

人形机器人行业深度：驱动因素、现状及趋势、产业链及相关公司深度梳理

在全球科技革命与产业变革浪潮中，人形机器人正从科幻走向现实，成为继智能手机、新能源汽车后重塑全球产业格局与推动生产力跃迁的关键赛道。它融合人工智能、机械工程等多领域尖端技术，既肩负替代人类完成高危、重复、高强度劳动的使命，也是破解全球人口老龄化下劳动力短缺、推动制造业“柔性智能”升级、重构家庭与公共服务场景的重要突破口。当前，该行业进入“0到1”向“1到100”规模化迈进的关键期：政策端中国有顶层设计与地方协同推进；技术端大模型赋予其“通用智能”，关键技术迭代且国产专利、整机企业数量居全球前列；需求端多场景对高效劳动力需求迫切；资本端2024年国内机器人行业投融资超200亿元，部分城市形成产业集群。不过，行业仍需突破核心零部件国产替代未完成、量产成本高、复杂场景泛化能力不足等挑战。

本报告将从行业概述入手，梳理人形机器人技术构成与核心特征，分析政策、技术、需求、资本四大驱动因素，拆解产业链上下游及中游本体制造的竞争格局，重点剖析重点企业的技术路径与量产规划，结合市场规模预测与发展趋势，提供行业现状与未来的全景视角，助力把握万亿级赛道机遇。

目录

一、行业概述	1
二、驱动因素	3
三、行业现状及趋势	7
四、产业链分析	10
五、供应链情况	41
六、相关公司	48
七、市场规模分析	58
八、参考研报	60

一、行业概述

1、人形机器人概念

定义：人形机器人，又称仿人机器人或类人机器人，是指具有仿人的形态和功能的机器人，具备一定的感知、学习和认知能力。

特征：1) 高度仿人的外形结构：拥有与人类相似的躯干、四肢和头部。腰部灵活，可轻松实现转身、弯腰等动作。手臂的肩部、肘部和腕部关节活动范围大，能完成复杂的伸展、抓取和操作任务；腿部的



人工智能产业链联盟

星主： AI产业链盟主

 知识星球

微信扫描预览星球详情



膝关节和踝关节使机器人能够稳健行走，步伐节奏与人类相近。手部通常具有多个灵活的手指，可实现精细的抓握动作。**2) 强大的环境感知能力：**配备多种先进的传感器，包括视觉、听觉、触觉等，能够全面感知周围环境信息。**3) 智能决策与学习能力：**借助计算机科学和人工智能技术，它们能够对感知到的大量环境信息进行快速分析和处理。当面对复杂的任务时，人形机器人会根据预设的算法和模型，结合实时的环境信息，制定出最优的行动方案。它们还能通过机器学习算法，从过往的经验中吸取教训，不断优化自己的行为。

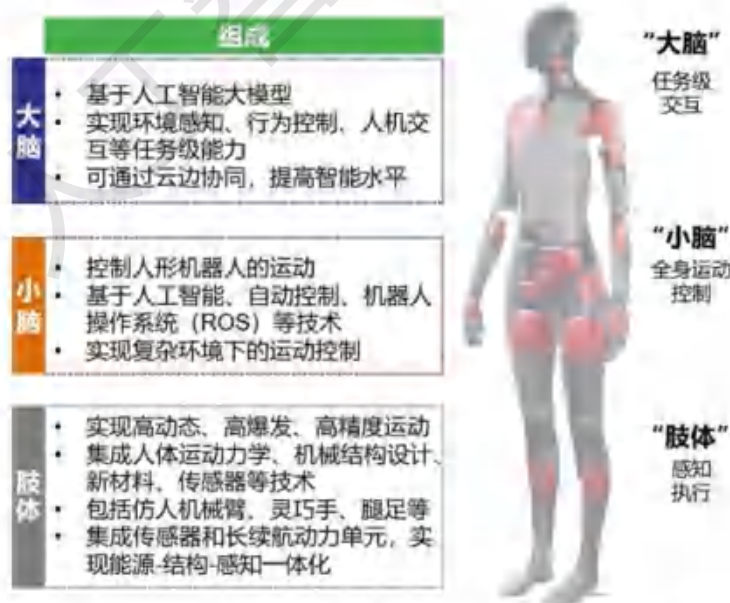
应用场景：当前人形机器人主要应用于医疗护理、家庭服务、教育娱乐、工业生产和公共服务等领域中，替代人类完成危险或重复性高的工作，进一步释放劳动力，提高社会生产力。



2、人形机器人主要构成部分

人形机器人主要构成部分包含由“大脑”、“小脑”和“本体”。其中，“大脑”负责实现环境感知、行为控制、人机交互等任务级能力，目前主要是基于人工智能大模型技术，同时也可通过云边协同，提高机器人的智能水平。“小脑”负责控制人形机器人的运动，目前主要基于人工智能、自动控制、机器人操作系统等技术，实现复杂环境下的运动控制。“本体”负责实现高动态、高爆发、高精度运动，集成了人体运动力学、机械结构设计、新材料、传感器等诸多技术，包括仿人机械臂、灵巧手、腿足等关键结构，并通过集成传感器和长续航动力单元，实现能源-结构感知一体化。

图9：人形机器人主要构成部分



资料来源：中国信通院《人形机器人产业发展研究报告（2024年）》，民生证券研究院

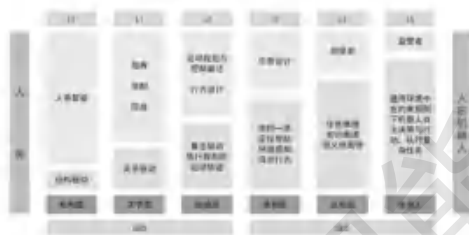
大模型驱动人形机器人智能化跃迁，AGI 为终极目标。大模型已成为人形机器人“大脑”的核心技术底座，推动其从预设路径的机械执行向通用智能跃升。传统机器人依赖决策树或状态机模型，适应能力受限，而大模型通过四大能力突破实现智能化升级：1) 任务交互：基于语言/视觉的多模态入口，支持自然指令理解与响应；2) 环境感知：融合多模态信息，提升复杂场景泛化能力；3) 任务规划：依托大模型推理与知识迁移能力，自主拆解复杂任务；4) 决策控制：整合环境与运动信息，优化动作策略。技术路径上，非具身大模型聚焦任务分解与规划，而具身大模型直接输出高频运动指令，终极形态指向 AGI（通用人工智能）——通过单模型闭环实现主动理解与无限适应。

3、人形机器人产业面临的挑战

(1) 技术挑战：1) 数据采集与标注复杂且成本高昂：特别是人类动作数据的收集，需要高精度的传感器和专业的标注团队来确保数据准确性。2) 多模态信息融合鲁棒性与实时性不足：将视觉、听觉、触觉等多种信息有效融合以形成统一的环境认知，在鲁棒性和实时性方面仍有不足，尤其在复杂多变环境中，机器人难以准确理解和应对变化。3) 自主学习与适应性不足：现有机器人虽能进行一定程度的自主学习，但在处理未知或复杂任务时，适应性和泛化能力不足。需要更有效的学习算法以从少量样本中快速学习并适应新环境。4) 学习过程中的安全问题：需要确保机器人在学习过程中不会产生偏差或做出有害行为。5) 能源效率与续航能力：尽管电动驱动系统有所改进，但如何进一步降低能耗、延长工作时间仍是亟待解决的问题。

(2) 市场挑战：成本高昂、应用场景不明确、相关的法规政策有待完善、社会接受度有待提高。

图表：人形机器人发展阶段



资料来源：智研咨询《人形机器人技术与产业发展研究》、埃夫特公司公告、机器人产业联盟公告、西海证券研究所

图表：人形机器人相关专利分布情况

企业名称	本体	核心	关节	驱动	控制	其他
本田技研工业株式会社	1075	29	444	819	47	
索尼公司	373	33	593	266	18	
深圳市优必选科技股份有限公司	481	95	432	266	33	
丰田汽车公司	412	23	384	264	37	
精工爱普生株式会社	259	203	455	121	1	
三星集团	202	16	351	231	8	
软通动力集团	168	13	148	89	43	
清宇动力公司	115	17	124	115	19	

注：专利统计时间为截至2024年8月31日。

请务必仔细阅读本报告尾页的投资评级说明和声明

二、驱动因素

供需两端共振，国内人形机器人产业落地条件已成熟。

1、政策端：国内政策提供指引，自上而下统筹机器人产业发展

2023年11月工信部印发指导性文件《人形机器人创新发展指导意见》推动人形机器人技术创新和产业发展，明确了2025/2027年国内人形机器人产业发展目标，明确了关键突破技术与重点培育产品，通过顶层设计推动人形机器人核心技术突破与产业链升级。

图17: 工信部明确 2025/2027 年国内人形机器人产业发展目标

2025年	人形机器人创新体系初步建立，“大脑、小脑、肢体”等一批关键技术取得突破，确保核心部件安全有效供给。
	整机产品达到国际先进水平，并实现批量生产，在特种、制造、民生服务等场景得到示范应用，探索形成有效的治理机制和手段。
	培育2-3家具有全球影响力的生态型企业和一批专精特新中小企业，打造2-3个产业发展集聚区，孕育开拓一批新业务、新模式、新业态。
2027年	人形机器人技术创新能力显著提升，形成安全可靠的产业链供应链体系，构建具有国际竞争力的产业生态，综合实力达到世界先进水平。
	产业加速实现规模化发展，应用场景更加丰富，相关产品深度融入实体经济，成为重要的经济增长新引擎。

资料来源：工信部官网，券商证券研究发展部

表4: 《人形机器人创新发展指导意见》提出五大重点目标

	内容
关键技术	机器人“大脑”关键技术群
	机器人“小脑”关键技术群
	机器人肢体关键技术群
	机器人本体关键技术群
培育重点产品	打造整机产品
	夯实基础部件
	推动软件创新
拓展场景应用	服务特种领域需求
	打造制造业典型场景
	加快民生及重点行业推广
营造产业生态	培育优质企业
	完善创新载体和开源环境
	推动产业集聚发展
强化支撑能力	健全产业标准体系
	提升检验检测和中试验证能力
	加强安全治理能力

资料来源：工信部官网，券商证券研究发展部

各地加速响应并密集推出配套支持政策，形成“中央引领+地方协同”的产业推进格局。北京、上海、广东等省市落地建设人形机器人创新中心，支持人形机器人产业发展；苏州、重庆等城市鼓励支持产业基金建设，加快构建人形机器人产业集群发展。

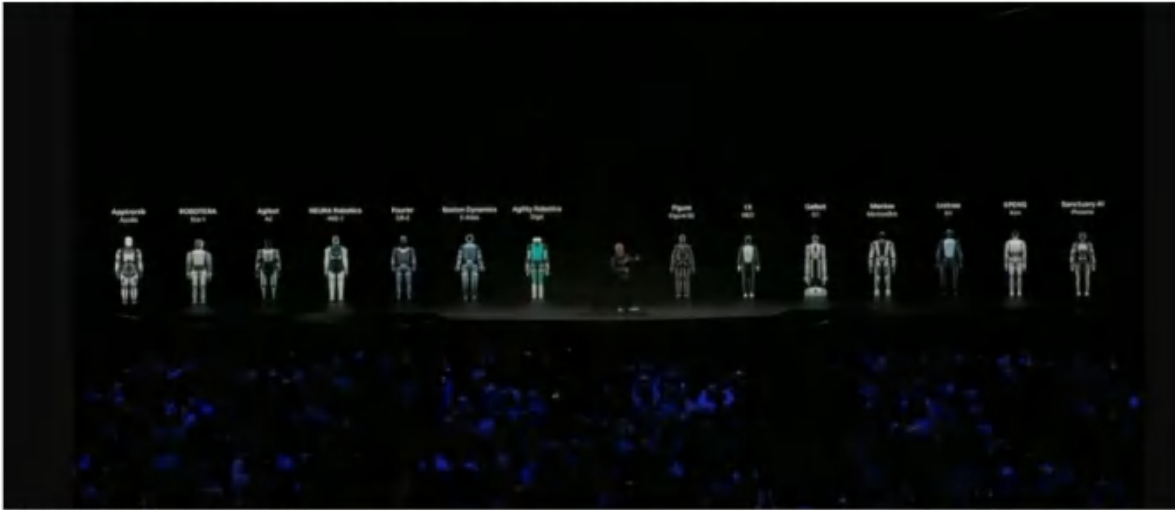
2、技术端：中国内地累计人形机器人技术专利全球第一

从企业数量看，中国内地人形机器人整机初创企业领先全球。根据国家地方共建人形机器人创新中心透露，截至 2024 年，全球通用人形机器人整机商业公司约 150 家，其中中国内地超过 80 家，占比超过 50%，中国内地人形机器人整机商业公司中有半数来自高校的学生和教师创业。

从专利数看，根据人民网研究院数据，截至 2023 年，中国已累计申请 6618 件人形机器人技术专利，成为申请人形机器人技术专利数量最多的国家。在人形机器人领域，以有效发明专利计算，中国共拥有有效发明专利 1699 件，仅次于日本的 1743 件，排名全球第二。从申请人所持有的有效技术专利数量来看，优必选科技已经在人形机器人的有效专利储备量方面排名全球第一，高于本田、索尼、丰田等企业。

在 2025 年的国际消费电子展（CES），芯片巨头英伟达发布了多个新产品，其中包括首个生成式世界基础模型 Cosmos。英伟达表示已经有许多领先的机器人和汽车公司成为 Cosmos 的首批用户。

图14: 英伟达合作的 14 家人形机器人企业，其中六家来自中国内地

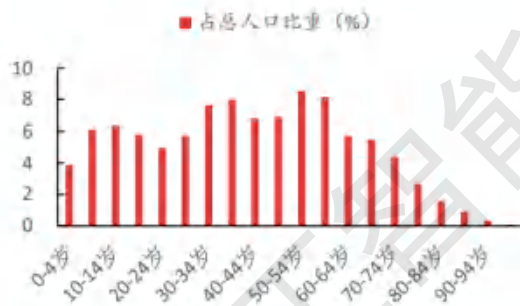


资料来源: 2025国际消费电子展·交银国际

3、需求端：人形机器人替代劳动力与多场景应用蓬勃兴起

根据国家统计局数据，2024 年中国 65 岁及以上人口达到 2.2 亿人，占总人口比重的 15.6%，该比重连续 29 年上升。当前我国 15-64 岁人口占比为 68.22%，仍然占比较大，但是该比例已连续多年下滑。劳动力供给减少将直接推高用工成本，倒逼国内产业向自动化、智能化转型，人形机器人产业蓬勃兴起顺应时代发展需求。

图22: 我国 15-64 岁人口占总人口比重大



资料来源: Wind, 麦高证券研究发展部

图23: 我国 15-64 岁人口占比正逐渐减少



资料来源: Wind, 麦高证券研究发展部

人形机器人落地应用场景持续扩散。在工业制造领域，人形机器人能够深度融入自动化生产线，承担复杂装配、物料搬运等精准作业，持续深化应用；在商业服务范畴，凭借其灵活交互特性，加速落地商超导购、酒店服务、餐饮配送等场景；在家庭生活维度，逐步探索陪伴老人、照护儿童、家居清洁等多样化服务功能。政策助力、资金注入和技术迭代全方位推动人形机器人大规模商业化应用与持续创新发展注入澎湃动力，加速人形机器人融入千行百业的进程。

图：人形机器人应用场景持续扩散



资料来源：机器人大讲堂，亿欧，公开资料整理，东海证券研究所整理

人形机器人替代人工成本优势明显。人形机器人在工厂中，可以高强度、长时间、不间断稳定的劳动。在家庭中机器人能够提供全天候服务，且无需考虑人工疲劳或情绪问题，适合需要稳定服务的家庭环境。人形机器人在工厂仓储和家庭服务两种场景中的使用成本均显著低于人工费用，且能够提供更高的效率和稳定性，展现了极高的性价比，是替代人工的理想选择。

表：人形机器人使用成本测算

	工厂仓储场景	家庭服务场景
人形机器人价格（万元）	20万元	40万元
维护费用（万元/年）	2万元/年	1万元/年
使用年限（年）	3年	5年
每天工作时长（小时/天）	24小时/天	12小时/天
人形机器人使用成本（元/小时）	10元/小时	20.5元/小时
人工费用（元/小时）	30元/小时	45元/小时

资料来源：公开资料整理，东海证券研究所整理

4、资本端：人形机器人项目持续受到青睐

从中国内地人形机器人产业链企业的分布看，据高工机器人产业研究《人形机器人产业地图（2024）》显示，深圳、北京、上海、杭州、苏州分别拥有 22.4%、14.5%、11.8%、5.8%和 5.5%的产业链企业。同时从一级融资情况来看，据中国机器人网不完全统计，2024 年，中国内地机器人行业共发生 200 起左右投融资事件，金额总计超 200 亿元。其中，近亿元与过亿元级事件约 55 起，金额超 175 亿元，融资总额超 70 亿元反映人形机器人项目持续受到资本青睐。

图表15: 2024年中国机器人领域过亿/近亿元融资金事件表

公司	所在领域	金额	部分投资方
1月			
王地也元	人形机器人	超亿元	新链创投、金鼎资本、德恒天诚、世纪金源
北京智融	服务机器人	亿元	AEP天津创投基金、光盾资本、海泰资本
南京机器人	工业机器人	超2亿元	弘泰新能
宇十机器人	工业机器人	亿元	基金创投产投策略
汇海智能	服务机器人	超亿元	恒信资本、元联、鼎七、高信创投
瑞茂达	工业机器人	亿元	德恒创投、山东新动能基金、涌泰基金
开山科技	工业机器人	亿元	元野资本
汉鼎科技	服务机器人	亿元	普道投资、二道资本、中研科创
2月			
宇树科技	人形机器人	5.5亿元	高盟、金石利华、源峰资本
平嘉智能	无人车	2.5亿元	中科创学城公司、中研科创
3月			
沃帆智能	服务机器人	2.1亿元	米雷、BV资本创投、Utrust、国惠基金、睿德基金
本客科技	人形机器人	亿元	国惠基金、睿德创投、德恒创投
新加坡元元	服务机器人	2亿元	中金三融、渤海证券、中金资管、德恒创投
4月			
普新科技	工业机器人	1.2亿元	九合创投
沐星机器人	工业机器人	2亿元	国家科技成果转化基金、加航中科创地产创投基金
博源元盛和科技	人形机器人	亿元	元元创投、泰山创投、益海资本
汇海智能	工业机器人	亿元	安融创投基金-创投基金
5月			
普嘉机器人	人形机器人	1亿元	BV资本创投、创投工场、源峰资本
6月			
浙江人形机器人创新中心	人形机器人	1.1亿元	宁波金鼎创投基金、宁波基金创投集团
华祥科技	服务机器人	亿元	中山资本、未来创投、普泰资本、知行一册
汇海智能	无人车	亿元	广东普智创投基金、普智创投创投创投基金
汇海智能	无人车	亿元	涌泰资本、中研基金、中研创投、新链创投
瑞茂达	工业机器人	7亿元	美国战略创投、元元创投、德恒创投基金
7月			
普嘉机器人	人形机器人	超1亿元	上海元事投资
博源元盛和科技	服务机器人	2.2亿元	宏泰创投
瑞茂达	工业机器人	2.1亿元	招商局创投-四里创投
汇海智能	服务机器人	超4亿元	招银创投基金、KVC
普嘉智能	人形机器人	数千至亿元	德恒创投
8月			
迈普机器人	人形机器人	近1亿元	华瑞基金、源峰创投
蔚建科技	工业机器人	超1.2亿元	厦门建发集团创投基金、德泰资本
汇海智能	工业机器人	超1亿元	金林源基金创投、源峰资本
英捷医疗	服务机器人	超1亿元	于海资本、九派创投
普飞航空	无人车	亿元	德恒创投
开山科技	人形机器人	2亿元	瑞茂资本、弘泰基金、弘泰创投、中研创投
9月			
宜瑞安	人形机器人	亿元	高盟创投、上海新源创投创投创投有限公司
田村机器人	机器人	超1亿元	慧智创投、中研资本
宇树科技	人形机器人	数亿元	融鼎北源创投、益田毛泽东
星瑞创新	服务机器人	超9亿元	德恒创投、源峰基金
有知智能	人形机器人	数亿元	广通创投、Prosperity Ventures
加速进化	人形机器人	亿元	恒信创投、开山创投创投、高信创投创投
10月			
星瑞创新	人形机器人	3亿元	德恒创投、德恒创投、德恒创投
普嘉机器人	人形机器人	1亿元	永隆源
海星集团	机器人	亿元	德泰基金
11月			
迈普机器人	人形机器人	2亿元	德恒创投、汇海资本、田中资本、恒信创投
新链创投	人形机器人	5亿元	上海元事、普嘉机器人创投HOC
博源元盛和科技	人形机器人	1.5亿元	德恒创投基金、普嘉机器人创投基金
三微科技	机器人	超1亿元	德恒创投、三九创投、源峰基金
开山科技	人形机器人	亿元	德泰基金、汇海资本创投创投基金
普嘉机器人	人形机器人	超2亿元	德恒创投、源峰基金、源峰创投、源峰创投
航天飞越	无人车	亿元	苏州创投、德恒创投、德恒创投、汇海资本
普嘉机器人	人形机器人	亿元	德恒创投、源峰资本、源峰资本
12月			
普嘉智能	人形机器人	亿元	汇海资本、Prosperity Ventures、汇海资本
开山科技	服务机器人	亿元	汇海资本创投基金
普嘉机器人	人形机器人	1.5亿元	德恒创投、源峰基金
瑞茂达	工业机器人	超1亿元	德恒创投、源峰资本、汇海资本

三、行业现状及趋势

1、人形机器人处于0到1跨越期

自特斯拉展示 Optimus 样机以来，大模型迭代+国内外共振+政策支持带来机器人行情的持续，机器人产业化进展持续推进，当前人形机器人板块呈现几大趋势强化：1) 巨头入局：特斯拉 (Optimus)、英伟达 (GROO-T)、华为 (具身智能中心)、字节 (豆包机器人) 等科技龙头加速布局，2025 年或形成技术共振；2) 新秀涌入：初创企业 (Figure、iX) 与车企 (小米、小鹏、赛力斯等) 双向发力，产品迭代提速；3) 国产崛起：宇树 (H1 双足机器人)、智元 (远征 A2) 等技术突破带动国产认知度提升，2025 年或迎量产关键节点。下面对板块行情复盘：

阶段一 (22.1-22.12) 概念认知期：继特斯拉提出人形机器人设计概念后带动板块，市场开始寻找机器人相关布局，处于概念萌发阶段。

阶段二 (23.1-23.12) 板块形成期：机器人受益于 AI 大模型能力的提升，同时特斯拉持续迭代新版本 (新视频)，机器人概念逐步确立并加强。

阶段三 (24.1-24.9) 震荡期：特斯拉量产节奏缓慢影响行情景气度，2024 年 1 月特斯拉给出 2025 年实现量产的指引，低于市场预期，整体行情承压。

阶段四 (24.10-25.3) 产业加速期：特斯拉量产节奏明确，AI 模型能力持续赋能，政府逐步加大支持，海内外机器人公司共振，机器人产业加速进展。当前特斯拉、宇树、智元机器人等厂商逐步小批量生产，量产节奏逐步加速。

阶段五（25.4-至今）优化调整期：技术迭代调整中，持续探索人形机器人落地场景。5月关税、6月特斯拉内部人员变动影响板块情绪。据马斯克，Optimus GEN-3 在年内有望迭代，叠加智元宇树拿下大订单催化板块情绪修复。

图11：人形机器人行情复盘



资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

参考同为颠覆性产品的智能手机、新能源汽车的发展历程，作为移动互联网重要载体，智能手机经历2011年23%渗透率的萌芽期，到2014年渗透率攀升至86%的成长期，目前进入渗透率超90%的成熟期；而新能源汽车2020年前渗透率低于5%，2024年预计渗透率35%，逐步从成长期迈入成熟期、格局收敛期；对于人形机器人板块，能够认为正处于“0→1（认知形成+产品迭代）阶段”向“1→100阶段（批量化+降本+性能迭代）”迈进，产业有望迎来爆发。

2、特斯拉 Optimus、Figure 02、优必选 Walker S 以及宇树 G1 综合技术进度领先

美国两大机器人企业中：特斯拉拥有强大的软硬件自研能力以及技术基础，同时具备成熟的供应链管理体系，且拥有自有工厂便于实测，在四大维度均有明显优势。Figure 02 在 Helix 大模型的加持下软件技术领先，且已与宝马合作进入汽车工厂测试，但在规模化生产以及成本管控方面作为初创公司仍有所欠缺。

中国机器人企业中：优必选具备机器人核心零部件的自研自产能力，且在接入百度文心大模型后智能化能力有所补足，但成本仍有较大优化空间。而宇树 G1 在运动能力方面展现出全球领先的技术水平，且具备 AI 大模型自研能力，软硬件均具备优势。同时，宇树已实现四足机器人的量产与销售，具备一定供应链经验积累，优于 FigureAI 等初创公司。但目前宇树 G1 公布的具体商业化落地场景仅有机器人足球赛事。

图 15: 全球主要人形机器人信息

公司	机器人	成本/售价	续航	双臂重量	灵巧手	自由度	使用场景	目前应用
特斯拉	Optimus	预计 2 万美元以下	n.a.	20kg	有	22(手部)	工业生产	特斯拉自有工厂
Figure AI	Figure 01	未公布	5 小时	20kg	有	41	工业生产	宝马汽车工厂
	Figure 02	未公布	5 小时	20kg	有	16(手部)	工业生产	宝马汽车工厂
优必选	Walker S	50 万元人民币	2.5 小时	15kg	有	41	工业生产	比亚迪工厂等车厂
	Walker X	平均 599 万人民币	2 小时	6kg	有	41	展示娱乐	春晚表演
宇树科技	慧灵 Robot		2 小时	3kg	有	41	展示娱乐	迪拜世博会中国馆
	G1	9.9 万元人民币起	2 小时	3kg	有	23-43	家庭服务	RoboCup
智元机器人	远征 A1	预计 20 万元人民币以下	n.a	10kg	有	49+	工业生产	宁德时代集团备件
	远征 A2	未公布	2h	30kg	有	40+	工业生产	暂无
Apptanik	Apollo	预计不到 5 万美元	4 小时	25kg	有		工业生产	奔驰汽车工厂
Agility Robotics	Digit	25 万美元	2 小时	16kg	无		仓储物流	亚马逊 KXO 仓库
波士顿动力	二代 Atlas	未公布	n.a	>10kg	三指手		工业生产	现代汽车工厂
1X Technologies	NEO	2 万-3 万美元	2-4 小时	20kg	有		家庭服务	暂无
	EVE	15 万美元	6 小时	15kg	无		工厂物流及搬运	航展小型工厂
小米	CyberOne	60-70 万人民币	n.a	3kg	无	21	家庭和工业生产	暂无

资料来源: 各公司资料, 招商证券(香港)

图 16: 四大领先机器人企业四维度对比

	特斯拉 Optimus	Figure AI	优必选 Walker S	宇树 G1
硬件	优势 特斯拉拥有多年制造业经验, 自研独特执行器及手部结构使 Optimus 具备供充运动与身体控制能力	劣势 Figure AI 作为初创公司, 对硬件的设计、生产与制造经验较少, 但技术推进速度却极为惊人, 对比初代, Figure 02 在自由度、运动控制精度等多方面关键技术均有突破	优势 优必选深耕硬件多年, 是全球少数具备核心零部件伺服驱动等多系列自研与自产能力的企业	优势 宇树 G1 在速度、力量、机动性和灵活性等方面具备明显领先的水平, 曾突破人形机器人行走速度全球记录
软件	优势 公司具备多年 AI 大模型训练及训练经验, FSD 感知及决策模型可复用至人形机器人	优势 2025 年推出完全自研的 Helix 大模型, 实现端到端架构突破——支持多机器人协作, 环境自适应决策, 一个神经网络等, 已向商业部署做好准备	劣势 优必选在人形机器人领域模型方向经验有限, 但在接入百度文心大模型后智能化能力有望大幅提升	优势 宇树 G1 搭载 UnifoLM AI 大模型, 具备条件自研能力, 可给予深度学习与仿真训练提升智能化能力
使用场景	优势 公司具备自有汽车工厂及庞大工程团队, 可高效进行实测与数据收集	优势 Figure 01/02 已与宝马合作, 在汽车工厂进行小范围测试	优势 优必选已进入蔚来汽车工厂验证, 并正与多家中国车企探索合作机会	劣势 展示娱乐场景商业化为主, 工业/服务场景未公布商业落地计划
生产能力	优势 公司具备成熟的供应链管理能力和, 且可复用零件设计以及与其他业务联合采购有利于降低生产成本	劣势 尚未建立成熟的供应链和管理体系, 但新发布的 BotQ 自动化工厂, 引入机器人参与制造, 年产能达 1.2 万台; 计划 4 年内扩增至 10 万台; 此举为解决规模化生产痛点提供方案	劣势 优必选人形机器人目前平均售价在 60 万元人民币左右, 尚无法实现规模化使用, 后续降本空间较大	优势 公司已实现四足机器人的量产与销售, 在供应链与生产方面具备一定积累, 但距离大规模量产人形机器人仍有差距

资料来源: 各公司资料, 招商证券(香港)

3、众多代表性厂商均提出量产规划, 2025 年有望步入行业量产元年

海外方面, 代表性厂商特斯拉人形机器人 Optimus 2025 年预计进入量产准备阶段, 特斯拉发布 2025 年第一季度财报披露, 人形机器人 Optimus 已在弗里蒙特工厂搭建试生产线, 计划 2025 年试生产 5000 台, 主要用于内部物流与制造环节。2026 年产能目标提升至 5 万台, 并逐步拓展至家庭服务与特殊环境作业。国内方面, 优必选 2025 年规划人形机器人产能达到 1000 台, 2027 年有望实现万台级别的交付。除优必选外, 智元、魔法原子等厂商也相继公布量产计划。全球人形机器人产业正经历从实验室到工厂的关键跃迁。

图8：人形机器人代表产品规模化落地时间预测

产品名称	商业化进展	人形机器人量产规划	应用场景	重点合作厂商
Boston Dynamic Atlas	<ul style="list-style-type: none"> 2024年推出全电动版本，已在奔驰工厂进行组件运输与零件检查测试； 2025年3月展示强化化学驱动的人形动作能力实现自主学习与动态任务适应 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年起与现代汽车合作开展工厂测试，计划2026年量产，并计划量产500台，聚焦汽车制造与特种作业 	<ul style="list-style-type: none"> 汽车制造（动态搬运、分拣）、灾难响应、高精度研发平台 	<ul style="list-style-type: none"> 现代汽车（母公司合作）、NVIDIA（Isaac GR00T平台）、丰田研究机构（基础算法开发）
宇树H1	<ul style="list-style-type: none"> 2023年发布，已进入商业化生产阶段，主攻科研与展示场景 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年计划量产数千台，重点满足科研机构需求 	<ul style="list-style-type: none"> 教育科研、娱乐表演、汽车制造（初步探索） 	<ul style="list-style-type: none"> 长盛轴承、晨兴股份（供应链合作）、应用场景合作方蔚来（搬运、装配）
优必选 Walker S	<ul style="list-style-type: none"> 2024年工厂实训阶段，Walker S1于2025年Q2具备规模化交付 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年计划交付500台工业版，2026年计划实现家庭场景规模化交付500万台 	<ul style="list-style-type: none"> 汽车制造（分拣、装配）、物流搬运 	<ul style="list-style-type: none"> 蔚来、极狐、比亚迪、北汽、一汽大众（工厂实训合作）
乐聚 KUAVO-MY	<ul style="list-style-type: none"> 国内首款开源双足人形机器人，2024年底启动量产计划 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年计划将人形机器人产能提升至2000台，并向年产300-500台的目标迈进，预计2030年进入家庭场景 	<ul style="list-style-type: none"> 工业制造、商业服务、科研教育 	<ul style="list-style-type: none"> 华为云（盘古大模型融合）、深开鸿（操作系统合作）、应用场景方为一汽红旗、蔚来
Aptronik-Apollo	<ul style="list-style-type: none"> 奔驰工厂试用，执行组件运输与零件检查任务 	<ul style="list-style-type: none"> 已与奔驰、GTXO、捷克的试点项目部署约50台Apollo机器人，主要集中在物流与汽车制造场景，并规划2025年从实验室测试一上到作业 	<ul style="list-style-type: none"> 工业制造、物流仓储、零售 	<ul style="list-style-type: none"> 奔驰、捷普（Jabil）、GTXO
Agility Robotics Digit-4	<ul style="list-style-type: none"> 物流场景自适应能力提升，尚未公布具体商业化案例 	<ul style="list-style-type: none"> 2024年6月Digit正式进入商业化运营阶段交付万台； 重点应用场景合作方计划2030年前在其全球工厂网络中部署大量Digit机器人 	<ul style="list-style-type: none"> 仓储搬运、汽车制造、第三方物流 	<ul style="list-style-type: none"> 舍弗勒、亚马逊、GTXO、德纳等联合公司
普光智能 A2	<ul style="list-style-type: none"> 2024年实现商用量产，2025年1月约1000台具身智能下线；上海临港建成首座量产工厂 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年计划A2销售4500台，灵犀系列销售2000台左右；未来5-10年，在机器人产业方面，普光希望能逐步实现一年量产1万台、10万台和100万台人形机器人的目标 	<ul style="list-style-type: none"> 工业制造（焊接、装配）、医疗辅助 	<ul style="list-style-type: none"> 北京大学（具身智能研究）、上海临港（生产基地合作）
Figure AI-Figure 02	<ul style="list-style-type: none"> 商业化进程加速，预计到4年内产能达到10万规模 	<ul style="list-style-type: none"> Figure 01和Figure 02都不是为了大规模生产而设计，Figure 03时将实现大规模量产，已经完成了下一代机器人Figure 03的设计；2025年3月Figure AI发布BotQ，一座用于生产Figure 03的自动化工厂，年产能可达1.2万台，计划4年内扩产到10万台规模 	<ul style="list-style-type: none"> 汽车制造、工业制造 	<ul style="list-style-type: none"> 宝马、亚马逊等工厂场景
速动动力 CL-1	<ul style="list-style-type: none"> 2024年发布，定位为工业级通用机器人，尚未公布具体落地案例 	<ul style="list-style-type: none"> 计划2025年小批量试产 	<ul style="list-style-type: none"> 工业制造（动态环境适应） 	<ul style="list-style-type: none"> 未明确
银河通用 Galbet (G1)	<ul style="list-style-type: none"> 2025年进入市场，侧重科研与开发者生态 	<ul style="list-style-type: none"> 量产预计是在2026年 	<ul style="list-style-type: none"> 科研实验、商超、自动化生产（柔性场景） 	<ul style="list-style-type: none"> 药达、商超、家庭等生活化场景和汽车制造业
星动 STAR1	<ul style="list-style-type: none"> 2024年发布，主打低成本与易用性，商业化能力较强 	<ul style="list-style-type: none"> 2025年小批量生产，未公布具体目标 	<ul style="list-style-type: none"> 教育科研、家庭服务（基础阶段） 	<ul style="list-style-type: none"> 未明确

资料来源：佐思汽研，民生证券研究院

四、产业链分析

人形机器人在 AI 的赋能+重磅玩家入局下，有望实现革命性突破。上游主要是零部件和原材料供应商。中游是人形机器人本体厂商。下游则是人形机器人的终端应用市场，包括医疗、教育、救灾救援、公共安全、生产制造、家庭陪护等多个领域。

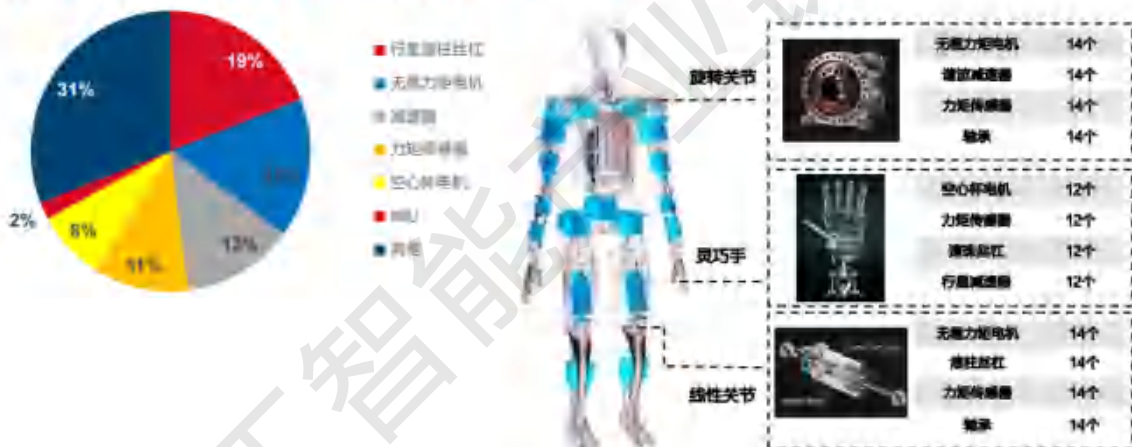
图：人形机器人产业链上下游



资料来源：各公司官网及新闻，亿欧，东海证券研究所整理

人形机器人作为高度复杂的智能装备，上游核心机械零部件对其性能与功能的实现起着至关重要的作用。例如关节模组、减速器、灵巧手、传感器等零部件，它们直接决定了人形机器人的运动精度、负载能力、灵活性以及整体的可靠性。任何一个关键部件的性能不足都可能影响到人形机器人的整体表现。在全球人形机器人产业快速发展的当下，相关核心机械零部件的市场需求预计将迎来显著增长。

图：人形机器人各核心零部件价值量占比情况 图：特斯拉Optimus机械部件拆解



资料来源：前瞻产业研究院，Tesla AI Day，《2024人形机器人核心硬件市场发展白皮书》觅途咨询，东海证券研究所整理

表 1：不同机器人零部件方案选择

公司	人形机器人型号	自由度	执行器类型	减速器类型	电机类型	力传感器	每个执行器的编码数	灵巧手
特斯拉	Optimus	50	旋转+线性	谐波减速器+行星滚柱丝杠	无框转矩电机	配备	每个旋转执行器 2个+每个线性执行器 1个	无刷电机+精密行星齿轮箱
Agility Robotics	Digit	16	未指定	谐波减速器/行星滚柱丝杠	有刷/无刷直流电机	未指定	未指定	未指定
1X Technologies	EVE	25	未指定	未指定	直驱电机	未指定	未指定	无手
优必选	Walker X	41	旋绕	谐波减速器	无框转矩电机	配备	2	未指定
宇树	G-1	20-43	旋转	行星减速器	无框转矩电机	未指定	2	无刷电机+行星减速器
小米	CyberOne	21	旋转	行星减速器	无框转矩电机	未配备	1	未指定
小鹏	PX5	未指定	未指定	谐波减速器+行星减速器	未指定	未指定	配备	无刷电机+行星

资料来源：Morgan Stanley，各公司官网，长见证券研究所

国产人形机器人核心零部件正展现出显著的极具竞争力的成本优势。经过多年的技术沉淀与产业深耕，我国在关键零部件的研发制造上取得了长足进步，从高精度的减速器到高效能的电机，再到智能灵敏的传感器，均实现了不同程度的自主化生产。主要核心部件与国外相比有 60%-70% 的成本优势。一方面，国内庞大的制造业基础和完善的产业链，使得零部件生产能够以规模化作业降低单位成本；另一方面，对技术研发的持续投入和创新工艺的应用，减少了不必要的损耗和浪费。这种成本优势为国产人形机器人在国内外市场大规模推广提供了支撑。

表：国产人形机器人核心零部件成本极具性价比

零部件	国产		国际	
	单价	主要厂商	单价	主要厂商
谐波减速器	1318元	绿的谐波	2367元	哈默纳科
行星滚柱丝杠	1500元	南京工艺	2000-3000元	GSA
无框力矩电机	3500元	精自达	7800元	科尔摩根
六维力传感器	2.7万元	坤维科技	4-10万元	ATI

资料来源：公开资料整理，东海证券研究所整理

图：国内与国外人形机器人价格对比显优势



1、减速器：谐波、行星为主，探索新型减速器

减速器类似于机器人的“肌腱”，对于每一个以轴为中心转动的机器“关节”，减速器可以精准调节机器转动角度。按照控制精度划分，减速器可分为一般传动减速器和精密减速器。精密减速器回程间隙小、精度较高、使用寿命长，更加可靠稳定，应用于机器人和数控机床等高端领域。其中谐波减速器与RV减速器已成为高精密传动领域广泛使用的精密减速器。

图 9：减速器按控制精度分类



资料来源：Wind，长江证券研究所

由于传动原理和结构等技术特点差异，使得各种减速器在下游产品及应用领域方面各有所侧重、相辅相成，应用于不同场景和终端行业。谐波减速器具有单级传动比大、体积小、质量小、运动精度高并能在密闭空间和介质辐射的工况下正常工作的优点，同时具备成本优势，使其在人形机器人小臂、腕部、手部等部件领域具有无可替代的地位。RV减速器主要应用于工业机器人的高负载关节；行星减速器，传动比范围大、体积重量大于谐波减速器，主要安装在步进电机和伺服电机上，用来降低转速，提升扭矩，匹配惯量，应用于起重运输、工程机械等工业设施。

表 4：精密减速器主要分类介绍

项目	谐波减速器	RV 减速器	行星减速器
图片			
技术特点	通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮、波发生器三个核心零部件组成。与 RV 及其他精密减速器相比，谐波减速器使用的材料，体积及重量大幅度下降	通过多级减速实现传动，由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成，组成的零部件较多	传动结构主要由行星轮、太阳轮、内齿圈三部分组成的精密减速器，其结构简单并且传动效率高，多安装在伺服电机上，用来降低转速，提升扭矩，精确定位
产品性能	体积小、传动比高、精密度高	大体积、高负载能力和高刚度	传动比范围大、体积重量大于谐波
应用场景	主要应用于机器人小臂、腕部或手部	一般应用于多关节机器人中机座、大臂、肩部等重负载的位置	多数安装在步进电机和伺服电机上，用来降低转速，提升扭矩，匹配惯量
终端领域	3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗等行业中通常使用由谐波减速器组成的 30kg 负载以下的机器人	汽车、运输、港口码头等行业中通常使用配有 RV 减速器的重负载机器人	起重运输、工程机械、冶金、矿山、石油化工、建筑机械、轻工纺织、医疗器械、仪器仪表、汽车、船舶、兵器和航空航天等工业部门
价格区间	1,000-5,000 元/台	5,000-8,000 元/台	200-1000 元/台
国内主要生产厂商	绿的谐波、隆盛科技、丰立智能、美湖股份、中鼎股份、科达利、斯菱股份	双环传动、中大力德、秦川机床、	丰立智能、美湖股份、精锻科技、豪能股份

资料来源：绿的谐波招股说明书，IHf 爱合发，长江证券研究所

表 5: 谐波减速器、RV 减速器与行星减速器技术指标对比

主流技术指标	谐波减速器	RV 减速器	行星减速器
背向间隙	≤20 arc sec	≤60 arc sec	≤ 10 arc min
传动效率	>75%	>80%	> 90%
温升	≤40°C	≤45°C	≤45°C
噪声	≤60db	≤70db	≤70db
减速比	30-160	30-192.4	3-100
额定转矩下使用寿命	>8, 000h	>6, 000h	20000h
额定输出转矩	6.6-921 N·m	101-6, 135 N·m	86-1800 N·m
扭转刚性	1.34-54.09N.m/arc min	20-11760 N.m/arc min	0.7-205 N.m/arc min

资料来源: 绿的谐波招股说明书, iHF 爱合发, 长江证券研究所

摆线针轮减速机虽然利用行星齿轮传动原理, 但其采用了摆线针齿啮合方式, 是一种新型行星减速器。其与传统行星齿轮减速器在以下几个方面有所不同: **1) 结构和工作原理方面**, 传统行星齿轮减速机由中心太阳齿轮、行星齿轮和内环齿轮组成。太阳齿轮位于中心, 围绕其旋转的行星齿轮与内环齿轮相互啮合, 实现减速效果。摆线针轮减速机利用摆线针轮与摆线针齿轮的啮合来实现减速。**2) 工作效率方面**, 行星齿轮减速机由于多组齿轮的传递, 减速效率通常在 85%至 95%之间。摆线针轮减速机的效率较高, 通常能够达到 90%以上。其摆线齿轮轮廓设计使得啮合时减少了齿轮间的滑动, 减小了能量损失。**3) 扭矩对比方面**, 行星齿轮减速机可以承受较大的径向和轴向载荷, 适用于需要高扭矩传递的应用。摆线针轮减速机由于齿轮的设计特点, 更适合用于较小的扭矩传递, 适用于精密传动场景。**4) 应用领域方面**, 行星齿轮减速机适用于需要高扭矩传递的工业应用, 如生产线、机床等。而摆线针轮减速机更适用于需要高精度传动的领域, 如精密机械、自动化装置等。

国内外人形机器人多点开花, 谐波减速器市场需求大增。国内外人形机器人产品正呈多点开花态势, 从主要厂家的旋转关节减速器方案来看, 谐波减速器、行星减速器为主流方案。谐波减速器则主要应用于其肩、肘、腕等关节, 精密行星减速器主要应用于人形机器人的手、膝、踝关节等部位。

谐波减速器全球市场需求激增。根据特斯拉和其他公司量产规划, 预计 2026-2029 年全球产量达 15 万台、30 万台、50 万台、100 万台。如果平均每台装 14 台, 2029 年人形机器人谐波减速器需求将达 1400 万台, 全球市场增量将达 84 亿元。

表: 主要人形机器人企业产品关节方案对比




	特斯拉 Optimus	Figure AI	宇树科技 Unitree G1	智元 远征A2
图示				
谐波减速器	14台	全身		上肢关节
行星减速器			全身	下肢关节

表: 谐波减速器市场空间预测

类别	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	
人形机器人	数量	3万台	15万台	30万台	50万台	100万台
	每台装备	14台	14台	14台	14台	14台
	需求	42万台	210万台	420万台	700万台	1400万台
谐波减速器	单价	1000元	750元	700元	650元	600元
	市场空间	4.2亿元	15.7亿元	29.4亿元	45.5亿元	84亿元

资料来源: 各公司官网; Tesla AI Day; Leaderobot, AI-Magic, 科技猫, 绿的谐波招股说明书; 东海证券研究所整理

全球谐波减速器市场规模快速增长。根据 HDIN Research 数据，2024 年的谐波减速器市场规模达 12 亿美元，约人民币 86 亿元。同时，预测表明受益下游人形机器人需求爆发，谐波减速器市场将继续保持上升趋势预计到 2029 年将达到 34 亿美元。

哈默纳科占全球市场大部分份额，国内企业正在崛起。2023 年哈默纳科占据全球市场约 85% 的份额，具有行业领头地位。另外，绿的谐波占据全球 8% 市场份额。虽然全球市场海外龙头主导地位仍将持续，但国内企业逐渐展现强劲的竞争力和进口替代趋势。从国内市场来看，哈默纳科 2023 年占有率 40%，相比全球份额较小。绿的谐波占有率已达 18%，占有率正持续扩大。



哈默纳科谐波减速器扩产幅度较小，不能覆盖人形机器人量产需求。根据哈默纳科财报，截止 2024 年 3 月，哈默纳科谐波减速器产能为 306 万台/年。公司为应对下游人形机器人和工业机器人需求规划扩产，预计 2026 年哈默纳科产能将达 347 万台/年，整体扩产偏谨慎幅度较小，未能覆盖全球人形机器人量产增长需求。

表：哈默纳科谐波减速器产能及未来规划（万台/月）

地区	工厂名称	2018.3	2022.3	2022.9	2023.3	产能规划	达产日期
美国	Beverly Plant	0.3	0.8	0.8	0.8	增加产能 13%	2024.12
德国	Limburg Plant	1	2.7	2.7	2.7	增加产能 9%	2024.12
日本	Aniaki Plant	0	0	4	4	增加产能 14%	2026.3
	Holoka Plant	5.6	9	9	9		

资料来源：哈默纳科官网公告（2024.3），东海证券研究所

图：哈默纳科谐波减速器产能（万台/年）



国内谐波减速器厂商积极应对谐波减速器市场需求增长。绿的谐波、丰立智能、瑞迪智驱、丰光精密和科达利等公司通过研发投入、技术创新、先进的加工设备、工艺优化、产品升级和明确扩产计划，展现强劲的市场竞争力和进口替代趋势。随着人形机器人量产加速，国内厂商有望凭借快速扩产优势，在全球市场中占据更大的份额。

表：国内公司披露的谐波产能及未来规划

公司名称	当前产能	投产规划项目	达产时间	未来总产能
绿的谐波	50万台	精密传动装置智能制造项目100万台	2027年	150万台
来福谐波	20万台	-	-	50万台
科达利	-	投资设立深圳市科盟创新机器人科技有限公司	-	30万台
丰光精密	小批量	年产30万套谐波减速器生产项目	2027年	30万台
丰立智能	3.5万台	规划四条产线共14万套	-	14万台
同川科技	10万台	-	-	10+万台
国茂股份	3万台	-	-	3万台
瑞迪智驱	2+万台	谐波减速器建设项目	2026年	2+万台
斯菱股份	-	机器人零部件智能化技术改造项目	2026年	-

资料来源：各公司公告，同花顺，赣州发布公众号，电子工程世界，科盟公众号，每经网，东海证券研究所整理（“-”代表未在公开渠道披露）

轻量化与性能优化需求下，新型减速器逐渐涌现。以 XT 减速器为例，巨轮智能研发的 XT 减速器通过结构优化，在相同体积下扭矩提升 50%，重量仅为谐波减速器的一半，且解决了滑齿问题。性能上，其扭转刚度是谐波减速器的 2 倍以上、精度寿命是谐波减速器的 2 倍以上、传动效率也远高于谐波减速器，因此这是一款能够替代谐波减速器以及 RV 减速器，可全面应用在人形机器人的全新减速器。截至 2025 年 5 月 28 日巨轮智能 XT 减速器样机已装配完成，经检测满足人形机器人轻量化需求，提高减速器刚性、精度和寿命，但尚未进入量产阶段。

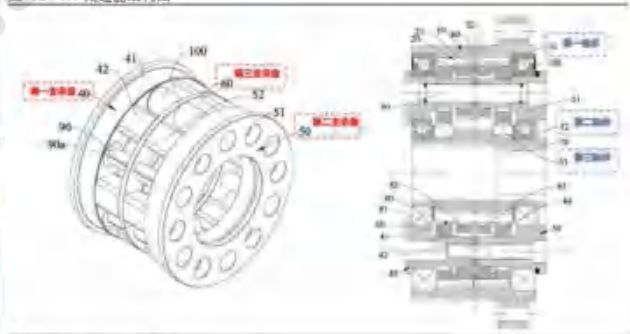
XT 减速器是一种摆线针轮行星传动装置。通过第一支承盘、第二支承盘和中间支承盘形成稳定的输出机构，提高了传动装置的承载能力，以承载四片摆线轮的传动载荷，通过采用四个摆线轮的结构能够实现动平衡，且第一轴承和第二轴承选型较小，能够减少第一轴承和第二轴承所需的体积和质量，从而提高扭矩密度。进而能够使传动装置稳定的传递扭矩，提高疲劳强度、结构刚度和抗冲击能力，提高使用寿命，故同等条件下还可以采用较少的传力柱、采用较小的第一轴承和较小的第二轴承，实现传动装置的小型化。

图 11：巨轮智能 RV 减速器加工博览会



资料来源：巨轮智能官网，长江证券研究所

图 12：XT 减速器结构图



资料来源：国家专利网，长江证券研究所

2、行星滚柱丝杠：国产突破量产

丝杠是一种将旋转运动转化为直线运动的机械传动装置，由螺杆和螺母组成，广泛应用于人形机器人的关节驱动系统（如线性执行器）。其核心作用是提供高精度、高负载的直线位移控制，直接影响机器人的运动灵活性、稳定性和负载能力。人形机器人中使用的丝杠包括梯形丝杠、滚珠丝杠和行星滚柱丝杠。

行星滚柱丝杠因其体积小、精度高、输出大，以及耐用稳定的性能等特点正被越来越广泛的应用在工业领域。在汽车工业、工程机械、机床设备、机器人、医疗器械、石油天然气等行业，行星滚柱丝杠技术正逐步替代现有技术体系成为主流技术方向。根据 DATAINTELO 的数据，2022 年全球行星滚柱丝杠市场规模为 12.7 亿美元，全球市场规模仍较小。

图：标准行星滚柱丝杠结构组成



图：行星滚柱丝杠应用领域拓展广泛

工程机械行业 行星滚柱丝杠具有体积小、重量轻、传动效率高、使用寿命长等特点，广泛应用于挖掘机、装载机、推土机等工程机械的行走机构和转向机构。	汽车及新能源、智能汽车行业 行星滚柱丝杠具有精度高、寿命长、运行平稳等特点，广泛应用于新能源汽车的转向系统、制动系统、悬挂系统等。
人形机器人、无人机行业 行星滚柱丝杠具有体积小、重量轻、传动效率高、使用寿命长等特点，广泛应用于人形机器人的关节驱动和无人机的旋翼驱动。	石油天然气行业 行星滚柱丝杠具有强度高、耐腐蚀、使用寿命长等特点，广泛应用于石油天然气的开采、输送、加工等环节。
机床设备行业 行星滚柱丝杠具有精度高、寿命长、运行平稳等特点，广泛应用于数控机床的进给系统和主轴驱动。	医疗器械、光学仪器行业 行星滚柱丝杠具有精度高、寿命长、运行平稳等特点，广泛应用于医疗器械的驱动和光学仪器的精密传动。

资料来源：Rollvis 产品手册，《金属加工》机械工业信息研究院新剑传动官网，东海证券研究所整理

行星滚柱丝杠量产三大壁垒：原材料、工艺流程与加工设备。丝杠对原材料的要求十分严苛。丝杠在反复运动过程中会受到连续振动、冲击和摩擦，因此对于材料的强度、刚性、耐磨性、耐腐蚀性、抗疲劳性、承载力等有一定要求，普通的金属材料无法满足需求，通常需要特种金属材料来进行制备。高精度丝杠加工工艺复杂周期长。磨削丝杠产品一致性较高，有统一的标准，经过多道工序包括热处理、车削和磨削等多道工序，生产周期较长在 30 天以上，适合用于高精度设备的定位部件。行星滚柱丝杠所需多种高端加工设备。行星滚柱丝杠工艺过程中所需高精度螺纹磨床、车削中心、精密磨床、旋风铣床、数控车床、热处理设备、尖端检测仪器等多样高端复杂设备。高精度磨床、检测设备以德国、日本品牌为主。

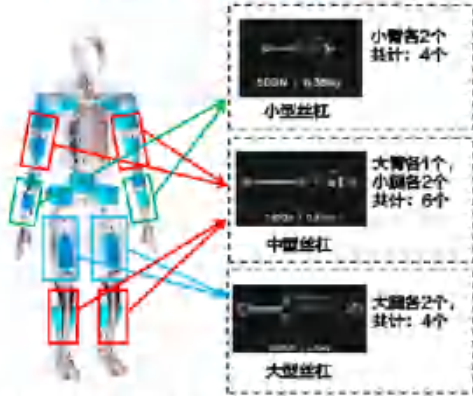
表：丝杠机械加工工艺流程所需高端加工设备

	粗加工阶段	螺纹粗加工	半精加工	螺纹精加工
设备	数控车床	旋风铣床	精密磨床、车削中心	高精度螺纹磨床
作用	以去除余量为主，精度要求较低	初步形成螺纹轮廓，效率高但精度有限	精车丝杠轴基准面，保证后续加工的同轴度	通过多道研磨工序（粗磨→半精磨→精磨）完成螺纹的最终成型
图示				

资料来源：华辰装备公告，科德数控公告，机床网，常州朗爵官网，东海证券研究所整理

受益人形机器人产业兴起，滚柱丝杠市场空间抬升。行星滚柱丝杠可使其关节在承受较大负载时仍能保持稳定运动。Optimus 机器人的机械部件方案中，线性关节 14 个，其由 14 台行星滚柱丝杠组成。根据人形机器人主要厂商量产进程推测，预计 2029 年全球行星滚柱丝杠市场增量空间将达 112 亿元，行星滚柱丝杠市场空间弹性巨大。

图：特斯拉Optimus关节使用行星滚柱丝杠



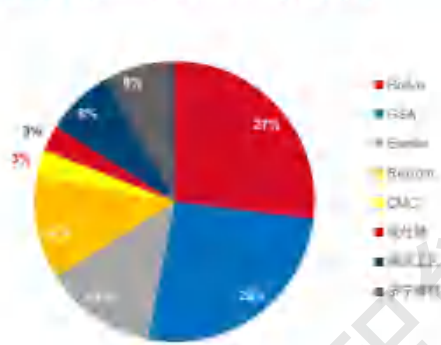
表：2025-2029年人形机器人行星滚柱丝杠市场增量

类别	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年
人形机器人	数量 3万台	15万台	30万台	50万台	100万台
行星滚柱丝杠	每台装备 14个	14个	14个	14个	14个
	单价 2000元	1500元	1200元	1000元	800元
	市场空间 8.4亿元	31亿元	50亿元	70亿元	112亿元

资料来源：前瞻产业研究院，华经产业研究院，Tesla bot，传动网，东海证券研究所测算

欧洲厂商主导市场，国产替代预期显现。2022年我国滚柱丝杠市场份额排名前四的欧洲厂家分别是Rollvis（瑞士）、GSA（瑞士）、Ewellix（瑞典）、Rexroth（德国），市占率分别为27%、26%、13%、12%，共计占比78%；国内南京工艺市占率为8%。行星滚柱丝杠国产化程度较低、制造量产难度大，主要高端厂商集中在欧洲。未来人形机器人量产带动丝杠需求提升，欧美厂商扩产速度不及国内，国产化将迎来重大机遇。

图：2022年滚柱丝杠企业在中国的市场份额



资料来源：观研报告网，东海证券研究所

表：海外丝杠公司主要竞争情况（2021年）

公司	介绍	应用领域	中国营收	制造工艺	尺寸
Rollvis 瑞盛士	公司成立于1970年，总部位于瑞士日内瓦，是专业设计和生产滚柱丝杠的厂家，产品推广商标为“Rollvis Swiss”	军工和工业	3000万元左右	研磨	齐全
GSA	公司成立于1982年，总部位于瑞士伯尔尼，是专业设计和生产滚柱丝杠的厂家，产品推广商标为“GSA Swiss”	军工和工业	3000万元左右	研磨	齐全
Rexroth 力士乐	公司和品牌隶属于博世力士乐集团，是第一家主要生产滚柱系统、减速机、电控技术以及机电一体化产品的大型工业品公司	工业	1000万元左右	轧制	较齐全

资料来源：《E公司滚柱丝杠产品营销策略研究》王有雪，东海证券研究所

国内产品在执行效率、承载能力、使用寿命和导程精度上与Rollvis、GSA和Ewellix等知名国外企业有性能差距。国内企业正通过研发创新实现逐步突破。如，新剑传动目前行星滚柱丝杠已经获得特斯拉定点，得到下游客户认可；2022年行星滚柱丝杠业务实现2368万元收入，同比增长1419.6%。公司为进一步保持行星滚柱丝杠的领先地位和产能提升，满足市场需求，分两期建设总投入26亿元，其中一期投入10亿元，形成年产100万台人形机器人行星滚柱丝杠智能物联制造产线。

表：国产人形机器人零部件行星滚柱丝杠公司研发进程

公司	丝杠产品研发进程	未来产能
双环传动	已经成功开发出人形机器人用上位机下位机运动关节模组中反向式行星滚柱丝杠产品，并已经于2024年底建立了年产12000套行星滚柱丝杠产品的试制产线。公司已募资15亿元，投入滚柱丝杠及关节模组产业化项目和磁悬浮项目，达产后可实现年产100万套反向式行星滚柱丝杠和50万套线性关节模组产品	100万套反向式行星滚柱丝杠，50万套线性关节模组
五洲新春	公司发展以高端行星滚柱丝杠产品为切入点的各类丝杠产品：为直线执行器、旋转执行器和灵巧手提供部件或者成套产品。目前，公司暂作为二级供应商主要给杭州公司提供丝杠产品。同时，公布向不特定对象发行可转换公司债券预案，计划募资不超过10.35亿元用于机器人关键零部件及系统技术改造项目	96万套行星滚柱丝杠，210万套微型滚柱丝杠
新时达（未上市）	在青山湖分两期建设总投资26亿元，其中一期投入10亿元，形成年产100万台人形机器人行星滚柱丝杠智能制造和制造产线，建设工程技术应用AI自主学习串联数据达到产品质量可靠性	100万台人形机器人行星滚柱丝杠
恒立液压	公司使用募集资金14亿元，投资线性驱动器项目，在2年的筹备期内完成了包括精密滚珠丝杠、行星滚柱丝杠、直线导轨等数十款产品的研发；2024年9月产线设备具备完整加工能力，与国内客户开展广泛对接连接；目前该项目已进入批量生产阶段	-
北特科技	投资18.9亿元建设行星滚柱丝杠研发生产基地项目，可将公司布局的机器人相关技术和产品落地并实现产业化、规模化生产，为公司未来发展奠定坚实基础	-
贝斯特	全资子公司宇华精机生产的高精度运动丝杠副和直线导轨副产品已经应用于国内知名机床厂商的部分型号机床上得到了市场的高度认可；同时，自主研发了人形机器人的线性执行器核心部件行星滚柱丝杠副，亮相第10届中国国际机床展	-

资料来源：各公司公告，各公司投资者关系管理信息，中国机器人网，东海证券研究所整理（“-”代表未在公开渠道披露）

3、电机：无框力矩与空心杯，共启人形机器人动力新纪元

人形机器人电机是驱动机器人的各个关节进行运动的核心部件，在机器人系统中的作用包括提供所需的驱动力，以及通过控制电机转速和扭矩来实现机器人运动的精确调节。特斯拉 Optimus 机器人中有两类电机用量比较大，即无框力矩电机和空心杯电机。

无框力矩电机没有固定的外框架，它的结构通常是由定子和转子组成，没有轴、轴承、外壳、反馈或端盖。转子直接承载负载，而定子则由外部驱动系统提供动力。这种电机通常在旋转关节、线性关节中使用。

无框力矩电机因其特性与人形机器人关节的需求高度契合，已成为该领域的主流驱动方案。主要体现在：

- 1) 快速响应，指令信号至目标状态的转换时间达毫秒级，显著提升关节启停灵敏度，完美适配仿人运动所需的高频动作切换场景。
- 2) 高能量密度，通过磁路拓扑优化和铁芯结构精简，在同等体积下实现扭矩密度突破，满足关节空间受限下的高功率输出需求。
- 3) 空间适应性，支持深度嵌入式集成，可灵活适配从指关节到腕关节的全尺度定制化装配。

图：各公司人形机器人关节驱动方案

公司	型号	关节电机方案	旋转或直线关节	有无力矩传感器
特斯拉	Optimus	无框力矩电机	旋转+线性	有
优必选	Walker X	高密度无框力矩电机	\	有
智元	远征A1	\	旋转	\
宇树	Unitree H1	无框电机	旋转	选配
小米	CyberOne	无框力矩电机	\	无
小鹏	PX5	\	旋转+线性	\
波士顿动力	Atlas	\	旋转+线性	\
傅里叶	Fourier GR-1	无	旋转	\
1X Technology	EVE	高扭矩重量比的直驱电机	\	\

资料来源：工链汇，东海证券研究所

特斯拉 Optimus 人形机器人方案中，其 28 个关节执行器系统均以高功率密度无框力矩电机为核心驱动单元。其中，14 个旋转关节由无框力矩电机+谐波减速器组成，模拟人体旋转自由度。另外，14 个直线结构关节由无框力矩电机+行星滚柱丝杠组成，模拟人体线性伸缩肌群，如肱二头肌。旋转关节提供多向活动能力，直线执行器生成仿肌腱牵引力，为动态平衡与精细操作奠定硬件基础。根据人形机器人主要厂商量产进程和每台装配数量推测，**预计 2029 年全球无框力矩电机市场增量空间将达 140 亿元。**

表：无框力矩电机在特斯拉 Optimus 机器人使用数量

执行器分类	部位	无框力矩电机数量
旋转执行器	肩部	6个 (3*2)
	肘部	2个 (1*2)
	腰部	6个 (2*3)
线性执行器	大腿	2个 (1*2)
	小臂	4个 (2*2)
	大臂	4个 (2*2)
	小腿	4个 (2*2)
总计		28个

资料来源：工链汇，东海证券研究所整理

表：2025-2028年人形机器人无框力矩电机市场增量

类别		2025年	2026年	2027年	2028年
人形机器人	数量	3万台	15万台	50万台	100万台
	每台装备	28个	28个	28个	28个
无框力矩电机	需求	84万个	420万个	1400万个	2800万个
	单价	1000元	750元	650元	600元
	市场空间	8.4亿元	31.5亿元	81亿元	140亿元

无框力矩电机头部集中度高，中低端产品国产化程度高。无框力矩电机目前还存在较高的技术壁垒，中国内地只有少量厂商能提供品质较高的无框力矩电机。其中步科股份依靠生产技术和较低的成本占据了较大的市场，是行业最大的无框力矩电机供应商。目前除了少量高端应用场景需要使用科尔摩根等国外厂商的无框力矩电机，大部分下游场景都已经开始使用国产产品，因此国产化程度高。

人形机器人有望带动空心杯电机需求大幅增长。空心杯自 1930s 起，至今已有 80 年的历史，空心杯电机最初由于价格较高，商业化难以进行。1960s 汽车制造商可以用较低廉的价格购买空心杯电机，迅速使空心杯电机成为最受欢迎的电机产品之一。空心杯电机提供了在不影响电池寿命及性能的情况下更轻、更敏捷的人形机器人所需的效率和功率密度，将随特斯拉人形机器人的量产推进逐步放量。

图 8 Optimus 灵巧手



资料来源：Tesla AI Day，首创证券

图 9 单只灵巧手配备 6 电机 可实现 11 个自由度

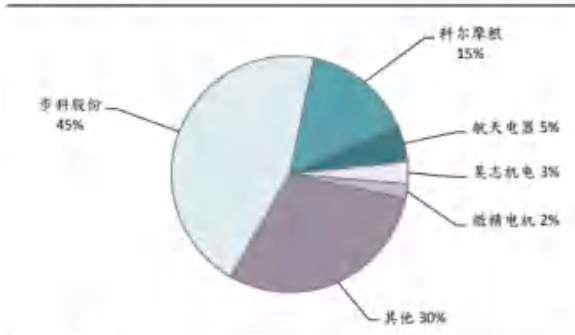


资料来源：Tesla AI Day，首创证券

空心杯电机市场集中度高，但仍以外资主导。空心杯电机的转子没有铁芯，采用的是绕制在空心杯状结构上的铜线。这种设计使得空心杯电机能够在较小体积下提供较高的功率密度。空心杯电机在灵巧手中使用，单只灵巧手有 6 个空心杯电机，大拇指使用两个空心杯电机，其余四个手指均有一个空心杯电机。

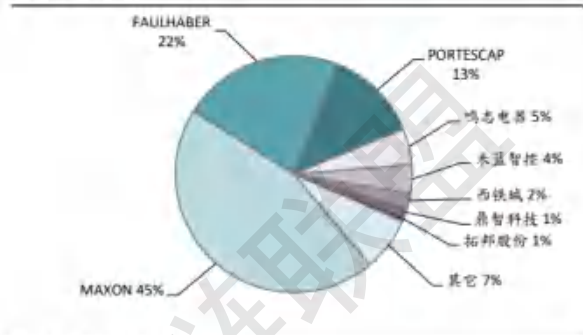
全球空心杯电机市场知名企业包括 Faulhaber、Portescap、Allied Motion Technologies、Maxon Motor 及 Nidec Copal Corporation，这些企业在空心杯电机的设计、制造以及技术创新方面处于领先地位，高端空心杯电机直径可以做到 3-5mm。中国内地企业进入空心杯行业较晚，目前参与该产品市场的企业都以小批量出货为主，量产能力有待提升。2023 年 Maxon、Faulhaber 和 Portescap 占据了国内空心杯电机市场 79% 的份额，中国内地企业中鸣志电器是空心杯龙头，2023 年在中国内地空心杯市场份额为 5%，其通过收购美国 Lin Engineering 和瑞士 Technosoft Motion AG 获得了空心杯电机的领先技术。

图表 44: 2023 年中国无刷力矩电机市场竞争格局，国产化率高



资料来源: 慧博咨询数据库

图表 45: 2023 年中国空心杯电机市场竞争格局，国产化率低



资料来源: 慧博咨询数据库

4、传感器：机器人的感知部件，种类繁多且需求量大

人形机器人传感器主要分为以下几类：

力觉/力矩传感器：包含本体单元和应变检测，由力敏元件、转换元件和信号处理单元等将力矩转换为电信号输出，在机器人手腕、脚踝处作用重要。其中六维力传感器可同时测量三个正交力和三个正扭矩，多用于复杂的力控操作；

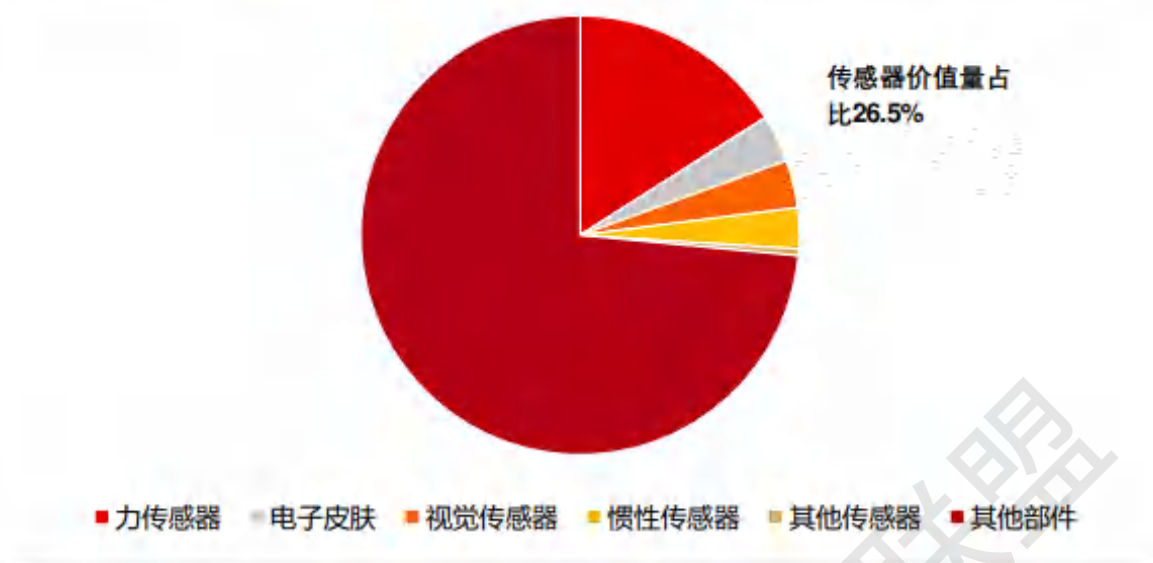
视觉传感器：通过光学镜头和感光元件接收环境信息，将光信号转换为电信号，结合算法提取图像中的关键信息，可分为 2D 方案和 3D 方案，其中 3D 光学识别又包括结构光、TOF、双目视觉等技术类别；

触觉传感器：利用压敏电阻、极板间电容的变化、压电效应等方式检测触力、压力、纹理等，将受力信息转换为电信号，主要有 MEMS 和电子皮肤两种技术路线；

定位传感器：惯导 IMU 基于惯性定律，测量单元的核心组成是加速度计和陀螺仪，检测物体的加速度和角速度，通过积分得到物体的位移数据和旋转角度。

传统传感器价值量较低，力传感器、电子皮肤、视觉传感器、惯性传感器等价值量较高。力传感器、电子皮肤、视觉传感器、惯性传感器等传感器，不仅因其高价值量而受到重视，更因其与人形机器人的智能化、仿生化和高自由度等发展方向紧密相连，对提升机器人性能具有决定性作用，这些传感器具有较大的市场潜力。高精度机器人方案中传感器价值量占比约为 26%，其中力传感器、电子皮肤、视觉传感器和惯性传感器（IMU）分别占比 16%、3.5%、3.5%、3%，其他传感器包含电流传感器、温度传感器、颗粒传感器合计占比约为 0.5%。

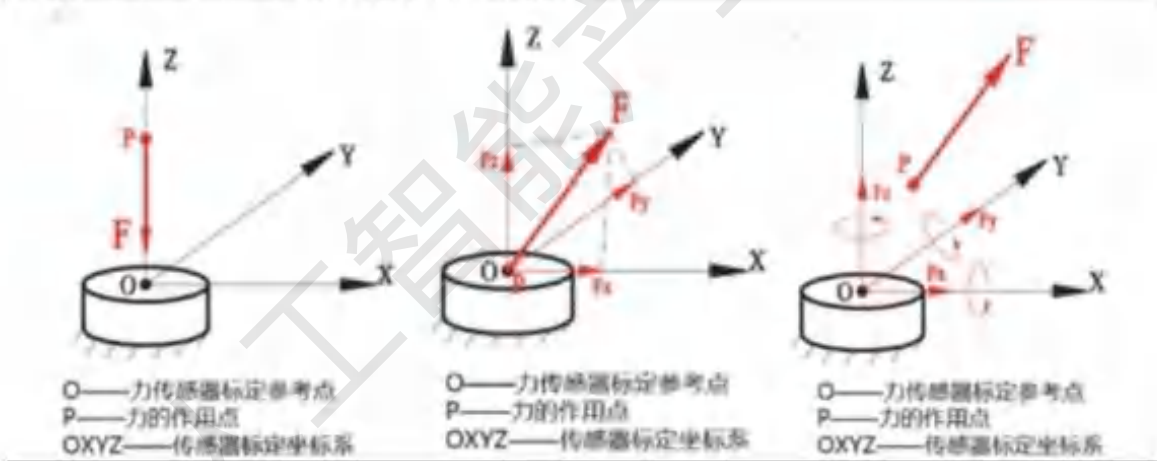
图 23：高精度方案人形机器人传感器类型及价值量占比



资料来源：头豹研究所，长江证券研究所

1) 力传感器，按照测量维度可以分为一至六维力传感器。最常见的一维、三维和六维力传感器。在指定的直角坐标系内，传感器如果能同时测量沿三个坐标轴方向的力和绕三个坐标轴方向的力矩，则称为六维力传感器。一维、三维和六维力传感器分别适用于不同的场景。

图 24：一维、三维、六维力/力矩传感器作用示意图



资料来源：机器人研究，长江证券研究所

根据感力原件的不同，力传感器主要分为三类：应变式力传感器、光学式传感器以及压电式力传感器。其中电阻应变式是应用最广泛、研究也比较成熟的一类，其采用的是硅应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化；光学式传感器，通过光栅反映形变，再转化成力；压电式传感器，将被测物理量变化转换成压电材料因受机械力产生静电电荷或电压变化的传感器，可分为电容和压电两种，电容是通过极距的变化导致电压变化，压电则是通过形变改变电荷。

分类	原理及优点	优点	缺点	代表企业
应变式	通常采用的厚度应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化	结构简单、价格低廉、测量精度较高	应变片容易老化、脱落，传	ATL、宇立仪器、神域科技、高特等
电容式	值将层通过形变的变化导致电压变化；压电则通过形变改变电荷	非接触式测量，可靠性好，适用于高温辐射等恶劣环境	线性度及测量精度较低，易受电磁干扰	Robotix, Robotous,
压电式		测量范围大、精度高、无电	测量精度低，静态表现差，	WACOH-TECH, Kistler 等
光电式	通过光纤、光栅反馈形变，再转化(成力)	测量精度高、非接触式测量、无电磁干扰	结构尺寸大、价格高，多端	OnRobot, 松茂体, 华力创新

资料来源：机器人研究、长江证券研究所

2) 视觉传感器：旨在利用机器来执行视觉识别和判断任务。在工业生产中，机器视觉的引入旨在提升效率、减少误差、降低成本，并从繁重或危险的工作环境中解放人力。人类约70%的信息是通过人眼感知获取的，人形机器人也将通过视觉感知获取大量信息。目前在视觉方案上，每家人形机器人主机厂选择的方案有所差异，随着未来人形机器人出货量的增长，技术的迭代升级，未来视觉方案也将会逐步优化定型。特斯拉 Optimus 采用纯视觉传感器方案，搭载了 2D 视觉传感器和与特斯拉车辆相同的 FSD 技术以及 Autopilot 相关神经网络技术。人形机器人视觉方案目前主要以结构光、双目或多目 RGB、TOF 等的组合方案为主；算法基础强的厂商会采用更为简单的传感器方案，而算法相对薄弱的厂商会选择更为核心的硬件。

表 11：国内人形机器人视觉方案一览

公司名称	机器人型号	传感器类型	视觉方案	摄像头
优必选	Wanda	激光雷达+超声波雷达	双目相机	
	Walker X	腰部 4*毫米波雷达	RGBD 相机+双目相机	
	Walker		RGBD 相机+双目相机	1300 万高清摄像头
	Walker S1		RGBD 相机+RGB 相机	
	Walker S Lite		RGBD 相机+双目相机	
国地共理人形机器人创新中心	青龙	激光雷达	双目相机+环视相机	
北京腾博智能机器人创新中心	天工 1.2MAX		3D 视觉相机	
智元机器人	远征 A2	激光雷达	RGBD 相机+鱼眼相机	
宇树科技	G1	3D 激光雷达	深度相机	
	H1	3D 激光雷达	深度相机	
五八智能科技	D11	激光雷达	深度相机	
星动纪元	星动 STAR1		深度视觉相机	摄像头
开普勒	先行者 K1		RGBD 相机+鱼眼 360° 环视相机	红外双目 3D 摄像头
乐聚机器人	KUAVO 3.0		高清 RGB 相机	结构光深度摄像头
柏森亿感知科技	TORA-ONE		结构光深度相机	摄像头+深度摄像头
松延动力	Dora		结构光深度相机	
凯虎机器人	TIS robot	激光雷达	深度相机	
星海鹰	R1	激光雷达	相机	
威迈尔	VersaBot		双目 RGB-D+深度多姿态相机	
众擎机器人	SE01	激光雷达		高清摄像头
加速进化	Booster T1	激光雷达 (选配)	深度相机	
浙江人形机器人创新中心	领航者 2 号 NAVIA1		深度相机	
成都人形机器人创新中心	“贡嘎一号” (Konka-1)			摄像头
儒利叶智能	GR-1			RGB 摄像头
小米	CyberOne		RGB 相机+ToF	
达闼机器人	Cloud Ginger XR1	激光雷达	2D/3D 相机	
	Cloud Ginger 2.0	激光雷达	3D 深度相机+ToF 相机	RGB 单目摄像头
腾讯 Robotics X	小五	激光雷达	3D 视觉传感器	
蔚建机器人	PUDU D7	激光雷达	RGBD 相机+全景相机	
江淮蔚建技术协同创新中心	蔚建二号	毫米波雷达	红外相机+双目相机	
精工华芯	汇鑫 BHR	激光雷达	深度相机	
中森深谷	COMAN ONE	激光雷达	视觉传感器	

资料来源：人形机器人联盟、长江证券研究所

3) 触觉传感器：目前触觉传感器的主要有 MEMS（微机电系统）和电子皮肤两种主流技术路线。MEMS 传感器体积小、功耗低、量产工艺成熟、成本低，可集成压力、温度、加速度等多种传感器至一颗芯片上，多种传感器集合在机器人硬质皮肤上。Optimus Gen2 就可能采用的是压阻式 MEMS 传感器。

表 12: MEMS 传感器和传统传感器对比

项目	MEMS 传感器	传统传感器
技术原理	微机电系统，微型机械结构与电子电路结合	机械或电气原理
体积	微型化	较大
重量	轻巧	较重
功耗	低功耗	相对高
灵敏度	灵敏度高	灵敏度较低
响应速度	快速响应	响应较慢

资料来源：华经产业研究院，长江证券研究所

电子皮肤是柔性触觉传感器的一种称呼，结合了电子和材料两大学科，能够模拟人类皮肤对温度、湿度、震动以及接触物体的材质和软硬程度等关键特性，在手指、手臂等部位放置传感器阵列。以日本东京早稻田大学子公司 XELA Robotics 发布的 uSkin 电子皮肤为例，小巧、轻薄、柔性设计，有 1×1、2×1、2×2、4×4、4×6 多种规格的传感器阵列。

国内汉威科技、华威科、帕西尼等企业现已布局机器人电子皮肤产品。汉威科技柔性微纳传感器业务主要由控股子公司苏州能斯达开展，此外，公司投资了主要从事柔弹性传感器的韧和科技。华威科采用 IDM 模式，打通生产装备、材料、工艺、器件研发全链条环节，涵盖柔性射频器件、柔性电子皮肤、柔性覆冰监测传感器等产品，终端覆盖人形机器人、汽车、医疗、新能源等多个领域。帕西尼专业级机器人 ITPU 触觉传感器功能强大，在三维/六维力检测的基础上，安装在 PX-6AX 上的柔性传感阵列能额外为机器人提供滑动、摩擦、纹理、温度等额外信息，使得机器人能在更丰富多元的场景下感知。

表 9: 国内电子皮肤主要公司介绍

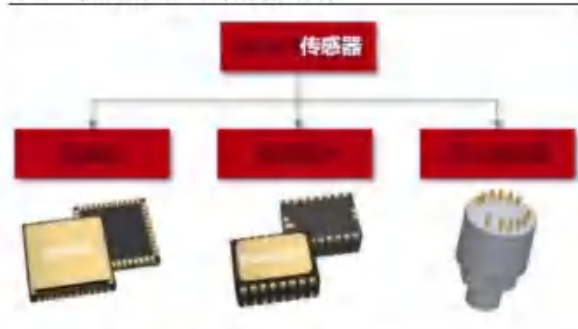
企业	主要业务	电子皮肤产品	人形机器人电子皮肤业务进展
汉威科技	“传感器+高端终端+数据云+AI”的系统解决方案	具备自主知识产权的多品种、多量程的柔性微纳传感器（压力、压电、应变、织物）	开始给多家机器人整机厂商提供电子皮肤及指握类传感器，供其研发使用，目前正在持续跟进后续合作
福莱新材	广告喷墨打印材料、标签标识印刷材料、电子浆功能材料、新型膜材料、胶粘材料等工业消费品及高端智能装备	电阻式	推进研发柔性触觉传感器，致力于成为多模态感知系统集成供应商，打造多产品矩阵的具象化应用，比如人形机器人的触觉、工业检测、智能穿戴、智慧医疗等方面
华威科	智能感知技术、产品与解决方案	电阻式等多条技术路线	致力于人形机器人全身电子皮肤技术发展，推出行业首个全手覆盖的阵列化电子皮肤，涵盖头部、灵巧手、躯干与足底多个关键部位，已与多家机器人行业龙头企业合作，成功运用在超过 200 台人形机器人身上，实现量产，市场占有率在行业细分领域位于前列
帕西尼	从“传感器核心零部件”到“人形机器人整机制造”	电极式	已实现批量商业级交付，客户群体涵盖智能制造、康养医疗、工业生产
佛山科技	人工智能触觉传感芯片及应用解决方案	电容式	已与多家机器人产业链合作伙伴，包括人形机器人、灵巧手和机械臂等，建立了紧密合作

资料来源：各公司官网，长江证券研究所

4) 惯性传感器 (IMU)：惯性导航是一种不依赖于外部输入信息、也不向外部辐射能量的自主式导航方式。其基本工作原理是以牛顿力学定律为基础，通过测量载体在惯性参考系的加速度和角速度，然后对时间进行积分，再变换到导航坐标系中，从而得到载体在导航坐标系中的姿态和位置等信息，实现导航的目的。惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit, 简写 IMU) 中陀螺仪和加速度计是基础核心器件，其性能高低直接决定惯性系统的整体表现。

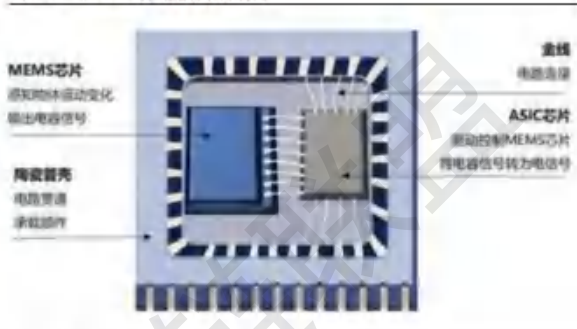
由于人形机器人对惯性导航传感器小型化、集成化、大批量生产的需求，硅基 MEMS 惯性传感器成为主要发展方向，光学 IMU 则用于低成本敏感度的高精度领域如航天、国防、海上导航等。MEMS 惯性传感器主要构成包含一颗微机械 (MEMS) 芯片和一颗专用控制电路 (ASIC) 芯片。

图 26: 芯动联科 MEMS 传感器产品线



资料来源：芯动联科官网，长江证券研究所

图 27: MEMS 陀螺仪内部结构



资料来源：芯动联科招股书，长江证券研究所

目前国内布局人形机器人传感器企业较多。力矩传感器方面，六维力矩传感器技术壁垒较高，涉及设备、工艺和零部件的复杂性，国内企业如宇立仪器、柯力传感、坤维科技等已有较大突破；视觉传感器方面，以海康威视、大恒科技、天准科技、奥普特为代表的本土机器视觉企业，在核心零部件技术、独立软件算法等领域进行了大力投资。触觉传感器方面，国内主要布局厂商包括柯力传感（指尖触觉）、汉威科技（柔性传感器）、东华测试、华益科技、康斯特、敏芯股份（关节扭矩与平衡）；定位传感器方面，惯性传感器 MEMS 芯片/传感器厂商、IMU 模块公司如华依科技、华测导航有望迎来机会。

表 13: 国内机器人传感器相关企业

传感器	主要企业
力矩传感器	宇立仪器、柯力传感、坤维科技、新精诚、海伯森、蓝触摸、神源生、瑞尔特
视觉传感器	海康威视、大恒科技、天准科技、奥普特
触觉传感器	柯力传感、汉威科技、东华测试、华益科技、康斯特、敏芯股份
定位传感器	华依科技、华测导航

资料来源：人形机器人联盟，各公司公告，长江证券研究所

5、灵巧手：多种技术路线并行，国内企业快速追赶

国内人形机器人灵巧手百花齐放，众多厂商布局该行业。国内灵巧手领域的企业主要有两类：1) 人形机器人本体厂商，部分开发并对外出售灵巧手产品，如智元机器人、帕西尼、星动纪元等，有些则只生产人形机器人本体，但灵巧手自研，如灵宝 CASBOT、魔法原子等。目前绝大多数人形机器人本体厂商

仍处于第一代灵巧手研发生产阶段，少部分本体厂商（如智元机器人、优必选、戴盟机器人、傅利叶）灵巧手已经进展到第二代、第三代。2）国内人形机器人产业链上游零部件厂商，如因时机器人、傲意科技、灵巧智能、灵心巧手、忆海原识、兆威机电等，供应灵巧手产品但不供应本体。相较于本体厂商，在产业链上游的零部件厂商在灵巧手性能及商业化量产方面较为领先。

表 6：国内主要厂商灵巧手发展情况




类型	企业	灵巧手	重要参数	技术特点	性能表现	应用场景
本体厂商	星动纪元	星动 XHAND1	12个主动自由度，单指2个自由度，重1.1kg，最大80N握力，25kg负载，可感知温度、压力	全自驱、高自由度、高智能	/	工业制造、商业服务、康养
	智元机器人	升级版 SkillHand	19自由度（12个主视觉感知、高自由使用螺丝刀、倒水、打麻将）负载5kg~30kg	自由度	/	工业制造、家庭
	帕西尼	DexH13 GEN2 四指灵巧手	13自由度，4指多关节仿生结构，5kg负载能力，0.01N力控，15N指尖力	多维触觉+AI视觉系	抓、握、旋转、拿捏等复杂动作	多场景灵巧操作
	戴盟机器人	多维触觉感知五指灵巧手	6个自由度，12个关节	视觉触觉传感器	精准抓取	工业制造
	优必选	Walker S1 灵巧手	6自由度，单手最大负载15kg，配备6个阵列式触觉压力传感器	高精度触觉反馈	具备全栈式灵巧操作策略库	工业制造、家庭服务
	宇树科技	Dex3-13 指灵巧手	7自由度，0.5~20kg，重量45g	灵敏精准	抓取、放置	家庭、工业
	傅利叶	GR-2 灵巧手	自由度由初代的6个增加至12个	/	最大限度模拟人手自然运动	医疗康复、工业、服务零售、教育科研、家庭服务等
	灵宝（AI时）	Casbot 01 灵巧手	22自由度，重量800g，负载5~15kg	轻量与力量的统一	抓、握、挑、钩	工业、家庭、特种环境
	魔法原子	MagicHand S01	11自由度，力分辨率0.1N，负载5~20kg	高负载	抓、握、双指灵巧操作	工业、商业、家庭
	众擎机器人	SE01 灵巧手	单手6个自由度	/	抓取	科研教育、工业
零部件厂商	因时机器人	RH56BFX、RH56DFX与FTP系列工业级新品	6个主动自由度，12个运动关节，重量540g~790g，五指指尖输出力1.5~3kg	精准触觉、超长寿命（百万次以上）、强劲抓力	使用螺丝刀、倒水、家庭服务、无人零售、助老助残、特种应用等	家庭服务、无人零售、助老助残、特种应用等
	灵心巧手	Linker Hand 钛金版 10、T20	工业版自由度25~30个，科研版最高自由度42个，最大负载5kg	超高自由度、高性价比	灵活性高、响应速度快、抓握力度大、精准抓取	工业、科研、教育、医疗等支持二次开发
	灵巧智能	Dexhand021 量产版	19自由度，负载5kg	高自由度、多模态感知、通用性，可二次开发	高灵巧性和适应性，33种抓握类型	/
	傲意科技	ROHand	11个运动关节，6个主动自由度，单手指最高负载10kg，整手负载30kg	运动控制能力强、高准确度、快速响应	高抓取、使用刀具、倒水	家庭服务、医疗康养
	大寰机器人	DH-5	6个主动自由度，11个关节，重700g，整手负载5kg，单指10N	多模态感知、小体积、大负载、高自由度、高精力控	/	服务、医疗、科研、危险环境作业
	兆威机电	ZW Hand	17个自由度，15个关节，单指自由度>=3	首创指关节独立驱动技术	/	/
	速腾聚创	Paper 2.0	20个自由度，最大负载5kg，指尖指腹和手掌上共有14个力传感器	/	操作螺丝刀、拿起鸡蛋、拧螺丝钉	工业制造

资料来源：36Kr，长江证券研究所

传动方案包含直接驱动和间接驱动，其中直驱方案精度高但成本大。直接驱动：电机搭配减速系统直接控制关节，无需传动部件，动力传输路径短，能量损耗小。控制精度高，响应速度快，适合高精度操作。每个关节都需要电机和减速系统，成本随着自由度增加而显著上升。**间接驱动：**电机与减速系统输出转矩经丝杠/蜗轮蜗杆转换为直线运动，再经腱绳/连杆驱动关节，动力传输路径长，能量损耗相对较大。控制精度受传动部件影响，可通过优化设计和控制算法提高精度。电机集中安装，可减少电机数量，通过优化设计和批量采购可降低成本。

目前传动方案以间驱为主，且细分技术还没收敛。非直驱方案传动方案包括微型丝杠或蜗轮蜗杆（将旋转运动转为直线）搭配腱绳或连杆（将直线运动传递至关节），目前微型滚珠丝杠+腱绳为主流方案。连杆传动多用于工业和商业用途，多个连杆串并联混合使用形式比较常见。手指的运动和动力由刚性连杆传递，能够抓取大型的物体且结构设计紧凑，可以完成包络抓取。但在远距离控制上比较困难，容易发生弹射，抓取空间较小。齿轮传动在工业机器人中应用比较广泛，可获得稳定的传动比，传递效率高，可靠性更强。但齿轮传动本身质量加大整体的质量和惯性而显得比较笨重。腱绳传动目前灵巧手研究中应用最为广泛的传动方式。腱绳传动在一定程度模拟人手肌腱结构，线绳传动使得大型驱动器可远离执行机构，减轻末端负载和惯量，提升抓取速度，适合空间较小且需要驱动自由度数目较多的传动场合。但本身有负载能力弱、预紧力变化大、负载越大效率越低的局限性。

表 7: 人形机器人灵巧手主要传动方式

传动方式	传动机构	优点	缺点	典型应用
腱绳传动式	由腱（如钢丝绳）加上滑轮或者软管实现传动，通过电机带动腱拉动手指	控制灵活，结构简单，柔性高，节省空间和成本	腱本身的刚度有限从而会影响位置精度，腱的布局容易产生力和运动的耦合	 特斯拉三代灵巧手
齿轮传动式	通过齿轮或蜗轮蜗杆将旋转变成直线运动，拉动弹簧来驱动手指产生动作	各个手指动作相互独立，可实现精确的传动比，传动精度高，传动扭矩大	结构复杂，柔性不足，抗冲击性能较弱，对于内空间配置要求较高	 HIT/DLR II 灵巧手
连杆传动式	采用平面连杆机构传动，构件之间的接触可以依靠几何封闭来实现	刚度好，负载能力强，加工制造容易，易获得较高的精度	柔性不足，抗冲击性能较弱，对于内空间配置要求较高	 因时灵巧手

资料来源：头豹研究所，人民网研究院，IT技术，小米技术，长江证券研究所

直驱方案逐渐兴起，兆威机电和星动纪元等推出相关直驱灵巧手。兆威机电新灵巧手采用独创的单关节驱动技术实现电机关节内置，整手配备 17 个主动执行单元，单指节拥有 3 个及以上主动执行单元，整手通过仿生学原理设计有 17 个自由度，单只手指自由度大于等于 3 个，可扩至 20 个，能模拟人手难及动作，在自由度方面达到了行业领先水平。

图 13: 兆威机电灵巧手实现关节电机直驱



资料来源：机器人全产业链峰会，长江证券研究所

图 14: 兆威机电手指自由度情况



资料来源：机器人全产业链峰会，长江证券研究所

星动 XHAND1 作为星动纪元首创的关节全直驱仿人五指灵巧手和成人人手大小相仿，在 VPP 模型的训练和验证中展现出了独特的优势。其全直驱方案通过齿轮直接驱动，省去了复杂绳驱、连杆的传动机构，配备 12 个全主动自由度，使速度响应更快，单指能实现 10 次点击/秒，堪比电竞选手的“电竞手”，从而迅速执行 VPP 模型发出的操作指令。

腱绳传动式中腱绳是灵巧手的“肌腱”，通过牵引手指活动，完成各种动作，目前超高分子量聚乙烯纤维是主流的腱绳材料。早期使用的腱绳材料有特氟龙、芳纶纤维、涤纶等。目前，超高分子量聚乙烯纤维，简称 UHMWPE 纤维，别名又叫做高强高模聚乙烯纤维，是分子量 150 万以上的无支链的线性聚乙烯。与碳纤维、芳纶合称为“世界三大高科技纤维”。具有超高强度、超高模量、低密度、耐磨损、耐低温、耐紫外线、抗屏蔽、柔韧性好、冲击能量吸收高及耐强酸、强碱、化学腐蚀等众多的优异性能。目前国内九州星际、千禧龙纤、同益中、南山智尚、恒辉安防、湖南中泰、仪征化纤等企业布局超高分子量聚乙烯纤维。

表 8：中国超高分子量聚乙烯纤维企业产品产能和性能

企业	量产能力(吨/年)	最好断裂强度 (cN/dtex)	最好初使模量 (cN/dtex)	最好断裂伸长率 (%)
九州星际	32,000	40~50	1,200~2,000	≤4
千禧龙纤	8,000	≥43	≥1,800	≤3.5
同益中	7,960	42	1,800	3
南山智尚	3,600	42	/	/
恒辉安防	3,000	>35	> 1,000	/
湖南中泰	3,000	≥43	≥1,600	≤3.5
仪征化纤	3,300	/	/	/

资料来源：中国化工信息杂志、九州星际、千禧龙纤、南山智尚、恒辉安防、湖南中泰、头豹研究院、长江证券研究所

6、“大小脑”：构建通用泛化的具身智能大模型

人形机器人是机器人与人工智能两大产业交汇的关键载体，其发展核心在于实现具身智能——即赋予机器人物理实体，使其能自主感知、决策并与物理世界交互，从而具备通用场景的泛化能力，摆脱传统工业机器人依赖预设程序的局限。然而，尽管硬件基础通过渐进式创新已不断夯实，但实现通用性、走向规模商业化的最大瓶颈在于软件算法层面，产业正迫切期待在人形机器人“大小脑”核心模型上出现一次颠覆式创新，以突破当前仅能在特定场景工作的局限。

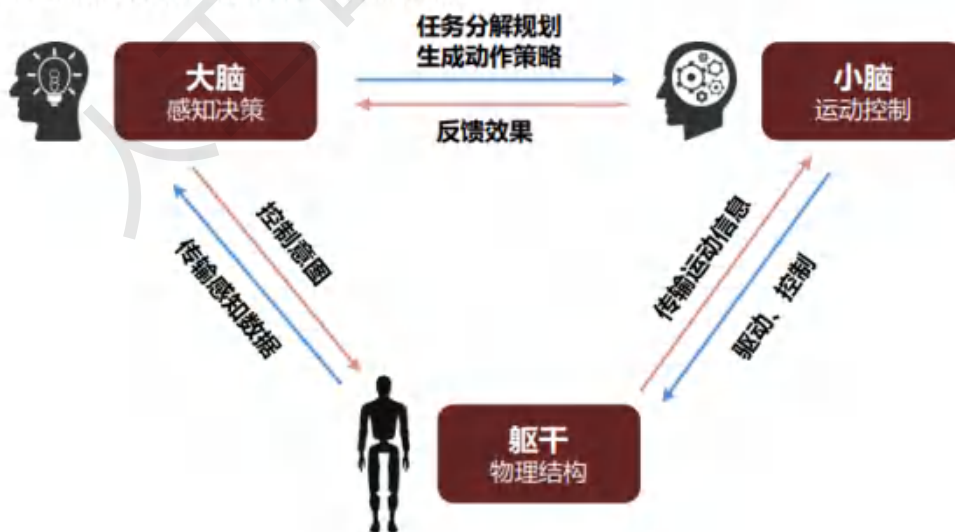
人形机器人的软件体系以实现通用泛化的“大小脑”为核心，由本体企业主导“小脑”并探索“大脑”，大模型公司以多模态算法赋能“大脑”，同时面临数据瓶颈，并依赖仿真与开发平台等基础设施的支撑。



“大脑”负责感知和规划决策：“大脑”处于相对“高级别”的功能层级，主要提供机器人所需要的顶层感知、理解、规划、推理能力。在人形机器人的运动流程中，“大脑”主要处理的是从任务级到技能级的过程环节，其能够理解自然语言指令，解析任务需求，整合来自于视觉等各类模态传感器的信息，进行任务的规划和具体细分技能和动作策略的拆解。近年来 AI 大模型尤其是在多模态大模型领域持续迭代，持续赋能机器人“大脑”层级的进步。

“小脑”负责运动控制：“小脑”处于相对“低级别”的功能层级，主要负责将抽象的动作规划与策略转化为具体的操作并控制执行。“小脑”主要处理的是动作级到基元级的过程环节，在接受“大脑”制定的运动策略后，生成精准的控制指令驱动机器人“躯干”完成动作的执行，并根据具体环境进行适当的优化调整。目前“小脑”的职能主要还是由底层的运动控制系统结合一些控制领域的 AI 小模型来进行承担。

图表 153：人形机器人“大小脑”的功能架构



“大小脑”任务的本质是将任务级的指令逐步转化为基元级的控制指令。“大脑”最初接受到的是用户通过自然语言等形式下达的任务级指令（比如“我想喝杯水，你能够帮忙吗？”），然后“大脑”会将任务规划为对应的操作技能（比如“找到水壶、找到水杯、拿起水壶、给杯子倒水、放下水壶”），并继续拆解为具体的动作指令（比如直线运动、圆弧运动、曲线运动、手抓开合等）；而后“小脑”再对动作指令进行处理，并根据动作指令和机器人物理硬件的限制，生成具体的轨迹规划并最终生成可执行的控制指令（比如目标位置、姿态、力及力矩、速度前馈等），最终再由具体的硬件模块执行控制指令，完成操作任务。

图表 154：机器人“大小脑”所负责处理不同层级的信息



“大小脑”分层架构是当下的主流，一体化端到端路线也在积极探索。“大脑”与“小脑”更多是在功能层级上的划分定义，而在具体的机器人模型架构上，产业既有分层模型架构的技术路线，也有端到端模型架构的技术路线。在当前较为主流的分层架构中，“大脑”与“小脑”分别作为不同的层级由多个神经网络分别训练优化再进行整合，比如可能是由多模态大模型作为“大脑”，再由多个小模型结合运动控制算法组成“小脑”。而端到端模型的理念是要直接实现以人类指令作为输入，机器人动作指令作为输出的端到端方案，“大小脑”可能会走向一体化，作为一个统一的机器人模型进行训练，最终控制机器人整体的感知规划和运动轨迹。而当前的产业发展也尚处早期，技术路线远未收敛，未来各大路径均有规模化应用的可能。

图表 155：机器人“大小脑”分层架构下不同层级模型的职能分工

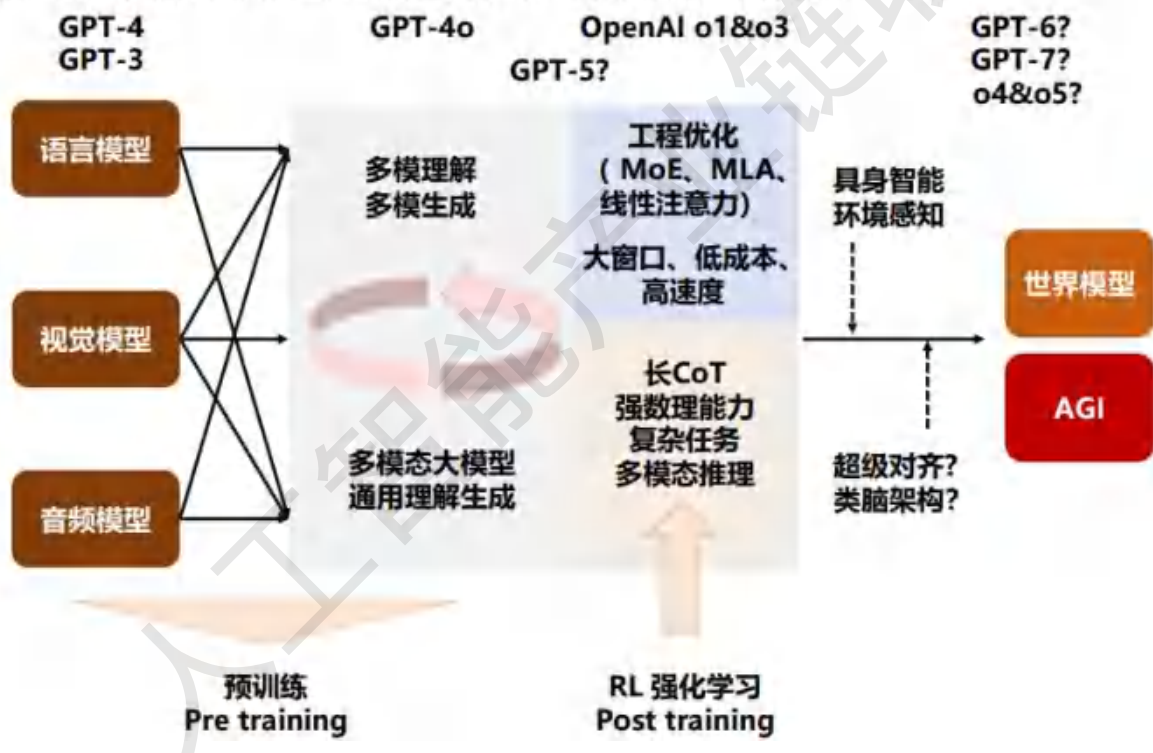


(1) “大脑”：多模态大模型赋能，算法迭代加速

感知与规划是“大脑”的主要职能，也是多模态大模型的能力范围。人形机器人“大脑”一方面需要负责通过感知系统获取多种模态的环境状态信息，同时与使用者通过自然语言等方式进行人机交互；另一方面则需要基于预先设定的策略结合一定的智能推理能力将任务进行规划分解，并转化为可执行的动作策略或代码指令。而这其中所需要的多模态理解、自然语言处理、模型推理以及代码生成均是目前的多模态大模型，尤其是视觉语言大模型（VLM）所擅长的能力。因此目前在行业中众多落地的人形机器人应用中，都是由多模态大模型来担当“大脑”的角色。

多模态大模型加速迭代，端到端、多模融合与多模推理为聚焦方向。从大模型产业本身的发展趋势来看，多模态已经成为行业中众多参与者重点突破的方向。虽然目前包括 OpenAI GPT、Google Gemini、字节豆包等海内外行业头部模型在多模态感知和多模态生成上已有许多成果，但在多模态感知与生成的融合、端到端多模态、多模态推理等方向仍有较大的进步空间。可以预见在未来数年多模态领域仍将是众多大模型大厂聚焦突破的方向。而实际上这些能力也是未来形成更为成熟的机器人“大脑”所必需具备的，这些前沿领域的成果也将为后续“大脑”能力的提升打下基础，或者说机器人“大脑”本身就是这些多模态大模型能力提升后最为直接的应用方向之一。

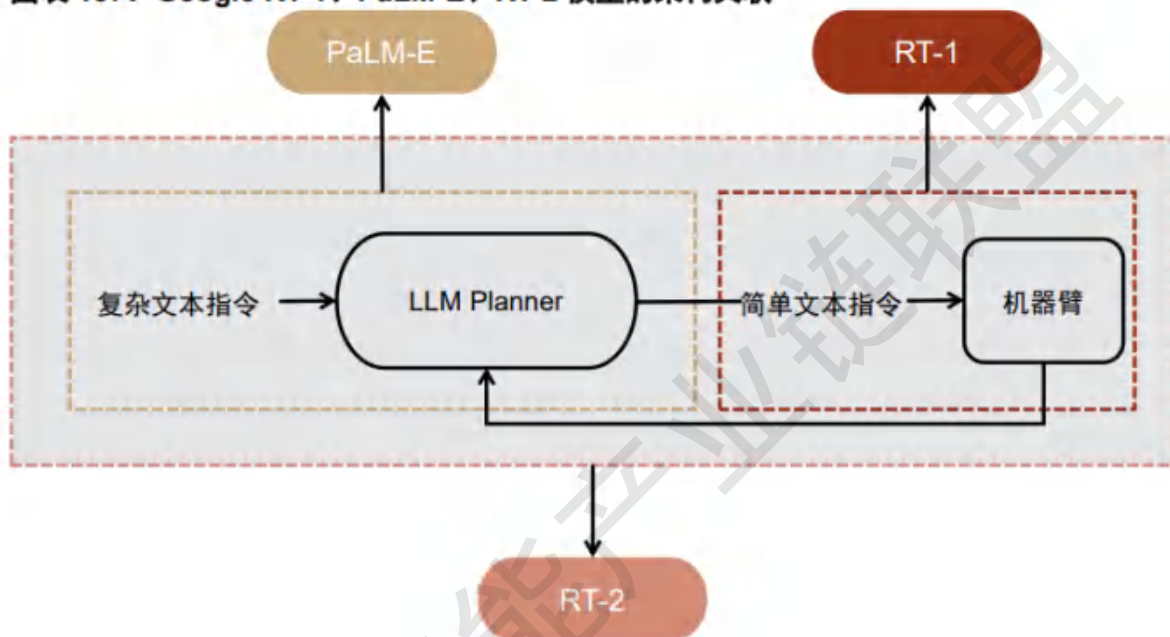
图表 156：多模态是大模型迭代的重要方向，也是具身智能实现的必由之路



大模型大厂关注机器人“大脑”领域，在模型架构和技术路线上积极探索。由于广阔的行业前景，人形机器人“大脑”已经成为了多模态大模型最为重要的垂类分支之一，众多海内外大模型头部厂商都在这一领域加码投入探索。其中典型的就 Google 在这一领域的工作，其在过去几年间发布的 RT-1、PaLM-E、RT-2 系列模型引领了多模态大模型与机器人应用融合的产业探索；而除了 Google 之外，字节跳动的 GR-1、GR-2 系列，OpenAI 与 Figure 的合作探索等也均是模型厂商在“大脑”领域探索的案例。

从 Google 的探索看多模态大模型向人形机器人“大脑”的发展路径：在 2022 年 Google 发布的 RT-1 是行业中对于 Transformer 大模型与机器人领域应用最早的探索，其能够接受简单文本指令和图像输入，基于 Transformer 大模型进行处理，并转化为机械动作输出；之后 Google 又在 23 年推出了 PaLM-E，其是首个具身领域的多模态视觉语言模型（VLM 模型），能够接收复杂的任务要求以及图像输入，将其转化分解为简单的文本指令；而 Google 在 23 年下半年发布的 RT-2 则是对前两者的结合，其定位为多模态视觉语言动作模型（VLA 模型），能够直接理解复杂的任务指令并生成控制指令，进而直接操作机械臂，能够认为 RT-2 也奠定了多模态大模型作为机器人“大脑”的技术路径。而在 2025 年 3 月，Google 发布了新一期机器人模型 Gemini Robotics，在机器人泛化能力和空间推理方面又获提升，同时适配多形态机器人平台，目标构建类似安卓的通用机器人生态。

图表 157：Google RT-1、PaLM-E、RT-2 模型的架构关联



机器人本体厂商愈发重视“大脑”，与大模型公司竞争并行。除了 Tesla 等在 AI 模型领域积累深厚的企业之外，早期的机器人创业公司在“大脑”层面上大多依赖于大模型公司，接入其提供的大模型进行赋能；但随着产业的发展，本体厂商也愈发重视“大脑”作为产品的核心壁垒，更加倾向于加大投入自研大模型“大脑”，或者是与大模型厂商进行合作开发，希望在“大脑”层面掌握更强的竞争壁垒与行业话语权。

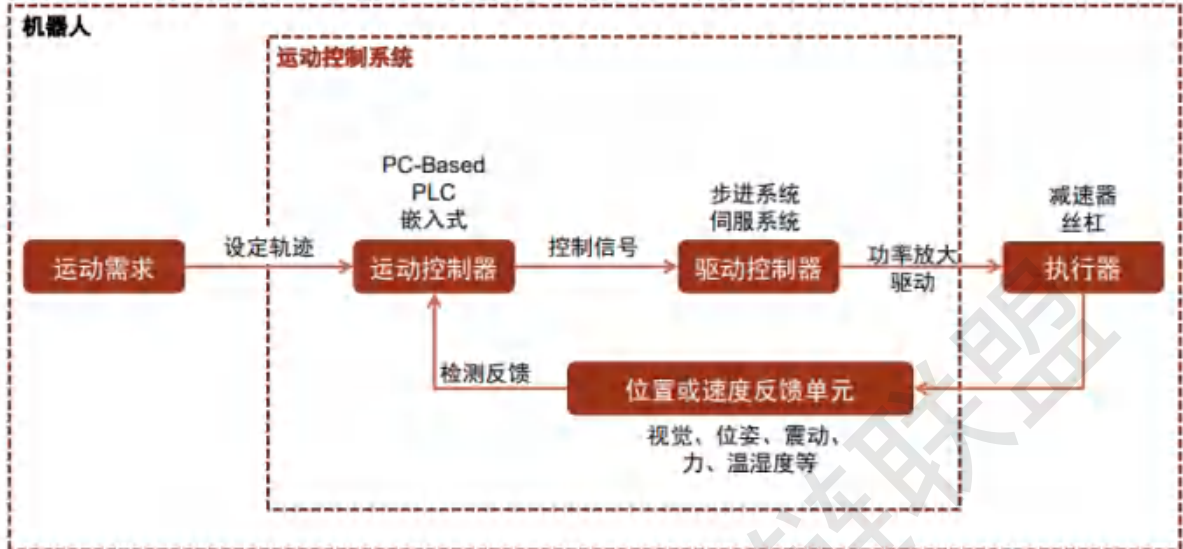
例如在 24 年之前，FigureAI 与 OpenAI 持续合作，在“大脑”层面采用 OpenAI 的 GPT 模型作为支持；但在 25 年之后，双方也宣布合作中止，FigureAI 也在 25 年发布了自研的端到端 VLA 模型 Helix。而在国内，智元机器人也在 25 年 3 月推出了自研通用具身基座模型 GO-1，此外还有更多包括银河通用、智平方、HillBot 等在初期就以“大脑”作为核心壁垒的初创企业。但整体上看，能够认为未来机器人“大脑”的迭代还是需要大模型厂商与机器人企业共同推进，以通用多模态大模型的迭代为技术基础，机器人垂类领域的的数据积累与场景应用为迭代关键。

（2）“小脑”：运动学控制为基，机器学习加持

基于规则的控制是传统的机器人“小脑”技术路径。“小脑”的职能主要是负责机器人的运动轨迹规划与动作控制，其传统意义上的技术路径与工业机器人、工业母机等类似，主要的构成部分包括控制器、伺服驱动器、电机等，通过预编程的方式规划指导机器人的行为，最终实现在复杂条件下将预定的控制方案、

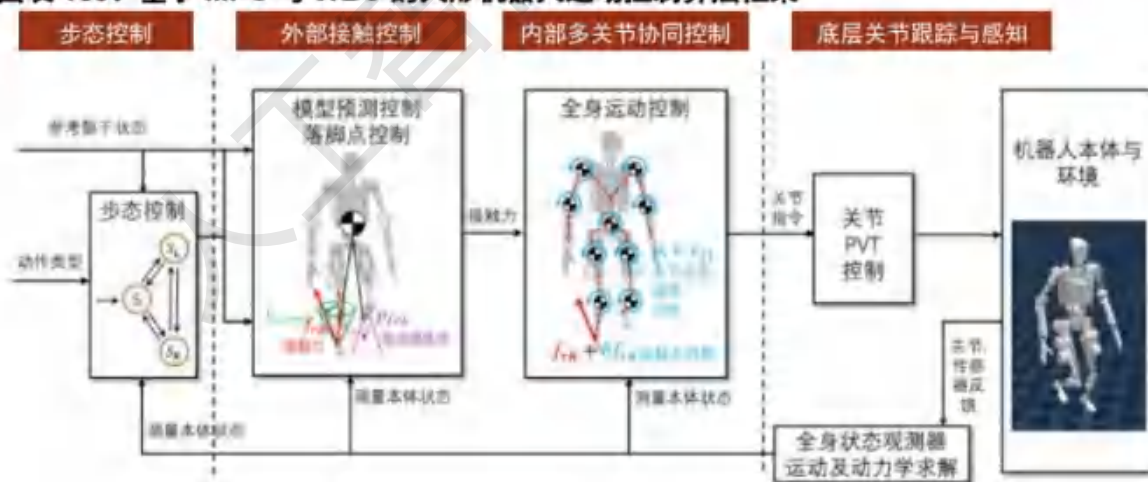
规划指令转化为期望的精确机械运动（位置控制、速度控制、转矩控制等）。但相比之下传统工业机器人，人形机器人“小脑”又需要处理更多维度的输入信号，实现更高自由度的运动控制，因此在技术实现和应用水平上又提出了更高的要求。

图表 158：传统意义上的机器人“小脑”，运动控制系统概览



基于模型预测优化的控制，实现人形机器人的平衡与运动。为了应对更加复杂多样的人形机器人运动控制环境与动作需求，产业也多采用模型预测优化的方式来提升机器人控制的精确度与稳定性，即通过建立运动学与动力学模型，预测未来运动中的机器人状态，在运动的过程中对于每个控制步骤进行滚动优化，最终实现稳定和精确的运动轨迹规划和平衡控制。例如基于 MPC（模型预测控制）+WBC（全身控制）+ZMP（零力矩点步态规划）的人形机器人运动控制框架就是行业中诸多厂商在“小脑”领域采用的较为成熟的方案。然而这类方案通常涉及较为复杂的机器人运动学与动力学模型建模，依赖于仿真测试与实机调试，且整体开发周期也相对较长。

图表 159：基于 MPC 与 WBC 的人形机器人运动控制算法框架



机器学习赋能“小脑”，基于学习的控制加速迭代。在传统的基于运动学模型的控制方式之外，机器学习也在近年来被引入到机器人“小脑”的构建中，通过大规模数据的模仿学习或者强化学习来训练专用的运动控制和物理 AI 模型，从一定程度上降低运动学模型的高开发门槛，加速模型迭代效率。其中例如采

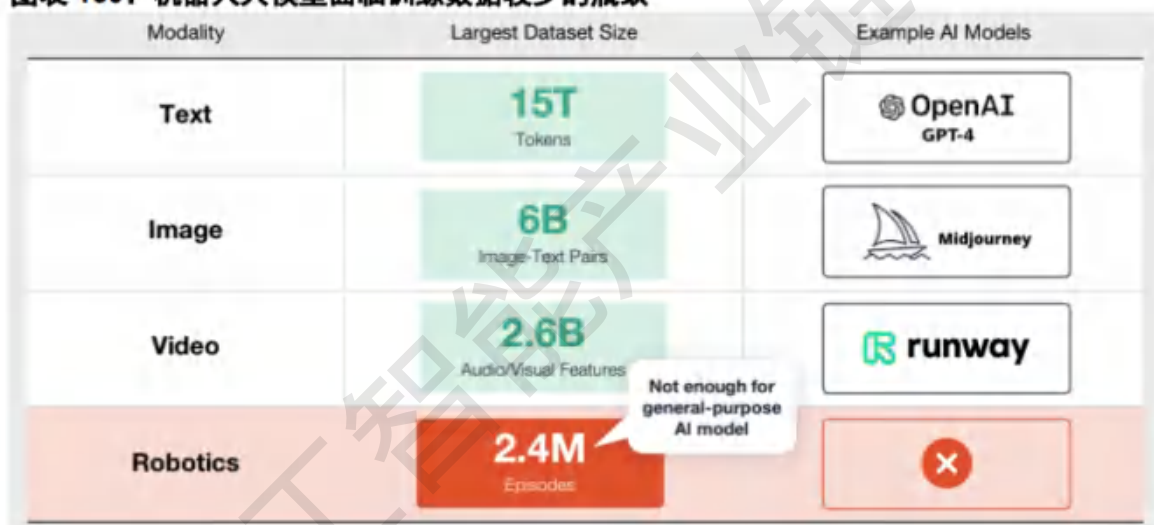
用强化学习的控制方案，通常是采用从传感器输入直接到关节轨迹输出的端到端模式，通过预先设定好的奖励函数，使得机器人在与环境的交互中通过试错的方式自我学习和适应，进而最终实现最优化的运动执行策略。虽然目前在“小脑”领域依旧是传统的基于模型的控制更为成熟，机理明晰且具有更强的鲁棒性；但能够认为基于学习的控制方案也会持续进化，赋予人形机器人“小脑”更加自主高效的迭代速率。

（3）数据：“大小脑”模型训练的核心要素

机器人“大小脑”的迭代需要海量的优质数据支撑。当前的机器人“大小脑”算法很大程度上都依赖于基于大量数据的深度学习来进行训练，大量的优质多样性数据也是机器人实现通用泛化智能的基础。类似于大规模语言模型，机器人模型理论上也能够延续 Scaling-Law，通过更大量级的数据、算力来实现更大规模参数模型的训练，并且实现更强的通用性、泛化性和“智能涌现”。

机器人“大小脑”模型所需的优质数据相对稀缺，尤其是对于端到端模型方案。由于机器人模型的探索仍处于早期阶段，因此与其他类似的 AI 细分方向相比，其在训练数据方面的积累也较为薄弱，尤其是优质的端到端训练数据较为稀缺。例如在语言模型领域，OpenAI 的 GPT4 所用的文本训练数据集有 15T 的大小；在文生图模型领域，Midjourney 的图像训练数据集也有 6B 的大小；而相比之下，产业估计截至 2024 年在机器人模态领域的的数据积累可能仅在 2.4M 量级，远远不足以支撑端到端通用机器人模型的训练迭代。

图表 160：机器人模型面临训练数据较少的瓶颈



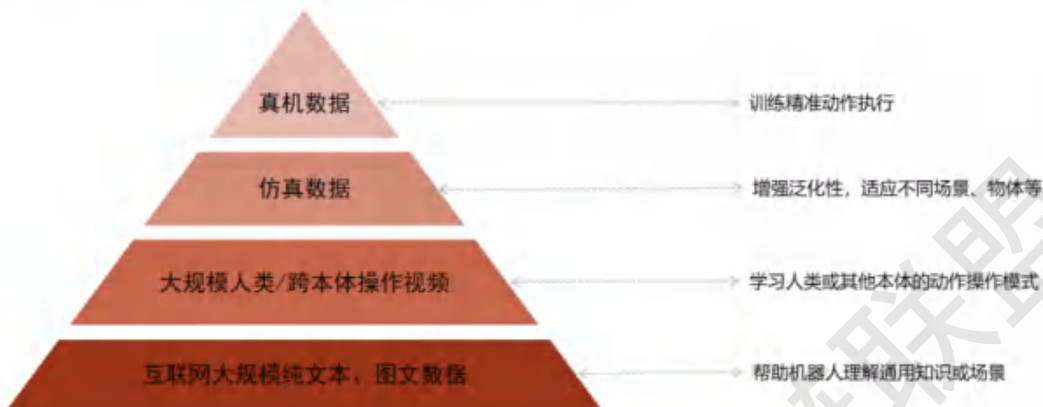
产业尝试采用多种方式，解决机器人训练数据端的瓶颈。目前机器人模型的训练数据主要有几种来源，主要可以分为真实世界数据（真机数据）、仿真数据、互联网数据几种来源：

真实世界数据：来源于机器人实机的运动数据，主要是通过人工以远程操作或是动作捕捉等方式进行采集，这类数据的质量相对最高且更贴近实际的应用场景，但其在采集的过程中也需要较高的时间成本和人力成本，同时数据的多样性也较为有限。

仿真数据：基于大规模算力，通过仿真平台模拟出机器人的各类操作场景并进行模拟运算，进而得到大规模的仿真合成数据并进行训练，这也是在当前技术条件下实现规模化机器人训练数据生成最为可行的技术路径，例如英伟达推出的 Issac Sim 仿真平台目前就已在行业中得到广泛应用。同时虽然仿真数据具有易于规模化和灵活可调整的优势，但其在与实机之间的双向偏差问题仍存在一定的局限性。

互联网数据：大多来自于互联网中的人类活动的视频，让机器人通过多模态模型“大脑”直接理解、学习和模仿视频中的人类动作。这类数据覆盖的场景和语义最为丰富、且获取的难度最低，但缺点也在于缺少精确的物理交互信息，因此其更多是作为多模态数据在训练的过程中进行补充，使得机器人能够学习到一些常识性的信息。

图表 161：机器人模型训练模型的几种主要来源方式

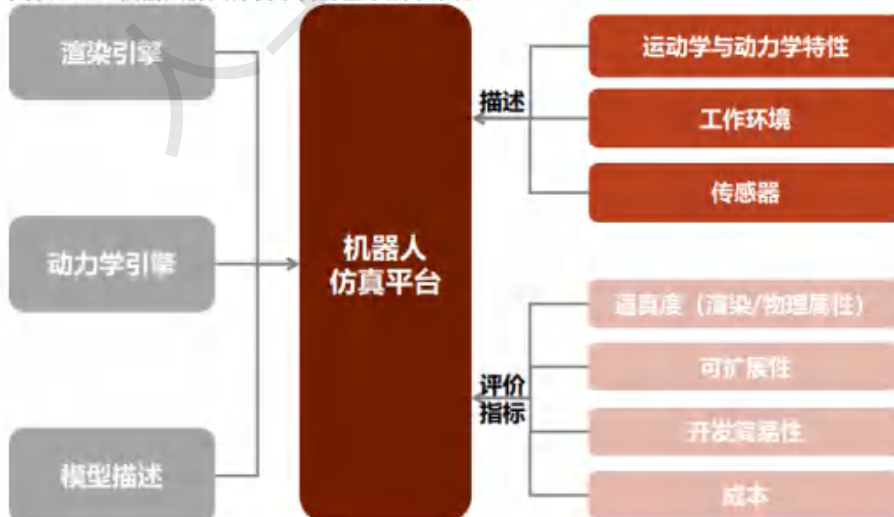


机器人模型的“数据飞轮”仍未形成，低成本大规模真机数据的积累尚未实现。在理想状态下，更大规模人形机器人的落地部署能够自然产生更大规模的实机数据，进而反哺机器人模型的训练，再通过模型能力的提升加速机器人实机的落地应用，形成机器人领域正向循环的“数据飞轮”。然而目前这一“数据飞轮”尚未实现，短期机器人模型的训练还是对于大规模仿真数据较为依赖，如果能够以更低成本的方式实现更大规模真机数据的收集和积累，能够认为这将对机器人模型的训练迭代起到显著的助力。

(4) 软件基础设施：仿真与开发平台助力“大小脑”加速迭代

机器人开发平台提供模型训练所需的仿真环境、计算能力与开发工具。为了满足机器人模型的快速迭代需求，诸多软件厂商也开始提供专用于具身智能领域的基础开发平台，提供涵盖底层算力&云计算、仿真计算能力、开发平台工具以及其他配套基础软件的全栈式解决方案。这使得机器人模型的开发者能够专注于模型算法的迭代开发而无需在底层基础设施上进行重复建设投入，同时提供软件平台的第三方厂商也能够在具身智能产业链中占据一席之地。

图表 162：机器人仿真开发平台的基本技术架构



仿真平台：目前机器人模型训练所需的大规模数据很大程度上都是由仿真平台所生成，再在仿真环境中使用强化学习等方法进行模型训练。而仿真平台的主要功能模块也可分为模型描述、动力学引擎、渲染引擎：模型描述负责机器人模型建模，通过 URDF/SDF 等计算机语言来向仿真平台描述机器人的动力学和运动学特征；动力学引擎是仿真计算的核心求解器，对于机器人模型建模后形成的微分方程进行求解；渲染引擎则是最终负责渲染出机器人的三维图形，使得用户可以通过可视化的界面对机器人在仿真环境中的运行进行观察。

开发工具集与代码库：机器人模型的开发也需要许多共性的工具，同时也有很多可复用调用的 AI 模型能力，开发平台能够将这些工具集和模型库进行集成，便利开发者在具体项目中的使用。例如开源的 ROS 框架，其是专为机器人软件开发所设计出来的操作系统架构，为机器人软件开发提供标准化的硬件抽象描述、底层驱动程序管理、程序间消息传递等能力，能够显著提高机器人研发领域的代码复用率。

云计算&边缘计算平台：机器人模型在云端的训练和推理需要基于成熟的云计算平台，而其在边缘侧的部署也需要配套的边缘计算能力支持，这些底层的计算能力往往不是机器人厂商的擅长领域，而类似于英伟达这样的专业计算厂商也能够提供完整的配套支持。

龙头厂商提供一体化方案集成仿真计算能力，英伟达 Isaac 为其中代表。英伟达 Isaac 是目前行业中应用最为广泛的机器人模型训练平台之一，Isaac 平台的主要模块包括 Isaac Sim 仿真平台、Isaac NIM 模型开发与部署框架、Isaac ROS 机器人操作系统等，同时也提供面向人形机器人模型开发的 Isaac Groot，面向机械臂开发的 Isaac Manipulator，面向 AMR 机器人开发的 Isaac Perceptor 等特定方向的集成化开发平台。

图表 163：Nvidia Isaac 平台的基本架构



除此之外例如微软推出的 AirSim、Unity 的 ML-Agents 等也作为仿真平台在行业中有诸多应用案例；而在国内，索辰科技推出的天工物理 AI 平台也是定位于面向机器人模型开发的物理仿真平台，海内外行业探索持续加速。

图表 164：海内外主流的机器人仿真平台概览

仿真平台	所属厂商	平台功能及特征概览
Isaac Sim	Nvidia	基于Nvidia Omniverse，为开发者提供在基于物理的虚拟环境，实现机器人人的设计、模拟、测试和训练；平台具有较好的可扩展性，开发人员自定义模拟环境，也可以将其集成到外部的测试和验证流程中
ArcSim	Microsoft	基于Unreal Engine的机器人、无人机、汽车等多种设备的仿真模拟平台，主要可用于计算机视觉和强化学习算法在自动驾驶，机器人控制等领域的算法训练
V-REP	Coppelia Robotics	行业应用广泛的机器人仿真软件，为开发者提供集成的3D开发环境，用于快速原型验证、远程监控、快速算法开发，机器人相关教育和工厂自动化系统仿真，其特点在于友好的用户界面和完整的功能
Pybullet	开源	基于 Bullet Physics SDK的开源物理仿真库，主要应用领域包括机器人训练、游戏开发等，其在多体动力学仿真领域功能完善
Genesis	开源	面向机器人、具身AI和物理AI应用的通用物理平台，基于Python实现了前端接口和后端引擎，具有较低的使用门槛和较为完整的功能性，同时其具有优化的并行计算架构，能够支持大规模场景的实时仿真
天工开物	索辰科技	定位于全场景物理AI开发及应用平台，系列产品包括索辰物理AI应用开发平台及机器人设计训练平台、面向工业装备的设计优化与物理AI训练平台等

软件平台公司的长期目标是成为机器人模型核心基础设施的提供方。以英伟达 Isaac 为例，其为机器人厂商的提供是从底层计算引擎，到模型及代码库，到仿真计算，再到应用框架的平台级解决方案，同时其也与英伟达 Omniverse 数字孪生平台以及 Cosmoc 物理 AI 模型紧密结合，其长期的目标是要占据人形机器人“大小脑”训练核心基础设施的生态位，为各大厂商的各类机器人产品提供底层计算能力以及软件基础设施层面的一体化服务。随着未来机器人“大小脑”迭代需求的加速，软件基础设施层面的需求也会持续涌现，为行业中的更多基础软件公司提供切入这一全新产业链的阶段性的机遇。

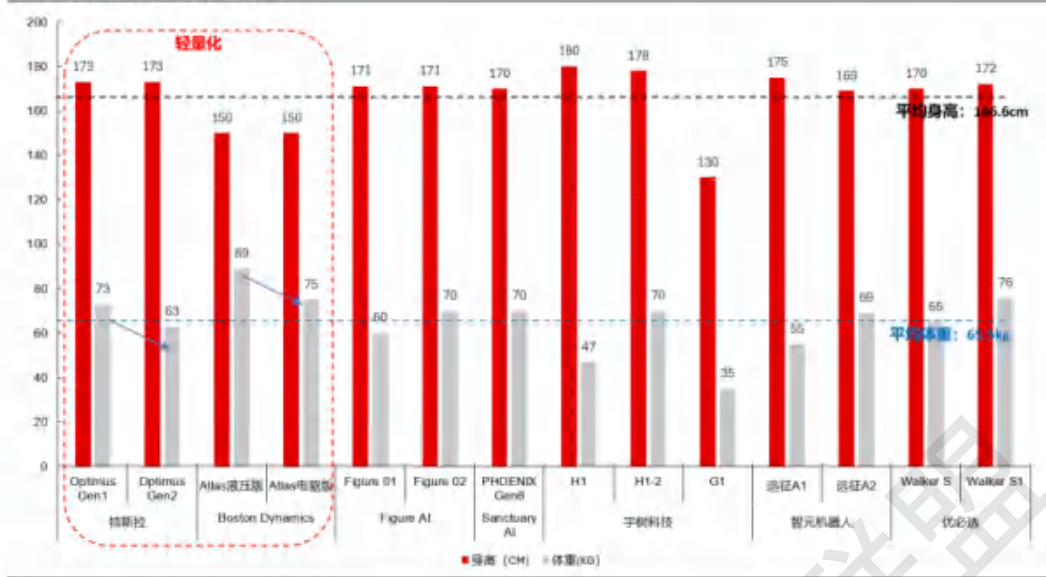
7、轻量化：材料优化势在必行

目前国内外人形机器人平均体重为 65.5 公斤，轻量化能提高机器人的运动和续航能力。在身高方面，人形机器人普遍集中在 170cm 上下，其中宇树科技的人形机器人 H1 身高达到 180cm。从体重维度来看，除宇树 H1 和 G1 外，多数人形机器人的质量都处于 60-80 公斤区间，如优必选的 Walker S1 体重为 76 公斤。整体趋势上，机器人轻量化可提高机器人的运动和续航能力，已成为主要发展方向。

轻量化设计可提高人形机器人的运动效率，使其惯性小、灵活性和敏捷性增强，部件更易驱动和控制，电机转矩密度要求降低，执行复杂动作更流畅精准。如特斯拉 Optimus Gen-2 相比上一代重量减轻 10 公斤，速度提升 30%，平衡和控制能力增强，动作更快。

轻量化设计能提高人形机器人的续航能力，主要通过降低能耗实现。减重可减少运动惯性，降低驱动力需求，减轻驱动系统负担，减少能量消耗。在电池盒体积受限时，提高电池能量密度较难，而减重来降低能耗更具性价比。

图 28：国内外机器人身高体重情况一览



资料来源：各公司官网、亿欧、AI 技术与应用、长江证券研究所

材料优化是人形机器人轻量化主要方式之一，镁铝合金成为理想选择。铝合金、镁合金是工程应用中密度较小的金属结构材料，具有比强度和比刚度高、导热性好、尺寸稳定、减振降噪能力突出、电磁屏蔽性好，以及优异的铸造、焊接、切削加工性能，且易于回收，广泛应用于航空航天、汽车、通信电子和军工等领域；

镁铝合金已在人形机器人领域初步应用。众擎 SE01 人形机器人其机身采用航空级铝材，通过精密的设计与加工实现了极高的强度和轻量化。在实际应用中，该机身不仅能够承受复杂环境下的机械应力，还通过减轻重量显著提升了整机的灵活性和能效，为机器人在移动、操作任务中提供了卓越的性能支持。日本本田公司第 3 代的 ASIMO 便是由轻质合金制成，其外壳就为镁合金材质，这使得机器人的自重大大降低，步行速度由原来的 1.6km/h 提高到 2.5km/h，最大奔跑速度达到了 3km/h。

表 14：轻量化材料性能对比

材料种类	密度 (g/cm ³)	抗拉强度 (MPa)	比强度 (MPa.g/cm ³)	工艺难度	相比普通钢材减重效果	与普通钢材价格对比
普通钢材	7.80	551.60	70.72	较低	-	-
高强度钢	7.85	1379.00	175.67	低	10%-20%	1.5 倍
铝合金	2.70	310.26	114.92	较高	40%	2-5 倍
镁合金	1.74	255.12	146.62	较高	50%	2-5 倍
碳纤维	1.79	2068.50	1334.52	高	60%	5 倍以上

资料来源：智纲集团报告、睿宝集团招股说明书、搜狐汽车、长江证券研究所

特斯拉人形机器人引入 PEEK 材料，推动“以塑代钢”技术革新。其 Optimus Gen2 采用 PEEK 树脂减重。PEEK 是高性能聚合物，具有优异的机械性能、耐高温和化学稳定性，适用于人形机器人制造，可用于：**关节与轴承**：PEEK 的高机械强度、耐磨性、自润滑性及耐高低温性能，使其可用于制造机器人关节轴承和滑动部件，减少摩擦损失，提高使用寿命和运动精度。**手臂和末端执行器**：PEEK 低密度、高强度，可用于制作机器人手臂和末端执行器的结构部件，如手指、夹具和骨架，满足轻量化需求。

表 15: PEEK 和普通金属材料性能对比

指标	PEEK	铝合金	钛合金	普通钢材
密度 (g/cm ³)	1.31	2.70	4.54	7.80
比强度 (MPa.g/cm ³)	1500	114.92	146.62	70.72
介电常数 (代表材料绝缘程度)	优	差	差	差
耐化学性	优	良	差	良
价格 (万元/吨)	57	2.1	1.8	0.3

资料来源: 中研股份招股书, 材料科学与工程, 上海有色网, 长江证券研究所

注: PEEK 材料价格为 2025 年 2 月 5 日美国威格斯 450G PEEK 大陆现货价; 铝合金为 2025 年 2 月 6 日 ADC12 铝合金全国均价; 钛合金为 2025 年 2 月 6 日 AZ91D 钛合金全国均价; 普通钢材价格为 2025 年 2 月 6 日螺纹钢全国均价

PEEK 材料有望用于行星滚柱丝杠制造, 满足人形机器人指关节等部位轻量化、耐磨、高强度需求, 常州瑞璐塑业已通过精密注塑加工验证, 后续将配套用于新一批试验人形机器人机械臂装配。

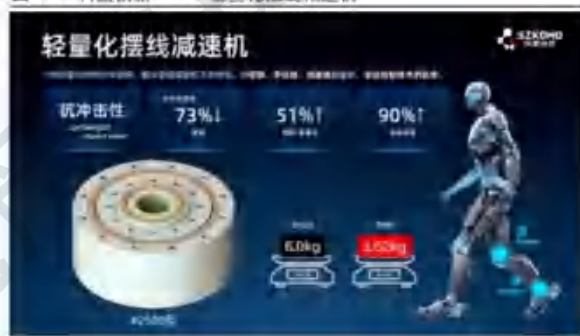
PEEK 在人形机器人减速器领域已发布正式产品。2025 年 4 月 10 日, 科盟创新在上海工业智能中心举办的峰会上发布七款机器人核心传动技术新品, 其中 PEEK 轻量化谐波减速机可实现 40%减重、3 倍寿命提升、轴向尺寸缩减 20%、振动归零误差补偿, 适配精密控制场景; PEEK 轻量化摆线减速机具有 ±1.5%低波动率、空间压缩 30%、抗冲击能力提升 200%, 适配紧凑型高负载任务。

图 31: 科盟创新 PEEK 轻量化谐波减速机



资料来源: 科盟创新, 长江证券研究所

图 32: 科盟创新 PEEK 轻量化摆线减速机



资料来源: 科盟创新, 长江证券研究所

除了 PEEK 材料外, LCP、PPS、PA 等塑料材料也在机器人领域逐渐应用。

LCP (液晶聚合物) 在机器人的伺服电机连接器和电子元器件中被广泛应用, 市场价格一般在每吨 4 至 9 万元。

PPS (聚苯硫醚) 具有优异的耐温性、电绝缘性和耐磨性, 适用于机器人的电气部件和外骨骼, 市场价格为每吨 5.8 万元左右。

PA (聚酰胺) 具有良好的机械强度、刚度、硬度、韧性和耐磨性, 适用于机器人的各种机械部件, 市场价格为每吨 1-2 万元。

8、人形机器人本体：多元厂商角逐，向轻量化、多维感知与拟人化发展

本体厂商不仅限于机器人公司 (智元、宇树、Figure 等), 还包括汽车 (特斯拉、比亚迪、小鹏、小米等)、科技互联网 (华为、字节、英伟达等) 等公司, 各自依托自身优势 (制造能力、需求场景、大模

型能力、控制能力、供应链能力)进行布局,多家公司均已推出相关机器人产品,同时逐步开启量产计划,当前特斯拉、宇树、智元机器人等厂商逐步小批量出货,行业处于产业酝酿发展期。

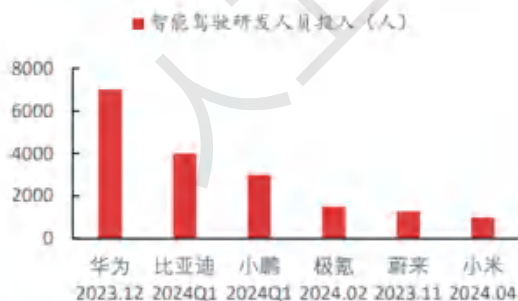
图12: 人形机器人主要厂商情况



资料来源: 各公司官网, 国信证券经济研究所整理

跨界车厂有望在行业成熟期实现后来居上。硬件方面: 具备制造业基因的汽车龙头可将电机、传感器等部件供应链复用至人形机器人, 依托汽车供应链管理经验丰富迅速实现规模效应, 可使人形机器人整机制造成本较初创企业显著降低。软件方面: 人形机器人与汽车自动驾驶本质类似, 都是“感知+决策+执行”, 因此车企的智能驾驶技术可以复用到人形机器人上。未来巨头和初创企业模型差距将随时间呈指数级扩大, 初创企业追赶边际成本急剧上升。

图49: 车企大厂智驾投入高, 能够复用至人形机器人



资料来源: 和讯网, 麦高证券研究发展部

图50: 跨界大厂往往具备较雄厚算力储备

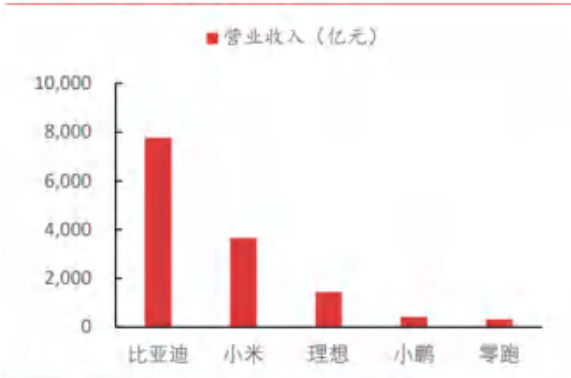


资料来源: 智能车参考, 麦高证券研究发展部

与跨界大厂相比, 初创公司在经营经验、资本实力等方面处于相对劣势地位。当人形机器人进去规模化量产阶段, 机器人本体厂商之间竞争加剧, 供应链管理能力和标准化量产能力、降本能力、资本实力、

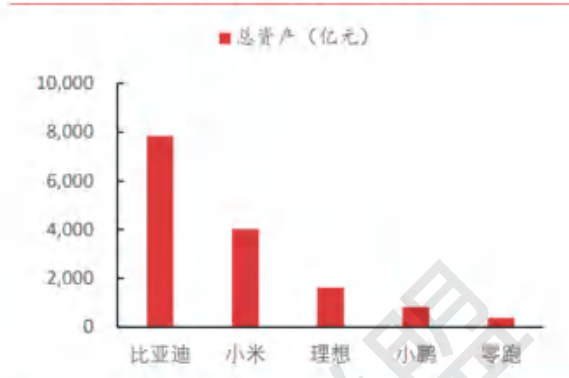
市场开拓能力将成为竞争的核心维度。能够认为初创人形机器人公司需要在产业落地早期迅速在生产制造、市场开拓、人才培养等多个维度建立“护城河”，否则将在人形机器人产业成熟期面临较大的经营风险。

图51: 车企营收体量达数百亿乃至千亿



资料来源: Wind, 麦高证券研究发展部

图52: 车企资产规模达数百亿乃至数千亿, 资产雄厚



资料来源: Wind, 麦高证券研究发展部

人形机器人本体朝轻量化、感知多维化、运动性能拟人化方向发展:

表3: 特斯拉 Optimus Gen2 较 Gen1 的优化举措

主要内容	
轻量化设计	Gen2 体重从 73kg 减至 63kg, 采用镁合金 (密度 1.72g/cm ³) 与碳纤维复合材料, 在保证结构强度的同时减轻重量。提升能源利用效率与运动灵活性, 符合机器人长期运行与敏捷操作的需求, 也为后续更多场景 (如家庭服务) 奠定基础
感知能力多维化	触觉与力觉: 增加手部指尖压力传感器, 脚底触觉矩阵, 脚腕 6 维力传感器及手腕多维力传感器, 实现更精准的接触力感知与平衡控制。适应复杂场景: 力/力矩: 脚腕 6 维力传感器 (动态平衡控制) + 手腕多维力传感器 (操作力度实时调节)
运动性能优化	步行速度从约 6km/h 提升至约 8km/h (提高 30%), 平衡感和身体控制能力显著改善, 通过优化执行器配置 (旋转关节从 20 个增至 28 个, 线性关节从 8 个增至 14 个) 与运动算法, 使机器人运动更敏捷、稳定, 可完成深蹲, 单腿平衡等复杂动作, 向更接近人类运动模式演进
智能化与算法进步	算力: 搭载 Dojo D1 芯片 (362 TOPS 算力), 支持端到端训练 (视频输入-控制输出) 神经网络: 从预设动作编程进化到 AI 自主决策, 通过感知信号直接生成关节控制指令训练方式: 基于特斯拉工厂数据的强化学习, 动态优化行走步态与操作策略
执行器系统升级	旋转关节, 线性关节数量增加, 手部执行器从简单抓取结构升级为 11 自由度灵巧手 (每指 3 自由度 + 拇指 2 自由度), 提升运动灵活性, 多样性与操作精度

资料来源: 亿图汽研, 民生证券研究院

五、供应链情况

1、T 链: 2025 年有望出货千台预计硬件趋于定型

(1) 软件端: 运动能力显著提升功能有望快速迭代

2023 年以来, Optimus 软件端进展迅猛, 运动能力显著提升, 功能性有望持续快速迭代:

1) 上肢能力: 进化主要在 2023 年, 2024 年初已经能够实现柔性物体叠放的复杂功能, 2024 年底进一步迭代重物搬运、运动物体抓握能力;

2) 下肢能力: 2024年突飞猛进,行走协调性、流畅度大幅提升,已具备类人行走能力,并且能够完成室外行走、自主爬高坡楼梯、复杂地形盲跑和平衡保持等复杂功能,而2023年行走步态还较为机械、行走范围仅限于室内;

3) 模型训练: 2024年成效显著,Optimus可用功能丰富度提升明显,2024年已经具备电池单元精确分类、未知空间自主探索与避障、自主充电并返回工位、与人类流畅对话并精确分发物品等一系列能力,而2023年端到端神经网络训练刚刚开始,仅实现了根据颜色分类物品等基础能力。

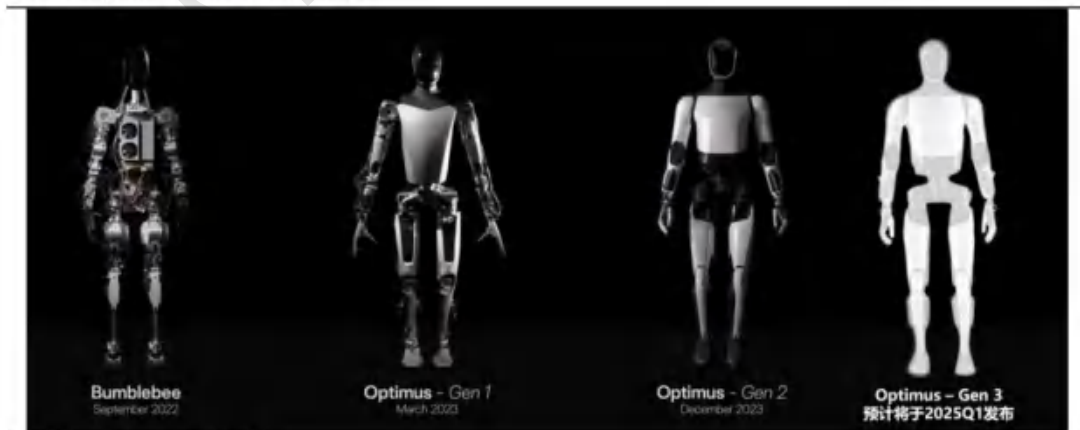


展望 2025 年: 1) Optimus 运动能力有望进一步提升,崎岖地形步态、速度方向响应、跌倒爬起能力将持续迭代,不断接近人类能力; 2) Optimus 功能性有望不断趋于完善,在特斯拉强大算力储备加持之下,Optimus 有望能够执行更多有用任务。

(2) 硬件端: 方案趋于锁定灵巧手/轻量化为优化方向

Optimus 研发进展迅猛, 预计 Optimus Gen3 有望于 2025Q1 发布。 特斯拉 Optimus 研发进展迅猛,持续超市场预期: 1) 2021年8月,在特斯拉首届 AI Day 上,马斯克发布了人形机器人概念机 TeslaBot,并宣布将于 2022 年推出人形机器人原型机; 2) 2022 年 9 月,在特斯拉第二届 AIDay 上,人形机器人 Optimus 正式推出,已经能够完成搬运货物、给植物浇水和移动金属棒等工作,但行走还不稳定; 3) 2023 年 12 月, Tesla Optimus 官方推特发布视频,第二代 Optimus 首次亮相,外观发生较大变化,行走速度、柔顺性、平稳性、操控性能大幅提升。马斯克表示,2025 年 Optimus 产量将为千台级别。随着量产时间渐行渐进,预计 Optimus 硬件方案将趋于锁定,产业链供应关系有望进一步明确。

图14: Optimus 硬件方案变化时间轴



资料来源: informa, 民生证券研究院

全新灵巧手拥有 22 个自由度，微型丝杠+腱绳或为传动方案。Optimus 副总裁 Milan Kovac 表示，全新灵巧手手部有 22 个自由度，手腕/前臂有 3 个，年底前新灵巧手仍需进行改进，方向包括扩展触觉感知集成（比之前的双手覆盖面积更大）、通过肌腱进行非常精细的控制、减轻前臂重量等。Optimus 新灵巧手具体传动方案尚未公开，参考外观类似的灵巧手方案，预计 Optimus 新灵巧手采用微型丝杠+腱绳进行传动，由微电机进行驱动。

图15: Optimus 全新灵巧手方案



资料来源: 特斯拉官网, 民生证券研究院

图16: 空间五指灵巧手结构设计



资料来源: 韩运坤《空间五指灵巧手控制系统设计》, 民生证券研究院

轻量化可大幅优化人形机器人性能。2023 年 12 月，Optimus Gen2 发布，与上一代相比重量减轻 10kg，特斯拉尚未其公开轻量化技术方案。

据前文，Optimus 已在弗里蒙特工厂搭建试生产线，计划 2025 年试生产 5000 台，主要用于内部物流与制造环节。2026 年产能目标提升至 5 万台，并逐步拓展至家庭服务与特殊环境作业。马斯克预估 Optimus 量产之后售价在 2-3 万美元。随着人形机器人持续放量、规模效应不断提升，相关零部件价格将逐步降低，同时市场空间将持续放量。

2、H 链：具身智能创新中心启动发力关键根技术

华为具身智能创新中心启动，与 16 家企业签署战略合作备忘录。华为在人形机器人领域的布局始于 2022 年 4 月，华为与达闼机器人签署合作协议，开展多模态大模型开发、机器人创新应用领域全方位合作。2024 年 3 月，华为（深圳）全球具身智能产业创新中心签约，并于 2024 年 11 月宣布正式启动运营。该中心由华为与深圳前海合作区管理局共同合作建立，致力于瞄准国际前沿技术，以产业示范应用场景为牵引，开展技术攻关和联合创新，共同打造世界级具身智能产业创新中心。会上，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 家企业签署了战略合作备忘录。

图17: 华为机器人领域布局历程



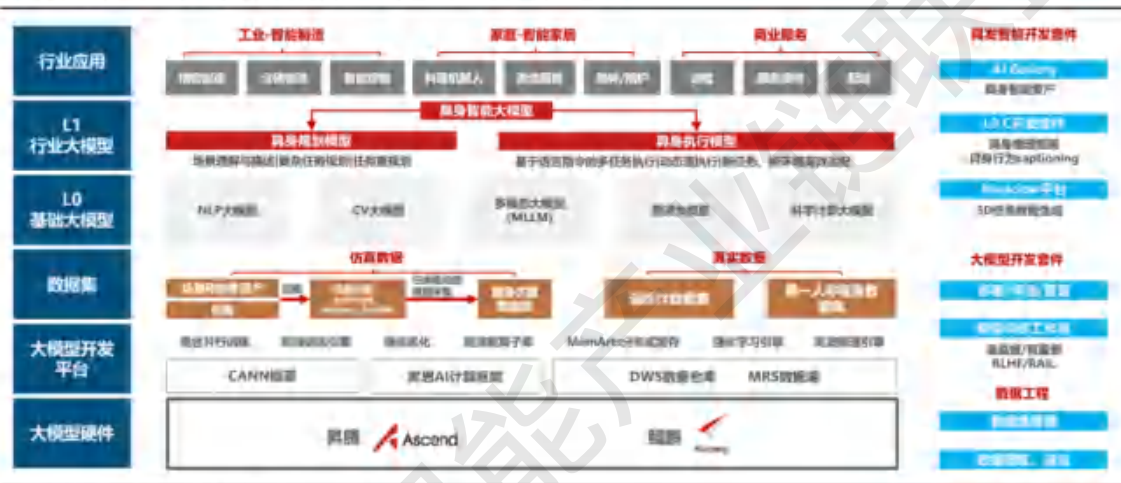
资料来源: 新浪财经, 前海管理局, 深圳新闻网, 民生证券研究院

华为将整合具身智能相关能力，共同建设具身智能大脑、小脑、工具链等关键根技术。华为相关负责人介绍，华为布局具身智能已多年，围绕具身大模型积极布局相关根技术与产业创新赋能，并已与超百家企业共同搭建了具身智能生态圈。华为将整合其各部门的具身智能相关能力，共同建设具身智能大脑、小脑、工具链等关键根技术：

1) 基础投入：在基础投入方面，具身智能根技术实验室将为创新中心提供共性技术底座，确保各项研发工作的顺利进行。大脑根技术研发及产品化将涉及具身智能大模型、多模态大模型以及算力等多个方面，这些技术的突破将为具身智能的应用提供强有力的支撑。而小脑关键技术的研发，则包括柔性自动化装配、柔性自动化测试、多机器人协同制造以及通用双臂精细制造等，这些技术的实现将进一步推动制造业的智能化升级；

2) 联创项目：除了基础技术的研发，创新中心还将开启联创项目，通过华为赋能具身智能技术，联合本体厂商及制造企业共同解决企业技术难题，打造解决企业实际问题的具身明星产品，以提升企业的技术水平和市场竞争力，推动具身智能技术在更广泛领域的应用和落地；

图18：华为围绕具身大模型积极布局相关根技术与产业创新赋能



资料来源：深圳梦，民生证券研究院

赛力斯自 2024 年 8 月起开始布局人形机器人领域，在重庆招聘具身智能控制工程师、嵌入式软件开发工程师等多个相关岗位。但公司在 2024 年 11 月 4 日澄清，并未与任何伙伴联合开展人形机器人方面的合作。

华为系标的主要包括具身智能创新中心签约合作伙伴、机器人零部件送样供应商两类；赛力斯链标的主要为川渝地区机器人相关企业。

表5：川渝地区&赛力斯链人形机器人上市公司一览

公司	省份/城市	机器人领域布局
赛力斯	四川	公司全资子公司重庆赛能正在建设“智能制造核心零部件项目”，其中包含了机器人用高精度减速机及关节驱动总成等产品。
重庆科技	重庆	公司减振器产品目前主要应用于新能源汽车。公司对未来发展前景的新兴减振器领域保持关注，并计划结合公司实际进行拓展。
重庆精工	四川	公司在机器人关键硬件智能电驱上已布局研发产业，即整合减速机、智能控制及电机技术。拓展谐波减速机行星减速机两个平台的电驱产品，已进行小批量生产和交付。
重庆智造	四川	公司自主研发的永磁同步电机轻量化、紧凑型超小谐波减速机，以及正处于研发阶段的行星电机，均适配应用于协作机器人和人形机器人。
重庆科技	江苏	公司人形机器人目前在制造场景下的实际应用已有进展，后续将对灵巧手的部件结构及大小腿控制策略进行优化升级，以期满足后续更为复杂生产场景的需要。

资料来源：iFind，民生证券研究院

表4：华为链人形机器人上市公司一览

相关上市公司	机器人领域布局
具身智能创新中心签约合作伙伴	
伟创机电	2024年11月，兆威机电正式推出其手指集成驱动的灵巧手，该手采用了独特的球关节驱动技术。整手配备了17个主动执行单元，其中单指可达3个及以上主动执行单元，实现了类人手的灵活性和高速度。
大族激光	大族机器人是大族激光参股子公司，由大族激光持股17.47%。2024年11月，大族机器人展示了携手华为打造的自动化碳纤维层压成型应用。基于“大族机器人+华为人工智能控制技术”，系统通过三维视觉设备及其他智能传感器，采集碳纤维工件模具信息后，经过华为多模态大数据分析，可以快速制定最佳工作路径，引导机械臂完成碳纤维层压成型操作。
拓斯达	2020年9月，拓斯达表示：公司与华为在自动化业务方面已初步展开合作。相关项目尚处于前期验证阶段。2024年9月，拓斯达出席华为全球大会，展示了基于openEuler开源操作系统在云端部署，边缘数据中心及端侧工业控制系统中的实际应用。
中坚科技	2024年3月，中坚科技投资了挪威知名人形机器人公司1X，正式切入人形机器人赛道。2024年8月，中坚科技明确表示双方合作将着眼于商务及供应链合作，后续公司将有效整合国内相关产业链资源，为1X实现新一代人形机器人快速低成本、拓宽市场渠道提供有效助力。
埃夫特	2024年8月，清华大学、中国科学技术大学分别与埃夫特、启智机器人成立的联合实验室宣布正式启动。各方将围绕联合实验室，共同开展具身智能感知、决策、规划和控制相关前瞻技术和共性技术平台研究和探索。推动机器人智能化能力突破，同时深耕计算与感知技术、系统设计与控制策略等核心领域，驱动智能机器人技术发展。
禾川科技	禾川人形机器人是禾川科技旗下人形机器人业务子公司，由禾川科技持股60%。公司伺服系统可以广泛应用于人形机器人领域。“人形机器人业务为未来重要战略方向之一，目前该项目进展顺利。人形机器人部件、组件目前已实现小批量订单。”
机器人零部件送样供应商	
柯力传感	2024年9月，柯力传感表示，公司的六维力传感器送样直接与华为公6次线，华为公司基于其商业需要作出此协议支持。目前送样已交付。

资料来源：汇工人形机器人，iFind，民生证券研究院

3、NV 链：三大平台全面布局提供全面支持框架

英伟达提出机器人三大计算平台协同解决方案，形成从训练到优化再到执行的完整体系。在 CES2025 主题演讲中，英伟达 CEO 黄仁勋提出，每家机器人公司最终都必须构建三台基础计算机协同的解决方案，包括 DGX、Omniverse with Cosmos 以及 AGX，以形成从训练到优化再到执行的完整体系。其中：

- 1) DGX 系统：用于在数据中心训练基于 AI 的堆栈；
- 2) Omniverse with Cosmos，即数字孪生系统（Digital Twin）：用于仿真和合成数据的生成，将经过训练的人工智能进一步实践完善；
- 3) AGX 系统：端侧计算平台，用于处理实时传感器数据，可以部署在汽车、机器人、AMR 或任何其他设备中。

英伟达携手众多合作伙伴，共建机器人生态系统，合作方涵盖解决方案与服务供应商、AI 视觉公司、机器人操作系统公司、机器人传感器制造商、人形机器人主机厂等多个领域。

图21：英伟达机器人三大计算平台协同解决方案



资料来源：英伟达，民生证券研究院

图22：英伟达机器人生态系统合作伙伴



资料来源：英伟达，民生证券研究院

Cosmos 定位为物理 AI 的世界基础模型，基于海量真实数据训练，可生成逼真合成数据，助力开发者加速机器人与自动驾驶模型开发。Cosmos 的首批用户包括 iX、Agile Robots、Agility、FigureAI、Foretellix、Fourier、Galbot、Hillbot、IntBot、Neura Robotics、SkildAI、Virtual Incision、Waabi 和小鹏汽车等领先机器人和汽车公司，以及共享出行巨头 Uber。

英伟达基于 Cosmos 推出的 IsaacGRoot，通过捕捉少量人类动作并生成海量合成运动数据，加速人形机器人训练。其 Blueprint 工作流程包括：通过 GRoot-Teleop 工作流，借助 Apple Vision Pro 在数字孪生环境中捕捉人类动作作为金标准；将捕捉到的人类示范扩展成更大的合成运动数据集；GRoot-Mimic 工作流会将捕捉到的人类示范扩展成更大的合成运动数据集。最后，基于 Omniverse 和 Cosmos 平台构建的 GRoot-Gen 工作流，通过域随机化和 3D 提升技术指数级扩增数据集，最终在 Isaac Lab 中教会机器人高效安全地移动和互动。

图25：英伟达 Isaac GRoot 工作流程



资料来源：英伟达，民生证券研究院

图26：英伟达人形机器人合作伙伴



资料来源：英伟达，民生证券研究院

全新打造 Jetson Thor 芯片，为人形机器人产业合作伙伴构建全方位开发平台。Jetson Thor 内置单芯片和新一代 Blackwell GPU 架构，性能、功耗等明显优化，带宽达到 100GB/s，AI 计算性能达到 800TFLOPs。作为新型计算平台，Jetson Thor 能够执行复杂的任务，并与人和机器安全自然地进行交互，具有针对性能、功率和尺寸进行优化的模块化架构，可为 GRoot 等通用基础模型提供强大运行支持，大幅提升开发者工作效率。

图27：英伟达发布机器人专用芯片 Jetson Thor



资料来源：英伟达官方网站，民生证券研究院

图28：英伟达合作伙伴涵盖全球众多人形机器人厂商



资料来源：英伟达官方网站，民生证券研究院

英伟达人形机器人合作伙伴中，中国企业占比近半。在 CES2025 英伟达创始人兼 CEO 黄仁勋主题演讲上，共有 14 款人形机器人亮相，其中 6 款为中国企业产品，占比达 43%，包括星动纪元的 Star1 机器人、智元机器人的远征 A2 机器人、傅利叶的 GR-2 机器人、银河通用的 G1 机器人、宇树的 H1 机器人、小鹏的 Iron 机器人等。

表6: 英伟达人形机器人合作伙伴一览

公司名称	成立时间	国家	公司简介
傅利叶智能 (Fourier)	2015年	中国	创始人副建创业经验丰富, 从康复机器人研发转型, 2023年成为通用人形机器人公司, 2024年发布 GR-2, 在硬件、设计等多方面创新提升, 借助英伟达产品满足应用需求。
宇树科技 (Unitree)	2016年	中国	杭州宇树科技发布的 H1 人形机器人在尺寸、承载、自由度等方面有特点, 配备大功率电机, 结合自研和英伟达技术可自主学习动作。
小鹏汽车 (XPENG)	2021年 (子公司鹏行智能成立时间)	中国	Iron 机器人遵循类真人比例, 在芯片、视觉、算法等方面优势明显, 已在工厂实训, 未来聚焦特定领域应用。
智元机器人 (Agibot)	2023年	中国	致力于 AI+机器人融合创新, 创始团队实力强。2023年推出 A1 原型, 2024年发布多款商用机器人新品并批量量产。2025年量产 1000 台通用具身机器人下线, 其产品适用于多种工作场景且自主移动性能良好。
星动纪元 (ROBOTERA)	2023年	中国	清华大学持股, 创始人学术背景深厚, 专注于通用人工智能前沿应用, 推出的“小星”系列人形机器人多次迭代升级, 实现硬件模组和底层算法通用, 最新产品在性能上表现突出, 还在技术融合方面取得进展。
Gaibot (银河通商机器人)	2023年	中国	致力于提供通用机器人服务, 创始人背景强大。2024年发布 GaibotG1 机器人, 有独特结构和功能, 能完成多种技能, 其技术路线分层架构提升系统性能。
Boston Dynamics	1992年	美国	由马克·雷波特成立, 旗下拥有多款知名机器人。2024年推出电驱版 E-Atlas 人形机器人作为商业产品, 在模拟和模型预测控制方面增强, 并与丰田研究所合作开发。
Agility Robotics	2015年	美国	由俄勒冈州立大学实验室项目成果衍生, 其 Digit 机器人专注物流仓储, 已交付部分产品, 新工厂投入运营后计划增产, 通过项目获得收入且有后续产能计划。
Apptronik	2016年	美国	脱胎于美国得克萨斯大学实验室, 由该校机器人实验室团队创立, 在机器人领域研发超 8 年, 曾支撑 NASA 开发 Valkyrie 人形机器人, 2023年发布首款人形机器人 Apollo, 定位为高性能等多功能机器人系统, 重视可视化, 与多公司合作提升能力并拓展应用场景。
Figure	2022年	美国	旨在解决人力短缺问题, 2023年融资发展, 先后发布 Figure01 和 Figure02, 后者在电池、机械手、模型等方面有提升, 可自主执行复杂任务, 适用于多领域。
Sanctuary AI	2018年	加拿大	员工来自知名企业, 其 Phoenix 机器人由独特 AI 系统控制, 在零售任务中表现出色且已试点商业部署。
NEURA Robotics	2019年	美国	知名 AI 机器人公司, 早期受大族机器人投资, 后独立发展, 曾推出多款创新产品, 2022年启动人形机器人 ANE-1 项目, 定位为通用辅助机器人, 在多个领域展示出出色表现, 是英伟达相关计划成员。
1X	2014年	挪威	专注开发具有人类运动和行为能力的机器人, 是首批将人形机器人应用于家庭场景的公司之一, 产品不断更新, 新机器人性能优异且结构设计独特, 预计 2025 年量产。
MenteeBot	2021年	以色列	2024年展示 Menteebot 原型, 集成多种技术, 可完成复杂任务, 预计 2025 年量产且有不同版本规划。

资料来源: 机器人产业应用, 民生证券研究院

NV 系标的主要包括与英伟达在其他领域有合作的公司。

表7: 英伟达链人形机器人上市公司一览

相关上市公司	与英伟达合作关系
德赛西威	英伟达在中国大陆市场自动驾驶领域最重要的 Tier1 合作伙伴, 2018年, 英伟达 Xavier 芯片正式交付, 公司成为其全球重要合作伙伴之一, 也是其唯一一家中国公司。
阿尔特	英伟达 SolutionAdvisor: Consultant 合作伙伴, 未来将结合英伟达技术赋能与产品服务, 在 AI 模型、机器人、自动驾驶等多个领域为客户提供一揽子解决方案。
奥比中光	近年来, 公司与英伟达的多类合作, 助力开发者能够更加便捷地应对 3D 感知和计算机视觉领域的复杂性, 作为英伟达全球产业数字化生态联盟的合作伙伴之一, 未来将与英伟达生态持续深入融合, 助力更多机器人及元宇宙创新应用开发及产业化落地。
九号公司	公司通过与英伟达合作, 共同推动机器人行业的发展, 英伟达在发布会上展示了多个机器人, 涵盖了软硬件、芯片等方面, 而公司在机器人驱动能力方面的优势与英伟达的技术形成互补。

资料来源: iFind, 苏州机器人协会, 芯流汽车等, 民生证券研究院

六、相关公司

1、宇树科技

宇树科技的产品线主要包括四足和人形机器人。宇树科技由王兴兴创立于 2016 年 8 月，总部浙江杭州，是全球最早实现四足机器人商业化的公司之一。2025 年 6 月，宇树科技完成股改，名称由杭州宇树科技有限公司变为杭州宇树科技股份有限公司。在四足领域推出 A1、A2、Laikago、Go1、Go2 等产品，2023 年 7 月发布 Unitree Go2 四足机器人，起售价 9997 元，11 月发布专为工业场景设计的四足机器人——Unitree B2，应用于电力巡检等各类工业、特种救援场景；人形方面研发 H1 全尺寸人形机器人和 G1 高自由度高性价比人形机器人。

图61：宇树科技产品矩阵



资料来源：宇树科技官网，国信证券经济研究所整理

2023 年，全球四足机器人销量 3.4 万台，宇树以 69.8% 的份额居全球首位。内资厂商在消费和行业级市场领先，国际企业在高端行业级应用领域优势显著。2023 年，人工智能大模型突破推动人形机器人发展，宇树也进军该领域，凭借积累具备较强人形本体制造能力。2023 年 8 月，宇树发布首款双足机器人 Unitree H1，售价 9 万美元。2025 年春晚，16 台 H1 亮相，靠 AI 训练执行激光 SLAM 定位，全自动走位变队形，涉及多种技术。2024 年 5 月，宇树发布 G1，起售价 9.9 万元人民币，价格较 H1 下降超 80%，拥有 23 - 43 个关节自由度，有力控灵巧手，分 G1 和 G1 EDU 两种型号，后者提供不同模块方案搭配，在算力、自由度、承载力等方面较优。宇树自研自产 G1 关节模组，有 3 种类别，带双编码器的行星减速器关节模组最大瞬时扭矩 140Nm。2025 年 1 月，宇树发布首个人形机器人应用方案 G1-Comp，能在足球场奔跑、转身、转圈，基于 Yolo11 网络算法实现球场环境快速识别、精准定位，续航约 2 小时。2025 年 7 月，宇树发布新款机器人 R1，拥有 26 个自由度，售价 3.99 万元人民币，集成语音和图像多模态大模型。

量产方面，2024年8月份宇树宣布 G1 可大规模量产。基于端到端深度强化学习和仿真训练的技术路线，G1 可快速升级迭代。2025年7月，宇树科技和智元机器人在中移（杭州）信息技术有限公司 2025 年至 2027 年人形双足机器人代工服务采购项目中中标。本次采购的项目总预算为 1.2405 亿元（含税）。采购包 1 为全尺寸人形双足机器人，预算为 7800 万元（含税），最终中选人为智元机器人；采购包 2 为小尺寸人形双足机器人、算力背包、五指灵巧手，预算为 4605 万元（含税），中标人为宇树科技。

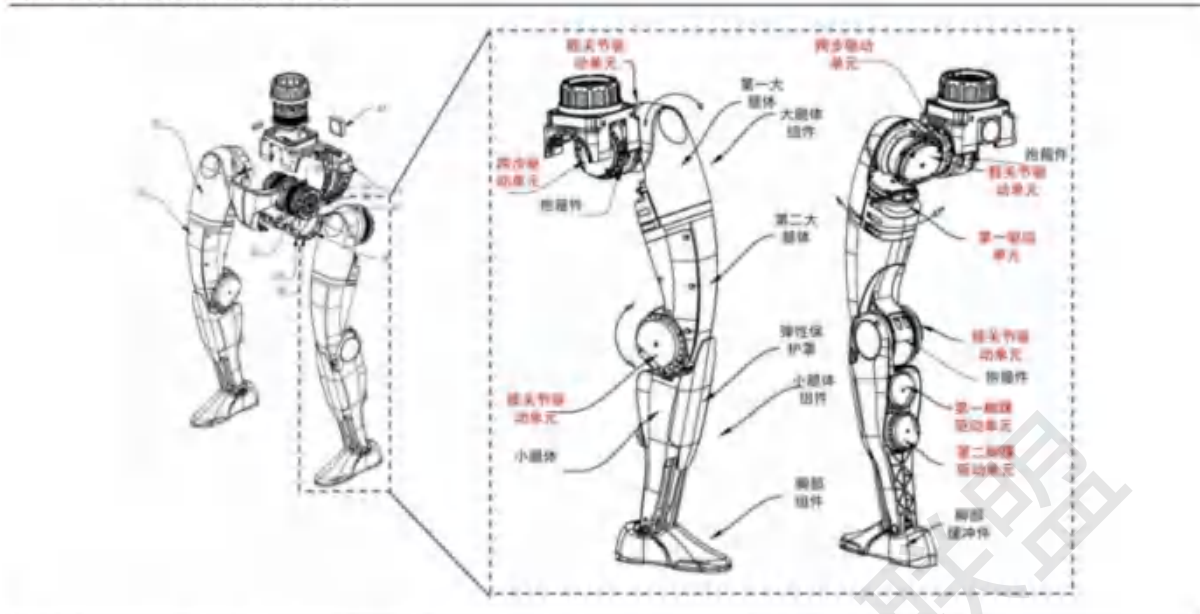
表 10: 宇树人形机器人本体情况

	宇树 H1	宇树 H1-2	宇树 G1	宇树 G1 EDU	宇树 G1-Comp	R1
示意图						
发布时间	2023年8月	2023年8月	2024年5月	2024年5月	2025年1月	2025年7月
身高	180cm	178cm	130cm	130cm	130cm	121cm
体重	47kg	70kg	35kg	35kg+	35kg	25kg
自由度	单手臂自由度 4(可拓展), 单腿自由度 5(髋关节 3, 膝关节 1, 踝关节 1)	总自由度 27 个, 单手臂自由度 7(肩关节 3, 肘关节 1, 腕关节 3), 单腿自由度 6(髋关节 3, 膝关节 1, 踝关节 2)	总自由度 23 个, 单手臂自由度: 肩关节 3+肘关节 2+腕关节 2(选配); 单腿自由度: 髋关节 3+膝关节 1+踝关节 2; 腰部自由度 1	总自由度 23~43 个, 单手臂自由度 5, 单腿自由度 6, 腿自由度 6, 单手臂自由度 7(可加选力控 3 指灵巧手 Dex3-1)+2(可加选 2 个手腕自由度), 腰部自由度 1+2(可加选)	总自由度 25~45 个, 单手臂自由度 5, 单腿自由度 6, 腿自由度 6, 单手臂自由度 7(可加选力控 3 指灵巧手 Dex3-1)+2(可加选 2 个手腕自由度), 腰部自由度 1+2(可加选)	总自由度 26 个, 单手臂自由度 5; 单腿自由度 6; 腿自由度 6; 腰部自由度 2; 头部自由度 2
灵巧手	选配	可选配 RH56 或其他灵巧手	3 指力控灵巧手	3 指力控灵巧手, 大拇指 3 个主动自由度; 食指 2 个主动自由度; 中指 2 个主动自由度, 可加选安装多点触觉阵列)	3 指力控灵巧手, 大拇指 3 个主动自由度; 食指 2 个主动自由度; 中指 2 个主动自由度, 可加选安装多点触觉阵列)	选配
最大关节扭矩	360Nm	腿 360Nm, 手臂 120Nm	120Nm	120Nm	120Nm	-
手臂负载	-	峰值约 21Kg, 额定约 7Kg	最大负载约 2kg	最大负载约 3kg	最大负载约 3kg	最大负载约 2kg
续航时间	-	-	2h	2h	2h	1h
感知硬件	3D 激光雷达+深度相机	3D 激光雷达+深度相机	3D 激光雷达+深度相机	3D 激光雷达+深度相机	深度相机(可加选 3D 激光雷达)	双目相机
移动速度	3.3m/s, 潜在运动性能 > 5m/s	< 2m/s	2m/s	-	2m/s	-
售价	9 万美元	-	9.9 万元起	-	-	3.99 万元起

资料来源: GGII, 宇树科技官网, 国信证券经济研究所整理

在关节方案选择方面，根据宇树科技的专利，宇树人形机器人目前主要采用驱动电机+减速器的旋转关节方案。根据宇树专利，第一大腿杆上部设有髋关节电机及减速器单元，以驱动第一大腿杆左右摆动进而带动整个腿部动力结构左右摆动。第一大腿杆和第二大腿杆之间有第一电机及减速器单元，实现第一大腿杆与第二大腿杆相对周向转动；大腿杆组件与小腿杆组件之间设有膝关节电机及减速器单元，以驱动大腿和小腿杆组件相对前后摆动；小腿杆上设有脚踝电机及减速器单元，输出端设有依次连接的摇臂和连杆，连杆与脚部支撑件连接，以带动脚部支撑件作上下、左右方向的摆动。

图62: 宇树人形机器人腿部关节专利



资料来源: 宇树科技专利文件, 国信证券经济研究所整理 注: 图中标红的驱动单元为旋转电机或具有减速器的电机

2、智元机器人

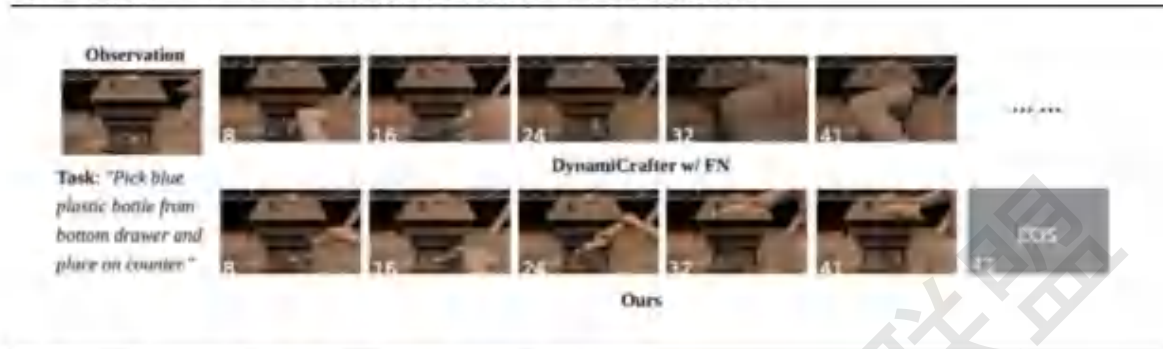
智元机器人成立于 2023 年 2 月, 创始团队包括“稚晖君”彭志辉在内的多位业内资深人士, 背景综合互补, 具有深厚的核心技术背景、产业管理经验和产业资源, 已完成多轮融资。2025 年 7 月, 智元机器人收购上市公司上纬新材 63.62% 股份, 股权交易完成后, 上纬新材控股股东将变更为智元机器人及其管理团队共同持股的主体, 实际控制人将变更为邓泰华, 核心团队包括稚晖君等。

机器人产品方面, 2023 年 8 月智元发布第一代通用型具身智能机器人原型机远征 A1, 2024 年 8 月智元机器人发布“远征”与“灵犀”两大家族共计五款商用人形机器人新品: 远征 A2、远征 A2-W、远征 A2-Max、灵犀 X1 及灵犀 X1-W。24 年 10 月智元机器人开源智元灵犀 X1 的软硬件全套图纸和代码, 进一步推动技术的共享与进步。25 年 3 月发布搭载情感计算引擎的双足智能交互人形机器人灵犀 X2, 具备完善的运动、交互及作业能力。2025 年 6 月 3 日, 智元携手百事中国发布品牌首个人形机器人“百事蓝宝”, 未来将在百事品牌营销、线下体验、数字社交等场景创造更多价值。

在大模型方面, 智元远征 A2 在人机交互、规划决策、运动控制等核心能力储备丰富。人机交互上, A2 基于语音大模型、超拟人合成技术、全双工对话能力、端侧模型部署, 实现实时对话; 基于多模态大模型, 多通道信息处理能力让人机交互更轻松舒适; 规划决策上, 基于语言大模型+RAG(Retrieval-Augmented Generation)构建企业定制业务知识库, 支持精准营销话术、业务咨询与引导、展项讲解, 让信息传递更加高效直观。配合 RTMOF(Real-Time Robust Motion Framework)非线性模型预测控制和强化学习算法, 及高效动态规划引擎, 能快速生成全局最优轨迹, 不断优化运动策略, 抗干扰能力强, 在不确定环境中行走敏捷可靠、灵活自如。运动控制上, 基于动作大模型(ActionGPT), A2 可根据人语音指令和意图动态生成上百种仿人自然动作并执行轻作业任务。此外 A2 基于 HIMUS(High-performance Multimodal Mapping System)3D-SLAM 算法、VectorFlux 规控算法, 低延迟低漂移性能, 支持在复杂多变动态环境中实现 L4 级别自主移动。数据生成上, 智元发布全球首个机器人 4D 世界模型, 让机器人在任务指引和实时观测的基础上规划未来动作; 2025 年 1 月 8 日, 智元机器人发布全球首个机器人 4D 世界模型, 针对人形机器人的模态对齐和数据稀缺两大关键问题, 提出 EnerVerse 架构,

通过自回归扩散模型，在生成未来具身空间的同时引导机器人完成复杂任务，在提升 4D 生成能力的同时，实现动作规划性能的显著突破。世界模型上，2025 年 5 月，智元机器人开源发布全球首个基于机器人动作序列驱动的具身世界模型 EVAC(EnerVerse-AC)，以及具身世界模型评测基准 EWMBench，在世界模型架构 EnerVerse 基础上推出创新成果：基于动作序列驱动的世界模型 EVAC 与具身世界模型评测榜单 EWMBench，构建从训练到评测全链路技术闭环，重新定义具身智能研发范式。

图63: 智元的 EnerVerse 世界模型在任务视频生成时性能较好



资料来源：智元机器人公众号，国信证券经济研究所整理

在硬件方面，智元 A2 实现高可靠、轻量化、超高槽满率绕线工艺的量产自研一体化关节，最高峰值扭矩 430Nm，电机扭矩密度 50Nm/kg，动态性能佳，关节可靠支持长时间稳定行走。360°激光雷达+6 颗高清摄像头融合感知，实现全景无盲区；结合开集语义信息支持动静态语义环境与目标同步构建，实现智能避障。

2025 年 3 月 10 日，智元发布首个通用具身基座模型——智元启元大模型（GenieOperator-1），开创性地提出 Vision-Language-Latent-Action(ViLLA)架构，该架构由 VLM(多模态大模型)+MoE(混合专家)组成，其中 VLM 借助海量互联网图文数据获得通用场景感知和语言理解能力，MoE 中的 Latent Planner(隐式规划器)借助大量跨本体和人类操作视频数据获得通用的动作理解能力，MoE 中的 ActionExpert(动作专家)借助百万真机数据获得精细的动作执行能力，三者环环相扣，实现了可以利用人类视频学习，完成小样本快速泛化，降低具身智能门槛，并成功部署到智元多款机器人本体，持续进化，将具身智能推上新台阶。

图64: 百条级数据实现快速泛化



资料来源：智元机器人，国信证券经济研究所整理

图65: VLA 进化到 ViLLA



资料来源：智元机器人，国信证券经济研究所整理

智元机器人在 3 月 11 日发布搭载情感计算引擎的双足智能交互人形机器人灵犀 X2 具备完善的运动、交互及作业能力：

运动结构方面，灵犀 X2 采用柔性外壳，拥有 28 个自由度，无并联结构，配备小脑控制器、域控、智能电源管理系统和关节模组等核心组件，实现运控算法突破。结合深度强化学习和模仿学习，可完成走路、奔跑、踩滑板车、玩平衡车、骑自行车等高难度动作。

交互能力方面，灵犀 X2 搭载 VLM 多模态交互大模型，可实现毫秒级交互反应，精准判断人类情感状态并回应。同时集成动作模态，能模仿呼吸韵律、“暗中观察”及做出细小动作和肢体语言，增强情绪表达能力。

作业能力方面，灵犀 X2 基于智元启元大模型，具备简单任务中的零样本泛化能力，可多机协作，应用于保安、保姆、保洁及教育、医疗等领域。其采用轻量化、模块化设计，拥有二次开发接口和一站式方案，方便用户为康养、服务、家庭陪伴等场景定制应用。

表 11: 智元人形机器人本体情况

	智元远征 A1	智元远征 A2	智元远征 A2-Max	智元灵犀 X1	智元灵犀 X2
示意图					
发布时间	2023 年 8 月	2024 年 8 月	2024 年 8 月	2024 年 8 月	2025 年 3 月
产品定位	通用人型机器人	交互服务机器人	重载特种机器人	全栈开源机器人	全能探索机器人
身高	175cm	169cm	175cm	130cm	-
体重	55kg	69kg	85kg	≤33kg	33.8kg
步速	7km/h	-	1m/s	≥1m/s	-
全身自由度	共 49 个 DOF，其中手 12	40+主动自由度	共 67，其中 53 主动，手 19、臂 7、腿 6、腰 3	31/41	28 个自由度
双手	有十指灵巧手	有十指灵巧手	有十指灵巧手	夹爪	夹爪
负载	整机承重 80kg，单臂最大负载 5kg	-	全工作空间可搬运 40kg 重物	单臂 ≥0.5kg	-
AI 算力	200TOPS	-	-	-	-
电池	-	700wh	-	-	-
续航	-	2h	2h	≥4h	-
原地掉头宽度	-	60cm	60cm	-	-

资料来源：智元机器人官网，国信证券经济研究所整理

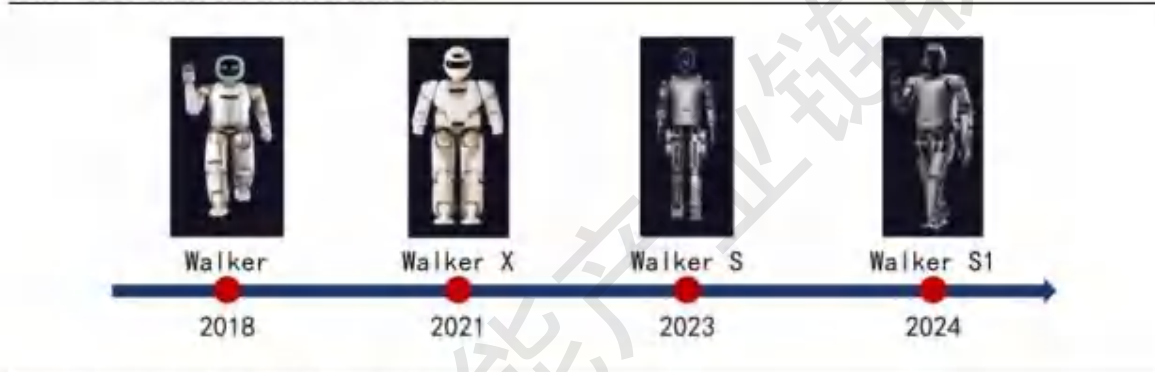
量产方面，2025 年 1 月，智元机器人第 1000 台通用具身机器人下线，包括 731 台双足人形机器人（远征 A2/灵犀 X1）和 269 台轮式机器人。4 月，均胜电子与智元成立合资公司，计划年产 1000 台机器人。5 月，灵犀 X2 开启商业化，预计 2025 年下半年规模出货，2026 年底出货量达“大几千台”。7 月，智元和宇树中标中移信息技术公司人形双足机器人代工项目，总预算 1.2405 亿元，智元中标全尺寸机器人项目，预算 7800 万元；宇树中标小尺寸机器人及相关产品项目，预算 4605 万元。

在关节方案选择方面，旋转关节和直线关节能力兼具。根据智元相关专利，智元机器人在机械臂上采用丝杠的直线关节方案，在轮足机器人的腿部结构上也采用丝杠的直线关节方案。根据智元机械臂专利，机械臂第一线性执行器包括第一丝杠，其中有螺接配合的第一螺杆和第一螺母，第一驱动件能够带动第一螺杆转动，以带动第一螺母移动；根据智元轮足机器人专利，轮足机器人的腿部结构中，第一连接组件和第二连接组件均可分别包括丝杠和丝杠螺母，丝杠的一端连接第一关节件或第二关节件，丝杠的另一端与轮足机构连接，丝杠螺母设在丝杠上，丝杠与丝杠螺母相配合，以驱动轮足机构在轮式模式或足式模式之间可切换。

3、优必选

优必选是人形机器人早期行业老兵，人形机器人产品包括 Walker、Walker X、Walker S 等系列。优必选成立于 2012 年，2014 年成功研发并生产首款小型人形机器人 Alpha，2017 年发布商用服务机器人产品及解决方案。2018 年发布第一代人形机器人 Walker 后，优必选对人形机器人不断迭代，2019 年发布第二代 Walker 机器人，2023 年 12 月发布 Walker S，2024 年发布人形机器人 Walker S1，2025 年 7 月发布最新一代人形机器人 Walker S2。




图71：优必选人形机器人产品时间线



资料来源：优必选官网，国信证券经济研究所整理

2024 年 10 月，优必选推出 Walker S1 人形机器人，配备自主研发的语义 VSLAM 导航技术和第三代仿人灵巧手，可负重 15 公斤行走，满足工业搬运需求。该机器人还搭载多模态规划大模型、语义 VSLAM、学习型运动控制等技术，具备智能决策和灵活运动能力，适应工业场景泛化应用。Walker S 系列已获车厂 500 台意向订单，预计 2025 年订单量达 1000-2000 台。2025 年 7 月，优必选推出 Walker S2，全球首款自主换电人形机器人，自由度 52 个，行走速度 2m/s。

表13: 优必选人形机器人 Walker S 系列本体情况

	Walker S	Walker S1	Walker S2
示意图			
发布时间	2023年	2024年	2025年
身高	170cm	172cm	176cm
体重	65kg	76kg	70kg
最大关节扭矩	300Nm	250Nm	-
灵巧手	有, 可加选电子皮肤	有, 6个阵列式触觉传感器	有, 11自由度, 6个阵列式触觉传感器, 单手抓握7.5kg, 指尖1kg
感知	8寸 AMOLED 柔性超清 360° 多模态感知, 集成化头曲面屏, 6麦克风阵列部设计, 双眼鱼眼相机, 3D 环绕, 多目立体视觉, 体视觉, 4个六维力传感器, 360° 听觉	采用纯 RGB 双目视觉方案, 双目 RGB 相机, 2个六维力传感器	高精度姿态传感器
续航时间	约 2.5h	未披露	双电池无缝切换设计, 灵活切换双电池续航或单电池工作模式云端实时监测电量, 配套自研智能换电站实时补能可根据任务优先级自主决策换电或充电模式, 实现动态能源管理

资料来源: 优必选官网, 国信证券经济研究所整理

2025年4月, 优必选牵头的首批人形机器人系列国家标准正式获批立项。在 TC591 秘书处单位北京机械工业自动化研究所有限公司统筹下, 优必选联合北京人形机器人创新中心有限公司、上海人工智能实验室等单位共同发起了该系列国标, 主导制定作业操作技术要求, 规范灵巧操作、腿部移动作业等多项作业操作技术, 涵盖环境感知、决策规划等多技术要求。

落地方面, 2024年, 优必选宣布与蔚来、东风柳汽、一汽大众、极氪、一汽红旗、比亚迪、北汽等车企合作, 人形机器人进厂执行搬运、质检、装配等任务。2025年1月, 其工业人形机器人 Walker S1 在比亚迪汽车工厂第一阶段实训取得初步成效, 效率提升一倍, 稳定性提升 30%, 预计 2025Q2 具备规模化交付条件。实训中, Walker S1 解决了视觉定位、运控算法和关节散热等挑战。2025年3月, 优必选在极氪实现全球首例多台人形机器人协同实训。2025年4月, 优必选签订大型人形机器人采购合同, 产品用于汽车生产制造和商用接待。2025年5月, 优必选与华为签署全面合作协议, 双方在具身智能和人形机器人领域开展创新合作, 加速人形机器人在多场景的落地应用。

3月12日, 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天工行者, 售价 29.9 万元, 已开放预订, 第二季度开始交付。该机器人身高 170cm, 全身 20 个自由度, 能以 10km/h 速度奔跑, 可在复杂地形运动, 搭载“慧思开物”平台, 为高校和科研机构提供研究解决方案。其关键部位采用超大扭矩密度设计及航空铝材等, 保证轻量化与高性能。关节模组可拓展至 550TOPS 算力, 风道散热设计保障关键部件长时间高性能运行。主体可自由拓展, 可装配深度相机、激光雷达、NVIDIA Orin 算力板、六维力传感器、七自由度协作双臂、五指灵巧手等人形机器人核心零部件。同时天工行者完整开放底层电机接口、传感器接口及运动控制接口, 配套成熟的开发指南与示例代码, 能够充分满足科研用户的二次开发需求。

图74: 优必选 Walker S2 自动换电



资料来源: 优必选, 国信证券经济研究所整理

图75: 优必选天工行者



资料来源: 优必选, 国信证券经济研究所整理

4、鸣志电器

深耕运动控制领域近 30 年，国内空心杯电机供应商。鸣志电器是运动控制领域的领先供应商，主营产品为步进电机、伺服电机、空心杯电机、直流无刷电机、智能照明等。公司成立于 1994 年，于 2017 年登陆上交所主板，通过收购 AMP、LIN、常州运控、TMotion，完善全球化的产业布局，产品广泛运用于工业自动化、通信、安防、汽车工业、航空航天、消费等领域。

国内空心杯电机稀缺标的，产品丰富种类齐全。空心杯电机因体积小、高转速、大力矩等优良特性，是人形机器人“灵巧手”的核心部件。公司在空心杯电机领域具备先发优势，在无刷空心杯电机及有刷空心杯电机（无刷电机）的产品矩阵较为全面，覆盖不同机座尺寸、转速、功率，且可以搭载不同型号的编码器、减速机等产品，能够满足客户的定制化需求服务，未来有望受益于人形机器人放量。

图 23 鸣志电器空心杯电机产品矩阵



资料来源: 鸣志电器官网, 首创证券

公司发布 2025 年半年度公告，2025H1 实现营收 13.15 亿，同比+3.92%；实现归母净利润 0.27 亿，同比-32.66%；实现扣非归母净利润 0.23 亿，同比-37.28%。据此计算，2025Q2 实现营收 7.19 亿，同比+9.56%；实现归母净利润 0.20 亿，同比-41.07%；实现扣非归母净利润 0.18 亿，同比-46.64%。

5、昊志机电

公司业务品类众多，具备自主创新能力。广州昊志机电股份有限公司成立于 2006 年，专业从事中高端数控机床、机器人、新能源汽车等核心功能部件研发与制造的高新技术企业。2016 年在创业板上市，公司在电主轴领域处于全球市场前列。公司立足电主轴行业，并向数控机床和工业机器人等高端装备的核心功能部件领域横向扩张，产品涵盖电主轴、刀具、数控转台、直线电机、谐波减速器、数控系统、伺服电机、驱动器、传感器、燃料电池压缩机、曝气鼓风机、直驱类高速风机等数十个系列上百种产品。

技术积累深厚，逐步实现机器人核心零部件实现国产化。公司的谐波减速器、机器人关节模组、末端执行机构（气动手指和快换模块）等产品能够满足协作机器人、轻型机器人生产的模块化、标准化、小型化要求，有望受益于《机器人+应用实施方案的落地》，凭借在机器人领域深厚的技术积累，有望逐步实现智能机器人核心功能部件的全国产化。

图 29 昊志机电产品矩阵



资料来源：公司公告，首创证券

公司 2025 年第一季度净利润维持正增长。2024 年公司实现营业收入 13.07 亿元，同比+37.8%；实现归母净利润 0.83 亿元，同比+369.9%。2025 年第一季度实现营业收入 2.87 亿元，同比+11.0%；实现归母净利润 0.16 亿元，同比+6.9%。

6、柯力传感

主攻称重传感器，机器人传感器核心供应商。柯力总部设于浙江宁波，采用集团化管理模式，在深圳、广州、福州、郑州、苏州、池州等城市投资 27 家控股公司和 11 家参股公司。拥有两大研发中心、三大投资中心、三大产业园、七大生产基地，并建有包括研发、业务、供应链、投资、人力资源、信息化、智能制造等在内的集团八大赋能中心。围绕“客户、战略、人才、流程”建设 KMS 集团管理体系。围绕

“产业投资化+产业园区化+产业集团化+产业生态化+产业资本化”发展战略途径，搭建传感器行业生态体系，立志成为国内多种传感器融合领军企业，砥砺前行于全球机器人全身传感器核心供应商行列。

面对新趋势、新产业、新机遇，公司坚持“以市场为师”，围绕六维力传感器、机器人关节力/力矩传感器、触觉传感器、多物理量传感器方向全面推进“新四样”传感器发展。根据公司 2024 年财报披露，报告期公司六维力/力矩传感器已完成人形机器人手腕、脚腕，工业臂、协作臂末端的产品系列开发，掌握了结构解耦、算法解耦、高速采样通讯等技术要点，并已给 50 多家国内人形机器人、协作机器人、工业机器人客户送样，部分客户已进入批量订单阶段。2025 年 4 月，公司购置并启用六维力自动化测试设备及机加工设备，将对六维力传感器实现全自动化标定检测，有助于提高产品精度、稳定性和可靠性，并将大幅提高公司生产六维力传感器的效率和产能。此外，公司在触觉传感器研发方面启动与多家企业、院校的合作，并以投资并购的方式探索与国内技术领先的创新性触觉传感器公司在股权方面的合作。根据公司公众号披露，近日公司完成了猿声科技的战略投资，实现多维触觉传感和电子皮肤方向的重要布局，机器人传感器产品线进一步拓展。

表 8: 公司机器人传感器进展汇总

公告名称	机器人传感器进展情况
2024 年年度报告	公司六维力/力矩传感器已完成人形机器人手腕、脚腕，工业臂、协作臂末端的产品系列开发，掌握了结构解耦、算法解耦、高速采样通讯等技术要点。公司购置并启用六维力自动化测试设备及机加工设备，将对六维力传感器实现全自动化标定检测。
2024 年半年度报告	在新产品研发和销售方面，重点突破机器人传感器。报告期内，六维力/力矩传感器已完成人形机器人手腕、脚腕，工业臂、协作臂末端的产品系列开发，掌握了结构解耦、算法解耦、高速采样通讯等技术要点，并已给多家国内协作机器人、人形机器人客户送样。触觉传感器已启动与多家企业、院校的合作，同时以自研模式进行研发，目前尚处于研发验证阶段。
2023 年年度报告	首次提出柯力集团未来将主攻的“新四样”传感器：包括机器人传感器、多物理量传感器、柔性触觉传感器、扭矩传感器。在组织层面做了优化调整，抽调、引进一批人员推动机器人传感器相关项目的发展，明确投资、市场、研发、业务、人力等部门工作职责与分工，明确二年内研究开发项目和市场调研需求方向，人力资源布局。
2023 年半年度报告	在公司目前已有的微型、扭矩、多维力等高端力学传感器品类基础上，加快自主研发，积极寻求与各大机器人厂商的商务合作。根据客户的不同需求，公司已经进行了多款扭矩传感器、多维力传感器等产品的送样和试制。与此同时，公司围绕“人形机器人”所涉及的触觉、视觉传感器积极寻求对外投资机会。到 6 月底，已经储备了若干个技术壁垒高、市场前景广的机器人传感器种子项目。为下一阶段抢抓人形机器人传感器领域的发展机会做好全方位的准备。

资料来源：公司公告、海博证券研究所

公司公告 2025 年半年度报告，25H1 实现营业收入 6.85 亿元，同比增长 23.40%；实现归母净利润 1.73 亿元，同比增长 47.93%，基本每股收益 0.61 元。

7、丰立智能

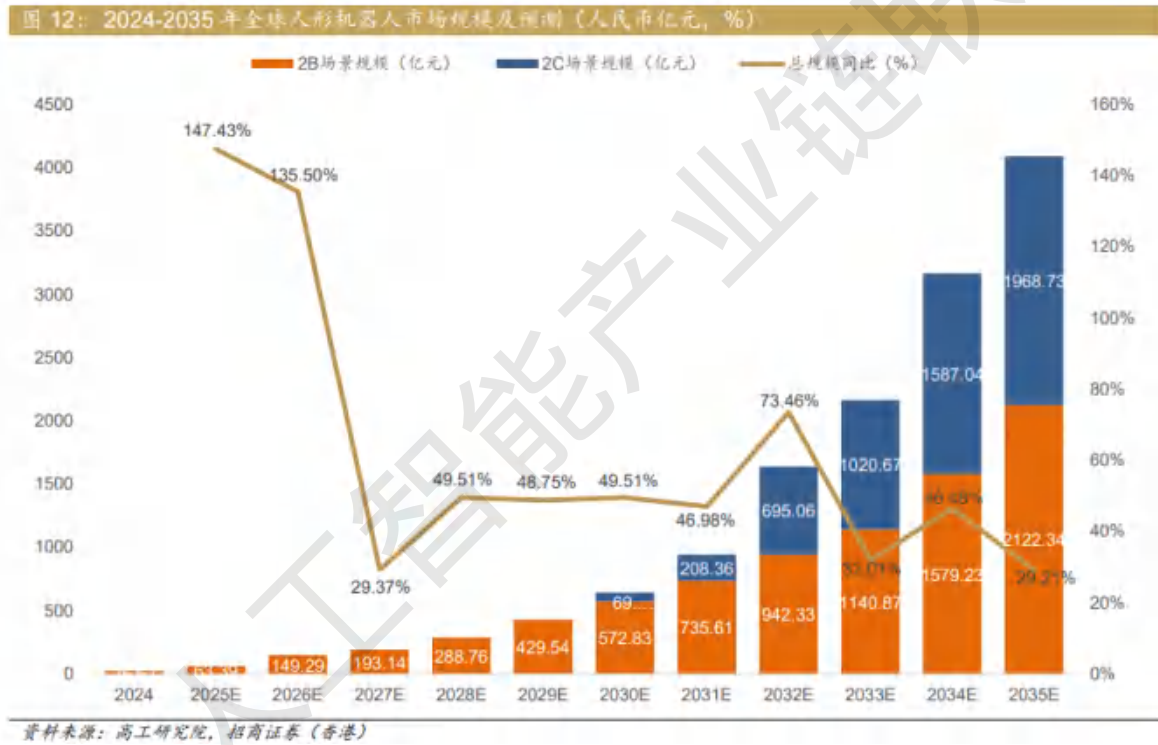
小模数齿轮领先供应商，稳定供应全球电动工具头部企业。公司从事小模数齿轮、齿轮箱以及相关精密机械件等产品研发、生产与销售，主要产品包括钢齿轮、齿轮箱及零部件、精宿机械件、粉末冶金制品以及气动工具等，广泛应用于电动工具、农林机械、医疗器械、智能家居、特高压电网、工业缝纫机等领域。

深耕精密减速器，进军人形机器人业务。在人形机器人领域，丰立智能以行星减速器、谐波减速器为核心，为进军人形机器人打下技术基础。行星减速器深耕多年，主要为博世供应；公司自研的谐波减速器经过十年技术储备，于2024年下半年实现量产，核心生产设备来自日本进口，确保产品一致性与精密性。此外，与清华大学孵化的星动纪元合作开发的灵巧手微型减速器，已进入小批量生产阶段。产业化方面，公司入选“2024人形机器人供应链优质企业”，并与多家客户完成小批量订单交付，未来将重点布局人形机器人关节模组的规模化应用。随着人形机器人量产加速，公司技术储备与产能弹性有望扩展市场空间。

2024年公司实现营业收入5.05亿元，同比+17.2%；实现归母净利润0.17亿元，同比-46.6%。2025年第一季度公司实现营业收入1.17亿元，同比+18.2%，公司实现归母净利润为0.03亿元，同比-36.0%。

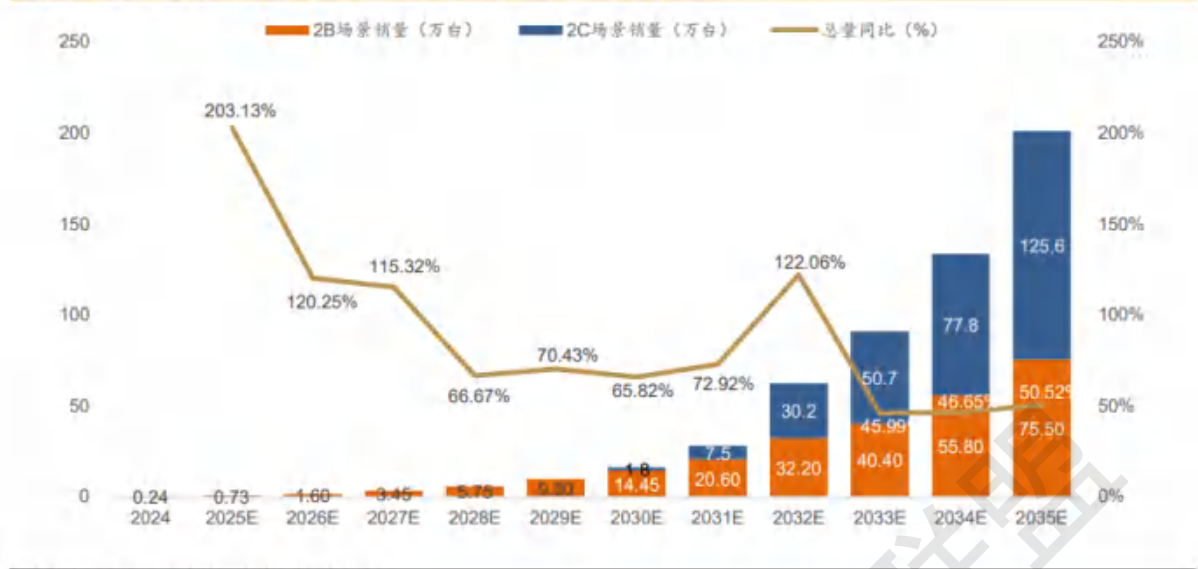
七、市场规模分析

根据GGII预测，2025年全球人形机器人市场销量有望达到1.24万台，市场规模63.39亿元；2030年销量将接近34万台，市场规模超640亿元；2035年销量将超500万台，市场规模超4,000亿元。



中国市场方面，2025年销量预计达7,300台，市场规模近24亿元；2030年销量达16.25万台，市场规模超250亿元。预计2031年人形机器人进入快速起量期，2035年销量有望达200万台，中国市场规规模有望接近1,400亿元。

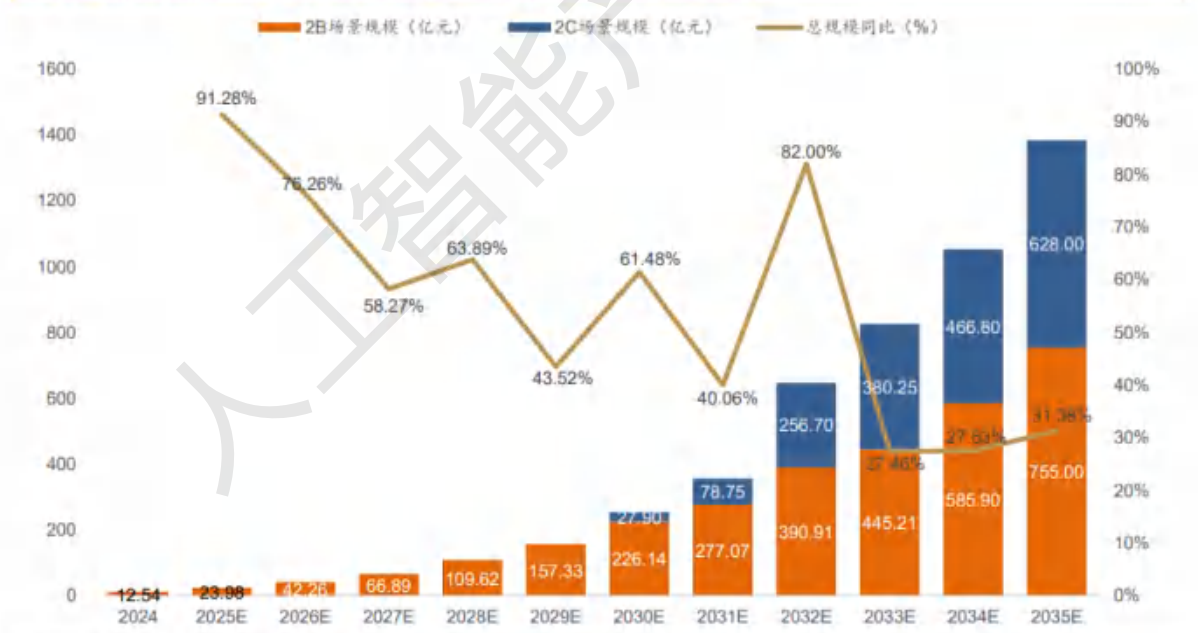
图 13: 2024-2035 年中国人形机器人市场销量及预测 (万台, %)



资料来源: 高工研究院, 招商证券 (香港)

目前, 国内人形机器人厂商如宇树科技、优必选、傅利叶、众擎机器人、智元机器人等已实现产品出货, 主要面向科研机构 and 开发者。预计商用服务、生产制造、巡检等 TOB 结构化场景将是人形机器人率先落地应用的领域, 到 2030 年, TO-C 领域的人形机器人人才会迎来落地, 并迅速攀升销量, 2033 年有望反超 TO-B 领域。2025 年, 人形机器人产业正处于从实验室技术成就迈向商业化落地的关键阶段, 有望开启万亿级市场。

图 14: 2024-2035 年中国人性机器人市场规模及预测 (人民币亿元, %)



资料来源: 高工研究院, 招商证券 (香港)

AI人工智能产业链联盟

#每日为你摘取最重要的商业新闻#

更新 · 更快 · 更精彩



Zero

AI音乐创作人

水墨动漫联盟创始人

百脑共创联合创始人

人工智能产业链联盟创始人

中关村人才协会秘书长助理

河北北大企业家分会秘书长

墨攻星辰智能科技有限公司CEO

河北清华发展研究院智能机器人中心线上负责人

中关村人才协会数字体育与电子竞技专委会秘书长助理



主要业务:AI商业化答疑及课程应用场景探索, 各类AI产品学习手册, 答疑及课程



欢迎扫码交流

提供: 学习手册/工具/资源链接/商业化案例/
行业报告/行业最新资讯及动态



人工智能产业链联盟创始人

邀请你加入星球, 一起学习

人工智能产业链联盟报 告库



星主: 人工智能产业链联盟创始人

每天仅需0.5元, 即可拥有以下福利!

每周更新各类机构的最新研究成果。立志将人工智能产业链联盟打造成市面上最全的AI研究资料库, 覆盖券商、产业公司、科研院所等...

知识星球

微信扫码加入星球 ▶



八、参考研报

1. 首创证券-机械设备行业深度报告：人形机器人商业化进程开始启动
2. 民生证券-人形机器人行业系列深度报告一：智能具身，创启未来纪元
3. 麦高证券-人形机器人行业深度报告：人形机器人迎量产元年，国产厂商有望超车
4. 长江证券-人形机器人行业系列深度（十四）：技术持续迭代，变革孕育新机
5. 国信证券-汽车行业人形机器人系列专题之本体：AI 技术革命，车企转型具身智能
6. 东海证券-机械行业：人形机器人从概念到量产，核心零部件机遇梳理
7. 招商证券（香港）-全球人工智能/机器人行业：通用机器人迭代加快，专业机器人率先突破
8. 交银国际-人形机器人行业系列（1）：产业跃迁，政策驱动、技术拐点与场景革命的三重共振
9. 西部证券-人形机器人行业专题报告：人形机器人赛道深度之运动控制，制约商业化落地进程的关键环节



慧博公众号



慧博 PC 版



慧博 APP

免责声明：以上内容仅供学习交流，不构成投资建议。