

中国平安 PINGAN

专业·价值

专业 让生活更简单

证券研究报告

# 人形机器人系列专题（一） 感知系统：多传感融合构建具身智能信息端口

电子行业 强于大市（维持）

证券分析师

陈福栋 投资咨询资格编号：S1060524100001

徐勇 投资咨询资格编号：S1060519090004

2025年3月13日

请务必阅读正文后免责条款

平安证券

# 投资要点

- **人形机器人潜力巨大，智能感知是核心子系统之一。**人形机器人目前尚处于产业早期阶段，由于其拟人属性，未来有望深刻变革人类生产生活方式，市场潜力巨大。感知层是人形机器人核心子系统之一，人形机器人通过视觉、力觉、触觉等多传感融合协调完成对环境的感知和各种类人精细操作，成本占比约15%，地位举足轻重。
- **视觉：人形机器人最主要的环境信息输入口。**3D视觉负责周围环境的实时建模，技术路线包括双目/多目视觉、结构光、ToF等，人形机器人厂商根据自身软件处理能力选择纯视觉或多传感融合解决方案，激光雷达可直接测量深度信息，实现点云成像，大部分人形机器人厂商均搭载激光雷达，但人形机器人领导者特斯拉仍采用纯视觉解决方案。国内奥比中光专注3D视觉解决方案，构建了较为完整的3D视觉技术体系，稀缺性明显，竞争力强。
- **力觉：力传感+惯性传感助力完成精细动作。**力/力矩传感负责感知并反馈多维力信息，是人形机器人完成类人精细操作的核心传感器。六维力传感可同时感知三维度的力信息和三维度的力矩信息，是维度最高的力传感器，价值量高，目前主要用于人形机器人手部力控和脚部力控，国内宇立仪器、坤维科技、蓝点触控拥有一定市场份额，上市公司中柯力传感、昊志机电均有布局。惯性传感负责维持人形机器人躯体平衡以及导航定位等，MEMS IMU体积小、质量低，是人形机器人惯导的最佳选择，该领域芯动联科具有较强竞争力。
- **触觉：类人交互之必备，电子皮肤有望大放异彩。**触觉传感主要负责感知环境、物体的多维物理量，如材质、纹理等，且在视觉受限的情况下，触觉也负责人形机器人与环境的交互，目前主要应用于灵巧手。电子皮肤是一种仿生柔性触觉传感系统，可附着于人形机器人表面，是赋予机器人类人感知的重要一环。目前电子皮肤行业尚处于早期阶段，市场容量小，技术门槛高，整体看Novasentis、Tekscan、JDI等海外公司呈引领之势，国内上市公司中，汉威科技、福莱新材等有所布局。
- **投资建议：**感知系统是人形机器人核心子系统之一，视觉、力觉、惯性、触觉等多种传感器融合协作，为人形机器人与环境交互提供实时信息来源和反馈。3D视觉、六维力/力矩传感、MEMS IMU、电子皮肤等是人形机器人感知系统的核心价值量所在，随着人形机器人逐渐落地，上述多种传感器将迎来巨大的增量市场，前景可观。推荐芯动联科，建议关注奥比中光、柯力传感、汉威科技、福莱新材、奥普特。
- **风险提示：**（1）技术产品开发不及预期的风险。（2）下游落地不及预期的风险。（3）国内传感器行业进展不及预期的风险。



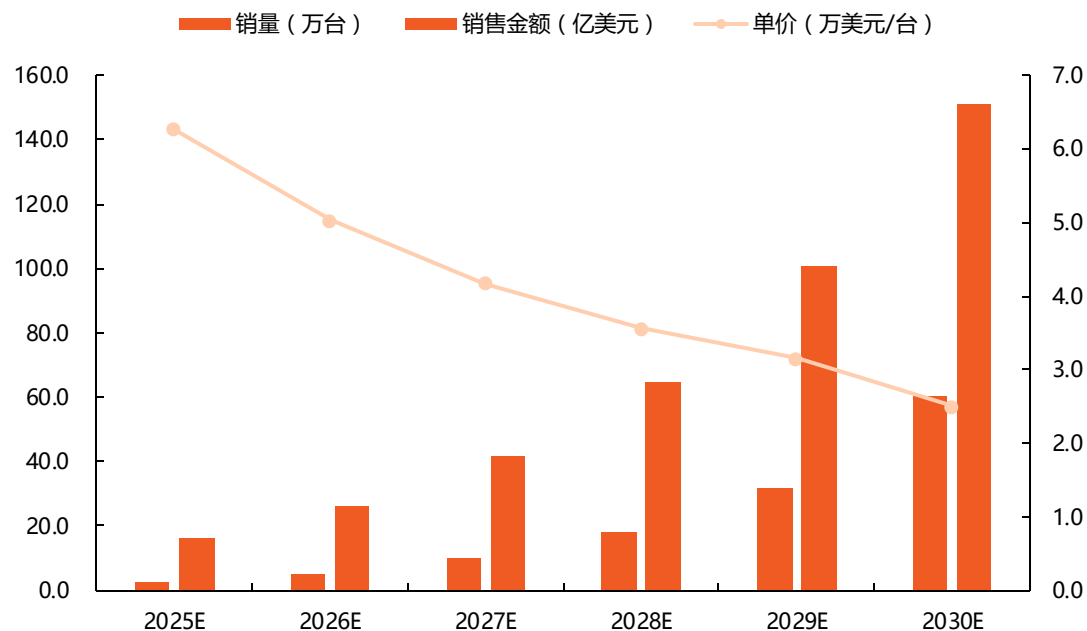
## 目录CONTENTS

- ① 一、人形机器人潜力巨大，感知层是核心子系统之一
- ② 二、3D视觉：人形机器人最主要的环境信息输入口
- ③ 三、力觉：力传感+惯性传感助力完成精细动作
- ④ 四、触觉：类人交互之必备，电子皮肤有望大放异彩
- ⑤ 五、重点关注3D视觉+六维力传感+MEMS IMU+电子皮肤
- ⑥ 六、投资建议与风险提示

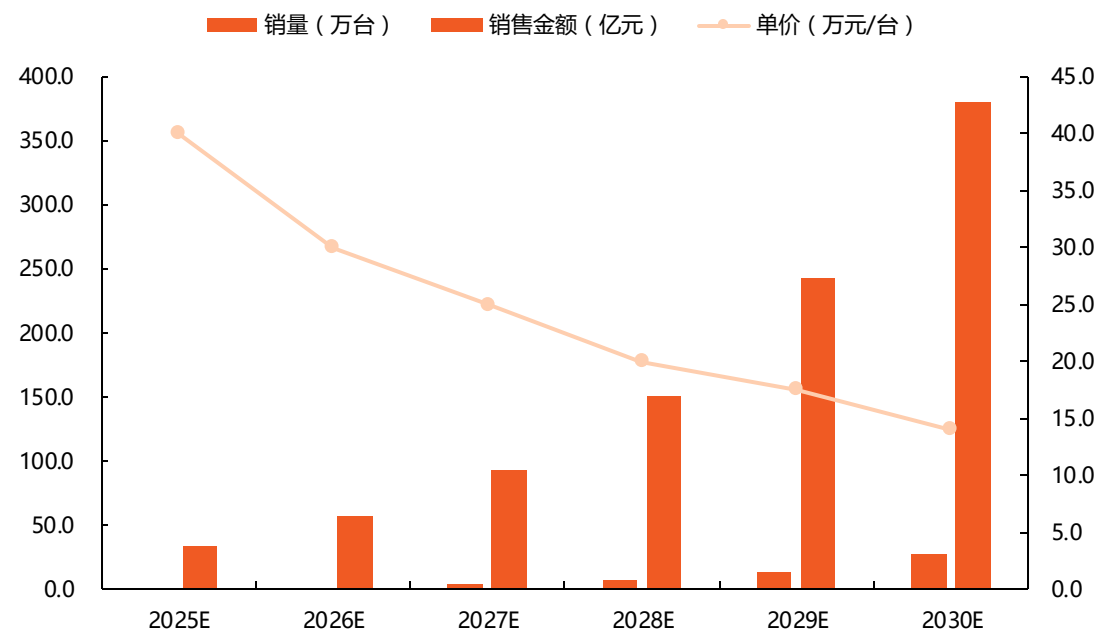
# 1.1 人形机器人有望成为爆款产品，市场潜力可观

- 人形机器人目前尚处于行业发展的早期阶段，尚未实现大规模应用，但鉴于其拟人化的独特属性，有望深刻变革人类生产生活方式，未来市场潜力可观。
- 人形机器人市场在未来几年有望逐渐落地，并持续高速增长。根据GGII测算，2025年，全球人形机器人销量预计约2.6万台，到2030年预计将达到60.6万台，期间CAGR约87.6%，对应市场规模（销售金额）CAGR约56.1%；国内市场，2025年销量预计约0.9万台，2030年预计将达到27.1万台，期间CAGR约99.4%，对应市场规模CAGR约61.7%。

全球人形机器人市场规模



中国人形机器人市场规模

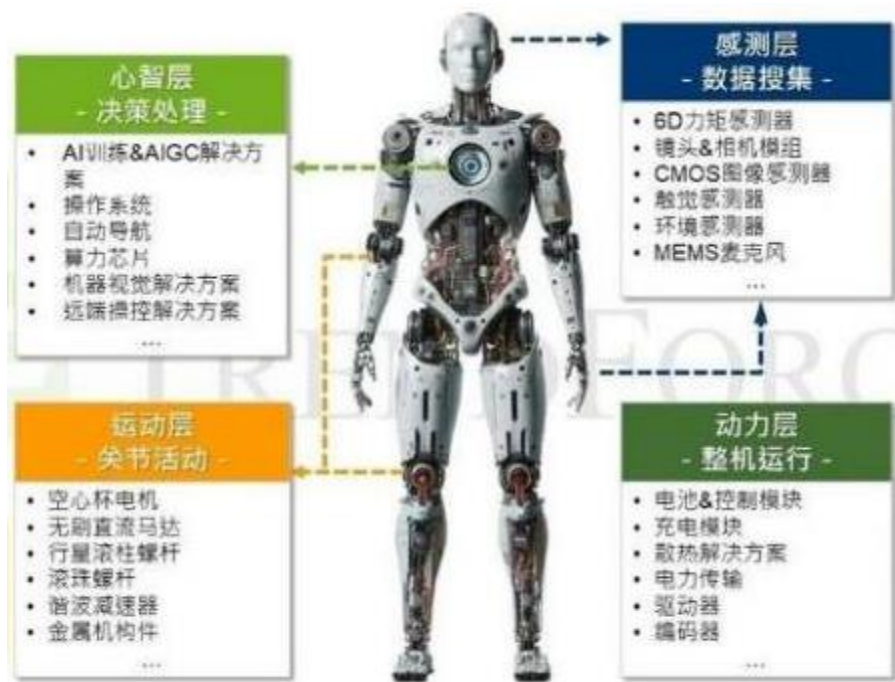


数据来源：GGII，平安证券研究所

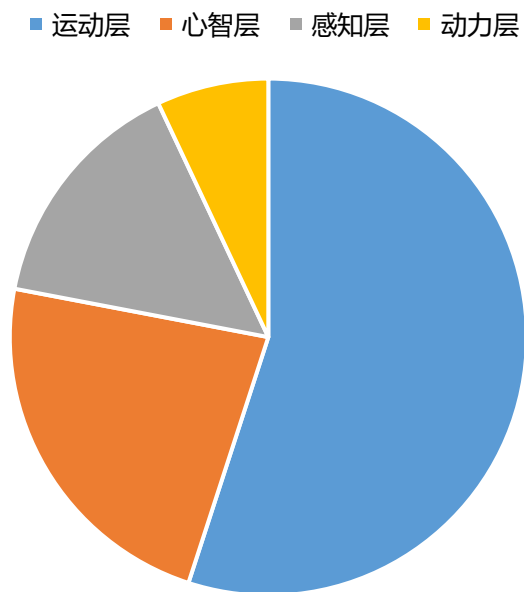
## 1.2 感知层是人形机器人与外界交互的信息端口，成本占比15%

- 感知层是人形机器人必不可少的核心子系统之一，是人形机器人与外界交互的信息入口。人形机器人子系统包括：感知层、运动层、心智层和动力层，感知是控制和执行的前提，是人形机器人完成各种类人行为的信息入口，人形机器人通过各类传感器模组/系统实现对环境的感知，并为控制和执行提供实时反馈。
- 感知层是人形机器人重要的成本项，根据TrendForce数据，人形机器人成本构成中，感知层成本占比15%，地位举足轻重。

人形机器人关键零部件构成图



人形机器人关键零组件成本占比(%)



数据来源：TrendForce，平安证券研究所

## 1.3 视觉&力觉&触觉等多模融合，构成完整的人形机器人感知系统

- 仿照人类，人形机器人感知系统主要由视觉、力觉、触觉、听觉等组成。视觉是人形机器人与环境交互的核心，主要负责3D环境的实时感知和建模；力觉测量并反馈精密的力信息，是机器人完成精细操作的核心传感器，惯性传感则负责维持机器人躯体平衡并与视觉搭配共同完成机器人定位导航；触觉主要是感知环境、物体的多维物理量，如材质、纹理等，且在视觉受限的情况下，触觉也负责与环境的交互。以上多种传感器相互协调融合，共同构成人形机器人完整的感知系统。

### 人形机器人主要传感器介绍

类别	基本介绍	特点
视觉传感器	通过相机硬件和计算机算法，让机器人处理来自现实世界的视觉数据，根据技术路线可分为结构光、ToF、双目/多目视觉、激光扫描等。	通常配备先进的机器视觉系统，结合多模态感知能力和AI算法，以实现环境感知、目标追踪、导航规划、人机交互等功能。
力传感器	人形机器人力传感主要是力矩传感，其可以在各种旋转或非旋转机械部件上对扭转力矩感知进行检测，将扭力的物理变化转化为精确电信号的一种传感器。	力传感主要作用为感知并度量力，应用于人形机器人关节部位，其中六维力传感器是维度最高的力矩传感器，能给出最为全面的力觉信息，是力传感领域的高价值品类。
运动传感器	人形机器人运动传感器主要是惯性传感（IMU），人形机器人位移姿态和稳定性控制主要依赖于MEMS IMU。	通过采集角速度和加速度等惯性信息可以用于推算人形机器人的实时位置与运动堆积。同时，它可以与机器人搭载的多传感器融合，在数据类型和数据频率间实现互补。
触觉传感器	大多被排列成矩阵组成阵列触觉传感器，空间分辨率可达毫米级，接近人类的皮肤，辅以柔性，也被称为“电子皮肤”。	可覆盖于人形机器人三维载体表面，实现与环境接触力、温度、湿度、震动、材质、软硬等特性的检测，是人形机器人实现类人触觉的关键。
听觉传感器	主要为麦克风，包括声音接收器、信号处理器和音频处理软件等部分。	模拟人类听觉功能，用于接收和识别声音信号，进而实现语音识别、语音合成、声源定位等功能。

## 1.4 智能传感器获国家政策大力支持

- 传感器作为环境、设备与人交互的信息输入端口，是物联网、智能交互的核心元器件。近年来，国务院、发改委、工信部等部门频繁出台多项政策，大力支持各类智能传感器的发展。

◎ 中国智能传感器行业国家支持政策汇总（部分）

时间	发布部门	政策名称	政策要点
2024年2月	交通运输部	《关于做好平安百年品质工程创建示范推动交通运输基础设施建设高质量发展的指导意见》	探索推动智能感知传感器等检测设备和工程同步装配试用，提高交通运输基础设施安全防护监测数据可先行、准确性。
2023年10月	工信部	《人形机器人创新发展指导意见》	聚焦人形机器人专用传感器，突破视、听、力等高精度传感关键技术，提升环境综合感知能力。
2023年8月	工信部等五部门	《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023-2025年）》	加强关键技术集成创新，突破高端电子元器件、加快图形计算芯片、高端传感器、声学元器件、光学显示器件等基础硬件的研发创新。
2022年1月	国务院	《计量发展规划（2021-2035）》	加快量子传感器、太赫兹传感器、高端图像传感器、高速光电传感器等传感器的研制和应用。
2021年12月	工信部、国家发改委	《“十四五”机器人产业发展规划》	研制三维视觉传感器、六维力传感器和关节力矩传感器等力觉传感器、大视场单线和多线激光雷达、智能听觉传感器以及高精度编码器等产品，满足机器人智能化发展需求。
2021年1月	工信部	《基础电子元器件产业发展行动计划（2021-2035年）》	重点发展小型化、低功耗、集成化、高灵敏度的敏感元件，温度、气体、位移、速度、光电、生化等类别的高端传感器，新型MEMS传感器和智能传感器，微型化、智能化的电声器件。
2019年8月	发改委	《产业结构调整指导目录（2019年本）》	鼓励研发具有无线通信功能的低功耗各类智能传感器，可加密传感器，核级检测仪表和传感器。

数据来源：前瞻产业研究院，平安证券研究所



## 目录CONTENTS

- ① 一、人形机器人潜力巨大，感知层是核心子系统之一
- ② 二、3D视觉：人形机器人最主要的环境信息输入口
- ③ 三、力觉：力传感+惯性传感助力完成精细动作
- ④ 四、触觉：类人交互之必备，电子皮肤有望大放异彩
- ⑤ 五、重点关注3D视觉+六维力传感+MEMS IMU+电子皮肤
- ⑥ 六、投资建议与风险提示

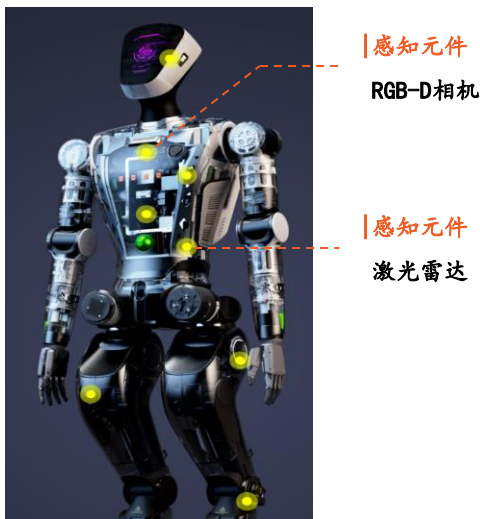
## 2.1 3D视觉负责三维环境重建，市场潜力可观

- 3D视觉是人形机器人感知系统的核心组成部分，负责对周围环境的三维实时建模，是人形机器人与外接交互的主要信息入口。3D视觉传感器是一套精密的三维光学测量系统，以奥比中光Astra为例，其结构组成包括激光投影模组、光学成像模组、深度引擎芯片以及其他电子器件、结构件等，共同构成系统级产品。
- 国内3D视觉市场规模快速增长。根据GGII数据，2016-2028年，中国机器视觉市场规模预计从46.87亿元增长到395.29亿元，期间CAGR约19.4%，其中，3D视觉市场规模预计将从1.15亿元增长到79.98亿元，期间CAGR约42.4%，远高于机器视觉整体增速。

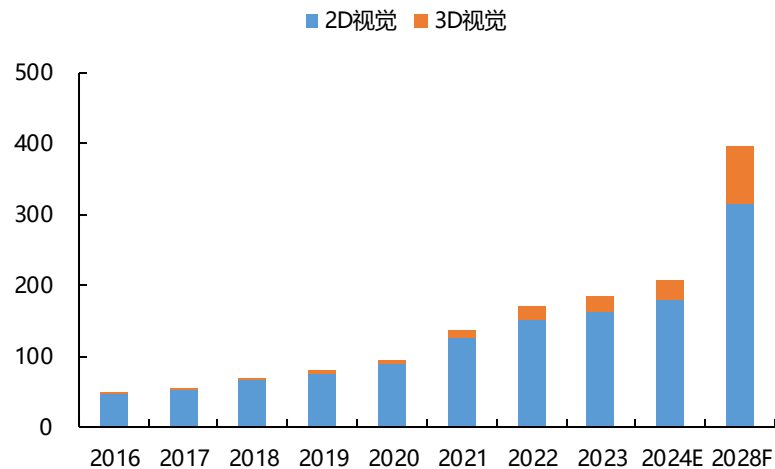
● 奥比中光Astra系列3D视觉传感器内部构造



● 智元远征A1通用型具身智能机器人



● 中国机器视觉市场规模及预测（亿元）

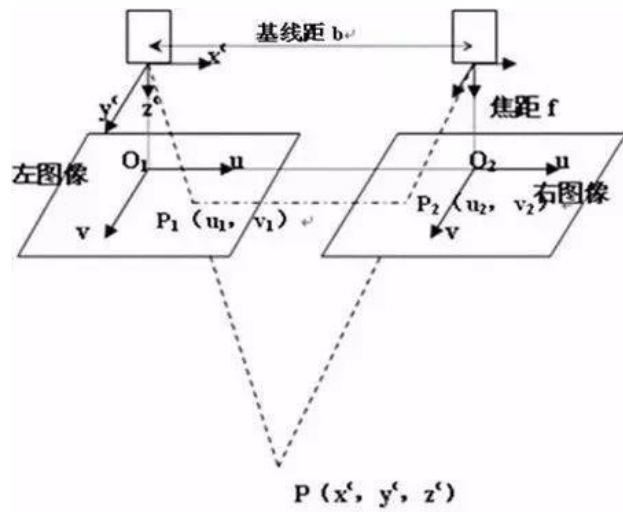


数据来源：GGII，奥比中光招股说明书，平安证券研究所

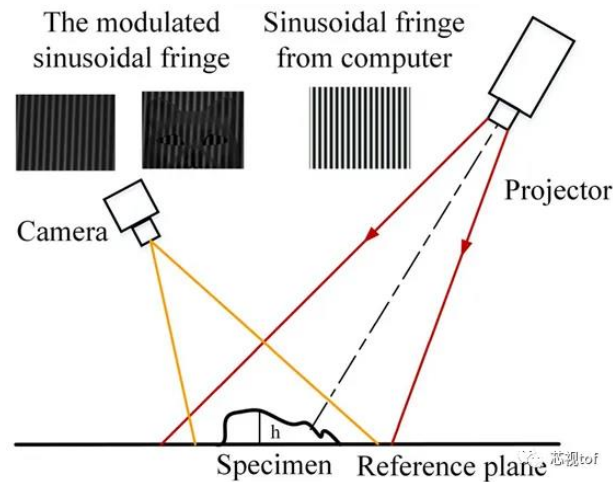
## 2.2 3D视觉解决方案|双目、结构光、ToF

- 3D视觉解决方案按技术路线划分包括双目/多目视觉、结构光、飞行时间（ToF）等。
- 双目/多目视觉技术是基于视差原理，利用多幅图像的像差获取物体的三维几何信息；结构光技术是通过投射器将主动结构信息投射到被测物体表面，并通过单个或多个相机拍摄被测表面得到结构光图像，最后基于三角测量原理经过图像三维解析计算实现三维重建；ToF是通过测量信号在发射器和接收器间的时间差计算距离，进而还原深度信息，具体又分为dTOF和iToF。

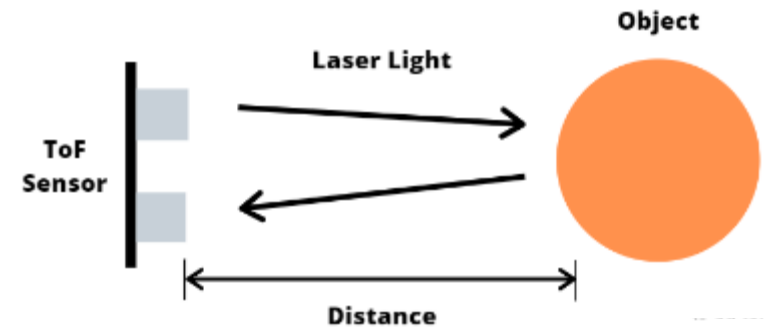
● 双目视觉技术原理图



● 结构光技术原理图



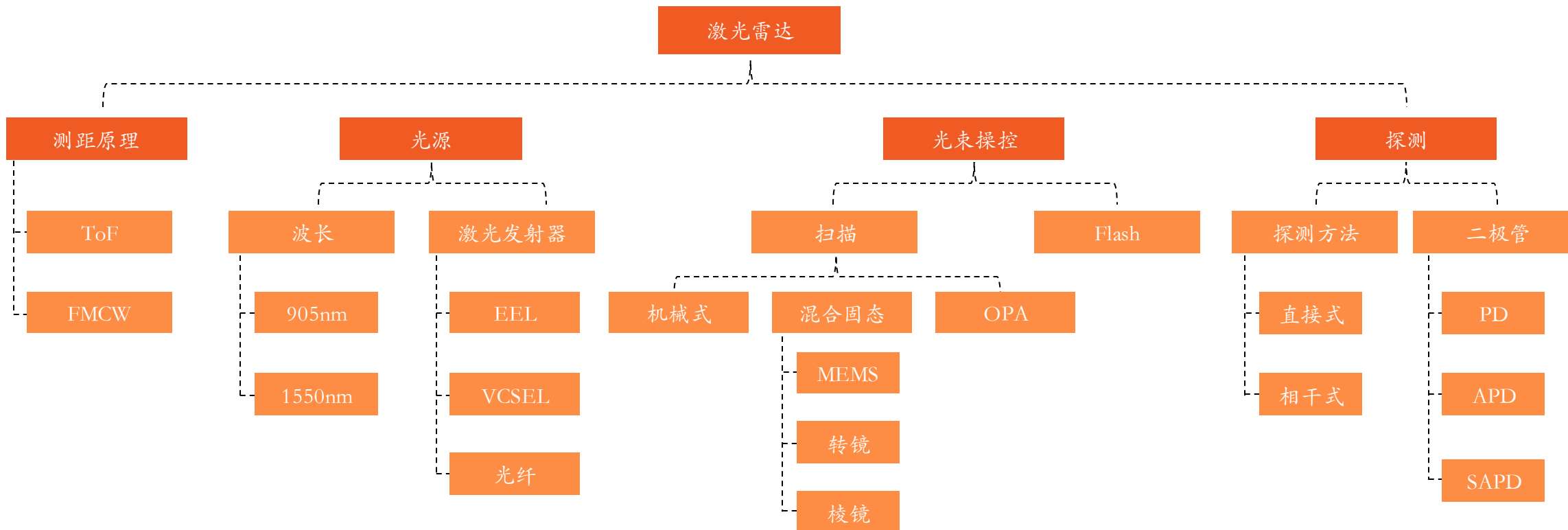
● 飞行时间法技术原理图



## 2.2 3D视觉解决方案 | 激光雷达

- 激光雷达可直接测量环境的深度信息，通常通过扫描形成点云进而实现三维重建，因此对软件处理能力要求较低，是3D视觉解决方案的重要组成部分，受到人形机器人、智能汽车等厂商的广泛关注。
- 按照扫描方式划分，激光雷达可分为机械式、混合固态和全固态式，目前，混合固态式在成本和性能方面较为均衡，是主流技术方案。

① 激光雷达技术路线分类情况



## 2.2 3D视觉解决方案 | 毫米波雷达+超声波雷达

- 3D视觉传感器还包括毫米波雷达、超声波雷达、摄像头等，各具优劣势：毫米波雷达探测距离长，受环境影响小，但精度差，成像困难；摄像头能采集颜色纹理信息，但易受环境可见度影响；超声波雷达技术成熟，成本低，但探测距离较短。
- 多传感融合、感知冗余是3D视觉解决方案的重要发展方向，如激光雷达探测的深度信息与摄像头采集的图像信息进行融合。

四种3D视觉传感器性能对比

	毫米波雷达	摄像头	激光雷达	超声波雷达
探测模式	主动	被动	主动	主动
感知距离	>200米	几十米	>200米	一般<2m
精度	纵向精度高，横向精度低	可实现测距，但精度较低	高精度	高精度
行人/物体识别	难以识别	通过AI算法识别，但难以识别非标准障碍物	3D建模，易识别	可识别
恶劣天气	不受影响	易受影响	易受影响	不受影响
温度稳定性	高	高	高	低
运行速度测量能力	强	弱	强	一般
算法技术成熟度	较高	高	一般	高
成本	较高	一般	高	低

数据来源：GGII，平安证券研究所

## 2.2 3D视觉解决方案 | 多传感融合

- 人形机器人3D视觉解决方案通常是多个相机或摄像头搭配激光雷达共同使用，但也有部分厂商凭借其强大的软件处理能力，专注纯视觉解决方案。Tesla是人形机器人领域的领导者，其未采用可直接采集深度信息的激光雷达和深度相机，仍采用纯视觉解决方案，其他大部分人形机器人厂商对激光雷达或深度相机较为青睐。

当前人形机器人搭载视觉解决方案情况

	公司	型号	视觉解决方案		
			激光/毫米波/超声波	相机	摄像头
国外	Tesla	Optimus			Autopilot摄像头
	Boston Dynamics	Atlas		TOF深度相机	RGB摄像头
	Agility Robotics	Digit	激光雷达	深度相机	
	Engineerd Arts	Ameca GEN2			双目摄像头
国内	宇树科技	G1	3D激光雷达	深度相机	
		H1	3D激光雷达	深度相机	
	优必选	Walker X	腰部4*超声波雷达	RGBD相机+四目相机	
		Walker S1		RGBD相机+双目相机	
	智元	远征A2	激光雷达	RGBD相机+鱼眼相机	
	开普勒	先行者K2			RGBD摄像头+鱼眼摄像头
	傅利叶智能	GR-1			RGB摄像头*6
	普渡	PUDU D9		RGBD相机+鱼眼相机	

数据来源：各公司官网，焉知人形机器人，平安证券研究所

## 2.3 3D视觉产业格局|海外巨头具有先发优势，国内厂商已取得一定突破

- 消费级应用领域，苹果、英特尔、索尼、英飞凌等巨头在3D视觉领域已有技术和产品，具有一定的先发优势，相对较为领先；工业级领域，德国GOM公司、美国CSI公司以及瑞典海克康斯具有较强竞争力。
- 国内市场，奥比中光在3D视觉领域长期深耕，构建了完善的3D视觉感知技术体系，在消费级和工业级都有应用，稀缺性明显，竞争力强。

### 3D视觉行业参与者情况

公司	3D视觉业务概况	市场地位
苹果	基于结构光和dToF的3D视觉传感器技术并应用于自身的终端产品。	全球最大的内置3D视觉传感器的移动产品制造商，在手机、平板以及VR、AR领域基于3D视觉感知技术的布局一直处于领先地位。
英特尔	推出了基于结构光、iToF、双目视觉等技术的数款Realsense系列3D视觉传感器，应用于机器人、物联网等领域。	世界领先的消费级双目3D视觉传感器制造商。
索尼	2015年通过收购Soft Kinetic公司及其iToF技术，自研iToF、dToF感光芯片并开放销售，同时为苹果等公司的dToF技术提供相关设计和制造服务。	世界上最大的感光芯片供应商之一，由于技术及生产工艺等受到广泛信赖，其产品被苹果等大型企业广泛使用。
英飞凌	与PMD公司合作开发iToF感光芯片及3D视觉传感器，产品在手机、扫地机器人等领域落地。	专注于低端iToF感光芯片及视觉传感器的开发与应用，历史悠久。在切入某些对低端3D视觉传感器有需求的领域处于领先地位。
奥比中光	国内率先开展3D视觉感知技术系统性研发，自主研发一系列深度引擎数字芯片及专用感光模拟芯片并实现3D视觉传感器产业化应用。	全球少数几家全面布局主流3D视觉感知技术的公司之一。
华捷艾米	聚焦于AI终端技术的实现，包括3D摄像头、核心算法、自研芯片，与百度的AI技术高度集成整合，深度合作。	在人脸识别领域已有较多场景应用案例。
美国CSI公司	主打产品是VIC-3D系列非接触式变形测量系统，广泛应用于机械、汽车、微机电、航空航天、生物工程等行业。	DIC数字图像相关测量技术全球领先。
瑞典海克康斯	以三坐标检测仪为核心产品，2016年并购AICON公司完善了三维光学检测方案，包括管路检测和三维扫描仪。	三坐标测量仪领域处于全球领导地位。

数据来源：奥比中光招股书，平安证券研究所



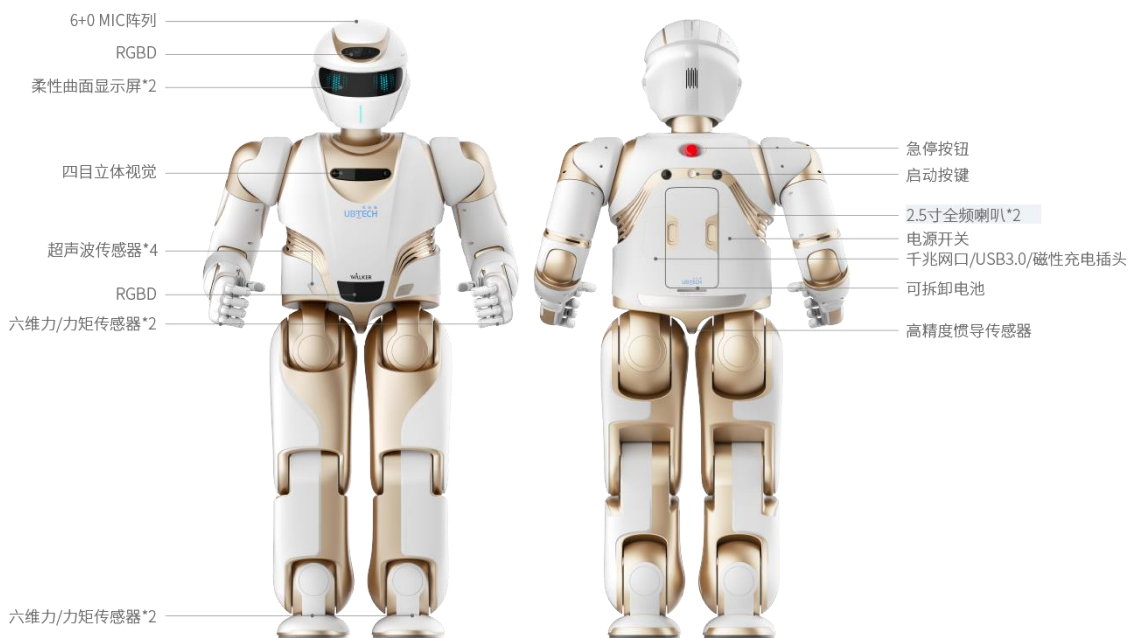
## 目录CONTENTS

- ① 一、人形机器人潜力巨大，感知层是核心子系统之一
- ② 二、3D视觉：人形机器人最主要的环境信息输入口
- ③ 三、力觉：力传感+惯性传感助力完成精细动作
- ④ 四、触觉：类人交互之必备，电子皮肤有望大放异彩
- ⑤ 五、重点关注3D视觉+六维力传感+MEMS IMU+电子皮肤
- ⑥ 六、投资建议与风险提示

### 3 人形机器人完成类人动作需要力传感+惯性传感的协作

- 人形机器人维持躯体平衡稳定并完成各种精准操作需要多种传感器共同协作，其中，力传感和惯性传感（IMU）必不可少。力传感主要负责人形机器人线性力以及旋转力矩信息感知，辅助机器人精准的完成指定动作；惯性传感主要采集运动加速度和角速度，负责人形机器人躯体稳定并提供定位导航等信息。

① 优必选Walker X搭载多个力传感和惯导传感



② 宇树科技人形机器人动作精准执行示意图

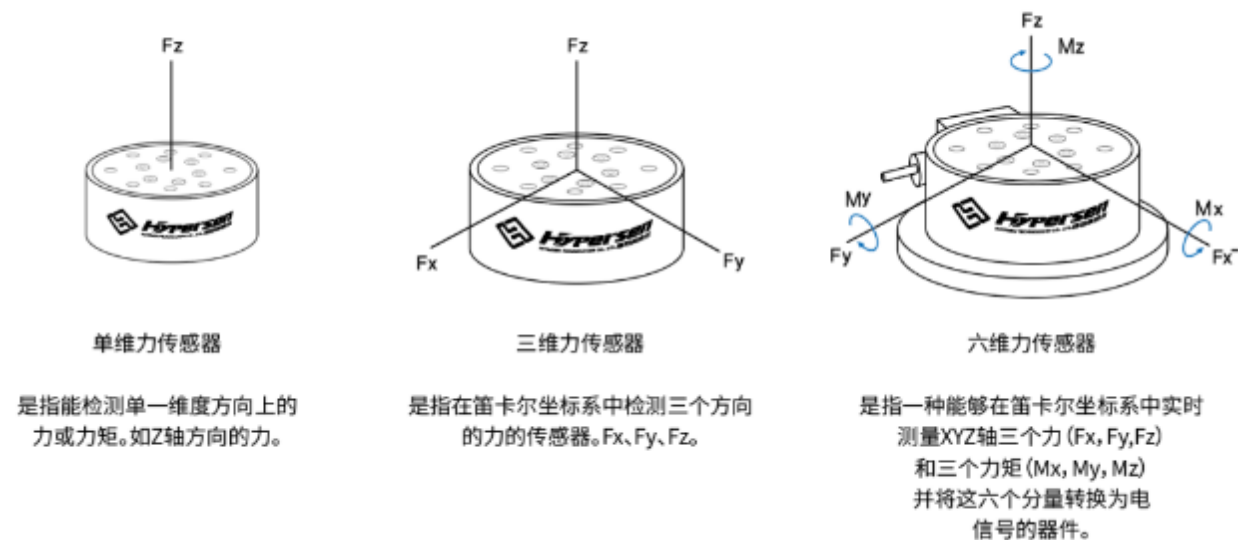


# 3.1 六维力传感 | 提供最全面的力信息，技术难度最大

- 按照测量维度，力传感器可分为一至六维力传感器，能测几个维度，就称其为几维力传感器，通常一维、三维、六维较为常见。
- 六维力传感提供最全面的力信息，同时技术难度最大。六维力传感器能提供包括X、Y、Z三个方向的力以及Mx、My、Mz三个维度的力矩信息，但其非线性力学特征明显，需要考虑多通道信号的温度漂移、蠕变、交叉干扰、数据处理的实时性等问题，再加之六维联合加载标定的复杂性，技术难度最大。
- 六维力传感需攻克的核心技术包括：结构设计、标定系统以及解耦与补偿算法。

多维力传感器工作原理图

六维力传感器联合加载标定复杂度情况



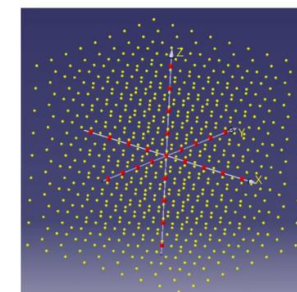
一维力传感器



9个样本点

VS

六维力传感器



531441个样本点

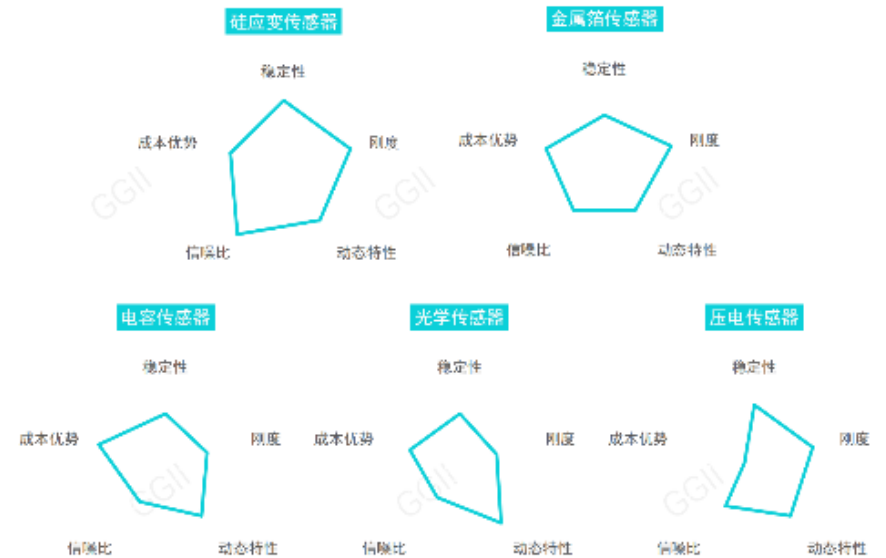
## 3.2 六维力传感 | 应变片式为主流，多元化方向蓬勃发展

- 应变片式六维力传感器性能较为均衡，是目前的主流，后续随着其他技术路线的进步，六维力传感将呈现多元化发展趋势。根据传感元件不同，六维力/力矩传感器主要分为应变片式、光学式以及压电/电容式。市场上，六维力传感主流是应变片式，但随着压电、电容、光学等路线研究的不断深入，有望在各自优势领域逐渐落地，共同推动六维力传感往多元化方向发展。
- 应变片式中，硅应变片在稳定性、信噪比、动态特性方面优于金属应变片，两者刚度差别不大，成本金属应变片略优，近年硅应变片工艺成本改进，推动其综合成本快速降低。

不同技术类型六维力/力矩传感器原理、特点、优劣势及代表企业

传感元件类型	原理及特点	优点	缺点	代表企业
应变片式	通常采用硅应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>精度高、技术成熟</li> <li>测量范围广、成本低</li> <li>频响特征好</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>生产工艺复杂</li> <li>金属箔式应变计输出微弱</li> </ul>	ATI、宇力仪器、坤维科技、鑫精诚、蓝点触控等
光学式	通过光纤、光栅反应形变，再转化成力。	<ul style="list-style-type: none"> <li>可靠性高</li> <li>测量范围广</li> <li>抗电磁干扰能力强</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>对测试环境要求高</li> <li>刚性偏弱</li> </ul>	OnRobot、松果体、华力创等
压电/电容式	电容是通过极距变化导致电压变化，压电是通过形变改变电荷。	<ul style="list-style-type: none"> <li>高灵敏度和高分辨率</li> <li>频率范围宽，结构简单</li> <li>环境适用性强</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>调理电路复杂</li> <li>信号漂移难以抑制</li> </ul>	Robotiq、Robotous、WACOH-TECH、Kistler等

不同技术类型六维力/力矩传感器性能比较



数据来源：GGII，平安证券研究所

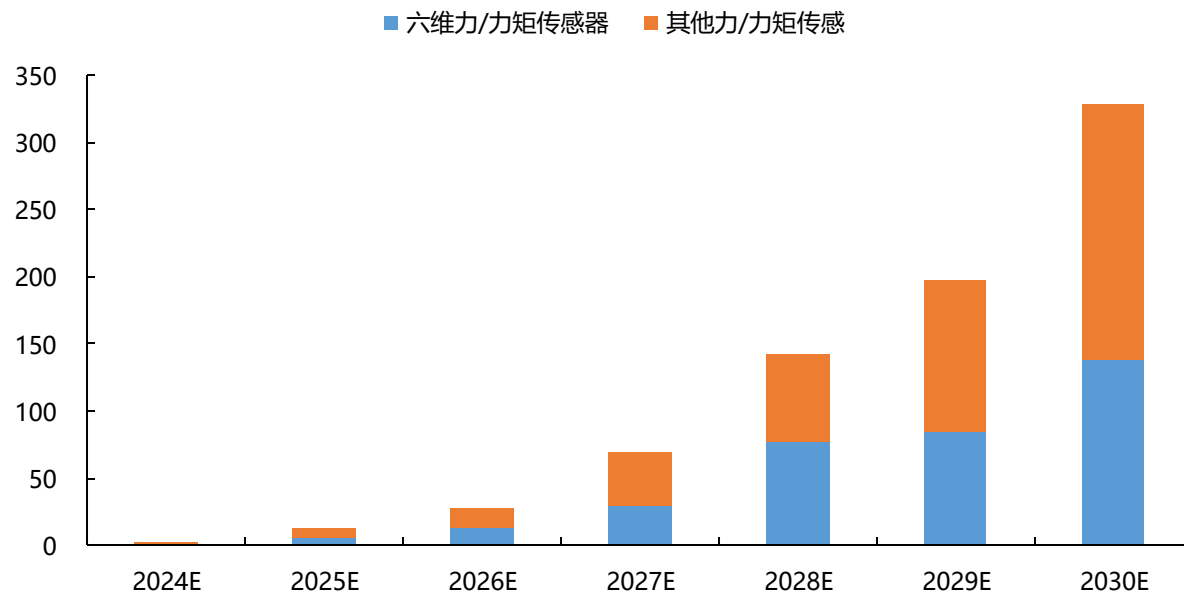
### 3.3 六维力传感 | 人形机器人驱动六维力传感快速增长

- 人形机器人力传感最主要的是力矩传感，颈、肩、肘、膝等关节均需要搭载力矩传感；臂、腿线性执行器则需要力传感；六维力传感通常用于手部力控和脚部力控，助力人形机器人实现复杂的力控操作、行走平衡以及安全控制。
- 人形机器人六维力传感价值量较高，市场增长速度较快。根据GGII数据，2024-2030年，全球人形机器人力传感器市场规模预计将从1.79亿元增长到328.06亿元，期间CAGR高达138%，其中，六维力/力矩传感器市场规模预计将从0.85亿元增长到138.40亿元，期间CAGR 134%。

人形机器人力传感器应用情况



全球人形机器人力传感市场规模预测 (亿元)

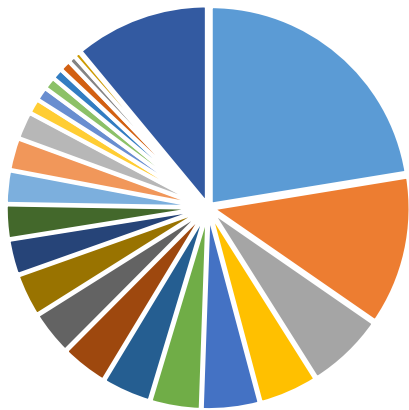
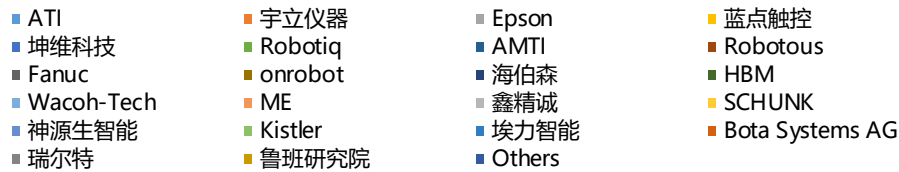


数据来源：鑫精诚传感器公众号，GGII，平安证券研究所

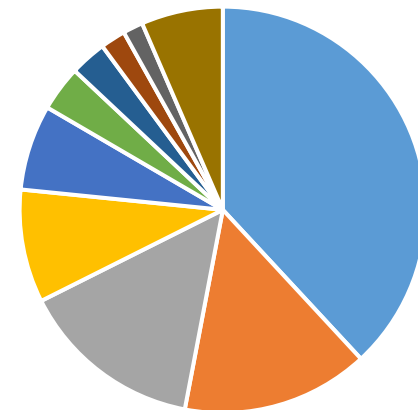
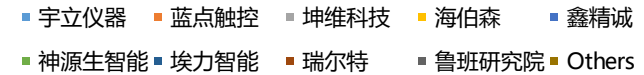
### 3.4 六维力传感 | 国内市场集中度较高，部分国产厂商取得突破

- 2023年，中国六维力传感市场集中度较高，Top10市占率接近70%，其中，国内厂商有三席，分别是宇立仪器、蓝点触控、坤维科技，合计市占率21.7%，其他7家均为外资品牌。
- 国内多家上市公司在六维力传感领域成果显著，如：柯力传感六维力传感已完成人形机器人手腕、脚腕，工业臂、协作臂末端的产品系列开发，掌握了结构解耦、算法解耦、高速采样通讯等技术要点，并给多家国内协作机器人、人形机器人客户送样；昊志机电六维力传感产品已应用于按摩机器人，并形成批量销售。

中国六维力传感厂商市场份额情况@2023 (%)



六维力传感器市场国产厂商排名情况@2023 (%)

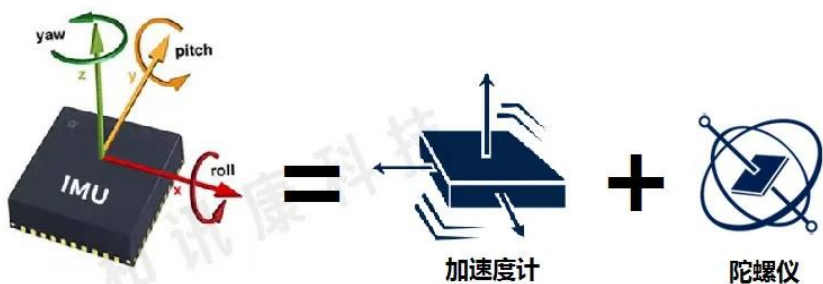


数据来源：MIR睿工业，平安证券研究所

## 3.5 IMU | 人形机器人躯体平衡核心传感器，轻量化MEMS方案是最佳选择

- IMU是测量物体三轴姿态角及加速度的装置，一个IMU通常包含三轴向的陀螺仪和三轴向的加速度计。
- 在人形机器人中，IMU主要功能集中在四点：1) 姿态控制和平衡；2) 导航和定位；3) 动作执行和路径规划；4) 提高安全性。
- 人形机器人对零部件轻量化、小型化要求较高，MEMS采用体硅工艺，体积小、质量轻，是人形机器人IMU的最佳选择。

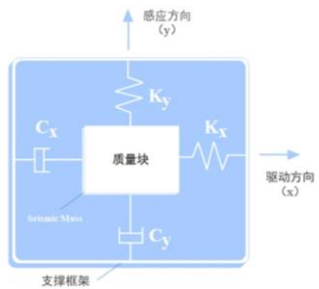
◎ IMU模组功能示意图



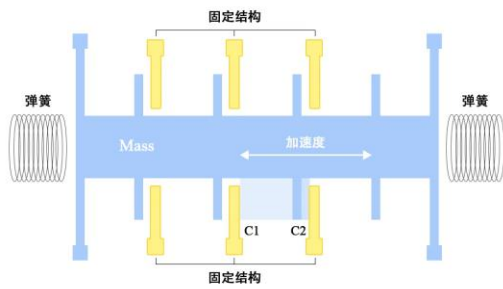
◎ IMU在人形机器人中的作用

IMU功能类别	功能详述
姿态控制和平衡	人形机器人在行走、跑步、跳跃等动作中，需要精确控制身体姿态和平衡，否则容易摔倒或无法完成动作。IMU可实时测量机器人的角速度和加速度，帮助机器人维持稳定的姿态和平衡。
导航和定位	IMU可与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，人形机器人可以更准确地执行各种动作，如行走、转弯、跳跃等。此外，IMU数据还可以用于路径规划，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的实时检测，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路面不平等情况，有助于提高机器人的安全性，防止意外事故发生。

◎ 电容式MEMS陀螺仪结构示意图



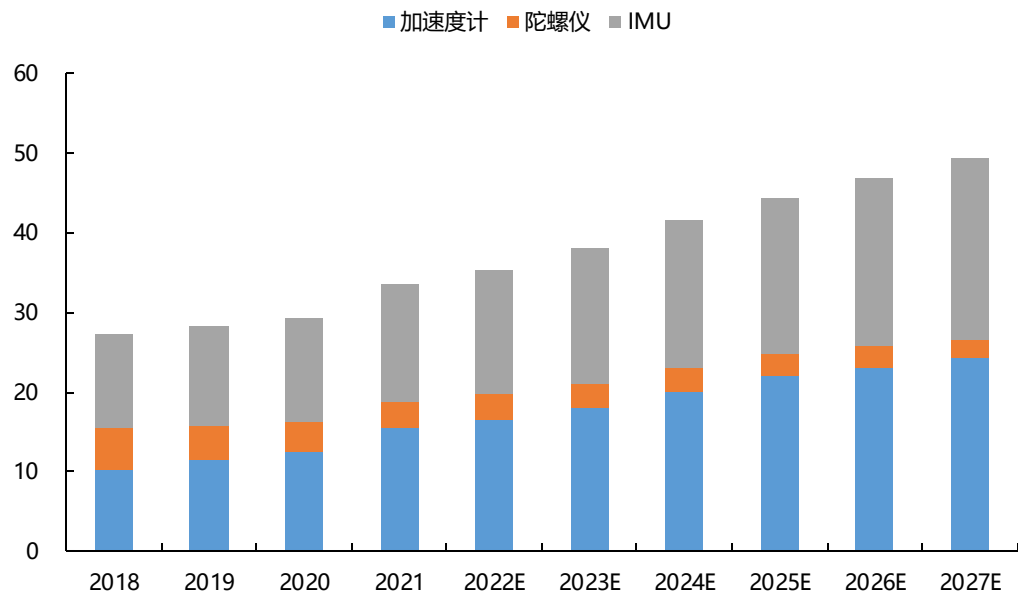
◎ 电容式MEMS加速度计结构示意图



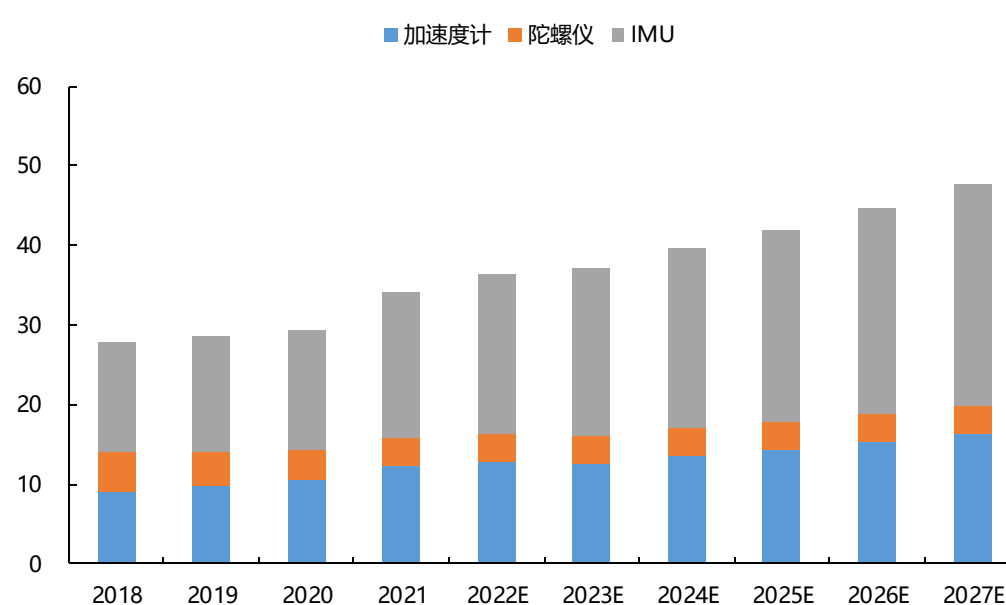
## 3.6 MEMS IMU | 全球市场规模稳定增长

- 全球MEMS惯性传感器总体呈稳定增长趋势。根据Yole数据，从出货量角度看，2018年，全球MEMS惯性传感器（含陀螺仪、加速度计、IMU）出货量约27.40亿颗，预计2027年将增长到49.42亿颗，期间CAGR约6.8%；从金额角度看，2018年，全球MEMS惯性传感器市场规模约27.78亿美元，预计2027年将增长到47.74亿美元，期间CAGR约6.2%。
- 从结构来看，MEMS加速度计和IMU市场持续增长，陀螺仪逐渐萎缩，主要原因为独立MEMS陀螺仪在高端消费电子和汽车电子市场中逐渐被IMU取代所致。

全球MEMS惯性传感市场规模（亿颗）



全球MEMS惯性传感市场规模（亿美元）



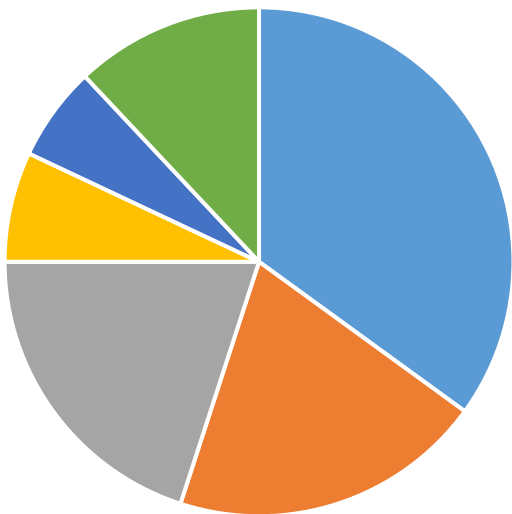
数据来源：明皊传感招股书，Yole，平安证券研究所

### 3.7 MEMS IMU|国外产品长期占优，国内厂商快速进步，国内外差距不断缩小

- MEMS惯性传感器市场长期被国外厂商占据，且集中度较高。根据Yole数据，2021年，全球MEMS IMU前五大厂商分别是博世、ST、TDK、ADI、HONEYWELL，合计市占率达88%，市场集中度较高，同时，MEMS陀螺仪和MEMS加速度计情况类似，前五大厂商也均为国外厂商，Top5合计市占率均在80%以上。
- 国内多家上市公司深耕MEMS惯导，产品实力快速增强，在部分领域达到国外厂商同等水平。如：芯动联科MEMS惯性传感器核心技术指标已达到国际先进水平，具有强大的竞争力以及盈利能力。

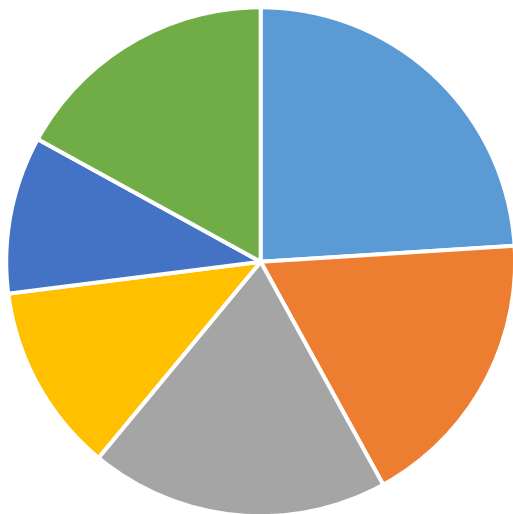
全球MEMS IMU市场格局@2021 (%)

■ 博世 ■ ST ■ TDK ■ ADI ■ HONEYWELL ■ 其他



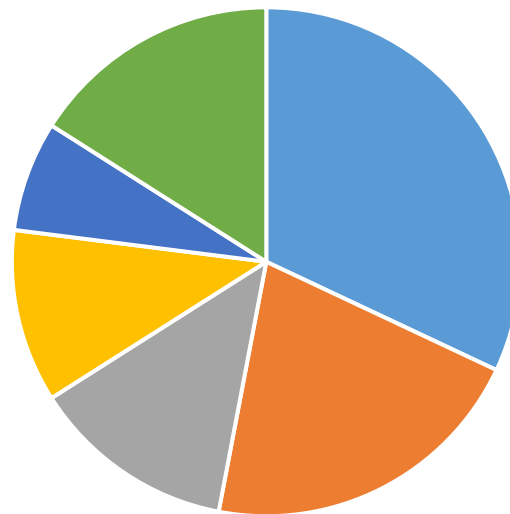
全球MEMS陀螺仪市场格局@2021 (%)

■ TDK ■ ADI ■ HONEYWELL ■ 博世 ■ ST ■ 其他



全球MEMS加速度计市场格局@2021 (%)

■ 博世 ■ ST ■ MURATA ■ NXP ■ ADI ■ 其他



数据来源：人形机器人研究院，Yole，平安证券研究所



## 目录CONTENTS

- ① 一、人形机器人潜力巨大，感知层是核心子系统之一
- ② 二、3D视觉：人形机器人最主要的环境信息输入口
- ③ 三、力觉：力传感+惯性传感助力完成精细动作
- ④ 四、触觉：类人交互之必备，电子皮肤有望大放异彩
- ⑤ 五、重点关注3D视觉+六维力传感+MEMS IMU+电子皮肤
- ⑥ 六、投资建议与风险提示

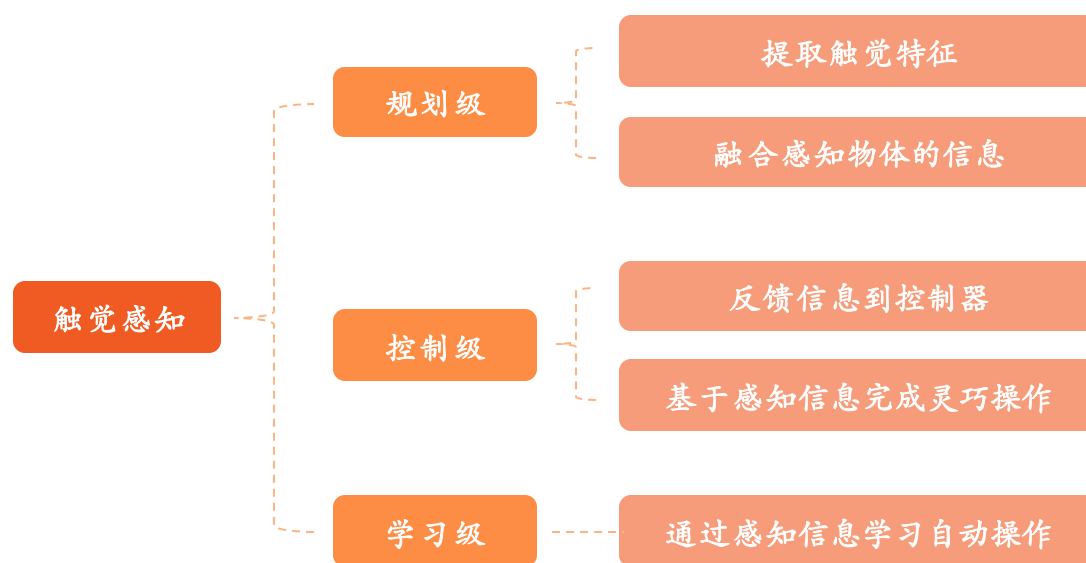
## 4.1 触觉传感 | 灵巧手完成精细操作的核心传感器

- 目前，人形机器人触觉传感主要应用于灵巧手，功能为获取物体的物理信息和接触力，模仿人类皮肤触觉，协助完成类人手精细操作。
- 触觉感知可分为规划级、控制级、学习级三层。规划级生成运动序列，触觉感知主要用于反馈物体和环境信息，如重建物体形状、识别物体材质；控制级是操作物体实现目标姿态，触觉感知提供用于手部运动反馈和调整的信息，如调整抓取姿态和力；学习级是用学习方法使机器人自动学习并获得操作技能，机器人通过触觉数据学习技能，使灵巧手通过与环境相互作用的信息自主控制行为。

### 搭载触觉传感的灵巧手



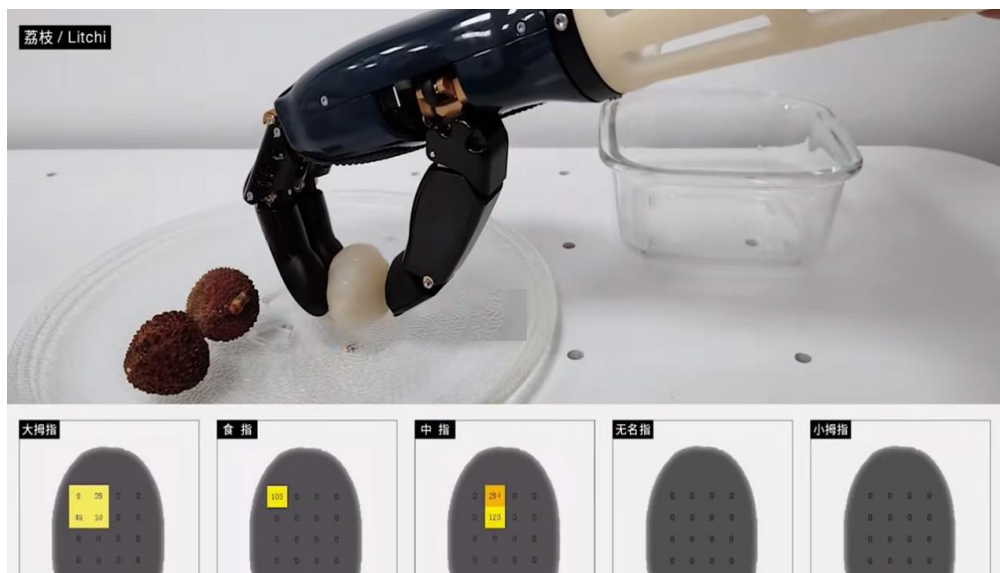
### 三个层次的触觉感知



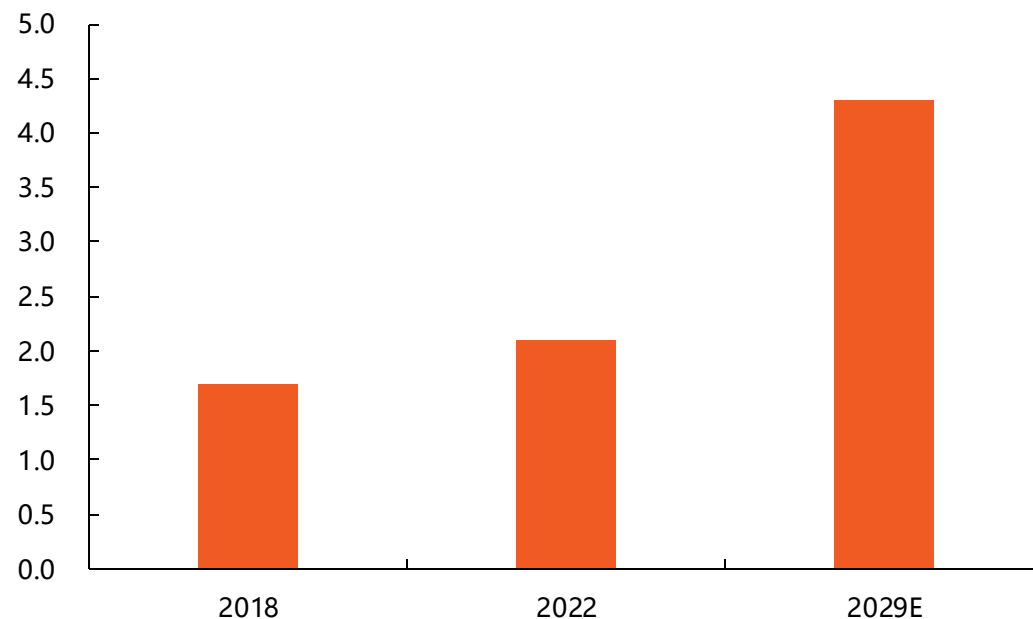
## 4.2 触觉传感 | 多模是重要发展方向，市场规模稳定增长

- 触觉传感发展路径为：指尖多维力测量-阵列触觉传感-多模态触觉传感。指尖多维力测量位置准确度较差；阵列触觉传感仅能感知单模态信息；多模态触觉传感可同时获得多种触觉信息，更加接近人类皮肤的功能，是触觉传感的重要发展方向。
- 根据观研报告网数据，2022年，全球机器人触觉传感器市场规模约为2.1亿美元，预计2029年将增长到4.3亿美元，期间CAGR 10.8%。

◎ 灵巧手抓握动作



◎ 全球机器人触觉传感器市场规模预测（亿美元）

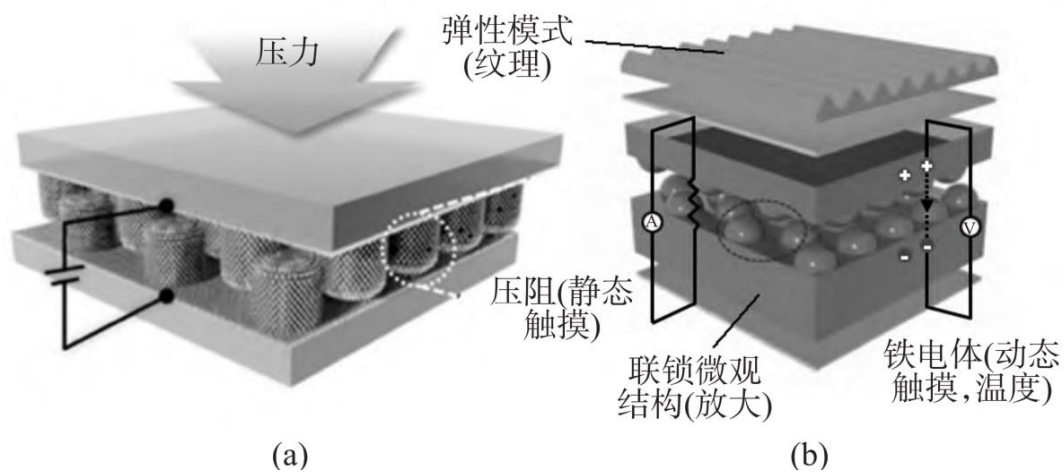


数据来源：CAAI认知系统与信息处理委员会，观研报告网，平安证券研究所

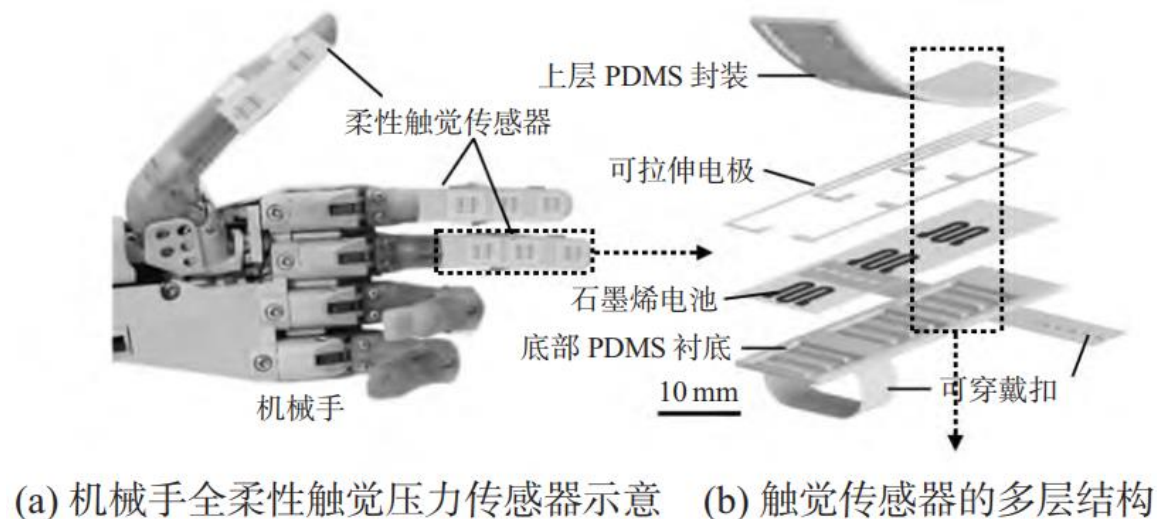
## 4.3 电子皮肤 | 柔性、高精度仿生触觉传感系统

- 电子皮肤是一种仿生柔性触觉传感系统，附着于机器人表面，通过传感单元感知周围环境。
- 高灵敏度和柔性是电子皮肤对机器人弯曲、挤压、扭转等动作精确感知的必要条件。提高电子皮肤灵敏度和柔性的方法主要有两个方向：1) 新材料选择，如PDMS、PET、PI、PVDF等柔性基底及敏感材料；2) 结构创新，如网状、波纹状、岛桥等结构可改善电子皮肤柔性性能，可压缩褶皱、互锁三明治等微结构设计对灵敏度有较大影响。

现代公司开发的电子皮肤示意图



全柔性触觉压力传感器示意图

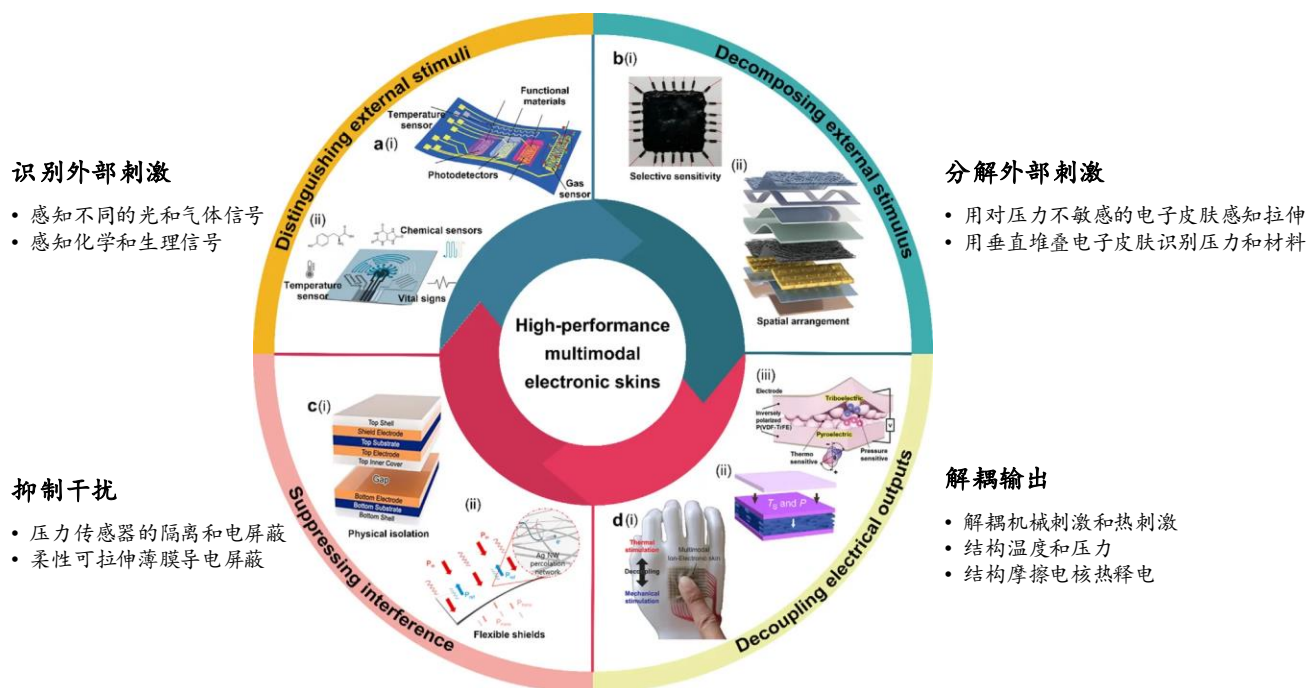


数据来源：《高灵敏度柔性电子皮肤的研究与应用进展》，平安证券研究所

## 4.4 电子皮肤 | 多模态感知是长期发展方向

- 长期看，仿生电子皮肤需具备多模态感知能力。单模态受其固有属性限制，仅能在有限场景下使用，如机械臂可实现接触控制，却无法处理安全抓取时的微小力操作；能感知压力、剪切力、摩擦力、热、磁等多种信息的多模态电子皮肤是人形机器人的真正所需。
- 电子皮肤在实现多模态性能的同时提升其关键参数仍面临诸多挑战，多功能材料和器件结构对于多模态电子皮肤将外部刺激高效转换为电信号至关重要。
- 一个完善的多模态电子皮肤工作流程包括：识别外部刺激、分解外部刺激、抑制干扰、解耦输出四步。

多模态电子皮肤工作步骤

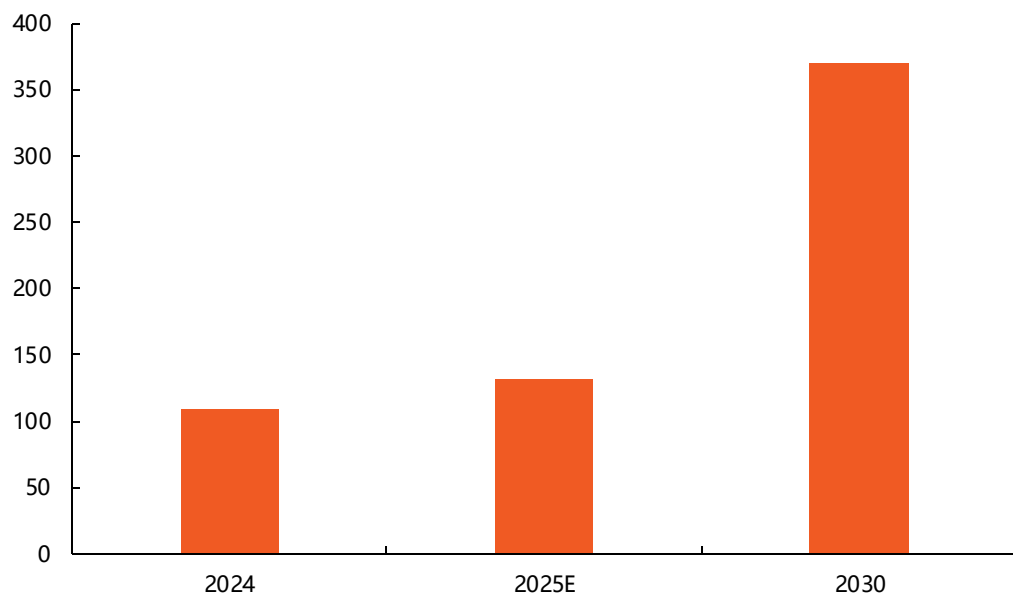


数据来源：《Materials and device architecture towards a multimodal electronic skin》，平安证券研究所

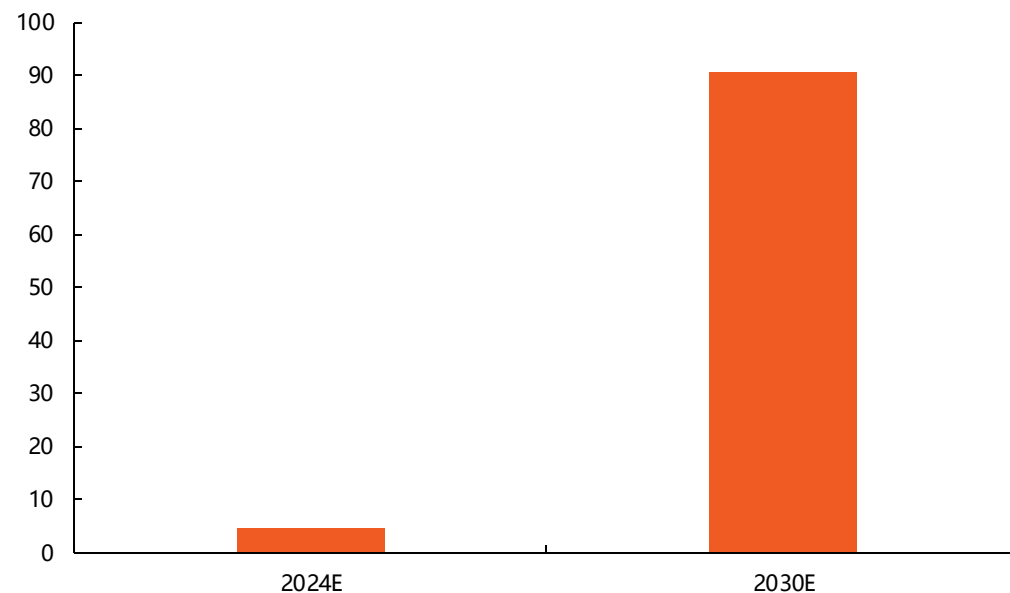
## 4.5 电子皮肤|人形机器人驱动电子皮肤市场快速增长

- 随着人形机器人逐渐落地，电子皮肤有望迎来快速增长期。全球市场，根据Ground View Research数据，2024年，全球电子皮肤市场规模约109亿美元，2025年预计约132亿美元，同比增长21.1%，到2030年，全球电子皮肤市场规模预计将增长到371亿美元，5年CAGR约为23.0%。国内市场，根据共研网数据，2024年，国内人形机器人电子皮肤市场规模预计4.6亿元，到2030年预计将增长到90.5亿元，期间CAGR约为64.3%。

全球电子皮肤市场规模预测（亿美元）



中国人形机器人电子皮肤市场规模预测（亿元）



数据来源：Ground View Research，共研网，平安证券研究所

## 4.6 电子皮肤 | 海外占主导，国内企业进步快速

- 电子皮肤尚处于发展早期，行业容量小，技术门槛高，整体看海外公司呈引领之势，Novasentis、Tekscan、JDI等海外企业市占率居于前列。
- 国内电子皮肤领域的市场玩家数量较少，上市企业里申昊科技、汉威科技具有代表性，非上市企业如帕西尼科技、纽瑞迪也有涉猎，技术路线与国外主流技术基本一致，但产品的可靠性、一致性、重复性等具体指标与国外企业产品尚存在一定差距。

### 国内电子皮肤相关公司情况

公司名		产品情况
上市公司	申昊科技	公司柔性触觉传感主要应用于非接触避障需求，目前针对预接触式传感方面进行研发，已小批量应用于公司操作类机器人，规避碰撞。目前该电子皮肤传感器尚处于小批量试用阶段。
	福莱新材	公司在人形机器人柔性传感器方面与多家灵巧手和本体机器人公司在接触，同步推进研发、送样、技术交流。2月18日，公司举办新技术新产品推介会，对外发布柔性传感器技术和产品。
	汉威科技	公司给多家机器人整机厂商提供电子皮肤及指腹类传感器，供其研发试用，并持续推进后续合作。
	奥迪威	公司研发数字式触觉传感器，通过压电效应产生电信号回波识别出物体的软硬，为机械设备提供精准的触觉感知。
非上市公司	柔电芯云	完成多个基于柔性生物电子技术的产品落地、实现低成本规模化量产和市场商业化验证。
	帕西尼科技	产品覆盖从核心触觉到人形机器人整机制造全链路，已实现批量商业级交付。
	纽瑞迪	成功批量交付用于机器人灵巧手的触觉传感器，引领行业先河。

数据来源：各公司公告，各公司官网，各公司公众号，平安证券研究所



## 目录CONTENTS

- ① 一、人形机器人潜力巨大，感知层是核心子系统之一
- ② 二、3D视觉：人形机器人最主要的环境信息输入口
- ③ 三、力觉：力传感+惯性传感助力完成精细动作
- ④ 四、触觉：类人交互之必备，电子皮肤有望大放异彩
- ⑤ 五、重点关注3D视觉+六维力传感+MEMS IMU+电子皮肤
- ⑥ 六、投资建议与风险提示

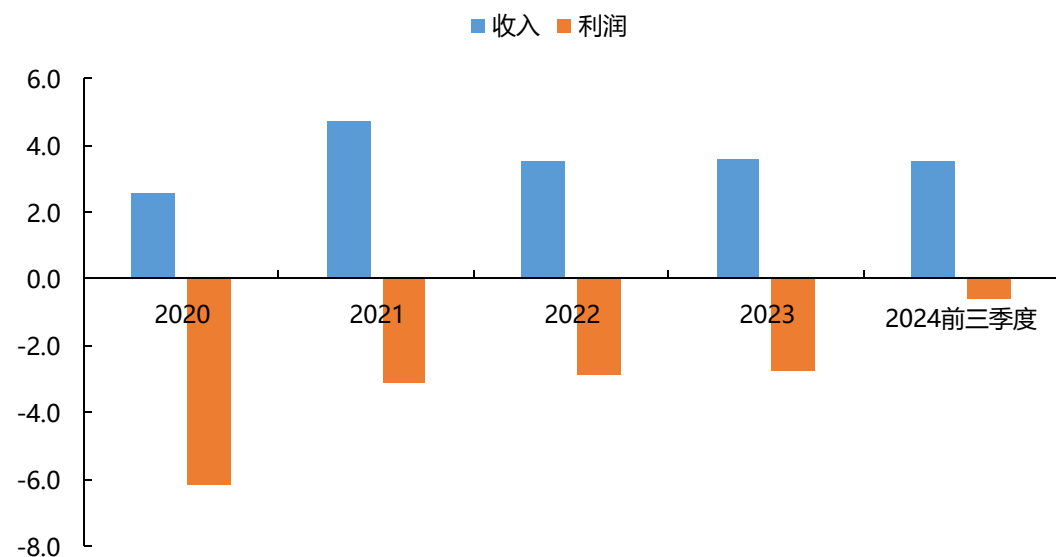
## 5.1 奥比中光|国内3D视觉稀缺标的，全球3D视觉传感器重要供应商之一

- 奥比中光专注于3D视觉感知技术，在人工智能时代打造“机器人与AI视觉产业中台”，产品包括3D视觉传感器、消费级应用和工业级应用设备。奥比中光开发出结构光、iToF、双目视觉传感器、dToF单线激光雷达、工业三维测量设备，并积极布局面阵dToF、面阵Lidar等前沿技术，构建了“全栈式技术研发能力+全领域技术路线布局”的3D视觉感知技术体系。
- 业绩角度，2020-2023年，奥比中光收入有所波动，2021年达到4.74亿元的阶段性峰值；根据公司2024年业绩快报，2024年，公司收入5.62亿元，同比增长56.2%，Q4单季度，公司归母净利润扭亏为盈。

奥比中光3D视觉感知技术体系



奥比中光近年业绩情况(亿元)

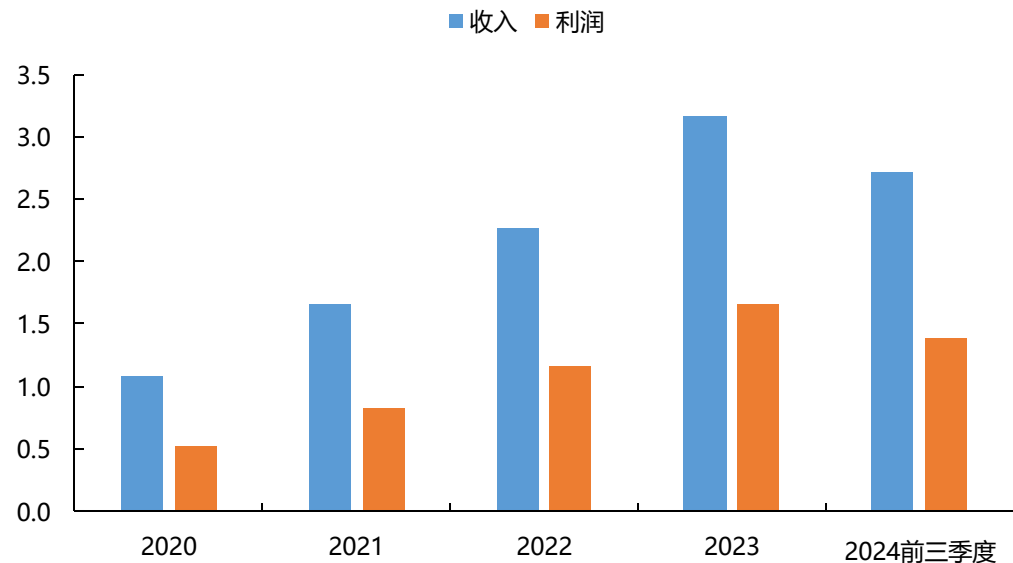


数据来源：奥比中光公告，iFind，平安证券研究所

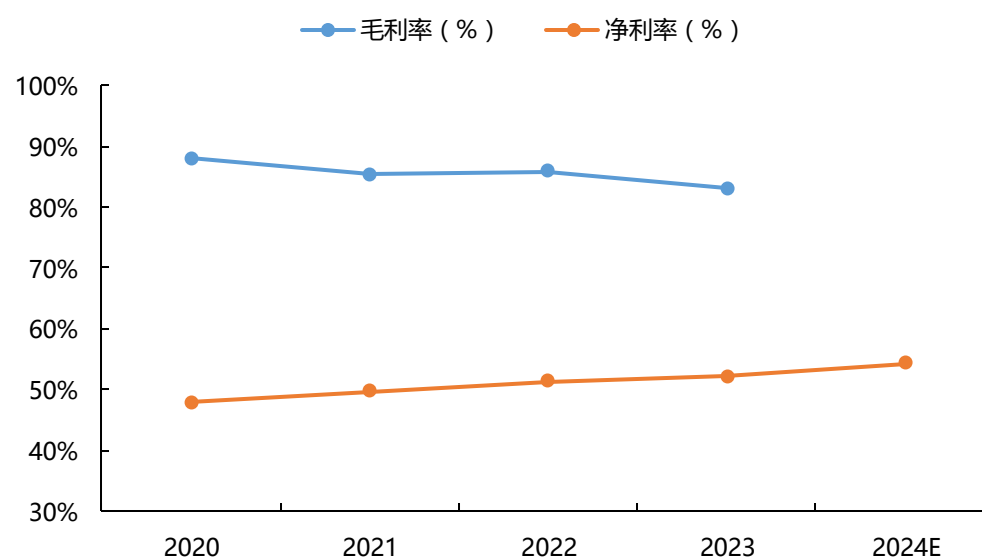
## 5.2 芯动联科|MEMS惯性传感领先企业，产品达到国际先进水平

- 芯动联科主营业务为高性能MEMS惯性传感器，产品包括MEMS陀螺仪和MEMS加速度计，在高端工业、石油勘探、无人系统、高可靠等对精度、稳定性要求较高的领域，公司产品核心性能与国际高性能MEMS惯性传感器龙头对标。
- 公司业绩稳定增长，盈利能力强大。2020-2023年，公司收入从1.09亿元增长到3.17亿元，期间CAGR 42.9%，利润从0.52亿元增长到1.65亿元，期间CAGR 47.2%。此外，高性能MEMS惯性传感器领域竞争格局优异，公司毛利率、净利润长期处于高位：2023年，公司毛利率83.0%，净利率52.2%，根据公司业绩快报，2024年，公司预计收入4.05亿元，净利润2.20亿元，净利率高达54.3%，同比增长2.1个百分点。

芯动联科近年业绩情况 (亿元)



芯动联科毛利率净利率情况 (%)



数据来源：iFind，平安证券研究所

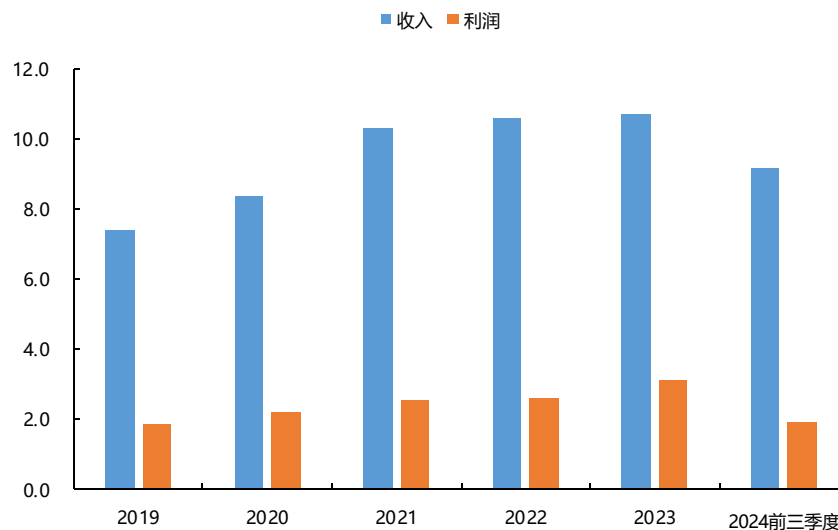
## 5.3 柯力传感 | 智能传感领军企业，六维力传感取得突破

- 柯力传感在智能传感领域代表性较强，未来主攻机器人传感器、多物理量传感器、柔性触觉传感器、扭矩传感器。公司主要产品是应变传感器，根据公司公告，公司连续14年力学传感器国内市占率第一；公司基于传感器应用场景布局物联网和智能化设备，提供系统解决方案；公司通过多次收并购拓展传感器业务版图，构建压力、温度、流量、电磁、光学、气体等丰富的产品矩阵。机器人领域，公司六维力/力矩传感已取得一定突破，并向微型、高频相应、MEMS硅基、力控算法集成等方向进行突破。
- 近年，公司业绩稳定增长，盈利能力较强。2019-2023年，公司收入从7.40亿元增长到10.72亿元，期间CAGR 9.7%，利润从1.83亿元增长到3.12亿元，期间CAGR 14.3%；盈利能力方面，公司毛利率较为稳定，净利率长期处于25%左右的较高水平。

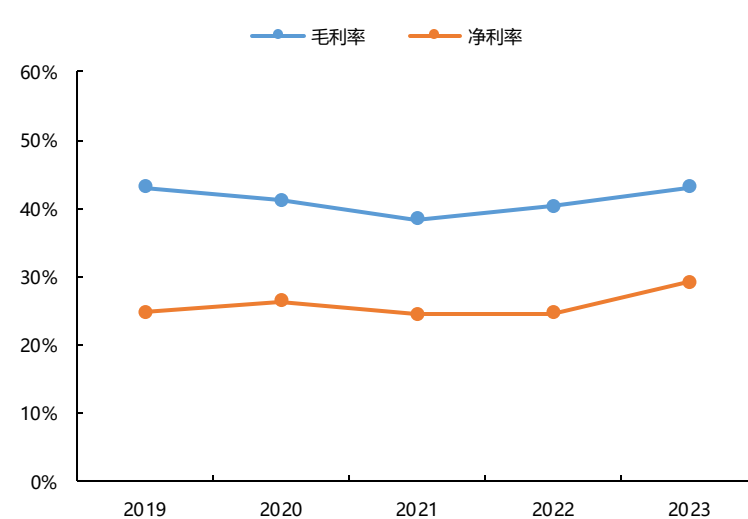
柯力传感产品矩阵布局



柯力传感近年业绩情况 (亿元)



柯力传感近年盈利能力情况 (%)




数据来源：柯力传感公告，iFind，平安证券研究所

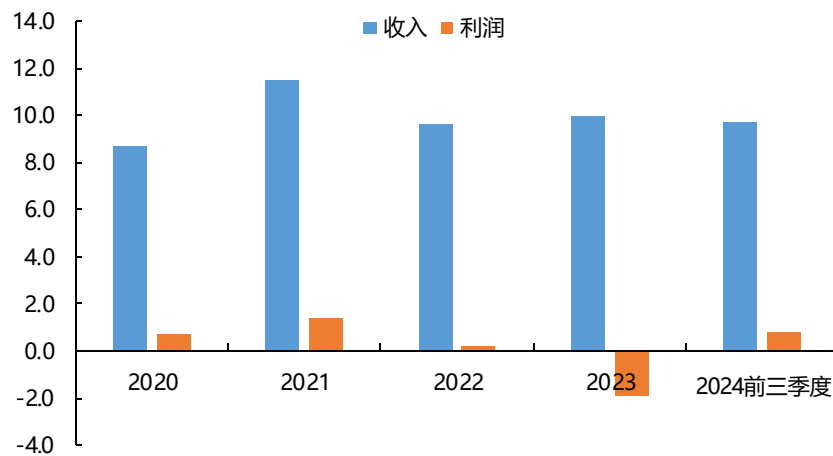
## 5.4 昊志机电 | 六维力矩传感应用于按摩机器人

- 昊志机电六维力矩传感器已应用于按摩机器人。昊志机电产品涵盖数控机床领域的主轴、转台、直线电机、数控系统等；机器人领域的谐波减速器、DD电机、低压伺服驱动、刹车机构、编码器、末端执行、力矩传感器等；新能源汽车领域的氢燃料电池空压机和曝气鼓风机。根据iFind信息，昊志机电六维力矩传感器已应用于按摩机器人，且已形成批量销售。
- 业绩角度，2020-2023年，公司业绩呈上下波动趋势；根据公司业绩预告，2024年，公司预计实现归母净利润0.70-1.02亿元，同比2023年的-1.94亿元成功扭亏为盈，主要原因为消费电子行业景气度回暖，相关产品收入同比大幅增长，同时公司对经营成本进行有效管控，产品毛利率有所提升所致。

昊志机电六维力矩传感器产品情况

产品图	产品特点	用途
	<ol style="list-style-type: none"><li>1) 世界级力控精度<math>\leq 0.1\text{Nm}</math>;</li><li>2) 温度自补偿，蠕变小，结构解耦;</li><li>3) 18位或24位A/D转换，采样率高达1KHz;</li><li>4) 通信协议：Ethercat、以太网、CAN、R485等多种选择;</li><li>5) 卡尔曼和巴特沃双重滤波算法，力/力矩输出更平顺;</li><li>6) 6通道模拟信号输入，低噪声仪表放大。</li></ol>	主要用于协作机器人和轻微机器人

昊志机电近年业绩情况（亿元）

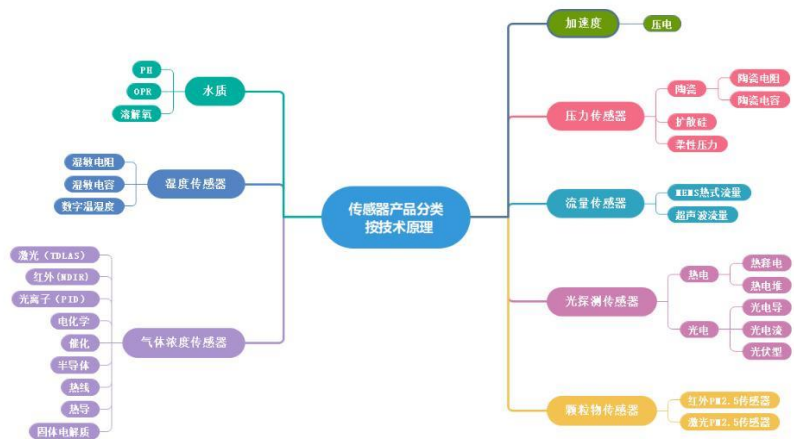


数据来源：昊志机电公告，iFind，平安证券研究所

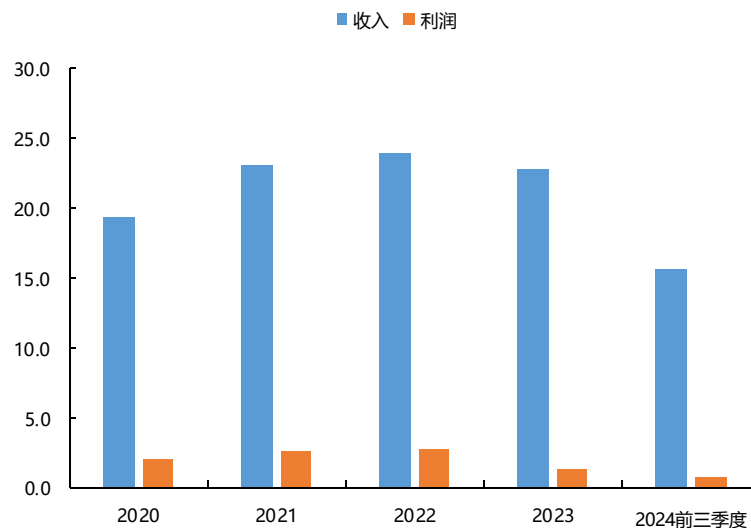
## 5.5 汉威科技 | 传感器产业链路完整，电子皮肤向机器人整机厂出货

- 汉威科技核心业务是传感器，其拥有半导体、催化燃烧、电化学、红外吸收四大原理的气体传感器，并基于传感器及智慧化解决方案产业生态发展，持续拓展红外线探测、压力、湿度、流量、加速度、水质检测等多门类传感器，构建了完整的产业链路。
- 汉威科技柔性微纳传感主要由控股子公司苏州能斯达开展，具备压力、压电、应变、织物等柔性传感器及阵列的核心设计能力，已向多家机器人整机厂提供电子皮肤及指腹类传感器。
- 公司毛利率较为稳定，基本维持在30%左右，上下略有波动，净利率在2023年有明显下降，主要原因为郑州汉威公用事业公司出表以及部分费用投入尚未转化为业绩产出导致。

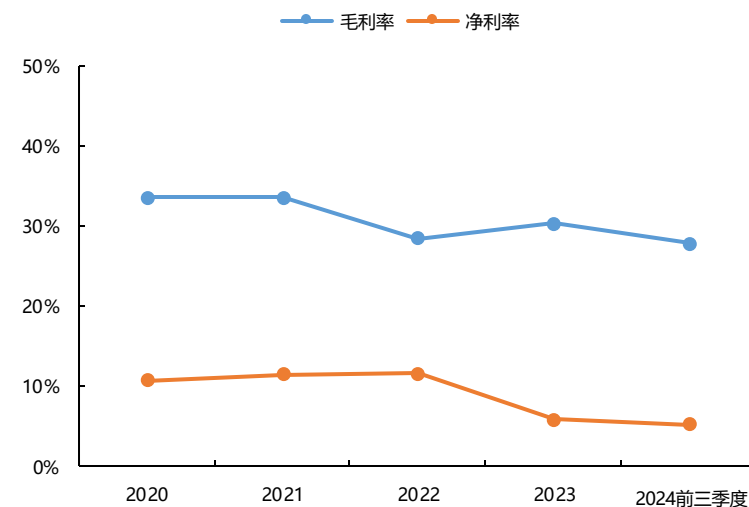
汉威科技传感器产品导图



汉威科技近年业绩情况（亿元）



汉威科技近年盈利能力情况（%）



数据来源：汉威科技公告，iFind，平安证券研究所



## 目录CONTENTS

- ① 一、人形机器人潜力巨大，感知层是核心子系统之一
- ② 二、3D视觉：人形机器人最主要的环境信息输入口
- ③ 三、力觉：力传感+惯性传感助力完成精细动作
- ④ 四、触觉：类人交互之必备，电子皮肤有望大放异彩
- ⑤ 五、重点关注3D视觉+六维力传感+MEMS IMU+电子皮肤
- ⑥ 六、投资建议与风险提示

## 6.1 投资要点

- 投资建议：**感知系统是人形机器人核心子系统之一，视觉、力觉、触觉等多种传感器融合协作，为人形机器人与环境交互提供实时信息来源和反馈。3D视觉、六维力/力矩传感、MEMS IMU、电子皮肤等是人形机器人感知系统的核心价值量所在，随着人形机器人逐渐落地，上述多种传感器将迎来巨大的增量市场，前景可观。推荐芯动联科，建议关注奥比中光、柯力传感、汉威科技、福莱新材、奥普特。

股票简称	股票代码	2025/3/11	EPS (元)				PE (倍)				评级
		收盘价 (元)	2023A	2024F	2025F	2026F	2023A	2024F	2025F	2026F	
芯动联科	688582	66.99	0.41	0.59	0.84	1.17	162.3	113.2	79.9	57.3	推荐
奥比中光	688322	68.1	-0.69	-0.18	0.07	0.37	-98.7	-373.4	1045.6	183.4	未评级
柯力传感	603662	75.05	1.11	1.14	1.38	1.62	67.7	65.8	54.6	46.4	未评级
汉威科技	300007	46.92	0.40	0.40	0.51	0.67	117.5	116.8	91.7	70.3	未评级
福莱新材	605488	58.82	0.36	0.49	0.59	0.70	164.7	121.1	99.6	84.3	未评级
奥普特	688686	106.49	1.58	1.60	2.15	2.76	67.2	66.6	49.6	38.6	未评级

数据来源：iFind，平安证券研究所（未评级公司采用ifind一致预期）

## 6.2 风险提示

- (1) 技术产品开发不及预期的风险。**人形机器人尚处于发展早期，还有大量技术及工程问题待解决，若技术进步速度较慢，可能导致人形机器人长期处于不成熟阶段，影响应用面拓展。
- (2) 下游落地不及预期的风险。**人形机器人尚未大规模应用，下游认可度还存在不确定性，若产品偏离下游实际需求，可能会导致人形机器人市场迟迟难以落地。
- (3) 国内传感器行业进展不及预期的风险。**传感器行业种类繁多，技术路线多样，若国内企业的技术产品无法满足人形机器人市场需求或降本节奏缓慢，可能导致市场被海外厂商占据，且面临人形机器人关键环节受制于人的窘境。

平安证券研究所电子信息团队

分析师/研究助理	邮箱	资格类型	资格编号
闫磊	YANLEI511@pingan.com.cn	投资咨询	S1060517070006
徐勇	XUYONG318@pingan.com.cn	投资咨询	S1060519090004
徐碧云	XUBIYUN372@pingan.com.cn	投资咨询	S1060523070002
陈福栋	CHENFUDONG847@pingan.com.cn	投资咨询	S1060524100001
郭冠君	GUOGUANJUN625@pingan.com.cn	投资咨询	S1060524050003

## 股票投资评级：

强烈推荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现20%以上）

推 荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现10%至20%之间）

中 性（预计6个月内，股价表现相对市场表现±10%之间）

回 避（预计6个月内，股价表现弱于市场表现10%以上）

## 行业投资评级：

强于大市（预计6个月内，行业指数表现强于市场表现5%以上）

中 性（预计6个月内，行业指数表现相对市场表现在±5%之间）

弱于大市（预计6个月内，行业指数表现弱于市场表现5%以上）

## 公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

## 免责条款：

此报告旨在发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司2025版权所有。保留一切权利。