

# 六维力和力矩传感器行业报告： 类人力控核心组件，产业推进降本提质

评级：推荐(首次覆盖)

李航(证券分析师)  
S0350521120006  
lih11@ghzq.com.cn

邱迪(证券分析师)  
S0350522010002  
qiud@ghzq.com.cn

李铭全(证券分析师)  
S0350523030001  
limq@ghzq.com.cn

## 最近一年走势



## 沪深300表现

表现	1M	3M	12M
电力设备	14.1%	2.3%	-27.7%
沪深300	6.7%	5.0%	-9.5%

## 相关报告

《2024年新能源行业策略-光伏：守成供需周期，把握技术成长（推荐）\*光伏设备\*邱迪，李航》——2024-02-20

《2024年新能源行业策略-锂电：——去库倒计时，产业拐点将至（推荐）\*电力设备\*李航》——2024-02-01

《2024年新能源行业策略-电力设备：出海景气度持续向上，国内主配网各有看点（推荐）\*电力设备\*邱迪，李航》——2024-01-19

# 重点关注公司及盈利预测

重点公司代码	股票名称	2024/03/11	EPS			PE			投资评级
		股价	2022	2023E	2024E	2022	2023E	2024E	
300007.SZ	汉威科技	16.71	0.85	1.11	1.01	19.96	15.12	16.51	买入
300114.SZ	中航电测	42.80	0.33	0.18	0.23	31.43	244.29	188.71	买入
300354.SZ	东华测试	48.99	0.88	1.27	1.81	43.40	38.61	27.08	增持
300445.SZ	康斯特	19.85	0.36	0.47	0.63	34.34	42.04	31.74	未评级
603662.SH	柯力传感	31.53	0.92	1.10	1.38	17.87	28.58	22.84	未评级
688539.SH	高华科技	38.45	0.81	0.88	1.22	—	43.81	31.43	未评级
301413.SZ	安培龙	64.00	1.57	1.29	1.86	—	49.63	34.38	未评级

资料来源：Wind资讯，国海证券研究所

注：未评级公司的盈利预测为 wind 一致预期

- ◆ **站在力觉传感器顶端，六维力产业方兴未艾，国产品牌加速追赶海外主流**
  - ✓ **六维力/力矩传感器是维度最高的力觉传感器，检测的力觉信息最为全面。**六维力/力矩传感器是具备高壁垒的品类，体现在技术端、设备端等方面，通常以串扰、精度和准度三大指标开展评价。六维力/力矩传感器品类丰富，主要包括应变片式（硅应变和金属箔）、光学式和压电/电容式传感器，各有其适用范围，现阶段应变片式为主流。
  - ✓ **六维力产业方兴未艾，全球三大阵营品牌搏击应用高地。**六维力/力矩传感器应用于电子行业、汽车工业、机器人、医疗、飞行器以及仿生等领域。全球六维力品牌主要包括日韩、欧美和国产三大阵营，国产品牌与海外主流仍有差距。近年来中国市场逐步推进国产替代，随国产品牌性能提升，市场份额增加，部分企业已在细分领域占据头部位置。
  
- ◆ **人形机器人风起，六维力导入亟待提质降本增效，产业链群雄逐鹿之势渐显**
  - ✓ **面向人形机器人广阔赛道，高精度力传感器或从选配走向标配。**据Markets and markets预测，全球人形机器人市场有望由2023年的18亿美元提升至2028年的138亿美元。我们认为，机器人由自动化向智能化进化，力控要求提升，高精度力传感器或从选配走向标配，六维力/力矩传感器未来市场空间或达百亿规模。
  - ✓ **面对重要成长机遇，六维力/力矩传感器仍然亟待提质降本增效，我们预计国产优质厂商将在产业突破的过程中扮演重要角色。**六维力/力矩传感器性能虽然已有长足进步，但在产业推广上依然需要持续迭代，当下核心痛点包括产品价格昂贵、选型困难、使用技术相对薄弱，以及仍然需要更高效的生产工艺等。1) 提质：结构设计创新、解耦优化、注重标定和检测等关键工序的设备开发；2) 降本：产品成本构成中应变片和人工成本占比较大，我们认为开发MEMS等高效工艺、叠加生产自动化率提升是六维力降本的重要策略。我们认为，在庞大工业体系和下游市场助力下，国产品牌将是未来的主力军，这一细分赛道或将涌现数家面向全球、多元场景的实力型国产知名品牌。

## ◆ 投资建议及风险提示

- ✓ 行业评级：机器人由自动化向智能化进化，力控要求提升，尤其是在高精度场景下需要采用多维力传感器，六维力/力矩传感器可为机器人运动控制提供力信息，从而完成复杂、精细作业，或将成为未来智能机器人的标配产品，首次覆盖六维力/力矩行业，给予“推荐”评级。
- ✓ 重点关注：具备传感器技术积淀，积极入局机器人赛道，布局相关产品的企业，建议关注柯力传感、东华测试、中航电测、康斯特、高华科技、汉威科技、安培龙等上市公司。
- ✓ 风险提示：人形机器人产业化不及预期，人形机器人力觉传感器技术路线发生变化，六维力产品技术提升不及预期，六维力产品成本控制不及预期，重点关注公司业绩不及预期。

- 一、**六维力/力矩传感器：力觉传感器天花板，国产品牌加速追赶海外主流**
- 二、**人形机器人风起，六维力导入亟待提质降本增效**
- 三、**高端力觉传感器厂商梳理：面向产业机遇，群雄逐鹿之势渐显**
- 四、**投资建议及风险提示**

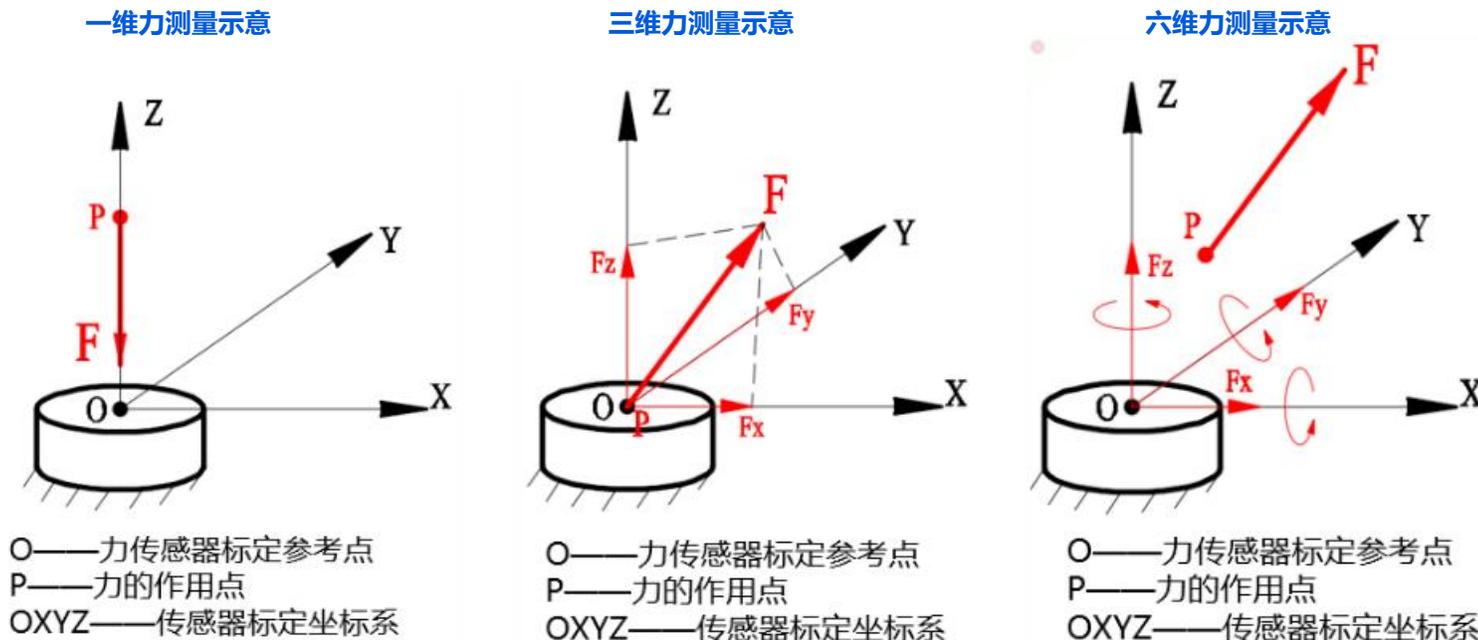
## 一、六维力/力矩传感器：力觉传感器天花板，国产品牌加速追赶海外主流

- 1.1 六维力/力矩传感器站在力觉传感器的顶端，应变片式为主流
- 1.2 产品具备高壁垒，三大指标评价六维力优劣
- 1.3 六维力产业方兴未艾，全球三大阵营品牌搏击应用高地

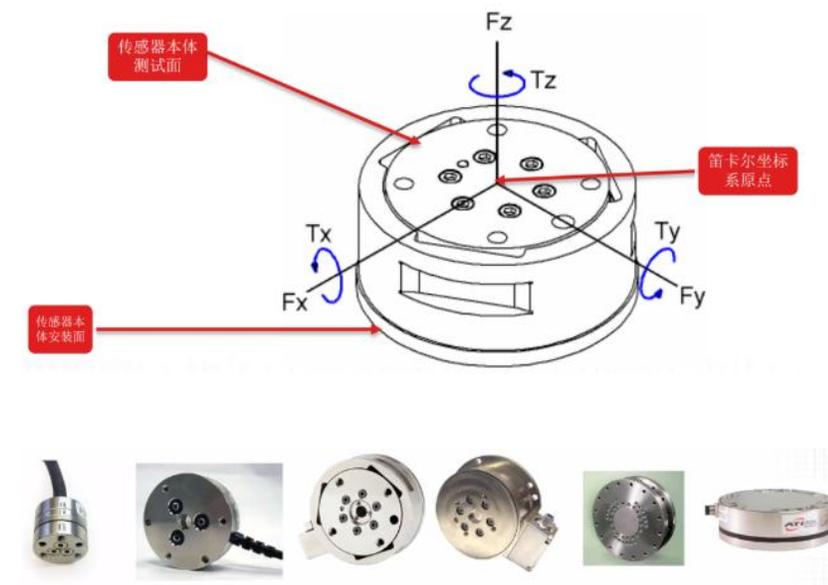
# 1.1 六维力/力矩传感器站在力觉传感器的顶端，应变片式为主流

- 力/力矩传感器可将力或力矩的量值转换为相关电信号。根据所测力的维数不同可分为一维力和多维力传感器，一维力传感器仅可测量单一维数方向上的力或力矩，多维力传感器可以检测多个维数方向上的力或力矩。
- 六维力/力矩传感器是维度最高的力觉传感器，检测的力觉信息最为全面。六维力/力矩传感器（后文均以六维力代表六维力/力矩传感器）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，因此当力的方向和作用点在三维空间内随机变化时需选用六维力传感器。六维力传感器不仅可以精确测力，且在获得力矩信息后，可以利用力矩信息来推算获取受力部件的姿态；同时监测力矩是否在安全范围内，有效避免传感器的过载损坏。

图：不同测量维度的力测量示意



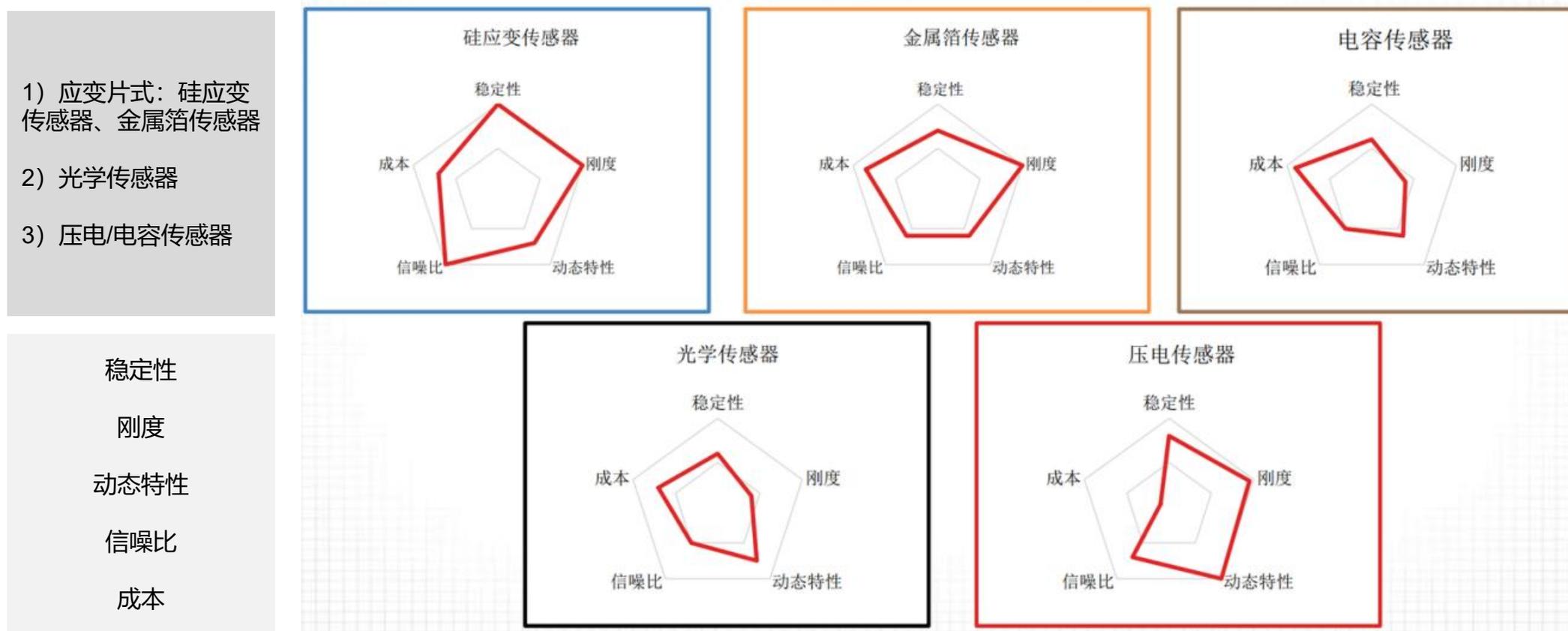
图：六维力/力矩传感器定义以及实物展示



# 1.1 六维力/力矩传感器站在力觉传感器的顶端，应变片式为主流

□ 六维力传感器品类丰富、各有其适用范围，现阶段应变片式为主流。根据技术原理可将六维力传感器分为应变片式（硅应变和金属箔）、光学式和压电/电容式传感器，每种类型的传感器具有其独特优势和适用范围。比较传感器的稳定性、刚度、动态特性、信噪比与成本，硅应变片在稳定性、信噪比以及动态特性方面优于金属箔，但硅应变片成本较高；电容传感器与压电传感器相比，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面具有优势。

图：不同原理的六维力/力矩传感器对比



# 1.2 产品具备高壁垒，三大指标评价六维力优劣

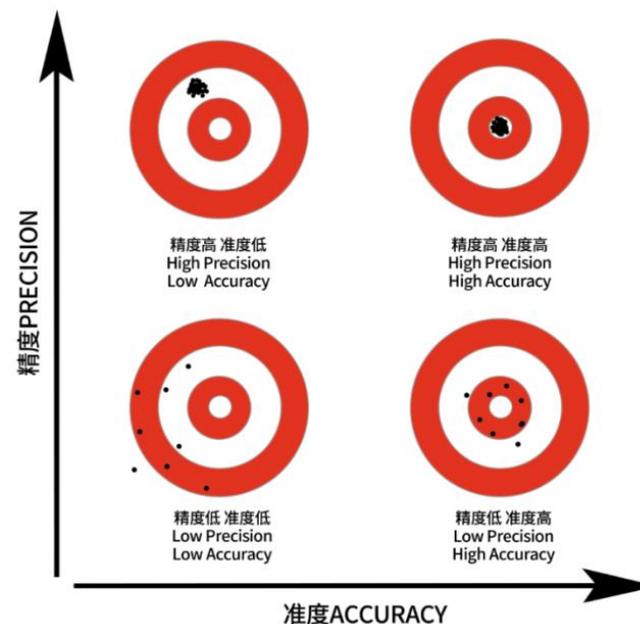
- 六维力传感器是具备高壁垒的品类。六维力传感器最核心的壁垒在于技术端，包括维间耦合影响测量精度、“全方位机械过载保护”操作复杂以及“动态性能”难以测量等关键技术问题的解决需要依赖严格的加工精度、强大的产品性能与前沿的智能算法等要素；同时在设备端需要六维联合加载设备进行标定与检测，设备研发涉及多项综合技术。因此整体而言高技术壁垒下利好具有长期积淀的头部企业。
- 评判六维力传感器产品优劣的三大性能指标：**串扰、精度和准度**。1) 串扰指标用来衡量六维力传感器各测量方向间的耦合影响，可反映测量误差水平；2) 精度和准度可准确描述六维力传感器的测量误差水平，其中精度衡量的是测量结果之间的重复性，准度衡量的是测量结果与理论真值的偏离程度。3) 准度涵盖滞后、线性、蠕变等误差因素，更能体现产品综合性能，是六维力传感器最为核心的技术指标之一。

图：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

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	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	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
2	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	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	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	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
4	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	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	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	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
6	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	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。

图：六维力传感器精度和准度的统计意义



# 1.3 六维力产业方兴未艾，全球三大阵营品牌搏击应用高地

完整的六维力产业链涉及上游组件、中游制造和下游多元应用场景。以当前主流的应变片式传感器为例，其材料组件包括弹性体、应变片、电路板、粘接剂和外壳等，通过几十道工序（分为选料、贴片、温漂和零漂的控制、标定等四大环节）制作而成合格产品，主要应用于汽车行业的碰撞测试、轮毂、座椅等零部件测试以及航空航天、生物力学、医疗领域、科研实验、机器人与自动化等领域，其中在机器人领域的应用占据较大的市场份额，尤其是在协作机器人领域应用广泛。

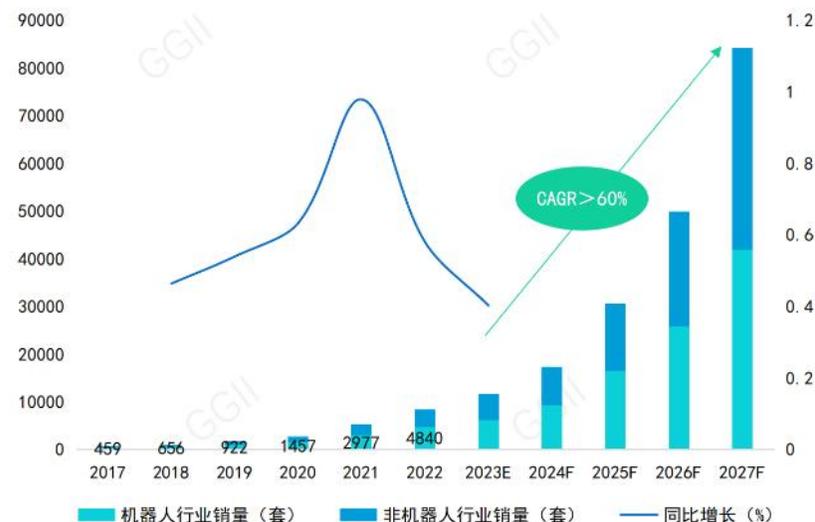
图：六维力/力矩传感器产业链梳理



# 1.3 六维力产业方兴未艾，全球三大阵营品牌搏击应用高地

- 全球力/力矩传感器市场规模预计保持稳健增长，航空航天与国防、汽车是主要应用领域。根据GMI数据，2022年全球力/力矩传感器市场规模超70亿美元，预计2023-2032年复合增速超6%，航空航天与国防、汽车是主要的下游应用场景。
- 中国六维力/力矩传感器市场增速强劲，机器人行业是主要应用领域。根据GGII数据，2022年中国市场六维力/力矩传感器销量8360套，同比增长58%，预计到2027年销量突破8.4万套，复合增速超60%；2022年市场规模2.39亿元，同比增长52%，预计到2027年市场规模超15亿元。当下产品基数仍然较小，机器人行业是主要应用领域，未来随下游需求提升有望进入高速成长期。

图：中国六维力/力矩传感器销量



图：全球力/力矩传感器市场规模及主要应用领域

单位：十亿美元



图：中国六维力/力矩传感器市场规模



# 1.3 六维力产业方兴未艾，全球三大阵营品牌搏击应用高地

□ 航空航天、汽车等领域是六维力/力矩传感器应用较早的典型场景。六维力在航空航天领域应用早，可用于测量风洞试验、飞机、卫星、火箭等飞行器各种运动状态下的六维力信息，以及飞机制造、飞行器着陆和起飞过程的监测、机械臂控制、结构健康监测等领域。在汽车领域，六维力的主要应用场景包括汽车安全设备测试、高速碰撞测试、车身刚度测试等，在确定新车和部件设计的完整性和最优化方面具有重要作用，并且有助于保证效率、安全性和正确功能。

表：六维力/力矩传感器在航空航天、汽车等当下主要应用领域的用途及代表企业

领域	应用场景	用途及特点	代表企业
航空航天	飞行测试	六维力传感器可用于测量飞机包括起飞、飞行、降落等各个阶段下的六轴力信息，帮助测试人员更准确分析飞行器的性能和状况	ATI、坤维科技、航天四院四十四所
	空间站	六维力传感器可以测量飞行器受到的冲击和震动以及宇航员在工作时产生的动力学数据等	
	火箭发射	六维力传感器可以实时监测火箭的加速度、角度、速度等数据，并帮助控制中心调整火箭的姿态和飞行路线，确保执行任务的准确性和安全性	
	空气动力学研究	六维力/力矩传感器可用于风洞试验中，测量模型在气流中所受的力和力矩。这有助于研究飞行器的气动性能、稳定性和控制特性，以及优化设计	
汽车	汽车安全设备测试	六维力传感器可以更加准确测量安全气囊部件和安全带拉力及其各个方向的力矩，以提高测试数据的精确性	ATI、宇立仪器、ME-Messsysteme GmbH、海伯森等
	高速碰撞测试	六维力传感器可以准确测量汽车在撞击后的变化，同样也可以测量车内人员受到的各方向力及力矩，从而为汽车安全性评估提供准确的数据	
	性能测试	六维力传感器可以帮助精确测试一些汽车性能参数，比如制动距离、制动时间、轮胎磨损程度等，从而为汽车制造商提供更为详尽和准确的汽车性能数据	
	车身刚度测试	通过在车身上施加力和力矩，可以测量车身的变形和应力分布情况，从而评估车身的刚度和强度，为汽车设计和制造提供参考	
	车辆动力学测试	通过在车辆上安装六维力和力矩传感器，可以测量车辆在行驶过程中的力和力矩分布情况，从而评估车辆的动力学性能和稳定性	

# 1.3 六维力产业方兴未艾，全球三大阵营品牌搏击应用高地

□ 机器人是六维力/力矩传感器当下的重要应用领域，也是未来富有潜力的场景。在工业领域包括打磨/协作/装配/铣削机器人等，应用场景包括力控制、力觉反馈、质量检测、动态控制等。以协作机器人为例，通过将产品安装在机器人末端，可以实现高精柔性装配、焊接、去毛刺作业、拖动示教等应用。在医疗手术和康复领域，包括血管介入手术机器人、康复机器人、外科手术机器人等，处于早期发展阶段，应用潜力较大。安装在手术机器人末端的六维力产品可以帮助感知人体各个方面的实时参数，包括力量、重量等，从而实现高质量的手术操作、降低手术风险。我们认为随技术升级、工业及医疗等领域的要求提升，六维力的渗透率将持续提升，并有可能成为细分场景的标配。

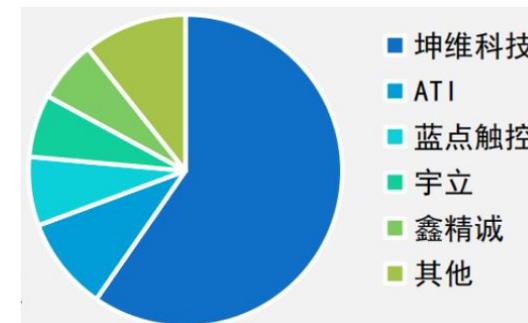
表：六维力/力矩传感器在机器人领域的用途及代表企业

领域	应用场景	用途及特点	代表企业
工业-打磨/协作/装配/铣削机器人等	力控制	测量机器人末端执行器施加的力和力矩，从而实现机器人的力控制。比如装配、抛光打模等应用	ATI、坤维科技、鑫精诚、宇立仪器、蓝点触控、海伯森、Robotous、Sintokogio、WACOH-TECH等
	力觉反馈	将机器人末端执行器施加的力和力矩转换成电信号，通过控制系统反馈给机器人，从而实现力觉反馈	
	质量检测	测量机器人末端执行器施加的力和力矩，从而实现对产品质量的检测。比如在焊接过程中测量焊接枪施加的力度和方向，判断焊接质量是否符合要求	
	动态控制	测量机器人末端执行器施加的力和力矩，从而实现机器人的动态控制。比如在搬运过程中，帮助机器人实现动态控制，更加高效完成搬运任务	
医疗手术和康复	血管介入手术机器人	主要用于测量手术器械在受力状态下的偏移变化，这可以帮助医生实现更精准的手术定位和切割操作	ATI、坤维科技、鑫精诚、海伯森、蓝点触控、埃力智能等
	康复机器人	可以测量患者运动时的各种数据，如角度、速度、加速度、力矩和路径等，使得治疗师有可能从中发现数据与治疗结果之间对应的关系。这可以帮助医生全面评估康复状况和进展，更好地设计康复方案	
	外科手术机器人	可以精确测量机器人末端的力和力矩信息，以确保手术器械在精度和灵敏度方面的最佳表现。这对于完成高难度手术和精密手术非常重要	

# 1.3 六维力产业方兴未艾，全球三大阵营品牌搏击应用高地

- 全球六维力品牌主要包括日韩、欧美和国产三大阵营，国产品牌与海外主流仍有差距。日韩品牌主要配套本土机器人本体厂商；欧美品牌可分为传统传感器生产商和知名的机器人末端工具生产商；国产品牌在串扰、抗过载能力及维间耦合误差等方面和海外主流品牌仍存在差距，近年来入局企业增加，且陆续有产品落地并进入产业化应用。
- 中国市场逐步推进国产替代，国产品牌持续追赶海外品牌。根据MIR统计，中国市场第一梯队企业包括美国ATI及中国的宇立仪器、蓝点触控、坤维科技。历经多年追赶，国产品牌性能提升，市场份额增加，2022年中国协作机器人领域坤维科技销量位居榜首。

图：2022年中国协作机器人行业六维力/力矩传感器市场格局



图：全球主流的六维力/力矩传感器厂商



图：中国市场六维力传感器厂商梯队分布



## 二、人形机器人风起，六维力导入亟待提质降本增效

2.1 面向人形机器人广阔赛道，产业推进核心硬件高效降本

2.2 高精度力传感器或从选配走向标配，机器人智能化带领走向百亿规模

2.3 六维力产业推广痛点显著，或随需求打开，突破曲线将较为陡峭

2.3.1 六维力提质：结构设计和解耦优化是主要的研究课题

2.3.2 六维力标定和检测是关键工序，相关设备构建产品壁垒

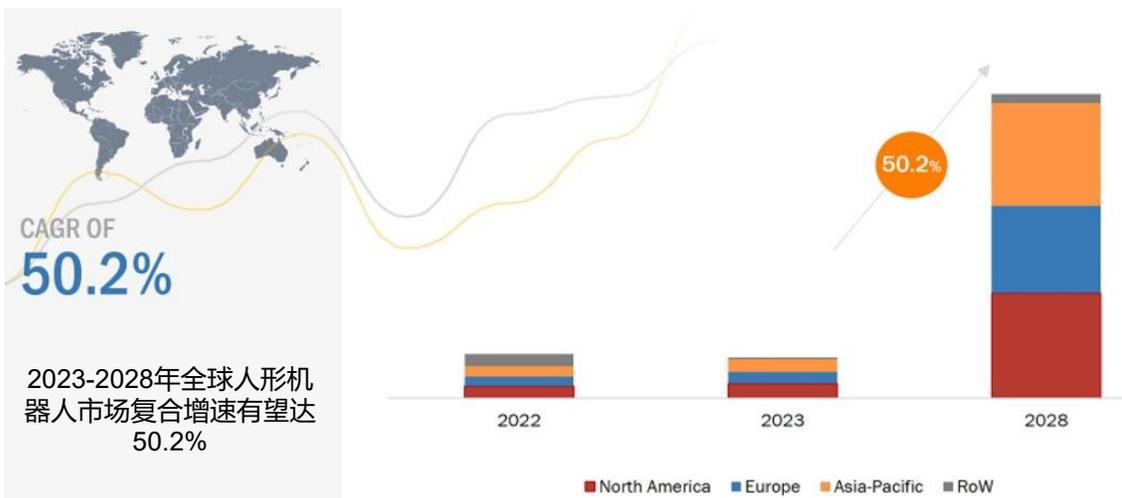
2.3.3 六维力降本：材料及人工成本占比高，推进MEMS等高效工艺开发

2.3.4 面向复杂多元应用场景，优化和明确六维力选型关键流程

## 2.1 面向人形机器人广阔赛道，产业推进核心硬件高效降本

- 特斯拉引领人形机器人产业发展，未来具备广阔成长空间。2021年马斯克发布特斯拉人形机器人至今，机器人产品快速迭代，已可实现物品分类等复杂任务。据Markets and markets预测，全球人形机器人市场有望由2023年的18亿美元提升至2028年的138亿美元。
- 机器人关节价值量大，核心硬件的高效降本十分迫切。解构特斯拉人形机器人，现阶段旋转关节、线性关节、灵巧手占据主要价值量，其中核心硬件包括谐波减速器、丝杠、空心杯电机等均有待进一步优化、降本，优质的国产企业或将跟随产业发展不断壮大。

图：全球人形机器人市场有望由2023年的18亿美元提升至2028年的138亿美元



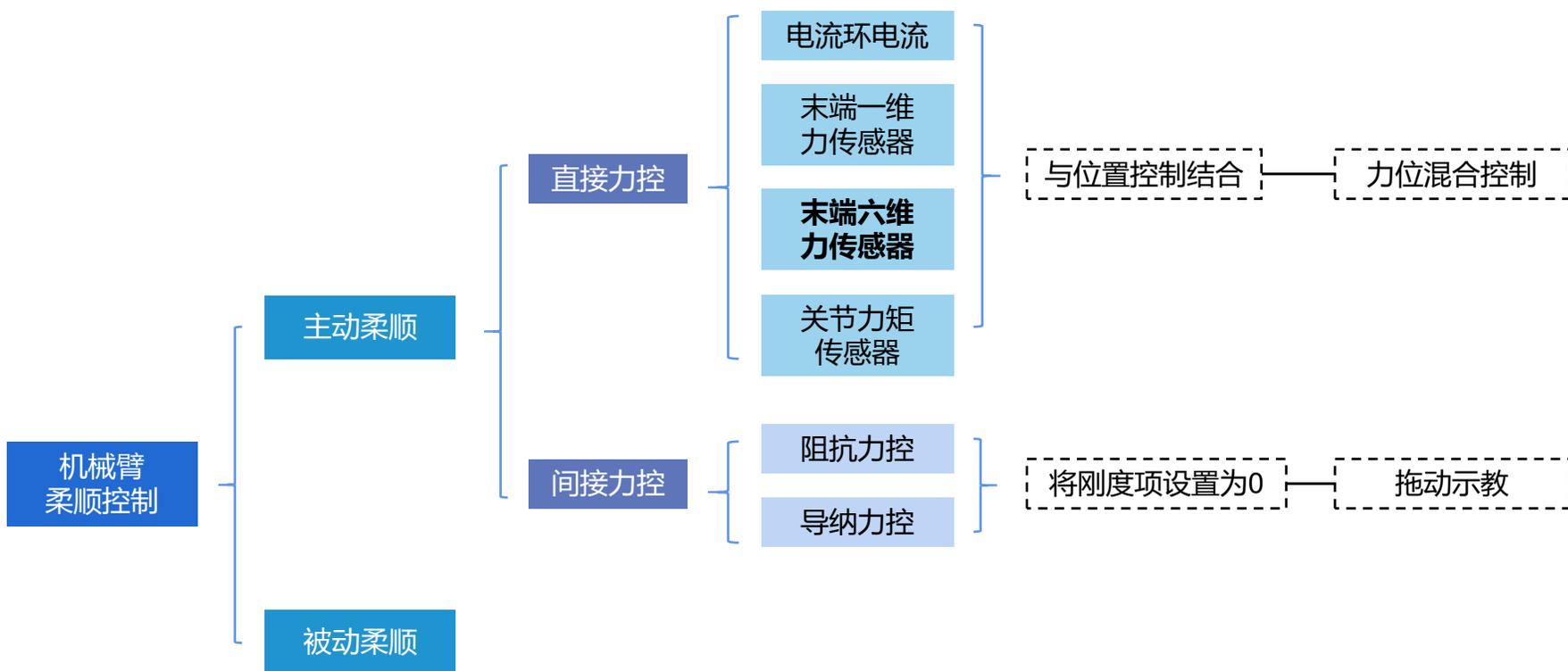
表：现阶段特斯拉人形机器人硬件成本构成（未配置多维力情形）

	零部件	单位数量	单价 (元)	单机价值量 (元)	占硬件成本比例
关节					
旋转关节		14			
	电机	1	3000	42000	12.5%
	谐波减速器	1	2000	28000	8.4%
	力矩传感器	1	700	9800	2.9%
	位置传感器	1	150	2100	0.6%
	交叉滚子轴承	1	500	7000	2.1%
	向心止推滚珠轴承	2	300	8400	2.5%
线性关节		14			
	电机	1	3000	42000	12.5%
	力矩传感器	1	700	9800	2.9%
	位置传感器	1	150	2100	0.6%
	行星滚柱丝杠-共计10个	1	10000	100000	29.9%
	T型丝杠-共计4个	1	1000	4000	1.2%
灵巧手		2			
	空心杯电机	6	1300	15600	4.7%
	编码器	6	200	2400	0.7%
	精密行星齿轮箱	6	500	6000	1.8%
	螺纹丝杠	6	20	240	0.1%
电池包		1	2500	2500	0.7%
Autopilot摄像头		8	350	2800	0.8%
其他				50000	14.9%
硬件总成本 (元)				334740	100%

## 2.2 高精度力传感器或从选配走向标配，机器人智能化带领走向百亿规模

- 机器人由自动化向智能化进化，力控要求提升，重视高精度力传感器的应用。目前在工业机器人领域，根据场景需要有不同的机械臂柔顺控制技术可以匹配，其中主动柔顺技术应用在力控精度要求高的场景，包括直接力控和间接力控。力觉传感器是机器人发展不可或缺的部分，尤其是在高精度场景下需要采用多维力传感器。此外，随机器人向智能化发展，机器人力控技术呈现出多信息融合（触觉、力觉和视觉等），主要通过配备的传感器（AI、视觉、力觉等）得以实现。

图：机器人行业的机械臂柔顺控制技术分类



图：机器人由自动化向智能化进化

程序控制机器人：不具备外界信息的反馈能力，通过示教器控制机器人的行动



感知型机器人：具有感知能力，带有视觉、力觉等传感器，依托传感器技术获得一定的环境感知能力，可以根据既定规则对环境变化做出响应，保证在适应环境的情况下完成工作



智能型机器人：具有全感知能力，拥有更丰富的传感器，基于AI+视觉+力觉传感器，赋予机器人更强的自主感知、自主学习、自主决策与自主执行等能力，能适应外部对象、环境，协调工作

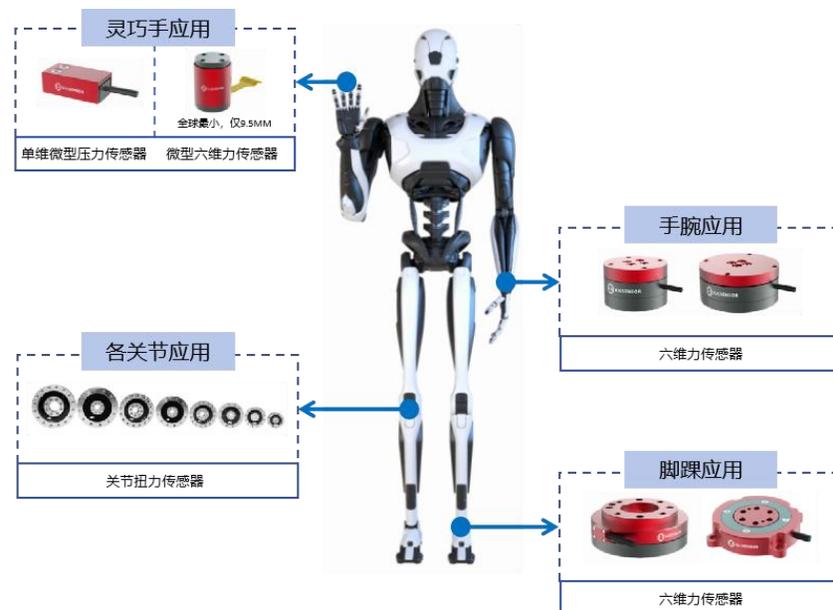
## 2.2 高精度力传感器或从选配走向标配，机器人智能化带领走向百亿规模

- 人形机器人的发展浪潮中，六维力/力矩传感器将迎来重要成长机遇。当下六维力/力矩传感器已是机器人实现柔顺化、智能化控制的重要组成部分，可为机器人运动控制提供力信息，从而完成复杂、精细作业。在人形机器人中，六维力可搭载在手腕、脚踝、灵巧手等部位，可实现高精度力控、摆动稳定控制和安全控制等。我们预计特斯拉Optimus Gen2或应用六维力传感器，一方面机器人手臂通过六维力进行复杂的力控操作，实现对物品的抓取、装配或拍打等操作，另一方面脚踝搭载六维力感测机器人脚下地面反作用力，以便机器人控制系统可以调整人形机器人手臂和身体的姿态，从而在行走过程中保持平衡。

图：人形机器人中六维力传感器发挥重要作用

应用场景	用途及特点
力控	机器人手臂可以用于进行复杂的力控操作，比如对物品的抓取、装配或拍打等操作，六维力传感器可以感知机器人手臂施加在物品上的力和力矩，以便机器人控制系统进行精密控制
摆动稳定控制	人形机器人的行走过程中需要保持平衡，此时也需要用到六维力传感器，它可以感测机器人脚下地面反作用力，以便机器人控制系统可以调整人形机器人手臂和身体的姿态
安全控制	六维力传感器可以用于安全控制系统，以实现机器人在进行危险操作之前或者人类接近机器人时的自动停止，避免对人体造成伤害

图：六维力传感器适用于人形机器人的手腕、脚踝、灵巧手等部位



## 2.2 高精度力传感器或从选配走向标配，机器人智能化带领走向百亿规模

□ 人形机器人的六维力单机应用量可达16个，百万台时规模或达216亿元。在需要实现高精度力控的场景下，我们预计人形机器人手腕及脚踝处共需4个六维力，双手共需12个六维力。市场规模方面，当前六维力价格仍十分昂贵，根据MIR预测，人形机器人起量或带动六维力产品价格快速下降，我们预计人形机器人100万台销售情形下，六维力市场规模或达216亿元（各部位加总数据）。

表：人形机器人100万台销售情形下，六维力市场规模或达216亿元

部位	数量	单台价格 (元)	销量 (万台)	市场规模 (亿元)
手腕	2	3000	200	60
脚踝	2	3000	200	60
灵巧手	12	800	1200	96

图：六维力传感器在人形机器人上的应用位置及数量，单机应用量或达16个

手腕及脚踝处共需4个六维力



双手共需12个六维力



因时机器人微型伺服电缸构成

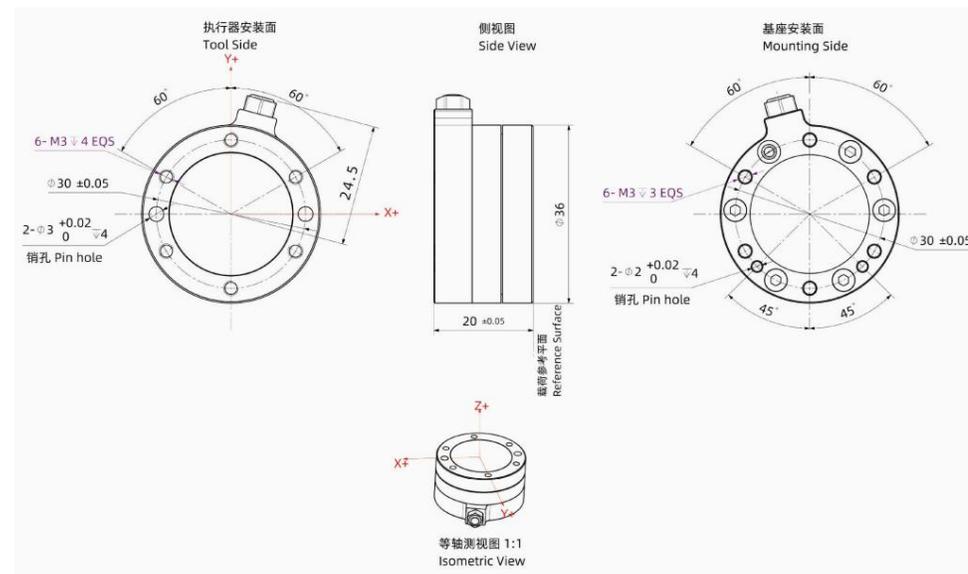


## 2.3 六维力产业推广痛点显著，或随需求打开，突破曲线将较为陡峭

- 六维力/力矩传感器性能已有长足进步，面对未来人形机器人等领域拓展仍然亟待提质降本增效。六维力/力矩传感器在弹性体结构、信号处理、标定及解耦等技术方面取得显著进展，在机器人上也获得一定程度应用，但面对未来人形机器人等领域的广阔空间，仍然迫切需要提质降本增效。当下的主要产业推广痛点包括产品价格昂贵（外资产品单个产品均价在4万元左右，国产均价也在2万元以上）、选型困难、使用技术相对薄弱、在特殊领域如航空航天等国产品牌和海外差距大，以及仍然需要更高效的生产工艺等。

图：典型六维力传感器的性能参数、尺寸及产业推广遇到的主要问题

性能参数 Performance Parameter	产品型号 Model			
	KWR36A	KWR36B	KWR36C	
量程 Range Fx,Fy	N	30	50	80
量程 Range Fz	N	30	50	80
量程 Range Mx,My	Nm	1.5	2	3
量程 Range Mz	Nm	1.5	2	3
直径 Diameter	mm	36	36	36
高度 Height	mm	20	20	20
材质 Material	铝合金 Aluminum alloy	铝合金 Aluminum alloy	铝合金 Aluminum alloy	铝合金 Aluminum alloy
表面处理 Surface Treatment	阳极化 Anodization	阳极化 Anodization	阳极化 Anodization	阳极化 Anodization
过载水平 Overloading	%FS	300	300	300
分辨率 Resolution	%FS	0.03	0.03	0.03
重复精度 Repeatability	%FS	0.1	0.1	0.1
准度* Accuracy	%FS	0.5	0.5	0.5
重量 Weight	kg	0.04	0.05	0.06
防护等级 Protection Level		IP64	IP64	IP64
工作温度 Working Temperature	°C	5~80	5~80	5~80
采样频率 Sampling Frequency	Hz	1000	1000	1000
供电电压* Supply Voltage	VDC	12~48	12~48	12~48
通信接口 Communication Interface	RS422/RS485/MODBUS/TCP/UDP/EtherCAT/ EtherNet/IP /USB etc.			
*部分参数为配套信号采集模块参数		*默认支持9-24VDC，48VDC请联系销售人员		
*准度包含了串扰、滞后、非线性等因素导致的测量误差				
Note: Used together with high precision data acquisition system				



产业推广痛点

选型困难

使用问题

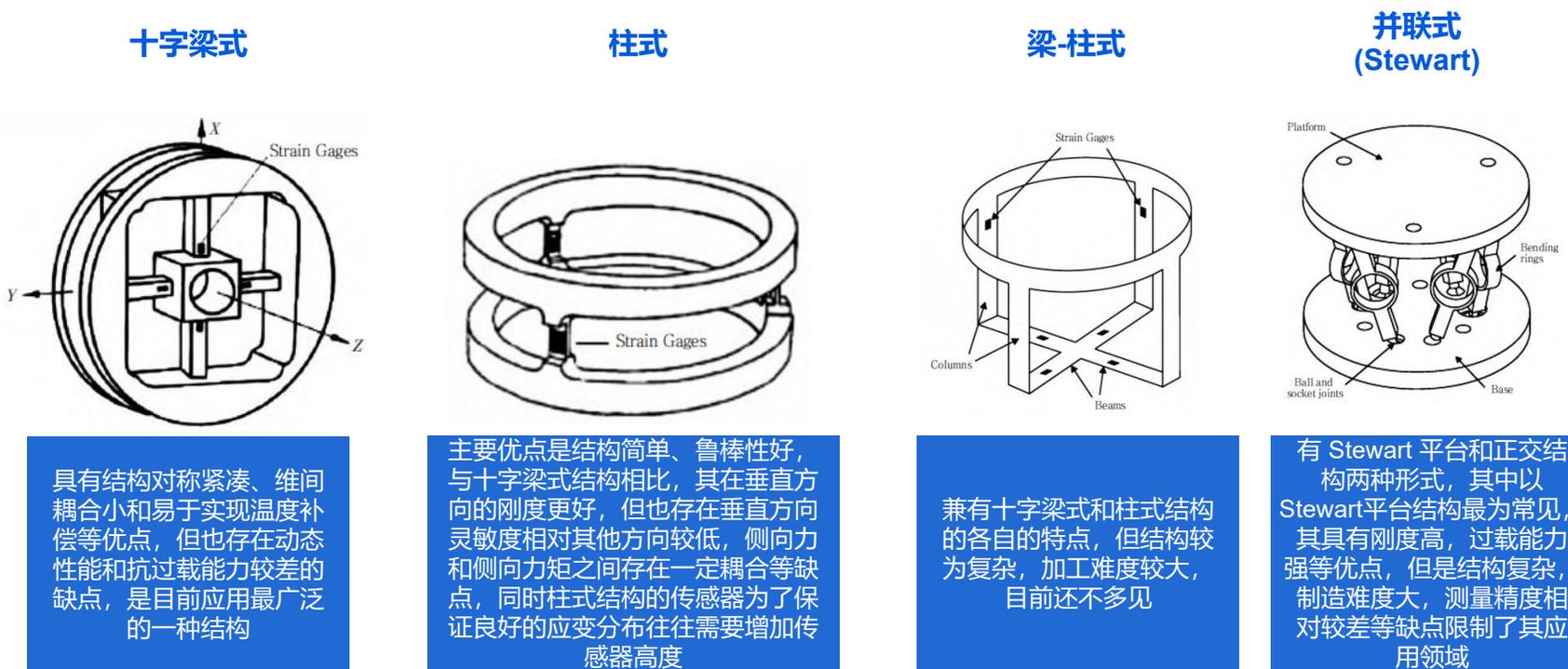
价格昂贵

特殊应用

## 2.3.1 六维力提质：结构设计和解耦优化是主要的研究课题

- 六维力的结构设计将直接影响产品的关键性能，不同结构的六维力各有特点，其中十字梁式应用较为广泛。六维力传感器一般是将敏感元件粘贴于传感器弹性元件的特定位置上制作而成。基于不同原理的六维力传感器弹性元件的结构设计相似，而结构设计直接影响到产品的灵敏度、线性度、维间解耦等关键性能，因此传感器的结构设计创新也是国内外研究的重点方面。整体而言，六维力传感器的基本结构形式包括十字梁式、柱式、梁-柱式和并联式等，近年来各类新型六维力的结构设计方案均是在基本结构上做的衍生设计。不同结构的传感器各有特点，目前十字梁式应用最为广泛。我们认为六维力的结构创新依然是重要方向，尤其是弹性体结构的优化设计，可渐进改善性能。

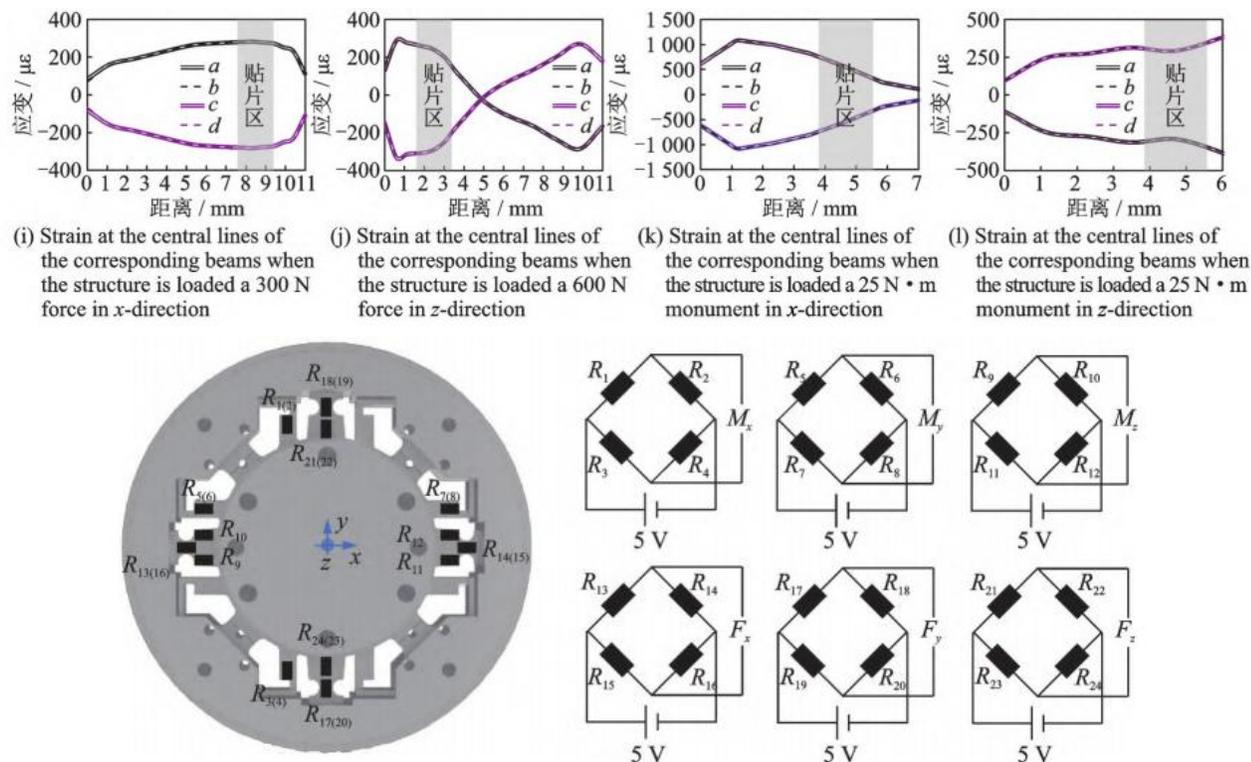
图：多维力传感器的基本结构形式



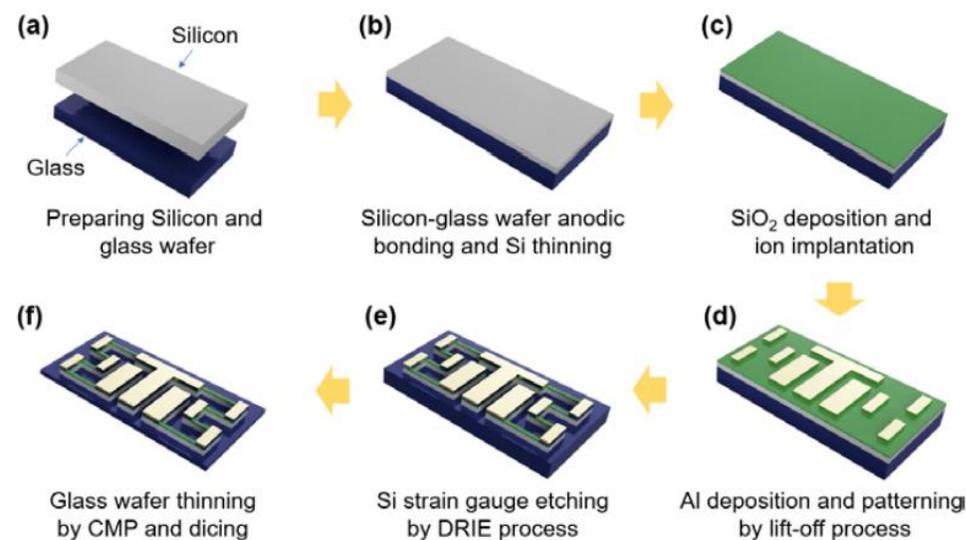
## 2.3.1 六维力提质：结构设计和解耦优化是主要的研究课题

- 解耦优化是另一重要的提质课题。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。通过结构设计优化可以降低弹性体的耦合变形，但结构上的连续性导致结构耦合变形不可完全避免。因此，需要进一步通过贴片位置调整和电桥组桥设计来消除耦合。理论上，通过合理的布片可以完全消除各个方向之间的耦合，从而提升产品性能。
- 材料的制备和选用也将影响六维力的性能。有研究采用外延生长技术加工制造高性能硅应变计，可以改善外延层厚度的均匀性；在贴片工艺研究方面，力传感器弹性元件的小型化对粘接剂的要求提升，需要匹配新材料以降低对传感器性能的负面影响，是研究的重要课题之一。

图：研究中设计的一种应变片贴片及组桥方案示意



图：高性能硅应变片的制备工艺

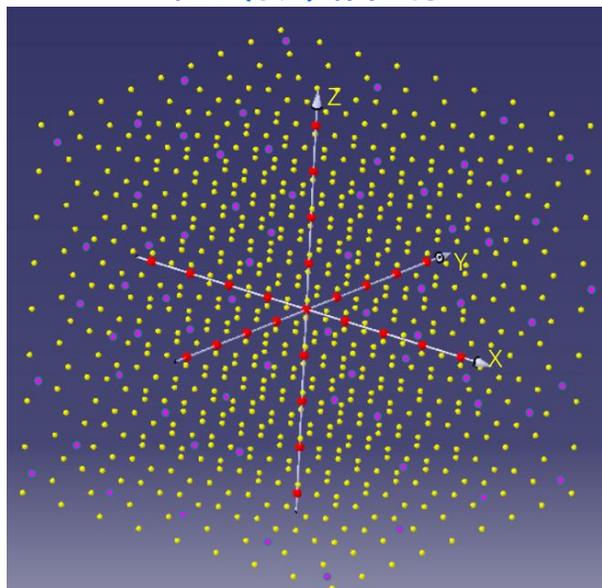


## 2.3.2 六维力标定和检测是关键工序，相关设备构建产品壁垒

- 六维力传感器的标定和检测也是影响产品性能的重要工序。标定指通过对六维样本空间中的样本点进行精确加载，建立传感器信号与力和力矩的映射关系，获得解耦算法的数学模型和参数。实际情况下由于加工误差、贴片位置偏差等因素的存在，各方向之间仍然可能存在耦合，亦需要进一步标定确认。检测则可以评价传感器的标定效果。标定与检测需要的设备一样，采用六维联合加载设备，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，是高精度六维力传感器研发和生产的必要条件。但标定与检测样本点不同，检测样本点和标定样本点不重合，就可以通过在检测样本点上的测量结果来评价标定结果的优劣。

图：六维标定&检测样本空间以及相应的标定及检测设备

六维标定（黄点）与  
检测（紫点）样本空间



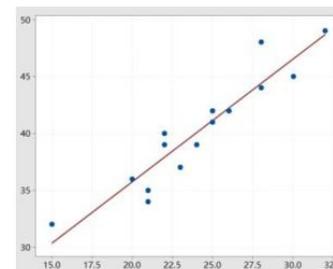
分别来自德国、美国、以色列的六维力传感器标定及检测设备



## 2.3.2 六维力标定和检测是关键工序，相关设备构建产品壁垒

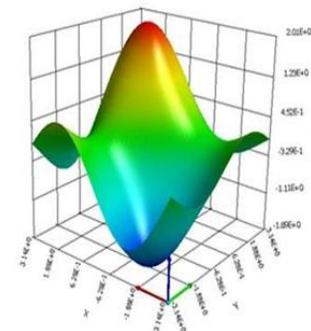
- 六维力传感器的标定、检测壁垒更高、难度更大。相比一维力传感器，六维力的标定&检测工作量更大、设备要求更高、理论基础更深。在设备方面，当前主要是由六维力传感器厂商自行研制，开发过程涉及空间光学定位、载荷位移补偿、机电一体化等多项综合技术、且十分依赖工程经验，目前国内设备与海外设备仍有差距。部分国产品牌已成功研发高精度六维联合加载设备，助力提升传感器产品性能。

六维力的理论基础相比一维力更加深厚



一维标定

VS



六维标定&检测

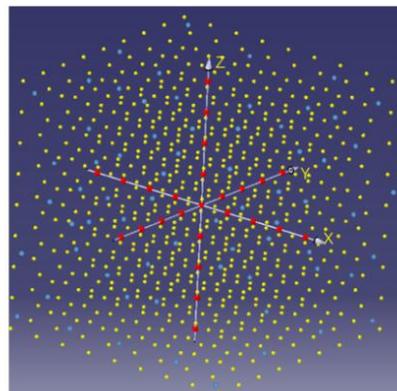
图：六维力传感器的标定和检测相比一维力要求明显提升

六维力的工作量相比一维力显著增加



一维标定

VS



六维标定&检测

六维力的设备相比一维力要求更高



一维标定

VS

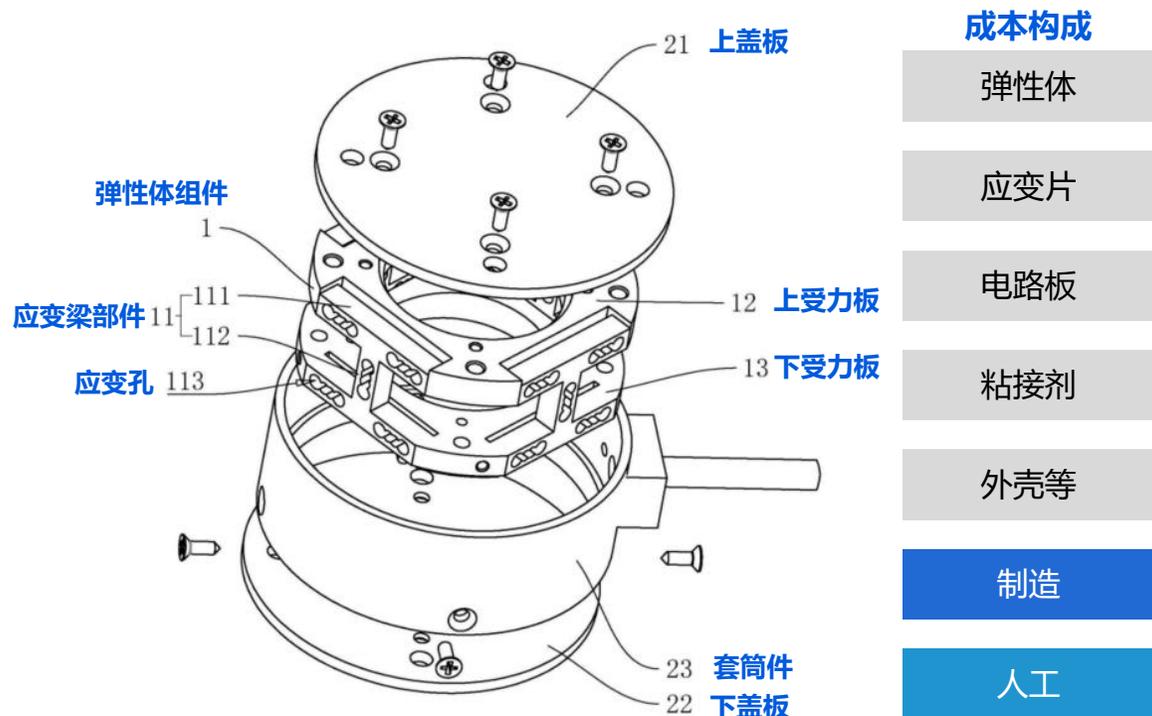


六维标定&检测

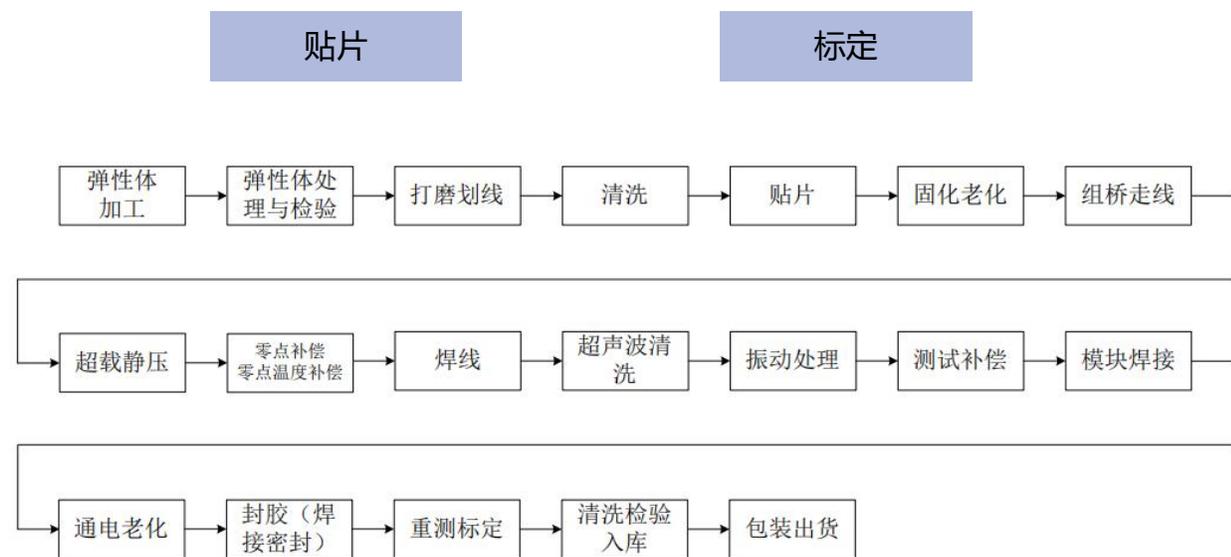
## 2.3.3 六维力降本：材料及人工成本占比高，推进MEMS等高效工艺开发

- 六维力传感器的研发壁垒较高，成本构成中应变片和人工成本占比较大。六维力开发的难度和壁垒高，在市场基数较小的当下价格昂贵，但一般来说成本在数千元，具有较高利润率。传感器成本构成包括材料、制造和人工成本，其中占比较高的是材料中的应变片和生产过程中的人工成本。根据齿轮传动微信公众号，每个六维力传感器通常需要使用约30-40个应变片。在传统应变片式传感器的生产工艺流程中，贴片与标定需要的工人数量较多，因此导致较高的人工成本。我们认为开发高效工艺、简化工序是六维力降本的重要策略。

图：一种高精度六维力传感器的爆炸图，材料成本中应变片占比高



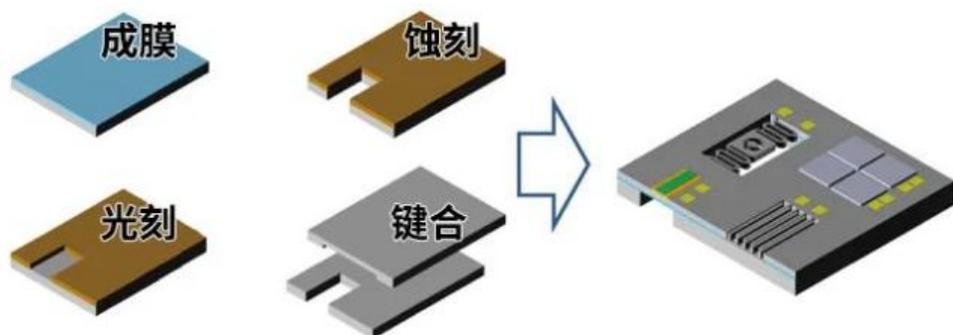
图：柯力传感的应变式传感器生产工艺流程，贴片与标定的人工成本比重大



## 2.3.3 六维力降本：材料及人工成本占比高，推进MEMS等高效工艺开发

MEMS技术是传感器高效生产的重要方向。MEMS即微机电系统，一个完整的MEMS往往包括微传感器、微执行器、微机械结构、信号检测与控制系统等，可以独立进行信号感知检测、处理、传输，其内部结构尺寸为微米甚至纳米量级。MEMS工艺以成膜工序、光刻工序、蚀刻工序等常规半导体工艺流程为基础。MEMS传感器相比传统机械传感器，具有体积小、集成化、智能化、低成本等优点。MEMS传感器种类丰富，应用场景多元，广泛用于汽车电子、智能手机、可穿戴设备、机器人/人工智能等。

图：基本的MEMS制造工艺



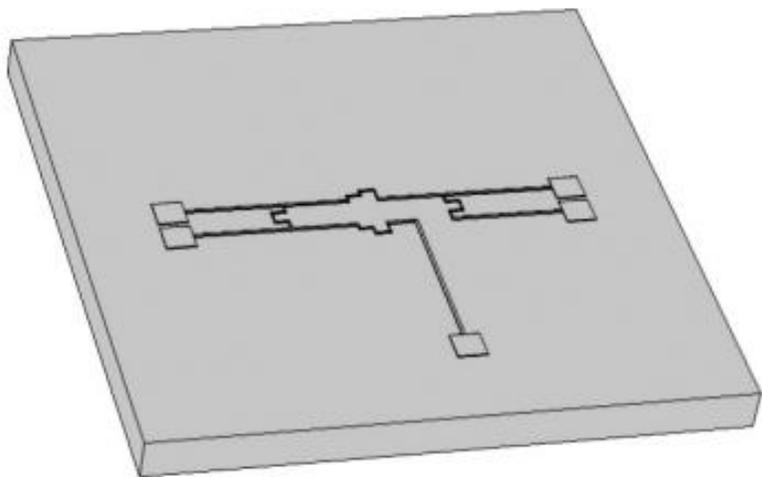
图：MEMS传感器的应用场景及其产品类型

汽车电子	智能手机	可穿戴设备	机器人/人工智能	物联网/智能家居
麦克风 加速度计 陀螺仪 电子罗盘 气压计 压力传感器 流量传感器 红外传感器 超声波传感器 激光测距仪 雷达传感器等	麦克风 光线传感器 距离传感器 重力传感器 加速度传感器 磁力计 陀螺仪 GPS 指纹传感器 霍尔感应器 气压传感器 心率传感器 血氧传感器 紫外线传感器	麦克风 加速度计 心率传感器 陀螺仪 脉搏传感器 磁力计 气压传感器 温度传感器 血氧传感器 皮肤电导传感器 GPS	位置传感器 速度传感器 力传感器 平衡传感器 视觉-光敏 触觉-热敏 听觉-声敏 嗅觉-气敏 味觉-味敏	麦克风 声波传感器 压力传感器 加速度传感器 磁力计 陀螺仪 流量传感器 温湿度传感器
无人机	AR/VR	智慧工业	微纳卫星	
加速度计 惯性测量单元 倾角传感器 大气监测传感器 电流传感器 磁传感器 发动机进气流量传感器	加速计 陀螺仪 磁力计 用于追踪动作的传感器	温湿度传感器 加速度计 陀螺仪	纳型星敏传感器 微型低功耗太阳敏传感器 硅基MEMS陀螺 微型石英音叉陀螺 MEMS磁强计 北斗/GPS接收机等	

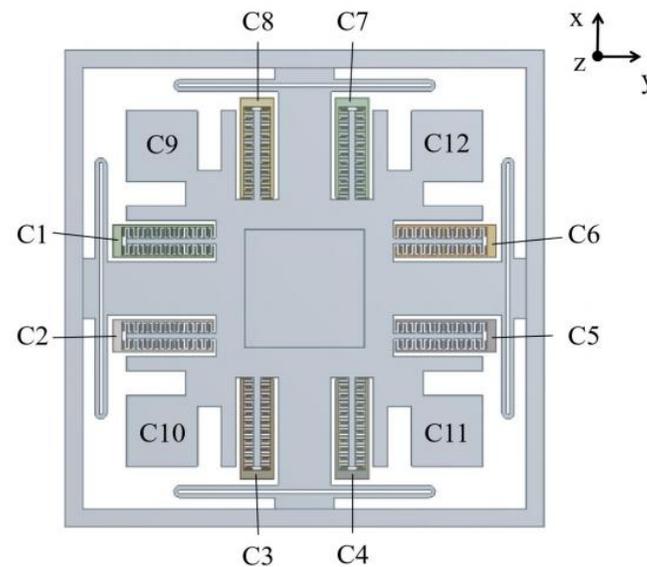
## 2.3.3 六维力降本：材料及人工成本占比高，推进MEMS等高效工艺开发

- MEMS力传感器持续发展，已被应用在各个行业领域，面向未来广阔的机器人发展空间，具有可观的应用前景。MEMS力传感器可将外界对其施加的力信号转化为电信号，相比传统的力传感器，其具有体积小、质量低、功耗低、响应时间短、可批量化生产、成本低、集成度高等诸多优点，已在军用装备、生物医学设备、汽车行业、机器人领域及消费电子产品等重要领域得到广泛应用。
- MEMS在多维力传感器的应用仍待性能进一步改善。MEMS在多维力传感器上应用可能导致输出精准度低于应变片式，同时还需要解决多维MEMS力传感器维间信号解耦。国内外积极优化多维力传感器性能，已有产品具备高灵敏度、高线性度、耦合信号低等优点，但在规模产业化方面仍然还需要持续迭代。我们认为MEMS工艺是实现六维力/力矩传感器高效生产的主要方向，叠加生产自动化率提升将有助降本。

图：利用COMSOL软件设计的压阻式MEMS压力传感器



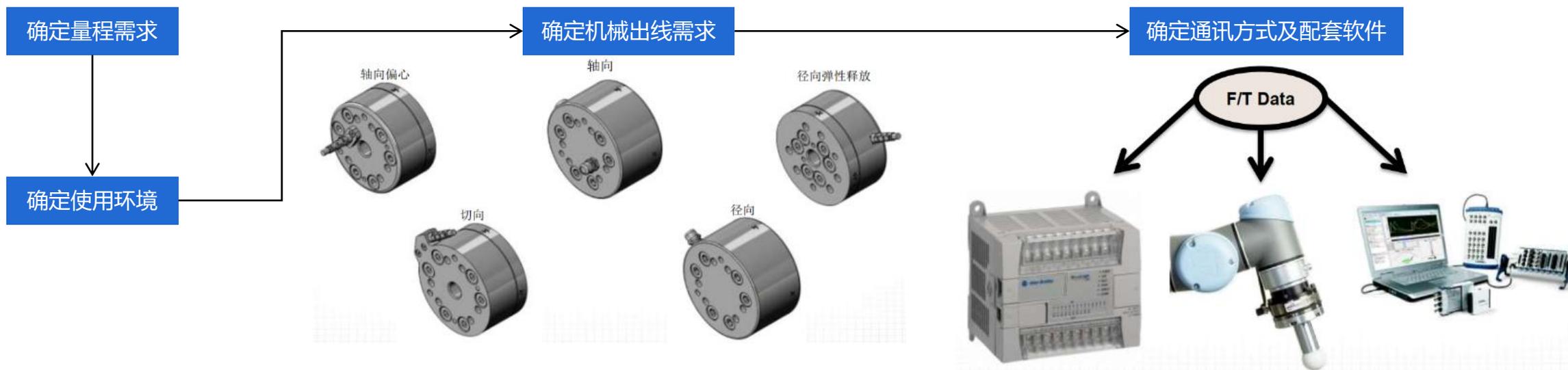
图：MEMS 多力信号传感器测量原理



## 2.3.4 面向复杂多元应用场景，优化和明确六维力选型关键流程

- 六维力传感器选型难，亦是产业推广的掣肘之一，需要优化和明确选型的核心流程。六维力/力矩传感器的选项和应用场景关联性大，因此不同选型的难点在于应用多样性、复杂性。目前针对多元的应用环境，选择合适的传感器主要包括四个核心步骤，即首先确定量程需求；其次确定使用环境，不同环境下需要考虑不同防护；然后确定机械出线需求，根据安装环境选择不同出线方式；以及确定通讯方式和配套软件，常见上位机包括PC，机器人，PLC等，力和力矩数据被用作数据采集源和运动控制。

图：六维力传感器选型的四个核心步骤



## 三、高端力觉传感器厂商梳理：面向产业机遇，群雄逐鹿之势渐显

- 3.1 六维力赛道：国产奋力追赶，将是未来应用拓展的主力军
- 3.2 坤维科技：发展迅速，六维力产品性能与销量领先
- 3.3 宇立仪器：积淀深厚，成长为全球领先的六维力厂商
- 3.4 蓝点触控：国内六维力第一梯队企业，产品已有成熟应用
- 3.5 鑫精诚传感器：国内六维力领先企业，成本优势相对显著
- 3.6 柯力传感：领先的智能传感器品牌，积极入局人形机器人领域
- 3.7 东华测试：结构力学性能测试龙头，加大传感器研发投入
- 3.8 中航电测：领先的智能测控产品厂商，大力发展“传感器”平台
- 3.9 康斯特：高端校准测试仪器上市企业，压力产品品类丰富
- 3.10 高华科技：积极推进MEMS等技术在传感器产品的应用
- 3.11 汉威科技：知名气体传感器及仪表制造商，柔性微纳传感技术领先
- 3.12 安培龙：智能传感器技术为核，专注敏感陶瓷与MEMS技术

## 3.1 六维力赛道：国产奋力追赶，将是未来应用拓展的主力军

- 六维力国产厂商奋力追赶海外主流品牌，将是未来技术迭代拓展场景的主力。国产品牌在串扰、温漂等指标已基本可以对标国外，在庞大工业体系和下游市场助力下，国产品牌将是未来的主力军，我们认为这一细分赛道或将涌现数家面向全球、多元场景的实力型国产知名品牌。

表：全球主要的六维力传感器厂商梳理

企业	总部	准度(%FS)	公司概况
ATI	美国	0.5%-2%	公司是世界领先的多维力传感器制造商，自1989年以来，一直致力于开发最先进的产品和解决方案。公司主营业务包括机器人快速转换装置及力传感器
SCHUNK	德国	2%	创建于1945年，主营产品包括精密夹具和自动化抓取系统、传感器等。公司的产品主要应用于机械和自动化领域
Robotiq	加拿大	3%	成立于2008年，总部位于加拿大魁北克，主营产品包括机器人末端夹具、力矩传感器、机器人相机套件等
OnRobot	丹麦	3%	OnRobot是一家全球性公司，由丹麦OnRobot、匈牙利OptoForce和美国Perception Robotics合并而成。主营产品包括机器人末端夹具、力矩传感器、机器人相机套件等
Sintokogio	日本	1%-3%	成立于1934年，主营业务分为五个部门。铸造部门生产和销售绿砂成型机、绿砂处理系统、化学粘合砂系统等。表面处理部门生产喷丸机、喷气机等。环境设备部门生产集尘器、废气净化器、废水处理系统等。物料搬运设备部门提供剪刀式升降机、输送机等。特种设备部门为外围行业生产设备，包括机电一体化、模具和成型。公司业务遍及全球，亚洲、北美和欧洲是其前三大市场
WACOH-TECH	日本	1%-3%	成立于2007年，主营业务包括力传感器和MEMS传感器（加速度计、陀螺仪）产品的开发、生产和销售
坤维科技	中国	0.5%	成立于2018年，是一家致力于提供高精度力觉传感器（六轴力传感器）及力控解决方案的企业。公司主营智能力觉传感器的研发、制造、销售及技术推广，开发面向机器人及其他智能装备行业的力觉传感器产品，为机器人及其他智能装备、工业过程监控、产品质量检测、科研测试测量等领域提供力觉测量解决方案及相关产品
宇立仪器	中国	1%-5%	公司是一家集生产、研发于一体的技术密集型企业，是原美国FTSS（现Humanetics ATD）总工程师黄约博士于2007年创立，公司在多轴力传感器设计领域积累近20年经验，在汽车行业和工业机器人领域具有较强的竞争优势
蓝点触控	中国	1%-2%	成立于2019年，是一家专业从事高精度、高性能力传感器以及力控产品研发和生产的高新技术企业。公司在多维力传感器、关节扭矩传感器、机器人力控技术等方面拥有深厚的经验积累和技术优势，现已形成Wrist六维力传感器、Joint关节扭矩传感器、力控应用软件包等多个产品系统
鑫精诚传感器	中国	1%-3%	成立于2009年，专注于微型压力、称重、多轴力、扭力等多样化的智能传感器及控制仪表的工业级产品研发和创新。为3C自动化设备、精密医疗、农业、新能源锂电、机器人、半导体、航空铁路、高校等领域提供力控系统解决方案与技术合作
海伯森	中国	1%-2%	成立于2015年，公司始终专注工业传感技术的创新，并在光学精密测量、工业2D/3D检测、机器人智能应用等领域形成成熟的产品矩阵，主营产品包括3D闪测传感器、3D线光谱共焦传感器、点光谱共焦传感器、超高速工业相机和六维力传感器等
南京神源生	中国	—	成立于2012年，致力于力测试技术的研究及其产业化，主营产品包括多维力传感器、扭矩传感器、摩擦磨损试验机、测力平台、刚度仪等
常州瑞尔特	中国	—	成立于2013年，是一家提供各类高端标准测力传感器以及非标定制服务于一体的综合性高新技术企业

## 3.2 坤维科技：发展迅速，六维力产品性能与销量领先

- 坤维科技致力于开发高能力觉传感器，正处快速成长通道。公司成立于2018年，是一家致力于提供高精度力觉传感器（六维力传感器）及力控解决方案的高新技术企业。公司主营智能力觉传感器的研发、制造、销售、及技术推广，开发面向机器人及其他智能装备行业的力觉传感器产品，为机器人及其它智能装备、工业过程监控、产品质量检测、科研测试测量等领域提供力觉测量解决方案及相关产品。创立仅6年，公司快速发展，在国内高能力觉传感器领域处于领先地位，其中六维力传感器产品在中国协作机器人领域的市占率已位居第一，2022年12月公司获批为高新技术企业。公司已完成多轮融资，合作企业超过230家，包括新松机器人、大族机器人、节卡等。

图：坤维科技发展历程



## 3.2 坤维科技：发展迅速，六维力产品性能与销量领先

- 深耕多轴力传感器，掌握多项核心技术。**公司创始团队全部来自于国内航天科研机构，从事多轴力传感器研发及应用15余年。历经多年积淀已掌握力觉测量核心技术，在研发和生产关键环节拥有多轴力/力矩传感器结构优化、六轴联合标校技术、高精度串扰解耦算法、高精度智能型嵌入式数采电路等技术，且在多轴力测量领域有大量的工程实践经验。
- 公司的六维力传感器产品矩阵完善，应用场景多元。**根据公司官网的六维力产品手册，公司的六维力传感器产品系列丰富，如多系列的六轴力传感器、六轴底座力传感器、夹爪指尖压力传感器等，产品可应用于机器人力觉、工业/测试、运动/康复、航空航天等领域。公司的六维力产品性能优异、处于行业领先水平，产品使用寿命可达1500万次、串扰优于0.5%FS。

图：坤维科技拥有多年力传感器研发经验，掌握多项核心技术



图：公司的六维力传感器产品系列丰富，应用领域广泛



### 3.3 宇立仪器：积淀深厚，成长为全球领先的六维力厂商

□ 从汽车碰撞假人领域起家，围绕力测量和力控制拓展产品及下游应用。宇立仪器SRI创始人黄约博士于2007年成立公司，研发、销售汽车碰撞假人多轴力传感器，2010年进入机器人行业，2022年进军辅助驾驶测试系统ADAS领域，公司主营多轴力传感器、力控打磨设备和汽车测试设备，围绕力测量和力控制，为全球客户提供系列化的解决方案。SRI的客户涵盖汽车安全、汽车耐久、机器人自动化和医疗等领域，典型客户包括全球大部分汽车企业、美敦力Medtronic、ABB、KUKA、YASKAWA和高校研究所等。

图：宇立仪器发展历程，公司围绕力测量和力控制，为全球客户提供系列化的解决方案



图：公司机器人力控领域的主营产品



### 3.3 宇立仪器：积淀深厚，成长为全球领先的六维力厂商

□ 领先的六维力传感器供应商，丰富的产品矩阵可适配广泛的应用场景。公司的多轴力传感器包括六维力传感器、三维力传感器、一维力传感器和关节扭矩传感器。公司是全球领先的六维力传感器供应商，所有产品拥有完全自主知识产权，拥有国际领先的生产线和检测实验室，从机械加工到贴片、焊接、标定，取得ISO17025（CNAS）认证，并符合国际规范，包含9大系列、拥有300多个产品型号。完善的六维力传感器产品矩阵可覆盖多元应用场景，包括机器人及自动化、汽车碰撞/耐久测试、生物力学及通用试验设备等。

表：宇立仪器的六维力传感器产品矩阵

系列	应用	说明	产品展示
M37XX	机器人&通用测试	M37XX系列直径15至135mm，50至6400N，0.5至320Nm，是矩阵解耦型6轴力传感器。M3701的直径15mm，厚度14mm，是全球商业化六轴力传感器。M37XX系列非线性、迟滞小于0.5%F.S，串扰小于2%F.S。3倍过载能力	
M33XX	工业型，主要应用于工业机器人	M33XX系列是结构解耦型的工业级6轴力传感器，专为工业机器人而设计，具有10倍过载保护功能，IP65防护等级，内置低噪声信号放大器，非线性、迟滞小于1%F.S，串扰小于5%F.S	
M43XX	工业型，主要应用于工业机器人	M43XX系列为工业级6轴力传感器，该类传感器提供3 - 10倍过载保护功能，IP65防护等级，内置低噪声放大器。M43XX系列非线性、迟滞小于0.5%F.S，串扰小于3%F.S	
M35XX	超薄型，适合空间受限的应用场景	M35XX系列为SRI超薄型6轴力传感器，是矩阵解耦型6轴力传感器。其技术受专利保护，其厚度薄至9.2mm，是全球商业化薄型六轴力传感器。最大允许3倍过载。IP60防护等级，M35XX系列非线性、迟滞小于1%F.S，串扰小于3%F.S	
M38XX	低量程高精度，适用于医疗机器人和精密装配等	M38XX系列是低量程、高精度工业级6轴力传感器，是矩阵解耦型6轴力传感器。非常适合于精密装配、风洞测试等。该类传感器提供10倍（或6倍）过载保护功能。直径大于75mm的型号可以内置放大器或采集卡。IP60防护等级，M38XX系列非线性、迟滞小于0.5%F.S，串扰小于2%F.S	
M39XX	大量程，量程大至300KN	M39XX系列是大量程、结构解耦型大量程6轴力传感器。外径从60mm至135mm，最大量程291600N。最大允许2倍过载，IP60防护等级，M39XX系列非线性、迟滞小于1%F.S，串扰小于5%F.S	
M3612X	六轴测力平台，用于医疗康复、运动训练等	六轴测力平台，1250至10000N，500至2000Nm，1.5倍过载能力。主要用于生物力学测试、推力测试等	

### 3.4 蓝点触控：国内六维力第一梯队企业，产品已有成熟应用

- 聚焦新型力传感器和柔性打磨机器人，产品、技术和市场层面持续拓展。**公司成立于2019年，是一家力传感器及柔性打磨机器人研发和生产制造商。蓝点触控自主研发的核心部件已全部实现国产化，已形成包括Wrist六维传感器、Joint关节扭矩传感器、力控工艺应用软件包等多个产品系列。通过深度整合柔性力控算法与工艺算法，蓝点触控已在医疗、卫浴、航空航天、3C、汽车、重工等多个行业规模化落地，应用于打磨、装配、医疗手术机器人、焊接、工业自动化、科研等众多领域。
- 突破重点技术，构建高精度力传感器产品壁垒，多维力产品已在细分领域成熟应用。**技术上公司主要围绕解耦算法、结构解耦设计、高精度数据处理、多轴同步校准四个方面进行重点突破，以满足复杂应用环境对力传感器和力控系统的高精度、高带宽和易用性的诉求。目前公司产品的动态力控精度可控制在0.1N，响应速度能达到毫秒水平。公司开发的Wrist系列多维力传感器已在柔性臂领域成熟应用。

图：蓝点触控的Wrist系列多维力传感器，具有多项核心技术



图：公司的力控方案应用广泛，涵盖全球优质客户



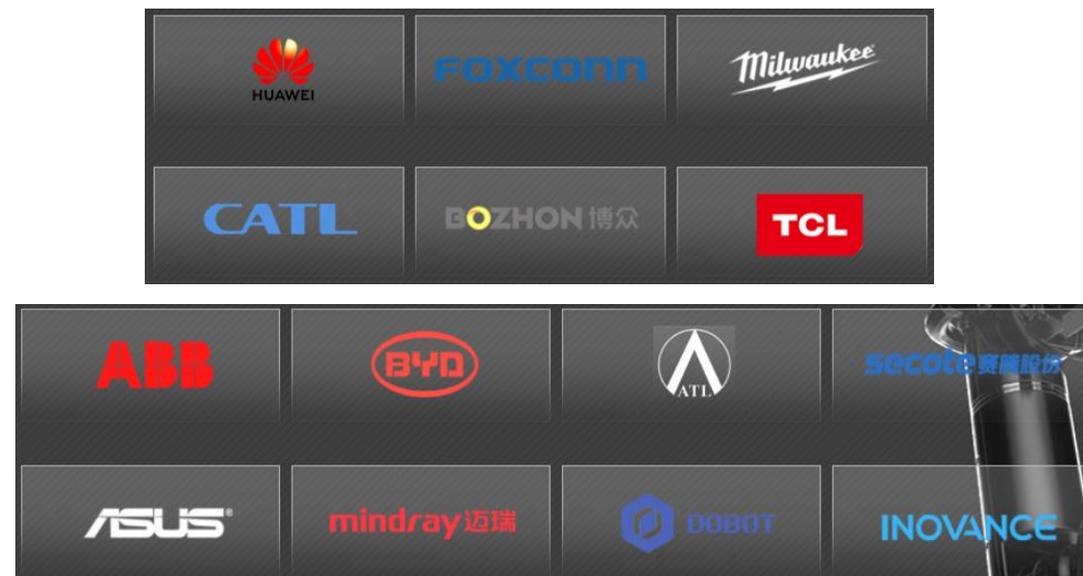
### 3.5 鑫精诚传感器：国内六维力领先企业，成本优势相对显著

- **3C起家，传感器产品已拓展至广泛场景。** 深圳市鑫精诚科技有限公司与深圳市鑫精诚传感技术有限公司，分别成立于2009年与2021年，公司早年从3C起家，获得苹果、富士康、华为等大型客户订单。公司专注于微型压力、称重、多轴力、扭力等多样化的智能传感器与控制仪表等工业级产品的创新研发和精益生产。公司为3C自动化设备、精密医疗、农业、新能源锂电、机器人、半导体、航空铁路等领域提供“力控系统解决方案”与技术创新，以及高校产学研合作。
- **自主研发并持续迭代六维力传感器，成本具备竞争力。** 鑫精诚传感器自主研发的六维力传感器系列，是在原有六维力传感器的技术沉淀下开发迭代而成，纯结构解耦的六维力传感器系列，经过时间沉淀后，技术更为成熟。2022年，公司六维力传感器客户仍集中在手机等3C行业，其优势主要是成本可控，一套传感器+数据采集卡+软件的均价仅1.3-1.5万元/套。

图：公司专业提供各类力控系统解决方案



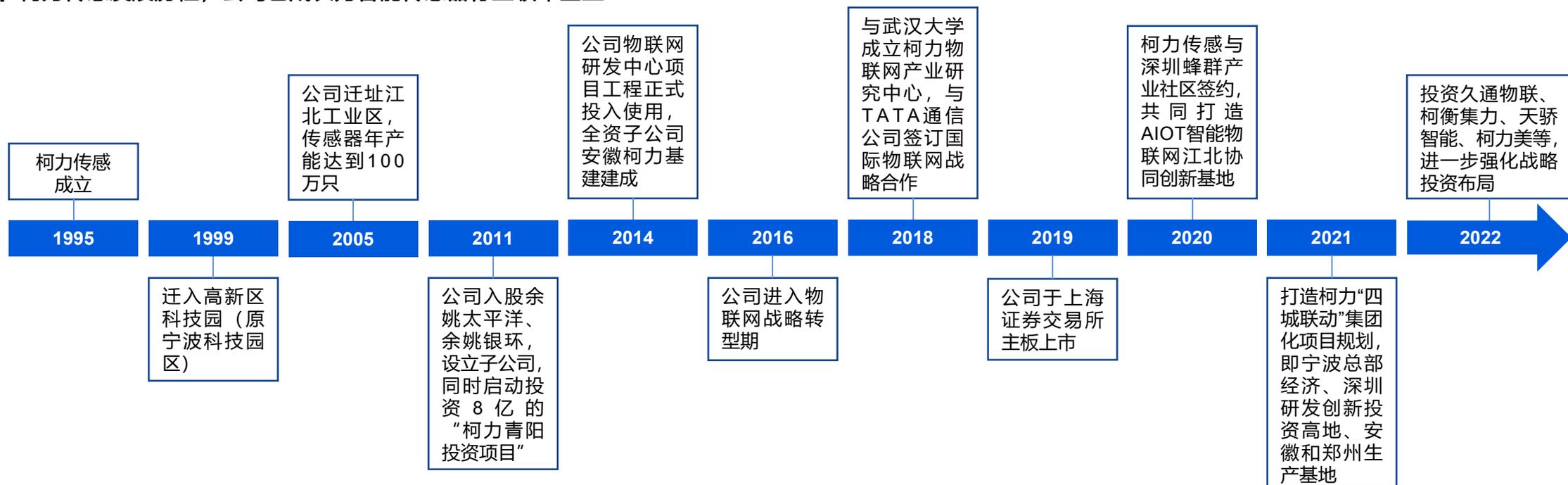
图：公司的主要合作伙伴，涵盖下游丰富场景



### 3.6 柯力传感：领先的智能传感器品牌，积极入局人形机器人领域

- **力学起步发展多品种传感器，成长为领先的智能传感器品牌。**成立于1995年，是智能传感器行业领军企业，主要研制和生产各类型物理量传感器，以及不同工业物联网系统及多场景应用解决方案。公司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。目前公司已是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，连续多年称重传感器国内市场占有率第一位。
- **持续开展多元产业布局，打造产业生态。**公司坚持“力敏+其他物理量传感器+智能物流设备+工业物联网自动化设备+物联网平台企业”的五大投资方向，投资优质企业强化战略投资布局；另一方面，公司积极打造柯力“四城联动”集团化项目规划，即宁波总部、深圳研发创新投资高地、安徽和郑州生产基地。公司助力产业生态建设，最终以研发创新中心+产业投资+产业园+产业大脑+产业集团化为核心，培育传感器森林，目标成为国内品种多、融合深、场景优的全球智能制造传感器公司。

图：柯力传感发展历程，公司已成长为智能传感器行业领军企业



## 3.6 柯力传感：领先的智能传感器品牌，积极入局人形机器人领域

- 公司锚定传感器平台、传感器、物联网设备三大板块，丰富品类面向多元场景。公司主营业务为研制、生产和销售应变式传感器、仪表等元器件；提供系统集成及干粉砂浆第三方系统服务、不停车检测系统、无人值守一卡通智能称重系统、制造业人工智能系统、企业数字化建设软件开发服务、移动资产管理系统、物流分拣系统等。
- 加快向平台型企业转型，积极布局人形机器人相关传感器。公司正加快从单一物理量传感器企业向多物理量传感器融合的平台型企业的转型发展。围绕机器人及相关传感器产业，在已有的微型、扭矩、多维力等高端力学传感器品类基础上，加快自主研发，积极寻求与各大机器人厂商的商务合作，同时围绕“人形机器人”所涉及的触觉、视觉传感器积极寻求对外投资机会，积极应对产业变化。

表：公司锚定传感器平台、传感器、物联网设备三大板块，产品品类丰富

图：公司积极围绕机器人及相关传感器产业开展布局

品类	具体产品	产品示例
应变式传感器	钢制传感器、铝制传感器	
仪表	物联网电子称重仪表、电子称重仪表、其他物联网仪表、其他仪表、大屏幕系列、变送器系列、接线盒系列	
系统集成	无人值守汽车衡系统、软件定制服务、车载系统系列、称重系统、起重设备安全控制、冶金产业称重元件、物联网应用	
压力与温度系列	电子式压力测量、液位测量、电子式温度测量、控制器与显示装置、行业应用、备件	
流量计	智能电磁流量计、涡街流量计、金属浮子流量计、涡轮流量计、LZB/LZJ系列玻璃转子流量计、LZT系列面板（管道）式流量计、其他系列	
物联网系统	起重物联网、汽车衡物联网系统、地上衡物联网系统、干粉砂浆物联网系统、工业物联网系统、其他物联网系统、物联网系统辅助工具	
干粉砂浆设备租赁服务	干粉砂浆料罐租赁服务、干粉砂浆行业信息化管理系统服务、第三方物流服务	
其他	微型传感器、不停车检测系统	

高端力学  
传感器

在公司目前已有的微型、扭矩、多维力等高端力学传感器品类基础上，加快自主研发，积极寻求与各大机器人厂商的商务合作。根据客户的不同需求，公司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

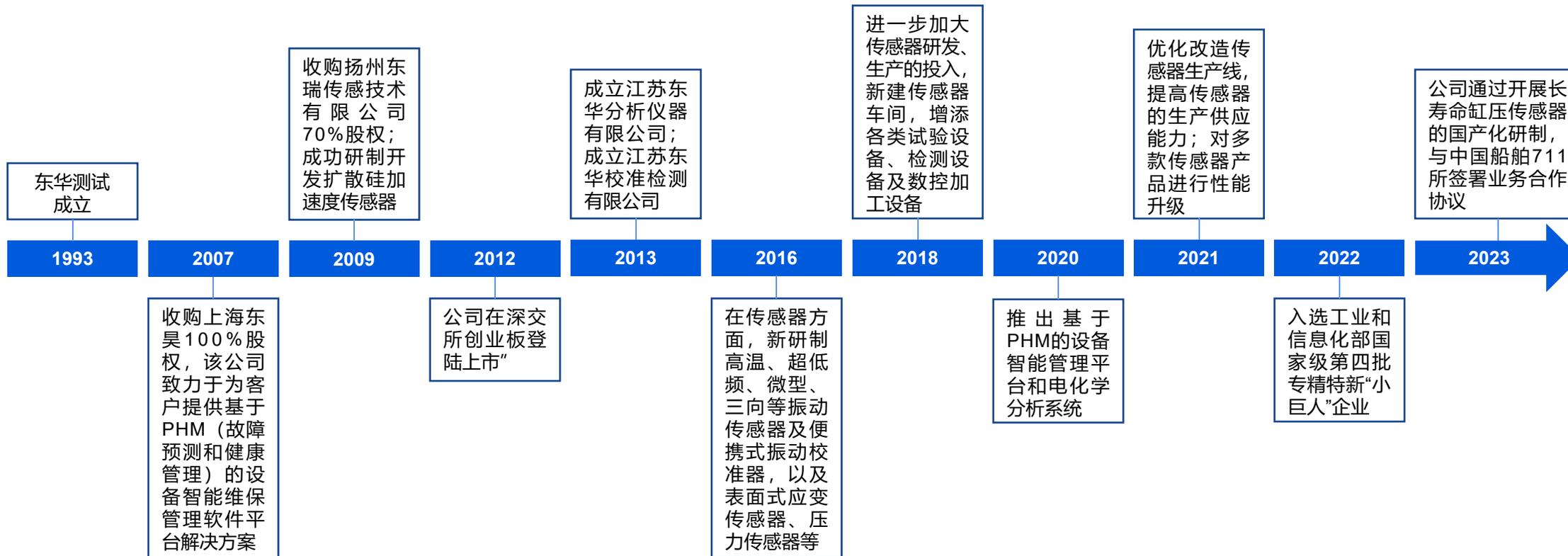
其他类型机  
器人传感器

公司围绕“人形机器人”所涉及的触觉、视觉传感器积极寻求对外投资机会，到2023年6月底，已经储备了若干个技术壁垒高、市场前景广的机器人传感器种子项目

### 3.7 东华测试：结构力学性能测试龙头，加大传感器研发投入

□ 专注于智能化测控系统的研发和生产，是领先的结构力学性能研究整体解决方案供应商。公司成立于1993年，为国内领先的结构力学性能研究和电化学工作站整体解决方案提供商，30余年来，公司始终专注于智能化测控系统的研发、生产和销售。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，所有产品都是自主研发、设计和生产，拥有独立自主的知识产权。公司产品广泛应用于国内航空航天、重大装备、大型建筑、轨道交通、新能源汽车、水利工程等行业。

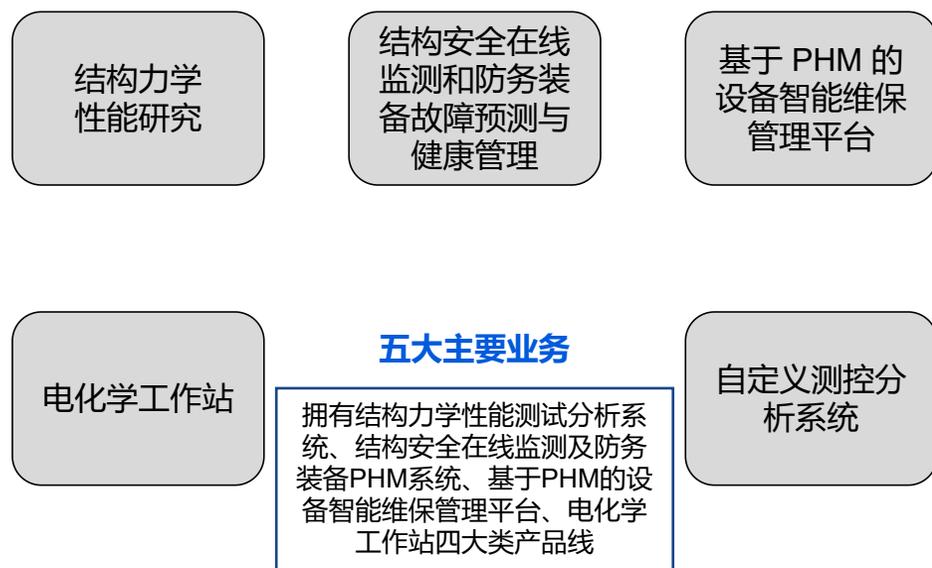
图：东华测试发展历程，已成长为国内领先的结构力学性能研究和电化学工作站整体解决方案提供商



### 3.7 东华测试：结构力学性能测试龙头，加大传感器研发投入

- 公司产品线日臻完善，形成五大主要业务。**公司主要业务包括结构力学性能研究、结构安全在线监测和防务装备故障预测与健康管理和基于 PHM 的设备智能维保管理平台、电化学工作站、自定义测控分析系统。为适应不同行业的现场应用需求，公司研发了多规格多类型的产品，如便携式测试系统、分布式网络动态测试分析系统、煤安防爆系列在线监测系统、大型结构实验模态测试分析系统及工业现场状态监测系统等。此外，公司推进自定义测控分析系统、实验与仿真融合分析平台两大新产品的研发与落地，将进一步丰富公司的产品线。
- 加大传感器研发投入，持续丰富产品品类。**近年来公司增加传感器的研发投入、扩充产品品类，同时优化改造传感器生产线、提高传感器的生产供应能力。主要的传感器产品包括加速度传感器、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等，公司传感器产品可靠性高、稳定性高、指标优异，适用于各种恶劣环境。

图：公司及子公司拥有五大主要业务，四大类产品线



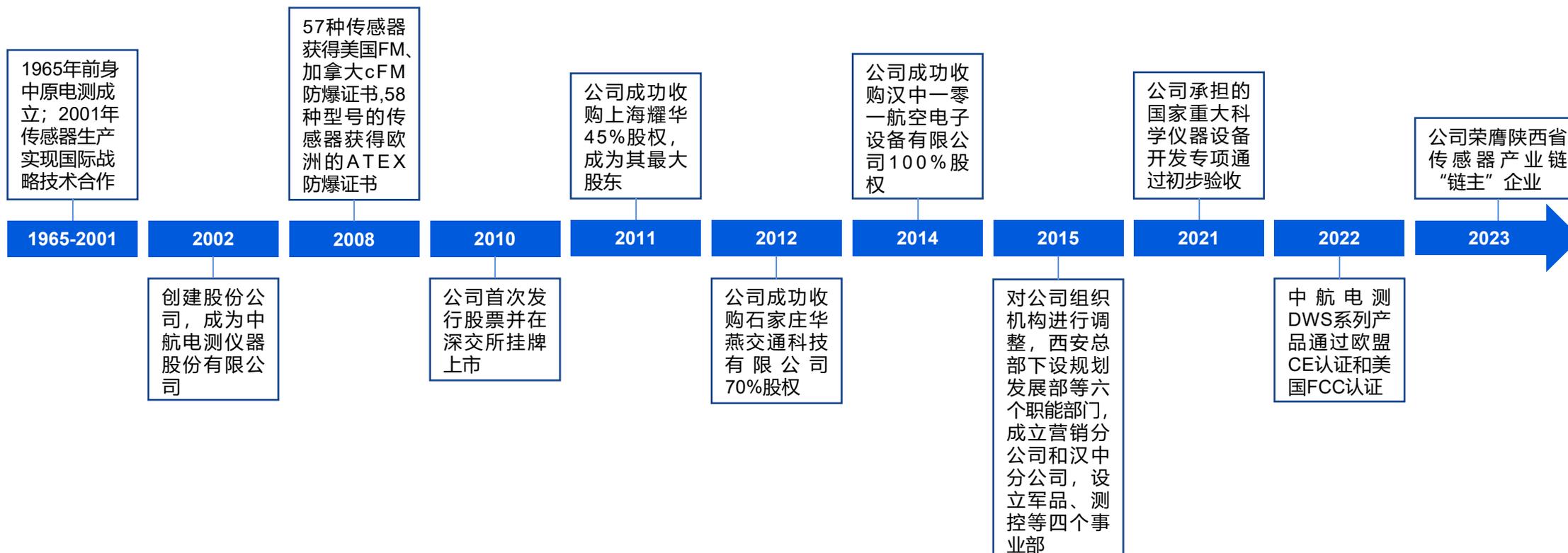
图：公司持续加大传感器的研发投入，丰富产品品类

加速度传感器	速度传感器	位移传感器	应变传感器
低频压电式 通用压电式 标准压电式 冲击压电式 三向压电式 模态压电式 高温压电式 水下压电式 微小型压电式 工业压电式	压电式 磁电式	拉线 电涡流 直线	负荷传感器 应变计 轮辐式力传感器
高压压电式 水下压电式 微小型压电式 工业压电式 压阻式 电容式 坐垫传感器	压力传感器 压阻式 水下爆炸	光纤传感器 光纤温度传感器 光纤压力传感器 光纤应变传感器	轴功率传感器 光电转速传感器 扭矩传感器 全极性霍尔传感器

### 3.8 中航电测：领先的智能测控产品厂商，大力发展“传感器”平台

□ 依托智能测控核心技术，发展为智能测控产品解决方案的一流供应商。公司成立于2002年，是中国航空工业集团有限公司下属企业，聚焦于技术同源、产业同根的“智能测控”领域，业务涵盖航空军品、传感控制、智能交通、工业软件四大业务板块，是国内提供军民用智能测量和控制产品及系统解决方案的领先企业。公司目前主要产品涉及飞机测控产品和配电系统、电阻应变计、应变式传感器、称重仪表和软件、机动车检测系统、驾驶员智能化培训及考试系统、智慧物流分拣系统、智能工业称重系统、智能仓储配送系统、智能车载称重系统、精密测控器件等多个方向及领域。

图：中航电测发展历程，公司是国内提供军民用智能测量和控制产品及系统解决方案的领先企业



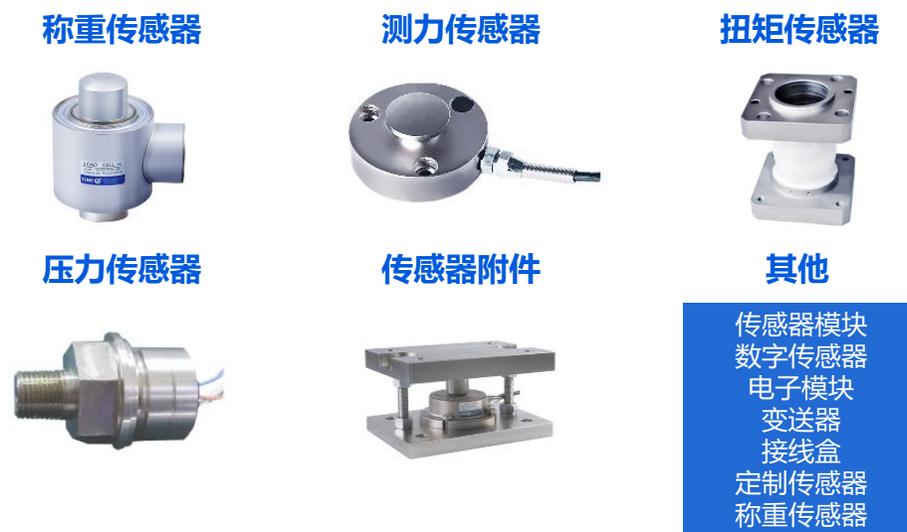
### 3.8 中航电测：领先的智能测控产品厂商，大力发展“传感器”平台

□ 从应变计到传感器，公司大力发展“传感器”平台。2023上半年，传感控制是公司占比最大（收入比重超50%）、毛利率水平最高的板块，公司正大力发展“传感器平台”，以接近传感器、压力传感器、液位传感器等产品为核心，强化低成本和快速反应竞争力，加速航发、航天、战车、船舶应用推广。在应变式传感器领域，公司既有丰富的传感器品类，包括称重传感器、测力传感器、扭矩传感器、压力传感器等可供选择，覆盖广泛场景，同时在传感器组件方面，开发、生产和销售电阻应变计，包括常规电阻应变计、高阻应变计、薄膜基底电阻应变计等，精度高性能好，我们认为随应变式传感器等需求提升，公司作为销售高精度应变计的领先企业亦将充分受益。

图：公司的传感器用应变计具有多种品类，可满足不同场景需求



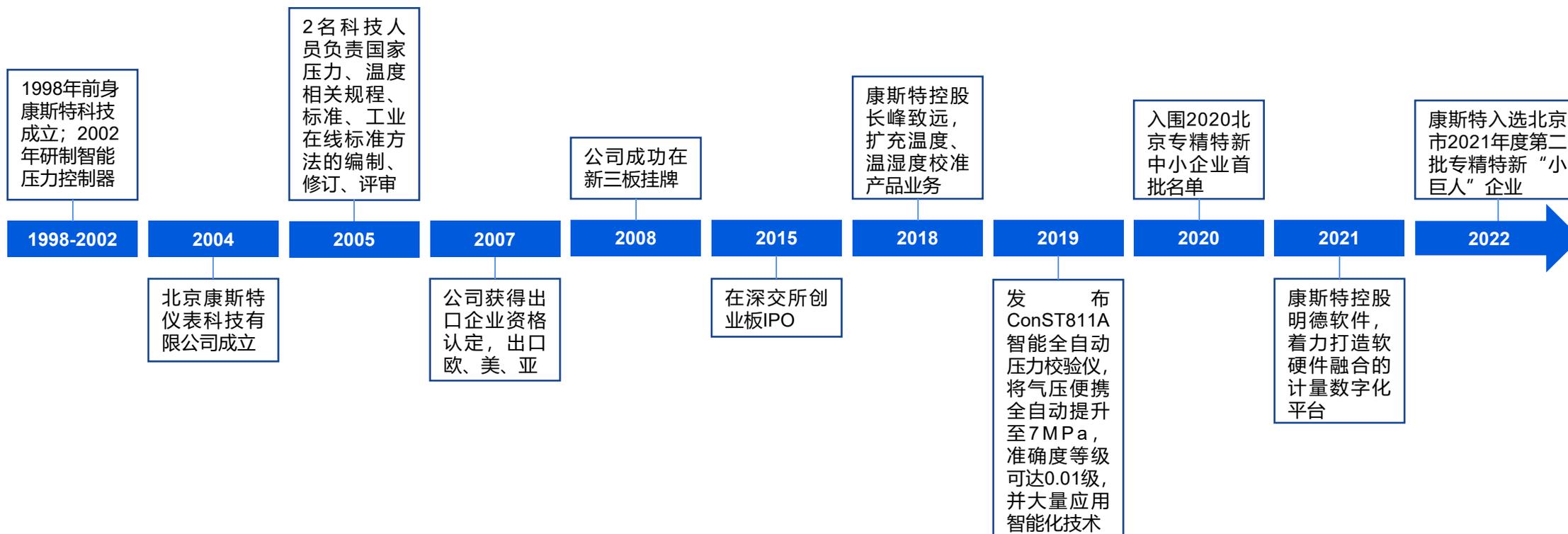
图：公司的应变传感器品类丰富，覆盖广泛场景



### 3.9 康斯特：高端校准测试仪器上市企业，压力产品品类丰富

□ 高端仪器仪表企业，已进入压力检测领域全球知名品牌行列。公司成立于2004年，是一家集机电一体化、软件算法开发、精密制造于一体的高端校准测试仪器上市企业，主营业务为数字检测仪器设备研发、生产与销售，为全球用户提供高性能和高可靠性的压力、温湿度、过程及电学校准测试仪器与解决方案，产品广泛应用于电力、石油、化工、制药、计量、冶金、交通、机械、制造等行业。公司国际市场占总营收近50%，外销产品的90%销往美欧日等工业发达区域，公司的品牌体系已进入压力检测领域全球知名品牌行列。

图：康斯特发展历程，公司是一家集机电一体化、软件算法开发、精密制造于一体的高端校准测试仪器上市企业



# 3.9 康斯特：高端校准测试仪器上市企业，压力产品品类丰富

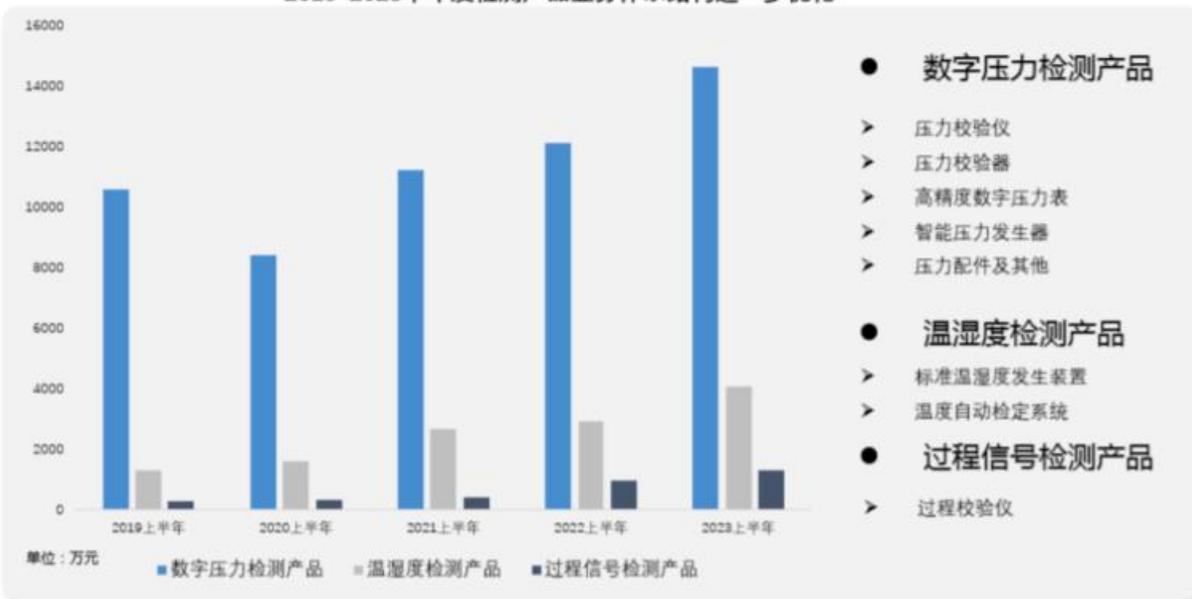
核心数字压力检测产品为主，推动其他产品线渗透率提升。2023上半年公司检测产品约2亿元占营收比重94%，其中数字压力检测产品约1.46亿元，同比增长20.5%。公司围绕应用场景完善产品结构与解决方案升级，以核心数字压力检测产品为主，引导客户进行方案整体规划，带动其他产品线渗透速率的提升。公司的压力产品品类丰富，包括压力校验仪、压力控制器等，其中ConST820 系列压力控制器可用于计量检测、传感器/仪表等生产测试，我们认为随传感器需求提升，公司作为“卖铲子”企业有望率先受益。

图：公司以核心数字压力检测产品为主，引导客户进行方案整体规划，带动其他产品线渗透率提升



图：公司的压力产品包括压力校验仪、压力控制器等

2019-2023半年度检测产品业务体系结构进一步优化



- 检测一体化平台
  - 云检测 (SaaS)
  - 本地化部署
- 基石Lims
  - SaaS
  - 本地化部署
- 云测平台



### 3.10 高华科技：积极推进MEMS等技术在传感器产品中的应用

- 深耕高端装备配套传感器行业，产品可靠性高且可满足不同使用环境的需求。公司是以研发、设计、生产及销售高可靠性传感器和传感器网络系统的高新技术企业。主要产品为各类压力、加速度、温湿度、位移等传感器，以及通过软件算法将上述传感器集成为传感器网络系统。公司在高可靠性传感器封装与测试，传感器网络系统方面拥有自主研发能力和核心技术，同时公司已具备MEMS传感芯片、ASIC调理电路的自主设计能力。公司核心产品具有可靠性高、一致性好、集成度高的特点，应用于航天、航空、兵器、轨交、冶金等领域。
- MEMS等技术正加速研发投入，逐步应用在各类传感器产品中。公司加速在MEMS 传感芯片、ASIC 调理电路方面的研发投入，逐步应用到主要产品当中。目前，公司压力、加速度、湿度传感器均采用 MEMS 技术。2023上半年公司自研的扩散硅原理 MEMS 压力芯片已实现量产；SOI 原理 MEMS 压力芯片已完成初样验证，并开始进行小批量试制。

图：公司主营业务为高可靠性传感器及传感器网络系统的研发、设计、生产及销售



公司的高可靠性传感器指满足国标、军标、宇航级标准要求下，可在恶劣和严酷环境（如高温、低温、高冲击、强腐蚀性和复杂电磁环境等）下长期稳定工作的传感器

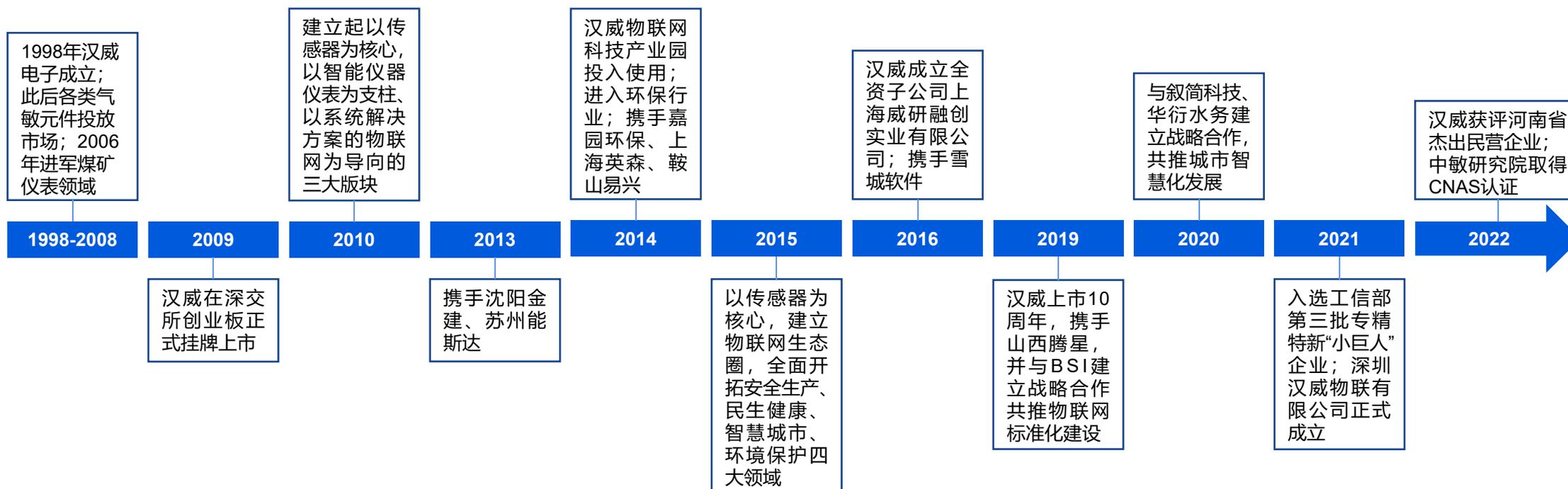
图：公司主要传感器产品的感测原理及技术路线

收入分类	传感器类型	是否采用MEMS技术	公司采用的感测原理和技术路线
压力	压力	全部采用MEMS技术	基于压阻效应原理，通过MEMS压阻技术实现
加速度	加速度	全部采用MEMS技术	基于电容原理，通过MEMS电容技术实现
加速度	振动	未采用MEMS技术	基于压电式原理，通过陶瓷压电技术实现
温湿度	湿度	全部采用MEMS技术	基于硅电容原理，通过MEMS电容技术实现
温湿度	温度	未采用MEMS技术	基于热电阻、热电偶原理，通过对热电阻及热电偶的利用实现
位移	位移	未采用MEMS技术	基于磁致伸缩原理，通过铁磁性材料实现

### 3.11 汉威科技：知名气体传感器及仪表制造商，柔性微纳传感技术领先

□ 气敏元件起家，成长为以传感器为核心的物联网解决方案知名提供商。公司成立于1998年，通过多年的内生外延发展，成长为国内知名的气体传感器及仪表制造商、物联网解决方案提供商，构建了相对完整的物联网（IoT）生态圈，主要是以传感器为核心，将传感技术、智能仪表技术、数据采集技术、地理信息和云计算等物联网技术紧密结合，形成了“传感器+监测终端+数据采集+空间信息技术+云应用+AI”的系统解决方案，业务应用覆盖传感器、智能仪表、物联网综合解决方案、公用事业及居家智能与健康等行业领域。

图：汉威科技发展历程，公司是国内知名的气体传感器及仪表制造商、物联网解决方案提供商



### 3.11 汉威科技：知名气体传感器及仪表制造商，柔性微纳传感技术领先

- 公司传感器品类丰富，聚焦核心技术攻关和战略需求导向，积极推进产品市场导入和重点客户的深入布局。公司的传感器业务集研发、生产、销售为一体，掌握厚膜、薄膜、MEMS、陶瓷等核心工艺，产品覆盖气体、压力、流量、温度、湿度、光电、加速度等门类，该板块业务主要由公司旗下子公司炜盛科技、山西腾星、深圳汉威、苏州能斯达等开展。
- 柔性微纳传感技术领先，子公司与机器人企业积极开展业务合作。公司柔性微纳传感器业务主要由控股子公司苏州能斯达开展，目前已形成四大核心技术、七大产品系列，柔性微纳传感技术水平及产业化程度国内领先。柔性微纳传感器在智能机器人领域已有明确应用，公司已和小米科技、九号科技、深圳科易机器人等积极开展合作，我们认为在下游产业趋势明确的阶段、公司产品或将被率先考虑批量使用。

图：公司的传感器产品覆盖气体、压力、流量、温度、湿度、光电、加速度等门类



酒精传感器、工矿安全用传感器、环保健康用传感器、民用安防用传感器、流量压力传感器、红外光电传感器、水质传感器、其他传感器

图：苏州能斯达是汉威科技的成员企业，专注于柔性微纳传感技术的研发和产业化

2009	苏州纳米所研究院海归科学家带领科研团队在微纳电子与材料领域取得重要成果
2013	能斯达成立；并在同年12月加入国内首批创业板上市公司-汉威科技集团
2017	柔性产品实现批量化生产，并扩大产品系列，成为知识产权贯标企业
2019	顺利通过高新技术企业复审，年出货量突破100万支
2022	苏州能斯达柔性微纳传感技术获小米产业基金千万元Pre-A轮投资

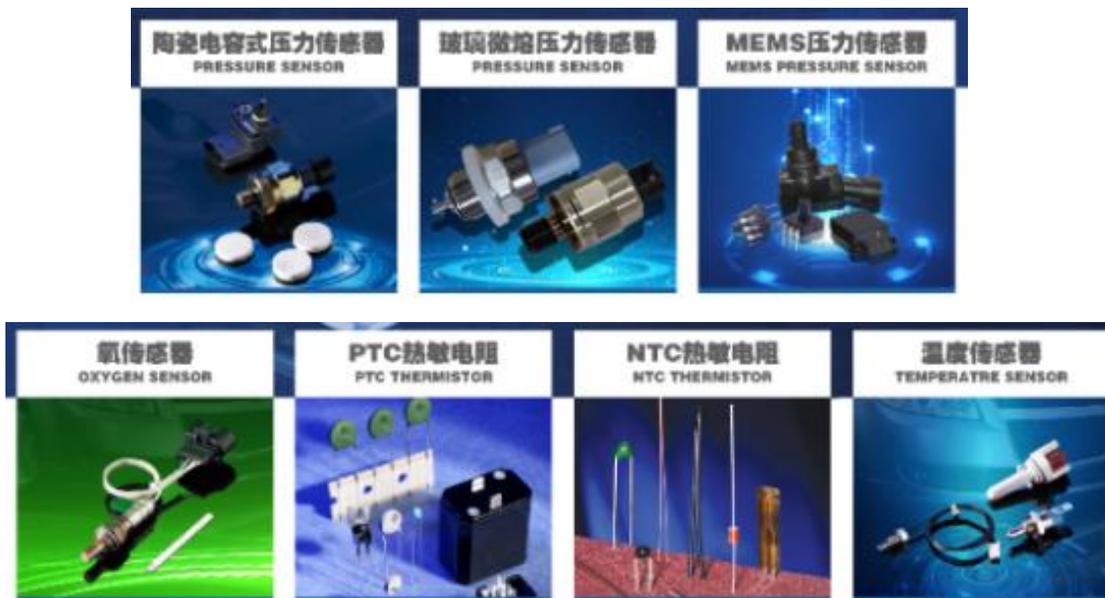
传感器定制化服务：柔性压力传感器、柔性压电传感器、柔性电容传感器、柔性热敏传感器、柔性温湿度传感器、柔性应变传感器、柔性织物传感器、健康家居等



### 3.12 安培龙：智能传感器技术为核，专注敏感陶瓷与MEMS技术

- 智能传感器技术领先，拓展多元市场与知名客户。公司成立于2004年，经过多年的高速发展，公司以领先的智能传感器技术为核心，专业致力于为客户提供温度、压力、湿度、空气等多维感知和控制解决方案的一流智能传感器制造商，主要产品包括压力传感器、氧传感器、温度传感器、PTC热敏电阻器、NTC热敏电阻器等，产品广泛应用于汽车、智能家居、智慧医疗、物联网、消费类电子、航空航天、工业控制等领域，主要客户有比亚迪、上汽集团、美的集团、凌云股份、华为、三星、GE、海尔等诸多国内外知名企业。
- 持续加强敏感陶瓷技术、MEMS技术两个技术平台建设，压力传感器将是未来主要的收入增长点之一。公司打破了国外对陶瓷电容式压力传感器的技术壁垒，且是国内少有能够顺利产业化的企业，已实现对比亚迪、上汽集团、长城汽车、东风汽车等品牌的批量交付；此外，公司已开发出 MEMS 硅压阻式压力传感器，以响应汽车用低压量程压力传感器需求的迅猛增加。

图：公司致力于为客户提供温度、压力、湿度、空气等多维感知和控制解决方案



图：公司的压力传感器技术领先，持续推进下游应用

产品类别	市场规模 (2022)	公司销售规模 (2022)	客户结构	技术水平
压力传感器	全球：500亿元以上（汽车电子领域）； 中国：197亿元（汽车电子领域）	2.47亿元	1、抓住国产替代的历史机遇，快速提升在上汽集团、比亚迪、东风汽车、长城汽车等整车企业以及万里扬、全柴动力等汽车零部件企业的供货份额  2、丰富产品结构，推进 MEMS 压力传感器在绿山咖啡、东风汽车等客户的规模化应用	公司作为国内少数能够实现陶瓷电容式压力传感器规模化应用的企业，获得工信部2019年度工业强基重点产品传感器“一条龙”应用计划示范企业。此外，核心发明专利“一种温度-压力一体式传感器”打破了国外公司对该类型产品的技术壁垒

## 四、投资建议及风险提示

## 4.1 投资建议

- 行业评级：机器人由自动化向智能化进化，力控要求提升，尤其是在高精度场景下需要采用多维力传感器，六维力/力矩传感器可为机器人运动控制提供力信息，从而完成复杂、精细作业，或将成为未来智能机器人的标配产品，首次覆盖六维力/力矩行业，给予“推荐”评级。
- 重点关注：具备传感器技术积淀，积极入局机器人赛道，布局相关产品的企业，建议关注柯力传感、东华测试、中航电测、康斯特、高华科技、汉威科技、安培龙等上市公司。

重点公司代码	股票名称	2024/03/11	EPS			PE			投资评级
		股价	2022	2023E	2024E	2022	2023E	2024E	
300007.SZ	汉威科技	16.71	0.85	1.11	1.01	19.96	15.12	16.51	买入
300114.SZ	中航电测	42.80	0.33	0.18	0.23	31.43	244.29	188.71	买入
300354.SZ	东华测试	48.99	0.88	1.27	1.81	43.40	38.61	27.08	增持
300445.SZ	康斯特	19.85	0.36	0.47	0.63	34.34	42.04	31.74	未评级
603662.SH	柯力传感	31.53	0.92	1.10	1.38	17.87	28.58	22.84	未评级
688539.SH	高华科技	38.45	0.81	0.88	1.22	—	43.81	31.43	未评级
301413.SZ	安培龙	64.00	1.57	1.29	1.86	—	49.63	34.38	未评级

资料来源：Wind资讯，国海证券研究所

注：未评级公司的盈利预测为 wind 一致预期

- 人形机器人产业化不及预期：若产品产业化低于预期，将影响产业发展速度
- 人形机器人力觉传感器技术路线发生变化：若力觉传感器技术路线变化，将影响六维力产品的导入
- 六维力产品技术提升不及预期：若产品技术没有明显改善，将影响其导入到下游场景的速度
- 六维力产品成本控制不及预期：若产品成本较难控制、价格昂贵，将影响产业推广
- 重点关注公司业绩不及预期：若产业链相关公司业绩下滑，相关业务规划推进可能受到影响

## 电新小组介绍

李航，首席分析师，曾先后就职于广发证券、西部证券等，新财富最佳分析师新能源和电力设备领域团队第五，卖方分析师水晶球新能源行业前五，新浪财经金麒麟电力设备及新能源最佳分析师团队第四，上证报最佳新能源电力设备分析师第三等团队核心成员。

邱迪，联席首席分析师，中国矿业大学（北京）硕士，电力电子与电气传动专业，4年证券从业经验，曾任职于明阳智能资本市场部、华创证券等，主要覆盖新能源发电、储能等方向。

李铭全，浙江大学硕士，能源环境工程专业，2年证券从业经验，主要覆盖新能源汽车、机器人方向。

王润青，香港科技大学硕士，材料专业，2022年加入国海证券电新组，主要覆盖风电、氢能源板块。

洪瑶，南开大学学士，北京大学硕士。2022年加入国海证券，覆盖锂电新材料等板块。

## 分析师承诺

李航, 邱迪, 李铭全, 本报告中的分析师均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，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，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收取到任何形式的补偿。

## 国海证券投资评级标准

### 行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

### 股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；

增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%~20%之间；

中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

## 免责声明

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。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、价值及投资收入可能会波动。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。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的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、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

## 风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

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、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

## 郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 电新研究团队

# 心怀家国，洞悉四海



## 国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋  
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

## 国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银  
行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

## 国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168  
号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597