

智能化系列报告

人形机器人：智能汽车延伸，具身智能最佳载体

人口老龄化叠加用工成本增加，倒逼制造业和服务业中用机器人取代人工。人形机器人一般与人类有着类似的身体结构和运动方式，更能适应于各类现实生活场景，因此能从专用转向通用，增大规模效应降低成本，是实现具身智能的最佳物理形态之一。

□车端能力复用助力特斯拉加速人形机器人落地。特斯拉最初于2021年AI DAY发布了人形机器人的概念机，并在两年不到的时间内实现了快速迭代，完成了开发平台建造、Optimus产品亮相以及电机扭矩控制、环境探测与记忆、双手复杂任务等能力的实现。特斯拉在车端已经形成了非常多的软硬件能力，如动力电池、自动驾驶硬件（如AI超级计算机Dojo）、自动驾驶软件（如自动驾驶算法）和模拟分析能力，而这些能力可以直接快速复用到机器人领域，并且得益于车端成熟供应链的加持，均将加速特斯拉人形机器人实现产业化落地。

□特斯拉人形机器人主要结构及价值量拆解：

FSD/AI芯片：特斯拉核心竞争力之一，单机价值量约为50000元，成本占比约为26.5%；

旋转执行器：总成产品，将由第三方供应，包含谐波减速器（或者类谐波的新型减速器）、无框力矩电机、力矩传感器、编码器、轴承等主要部分，成本占比约为23%；

线性执行器：总成产品，将由第三方供应，包含行星滚柱丝杠、无框力矩电机、力矩传感器、编码器、轴承等主要部分，成本占比约为28%；

灵巧手：包含空心杯电机、行星齿轮箱、传感器、滚珠丝杠等，成本占比约为7%；

肢体骨骼：力学结构件，成本占比约为13%。

第三方供应的非总成零部件中，无框力矩电机（14.84%）、行星滚柱丝杠（14.84%）、谐波减速器（7.42%）、力矩传感器（7.42%）、编码器（4.45%）、空心杯电机（3.82%）成本占比较大。

□国内相关环节及供应商：

执行器总成：特斯拉Optimus在身体机械部分有28个关节执行器（14个旋转执行器+14个线性执行器），执行器总成价值量高，技术壁垒也较高，将由和特斯拉深度合作的汽车TIER 1供应。国内代表上市公司为三花智控。

减速器：谐波减速器与RV减速器将同时受益，从格局上来看，高端市场仍由日本企业把控，2021年纳博特斯克占据中国RV减速器53%市场份额，哈默纳科占据中国谐波减速器35.5%市场份额。国内企业在中低端市场也取得了一定份额，绿的谐波在谐波减速器中的市场份额达到了25%，双环传动、中大力德在RV减速器中的份额达到了14%、4%。该产品技术壁垒较高，国产替代正在加速。国内代表上市公司为绿的谐波、双环传动、中大力德、秦川机床等。

丝杠：人形机器人中主要使用滚柱丝杠，2022年日本、欧洲滚柱丝杠企业在中国市场占有率高达90%。由于我国企业在该行业起步晚，竞争实力距离国

推荐（首次）

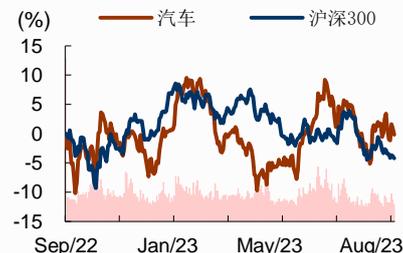
中游制造/汽车

行业规模

		占比%
股票家数（只）	249	4.8
总市值（十亿元）	3219.8	3.9
流通市值（十亿元）	2736.0	3.8

行业指数

%	1m	6m	12m
绝对表现	-0.2	3.2	1.8
相对表现	1.9	9.1	7.6



资料来源：公司数据、招商证券

相关报告

- 1、《特斯拉：Dojo超算+大模型，自动驾驶一往无前—汽车行业点评报告》2023-09-18
- 2、《淡季不淡，新能源车型新车频发—汽车行业周报》2023-09-17
- 3、《促消费政策成效初显，8月淡季不淡—汽车行业产销点评》2023-09-14

汪刘胜 S1090511040037

✉ wangls@cmschina.com.cn

陆乾隆 S1090523060001

✉ luqianlong@cmschina.com.cn

外工业发达国家企业有较大差距。该产品技术壁垒很高，国产替代空间较大。国内代表上市公司为贝斯特、鼎智科技、恒立液压等。

无框力矩电机：伺服电机的一种，国内企业起步晚，相比海外龙头，国产无框力矩电机输出扭矩较小，在产品性能方面仍有差距。美国科尔摩根是全球无框力矩电机龙头，拥有超 70 年的运动控制研发经验，电机性能在全球处于第一梯队。国内代表上市公司为步科股份、禾川科技等。

空心杯电机：微型伺服电机的一种，仍以老牌海外厂商为主，市场份额仍然集中在头部厂商，全球龙头主要是瑞士 maxon、德国 faulhaber 两家，海外厂家空心杯电机品类齐全，内资在同类型产品上具备性价比优势。国内代表上市公司是鸣志电器、鼎智科技、拓邦股份。

力矩传感器：力学感知部件，人形机器人使用六维力矩传感器，中国六维力矩传感器市场近年来入局者逐年增加，受限于该行业的高技术壁垒，真正具备批量供应能力的厂商依然较少，根据 2022 年国内销量口径，ATI、坤维、鑫精诚、宇立位于第一梯队，各家厂商下游应用的侧重有所差异。国内代表上市公司是柯力传感。

编码器：速度、角度、位置感知部件，磁性编码器占比逐年提升。2022 年我国编码器市场中多摩川、海德汉、西克和堡盟等海外公司占据了 50% 以上的市场份额，行业集中度较高。国内代表上市公司为奥普光电以及伟创电气，奥普光电持股 65% 的子公司禹衡光学是中国最早的光电编码器及光学仪器专业制造商，2022 年国内市占率 8%。

- 机器人是目前为数不多的大空间、低渗透率、高速发展的黄金赛道之一。国内相关环节及公司有望受益：三花智控（家电）、双环传动、绿的谐波（机械）、中大力德、秦川机床、贝斯特、鼎智科技、恒立液压（机械）、步科股份、禾川科技（通信）、鸣志电器（电新）、拓邦股份（电子）、柯力传感（电子）、奥普光电（电子）、伟创电气（电新）等。
- 风险提示：1 人形机器人进展不及预期；2、国内厂商产品开发进度、核心客户导入不及预期；3、相关公司仅为产业链分析概览，不代表投资建议。

正文目录

一、人形机器人拆分及价值量分布	6
1、人形机器人拆解	6
2、人形机器人主要部分价值量分布	8
二、人形机器人主要环节分析	9
1、减速器：技术壁垒较高，国产替代加速	9
2、丝杠：技术壁垒很高，国产替代空间大	11
3、无框力矩电机：执行器驱动装置，国产替代空间大	13
4、空心杯电机：灵巧手驱动装置，国内厂家有性价比优势	14
5、力矩传感器：力学感知部件，技术壁垒高	16
6、编码器：速度、角度、位置感知部件，技术壁垒高	17
三、产业链重点公司	18
1、执行器总成：拓普集团、三花智控	18
2、减速器：绿的谐波、双环传动、中大力德、秦川机床	20
3、丝杠：贝斯特、鼎智科技	23
4、无框力矩电机：步科股份、禾川科技	24
5、空心杯电机：鸣志电器	25
6、力矩传感器：柯力传感	26
7、编码器：奥普光电、伟创电气	27
四、要点汇总	28
五、风险提示	30

图表目录

图 1：特斯拉 Optimus 亮相 2023 世界人工智能大会	6
图 2：特斯拉 Optimus 身体执行器分布	6
图 3：特斯拉 Optimus 旋转关节执行器示意图	7
图 4：特斯拉 Optimus 线性执行器示意图	8
图 5：谐波减速器结构	9
图 6：RV 减速器结构	9
图 7：2021 年谐波减速器竞争格局	11

图 8: 2021 年 RV 减速器竞争格局 11

图 9: 滚珠丝杠结构 11

图 10: 行星滚柱丝杠结构 11

图 11: 国内高端滚珠丝杠竞争格局 12

图 12: 国内中端滚珠丝杠竞争格局 12

图 13: 国内滚柱丝杠竞争格局 13

图 14: 无框力矩电机结构 13

图 15: 旋转执行器构成 13

图 16: 空心杯电机外观 14

图 17: 灵巧手结构 14

图 18: 空心杯电机结构示意图 15

图 19: 六维力传感器外观 16

图 20: 六维力传感器原理 16

图 21: 六维力传感器厂商及竞争格局 17

图 22: 编码器外观 18

图 23: 编码器原理结构 18

图 24: 不同原理编码器市场占比 18

图 25: 2022 年我国编码器竞争格局 18

图 26: 拓普集团九大业务格局 19

图 27: 三花智控 2023 半年报速览之研发投入 20

图 28: 2022 年绿的谐波收入结构 21

图 29: 2022 年公司下游行业收入分布 21

图 30: 2022 年双环传动收入结构 21

图 31: 双环传动减速器收入及同比 (亿元) 21

图 32: 2022 年中大力德收入结构 22

图 33: 中大力德减速器收入及同比 (亿元) 22

图 34: 秦川机床机器人减速器一览 22

图 35: 2022 年鼎智科技收入结构 23

图 36: 鼎智科技线性执行器收入及同比 (亿元) 23

图 37: 鼎智科技产品一览 24

图 38: 2022 年步科股份收入结构 24

图 39: 步科股份驱动系统收入及同比 (亿元) 24

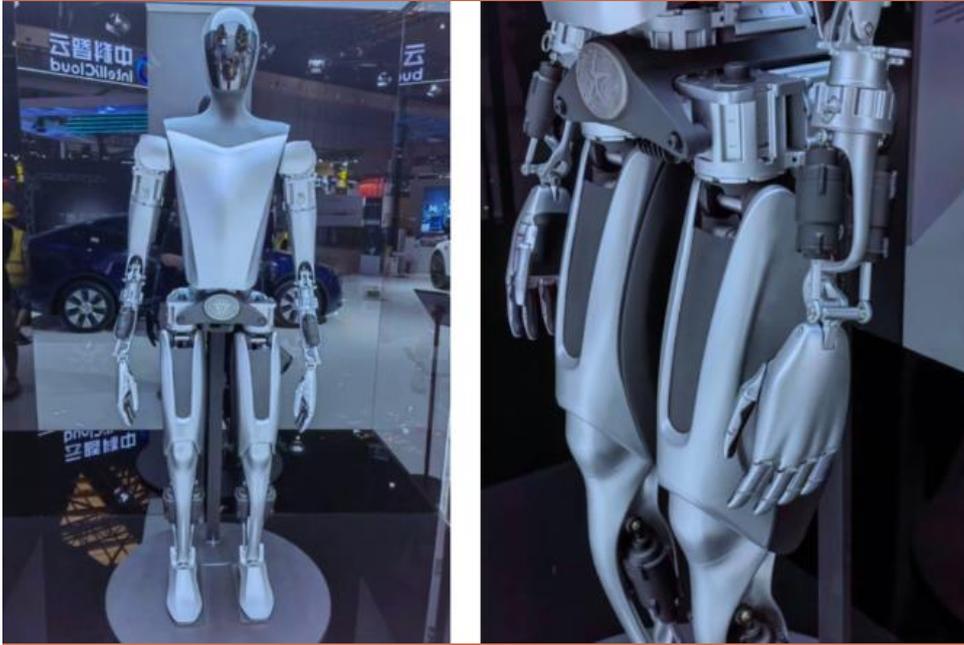
图 40: 2022 年禾川科技收入结构.....	25
图 41: 禾川科技伺服系统收入及同比 (亿元)	25
图 42: 2022 年鸣志电器收入结构.....	25
图 43: 鸣志电器控制电机收入及同比 (亿元)	25
图 44: 鸣志电器产品一览	26
图 45: 2022 年柯力传感收入结构.....	27
图 46: 柯力传感线性执行器收入及同比 (亿元)	27
图 47: 禹衡光学产品一览	28
表 1: 特斯拉 Optimus 成本拆分测算	8
表 2: RV 减速器与谐波减速器对比	10
表 3: 滚珠丝杠与滚柱丝杠对比	12
表 4: 无刷与有刷空心杯电机对比.....	14
表 5: 各家空心杯电机性能对比	15
表 6: 六维力传感器的主要功能	16
表 7: 不同六维力矩传感器技术方案及代表企业.....	16
表 8: 柯力传感不同力传感器一览.....	27
表 9: 相关公司财务情况及市值	30

一、人形机器人拆分及价值量分布

1、人形机器人拆解

2021年8月第一届特斯拉 AI Day 上，特斯拉发布了首款人形机器人“擎天柱”(Optimus)的概念图，该人形机器人身高5英尺8英寸，重125磅，具有45磅的承载能力和150磅的硬拉能力，其控制将通过类似于电动汽车智能算法进行。2022年2月推出原型机，在2022年9月30日 AI Day 亮相接近于完整体的新一代人形机器人，2023年7月亮相世界人工智能大会。

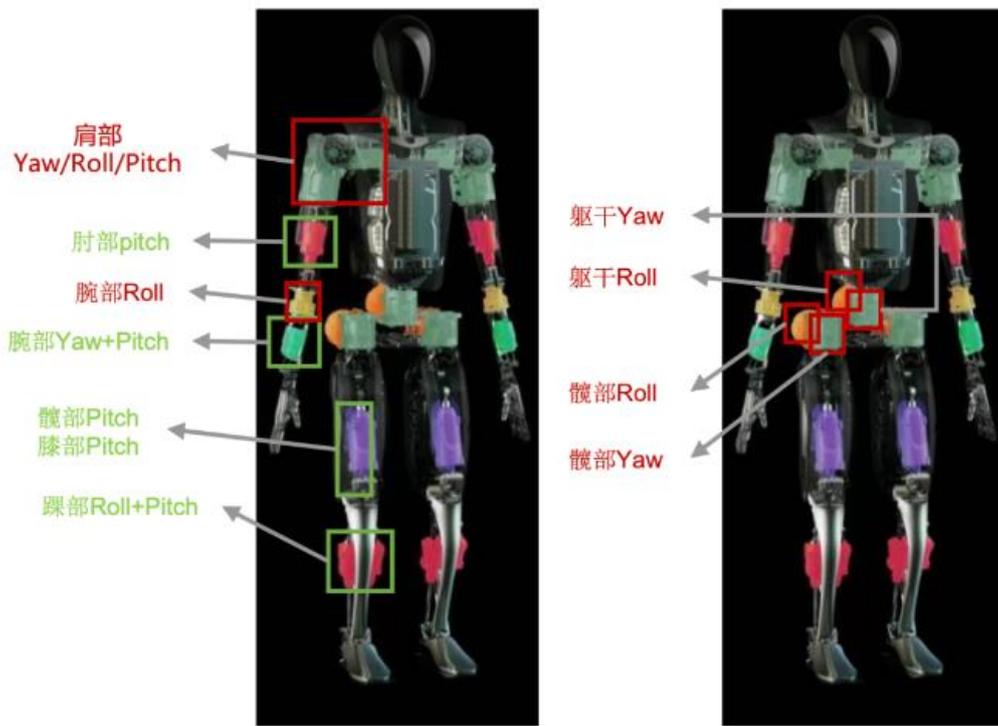
图 1：特斯拉 Optimus 亮相 2023 世界人工智能大会



资料来源：2023 人工智能大会、招商证券

特斯拉发布的最新一代 Optimus 在身体机械部分有 28 个关节(14 个旋转执行器+14 个线性执行器)，2 个灵巧手共有 12 个关节(6 个执行器*2)。特斯拉人形机器人的灵巧手在设计中模仿了人手，拥有自适应抓取能力。手部结构为五指多关节，拇指采用双电机驱动弯曲和侧摆，其它四指各一个电机。共计 6 个执行器、11 个自由度，负荷 20 磅，能够自适应抓取角度，具备工具使用能力、小物件精准抓握能力。特斯拉人形机器人全身的 28 个执行器分布在肩部(6 个)、肘部(2 个)、腕部(6 个)、躯干(2 个)、髋部(6 个)、膝部(2 个)、踝部(4 个)。

图 2：特斯拉 Optimus 身体执行器分布

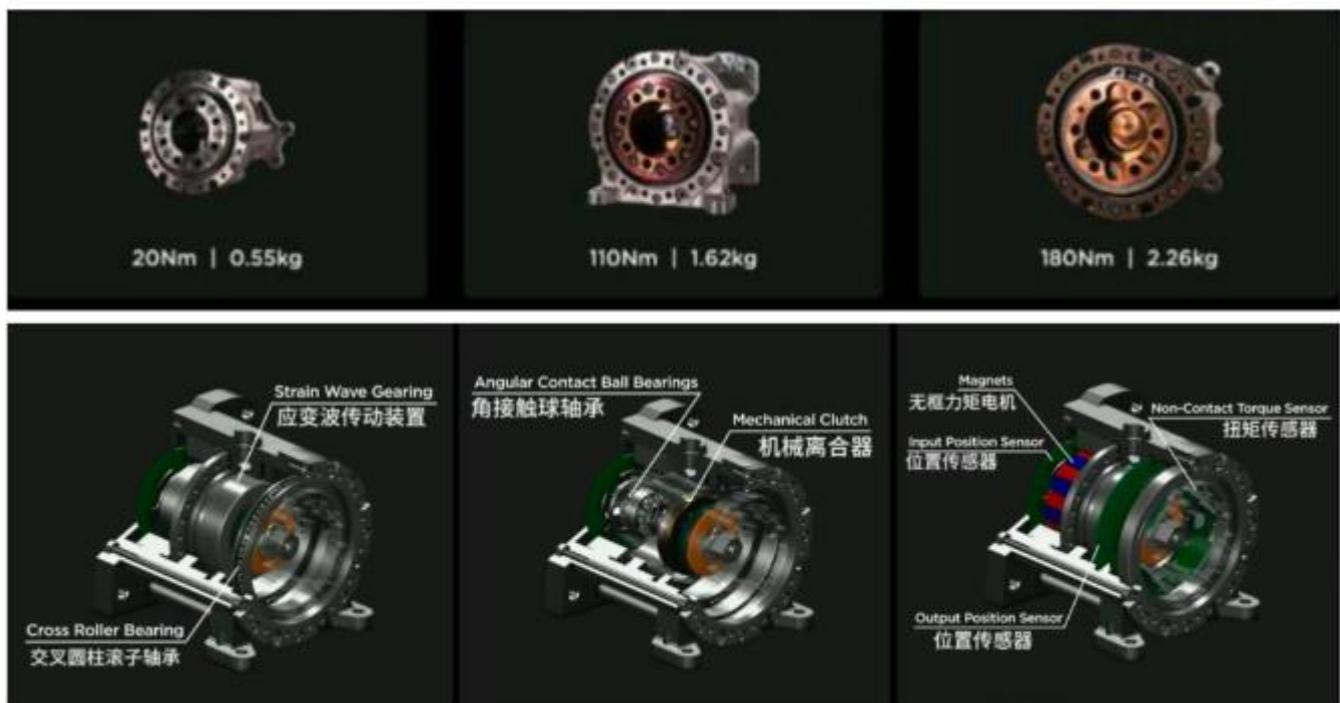


资料来源：特斯拉 AI Day、招商证券

注：Yaw、Roll、Pitch 用来区分绕 y 轴(垂直)、z 轴(前后)、x 轴(水平)旋转。

特斯拉 Optimus 的旋转关节方案:无框电机+谐波减速器+扭矩传感器+位置传感器+轴承(角接触球轴承+交叉圆柱滚子轴承)+编码器。特斯拉同步展示了其执行器产品组合,包含了 3 个不同扭矩的旋转减速器,分别为 20Nm/110Nm/180Nm。全身分布:肩部 6 个,腕部 2 个,髋部 4 个,躯干 2 个。

图 1：特斯拉 Optimus 旋转关节执行器示意图



资料来源：特斯拉 AI Day、招商证券

特斯拉 Optimus 的线性关节方案:无框电机+行星滚柱丝杠+力矩传感器+位置传感器+轴承。特斯拉同步展示了其执行器产品组合,包含了 3 个不同力矩的线性执行器,力矩分别为 500N/3900N/8000N。全身分布:肘部 2 个,腕部 4 个,髋部 2 个,膝部 2 个,踝部 4 个。

图 4: 特斯拉 Optimus 线性执行器示意图



资料来源: 特斯拉 AI Day、招商证券

2、人形机器人主要部分价值量分布

参考特斯拉 Optimus, 人形机器人价值量主要分布在 FSD 系统、AI 芯片、执行器、灵巧手肢体骨骼这几个部分:

FSD/AI 芯片: 特斯拉核心竞争力, 单机价值量约为 50000 元, 成本占比约为 26.5%;

旋转执行器: 总成产品, 将由第三方供应, 包含谐波减速器(或者类谐波的新型减速器)、无框力矩电机、力矩传感器、编码器、轴承等主要部分, 成本占比约为 23%;

线性执行器: 总成产品, 将由第三方供应, 包含行星滚柱丝杠、无框力矩电机、力矩传感器、编码器、轴承等主要部分, 成本占比约为 28%;

灵巧手: 包含空心杯电机、行星齿轮箱、传感器、滚珠丝杠等, 成本占比约为 7%;

肢体骨骼: 力学结构件, 成本占比约为 13%。

第三方供应的非总成零部件中, 无框力矩电机(14.84%)、行星滚柱丝杠(14.84%)、谐波减速器(7.42%)、力矩传感器(7.42%)、编码器(4.45%)、空心杯电机(3.82%)占比较大。

表 1: 特斯拉 Optimus 成本拆分测算

敬请阅读末页的重要说明

所属部分	部件名称	量产单价(元)	数量	总价(元)	成本占比
旋转执行器	谐波减速器	1000	14	14000	7.42%
	无框力矩电机	1000	14	14000	7.42%
	力矩传感器	500	14	7000	3.71%
	编码器	200	28	5600	2.97%
	角接触轴承	50	28	1400	0.74%
	交叉滚子轴承	100	14	1400	0.74%
线性执行器	无框力矩电机	1000	14	14000	7.42%
	行星滚柱丝杠	2000	14	28000	14.84%
	力矩传感器	500	14	7000	3.71%
	编码器	200	14	2800	1.48%
	深沟球轴承	50	14	700	0.37%
	四点接触轴承	50	14	700	0.37%
灵巧手	空心杯电机	600	12	7200	3.82%
	行星齿轮箱	200	12	2400	1.27%
	传感器	100	12	1200	0.64%
	编码器	50	12	600	0.32%
	滚珠丝杠	150	12	1800	0.95%
运动控制+处理器 头部交互	FSD 系统、AI 芯片	50000	1	50000	26.50%
	显示屏	500	1	500	0.26%
环境探测传感器	摄像头	300	3	900	0.48%
	毫米波雷达	500	1	500	0.26%
动力电池	电池组	3000	1	3000	1.59%
肢体骨骼	手臂、胸腔、腿部、脚部	800	30KG	24000	12.72%
	合计			188700	100%

资料来源：特斯拉 AI Day、公司官网、招商证券

二、人形机器人主要环节分析

1、减速器：技术壁垒较高，国产替代加速

机器人减速器主要分为 RV 减速器和谐波减速器两类。谐波减速器具有单级传动比大、体积小、质量小、运动精度高等优点，并且能在密闭空间和介质辐射的工况下正常工作，更适用于轻负载精密减速领域，如人形机器人等。相比谐波减速器，RV 减速器具有传动比范围大、精度较为稳定、疲劳强度较高等优势，还有着更高的刚性和扭矩承载能力，主要适用于机器人大臂、机座等重负载部位。

图 5：谐波减速器结构



图 6：RV 减速器结构



资料来源：中国机器人网、招商证券

资料来源：中国机器人网、招商证券

表 2: RV 减速器与谐波减速器对比

	RV 减速器	谐波减速器
技术特点	多级减速，组成零部件多	单级减速，通过柔轮的弹性形变传递运动，用料少，结构简单
产品性能	大体积、高负载、高刚度	小体积、高传动比、高精度
应用场景	座机、大臂、肩部等重负载位置	小臂、腕部或者手部
终端场景	汽车、运输、港口码头使用的重负载机器人中配 RV 减速器	3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗中使用的 30KG 负载以下的机器人
价格区间	5000-8000 元/台	1000-5000 元/台

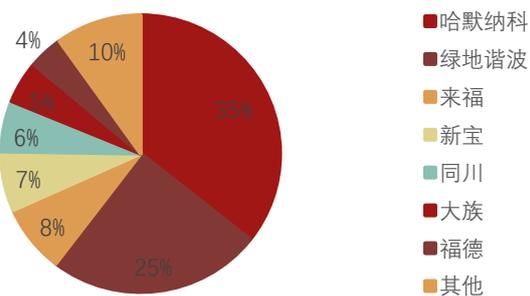
资料来源：华经产业研究院、招商证券

谐波减速器的难点主要在于齿形设计、材料、加工设备、工艺和一致性。技术难点具体包括：**齿形设计**：由于谐波减速器的传动原理为两个齿轮之间的啮合运动，且柔轮不断发生形变，因此齿轮的高度、宽度、形状等设计对减速性能有较大影响。**材料**：柔轮不断形变传递力矩，对材料的一致性、载荷、精度、疲劳寿命都有较大挑战，普通的金属和合金难以达到要求。**加工设备**：柔轮很薄，厚度约 100μm，加工和切割要求高，高精度数控磨床、滚齿机均需要进口，而日本高精度机床对我国有限制。**加工工艺**：柔轮的加工和切割要求高，有一些过程仍然依赖于员工的经验积累。**一致性**：在规模化量产情况下，降低次品率，保持产品的一致性水平有很大难度。

RV 减速器相比谐波减速器结构更为复杂，对加工精度和工艺要求更为严苛。其技术难点具体为：**加工精度**：结构复杂，实际工况中 RV 减速器需要反复精确定位，相当于不断启动和刹车，保持精度不衰减，如果精度低将会造成产品的磨损。**加工工艺**：各项工艺的密切配合，包括齿面热处理、加工精度、零件对称性、成组技术、装配精度，这些工艺总装公差将会造成产品的磨损和寿命。**一致性**：作为精密零部件，单个产品达到较高性能难度不高，但规模化量产的产品均达到标准性能是极大挑战。

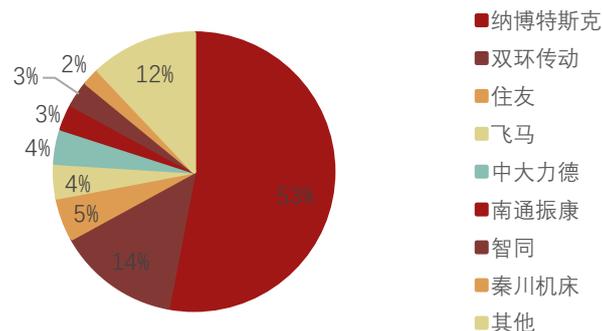
减速器进口垄断格局有望打破，国产替代进行时。全球机器人减速器市场高度集中，日本厂商占据大部分市场份额，2021 年纳博特斯克占据中国 RV 减速器 53% 市场份额，哈默纳科占据中国谐波减速器 35.5% 市场份额。但目前中国已将突破机器人关键核心技术作为重要工程，国内厂商攻克了减速器、控制器、伺服系统等关键核心零部件领域的部分难题。中国 RV 减速器出口量总体呈现上涨态势，进口量总体呈现下降趋势，RV 减速器国产化的趋势显现；近年来国内谐波厂商逐渐进入下游客户供应链，中国品牌市占率逐年提升。进口精密减速器以日本哈默纳科公司的产品为例，其单价通常在 3,000~4,000 元之间，国产精密减速器单价为该价格的 30%~50%，具备价格优势。

图 7：2021 年谐波减速器竞争格局



资料来源：华经产业研究院、招商证券

图 8：2021 年 RV 减速器竞争格局



资料来源：华经产业研究院、招商证券

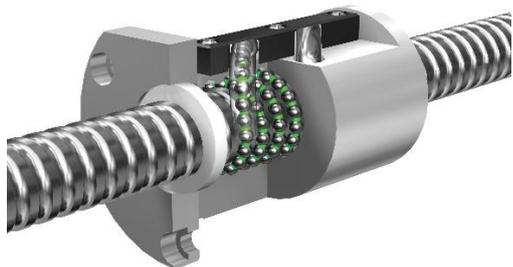
2、丝杠：技术壁垒很高，国产替代空间大

丝杠是将回转运动转化为直线运动，或将直线运动转化为回转运动的理想的产品。常见的丝杠产品包括滑动丝杠、滚珠丝杠、行星滚柱丝杠等。

滚珠丝杠是工业精密机械中常用的传动元件，其主要结构包括滚珠丝杠、滚珠螺母、滚珠三部分。核心传动原理是将旋转运动转化为直线运动，化滑动摩擦为滚动摩擦。当丝杠相对螺母旋转时，丝杠的旋转面通过滚珠的循环滚动推动螺母轴向移动，化旋转为线性；滚珠的滚动使得丝杠和螺母之间的滑动摩擦转变为滚珠与丝杠、螺母之间的滚动摩擦，化滑动为滚动，大大提升传动效率。

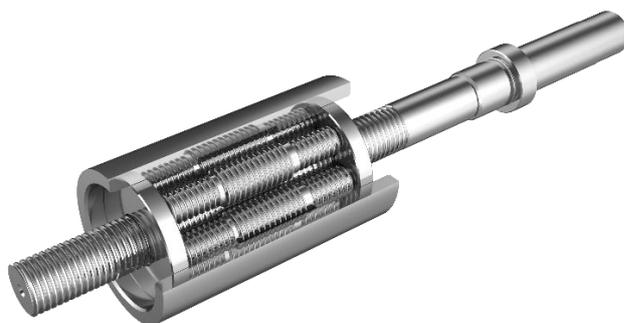
行星滚柱丝杠属于新一代螺纹丝杠的高精尖分支，综合性能强且应用前景广阔。行星滚柱丝杠通过啮合滚柱产生线接触滚动摩擦，大幅增加丝杠传动过程的接触面和受力面，与以往用于精密传动的滚珠丝杠相比，在传动效率损失不大的前提下，又同时具备了高转速、高载荷、高刚度、高范围导程以及更小体积、更低噪音、更方便维护拆卸等特点。目前已经在航空航天、武器装备、核动力等全球高精尖领域运用，同时在机床、汽车 ABS 系统、石油化工等民用场景下也存在广泛的应用需求。

图 9：滚珠丝杠结构



资料来源：南京春信自动化设备有限公司官网、招商证券

图 10：行星滚柱丝杠结构



资料来源：西安方元明科技股份有限公司官网、招商证券

表 3: 滚珠丝杠与滚柱丝杠对比

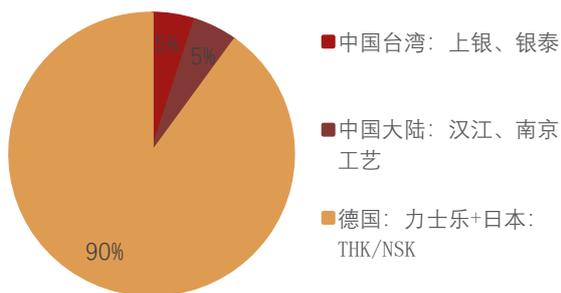
	滚珠丝杠	滚柱丝杠
传动效率	高, 92-98%	较高, 摩擦力较小时可达 90%
转速	较快, 点接触滚动摩擦热效应快, 额定转速在 3000-5000 转	快, 线接触滚动摩擦热效应小且承载力强, 转速可达 6000 转
导程精度	较高, 受滚珠直径限制, 常为毫米级的	高, 可通过调整螺纹头数等因素使导程达到更小的微米级
使用寿命	长, 滚动摩擦损伤小, 保持清洁、润滑即可	很长, 是滚珠丝杠的 10 倍以上, 荷载运动可达 1000 万次以上
微进给	可实现, 滚珠运动的启动力矩小	可实现, 滚珠运动的启动力矩小
国产化率	较高	起步阶段

资料来源: 《行星滚柱丝杠承载与摩擦特性研究》、招商证券

滚珠丝杠: 滚珠丝杠发明于 1874 年, 20 世纪 30 年代, 美国通用公司在汽车的转向装置上首次应用了滚珠丝杠元件, 20 世纪 40 年代, 滚珠丝杠副首次在数控机床床上得到使用, 并成为了数控机床的理想进给元件; 伴随机床和自动化设备的发展, 对滚珠丝杠副的研究和生产得到推进, 50 年代开始在工业发达国家出现众多滚珠丝杠副厂家, 如英国 ROTAX、日本 NSK 等。我国研制用于数控机床的滚珠丝杠副起步于 20 世纪 50 年代, 1964 年我国自行设计研制第一套滚珠丝杠副, 自 2009 年国家启动相关课题开始, 国内企业如汉江机床、山东博特精工等已经取得了许多优秀的成果, 但目前我国在高性能产品上与世界先进企业相比仍有进步空间, 在国内市场上, 中高端滚珠丝杠市场主要由德国和日本企业占据, THK、NSK、力士乐等国际企业可以占据高端市场 90% 的市场份额, 而中国大陆企业主要活跃在中端市场, 约占 30% 的市场份额。主要原因为我国企业规模小, 起步晚, 在产品质量上达不到高精度水平。

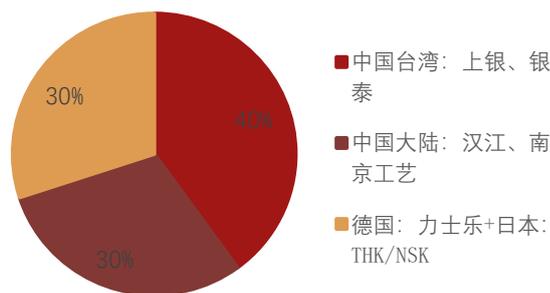
行星滚柱丝杠: 1942 年, 瑞典人 Carl Bruno Strandgren 首次申请了循环式行星滚柱丝杠专利, 1954 年申请了标准式和反向式行星滚柱丝杠专利, 1986 年, William J. Roantree 发明了差动式行星滚柱丝杠, 之后 Oliver Saari 发明了轴承环式行星滚柱丝杠。1970 年, 瑞士的 Rollvis 公司开始研制行星滚柱丝杠, 瑞典的 SKF 也同时研制行星滚柱丝杠, 美国的 Moog、德国的 Ortlieb 和英国的 Power Jacks 等都有各自成熟的行星滚柱丝杠产品; 美国的 Exlar 和德国的 Rexroth 都将行星滚柱丝杠运用到各自的机电作动器中。2022 年日本、欧洲滚柱丝杠企业在中国市场占有率高达 90%。根据观研报告网数据, 2022 年我国行星滚柱丝杠市场供应量排名前四的厂家分别是 Rollvis (瑞士)、GSA (瑞士)、Ewellix (瑞典) Rexroth (德国), 市占率分别为 27%、26%、13%、12%。由于我国企业在该行业起步晚, 竞争实力距离国外工业发达国家企业有较大差距。

图 11: 国内高端滚珠丝杠竞争格局



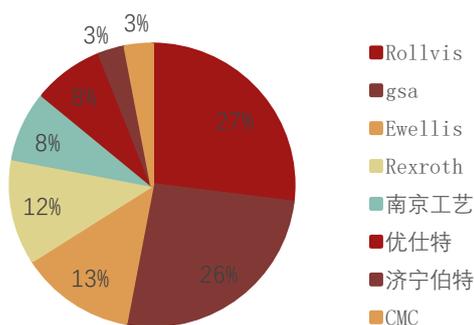
资料来源: 金属加工、招商证券

图 12: 国内中端滚珠丝杠竞争格局



资料来源: 金属加工、招商证券

图 13: 国内滚柱丝杠竞争格局



资料来源: 观研报告网、招商证券

3、无框力矩电机: 执行器驱动装置, 国产替代空间大

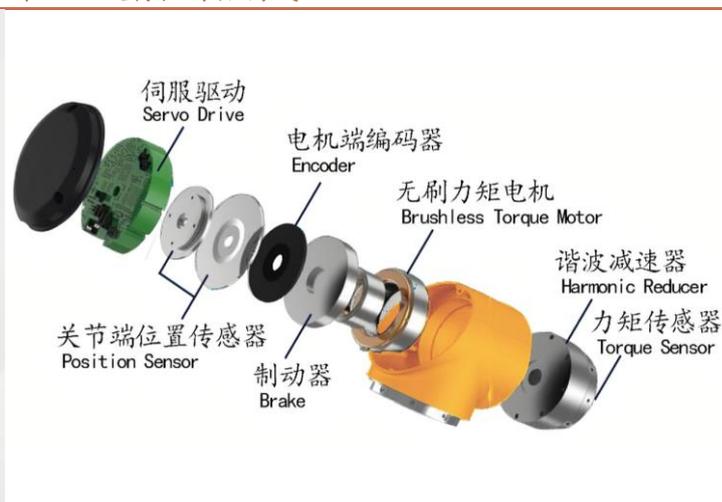
无框电机与伺服电机一样属于永磁同步电机, 但只有定子及转子部件, 没有伺服电机外壳、轴、轴承等部件。无框电机结构紧凑、输出力矩高、堵转情况下仍能连续运转, 故通常应用于机器人、医药、包装、印刷等领域。无框伺服电机类似普通伺服电机, 但无框力矩电机在设计端采用更大的直径长度比、较高的极数、更低的转速, 使得它相对伺服电机可提供更大的扭矩。

图 14: 无框力矩电机结构



资料来源: Kinco 步科官网、招商证券

图 15: 旋转执行器构成



资料来源: 宁波市镇海格瓦传动设备有限公司官网、招商证券

无框力矩电机的壁垒体现在磁路和工艺设计。电机的转矩密度、功率密度是影响机器人性能的重要指标, 而无框力矩电机要在低压供电的环境下输出较大的功率, 因此在磁路和工艺设计方面存在一定的技术能力要求。海外厂商起步较早, 工艺技术存在先发优势, 例如韩国 TM TECH 转子采用整体充磁磁环技术, 美国科尔摩根采用分布式的分数槽及碳纤维绑扎技术, 德国 TQ Robodrive 采用模块化定子和环氧塑封灌胶技术。国内企业起步晚, 转矩密度和国外高端无框力矩电机相比存在差距。美国科尔摩根是全球无框力矩电机龙头, 拥有超 70 年的运动控制研发经验, 电机性能在全球处于第一梯队。国内目前进展较快的公司包括步科股份、航天电器。相比海外龙头, 国产无框力矩电机输出扭矩较小, 在产品性能方面仍有差距。

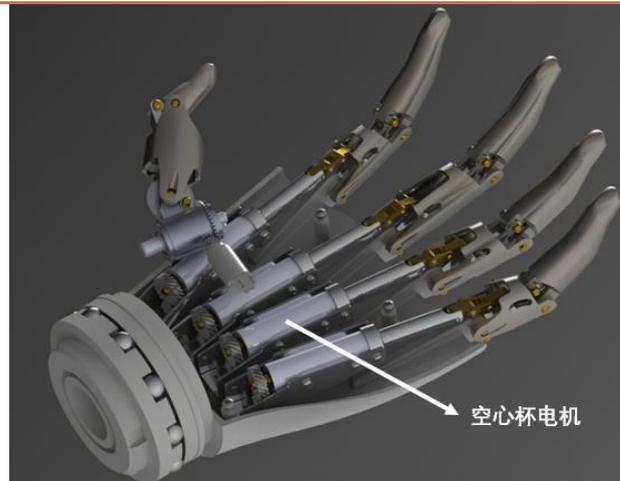
4、空心杯电机：灵巧手驱动装置，国内厂家有性价比优势

空心杯因特殊的绕组结构而得名，其转子形似杯子，也因其优异性能被誉为电机领域“皇冠上的明珠”。空心杯电机是一种微型伺服电机，通常来讲尺寸一般较小通常不超过 40mm。与传统电机对比来看，一般的直流有刷电机的转子是固定在铁芯上的线圈，而空心杯电机最大的不同在于其电机绕组取消了铁芯结构设计，转子仅由线圈按照一定的排列绕制而成，转子因形似杯子被形象地称为空心杯电机。

图 16: 空心杯电机外观



图 17: 灵巧手结构



资料来源：鼎智科技官网、招商证券

资料来源：制造云网站、招商证券

空心杯电机趋势：有刷→无刷。有刷电机采用机械换向，随着电机旋转，电刷沿着换向器滑动，产生动态的磁场，但也由于电刷和换向器存在相对滑动，容易损耗；无刷电机通过驱动器实现电子换向，因不存在电刷，被称为“无刷电机”。无刷空心杯电机其定子部分使用空心杯绕组，采用无齿槽铁芯设计。该型电机具有传统直流无刷电机高转速、长寿命、低噪音的特性，又兼具有刷空心杯电机高功率密度、高效率的优势。

表 4: 无刷与有刷空心杯电机对比

	无刷	有刷
寿命	长寿命 (10000h+)	寿命有限 (1000-3000h)
转速	高转速	转速受限
电磁干扰	可忽略	有电火花
铁损	有	无
控制	需要驱动控制	控制简单

资料来源：万泰电机微信公众号、招商证券

空心杯电机生产的关键是线圈的生产，因此其核心壁垒主要在于线圈设计、绕线工艺以及绕线设备。空心杯电机的发展趋势始终是更小的体积、更快的转速、更高的功率密度和更高的良率，而这些性能最直接的影响因素在于线圈绕制。导线的线径、匝数、线性等都直接影响电机的各项核心参数。线圈绕制的核心壁垒直接体现在线圈设计，因为不同的绕线类型在自动化率、铜耗等各有差异；另一方面也体现在绕线设备和绕线方式上，不同的绕线机械绕制的空心杯槽满率有所差

异，进而导致稀疏有别，直接影响电机损耗、散热、功率等。而先进的空心杯绕线工艺和设计一直被海外厂商掌控，且海外设备价格昂贵。

图 18: 空心杯电机结构示意图



资料来源：东莞市天孚电机科技有限公司官网、招商证券

空心杯电机发源于瑞士、德国、日本、欧洲等厂商研制较早，具有性能优异的生产设备和稳定成熟的工艺。空心杯电机市场仍以老牌海外厂商为主，市场份额仍然集中在头部厂商，全球龙头主要是瑞士 maxon、德国 faulhaber 两家，内资龙头为鸣志电器，第二梯队主要有鼎智科技、深圳拓邦、上海埃依琪（非上市）、北京奕山（非上市）等，产品主要面向国内中低端市场。海外厂家空心杯电机品类齐全，内资在同类型产品上具备性价比优势。

Faulhaber、maxon 空心杯直径可小到 3-5mm，内资少有 12mm 以下的空心杯电机。国内外空心杯电机制造商在软实力和硬实力均有一定差距，硬实力的差距主要集中在电机材料选用、本体设计和机电控制方案配置，软实力的差距集中于市场影响力、销售渠道和客户资源，海外厂商拥有强大的研发团队和广泛的国际销售网络、客户基础，能够更好地满足全球市场的需求，从而品牌声誉和市场认可度更高。

表 5: 各家空心杯电机性能对比

性能指标	Faulhaber	Maxon	鸣志电气	鼎智科技
产品	1660S024BHS	ECX SPEED 16L	ECH 16056H24	22ZWWC48
功率	96W	80W	90W	100W
空载转速	52400rpm	61200rpm	45000rpm	55000rpm
最大连续转矩	11.6mN.m	16.1mN.m	14.59mN.m	20mN.m
最大效率	92%	93%	91%	89%
机械时间常数	1.2ms	1.79ms	1.19ms	1.89ms
重量	0.078kg	0.073kg	0.073kg	0.111kg
功率密度	1.23kw/kg	1.10kw/kg	1.23kw/kg	0.91kw/kg

资料来源：各公司官网、招商证券

5、力矩传感器：力学感知部件，技术壁垒高

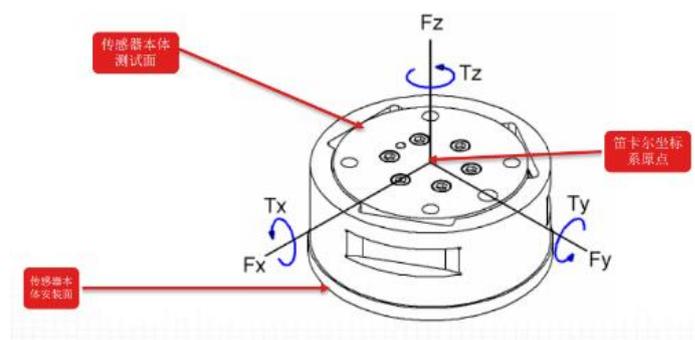
力矩传感器可以通过测量机器人的接触力和压力，来帮助机器人形成触觉功能。其中，一维力传感器和六维力传感器是力矩传感器中十分常见的产品。一维力传感器常用于机器人的关节模组中，而随着工业应用场景复杂化，业内对于机器人感知能力的要求也在不断增强，六维力传感器应运而生。目前，六维力传感器被大量应用在协作机器人末端、航空航天风洞测试、医疗领域、运动健康领域中，新兴的人形机器人手腕如此灵活也有它的功劳。

六维力扭矩传感器又可以称为六轴力传感器、六分力传感器（六分力天平）和 FT 传感器。它是在施加力和扭矩过程中同时测量各轴力和扭矩的设备。通过这种方式，信号被创建、测量、记录并用作人机交互中的反馈信号。在当今的机器人技术中使用最广泛的传感器就是六轴力矩传感器，做为力觉测试传感器可以同时反馈机器人在工作过程中的 3 个轴的力和 3 个绕轴的扭矩实时输出。最常见的应用是抛光、组装、研磨、质量测试和机器人辅助手术等。在此类应用中，六维力矩传感器安装在机器人和手臂末端工具之间。

图 19：六维力传感器外观



图 20：六维力传感器原理



资料来源：宇立仪器官网、招商证券

资料来源：ATI 工业自动化、招商证券

表 6：六维力传感器的主要功能

作用	描述
检测	检测是否抓取到工件
预防	在损坏前检测到不正常的装配力
测量	记录工艺过程的力反馈实时确保质量
控制	利用力、力矩传感器来引导机器人在复杂环境中的过程控制
示教	手动牵引示教机器人轨迹活自动触发确定位置
保护	安全感应可以检测意外接触情况下与人的接触

资料来源：高工机器人、招商证券

根据传感元件的不同，六维力矩传感器主要分为应变片式、光学式、压电/电容式；目前大部分六维力矩传感器是基于应变式的测量，基于电压电容和光学原理的传感器有一定的理论研究和试验，下游尚未得到广泛应用。

表 7：不同六维力矩传感器技术方案及代表企业

传感元件类型	原理及特点	优点	缺点	代表企业
应变片式	采用硅应变或者金属箔，本质是	精度高、技术成熟	生产工艺复杂	ATI、宇立仪器、坤维科技、鑫精诚、

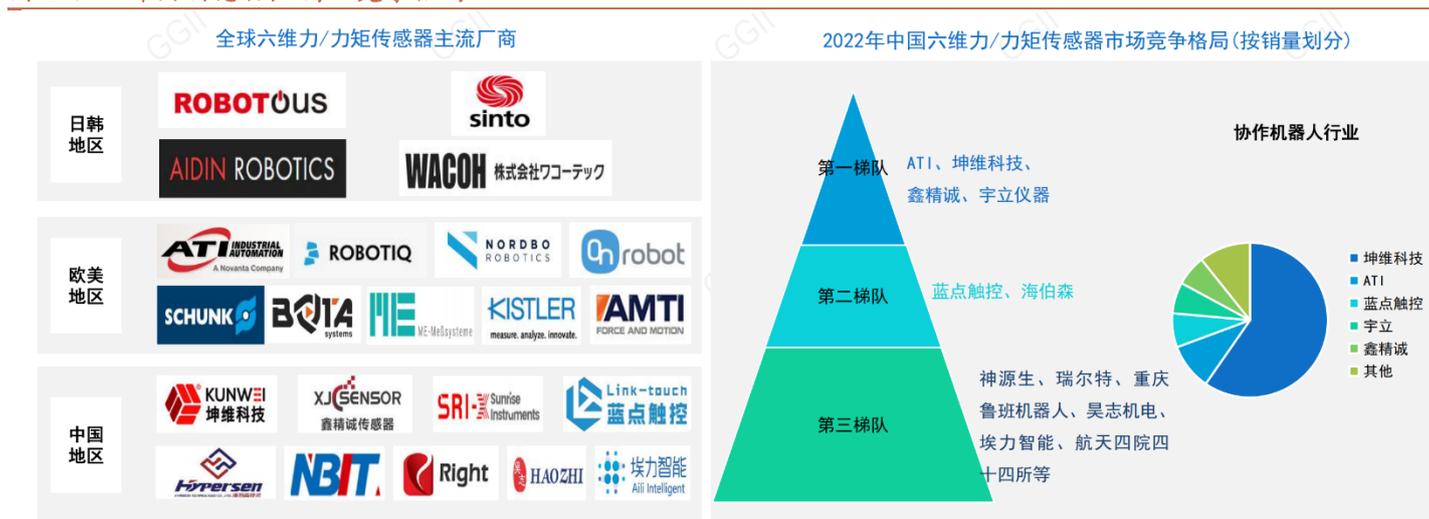
敬请阅读末页的重要说明

	材料本身变化发生形变进而转化为阻值变化	测量范围广、成本低、频响特性好	金属箔应变计输出微弱	蓝点触控、海伯森、神源生智能、Sintokogio、Bota Systems AG、Schunk、埃力智能等
光学式	通过光纤、光栅反应形变、再转化成力	可靠性高 测量范围广 抗电磁干扰能力强	对测试环境要求高 刚性偏弱	OnRobot 松果体、华力创等
压电/电容式	电容是通过极距的变化导致电压变化,压点则是通过形变改电荷	高灵敏度和高分辨率 频率范围宽、结构简单 环境适用性强	调理电路复杂 信号漂移难以抑制	Robotiq、Robotous、Wacoh-tech、Kistler 等

资料来源：高工机器人、招商证券

中国六维力矩传感器市场近年来入局者逐年增加,单受限于该行业的高技术壁垒,真正具备批量供应能力的厂商依然较少,根据 2022 年国内销量口径,ATI、坤维、鑫精诚、宇立位于第一梯队,各家厂商下游应用的侧重有所差异。ATI 作为全球龙头,经过多年积累,应用面相对更广,宇立在工业机器人磨抛行业和汽车碰撞测试行业应用较多;坤维在协作机器人、医疗手术机器人、医疗检测机器人和康复机器人领域优势显著;鑫精诚凭借苹果供应商的身份已经将其产品推广到 3C 领域,同时在机器人和医疗行业也有布局。

图 21: 六维力传感器厂商及竞争格局



资料来源：高工机器人、招商证券

6、编码器：速度、角度、位置感知部件，技术壁垒高

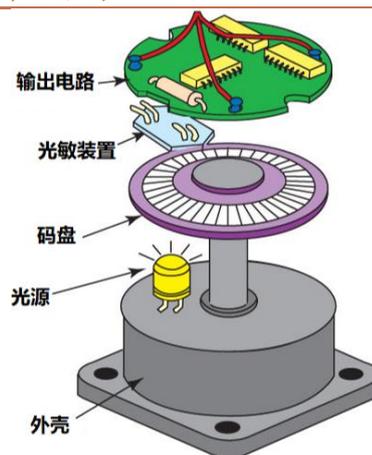
编码器是测量角度、速度和位置的传感器。按照技术原理,可分为磁编码器、光编码器及电感编码器等,其中光编码器适用于高精度、高分辨率的应用,磁编码器适用于追求环境耐受性强、小型轻量、高可靠性的应用。在编码器降本和磁编码器性能提高的背景下,磁编码器渗透率逐渐提升。

图 22: 编码器外观



资料来源：上海恒祥光学电子有限公司官网、招商证券

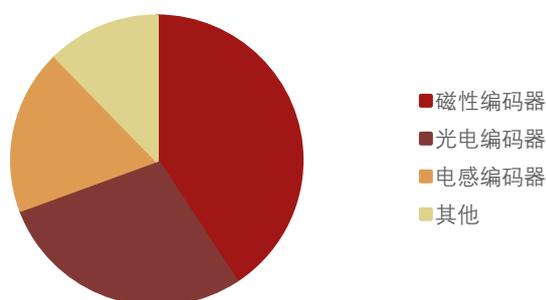
图 23: 编码器原理结构



资料来源：kbv research、招商证券

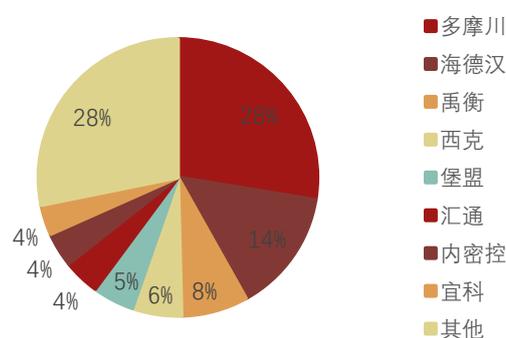
海外编码器厂商以日系的多摩川（27.6%）和欧系的海德汉（14.3%）为代表，凭借几十年的技术实力、研发能力以及长期积累的经验，海外龙头厂商在全球范围内享有广泛的声誉和市场份额，持续为市场提供高质量和创新性的产品。据 MIR 睿工业，2022 年我国编码器市场中多摩川、海德汉、西克和堡盟占据了 50% 以上的市场份额，行业集中度较高。

图 24: 不同原理编码器市场占比



资料来源：MIR 睿工业、招商证券

图 25: 2022 年我国编码器竞争格局



资料来源：kbv research、招商证券

三、产业链重点公司

1、执行器总成：拓普集团、三花智控

(1) 拓普集团：设立机器人事业部

拓普集团是由八大汽车业务+机器人事业部组成平台化零部件公司，覆盖整车核心零部件及人形机器人产业链，绑定行业龙头实现公司快速发展：公司汽车业务包括汽车 NVH 减震系统、内外饰系统、车身轻量化、智能座舱部件、热管理系统、底盘系统、空气悬架系统、智能驾驶系统八大板块，全面覆盖整车关键零部件，单车最高配套可达到 3 万元。此外，伴随机器人业务快速发展，公司近期设立机器人事业部全面切入机器人领域。

公司技术积淀深厚：公司研发智能刹车系统 IBS 项目多年，在机械、减速机构、电机、电控、软件等领域形成了深厚的技术积淀，并且横向拓展至热管理系统、智能转向系统、空气悬架系统、座舱舒适系统以及机器人执行器等业务。机器人执行器是机器人的核心部件，主要包括直线执行器和旋转执行器两类，为模拟人类各种运动的协调性与多自由度灵活性，需要同时满足轻量化、小型化及低功耗的技术指标，机器人执行器需要突破很多工程设计极限，实现各类电机、减速机构、传感器、编码器、驱动器、控制器的优化集成及通讯，因此结构复杂、技术非常密集。

公司在机器人执行器业务的核心优势包括：①、具备永磁伺服电机、无框电机等各类电机的自研能力；②具备整合电机、减速机构、控制器的经验；③具备精密机械加工能力；④具备各类研发资源及测试资源的协同能力。

公司研发的机器人直线执行器和旋转执行器，已经多次向客户送样，获得客户认可及好评，项目要求自 2024 年一季度开始进入量产爬坡阶段，初始订单为每周 100 台。为满足客户要求，公司需要 2023 年度完成 4 套生产线的安装调试，形成年产 10 万台的一期产能，后续将年产能提升至百万台。

机器人需要数十个运动执行器，单机价值约数万元人民币。为抓住机器人业务的发展机遇，公司决定拆分设立机器人事业部，建立独立管理架构，配置优秀专业团队，同时整合各项优势资源，从而为该项业务的快速发展创造充分条件。

图 26: 拓普集团九大业务格局



资料来源：公司微信公众号、招商证券

(2) 三花智控：特斯拉核心供应商之一，积极布局机器人执行器

公司积极布局机器人产业，重点聚焦仿生机器人机电执行器业务，机器人主流的两种驱动方式为电机驱动、液压驱动。其中电机驱动是使用最普遍、最成熟的驱动系统，电驱由于易于维护、低成本、易标准化更加有利于商业化。现在绝大多数的仿生机器人也是采用电机驱动。因此，公司机电执行器的技术研发方向是电机驱动，通过自身优势，全方面配合客户产品研发、试制、调整，设计出满足仿生机器人需求的机电执行器产品。同时，以配合客户量产为目标，积极筹划机电执行器海外生产布局。

2023 年年 4 月，三花智控和绿的谐波签署《战略合作框架协议》，在墨西哥工业园成立谐波减速器合资公司；母公司三花集团参与了鼎智科技的上市战略配售；6 月公告发行 GDR 募集 50 亿元，其中有 2 亿会用于机器人执行电机研发项目。

图 27: 三花智控 2023 半年报速览之研发投入



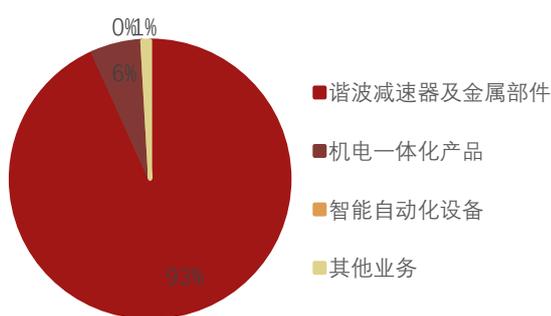
资料来源：公司微信公众号、招商证券

2、减速器：绿的谐波、双环传动、中大力德、秦川机床

(1) 绿的谐波：国产谐波减速器龙头企业

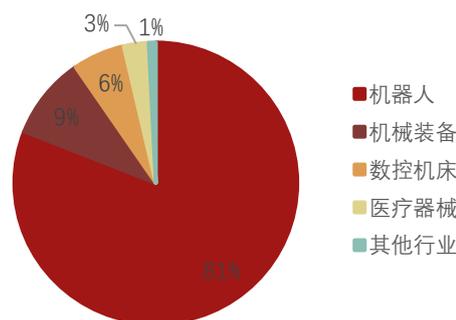
国内谐波减速器龙头，2021 年市占率达 24.7%。经过 20 余年的发展，公司发展成为专业从事精密传动装置研发、设计、生产和销售的高新技术企业，产品包括谐波减速器及精密零部件、机电一体化产品、智能自动化装备等，2022 年谐波减速器及金属部件收入占比 93%。其产品广泛应用于工业机器人（下游占比为 81%）、服务机器人、数控机床、医疗器械、半导体生产设备、新能源装备等高端制造领域。公司在国内率先实现了谐波减速器的工业化生产和规模化应用，打破了国际品牌在国内机器人谐波减速器领域的垄断，成为国内谐波减速器第一大龙头。

图 28: 2022 年绿的谐波收入结构



资料来源: WIND、招商证券

图 29: 2022 年公司下游行业收入分布



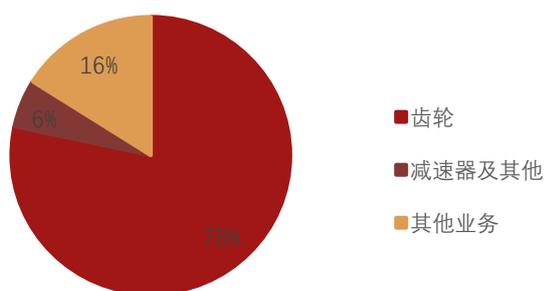
资料来源: WIND、招商证券

(2) 双环传动: 国产 RV 减速器龙头企业

双环传动自 1980 年成立以来, 长期专注于机械传动齿轮制造, 产品广泛应用于乘用车、商用车、轨道交通、非道路机械以及电动工具、风电、工业机器人等领域。2021 年以来, 新能源汽车齿轮业务快速放量, 驱动营收高速增长。

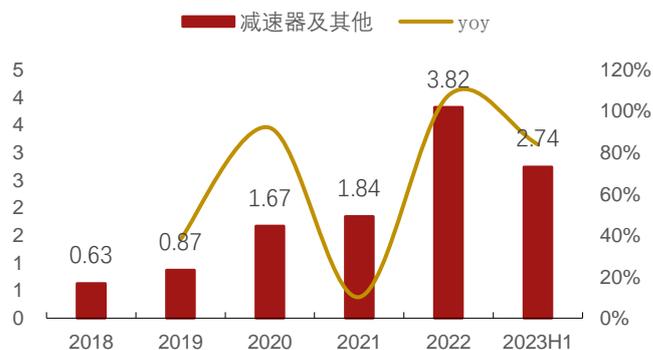
机器人精密减速器主要分为 RV 减速器和谐波减速器两类。公司前瞻布局 RV 减速器领域, 技术水准与产品性能全国领先, 产品谱系不断完善, 当前 RV 减速器国内市占率位居第二, 国产第一, 近些年公司减速器营收快速增长, 2019-2022 年 CAGR 为 63.8%。特斯拉人形机器人研发进展持续超预期, 产业化落地值得期待, 目前减速器方案尚未落地, 预计新型减速器有望给公司带来业务机会。

图 30: 2022 年双环传动收入结构



资料来源: WIND、招商证券

图 31: 双环传动减速器收入及同比 (亿元)



资料来源: WIND、招商证券

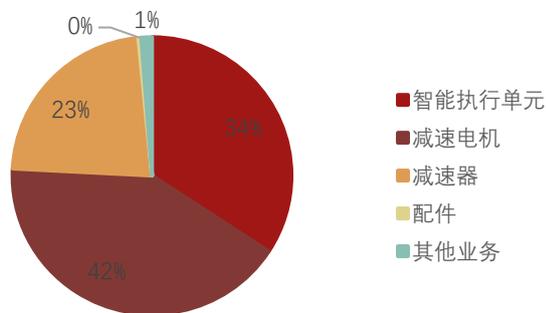
(3) 中大力德: 减速器品类齐全, 积淀深厚

中大力德成立于 2006 年, 前身是 1998 年成立的中大电机厂。公司以减速电机起家, 成立以来深耕自动化传动与驱动装置的研发制造, 是国内为数不多的同时提供精密减速器(包括精密行星减速器, RV 减速器和谐波减速器)、伺服驱动, 永磁直流电机和交流减速电机的企业, 具备提供机电一体化产品的潜力。

公司相继推出微型无刷直流减速电机、精密行星减速器、滚筒电机、RV 减速器、谐波减速器、伺服驱动、永磁直流减速电机等产品。顺应行业小型化、集成化、一体化的发展趋势, 致力于整合核心零部件系统, 围绕工业自动化和工业机器人,

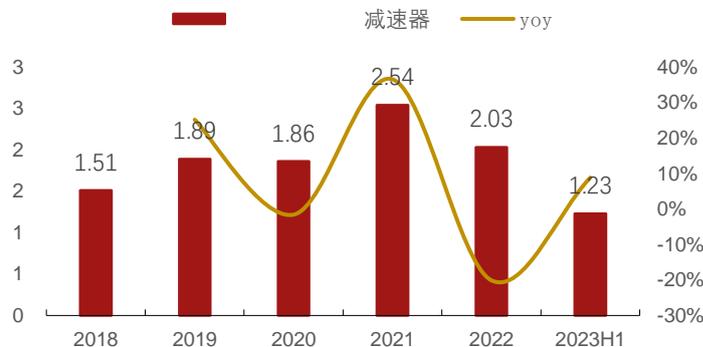
形成了减速器+电机+驱动一体化的产品架构，推出“精密行星减速器+伺服电机+驱动”一体机、“RV减速器+伺服电机+驱动”一体机、“谐波减速器+伺服电机+驱动”一体机等模组化产品，实现产品结构升级。

图 32: 2022 年中大力德收入结构



资料来源: WIND、招商证券

图 33: 中大力德减速器收入及同比 (亿元)



资料来源: WIND、招商证券

(4) 秦川机床: 老牌减速器企业, 规格齐全

秦川机床通过承担国家 863 计划, 攻克了机器人关节减速器的核心技术。目前公司机器人关节减速器已有 5 大系列、23 种规格、130 种速比, 是国内规格最全, 系列最多的工业机器人关节减速器生产制造商, 生产的机器人关节减速器主要应用于工业机器人领域。

公司聚焦机器人关节减速器上量, 面向汽车行业、齿轮传动行业、机床行业等目标市场, 充分发挥装备能力优势, 形成具有自主知识产权和市场竞争力的系列产品, 通过新成立的陕西秦川高精传动科技有限公司在市场拓展、新产品研发等方面围绕战略客户需求, 加速推进产业化、规模化进程; 加速谐波减速器研发与试制步伐, 产品商业化后与机器人关节减速器合力, 形成组合, 共同突破, 以强化下游客户合作深度; 研发的 AGV 轮边减速机噪音控制和牵引重量达到国内领先水平, 继续依靠齿轮传动研发制造经验和精良的装备优势, 对 AGV 减速机进一步进行型谱开发, 通过“全系配套”, 为广大用户提供最优个性化方案。

图 24: 秦川机床机器人减速器一览



资料来源：公司官网、招商证券

3、丝杠：贝斯特、鼎智科技

(1) 贝斯特：全面布局直线滚动功能部件

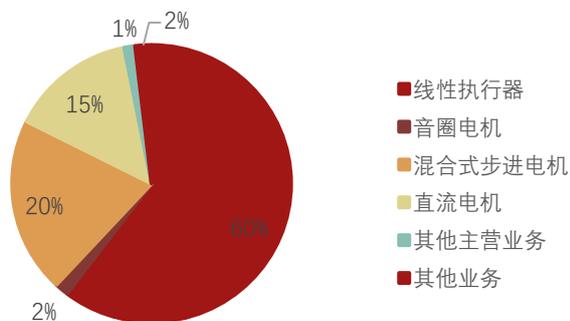
公司通过设立全资子公司“无锡宇华精机有限公司”全面布局直线滚动功能部件（产品包括：高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副等），瞄准高端机床领域、半导体装备产业、自动化产业、机器人领域等市场进行大力开拓，快速切入“工业母机”新赛道。公司布局包括高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副等直线滚动功能部件是在原有智能装备及工装业务的延伸和突破，已具备了相对成熟的条件或优势：一方面，公司汽车零部件业务建立了规模化、智能化生产的技术和管理体系。并且公司利用产业化验证平台，不断提升滚动功能部件质量、效率。另一方面，公司结合自身多年深耕智能装备、工业自动化集成的丰富经验，建立了一支专业技能过硬、行业经验丰富、创新能力较强的技术团队，对滚动功能部件有丰富的经验和深入的理解。

(2) 鼎智科技：定制化精密运动控制解决方案提供商

公司是以微特电机为主要构成的定制化精密运动控制解决方案提供商，主要从事线性执行器、混合式步进电机、直流电机、音圈电机及其组件等产品的设计、研发、生产和销售，公司多项产品在行业内具有较强竞争力，其中：公司线性执行器为行业领先产品，在迈瑞医疗、深圳新产业、美国 IDEXX、美国 Adaptas、韩国三星等企业产品中得到应用；呼吸机配套音圈电机打破国外垄断，已在迈瑞医疗呼吸机中批量应用。

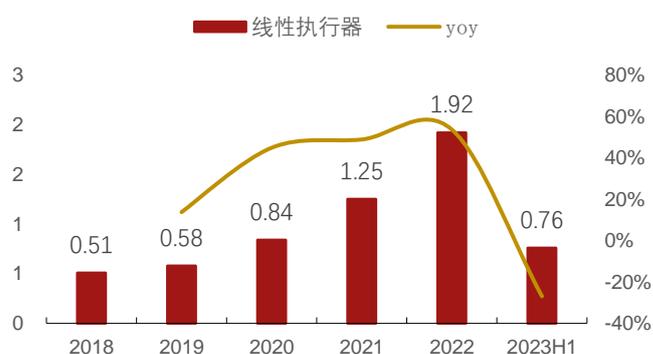
公司形成“整机生产为主、关键零部件生产为支撑”的一体化发展模式，实现了丝杠、螺母等线性执行器核心零部件的自主可控。在丝杠方面，公司独立设计 T 型丝杠的牙形及滚压轮，采用先进滚压设备和生产工艺，丝杠精度、光洁度及传动效率等性能优异；在螺母方面，公司采用自主研发的材料配方，自主研发设计的模芯牙形及独特的脱模装置，与丝杠配合使用背隙可达 0.01mm 以内，传动寿命可达 500 万次（150mm 行程往返）以上，具有优秀的传动精度、传动效率及寿命。

图 35：2022 年鼎智科技收入结构



资料来源：WIND、招商证券

图 36：鼎智科技线性执行器收入及同比（亿元）



资料来源：WIND、招商证券

图 47: 鼎智科技产品一览



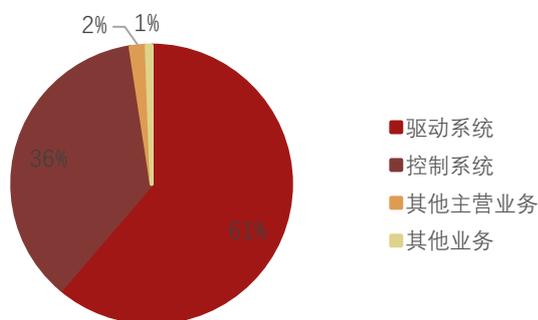
资料来源：公司招股说明书、招商证券

4、无框力矩电机：步科股份、禾川科技

(1) 步科股份：国内低压伺服电机头部企业

公司早期以人机界面为主业，后续公司将产品逐步拓展到伺服系统、步进系统、可编程逻辑控制器、变频器等，且广泛应用于物流设备、机器人、包装设备、食品设备、服装设备、医疗设备、环保设备、轨道交通设备等自动化设备行业。长期以来行业伺服系统以高压为主，但近年随着移动机器人与物流自动化等行业的兴起，以电池供电的低压伺服产品成为新的主流需求，步科较早前瞻性地投入紧凑型精密低压伺服驱动技术的研发，有效解决了电磁兼容性、散热效率和连接可靠性等问题，提高了电机控制效率、系统抗干扰能力和过载能力，实现了更紧凑的尺寸设计，为下游物流搬运机器人 AGV、智能分拣线、服务机器人底盘等领域客户提供了满足其需求的性价比较高的产品，取得了一定的市场优势。

图 58: 2022 年步科股份收入结构



资料来源：WIND、招商证券

图 39: 步科股份驱动系统收入及同比 (亿元)



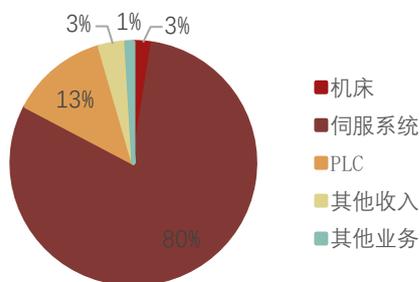
资料来源：WIND、招商证券

(2) 禾川科技：国内伺服系统头部企业

禾川科技的主要产品包括伺服系统、PLC 等，实现了工业自动化领域“控制+驱动+执行传感+机电一体化”的覆盖，并在近年沿产业链上下游不断延伸，涉足上

游的工控芯片、传感器和下游的高端精密数控机床等领域。其中，伺服系统作为公司的核心产品，搭载自主研发的编码器，在定位精度、速度控制、额定转矩等核心性能指标上均具有较强的竞争力。公司近年还加大了在工控芯片领域的布局，自主研发设计的驱动控制一体化 SIP 芯片集成了主控 MCU、存储、运动控制算法和工业实时以太网 IP，目前已实现对外销售。

图 40: 2022 年禾川科技收入结构



资料来源: WIND、招商证券

图 61: 禾川科技伺服系统收入及同比 (亿元)



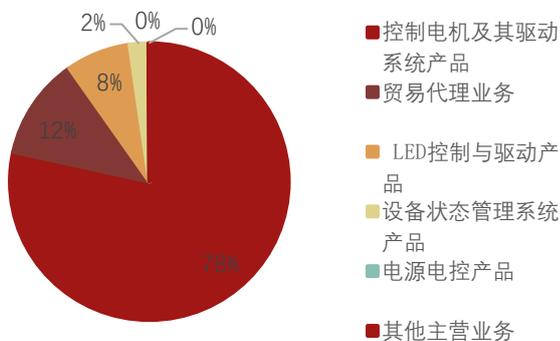
资料来源: WIND、招商证券

5、空心杯电机: 鸣志电器

鸣志电器: 国内空心杯电机龙头

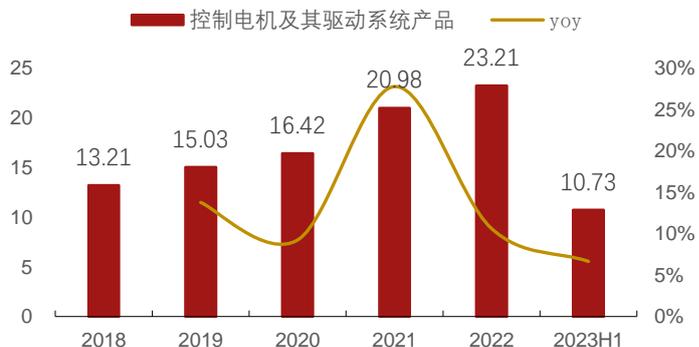
公司主营为控制电机及驱动系统 (步进电机、伺服电机、直流无刷电机、空心杯电机等), 在 HB 混合步进电机领域为国内龙头, 率先打破日资垄断。公司重视海外市场, 先后收购诸多海外相关企业, 业务覆盖北美、欧洲、东亚及东南亚, 海外营收占比常年超过 40%。公司先后收购美国 AMP、美国 LIN、瑞士 T Motion 等全球领先电机及驱动企业并将其技术 (吸收整合步进电机、空心杯电机先进技术)、市场及客户 (通过并购有效拓展海外市场) 内化为自身资源, 并以客户需求为导向将产品品类由单一步进电机拓展至伺服、无刷、空心杯电机等。23 年随太仓工厂全面投产+越南工厂启用, 公司产能得到释放, 有望加速布局半导体、工控自动化、医疗生化等高附加值领域, 持续提升盈利水平。公司空心杯电机性能对标海外, 热处理、响应速度最优, 且价格低于海外竞品。

图 42: 2022 年鸣志电器收入结构



资料来源: WIND、招商证券

图 43: 鸣志电器控制电机收入及同比 (亿元)



资料来源: WIND、招商证券

图 44: 鸣志电器产品一览

▶ 混合式步进电机 	▶ 永磁式步进电机 	▶ 步进驱动器 	▶ 集成式步进电机 	▶ 直线步进电机 	▶ LED电源 	▶ 电子元器件 
▶ 无刷无齿槽电机 	▶ 有刷空心杯电机 	▶ 步进伺服驱动器与电机 (闭环步进) 	▶ 集成式步进伺服电机 (闭环步进) 	▶ 直线模组 	▶ 智能照明控制器 	▶ 微型电机 
▶ 直流无刷电机 	▶ 直流无刷驱动器与电机 	▶ 伺服驱动器与电机 	▶ 集成式伺服电机 	▶ 微型电缸 	▶ 状态监测设备 	▶ 真空电机 

资料来源: 公司官网、招商证券

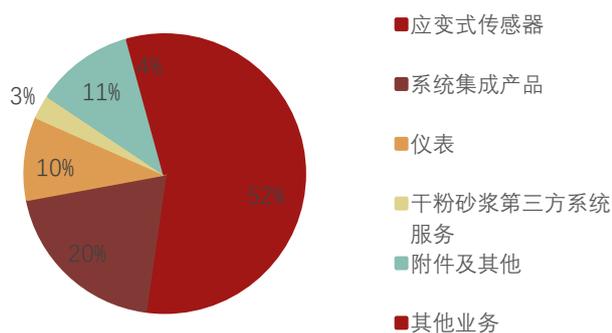
6、力矩传感器：柯力传感

柯力传感成立于 1995 年，作为国内应变式传感器的龙头企业，公司在夯实硬件层多物理量传感器、称重仪表等核心产品的基础上，围绕物联网战略实现转型升级，构建了工业物联网一体化解决方案。公司下游主要覆盖交通、冶金、工程机械等衡器客户，并积极开拓海洋工程、石化、医疗卫生等非衡器领域的新客户。

应变式传感器蓬勃发展，六维力传感器有望迎来高速增长期。六维力传感器作为维度最高的力觉传感器，技术和生产壁垒高；ATI、柯力、坤维等厂商正加快布局六维力传感器领域。随着技术路线的多元、产品矩阵的完善、产品成本的下降以及国产化率的提升，六维力传感器正迎来蓬勃发展的黄金时期。

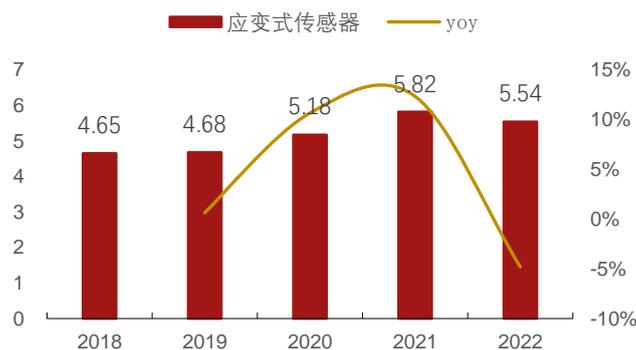
公司是多年全国第一市场占有率力学传感器品牌；在国外市场，公司实施差异化的品牌战略，拥有较高的知名度，海外营收占比持续提升。通过“内生+外延”的方式，公司横纵向拓宽传感器产品矩阵，横向参股意普兴、驰诚电气，推进气体传感器、光栅传感器等产品布局，纵向逐渐进入非衡器市场。公司自研的三维力、六维力等多维力传感器已处于小批量试制阶段，具有高精度、高灵敏度、抗偏载能力强、维间耦合小等特点，可应用于机器人手臂运动、医疗设备等高精尖场景。

图 45: 2022 年柯力传感收入结构



资料来源: WIND、招商证券

图 46: 柯力传感线性执行器收入及同比 (亿元)



资料来源: WIND、招商证券

表 8: 柯力传感不同力传感器一览

传感器类型	应用领域
汽车衡传感器	专业的汽车衡称重方案, 适合国内外各种规格的高精度汽车衡, 种类齐全, 可靠稳定, 性价比高
平台秤传感器	结构优良、安装方便, 精度高、互换性好
轨道传感器	适用于高精度动静态轨道检测, 形式包括整车式、断轨式、垫轨式、塞入式等
料罐传感器	多样化的料仓方案, 具有精度高、量程范围广、高度低等优点
实验机系列	用于各类实验测力设备, 安装形式多样
天车传感器	安装于在天车起重设备上的一种传感器, 种类齐全, 符合各项国家标准
安全限制传感器	用于各类超载安全保护的传感器, 抗冲击力好, 种类齐全, 安全可靠
车载传感器	用于车辆改装, 过程的控制和监控重量
叉车传感器	用于叉车改装, 过程的控制和监控重量
拉式传感器	配套市场上的各种拉式测力设备, 具有线性精度高, 重复性好, 长期稳定
公路计重传感器	对车辆轴重进行测量, 广泛用于公路过往车辆进行超限检测、粗略计重等
轮轴识别器传感器	用于公路场合, 对车辆的轴型、胎型进行识别
纺织张力传感器	用于纺织厂设备, 检测织布张力等
扭矩传感器	检测设备工作的扭矩, 尺寸、量程定制
非标传感器	各类非标钢制应变式传感器, 支持定制

资料来源: 公司官网、招商证券

7、编码器: 奥普光电、伟创电气

(1) 奥普光电: 子公司禹衡光学为国产编码器先行者

奥普光电持股 65% 的子公司禹衡光学前身是始建于 1965 年的长春第一光学仪器厂, 是中国最早的光电编码器及光学仪器专业制造商。从 1967 年制造出中国第一台工业编码器到如今国内领先的高端传感器系列, 禹衡光学已实现包括金属光栅角度编码器、绝对式光栅尺、旋转变压器、角度编码器、齿轮编码器及常规编码器在内的多系列光学编码器产品布局。禹衡光学编码器目前跟广州数控等国内主流机器人厂家都有配套。同时, 在伺服产品上面, 2022 年新推出了一款应用于伺服产品的 25 位绝对式光栅编码器, 精度更高、产品稳定性也更好, 特别适合在协作机器人上面的使用。

图 47: 禹衡光学产品一览



资料来源：禹衡光学官网、招商证券

(2) 伟创电气：编码器已进入小批量验证阶段

9月15日，伟创电气接受投资者调研时称，目前，公司磁电编码器和光电编码器均已进入市场的小批量验证阶段，从验证结果来看，表现相对比较稳定。公司自制的编码器在通用伺服上已经在试用，伺服一体轮和轴关节里面整合的编码器基本上是以自制为主。对于自用比例公司目前正在循序渐进推进中，待市场验证成熟稳定后，预计明年将会逐步替代。

四、要点汇总

人口老龄化叠加用工成本增加，倒逼制造业和服务业中用机器人取代人工。我国劳动人口数量2015年达到7.81亿的高点后，便开始呈现下降趋势；且人口老龄化程度也在不断提高，60岁及以上人口占比从2011年的13.70%持续提升至2021年的18.90%。用工成本方面，我国制造业平均工资从2013年的4.29万元/年持续增长至2022年8.69万元/年。

人形机器人是实现具身智能的最佳物理形态之一。人形机器人一般与人类有着类似的身体结构和运动方式，更能适应于各类现实生活场景，因此能从专用转向通用，增大规模效应降低成本。

车端能力复用助力特斯拉加速人形机器人落地。特斯拉最初于2021年的AI DAY发布了人形机器人的概念机，并在两年不到的时间内实现了快速迭代，完成了开发平台建造、Optimus产品亮相以及电机扭矩控制、环境探测与记忆、双手复杂任务等能力的实现。特斯拉在车端已经形成了非常多的软硬件能力，如动力电池、自动驾驶硬件（如AI超级计算机Dojo）、自动驾驶软件（如自动驾驶算法）和汽车模拟分析能力，而这些能力可以直接快速复用到机器人领域，并且得益于车端成熟供应链的加持，均将加速特斯拉人形机器人实现产业化落地。

特斯拉人形机器人主要结构及价值量拆解：

FSD/AI芯片：特斯拉核心竞争力之一，单机价值量约为50000元，成本占比约为26.5%；

旋转执行器：总成产品，将由第三方供应，包含谐波减速器（或者类谐波的新型减速器）、无框力矩电机、力矩传感器、编码器、轴承等主要部分，成本占比约为 23%；

线性执行器：总成产品，将由第三方供应，包含行星滚柱丝杠、无框力矩电机、力矩传感器、编码器、轴承等主要部分，成本占比约为 28%；

灵巧手：包含空心杯电机、行星齿轮箱、传感器、滚珠丝杠等，成本占比约为 7%；

肢体骨骼：力学结构件，成本占比约为 13%。

第三方供应的非总成零部件中，无框力矩电机（14.84%）、行星滚柱丝杠（14.84%）、谐波减速器（7.42%）、力矩传感器（7.42%）、编码器（4.45%）、空心杯电机（3.82%）占比较大。

国内相关环节及供应商：

执行器总成：特斯拉 Optimus 在身体机械部分有 28 个关节执行器（14 个旋转执行器+14 个线性执行器），执行器总成价值量高，技术壁垒也较高，将由和特斯拉深度合作汽车 TIER 1 供应。国内代表上市公司为三花智控。

减速器：谐波减速器与 RV 减速器将同时受益，从格局上来看，高端市场仍由日本企业把控，2021 年纳博特斯克占据中国 RV 减速器 53% 市场份额，哈默纳科占据中国谐波减速器 35.5% 市场份额。国内企业在中低端市场也取得了一定份额，绿的谐波在谐波减速器中的市场份额达到了 25%，双环传动、中大力德在 RV 减速器中的份额达到了 14%、4%。该产品技术壁垒较高，国产替代正在加速。国内代表上市公司为绿的谐波、双环传动、中大力德、秦川机床等。

丝杠：人形机器人中主要使用滚柱丝杠，2022 年日本、欧洲滚柱丝杠企业在中国市场占有率高达 90%。由于我国企业在该行业起步晚，竞争实力距离国外工业发达国家企业有较大差距。技术壁垒很高，国产替代空间较大。国内代表上市公司为贝斯特、鼎智科技、恒立液压等。

无框力矩电机：伺服电机的一种，国内企业起步晚，相比海外龙头，国产无框力矩电机输出扭矩较小，在产品性能方面仍有差距。美国科尔摩根是全球无框力矩电机龙头，拥有超 70 年的运动控制研发经验，电机性能在全球处于第一梯队。国内目前进展较快的公司包括步科股份、航天电器。国内代表上市公司为步科股份、禾川科技等。

空心杯电机：微型伺服电机的一种，仍以老牌海外厂商为主，市场份额仍然集中在头部厂商，全球龙头主要是瑞士 maxon、德国 faulhaber 两家，海外厂家空心杯电机品类齐全，内资在同类型产品上具备性价比优势。国内代表上市公司是鸣志电器、鼎智科技、拓邦股份。

力矩传感器：力学感知部件，人形机器人使用六维力矩传感器，中国六维力矩传感器市场近年来入局者逐年增加，受限于该行业的高技术壁垒，真正具备批量供应能力的厂商依然较少，根据 2022 年国内销量口径，ATI、坤维、鑫精诚、宇立位于第一梯队，各家厂商下游应用的侧重有所差异。国内代表上市公司是柯力传感。

编码器：速度、角度、位置感知部件，磁性编码器占比逐年提升。2022 年我国编码器市场中多摩川、海德汉、西克和堡盟等海外公司占据了 50% 以上的市场份额，行业集中度较高。国内代表上市公司为奥普光电，持股 65% 的子公司禹衡光学是中国最早的光电编码器及光学仪器专业制造商，2022 年国内市占率 8%。

表 9：相关公司财务情况及市值

证券代码	证券简称	总市值 (亿元)	营收 (亿元)			归母净利润 (亿元)		
			2023H1	2022	2021	2023H1	2022	2021
002050.SZ	三花智控	1,030.25	125.29	213.48	160.21	13.95	25.73	16.84
688017.SH	绿的谐波	181.49	1.72	4.46	4.43	0.51	1.55	1.89
002472.SZ	双环传动	274.72	36.86	68.38	53.91	3.69	5.82	3.26
002896.SZ	中大力德	55.10	5.40	8.98	9.53	0.33	0.66	0.81
000837.SZ	秦川机床	127.85	19.75	41.01	50.52	0.81	2.75	2.81
300580.SZ	贝斯特	80.36	6.34	10.97	10.57	1.30	2.29	1.97
873593.BJ	鼎智科技	38.90	1.95	3.18	1.94	0.54	1.01	0.50
688160.SH	步科股份	49.82	2.35	5.39	5.37	0.31	0.91	0.75
688320.SH	禾川科技	49.06	6.02	9.44	7.51	0.50	0.90	1.10
603728.SH	鸣志电器	265.56	13.06	29.60	27.14	0.53	2.47	2.80
603662.SH	柯力传感	85.20	5.07	10.61	10.31	1.40	2.60	2.51
002338.SZ	奥普光电	85.92	3.55	6.27	5.47	0.53	0.82	0.47
688698.SH	伟创电气	59.28	6.25	9.06	8.19	1.07	1.40	1.27

资料来源：WIND、招商证券

五、风险提示

1、人形机器人进展不及预期。

尽管特斯拉人形机器人取得较大进展，但量产落地时间、节奏仍有不确定性；

2、国内厂商产品开发进度、核心客户导入不及预期。

若国内厂商产品研发进度缓慢，未必会进入特斯拉供应链。

3、相关公司仅为产业链分析概览，不代表投资建议。

分析师承诺

负责本研究报告的每一位证券分析师，在此申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

评级说明

报告中所涉及的投资评级采用相对评级体系，基于报告发布日后 6-12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期当地市场基准指数的市场表现预期。其中，A 股市场以沪深 300 指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 指数为基准。具体标准如下：

股票评级

强烈推荐：预期公司股价涨幅超越基准指数 20%以上

增持：预期公司股价涨幅超越基准指数 5-20%之间

中性：预期公司股价变动幅度相对基准指数介于±5%之间

减持：预期公司股价表现弱于基准指数 5%以上

行业评级

推荐：行业基本面向好，预期行业指数超越基准指数

中性：行业基本面稳定，预期行业指数跟随基准指数

回避：行业基本面转弱，预期行业指数弱于基准指数

重要声明

本报告由招商证券股份有限公司（以下简称“本公司”）编制。本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告基于合法取得的信息，但本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。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，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。除法律或规则规定必须承担的责任外，本公司及其雇员不对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失负任何责任。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业务服务。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。

本报告版权归本公司所有。本公司保留所有权利。未经本公司事先书面许可，任何机构和个人均不得以任何形式翻版、复制、引用或转载，否则，本公司将保留随时追究其法律责任的权利。