

2025年06月03日

汽车

行业深度分析

人形机器人系列报告（一）：六维力传感器市场加速扩容，国产替代机遇与挑战并存

投资要点

人形机器人产业化进程加速，六维力传感器或为解决运动控制关键增量零部件，本篇报告从六维力传感器技术、市场空间、竞争格局等角度进行分析，其国产替代机遇值得重点关注。

◆ **六维力传感器的必要性如何：**运动控制能力仍为当前人形机器人重点提升方向，六维力传感器或为运动控制能力的优解。以行走和奔跑为例，人形机器人在脚踝或足底使用六维力传感器，可以实时测量地面力的大小和方向分布，进而将数据传输给小脑，通过控制算法调整人形机器人的机体平衡和步态，完成在非平整地面、障碍地面的稳定行走和避障。

◆ **六维力传感器的技术壁垒在哪：**六维力传感器适用于力的作用点和方向均随机变化的场景，比如机器人末端关节控制。应变式传感器在稳定性、刚度、精度方面表现优秀，是目前主流的技术路线。其有三大技术壁垒，涉及到产品结构设计、生产工艺和标定检测，其中核心壁垒主要体现在标定和测试阶段：标定设备属于非标设备，无法直接采购，需要六维力传感器厂商自行研制；相比一维力传感器，六维力传感器需要标定的样本点呈指数级增长；各个测量方向间存在维间耦合，消除耦合误差是影响精度和准度的关键。

◆ **六维力传感器的市场空间及竞争格局：**随着人形机器人产业化进程加速，将会带动零部件行业快速降本，六维力传感器成本下降也会进一步刺激行业采用更多的六维力传感器，人形机器人将为六维力传感器贡献主要增量。根据我们的测算，至2030年，六维力传感器市场空间将有望达到144.42亿元，CAGR-5为49.73%；至2035年有望达到277.80亿元，CAGR-10为30.6%。目前六维力传感器的总销量仍然较低，生产成本较高，降本需求迫切。且外资占据了主要的高端市场，近年来国产品牌也开始发力，逐步缩小差距，国产替代空间广阔。

◆ **投资建议：**我们认为人形机器人产业化进展符合预期，复杂场景交互需求带来零部件增量，建议重视力传感器赛道，需求空间大，国产替代空间广阔。建议关注产业化进程，尤其是降本曲线及已有产品突破甚至已完成送样的力传感器企业：如凌云股份、安培龙、杭州柯林、柯力传感、东华测试、中鼎股份、华培动力、索辰科技、汉威科技等。

◆ **风险提示：**1) 人形机器人产业化进程不及预期风险；2) 六维力传感器国产化进程不及预期风险；3) 竞争加剧风险；4) 原材料或核心零部件涨价风险。

投资评级

领先大市(维持)

首选股票

评级

一年行业表现



资料来源：聚源

升幅%	1M	3M	12M
相对收益	0.04	1.55	24.82
绝对收益	1.89	0.27	32.09

分析师

黄程保

SAC 执业证书编号：S0910525040002
huangchengbao@huajinsc.cn

相关报告



更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

内容目录

1. 六维力传感器为人形机器人重要增量零部件	4
1.1 运动控制能力为人形机器人重点提升方向	4
1.2 六维力传感器或为运动控制能力的优解	5
2. 六维力传感器行业具有高技术壁垒	7
2.1 六维力传感器适用于复杂受力场景	7
2.2 应变式传感器为当前六维力主流技术	9
2.3 六维力传感器核心壁垒在于标定及测试	11
3. 人形机器人带来重要增量，国产替代空间广阔	13
3.1 人形机器人将成为六维力传感器重要增量市场	13
3.2 降本需求迫切，国产替代空间广阔	14
4. 投资建议：关注降本曲线及重点企业送样进展	16
5. 风险提示	24

图表目录

图 1：特斯拉 Optimus 跳舞视频	4
图 2：特斯拉 Optimus 展示家务任务	4
图 3：全球首个人形机器人半程马拉松赛在北京亦庄举行	5
图 4：人形机器人技术迭代方向	6
图 5：六维力传感器在不规则沙袋路面表现优异	6
图 6：六维力传感器在砂石路面表现优异	6
图 7：智元机器人在远征 A2-W 分拣机器人的手腕处使用了六维力传感器	7
图 8：一维力传感器适用场景	8
图 9：三维力传感器适用场景	8
图 10：六维力传感器适用场景	8
图 11：六维力传感器应用于机器人场景	8
图 12：六维力传感器的应用场景	9
图 13：六维力传感器不同工作原理对比	10
图 14：应变式力传感器工作原理	10
图 15：应变式六维力传感器结构示意图	11
图 16：六维力传感器结构拆分	11
图 17：力传感器主要制造工艺	11
图 18：美国六维力传感器标定及检测设备	12
图 19：以色列六维力传感器标定及检测设备	12
图 20：一维力传感器与六维力传感器标定检测对比	12
图 21：精度和准度为六维力传感器的核心指标	13
图 22：2024 年六维力传感器分行业出货量占比	14
图 23：全球六维力/力矩传感器主流厂商	15
图 24：中国六维力传感主流厂商	15
图 25：凌云股份营业收入及增速	17
图 26：凌云股份归母净利润及增速	17
图 27：安培龙营业收入及增速	18

图 28: 安培龙归母净利润及增速	18
图 29: 杭州柯林营业收入及增速	19
图 30: 杭州柯林归母净利润及增速	19
图 31: 柯力传感营业收入及增速	20
图 32: 柯力传感归母净利润及增速	20
图 33: 东华测试营业收入及增速	20
图 34: 东华测试归母净利润及增速	20
图 35: 中鼎股份营业收入及增速	21
图 36: 中鼎股份归母净利润及增速	21
图 37: 华培动力营业收入及增速	22
图 38: 华培动力归母净利润及增速	22
图 39: 索辰科技营业收入及增速	23
图 40: 索辰科技归母净利润及增速	23
图 41: 汉威科技营业收入及增速	24
图 42: 汉威科技归母净利润及增速	24
表 1: 亦庄人形机器人半程马拉松大赛完赛队伍及成绩	5
表 2: 六维力传感器技术路线对比	9
表 3: 全球六维力传感器空市场空间测算	14
表 4: 工信部人形机器人揭榜挂帅部分任务榜单	15
表 5: 《人形机器人创新发展指导意见》主要内容	16

1. 六维力传感器为人形机器人重要增量零部件

1.1 运动控制能力为人形机器人重点提升方向

特斯拉人形机器人 **Optimus** 优化方向聚焦于智能化程度及运动控制能力。5 月 13-14 日，特斯拉发布了其人形机器人 **Optimus** 跳舞的视频；5 月 23 日，特斯拉再次发布了人形机器人 **Optimus** 最新进行家务操作的视频，在这段视频中 **Optimus** 展示了其在家庭环境中的多种能力，包括扔垃圾、使用扫帚和吸尘器、撕纸巾、搅拌锅中的食物、打开橱柜、关闭窗帘等日常家务，此外，它还成功地将一辆 **Model X** 的前连杆抬起并放置在手推车上。从两段展示视频可以看出，特斯拉 **Optimus** 的优化集中在其智能化学习能力及运动控制能力方面。

图 1：特斯拉 **Optimus** 跳舞视频



资料来源：特斯拉，华金证券研究所

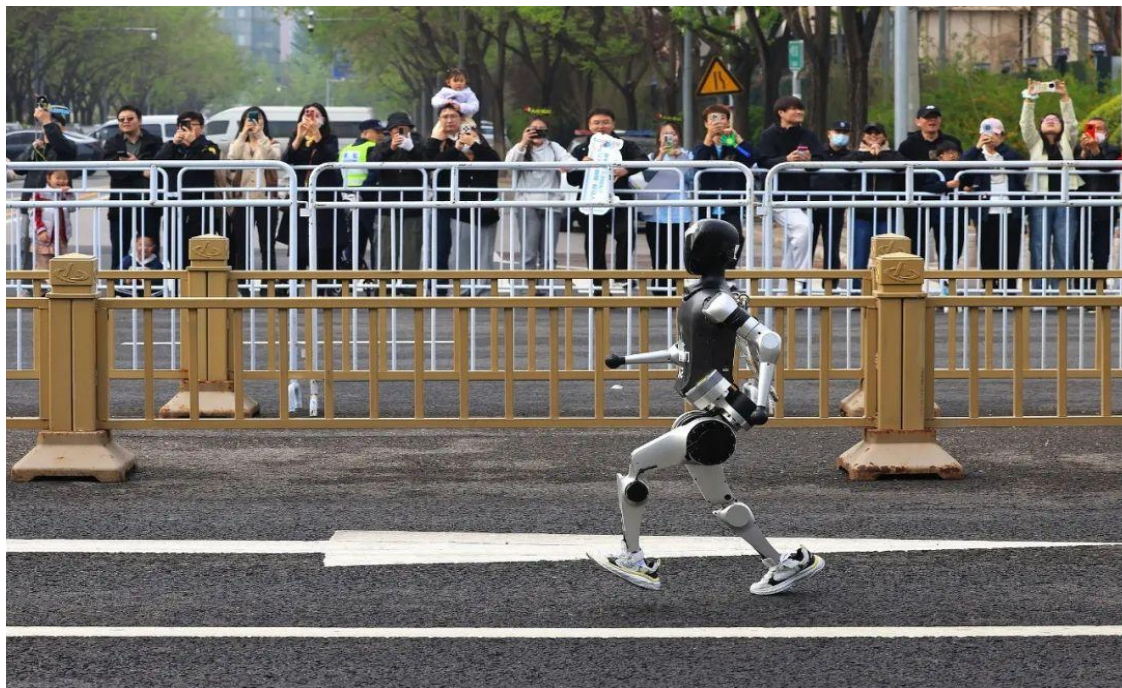
图 2：特斯拉 **Optimus** 展示家务任务



资料来源：特斯拉，华金证券研究所

机器人半程马拉松赛看出人形机器人运动控制能力或存在提升空间。4 月 19 日，由中央广播电视总台北京总站参与联合主办的全球首个人形机器人半程马拉松赛在北京亦庄举行，共吸引了来自北京、上海、广东、宁夏等地的 20 支机器人团队参赛。比赛采用“人机共跑”21.1 公里的创新办赛形式，且比赛没有再单独为人形机器人专门铺路、修路，地形环境丰富多样，包含平地与坡道，最大坡度 $\leq 9^\circ$ 。此次比赛中，机器人普遍出现跑步过程中步态不稳、失去平衡甚至摔倒、等问题，最终完赛的机器人队伍仅有 6 只，完赛率为 30%。反映出当前人形机器人运动控制能力或存在提升空间。

图 3：全球首个人形机器人半程马拉松赛在北京亦庄举行



资料来源：央视新闻，华金证券研究所

表 1：亦庄人形机器人半程马拉松大赛完赛队伍及成绩

名次	队伍名称	更换次数	总用时	最终用时
第一名	天工队	无更换人	2:40' 42"	2:40' 42"
第二名	小顽童队	更换一次机器人	3:27' 50"	3:37' 50"
第三名	行者二号队	更换两次机器人	4:00' 56"	4:25' 56"
第四名	旋风小子队	更换四次机器人	3:46' 55"	4:51' 55"
第五名	EAI 队	更换两次机器人	4:45' 27"	5:10' 27"
第六名	半醒机器人队	更换五次机器	4:02' 19"	5:27' 19"

资料来源：中国新闻社，华金证券研究所

1.2 六维力传感器或为运动控制能力的优解

具身智能及运动控制将成为拉开差距的关键。从当前的产品来看，做一个“人形”的“机器人”并不难，但是要做一个可以像人一样处理各种工作任务并且能像人一样交互思考的机器人需要强大的技术支撑。我们认为，具身智能及运动控制将成为拉开差距的关键。

图 4：人形机器人技术迭代方向



资料来源：华金证券研究所

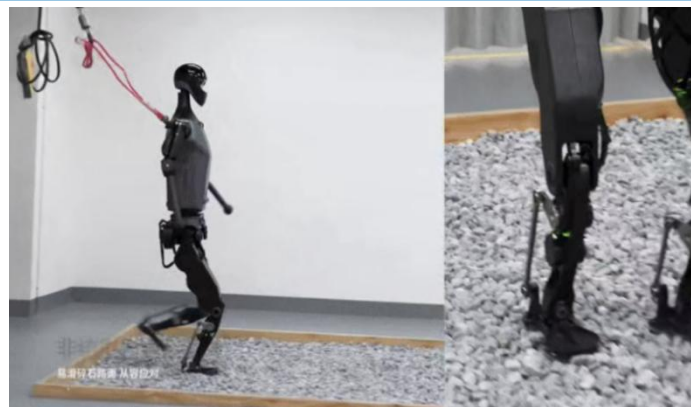
六维力传感器或是解决人形机器人行走甚至奔跑控制能力的优解法。针对人形机器人“频频摔倒”、机体平衡和步态问题，六维力传感器可以很好地助力解决。以行走和奔跑为例，人形机器人在脚踝或足底使用六维力传感器，可以实时测量地面力的大小和方向分布，进而将数据传输给小脑，通过控制算法调整人形机器人的机体平衡和步态，完成在非平整地面、障碍地面的稳定行走和避障。

图 5：六维力传感器在不规则沙袋路面表现优异



资料来源：高工机器人，华金证券研究所

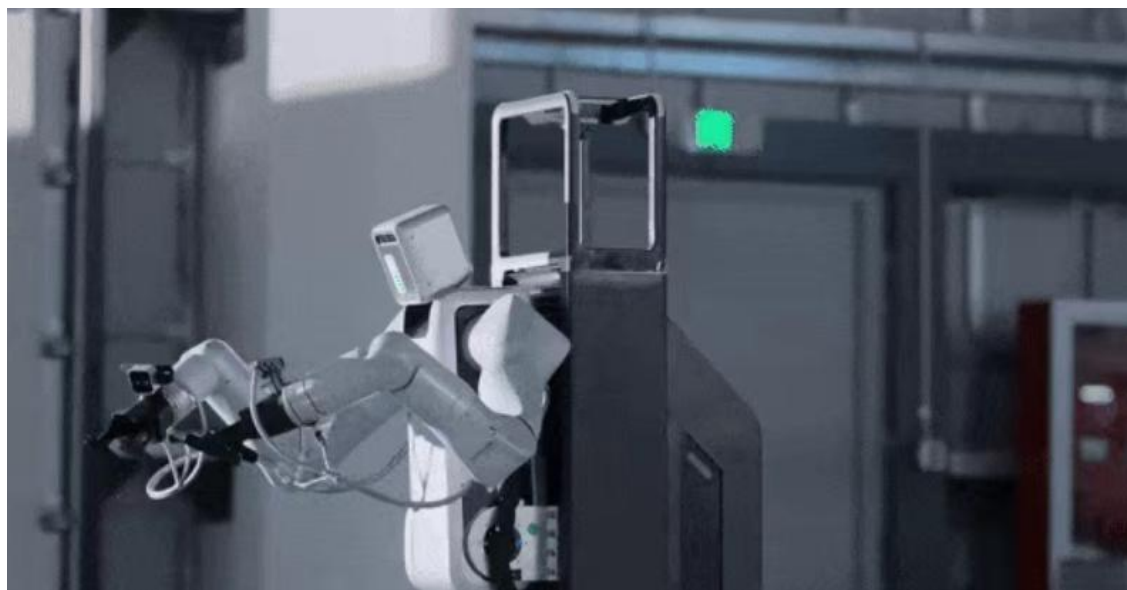
图 6：六维力传感器在砂石路面表现优异



资料来源：高工机器人，华金证券研究所

六维力传感器能让灵巧手胜任精细的操作工作。人形机器人为了适用于更多的工作场景，其手部的灵巧程度至关重要，而在手腕部位安装六维力传感器，哪怕 0.1N 微小的力度变化也能及时捕捉，可以帮助机器人精准判断物体的重量和所需施加的力量，避免对物体造成损坏或力度不足，提升机器人手部操作的精细化程度，既能保证与人类日常交互的安全性，又足以胜任如微小零件的精密装配、分拣、物料搬运等工作。

图 7：智元机器人在远征 A2-W 分拣机器人的手腕处使用了六维力传感器



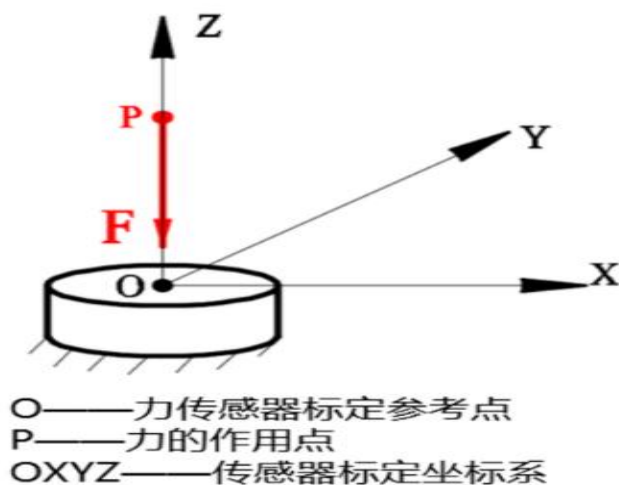
资料来源：高工机器人，华金证券研究所

2. 六维力传感器行业具有高技术壁垒

2.1 六维力传感器适用于复杂受力场景

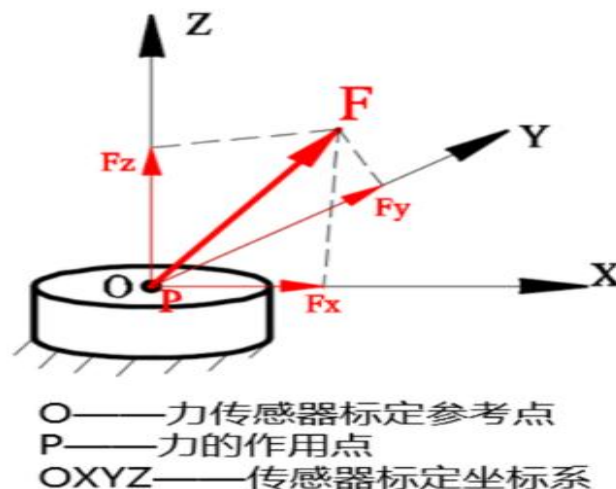
力传感器可分为一维、三维和六维力，六维力传感器适用于机器人等高精度要求的场景。力觉传感器，顾名思义就是感知并度量力的传感器。力传感器按测量维度可以分为三类：一维力传感器，三维力传感器和六维力传感器。一维力传感器适用于测量轴线和力的方向完全重合的场景；三维力传感器适用于力的作用点固定，且与标定参考点重合，但力的方向随机变化的场景。六维力传感器适用于力的作用点和方向均随机变化的场景，比如机器人末端关节控制。六维力矩传感器通过内部算法，实现各个方向力与力矩的解耦，推算部件的姿态，测量精度最高，还可以根据力矩大小，有效保护传感器与部件。

图 8：一维力传感器适用场景



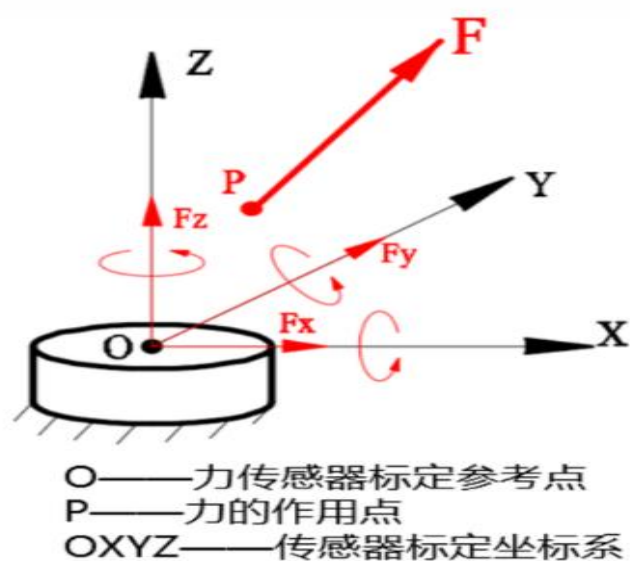
资料来源：坤维科技官方公众号，华金证券研究所

图 9：三维力传感器适用场景



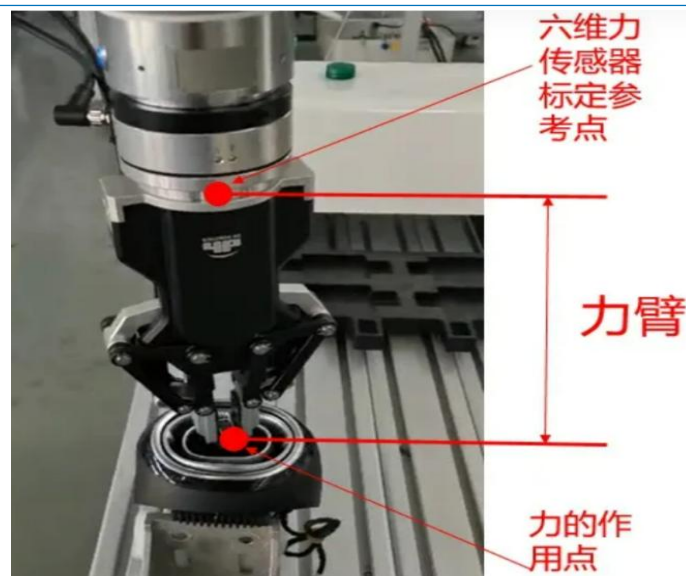
资料来源：坤维科技官方公众号，华金证券研究所

图 10：六维力传感器适用场景



资料来源：坤维科技官方公众号，华金证券研究所

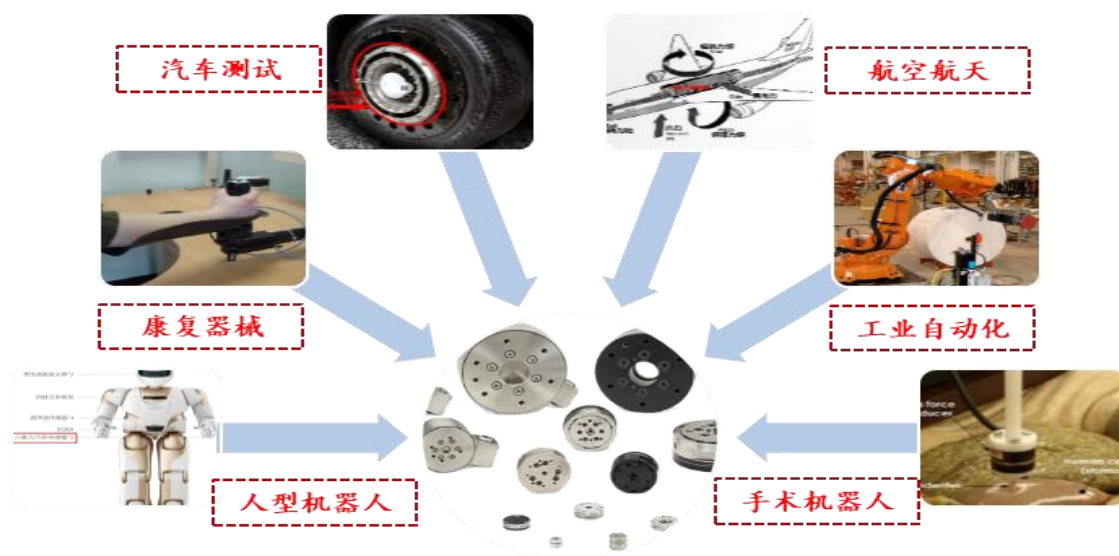
图 11：六维力传感器应用于机器人场景



资料来源：坤维科技官方公众号，华金证券研究所

六维力传感器广泛用于汽车、医疗、航空航天、生物力学、机器人及自动化领域。近年来，随着 AI 技术和传感器技术的发展，智能机器人拥有了强大的自主感知、自主决策能力，可以完成更复杂的任务，应用场景得到了进一步拓展。

图 12：六维力传感器的应用场景



资料来源：华金证券研究所整理

2.2 应变式传感器为当前六维力主流技术

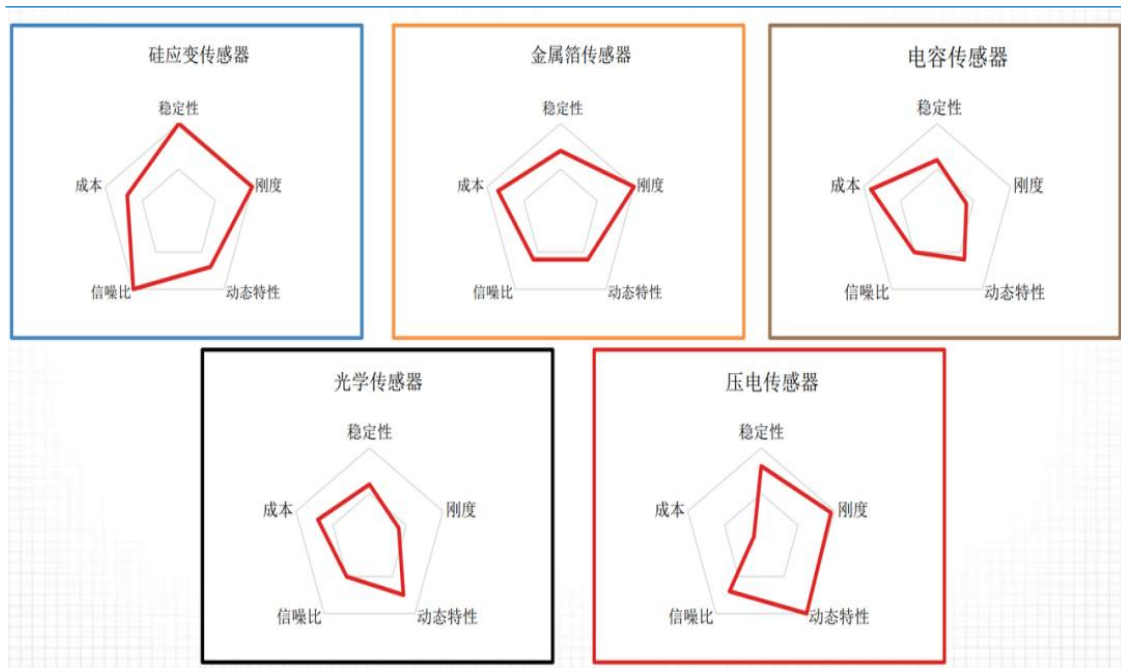
应变式传感器在稳定性、刚度、精度方面表现优秀，是目前主流的技术路线。根据工作原理，六维力传感器主要可以分为三类：1) 应变式力传感器，采用硅或金属箔等材料，通过形变改变阻值，进而反映力信号；2) 光学式力传感器，通过光栅反应形变，进而转变为力；3) 压电式力传感器，分为电容式和压电式，电容式通过极距变化改变电压，压电式通过形变改变电荷。国际龙头企业 ATI 采用了硅应变片方案，通过对稳定性、刚度、动态特性、成本和信噪比五个方面的对比，硅应变传感器在稳定性、刚度、信噪比方面优势明显，同时随着工艺的改进，成本有望进一步降低。

表 2：六维力传感器技术路线对比

技术类别	技术原理	优点	缺点
应变式	弹性应变受力引起阻值变化	输出线性度好，精度高，稳定性好，刚度大，可检测静态量和动态量。	受温度影响大，存在机械滞后，有蠕变与零漂。
电容式	相对极板间介质层受力使得电容变化	线性相应好，动态范围宽，易实现非接触测量。	易受噪音干扰，介电常数易受温度影响。
光电式	弹性体变形引起光接受器的强度变化	分辨率高，可与视觉技术兼容，无电气干扰，信号处理电路分离。	结构刚度较低，性能主要依赖弹性体。
压电式	敏感元件受力后两端电阻发生变化	动态范围宽，可靠性高，固有频率高，灵敏度和信噪比高。	仅能测量动态力，不适用于静态测量，阻抗高。
压阻式	相对电极受力后载荷发生变化	单调相应，动态范围宽，负载能力强，耐用性强。	存在迟滞与非线性，弹性材料的机械、电性能需要优化。

资料来源：《空间机械臂六维力/力矩传感器及其在线标定的研究》孙永军，华金证券研究所

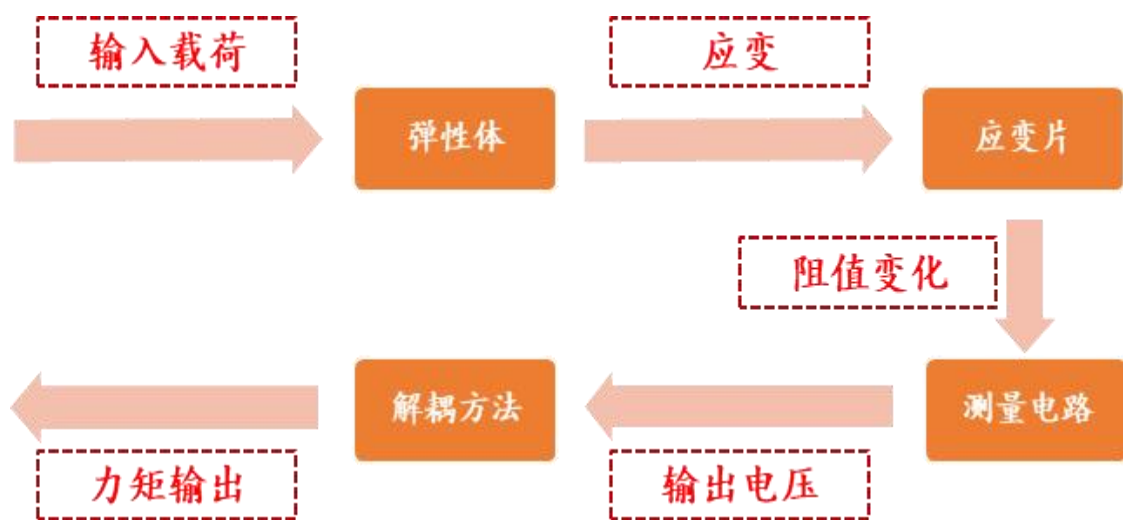
图 13：六维力传感器不同工作原理对比



资料来源：Leaderbot 公众号，华金证券研究所

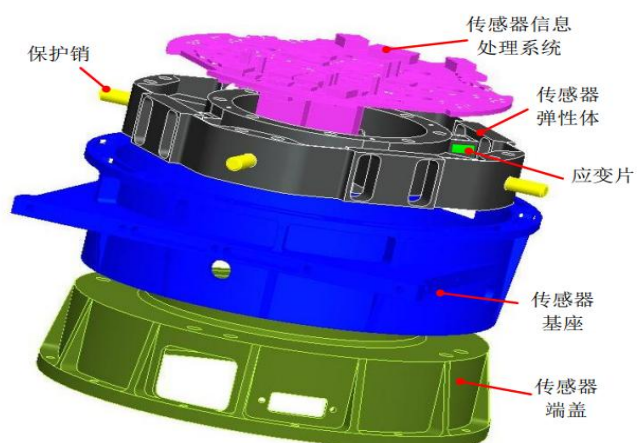
六维力传感器主要由应变片、弹性体、信息处理器、保护销、传感器基座和传感器端盖构成。被测元件首先将力和力矩传给敏感元件，然后通过转换元件进行滤波、调制、解调、衰减、运算等处理，将力信号转化为电压、电流等信号，最后通过软件进行解耦，将信号拆解成三个方向的力和力矩。**应变片是力传感器的核心部件**，无论是材料选择，还是在弹性体上的位置分布，都决定了传感器的最终性能。

图 14：应变式力传感器工作原理



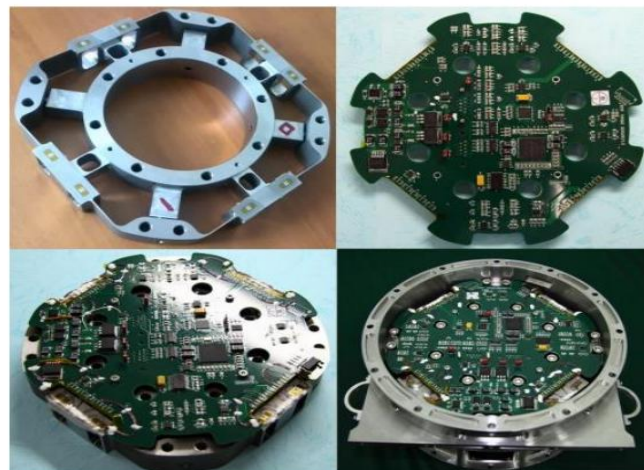
资料来源：《多维力传感器的静动态性能研究》付立悦，华金证券研究所

图 15：应变式六维力传感器结构示意图



资料来源：《空间机械臂六维力/力矩传感器及其在线标定的研究》孙永军，华金证券研究所

图 16：六维力传感器结构拆分



资料来源：《空间机械臂六维力/力矩传感器及其在线标定的研究》孙永军，华金证券研究所

2.3 六维力传感器核心壁垒在于标定及测试

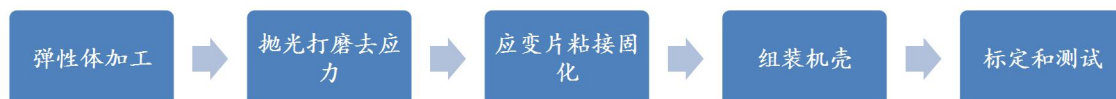
六维力传感器有三大技术壁垒，涉及到产品结构设计、生产工艺和标定检测。

1) 弹性体的结构设计，直接影响着传感器的灵敏度、动态性能、维间耦合等指标；

2) 生产工艺的复杂程度，以目前最成熟的应变片式技术路线为例，应变片的生产特点之一在于需要大批量生产才能覆盖单次的启动成本，同时包括贴片、温度补偿、测试等环节需要大量的专业工程师参与。

3) 传感器的校准和标定技术，标定是指通过硬件或软件方法解决多通道信号在传输过程中互相干扰的问题（即解耦），六维力传感器的标定样本空间含 531441 个样本点，是一维力传感器难度的 6 次方，需要借助标定设备通过解耦算法极力降低串扰，提升准度和精度。

图 17：力传感器主要制造工艺



资料来源：《足式机器人用新型六维力/力矩传感器设计与分析》孙贺男，华金证券研究所

六维力传感器核心壁垒主要体现在标定和测试阶段，包括三方面：

标定检测设备：六维力传感器标定及检测设备需要空间光学定位、载荷位移补偿、机电一体化等多种技术的协同配合，需要成熟的工程经验。目前只有六维联合加载设备可以实现 0.5%FS 的精度，但这类设备属于非标设备，无法直接采购，需要六维力传感器厂商自行研制。

图 18：美国六维力传感器标定及检测设备



资料来源：坤维科技官网，华金证券研究所

图 19：以色列六维力传感器标定及检测设备



资料来源：坤维科技官网，华金证券研究所

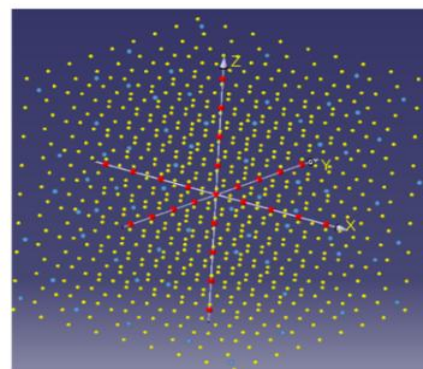
样本数量：标定指建立传感器原始信号和受力之间的映射关系的过程，检测指通过对比传感器测量结果和理论加载值的差异来判断精度和准度。相比一维力传感器，六维力传感器需要标定的样本点呈指数级增长，假设每个维度设定 9 个样本点，一维力传感器仅需 9 个样本点，而六维力传感器需要标定 531441 个样本点（图中黄色点）。同样的，检测也需要更多的样本点（图中蓝色点），同时要满足随机性和非相关性的要求。

图 20：一维力传感器与六维力传感器标定检测对比



一维标定

VS



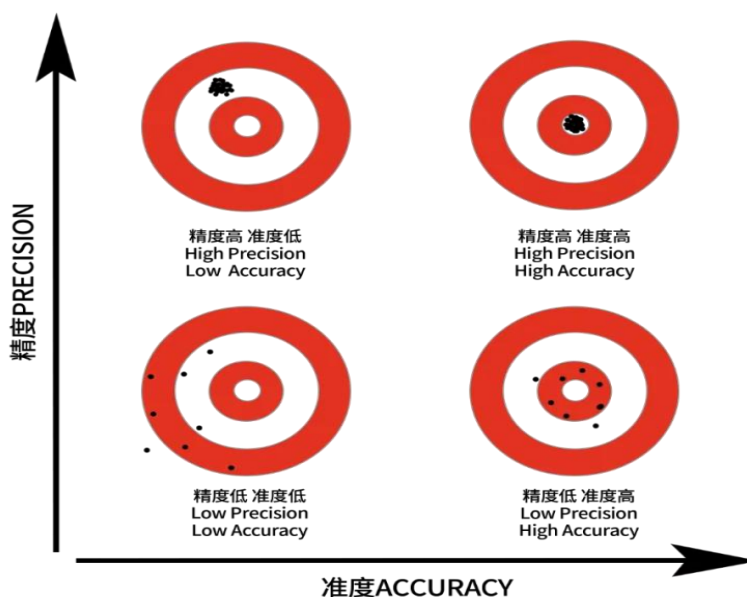
六维标定&检测

资料来源：坤维科技官网，华金证券研究所

耦合误差：理论上六维力矩传感器在单一维度的力或力矩作用下，只在相应维度上产生输出，其他维度没有输出。但由于零部件精度、传感器结构、横向效应等因素，各个测量方向间存在维间耦合，通常用串扰来衡量，是六维力传感器的关键性能指标之一。消除耦合误差主要通过构建解耦矩阵来实现，利用数学模型计算解耦矩阵，补偿温度漂移、零点漂移等影响。

精度及准度为六维力传感器衡量性能的重要指标。多维力传感器**精度**衡量的是测量结果之间的重复性。其检定方法是，在相同环境条件下，在额定载荷范围内，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。多维力传感器**准度**衡量的是测量结果与理论真值的偏离程度。其获得的方法是，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。精度和准度的检定过程中，都需要对多维力传感器以其最高测量维度进行联合加载。

图 21：精度和准度为六维力传感器的核心指标



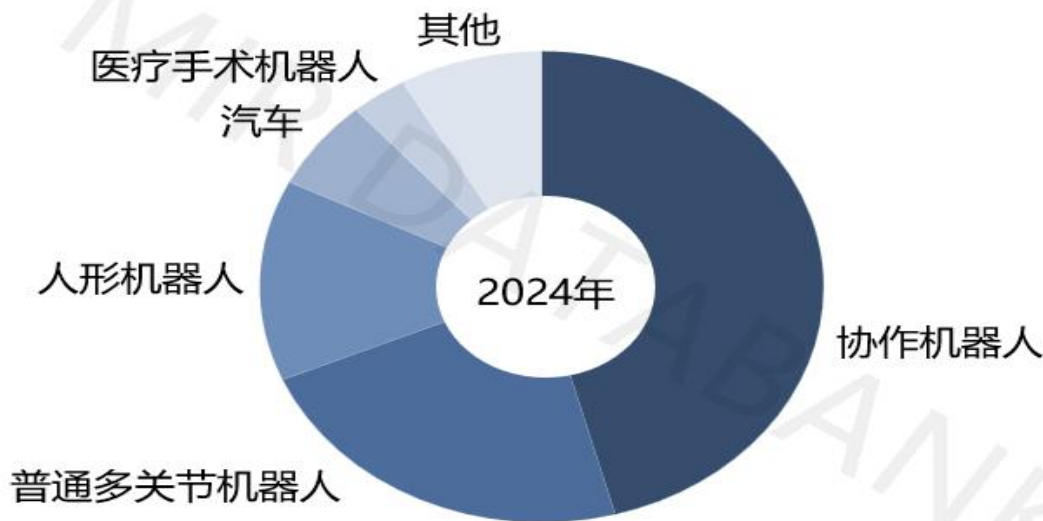
资料来源：坤维科技官网，华金证券研究所

3. 人形机器人带来重要增量，国产替代空间广阔

3.1 人形机器人将成为六维力传感器重要增量市场

六维力传感器当前最大市场为工业机器人及协作机器人。六维力传感器作为关键的感知类元器件应用广泛，在多个领域中发挥着重要的应用，且下游行业较为集中。在 2024 年六维力传感器下游应用中，机器人仍为最大的应用领域，例如：高精度抛光打磨、铣削、焊接及高精密装配等场景普通多关节机器人，以及对传感性能要求更高的协作机器人柔性装配场景，两者合计占比超过 70%。

图 22：2024 年六维力传感器分行业出货量占比



资料来源：MIR，华金证券研究所

六维力传感器市场进入高速发展阶段，人形机器人行业将贡献重要增量。我们认为，随着人形机器人产业化进程加速，将会带动零部件行业快速降本，六维力传感器成本下降也会进一步刺激行业采用更多的六维力传感器，人形机器人将为六维力传感器贡献主要增量。根据我们的测算，至 2030 年，六维力传感器市场空间将有望达到 144.42 亿元，CAGR-5 为 49.73%；至 2035 年有望达到 277.80 亿元，CAGR-10 为 30.6%。

表 3：全球六维力传感器空市场空间测算

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2035E
人形机器人产量（万台）	2.61	5.24	10.50	32.44	73.50	104.00	400.50
单台人形机器人六维力传感器数量（个）	2.0	2.5	3.0	3.4	3.8	4.0	4.0
人形机器人六维力传感器需求数量（万个）	5.22	13.10	31.50	110.30	279.30	416.00	1602.00
六维力传感器单价（万元）	2.00	1.50	1.00	0.70	0.40	0.30	0.15
人形机器人六维力传感器市场空间（亿元）	10.44	19.65	31.5	77.2072	111.72	124.8	240.3
协作机器人产量（万台）	9.5	11.4	13.68	17.784	35	50.5	150
协作机器人装配六维力传感器比例	25%	40%	50%	60%	70%	80%	100.00%
单台协作机器人六维力传感器数量（个）	1	1	1	1	1	1	1
协作机器人六维力传感器需求数量（万个）	2.38	4.56	6.84	10.67	24.50	40.40	150.00
协作机器人六维力传感器市场空间（亿元）	4.75	6.84	6.84	7.47	9.80	12.12	22.50
其他行业六维力传感器市场空间(亿元)	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	15.00
六维力传感器总市场空间（亿元）	19.19	31.49	44.34	91.18	128.52	144.42	277.80

资料来源：高工机器人，华金证券研究所

3.2 降本需求迫切，国产替代空间广阔

六维力传感器单价较高，降本空间大。目前六维力传感器的总销量仍然较低，生产成本较高，根据高工机器人，特斯拉 Optimus Gen2 所用到的 4 个六维力传感器成本大约占总成本的 24.4%，

单个六维力传感器的成本接近 3400 美元。优必选招股说明书显示其人型机器人上使用的六维力传感器单价超过 1.5 万元，爱采购显示进口 ATI 六维力传感器单价在 1-12 万元不等，我们预计六维力传感器的降本空间较大，主要体现在：1) 通过结构优化减少应变片的使用量；2) 大规模量产带来的规模效应；3) 工艺技术持续改善，高精度零部件成本降低。

国产品牌起步较晚，与国外品牌的技术差距在逐步缩小。据高工机器人产业研究所统计，2022 年中国传感器市场中，国产品牌占比仍然低于 30%。六维力传感器方面，美国、日本起步较早，占据主要的高端市场。近年来国产品牌也开始发力，逐步缩小与国外品牌在测量准度、抗过载等方面的差距。

图 23：全球六维力/力矩传感器主流厂商



资料来源：高工机器人，华金证券研究所

图 24：中国六维力传感主流厂商



资料来源：高工机器人，华金证券研究所

政策加持，力传感器有望实现技术突破。2023 年 9 月，工信部发布了关于人形机器人的揭榜挂帅任务榜单，共有 5 项核心基础，力传感器技术是其中之一，目标在 2025 年前，实现低成本、高性能的智能化力传感器。2023 年 11 月，工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》，目标在 2025 年之前实现人形机器人关键技术的突破，确保零部件的供应安全有效，高精度传感器是基础部件的重要组成。我们认为，在国家政策的加持下，力传感器将迎来高速发展。

表 4：工信部人形机器人揭榜挂帅部分任务榜单

核心技术	技术描述	预期目标
全身动力学控制算法	实现人形机器人的高动态行走控制，包括步态规划、关节控制等，并在实物平台上进行验证。	到 2025 年，实现人形机器人在平地、斜坡、台阶、非平整路面、松软路面等环境的高动态行走，自由度不少于 28 个，步行速度 $\geq 4\text{km/h}$ ，奔跑速度 $\geq 9\text{km/h}$ 。
电机驱动器	研发小体积、高力矩、高效率的高功率密度电机伺服驱动器，推动高性能伺服驱动器的产业化应用。	到 2025 年，实现最高销量不低于 95%，重量小于 210g（含散热片），尺寸小于 170cm ³ ，最大连续功率达到 6kW，拥有智能伺服控制算法，可实现高速柔性伺服驱动控制。
力传感器	研制系列化、高性能、低成本、智能化的新型力传感器；发展低成本、规模化的传感器生产制造方法，推动新型力传感器在人形机器人上的产业化应用。	到 2025 年，传感器采用低成本、高性能的设计，精度达到 0.5%FS，响应时间优于 0.03s，具有智能信息采集与处理能力，提升力传感器的智能化水平。
MEMS 姿态传感器	研制基于 MEMS 惯性器件的高性能姿态传感器；研究减小传感系统体积重量，降低功耗，	到 2025 年，完成具有较强的抗振动和抖动性能的 MEMS 姿态传感器，俯仰角和横滚角静态精度为 0.1°，零偏稳

核心技术	技术描述	预期目标
触觉传感器	提升传感器抗振动、抖动能力以及传输性能的方法；发展低成本、规模化传感器生产制造方法。	定性（ 1σ ，10s 平滑）不低于 $0.3^\circ/h$ 。
	研发小体积、高可靠性、高稳定性的人形机器人手部触觉传感器，满足人形机器人灵巧手感知、操作、交互等需求，提升新型触觉传感器自主设计与研发水平，推动触觉传感器的产业化应用。	到 2025 年，实现指尖、指腹和掌面部位触觉传感器阵列密度 $1\text{mm}\times 1\text{mm}$ （厚度 $\leq 0.3\text{mm}$ ）；力检测范围 $0.1\text{N}/\text{cm}^2\sim 240\text{N}/\text{cm}^2$ （ $10\text{g}/\text{cm}^2\sim 24\text{kg}/\text{cm}^2$ ） $\pm 5\%$ ；最小检测力 10g。

资料来源：工信部，华金证券研究所

表 5：《人形机器人创新发展指导意见》主要内容

项目	内容
发展目标	到 2025 年，实现人形机器人“大脑、小脑、肢体”等关键技术的突破，整机产品达到国际先进水平，并实现批量生产；到 2027 年，形成安全可靠的产业链供应链体系，构建具有国际竞争力的产业生态，加速实现规模化发展，应用场景更加丰富。
关键技术	突破人形机器人“大脑”、“小脑”、“肢体”等关键技术，完善人形机器人制造业技术创新体系。
重点产品	基础版整机，功能型整机，传感器，执行器，控制器，动力能源，软件平台
重点场景	特种应用，制造业，医疗，家政，物流运输等。

资料来源：工信部，华金证券研究所

国产品牌加速入局，市占率有望进一步提升。坤维科技、鑫精诚、宇立仪器在国内市场中销量进入第一梯队，在协作机器人、汽车碰撞测试、医疗康复等细分领域优势明显。此外，其他传感器厂商也开始进入六维力传感器赛道，如凌云股份、安培龙、杭州柯林、柯力传感、东华测试、等。其中凌云股份联合中国科学院合肥物质科学研究院和中兵智能创新研究院联合揭榜国家工信部 2023 年未来产业人形机器人方向力传感器创新任务。国产品牌在成本方面更有优势，有望加速国产化进程。

4. 投资建议：关注降本曲线及重点企业送样进展

产业化进程加速，国产替代未来可期。我们认为人形机器人产业化进展符合预期，复杂场景交互需求带来零部件增量，建议重视力传感器赛道，需求空间大，国产替代空间广阔。建议关注产业化进程，尤其是降本曲线及已有产品突破甚至已完成送样的力传感器企业：1）在传感器领域有沉淀，并逐步扩展到多维力传感器的企业；2）通过与高校企业合作完成技术突破的企业；3）通过收并购拓展至该领域的企业；如凌云股份、安培龙、杭州柯林、柯力传感、东华测试、中鼎股份、华培动力、索辰科技、汉威科技等。

（1）凌云股份

主业为汽车零部件及塑料管道，客户结构优质。公司及下属子公司目前主要从事汽车零部件生产及销售业务、塑料管道系统生产及销售业务，汽车业务主要客户涵盖国内外主流车企和新能源汽车电池厂商，包括宝马、奔驰、奥迪、保时捷、TSL、Stellantis、上汽大众、一汽大众、比亚迪、宁德时代、蜂巢能源等，塑料管道业务客户涵盖港华燃气、华润燃气、中国燃气、新奥燃气等，客户结构优质。

业绩稳健，在手订单充足。公司 2024 年实现营收 188.37 亿元，同比+0.72%，实现归母净利润 6.55 亿元，同比+3.77%。2025Q1 实现营收 43.49 亿元，同比+0.92%，实现归母净利润 2.15 亿元，同比-2.91%。2024 年全年累计新获订单 510 亿元，汽车金属中标项目生命周期产值超 350 亿元，优质客户定点占比超 97%；汽车管路板块中标项目生命周期产值超 150 亿元。

传感器业务入围工信部揭榜挂帅项目，有望打造业绩增长新曲线。公司作为牵头方联合相关单位开展的传感器业务入围揭榜挂帅项目，完成了拉压力传感器批量样件送货和小规模产线布局，六维力传感器设计任务也在进行中；与相关单位联合共同开发的流体传感器完成车规级认证和装车路试。

图 25：凌云股份营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 26：凌云股份归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

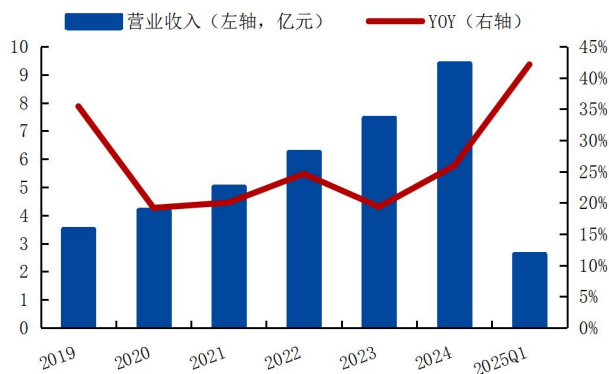
(2) 安培龙

专精特新小巨人，专注于传感器产品及解决方案。公司是一家集智能传感器研发、制造、销售、服务为一体的第一批国家专精特新“小巨人”企业。公司以领先的智能传感器技术为核心，立足于零缺陷的品质保障理念，专业致力于为客户提供专业、精密、高性能的智能传感器产品及解决方案，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、力矩传感器，产品广泛应用于汽车、机器人、智能家居、光伏、储能、充电桩、物联网、消费类电子、航空航天、工业控制等领域。

客户结构优质，2025Q1 业绩同比高增。公司主要客户有比亚迪、STELLANTIS、上汽集团、美的集团、伊克莱斯、法雷奥、麦格纳、凌云股份、华为、三星、格力、海尔等诸多国内外知名企业，销售网络遍及全球几十个国家和地区。公司 2024 年实现营收 9.40 亿元，同比+25.93%，实现归母净利润 0.83 亿元，同比+3.44%。2025Q1 实现营收 2.61 亿元，同比+42.15%，实现归母净利润 0.20 亿元，同比+59.49%。

力传感器聚焦高价值场景：公司基于 MEMS 硅基应变片+玻璃微熔工艺的 EMB 刹车力传感器已进入国内头部车企装车试验；公司用于机器人力传感器包括单向力传感器、力矩传感器以及六维力传感器，基于 MEMS 硅基半导体应变片+玻璃微熔工艺的单向力传感器以及力矩传感器已开发完成，已给多家机器人客户进行送样。基于 MEMS 硅基半导体应变片+玻璃微熔工艺六维力传感器目前正在研发及客户技术交流过程中，有望在工业自动化场景实现突破。

图 27：安培龙营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 28：安培龙归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

(3) 杭州柯林

变电智能监控龙头。公司是一家致力于电气设备感知预警装置及储能系统的研发、生产和销售，并提供电力相关技术服务及综合解决方案的国家高新技术企业。经过多年的沉淀与积累，公司已经形成了覆盖“输电、变电、配电”全链路及“高压、超高压、特高压”全电压等级的数十种智能监测系列产品及在线诊断预警数字化平台，并自主研发了高能量密度的电化学储能系统及安全防护平台，可为客户提供契合其需求的个性化综合解决方案。

2024 年业绩显著增长，积极开拓光伏增长新曲线。公司 2024 年实现营收 5.41 亿元，同比+168.23%，实现归母净利润 0.73 亿元，同比+54.72%。2025Q1 实现营收 0.34 亿元，同比+8.67%，实现归母净利润 0.05 亿元，同比+4.67%。除了原有主业，公司深入研究钙钛矿材料和大尺寸量产技术等行业难题，2024 年 11 月成功实现 100MW 钙钛矿大面积组件中试产线投产，生产制备的 650mm*1200mm 单结钙钛矿刚性组件经全球权威检测机构 TÜV 认证效率为 21.1%，达到行业先进水平，同时在屋顶光伏、光储充车棚、变电站 BIPV 等应用场景均已实现商业订单落地。

通过“纵向技术延伸+横向场景迁移”，加速布局机器人传感器。公司主业电气智能感知设备主要是由智能传感器+数字化平台组成，已陆续开发了覆盖声、电、光、磁、热、气等数十种传感器，积累了丰富的传感器开发及应用经验。公司凭借十多年传感器研发及应用的核心优势，在原有的力位传感器解耦算法、多维数据处理能力和微弱信号采集的基础上，增加了力学的感知部分。公司此前针对六维力传感器产品进行了老化内测，测试结果符合设定预期，近期正积极推进下游某目标客户的适配送样，预计在今年下半年会产生相应业务收入。

图 29：杭州柯林营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 30：杭州柯林归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

（4）柯力传感

传感器龙头，构建工业物联体系。公司深耕传感器和工业物联网领域，形成智能工业测控与计量、智慧物流设备、能源环境设备测量、机器人传感器等四大板块的业态布局。目前公司已涉足称重、光电、水质、光纤测温、光幕、气体、位移、电量、温湿度压力、流量、3D 视觉、激光测距、振动传感器、机器人多维力传感器等近二十种传感器，并拓展在智慧物流、智能库房、矿井物探、建筑机械物联网、无人值守、冶金化工、新能源自动化装备、食品自动化装备生产线等不同工业物联网应用场景，构建软件开发平台、大数据平台、芯片解决方案平台、产业大脑、产业园等产业平台体系。

2025Q1 归母净利润同比高增，“传感器森林”投资布局初见雏形。公司 2024 年实现营收 12.95 亿元，同比+20.79%，实现归母净利润 2.61 亿元，同比-16.62%。2025Q1 实现营收 3.16 亿元，同比+27.08%，实现归母净利润 0.76 亿元，同比+75.85%。公司锚定工业测控与计量、智慧物流、能源环境测量、机器人传感器四大投资板块，以“更聚焦、更深耕、更体系、更长远”的策略积极投资布局。2024 年全年新增完成了“七控二参”共 9 个项目的战略投资，2025 年一季度完成对开普勒机器人的战略投资。

六维力/力矩传感器已给多个客户送样，部分客户进入批量订单阶段。公司瞄准新趋势、新产业、新客户、新需求，“以市场为师”，围绕六维力传感器、机器人关节力/力矩传感器、触觉传感器、多物理量传感器方向全面推进“新四样”传感器发展。公司六维力/力矩传感器已完成人形机器人手腕、脚腕，工业臂、协作臂末端的产品系列开发，掌握了结构解耦、算法解耦、高速采样通讯等技术要点，并已给 50 多家国内人形机器人、协作机器人、工业机器人客户送样，部分客户已进入批量订单阶段。

图 31：柯力传感营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 32：柯力传感归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

(5) 东华测试

专注于智能化测试系统。公司始终专注于智能化测控系统的研发和生产，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、基于人工智能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、数据采集与控制分析系统、控制与分析软件平台。公司的产品广泛应用于国内航空航天、船舶工业、桥梁建筑、轨道交通、汽车工业、能源化工等行业，应用于空间站、探月工程、商用航空器、海洋工程、高速铁路等国家重点工程的试验与检测。

经营稳健，拟发行定增进行智能化测控产业升级。公司 2024 年实现营收 5.02 亿元，同比+32.79%，实现归母净利润 1.22 亿元，同比+38.90%。2025Q1 实现营收 1.09 亿元，同比+4.25%，实现归母净利润 0.29 亿元，同比+5.64%。公司 4 月 24 日发布公告，拟向不超过 35 名(含 35 名)特定对象发行定增募资不超 1.5 亿元，用于智能化测控产业升级项目并补充流动资金。

公司在力传感器领域有先发优势，六维力产品已处于小批量试制。公司力传感器最早是用在风洞上面的测力天平上，主要解决风洞里面的干扰问题；和科研院所合作比较多的是在假人上，汽车碰撞实验、降落伞实验等做受力分析。在力传感器方面，公司主要优势体现在抗干扰技术、放大器内置和矩阵解耦算法等方面。公司六维力传感器处于小批量试制阶段，下游应用领域主要包括工业机器人、人形机器人、航空航天、汽车、电子、医疗等。

图 33：东华测试营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 34：东华测试归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

（6）中鼎股份

公司业务范围广，在热管理、减震降噪、悬架领域有技术优势。公司业务涉及机械基础件、汽车零部件、液压气动密封件、机械电子、精密模具、汽车工具等领域。公司具备雄厚的技术开发和创新能力，能够满足各类主机厂同步开发战略需求，尤其在“流体及热管理系统”“减震、降噪及智能底盘系统”“密封系统”“智能悬架系统”等技术领域牢固确立了全球领先地位。

海外工厂管理优化，业绩稳步提升。公司持续推进海外工厂的成本控制和精细化管理的提升，进一步推进海外原材料生产及模具制造业务建设；通过降低海外企业制造成本，优化费用等一系列举措，增加海外业务恢复的速度及确定性。公司 2024 年实现营收 188.54 亿元，同比+9.33%，实现归母净利润 12.52 亿元，同比+10.63%。2025Q1 实现营收 48.54 亿元，同比+3.45%，实现归母净利润 4.03 亿元，同比+11.52%。

人形机器人是公司未来发展的核心战略业务。公司旗下子公司安徽睿思博公司专注于拓展人形机器人部件总成产品相关业务，公司目前技术团队在谐波减速产品领域具备核心竞争优势，今年会尽快完成相关产线设备建设。同时公司现有密封、橡胶业务及轻量化业务在机器人领域也有运用，人形机器人相关密封产品、橡胶产品及连杆产品也在同步开发中，部分产品已经完成定点配套。公司与核心技术团队合资设立合肥星汇传感技术有限公司，推进人形机器人力觉传感器产品的进一步落地。

图 35：中鼎股份营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 36：中鼎股份归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

（7）华培动力

涡轮增压零部件龙头，深耕传感器业务。公司业务分为动力总成业务及传感器业务，具体包括汽车涡轮增压零部件、放气阀零部件、涡轮壳、中间壳，汽车动力总成系统、变速箱、排放系统、底盘系统等系统的多品类压力传感器、温度传感器、速度传感器、位置传感器的研发与生产。目前，公司已经与包括博格华纳、盖瑞特、博马科技等在内的全球知名涡轮增压器整机制造商形成了长期稳健的合作关系，并通过上述一级供应商给全球的中高端乘用车，如奔驰、宝马、沃尔沃、福特、大众、捷豹、比亚迪等形成供应。

出海布局蓄势待发。公司 2024 年实现营收 12.40 亿元，同比-1.60%，实现归母净利润 0.66 亿元，同比-43.37%。2025Q1 实现营收 2.76 亿元，同比-19.16%，实现归母净利润 0.14 亿元，

同比-61.97%。公司于2024年4月正式成立海外业务部，工作重点聚焦于北美和欧洲市场的开拓，通过市场需求调研、行业展会参展等形式，积极拓展潜在客户。

拟成立全资子公司，切入人形机器人赛道。在技术储备上，公司有深厚的压力传感器技术底蕴，拥有至少四条压力传感器技术路线，从传感器组装到核心压力传感器制造完全掌握且有百分之百自主知识产权。公司已决定单独设立全资机器人子公司，以承接后续围绕人形机器人领域开展的相关业务。公司将利用多年深耕汽车传感器业务的优势，切入机器人传感器赛道，通过并购+自主研发等方式布局磁编码器、MEMS 压力传感器、六维力矩传感器等多款传感器，部分产品将逐步送样各人形机器人企业。

图 37：华培动力营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 38：华培动力归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

（8）索辰科技

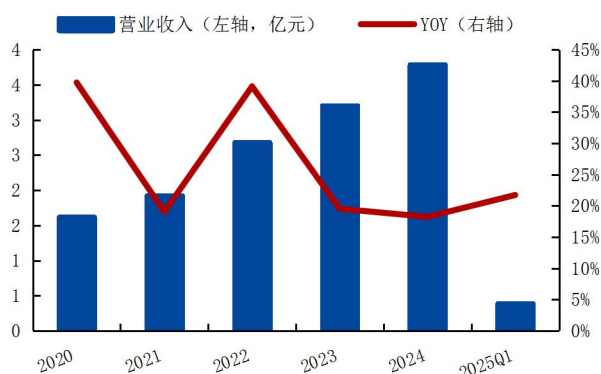
公司是一家专注于 CAE 软件研发、销售和服务的高新技术企业。经过持续的研发投入和技术创新，公司目前已形成流体、结构、电磁、声学、光学、测控等多个学科方向的核心算法，并开发出多类型工程仿真软件，能实现对多物理场工程应用场景的仿真，为客户提供多学科覆盖的工程仿真软件及仿真产品开发服务。公司 CAE 软件的核心产品为工程仿真软件和仿真产品开发，产品涉及流体、结构、光学、声学、电磁、测控、多学科等多个方向，可满足复杂产品或工程领域的仿真需求。

发布“物理 AI”平台开启新纪元，多维并购驱动产业整合。公司2024年实现营收3.79亿元，同比+18.24%，实现归母净利润0.41亿元，同比-27.89%。2025Q1实现营收0.39亿元，同比+21.73%，实现归母净利润-0.16亿元，亏损同比收窄。2025年公司发布“天工开物”物理AI平台，展现了未来全场景解决方案。同时，全资子公司上海索辰数字科技有限公司拟以支付现金方式受让北京力控元通科技有限公司股权及/或向标的公司增资，收购取得标的公司51%股权，力控科技是核心生产制造类工业软件 SCADA 的研发、销售厂商，是国内 SCADA 行业内的领军企业。

旗下公司研发出性能领先的六维力与力矩传感器。2024年3月，公司官方公众号发布旗下索辰仿真科技有限公司计划推出高性能六维力与力矩传感器，满足人形机器人指尖、手腕、脚腕等力测量需要，并在人形机器人上开展实际应用。传感器采用创新的并联机构设计力敏元件，精

度达到 0.1%FS，能够实现力信息采集与处理能力，具有高精度、高稳定性、低延迟等优点，性能达到国际领先水平。

图 39：索辰科技营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 40：索辰科技归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

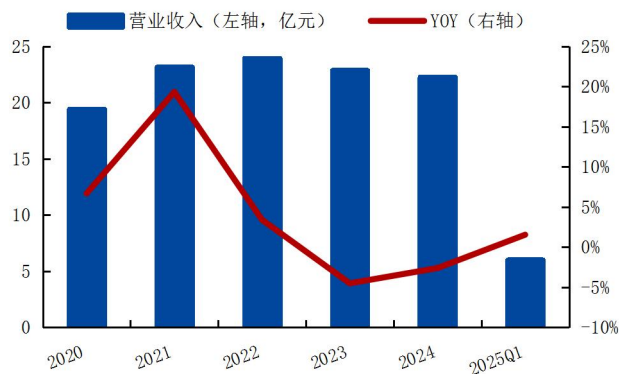
(9) 汉威科技

以传感器为核心构建智慧物联网生态圈。公司业务覆盖传感器、智能仪表、智慧化综合解决方案、居家智能与健康及公用事业等行业领域，在通过多年的内生外延发展，构建了相对完整的智慧化物联网生态圈，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、大数据、云计算和人工智能等智慧化技术紧密结合，形成了“传感器+监测终端+数据采集+空间信息技术+大数据+云应用+AI”的系统解决方案，所涉及的产业领域中形成了相对领先的优势。

2024 年业绩承压，2025Q1 业绩拐点显现。受部分业务外部市场竞争加剧、公司研发投入持续增加，以及战略布局的 MEMS 传感器 IDM 产线、激光器封测产线、超声波仪表等新业务未能实现有效业绩产出等多重因素影响，公司 2024 年实现营收 22.28 亿元，同比-2.61%，实现归母净利润 0.77 亿元，同比-41.38%。2025Q1 业绩拐点显现，实现营收 6.03 亿元，同比+1.54%，实现归母净利润 0.17 亿元，同比+16.91%。

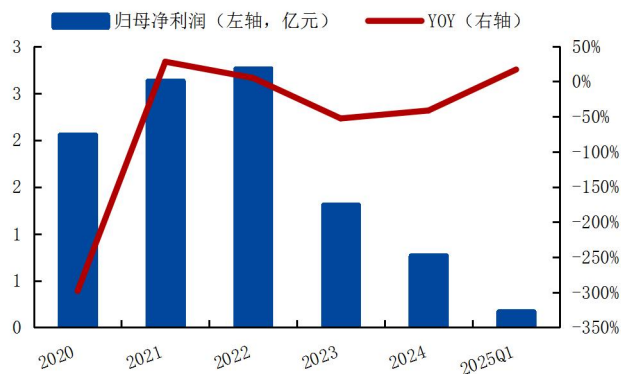
多方向布局机器人传感器产品矩阵。公司面向机器人领域布局了柔性触觉传感器、惯性测量单元、MEMS 压力应变片、气味嗅觉传感器（电子鼻）、非制冷红外热成像模组等传感器，构建起覆盖“触觉平衡-力控-嗅觉”的多维产品矩阵，机器人业务有望为公司打造增长新曲线。

图 41：汉威科技营业收入及增速



资料来源：，华金证券研究所

图 42：汉威科技归母净利润及增速



资料来源：，华金证券研究所

5. 风险提示

- 1) 人形机器人产业化进程不及预期风险：**当前人形机器人正处于研发及产业化阶段，六维力传感器未来一大增量下游为人形机器人产业，若人形机器人产业化进程不及预期，则六维力传感器放量会受影响；
- 2) 六维力传感器国产化进程不及预期风险：**当前六维力传感器处于国产化研发阶段，成本较高，若产业化进程不及预期，成本高企，则会导致下游需求下降；
- 3) 竞争加剧风险：**未来六维力传感器市场空间有望高速增长，有可能吸引更多新进入者参与市场竞争。如果竞争加剧导致格局恶化甚至恶价格竞争，则会压缩全行业的利润空间；
- 4) 原材料或核心零部件涨价风险：**若原材料或核心零部件价格大幅上涨，业内企业业绩将面临较大压力。

投资评级说明

公司投资评级：

买入 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于 15%；

增持 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 5%至 15%之间；

中性 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在-5%至 5%之间；

减持 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅在 5%至 15%之间；

卖出 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数跌幅大于 15%。

行业投资评级：

领先大市 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数领先 10%以上；

同步大市 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数涨跌幅介于-10%至 10%；

落后大市 — 未来 6-12 个月内相对同期相关证券市场代表性指数落后 10%以上。

基准指数说明：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，美股市场以标普 500 指数为基准。

分析师声明

黄程保声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据，特此声明。

本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告，是证券投资咨询业务的一种基本形式，本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向本公司的客户发布。

免责声明：

华金证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息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。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准。

在法律许可的情况下，本公司及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或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。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，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦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。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发、篡改或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华金证券股份有限公司研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

华金证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

风险提示：

报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或询价。投资者对其投资行为负完全责任，我公司及其雇员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。

华金证券股份有限公司

办公地址：

上海市浦东新区杨高南路 759 号陆家嘴世纪金融广场 30 层

北京市朝阳区建国路 108 号横琴人寿大厦 17 层

深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 10 楼 05 单元

电话：021-20655588

网址： www.huajinsec.cn