

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



结构型传感器

利用结构参量变化或由它们引起某种场的变化来反应被测量的大小和变化(如利用结构的位移或力的作用产生电阻、电容或电感值的变化)。



固体传感器

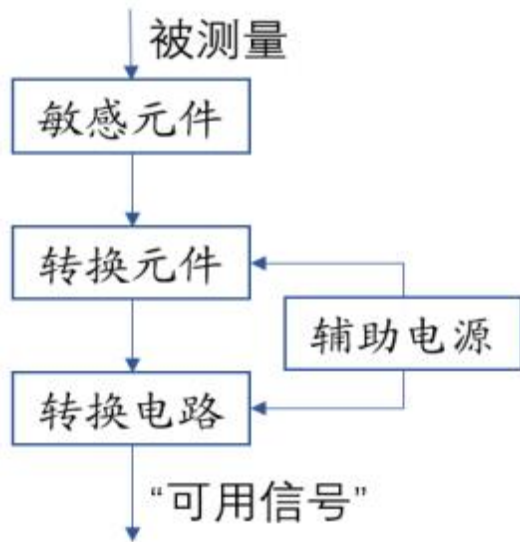
利用某些材料自身的物理特性在被测量的作用下发生变化，从而将被测量转化为电信号或其他信号输出(如用半导体、电介质、磁性材料等固体元件制作的传感器)。



智能传感器

朝着具有感、知、联一体化功能的智能感知系统方向发展，有机结合了传感器、通信芯片、微处理器、驱动程序及软件算法等。

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
类别 传感器展示								
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				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处理和分析。			
细分								

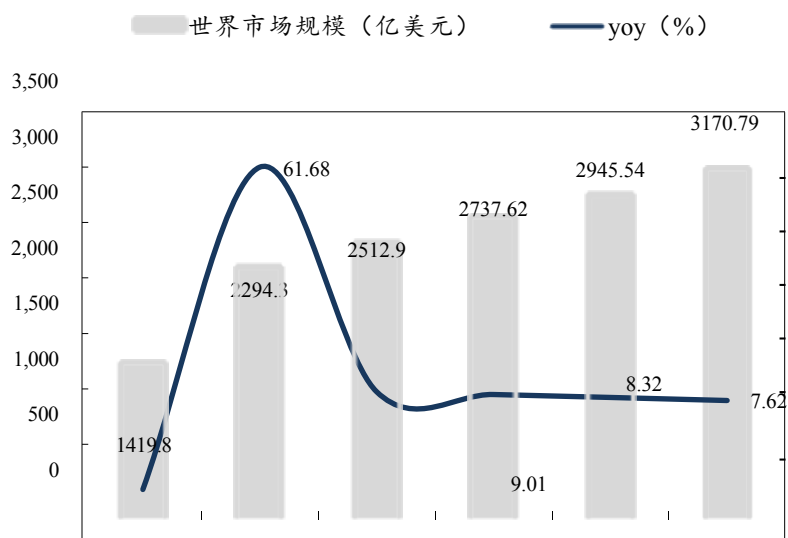
传感器展示

数据来源：百度百科，东吴证券研究所整理

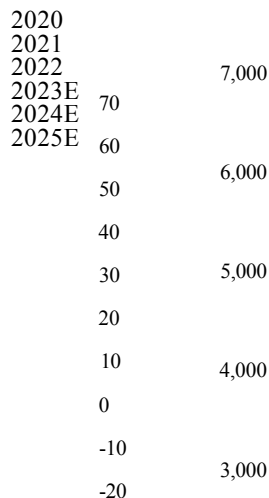
1.3. 市场规模： 2025年全球传感器市场规模预计超 3000 亿美元

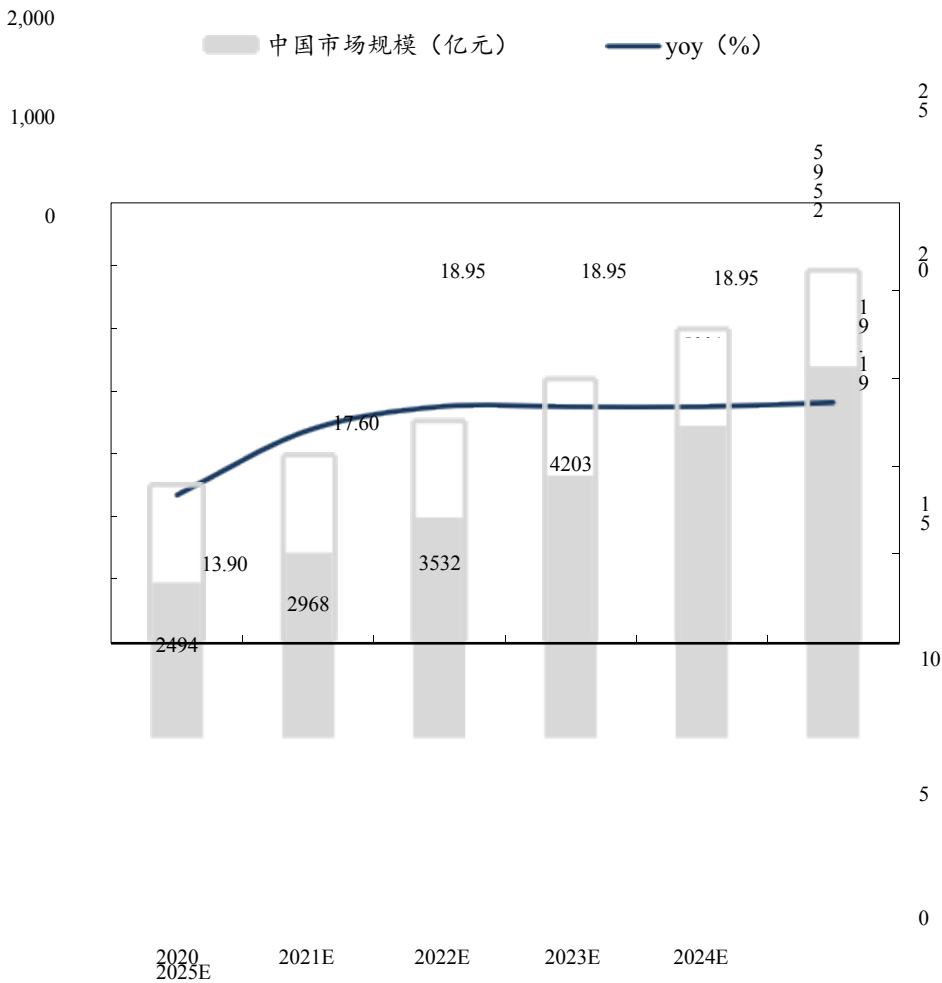
- 预计2025 年全球传感器市场规模将超过3000 亿美元。随着近年来人工智能、物联网、 5G等前沿科技的不断发展，传感器市场需求逐步增长。根据 Statista 数据， 2022年全球传感器市场规模达2512.9亿美元， 2022-2025年CAGR预计达8.04%。
- 国内传感器市场规模增速高于全球增速。根据前瞻产业研究院数据， 2020年国内传感器市场规模达2494亿人民币， 2020-2025年CAGR预计达20.0%。

图： 2020-2025年传感器世界市场规模



图： 2020-2025年传感器中国市场规模





资料来源： Statista， 东吴证券研究所

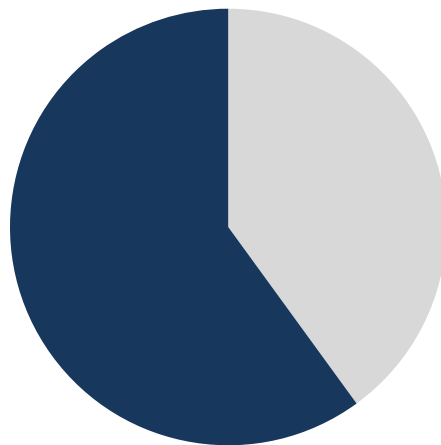
资料来源： 前瞻产业研究院， 东吴证券研究所

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

国外企业, 60%



国内企业,

40%

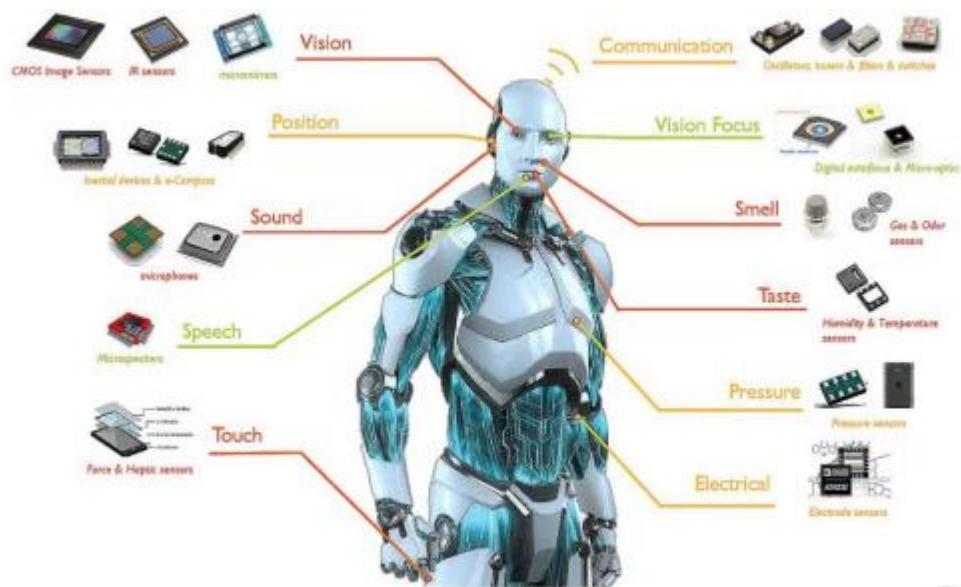
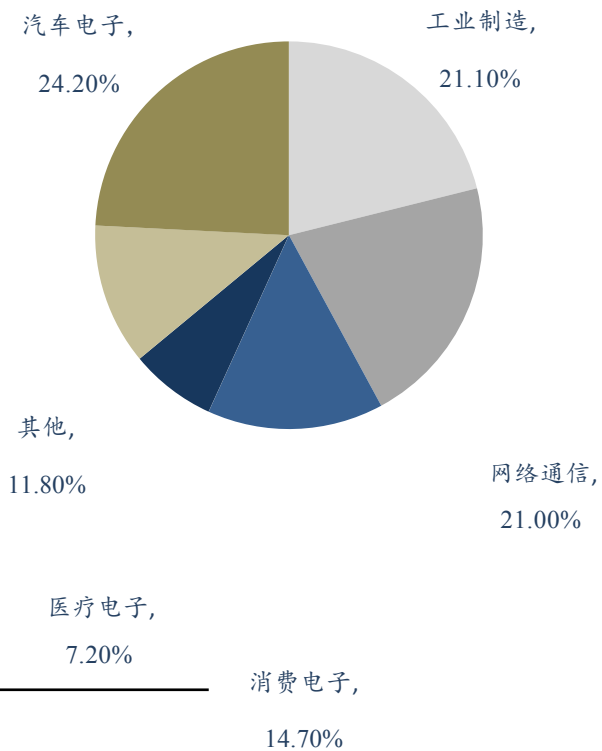
资料来源： 华经产业研究院， 东吴证券研究所

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所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

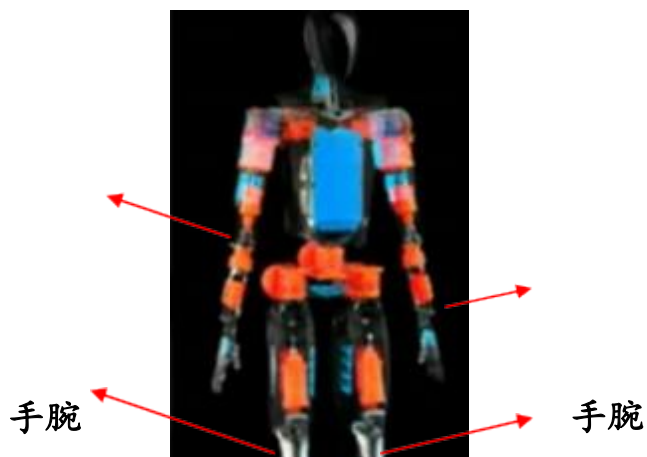


资料来源： 库卡机器人官网， 东吴证券研究所

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



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

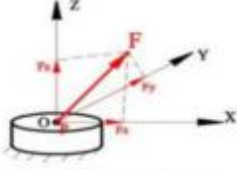

2.2 根据测力的维数，力传感器通常分为一维、三维和六维力传感器

- 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
	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>	
	六维力传感器	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>	

按测力维数分类

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>	
--------	-----	---------	---	---

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



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



六维力/力矩传感器

更高的力控精度



WRIST 系列	量程 1	量程 2	量程 3	精准度
Fxy	170	200N	500N	优于 0.3%
Fz	350	400N	900N	
Mxyz	6Nm	10Nm	20Nm	
高精度检测 3 个方向的力 Fx Fy Fz 和 3 个方向的力矩 Mx My Mz 采样率：1kHz 实时高精度力控制功能				

资料来源：蓝点触控官网，东吴证券研究所

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/055202000113011130>