

标配 (维持)

行业加速发展，机器人催生六维力传感器需求

机器人系列报告（二）之六维力传感器

深度研究

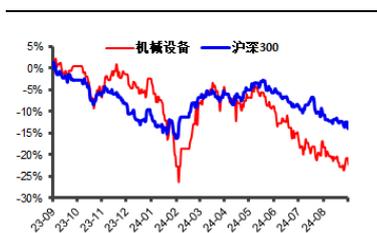
2024年9月3日

分析师：谢少威  
SAC 执业证书编号：  
S0340523010003  
电话：0769-23320059  
邮箱：  
xieshaowei@dgzq.com.cn

### 投资要点：

- 种类繁多，时代更迭促技术进步。**传感器的定义为能感受被测量信息并将其按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。传感器的分类方法较多，可按照不同工作原理、被测量、输出信号类型、用途等不同方式对传感器进行分类。传感器的发展分为机械化时代、电气自动化时代和智能化时代。每个阶段的技术进步共同推动传感器行业的不断发展和应用领域的拓宽。
- 传感器为重要核心零部件，助力机器人完成复杂任务：**感知部分是机器人区别于其他自动化机器的重要部件，在机器人上安装触觉传感器、视觉传感器、力觉传感器等，机器人借助传感器信息完成各种复杂工作。机器人的力觉主要有指、肢和关节等运动时机器人对受力的感知。在力传感器中，根据被测对象负载类型不同，可以把力传感器分为测力传感器、力矩表、手指传感器和六轴力觉传感器。
- 六维力传感器技术壁垒高：**六维力传感器是维度最高的力觉传感器，能提供最为全面的力觉信息。六维力传感器技术难点在于影响其精度的因素有很多，最重要的是维间耦合。解耦为在一定程度上减小或消除耦合干扰。由于六维力传感器中六个通道中的每一个通道中的输入信号都会对其他通道的输出信号造成影响，解除耦合相对困难，其技术壁垒相对较高。叠加六维力传感器对于机器人产业链和其它智能装配来说非常重要，被工信部纳入重点发展的核心零部件范畴。
- 机器人用六维力传感器上升空间巨大：**六维力传感器在多个领域中起到重要的应用。2023年六维力传感器下游应用领域中，工业自动化（包括工业机器人）仍为最大的应用领域，占比超77%。在人形机器人领域应用规模提速，远超其他行业。竞争格局方面，中国六维力传感器CR5市场份额超50.00%，其中三家国内企业共占比21.70%。2023年国产化率为32.10%，我们认为制造业自动化生产和人形机器人渗透率提高，叠加零部件更新替换等因素驱动，助力增加六维力传感器需求，并国内企业产品技术不断突破，品牌力持续提升，未来国产化率将呈上升趋势，未来上升空间巨大。
- 投资建议：维持标配评级。**传感器对机器人至关重要，是机器人感知功能的重要核心零部件。目前，六维力传感器正处于发展阶段，未来随着人形机器人量产、自动化设备进程提速，将大幅增加六维力传感器需求，从而推动六维力传感器成本下降，生产工艺及技术进一步提升迈向成熟。我们认为在多方面因素助力下，六维力传感器将渗透至更多下游领域。建议关注：昊志机电（300503）、柯力传感（603662）、华东测试（300354）。
- 风险提示：**国产替代进程不及预期风险；下游需求不及预期风险；人形机器人发展不及预期风险；核心零部件价格上涨风险；原材料价格上涨风险。

机械设备（申万）指数走势



资料来源：iFind，东莞证券研究所

### 相关报告

行业研究

证券研究报告

## 目录

1. 种类繁多，时代更迭促技术进步	3
1.1 传感器介绍	3
1.2 传感器发展历程	4
1.3 市场规模逐渐增长，出口为发展趋势之一	5
1.4 政策支持行业加快发展	7
2. 六维力传感器渗透率将逐渐提升	9
2.1 传感器为重要核心零部件，助力机器人完成复杂任务	9
2.2 六维力传感器技术壁垒高	11
2.3 机器人用六维力传感器上升空间巨大	14
3. 投资建议	16
4. 风险提示	16

## 插图目录

图 1: 传感器组成	3
图 2: 传感器的技术性能指标	4
图 3: 传感器产业链	5
图 4: 全球传感器市场规模（亿美元）	7
图 5: 各地区传感器市场份额（%）	7
图 6: 中国传感器市场规模（亿元）	7
图 7: 中国传感器企业区域分布（%）	7
图 8: 内部传感器分类	9
图 9: 外部传感器分类	10
图 10: 应变计结构	10
图 11: 压电式传感器接法	10
图 12: 一维、三维、六维力传感器对比	12
图 13: 六维力传感器串扰指标示例	13
图 14: 多维力传感器精准度图示	14
图 15: 机器人用六维力传感器销量及增速（套，%）	15
图 16: 机器人用六维力传感器市场规模及增速（亿元，%）	15
图 17: 六维力传感器国产化率及预测	15
图 18: 中国六维力传感器市场格局	16

## 表格目录

表 1: 传感器相关政策	7
表 2: 推荐个股盈利预测及评级	16

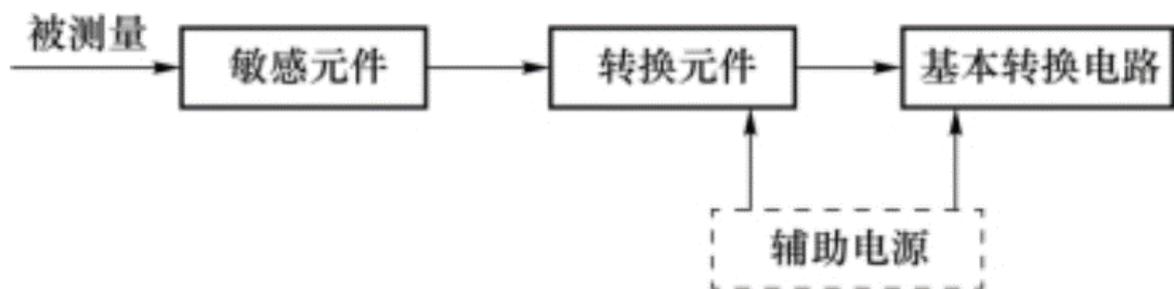
## 1. 种类繁多，时代更迭促技术进步

### 1.1 传感器介绍

根据国家标准，传感器的定义为能感受被测量信息并将其按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。其中，传感器定义包括以下含义：（1）传感器是测量装置，能完成检测任务；（2）其输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等；（3）其输出量是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理和显示等，可以是气、光、电等量，目前主要是电物理量；（4）输出量与输入量有确定的对应关系，且应具有一定的精确度。总体来说，传感器是获得信息的装置，能够在感受外界信息后，按一定的规律把物理量、化学量或者生物量等转变成便于利用的信号，转换后的信息便于测量和控制。

传感器一般由敏感元件、转换元件、基本转换电路组成。敏感元件是传感器中直接感受或响应被测量的部分，是输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。转换元件是传感器中能将敏感元件感受或相应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分，其输入就是敏感元件的输出。将上述电路参数接入基本转换电路（简称转换电路），便可转换成电量输出。传感器只完成被测参数至电量的基本转换，电量输入测控电路，进行放大、运算、处理等进一步转换，以获得被测值或进行过程控制。

图 1：传感器组成



数据来源：《传感器原理及应用》（苑会娟），《传感器原理及应用》（颜鑫、张霞），东莞证券研究所

传感器的基本特性是指其输出与输入之间的关系。传感器的输出和输入是一一对应的，即传感器能不失真的再现输入信号，这就是传感器的理想特性。由于在设计、制造以及使用过程中存在很多影响因素，使得传感器不可能呈现理想特性。传感器的特性与被测量的性质有关，当被测量处于不变或缓变情况下，输出与输入之间的关系称为传感器的静态特性；当被测量随时间变化时，输出与输入之间的关系称为传感器的动态特性。

传感器基于不同分类、用途匹配主要指标。传感器的应用范围十分广泛，原理、结构与类型繁多，难以用统一指标衡量传感器质量。其中多个基本参数指标和比较重要的环境参数指标会作为检验、使用和评价传感器的依据。对于某一分类或某一用途的传感器而言，并非全部指标都是必需的。设计和制作一个各项指标优良的传感器是非常困难的，实际上是非必要的。应根据不同的使用场景匹配主要指标，其余指标或参数基本满

足要求即可。更重要的是需关注传感器的稳定性和变化规律，从而在电路上或使用计算机进行补偿和修正，可令传感器降低成本并提高应用精度。

图 2：传感器的技术性能指标

基本参数指标	量程指标：测量范围，过载能力等
	灵敏度指标：灵敏度，分辨力，满量程输出，输入输出阻抗等
	精度有关指标：测量不确定度，重复性，线性度，滞后，灵敏度误差，阈值，稳定性，漂移等
	动态性能指标：固有频率，阻尼系数，时间常数，频响范围，频率特性，临界频率，临界速度，稳定时间等
环境参数指标	温度指标：工作温度范围，温度误差，温度漂移，温度系数，热滞后等
	抗冲击振动指标：容许抗各向冲击振动的频率、振幅、加速度，冲振引入的误差等
	其他环境参数：抗潮湿，抗介质腐蚀能力，抗电磁干扰能力（电磁兼容性 EMC）等
可靠性指标	工作寿命，平均无故障时间，保险期，疲劳性能，绝缘电阻，耐压，抗飞弧性能等
其他指标	使用方面：供电方式（直流，交流，频率及波形等），电压幅度与稳定性，功耗，各项分布参数等
	结构方面：外形尺寸，重量，壳体材质，结构特点等
	安装连接方面：安装方式，馈线，电缆等

数据来源：《传感器原理及应用》（苑会娟），东莞证券研究所

## 1.2 传感器发展历程

传感器的发展分为**机械化时代**、**电气自动化时代**和**智能化时代**。每个阶段的技术进步共同推动传感器行业的不断发展和应用领域的拓宽。

**机械化时代（人类出现至约 1870 年）**：在机械化时代，传感器的发展处于雏形阶段，该时期传感器大多基于机械原理和自然现象。如中国东汉时期的科学家张衡发明的地动仪，利用惯性原理探测地震波的方向，为世界上最早的地震仪，也是人类历史上最早的振动传感器。此外，黄帝发明的指南车、古代的量器（如仰韶陶质量具、商代骨尺、楚墓天平）以及日晷仪等，都可以视为早期传感器的雏形，为后来的传感器技术奠定基础。

**电气自动化时代（1870 年后至 2009 年）**：随着电气技术的兴起，传感器的发展进入电气自动化时代。1876 年，德国西门子制造出第一支铂电阻温度计，为最早输出电信号的传感器，标志着传感器进入电气测量领域。随后，传感器技术发展提速，出现结构型传感器和固体传感器等新型传感器。结构型传感器主要利用结构参量变化来感受和转化信号，如电阻应变传感器等；而固体传感器则由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成，利用材料的某些特性制成，如集成温度传感器 AD590 等。该时代的传感器出现，令传感器测量精度和稳定性提升起到重大作用，并在工业自动化、航空航天、医疗等领域得到广泛应用。

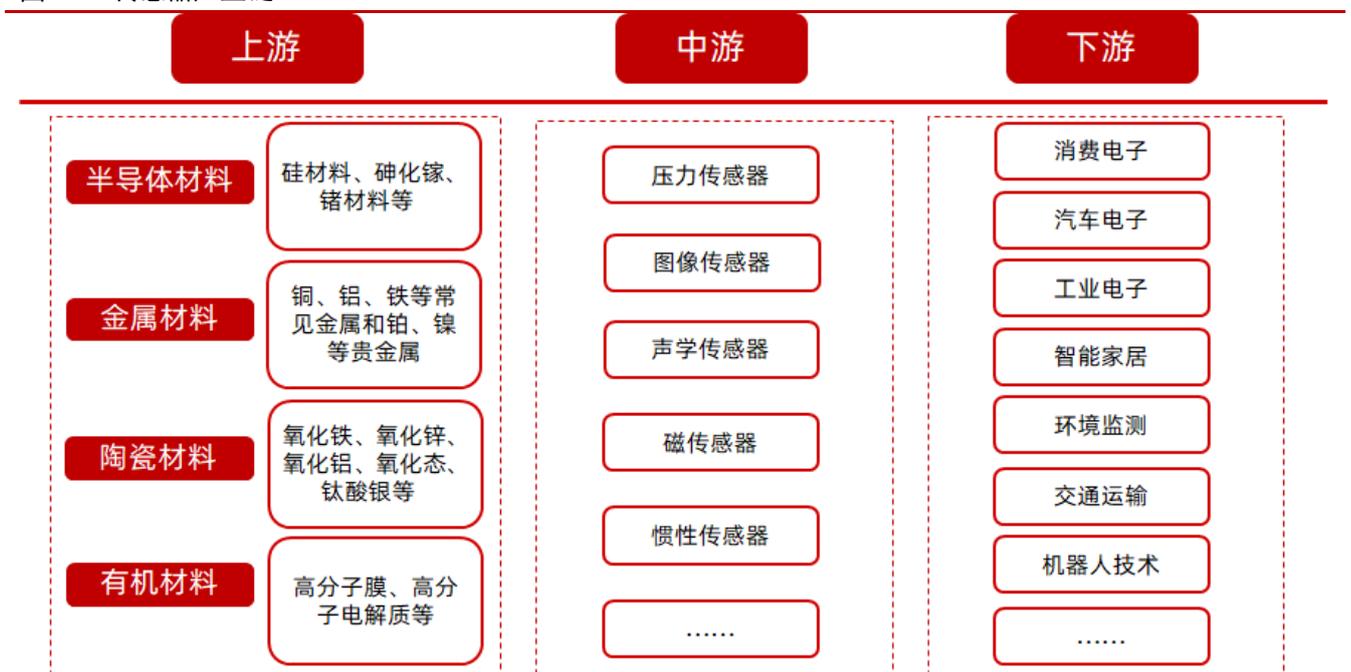
**智能化时代（2009 年至今）**：进入 21 世纪后，随着微电子技术、计算机技术、物联网技术的快速发展，传感器技术迎来智能化时代。智能传感器将传感器、信号调节电

路、微计算机、存贮器及接口集成到芯片上，具有检测、自诊断、数据处理以及自适应能力。同时，无线传感器网络的兴起使得传感器能够通过网络实现远程监控和数据传输，进一步拓宽了传感器的应用领域。例如，MEMS（微机电系统）传感器作为智能传感器的代表性产品之一，在消费电子、汽车电子、航空航天等领域得到了广泛应用。此外，随着物联网技术的不断发展，传感器将成为物联网感知层的核心组件之一，在智慧城市、智能家居、智能制造等领域发挥重要作用。

### 1.3 市场规模逐渐增长，出口为发展趋势之一

从传感器产业链来看，上游常规原材料包括半导体材料、金属材料、陶瓷材料以及有机材料。

图 3：传感器产业链



数据来源：智研咨询，华经产业研究院，前瞻产业研究院，东莞证券研究所

**传感器种类繁多。**中游为传感器各类产品，包括压力传感器、图像传感器、声学传感器等。传感器的分类方法较多，可按照不同工作原理、被测量、输出信号类型、用途等不同方式对传感器进行分类。

#### 按照传感器的工作机理分类

按照感知被测量（外界信息）所依据的基本效应的科学属性，可以将传感器分成物理传感器、化学传感器和生物传感器三大类。

物理传感器是利用某些元件的物理性质以及某些功能材料的特殊物理性能，如压电效应、磁致伸缩现象、离子、热电、光电、磁电等效应，把被测物理量转化为便于处理的能量形式信号的传感器。被测信号的微小变化被转换为电信号，其中起导电作用的是电子，相对后续开发难度较小。

在物理传感器中可分为物性型传感器和结构型传感器。结构型传感器是基于物理学

中场的定律构成的，包括动力场的运动定律、电磁场的电磁定律等。该类传感器特点为工作原理是以传感器中元件相对位置变化引起场的变化为基础。物性型传感器是基于物质定律构成的，如胡克定律、欧姆定律等。物质定律是表示物质某种客观性质的法则。

化学传感器主要是利用敏感材料与物质间的电化学反应原理，把无机和有机化学成分、浓度等转换为电信号的传感器，如气体传感器、湿度传感器和离子传感器。生物传感器是利用生物活性物质，如分子、细胞甚至某些生物机体组织等对某些物质特性的选择能力构成的传感器。生物传感器的研究历史较短，但发展非常迅速，随着半导体技术、微电子技术和生物技术的发展，它的性能将进一步完善，多功能、集成化和智能化的生物传感器将成为现实，前景十分广阔。

### 按照传感器的工作原理分类

按照传感器对信号转换作用的原理可分为电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器、热电式传感器、波式传感器等。按照工作原理分类，有利于理解传感器的工作原理。

### 按输入信息（被测量）分类

传感器按输入量（用途）分类力传感器、有位移传感器、位置传感器、液面传感器、能耗传感器、速度传感器、温度传感器、振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器等。按被测量分类的方法体现传感器的功能和用途，有利于用户有针对性地选择传感器。实际上，通常将工作原理和被测量分类结合选择传感器，如应变式压力传感器、压电式加速度传感器、光电码盘式转速传感器等。

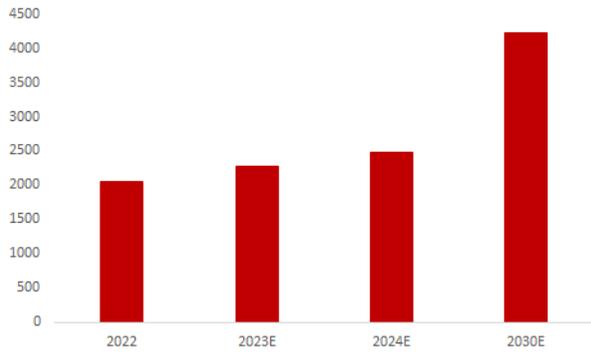
### 按应用范围分类

根据传感器的应用范围的不同，通常分为工业用、民用、科研用、医用、军用传感器等。按具体使用场合，可分为汽车用、舰船用、航空航天用传感器等。如果根据使用目的的不同，可分为计测用、监测用、检查用、控制用、分析用传感器等。

**国内传感器市场规模呈上升趋势，华东地区产业链等相对完善。**国内根据 Precedence Research，2022 年全球传感器市场规模为 2048.00 亿美元，预计 2024 年 2473.40 亿美元，2030 年为 4228.60 亿美元，2024-2030 年复合增长率为 9.35%。根据智研咨询，全球传感器市场主要集中在北美洲、欧洲、日本等地区，占比分别为 43.30%、29.70%、19.80%。工控产品出海为目前行业趋势之一，国内产品出海将助力国内企业业绩提升，技术发展进程提速，并加快国内产品的渗透。根据中商产业研究院，预计 2024 年中国传感器市场规模为 3732.70 亿元，同比增长 12.27%，呈逐年增长趋势。从企业数量分布来看，受益于地区经济高水平发展、完善的产业链、丰富的人才资源等因素，我国传感器企业主要集中在华东地区，占比为 56.86%。从产品结构来看，压力传感器、图像传感器、位置传感器、流量传感器以及生物传感器销售规模排名前五。

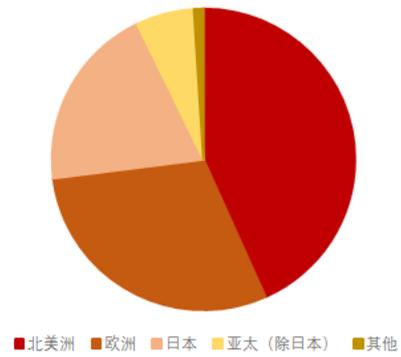
**传感器下游应用领域主要以消费电子、汽车电子、工业电子、智能家居、环境监测等为主。**

图 4：全球传感器市场规模（亿美元）



数据来源：Precedence Research，东莞证券研究所

图 5：各地区传感器市场份额（%）



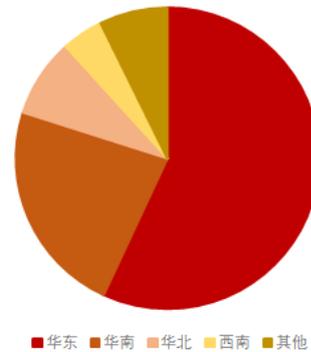
数据来源：智研咨询，东莞证券研究所

图 6：中国传感器市场规模（亿元）



数据来源：中商产业研究院，东莞证券研究所

图 7：中国传感器企业区域分布（%）



数据来源：智研咨询，东莞证券研究所

### 1.4 政策支持行业加快发展

传感器行业作为高端装备细分领域，在智能家居、3C 消费电子、机器人等领域渗透率不断提升，国家及各地方政府出台一系列政策为行业发展助力。2021 年至 2024 年国家层面上（国务院、发改委、市场监管总局、工信部联合多个部门）和地方层面上（北京市、上海市、广东省、黑龙江省等省市）颁布多项政策，推动传感器行业加速发展。其中重点提出加快关键技术突破，推动传感器技术升级。

2021 年工信部等实务部门颁布《“十四五”机器人产业发展规划》，其中提出鼓励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。

表 1：传感器相关政策

时间	发布机构	名称	政策要点
2021	工信部等十五部门	《“十四五”机器人产业发展规划》	鼓励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。

2022	国务院	《“十四五”数字经济发展规划》	提出瞄准传感器、量子信息、网络通信、集成电路、关键软件、大数据、人工智能、区块链、新材料等战略性前瞻性领域，发挥我国社会主义制度优势、新型举国体制优势、超大规模市场优势，提高数字技术基础研发能力。
2022	工信部等五部门	《关于推动轻工业高质量发展的指导意见》	提出加快关键技术突破，其中包括自行车变速器、中置电机力矩传感器，高效锂电池安全技术，机械手表机芯精密制造工艺技术、智能手表用微型压力技术，动态电子衡器、智能衡器、无线力与称重传感器，动态质量测量技术等。
2022	工信部等五部门	《加快电力装备绿色低碳创新发展行动计划》	提出加速数字化传感器、电能路由器、潮流控制器、固态断路器等保护与控制核心装备研制与应用。加快数据中心、移动通讯和轨道交通等应用场景的新型配电装备融合应用与高度自治配电系统建设。
2023	工信部等六部门	《关于推动新能源电子产业发展的指导意见》	提出发展小型化、低功耗、集成化、高灵敏度的敏感元件，集成多维度信息采集能力的高端传感器，新型 MEMS 传感器和智能传感器，突破微型化、智能化的电声器件和图像传感器器件。
2023	工信部等七部门	《智能检测装备产业发展行动计划（2023-2025 年）》	提出发展高精度触头、高精度非接触式气电转换测头、高性能光电倍增管、高精度光栅、高精度编码器、高精度真空泵、高精度传感器、高性能 X 射线探测器、高功率微焦斑 X 射线管、高精度工业相机、高精度光学组件等智能检测装备关键零部件/元器件。
2023	工信部等五部门	《制造业可靠性提升实施意见》	<p>提出（1）<b>机械行业</b>：重点提升工业母机用滚珠丝杠、导轨、主轴、转台、刀库、光栅编码器、数控系统、大功率激光器、泵阀，农业机械用精密排种器、液压件、柴油机燃油喷射系统、拖拉机动力换挡系统、尾气后处理系统，工程机械用数字化液压元件、一体化电驱动系统，工业机器人用精密减速器、智能控制器，仪器仪表用控制部件、传感器、源部件、探测器、样品前处理器等关键专用基础零部件和高端轴承、精密齿轮、高强度紧固件、高性能密封件等通用基础零部件的可靠性水平；提升铸、锻、焊、热处理等基础工艺水平。（2）<b>电子行业</b>：重点提升电子整机装备用 SoC/MCU/GPU 等高端通用芯片、氮化镓/碳化硅等宽禁带半导体功率器件、精密光学元器件、光通信器件、新型敏感元件及传感器、高适应性传感器模组、北斗芯片与器件、片式阻容感元件、高速连接器、高端射频器件、高端机电元器件、LED 芯片等电子元器件的可靠性水平。提升高频高速印刷电路板及基材、新型显示专用材料、高效光伏电池材料、锂电关键材料、电子浆料、电子树脂、电子化学品、新型显示电子功能材料、先进陶瓷基板材料、电子装联材料、芯片先进封装材料等电子材料性能，提高元器件封装及固化、外延均匀、缺陷控制等工艺水平，加强材料分析、破坏性物理分析、可靠性试验分析、板级可靠性分析、失效分析等分析评价技术研发和标准体系建设，推动在相关行业中的应用。（3）<b>汽车行业</b>：重点聚焦线控转向、线控制动、自动换挡、电子油门、悬架系统等线控底盘系统，高精度摄像头、激光雷达、基础计算平台、操作系统等自动驾驶系统，车载信息娱乐、车内监控、车机显示屏等智能座舱系统，车联网终端、通信模块等网联关键部件，以及核心控制、电源驱动、IGBT、大算力计算、大容量存储、信息通信、功率模拟、高精度传感器等车规级汽车芯片，通过多层推进、多方协同，深入推进相关产品可靠性水平持续提升。</p>

2023	市场监管总局	《关于深化长三角计量一体化发展的意见》	提出加大产学研用合作。加快小型化矢量原子磁力仪、量子微波场强仪等量子传感器和太赫兹传感器、高端图像传感器、高速光电传感器等研制与应用。在电化学、光学测量、色谱仪、质谱仪、流量计等领域培育一批具有核心技术和竞争力的高端仪器仪表品牌。推动三省一市仪器仪表相关产业发展集群建设。 <b>服务数字长三角建设。</b> 加快国家时间频率计量中心上海实验室和应用中心（浙江）建设，完善时间频率标准、分布式可靠时间同步系统等数字计量基础设施。面向社会创新计量数字化服务，建立电能在线监测数据验证系统等数字计量标准。推动建设上海计量测试数据中心、国家计量科学数据中心浙江分中心、国家计量科学数据中心江苏分中心、安徽省计量数据库和相关领域计量数据建设应用基地，推动生命健康、食品安全、交通运输、金融服务等跨领域、跨区域计量数据融合、共享与应用。积极推动智能传感器、微机电系统（MEMS）传感器等关键计量测试技术联合攻关，服务物联网、车联网、工业互联网建设。
2023	发改委	《产业结构调整指引目录（2024 年本）》	提出积极推动新型电子元器件制造，如片式元器件、敏感元器件及传感器、频率控制与选择元件、混合集成电路、电力电子器件、光电子器件等。

资料来源：中华人民共和国中央人民政府网，东莞证券研究所

## 2. 六维力传感器渗透率将逐渐提升

### 2.1 传感器为重要核心零部件，助力机器人完成复杂任务

机器人感知功能较为重要，传感器助力机器人完成不同程度的复杂任务。从机器人角度看，机器人由感知、决策和执行三部分组成，其中，感知部分是机器人区别于其他自动化机器的重要部件，机器人的感知即机器人传感技术。机器人传感器从 20 世纪 70 年代开始发展的专用新型传感器。机器人传感器和普通传感器工作原理基本相同，却又存在其特殊性。为了检测机器人与作业对象及工作环境之间的作用关系，在机器人上安装速度传感器、加速度传感器、触觉传感器、视觉传感器、力觉传感器、接近觉传感器、超声波传感器和听觉传感器等，机器人借助传感器信息完成各种复杂工作。

根据检测对象的不同可以将传感器分为内传感器和外传感器。内传感器多用来检测机器人本身状态（如手臂间角度），多为检测位置和角度的传感器；外部传感器多用来检测机器人所处环境（如是哪种物体，离物体的距离有多远等）及状况（如抓取物体时是否有滑动）的传感器。具体有物体识别传感器、力觉传感器、接近觉传感器、距离传感器、听觉传感器等。

图 8：内部传感器分类

传感器	类型
特定位置、角度传感器	微型开关、光电开关
任意位置、角度传感器	电位器、旋转变压器、码盘、关节角传感器
速度、角速度传感器	测速发电机、码盘
加速度传感器	应变片式、伺服式、压电式、电动式
倾斜角传感器	液体式、垂直振子式
方位角传感器	陀螺仪、地磁传感器

数据来源：《现代机械设计手册第 5 卷（第二版）》秦大同、谢里阳，东莞证券研究所

图 9：外部传感器分类

功能	传感器	类型
视觉传感器	测量传感器	光学式(点状、线状、圆形、螺旋形、光束)
	识别传感器	光学式、声波式
	接触觉传感器	单点式、分布式
触觉传感器	压觉传感器	单点式、高密度集成、分布式
	滑觉传感器	点接触式、线接触式、面接触式
力觉传感器	力/力矩传感器	组合型
	力和力矩传感器	单元型
接近觉传感器	接近觉传感器	空气式、磁场式、电场式、光学式、声波式
	距离传感器	光学式、声波式

数据来源：《现代机械设计手册第 5 卷（第二版）》秦大同、谢里阳，东莞证券研究所

机器人的力觉主要有指、肢和关节等运动时机器人对受力的感知。主要包括腕力觉、关节力觉和支座力觉等。在力传感器中，既有测量三轴力的传感器，又有测量绕三轴的力矩传感器。根据被测对象负载类型不同，可以把力传感器分为测力传感器（单轴力传感器）、力矩表（单轴力矩传感器）、手指传感器（检测机器人手指作用力的超小型单轴力传感器）和六轴力觉传感器。根据力的检测方式不同，可以分为检测应变或应力的应变片式、利用压电效应的压电元件式、用位移计测量负载产生的位移的差动变压器、电容位移计式。

### （1）力测量原理

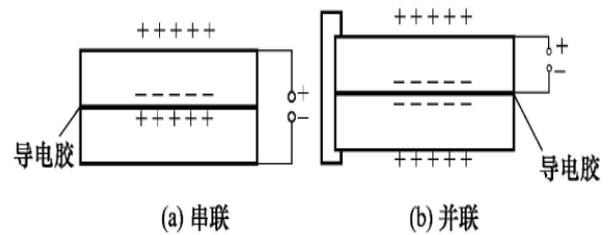
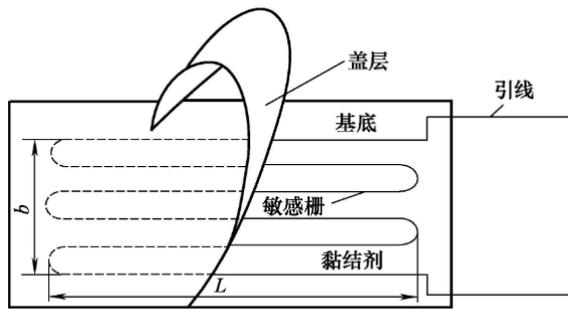
应变计是指测量外力作用下变形材料的变形量的传感器。根据应变计材料不同，可分为以下几种：电阻丝应变计（采用电阻细丝）、铂应变计（采用金属铂）、半导体应变计（采用压电半导体）。

① 应变计。以典型的金属电阻丝应变计为例，介绍应变计基本原理。它主要由敏感栅、基底、引线、盖层和黏结剂五部分组成。

② 半导体压电式传感器工作原理。部分晶体在一定方向受到外力作用时，内部将产生极化现象，相应地在晶体的两个表面产生符号相反的电荷，当外力作用除去时，将恢复到不带电状态；当作用力方向改变时，电荷的极性也随着改变，这种现象称为压电效应。反之，在电介质的极化方向上施加交变电场或电压，会产生机械变形，当去掉外加电场时，电介质变形随之消失，称为逆压电效应（电致伸缩效应）。压电式传感元件是力敏感元件，它可以测量最终能变换为力的非电物理量，例如动态力、动态压力、振动、加速度等，但不能用于静态参数的测量。在压电式传感器中，常将两片或多片组合在一起使用，由于压电材料有极性，接法有串联和并联两种。

图 10：应变计结构

图 11：压电式传感器接法



数据来源：《现代机械设计手册第 5 卷（第二版）》  
秦大同、谢里阳，东莞证券研究所

数据来源：《现代机械设计手册第 5 卷（第二版）》  
秦大同、谢里阳，东莞证券研究所

### （2）力矩测量原理

力矩是力和力臂的乘积，可以使机械零部件转动的力矩称为转矩，可使机械零部件产生一定的扭曲变形的力矩称为扭矩。应变块力矩测量方式是采用应变片电测技术，在弹性轴上组成应变桥，向应变桥提供电源即可测得该弹性轴受到垂直于轴力作用而发生形变所引起的电信号变化。将该应变信号放大后，经过压/频转换，转换为与扭应变成正比的频率信号。

### （3）多维机器人传感器

机器人力/力矩传感器是测量并输出在笛卡儿直角坐标系中各个坐标（X，Y，Z）上的力和力矩的传感器。一个六轴力/力矩（force/torque）传感器也经常被称为多轴力/力矩传感器、多轴加载单元、F/T 传感器或者六轴加载单元。力/力矩传感器一般安装在机器人的关节驱动器上，比如腕关节、踝关节等，用于测量关节驱动器的输出力和力矩，实现关节力的控制，也可以安装在机器人的足底，测量地面反作用力和力矩，实现机器人的稳定控制。

## 2.2 六维力传感器技术壁垒高

力觉传感器可以分为一至六维力传感器。在指定的直角坐标系内，传感器如果能同时测量沿三个坐标轴方向的力和绕三个坐标轴方向的力矩，这类力觉传感器我们就称它为六维力传感器，或者六轴力传感器。能测几个维度，便是几维力传感器。最常见的是二维、三维和六维力传感器，二维和五维的力觉传感器较少。六维力传感器是维度最高的力觉传感器，能提供最为全面的力觉信息。六维力传感器技术壁垒较高，对于机器人产业链和其它智能装配来说非常重要，因此工信部将六维力传感器纳入重点发展的核心零部件范畴。

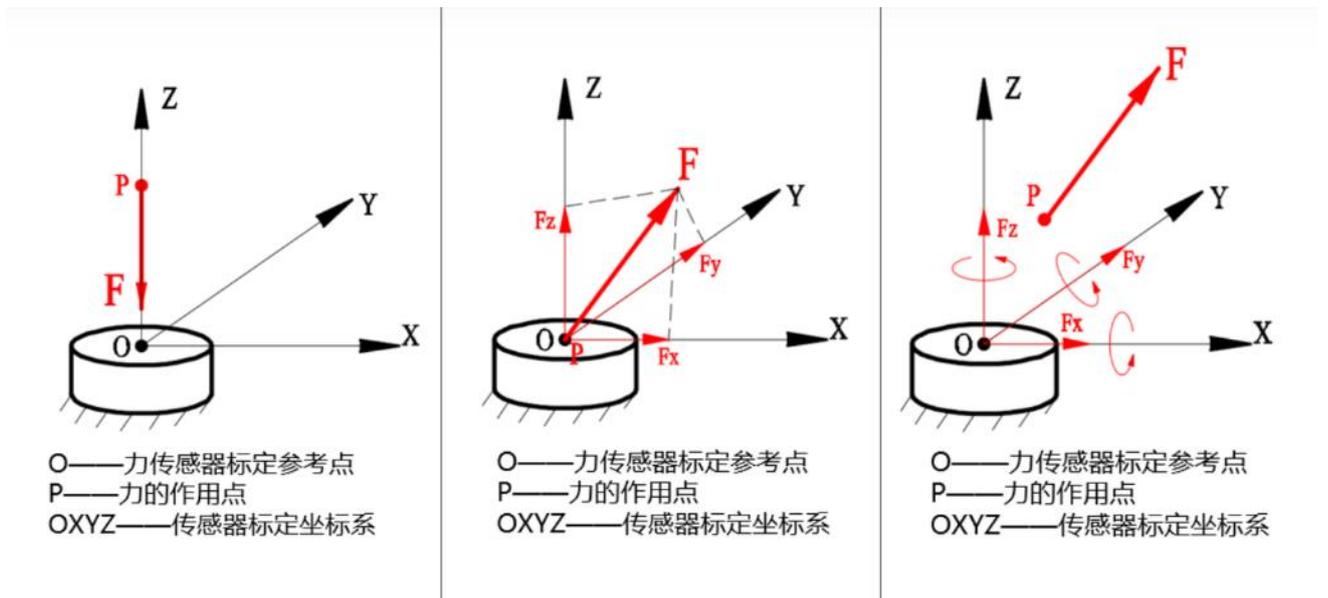
如果力的方向和作用点是固定的，可以选择用一维力传感器进行测量。可以通过安装定位，使力的方向和作用点都与一维力传感器的标定坐标轴一致，可以对力进行精确测量。一维力传感器的标定坐标轴为 OZ 轴，如果被测量力 F 的方向能完全与 OZ 轴重合，此时用一维力传感器就能完成测量任务。

如果力的方向随机变化，但力的作用点保持不变，并且与传感器的标定参考点重合，

可用三维力传感器。因为被测量的力可以分解为三维力传感器标定坐标系下的三个正交分量，三维力传感器的三个测量单元可以分别对其一一测量。力  $F$  的作用点  $P$  始终与传感器的标定参考点  $O$  保持重合，力  $F$  的方向在三维空间中随机变化，这种情况下用三维力传感就能完成测量任务，它可以同时测量  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  这三个  $F$  的分力。

如果力的方向和作用点都在三维空间内随机变化，应使用六维力传感器进行测量。因为空间中任意作用点上的力可以在六维力传感器的标定坐标系内，分解为沿标定坐标轴的三方向分力和绕标定坐标轴的三方向力矩。空间中任意方向的力  $F$ ，其作用点  $P$  不与传感器标定参考点重合且随机变化，这种情况下就需要选用六维力传感器来完成测量任务，同时测量  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  六个分量。

图 12：一维、三维、六维力传感器对比



数据来源：坤维科技知乎账号，东莞证券研究所

影响六维力传感器精度的因素有很多，其中最重要的原因是维间耦合。由于受到自身结构和加工误差等因素的影响，六维力传感器会产生维间耦合现象，而维间耦合是影响其精度的重要因素。解耦为在一定程度上减小或消除耦合干扰。六维力/力矩传感器的解耦是通过数学的方法用尽可能小的误差地确定出来传感器的输入与输出的关系。串扰指标用来衡量多维力传感器各测量方向间的耦合影响，可以反映测量误差水平，是体现产品性能的关键指标之一，优秀的串扰指标约为 1%FS，相对常见的串扰指标为 2-5%FS。

图 13：六维力传感器串扰指标示例

载荷组	标定载荷 (理论真值)						测试结果					
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	100%FS	0%FS	0%FS	0%FS	0%FS	0%FS	99.8%FS	1.2%FS	2.3%FS	1.7%FS	2.6%FS	2.9%FS
	0%FS	100%FS	0%FS	0%FS	0%FS	0%FS	0.3%FS	100.1%FS	2.7%FS	1.1%FS	2.7%FS	1.4%FS
3	0%FS	0%FS	100%FS	0%FS	0%FS	0%FS	1.8%FS	1.2%FS	99.7%FS	1.9%FS	2.6%FS	2.7%FS
	0%FS	0%FS	0%FS	100%FS	0%FS	0%FS	2.1%FS	1.6%FS	2.1%FS	100.5%FS	2.6%FS	1.2%FS
5	0%FS	0%FS	0%FS	0%FS	100%FS	0%FS	1.2%FS	2.1%FS	1.6%FS	1.7%FS	100.6%FS	2.5%FS
	0%FS	0%FS	0%FS	0%FS	0%FS	100%FS	1.3%FS	1.3%FS	2.5%FS	2.3%FS	2.6%FS	99.9%FS

**备注：** FS——Full scale；FS表示六维力传感器各方向的额定量程。

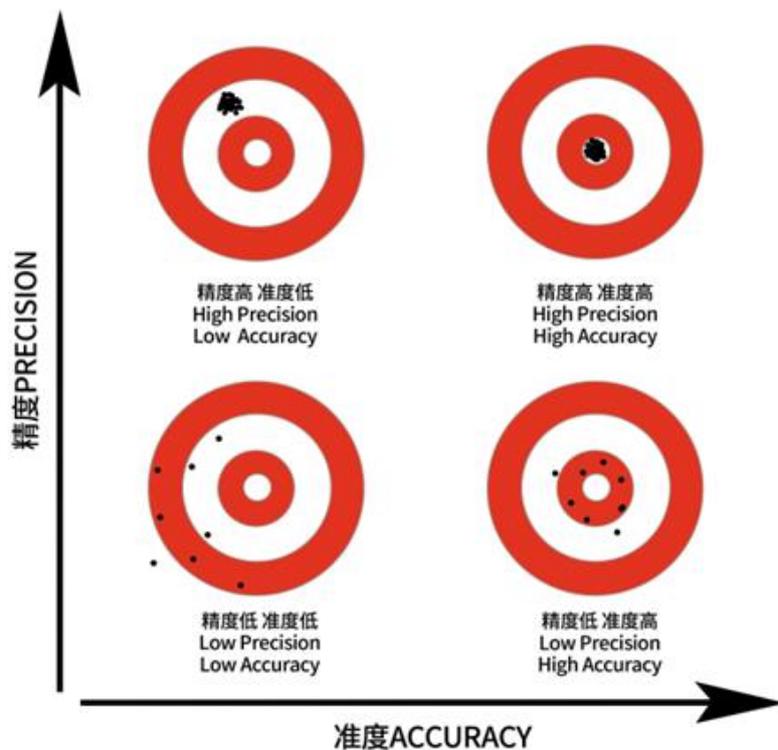
数据来源：坤维科技微信公众号，东莞证券研究所

多维力传感器的串扰指标表明产品的耦合干扰情况。而精度和准度两个指标能准确描述六维力传感器的测量误差水平。多维力传感器精度衡量的是测量结果之间的重复性。其检定方法是，在相同环境条件下，在额定载荷范围内，进行多次重复联合加载同一组载荷后，计算得到的传感器测量值的标准差，并除以量程。

多维力传感器准度衡量的是测量结果与理论真值的偏离程度。其方法是对传感器进行多组多维联合加载，计算得到的传感器测量值与所加载荷理论真值之间的标准偏差，并除以量程。

精度和准度的检定过程中，都需要对多维力传感器以其最高测量维度进行联合加载。如检定六维力传感器，每组检验载荷都必须是 Fx、Fy、Fz、Mx、My 及 Mz 的随机组合。此时获得的精度和准度，可以很清晰的评价传感器各测量方向在量程范围内的测量误差水平，比串扰指标更为实用。如果六维力传感器产品的准度优于 0.5%FS，对于 Fx 的测量结果，在测量过程中不论 Fy、Fz、Mx、My 及 Mz 比例大小，和绝对值对 Fx 进行干扰，Fx 的测量结果与理论真值的偏差在 0.5%FS 以内。准度其实涵盖了滞后、线性、蠕变等误差因素，更能体现产品的综合性能，是多维力传感器最为核心的技术指标之一。

图 14：多维力传感器精度图示



数据来源：坤维科技微信公众号，东莞证券研究所

### 2.3 机器人用六维力传感器上升空间巨大

六维力传感器在多个领域中起到重要的应用。根据共研产业咨询，2023 年六维力传感器下游应用领域中，工业自动化(包括工业机器人)仍为最大的应用领域，占比超 77%。在人形机器人领域应用规模提速，远超其他行业。在工业机器人领域，通过将六维力传感器安装在机器人的末端，可以实现 3D 打磨、汽车装配及复合材料铣削等操作。在协作机器人领域，六维力传感器帮助机器人实现 3C 装配、拖动示教、双臂协作等操作。

机器人用六维力传感器需求呈上升趋势，上升空间巨大。在机器人领域，工业机器人（协助机器人）配置 1-4 个六维力传感器，人形机器人则需要 4 个六维力传感器分别安装在脚踝和手关节上。国内外品牌价格区间约为 2-4 万元，我们认为随着技术不断更新迭代，突破技术壁垒叠加成本下降，六维力传感器价格有望下降至 1 万或以下。随着我国制造业自动化生产和人形机器人渗透率提高，叠加零部件更新替换等因素驱动，六维力传感器需求天花板将不断提高。

根据观研天下数据中心，2022 年机器人用六维力传感器销量为 4840 套，同比增长 62.58%，占六维力传感器总销量的 57.90%。2017-2022 年复合增长率为 60.18%。2022 年机器人用六维力传感器市场规模为 1.56 亿元，同比增长 54.46%，占六维力传感器市场规模的 65.27%。2017-2022 年复合增长率为 49.34%。根据共研产业咨询，2023 年国产化率为 32.10%，预计 2030 年国产化率将超 80.00%，上升空间巨大。

图 15：机器人用六维力传感器销量及增速（套，%）



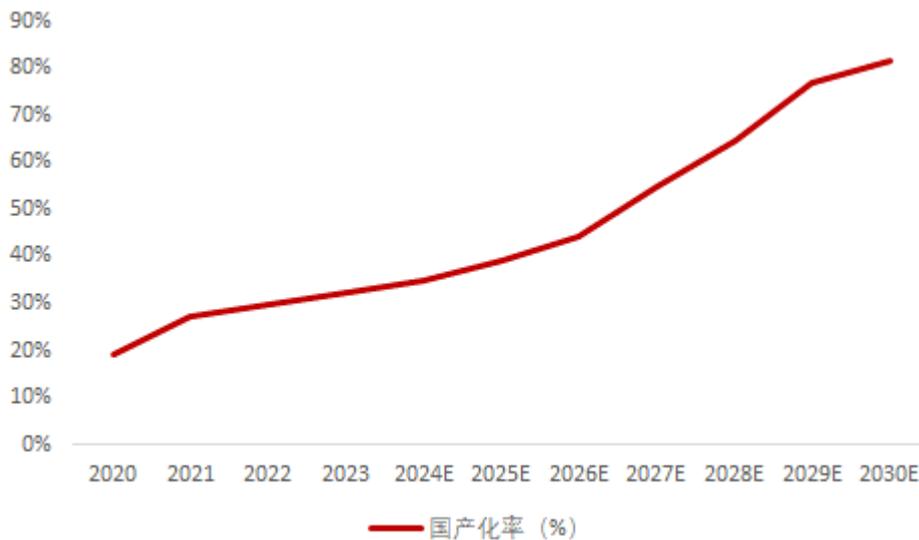
数据来源：观研天下数据中心，东莞证券研究所

图 16：机器人用六维力传感器市场规模及增速（亿元，%）



数据来源：观研天下数据中心，东莞证券研究所

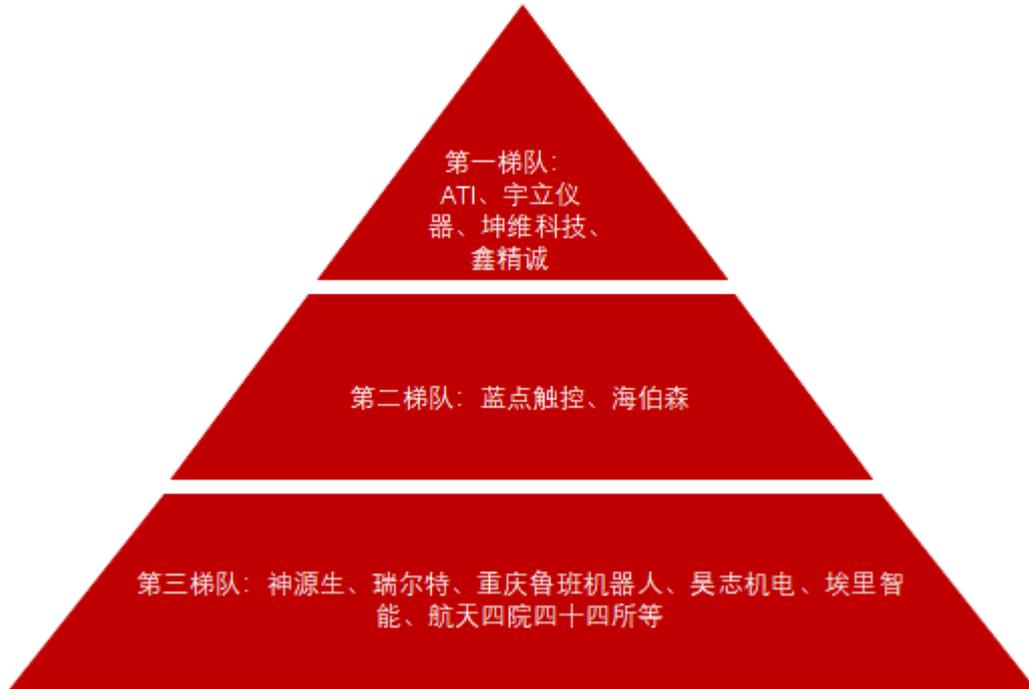
图 17：六维力传感器国产化率及预测



数据来源：共研产业咨询，东莞证券研究所

从行业竞争格局来看，全球六维力和力矩传感器厂商主要分为欧美、日韩、中国。随着机器人行业的蓬勃发展，国内企业知名度和产品核心竞争力不断提升，加入行业竞争的企业数量逐渐增加。由于六维力传感器技术壁垒较高，能实现量产的厂商较少。中国六维力传感器市场集中度较高，根据头豹研究院和共研产业咨询，六维力传感器市场CR5占比超过50.00%，分别为ATI（22.40%）、宇立仪器（12.20%）、Epson（6.40%）、蓝点触控（4.80%）、坤维科技（4.70%）。其中三家国内企业，共占比21.70%。CR5的厂商在传感器市场的不同应用领域各具优势。ATI是全球领先的传感器厂商，下游应用领域最广泛；宇立仪器下游应用主要为工业机器人和汽车领域；坤维科技中心在协作机器人和医疗机器人，其手术机器人、医疗检测机器人和康复机器人领域具备明显优势。

图 18：中国六维力传感器市场格局



数据来源：头豹研究院，东莞证券研究所

### 3. 投资建议

传感器对机器人至关重要，是机器人感知功能的重要核心零部件。目前，六维力传感器正处于发展阶段，未来随着人形机器人量产、自动化设备进程提速，将大幅增加六维力传感器需求，从而推动六维力传感器成本下降，生产工艺及技术进一步提升迈向成熟。我们认为在多方面因素助力下，六维力传感器将渗透至更多下游领域。建议关注：昊志机电（300503）、柯力传感（603662）、华东测试（300354）。

表 2：推荐个股盈利预测及评级

股票代码	股票名称	股价(元)	EPS (元)			PE			评级	评级变动
			2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E		
300503	昊志机电	12.79	-0.63	0.00	0.00	-29.30	0.00	0.00	增持	首次
603662	柯力传感	22.87	1.11	1.25	1.52	32.54	18.24	15.07	增持	首次
300354	华东测试	30.25	0.63	1.30	1.75	78.30	23.21	17.30	增持	首次

资料来源：Wind，东莞证券研究所

注：数据为Wind一致预期数据

### 4. 风险提示

（1）国产替代进程不及预期风险：若国内核心零部件厂商产品研发进度不及预期、产品技术无法达到海内外整机厂商标准，将影响机器人国产替代进度；

（2）下游需求不及预期风险：受宏观环境、下游景气度较低、机器人功能不完善等多方面影响，下游需求趋弱；

- （3）人形机器人发展不及预期风险：若人形机器人发展不及预期，技术更新迭代失败或未按时完成，将影响人形机器人产业化进度；
- （4）核心零部件价格上涨风险：若核心零部件价格上涨，产业链企业业绩将承压。
- （5）原材料价格上涨风险：原材料价格大幅上涨，业内企业业绩将面临较大压力。

**东莞证券研究报告评级体系：**

公司投资评级	
买入	预计未来 6 个月内，股价表现强于市场指数 15%以上
增持	预计未来 6 个月内，股价表现强于市场指数 5%-15%之间
持有	预计未来 6 个月内，股价表现介于市场指数±5%之间
减持	预计未来 6 个月内，股价表现弱于市场指数 5%以上
无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，导致无法给出明确的投资评级；股票不在常规研究覆盖范围之内

行业投资评级	
超配	预计未来 6 个月内，行业指数表现强于市场指数 10%以上
标配	预计未来 6 个月内，行业指数表现介于市场指数±10%之间
低配	预计未来 6 个月内，行业指数表现弱于市场指数 10%以上

说明：本评级体系的“市场指数”，A股参照标的为沪深 300 指数；新三板参照标的为三板成指。

证券研究报告风险等级及适当性匹配关系	
低风险	宏观经济及政策、财经资讯、国债等方面的研究报告
中低风险	债券、货币市场基金、债券基金等方面的研究报告
中风险	主板股票及基金、可转债等方面的研究报告，市场策略研究报告
中高风险	创业板、科创板、北京证券交易所、新三板（含退市整理期）等板块的股票、基金、可转债等方面的研究报告，港股股票、基金研究报告以及非上市公司的研究报告
高风险	期货、期权等衍生品方面的研究报告

投资者与证券研究报告的适当性匹配关系：“保守型”投资者仅适合使用“低风险”级别的研报，“谨慎型”投资者仅适合使用风险级别不高于“中低风险”的研报，“稳健型”投资者仅适合使用风险级别不高于“中风险”的研报，“积极型”投资者仅适合使用风险级别不高于“中高风险”的研报，“激进型”投资者适合使用我司各类风险级别的研报。

**证券分析师承诺：**

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，以勤勉的职业态度，独立、客观地在所知情的范围内出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点，不受本公司相关业务部门、证券发行人、上市公司、基金管理公司、资产管理公司等利益相关者的干涉和影响。本人保证与本报告所指的证券或投资标的无任何利害关系，没有利用发布本报告为自身及其利益相关者谋取不当利益，或者在发布证券研究报告前泄露证券研究报告的内容和观点。

**声明：**

东莞证券股份有限公司为全国综合性综合类证券公司，具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供东莞证券股份有限公司（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。本报告所载资料及观点均为合规合法来源且被本公司认为可靠，但本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。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，可随时更改。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可跌可升。本公司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，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与本公司其他业务部门或单位所给出的意见不同或者相反。在任何情况下，本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并不构成对任何人的投资建议。投资者需自主作出投资决策并自行承担投资风险，据此报告做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，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。本公司及其所属关联机构在法律许可的情况下可能会持有本报告中提及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、经纪、资产管理等服务。本报告版权归东莞证券股份有限公司及相关内容提供方所有，未经本公司事先书面许可，任何人不得以任何形式翻版、复制、刊登。如引用、刊发，需注明本报告的机构来源、作者和发布日期，并提示使用本报告的风险，不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权刊载或者转发本证券研究报告的，应当承担相应的法律责任。

**东莞证券股份有限公司研究所**

广东省东莞市可园南路 1 号金源中心 24 楼

邮政编码：523000

电话：（0769）22115843

网址：www.dgzq.com.cn