

机器人系列四：怎么看国产替代机遇

华泰研究

2024 年 1 月 11 日 | 中国内地

专题研究

硬件方案持续向终局收敛，把握核心的国产降本主线

特斯拉人形机器人当前发展第一桎梏是硬件超配和量产成本的矛盾，我们认为特斯拉的终局硬件方案仍存在变化，但随着其软件能力快速迭代、产品测试进度推进，终局硬件方案逐渐浮出水面，投资主线将回归至如何国产降本，建议关注国产化概率大、降本空间大且诉求强的赛道，如丝杠、减速器、传感器等，关注减速器标的双环传动、集成商标的三花智控和拓普集团，同时我们关注兼顾技术能力和商务能力的本土供应商实现从 0 到 1 的国产突破，以及具有外延能力、获取更大价值量的集成供应商。

重视强国产化诉求的丝杠环节，优选技术与商务双强的企业

丝杠兼顾高壁垒、高价值、空间大特性，反向式行星滚柱丝杠国外单价高达上万元，本土化后降本空间大，有强烈的国产化诉求。其技术壁垒高企，精度要求或高达 C3-C4，尤其反向式结构中螺母较长，使内螺纹加工难度更大，我们判断螺母内螺纹或用高精度的磨削工艺，直接车削/轧制等工艺精度低而效率高，或用在精度低的螺杆和行星柱等，以及在整件精度要求降低且量产要求提高情况下可能应用。考虑磨削工艺难度大且工序权重高、组装环节更考验工艺经验，我们认为高精磨床和加工装配 know-how 为核心壁垒，技术同源+储备高精设备+商务能力强的企业或实现国产替代。

关注国产概率大的减速器环节，量产稳定兼备新方案开发能力的厂商占优

减速器具有“用了才知道好坏”的特性，产品选型更多考虑产品稳定性、NVH 等非量产经验指标，铸就 know-how 成为核心竞争壁垒，如齿形设计（合理的啮合侧隙可提高传动平稳性、降低噪音和传动误差）、材料认知（核心部件需要持续形变，对材料韧性要求高），加工设备（要求使用高精数控磨床和滚齿机），加工工艺 know-how（热处理和装配环节的 Know-how 积累可保证量产稳定性和一致性）。目前本土企业在精密减速器积累一定工艺经验，并产生了优秀品牌可占据一定市场，我们认为人形机器人减速器的国产化概率较大，具备量产稳定性和新方案开发能力的企业或更占优。

建议跟踪稳定姿态利器 IMU，静待兼顾软硬件能力的企业获国产突破

IMU 可以实现惯性导航、惯性测量、测量稳控，能够帮助双足人形机器人在行走、攀爬、跨越障碍物等动作时保持平衡稳定性，稳定运动姿态。考虑到特斯拉人形机器人实现动态测试，对肢体动作的平衡稳定性要求较高，我们认为其或配置战术级 IMU，定位精度或达毫米级，数量或在 2-4 个。我国虽 IMU 起步较晚，但有部分企业突破了核心技术壁垒，陀螺仪与加速度计的核心技术指标与国外接近，我们看好 IMU 的国产化降本潜力，具有 MEMS 芯片能力与 IMU 软件能力的公司或更受益。

关注技术黑洞力传感器，存在突破六维力/一维三维力国产化两种投资思路

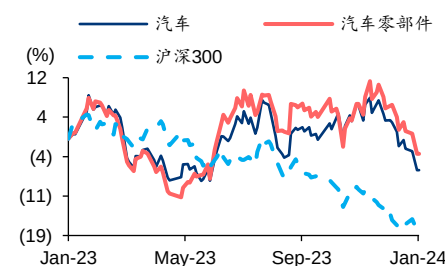
力传感器为高价值量高技术壁垒的技术黑洞环节，我们认为或存在两条投资思路：（1）实现高难度动作，末端控制需配置六维力传感器。六维力传感器海外单价超 8000 美金，主流技术路线应变片依赖人工操作，难通过自动化设备实现量产降本，国内低价方案或为较好的降本选择，但国内外技术差距较大，有技术储备的企业或占优。（2）关节连接处实现主动柔顺控制需搭配一维和三维力传感器，理论上机器人每个关节均对应一维三维力传感器的需求，单机用量有望在 20 个左右，同时该赛道技术壁垒相对六维力较低，技术相对成熟、产品较稳定的供应商或有国产机遇。

风险提示：技术进度不及预期；国产化进程不及预期；硬件用量与价值量存在主观性判断。

汽车 增持（维持）
汽车零部件 增持（维持）

研究员 宋亭亭
SAC No. S0570522110001 songtingting021619@htsc.com
SFC No. BTK945 +(86) 10 6321 1166
联系人 陈诗慧
SAC No. S0570122070128 chenshihui@htsc.com
SFC No. BTK466 +(86) 21 2897 2228

行业走势图



资料来源：华泰研究

重点推荐

股票名称	股票代码	目标价 (当地币种)	投资评级
三花智控	002050 CH	29.76	增持
拓普集团	601689 CH	82.60	买入
双环传动	002472 CH	30.63	买入

资料来源：华泰研究预测

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

正文目录

丝杠：国产化降本需求强烈的核心传动件	3
应用几何？或搭载反式行星滚柱丝杠+滑动丝杠	3
壁垒怎么看？或要求 C3-C4 精度，设备与工艺经验铸护城河	5
国产机遇何在？看好技术与商务双强的企业	9
减速器：国产化概率较高的旋转运动核心件	10
应用几何？或搭配谐波与类 RV 减速器	10
壁垒与机遇何在？非量化指标决定 know-how 为核心竞争力	11
传感器：国产化大潜力的赛道	14
IMU：稳定运动姿态的必要传感器	14
力传感器：大价值量、高壁垒的国产化潜力赛道	17
风险提示	21

丝杠：国产化降本需求强烈的核心传动件

应用几何？或搭载反式行星滚柱丝杠+滑动丝杠

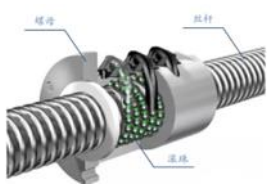
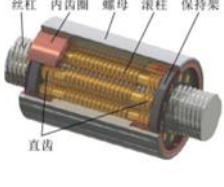
丝杠是将电机旋转运动转化为直线运动的核心部件，行星滚柱丝杠具有更高的传动效率和承载能力。机器人传动中，一般由电机为螺母/丝杆提供旋转的力，滚子或滚柱利用与螺母和丝杆的摩擦力，进而带动丝杆/螺母做直线运动。按传动原理，丝杠可分为：

(1) T 型丝杠：面接触原理，无滚动体，靠滑动摩擦传动，又称为滑动丝杠，结构简单且技术成熟，但滑动摩擦导致传动效率、精度和承载力有限，一般用于低负载、低精度的部位；

(2) 滚珠丝杠：点接触原理，靠滚动摩擦传动，滚珠为核心传动件，比 T 型丝杠的传动效率、精度、承载力高，但结构较复杂，目前广泛应用在机床、汽车和机器人等领域；

(3) 行星滚柱丝杠：线接触原理，行星滚柱为核心传动件，由于其有高数量接触点以及接触点的几何结构，滚柱丝杠较滚珠能承载高动静负载，静载是滚珠的 3 倍，寿命是滚珠的 10-15 倍，也有更强的刚度和抗冲击能力，对应的是更复杂的结构和更高的制造难度。

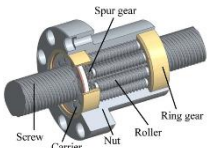
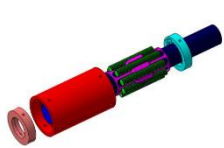
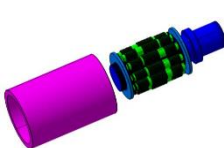
图表1：丝杠种类以及性能对比

	滑动丝杠	行星滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
示意图			
结构	丝杠轴+螺母，结构简单	丝杠轴+螺母+滚珠+密封圈	丝杠轴+螺母+行星滚柱+保持架等
技术原理	面接触：丝杆与螺母做机械滑动	点接触：丝杆相对螺母旋转，滚珠在螺纹滚动，发生轴向相对运动	线接触：类似滚珠丝杠，滚柱替代滚珠作为载荷传递单元
传动效率	20-30%	90%+	90%+
精度	较低	高，毫米级	高，导程可达微米级
使用寿命	较短，滑动摩擦发热严重、磨损大	较长，点接触摩擦小损耗小	寿命是滚珠的 10-15 倍
承载力	低	低	高，静态负载是滚珠的 3 倍
转速	<3000RPS	3000-5000RPS	~6000RPS，在同等承载力下，比滚珠的转速比提高 50%
摩擦力	大	小	较小
自锁性	有	无，要加装制动装置	无，要加装制动装置
优势	技术成熟，成本低，可自锁	高精度、可逆、高效率、摩擦力小、磨损小、寿命长	更高承载力、更长寿命、更高传动效率
劣势	传动效率低，精度低，承载能力低	结构工艺复杂	更高加工难度
应用场景	低速低精度低负载	应用广泛	高负载领域

资料来源：博特精工、Ewellix、斯科勒自动化、道臣自动化、新剑传动、ROLLVIS、邓琦。(2017). 行星滚柱丝杠电动缸应用现状. 船舶工程(S1), 4.、华泰研究

行星滚柱丝杠较滚珠有更强的承载表现、传动效率、使用寿命。相比滚珠丝杠，行星滚柱丝杠的负载传递单元由滚珠替换成了螺纹滚柱，从而由点接触转为线接触，获得了更高数量的接触点和接触点的几何结构，进而能够承受较滚珠丝杠 3 倍的静态负载，有更高转速和加速度、更高刚度和抗冲击力，且寿命是滚珠丝杠的 10-15 倍。此外行星滚柱丝杠是螺纹传动结构，螺距的设计范围更广，其导程设计可以比滚珠更小。根据物理结构和传动原理不同，滚柱丝杠又可分为标准式、反向式、循环式、差动式。

图表2：行星滚柱丝杠的种类与性能

	标准式行星滚柱丝杠	反向式行星滚柱丝杠	循环式行星滚柱丝杠	差动式行星滚柱丝杠
示意图				
特点	高精度大负载的设计，非常稳定的驱动扭矩。滚柱和螺母上的特殊齿轮，在恶劣的条件下也能保持良好的运动状态	滚柱不沿丝杠进行轴向运动，行程运动在螺母的内螺纹；齿轮设计于滚柱和丝杠之间，提供更平顺稳定的同步旋转运动	循环滚柱设计，滚柱是导向在一个托架中，其运动方式由一套凸轮来控制，结合了极高的定位精度，分辨率和刚度并且同时保证了极高的负载力。	具备差动运动，获得比一般行星滚柱丝杠更小的导程，更大的减速比，其紧凑的结构可以使机电作动器具有更高的功率体积比和功率质量比
规格（丝杠中径×导程）	3.5×1-92×36	10.5×2-80×1637	8×0.25-125×5	5×0.8-110×2.36
效率	80-90%	70-90%	60-80%	60-70%
导程精度	G1, G3, G5（每 315mm 行程，导程精度：6μm, 12μm, 23μm）	G1, G3, G5（每 315mm 行程，导程精度：6μm, 12μm, 23μm）	G1, G3, G5（每 315mm 行程，导程精度：6μm, 12μm, 23μm）	T3, T5, T7（每 315mm 行程，导程精度：12μm, 23μm, 52μm）
承载	静态承载：8.4KN-1898KN；动态承载：3.9KN-709KN	静态承载：20.8KN-1225KN；动态承载：13.4KN-559KN	静态承载：14.3KN-3972KN；动态承载：7.3KN-986KN	静态承载：10KN-1300KN；动态承载：8KN-550KN
转速	最高可达 1.2w/min	最高可达 1.0w/min	最高可达 1.0w/min	最高可达 1.4w/min
轴向间隙	0.02mm	0.02mm	0.02mm	-0.01mm（过盈预紧）
应用	大负载，高速及高加速度	更高负载	高精度，中低速运行	高速重载

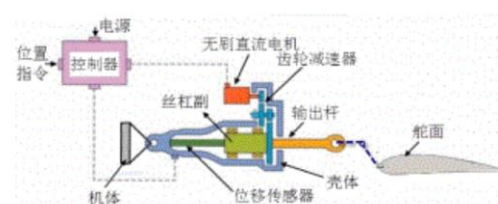
资料来源：新剑传动官网、Li X, Liu G, Fu X, Ma S. Review on Motion and Load-Bearing Characteristics of the Planetary Roller Screw Mechanism. Machines. 2022; 10(5):317.、华泰研究

反向式行星滚柱丝杠或适配人形机器人高传动要求的下半肢。从特斯拉机器人的需求看，特斯拉人形机器人采用了 500N/0.36kg、3900N/0.9kg、8000N/2.2kg 的直线执行器，根据特斯拉 2022 AI DAY 展示的视频，其单个直线执行器可拉动半吨重的钢琴，侧面反映特斯拉机器人对传动效率和承载能力有较高要求。反式行星滚柱丝杠的物理结构与标准式相似，但传动原理不同，其主动件为螺母，输出件是螺杆，滚柱的行程运动是螺母的内螺纹，而非沿着丝杠做轴向运动，从而能通过小导程实现更额定负载，降低驱动扭矩。同时从机电作动器（EMA）的运作原理看，EMA 中的控制器驱动无刷直流电机做正反向运动，通过齿轮装置降低转速提高扭矩，把丝杠的旋转运动转化为输出杆相对壳体的直线运动。反向式行星滚柱丝杠是螺母为主动件，螺母可充当电机转子，实现丝杠+电机一体化的机电作动器，结构紧凑且节省空间。

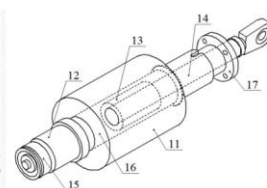
考虑到不同部位的传动要求不同以及特斯拉公布的直线执行器结构，我们推断其或会使用滑动丝杠和反式行星滚柱丝杠，滑动丝杠结构简单、成本低且技术成熟，或应用在传动效率和承载力要求较低的部位，反式行星滚柱丝杠有更高承载力、抗冲击能力、高力尺寸比和力重量比，或用在传动要求较高的环节。

图表3：基于反向式行星滚柱丝杠可实现一体化机电作动器

舵回路系统中的机电作动器（EMA）结构



基于反向式行星滚柱丝杠副的机电作动器



1、后壳体壳，2、后壳体，3、壳体，4、螺杆，5、角接触球轴承，6、前壳体，7、右支耳，8、左支耳，9、轴侧，10、电机定子，11、电机转子，12、螺母法兰，13、螺母组件，14、丝杠，15、编码器，16、螺母，17、直线轴承，18、止动垫圈，19、圆螺母

资料来源：乔冠，刘更，马尚君，佟瑞庭，& 周勇. (2016). 基于行星滚柱丝杠副的机电作动器动态特性分析. 振动与冲击, 35(7), 8.、付永领，李林杰，郑世成，& 韩旭. (2017). 一种基于反向式行星滚柱丝杠副的机电作动器. CN107154703A.、华泰研究

壁垒怎么看？或要求 C3-C4 精度，设备与工艺经验铸护城河

我们认为丝杠的核心考察指标为精度控制可行性与能量传递效率，对产品的执行精度和稳定性要求较高。丝杠的精度衡量传动中实际移动距离与理论距离的偏差，以机床用的滚珠丝杠为例，一般普通机械所用滚珠丝杠为 C7 和 C10，数控设备 C5 和 C3 居多，航空制造设备、精密投影等设备用 C3 和 C2。反向式行星滚柱丝杠在机器人中用于承重要求高、高扭矩的场景，驱动环境较复杂，对产品的精度和稳定性有更高要求。若产品精度差，则会出现精度误差叠加向量变更，导致误差累积使得机器人的下一动作表现更差，严重则会宕机。此外，驱动电机需降速提扭，若丝杠摩擦系数高或能量传递效率不高，则会导致传递到终端的能量有较大损耗。

图表4：不同设备所用滚珠丝杠的精度等级要求

精密等级		轴	0	1	2	3	4	5	6	7	9	10
CNC 工 具机	车床	X	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
		Z	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
	铣床、镗床	X	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-
		Y	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-
		Z	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-
	综合加工机	X	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
		Y	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
		Z	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
	治具镗床	X	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
		Y	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
		Z	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
	钻床	X	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
		Y	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
		Z	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-
	磨床	X	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
		Y	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-
	放电加工机	X	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-
		Y	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-
		Z	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-
	线切割机	X	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-
		Y	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-
		U	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
		V	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
	雷射加工机	X	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
		Y	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
		Z	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
一般机械	高速冲床	X	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
		Y	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
	专用机	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
	木工机	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓
	机械手臂(精密级)	-	-	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
	机械手臂(一般级)	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-
	三次元量测机	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
	传统机械	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	-	-	-
	搬送装置	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	X-Y 平台	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-
	线性制动器	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-
	航空负载齿轮	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-
	翼面控制器	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	-
	阀门	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓
	动力转向器	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	-
	玻璃研磨机	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
	表面研磨机	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-
	感应热处理	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓
	半导体设备	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
	全电式射出成型机	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓

资料来源：设备维修服务网、华泰研究

工艺流程看，丝杠是一条完整的产线，前处理→粗加工→研磨/铣削/滚轧→热处理→组装，不同精度对应不同的加工工艺，C7和C10低精度大多用轧制工艺，C3和C5中高精度一般用研磨和切削，C0-C2更高精度一般使用研磨工艺。其中轧制工艺是用螺纹滚轧机，先在光杆材料切槽，再用搓牙机辊压，精度中等偏下；研磨对应螺纹磨床，在压轧基础上，用专用外圆磨床加工圆弧槽，精度中等偏上，需要粗磨和精磨多轮加工；铣磨为旋风铣床切削沟槽，再打磨外表面。目前国外大多采用轴端硬车加工，简单高效，而国内仍以轴端退火后再车削轴承座为主，周期长工序多，根据《精密滚珠丝杠机械加工工艺规程研究》，磨制滚珠丝杠的加工工艺周期约30-45天。

图表5：磨制滚珠丝杠机械加工工艺过程

序号	工艺	备注	序号	工艺	备注
1	下料	GCr15	12	粗磨 90° V 形槽	两顶尖
2	球化退火热处理并检验校直	降低硬度	13	磁力探伤	
3	加工端面,钻中心孔		14	时效处理并检验	去应力
4	粗车		15	研磨中心孔	
5	高温时效并检验	去应力	16	半精磨滚道	两顶尖
6	加工端面,修研中心孔		17	低温时效处理并检验	
7	半精车		18	铣键槽	
8	铣		19	磨端部螺纹	
9	粗磨	两顶尖	20	研磨中心孔	
10	工作表面(滚道)与加工基准 (中心孔)淬、回火一检验		21	精磨滚道,全检	两顶尖
11	研磨中心孔		22	装配一跑合一检验一 防锈包装一检验一入库	

备注 磨制滚珠丝杠的加工工艺周期约30-45天,周期长,效率低,成本高

资料来源：郑红, (2018). 精密滚珠丝杠机械加工工艺规程研究. 价值工程, 37(25), 2.、华泰研究

图表6：研磨/铣磨/轧制对应的设备需求

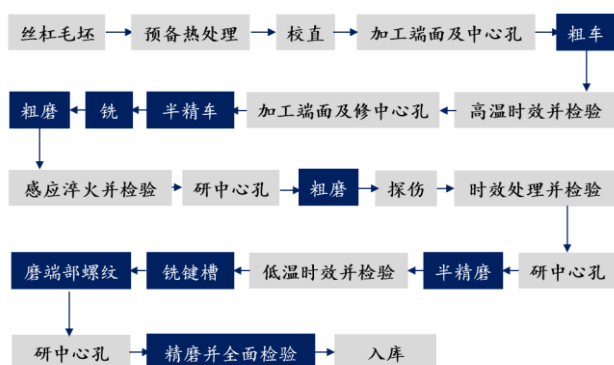
	研磨品	切削品	滚轧品
设备	✓	✓	✓
矫直机	✓	✓	✓
热处理一体机	✓	✓	✓
车床 CNC	✓	✓	✓
立加 CNC	✓	✓	
角度磨床	✓		
外圆磨床	✓	✓	
螺纹磨床	✓		
螺纹滚轧机			✓
旋风铣床		✓	

资料来源：THK 官网、华泰研究

高执行精度和稳定性决定高加工精度和装配精度，铸就行业高竞争壁垒：

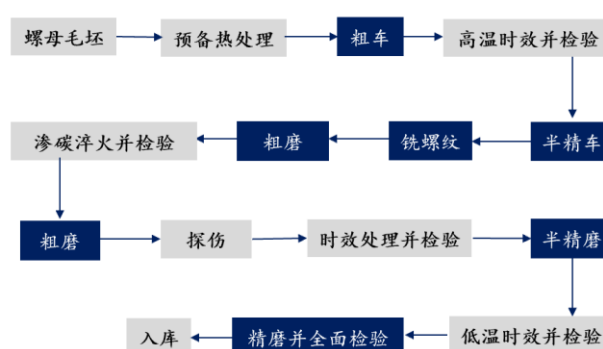
(1) 加工工艺：螺母的加工精度直接影响丝杠的传动性能，反向式的加工难点或在于螺母和行星柱。根据《精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究》，滚柱丝杠的螺杆、滚柱、螺母螺纹的工艺流程基本一致，分为前道的粗加工（车削和铣削）和后道的精加工（磨削），如螺母的工序为毛坯-粗车-半精车-铣螺纹-粗磨-半精磨-精磨，行星滚柱在此之外要先加工螺纹再加工齿轮，两端齿轮在热处理前完成滚齿加工。从工艺上看，我们认为**螺母内螺纹的加工难度更高**，一方面螺纹牙的加工误差会直接改变丝杠/滚柱/螺母间的啮合点位置和接触角大小，进而影响传动精度，一方面反向式行星滚柱丝杠的螺母更长，加工难度更大，因此螺纹一般采用更高精度的数控磨削工艺（车削是旋转工件再用刀具切削，铣削是旋转刀具来切削表面，磨削是用砂轮替代车刀和铣刀做切削，精度更高），加工时用夹具固定好工件，因螺母较长，砂轮磨削需伸长、并要将砂轮偏转一定角度进行磨削，同时要保证砂轮界面轮廓和工件螺纹牙的法向轮廓相同，因此加工难度加大。

图表7：丝杠工艺流程



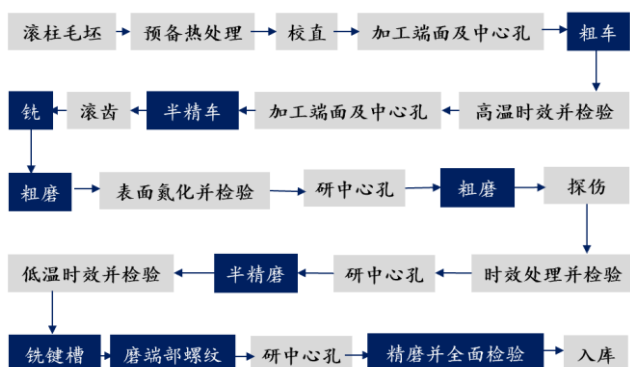
资料来源：郑伟.(2021).精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究硕士学位论文,南京理工大学).、华泰研究

图表8：螺母工艺流程



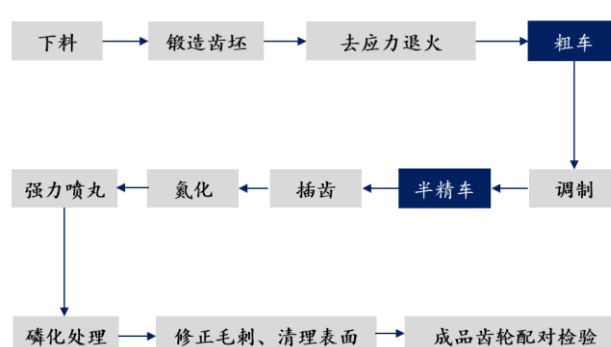
资料来源：郑伟.(2021).精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究硕士学位论文,南京理工大学).、华泰研究

图表9：滚柱工艺流程



资料来源：郑伟.(2021).精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究硕士学位论文,南京理工大学).、华泰研究

图表10：内齿圈工艺流程

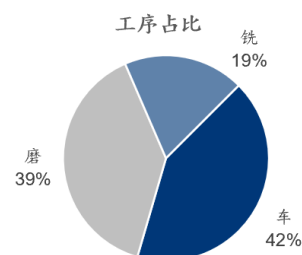


资料来源：郑伟.(2021).精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究硕士学位论文,南京理工大学).、华泰研究

高加工难度和磨削工序高权重，决定高精度磨床设备和机加工 know-how 为加工环节的核心壁垒。我们判断，螺母内螺纹大概率用磨削，行星柱和丝杆可以考虑轧制，其他工艺如直接车削成型、后道以车代磨，我们认为使用概率有限，主要系磨削精度高而生产效率低，车削生产效率高而精度不足，而目前丝杠国产化首要任务是做出一定精度等级的样件，以车代磨需花费大精力解决精度问题。考虑到丝杠螺纹的高磨削难度以及磨削工序占总工序工时的权重较高，我们认为高精度磨床和磨削工艺为丝杠的核心竞争壁垒，高精度磨床一方面保证加工精度，一方面依赖交付期长、售价贵的进口产品，比如 PSS、联合磨削集团、哈挺机床、法孚、滨井、AM、三井、东洋先进等，高端领域的国产化尚有发展空间；而精加工工艺则依赖深刻的 knowhow 积淀，以保证生产精度和量产稳定性。

图表11：磨削工序占丝杠加工工序近 40%的工时

工序	工序名称	工时
1	车	3.5
2	磨	2
3	铣	1.5
4	热处理	-
5	车	2
6	磨	2
7	铣	1
8	磨	1



资料来源：舒剑,侯为康,彭曦等.面向精密螺纹丝杠的智能制造单元系统研究[J].航天制造技术,2021,(05):12-18.、华泰研究

图表12：海外老牌磨床企业

公司	基本情况	主要能力
Precision Surfacing Solutions (PSS)	生产微米级精密表面处理技术开发的全球行业领导者，拥有 Lapmaster、Peter Wolters、ELB、aba、REFORM、KEHREN、MICRON、ISOg、Barnes 等 9 大品牌。提供面向各种场景的精密加工解决方案，如精密研磨、研磨、抛光、去毛刺和先进材料加工设备	公司设备能够进行的操作有：表面研磨、速度冲程研磨、轮廓冲磨、插值轮廓研磨、深度研磨、连续服装端变饲料研磨(CDCf)、圆柱形冲磨、线性冲磨、沟槽磨削/槽磨磨削、外部圆柱磨削、内部圆柱磨削、胸针研磨（扁平）、拉杆研磨（圆形）、拉刀锐化（平坦和圆形）铣削、钻孔、拐弯、添加剂制造、刷牙/去毛刺、高压去毛刺、机器内的测量、外部部件测量后的补偿、自由加工（5 轴）、曲线耦合研磨、在立方工件上进行锥度研磨、圆柱形工件上的锥形研磨、倾斜插值、冲床研磨、4 轴插值、5 轴插值
UNITED GRINDING Group (联合磨削集团)	世界领先的机床制造商之一，主要产品有精密磨床、电解机床、激光机床、测量机以及增材制造机床。集团公司的传统可以追溯到一百多年前，其间在全世界制造并交付了超过 15 万台机床，主要领域是汽车和配套行业、医疗、航空航天业、工具、模具、运输和重工业、机械制造商、能源和精密机械	其中 Mägerle 公司生产高性能磨削系统；JUNG、BLOHM 生产平面成型磨床；JUNG 全球提供了 19,000 多台机器；Fritz Studer AG 是通用、外圆、内圆以及非圆磨削领域，生产用于加工中小型工件的高精度外圆磨削的标准机床；SCHAUDT 汽车行业高端磨床；MIKROSA 是无心外圆磨床，从小型喷嘴针到重型火车车轴的广泛应用；Walter 设备用于生产和修磨金属，木材和 PCD 刀具以及旋转对称生产零件；EWAG 用于磨削，电解和激光加工的高精度机床，应用于钟表，牙科，电气，汽车和航空等行业；WALTER 和 EWAG 共同为完整的刀具加工提供方案
hardinge (哈挺机床)	全球一流的高精度，高可靠性金属切削机床及相关的工具附件供应商。拥有超过 125 年的丰富经验，产品包括多元化的数控车床、铣床、磨床以及夹持工具配件，为全球超过 65 个国家及地区提供优质解决方案	其产品线包括 Kellenberger、Voumard、Hauser、USACH 等，立式和卧式珩磨机床和磨床由 Ohio Tool Works (OTW) 提供，产品有 HardingeT 系列 SP 车削中心，T 系列机床能够生产机床行业中最具挑战性的零件，非常适合高水平精度、精密零件处理，产品还有 VOUMARD® 1000，可用于最广泛的磨削操作
Fives (法孚)	法孚在磨削领域已有 120 多年的经验,并在广泛的应用和材料制作中设计提供磨削技术。在全球磨削领域拥有 141 项有效专利	材料去除方面，应用铣床/转弯、车削、镗床、挤出轮廓和机器人技术。打磨方面，汽车凸轮轴和曲轴加工系统，无心磨削和单圆盘和双圆盘磨削以及精益和柔性数控磨床领先。切割方面，设计和供应高精度 PCD 和 PcBN 切割工具、金刚石修整工具以及磨料和超磨砂轮。激光系统方面，有超过 35 年的行业经验。填充、密封方面，Fives 为汽车和暖通空调装配线和预填充组件的全系列流体和气体填充提供解决方案。端到端复合材料制造提供可定制的层压、成型、检查和固化解决方案。
Hamai Company (滨井产业株式会社)	主要产品包括研磨抛光机、滚齿机和双面铣床，具有 90 多年的双面研磨机、滚齿机制作经验	产品适合加工各种晶体、硅片、玻璃、蓝宝石、电脑磁盘、液晶等
AM Technology	主要产品包括单/双面精磨系列设备、研磨抛光系列设备以及精密切割切面系列设备等	产品应用于工件的精磨研磨、切割和抛光领域，其中 ADL 双面精磨，研磨抛光系列设备和 VRG 半自动减薄系列设备达到欧盟 CE 标准
Mitsui Seiki (三井精机)	1928 年成立，专注制造高精度母机，在丝杠螺纹磨床中占有较高份额，尤其是在日本的份额接近 100%。三井精机生产了创业以来继承的技能和最新技术高度融合的高精度母机，性能、台数都是顶级的 5 轴加工中心，在精密螺丝研磨领域拥有压倒性市场份额的螺丝研磨机等	产品包括横向加工中心，以飞机零件加工为首，解决对模具加工的需求；立形加工中心；夹具研磨机；吉格博勒：高精度加工机顶端的终极母机；螺丝研磨机：精密球形螺丝研磨加工的高市场份额，为研磨精密球螺丝，在日本几乎 100%的市场份额
TOYO (东洋先进机床)	凭借在汽车生产制造中孕育出来的加工制造技术，在超精密加工领域持续突破，尤其是内圆磨床市场认可度较高，06 年内圆磨床累计产量达到 10000 台，22 年销售额 255 亿日元	主要产品包括卧式内圆磨床（卡盘夹紧方式），卧式立式无心式磨床、立式磨床（卡盘型）、立式磨床（无心型）、全数控（CNC）曲线磨床、齿车研削盘、外径研削盘、研磨床、涡轮加工机、半导体、LED、功率半导体用多线切割机、设备改造工作机部品等

资料来源：各公司官网、华泰研究

(2) 装配工艺：从行星滚柱丝杠的结构看，螺杆是有螺旋升角的多头螺纹，一般是 5 或 6 头；螺母内有内螺纹，牙型呈三角形且其牙型半角与滚柱牙型半角相同；滚柱一般是单线螺纹，螺旋面会加工出有较大接触半径的原型轮廓，同时滚柱与螺母的螺旋角相同，保证滚柱滚动时与螺母无相对轴向位移，一般滚柱为 9-13 个。反向式滚柱丝杠的滚柱螺纹与丝杠螺纹长度一致，并在丝杠螺纹两端加工有外齿，丝杠齿与滚柱齿做外啮合，因此要**内螺纹更长的螺母**保证丝杠的行程。加工出所有零件后，要先组装出螺母组件，再把丝杠旋入螺母组件。

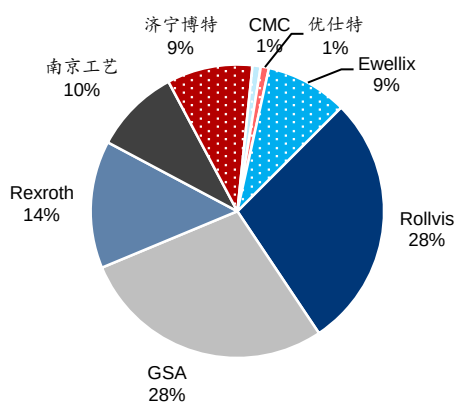
(3) 热处理：核心在于提高螺纹的表面硬度和耐磨性，目前国内因技术设备落后、热处理工艺参数有待改善等，导致行星滚柱丝杠的主要损坏方式为接触疲劳磨损。

(4) 材料：滚柱丝杠面临高转速高承载的工作环境，工作温度较高，应选择硬度高、耐磨性强、抗疲劳强、承载力高、温升适应好，且有良好的切削性能和经济性的材料，此外各零部件的材料选型需要差异化，相同材料在配合运动中易发生胶合现象。一般丝杠材料用 GCr15 高碳铬轴承钢、螺母用 20CrMnMo 合金结构钢、滚柱和啮合齿轮用 38CrMnAl 合金结构钢、行星支架等用 45 钢。

国产机遇何在？看好技术与商务双强的企业

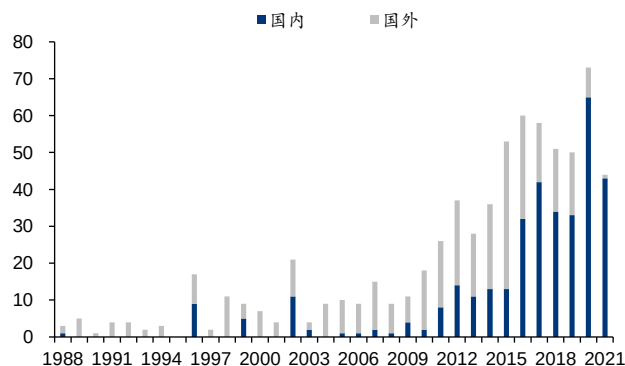
国内行星滚柱丝杠起步晚，但产学研快速推进。目前我们滚柱丝杠市场仍为外资主导，根据论文《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》的测算，当前我国国产化率仍较低，21 年市场 80% 左右的份额为外资占据。但从专利申请数量来看，2010 年后我国在行星滚柱丝杠领域的专利申请量快速提升，产学研发展有望加快滚柱丝杠国产化进程。

图表13：2021 年我国滚柱丝杠市场格局情况



资料来源：王有雪.E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究[D].大连理工大学,2022.、华泰研究

图表14：国内外行星滚柱丝杠领域的专利申请数量情况



资料来源：田青,孙磊,郭亚星等.行星滚柱丝杠技术专利分析[J].军民两用技术与产品,2023,(04):24-28.、华泰研究

丝杠具备强烈国产降本诉求，看好技术同源+有高精设备储备+商务能力强的本土企业实现突破。特斯拉人形机器人所采用的反向式行星滚柱丝杠，国外售价单根高达上万元，有强烈的国产化降本需求。同时，因其要求精度较高，尤其是螺母内螺纹的加工难度最高，决定了该环节的核心竞争壁垒在于高精设备和加工工艺，其中后道精磨需要高精度磨床，依赖交付期长、售价贵的进口产品；加工工艺则需要深刻 knowhow 积淀，保证生产精度和量产稳定性。我们看好技术同源有工艺 know-how（如滚珠丝杠/机床丝杠/齿条/轴承/模数齿轮领域）且有高精设备储备的企业切入。同时从供应链关系看，机器人与汽车供应链有强共通性，丝杠作为传动核心部件，直供和间供可能并存，商务能力同样为重要竞争力，我们看好技术与商务双强的本土企业。

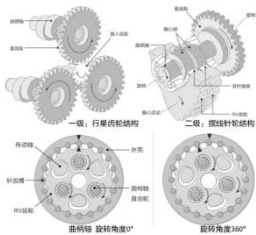
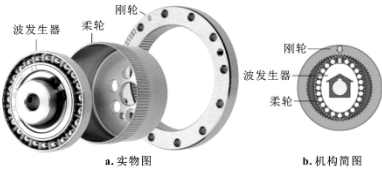
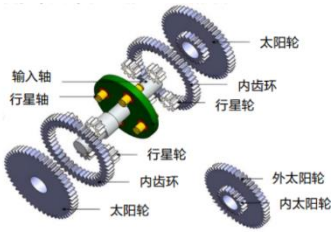
减速器：国产化概率较高的旋转运动核心件

应用几何？或搭配谐波与类 RV 减速器

减速器是机器人旋转传动的核心部件，在动力机构和执行机构间降低转速提高扭矩。工业机器人领域使用谐波减速器、RV 减速器、行星减速器的传统悠久，根据特斯拉机器人过往视频展现的能力，我们判断减速器使用谐波搭配类 RV 方案的概率较大，或在传动效率不高、承载要求不高的环节使用谐波，在传动效率高、有更高承载冲击要求的部位（如腰胯部）使用 RV，同时考虑到传统 RV 体积较大，人形机器人搭载会显得身形厚重，不排除出现新型、结构更紧凑体积更小的 RV 方案。

- 1) **谐波减速器：体积小传动比大，而负载能力和抗疲劳弱。**由柔轮+波发生器+刚轮构成，结构简单、质量体积较小，其传动的核心原理是波发生器旋转带动柔轮产生弹性形变，使得长轴与刚轮啮合、短轴与刚轮脱离，当波发生器顺时针旋转 1 圈，柔轮逆时针移动 2 个齿槽的错齿运动，进而完成运动传递。其优势在于：因存在柔轮和刚轮齿数差，有**较大减速比范围**；同时因 30% 的啮合齿数实现了 180% 对称位置的同时啮合，在啮合误差平均效应下，有**较高的位置精度和旋转精度**；此外其啮合齿数多，齿面相对滑动位移很小，有**较高传动效率和较低磨损率**。但其劣势在于：因为柔轮需不断变形传递扭矩，**易疲劳损坏，寿命短，不适合大扭矩和高载荷场景**。
- 2) **RV 减速器：传动比大承载能力强，而结构复杂。**由前级的渐开线行星齿轮+后级的摆线针轮组成，是 2 级减速结构，前级结构的输入齿轮（太阳轮）与电机相连同步旋转，带动多个较大的行星轮以及曲柄轴转动，实现第一级减速，曲柄轴的偏心部和后级机构的滚动轴承相连，滚动轴承带动摆线轮跟随曲柄轴运动，摆线轮和针齿接触同时做偏心运动，逆时针旋转一个齿数，实现第二级减速，而摆线轮外接输出轴向外传动。其优势在于：RV 的啮合齿数更多、两端支撑的输出结构，有**更强的承载能力、更高的扭转刚度、更大的传动比**，两级传动结构也带来**更大减速比**，同时其摆线针轮的传动件接触应力小且刚度 high，易实现高精度从而有**高传动效率、高抗疲劳性**。其劣势在于，结构复杂加工难度高，量产标准化难度和加工精度要求高。
- 3) **行星减速器：包括行星架、内齿轮和若干滚子，行星架开设内圈外滚道，内齿圈开设外圈内滚道，行星架和内齿圈通过若干个滚子转动连接。**人形机器人的准直驱关节一般采用高扭矩密度电机和低减速比行星齿轮减速器，但受行星减速器齿轮啮合回查影响，其运动精度较低。

图15： 机器人减速器产品对比

	RV 减速器	谐波减速器	行星减速器
示意图			
技术特质	多级减速，渐开线行星齿轮为一级减速，摆线针轮为二级减速，减速比高	波发生器为主动轴，旋转时长轴与刚轮啮合而短轴脱开，带动柔轮弹性形变，发生错齿运动，进而转动了柔轮和刚轮齿数差的角度，减速比范围大	驱动源启动太阳齿轮，进而带动行星齿轮，低速比
结构特征	渐开线行星齿轮前级+摆线针轮后级，结构紧凑，体积小，对装配工艺高	柔轮+刚轮+波发生器，结构简单，质量体积小	一个中心太阳齿轮、多个行星齿轮和一个内圈齿轮
减速比	单级 11-87，双级 121-7500	单级 50-500	单级 2.8-12.5，双级 14-160
输出扭矩	好	一般	一般
传动效率	0.9-0.94	0.7-0.9	0.8-0.95
刚度	高	一般	一般
传动精度	高	高	高
额定输出转矩	101-6135N·m	6.6-921N·m	一般
使用寿命	6000h+	8000h+	2wh+
振动噪音	<70dB	<60dB	<65dB
重量体积	中	小	径向长度大
背隙	1°以下	0	1°左右
优势	高负载、高刚度、高抗疲劳强度	体积小、零件少	零件少、噪声低适应性强
劣势	重量大、体积大、零部件数量多制造装配难	轻负载、柔轮反复变形抗疲劳强度较弱	低速比
应用场景	机器人机座、大臂、腰部等负载 20kg 以上的场景	机器人小臂、腕部、手部等负载 20Kg 以下的场景	-
主要厂商	日本纳博特斯克，德国威腾斯坦，中国南通振康，环动科技，秦川机床，中国传动，中大力德，昊志机电	日本哈默纳科，新宝，中国绿的谐波，大族传动，中大力德，环动科技，昊志机电，丰立智能等	住友，国贸股份，精锻科技，秦川机床等

资料来源：黄兴,何文杰,符远翔.工业机器人精密减速器综述[J].机床与液压, 2015, 43(13):6、绿的谐波公告、肖亚茹,王明明,琚立颖,等.机器人用精密减速器类型及精度研究进展[J].机床与液压, 2021, 049(007):165-171、吴素珍, & 陈丹. (2014). 机器人关节传动用精密减速器研究进展. 河南科技学院学报: 自然科学版, 42(6), 7、华泰研究

壁垒与机遇何在？非量化指标决定 know-how 为核心竞争力

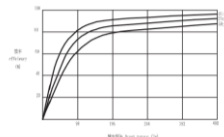
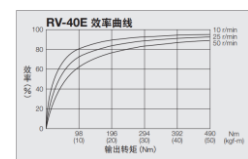
非量化经验指标或为减速器核心考量指标。减速器产品选型的性能指标包括减速比、传动精度、传动效率、扭转刚度、转矩指标、寿命指标、噪音等，我们单从量化数据对比，国内主要企业与日企在 RV 减速器的转矩上有差异、在谐波减速器的减速比范围、转矩、寿命上有差异外，其他指标并无太大差异。而从竞争格局看，日企仍占据国内减速器市场的头部，根据华经产业研究院，21 年我国机器人谐波减速器市占率第一第二分别为哈默（35.5%），绿的（24.7%），我国机器人 RV 减速器市占率第一第二分别为纳博（51.8%），环动科技（15.1%）。我们认为主要系非量化经验指标也为减速器产品选型的重要指标，虽产品量化参数差异不大，但实际应用中，减速器在高强度复杂环境工作下，可能面临易疲劳、噪声大、升温、实际寿命短等不稳定问题，导致市面有较多减速器产品，而主机厂选择和复购的范围有限，进而导致后来者抢占份额较慢。

图表16：机器人减速器核心技术指标

性能指标	解释
减速比	输出转速和输入转速之比
传动精度	工作状态下，输入轴单向旋转时，输出轴的实际转角和理论转角的接近程度，精度高代表传动误差小
传动效率	实际输出功率与输入功率的比值，受到减速比、转速、负载扭矩、温度、润滑条件的影响
背隙	输入端增加一定量的额定转矩，输入端产生的微小位移角，会影响输入精度
空程	输入轴由正向改为反向旋转时，输出轴在转角的滞后量
扭转刚度	扭转力矩作用下构建抗扭转变形的能力
额定输出转矩	假设以额定输出转速连续工作时的最大输出转矩值
启制动峰值转矩	正常启动时短时间允许的最大负载转矩
瞬间最大转矩	工作出现异常时保证减速器不损坏的瞬间极限转矩
负载平均转矩	实际工作时输出侧的等效负载转矩
负载平均转速	实际工作时输出侧的等效负载转速
额定寿命	以额定输出转矩、额定输出转速时的寿命
疲劳寿命	能连续重复工作的最长时间

资料来源：黄兴,何文杰,符远翔.工业机器人精密减速器综述[J].机床与液压, 2015, 43(13):6、《ABB 工业机器人应用技术全集》，龚重华、华泰研究

图表17：主流机器人 RV 减速器性能对比

性能指标	南通镇康	环动科技	纳博特斯克
产品类型	ZKRVE-40E	SHPR-40E	Nab-40E
减速比	57-153	57-153	57-153
输出转矩(Nm)	412, 输入功率 0.86kW, 输出转速 15r/min	412, 输入功率 0.86kW, 输出转速 15r/min	412, 输入功率 0.86kW, 输出转速 15r/min
额定效率	85		
齿隙精度	1	1	1
启动停止容许转矩(Nm)	1000	1029	1029
瞬时最大容许转矩(Nm)	2000	2058	2058
容许力矩(Nm)	1160	1666	1666
瞬时最大容许力矩(Nm)	-	3332	3332
倾覆刚度(Nm/arc.min)	-	931	931
扭转刚度(Nm/arc.min)	105	108	108
空程回差(arc.min)	0.8	1	<1
允许轴向负载(N)	5190	5196	-
重量(kg)	9.5	9.3	9.3

资料来源：各公司官网、华泰研究

图表18：主流机器人谐波减速器性能对比

性能指标	绿的谐波	来福谐波	哈默
产品类型	LHS-II 标准系列-32	LHT-II 标准系列-32	CSF-2UH 标准型-32
减速比	30-160	50-120	30-160
额定转矩(Nm)	51-130	76-137	54-137
启动停止容许最大转矩(Nm)	95-353	216-353	100-372
平均负载转矩的容许最大值	71-205	108-216	75-216
瞬间容许最大转矩(Nm)	190-652	382-686	200-686
容许最高输入转速(r/min)	4500	4800	4800
容许平均输入转速(r/min)	3500	3500	3500
背隙(arc sec)	≤20	≤20	≤20
重量(kg)	2.6	2.54	3.2
设计寿命(h)	10000-15000	10000-15000	波发生器平均寿命 35000h

资料来源：各公司官网、华泰研究

减速器的核心壁垒在于稳定性和工艺 Know-how：精密减速器的技术难点在于齿形设计（要保持合理的啮合侧隙，提高传动平稳性、降低噪音和传动误差）、材料（齿轮核心部件需要持续形变，对材料的韧性要求高），加工设备（加工工艺可分为慢走丝和滚插磨齿，要求使用高精度数控磨床和滚齿机，而日本高精磨床设备对我国有出口限制），工艺 Know-how（热处理和装配环节要求 Know-how 积累，保证量产稳定性和一致性）。考虑国产企业在精密减速器已积累一定工艺经验，并产生优秀成熟企业（如双环和绿的）在减速器市场占据一席之地，我们认为机器人减速器有较高的国产替代空间，同时具备量产稳定性和新方案开发能力的企业或更具备竞争优势。

传感器：国产化大潜力的赛道

IMU: 稳定运动姿态的必要传感器

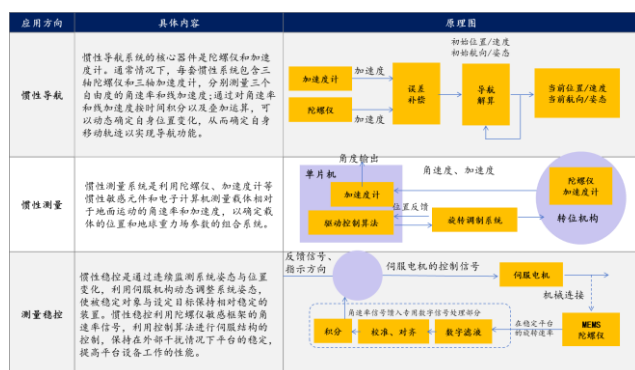
MEMS IMU 可实现惯性导航/惯性测量/测量稳控，有望应用在人形机器人中稳定运动姿态。

IMU 即惯性测量单元，由 MEMS 芯片和 ASIC 芯片合封而成，把三轴陀螺仪+三轴加速度计集成在同一芯片，形成六轴 IMU，能测量物体在 3 个正交方向的加速度和角加速度，主要用于资助测量和反馈物体的运动速度和角度变化，与导航模块可以构成惯性导航系统，目前 IMU 广泛应用在无人系统、自动驾驶、高端工业、高可靠领域，中低性能的产品开始在消费电子领域渗透。

我们认为 MEMS IMU 在高运动要求的人形机器人中不可或缺，主要用于稳定运动姿态。

IMU 可以实现惯性导航、惯性测量、测量稳控，能够帮助双足人形机器人在行走、攀爬、跨越障碍物等动作时保持平衡稳定性，稳定运动姿态。目前波士顿动力 Atlas 使用了集成 IMU 和力矩传感器来控制肢体动作，智元机器人远征 A1 同样内置了 IMU，RH5 机器人配置 IMU 用于提供全身控制器的状态反馈，UCLA 论文《Design of a Highly Dynamic Humanoid Robot》的方案，在胯部配置了 1 颗战术级 IMU，根据学界和业界方案，我们预计 IMU 在人形机器人用量或达 2-4 个，分别在头部/双足/胯部。而根据 IMU 加速度计与陀螺仪的精度要求，可分为精度低的消费级，价格百元左右，精度中低的战术级，价格千元至万元，以及高精度的导航级和战略级，价格上万元。考虑到特斯拉人形机器人实现动态测试，对肢体动作的平衡稳定性要求较高，我们认为其或配置战术级 IMU，定位精度或达毫米级，用量或在 2-4 个。

图表19: IMU 在人形机器人的应用及运作原理



资料来源：芯动联科招股书、华泰研究

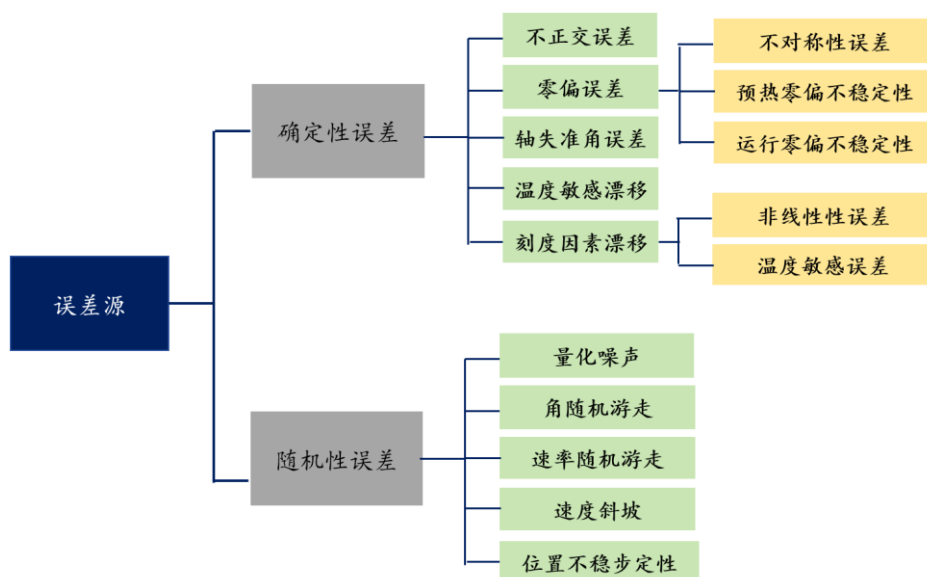
图表20: 按核心性能划分 MEMS 加速度计与 MEMS 陀螺仪的类别

加速度计	战吼型	导航型	MEMS型	消费型
应用领域	航天、航海、自校准	航空、长航时无人系统、陆地巡航	高速公路（如测距、资源勘探）、车辆和飞行器	消费电子
零偏稳定性 (μg)	<5	5-50	50-1000	>1000
标度因数精度 (ppm)	<10	<50	<1000	>1000
加速度计 主要技术	机械摆式加速度计、石英加速度计	机械摆式加速度计、石英加速度计、MEMS加速度计	MEMS加速度计、石英加速度计	MEMS加速度计
代表厂商	Honeywell、Northrop Grumman	Honeywell、Safran、公司	Honeywell、ADI、Safran、Silicon Sensing、美泰科技、	Bosch、TDK
陀螺仪	战吼型	导航型	MEMS型	消费型
应用领域	航天、航海	航空、长航时无人系统	高速公路（如测距、资源勘探）、车辆和飞行器	消费电子
零偏稳定性 (°/h)	<0.01	0.01-0.15	0.15-15	>15
标度因数精度 (ppm)	<1	1-100	100-1000	>1000
角度随机游走 (°/√h)	<0.01	0.01-0.05	0.05-0.5	>0.5
陀螺仪技术	机电陀螺仪、激光陀螺仪、光纤陀螺仪	激光陀螺仪、光纤陀螺仪、助力调谐陀螺仪、MEMS陀螺仪	激光陀螺仪、光纤陀螺仪、助力调谐陀螺仪、MEMS陀螺仪	MEMS陀螺仪
代表厂商	Honeywell	Honeywell、Northrop Grumman、Emcore 公司	Honeywell、Sensoror、ADI、Silicon Sensing、Emcore、公司	Honeywell、Sensoror、ADI、Silicon Sensing

资料来源：芯动联科招股书、华泰研究

MEMS 芯片与 MEMS 工艺直接影响核心元件的零偏稳定性，与软件算法能力构成竞争壁垒。陀螺仪上，业内目前将 MEMS 芯片设计结构从双质量块转向四质量块/多环结构等新型对称结构，MEMS 工艺从传统的硅-玻璃过渡到全硅，来提高 MEMS 陀螺仪的灵敏度、精度、抗干扰性，直观表现是零漂更低；加速度计上，难点在于 MEMS 结构设计、MEMS 工艺和电路设计，业内目前将技术方案从单质量块向多质量块阵列式结构转变，MEMS 工艺从硅-玻璃向全硅工艺过渡，并在电路算法上，从分立器件向数模混合 ASIC 发展；算法上，IMU 算法核心围绕如何让核心元件提高精度降低误差，MEMS 惯性器件的误差包括系统性误差和随机误差，前者可以实时补偿、通过校准传感器消除，后者需要算法支持，做数据融合（姿态解算），减少随机噪声影响。

图表21：MEMS IMU 的误差来源



资料来源：利科夫惯性导航、华泰研究

外资主导我国 MEMS 惯导市场，国内厂商近年发力追赶。根据芯谋研究，我国 MEMS 加速度计市场份额前五分别为博世/ST/Murata/NXP/士兰微，其中外资占比高达 70%左右，而我国 MEMS IMU 市场同样为外资主导，博世/ST/TDK/Analog/Honeywell 分别占据 33%/25%/21%/7%/7%，CR5 为 93%。我国虽 IMU 起步较晚，但有部分企业突破了核心技术壁垒，陀螺仪与加速度计技术指标与国外接近，我们看好国产 MEMS IMU 的降本能力，具有 MEMS 芯片能力与 IMU 软件能力的公司或更受益。

图表22：国内外 IMU 厂商的能力对比

公司名称	主要产品	主要应用领域	技术水平	市场地位
Honeywell	航空航天产品和服务、企业节能产品和解决方案、特种化学品、电子和先进材料，炼油和石化工艺技术，以及建筑物和工业的生产率、传感、安全和安保技术	农业、自主式水下航行器、通信、工业设备、船舶及潜航器、石油和天然气、机器人、地图测绘、稳定平台、交通运输、无人机和地面无人车辆等	Honeywell 产品线较广。陀螺仪方面，Honeywell 的 MEMS 陀螺仪是行业内战术级陀螺仪的标杆产品；加速度计方面，MEMS 加速度计和石英加速度计可达到导航级和战术级水平，石英加速度计是该产品的行业标杆产品。目前 Honeywell 正推动高性能 MEMS 传感器替代光学陀螺仪	Honeywell 是目前在 MEMS 陀螺仪研制开发领域代表世界最高水平的公司之一
ADI	数据转换器、放大器和线性产品、射频芯片、电源管理产品、基于 MEMS 技术的传感器、其他类型传感器以及信号处理产品，包括数字信号处理器和其他处理器等	工业、汽车、通信和消费电子市场等	ADI 主要产品为 MEMS 陀螺仪和 MEMS 加速度计，技术水平领先，产品耐环境能力强，性能覆盖工业级和低端战术级，在工业级陀螺仪领域具备较大影响力	ADI 是高性能模拟、混合信号和数字信号处理集成电路设计、制造和营销方面世界领先的企业
Sensoror	MEMS 陀螺仪传感器、加速度计、惯性传感器模块等	工业、航空航天、汽车以及船舶航海等高精度传感器的应用和市场	Sensoror 主要产品为三轴陀螺仪	Sensoror 在开发和制造抗振动、抗冲击和恶劣环境适用的高性能传感器领域拥有多年的经验，后被 Safran 收购
Silicon Sensing	陀螺仪和惯性系统	航空、平台稳定、测绘、石油勘探、智慧农业、工业机器人、惯性导航、船舶、自动驾驶等	Silicon Sensing 主要产品为 MEMS 陀螺仪，技术较为先进，产品耐环境能力强，性能覆盖工业级，战术级	Silicon Sensing 是一家为全球市场提供可靠的、高质量的陀螺仪和惯性系统产品的供应商
Colibrys	惯性传感器、高温加速度计、震动感应器、地震传感器	航空和安全关键应用等领域	Colibrys 产品有战术级 MEMS 加速度计和导航级加速度计。因其技术迭代慢，输出非数字化，市场份额呈下降趋势	全球领先的 MEMS 技术加速度计传感器供应商之一，后被 Safran 收购
美泰科技	MEMS 惯性器件与系统、MEMS 惯性传感器、汽车传感器、压力传感器、射频 MEMS 器件等	航空航天、新能源汽车、智能驾驶、智慧城市、物联网和 5G 通信等战略新兴产业等领域	美泰科技产品有战术级 MEMS 加速度计，在国内加速度计产品领域具有一定的市场地位	美泰科技致力于 MEMS 器件与系统的研发、生产和销售，为国内较知名 MEMS 企业之一
芯动联科	MEMS 陀螺仪和加速度计	产品直接应用于惯性系统，终端产品应用于高端工业、无人系统、高可靠等领域	公司高性能 MEMS 惯性传感器核心性能指标达到国际先进水平，产品实现批量化应用	
明鹄传感	MEMS 加速度计、惯性传感器、陀螺仪、压力传感器、磁传感器	智能手机、智能穿戴、平板/笔记本电脑等消费电子领域，智能家居、智慧畜牧等物联网领域以及车载应用领域	明鹄传感是国内 MEMS 加速度计的领导者，其加速度计全球市占率 2.11%，位列 MEMS 加速度计厂商的全球第七位；在消费电子领域，明鹄传感 2021 年 MEMS 加速度计的销量为 0.91 亿颗，全球市占率 8.96%	
华依科技	陀螺仪、加速度计	应用于自动驾驶、辅助驾驶、精准农业、智能物流、安防巡检、旅游观光车、清扫环保等	专注于高精度导航定位产品研发	
导远科技	MEMS 微振镜模组、陀螺仪、加表、卫导板卡、磁力计	智能驾驶、智能机器人、工程机械、精准农业、智慧交通、无人机测绘等	全球领先的定位感知解决方案供应商，是自动驾驶高精度定位技术领军者	

资料来源：芯动联科招股书、各公司官网、华泰研究

图表23：国内外主要企业陀螺仪技术指标已接近

性能指标	零偏稳定性 (°/h)	角度随机游走 (°/√h)	标度因数精度 (ppm)	产品体积 (立方 毫米)	产品重量 (克)	平均价格 (单轴) (美元)
指标说明	稳定性指标越小， 自主导航时间越长	反映角速率信号中白 噪声的特性，姿态控 制系统精度的主要误 差源，数值越小代表 误差越小，测量精度 越高	动态输入下衡 量陀螺测量是否准 确，数值越小测量精 度越高	-	-	-
Honeywell HG1700 (激光陀螺仪)	0.25	0.125	150	-	-	-
Emcore EG200 (光纤陀螺仪)	1	0.04	100	83.8*83.8*20.3	127	12,554
Honeywell HG5700 (激光陀螺仪)	0.02	0.012	10	-	-	-
Emcore EG1300 (光纤陀螺仪)	0.01	0.002	50	83.8*83.8*20.3	380	28,129
芯动联科 (陀螺仪33系列)	≤0.1	≤0.05	≤100	11*11*2	1	1,100

资料来源：芯动联科招股书、华泰研究

图表24：国内外主要企业加速度计技术指标已接近

性能指标	零偏稳定性 (μg)	加速度随机游走 (μg/√Hz)	标度因数精度 (ppm)
指标说明	零偏稳定性指标越小，自主导航 时间越长	反映加速度信号中白噪声的特性， 姿态控制系统精度的主要误差源	动态输入下测量加速度计测量是否准确，数 值越小测量精度越高
Honeywell (HG4930)	25	30	500
Qualcomm (MS1030)	30	100	2000
麦泰科技 (8000D)	≤100	50	3000
ADI (ADXL357)	10	110	13000
芯动联科 (加速度计25系列)	≤20	≤30	≤500

资料来源：芯动联科招股书、华泰研究

力传感器：大价值量、高壁垒的国产化潜力赛道

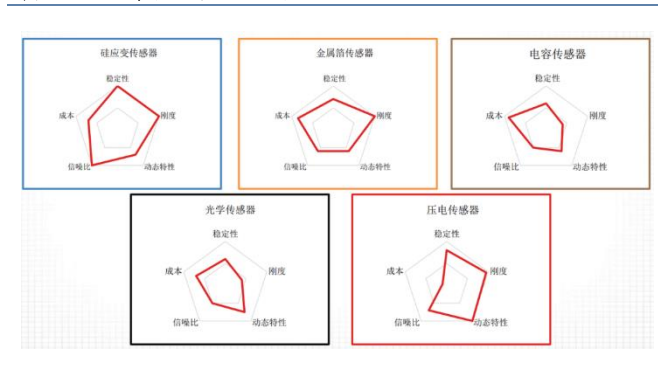
力传感器将力和力矩的量值转换为电信号。根据传感原理不同，可分为应变式、光学式、电容式、压电式等，其中应变式的精度更高、技术成熟、测量范围广，是目前机器人应用较多的技术路线。根据测量力维数不同，可分为一维、三维、六维等，其中六维能同时测量沿三个坐标轴方向的力和绕三个坐标轴方向的力矩。对比稳定性、刚度、动态特性、成本、信噪比，硅应变式的稳定性、信噪比、动态特性更优，但金属箔的成本占优；电容式和压电式中，电容式成本最优；光学式在动态特性有优势。

图表25：力矩传感器按技术原理划分

种类	测量原理	核心零件	技术原理	优势	劣势
应变式	力→电阻变化	电阻应变片	基于应变效应，力到弹性元件，弹性元件变形使敏感元件有阻值变化，电阻变化反应外力变化	精度高，技术成熟，测量范围广，频响特性好	存在非线性误差，信号输出较弱
压电式	力→电荷变化	压电材料	基于压电效应，外力使压电材料变形，内部极化，相对表面出现正负相反电荷，电信号变化反应外力变化	动态响应好，刚度强	存在电荷泄露、静态力测量难
电容式	力→电容变化	电容器	形变后极距的变化导致电压变化	高分辨率、频率范围广	调理电路复杂
光学式	力→光强变化	光纤	转换元件形变后通过光栅反应形变	可靠性高、测量范围广、动态响应好	价格贵、对测试环境要求高

资料来源：《Hand of Modern Sensors》、TE Connectivity 官网、传感器专家网、高工智能机器人、CSDN、华泰研究

图表26：不同力矩传感器能力对比

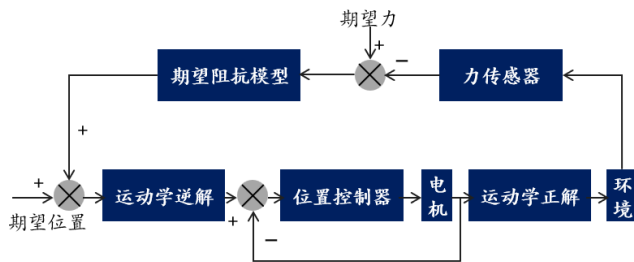


资料来源：ATI、华泰研究

我们认为人形机器人应用力/力矩传感器是必不可少：

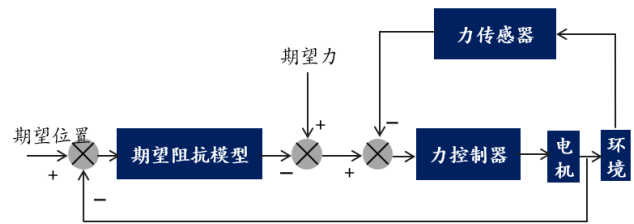
关节部位：力传感器对机器人的闭环结构具备应用必要性。根据《基于六维力传感器的机器人力控研究》，机器人检测到交互力需要实现末端接触力的柔顺控制，可以基于阻抗控制原理，通过力控制外环基于传感器实际反馈力和期望力的误差，闭环控制调整位置变量。同时我们认为，末端控制如手部和脚部，对力和力矩测量的要求较高，而其他要求较低的关节连接处实现主动柔顺控制，使用一维和三维力传感器更具性价比。

图表27：基于位置的阻抗控制原理



资料来源：王梦含,基于六维力传感器的机器人力控研究[D].太原理工大学,2022.、华泰研究

图表28：基于力的阻抗控制原理

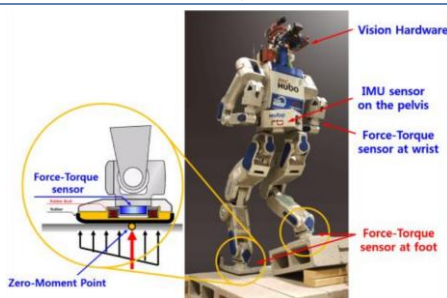


资料来源：王梦含,基于六维力传感器的机器人力控研究[D].太原理工大学,2022.、华泰研究

手腕脚部对运控精度要求更高，或应用六维力传感器。(1) 手腕：手腕上的力扭矩传感器可以通过提高机械臂的力控制精度，优化人机交互和物体操纵。比如，如果使用安装在手腕上的力扭矩传感器的传感信息对机器人手臂关节进行柔顺控制，机器人可以自然地与人握手。比如 Robonaut 2 在每个肩部和前臂的六轴称重传感器中测量力和扭矩，Wabain-2 中，六轴力扭矩传感器安装在每个上臂上，以测量前臂上的外力。(2) 脚腕或脚底：脚部的六维传感器主要用于测量地面反作用力和力矩、计算零力矩点（Zero moment point ZMP），零力矩点即机器人的脚与地面接触时的动态反作用力在水平方向上不产生任何力矩、水平惯性和重力的和为 0 的点，一般用来判定人形机器人的动态稳定性，如果 ZMP 落在支撑多边形范围里，机器人可以稳定行走。而多轴的力/力矩传感器可用于计算 ZMP，促使双足机器人在行走和跑步中保持平衡。

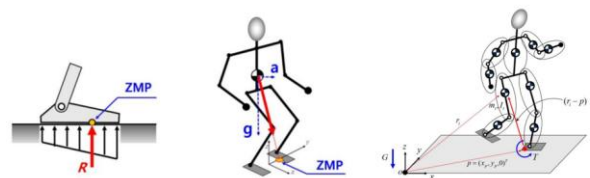
人形机器人在软件能力尚不成熟的发展前夕，利用六维力传感器实现末端的柔顺控制具有必要性，高价值量催生强烈降本诉求。一方面对于脚部，攀爬、快速行走、跨越障碍物等动作对人形机器人的动态稳定性要求更高，在测试阶段难以脱离六维力传感器；一方面对于手部，完成穿针引线或抓握小物体仍需六维力传感器实现柔顺控制，理论上，机器人可依靠较强的软件模拟抓握的三维力或六维力，但若拾取细小的物体，摄像头存在数据采集死角，视觉方案难以构建物体的完整模型，进而难以模拟三维力或六维力。考虑到运控的稳定性和实现高动态动作如穿针引线的目标，我们认为实际应用中，六维力应用在手腕不可或缺。目前国外实业界和学术界均在积极应用多轴/六维力传感器，但六维力售价昂贵，根据《Multi-Axis Force-Torque Sensors for Measuring Zero-Moment Point in Humanoid Robots: A Review》，海外产品单价超 8000 美金，双脚应用则单机价格超 16000 美金，于机器人量产有强烈的降本诉求。

图表29：人形机器人可在手腕和脚部搭配力矩传感器



资料来源：J. -H. Kim, "Multi-Axis Force-Torque Sensors for Measuring Zero-Moment Point in Humanoid Robots: A Review," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 3, pp. 1126-1141, 1 Feb.1, 2020.、华泰研究

图表30：力人形机器人 ZMP 推导原理



资料来源：J. -H. Kim, "Multi-Axis Force-Torque Sensors for Measuring Zero-Moment Point in Humanoid Robots: A Review," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 3, pp. 1126-1141, 1 Feb.1, 2020.、华泰研究

图表31：国外用于测量人形机器人 ZMP 的力/矩传感器特点

	机器人信息					传感器规格				
	名称	重量	行走速度	力/力矩规格		结构类型	布局构造	重量/尺寸 (mm)	通讯/更新速率/特征	性质
六维力/力矩	Wabain-2 Wabian-2R (Waseda Univ.)	64.5kg 62kg	0.75km/h 1.875km/h	Fx: 450N Fy: 450N Fz: 900N	Mx: 30Nm My: 30Nm Mz: 30Nm			250g&67d-25t	PCI 接口板/最大 8kHz/14bit, 精度比 1%满量程小	商业
	HRP-2 (AIST)	58kg	2.5km/h	Fz: 两倍机器人重量					PCI 接口板/200Hz	商业
	Johnnie (TUM)	40kg	2.4km/h	Fx: 500N Fy: 100N Fz: 1200N	Mx: 10Nm My: 70Nm Mz: 50Nm	三幅结构	六半桥式		CAN 串行通信网络 /250Hz/10bit, 自动 零位调整	实验室内
	LOLA (TUM)	60kg	3.34km/h	Fx: 500N Fy: 100N Fz: 1200N	Mx: 100Nm My: 120Nm Mz: 50Nm	马其他十字 梁	八半桥式	395g	SPI/1kHz/12bit, 自 动零位校准, 过载保 护, 校准误差小于 5%	实验室内
	DLR-Biped (DCR)	49.2kg	1.8km/h	Fz: 1000N M:80Nm					以 230kbps 运行的 RS485 标准串行协 议/500Hz	
	TORO (DLR)	76kg		Fz: 1000N M:100Nm					500Hz	
	iCub (IIT)	23-25kg		Fx: 2000N Fy: 2000N Fz: 2000N	Mx: 40Nm My: 40Nm Mz: 30Nm	三幅结构	六半桥式	122g&45d- 18.4t	CAN/最大 1kHz	实验室内
	THORMANG3 (ROBOTIS)	42kg		Fx: 2800N Fy: 2800N Fz: 6800N	Mx: 120Nm My: 120Nm Mz: 120Nm	三幅结构	六半桥式	345g&58d-30t	用应变放大器进行模 拟电压输出	商业
三维力/力矩	KHR-1,	48kg	1km/h	Fz:1000N	Mx: 30-50Nm	马其他十字 梁	三全桥式	200g&80*80* 25t	CAN, RS232/100Hz 或 200Hz/10bit, 自动 零位校准	实验室内
	KHR-2,	56kg	1km/h							
	HUBO	55kg	1.5km/h		My: 30-50Nm					
	HUBO2(KAIST)	45kg	3.6km/h							
多维 力传感器	H6 (Univ. of Tokyo)	51kg					12 FSR 力 感电阻		模拟电压输出/12bit	实验室内
	H6	51kg	0.972km/h			多力传感器	半桥式		模拟电压输出/人为 零位调整/过载保护	
	H7	57kg	1.44km/h						模拟电压输出/人为 零位调整	
	H7 (Univ. of Tokyo)	57kg	1.44km/h			平行支持结 构	多维 力传感梁	700g&104*94 *35t		实验室内
	Atlas DRC (Boston Dynamics)	155kg	1.44km/h				四个应变计 阵列			

资料来源：J. -H. Kim, "Multi-Axis Force-Torque Sensors for Measuring Zero-Moment Point in Humanoid Robots: A Review," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 3, pp. 1126-1141, 1 Feb.1, 2020.、华泰研究

六维力技术难度较高，核心壁垒在于 Know-how。六维力的技术难点在于如何降低非线性力学耦合干扰以及零漂温漂：（1）六维力不仅需要测量实际输入的外力，其还随机械臂的运动不断改变姿态，也需测量自身的零点偏差、螺钉紧固产生的力、传感器及末端负载的联合重力和重心偏移等，可通过结构解耦和算法解耦途径降低耦合干扰，利用六维联合加载设备实现三个正交方向力和三个力矩方向力的精确加载和真值数据组构建。但六维联合加载设备难以直接采购，一般由六维力厂商自制，其涉及空间光学定位、载荷位移补偿、机电一体化等技术，具备强 know-how 壁垒。（2）零漂温漂为衡量精度的重要指标，高精度的六维力传感器一般应用弹性体材料配方降低温漂和零漂。（3）六维力的应变片技术路线仍对人工有强依赖性，全自动化生产存在困难，考验厂商的加工工艺 know-how 积累。

海外企业历经多轮技术迭代和产品验证，国内起步较晚。早在 1940 年左右，美国企业开始探索应变式传感器生产，我国起步较晚，近年来涌现一批具有潜力的本土企业。根据 GGII，从 22 年国内市场的销量来看，ATI、坤维科技、鑫精诚、宇立仪器、蓝点触控等厂商份额靠前，其中 ATI 作为全球龙头，应用场景广泛，本土厂商应用相对局限，如鑫精诚主要面向 3C 行业、机器人行业以及医疗行业；坤维科技主攻协作机器人市场；宇立仪器更多面向工业机器人和汽车；蓝点主攻协作机器人和力控打磨市场。

我们认为人形机器人力传感器赛道存在两条投资思路：（1）六维力传感器的国产技术突破，有技术储备的企业或占优。实现高难度动作，末端控制需配置六维力传感器，手部足部用量或在 2-4 个，但其海外单价超 8000 美金，主流技术路线应变片依赖人工操作，难通过自动化设备实现量产降本，国内低价方案或为较好的降本选择，考虑到当前国内外技术差距较大，我们看好有技术储备或技术同源的企业。（2）一维三维力传感器的国产化加速，看好技术成熟且生产稳定的企业。机器人关节连接处实现主动柔顺控制需搭配一维和三维力传感器，理论上机器人每个关节均对应一维三维力传感器的需求，机器人对应 24 个关节左右，一维三维力传感器的单机用量有望在 20 个左右，同时该赛道技术壁垒相对六维力较低，我们看好技术相对成熟、产品较稳定的供应商或有国产机遇。

图表32：全球六维力/力矩传感器主流厂商



资料来源：GGII、华泰研究

图表33：重点公司推荐一览表

股票名称	股票代码	投资评级 (当地币种)	最新收盘价	目标价	市值(百万)	EPS (元)				PE (倍)			
			(当地币种)	(当地币种)		2022	2023E	2024E	2025E	2022	2023E	2024E	2025E
三花智控	002050 CH	增持	25.92	29.76	96,749	0.69	0.79	0.96	1.13	37.57	32.81	27.00	22.94
拓普集团	601689 CH	买入	63.18	82.60	69,628	1.54	2.06	2.95	4.08	41.03	30.67	21.42	15.49
双环传动	002472 CH	买入	24.75	30.63	21,109	0.68	0.96	1.20	1.51	36.40	25.78	20.63	16.39

注：数据截至 2024 年 01 月 10 日

资料来源：Bloomberg，华泰研究预测

图表34：重点推荐公司最新观点

股票名称	最新观点
三花智控 (002050 CH)	拟投资建设机器人机电执行器生产基地，看好公司中长期盈利增长 1月3日，三花智控公司公告，近日公司及控股子公司先途电子与杭州钱塘新区管理委员会签订《三花智控未来产业中心项目投资协议书》，计划投资≥50亿元用于建设先途智能变频控制器生产基地项目、机器人机电执行器和域控制器研发及生产基地项目。公司暖通家电、汽车热管理、机器人业务进展积极，我们维持预计公司 23-25 年归母净利润分别为 29.6/35.7/42.3 亿元。一致预期下可比公司 24 年 PE 均值为 21 倍，考虑公司机器人业务发展迅速且积极布局产能配套，我们给予公司 24 年 31 倍 PE，对应股价 29.76 元，维持“增持”评级。 风险提示：行业竞争加剧；原材料价格变动；国际贸易及汇率波动；新能源汽车销量不及预期等。 报告发布日期：2024 年 01 月 04 日 点击下载全文：三花智控(002050 CH,增持): 发力机器人执行器，产能落地可期
拓普集团 (601689 CH)	签署投资协议书，拟投资 50 亿元建设机器人核心部件生产基地 1月4日，拓普与宁波经济技术开发区管理委员会签署《机器人电驱系统研发生产基地项目投资协议书》。公司拟投资 50 亿元人民币，规划用地 300 亩，在宁波经济技术开发区建设机器人核心部件生产基地，项目将主要进行机器人电驱系统的研发及生产，并逐步拓展至其他机器人部件。我们维持前次预测，公司 2023-2025 年 EPS 分别为 2.06、2.95、4.08 元。可比公司 24 年一致预期 PE 均值为 28 倍，我们给予公司 24 年 28 倍 PE，目标价 82.60 元（前值 89.09 元），维持“买入”评级。 风险提示：机器人业务落地慢于预期；海外配套项目进度不及预期。 报告发布日期：2024 年 01 月 04 日 点击下载全文：拓普集团(601689 CH,买入): 投建宁波生产基地,机器人业务再提速
双环传动 (002472 CH)	公司预告 23 年归母净利润为 8.0-8.2 亿元，同比+37%-41% 公司公告 23 年业绩预告：23 年实现归母净利润 8-8.2 亿元，同比+37%-41%，扣非净利润为 7.55-7.75 亿元，同比+33%-37%，基本每股收益为 0.94-0.96 元（22 年为 0.73 元）。我们维持公司 24-25 年盈利预测，预计 EPS 分别为 1.20/1.51 元，经测算，24 年汽齿等业务利润约 8.88 亿元、精密减速器利润约 1.37 亿元，分部估值法下，一致预期下汽齿相关业务和精密减速器业务的可比公司 24 年 PE 均值分别为 19/33 倍，考虑到公司主业综合实力较强，精密减速器业务拟拆分上市，拓宽融资渠道大力发展，同时考虑到机器人板块近期有所回调，我们给予汽齿相关业务和减速器业务 24 年 24/37 倍 PE，对应目标价为 30.63 元，维持买入评级。 风险提示：新能源车增长不及预期；机器人零件国产化不及预期；行业竞争加剧；材料、出口相关费用超预期。 报告发布日期：2024 年 01 月 10 日 点击下载全文：双环传动(002472 CH,买入): 业绩预告:23 年归母净利润同比高增

资料来源：Bloomberg，华泰研究预测

风险提示

- 1. 技术进度不及预期。**特斯拉机器人软硬件能力决定其运动能力，若软件能力迭代不及预期，则会影响机器人的算法迭代和运控规划，动态测试或有不及预期风险；若硬件方案进展不及预期，则会影响机器人的运动执行，可能仍处于低难度的动作执行层面。综上均会对机器人的产业进度造成不利影响。
- 2. 国产化进程不及预期。**硬件国产化为特斯拉机器人降本的重要手段，价值量大、国产化空间大的核心硬件环节存在较高的技术壁垒，若国产厂商技术进度不及预期，则可能难以进入机器人供应链，甚至是影响机器人的降本幅度与量产进度。同时若后续硬件方案迭代超预期，而国内厂商未追赶至最新技术方案，亦有难以进入供应链风险。
- 3. 硬件用量与价值量存在主观性判断。**一方面特斯拉最新公布视频并未全面解析硬件方案，部分硬件价值量的测算和梳理环节存在主观性推断，一方面特斯拉目前仍未冻结硬件方案，并随着软件能力和预设的动态测试目标不断调整硬件技术方案，当前硬件方案的测算与梳理或与未来硬件方案存在差异。

免责声明

分析师声明

本人，宋亭亭，兹证明本报告所表达的观点准确地反映了分析师对标的证券或发行人的个人意见；彼以往、现在或未来并无就其研究报告所提供的具体建议或所表达的意见直接或间接收取任何报酬。

一般声明及披露

本报告由华泰证券股份有限公司（已具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格，以下简称“本公司”）制作。本报告所载资料是仅供接收人的严格保密资料。本公司及其客户和其关联机构使用。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司及其关联机构（以下统称为“华泰”）对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。

本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，华泰可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，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。以往表现并不能指引未来，未来回报并不能得到保证，并存在损失本金的可能。华泰不保证本报告所含信息保持在最新状态。华泰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。

本公司不是 FINRA 的注册会员，其研究分析师亦没有注册为 FINRA 的研究分析师/不具有 FINRA 分析师的注册资格。

华泰力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，不构成购买或出售所述证券的要约或招揽。该等观点、建议并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华泰及作者均不承担任何法律责任。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。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。华泰不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。

华泰及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，华泰可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，为该公司提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务或向该公司招揽业务。

华泰的销售人员、交易人员或其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。华泰没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。华泰的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。投资者应当考虑到华泰及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。有关该方面的具体披露请参照本报告尾部。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布的机构或人员，也并非意图发送、发布给因可得到、使用本报告的行为而使华泰违反或受制于当地法律或监管规则的机构或人员。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人（无论整份或部分）等任何形式侵犯本公司版权。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，并需在使用前获取独立的法律意见，以确定该引用、刊发符合当地适用法规的要求，同时注明出处为“华泰证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

中国香港

本报告由华泰证券股份有限公司制作，在香港由华泰金融控股（香港）有限公司向符合《证券及期货条例》及其附属法律规定的机构投资者和专业投资者的客户进行分发。华泰金融控股（香港）有限公司受香港证券及期货事务监察委员会监管，是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。在香港获得本报告的人员若有任何有关本报告的问题，请与华泰金融控股（香港）有限公司联系。

香港-重要监管披露

- 华泰金融控股（香港）有限公司的雇员或其关联人士没有担任本报告中提及的公司或发行人的高级人员。
- 有关重要的披露信息，请参华泰金融控股（香港）有限公司的网页 https://www.htsc.com.hk/stock_disclosure 其他信息请参见下方“美国-重要监管披露”。

美国

在美国本报告由华泰证券（美国）有限公司向符合美国监管规定的机构投资者进行发表与分发。华泰证券（美国）有限公司是美国注册经纪商和美国金融业监管局（FINRA）的注册会员。对于其在美国分发的研究报告，华泰证券（美国）有限公司根据《1934 年证券交易法》（修订版）第 15a-6 条规定以及美国证券交易委员会人员解释，对本研究报告内容负责。华泰证券（美国）有限公司联营公司的分析师不具有美国金融监管（FINRA）分析师的注册资格，可能不属于华泰证券（美国）有限公司的关联人员，因此可能不受 FINRA 关于分析师与标的公司沟通、公开露面和所持交易证券的限制。华泰证券（美国）有限公司是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。任何直接从华泰证券（美国）有限公司收到此报告并希望就本报告所述任何证券进行交易的人士，应通过华泰证券（美国）有限公司进行交易。

美国-重要监管披露

- 分析师宋亭亭本人及相关人士并不担任本报告所提及的标的证券或发行人的高级人员、董事或顾问。分析师及相关人士与本报告所提及的标的证券或发行人并无任何相关财务利益。本披露中所提及的“相关人士”包括 FINRA 定义下分析师的家庭成员。分析师根据华泰证券的整体收入和盈利能力获得薪酬，包括源自公司投资银行业务的收入。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或不时会以自身或代理形式向客户出售及购买华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或其高级管理层、董事和雇员可能会持有本报告中所提到的任何证券（或任何相关投资）头寸，并可能不时进行增持或减持该证券（或投资）。因此，投资者应该意识到可能存在利益冲突。

评级说明

投资评级基于分析师对报告发布日后 6 至 12 个月内行业或公司回报潜力（含此期间的股息回报）相对基准表现的预期

（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数），具体如下：

行业评级

增持：预计行业股票指数超越基准

中性：预计行业股票指数基本与基准持平

减持：预计行业股票指数明显弱于基准

公司评级

买入：预计股价超越基准 15% 以上

增持：预计股价超越基准 5%~15%

持有：预计股价相对基准波动在-15%~5%之间

卖出：预计股价弱于基准 15% 以上

暂停评级：已暂停评级、目标价及预测，以遵守适用法规及/或公司政策

无评级：股票不在常规研究覆盖范围内。投资者不应期待华泰提供该等证券及/或公司相关的持续或补充信息

法律实体披露

中国：华泰证券股份有限公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：91320000704041011J

香港：华泰金融控股（香港）有限公司具有香港证监会核准的“就证券提供意见”业务资格，经营许可证编号为：AOK809

美国：华泰证券（美国）有限公司为美国金融业监管局（FINRA）成员，具有在美国开展经纪交易商业务的资格，经营业务许可编号为：CRD#:298809/SEC#:8-70231

华泰证券股份有限公司**南京**

南京市建邺区江东中路 228 号华泰证券广场 1 号楼/邮政编码：210019

电话：86 25 83389999/传真：86 25 83387521

电子邮件：ht-rd@htsc.com

深圳

深圳市福田区益田路 5999 号基金大厦 10 楼/邮政编码：518017

电话：86 755 82493932/传真：86 755 82492062

电子邮件：ht-rd@htsc.com

北京

北京市西城区太平桥大街丰盛胡同 28 号太平洋保险大厦 A 座 18 层/

邮政编码：100032

电话：86 10 63211166/传真：86 10 63211275

电子邮件：ht-rd@htsc.com

上海

上海市浦东新区东方路 18 号保利广场 E 栋 23 楼/邮政编码：200120

电话：86 21 28972098/传真：86 21 28972068

电子邮件：ht-rd@htsc.com

华泰金融控股（香港）有限公司

香港中环皇后大道中 99 号中环中心 58 楼 5808-12 室

电话：+852-3658-6000/传真：+852-2169-0770

电子邮件：research@htsc.com

http://www.htsc.com.hk

华泰证券（美国）有限公司

美国纽约公园大道 280 号 21 楼东（纽约 10017）

电话：+212-763-8160/传真：+917-725-9702

电子邮件：Huatai@htsc-us.com

http://www.htsc-us.com

©版权所有 2024 年华泰证券股份有限公司