



AGI 理想载体，产业蝶变，量产加速

—— 人形机器人行业深度报告

机械首席分析师：鲁佩

研究助理：彭星嘉

AGI 理想载体，产业蝶变，量产加速

—— 人形机器人行业深度报告

2025 年 03 月 30 日

核心观点

- **AGI 理想载体，智能化产业化加速。**人形机器人是仿照人类形态设计的智能机器人。其发展历史，总体上是从技术研究、到系统高度集成、到高动态运动发展、再到智能化进阶和产业化加速的过程。技术突破和政策支持催化人形机器人从 0 到 1。22 年的机器视觉、深度学习、合成数据技术，23 年 ChatGPT 带动 GenAI 和 AGI 爆火，24 年 AI 工程技术等，让具身智能机器人走入现实曙光初现。工信部 23 年 11 月发布《人形机器人创新发展指导意见》，规划产业发展路径：25 年整机产品达到国际先进水平并实现批量生产，27 年形成安全可靠的产业链供应链体系。25 年政府工作报告首次写入“具身智能”和“智能机器人”，中央和地方支持达到新高度。当下已有很多产品能够实现复杂地形行走&躲避静态障碍、多模态识别、简单任务拆解，伴随车厂实训、零售场景探索，“普惠”产品推出，行业规模量产节点越来越近。我们认为人形机器人将在工业制造、仓储物流、食品配送/零售、危险场景率先落地，之后再步入家庭，预计 2035 年中国人形机器人出货量/保有量有望达到 197/720 万台。
- **市场复盘：T 链收敛，新生态发散。**板块行情驱动因素可分为政策、T 链、海外 AI、华为/智元/宇树/Figure 链、市场风格切换。1) 22 年 5-8 月第一轮上涨，T 链引爆。2) 23H1 第二轮上涨，跟随海外 ChatGPT 引爆的 AI 行情，T 链+国家/地方政策共振。3) 24 年 2-3 月第三轮上涨，超跌反转，T 链超预期进展。4) 24 年 9-12 月起第四轮上涨，市场风格切换（科技成长占优）+T 链驱动（第三代灵巧手自由度翻倍），华为链加速放大行情。5) 25 年开启第五轮上涨，T 链量产进度与确定性超预期；宇树 H1 登台春晚+Deepseek 出圈，Figure/智元取得可喜进展。
- **价值量和产业壁垒高、不可替代性强成就“好行业”，主业基本面和定点确定性筛选“好公司”。**从产业角度看某类零部件是否是“好行业”，需关注规模量产后 BOM 价值占比、原有市场空间、行业竞争格局、机器人方案迭代趋势等。对比各零部件，1) 价值量上：行星滚柱丝杠、谐波减速器、无框力矩电机较大，其次为六维力传感器和空心杯电机。2) 技术和工艺壁垒上：谐波减速器、行星滚柱丝杠、六维力传感器较大，其次是其他各类传感器和空心杯电机。3) 不可替代性上，本体厂对线性关节、空心杯电机、六维力传感器的必要性并未共识。此外亦需关注 Optimus 增量变化集中地——灵巧手、触觉传感器、减重材料等。针对“好企业”的筛选需考虑：主业基本面、大客户定点确定性，关注行业地位高、被大客户定点概率大的企业。此外，传统主业基本面好的企业业绩安全边际较深，对人形机器人产业发展的依赖度更低。
- **投资建议：**三类企业值得重点关注：1) “确定性”强的标的。目前 T 链在逐步收敛，国内外其他本体品牌相关产业链交错发散。大浪淘金阶段，有明确订单、业务或投资层面合作协议、产品进展、扩产举动的厂商，有望伴随本体公司规模交付迎来业绩增量。2) 格局好的核心零部件供应商。其中核心体现在价值量高&不可替代性强，格局好体现在竞争壁垒高，价格内卷概率小。3) 边际变化对应稀缺标的，目前多集中在灵巧手、传感器、小脑“运控”、具身大模型等。建议关注：总成厂商-三花智控/拓普集团；减速器-绿的谐波/丰立智能/中大力德；丝杠-五洲新春/恒立液压/震裕科技/北特科技；灵巧手-鸣志电器/兆威机电；传感器-汉威科技/福莱新材，以及伴随本体厂商产品技术迭代宇树链/HW 链/Figure 链/智元链上的其他受益企业。
- **风险提示：**产业政策及产业化不及预期的风险；Optimus 进展不及预期的风险；国内供应商在特斯拉供应链进展不及预期的风险；技术迭代的风险。

机械行业

推荐 维持评级

分析师

鲁佩

☎: 021-20257809

✉: lupei_yj@chinastock.com.cn

分析师登记编码: S0130521060001

研究助理

彭星嘉

✉: pengxingjia_yj@chinastock.com.cn

相对沪深 300 表现图

2025-03-28



资料来源：中国银河证券研究院

相关研究

1. 【银河机械】行业点评_机械行业_Optimus 量产预期上调，宇树 H1 首登春晚
2. 【银河机械】行业月报_机械行业_Optimus 量产进度超预期；英伟达开源 Cosmos
3. 【银河机械】行业月报_机械行业_Optimus 空中接球；智元通用机器人商用量产

目录

Catalog

一、AGI 理想载体，智能化产业化加速.....	4
二、市场复盘：T 链收敛，新生态发散	12
三、产品力和售价决定渗透速度，场景广度决定渗透空间.....	14
四、探索关键技术路径，解构供应链核心环节.....	17
（一）关键技术节点及路径.....	17
（二）零部件：关注价值占比高、竞争格局好的核心板块.....	18
（三）大模型：激发具身智能，技术路线仍然发散.....	34
（四）运动控制：多方案融合，逐步趋于收敛.....	40
（五）国产供应链机会盘点.....	43
五、投资建议.....	44
六、风险提示.....	47

一、AGI 理想载体，智能化产业化加速

1. 定义和分类

人形机器人在外观和功能上与人相似，能够模仿人类运动、表情、互动及动作，预期与人工工具和环境进行交互，辅助甚至替代人类的生产生活。是否需要将机器人做成人形存在不同看法，支持的观点包括：1) 降低使用环境改造的成本，2) 更容易利用人类数据训练机器人，3) 更利于与人交互，应用场景通用化，打破工厂、商用和家用壁垒。质疑的观点集中在目前还存在大量传统工作场景无法用机械臂替代，机器人“双手”的重要性远高于“双足”，基于资源有限和成本控制考虑，轮式等非双足形态反而更优。

表1：机器人分类

分类		使用场景	特点
工业机器人	工业机器人	完成单人无法完成、特定且重复的任务	重量大，安装固定，高精度，高可靠度；资本开支较大，折旧高
	协作机器人	工厂中替代单人完成轻量级工作，行动偏缓慢，无需固定	重量轻，小型便携式，高精度，高可靠度，可替代人工
服务机器人	专业服务机器人	医药，护理，康复，配送，资源勘探	高精度，高可靠度，重量轻，小型的
	个人（家庭）服务机器人	家电，爱好，玩具	不一定需要高精度、高可靠度、小型或者轻型
人形机器人	非双足机器人	在应用场景上具备通用性，更注重模拟人类的复杂行为和互动方式	人形双手，有下肢等
	轮式		
	双足机器人		

资料来源：哈默纳科、中国银河证券研究院

2. 产业发展历史

人形机器人发展历史，总体上是从技术研究、到系统高度集成、到高动态运动发展、再到智能化进阶和产业化加速的过程。目前机器人智能化水平从基础级 L1（WABOT-1）逐步进化到可多模态感知，可初级抓取，可实现一定程度的泛化决策&规划（L2），部分已经在探索上下肢协同、柔性抓取、自然人机交互，以期实现半结构化通用场景的泛化。从实验室走向商业化过程中，由最初的表演展示，已逐步拓展至工厂场景甚至探索家庭场景。

第一阶段：早期发展，技术与功能进化（1973-1999 年）。开启的标志性事件是：早稻田大学加藤一郎教授研发出世界上第一个全尺寸拟人机器人 WABOT-1，推动人形机器人成为一大机器人研究领域。此时运控层面在 1.0 平地行走基础上初步探索 2.0 复杂地形行走，感知和决策能力还处于萌芽期。

第二阶段：日本主导，系统高度集成，偏实验室阶段，主要用于展示和娱乐（2000-2015 年）。开启的标志性事件是：本田推出 ASIMO 一代，可双脚流畅直立行走，与人交流能力提升。此阶段后期复杂地形行走能力已见可喜成效，感知能力处于单一模式识别水平，决策层面在研究任务执行。

第三阶段：美国主导，高动态运动发展，开始产业化（2016-2021 年）。开启的标志性事件是：波士顿动力 Atlas 二代发布。此时运控上、感知、决策上的精进，使得机器人可以尝试进行危险环境搜救、端茶倒水等，但动作连贯性和感知灵敏度尚不足。

第四阶段：技术路径智能化，商业路径实用化，价格低价化（2022 至今）。开启的标志性事件是：特斯拉 Optimus 原型机发布，点燃人形机器人热度。同时 2022 年机器视觉、深度学习、合成

数据等技术实现突破，2022 年底 ChatGPT “横空出世”，AI、大模型与机器人技术结合使得智能水平“飞跃”，“通用化”曙光初现。Optimus 二代新增触觉传感，灵巧手 Gen3 自由度翻倍，Figure 合作 OpenAI 等尝试，持续推动运控、感知、决策能力升级。当下，已有很多机器人产品能够实现复杂地形行走&躲避静态障碍、多模态识别、简单任务拆解，正朝着运控 4.0（全场景自主导航&动态避障）、感知 3.0（端到端全模态环境感知）、决策 3.0（复杂任务拆解&自主学习）进阶。此外，汽车工厂实训、商用零售场景探索，简易版“普惠”产品（如宇树 G1 基础版 9.9 万元）推出，以及特斯拉约 2.5 万美元价格目标的靶向作用，驱动行业朝更具“性价比”路径发展，人形机器人规模量产节点越来越近，特斯拉当前已计划 2025/2026/2027 年分别至少量产几千-1 万/5 万/50 万台。

图1：人形机器人级别划分

阶段能力	一定的感知能力 阶段能力 上下肢独立的运动能力	多模态视觉感知能力 视觉定位导航能力 初级的抓取能力	上下肢协同运动能力 高精度柔性抓取能力 自然人机交互能力	人机协同作业能力 对未训练过的新任务,可以通过合理推理决策完成增强的泛化能力	基本达到人类同等能力,可替代所有体力劳动
灵巧手	夹爪 只能抓取特定规则物品 算法:力控抓取	单个手指自由度:1 总自由度≤6,关节数≤12 可抓取不同大小粗细的物品。 参考:因时灵巧手 (90%人形机器人所处的阶段) 算法:自适应强化学习	单个手指自由度:2 实现使用注射器,用笔写字等动作。 参考:Tesla Hand 2 算法:自适应强化学习	单个手指自由度:4 实现转笔、玩魔方等高难度动作。 参考:Shadow Hand、Allegro Hand 算法:Grasp and Manipulation,支持100%的模仿学习	单个手指自由度:5 实现超越人类能力,完成人类完成不了的一些任务。 算法:全方位的强化学习
具身智能	硬代码 3D感知+控制 无泛化能力	大模型初步闭环 交互+感知+决策+控制 可泛化决策&规划	大模型闭环 交互+感知+决策+控制 通用决策&规划	具身智能闭环 数据-智能自循环 通用决策&规划	成熟具身智能闭环 具备自适应自学习能力 自适应通用决策&规划
等级	L0	L2	L3	L4	L5
应用场景	结构化场景 外观检查、巡检、表演	半结构化简单场景 物品搬运、上下台阶、越障、使用电动工具,演示场景	半结构化通用场景 部分独立的家庭场景(化妆美容、按摩护理、换尿布等),工业场景	非结构化通用场景 家政、养老、健康、教育,家庭开放场景	任意未知场景 创造性工作,完全替代人类进行危险、复杂的任务
	重复性工作	通用物体（泛化性）	通用环境	ANY Robot	通用任务

资料来源：灵巧手，中国银河证券研究院

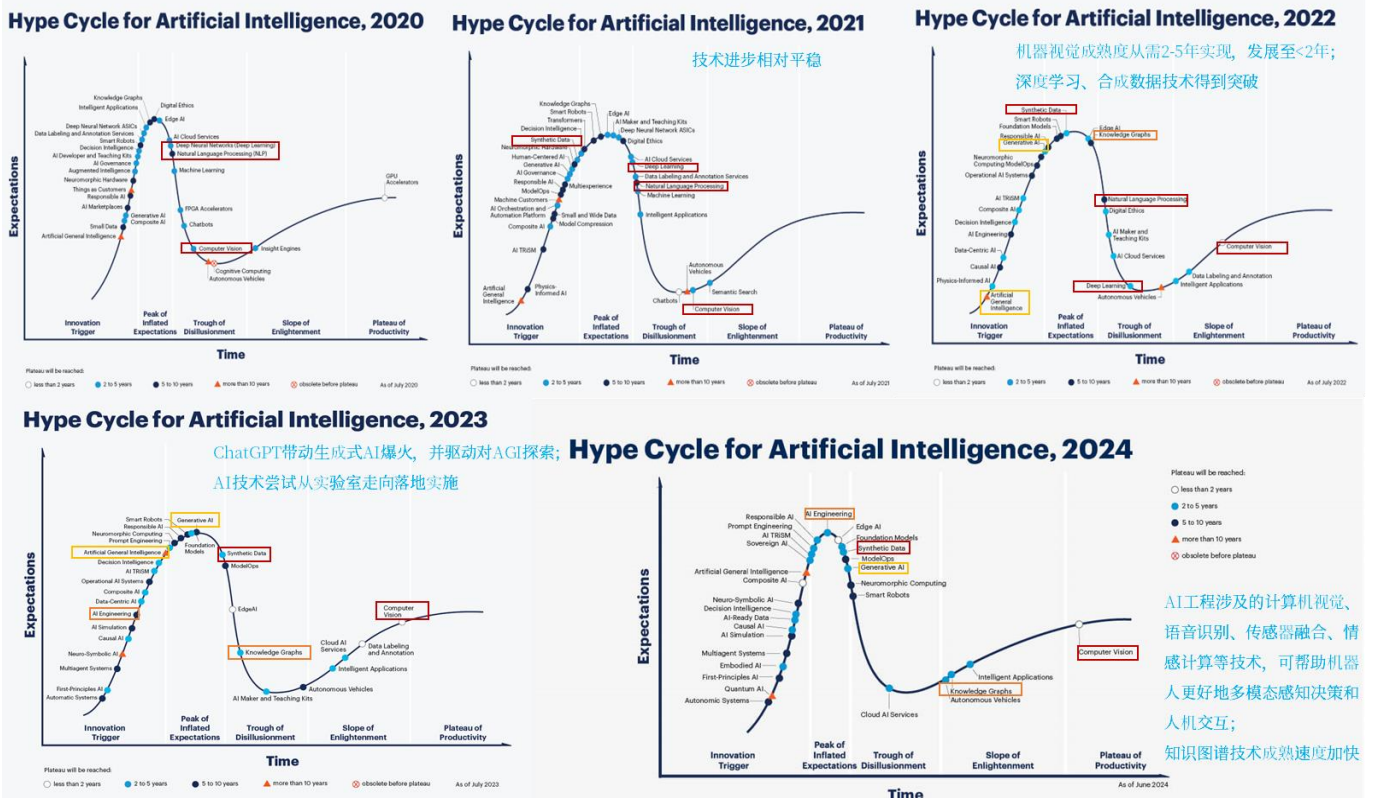
图2：人形机器人发展历史

	运控	感知	决策		日本	美国	中国	其他国家
萌芽阶段（1972年之前）								
早期发展，技术与功能进化（1973-1999年）	1.0：平地行走			1973	研发出世界第一个全尺寸拟人机器人 WABOT-1			
				1984	更智能化的音乐演奏机器人 WABOT-2			
				1985			哈尔滨工业大学开始进行二足步行机器人研究	
				1986	本田开发了双足机器人E0，可跑跳旋转&上下楼，但是行动略显笨拙			
				1989		西北太平洋国家实验室美国军队建造了人形机器人Manny，但是不智能，不能自主运动		
				1990			国防科技大学研制出我国首台两足步行机器人	
				1996	本田公司发布世界首个类人智能双足步行机器人P2，可行走，可自动调节			
				1999			上海交通大学研制仿人机器人SFHR，24dof	
				2000	本田推出ASIMO一代，可双脚流畅直立行走，与人交流能力提升，还可完成端茶倒水和表演跳舞等任务		国防科大研制出我国第一台具有人类外形、能模拟人类基本动作的类人机器人“先行者”，可平地行进、转弯上坡等	
日本主导，系统高度集成，偏实验室阶段，或者主要用于展示和娱乐（2000-2015年）	2.0：复杂地形行走	1.0：单一模式识别	1.0：任务执行	2003	丰田推出“音乐伙伴机器人”，可演奏乐器			
				2008				法国Alderbran发布人形编程机器人 Nao，应用于高校和实验室开发，2011年开始发售（代表人形机器人领域的一种观点，即简化部分功能，进行成本控制，从而迅速商业普及）
				2011	本田推出All-New ASIMO，能自己判断并避障			
				2012			优必选推出Alpha1	
				2013		波士顿动力初代Atlas亮相，运动稳定性强，可前后空翻&多地形越障（代表人形机器人第二种观点：进一步强化功能以完成更复杂的任务）		
美国主导，高动态运动发展，开始产业化（2016-2021年）				2014	日本软银和法国AR联合推出会表达情绪的Pepper			
				2016		波士顿动力Atlas二代发布，能够承担危险环境搜救任务，但动作尚不连贯	优必选推出全尺寸家用服务机器人 Walker，可步态规划、上下楼梯、感知物体等	
				2019	日本工业技术研究院发布HRP-5P，应用场景从家庭至工厂	Agility Robotics发布Digit，可负重搬运和配送等	优必选发布第二代人形机器人Walker，拥有视觉、听觉、空间知觉等感知	
				2021		马斯克在特斯拉 AI Day 上首次展出 Optimus 渲染图，加速全球人形机器人产品的推出	优必选发布Walker X，可端茶倒水、陪人下棋，并发布熊猫机器人优悠	英国Engineered Arts开发Ameca，表情逼真
智能化发展，参与者激增，量产加速（2023-）	3.0：复杂地形+躲避静态障碍	2.0：多模式识别	2.0：简单任务拆解	2022	商业化不顺利，本田ASIMO退役	特斯拉 Optimus原型机发布	小米雷军展示人形机器人CyberOne “铁大”，可进行情绪语义识别等	
				2023		Optimus Gen2亮相，新增传感器种类，性能提升；Figure 01发布	优必选发布适用工业场景的Walker S；宇树发布人形机器人H1，售价9万美元；智元机器人发布通用型具身智能原型机远征 A1；傅利叶智能发布Fourier GR-1	加拿大Sanctuary AI发布第六代Phoenix
				2024		Optimus新一代灵巧手自由度翻倍至22dof；Figure首发OpenAI大模型加持的机器人Demo（3月），同年8月推出Figure02，硬件全面升级，落地BMW工厂实测；波士顿动力液压人形机器人Atlas退役，发布电驱动版；3月 Apptronik旗下Apollo正式进入奔驰生产线	优必选24/06港交所上市，成为中国“人形机器人”第一股，10月正式发布全新一代工业人形机器人Walker S1，已与比亚迪、吉利、奥迪一汽、一汽大众（青岛）、顺丰等达成实训合作；，智元8月发布“远征”“灵犀”两大家族共十五款商用机器人，10月向全球开源灵犀X1，同时上海临港量产工厂投产，12月正式宣布启动通用机器人商用量产；宇树发布第二代人形机器人 G1，入门价降到 9.9 万元人民币	Sanctuary AI为麦格纳汽车零部件工厂配备通用人工智能机器人；8月挪威IX正式推出家庭用双足人形机器人原型 NEO Beta并将在挪威工厂大规模生产；12月波兰Clone Robotics推出首款具有人工肌肉的全尺寸人形机器人Clone Alpha
	4.0：全场景自主导航+动态避障	3.0：端到端全模态环境感知	3.0：复杂任务拆解&自主学习	2025		Optimus最新量产时间线：25/26/27分别至少量产几千-1w/5w/50w台,产能规划：1.0阶段初期每条产线1k台/月，设计目标1w台/；2.0阶段应该能达1w台/月，甚至10w台/月；Figure宣布终止和OpenAI的合作，并签约新大客户	1月优必选与富士康达成合作并已展开实训；多台宇树H1首登春晚表演	

资料来源：Leader robot，GGII，中国机器人网，优必选科技，焉知人形机器人，机器之心，觅途咨询，中国银河证券研究院

技术突破是人形机器人从 0 到 1 的催化剂。2022 年机器视觉、深度学习、合成数据等人形机器人强相关技术实现突破，2023 年 ChatGPT 带动 GenAI 和 AGI 爆火，2024 年伴随 AI 从实验研究走向落地部署大趋势，AI 工程技术受到高度关注，其涉及的计算机视觉、语音识别、传感器融合、情感计算等分支技术，可帮助机器人多模态感知决策和人机交互，人形机器人产业得到迅速发展。

图3：人形机器人快速发展的技术基础



资料来源：Gartner，中国银河证券研究院

3. 本体厂商群雄竞出

目前人形机器人厂商呈现百花齐放态势，我们将主要参与者大致归为五类：

1) 初创公司：产品迭代速度快。该门类下可再细分，

第一种，机器人企业，基于人形机器人与其他机器人产品技术同源，在机械结构设计和运控上具备优势。比如傅利叶智能、宇树科技。

第二种，创始人或重要高管具有互联网/智驾从业背景，其在模型算法使用上具备一定敏锐度，如海外 Figure AI、1X Technologies，国内的智元机器人等。

第三种，其他创业公司，比如优必选，开普勒机器人、乐聚机器人等。

2) 汽车厂商：具有技术、场景和供应链优势。技术优势体现在算法和精密制造，场景优势体现在 to B 工厂实训和数据收集，供应优势体现在人形机器人和电动车零部件存在一定重叠，车厂主动选择熟悉的集成商和零部件供应商更加高效。比如特斯拉、小鹏、广汽集团、赛力斯。

3) 消费电子类公司：3C 供应链企业具备较强的大规模量产质量&成本管控能力，在组装和代工上具备经验积累，比如蓝思科技、领益智造等。3C 品牌厂商则具备较优的 toC 产品推广能力，在家庭服务场景更有优势，如小米、APPLE 等。

4) 科研机构/创新中心：具有研发经验和资金支持。比如银河通用机器人、星动纪元等。

5) 其他科技/互联网大厂：目前人形机器人成为海内外科技/互联网大厂共识的方向之一，基于较强的技术、资金、人才实力，腾讯曾试水推出类人形机器人“小五”，字节、阿里巴巴等也在加快布局，是实力强劲的潜在竞争者。除了本体之外，科技/互联网大厂目前更多的是采取投资+自研大模型的方式参与人形机器人产业。

我们认为，未来人形机器人赛道中有望能够脱颖而出的本体厂商，需在本体设计和运控能力、商业化探索、成本控制、具身大模型等领域有一至多项优势，机器人赛道上的角逐，将是技术实力+产品思维+融资能力+人才吸引能力的综合体现。

图4：海内外部分本体厂商

公司	代表产品	发布时间 (Demo/最新版本)	类型	产品参数						现阶段实训场景					适用场景	公司人形机器人商业化进展	客户/合作伙伴
				身高 (cm)	体重 (kg)	负载 (kg)	行走速度 (m/s)	自由度 (DoF)	连续运行时间 (h)	工业生产	仓储物流	商业服务	家庭服务	特种应用			
Tesla	Optimus Gen-2	2023年12月	双足	173	63.5	20	2.2	50 (手部11)							工业生产（车门内部电池分拣等），仓储物流，后续也会拓展商用和家用	1月12日马斯克表示规划25/26/27年分别量产几千/5-10万/50-100万台。1月30日业绩会表示25年将生产1万台，26年年中开始月产能达1万台	
Figure AI	Figure 02	2024年8月	双足	168	70	20	1.2	手部16	5						工业生产，物流包裹分拣，25年计划进行家庭场景的alpha测试	计划未来四年交付10万台人形机器人	宝马，已签约新客户
Boston Dynamics	Atlas	2013年7月（液压版），2024年4月转向电驱	双足	150	75		1.5	28	1						工业生产，仓储物流，特种任务	未量产	
1X Technologies	NEO	2024年8月	双足	165	30	20	1.12	55	2至4						家用服务	预计2025年产量数千台NEO双足机器人，2026年规模化量产，2028年达到数百万台量产目标	Everon
Agility Robotics	Digit	2023年3月（新版）	双足	175	<65	16	1.5								工业生产，仓储物流	RoboFab工厂24年已正式投入运营。计划24年推出数百台Digit机器人，25年扩展至数千台，最终目标是每年生产1万台	亚马逊，GXO，舍弗勒，Zion
Apptronik	Apollo	2023年8月	双足	176	72.5	25			4						工业生产，仓储物流	未量产	奔驰，GXO，Jabil
Sanctuary AI	Phoenix	2024年4月（Gen7）	轮式	170	70		1.39								工业生产，商用服务（零售等）	24年7月提及将很快部署第一批1000台。目前创始人离职，可能推迟	麦格纳，CTC
优必选	Walker S1	2024年10月	双足	172	76										工业生产（比如比亚迪工厂拧螺丝、质检、分拣、搬运，富士康3C厂组装），仓储物流	预计25年1000台	比亚迪、吉利、奥迪一汽、一汽大众（青岛）、顺丰、富士康等
宇树科技	H1	2023年8月	双足	180	47		3.3	19（腿5*2+臂4*2+腰1）							G1教育科研、工业生产，H1工厂生产（搬运等）	G1已于2024年下半年实现量产，如今正进入产能爬坡阶段；H1进入小规模量产交付阶段	蔚来，吉利
智元机器人	远征A2	2024年8月	双足	169	69			40（手部19）	2						A1全场景，A2讲解接待，A2-Max搬运码垛，A2-W抓取放置搬运，灵犀X2家庭服务	24年12月已正式开启商业化量产	
开普勒	K2	2024年10月	双足	175	83			52（单手11）	8						工业生产，仓储物流	开始批量生产	已进入多家头部客户开展测试
傅利叶智能	GR-2	2024年9月	双足	175	63		1.4	53（单手12）	2						GR-1工业生产、商业服务，GR-2设计为通用场景应用	GR-1交付量已超过100台，2025年全行业有望达1000台以上	上汽通用，建设银行
乐聚机器人	KUAVO（夸父）	2023年10月	双足		45		1.4	38+（腿12+手臂14）							工业生产（配送分拣，产品打包，搬运等，为26-28年目标），科研&商用服务（导览导购等，25年之前主要场景）	至1月已批量交付100台，24年12月江苏产线正式启动，预计可年产200台	蔚来，中国一汽，北汽，亨通，中兴
银河通用机器人	Gallbot-G1	2024年6月	轮式	173	85				10						工业生产（搬运等），商用服务（零售，药店等），未来计划进入家庭	24年小批量交付，预计2026年量产	美团，奔驰，极氪
星动纪元	Star 1	2024年8月	双足	171	63	160+（单手25）		55							工厂生产（汽车装配，3C厂质检包装搬运），物流仓储，商业服务（迎宾导览，点餐送餐等），家政康养	小规模量产	

资料来源：新浪财经，机器之心，智猩猩 ROBOT，智元机器人官网，开普勒机器人官网，星动纪元官网，证券时报，IT 之家，觅途咨询，中国银河证券研究院

4. 产业政策支持

和新能源汽车在中国发展类似，政策是推动人形机器人产业进步的重要力量。一方面，人形机器人集成了 AI、高端制造、新材料等先进技术，是新质生产力的重要载体，符合国内高质量发展方向，另一方面，基于人形机器人对社会产业变革的重大影响，其已成为全球竞争高地，是国家科技实力的体现。2023 年 11 月工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》，明确了产业发展两个时间节点，即 2025 年在“大脑、小脑、肢体”等一批关键技术取得突破，整机产品达到国际先进水平并实现批量生产，2027 年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。

表2：人形机器人产业政策

中央/地方	发布时间	发布单位	文件名称	核心内容
中央	2023.1.18.	工信部等十七部门	《“机器人+”应用行动实施方案》	提出到 2025 年，制造业机器人密度较 2020 年实现翻番，服务机器人、特种机器人行业应用深度和广度显著提升。在医疗健康、养老服务、教育、商业社区服务等人形机器人应用潜力较大的领域，提出要开展从机器人产品研制、技术创新、场景应用到模式推广的系统推进工作。
	2023.11.2	工业和信息化部	《人形机器人创新发展指导意见》	到 2025 年，人形机器人创新体系初步建立，“大脑、小脑、肢体”等一批关键技术取得突破，确保核心部件安全有效供给。整机产品达到国际先进水平，并实现批量生产，在特种、制造、民生服务等场景得到示范应用。到 2027 年，人形机器人技术创新能力显著提升，形成安全可靠的产业链供应链体系，构建具有国际竞争力的产业生态。
	2024.1.18	工业和信息化部等七部门	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	人形机器人被列为“创新标志性产品”赛道，是国家鼓励发展的未来产业之一。
	2025.3.5	李强总理	《2025 年政府工作报告》	首次将“具身智能”和“智能机器人”写入《政府工作报告》：1) 建立未来产业投入增长机制，培育生物制造、量子科技、具身智能、6G 等未来产业。2) 持续推进“人工智能+”行动，将数字技术与制造优势、市场优势更好结合起来，支持大模型广泛应用，大力发展智能网联新能源汽车、人工智能手机和电脑、智能机器人等新一代智能终端以及智能制造装备。
	2025.3.6	全国人形机器人标准化技术委员会	《人形机器人标准化白皮书》	从人形机器人的产业发展、标准体系等方面系统梳理国内外人形机器人核心技术标准
北京	2023.6	北京市政府	《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023-2025 年）》	加紧布局人形机器人，对标国际领先人形机器人产品，支持企业和高校院所开展人形机器人整机产品、关键零部件攻关和工程化，加快建设北京市人形机器人产业创新中心，争创国家制造业创新中心。
	2023.8.16	北京市政府	《北京市促进机器人产业创新发展的若干措施》	加快北京市机器人产业创新发展，打造技术创新策源地、应用示范高地和高端产业集聚区。
	2025.2.28	北京市政府	《北京具身智能科技创新与产业培育行动计划（2025-2027 年）》	将从技术创新、平台支撑、场景牵引、生态优化等四个维度，推动具身智能领域技术创新和产业发展。预计到 2027 年底，北京将突破百余项关键技术，产出不少于 10 项国际领先的软硬件产品；力争推动万台具身智能机器人规模落地，培育千亿级产业集群。
上海	2023.9.15	上海市政府	《上海市进一步推进新型基础设施建设行动方案（2023-2026 年）》	强调面向人形机器人等领域，初步建成若干前沿产业创新平台，为应对科技产业变革和探索科学研究新范式提供设施支撑。其中包括建设“大模型+人形机器人”协同创新平台，并计划争取人形机器人国家制造业创新中心落地上海，以推动人形机器人产业的创新发展。
	2023.10.26	上海市政府	《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）》	提出要加快通用机器人工程化，特别是人形机器人的工程化应用，以提升上海在通用机器人领域的影响力。同时，方案还强调要聚焦以大模型、具身智能等人工智能技术驱动的通用机器人关键领域攻关，并推进关键共性技术的标准研制及落地推广。此外，方案还提出要建立智能机器人分级分类评价体系，并推动人形机器人制造业创新中心的建设。
	2024.7.16	上海市政府	《上海市促进工业服务业赋能产业升级行动方案（2024-2027 年）》	指出要创建国家人形机器人制造业创新中心，以加速人形机器人技术的研发和应用。同时，计划在汽车、电气设备生产和零部件加工等领域，打造一批人形机器人赋能的制造应用场景，以形成机器人生产解决方案。此外，要推动工业物流转型降本提效，其中包括推动部署无人车、人形机器人等智能物流设备，以提升物流效率和降低成本。

广东	2023.5.31	深圳市政府	《深圳市加快推动人工智能高质量发展高水平应用行动方案（2023-2024年）》	发展高新技术产业应聚焦通用大模型、智能算力芯片、智能传感器、智能机器人等领域，重点支持芯片和算法的开源通用大模型。支持科研机构与企业共建人工智能联合实验室，加快组建广东省人形机器人制造业创新中心。发挥粤港澳大湾区制造业优势，开展人形机器人规模化应用。
	2023.12.29	广东省工业和信息化厅	《广东省培育智能机器人战略性新兴产业集群行动计划（2023-2025年）》	将人形机器人视为智能机器人产业的重要组成部分，并明确提出了关于人形机器人的发展目标。具体来说，深圳作为广东省的重要城市，被赋予重点发展人形机器人的任务。深圳将依托自身的科技优势和产业基础，推动人形机器人产业的快速发展，并加强人工智能技术与机器人的深度融合，以打造具有国际先进水平的人工智能创新平台。
	2025.2.5	广东省人民政府	《广东省建设现代化产业体系 2025 年行动计划》	提出：大力发展人形机器人等具身智能机器人，加快突破机器脑、机器肢、机器体和关键核心部件，积极推动智能机器人应用场景创新。高标准建设省具身智能机器人创新中心，引进和培育 3 至 5 家独角兽企业、科技型领军企业。
	2025.3.3	深圳市科技创新局	《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）》	到 2027 年，在机器人关键核心零部件、AI 芯片、人工智能与机器人融合技术、多模态感知技术、高精度运动控制技术、灵巧操作技术等方面取得突破。新增培育估值过百亿企业 10 家以上、营收超十亿企业 20 家以上，实现十亿级应用场景落地 50 个以上，关联产业规模达到 1000 亿元以上，具身智能机器人产业集群相关企业超过 1200 家。
重庆	2024.10.22	重庆市经济信息委	《重庆市“机器人+”应用行动计划（2024~2027 年）》	到 2027 年将创建一批“机器人+”应用场景，重点发展一批中高端机器人。同时，还发布了《重庆市支持具身智能机器人产业创新发展若干政策措施》，提出要围绕“存算一体”芯片、高性能末端执行器等研发方向推动核心技术攻关，通过“揭榜挂帅”方式重点攻关具身大模型生态体系相关技术，并形成一批产业化成果。
	2024.12.4	重庆市经济和信息化委员会	《重庆市支持具身智能机器人产业创新发展若干政策措施》	旨在推动具身智能机器人领域的技术突破与产业升级，提升重庆在这一前沿科技领域的竞争力。政策涵盖了对关键技术研发的大力支持、产业培育方面的税收优惠和场地补贴、高端专业人才的激励措施以及加强产业链协同等内容。
安徽	2024.12.6	安徽省工业和信息化厅	《安徽省人形机器人产业发展行动计划（2024~2027 年）》	旨在加速构建人形机器人创新体系和产业生态，明确了以“23456”为核心的目标体系，即构建两个中心、建设三大平台、打造四种型号整机、开发五类优势部组件、推出六类应用场景产品。该计划通过促进产业集聚发展，提升产业链现代化水平，力争到 2027 年形成具有核心竞争力的产业化能力，为安徽省人形机器人产业的持续健康发展奠定坚实基础。
山东	2024.5.6	山东省工业和信息化厅等部门	《山东省促进人形机器人产业创新发展实施方案（2024~2027 年）》	为贯彻落实工业和信息化部《人形机器人创新发展指导意见》，加快推动山东省人形机器人产业创新发展，提升人形机器人在经济社会领域的应用水平，打造具有核心竞争力的人形机器人产业集群。
江苏	2024.4.17	江苏省工业和信息化厅、省发改委、省科技厅、省财政厅、省市场监督管理局	《江苏省机器人产业创新发展行动方案》	旨在推动江苏省机器人产业的高质量发展，特别是人形机器人领域。到 2025 年，江苏省机器人产业链规模预计达到 2000 亿元左右，其中机器人核心产业规模将达到 250 亿元以上，并计划培育 5 家具有国际竞争力的机器人企业。人形机器人作为其中的重要一环，将实现关键核心技术的突破，并推动其在多个领域的应用。
	2024.11.26	南京市政府办公厅	《南京市促进机器人产业高质量发展行动计划（2024~2026 年）》	明确要聚力打造“1+N+1”整机体系，即打造工业机器人领先优势、提升一批特色机器人产业、前瞻布局人形机器人产业。同时，该计划还从夯实关键零部件基础、提升系统集成能力和平台支撑、实施“机器人+”示范应用、打造“一核多翼”的产业布局、分级分类壮大市场主体、加强项目招引与服务等方面提出了重点任务。
浙江	2024.9.3	浙江省经济和信息化厅	《浙江省人形机器人创新发展实施方案（2024~2027 年）》	指出充分发挥企业科技创新主体作用，聚焦聚力整零布局协同化、技术攻关体系化、产业培育集群化、场景应用多元化、创新发展生态化的培育方向，加快浙江省人形机器人产业创新发展。

	2024.12.5	杭州市发改委	《杭州市人形机器人产业 业发展规划（2024— 2029 年）》	以“最优本体+最强大脑”为重点，旨在加快构建人形机器人整机研发、设计、制 造、应用的一体化创新体系和全产业链生态。规划提出到 2027 年，产业创新体系初 步建成；到 2029 年，产业规模实现跨越式增长，全产业链生态体系和产业集群基本 成型。
	2024.12.20	杭州市人民政府	《杭州市促进人形机器 人产业创新发展的若干 政策措施》	"鼓励人形机器人企业承担国家、省重点科研任务，按国家、省实际到账补助资金的 25%，给予最高 500 万元的补助。 支持打造人形机器人产业链，人形机器人企业产品进入非关联的世界 500 强、中国 500 强企业采购目录，且连续两年销售额均超过 1000 万元的，给予人形机器人企业 一次性奖励 100 万元。人形机器人企业采购、应用非关联企业零部件产品，年度采 购量达 100 万元的，按年度采购量的 10%予以奖励，单家企业每年最高奖励 500 万 元。

资料来源：各政府官网，中国银河证券研究院

二、市场复盘：T 链收敛，新生态发散

人形机器人板块行情驱动因素可以分为政策、T 链、海外 AI 和英伟达、新生态链（华为和其他本体厂），同时需参考国内市场风格切换。

第一轮上涨（22 年 5 月-8 月），T 链引爆：22 年 5 月人形机器人行情首次爆发，主要由于马斯克透露将在 22 年推出人形机器人产品，此次上涨自 22 年 9 月特斯拉 AI Day 推出略显粗糙的原型机后开始在市场情绪主导下回调。

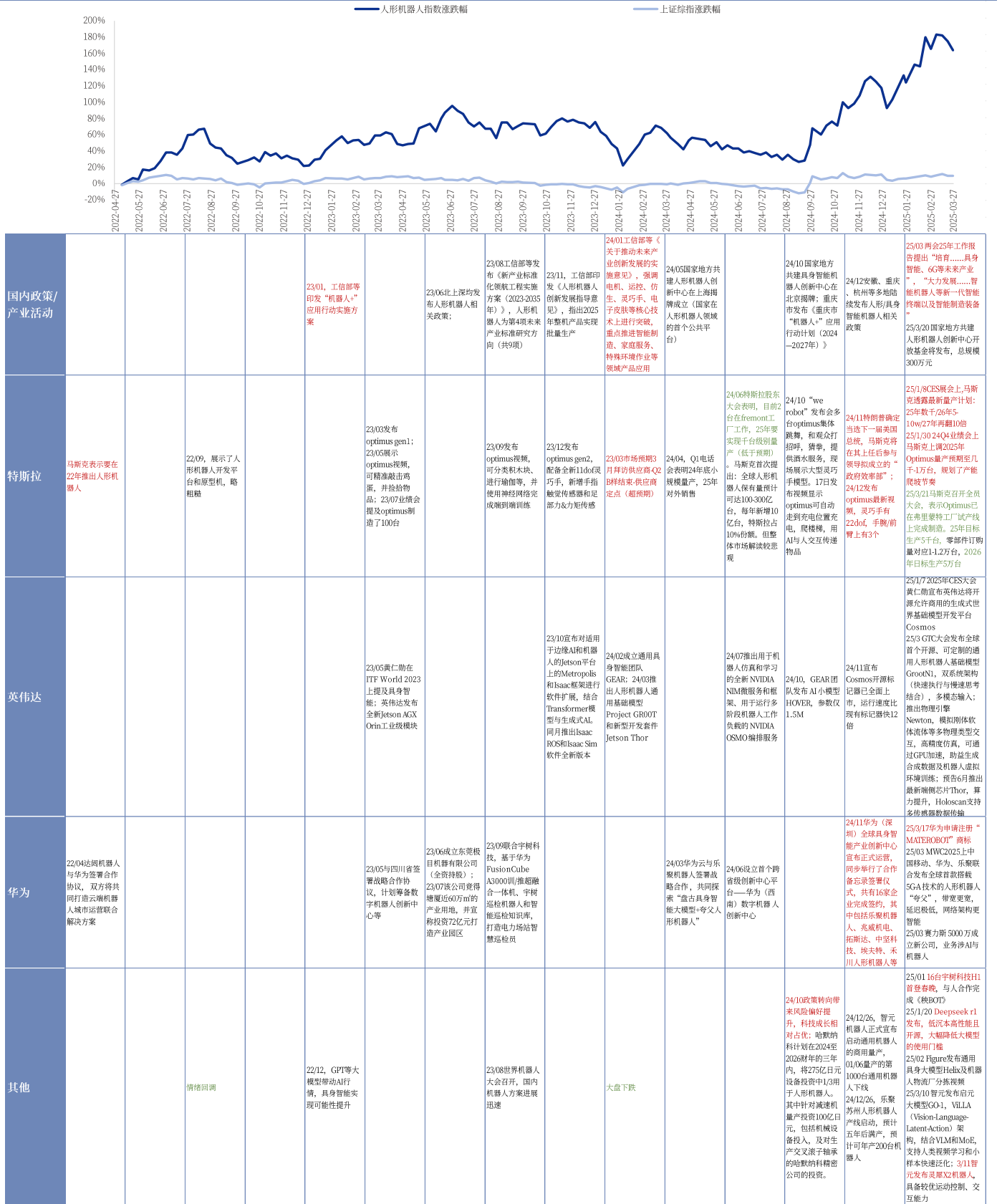
第二轮上涨（23 年 1 月-6 月），跟随海外 AI 行情，T 链+政策共振：经历了大概半年的盘整期后，22 年底 GPT 等大模型带动 AI 行情，叠加工信部等 17 个部门印发“机器人+”应用行动实施方案，表示“到 2025 年，制造业机器人密度较 2020 年实现翻番”，人形机器人板块迎来新一轮上涨行情，且在随之而来的 optimus 一代发布（3 月）、黄仁勋提及具身智能（5 月）、英伟达发布全新 Jetson AGX Orin 工业级模块（5 月）、北上深多地发布地方支持政策（6 月）后加速达到阶段性高点。尽管之后 2023 世界机器人大会上中国本体厂商百花齐放，工信部《人形机器人创新发展指导意见》指出 2025 年整机产品实现批量生产，特斯拉 12 月发布 optimus 二代，行业多端催化，但板块依旧处于盘整期，且在 24 年初大盘下跌期间迅速回调。

第三轮上涨（24 年 2 月-3 月），超跌反转，T 链超预期进展：24 年 2 月起，人形机器人板块迎来深 V 反转，主要由于前期超跌，且 1 月工信部等《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，强调在电机、运控、仿生、灵巧手、电子皮肤等核心技术上进行突破，重点推进智能制造、家庭服务、特殊环境作业等领域产品应用，且特斯拉定点迎来新进展（超预期），市场期待可能 3 月拜访供应商-Q2 B 样结束并随之进行供应商定点，多重利好下板块走出独立行情。但随着 24 年特斯拉股东大会上关于 optimus 进展和量产时间线的表述模糊且低于预期，市场情绪回落，板块跟随大盘震荡下行。

第四轮上涨（24 年 9 月-12 月），市场风格切换+T 链驱动，华为链加速放大行情：市场风格层面，24/10 政策转向带来风险偏好和流动性提升，科技成长相对占优，人形机器人符合新质生产力方向获得市场资金偏好。T 链层面，24/11 特朗普确定当选下一届美国总统，马斯克未来施展拳脚的空间和支持度大幅提高；24/12 发布 optimus 最新视频，灵巧手进展明显，确认有 22dof 且带来电机、丝杠、触觉传感器需求提升。华为链层面，24/11 华为（深圳）全球具身智能产业创新中心宣布正式运营，同步举行了合作备忘录签署仪式，共有 16 家企业完成签约，其中包括乐聚机器人、兆威机电、拓斯达、埃夫特等。利好叠加下，人形机器人板块出现新一轮更迅猛的上涨。

第五轮上涨（25 年 1 月-），T 链量产进度与确定性超预期；宇树 H1 登台春晚出圈；Deepseek 助益机器人“大脑”平权；英伟达/Figure/智元取得可喜进展：25/1/8 CES 展会上，马斯克透露最新量产计划：25 年数千/26 年 5-10w/27 年再翻 10 倍，需求和量产节奏匹配清晰，市场从纯粹主题投资逐渐转向更看重实际基本面，T 链确定性强的标的获涨。25/1/30 24Q4 业绩会上马斯克再次上调 2025 年 Optimus 量产预期至几千-1 万台，并规划了产能爬坡节奏，市场对产业进展信心再次提升。T 链之外，宇树 H1 登台春晚国内出圈，Deepseek r1 高性能低成本且开源助益具身“大脑”平权，两会报告首次写入“具身智能”坚定政策支持，Figure AI 和智元在具身大模型上取得可喜进展，AI+机器人引爆新一轮科技投资热潮。但 25/3/21 全员大会上马斯克表示 25/26 年目标生产 5 千/5 万台，略低于此前指引，引发回调。

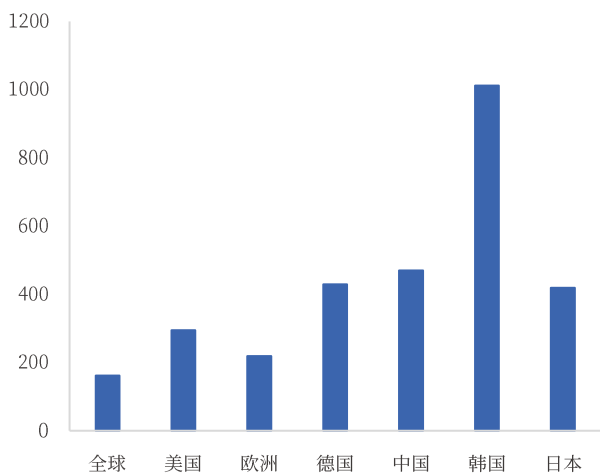
图5：人形机器人行情复盘



三、产品力和售价决定渗透速度，场景广度决定渗透空间

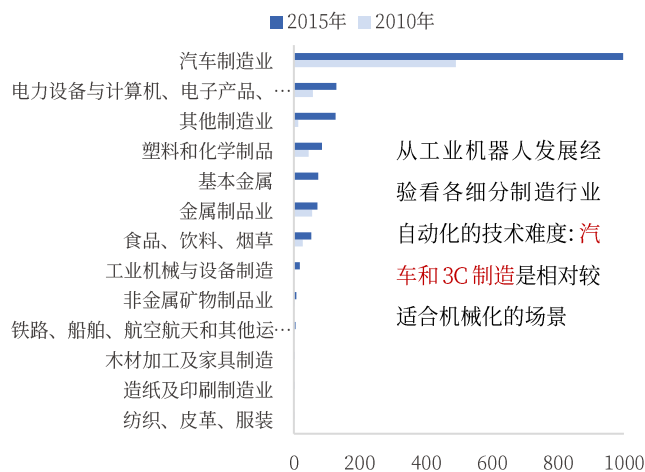
人形机器人商业化需综合考虑技术壁垒、市场规模和成本接受程度。市场规模较大，技术壁垒中等，成本可接受程度更高的细分市场更容易渗透，也即：以汽车总装和 3C 制造代表的工业场景优先，随后是任务复杂度适中的商用服务场景、危险场景和其他工业场景，然后再到消费端，也即家庭场景。主要原因是：1) **市场规模**：人形机器人产品落地需要模型算法、本体制造&运控、上游芯片、算力、核心零部件供应商多方努力，且一定程度上需要各环节参与者针对具身智能机器人进行定制化开发，市场规模大的场景才能够吸引足够多企业加入，并在未来跑出数据飞轮效应。2) **技术壁垒**：产品是否满足用户需求、具备一定“必要性”是商业化的关键，家庭环境的场景复杂性和操作复杂性高于工业和部分商业服务场景，对人机交互的要求更高，技术实现难度更大。3) **成本可接受程度**：基于对机会成本的考量，在人形机器人方案优于其他替代方案时，购买意愿会显著增强，人形机器人从 to B 走向 to C 的过程对成本控制的要求将越来越严格。

图6：全球和部分国家 2023 年制造业机器人密度（台/万人）



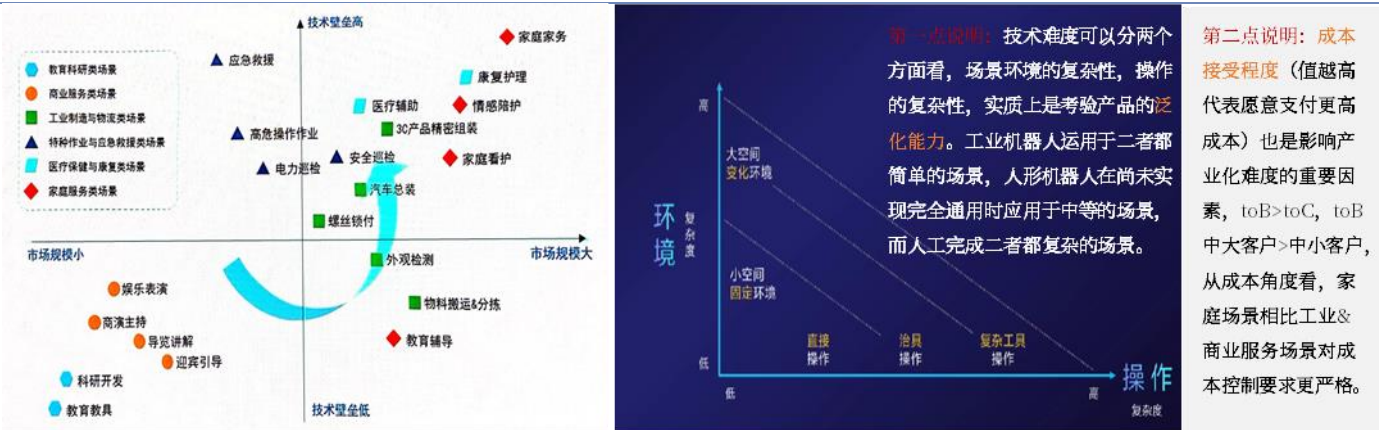
资料来源：IFR，中国银河证券研究院

图7：美国工业机器人渗透度(台/每万名员工)



资料来源：王永钦等《机器人的兴起如何影响中国劳动力市场——来自制造业上市公司的证据》，中国银河证券研究院

图8：人形机器人商业化落地节奏



资料来源：GGII，小米，中国银河证券研究院

综上所述我们测算得到 2035 年美国/中国人形机器人保有量为 612 万台/720 万台，出货量为 158 万台/197 万台。假设平均单价为 9.5 万元，估算得到 2035 年美国/中国人形机器人行业市场规模为 1,506 亿元人民币/1,873 亿元人民币。

图9：2025-2035 年美国/中国人形机器人市场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E	2032E	2033E	2034E	2035E
行业	就业人数（万）	渗透率										
汽车制造业	192	0.10%	0.5%	1.1%	2.5%	5.0%	8.0%	12.0%	18.0%	25.0%	27.0%	30.0%
人形机器人效率		20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
3C制造	108	0%	0.1%	0.5%	1.0%	2.5%	5.0%	7.0%	9.0%	15.0%	22.0%	25.0%
人形机器人效率			20%	25%	30%	40%	48%	56%	64%	72%	76%	80%
其他制造业	961	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.01%	0.1%	0.5%	1.2%	2.0%	3.5%	5.5%
人形机器人效率						20%	22%	26%	30%	34%	38%	40%
制造业领域保有量（万台）		1	4	9	16	26	41	65	97	133	175	224
制造业领域出货量（万台）		1	3	5	6	11	15	24	32	36	42	49
采矿业	58	0.01%	0.03%	0.08%	0.20%	0.4%	0.8%	1.5%	3.0%	5.0%	8.0%	12.0%
火灾救援及防护	22	0.01%	0.05%	0.10%	0.25%	0.5%	1.1%	2.4%	4.0%	7.0%	11.0%	15.0%
危险场景领域保有量（万台）		0	0	0	0	1	1	2	4	7	11	15
危险场景领域出货量（万台）		0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	5
仓储物流	176	0.05%	0.1%	0.5%	1.0%	1.6%	2.5%	4.0%	6.0%	9.0%	12.0%	16.0%
餐饮服务	689	0.01%	0.03%	0.10%	0.50%	1.0%	1.6%	2.2%	3.0%	4.0%	6.0%	8.0%
零售	766	0.01%	0.03%	0.08%	0.20%	0.4%	0.8%	1.5%	3.0%	5.0%	8.0%	12.0%
批发	160	0.01%	0.03%	0.10%	0.50%	1.0%	1.6%	2.2%	3.0%	4.0%	6.0%	8.0%
安保	66	0.01%	0.02%	0.1%	0.10%	0.3%	0.5%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%
个人护理	304	0.01%	0.02%	0.05%	0.10%	0.25%	0.5%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%
服务业领域保有量（万台）		0	1	4	12	23	39	61	100	149	222	310
服务业领域出货量（万台）		0	1	3	8	11	16	22	38	49	73	88
人数（千）		每千人拥有量										
340212		0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.11	0.36	0.81	1.36	1.86
家庭领域保有量（万台）		0	0	0	0	0	1	4	12	28	46	63
家庭领域出货量（万台）		0	0	0	0	0	1	3	9	16	19	17
保有量合计（万台）		1	6	13	28	50	82	132	213	316	454	612
出货量合计（万台）		1	4	8	15	22	32	50	81	103	138	158

注：（1）具身智能机器人效率=每个机器人每日完成工作量/单个人工平均每日工作量；（2）除个人护理服务栏目选择的是登记就业人员数，其余栏选择的是等效全职人员数；（3）假设 2030E-2035E 家庭领域每千人形机器人拥有量=2010-2015 年每千人新能源车拥有量*1.5

资料来源：Wind，美国劳工局，中国银河证券研究院

图10: 2025-2035 年中国人形机器人市场规模测算

		2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E	2032E	2033E	2034E	2035E
行业	就业人数 (万)	渗透率										
汽车制造业	558	0.05%	0.2%	0.6%	1.5%	2.2%	4.0%	7.0%	10.0%	13.0%	16.0%	19.0%
人形机器人效率		20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	100%
3C制造	1048	0.0%	0.001%	0.01%	0.10%	0.5%	1.1%	2.4%	4.0%	7.0%	10.8%	15.0%
人形机器人效率			20%	25%	30%	40%	48%	56%	64%	72%	76%	80%
其他制造业	8876	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.001%	0.005%	0.01%	0.04%	0.07%	0.11%	0.22%
人形机器人效率						20%	22%	26%	30%	34%	38%	40%
制造业领域保有量 (万台)		1	5	12	24	38	63	104	147	201	269	351
制造业领域出货量 (万台)		1	3	7	12	14	25	41	43	54	68	83
消防救援	22	0.01%	0.05%	0.10%	0.25%	0.5%	1.1%	2.4%	4.0%	7.0%	11.0%	15.0%
电力、热力、燃气及水生产和供应	478	0.01%	0.02%	0.05%	0.10%	0.3%	0.5%	1.0%	1.8%	2.8%	4.0%	5.5%
危险场景领域保有量 (万台)		0	0	0	1	2	4	8	14	22	32	44
危险场景领域出货量 (万台)		0	0	0	0	1	2	4	6	8	10	12
装卸搬运和仓储	143	0.05%	0.1%	0.5%	1.0%	1.6%	2.5%	4.0%	6.0%	9.0%	12.0%	15.0%
餐饮配送和外卖	27	0.01%	0.03%	0.08%	0.20%	0.4%	0.8%	1.5%	3.0%	5.0%	8.0%	12.0%
货摊无店铺和其他零售	315	0.01%	0.05%	0.10%	0.25%	0.5%	1.1%	2.4%	4.0%	7.0%	11.0%	15.0%
安保	676	0.01%	0.02%	0.05%	0.10%	0.3%	0.5%	1.0%	1.7%	2.6%	3.7%	5.0%
养老照护	600	0.01%	0.02%	0.05%	0.10%	0.25%	0.5%	1.0%	1.7%	2.6%	3.7%	5.0%
家政	3000	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.001%	0.005%	0.01%	0.02%	0.08%	0.25%	0.5%
服务业领域保有量 (万台)		0.3	1	3	5	11	21	40	66	108	163	226
服务业领域出货量 (万台)		0.3	0.5	2	3	5	10	19	26	41	55	63
	家庭户数 (百)	每百户拥有量										
	4941574	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.12	0.20
家庭领域保有量 (万台)		0	0	0	0	0	0	0	5	24	59	99
家庭领域出货量 (万台)		0	0	0	0	0	0	0	5	20	35	39
保有量合计 (万台)		2	6	14	30	51	88	152	233	355	523	720
出货量合计 (万台)		2	4	9	15	21	37	64	80	123	168	197

注: (1) 具身智能机器人效率=每个机器人每日完成工作量/单个人工平均每日工作量; (2) 养老照护栏, 目前从业人数仅 50+万人, 存在较大需求缺口, 人形机器人有助于填补缺口。此处暂以目前估计的供需缺口 600 万人作为计算基数; (3) 以第七次人口普查 (2020 年) 家庭户数为家庭领域每百户拥有量的测算基数, 并假设至 35 年保持不变; (4) 假设 2032E-2035E 家庭领域每百户人形机器人拥有量约等于 2013-2016 年每百户家庭新能源乘用车拥有量

资料来源: Wind, 中华人民共和国公安部, 中华人民共和国应急管理部, 能源与交通创新中心 (iCET), 中国政府网, 中国银河证券研究院

四、探索关键技术路径，解构供应链核心环节

（一）关键技术节点及路径

人形机器人技术关键点和目前卡点汇集在“大小脑”、关节和灵巧手（含传感器）。通用人形机器人要满足通用环境移动，需要实现动作泛化、地形泛化、鲁棒性和高动态，关键技术点是控制算法及跑通端到端强化学习算法。要满足通用任务操作需要实现自然语言交互、双臂操作、灵巧手操作、非结构化任务处理以及技能泛化能力，关键是研发动作库小模型+大模型，以及探索布局端到端大模型。以上两个目标的实现对本体硬件也提出了更高要求，需要具备一定的关节爆发性、末端灵活度、多维传感能力、成本可控且稳定性强，需重点关注关节和灵巧手的性能与成本。

图11：人形机器人关键技术点与路径

	目标	关键点			全球核心技术卡点
通用环境移动	动作泛化	端到端强化学习跑通，实现通用环境移动			强化学习完成通用环境移动 上下肢协同动作展现
	地形泛化				
	鲁棒性	控制算法（WBC-MPC突破，实现人形机器人户外不平路面行走） 端到端强化学习（跑通端到端强化学习算法，打通Sim2Real闭环，完成复杂路面行走、上楼梯、上下坡、跳跃、抗冲击、平衡等动作）			
	高动态				
通用任务操作	自然语言交互	研发动作库小模型+大模型，布局前沿端到端大模型			动作小模型刚刚起步 单一操作对象泛化处于初阶 灵巧手操作进展较少
	双臂操作				
	灵巧手操作	端到端强化学习+模仿学习（搭建小模型，实现单一任务不同物体泛化和自适应） 具身大模型（动作模型+VLM+LLM，在人形机器人上实现连续性复杂任务） 端到端具身大模型（联合布局开发端到端具身大模型，展现泛化能力）			
	非结构化任务				
	泛化能力				
本体	关节爆发性	硬件Infra平台：与算法紧密耦合，联合迭代			关节：电机扭矩密度提升 成本：需持续优化
	末端灵活度				
	多维传感	关节：准直驱电驱路线，高爆发核心零部件 灵巧手：高灵巧性，触觉覆盖，成本可控			
	成本与稳定性				

资料来源：中国银河证券研究院

特斯拉 Optimus 目前地形泛化和灵巧手操作能力加强，但在机器人算法、灵巧手触觉传感、成本控制上仍在密集迭代。特斯拉团队率先关注“行走”和“平衡”，解决行走不稳问题及挑战不同地面条件，之后是手部能力，从简单挥手和拧螺丝到精密抓取再到双手协作能力、负荷能力、灵活度提升，同步变化的有关节结构、电机性能、电池续航能力，以及手部自由度翻倍，传感器数量和种类不断增加。任务处理上，从简易物料分拣搬运，到可以自主分拣，到可承担高重复性和持续监控的任务（工厂中插电池），到可根据要求拿不同东西，背后是环境感知和反馈调整能力、快速决策和路径规划能力、多模态指令相应能力的突破。目前 Optimus 已经能够实现崎岖坡面上下坡和小步奔跑，户外自然环境中移动和平衡能力大幅增强；手部可灵活抛接球；已进入特斯拉工厂实训并可长时间工作。目前硬件方案上较大边际变化来自灵巧手（含触觉传感）方案，以及整体减重。

图12：特斯拉 Optimus 进化史

时间节点	主要变化	身高体重	行走	平衡	手部	有用任务	软件&AI大模型	硬件	其他
2021/8, 概念机发布 (AI day)		173cm+57kg							
2022/9, 原型机发布 (optimus gen-1 (AI day))	实现从概念向初步原型过渡；行动速度和灵活度较低				挥手, 搬运物品		FSD+Dojo, 视觉和自主决策算法	自制电机和驱动模块	展示了人形机器人开发平台
2023/3, 投资者日	运动能力、手部灵活性、自主学习能力提升		稳定步态行走	单腿站立, 弯腰拾物	灵巧手抓放东西, 拧螺丝		强化学习+自我训练	升级了传感器	调整了机械设计结构
2023/5/17, 股东大会	从协助到自主执行任务, 并展示在工厂运用的可能性		行走更流畅	平衡能力更强	手部动作更灵活	物料分拣和搬运	通操作训练AI, 改进AI模型以在环境中动态学习	传感器进一步升级, 以支持环境互动	多个机器人亮相, 展示协作能力; 正在制定量产目标
2023/9/24	可自主对物体分类, 更高的自主性和自我改进能力		行走和调整方向的速度明显加快	进行拉伸等瑜伽动作, 上下肢同步, 体现运动平衡能力	可进行精细抓取和轻拿轻放	物料搬运、装配和自主分拣等; 实验室环境中进行工具使用和物品整理	自动校准和检验自己的手和腿, 仅用特斯拉纯视觉技术+关键位置编码器; 根据环境变化进行实时反馈调整, 比如自动分拣+排除外界干扰+自动纠错	传感器系统升级	
2023/12/13, optimus gen-2发布	全面升级	不牺牲性能情况下减重10kg	可跑步、上下楼梯	平衡性提升, 实现全身控制, 可跨马步, 可随音乐律动	全新更敏捷的11dof灵巧手; 可完成双手协作任务, 如搬运、精密部件组装; 可抓鸡蛋, 两指捏鸡蛋			新增2dof铰接脖子, 灵巧手新增压力式触觉传感器; 电机优化; 电池系统优化; 新增足部力/扭矩传感器, 脚趾具有关节, 类似人类足部的几何构造; 保留模块化设计	
2024/1/16	手部精细操作和感知能力加强, 增强家用可能性				叠衬衫	叠衬衫			
2024/1/31和2024/2/25	协调性升级, 运动控制算法和动力学设计优化		可散步, 走路更像人类, 走路速度提升, 但和人还存在差距	不同地面条件下行走可保持平衡和步态一致			可多次尝试减少失误		
2024/3/5	展示工业运用新动作——分拣电池		在办公区进行日常行走, 行走距离越来越长	身体向上牵引的时候腿部保持平衡	能够处理较小且较脆弱的物品, 操作失败时会自动纠错	新动作插电电池, 表示可适用于高重复性和持续监控的任务	AI算法在快速决策和路径规划上取得进步	传感器和反馈系统表现优秀	已经在特斯拉工厂中测试, 需要人工干预的概率逐渐降低
2024/10/11, “we robot” 发布会	工业+家庭场景同步探索		自主移动能力加强, 平稳行走和避让障碍物	可集体跳舞			可猜拳和与人交互与提供酒水服务, 展现对手势和语音的反应能力	关节和运动系统优化; 电力管理系统升级	可与人共同搬运和组装, 展示人机协作能力; 可连续完成多项动作, 展示长时间工作能力
2024/10/17	可执行更复杂任务, 包括拾取物体、协作搬运和轻型组装; 具有更快的响应速度和更高的准确性		走路更佳	探索不平坦地形	可以拿起大负荷物体, 比如11kg的电池盒并把它们放置别处		多模式指令响应+即时反馈。可根据要求拿不同的东西	传感器升级 (可自主探索未知区域+捕捉环境信息, 可自动避开人类和障碍物)	能自动走到工厂充电处, 仅使用后置摄像头精准地对接充电装置, 并自动走回工厂工作处
2024/11/28	新一代灵巧手自由度翻倍, 驱控接近定型				可稳定接住球 (远程控制); 新一代 optimus 灵巧手有 22DOF, 手腕/前臂上有3个			电机数量增加, 驱动装置从手掌转移到前臂位置, 空心杯电机和无框力矩电机均可能采用, 丝杠数量增加; 未来可能通过腱绳实现更精细的控制以及减轻前臂重量	年底要完成的工作: 扩展触觉传感集成覆盖面, 通过肌腱进行精细控制, 以及减轻前臂重量 (当前所有驱动都转移到了前臂)
2024/12/10	户外自然环境中移动能力加强		爬泥坡和下坡, 误滑也能站稳, 行走速度已和人类相仿, 可小跑				通过神经网络控制电动肢体 (未使用视觉), 无需远程操控可自主行走		

注：主要分析资料为特斯拉视频、特斯拉发布会等
资料来源：Tesla Optimus X 平台官方账号，人形机器人联盟公众号，中国银河证券研究院

(二) 零部件：关注价值占比高、竞争格局好的核心板块

1. 核心硬件零部件概览

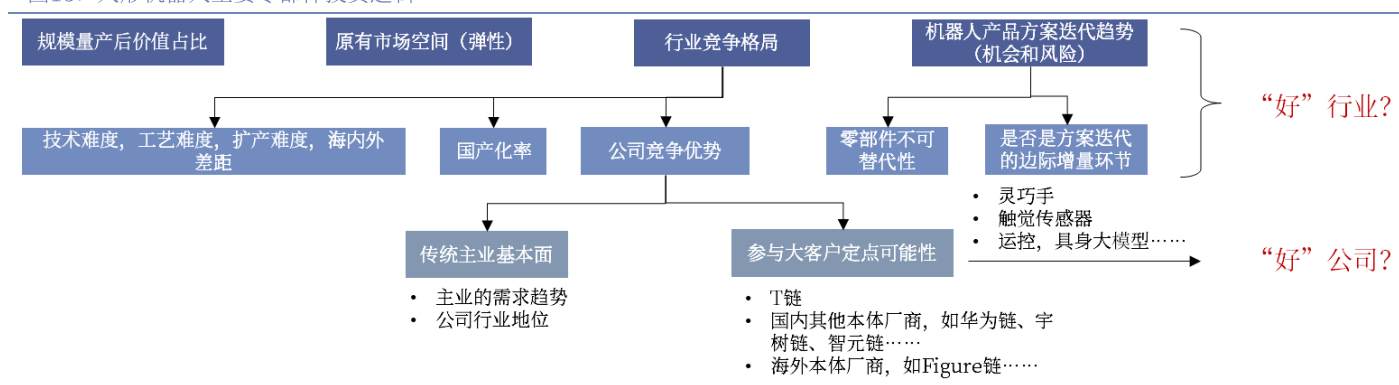
从产业角度看，人形机器人零部件行业的发展需要关注规模量产后在 BOM 价值占比、原有市场空间、行业竞争格局（关注技术难度、工艺难度、扩产难度、海内外差距等）、机器人方案迭代

趋势等。在机器人本体中价值量占比高、原有市场空间小的零部件受益于人形机器人产业链、市场规模向上弹性更大，但产业发展的确定性会影响供应商参与意愿。产品技术和工艺难度高低影响行业新进入者涌入的速度，也即影响未来的竞争格局和盈利能力。区分海外和国内看，国内外技术差距一方面是当前国产替代率现状形成的重要原因，一方面也代表国产替代潜力。但值得注意的是，由于机器人软硬件方案处于高度动态变化中，需要关注零部件被采用的确定性，若新技术方案下零部件被部分/完全替代，此时行业增量可能不及预期。由此我们认为，价值占比高、技术/工艺壁垒高、不可替代性强的零部件值得重点关注，其中随着人形机器人产业发展确定性提高，传统主业对应市场空间小、具备国产替代能力的国内龙头厂商有望获得业绩高弹性。

对比各构成本体的零部件，1) 规模量产后价值量上：行星滚柱丝杠、谐波减速器、无框力矩电机价值量较大，其次为六维力传感器和空心杯电机。**2) 技术和工艺壁垒上：**谐波减速器技术和工艺壁垒均较大，行星滚柱丝杠和六维力传感器工艺难度较大，其次是各类传感器（柔性触觉传感器、3D 视觉、IMU 等）和空心杯电机，其中行星滚柱丝杠、六维力传感器国内外技术差距相对大。**3) 原有市场空间上：**行星滚柱丝杠、谐波减速器、六维力传感器、空心杯电机、无框力矩电机原有市场空间均不大。**4) 不可替代性上：**特斯拉第三代灵巧手无刷有齿槽电机可能替代部分空心杯电机，六维力传感器和国内厂商线性关节(主要影响行星滚柱丝杠)使用必要性根据应用场景需要而不同。

综合以上，我们认为**谐波减速器、行星滚柱丝杠、六维力传感器、空心杯电机**等零部件值得重点关注。此外，目前本体厂商软硬件方案中的增量变化集中在**灵巧手、触觉传感器、减重材料、“小脑”运控、具身大模型（包括数据采集和训练）**等，伴随量产时点靠近，相关行业有望获得增益。

图13：人形机器人主要零部件投资逻辑



资料来源：中国银河证券研究院

图14：人形机器人主要零部件特点总结

系统类别	零部件	介绍	规模量产价值占比	全球市场空间	技术&工艺壁垒	核心技术	国内与海外技术成熟度差距	国内与海外产品差距
执行系统	谐波减速器	将电机的旋转运动转换成所需的速度和力矩，减小误差提高精度；增大输出扭矩，提高可负载重量；提高机器人响应速度，从而提高灵活性。主要用于机器人小臂、腕部和手部，以及灵巧手	高	22年全球4.9亿美元（据business research insights）	高	齿形设计、材料选择、制造工艺	中等	寿命、可靠性、精度保持性、噪音控制等
	行星减速器		低	22年全球12亿美元，中国5亿美元（据QY research）	低	齿形设计、材料选择、制造工艺	小	专利数量
	无框力矩电机	驱动执行器	偏高	22年全球6.1亿美元（据technavio）	中等	磁路、工艺设计（定制化要求）	偏小	国产产品扭矩密度更低
	空心杯电机	驱动灵巧手	中等	22年全球7.5亿美元（据QY research）	偏高	绕线工艺和绕线设备	中等	材料选用（加工镀膜工艺等）、本体设计（尺寸等）、机电控制（定制化开发能力等）
	行星滚柱丝杠	将旋转运动转化成线性运动，主要用于线性执行器	高	22年全球2.85亿美元（据Persistence Market Research），中国占比<5%	高	螺母内螺纹加工、热处理等	大	精密磨床设备、热处理稳定性和可靠性等
	编码器	主要应用在人形机器人直线/旋转关节和灵巧手中，是测量位移、角度等，反馈机器人关节位置，实现精准控制的关键	低	22年中国25.75亿元（MIR）	低	芯片，码盘技术	小	重要元件芯片依赖进口，码盘技术工艺
感知系统	六维力传感器	用于力控操作、平衡稳定控制以及安全系统控制，特斯拉Optimus Gen2将其用于手腕和足部	中等	23年全球市场2.23亿美元，中国市场0.46亿美元/占比20.3%（QYResearch）	高	解耦算法，结构设计，弹性体的机械材料、结构、几何尺寸，标定系统精度，六维联合加载设备（需要自制，壁垒较高）	大	灵敏度、串扰、抗过载能力、标定与维间耦合误差控制
	柔性触觉传感器	模拟人类触觉并感知物体形态、质地、压力等信息	根据性能要求不同波动范围大，普通电阻式价值量偏低	22年全球约15.3亿美元（QYResearch）	偏高	功能敏感材料的选择及一致性保证，结构设计，加工工艺，与灵巧手算法的适配（后期）	中等	材料、算法等技术上，大阵列&多功能集成产品上，规模量产一致性及长期稳定可靠性上，成本控制上有差距
	3D视觉	通过获取物体三维空间信息（如形状、位置、姿态等）实现环境感知与交互，包括激光三角测量、结构光、飞行时间（ToF）、多目视觉等方案	偏低	22年中国3D视觉市场18.4亿元（GGII）	偏高	芯片，核心算法	小	软件算法上英特尔较强
	IMU	主要由加速度计、陀螺仪和磁力计构成，将物体加速度、位置和姿势转化成电信号，通常安装在胸腔骨盆、灵巧手/脚等，发挥导航、测量、稳控作用	偏低	2021年全球18.3亿美元（据Yole）	偏高	陀螺仪硬件，软件算法，MEMS制造工艺	中等	精度、稳定性和误差控制。国内企业代工为主，与IDM厂商相比MEMS制造工业积累不足

注：特斯拉未采用 3D 视觉

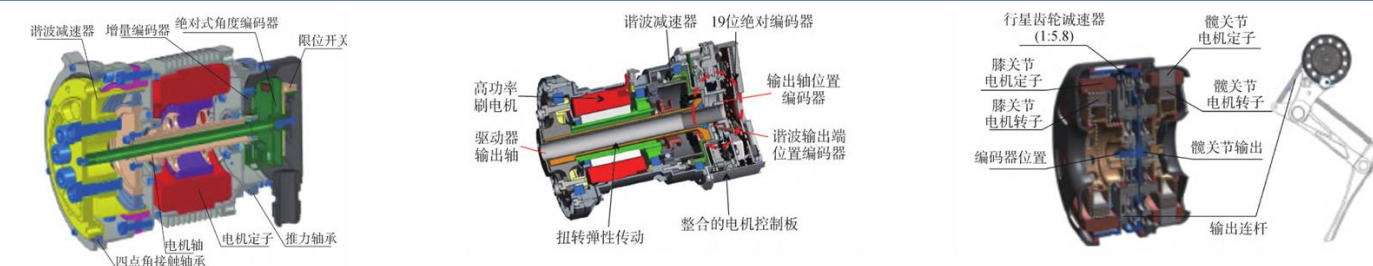
资料来源：business research insights, QY research, technavio, Persistence Market Research, MIR, 中商产业研究院, Yole, 中国银河证券研究院

2. 关节

人形机器人关节设计需综合考虑动态运动控制、平衡性、负载能力、经济性等多重因素，高扭矩关节（如腕部、肩部、腰部、髋部关节）对旋转幅度要求高，多使用旋转执行器。高负载关节（如上臂、下臂、大腿、小腿关节）需要有较优的承重和支撑能力，因此多使用线性执行器。

旋转执行器驱动方案主要有刚性驱动、弹性驱动、准直驱动三种。不同驱动方案影响减速器、电机架构等零部件的种类型号。其中刚性驱动主要由高转动比减速器（谐波减速器）、高转速电机、编码器、力矩传感器（可选）和控制板等组成，比较适合运用在机器人的腕部和脚踝。弹性驱动非目前主流的人形机器人驱动方案。准直驱动主要由低转动比减速器（行星减速器）、高扭矩密度电机、编码器和控制板等组成，比较适用于腰部、髋部、肩部等关节部位。目前特斯拉旋转执行器全部都是谐波减速器+电机方案，但出于经济性考虑，行星减速器+电机方案亦被很多国内本体企业选择在大负载关节处替代线性执行器方案，如宇树科技、智元机器人等。

图15: 人形机器人旋转关节驱动方案



刚性驱动

- 主要使用谐波减速器，少数使用的行星减速器
- 主要使用高转速电机
- 优点：简单、精度高，设计理论成熟
- 缺点：功率密度达不到人体肌肉水平，能量效率差，安全性差
- 应用：传统双足机器人（如本田 Asimo），特斯拉 Optimus 等

弹性驱动

- 主要使用谐波减速器
- 优点：功率调制好，能量损耗更低，安全性更好
- 缺点：复杂、精度一般
- 应用：协作机器人，四足/双足机器人，如WALK-MAN 等

准直驱动

- 主要使用行星减速器
- 主要使用大扭矩电机
- 优点：简单，能量效率高，安全性好，价格上具备优势
- 缺点：功率调制较差
- 应用：智元远征 A1、1X Technologies 的EVE、小米的 CyberDog 系列等

资料来源：丁宏钰等《国内外双足人形机器人驱动器研究综述》，GGII，中国银河证券研究院

直线执行器主要由“电机+丝杠”构成，丝杠选择上，特斯拉主要采用的行星滚柱丝杠，但是价格偏高，生产工艺难度大。滚珠丝杠通常不具备自锁能力。T 型丝杠结构和工艺相对简单，但由于采用的是滑动摩擦方式，传动效率和精度低，使用寿命短。

图16: 特斯拉 Optimus 线性关节



资料来源：特斯拉 AI DAY，中国银河证券研究院

表3：人形机器人核心零部件方案

公司	产品	核心零部件方案						灵巧手关节方案
		执行器种类	电机	减速方案	力矩传感器	伺服驱动	编码器	
特斯拉	Optimus	旋转+直线	无框力矩电机	谐波+行星滚柱丝杠	有	有	旋转关节 2 个+ 直线关节 1 个	空心杯电机+行星精密齿轮箱+位置传感器+腱绳
1x Technologies	EVE	/	直驱电机	/	/	/	/	/
Agility Robotics	Digit	/	有刷/无刷直流电机	谐波/摆线针轮	/	/	/	/
优必选	Walker X	旋转	无框力矩电机	谐波	有	有	2 个	/
智元	远征 A1	/	/	行星	/	矢量控制驱动器	2 个	/
达闼	小紫 XR-4(双足)	旋转	无框力矩电机	行星	选配	/	2 个	空心杯电机+齿轮传动
宇树	Unitree H1	旋转	无框力矩电机	行星	/	有	2 个	选配，空心杯电机+行星减速器
小米	Cyberone (铁大)	旋转	无框力矩电机	行星	无	有	1 个	/
傅利叶	Fourier GR-1	旋转	/	/	无	有	有	/
小鹏	PX5	/	/	谐波+行星	/	有	有	空心杯电机+连杆
开普勒	先行者 K1	旋转+直线	/	谐波+行星+行星滚柱丝杠	/	有	有	/

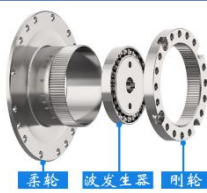
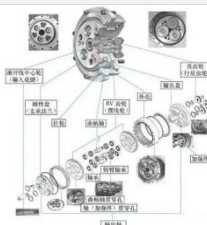
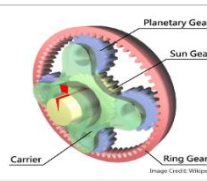
资料来源：GGII，中国银河证券研究院

3. 减速器

减速器是连接动力源和执行机构的中间体，能够匹配转速和传递转矩。按照控制精度可以划分成一般传动减速器和精密减速器，后者精度高，使用寿命长，可应用于机器人、数控机床等高端领域。**精密减速器主要包括谐波减速器、RV 减速器、行星减速器（含摆线针轮行星减速器、精密行星减速器等）。**

减速比（减速装置的传动比）、大小/重量、扭矩和价格等是选择减速器的主要参考因素。谐波减速器和 RV 减速器具备高减速比，但由于大小和重量不同，二者下游运用场景有所差别。谐波减速器偏轻偏小，主要用于机器人小臂、腕部和手部，RV 减速器偏重偏大，具备高负载能力，价格更昂贵，主要应用于多关节机器人中大臂、肩部、机座等部位。行星减速器属于低减速比减速器，其中精密行星减速器具备小体积、轻重量会和高精度，可应用于机器人、新能源设备等精密传动装置，摆线针轮行星减速器具备较大的承载能力，主要应用于矿山、化工等行业中的重负载领域。

表4：不同种类减速器原理及特点

名称	示意图	原理	大小/重量	减速比	优点	缺点	应用	终端行业	单价
谐波减速器		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	偏轻偏小	大	小体积、高精度	传递扭矩相对较小、传动效率低、低负载能力	小负载工业机器人小臂、腕部或手部；协作和 SCARA 机器人大部分动力关节	3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗等行业	中等
RV 减速器		通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成	偏重偏大	大	大体积、高负载能力、高刚度	结构复杂、制造难度大、成本高	多关节机器人中机座、大臂、肩部等重负载的位置	汽车、运输、港口码头等行业	更高
精密行星减速器		核心传动部件是行星齿轮组，依托纯齿轮机构运行，通过齿轮间力矩实现减速	偏轻偏小	小	小体积、高刚性、高精度、高传动效率、高扭矩等	单级传动比范围小	移动机器人、新能源设备、高端机床等精密传动装置	智能交通、医疗设备、食品、新能源等行业	低
摆线针轮行星减速器		以摆线针齿啮合为载体	偏重偏大	偏小	承载能力大	结构复杂	重负载领域，部分机器人领域	矿山、化工等行业	偏低

资料来源：绿的谐波招股书，科峰智能招股书，世协电机，川铭精工，国森科，中国银河证券研究院

4. 电机

电机（俗称“马达”）是指依据电磁感应定律实现电能转换或传递的一种电磁装置。电机按用途可以分为驱动电机和控制电机，伺服电机是控制电机的一种，是指在伺服系统中控制机械元件运转的发动机，是一种辅助马达间接变速装置。伺服电机可使控制速度、位置精度非常准确，可以将电压信号转化为转矩和转速以驱动控制对象。目前，机器人的关节驱动离不开伺服系统，关节越多，机器人的柔性和精准度越高，所要使用的伺服电机的数量就越多。**人形机器人中涉及的主要电机产品为无框力矩电机（可用于执行器）、空心杯电机（可用于灵巧手手指关节）、无刷有齿槽电机（可用于灵巧手）。**

图17：电机分类以及不同机器人对电机的数量要求

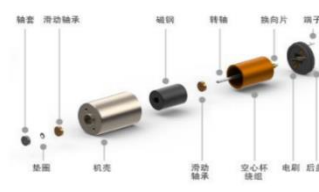


资料来源：华北数控机床及智能装备博览会，工业机器人，仟德亿传动科技，荷兰 Tecnotion，特斯拉 AI DAY，人形机器人世界，觅途咨询，中国银河证券研究院

无框力矩电机没有机壳，只有转子和定子 2 个部件，设计上更加灵活，具有极高的刚度、效率高、静音、稳定性高和低维护的特点，可应用于对体积有限制、性能要求高的场合。

空心杯电机采用无铁芯转子，消除了铁芯形成涡流而造成的电能损耗，并降低了重量和转动惯量，减少了转子自身的机械能损耗。相比于传统电机，其具备更高的速度/加速度，更大的扭矩，更高的功率密度、效率、精度和准度，且具备更低的噪音，更长的寿命和可靠性。空心杯电机可用于需要快速响应、体积有限制（体积小）的系统中，如导弹飞行方向调节系统、仿生义肢、心脏起搏器等。但需要注意的是，单独空心杯电机扭矩相对较低，因此需要搭配精密行星齿轮减速箱达到降低输出轴的速度并增加扭矩的效果。

表5：不同种类电机原理及特点

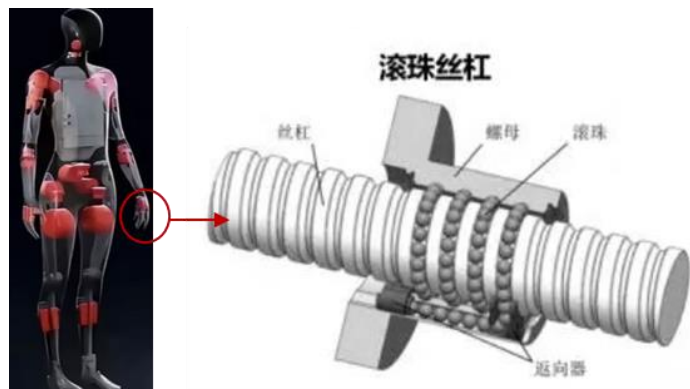
名称	示意图	原理	特点	应用场景
无框力矩电机		和普通伺服电机一样，都属于永磁同步电机，不同于传统的永磁电机，它没有机壳（也称为“框架”），只有转子和定子 2 个部件，让机器结构设计不再受制于电机壳体的束缚，利用机器的自身轴承支撑转子，将电机无缝内置于机器设计中，让设计更灵活	具有极高的刚度、效率高、静音、稳定性高和低维护	应用于需要体积小、性能强的场景，如雷达、惯导系统等高精度转台，协作机器人等高智能机械，以及高精度机床和物料运输设备等。 在人形机器人中运用于执行器
空心杯电机		属于直流永磁的伺服控制电机，也可以将其归类为微特电机。突破了传统电机的转子结构形式，采用的是无铁芯转子，彻底消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗，同时其重量和转动惯量大幅降低，从而减少了转子自身的机械能损耗	具有突出的节能特性、灵敏方便的控制特性和稳定的运行特性	应用在需要快速响应的系统中，如导弹的飞行方向快速调节、相机快速自动调焦、机器人，仿生义肢等，以及对体积有要求（小）的产品中，如医疗器械（心脏起搏器）、玩具车、航模、电动牙刷等。在人形机器人中运用于灵巧手

资料来源：科尔电机官网，步科股份官网，鸣志电器官网，新思界，中国银河证券研究院

5. 丝杠

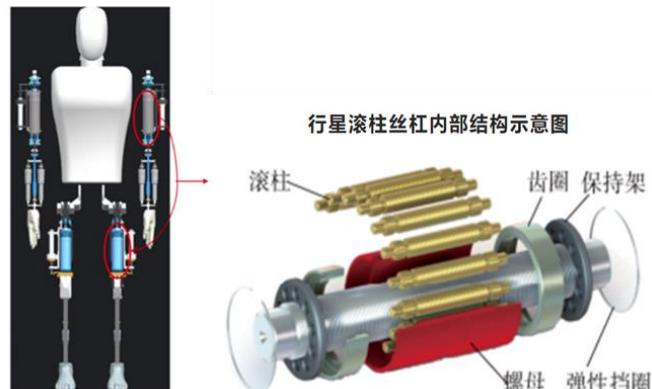
丝杠能够将旋转运动转化成线性运动，是工具机械和精密机械上常见的部件。在人形机器人中使用的丝杠产品包括滚珠丝杠和行星滚柱丝杠，前者可用于构成灵巧手，后者主要构成线性执行器。

图18：滚珠丝杠示意图



资料来源：焉知汽车，南京工艺，特斯拉 AI DAY，中国银河证券研究院

图19：行星滚柱丝杠示意图



资料来源：GGII，中国银河证券研究院

滚珠丝杠下游应用更宽泛，行星滚柱丝杠工艺难度更高，国产率更低。滚珠丝杠下游是各类型通用装备，如注塑机器、机床等，应用较宽泛，22 年全球/中国市场空间达到 18.6/3.9 亿美元（秦川机床定增招股书披露），高于行星滚柱丝杠 23 年市场规模 3.0/0.13 亿美元（Persistence Market Research 预测）。性能上，行星滚柱丝杠相比滚珠丝杠具备更强的承载能力、刚度和抗冲击能力，以及更快的相对旋转速度和更长的寿命，更适合对“高效率、高精度、高可靠”有要求的场合。但其对上游机器设备的要求及加工制造难度高于滚珠丝杠，国产化率更低。

表6：三种丝杠性能和优劣对比

	T 型丝杠	滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
传动方式	滑动摩擦	滚动摩擦（点接触）	滚动摩擦（线接触）
传动效率	低	高	高
传动精度	低	较高	高
承载能力	高	较高	高
自锁性	可自锁	无自锁	一般无自锁，但可以通过楔形自锁螺母等设计达到自锁效果
使用寿命	较短	较长	较长
优点	结构和工艺比较简单，成本更低，可自锁	传动效率和传动精度较高	传动效率和精度高，承载力强，使用寿命长，体积小
缺点	传动效率和精度比较低，使用寿命短	通常不具备自锁能力，承载力比行星滚柱丝杠低	价格高，生产工艺难度较高

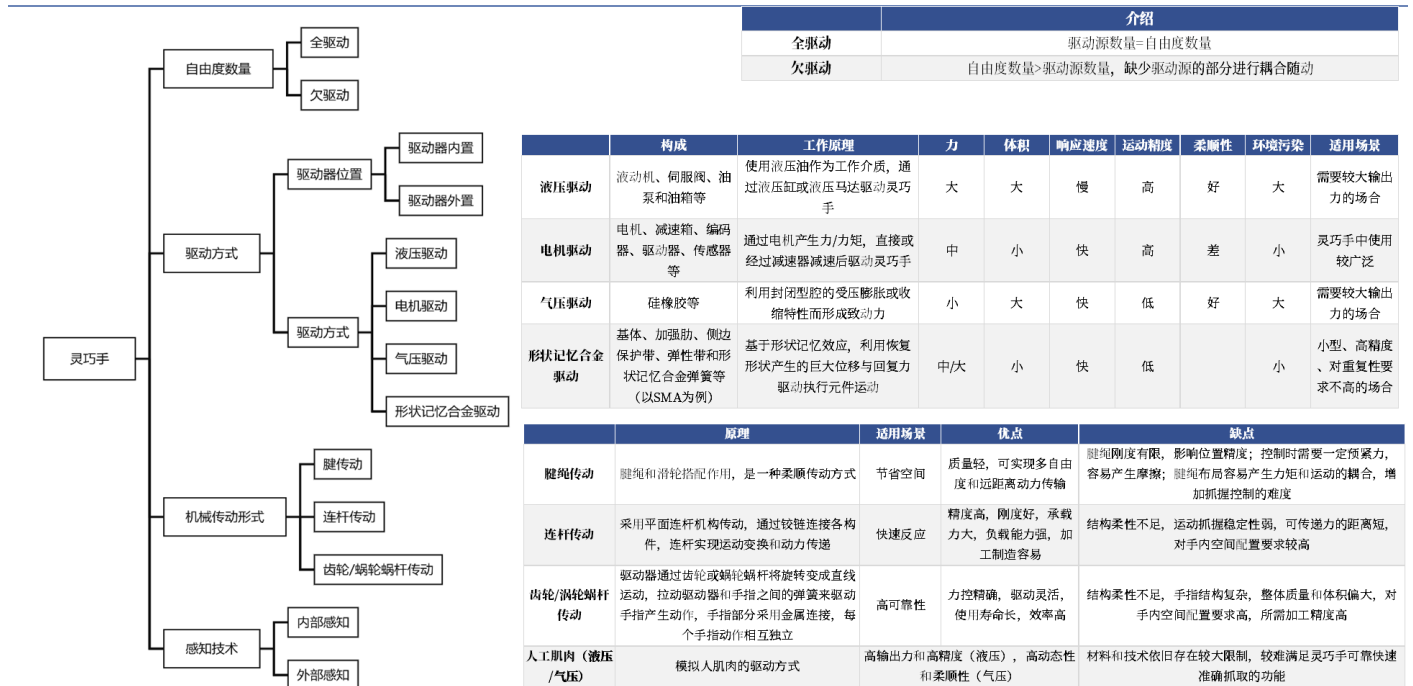
资料来源：杨光《基于行星滚柱丝杠的伺服电动缸节能高效起竖关键技术》，怡合达，张大伟、赵升吨《行星滚柱丝杠副滚柱塑性成形的探讨》，中国银河证券研究院

6. 灵巧手

灵巧手是一种新型的末端执行器，模仿人手结构和功能，是机器人与环境交互的重要承载。当前多指灵巧手内部结构（尤其是手指关节运动结构）仍主要采用传统的机械铰链设计。这种设计柔性不足，抗冲击力较弱，对收内空间配置要求高，导致很难实现类人手般的灵活性。但诸如仿生类生物关节，其高度仿人且柔顺可控，但是成本高，系统复杂，对驱动器要求也较高。

灵巧手按自由度数量可以分为全驱动和欠驱动；按驱动方式可以分为液压驱动、电机驱动、气压驱动和形状记忆合金驱动；按机械传动形式可以分为腱传动、连杆传动、齿轮/蜗轮蜗杆传动；按感知技术可以分为内部感知和外部感知。目前电机驱动是灵巧手驱动主流方式，因为液压系统维护和制造成本较高，带来成本居高不下，波士顿动力液压版 Atlas 已于 2024 年被电驱动版取代。特斯拉 Optimus 三代灵巧手采用的是“腱绳+行星减速器/滑动丝杠”的传动组合，节省空间实现减重，但具有刚度和位置精度有限的问题。除此之外星动纪元选择齿轮方案，因时机器人选择连杆传动，但二者均具有柔性欠缺、对手内空间配置要求较高的不足。

图20：灵巧手分类，及驱动/传动方案工作原理和优缺点



资料来源：刘伟、肖钊、瞿寅朋等《机器人灵巧手研究综述》，郑浩贤《基于C形关节的柔性灵巧手设计与控制系统研究》，孙成远《腱驱动灵巧手指结构设计及其运动分析与试验》，来森《基于腱驱动的仿人五指灵巧手设计与分析》，窦汝桐《腱驱动机器人手臂模块化关节及运动学逆解研究》，中国银河证券研究院

表7：现有灵巧手结构设计方案

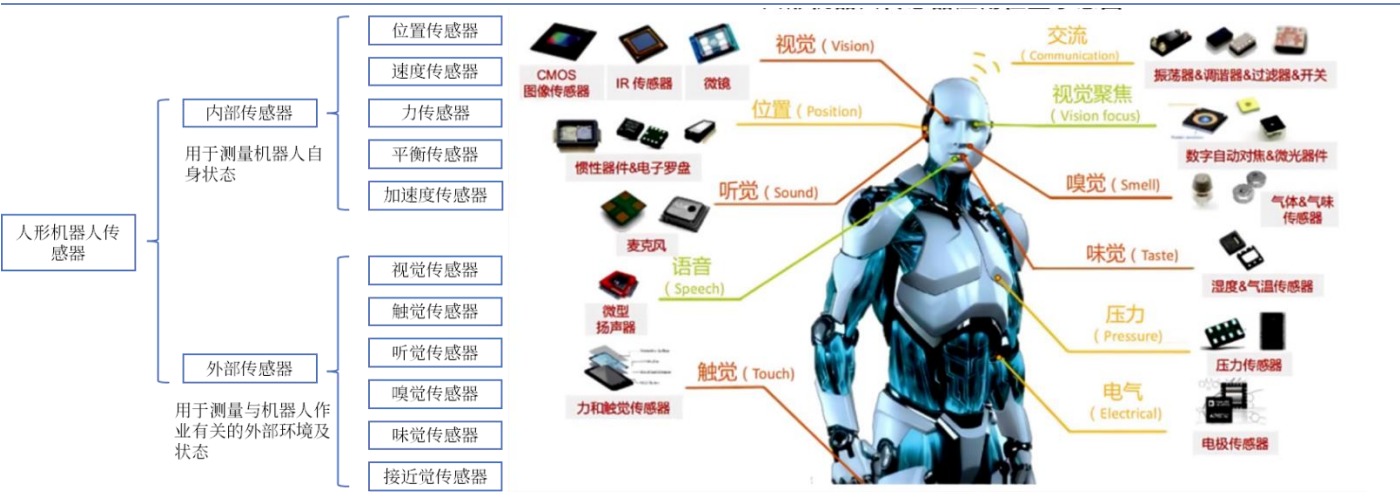
仿生结构设计类别	优点	缺点	案例
机械式铰链设计	传动效率高，响应快，关节刚度度高，输出力稳定且可控	结构冗杂，笨重，柔性不足，抗冲击性能较弱，对手内空间配置要求较高	
腱绳拮抗驱动设计	轻量化，柔顺适用性，与传统结构相适应	关节刚度受腱绳形变影响，腱绳与手指结构摩擦干扰大，传动效率低，寿命较低，维修成本高	
软指手	结构柔性高，交互安全，成本低廉，抗干扰	输出力小，结构刚度低，建模困难，控制精度低	
刚柔混合结构	柔顺，可靠	刚柔材料和结构的融合设计困难，刚性与柔性的跨量级建模困难	
特殊构型	多功能，成本低	通用性差，结构与普通灵巧手差异大，使用学习成本高	
仿生生物关节	高度仿人化，柔顺，抗冲击，可控	成本高，系统复杂，对驱动器要求高	

资料来源：蔡世波、陶志成、万伟伟等《机器人多指灵巧手的研究现状、趋势与挑战》，中国银河证券研究院

7. 传感器

传感器是助力机器人从程序控制逐步走向感知型和智能型的重要组成部分。目前人形机器人传感器可分为内部传感器和外部传感器，前者测量自身状态的内部传感器，包括位置、速度、力传感器等，后者测量与机器人作业有关的外部环境及状态，包括视觉、触觉等各种感官传感器。

图21：人形机器人传感器分类

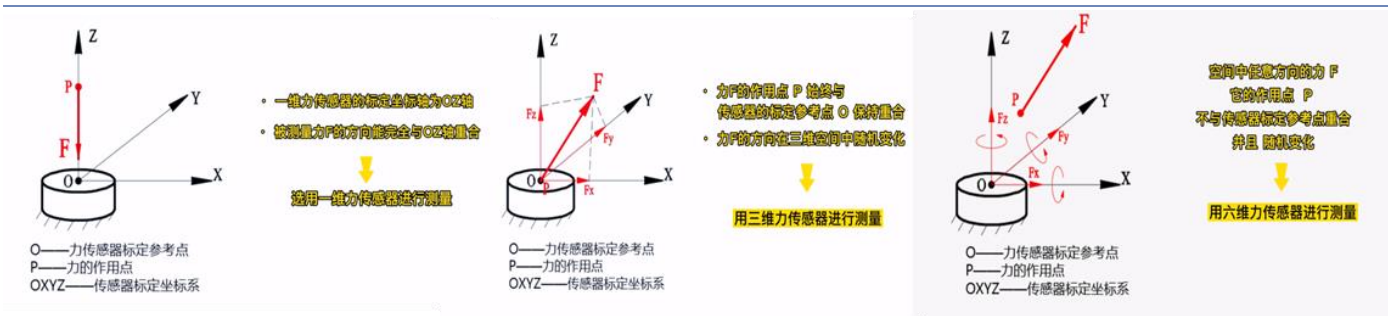


资料来源：Yole，GGII，中国银河证券研究院

(1) 力传感器

力传感器能将力的量值转化成相关的电信号，检测压力、张力、重量、扭矩、应变和内应力等，是动力设备、工程机械及工业自动化系统等领域核心部件之一。按照测量维度划分，力传感器可以分成一维至六维等不同种类，如果力的方向和作用点都是固定的，那么只需选择一维力传感器。如果力的方向随机变化，力的作用点保持不变，并与传感器的标定参考点重合或接近，那么可以选择三维力传感器。如果力的方向和作用点都在三维空间中随机变化，那么应该选择六维力传感器进行测量。

图22：按维度分力传感器种类与适用情况



资料来源：坤维科技，中国银河证券研究院

六维力传感器按照测量原理可分为电阻式、电容式、压电式、光电式等。其中电阻式基于应变片的电阻-应变效应实现力/力矩信号的检测。电阻式具有精度高、测量范围广、技术成熟的优点，是目前应用最广泛的类型，但其不足之处在于动态响应差、桥路受外界因素影响大。电容式通过设置一对电容，由电极片间的相对空隙变化来实现多维力的测量，具有较高灵敏度和柔韧性，但抗干扰差，存在寄生电容的问题。压电式主要基于压电效应工作，适合动态测量，无法长时间作用静态力。

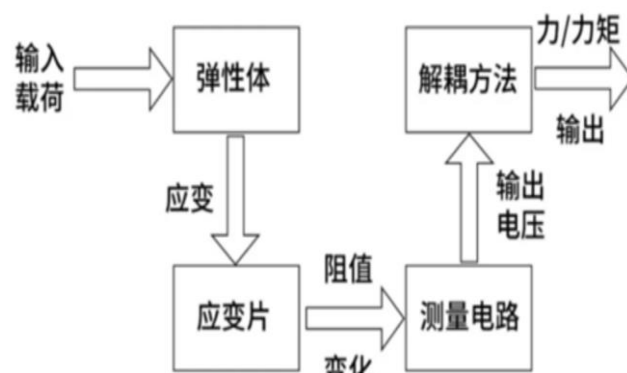
图23：多维力传感器主要类型

	原理	优点	缺点
电阻式	采用粘贴应变片的弹性体作为敏感元件,基于应变片的电阻-应变效应实现力/力矩信号的检测。	精度高、测量范围广、技术成熟	动态响应差、桥路受外界因素影响大
电容式	通过设置一对电容,由电极片间的相对空隙变化来实现多维力的测量。	具有较高的灵敏度和柔韧性	抗干扰差,存在寄生电容
压电式	利用压电效应原理实现力/力矩测量。	适合于动态测量	不能长时间作用静态力

注：压电效应指，某些物质受到外力作用时，几何尺寸会发生变化，内部也会被极化，表面产生电荷；当外力去掉时，又重新回到原来的状态

资料来源：宋爱国、付立悦、徐菁菁、李会军《机器人多维传感器的研究进展》，中国银河证券研究院

图24：应变片式六维力传感器运作原理



资料来源：工控网，海伯森，中国银河证券研究院

六维力传感器能够帮助机器人更好地感知和适应外部环境的变化,完成更加复杂精细的任务(如精密装配、打磨等)，更自然准确地进行人机交互（比如按摩理疗、高精度手术操作），是机器人柔顺控制和操作的核心部件。在人形机器人领域，六维力传感器可用于力控、摆动稳定控制和安全控制等，可配置在手腕、脚踝和灵巧手上。特斯拉 Optimus Gen2 将其用于手腕和脚踝。

表8：六维力传感器在机器人领域应用场景

机器人类型	应用场景	用途
多关节机器人和协作机器人	工业领域	安装在协作机器人末端，以实现高精精密装配（汽车和 3C 行业）、打磨（3D 行业）、铣削（复材加工行业）作业、拖动示教、测量风洞试验（航空航天行业）、高精度手术等应用；
	服务领域	感知人体部位的力度和压力，更加准确舒适地按摩理疗服务；帮助手术机器人感知人体实时参数，实现高精度的手术操作。如血管介入手术机器人、康复机器人等
人形机器人	力控	感知机器人手臂施加在物品上的力和扭矩，使得机器人控制系统能够进行精密控制
	摆动稳定控制	感知机器人脚下地面的反作用力，使得机器人控制系统能调整人形机器人手臂和身体姿态
	安全控制	在机器人进行危险操作或者人类接近机器人时自动停止，从而避免对人体造成伤害

资料来源：GGII、中国银河证券研究院

（2）惯性传感器

惯性传感器（IMU）主要由加速度计、陀螺仪和磁力计构成，是将物体加速度、位置和姿势转化成电信号的装置。在人形机器人领域，其通常可安装在胸腔、骨盆、灵巧手/脚等重要部位，发挥导航、测量、稳控的作用。目前 IMU 方案已经被集运用在机器人产品中，如特斯拉 Optimus Gen2、UCLA 的 ARTEMIS、波士顿动力 Atlas/小米 CyberOne。

（3）视觉传感器

机器视觉通过光学装置和传感器等硬件接收物体图像，叠加软件算法处理图像，以获得所需信息并控制机器人运动。其主要由光学元器件（工业相机与工业镜头、光源等）、传感器、图像采集器、PC 平台、视觉处理软件、控制单元等组成。机器视觉最常见的用途是目视检查和缺陷检测、定位和测量零件，以及对产品进行识别、分类和追踪，广泛用于 3C 电子（25%）、汽车（11%）、半导体（10%）、医疗（8%）、教育、交通运输和安防等多个行业（2022 年数据）。不同人形机器人产品采用的视觉方案不尽相同。特斯拉 Optimus 和优必选 Walker 采用了多目视觉，波士顿 Atlas 采用激光雷达加 ToF 深度相机，宇树科技 H1 选择深度相机+激光雷达。

表9：人形机器人视觉方案选择

企业	型号	视觉方案		
		激光/毫米波雷达	相机	摄像头
UniX AI	Wanda	激光雷达+超声波雷达	双目相机	
优必选	Walker X	腰部 4*毫米波雷达	RGBD 相机+四目相机	
	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+四高相机	
国地共人形机器人创新中心	青龙	激光雷达	双目相机+环视相机	
北京具身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	

星动纪光	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
帕西尼感知科技	TORA-ONE			摄像头+深度摄像头
钛虎机器人	Ti5 robot	激光雷达	深度相机	
星海图	R1	激光雷达	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 NAVIAI		深度相机	
成都人形机器人创新中心	"贡嘎一号"(Konka-1)			摄像头
傅利叶智能	GR-1			RGB 摄像头
小米	CyberOne		RGB 相机+iToF	
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
普渡机器人	PUDU D7	激光雷达	RGBD 相机+全景相机	

资料来源：深圳市宝安区低空无人系统协会，中国银河证券研究院

（4）触觉传感器

触觉传感器能够模拟人类触觉并感知物体形态、质地、压力等信息。根据工作原理不同，其可以大致分为压阻式、电容式、压电式、光电式、电磁式、气压式、摩擦发电式等。压阻式触觉传感器将外界机械刺激转化为材料或器件的电阻值变化。电容式触觉传感器借助外部载荷引起电介质形变，改变电极之间的距离和正对面积，进而导致电容变化。压电式触觉传感器利用材料受到外力作用时产生电荷的特性，将施加于压电材料的外部载荷转换为可检测的电势差。光电式触觉传感器通过观察光信号来检测接触产生的形变。电磁式触觉传感器基于外力作用下磁性材料位移或形变，从而使磁场发生改变的现象，通过霍尔传感器检测到的磁通量变化反映外力的大小与方向。

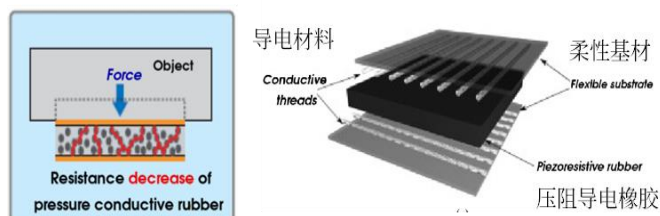
表10：不同触觉传感器

	压阻式	电容式	压电式	光电式	电磁式	气压式	摩擦发电式
原理	将外界机械刺激转化为材料或器件的电阻值变化	将外部的物理激励转化为电容信号	利用压电效应感知外力作用，利用材料受到外力作用时产生电荷的特性，将施加于压电材料的外部载荷转换为可检测的电势差	通常采用在弹性材料内部集成一个光源以及一个光电探测器的方式，通过观察光信号来检测接触产生的形变	在外力作用下磁性材料位移或形变，从而使磁场发生改变，通过霍尔传感器检测到的磁通量变化反映外力的大小与方向	通过在一个软体密封气囊内部集成一个气压敏感单元来实现对触觉信号的感知。气压式传感器的实质是在电阻式或电容式传感器的基础上引入密封气囊，将传感器直接接触的力转换为气压，以获得更好的响应性能，或更适配应用场景的需求	使用两种具有不同电学抑制能力的弹性材料作为摩擦生电的感应层，两层材料中间引入空气间隙以获得弯曲响应能力。当器件弯曲时，摩擦感应层间距降低，将产生更多的感应电荷，以此测试弯曲角度
优点	结构简单、动态范围大、制备成本低	灵敏度高、响应速度快、易于阵列化集成	灵敏度高、响应速度快、对高频响应有优势	信号不易受干扰、分辨率高、响应速度快	动态范围大、鲁棒性好	柔软度高	结构简单、灵敏度高、可以用于滑动检测

缺点	易受温度干扰、迟滞较大	易受周围导电物体产生边缘电容干扰、响应非线性	无法测量静态力、受温度影响较大	功耗较大、光路复杂、无法全柔性小型化集成	易受外界磁场干扰	封装结构复杂且易受损	动态范围小
----	-------------	------------------------	-----------------	----------------------	----------	------------	-------

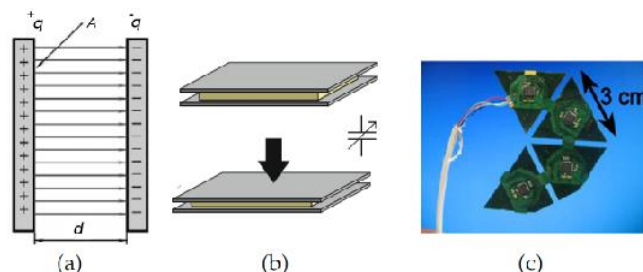
资料来源：顾一丁《智能感知机械手柔性触觉传感器的研究》，中国银河证券研究院

图25：压阻式触觉传感器示意图



资料来源：Kappassov, Z., Corrales, J.-A., & Perdereau, V. 《Tactile sensing in dexterous robot hands — Review. Robotics and Autonomous Systems》，中国银河证券研究院

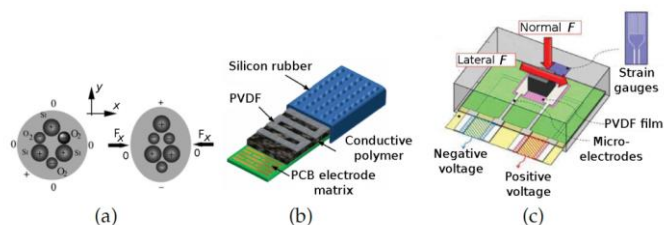
图26：电容式触觉传感器示意图



电容式触觉传感技术：(a) 平行板电容器的电容取决于板 d 之间的距离和板 A 的面积 (q 是存储的电荷)；(b) 两个导电板由弹性电介质隔开——随着力的施加，导电板之间的距离减小，电容发生变化；(c) 人形机器人 iCub 手掌的三角形电容传感器网络

资料来源：K Kappassov, Z., Corrales, J.-A., & Perdereau, V. 《Tactile sensing in dexterous robot hands — Review. Robotics and Autonomous Systems》，中国银河证券研究院

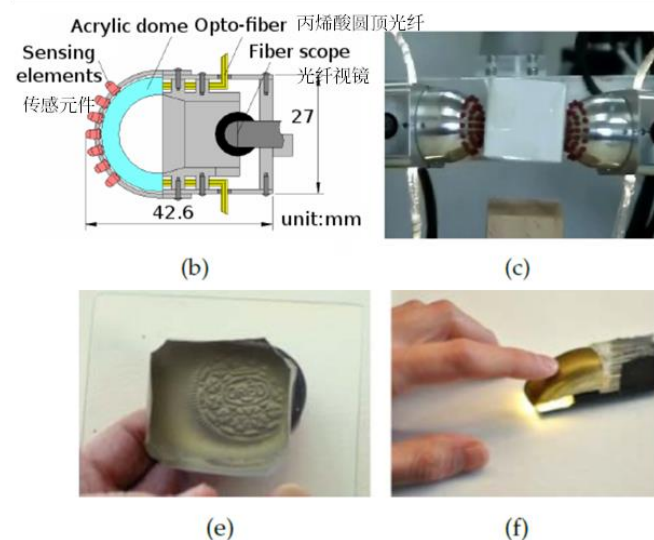
图27：压电式触觉传感器示意图



(a) 压电效应 – 施加的力会导致正 Si 和负 O 粒子重新排列，产生电势差；(b) 基于压电效应的触觉传感阵列，底层有电极，中间是压电材料，顶部是硅橡胶；
(c) 压电传感元件的示意图

资料来源：Kappassov, Z., Corrales, J.-A., & Perdereau, V. 《Tactile sensing in dexterous robot hands — Review. Robotics and Autonomous Systems》，中国银河证券研究院

图28：光学式触觉传感器示意图



注：(b) 三轴光学触觉传感器结构：固定在柔性手指表面的传感元件位移导致光在光纤中传播变化；(c) 带光学触觉传感器的手指操作轻薄纸盒；(e) “GelSight”传感器由一块涂有反射膜的透明弹性体组成，可感应饼干表面形状；(f) 配有“GelSight”传感器的手指

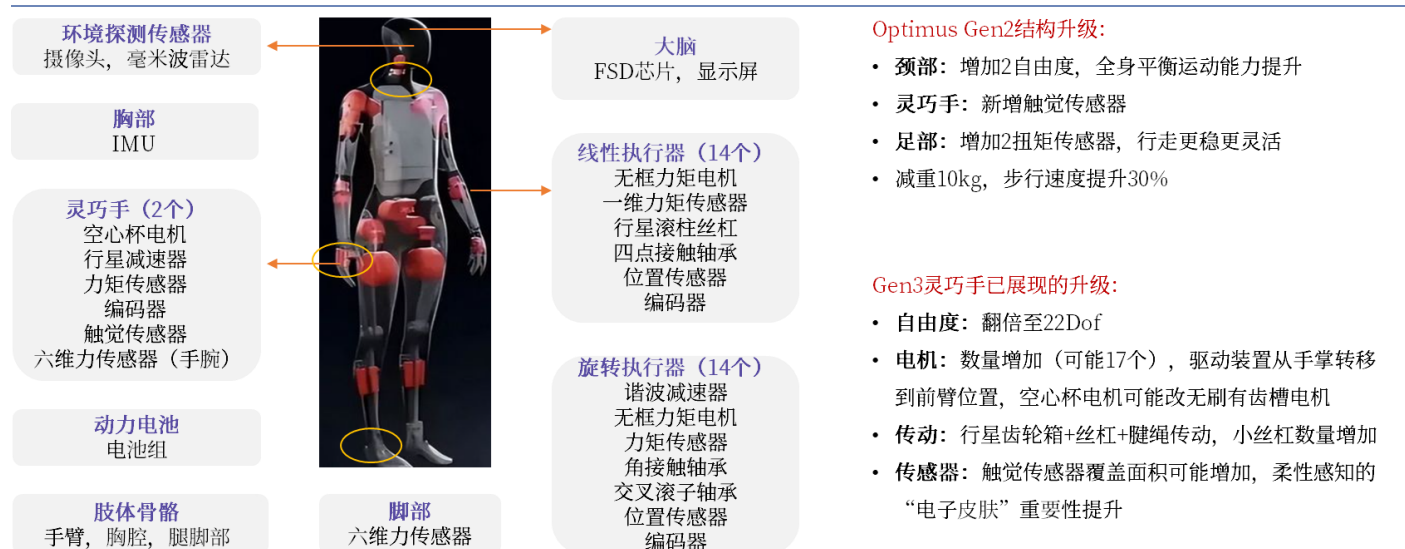
资料来源：Kappassov, Z., Corrales, J.-A., & Perdereau, V. 《Tactile sensing in dexterous robot hands — Review. Robotics and Autonomous Systems》，中国银河证券研究院

8. 两种本体硬件方案代表——特斯拉 Optimus 和宇树科技 H1-2/G1

(1) 特斯拉 Optimus 硬件方案

特斯拉在硬件上选择 14 个线性执行器+14 个旋转执行器关节方案。旋转执行器采取技术较为成熟度刚性驱动器方案，采用的减速器是谐波减速器，线性执行器中丝杠选择的主要是行星滚柱丝杠。Optimus Gen2 在 Gen1 基础上颈部增加了 2Dof，足部增加了六维力传感器，行走更灵活。

图29：特斯拉 Optimus 产品构成介绍



资料来源：特斯拉 AI DAY，特斯拉业绩会/股东大会，特斯拉 Optimus 官方 X 账号，中国银河证券研究院

灵巧手是目前特斯拉 Optimus 边际变化最大的部分。24 年底推出的第三代灵巧手自由度翻倍至 22Dof，电机数量增加，驱动装置从手掌转移到前臂位置，部分空心杯电机可能改无刷有齿槽电机（手指可能还是空心杯，手腕和前臂是无刷有齿槽电机）。传动方案上采用行星齿轮箱+丝杠+腱绳传动，小丝杠（可能是微型滚珠丝杠）数量增加，未来可能通过腱绳实现更精细的控制以及减轻前臂重量。此外，触觉传感器覆盖面积可能进一步增加，但目前的触觉方案还未完全确定。

表11：特斯拉三代灵巧手变化

	Optimus gen1	Optimus gen2	Optimus gen3
自由度	11dof	11dof	22dof
驱动方案	6 个空心杯电机	6 个空心杯电机	电机数量增加，驱动装置从手掌转移到前臂，空心杯电机可能改无刷有齿槽电机
传动方案	齿轮箱+蜗轮蜗杆+腱绳	齿轮箱+蜗轮蜗杆+腱绳	齿轮箱+丝杠+腱绳
传感器	霍尔传感器	新增触觉传感器	触觉传感器覆盖面积可能增加，柔性感知的“电子皮肤”重要性提升

资料来源：特斯拉机器人 X 平台官方账号，特斯拉 AI Day，人形机器人世界公众号（国家地方共建人形机器人创新中心依托公众号），中国银河证券研究院

据我们测算规模量产，旋转执行器、线性执行器、灵巧手价值占比分别达到 30%、29%和 23%。其中行星滚柱丝杠、谐波减速器、灵巧手电机、无框力矩电机、六维力传感器是价值量较高的部分。

图30: 特斯拉 BOM 拆分

零部件	主要构成部件	头部	肩部	电池	上臂	肘部	下臂	腰部&骨盆	手腕	灵巧手 (两只合计)	大腿	小腿	脚	其他	合计	规模量产单价 (元/件)	规模量产后单台 价值量 (元)	价值占比
旋转执行器			6			2		6							14		28700	30%
	无框力矩电机		6			2		6							14	500	7000	7%
	力矩传感器		6			2		6							14	200	2800	3%
	谐波减速器		6			2		6							14	1000	14000	15%
	交叉滚子轴承		6			2		6							14	50	700	1%
	角接触球轴承		12			4		12							28	50	1400	1%
	编码器		12			4		12							28	100	2800	3%
线性执行器					2		4				4	4			14		27300	29%
	无框力矩电机				2		4				4	4			14	500	7000	7%
	一维力传感器				2		4				4	4			14	50	700	1%
	行星滚柱丝杠				2		4				4	4			14	1200	16800	18%
	四点接触轴承				2		4				4	4			14	50	700	1%
	球轴承				2		4				4	4			14	50	700	1%
	编码器				2		4				4	4			14	100	1400	1%
灵巧手										2					2		22000	23%
	空心杯电机/无刷有齿槽电机									34					34	300	10200	11%
	精密行星减速器									12					12	100	1200	1%
	小丝杠									22					22	300	6600	7%
	触觉传感器									多个				多个			2000	2%
	腱绳									多个				多个			2000	2%
其他传感器																	8000	8%
	IMU													2	2	1000	2000	2%
	六维力传感器								2				2		4	1500	6000	6%
FSD+芯片+摄像头		1													1	5000	5000	5%
电池				1											1	2000	2000	2%
骨架外壳及散热装置														1	1	2000	2000	2%
硬件价值量合计																	95000	

注：由于特斯拉 Optimus 第三代灵巧手方案未完全确定，暂假设单手 17 个电机和 11 根小丝杠，暂未考虑触觉传感器进一步升级带来的价值量提升，未来灵巧手价值占比可能进一步增加；暂未考虑软件价值

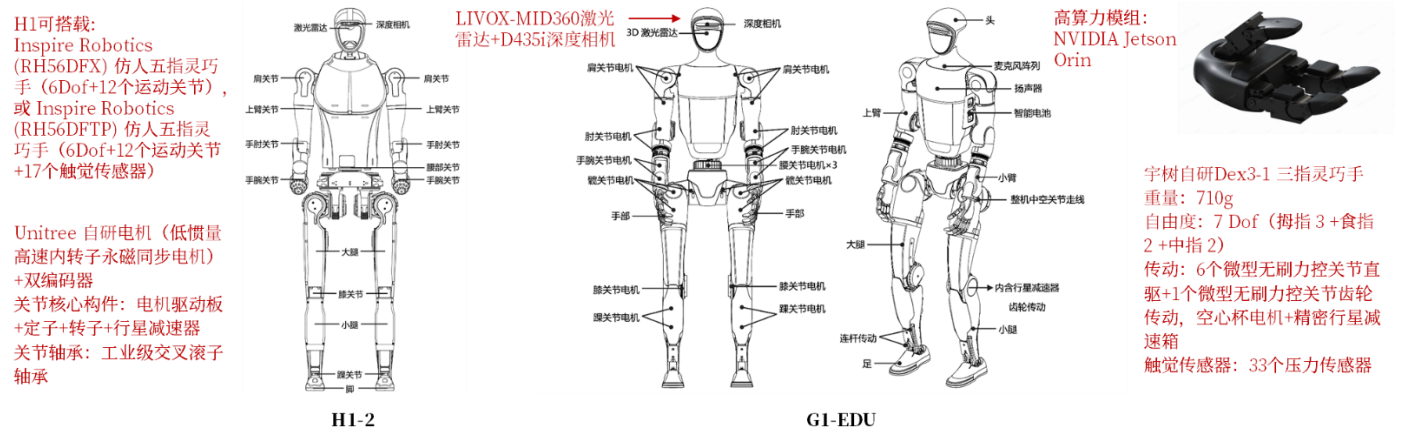
资料来源：Wind，爱采购，中国银河证券研究院

(2) 宇树科技硬件方案

宇树科技通用人形机器人 G1 拥有 23-43 个自由度。单手臂拥有 5 个自由度和 7 个自由度两个版本，包括肩身关节、上臂关节、手肘关节和腕关节（选配）。单腿拥有 6 个自由度，包括胯关节、腿关节、髌关节、膝关节和踝关节。腰部具备 1 自由度和 3 自由度两个版本，即腰关节。此外 G1-EDU 还可选配 7 自由度三指灵巧手。G1 手臂最大负载 2-3kg，行走速度 2m/s，连续运行时间 2h。关节电机上采用的是行星减速器构成的全旋转执行器方案。

宇树 H1-2 拥有比 H1 更强的运动能力和自由度。H1-2 单手臂拥有 7 个自由度，单腿拥有 6 个自由度，腰部拥有 1 个自由度，整机共有 27 个自由度，由 27 个关节电机组成，使得机器人能够实现精确的运动和姿态控制。此外其还可以选配 6 自由度 12 关节的仿人五指灵巧手（触觉传感器亦可选）。H1-2 头部搭载了激光雷达和深度相机，与环境交互上更加灵敏。

图31：宇树科技机器人产品构成介绍



资料来源：宇树科技，中国银河证券研究院

（三）大模型：激发具身智能，技术路线仍然发散

1. 分层端到端为当下主流，但具身智能大模型尚未收敛

当前大模型按是否用于机器人等物理实体，可以划分为非具身大模型和具身大模型。1）非具身大模型以 ChatGPT、GPT-4V、Sora、GPT-4o 为代表，这类模型的主要特点是，输入从单模态文本扩展到多模态的语音、图像、视频，其输出也包括了文本、音频、图像、视频等，面向人类，并不直接针对机器人领域，更多还是集中在人机交互、内容生成等方面。2）具身大模型以自动驾驶大模型和机器人大模型为代表，核心特点对物理世界的感知或接收人类指令后，机器人能够直接高频输出动作。

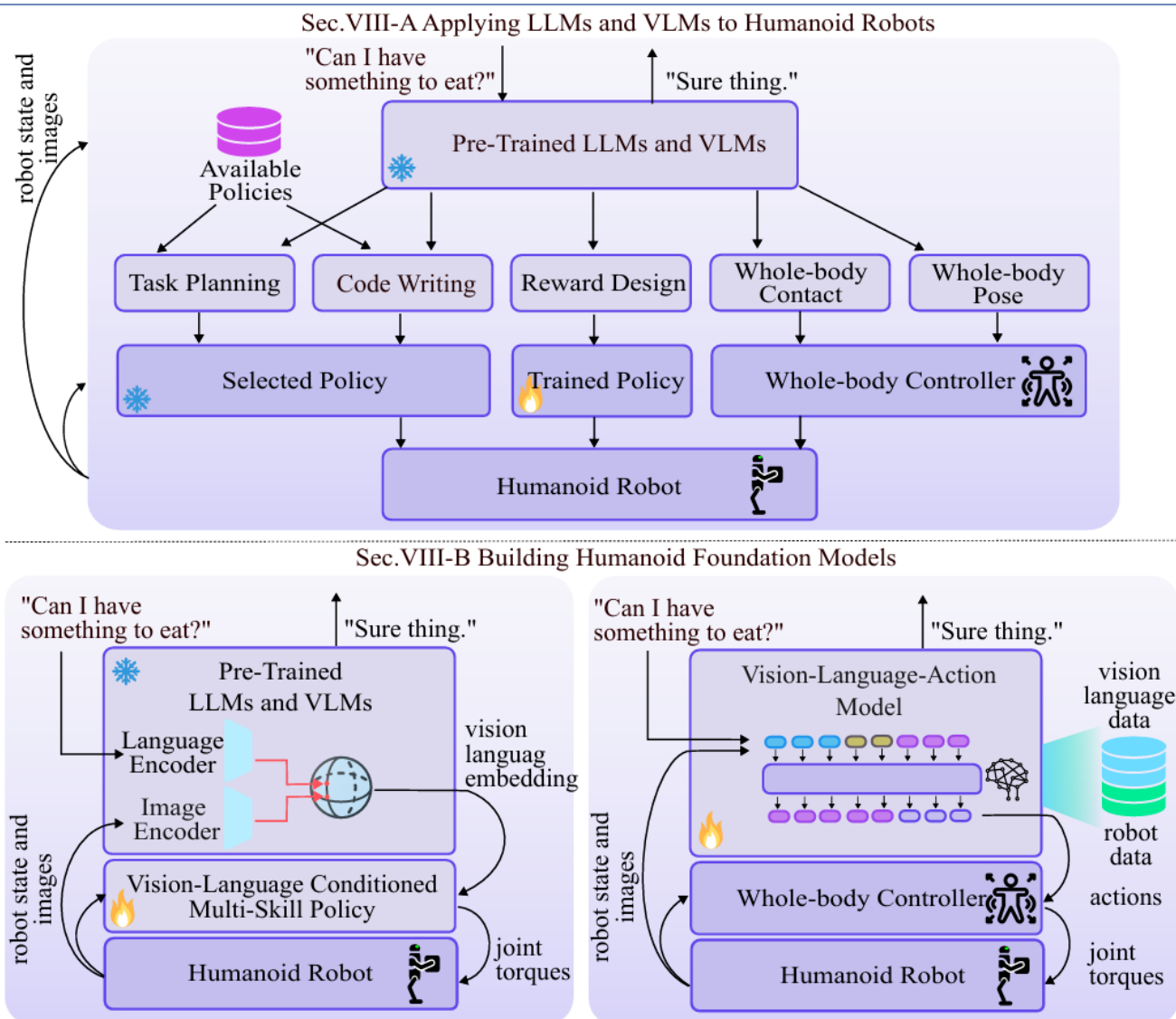
表12：典型大模型分类

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

资料来源：智元机器人，银河通用机器人，中国银河证券研究院

机器人结合大模型提升智能水平的方式，可以划分成两类，第一类是将未经过机器人数据训练的 LLM/VLM 用于机器人任务，核心在于搭建 LLM/VLM 与机器人底层技能之间的桥梁。第二类是构建具身智能模型（机器人模型），其按照算法可分为两类，分层端到端模型和端到端模型。

图32: 机器人与大模型结合的方式

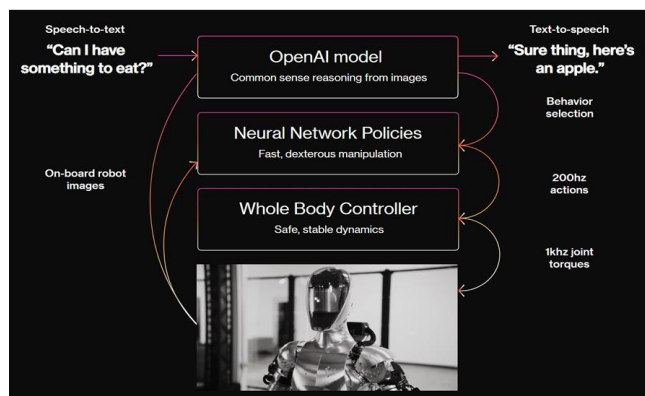


注: Sec A 是将未经过机器人数据训练的 LLM/VLM 用于机器人任务, Sec B 是构建具身智能模型的两种方式, 即分层端到端 (左) 和端到端 (右)

资料来源: Gu Zhaoyuan 等《Humanoid Locomotion and Manipulation: Current Progress and Challenges in Control, Planning, and Learning》, 中国银河证券研究院

- 1) **分层端到端模型**, 对数据的需求相对更少, 在新任务学习上更有优势。分层端到端模型一般分为: 上层任务规划, 下层操作策略。例如 Figure 上层接入预训练大模型 LLM/VLM 负责提供视觉推理和语言理解的能力, 中间响应频率更快的神经网络策略输出操作策略, 底层硬件层进行动作执行。

图33: Figure 与 OpenAI 合作期间分层端到端模型示意图

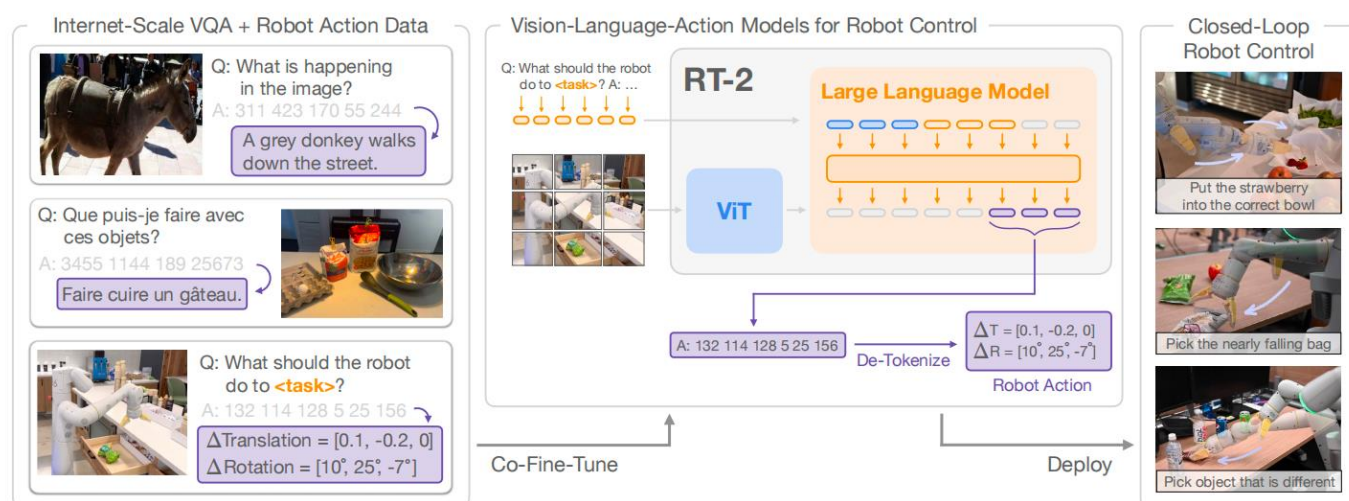


- **第一层, Open AI model**, 作为“机器大脑”进行交互、理解、记忆和存储。大型预训练模型为机器人提供了强大的短期记忆。
- **第二层, 采用了神经网络策略**, 作为操作部分的机器大脑, 将像素直接映射到动作, 以10hz频率接收图像, 以200hz频率生成动作指令(手腕姿势和手指关节)。
- **第三层, Whole-Body-Control**, 作为“机器小脑(行走部分)”, 提供更高速的全身控制跟踪(1Khz), 确保安全、稳定的动态(通常是动力学控制器)。

资料来源: Figure 官网, 2025 具身智能机器人发展大会, 中国银河证券研究院

- 2) **端到端大模型, 同时训练决策和操作, 对数据和算力要求高**。以谷歌 RT-2 为代表。RT-2 对一个预训练的 VLM 模型在机器人和网络数据上进行共同微调, 生成的模型直接预测机器人要执行的动作。

图34: 谷歌端到端大模型 RT-2 结构



资料来源: Brohan, Anthony 等《RT-2: Vision-Language-Action Models Transfer Web Knowledge to Robotic Control》, 中国银河证券研究院

目前被大多数本体厂商使用的是将未经过机器人数据训练的 LLM/VLM 用于机器人任务或分层端到端模型。除了 Figure 01/02, 1X Technologies 旗下 NEO 也接入 OpenAI 端到端视觉-语言(VLM)模型, Apptronik 旗下 Apollo 接入谷歌机器人模型, 乐聚机器人“夸父”接入华为盘古具身智能大模型, 优必选 walker S 和开普勒“先行者”接入百度文心一言大模型, 星动纪元“小星”接入阿里通义千问和智谱清言大模型等。

2. 具身智能机器人模型特点及进展

当前多数具身智能机器人模型特点为: 1) 在大量、多样的数据上进行预训练, 获得一定泛化能力, 然后在目标任务的高质量数据上做微调去改善模型性能。2) 在数据不足的时候, 跨具身形态的训练能够带来具身形态之间的正向转换。3) 使用网络数据训练出来的文本编码+视频编码, 能够给机器人训练带来很好的指令跟随能力、世界知识、泛化性、迁移能力、语义推理能力。但其局限仍在于目前距离通用化还很远, 在没见过的任务、物体、环境、动作和具身形态上还有待改进, 在应

对长程（连续复杂）任务还存在不足。

表13：部分具身智能模型简介

模型名称	模型概括	具体原理	模型评估及研究结论
RT-1	基于经典 Transformer 结构方案。专注于提升机器人在真实世界任务中的泛化和实时控制能力；输入图片和自然语言，输出动作；相对局限在某些行业中；布局在机器人端，依赖机器人端计算资源	利用预训练模型对视觉与语言进行编码，然后再通过解码器输出动作。也即 RT-1 输入由图片序列、自然语言指令构成，输出由机械臂运动的目标位姿 (Toll, pitch, yaw, gripper status)、基座的运动、模式转换指令构成	- 加入仿真数据会降低真实环境下见过的物体和技能上的表现，大幅提高仿真环境下的表现 - 加入新类型机械臂在新任务的数据不会造成严重的性能下降，且会提高在新加入任务的表现 - 数据的多样性对于性能和泛化性的影响，比数据量更大
RT-2	基于预训练 LLM/VLM 方案。利用 VLM 已有优势+机器人任务上的微调；输入语言/动作/图片，输出图文（含动作，RT-2 特点之一就是把动作编码成类似图文的形式输入和输出）；更能跨行业使用；布局在云而非机器人上，依赖云计算资源	把语言、动作、图片放在一个统一的输出空间，利用 VLMs 产生语言（“动作”为特殊的语言）。RT-2 分为两步：首先对 VLMs 在大规模互联网数据进行预训练（基于 PaLM-E 和 PaLI-X 视觉语言模型在视觉解释和推理任务上预训练，预训练任务从根据语言创作图，到单个对象与其它对象之间关系问题的回答），然后在机器人任务上微调	参数量大效果更好，混合预训练数据联合微调可以提高泛化性
RT-X	在 RT-1/2 基础上+Open X 数据集上训练得到的（（汇编了来自 22 个不同机器人系统的超过一百万个操作轨迹，涵盖了 34 个机器人研究实验室的 60 个独立数据集，记录了从拾取到组装等简单到复杂的行动，涵盖了包括家电、食物在内的多种家庭物品）		- 小规模数据场景中，RT-1X+原有方法实现了效果明显优化，证明小规模数据场景下模型优化可以受益于更多样化大规模的数据集 - 对于大规模数据场景，RT-1X 效果不好，RT-2X 超过了原有模型和 RT-1，说明在数据丰富的场景下还要得到性能提升，需要高功率高容量的模型结构 - 把思维链引入后，可以解决一些很复杂的问题，证明 LLM 和 VLM，和低水平的运控，能够结合在同一个 VLA 中
RT-H	在 RT-X 基础上的变化是：有些动作看上去不像，但是如果转化成语言是很相似的。RT-H 在 RT-X 中间添加了一个语言模型，也即先通过语言模型预测出图文结果，再预测机器人的动作和任务（RT-X 是直接输出语言模式的机器人动作 token，其实也就是直接输出动作）		因为 RT-H 中间有语言模型，能够让人更容易去介入和干涉，修改其输出的语言结果，引领模型做正确任务；这种修正可以用于训练，比遥控操作效果更好；对于 RT-H，只需要比较少的“纠正”，就能够进行很好的新场景新任务的转化
OpenVLA	基于预训练 LLM/VLM 方案。训练数据集更大更多元化，模型结构发生了调整（图文信息和动作信息被输入给不同的内置模型进行预测），定义了视觉泛化、运动泛化、物理泛化和语义泛化四种评估任务		- OpenVLA 具有更好的泛化能力：四种评估任务中 OpenVLA 仅在语义上落后 - 是否能快速在指定任务上微调：OpenVLA 在比较困难、多元化、多命令场景中，尤其是包含较多物理任务的场景中性能更好，主要是由于在 OpenX 上进行了预训练 - OpenVLA 探索了参数优化及微调策略的效果，发现 LoRA 是最佳的
π_0	在输入端基于 VLM，在输出端，基于 flow matching 从实验上给出了有效的后训练/预训练的模型策略，最终得到机器人模型	在预训练阶段尽可能让模型接触多元广泛的训练任务，后训练是选择和目标执行任务相关的行为（即把预训练的模型放到更小的目标数据集上做微调），让模型能够学习到一致的高效的执行策略。	优点在于能够在预训练模型基础上，用很小的数据学习到很好的性能，在长程复杂任务的微调结果上比较好

		数据来源有 OXE, Bridge v2, DROID, 以及人工采集的 68 种任务, 并给不同的数据来源赋值了权重	
RDT	基于扩散模型方案, 考虑到目标任务上数据较少, 先在大量数据集上做预训练, 然后在目标具身形态上做微调。对于任务行为比较多峰的情况, 采用扩散模型进行建模, 对于预训练数据结构很不一样的问题, 提出“物理可解释统一动作空间”, 来统一所有的输出		- 在很多未曾见过的物体、场景和形态上具有通用性, 能够通过少量几次的示范就学习到新的技能, 能够处理精细灵巧的任务 (比如遥控游戏手柄让机器狗走直线) - 验证了模型大小、数据量大小、扩散模型, 对于 RDT 性能十分关键
GR-2	视频生成 + 逆运动学方案。训练数据和方法有区别, 在大量的文本视频数据上进行预训练 (涵盖众多人类日常生活数据), 然后在视频生成和机器人动作轨迹层面进行协同训练		- 微调阶段不需要使用大量数据, 比较高效 - 在未见的场景和物体上体现了高于基准比较模型的泛化性, 并可以处理透明、可变形、反光物体 - GR-2 同时预测视频和动作轨迹, 二者非常吻合, 通过让机器人将预测的视频实施出来的方法简化了动作预测, 说明如果未来能够增强视频预测能力, 也能够提高机器人动作预测的能力

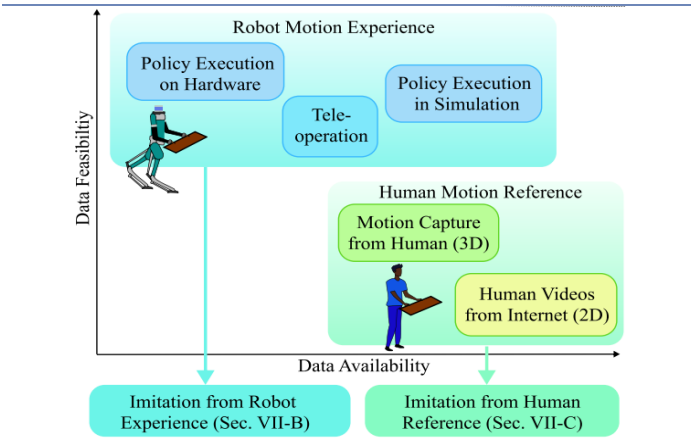
资料来源: 北京大学人工智能研究院, Google Deepmind, Stanford University, UC Berkeley, Physical Intelligence, 清华大学, 字节跳动, 自动驾驶之心公众号, 机器人大讲堂公众号, 中国银河证券研究院

未来多元的数据收集方法、更高质量的预训练数据构成、更高效的训练方法、仿真环境和世界模型将是促进具身智能机器人模型性能提升的方向。以下举例介绍两个具身智能模型的有效尝试:

(1) 仿真环境&合成数据: 银河通用 GraspVLA 具身基础模型

目前机器人进行技能学习所依赖的数据源可以分成两种, 一种是机器人经验数据, 以直接执行策略或遥操作为代表; 第二类是人类数据, 包括人类动作捕捉数据和人类活动视频数据。机器人经验数据表现出较小的形态差异, 可以直接应用于策略学习, 但通常较为稀缺。相反, 人类数据更为丰富, 但由于人类与机器人在身体比例、关节配置和质心分布等上存在明显差异, 此类数据的使用依赖有效的重定位解决方案, 且收集到的人类数据多数仅有本体感知, 缺乏交互中的感官信息输入。未来, 针对含灵巧手的全身重定位开发系统解决方案、研发高度还原现实世界的运动&操作场景模拟器可以促进数据收集与技能训练。

图35: 机器人技能学习的四种数据来源



资料来源: Gu Zhaoyuan 等《Humanoid Locomotion and Manipulation: Current Progress and Challenges in Control, Planning, and Learning》, 中国银河证券研究院

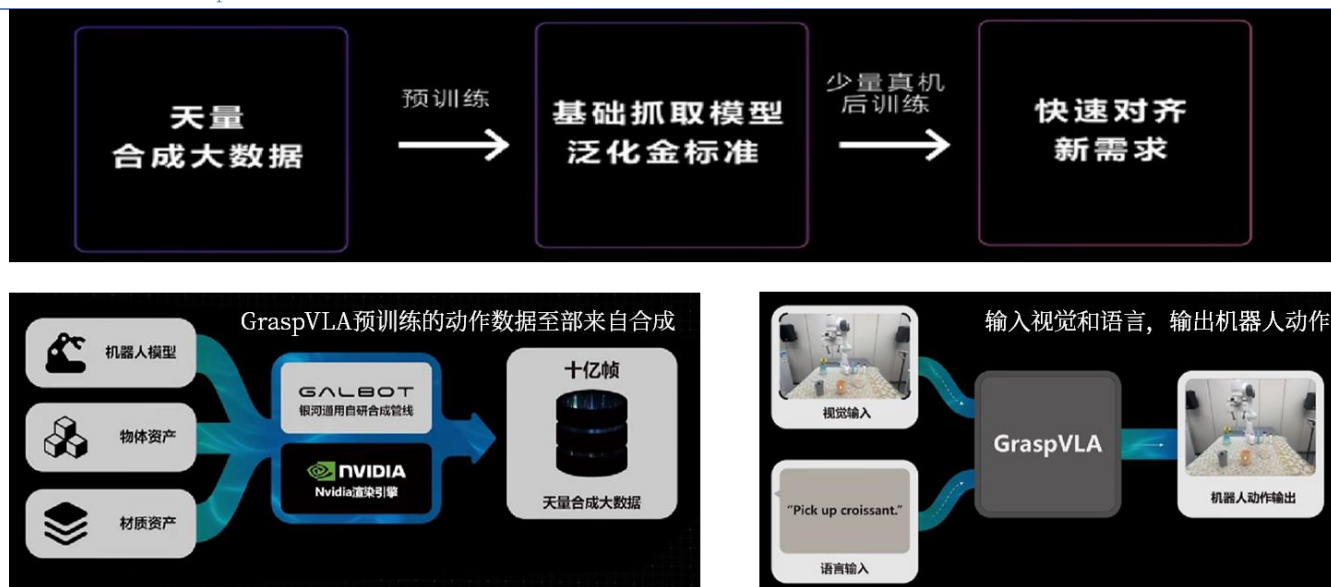
图36: 机器人技能学习数据源优劣对比

数据获取方法	优点	缺点
机器人实操	可标注, 动态可行	稀缺, 多样性不足
遥操作	多模态	全身协同运动数据少
动作捕捉	数据精准	数据集小, 户外数据有限, 只有本体感知, 缺乏交互中的感官输入
人类视频	可获得多样化、大量的数据	非物理运动数据, 数据质量可能不高, 只有本体感知, 缺乏交互中的感官信息输入

资料来源: Gu Zhaoyuan 等《Humanoid Locomotion and Manipulation: Current Progress and Challenges in Control, Planning, and Learning》, 中国银河证券研究院

银河通用 GraspVLA 具身基础模型在预训练阶段完全基于合成大数据，训练数据量达到十亿帧“视觉-语言-动作”对，是有史以来最大的数据体量，其在高度泛化、平面位置泛化、物体类别泛化、光照泛化、干扰物泛化、背景泛化、闭环能力上均表现优秀。通过仿真数据缓解真实数据不足问题，缩短了产品部署时间，节约了资金人力投入，提高了时间效率，增强了大规模商用的可能性。

图37: 银河通用 GraspVLA 具身基础模型结构



资料来源：银河通用机器人，中国银河证券研究院

(2) VLM+视觉运动策略的层次化设计，首个端侧部署的 VLA(视觉-语言-动作)模型: Figure 具身智能大模型 Helix

与 OpenAI 结束合作后，Figure AI 于 2 月 20 日发布自己具身智能大模型 Helix，创新如下：

1) Helix 使用一组神经网络权重来学习所有行为，比如抓取放置物品、开关抽屉和冰箱，无需任何任务特定的微调。

2) 先前方法中，VLM 主干通用而速度不快，机器人视觉运动策略快速但不够通用，Helix 将二者进行了互补设计。S2 是一个开源的、开放权重的 VLM。在互联网规模数据上进行了预训练，接受图像和状态输入，将所有语义任务相关信息传递给 S1。S1 是简单的基于 Transformer 的视觉运动策略，接收与 S2 相同的图像和状态输入，但以更高的频率处理这些输入，输出完整的上半身人形控制。因为 S2 推理速度慢于 S1，S1 会在机器人观察上以更高的时间分辨率运行，从而为反应控制创建更紧密的反馈回路，实现 S1 和 S2 的联合优化。

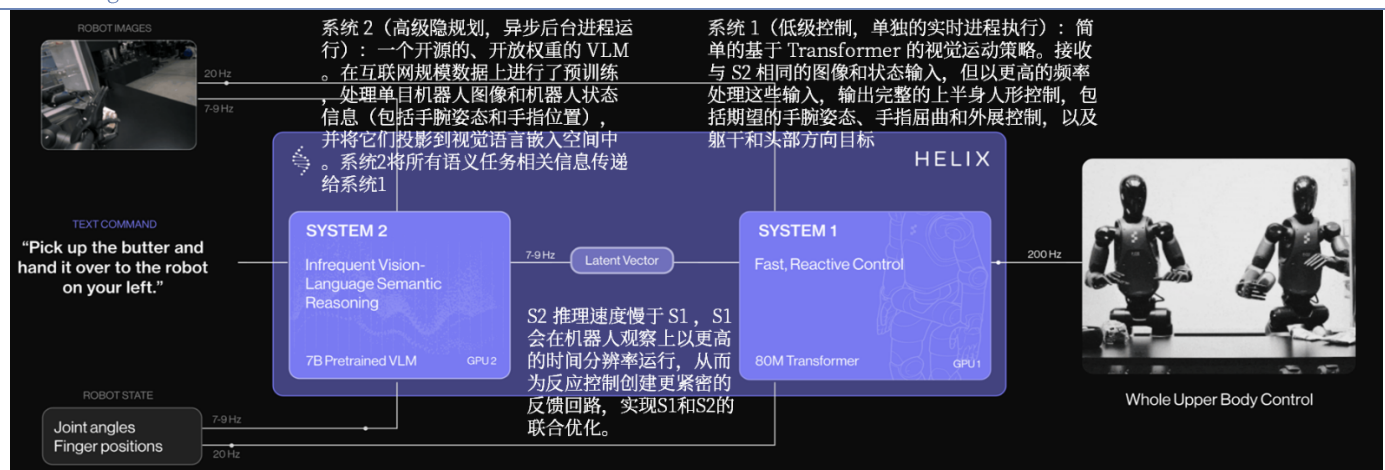
3) 此前 $\pi 0$ 、RT 系列等具身智能模型针对单臂机械臂或者轮式双臂机器人，且手部以夹爪为主，复杂性低于真正的人形机器人。而 Helix 真正运行在人形机器人上，实现全身控制，覆盖手腕、躯干、头部和单个手指。

4) 一组 Helix 神经网络权重同时在两个机器人上运行，实现了多机器人协作。

5) Helix 是史上第一个在本地 GPU 运行的机器人 VLA。

Helix 在物体泛化能力上表现优秀，能够仅通过自然语言命令，实现抓取放置形状、大小、颜色和材料特性各异、训练中未曾见过的家居用品，增强了机器人落地家庭场景的可能性。其本地 GPU 运行特点也提升了其商业化落地能力。

图38: Figure 最新端到端具身智能大模型 Helix



资料来源: Figure 官网, 机器之心公众号, 中国银河证券研究院

3. DeepSeek 冲击波：大脑平权催化具身智能

DeepSeek 能够提供开源优质的 LLM（DeepSeek V3/R1）和 VLM（DeepSeek VL2），有利于实现大脑平权，并催化具身智能。

- 1) DeepSeek 让一些受制于大模型闭源限制而难以承受从头开发“大脑”的机器人企业，能够接入开源“大脑”，从而将更多资源集中到机器人“小脑”（操作小模型）开发中，**缩小初创企业参与具身智能机器人研发制造的门槛，并缓解行业中操作小模型发展迟滞现状**。例如，在具身模型分层端到端架构中，基础大模型一般为 LLM/VLM，DeepSeek 可以一定程度上取代更昂贵的 OpenAI 模型、谷歌机器人模型以及国内大模型，给本体厂商提供开源、高性能且“低价”的选择。
- 2) **DeepSeek 会促进一些人形机器人初创公司开始自研适配具身智能机器人的大模型**。将未经过机器人数据训练的 LLM/VLM 用于机器人任务目前存在的问题是大小脑的耦合机制不好。分层端到端其实是在端到端框架下，模型内部隐含分层结构，但整体训练是端到端的，较直接运用 LLM/VLM 能一定程度上提高大小脑的配合度。DeepSeek 提供的一些模型训练方法和工程优化方式，有利于想自己训练端到端具身智能大模型的公司以更性价比的方式去尝试，有助于整个具身智能大模型行业的进步。例如 Figure Helix 即在其系统 2 部分内置了一个开源的、开放权重的 VLM。我们认为目前运控水平会优先逐渐收敛，未来具身智能大模型进展是驱动人形机器人产业发展的关键。

（四）运动控制：多方案融合，逐步趋于收敛

传统控制方案主要采用 Model-Based 方法（基于模型的控制方案），从 LIMP+ZMP 演变至 MPC+WBC 并进一步向全身动量控制发展。

- **MPC（模型预测控制）**控制过程包括模型预测、优化求解和实时控制，通过测量机器人的状态（如机身位置、速度和角速度），预测出一个时间序列内的机身状态。参考状态与实际测量值被输入优化求解器，结合约束条件，求得未来 n 步的控制指令。选取第一个控制指令作为期望的末端接触力与力矩，输入到内部多关节系统控制中。**MPC 优势在于：**1) 能够显式考虑复杂动力学；2) 同时平衡稳定性、能效、运动速度和平滑度等多个目标；3) 直接考虑关节限位、摩擦锥约束、足端

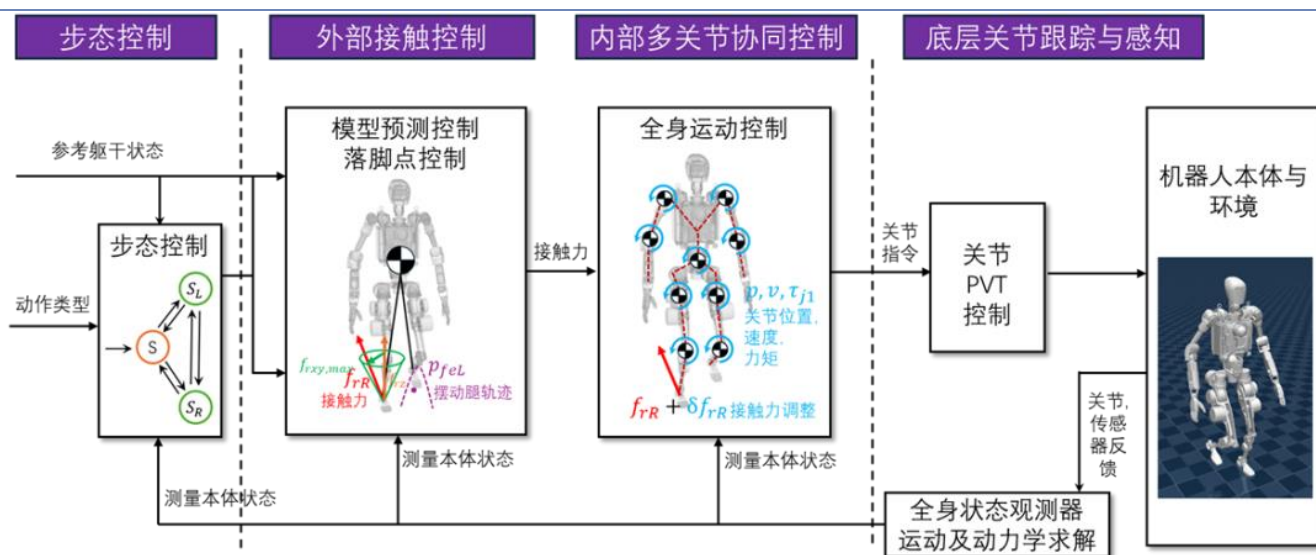
位置限制等多种限制因素；4) 具备一定的预测能力。但是，**MPC 局限在于**：1) 简化模型问题：通常基于简化模型(如单刚体)，无法直接考虑完整的机器人关节动力学；2) 计算复杂度挑战：在全身动力学水平上直接应用 MPC 会导致优化问题复杂，难以实时求的可行解；3) 结果仍需处理：MPC 计算出足端接触力，仍然需要使用雅可比矩阵转移为关节力矩命令；4) 忽视短期控制：关注长期轨迹优化可能忽略短期控制需求，降低对突发情况的即时响应能力。

- **WBC (全身运动控制)** 代表一组控制器，生成关节扭矩、速度、位置，侧重于协调机器人多自由度的全身运动。WBC 核心原理是将控制的目标任务理解为分优先级的多任务控制。**适用情形**：1) 期望轨迹是基于降阶模型计算的，仅编码机器人全身运动的重要子集，不包含所有关节的信息；2) 轨迹是用全阶模型规划的，但计算量太大，无法实时应用 (WBC 较 MPC 更新频率更快)；3) 环境不确定性和规划不准确会导致干扰。

- **MPC+WBC**: MPC 提供最优轨迹，关注长期预测，WBC 执行多任务协调，注重短期控制。

- 最后通过底层关节跟踪与感知模块计算出机器人所需的依据指令，获取机器人的状态，为前面的控制模块提供反馈。

图39: 基于 MPC 与 WBC 的人形机器人运动控制算法框架

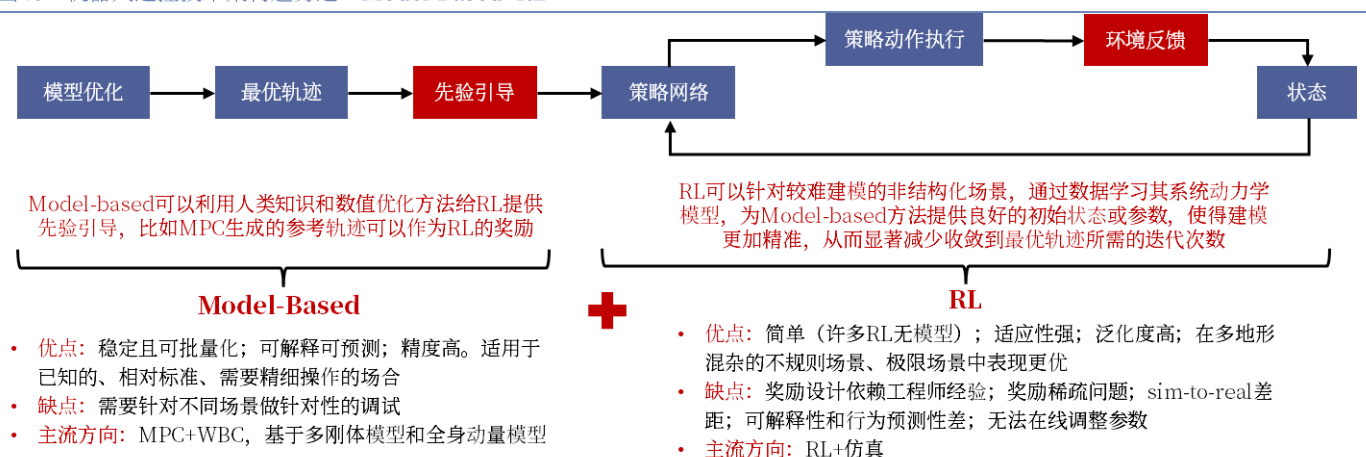


资料来源：马雪艳《从算法到实践：基于 MPC 与 WBC 的人形机器人运动控制的实现》，Openloong 开源社区，中国银河证券研究院

强化学习 (RL) 借助智能体与环境的交互产生的数据来训练和优化策略。其目标是得到一个最佳策略（“状态-动作”映射），在每个状态下选择最优的动作，以最大化长期累积奖励。无模型 RL 无需显式地使用状态转换概率/函数，更为简单，且在多地形混杂的不规则场景、极限场景中表现更优，泛化度高。但 RL 面临奖励设计依赖工程师经验、可解释性和行为预测性较差、无法在线调整参数等限制。目前 RL 多在模拟环境中训练，主要是由于其依赖于大量观察与动作、丰富的奖励函数、学习设计、大量试错，这在真实世界很难满足。此时 sim-to-real 差距是需要解决的核心问题。

“Model-Based+RL” 的混合模式可以综合二者优势，是未来发展方向之一。Model-based 可以利用人类知识和数值优化方法给 RL 提供先验引导，其生成的参考轨迹可以作为 RL 的奖励。RL 可以针对较难建模的非结构化场景，通过数据学习其系统动力学模型，为 Model-based 方法提供良好的初始状态或参数，使得建模更加精准，从而显著减少收敛到最优轨迹所需的迭代次数。二者结合有利于实现高效、通用，高性能完成多样的“人类任务”。

图40: 机器人运控技术架构趋势之“Model-Based+RL”



资料来源：Gu Zhaoyuan 等《Humanoid Locomotion and Manipulation: Current Progress and Challenges in Control, Planning, and Learning》，乐聚机器人，中国银河证券研究院

(五) 国产供应链机会盘点

行业层面，竞争格局和国产化率反映零部件潜在的国产替代机会，针对单个企业还需关注：传统主业基本面、大客户定点确定性。行业竞争格局好（竞争壁垒高，价格内卷概率小）、在全球/中国市场具有竞争优势、被大客户定点概率较大（基于历史合作基础或产品优势）的企业，未来在机器人产业中获得可观市占率和盈利能力的可能性越大。此外，传统主业基本面越好的企业业绩安全边际越深，对人形机器人行业发展的依赖度和潜在风险越弱。

图41：人形机器人核心零部件竞争格局及海内外代表厂商

系统类别	零部件	本体厂商采购模式	行业竞争格局	国产化率	海外代表厂商	国内供应商
执行系统	谐波减速器	外采为主	日系为主，哈默纳科全球市占率超过80%，24H1中国市占率35.6%	较高	哈默纳克，科达利，斯菱等	绿的谐波、丰立智能、来福谐波，大族传动，昊志机电等
	行星减速器	外采+自研（如宇树，但齿轮加工等交由外部）	据QY research，行业前三日系新宝和德系威腾斯坦、纽卡特22年共占据全球35%市场份额。中国市场22年前三为日本新宝20%、科峰智能12%、纽氏达特（山东）9%	较高	威腾斯坦，纽卡特等	科峰智能，中大力德等
	无框力矩电机	外采+自研（如宇树、智元、小米）	海外有先发优势，国内市场前三为合泰科技（18%）、大族电机（15%）、步科股份（8%），其中合泰和大族为国内主流协作机器人供应商	较高	Kollmorgen, Aerotech, Parker 等	三花智控，拓普集团，步科股份，昊志机电，伟创电气，汇川技术，卧龙电驱等
	空心杯电机	外采为主	CR3>50%，外资为主，尤其是高端产品	中等	瑞士MAXON、德国FAULHABER和瑞士PORTESCAP	鸣志电器，兆威机电，鼎智科技，伟创电气，拓邦股份等
	行星滚柱丝杠	外采为主	海外主导，2022年中国市场中海外龙头Rollvis、GSA和Ewellix市占率分别26%、26%、14%，国内厂商合计19%（其中南京工艺8%、博特精工8%）	低	GSA，斯凯孚等	新剑传动（未上市），三花智控，恒立液压，贝斯特，北特科技，五洲新春，鼎智科技，震裕科技，南京工艺（未上市）、博特精工等
	编码器	总成厂商/本体厂商自研居多（如宇树）	22年外资多摩川、海德汉市占率分别28%和14%，国内企业禹衡光学8%位列第三（MIR）	中等（中低端国产化率较高）	海德汉、多摩川、雷尼绍等	禹衡光学（奥普光电）、长春汇通（汇川技术）、禾川科技等
感知系统	六维力矩传感器	外采为主	23年全球前五大厂商ATI、Schunk、Advanced Mechanical Technology、宇立仪器和Kistler市占率分别36.2%/8.2%/8.0%/4.3%/4.3%（QYResearch）。23年国内市场中国内资出货量市占率30%（中商产业研究院）	中等	ATI，瑞士BOTA，德国HBM，AMTI等	鑫精诚，宇立仪器，柯力传感，坤维科技，蓝点触控等
	柔性触觉传感器	采购灵巧手（含触觉传感器），或单独外采触觉传感器	北美和欧洲主导，22年全球前五大厂商（均来自海外）市占率约57.1%（QYResearch）。国内市场较分散	中等	Novasentis、Tekscan、JDI、Baumer Group、Fraba Group等	帕西尼，他山科技，能斯达（汉威科技子公司），墨现科技，奥迪威，纽迪瑞科技，福莱新材等
	3D视觉	外采为主	22年奥比中光在中国服务机器人领域的市占率超过70%（GGII）	较高	英特尔、索尼、英飞凌	奥比中光
	IMU	外采为主	全球前五大企业均为海外大厂，21年市占率88%，即博世35%、ST 20%、TDK 20%、霍尼韦尔6%、ADI 7%（据Yole）	低	博世、ST、TDK、霍尼韦尔、ADI等	华依科技，芯动联科，矽睿科技，赛微电子等

资料来源：绿的谐波招股书，QY research，MIR，中商产业研究院，Yole，觅途咨询，GGII，中国银河证券研究院

五、投资建议

我们认为，三类人形机器人产业链企业值得重点关注：**1) “确定性”强的标的**。目前 T 链在逐步收敛，国内外其他本体品牌相关产业链交错发散。大浪淘金阶段，有明确订单、业务或投资层面合作协议、产品进展、扩产举动的厂商，有望伴随本体公司规模化交付迎来业绩增量。**2) 格局良好的核心零部件供应商**。其中核心体现在价值量高&不可替代性强，格局良好体现在竞争壁垒高，价格内卷概率小。**3) 边际变化对应稀缺标的，目前多集中在灵巧手、传感器、“小脑”运控、具身大模型等**。建议关注：总成厂商-三花智控/拓普集团；减速器-绿的谐波/丰立智能/中大力德；丝杠-五洲新春/恒立液压/震裕科技/北特科技；灵巧手-鸣志电器/兆威机电；传感器-汉威科技/福莱新材，以及伴随本体厂商产品技术迭代宇树链/HW 链/Figure 链/智元链上的其他受益企业。

图42：人形机器人产业链公司

所属板块	股票代码	公司名称	市值 (亿元)	PE-TTM	营业收入增长率			归母净利润增长率			年初至今 涨跌幅	年度涨跌幅-TTM	22年5月 以来涨跌幅	年初至今 相较上证 综指超额 涨跌幅	年初至今 相较人形 机器人指 数超额涨 跌幅	人形机器人相关业务
					24Q1-3	2024E	2025E	24Q1-3	2024E	2025E						
轴承	300718.SZ	长盛轴承	244	105	2%	9%	19%	-5%	4%	17%	166%	425%	642%	166%	137%	宇树合作伙伴，供货自润滑轴承，已实现小批量销售，占主营业务比例小于1%；汽车类丝杠产品已量产，机器人类丝杠在送样与安鹏基金和北汽产投合作成立身具基金，战略投资智元机器人(持股0.69%)
减速器	301261.SZ	恒工精密	94	129	19%	0%	24%	18%	0%	147%	157%	138%	117%	157%	129%	丝杠产品上，两家机器人本体厂已经实现小批试制、两家已送样并通过客户性能测试，还有2-3家技术交流，目前日产能50套，新产线预计25Q1投入使用；线性执行器送样阶段
丝杠	300953.SZ	震裕科技	203	126	17%	21%	24%	214%	516%	55%	144%	227%	88%	144%	116%	供货宇树、智元，2月公布计划投资2亿人民币建设精密核心零部件生产线
减速器	002896.SZ	中大力德	133	183	-10%	-10%	15%	-1%	0%	14%	129%	169%	609%	129%	101%	25/3/13正式发布自主研发的机器人用反向式行星滚柱丝杠，送样和客户验证阶段
丝杠	300100.SZ	双林股份	244	70	12%	15%	15%	274%	484%	-13%	120%	597%	671%	120%	92%	“电子皮肤”上市标的
触觉传感器	605488.SH	福莱新材	88	106	14%	13%	19%	22%	32%	25%	113%	262%	251%	113%	85%	柔性触觉传感器上市标的，已给近二十家机器人整机厂送样/个性化定制/小批量供货等；小米参股
触觉传感器	300007.SZ	汉威科技	136	143	2%			-31%			103%	176%	183%	103%	74%	华为16家签约伙伴之一，有灵巧手及手部电机产品
电机、灵巧手	003021.SZ	兆威机电	314	149	30%	25%	25%	24%	21%	27%	77%	213%	564%	77%	48%	轴承套圈和丝杠零部件供应商（与轴承技术重叠度60-70%），下游客户包括舍弗勒、斯凯孚等
轴承	300984.SZ	金沃股份	61	232	14%	12%	29%	-34%	-24%	107%	73%	237%	204%	73%	45%	24年11月发布的人形机器人Iron已在广州工厂使用，计划于26年实现L3初阶能力的量产
本体厂商	XPEV.N	小鹏汽车	0	0	40%	0%	111%	51%	0%	73%	71%	159%	-18%	71%	42%	25/3/13正式发布DH系列灵巧手解决方案，包括11、20、24自由度，覆盖工业、商业与家庭等，首款型号将于Q2起进行试产试销；24/12公告在东莞投资5亿元人民币研发制造人形机器人零部件；24年12月/12月成立的上海雷赛机器人公司和灵巧驱控公司分别生产无框力矩电机和无刷空心杯电机（空心杯电机目前年产能12万台）；正在开发关节模组
电机、灵巧手	002979.SZ	雷赛智能	160	84	10%	15%	21%	56%	53%	31%	69%	191%	264%	69%	41%	24/12旗下希尔机器人与上海智元签订了合作协议，集中在具身智能技术、柔性制造解决方案场景拓展等方面；希尔同时获得智元注资（25/03）。25/3/24参投智元最新一轮B轮融资；与浙江人形机器人创新中心合作，目前小批量无框力矩电机订单
电机	600580.SH	卧龙电驱	376	154	1%	7%	9%	-31%	71%	21%	68%	84%	172%	68%	39%	提供无框力矩电机
电机	688160.SH	步科股份	78	158	8%	0%	28%	-26%	0%	75%	62%	83%	335%	62%	34%	提供谐波+行星减速器，已给国内人形本体厂商送样，为博世提供精密减速器和齿轮等
减速器	301368.SZ	丰立智能	88	855	17%			-47%			59%	60%	175%	59%	31%	3/1公布拟投资15亿元用于生产行星滚柱丝杠、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等产品，建设周期3年；作为二级供应商主要给杭州新剑提供内螺纹磨工艺之前的丝杠半成品，并于3月12日与杭州新剑签订协议在行星滚柱丝杠、微型滚珠丝杠上合作
丝杠	603667.SH	五洲新春	143	126	-2%	6%	18%	-20%	-2%	42%	57%	135%	321%	58%	29%	生产行星滚柱丝杠，但尚未产生收入
丝杠	601100.SH	恒立液压	1,090	43	9%	8%	15%	2%	3%	17%	54%	59%	84%	54%	26%	Walker S1已在比亚迪、北汽、富士康工厂实训
热管理	002126.SZ	银轮股份	235	30	15%	20%	21%	36%	38%	33%	51%	58%	271%	51%	22%	给云深处提供行星减速器
本体厂商	9880.HK	优必选	364	-27		50%	41%	20%	20%	20%	50%	-57%	-9%	50%	22%	
减速器	603915.SH	国茂股份	115	34	-4%	-2%	14%	-22%	-21%	27%	49%	35%	32%	49%	21%	
本体厂商	1810.HK	小米集团-W	12,820	50	30%	0%	30%	15%	0%	35%	48%	246%	318%	48%	20%	
减速器	301550.SZ	斯菱股份	118	66	5%	7%	22%	28%	21%	21%	47%	247%	97%	47%	19%	生产谐波减速器，核心设备已于2024年底陆续到位，目前小批量量产，未批量供货，计划于25H1投资第二条产线
丝杠/电机	300660.SZ	江苏雷利	179	59	10%	15%	17%	-4%	9%	26%	47%	120%	316%	47%	18%	控股子公司鼎智科技生产行星滚柱丝杠、空心杯电机等
本体厂商	002779.SZ	中坚科技	131	339	31%	37%	39%	-19%	52%	56%	46%	198%	414%	46%	17%	华为16家合作伙伴之一，1X投资方之一，发布了四足机器人灵睿P1
丝杠	300580.SZ	贝斯特	164	59	4%	15%	24%	7%	20%	25%	42%	86%	417%	42%	14%	计划25年批量供货
减速器	688017.SH	绿的谐波	281	493	9%	0%	29%	-19%	0%	96%	42%	31%	165%	42%	13%	已有谐波减速器产品，正在布局反向行星滚柱丝杠等
减速器	001306.SZ	夏厦精密	49	78	21%	22%	24%	-16%	1%	23%	41%	19%	-27%	41%	13%	
本体代工，场景测试	688306.SH	均普智能	134	1,576	4%	0%	0%	45%	0%	0%	40%	157%	151%	40%	12%	本体代工和场景测试厂商，六维力矩传感器、IMU已进行了产品送样和测试；本体领域与智元机器人、北京具身智能机器人创新中心建立了战略合作关系
MEMS IMU	688071.SH	华依科技	31	-67	22%	0%	49%	-575%	0%	203%	37%	13%	27%	37%	8%	已有成熟人形机器人IMU产品，已实现交付并获得了客户认可；六维力项目（与吉孚动力合作）在推进
电机	300503.SZ	昊志机电	78	-94	38%	0%	0%	370%	0%	0%	35%	71%	208%	35%	6%	提供无框力矩电机、谐波减速器，6维力传感器，编码器，关节模组和末端执行器等；24年公司曾表示参与有优必选牵头的人形机器人制造业创新中心，该项目已获批准筹建
动作捕捉	688400.SH	凌云光	135	128	-18%	0%	34%	-19%	0%	131%	33%	47%	-14%	33%	4%	全资子公司元客视界携手宇树科技推出具身智能数据解决方案FZMotion，该方案还服务了优必选、小米等
机器视觉	2498.HK	速腾聚创	194	-5	92%	52%	62%	69%	89%	54%	31%	0%	-7%	31%	2%	摄像头，激光雷达
六维力传感器	300354.SZ	东华测试	63	60	16%	51%	31%	20%	93%	34%	30%	4%	92%	30%	2%	六维力传感器处于小批量试制阶段；全资子公司东华校准提供机器人多维力/力矩传感器检测服务
关节、本体代工	300432.SZ	富临精工	244	144	41%	38%	70%	177%	177%	168%	30%	172%	54%	30%	2%	2月公告与智元机器人、巨星新材料、文宏杰、安努创想成立合资公司，富临精工持股20%，供应电关节模组；正批量给华为供电动车用智能电驱减速器及其零部件产品；2月公告拟在绵阳市涪城区投资11,000万元建设机器人智能电关节模组研发及生产基地项目；3月公告控股子公司江西升华与宁德时代签署战略合作协议，计划拓展智能机器人增量零部件及关节合作机会
电机	603728.SH	鸣志电器	290	280	-5%	-1%	12%	-44%	-41%	98%	28%	24%	442%	28%	0%	提供空心杯电机、无框力矩电机、关节模组、精密减速机

注：数据截至 2025/3/28

资料来源：Wind，各公司公告，各公司官网，财联社，智东西，证券时报，中国轴承工业协会，新浪科技，新华网，中国机器人网，IT之家，中国银河证券研究院

图43：人形机器人产业链公司（续表）

所属板块	股票代码	公司名称	市值 (亿元)	PE-TTM	营业收入增长率			归母净利润增长率			年初至今 涨跌幅	年度涨跌幅-TTM	22年5月 以来涨跌幅	年初至今 相较上证 综指超额 涨跌幅	年初至今 相较人形 机器人指 数超额涨 跌幅	人形机器人相关业务
					24Q1-3	2024E	2025E	24Q1-3	2024E	2025E						
执行器	002050.SZ	三花智控	1,107	36	8%	0%	15%	7%	0%	22%	26%	30%	84%	26%	-2%	特斯拉新能源汽车长期供应商，已布局机器人执行器、电机等
执行器、摄像头	2018.HK	瑞声科技	567	29	0%	0%	12%	0%	0%	33%	26%	91%	159%	26%	-2%	具有机器人灵巧手指执行器、关节旋转执行器和直线执行器，以及摄像头、镜头等视觉感知产品；3C领域下游客户包括苹果、华为和小米等
电机	688698.SH	伟创电气	116	47	22%	0%	27%	34%	0%	35%	25%	104%	267%	25%	-4%	提供旋转关节模组、空心杯电机、无框力矩电机等；24年9月与科达利、上海盟立共同投资设立深圳市伟达立创新科技有限公司，公司持股30%+员工平台持股10%
MEMS IMU	688582.SH	芯动联科	243	109	41%	0%	54%	42%	0%	43%	21%	87%	30%	21%	-8%	主要通过向下游模组客户销售标准惯性芯片，不直接接触机器人本体厂商等终端客户
执行器	601689.SH	拓普集团	1,026	37	37%	37%	27%	40%	39%	28%	20%	44%	66%	20%	-8%	特斯拉新能源汽车长期供应商，24年1月与宁波经济技术开发区管理委员会签署了《机器人电驱系统研发生产基地项目投资协议书》，投资额50亿
本体厂商	002747.SZ	埃斯顿	193	-268	4%	3%	17%	-148%	-205%	195%	20%	30%	51%	20%	-8%	华为16家合作伙伴之一，24年9月发布了人形机器人Codroid 01
本体厂商	300607.SZ	拓斯达	146	-460	-31%	-28%	-10%	-93%	-147%	300%	20%	143%	219%	20%	-8%	华为16家合作伙伴之一，基于华为openEuler开源操作系统开发了自己的X5机器人控制平台
机器视觉	688322.SH	奥比中光-UW	223	-372	35%	0%	56%	69%	0%	187%	20%	88%	30%	20%	-8%	提供3D视觉传感器；已与超百家机器人企业达成合作，包括优必选、追觅、云迹科技、擎朗智能、普朗科技、高仙机器人、LionsBot、斯坦德等
减速器	002472.SZ	双环传动	310	32	15%	20%	19%	25%	27%	24%	19%	64%	92%	19%	-9%	控股子公司环动科技能提供RV减速器、精密配件及谐波减速器等产品，目前科创板IPO获受理
零部件/模组组装	300433.SZ	蓝思科技	1,276	35	37%	0%	27%	44%	0%	53%	17%	99%	164%	17%	-11%	已成功批量交付灵犀X1整机产品，深度参与了灵犀X1关节模组、DCU控制器、OmniPicker（夹爪）等核心部件的开发组装与测试；已与国内及北美头部人形机器人公司开展合作，建立专门团队研发关节、灵巧手、躯干、头部壳体及表情面罩等模组及整机组装
执行器，电机	300124.SZ	汇川技术	1,845	39	26%	23%	22%	1%	4%	19%	17%	16%	21%	17%	-12%	正在研发人形机器人旋转执行器，由无框力矩电机、传感器、编码器、伺服驱动器等核心零部件构成
MEMS IMU	688286.SH	敏芯股份	39	-112	30%	0%	28%	42%	0%	185%	16%	86%	63%	16%	-13%	
代工	688097.SH	博众精工	135	34	1%	0%	25%	11%	0%	47%	15%	30%	18%	15%	-14%	有给国内头部机器人公司代工机器人，目前订单较为饱满，24年代工订单已交付；给国际知名机器人公司独家提供一些用于机器人组装的工作台、治具等生产辅助设备
代工	002600.SZ	领益智造	642	40	28%	20%	20%	-25%	-2%	44%	15%	76%	120%	15%	-14%	Figure AI供应商，提供模切结构件、金属结构件、散热模组、软包结构件等；23年12月/24年6月子公司东莞领杰分别与智元签订战略合作框架协议/ODM合作框架协议；25年初子公司领鹏智能凭借高压大功率伺服驱动系统，获第二届特种机器人产业链“揭榜”活动优胜单位；计划25年实现人形机器人千台+量产
磁性材料	300748.SZ	金力永磁	276	104	-1%	3%	29%	-60%	-43%	85%	13%	38%	28%	13%	-16%	23H2规划墨西哥工厂拟投资1亿美元，建成后产能年产 100 万台/套磁组件，针对EV和人形机器人；目前磁组件有小批量交付
丝杠	603009.SH	北特科技	147	206	10%	0%	20%	111%	0%	60%	11%	205%	719%	12%	-17%	24年10月与江苏昆山经济技术开发区签订协议，投资18.5亿元人民币在行星滚柱丝杠
磁性材料	600111.SH	北方稀土	838	60	-13%	-6%	19%	-71%	-57%	133%	9%	24%	-25%	9%	-19%	高质量电机有赖于高性能磁材等
微型直线电缸、灵巧手	301325.SZ	曼恩斯特	85	55	84%	123%	29%	-74%	-76%	166%	9%	4%	-21%	9%	-20%	产品在内部测试阶段
铝铸件	603305.SH	旭升股份	132	28	-8%	-9%	23%	-43%	-37%	32%	8%	5%	3%	8%	-21%	主业是汽车金属结构件，是特斯拉汽车供应商；23年启动墨西哥生产基地项目，预计25年将逐步投产，主要针对汽零、工业零部件、储能
电机	688320.SH	禾川科技	61	-39	-27%	0%	30%	-228%	0%	110%	4%	44%	114%	4%	-25%	华为16家合作伙伴之一；23H1成立人形机器人事业部，24年5月发布Hu-MDB系列无框力矩电机，24年8月成立子公司浙江禾川人形机器人有限公司，24世界机器人大会上展出通用型人形机器人“YOLO”游龙01
传感器	603662.SH	柯力传感	189	65	14%	17%	19%	-11%	-1%	19%	4%	125%	443%	4%	-25%	6维力传感器已实现向部分客户批量供货，给华为送样已测试合格；触觉传感器在验证阶段
电池	300014.SZ	亿纬锂能	982	26	-4%	1%	26%	-7%	7%	30%	3%	25%	-26%	3%	-26%	
本体厂商	000333.SZ	美的集团	5,888	16	10%	10%	8%	14%	14%	11%	2%	26%	52%	2%	-26%	25年3月17日首次曝光人形机器人样机；22年完成了对德国工业机器人巨头库卡的收购
本体厂商	688165.SH	埃夫特-U	137	-94	-29%	0%	3%	-94%	0%	104%	0%	174%	260%	0%	-29%	华为16家合作伙伴之一，25年2月28日推出了第一代人形机器人样机
本体厂商	301236.SZ	软通动力	551	214	73%	74%	13%	-78%	3%	31%	-2%	29%	214%	-2%	-30%	华为鸿蒙生态的重要合作伙伴之一，25年1月发布了交互与教育双足机器人天鹤C1；24/7与上海智元签署战略合作协议，成立合资公司
电池	300750.SZ	宁德时代	11,308	22	-12%	0%	23%	16%	0%	28%	-3%	41%	17%	-3%	-31%	
本体厂商	000625.SZ	长安汽车	1,281	25	3%	14%	18%	-64%	-44%	39%	-3%	-22%	69%	-3%	-32%	计划投资500+亿元人民币在人形机器人和低空经济；计划27年前发布人形机器人
本体厂商	601238.SH	广汽集团	866	2,269	-24%	-5%	13%	-97%	-57%	58%	-9%	0%	-27%	-9%	-38%	人形机器人GoMate，计划2025年实现自研零部件批量生产，2026年实现整机小批量生产

注：数据截至 2025/3/28

资料来源：Wind，各公司公告，各公司官网，财联社，智东西，证券时报，中国轴承工业协会，新浪科技，新华网，中国机器人网，IT之家，中国银河证券研究院

六、风险提示

1. 人形机器人产业政策及产业化进度不及预期的风险。在产业初期，政策是驱动发展的重要力量，若后续产业配套政策不及预期，人形机器人行业进程可能放缓。此外，若初期商业化探索结果不及预期，也可能打压行业参与者和投资机构深耕的热情。

2. 特斯拉 Optimus 进展不及预期的风险。特斯拉是推动人形机器人产业从 0-1、且引领量产节奏的关键，若 Optimus 进展不及预期，可能放大人们对产业发展的悲观预期。

3. 国内供应商在特斯拉供应链进展不及预期的风险。是否被特斯拉定点、定点结果等将对产业链公司未来发展潜力产生重要影响，若国内供应商在特斯拉供应链进展不及预期，可能改变市场对其估值中枢。

4. 软硬件技术迭代的风险。目前人形机器人软硬件方案还未成熟，若新技术新方案带来某些零部件被替代，则其对应的增量市场空间也将萎缩。

图表目录

图 1: 人形机器人级别划分	5
图 2: 人形机器人发展历史	6
图 3: 人形机器人快速发展的技术基础	7
图 4: 海内外部分本体厂商	8
图 5: 人形机器人行情复盘	13
图 6: 全球和部分国家 2023 年制造业机器人密度 (台/万人)	14
图 7: 美国工业机器人渗透度(台/每万名员工)	14
图 8: 人形机器人商业化落地节奏	14
图 9: 2025-2035 年美国机器人市场规模测算	15
图 10: 2025-2035 年中国人形机器人市场规模测算	16
图 11: 人形机器人关键技术点与路径	17
图 12: 特斯拉 Optimus 进化史	18
图 13: 人形机器人主要零部件投资逻辑	19
图 14: 人形机器人主要零部件特点总结	20
图 15: 人形机器人旋转关节驱动方案	21
图 16: 特斯拉 Optimus 线性关节	21
图 17: 电机分类以及不同机器人对电机的数量要求	24
图 18: 滚珠丝杠示意图	25
图 19: 行星滚柱丝杠示意图	25
图 20: 灵巧手分类, 及驱动/传动方案工作原理和优缺点	26
图 21: 人形机器人传感器分类	27
图 22: 按维度分力传感器种类与适用情况	28
图 23: 多维力传感器主要类型	28
图 24: 应变片式六维力传感器运作原理	28
图 25: 压阻式触觉传感器示意图	31
图 26: 电容式触觉传感器示意图	31
图 27: 压电式触觉传感器示意图	31
图 28: 光学式触觉传感器示意图	31
图 29: 特斯拉 Optimus 产品构成介绍	32
图 30: 特斯拉 BOM 拆分	33
图 31: 宇树科技机器人产品构成介绍	34
图 32: 机器人与大模型结合的方式	35

图 33: Figure 与 OpenAI 合作期间分层端到端模型示意图.....	36
图 34: 谷歌端到端大模型 RT-2 结构.....	36
图 35: 机器人技能学习的四种数据来源.....	38
图 36: 机器人技能学习数据源优劣对比.....	38
图 37: 银河通用 GraspVLA 具身基础模型结构	39
图 38: Figure 最新端到端具身智能大模型 Helix.....	40
图 39: 基于 MPC 与 WBC 的人形机器人运动控制算法框架	41
图 40: 机器人运控技术架构趋势之“Model-Based+RL”	42
图 41: 人形机器人核心零部件竞争格局及海内外代表厂商	43
图 42: 人形机器人产业链公司.....	45
图 43: 人形机器人产业链公司（续表）	46
表 1: 机器人分类	4
表 2: 人形机器人产业政策	9
表 3: 人形机器人核心零部件方案	22
表 4: 不同种类减速器原理及特点	23
表 5: 不同种类电机原理及特点	24
表 6: 三种丝杠性能和优劣对比	25
表 7: 现有灵巧手结构设计方案	27
表 8: 六维力传感器在机器人领域应用场景	29
表 9: 人形机器人视觉方案选择	29
表 10: 不同触觉传感器.....	30
表 11: 特斯拉三代灵巧手变化.....	32
表 12: 典型大模型分类.....	34
表 13: 部分具身智能模型简介.....	37

分析师承诺及简介

本人承诺以勤勉的执业态度，独立、客观地出具本报告，本报告清晰准确地反映本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告的具体推荐或观点直接或间接相关。

鲁佩，机械首席分析师。伦敦政治经济学院经济学硕士，证券从业 10 年，2021 年加入中国银河证券研究院，曾获新财富最佳分析师、IAMAC 最受欢迎卖方分析师、万得金牌分析师、中证报最佳分析师、Choice 最佳分析师、金翼奖等。

免责声明

本报告由中国银河证券股份有限公司（以下简称银河证券）向其客户提供。银河证券无需因接收人收到本报告而视其为客户。若您并非银河证券客户中的专业投资者，为保证服务质量、控制投资风险、应首先联系银河证券机构销售部门或客户经理，完成投资者适当性匹配，并充分了解该项服务的性质、特点、使用的注意事项以及若不当使用可能带来的风险或损失。

本报告所载的全部内容只提供给客户做参考之用，并不构成对客户的投资咨询建议，并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。客户不应单纯依靠本报告而取代自我独立判断。银河证券认为本报告资料来源是可靠的，所载内容及观点客观公正，但不担保其准确性或完整性。本报告所载内容反映的是银河证券在最初发表本报告日期当日的判断，银河证券可发出其它与本报告所载内容不一致或有不同结论的报告，但银河证券没有义务和责任去及时更新本报告涉及的内容并通知客户。银河证券不对因客户使用本报告而导致的损失负任何责任。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的银河证券网站以外的地址或超级链接，银河证券不对其内容负责。链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

银河证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。银河证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

银河证券已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。除非另有说明，所有本报告的版权属于银河证券。未经银河证券书面授权许可，任何机构或个人不得以任何形式转发、转载、翻版或传播本报告。特提醒公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告。

本报告版权归银河证券所有并保留最终解释权。

评级标准

评级标准	评级	说明
评级标准为报告发布日后的 6 到 12 个月行业指数（或公司股价）相对市场表现，其中：A 股市场以沪深 300 指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准，北交所市场以北证 50 指数为基准，香港市场以恒生指数为基准。	行业评级	推荐：相对基准指数涨幅 10%以上
		中性：相对基准指数涨幅在-5%~10%之间
		回避：相对基准指数跌幅 5%以上
	公司评级	推荐：相对基准指数涨幅 20%以上
		谨慎推荐：相对基准指数涨幅在 5%~20%之间
		中性：相对基准指数涨幅在-5%~5%之间
		回避：相对基准指数跌幅 5%以上

联系

中国银河证券股份有限公司 研究院

深圳市福田区金田路 3088 号中洲大厦 20 层

上海浦东新区富城路 99 号震旦大厦 31 层

北京市丰台区西营街 8 号院 1 号楼青海金融大厦

公司网址：www.chinastock.com.cn

机构请致电：

深广地区：程曦 0755-83471683 chengxi_yj@chinastock.com.cn

苏一耘 0755-83479312 suyiyun_yj@chinastock.com.cn

上海地区：陆韵如 021-60387901 luyunru_yj@chinastock.com.cn

李洋洋 021-20252671 liyangyang_yj@chinastock.com.cn

北京地区：田薇 010-80927721 tianwei@chinastock.com.cn

褚颖 010-80927755 chuying_yj@chinastock.com.cn