

中信证券研究部



刘海博
制造产业首席分析师
S1010512080011



许英博
科技产业首席分析师
S1010510120041



李景涛
汽车及零部件行业
联席首席分析师
S1010520120003



王喆
能源与材料产业
首席分析师
S1010513110001



核心观点

2025年将成为具身智能机器人产业的量产元年，具身智能机器人是AI与物理世界的重要结合，其量产及场景的开拓试验性应用宣告了人工智能AGI和机器人产业的深度融合，推动新一轮的产业革命。全球政府、科技制造巨头、产业链企业、科研机构及资本均已聚焦和躬身入局，呈现出百舸争流的竞赛之势。不同时代与技术背景的机器人整机公司、具身模型软件方、总成、核心零部件及下游场景企业，共铸产业生态多元化，中国企业在产业链各环节均有布局，中国制造是全球机器人硬件降本的重要支撑，具备比较优势。庞大且复杂的场景落地是具身智能机器人发展的有效试验场，当具身智能的“DeepSeek时刻”出现，具身智能机器人的爆发将成就下一阶段的科技产业浪潮。我们坚定看好具身智能机器人未来十年以上的产业发展机遇，重点推荐核心产业链具备高技术壁垒的细分龙头及新技术带来的潜在颠覆性机遇，建议关注新进玩家带来的交易性机会。我们精选50家核心上市公司推出“中信证券具身智能机器人指数”。

I 引言：人工智能快速发展，生成式AI模型已逐步普及，结合物理世界的具身智能加速发展，机器人产业由传统运控技术衍生出的各类专用机器人进入到了具身智能推动下的泛通用阶段，代表产品不仅仅囿于“人形”，以“具身智能机器人”定义更为恰切。2025年是具身智能机器人的量产元年，创业公司如雨后春笋，传统巨头亦躬身入局，在产业爆发的伊始，我们系统性对产业现状进行梳理并总结投资脉络。

■ 具身智能+AI=AGI→第五次工业革命的开始，具身智能机器人已迈入量产阶段。具身智能是指智能终端通过物理实体与环境实时交互，实现感知、认知、决策和行动一体化，四足机器人、轮式/足式人形机器人是具身智能的理想载体，通过运动控制、环境感知和AI决策形成与物理世界交互的闭环系统。相较于传统服务/工业机器人，具身智能机器人的核心差异在于通用任务适应能力，可应对复杂动态场景并实现多模态泛化。具身智能的背后代表着AGI（通用人工智能）的发展，这也是新一轮工业革命的重要象征。2021年特斯拉率先公布机器人项目Optimus概念设计，成为具身智能机器人产业开始发展的里程碑事件，2025年具身智能机器人正式进入量产阶段，特斯拉计划2025年在自有工厂内部署数千台机器人，并计划于2029-2030年间实现百万台年产量。结合国内各主要厂商微信公众号、视频号及高工机器人统计，预计2025年全球具身智能机器人出货量至少达到2万台以上。我们中性预测，至2030年全球具身智能机器人出货量或达263万台，市场规模望接近4,000亿元。

■ 全球资本、政策和产业的目光均开始向本新兴产业进行投射，产业发展不再局限于纸面环节。1) 资本：2020年至今行业融资超250笔，2020-2024年融资案例数量增速CAGR超40%，早期聚焦本体企业，2023年后转向具身大模型及灵巧手，映射商业化进程加速；2) 政策：2025年具身智能首次被写入政府工作报告，12个省市发布专项政策；美国、日本等国通过连续性计划强化机器人产业优势；3) 泛产业：产业链通过产能扩张、战略合作及并购整合加速布局，头部企业如华为、腾讯、美团等通过“外投内建”深化布局。具身智能产业的战略性已毋庸置疑，全球强国和跨国巨头均已将具身智能机器人发展视为新时期的“军备竞赛”。

■ 玩家涌入，产业生态多元，中国企业涉及产业链各个环节，尤其在硬件降本环节有全球领先优势。诸多玩家涌入赛道，产业生态愈加多元，主要包括整机厂、具身模型企业和零部件企业：1. 整机厂：续航和步态技术趋于成熟，双臂协同与灵巧手感知进化，多机协同技术崭露头角，具身智能模型架构形成双系统分层共识；2. 具身模型企业：产学研联动推动生态繁荣，中国创业公司2023年后加速崛起，聚焦感知-决策-控制三大环节；3. 零部件企业：各厂商均结合自身优势开始切入机器人零部件，从电驱到机械传动，从传感到减重轻量化，从高算力主控到灵巧手，机器人主要零部件目前并不存在“卡脖子”及难以降本的环节，尤其是硬件降本层面，中国制造产业链有全球其他地区无法比拟的规模和配套优势，因此全球具身机器人发展均将使得中国零部件制造企业持续受益。

- **场景落地是具身智能的关键**，目前在各个领域齐头并进，与人为伴是具身机器人的终极目标。场景落地是具身智能产业的核心任务和发展保障，目前在多个场景下均有不同程度的推动：1. **科研&教育**：率先批量化落地，全尺寸科研型与模块化教育型分层适配；2. **工业&制造**：物流、汽车工厂持续试训，汽车总装车间替代空间广阔；3. **商用&服务**：服务、零售等场景展现潜力，软件服务或为主要盈利点；4. **军用&特种**：效费比突出，机器战争走向现实；5. **家用&生活**：通用泛化能力仍待加强，ToC 端应用场景最为广袤。
- **产业加速发展需要具身智能专属“DeepSeek 时刻”的到来**。当前较为成熟的生成式AI 仅是通用人工智能的“冰山一角”，具身智能核心需要以VLA 模型为底层基础，结合多模态、具备较强推理能力的大模型，目前诸多厂商已崭露头角，通过充足的数据采集和训练，具身智能模型走向成熟的时间点在逐步临近。具身智能产业也或将诞生“DeepSeek” 式的现象级时刻。但在此之前，整个产业需要再对机器人形态、关节模组选型、灵巧手技术、小脑运控路线以及数据采集训练方法等进行迭代和收敛。待具身智能模型成熟后，届时诸多生活和工作任务均将被机器人所代替，人类有望在物理层面实现“解放”。
- **风险因素**：机器人技术进步速度低于预期、机器人应用场景的发展潜力低于预期、技术路线变动风险、政策实施力度不及预期、行业竞争加剧风险、法律法规风险、国际地缘政治风险。
- **投资策略**：2025年将是具身智能产业的量产元年，自板块行情从2022年开始以来，随着产业发展，行情规律体现为产业技术与商业进展的趋势投资。从估值层面来看，当前资本市场以2030年量产规模预期作为估值的锚定，远期放量预期的估值贡献往往会更大，估值对于短期收入业绩及量价变化并不敏感。从投资思路来看：1)看好具身智能机器人板块，并且认为该板块已成为2025年及未来5-10年的最重要的科技产业机会之一；2)建议关注核心产业链环节具备高竞争壁垒的公司的投资机会，在产业革命中持续兑现业绩消化估值并穿越产业浪潮起伏；3)建议关注新进入玩家及潜在颠覆性技术路径带来的估值拉动，不仅包括新进入的科技巨头和主机厂的相关公司，还包括各零部件环节的玩家。
- I **中信证券具身智能机器人指数**：我们根据具身智能机器人产业链中各公司在机器人领域的自主布局、跨产业链的交叉合作以及整机的产品进展，遴选出50家与具身智能机器人产业呈高相关度的上市公司，并以等权重的方式构建出“中信证券具身智能机器人指数”，供投资人参考。

重点公司盈利		预测及投资评级									
代码	简称	收盘价	EPS				PE				评级
			24	25E	26E	27E	24	25E	26E	27E	
1810. HK	小米集团-W	49.95	1.22	1.73	2.27	2.92	41	29	22	17	买入
002050. SZ	三花智控	26.80	0.83	0.98	1.17	1.41	32	27	23	19	买入
601689. SH	拓普集团	52.25	1.78	2.26	2.81		29	23	19		买入
688306. SH	均普智能	10.33	0.01	0.03	0.12		1,033	344	86		无评级
300124. SZ	汇川技术	71.59	1.59	2.09	2.49	2.97	45	34	29	24	买入
688279. SH	峰昭科技	243.50	2.91	4.04	5.95		84	60	41		买入
603728. SH	鸣志电器	65.87	0.21	0.41	0.60		314	161	110		无评级
003021. SZ	兆威机电	127.06	0.89	1.19	1.54		143	107	83		买入
603009. SH	北特科技	45.66	0.20	0.34	0.46		228	134	99		无评级
603667. SH	五洲新春	37.39	0.32	0.44	0.57		117	85	66		买入
688322. SH	奥比中光-UW	59.26	-0.15	0.02	0.14		-395	2,963	423		无评级
资料来源：中信证券财经数据库系统，中信证券研究部预测				注：股价为2025年4月30日收盘价(单位：元，元/股)							

第五次工业革命：从科幻到量产的临界点

具身智能+AI=AGI→第五次工业革命的开始

四足机器人、轮式/足式人形机器人是具身智能 (Embodied AI) 的理想载体，通过运动控制、环境感知和AI 决策，形成与物理世界交互的闭环系统。相比传统的服务/工业机器人，相同点在于服务/工业/具身智能机器人的技术路径均从基础行动(2000 年以前)→ 传感器融合(2000-2021 年)→ 多模态感知的具身智能(2022至今)迭代，不同点在于服务、工业机器人更多服务于垂类应用场景(包括清洁、送餐、巡检、生产制造等)，而具身智能的核心突破在于其通过具身性实现通用任务的适应能力，适用于更为复杂的动态场景，达成多模态的交互与泛化能力。

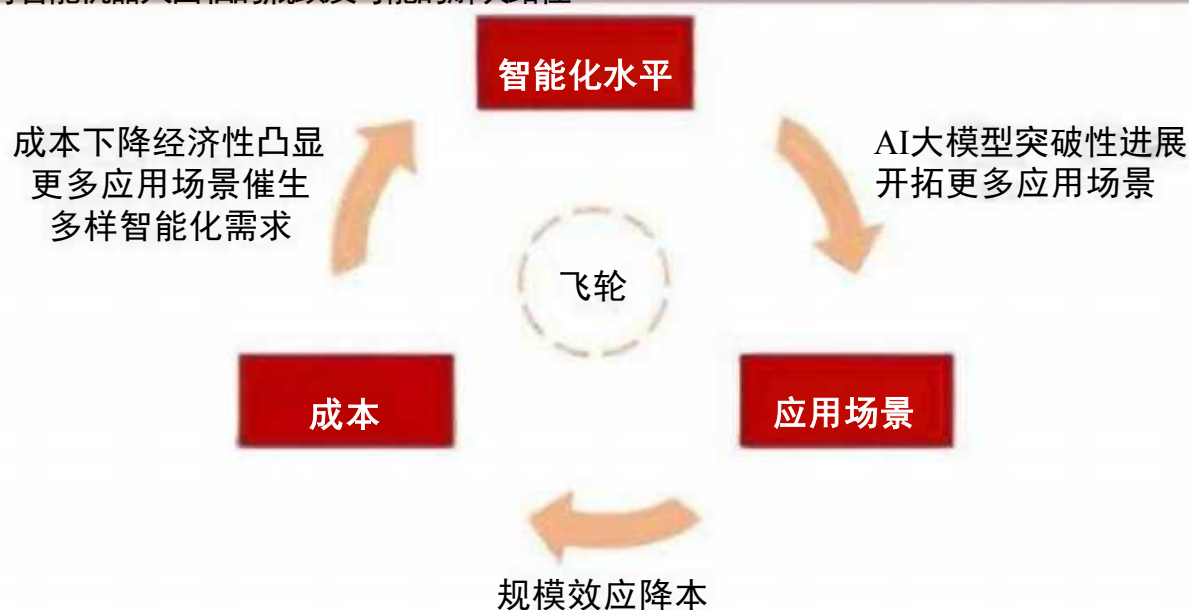
图1：服务、工业、具身智能机器人全图景梳理



资料来源：科沃斯、九号公司、库卡、汉阳动力、元鼎科技、iRobot、越疆科技、宇树科技、特斯拉公告官网，MIR数据库，越疆科技招股书，望圆科技招股书，九号公司财报，中信证券研究部预测

机器人为供给创造需求的行业，技术-应用-成本飞轮有望开始转动。服务/工业机器人从1990s 发展起步，技术变革带来产品的高可靠性，规模化量产驱动的 BOM 成本下移，使得全球各类服务/工业机器人的出货量类似超过2, 500万/60万台。受益于多模态大模型的迭代带动大小脑能力飞跃及核心零部件 BOM 成本的下降，具身智能机器人产品力的稳定性和可靠性有望迎来质的提升，规模化量产将驱动产品终端售价下移，持续拓宽具身智能的使用场景。

图2:具身智能机器人面临的瓶颈及可能的解决路径



资料来源：中信证券研究部

应用潜力随能力提升，多元场景逐步打开。 具身智能机器人可以分成五个能力水平，层级越高，代表着智能化程度越高，同时也对硬件性能和算法的复杂性提出了更高要求。目前具身智能机器人整体处于 L2 的初级状态，需要在人工的持续监督下才能执行少量基础性动作。少量厂商的演示视频中，机器人可以完成更为复杂的任务，但仍然需要大量的人工干预(包括遥操作)。头部玩家正努力向具备量产商业价值的L3级别迈进，根据特斯拉2025 All-Hands 大会上，公司CEO 马斯克的表述，特斯拉Optimus 或于2026下半年开始对外出售，计划届时 Optimus 能在非特斯拉监督的环境中执行端到端的任务。从 L2 向 L3 的进化需要硬件和软件的同步持续迭代升级。

图3:具身智能机器人能力水平模型(目前整体处于L2初级水平)

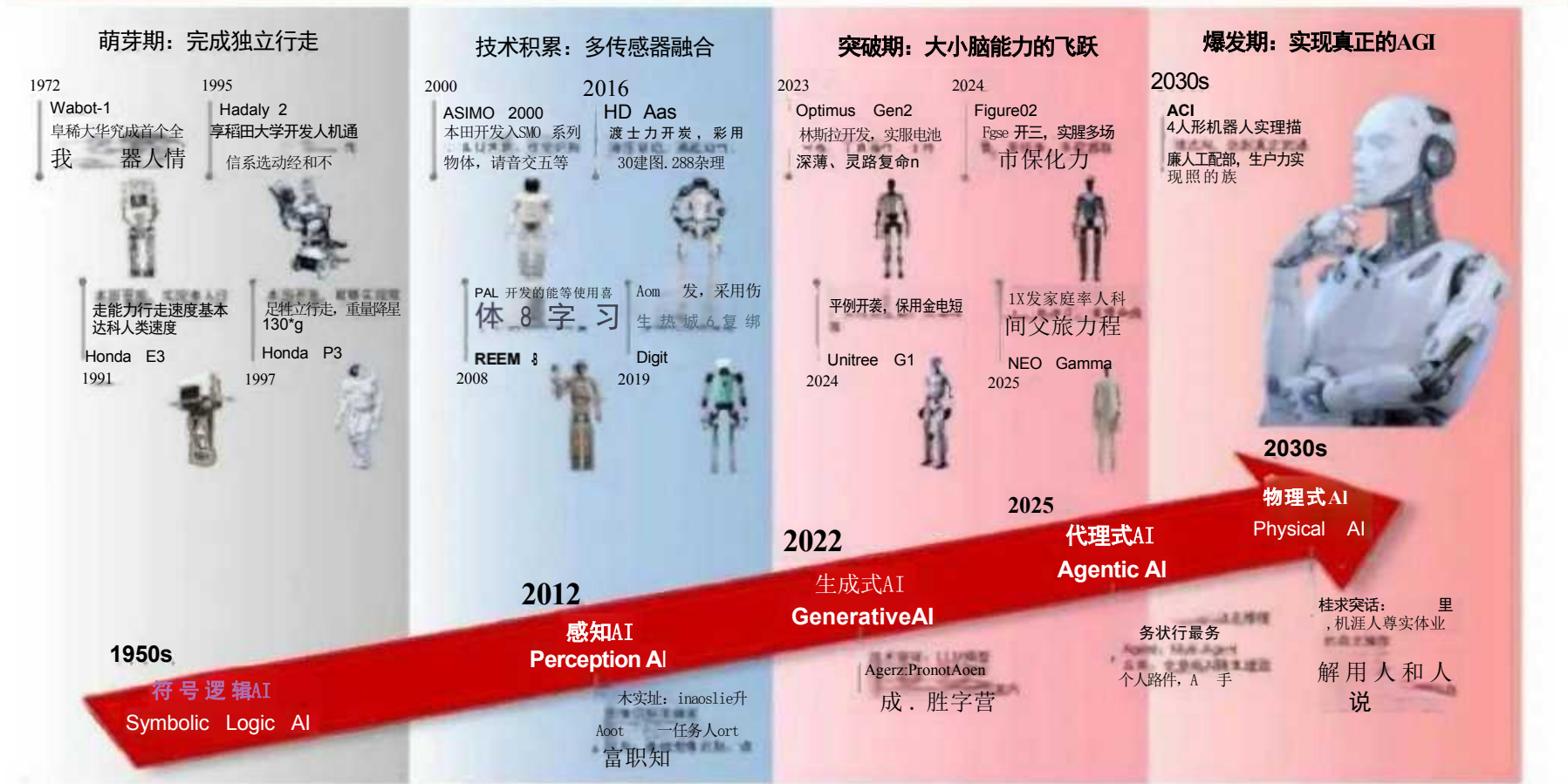


资料来源：特斯拉官网，优必选官网，智元机器人发布会，ABB 机器人官网，Agility Robotics官网，软银机器人官网，宇树科技官网，波士顿动力官网，九号公司官网，Robotiq 官网，Shadow Robot 官网，中信证券研究部

具身智能+AI Agent 有望实现真正的通用人工智能(AGI)。具身智能的发展深度受益于 AI 的快速迭代，尤其在2022年Transformer 架构的普及加速了VLA 等多模态大模型的迭代。AI 自2010年后的发展推动了具身智能机器人在感知/决策/执行的高速发展，从感知AI(2012 年)→生成式AI(2022 年)→代理式AI(2025 年)→2030s (物理式AI)，技术层面从 ImageNet/AlexNet→Transformer 架构/LLM 模型→多模态大模型/检索增强生成 (RAG)/ 强化学习(RLHF)→ 端到端大模型，应用从图像/语音识别→内容生成→多模态任务分解→通用泛化能力。诚然，AI Agent 仍有诸多挑战仍待解决，包括低延时实时多模态反馈、跨场景的终身记忆系统、虚拟与物理世界交互操作的高鲁棒性等，但市场也已涌现出了包括Physical Intelligence等在内的代表性“具身智能+AI Agent”案例。

结合全球头部整机厂现有技术展示及出货量指引，我们预计在2030年前将有小批玩家率先开发出具备商业化价值的Physical AI产品。随着头部玩家的技术辐射，更大范围的AGI 时代或将于2030s 到来，驱动具身智能机器人在更广阔的空间发挥作用。

图4：具身智能机器人与AI 的结合有望最终实现真正的通用人工智能



资料来源：各公司官网，IEEE Robots Guide, 《Advancements in Humanoid Robots: A Comprehensive Review and Future Prospects》(Yuchuang Tong, Haotian Liu, and Zhengtao Zhang), 中信证券研究部

2025年特斯拉Optimus 迈入量产阶段，目标实现快速爬坡

图5：特斯拉机器人业务发展归纳



资料来源：特斯拉官网，特斯拉业绩交流会(含预测)，特斯拉X 平台官方账号，Tesla AI Day, Tesla AI Day2, 2025 CES大会官网，中信证券研究部

特斯拉机器人进展持续领先，2025年即将进入量产。特斯拉是具身智能的领军企业之一，进展持续领先。2021年特斯拉公布Optimus 概念设计。2022年9月AI Day2上，特斯拉展示了原型机Bumblebee,6 个月后特斯拉在投资者日上展示了第一代机器人硬件版本 Gen 1, 机器人已经具备了行走、搬运、识别物品、浇花等基本的运动和应用能力。9个月后，机器人硬件版本再次升级， Gen 2版本亮相，相比Gen 1, Gen 2使用了特斯拉设计的执行器和传感器，行走速度提升30%、减重10kg，可完成深蹲等动作，增加手部触觉传感器和脚部六维力矩传感器，已经能够进行拧螺丝、瑜伽、深蹲等高难度动作，可以流畅地与人类互动，封闭场景中自主的完成导航、避障的移动，接住飞来的网球，机器人的技术进步显著。

根据特斯拉2025Q1 业绩交流会上的最新指引，马斯克预计至今年年底将有数千台Optimus 在特斯拉工厂工作，马斯克有信心能在4-5年以内(2029-2030年)实现年产100万台Optimus 的水平。2025年千台的产量将集中在年底完成。

图6：搭配最新灵巧手的Optimus 正处于生产装配线上



资料来源：《Me, Robot》(20254, 特 斯 拉Optimus 官 方X 平台账号)

新能源汽车与具身智能机器人产业链的复盘对比

复盘新能源汽车产业发展，行业领军者带动多方玩家入局，共同推进产品普及。复盘新能源汽车的发展历史，特斯拉是行业的技术变革者和领军者，2008年特斯拉首款电动汽车产品 Roadster 上市，开启了新能源汽车快速发展的序幕。在技术发展、政策支持、车型产品力的多方驱动下，领军者企业特斯拉的销量节节盘升，2019年三季度实现单季度扭亏为盈。得益于特斯拉的技术引领以及规模销量下的盈利示范作用，造车新势力、传统车企、科技公司陆续入局新能源汽车行业，共同推进新能源汽车的快速普及。2005年到2015年，中国新能源汽车用了10年，渗透率突破1%，8年后的2024年，国内新能源汽车单月渗透率实现了50%的突破。

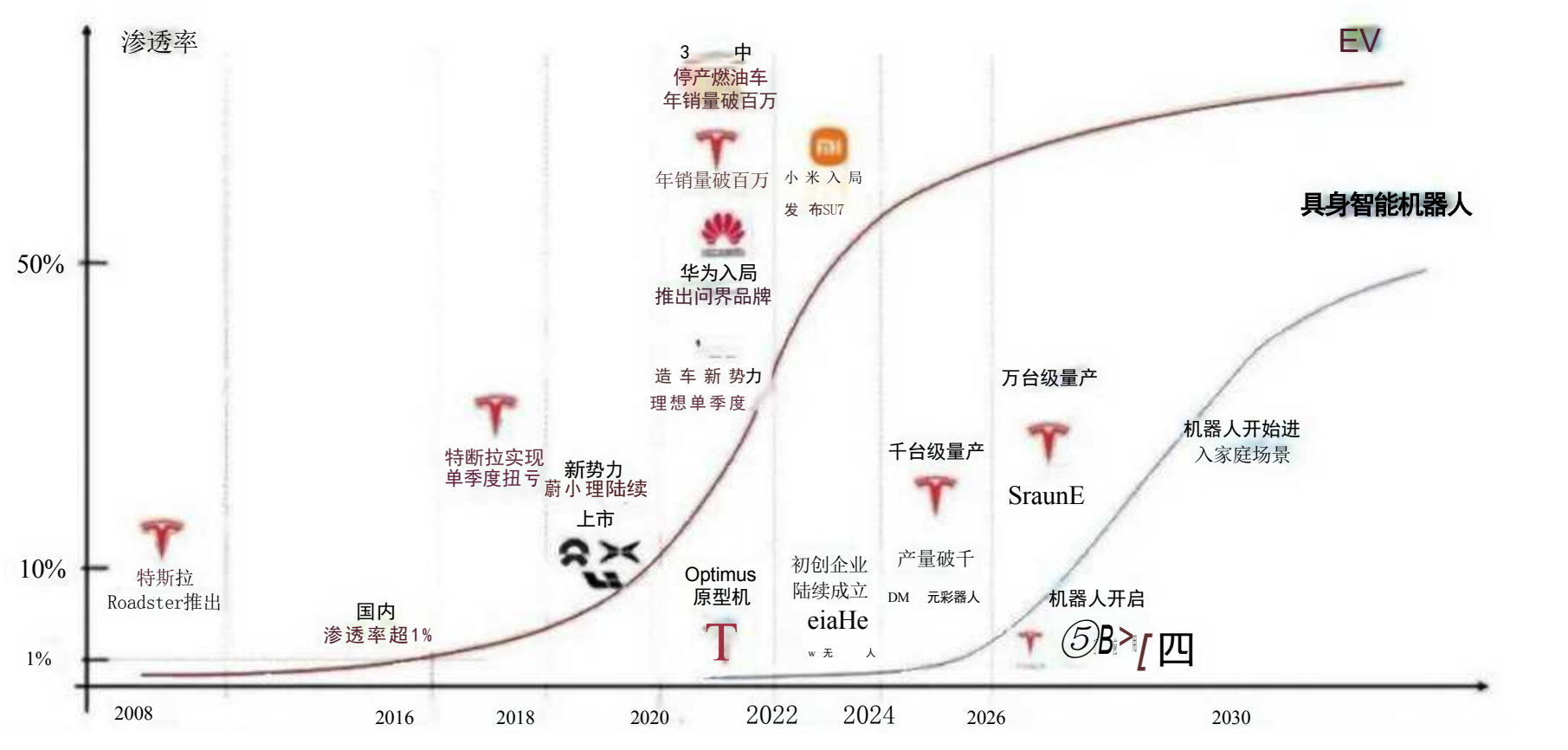
类比新能源汽车产业链，当前具身智能机器人产业处于爆发前夕。2022年特斯拉 Optimus 原型机的推出，标志着具身智能产业进入大众视野，行业领导者进入快速迭代期。随着特斯拉机器人的进展不断超预期，2022-2024年陆续有Figure AI、智元等机器人初创企业诞生，比亚迪、赛力斯等传统主机厂入局，小米、华为等企业也在布局，具身智能机器人成为科技产业内的共识发展方向，行业玩家百花齐放。2025年是行业内头部企业进入量产的一年，机器人陆续将进入工厂工作。类比新能源汽车的发展历程，具身智能机器人产业当前处于行业玩家增多、产品即将进入商业化落地、实现从0到1的突破的爆发前夕。未来随着机器人能力的提升，机器人将陆续从工厂类应用走向家庭生活类应用，渗透率望迎来快速提升。

图 7：新能源汽车与机器人产业链的对比



资料来源：各公司官网，中信证券研究部

图 8：新能源汽车与具身智能机器人产业链的发展对比



资料来源：各公司官网，各公司年报，特斯拉业绩交流会，中汽协，中信证券研究部预测 注：2025年及以后数据为预测

中性假设下，预计2030年具身智能机器人全球市场规模达到近4,000亿元

国内外头部机器人企业积极推进量产，2025年开启量产序幕。马斯克预计2025年将有数千台机器人在其内部工作，2026-2027 年机器人产量将连续增加一个数量级；2025 年 Figure AI推出首条自动化生产线 BotQ，预计年化产能可达到1.2万台机器人，计划在 4年内将产能扩张至10万台机器人；2025年1月，智元累计量产了1,000台通用具身机器人，预计2025年出货数千台机器人。根据头部企业的规划，具身智能机器人产量在2025 年将迎来显著提升，拉开量产序幕。

出货量预测(万台)	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
乐观假设						602
海外	1.6	20	100	200	360	500
Tesla	0.8	10	50	100	180	250
非Tesla	0.8	10	50	100	180	250
国内	1.9	6	12	32	63	102
智元	0.6	1.5	3	10	20	30
优必选	0.15	0.5	0.8	1.5	3	5
小鹏	0.05	0.15	0.3	1	2	4
星动纪元	0.03	0.15	0.3	1	3	5
银河通用	0.02	0.08	0.2	0.8	1.5	3
国内其他	1	3.3	7	18	33	55
中性假设						263
海外	1.2	10	24	60	120	200
Tesla	0.6	5	12	30	60	100
非Tesla	0.6	5	12	30	60	100
国内	1.4	4	7	17	35	63
智元	0.5	1	2	4	10	15
优必选	0.12	0.3	0.6	1	2	4
小鹏	0.02	0.1	0.2	0.6	1.5	3

出货量预测(万台)	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
星动纪元	0.02	0.1	0.2	0.6	1.5	4
银河通用	0.01	0.05	0.1	0.4	1	2
国内其他	0.68	22	4.2	10	19	35
悲观假设						97
海外	1.0	4	16	24	40	60
Tesla	0.5	2	8	12	20	30
非Tesla	0.5	2	8	12	20	30
国内	0.9	3	5	12	22	37
智元	0.3	0.8	1.5	2.5	5	8
优必选	0.1	0.2	0.5	0.8	1.5	3
小鹏	0.01	0.05	0.1	0.5	1	2
星动纪元	0.01	0.05	0.1	0.5	1	2
银河通用	0.01	0.03	0.08	0.3	0.8	1.5
国内其他	0.5	1.4	3.1	7.5	13	20
机器人均价(万元)	50	40	30	25	20	15
具身智能机器人市场规模(亿元)						
乐观假设	173	1,027	3,348	5,808	8,450	9,030
中性假设	128	550	939	1,915	3,100	3,945
悲观假设	97	261	641	903	1,246	1,448

资料来源：特斯拉财报电话会，高工机器人，中信证券研究部预测；注释：1) 乐观指具身智能机器人商业应用超出预期，下游需求催化带动更大规模量产；2) 中性指商业应用符合预期，各厂商履行目前指引产量；3) 悲观指商业应用不及预期，各厂商减缓量产进度。机器人均价参考 BOM 成本测算及未来降本预期，前后文有详细阐述。

工厂应用率先落地，未来将扩展至生活家庭应用。工厂环境较为单一、变化少，机器人更容易承担重复性任务，具身智能机器人有可能实现比工业机器人更多的功能，如仓储物流管理、上下楼梯移动货物等，未来用户侧的技术进步也可能带来新的需求。此外具身智能机器人还可能从事高危、高重复性工作，在救火、有毒物质清理等对人体有害的工作场景中取代人工。量产及降低成本后，在家庭场景，具身智能机器人可能为教育目的模拟人类互动，作为医疗助理陪伴老人、协助生活、照顾孩子、做饭等。

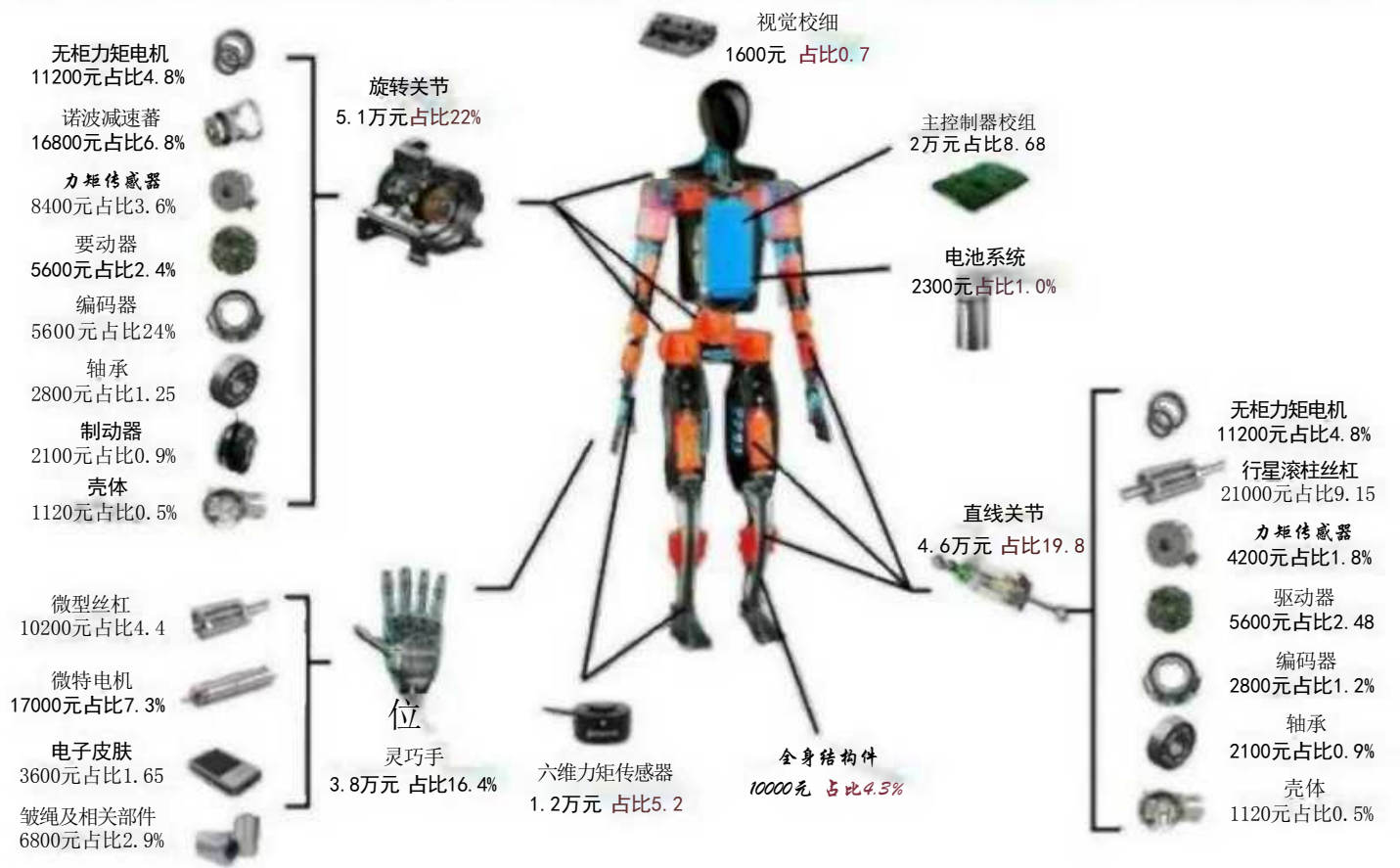
中性假设下，预计2030年全球具身智能机器人市场规模接近4,000亿元。综合各家企业对产量的指引以及我们对于产业化进程的判断，在乐观/中性/悲观假设下，2025年全球具身智能机器人出货量为3.5/2.6/1.9万台，到2030年，全球具身智能机器人出货量将望达到602/263/97万台。我们预计具身智能机器人的成本将在规模效应以及国产化替代的进程下迎来下降，使得机器人的应用更具备经济性，推动规模化的应用普及。综合出货量以及均价假设，在乐观/中性/悲观假设下，我们预测2030年具身智能机器人市场规模将达到9,030/3,945/1,448亿元。

规模化量产需多方资源协调，量产进度存在动态变化可能性。根据马斯克于特斯拉2025Q1财报电话会表述，Optimus 肩部电机所需要的稀土永磁材料主要由中国进口，而由于出口管制，特斯拉方面遇到了一定的采购资质阻碍。供应链以外，机器人的实际落地能力是最大考验。现阶段，主流产品仍需依靠遥操作才能完成基础任务。弱监督、甚至无监督的智能仍有待时日。

执行类零部件价值量占比高，国产化替代和规模效应是主要降本路径

机器人核心零部件主要是执行器类、感知类、控制类及其他硬件。执行器包括各类旋转执行器、直线执行器及灵巧手，用于机器人的各类关节，为机器人提供自由度，完成各类动作；感知类零部件包括各类传感器，如力矩传感器、视觉传感器等；控制类零部件包括控制模组、算力芯片、通信模块等，用于机器人的控制及通信；其他硬件包括电池、结构件等。

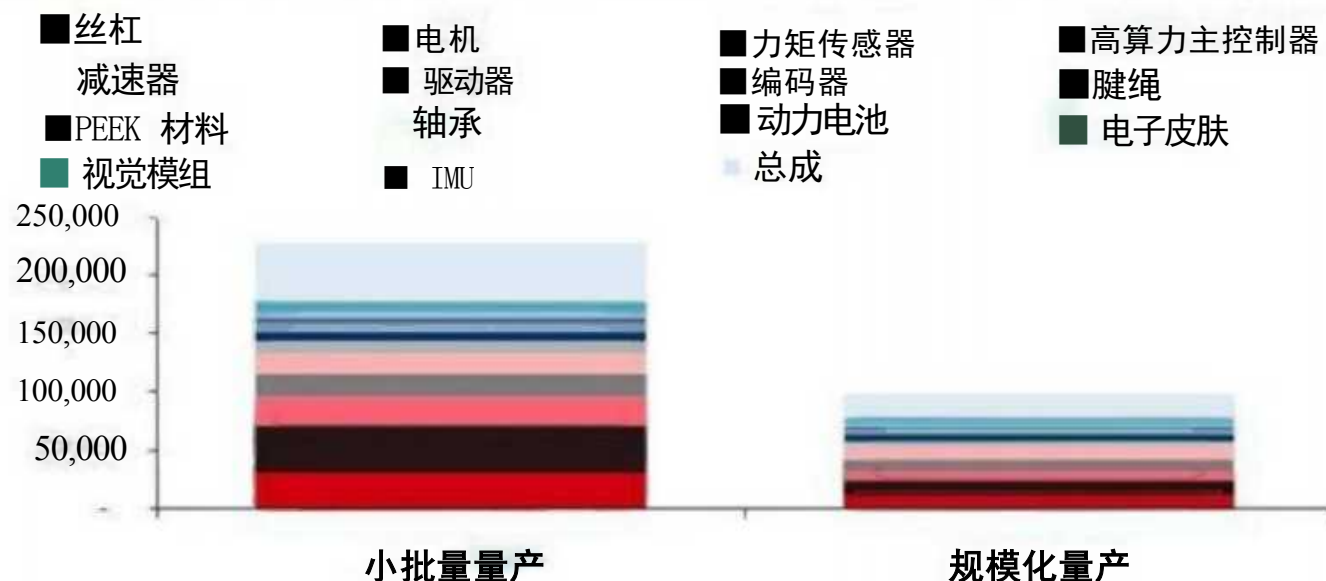
图9：特斯拉Optimus BOM成本拆分（5万台以下小批量量产）



资料来源：特斯拉官网、绿的谐波、鸣志电器、步科股份、禾川科技、柯力传感、人本股份、瑞迪智驱、Robotiq、意法半导体等公司官网、招股书，中信证券研究部预测（金额预测）

执行器属于机器人的核心零部件，单机价值量占比高。旋转关节、直线关节、灵巧手等零部件用于实现机器人的各种动作，属于机器人的核心零部件。根据特斯拉AI Day2上公布的方案，以及产业链上各公司年报的披露，我们测算执行器在机器人硬件成本占比约为60%-70%，单机价值量占比高。

图10: 特斯拉Optimus 降本路径测算(万元)



资料来源：特斯拉官网、绿的谐波、鸣志电器、步科股份、禾川科技、柯力传感、人本股份、瑞迪智驱、Robotiq、意法半导体等公司官网、招股书，中信证券研究部预测(金额预测)

当前特斯拉机器人BOM 成本在20-30万元左右，后续存在降本空间。机器人的成本影响机器人替代人工的经济性，从而影响机器人的应用推广，是当前机器人亟待解决的瓶颈之一。根据马斯克在特斯拉股东大会上的指引，机器人未来的售价将低于2万美金，当前机器人存在降本空间。

核心零部件国产化和规模效应是后续主要降本路径。当前机器人成本较高的主要原因之一是传感器、电机、丝杠、减速器等核心零部件采用外资供应商，零部件制造成本和售价较高。中国供应链完备齐全，在规模化制造上具备优势，随着技术实现上对外资垄断领域的突破，中国企业凭借制造能力的优势，帮助机器人企业解决成本问题，在机器人产业发展浪潮中，扮演重要角色。另一方面，当前机器人尚未形成规模，并且以手工组装形式生产为主，当前成本中制造费用成本占比较高，我们预计这一部分将在具身智能机器人出货量的增长下逐渐被摊薄，规模效应得以体现。

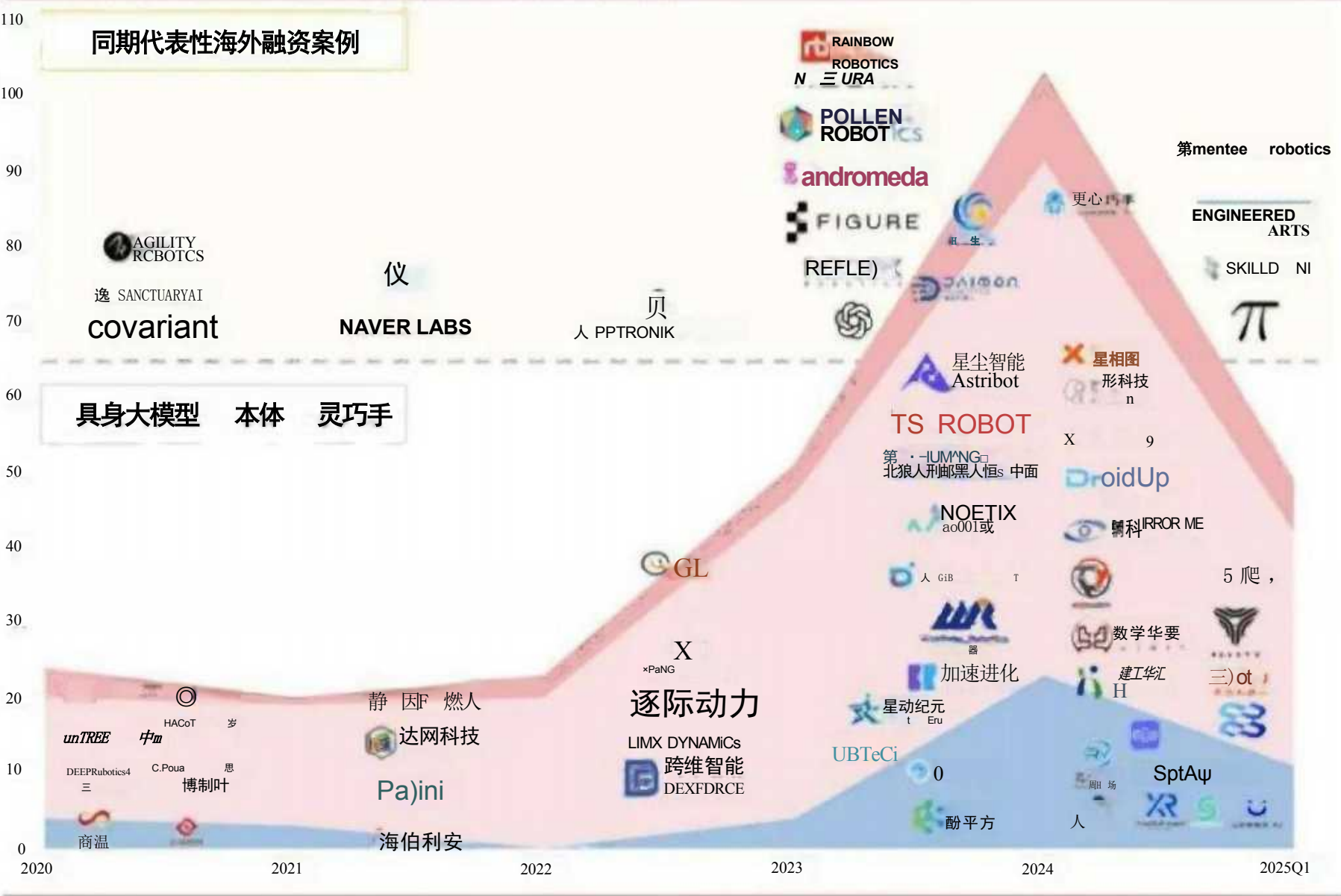
政策与资本共振：产业生态拔地而起

资本：热度高企，多元生态孕育新兴玩家

根据烯牛数据、鲸准数据等平台公开信息，在我们不完全统计下，2020年至今，全国范围内具身智能行业发生了超过250笔融资事件，其中本体/具身大模型/灵巧手的融资案例分别占比72%/16%/12%。2020-2024年，融资案例总数增速CAGR 超40%。25Q1融资事件总量已接近2023年全年水平。

早期，市场融资以具身智能本体公司占主导。2020-2023年，具身智能本体企业的融资案例占比超过80%，数量显著多于具身模型及灵巧手的水平。在此期间，行业代表性本体玩家，国内的傅利叶、宇树科技、云深处等，海外的Agility、Sanctuary AI、1X等相继完成早期融资。2023年开始，具身大模型及灵巧手企业融资案例逐渐增多。当市场注意力开始向运控软件及高灵巧性硬件靠拢时，间接反映出行业逐步向商业化成熟应用前行。

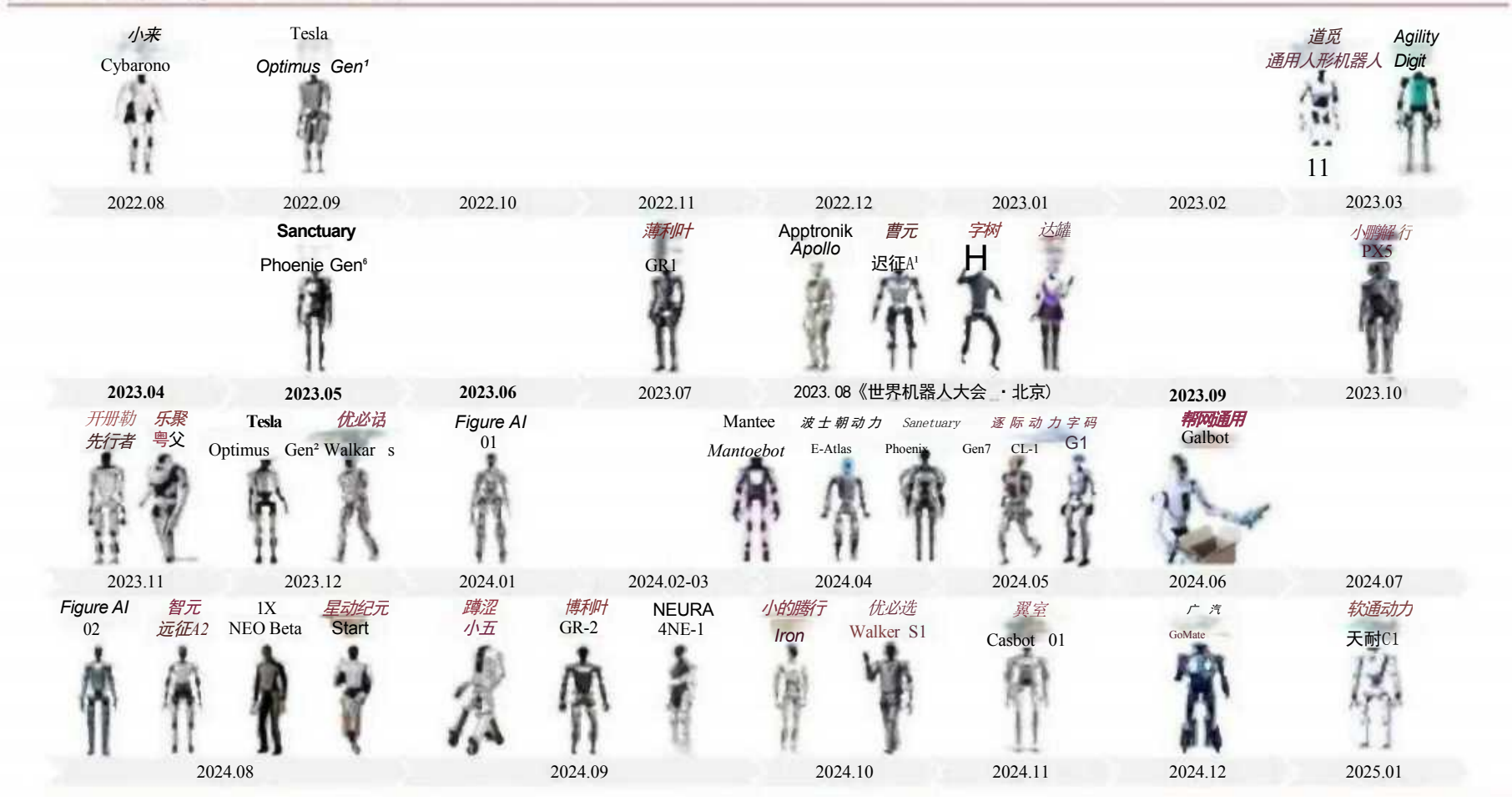
图11：国内外具身智能领域一级市场融资案例统计（单位：融资案例数）



资料来源：烯牛数据，鲸准数据，Crunchbase，各公司官网，中信证券研究部

2023-2024年，国内外融资事件高增，标志着具身智能正式走向聚光灯下。融资数量快速提升的背后既有龙头企业的引领，也有产业政策的落地，更有投资回报的可视化。2023年7-8月，国内厂商集中发布产品 Demo，包括傅利叶智能GR-1、智元机器人远征A1、宇树科技H1、达闼机器人XR4 等。此外，世界机器人大会、世界人工智能大会等展会的召开也给予了各家企业更高的曝光度，进一步提升了一级市场的热度。

图12:代表性厂商机器人产品时间线



资料来源：各公司官网，中信证券研究部；注释：标红为国内厂商，标黑为海外厂商，截至2025年1月

政策：持续加码，“方向+时间+目标”多维度明晰

2023年四季度至2024年一季度，行业曾迎来密集的政策发布。2023年9月，工信部办公厅推出《2023年未来产业创新任务揭榜挂帅工作的通知》，人形机器人入选4个重点方向之一，由此打响了具身智能相关政策的“第一枪”。2023年11月，工信部继续出文《人形机器人创新发展指导意见》，提出2025年建立人形机器人创新体系、2027年构建具有国际影响力的人形机器人产业生态。2024年1月，工信部联同教育部，科学技术部等7部门发布《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，提出要突破伺服电机、运动控制、灵巧手、电子皮肤等核心技术，重点推进智能制造、家庭服务、特殊环境作业等领域应用。

至此，国内具身智能政策完成了“定方向->分时间->设目标”的三步走。

表2:国内 早期“人形机器人”相关政策

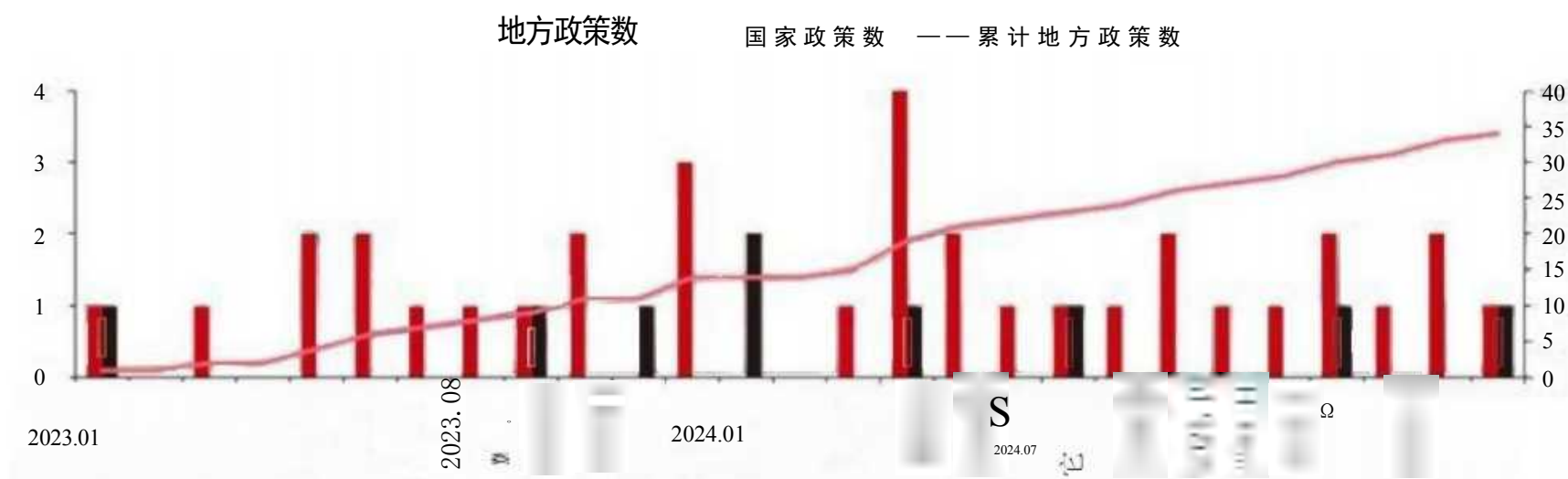
时间	政策	颁发部门	具体内容
2024. 1	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	工信部、教育部、科学技术部等七部门	将人形机器人纳入我国未来高端装备标志性产品之中，提出要突破机器人高转矩密度伺服电机、高动态运动规划与控制、仿生感知与认知、智能灵巧手、电子皮肤等核心技术，重点推进智能制造、家庭服务、特殊环境作业等领域应用。
2023. 11	《人形机器人创新发展指导意见》	工信部	到2025年，人形机器人创新体系初步建立，“大脑、小脑、肢体”等一批关键技术取得突破；到2027年，技术创新能力显著提升，形成安全可靠的产业链供应链体系，构建具有国际竞争力的产业生态，综合实力达到世界先进水平。
2023. 9	《2023年未来产业创新任务揭榜挂帅工作的通知》	工信部办公厅	面向元宇宙、人形机器人、脑机接口、通用人工智能4个重点方向，聚焦核心基础、重点产品、公共支撑、示范应用等创新任务，发掘培育一批掌握关键核心技术、具备较强创新能力的优势单位，突破一批标志性技术产品，加速新技术、新产品落地应用。

资料来源： 中国政府网，中信证券研究部

2025年，具身智能首次写入政府工作报告。在总报告的“2025年政府工作任务”章节中，具身智能概念出现在了“因地制宜发展新质生产力，加快建设现代化产业体系”的段落中，具体指出应在生物制造、量子科技、具身智能、6G 等“未来产业”中建立投入增长机制。报告明确将具身智能定义为“未来产业”，与工信部此前对人形机器人产业的定义一致。我们认为，具身智能的定义内涵相比人形机器人更为丰富，除人形机器人外，还应至少包括四足机器人、轮式机器人等多元形态，更广阔的定义也更有助于产业的创新型发展。

2023年以来，地方层面机器人政策呈现百花齐放的态势。根据我们不完全统计，2023年1月至今，全国至少有12个省份及直辖市发布了具身智能相关政策，累计地方政策总数已超过30项，共建立了6个区域型产业创新中心。

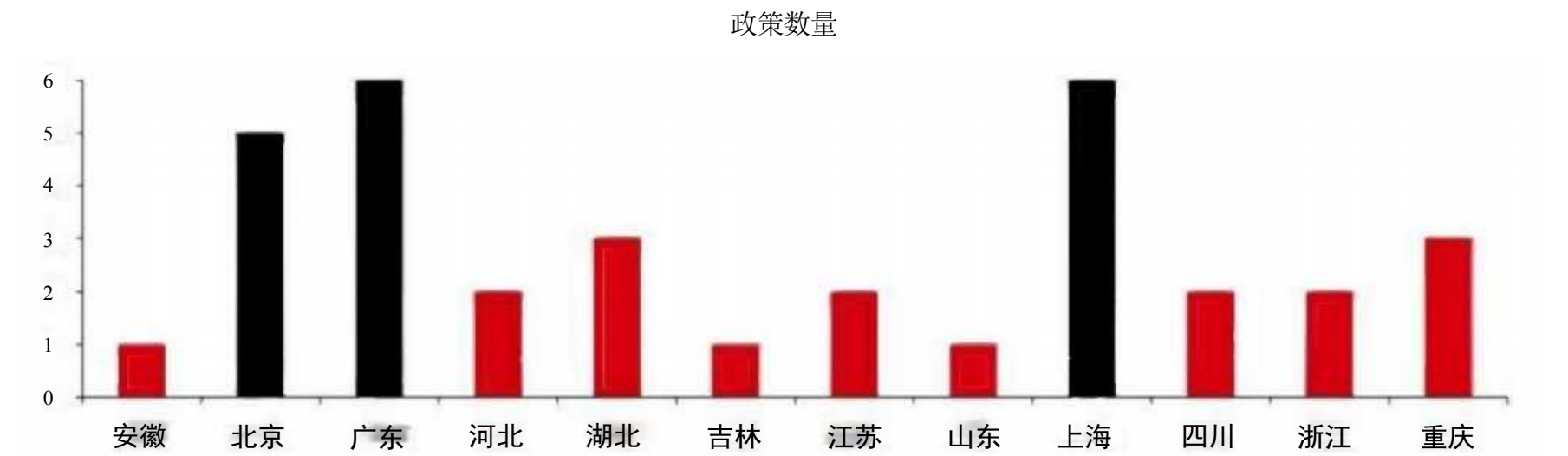
图13：国家及地方机器人相关政策统计（左轴：地方政策数/国家政策条数；右轴：累计地方政策条数）



资料来源：中国政府网，各地方政府官网，中信证券研究部

通过统计2023年至今各地区机器人相关政策，我们发现上海、北京、广东的政策发布时间相对更早，政策数量相对更多。上海最早于2023年1月发布《上海市智能机器人标杆企业与应用场景》，提出要打造3-5个智能机器人特色产业集群。广东深圳在2023年5月提出要开展通用型具身智能机器人的研发和应用，应是最早在政策中提及“具身智能”概念的城市之一。北京于2023年11月成立国地共建具身智能机器人创新中心，该中心由优必选、小米机器人等单位联合组建，成为国内最早的人形机器人创新中心之一。

图 1 4：2 0 2 3 年 至 今 各 地 方 机 器 人 相 关 政 策 统 计（单 位：政 策 条 数）



资料来源：各地方政府官网，中信证券研究部

表3:2023年 至今各地区代表性机器人相关政策		
地区	时间	政策
北京	2023. 6	《北京市机器人产业创新发展行动方案(2023-2025年)》
上海	2023. 10	《上海市促进智能机器人产业高质量创新发展行动方案(2023-2025年)》
广东深圳	2025. 3	《深圳市具身智能机器人技术创新与产业发展行动计划(2025-2027年)》
浙江	2024. 9	《浙江省人形机器人产业创新发展实施方案(2024—2027年)》
山东	2024. 5	《山东省促进人形机器人产业创新发展实施方案(2024—2027年)》
湖北	2024. 6	《湖北省加快未来产业发展实施方案(2024—2026年)》
安徽	2024. 5	《人形机器人产业发展行动计划(2024—2027年)(征求意见稿)》
四川成都	2024. 8	《成都市机器人产业发展三年行动计划(2024—2026年)》
重庆	2023. 12	《重庆市AI及服务机器人产业集群高质量发展行动计划(2023—2027年)》
江苏南京	2024. 11	《南京市促进机器人产业高质量发展行动计划(2024—2026年)》
吉林	2025. 1	《长春新区人形机器人产业链2025年行动方案》
河北	2023. 3	《河北省支持机器人产业发展若干措施》

资料来源：各地方政府官网，中信证券研究部

全球视角下，产业领先国家机器人相关政策循序渐进，具备高度连续性。 美国于2011-2021 年间三次出台国家机器人计划（NRI）， 三次计划更新围绕实时行业发展进度，分别以“工业机器人”、“协作机器人”、“机器人集成系统”为关注焦点。在最新一次计划发布时，美国政府向国家机器人计划基金提供了1,400万美元的资金支持。而在最近2年间，美国政府着重链接人工智能与机器人之间的联系，计划开发出更通用可靠的机器人产品，并且提出机器人产业应当以创造劳动岗位为目的，而非减少劳动岗位。日本作为机器人大国，分别于2015年与2022年发布两版机器人战略，旨在稳固加强日本机器人创新优势。日本政府在2022年曾拨款9.3亿美元，以支持机器人创新。

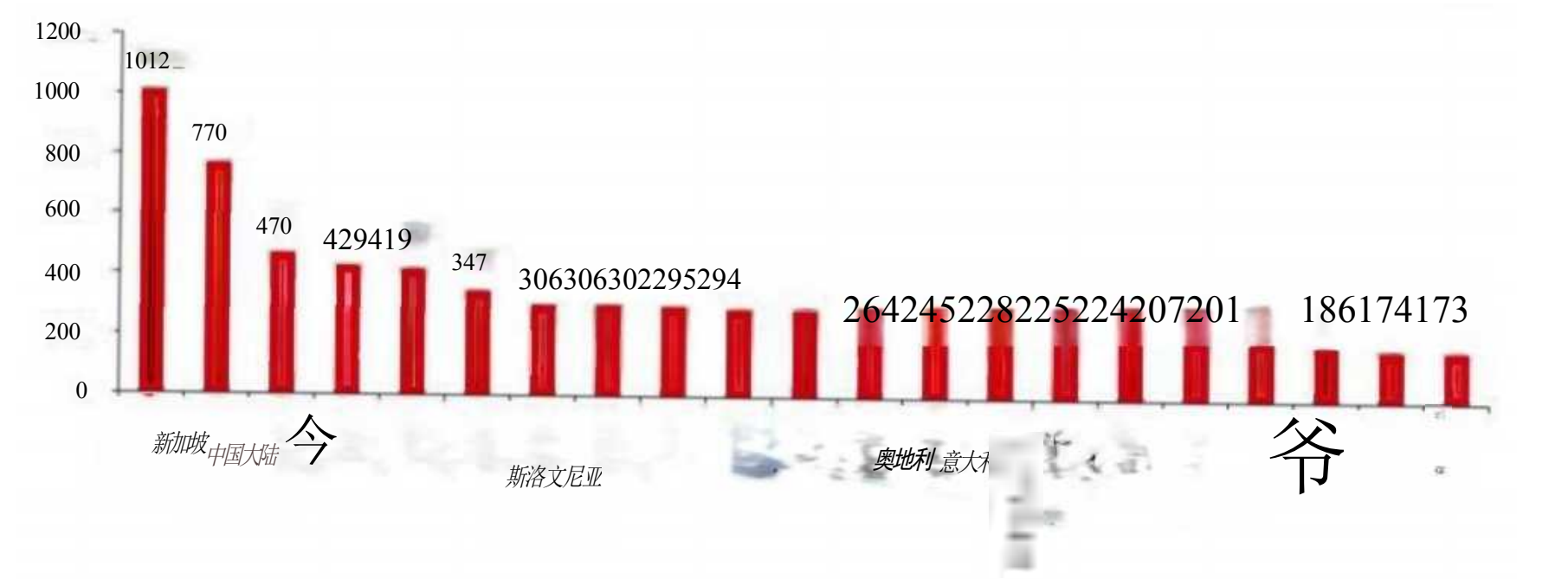
表4:各 国机器人 相关政策			
国家	时间	政策	具体内容
美国			关注协作机器人研发，增强其可扩展性、可定制性，降低开发门槛与社会影响。
	2011	国家机器人计划1.0	关注工业机器人的开发与使用，目标建立美国在下一代机器人技术及应用的领先技术。
欧盟	2021	地平线欧洲	推动实现高效、稳健、安全、适应性强、值得信赖的可部署机器人，2023-2025年机器人相关工作计划的总资金达1.835亿美元(1.74亿欧元)。

国家	时间	政策	具体内容
德国	2016	地平线计划2020	2016-2020年资助“GOAL-ROBOTS”项目350万欧元，由意大利(牵头)、法国和德国的研究人员共同开发自主机器人(autonomous robots)。
	2023	机器人技术研究行动计划	德国联邦教研部每年将为机器人研究提供总额超过4,000万欧元的资助。这些项目包括基于人工智能的机器人算法和创新传感器，以及行业智能机器人，减轻护理人员负担的服务机器人和救援机器人。
	2018	高技术战略2025	启动“为人民塑造技术”计划，技术包括数字辅助系统，例如数据眼镜、人机协作、支持体力工作的外骨骼，以及更灵活的组织工作流程或支持移动工作的解决方案。
日本	2022	新机器人战略	使日本成为世界第一的机器人创新中心，政府在2022年提供了超过\$9.3亿美元的支持，重点领域是制造业(\$7,780万美元)、护理和医疗(\$5,500万美元)、基础设施(\$6.432亿美元)和农业(\$6,620万美元)。
	2015	机器人战略：愿景、战略、行动计划	保持日本的机器人大国的优势地位，促进信息技术、大数据、人工智能等与机器人的深度融合，打造机器人技术高地，引领机器人的发展。
韩国	2024	第四次智能机器人基本计划	政府投资1.28亿美元(1800亿韩元)支持机器人产业发展，使其成为第四次工业革命的核心产业，并推动制造业和服务业的创新。
	2022	第三次智能机器人基本计划	为“智能机器人2022年实施计划”拨款\$1.722亿美元。
	2014	第二次智能机器人基本计划	明确要求2018年韩国机器人国内生产总值达到20万亿韩元，出口\$70亿美元，占据全球20%的市场份额，挺进“世界机器人三大强国行列”。

资料来源：各国政府 官网，中信证券研究部

根据国际机器人联合会，2023年我国大陆工业领域每万人机器人密度为470台，位居全球第三位，韩国及新加坡以1,012及770台/万人的密度位列前2名，彼时全球平均密度为162台/万人。2023年，全球工业机器人装机量中，中国占据51%的市场份额。这体现出了我国在机器人领域的飞速发展。

图 1 5：2 0 2 3 年 各 国 家 或 地 区 工 业 领 域 机 器 人 密 度（单 位：每 万 人 机 器 人 台 数）



资料来源：IFR 官网，中信证券研究部

产业：融合互通，产能扩张与战略合作并进

产业链高确定性企业主要选择以投建产能的方式加强布局。各投建产能的案例中，拓普集团和三花智控投建力度较大，彰显较强布局决心。2024年1月，三花智控公告，拟在钱塘区投资建设机器人机电执行器和域控制器研发及生产基地项目，计划总投资不低于38亿元。同月，拓普集团公告，公司拟投资50 亿元人民币，规划用地300亩，在宁波经济技术开发区建设机器人核心部件生产基地，该项目主要进行机器人电驱系统的研发生产及销售，并逐步拓展其他机器人部件业务。

更多企业以专设机器人领域子公司的方式明确产业切入角度。诸多案例中，贝斯特及北特科技布局时间较早。贝斯特于2022年1月设立全资子公司宇华精机，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。北特科技于2024年4月设立全资子公司北特机器人部件有限公司，从而紧抓人形机器人产业发展机遇，以实现业务的突破与升级。其他多数企业则集中在2024年下半年设立机器人相关子公司。

强强联手设立合资公司案例数逐渐增多，体现出产业链交融互通趋势。在诸多案例中，我们既观察到二级市场间的合作，也能看到一二级企业的联合。三花智控分别于2023年4月及2024年1月与绿的谐波及峰昭科技设立合资公司，有效加强了公司在谐波减速器及空心杯电机领域的布局。智元机器人作为一级市场的代表性整机厂，依次与富临精工和均普智能等企业投资组建项目公司，呈现出一定的“链主”属性。

在高壁垒的零部件环节，产业也诞生出了一些高关注度的收购交易。2024年10月，雷迪克曾与狄兹精密相关股东签署收购意向协议，但由于交易各方未能达成共识，雷迪克决定于2024年11月终止该次收购。2025年2月，浙江荣泰公告，拟通过股权转让及增资的方式收购狄兹精密51%的股权，狄兹精密将成为公司控股子公司，纳入并表范围。同样在丝杠领域，福达股份对长坂科技的收购，也都得到了市场的高关注度。

图 1 6：产业方投建产能、设子公司代表性案例

投建产能	特征	投建产能体现出企业对具身智能行业的高预期及强决心，投资金额一般高于其余产业布局方式。以 该种方式参 与的厂商以集成商、电机厂商等产业高确定性企业为主。			
	代表性案例	企业	时间	投建产能详情	金额(亿元)
		nou	2024. 01	拓普集团在宁波经济技术开发区建设机器人核心部件生产基地。项目主要进行机器人电驱系统的研发生产及销售，并逐步拓展其他机器人部件业务。	50
		ASANHUA	2024. 01	三花智控在钱塘区投资建设机器人机电执行器和域控制器研发及生产基地项目。	238
		绿错波	2022. 10	绿的谐波投建新一代精密传动装置智能制造项目，达产后公司将新增新一代谐波减速器100万台、机电一体化执行器20万套的年产能	-20
			2024. 10	北特科技在江苏昆山经济技术开发区建设行星滚柱丝杠研发生产基地项目。	18. 5
			2025. 02	五洲新春投资生产行星滚柱丝杠、微形滚珠丝杠、汽车转向系统丝杠、刹车驻车系统丝杠、悬挂减震系统丝杠、通用机器人专用轴承~15等产品。	
		Hongl1	2023. 0	恒立液压投建线性驱动器项目，达产后将形成年产10. 4万根标准滚珠丝杆电动缸、4, 500根重载滚珠丝杆电动缸、750根行星滚柱丝杆~15电动缸、10万米标准滚珠丝杆和10万米重载滚珠丝杆的生产能力。	
		MOONS	2024. 02	鸣志电器向越南子公司追加投资，用于建设“控制电机及驱动控制产品新增产能项目”。	<5
投建子公司	特征	投建子公司体现出企业已在具身智能行业具备较强技术积累，想进一步以专业子公司的形式在重点技 术领域突 破升级。以这种方式参与的厂商以执行器核心元件企业为主。			
	代表性案例	企业	时间	投建子公司详情	金额(亿元)
		F	2024. 04	为紧抓人形机器人产业发展机遇，北特科技拟在上海嘉定区设立全资子公司上海北特机器人部件有限公司，公司持股比例为100%。	1. 0
		MOONS	2024. 07	鸣志电器设立鸣志精工科技有限公司，注册资本2, 000万元，经营范围包括工业机器人制造、智能机器人的研发、智能机器人销售等。	0. 2
		ESTun	2024. 07	埃斯顿拟使用自有资金人民币4. 5亿元对埃斯顿机器人进行增资，其中3亿元计入注册资本，1. 5亿元计入资本公积。	4. 5
		Kaierda 黑年法	2024. 12	凯尔达拟以自有资金2亿元人民币投资设立全资子公司——杭州凯尔达人形机器人有限公司。	2. 0
		三8瓶照	2024. 10	震裕科技成立子公司作为人形机器人及低空飞行器等新兴领域的产业发展平台专注产品的设计和制造。	1. 2
		TORg	2024. 10	中坚科技设立全资子公司上海中坚智氮智能科技有限公司，加快推进海外智能机器人产品的进一步多方位合作。	0. 8
			2022. 01	贝斯特设立全资子公司宇华精机，布局直线滚动功能部件(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。	1
			2024. 12	中鼎股份以自有资金5, 000万元人民币设立全资子公司安徽睿思博机器人科技有限公司，推动机器人部件产品的生产配套。	0. 5

资料来源：各公司官网及公告，中信证券研究部

图 1 7：产业方设合资公司、对外收购代表性案例

设 合 资 公 司	特 征	设立合资公司具备跨产业链、跨上下游、跨技术壁垒等特征，具身智能产业内往往是“强强联手”的合作姿态。以这种方式参与布局的厂商尤其以电机、减速器企业为主。			
	代 表 性 案 例	企业	时间	设合资公司详情	金额(亿元)
		富临精工 FLNP	2024. 10	富临精工拟与智元机器人、巨星新材料等企业投资组建项目公司，主要从事机器人应用系统解决方案销售与服务。	0. 02
		绿的谐波 1f	2023. 04	绿的谐波拟与三花智控在墨西哥工业园内设立合资企业，合资公司的主营业务为谐波减速器相关产品的研发、生产制造及销售。	0. 36
		JIECANG	2024. 09	捷昌驱动出资430万元与浙江灵巧智能联合投资成立浙江灵捷机器人零部件有限公司，公司持股43%。	0. 04
⑤ 对 外 收 购	特 征	对外收购产业链成熟标的是企业进入具身智能行业的高效方式。从已有案例观察来看，收购标的多以高行业壁垒的丝杠、传感器领域为主。			
	代 表 性 案 例	企业	时间	设合资公司详情	金 额(亿元)
		协期的	2024. 10	在满足一定条款和条件下，福达股份拟获得长坂科技35%的股权，从而加速开拓人形机器人业务，发展新的利润增长点。	~1
		浙江荣泰 dOnYC	2025. 02	浙江荣泰收购上海狄兹精密机械有限公司51%的股权，狄兹精密专注于滚珠丝杠、行星滚柱丝杠、车用丝杠等研发、生产和销售。	4
		Kaierda 凯尔选	2025. 01	凯尔达全资子公司“凯尔达人形机器人”以自有资金人民币3, 000万元的增资价款认缴凯维力传感新增注册资本185万元，从而持有凯维力传感65%的股权(持股比例后降至58. 5%)。	0. 3

资料来源：各公司官网及公告，中信证券研究部

随着具身智能机器人进入量产阶段，供应链体系和落地场景进入了迅速扩张期，整体呈现出新品带动产业链扩张、上下游合作方希望在早期通过多环节合作方式切入具身智能生态链核心位置的状态。

整机厂新品发布是带动上市公司合作的重要动力之一。从多家整机厂的案例来看，新一代机器人发布或原有机型升级(如配备新发布的灵巧手)通常会带来上下游产业链新一轮的合作机会。对于下游企业而言，整机厂在新品发布后会迫切寻找更多的应用落地场景。以星动纪元为例，其在2024年12月发布了XHand1 灵巧手，并展现了该产品在家用和复杂工业场景的高度适应性。随后，2025年3月星动纪元与海尔智家宣布合作，共同推进家庭服务机器人项目。对于上游企业而言，2024年下半年以来，多家整机厂陆续宣布量产计划，带动了供应链的扩展。2024年12月，智元发布了通用商业机器人量产计划，随后4个月内，包括蓝思科技、长盛轴承、超捷股份、卧龙电驱和均胜电子在内的多家企业宣布加入智元机器人的供应链体系。

在合作形式上，上市公司跳出单一产业链环节并参与多维度与整机厂合作的案例逐渐增多。在各整机厂的合作实践中，这些合作主要呈现出三种变化：设立合资公司、股权投资合作以及技术互补。例如，银河通用与天奇股份于2025年2月共同设立合资公司，合资公司将聚焦具身智能大模型及具身智能机器人在汽车制造产业相关领域的规模化应用；卧龙电驱于2025年3月与智元完成战略投资签约；均胜电子于2025年4月与智元达成合作协议，未来将协助其研发和制造人形机器人，同时均胜电子也将利用自身技术机器人本体进行二次开发。

表5: 代表性本土整机厂与产业方合作案例

整机厂	合作方	合作方式	合作时间	合作详情
宇树科技	北纬科技	供应商	2024. 12	供应天宇云盒及低空智能管控平台，用于支持机器狗的联网、远程控制和信息回传。
	长盛轴承	供应商		合作产品主要应用于机器人关节的自润滑轴承，已实现小批量的产销。
	帝奥微	供应商	2025. 02	供应低电压/超低功耗USB3. 2 Gen1 Redriver产品。
	曼恩斯特	战略合作	2024. 12	围绕机器人本体软硬件技术、机器人产业落地等领域开展合作。
	盛通股份	战略合作	2025. 02	结合宇树科技四足机器人等产品作为实践操作对象，帮助学员掌握机器人相关知识。
	长城汽车	战略合作	2025. 04	围绕机器人研发、智能制造、整车创新等领域深入合作，推动机器人在汽车领域应用。
智元机器人				基于FZMotion动捕系统，推出面向人形机器人等场景具身智能解决方案。
	蓝思科技	供应商		批量交付灵犀X1相关产品，参与核心部件的开发组装与测试控制。
	长盛轴承	供应商		围绕机器人零部件正处于技术交流及合作研发阶段。
	超捷股份	供应商	2025. 03	提供多种紧固件、PEEK材质产品、传感器基座及高精密机加工产品。已取得样品订单。
	领益制造	供应商战略合作	2023. 12	东莞领杰与智元签订战略合作及ODM合作框架协议。
	均普智能	供应商/战略合作	2024. 05	共同推动通用机器人本体更多智能制造领域的场景落地；该公司机器人第一期生产线占地约2, 000平方米，预计年产能可达1, 000台。
	卧龙电驱	供应商/直接投资	2025. 03	双方将依托各自在智能装备与机器人领域的优势，重点推进具身智能机器人核心技术研发与产业化应用生态建设。
	均胜电子	供应商/战略合作	2025. 04	双方将聚焦机器人“大小脑”、关键零部件核心技术、定制化开发与测试平台建设，展开深度合作。
	上海临港	战略合作	2024. 02	在临港集团园区布局研发、测试与制造基地。
	软通动力	战略合作	2024. 07	双方将在通用机器人产品创新和场景示范等领域展开深度合作。
乐聚机器人	百度	战略合作	2025. 02	双方聚焦具身生态方案、核心技术与产品开发，加速在教育科研和智能制造领域应用。
				将共同出资设立一家公司，专注于人形机器人项目的开发与应用。
	富佳股份	供应商	2024. 11	控股子公司宁波益佳电子有限公司为乐聚机器人代工各类线路板。
	亨通光电	战略合作	2024. 06	探索人形机器人在工业场景中的规模化应用。
	海晨股份	战略合作	2025. 02	双方将围绕智能物流机器人、自动化仓储系统等领域展开深度合作。
众擎机器人	中国移动	技术合作	2025. 03	发布5G-A人形机器人“夸父”。
	中鼎股份	供应商/战略合作	2025. 02	结合双方在谐波减速器和智能机器人方案的优势，提升人形机器人相关产品的生产工艺和交付质量水平。
	美团	直接投资/战略合作	2023. 01	旗下汉海信息技术有限公司截止到2025年4月30日持有约14. 97%股份；双方将在线下零售、智慧货仓、智慧物流等多个领域围绕机器人服务展开全面合作。
银河通用	科大讯飞	直接投资/技术合作	2023. 08	旗下苏州科讯园丰天使创业投资基金截止到2025年4月30日持有3. 2191%股份；讯飞机器人超脑平台赋能银河通用机器人。
	天奇股份	直接投资/技术合作	2025. 02	设立合资公司，专注具身智能大模型及机器人在汽车制造领域的应用，推进智能机器人解决方案规模化应用。
星动纪元	丰立智能	供应商		计划合作开发出具有高度模块化的人形机器人关节。

整机厂	合作方	合作方式	合作时间	合作详情
	临港集团	战略合作	2024. 04	临港集团将开放园区场景，协助落地示范应用。双方未来还将合作推进股权投资、量产、产业配套及产品出海。 双方将携手共同推出基于智慧家庭场景的服务机器人。
开普勒机器人	柯力传感	供应商/直接投资	2025. 04	Pre-A轮投资开普勒机器人，截止到2025年4月30日持有股份约1.55%，并和开普勒达成深度合作协议。
	伟创电气	直接投资	2025. 04	Pre-A轮投资开普勒机器人，截止到2025年4月30日持有股份约1.55%。
傅利叶智能	商汤科技	技术合作	2025. 04	与商汤日日新SenseNovaV6 Omni的合作，将傅利叶领先的机器人硬件本体技术与商汤多模态融合模型相结合。

资料来源：各公司官网及公告，天眼查，中信证券研究部

科技巨头：外投内建，全方位深化具身智能布局

华为组建深圳全球具身智能产业创新中心，成为国产机器人链领头厂商之一。2024年11月15日，华为（深圳）全球具身智能产业创新中心宣布正式运营，该中心由华为与深圳前海合作区管理局共同合作建立。同日，在“AI向未来人工智能应用创新成果发布会”中，华为与乐聚机器人、大族机器人、拓斯达、中坚科技、中软国际、禾川人形机器人、兆威机电等16家企业签署了企业合作备忘录。

华为布局机器人行业最早可以追溯至2022年。根据华为官网，2022年4月，华为与达闼机器人于北京签署合作协议，共同建设昇腾AI生态，推进云端机器人产业繁荣发展。2023年4月，华为云又与乐聚机器人签署了战略合作协议，宣布将共同探索“华为盘古大模型+夸父人形机器人”应用场景，打造通用具身智能解决方案，建设“人形机器人+”开放生态平台。

2024年6月的华为开发者大会上，华为云CEO 张平安在会上发布盘古大模型5.0，在介绍盘古具身智能大模型的环节中，搭配盘古大模型的乐聚机器人“夸父”亮相，张平安介绍了夸父在工业、家庭场景中的泛化潜力。大会上，夸父向观众展示了识别物品、问答互动、击掌、递水等一系列能力。

图18：华为与达闼机器人签约



资料来源：华为官网

图19：乐聚机器人“夸父”亮相HDC 2024大会



资料来源：华为官网

比亚迪自2022年成立具身智能研究团队以来，通过自主研发、投资并购及跨界合作多维度布局机器人领域。自主具身智能研究团队已开发出工艺机器人、智能协作机器人等产品，并基于工业场景需求推进定制化应用；同时战略投资智元机器人(2023. 8)和帕西尼感知科技(2025. 4)。此外，优必选Walker S1 已进入比亚迪工厂实训，执行搬运等任

务。2024年12月，比亚迪启动具身智能研究团队的人才招聘，加速人形机器人与双足机器人等前沿技术的研发落地。

表6: 比亚迪 具身智能领域布局

类别	时间	事件	详情
自主布局	2022	成立具身智能研究团队	具身智能研究团队于2022年成立，截至2024年底目前团队已开发完成工艺机器人、智能协作机器人、智能移动机器人、类人形机器人等产品。
自主布局	2024.12	招聘具身智能研究团队	面向2025届毕业生招聘具身智能研究团队。招聘岗位主要涉及高级算法工程师、高级结构工程师等，研究方向涉及深度学习、感知、人形机器人、四足机器狗等。
对外投资	2023.8	投资智元机器人	根据天眼查，截至2025年4月30日，比亚迪持有智元机器人2.38%的股份。
对外投资	2025.4	投资帕西尼感知科技	根据天眼查，截至2025年4月30日，比亚迪持有帕西尼感知科技13.37%的股份。
产业合作	2024.10	优必选进入比亚迪工厂试训	优必选Walker S1进入比亚迪工厂执行搬运任务实训，与无人物流车、无人叉车、工业移动机器人和智能制造管理系统协同作业。

资料来源：比亚迪官网、天眼查、优必选官网、中信证券研究部

小米自2021年起布局机器人领域，先后推出四足机器人 CyberDog 及人形机器人 CyberOne。2023 年4月，北京小米机器人技术有限公司成立，并于2024年6月乔迁至北京亦庄小米汽车工厂。此外，小米持有“北京人形机器人创新中心有限公司”约28.57%的股权，该创新中心于2024年10月正式升级为“国家地方共建具身智能机器人创新中心”。

表7: 小米具身智能领域布局

事件	事件	详情
2021.8	发布四足机器人CyberDog	小米举办以《我的梦想，我的选择》为主题的雷军2021年度演讲，首款仿生四足机器人—CyberDog正式亮相。
2022.8	发布人形机器人CyberOne	小米发布全尺寸人形机器人CyberOne, 身高177cm、体重52kg, 全身共21自由度，机械关节模组最大峰值扭矩为300Nm、峰值扭矩密度为96Nm/kg。
2023.8	发布四足机器人CyberDog2	CyberDog 2亮相2023世界机器人大会，定价12,999元，搭载了自研的CyberGear微电机。
2023.4	北京小米机器人技术有限公司成立	注册资本5,000万人民币，经营范围包括智能机器人的研发、人工智能行业应用系统集成服务等。
2023.11	入股北京人形机器人创新中心有限公司	国地共建具身智能机器人创新中心(北京人形机器人创新中心有限公司)于2023年11月成立。根据天眼查，小米持股28.57%。
2024.6	北京小米机器人技术有限公司乔迁	公司乔迁至北京亦庄小米汽车工厂，小米第二代仿生四足机器人CyberDog2现场献上即兴舞蹈。

资料来源：小米官网，北京人形机器人创新中心有限公司官网，中信证券研究部

互联网龙头企业纷纷以战略投资的形式“跑马圈地”。国内众多具身智能企业仍处于初创阶段，除优必选等个例外，多数企业处于未上市状态。众多互联网企业中，腾讯的战略投资布局较早，曾于2017年及2018年分别投资了乐聚机器人和优必选，并于2025年3月领投智元机器人。美团在机器人领域的投资范围较广，除了宇树科技、银河通用外，公司自2020年以来，还投资了普渡机器人、高仙机器人、非夕科技、盈合机器人、立镖机器人、未来机器人、九识智能等一众企业。

表8: 各厂商一级市场具身智能代表性投资案例

厂商	首笔投资时间	详情
腾讯	2017.08	乐聚：2017年8月以战略投资方式投资5,000万元人民币；2019年4月，作为跟投企业再次投资乐聚机器人。
	2018.05	优必选：2018年5月领投优必选C轮融资，该轮融资总金额达8.2亿美元。
	2025.03	智元：2025年3月领投智元机器人，该轮融资估值达150亿元。
美团	2024.06	宇树科技：美团于2024年2月及2024年9月接连参与宇树科技的B2轮及C轮融资。根据天眼查，美团旗

厂商	首笔投资时间	详情
百度		下的汉海信息技术持有宇树科技8%的股权为第二大股东，仅次于王兴兴的27%。
	2023.05	智元机器人：百度风投于2023年5月参投智元机器人A轮融资。
	2023.11	星海图：百度分别于2023年11月、2025年2月、2025年4月共三轮参与到星海图的天使轮、A轮、A2轮融资之中。
	2025.01	维他动力：百度风投接连参与维他动力的种子轮及种子+轮。
	2024.05	有鹿机器人：参投有鹿机器人1亿元天使轮融资。
阿里巴巴		
		源络科技：阿里巴巴领投源络科技股权融资，融资金额为数亿元人民币。
蚂蚁集团	2024.10	星海图：蚂蚁于2024年10月及2025年2月分别领投星海图的Pre-A轮和A轮融资，融资金额分别为2亿和3亿元。
	2025.04	星尘智能：蚂蚁领投星尘智能A轮/A+轮融资，融资金额达数亿元人民币。

资料来源： 烯牛数据，中信证 券研究部

除战略投资外，科技巨头积极探索与整机厂的产业合作空间。2024年4月，优必选 Walker X接入百度文心一言大模型，对标海外Figure 01接入OpenAI GPT模型。2025年2月，百度智能云宣布与智元机器人达成合作，百度风投此前于2023年5月参与了智元的A轮融资。此外，科技巨头与整机厂在场景应用侧亦有不小合作空间。例如：2024年9月，美团展示了银河通用机器人在美团买药展位的试训场景。

充分调用自主研究团队，对内建设一流机器人团队。腾讯及字节跳动分别于2018年和2020年成立Robotics X实验室和Robotics Research团队。腾讯 Robotics X实验室成立至今已发布多款具身智能产品，2024年9月发布的人居环境机器人“小五”以四腿轮足复合设计引起关注；字节 Robotics Research于2023年12月和2024年10月依次发布生成式VLA大模型GR-1和GR-2。久久为功的内部团队建设也孵化了独立向外创业的优质企业。已成功获得头部天使基金投资的星尘智能和源升智能，创始团队皆出自腾讯Robotics X实验室。

图 20：各科技巨头具身智能领域布局情况

Tencent 腾讯 RoboticsX 智元/优必选/乐聚	⑤ 对外投资 乐聚机器人 LEJUROBOT 医梨前器A 2017.08 2019.04 优必选 UBTECH 2018.05 (领授) 智元机器人 智元机器人 2025.03 (领投)	自主布局 Robotics X 实验室 M保 2018 (成立) 小五 2024.9亮相	“腾讯系” 星尘智能 源升智能 星尘智能 Astribot 2022.12 (成立) 创始人杨思成此前担任 Robotics X 灵巧手负责人 2024.12 (成立)
字节跳动 Robotics Research/加速进化 乐聚	51 产业合作 乐聚机器人 LEROBOT 型超图 A 2024.12 (亮相) 搭载豆包大模型 4S店导购场景	自主布局 2020年开始探索机器人领域，公司 Robotics Research 团队已发布数篇论文 GR-2 生成式VLA模型	“字节系” 加速进化 soOSTER R03oTICS 202306 (成立) 创始人程昊此前担任字节跳动飞书产品副总裁
美团 机器人研究院 银河通用/宇树科技	对外投资 银河通用 GALeOT * 2024.06 (领授) 宇树科技 UNITREE 宇回 201708 2019.04	自主布局 2022年11月成立美团机器人研究院，已开发出无人机，配送车等产品 中坚科技 埃夫特 禾川人形机器人	产业合作 2024年9月，公司展示银河通用机器人在美团买药展位的“试W” 试W
乐聚机器人 兆威机电 拓斯达 ZHAO WEI兆殿 TOPST/RIG 达 搭载盘古大模型的“夸父”亮相 HDC2024 17自由度灵巧手 工业机器人	自主布局 HUAWEI 全球具身智能产业创新中心 (共16家公司) 参投IXTech 工业机器人 游龙01	产业合作 2024年9月，公司展示银河通用机器人在美团买药展位的“试W” 试W	
深圳市大族机器人、墨影科技、自变量机器人、华龙讯达、深圳华成工业控制、北京创新乐知信息技术、数字华夏深圳科技、北京中软国际教育、浙江强脑科技、佛山奥卡机器人			
Baidu 百度 RAL/智元机器人/优必选	⑤ 对外投资 智元机器人 星海图 2023.05 2025.04 2025.02 2023.11 星遥 2025.04 2025.02 2023.11 维他动力 公司于2024年底成立，团队包括地平线前副总裁等 2025.01	自主布局 BalcR esearch 百度机器人与自动驾驶研究院 (RAL) 在机器人应用，增强现实与虚拟仿真等方向开展研究 团队论文以自动驾驶居多	D51 产业合作 百度智能云与智元机器人合作 2025.02 优必远 WalkerX 接入文心一言 2024.04
Alibaba Gros 达摩院/阿里云动 星动纪元/逐际动力	⑤ 对外投资 星动纪元 逐际动力 源络科技 RoDOTaR 动 e 元 2024.10 (领授) 2024.07 (领授) 2025.02 (领授)	自主布局 達摩院 AC 主要基于机器人技术进行无人驾驶，无人物流等研发与应用 阿里云将千问大模型接入工业机器人 2023.04	产业合作 UDEERAI 有鹿机器人同阿里云发布具身智能大模型 LPLM-10B 2023
蚂蚁集团 ANTGROUP 蚂蚁灵波/星海图	对外投资 星海图 星溜图 2025.02(领授) 2024.12(领授) 星尘智能 Astribot 2025.04 (领授)	自主布局 蚂蚁灵波 浦东揭牌仪式 2025.03	蚂蚁灵波科技是蚂蚁集团拓展具身智能和机器人业务的主要载体，聚焦家庭、养老、医疗健康等领域。 现已开启具岗位招聘，如人形机器人系统和应用软件工程师、人形机器人硬件结构工程师、人形机器人运动控制软件工程师，人形机器人整机/硬件产品专家等

资料来源：各公司官网，烯牛数据，天眼查，中信证券研究部

I 产业格局透视：弄潮儿与卖铲人的双向奔赴

整机厂：商业化临界点已至，应用导向引领多方位发展

整机厂的产品进展是日新月异的。如果我们将2023年下半年的时间段称为整机厂产品推新的“爆发期”，那么时隔1-1.5年后的当下，已完成初步融资及核心团队搭建的整机厂们正持续用日新月异的创意刷新市场认知，我们正处于商业化量产的“临界期”。尽管不同厂商的更新种类繁复，但我们依然可以捕捉到以下有关于运控能力，具身智能的大趋势。

下肢运动能力快速突破，“场地泛化”及“拟人步态”是关注焦点。“场地泛化”指双足形态机器人能够适应平地以外的地势。在各厂商的演示视频中，我们可以看到实验室中的积极尝试，例如：在机器人预定的行走路径上摆放木棍等障碍物，从而增加机器人重心不稳情况出现的可能性，考察机器人能否在行将摔倒的状态下做自我调整。2024年10月，特斯拉发布Optimus 在户外做步行测试的视频，面对凹凸不平的土坡，Optimus 能够较好地控制步态平衡。

图 21：特斯拉Optimus 在户外做步行测试



资料来源：特斯拉Optimus官方X平台账号

在强化学习的训练下，机器人行走姿态更为舒展自然，贴合人类真实状态。2025年3月，Figure AI发布更新视频《Introducing Natural Walking》，通过仿真数据生成的海量数据，Figure 02掌握了自然行走的姿态运动控制能力。在Figure AI发布本次更新的一周内，特斯拉发布Optimus Gen 2在工厂中拟人行走的视频，马斯克表示这得益于精准的执行器控制 (Accurate Actuators)。我们认为随着执行器的持续迭代及强化学习技术的进一步普及，整机厂在下肢运控能力上的表现有望快速对齐。

图 22: Figure 02 展现自然行走姿态



资料来源: Figure AI 官 网

图 23: Optimus Gen 2 展现自然行走姿态



资料来源: 特斯拉官网

从视频展示到执行有用任务，运控升级的下一步应在上肢。由于上肢自由度更高，且在与外界交互的过程中具备更多价值内涵，所以上肢运控的难度显著高于下肢。上肢训练中，厂商主要聚焦于2个角度：1) 双臂协同或独立运作；2) 灵巧手自由度及感知力的进化。前者旨在增强上肢的工作效率，后者旨在放大上肢的工作效能。结合现有案例，在物流搬运场景中，双臂多为同上同下运作——较少涉及双臂协同，且在末端执行器选型上多以夹爪为主。而在汽车工厂，物流分拣等场景中，任务对灵巧性的要求增强，我们可以观察到丰富的上肢表现。

为了更直观体现诸多厂商在运动控制，具身智能环节的进展，我们选取2025年CES大会上，英伟达生态链中最新亮相的14家整机厂，对他们自2022年至2025年1季度的进展做纵向对比。

图 24 : 英伟达生态链企业—全身运控能力发展



资料来源: 各公司官网，中信证券研究部

由单机到群体控制，厂商争先展示“多机协同”能力。2025年1月，蛇年春节联欢晚会上，宇树科技16台H1 机器人贡献舞蹈节目《秧BOT》。2025年 2 月，Figure AI 发布自研VLM 大模型Helix, 展现了机器人群体协作端到端任务解决能力，演示视频中，2 台机器人相互协作收纳厨房物品。2025年3月，优必选在极氪工厂展现了机器人协同实训，多台机器人实现了协同分拣，协同搬运和精密装配等任务。

在机器人“步入”汽车等制造工厂的过程中，如何将机器人高效集成至工厂的各个环节中将是一大课题。理想中的多机协同应不仅能让机器人各司其职，而且能让机器人协同解决个体无法处理的难题，更重要的是，多机协同应能减小部署集成的成本——缩短实地部署时间，降低软件算力需求，减少看护人员数量。

图25: 两台Figure 02机器人协同收纳厨房桌面



资料来源: Figure AI官网

图26: 两台Walker S1协同执行柔软物体灵巧操作任务



资料来源: 优必选官网

具身智能模型架构趋同，双系统分层成为主流趋势。在诺贝尔经济学奖获得者丹尼尔·卡尼曼的著作《Thinking, Fast and Slow》中，卡尼曼启发式地提出人脑存在两个系统，分别称为快系统（直觉）和慢系统（理性）：快系统依赖于直觉，能够快速自动化地给出解决方案；慢系统则依赖于长思考，需要耗费更多心力从而给出更合理地决策方案。我们认为卡尼曼双系统的理念在很大程度上影响了当下主流具身智能模型架构的设计。

2024年9月，清华大学交叉信息研究院作为主导机构发布论文《HiRT: Enhancing Robotic Control with Hierarchical Robot Transformers》(Jianke Zhang, Yanjiang Guo, Xiaoyu Chen等)。论文中提出了HiRT 模型框架，模仿人类感知结构，将“快速直觉性响应”的部分同“慢速分析性规划”的部分区分开，前者采用了轻量级的Transformer 模型，后者使用VLM 大模型，这有效优化了传统单一 VLM 模型的慢效应缺陷。HiRT 已同期应用于星动纪元自研端到端原生机器人模型 ERA-42。

Figure 1 illustrates the comparison of VLM-based methods. (a) Large VLA Model: A single VLM block takes an instruction '捡起胡萝卜' (Pick up the carrot) and an image as input and outputs a low-frequency action sequence 'a'. (b) Hierarchical Robot Transformer (HiRT): A multi-step process where a VLM block takes the instruction and image to output a high-frequency action sequence 'a', which is then processed by a '动作策略' (Action Strategy) block to produce a low-frequency action sequence 'a'.

2025年2月和3月，Figure AI和英伟达分别发布Helix和 GR00T N1具身模型，值得注意的是，在Helix 和 N1 模型中，也采用了双系统分层的架构——VLM 大模型负责慢思考规划，Transformer 模型负责快运控响应。

厂商	时间	方案	论文或相关文章
星动纪元	2024. 9	HiRT	《HiRT.Enhancing Robotic Control with Hierarchical Robot Transformers》
智元机器人	2024. 10	RoboDual	《Towards Synergistic, Generalized, and Efficient Dual-System for Robotic Manipulation》
Figure AI	2025. 2	Helix	《Helix: A Vision-Language-Action Model for Generalist Humanoid Control》
英伟达 (IX等)	2025. 3	GROOT N1	《GROOT N1:An Open Foundation Model for Generalist Humanoid Robots》
资料来源: arXiv官网, 星动纪元官网, 智元机器人官网, Figure AI官网, 英伟达官网, 中信证券研究部			

鲁 ...

加入0A 80or

通n 人

贵 Dc1 人大地V4. 理

1 0 4 工 的 作6方。

A. 下 的

梁 地

认E . 大味型与本地地理

国上下理解执言故力, 美

9

世

4. 04-1速过神供学期, 快

明, R 平 8 大 - 9世

19

麻行额、 师秘n

© 姆

FIGURE

任务候行n 间 就方 音

50

4: wm 进具 身智能他术。

MM 地 型 第业年e

明 叶该交重 . 进三人 力

28.5 请 n 最人助网金原力

8 二 法 业计, 进

g 实 版 史

^LO?

hn

Te 法. 实球的.

电 rg 量大 梦

然, 建三意地

1 梁 力. 过头 4

15.

根

热 大

r

8 用人t 树大通

立丹位

因, 成 n

人机涯人业开世I.

2. 三年质蛙直法开证. 人形 画人可梭性 n.

X PaN 国

8、世8人班 (ni, 人 记

Ao

M. Sn u yI! 与人参型, 培 化人

力

en 术

成正8率

明, 与颖代 或血速 士 地 力AFR 治。

OR, 1896 人为模世来、共卖用 进 力 t

人 人

IMOn e B E, 实量地

图起清量应

2024

2025

资料来源：各公司官网，中信证券研究部

具身模型：机器人大脑——产业的“下半场之争”

学术产业同气连枝，新生力量持续涌现

当前，全球具身模型发展如火如荼，从影响力方面来看，研发核心从早期的学术界，过渡到近年的大型科技公司主导，再到最近两年创业公司不断涌现，呈现出了一条学术到产业的路径。

学术界方面，全球头部高校大多已经在具身智能赛道有所布局，并且为后续诸多创业公司的涌现奠定了基础。

表10:全球部分高校与科研院所具身智能模型相关研究成果		
高校/科研机构	主要团队	典型成果
斯坦福	SVL实验室	
斯坦福	REAL实验室	GET-ZERO、Diffusion Guided Control
MIT	CSAIL	Themis AI、Venti
UC伯克利	BAIR	SERL、HIL-SERL机器人强化学习系统
CMU	机器人研究所RI	RobotAgent通用机器人框架
牛津大学	机器人研究所ORI	DreamUp3D环境建模、ZERO-Shot物体姿态估计
苏黎世联邦理工	机器人系统实验室RSL	ANYmal、多机器人协同建图
清华大学	MARS多模态学习实验室	DriveVLM、Occ3D、Robot Parkour
清华大学	IWIN-FINS实验室	多机器人平台、多智能体学习系统
清华大学	智能产业研究院AIR	DecisionNCE
清华大学	ISRLab	DoReMi
北京大学	EPICLab	Open6DOR、NaVid、MaskClustering
上海交通大学	IRMV实验室	Cam4D0cc、DifFlow3D、3DSFLabelling
上海交通大学	DMCV实验室	
上海交通大学	赵波实验室	Omni6DPose、VISTA
复旦大学	MemX实验室	可穿戴AGI
复旦大学	IPASS实验室	三元空间群智能
中山大学	HCP实验室	CorNav、OVER-NAV
鹏城实验室		具身智能数据集ARIO、虚实融合训练系统

资料来源：各机构官网，中信证券研究部

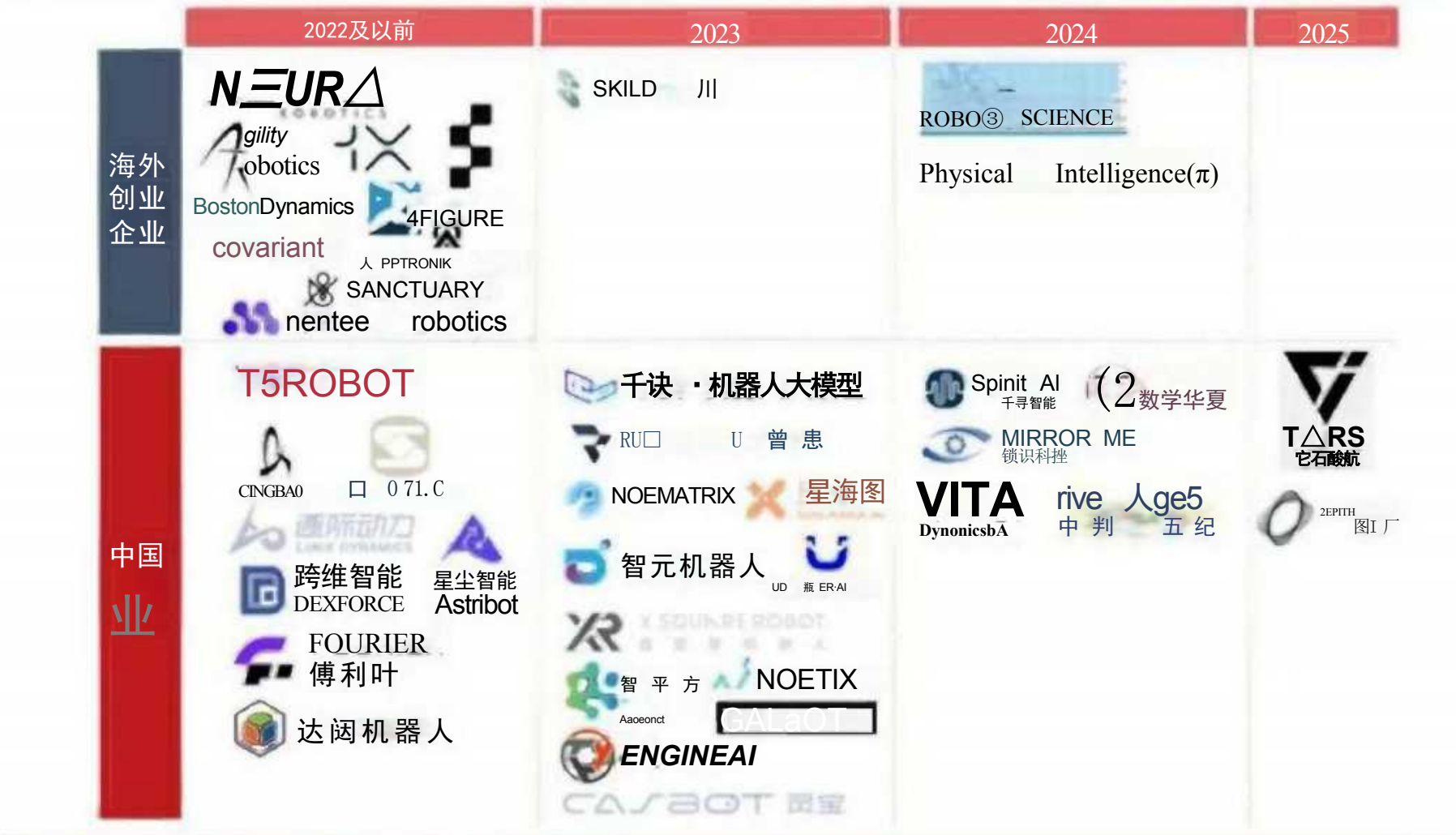
学术界多年积累为产业界的兴盛提供了人才基础，推动了产业模型落地，带动大型科技公司具身模型研发。目前业界较有影响力的具身模型包括NVIDIA 与斯坦福合作研发的Vima、Meta 与卡耐基梅隆大学合作研发的RoboAgent 等。另外谷歌的RT 系列、NVIDIA 的 GROOT、字节的GR 系列等大模型也都在业界产生了广泛影响。

表11:国内外部分头部科技公司在具身模型领域的成果		
大型科技公司	主要团队	典型成果
Google		RT-1、RT-2、RT-X系列大模型
NVIDIA		Eureka、GROOT系列大模型
NVIDIA	NVIDIA+斯坦福	Vima具身大模型
Meta	Meta+CMU	RoboAgent大模型
腾讯	RoboticX实验室	四足机器人Jamoca、轮足机器人Ollie、养老机器人小五
字节跳动	抖音AI Lab	GR-1、GR-2具身大模型，Robot Flamingo机器人AI框架
美团		RoboMM大模型

资料来源：各公司官网，中信证券研究部

创业公司是近年来市场热点，贡献了大量具身模型研发成果，并且研发增量从海外转向中国。根据IT 桔子数据，近年来具身智能模型公司或自研具身模型的机器人公司融资热度明显提升，成立数量也大幅增加。我们可以看到，2022年以前海外具身模型公司或自研模型的机器人公司成立较多，包括Appttronix、Agility Robotics等，2023年至今主要的明星公司主要包括Skild AI和 Physical Intelligence等。而中国国内，2023年以来成立的公司数量众多，包括千诀科技、穹彻智能、智元机器人、千寻智能等，呈现出百花齐放的态势。

图 29：全球部分具身大模型供应商/自研具身模型的机器人厂商及其创立时间概览



资料来源：各公司官网，IT 桔子，中信证券研究部

进入2025年，创业公司团队融资热潮持续，有力推动了创业公司在具身模型方向的进展。

表12:2025年一季度部分机 器人模型相关公司 融资情况概览					
公司	融资日期	融资金额/轮次	知名参投方	地区	成立时间
千寻智能	3月31日	5.28亿元/Pre-A轮	招商局创投	杭州	2024年
RoboScience(大小脑)	3月31日	数千万元/种子轮		北京	2024年
镜识科技	3月30日	未披露/天使轮		上海	2024年
钛虎机器人	3月28日	未披露/Pre-A+轮	二	上海	2020年
它石智航	3月6日	1.2亿美元/天使轮		上海	2025年
中能坤域(生态体系)	3月25日	数亿元/Pre-A轮		杭州	2023年
清宝机器人	3月25日	未披露/Pre-A轮		上海	2022年
智元机器人	3月24日	未披露/B轮	腾讯、TCL	上海	2023年
	3月21日	约亿元种子轮	百度		
维他动力	1月22日	约亿元/种子轮	地平线、百度	北京	2024年
中科第五纪	3月17日	数千万元/种子+轮	越疆机器人	杭州	2024年
希尔机器人(核心零部件)	3月15日	未披露/A轮	智元机器人	绍兴	2014年
千诀科技	3月14日	数千万元/Pre-A轮		北京	2023年

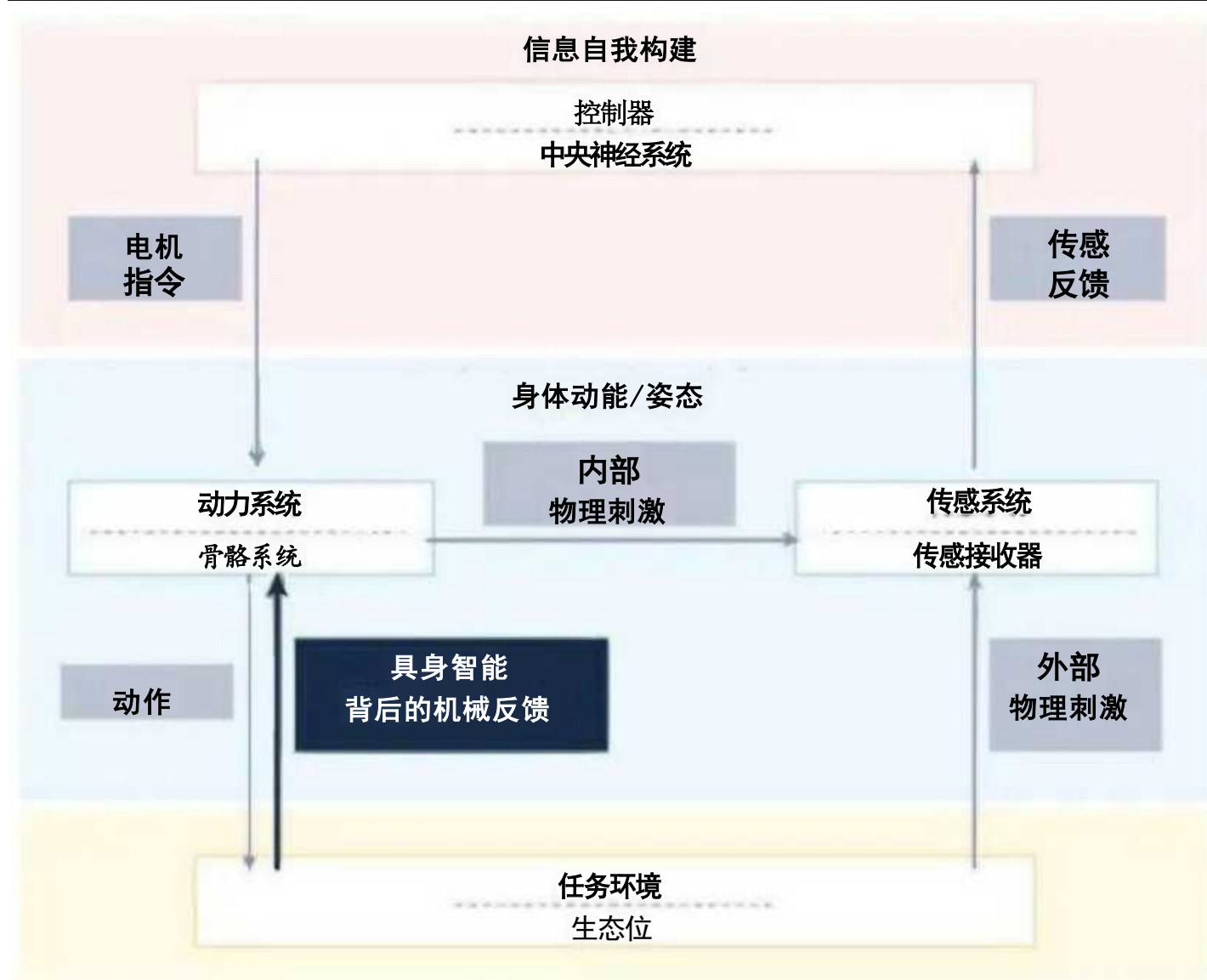
请务必阅读正文之后的免责条款和声明

公司	融资日期	融资金额/轮次	知名参投方	地区	成立时间
数字华夏(大脑)	3月14日	数千万元/天使+轮		深圳	2024年
穹彻智能(大脑)	3月13日	未披露/Pre-A+轮	上海科创基金	上海	2023年
阿米奥机器人(规模化应用)	3月10日	1亿元/种子轮	安克创新、智谱	北京	2024年
逐际动力	1月17日	数亿元/A+轮	阿里巴巴、蔚来、联想	深圳	2022年
意优科技(核心零部件)	3月6日	5000万元/A轮	浦东创投集团、张江科投、TCL	上海	2018年
智平方	3月6日	数亿元/Pre-A+轮	I	深圳	2023年
	1月7日	数亿元/Pre-A轮			
梅卡曼德机器人(核心零部件)	3月6日	未披露/战略投资	河北省国企改革发展基金	北京	2016年
自变量机器人	3月4日	数亿元/Pre-A++轮	北京机器人产业基金	深圳	2023年
	1月3日	未披露/Pre-A+轮	北京机器人产业基金	深圳	2023年
千觉机器人(触觉感知)	3月3日	未披露/天使轮	智元机器人	上海	2024年
众擎机器人	2月28日	2亿元/Pre-A轮	商汤	深圳	2023年
良质关节(核心零部件)	2月27日	1500万元/战略投资	-	东莞	2024年
松延动力	2月25日	超亿元/A+轮	-北京未来科学城基金	北京	2023年
	1月15日	未披露/A轮			
跨维智能(大脑)	2月21日	未披露/Pre-A+轮		深圳	2021年
星尘智能	2月21日	未披露/Pre-A轮	-	深圳	2022年
星海图	2月20日	3亿元/A轮	蚂蚁集团、百度、北京机器人产业基金	苏州	2023年
中科慧灵	2月18日	超亿元/天使轮	联想、河南资产基金	北京	2023年
零次方机器人	2月6日	数千万元/天使轮		合肥	2025年
VLAI未来动力(核心零部件)	1月23日	数百万元/天使轮	二	广州	2024年
灵童机器人(标准平台)	1月17日	未披露/A轮	-	上海	2022年
小雨智造(大脑)	1月7日	未披露/A+轮	科大讯飞	北京	2023年
傅利叶	1月7日	未披露	浦东创投、张江科投	上海	2015年
资料来源：IT桔子，中信证券研 究部					

研发路径已获共识，环节隘口待聚焦突破

具身智能模型包括感知、决策、控制三大部分。具身智能可以像人类一样感知和理解环境，通过自主学习和适应性行为来完成任务，能够在物理世界和数字世界的学习和进化，达到理解世界、互动交互并完成任务的目标。要实现具身智能与环境实时交互并完成自主做事的功能，其所涉及到的主要环节可以抽象理解为包括感知、决策、控制这三大部分。

图30:具身智能流程图

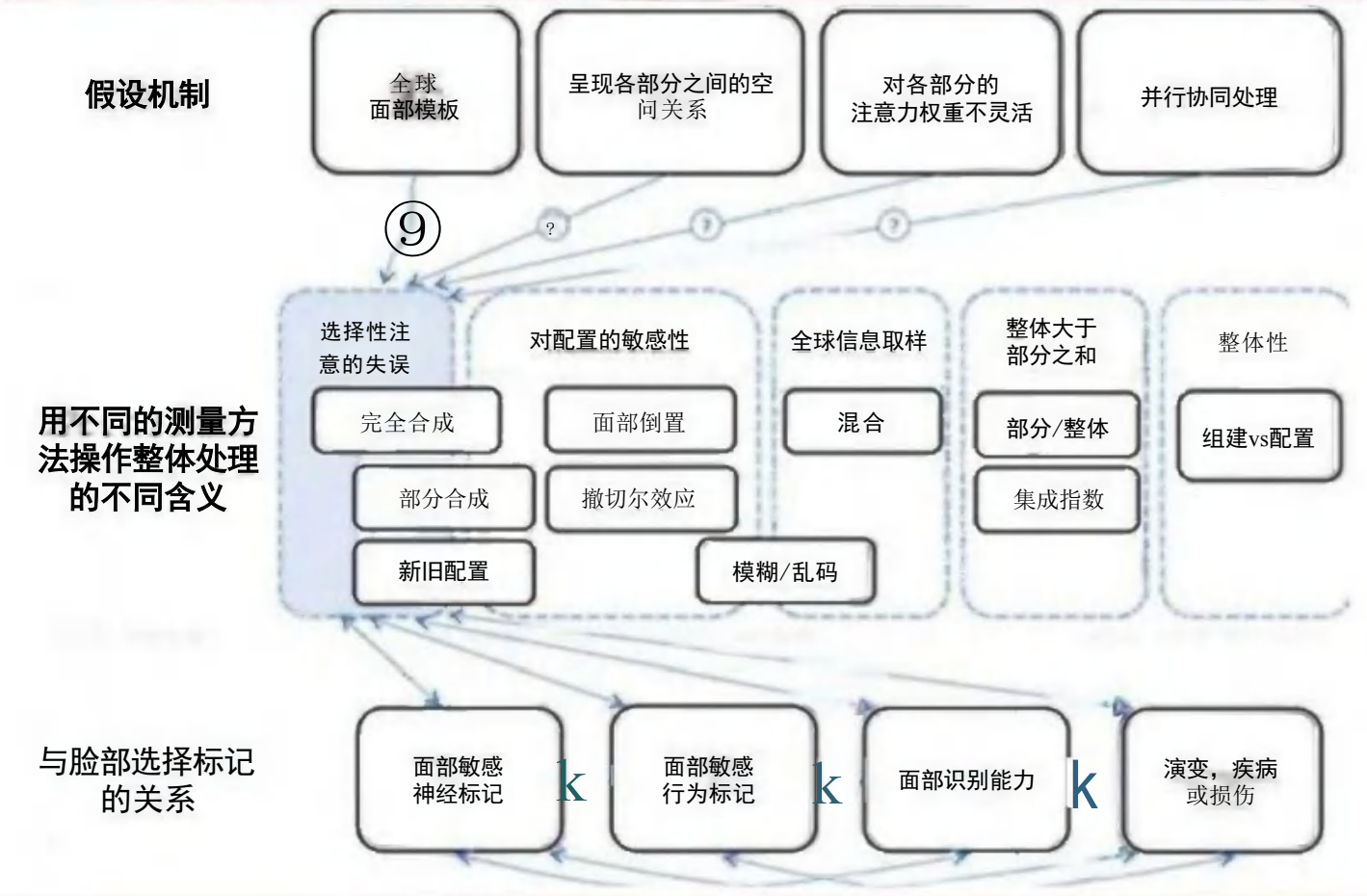


资料来源: Frontiers, 中信证券研究部翻译

感知层：主要负责获取和处理来自环境的信息，为智能体的决策和行为提供依据，其作为输入层决定了机器人需要处理以图片、视频等为代表的多模态数据。感知层的实现可以通过以下两种方式：

- 全感知：构建一个包含操作环境各种知识的大规模数据库，涵盖物体的外形、结构、语义以及关节体类别等信息。通过对这些感知数据的管理和应用，智能体能够全面地理解和适应所处的环境。例如在自动驾驶场景中，建立道路场景数据库，涵盖道路、交通标识、车辆、行人等元素的视觉特征和语义信息，帮助自动驾驶系统全面感知道路环境，这个过程是一个标准的全感知过程。

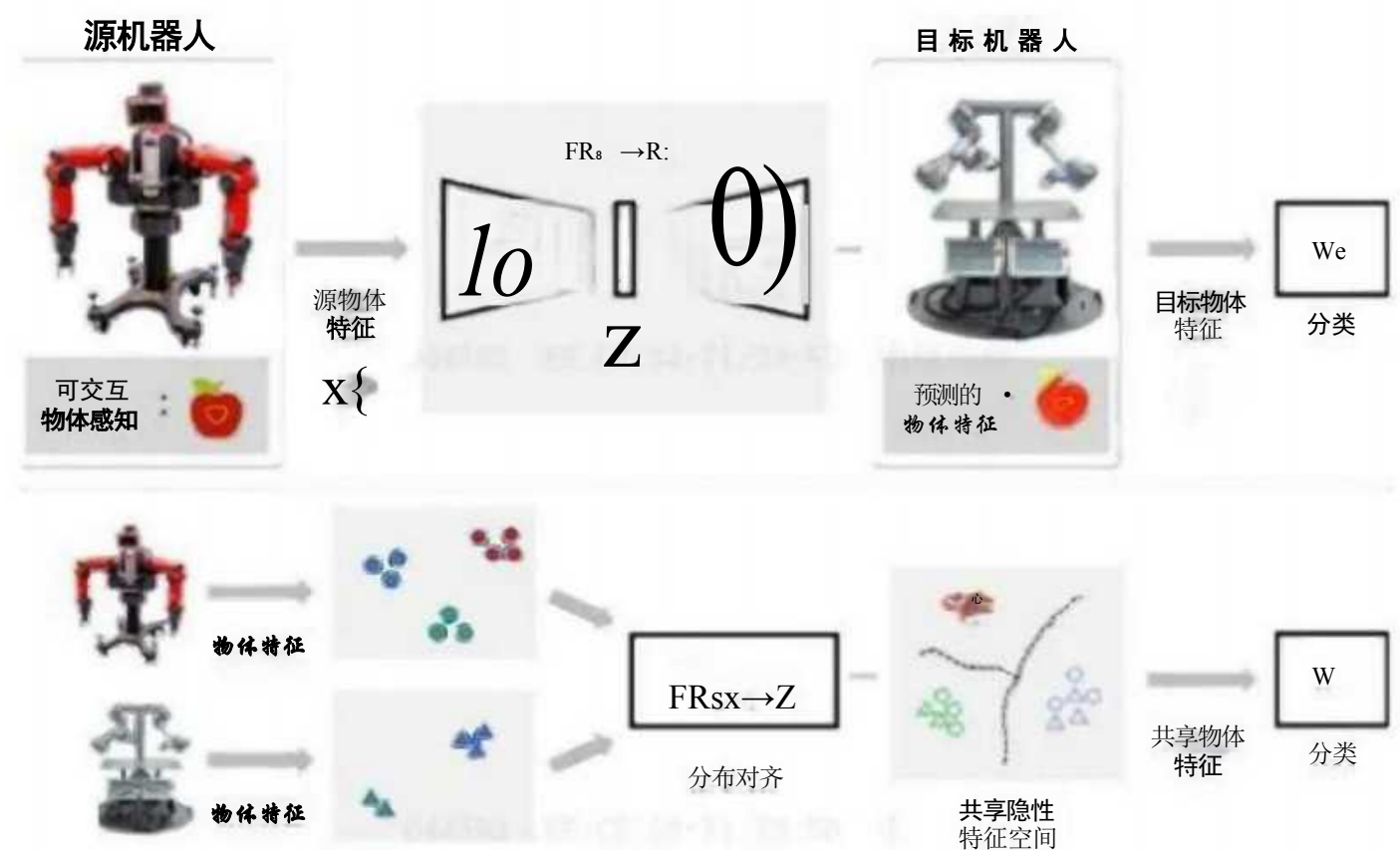
图31: 一个标准的对人脸进行全感知建模的流程



资料来源: Frontiers, 中信证券研究部翻译

- 具身交互感知：通过智能体与环境的实时交互，获取丰富的感知反馈，如视觉、触觉、力觉等。利用物理定律和数据驱动的方法，不断校正感知模型，从而构建出准确的环境表征。这种具身交互感知使智能体能够动态地理解和适应变化的环境。例如机器人通过视觉和触觉感知抓取物体：利用摄像头获取物体的视觉信息，并通过触觉传感器感知物体的形状、重量和材质，从而调整抓取策略；四足机器人通过力反馈适应不同地形：在行走过程中，通过腿部的力传感器感知地面的硬度和倾斜度，并相应地调整步态和力量分配。

图 3 2 : 机器人通过交互过程中的传感器数据不断校正



资料来源: "Transferring Implicit Knowledge of Non-Visual Object Properties Across Heterogeneous Robot Morphologies", Tatiya, G., Francis, J., and Sinapov, J. (2023) in proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2023, 中心证券研究部翻译

决策层：具身智能中的核心处理枢纽需要具备类似人类大脑的处理能力，这是当前具身智能的主要难点之一，大模型（世界模型）成为解决感知层与决策层的新思路。它需要满足机器人在理解指令、分解任务、规划子任务、识别物体等方面的需求，以完成人机交互和环境交互。在传统机器人领域，多维度的人机交互一直是一大难题。RT-2、GPT 等大模型的快速突破为解决这一问题提供了新的思路，大模型往往结合多模态能力将感知层的问题与决策层融合，完成从感知到决策的一体化方案。未来这些大模型有望充当机器人的"大脑"，与人类进行多维度交互，从而更出色地完成任务。通过利用A1大模型强大的语言理解和生成能力，机器人可以更好地理解人类的指令和意图，并根据上下文生成恰当的响应和行为。这将大大提升机器人在人机交互和任务执行方面的表现，使其能够更加智能化和人性化。

图33:当前试图解决机器人感知到决策层的模型汇总



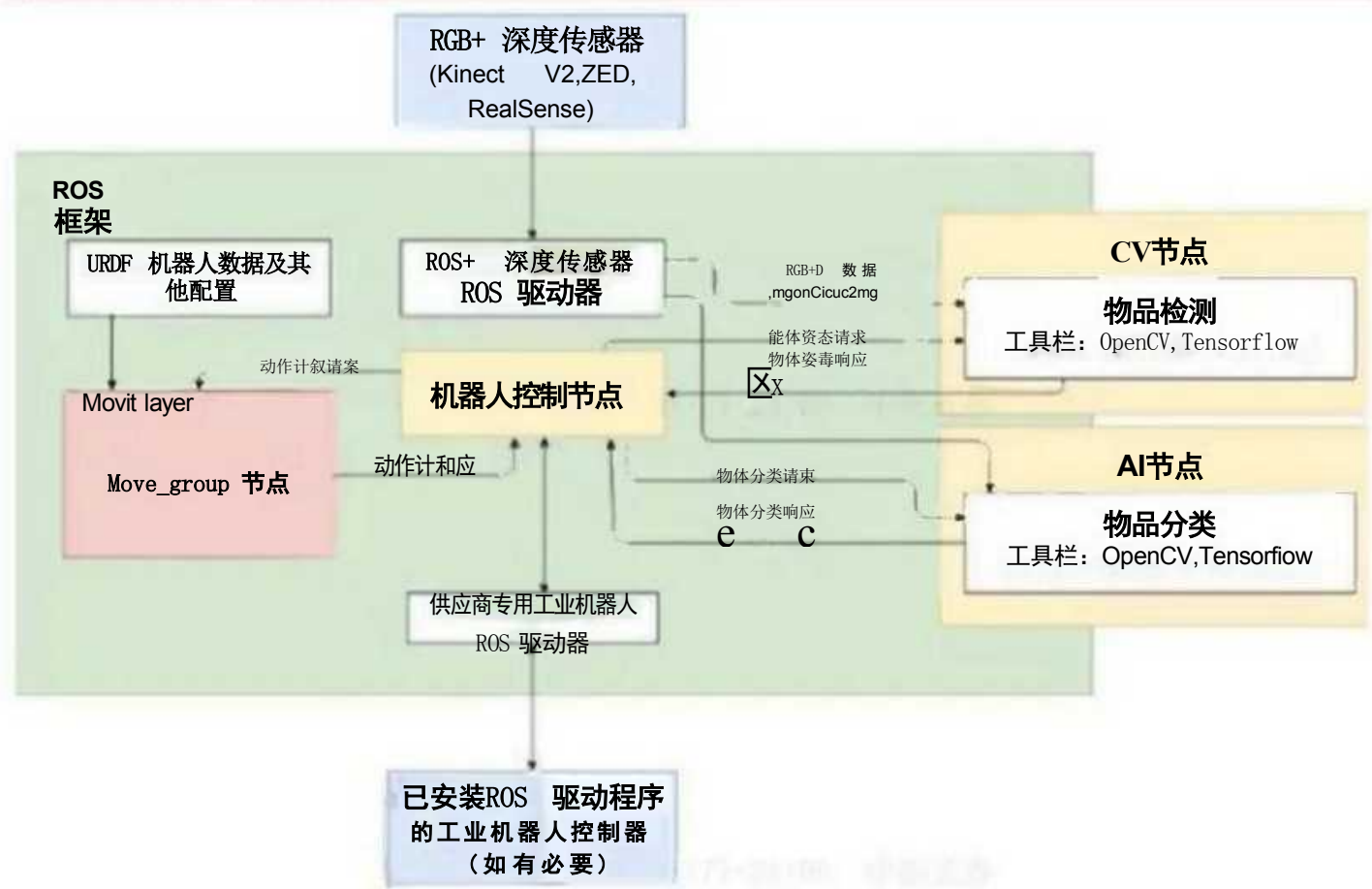
资料来源：Medium

控制层：负责根据感知信息和决策指令，协调机器人各个部件的运动，实现智能化的行为控制。多传感器融合是控制层的一个重要方面，它通过综合利用多种传感器的信息，提高机器人对环境的感知和理解能力，从而实现更具鲁棒性和适应性的控制。

- 在控制层中，多传感器融合技术发挥着关键作用。机器人通常配备有多种类型的传感器，如视觉传感器（摄像头、激光雷达等）、触觉传感器（压力传感器、触觉皮肤等）、力传感器（力/力矩传感器）、惯性传感器（加速度计、陀螺仪）等。每种传感器都能提供特定维度的环境信息，但都有其局限性和不确定性。
- 通过多传感器融合，控制系统可以将这些异构传感器的数据进行同步、校准、对齐和集成，从而获得更全面、准确和可靠的环境感知。例如，视觉和触觉信息的融合可以帮助机器人更好地理解物体的形状、材质和位置关系；力和视觉信息的融合可以实现更精确的操作和装配；惯性和视觉信息的融合可以提高机器人的定位和导航能力。
- 多传感器融合不仅能提高感知的性能，还能增强系统的鲁棒性和容错性。当某个传感器出现故障或受到干扰时，其他传感器的信息可以补充和校正，确保感知和控制的连续性和可靠性。此外，通过对多传感器数据的智能分析和解释，控制系统还可以实现对环境的语义理解和上下文感知，使机器人能够根据任务和环境的变化做出智能调整。

除了多传感器融合，控制层还涉及运动规划、轨迹生成、伺服控制、力控制、柔顺控制等多个方面。其中，运动规划负责根据任务要求和环境约束，生成最优的运动轨迹；轨迹生成则将这些轨迹转化为关节空间的参考输入；伺服控制负责驱动机器人的关节和执行器，使其精确跟踪参考轨迹；力控制和柔顺控制则使机器人能够与环境进行柔和、安全的交互，适应动态变化的接触力和碰撞等。

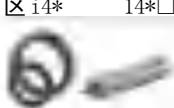
图 3 4 : R O S 框 架 组 成 结 构



资料来源：《ROBOT CONTROLFOR BIN-PICKING》(Trinity Innovation Network), 中信证券研究部翻译

零部件：全产业链国产化彰显大国制造优势，规模化降本空间充足

图 3 5：以特斯拉机器人为例的 BOM 成本分解及各环节重点公司梳理

	图示	价值量占比	单机价值量 (万元)	新增市场解胶 (亿元)	国产化率	技术难度及挑战	重点公司
总 成		20.2%	量产 当前	500万合 50万台	林	多个系统协同控制精度和稳定性要求高，关节耦合误差<2，保证一定程度的故障容错。	三花智控、拓普集团、伟创力、Bosch
电机类	区 i4* 14*□ 	12.9%	量产 五前	500万盒 50万盒		横时高功率密度、温升控制、轻量化设计需平。工艺端，高精度基础钢买配误差要求高。	亮威机电、鹤志电器、伟创电气、雷赛智能、禾川科技、步科股份、德昌股份、江苏雷利、Maxon、Fauhaber
丝杠类	(8* 	11.9%	量产 当前	 e 16o		微米级研磨工艺精度及抗磨损材料四配，港及兰复杂热处理和材料成型工艺，后道岛精度螺纹年磨床依赖进口。	恒立液压、新剑传动、北特科技、双林股份、浙江荣泰、舍弗勒、THK
减速器		11.3%	量产 当前	s00万台 102食		年齿形设计、背隙控制，加工精度，柔轮寿命均构成技术挑战，当前国产高词产品的寿命与精度与哈默纳克有差距。	绿的谐波、中大力德、环动科技、瑞迪智柜、国茂股份、蓝黄科技、科达利、国华智能、哈默纳科
高算力主控		10.1%	世产 当前	500万鲁 s0万盒		神经网络算法硬件加速与实时多任务控制(延迟<1ms) 主控制器力核心的SoC 芯片多为进口，依赖先进制程工艺。	广和通、地平线、天准科技、移远通信、美格智能、英伟达、高通、MTK、英特尔
力矩传感器类	n 8 	8.2%	世产 当前	500万自 50万台		抗电磁干扰。六维力传感器应变片贴合精度要求高，多物理量解耦需复杂算法。	柯力传感、安瑞龙、东华测试、凌云股份、坤维科技、宇立仪器、ATJ、霍尼韦尔
编码器		5.1%	严 尊前	500台 0万自		对绝对位置精度(±0.01)、抗震动性能、抗超性提出更高要求。	汇加技术、用科技、奥蓄光电、韩3科技、Eimo、科尔摩根
驱动器		4.2%	盈产 而前	500万自		高功率密度材料、动态响应，可靠性，时温升控制、热管理算法要求较高。	汇川技术、峰昭科技、卧龙电驱、英飞凌、德州仪器、国高科技、Elmo、科尔摩根
腱绳		3.4%	量产 当前	590万鲁 50万台		对改性材料UHMWPE 需求增强，加工工艺复杂，依赖进口设备、电子皮肤与腱绳张力传感器的数据融合算法难度大	南山智尚、同益中、恒辉安防、大业股份、鼎龙股份
PEEK材料		3.0%	量产 当前	500万合 50万盘		连续预浸料制备工艺复杂，刚性与轻量化要求需平衡，产能爬坡缓慢。	威格斯、中研股份、沃特股份、新险新材、中欣氟材、肯特股份、唯科科技、恒勃股份
轴承		2.5%	量产 当前	500万自 56万会		抗疲劳性能仍待提升。抗瞬时冲击力(径向、轴向及倾菜力矩)要求较高，高端超高精度轴承国产化率仍待提升。	长城精工、长盛轴承、国机精工、龙溪股份、五地新春、金沃股份、THK、NSK、人本股份
电子皮肤		2.4%	量产 前	500万台 50万台		年多模态传感器集成和数据融合难度高，柔性电路抗弯折性，耐久度待提升。触觉反馈灵敏度和寿命仍需突破。	福莱新材、汉威科技、祥源新材、日盈电子
动力电池		1.4%	量产 当	500万自 50万台		需攻克固态电池技术。电池需达到高能量密度高倍率，长寿命和高可靠性要求	金杨股份、富临精工、宁德时代、中创新航、亿纬锂能、欣旺达、蜂巢能源、蔚蓝锂芯
视觉模组		1.0%	量产 画前	 10209		3D动态识别和建图椅准度要求高，光照敏感，抗干扰能力较弱。视觉SLAM 算法仍待突破。	奥比中光、凌云光、思看科技、天准科技、银牛微电子、英特尔
IMU		0.8%	量产 当	 3		动态误差抑制算法(卡尔曼滤波)，极端品度的补偿、多传感器数据融合仍需技术突破。	芯动联科、华依科技

资料来源：各公司官网，GGII,《2024 人形机器人产业链白皮书》(觅途咨询), 特斯拉AI Day,MIR 数据库, WIND, 中信证券研究部测算注：单机价值量当前和量产分别指小于5万台的小批量量产和100万台规模化量产。

核心零部件：丝杠

行业观点：精密丝杠的高精度及高负载特性得到工业级具身智能机器人的青睐，丝杠行业历来由海外龙头占据绝对市场份额。近年国内丝杠投入热潮持续，国产厂商有望打通行星滚柱丝杠/微型丝杠的高性价比之路。

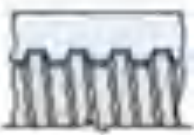
定义：丝杠是将旋转扭矩转换为线性扭矩的机械传动装置(部分情况下，反之亦可)。行星滚柱丝杠主要用于机器人的四肢部位，Optimus的单机丝杠价值量或超2万元，对应BOM占比约10%。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则全球行星滚柱丝杠新增市场规模有望达30亿元。当前行星滚柱丝杠的全球拟投产产能约100-200万根/年，已建成产能超过10万根/年。

竞争格局：国内行星滚柱丝杠市场中，以Rollvis、GSA、Ewellix为代表的海外厂商占据超过80%的市场份额。近2年，受机器人等下游需求带动，以恒立液压、北特科技为代表的本土企业加速丝杠领域突破。

相关公司：恒立液压、五洲新春、金沃股份、北特科技、贝斯特、震裕科技、双林股份、浙江荣泰。

表 1 3：丝杠分类梳理

分类	滑动丝杠	滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
图示			
传动机制	滑动摩擦（金属间直接接触）	滚动摩擦（滚珠循环运动）	行星滚动摩擦（滚柱与螺杆啮合）
应用场景	普通机床、农机、工程机械等	数控机床、汽车、半导体设备等	机器人、航空航天、精密机床等
特点	传动效率低、成本低、承载力低	传动效率高、成本适中、承载力中高	传动效率高、成本高、承载力高
技术难点及挑战	材料耐磨性不足，易磨损致维护频繁	螺纹磨削依赖高精度磨床； 需高纯度轴承钢	依赖高精度磨床；丝杠轴/滚柱对钢材要求高；装配复杂
全球产能缺口*	不显著	较小	较大

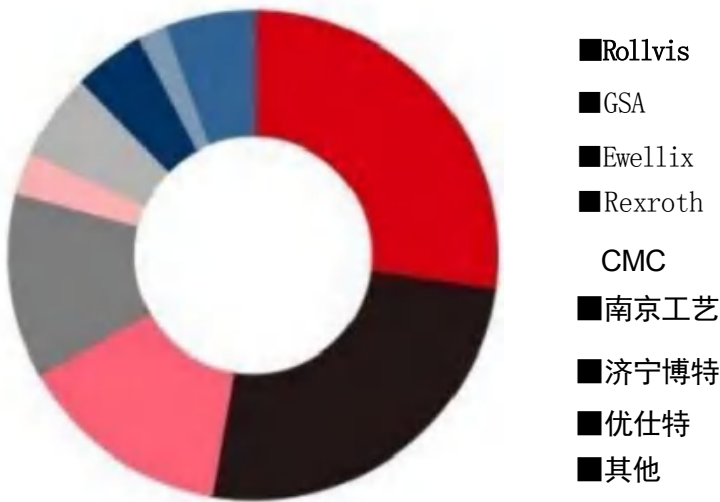
资料来源：Thomson 官网，新剑传动官网，中信证券研究部注：全球产能缺口对应100万台具身智能机器人出货量的供给缺口

表14:特斯拉Optimus行星滚柱丝杠增量市 场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus的行星滚柱丝杠数量	台	14	14	14	14	14	14
特斯拉Optimus带来的新增销量	万台	8.4	70	168	420	840	1400
行星滚柱丝杠均价	万元	0.15	0.1	0.08	0.07	0.065	0.06
YoY	%	-25%	-33%	-20%	-13%	-7%	8%
Optimus带来丝杠市场增量	亿元	1.3	7.0	13.4	29.4	54.6	84.0

资料来源：《2024人形机器人产业链白皮书》（觅途咨询），特斯拉官网，中信证券研究部预测及测算注：丝杠均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus 出货量按照中性假设预测

图 3 6：2 0 2 3 年 中 国 行 星 滚 柱 丝 杠 竞 争 格 局



资料来源：《2024人形机器人产业链白皮书》（觅途咨询），中信证券研究部

图 37:重点公 司丝杠业务 布局

公司名称	时间	项目内容
恒立液压	2021.08	投资近15亿元布局线性驱动器。
北特科技	2024.10	投资18.5亿元建设行星滚柱丝杠研发生产基地项目。
五洲新春	2025.03	投资15亿元生产行星滚柱丝杠、微形滚珠丝杠等产品。
贝斯特	2022.01	设立全资子公司宇华精机，布局直线滚动功能部件市场。
新剑传动 (未上市)	2024.12	设立年产100万台人形机器人及汽车行星滚柱丝杠产业化项目。

资料来源：各公司官网及公告，中信证券研究部

核心零部件：电机及伺服驱动系统

行业观点：驱动系统类似于专用化的伺服。国内整机企业早期阶段自主设计为主，有利于提升整机设计的灵活性，但是保障长期稳定运行的工程难度较高。随着技术形态逐步确定，行业有望开启小批量量产，关注通用工控企业在电控产品经验、人才积累以及规模化生产的降本优势。

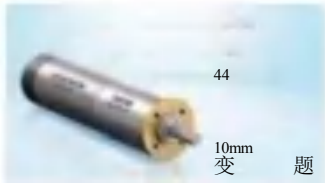
定义：驱动系统是机器人的动力来源，技术形态相当于专用化的伺服，主要由无框力矩电机/空心杯电机+驱动器+编码器构成，上述零部件均需要针对机器人进行高功率密度、小型化的特殊设计。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则驱动系统新增市场规模有望超117亿元。

竞争格局：根据MIR, 国内伺服行业已经实现较高比例的国产化替代，2024年汇川技术、雷赛智能、信捷电气、埃斯顿等市占率分别达到28%/4%/4%/3%，主要外资企业包括西门子、Maxon、Faulhaber等。

相关公司：汇川技术、兆威机电、鸣志电器、伟创电气、峰昭科技、雷赛智能、禾川科技、步科股份。

表 15：驱动模组（不含减速器、丝杠等）的分类

分 类	关节 驱动 模组	手 部 驱动 模组
图示		
结构	无框力矩电机+驱动器+双编码器组成	空心杯电机+驱动器+编码器
应用场景	机器人关节	机器人灵巧手
技术难点及挑战	功率密度、小型化	功率密度、小型化

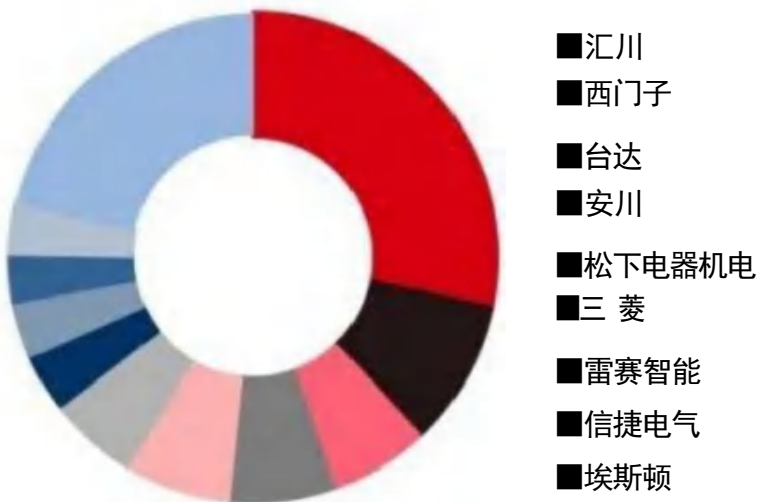
资料来源：禾川科技微信公众号，伟创电气微信公众号，中信证券研究部

表16:特斯拉Optimus驱动系统增量市场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
关节驱动系统	台	28	28	28	28	28	28
无框力矩电机价格	元	800	700	600	500	400	300
配套驱动+编码器价格	元	600	500	450	350	300	270
关节驱动市场空间	亿元	2	17	35	71	118	160
手部驱动系统	台	34	34	34	34	34	34
空心杯电机价格	元	500	400	300	200	180	150
配套驱动+编码器价格	元	400	350	300	250	220	200
手部驱动市场空间	亿元	1.84	13	24	46	82	119
Optimus带来驱动市场增量合计	亿元	4.2	29.6	59.8	117.3	199.2	278.6

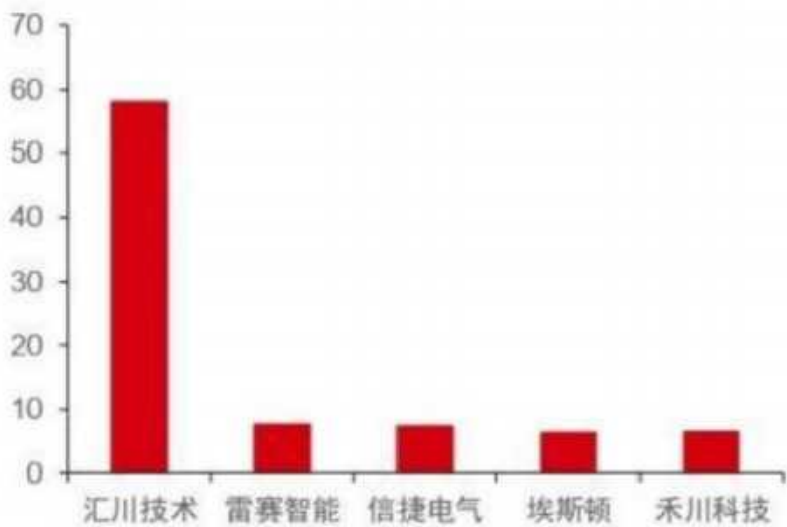
资料来源：MIR数据库，世界银行，Agiity机器人官网，特斯拉AI Day, 优必选官网，特斯拉官网，中信证券研究部预测及测算注：配套驱动、编码器、无框力矩电机、空心杯电机均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉 Optimus 出货量按照中性假设预测

图 38：2024 年中国伺服系统竞争格局



资料来源：MIR 数据库，中信证券研究部

图39: 重点公司2024年伺服销售额(亿元)



资料来源：MIR 数据库，中信证券研究部

核心零部件：力矩传感器

定义：力矩传感器是一种电子装置，用于监测、检测、记录施加在其上的线性力和旋转力，将力信号转化为电信号，主要分为扭矩传感器和六维力传感器，已大量使用于协作机器人打磨、抛光碰撞检测等领域。

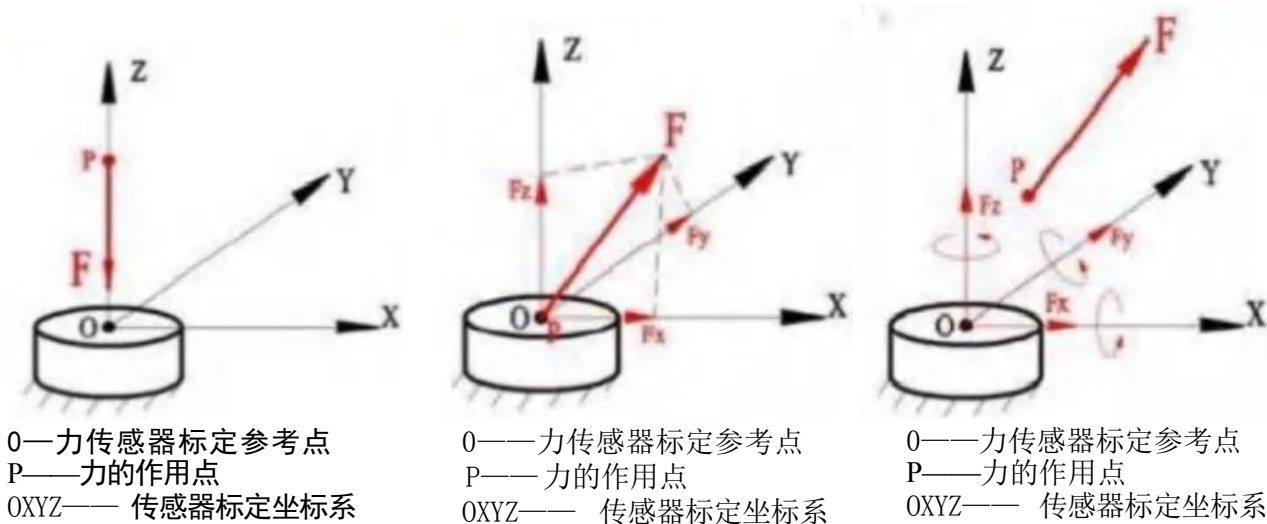
行业观点：力矩传感器是机器人中最优的力控传感方案，具有精度高、频响快、可靠性好、寿命长等优点，目前机器人关节中基本上都应用了力矩传感器，在双手和双足关节中一般使用六维力传感器，在其他关节中更多地使用扭矩传感器，随着机器人的放量，力矩传感器将会取得快速放量。

市场规模：若2028年全球机器人出货量达到30万台，则力矩传感器增量有望达到900万台，且不包括目前工业及消费领域的扭矩传感器数量(每年约100万台), 均价有望从上千元人民币降至小几百元。

竞争格局：全球力控传感器的主要厂商有ATI、霍尼韦尔等，国内力传感器行业未上市公司实力较强，代表公司包括坤维科技、宇立仪器、蓝点触控、鑫精诚等，上市公司主要有柯力传感、安培龙、东华测试、凌云股份、昊志机电等，目前国产化率在快速提升。

相关公司：柯力传感、安培龙、东华测试、凌云股份、昊志机电、瀚川智能(参股坤维科技)。

图 4 0：一维、三维、六维力传感器的选择，其中轴向标的非常关键



资料来源：坤维科技官网

表17:国内主要布局力矩传感器的上市公司

企业	简介	主要力传感器布局
安培龙	从事智能传感器研发、生产与销售，产品广泛应用于汽车电子、智能家居、医疗设备、工业控制等领域。	玻璃微溶六维力传感器、压力传感器、温度传感器、氧传感器等
凌云股份	是中国一家以汽车零部件和塑料管道系统为主业的综合性企业，隶属于中国兵器工业集团有限公司(北方工业集团)	与中科院合肥物理所、中兵智能合作六维力传感器
柯力传感	国内重要的称重元件制造企业之一，主要研制和生产各类物理量传感器、称重仪表、电子称重系统、工业物联网系统成套设备	应变式传感器、微型传感器、压力与温度计、流量计、测重测力、静态扭矩、二维力、三维力和六维力传感器等
昊志机电	主业为高速精密电主轴及其零配件，为中高档数控机床提供自主研发、自主品牌的主轴系列产品。公司自主研发拓展了转台、直线电机、DD直驱电机、导轨等数控机床核心部件。	六维力矩传感器、扭矩传感器等
东华测试	国内领先的结构力学性能测试解决方案提供商，是一家专注于结构力学性能测试与分析系统研发、生产、销售及服务的的高新技术企业	应变、力、加速度等各类高精度传感器，传感器标定设备等
坤维科技 (瀚川智能参股)	六维力传感器专业供应商，自主研发标定设备，供货给节卡、遨博、睿尔曼、越疆、思灵、大族等国内协作机器人厂商	六轴力、关节扭矩、指端力、底座力、定制力、拉压力、压力等传感器、标定设备等

资料来源：各公司官网，各公司公告，中信证券研究部

核心零部件：减速器

行业观点：当前减速器处于国产替代加速、技术逐步收敛、应用由工业→具身智能机器人拓展的关键时点，为全球谐波/行星减速器市场带来较大产能缺口。国产厂商有望依托产品高性价比及快速扩产，实现高弹性成长。

定义：减速器主要功能为降低输入端电机的转速，从而增大扭矩提高输出端机械臂的负载能力。谐波/行星减速器为具身智能机器人的核心零部件，单机价值量或超1万元，BOM占比约5%。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则全球谐波减速器新增市场规模有望超37亿元。当前谐波减速器的全球产能约300-400万台/年，30万台机器人的出货量有望带来数百万台的产能缺口。

竞争格局：2024年谐波减速器全球市场，日本厂商哈默纳科仍占主导地位。国产厂商加速追赶，根据MIR，国内市场绿的谐波/来福谐波/杉川谐波同川科技的份额分别占24.8%/8.9%/7.9%/4.6%/1.5%。

相关公司：哈默纳科、绿的谐波、中大力德、环动科技、瑞迪智驱、国茂股份、蓝黛科技、科达利。

表18:精密减速器分类梳理

	谐波减速器	精密行星减速器	RV减速器
图示			
结构	柔轮、钢轮、波发生器构成	多个行星轮围绕太阳轮啮合旋转	行星减速前级加摆线针轮减速器后级
应用场景	机器人轻负载关节(手腕小臂/肩/肘/腰)、小负载工业机器人	机器人小型关节(灵巧手/膝部/脚踝)、四足狗	中大负载工业机器人的高负载位置
特点	小体积、低负载、高精度	体积紧凑、低转速、大扭矩	大体积、高负载、高刚度
技术难点及挑战	柔轮疲劳断裂、齿形专利壁垒、精密加工依赖	多级误差累积、高精度齿轮加工、热平衡控制	摆线轮修形复杂、公差分配严苛、曲柄轴高精度加工
全球产能缺口*	数十亿元	较大	小

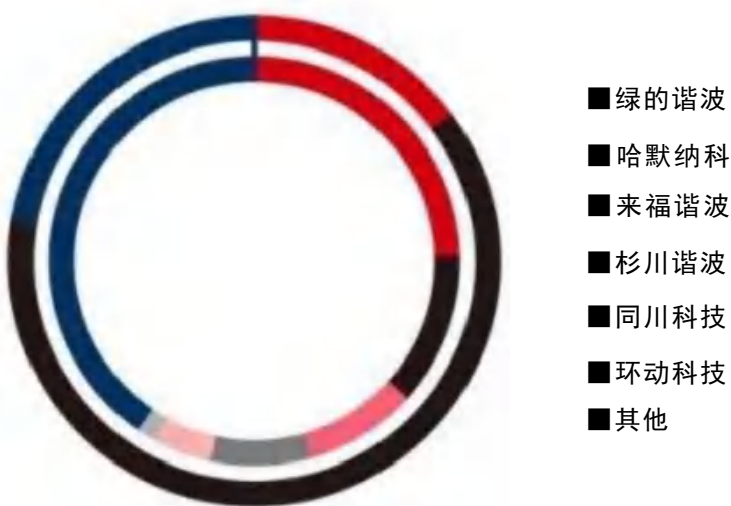
资料来源：环动科技、绿的谐波招股书，Engineeing Clicks, 中信证券研究部注：全球产能缺口对应100万台机器人出货量的供给缺口

表19:特斯拉Optimus谐波减速器增量 市场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus的谐波减速器数量	台	14	14	14	14	14	14
特斯拉Optimus带来的新增销量	万台	8.4	70	168	420	840	1400
谐波减速器均价	万元/台	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08
YoY	%	-5%	-15%	-20%	-10%	-6%	-6%
Optimus带来谐波减速器市场增量	亿元	1.0	7.4	16.8	37.8	71.4	112.0

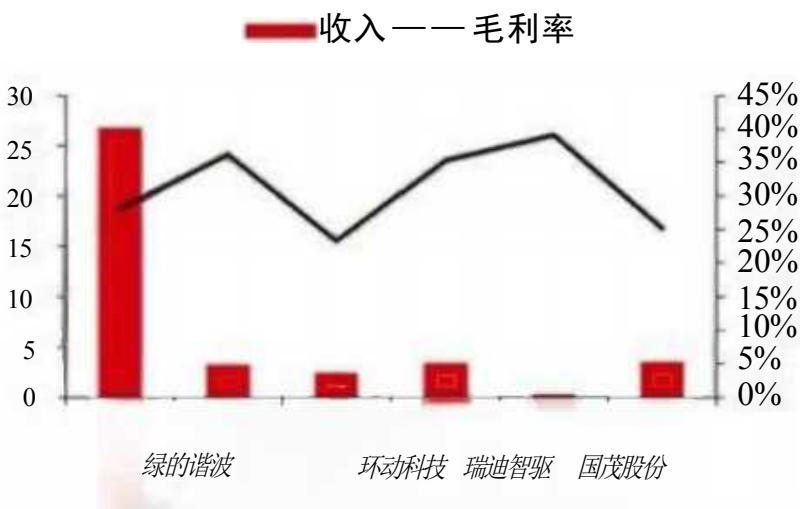
资料来源：MIR数据库，绿的谐波招股书，特斯拉官网，中信证券研究部预测及测算注：谐波减速器均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus出货量按照中性假设预测

图41: 2024年全球(外圈)/中国(内圈)谐波减速器的竞争格局



资料来源：MIR 数据库，GGII, WIND, 中信证券研究部测算

图42: 重点公司2024年减速器收入(亿元)及毛利率(%)



资料来源： WIND, 中信证券研究部

核心零部件：高算力主控SoC 芯片和主控模组

行业观点：当前部分具身智能整机厂采用工控机(搭载英伟达GPU)作为主控，但是随着算力发展和量产需要，高算力主控模组的需求和渗透率会快速提升，用于“大脑”的高算力模组会从当前200-500T逐步提升至500-1000T。算法优化可使同等任务算力需求下降，技术路径趋向“效能优先”而非粗放式算力堆砌。

定义：控制系统可分为具身智能系统和运动控制系统，即大脑和小脑。高算力主控(>100Tops)一般应用于大脑，运行VLA模型，中低算力主控(<100Tops)应用于小脑，运行运控算法。机器人控制系统可分为集中、主从和分布式控制，尚未形成统一。主控制器核心BOM成本和硬件性能来自于主控SoC芯片。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则全球高算力主控SoC芯片新增市场规模有望达50亿元，高算力主控制器新增市场规模有望达100亿元。

竞争格局：高算力主控SoC芯片由特斯拉、英伟达和高通占主要份额，国产智驾芯片厂商地平线等加速布局。主控模组国产替代加速，玩家主要为传统通信模组、域控制器模组厂商横向拓展至高算力主控模组。

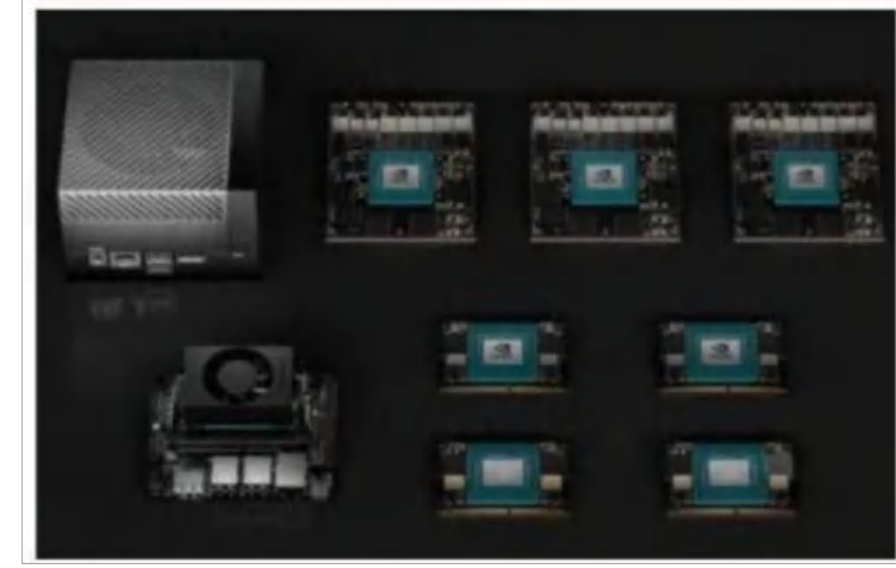
相关公司：1)高算力主控SoC芯片：特斯拉、英伟达、高通、MTK、英特尔、地平线机器人、黑芝麻智能等；2)高算力主控制器模组：英伟达、英特尔、广和通、天准科技、移远通信、美格智能等。

图43: 搭载Jetson AGXOrin芯片的天准科技550T 算力主控模组



资料来源：天准科技官网，中信证券研究部

图4 4 :英 伟 达J e t s o n O r i n高 算 力 芯 片



资料来源：英伟达官网，中信证券研究部

表20:特斯拉Optimus高算力主控SoC和高算力主控模组的市场规模		测算					
		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus的高算力主控模组数量	台	1	1	1	1	1	1
特斯拉Optimus带来的新增销量	万台	0.6	5	12	30	60	100
高算力主控SoC均价	万元/台	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
Optimus带来高算力主控SOC市场增量	亿元	0.7	4.5	9.6	21.0	36.0	50.0
高算力主控模组均价	万元/台	2.0	1.8	1.6	1.5	1.2	1.0
Optimus带来高算力主控模组市场增量	亿元	1.2	9.0	19.2	45.0	72.0	100.0

资料来源：特斯拉官网，英伟达官网，广和通官网，美格智能官网，移远通信官网，中信证券研究部预测及测算注：主控SoC芯片和主控模组均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus 出货量按照中性假设预测

表21:高算 力主控SoC芯片及主控模组的核心公司及进展		
企业	公司简介及机器人领域布局	高算力主控芯片/主控模组布局
特斯拉	全球新能源汽车和人形机器人龙头。布局人形机器人，自研端侧和训练用AI芯片，打通智驾和人形机器人的底层模块。	布局端侧芯片FSD(7nm制程，总算力达144T)和Dojo D1训练用芯片(7nm制程，BF 16算力达362 TFLOPS)。
英伟达	全球领先的人工智能计算公司。通过“芯片+算法+生态”构建完整的机器人技术体系。	布局Jetson Onin(支持254T算力)、Orin NX(支持100T算力)、Thor(支持800T算力),用于具身智能机器人。
地平线	全球智驾芯片领军企业。自研高算力端侧芯片，应用于扫地、割草、具身智能机器人。	地平线推出“征程6P”智驾芯片，算力高达560T。地瓜机器人推出5-100T的具身智能开发平台套件。
广和通	全球通信模组头部厂商。布局具身智能开发平台Fibot,割草机器人解决方案，机器人/AI玩具端侧模组。	推出星云系列产品，覆盖1-50T多种算力配置，可运营7B参数的DeepSeek大模型。
天准科技	汽车智驾域控制器领军企业，拓展至具身智能领域。	推出基于JetsonAGXOrin平台的550T高算力模组

资料来源： 各公司官网，中信证券研究部

核心零部件：腱绳

>行业观点：目前腱绳材料仍在验证阶段，UHMWPE（超高分子量聚乙烯）纤维性能优异，钢丝绳成本优势明显，建议密切跟踪产业链验证进展和相关企业的市场拓展情况。

定义：腱绳传动因仿生性强、结构紧凑等特性在国内外多款灵巧手中得到广泛应用。灵巧手的自由度达到24个后，腱绳及相关部件单机价值量或超5,000元，对应BOM占比约3%。

市场规模：腱绳需求同时受益于灵巧手自由度提升、新增机器人出货的增量需求和存量机器人的更换需求，若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则全球腱绳合计市场规模有望接近7亿元。

竞争格局：2023年全球UHMWPE纤维产能为6.7万吨，其中国内产能为4.5万吨。根据各公司官网，目前南山智尚同益中/恒辉安防产能分别为3,600/7,960/3,000吨，其中南山智尚在机器人领域已有在手订单。

相关公司：南山智尚、同益中、恒辉安防、大业股份。

表22:灵巧手各种驱动方式对比

传动方式	连杆传动	齿轮传动	带传动	腱绳驱动
图示				
工作原理	铰链连接多刚性杆件传递运动和力	齿轮啮合传递动力和运动	带与带轮摩擦或啮合传递动力	线绳拉力传递动力和运动
优点	抓取大型物体，适应不同形状和尺寸	高精度动力传递，稳定性强	结构简单，缓冲效果好，成本低	轻量化，高灵活性，多自由度
缺点	控制难度高，结构复杂	齿轮重量大，惯性大	传动精度低，寿命短	负载能力弱，需经常维护
成本	较高	较高	较低	适中
适用灵巧手类型	机器人手臂、重型机械灵巧手	医疗机器人灵巧手、精密装配机器人灵巧手	需要大轴间距和多轴间动力传递的灵巧手	仿人机器人灵巧手、服务机器人灵巧手

资料来源：国家知识产权局，《机器人灵巧手研究综述》(刘伟), 中信证券研究部

表23:特斯拉Optimus腱绳增量市场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus的腱绳用量	根	34	34	34	34	34	34
Optimus带来腱绳新增需求	万根	20.4	170	408	1020	2040	3400
Optimus带来腱绳更换需求	万根		20.4	190.4	598.4	1618.4	3,658
腱绳均价	元/根	80.0	64	51.2	43.5	37.0	33.3
YoY	%	-20%	-20%	-20%	-15%	-15%	-10%
Optimus带来腱绳市场增量	亿元	02	1.2	3.1	7.0	13.5	23.5

资料来源：特斯拉官网，中信证券研究部预测及测算注：腱绳均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus出货量按照中性假设预测

表24:腱绳核心公司及进展

公司名称	项目内容
南山智尚	公司UHMWPE纤维总产能3,600吨，在机器人领域已有在手订单。
同益中	公司UHMWPE纤维产能7,960吨，积极推进灵巧手腱绳材料的研发
恒辉安防	公司UHMWPE纤维产能3,000吨，已与多家机器人公司深度对接腱绳材料
大业股份	公司人形机器人灵巧手用钢丝尚处于研究开发和市场开拓阶段

资料来源：各公司官网，中信证券研究部

核心零部件：轻量化材料 PEEK

>行业观点：材料轻量化是未来机器人减重主攻方向，综合考虑性能指标、经济性及机器人规模化生产带来的需求弹性，建议重点关注PEEK。目前海外厂商占据主导，看好国产厂商依靠性价比优势加速国产替代。

定义：PEEK 是全球公认的性能最好的工程塑料之一，近年来逐步在中高端领域替代金属材料。PEEK 可应用于机器人的外壳、骨骼等结构件，Optimus 的单机PEEK 价值量或超3000元，对应BOM 占比约1.5%。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus 年出货量达30万台，则全球PEEK 新增需求0.30万吨，新增市场规模有望超7亿元。

竞争格局：根据头豹研究院，2024年PEEK 全球市场，英国厂商威格斯仍占主导地位，市占率(产能口径)超5成。全球市场中中研股份/沃特股份/浙江鹏孚隆的市占率(产能口径)分别占6%/6%/4%。

相关公司：中研股份、沃特股份、新瀚新材、中欣氟材、肯特股份、唯科科技、恒勃股份。

表25:常见轻量化材料与碳素钢指标比较

材料	碳素钢	铝合金	镁合金	PEEK	碳纤维增强PEEK
密度(g/cm³)	7.9	2.7	1.8	1.3	1.6
抗拉强度(MPa)	520	315	250	100	1,400
比强度(o/p)	80	120	135	70	1,050
弹性模量(GPa)	200	70	45	10	120
熔点(°C)	1,500	600	650	340	340
价格(万元/吨)	0.3-0.5	1-2	1.5-3	30-100	30-100
100万台机器人用量带来的需求弹性测算	/	0%	3%	98%	66%

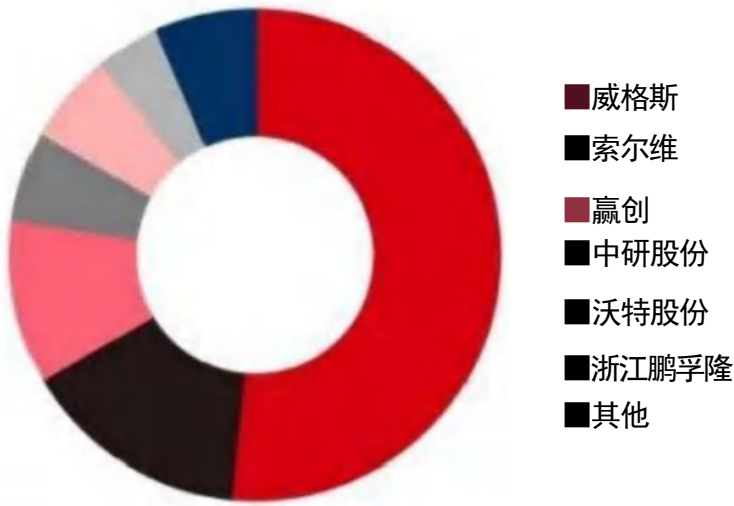
资料来源：铁合金在线微信公众号，ChemBK, 正浩特塑PEEK微信公众号，《连续碳纤维增强聚醚醚酮复合材料的制备及性能研究》(刘川)，百川盈孚，MennoHenselmans官网，中研股份招股说明书，SMM，中信证券研究部测算 注：碳纤维增强PEEK 需求测算对象为PEEK

表26:特斯拉Optimus PEEK材料增量 市场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus的PEEK用量	千克	7	8	9	10	11	12
Optimus带来PEEK增量	万吨	0.0042	0.04	0.108	0.3	0.66	1.2
PEEK均价	万元/吨	30	28.5	25.7	23	21	19
YoY	%	-5%	-5%	-10%	-11%	-9%	-10%
Optimus带来PEEK材料市场增量	亿元	0	1	3	7	14	23

资料来源：弗若斯特沙利文，中研股份公司公告，特斯拉官网，中信证券研究部预测及测算注：PEEK材料均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus 出货量按照中性假设预测

图45: 2024年全球PEEK的竞争格局(产能口径)



资料来源：头豹研究院，中信证券研究部

图46:重点公司PEEK材料布局

公司名称	时间	项目内容
中研股份	2022.06	公司PEEK纯树脂产能1000吨，在建产能5000吨
沃特股份	2024.01	公司PEEK树脂产能1000吨，子公司浙江科赛具有PEEK型材生产加工能力
鹏孚隆	2021.12	已实现航空航天用PEEK材料国产化替代，年产能达2000吨
新瀚新材	2023.12	公司产品DFBP是生产PEEK的核心原材料

资料来源：各公司公告，中信证券研究部

核心零部件：轴承

行业观点：当前轴承行业处于加速国产替代进程中，部分领先国产厂商具备高壁垒具身智能机器人用轴承技术储备，且靠近机器人全球重要零部件供应商生产中心，有望凭借性价比优势切入，实现高弹性成长。

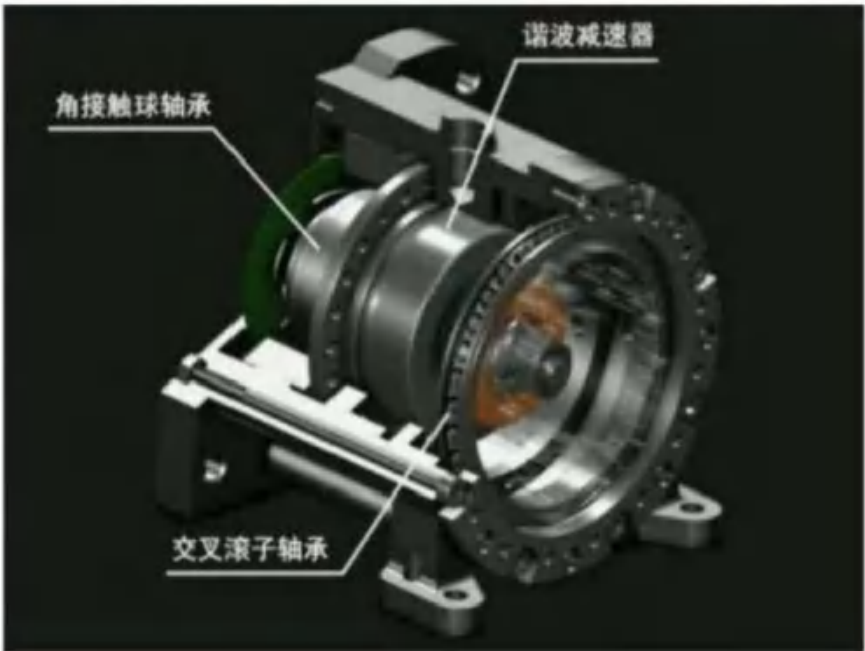
定义：轴承的主要功能为支撑机械旋转体，传递力和运动，通过降低其运动过程中的摩擦系数降低摩擦损失，并保证其回转精度。轴承为机器人的核心零部件，主要应用于旋转执行器及线性执行器中。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则轴承领域新增市场规模有望接近15亿元。

竞争格局：根据头豹研究院，2024年轴承全球市场中斯凯孚、舍弗勒等头部“轴承八大家”企业总计市占率约7成，技术全球领先。受益于下游减速器等行业的国产化率提升，头部企业逐步实现国产替代。

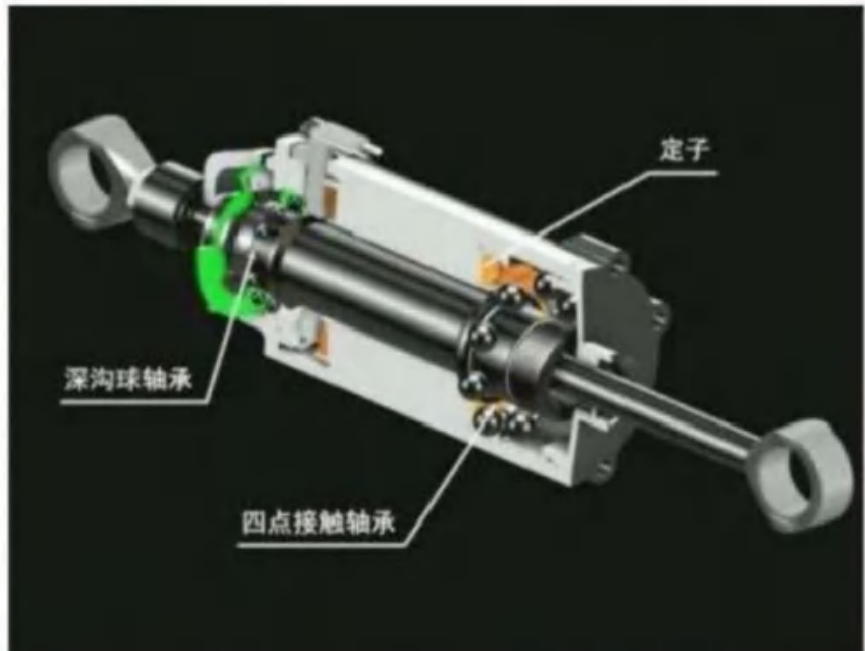
相关公司：国机精工、长盛轴承、龙溪股份、五洲新春、金沃股份、力星股份、南方精工。

图 47：Optimus 旋转执行器所需轴承情况



资料来源：2022 Tesla AI DAY, 中信证券研究部

图 48：Optimus 线性执行器所需轴承情况



资料来源：2022 Tesla AI DAY, 中信证券研究部

表27：国内主要轴承上市公司

企业	简介	24年轴承 业务收入	24年轴承业 务毛利率	机器人领域布局进展
国机精工	国机集团精密工业板块的拓展平台，旗下轴研所具备高端精密轴承制造能力	12.8亿	32.1%	曾开发工业机器人系列轴承产品，具有机器人用系列滚动轴承的开发和生产能力。旗下轴研所发布PEEK保持架工艺相关研究成果。
长盛轴承	自润滑轴承领先厂商，人形机器人关节轴承重要标的，供货宇树	11.4亿	35.2%	主要应用于关节处的自润滑轴承及部分直线执行器中的丝杠产品。公司与宇树科技已签订合作协议并取得订单，合作的产品主要为应用于机器人关节处的自润滑轴承，已实现小批量生产销售。
龙溪股份	国内关节轴承龙头企业，创立全国唯一关节轴承研究所	8.4亿	46.5%	公司人形机器人领域配套产品关节轴承目前处于研制或小批送样、试验阶段，2024年至今该业务产品收入为130.25万元。
五洲新春	国产轴承领先厂商，丝杠新业务已有生产交付	17.9亿	16.9%	成功开发了丝杠产品配套使用的柔性薄壁轴承、四点接触球轴承、角接触球轴承以及滚针轴承等。基于轴承技术优势开发的丝杠业务已有订单。
金沃股份	国内轴承套圈龙头，供货全球轴承龙头企业，布局丝杠业务	10.9亿	12.6%	2023年底公司启动丝杠业务，2024年公司开始与丝杠公司建立合作。目前根据客户需要进行螺母、滚柱等丝杠零部件的开发和生产工作(加工工艺和技术与公司现有轴承套圈业务有60%到70%的重合度)。
力星股份	国内轴承滚动体行业龙头，轴承八大家滚子供应商			轴承滚动体重点供应商，终端应用领域包括人形机器人。
南方精工	国内精密滚针轴承领先企业，覆盖国内外一线汽车厂	4.7亿	35.6%	推进机器人关节减速机轴承新产品的研发、生产和销售。滚针轴承已实现工业机器人领域小批量供货。

资料来源：各公司官网，各公司公告，中信证券研究部

核心零部件：动力电池

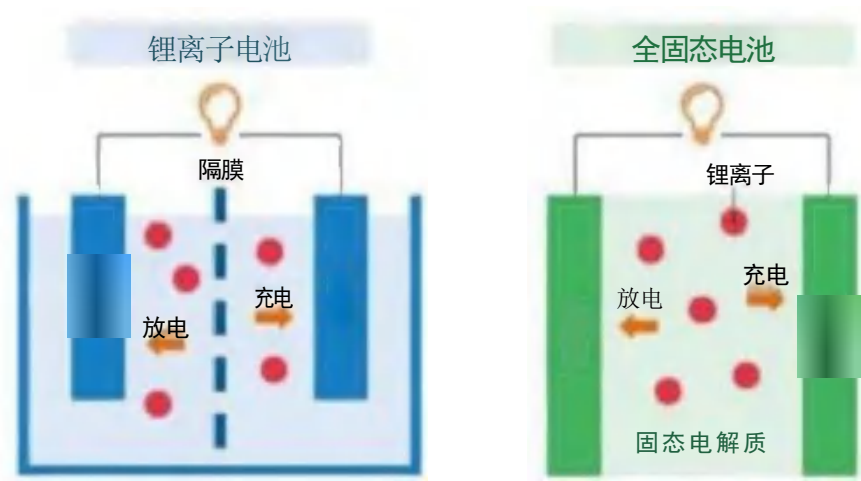
行业观点：固态电池是当前锂电池行业重要的技术发展路径和行业趋势。由于具身智能机器人体积、质量有限，其对能量密度及安全性要求较高，属于固态电池的潜在应用场景。随着2027年固态电池逐步迈向商业化量产，具身智能机器人电池环节有望实现从液体电池向固态电池的转变。

定义：电池为具身智能机器人动力来源，具备高能量密度、高倍率、高安全和长寿命等多重要求，当前BOM占比约1%。相比于液态锂离子电池，固态电池能量密度可达到500Wh/kg(液态锂电池约为250Wh/kg)，能量密度与安全性占优。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则锂电池新增市场规模有望超12亿元。从技术路线来看，2027年固态电池有望大规模量产，技术渗透率有望达到50%, 对应8.8亿元市场空间。

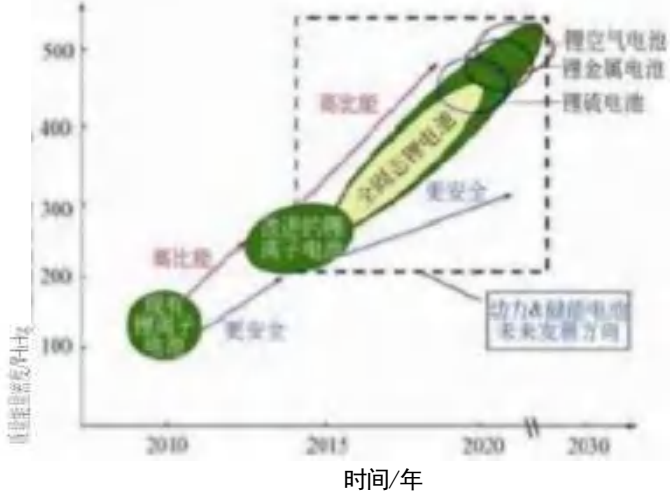
相关公司：1) 固态电池制造：重点推荐宁德时代、比亚迪、欣旺达、国轩高科、鹏辉能源；2) 固态电池设备：重点推荐a. 整线设备环节：海目星、利元亨，b. 专用设备环节：赢合科技、杭可科技、联赢激光、骄成超声、纳科诺尔、曼恩斯特；3) 非固态方面：宁德时代、亿纬锂能、蔚蓝锂芯、珠海冠宇。

图49：液态、全固态电池工作原理示意图



资料来源：村田官网

图50：锂电池发展趋势是更安全与更高能量密度



资料来源：《全固态锂电池技术的研究现状与展望》（2013, 许晓雄, 邱志军, 官亦标等）

表28: 特斯拉Optimus锂电池增量市场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球锂电池需求总计	GWh	2024	2568	3217	3918	4641	5489
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
液态电池渗透率	%	100%	95%	50%	20%	10%	5%
固态电池渗透率	%	0%	5%	50%	80%	90%	95%
单台Optimus平均电池容量	kWh	2.3	2.4	3.5	4.1	4.4	4.5
液态电池单台容量	kWh	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
固态电池单台容量	kWh	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
对应运行时间	小时	4	4.2	6.0	7.2	7.6	7.8
具身智能机器人锂电池单价	元h	1.00	1.00	1.11	1.16	1.13	1.09
液态电池均价	元Wh	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86
固态电池均价	元Wh	2.00	1.60	1.28	1.22	1.16	1.10
全球具身智能机器人锂电池出货量	GWh	0.01	0.12	0.41	1.24	2.62	4.49
液态电池	GWh	0.01	0.11	0.14	0.14	0.14	0.12
固态电池	GWh	0.00	0.01	0.28	1.10	2.48	4.37
全球具身智能机器人锂电池市场空间	亿元	0.1	1.2	4.8	14.7	29.9	48.9
液态电池	亿元	0.1	1.1	1.3	1.3	1.2	1.0
固态电池	亿元	0.0	0.2	3.5	13.4	28.7	48.0

资料来源：EVtank, SNE, 起点锂电, GGII, 中信证券研究部预测及测算注：电池销售均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus出货量按照中性假设预测

核心零部件：电子皮肤

>行业观点：电子皮肤能够赋予机器人更高感知维度，丰富多维信息数据采集的同时大幅增强机器人处理复杂任务的能力，同时也是机器人仿生化的重要发展趋势，潜在市场空间广阔，看好国产厂商发展潜力。

定义：电子皮肤即柔性触觉传感器，兼具柔性、触觉反馈及仿生特性，旨在模拟人类皮肤的传感功能。电子皮肤能够提升机器人在复杂环境中的自适应移动、灵活处理物品，以及以安全的方式对身体与周围物体的接触做出适当反应的能力，满足现阶段机器人开发对于高效、精确与多维度触觉信息数据采集需求。

市场规模：按单台Optimus 电子皮肤价值量3600元计算，若2028年特斯拉Optimus 年出货量达30万台，全球电子皮肤新增市场规模达9亿元。

竞争格局：现阶段电子皮肤主要应用于消费电子及医疗保健领域，机器人领域应用仍处于合作开发、送样实验阶段，国际厂商 MC10、Xenoma、索尼、三星占据领先地位，国产厂商汉威科技、福莱新材、华威科后来居上加速崛起。

相关公司：福莱新材、汉威科技、祥源新材、日盈电子、东方电热。

表29:刚性传感器 与与柔性传感器比较		
	刚性传感器	柔性传感器
延展性	<1%	最高可达1000%
杨氏模量*	1~200GPa	10kPa~200GPa
非平面保形性	否	是
形变时可测性	否	是
工艺方法	MEMS技术	涂布、MEMS技术等
尺寸	0.01-0.1m² (晶圆)	最高可达10~1,000m² (网状)
单步吞吐量	0.001-1m² min¹	最高可达10~1,000m² min-1
单位面积成本	高	低
应用领域	智能手机、自动驾驶、工业机器人等	皮肤贴片、智能纺织品、工业物联网传感器等

资料来源：《柔性压力传感器的原理及应用》(侯星宇、郭传飞)，《柔性压阻式压力传感器的研究进展》(李凤超、孔振、吴锦华等), 中信证券研究部注：杨氏模量是描述固体材料抵抗形变能力的物理量

表30:特斯拉Optimus电子皮肤增量市场规模测算 (亿元)		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus电子皮肤价值量	万元	0.36	0.34	0.32	0.3	0.27	0.24
Optimus带来电子皮肤市场增量	亿元	02	1.7	3.8	9.0	16.2	24.0

资料来源：Precedence Research, 特斯拉官网，中信证券研究部预测及测算注：电子皮肤均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus出货量按照中性假设预测

图 5 1 :Tesla 机器人精细物品操作



资料来源：Tesla官网

图52:重点国产厂商 电子皮肤布局

公司名称	项目内容
福莱新材	利用主业功能性涂布复合材料生产优势切入压阻式柔性触觉传感器
汉威科技	基于纳米智能材料柔性传感器，结合MEMS工艺和石墨烯技术，开发多模态感知模块。高灵敏度触觉感知系统(可检测0.1Pa压强),集成105个感应点/平方毫米，循环寿命达百万次
华威科(未上市)	

资料来源：各公司公告，华威科微信公众号，信证券研究部

核心零部件：视觉传感器

行业观点：当前视觉传感器处于核心技术不断突破、应用场景不断丰富的快速增长时期，产品由2D→3D、由工业级→消费级拓展，大规模产业化和商业化有望实现，为全球中高端视觉传感器市场带来较大产能缺口。国产厂商有望依托自主产权研发和产品性能优化，实现量与质的同步提升。此外，由于3D激光雷达算法成熟度高、稳定性强，宇树、智元、众擎、星海图等重点人形厂商采用3D激光雷达+视觉模组的融合方案。

定义：将光信号转化为电信号，以提取目标物体特征数据的智能设备，并通过内置算法实现检测、测量、识别或决策，是机器人的核心部件之一。消费级产品价格数百至数千元不等，工业级产品价格更高。

市场规模：若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，全球视觉传感器新增市场规模有望超11亿元。

竞争格局：2024年视觉传感器全球市场，美国康耐视、日本基恩士仍占主导。根据GGII，工业视觉领域，国内市场奥比中光/凌云光/思看科技/天准科技的份额分别占1.6%/8.1%/5.1%/7.2%。

相关公司：奥比中光、凌云光、思看科技、天准科技。

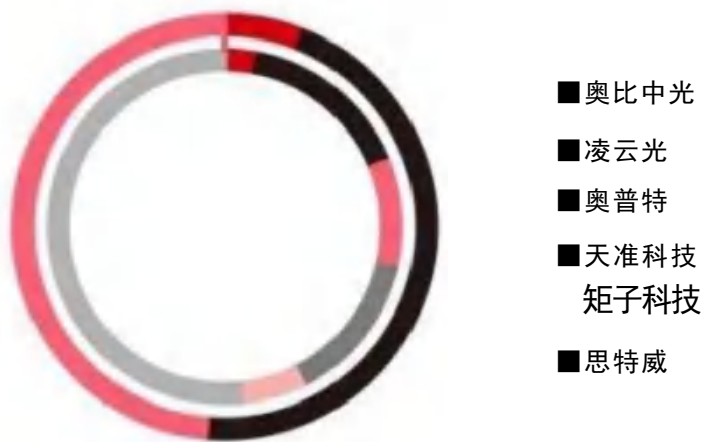
表31:视觉传感器 分类梳理				
分类	单目结构光相机	双目结构光相机	ToF相机	激光雷达
结构	由红外激光投射器、红外摄像头和深度处理芯片组成	由两个摄像头和一个结构光投射器组成	包括调制激光器、接收器和信号处理芯片	由激光发射器、旋转扫描机构和接收器组成
应用场景	多应用于人脸识别，机器人头部或面部区域	多应用于工业检测、仓储拣选	多应用于AR/VR设备、室内导航	多应用于自动驾驶、无人机导航等
特点	体积小、成本低，适用于近距离高精度测量，如人脸识别	结合双目视觉和结构光，提升深度信息获取的准确性	适用于中距离测量，抗干扰性强，适合动态场景	可实现远距离、高精度的三维测量
技术难点及挑战	易受环境光干扰，精度受限于摄像头和光源质量	在特征缺乏的场景中匹配困难，计算复杂度高	深度图分辨率较低，边缘精度差，功耗较高	成本高，体积大，易受天气和环境影响
全球产能缺口	单价约800美元，总市场约8亿	单价约3000美元，总市场约30亿	单价约1000美元，总市场约10亿美元	单价约5000美元，总市场约50亿美元

资料来源：奥比中光、凌云光公司官网，中信证券研究部注：全球产能缺口对应100万台机器人出货量的供给缺口

表32:特斯拉Optimus视觉传感器增量 市场规模测算							
		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus视觉传感器数量	台	3	3	3	3	3	3
Optimus带来视觉传感器增量	万台	1.8	15	36	90	180	300
单台Optimus带来视觉传感器增量	万元	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1
YoY	%	0%	-13%	-7%	8%	-8%	-9%
Optimus带来视觉传感器市场增量	亿元	0	2	5	11	20	30

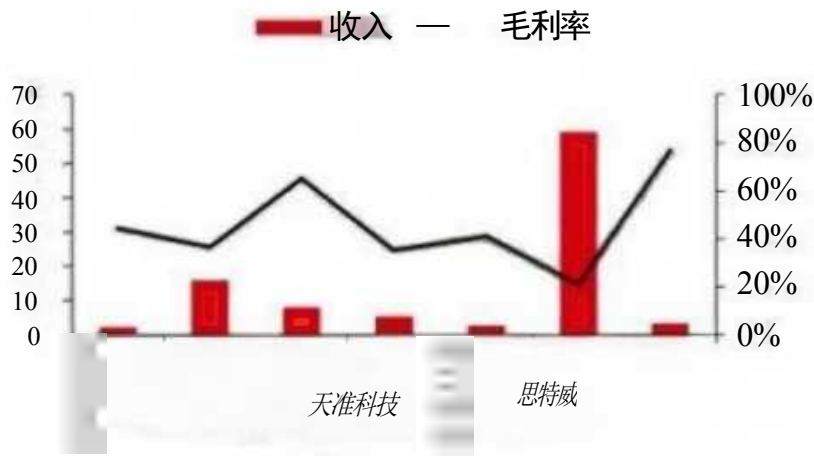
资料来源：华经产业研究院，Emergen Research，特斯拉官网，中信证券研究部预测及测算注：视觉传感器均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus出货量按照中性假设预测

图53: 2024年全球(外圈)/中国(内圈)视觉传感器的竞争格局(仅工业机器人视觉领域)



资料来源：GGII，贝哲斯咨询，WIND， 中信证券研究部

图54: 重点公司2024视觉传感器收入(亿元)及毛利率(%)



资料来源： WIND， 中信证券研究部

核心零部件：惯性测量单元（IMU）

> 行业观点：伴随技术进步及精度提升，当前MEMS IMU正从消费及汽车等传统应用场景，逐步拓展到高端工业甚至国防军工领域。其中，壁垒相对较低的模组集成环节正涌现出越来越多的国产厂商，难度较高的MEMS陀螺仪芯片等也正迎来加速国产替代。MEMS IMU为具身智能机器人中的关键传感器，但技术路径暂未收敛，精度、应用部位、数量等方面主流公司有一定差异。

> 定义：IMU 的主要功能为感知物体的角速度及加速度，通常由3轴陀螺仪及3轴加速度计组成，部分品类涵盖3轴磁力计。IMU为具身智能机器人的核心零部件，单机价值量约2000元以上。

市场规模：我们预计2023年全球MEMS IMU 市场规模约20亿美元。若2028年特斯拉Optimus 年出货量达30万台，则全球MEMS 惯性传感器新增市场规模有望超3亿元。

竞争格局：根据明皓传感招股说明书，海外大厂占据全球 IMU 主导地位，2021年博世/意法半导体/TDK/霍尼韦尔/ADI 分别占全球市场的35%/20%/20%/6%/7%，行业CR5 约88%。

相关公司：芯动联科、华依科技。

表 3 3：IMU 分类及主要应用场景

分类	机械类IMU	光学类 IMU	MEMS IMU
图示			
原理	基于牛顿经典力学原理	基于萨格奈克效应	基于哥氏振动效应和微纳加工技术
典型应用场景	核潜艇等	航空航天、长时无人系统	消费电子、汽车、机器人、无人装备等。机器人中主要用于躯干等
优势	精度最高	精度高	成本低、体积小、易批产
劣势	体积大、维护成本高	体积大、成本较高	精度较低

资料来源：芯动联科招股说明书，天箭惯性招股说明书，霍尼韦尔官网，中信证券研究部

表34:特斯拉Optimus带来的IMU 增量市场规模测算		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus的IMU数量	台	1	1	1	1	1	1
特斯拉Optimus带来新增销量	万台	0.6	5	12	30	60	100
IMU均价	万元/台	0.15	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08
YoY	%	-5%	-15%	-20%	-15%	-18%	-11%
Optimus带来IMU市场增量	亿元	0	1	2	3	5	8

资料来源：特斯拉官网，芯动联科招股说明书，天箭惯性招股说明书，中信证券研究部预测及测算注：IMU均价由于规模化效应逐步降低，特斯拉Optimus 出货量按照中性假设预测

表35:IMU及惯性传感器主要上市公司梳理			
公司名称	公司代码	产品类型	应用场景
芯动联科	688582.SH	MEMS陀螺仪、MEMS加速度计、IMU	高可靠、无人系统、自动驾驶等
明高传感	A23224.SH	MEMS加速度计	消费电子等
星网宇达	002829.SZ	MEMS IMU、光纤IMU	军用、无人系统、自动驾驶等
理工导航	688282.SH	MEMS IMU、光纤IMU	军用、无人系统等
华依科技	688071.SH	MEMS IMU及组合导航系统	自动驾驶等
华测导航	300627.SZ	IMU及组合导航系统	自动驾驶等
士兰微	600460.SH	IMU	消费电子等

资料来源：各公司官网，中信证券研究部

核心加工工艺设备：机床及刀具

行业观点：机床是具身智能机器人重要零部件的核心加工设备，若机器人大规模放量，则有望对标新能源汽车对机床的需求拉动弹性，“以车代磨”、旋风铣等技术路径值得关注。
定义：金属切削机床主要通过车铣刨磨等多种方式将工件制成所需的形状、尺寸及表面精度。丝杠等多类零部件均需经过机床加工，目前技术方案尚未收敛，磨削精度有保障但效率较低。
市场规模：2024年国内金属切削机床、金属成形机床、切削工具的市场规模分别为1,687亿、930亿、1,077亿元。若2028年特斯拉Optimus年出货量达30万台，则新增磨床数量有望超1100台。
竞争格局：根据中国机床工具工业协会，高端磨床的进口比例仍然较高，2022-24年，磨床品类均为金属加工机床进口金额排行的第三位，进口金额分别达8.1亿、7.7亿、8.3亿美金。秦川机床旗下的汉江机床螺纹磨床市占率位列国内第一。
相关公司：秦川机床、浙海德曼、华辰装备、日发精机、津上机床中国、创世纪、沃尔德、鼎泰高科。

表36:丝杠的加工工艺分类梳理

分类	车铣+磨削	旋风铣+磨削	轧辊(滚压)+研磨
适用场景	最为主流，适用于传统滚珠丝杠及行星滚柱丝杠加工	多用于滚珠丝杠加工，滚柱丝杠中于淬火前的软铣或淬火后的硬铣具备一定适用性	新兴的丝杠加工工艺，适用于承压较好材料的滚珠和行星滚柱丝杠加工
优点	精度高，适用于加工各类丝杠	保证精度的情况下具备较高效率，一定程度上减少热处理环节	效率远远高于磨削工艺，滚柱及齿轮/花键可以同时加工，无须热处理
难点	工序多，加工效率低，设备投入量大，依赖热处理	对于小型滚柱丝杠加工尚有困难，仅可用于丝杠的加工，对于差动式等异性丝杠加工也有困难	加工精度有限，对丝杠材料有一定的要求，还需要后续抛磨提高精度
刀具要求	普通车铣刀具+磨削砂轮	PCBN旋风铣刀+磨削砂轮	无须刀具，轧辊消耗速度较慢

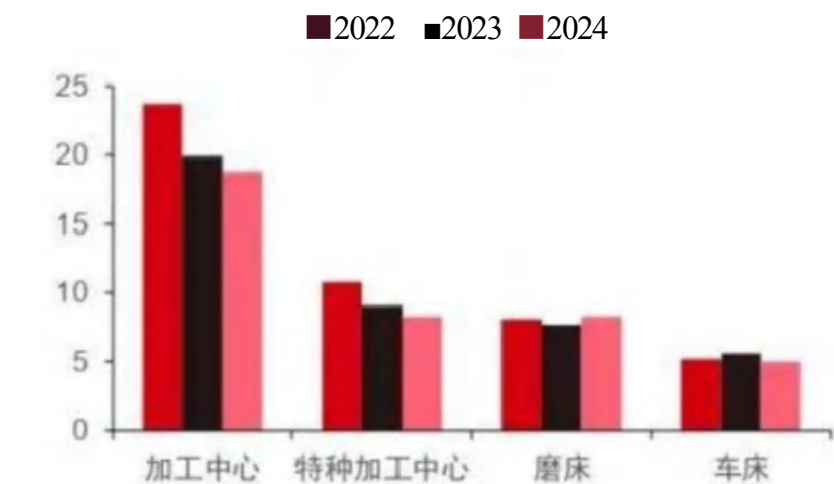
资料来源：《精密滚珠丝杠滚道研磨加工方法及其对性能影响试验研究》(庄利军)，《滚珠丝杠旋风硬铣削加工热变形及其控制方法研究》(孙悦)，《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》(王旭)，中信证券研究部

表37:特斯拉Optimus带来的增量磨床需求测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
特斯拉Optimus出货量	万台	0.6	5	12	30	60	100
单台Optimus丝杠用量	根/台	14	14	14	14	14	14
Optimus带来丝杠增量	万根	8.4	70	168	420	840	1400
磨床单天加工丝杠	根/天	5	7	9	12	15	18
磨床年均有效工作天数	天	300	300	300	300	300	300
Optimus带来磨床增量需求	台	56	333	622	1167	1867	2593

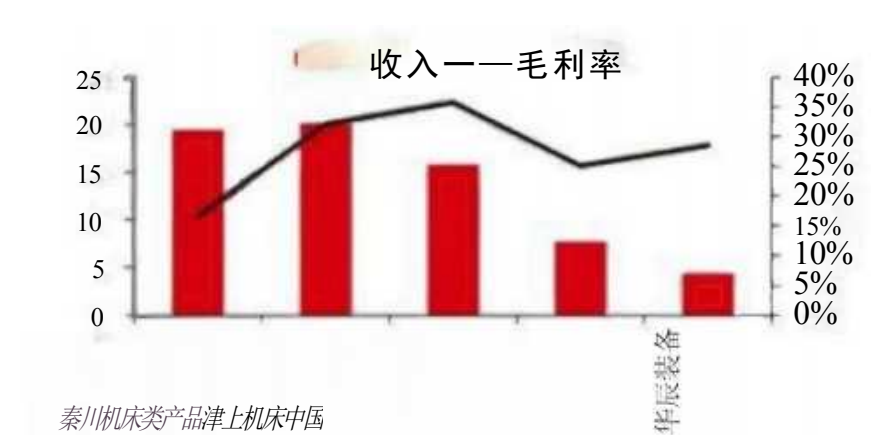
资料来源：MIR数据库，特斯拉官网，中信证券研究部预测(假定丝杠的主要精加工方式仍以磨削为主，假定除Optimus机器人需求外，国内磨床需求从2025年起年均增长约5%);注：特斯拉Optimus 出货量按照中性假设预测

图55: 进口金额靠前的金属加工机床，高端磨床的国产替代仍有较大空间（单位：亿美元）



资料来源：中国机床工具工业协会，中信证券研究部

图56: 重点公司2024年收入(亿元)及毛利率(%)



资料来源：各公司公告，中信证券研究部注：津上机床中国的数据来源为公司24H1 财报

I 应用场景：因地制宜，B 端至C 端多场景落地

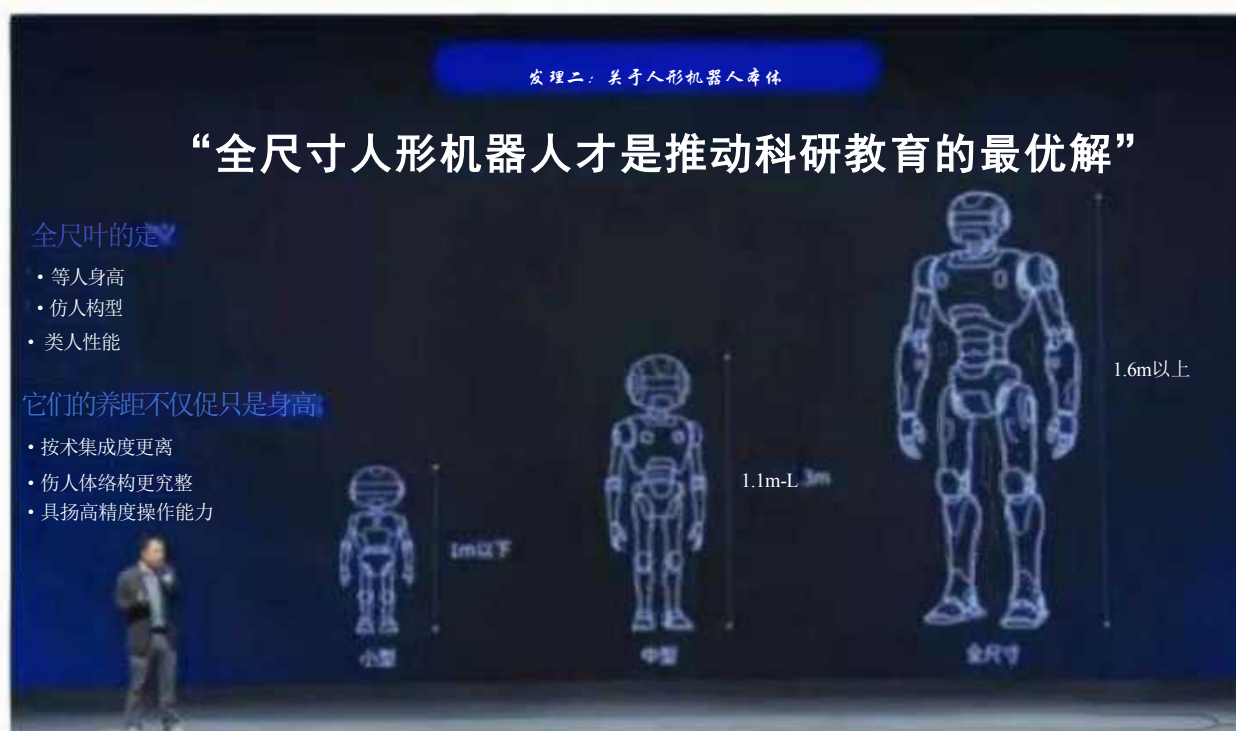
科研&教育：率先批量化落地，全尺寸科研型与模块化教育型分层适配

在教育领域，具身智能机器人的商业化路径主要围绕课程适配与科研需求展开，而非针对特定场景的任务执行。当前该市场已进入早期批量化落地阶段，厂商需在功能配置与成本控制之间找到平衡点以满足院校采购需求。其核心价值在于：作为科研教具，这类产品需为研究者提供可编程、可拆解、可验证的开放式平台，而非承担实际场景的作业职能。

从产品形态来看，教育场景的具身智能机器人可分为高端科研型和普通教育型两类。高端科研型为配备多模态传感器、高算力主控芯片的全尺寸高端科研型人形机器人，其通过高精度仿生关节与实时力学反馈系统支撑复杂算法验证，能够完整复现人体运动力学模型。普通教育型为采用模块化设计的小型教育机器人，这类产品通过简化传感器阵列、降低主控算力并开放底层电机接口，在保证成本可控的前提下满足基础教学和编程训练需求。

高端科研型：宇树、优必选等重点厂商2024年出货量中，高端科研场景占据重要份额。根据同济大学的采购信息公开网站，2025年同济大学采购宇树科技10台 H1-2 型人形机器人，中标金额为82.5万元。此外，清华大学、重庆大学、东南大学、华南理工大学等全国各大高校均有采购人形机器人作为科研和学生培训使用。而优必选早在2016年推出消费级机器人Alpha,2017 年推出面向K-12 教育的STEAM 课程解决方案，获得市场较好反馈。2025年3月，优必选联合北京人形机器人创新中心发布全尺寸的科研教育人形机器人天工行者，售价29.9万元，低于市场同类型50-100万元的售价、大幅降低了高校采购的科研平台的入门成本。

图 57：优必选联合北京人形机器人创新中心发布全尺寸科研教育人形机器人



资料来源：优必选官网

普通教育型：具身智能机器人在编程启蒙、课堂交互、特殊教育等场景加速落地。①
编程启蒙：2025年4月19日，乐聚机器人与地瓜机器人达成合作，教育级产品基于夸父

(KUAVO)、 鲁 班(ROBAN)、Aelos 三款人形机器人及地瓜RDK 高算力开发者套件，联合推出Aelos Embodied具身智能人才培养平台，助力用户通过编程探索机器人运动算法。

②课堂交互：根据软银机器人微信公众号，德国柏林应用技术大学的研究团队通过人形机器人开展协作学习项目，教学效果提升显著。

③特殊教育：针对自闭症、社交障碍学生，人形机器人通过标准化互动模式和无评判环境提供支持，比如英国 Kaspar 机器人通过标准化表情训练，帮助儿童社交应答正确率从32%提升至79%。

图58:乐聚机器人推出Aelos Embodied培养平台

方案展示



资料来源：乐聚机器人官网

图59:人形机器人能够促进互动教学



资料来源：软银机器人微信公众号

工业&制造：物流、汽车工厂持续试训，汽车总装车间替代空间广阔

工业场景对人形机器人的核心诉求聚焦于长期稳定性、精准作业与群体协作效能，其核心在于将可靠性转化为可量化的商业价值。相比于其他场景，工厂场景下的具备结构化、任务标准化特点，工厂环境、待处理任务相对固定和单一，要求机器人在结构化环境中以工程机械级的可靠性实现重复作业，包括毫秒级动作响应、千小时无故障运行、复杂电磁环境下的抗干扰能力等。

相较于工业机器人，具身智能机器人具备双足/轮式的可移动底盘、更加灵巧的末端执行器、配备多种传感器，具有更强大的空间进入性、精细操作能力和通用泛化性。我们预计未来工业机器人、具身智能机器人、工人会协同为工厂运行提供助力，而具身智能机器人会在搬运、质检、组装等环节遥替代人工。

图60:工业机器人、移动机器人与具身智能机器人的对比

指标	工业机器人	移动机器人	移动底盘+机械臂	人形机器人
操作能力	中，依赖于末端执行器	弱，搬运为主	中，依赖于末端执行器	强，可精细操作及使用各类工具
移动能力	无	中，平地上高效	中，平地上高效	高，足式结构可以实现跨越，进入车内
视觉识别能力	需配合外部传感器	中	中	强
通用能力	一般为单一类型工序，多类型工序需要更换末端执行器	搬运为主	一般为单一类型工序，多类型工序需要更换末端执行器	可适应各类人类工作

资料来源：特斯拉官网，库卡机器人官网，苏州艾吉威有限公司官网，灵动科技官网，中信证券研究部

物流领域：具身智能机器人主要用于搬运、分拣工作。物流领域，移动机器人AGVIAMR历经十余年发展，物流系统智能化建设的程度显著提升，但仍有多个细分领域、特殊作业环境无法匹配适合的自动化方案，包括货车装卸狭小空间物料搬运、复杂物件的盘点分拣工作。而具身智能机器人能借助双足、灵巧手设计赋予的类人体的身体结构和动作方式，与专业物流自动化设备协作，有望大幅减少人为错误，加快货物周转速度。具体来看，Agility目前已实现在 Amazon、GXO（全球最大的纯合同物流供应商）、Zion（北美头部仓储解决方案集成商）等大型物流公司商业化应用。在2024年12月更新的视频中，Digit展示了托盘拆垛、周转箱套叠、周转箱堆垛/拆垛以及从移动机器人上卸货。此外。美国头部人形机器人厂商Appttronik 也将商用物流场景列为核心落地场景之一。

图 6 1：物流领域具备较高先行落地潜能

人形机器人可以补足空间性搬运需要，显著释放搬运人力

双足设计及灵巧手赋予人形机器人精准分拣能力

人形机器人可以在货架上拟取指定物品，减少人工分拣工作；此外，人形机器人也可以执行搬运任务，补足物料装载及下部过程中的自动化水平不足问题；第三，人形机器人可以有效加强非线性工作完成度，减少自动化运行的工作盲区。

代表性案例：Agility 人形机器人产品Digit 已在物流场景落地应用

Aailty 管在2022年获得Amazon industrial novation Fund投济，并分别在亚马逊，Gxo、Zon 等大型物流公司进行应用。Digit目前最多可以班追重达351b(16kg)的物品。



23. 10进入亚马逊工厂

23. 12与GXo 合作

24. 05与Zion 合作

资料来源：Agility 官网，中信证券研究部

图62:Agility Digit能够与AMR合作实现自主搬运货箱



资料来源：Agility官网，中信证券研究部

汽车工厂：具身智能机器人正在加速入驻汽车工厂进行实训，处理搬运、质检、组装等任务。工业机械臂的负载能力和定位精度是工业机器人所擅长的任务，因此汽车生产中大重量零件的搬运，车身的焊接、打磨、涂装都已经通过机械臂实现了高度自动化。然而，在汽车总装线上，汽车生产中车身内部的装配、总装和检测仍依赖人工完成。自2024年以来，多家头部人形机器人厂商已与车企达成合作。替代人工的主要环节包括搬运（电芯分拣、零件转运）、质检（安装质检、来料检验）、工站衔接（柔性物流最后“10厘米”物流）、基础组装（螺丝拧紧、手工贴标）。

图63:进入2024年以来，多家人形机器人厂商入驻车厂试验



资料来源：各公司官网，中信证券研究部预测(人形机器人与车企合作大有可为)

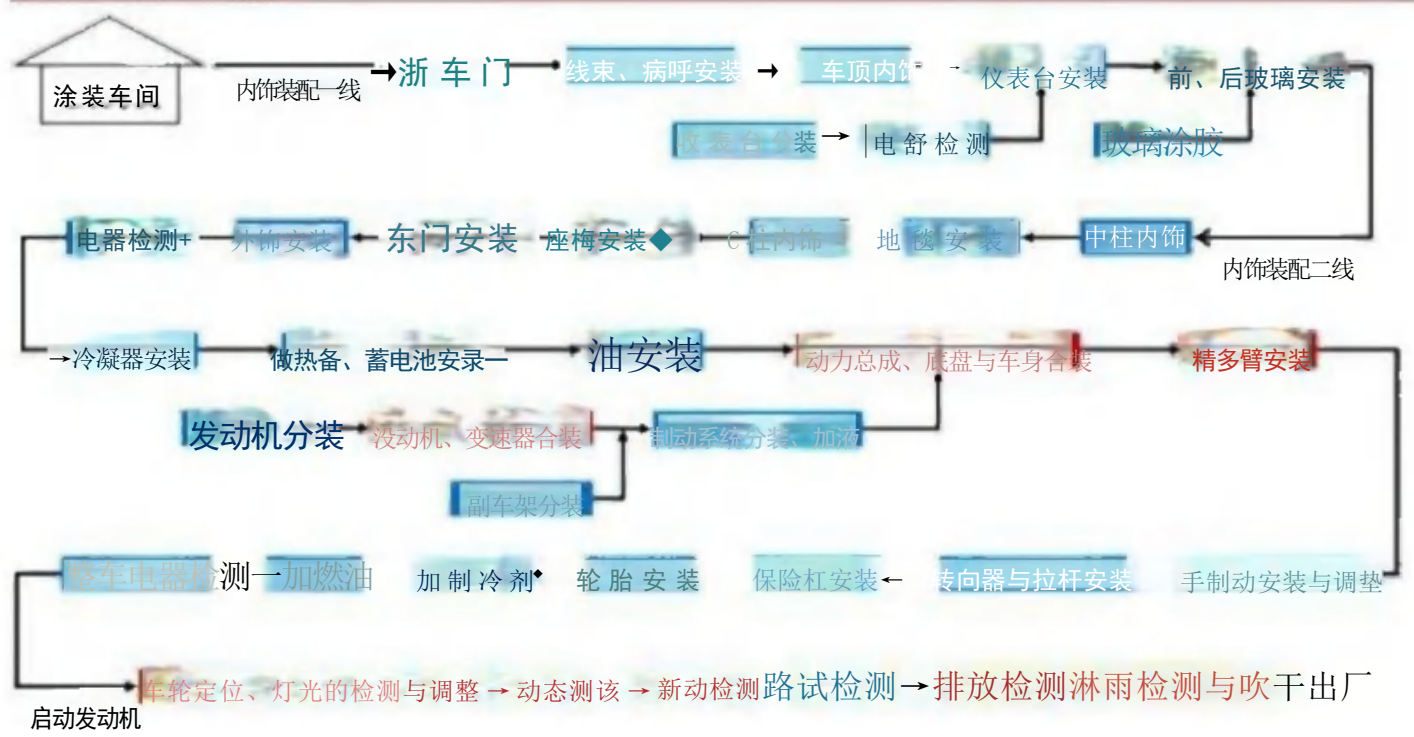
冲压、焊装、涂装、总装是汽车工厂四大车间，总装车间中的繁琐工序为具身智能机器人替代的核心环节。从四大车间来看，冲压、焊装、涂装车间已经实现了较高的自动化水平，原因是这些车间主要涉及的车身外部大件零部件的制造、运输，已经基本由工业机械臂实现自动化生产；而汽车总装车间中，工序繁琐、零件种类多、并且多为汽车舱体内部相关的装配，目前主要由人工完成。

表38:汽车工厂四大车间特点

特点	冲压车间	焊装车间	涂装车间	总装车间
精度要求	★★★★★	★★★★★	★	★★★★
载荷要求	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★
零件种类	20种左右	30-50种		1,500种左右
工艺类型	落料、冲压	焊接、打磨	电泳、烘干、喷涂、打磨	放置、紧固、卡接、粘贴、插接、检查等
自动化率	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★
人工工序	检测	车身调整	手工涂胶、点缝补	多个工序需人工参与

资料来源：ABC成本分析微信公众号，中信证券研究部

图64:汽车总装流程



资料来源：智享新汽车微信公众号，中信证券研究部

具身智能机器人在工厂领域具备灵巧操作、空间触达、泛化性优势。具体来看：①灵巧手服务具身智能精细操作能力，汽车总装涉及线束整理、软管安装等柔性零部件的精细化安装，并使用人类的各类工具，而工业机械臂、工业夹爪的自由度较少，难以完成复杂且精细的任务。②具备更强空间触达性，涉及到许多车内部零部件装配的工作，车内空间狭小，限制了工业机械臂的进入和工作空间，人形机器人能跨越地形、进入车身内部完成装配。③通用和泛化能力上限更高，繁复的零部件及交互方式对伺服型机器人的通用能力提出了较大考验，传统机器人较难完成设定机制范围外的工作，而随着具身智能大模型的发展，泛化和通用性将大幅提升机器人的感知、决策、执行能力，能够自然融入人类工作环境，无需额外涉及环境工位。

图 65：兼具灵巧性与智能度，具身智能有望逐步替代汽车厂工人

灵巧手实现自由多动作	足式设计支持动态移动	大模型赋能交互及学习能力	人形尺寸无缝融入工作环境
灵巧手具备多指多关节结构，拥有多数目自由度，可以实现弯曲、延展等动作，从而与不同体积尺寸的物件充分交互。	双足设计支持机器人自由走动/跑动，还可以实现屈膝/直膝姿态，从而可以与不同位置的环境对象交互。	接入大模型后的人形机器人拥有“大脑”，可以理解语义式命令，并自主拆解实现任务；通过数据迁移，可以快速掌握技能。	现市场上的人形机器人产品多模仿成人男性身高、体重，可以自然融入人类工作环境，无需额外设计特定环境工位。
			
特斯拉 Optimus 灵巧手柔性抓取鸡蛋	Digit 原型机最高奔跑速度可以达到4 m/s	Figure 01接入OpenAI模型推动具身智能	国内首款全尺寸通用机器人“青龙”
机械夹爪缺失灵巧性	固定机位不支持机身位移	伺服运行不具学习力及通用性	大尺寸设备难在小空间配备

资料来源：特斯拉官网 (Optimus),Agility Robotics 官网 (Digit),Figure AI 官 网 (Figure 01),OpenLoong 官网(青龙), 中信证券研究部

具身智能进入车间进行测试加速了机器人商业化的进程，但仍有挑战待解决。我们预计将从车外简单低层级任务→车外复杂高层级任务→车内外复杂多层级任务迭代，但目前为止工作效率和当前成本仍不具备替代熟练工的能力，仍需软硬件能力的持续迭代升级。此外，在汽车工厂的落地需18-24个月的稳定性验证周期，对电池续航、电机发热、执行器寿命等硬件可靠性提出较高要求。

图66:人形机器人在整装车间的应用，将由外及内持续性探索发展



资料来源：中信证券研究部

商用&服务：服务、零售场景展现潜力，软件服务或为主要盈利点

商用具身智能机器人具备场景定制化属性，传统服务机器人厂商快速崛起。商业场景包括酒店接待、餐厅送餐、智慧导览、零售客服等，要求机器人根据场景切换形态功能，满足客户不同程度的定制化需求。由于具备导航避障的技术积累、对商业场景要素的深刻理解以及长期合作的各类型客户，传统服务机器人厂商包括擎朗、普渡等快速崛起，机器人构型主要为移动底盘加装轻量化机械臂(多为夹爪)。

相较于传统垂类服务机器人，具身智能机器人的泛化服务能力更为强大。在酒店接待场景中，传统送餐机器人仅具备基础送餐服务功能，而具身智能机器人具备语音导览、行李搬运、使用工具的能力。在零售端场景，具身智能机器人能货架巡检、商品补货、自主取货等工作，实现较强的场景商业化价值。商业模式上，由销售整机逐步转型为“硬件+软件”双轮驱动。轮式人形机器人的整机价格约10-20万元，而后续的客户行为分析、数据跟踪、运维管理等偏软件的服务为核心盈利点。

商用场景：具身智能机器人在送餐服务、商业演出、迎宾导览等商用场景已成功落地。以普渡机器人近期发布的轮式双臂机器人“闪电匣”为例，机器人可通过双手按电梯、刷闸机、开关门，无需改造场地即能实现上下电梯，并且附带灵巧手支持精细化的末端操作，能够自主抓取外卖包裹，实现外卖送餐的“无人化”服务。

图 67：普渡机器人发布的“闪电匣”无需电梯改造即可实现无人化送餐服务



楼宇畅行

双手可按电梯、刷闸机、开关门，主动适应场景，无需改造场地。



自主操作

灵巧手支持精细化的末端操作，胜任更多任务。



交互友好

AI多模态交互，人机交流无门槛，接待营销更自然。



人机安全

视触觉传感器全面感知，结合柔顺力控算法，确保人机安全。

资料来源：普渡机器人官网

图68：乐聚人形机器人在苏州低空经济展馆作导览员



资料来源：苏州吴江发布微信公众号

图69：魔法原子人形机器人帮助客户吹头发



资料来源：魔法原子MagicLab 微信公众号

零售服务：具身智能机器人能够承担货架巡检、商品补货、自主取货等工作。当前零售店面临高人力成本、货架及库存管理效率低、需时常人工摆货、复核食品饮料的生产/过期日期，而具身智能机器人有望替代零售店销售人员，解决上述痛点问题。2024年9月，美团买药与银河通用推出Galbot 智慧药房解决方案。当消费者下单后，Galbot 能够自主规划路径移动到物品附近，通过多模态大模型识别商品并递送给客户。此外， Galbot 能够24小时执行商品配货、库存管理、补货取货等功能。

图70：银河通用Galbot 在美团买药运行



资料来源：美团官网

图 7 1：Hillbot 机器人实现智能补货



资料来源：Hillbot官 网

军用&特种：效费比突出，机器战争走向现实

军用：机器人应用范围广泛，以任务目标划分六大领域。通常，军用机器人以作战任务分为战斗机器人、侦察机器人、工程保障机器人、指挥控制机器人、后勤保障机器人和用于军事科研和教学的机器人。这些机器人以完成预定的战术或战略任务为目标，自主或人机协同条件下完成：一、用于代替士兵执行战斗任务，以降低人员伤亡率；二、用于侦察和观察这类危险系数较高的军事运动；三、用于执行繁重的工程保障类任务，例如修路、架桥、排雷、布雷等；四、用于处理军中各类情报并进行指挥、决策；五、用于遂行运输、装卸、加油、抢修装备、抢救伤员等后勤保障任务；六、用于军事科研和教学工作等。

图 7 2：军 用 机 器 人 任 务 划 分



资料来源：OFweek 机器人网，中信证券研究部

军用机器人突破人体极限，提升作战效能。军用机器人不仅减少了人员伤亡，而且突破了人体极限的约束，具备全方位、全天候作战能力，在毒气、冲击波、热辐射袭击等恶劣和危险的环境下也可以正常工作。同时，批量生产的机器人士兵成本相对较低，并且可以承受炸弹或其他武器造成的伤害，极大增强了作战效能和灵活性。此外，军用机器人的优势还包括绝对服从命令，更强的生存能力，高精度度，减少平民伤亡等；伴随AI技术的发展，具备自我决策能力的军用机器人，能够自主改变或消除人类决策的漏洞，可以比人类更快的速度运行，甚至在通信链路切断的时进行判断打击。

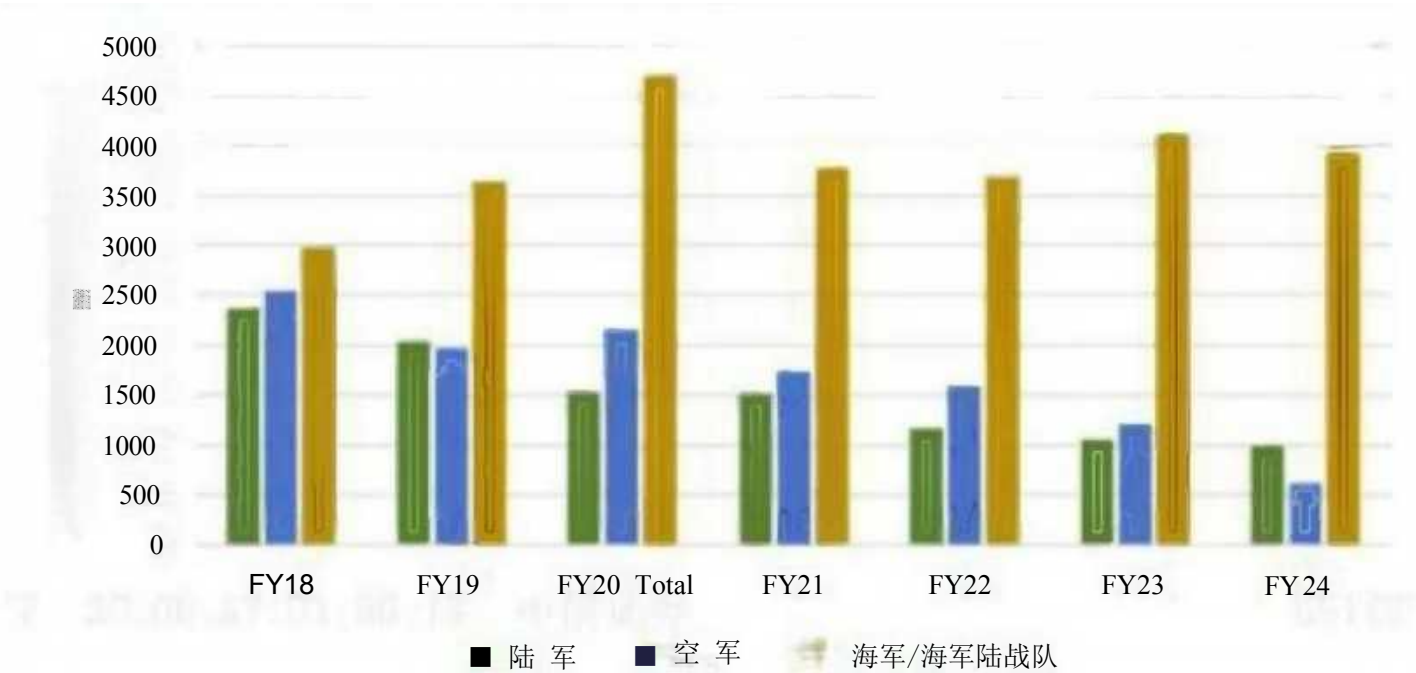
表39:现代军用机器人的作用

优势	解释
延伸作战领域空间，降低人员伤亡	现代军用机器人由于融入人工智能技术，在不少方面具备了自治作战的能力，能够承担那些对人来说无法涉足的最危险、最艰苦的战斗任务。随着自治无人驾驶飞机、无人潜艇、太空机器人相继开发与应用，作战范围已扩大到高空、深海和太空等领域，因此促进了世界各军用大国在军用机器人领域竞相发展和使用，并将军用机器人作为作战力量的一部分编入军队之中，用来代替人完成部分作战任务。
显著提升作战效能，降低作战成本	所谓无人，即武器系统不载人，指挥、控制和决策人员将在战场外通过C4ISR网络控制战争的进程。无人战争不仅可以极大地减少人员伤亡和资源浪费，同时有可能达到有人战争无法实现的效果。这不但能远距离实施无人打击，而且能打敌要害，战敌死穴；不仅可以打击敌人战术目标，而且可以超视距打击敌人的战役、战略纵深内的重要目标。
增强作战部队的灵活性和机动性，适应反恐特殊作战	现代机器人门类品种繁多，战场适应能力强，而且各种环境都能使用，各种类型战争都能使用，既可以硬杀伤又可以软杀伤，既可以独立作战也可以协同作战，既可以单个突防又可以集群突防、密集突防，而且具有全天候、全天时、全方位打击的能力。城市巷战的主要特点是敌我双方无明显的战线，胶着、僵持、割据使战争的态势变得错综复杂。无人侦察机、无人作战机器人的出现和战场应用使拥有大量无人武器装备和先进侦察装备的一方，基本实现巷战作战态势的单向透明，减少了城市巷战中不可避免的大量人员伤亡，对消灭敌方的有效抵抗、形成巨大的心理震撼都有非常重要的作用。
提升常规武器的综合威慑力	现代机器人的军用应用广泛，战场侦察、通信中继、电子对抗、战损评估、作战攻击、防御安保、防爆排险等，几乎涵盖了作战需求的全部领域。随着其平台控制的智能化、综合化、一体化和标准化，军用机器人集群的作战构想已不是海市蜃楼。特别是利用无人飞机集群进入敌方纵深、恶劣环境下的突击作战，可起到出奇制胜的威慑作用。这种作战方式适应瞬息万变的战场态势，可对敌方的大规模军用行动进行侦察、定位、攻击引导、精确打击和评估，可极大地提高远程导弹的命中率，对敌方士兵产生巨大的心理威慑力量，其效果并不亚于核威慑。它的出现与发展必将对未来战场的作战方式和特征产生重大影响。
推动武器装备的智能化	现代军用机器人无疑是智能武器的代表，在其开发应用的过程中可以不断产生新的技术和知识，移植到其他武器装备上，推动它们向智能化发展。可以预期，随着军用机器人的智能化技术的不断创新，必将带动整个军用无人控制系统的智能化发展，也将推动有人控制系统武器装备的进步，使武器装备的自主控制能力达到一个新水平。

资料来源：《智能机器人》(2012, 陈黄 祥), 中信证券研究部

美国等国家加快布局军用机器人。全球军用机器人领域发展较快，布局较早的国家为美、俄、法三国，其战略规划较为清晰，且在国防军费领域中无人装备投入力度较大。美国国防部分别在2007年、2009年、2011和2013年发布了四版《无人系统综合路线图》，并在2018年发布了最新的《无人系统综合路线图2017-2042》，详细阐述了未来发展规划。中国军网的文章《无人作战力量加速战争形态演变》（石纯民，潘政，2022年）指出，美军已拥有近万个空中无人系统，超过1.2万个地面无系统，已列入研制计划的无人作战装备超过100种，计划到2030年60%的地面作战平台将实现无人化。

图 7 3：美国 2 0 1 8 - 2 0 2 4 财 年 无 人 系 统 国 防 费 用 预 计 投 入 情 况



资料来源：《FISCAL 2020 DEFENSE BUDGET REQUEST INCLUDES BILLIONS FOR UNMANNED SYSTEMS》AUVSI （援引自晶品特装招股说明书）

国内机器狼等装备多次公开亮相，技术迭代迎提速。机器狗、机器狼等军用四足机器人在2024年密集迎来应用及产业催化，据新华网报道，在2024年5月举行的“金龙2024”中柬联合军演中，解放军首次展示了其列装的侦查机器狗及战斗机器狗型号。据《环球时报》，2024年11月珠海航展期间，由兵器装备集团研发的“机器狼群”无人作战系统迎来了大量关注。整个“机器狼”作战分队主要分为三个作战平台，冲在第一线的侦察探测“机器狼”，对目标进行信息收集；中间的是综合保障“机器狼”，对己方进行物资运送和弹药补充；挂载步枪的精确打击“机器狼”是编队中的重要打击力量，在获得侦察探测“机器狼”回传的数据信息之后，可以对目标发起精确打击。

图74：兵装五八所机器狗



资料来源：央视军事

图75：兵装五八所精确打击“机器狼”



资料来源：央视军事

国内产业正处产业爆发前期，智能化、集群化、网络化为重要趋势。中商产业研究院预计2024年国内特种机器人市场规模约246亿元，而军事应用机器人占特种机器人的比例约71%，据此我们推算2024年军用机器人市场规模约为175亿元。据航展及中柬联合军演等公开视频，当前军用机器人仍以遥控型为主。我们认为智能化、集群化、网络化为军用机器人发展的重要趋势，实现“自主侦查、自主决策、自主打击”为机器人大规模列装的重要条件，当前正处自主查打技术迭代期，模型训练数据的缺乏为产业链发展的主要瓶颈之一。结合当前战争无人化趋势，以及航展等公开场合机器狗等装备演示情况、技术成熟度，我们认为当前节点正处于军用机器人产业爆发前期。

央企集团引领，多构型并进发展。当前国内军用机器人领域主要由军工集团下属研究所引领行业层面应用，如兵器装备五八所、北方车辆研究所（201 所）、兵器装备208 所等。构型方面，前期主要以轮式/履带式构型，以及针对特定应用场景的仿生型为主。伴随自身姿态平衡、运动步态等方面逐步成熟，四足机器人的应用正逐步打开。预计伴随人工智能催化下自主规划、决策等的逐步成熟，以四足构型为代表的军用机器人将更具备大规模应用价值，带动产业链迎来“由1到N”的跃升。

表40:军用机器人单位梳理

单位	主要机器人产品
兵器装备58所	四足、轮式履带、人形
建设工业	四足
兵器工业201所	轮式、四足/履带
兵器工业208所	轮式/履带
电科机器人	四足、轮式履带、人形
晶品特装	轮式/履带

资料来源：各公司官网，各公司官方微信公众号，

中信证券研究部

特种领域：军工之外，其他特种领域应用不断拓展。相较于有人工作场景，特种机器人可在极端环境下保障人员安全，在高重复性工作中提升效率。伴随硬件技术及软件算法能力的持续迭代，特种机器人应用场景不断丰富，主要包括：1) **消防机器人**：应用包括灾情侦查、火源扑灭和人员搜救等任务； 2) **核工业机器人**：因其耐辐照、高可靠性和易去污的特点，广泛应用于核设施的日常监控、核燃料生产、乏燃料处理以及灾难救援等领域； 3) **水下机器人**：凭借其在危险环境和零可见度水域中的作业能力，广泛应用于海洋科学研究、装备检测维修、搜救、石油开发等领域； 4) **防爆机器人**：广泛应用于石油化工、煤矿、军工及危险品处理等高危行业，主要承担巡检、探测、排险和灭火等任务； 5) **电力巡检机器人**：专门用于变电站、电力隧道及输电线路的巡检作业； 6) **警用机器人**：承担巡逻监控、交通指挥、排爆排险和救援侦查等多种任务。

图 7.6：特种机器人下游应用领域



资料来源：中信证券研究部

图 7.7：工业、服务和特种机器人性能对比



资料来源：《智能机器人技术产业发展白皮书(2023版)》(工业互联网产业联盟)，中信证券研究部

家用&生活：通用泛化能力仍待加强，ToC 端应用场景最为广阔

相较于垂类服务机器人(扫地机器人、割草机器人等)，具身智能机器人在家庭&生活场景中的功能广度与情感交互深度占优。具身智能机器人凭借拟人化形态和通用性设计，具备跨场景任务串联能力(如开门、整理物品、照护老人等)，其情感交互优势(如面部表情、多轮对话)能提供陪伴、教育等深层价值，尤其适合需要情感连接的家庭场景；而垂类机器人则在特定任务的工作效率、成本效益和成熟度上有优势。随着具身智能机器人的大小脑能力持续迭代，尽管机器人的场景价值分层会不断加速，但我们预测垂类服务机器人和具身智能机器人会共存。垂类机器人会在扫地、割草等价值较低的场景中占主要份额，而具身智能机器人会在搬运重物、整理房间、照看老人、洗衣做饭等泛化能力要求高、场景附加价值高的场景中大展身手。

家庭服务：具身智能机器人已经能够完成多种类家务劳动，但泛化性和稳定性仍待提升。 1X 先后发布EVE 一代(2020年，辅助病人移动)→EVE 二代(2022年，物流分拣搬运)→4台 EVE 协同(2024年，拾取衣服、擦拭桌面物资等)。2024年8月，1X 发布双足人形机器人NEO Beta, 以家庭为核心应用场景。并在2024年11月，1X 更新了NEO Beta 在遥操作控制下煎制牛排的视频。视频中1X 展现了不俗的运控能力，借由全新5指灵巧手，实现了诸如撒盐、煎翻、淋汁等厨艺动作。2025年2月，1X 推出新款双足产品NEO Gamma视频，视频中NEO Gamma完成了使用提洗衣篮洗衣服、烧水壶、递送物品、使用吸尘器、擦玻璃/桌面等基本任务，且能在与人类交互的情况下调整墙面画作位置。

图78：NEO Beta在遥操作控制下煎制牛排



资料来源：1X 官网

图79：NEO Gamma使用吸尘器清理地面



资料来源：1X 官网

末端为夹爪的机器人也能实现较强的泛化能力。2024年11月，Pi发布演示视频，展现了轮式双臂机器人在家庭服务场景的泛化能力，在无人干预的情况下，能够高效率完成了多项家务活动。具体来看：①洗衣服：机器人能与洗衣机、烘干机和衣物系统的交互，识别衣物种类、材质，并根据脏污程度选择清洗模式，然后针对衣服、裤子进行不同方式的折叠。②收拾桌子：机器人能够根据物品的种类和使用频率，自主决定整理桌面的顺序和排布，进行高效且合理的桌面整理工作。③组装纸箱：机器人能通过精确的算法定位，根据箱子的形状、位置、姿态自主进行调整，完成非标准化的箱子组装工作。

图80：Physical Intelligence采用广和通的Fibot进行训练和落地



资料来源：Physical Intelligence官网

图81：星尘智能发布的Atribot S1正在制作咖啡



资料来源：星尘智能官网

图82：π0大模型依托广和通的Fibot机器人实现多种家庭服务场景的落地应用



资料来源：Physical Intelligence官网，中信证券研究部

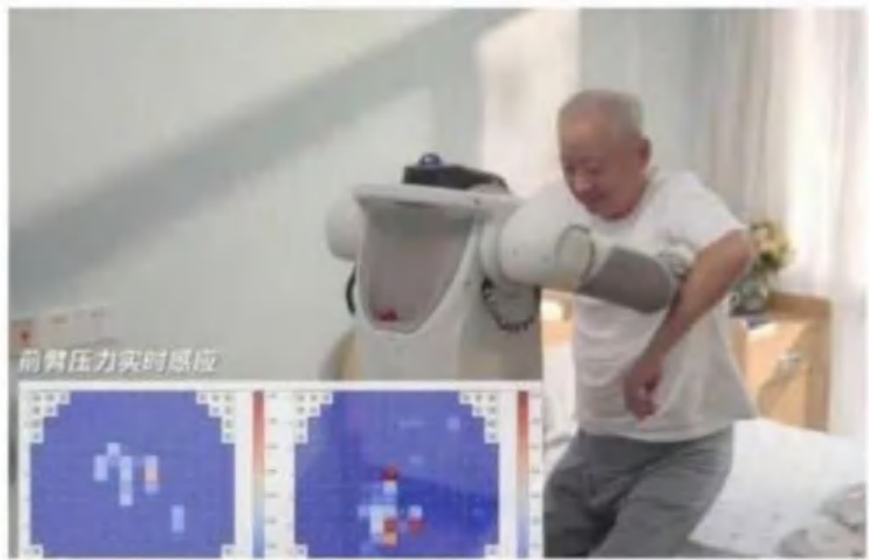
智慧康养场景，具身智能机器人不仅具备“护工”功能，也具备“陪伴”属性。老龄化与少子化已然成为社会大趋势，老人独居隐患曝光度高但市场缺少能够同时为老人提供娱乐方案且起到看护照料功能的产品。人形机器人可以主动与老人交互——根据可穿戴设备数据提供生活建议、按照医嘱按时准备必须药品、提供康养复健姿态指引等。腾讯Robotics X实验室发布轮足复合式人形机器人“小五”，展示了机器人帮老人下床、推轮椅、自主取快递、给老人喂饭、翻身等。此外，机器人能够陪伴老人，温柔提醒老人天冷加衣、定时吃药，能陪伴老人娱乐、聊天、运动，成为一位有温度的“赛博家人”。

图83：腾讯发布轮足机器人“小五”致力于智慧康养



资料来源：腾讯Robotics X实验室微信公众号

图84：腾讯“小五”帮扶老人



资料来源：腾讯Robotics X实验室微信公众号

I 产业价值回归：众寻具身智能的“DeepSeek 时刻”

人形机器人，“何必人形”

双足vs轮式：下肢之争到底因场景而变、还是因效率而优？

具身智能机器人的终局不会是单一形态，需结合场景、性价比、工作效率综合衡量。

双足：在复杂环境中的灵活性强于轮式，更加适用于为人类交互设计的世界。当前，双足人形机器人受限于小脑运控系统的发展，运行的稳定性和可靠性不如轮式人形机器人。但从发展前景来看，在为人类设计的世界里，双足人形能够模仿人类步态和灵活的四肢协调，通过性和跨场景能力更强，在上下楼梯、跨越台阶、陡峭斜坡、多障碍区域等高复杂度、非标准化环境中的适应能力更优。

轮式：具备成本、续航、稳定性、移速优势。①**成本优势**：由于双足式的下肢零部件数量占比接近整机的一半，采用轮式人形机器人大幅降低整机成本。②**续航增加**：轮式方案通过低能耗结构(减少平衡控制)和大容量电池布局(底盘提供放置电池的空间)，续航显著提升。③**高稳定性**：双足机器人的行走需不断打破身体平衡并保持位姿，对于运控系统的算法要求高。而轮式方案不涉及重心转移，移动底盘运行更为稳定。④**移动速度**：宇树科技的H1 人形机器人移动速度为11.9km/h，而轮式机器人一般都能够达到30km/h。

轮足复合式：吸纳足式和轮式的优点，但结构复杂程度高，需多套控制系统。轮足复合式既有双足式的高通过性，又保留了轮式的高效移动和运行可靠性，但轮腿结合需两轮平衡控制、腿部控制和轮腿一体化控制至少三套控制系统，结构设计、运行控制更为复杂。

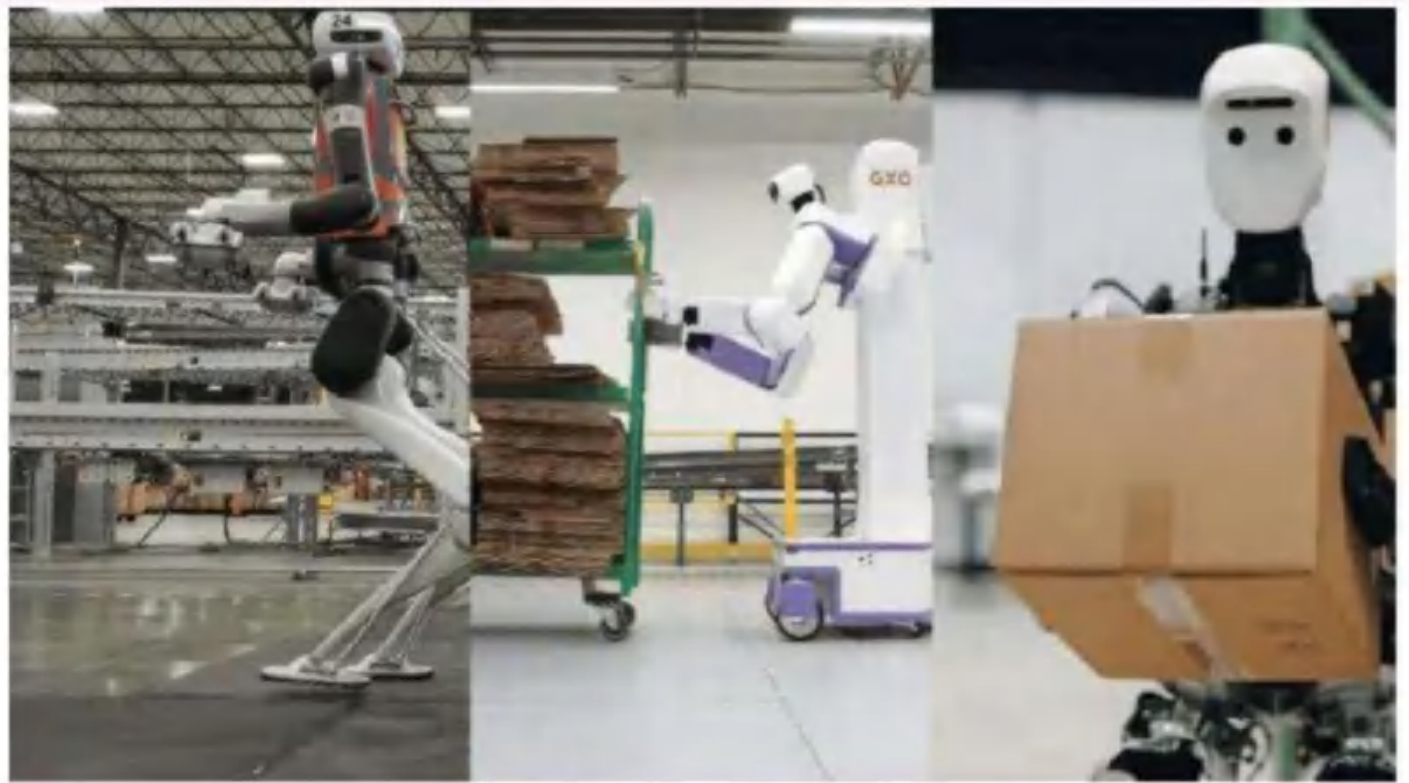
图85：双足、轮式、轮足复合式具身智能机器人未来或共存，满足不同场景客户的需求

具身智能的终局不会是单一形态的人形机器人			
	双足式	轮式	轮足复合式
图示			
优势	通过性、灵活性、交互体验、适应复杂环境	成本、续航、稳定性、移速	平地用轮式高效移动，复杂地形切换足式越障
劣势	运行可靠性待提升，BOM成本较高，续航受限	无法跨越台阶、沟壑，场景适应性受限	结构复杂度高，需多套控制系统
适用场景	非结构化环境(汽车总装、特种、物流、家用)	结构化环境(T厂、仓储、商用服务、家用)	养老、家用
移速	<12km/h	<30km/h	1
续航	2-5h	4-8h	1-5h
当前售价	20-100万元/台	10-50万元/台	1
代表企业	特斯拉、Agility、Figure AI	Reflex、银河通用、星尘智能	腾讯RoboticsX实验室、广汽

资料来源：特斯拉官网，星尘智能官网，腾讯RoboticsX 实验室官方微信公众号，机器人大讲堂官方微信公众号，中信证券研究部

具身智能机器人的构型需通过机器在不同任务和场景的工作效率、性价比加以区分。细分场景来看：①**工业&制造**：在结构化且开阔平坦的工厂、仓库，轮式机器人效率较高，但涉及到台阶跨越、进入车内的总装等非结构化场景，双足机器人的通过性优势显著。②**家用&生活**：由于家庭场景覆盖楼梯、门槛、台阶等跨越需求，双足机型更加灵活适用。家庭场景的应用核心在于“大脑”算法突破带来的上肢通用能力涌现，我们预期轮式双臂实现商业化的速度会更快，但双足的前景更为广阔。③**商用&物流**：国际物流巨头GXO 使用双足人形机器人 Digit、Apollo搬运18kg 及较轻的纸箱，轮式人形机器人Reflex 进行小件货物的挑拣，其上下伸缩躯体设计提高了在狭窄环境中的工作效率，并在长距离搬运中具备更强负载、更长续航、更高移速。④**军用&特种**：由于室外不规则路面、野外丛林等复杂环境的作战需求，双足、四足、履带式等高通过性的机型更受青睐。而消防、救援、巡检等特种机器人目前以足式机型为主流。

图 8 6 :GXO 在仓储物流环节同时采用双足式人形机器人Digit, Apollo和轮式人形机器人Reflex



资料来源：GXO 官网

图87: 轮式底盘能通过底盘升降通过室内的低矮门槛



资料来源：石头科技官网

图88：履带式底盘在室外也有较好的通过性



资料来源：Lymow 官网

图89:逐际动力推出双点足、双足、双轮足多形态机器人



资料来源:逐际动力官网

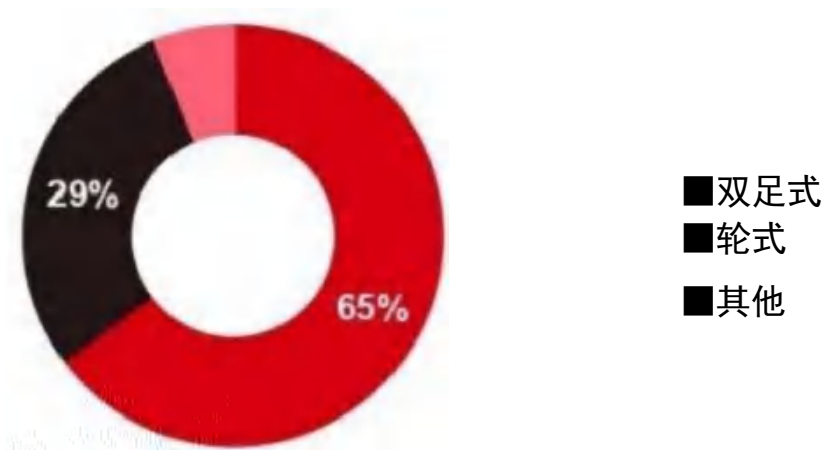
图90:波士顿动力的具身智能形态四足狗具备一定泛化能力



资料来源:波士顿动力官网

2024-2025年,双足式人形机器人的出货量及新品数量高于轮式人形机器人。根据 Interact Analysis统计的2024年机器人厂商发布人形机器人形态,全球60余厂商发布的过百个人形机器人中,65%的机型为双足式,29%的机型为轮式。从出货量来看,已批量化出货的公司包括特斯拉、Figure、Aqility、优必选、智元、宇树、乐聚等的出货机型基本为双足式人形机器人。

图91:2024年机器人厂商发布的人形机器人形态统计



资料来源: Interact Analysis, 中信证券研究部

具身智能机器人的下肢形态选择也与企业的创业路径选择、资金资源、算法积累相关。当前,对于部分初创企业,人形机器人的技术攻关被拆解为上肢的操作能力(manipulation)及下肢的移动能力(locomotion),较少企业会在一开始同时攻关全能型的机器人。受限于资金、技术积累、人才等因素,选择足式的初创公司会先聚焦于跑步、跳跃、翻跟斗等高难度动作,将双手简化为球体,而选择轮式的企业会先聚焦于双臂操作能力,将下肢简化为轮式。2025年,多家公司逐步选择多产品线、轮式/足式全矩阵布局,包括智元、乐聚、Figure AI、Appteronik等。

表41:国内外重点厂商在轮式、人形机器人的布局情况

海外厂商	Tesla	Figure AI	1X	Agility	Apptронik	Mentee	Sanctuary AI	Boston Dynamics	Reflex
双足式	√	√	√	√	√	√	√	√	
轮式		√			√				√
国内厂商	优必选	宇树	智元	乐聚	银河通用	逐际动力	星尘智能	众擎	小鹏
双足式	√		√	√		√		√	√
轮式		√	√	√	√	√	√		

资料来源：各公司官网，中信证券研究部

图92：智元推出多种形态的人形机器人



资料来源：智元机器人官网

图93：Apptронik推出模块化的双足/轮式人形机器人



资料来源：Interact Analysis,Apptронik 官网

旋转vs 线性：执行器选型到底因成本还是因需求？

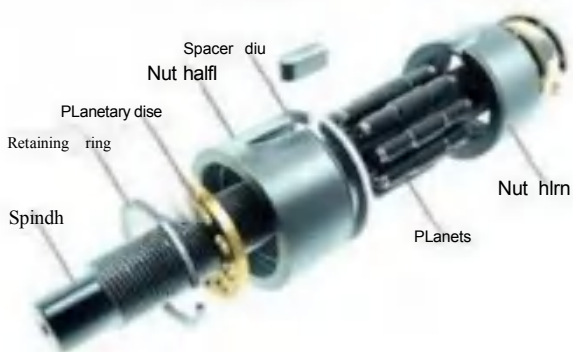
关节执行器可分为旋转执行器(Rotary Actuator)、线性执行器(Linear Actuator)。从核心零部件来看，前者的构成一般为电机+谐波/行星减速器，将电机的旋转运动减速增扭→旋转运动，而后的构成一般为电机+丝杠，将电机旋转运动减速增扭→线性运动。

旋转关节的优势为动态响应优势、供应链完善、成本优势。优势在于：①动态响应：旋转关节能在复杂轨迹的调整中更具灵活性，能实现后空翻、侧空翻等高难度运动控制。且带宽高、响应速度快，在快速抓取或搬运避障时，高频动态调整能力更强。②供应链完善：行星、谐波减速器的技术较为成熟，国产化率高，供应链完善。③成本优势：由于国产化率较高，带来更高的成本控制能力。劣势在于：①电机发热：在保持静止状态时，伺服电机必须持续输出电流保持一定扭矩，防止关节回转。但持续工作会导致电机和传动结构产生热量，致使关节过热带来稳定性风险。②精度保持性：由于减速器之间会有传动空隙，运行时间长、瞬时负载过大时，会有精度损耗。③力控依赖性：在搭载高减速比的谐波减速器时，由于力矩透明度较低，需要搭配额外的力矩传感器或编码器，以提升搬运重物时的安全性，减小与线性关节的精度差距。

线性关节的优势是高负载搬运能力、能量转换效率高、自锁特性。优势在于：①高负载搬运能力：由于丝杠的传动间隙极小，高传动精度带来直线运动时的精确性(±0.01mm)。且行星滚柱/滚珠丝杠可直接输出高轴向力，单根负载远高于旋转执行器，适合需要稳定支撑的垂直负载场景，比如搬运重物时的腿部支撑。②能量转换效率高：由于传动间隙小，直线传动效率高、能量的损耗更低、能够减少电机发热的问题。③自锁特性：无需供电就

能够保持关节的稳定性，减少关节过热的风险。特斯拉Optimus 采用的倒置式行星滚柱丝杠由于其物理结构设计，小角度下无法被外力反向驱动，从而保持关节位置稳定。 劣势在于：价格昂贵、加工工艺复杂、国产化率低。 此外，当前运控算法多以旋转关节为主导，加入线性关节后，需从底层重新撰写线性+旋转关节的算法逻辑，加大了采用线性关节的使用成本。当前使用线性关节且有公开展示的头部公司有特斯拉、小鹏、开普勒。

表 4 2：旋 转 关 节 和 线 性 关 节 对 比

	旋 转 关 节	线 性 关 节
图示		
原理	电机旋转运动减速增扭→旋转运动	电机旋转运动减速增扭→线性运动
核心构成	伺服电机+减速器	伺服电机+丝杠
优势	动态响应优势、技术成熟、供应链完善、成本优势	传动刚度高、零背隙传动带来高耐冲击性、精确控制直线运动(±0.01mm)、能量转换效率高、发热低
缺点	负载较低、精度保持性较弱、力控依赖性	技术不成熟、加工工艺复杂成本较高、减速比高、不适合高速运动、算法复杂
适用场景	适用高频运动场景、家庭搬运场景	工厂高负载场景、长时间工作场景
厂商	所有厂商都有使用	特斯拉、小鹏、开普勒

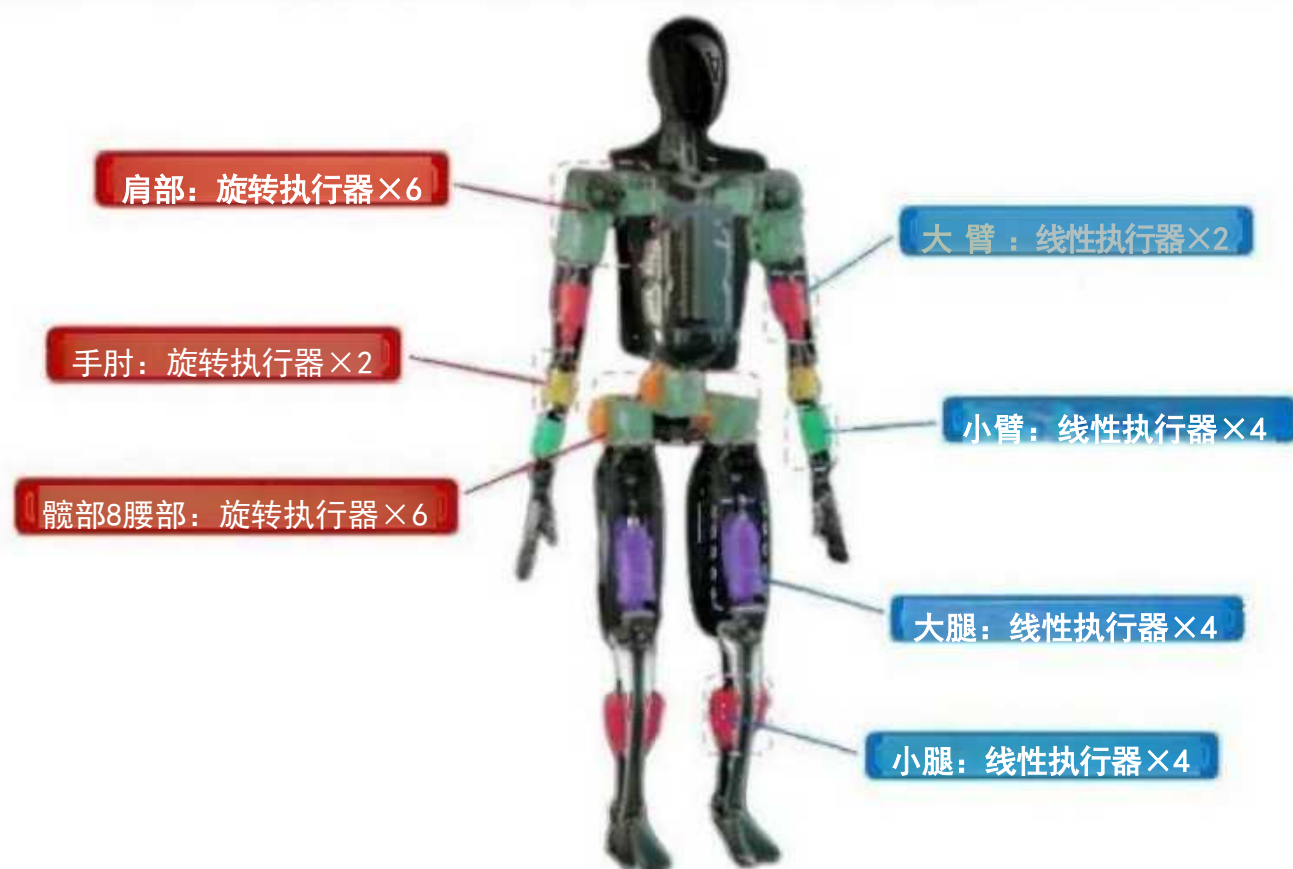
资料来源：步科股份官网(旋转关节), Maxon官网(线性关节), 中信证券研究部

关节执行器 (Actuator) 是人形机器人的核心部件。 关节执行器是机器人的一体化关节， 安装在机器人关节处(连杆结构的连接处)，是驱动机器人执行结构(手臂、腿部、髌部、肩部等)运动组件，其核心构件包括电机(驱动装置)、减速器/丝杠(传动转置)、力矩传感器(传感装置)、编码器(传感装置)、伺服驱动(控制装置)等。

当前特斯拉采用反向式行星滚柱丝杠构型，加工工艺难度较大，批量化生产存在挑战，短期内“以车代磨”等高效新工艺良品率还有待观察。因此在成本层面，旋转关节存在一定的优势。

特斯拉 Optimus 搭载28个执行器，包括14个旋转执行器和14个线性执行器。旋转执行器分布于肩部、髌部、手肘等需要大角度旋转的关节，线性执行器分布于大臂、小臂、大腿、小腿等摆动角度不大的紧凑关节。

图94：特斯拉Optimus搭载的28个执行器中包括14个旋转和14个线性执行器



资料来源：Tesla AI day 2022, 中信证券研究部

按照输出力矩区分，特斯拉 Optimus 的执行器分为三种旋转和三种线性执行器。根据力矩输出和质量的差异，三种旋转执行器分别为20Nm/0.55kg、110Nm/1.62kg、180Nm/2.26kg，而三种线性执行器分别为500N/0.36kg、3,900N/0.93kg、8,000N/2.20kg。

图95：特斯拉Optimus使用的执行器分为三种旋转和三种线性执行器



资料来源：Tesla AI day 2022, 中信证券研究部

展望未来，线性关节的渗透率会逐步提升，但从功能上看旋转和线性关节互补。尽管旋转关节能通过电机、驱控、传感器弥补部分传动间隙，但线性关节的自锁性、高负载、高能量转换效率是旋转关节难以达到的，差异是物理结构设计导致而难以消除的。此外，从人类仿生学角度来看，旋转关节类似人类的膝盖、手肘等关节，聚焦于动态响应、方向变化，不应该以承载重物为核心功能。我们判断，随着搬运重物的需求增多、丝杠的加工工艺逐步成熟、规模化效应带来的成本降低、线性关节的运控算法加速发展，以丝杠为核心的线性关节的渗透率会逐步提高。

1X 创新采用腱绳代替传统驱动方案，跳出“旋转 or 线性”的执行器选型。1X 开发团队很早就意识到了工厂和家用场景的需求差异。工厂用机器人更强调强输出扭矩，并且机器人工作场景与人工活动范围相对分割，因此较少出现机器人与人接触、甚至发生物理碰撞的可能性。而在家用场景中，机器人注定会以极小半径的方式贴近人类的起居，因此机器人工作时的“无痕感”则较为关键，至少应体现为极高的安全性、较低的噪音感。1X 摒弃“高速电机+减速器”传统方案，开发直驱电机 Revol 与腱绳传动技术。根据1X 于2025年2月最新发出的演示视频 (NEO Gamma Design)，我们也可以观察到新品NEO Gamma 的关节处延续了“多滑轮+腱绳”的驱动结构。

图9 6：1 X新品N E O G a m m a关节结构细节



资料来源：1X 官网

夹爪vs 灵巧手：实用性与复杂性的持久较量

2024年10月，Optimus 全新22自由度灵巧手亮相特斯拉“*We, Robot*”大会。由于该款灵巧手的自由度相比Optimus Gen2灵巧手的实现了翻倍，因此得到了产业链的高度关注。灵巧手作为机器人上肢末端执行器的一种，肩负着机器人与外界交互、并改变物理环境的使命。但针对于灵巧手高自由度的实用价值却往往有不同的看法。传统意义上的“少指化”夹爪仍然是较多整机厂的优先选择。面对这一分歧，我们更倾向于从应用场景、成本性价比等角度来做分析。

物流搬运场景中，夹爪类非复杂型执行器已可满足绝大部分需求。根据 Agility CEO Peggy Johnson于2024年8月接受TDK Ventures采访时的表述，她认为在物流等大多数场景中，简化的夹爪就能高效完成抓取；五指手虽功能强大，却会带来高成本和高故障风险。Agility 初代至二代的产品中，Digit 主要采用了简易的高摩擦系数执行器，便于机械臂横向夹持箱体时能够产生较大静摩擦力。

图 9 7：初代至二代 D i g i t 主要采用简易执行器设计



资料来源：Agility官网，中信证券研究部

从三代产品开始，Digit逐渐采用夹爪类执行器，自上而下钳握住箱体边缘实现搬运动作。相比于前代方案，夹爪能够提供更持久稳定的刚性输出。

图 9 8：三代及四代 D i g i t 主要采用夹爪式执行器



资料来源：Agility官网，中信证券研究部

在暂不使用灵巧手的前提下，Agility 主要采用“执行器更换”的策略——即插即用。最新款 Digit 前臂与执行器连接部分采用了可拆卸方案，能够根据任务场景的不同更换执行器选型，从而在最小化适应时间的情况下，最大化执行器的灵活性。根据Agility于2025年3月发布的文章《The Right Tool forthe Job》，公司更注重当下的实用性，认为高自由度的仿人灵巧手仍然需要持续的创新突破，与其通过灵巧手操控复杂工具（例如：电钻、焊枪和铆枪），不如直接将这些工具外接至手臂上。更重要的是，可拆卸式的设计方案也并不会阻碍公司在未来追求五指灵巧手的方案。

图99: Agility Digit 执行器可拆卸式结构



资料来源:《The Right Tool for the Job》(2025, Agility)

分拣、装配及与工具互动的场景中，灵巧手的灵活性优势得到放大。在执行搬运任务时，执行器主要与规则的箱体外壳或箱体上沿接触，不涉及复杂的执行器动作。而在分拣、装配等任务中，由于交互对象外形结构多变、尺寸不一，任务往往会对执行器的灵巧性提出更高要求。在优必选的极氪汽车工厂实训案例中，当Walker S1 执行箱体搬运任务时，执行器采用简易“平板”式结构对多箱体做夹持，而当Walker S1 执行分拣任务时，执行器切换为灵巧手对复杂结构的零部件做抓取。

图100: Walker S1采用“平板式”执行器搬运箱体



资料来源: 优必选官网

图101: Walker S1使用灵巧手分拣零件



资料来源: 优必选官网

灵巧手正经历大幅价格重塑，成本侧或不再是发展桎梏。灵巧手老牌公司 Shadow Robot 的灵巧手Shadow Hand自由度可达24个，是业内最早实现超高自由度的玩家之一，根据Robotsguide,Shadow Hand单手采用了20个Maxon 电机，总售价高达5万-9万英镑。近两年在国内灵巧手市场中，涌现了一批“低价竞争”玩家。例如：灵心巧手的20+自由度灵巧手单价已来到万元水平。随着灵巧手在电机、丝杠领域的国产替代持续推进，规模化效应下，灵巧手的成本仍有很大的降幅空间。

随着成本侧压力可预见性的趋缓，运控发展重心由下肢转向上肢，更多厂商开始在灵巧手上寻求突破。国产厂商中包括智元机器人、宇树科技、小鹏机器人、傅利叶智能等在内的整机厂集中于2024年下半年推出了高自由度灵巧手方案，主要在自由度、扭矩输出强度、传感能力上取得了进展突破。

表43:代表性整机厂 灵巧手发布情况

公司	图片	灵巧手	发布时间	详情
智元机器人		SkillHand	2023/8	17个自由度(12个主动自由度),集成基于视觉和触觉的指尖传感器
		SkillHand升级版	2024/8	19个自由度(12个主动自由度),集成高精度传感器技术,可整手抓握5kg,自锁提拉30kg
宇树科技		DEX3-1	2024/5	7个全主动自由度,6个微型无刷力控关节直驱,1个微型无刷力控关节齿轮传动,单手搭配33个触觉传感器,负载0.5-20kg
		DEX5-1	2025/4	20个自由度(16个主动自由度),12个微型力控复合传动关节,4个微型力控关节齿轮传动,单手搭配94个灵敏触点,负载3.5-4.5kg
小鹏鹏行		PX5搭配灵巧手	2023/10	11个自由度,采用连杆传动,两根手指可以夹起1KG的东西,重复定位精度0.05mm,负载3-5kg
		Iron搭配灵巧手	2024/11	15个自由度,支持触觉反馈,新一代微型手指关节,较上一代扭矩密度提升20%
傅利叶智能		GR-1搭配灵巧手	2023/7	单手有6个自由度和11个关节
		GR-2搭配灵巧手	2024/9	12个自由度,并且拥有6个阵列式触觉传感器和运动控制算法,能够实时感知抓握力度

资料来源:各公司官网,中信证券研究部

诚然,高自由度灵巧手可以全方位复现人手全部手势操作,但优秀方案或非优质方案,我们认为执行器应兼具“高理论上限”及“强实用底线”。Shadow Robot 的 Shadow Dexterous Hand具备少指化版本,用户可选择Lite(4指)、Extra Lite(3指)及Super Lite(2指)版本。相比于5指24自由度的版本,少指化系列可以减轻前臂重量负担、降低能耗、降低成本,或更贴合用户实际需求。根据观察特斯拉“*We, Robot*”大会上亮相的全新灵巧手结构,我们发现灵巧手小拇指与手掌连接处存在明显物理分割结构,且该接合处并未表现运动,不排除特斯拉也采用了“可拆卸式”设计,能衍生出“四指”方案。

图102: Shadow Dexterous Hand少指化系列产品



资料来源: Shadow Robot官网

图103: “We, Robot”大会上亮相的特斯拉全新灵巧手



资料来源: 特斯拉官网

1X NEO Gamma灵巧手自由度由20个降低至18个,也体现出了“删繁就简”的思想。相比于NEO Beta,NEO Gamma版本删去了大拇指的腕掌关节CMC,意味着大拇

指或失去了侧摆及钳握的2个自由度。尽管新款灵巧手的大拇指在自由度上有所妥协，但固定的大拇指设计却也提升了抓握动作的刚性，降低了控制难度。

图104: NEO Beta灵巧手(左) vs Neo Gamma灵巧手(右)



资料来源: 1X 官网, 中信证券研究部

图105: NEO Gamma灵巧手捏握钥匙



资料来源: 1X 官网

波士顿动力Atlas 舍弃“仿生思维”，采用独特三指灵巧手设计。2024年4月，波士顿动力CEO Robert Playter 在接受TechCrunch 采访时表示：“手本身就很复杂，当你的执行器在各种环境中频繁作业时，就必须保证可靠性和稳健性。因此我们在末端执行器上选择少于五个手指，以控制复杂度。我们会继续开发更多代这种设计，目标是实现具有丰富传感的柔性抓取，能适应各种形状，并且能够感知接触时的状态。”

相似的，Shadow Robot 全新灵巧手产品亦为三指设计。2024年8月，Shadow Robot 发布全新灵巧手产品 DEX-EE，该款产品为公司联同 Google DeepMind 团队一同设计。DEX-EE 的三根手指呈现非仿人手排列，单指可实现一定的反关节动作，多指间可实现复杂交叉动作。

图106: 波士顿动力Atlas灵巧手



资料来源: 波士顿动力官网, 中信证券研究部

图107: Shadow Robot DEX-EE



资料来源: Shadow Robot官网

高自由度构筑了灵巧手的硬件上限，但这一上限的充分释放还有待软件侧的对齐和应用侧的验证。而传统低自由度的刚性执行器则确保了灵巧手的下限，让具身智能始终不缺少与世界快速交互的“钥匙”。我们乐于见到顶峰的攀登争夺，更期待在复杂性和实用性的持续较量中，能持续涌现出适用于同期或稍领先于行业的实干方案。

投石问路，具身智能的构筑之路

目前来看，具身智能软件领域的分歧显著多于硬件侧。硬件侧的选择范围相对固定，各技术路线的优劣性与性价比早已有充分的落地验证，因此困扰各家厂商的主要矛盾并非供给侧表现的不可控，而是企业发展阶段及产品应用场景所带来的需求暂不清晰。截然相反的是，具身智能领域中，大家的需求高度统一——期待AGI 时代的到来，但作为供给侧的算法技术却缺乏规模化应用后的良品率佐证。

事实上，具身智能软件的发展历程也远短于硬件侧。2023年，多模态大模型的突破为具身智能研究送来春风，由此相关研究呈指数型爆发增长。而在此之前，文生文、文生图、文生视频等单维大模型的进展则难以推动具身智能这一“庞然大物”的前进。根据Figure AI CEO Brett Adcock所言，大语言模型仅仅只是具身智能的冰山一角，且其对于具身智能的影响力将持续减小。

但站在当下，我们似乎已能窥得具身智能的“枝枝蔓蔓”。在不考虑本体选择的前提下，具身智能主要由感知、交互、自主代理组成。智能体还需经受住从仿真到现实世界的鸿沟。跨越鸿沟的成功率主要受数据采集&训练、具身控制的影响。以下我们将重点探讨具身控制、数据采集&训练领域现存的分歧与收敛。

图 1.08：“仿真至现实”——具身智能研究图谱

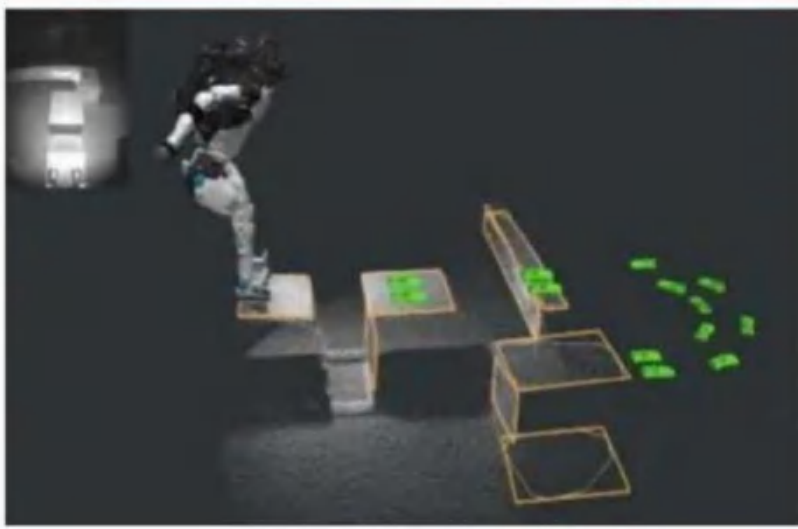


资料来源：《Aligning Cyber Space with Physical World:A Comprehensive Survey on Embodied AI》(Yang Liu、Weixing Chen、Yongjie Bai等)，中信证券研究部

具身控制：强化学习风华正茂，模型预测控制价值依旧

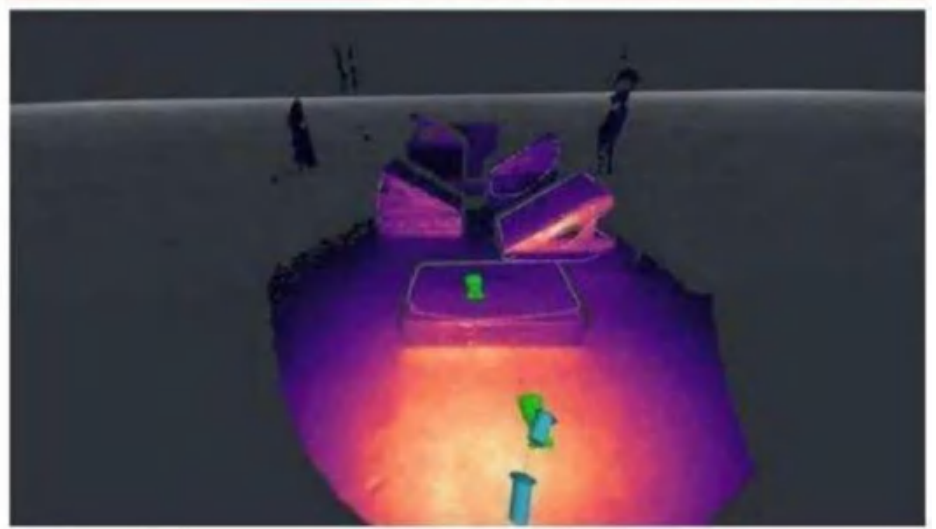
模型预测控制(MPC) 具备悠久发展历程，起源于工业过程控制领域，核心思想可追溯至1970年代的动态矩阵控制(DMC) 和广义预测控制(GPC)。在 MPC 中，环境模型可以使智能体无需与环境交互而得到下一步状态和奖励。Boston Dynamics 的液压版 Atlas 依托MPC 曾展现出不俗的跑酷能力。根据Boston Dynamics 工程师Pat Marion所述，MPC 可以调整力量、姿态和行为时序等细节，以应对环境几何形状差异、足部滑动等实时变量。这意味着实验人员无需为机器人可能遇到的所有场景都建立对应行为模板，MPC 具备一定的自主计算泛化能力。

图109:液压版Atlas 依托MPC 预测未来行动轨迹(第三人称)



资料来源：《How Boston Dynamics makes Atlas run、flip & vault》(2021,Pat Marion), 中信证券研究部

图110: 液压版Atlas依托MPC预测未来行动轨迹(第一人称)



资料来源：《How Boston Dynamics makes Atlas run、flip & vault》(2021,Pat Marion), 中信证券研究部

2023年以来，在巨头的引领下，强化学习及模仿学习几乎抢占了具身控制的主舞台。2023年下半年，特斯拉曾展示Optimus Gen1分拣积木、单脚站立执行瑜伽动作的视频。当时，英伟达工程师Jim Fan判断特斯拉极大概率采用了模仿学习的方式对机器人做训练。事实上，在2024年5月特斯拉公布的视频证实了外界的猜想，Optimus 的训练数据部分由佩戴VR 头显、身穿动捕服的实验者采集而来。无独有偶，2024年1月，Figure AI对外发布的Figure 01制作咖啡Demo 中，Figure AI的动作训练借由神经网络完成，训练总长仅10小时。强化学习及模仿学习所带来的机器人“自然动作姿态”及“快速的学习效率”，是众多厂商青睐于该技术路线的关键。

图111: Tesla Optimus Gen2依托遥操采集数据



资料来源：特斯拉官方X 平台账号

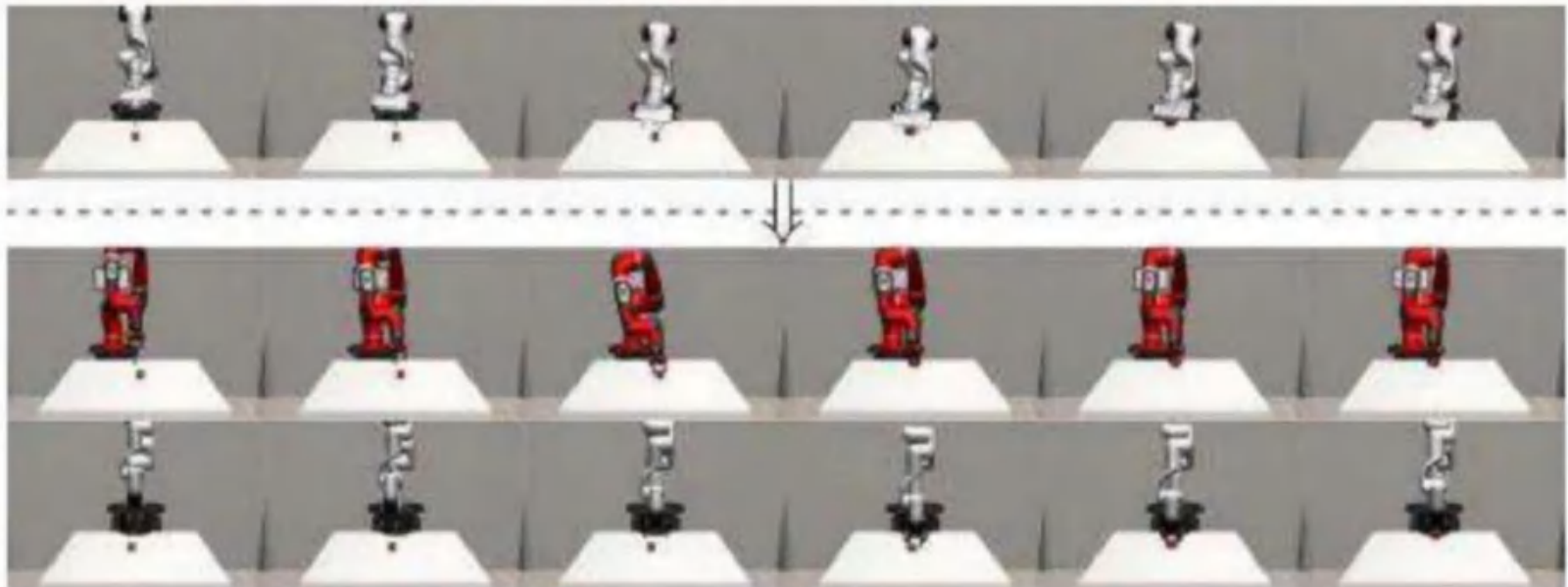
图112: Figure 01依托神经网络训练任务执行



资料来源：Figure AI官网

单机的精密控制到群体的运控迁移，目前是限制强化学习及模仿学习更进一步的阻碍。在实际量产过程中，个体机器人的硬件往往存在细小差异，导致观测空间和动作空间的分布变化。这些差异包括传感器校准差异(影响输入观测)和关节响应特性(影响动作执行)，如果不加以补偿，很大可能会影响运控策略的性能。这一影响在高自由度的上肢运控中会得到进一步的放大。这意味着经调试后运动表现出众的机器人，由于本体间的细微差异，无法快速在同一型号的其他机器人本体上迁移运控策略。

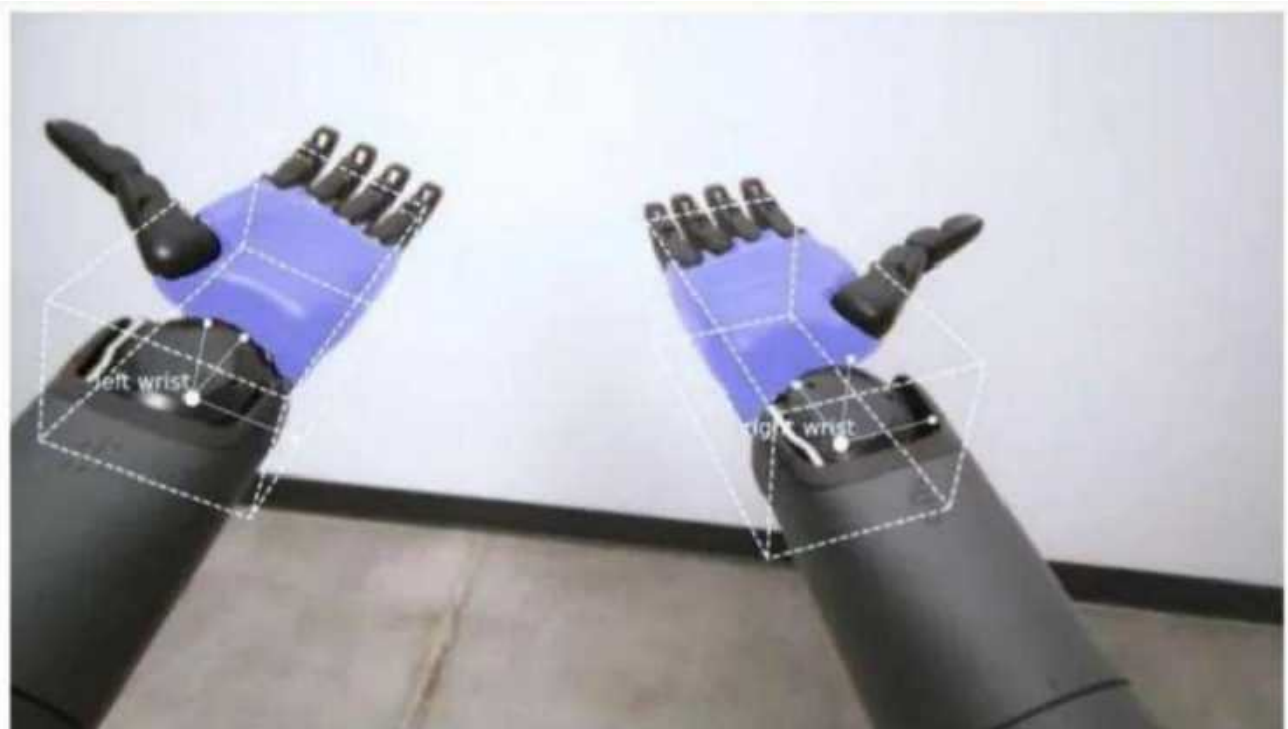
图113:工业/协作机器人领域亦存在“本体迁移”的问题(Cross Robot Transfer)



资料来源:《Cross-Embodiment Robot Manipulation Skill Transfer using Latent Space Alignment》(2024, Tianyu Wang, Dwait Bhatt, Xiaolong Wang等)

为了解决这一问题，Figure AI尝试推出了一种视觉本体感知模型。该模型完全通过每个机器人自身的视觉输入来估计末端执行器的6D 姿态。这种在线“自校准”方法允许在机器人之间实现强大的策略迁移，并且停机时间最小。

图114:Figure 02通过在线“自校准”迁移运控策略



资料来源: Figure AI官网

本体迁移(Robot Transfer)是学习迁移中的一个细分类目。如果我们将机器人运控抽象为三个元素：机器人本体、任务、环境，那么根据元素的不同可以得到五大学习迁移

(Learning Transfer)子类目。依据难度由低到高排序可以分为本体迁移、环境迁移、任务迁移、双重迁移及三重迁移。迁移学习的最高级“三重迁移”，即可以类比人类在观察他人执行类似任务来获取知识的能力。我们认为具身智能的学习迁移能力决定了强化学习的上限。

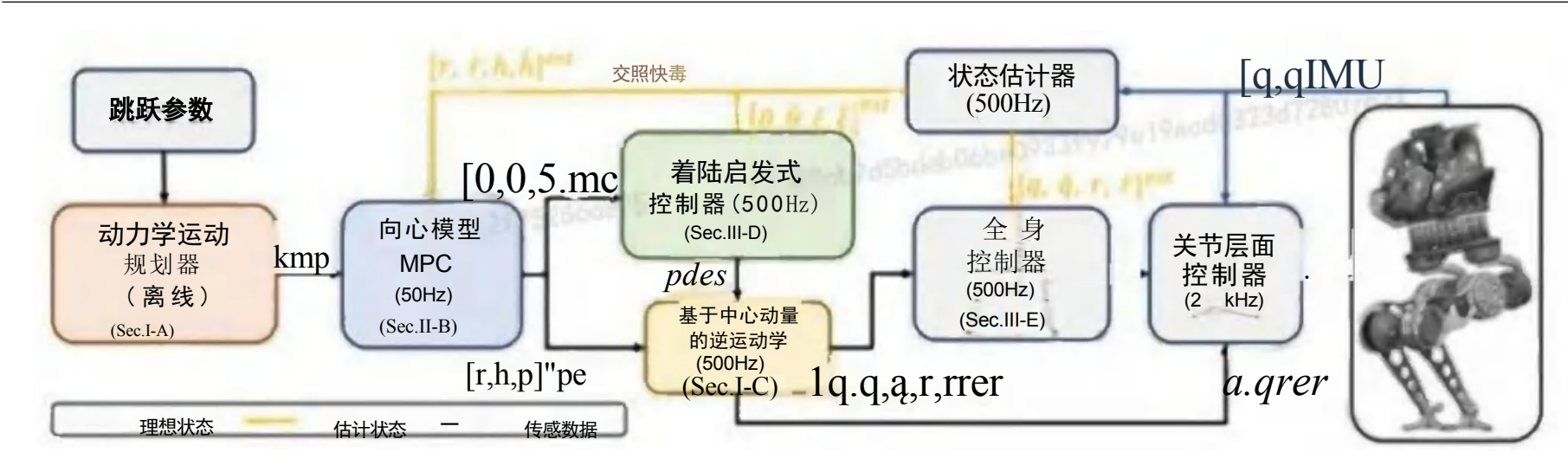
表44:学习 迁移(Leam ing Transfe r)的分类

	机器人	任务	环境	定义
本体迁移	变化	不变	不变	使目标机器人具备在相同环境中执行其他源机器人已知任务的能力。
环境迁移	不变	不变	变化	将机器人在源环境中执行给定任务的能力转移到不同的目标环境中。
任务迁移	不变	变化	不变	利用机器人执行给定任务的能力来学习如何在相同环境中执行不同的任务。
双重迁移	三者中其	二发生变化		假设当源空间和目标空间共享一个共同模式时，其相似性仍然可以被利用。
三重迁移	变化	变化	变化	类似人类能够通过观察他人在不同环境中执行类似任务来成功获取知识的能力。

资料来源：《Transfer Leaming in Robotics:An Upcoming Breakthrough?A Review of Promises and Challenges》(2024,Noemie Jaquier, Michael C.Welle, Andrej Gams等), 中信证券研究部

MPC 的“事前规划”属性使其在强化学习现行的时代仍具光芒。Meta 的 Chief AI Scientist Yann LeCun是 MPC 坚定的拥趸，其认为强化学习不具备效率性，学习任意技能都需要大量的试验数据，而MPC 却是零次学习 (Zero-Shot)—— 前提是智能体拥有优秀的世界模型以及清楚的任务目标，这得益于 MPC 的事前规划 (Planning) 属性。国内机器人整机厂乐聚也以MPC 作为运动控制的核心，公司曾于2024年5月发表MPC 相关论文(收录于IEEE Robotics and Automation). 文中提出了“基于质心动力学模型的模型预测控制”，实现了双足机器人的跳跃特技动作。

图 1 1 5：基于质心动力学模型的模型预测控制框架



资料来源：《CDM-MPC:An Integrated Dynamic Planning and Control Framework for Bipedal Robots Jumping》(2024,Zhicheng He, Jiayang Wu,Jingwen Zhang), 中信证券研究部翻译

MPC 与强化学习具备广阔的结合潜力。Boston Dynamics的四足机器人Spot 历史上主要依靠 MPC 做运动控制，当机器人的状态，环境和目标可以很好地表示为优化问题中的目标和约束时，MPC 通常表现良好。但现实场景中，有些情况难以被观察和精准建模。因此，Boston Dynamics 在 Spot 上引入强化学习算法，通过仿真环境的模拟试验，规避了真实场景中难以建模的困境。事实证明，结合了MPC 和强化学习的运控策略有效拓宽并增强了四足机器人Spot 的能力。

图 1.1.6：四足机器人 Spot 在仿真环境中训练



资料来源：Boston Dynamics官网

根据 Boston Dynamics 工程师 Robin Deits 于 2024 年 8 月做的主题演讲《Care and Feeding of MPC: Model-Predictive Control of the Electric Atlas》，**Boston Dynamics 的 MPC 运控技术已继续延续至电驱版本的 Atlas 之上，且公司将 MPC 和强化学习的结合视为未来发展的重要蓝图。**由于 MPC 和强化学习的具体结合方式暂不清晰，所以公司正在同步探索两条路线，MPC 或许在以下角度存在显著价值：1) 作为数据采集平台；2) 作为运控策略训练的 API；3) 蒸馏出有效的运控策略。

图 1.1.7：电驱版 Atlas 依托 MPC 规划未来行动轨迹 (1/2)



资料来源：《Care and Feeding of MPC: Model-Predictive Control of the Electric Atlas》(2024, Robin Deits)

图 1.1.8：电驱版 Atlas 依托 MPC 规划未来行动轨迹 (2/2)



资料来源：《Care and Feeding of MPC: Model-Predictive Control of the Electric Atlas》(2024, Robin Deits)

数据采集及训练：仿真数据与真实数据的成本与效率之争

高质量数据是驱使具身智能由仿真走向现实的关键。根据数据的稀缺性由低到高做排序，数据主要可分为 3 类：1) 互联网数据；2) 仿真数据；3) 真实数据。互联网数据体量大、可得性强，但参差不齐，且不具备直接的动作数据。通过仿真平台获得的数据称之为仿真数据，数据获取成本相对较低，但其对于模型的训练价值一般低于真实数据。目前业界的分歧主要集中在仿真数据与真实数据之上。

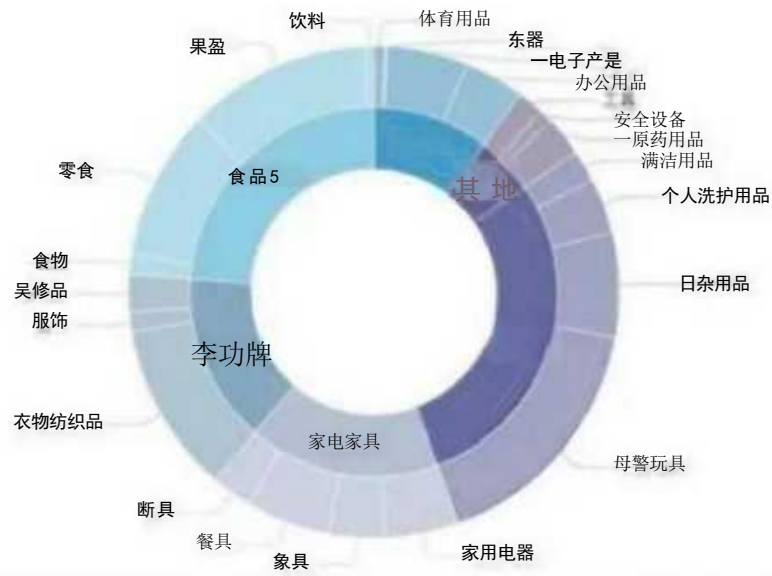
图 1 1 9：具身智能训练数据分类



资料来源：《Aigning Cyber Space with Physical World: A Comprehensive Survey on Embodied AI》(Yang Liu, Weixing Chen, Yongjie Bai 等)，中信证券研究部翻译

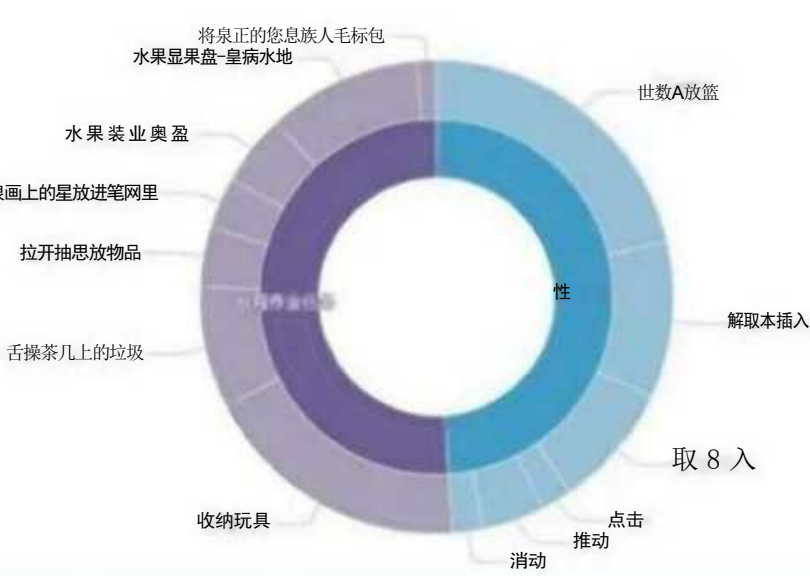
真实世界数据重要性最强，已证明能够有效训练出强力的大模型。 Open X-Embodiment 收集了来自22个不同机器人的共160,266项任务数据，由该数据集训练得到的 RT-X 模型展现出了不俗的技能泛化及知识迁移能力。真实数据的重要性是所有数据中最强的。根据特斯拉官网，特斯拉对外招聘Optimus 数据遥操专员，愿意为其开出\$12万-36万美元的年薪。智元机器人在上海张江科学城投建数据采集工厂，在约2,000平方米的工厂内部署上百台机器人，持续采集包括家居、餐饮、商超、办公和工业的场景数据。

图120:AgiBot Digital World Data set物体数字资产分布



资料来源：AgiBot World官方微信公众号

图121:AgiBot Digital World Data set操作任务分布



资料来源：AgiBot World官方微信公众号

但真实数据的采集却需要大量的人力、资源和时间投入。根据英伟达工程师Jim Fan, 真实数据的采集主要分为4种方式：1) 定制远程操作系统：通过定制化硬件(如机械臂+传感器)和软件系统，实时采集人类操作者的动作信号并映射到机器人上；2) 动作捕捉：采用好莱坞级动捕设备(如光学标记、惯性传感器)记录人体运动数据；3) 计算机视觉无标记捕捉：利用多视角深度摄像头+AI算法，从视频中提取人体姿态和动作信息；4) 虚拟现实(VR) 人机交互：将操作员置于虚拟环境中，通过VR 控制器或数据手套控制虚拟机器人。

仿真平台 (Simulators) 的进化使合成数据的重要性持续提升。 2022年前的主流仿真平台更贴近“游戏世界”，距离“真实世界”有较大差距。以 DeepMind, A12-THOR, CHALET 等为代表的仿真平台在建设虚拟世界时，往往存在不贴合真实 (Realism)、无法规模化 (Scalability) 且可交互性差 (Interactivity) 等问题。

表45:2022年前主流仿真平台对比

年份	仿真平台	环境 (真实性)	物理性 (真实性)	物品类别 (规模化)	物品属性 (交互性)
2016	DeepMind Lab	游戏	-	-	
2017	A12-THOR	游戏	基础	生成式数据集	可交互，多维交互
2018	CHALET	游戏	基础	生成式数据集	可交互，多维交互
2018	VirtualHome	游戏		生成式数据集	可交互，多维交互
2019	VRKitchen	游戏	基础	生成式数据集	可交互，多维交互
2019	Habitat-Sim	真实		已有高质量数据集	
2019	iGibson	真实	基础	已有高质量数据集	可交互
2020	SAPIEN	游戏	基础	已有高质量数据集	可交互，多维交互
2020	ThreeDWorld	游戏	基础，进阶	生成式数据集	可交互

资料来源：《ASurvey of EmbodiedAI From Simulators to Research Tasks》(2022, Jiafei Duan, Samson Yu, Hui Li Tan等), 中信证券研究部

英伟达 Isaac Sim的推出推动了高质量仿真数据的发展。 2021年，英伟达推出早期机器人仿真平台 Isaac Gym, 作为公司在机器人仿真领域的尝试，Isaac Gym 共迭代了4个版本。随着元宇宙概念的兴起，英伟达在 Isaac Gym 中加入元宇宙思想，从而衍生出了Omniverse。2023 年3月，基于Omniverse，英伟达推出了全新技术平台 Isaac Sim,也宣告了Isaac Gym开始淡出历史舞台。

Isaac Sim在解决真实性 (Realism) 及训练成果规模化(Scalability)上交出了出色的答卷。1) Omniverse 能够映射机器人及场景的 Digital Twins, 成为生成式数据的根基，开发者可以在Omniverse 中集成真实世界的传感数据及人为示例，并能以遥操的方式控制Digital Twin 的运控；2) COSMOS 可将Omniverse 的原始数据扩展为海量的照片级真实数据 (Photoreal)。在维持机器人本体运控不变的情况下，COSMOS 可以改变机器人执行任务时的环境，互动物品属性等，从而扩展数据集。此外，开发者也可以使用Isaac Lab，对机器人做后训练及强化学习训练。

图 1 2 2 :Isaac Sim生 成Digital Twin



资料来源：英伟达官网

受制于模拟环境与现实环境之间语义和物理差异的影响，仿真数据训练所得的运控策略在迁移至机器人本体之上时往往面临挑战。过往为了解决这一问题，实验人员往往以 Digital Twin 的形式来缩小仿真和现实之间的差异，但 Digital Twin 的生成涉及较高成本且无法实现跨领域的泛化性。为了解决这一问题，斯坦福大学李飞飞团队提出 Digital Cousins 概念。不同于 Digital Twin, Digital Cousins 并不完全模拟现实世界的对应实体，但仍能保留相似的几何和语义功能属性。通过这种方式，数字表亲既降低了生成类似虚拟环境的成本，又通过提供多样化且相似的训练场景分布，增强了模拟到现实迁移过程中的鲁棒性。

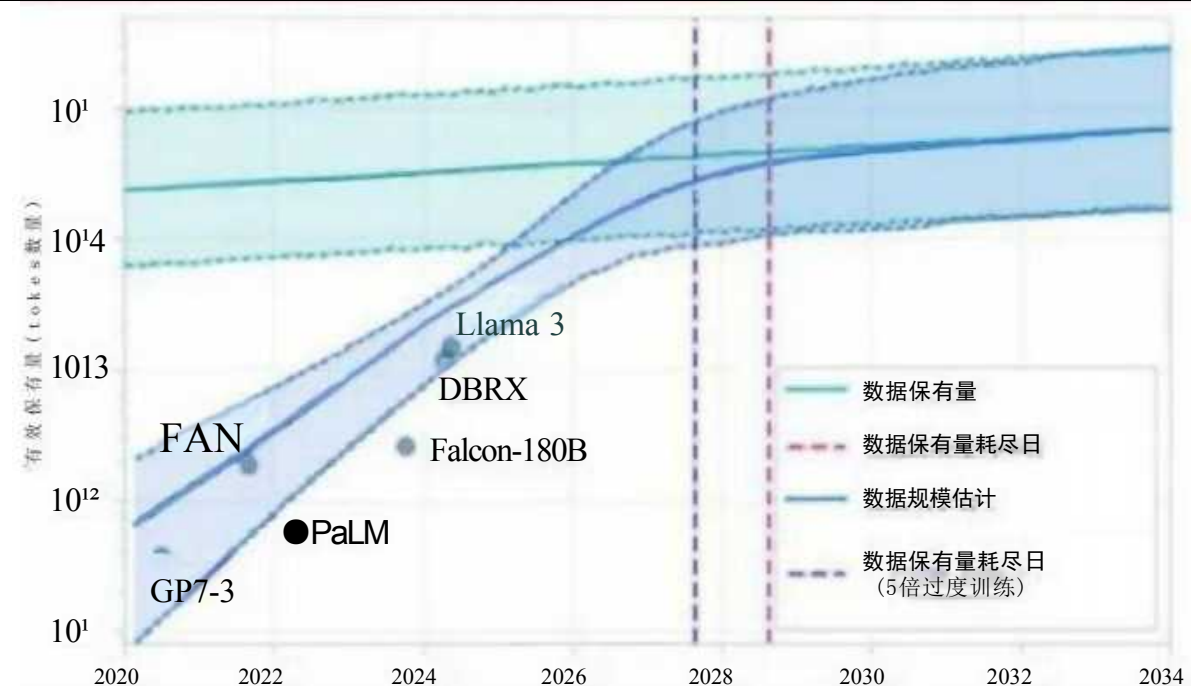
图 123 : Digital Cousins 的生成及策略训练框架



资料来源：《Automated Creation of Digital Cousins for Robust Policy Learning》(2024, Tianyuan Dai, Josiah Wong, Yunfan Jiang等), 中信证券研究部翻译

我们认为，数据的使用及所有权问题会对企业做自然分流；1) 资金实力雄厚的企业可以搭建自主的数据采集平台，并为平台匹配专项的数采机型，在掌握大量数据资源的背景下，这类企业甚至能以数据作为资产对外做交换；2) 不具备搭建数采平台实力的企业，将更依赖于外部合作，以提供真实本体或本体数据的方式换取对应的训练资源，由于这类企业无法完全把控数据所有权，因此将在训练的方式及节奏上受到外部制约。

图 1 2 4：公开可用的 AI 训练数据 或于 2 0 2 8 年 前 后 耗 尽



资料来源：《Will we run out of data? Limits of LLM scaling based on human-generated data》(2024, Pablo Villalobos, Anson Ho, Jaime Sevilla, 含预测), 中信证券研究部翻译

换言之，第一类企业将掌握更多的真实数据，需解决的问题是如何将稀缺的真实数据资源最大化利用；第二类企业将更依赖于虚拟数据，需解决的问题是如何更好抹平虚拟与现实的代沟。但无论是哪一类企业，现阶段在训练过程中都无法只使用真实或虚拟数据中的任一类，企业既需要现实数据的真实物理特性，也需要虚拟数据的规模化动能。

幸运的是，相比于运控算法，我们能够在数据训练领域观察到更多的开源趋势。本土企业中，宇树科技、智元机器人、傅利叶相继开源真机数据集。北京人形机器人创新中心于2024年11月宣布启动“天工开源计划”，将持续把本体、数据集、运动控制等方面的技术成果面向行业开源开放。更包容开源的数据生态更有利于市场新进入者的增加，我们也期待新鲜血液的注入能够后续为生态反哺更多元的创意。

I 风险因素

1) 机器人技术进步速度低于预期：机器人技术目前尚未成熟，仍有许多有待攻克的技术环节和领域，机器人行业的发展速度一定程度上与机器人技术的进步速度相关。若机器人进步速度低于预期，机器人行业发展有不及预期的风险。

2) 机器人应用场景的发展潜力低于预期：我国机器人行业尚处于早期阶段，商业应用场景处于摸索中，目前市场对于机器人应用场景有较高预期，若机器人的应用场景拓展不顺利，机器人下游需求有不及预期的风险。

3) 技术路线变动风险：当前具身智能机器人处于研发早期，硬件和软件上都存在多条技术路线方案，随着机器人技术的发展，硬件和软件的技术路线可能会产生变动，相关企业的产品可能会因此受到影响，因此存在技术路线变动的风险。

4) 政策实施力度不及预期：截至目前机器人行业仍处于早期导入阶段，研发上的投入大，制造成本较高，依赖于行业政策的支持和推动，若我国机器人相关政策实施力度不

及预期，行业的发展速度可能有不及预期的风险。

5) 行业竞争加剧风险：在科技巨头的推动下，机器人行业关注度提升，各界玩家进入到机器人及其核心零部件的领域布局相关产品，若布局玩家数量、扩展速度超过行业需求的发展速度，行业可能面临竞争加剧的风险。

6) 法律法规风险：具身智能机器人属于新兴产业，相关的法律法规还未完善。若法律法规对具身智能机器人的应用场景做出较多限制，则机器人的下游需求可能有不及预期的风险。

7) 国际地缘政治风险：机器人技术进步速度受国际技术合作环境制约，地缘冲突引发的全球供应链震荡可能会导致具身智能机器人软硬件迭代周期延长，产业链交付延迟和成本上升。

投资策略

行情复盘：从主题炒作逐渐演变为产业趋势投资

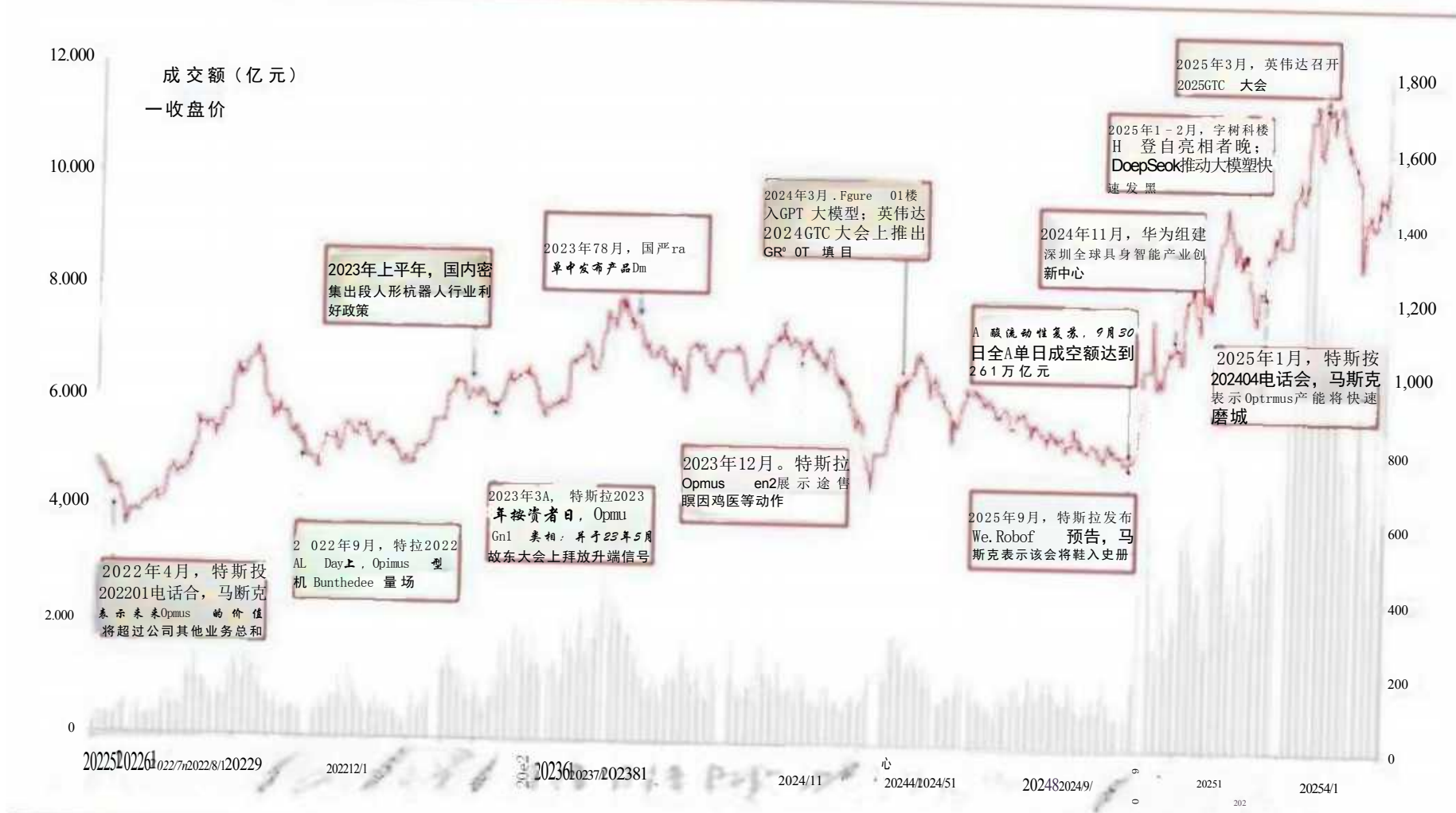
具身智能行业的主题型投资机会伊始于2022年4月。马斯克在特斯拉2022Q1电话会上表示未来Optimus的价值将超过公司其他业务的总和。2022年4月-2022年9月，市场迎来首轮小波段行情，根据人形机器人指数(8841699.WI)，期间最高日交易额达到234亿元。

2022年9月及2023年3月，特斯拉将Optimus概念带入现实，先后发布原型机Bumblebee及Optimus Gen1，这成为了新一轮行情演变的催化剂。2023年3月-2023年8月，市场迎来第二轮行情，同期国内亦有众多利好催化，包括国家地方政策的出台、以及国产机器人相继亮相，期间人形机器人指数最高日交易额达到了432亿元，相比首轮增长了近85%。2024年3月，Figure AI宣布与OpenAI达成合作，英伟达在GTC大会上推出机器人项目GROOT，为经历较大回撤的行情注入了一定的反弹势能，当月单日最高成交额达273亿元。

2024年10月至今，市场迎来第三轮行情，规模相比前两次发生质变。2024年10月-2025年1月，期间最大日成交额达774亿元，相比于第二轮行情的高点增长了80%。华为组建具身智能创新中心、宇树科技H1亮相春晚、Optimus产能计划快速爬坡等事件密集催化。相比于前两轮行情，第三轮行情持续性长、交易额多、股价涨幅高，体现出了市场对于产业长期发展趋势的较强认可。

我们认为在产业趋势投资下，机器人板块整体走势将呈现震荡上行的态势，即使回调也是阶段性的降温与回撤，全年甚至更长时间段的上行投资期将确立无疑。

图125: 2022.4-2025.4人形机器人指数(8841699.WI) 及成交额复盘



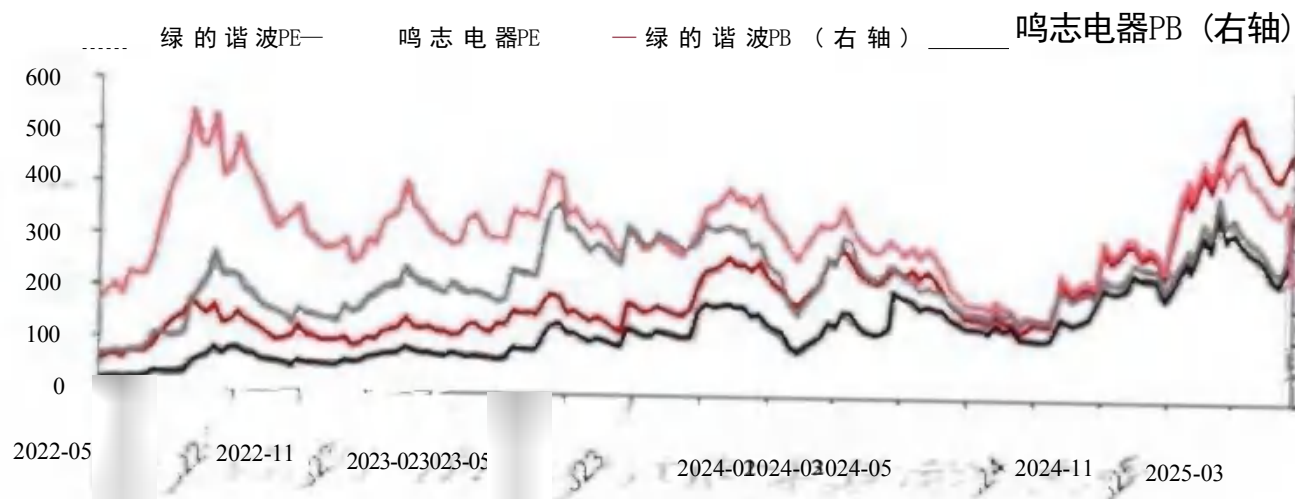
资料来源: Wind, 中信证券研究部; 注释: 取人形机器人指数(8841699WI) 为参考, 左轴为收盘价, 右轴为成交额

估值探讨：当前市场以2030年产量为锚，长端估值和放量预期至关重要

传统估值方法已不适用于对机器人板块的标的进行估值，无论是PE、PB 及 PS 等 相对估值法还是其对应的绝对估值法都不再适用，机器人板块正在逐步构建自身的估值体系，并且该估值体系将会逐步形成方法论和一段时间内的稳定性。

以最早特斯拉机器人产业链核心公司绿的谐波及鸣志电器为例，当2022年市场开始反映机器人定价时，其估值水平得到快速提升，PE 估值已超过100倍，不在PE 的 传统经验区间，即使是2024年年中的行情低点，其估值水平仍未降至2022年上半年的水平。市场开始使用未来时点量产预期折现的估值方法对机器人板块进行定价。

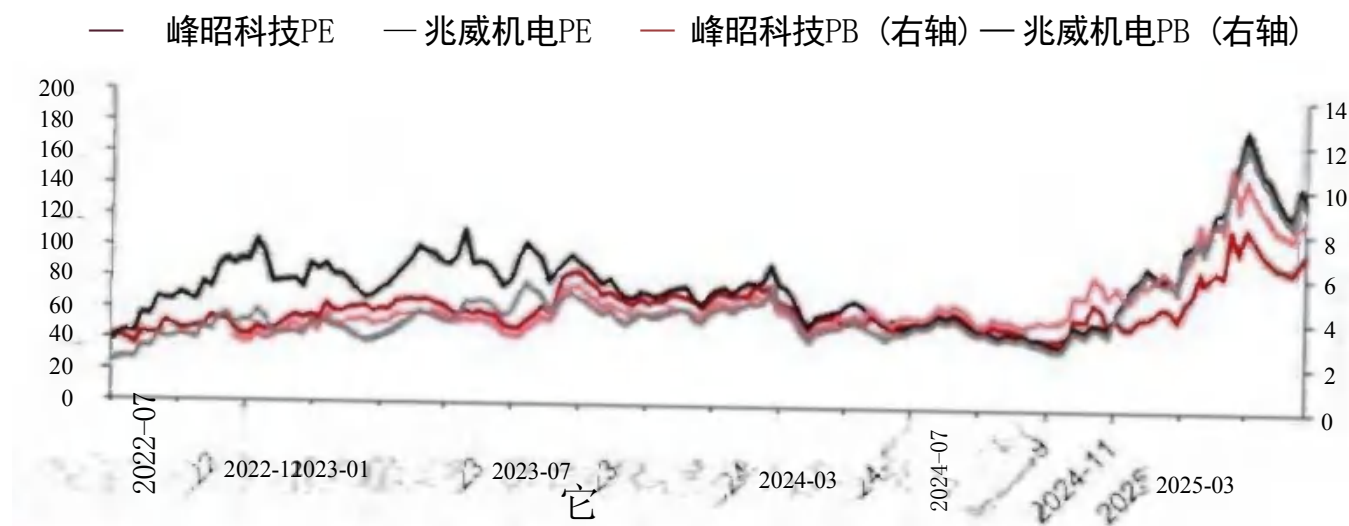
图 1 2 6：代表性机器人标的估值水平变化（1 / 2）



资料来源：Wind, 中信证券研究部

当产业链中相关公司布局具身智能机器人时，存在估值发现及估值水平快速提升的过程，估值中枢取决于其对应的机器人出货预期量级及其产品利润率。如兆威机电和峰昭科技，在2022年特斯拉推出机器人之时，其并未供货特斯拉且没有代表性的机器人零部件产品，2024年以来其加大相关布局，市场则对公司进行了重新定价，其市值除了主业之外，还含有未来对于机器人产品大幅放量的预期。市值短期内会被情绪因素影响，但拉长来看，公司市值围绕在由“对应机器人出货预期量级、产品稳态利润率及其增量产品预期等因素”测算所得的估值中枢附近，当前市场基本将2030年作为机器人公司估值的锚定时点。

图 1 2 7：代表性机器人标的估值水平变化（2 / 2）



资料来源：Wind, 中信证券研究部

长端估值对于机器人板块的影响十分显著。具身智能机器人是未来人类社会又一大重要的终端产品，其重要性或许不亚于家电、汽车和手机/PC 终端。考虑到具身智能机器人的使用场景、形态结构和产品价格，我们认为远期具身智能机器人年出货量应高于清洁机器人为代表的服务型家电，但低于以手机为代表的智能终端，与汽车出货量在同一量级。2023年全球扫地机器人出货1,800多万台（IDC 数据），汽车（包括乘用车和商用车）出货8,000多万辆（Jato Dynamics）数据，手机出货11亿多部（IDC 数据）。综上我们认为具身智能机器人远期年出货量在1亿台左右，全球存量保有量在10亿台左右。

图128：预计未来特斯拉机器人价值将超越其余业务价值的总和



资料来源：特斯拉官网

若上述假设成立，则以特斯拉为代表的头部厂商市占率有望达到10%，年机器人收入有望达到1万亿元人民币（假设币值稳定，售价为10万元人民币），机器人年贡献自由现金流有望达到1,000亿元人民币，若WACC（加权平均资本成本）为10%，永续增长率为0%，则企业永续估值大约为1万亿元人民币，折现后的估值也在数千亿元。同理，较小规模的具身智能机器人厂商也有望取得永续现金流或永续利润10倍左右的估值，我们预估届时细分领域的机器人厂商利润/现金流大概率在10亿元以上，则永续估值在100亿元以上，折现后的估值也在数十亿元；保守来看，供应链零部件企业的永续估值也应该至少为几十亿元。

长端估值能否体现取决于C端场景能否放量，在此之前机器人板块仍将以百万台出货量级作为估值锚定，但具体公司的估值与其产业链环节、利润率、竞争格局等均相关。

假设将整个具身智能机器人产业视为一个整体，可以通过类似DCF的方法来测算产业规模量级。选取2025-2035年作为时间段考察短端估值，具身智能机器人产量进行保守预测，假设2035年永续增长率为5%（略高于经济增速），假设自由现金流/营收从-1%提升至9%后不变（当前机器人公司普遍是负的自由现金流，未来稳态下有望达到10%以上净利率），WACC（加权平均资本成本）为10%，由此可以得出短期折现约为640亿元，长期永续估值为4,123亿元。

表46:对具身智能机器人产业进行短端估值的估值测算

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E	2032E	2033E	2034E	2035E
机器人产量(万台)	25	5.0	9.5	19.3	38.8	73.8	141.7	229.2	339.0	460.0	594.0
机器人价格(万元)	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0	14.0	13.0	12.0	11.0	10.0
营收规模(亿元)	50.6	95.0	171.0	328.1	620.8	1,107.0	1,983.8	2,979.6	4,068.0	5,060.0	5,940.0
自由现金流/营收	-1%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%
自由现金流(亿元)	-0.5	0.0	1.7	6.6	18.6	44.3	99.2	178.8	284.8	404.8	534.6
自由现金流折现(亿元)	-0.5	0.0	1.3	4.5	11.6	25.0	50.9	83.4	120.8	156.1	187.4
折现现值(亿元)											640.4

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E	2032E	2033E	2034E	2035E
长期折现现值(亿元)						4,1229					
产业总估值(亿元)						4,7639					

资料来源：中信证券研究部测算注：假设WACC为10%

由此可以得到以下几点结论：

- 1) 当机器人放量水平达到年化数百万台后，即使此后不再快速放量，其产业总体估值水平也有望达到数千亿元人民币，可以支持千亿元左右估值的龙头公司和诸多数百亿估值的核心公司；
- 2) 由于短端估值贡献有限，因此短期降本导致的价格下降对于机器人板块的估值影响并不敏感，长期稳态的价格和利润率更加重要，如全球关税战引发短期成本上升不会对机器人板块估值造成实质性影响，除非这种成本上升远期来看不可逆；
- 3) 如机器人产品取得快速进步，C端加速放量，则产业出货规模有望达到千万量级，产业估值将会大幅提升，届时有望诞生诸多千亿估值的公司。

投资思路：把握核心产业链环节，重视新进入者的增量估值拉动

前文已充分列示各产业链环节，关于下一阶段的投资思路，我们建议把握核心产业链环节，并且重视新进入者带来的增量机会。根据我们的分析和论述，具身智能是推动产业发展的核心原因，因此具身智能主机厂是投资机会的肇始者。由于诸多公司并未上市，上市公司层面应该核心关注其总成商、投资方。我们建议关注特斯拉、小米集团、越疆等上市主机厂以及三花智控、拓普集团、中坚科技、东方精工、均普智能等重要合作、总成及代工公司。

表47:值得关注的整机厂商、集成厂商及资本布局者

类别	公司	股票代码	国家	代表事件
整机厂商	优必选	09880. HK	中国	推出人形机器人Walker S
	小米集团	01810. HK	中国	推出人形机器人CyberOne
	傅利叶智能	非上市	中国	推出人形机器人GR-1
	小鹏鹏行	非上市	中国	推出人形机器人PX5
	越疆	02432. HK	中国	推出人形机器人Atom
	智元机器人	非上市	中国	推出人形机器人A1
	特斯拉	NASDAQ:TSLA	美国	推出人形机器人Optimus Gen1
	Figure AI	非上市	美国	推出人形机器人Figure 01
	1X Technologies	非上市	挪威	推出人形机器人NEO
	Agility Robotics	非上市	美国	推出人形机器人Digit V4
	Apptronik	非上市	美国	推出人形机器人Apollo
	Sanctuary AI	非上市	加拿大	推出人形机器人Phoenix Gen6
主要总成投资合作商	三花智控	002050. SZ	中国	投资建设机器人机电执行器和域控制器研发及生产基地
	拓普集团	601689. SH	中国	投资建设机器人核心部件生产基地
	中坚科技	002779. SZ	中国	投资并代工1XTechnologies
	恒工精密	301261. SZ	中国	对外设立人形机器人产业基金，投资智元机器人
	东方精工	002611. SZ	中国	与乐聚机器人深度合作
	均普智能	688306. SH	中国	与智元机器人成立合资子公司，深度推进代工合作

资料来源：各公司官网，各公司公告，中信证券研究部

此外，我们建议持续关注关键产业链环节及关键核心公司，关键产业链环节可以取得较高的价值量，关键核心公司可以维持较高的利润率水平和竞争壁垒，因此以上环节和公司可以持续消化阶段性高估值并持续受益于产业发展。综合来看，我们建议关注空心杯电机、高性能 MCU、谐波减速器、行星滚柱丝杠、各类传感器等关键产业链环节，建议关注汇川技术、峰昭科技、鸣志电器、兆威机电、绿的谐波、恒立液压、北特科技、五洲新春、奥比中光等关键核心公司。

表48:具身 智能产业链零部件及相 关设备厂商

归类	产品	关键核心上市公司	其他主要上市公司	相关性较高的海外或者非上市公司
电控	无框力矩电机	汇川技术	步科股份、伟创电气、禾川科技、雷赛智能、德昌股份、江苏雷利、昊志机电	科尔摩根
	空心杯电机*	峰昭科技、鸣志电器、兆威机电	伟创电气、拓邦股份、鼎智科技、禾川科技、雷赛智能	Maxon
	驱动及MCU*	峰昭科技、鸣志电器、兆威机电	步科股份、伟创电气、汇川技术、禾川科技、峰昭科技、固高科技、儒竞科技	埃莫、上海象驰
	编码器	汇川技术	峰帽科技、鸣志电器、禾川科技、奥普光电	锐鹰、艾而特
机械	谐波减速器*	绿的谐波	汉宇集团(同川科技)、大族激光、中大力德、丰立智能、国茂股份、斯菱股份、瑞迪智驱、科达利	哈默纳科、环动科技、来福谐波
	精密行星减速器	双环传动	中大力德、丰立智能、鼎智科技、兆威机电、国茂股份、豪能股份、蓝黛科技、夏厦精密	纽氏达特、科峰智能
	行星滚柱丝杠*	恒立液压、北特科技、五洲新春	双林股份、福达股份、浙江荣泰、嵘泰股份、鼎智科技、精锻科技、斯菱股份、秦川机床、夏厦精密、南京化纤(南京工艺)	新剑传动、舍弗勒、斯凯孚
	轴承	五洲新春、长盛轴承	龙溪股份、力星股份、南方精工、苏轴股份、长盛轴承、国机精工	人本股份、舍弗勒、斯凯孚
传感	视觉传感器*	奥比中光	凌云光、埃科光电	海康、梅卡曼德、英特尔、银牛
	力矩传感器*		柯力传感、东华测试、凌云股份、安培龙、索辰科技、昊志机电	宇立仪器、坤维科技、鑫精诚、蓝点触控、ATI、霍尼韦尔
	触觉传感器*		汉威科技(能斯达)、申昊科技、福莱新材、日盈电子、祥源新材	墨现科技、帕西尼、戴盟
	位移姿态		芯动联科、华依科技、保隆科技、理工导航	苏州明缙、美泰科技
其他	电池、线缆、腱绳或材料	恒工精密、翔楼新材、中欣氟材	宁德时代、鑫宏业、大业股份、南山智尚、肇民科技、中研股份、唯科科技、金力永磁	威格斯、蜂巢能源
	设备厂商	津上机床中国	秦川机床、浙海德曼、日发精机、华辰装备、田中精机、集智股份	三井精机、莱斯特瑞兹
	通信、主控及算力	地平线机器人	广和通、软通动力、移远通信、美格智能、天准科技、埃夫特	英伟达、高通、肇观

资料来源：各公司公告，各公司官网，中信证券研究部注：标*号为价值量及壁垒较高的关键环节

此外，需要重点关注新进入者的估值增量拉动，包括新进入的机器人主机厂和新进入的零部件公司，其相应都能带来一定的估值增量。例如华为于2024年11月签约16家合作伙伴共同布局具身智能业务，其中涉及中坚科技、禾川科技、拓斯达、埃夫特和兆威机电等5家上市公司，均在签约后取得较大涨幅。因此，若新的巨头或主机厂加大布局具身智能产业，其相关的上市公司有望根据主机厂的量级和其相关性获得较高的估值增益。

图129：华为云合作的5家上市公司股价相较于2024年9月1日的涨跌幅



资料来源：Wind，中信证券研究部

中信证券声音：编制机器人指数，全面动态体现机器人板块行情

2025年，在以特斯拉 Optimus 为代表的龙头整机厂带领下，具身智能产业将迎来量产元年。根据我们前文测算，中性假设下，2025年全球具身智能机器人出货量将望超过2万台，具身智能机器人将率先成为“打工人”，在制造工厂等有监督、高规范、可预测的环境中进行更大规模的实训，以及实训过程中的数据采集。对于行业而言，万台级别的量产意味着：1) 机器人量产原型机基本定型；2) 首批供应商合作订单落地。由此，市场得以更清晰地洞察头部研发团队的设计巧思——元器件选型，以及高出货量预期整机厂的合作网络——供应商选择。

为跟踪机器人领域相关上市公司的整体表现，为市场提供该领域的研究工具，中信证券研究部编制了中信证券具身智能机器人指数（简称：**CIS 机器人**，价格指数代码：CIS05038，全收益指数代码：CIS05038R），并于2025年5月6日正式发布。

编制方式上，指数从中信行业指数样本空间中挑选涉及电机、丝杠、集成商、减速器、传感器、整机厂/代工/模组等涉及机器人相关业务领域的上市公司股票作为成份股，指数基本要素如下表所示：

表49:CIS机器人指数编制方案基本要素

指数名称	中信证券具身智能机器人指数	指数简称	CIS机器人
指数代码	CIS05038/CIS05038R	发布日期	2025/5/6
基日	2024/9/23	基点	1,000
最新成分股数	50	币种	人民币
加权方式	等权	指数类型	价格指数和全收益指数(代码后缀R)
指数计算	指数计算方法与中信行业指数相同，采用链式法计算。		
定期调整	每月调整一次。		
临时调整	(1) 满足快速纳入规则的机器人领域的上市公司；		
	(2) 成分股涉及收购合并、分立，发生重大业务变更；		
	(2) 成分股停牌、暂停上市或退市、破产；		
	(3) 其他影响指数代表性和可投资性的情况。		
样本空间	指数的样本空间由满足以下条件的沪深两市A股构成：		
	(1) 上市时间大于60个交易日；		
	(2) 非暂停上市股票；		
	(3) 快速纳入规则：总市值排名全市场前100名或一级行业前3名，上市满20个交易日纳入。		
选样规则	对样本空间中的个股按照最新一期年报，筛选业务领域涉及机器人(包括并不限于：电机、丝杠、集成商、减速器、传感器、整机厂代工/模组等)的上市公司，并根据产业属性、细分行业领域市占率与机器人占比作为主要筛选指标。		

资料来源：中信证券研究部

与传统指数大都使用量化指标作为成分股筛选的标准不同，CIS 机器人指数对成分股的筛选主要基于产业属性、细分行业领域市占率与机器人占比作为主要筛选指标，目前成分股50只，完整涵盖机器人供应商定位，能够充分反映机器人板块的整体表现。

表50:中信证券具 身智能机器人指数成分股

企业名称	股票代码	最新市值(亿元)	供应商定位	主覆盖组	联系人
三花智控	002050. SZ	954	集成商	汽车及零部件	陈彦龙
拓普集团	601689. SH	880	集成商	汽车及零部件	孙晨晔
优必选	9880. HK	369	整机厂/代工/模组		
越疆	2432. HK	292	整机厂/代工/模组		
银轮股份	002126. SZ	203	整机厂/代工/模组	汽车及零部件	陈彦龙
埃斯顿	002747. SZ	160	整机厂/代工/模组	机械	陆竑、安家正
东方精工	002611. SZ	150	整机厂/代工/模组		
中坚科技	002779. SZ	132	整机厂/代工/模组		
埃夫特	688165. SH	121	整机厂/代工/模组		
禾川科技	688320. SH	62	整机厂/代工/模组		
景业智能	688290. SH	46	整机厂/代工/模组	机械	陆竑
晶品特装	688084. SH	45	整机厂/代工/模组		
汇川技术	300124. SZ	1,736	电机	电力设备与新能源	华夏
卧龙电驱	600580. SH	309	电机	电池与能源管理	柯迈
兆威机电	003021. SZ	297	电机	机械	陆竑、安家正
鸣志电器	603728. SH	261	电机	汽车及零部件	陈彦龙
峰昭科技	688279. SH	219	电机	制造产业研究	安家正、夏胤磊
捷昌驱动	603583. SH	153	电机	机械	陆竑
肇民科技	301000. SZ	130	电机	汽车及零部件	孙晨晔
伟创电气	688698. SH	102	电机	电力设备与新能源	李子硕
步科股份	688160. SH	83	电机		
德昌股份	605555. SH	74	电机	机械	陆竑
恒立液压	601100. SH	954	丝杠	机械	刘海博、李越
双林股份	300100. SZ	307	丝杠		
震裕科技	300953. SZ	183	丝杠	电池与能源管理	柯迈

请务必阅读正文之后的免责条款和声明

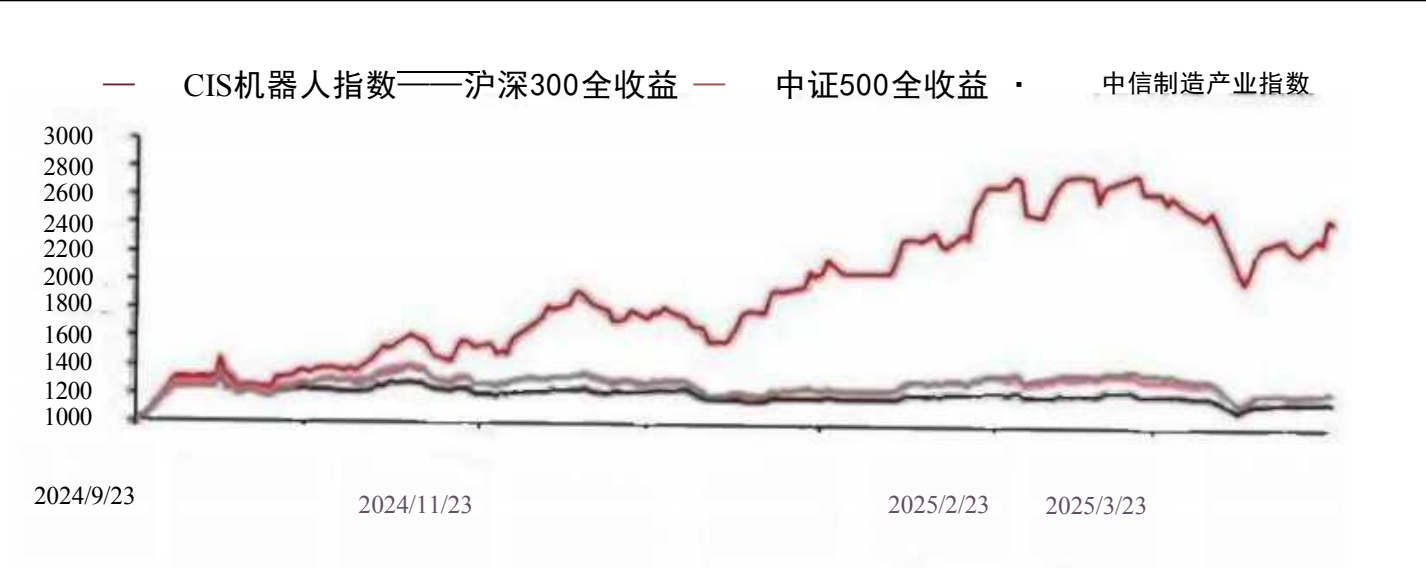
企业名称	股票代码	最新市值(亿元)	供应商定位	主覆盖组	联系人
浙江荣泰	603119. SH	163	丝杠	电池与能源管理	柯迈
北特科技	603009. SH	152	丝杠	汽车及零部件	陈彦龙
五洲新春	603667. SH	127	丝杠	汽车及零部件	陈彦龙
秦川机床	000837. SZ	118	丝杠		
嵘泰股份	605133. SH	74	丝杠	汽车及零部件	孙晨晔
金沃股份	300984. SZ	61	丝杠		
科达利	002850. SZ	353	减速器	电池与能源管理	於学鑫
双环传动	002472. SZ	270	减速器	汽车及零部件	孙晨晔
绿的谐波	688017. SH	258	减速器	机械	陆竑、安家正
富临精工	300432. SZ	220	减速器	电池与能源管理	於学鑫
中大力德	002896. SZ	130	减速器		
豪能股份	603809SH	107	减速器	汽车及零部件	孙晨晔
国茂股份	603915. SH	98	减速器	制造产业研究	安家正
蓝黛科技	002765. SZ	92	减速器	主题策略	王涛
翔楼新材	301160. SZ	85	减速器	汽车及零部件	陈彦龙
丰立智能	301368. SZ	83	减速器		
恒工精密	301261. SZ	71	减速器	机械	安家正、姜舜尧
芯动联科	688582. SH	271	传感器	国防与航空航天	张清源
奥比中光	688322. SH	241	传感器	机械	周荣炎
汉威科技	300007. SZ	124	传感器	制造产业研究	安家正
凌云光	688400. SH	116	传感器	机械	周荣炎
福莱新材	605488. SH	89	传感器		
柯力传感	603661. SH	36	传感器	制造产业研究	安家正
金力永磁	300748. SZ	260	稀土永磁材料	金属	
旭升集团	603305. SH	118	结构件	汽车及零部件	孙晨晔

资料来源：Wind, 中信证券研究部

从 CIS 机器人指数在中信一级行业上的分布来看，指数行业属性鲜明，主要重仓于机械、汽车、电力设备及新能源、电子等行业，CIS 机器人指数前三大行业为机械、汽车和电新，权重分别为50%、22%和10%。相对于中信制造产业指数，CIS 机器人指数额外涵盖了电子、基础化工和有色金属3个一级行业。

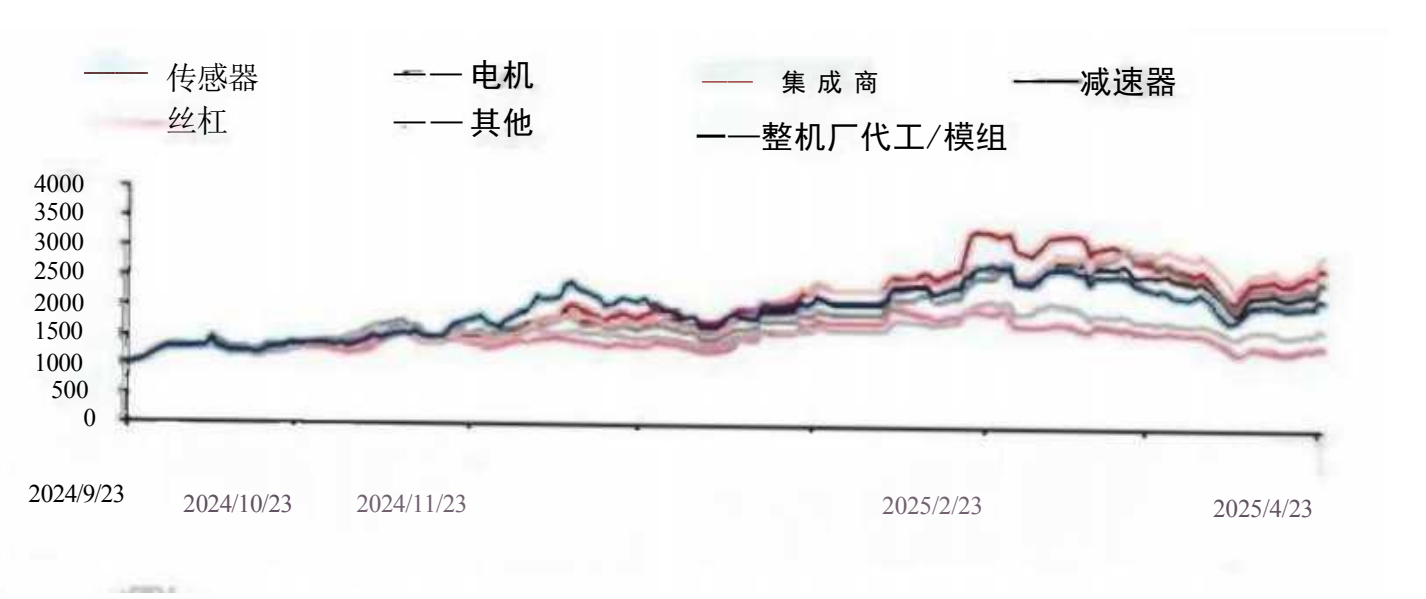
指数基日以来表现亮眼，多时间维度表现均优于中信制造产业指数。基日(2024年9月23日)至2025年4月24日，CIS 机器人指数累计收益率146.54%，大幅领先沪深300(18.64%)。由于CIS 机器人为行业主题指数，从行业属性来看，与主要宽基指数的可比性较低。因此，我们选取了行业属性较为接近的中信制造产业指数作为比较基准。从指数历史表现来看，CIS 机器人指数在基日以来、今年以来和2025年4月多个时间维度上的表现均优于中信制造产业指数。

图 1 3 0 : C I S 机 器 人 指 数 历 史 走 势



资 料 来 源 : Wind, 中信证券研究部, 数据日期为2024/9/23-2025/4/24

图 1 3 1 : C I S 机 器 人 指 数 子 板 块 历 史 走 势



资 料 来 源 : Wind, 中信证券研究部, 数据日期为2024/9/23-2025/4/24

表51:CIS机器人指数风险	收益表现						
	累计收益	年化收益	年化波动	年化夏普比率	最大回撤	年初至今	2025M4
CIS机器人指数	146.54%	364.80%	57.82%	6.31	-27.19%	45.17%	-1.09%
沪深300全收益	18.64%	33.78%	26.77%	1.26	-15.17%	-3.50%	-2.54%
中证500全收益	25.08%	46.38%	32.33%	1.43	-16.37%	-2.02%	-4.29%
中信制造产业指数	25.84%	47.89%	34.97%	1.37	-16.79%	-1.27%	-5.81%

资料来源: Wind, 中信证券研究部, 数据日期为2024/9/23-2025/4/24