



传感器：机器人感知核心，未来的星辰大海

投资要点

- **机器人外界环境感知与智能化提升依赖高性能传感器。**人形机器人大致包括感知系统、传动系统、电源系统、大脑、结构件几个方面，其中传动系统成本占比30-40%，以传感器为主的感知系统成本占比约20%左右，大脑、电源系统、结构件等占比30%-40%。机器人使用的传感器大致包括视觉传感器、力/力矩传感器、触觉传感器、惯性传感器（IMU）、流量传感器等，传感器是机器人实现外界环境感知和交互的关键。
- **力控：机器人柔性力控不可或缺，力传感器为核心零部件。**力传感器可以分为一至六维力传感器，多维力传感器在机器人领域应用广泛，包括力控打磨、精密装配、示教拖动、医疗康复等。预计机器人力控的最佳方案为，每个关节使用1个力传感器，其中旋转关节使用扭矩传感器，线性关节使用单向力传感器，机器人的手腕、脚踝各2个六维力传感器。传感器的技术壁垒主要体现在传感器结构设计、标定系统精度、以及解耦和补偿算法。目前价格较高是制约六维力传感器应用的重要因素，国产六维力矩传感器价格在2-3万元左右，进口价格在7-8万元左右。测算100万人形机器人对应的扭矩传感器/单向力传感器/六维力传感器市场空间分别为30/28/80亿元。国产头部六维力传感器厂商包括坤维科技、宇立仪器、蓝点触控等，整体与外资主流传感器在灵敏度、串扰、抗过载能力及维间耦合误差仍存在差距，随着技术进步，国内外人形机器人量产带来的降本诉求有望给国产厂商带来发展机遇。
- **电子皮肤：具备物理柔性及仿生特性，实现触觉感知。**电子皮肤即柔性仿生触觉传感器，是一种能够实现仿人类触觉感知功能的柔性电子器件，具备物理柔性和仿生特性。触觉传感器按原理分为压阻式、电容式、压电式、光学式等，制备电子皮肤的核心包括材料选择、结构设计、制造工艺。人形机器人手部一般应用触觉传感器，未来机器人要和人实现接触和互动，除了手部，在肩膀、手肘、前后背部也可能覆盖电子皮肤，测算100万人形机器人对应的电子皮肤市场空间约为100亿元。国外做柔性触觉传感器的领先企业包括Tekscan、Pressure Profile Systems等，占据市场主要份额，国内包括帕西尼感知科技、力感科技、他山科技、墨现科技、能斯达等，均处于早期，未来将受益于人形机器人的规模量产。
- **相关标的：**建议关注布局机器人传感器领域的公司：压力传感器龙头安培龙（301413）、结构力学测试研究龙头东华测试（300354）、稀缺电子皮肤标的汉威科技（300007）、应变式称重传感器龙头柯力传感（603662）。
- **风险提示：**人形机器人发展不及预期的风险、传感器技术发展不及预期的风险、市场竞争加剧的风险。

西南证券研究发展中心

分析师：邵桂龙

执业证号：S1250521050002

电话：021-58351893

邮箱：tgl@swsc.com.cn

分析师：周鑫雨

执业证号：S1250523070008

电话：021-58351893

邮箱：zxyu@swsc.com.cn

联系人：叶明辉

电话：13909990246

邮箱：ymh@swsc.com.cn

行业相对指数表现



数据来源：聚源数据

基础数据

股票家数	439
行业总市值(亿元)	32,008.70
流通市值(亿元)	31,073.83
行业市盈率TTM	28.9
沪深300市盈率TTM	12.4

相关研究

1. 机器人行业周报(1223-1229)：宇树科技展示轮足机器人，运控性能优越 (2024-12-29)
2. 机器人行业周报(1216-1222)：智元机器人实现量产近千台，新剑百万台丝杠项目落地临安 (2024-12-22)
3. 机器人行业周报(1209-1215)：Optimus展示崎岖地形稳健行走，自主行走能力再升级 (2024-12-15)

目 录

1 传感器是机器人感知系统核心，价值量占比较高	1
2 力控：机器人柔性力控不可或缺，力传感器为核心零部件	2
2.1 力传感器分为一至六维力传感器.....	2
2.2 六维力传感器技术壁垒高，传感器解耦为难点.....	7
2.3 机器人力控落地仍有较多痛点，国产企业迎发展机遇.....	10
3 电子皮肤：具备物理柔性仿生特性，实现触觉感知	12
3.1 电子皮肤：一种仿人类触觉感知功能的柔性电子器件.....	12
3.2 触觉传感器按原理分为压阻式、电容式、压电式、光学式.....	15
3.3 制备柔性触觉传感器核心：材料选择、结构设计、制造工艺.....	16
4 关注布局机器人传感器领域的公司	18
5 风险提示	19

图 目 录

图 1: 测算感知系统在机器人中成本占比 20%左右	1
图 2: 传感器是机器人感知核心	1
图 3: 使用关节扭矩传感器和末端/腕部多轴力矩传感器	2
图 4: KUKA-iiwa 关节使用力矩传感器	2
图 5: 一维、三维和六维力传感器分别适用于不同的场景。	3
图 6: 六维力和力矩传感器常见原理	3
图 7: 电阻应变式六维力传感器力/力矩信息检测原理	3
图 8: 不同原理六维力和力矩传感器比较	4
图 9: 多维力传感器在机器人上的应用	5
图 10: Optimus 使用扭矩传感器、单向力传感器以及六维力传感器	5
图 11: 优必选 Walker S1 使用 4 个六维力传感器	6
图 12: 六维传感器的精度和准度	7
图 13: 不同结构的弹性体结构	8
图 14: 应变片的粘贴位置也会对传感器的精度产生影响	9
图 15: 一维标定和六维标定的区别	9
图 16: 不同国家的六维力传感器标定及检测设备	10
图 17: 海伯森技术六维力传感器的价格情况	11
图 18: 六维力传感器的价格是制约应用的重要因素	11
图 19: 人体皮肤的传感功能由皮肤中的感知器实现	13
图 20: 柔性压力传感器图示	13
图 21: 安装触觉皮肤的 NASA 宇航员机器人 Robonaut	14
图 22: 覆盖了触觉皮肤的 Wendy 机器人	14
图 23: Optimus 手指使用触觉传感器	14
图 24: 机器人触觉传感系统的层次功能和结构框图	15
图 25: 传感单元示意图	16
图 26: 传感器阵列的行、列电极结构	16
图 27: 各种常见柔性材料的性能对比图	17

表 目 录

表 1: 不同类型六维力/力矩传感器原理、特点及代表企业	4
表 2: 特斯拉人形机器人 Optimus 力传感器市场空间测算	6
表 3: 六维力矩传感器应用广泛	7
表 4: 不同弹性体结构的力/力矩传感器的特性比较	8
表 5: 国内外六维力/力矩传感器主要生产商	11
表 6: 人的皮肤的触觉能力与相应机理	12
表 7: 国内做电子皮肤或者触觉传感器标的	18

1 传感器是机器人感知系统核心，价值量占比较高

以传感器为主的感知系统在机器人中成本占比 20%左右。机器人大致包括感知系统、传动系统、电源系统、大脑、结构件几个方面，其中传动系统和感知系统是核心部分，以特斯拉 Optimus 为例，根据测算，传动系统成本占比 30%-40%，以传感器为主的感知系统成本占比约占 20%左右，大脑、电源系统、结构件等占比 30%-40%。

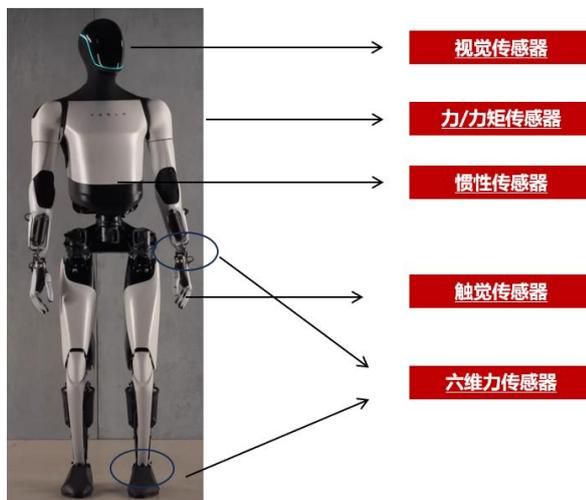
图 1：测算感知系统在机器人中成本占比 20%左右

环节	细分	核心零部件	单价 (元)	Optimus所需数量	总价 (元)	占比
传动系统+感知系统	旋转执行器	谐波减速器	500	14	7000	5.1%
		无框力矩电机	500	14	7000	5.1%
		编码器	20	14	280	0.2%
		扭矩传感器	500	14	7000	5.1%
	线性执行器	梯型丝杠	100	4	400	0.3%
		行星滚柱丝杠	2000	10	20000	14.7%
		无框力矩电机	500	14	7000	5.1%
		编码器	20	14	280	0.2%
		单向力传感器	300	14	4200	3.1%
		灵巧手	空心杯电机	500	12	6000
	其他	微型行星齿轮箱	100	12	1200	0.9%
		腱绳	20	12	240	0.2%
		手指-触觉传感器	100	10	1000	0.7%
		六维力传感器	3000	4	12000	8.8%
		IMU	800	1	800	0.6%
		摄像头模组	100	8	800	0.6%
声音传感器		100	1	100	0.1%	
流量传感器	100	1	100	0.1%		
电源系统		电池包(包括散热)	5000	1	5000	3.7%
大脑		FSD	50000	1	50000	36.7%
结构件等		外壳硬件	5000	1	5000	3.7%
		线束、连接器	1000	1	1000	0.7%
总计					136400	100.0%

数据来源：特斯拉，西南证券测算

机器人外界环境感知与智能化提升依赖高性能传感器。机器人使用的传感器大致包括视觉传感器、力/力矩传感器、触觉传感器、惯性传感器（IMU）、流量传感器等，传感器是机器人实现外界环境感知和交互的关键，其中视觉传感器是机器人的“眼睛”，力/力矩传感器是机器人的“肌肉神经”，触觉传感器是机器人的“皮肤”。

图 2：传感器是机器人感知核心



数据来源：特斯拉，西南证券整理

2 力控：机器人柔性力控不可或缺，力传感器为核心零部件

2.1 力传感器分为一至六维力传感器

当机器人与外界环境之间产生接触力，会对机器人控制系统的精度产生巨大影响，所以必须使机器人对环境具备一定的柔顺性。检测机器人与环境间的交互力信息主要包括以下几种方式：

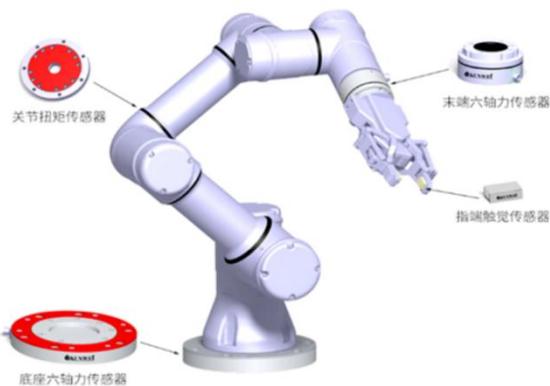
1) **关节电流**：通过机器人的伺服驱动器直接获取机器人各关节电流，再通过转矩系数和估算的摩擦力矩，计算各关节的输出力矩。误差较大，精度受到摩擦力较大影响，适用于直驱电机或小减速比应用场景。适用于小型机器人，比如 ABB 的 YuMi，单臂负载为 0.5kg。

2) **关节扭矩传感器**：通过在减速器的输出端安装关节力矩传感器，可避免关节摩擦力的影响，建立关节力矩-角度的动力学模型，精度很高，但结构复杂，且会降低关节传动链的刚度。代表产品为 KUKA 的 iiwa。

3) **末端/腕部多轴力矩传感器**：在机器人的末端安装六轴力矩传感器，可获取力矩传感器往后段的力觉信息，是目前大部分工业机器人采取的力控方式。在人形机器人中，力/力矩传感器通常安装在脚掌和踝关节之间/机械手和腕关节之间，用来测量末端执行器与外界环境相互的受力情况。

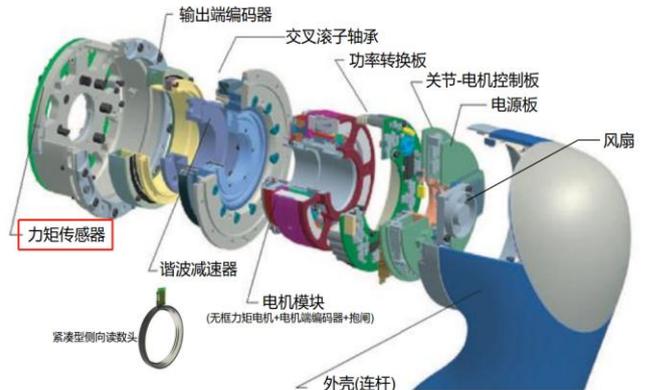
4) **类似皮肤的力觉/触觉传感器**：在机器人表面覆盖一层压力传感器，可直接检测环境施加在机器人全身上的力信息，精度高，但结构复杂，成本高。

图 3：使用关节扭矩传感器和末端/腕部多轴力矩传感器



数据来源：坤维科技，西南证券整理

图 4：KUKA-iiwa 关节使用力矩传感器



数据来源：KUKA，西南证券整理

按照测量维度，力传感器可以分为一至六维力传感器。最常见的一维、三维和六维力传感器。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，则称为六维力传感器。一维、三维和六维力传感器分别适用于不同的场景。

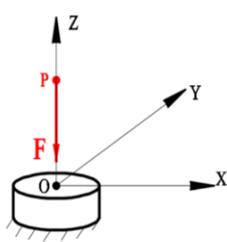
一维力传感器：适用于力的方向和作用点是固定的场景。一维力传感器的标定坐标轴为 OZ 轴，被测量力 F 的方向能完全与 OZ 轴重合。

三维力传感器：适用于力的方向随机变化，但力的作用点保持不变，并且与传感器的标定参考点重合的场景。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，三维力传感可以同时测量 F_x 、 F_y 、 F_z 三个 F 的分力。

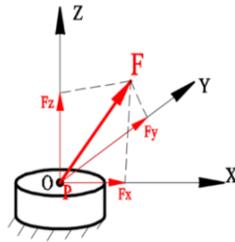
六维力传感器：适用于力的方向和作用点都在三维空间内随机变化的场景。空间中任意方向的力 F ，其作用点 P 不与传感器标定参考点重合且随机变化，六维力传感器同时测量 F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z 六个分量。

图 5：一维、三维和六维力传感器分别适用于不同的场景。

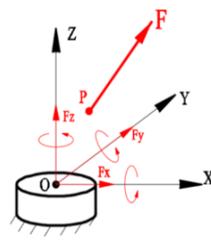
O——力传感器标定参考点
P——力的作用点
OXYZ——传感器标定坐标系



一维力传感器适用于：力的方向和作用点是固定的



三维力传感器适用于：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



六维力传感器：力的方向和作用点都在三维空间内随机变化

数据来源：坤维科技，西南证券整理

根据感力原件的不同，力传感器主要分为三类：**应变式力传感器**、**光学式传感器**以及**压电式力传感器**。其中电阻应变式是应用最广泛、研究也比较成熟的一类。

应变式力传感器：采用的是硅应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化；

光学式传感器：通过光栅反映形变，再转化成为力；

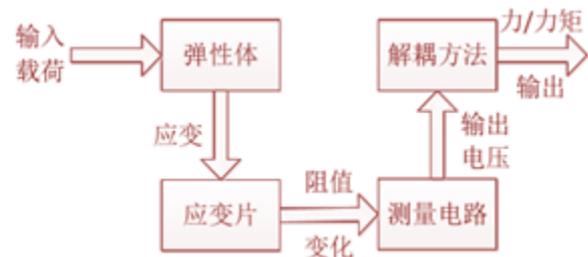
压电式传感器：将被测物理量变化转换成压电材料因受机械力产生静电电荷或电压变化的传感器，可分为电容和压电两种，电容是通过极距的变化导致电压变化，压电则是通过形变改变电荷。

图 6：六维力和力矩传感器常见原理



数据来源：ATI，西南证券整理

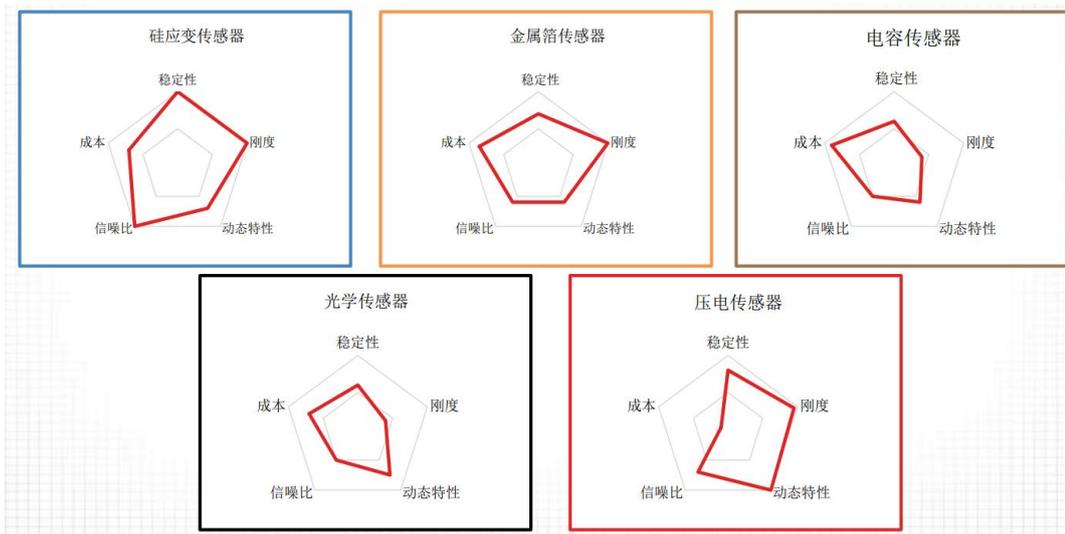
图 7：电阻应变式六维力传感器力/力矩信息检测原理



数据来源：ATI，西南证券整理

经过稳定性、刚度、动态特性、成本与信噪比五个维度的比较可知，硅应变传感器和金属箔传感器之间，硅应变片在稳定性、信噪比以及动态特性方面要更优，两者刚度上相差不多，但成本上金属箔要优于硅应变片；电容传感器和压电传感器之间，电容传感器成本最优，其他几项弱于压电传感器；光学传感器在动态特性方便明显具有优势。

图 8：不同原理六维力和力矩传感器比较



数据来源：ATI，西南证券整理

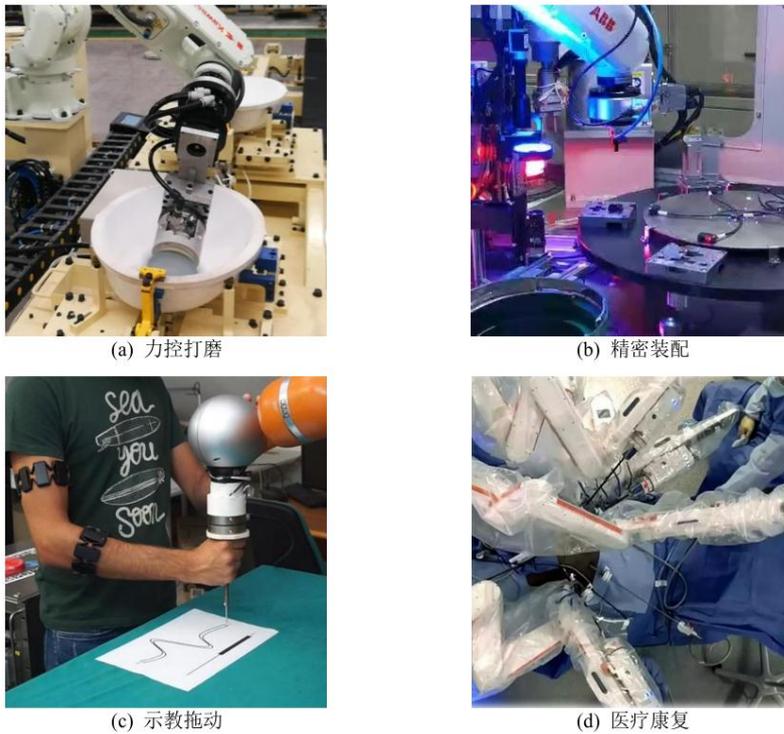
表 1：不同类型六维力/力矩传感器原理、特点及代表企业

传感元件类型	原理及特点	代表企业
应变片式	通常采用硅应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化	ATI、宇立仪器、坤维科技、鑫精诚传感器、海伯森、神源生智能、Sintokogio、Bota Systems AG、SCHUNK、ME-Meßsysteme GmbH、埃力智能
光学式	通过光纤反映形变，再转化成为力	OnRobot
压电/电容式	电容是通过极距的变化导致电压变化，压电则是通过形变改变电荷	Robotiq、Robotous、WACOH-TECH、Kistler

数据来源：GGII，西南证券整理

多维力传感器在机器人领域应用广泛，包括力控打磨、精密装配、示教拖动、医疗康复等。例如：1) 将多维力传感器应用于机械臂力控打磨卫浴中，在卫浴表面的不规则曲线进行打磨的过程中，实时感知各个角度的力度信息，确保打磨后的表面光滑。2) 将机械臂应用于紧密的机械装配，减少传统机械臂上无力觉反馈时系统的复杂度，提高装配的成功率。3) 在人机交互中，多维力传感器帮助感知操作时力的方向，协助机械臂与人之间的示教拖动。4) 在医疗领域，将多维力传感器配合医疗机械手臂，用于精密的远程医疗手术操作。

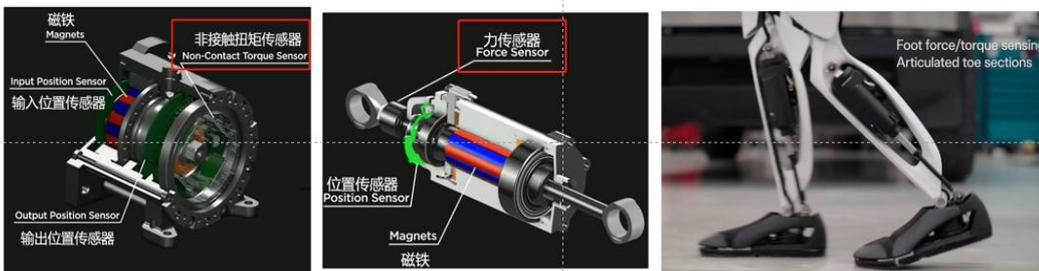
图 9：多维力传感器在机器人上的应用



数据来源：知网，西南证券整理

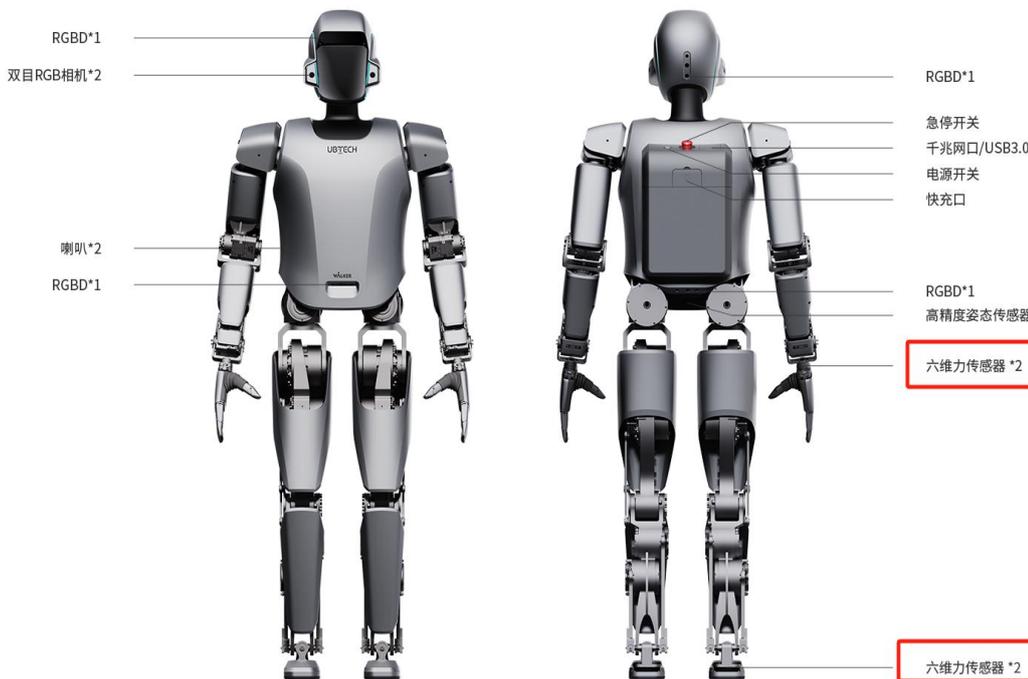
特斯拉人形机器人 **Optimus** 使用扭矩传感器、单向力传感器以及六维力传感器。2021 年 8 月，马斯克首次发布特斯拉人形机器人（Tesla Bot）计划，代号“擎天柱”（Optimus）。Optimus 关节内部使用旋转执行器和线性执行器两种方案，其中旋转执行器使用扭矩传感器（×12），线性执行器使用单向力传感器（×14），此外，在手腕和脚腕关节使用六维力传感器（×4）。

图 10：Optimus 使用扭矩传感器、单向力传感器以及六维力传感器



数据来源：特斯拉，西南证券整理

图 11：优必选 Walker S1 使用 4 个六维力传感器



数据来源：优必选，西南证券整理

预计机器人力控的最佳方案为，每个关节使用 1 个力传感器，其中旋转关节使用扭矩传感器，线性关节使用单向力传感器，机器人的手腕、脚踝各 2 个六维力传感器。由于手部需要和外界进行交互执行工作任务，脚步需要感知复杂的地面进行行走，所以需要感知的力较为复杂，而关节需要感知的力较为简单。

100 万台人形机器人力传感器市场空间测算：1) **扭矩传感器**：单台机器人扭矩传感器数量为 12 个，假设 100 万台人形机器人对应的单价为 250 元，对应的市场空间为 30 亿元。2) **单向力传感器**：单台机器人丝杠数量为 14 个，假设 100 万台人形机器人对应的单价为 200 元，对应的市场空间为 28 亿元。3) **六维力传感器**：单台机器人六维力传感器数量为 4 个，假设 100 万台人形机器人对应的单价为 2000 元，对应的市场空间为 80 亿元。

表 2：特斯拉人形机器人 Optimus 力传感器市场空间测算

		5 万台人形机器人	10 万台人形机器人	50 万台人形机器人	100 万台人形机器人
扭矩传感器 市场空间测算	单价 (元)	800	600	400	250
	单台机器人扭矩传感器数量 (个)	12	12	12	12
	市场空间 (亿元)	5	7	24	30
单向力传感器 市场空间测算	单价 (元)	600	400	300	200
	单台机器人单向力传感器数量 (个)	14	14	14	14
	市场空间 (亿元)	4	6	21	28
六维力传感器 市场空间测算	单价 (元)	5000	4000	3000	2000
	单台机器人六维力传感器数量 (个)	4	4	4	4
	市场空间 (亿元)	10	16	60	80

数据来源：特斯拉 AI DAY，西南证券整理

2.2 六维力传感器技术壁垒高，传感器解耦为难点

六维力传感器在航天航空、汽车测试、生物力学和机器人领域都有应用。六维力测量的需求最早来自航空航天飞行器研究领域，安装在飞行器内部的六维力传感器用来测量飞行器的空气动力学特性，后来逐渐应用到汽车测试、生物力学和机器人等领域。

表 3：六维力矩传感器应用广泛

领域	具体应用
航空航天	2012 年 5 月，国际空间站两名宇航员操纵空间站外 18 米长大型机械臂抓住美国 SpaceX 公司研发的无人驾驶飞船——“Dragon”，实现了二者对接。在此机械臂的末端安装了美国航空航天局 NASA 投入巨资研制的六维力传感器。在 2011 年神州八号与天宫一号对接过程中也使用了六维力传感器。
汽车测试	多维车轮力传感器能够测量车轮在运动中所受的各维力和力矩，从而可以得到汽车在行驶过程中的受力情况，进而能够分析汽车的整体和局部性能，所以车轮力传感器是汽车道路试验系统中必不可少的核心部件。
生物力学	德国宇航中心 Seibold 等开发了一种用于微创外科手术的弹性关节 Stewart 六维力传感器。Puangmali 等提出了一种微型三轴远端力传感器，可与腹腔镜兼容，用于组织触诊，测量组织与手术器械尖端的相互作用力。该传感器的结构。韩国科学技术院 Hoseok 等设计了光纤光栅三维力传感器用于微创手术中。
机器人	装有力、力矩、视觉、触觉、光、声音和其它认知传感器的机器人可以学习外部环境，完成一系列复杂任务。在所有机器人传感器中，力传感器是最基本的一种，也是不可或缺的一种，主要用于机器人手腕、手爪、手指等的研究。

数据来源：《多维力传感器的静态性能研究_付立悦》，西南证券整理

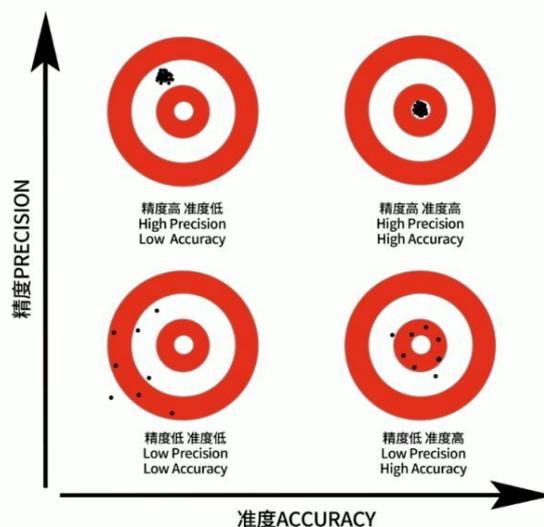
六维力传感器的重要指标包括：

串扰：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。

精度：衡量测量结果之间的重复性。精度标定方法：在相同环境条件下，在额定载荷范围内，多次多方向联合加载相同一组载荷，计算得到的传感器测量值的标准差，并除以量程。

准度：衡量测量结果与理论真值的偏离程度。准度标定方法：对传感器进行多次多方向联合加载，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。

图 12：六维传感器的精度和准度



数据来源：坤维科技，西南证券整理

传感器的技术壁垒之一：结构设计，具体又包括弹性体结构设计和应变片粘贴位置。

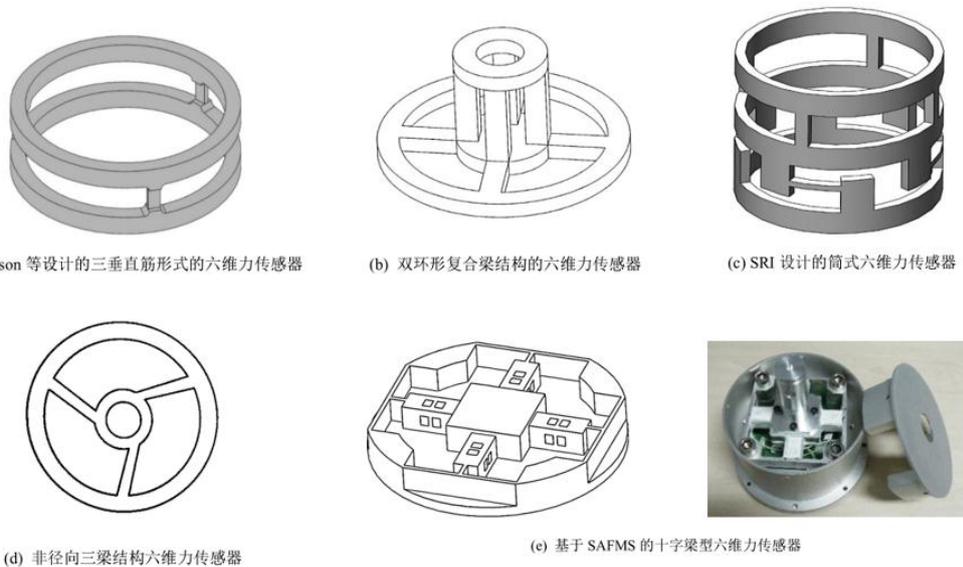
电阻应变式传感器主要由电阻应变片、弹性体以及测量电路组成。其中最核心的元件是弹性体，利用弹性体来感知作用在装置上的力/力矩，所以对于弹性体的优化设计直接关系传感器的性能，弹性体材料和结构尺寸变化都会对传感器性能产生一定影响。应用比较广泛的弹性体结构主要有一体化结构和 Stewart 并联结构两种，其中一体化结构又包括竖梁式、横梁式、十字梁式、圆柱式等。

表 4：不同弹性体结构的力/力矩传感器的特性比较

机械结构	优点	缺点
竖梁	承载能力强，结构简单，横向效应和抗冲击性能好	纵向灵敏度低，维间耦合严重
圆筒式弹性梁	耦合小	刚度差
十字弹性梁	高对称性，结构紧凑，刚度大，易加工，由于柔性连接简化了力学模型	存在维间耦合和径向效应
非径向梁式	刚度大	输出为强非线性
复合梁型	可实现无耦合测量	结构复杂，受加工和装配精度的影响大
Stewart 并联结构	刚度大，稳定性好，负载能力大	较难实现力和力矩的各向同性，仅适用于静态力/力矩的测量

数据来源：《多维力传感器的静态性能研究_付立悦》，西南证券整理

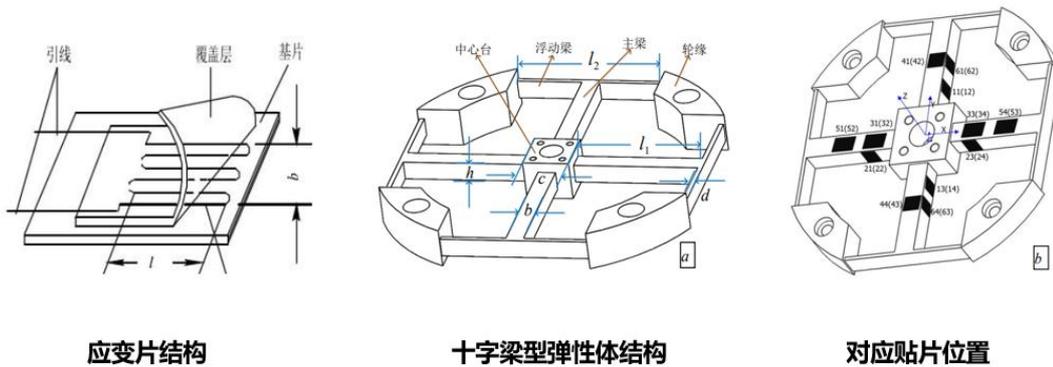
图 13：不同结构的弹性体结构



数据来源：《多维力传感器的静态性能研究_付立悦》，西南证券整理

应变片的粘贴位置也会对传感器的精度产生影响。例如目前已较成熟的十字梁型弹性体结构，这种弹性体结构包括了四个主梁、八个浮动梁、中心台、轮缘等。在每个主梁的正反面及两个侧面各贴有一个或两个应变片，共 24 个应变片，由于六维力传感器弹性体尺寸较小，贴片位置有限，应变片尺寸受到加工工艺的约束，并且应变片的粘贴为纯手工粘贴，不可避免会有误差，进而对传感器精度产生影响。

图 14：应变片的粘贴位置也会对传感器的精度产生影响



应变片结构

十字梁型弹性体结构

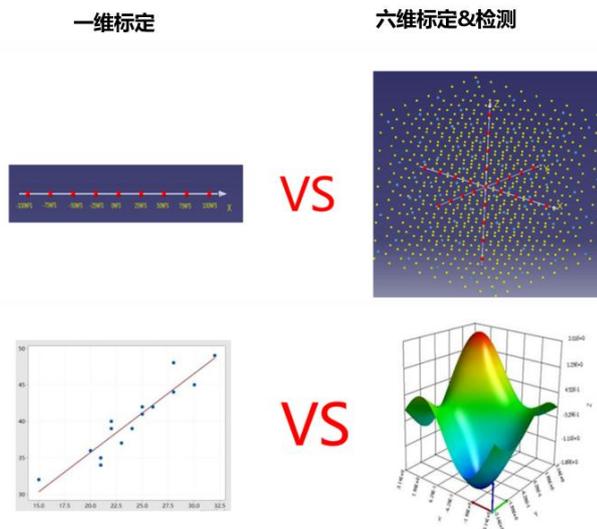
对应贴片位置

数据来源：《多维力传感器的静态性能研究_付立悦》，西南证券整理

传感器技术壁垒之二：标定系统精度。“标定”是建立传感器原始信号和受力之间的映射关系，是传感器研发过程的核心环节。首先，传感器的输入量（六维力向量的大小和方向）和输出量（各路输出电压值）之间的关系，需要通过标定实验的数据获得；此外，多维力传感器的每一维度输出的电压信号不仅受该维度方向力的作用影响，还会受到其他维度受力的影响，这种耦合电压称为维间耦合，会影响传感器的精度，标定实验的数据既为耦合误差模型的建立提供了依据，又为解耦算法提供了实验数据。

六维力传感器非线性特性显著。六维联合加载标定是指采用三个方向的力和三个方向的力矩同时加载。例如一维拉压力传感器，在 X 轴方向按 $\pm 25\%FS$ 、 $\pm 50\%FS$ 、 $\pm 75\%FS$ 和 $\pm 100\%FS$ 四个阶梯对传感器进行精确加载标定只需要 9 个样本点来标定，同样是每个维度取 9 个样本点，六维力传感器的样本空间包含 531441 个样本点。这种六维联合加载标定的优势在于：1) 交叉样本点可以使传感器的受力情况模拟得非常接近真实的使用情况；2) 便于考察传感器在多维载荷同时作用下的非线性力学特性，可以有效改善传感器结构的设计；3) 基于传感器的非线性力学特性做的标定，可以大幅优化解耦算法的数学模型。

图 15：一维标定和六维标定的区别



数据来源：坤维科技，西南证券整理

六维联合加载设备能够实现高精度六维力传感器标定和检测。六维联合加载设备可以对力觉传感器实现正交三个方向力和三个方向力矩的同时精确加载，有助于传感器实现较高的精度和准确度。六维联合加载设备目前还没有标准产品可以直接采购，一般都是由六维力传感器的厂商自行研制，而六维联合加载设备的研发涉及到空间光学定位、载荷位移补偿、机电一体化等多项综合技术，涉及上百个 Know-how，非常依赖工程经验。

图 16：不同国家的六维力传感器标定及检测设备



数据来源：坤维科技，西南证券整理

传感器的技术壁垒之三：解耦和补偿算法。六维传感器的静态和动态解耦算法以及动态补偿算法为一大难点。由于传感器结构本身引入的耦合、机械加工误差、应变片粘贴误差等原因，会产生传感器的维间耦合，又分为静态耦合和动态耦合，维间耦合是限制多维力传感器的最大障碍。消除或者减少维间耦合需要通过解耦算法来实现，具体包括最小二乘法、神经网络法等。一般对传感器输出信号进行静态解耦，再进行动态解耦，此外还要对传感器的输出信号进行修正，即对解耦后的信号进行动态补偿。

2.3 机器人力控落地仍有较多痛点，国产企业迎发展机遇

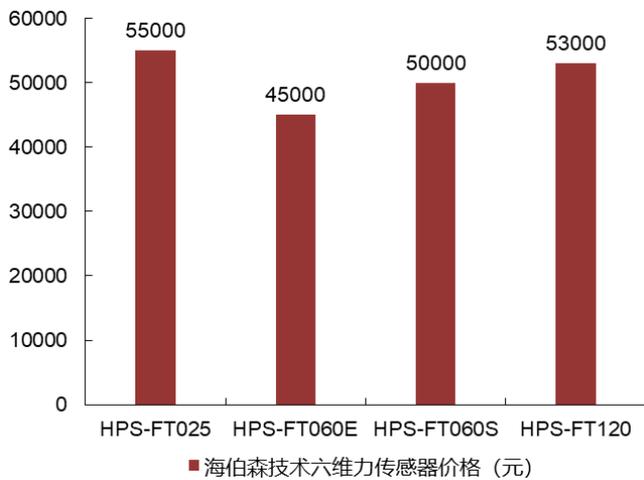
根据《力控技术在机器人系统中的应用_段晋军》，机器人力觉落地的市场痛点主要包括：

1) 力觉感知层面：多维力传感器价格较高，并且国内企业缺少核心技术算法。

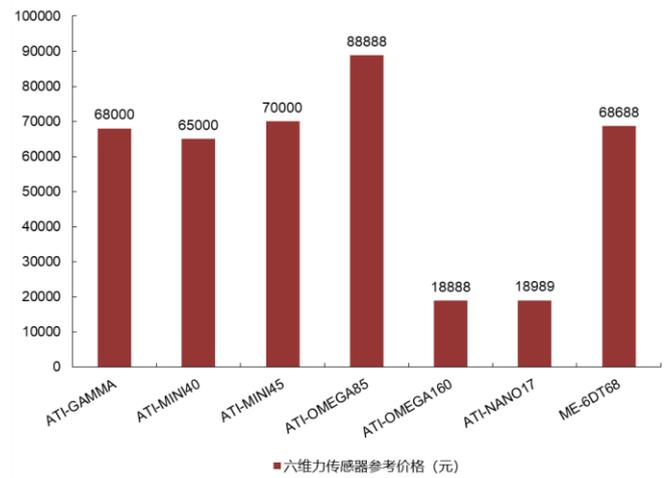
- 多维力传感器国外产品价格高，且与国外机械臂进行方案捆绑销售。美国 ATI 型号为 MINI45 六维力/力矩传感器价格约 7 万元/套，而一套普通的六轴机械臂价格在 10 万元左右。
- 国内传感器技术仍多用于军工/航天领域，未形成较大应用市场。根据 GGII，2022 年中国市场六维力/力矩传感器销量 8360 套，其中机器人行业销量 4840 套，同比增长 63%。
- 缺少重力/惯性力补偿、振动抑制等核心算法，掌握力控核心技术的高校和企业极少，能将力控技术落地、产业化并融入到现有生态链的高科技企业屈指可数。

2) 执行机构层面：力控功能有限，和机器人系统的整合存在难点。国外机器人控制器大部分不免费开放底层接口；成熟 KUKA/ABB 力控包价格高昂，运动指令功能有限，无法配合传感器实现实时力控；极少机器人控制器包含力控指令（KUKA、ABB 和珞石等），现有力控指令不足以支撑复杂的工艺要求。

以上工业机器人力觉感知和执行机构层面的痛点同样适用于人形机器人领域。并且人形机器人领域的力控具有更高的复杂性和不确定性，为相关硬件和软件厂商带来更多的挑战。

图 17：海伯森技术六维力传感器的价格情况


数据来源：淘宝店铺—海伯森技术，西南证券整理

图 18：六维力传感器的价格是制约应用的重要因素


数据来源：机电之家，西南证券整理

我国六维力传感器厂商与外资主流传感器仍存在差距，整体仍未出现龙头。国产六维力/力矩传感器厂商包括宇立仪器、坤维科技、鑫精诚等，和外资主流传感器在灵敏度、串扰、抗过载能力及维间耦合误差等方面仍存在差距。未来随着人形机器人行业的快速起量，国产企业有望迎来快速发展。

表 5：国内外六维力/力矩传感器主要生产商

地区	主要生产商	现状
日韩	Robotous、Sintokogio、WACOH-TECH、Aidin Robotics	日韩地区六维力/力矩传感器厂商主要配套当地机器人本体厂商，其中，韩国企业 Robotous、Aidin Robotics 主要合作厂商包括 Doosan Robotics、Neuromeka 和 Rainbow Robotics；日本企业 Sintokogio 和 WACOH-TECH 主要合作厂商包括发那科、电装、三菱、那智不二越、安川等。
欧美	ATI、OnRobot、SCHUNK、Robotiq、Bota Systems AG、Nordbo Robotics、ME-Meßsysteme GmbH、AMTI、Kistler	欧美地区六维力/力矩传感器厂商可分为两类：一类是传统的传感器生产商，包括 ATI、Bota Systems AG、ME-Meßsysteme GmbH、AMTI、Kistler 等；另一类是全球知名的机器人末端工具生产商，主要有 SCHUNK、OnRobot、Robotiq 等，欧美地区厂商合作企业以协作机器人本体厂商为主，主要包括优傲机器人、达明机器人和欧姆龙等。
中国	坤维科技、宇立仪器、鑫精诚、海伯森、蓝点触控、神源生智能、瑞尔特测控、重庆鲁班机器人技术研究院、昊志机电、埃力智能等	国产六维力/力矩传感器与外资主流传感器在灵敏度、串扰、抗过载能力及维间耦合误差等方面仍存在差距。宇立仪器、坤维科技、鑫精诚、海伯森、蓝点触控、神源生智能、瑞尔特测控等，均已有相关的产品落地并进入产业化应用。其他厂商如重庆鲁班机器人技术研究院、昊志机电、埃力智能等，通过自主研发力传感器技术，已经具备六维力/力矩传感器的生产能力，部分产品型号开始进入下游用户的验证测试阶段。

数据来源：GGII，西南证券整理

ATI：是世界领先的机器人附属产品和机械手臂末端工具的工程研发公司。ATI 与 FANUC、KUKA、ABB YASKAWA、NACHI、UR、TM、发动机、电池制造、医疗、AUBO 等各类品牌机器人长期深入合作。六维力传感器全球市占率第一。

坤维科技：主营产品为多维力传感器，公司核心创始团队均来自航天十一院（中国航天空气动力技术研究院），六维力传感器技术最开始应用在火箭、导弹等高速飞行器的空气动力学性能参数测试。在协作机器人六维力传感器领域，公司市场占有率超过 80%。公司六维力传感器主攻协作机器人、服务机器人及人形机器人市场，同时拓展医疗市场和运动健康市场。

宇立仪器：主营产品覆盖一维力传感器到六维力传感器，共计 9 大系列，300 多个型号。公司以汽车碰撞假人领域起家，2007 年公司成为我国为数不多具有汽车碰撞假人多轴力传感器生产能力的企业，与上汽、大众等车企合作。目前公司六维力传感器已拓展到机器人打磨领域，与 ABB 公司合作研发了十大系列的六轴力传感器和智能浮动磨头。

海伯森技术：主营产品包括 3D 闪测、高速工业相机等多类型的视觉传感器和六维力传感器。其视觉传感器产品销售占比较多，六维力传感器产品的销售仅占总销售量的 15% 左右。公司六维力传感器的下游市场涵盖 3C 电子、工业自动化、精密工件检测、医疗、科研等行业。

3 电子皮肤：具备物理柔性与仿生特性，实现触觉感知

3.1 电子皮肤：一种仿人类触觉感知功能的柔性电子器件

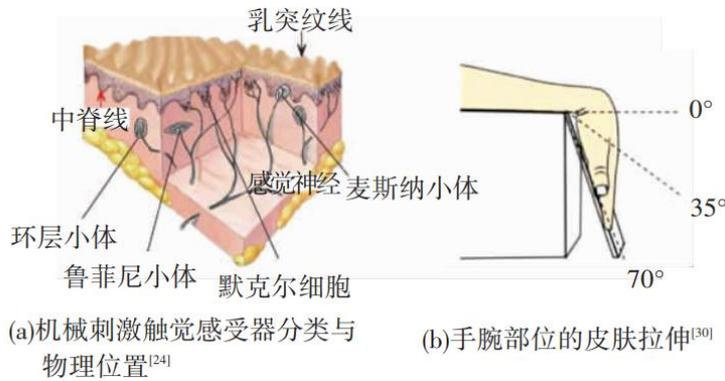
人体皮肤的传感功能由皮肤中的感知器实现。人体皮肤中含有多种机械感知器可以感受外界压力信息并产生神经冲动传递给大脑皮层，形成压力刺激的感觉。皮肤中的机械感知器主要有 4 种：1) 位于表层皮肤的迈斯纳小体；2) 位于皮肤深层的环层小体；3) 位于全身表皮基底细胞之间的默克尔细胞；4) 位于真皮内鲁的菲尼小体。人类的皮肤不仅具有高柔性，而且具有高弹性，研究表明：人的手腕处的皮肤可拉伸性和弹性最高，弯曲时的最大拉伸率可达 20.4%。

表 6：人的皮肤的触觉能力与相应机理

所处的物理位置	感受器	可感受外界刺激范围	可实现的感觉功能	空间分辨率
表层皮肤	迈斯纳小体	3-40 Hz 低频动态范围	低频振动、运动检测与握力控制等	3-4mm
皮肤深层	环层小体	40-500+Hz 高频动态范围	高频振动和工具使用等	7mm
全身表皮基底细胞之间	默克尔细胞	0.4-3Hz 低频动态范围的空间变形、持续的压力，曲面、边缘甚或尖角等	模式/形态检测与纹理感知等	0.5mm
真皮内	鲁菲尼小体	100-500+Hz 高频动态范围下持续向下的压力、横向皮肤拉伸和皮肤滑动等	手指位置、稳定抓取、切向力和运动方向等	10mm

数据来源：《电子皮肤触觉传感器研究进展与发展趋势_曹建国》，西南证券整理

图 19：人体皮肤的传感功能由皮肤中的感知器实现



数据来源：《电子皮肤触觉传感器研究进展与发展趋势_曹建国》，西南证券整理

电子皮肤即柔性仿生触觉传感器，是一种能够实现仿人类触觉感知功能的柔性电子器件，具备物理柔性和仿生特性。触觉感知是人体皮肤最基本的功能之一，使人体能够感受到接触物体的形状尺寸、温度、质地等特性。电子皮肤能够模拟人体皮肤的多维信息感知功能，在可穿戴电子、健康医疗监测、智能机器人、智能假肢等领域都有广阔的应用前景。在机器人领域，电子皮肤可用于机器人全身包括肩部、肘关节、膝关节、手部等部位，帮助机器人实现对外界物体的检测与识别，如与操作物体间接触力的大小，操作对象表面的特性等。早期研制的压力触觉传感器大部分采用硅为主要材料，通过微机电系统（MEMS）技术实现微小阵列的制作，其优点是体积小，成本低，但这种硅微型压力传感器难以满足大面积覆盖的柔性化和可扩展性要求，而电子皮肤具备物理柔性和仿生特性，帮助机器人感知周围环境，更好与外界进行交互，使得机器人更加“类人”与智能化。

图 20：柔性压力传感器图示



数据来源：苏州能斯达官网，西南证券整理

2003年美国MIT研制的“电子皮肤”应用于美国NASA的宇航员机器人Robonaut的前臂、肩部和躯干上进行触觉感知。2005年日本早稻田大学Iwata课题组采用柔性皮肤代替硬质皮肤的触觉传感器厚度为3mm，肩和臂部空间分辨率为20mm，分布于WENDY机器人全身，识别人机交互。

图 21：安装触觉皮肤的 NASA 宇航员机器人 Robonaut



数据来源：《机器人触觉传感器发展概述_宋爱国》，西南证券整理

图 22：覆盖了触觉皮肤的 Wendy 机器人



数据来源：《机器人触觉传感器发展概述_宋爱国》，西南证券整理

特斯拉人形机器人 Optimus 手指使用触觉传感器。2023 年 12 月马斯克在 Twitter 放出人形机器人 Optimus 最新视频,相较于 3 月的 Gen-1 版本,此次 Gen-2 版本外观有所改动,动作也更加流畅。主要变化包括: 1) 脖子上增加 2 个自由度; 2) 行走速度提升 30%; 3) 不牺牲性能前提下重量减少 10kg; 4) 手部每个手指增加了触觉传感器(机器人能够实现二指捏鸡蛋); 5) 脚腕增加六维力矩传感器。

图 23：Optimus 手指使用触觉传感器



数据来源：特斯拉，西南证券整理

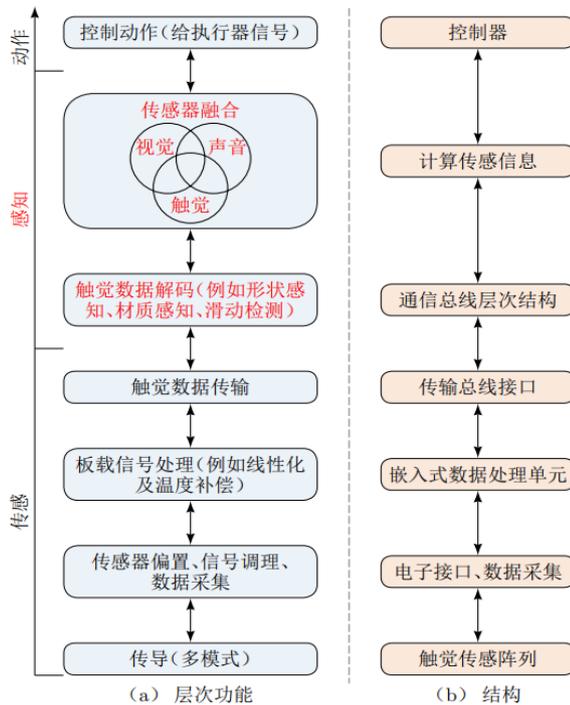
一个机器人的感知 - 控制 - 执行架构系统: (a) 为触觉感知过程,被划分为功能块,传感过程、感知和控制动作描述处于不同的层次。(b) 为这些功能块对应的硬件结构块。

传感层: 将外部刺激(如压力、振动和热刺激)转化为触觉传感器传感元件的变化。使用嵌入式数据处理单元收集、调整和处理这些数据,然后将其传输到更高的感知层。

感知层: 任务是构建一个模型,用于感知交互对象的形状和材料属性等特性。在感知阶段,触觉还可能与视觉、听觉等其他感知方式融合。

执行层: 机器人根据融合数据执行控制命令,并使用控制器完成动作。

图 24：机器人触觉传感系统的层次功能和结构框图



数据来源：《触觉传感器与电子皮肤研究进展_朱盛鼎》，西南证券整理

3.2 触觉传感器按原理分为压阻式、电容式、压电式、光学式

压阻式触觉传感器：1) **原理：**利用压阻效应制备的传感器。压阻效应是指压阻材料受到应力时，其内部电阻率发生变化，采集电路通过将电阻的变化转化为便于测量的电信号来检测传感器的受力大小。2) **优点：**具有信号采集方便、鲁棒性好、负载能力强等优点，能够借助相应 MEMS 技术实际较为密集的排布，达到良好的空间分辨率，体积小，集成度高，成本低。3) **缺点：**迟滞性较大，不利于快速响应，并且其温漂大，线性度也较差，无法直接精准测量切向力。

电容式触觉传感器：1) **原理：**当电容式触觉传感器受到法向力时，其上下电极板的间距发生改变，导致传感器的电容值发生变化；当传感器受到切向力时，上下电极的重合面积发生变化，也会导致传感器的电容值发生变化。便于测量三维力的大小。2) **优点：**灵敏度与空间分辨率高，响应幅度宽，能够衍生为接近传感器的应用。3) **缺点：**易受电气干扰的影响。

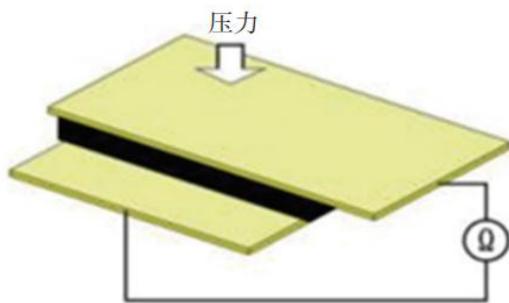
压电式触觉传感器：1) **原理：**是一种基于压电效应的传感器。压电效应指当压电敏感材料受到外部压力载荷时，在压敏材料的两个背面会产生符号相反的两种电荷，撤掉外力时，又会恢复到初始不带电状态。将压电式触觉传感器连接到电荷放大器和测量电路上，采集其与所受外力相关的电信号，从而实现触觉检测。2) **优点：**是一种自发电和机电转换传感器，不需要外部电源，因此这种传感器更便于携带，且其材料刚度高，线性度好，响应灵敏。3) **缺点：**易受噪声干扰，其介电性会受温度影响；较难对切向力进行直接的定量测量。

光电式柔性触觉传感器：1) **原理：**将传感器所受压力映射为光信号强度、波长等性质的变化，通过检测光学信号来检测传感器所受压力。光学式触觉传感器所依赖的传感原理包括光强调制、光纤布拉格光栅（FBG）技术和干涉测量检测，前两种传感原理已得到广泛应用。2) **优点：**分辨率高，无电气干扰的问题；有一定的切向力表征能力。3) **缺点：**容易受到温度影响，且光纤的微弯曲会导致光损失，分析触觉信息的计算方法复杂。

一种典型的压阻式触觉传感器结构为电极层-中间传感层-电极层的“三明治式”夹层结构。传感单元的上、下两层是连接外接引线的电极层，中间是具有压阻特性的敏感材料，整个传感单元的作用是将感受到的外界压力转换为电阻变化量，通过后续信号处理电路根据检测到的电信号反求出所受压力，从而达到压力检测的目的。

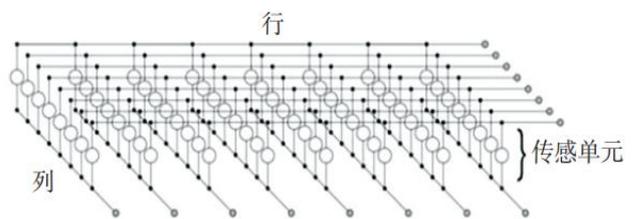
传感单元阵列化能够满足大面积覆盖的需求。单个传感单元检测到的压力信息非常有限，无法满足大面积测量的需求，因此需要将传感单元阵列化，以获得足够的压力信息，传感单元阵列化的方式较多，最经典的是采用行、列电极的结构形式，将压阻材料置于上、下垂直的两组平行电极之间，行、列电极的每个交叉点与压阻材料接触形成传感单元，大量排列有序的传感单元就形成了传感器阵列。根据传感单元受力的位置信息，可进一步得到接触物体的轮廓信息，在传感阵列中单位面积内传感单元数量越多，即传感阵列分辨率越高，获得的物体轮廓信息越准确。

图 25：传感单元示意图



数据来源：《高柔弹性电子皮肤压力触觉传感器的研究_周建辉》，西南证券整理

图 26：传感器阵列的行、列电极结构



数据来源：《高柔弹性电子皮肤压力触觉传感器的研究_周建辉》，西南证券整理

3.3 制备柔性触觉传感器核心：材料选择、结构设计、制造工艺

制备阵列触觉传感器柔性化核心在于材料选择、结构设计、制造工艺。

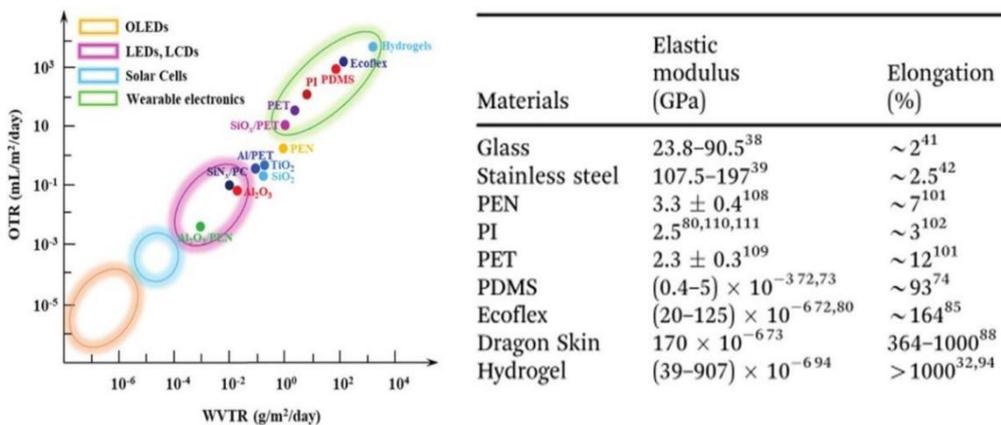
1) 材料的柔韧性、可拉伸性、高弹性是制备柔性触觉传感器的关键。具有优良电学和力学性能的软体功能材料是触觉皮肤研究的基础和核心。电子皮肤的材料主要取决于：

基底材料：基底材料是决定柔性触觉传感器弹性形变性能的关键因素。传统的电子传感器通常以硅或氧化硅等作为衬底材料，而柔性电子皮肤需要基底材料具有高柔韧性。常用的柔性基底材料包括：PDMS（聚二甲基硅氧烷）、PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）、PI（聚酰亚胺）、PE（聚乙烯）、PU（聚氨酯）、水凝胶等。

活性层材料：具有优异的机械性能和电子特性的活性材料是决定柔性触觉传感器灵敏度等性能的关键。常见的活性层材料可分为：自身具有高导电能力材料和高弹性导电复合材料，在不同的制备条件和制备工艺下，由各种类型活性材料制备的柔性应变传感器通常表现出不同的敏感性能。石墨烯、碳纳米管、导电高分子、离子导体、金属纳米材料等具有较高的导电性，常用于柔性触觉传感器的活性层。

电极材料：电极材料也是影响器件灵敏度和稳定性的重要因素。例如，在外力作用下，压阻式触觉传感器的电极与电极之间以及电极与活性层之间的接触电阻发生变化，并产生输出信号，所以触觉传感器电极通常选用具有优异导电性能和机械性能的石墨烯、碳纳米管等碳材料以及柔性复合材料。

图 27：各种常见柔性材料的性能对比图



数据来源：《触觉传感器与电子皮肤研究进展_朱盛鼎》，西南证券整理

2) 除了材料，还可以通过不同的结构以实现柔弹性，如多层网状阵列式结构和单层阵列式结构，基于“多孔 PDMS”设计了新型多层“三明治”结构和空心球微结构等。

3) 高灵敏度电子皮肤触觉传感器的制作通常涉及聚合物微加工、氧等离子体处理、电子束蒸镀、磁控溅射等复杂的工艺和技术，相应的设备价格高昂；另外制作电子皮肤触觉传感器的材料普遍比较昂贵，因而成本较高，这些限制了电子皮肤触觉传感器的大批量生产。

近年来聚合物微机械加工新工艺等新型制作方法和 3D 打印技术逐步兴起，在部分领域颠覆了传统的设计和制造方式，为电子皮肤触觉传感器的柔弹性的实现创造了新的可能：哈佛大学的 Muth 等（2014）利用 3D 打印技术，将特殊导电材料注入高分子弹性材料中，制作了拉伸率达到 400% 的应变式触觉传感器；早稻田大学 Pu 等（2014）利用二氧化钼特有的大带隙、高有效载流子迁移率及高机械强度的特点，并结合化学汽相沉积法制作了柔弹性薄膜晶体管，可用于制作电子皮肤触觉传感器与可穿戴计算机等柔弹性要求较高的电子元器件；Zucca 等（2015）基于卷对卷加工技术开发了具有超顺应性的导电聚合物纳米薄膜。

测算 100 万台人形机器人对应电子皮肤的市场需求为 100 亿元。由于未来机器人要和人实现接触和互动，除了手部，在肩膀、手肘、前后背部也可能覆盖电子皮肤。皮肤是人体面积最大的器官，一个成年人的皮肤展开面积约 2 平方米。假设未来机器人大概 1/100 的面积需要覆盖电子皮肤，即大概有 200 平方厘米，假设每平方厘米的电子皮肤价格为 50 元，则 100 万台人形机器人对应的电子皮肤市场空间为 100 万台机器人*200 平方厘米/台机器人*50 元/平方厘米=100 亿元。

国外做电子皮肤或者触觉传感器的领先企业包括 Tekscan, Pressure Profile Systems, Sensor Products Inc., Weiss Robotics, SynTouch, Tacterion GmbH 等, 这些公司占据市场的主要份额, 国内包括帕西尼感知科技、力感科技、他山科技、墨现科技、能斯达等等, 均处于早期。

表 7: 国内做电子皮肤或者触觉传感器标的

公司	公司介绍
帕西尼感知科技	成立于 2021 年, 产品线覆盖从“传感器核心零部件”到“人形机器人整机”全链路环节, 并已实现批量商业级交付。公司研发制造的多维度触觉传感器 PX-6AX、消费级触觉传感器 PX-3A、触觉灵巧手 DEXH5 等, 广泛应用于智能制造、医疗康养、工业生产、消费电子等领域。
力感科技	成立于 2016 年, 公司与中科院先进技术研究院深度合作, 自主研发、生产和销售柔性传感器。通过整合传感器、软件和算法, 提供力感应解决方案, 其产品主要应用于智慧养老、汽车、医疗设备、智能硬件和保健康复等领域。
他山科技	成立于 2017 年, 是一家人工智能触觉传感芯片及应用解决方案研发商。公司专注于人工智能触觉感知领域, 拥有全球领先的 AI 触感知专用芯片及触觉感知算法。目前首款芯片已完成流片, 该芯片也是全球首款人工智能触感专用芯片, 该芯片不仅应用在了机器人灵巧指尖, 还用在了汽车、家电等行业。
墨现科技	成立于 2021 年, 是一家触觉类传感器领域的科技企业。公司现已实现了功能性与可靠性完全解耦的逾渗式压力传感器量产方案, 其全新推出的 FLX 系列柔性薄膜压力传感器, 能够同时满足高可靠性、低触发力度、大量程、低成本的需求。
能斯达	成立于 2013 年, 公司专注于柔性电子技术的研发与创新, 现已掌握柔性触觉传感四大核心技术, 确立了柔性压力传感器、柔性压电传感器、柔性织物、柔性电容传感器等四大产品系列, 并实现了柔性微纳传感器在智能机器人、消费电子、汽车电子等战略新兴产业中的批量生产和应用。
华威科	成立于 2011 年, 是湖北省专精特新中小企业。公司由中国科学院能伦院士发起成立, 致力于为行业提供领先的智能感知技术、产品与解决方案。目前, 华威科已开发出灵巧手感知、智能皮肤等多款触觉产品, 并已协同多家人形机器人行业龙头企业开发, 实现小批量出货。

数据来源: GGII, 西南证券整理

4 关注布局机器人传感器领域的公司

(1) 柯力传感: 应变式称重传感器龙头, 积极布局机器人领域

公司为应变式称重传感器龙头, 开启单一称重传感器向多物理量转型的道路。公司主业为应变式称重传感器, 应变式称重传感器市场空间 20-30 亿, 公司在市占率 30% 以上。2023 年公司通过外延并购开启单一称重传感器向多物理量转型的道路, 控股公司包括: 1) 柯力三电: 主业为电量传感器; 2) 宁波东方之光: 主业为光纤测温; 3) 华虹科技: 主业为煤矿物联网; 4) 珠海德科: 主业为自动化改造。

公司在力传感器产品有一定技术积累, 积极布局机器人领域。过去几年, 公司在微型测力传感器、扭矩传感器、多维力传感器(包括二维力、三维力、六维力)等领域进行了小批量试制, 主要用于机器手臂运动与工作载荷监测、曲面研磨抛光、加工中心精雕加工、医疗设备精密测控等。公司积极布局机器人传感器领域, 已经进行了多款扭矩传感器、多维力传感器等产品的送样和试制。

（2）东华测试：国内结构力学测试领先，力传感器技术储备深厚

公司拥有结构力学性能测试分析系统、结构安全在线监测及防务装备 PHM 系统、基于 PHM 的设备智能维保管理平台、电化学工作站四大类产品线，包含传感器、测控系统硬件和分析与控制软件平台，应用于航天航空、车辆船舶、土木建筑、工程机械等领域。

公司传感器矩阵丰富，机器人领域打开成长空间。公司传感器系列涵盖加速度传感器、速度传感器、位移传感器、应变传感器、压力传感器、光纤传感器、轴功率传感器等。公司凭借公司在军工领域的技术优势，有望在机器人领域取得突破。

（3）安培龙：温度及压力传感器领军者，六维力传感器取得多项专利

公司主要产品包括热敏电阻及温度传感器、压力传感器、氧传感器，下游包括汽车、家电等领域，其中压力传感器包括陶瓷电容式压力传感器、MEMS 压力传感器以及玻璃微熔压力传感器，随着新客户的拓展以及现有客户渗透率的提升，公司主业有望迎来快速发展。

公司前瞻性布局力传感器领域，用于机器人领域的力矩传感器产品已接到小批量订单，正在有序交付验证中，六维力传感器目前正处于客户技术交流及研发关键阶段，并且取得多项专利。

（4）汉威科技：国内气体传感器龙头，电子皮肤未来可期

公司是国内气体传感器龙头，气体传感器下游布局安全和环保，拓展汽车、家电等领域；2021 年出台的《新安全生产法》推动燃气报警器渗透率提升，公司智能仪表业务迎来快速增长，2022 年营收增长将近 70%。在传感器和智能仪表两块核心产品的基础上，公司发力物联网综合解决方案，布局智慧安全、智慧环保、智慧城市、居家智能与健康。

公司为稀有的电子皮肤标的。电子皮肤业务由子公司能斯达开展，能斯达掌握压阻、压电、温湿度、电容四大核心技术，布局消费电子、医疗健康、人机交互等领域，和小米科技、九号公司、科大讯飞、深圳科易机器人等合作。

5 风险提示

人形机器人发展不及预期的风险。目前人形机器人领域处于发展初期，风险较大，若发展不及预期，力传感器等核心零部件需求将不及预期，将对相关产业链公司带来不利影响。

传感器技术发展不及预期的风险。力传感器技术壁垒高，需要突破解耦算法、六维联合加载标定等核心技术，若技术突破不及预期，将对相关产业链公司带来不利影响。

市场竞争加剧的风险。人形机器人的发展为力传感器带来巨大发展机遇，可能吸引越来越多的企业布局，市场有竞争加剧的风险。

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，报告所采用的数据均来自合法合规渠道，分析逻辑基于分析师的职业理解，通过合理判断得出结论，独立、客观地出具本报告。分析师承诺不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接获取任何形式的补偿。

投资评级说明

报告中投资建议所涉及的评级分为公司评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后 6 个月内的相对市场表现，即：以报告发布日后 6 个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A 股市场以沪深 300 指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。

公司评级	买入：未来 6 个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 20% 以上
	持有：未来 6 个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于 10% 与 20% 之间
	中性：未来 6 个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于 -10% 与 10% 之间
	回避：未来 6 个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于 -20% 与 -10% 之间
	卖出：未来 6 个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 -20% 以下
行业评级	强于大市：未来 6 个月内，行业整体回报高于同期相关证券市场代表性指数 5% 以上
	跟随大市：未来 6 个月内，行业整体回报介于同期相关证券市场代表性指数 -5% 与 5% 之间
	弱于大市：未来 6 个月内，行业整体回报低于同期相关证券市场代表性指数 -5% 以下

重要声明

西南证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会核准的证券投资咨询业务资格。

本公司与作者在自身所知知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

《证券期货投资者适当性管理办法》于 2017 年 7 月 1 日起正式实施，本报告仅供本公司签约客户使用，若您并非本公司签约客户，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司也不会因接收人收到、阅读或关注自媒体推送本报告中的内容而视其为客户。本公司或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或争取提供投资银行或财务顾问服务。

本报告中的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。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，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌，过往表现不应作为日后的表现依据。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，本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，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。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，本公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

本报告及附录版权为西南证券所
须注明出处为“西南证券”，且不得对本报告及附录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报告及附录的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。

西南证券研究发展中心

上海

地址：上海市浦东新区陆家嘴 21 世纪大厦 10 楼

邮编：200120

北京

地址：北京市西城区金融大街 35 号国际企业大厦 A 座 8 楼

邮编：100033

深圳

地址：深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 22 楼

邮编：518038

重庆

地址：重庆市江北区金沙门路 32 号西南证券总部大楼 21 楼

邮编：400025

西南证券机构销售团队

区域	姓名	职务	座机	手机	邮箱
	蒋诗烽	总经理助理、销售总监	021-68415309	18621310081	jsf@swsc.com.cn
	崔露文	销售副总监	15642960315	15642960315	clw@swsc.com.cn
	李煜	高级销售经理	18801732511	18801732511	yfliyu@swsc.com.cn
	田婧雯	高级销售经理	18817337408	18817337408	tjw@swsc.com.cn
	张玉梅	销售经理	18957157330	18957157330	zymf@swsc.com.cn
上海	魏晓阳	销售经理	15026480118	15026480118	wxyang@swsc.com.cn
	欧若诗	销售经理	18223769969	18223769969	ors@swsc.com.cn
	李嘉隆	销售经理	15800507223	15800507223	ljlong@swsc.com.cn
	龚怡芸	销售经理	13524211935	13524211935	gongyy@swsc.com.cn
	孙启迪	销售经理	19946297109	19946297109	sqdi@swsc.com.cn
	蒋宇洁	销售经理	15905851569	15905851569	jjj@swsc.com.c
	李杨	销售总监	18601139362	18601139362	yfly@swsc.com.cn
	张岚	销售副总监	18601241803	18601241803	zhanglan@swsc.com.cn
北京	杨薇	资深销售经理	15652285702	15652285702	yangwei@swsc.com.cn
	姚航	高级销售经理	15652026677	15652026677	yhang@swsc.com.cn
	张鑫	高级销售经理	15981953220	15981953220	zhxin@swsc.com.cn
	王一菲	高级销售经理	18040060359	18040060359	wyf@swsc.com.cn

	王宇飞	高级销售经理	18500981866	18500981866	wangyuf@swsc.com
	马冰竹	销售经理	13126590325	13126590325	mbz@swsc.com.cn
	郑龔	广深销售负责人	18825189744	18825189744	zhengyan@swsc.com.cn
	杨新意	广深销售联席负责人	17628609919	17628609919	yxy@swsc.com.cn
广深	龚之涵	高级销售经理	15808001926	15808001926	gongzh@swsc.com.cn
	杨举	销售经理	13668255142	13668255142	yangju@swsc.com.cn
	陈韵然	销售经理	18208801355	18208801355	cyryf@swsc.com.cn
	林哲睿	销售经理	15602268757	15602268757	lzh@swsc.com.cn
