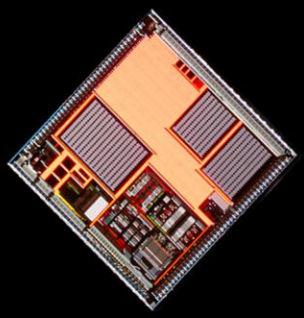
长江证券 CHANGJIANG SECURITIES



证券研究报告



行业研究丨深度报告丨机械

人形机器人传感器六问六答

请阅读最后评级说明和重要声明

报告要点

人形机器人使用的传感器包括关节一维力及力矩传感器、位置传感器、IMU、六维力传感器、触觉传感器及视觉模组等。本文重点梳理了触觉传感器、六维力传感器、IMU 等的工作原理，在人形机器人的作用，未来技术发展方向和当前市场情况，并对比分析了 MEMS 和柔性触觉传感器工艺。重点推荐六维力传感器赛道，建议关注 IMU、触觉传感器等细分赛道。

分析师及联系人



赵智勇

SAC：S0490517110001



倪蕤

SAC：S0490520030003

| 证券研究报告 |

2024-02-10

行业研究 | 深度报告

投资评级 看好 | 维持

机械

人形机器人传感器六问六答

问题一：目前人形机器人使用哪些传感器？

对 Optimus 和国内人形机器人厂商目前的传感器方案梳理来看，使用的传感器包括用于关节的一维力和一维力矩传感器、关节电机内部的位置传感器、IMU、用于腕关节和脚部的六维力传感器、触觉传感器（指尖、手掌、高碰撞风险区等）及视觉模组。

问题二：触觉传感器有哪些类型？发挥怎样的作用？

触觉传感器协助人形机器人获取如接触力大小和方向、物体温度、湿度、形状纹理等信息。根据敏感材料和工作原理的不同可分为压阻式、压电式、电容式、磁场式、光电式、超声波式等不同类型触觉传感器，性能对比各有优势。往后看，触觉传感器往大面积、柔性化运用、测量多维力方向继续优化，市场规模有望稳步提升，人形机器人将成重要增量。

问题三：IMU 在人形机器人发挥怎样的作用？

IMU 测量物体在三个正交方向的角速度和加速度，核心部件 MEMS 加速度计和 MEMS 陀螺仪为相对成熟产品。运用于人形机器人，IMU 可以根据 XYZ 方向的加速度和旋转角变化来准确估计姿态。同时，IMU 可以动态确定人形机器人自身位置变化，从而确定其移动轨迹及实现导航功能。从市场端看，21 年全球 MEMS 惯性传感器市场规模超 35 亿美元，且受益人形机器人、自动驾驶、高端工业等领域渗透应用，有望实现稳定发展。IMU 国产替代机遇较大。

问题四：硅基 MEMS、柔性传感器、霍尔传感器有什么区别？

MEMS 传感器具有体积小、重量轻、功耗低等特点。其主要材料是硅，加工技术基于集成电路制造技术，形成特定的机械结构。加工工艺包括表面微处理技术、体微加工技术、光刻、电镀、铸塑工艺等，其中，表面微处理技术、体微加工技术相对成熟，加上后道的 MEMS 模块封装，可实现 MEMS 传感器批量量产。而柔性传感器的制造可以不以硅为材料，由于需要部分或大面积覆盖机器人的关节和外壳，更侧重于材料的柔性和大面积阵列化能力。部分柔性器件方案与 MEMS 工艺迥异。霍尔传感器基于 MEMS 工艺，以磁场作为感应介质，除了直流无刷电机（磁编码器）和测磁仪表的成熟运用，此外在无损探伤、位移传感、压力传感等领域亦有运用。

问题五：如何看待六维力传感器的原理、作用、价值量及格局？

六维力传感器主要测量物体在空间中所受力及力矩，技术壁垒明显，单台人形机器人一般可配置 4 个六维力传感器。目前国内市场基数偏小，是高成长性赛道，后续高增催化包括应用渗透、国内厂商产品矩阵完善、产品降本及国产化率提升等。六维力传感器在人形机器人运用有望成为标配，我们测算当人形机器人产量达到 1 万台、10 万台、100 万台、200 万台时，六维力传感器需求空间将达到 5 亿、10 亿、50 亿、80 亿，弹性明显。国产化率有待提升，已有国内企业在部分细分赛道占据较大份额，表现出较强的差异化竞争实力，有望享受国产替代红利。

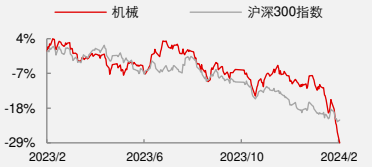
问题六：当前国内哪些上市企业具备传感器布局？

国内上市企业针对各类型传感器均有布局，应用场景百花齐放，有望受益应用渗透及国产替代机遇，重点推荐六维力传感器赛道，国产替代方兴未艾，国内产品验证稳步推进，重点推荐东华测试。建议关注 IMU、触觉传感器等细分赛道，潜在空间广阔，亦有国产替代红利。

风险提示

1、人形机器人核心技术突破不及预期；2、人形机器人量产化落地不及预期。

市场表现对比图(近 12 个月)



资料来源：Wind

相关研究

- 《机械行业 2023Q4 持仓分析：持仓占比环比提升，前十大持仓变动较大》2024-02-05
- 《人形机器人周报：Optimus 再度展示行走进展，国内多部门联合发文支持产业发展》2024-02-04
- 《工商业 LED 照明：海外有望持续渗透，优质企业地位稳固》2024-01-31

更多研报请访问
长江研究小程序

目录

问题一：目前人形机器人使用哪些传感器？ 6
问题二：触觉传感器有哪些类型？发挥怎样的作用？ 7
问题三：IMU 在人形机器人发挥怎样的作用？ 11
问题四：硅基 MEMS、柔性传感器、霍尔传感器有什么区别？ 17
问题五：如何看待六维力传感器的原理、作用、价值量及格局？ 20
问题六：当前国内哪些上市企业具备传感器布局？ 25
风险提示 27

图表目录

图 1：Optimus 脚部采用的力和力矩传感器或为六维力传感器 6
图 2：Optimus 已采用触觉传感器方案 6
图 3：触觉传感器可覆盖于人形机器人表面 7
图 4：协作机器人安全技术框架 7
图 5：灵巧手在视触觉传感下感知物体的形状和力分布情况 7
图 6：压阻橡胶受力，内部髓穿效应增强 8
图 7：电容式传感器、霍尔传感器工作原理 9
图 8：电磁感性传感器工作原理 9
图 9：触觉传感器可进一步做成大面积的柔性器件 10
图 10：基底预拉升，可使敏感元件形成屈曲结构，提升器件延展性 10
图 11：电容式三维力触觉传感器设计方案 10
图 12：压阻式三维力触觉传感器设计方案 10
图 13：全球触觉传感器市场规模有望保持较快提升 11
图 14：触觉传感器下游应用领域分布（2018 年） 11
图 15：Bosch Sensortec BMI 323 惯性测量单元 11
图 16：IMU 加速度计和陀螺仪敏感轴进行二次集成重构 11
图 17：IMU 广泛用于汽车、导航等领域 12
图 18：电容-梳齿式 MEMS 加速度计工作原理 13
图 19：哥氏力作用下物理运动轨迹呈现弧线 13
图 20：框架式 MEMS 陀螺仪工作原理 13
图 21：加速度计根据性能指标进行分类 14
图 22：2021 年高性能陀螺仪细分市场情况（百万美元） 14
图 23：IMU 可以安装在足部或者躯干位置 15
图 24：IMU 导航功能实现逻辑 15
图 25：在坡面行走，IMU 调整躯干姿态 16
图 26：中国 MEMS 惯性传感器市场规模（单位：亿元） 16
图 27：全球 MEMS 惯性传感器市场规模有望稳步提升（亿美元） 16
图 28：全球高性能 MEMS 惯性传感器市场竞争格局（2021 年） 17
图 29：MEMS 从制造到封装全工艺流程 17

图 30：各向异性及各向同性刻蚀原理差异.....18
图 31：干法刻蚀可以形成高深宽比.....18
图 32：四端悬臂梁制备工艺.....19
图 33：一种柔性传感器的典型三明治式结构.....19
图 34：压阻橡胶的制备流程及上下层纳米银电极模具制作，与 MEMS 工艺迥异.....20
图 35：角度传感器（磁场传感器，左）和线性磁场传感器芯片（右）.....20
图 36：霍尔传感器针对转动物体转数、转数、角速度、角度等物理量进行检测.....20
图 37：典型的三梁式、十字式六维力传感器架构.....21
图 38：人形机器人一般配置 4 个六维力传感器.....21
图 39：六维传感器结构设计多样.....21
图 40：当受到不同方向的力时，应变片组的受力情况不同.....22
图 41：解耦矩阵的求解.....22
图 42：标定设备为非标设备.....22
图 43：六维力传感器标定工作量大幅提升.....23
图 44：精度、准度概念对比.....23
图 45：六维力传感器在机器人领域的运用.....23
图 46：六维力传感器在机器人行业销量有望保持快速增长.....23
图 47：国内六维力传感器市场规模及预测（销售额）.....24
图 48：国内六维力传感器市场规模及预测（销量）.....24
图 49：协作机器人细分赛道，2022 年坤维科技销售量位列 TOP1.....24
图 50：传感器类型众多但测量的技术底层逻辑一致.....25

表 1：典型的传感器类型.....8
表 2：MEMS 陀螺仪是商用陀螺仪的先进类型.....14
表 3：陀螺仪根据性能指标进行分类.....14
表 4：全球六维力传感器主要厂商.....24
表 5：人形机器人六维力传感器需求测算.....25
表 6：国内传感器布局企业梳理.....26

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/077122160006006114