

## 行业研究

## 人形机器人：加速发展，全面进击

## ——人形机器人行业系列报告（一）

## 要点

**人形机器人行业加速发展，空间广阔。**人形机器人产业已步入发展快车道，2022 年 10 月，特斯拉展示了 Optimus 机器人工程机，代表着人形机器人进入加速产业化阶段。近年来，随着人工智能技术的加速发展，人形机器人在“决策能力”上取得了快速的进步，人形机器人的智能化发展迅速。根据 Statistic MRC 的数据，2021 年全球人形机器人的市场规模为 15 亿美元，预计到 2028 年将达到 264 亿美元，2021-2028 年的 CAGR 达 50.5%。就下游应用场景来看，人形机器人兼具工业品和消费品的属性，放量的核心在于价格和性能。

**人形机器人是硬件和软件的高度结合体，是机械、电气、人工智能等多领域交叉打造的“明珠”。**人形机器人包括感知、决策、执行三大系统，由视觉传感器、触觉传感器，芯片、算法，动力单元、旋转关节、线性关节、手部关节等共同组成。我们以特斯拉 Optimus 的零部件构成进行测算，当人形机器人销量达到百万台级别时，机器人总成的市场空间将超过千亿元。线性关节总成、旋转关节总成的市场空间会超过 500 亿元。无框力矩电机、力矩传感器、行星滚柱丝杠、谐波减速器等市场空间将超过百亿元。整个机器人产业链都将迎来巨大的发展空间。

**核心零部件充分受益，国产替代波澜壮阔。**

**(1) 电机：核心的驱动机构。**特斯拉 Optimus 机器人中，包含了 28 个无框力矩电机和 12 个空心杯电机，电机占整体价值量的比例高达 28%。在空心杯电机行业，当前全球市场规模在 50 亿量级，外国企业占据大部分份额，国产替代空间广阔。在无框力矩电机环节，当前全球市场规模在 50 亿量级，海外企业仍处于领先地位。

**(2) 减速器：核心的动力传达机构。**特斯拉 Optimus 机器人中，包含了 14 个谐波减速器和 12 个行星减速器，电机占整体价值量的比例高达 17%。谐波减速器具有体积小、精度高的优势；目前的竞争格局为哈默纳科一家独大，国内企业奋力追赶。行星减速器是传动效率最高的齿轮传动结构；当前的全球市场规模在 90 亿元左右；竞争格局相对分散，海外企业占据领先地位。

**(3) 传感器：核心的感知部件。**特斯拉 Optimus 机器人中，包含了 40 个力矩传感器和 3 个视觉传感器，传感器占整体价值量的比例高达 19%。在力/力矩传感器方面，六维力/力矩传感器步入加速增长期；国外企业具有先发优势，中国公司加速追赶。在机器视觉方面，当前的全球市场规模在 800 亿元左右；从国内机器视觉整体市场来看，内外资品牌的竞争已开始呈现分庭抗礼的局面。

**投资建议：**人形机器人产业蓬勃发展，进入加速增长期。头部企业的引领和全产业链的降本是人形机器人发展的两条主线。投资层面：（1）**把握特斯拉相关产业链：**关注拓普集团、三花智控等；（2）**把握市场空间大、国产替代空间大的行业细分：**关注**执行器领域**的新兴装备；关注**空心杯电机领域**的鸣志电器、伟创电气；**减速器领域**的绿的谐波、科峰智能（未上市）；**传感器领域**的柯力传感、汉威科技。

**风险分析：**人形机器人相关技术进步不及预期风险；人形机器人降本不及预期风险；竞争加剧带来的盈利不及预期风险。

电力设备新能源  
买入（维持）

## 作者

分析师：殷中枢

执业证书编号：S0930518040004

010-58452063

yinzs@ebsecn.com

分析师：黄帅斌

执业证书编号：S0930520080005

0755-23915357

huangshuaibin@ebsecn.com

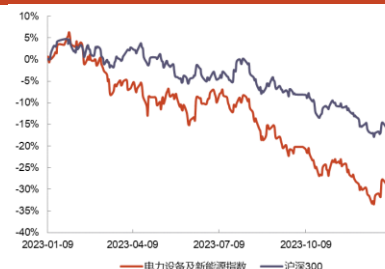
分析师：和霖

执业证书编号：S0930523070006

021-52523853

helin@ebsecn.com

## 行业与沪深 300 指数对比图



资料来源：iFinD

## 投资聚焦

### 研究背景

近年来，人形机器人行业加速发展，以特斯拉为代表的企业持续推动人形机器人行业的产业化进程，作为一个“从 0 到 1”的全新赛道，国内的整机及零部件企业也在加速入局，共同推动人形机器人的大规模生产及应用。基于此，我们对人形机器人产业链进行了系统的梳理。

### 我们的创新之处

- 1、我们复盘了人形机器人行业的发展历程，并参考电动车行业的经验，讨论了人形机器人放量的决定因素，对其未来的发展节奏进行了推演；
- 2、我们梳理了人形机器人整个大的产业链：对电机、减速器、传感器等核心零部件的技术路线、行业壁垒和竞争格局进行了详细的介绍。

### 股价上涨的催化因素

- 1、技术进步超预期：

如果各大厂商发布的人形机器人原型机表现出来的决策能力、感知能力、执行能力超出市场预期，板块相关公司的股价会有较大的上涨。

- 2、量产节奏超预期：

如果人形机器人厂商能够顺利地推进人形机器人的量产，板块相关公司的股价会有较大的上涨。

### 投资观点

**人形机器人产业蓬勃发展，进入加速增长期。**头部企业的引领和全产业链的降本是人形机器人发展的两条主线。投资层面：（1）**把握特斯拉相关产业链**：关注拓普集团、三花智控等；（2）**把握市场空间大、国产替代空间大的行业细分**：关注执行器领域的新兴装备；关注空心杯电机领域的鸣志电器、伟创电气；减速器领域的绿的谐波、科峰智能（未上市）；传感器领域的柯力传感、汉威科技。

## 目 录

<b>1、人形机器人：蓬勃发展，空间广阔</b>	<b>6</b>
1.1、发展历程：从朴素想象到产业化加速落地	6
1.2、产品特点：方向一致，各有新意	7
1.3、空间展望：场景多样，星辰大海	9
1.4、行业复盘：特斯拉引领，下一步关注量产节奏	12
<b>2、产业链总览：横跨软硬件，包罗机械电气</b>	<b>14</b>
<b>3、核心零部件充分受益，国产替代波澜壮阔</b>	<b>17</b>
3.1、电机：核心的驱动机构	17
3.1.1、空心杯电机：高度适配灵巧手	18
3.1.2、无框力矩电机：高度适配机器人关节	19
3.1.3、相关标的	20
3.2、减速器：核心的动力传达机构	22
3.2.1、谐波减速器：体积小、精度高	22
3.2.2、行星减速器：效率高、成本低	24
3.2.3、相关标的	25
3.3、传感器：核心的感知部件	26
3.3.1、力/力矩传感器：精细感知的重要依靠	27
3.3.2、视觉传感器：进一步加强感知能力	30
3.3.3、相关标的	31
3.4、执行器：至关重要的“小总成”	32
<b>4、投资建议</b>	<b>33</b>
<b>5、风险分析</b>	<b>33</b>

## 图目录

图 1：人形机器人发展历程 .....	6
图 2：主要人形机器人图示 .....	8
图 3：人形机器人应用领域 .....	9
图 4：2017-2024 年全球工业机器人销售额及增长率 .....	10
图 5：2017-2024 年全球服务机器人销售额及增长率 .....	10
图 6：2017-2024 年全球特种机器人销售额及增长率 .....	10
图 7：2017-2024 年中国工业机器人销售额及增长率 .....	10
图 8：2017-2024 年中国服务机器人销售额及增长率 .....	10
图 9：2017-2024 年中国特种机器人销售额及增长率 .....	10
图 10：人形机器人行业全球市场规模预测 .....	11
图 11：人形机器人发展阶段推演 .....	11
图 12：人形机器人与专用机器人的选择 .....	12
图 13：人形机器人行情复盘 .....	13
图 14：人形机器人产业链一览 .....	14
图 15：电机的分类 .....	17
图 16：空心杯电机结构图 .....	18
图 17：全球空心杯电机市场规模 .....	18
图 18：2021 年全球市场各类空心杯电机占比（按市场规模计） .....	18
图 19：无框力矩电机的构造 .....	19
图 20：无框力矩电机的特点 .....	20
图 21：全球力矩电机销售规模 .....	20
图 22：全球无框电机销售规模 .....	20
图 23：谐波减速器结构示意图 .....	22
图 24：谐波减速器运行示意图 .....	22
图 25：中国市场谐波减速器销售规模 .....	23
图 26：2021 年全球谐波减速器市场格局 .....	23
图 27：2021 年中国谐波减速器市场格局 .....	23
图 28：精密行星减速器结构示意图 .....	24
图 29：全球及中国市场行星减速器销售规模 .....	24
图 30：2022 年全球行星减速器市场区域分布（按市场规模计） .....	24
图 31：2022 年全球精密行星减速器市场格局（按销售金额计） .....	25
图 32：2022 年中国精密行星减速器市场格局（按销售金额计） .....	25
图 33：机器人感觉顺序与系统结构 .....	26
图 34：力/力矩传感器基本工作原理 .....	27
图 35：一维、三维、六维力/力矩传感器作用示意图 .....	28
图 36：全球市场力矩传感器销售规模 .....	29
图 37：2017-2027 年中国六维力/力矩传感器市场销量及预测 .....	29
图 38：2017-2027 年中国六维力/力矩传感器市场规模及预测 .....	29
图 39：2015-2025 年全球机器视觉市场规模及预测 .....	31

图 40：2016-2025 年中国机器视觉市场规模及预测 .....	31
图 41：2021 年中国机器视觉市场内外资品牌格局（按规模） .....	31
图 42：2021 年中国机器视觉系统市场整体竞争格局（按规模） .....	31
图 43：2021 年中国机器视觉系统市场国产品牌竞争格局（按规模） .....	31

## 表目录

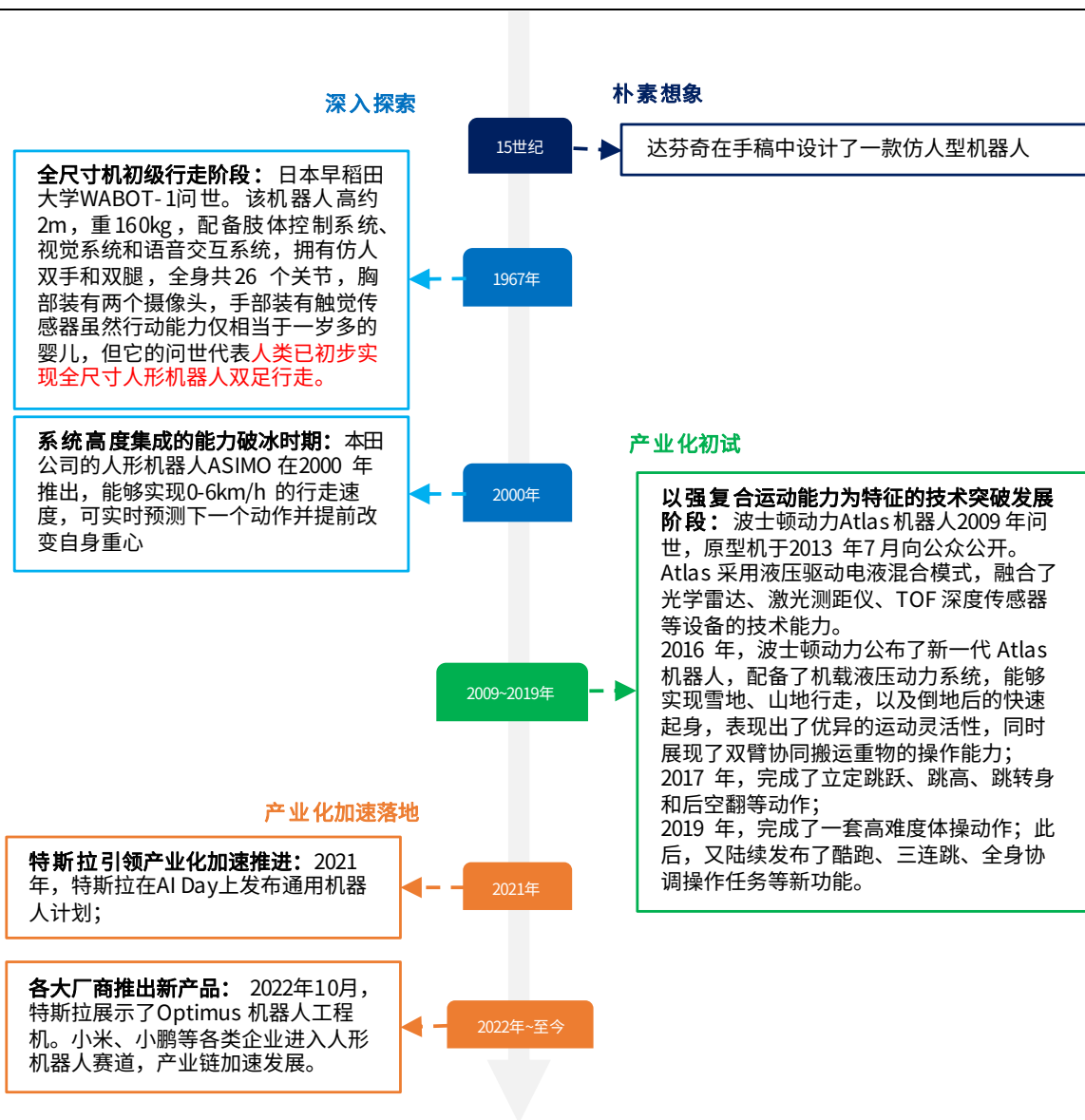
表 1：国内外主要机器人情况 .....	7
表 2：特斯拉 Optimus 价值量拆解 .....	15
表 3：人形机器人各环节市场空间测算 .....	15
表 4：相关标的估值情况 .....	16
表 5：各类驱动方式的比较 .....	17
表 6：空心杯电机行业领先企业 .....	19
表 7：减速器分类 .....	22
表 8：传感器分类（按作用） .....	26
表 9：传感器分类（按检测方法） .....	27
表 10：力/力矩传感器分类（按测量原理） .....	28
表 11：各家厂商情况及性能指标对比 .....	30

# 1、人形机器人：蓬勃发展，空间广阔

## 1.1、发展历程：从朴素想象到产业化加速落地

**人形机器人产业已步入发展快车道。**人形机器人指具有人的形态和功能的机器人，具有拟人的肢体、运动与作业技能，以及感知、学习和认知能力。最早的人形机器人概念来自于15世纪达·芬奇的设想。20世纪后半叶，科学界与产业界开始了对人形机器人正式的深入探索，以WABOT-1的问世为标志，人形机器人进入了**全尺寸初级行走阶段**；此后ASIMO的推出，标志着已经可以制造**系统高度集成的人形机器人**。进入21世纪之后，以波士顿动力为代表的公司持续推出**运动能力更强的机器人版本**，2022年10月，特斯拉展示了Optimus机器人工程机，代表着人形机器人进入**加速产业化阶段**。

图 1：人形机器人发展历程



资料来源：《人形机器人历史沿革与产业链浅析》（顾浩楠）、澎湃新闻，光大证券研究所整理



## 1.2、产品特点：方向一致，各有新意

**各家机构对于人形机器人的研究方式是一致的：致力于对其感知、决策和执行能力的提升。**在 2020 年以前，各家机构在人形机器人上的研究重点主要在“执行能力”和“感知能力”，努力通过硬件设计的创新和优化使得人形机器人具有更强的运动能力，包括感知障碍、灵活行走、搬运重物等能力，这其中的翘楚是波士顿动力推出的 Atlas。近年来，随着人工智能技术的加速发展，人形机器人在“决策能力”上同样取得了快速的进步，人形机器人的智能化发展迅速。

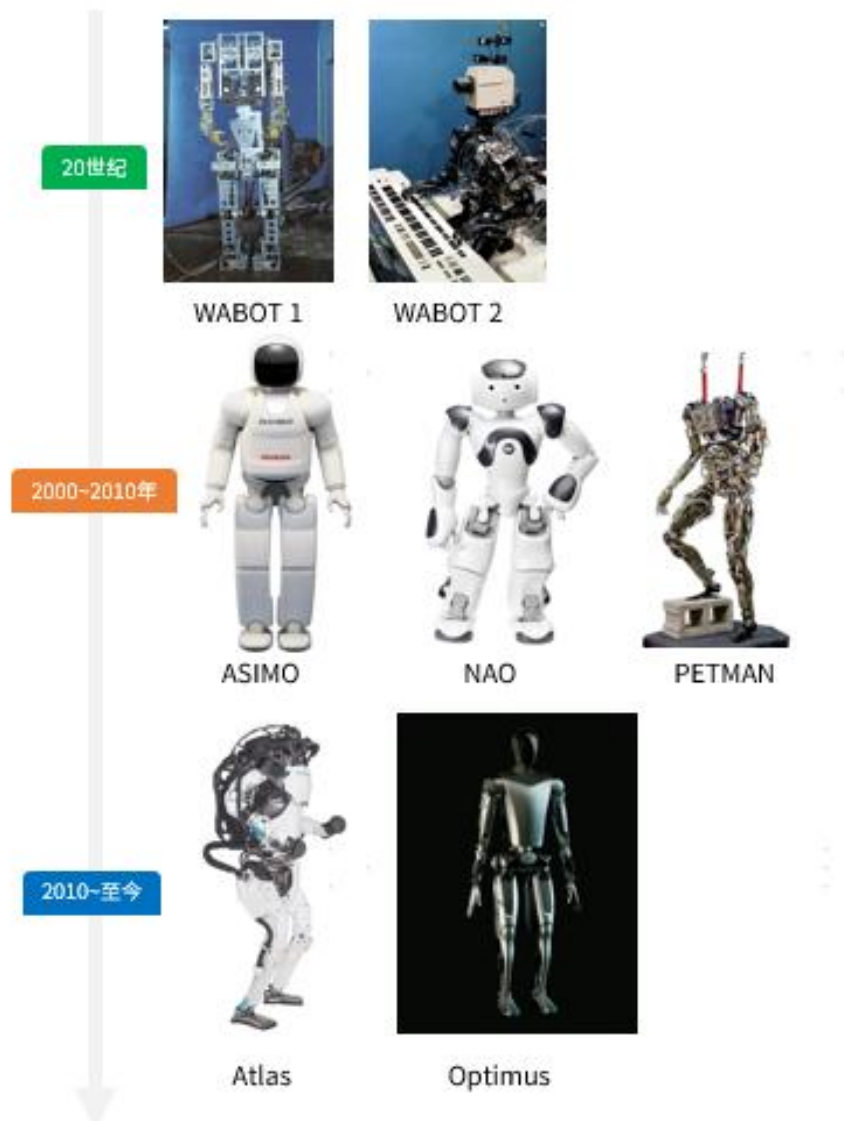
表 1：国内外主要机器人情况

地区	分类	名称	厂商	国家	发布时间	主要参数	产品特点
国际	第一梯队 (在运动能力和智能作业上均具有较强的技术储备和展示能力)	Atlas	波士顿动力	美国	2013 年	高 183cm；全身 28 个液压驱动关节	具有优异的运动灵活性和双臂协同搬运重物的操作能力，是运动性能最强的人形机器人
		Optimus	特斯拉	美国	2022 年	高约 173cm；重约 56kg	运用 DOJO D1 超级计算芯片，共用特斯拉“完全自动驾驶”系统
	第二梯队 (不适用于野外复杂路面，但手眼协调操作性强，具有较强的智能作业和精细作业能力)	Valkyrie	美国国家宇航局	美国	2013 年	高 190cm；重 125kg；全身自由度 44 个	-
		Cassie	Agility	美国	-	-	仿鸵鸟双足机器人
		Digit	Agility	美国	-	-	仿人机器人
		Digit V2	Agility	美国	-	改进了 Digit 前臂，可抱起 18kg 的箱子	改进了感知系统
		WALK-MAN	意大利技术研究院	意大利	2018 年	重 102kg；头部配有相关传感器	仿人消防机器人
		LOLA	德国慕尼黑工业大学	德国	-	高 180cm；重 55kg；全身自由度 25 个；（最快）运动速度 5km/h	可实现避障等功能
		REEM-C	法国 PAL Robotics	法国		高 160cm；重 80kg；全身自由度 44 个；运动速度 2.5km/h	具备操作、导航与人机交互功能
		TALOS	法国 PAL Robotics	法国		高 175cm；重 90kg；运动速度 3km/h	面向工业应用设计，能完成多项任务
		DRC-HUBO	韩国先进技术研究院	韩国		高 170cm；重 80kg；全身自由度 32 个	采用轮腿混合行走机构，能够根据不同环境选择不同的移动方式
	第三梯队 (以室内平整路面为主)	ASIMO (2018 年停止开发)	本田	日本	2000 年	高 130cm；重 48kg (2014 年版本)；最快运动速度 9km/h	具备智能交互和灵活行走等功能，但对未知不平整地面和未知扰动适应性差
		HIT WLR 样机系统	哈尔滨工业大学机器人研究所	中国		重 80kg；高 1.7m；（最快）运动速度超过 15km/h；腿式跳跃过障 0.5m	采用轮腿复合方式，以液压驱动为主，具有轮式快速移动特点，具有自主定位、建模和导航功能
国内							

	HIT Humanoid	哈尔滨工业大学机器人研究所	中国		高 1.6m；重 60kg；全身自由度 21 个	类 Atlas
	汇童 BHR	北京理工大学	中国	2016 年	跑步速度 6km/h；跳高 0.5m；前跳 1m	实现了多模态运动及转换
	“悟空”（四代）	浙江大学	中国		最快运动速度超过 6km/h；跳高 0.5m；可上下 25 度斜坡和 10cm 台阶	可适应室外多种地形；面对未知扰动可快速恢复平衡并稳定行走；实现了机器人的三维环境地图构建和自主动态导航。

资料来源：《人形机器人技术现状及场景应用思考》（朱秋国），光大证券研究所整理

图 2：主要人形机器人图示



资料来源：robotsguide，光大证券研究所整理



### 1.3、 空间展望：场景多样，星辰大海

人形机器人潜在的应用领域多种多样。“类人”意味着其符合人类交互习惯，也能快速适应现存的人类社会基础设施，这也意味着人形机器人可以应用于人类生活的方方面面。在经济发展领域，制造业、建筑业、能源业均有大量的可由人形机器人代为工作的岗位，如装配、安装、焊接、巡检等；在社会民生领域，人形机器人的应用场景同样广阔，在商业社区、医疗健康、养老服务等方面，都有广阔的发挥空间。

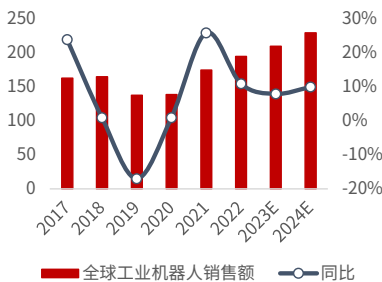
图 3：人形机器人应用领域



资料来源：《闵行智能机器人产业发展白皮书》（甲子光年智库），光大证券研究所整理

**机器人整个大行业的市场规模在持续增长。**根据中国电子学会组织编写的《中国机器人产业发展报告（2022 年）》：预计到 2024 年全球机器人市场规模有望突破 650 亿美元，同比增长 12%；其中 2024 年工业机器人市场达 230 亿美元，同比增长 10%；服务机器人市场达 290 亿美元，同比增长 16%；特种机器人市场达 140 亿美元，同比增长 16.7%。

图 4：2017-2024 年全球工业机器人销售额及增长率



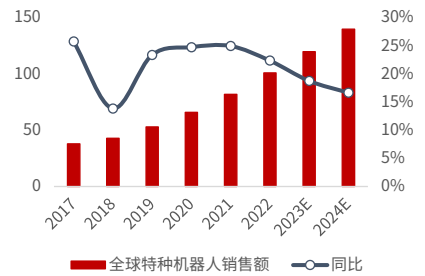
资料来源：IFR，中国电子学会；单位：亿美元

图 5：2017-2024 年全球服务机器人销售额及增长率



资料来源：IFR，中国电子学会；单位：亿美元

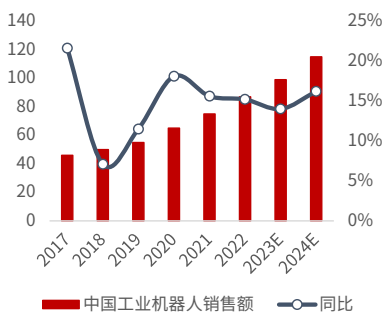
图 6：2017-2024 年全球特种机器人销售额及增长率



资料来源：IFR，中国电子学会；单位：亿美元

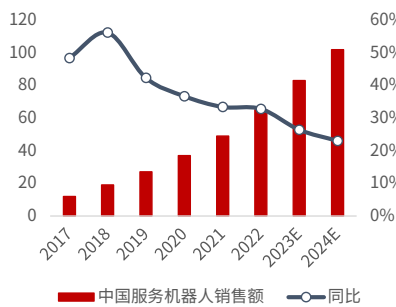
**国内机器人行业的市场规模增速快于全球。**预计到 2024 年中国机器人市场规模有望突破 251 亿美元，同比增长 19.5%；其中 2024 年工业机器人市场达 115 亿美元，同比增长 16.2%；服务机器人市场达 102 亿美元，同比增长 23%；特种机器人市场达 34 亿美元，同比增长 21.7%。

图 7：2017-2024 年中国工业机器人销售额及增长率



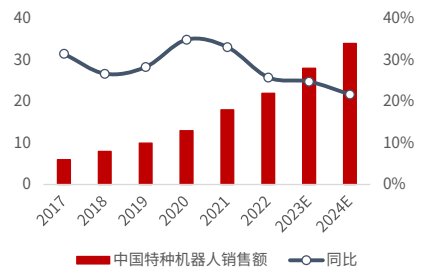
资料来源：IFR，中国电子学会；单位：亿美元

图 8：2017-2024 年中国服务机器人销售额及增长率



资料来源：IFR，中国电子学会；单位：亿美元

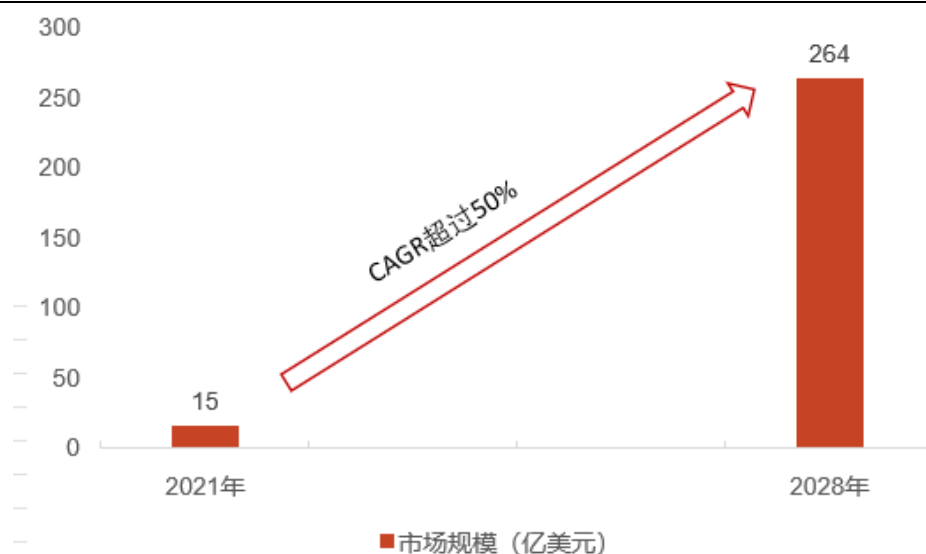
图 9：2017-2024 年中国特种机器人销售额及增长率



资料来源：IFR，中国电子学会；单位：亿美元

**预计人形机器人的增速将大幅快于机器人行业的整体增速。**根据 Statistics MRC 的数据，2021 年全球人形机器人的市场规模为 15 亿美元，预计到 2028 年将达到 264 亿美元，2021-2028 年的 CAGR 达 50.5%；其中，分领域来看，Statistics MRC 预计教育和娱乐领域的人形机器人复合增速最快，医疗保健领域占据最大的市场份额；分地区来看，Statistics MRC 预计亚太地区的复合增速最快，北美地区的份额最高。

图 10：人形机器人行业全球市场规模预测

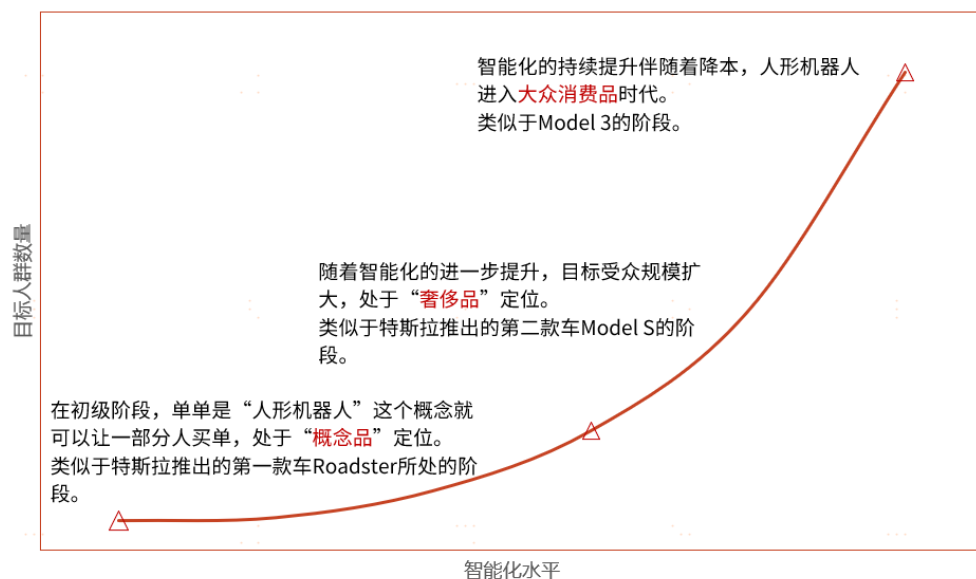


资料来源：Statistics MRC，光大证券研究所整理

就下游应用场景来看，人形机器人兼具工业品和消费品的属性，放量的核心在于价格和性能。

如果把人形机器人看做消费品，前期影响其销售的核心因素是性能，性能当中最核心的为“智能化”水平。也就是说，随着人形机器人智能化水平的持续提升，会有不断的增量消费者选择体验，此时发展路径类似于特斯拉汽车从 Roadster 到 Model S 的阶段；中后期影响其销售的核心因素是成本，此时逐渐变为大众消费品，类似于特斯拉 Model 3 的阶段。

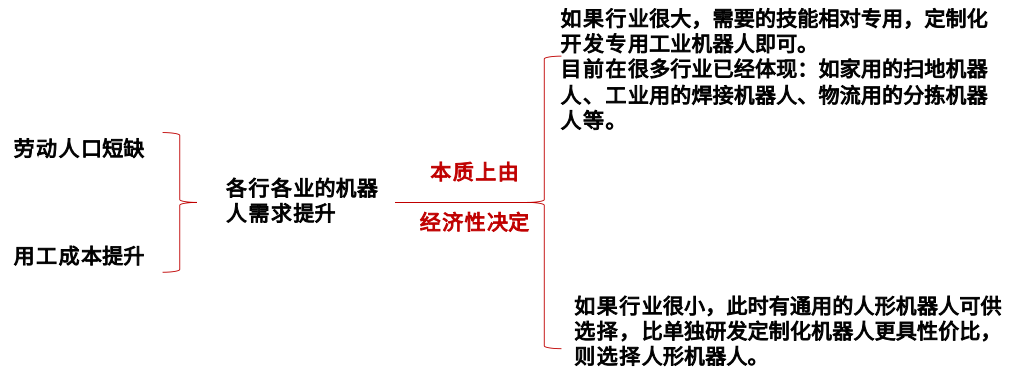
图 11：人形机器人发展阶段推演



资料来源：光大证券研究所绘制

如果把人形机器人看做工业品，其通用化的属性，与专用化降本的趋势是有所冲突的。所以只有在某些特定领域上，人形机器人的性价比高于人工且高于工业机器人的时候，其才会有比较好的放量。但是从产业链上来看，人形机器人和工业机器人在很多零部件上是相通的，人形机器人的发展和工业机器人的发展是互相带动、互相促进的。由人力资源短缺、人口老龄化等带来的工业专用机器人的需求，同样会促进整个机器人产业链的技术进步和降本，进而利好人形机器人的发展。

图 12：人形机器人与专用机器人的选择



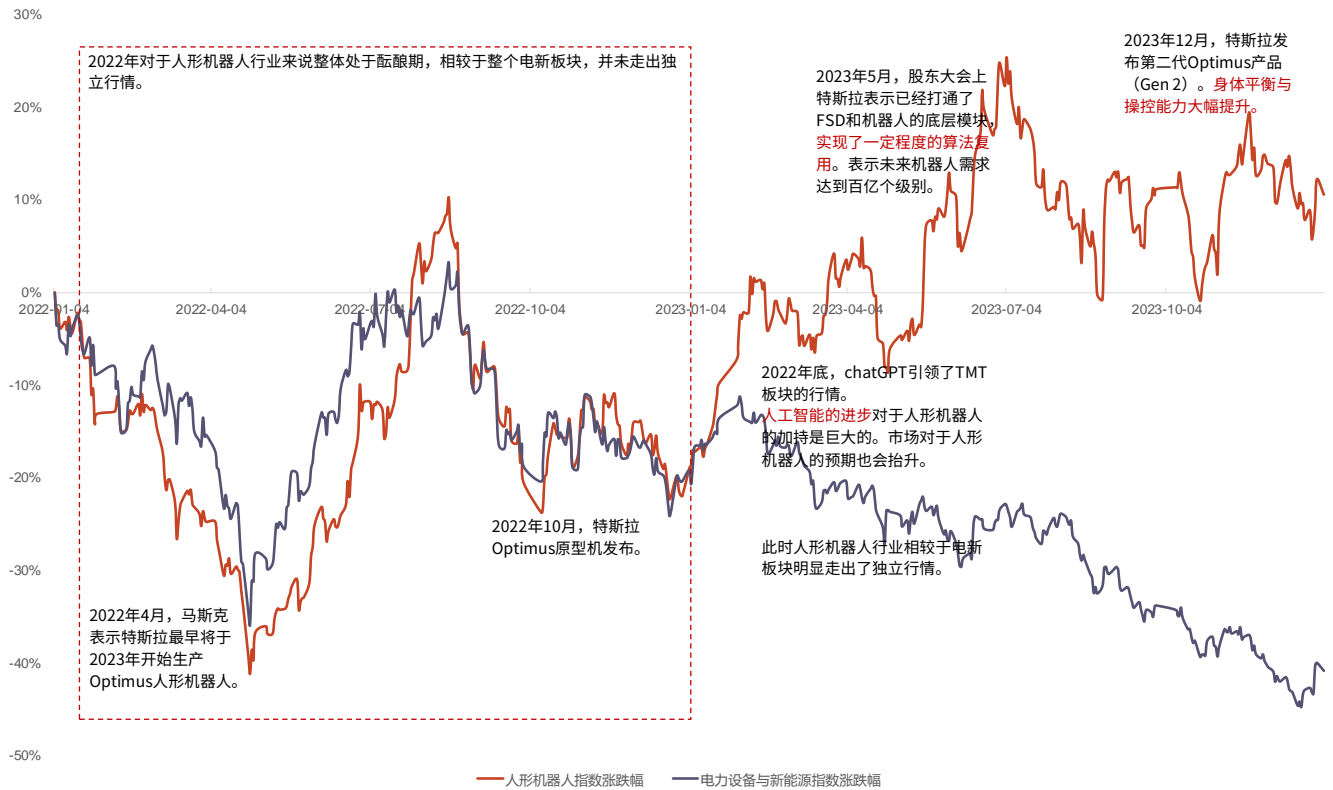
资料来源：光大证券研究所绘制

## 1.4、 行业复盘：特斯拉引领，下一步关注量产节奏

**复盘人形机器人板块的走势，明显可以看出催化的核心主线是技术进步：**2022 年底人工智能技术大幅进步，使得市场意识到“智能化”的人形机器人或许很快可以真正落地，人形机器人行业迎来一波大的行情。2023 年 5 月，特斯拉宣布打通了 FSD 和人形机器人的底层模块；2023 年 12 月，特斯拉发布了第二代 Optimus 产品，身体平衡与操控能力大幅提升：算法层面、硬件层面的大进步，也都带动了人形机器人板块的上涨。

**下一阶段将步入双主线阶段：技术进步和量产节奏。**一方面，技术进步仍然会持续地给人形机器人带来催化。另一方面，2023 年，各家企业陆陆续续地发布原型机，特斯拉的第二代 Optimus 产品表现出来的性能已经非常吸引目标人群。下一步市场关注的重点就是从原型机到量产的节奏。

图 13：人形机器人行情复盘



资料来源：wind，光大证券研究所整理；截至 2024/1/2

## 2、产业链总览：横跨软硬件，包罗机械电气

人形机器人是硬件和软件的高度结合体，是机械、电气、人工智能等多领域交叉打造的明珠。人形机器人包括感知、决策、执行三大系统，由视觉传感器、触觉传感器，芯片、算法，动力单元、旋转关节、线性关节、手部关节等共同组成。

图 14：人形机器人产业链一览



资料来源：特斯拉官网，光大证券研究所整理



**当人形机器人销量达到百万台级别时，机器人总成市场空间将超过千亿元。**

（注：全文中如无特殊注明，货币单位均为人民币）。我们以特斯拉 Optimus 的零部件构成进行测算，当人形机器人销量达到百万台级别时，机器人总成的市场空间将超过千亿元。线性关节总成、旋转关节总成的市场空间会超过 500 亿元。无框力矩电机、力矩传感器、行星滚柱丝杠、谐波减速器等的市场空间将超过百亿。整个机器人产业链都将迎来巨大的发展空间。

表 2：特斯拉 Optimus 价值量拆解

分类		单价（元）	数量（个）	总价（元）	占比
旋转关节	无框力矩电机	1300	14	18200	12%
	力矩传感器	800	14	11200	7%
	行星滚柱丝杠	2000	14	28000	18%
	单列向心球轴承	300	28	8400	5%
	合计			65800	42%
线性关节	无框力矩电机	1300	14	18200	12%
	力矩传感器	800	14	11200	7%
	谐波减速器	1400	14	19600	12%
	交叉滚子轴承	300	28	8400	5%
	合计			57400	37%
手部关节	空心杯电机	700	12	8400	5%
	行星减速器	600	12	7200	5%
	力矩传感器	500	12	6000	4%
	合计			21600	14%
控制系统	FSD 芯片	8000	1	8000	5%
视觉系统	摄像头	300	3	900	1%
动力系统	电池	1500	1	1500	1%
其他结构件				2000	1%
合计				157200	100%

资料来源：特斯拉官网，光大证券研究所根据步科股份、绿的谐波、鸣志电器等公司公告及官网数据整理、测算；引自《聚焦消纳与新技术，静待新能源再成长——电新公用环保 2024 年投资策略报告》（2023 年 10 月发布）

表 3：人形机器人各环节市场空间测算

	单机价值量（万元）	10 万台（亿元）	100 万台（亿元）	1000 万台（亿元）
机器人总成	15.72	157.2	1572	15720
线性关节总成	6.58	65.8	658	6580
旋转关节总成	5.74	57.4	574	5740
无框力矩电机	3.64	36.4	364	3640
力矩传感器	2.84	28.4	284	2840
行星滚柱丝杠	2.8	28	280	2800
单列向心球轴承	0.84	8.4	84	840
谐波减速器	1.96	19.6	196	1960
交叉滚子轴承	0.84	8.4	84	840
空心杯电机	0.84	8.4	84	840
行星减速器	0.72	7.2	72	720
FSD 芯片	0.8	8	80	800
摄像头	0.09	0.9	9	90
电池	0.15	1.5	15	150

资料来源：特斯拉官网，光大证券研究所根据步科股份、绿的谐波、鸣志电器等公司公告及官网数据整理、测算

表 4：相关标的估值情况

领域	代码	公司简称	收盘价（元）	市值 （亿元）	净利润（亿元）				PE(X)			
					2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E
执行器 总成	601689.SH	拓普集团	64.03	706	17.0	22.9	31.5	42.2	42	31	22	17
	002050.SZ	三花智控	26.07	973	25.7	31.5	39.1	48.0	38	31	25	20
	002933.SZ	新兴装备	35.14	41	(0.6)	-	-	-	-	-	-	-
空心杯 电机	603728.SH	鸣志电器	54.65	230	2.5	2.4	3.8	5.5	93	95	61	42
	688698.SH	伟创电气	33.33	70	1.4	2.1	2.9	3.8	50	33	24	18
	002139.SZ	拓邦股份	8.96	114	5.8	6.2	8.2	10.5	19	18	14	11
减速器	688017.SH	绿的谐波	131.96	223	1.6	1.6	2.2	2.6	143	143	99	87
	002472.SZ	双环传动	23.88	204	5.8	8.2	10.6	13.5	35	25	19	15
	603915.SH	国茂股份	14.76	98	4.1	4.4	5.6	6.7	24	22	17	15
	301368.SZ	丰立智能	40.36	48	0.4	0.7	1.0	1.2	108	70	51	39
	002896.SZ	中大力德	33.36	50	0.7	0.9	1.1	1.4	76	58	47	35
	300258.SZ	精锻科技	11.80	57	2.5	2.8	3.4	4.3	23	21	17	13
电机	688160.SH	步科股份	51.47	43	0.9	0.9	1.2	1.5	47	47	37	30
	300124.SZ	汇川技术	58.80	1574	43.2	50.1	63.9	80.5	36	31	25	20
	002979.SZ	雷赛智能	18.86	58	2.2	1.7	2.4	3.0	26	35	25	19
	688320.SH	禾川科技	35.64	54	0.9	1.0	1.3	1.9	60	55	40	28
丝杠	873593.BJ	鼎智科技	35.96	35	1.0	1.2	1.5	1.9	34	29	23	19
	601100.SH	恒立液压	53.07	712	23.4	25.6	30.5	37.2	30	28	23	19
	300580.SZ	贝斯特	27.28	93	2.3	2.8	3.6	4.6	40	33	26	20
轴承	603667.SH	五洲新春	18.80	69	1.5	1.8	2.6	3.5	47	39	27	20
	300718.SZ	长盛轴承	17.81	53	1.0	2.5	3.1	3.9	52	22	17	14
	603662.SH	柯力传感	31.66	89	2.6	3.1	3.9	4.8	34	28	23	19
传感器	300445.SZ	康斯特	17.80	38	0.8	1.0	1.4	1.8	50	37	27	21
	688322.SH	奥比中光-UW	31.22	125	(2.9)	(2.2)	(0.8)	0.5	-	-	-	251
	688320.SH	禾川科技	35.64	54	0.9	1.0	1.3	1.9	60	55	40	28

资料来源：iFinD 一致预期，股价时间为 2024-1-8

### 3、核心零部件充分受益，国产替代波澜壮阔

#### 3.1、电机：核心的驱动机构

电机是人形机器人中动力的产生机构，可以类比做人的肌肉。机器人的驱动方式可以分为电动驱动、液压驱动、气动驱动，其中，电动驱动由于效率高、精确度高、成本低等优势，得以广泛应用。

表 5：各类驱动方式的比较

	原理	优点	缺点
电动驱动	用电动机把电能转换成机械能输出	1、效率高：伺服电机作为动力源，可以组成简单高效的传动机构。 2、精密控制：在高精度传感器、计量装置、计算机技术支持下，能够大大超过其他控制方式能达到的控制精度。 3、成本低、能耗低。	往往需要配合减速器使用。
液压驱动	应用液体作为工作介质来传递能量	1、单位重量和单位尺寸输出功率高，在传递相同功率的情况下，液压传动装置的体积小、重量轻、惯性小、结构紧凑、布局灵活。 2、速度、扭矩、功率均可无级调节，动作响应性快，能迅速换向和变速，调速范围宽。	因有相对运动表面不可避免地存在泄漏。 液压元件制造精度要求高，给使用与维修带来一定困难。
气压驱动	以压缩气体为工作介质，靠气体的压力传递动力	1、维护简单。 2、工作环境适应性好。	工作速度、稳定性稍差。

资料来源：机械知网，光大证券研究所整理

人形机器人中使用最多的为空心杯电机和力矩电机。电机按照控制方式分类，可以分为伺服电机、步进电机。电机按照驱动方式分类，可以分为直流电机和交流电机。直流电机中，按照线圈类型分类，可以分为有铁芯的电机和空心杯电机；按照换向方式分类，可以分为有刷电机和无刷电机。**特斯拉 Optimus 机器人中，包含了 28 个无框力矩电机和 12 个空心杯电机，电机占整体价值量的比例高达 28%。**

图 15：电机的分类

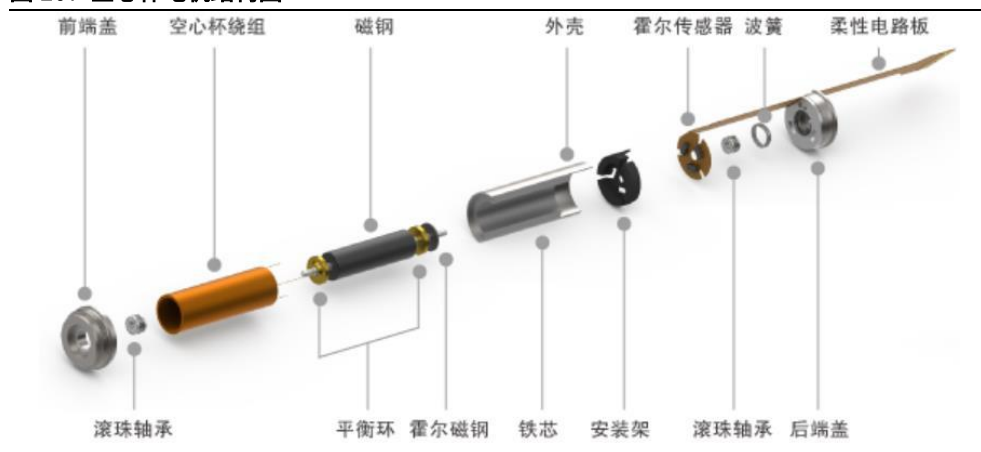


资料来源：光大证券研究所整理

### 3.1.1、空心杯电机：高度适配灵巧手

空心杯电机是一种微型伺服电动机，与灵巧手关节高度适配。它可以利用永磁铁产生磁场，从而实现直流供电。与传统电机的不同之处在于，空心杯电机采用的是无铁芯转子。无铁芯转子的结构使得空心杯电机具有以下优点：（1）重量大幅降低，从而降低了电机的转动惯量；（2）消除了由于铁芯形成涡流造成的电能损耗；（3）降低了转子自身的机械能损耗。

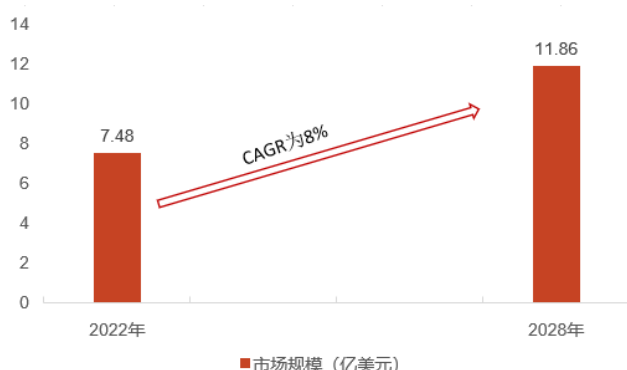
图 16：空心杯电机结构图



资料来源：鸣志电器官网

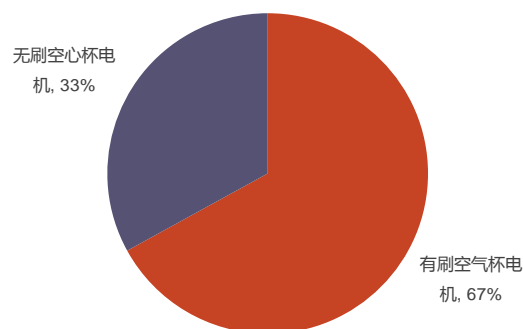
空心杯电机当前全球市场规模在 50 亿元人民币左右。根据 GII 数据，2022 年全球空心杯电机市场规模为 7.48 亿美元，预计 2028 年达 11.86 亿美元，2022-2028 年的 CAGR 为 7.98%。其中，根据 GII 数据，2021 年有刷空心杯电机占比为 67%，无刷空心杯电机占比为 33%。

图 17：全球空心杯电机市场规模



资料来源：GII

图 18：2021 年全球市场各类空心杯电机占比（按市场规模计）



资料来源：GII

外国企业占据大部分份额，国产替代空间广阔。根据 QY Research 数据，按照市场规模计，2022 年全球空心杯电机 CR5 为 67%，前五名企业包括 Faulhaber、Portescap、Allied Motion Technologies、Maxon Motor 及 Nidec Copal Corporation。

**空心杯电机的壁垒主要体现在专利、绕线机、以及正向设计能力上。**空心杯生产上的难点在于线圈没有铁芯支撑，绕线工艺比较复杂：（1）Maxon Motor、FAULHABER Group 等龙头企业由于先发优势，申请了一系列的专利，构筑了一定的专利壁垒；（2）空心杯电机对绕线机的性能、效率要求很高。此外，头部企业拥有很强的正向设计能力，可以根据客户的需求，设计出性能满足客户要求的、可靠稳定的产品。

表 6：空心杯电机行业领先企业

企业	国家	介绍
Maxon Motor	瑞士	成立于 1961 年，是精密驱动系统的领先制造商，包括空心杯直流电机。公司以其用于医疗设备、航空航天和机器人等关键应用的高质量和高性能电机而闻名。
FAULHABER Group	德国	成立于 1947 年，其主要业务是精密微型和微型驱动系统的设计、开发和制造。主要客户包括医疗设备制造商、机器人公司和自动化系统集成商。
Nidec Corporation	日本	成立于 1908 年，生产包括空心杯电机在内的各种电机。客户主要在汽车、工业和消费电子行业。
Portescap	美国	成立于 1931 年，是一家微型电机产品和精密运动控制系统的制造商，在各个行业都有应用。
Precision Microdrives	英国	成立于 2004 年，服务于医疗保健、汽车和工业自动化等行业。
Allied Motion	美国	成立于 1962 年，是一家全球精密操作和控制巨头。重点关注车辆、医疗、航空航天和国防、电子和工业市场。

资料来源：greensky-power，光大证券研究所整理

### 3.1.2、无框力矩电机：高度适配机器人关节

**无框力矩电机，是一种以输出扭矩为衡量指标的无框架式永磁电机。**无框力矩电机的原理与传统的永磁电机相同，不同点主要在于结构上：无框力矩电机没有机壳，只有转子和定子 2 个部件。

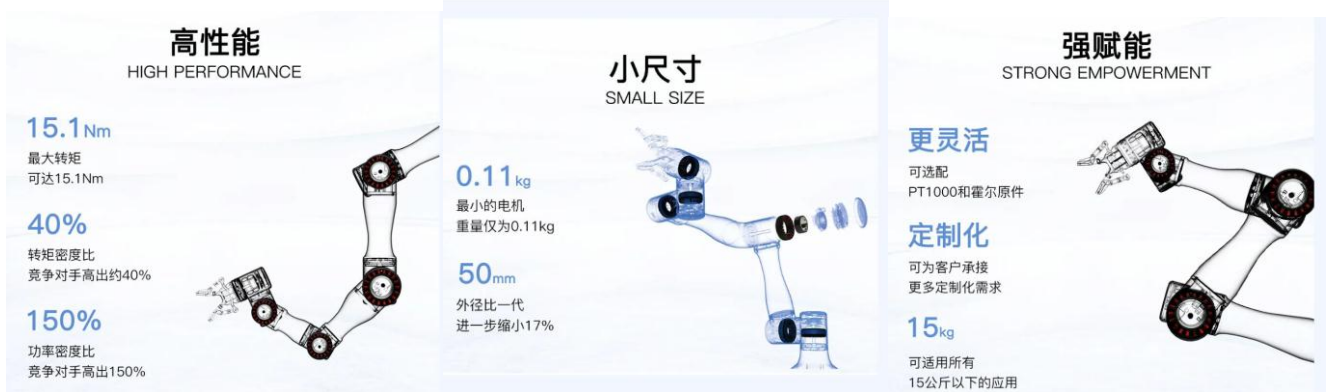
图 19：无框力矩电机的构造



资料来源：科尔摩根官网

**无框力矩电机非常适配于机器人关节。**无框力矩电机的结构设计摆脱了传统的机壳约束，利用机器的自身轴承支撑转子，将电机无缝内置于机器设计中。无框力矩电机体积小、扭矩高、稳定性高的特点与机器人关节的要求非常适配。

图 20：无框力矩电机的特点

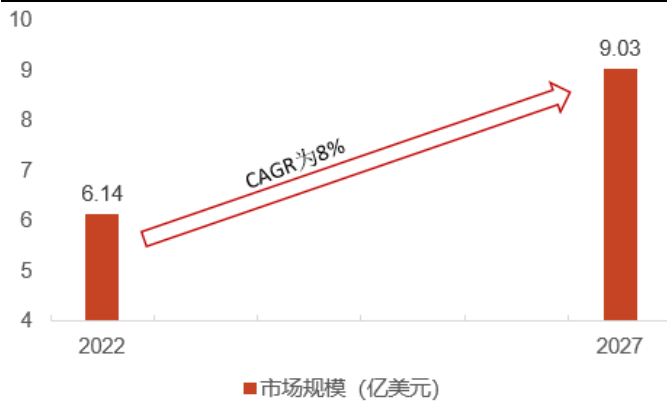


资料来源：科尔摩根官网

**力矩电机、无框电机当前的全球市场规模均在 50 亿元人民币左右。**根据 technavio 的数据，2022 年，全球力矩电机销售规模为 6.1 亿美元，预计 2027 年全球力矩电机销售规模达 9 亿美元，2022-2027 年 CAGR 为 8%。根据 QY Research 的数据，2022 年，全球无框电机销售规模为 6.7 亿美元，预计 2029 年全球无框电机销售规模达 11.7 亿美元，2022-2029 年 CAGR 为 9%。

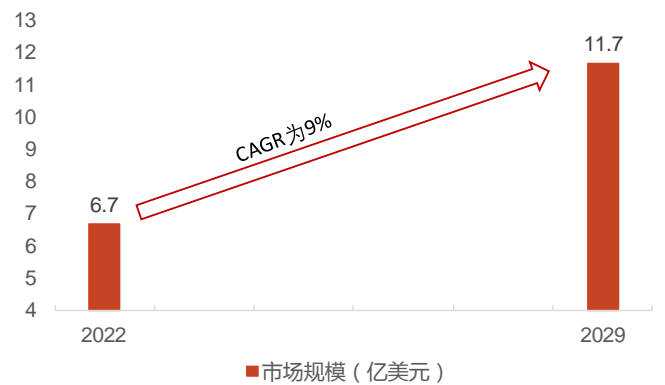
**从竞争格局来看，海外企业仍处于领先地位。**从事无框力矩电机行业的主要制造商包括威腾斯坦（德国）、科尔摩根（美国）、尼得科（日本）、派克汉尼汾（美国）等企业。国内企业中，步科股份、昊志机电等也推出了相关产品。

图 21：全球力矩电机销售规模



资料来源：technavio

图 22：全球无框电机销售规模



资料来源：QY Research

### 3.1.3、相关标的

**鸣志电器，空心杯电机国内领先企业。**公司专注于运动控制领域核心技术及系统级解决方案的研发和经营，通过合资设立安浦鸣志自动化，收购美国 AMP 及瑞士 T Motion 两家国际知名的、专业的电机驱动控制产品及运动控制核心技术开发的企业，整合并形成了全球领先的电机驱动控制产品研发、制造平台，公司的步进电机、直流无刷电机、空心杯电机、电机+丝杠模组、电机+减速机模组等产品被国内外客户广泛使用。



伟创电气，积极拓展机器人电机业务。公司于 2022 年成立机器人行业部，切入机器人产业链，目前主要是以机器人配套为主，主要面向移动类、协作类、服务类的机器人领域，提供低压伺服、空心杯电机、特种无框力矩电机等核心部件。2023 年，公司发布空心杯电机产品 ECH13 系列、无框电机 FO1 系列。

### 3.2、 减速器：核心的动力传达机构

**减速器是人形机器人中核心的动力传达机构，可以类比做人的关节。**减速器在原动机和执行机构之间起到匹配转速和传递转矩的作用，主要有精密行星减速器、谐波减速器、RV 减速器等类别。**特斯拉 Optimus 机器人中，包含了 14 个谐波减速器和 12 个行星减速器，电机占整体价值量的比例高达 17%。**

表 7：减速器分类

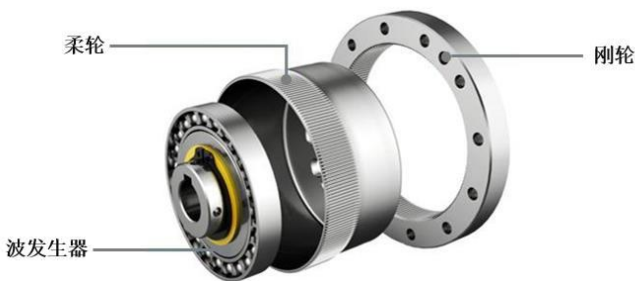
减速器类别	结构特点	优点	缺点	应用领域
精密行星减速器	体积比较小，主要包括行星轮、太阳轮和内齿圈。精密行星减速器单级传动比都在 10 以内，且减速级数一般不会超过 3 级。	扭矩大、精度高、单级传动效率高达 97%、质量轻、寿命可长达 2 万小时、免保养	单级传动比范围小	移动机器人、新能源设备、高端机床、智能交通等行业的精密传动装置
谐波减速器	主要包括波发生器、柔轮与刚轮。减速器工作时，波发生器会发生可控变形，同时依靠柔轮、刚轮的啮合传递动力。	传动精度高，重量和体积小，运转平稳、传动比大	传递扭矩相对较小，传动效率低、使用寿命有限	机器人中负载较小的小臂、腕部和手部等关节、航空航天、精密加工设备和医疗设备领域
RV 减速器	主要包括两级传动装置，分别为渐开线行星齿轮传动和摆线针轮行星传动。	传动比范围广，传动效率高达 85%-92%，传动平稳性高，承载能力强，刚性和耐过载冲击性能好，传动精度高。	结构复杂、制造难度大、成本高	机器人中负载较重的机座、大臂、肩部等大关节

资料来源：科峰智能招股说明书

#### 3.2.1、谐波减速器：体积小、精度高

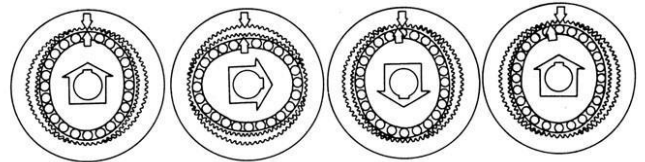
**谐波减速器具有体积小、精度高的优势。**谐波减速器是一种靠波发生器使柔轮产生可控的弹性变形波，通过其与刚轮的相互作用，实现运动和动力传递的传动装置，其构造主要由带有内齿圈的刚性齿轮（刚轮）、带有外齿圈的柔性齿轮（柔轮）、波发生器三个基本构件组成。谐波传动技术突破了机械传动采用刚性构件的模式，使用了一个柔性构件来实现机械传动，具有传动精度高、体积小的优点，非常适合应用于人形机器人的线性关节等部位。

图 23：谐波减速器结构示意图



资料来源：绿的谐波招股说明书

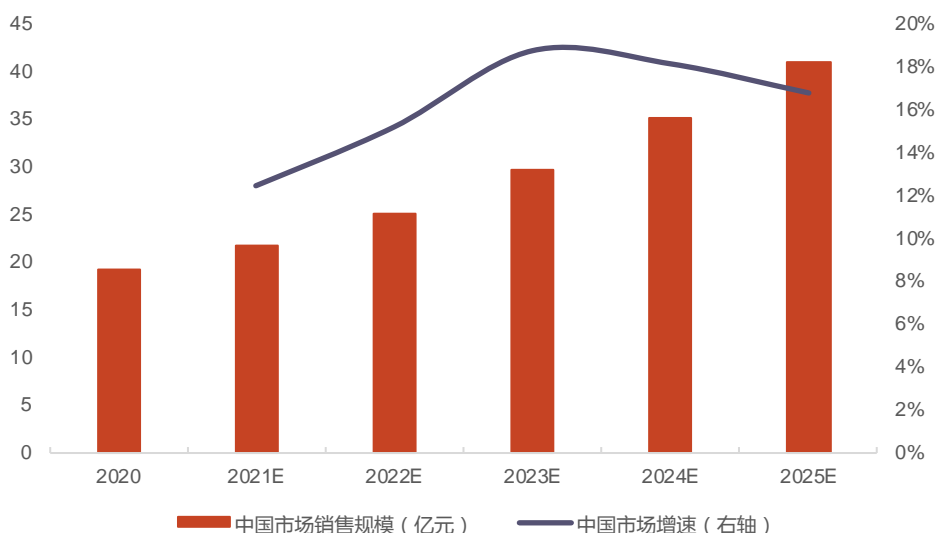
图 24：谐波减速器运行示意图



资料来源：绿的谐波招股说明书

**谐波减速器当前的中国市场规模在 25 亿元。**根据头豹研究院预测，2022 年，中国市场谐波减速器销售规模为 25 亿元，受益于机器人、精密加工设备、航天航空、雷达设备、医疗设备等领域的快速发展，预计 2025 年市场空间将达到 41 亿元。

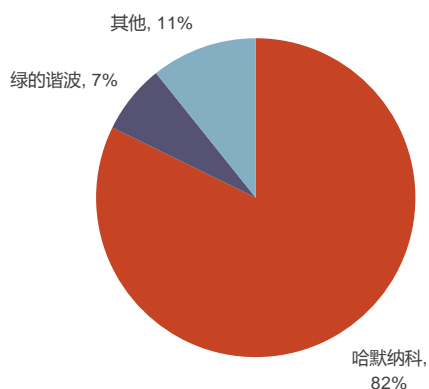
图 25：中国市场谐波减速器销售规模



资料来源：头豹研究院，科峰智能招股说明书

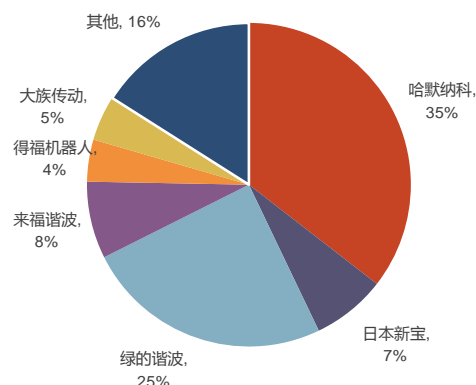
**哈默纳科一家独大，国内企业奋力追赶。**根据华经产业研究院数据，2021 年，哈默纳科占据了全球谐波减速器 82% 的市场。但是在中国市场，哈默纳科的市占率仅为 35%，大幅低于其全球市占率，绿的谐波市占率为 25%，来福谐波市占率为 8%。国内企业的产品在性能、寿命等指标上已经基本达到与哈默纳科相同的水平，但是哈默纳科在谐波减速器行业中深耕多年，与头部机器人企业建立了良好稳固的合作关系，所以当前的国内企业更多的在国内市场上开启对哈默纳科的替代。

图 26：2021 年全球谐波减速器市场格局



资料来源：华经产业研究院

图 27：2021 年中国谐波减速器市场格局

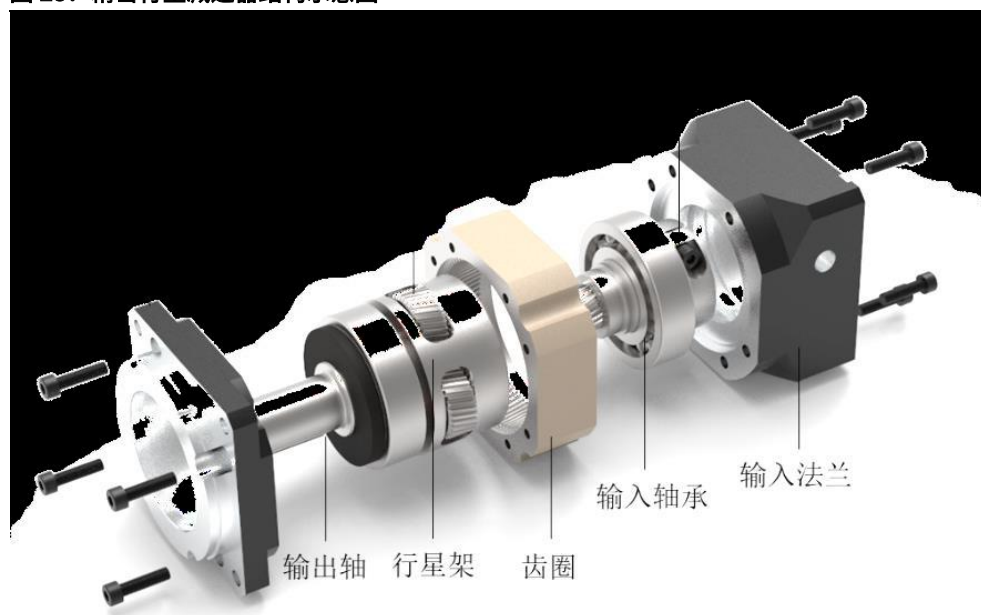


资料来源：华经产业研究院

### 3.2.2、行星减速器：效率高、成本低

**行星减速器是传动效率最高的齿轮传动结构。**行星齿轮传动机构主要由行星齿轮、行星架和太阳轮构成的行星齿轮传动机构。精密行星减速器工作时，通常是伺服电机等原动机驱动太阳轮旋转，太阳轮与行星轮的啮合驱动行星轮产生自转；同时，由于行星轮另外一侧与减速器壳体内壁上的环形内齿圈啮合，最终行星轮在自转驱动下将沿着与太阳轮旋转相同方向在环形内齿圈上滚动，形成围绕太阳轮旋转的“公转”运动。太阳轮和齿圈存在齿数差，从而达到减速目的。

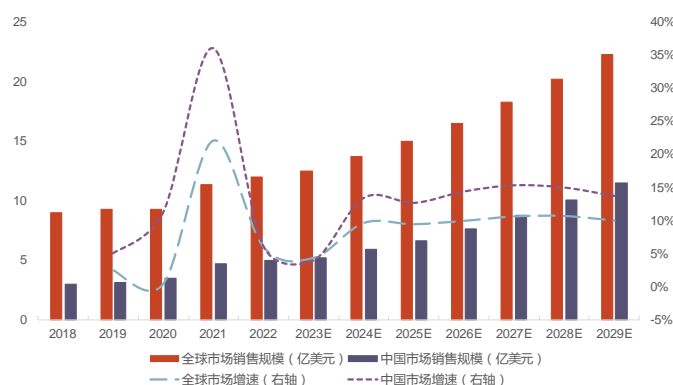
图 28：精密行星减速器结构示意图



资料来源：科峰智能招股说明书

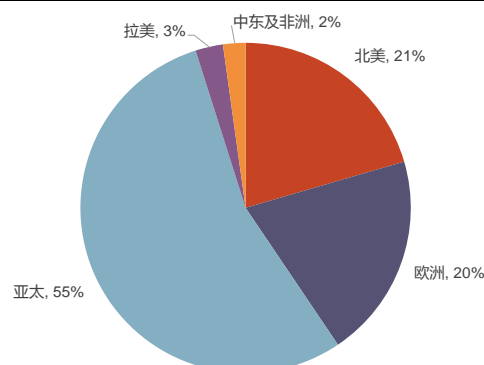
**行星减速器当前的全球市场规模在 90 亿元人民币左右。**根据 QY Research 的数据，2022 年，全球市场行星减速器销售规模为 12 亿美元，中国市场行星减速器销售规模为 5 亿美元，预计 2029 年全球行星减速器销售规模达 22.31 亿美元，2022-2029 年 CAGR 为 9%；中国市场规模达 11.49 亿美元，2022-2029 年 CAGR 为 13%。

图 29：全球及中国市场行星减速器销售规模



资料来源：QY Research，科峰智能招股说明书

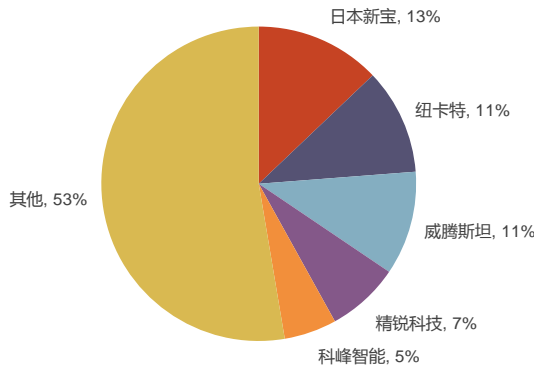
图 30：2022 年全球行星减速器市场区域分布（按市场规模计）



资料来源：QY Research，科峰智能招股说明书

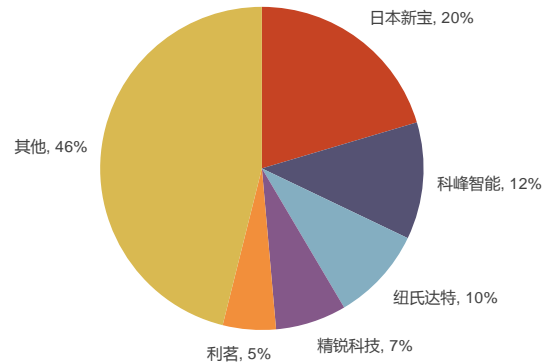
**竞争格局相对分散，海外企业占据领先地位。**在全球范围内，德国、日本等国家的精密行星减速器产品在材料、设计水平、质量控制、精度、可靠性和使用寿命等方面处于行业领先地位。国产品牌阵营以科峰智能、纽氏达特、中大力德为主要代表，国外精密行星减速器主要厂家为日本新宝、纽卡特、威腾斯坦等。根据 QY Research 统计的销售金额数据，2022 年全球 CR5 为 47%，日本新宝、纽卡特、威腾斯坦占据前三位。

图 31：2022 年全球精密行星减速器市场格局（按销售金额计）



资料来源：QY Research，科峰智能招股说明书

图 32：2022 年中国精密行星减速器市场格局（按销售金额计）



资料来源：QY Research，科峰智能招股说明书

### 3.2.3、相关标的

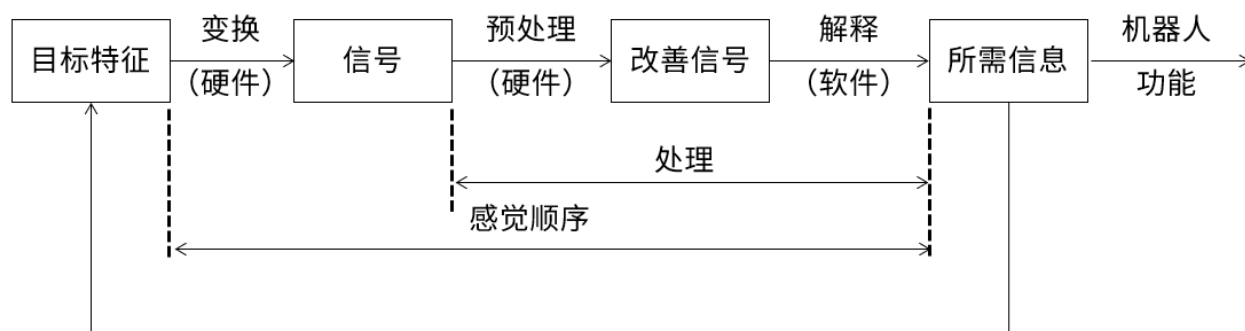
**绿的谐波：国内谐波减速器龙头。**公司是国内少数可以自主研发并实现规模化生产的谐波减速器的厂商，产品广泛应用于工业机器人、服务机器人、数控机床、医疗器械、半导体生产设备、新能源装备等高端制造领域。公司通过自主创新、自主研发，发展完善了新一代谐波啮合“P 齿形”设计理论体系、新一代三次谐波技术；公司已通过 ISO9001 及 ISO14001 国际质量体系认证，并且为我国多项精密减速器领域国家标准主要起草单位。

**科峰智能（未上市）：国内精密行星减速器龙头。**公司依托于高精密齿轮加工模块化产品设计与制造、热处理等领域的技术积累，形成了精密行星减速器、工程机械用行星减速器、谐波减速器、精密零部件及其他的四大系列化产品。根据 QY Research 数据，以销售金额口径计，公司 2022 年在中国精密行星减速器市场中市占率为 12%，仅次于日本新宝。

### 3.3、 传感器：核心的感知部件

**传感器是人形机器人中核心的感知部件，可以类比做人的感觉器官。**传感器是能够感应各种非电量（如物理量、化学量、生物量），且按照一定的规律转换成便于传输和处理的另一种物理量（一般为电量）的测量装置或器件。传感器通常由敏感元件和转换元件组成，其中敏感元件是指传感器中直接感应被测量的部分，转换元件是指传感器能将敏感元件的输出转换为适于传输和处理的电信号部分。

图 33：机器人感觉顺序与系统结构



资料来源：《现代机械设计手册》（秦大同、谢里阳主编）

**人形机器人中应用最多的为力矩传感器。**根据传感器的作用，一般将传感器分为内部传感器和外部传感器。内部传感器（体内传感器）主要测量机器人内部系统状态；外部传感器（检测外部环境传感器）安装在机械手或移动机器人上，主要测量机器人外界周围环境。按照检测方法分类，可以将传感器分为光学、机械、超声波、电阻、半导体、电容、气压等的传感器。**特斯拉 Optimus 机器人中，包含了 40 个力矩传感器和 3 个视觉传感器，传感器占整体价值的比例高达 19%。**

表 8：传感器分类（按作用）

分类	传感器	类型
内部传感器	特定位置、角度传感器	微型开关、光电开关
	任意位置、角度传感器	电位器、旋转变压器、码盘、关节角传感器
	速度、角速度传感器	测速发电机、码盘
	加速度传感器	应变片式，同服式、压电式、电动式
	倾斜角传感器	液体式、垂直振子式
	方位角传感器	陀螺仪、地磁传感器
外部传感器	视觉传感器	测量传感器 识别传感器 接触觉传感器
		光学式(点状、线状、圆形、螺旋形、光束) 光学式、声波式 单点式、分布式
	触觉传感器	压觉传感器 滑觉传感器
		单点式、高密度集成、分布式 点接触式、线接触式、面接触式
	力觉传感器	力/力矩传感器 力和力矩传感器
		组合型 单元型



接近觉传感器

接近觉传感器  
距离传感器

空气式、磁场式、电场式、光学式、声波式  
光学式，声波式

资料来源：《现代机械设计手册》（秦大同、谢里阳主编）

表 9：传感器分类（按检测方法）

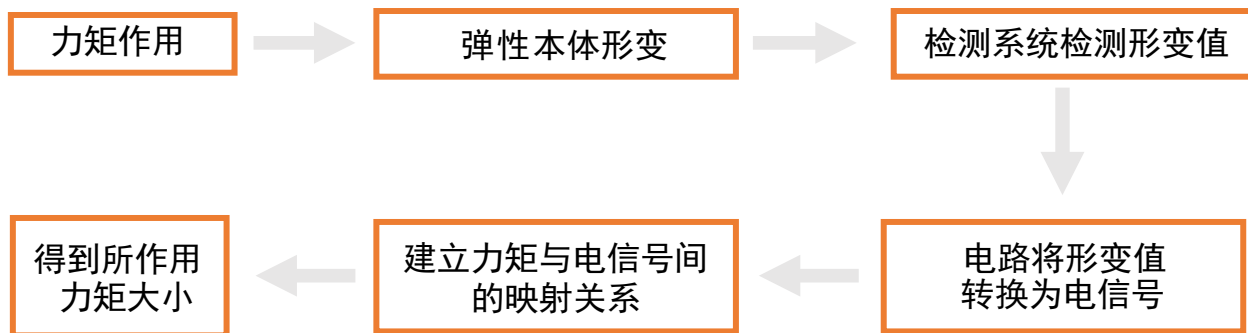
传感器	检测方法
光学传感器	接近觉、分布触觉，视觉，角度觉
机械传感器	触觉
半导体传感器	压觉、分布触觉、力觉
电容传感器	接近觉、分布压觉
气压传感器	接近觉
高分子传感器	触觉、压觉
超声波传感器	接近觉，视觉
电阻传感器	压觉、分布触觉、力觉
生物传感器	触觉、压觉
电化学传感器	触觉、接近觉、角度觉
磁传感器	接近觉
流体传感器	角度觉

资料来源：《现代机械设计手册》（秦大同、谢里阳主编）

### 3.3.1、力/力矩传感器：精细感知的重要依靠

力/力矩传感器是一种能感知力、力矩并转换成可用输出信号的传感器。主要包括本体单元和应变/形变检测系统两部分。力/力矩传感器的核心原理是将力作用下的形变转换成电信号。当有力/力矩作用时，力/力矩施加于传感器本体单元上，并引起本体单元的应变或形变，检测系统可感知本体的应变或形变，通过电路将其转化为相应电压，通过测量电压值来表征力/力矩大小，并转换成可用输出信号，实现力/力矩的测量。

图 34：力/力矩传感器基本工作原理



资料来源：《现代机械设计手册》（秦大同、谢里阳主编）

按照测量原理，力/力矩传感器可以分为光电式、应变式、电容式、压电式等多种类型。这其中，应变式力/力矩传感器是当前技术最为成熟、应用最广泛的传感器类型，具有结构简单、制作容易、价格低廉等优点。

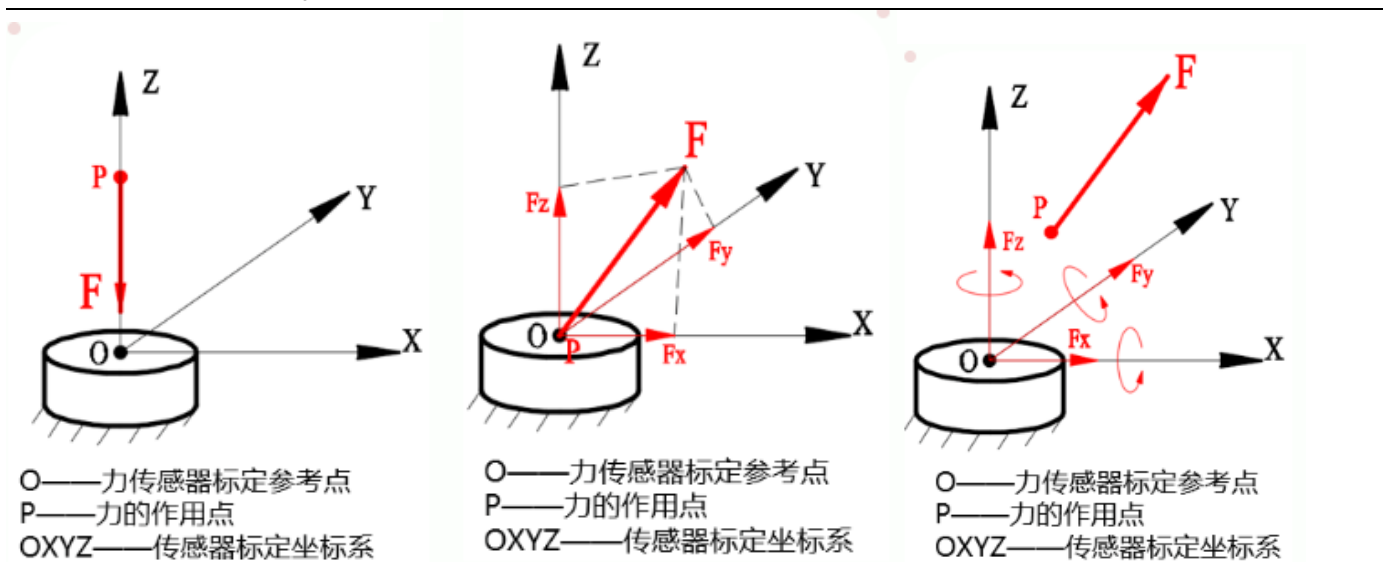
表 10：力/力矩传感器分类（按测量原理）

分类	原理及特点	优点	缺点	代表企业
应变式	通常采用的是硅应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化	结构简单、价格低廉、测量精度较高	应变片容易老化、脱落，传感器易受温度影响及电磁干扰	ATI、宇立仪器、坤维科技、鑫精诚、蓝点触控、海伯森、神源生智能、Sintokogio、Bota Systems AG、SCHUNK、埃力智能、ME-MeBsysteme GmbH 等
电容式	电容是通过极距的变化导致电压变化，压电则是通过形变改变电荷	非接触式测量、鲁棒性好、适用于高温辐射等恶劣环境	线性度及测量精度较低、易受电磁干扰	Robotiq、Robotous、WACOH-TECH、Kistler 等
压电式		测量范围大、刚度 高、无电磁干扰、动态性能良好	测量精度低、静态表现差、结构尺寸大	
光电式	通过光纤、光栅反映形变，再转化成为力	测量精度高、非接触式测量、无电磁干扰	结构尺寸大、价格高、多维实现困难	OnRobot、松果体、华力创等

资料来源：《与人共融机器人的关节力矩测量技术》（刘玉旺等）、高工机器人

**按照测量维度，力/力矩传感器可以分为一至六维力/力矩传感器。**一般传感器能测几个维度，就是几维传感器。一维、三维和六维力/力矩传感器最常见。对于六维力/力矩传感器而言，空间中任意方向的力  $F$ ，其作用点  $P$  不与传感器标定参考点重合且随机变化，这种情况下就需要选用六维力/力矩传感器来完成测量任务，同时测量  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 、 $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$  六个分量。六维力/力矩传感器的内部算法，会解耦各方向力和力矩间的干扰，使力的测量更为精准。这类传感器更适用于参考点的距离较远，且随机变化情景，测量精度要求较高。

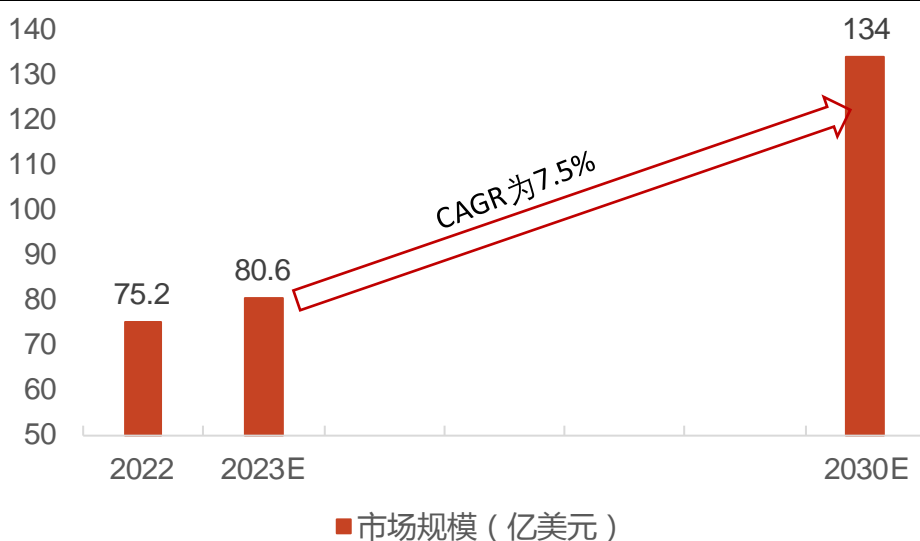
图 35：一维、三维、六维力/力矩传感器作用示意图



资料来源：坤维科技微信公众号

**力矩传感器当前的全球市场规模超过 500 亿元。**根据 Research and Markets 的数据，2022 年，全球市场力矩传感器销售规模为 75 亿美元，预计 2023 年全球市场力矩传感器销售规模为 80.6 亿美元，2030 年将达到 134 亿美元，2023-2030 年的 CAGR 为 7.5%。

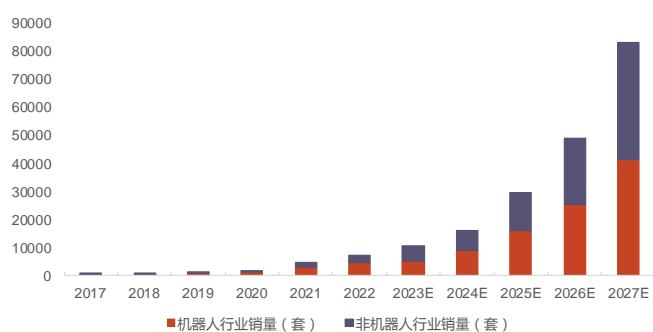
图 36：全球市场力矩传感器销售规模



资料来源：Research and Markets

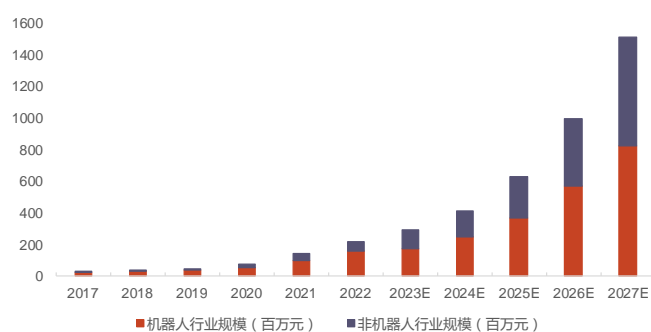
**六维力/力矩传感器步入加速增长期。**根据 GGII 数据，2022 年中国市场六维力/力矩传感器销量 8360 套，同比增长 58%，其中机器人行业销量 4840 套，同比增长 63%。GGII 预计，到 2027 年中国市场六维力/力矩传感器销量有望突破 8.4 万套，2022-2027 年的 CAGR 超过 60%，其中机器人行业销量有望突破 4.2 万套。根据 GGII 数据，2022 年中国六维力/力矩传感器市场规模 2.39 亿元，同比增长 52%，其中机器人行业六维力/力矩传感器市场规模 1.56 亿元，同比增长 54%。GGII 预计，2027 年中国六维力/力矩传感器市场规模将超过 15 亿元，2022-2027 年的 CAGR 超过 45%。

图 37：2017-2027 年中国六维力/力矩传感器市场销量及预测



资料来源：GGII

图 38：2017-2027 年中国六维力/力矩传感器市场规模及预测



资料来源：GGII

**国外企业具有先发优势，中国公司加速追赶。**受益于机器人市场需求催化，中国六维力/力矩传感器市场近年来入局者逐年增加，坤维科技、鑫精诚、宇立仪器、蓝点触控等国内企业先后进入该领域，并在机器人、汽车、3C 等应用领域上占据了一席之地。ATI、SCHUNK 等海外企业作为全球龙头，积累多年，仍旧有明显的领先优势。

表 11：各家厂商情况及性能指标对比

企业	总部	精度 (%FS)	公司简介
坤维科技	中国	0.5%	坤维科技成立于 2018 年，是一家致力于提供高精度力觉传感器(六轴力传感器)及力控解决方案的企业。公司主营智能力觉传感器的研发、制造、销售、及技术推广，开发面向机器人及其他智能装备行业的力觉传感器产品，为机器人及其它智能装备，工业过程监控，产品质量检测，科研测试测量等领域提供力觉测量解决方案及相关产品。
鑫精诚	中国	1%-3%	深圳市鑫精诚科技有限公司成立于 2009 年，公司专注于微型压力、称重、多轴力、扭力等多样化的智能传感器及控制仪表的工业级产品研发和创新，为 3C 自动化设备、精密医疗、农业、新能源锂电、机器人、半导体、航空铁路、高校等领域提供力控系统解决方案与技术合作。
宇立仪器	中国	1%-5%	宇立仪器有限公司(SRI)是一家集生产、研发于一体的技术密集型企业，由原美国 FTSS(现 Humanetics ATD)总工黄约博士于 2007 年创立。公司在多轴力传感器设计领域积累了近 20 年经验，在汽车行业和工业机器人领域具有较强的竞争优势。
蓝点触控	中国	1%-2%	蓝点触控(北京)科技有限成立于 2019 年，是一家专业从事高精度，高性能力传感器以及力控产品研发和生产的高新技术企业。公司在多维力传感器，关节扭矩传感器，机器人力控技术等方面拥有深厚的经验积累和技术优势，现已形成了 Mrist 六维力传感器、Joint 关节扭矩传感器、力控应用软件包等多个产品系列。
海伯森	中国	1%-2%	海伯森技术(深圳)有限公司成立于 2015 年，公司始终专注工业传感技术的创新，并在光学精密测量，工业 2D/3D 检测，机器人智能应用等领域形成了成熟的产品矩阵，主营产品包括 3D 闪测传感器、3D 线光谱共焦传感器、点光谱共焦位移传感器、超高速工业相机和六维力传感器等。
ATI	美国	0.5%-2%	ATI 工业自动化公司是世界领先的多维力传感器制造商，自 1989 年以来，ATI 工业自动化公司一直致力于开发最先进的产品和解决方案，在世界各地得到了成千上万的成功应用。公司主营业务包括机器人快速转换装置及力传感器。
SCHUNK	德国	2%	德国雄克公司(SCHUNK)创建于 1945 年，主营产品包括精密夹具和自动化抓取系统、传感器等。公司的产品主要应用于机械和自动化领域。
Robotiq	加拿大	3%	Robotiq 公司成立于 2008 年，总部位于加拿大魁北克，主营产品包括机器人末端夹具、力矩传感器、机器人相机套件等。
OnRobot	丹麦	3%	OnRobot 是一家全球性公司，由丹麦 OnRobot、匈牙利 OptoForce 和美国 Perception Robotics 合并而成。主营产品包括机器人末端夹具、力矩传感器、机器人相机套件等。
Sintokogio	日本	1%-3%	Sintokogio 成立于 1934 年，是一家总部位于日本的公司，主营业务分为五个部门：铸造部门生产和销售绿砂成型机、绿砂处理系统、化学粘合砂系统等；表面处理部门生产喷丸机、喷气机和喷丸机；环境设备部门生产集尘器、废气净化器、废水处理系统等；物料搬运设备部门提供剪刀式升降机、输送机等；特种设备部门为外围行业生产设备，包括机电一体化、模具和成型。该公司业务遍及全球，亚洲、北美和欧洲是其前三大市场。
WACOH-TECH	日本	1%-3%	WACOH-TECH 成立于 2007 年，总部位于日本，主营业务包括力传感器和 MEMS 传感器(加速度、陀螺仪)产品的开发、生产、销售。

资料来源：GGII

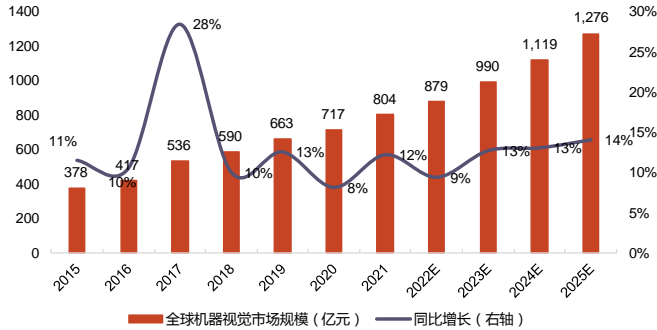
### 3.3.2、视觉传感器：进一步加强感知能力

**机器视觉可以进一步强化人形机器人的感知能力。**目前 2D 视觉正在向 3D 视觉进行延伸。随着智能制造的不断深入，面对复杂的物件辨识和尺寸量度任务，以及人机互动所需要的复杂互动，2D 视觉在精度和距离测量方面均出现部分技术局限，市场对 3D 视觉的需求开始与日俱增。在人形机器人应用领域，3D 视觉传感器可以帮助机器人高效完成人脸识别、距离感知、避障、导航等功能，使其更加智能化。

**机器视觉当前的全球市场规模在 800 亿元左右。**GGII 数据显示，2021 年全球机器视觉市场规模约为 804 亿元，同比增长 12%，GGII 预计至 2025 年该市场规模将超过 1200 亿元。2022-2025 年 CAGR 约为 12%。GGII 数据显示，2021 年中国机器视觉市场规模 138 亿元（该数据未包含自动化集成设备规模），同比增长 47%。其中，2D 视觉市场规模约为 127 亿元，3D 视觉市场约为 12 亿

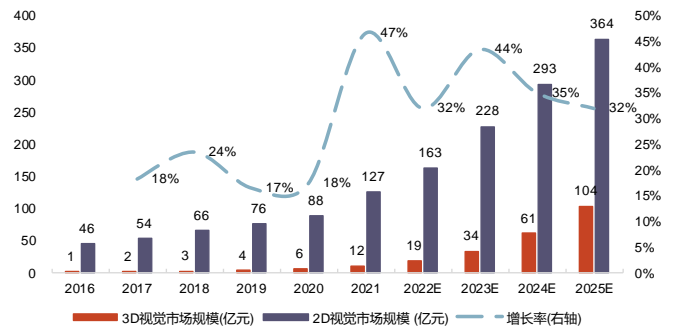
元。根据 GGII 预测，到 2025 年我国机器视觉市场规模将达到 469 亿元，其中 2D 视觉市场规模将超过 360 亿元，3D 视觉市场规模将超过 100 亿元。

图 39：2015-2025 年全球机器视觉市场规模及预测



资料来源：GGII

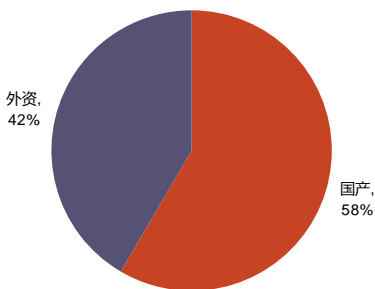
图 40：2016-2025 年中国机器视觉市场规模及预测



资料来源：GGII

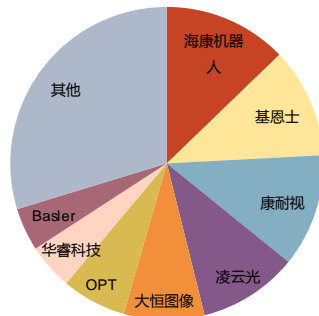
从国内机器视觉整体市场来看，内外资品牌的竞争已开始呈现分庭抗礼的局面。甚至在某些产业链环节，国产的份额已绝对领先于外资。如镜头、光源领域，国产代表厂商 OPT、东莞 RESS、长步道等；相机领域，国产代表厂商海康机器人、华睿科技、大恒图像等。从内外资品牌份额来看，根据 GGII 数据显示，2021 年国产品牌机器视觉市场份额占比 58%，进口替代进程开始提速。

图 41：2021 年中国机器视觉市场内  
外资品牌格局（按规模）



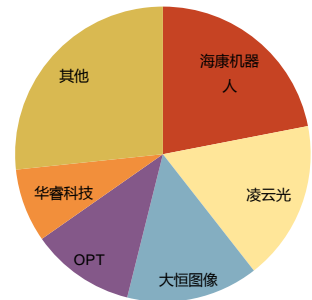
资料来源：GGII

图 42：2021 年中国机器视觉系统市场  
整体竞争格局（按规模）



资料来源：GGII

图 43：2021 年中国机器视觉系统市场  
国产品牌竞争格局（按规模）



资料来源：GGII

### 3.3.3、相关标的

柯力传感：应变式传感器龙头，积极拓展机器人传感器业务。公司在目前已有的微型、扭矩、多维力等高端力学传感器品类基础上，加快自主研发，积极寻求与各大机器人厂商的商务合作。根据客户的不同需求，公司已经进行了多款扭矩传感器、多维力传感器等产品的送样和试制。

汉威科技：气体传感器龙头，加速拓展柔性传感器业务。公司柔性微纳传感器业务主要由控股子公司苏州能斯达开展，能斯达目前已形成四大核心技术、七



大产品系列，柔性微纳传感技术水平及产业化程度国内领先。柔性微纳传感器目前已在智能机器人领域有明确的应用，并与小米科技、九号科技、深圳科易机器人等积极开展业务合作。

### 3.4、 执行器：至关重要的“小总成”

**执行器是由多种零部件共同组成的、将能量转化为机器人的运动的核心部件。**执行器的基本构成包含电机、减速器、编码器、力矩传感器和轴承等部件，各个零部件一起配合，共同完成机器人的运动动作。按照运动类型的不同，执行器可以分为旋转执行器和线性执行器两类。考虑到执行器的重要性以及较高的复杂度，在整个人形机器人行业的产业化进程中，拥有强大生产能力和执行力的执行器 Tier1 厂商至关重要。

**拓普集团：深入绑定特斯拉的汽车零部件企业，发力拓展执行器业务。**公司为汽车零部件平台型供应商，与特斯拉有着深入的合作，公司为特斯拉底盘、热管理等零部件的供应商。2023 年 7 月，公司拆分设立机器人事业部，发力拓展机器人业务。公司在机器人执行器业务的核心优势有：（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。

**三花智控：深入绑定特斯拉的热管理龙头企业，发力拓展执行器业务。**公司为热管理龙头企业，是特斯拉核心的热管理解决方案供应商。在仿生机器人领域，公司聚焦机电执行器，全方面配合客户产品研发、试制、调整并最终实现量产落地；同时，同步配合客户量产目标，积极筹划机电执行器海外生产布局。

**新兴装备：以伺服控制技术为核心的航空装备企业，发力拓展执行器业务。**公司为航空装备企业，产品广泛应用于直升机、固定翼飞机和无人机等领域。2023 年 5 月，公司成立全资子公司北京长兴动力机器人科技有限公司，致力于机器人业务的拓展。截至 2023 年 12 月，公司已完成第一代旋转执行器试制，正在进行第一代直线执行器试制。



## 4、投资建议

人形机器人产业蓬勃发展，进入加速增长期。头部企业的引领和全产业链的降本是人形机器人发展的两条主线。投资层面：（1）**把握特斯拉相关产业链**：关注拓普集团、三花智控等；（2）把握市场空间大、国产替代空间大的行业细分：关注执行器领域的新兴装备；关注**空心杯电机领域**的鸣志电器、伟创电气；**减速器领域**的绿的谐波、科峰智能（未上市）；**传感器领域**的柯力传感、汉威科技。

## 5、风险分析

（1）人形机器人相关技术进步不及预期风险：

如果人形机器人相关的关键技术进步不及预期，会影响到人形机器人行业整体的发展；

（2）人形机器人降本不及预期风险：

如果人形机器人成本持续居高不下，会影响到人形机器人的整体需求；

（3）竞争加剧带来的盈利不及预期风险：

大量新进入者涌入人形机器人行业，如果行业竞争加剧，会影响到整体的盈利水平。

## 行业及公司评级体系

评级	说明
买入	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上
增持	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
中性	未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
减持	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
卖出	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。
基准指数说明：A 股市场基准为沪深 300 指数；香港市场基准为恒生指数；美国市场基准为纳斯达克综合指数或标普 500 指数。	

## 分析、估值方法的局限性说明

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。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

## 分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

## 法律主体声明

本报告由光大证券股份有限公司制作，光大证券股份有限公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格，负责本报告在中华人民共和国境内（仅为本报告目的，不包括港澳台）的分销。本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格编号已披露在报告首页。

中国光大证券国际有限公司和 Everbright Securities(UK) Company Limited 是光大证券股份有限公司的关联机构。

## 特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）成立于 1996 年，是中国证监会批准的首批三家创新试点证券公司之一，也是世界 500 强企业——中国光大集团股份公司的核心金融服务平台之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。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。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见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。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，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中所载观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。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。

光大证券股份有限公司版权所有。保留一切权利。

## 光大证券研究所

### 上海

静安区南京西路 1266 号  
恒隆广场 1 期办公楼 48 层

### 北京

西城区武定侯街 2 号  
泰康国际大厦 7 层

### 深圳

福田区深南大道 6011 号  
NEO 绿景纪元大厦 A 座 17 楼

## 光大证券股份有限公司关联机构

### 香港

中国光大证券国际有限公司  
香港铜锣湾希慎道 33 号利园一期 28 楼

### 英国

Everbright Securities(UK) Company Limited  
6th Floor, 9 Appold Street, London, United Kingdom, EC2A 2AP