



【中泰汽车-行业深度】 人形机器人系列深度2：特斯拉发布Optimus Gen2，传感器为最大边际变化

中泰证券汽车行业首席分析师：

何俊艺

S0740523020004

15121172110

hejy02@zts.com.cn

中泰证券汽车行业分析师：

刘欣畅

S0740522120003

13662690104

liuxc03@zts.com.cn

中泰证券汽车行分析师：

毛葵玄

S0740523020003

13162320122

maoyx@zts.com.cn

中泰证券研究所
专业 | 领先 | 深度 | 诚信

2024年4月20日

■ **前言：基于空间格局与成长路径二维标准筛选出乘人形机器人赛道**

■ **产业驱动：特斯拉发布Optimus Gen2，传感器为最大边际变化**

特斯拉推出第二代Optimus，在减重、提速的同时，更加聚焦于控制及运动平衡的稳定性。传感器赋予机器人视、力、触等多种感知能力，对本体及外部环境感知均有助益，国内优必选、智元、宇树等机器人产品上亦搭载多款传感器。

■ **重点传感器：触觉、力矩、IMU、视觉，外资主导，国内加速追赶**

1) **触觉传感器**：从其他物理波形转换成电流或电压波形，处理后以电磁波的形式传输，从而感知力、温度等变化，壁垒主要在材料、算法两方面。触觉传感器目前处于发展早期，以Canatu、Sensel、Flexpoint等海外企业为主。国内布局相对领先的主要为汉威科技子公司能斯达、奥迪威及帕西尼。

2) **力矩传感器**：将力信号变为电信号，以测量外部受压力的程度，壁垒在于标定&检测以及数据解耦。六维以外资品牌主导，国产率低。在协作机器人细分赛道上坤维等国内品牌已占据头部位置。

3) **IMU**：测量机器人本体的加速度、角加速度和磁场强度，从而输出速度、位置与姿态，硬件端壁垒为陀螺仪、软件端为算法控制。IMU主要被海外垄断，TDK、霍尼韦尔、ADI等，国内导远、华依、芯动等逐步追赶。

4) **视觉传感器**：分为2D和3D两种，主要为感知成像，基恩士为行业龙头，全球市占率超50%，国内奥普特相对领先。

■ **产业链相关标的梳理**：触觉传感器（汉威科技、奥迪威）、力矩传感器（东华测试、昊志机电、安培龙）、IMU（华依科技、芯动联科、明皜传感）、视觉传感器（奥比中光、奥普特）。

■ **风险提示**：人形机器人产业化进度不及预期、AI技术发展不及预期、技术路线不确定、研报使用信息更新不及时的风险。

目录

一、产业驱动：特斯拉发布Optimus Gen2，传感器为最大边际变化

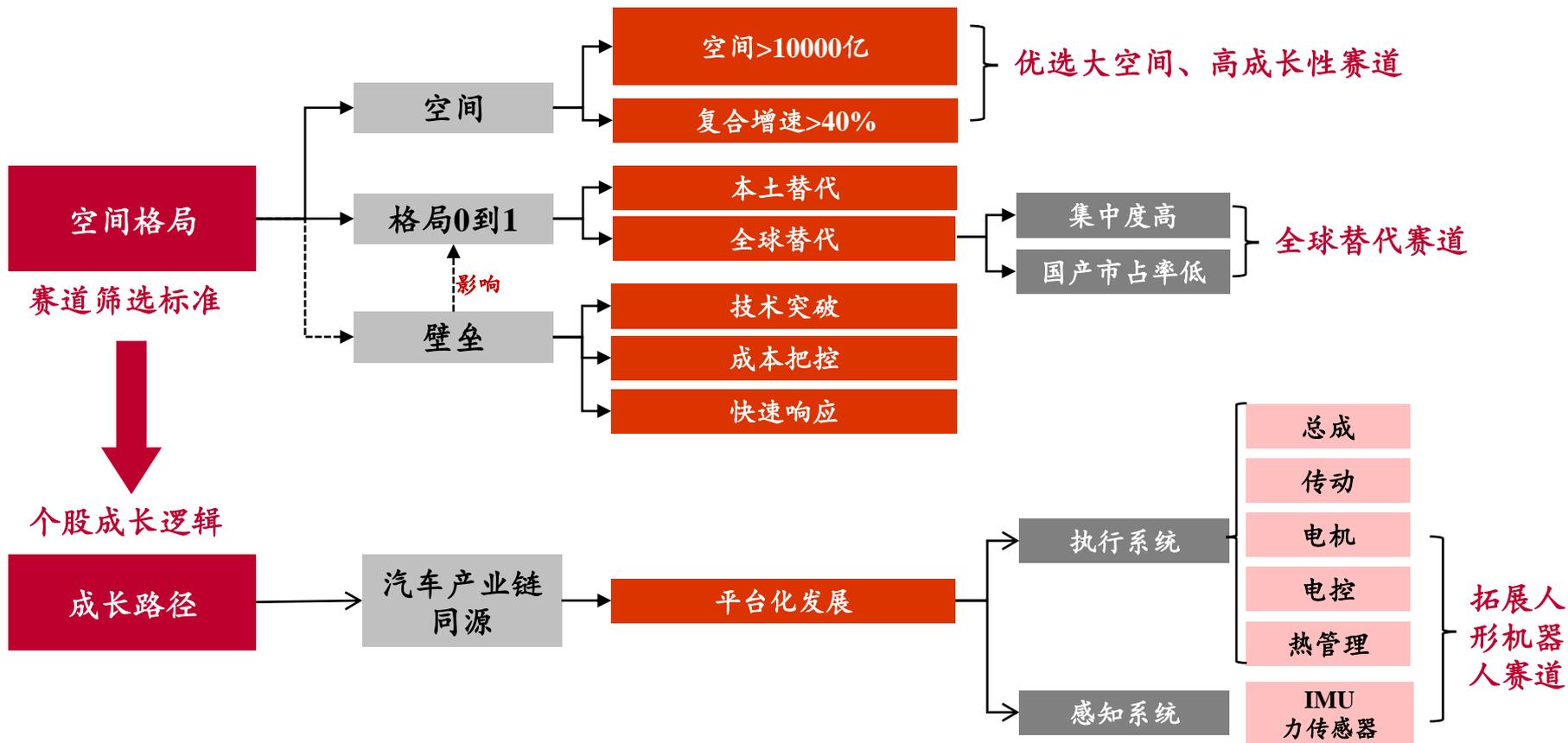
二、传感器拆解：触觉传感器、力矩传感器等

三、重点传感器：触觉、力矩、IMU、视觉，外资主导，国内加速追赶

四、产业链相关公司

五、风险提示

前言：基于空间格局&成长路径筛选出人形机器人赛道



目录

一、产业驱动：特斯拉发布Optimus Gen2，传感器为最大边际变化

二、传感器拆解：触觉传感器、力矩传感器等

三、重点传感器：触觉、力矩、IMU、视觉，外资主导，国内加速追赶

四、产业链相关公司

五、风险提示

本章核心总结

特斯拉推出第二代Optimus，在减重、提速的同时，更加聚焦于控制及运动平衡的稳定性。传感器赋予机器人视、力、触等多种感知能力，对本体及外部环境感知均有助益，国内优必选、智元、宇树等机器人产品上亦搭载多款传感器。

- 特斯拉推出第二代Optimus，在减重、提速的同时，更加聚焦于控制及运动平衡的稳定性。1) 手部：全新的11个自由度灵巧手，并在手指增加触觉传感器，可精准抓取鸡蛋；2) 足部：行走姿态更接近人类，行走速度提升；3) 全身：可完成90度深蹲的高难度动作，主要需要力矩传感器、IMU等以及算法的配合。

图表：特斯拉第二代Optimus变化

手指增加【触觉传感器】，
可精准抓取鸡蛋



自研【传感器】，灵巧
手有11个自由度



完成90度深蹲，预计搭载
【IMU】、【力矩传感器】



来源：特斯拉、中泰证券研究所

- 国内其他机器人厂商在传感器领域纷纷跟进。传感器赋予机器人视、力、触等多种感知能力，对本体及外部环境感知均有助益，国内优必选、智元、宇树等机器人产品上亦搭载多款传感器。

图表：机器人厂商传感器配置

机器人品牌	型号	传感器配置
优必选	Alpha 2	内置超声、触摸、加速度传感器
	Qrobot Alpha	1300万像素摄像头、六轴、MPU6500传感器、电容触控传感器、PIR热释电红外传感器
智元	远征A1	RGBD相机、激光雷达、IMU(惯性传感器)、麦克风阵列
宇树	Unitree H1	3D激光雷达、深度相机
特斯拉	Optimus Gen1	摄像头、毫米波雷达、超声波传感器、触摸传感器、力传感器
	Optimus Gen2	触觉传感器、视觉传感器、力觉传感器、激光雷达、惯性测量单元（IMU）、六维力矩传感器

来源：中泰证券研究所

目录

一、产业驱动：特斯拉发布Optimus Gen2，传感器为最大边际变化

二、传感器拆解：触觉传感器、力矩传感器等

三、重点传感器：触觉、力矩、IMU、视觉，外资主导，国内加速追赶

四、产业链相关公司

五、风险提示

机器人传感器位置分布

一般传感器

重要传感器



摄像头



激光雷达



超声波传感器

(左右两组, 接收+发射)

触觉传感器

(双手手指)



触觉传感器

(前中后)

麦克风



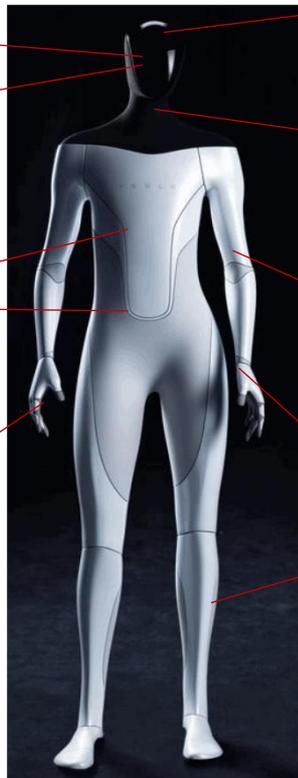
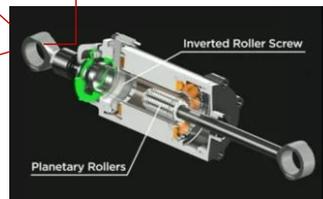
位置传感器 IMU

(胸部、踝部)



力矩传感器

(手腕、脚踝)



目录

一、产业驱动：特斯拉发布Optimus Gen2，传感器为最大边际变化

二、传感器拆解：触觉传感器、力矩传感器等

三、重点传感器：触觉、力矩、IMU、视觉，外资主导，国内加速追赶四、

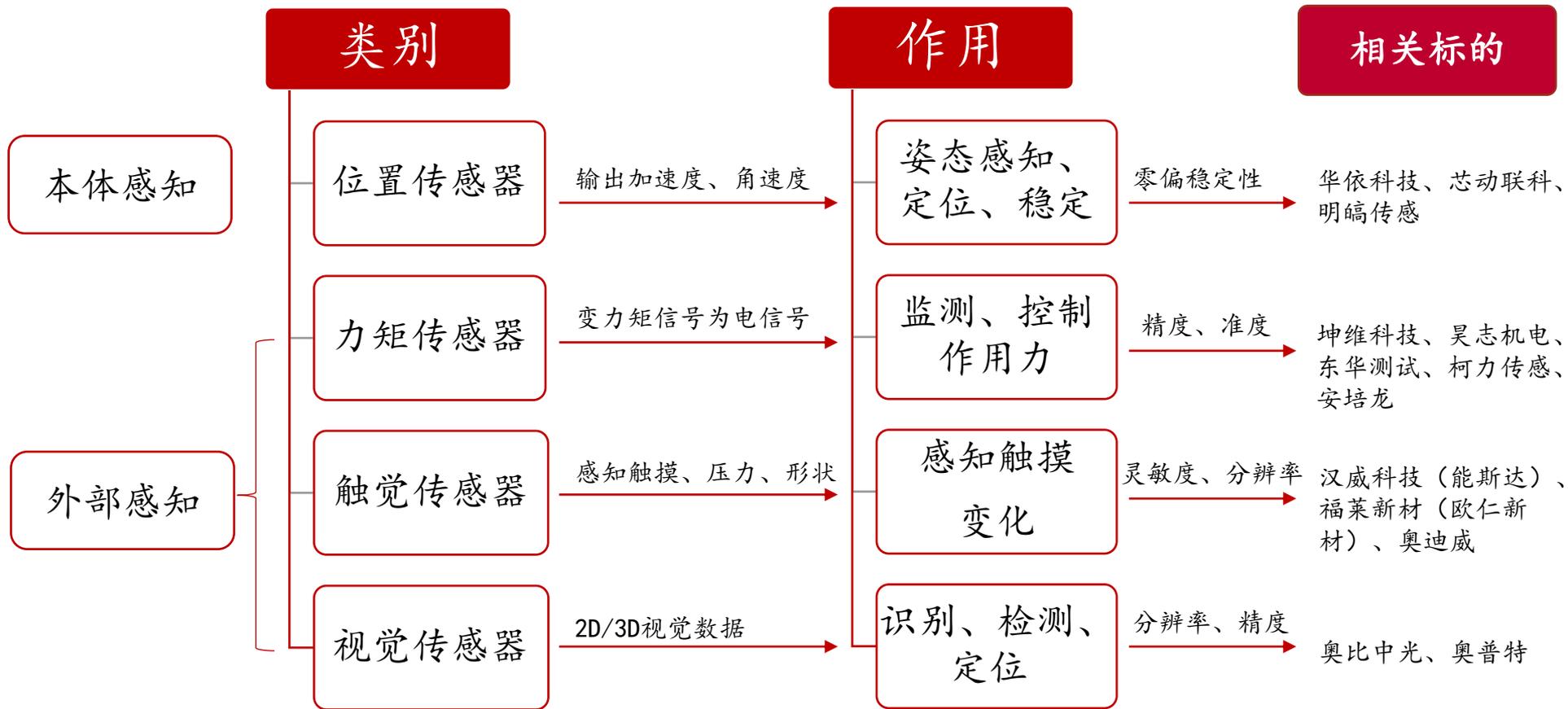
产业链相关公司

五、风险提示

本章核心总结

技术壁垒方面，六维力矩>触觉>IMU>视觉传感器。竞争格局方面，以上传感器多以外资主导，国内处于发展前期，正加速追赶。发展潜力方面，力矩传感器短期难以规模化量产，IMU、触觉、视觉传感器有望先在人形机器人上搭载。

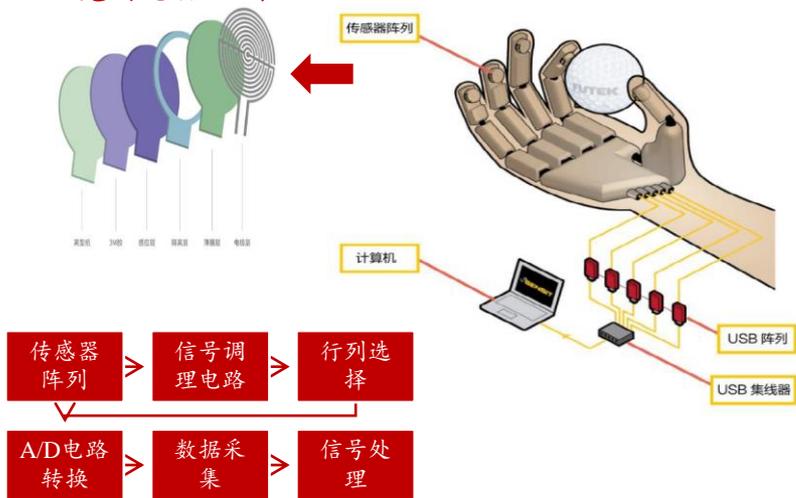
- **IMU**：测量机器人本体的加速度、角加速度和磁场强度，从而输出速度、位置与姿态，硬件端壁垒为陀螺仪、软件端为算法控制。IMU主要被海外垄断，TDK、ADI、霍尼韦尔等，国内导远、华依、芯动等逐步追赶。
- **力矩传感器**：将力信号变为电信号，以测量外部受压力的程度，壁垒在于标定&检测以及数据解耦。六维以外资品牌主导，国产率低。在协作机器人细分赛道上坤维等国内品牌已占据头部位置。
- **触觉传感器**：从其他物理波形转换成电流或电压波形，处理后以电磁波的形式传输，从而感知力、温度等变化，壁垒主要在材料、算法两方面。触觉传感器目前处于发展早期，以Canatu、Sensel、Flexpoint等海外企业为主。国内布局相对领先的主要为汉威科技子公司能斯达、奥迪威及帕西尼。
- **视觉传感器**：分为2D和3D两种，主要为感知成像，基恩士为行业龙头，全球市占率超50%，国内奥普特相对领先。



- **工作原理**：触觉传感器阵列将信号从其他物理波形转换成电流或电压波形，然后通过数字电路对波形进行处理，并以电磁波的形式传输，再由另一个传感器接收和转换成需要的信号形式。
- **类别及分类**：主要分为柔性、和刚性（MEMS为主），其中柔性传感器根据原理不同又分为电容、电感、压阻等5种，目前压阻式相对主流。

图表：触觉传感器原理

触觉传感器结构



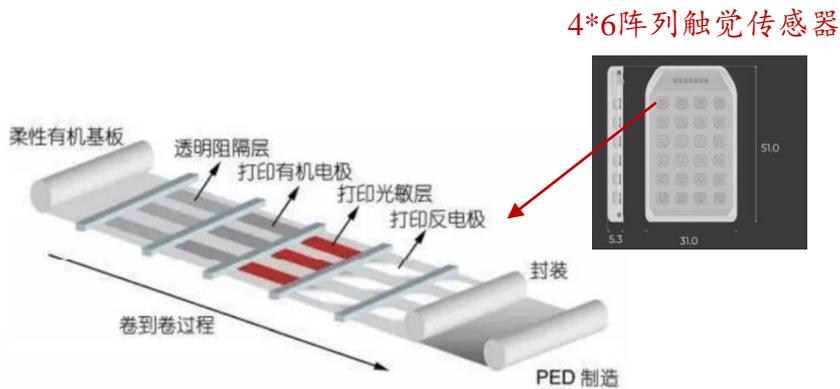
图表：柔性触觉传感器5种类别对比

分类	优点	缺点
电容式	测量量程大；线性好；制造成本低；实时性高	物理尺寸大；不易集成化；易受噪声影响稳定性差
电感式	制造成本低；测量量程范围大	磁场分布难以控制，分辨率低；不同接触点的一致性差
光电式	灵敏度高；响应快；较高的空间分辨率；电磁干扰影响较小	多力共同作用时线性较差；数据实时性差；标定困难
压阻式	较高的灵敏度；过载承受能力强	压敏电阻漏电流稳定性差；体积大，不易实现微型化；功耗高；易受噪声影响；接触表面易碎
压电式	动态范围宽；有较好的耐用性	易受热响应效应影响



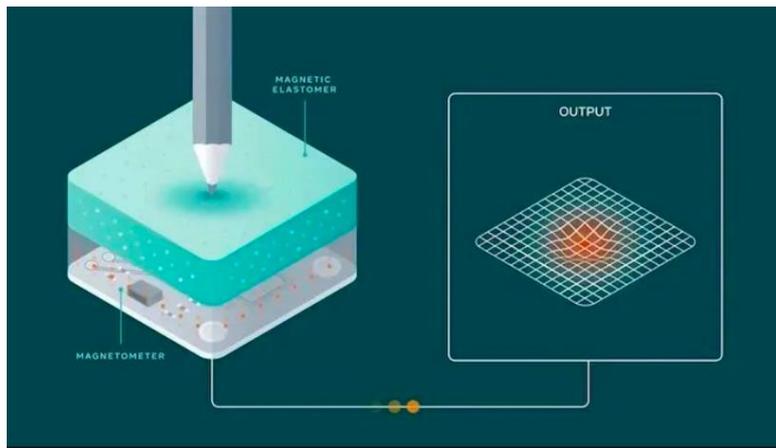
- 壁垒主要在材料、制造两方面。1) 材料端：柔性触觉传感器对材料要求较高，需解决柔性化和多维检测兼容性的问题；2) 制造端：需满足拉伸、挤压、扭转变形情况下的正常力矩、温度等的识别。目前由于定制化程度高，使用面积差异化明显，因此制造成本高居不下。

图表：触觉传感器制造工艺



来源：XELA Robotics, 中泰证券研究所

图表：触觉传感器图形处理示例



来源：帕西尼传感网, 中泰证券研究所

- 触觉传感器目前处于发展早期，以Canatu、Sensel、Flexpoint等海外企业为主。国内布局相对领先的主要为汉威科技子公司能斯达（目前已有一条年产1000万支柔性传感器的超净印刷线和组装线）、奥迪威及帕西尼。

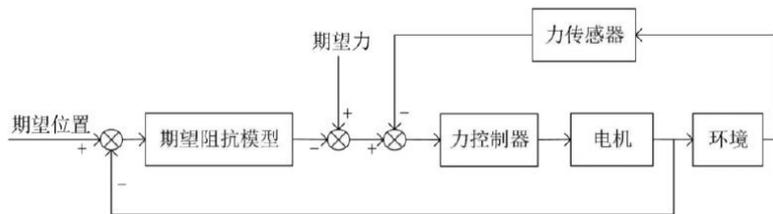
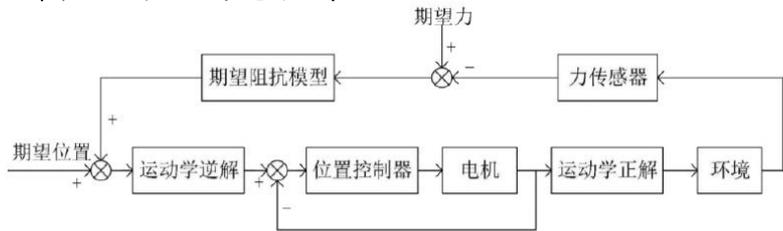
图表：国内触觉传感器企业布局

公司	触觉传感器布局	产品
汉威科技 (能斯达)	<ul style="list-style-type: none"> 概况：专注柔性微纳传感技术的研发和产业化，具备多量程的柔性微纳力学量传感器（压力、压电、应变）及阵列的核心设计能力 产能：拥有一条年产1000万支柔性传感器的超净印刷线和组装线 应用领域：消费电子、健康医疗、IOT等战略新兴产业 	 <p>柔性压力传感器 柔性压电传感器 柔性电容传感器</p>
奥迪威	<ul style="list-style-type: none"> 概况：公司的产品包括隐藏式超声波避障传感器、触觉传感器、超声波材质识别传感器、触觉反馈执行器等均可实现感知与执行功能 应用领域：人形机器人 	<p>压触传感器</p>  <p>压触执行器是一种操作交互传感器，只需要手指施加外力，对它进行触碰或者按压，即可唤醒提前在设备中设置的功能、场景或者APP（应用程序），可根据用户的需求，对短触/长按、长时间按压定制不同的手势及触发的功能或者APP。</p>
帕西尼	<ul style="list-style-type: none"> 概况：创始成员来自于日本早稻田大学机器人实验室，产品包括多维度触觉传感器PX-6AX、消费级触觉传感器PX-3A、触觉灵巧手DexH5 应用领域：智能制造、康养医疗、工业生产、消费电子 	<p>多维触觉传感器 PX-6AX</p> 

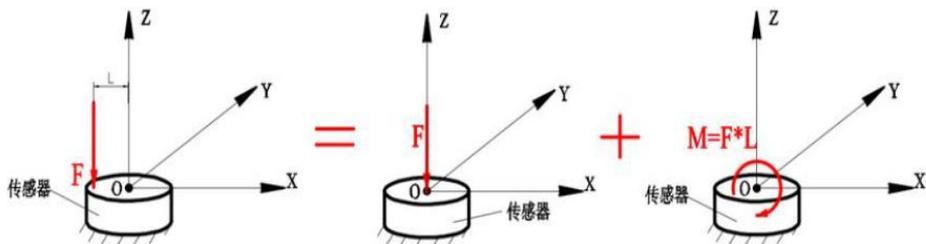
来源：各公司官网，传感器与物联网产业联盟，中泰证券研究所

- **力矩传感器原理**：基于霍克定律，当力施加于弹性体感力原件上会产生形变并改变相应电阻值，经过电桥的测量会将相应变化转化为放大电信号。
- **一维、三维、六维力矩传感器区别**：测力方向、距离上不同，其中六维力矩传感器精度最高而一维与三维力矩传感器在多方向、不同距离情况下所测数据失真。

图表：力矩传感器原理



图表：一、三、六维力传感器对比



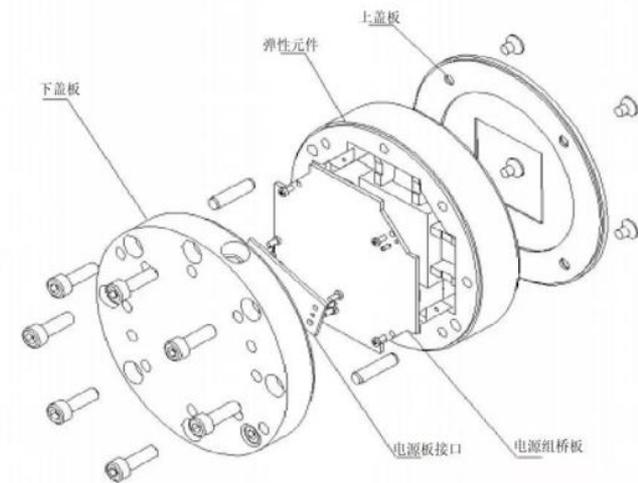
图表：一维、三维力传感器使用场景有限制

传感器类型	力的方向要求	力的作用点要求
一维力传感器	与标定坐标轴重合	位于标定参考点
三维力传感器	无限制	位于标定参考点
六维力传感器	无限制	无限制

来源：《基于六维力传感器的机器人力控研究》，坤维科技，中泰证券研究所

■ **BOM中应变片占比高，当前研发费用、制造费用仍然较高：**六维力矩传感器成本可分拆为BOM+贴片+研发+其他，其中BOM包括应变片（占比高）、弹性体、PCB板和粘合胶。当前六维应用场景有限，主要在工业机器人，因此出货量低，制造、研发费用摊销较高。

图表：六维力矩传感器内部结构



图表：六维力矩传感器成本拆解

成本项目		占比
BOM成本	应变片	高
	弹性体	低
	钢结构	低
	粘合剂	低
	PCB板	低
制造费用	人工贴片费用	低
	人工标定费用	高
研发费用		高
其他费用		高

来源：南京神源生智能，中泰证券研究所

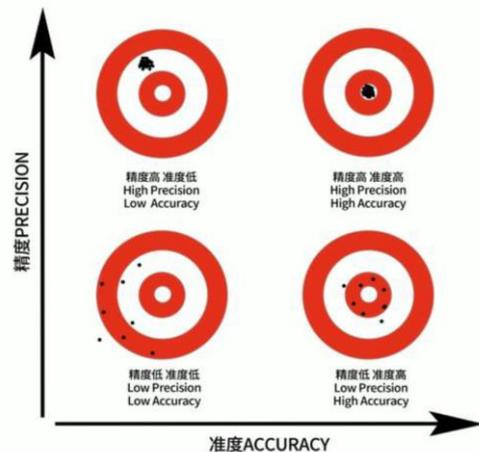
来源：中泰证券研究所

- **壁垒1：标定&检测**，六维较一维在数据采集上有指数级难度提升。六维标定设备多为非标，主要为实现三个正交+三个力矩方向的精确加载，因此需要六维力联合加载标定，一般为传感器厂商自研，设备难度较大。
- **壁垒2：数据解耦**，需保证低串扰、高精度、高准确度。六维传感器的多组数据在构建解耦矩阵时许充分考虑重力、重心、零偏误差等因素，从而保证测试的高精度、高准确度。

图表：六维的设备为非标设备



图表：精度、准确度对比



来源：坤维科技，中泰证券研究所

- **外资品牌主导，国产率低。**据高工机器人数据，六维力矩传感器品牌以欧美、日韩为主（ATI为行业龙头），国产率低，主要在于串扰、耦合误差、准度等参数上与外资仍然有差距。
- **协作机器人细分赛道来看，坤维等国内品牌已占据头部位置。**2022年，协作机器人细分领域的六维销量来看，坤维排名第一，超过外资ATI，蓝点触控、宇立亦排名靠前。

图表：国内外六维力矩传感器主要厂商

地区	主要厂商
欧美	ATI、Honeywell、Interface、OnRobot等
日韩	Robotous、WACOH-TECH、Sintokogio等
中国	坤维科技、宇立仪器、鑫精诚、海伯森、蓝点触控、昊志机电等

来源：高工机器人，中泰证券研究所

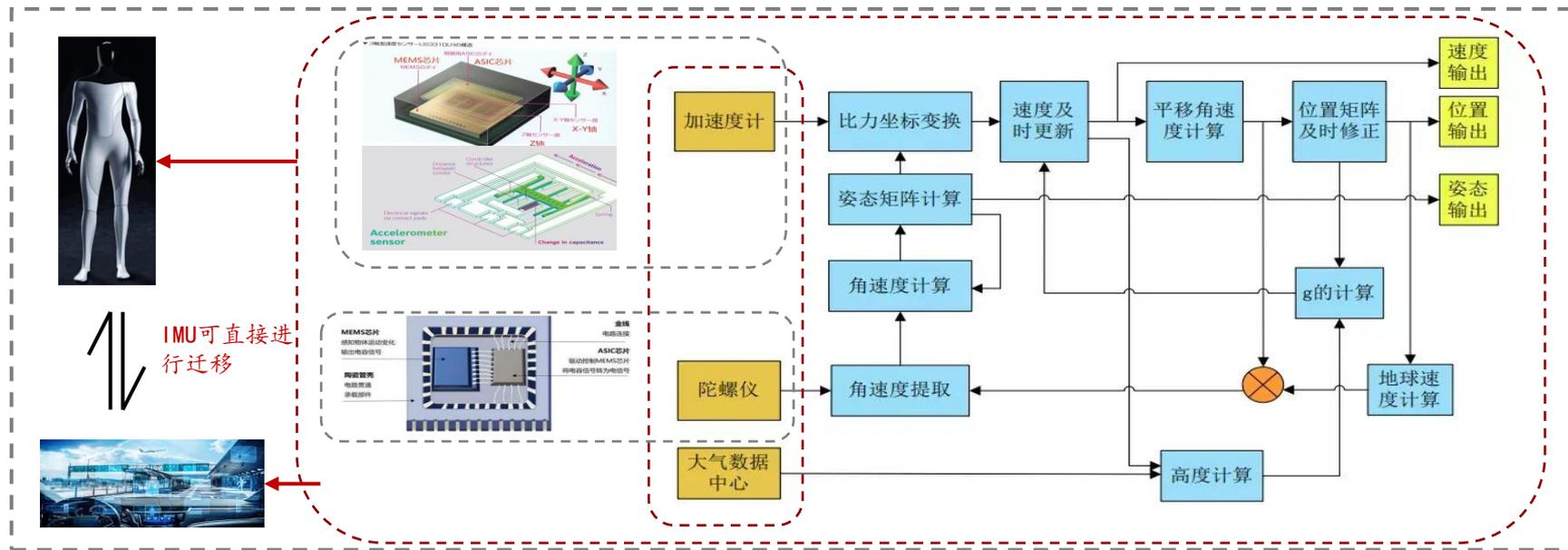
图表：2022年协作机器人赛道的六维传感器排名

排名	厂商
1	坤维科技
2	ATI
3	宇立仪器
4	鑫精诚
5	蓝点触控

来源：高工机器人，中泰证券研究所

- IMU实时调整物体运动策略，实现精准姿态控制：其中，加速度计、陀螺仪和大气数据中心分别测量物体在三个轴向上的加速度、角加速度和磁场强度，进行数据处理，输出物体的速度、位置与姿态。根据结果，实时调整，实现精确的运动轨迹规划。

图表：IMU惯性导航系统工作原理图&应用

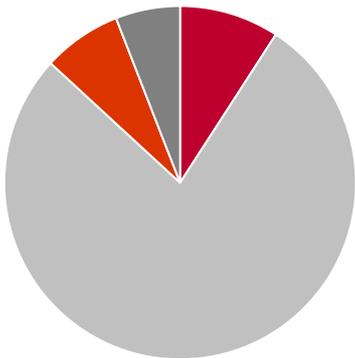


来源：中泰证券研究所

- **IMU的BOM成本主要为陀螺仪和加速度计**：成本拆分来看，MEMS陀螺仪的成本最高，占比77.65%，其次为加速度计。惯性传感组合和技术服务的成本占比较低。
- **IMU主要壁垒硬件端为陀螺仪、软件端为算法控制，软件集成难度更高**。参考车端IMU，我们预计机器人上的IMU较车端在精度、零偏稳定性要求高出一个等级。硬件端主要为陀螺仪，自产难度较高。软件端壁垒为算法，主要为不同环境下的数据获取、处理能力。

图表：BOM成本拆分

■ MEMS加速度计 ■ MEMS陀螺仪
■ 惯性传感组合 ■ 技术服务



来源：芯联联科招股书，中泰证券研究所

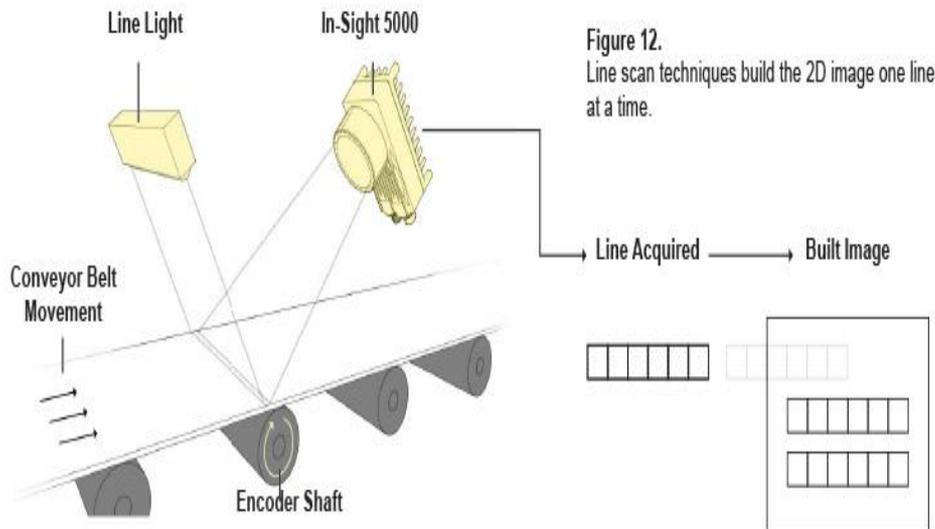
图表：MEMS陀螺仪和加速度计技术指标

公司	陀螺仪零偏稳定性	加速度计零偏稳定性
Honeywell (HG4930)	0.25° /h	25μg
ADI (ADIS16475)	2° /h	3.6μg
Sensornor (STIM-318)	0.3° /h	3μg
Silicon Sensing (CRH03-010)	0.03° /h	-
Colibrys (MS1030)	-	30μg
美泰科技 (8000D)	-	≤100μg
芯动联科 (加速度计35系列)	-	≤20μg

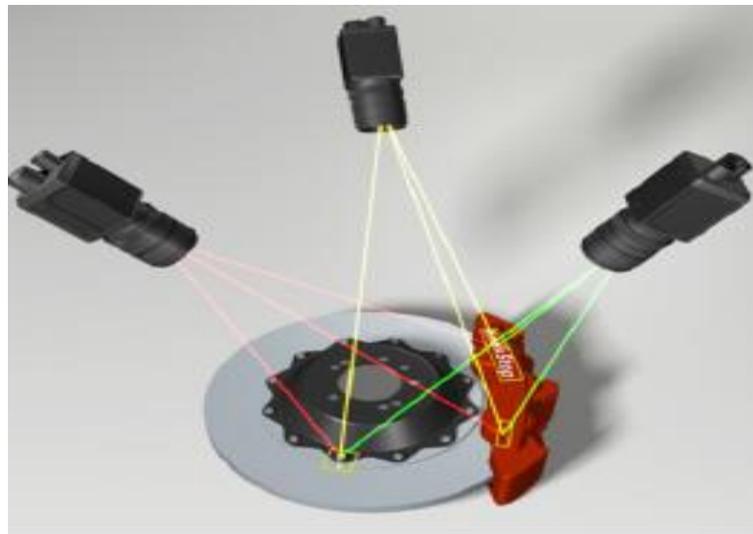
来源：芯联联科招股书，中泰证券研究所

- 视觉传感器主要分为2D和3D两种, 其中2D通过相机拍摄平面照片再通过图像分析或对比识别对象, 很大程度上由基于轮廓的图案匹配驱动。3D主要通过3D摄像头采集视野空间内每个点位的三维坐标信息, 再利用算法复原获得三维立体成像。

图表: 2D视觉传感器原理



图表: 3D视觉传感器原理



3D vision systems typically employ multiple cameras.

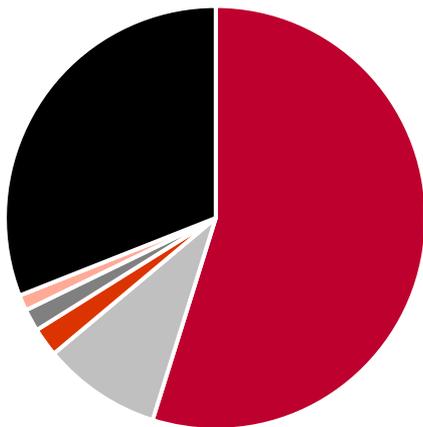
来源: Cognex官网, 中泰证券研究所

来源: Cognex官网, 中泰证券研究所

■ 全球仍以外资为主，国产自主替代稳步进行：视觉传感器全球竞争市场中外资占据主要地位，据华经产业研究院，2021年基恩士为行业龙头，全球市占率超50%，其次为康耐视。国内视觉传感器市场较为分散，奥普特相对领先。

图表：2021年全球视觉传感器竞争格局

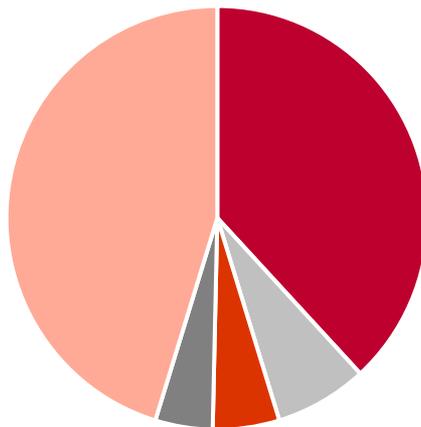
■ 基恩士 ■ 康耐视 ■ 巴斯勒 ■ 天准科技 ■ 奥普特 ■ 其他



来源：华经产业研究院，中泰证券研究所

图表：2021年国内视觉传感器竞争格局

■ 基恩士 ■ 康耐视 ■ 巴斯勒 ■ 奥普特 ■ 其他



来源：华经产业研究院，中泰证券研究所

目录

一、产业驱动：特斯拉发布Optimus Gen2，传感器为最大边际变化

二、传感器拆解：触觉传感器、力矩传感器等

三、重点传感器：触觉、力矩、IMU、视觉，外资主导，国内加速追赶

四、产业链相关公司

五、风险提示

部件	简称	机器人领域产品
IMU	华依科技	IMU总成
	芯动联科	MEMS陀螺仪、加速度计
	明皜传感	IMU总成、MEMS陀螺仪
力矩传感器	东华测试	六维力矩传感器
	昊志机电	六维力矩传感器
	坤维科技	六维力矩传感器
	安培龙	MEMS压力传感器
	柯力传感	三维力矩传感器
触觉传感器	汉威科技	柔性传感器
	福莱新材	柔性传感器
	奥迪威	触觉传感器
视觉传感器	奥比中光	3D视觉
	奥普特	3D视觉

- **第一、人形机器人产业化进度不及预期：**当前人形机器人制造成本仍然较高，尚未到规模化量产阶段。若新技术迭代+供应链降本不及预期，则将影响人形机器人的商业化进度。
- **第二、AI技术发展不及预期：**人形机器人的发展与AI技术相关性较大，需要ChatGPT理解人类自然语言并自动生成代码以控制机器人执行任务。若AI技术发展不及预期，将会影响人形机器人的推进节奏。
- **第三、技术路线不确定：**当前人形机器人方案尚未统一，行星减速器、滚柱丝杠等路线均存在一定争议。若未来技术路线发生改变，可能会影响前期已供货零部件厂商的业绩表现。
- **第四，研报使用信息更新不及时的风险。**

重要声明

- 中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。
- 本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，可能会随时调整。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。
- 市场有风险，投资需谨慎。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。
- 投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。