

传感器行业深度：制造之基石， 充分受益于机器人自动化产业趋势

证券分析师：周尔双

执业证书编号：S0600515110002

zhouersh@dwzq.com.cn

证券分析师：罗悦

执业证书编号：S0600522090004

luoyue@dwzq.com.cn

2024年2月20日

核心观点：制造业基石，长期受益于人形机器人趋势

投资要点：

1、传感器：数据采集源头，被广泛应用于工业领域：

传感器的工作原理是通过敏感元件及转换元件把特定的被测信号，按一定规律转换成某种“可用信号”并输出，以满足信息的传输、处理、记录和控制等要求，并可被分为压力、惯性、磁和光学等各种类。目前汽车电子、工业制造、网络通讯等为传感器主要应用下游，我们判断机器人有望成为传感器未来重要应用场景。

2、力传感器：机器人实现精密操作的关键部件，人形机器人有望带来全新增量：

力传感器能够帮助机器人实现打磨、焊接等精密操作，拓宽机器人应用场景，优化国产厂商于搬运、码垛等传统环节的激烈竞争格局。此外力传感器在人形机器人中亦有广泛应用，为模仿人类，人形机器人需精准测量关节受力情况，因此在手腕和脚踝处需搭载六维力传感器。相较于一维和三维，六维力传感器优势突出，主要体现在：1) 精度显著提升；2) 结构紧凑，适应狭窄空间；3) 协调同步性好。但在性能突出的同时，六维力传感器制作难度也较高，其从结构设计、数据采集、解耦算法的复杂性等多方面难度均高于一维和三维传感器。目前六维力传感器处于起步阶段，市场规模较小，但未来随着六维力传感器在机器人行业的逐步放量，市场规模有望迅速增长。根据我们测算，中性假设下预计至2030年人形机器人用力传感器市场有望达125亿元，其中六维力传感器市场空间有望达80亿元，将为传感器行业带来全新增量市场。

3、惯导+视觉传感器：实现机器人高精度定位和导航：

惯性传感器是一种用于测量物体的加速度、角速度和倾斜角度等参数的电子传感器，包括加速度计、陀螺仪和惯性测量单元（IMU）三种，其中IMU是市场份额最大的品类。根据芯谋研究，2022年国内IMU市场规模达到43.1亿元，预计2027年达到75.5亿元，年均复合增长率达11.9%。视觉传感器是利用光学元件和成像装置获取外部环境图像信息的一类传感器。从输出维度的角度来看，基于视觉传感器的感知方法可以分为2D视觉和3D视觉两种。在人形机器人、自动驾驶等高精度要求领域，3D视觉是目前的主要方向。IMU和视觉传感器具有互补性，能够有效实现SLAM方案（同步定位与建图），完成机器人定位和导航，未来均有望受益于人形机器人产业趋势。

投资建议：力传感器环节重点推荐【东华测试】，建议关注【柯力传感】【汉威科技】【昊志机电】等；惯导和视觉传感器环节建议关注【奥比中光-UW】【舜宇光学】【华依科技】【敏芯股份】【芯动联科】等。

风险提示：人形机器人产业化不及预期，传感器于机器人应用进程不及预期，零部件降价导致盈利能力下滑。



- 一、传感器：数据采集源头，被广泛应用于工业领域
- 二、力传感器：机器人实现精密操作的关键部件
- 三、惯导+视觉传感器：实现机器人高精度定位和导航
- 四、投资建议&风险提示

1.1. 传感器是数据采集的源头，被广泛应用于工业场景

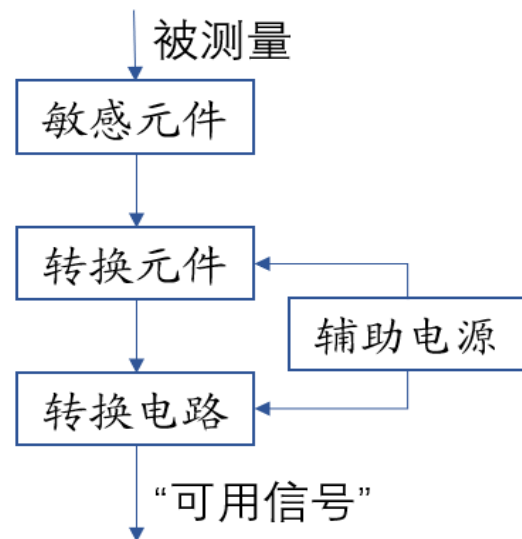
- 传感器被誉为“万物互联之眼”，可以精确地测量出压力、温度、浓度等，是数据采集的源头。传感器自诞生以来，大致经历了结构型、物性型和智能型三个发展阶段。
- 传感器的工作原理是通过敏感元件及转换元件把特定的被测信号，按一定规律转换成某种“可用信号”并输出，以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求。

图：传感器的三大发展阶段



资料来源：前瞻产业研究院，东吴证券研究所整理

图：传感器的工作原理



资料来源：前瞻产业研究院，东吴证券研究所

1.2. 传感器可分为压力、惯性、磁和光学传感器等种类

➤ 传感器根据压力信号、物体在惯性空间的运动参数、磁场以及光合物质的相互作用可分为压力传感器、惯性传感器、磁传感器、光学传感器等。

表：传感器种类和简介

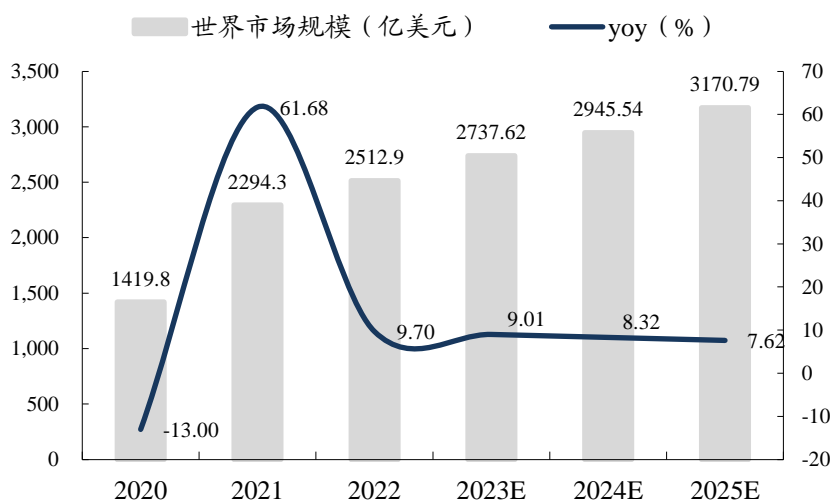
类别	压力传感器						惯性压力传感器	
定义	压力传感器是能感受压力信号，并能按照一定的规律将压力信号转换成可用的输出的电信号的器件或装置。						惯性传感器是一种运动传感器，主要用于测量物体在惯性空间中的运动参数(加速度、倾斜、冲击、振动、旋转和多自由度)，是解决导航、定向和运动载体控制的重要部件。	
细分	应变式压力传感器	压阻式压力传感器	电容式压力传感器	压电式压力传感器	电磁压力传感器	振弦式压力传感器	加速度计	陀螺仪
传感器展示								
类别	磁传感器				光学传感器			
定义	磁传感器是通过感测磁场强度、磁场分布、磁场扰动等来精确测量电流、位置、方向、角度等物理参数。				利用光的特性和与物质的相互作用，将光信号转换为电信号进行分析和处理。			
细分	指南针	磁场感应器	位置传感器	光电传感器	光纤传感器	图像传感器	激光传感器	光谱传感器
传感器展示								

数据来源：百度百科，东吴证券研究所整理

1.3. 市场规模： 2025年全球传感器市场规模预计超 3000 亿美元

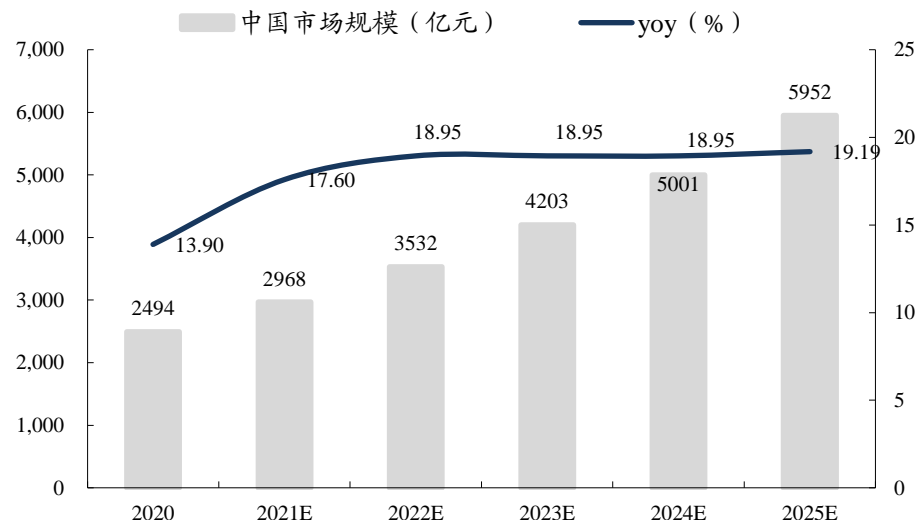
- 预计2025年全球传感器市场规模将超过3000亿美元。随着近年来人工智能、物联网、5G等前沿科技的不断发展，传感器市场需求逐步增长。根据 Statista 数据，2022年全球传感器市场规模达2512.9亿美元，2022-2025年CAGR预计达8.04%。
- 国内传感器市场规模增速高于全球增速。根据前瞻产业研究院数据，2020年国内传感器市场规模达2494亿人民币，2020-2025年CAGR预计达20.0%。

图： 2020-2025年传感器世界市场规模



资料来源： Statista， 东吴证券研究所

图： 2020-2025年传感器中国市场规模

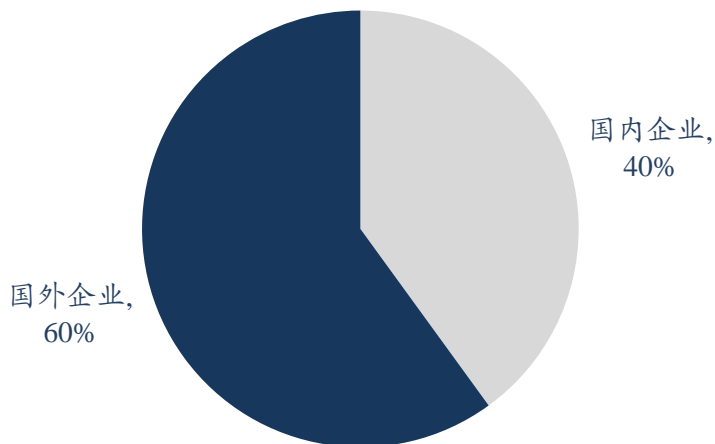


资料来源： 前瞻产业研究院， 东吴证券研究所

1.4. 传感器竞争格局：由外资主导，国内逐步向高端进军

- 当前，我国传感器市场仍旧由外资主导，国内逐步向高端市场进军。
- 根据华经产业研究院数据，2020年全球龙头企业如爱默生、西门子、博世、意法半导体、霍尼韦尔等跨国公司占据约60%的国内市场份额，尤其在高端市场，约80%的传感器芯片依赖海外企业。
- 从国内格局看，市场较为集中（2020年），我国传感器行业TOP5企业占据了国内传感器市场约40%以上的份额，其余约60%为中小企业，产品或主要集中在中低端，或未实现大规模应用。

图：2020年中国传感器行业市场份额

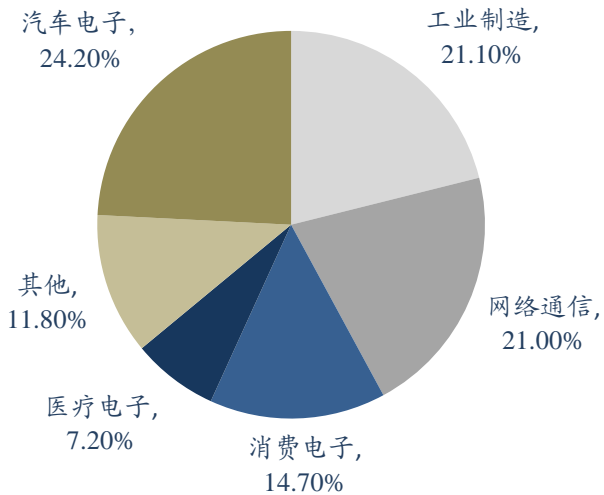


资料来源：华经产业研究院，东吴证券研究所

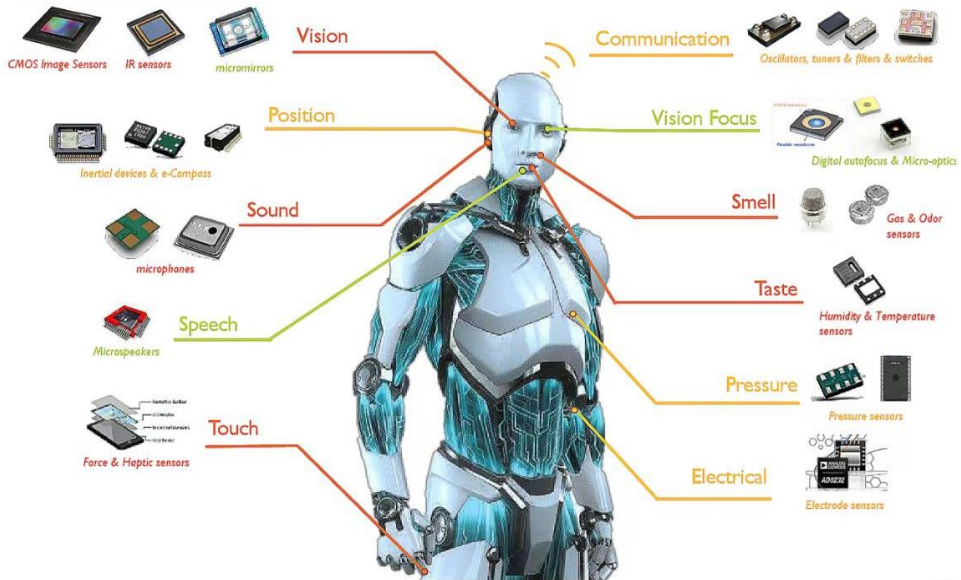
1.5. 传感器下游应用广泛，人形机器人为未来重要应用场景

- **传感器下游应用广泛。**目前我国传感器在汽车电子、工业制造、网络通信、消费电子及医疗电子中应用较为广泛。其中传感器在汽车电子领域中占比最高，2020年占比达24.2%。
- **机器人为传感器未来重要应用场景。**传感器相当于机器人的手、眼、耳、鼻和神经，有助于识别自身的运动状态和环境状况，控制器可以发出相应的指令，使机器人完成所需的动作。
- **根据检测对象的不同，机器人用传感器可以分为内部传感器和外部传感器。**内部传感器一般用于检测机器人本身状态，包括位置、速度、力传感器等；外部传感器一般用来检测机器人外部环境状况，包括距离、触觉、听觉、视觉传感器等。

图：传感器下游应用领域分布情况（2020年）



图：机器人各传感器应用部位图



资料来源：中国传感器行业发展趋势调研与投资战略预测报告(2023-2030)，东吴证券研究所整理

资料来源：Yole，东吴证券研究所整理



- 一、传感器：数据采集源头，被广泛应用于工业领域
- 二、力传感器：机器人实现精密操作的关键部件
- 三、惯导+视觉传感器：实现机器人高精度定位和导航
- 四、投资建议&风险提示

2.1. 力传感器为机器人实现精密操作的关键部件

- 力传感器凭借感知技术，通过获取和分析机器人末端执行器操作工件时产生的三维力和接触信息，使机器人实现对于外部环境和状态的理解，为人机的智能交互和柔性作业提供决策依据。
- 力传感器为机器人实现精密操作的关键部件：在复杂应用场景中，仅使用传统位置控制无法满足任务需求，需要力传感器使机器人变得更柔性、更智能。例如，拧螺丝环节，传统的机器人需要预设算法，使得机械臂抓住螺丝对准螺丝孔，将螺丝垂直拧入，这种单纯依靠算法实现的动作对机器人精度要求极高。而通过力传感器，机器人可以像人一样手眼交互，通过对力的感知慢慢将螺丝对准螺帽，找准位置拧入。

图：应用于机器人的六维力传感器



资料来源：ROBOTIQ官网，东吴证券研究所

图：搭载力传感器的拧螺丝机器人

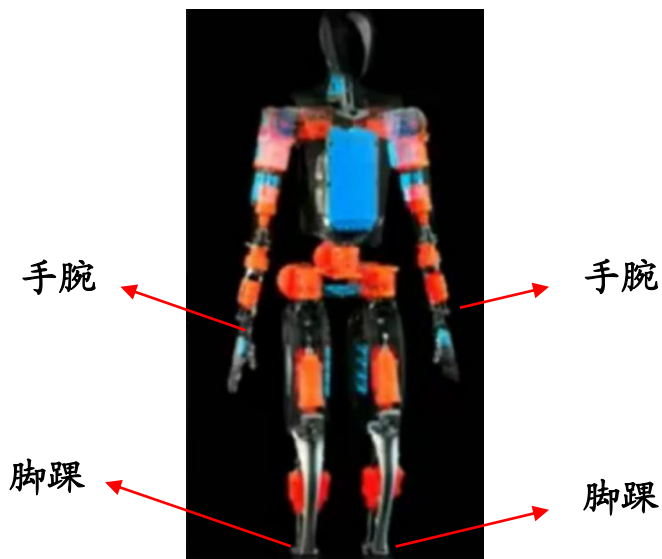


资料来源：库卡机器人官网，东吴证券研究所

2.1. 力传感器能够拓宽机器人应用场景，优化竞争格局

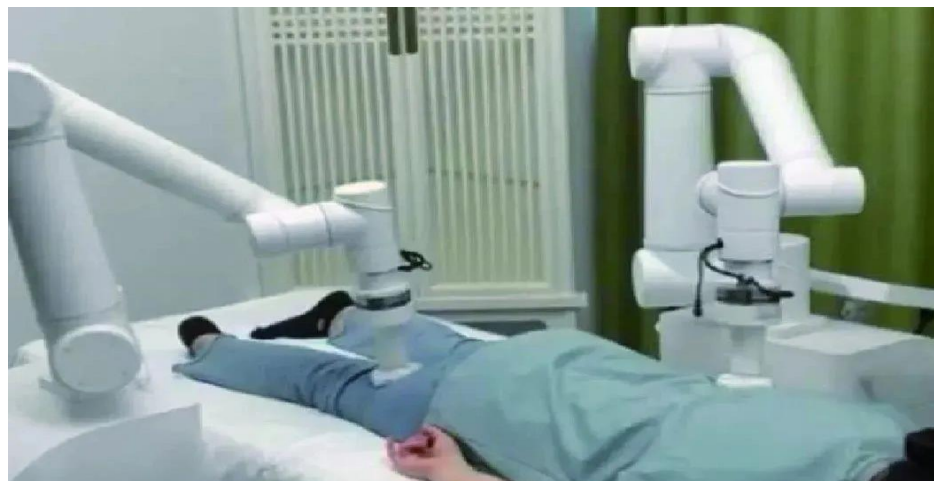
- **力传感器的应用可以拓宽工业机器人应用场景，优化竞争格局：**目前国内工业机器人行业竞争激烈，大多数厂商集中在搬运、码垛等传统环节竞争，而鲜有涉足附加值更高的打磨、焊接等场景，主要原因系机器人智能化程度较低，无法完成高效加工。而应用力传感器后，工业机器人的应用场景大大拓宽。例如，配备力传感器的按摩机器人可以用在医疗康复领域，在精密组装、质量测试和机器人辅助手术等领域也都有工业机器人力传感器的应用案例。
- **力传感器在人形机器人中亦有广泛应用。**为模仿人类行动，人形机器人需要精准测量关节受力情况，因此在手腕和脚踝处需搭载六维力传感器（ $2*2=4$ ），此外在机器人的手部和执行器等部位还需使用数量不等的一维力传感器。

图：应用于人形机器人的六维力传感器



资料来源：特斯拉官网，东吴证券研究所

图：搭载力传感器的按摩机器人

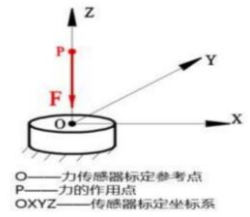

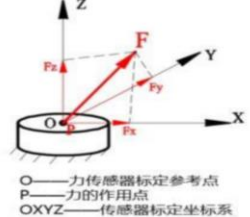

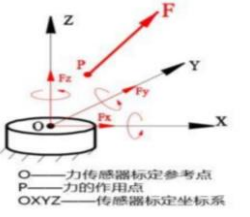


资料来源：工业机器人公众号，东吴证券研究所

2.2 根据测力的维数，力传感器通常分为一维、三维和六维力传感器

- 简单来说，任何力在空间坐标系中都可被拆分为三个坐标轴方向的力（力的大小）和力矩（围绕坐标轴的转矩），即六个维度。
- **一维力传感器**：测定一个方向的力，要求待测力的方向能完全与标定坐标轴重合。常见的压力传感器、称重传感器都属于一维力传感器。
- **三维力传感器**：测定三个正交方向的力。如果待测力的方向变化，但力的作用点保持不变，与传感器的标定参考点重合，那么用三维力传感器就能完成测量任务，但如果待测力的作用点不在标定参考点，由于三维力传感器无法测量力矩，则会产生测量偏差。
- **六维力传感器**：测量三个正交方向的力和三个正交方向的力矩。即使待测力的方向任意变化，作用点不在标定参考点，六维力传感器也能完成测量任务。

表：根据测力维数的力传感器分类





分类方式	种类	力的方向	力的作用点	示意图	产品图示
按测力维数分类	一维力传感器	与标定坐标轴重合	位于标定参考点	 <p>O——力传感器标定参考点 P——力的作用点 OXYZ——传感器标定坐标系</p>	
	三维力传感器	无限制	位于标定参考点	 <p>O——力传感器标定参考点 P——力的作用点 OXYZ——传感器标定坐标系</p>	
	六维力传感器	无限制	无限制	无限制	 <p>O——力传感器标定参考点 P——力的作用点 OXYZ——传感器标定坐标系</p>

2.2 根据测力原理，力传感器可分为应变、压电、电容、光学式等

➤ 根据测量原理，力传感器可分为：

- 1) 应变式：将力转化为电阻变化，除力/力矩外，还可以测量加速度、位移
- 2) 压电式：将力转化为电荷变化，使用压电材料，通过电信号推算力的大小
- 3) 电容式：将力转化为电容变化，将电容量变化转化成电信号，从而推算力的大小
- 4) 光学式：将力转化为光强变化，待测力作用在传感器弹性体上，弹性体形变使光纤弯曲，通过光强变化推算力的大小

表：根据测量原理的力传感器分类

分类方式	种类	原理	优点	缺点	产品图示
按测力原理分类	应变式	将力转化为电阻变化，除力/力矩外，还可以测量加速度、位移	精度高、技术成熟、测量范围广、频响特性好	存在非线性误差、信号输出微弱	
	压电式	将力转化为电荷变化，使用压电材料，通过电信号推算力的大小	动态响应好、精确性好、分辨率高、结构紧凑、尺寸小、刚度强	存在电荷泄露、静态力测量困难、分辨率不高	
	电容式	将力转化为电容变化，将电容量变化转化成电信号，从而推算力的大小	高灵敏度和高分辨率、频率范围宽、结构简单、环境适用性强	调理电路复杂、寄生电容影响大	
	光学式	将力转化为光强变化，待测力作用在传感器弹性体上，弹性体形变使光纤弯曲，通过光强变化推算力的大小	可靠性高、测量范围广、动态响应好	价格昂贵、对测试环境要求高	

资料来源：坤维科技官网，东吴证券研究所

2.3 力传感器核心指标辨析

- 力传感器的主要性能参数包括：量程、过载能力、分辨率、重复精度、串扰、准度等。其中量程和过载能力决定力传感器的测量范围，而分辨率、重复精度、串扰和准度等影响传感器的使用性能。

表：六维力传感器的核心性能指标

指标名称	衡量维度	计算方式	备注
量程	衡量传感器能测量的力/力矩的范围	/	/
过载能力	衡量传感器能承受多大的力/力矩而不发生规定性能指标的永久性改变。	/	在实际应用场景中，六维力传感器过载的主要原因是传感器受到的力矩超出量程范围
分辨率	衡量传感器可以感知的最小可能变化	/	/
重复精度	衡量传感器重复测量同一值时的重复性	在相同环境条件下，在额定载荷范围内，对传感器进行多次重复联合加载相同一组载荷后，计算得到的传感器测量值的标准差，并除以量程	在大多数情况下，重复精度比分辨率更为重要
串扰	衡量传感器不同方向的力/力矩间的耦合干扰	分别对六维力传感器的六个测量方向精确加载至各自的额定载荷，记录六个方向的测量结果，并除以量程，取其中最大值定为串扰指标	是反映六维力传感器制造、标定水平的核心指标之一
准度	衡量传感器测定值与实际值的差异	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	准度是滞后、线性、蠕变等误差因素综合影响的结果，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

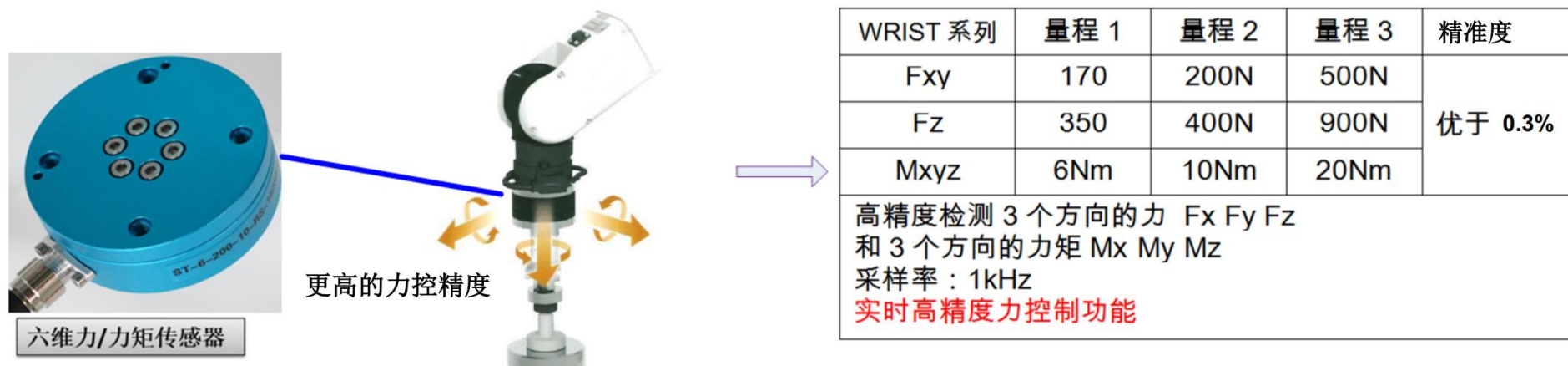
资料来源：蓝点触控官网，东吴证券研究所

2.3 六维力传感器具有精度高、结构紧凑、协调同步等突出优势

➤ 相比一维和三维力传感器，六维力传感器优势明显，主要体现在：

- 1) **精度显著提升**：高精度的六维力传感器耦合误差可以做到**0.5%以内**，常规产品也可以做到**2%-5%**，但是如果使用多个一维力传感器组合解耦，一般的耦合误差高达20%以上，严重影响测量精度。
- 2) **结构紧凑，适应狭窄空间**：六维力传感器体积小、结构紧凑，一个六维力传感器所需的空间小于六个一维力传感器。小体积的六维力传感器可**适配机器人关节等狭小空间**，降低机器人结构设计难度。
- 3) **六维力传感器不涉及传感器间相互作用，协调同步好**：使用多个一维力传感器可能出现传感器间信号不同步的问题，而六维力传感器可**同时解算出三个方向的力和力矩**，同步性大大提高。

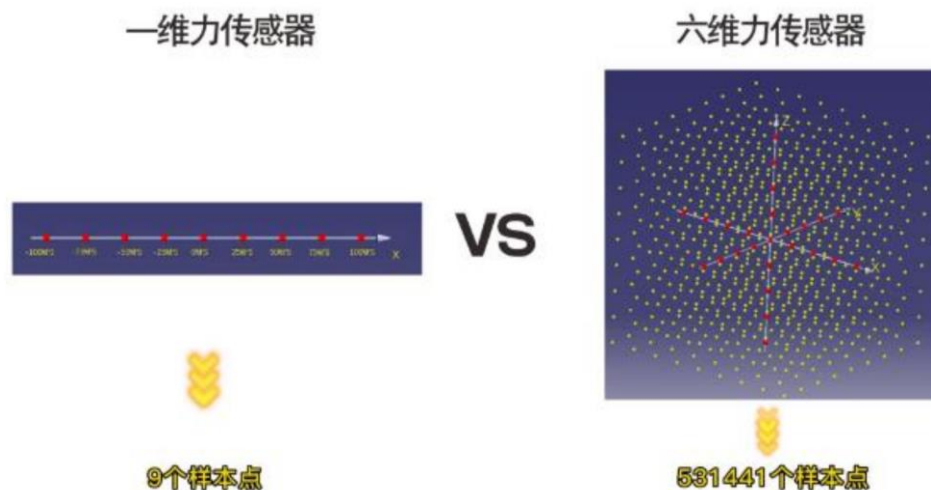
图：六维力传感器拥有更高的力控精度



2.3 六维力传感器在性能优异的同时，制作难度较高

- **原理难点：从结构设计角度出发，六维力传感器难度高于一维和三维：**
- **首先介绍传感器的制作原理：**假设用一根棍子去做一个一维力传感器，先把一端固定住当做支点，然后对另一端施加力，则整个棍子都会产生形变。一维力传感器只需要在沿着棍子的方向布9个检测点，检测出这9个点的受力形变情况，得到这9个点的受力组合（V），随后通过解耦算法将这9个点的受力组合与原始受力的关系（即标定矩阵C）解出，最后再用检测设备进行校准，便可以实现一维力传感器的功能。
- 类似地，六维力传感器的每一个力对应一个矢量，它们既有大小又有方向，基于同样的数学模型设计。但六维力传感器要测出这六个力对应的C，需要 $9^6=531441$ 个样本点，样本点数量呈几何级数增加，技术难度大。

图：一维力传感器与六维力传感器样本点比较



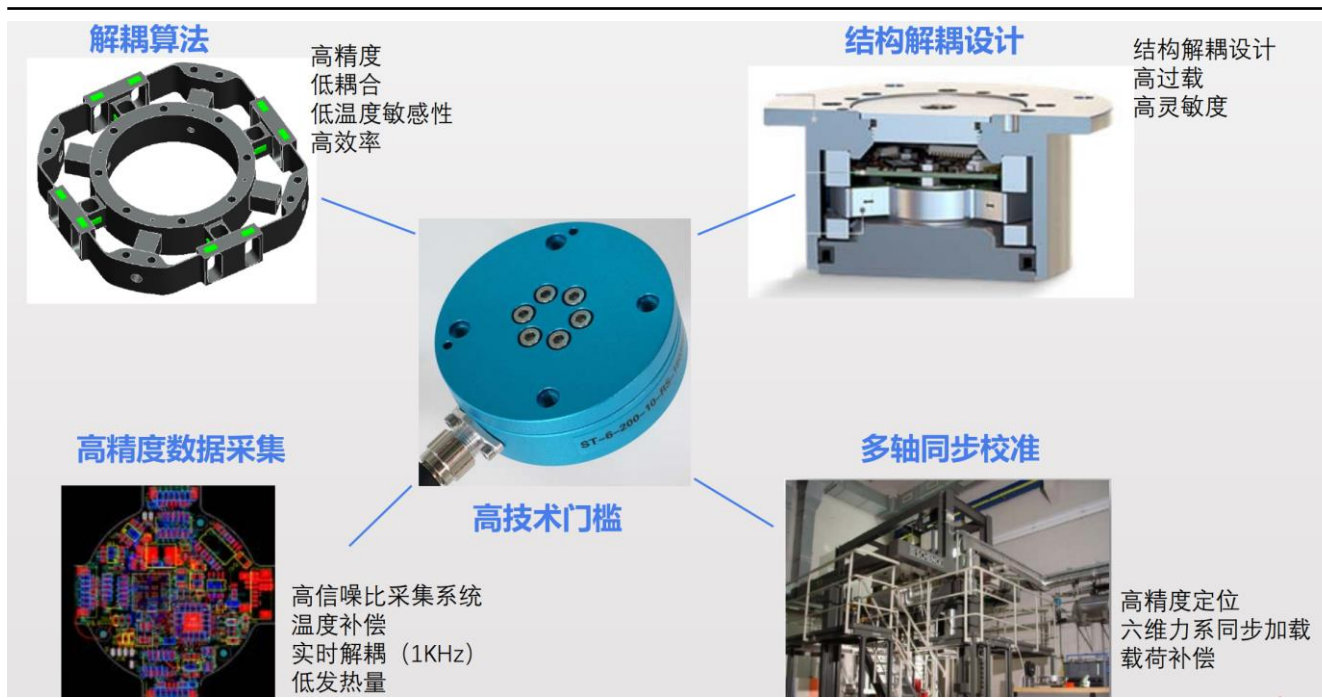
资料来源：坤维科技公众号，东吴证券研究所

2.3 六维力传感器在性能优异的同时，制作难度较高

► 设计&实操难点:

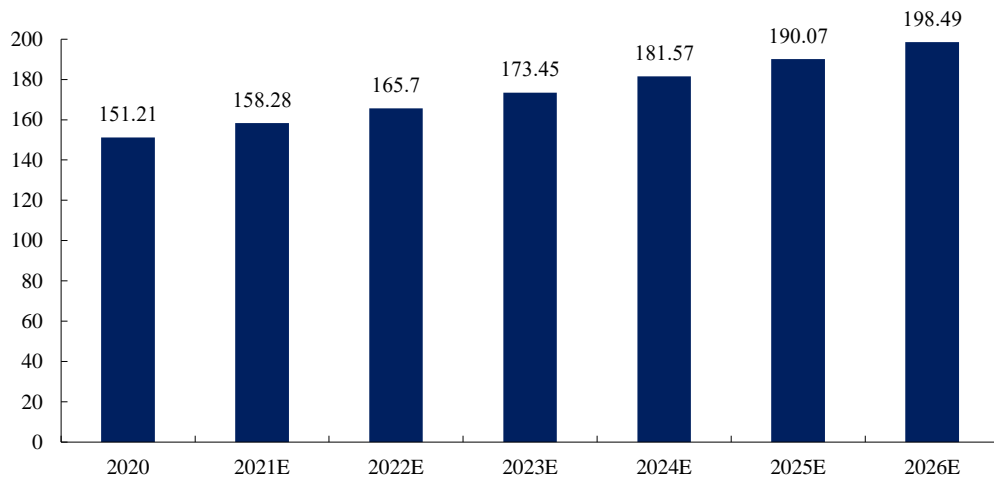
- 1) **高精度数据采集:** 要做到高精度、高带宽，六维力传感器的信号要求达到微伏/m级别（与射频望远镜的信号强度基本等同）。此外，如果需要获得高精度的压力数据，采样频率应较高，一般在1kHz以上。
- 2) **解耦算法的复杂性:** 建立电信号与待测力、力矩间的正确映射对解耦算法要求很高。此外，不同维度的力传感器的解耦算法受到维间相互作用影响有本质不同。
- 3) **结构与材料使用:** 结构设计会影响数据的采集，上述例子中条形的力传感器结构较差。一般来说，力传感器都是环形或者十字梁结构。此外，力传感器的材料选用需要灵敏，但同时又希望其抗冲击，有高过载，这两个要求互相矛盾，因此就要综合材料和设计，做到平衡。

图：六维力传感器设计&实操难点



- **全球传感器市场稳步增长，未来市场空间较大：**根据Modor Intelligence数据，2020年全球力传感器市场价值为151.21亿人民币，2026年全球力传感器市场价值将达到198.49亿人民币，2021-2026年预测期间的复合年增长率为4.63%。
- **目前六维力传感器处于起步阶段，市场规模较小：**根据高工机器人产业研究所(GGII)数据显示，2022年中国市场六维力传感器销量为8360套，同比增长57.97%，机器人行业销量达4840套。若假设六维力传感器销售均价为1-2万元，则2022年中国六维力传感器市场规模约为**0.8-1.7亿元**。
- **六维力传感器是未来趋势，成长性较强：**虽然目前六维力传感器市场规模尚小，但可预料未来成长性较强。考虑到六维力传感器的高技术壁垒及高价值量，当前应用于工业领域需求较小，但伴随着协作、人形机器人等市场对多维高精度力传感器需求的不断提升，看好**六维力传感器长期市场规模的持续放量**。

图：2020-2026 年全球力传感器市场规模及预测（亿人民币）



➤ 悲观/中性/乐观假设下，我们预计至2030年人形机器人用力传感器市场空间分别为70/125/219亿元，其中中性假设下六维力传感器空间可达80亿元，测算假设如下：

1) 人形机器人产量：悲观/中性/乐观假设下2030年人形机器人产量分别为50/100/300万台。

2) 人形机器人力传感器用量：六维力传感器主要用于手腕和脚腕关节处，因此我们假设三种情形下用量均为4个；三维力传感器主要用于全身关节，用量视机器人灵活度需求，因此悲观/中性/乐观假设下我们预计用量分别为2/4/6个；一维力传感器主要用于全身关节和手部电子皮肤，用量取决于机器人灵活度需求，因此悲观/中性/乐观假设下我们预计用量分别为8/10/15个。

3) 力传感器价值量：悲观假设下六维/三维/一维力传感器的价值量分别为2500/800/300元/台，中性假设下六维/三维/一维力传感器的价值量分别为2000/500/250元/台，乐观假设下六维/三维/一维力传感器的价值量分别为1000/300/100元/台。

图：中性假设下，我们预计至2030年人形机器人用力传感器市场空间有望达125亿人民币

	悲观	中性	乐观
2030年人形机器人产量(万台)①	50	100	300
单台人形机器人六维力传感器用量(台/套)②	4	4	4
六维力传感器价值量(元/台)③	2500	2000	1000
人形机器人用六维力传感器市场空间(亿元)④=①*②*③	50	80	120
单台人形机器人三维力传感器用量(台/套)⑤	2	4	6
三维力传感器价值量(元/台)⑥	800	500	300
人形机器人用三维力传感器市场空间(亿元)⑦=①*⑤*⑥	8	20	54
单台人形机器人一维力传感器用量(台/套)⑧	8	10	15
一维力传感器价值量(元/台)⑨	300	250	100
人形机器人用一维力传感器市场空间(亿元)⑩=①*⑧*⑨	12	25	45
单台人形机器人用力传感器价值量(元/台)	14000	12500	7300
人形机器人用力传感器市场空间(亿元)A=④+⑦+⑩	70	125	219

数据来源：东华测试官网，东吴证券研究所测算

2.5 多维力传感器技术壁垒高，海外厂商占据主导

- **海外供应商：**国外成熟的多维力传感器厂商主要有美国的AMTI、ATI、JR3、FUTEK，瑞士的BOTA，德国的HBM等公司，已开发出多种商用六维力/扭矩传感器。
- **国产供应商：**一维度力传感器技术门槛不高，国内生产商众多；三/六维度力传感器受到技术限制，目前国内主要玩家包括坤维科技、蓝点触控、宇立仪器等，上市公司玩家中东华测试、柯力传感等具备一定技术基础，逐步开展多维力传感器的研发生产。

图：力传感器国内外主流玩家

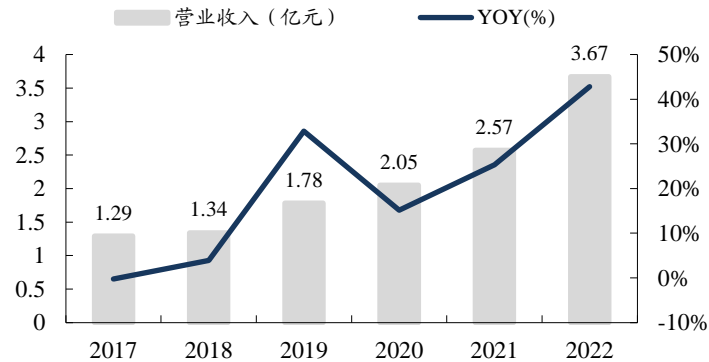
	公司	国家	技术&产品
海外厂商	AMTI	美国	AMTI专注于六轴力和扭矩传感器，在其设计和制造方面拥有超过45年的经验
	ATI		成立于1989年，是世界领先的机器人配件和机器人手臂工具的工程开发商，产品优化了机器人、航空航天、生物医学、汽车、电子、应用研究、学术、核能和政府等领域的工业应用，ATI拥有多款成熟的多轴力/扭矩传感器产品。
	JR3		成立于1983年，公司已牢固确立为多轴力扭矩传感器市场的领导者地位，JR3为世界各地的客户提供了数千个传感器和持续的支持。
	FUTEK		成立于1985年，主营产品传感和测试测量仪器，主要应用于航空航天、国防、自动化、制造业等领域。
	HBM	德国	1950年在德国成立，65年来，HBM测试和测量市场和技术一直深受客户信赖，从虚拟测试到真实的物理测量，HBM可为多种行业测量应用提供产品和服务，HBM产品范围涵盖传感器、应变片、放大器、数据采集系统以及用于结构耐久性测试和分析的软件。
	Bota	瑞士	源自瑞士苏黎世联邦理工学院机器人实验室，为多轴力扭矩传感器、扭矩传感器和定制传感器的开发商和制造商。
国产厂商	坤维科技	中国	坤维科技已经形成了从直径36毫米到直接200毫米的传感器，传感器输出的测量结果与理论真值的偏差不大于1%
	蓝点触控	中国	蓝点触控长期专注力传感器的硬件和算法开发，是国内的领先企业之一，主要产品为ST系列、EQ系列、Joint系列、力控软件算法包。目前公司产品的动态力控精度可控制在0.1N（牛顿力），阶跃响应优于1ms，产品分辨率优于0.05N。
	宇立仪器	中国	宇立仪器产品精度较高，其中六轴力传感器的精度一般在0.5%F.S以内，其中M38系列六轴力传感器精度高达0.2%F.S，分辨率约为满量程的1/5000，能够满足各种应用需求
	柯力传感	中国	国产应变式传感器龙头，参照基恩士、TE等公司的模式，通过并购或者参股的方式进入传感器全流程，目标未来5-10年内要能为客户提供全品类传感器
	东华测试	中国	公司从应变放大器起家，信噪比性能优异，系统设计能力强，可以将传感器和数采结合在一起作为一个产品，有效解决信号采集难点。目前公司生产的六维力传感器主要应用于测试领域，未来将开拓人形机器人场景

数据来源：各公司官网，东吴证券研究所测算

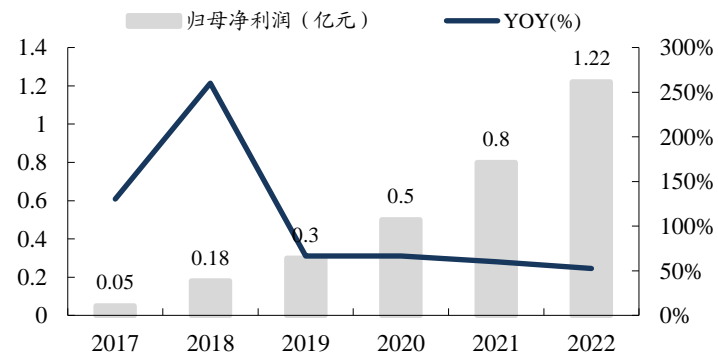
2.5.1 东华测试：专注结构力学性能测试分析，力传感器技术先进

- 国内结构力学测试行业龙头企业。公司成立于1993年，专注结构力学性能测试仪器及配套软件的研发、生产、销售，主要服务于军工类客户，在技术上达到国际先进水平。
- 业绩持续增长，盈利能力稳步提升。2017-2022年公司收入及利润规模快速增长，营收/归母净利润年复合增速分别为23.46%/89.44%，净利润增速快于收入主要系公司盈利能力提升。
- 结构力学测试分析是公司核心业务，并开展多元化布局。公司进一步拓展业务，形成结构力学分析测试、PHM系统、智能维保管理平台、电化学工作站四大类业务，面向下游提供一体化整包解决方案，整合传感器、测试系统硬件和软件平台。

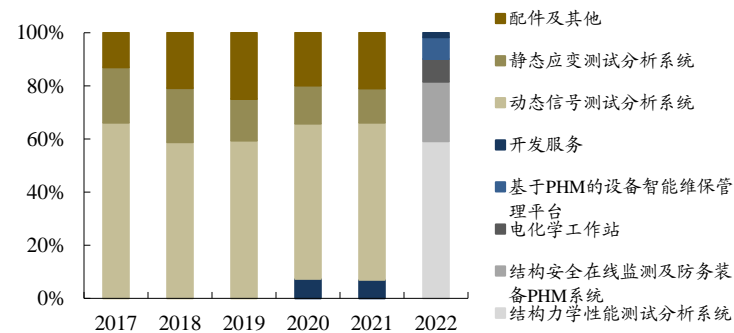
图：2017-2022年公司营收CAGR为23.46%



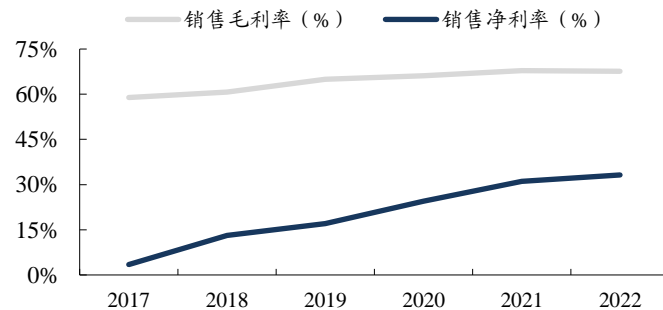
图：2017-2022年公司归母净利润CAGR为89.44%



图：分业务收入占比情况



图：2017-2022年公司盈利能力持续提升



► 依托技术与场景积累，推动先进力传感器研发

公司在结构设计领域有着深厚的技术积累，原有传感器结构设计的团队可以参与到力传感器的研发之中，人员投入较少。同时，场景方面，公司为军用舰船、航空航天提供自定义测试分析系统业务，其中就有力学传感器的需求。延此需求，公司将逐步推进一维、多维力传感器的研发。

► 瞄准六维力传感器，致力高精度产品

公司对力传感器产品的定位是精度优先，打通技术难点再降本增效。技术方面，公司从应变放大器起家，信噪比性能优异，系统设计能力强，可以将传感器和数采结合在一起作为一个产品，有效解决信号采集难点。目前公司生产的六维力传感器主要应用于测试领域，未来将开拓人形机器人场景。

风险提示：力传感器产品研发&推广不及预期，下游需求不及预期风险。

图：力传感器是结构力学性能测试分析系统的重要部分

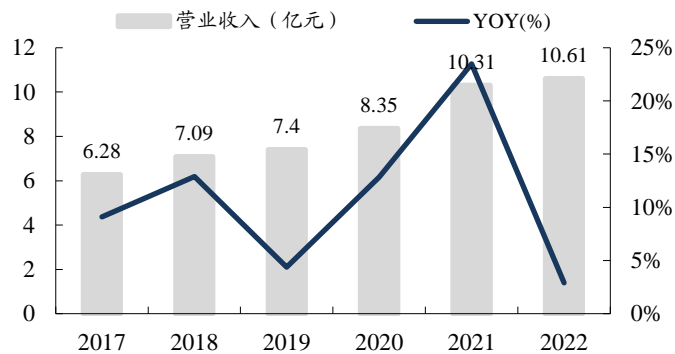
产品类别	概况	应用行业	细分产品	产品概况
结构力学性能测试分析系统	结构强度试验、疲劳试验、动态特性分析等领域，检测环境变化对结构的影响	航天航空、车辆船舶、土木建筑、工程机械、能源电力	数据采集系统	包括分布式、集中式、坚固型、便携式及无线数据采集系统
			软件平台	主要有数据采集与信号处理分析、结构强度分析、结构寿命评估、结构动力学分析等各种模块
			传感器	包括加速度传感器、速度传感器、位移传感器、应变传感器、转速传感器、压力传感器及各类缓变量传感器

数据来源：东华测试官网、东吴证券研究所

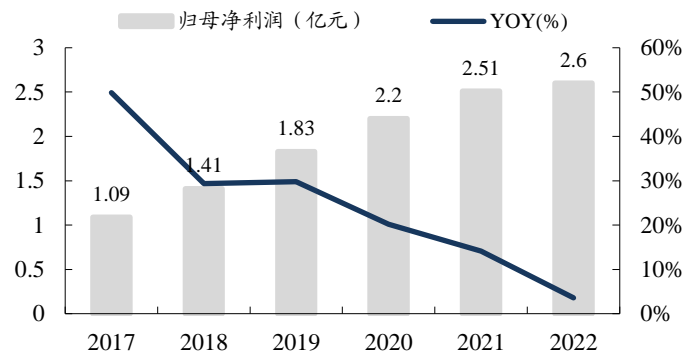
2.5.2柯力传感：深耕应变式传感器，探索多物理量传感器新增长

- **深耕传感器领域20余年，国内传感器领军企业。**柯力传感成立于1995年，成立以来专注于各种物理量传感器的研发、生产及销售，从力学起步融合多物理技术发展多品种传感，展开多维度产业布局 and 经营，成为全球大型钢制传感器制造企业和工业物联网应用拓展引领者之一。
- **业绩快速增长，盈利能力持续提升。**2017-2022年公司收入与利润规模保持增长，营收/归母净利润年复合增速分别为11.06%/18.99%。盈利能力得到改善，净利润增速快于营收。
- **应变式传感器是公司基石业务，2017-2022年营收占比始终高于50%。**主要系公司产品经过长期研发迭代，性能领先、市场认可度高。在维持应变式传感器的基础上，公司积极拓展产品品类到其他物理量传感器，转型升级为物联网解决方案供应商。

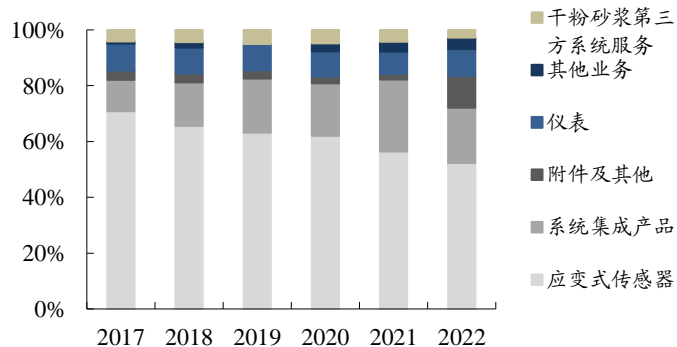
图：2017-2022年公司营收CAGR为11.06%



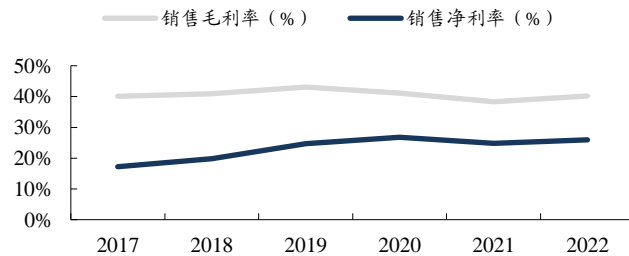
图：2017-2022年公司归母净利润CAGR为18.99%



图：分业务收入占比情况，传感器为基石业务



图：2017-2022年公司盈利能力稳定提升

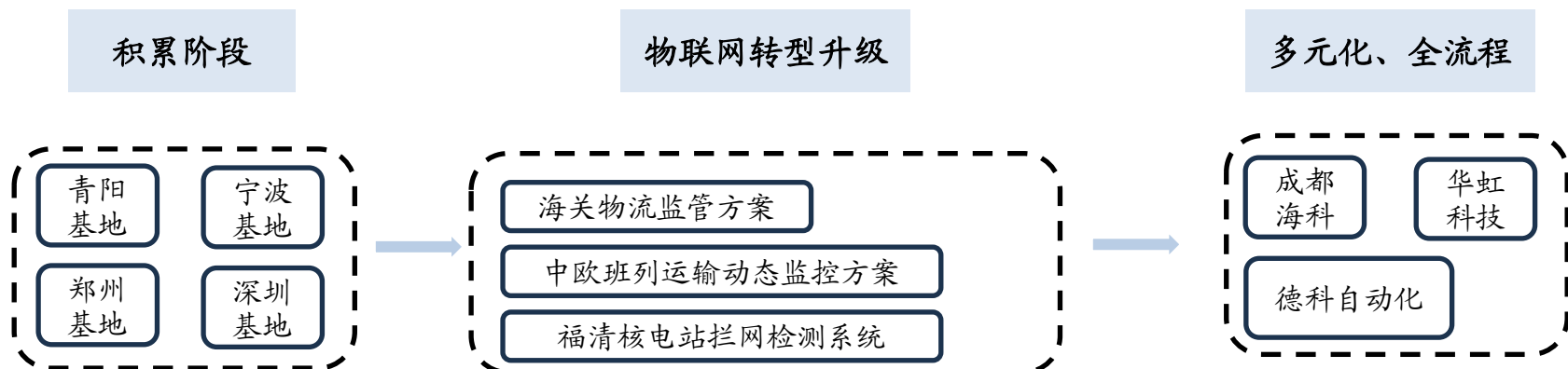


公司成立20余年，经历三次战略转型：

- **迁移生产基地，降本增效。**为了降低成本，公司将生产体系从宁波迁移到安徽青阳县，并作为主要生产基地。目前320万个传感器里面250万都在青阳县生产，同时负责国际业务和非标业务。原宁波基地定位为高端制造、研发中心。
- **转型物联网系统集成商。**2019年公司上市，传统主业应变式传感器增速有限，整体市场天花板明显。为打造持续增长动能，公司调整战略，将公司定位成国际一流的物联网系统集成商，目前已经为高速公路、畜牧业等场景提供完整物联网集成方案。
- **探索多物理量传感器新增长点。**传感器种类多、行业高度分散的特点决定了可以用外延式并购和集团化管理的方式提高整个企业的收入规模。公司参照基恩士、TE等公司的模式，通过并购或者参股的方式进入传感器全流程，目标未来5-10年内要能为客户提供全品类传感器。

风险提示：宏观基本面风险、多维力传感器研制进展不及预期、对外投资不及预期。

图：公司经历三次战略转型，不断开拓增长新空间



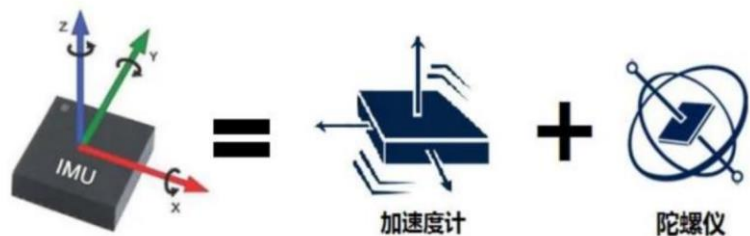


- 一、传感器：数据采集源头，被广泛应用于工业领域
- 二、力传感器：机器人实现精密操作的关键部件
- 三、惯导+视觉传感器：实现机器人高精度定位和导航
- 四、投资建议&风险提示

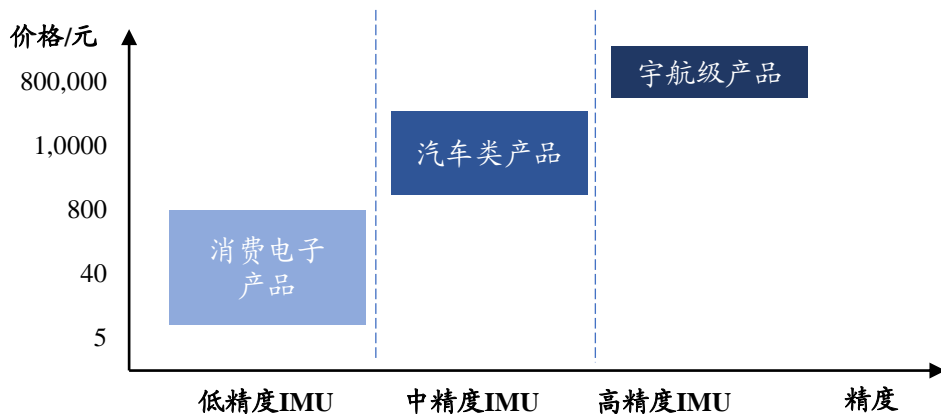
3.1.1 惯导传感器：人形机器人姿态控制的核心部件

- 惯性传感器是一种用于测量物体的加速度、角速度和倾斜角度等参数的电子传感器。从类别上看，包括加速度计、陀螺仪和惯性测量单元（IMU）三种，其中IMU是由陀螺仪、加速度计组成，具有高集成的特点。其将三轴陀螺仪和三轴加速度计集成在一起，能够同时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。得益于优良的性能，目前IMU是惯性传感器中市场占有率最高的品种。
- IMU可以简单分为低、中、高三种精度，分别对应消费电子产品、汽车类产品和宇航级产品：
 - 1) 消费电子类IMU，通常应用于手机、智能穿戴中，精度要求较低，价值千元以下；
 - 2) 汽车类IMU，考虑到自动驾驶对高精度的要求，其价格在千元到万元级别；
 - 3) 宇航级IMU，常用在导弹、航天等对精度要求极高的领域，价格在几十万不等。

图：IMU由加速度计和陀螺仪组成



图：IMU产品精度与价格划分



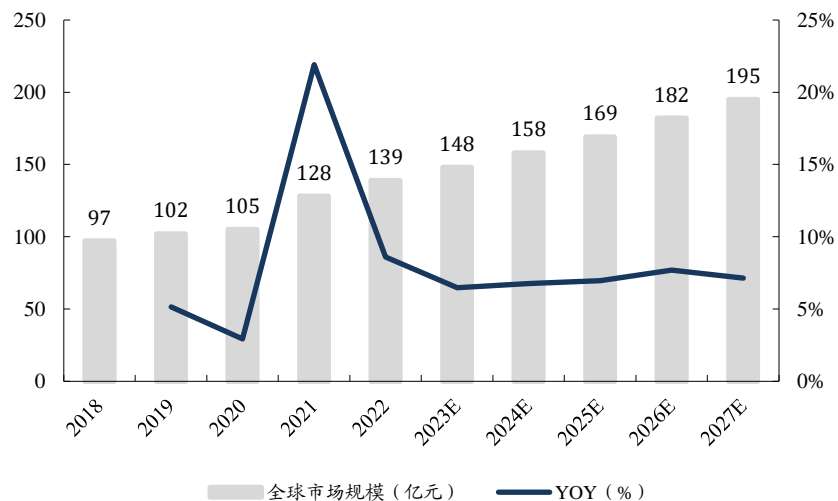
数据来源：东吴证券研究所整理

数据来源：传感器专家网，东吴证券研究所

3.1.2 IMU市场持续拓展，国内市场增长显著

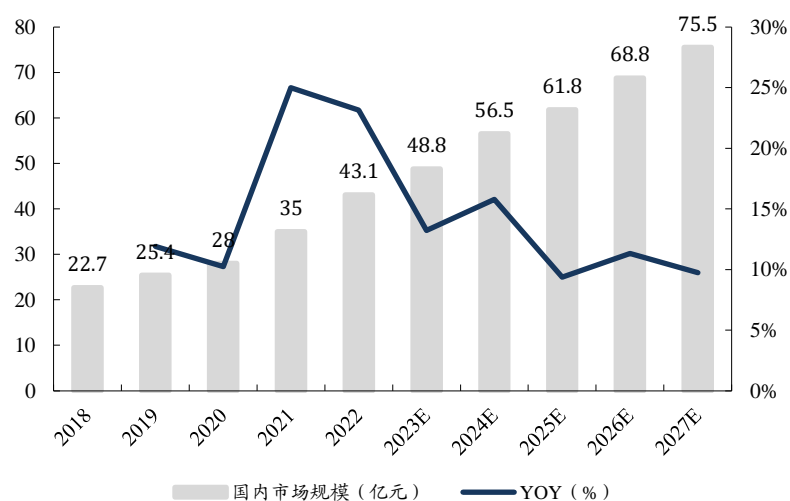
- **MEMS IMU逐渐取代独立的MEMS加速计和陀螺仪，市场规模继续拓展。**随着成本控制改善和综合技术成熟，在高端消费电子、汽车电子领域，IMU的使用比例持续提高。未来在人形机器人等新兴领域，IMU也将成为主要的惯性传感器类别。另一方面，随着新能源汽车、机器人等下游行业进一步释放增量需求，整个惯性传感器市场也将持续扩张。
- **市场规模上，中国市场增速快于全球，占比有望继续提升。**根据Yole intelligence数据，2021年全球IMU市场空间约为18.3亿美元，IMU行业2022-2027年年均复合增长率预计将达到7.03%，到2027年规模达到28亿美元左右；根据芯谋研究数据，2022年国内IMU市场规模达到43.1亿元，预计2027年达到75.5亿元，年均复合增长率达11.9%。

图：全球IMU市场规模（亿元）及YOY（%）



数据来源：Yole intelligence，东吴证券研究所（按1美元=7人民币固定汇率换算）

图：国内IMU市场规模（亿元）及YOY（%）



数据来源：芯谋研究，东吴证券研究所

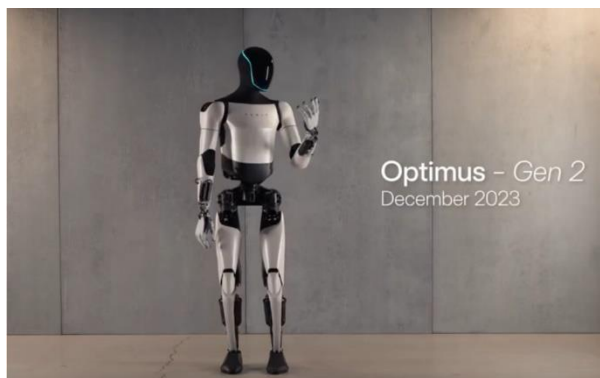
3.2.1 视觉传感器：3D视觉助力实现高精度功能

- 视觉传感器是利用光学元件和成像装置获取外部环境图像信息的一类传感器。从输出维度的角度来看，基于视觉传感器的感知方法可以分为2D视觉和3D视觉两种。在人形机器人、自动驾驶等高精度要求领域，**3D视觉是目前的主要方向**。
- **3D视觉主要有激光雷达和3D相机两种实现方案**。激光雷达（LiDAR）通过向目标发送激光束、接收目标回波并将两者进行比较、运算处理，得到目标的位置、速度等信息；3D相机通过对目标与摄像头距离的识别，能够拍摄出空间景深距离，得到目标的三维空间坐标。
- **3D相机方案更适配人形机器人场景**。激光雷达的优点是成像速度快，因此在需要迅速识别实时地形和路况的自动驾驶领域更常用；而人形机器人由于需要进行“表情识别”、“人体识别”等复杂视觉识别作业，对数据精度的要求更高，更适配3D相机方案。

图：3D视觉可通过LiDAR和3D相机实现



LiDAR
 谷歌Project X
 无人驾驶，配备机械LiDAR，实时生成360°点云模型



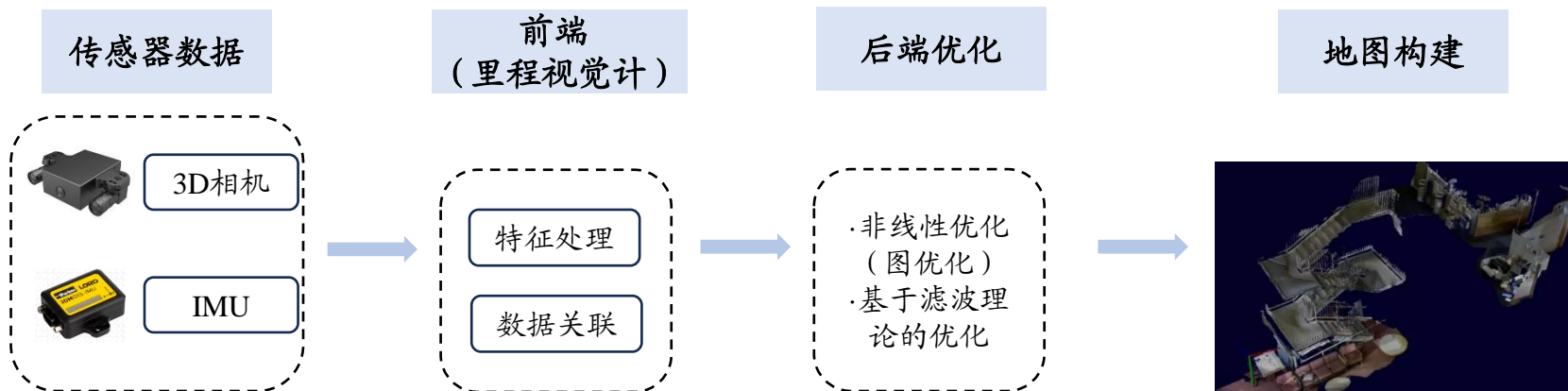
3D相机
 特斯拉人形机器人Optimus Gen2，头部配备8个摄像头作为视觉传感器

数据来源：Tesla、Google公司官网、东吴证券研究所

3.2.2 IMU+视觉：实现SLAM方案，完成机器人定位和导航

- 识别复杂工作环境是机器人在作业中需要首先解决的问题。SLAM（同步定位与建图）是一种实时观测、实时绘制、实时规划的方案，为定位、导航提供基础。
- **IMU和视觉传感器具有互补性，成为实现SLAM的普遍配置：**1) 单纯使用视觉传感器SLAM在应用中会有一些的局限性，在部分场景中会失效，例如：玻璃、空白墙壁等特征较少的场景或黑暗环境；2) IMU在长时间使用下的累积误差较大，但是短时间内相对位移数据的精度有很高。因此，当视觉传感器失效时，融合IMU数据，能够提高其定位的精度，保证SLAM方案的稳健性。
- 总之，视觉SLAM和IMU的融合可以弥补视觉SLAM的缺陷，很大程度地提高单目SLAM算法性能，是一种低成本高性能的导航方案，能够有效完成机器人定位和导航。

图：SLAM流程示意



数据来源：东吴证券研究所整理

3.3 惯导&视觉传感器上市公司标的

重点公司推荐：IMU领域：芯动联科、敏芯股份、华依科技；视觉传感器领域：奥比中光、舜宇光学。

表：IMU和视觉传感器行业上市公司情况

行业	公司简称	股票代码	主营业务情况
惯导传感器 (IMU)	芯动联科	688582.SH	国内MEMS陀螺仪龙头，主要产品包括MEMS陀螺仪/加速度计/IMU等
	敏芯股份	688286.SH	国内唯一掌握多品类MEMS芯片设计和制造工艺能力的上市公司，产品包括声学、压力、惯性三大传感器
	华依科技	688071.SH	传统主营业务为测试服务（动力总成测试设备），同时IMU产品精度保持行业领先
视觉传感器	奥比中光	688322.SH	全球3D视觉传感器龙头，主要收入来源于3D视觉传感器与消费级应用设备
	舜宇光学	2382.HK	全球领先的综合光学零件及产品制造商，主要产品包括光电产品、光学仪器、光学零件。

数据来源：Wind，东吴证券研究所整理

观点总结:

整体来看，随着自动化大趋势发展，对传感器的需求量将逐步提升，其中人形机器人有望贡献较大增量。其中触觉和力传感方面，我们预计人形机器人将会用到一维/三维/六维力传感器，而在视觉和导航方面，我们预计将会采用惯导传感器和3D视觉传感器来实现，而各传感器的用量将取决于人形机器人的智能化程度。

投资建议:

- 1) 力传感器环节：重点推荐【东华测试】，建议关注【柯力传感】【汉威科技】【昊志机电】等
- 2) 惯导&视觉环节：建议关注【奥比中光-UW】【舜宇光学】【华依科技】【敏芯股份】【芯动联科】等

表：重点上市公司情况（市值、PE数据截至2024/2/19）

	代码	公司	收盘价	总市值	归母净利润（亿元）			PE		
			(LC)	(亿元)	2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E
力传感器	300354.SZ	东华测试	38.6	53	2.0	2.8	3.7	27	19	14
	603662.SH	柯力传感	25.2	71	3.1	3.9	4.8	23	18	15
	300007.SZ	汉威科技	14.7	48	3.3	3.3	4.4	15	15	11
IMU+视觉	688322.SH	奥比中光-UW	25.5	102	-2.2	-0.7	0.5	-	-	195
	688071.SH	华依科技	25.4	21	0.7	1.5	2.5	31	15	9
	688286.SH	敏芯股份	36.3	20	-0.6	0.2	0.6	-	86	36
	688582.SH	芯动联科	27.0	108	1.6	2.3	3.1	67	48	35

数据来源：Wind，东吴证券研究所（盈利预测来自于Wind一致预期）

- 人形机器人产业化不及预期。
- 传感器于机器人应用进程不及预期。
- 国际贸易摩擦及大客户依赖风险。
- 零部件降价导致盈利能力下滑。

免责声明

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（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。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（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指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证50指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街5号

邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园