

# 量产元年，明日在途

——人形机器人产业2025年度投资策略

人形机器人研究院

# 核心观点

➤ **人形机器人行业大趋势已定，硬件趋向收敛，软件训练开启，2025年将是人形机器人量产元年。**

➤ **量产预期：**

- **2025年为人形机器人量产元年，更是人形机器人通用能力跃升的起点，全球将有数千台人形机器人进入工厂场景训练。**工厂训练是破除具身智能数据不足与实用性低下之间“引力束缚”的关键，也是积累高质量、大规模应用数据的必要手段。
- **短期（3年内）人形机器人有望应用于特种场景。**我们认为特种场景成本敏感度较低、遥控操作可在短期弥补具身AI不足导致的机器人自主性不足。
- **中期（3-5年）人形机器人有望应用于制造场景。**我们认为制造场景下的通用机器人不止双足人形一种形式，前期工厂训练泛化后的技能同样有望搭载于轮式机器人，制造业企业对于通用机器人形态的选择将加入成本考量、更加因地制宜。
- **远期（5年以上）人形机器人有望应用于民用场景。**随着规模效应释放及大模型的成熟，该阶段人形机器人有望降价至2万美元/台，同时自主性与硬件性能将大幅提升，人形机器人将真正进入人类的家庭与工作场景。

➤ **投资建议：**

- **（1）短期：**海外公司产品定型及量产将近，看好国内配套产业链。  
**中长期：**看好国内人形机器人产业链崛起、科技巨头引领下全球机器人生态共建，重视人形机器人产业链长期投资价值。
- **（2）软件：**关注具身智能技术突破性成果、人形机器人大脑及小脑环节。
- **（3）硬件：**关注人形机器人与工业机器人产业相比的增量环节：更精密的传感器、更高扭矩密度的电机、更高能量密度的电池、更轻量化的材料。

➤ **风险提示：**

- 1) 人形机器人技术迭代不及预期的风险；
- 2) 人形机器人下游需求不及预期的风险；
- 3) 人形机器人量产进度不及预期的风险。



01

行情复盘：六轮上涨，催化密集

02

短板补齐：AI 赋能，智启新程

03

进程加速：资本入局，政策加持

04

未来展望：量产将近，蝶变之始

05

投资建议

06

风险提示

CONTENTS

目录



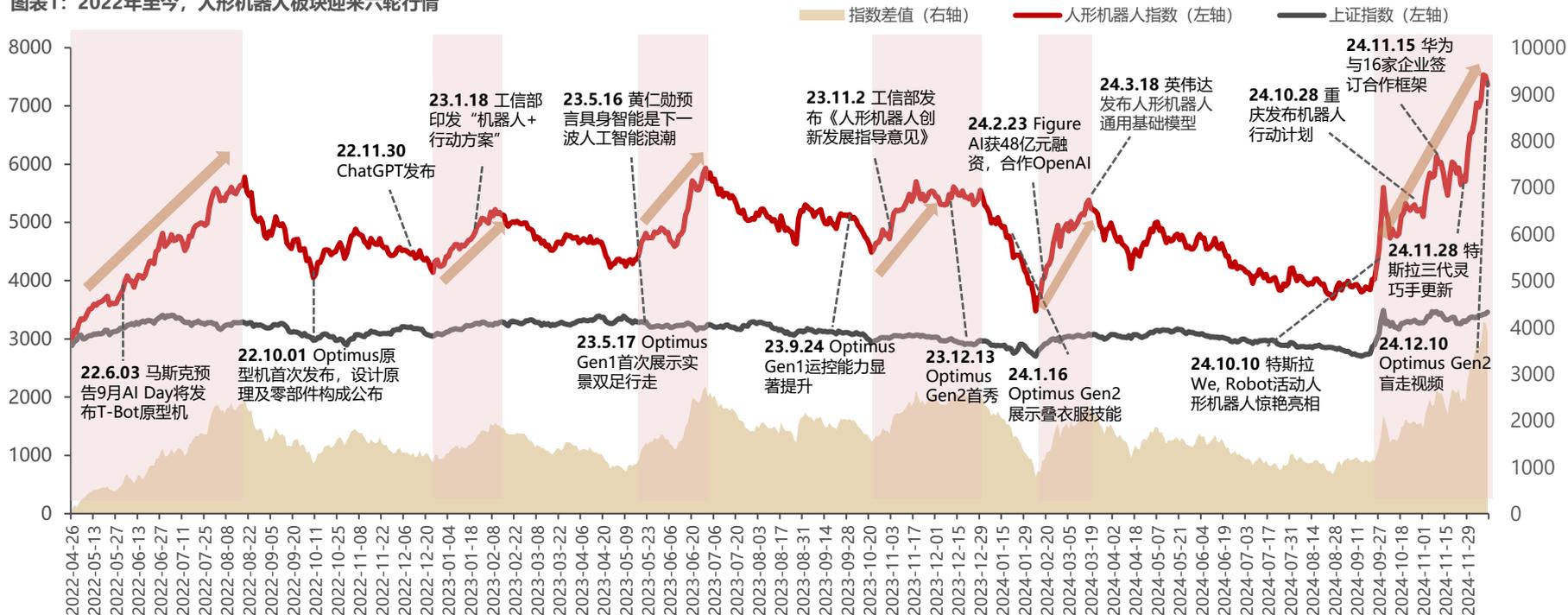
# 01. 行情复盘

01

# 行情复盘：六轮行情波动，事件催化密集

- 2022年至今，A股人形机器人板块经历了六轮行情波动。过去两年人形机器人板块主题投资特征显著，其中，以特斯拉Optimus为代表的人形机器人产业化进程持续深化是行情的主要驱动力，人工智能加速发展、政策出台为重要催化剂。

图表1：2022年至今，人形机器人板块迎来六轮行情



注：指数差值=人形机器人指数-上证指数；人形机器人指数由50支人形机器人概念股组成，采取等权重构建，相较上证指数涨跌幅以2021/01/04收盘价为基准；

资料来源：wind，工信部，Tesla Optimus官方社交媒体，马斯克社交媒体，澎湃新闻，36氪，2023ITF大会，重庆市政府，新浪财经，民生证券研究院

## 行情复盘：六轮行情波动，事件催化密集

- (1) 概念萌芽与赛道建立：2022/04/29~2022/08/18，超额涨幅69.6%（相对上证指数）。**2022年6月03日，马斯克预告9月AI DAY将发布特斯拉人形机器人Optimus原型机。市场关于电驱动人形机器人技术方案与核心零部件矩阵的认知开始建立，但9月发布的Optimus原型机尚不能自主移动，市场普遍认为行业处于早期阶段。
- (2) 大模型热潮激发：2022/12/30~2023/2/10，超额涨幅14.8%。**2022年11月30日，Open AI发布ChatGPT。AI大模型的发展能够为机器人智能化提供强大的技术支持，激发市场对于人形机器人落地应用的积极预期。
- (3) 具身智能推动：2023/5/16~2023/7/4，超额涨幅35.2%。**2023年5月16日，英伟达创始人兼CEO黄仁勋在2023年ITF大会上提出具身智能是AI的下一个浪潮，次日，Optimus Gen1首次展示实地行走视频，人形机器人硬件与软件利好共振，点燃市场对人形机器人即将量产的预期。
- (4) 政策发布与产业化预期推动：2023/10/24~2023/11/21，超额涨幅18.5%。**2023年11月2日，工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》，人形机器人产业顶层设计出台，12月13日，特斯拉重磅发布Optimus Gen2。市场基于人形机器人的小规模量产预期，重点关注具备高壁垒的行星滚珠丝杠、减速器、六维力传感器等核心零部件环节及轻量化材料环节。
- (5) 海内外事件催化：2024/2/6~2024/3/20，超额涨幅30.6%。**2024年1月16日，特斯拉展示2代机器人硬件方案对复杂操作的完成度，2月23日，Figure AI获微软、OpenAI等科技大厂6.75亿美元融资，英伟达发布其首个人形机器人通用基础模型。性能提升、海内外板块投融资活跃、科技大厂积极布局人形机器人赛道等事件形成催化，在年后回暖的情况下推动此轮行情。
- (6) 海外量产临近，本土蓄势待发：2024/9/24~2024/12/12，超额涨幅95.2%。**海外方面，2024年10月10日，数台人形机器人亮相特斯拉“ We, Robot” 发布会，硬件结构趋向完善，马斯克此前提出特斯拉人形机器人将在2025年实现小规模量产，市场预期供应链定点将在小规模量产前完成。国内方面，11月15日，华为成立的具身智能创新中心正式运营，并与16家企业签订合作备忘录，本土人形机器人产业链进展加速，板块进入扩散期。

# 01

## 行情复盘：细分赛道投资向上游延伸

- 2022年以来，A股市场对于人形机器人板块的投资主要集中于硬件板块。从细分赛道来看，随着市场对人形机器人产业研究的深化，人形机器人产业细分板块的投资由下游本体/关节总成向上游核心零部件/材料/制造设备延伸。

图表2：人形机器人相关硬件标的的历史涨跌幅

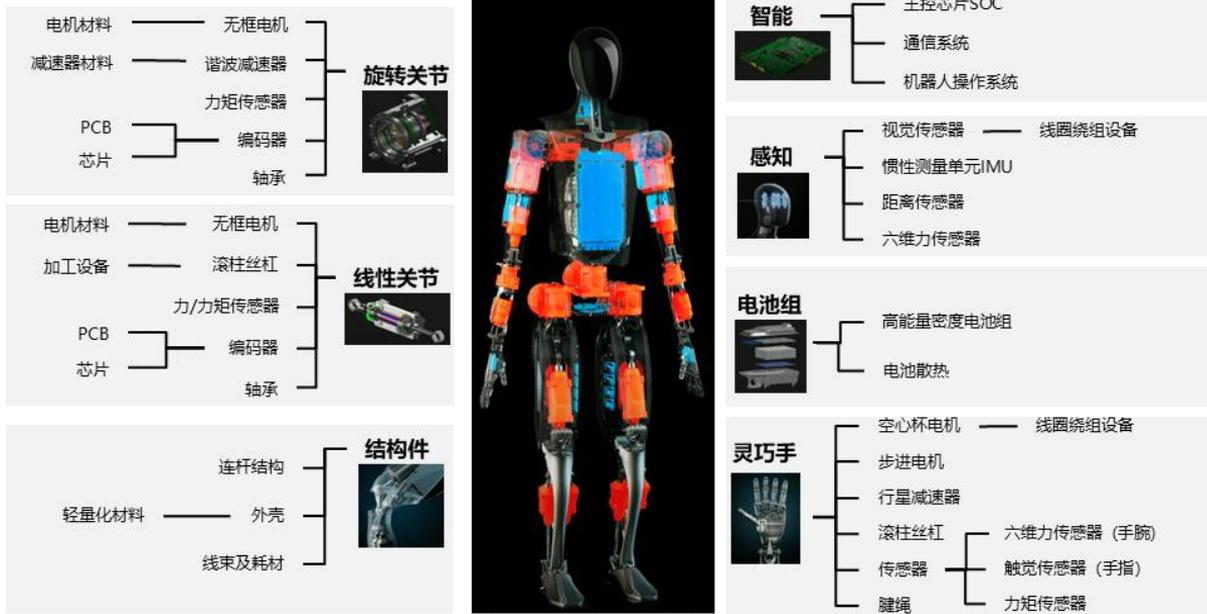
板块	代码	标的	22/4/27-22/8/18	22/12/30-23/2/8	23/4/28-23/7/4	23/10/25-23/11/20	24/2/5-24/3/20	24/9/24-24/12/12	板块	代码	标的	22/4/27-22/8/18	22/12/30-23/2/8	23/4/28-23/7/4	23/10/25-23/11/20	24/2/5-24/3/20	24/9/24-24/12/12	
执行器总成	601689.SH	拓普集团	86%	22%	53%	19%	27%	45%	电机电控	688160.SH	步科股份	195%	39%	130%	32%	57%	84%	
	002050.SZ	三花智控	113%	27%	27%	11%	17%	43%		688698.SH	伟创电气	87%	17%	48%	34%	23%	119%	
电机材料	600111.SH	北方稀土	15%	13%	-2%	3%	25%	39%		688320.SH	禾川科技	195%	20%	47%	47%	31%	131%	
	300748.SZ	金力永磁	82%	16%	7%	20%	17%	97%		300124.SZ	汇川技术	34%	1%	8%	0%	10%	41%	
	002896.SZ	中大力德	134%	28%	95%	25%	48%	53%		002979.SZ	雷赛智能	65%	19%	23%	18%	52%	83%	
减速器	002472.SZ	双环传动	117%	23%	45%	18%	29%	40%		605555.SH	德昌股份	14%	21%	-8%	27%	31%	45%	
	002850.SZ	科达利	41%	14%	-3%	14%	40%	43%		300607.SZ	拓斯达	77%	19%	21%	26%	39%	267%	
	688017.SH	绿的谐波	169%	47%	31%	43%	26%	108%		301525.SZ	儒竞科技				11%	22%	39%	
	300258.SZ	精锻科技	154%	14%	72%	22%	15%	204%		688279.SH	峰岬科技	57%	11%	71%	13%	28%	51%	
	002031.SZ	巨轮智能	69%	48%	2%	60%	48%	105%		603920.SH	世运电路	50%	20%	8%	12%	49%	67%	
	300580.SZ	贝斯特	61%	17%	16%	51%	59%	129%		300660.SZ	江苏雷利	165%	27%	40%	28%	41%	92%	
	603009.SH	北特科技	19%	14%	32%	16%	39%	140%		603728.SH	鸣志电器	323%	45%	81%	17%	82%	78%	
丝杠	300100.SZ	双林股份				30%	17%	122%		603728.SH	鸣志电器	177%	48%	34%	23%	33%	137%	
	301550.SZ	斯菱股份	21%	2%	2%	7%	12%	7%		003021.SZ	兆威机电	121%	18%	14%	8%	35%	49%	
	601100.SH	恒立液压	84%	-4%	28%	20%	31%	62%		002139.SZ	拓邦股份			144%	104%	52%	234%	
	300718.SZ	长盛轴承	136%	15%	29%	45%	43%	157%		873593.BJ	鼎智科技	44%	19%	14%	10%	60%	138%	
	603667.SH	五洲新春	20%	15%	105%	41%	47%	223%		002779.SZ	中坚科技	39%	13%	18%	19%	36%	43%	
传感器	603662.SH	柯力传感	90%	26%	11%	34%	27%	53%		设备	300488.SZ	恒锋工具	67%	11%	10%	60%	25%	64%
	300354.SZ	东华测试	16%	155%	2%	-1%	24%	82%			688577.SH	浙海德曼				47%	30%	160%
	300114.SZ	中航电测	55%	14%	30%	16%	24%	109%		轻量化	688716.SH	中研股份	-34%	15%	-36%	6%	34%	133%
	688286.SH	敏芯股份			81%	15%	48%	72%	301000.SZ		肇民科技	81%	15%	22%	31%	81%	47%	
	688582.SH	芯动联科	75%	12%	46%	26%	29%	93%	002009.SZ		天奇股份	62%	21%	45%	15%	40%	138%	
	300007.SZ	汉威科技	204%	26%	34%	33%	34%	115%	本体与应用	300024.SZ	机器人	38%	1%	-34%	7%	29%	29%	
	688071.SH	华依科技	21%	34%	43%	28%	53%	78%		688777.SH	中控技术	93%	22%	23%	11%	57%	70%	
	688322.SH	奥比中光	86%	22%	53%	19%	27%	45%		002747.SZ	埃斯顿	69%	18%	20%	12%	63%	57%	
									002698.SZ	博实股份	195%	39%	130%	32%	57%	84%		

注：涨跌幅截至12月12日，突出显示为每时间段涨幅高于平均值的数值；资料来源：wind，民生证券研究院整理

# 01 行情复盘：细分赛道投资向上游延伸

- **硬件端，旋转/直线关节由于配置数量多、价值量高，在人形机器人行情早期涨幅较大。**随着人形机器人技术路线讨论的深入，谐波减速器与丝杠等兼具高价值量与高技术壁垒的零部件环节收获较高涨幅，随后市场关注度持续向上游延伸至电机磁材、加工设备及轻量化材料等环节。
- **软件端突破性进展晚于硬件，后市潜力可期。**人形机器人需要搭载具身AI模型方能实现通用性，但是目前具身AI模型的发展尚处于起步阶段、国内的算力算法正在加速发展。展望后市，具身AI的突破性进展、国产芯片的推出有望成为机器人软件板块的积极催化。

图表3：人形机器人核心构成



资料来源：特斯拉2021AI DAY，特斯拉2022 AI DAY，中商情报网，民生证券研究院整理

## 02. 短板补齐：AI 赋能，智启新程

# “机器之心” AI的突破是人形机器人觉醒的关键

## ➢ 机器人发展的阶段：

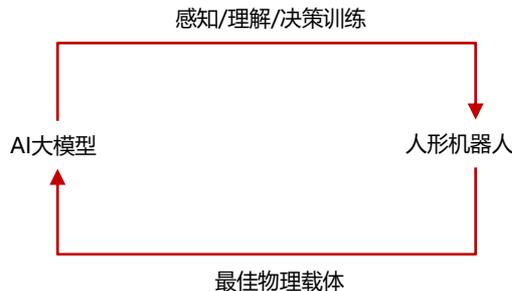
- **阶段一：程序控制机器人**，机器人只能按照提前设定好的程序步骤进行固定的工作。
- **阶段二：自适应机器人**，机器人配备传感器等部件，能够根据环境的变化调整自身行为。
- **阶段三：具身智能机器人**，机器人能够与环境交互感知，自主规划决策行动，是人工智能发展的终极形态。AIGC多模态模型作为人类与机器人沟通的桥梁，帮助机器人处理具身推理任务。**机器人给予人工智能身体，让人工智能有了直接改变物理世界的能力。AI对人形机器人的赋能主要集中在感知与决策层**，Chatgpt等生成式 AI 可助力机器人拆解任务，同时大模型能够提升人形机器人的仿真学习能力，可大幅提升算法训练效率，实现机器人“大脑”的快速成长。

图表4：机器人由程序控制向通用智能发展



资料来源：发那科官网，非夕科技官网，宇树科技官网，民生证券研究院

图表5：AI大模型与人形机器人是具身智能的“最佳拍档”



资料来源：民生证券研究院绘制

## 人形机器人新纪元目标是由专用走向通用

- **历史回顾：2021年以前的人形机器人主要面向专用场景。** Tesla的Optimus并非历史上第一款人形机器人，此前已有本田阿西莫、波士顿动力Atlas（液压款）、优必选Walker等明星人形机器人存在。此阶段研发的人形机器人，主要目标集中于实现机器人对人类外形、动作的拟态，并且价格昂贵，主要用于科研、展示、教育、特种场景。
- **人形机器人新纪元：2021年以后，特斯拉等企业开始开发人工智能模型控制的通用机器人，目标指向大规模量产。** 2021 AI Day, Tesla宣布要生产一款消除危险、重复和无聊的任务的人形机器人，目标定价在2-2.5万美元，研发人形机器人的目标由科研、展览性质转向商业化量产。2022年11月，ChatGPT发布，人工智能领域掀起生成式AI新浪潮，人形机器人搭载生成式AI，机器人“具身智能”程度大幅提升，人形机器人代表“具身智能”，将成为人工智能与物理世界交互的桥梁。

图表6：从左到右：阿西莫、Atlas、优必选Walker、特斯拉Optimus Gen2



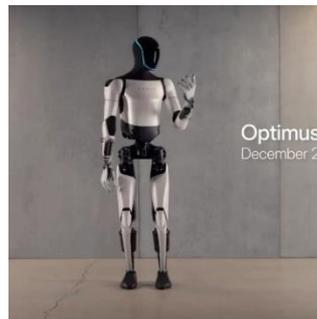
- Asimo (2000年)
- 无售价 (造价300~400万美元)
- 用于科研、技术展示



- Atlas (2013年)
- 最初定位军用
- 动作高度拟人 (后空翻等)



- 优必选Walker X (2019年)
- 售价预计600万元
- 定位家庭、办公场景



- 特斯拉Optimus2代 (2023年)
- 目标售价预计2-3万元
- 消除危险、重复和无聊的任务

资料来源：机器人大讲堂，凤凰网，机器之心，波士顿动力，第一财经，智东西，特斯拉官方X，民生证券研究院

# 02

## 机器人AI是当下人形机器人木桶效应的短板

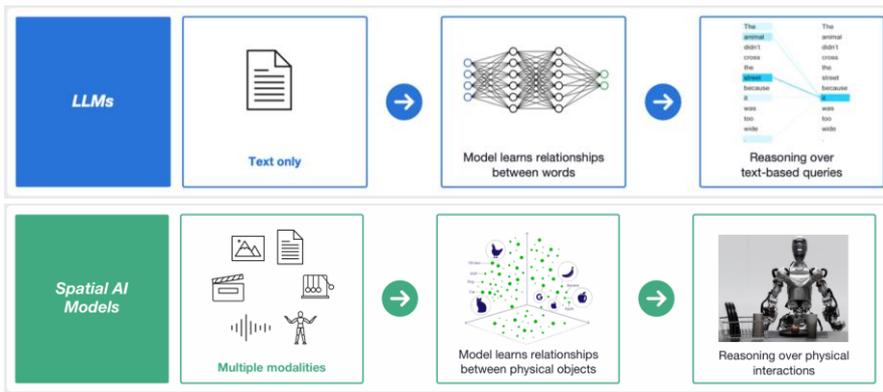
- 与硬件相比，人形机器人通用AI模型的发展仍处于早期阶段，是木桶效应的短板。AI大模型可以分为非具身大模型和具身大模型，当前非具身大模型算法在特定任务上表现出色，但在泛化到新任务或环境时表现不佳。人形机器人需要能够同时处理视觉-语言-动作等多模态信息输入的大模型。
- 非具身大模型：面向人机交互、内容生成，以ChatGPT、GPT-4V、Sora、GPT-4o等大模型为代表。**这类模型在迭代中实现了由单模态文本输入到多模态的语音、图像、视频等信息输入的扩展，其输出形式包括文本、音频、图像、视频等，主要面向人类。这些大模型功能强大，但并不直接针对机器人领域。
- 具身大模型：直接面向机器人，以RT-2、FSD为代表。**搭载具身大模型的机器人在接收物理世界的感知或接收人类指令后，能够直接高频输出动作。

图表7：非具身大模型与具身大模型代表示例

	ChatGPT	GPT4V	Sora	GPT4o	特斯拉 FSD	谷歌RT2
大模型类型	非具身大模型			具身大模型		
	单模态文本大模型	多模态图文大模型	多模态视频生成大模型	多模态交互大模型	自动驾驶大模型	机器人大大模型
输入	文本	文本/音频/图像	文本/音频/图像	文本/音频/图像	实时视觉	实时视觉, 语音等
输出	文本	文本/音频/图像	视频	文本/语言/图片/视频	加减速+转向动作	臂/手/底盘动作

资料来源：智元机器人，民生证券研究院

图表8：LLMs擅长语言推理，空间AI模型支持物理世界推理



资料来源：COATUE《The Path to General-Purpose Robots》，民生证券研究院

## 机器人AI是当下人形机器人木桶效应的短板

➢ 机器人AI面临来自数据稀缺、泛化性低等方面的挑战：

- **数据稀缺：**可用于机器人训练、对场景和交互有价值的数据量相对较小，限制了AI模型在人形机器人上的泛化能力。根据Coatue的报告，目前机器人场景数据集仅有2.4M，相较之下，文本、图像及影响数据集大小分别达到15T、6B及2.6B。机器人AI模型面对数据稀缺和现实数据即将耗尽的问题，较大语言模型等更加紧迫。
- **泛化性低：**以谷歌的具身大模型RT-2为例。RT-2在谷歌办公室的厨房测试中，任务执行成功率接近98%，但是一旦换到施工工地、嘈杂后厨等复杂场景，成功率便骤降至30%左右。

图表9：非具身大模型与具身大模型代表示例

Modality	Largest Dataset Size	Example AI Models
Text	15T Tokens	OpenAI GPT-4
Image	6B Image-Text Pairs	Midjourney
Video	2.6B Audio/Visual Features	runway
Robotics	2.4M Episodes	✗

Not enough for general-purpose AI model

资料来源：COATUE《The Path to General-Purpose Robots》，民生证券研究院

图表10：具身大模型相关研究与应用

大模型	厂商	说明
ChatGPT for Robotics	微软	帮助机器人更好地理解用户需求和指令，提升任务执行精准度
RoboCat	谷歌	基于多模态大模型 Gato 开发而成，将 Gato 架构与大量图像序列和人形机器人手臂动作训练数据集集合，解决不同任务
RT - 2	谷歌	接受网络信息和图像，训练人形机器人执行任务
VoxPoser	斯坦福 李飞飞团队	从大语言模型和视觉 - 语言模型提取机会和约束，构建 3D 地图，零样本情况下，理解指令，分解任务，规划路径
RT - X	谷歌 Deepmind	特定任务工作效率是同类机器人的三倍，可执行未训练动作
Eureka	英伟达	自主编写奖励算法训练人形机器人，学习复杂运动控制能力
阿里云机器人大脑	阿里云	赋予人形机器人知识库问答、工艺流程代码生成、机械臂轨迹规划、3D 目标检测和动态环境理解等能力
华为盘古大模型	华为	提升人形机器人语义理解、动态、多模态信号理解等能力

资料来源：亿欧智库，民生证券研究院

# 02

## 类比自动驾驶技术，具身智能技术处于G2-G3阶段

- 借鉴自动驾驶从L1到L5的技术分级体系，智元机器人对具身智能技术演进路线进行了G1至G5的划分。目前，具身智能技术演进达到G2阶段，正在向G3阶段演进。具身大模型迭代的长期目标是人工仅负责裁决，机器可以自实现感知-决策-执行的闭环。类比自动驾驶技术的演进进程，预计2035年有望达到G5阶段。

图表11：具身智能技术与自动驾驶技术迭代的对比

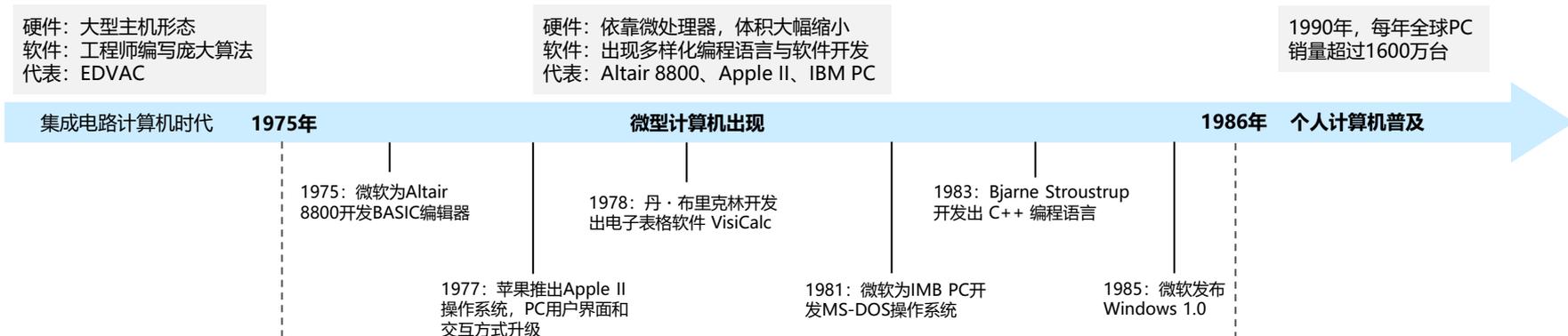


资料来源：朴津智能，智元机器人，民生证券研究院绘制

## 02 类比PC发展历程，人形机器人的崛起有望成为智能化革命的源头

- 回顾PC行业的发展历程，1975年至1986年是关键的十年，核心是完成了硬件和软件的深度结合。Intel微处理器的出现使计算机的体积大幅缩小，操作系统的发展与完善让普通程序员也能编程，PC基座的通用性提升，适合大众使用的工具和应用被开发出来，推动了PC的普及。
- 类比PC行业，人形机器人目前所处阶段与微型计算机的关键十年具有相似性，机器人和AI的融合类似于PC行业硬件与软件结合所带来的革命性突破。硬件方面，已经出现了Optimus、Figure 02等人形本体；软件方面，算法和程序正不断突破，机器人世界模型的基本框架正在构建；此外，普通大众对人形机器人的兴趣越来越浓厚，“机器人咖啡”等局部场景的应用正在建立起大众对于人形机器人的认知。信息化革命之后，人形机器人的崛起有望成为新一轮智能革命的源头。

图表12：1975-1986年微型计算机进行了硬件和软件的深度结合



资料来源：微软官网，美国国家博物馆，人民邮电出版社，新浪科技，Ars Technica，民生证券研究院绘制

## 短期：工厂是人形机器人的理想真实训练场景

- 工厂环境相对高标准化、高流程化、高度封闭稳定，是人形机器人早期训练学习的理想真实场景。人形机器人发展早期阶段存在“不具备实用性→无法形成商业化规模→无法收集足够的学习数据→无法提升技能与性能→不具备实用性”的发展“悖论”，数据的缺乏制约了人形机器人算法模型的训练和进化。工厂具备高标准化、高流程化、高度稳定等特点，能够为人形机器人提供高质量、大规模的实际应用数据，再进一步泛化至更多通用场景。目前，已有多家人形机器人企业与汽车企业达成合作，将人形机器人部署汽车装配流水线中，执行搬运、质检等工作。
- 短期来看，人形机器人进入工厂是为了训练与提升通用性；中期来看，工厂中的通用机器人可能会以更多形态出现。马斯克预测到2025年，或有超过1000台Optimus进入特斯拉车间。我们认为，人形机器人可收集数据的维度相较于轮式机器人更多，是早期进行训练的理想形态，经过工厂训练、通用性提升后，其技能未来可泛化至轮式机器人等更多形态，最终制造业工厂对于通用机器人的布局或会考虑更多成本因素，并根据需求配置不同形态的智能机器人。

图表13：人形机器人产业存在的现实“引力束缚”



资料来源：阿里研究院，民生证券研究院

图表14：部分人形机器人与车企合作情况

产品	特斯拉-Optimus	智元-远征A1	Figure-Figure 01	优必选-Walker S	Appteronik-Apollo
机器人形态					
首次发布日期	2022.09 (原型机)	2023.08	2023.10	2023.12	2023.08
合作车企	特斯拉	比亚迪	宝马	蔚来	梅赛德斯-奔驰
预计落地时间	2025H1	2024H2	2025H1	2024H1	2024H2
作业场景	融入汽车生产线几乎所有流程	轮式为主，融入底盘装配、外观检测等生产流程	融入车身车间、钣金车间和仓库在内的生产流程	融入质检工序、车标贴装工序等生产流程	车辆零件检查、将零件送至生产线供人类工人组、交付装配好的零件箱等

资料来源：民生证券研究院整理

## 短期：特种场景有望较早实现人形落地

- 2023年11月2日，工业和信息化部发布《人形机器人创新发展指导意见》中，强调人形机器人整机产品在特种、制造、民生服务等场景得到示范应用。目前，已有大批人形机器人产品推出，如何实现商业化落地、能否实现规模化量产仍是目前的痛点问题。
- 我们从以下四点出发，对人形的应用场景进行考量：运动控制能力要求、场景复杂度、成本敏感度、安全要求度。其中，要求较低/中等/较高分别计1分/2分/3分，加总得分较越高的场景需攻破越多的技术壁垒，实现规模化应用的时点会越靠后。
- 通过分析人形机器人的典型应用场景，我们认为人形机器人短期（1-3年）会落地于极端作业场景，中期（3-5年）将延伸于工业制造场景，远期（5年以上）有望进入民用场景。

图表15：人形机器人特种/制造/民用场景的四因素考量模型

	运控能力要求	场景复杂度	成本敏感度	安全要求度	得分
特种场景	较低，初期特种人员可接管	较高，自然灾害、航空航天等环境复杂多变且具有不可预测性	较低	较低，人形机器人本就是替代人类完成工作	6
工厂制造	中等，工厂任务标准化程度较高	较低，工厂环境标准化程度较高，地面一般较为平整	中等	中等，工厂中作业区域与非作业区域区分严谨	7
民用场景	较高，家用等场景机器人任务复杂性很高	中等，家庭或商用环境较工厂复杂度更高	较高	较高，人形机器人家庭或商业环境中与人类近距离接触	11

资料来源：民生证券研究院整理

图表16：人形机器人特种/制造/民用场景应用展望

特种场景	短期 1至3年	人形机器人替代人工在危险/恶劣环境下执行任务，如火灾救援、能源化工，地震救援、水下/太空作业等。 <b>短期内，人形机器人不能实现完全自主性，在人类操作员远程操作下依然可以执行任务。</b> 例如，在人类消防员的远程操作下，人形机器人穿着防火服、持有灭火器进行灭火。
工业场景	中期 3至5年	汽车制造有望作为首要落地制造业场景，质量检测、零部件组装为明确需求场景。工厂环境相对可控且规模化标准高，可助人形机器人更好训练协调控制能力以及算法优化。
民用场景	远期 5年以上	家庭陪伴、家务服务、康健等。该阶段，人形机器人整体交互性以及灵活性大幅提升、情感分析更贴合家庭场景、能够适应多种非标准化场景、且社会接受度大幅提升。

资料来源：亿欧智库，民生证券研究院整理

## 短期：特种场景有望较早实现人形落地

- 以火灾救援为例：火灾作为一种突发性强、破坏力大的灾害，其迅速蔓延的火势和有毒烟雾往往给救援工作带来巨大挑战，人形机器人有望成为火灾救援中的得力助手。

图表17：人形机器人火灾救援场景分析

### 现场探测与评估

- 实时图像传输**：人形机器人的高清摄像头和红外热成像仪能够实时传输火灾现场的图像和温度分布，为救援指挥中心提供直观的灾情信息。
- 环境参数监测**：通过集成的传感器，机器人还能监测火场内的有毒气体浓度、氧气含量等关键环境参数，为救援人员提供必要的安全信息。
- 快速评估**：基于收集到的数据，机器人能迅速进行火灾规模和蔓延趋势的初步评估，为救援决策提供重要依据。

### 火源定位与隔离

- 精准定位**：利用热成像和图像识别技术，人形机器人能够迅速锁定火源位置，为灭火行动提供精确指引。
- 辅助灭火**：部分机器人还可携带简易灭火装置，如干粉灭火器或水雾喷射器，对初期火灾进行扑救，减缓火势蔓延。
- 隔离火源**：在条件允许的情况下，机器人可协助救援人员设置隔离带，防止火势进一步扩大。

### 搜救被困人员

- 深入搜救**：在火势较大或烟雾浓密的区域，人形机器人能够代替救援人员深入搜救被困人员，降低人员伤亡风险。
- 生命探测**：利用生命探测仪等设备，机器人能够识别被困人员的生命体征，确定其具体位置。
- 物资输送**：在搜救过程中，机器人还可携带氧气瓶、急救包等救援物资，为被困人员提供必要的生存支持。

### 危险环境作业

- 高温作业**：人形机器人具有良好的隔热性能和耐高温材料，能够在高温环境下稳定工作，执行搜救或灭火任务。
- 有毒气体环境**：通过内置的过滤系统和防护装备，机器人能在有毒气体环境中持续作业，减轻救援人员的负担。
- 复杂地形穿越**：在火灾现场，可能存在倒塌的建筑物、断裂的桥梁等复杂地形。人形机器人凭借其优越的机动性和灵活性，能够轻松穿越这些障碍，执行救援任务。

资料来源：茶派科技《人形机器人应急救援场景应用研究报告》，民生证券研究院

图表18：意大利WALK-MAN人形消防机器人（2018年）



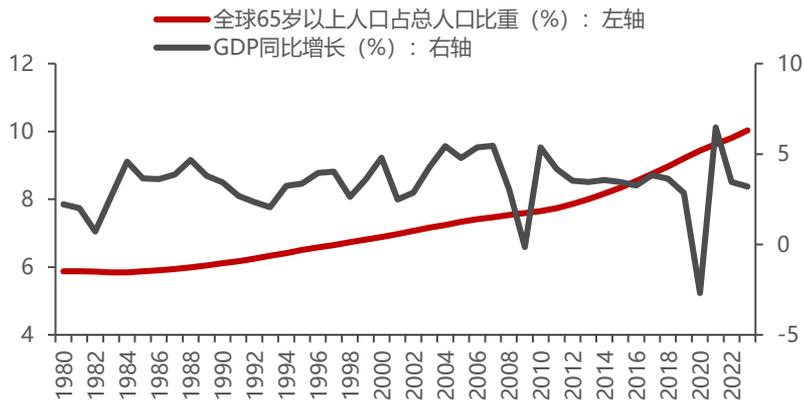
资料来源：electronic specifier，民生证券研究院

## 长期：人形机器人有望缓解劳动力短缺问题

### ➤ 人形机器人有望缓解人口老龄化带来的劳动力短缺问题。

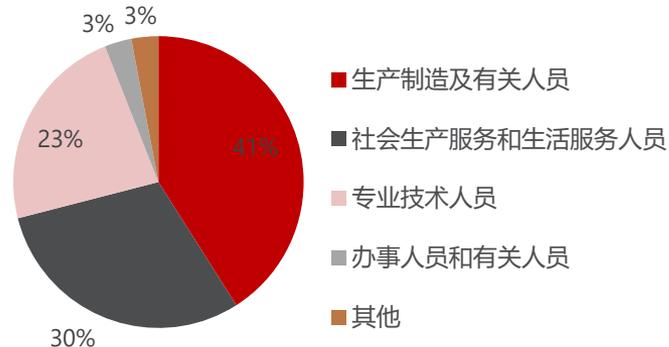
- 人形机器人替代及缓解用工荒是未来的趋势。全球范围来看，经济增长和老龄化加深是两个并行的大趋势，其中经济增长带来劳动力需求，老龄化加深减少劳动力供给。世界银行数据显示，早在2002年，全球65岁以上人口占总人口比重已经超过7%，2023年全球65岁以上人口占总人口比重达到了10.03%，老龄化持续加深将会对劳动力供给数量和劳动参与率造成负向影响。以特斯拉人形机器人为例，若未来可以将每台人形机器人的成本控制在2-3万美元，并且可以替代人类从事不愿意的、重复的、机械的工作，有利于填补劳动力需求缺口，缓解制造业和服务业的用工难问题。

图表19：我国工业机器人及人工成本对比



资料来源：Wind，民生证券研究院

图表20：人社部统计的100个“最缺工”职业分布（2022年Q4数据）



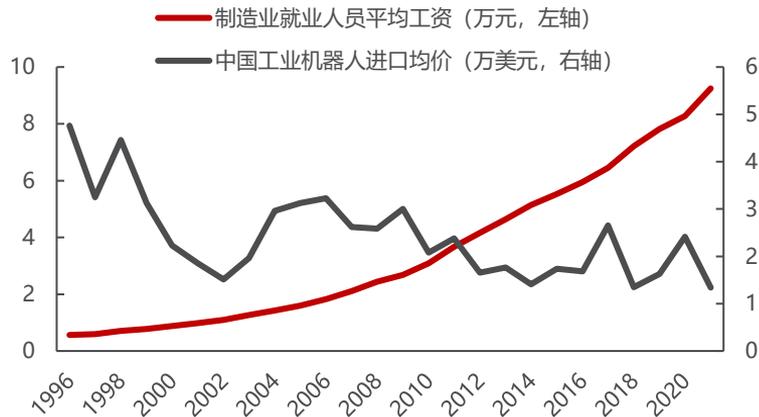
资料来源：人力资源社会保障部，民生证券研究院

## 长期：机器人代人有望提升生产效率

### ➤ 人形机器人有望降低企业用工成本，提升工业自动化效率。

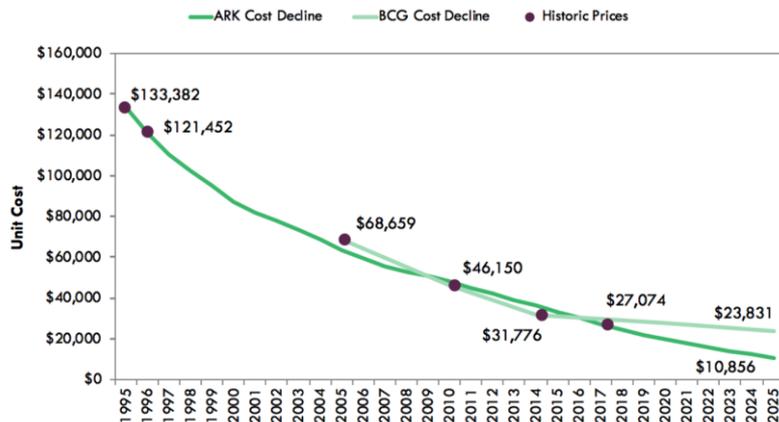
- **我国工业机器人成本持续下降，机器代人的可行性增大。**从工业机器人价格方面来看，1996年-2021年，我国工业机器人进口均价已经由4.76万美元/台下降到1.34万美元/台，工业机器人价格不断下降、制造业工资不断上升之间形成的剪刀差正在不断扩大，考虑到机器人所带来的效率和安全性等方面的提升，目前机器换人已经具备较高性价比。
- **美国工业机器人造价越来越便宜。**根据ARK的数据，预计由2019年到2025年，工业机器人的单位成本将下降50%-60%，每台工业机器人的成本将低于11000美元。

图表21：我国工业机器人及人工成本对比



资料来源：Wind，民生证券研究院

图表22：美国工业机器人成本逐年降低



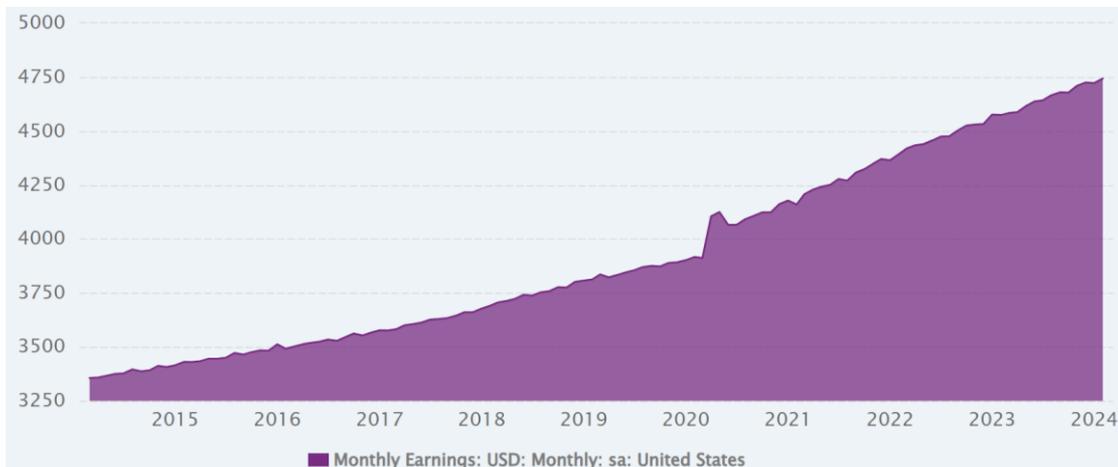
资料来源：ARK INVEST，民生证券研究院

## 长期：人形机器人的市场空间广阔

### ➤ 人形机器人市场空间广阔。

- 根据Average Salary Survey统计数据，截至2024年7月，在美国从事制造业的工人平均年薪为6万美元左右。根据马斯克对于Optimus量产价格不高于3万美元的预期，**若人形机器人能够实现对制造业工人1: 1的替代**，在人形机器人大规模量产后使用机器代人的回本周期为0.5年。
- 根据弗若斯特沙利文的资料，预计自2022年至2028年，全球及中国的智能服务机器人解决方案市场的市场规模预计将分别以17.8%及23.5%的复合年增长率由235亿美元及人民币516亿元增至628亿美元及人民币1,832亿元。

图表23：美国平均月工资水平变化趋势（单位：美元）



资料来源：CEIC data，民生证券研究院

### 03. 进程加速：资本入局，政策加持

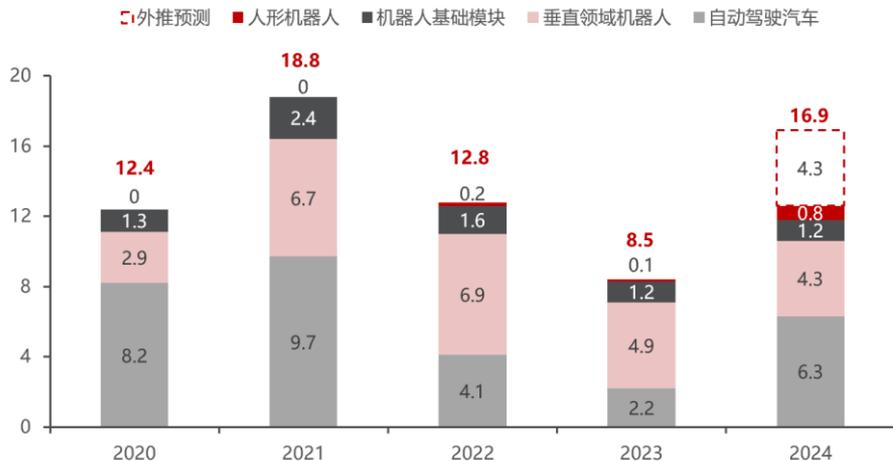
# 03

## 投资先行，人形机器人垂类成为投资热土

### 特点一：机器人板块中人形机器人融资占比结构性上升

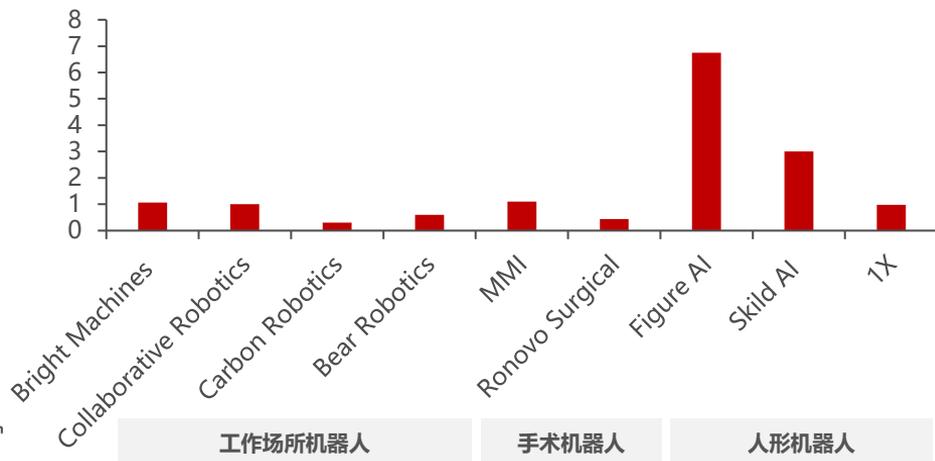
- 海外情况：2024年海外机器人板块融资反弹。**在过去的2022年和2023年，全球科技板块融资经历了寒冬期，机器人作为资源密集型产业受到尤为严重的影响，根据Pitchbook统计，2022年及2023年海外（美国、欧洲、以色列）机器人融资额分别约为128亿美元（同比-32%）及85亿美元（同比-34%）。这一情况在2024年得以改善，根据Pitchbook统计，截止2024年8月，机器人板块总融资近126亿美元，已超过2023年全年融资额。
- 人形机器人融资占比结构性提升。**通常，机器人板块的融资分为基础组件（传感器、雷达等支持组件）、垂直机器人（应用于特定垂直领域的机器人）及自动驾驶三个板块。Pitchbook数据显示，截至2024年8月，海外人形机器人领域融资规模达到8亿美元，较2023年的1亿美元增长数倍，占整个机器人板块融资金额的比例由2023年的1%提升至6%，人形机器人已成为机器人板块的最新热门投资赛道。

图表24：截止2024年8月，海外人形机器人融资额显著提升（单位：十亿美元）



注：图中数据仅包含美国、欧洲及以色列三个地区的机器人融资；资料来源：F-Prime, Pitchbook, 民生证券研究院

图表25：24年上半年，融资金额较大的各类型机器人公司（单位：亿美元）



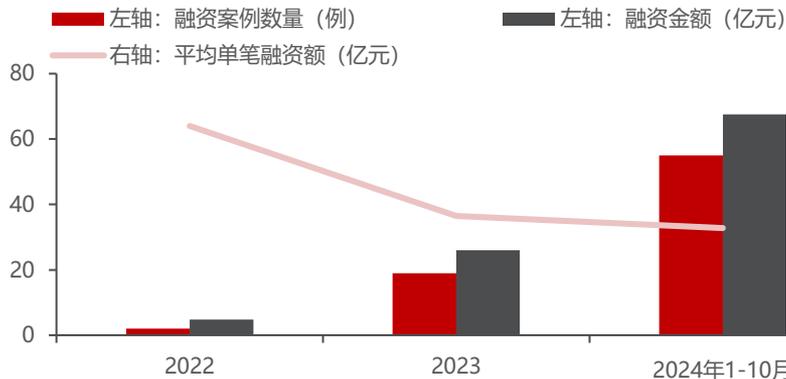
资料来源：Cruchbase, 民生证券研究院

## 投资先行，人形机器人垂类成为投资热土

### 特点一：机器人板块中人形机器人融资占比结构性上升

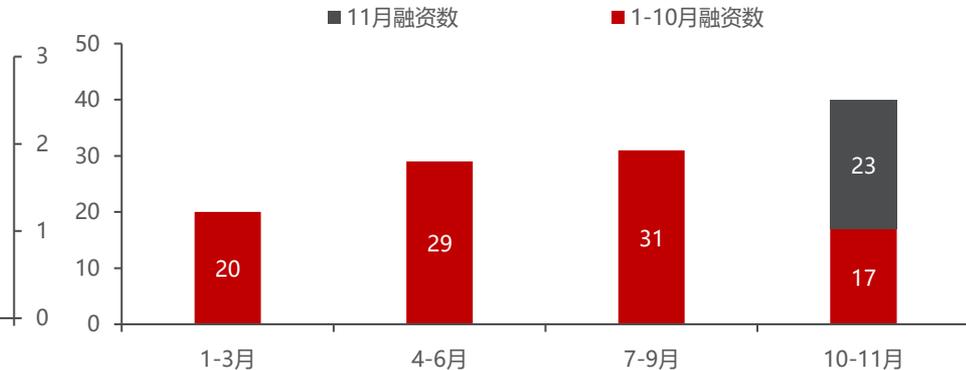
- 国内情况：人形机器人赛道投资热度显著上升，今年融资总额有望超过80亿元。**根据高工机器人统计，2023年全年，国内人形机器人相关的融资事件共19件，融资金额达到26亿元，截至2024年10月，今年国内人形机器人领域共发生55起融资事件，较23年有近2倍的增长，融资金额已达到67.6亿元，较23年增长160%。保守估计，今年国内人形机器人领域的融资总额将超过80亿元。
- 本体硬件融资与具身智能融资双线开花。**除人形机器人本体企业（如宇树科技、优必选等）外，2024年，以具身智能和机器人模型为亮点的初创企业也同样受到资本市场的青睐。究其原因，机器智能仍是制约人形机器人能够提升通用性与自主性、实现量产与商业化应用的重要因素。银河通用、智元机器人、星海图、千寻智能等具备“具身智能”业务布局的初创企业在2024年收获了亮眼的融资表现。

图表26：截止2024年10月，国内人形机器人融资数量显著提升（单位：十亿美元）



资料来源：高工机器人，民生证券研究院

图表27：2024年四季度人形机器人领域融资事件较前三季度显著提升（单位：例）



资料来源：企查查，天眼查，高工机器人，民生证券研究院，民生证券研究院

## 投资先行，人形机器人垂类成为投资热土

### 特点二：科技巨头、车企、地方国资积极入局

- 海外：微软、英伟达、亚马逊等科技巨头投资人形机器人企业。**今年以来，海外人形机器人融资除PE/VC等机构积极参与外，硅谷的科技巨头也纷纷加入人形机器人投资，Figure AI于2024年2月获得微软、英伟达、亚马逊等科技巨头的6.75亿美元轮融资，为今年海外人形机器人领域最大的一笔融资。亚马逊创始人贝佐斯通过个人及其投资公司Bezos Expeditions还投资了机器人模型公司Skild AI、机器人脑初创公司Physical Intelligence等初创企业。
- 国内：科技大厂、地方国资、传统车企积极入局。**科技大厂方面，阿里、美团、百度、联想、科大讯飞等科技大厂投资了人形机器人企业；地方国资方面，北京机器人产业发展基金、上海人工智能产业基金、深创投等地方国资在今年加大了对人形机器人企业的投资力度；传统车企方面，上汽创投和北汽产投均投资了智元机器人及其他人形机器人企业。

图表28：2024年海外科技大厂参与的大额人形机器人投资

企业	融资金额	轮次	参投科技公司及旗下基金
Figure AI	6.75亿美元	B轮	微软、OpenAI创业基金、英伟达、贝索斯、英特尔
Physical Intelligence	4亿美元	A轮	亚马逊创始人贝佐斯、OpenAI
Skild AI	3亿美元	A轮	亚马逊创始人贝佐斯
Bright Machines	1.26亿美元	C轮	微软、英伟达
1X Technologies	1亿美元	B轮	Samsung NEXT
Standard Bots	3900万美元	B轮	亚马逊产业创新基金、Samsung NEXT

资料来源：Crunchbase，科创板日报，新浪财经，民生证券研究院

图表29：科技大厂、地方国资与车企投资布局

	投资方	人形机器人企业
车企	上汽创投	智元机器人
	北汽产投	银河通用、智元机器人、帕西尼感知
科技大厂	阿里系	逐际动力、星海图
	美团	银河通用、宇树机器人
	百度	星海图、智元机器人
	联想	自变量机器人、戴盟机器人、星动纪元
	科大讯飞	银河通用、灵童机器人
地方国资	北京机器人产业发展基金	宇树机器人、银河通用
	上海人工智能产业基金	银河通用
	深创投	银河通用、乐聚机器人、因时机器人

资料来源：智东西，深观启元，机器人大讲堂，创业资本汇，民生证券研究院

# 政策支持，国内人形机器人产业集群初现

- **国家顶层设计发布，支持人形机器人产业发展。**2023年11月2日，工业和信息化部发布《人形机器人创新发展指导意见》，指出人形机器人已成为科技竞争的新高地、未来产业的新赛道、经济发展的新引擎，并提出两项发展目标：

**(1) 到2025年：**人形机器人创新体系初步建立，“大脑、小脑、肢体”等一批关键技术取得突破，确保核心部件安全有效供给。整机产品达到国际先进水平，并实现批量生产，在**特种、制造、民生服务等场景得到示范应用**，探索形成有效的治理机制和手段。培育2-3家有全球影响力的生态型企业和一批专精特新中小企业，打造2-3个产业发展集聚区，孕育开拓一批新业务、新模式、新业态。

**(2) 到2027年：**人形机器人技术创新能力显著提升，形成安全可靠的产业链供应链体系，构建具有国际竞争力的产业生态，综合实力达到世界先进水平。产业加速实现规模化发展，应用场景更加丰富，相关产品深度融入实体经济，成为重要的经济增长新引擎。

- **各地政策密集出台，人形机器人区域产业集群初现。**2024年以来，各地方密集发布人形机器人相关政策，国内已形成自上而下的政策体系，北京、上海、广东等地已初现人形机器人产业集群。

图表30：2023年以来，国家及地方人形机器人相关政策密集发布

发文日期	省市/国家	政策名称
<b>国家层面政策文件</b>		
2023/11/2	工业和信息化部	《人形机器人创新发展指导意见》
2024/1/1	工业和信息化部	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》
<b>地方层面政策文件</b>		
2023/6/1	上海	《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划（2023-2025年）》
2023/6/1	北京	《北京市机器人产业创新发展行动方案(2023-2025年)》
2023/8/1	北京	《北京市促进机器人产业创新发展的若干措施》
2024/1/24	广东	《广东省培育智能机器人战略性新兴产业集群行动计划（2023-2025年）》
2024/4/1	江苏	《江苏省机器人产业创新发展行动方案》
2024/4/1	山东	《山东省促进人形机器人产业创新发展实施方案（2024-2027年）》
2024/9/1	浙江	《浙江省人形机器人产业创新发展实施方案（2024—2027年）》
2024/10/1	重庆	《重庆市“机器人+”应用行动计划（2024—2027年）》
2024/12/6	安徽	《安徽省人形机器人产业发展行动计划（2024—2027）》

资料来源：工信部官网，各地方政府信息公开官网，民生证券研究院

# 政策支持，国内人形机器人产业集群初现

- 政策大力支持下，各地建立人形机器人创新中心，抢占人形机器人产业发展先机。人形机器人创新中心可以在一定程度上汇集区域内前沿技术、高精尖人才、资本等资源，帮助孵化人形机器人初创企业，缩短人形机器人产业前沿学术研究与商业转化间的距离。
- 目前，各地人形机器人创新中心成果丰富，已培育出人形机器人“天工”（北京）、“领航者2号”（浙江）、“贡嘎一号”（成都）、“启江二号”（安徽）等人形机器人整机。

图表31：2023年以来各地人形机器人创新中心进展



资料来源：新华网，宁波市政府官网，广东省工业和信息化厅，安徽省科学技术厅，川观新闻，上观新闻，民生证券研究院

# 03

## 日新月异，人形机器人发展进入快车道

· 随着政策支持、产业入局和技术成熟，海内外人形机器人产业均进入发展的快车道。2022年以后，人形机器人产品如雨后春笋涌现。

图表32：海内外人形机器人新品与参数对比

	海外重点企业人形机器人产品						国内重点企业人形机器人产品												
品牌/产品	Agility Robot	TESLA	Figure AI	Apptronik	Boston Dynamic	1X Tech.	小米	优必选	星动纪元	宇树科技	智元机器人	傅利叶	银河通用	达闼	乐聚	开普勒先行者	天链机器人	星尘智能	
产品名称	Digit	Optimus	Figure 01/02	Apollo	Atlas电动版	NEO	CyberOne	Walker S	小星	Unitree H1/G1	远征A2	GR-1/2	Galbot	XR-4	夸父	K1	T1	Astribot S1	
公布时间	2019年	2022年	2022年	2023年	2024年	2024年	2022年	2023年	2023年	2023年	2023年	2023年	2023年	2023年	2023年	2023年	2024年	2024年	
技术路线	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	电驱	
身高/体重	150-160cm/48kg	173cm/56kg	170cm/60kg	172cm/72.5kg	150cm/80kg	165cm/30kg	177cm/52kg	170cm	166cm/46kg	180cm/47kg	175cm/53kg	165cm/60kg	173cm	168cm/65kg	150cm/45kg	178cm/85kg	160cm/43kg	未知	
有效负载	18kg	20kg	20kg	25kg	11kg	20kg	20kg	N/A	N/A	N/A	10kg	50kg	N/A	N/A	N/A	N/A	145kg	NA	
自由度	30个	28个	41个	30个	28个	N/A	21个	N/A	N/A	18个	49个	44个	20+	60+	26个	40个	71个	20+	
最大速度	N/A	约3km/h	4.32 km/h	5.47km/h	5.4km/h	12km/h	3.6km/h	N/A	N/A	11.88km/h	7km/h	5km/h	N/A	5km/h	4.6km/h	N/A	N/A	N/A	
核心部件	反屈膝高负载设计	旋转执行器+直线执行器+纯视觉FSD	旋转执行器+Open AI	硬件+算法	液压执行器/旋转执行器	无齿轮设计+OpenAI	自研Mi Sense深度视觉模组	硬件+算法	硬件+算法	硬件+算法	硬件+算法	自研关节电机、灵巧手、El-Brain	自研高爆发电机，行星谐波模组	轮式底盘+软硬件一体自研	达闼云脑	自研一体化关节、开源鸿蒙	自研高爆发电机+算法	超轻量一体化关节	腱绳+中置集中驱控
交付进度	工厂应用(亚马逊)	工厂测试(特斯拉)	工厂测试(宝马)	工厂测试(奔驰)	原型机	原型机	原型机	商业测试	原型机	已上市	原型机	已上市	已上市	原型机	已上市	原型机	原型机	原型机	
应用场景	物流、工厂	制造工厂	通用场景	仓库、工厂	研发平台	通用场景	通用场景	工业场景	通用场景	通用场景	通用场景	工厂、科研、医疗	通用场景	通用场景	特种领域	工厂、科研	工业场景	AI机器人助理	

资料来源：各公司官网，亿欧，澎湃新闻，民生证券研究院

## 日新月异，人形机器人技术逐渐成熟

### ► 特斯拉Optimus引领行业发展，硬件方案逐渐收敛，自主性逐步提升。

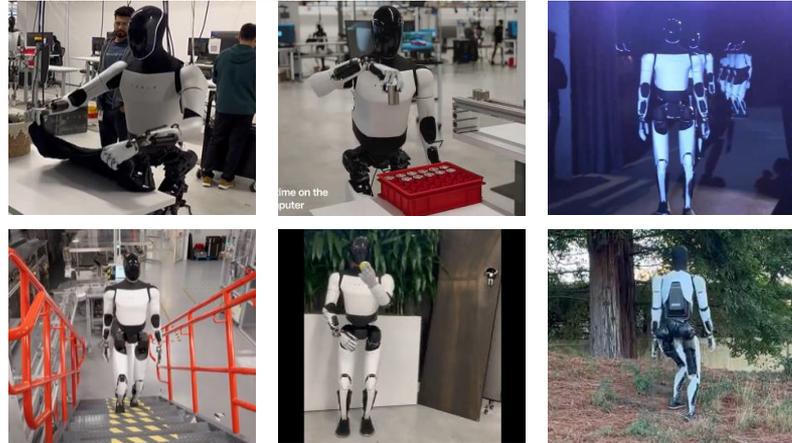
- 2021年8月，Tesla人形机器人概念首次提出，2022年2月验证机诞生，9月原型机首次亮相。
- 2023年3月，Optimus首次展示了稳定步态行走与双手抓取动作。
- 2023年5月，Optimus已经拥有电机扭矩控制能力、环境探索与记忆、基于人类跟踪运动的AI训练以及物体操纵能力。
- 2023年9月24日，Optimus搭载了纯视觉的端到端学习方案，运控更加细腻，身体可完成高难度瑜伽动作。
- **2023年12月13日，特斯拉发布Optimus 2代，稳定性、灵活度、速度、轻量化等方面全方位提升。**
- 2024年1月16日，Optimus 2代展示了其在家务场景的灵巧操作能力。
- 2024年2月24日，Optimus 2代步速达到为0.6m/s（人类步速为1.3-1.5m/s）。
- 2024年5月5日，Optimus 2代完全靠视觉辅助和人类示范进行训练，可以实现对大圆柱电池的精准分拣。
- 2024年10月10日，Optimus 2代亮相We Robot发布会。
- 2024年10月17日，Optimus 2代可以自行充电、上下楼梯并与人类进行简单自主交互（传递物品）。
- 2024年11月28日，特斯拉展示3代灵巧手设计，驱动关节移向小臂，抓取速度与灵巧度大幅提升。
- 2024年12月10日，特斯拉更新Optimus户外盲走视频，“小脑”能力提升显著，未来将配合视觉方案、优化步态。

图表33：特斯拉人形机器人迭代至Optimus 2代



资料来源：特斯拉官方社交媒体，民生证券研究院

图表34：2024年以来特斯拉的人形机器人更新



资料来源：特斯拉官方社交媒体，民生证券研究院

## 04. 未来展望：量产将近，蝶变之始

## 2025年有望成为人形机器人量产元年

- 根据马斯克的预测，人形机器人达到100万台大规模量产之后，售价可降至2-2.5万美元，即不高于一辆汽车的售价，具有可大规模推广的性价比基础。
- 以100万台量产后成本2万美元（14.6万元人民币）为预期对人形机器人核心硬件的成本进行拆分，预计包括旋转执行器、线性执行器、灵巧手及六维力传感器在内的人形机器人本体核心硬件成本将达到10.10万元，占总成本的69%。其中，灵巧手、六维力传感器、行星滚柱丝杠、谐波减速器为高价值量零部件，且存在较大的降本空间。
- 人形机器人量产临近，智元机器人、特斯拉已给出明确的交付预期。目前，智元机器人已开启通用机器人的商用量产，预计2024年底交付千台。特斯拉预计2025年将有几千台人形机器人投入工作，正式商业化量产将于2026年开启。我们认为，2025年将是人形机器人的量产元年，预计全球将有数千台人形机器人进入工厂场景训练。工厂场景训练有望推动人形机器人泛化能力的提升，因此2025年也将是人形机器人通用能力跃升的起点。

图表35：大规模（100万台）量产后人形机器人核心硬件成本预测

	身体执行器	数量	单价/元	价值量/万元
旋转执行器	无框电机	16	500	0.80
	谐波减速器	16	1000	1.60
	力矩传感器	16	400	0.64
	双编码器	16	250	0.40
	制动器	16	100	0.16
	轴承	32	50	0.16
线性执行器	无框电机	14	500	0.70
	行星滚柱丝杠	10	1500	1.50
	梯形丝杠	4	150	0.06
	力传感器	14	400	0.56
	编码器	14	125	0.18
	轴承	28	50	0.14
灵巧手		2	10000	2.00
六维力传感器		4	3000	1.20
<b>合计</b>				<b>10.10</b>

资料来源：爱采购，阿里巴巴，智研咨询，智东西，民生证券研究院测算

## 4.1 更高能量密度电池：运行时长与安全性的保障

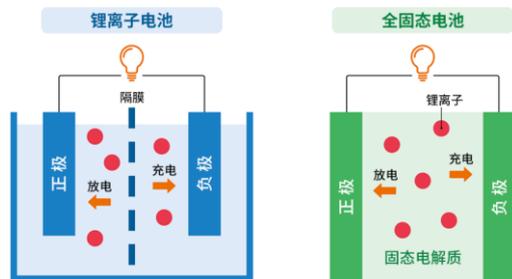
- **续航不足是制约人形机器人工作时长的主要因素。**根据Tesla 2022AI DAY公布的数据，Optimus Gen1搭载2.3kWh电池组，机器人快走时功率为500w，在该状态下续航时间为4.6小时。若机器人进行有负载的活动（例如在工厂中搬运），则续航时间会随功率的提升进一步下降。
- **电池按原理类型可分为锂电池、镍氢电池、以及铅酸电池。**其中，锂离子电池因其高能量密度与长寿命优势被广泛应用。**随着固态电池、钠离子电池等新型电池技术的出现，人形机器人用电池正朝着更轻、能量密度更高、寿命更长的方向发展，未来能量密度有望达到600Wh/kg。**以固态电池为例，在减轻整体重量、增强运动灵活性的同时，保证了安全性和运行时间，无需再频繁充电，有望极大地提升机器人的实用性和工作效率。

图表36：锂离子电池、镍氢电池、铅酸电池、固态电池对比

性能	锂电池	镍氢电池	铅酸电池	固态电池
比能（容量）	50-260Wh/kg	60-120Wh/kg	28-40Wh/kg	350-400Wh/kg
充电（C率）	0.7-1C	0.1-0.3C	0.1-0.3C	5C
放电（C率）	1-10C	0.2-0.5C	0.2-1C	5C
循环寿命	300-7000	500-1800	500-1200	6000
热失控	270°C	100°C	77.5°C	600°C

资料来源：电池中国网、格瑞普电池、UfineBlog、VARTA、华经情报网、索比光伏、juda、36Kr，民生证券研究院

图表37：锂离子电池和全固态电池的工作原理对比

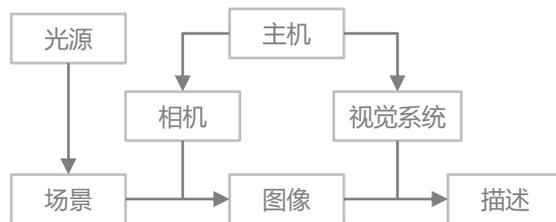


资料来源：murata，民生证券研究院

## 4.2 更多样的传感器：视觉传感器

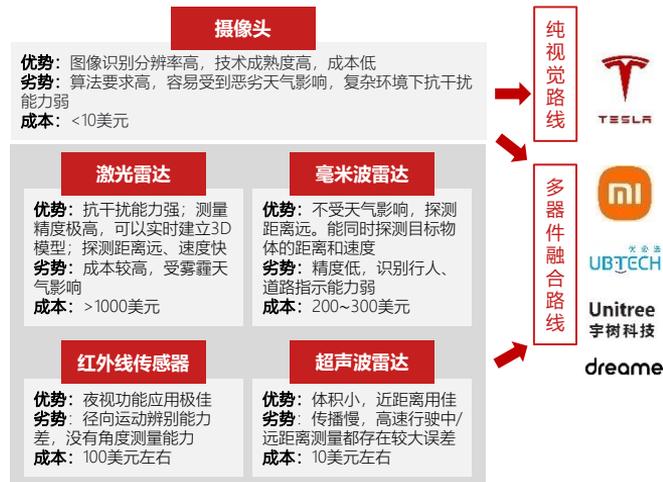
- 视觉传感器作为人形机器人的“眼睛”，根据图像信息获取维度、处理数据类型不同，可划分为2D视觉与3D视觉。2D视觉通过工业相机来获取平面图片，基于物体的平面特征进行分析，但无法获取空间坐标信息。3D视觉能够采集视野内空间每个点位的三维坐标信息，通过算法获取三维立体成像，并分析出目标在空间中的位置、形状、体积、平面度等信息。
- 人形机器人视觉传感技术主要使用多目立体视觉和iToF法。多目立体视觉最少使用3个摄像头即可实现，用单个或多个相机从多个视点获取同一个目标场景的多幅图像，重构目标场景的三维信息，（谁在用）。iToF是指时间往返行程采用时间选通光子计数器或电荷积分器外推获得，从而不需要精准计时的方案，可以实现面积范围成像，小米正是使用该方案。
- 国内人形机器人企业基本采取多器件融合方案。例如追觅通用机器人搭载深度相机；优选Walker X采用多自视觉传感器与Coarse-to-fine多层规划算法；小米Cyberone采取Mi Sense空间视觉模组与深度相机结合方案；宇树科技Unitree H1采取3D激光雷达与深度相机结合方案。

图表38：机器视觉基本结构示意图



资料来源：murata，民生证券研究院

图表39：中国人形机器人企业视觉方案对比

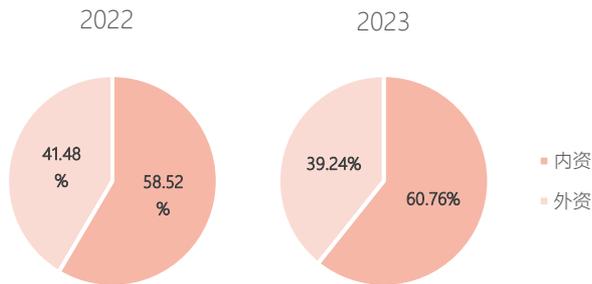


资料来源：前瞻产业研究院，民生证券研究院

## 4.2 更多样的传感器：视觉传感器

- **视觉传感器增量市场大，亚太地区发展可观。**根据Research Nester数据显示，2023年视觉传感器市场规模超过33.7亿美元，预计到2026年底将超过154.1亿美元，年复合增长率（2024-2026）超过12.4%。预计到2036年底，亚太视觉传感器市场将在所有其他地区的市场中占据最大的市场份额。
- **中国3D机器视觉市场增速显著。**根据高工机器人产业研究所数据，2023年中国机器视觉市场规模185.12亿元（该数据未包含自动化集成设备规模），同比增长8.49%。其中，2D视觉市场规模约为161.50亿元，同比增长6.09%，3D视觉市场约为23.62亿元，同比增长28.35%。预计到2028年，市场规模将达到395.29亿元。

图表40：2022-2023中国机器视觉市场内外资品牌格局



资料来源：高工产业研究院，民生证券研究院

图表41：中国视觉传感器公司

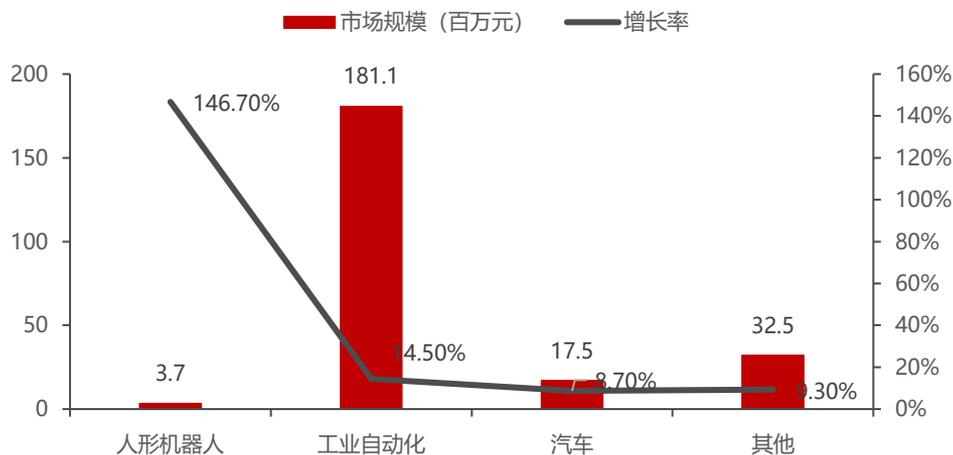


资料来源：前瞻产业研究院，民生证券研究院

## 4.2 更多样的传感器：六维力传感器

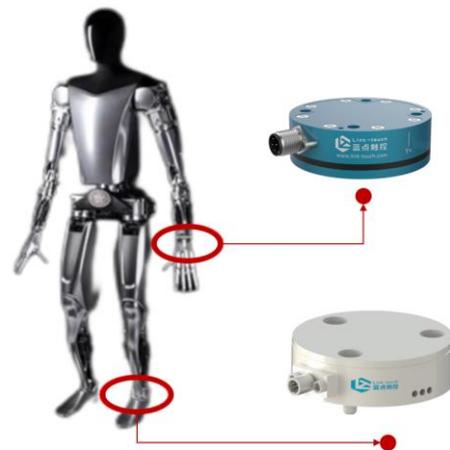
- 在技术进步与创新驱动下，越来越多的人形机器人开始在手腕部和脚踝部集成六维力传感器，这些传感器不仅是其设计中的关键部件，更是提升机器人交互能力、灵活性、安全性、以及柔顺性的关键所在。六维力传感器以其卓越的精确度，能够细致入微地测量作用在机器人身上的力和力矩，赋予人形机器人自主操作能力，使其不再仅仅是执行简单任务的机器，而是能够直接响应指令，执行复杂动作。
- 目前已使用六维力传感器的人机产品包括特斯拉Optimus、优必选 Walker X、达闼小紫 XR-4等。

图表42：2023年六维力传感器分行业市场份额及同比增长率



资料来源：MIR睿工业公众号，民生证券研究院

图表43：六维力传感器对于人形机器人的应用

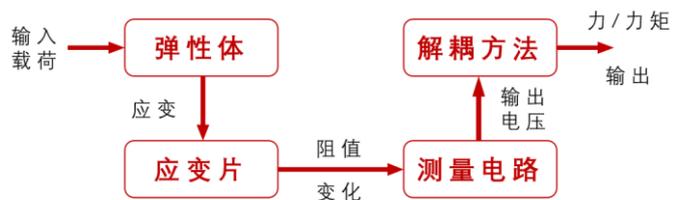


资料来源：蓝点触控官网，民生证券研究院

## 4.2 更多样的传感器：六维力传感器

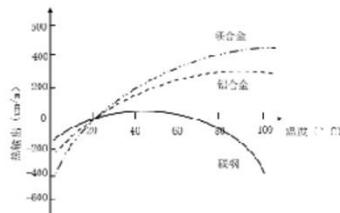
- 六维力传感器行业整体壁垒较高：**除了核心的技术复杂性和设备制造难度之外，还存在其他多方面的问题，如资金压力、行业标准等，以及上游生产的技术要求和下游市场的渠道问题对行业发展的限制。
- 耦合问题：**其误差程度取决于结构参数、加工精度、贴片工艺和测量原理等多种因素。目前，一般通过优化结构设计或采用算法来减少维间耦合。
- 检测与标定：**确保测量精度的关键步骤，直接影响传感器的解耦过程和解耦结果。当前市场上尚无可直接采购的标准化产品，通常需由厂商自主研发以满足需求。
- 动态性能：**直接决定了传感器是否能够准确、及时地捕捉和测量动态信号。由于模型计算的复杂性和不确定性，使得开发高效且准确的模型算法成为一项挑战性的任务。
- 温度漂移和稳定性：**温度漂移严重影响测量范围和精度，目前主要通过硬件补偿和软件补偿进行修正。但存在增加系统成本和复杂性，以及影响动态响应速度的问题。

图表44：载荷到力/力矩信号的变换过程



资料来源：易高资本公众号，民生证券研究院

图表45：应变片粘贴不同弹性体时的热输出



资料来源：汪正全《六维力传感器静态特性与温度补偿研究》，民生证券研究院

## 4.3 更高扭矩密度：行星滚柱丝杠

- 行星滚柱丝杠主要由丝杠、滚柱、螺母、内齿圈、保持架和弹性挡圈组成，可以将丝杠旋转运动转变为螺母直线运动，主要用于人形机器人线性关节，可以提升腿部关节的扭矩密度。
- 行星滚柱丝杠的突出特征为高承载能力、长寿命及高加速度。**相较于滚珠丝杠的点接触，滚柱丝杠的线接触面积更大，因此具备更强的承载能力，此外，还具备刚度大、精度高、耐磨损、耐冲击和寿命长等特点。行星滚柱丝杠的高数量线性接触点提供了其高承载及长寿命，其静载为滚珠丝杠的3倍，寿命为滚珠丝杠的15倍；刚性的行星螺纹避免了滚珠丝杠中钢珠内循环时产生的无序运动，因此行星滚柱丝杠可以达到更高加速度；相比滚珠丝杠，行星滚柱丝杠导程可以设计得更小，提供更大的推力。
- 人形机器人线性关节使用反向行星滚柱丝杠。**反向行星滚柱丝杠最大的特点在于其螺母的轴向位置固定，内部的滚柱沿螺母的内螺纹实现轴向运动，输出线性力。相较于标准的行星滚柱丝杠，反向行星滚柱丝杠可以实现螺母与电机的一体化结合，使空间利用更加紧凑，更加适用于小体积、轻量化、高负载场景。
- 行星滚柱丝杠有三大技术壁垒：原材料、工艺流程、生产设备。**全球代表性行星滚柱丝杠企业主要分布在德国、瑞士和瑞典，2022年国内行星滚柱丝杠主要市场份额由Rollvis、GSA和Ewellix占据。目前国内积极布局该行业的上市公司包括：北特科技、贝斯特、绿的谐波、双林股份、恒立液压、禾川科技、五洲新春等。

图表46：反向行星滚柱丝杠图示

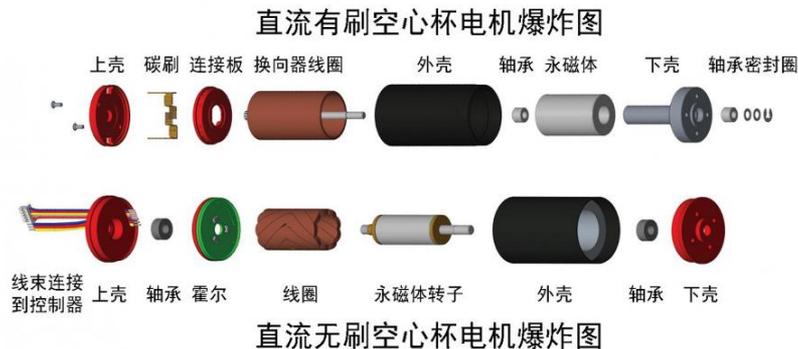


资料来源：Rollvis官网，民生证券研究院

## 4.4 更灵巧的双手：机器人手部空心杯电机

- 人形机器人手部关节空间狭小、需要具备一定的承载力，空心杯电机是实现灵巧手功能的关键。空心杯电机最大的特点在于突破传统电机的转子结构，采用无铁芯转子。无铁芯的转子结构能够彻底消除铁芯中存在的涡流，从而消除其带来的电能损耗，此外，电机的重量和转动惯量大幅度降低，完美契合人形机器人对应手指关节轻量化、高精度等需求。
- 海外企业主导空心杯电机市场，国内企业正逐步突破量产壁垒。海外的主要制造商包括瑞士Maxon Motor和德国Faulhaber等。国内企业生产空心杯电机的难点在于绕线工艺，目前国内许多厂商不具备自动绕线工艺，仍采取手工方式绕线，其效率、产品稳定性方面无法满足客户需求。目前，国内上市企业如鸣志电器、江苏雷利、伟创电气等在空心杯电机产品的量产上有所进展。

图表47：空心杯电机结构拆分



资料来源：智荟精机官网，民生证券研究院

图表48：国内企业正逐步实现空心杯电机的量产

企业	进展
江苏雷利	具备自动绕线生产线，绕线设备于鼎智科技合作共同研发，预计24年Q2可大批量生产无刷空心杯电机。
鸣志电器	具备空心杯电机生产能力，聚焦慢速移动人工智能、高端医疗器械及生化分析仪器等应用场景
拓邦股份	公司对的空心杯电机在智能制造的电动夹爪、医疗健康的骨科动力工具、智能跟随的高尔夫球包车等领域实现了批量应用。
鼎智科技	实现空心杯电机全自动量产

资料来源：各公司公告，民生证券研究院

## 05. 投资建议

**➤ 量产预期：**

- **2025年为人形机器人量产元年，更是人形机器人通用能力跃升的起点，全球将有数千台人形机器人进入工厂场景训练。**工厂训练是破除具身智能数据不足与实用性低下之间“引力束缚”的关键，也是积累高质量、大规模应用数据的必要手段。
- **短期（3年内）人形机器人有望应用于特种场景。**我们认为特种场景成本敏感度较低、遥控操作可在短期弥补具身AI不足导致的机器人自主性不足。
- **中期（3-5年）人形机器人有望应用于制造场景。**我们认为制造场景下的通用机器人不止双足人形一种形式，前期工厂训练泛化后的技能同样有望搭载于轮式机器人，制造业企业对于通用机器人形态的选择将加入成本考量、更加因地制宜。
- **远期（5年以上）人形机器人有望应用于民用场景。**随着规模效应释放及大模型的成熟，该阶段人形机器人有望降价至2万美元/台，同时自主性与硬件性能将大幅提升，人形机器人将真正进入人类的家庭与工作场景，达到与汽车相近的销量。

**➤ 投资建议：**

- **(1) 短期：**海外公司产品定型及量产将近，看好国内配套产业链。  
**中长期：**看好国内人形机器人产业链崛起、科技巨头引领下全球机器人生态共建，重视人形机器人产业链长期投资价值。
- **(2) 软件：**关注具身智能技术突破性成果、人形机器人大脑及小脑环节。
- **(3) 硬件：**关注人形机器人与工业机器人产业相比的增量环节：更精密的传感器、更高扭矩密度的电机、更高能量密度的电池、更轻量化的材料。

## 06. 风险提示

- 1) 人形机器人技术迭代不及预期的风险：**人形机器人的技术迭代为人形机器人扩大应用场景，实现通用性的前提条件，若人形机器人技术迭代不及预期，则会影响人形机器人商业化进程。
- 2) 人形机器人下游需求不及预期的风险：**目前，制造业产线上柔性生产的部分主要由人工负责，若人形机器人下游客户对人形机器人替代人工的需求不及预期，则会在一定程度上缩小人形机器人的量产规模。
- 3) 人形机器人量产进度不及预期的风险：**人形机器人尚处于行业发展初期，人形机器人企业推动产品的大规模量产前需要经过样品认证、供应链搭建等多个阶段，因此存在人形机器人量产进度不及预期的风险。

# THANKS 致谢

## 人形机器人研究院：

### 分析师 汪海洋

执业证号：S0100522100003

邮件：wanghaiyang@mszq.com

### 研究助理 谢雨晨

执业证号：S0100123070040

邮件：xieyuchen\_yj@mszq.com

## 民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路8号财富金融广场1幢5F； 200120

北京：北京市东城区建国门内大街28号民生金融中心A座19层； 100005

深圳：深圳市福田区中心四路1号嘉里建设广场1座10层01室； 518048

## 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登记为注册分析师, 基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论, 独立、客观地出具本报告, 并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰地反映了研究人员的研究观点, 结论不受任何第三方的授意、影响, 研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

## 评级说明:

投资建议评级标准	评级	说明	
以报告发布日后的12个月内公司股价(或行业指数)相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中:A股以沪深300指数为基准;新三板以三板成指或三板做市指数为基准;港股以恒生指数为基准;美股以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	公司评级	推荐	相对基准指数涨幅15%以上
		谨慎推荐	相对基准指数涨幅5%~15%之间
		中性	相对基准指数涨幅-5%~5%之间
		回避	相对基准指数跌幅5%以上
	行业评级	推荐	相对基准指数涨幅5%以上
		中性	相对基准指数涨幅-5%~5%之间
		回避	相对基准指数跌幅5%以上

## 免责声明:

民生证券股份有限公司(以下简称“本公司”)具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用, 并不构成对客户的投资建议, 不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要, 客户应当充分考虑自身特定状况, 不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下, 本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写, 但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断, 且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期, 本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告, 但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

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、咨询服务等相关服务, 本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突, 勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告, 则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权归本公司所有, 未经书面许可, 任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记, 除非另有说明, 均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。