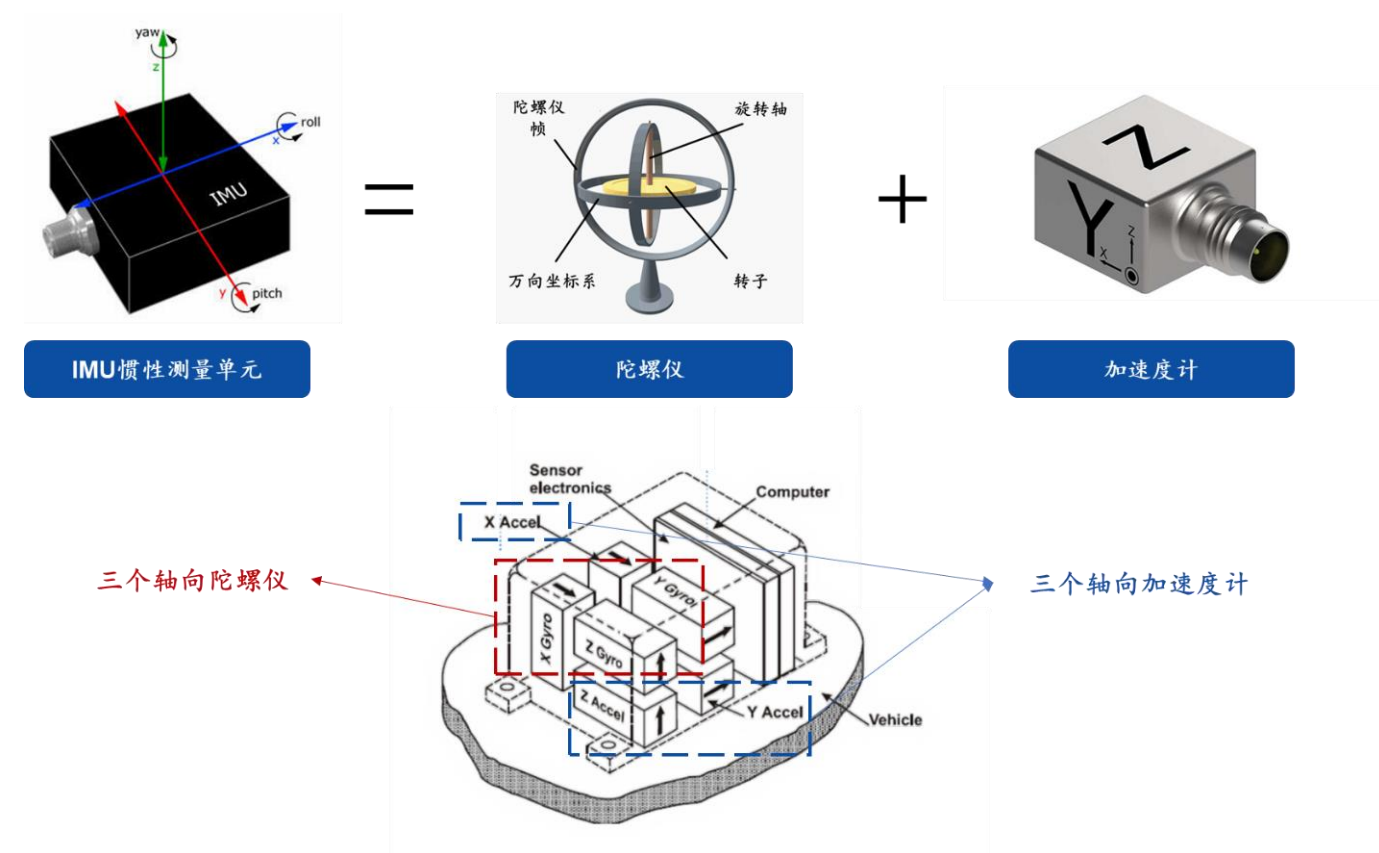
图表 34	GNSS 示意图	19
图表 35	GNSS/INS 组合导航算法流程	20
图表 36	GNSS/INS 组合系统用于汽车导航	20
图表 37	全球各级别自动驾驶渗透率	21
图表 38	我国各级别自动驾驶渗透率	21
图表 39	部分搭载高精导航技术的车型	21
图表 40	我国自动驾驶领域 IMU 市场空间测算	22
图表 41	Optimus 展示平衡控制能力	22
图表 42	Optimus 展示行走导航能力	22
图表 43	IMU 在人形机器人上的应用	23
图表 44	优必选 Walker X 采用高精度 IMU	24
图表 45	小米机器狗配置 IMU	24
图表 46	人形机器人 IMU 市场空间测算	24
图表 47	华依科技组合导航系统（车规级 GNSS 模块和 ASIL-B 级别 IMU）	25
图表 48	公司已获定点项目	25
图表 49	芯动联科 MEMS 传感器产品应用	25
图表 50	公司高性能 MEMS 陀螺仪与海外龙头陀螺仪的核心指标对比	26
图表 51	明皜传感下游客户	27
图表 52	明皜传感加速度计与海外竞品性能对比	27
图表 53	相关公司盈利预测（2024 年 3 月 11 日）	28

一、IMU（惯性测量单元）：姿态测量和惯导的核心传感器

（一）IMU：测量物体三轴姿态角和加速度

IMU（Inertial Measurement Unit）惯性测量单元，是测量物体三轴姿态角（或角速率）及加速度的装置。IMU 通常由两个及以上惯性测量 MEMS 芯片及 ASIC 芯片合封后具有完整功能的器件。根据内置传感器（三轴磁传感器、三轴加速度计和三轴陀螺仪）的不同，分为六轴和九轴 IMU，能够满足不同应用场景下高精度测量的需求。最常见的六轴 IMU 包含三个轴向的陀螺仪和三个轴向的加速度计，以测量物体在三维空间中的角速率和加速度。IMU 是惯性定位技术的核心设备，经过误差补偿和惯性导航解算，最终输出载体相对初始位置的坐标变化量、速度等导航信息。

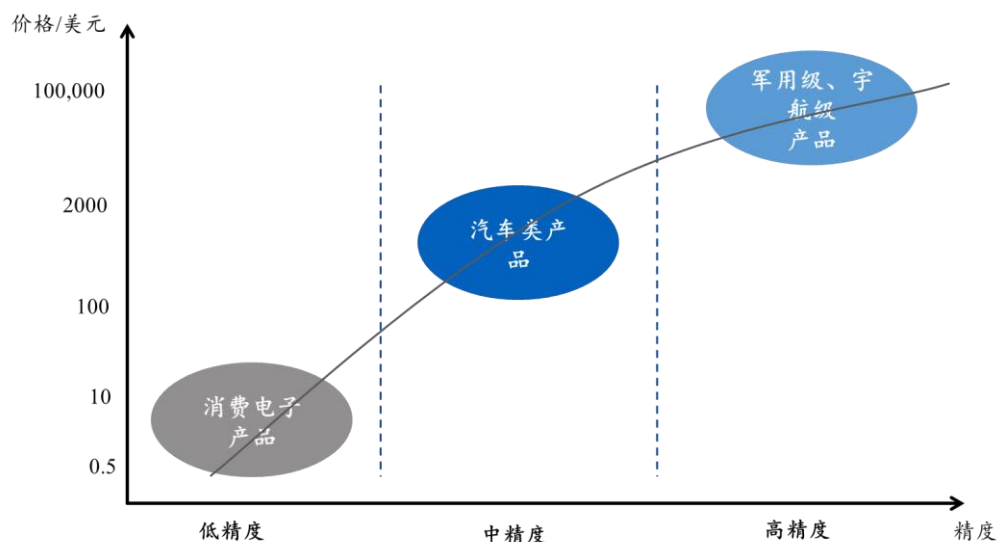
图表 1 IMU 结构



资料来源：yole，Dytran 传感器，格纳微科技，广州测恒电子，传感器专家网，华创证券整理

IMU 使用性能从低到高可分为消费级、工业级和军用级。消费级 IMU 主要应用于日常电子设备，如智能手机、可穿戴设备等，其性能注重成本效益和轻便设计。工业级 IMU 则更专注于工业自动化、机器人、车辆导航等领域，具有更高的精度和稳定性，以适应复杂和要求更为苛刻的环境。而军用级 IMU 则是最高级别的，被广泛用于导弹、飞行器、战术导航系统等军事应用，具备卓越的抗干扰能力、高精度和可靠性，以确保在复杂和敌对环境下的精准导航和定位能力。不同级别的 IMU 在设计、制造和成本方面都有所差异，以满足不同领域对性能和可靠性的需求。

图表 2 IMU 价格&使用场景



资料来源: Xu Ru, et al. "MEMS Inertial Sensor Calibration Technology.", 华创证券

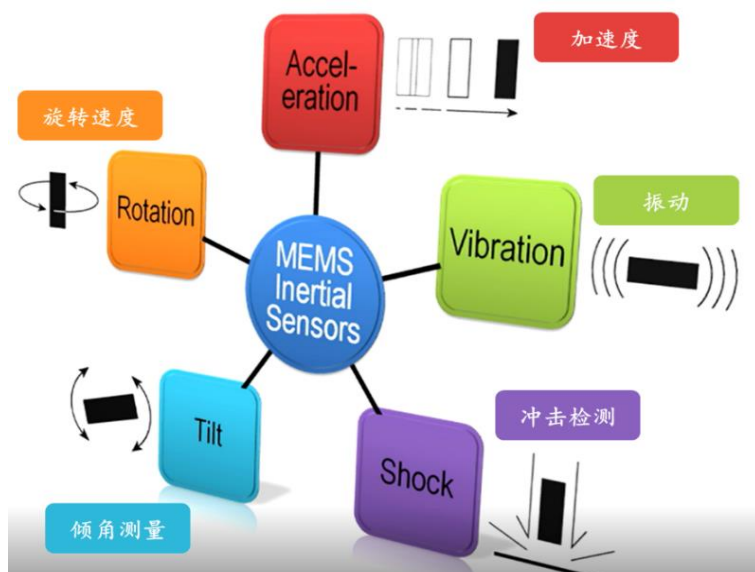
IMU 下游应用广泛,高性能产品聚焦高精尖领域。IMU 广泛应用于工业与通信、高可靠、汽车电子、医疗健康、消费电子等多个领域。从消费电子、汽车电子到工业与通信、高可靠、医疗健康, IMU 的应用涵盖了各个领域。随着 MEMS 惯性技术的持续进步,高性能 MEMS 惯性传感器应用逐渐拓展,到无人系统、自动驾驶、高端工业、高可靠等领域,而中低性能 MEMS 惯性传感器主要应用于消费电子和汽车等领域。IMU 的高性能产品在推动技术创新和满足复杂任务需求方面发挥着关键作用。

图表 3 IMU 应用领域

领域	应用
工业与通信	无人系统、工业机器人、石油勘探、测量测绘、高速铁路、精密农业、工程机械、寻北仪、光电吊舱、动中通、天线姿态监测、光伏跟踪系统、结构健康监测、振动监测等
高可靠	卫星姿态控制、航姿备份系统等
汽车电子	安全气囊、车身稳定系统、TPMS 胎压传感器、GPS 辅助导航、自动驾驶高精定位等
医疗健康	健康监测设备、植入式心脏起搏器、手术机器人、康复训练设备等

资料来源: 芯动联科招股书, 华创证券

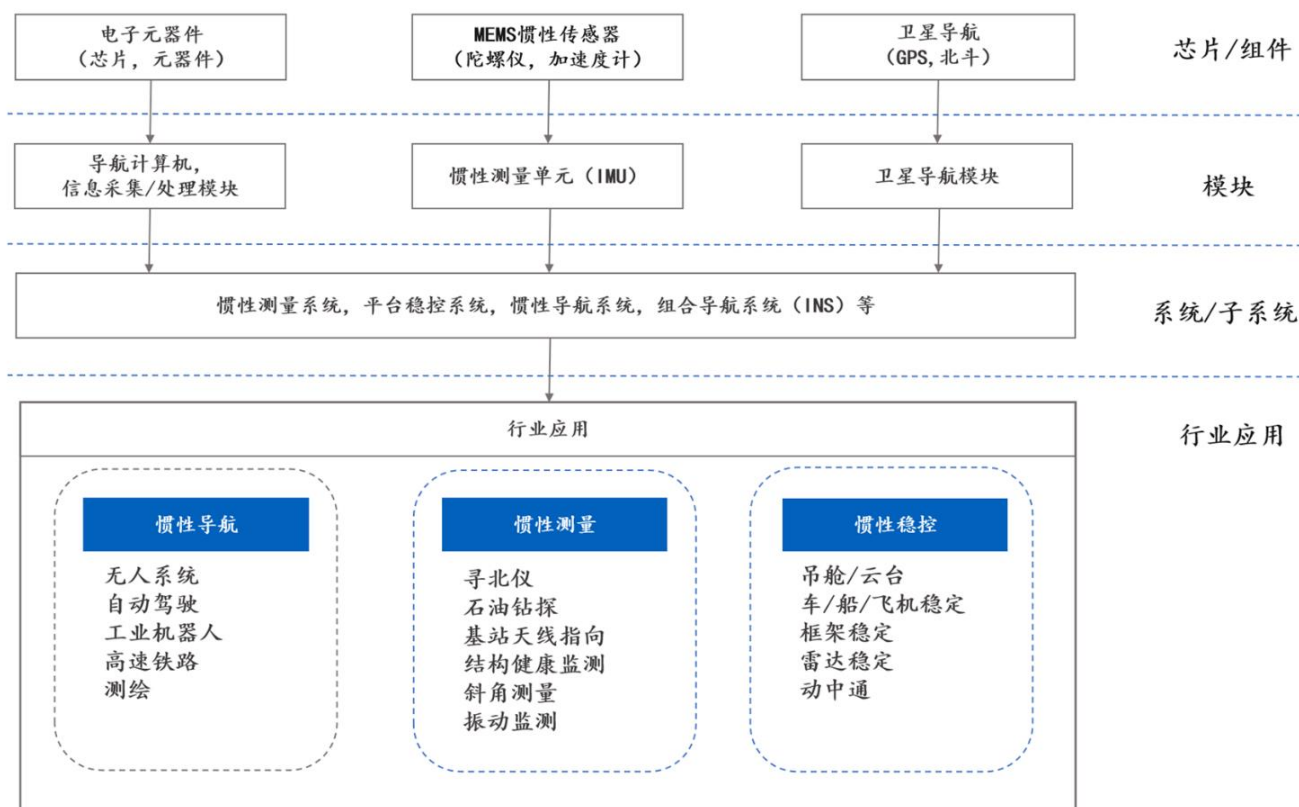
图表 4 IMU 测量五大物理量



资料来源：ADI

IMU 与卫星等其他导航模块形成惯性导航系统、组合惯性系统。从技术层次来看，惯性技术领域可以分为惯性器件与惯性系统两个层级，惯性器件主要包括测量角速率的陀螺仪和测量线加速度的加速度计；惯性系统是以惯性器件为核心，经下游应用端客户集成在相关设备中发挥惯性导航、惯性测量和惯性稳控的作用。其中惯性导航应用领域最为广泛，可以与卫星导航结合使用，形成组合导航系统。

图表 5 组合惯性导航系统

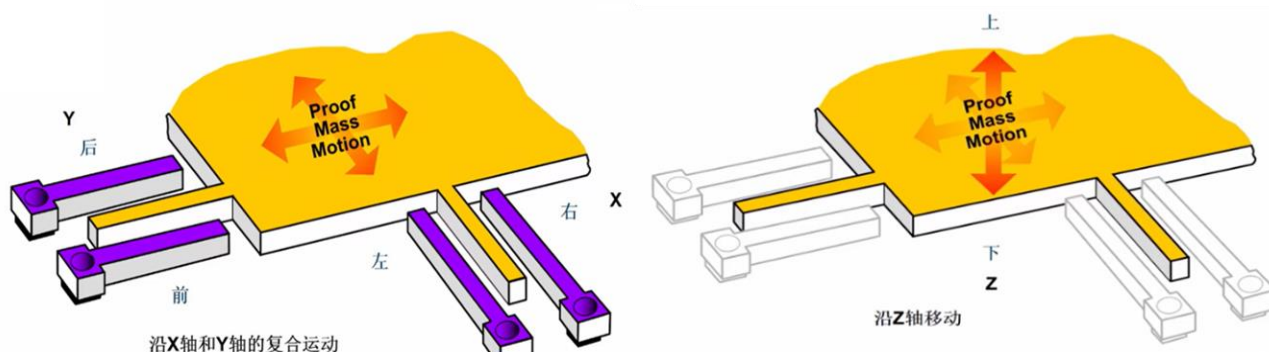


资料来源：芯动联科招股书，华创证券

（二）IMU 核心组成部分（1）：加速度计

MEMS 加速度计是一种惯性传感器，通常由质量块、阻尼器、弹性元件、电容极板（适用于电容式加速度计）和 ASIC 芯片（专用集成电路芯片）等部分组成。根据测量维度的不同，加速度计分为单轴、二轴、三轴三种类型。相比单轴、二轴加速度计仅能检测平面的运动状态改变，三轴加速度计可以实现单一产品测量三维空间的加速度，从而满足微型化及更多领域的应用需求。根据感测原理，MEMS 加速度计可分为压阻式、电容式以及压电式等多种类型；电容式 MEMS 加速度计具有高灵敏度、高精度、低温度敏感的特点，在市场中占据主导地位。

图表 6 三轴加速度计工作原理



资料来源：ADI

零偏稳定性是衡量加速度计性能的主要核心指标。加速度计的理论基础是牛顿第二定律，传感器在加速过程中，可通过对质量块所受惯性力的测量计算出加速度值。如果初速度已知，就可以通过对时间积分得到线速度，再次积分即可计算出直线位移。零偏稳定性、零偏重复性、线速度随机游走和标度因数精度是衡量加速度计性能的主要核心指标。

图表 7 加速度计性能指标

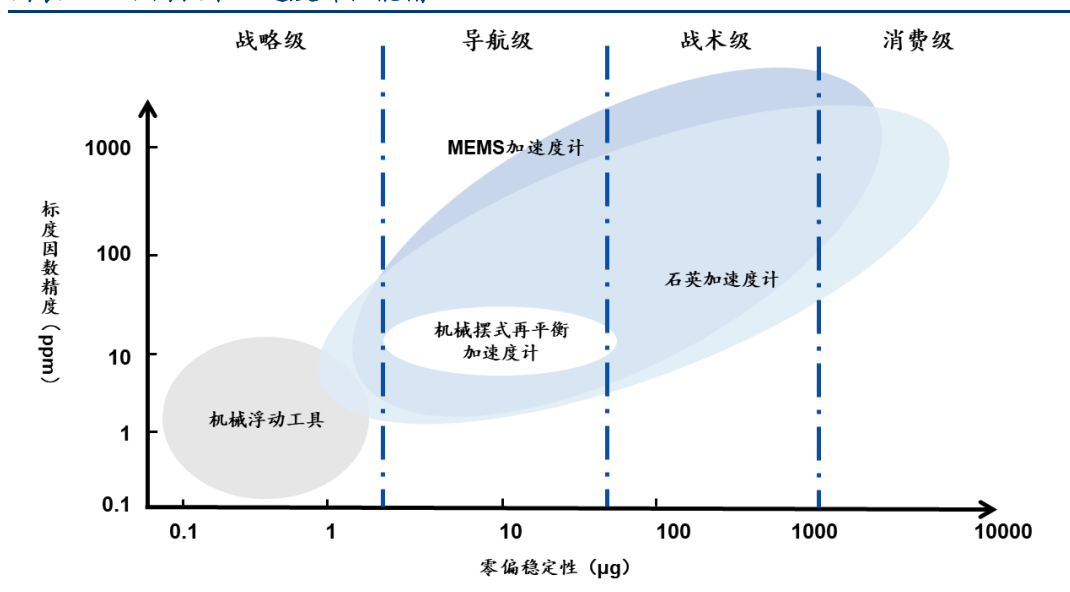
技术指标	说明
零偏稳定性	基于 ALLAN 方差方法，衡量加速度计在一个工作周期内，当输入线加速度为零时，加速度计输出值围绕其均值的离散程度。数值越小表示性能越高
零偏重复性	在同样条件下及规定间隔时间内，多天通电过程中，加速度计零偏相对其均值的离散程度，以多天测试所得零偏的标准偏差表示。数值越小表示性能越高
线速度随机游走	表征输出白噪声大小的一项技术指标，反映加速度计输出的加速度随时间积累的不确定性。数值越小表示性能越高
标度因数精度	表征加速度计由于温度变化、非线性、重复性等影响因素，标度因数围绕其均值的离散程度，一般用 ppm(parts per million) 表示。数值越小表示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

资料来源：芯动联科招股书，华创证券

按照性能和应用场景，加速度计分为战略级、导航级、战术级（工业+汽车）、消费级。战略级加速度计通常被用于航空航天等军事应用，要求精准测量和极高的性能。战术级加速度计在工业和汽车领域得到广泛应用，用于提高机械系统和车辆的性能。在工业领域，可用于监测和控制生产设备的运动，优化生产流程。在汽车领域，可用于车辆稳定性控制、车载导航和智能驾驶系统，以提高驾驶体验和道路安全性。消费级加速度计则广泛应用于智能手机、智能手表和其他便携式设备中，主要用于检测设备的运动和方向，实现屏幕旋转、步数计算和游戏体验等功能，关键特点是小型化、低功耗和经济性，以

满足大众消费市场的需求。

图表 8 不同技术加速度计性能情况



资料来源：芯动联科招股书，华创证券

针对不同应用领域，对加速度计的性能进行选择至关重要。加速度计可用于测量被测物体加速度，监测物体倾斜、震动或冲击情况。消费电子、汽车、工业、军事武器和航空航天导航等领域对被测物体加速度、倾斜、振动或冲击等方面的测量需求存在差异。例如，手机、可穿戴等消费电子对加速度计成本、功耗要求高，对稳定性、误差等方面无严苛要求。而战术、导航等应用对加速度计误差和稳定性要求更高，成本、功耗不是该类应用关注重点。因此，根据应用领域差异针对性地对加速度计性能参数进行选择至关重要。

图表 9 各类别加速度计主要应用领域、主要技术

类别	战略级	导航级	战术级	消费级
应用领域	航天，航海，自校准	航空，长航时无人系统，陆地巡航	高端工业（如测绘，资源勘探）、车辆和飞行体	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

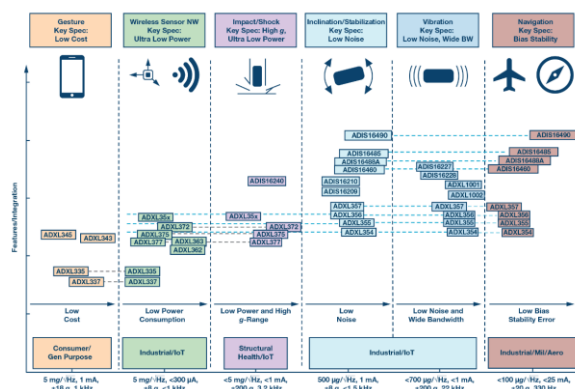
资料来源：芯动联科招股书，华创证券

图表 10 ADI 加速度计划分指标

加速度计等级	主要应用	带宽	g 值范围
消费电子	运动、静态加速度	0 Hz	1 g
汽车	碰撞/稳定性	100 Hz	<200 g/2 g
工业	平台稳定/倾斜	5 Hz 至 500 Hz	25 g
战术	武器/飞行器导航	<1 kHz	8 g
导航	潜艇/飞行器导航	>300 Hz	15 g

资料来源：ADI

图表 11 ADI 加速度计应用版图

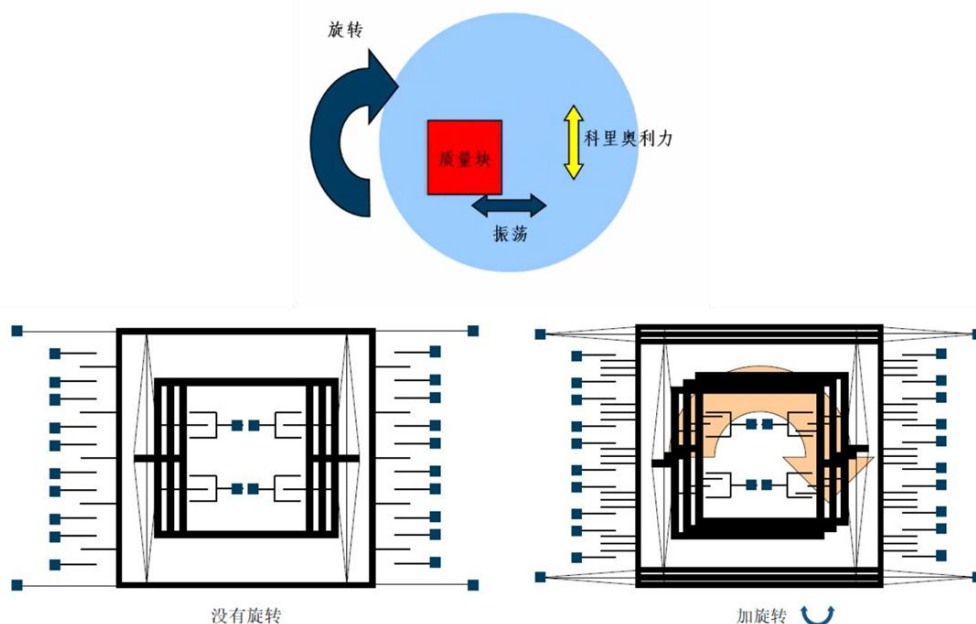


资料来源：ADI

（三）IMU 核心组成部分（2）：陀螺仪

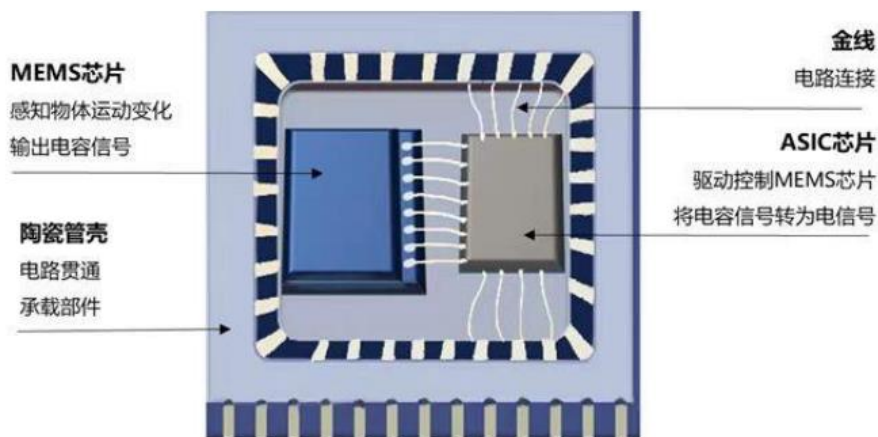
陀螺仪是测量角速率的一种器件，是惯性系统的重要组成部分，主要用于导航定位、姿态感知、状态监测、平台稳定等应用领域。陀螺仪通过按时间对角速度进行积分可得到角度位置，以此可以用来检测设备的姿势变化。陀螺仪传感器有多种类型，用途也很丰富。根据俯仰角、横滚角、航向角的检测轴数，分为单轴、双轴或三轴传感器。

图表 12 陀螺仪工作原理



资料来源：ADI，华创证券整理

图表 13 MEMS 陀螺仪内部结构示意图



资料来源：芯动联科招股书

陀螺仪主要包括激光陀螺仪、光纤陀螺仪和 MEMS 陀螺仪，技术发展相对成熟。激光陀螺仪和光纤陀螺仪分别属于第一代光学陀螺仪和第二代光学陀螺仪，激光陀螺仪利用光程差的原理来测量角速度，光纤陀螺仪与激光陀螺仪基本原理相同，但由于光纤可以进行绕制，激光回路长度增加，检测灵敏度和分辨率也提高，能有效克服激光陀螺仪的闭锁问题。MEMS 陀螺仪具备小型化、高集成、低成本的特点，加之高性能 MEMS 陀螺仪精度的不断提升，可解决光纤陀螺和激光陀螺由于体积较大、抗冲击能力弱的问题，满足高可靠、无人系统等领域智能化升级的要求，MEMS 陀螺仪的增量市场进一步拓展。

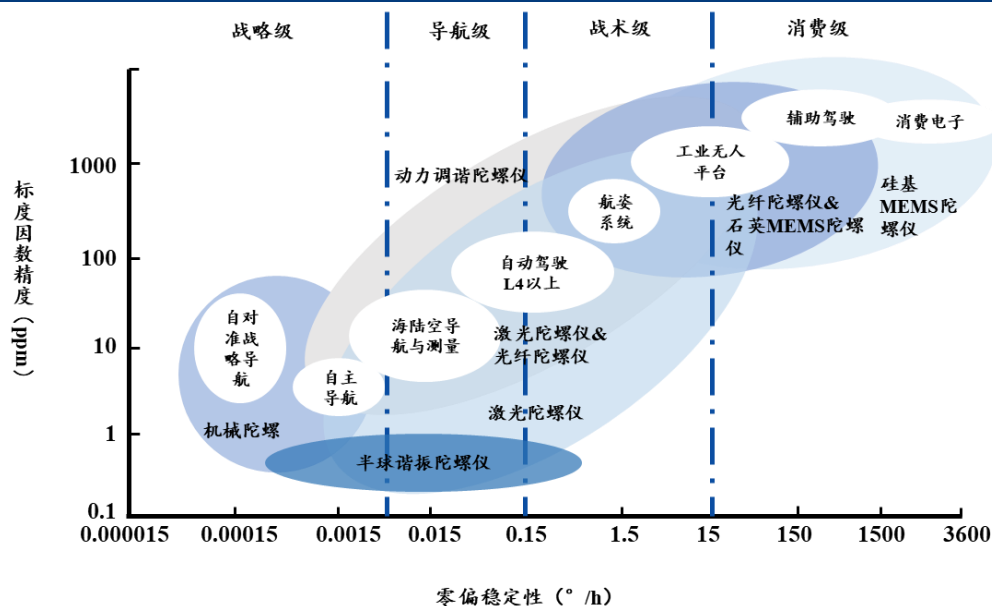
图表 14 MEMS 陀螺仪与“两光陀螺”具体差异

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及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	

资料来源：芯动联科招股书，华创证券

MEMS 陀螺仪较基本的分类方式是根据速率性能指标进行划分。根据性能指标，MEMS 陀螺仪可分为速率级、战术级和惯性级。其中，速率级性能要求最低，是目前使用最为常见的 MEMS 陀螺仪类型，广泛用于消费电子和汽车电子等领域。战术级性能要求较高，多用于工业物联网、机器人、自动驾驶、工业无人机和军事武器制导等领域。惯性级性能要求最高，多用于航空航天等领域。MEMS 陀螺仪在应用领域中的功能用途丰富，可为消费电子、汽车、工业、航空航天等领域提供低成本和高度智能化的技术实现方案。

图表 15 不同技术陀螺仪性能情况



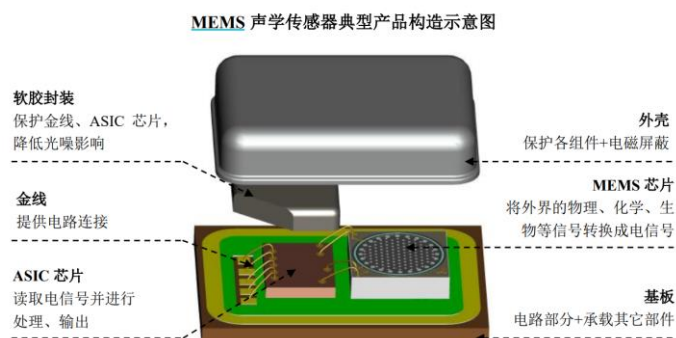
资料来源：芯动联科招股书

二、IMU 成长空间广阔，国产替代蓄势待发

（一）MEMS 传感器细分种类众多，应用场景丰富

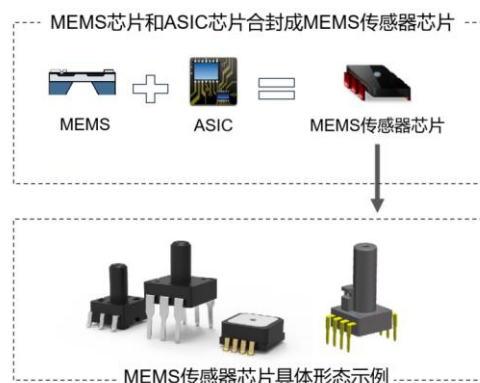
MEMS 传感器由 MEMS 芯片和 ASIC 芯片封装形成。MEMS（Micro Electromechanical System）微机电系统，是微电路和微机械系统按功能要求在芯片上的集成，通过采用半导体加工技术能够将电子机械系统的尺寸缩小到毫米或微米级。MEMS 产品主要分为 MEMS 传感器和 MEMS 执行器。其中，MEMS 传感器能感知某些物理、化学或生物量（如压力、可见光、声音、温度等）的存在和强度，并能将感知到的信息按一定规律转换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足系统对信息传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求，包括声学传感器、压力传感器、惯性传感器等；MEMS 执行器是一种实现机械运动或者产生力和扭矩等行为的器件，主要负责接收由传感器送来的电信号并将其转化为微动作或微操作，包括 MEMS 射频器件、喷墨打印头等。

图表 16 MEMS 声学传感器结构示意图



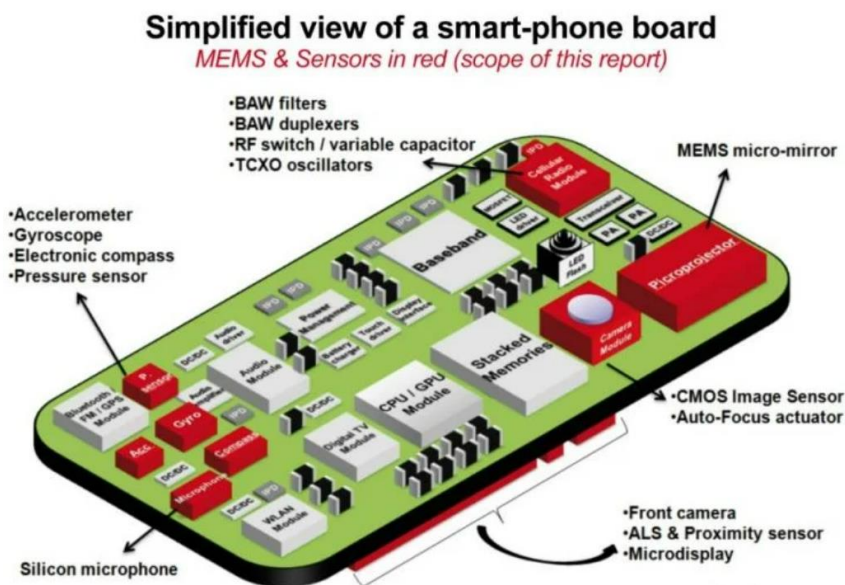
资料来源：歌尔微招股书

图表 17 MEMS 传感器芯片构成



资料来源：纳芯微招股书

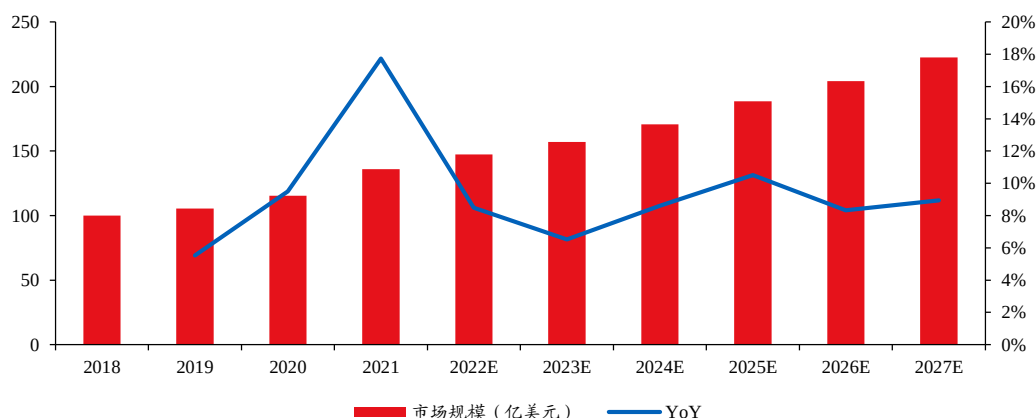
图表 18 手机集成多种 MEMS 传感器



资料来源: Yole, 转引自 ednchina

新型应用场景增加, 全球 MEMS 传感器发展空间进一步拓宽。随着科技的不断进步和各行业对智能化解决方案的需求增加, MEMS 传感器作为一种核心技术在众多应用领域上迅速崭露头角。微小而高灵敏度的 MEMS 传感器在汽车、消费电子、医疗保健、工业制造等领域发挥着关键作用, 为设备提供了更强大的感知和控制能力。根据 Yole 数据显示, 全球 MEMS 传感器市场规模从 2018 年的 99.94 亿美元增加至 2021 年的 135.95 亿美元, 预计 2027 年将达到 222.53 亿美元, 2021 年至 2027 年复合增长率达 8.56%。同时, MEMS 传感器的小型化、低成本以及低功耗特性, 也进一步推动了其市场的蓬勃发展。随着智能城市、物联网和自动驾驶等领域的不断拓展, 全球 MEMS 传感器市场预计将持续迎来更为显著的增长, 为未来科技发展带来更多创新可能性。

图表 19 2018-2027 年全球 MEMS 传感器市场规模 (亿美元)

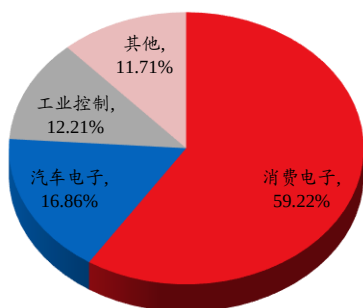


资料来源: Yole, 转引自明碁传感招股书, 华创证券

消费电子、汽车电子和工业控制为 MEMS 传感器主要应用领域, 合计占比超 80%。MEMS 传感器下游应用领域广泛, 在消费电子、汽车电子、工业控制、医疗和通信行业均有着不可或缺的作用。据 Yole 的数据, 2020 年 MEMS 传感器在消费电子、汽车电子和工业控制领域占比分别为 59.22%、16.86%、12.21%, 合计为 88.29%; 预计 2026 年, 三大领

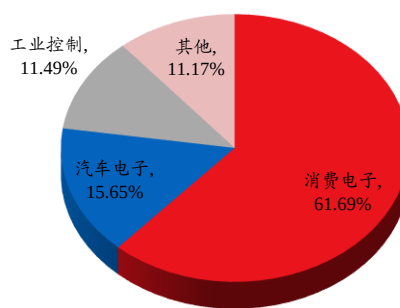
域占比将分别达到 61.69%、15.65%、11.49%，合计为 88.83%。在消费电子领域，MEMS 传感器被广泛应用于智能手机、可穿戴设备和家用电器中，为用户提供更智能、便捷的体验。在汽车电子方面，MEMS 传感器在车辆安全系统、导航系统和驾驶辅助技术中发挥关键作用，提升了驾驶的安全性和舒适性。而在工业控制领域，MEMS 传感器的高精度和可靠性使其成为生产自动化和工业物联网中不可或缺的组成部分，为制造业带来了更高效、智能的生产流程。随着这些领域的不断拓展和深化，MEMS 传感器将继续发挥关键作用，推动着相关行业的技术升级和创新发展。

图表 20 2020 年全球 MEMS 传感器下游应用占比



资料来源：Yole，华创证券

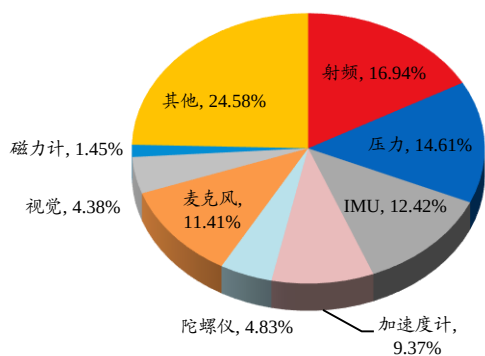
图表 21 2026 年全球 MEMS 传感器下游应用占比预测



资料来源：Yole，华创证券

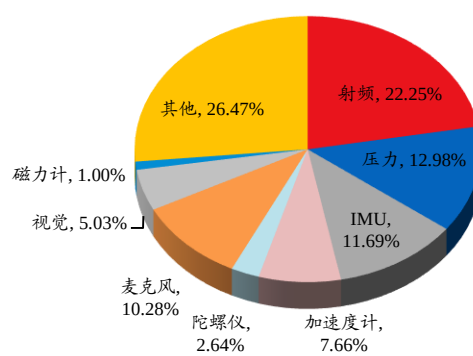
IMU 及核心零部件在所有 MEMS 细分传感器中占比最高。MEMS 传感器细分种类繁多，涵盖了广泛的应用领域；射频传感器、压力传感器、视觉传感器等等在汽车制造、医疗设备和工业自动化等领域扮演着重要的角色。MEMS 传感器因其小型化、低功耗和成本效益等特点，正成为各行业智能化和自动化发展的重要推动力。在所有种类的 MEMS 传感器中，IMU 及核心零部件占比最高。据 Yole，2020 年全球 IMU 及核心零部件占整体 MEMS 传感器市场规模的比例为 28.07%。（注：IMU 及核心零部件统计口径为 IMU、加速度计、陀螺仪和磁力计）

图表 22 2020 年全球 MEMS 传感器细分产品占比



资料来源：Yole，华创证券

图表 23 2026 年全球 MEMS 传感器细分产品占比预测

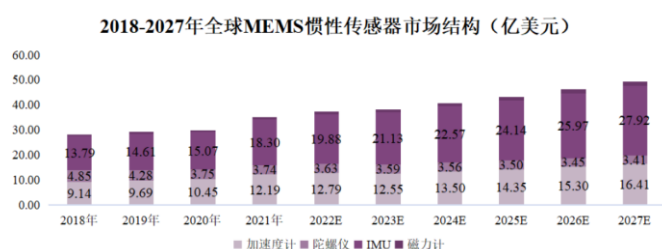


资料来源：Yole，华创证券

（二）惯性传感器市场蓬勃发展，IMU 占比快速提升

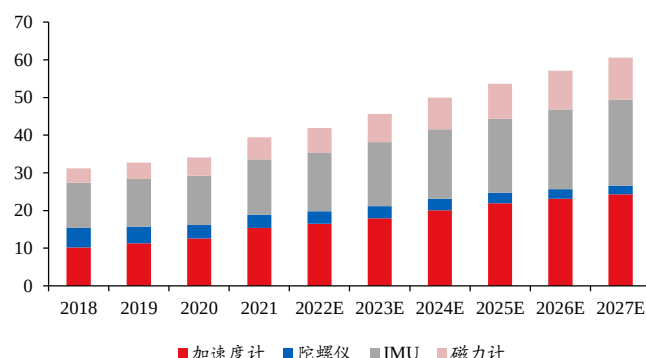
全球 MEMS 惯性传感器市场有望在 27 年达到近 50 亿美元。根据 Yole 的预测，全球 MEMS 惯性传感器市场规模从 2018 年的 28.31 亿美元、31.21 亿颗增长至 2021 年的 35.09 亿美元、39.39 亿颗，预计将于 2027 年增长至 49.43 亿美元、60.60 亿颗，2018 年至 2027 年复合增长率分别为 6.39% 和 7.65%。其中，MEMS 加速度计市场规模预计将从 2018 年的 9.14 亿美元、10.23 亿颗增长至 2027 年的 16.41 亿美元、24.28 亿颗；MEMS 陀螺仪的市场规模预计将从 2018 年的 4.85 亿美元、5.13 亿颗减小至 2027 年的 3.41 亿美元、2.32 亿颗；IMU 市场规模有望从 2018 年的 13.79 亿美元、12.04 亿颗增长至 2027 年的 27.92 亿美元、22.82 亿颗。

图表 24 全球 MEMS 惯性传感器市场结构（亿美元）



资料来源：Yole，转引自明碁传感招股书

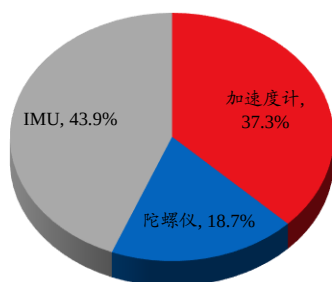
图表 25 全球 MEMS 惯性传感器市场结构（亿颗）



资料来源：Yole，转引自明碁传感招股书，华创证券

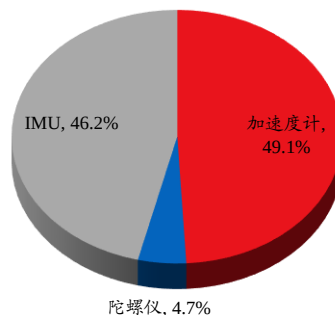
IMU 集成多种惯性传感器能力，结构占比持续提升。从 MEMS 惯性传感器产品结构来看，MEMS 加速度计和 IMU 的需求量持续增长，MEMS 陀螺仪则呈现逐年萎缩态势，主要原因系独立的 MEMS 陀螺仪在高端消费电子和汽车电子市场中逐渐被 IMU 所替代。据 Yole，IMU（按需求量口径）产品结构占比预计将从 2018 年 43.9% 提升至 2027 年 46.2%。由于 IMU 集成了多种 MEMS 惯性传感器的功能，且在功耗、尺寸和信号处理上更有优势，未来有望在汽车电子稳定控制系统、高端消费电子等更多领域也对独立的 MEMS 惯性传感器进行替代，占比将进一步上升。

图表 26 2018 年全球 MEMS 惯性传感器产品结构



资料来源：Yole，转引自明碁传感招股书，华创证券（需求量口径）

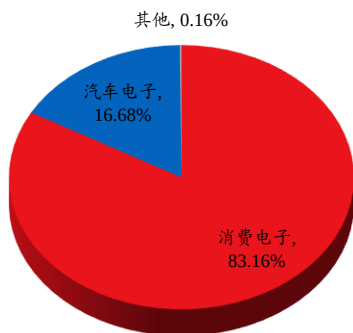
图表 27 2027 年全球 MEMS 惯性传感器产品结构预测



资料来源：Yole，转引自明碁传感招股书，华创证券（需求量口径）

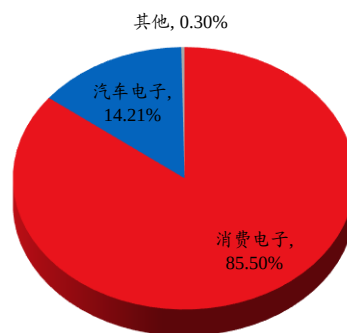
消费电子、汽车电子是 MEMS 惯性传感器的主要应用领域。随着智能手机市场回暖以及汽车智能化的进一步发展，根据 Yole 的统计数据，按照销售量来看，消费电子占 MEMS 惯性传感器应用领域的绝大部分，其占比预计从 2021 年的 83.16% 增加至 2027 年的 85.50%；其次是汽车电子市场，其占比从 2021 年的 16.68% 降为 2027 年的 14.21%。

图表 28 2021 年全球惯性传感器应用领域



资料来源：Yole，转引自明碁传感招股书，华创证券（需求量口径）

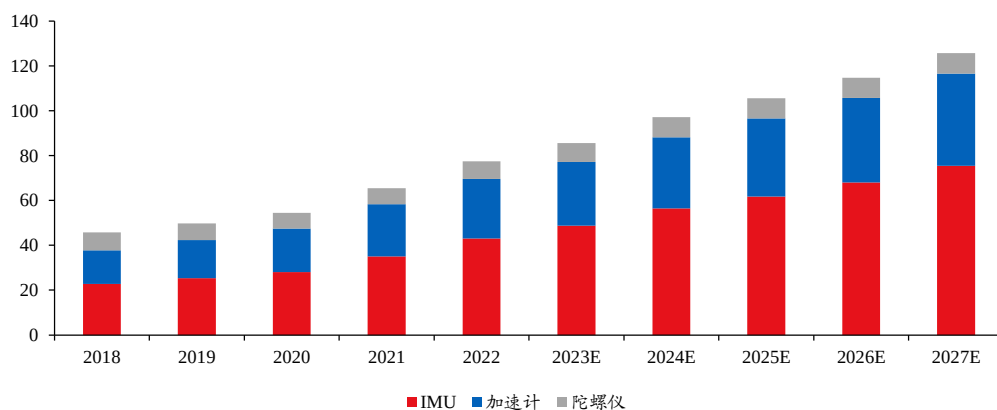
图表 29 2027 年全球惯性传感器应用领域



资料来源：Yole，转引自明碁传感招股书，华创证券（需求量口径）

汽车电动、智能化催生国内 IMU 市场新增量。芯谋数据显示，在 2022 年我国惯性传感器市场中，IMU 是市场份额最大的品类，占比约为 56%。随着 IMU 技术的成熟和系统综合成本的下降，整个 MEMS 惯性传感器市场正在经历巨大的变革，独立的 MEMS 加速度计和陀螺仪越来越多地被 IMU 所取代。在汽车市场，IMU 正在逐渐取代独立的加速度计和陀螺仪应用，被更多地用于主动转向、翻滚检测、ESC 以保障 ADAS/AV 高度自动化和完全自动化驾驶。因此，国内 IMU 市场将会在新能源车、智能汽车需求增量和替换量双重利好的情况下快速增长，2022 年我国 IMU 市场规模达到 43.1 亿元，预计将以 11.9% 的复合增速增长，至 2027 年将达 75.5 亿元。

图表 30 2018-2027 年我国惯性传感器市场规模（亿元）



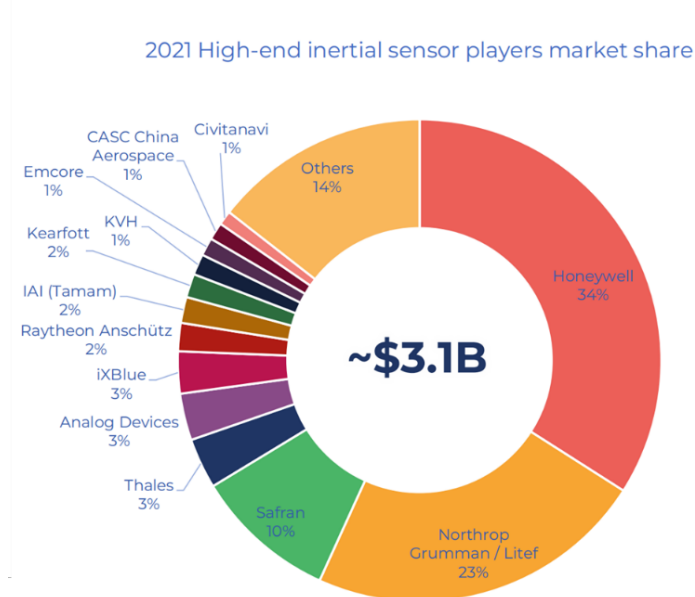
资料来源：芯谋研究，华创证券

（三）海外龙头占据主要份额，国内厂商奋力突围

海外巨头占据主导地位，核心壁垒高筑。根据 Yole 的统计数据，2021 年度 MEMS 惯性传感器市场仍由国际大厂主要占据，MEMS 加速度计、MEMS 陀螺仪、IMU 市场的

前五大厂商均为国际大厂，分别占据各自市场的 84%、83%、88%。Honeywell、ADI、博世等海外大厂在技术研发、制造工艺和市场拓展方面拥有雄厚的实力和经验，形成了核心的壁垒，能够在全局范围内取得竞争优势。

图表 31 2021 年全球 MEMS 惯性传感器市场占有率



资料来源: Yole

我国 MEMS 惯性传感器市场仍主要由国际大厂占据。2022 年我国加速度计市场前三大厂商分别为 BOSCH、ST 和 Murata，分别占据了 28%、18%和 12%的市场份额。相比国际领先企业，本土企业仍处于跟随状态，市场占有率相对较低。随着本土加速度计的技术逐渐成熟，目前各大本土厂商正在持续发力追赶。本土企业中，士兰微和美新半导体份额最大，在所有厂商中占比为 9%和 7%。其余前五大本土厂商为明碁传感、矽睿科技和敏芯股份。我国陀螺仪市场主要厂商和加速计类似，国际巨头 Bosch、ST、TDK 和国内企业芯动联科、矽睿科技均有布局。

图表 32 2022 年我国 MEMS 加速度计市场占有率

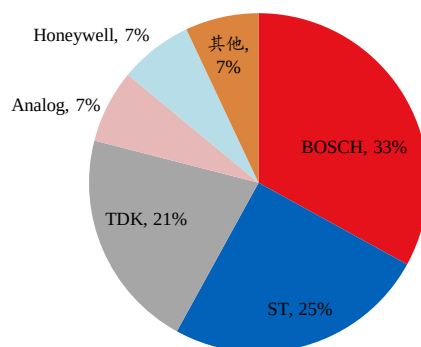
序号	前五大企业		前五大本土企业	
1	博世	28%	士兰微	9%
2	ST	18%	美新半导体	7%
3	Murata	12%	明碁传感	4%
4	NXP	11%	矽睿科技	1%
5	士兰微	9%	敏芯股份	<1%
总计	-	78%	-	22%

资料来源: 芯谋研究，华创证券

我国 IMU 市场相对集中，国产替代空间广阔。2022 年，我国 IMU 市场前五大厂商均为外资厂商，合计占据了 93%的市场份额，本土厂商市场份额比较小，面临市场竞争压力较大。2022 年我国 IMU 市场最大本土厂商为矽睿科技，市场份额占比为 2%；其余厂商占比均小于 1%。IMU 作为一个重要的传感器应用领域，随着智能化、自动化等领域的不断拓展和应用，市场前景十分广阔。相比国际厂商，本土厂商在本地化服务、供应链整

合等方面进行差异化竞争，未来国产替代空间广阔。

图表 33 2022 年我国 IMU 市场竞争格局



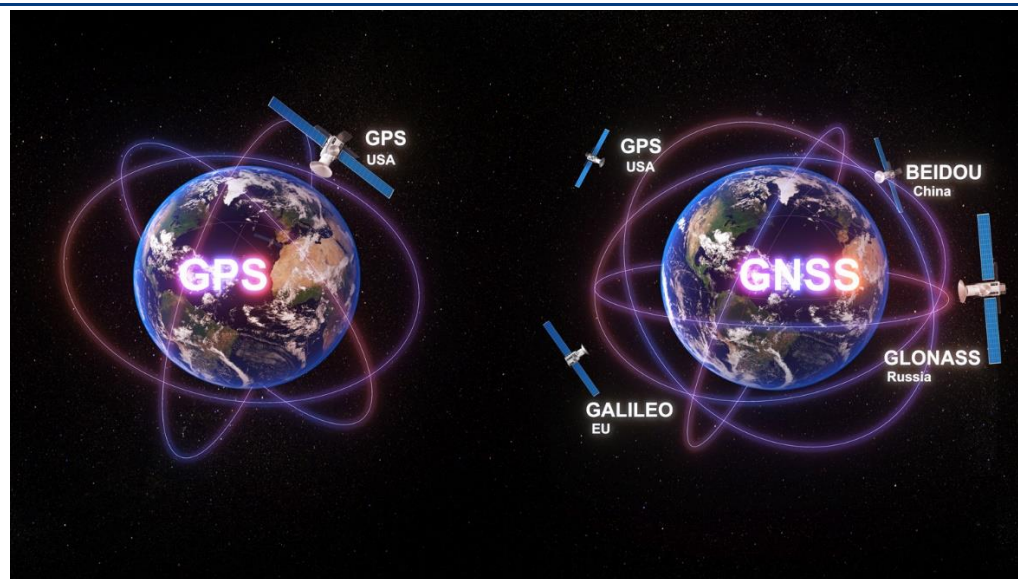
资料来源：芯谋研究，华创证券

三、人形机器人和智能汽车双轮驱动，IMU 迎来发展新机遇

（一）“GNSS+INS”组合导航系统加速成为 L2+智能汽车的方案

全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System，简称 GNSS）是目前最常用的车辆定位方法。典型的 GNSS 平均精度从几米到 20 米以上，限制了其在无人驾驶汽车上的应用，逐渐衍生出 DPGS、AGNSS 和 RTK-GNSS。尽管 DGNSS、AGNSS 和 RTK-GNSS 提高了传统 GNSS 的精度，但它们仍适用于开阔区域，由于信号遮挡、多路径误差和其他因素，在包括高层建筑和大树等在内的遮挡环境中可靠性较差。此外，GNSS 输出频率较低，而无人驾驶的规划控制子系统需要高频率的定位信息。因此，单靠 GNSS 无法提供一致可靠的定位精度，GNSS 需要与其他传感器融合进行定位。

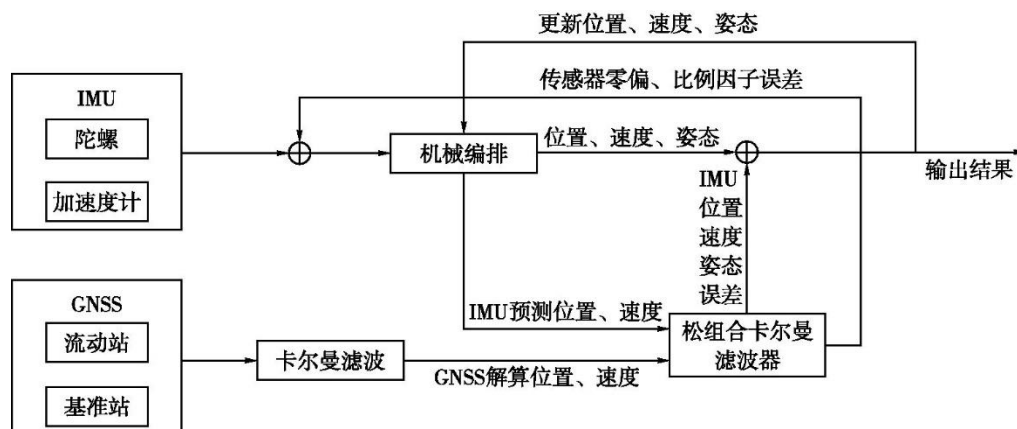
图表 34 GNSS 示意图



资料来源：cast navigation

为充分发挥 GNSS 和 IMU 的优势，二者通常组合形成 GNSS/INS 组合导航。单独的 IMU 测量受到多种噪声的影响，在多次积分过程中被放大，呈指数增长，并随着时间的推移而累积。GNSS/INS 组合导航可以分为松耦合、紧耦合和深耦合三种常用的集成方式。松耦合结构简单，将 GNSS 和 INS 独自解算的定位结果进行组合。紧耦合直接使用 GNSS 原始数据对 INS 进行量测更新。深耦合更进一步地利用 GNSS 信息，是一种硬件层面的组合方式，使得 GNSS 能够辅助 INS 量测更新的同时使得 INS 的解算结果能够辅助 GNSS 接收机的跟踪环路，提升组合导航系统的性能。

图表 35 GNSS/INS 组合导航算法流程

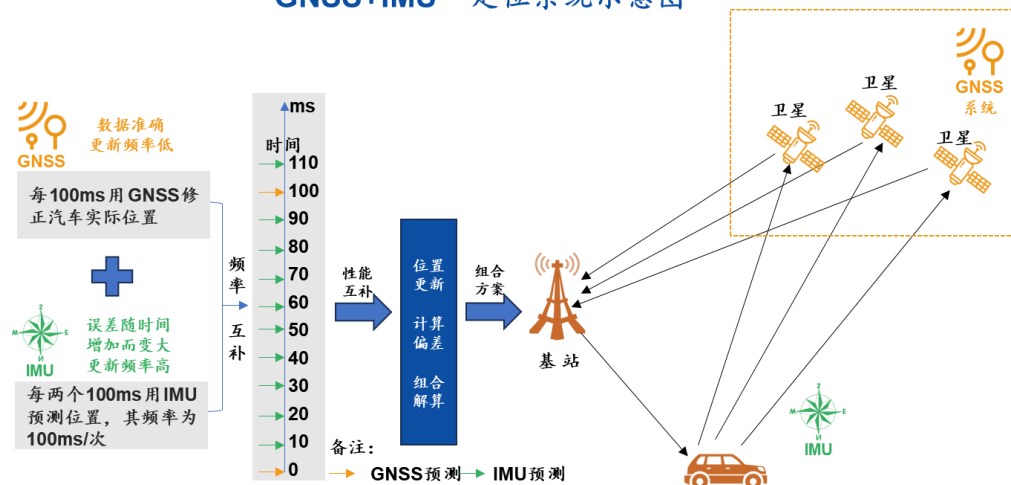


资料来源：张波等《GNSS+INS 组合定位在矿山无人驾驶卡车的应用》

智能汽车导航通常使用卫星导航系统与惯性导航系统相结合。在卫星信号微弱或丢失的情况下，车辆可依靠惯性导航系统继续导航，确保其稳定运行，提升了自动驾驶系统的可靠性和稳定性。惯性导航利用惯性测量组件（IMU）测量载体的角速率和加速度信息，根据牛顿运动定律自动推算载体的瞬时速度和位置信息，不受外界信息、能量辐射或干扰影响，并具有较高的隐蔽性。卫星导航覆盖了大多数应用场景，而惯性导航则主要作为卫星导航的辅助，两者结合使用可增强导航系统在各种环境下的稳定性。

图表 36 GNSS/INS 组合系统用于汽车导航

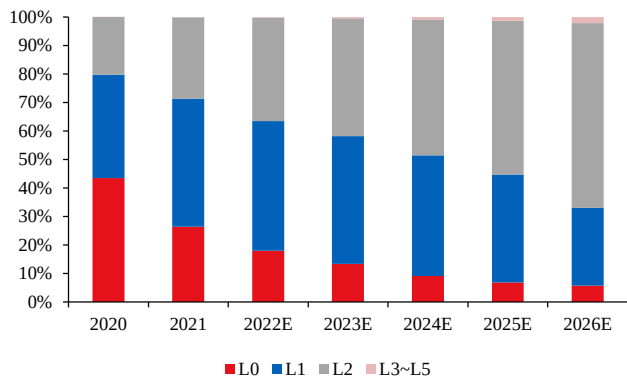
“GNSS+IMU”定位系统示意图



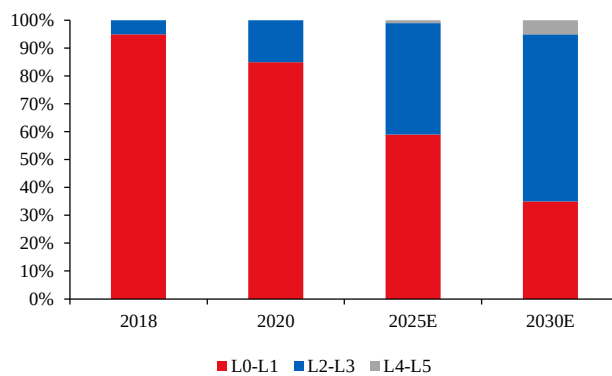
资料来源：头豹研究院《2020 年中国惯性导航行业概览》，华创证券整理

自动驾驶 L2+等级渗透率在全球及我国快速增长。根据 ICV Tank 数据显示，全球范围内 L0 级别汽车的渗透率正在显著下滑，而 L1 级别汽车则呈现先上升后下滑的走势。与此同时，L2 级及以上高级别自动驾驶汽车的渗透率持续增长，预计到 2026 年，L0、L1、L2+渗透率将分别达到 5.8%、27.3%和 66.9%。另据罗兰贝格数据显示，预计到 2025 年，我国 L2 级及以上自动驾驶汽车的渗透率将达到 41%，而到 2030 年将达到 65%的水平。

图表 37 全球各级别自动驾驶渗透率



图表 38 我国各级别自动驾驶渗透率



资料来源：ICV Tank，华创证券

资料来源：罗兰贝格，转引自中国智能交通协会，华创证券

GNSS+IMU 组合导航方案正迅速普及，成为 L2 级及以上车型的主流选择。部分 L2 级车型通过搭载高精定位和高精地图实现了高速领航自动驾驶，如小鹏 P7，蔚来 EC6、ES6、ES8，广汽埃安 V、埃安 LX 等车型可以选装高精定位模块，一汽红旗 E-HS9、2021 款理想 ONE 等车型标配高精定位模块。除了现有量产车型，2021 年以来各主机厂又相继推出了 10 多款搭载高精度定位技术的车型，如小鹏 P5、蔚来 ET7、哪吒 U Pro、埃安 V Plus、埃安 LX Plus 等。据百度 Apollo 研究测试结果显示，GNSS-RTK 可实现 65%的综合场景定位误差小于 20cm 的覆盖率，GNSS+IMU 的卫惯组合则可以实现 85%左右的场景覆盖，GNSS+IMU+感知与地图的融合高精度定位系统可以实现 97.5%的覆盖率。

图表 39 部分搭载高精导航技术的车型

公司	车型	上市时间	配置高精定位的车款	导航方案
一汽红旗	E-HS9	2020 年 12 月	标配	高精度地图 + GNSS+IMU+RTK
埃安	埃安 V Plus	2021 年 9 月	80 智享科技版选配、80 领航智驾版、90 超长续航版标配	高精度地图 + GNSS+IMU+RTK
	埃安 LX Plus	2022 年 1 月	80D 旗舰版标配、ADiGO 3.0、80DMax 版标配、ADiGO 4.0	高精度地图 + GNSS+IMU+RTK
小鹏	小鹏 P7	2020 年 4 月	智尊版和鹏翼版	高精度地图 + GNSS+IMU+RTK
	小鹏 P5	2021 年 9 月	460E/550E 搭载 XPiLOT 3.0	高精度地图 + GNSS+IMU+RTK
蔚来	EC6	2020 年 7 月	签名版标配，其他车款选装（精选包 1.5 万元，全配包 3.9 万元）	GPS + 高精度地图
	ES6	2020 年 5 月		
	ES8	2020 年 4 月		
	ET7	2021 年 1 月	消费者选装，每月支付 680 元订阅服务	高精度地图 + 高精度定位终端+V2X
理想	理想 ONE	2021 年 5 月	2021 款标配	高精度地图 + GNSS+IMU+RTK
	L9	2022 年 6 月	标配	高精度地图 + GNSS+IMU+RTK

资料来源：佐思汽研，华创证券

我们对国内自动驾驶领域 IMU 的未来空间进行测算，参考产业链相关情况，我们做出如下假设：

- 1、参考罗兰贝格，国内 L2+渗透率 2025 年为 41%，2030 年为 65%，期间稳定增长。
- 2、参考佐思汽研给出的 2021 年中国 L2 级自动驾驶乘用车的单颗 IMU 装配率已突破 20%，并伴随自动驾驶渗透率等级的提升，装配率平滑提升至 65%。
- 3、参考中国汽车工业协会，2023 年全国乘用车销量为 2606 万台，并预计每年保持 5% 的递增。
- 4、2023 年车载 IMU 单价为 1300 元左右，逐年递减。

图表 40 我国自动驾驶领域 IMU 市场空间测算

	2022	2023	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
我国乘用车销量（万台）	2,356	2606	2737	2873	3017	3168	3326	3493	3667
YoY			5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
L2+渗透率	26%	31%	36%	41%	46%	51%	56%	61%	65%
我国 L2+乘用车销量（万台）	613	808	985	1178	1388	1616	1863	2131	2384
单颗 IMU 装配率	24%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%
IMU 价格（元）	1400	1300	1300	1300	1200	1200	1000	1000	1000
自动驾驶领域 IMU 市场空间（亿元）	20.58	31.51	44.83	61.26	74.95	96.94	102.45	127.83	154.94

资料来源：罗兰贝格，佐思汽研，中国汽车工业协会，华创证券测算

根据测算结果，2023 年我国自动驾驶领域车载 IMU 市场规模为 31.51 亿元，到 2030 年将提升至 154.94 亿元，期间 CAGR 为 25.55%。

（二）IMU 是人形机器人导航和稳控的关键

Optimus 展示强大平衡能力和行走导航能力。2023 年 9 月发布的 GEN1 视频中，Optimus 除了能灵活抓取物品外，已经可以做出多个单腿支撑的动作并且能在拉伸的同时保持躯干平衡，摆出较高难度的瑜伽姿势，表现了出众的姿态控制能力。2023 年 12 月份发布的 GEN2 视频中，运动能力更为超预期，Optimus 不仅能完成较为精细化的动作如步速提升 30% 的较快行走，而且在深蹲、跳舞等任务上也展现了较强的运动和核心控制能力。

图表 41 Optimus 展示平衡控制能力



资料来源：特斯拉，科创板日报

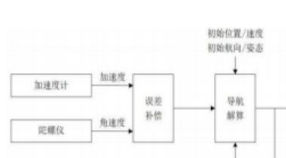
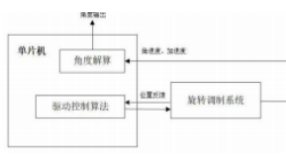
图表 42 Optimus 展示行走导航能力



资料来源：特斯拉，澎湃新闻

IMU 在人形机器人中发挥的作用主要体现在精确的姿态控制和平衡维持、导航和定位、动作执行和路径规划三个方面。首先，在姿态控制和平衡方面，IMU 通过连续监测系统姿态与位置变化，并利用伺服机构动态调整系统姿态，帮助机器人维持稳定的姿态和平衡，尤其在人形机器人执行各种动作时，需要精确地控制机体姿态和平衡。其次，在导航和定位方面，IMU 利用对角速率和线加速度按时间积分以及叠加运算，可以动态确定自身位置变化，不借助外源信息，独立使用。同时，结合卫星定位，IMU 可以提供准确的室内和室外定位信息，从而大大提升人形机器人在复杂环境中导航和定位的能力。最后，在动作执行和路径规划方面，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，并利用 IMU 数据进行路径规划，避开障碍物，规划出更合理的运动轨迹。

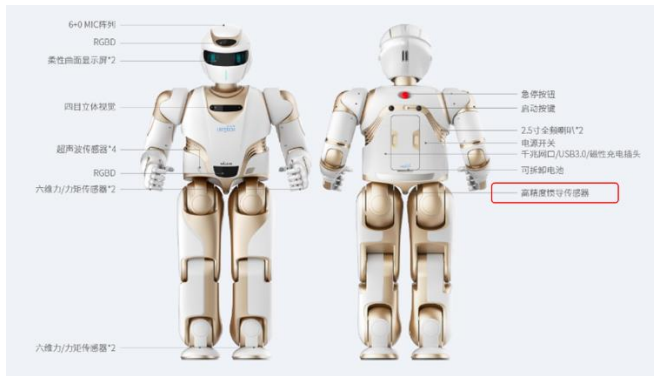
图 43 IMU 在人形机器人上的应用

应用方向	具体内容	原理图
惯性导航	惯性导航系统的核心器件是陀螺仪和加速度计。通常情况下，每套惯性系统包含三轴陀螺仪和三轴加速度计，分别测量三个自由度的角速率和线加速度；通过对角速率和线加速度按时间积分以及叠加运算，可以动态确定自身位置变化，从而确定自身移动轨迹以实现导航功能。	
惯性测量	惯性测量系统是利用陀螺仪、加速度计等惯性敏感元件和电子计算机测量载体相对于地面运动的角速率和加速度，以确定载体的位置和地球重力场参数的组合系统。	
测量稳控	惯性稳控是通过连续监测系统姿态与位置变化，利用伺服机构动态调整系统姿态，使被稳定对象与设定目标保持相对稳定的装置。惯性稳控利用陀螺仪敏感框架的角速率信号，利用控制算法进行伺服结构的控制，保持在外部干扰情况下平台的稳定，提高平台设备工作的性能。	

资料来源：芯动联科招股书，华创证券

IMU 有望集成在众多行业标杆人形机器人和机器狗中。特斯拉的 Optimus、波士顿动力的 Atlas、优必选的 Walker X、宇树的 H1、小米的 Cyber One 以及智元的远征 A1 等代表性人形机器人产品均有望采用 IMU 方案，以满足对高精度导航和稳控的需求。不仅如此，小米的机器狗 Cyber Dog 也配置了 IMU，有望打开更广泛的“机器人”应用前景。

图表 44 优必选 Walker X 采用高精度 IMU



资料来源：优必选官网

图表 45 小米机器狗配置 IMU



资料来源：小米，智慧芽澎湃号

我们对特斯拉人形机器人 IMU 的未来空间进行测算，参考产业链相关情况，我们做出如下假设：

1、假设目前可用于人形机器人的 IMU 价格约为 600 元，并随量产规模价格递减。

注：考虑到人形机器人的应用场景更偏向于室内的制造或者陪护，精度要求低于车规级但高于消费级。

2、参考德国的 Mihaela Popescu 团队研发的人形机器人 RH5 需要 4 个 IMU 以控制姿态和稳定机体。

根据测算结果，在特斯拉 Optimus 量产达到 10/50/100 万台时，IMU 的单 BOT 价值量分别为 2400/2000/1600 元；对应的市场规模分别为 2.4/10/16 亿元。

图表 46 人形机器人 IMU 市场空间测算

量产台数	10 万台	50 万台	100 万台
单台 Optimus 所需 IMU 数量	4	4	4
IMU 价格（元）	600	500	400
单 BOT 价值量（元）	2400	2000	1600
IMU 市场规模（亿元）	2.4	10	16

资料来源：华创证券测算

四、国产厂商迎难而上，加速破局

（一）华依科技：IMU 获得车厂定点，实现从“0”到“1”的突破

华依科技成立于 1998 年，是一家专注于汽车动力总成智能测试技术开发的高新技术企业，2004 年交付首台发动机冷试台架，打破外资垄断局面，2013 年以来，将产业范围拓展至变速箱、涡轮增压器、水油泵、新能源总成等动力总成分测试领域，2016 年进入汽车动力总成测试服务领域，由测试设备供应商向测试服务商转型，2020 年惯导组合系统通过上汽乘用车前瞻技术研究部的验证测试，标志着华依正式进入自动驾驶智能传感器领域，随着 IMU 项目逐步落地，有望打开公司的新成长空间。

图表 47 华依科技组合导航系统（车规级 GNSS 模块和 ASIL-B 级别 IMU）



资料来源：华依科技公司官网

新获 IMU 项目定点，加快高精度定位领域布局。公司前瞻布局惯性导航业务，2020 年与上汽集团签署技术合作开发备忘录，联合开发高级别自动驾驶中的定位技术。公司通过对 IMU 前期的研发布局，现已进入收获期。继 2022 年获奇瑞汽车定点后，2023 年公司分别获得智己汽车某项目惯性导航总成和某客户某车型惯性导航定点的开发通知书，充分彰显了公司在车载惯性导航行业的技术优势，公司惯导产品逐渐得到市场认可。

图表 48 公司已获定点项目

时间	客户名称	定点业务
2022 年 10 月	奇瑞汽车	某项目高精定位模块系统的开发工作
2023 年 2 月	智己汽车	某项目惯性导航总成定点的开发工作
2023 年 9 月	某客户	某车型惯性导航定点的开发工作

资料来源：华依科技公司公告、华创证券

（二）芯动联科：陀螺仪为优势产品，性能指标已达国际先进水平

芯动联科以陀螺仪为核心产品，向 IMU 积极延伸。芯动联科成立于 2012 年，公司的惯性传感产品主要包括 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，并通过惯性技术实现物体运动姿态和运动轨迹的感知。公司高性能 MEMS 惯性传感器经过下游模组和系统厂商的开发与集成，可以成为适用于不同领域的惯性系统。目前，公司产品广泛应用于国内高端工业、无人系统和高可靠领域。

图表 49 芯动联科 MEMS 传感器产品应用

产品图示	用途	行业典型应用场景
 MEMS 加速度计	惯性导航	飞行体、车、船、测绘
	平台稳定	吊舱、车、船、飞机、动中通、雷达
	姿态感知	航姿仪、微纳卫星、石油勘探、寻北仪、动中通
	状态监测	5G 基站、高速铁路、机器人

 MEMS 陀螺仪	惯性导航	飞行体、车、船、机器人等平台导航
	平台稳定	飞行体、车、船、机器人等平台稳定
	姿态感知	飞行体、车、船、机器人、卫星等姿态感知
	状态监测	工业设备、桥梁、高铁轨道、5G 基站等设备的监测
资料来源：芯动联科招股书，华创证券		

产品性能比肩海外龙头，市场竞争力强。公司高性能 MEMS 惯性传感器具有小型化、高集成、低成本的优势，其核心性能指标达到国际先进水平。分别选取 Honeywell 产品线中的两款代表性激光陀螺仪，以及 Emcore 产品线中的两款代表性光纤陀螺仪进行对比，公司产品零偏稳定性、角度随机游走、标度因数精度等核心指标达到或接近上述产品，同时，具有小型化、高集成、低成本的优势，技术特点明显，具备较强的市场竞争力。

图表 50 公司高性能 MEMS 陀螺仪与海外龙头陀螺仪的核心指标对比

性能指标	指标说明	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)	公司产品 (陀螺仪 33 系列)
零偏稳定性 ($^{\circ}/h$)	稳定性指标越小，自主导航时间越长	0.25	1	0.02	0.01	≤ 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	0.125	0.04	0.012	0.002	≤ 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	150	100	10	50	≤ 100
产品体积 (立方毫米)	-	-	83.8*83.8*20.3	-	83.8*83.8*20.3	11*11*2
产品重量 (克)	-	-	27	-	380	1
平均价格 (单轴) (美元)	-	-	12,554	-	28,129	1,100

资料来源：芯动联科招股书，华创证券

（三）明皚传感：2021 年位列全球 MEMS 加速度计厂商第七位

明皚传感成立于 2011 年，公司围绕 MEMS 惯性传感器进行布局，形成了以 MEMS 加速度计为核心的产品组合，主要应用于智能手机、智能穿戴、平板/笔记本电脑等消费电子领域，智能家居、智慧畜牧等物联网领域以及车载应用领域。凭借小型化、低成本、高性能、高可靠性的优势，公司已向荣耀、小米、联想、歌尔、三星、谷歌、Comcast 等行业知名终端客户批量供货。此外，公司车规级 MEMS 加速度计已向东软集团批量供货，并已导入比亚迪等汽车级客户。

图表 51 明镭传感下游客户



资料来源：明镭传感招股书，华创证券

公司产品具有小型化、低成本、失效风险低等优势，在关键性能指标上达到或优于国际竞品水平。公司研发团队拥有丰富的 MEMS 设计和工艺平台开发经验，自研完成了晶圆级 3D MEMS-CMOS 微加工工艺平台技术，可满足包括 MEMS 惯性传感器在内的多种电容式 MEMS 传感器的研发与生产需求。公司提供的 da718 芯片在分辨率、输出数据速率、噪声密度、零点偏移等性能指标上均达到或优于国际竞品。根据公司招股书披露，2021 年度公司 MEMS 加速度计全球市占率 2.11%，位列 MEMS 加速度计厂商的全球第七位，打破海外厂商垄断局面。

图表 52 明镭传感加速度计与海外竞品性能对比

关键指标	明镭传感 da718	博世 BMA456	ST LIS2DW12	指标含义
分辨率 (bit)	16	16	14	分辨率越高，量测精度越高
输出数据速率 (Hz)	1,600	1,600	1,600	输出数据速率越快，可量测的带宽越大
噪声密度 ($\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$)	120	120	90	噪声密度越小，量测的精准度越高
零点偏移 (mg)	± 20	± 20	± 20	零点偏移越小，校准后误差越小
最大量程 (g)	16	16	16	量程越大，可量测的加速度越大

资料来源：明镭传感招股书，华创证券

五、行业观点及重点关注个股

IMU（惯性测量单元）：姿态测量和惯导的核心传感器。IMU 是测量物体三轴角速率及加速度的装置，通常由两个及以上的加速度计和陀螺仪组成。IMU 作为惯性定位技术的核心设备，经过误差补偿和惯性导航解算，最终输出载体相对初始位置的坐标变化量、速度等导航信息。IMU 按使用性能从低到高可分为消费级、工业级和军用级，不同级别

的 IMU 在设计、制造和成本方面都有所差异，以满足不同领域对性能和可靠性的需求。IMU 下游应用广泛，涵盖从消费电子、汽车电子到工业与通信、医疗健康等各个领域。

IMU 成长空间广阔，国产替代蓄势待发。MEMS 传感器细分种类繁多，IMU 及核心零部件在所有细分产品中占比最高。据 Yole 数据，全球 IMU 市场规模有望从 2018 年的 13.79 亿美元、12.04 亿颗增长至 2027 年的 27.92 亿美元、22.82 亿颗；消费电子、汽车电子是其下游主要的应用领域。受益于新能源车需求增量和替换量的双重利好，2027 年我国 IMU 市场有望达到 75.5 亿元。博世、ADI 等海外大厂在技术研发、制造工艺和市场拓展方面拥有雄厚的实力和经验，形成了核心壁垒，2021 年全球 IMU 市场的前五大厂商均为国际大厂，总计占据 88% 的市场份额。国内 IMU 市场中，相比外资厂商，本土厂商在本地化服务、供应链整合等方面积极进行差异化竞争，未来国产替代空间广阔。

人形机器人和智能汽车双轮驱动，IMU 迎来发展新机遇。1) **智能汽车：**L2+车型选择“GNSS+IMU”组合导航方案正迅速普及。据百度 Apollo，GNSS+IMU 的卫惯组合可以实现 85% 左右的场景覆盖，增强导航系统在各类环境下的稳定性。伴随着我国自动驾驶 L2+级别的渗透率到 2030 年有望达到 65% 的水平，经过我们的测算，2023 年我国自动驾驶领域车载 IMU 市场规模为 31.51 亿元，到 2030 年将提升至 154.94 亿元，期间 CAGR 为 25.55%。2) **人形机器人：**在特斯拉近期发布的视频中，Optimus 可以做出高难度的瑜伽、舞蹈动作，展示出强大平衡控制和行走导航能力。IMU 在人形机器人中主要应用在平衡维持、导航定位和动作执行三个方面，基于合理假设，经过我们的测算，在特斯拉 Optimus 量产达到 10/50/100 万台时，对应的 IMU 市场规模分别为 2.4/10/16 亿元。

国产厂商迎难而上，加速破局。1) **华依科技：**公司前瞻布局惯性导航业务，2020 年与上汽集团签署技术合作开发备忘录，联合开发高级别自动驾驶中的定位技术。公司积极进行 IMU 前期研发布局，继 2022 年获奇瑞汽车定点后，2023 年公司分别获得智己汽车某项目惯性导航总成和某客户某车型惯性导航定点的开发通知书，惯导产品实现从“0”到“1”的突破。2) **芯动联科：**公司以陀螺仪为核心产品，向 IMU 积极延伸。公司的高性能 MEMS 惯性传感器具有小型化、高集成、低成本的优势，核心性能指标达到国际先进水平，具备较强的市场竞争力。3) **明皊传感：**公司形成了以 MEMS 加速度计为核心的产品组合，凭借小型化、低成本、高性能、高可靠性的优势，公司已向荣耀、小米、联想、歌尔等行业知名终端客户批量供货。此外，公司车规级 MEMS 加速度计已向东软集团批量供货，并已导入比亚迪等汽车级客户。根据公司招股书披露，2021 年度公司 MEMS 加速度计全球市占率 2.11%，位列 MEMS 加速度计厂商的全球第七位，打破海外厂商垄断。

行业投资评级与投资建议：IMU 应用空间广阔，核心技术壁垒高筑，人形机器人、智能汽车等新兴产业驱动 IMU 市场高速增长。国内厂商有望通过多年产业、技术积累和高性价比，加速导入核心客户，实现国产替代。给予 IMU 行业“推荐”评级。重点关注华依科技、芯动联科。

图表 53 相关公司盈利预测（2024 年 3 月 11 日）

公司代码	简称	股价	EPS				PE			
			22A	23E	24E	25E	22A	23E	24E	25E
688582.SH	芯动联科	34.85	0.34	0.41	0.58	0.80	/	93.52	59.70	43.40
688071.SH	华依科技	31.14	0.50	0.17	1.44	2.68	113.20	448.87	21.66	11.60

资料来源：，华创证券 注：芯动联科、华依科技参考 一致预期

六、风险提示

- （1）人形机器人进展不及预期。尽管特斯拉人形机器人取得较大进展，但量产落地时间、节奏仍有不确定性；
- （2）国内厂商产品开发进度、核心客户导入不及预期。若国内厂商产品研发进度缓慢，未必会进入特斯拉供应链；
- （3）原材料价格上涨增加成本风险。原材料价格上涨会导致国内厂商产品价格优势减少，从而影响供应链导入；
- （4）市场竞争加剧将影响产业链盈利能力等。

机械组团队介绍

组长、首席分析师：范益民

上海交通大学机械硕士，CFA，5 年工控产业经历，7 年机械行业研究经验，2023 年加入华创证券研究所。2019 年金牛奖机械行业最佳分析团队；2019，2022 年 Choice 最佳分析师及团队。

分析师：丁祎

新南威尔士大学金融硕士，上海财经大学本科，曾任职于国海证券，华鑫证券，2023 年加入华创证券研究所。

助理分析师：胡明柱

哈尔滨工业大学金融工程博士，国信证券应用经济学博士后。具有机械本硕及金融博士复合学历背景。2023 年加入华创证券研究所。

助理研究员：陈宏洋

上海交通大学机械工程博士，曾就职于中泰证券研究所，2023 年加入华创证券研究所。

助理研究员：於尔东

南京大学工学硕士。2023 年加入华创证券研究所。

华创证券机构销售通讯录

地区	姓名	职务	办公电话	企业邮箱
北京机构销售部	张昱洁	副总经理、北京机构销售总监	010-63214682	zhangyujie@hcyjs.com
	张菲菲	北京机构副总监	010-63214682	zhangfeifei@hcyjs.com
	刘懿	副总监	010-63214682	liuyi@hcyjs.com
	侯春钰	资深销售经理	010-63214682	houchunyu@hcyjs.com
	过云龙	高级销售经理	010-63214682	guoyunlong@hcyjs.com
	蔡依林	高级销售经理	010-66500808	caiyilin@hcyjs.com
	刘颖	高级销售经理	010-66500821	liuying5@hcyjs.com
	顾翎蓝	高级销售经理	010-63214682	gulinglan@hcyjs.com
	车一哲	销售经理		cheyizhe@hcyjs.com
深圳机构销售部	张娟	副总经理、深圳机构销售总监	0755-82828570	zhangjuan@hcyjs.com
	汪丽燕	高级销售经理	0755-83715428	wangliyan@hcyjs.com
	张嘉慧	高级销售经理	0755-82756804	zhangjiahui1@hcyjs.com
	董姝彤	销售经理	0755-82871425	dongshutong@hcyjs.com
	王春丽	销售经理	0755-82871425	wangchunli@hcyjs.com
上海机构销售部	许彩霞	总经理助理、上海机构销售总监	021-20572536	xucaixia@hcyjs.com
	官逸超	上海机构销售副总监	021-20572555	guanyichao@hcyjs.com
	黄畅	上海机构销售副总监	021-20572257-2552	huangchang@hcyjs.com
	吴俊	资深销售经理	021-20572506	wujun1@hcyjs.com
	张佳妮	高级销售经理	021-20572585	zhangjiani@hcyjs.com
	蒋瑜	高级销售经理	021-20572509	jiangyu@hcyjs.com
	施嘉玮	高级销售经理	021-20572548	shijiawei@hcyjs.com
	朱涨雨	销售经理	021-20572573	zhuzhangyu@hcyjs.com
	李凯月	销售经理		likaiyue@hcyjs.com
	易星	销售助理		yixing@hcyjs.com
	张玉恒	销售助理		zhangyuheng@hcyjs.com
广州机构销售部	段佳音	广州机构销售总监	0755-82756805	duanjiayin@hcyjs.com
	周玮	销售经理		zhouwei@hcyjs.com
	王世韬	销售经理		wangshitao1@hcyjs.com
私募销售组	潘亚琪	总监	021-20572559	panyaqi@hcyjs.com
	汪子阳	副总监	021-20572559	wangziyang@hcyjs.com
	江赛专	资深销售经理	0755-82756805	jiangsaizhuan@hcyjs.com
	汪戈	高级销售经理	021-20572559	wangge@hcyjs.com
	宋丹琦	销售经理	021-25072549	songdanyu@hcyjs.com

华创行业公司投资评级体系

基准指数说明：

A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500/纳斯达克指数。

公司投资评级说明：

强推：预期未来 6 个月内超越基准指数 20%以上；

推荐：预期未来 6 个月内超越基准指数 10% - 20%；

中性：预期未来 6 个月内相对基准指数变动幅度在-10% - 10%之间；

回避：预期未来 6 个月内相对基准指数跌幅在 10% - 20%之间。

行业投资评级说明：

推荐：预期未来 3-6 个月内该行业指数涨幅超过基准指数 5%以上；

中性：预期未来 3-6 个月内该行业指数变动幅度相对基准指数-5% - 5%；

回避：预期未来 3-6 个月内该行业指数跌幅超过基准指数 5%以上。

分析师声明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师对任何其他券商发布的所有可能存在雷同的研究报告不负有任何直接或者间接的可能责任。

免责声明

华创证券有限责任公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的，但本公司不保证其准确性或完整性。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。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。本公司在知晓范围内履行披露义务。

报告中的内容和意见仅供参考，并不构成本公司对具体证券买卖的出价或询价。本报告所载信息不构成对所涉及证券的个人投资建议，也未考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，自主作出投资决策并自行承担投资风险，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。本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的预期收入可能会波动。

本报告版权仅为本公司所有，本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司许可进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华创证券研究”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

证券市场是一个风险无时不在的市场，请您务必对盈亏风险有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。市场有风险，投资需谨慎。

华创证券研究所

北京总部	广深分部	上海分部
地址：北京市西城区锦什坊街 26 号 恒奥中心 C 座 3A	地址：深圳市福田区香梅路 1061 号 中投国际 商务中心 A 座 19 楼	地址：上海市浦东新区花园石桥路 33 号 花旗大厦 12 层
邮编：100033	邮编：518034	邮编：200120
传真：010-66500801	传真：0755-82027731	传真：021-20572500
会议室：010-66500900	会议室：0755-82828562	会议室：021-20572522