



机器人行业研究

买入（维持评级）

行业年度报告

证券研究报告

具身智能组

分析师：陈传红（执业 S1130522030001） 分析师：冉婷（执业 S1130524100001）
chenchuanhong@gjzq.com.cn ranting@gjzq.com.cn

机器人 2026 年度策略：行业跨越 0-1，坚守核心供应链

核心观点

1、本体：特斯拉跨越 0-1，国内 1-N 加速，上肢渐成熟将会加速渗透率提升。

（1）商业化：特斯拉 0-1 兑现，国产 1-N 加速。特斯拉链：预计 26Q1 第一代量产产品发布，26H1 供应链大批量产线建设完成，26M8 开启大规模量产。国产链：头部本体出货量规模有望从数千台跨越到数万台，应用场景主要来自于二开、导览、巡检等。场景突破：自主协作能力提升，工业等上肢应用场景突破将是人形机器人 26 年最大看点之一。

（2）技术跨越：大脑有望突破，上肢能力迭代近奇点。目前人形机器人“肢体”硬件方案趋于收敛，硬件发展领先于算法，算法为人形机器人提供任务级交互、环境感知、任务规划和决策控制能力，是目前技术上的最大痛点，26 年随着大模型逻辑和训练架构迭代，机器人大脑有望实现突破。

2、海外：特斯拉进展最快，大模型和终端竞争下，关注北美其他巨头供应链投资机会。 特斯拉硬件方案已经于 25H2 趋于收敛，预计 26Q1 大脑等算法趋于收敛，特斯拉是海外最快迈向商业化的人形本体公司。我们预计，一旦特斯拉第三代机器人表现超预期，海外苹果、OpenAI 和英伟达等将会加速量产人形机器人。

3、国内：商业化和技术迭代并行，机器人本体上市潮到来。 投融资方面，截止 2025 年，国内机器人本体企业融资金额累计超百亿。量产节奏方面，优必选规划 2026 年实现数千台，智元机器人预计 2026 年实现数万台的量产规模。随着明年宇树、乐聚等头部本体陆续登陆资本市场，我们认为将掀起新一轮国内机器人产业化浪潮。

4、供应链：t 链等迈向收敛，技术迭代仍然持续。

（1）t 链迈向 sop 和 mp 拐点：第一代量产产品 v3 发布在即，预计 26H1 sop（中试），26H2 mp（大规模量产）。

（2）新技术迭代：硬件迭代从功能性迈向耐久性，26 年关注电驱动、灵巧手、丝杠新工艺和高端轴承等方向。（1）新型电驱动：具备高功率密度、高精度控制和快速响应等特性，关注谐波磁场电机，GaN 新型电控系统，旋转变压器等新技术。（2）电子手套：11 月特斯拉公开展示了 GEN2.5 的灵巧手模型，核心变化之一在于由指尖传感器方案升级至覆盖全手的电子手套方案。（3）丝杠：冷锻、以车代磨等新技术层出不穷，重点关注性能达标下各路线成本曲线演进。（4）高端轴承：薄壁交叉滚子轴承、柔性轴承等高端轴承具有优异机械性能及高价值量属性。（5）外壳包覆材料：以塑代钢加速迭代，电子皮肤面积有望由指尖延展至手掌乃至全身，关注皮肤衣的 0-1 变化。

投资建议

26 年是人形机器人 0-1 兑现的重要节点，在这个阶段，龙头公司供应链、技术都会趋于收敛。同时，全球将会迈入机器人“军备竞赛”，重点关注五大方向：

（1）特斯拉链的收敛：特斯拉链已经迭代 4 年，目前硬件供应链趋于收敛的拐点。围绕确定性和空间，重点关注：拓普集团、三花智控、五洲新春、蓝思科技、长盈精密、浙江荣泰、金沃股份、恒勃股份、领益智造、均胜电子、科森科技（计算机组覆盖）等。（2）技术迭代与收敛：看好电驱动新技术（谐波磁场电机、GaN）、灵巧手（电子手套、新型基材）、新材料（peek）、高端轴承等。重点关注：宁波华翔、英诺赛科、日盈电子、泛亚微透、宏微科技、岱美股份等。（3）海外其他供应链的机会：苹果、谷歌、OpenAI、Figure 等都陆续迈入 0-1，重点关注兆威机电、银轮股份、汉威科技以及电子链标的相关机会。（4）国内本体和应用垂类机会：宇树、智元、乐聚、银河通用等陆续上市，关注供应链亿嘉和、翔楼新材、东方精工、均胜电子、天奇股份、威亨国际、上纬新材、优必选（机械组覆盖）等。

（5）围绕长期确定性，布局“优质格局”的标的：重点关注奥比中光、英诺赛科、宁波华翔。

风险提示

行业竞争加剧；技术迭代不及预期；人形机器人量产进展不及预期。



内容目录

1、本体：星辰大海，27年有望开启初步商业化进程	6
1.1 商业化节奏：27年有望在部分场景具备商业化价值	6
1.2 国产机器人订单量超2万台，订单金额已超30亿元	7
1.3 技术瓶颈：硬件趋于收敛，大脑是激活大规模产业化的钥匙	10
1.4 商业化前景分析：始于工业，终局是家用	11
2、海外：特斯拉跨过向0-1，北美其他巨头开始涉足	13
2.1 特斯拉：即将步入上万台量产阶段，软硬件有待持续升级	13
2.1.1 当前进展：运控能力领先，大脑智能化有待突破	13
2.1.2 未来技术迭代方向：灵巧手、热管理、驱动和算法	16
2.2 海外其他重点公司人形机器人进展	18
2.2.1 苹果：有望将App Store的生态逻辑复刻至机器人领域	18
2.2.2 英伟达：搭建生态，打通机器人大脑和算力生意	19
2.2.3 OpenAI：拥有机器人技术基因的大模型厂商，未来有望下场做本体	20
3、国内：商业化和技术迭代并行，本体上市潮到来	21
3.1 投融资持续活跃，本体企业产品、技术加速迭代	21
3.1.1 智元：联动产业链上下游伙伴，打造机器人生态圈	23
3.1.2 宇树科技：依托强自研体系，部件自主化率高	25
3.1.3 乐聚：外部合作不断补强硬件与软件能力	27
3.1.4 银河通用：联合硬件供应商与终端，推进多场景应用	29
3.1.5 优必选：人形机器人第一股，产品广度布局领先	31
3.1.6 傅利叶：康复机器人布局领先	32
3.2 商业化路径百花齐放，软件硬件各有千秋	33
3.2.1 商业化：飞轮效应显著，商业化奇点出现在即	33
3.2.2 竞争格局：五大类厂商各有侧重，制造、算法、品牌效应多点开花	34
4、推荐赛道：新技术、确定性高、格局优	38
4.1 新技术：高性能需求牵引，硬件收敛边际加快	38
4.1.1 新型电驱动技术	38
4.1.2 电子手套	41
4.1.3 丝杠新技术	42
4.1.4 薄壁交叉滚子轴承新技术	46
4.2 供应链发包在即，确定性较高的公司具备超额收益	48
4.3 格局优：peek材料、GaN驱动、深度相机、谐波减速器等环节具备较高的市场集中度	50
4.3.1 PEEK：宁波华翔为全球产能、技术龙头	50



4.3.2 GaN 驱动器：功率器件的“三高一小”革命，关注龙头英诺赛克、宏微科技..... 51

4.3.3 深度相机：奥比中光为全球龙一，技术壁垒极高 54

4.3.4 谐波减速器：绿的谐波国产市占率第一，机器人进展领先 56

5、风险提示..... 56

图表目录

图表 1：人形机器人发展图谱 6

图表 2：人形机器人产品价值及成本曲线 6

图表 3：25H1 人形机器人中标项目应用领域分布 7

图表 4：人形机器人商业化落地情况 7

图表 5：2025 年国产人形机器人订单情况 7

图表 6：千台及以下级别人形机器人订单企业一览表 8

图表 7：2025-2040 年中国人形机器人产业规模预测 10

图表 8：大模型可以分为非具身大模型、具身智能大模型 11

图表 9：国内外典型大模型 11

图表 10：人形机器人下游应用场景 12

图表 11：特斯拉人形机器人规划场景 13

图表 12：Optimus 和人类工作人员“过招”练功夫 13

图表 14：特斯拉人形机器人历代性能迭代 14

图表 15：特斯拉机器人未来规划和量产节奏 16

图表 16：人类灵巧手包括 29 个关节 16

图表 18：特斯拉 Optimus 灵巧手迭代情况 17

图表 19：机器人散热风道设计 17

图表 20：智元机器人模组中加入散热设计大幅改善温升 17

图表 21：人形机器人工作能力当前处于 L2 级别，有待往 L5 提升 18

图表 22：2019-2024 年 App Store 生态系统全球开发者营业额和销售额 18

图表 23：苹果人形机器人未来规划 19

图表 31：国内机器人本体企业融资金额累计超百亿 22

图表 32：部分机器人本体企业上市进展 22

图表 33：国内机器人本体企业进展不断 23

图表 34：部分国内本体厂商出货量及规划 23

图表 35：智元和苹果战略定位高度相似 24

图表 36：智元机器人本体产品介绍 24

图表 37：智元机器人生态伙伴 25



图表 38:	宇树科技机器人控制算法示例	26
图表 39:	宇树科技机器人本体产品介绍	26
图表 40:	宇树机器人生态供应链	27
图表 41:	乐聚机器人科研教育落地体系	28
图表 42:	乐聚人形机器人产品	28
图表 43:	乐聚机器人生态供应链	29
图表 44:	银河通用智慧零售太空舱	29
图表 45:	银河通用机器人 Galbot G1	30
图表 46:	银河通用机器人生态及供应体系	31
图表 47:	优必选自研工业人形机器人协作智能体 Co-Agent	31
图表 48:	优必选人形机器人涵盖工业级、商业级等多场景产品	32
图表 49:	傅利叶康复机器人领先	32
图表 50:	傅利叶智能机器人本体产品矩阵	33
图表 51:	本体企业商业化存在飞轮效应	33
图表 52:	25H1 人形机器人中标项目应用领域分布	33
图表 53:	人形机器人商业化落地情况	34
图表 54:	部分国内机器人本体企业商业化路径对比	34
图表 55:	人形机器人本体企业分类和对比	35
图表 56:	国内核心本体厂商制造能力比较	36
图表 57:	优必选大扭矩伺服驱动器	37
图表 58:	宇树 H1 搭载大扭矩高功率 M107 关节电机	37
图表 59:	银河通用三层及大模型系统	37
图表 60:	GraspVLA 七大泛化金标准	37
图表 61:	国内核心本体厂商订单情况比较	38
图表 62:	谐波磁场电机新设计主要方向	38
图表 63:	谐波磁场电机打破励磁和电枢单元的极对数相等限制	39
图表 64:	谐波磁场电机的主要两项性能指标为平均转矩和转矩波动	39
图表 65:	SiC 与 GaN 核心性能参数对比	40
图表 66:	旋转变压器按用途分类示意图	40
图表 67:	新型电驱动解决人形机器人核心痛点	41
图表 68:	特斯拉机器人最新展出的电子手套	41
图表 69:	用于智能可穿戴数据手套的不同类型传感器材料与性能规格	42
图表 70:	PEEK 材料的主要供应商	43
图表 71:	PEEK 五种加工工艺	43
图表 72:	陶瓷材料主要应用领域及代表企业	43



图表 73:	滚柱丝杠可分为标准式、反向式、循环式、差动式和轴承环式五种类型	44
图表 74:	车铣磨加工流程图	45
图表 75:	磨削工艺精度最高, 是市场上的主流技术方案	45
图表 76:	薄壁交叉滚子轴承可替代传统双支撑结构轴承, 结构简单且节省空间	46
图表 77:	薄壁交叉滚子轴承不同细分类型可适应多样化的应用需求	46
图表 78:	薄壁交叉滚子轴承核心参数参考	47
图表 79:	交叉滚子轴承各零件结构及加工工艺	47
图表 80:	交叉滚子轴承各环节技术壁垒与国内外情况对比	48
图表 81:	特斯拉机器人相关的主流产业链企业已开始在泰国建厂	48
图表 82:	特斯拉各环节潜在供应商	49
图表 83:	2024 年末我国 PEEK 产能规模约 7200 吨	50
图表 84:	宁波华翔绑定吉林大学 PEEK 材料权威技术团队	51
图表 85:	分立方案总损耗相较 Si 方案降幅达 39%	52
图表 86:	合封方案总损耗相较 Si 方案降幅达 39%	52
图表 87:	相同散热条件下, GaN 器件温度比 Si 方案低 23°C 以上	52
图表 88:	中科阿尔法推出具身机器人氮化镓驱动器关节模组	53
图表 89:	公司推出两款高性能 GaN 低压电机驱动方案	53
图表 90:	宏微爱赛 CTO 崔崧发表《氮化镓器件赋能人形机器人关节电机发展》主题报告	54
图表 91:	奥比中光在中国服务机器人 3D 视觉传感器市占率超过 70% (2022 年)	55
图表 92:	奥比中光是唯一拥有所有底层深度相机技术的公司	55
图表 93:	公司主要产品	56
图表 94:	2022 年我国谐波减速器市场竞争格局	56

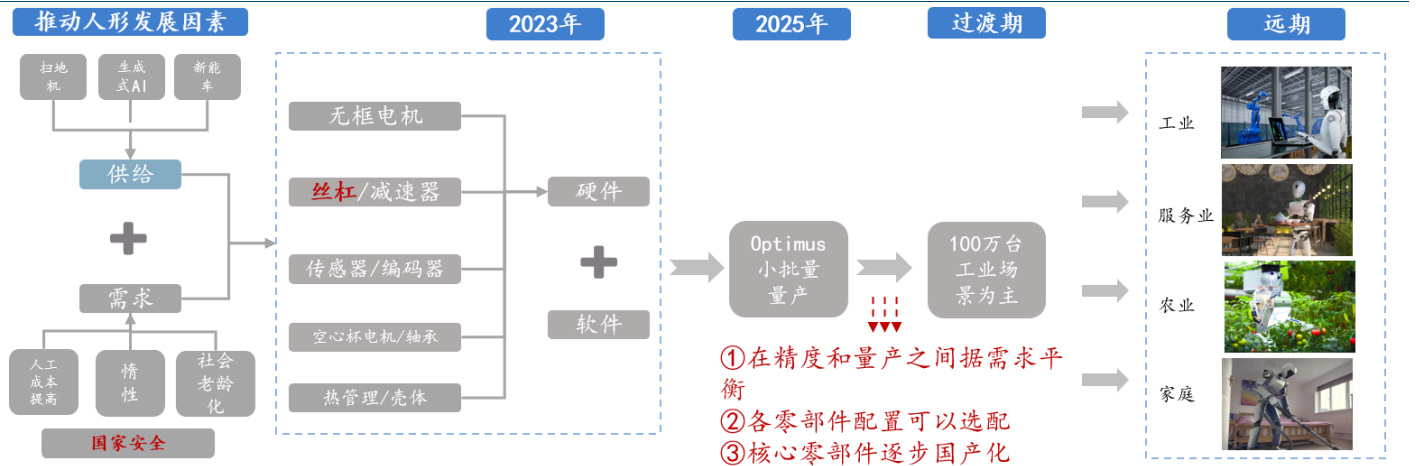


1、本体：星辰大海，27 年有望开启初步商业化进程

1.1 商业化节奏：27 年有望在部分场景具备商业化价值

预计 2027 年，人形机器人将会在国内一般应用场景具备商业化价值。在以特斯拉为首的科技巨头持续发力投入以及人工智能技术不断进步的共同推动下，人形机器人产品和成本迭代速度显著加快，成为未来最确定的产业方向之一。从产品端看，25 年特斯拉人形围绕关节、灵巧手方案、算法训练等快速迭代，运动和认知能力大幅提升；从成本端看，随着丝杠、灵巧手、传感器等产业链迭代加速，大规模量产线的加速研发和投入使用，生产成本开始走向大幅度下降的通道。人形机器人会先从高人工成本、较低任务复杂度的领域开始迭代。

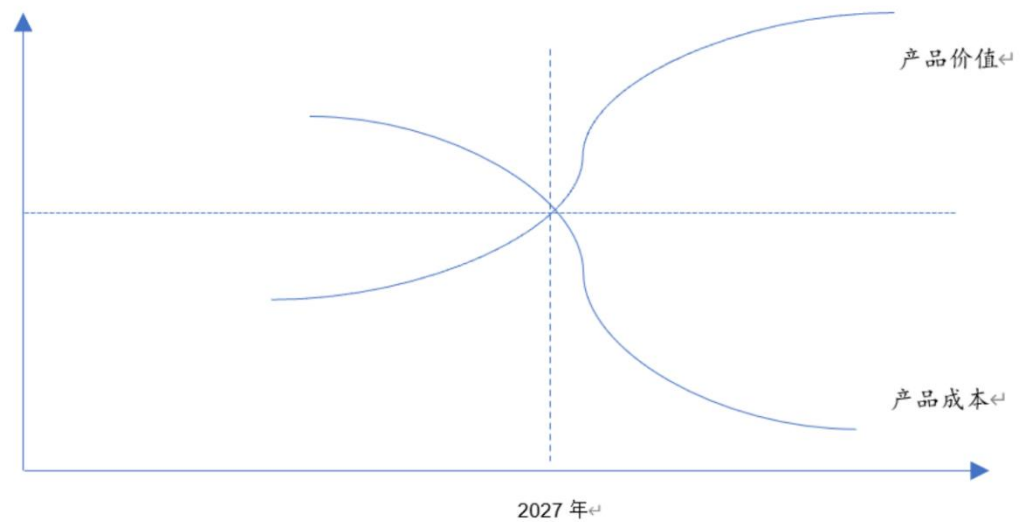
图表1：人形机器人发展图谱



来源：国金证券研究所

预计人形机器人成本将随着量产规模提升而快速下降，中期有望收敛至单机约 10 万元水平。从成本结构看，人形机器人 BOM 中占比较高的核心模块主要包括四大部分：感知与决策、旋转执行器、线性执行器以及灵巧手。预计 2027 年将成为人形产品价值和成本曲线交汇的关键点，人形将会在国内一般应用场景具备商业化价值。

图表2：人形机器人产品价值及成本曲线



来源：国金证券研究所

25 年人形机器人商业化落地场景主要集中在研发、数采，26 年导览、工业场景有望激活。

2025 年，人形机器人主要应用于高校科研和数采。25H1 人形机器人中标项目金额约 3.3 亿元，其中应用于教育科研领域约占 76%，政商服务占比约 23%。同时智元、帕西尼等本体厂商批量建设人形机器人数据采集与训练中心，扩充具身智能训练数据集，对人形机器

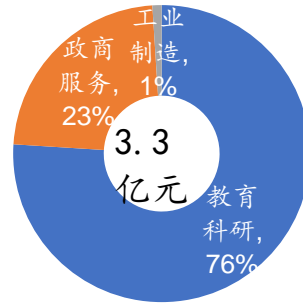


人开展场景化训练。

2026 年，人形机器人商业化应用将进一步落地，工业、导览等场景应用有望被激活。当前，小米、小鹏、广汽已明确提出 2026 年人形机器人量产计划，并预计优先将人形机器人应用于自身的智能化工厂。奇瑞提出 2026 年千台量产计划，预计将人形机器人应用于 4S 店导览。未来，人形机器人有望实现全场景规模化应用，成为填补劳动力缺口、提升社会生产效率的重要力量。

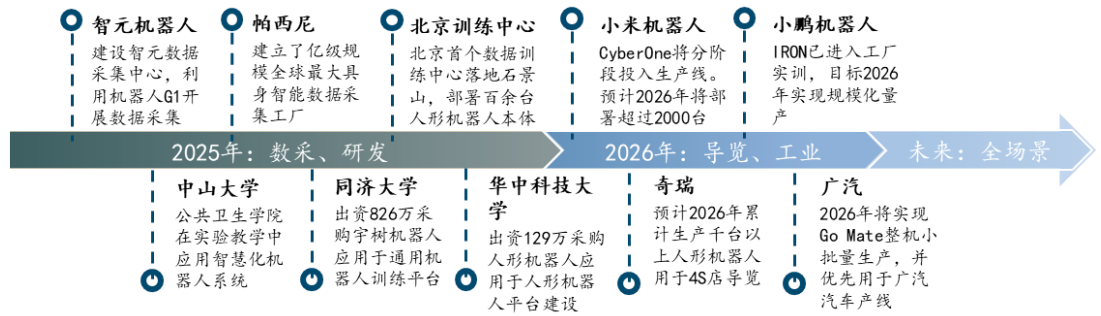
图表3：25H1 人形机器人中标项目应用领域分布

25H1人形机器人中标项目应用领域分布



来源：新战略机器人，国金证券研究所

图表4：人形机器人商业化落地情况



来源：新战略机器人，国金证券研究所

1.2 国产机器人订单量超 2 万台，订单金额已超 30 亿元

2025 年，国产人形机器人订单规模已实现显著突破，行业累计在手订单数量已超过 2 万台，预计全年交付量有望达到上万台，产业链正加速迈向量产阶段。从订单金额看，当前国产厂商累计获得订单金额已超过 30 亿元，其中优必选今年以来累计订单金额已超 6.3 亿元，星尘智能约 5 亿元，银河通用达 7 亿元及以上，智平方接近 5 亿元；同时，订单交付节奏整体较快，千台级及以上订单交付周期通常在 1-2 年，数百台级订单交付周期则缩短至数月，显示出产能爬坡与供应链协同能力正在快速成熟。

图表5：2025 年国产人形机器人订单情况

公司	时间	客户	金额	数量	型号	交付节奏	金额 (亿元)	数量 (台)
优必选	2025/10/15	知名汽车上市公司	超 3200 万	未披露	walkerS2 为主	计划于 2025 年内完成交付		
	2025/10/16	广西具身智能数据采集及测试中心	1.26 亿元	未披露	包括 Walker S2	计划于合同签署后于 2025 年内完成交付。		
	2025 年累计	汽车厂、数据采集中心等	超 6.3 亿元	未披露	未披露	\	6.3	
智元	2025/7/12	中国移动杭州公司	7800 万元	未披露	全尺寸双足人形机器人公司	未披露		
	2025/9/5	湖北光谷东具身智能	3102 万元	未披露	未披露	工期\交货期\服务器 30 天	1.09	



		技术有限公司(招标人)						
宇树	2025/7/12	中国移动杭州公司	4605 万元	未披露	小尺寸双足人形机器人、五指灵巧手、算力背包	未披露	0.46	
乐聚	2025 年	未披露		1000-2000 台		2025 年交付		1500
	2025\8\22	北京石景山产业发展有限公司	8295 万元	未披露	未披露	工期\交货期\服务器 10 天	0.83	
越疆		瑞德丰	8050 万元	未披露	未披露	未披露	0.8	
松延动力	截止 2025 年上半年	科研机构、商业及公共服务客户	超 1 亿元	超 2000 台	未披露	目标 2026 年交付达到万台	1	2000
原力无限		时华文旅控股集团	2.6 亿元	未披露	未披露	未披露	2.6	
星尘智能		仙工智能	5 亿元	千台级	未披露	下半年计划数百台、两年内分阶段部署上千台	5	
银河通用	2025/9/15 前	药企、科研机构、政府机关等	7 亿元及以上	1000 台	未披露	2025 年千台左右	7	1000
众擎	2025\9\12	多伦科技	未披露	2000 台	未披露(单台最低 4.2 万元)	未来三年(2025 年约 500 台, 从 Q4 开始, 月产 100~150 台/月)	0.84	2000
智平方	2025\9\11	深圳慧智物联	近 5 亿元	1000 台	未披露	未来三年	5	1000
天太机器人	2025\8\20	未来机器人、未来数科、港仔机器人	未披露	10000 台	人形机器人	未披露		10000
天链机器人	2025\9\15	工业制造企业、科研机构、政府部门	4 亿元	1000 台	未披露	一期生产 1000-3000 台; 二期逐步扩大生产规模	4	1000
合计			超 30 亿元	超 1.8 万台			35.20	18550

来源: 各公司官网, 各公司官方公众号, 亿欧网, 国金证券研究所

企业订单规模差异显著, 千台以内订单为行业主流。从订单结构看, 人形机器人订单规模从小几百台到数万台不等, 分布跨度较大。其中, 千台以内订单占据当前行业主流; 能够获得千台以上、乃至万台级订单的企业, 通常具备较强的运控能力和综合布局。

从行业参与者角度看, 机器人赛道参与主体数量显著高于整车行业, 主要源于以下三方面因素:

- 模块化程度较高: 机器人技术具备较强的模块化特征, 部分细分领域对系统整合能力低于整车制造, 初创企业可凭借算法、传感器或执行器等单点优势进入市场。
- 应用场景高度分散且多元: 机器人覆盖工业、物流、医疗、家庭、教育等多类场景, 不同场景对应不同技术路径和商业模式, 吸引大量差异化参与者进入。
- 初始资本投入门槛较低: 相较整车行业, 机器人纯硬件本体研发和试产所需资金规模更小, 资金准入门槛较低, 推动参与主体快速扩张。

图表6: 千台及以下级别人形机器人订单企业一览表

企业	订单金额	订单规模	量产规划及产能情况	交付情况	采购背景	应用场景	产品及售价信息
零次方机器	数千万元, 总额/近亿		2025 年交付 500 台机器人		科研教育机构、数据中心、酒店服务行业、文旅展览领域	科研教育、数据中心、酒店服务和文旅展览场景	Zerith-H1 轮臂人形机器人(9.9 万)、Zerith Z1 通用人形机器人(约 29.75 万元)
星动纪元	/	800 台左右		已交付 300 台	科技巨头、高校与科研机构、工业物流企业、海	迎宾导览、医院导诊、高校与科研机构、工业	星动 STAR1、星动 Q5 (40~50 万元)、星动 L7 (100 万元左右)



					外订单占比近 30%，客户包括德国宝马、中车等	物流、商业服务	
傅利叶	/	/	2025 年交付 300 台	已交付百余台	高校、医院、科研、教育、4S 店、科幻	医疗康养(核心)、导览、互动、科研教育、工业实训等	GR-1 (70 万)、GR-2 (70-90 万)、GR-3 (80 万元起)、Fourier N1 (9.8 万)
加速进化	/	/	100 台 / 月左右	已出货数百台	超过 50% 为全球订单，高校与科技公司	科研教育、赛事表演	Booster T1 (19.9 万元)
开普勒机器人	/	/	2025 年目标量产数百台，2026 年计划千台级别。年产能约 500 台	2025 年 8 月开始量产	车企物流、5 所高校科研订单	工业场景、科研教育	K2 “大黄蜂” 系列 (24.8 万元起)
跨智能	数千万元	/	/	/	/	商业服务、智能制造	DexForce W1 Pro (20~50 万); DexForce W1 Cor (15~30 万)
清宝机器人	5000 多万元	/	/	已交付 2000 多万元订单	科研教育机构、商业服务企业、工业企业、政府及公共服务部门	商业服务、文旅导览、医疗陪护	20 万元至 30 万元
优理奇	/	300 台左右	年目标交付 500 台	/	酒店集团、物业公司、养老集团、社区公园	酒店、物业、养老等 B 端场景	Wanda 2.0 轮式双臂机器人 (8.8 万起)
魔法原子	/	数百台	2025 年预计 400 台	/	无锡市政府、工业领域头部企业	工业、商业及家庭	Magicbot Z1 (标准版 5 万，开发板 6 万)、Magicbot Gen-1 (78 万)
云深处	/	/	/	/	国家电网央企，单项目金额较高	工业定制场景	DR01 通用人形机器人 50 万元以上工业定制项目
逐际动力	/	/	2025 年 Q3、Q4：开放预订后启动小批量生产；首批订单优先交付科研机构与战略合作伙伴；2026 年：计划年产突破千台，覆盖工业、商业场景需求	/	高校、智能设备企业和科技公司	巡检、安防、配送、科研教育	多形态双足机器人 TRON 1 (6.98 万起)，科研平台型人形机器人 LimX Oli (15.8 万元起)
擎朗智能	/	/	Q2 新增 12 个酒店餐饮订单，下半年预计出货 30 台	/	酒店餐饮企业、高校与科研机构	酒店与餐饮行业、教育、科研、海外市场	轮式双臂人形机器人 XMAN-R1，双足人形机器人 XMAN-F1
普渡科技	/	/	2025 年计划量产超 500 台 (适服务机器人)	/	/	商用服务领域 (酒店、医疗、零售等行业)	PUDU D7、PUDU D9

来源：各公司官网，各公司官方公众号，亿欧网，国金证券研究所

从产业落地节奏来看，人形机器人商业化预计将遵循由结构化工业场景向半结构化商业服务场景，再向开放式家庭生活场景逐步渗透的演进路径。

2025-2030 年：由初级智能阶段迈向中级智能化阶段。预期 2025 年至 2030 年人形机器人将主要应用于工业场景，承担较为简单的重复性服务。2030 年，中国人形机器人产业市场规模有望达到 2383 亿元，较 2025 年实现 40 倍以上增长。

2031-2035 年：中级智能化阶段。随着数据的积累以及算法的优化，预期 2031-2035 年人形机器人有望拓展至半结构化场景，布局商业服务领域，提供人性化的商场导购、展览讲解等服务。预计到 2035 年中国人形机器人产业市场规模将突破万亿元。

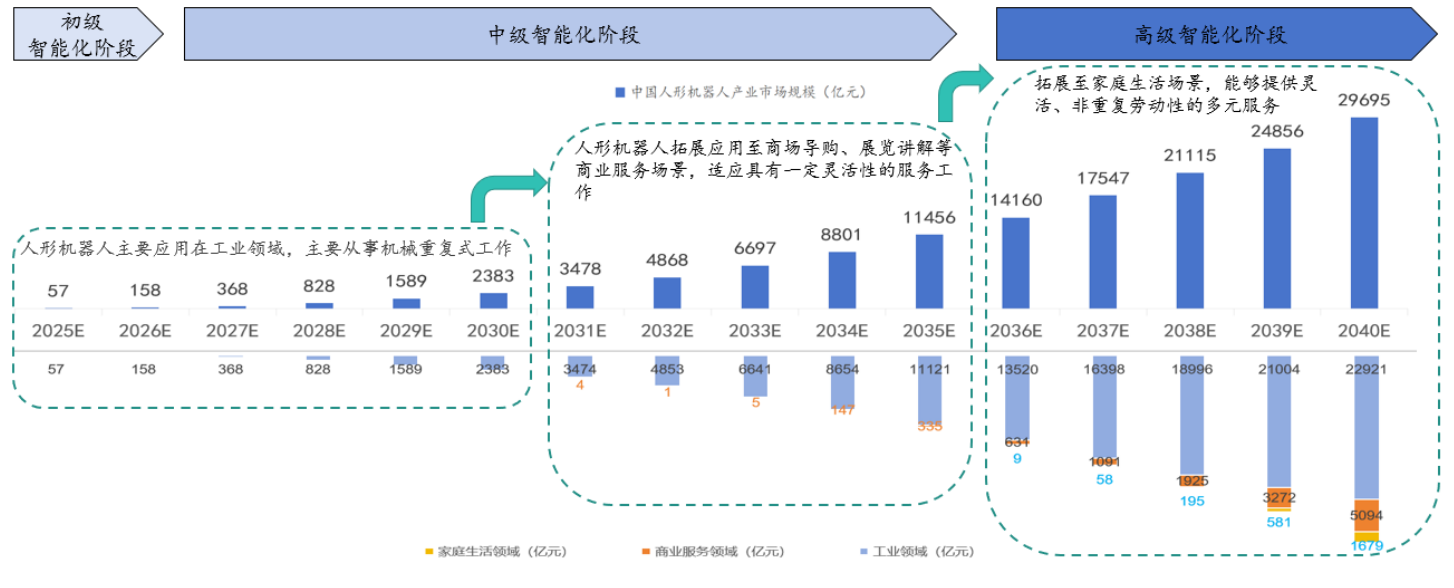
2036-2040 年：开启高级智能化阶段。2035 年及之后，人形机器人或将进入家庭生活场景，提供灵活、多元的家庭服务，满足用户日常家庭生活需要。同时，工业应用场景仍将保持稳定增长，复合增速有望维持在 10% 以上。到 2040 年，中国人形机器人产业规模有望接近 3 万亿元。

马斯克曾在 CES 2025 期间对人形机器人的远期状态做出前瞻性判断，为上述产业演进路径提供了长期空间层面的参考。其指出，随着 AI 在未来 3-4 年内具备完成绝大部分认知型工作的能力，人形机器人将成为 AI 能力向现实世界延伸的重要载体。在此基础



上，马斯克进一步对人形机器人的长期需求进行外推，认为人形机器人和人类的数量比例有望达到 3:1-5:1，对应全球人形机器人保有量可达 200-300 亿台。

图表7：2025-2040年中国人形机器人产业规模预测



来源：亿欧智库，国金证券研究所

1.3 技术瓶颈：硬件趋于收敛，大脑是激活大规模产业化的关键

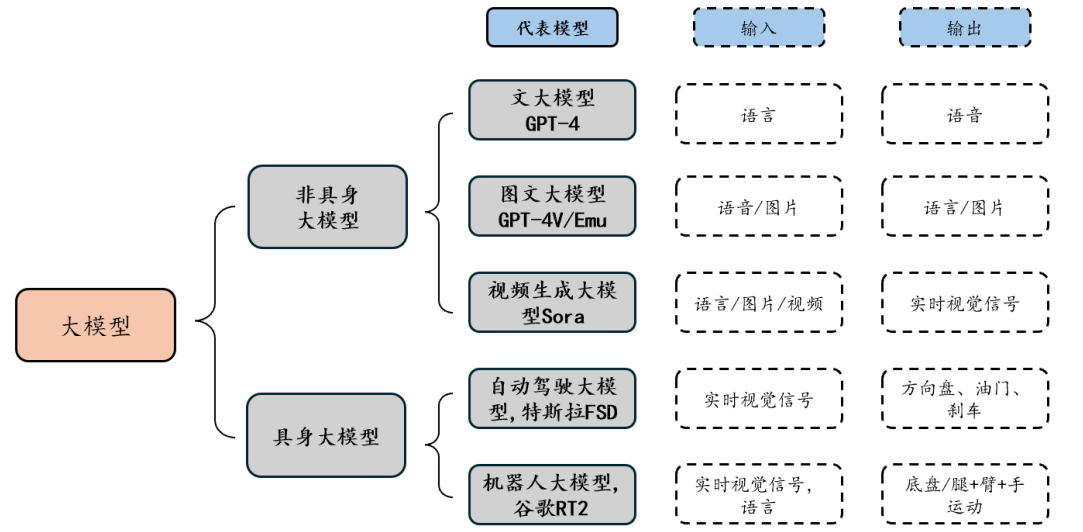
目前限制人形机器人大规模量产的重要因素是大脑进化。机器人逻辑架构由“大脑”+“小脑”+肢体组成，目前人形机器人“肢体”硬件方案趋于收敛，硬件发展整体走在软件之前。大模型是现阶段“大脑”的最佳解决方案，为人形机器人提供任务级交互、环境感知、任务规划和决策控制能力。伴随着 AI 大模型的迭代，机器人“大脑”实现产业实现跨越式发展，智能化程度有望提升。

从物理空间的角度来划分，大模型可以分为非具身大模型、具身智能大模型，区别在于服务对象的不同。

- 非具身大模型：服务于人类，输出的内容是给人看或者给人读，更多还是在人机交互、内容生成等方面展现价值。这类模型输入模态是语言、图片和视频，输出模态是语言、图片和视频。具体又可分为：
 - ✓ 语言大模型：以自然语言处理为核心，主要用于文本生成、机器翻译、情感分析等任务，代表模型如 GPT 系列。
 - ✓ 视觉大模型：以图像或视频数据处理为核心，主要应用于图像识别、目标检测与视频理解等领域，代表模型如 Emu 等。
 - ✓ 多模态大模型：融合文本、图像、音频、3D 点云及各类传感器数据，实现跨模态理解与交互，代表模型包括 Sora 等。
- 具身大模型：服务于机器，其输出的内容是需要机器人能够理解、并最终要转化为具体可执行动作的控制指令，以机械臂为例，最终输出可能就是电机的控制信号。具身大模型可分为自动驾驶大模型和机器人“大脑”，代表模型如 Tesla FSD、谷歌 RT2、智元机器人的 GO-1 等，具身大模型输入的是视觉、语言信号，输出的是三维物理世界的操作。



图表8: 大模型可以分为非具身大模型、具身智能大模型



来源: 各公司官网, 国金证券研究所

国内外典型的具身智能大模型有谷歌 RTX、英伟达 GROOT、斯坦福李飞飞团队的 VoxPoser 以及 Meta 和 CMU (卡内基梅隆大学) 联合打造的 RoboAgent 等。国内典型的具身智能大模型有华为盘古大模型、阿里云大模型等。

图表9: 国内外典型大模型

大模型	发布团队	简介
PaLM-E	柏林工业大学和谷歌团队	在 PaLM 模型基础上, 引入了具身化和多模态概念, 参数量高达 5620 亿, 实现了语言、视觉用指导现实世界机器人完成相应任务的功能。
RT-x	谷歌	全球第一个控制机器人的视觉-语言-动作 (VLA) 模型, 基于 Transformer 模型, 通过将预训练与机器人数据相结合, 能够到直接输出机器人的各个关节的控制。
VoxPoser	斯坦福大学李飞飞团队	从大型语言模型和视觉-语言模型中提取机会和约束, 以构建 3D 价值地图, 来供运动规划器使用, 用于零样本合成日常操纵任务的轨迹, 从而在现实世界中的零样本机器人操纵。
RoboAgent	Meta 和 CMU 联合打造	通过在现有机器人经验的基础上创建一个多样化的语义增强集合来倍增离线数据集, 并采用一种具有高效动作表示法的新型策略架构, 以在数据预算范围内恢复高性能策略。
GROOT	英伟达	能够驱使机器人理解自然语言、视频和人类演示等多模态指令从而增强学习技能和处理任务的协调性和灵活性; 使其模仿人类动作以更快融入现实世界并与人类进行互动。
机器人模型	阿里云	集成了通义千问、通义万相等基础模型及阿里云物联网平台, 可赋予机器人知识库问答、工艺流程代码生成、机械轨迹规划、3D 目标检测和动态环境理解等全方位能力, 不仅可以大幅降低机器人开发的门槛。
盘古大模型	华为	依托“盘古”大模型可建立丰富且高质量的人形机器人数据集, 并且发掘其多模态能力, 实现复杂任务场景下综合感知和任务分解, 提升各类泛化场景下的具身智能操作水平。

来源: 各公司官网, 国金证券研究所

总体来看, 当前制约人形机器人产业化进程的核心技术瓶颈主要在于以机器人脑为核心的智能化能力水平。人形核心算法包括上肢“眼—脑—手”协同的 manipulation 算法、自主识别和导航的循迹算法以及运动控制算法, 其中上肢控制相较下肢具备更高技术壁垒。目前多数本体公司主要展示下肢运控能力, 下肢相关数据集和开源算法相对成熟, 而上肢协作本质上依赖大脑控制, 尚缺乏成熟的数据集和模型, 需要大量数据和训练作为前置条件。部分下游应用企业反馈显示, 当前人形机器人在部分场景下的工作效率约为人类的 0.2 倍, 效率提升仍主要依赖硬件迭代以及大小脑算法的持续优化。整体而言, 人形机器人已由实验室阶段逐步进入场景试应用阶段, 其产业化进程仍受制于机器人脑泛化能力与数据积累水平。

1.4 商业化前景分析: 始于工业, 终局是家用

场景复杂度决定人形机器人运动控制能力需求, 根据运动控制能力需求强弱排序, 由弱到强为工业制造<商用服务<极端作业<家用服务, 预计人形机器人率先在工业制造场景应用训练后, 最终实现家庭服务场景应用。

- 工业制造场景: 工业制造场景特点为单一性和重复性工作, 工作特性导致其是人形机器人应用最易实现落地的场景, 并且有利于人形机器人实训获取高质量训练数据。目前已有特斯拉 Optimus、优必选 WalkerS、乐聚夸父人形机器人已经开始在汽车工厂



- 应用，负责搬运、质检等重复性工作。
- 商用服务：人形机器人商用领域包括餐饮快消、旅游/展馆、教育科研、医疗服务等。商用服务场景关注在于智能交互和替代人工培训环节，人形机器人能够节约培训时间直接上岗，在小范围的可控条件下能实现少量复杂任务，在展览讲解、科研场景已经落地。
 - 极端作业场景：极端作业场景包括能源化工、灾害救援、水下&太空作业、军事作业等，各细分场景环境特征差异较大，某一特定特种场景下的训练难以泛化到其他场景，目前在应对环境特点的运动控制能力、高精度操作能力以及复杂任务智慧生成仍有待攻克。
 - 家用服务场景：人形机器人的家用场景需要使用复杂空间环境、灵活控制、多功能人机交互，多数时间均在非标准化场景，对高随机性、复杂性场景运动控制要求较高。目前人形机器人暂时未能实现在家用环境应用，未来依靠在工业、商用场景落地后，经过优化迭代升级，远期有望逐步落地，打开 toC 端需求空间。

图表10：人形机器人下游应用场景



来源：亿欧智库，国金证券研究所

从商业化路径看，以特斯拉为例，其人形机器人整体采取由工业场景起步，逐步向家庭场景、再向商业场景扩展的落地策略。其核心逻辑在于，不同应用场景在环境复杂度、任务标准化程度与安全容错要求方面存在显著差异，决定了商业化推进的先后顺序。

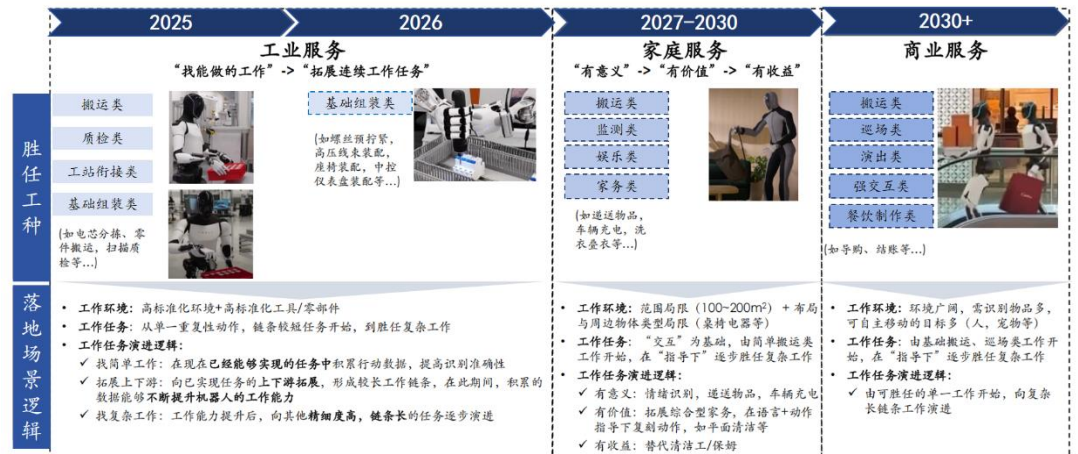
2025-2026 年阶段，特斯拉将聚焦工业场景。工业场景具备高度标准化的工作环境与工具体系，任务类型相对单一重复，适合作为人形机器人商业化的起点。任务演进路径上，通常先从简单、可拆解的工作入手，以持续积累真实行动数据、提升识别与执行准确性，再逐步向上下游任务延伸，并最终拓展至精细度更高、任务链条更长的复杂作业。

2027-2030 年拓展至环境范围有一定局限性、且周边物体类型相对局限的家庭服务场景。商业化推进过程中，人形机器人预计将优先从具备明确价值的单一任务切入，如物品递送等，随后逐步覆盖综合性家务场景，最终完全替代清洁工/保姆。

2030 年以后有望迈入商业场景。此类场景面临开放、多变的人机环境，落地难度较高。其任务演进逻辑仍将遵循由可胜任的单一工作起步，逐步向复杂、长链条工作的路径推进。



图表11: 特斯拉人形机器人规划场景



来源: 特斯拉官网, 国金证券研究所

2、海外: 特斯拉跨过向 0-1, 北美其他巨头开始涉足

2.1 特斯拉: 即将步入上万台量产阶段, 软硬件有待持续升级

2.1.1 当前进展: 运控能力领先, 大脑智能化有待突破

特斯拉运控水平强, 综合水平全球第一, 是海内外机器人的参考和学习对象。2025年5月 Optimus 已具备初步的肢体协调能力, 掌握了舞蹈动作, 还能同步学习人类日常劳动工作。2025年10月4日马斯克在社交平台 X 上发布了一段 Optimus 学习中国功夫的视频, 并声称机器人由 AI 驱动, 而非遥控操作, Optimus 的运控能力进一步提升。尽管 Optimus 运动能力强, 但其认知推理的泛化性严重依赖训练数据场景, 难以处理开放环境中的非结构化任务。

图表12: Optimus 和人类工作人员“过招”练功夫



来源: 财联社, 国金证券研究所

图表13: 特斯拉运控水平展示



来源: 特斯拉 Optimus 官方推特账号, 国金证券研究所

从迭代节奏看, 特斯拉机器人在软硬件路径上持续调整。从 Optimus 的多轮迭代可以看出, 其技术演进呈现出清晰的软硬件分工升级路径: 硬件侧由早期的本体可动性与结构验证, 逐步转向关节、驱动、手部与能效体系的工程化优化, 重点解决稳定性、可靠性与量产可行性问题; 软件与系统侧则持续强化运动控制、感知融合与任务规划能力, 使机器人从单一动作执行演进至多任务、自主与协作运行。随着硬件成熟度提升, 迭代重心正逐步向系统级能力与软硬协同倾斜。



图表14: 特斯拉人形机器人历代性能迭代

日期	机器人功能变化	展示软件变化	展示硬件变化	背后供应链变化
2021年8月	概念推出, 设计目的帮助人类执行危险、重复和枯燥的任务	-	设计规格: 身高约 173cm, 体重约 57kg, 最大负重约 20kg	概念阶段, 尚无明确合作商
2022年10月	首个原型展示, 展示行走和浇花等基础物体处理能力	使用特斯拉自动驾驶技术中的视觉和自主决策算法	14个线性执行器(无框电机+丝杠+控制器+轴承等)、14个旋转执行器(无框电机+减速器+控制器+轴承等)、11自由度灵巧手(空心杯电机+蜗轮蜗杆+腱绳结构)	21年8月到22年10月开始挖掘到潜在合作商: 总成三花和拓普, 减速器绿的谐波和哈默纳科, 手部 Maxon 和鸣志电器
2023年3月	(1) 机器人自己制造自己, 展; 单腿站立和弯腰拾取物体; (2) Optimus 的手部灵活性和抓握能力有所改进, 使其能够处理较小的物体和执行更精细的操作, 如拾取杯子、使用工具等	控制能力提升	2023年的版本在传感器方面进行了升级	挖到的供应商更加完善, 轴承商因技术协同优势转做丝杠, 齿轮公司因技术协同优势转做减速器(如五洲、斯菱做丝杠, 双环、中马传动做减速器)
2023年5月	多机器人同步演示, 展示团队协作能力	控制能力提升	\	期间新型减速器出现, 系承载力要求提升和降本诉求, 双环传动在为特斯拉提供一种结合谐波和RV减速器的新型减速器, 股市开始演绎减速器板块, 预计出现在后面几代人形机器人中
2023年9月	自主对物体进行分类(1) 灵巧手采用指尖点阵式力传感器, 完成精细抓取动作; (2) 实现瑜伽的拉伸动作, 展示了强大的运动与平衡能力	算法提升, 自行纠错+抗干扰能力提升, 神经网络完全本地运行, 无须联网, 对芯片的算力要求提升对物体进行手动分类的能力接近谷歌发布的【RT-2】模型展示	仅用【纯视觉系统+关节位置编码器】, 可自动校准手臂和腿在空间中的准确位置, 从而可以更高效地学习任务摄像头和编码器成熟供应商较多, 此方案可有效减少对高性能传感器的依赖, 有利于降本	新增指尖触觉传感器
2023年12月	Optimus Gen2 亮相: 1、行走速度提升+30% 2、减重 10kg 3、可完成深蹲 4、精细操作(二指捏鸡蛋)	/	新增触觉传感器细节、足部力和力矩传感器(市场推测采用了六维力矩传感器)、轻量化材料 1) 手捏鸡蛋(压力式触觉传感器, 单指 12*8 像素, 仅指腹); 2) 拥有 2 个自由度脖颈(颈部可有传感器); 3) 实现 30% 的行走速度提升(算法提升); 4) 足部仿真人足几何学(力/力矩传感器); 5) 重量减轻 10kg(轻量化材料, 长期可能减少关节数量, 提升电池能量密度等); 6) 扎马步动作(IMU 保持平衡); 7) 11 自由度全新灵巧手(空心杯、手指谐波减速器或行星增加)	(1) 手部灵活度提升, 需要使用六维力矩传感器, 但是因为六维力价格高, 出现一些降本方案, 如玻璃微熔, 因为可以实现大批量自动化生产以降本, 但是金属应变片方案依赖手工贴片; (2) 减重十公斤意味着使用了 PEEK 之类的材料进行了以塑代钢
2024年1-2月	展示家庭任务演示: 叠衣服	考验了机器人的手部精细操作和感知能力	依靠视觉和触觉传感器实现	基于传动效率和承载力要求, 手臂 4 根 T 型丝杠(传动效率 48%) 被要求换成行星滚柱丝杠(传动效率 90% 以上并且腰部可能新增两根滚柱丝杠)
2024年5月	分拆电池, 续航提升, 稳定性提升	续航能力可持续提升, 可行走的距离持续提升	传感器方面采用了 2D 摄像头、手部触觉传感器和力传感器	\



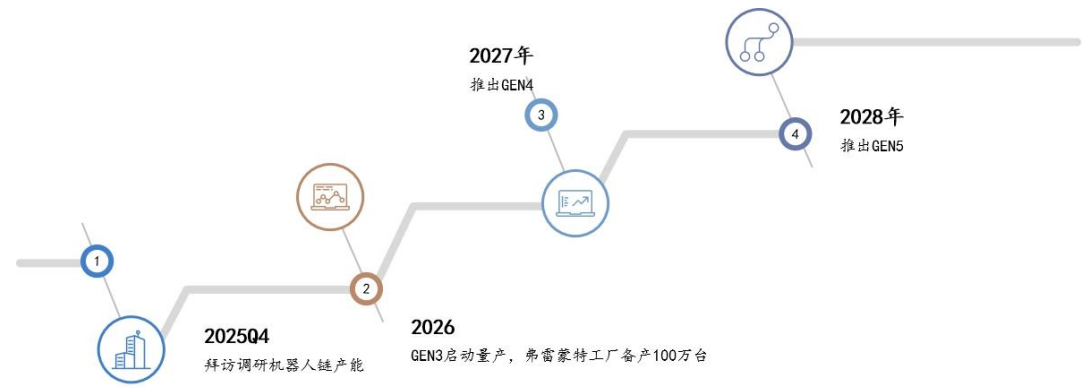
		升, 系算法能力提升所致		
2024年6月	特斯拉股东大会, 预计2026年可以实现, 届时将能完成各类复杂的任务; 并能够通过观看视频等方式学习	示教学习能力提升	提出第三代人形机器人灵巧手的自由度将由11个自由度提升至22个	\
2024年10月	机器人现场担任调酒师, 跳舞, 与人交流	互动性提高, 响应手势和语言指令, 协作工作演示	第三代灵巧手亮相	基于灵活度要求, 灵巧手向多自由度发展: 1. 电机数量由6个/手提升到17个/手, 丝杠数量由0提升到17根 2. 电机位置由手心转移到手臂 3. 电机方案由空心杯电机改成部分用无刷有齿槽电机 (主要由于降本诉求, 并且转移到手臂后空间限制减小, 无刷有齿槽电机的大体积劣势削弱)
2024年10月	视频展示执行复杂任务的能力, 步态平衡与稳定性提升	精确识别与环境感知, 自主避障与导航, 多模式指令响应, 即时反馈	\	\
2024年11月	视频展示用第三代手接网球	全身协调能力提升	左手换成了最新22自由度的灵巧手	自由度由6变成17个, 对应17个微型电机和微型丝杠, 电机的技术路线由空心杯电机改为无刷有齿槽电机, 丝杠的数量由0变成17个。
2024年11月	文字展示机器人灵巧手DOF增加到22, 手腕和前臂有3处	\	\	自由度变成22个, 手腕和前臂有3处。工程师提高年底扩展触觉传感集成, 通过肌腱进行精细的控制, 以及减少前臂的重量。
2024年12月	视频展示特斯拉在野外脚滑后重新保持平衡	室外复杂场景运动规划和平衡能力大幅提升	\	需要用到IMU
2025年4月	图片显示机器人灵巧手臂新增塑料	\	手部微型驱动器塑料使用量提升	PEEK材料单机应用量提升
2025年5月	视频展示机器人跳舞场景	考验了机器人的平衡能力和全身协调能力	\	IMU精准度提高
2025年5月	视频展示机器人在流水线上用三指抓取罐装物品并准确放入收纳盒, 可配合机械臂完成, 码垛工作	提高手部精细操作和视觉定位精确性	\	灵巧手稳定性提高, 指尖电子皮肤的精准度提高, 对视觉传感器的空间感知能力更高。
2025年9月	图片展示外观微调造型改为金色, 关节覆盖	\	外壳覆盖件更新为金属质感材料, 关节处使用柔性材料覆盖。	结构件更换, 外壳材料升级
2025年9月	视频展示外观造型调整为黑色, 可抓取空纸盒并倒入爆米花	提高机器人的手部精细操作和感知能力	外壳覆盖件升级	\
2025年11月	视频展示全新V3仿生手	提高全身协调能力与动作连贯性	采用与人类肌腱类似的驱动系统, 执行器位于前臂。大幅度减轻手部的重量和惯性, 过热和磨损的问题被解决	手部驱动器数量减少, 生产成本降低
2025年12月	视频展示机器人跑步场景, 跑步动作更加流畅, 清晰呈现“双脚同时离地”的阶段	提高全身协调能力与动作连贯性	\	\

来源: 特斯拉官方发布会, 特斯拉官方公开视频, 国金证券研究所

特斯拉产品迭代节奏明确, 量产拐点临近。根据特斯拉25Q3的业绩电话会, 预计Optimus Gen3将在26Q1设计定型, 并计划在26年年底投入量产。马斯克表示, Optimus3达到年产百万台后, 单台成本可控制在2-2.5万美元。2025年12月, 特斯拉团队在中国启动了对供应商的审厂工作, 为即将到来的Optimus Gen3的量产做好供应链验证。特斯拉人形采用年度发布周期, 每次都会有重大改进。公司也在同步推进Optimus第四代的机型研发, 预计将于2027年推出, 第5代则预计2028年推出。预计2026年弗里蒙特工厂启动年产100万台的生产线, 之后在德州建设年产能1000万台的生产线。



图表15: 特斯拉机器人未来规划和量产节奏



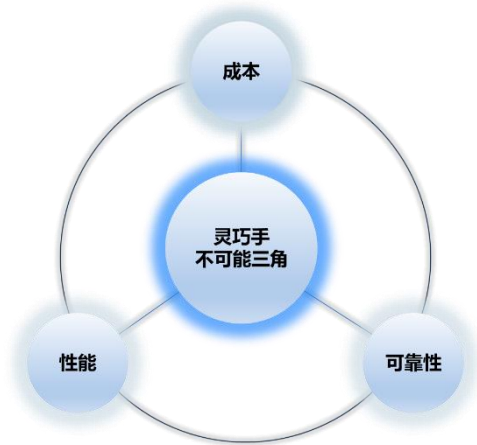
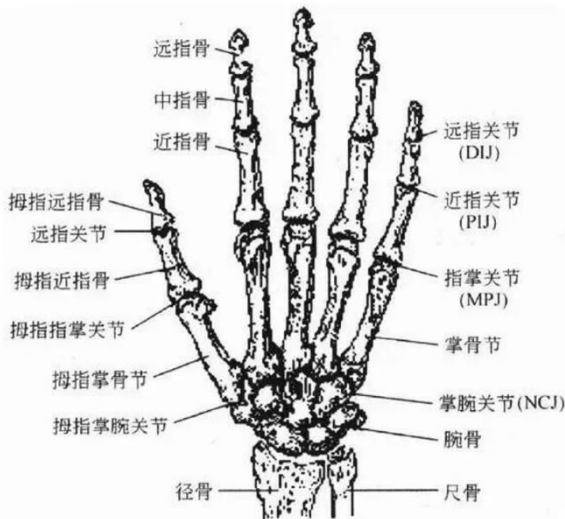
来源: 特斯拉 25Q3 业绩电话会, 智能新观察, 国金证券研究所

2.1.2 未来技术迭代方向: 灵巧手、热管理、驱动和算法

马斯克表示灵巧手和前臂是人形机器人制造中难度最大的,也是必须要解决的问题。灵巧手成本、性能和可靠性的不可能三角已经困扰行业许久。从工程控制角度看,灵巧手的复杂度显著高于机器人躯体,主要系灵巧手需要完成“视觉识别-力觉反馈-实时调节”的完整闭环控制,这种分层控制逻辑对于传感器精度、算法响应速度具备极高要求。成本方面,仅能实现拧瓶盖、抓取小物件的英国 Shadow Robot 灵巧手,行业预估单价超 10 万美元,单只手成本接近一台完整人形机器人。灵巧手面临空间极度受限与高功能、高精度需求并存的结构性矛盾,需要在极小体积内集成多自由度驱动、传动与感知系统,工程难度极高。

图表16: 人类灵巧手包括 29 个关节

图表17: 灵巧手不可能三角



来源:《机器人灵巧手——建模、规划与仿真》, 国金证券研究所

来源: 42号电波, 国金证券研究所

2024年10月和2025年11月,特斯拉公开展示了GEN2.5的灵巧手模型,预示GEN3的变化方向。预计GEN3灵巧手相比于GEN2的主要变化在于:

- 手部增加了自由度,单手自由度数量将从原本的11个提升到22个。
- 驱动器装载在了手腕部位,采用了PEEK保持架等,腱绳长度提升;
- 手掌触觉传感器面积增加,由原本的指尖传感器方案升级至覆盖全手的方案;
- 可完成复杂动态任务,比如接住飞行网球等。



图表18: 特斯拉 Optimus 灵巧手迭代情况



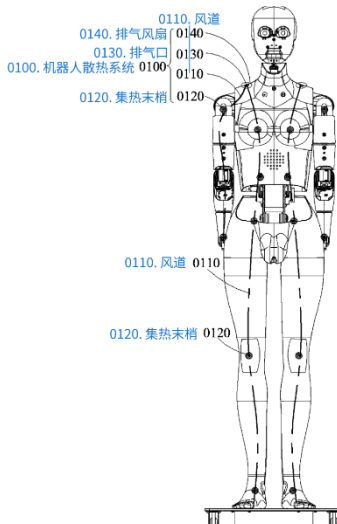
来源: 特斯拉 “We Robot” 发布会, 乐晴智库, 国金证券研究所

当前特斯拉以被动散热为主, 预计后续特斯拉散热方案将有较大调整。目前人形机器人散热能力不足, 散热主要有四大方案: 一是被动散热, 依赖自然对流和热辐射材料将热量散发到周围环境中, 不消耗额外能量, 结构简单、零功耗、高可靠性; 二是主动风冷, 通过风扇强制空气流动, 显著提高对流换热系数, 是目前消费电子和工业设备中最成熟、应用最广泛的主动散热技术; 三是液体冷却, 利用液体作为传热介质, 是目前散热能力最强的方案, 能够应对极高的热流密度; 四是包括相变材料、蒸发冷却、热电制冷以及仿生血管网络方案等的前沿及仿生方案。

针对不同的零部件, 推荐的散热方案不同:

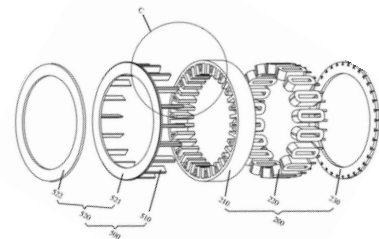
- 芯片/MCU/控制器类元件发热功率密度较高, 且对温度极为敏感, 通常需要配备热界面材料 (TIMs) + 散热器+主动冷却系统 (如风冷或液冷) 来保障核心部件温控稳定。定制化方案包括: 1) 热管+高密度鳍片模组; 2) VC 均热板; 被动散热机箱 (机箱外壳材料);
- 电机系统因持续运行产生大量热量, 且占据空间大, 常用 PCMs 或热管进行热缓冲与快速导热, 部分高负载系统还引入了液冷板。定制化方案包括: 1) 机壳螺旋液冷套、2) 机壳翅片化设计、3) 中空转子冷却;
- 电池系统则对过热尤为敏感, 除了常规的绝热包覆与热界面材料, 还可以引入加热单元提升低温性能, 或结合液冷循环系统实现大功率工况下的温度控制;
- 传感器、信号与控制电路发热相对较小, 但在精密任务中对温度波动有严格要求, 采用被动热控材料 (如导热片、石墨膜) + 局部风冷/导热支架组合使用。

图表19: 机器人散热风道设计



来源: 艾比仿生机器人, 国金证券研究所

图表20: 智元机器人模组中加入散热设计大幅改善温升



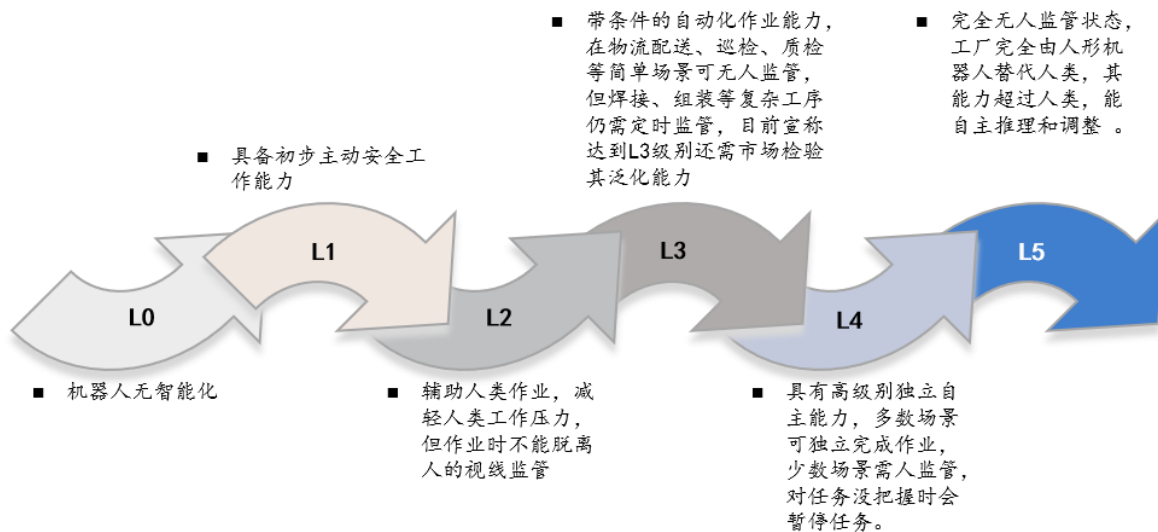
	时间(min)	MOSFET 温度(°C)	定子线圈的温度(°C)
相关技术中的关节模组	0	30.1	44.6
	24.3	79.9	87
	温升	49.8	42.4
本公开的关节模组 10	0	27.8	36.6
	45	79.4	81
	温升	51.6	44.4

来源: 智元机器人关节模组散热专利, 国金证券研究所

机器人算法可分为 L0-L5 六个等级, 特斯拉目前正处于 L2 向 L3 过渡阶段。L0 为无自主性, 即无任何智能化设计, L1 到 L5 级别智能化控制逐级提升, 达到 L5 时, 人形机器人可完全替代人类在工厂作业, 并拥有自主推理和调整能力, 不需要任何监管。由于相对于汽车对安全驾驶能力严格度略低, 因此不一定比 L5 级自动驾驶更晚到来。后续特斯拉的算法迭代方向在于更高的通过率、工作效率和运动化程度。



图表21：人形机器人工作能力当前处于L2级别，有待往L5提升



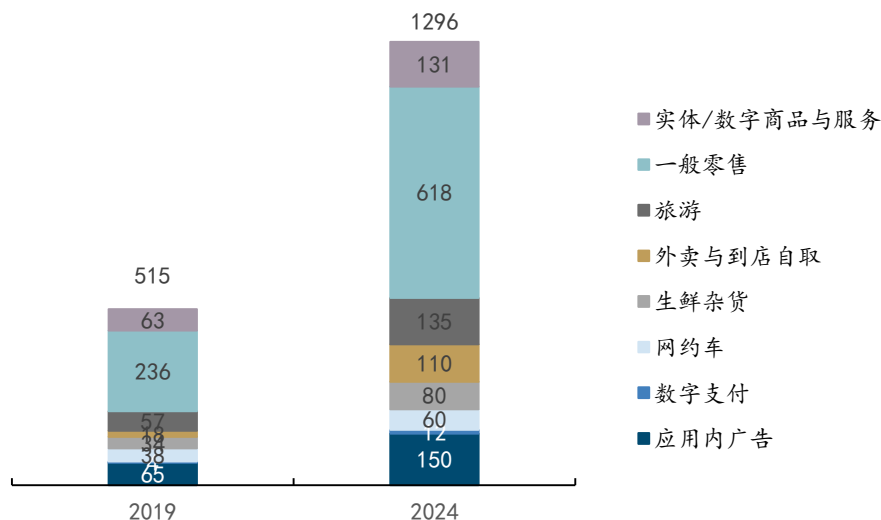
来源：中国信息安全，国金证券研究所

2.2 海外其他重点公司人形机器人进展

2.2.1 苹果：有望将 App Store 的生态逻辑复刻至机器人领域

苹果的人形机器人商业模式极有可能延续其标志性的“硬件+软件+服务”战略，其核心在于将 App Store 的成功生态逻辑完整复刻至机器人领域。苹果可以通过推出标准化的机器人开发工具包与专属应用商店，吸引全球开发者基于统一的硬件平台，开发覆盖教育、医疗、家居等多元场景的深度应用。这种开放生态模式将驱动机器人行业从场景有限、一次性的硬件销售模式，转向“硬件销售+应用订阅+服务分成”的持续盈利轨道。2024 年苹果发布的全球生态系统报告显示 2024 年 App Store 生态系统在全球范围内共促成 1.3 万亿美元开发者营业额和销售额，参照其发展路径，苹果人形机器人亦有可能催生一个千亿甚至万亿美元级别的全新市场。

图表22：2019-2024 年 App Store 生态系统全球开发者营业额和销售额



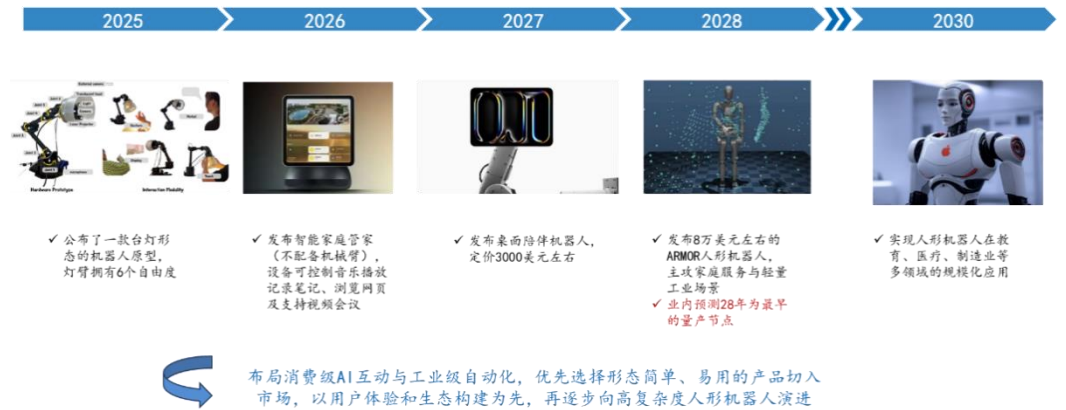
来源：《The Global App Store and Its Growth》，国金证券研究所

从产品路径看，苹果在机器人领域可能采取循序渐进的产品演进策略：初期以易用性高、应用门槛低的机器人形态切入市场，逐步建立用户认知与开发者生态；在此基础上，随着技术成熟与系统集成能力提升，再向功能更复杂、形态更完整的人形机器人演进，覆盖从消费级互动到工业自动化的多元场景。2025 年初，苹果推出了一款台灯形态的机器人原型，支持手势、语音、投影及触控交互。随后在 2026 年至 2027 年间，苹果计划依次推出智能家庭管家及定价约 3000 美元的桌面陪伴机器人，后者可提供语音交互、物品传递与简易家务辅助等功能，主要用于市场验证与用户行为收集。苹果也在研发具备轮式底盘与大型机械臂的移动机器人，目标应用于工业制造与商业服务场景。至 2028 年，苹果或将



推出面向家庭与轻工业服务的 ARMOR 首款人形机器人，定价预计达 8 万美元。最终在 2030 年左右，实现人形机器人在教育、医疗、制造等领域的规模化应用。

图表23：苹果人形机器人未来规划

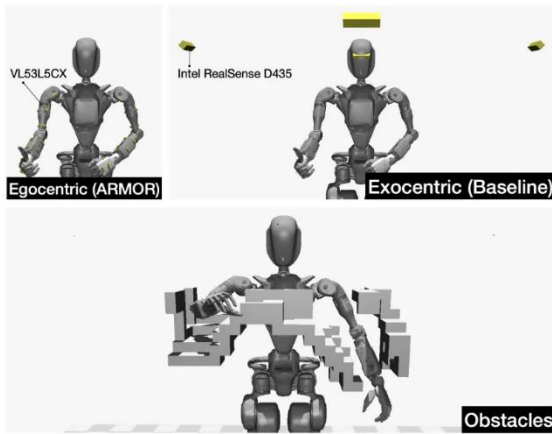


来源：高工人形机器人，安兔兔，未来机器人网，IT之家，量子位，国金证券研究所

ARMOR 采用 ToF 3D 感知技术，其放量将显著拉动 ToF 需求增长。传统人形机器人通常依赖安装在头部或躯干的集中式摄像头与激光雷达进行环境感知，但机械臂易产生视觉遮挡问题。末端执行器集成触觉传感器又存在高成本问题。苹果首款人形机器人 ARMOR 创新性地采用分布式飞行时间 (ToF) 激光雷达方案，在双臂各配置 20 个传感器，实现了接近全覆盖的环境感知，有效解决了传统方案中的盲区与遮挡难题。团队还将 ARMOR 部署在了傅利叶 GR-1 机器人上进行实验，结果显示，与使用四个头戴式和外部安装的深度相机（外心感知）相比，ARMOR 系统使碰撞降低了 63.7%。目前该产品开发进展较快，预计 2028 年正式发布。

图表24：ARMOR 在机器人手臂安装小型智能深度传感器

图表25：ARMOR 机器人图示



来源：量子位，国金证券研究所

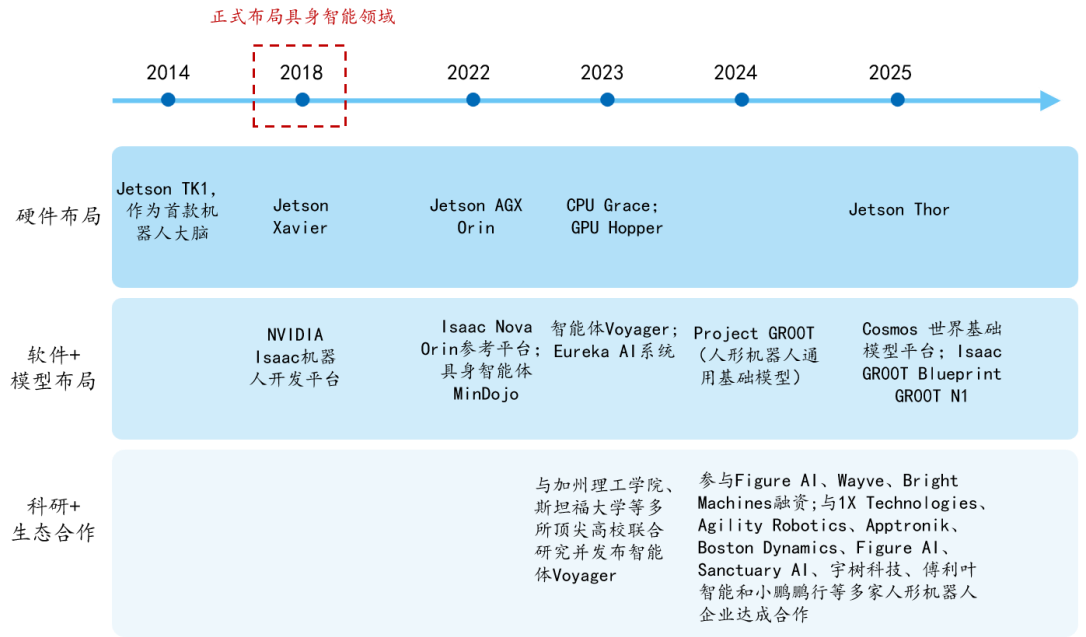
来源：量子位，国金证券研究所

2.2.2 英伟达：搭建生态，打通机器人脑和算力生意

英伟达是具身智能技术赋能者，聚焦算力硬件、软件平台与基础模型。硬件方面，英伟达推出 Jetson 系列、Grace 超级芯片等，成为机器人脑的核心硬件并提供强大算力支持；软件方面，英伟达 2018 年推出 Isaac 机器人开发平台，标志着正式布局具身智能领域。英伟达还推出 Voyager 智能体、Cosmos 世界基础模型平台、GROOT 系列具身智能模型等，为开发者提供、从训练、仿真到部署的全栈工具；此外，英伟达一方面积极联合顶尖高校推进技术研究，另一方面与波士顿动力、小鹏机器人等人形机器人企业开展合作，同时战略投资 Figure AI、Wayve 等具身智能公司，打通技术研发与场景落地的链路。



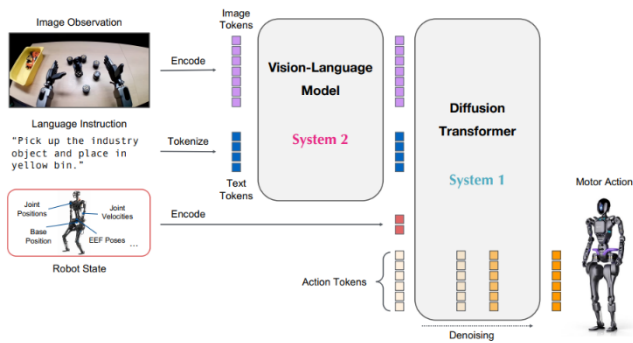
图表26: 英伟达在具身智能领域的布局



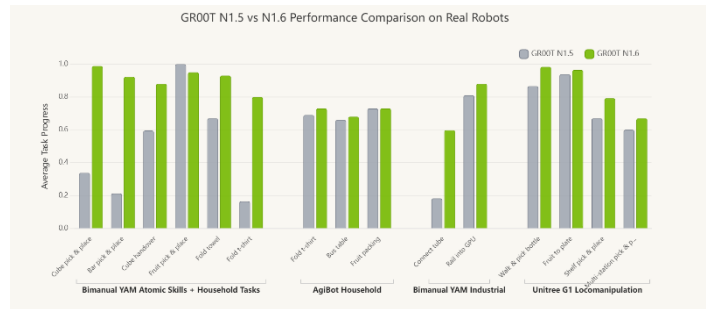
来源: 思翰产业研究院, 高工人形机器人, 钛媒体 AGI, NVIDIA 英伟达公众号, 财经会议圈, 电子发烧友网, 新智元, 电子工程专辑, 人形机器人联盟, 国金证券研究所

在 GTC 2025 上, 英伟达正式发布了 GROOT N1, 并将其定位为全球首个开源的人形机器人通用基础模型, 即面向多场景、多任务的“通用机器人“大脑”。英伟达已将 GROOT N1 部署至自研 GR1 人形机器人、1X 的 Neo 机器人以及大规模仿真基准测试体系中, 在家庭与工业等典型场景下, 多项操作任务性能较此前方案最高提升约 30%。此外, GROOT N1 具备跨具身能力, 可通过少量微调适配至不同形态的机器人平台。2025 年 12 月, 英伟达推出了 GROOT N1.6, 在模型架构、数据和工程优化上都做了大改进, 让机器人在模拟测试和真实操作中都变得更聪明、更灵活。GROOT N1.6 在通用感知—决策—执行能力、小样本快速泛化、跨本体适配及从边缘端到工业级算力平台的全栈部署等方面表现出更强的实用性与扩展性。

图表27: GROOT N1 模型概览



图表28: GROOT N1.5 与 N1.6 在机器人上的性能对比



来源: Hugging Face, 国金证券研究所

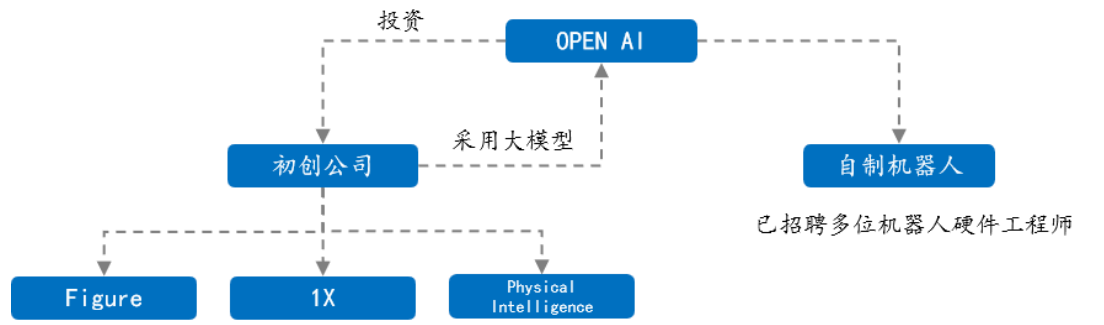
来源: 英伟达 GEAR 实验室官网, 国金证券研究所

2.2. 30OpenAI: 拥有机器人技术基因的大模型厂商, 未来有望下场做本体

OpenAI 在人形机器人领域提供模型平台, 并投资多家人形机器人本体公司。OpenAI 以 GPT 系列多模态与强化学习能力作为通用机器人“大脑”, 通过战略投资与技术赋能深度绑定头部人形机器人公司。OpenAI 通过投资 Figure AI、1X、Physical Intelligence 等企业, 将自身模型嵌入工业、家庭与专业场景中的人形机器人产品。



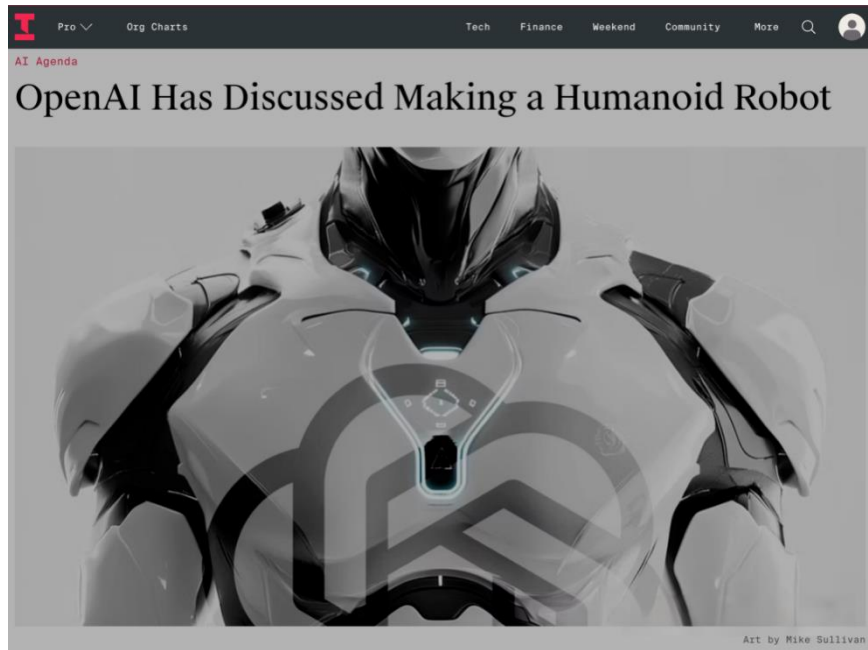
图表29: OpenAI 人形机器人商业模式



来源: GEIA 全球具身智能观察, 国金证券研究所

OpenAI 拥有机器人技术基因, 未来有望下场做本体。OpenAI 成立之初就将“制造通用机器人”纳入发展愿景, 最终因为缺乏机器人相关的数据在 2021 年解散了机器人团队。25 年初发布招聘重组机器人团队, 专注于通用机器人, 并在动态的现实世界环境中推动 AGI 级智能。24 年根据 Information 的消息, OpenAI 涉足硬件, 研发有双臂、双腿的实体人形机器人。OpenAI 也在同年 11 月挖来了 Meta 机器人和消费硬件团队负责人 Caitlin Kalinowski, 进一步增强了市场对其硬件布局的判断。不过, 从当前资源配置与产品节奏来看, 机器人并非 OpenAI 的短期优先级, 其战略重心仍集中在高级推理模型与 AI 助理能力的持续强化。围绕语音、语言、推理与视觉生成, OpenAI 已陆续推出 Sora、Voice Engine 以及 o1、o3 等关键模型, 这些能力覆盖了人形机器人在人机交互、智能决策与仿真数据生成等核心技术环节。

图表30: Information 称 OpenAI 涉足硬件, 研发有双臂、双腿的实体人形机器人



来源: Information 官网, 量子位, 国金证券研究所

3、国内: 商业化和技术迭代并行, 本体上市潮到来

3.1 投融资持续活跃, 本体企业产品、技术加速迭代

截止 2025 年, 国内机器人本体企业融资金额累计超百亿。其中智元机器人融资金额及速度排名前列。尽管成立较宇树科技、傅里叶智能等本体厂商晚, 但智元拥有目前国内最快速商业化进程。截至 2025 年 7 月, 智元已完成 9 轮融资, 进入 B+ 融资轮次, 融资估值约 150 亿。公司成立 2 年 5 个月, 平均 3 个月/轮的融资节奏大大超出同行速度 (宇树科技 12 轮耗时 9 年, 傅利叶智能 11 轮耗时 10 年)。



图表31：国内机器人本体企业融资金额累计超百亿

公司名称	成立时间	融资次数	融资进度	累计融资金额
智元机器人	2023年2月	10	B+轮	约10亿元
宇树科技	2016年8月	12	C轮	超12亿元
傅利叶智能	2015年7月	11	E轮	约15亿
银河通用	2023年5月	5	C轮	约56亿
星动纪元	2023年8月	5	A+轮	约19亿
逐际动力	2022年1月	4	A+轮	近7亿
乐聚机器人	2016年3月	5	Pre-IPO轮	约18亿元人民币
众擎机器人	2023年10月	7	A2轮	超20亿人民币
松廷动力	2023年9月	8	Pre B+轮	超8亿元
星尘智能	2022年12月	5	A++轮	超10亿元
加速进化	2023年6月	6	A轮	超5亿元
鹿明机器人	2024年9月	5	Pre A2	超2亿元
魔法原子	2023年12月	2	天使轮	超2亿元
帕西尼感知	2021年6月	7	A+++轮	数亿元
中科慧灵	2023年8月	3	天使+轮	约2亿元
月泉仿生	2022年11月	4	Pre-A+轮	超亿元
优理奇机器人	2024年4月	5	天使+++++轮	数亿元

来源：天眼查，国金证券研究所

近期，多家机器人本体企业相继启动上市规划，行业IPO热度持续攀升。乐聚机器人母公司乐聚智能已在深圳证监局完成辅导备案登记，正式开启IPO进程。根据辅导备案报告，公司计划于2026年3月至6月期间完成辅导工作，对辅导成果进行考核评估，并为首次公开发行股票申报做好准备。与此同时，11月15日，中国证监会官网披露，宇树科技的IPO上市辅导工作已完成，拟申请在境内资本市场上市。此外，石头科技、乐东机器人、珞石机器人等多家国内机器人本体企业亦纷纷选择赴港上市。在资本与产业的双重驱动下，机器人企业IPO呈现出持续升温的发展态势。

图表32：部分机器人本体企业上市进展

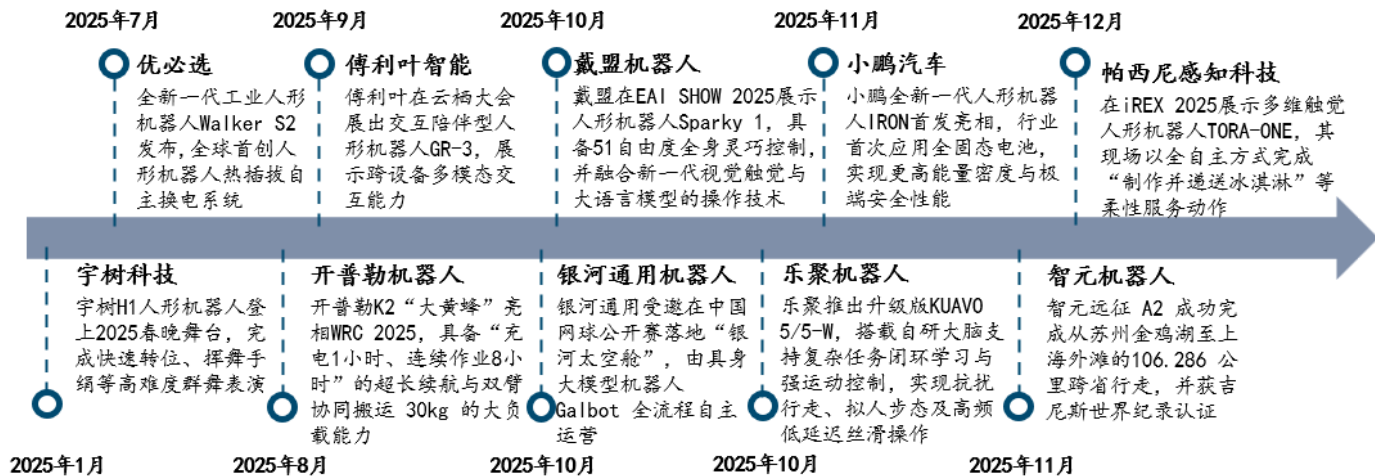
公司名称	申请板块	最新进展	公司名称	申请板块	最新进展
乐聚机器人	—	辅导备案	翼菲科技	港交所	已递表
天链机器人	—	辅导备案	瑞为技术	港交所	已递表
宇树科技	—	辅导工作完成	乐动机器人	港交所	已递表
石头科技	港交所	已递表	望圆科技	港交所	已递表
埃斯顿	港交所	已递表	优艾智合	港交所	已递表
卧安机器人	港交所	已递表	珞石机器人	港交所	已递表
斯坦德机器人	港交所	已递表	微亿智造	港交所	已递表
凯乐士	港交所	已递表	思哲睿	科创板	提交注册

来源：机器人前瞻，高工机器人，中国证券报，各公司公众号等，国金证券研究所

国内机器人本体企业密集发力，新产品及新技术不断迭代突破。从年初至年末，以优必选、宇树科技、智元机器人为代表的企业持续迭代核心硬件与运动能力。优必选Walker S2首创人形机器人热插拔自主换电系统，小鹏IRON率先应用全固态电池提升能量密度与安全，智元远征A2更以超百公里行走刷新耐力纪录。同时，傅利叶智能、戴盟机器人及银河通用等企业则着力于智能化与场景落地，傅利叶智能GR-3展示了跨设备多模态交互，戴盟Sparky 1融合视觉触觉与大模型技术，银河通用机器人Galbot实现了全流程自主运营的具身智能示范。总体来看，行业已从早期运动能力验证，迈入“硬件迭代、智能增强、场景拓展”并行的新阶段，产品成熟度与任务适应性显著提升，为规模化应用奠定基础。



图表33：国内机器人本体企业进展不断



来源：宇树科技公众号，优必选科技公众号，开普勒机器人公众号，傅利叶智能公众号，银河通用机器人公众号，戴盟公众号，乐聚机器人公众号，小鹏科技日，智元机器人公众号，帕西尼感知科技公众号，国金证券研究所

部分机器人本体厂商预计在2026-2027年进入量产放量阶段，商业化节奏逐步清晰。优必选依托Walker系列推动工业场景规模化应用，规划2026年实现数千台、2027年提升至1万台的交付能力；智元机器人围绕远征A1/A2、灵犀X1/X2等产品推进小批量工业落地，预计2026年实现合计数万台的规模；小鹏的IRON机器人聚焦车企内部复用，计划在2026年年底实现量产出货；魔法原子则切入服务与通用任务场景，目标在2026年达到千台级交付。整体来看，部分厂商已进入实质性出货阶段，行业商业化路径从“产品展示”逐步转向“量产验证”，人形机器人产业链正迎来初步放量周期。

图表34：部分国内本体厂商出货量及规划

机器人公司	成立时间	产品名称	2025年出货量	商业化计划	
				2026E	2027E
优必选	2012年	WalkerS1、S2	预期全年交付量将超过500台	数千台	突破年产1万台
智元机器人	2023年	远征A1/A2，灵犀X1/X2，精灵G1/G2	预计超5000台	预计数万台	
乐聚机器人	2023年	夸父	全年交付千台级	工业场景小批量出货	工业场景批量出货
小鹏汽车	2015年	Iron		年底量产	
魔法原子	2024年	MagicBot	预计数百台	交付千台级别	
星尘智能	2022年	Astribot S1			上千台
银河通用机器人	2023年	Galbot G1		千台	成倍增长
星动纪元	2023年	星动L7、Q5		有望接近万台	

来源：公司官网，科创板日报，新京报，魔法原子MagicLab公众号，深圳市发改委，机器人大讲堂，国金证券研究所

3.1.1 智元：联动产业链上下游伙伴，打造机器人生态圈

自创立伊始，智元便确立了成为机器人行业“苹果”的战略愿景。双方在商业模式上展现出高度一致性：均采用轻资产运营策略，将核心资源聚焦于品牌建设与研发创新，通过全球化代工体系实现产能布局。这种战略选择使其能够以生态构建者的姿态，在保持资产灵活性的同时，快速完成产业价值链的整合与升级。



图表35: 智元和苹果战略定位高度相似



来源: 智元官网、苹果官网、中国连锁经营协会、中国日报网、OSC 开源社区公众号、华人头条 APP 公众号、中国电子报公众号、各公司公告, 国金证券研究所

智元的机器人本体产品矩阵分为四大类: 远征、灵犀、精灵和绝尘系列。远征系列包含 A2、A2-W 等型号, 主要聚焦工业场景中的高负载与高可靠任务; 灵犀系列涵盖 X1、D1 Ultra 等产品, 侧重人机协同与多元交互能力; 智元精灵系列包括 G1、G2, 以轮式底盘和双臂形态为主, 适用于教育、科研与通用操作; 绝尘系列则以 C5 为代表, 面向清洁与基础服务场景。智元机器人整体形成覆盖工业、协作、科研与服务的完整产品体系。

图表36: 智元机器人本体产品介绍



来源: 公司官网, 国金证券研究所

智元携手行业领军企业, 联动产业链上下游伙伴, 共同建立了智元机器人生态圈。上游围绕感知—决策—执行构建多层供应体系:

- 感知层: (1) 奥比中光: 公司在商用服务、工业和人形机器人等领域已与智元机器人等客户实现了业务合作, 覆盖智能工厂、仓储物流等应用场景。(2) 步科股份: 步科股份为智元机器人供应 3D 视觉传感器、IMU(惯性测量单元)、六维力传感器等。(3) 华依科技: 为智元机器人 IMU 供应商。(4) 敏实集团: 与智元机器人合作, 聚焦于电子皮肤, 无线充电技术和轻量化肢体结构件等方面。
- 决策层: (1) 科大讯飞: 与智元机器人签署合作协议, 依托讯飞星火大模型进行联合开发。(2) 英伟达: 智元精灵 G2 搭载英伟达 Jetson Thor T5000 芯片。(3) 均胜电子: 和智元机器人围绕“大小脑”及关键零部件核心技术攻关等方面开展深度合作。
- 执行层: (1) 龙溪股份: 公司是智元机器人的核心关节轴承供应商。(2) 富临精工:



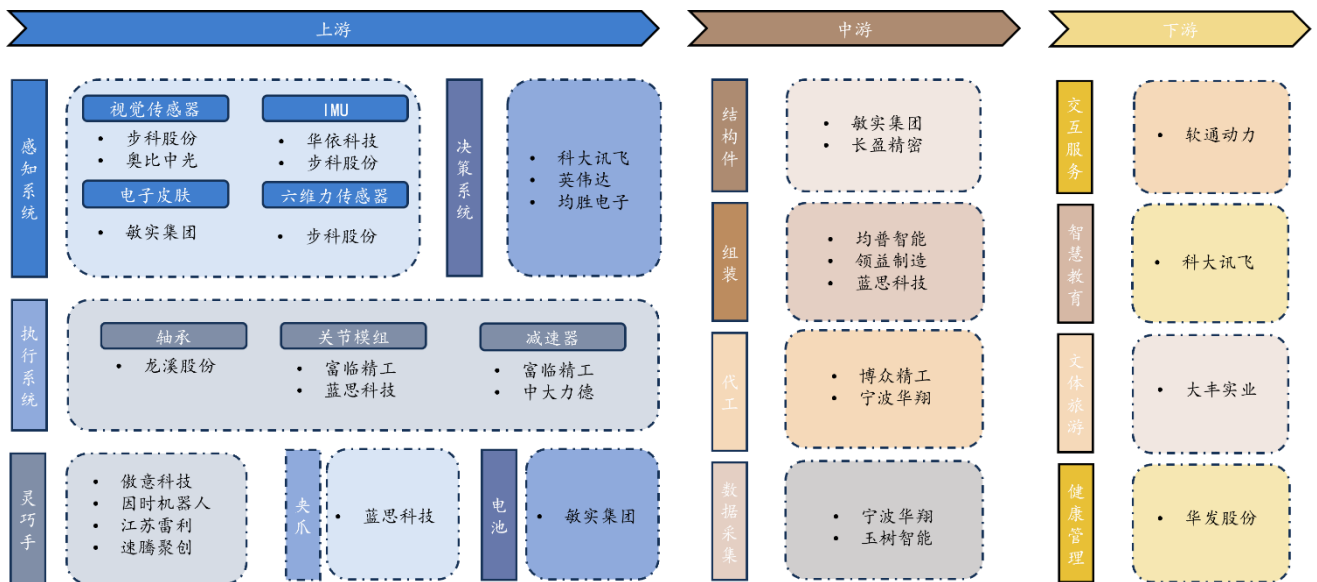
为智元机器人提供关键硬件精密减速器、智能电关节德研发、生产和制造。(3) 蓝思科技：提供灵犀 X1 机器人关节模组、DCU 控制器、OmniPicker（夹爪）等核心部件的生产组装与测试控制。(4) 中大力德：提供机器人减速器产品，已和智元开展合作。

- 其他上游：(1) 傲意科技，因时机器人：向智元机器人提供灵巧手相关产品和服务。(2) 江苏雷利：旗下控股子公司鼎智科技为智元机器人提供灵巧手及关节执行器等关键部件。(3) 速腾聚创：为智元机器人供应自研灵巧手。

中游主要为结构件、模组制造与整机装配体系：(1) 长盈精密：为智元机器人提供结构件产品。(2) 均普智能：为首家通过智元通用产品制造认证的企业。(3) 领益智造：承接智元远征 A2-W 组装订单。(4) 博众精工：承担了智元远征系列的整机代工任务。(5) 宁波华翔：下属子公司华翔启源与智元机器人签订《委托生产合同》，获授权生产其部分全尺寸双足机器人产品。此外宁波华翔还负责机器人数据采集与训练。(6) 玉树智能：和智元机器人签署合作协议，实现具身机器人的数据采集与技术创新。

下游为多行业场景落地，构建应用生态：(1) 软通动力：和智元成立合资公司，面向 3C 制造、交互服务、教育等场景推进工业垂域大模型构建与用工替代。(2) 科大讯飞：和智元签订《战略合作协议》，在机器人场景应用和科研项目等多个领域展开深入合作。(3) 大丰实业：和智元签订《战略合作协议》，共同探索相关产品在文娱、旅游、体育、商业等场景的创新应用。(4) 华发股份：和智元合作，计划在珠海落地康养机器人总部，打造新一代智能康养陪护机器人。

图表37：智元机器人生态伙伴



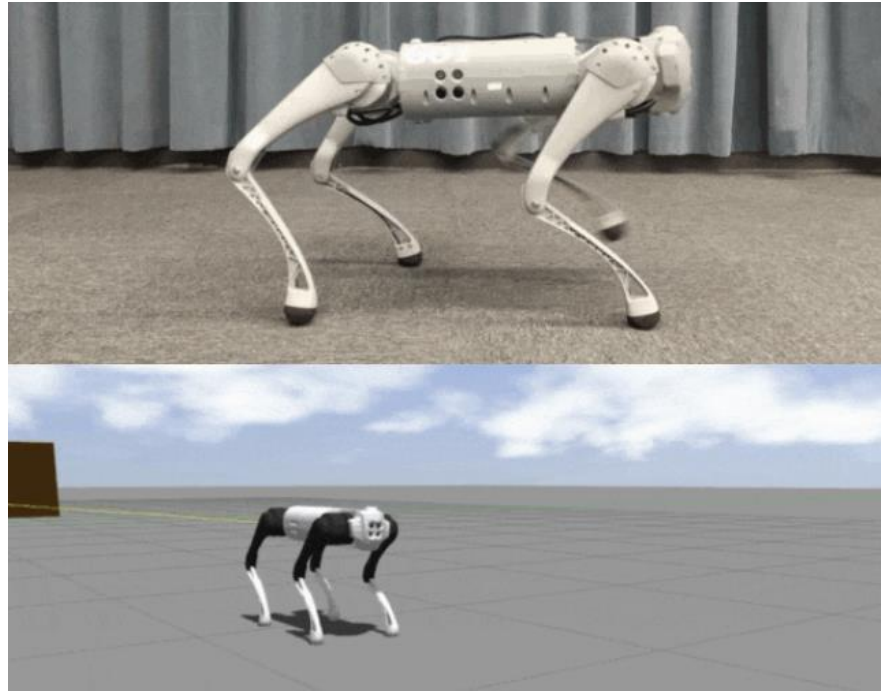
来源：根据各公司公告、公众号、人形机器人发布、具身智能大讲堂、上海证券报、科创板日报等不完全统计，国金证券研究所

3.1.2 宇树科技：依托强自研体系，部件自主化率高

宇树科技的核心特色在于其突出的运动能力与运控的算法积累。公司在机器人动力学与运动控制领域长期深耕，通过强化学习不断训练机器人在复杂地形下的稳定性与灵活性，使产品在运动性能上保持行业领先。同时，宇树已累计布局 180 余项国内外专利、其中授权超 150 项，覆盖核心零部件、运动控制与感知等关键技术领域，并依托持续的工程优化与成本控制，实现了高性能与高性价比的统一，奠定了其在具身智能与人形机器人赛道中的领先地位。



图表38: 宇树科技机器人控制算法示例



来源: 公司官网, 国金证券研究所

宇树科技的机器人本体产品线横跨四足机器人与人形机器人两大方向。四足机器人方面, 既有面向消费级与教育科研的轻量化 Go1、Go2, 也有服务于巡检、测绘与安防等专业场景的 A2、B2、B1 与 AlienGo; 在人形机器人方向, 宇树则布局 G1、R1、H1、H2 等型号, 覆盖教学实验、通用操作到更高性能的复杂环境应用。宇树的产品矩阵覆盖消费、科研、工业与通用智能, 多层次、形态完整、应用面广。

图表39: 宇树科技机器人本体产品介绍

机器狗Go2	机器狗A2	通用人形H2
大模型赋能	灵巧敏捷	人形仿生
家庭陪伴	行业级	多元场景
<ul style="list-style-type: none"> 高度 40cm 质量 15kg 奔跑最大速度 5m/s 智能伴随系统 	<ul style="list-style-type: none"> 高度 57cm 质量 37kg 奔跑最大速度 5m/s 持续行走负载 25kg 	<ul style="list-style-type: none"> 高度 182cm 质量 70kg 仿生人脸
APP交互	智能伴随	性能强悍
	极限行走	复杂动作
		人脸仿生

来源: 公司官网, 国金证券研究所

宇树同样建立起了自己的生态供应体系。上游主要围绕关键硬件、材料与传感组件构建辅助型供应体系:

感知层: (1) 凌云光: 和宇树共同推出了 FZMotion 具身智能数据采集解决方案, 能够以亚毫米级别的精度精准捕捉人体的姿态动作和运动轨迹。(2) 奥比中光: 为宇树科技提供视觉解决方案。(3) 速腾聚创: 为宇树激光雷达供应商。



决策层：(1) 全志科技：为宇树机器人提供智能终端应用处理器芯片。(2) 瑞芯微：为宇树科技提供 RK3588 芯片。(3) 中微半导体：宇树为公司终端客户。

执行层：(1) 长盛轴承：在为宇树科技提供高性能关节轴承等样品。(2) 中大力德：为宇树科技提供减速器等核心零部件。(3) 卧龙电驱：为宇树机器人提供包括高爆发关节模组、伺服驱动器和无框力矩电机等关键组件。(4) 贝斯特：通过其全资子公司宇华精机为宇树机器人提供高精度丝杠副和导轨副等产品。(5) 江苏雷利：为宇树科技提供“无刷电机+齿轮箱”行星执行器。

其他上游：(1) 金发科技：为宇树科技提供高性能材料，如 PEEK（聚醚醚酮）等特种工程塑料。(2) 万马股份：主要为宇树四足机器人腿部提供高性能柔性线缆技术。(3) 蔚蓝锂芯：已和宇树合作多年，提供电源相关产品。(4) 佰维存储：宇树科技的 Go2 智能机器狗中已应用公司的 LPDDR4X、eMMC 存储产品。(5) 创世纪：作为数控机床领先企业，公司已向宇树科技持续供货。

下游为场景拓展，主要包括钢铁、电力等行业。(1) 宝通科技：推动宇树产品在钢铁、电力等行业的二次开发。(2) 道通科技：聚焦能源行业的巡检和作业等关键场景需求，和宇树联合研发有高度竞争力和创新力的自主巡检、自主作业、空地一体的创新行业解决方案。

图表40：宇树机器人生态供应链



来源：公司公告，具身智能大讲堂，证券时报，人形机器人发布等不完全统计，国金证券研究所

3.1.3 乐聚：外部合作不断补强硬件与软件能力

乐聚机器人选择优先切入付费能力强、需求明确的应用场景，以此降低商业化不确定性，并在真实环境中加速技术迭代与能力沉淀。公司率先在人形机器人“夸父”上落地科研教育、商业服务与工业制造等场景，通过导览、展示及标准化作业等任务快速获取高质量数据，形成数据驱动的正向迭代闭环。在此基础上，乐聚进一步向工业等高壁垒、高成长领域纵深推进，通过与下游终端客户合资共建的方式，将传统供需关系升级为风险共担、数据共享的共创模式，使竞争优势从单一机器人技术延伸至“行业认知+场景 Know-How”的复合壁垒。



图表41：乐聚机器人科研教育落地体系



来源：公司官网，国金证券研究所

乐聚机器人的人形机器人产品主要分为通用型人形机器人与双足人形机器人两大类。其通用型人形机器人以夸父（KUAVO）为代表，面向导览接待、展示交互、商业服务及部分标准化作业等真实应用场景，在机体结构、运动控制与系统集成上强调稳定性与工程成熟度，已实现多场景落地应用。双足人形机器人则主要面向高校与科研机构，聚焦双足行走、运动控制与算法开发需求，服务于教学实验、科研验证与二次开发，更强调开放性与平台属性。

图表42：乐聚人形机器人产品



来源：公司官网，国金证券研究所

乐聚通过引入产业资本，打造供应链生态体系。今年10月，公司完成近15亿元Pre-IPO轮融资，投资方包括东方精工、拓普集团等。上游合作伙伴主要为乐聚提供关节模组、电机、线路板、灵巧手及机器人操作系统等组件：

- 决策层：(1) 具识智能：为乐聚机器人设计开发操作系统。(2) 深开鸿：乐聚机器人与深开鸿携手合作，共同推进 ROS 机器人操作系统向 KaihongOS 的演进迭代。
- 执行层：(1) 蓝黛科技、泉智博：两家公司合作研发的机器人一体化关节模组已获得乐聚智能订单。
- 其他上游：(1) 灵心巧手：为乐聚机器人供应灵巧手。(2) 富佳股份：通过控股子公司宁波益佳电子有限公司为乐聚智能代工各类线路板。

中游主要为制造代工与数据合作：(1) 东方精工：与乐聚机器人合作成立合资公司，共建产线。(2) 刻行时空：和乐聚机器人合作搭建数据平台。

下游为行业场景落地方案：(1) 海晨股份：和乐聚机器人成立合资公司，共同打造人形机



机器人的解决方案。(2) 中国移动：和乐聚发布 5G-A 具身智能机器人，克服工业场景下系统响应迟滞崩溃问题。(3) 巨一科技：与乐聚机器人签订了联合开发协议，共同开发工业应用解决方案。

图表43：乐聚机器人生态供应链

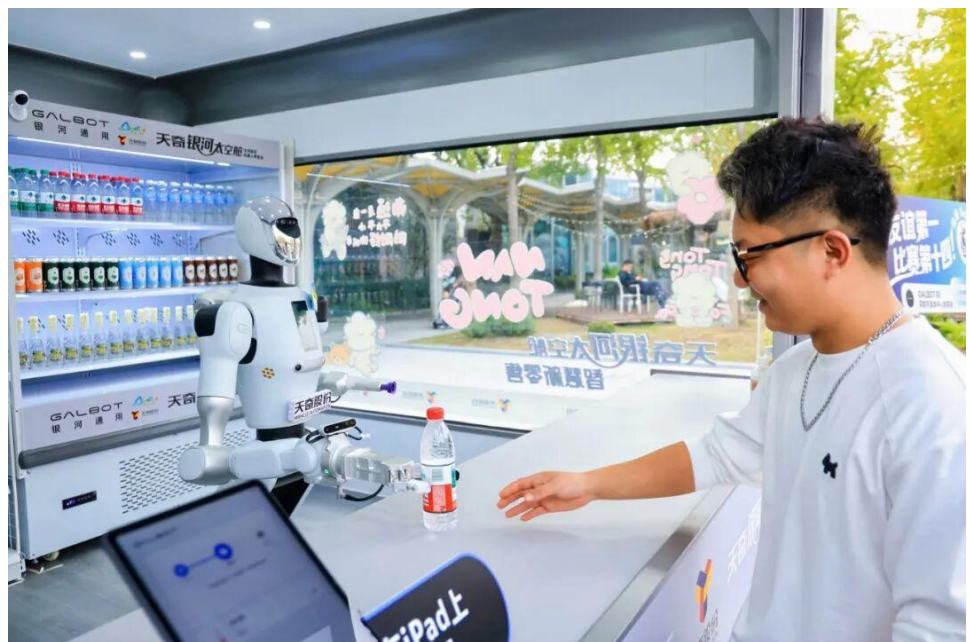


来源：公司公告、人形机器人发布、机器人大讲堂等不完全统计，国金证券研究所

3.1.4 银河通用：联合硬件供应商与终端，推进多场景应用

银河通用以智慧零售场景为核心切入点，率先打造全球首个人形机器人自主运营的零售解决方案。公司推出的“银河太空舱”以最小约 9 m³ 的紧凑空间，实现饮品、小食、文创、药品等高频消费品类的全天候无人化运营，并兼容冷藏、冷冻等多种商品形态，具备较强的场景通用性与单位面积效率。该系统由自研人形机器人 Galbot 全流程驱动，可独立完成语音交互、下单支付、精准抓取与商品取送，实现“无遥操作”的端到端自主闭环。自 8 月在北京中关村首发以来，方案已获得多地城市客户的关注并开始点位投放，验证了其在高频零售场景中的可复制性与商业化潜力。

图表44：银河通用智慧零售太空舱



来源：银河通用机器人公众号，国金证券研究所



银河通用的机器人 Galbot G1 是公司目前唯一对外发布并推进落地的人形机器人本体产品,定位于面向智慧零售等高频商业场景的服务型人形机器人。Galbot G1 集成语音交互、视觉识别、精准抓取与商品取送能力,可在紧凑空间内完成迎宾、下单配合及取货交付等全流程任务,实现无需遥操作的自主运行,并适配多品类、多形态商品的连续作业需求。

图表45: 银河通用机器人 Galbot G1

GALBOT G1



- 高度173cm
- 体重85kg
- 臂展190cm
- 身体升降65cm
- 可达范围0-240cm
- 续航时间10h
- 末端负载5kg
- 支持Isaac Sim/Mujoco等多个仿真平台



泛化操作



自主决策

来源: 公司官网, 国金证券研究所

银河通用上游主要为核心零部件与系统支持: (1) 坤维科技: 核心六维力产品产品矩阵已广泛用于银河通用等人形机器。(2) 英伟达: 为银河通用的人形机器人 Galbot 提供 Jetson Thor 芯片。(3) 美湖股份: 为银河通用供应减速器。(4) 均胜电子: 2025 年以来, 均胜电子机器人能源管理相关产品已经向银河通用等合作伙伴送样。

下游为行业场景落地与联合应用: (1) 天奇股份: 与银河通用合作推动具身智能大模型及具身智能机器人在汽车制造产业相关领域规模化。(2) 美团: 与银河通用签署战略合作协议, 将在线下零售、智慧货仓、智慧物流等多个领域开展深入合作。(3) 博世集团: 旗下的博原资本和银河通用成立合资公司, 重点聚焦工业制造场景, 合力开展具身智能机器人商业化应用的探索。(4) 爱博医疗: 携手银河通用打造具身智能落地应用新场景, 规模化布局隐形眼镜 24 小时智慧门店。



图表46：银河通用机器人生态及供应体系

供应链企业	产品/职能	简介
英伟达	芯片	为银河通用的人形机器人Galbot提供Jetson Thor芯片。
坤维科技	六维力传感器	核心六维力产品产品矩阵已广泛用于银河通用等人形机器人。
均胜电子	能源管理	2025年以来，均胜电子机器人能源管理相关产品已经向银河通用等合作伙伴送样。
美湖股份	减速器	为银河通用供应减速器。
天奇股份	场景落地	与银河通用合作推动具身智能大模型及具身智能机器人在汽车制造产业相关领域规模化应用方面展开战略合作。
美团	场景落地	与银河通用签署战略合作协议，将在线下零售、智慧货仓、智慧物流等多个领域开展深入合作。
博世集团	场景落地	旗下的博原资本和银河通用成立合资公司，重点聚焦工业制造场景，合力开展具身智能机器人商业化应用的探索。
爱博医疗	场景落地	携手银河通用打造具身智能落地应用新场景，规模化布局隐形眼镜24小时智慧门店。

来源：公司公告、各公司公众号、机器人大讲堂、人形机器人联盟、高工人形机器人、证券时报等不完全统计，国金证券研究所

3.1.5 优必选：人形机器人第一股，产品广度布局领先

优必选在工业人形机器人落地应用领域已取得显著成效。依托工厂场景流程标准化、任务可控性高的优势，Walker S1 已与无人物流车、工业移动机器人及制造执行系统（MES）实现协同，在比亚迪等工厂中覆盖分拣、搬运、配送等环节，构建起室内外一体化的全自动无人物流体系。同时，工业场景持续输出高质量真实任务数据，为群体智能训练与决策能力迭代提供有力支撑，推动人形机器人在真实生产环境中快速进化。Walker S2 系列机器人已搭载优必选自研人形机器人协作智能体，实现从意图理解到异常检测与处理全链路高效决策。2025 年，Walker 系列工业人形机器人全年订单金额已超过 13 亿元，显示出公司在全球人形机器人商业化中的领先地位。

图表47：优必选自研工业人形机器人协作智能体 Co-Agent



来源：公司官网，国金证券研究所

优必选的产品矩阵除工业外，还覆盖商用、科研与消费多种场景。其工业人形机器人（如 Walker S2 / Walker S）适合流水线、搬运、制造场景；商用入形（如 Walker C / Walker X）用于导览、接待、服务；轮式人形与轻量型机器人服务于物流和通勤辅助；此外还有面向教育、娱乐、家庭用途的小型/消费级机器人（如 Alpha 系列，Yanshee 机器人等）。整体来看，优必选构建了从工业生产到服务应用、从科研教育到家庭消费的全链条机器人生态体系。



图表48：优必选人形机器人涵盖工业级、商业级等多场景产品

Walker S2		Walker X		Cruizr S2	
	自主换电 工业场景		人机交互 家庭陪伴		灵活腰身 零售商超
<ul style="list-style-type: none"> 身高 176cm 体重 70kg 自由度 52个 2m/s高速拟人行走 		<ul style="list-style-type: none"> 身高 130cm 体重 63kg 20°斜坡行走 15cm台阶上下楼梯 		<ul style="list-style-type: none"> 身高 176cm 自由度 44个 2m/s高速平稳移动 	
					
拟人搬运	智慧补能	台阶行走	灵活服务	灵活搬运	灵活服务

来源：公司官网，国金证券研究所

3.1.6 傅利叶：康复机器人布局领先

傅利叶智能的核心特色在于深厚的医疗康复背景与向通用人形机器人的延展能力。公司长期深耕康复机器人领域，在运动控制、力控交互和人机安全等方面积累了成熟技术和大量真实应用经验，并将这些能力逐步迁移到通用人形机器人平台中，使其在安全协作、柔顺控制和精细操作场景上具备先发优势。同时，傅利叶与医院、高校和科研机构保持紧密合作，产品已在真实场景中持续使用和优化，形成稳定的数据来源和快速迭代能力。整体来看，傅利叶依托医疗场景打下的技术与数据基础，在人形机器人赛道中走出了一条以应用牵引、稳步演进的差异化路径。

图表49：傅利叶康复机器人领先



来源：公司官网，国金证券研究所

傅利叶智能的机器人产品矩阵既包含通用或服务型人形机器人，又覆盖康复机器人。GR-1 是其首款量产双足人形机器人，结构仿人、关节灵活，可用于科研、服务与基础任务；GR-2 在此基础上显著提升自由度、灵巧手部与可编程能力，适合更复杂的人机协作与操



作；GR-3 面向陪伴与服务场景，具备全感交互系统和柔性友好外观，可用于公共服务、养老陪护等。此外，傅利叶的康复机器人体系，例如 ExoMotus™ 下肢和 ArmMotus™ 上肢康复机器人等为神经、骨科及运动功能恢复提供解决方案，覆盖上肢 / 下肢 / 关节康复等多种需求。

图表50: 傅利叶智能机器人本体产品矩阵



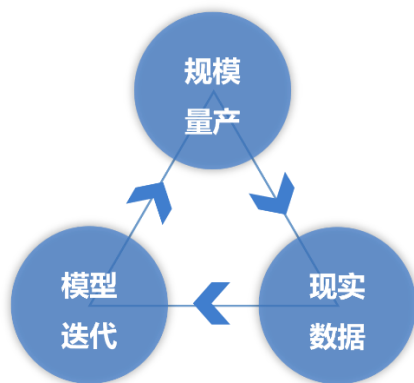
来源：公司官网，国金证券研究所

3.2 商业化路径百花齐放，软件硬件各有千秋

3.2.1 商业化：飞轮效应显著，商业化奇点出现在即

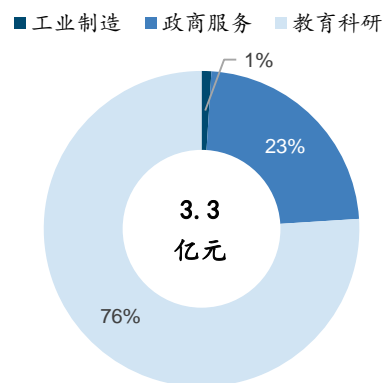
本体企业商业化存在飞轮效应。机器人本体企业要实现商业化落地，首先需要突破智能化不足与成本过高两大核心瓶颈，而本体产业存在“规模量产-现实数据-模型迭代”的飞轮效应正是破解这一难题的关键路径。规模量产能力是商业化的基础前提，一方面企业可以通过规模效应摊薄研发及供应链成本，让机器人价格降至市场可接受范围；另一方面，在量产过程中本体企业可以建立标准化的质量管控体系，避免因硬件故障影响场景应用体验，为后续场景落地打下更坚实的硬件基础。而现实数据是智能化提升的核心路径，需要海量真实场景的训练反馈。不同场景下的环境数据会持续输入机器人系统，帮助其优化决策逻辑，这种场景化训练是算法迭代的核心数据来源。通过优化硬件设计并迭代软件算法，能够推动本体厂商实现“规模量产-现实数据-模型迭代”的飞轮持续加速，形成性价比与智能化的正向循环。

图表51: 本体企业商业化存在飞轮效应



来源：科创板日报、eet-china，国金证券研究所

图表52: 25H1 人形机器人中标项目应用领域分布



来源：新战略机器人，国金证券研究所

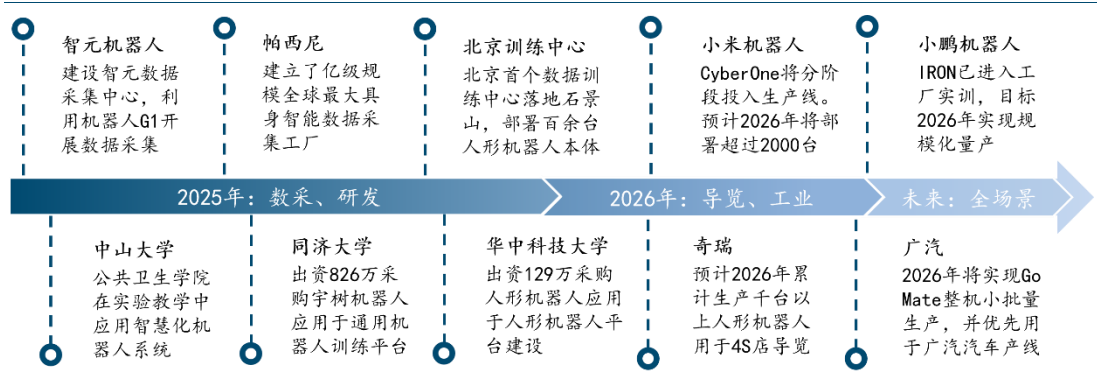
人形机器人正沿科研验证、场景试点到规模应用的路径快速发展。其应用已从实验室走向特定场景，并清晰指向未来的大规模落地。当前阶段，人形机器人的主要任务是技术验证与数据积累，应用高度集中于高校科研与数据采集是两大支柱。2025 年上半年，国内人形



机器人相关中标项目金额约 3.3 亿元，其中高达 76% 集中于教育科研领域。领先的本体厂商（如智元、帕西尼等）正在批量建设数据采集与训练中心，从而扩充高质量、多场景的具身智能训练数据集，通过持续的场景化训练，提升机器人的感知、决策与执行能力，为商业化打下坚实基础。

工业制造率先落地，商业服务开始探索。随着技术成熟，2026 年有望成为多场景商业化落地的关键激活点，工业与服务业成为先锋。在工业机器人领域，汽车行业成为重要推手。小米、小鹏、广汽均已明确 2026 年的人形机器人量产计划，并预计优先应用于自身的智能化工厂，从事搬运、装配等流程化工作。这不仅能验证可靠性，也构成了明确的初级市场需求。于此同时在服务业，机器人也开始承担前沿角色。例如，奇瑞提出了千台级量产计划，目标是将人形机器人应用于 4S 店导览等客户交互场景。同时，酒店接待、展厅讲解等领域的试点应用预计也将增多。

图表53：人形机器人商业化落地情况



来源：新战略机器人，国金证券研究所

2027 年人形机器人成本有望具备一般场景下的商业化价值。更长远的视角看，人形机器人的发展目标是成为通用型劳动力。在场景拓展上，其应用将从当前的工业、导览，逐步渗透至家庭服务、医疗康复、户外作业、应急救援等几乎所有需要人类劳动力的复杂场景。2023 年 11 月 2 日，工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》就指出，要加快拓展通用机器人应用场景：(1) 危险、恶劣环境作业；(2) 汽车、3C 等制造业产线深度应用；(3) 医疗、家政、农业、物流等民生服务。从社会价值层面来看，人形机器人的核心价值在于填补结构性劳动力缺口，特别是在人口老龄化加剧的背景下，同时大幅提升社会整体生产效率与智能化水平。最终，人形机器人有望像今天的智能手机和汽车一样，成为深刻改变生产和生活方式的通用工具。预计 2027 年，人形成本将会在国内一般应用场景具备商业化价值。

图表54：部分国内机器人本体企业商业化路径对比

公司名称	商业化核心路径	目标场景/策略	关键进展/特点
智元机器人	生态投资与产业链整合	通用机器人，通过“投早投小”布局生态，掌握颠覆性技术。	近 1 年投资约 30 家企业；与高瓴资本联合成立创投基金。
优必选	工业场景深耕与资本运作	工业人形机器人，通过融资整合供应链，巩固工业制造场景的“链主”地位。	获近亿元工业订单；获 10 亿美元中东战略融资，计划建海外“超级工厂”。
宇树科技	运动性能突破与成本控制	以高动态运动能力和硬件成本控制见长，通过性价比拓展多场景。	四足及人形机器人出货量领先；产品能完成半马、后空翻等高难度动作。
小米	生态链投资与内部场景试验	自研+投资布局全产业链，优先在自有工厂和家庭场景落地。	投资近 50 家机器人产业链公司；计划 5 年内让人形机器人在小米工厂上岗。
智平方	前沿技术驱动与高端场景渗透	高价值工业场景（如半导体、汽车制造），以自研 VLA 具身大模型为核心技术壁垒。	获得千台级规模订单（如惠科超 1000 台订单）；机器人已进入机场等复杂环境。

来源：证券时报，中国发展网，国金证券研究所

3.2.2 竞争格局：五大类厂商各有侧重，制造、算法、品牌效应多点开花

我们认为五大类厂商核心布局机器人本体。人形机器人主要入局者包括元老级公司、初创型公司、跨界公司、原生机器人公司、科技公司：

元老级公司：这类公司包括优必选、波士顿动力、乐聚机器人、钢铁侠科技、伟景机器人、



Engineered Arts 等，这些公司在成立之初便聚焦机器人领域，拥有专业的研发团队，具备较多的技术积累，但下游渠道相对跨界巨头公司有所欠缺，整体资金实力也相对弱势。

初创型公司：人形机器人初创型公司包括智元机器人、傅利叶、宇树科技等，创始团队多是院校及研究所出身或科技巨头企业出身，具备机器人控制或算法方面优质禀赋，均有一定的融资能力，但是创始团队或在企业经营管理和商业化经验较少，整体商业化能力、渠道资源仍存在一定短板。

跨界公司：人形机器人跨界公司主要有两类，第一类为特斯拉、小鹏、小米等汽车整车公司，第二类为消费电子、家电公司，包括追觅、戴森、三星等。该类公司优势在于资金实力强、商业化能力强、渠道资源丰富，除了特斯拉以外，其他跨界厂商可能在技术积累方面略弱于元老级人形机器人公司。

原生机器人公司：该类公司在过往的工业机器人、协作机器人、移动机器人等领域有一定成果，具备多年机器人研发经验和成功的应用案例，在人形机器人方面具备部分可嫁接、复制的技术积累和研发经验。但原生机器人公司软件开发和技术创新会略弱于以研发技术为核心的初创型人形机器人公司。

科技公司：该类公司最显著的优势在于人形机器人的“智能化”，并且在数据、算法和算力等方面有较多的积累，具备具身智能大模型产品，整体软件能力和资金实力较强。但大多科技公司缺乏人形机器人硬件设计和制造经验，目前多选择投资人形机器人整机公司或通过软件与整机公司合作。

图表55：人形机器人本体企业分类和对比

	主要优势	主要劣势	代表厂商	综合实力雷达图
元老级企业	技术积累丰富	下游渠道相对跨界巨头公司有所欠缺，整体资金实力也相对弱势	优必选、乐聚机器人、钢铁侠科技、伟景机器人	
初创型企业	具备机器人控制或算法方面优质禀赋，均有一定的融资能力	商业化能力、渠道资源仍存在一定短板	傅利叶智能、智元机器人、宇树科技、戴盟机器人、逐际动力、银河通用机器人、开普勒机器人、星动纪元、魔法原子、星云智能	
跨界公司	资金实力强、商业化能力强、渠道资源丰富	在技术积累方面略弱于元老级人形机器人公司	小鹏、小米、奇瑞、广汽、比亚迪、理想	
原生机器人企业	具备多年机器人研发经验和成功的应用案例	软件开发和技术创新会略弱于以研发技术为核心的初创型人形机器人公司	遨博智能、福德机器人、天太机器人、博实股份、大象机器人、节卡机器人、均普智能	



科技公司	整体软件能力和资金实力较强	缺乏人形机器人硬件设计和制造经验	华为、腾讯、字节跳动、科大讯飞、达闼机器人	
------	---------------	------------------	-----------------------	--

来源：各公司官网，高工机器人产业研究所 (GGII)，财联社，维科网人工智能，移动机器人产业联盟，机器人大讲堂，高工机器人，国金证券研究所

从传统硬件与零部件维度来看，优必选和宇树科技具备核心优势。硬件方面，优必选和宇树科技在自研率、关键性能指标和核心部件自主可控方面，与其他厂商显著拉开差距。优必选自主研发空心杯电机、行星滚柱丝杠等核心部件，且 6kN 线性执行器已实现量产，4 代 12-DoF 工业级灵巧手能疲劳测试超 8 万次，适配高强度工业场景，成熟度领先。宇树科技实现高扭矩无框电机、谐波减速器及行星减速器全自产，核心硬件无对外依赖，技术迭代与成本控制能力极强。公司的 H1 机型以 45N·m/kg 的关节输出密度断层领先，搭配自研高扭矩无框电机，可以为高动态运动（如奔跑、跳跃等）提供核心动力支撑。

图表56：国内核心本体厂商制造能力比较

公司	电机/减速器	关节输出密度	灵巧手	传感器融合
优必选	空心杯、行星滚柱丝杠自研，6kN 线性执行器已量产	28N·m/kg (WalkerS1)	4 代 12-DoF 工业级，>8 万次疲劳	纯视觉语义导航+IMU+力觉
宇树科技	自研高扭矩无框电机、谐波减速器和行星减速器	45N·m/kg (H1)	5 指 20-DoF，配备 94 个灵敏触点	自研 4D-LiDAR (360° × 90°) + 足端六维力
智元机器人	外采伺服电机、谐波减速器；自研驱控板、关节电机	35N·m/kg (远征 A1)	6-DoF 柔性手，内置 6 轴力/触觉阵列	双目+IMU+力传感，接入 EI-Brain 大模型
乐聚机器人	联合研发精密减速器、伺服电机及控制系统	32N·m/kg (Aelos 人形)	5 指 8-DoF 轻量手，指尖薄膜力传感	视觉+IMU，缺少足端力传感
傅利叶智能	外采伺服电机+谐波减速器，自研驱控一体板	25N·m/kg (GR-1)	5 指 6-DoF 轻量手，指尖薄膜力传感	视觉+IMU，缺少足端力传感

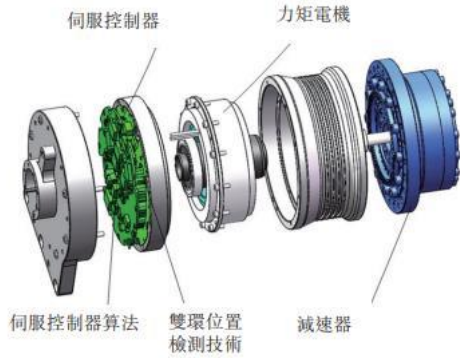
来源：高工机器人，国金证券研究所

优必选伺服驱动器技术领先，0.2-200N·m 扭矩领域实现量产。伺服驱动器一机器人关节是开发机器人控制和运动能力的关键硬件。根据优必选招股说明书援引弗若斯特沙利文信息，优必选是全球少数将集成多个伺服驱动器为关节的服务机器人商业化的公司之一，是全球少数实现多系列伺服驱动器量产及实际应用的公司之一，也是全球少数完成小扭矩到大扭矩（扭矩从 0.2N·m 到 200N·m）伺服驱动器批量生产的公司之一。凭借伺服驱动器的领先优势，优必选人形机器人的运动更加精准，产品自由度最高达 41 个，可顺利抓取不同形状和大小的物体。

宇树 UnitreeH1 硬件实力同样不俗。H1 搭载大扭矩高功率 M107 关节电机，是国内第一台能跑的人形机器人。为适配大负载、高密度、大功率的需要，宇树为 H1 设计了大扭矩密度 M107 关节电机，应用在 H1 的两个膝关节上，峰值扭矩达到 360N·m，而髋关节电机扭矩则为 220N·m，踝关节为 45N·m，手臂关节则为 75N·m。根据宇树官网，M107 和特斯拉人形机器人关节电机相比，尺寸更小、更轻、动力性能更强劲，甚至最大扭矩是 Tesla-1 关节的 2 倍。在 M107 关节电机加持下，H1 行走速度超 1.5m/s，潜在运动性能超 5m/s。H1 在速度、力量、机动灵活性等方面具备全球近似规格最高动力性能，能够在复杂地形和环境中自主行走和奔跑，是国内第一台能跑的通用型人形机器人。



图表57: 优必选大扭矩伺服驱动器



图表58: 宇树H1 搭载大扭矩高功率 M107 关节电机

产品	M107	Tesla-1	Tesla-2
最大扭矩或拉力 (按5cm力臂等效)	360N.m 10000N	180N.m	8000N
重量	1.9kg	2.26kg	2.2kg
扭矩/拉力/重量比	189 5263	79	3636
中空轴绳	有	无	无
双编码器	有	有	有
尺寸 (mm)	107*74	100*130	60*180

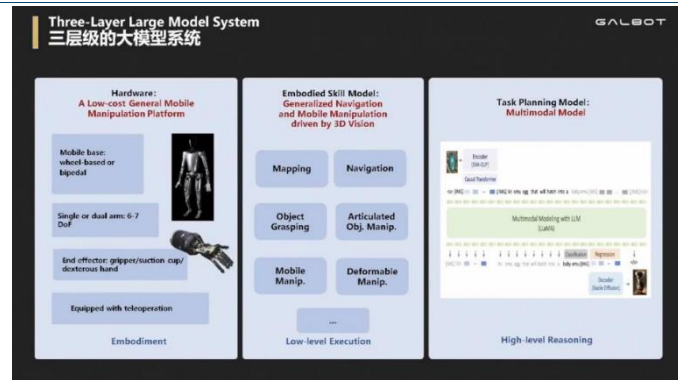
来源: 优必选招股说明书, 国金证券研究所

来源: 宇树科技官网, 国金证券研究所

从软件技术和智能算法维度来看, 银河通用具备核心优势。2023年5月成立至今, 银河通用已推出空间智能大模型 Open6DOR、基于视频的端到端大模型 NaVid、抓取大模型 GraspVLA、操作大模型 SAGE 等通用大模型。银河通用选择以合成数据驱动的具身大模型研发, 提出了“三层级大模型系统”, 包括硬件层、技能层和顶层大模型。通过这一创新架构, 机器人能够理解人类语言指令并自主完成任务规划与执行。在数据层面, 公司自研合成了几千万级的场景数据以及数十亿级的抓取和导航数据, 使机器人实现了跨场景、跨物体材质等方面的泛化抓取, 成功率高达 95%。

2025年, 银河通用发布了端到端具身大模型 GraspVLA, 训练数据达到十亿帧“视觉-语言-动作”的规模, 涵盖了广泛的抓取和移动任务。银河通用 GraspVLA 作为全球首个端到端具身抓取基础大模型, 确立了光照、背景、平面位置、空间高度、动态干扰、动作策略、物体类别七大零样本泛化金标准, 覆盖光线变化、复杂背景、三维姿态、外力干扰等核心场景, 可通过语义理解零样本抓取未见物体, 实现 Sim2Real 直接迁移。该模型打破传统模型对真实数据的依赖, 泛化抓取成功率突出, 一体化的泛化能力解决了具身智能商业化落地的核心痛点, 树立行业算法领域的技术标杆。

图表59: 银河通用三层及大模型系统



来源: 新浪财经, 国金证券研究所

图表60: GraspVLA 七大泛化金标准



来源: 银河通用机器人公众号, 国金证券研究所

从生态打造和下游渠道维度来看, 优必选、智元机器人等企业具备核心优势。在渠道策略方面, 优必选一方面战略合作直销, 与头部企业(富士康/云智汇、蔚来、比亚迪)深度绑定, 攻坚大客户。譬如通过与富士康旗下云智汇科技的全球合作, 后者负责优必选机器人的全球销售与推广, 这使其能快速切入汽车制造、3C 电子等主流工业场景, 树立高价值标杆案例。另一方面优必选积极进行产业链并购, 投入超 20 亿元进行收购整合, 强化供应链与价值链控制力。同时公司强调全栈技术、工业级可靠性及大规模订单交付能力。智元机器人则进行了多维度生态投资, 开源百万真机数据集、举办大型合作伙伴大会、展示全场景产品家族以及宣布激进的量产目标, 向市场传递其技术开放、发展迅猛、旨在构建未来生态的颠覆者姿态, 从而吸引开发者和寻求转型的合作伙伴加入其阵营。



图表61：国内核心本体厂商订单情况比较

公司	2025年订单与中标情况	发货/交付/量产情况	主要下游客户与场景
优必选	累计合同额领先：截至25年11月底，Walker系列人形机器人2025年全年订单总金额已达到13亿元（不含“天工行者”及“AI悟空”）；12月优必选又公布斩获AI大模型公司超0.5亿人形机器人订单。	目前，Walker S2产能每月已超过300台，预期全年交付量将超过500台。	工业制造（蔚来、比亚迪等车企生产线）；商业服务（企业采购）。
智元机器人	大额订单频出：与宇树联合中标中国移动1.24亿元订单（其中智元包为7800万元）。另获富临精工数千万元工业订单。	量产速度领先：截至2025年12月，宣布第5000台通用具身机器人下线，步入规模量产阶段。2025年出货量预计达数千台。	工业制造（富临精工等）；商业服务（中国移动营业厅接待、导览）；科研教育。
宇树科技	中标数量最多：2025年上半年公开中标68个项目，数量居首。与智元联合中标中国移动1.24亿元订单（其中宇树包为4605万元）。	历史出货量领先：2024年人形机器人出货量约1400台，曾为全球最高。2025年新款R1正在推动量产。	教育科研（高校、科技馆）；商业服务（作为标准设备被集成商采购）。
乐聚机器人	订单增长迅速：2025年一季度订单量同比增长200%。公司预计2025年交付1000-2000台。	交付进行中：2024年交付约100台。2025年一季度交付近300台。	工业制造（汽车厂物料分拣搬运）；教育科研；商业服务（展厅导览）。
智平方	获行业瞩目大单：与惠科股份达成战略合作，3年部署超1000台，订单金额近5亿元。	2025年预计交付500台。机器人已在汽车、半导体等工厂实训。	高端工业制造（半导体显示、汽车制造、生物科技）。

来源：各公司官网，优必选科技公众号，证券时报，北京商报，财联社等，国金证券研究所

4、推荐赛道：新技术、确定性高、格局优

从硬件维度看，25年机器人的关键词是迭代与收敛。伴随着特斯拉Optimus V3的逐步定型，机器人硬件迭代方向从功能性迈向耐久性，核心关注电驱动、灵巧手、丝杠新工艺和高端轴承等方向。同时伴随着特斯拉Optimus V3的定型，供应链也将逐步收敛。

4.1 新技术：高性能需求牵引，硬件收敛边际加快

4.1.1 新型电驱动技术

新型电驱动技术因具备高功率密度、高精度控制和快速响应等特性，与机器人特别是人形机器人对驱动系统的核心要求高度匹配。当前的技术竞争主要围绕以下几个核心展开：（1）谐波磁场电机新设计：核心在于利用特定磁场谐波（特别是3次谐波）进行能量转换或磁场调制，旨在打破传统电机的性能限制。最新设计主要围绕谐波励磁与无刷化、结构与磁路创新、谐波注入与控制和应用驱动的新型拓扑等方向展开。（2）GaN电控：利用宽禁带氮化镓（GaN）材料制成的功率开关器件，来构建更高效、更精密的电机控制器（逆变器）。它能显著提升谐波磁场电机的核心性能。（3）旋转变压器：旋转变压器是一种基于电磁感应的模拟式角位移传感器，作用是精准测量电机转子的位置、转速及旋转方向，将这些信号传输给电控，由软件的控制算法来控制电机。最新的量产方案把励磁、解调芯片做成SoC，体积缩小30%，但核心原理与优势依旧围绕“高温、高振、强EMI环境下的高可靠”展开。

图表62：谐波磁场电机新设计主要方向

设计方向	核心技术思路	代表产品	主要优势
谐波励磁与无刷化	利用谐波磁场实现转子励磁能量的无刷传递，取代电刷和滑环	无刷谐波励磁同步电机	提高可靠性，实现无刷励磁和宽范围调磁
结构与磁路创新	采用特殊拓扑（双定子、交替极等）构建并联磁路，对谐波磁场进行主动调制和优化	表嵌永磁双定子电机、混合励磁交替极电机	提升转矩/功率密度，增强磁场调节能力
谐波注入与控制	通过控制器向定子绕组注入特定谐波电流，主动利用谐波产生额外转矩或优化磁场分布	多相电机谐波注入	提升转矩密度和运行效率
应用驱动的新型拓扑	面向直驱、机器人关节等特定应用需求，进行磁场调制与结构一体化设计	混合磁路磁阻直驱电机	满足低速大扭矩、高动态响应等场景需求

来源：芜湖市产业创新中心，《基于零序空间谐波磁场励磁的无刷同步电机特性研究》等文献，国金证券研究所

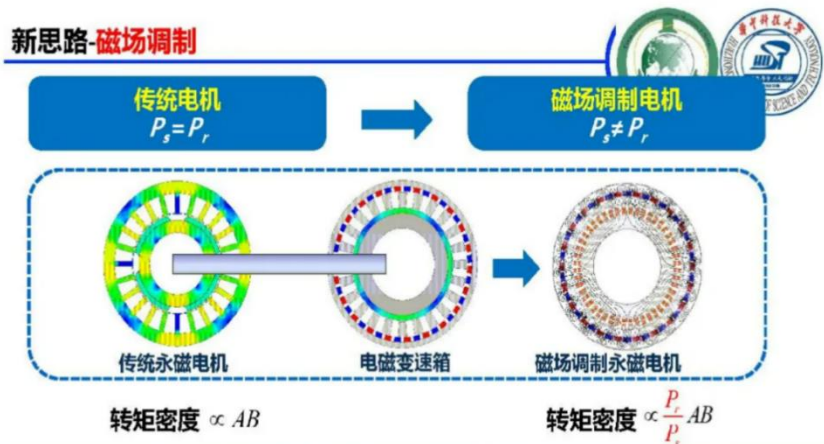
谐波磁场电机新设计：磁场调制电机是一类“把磁场当成齿轮”的新型电机，通过在定子、转子之间插入“调制单元”（齿、调磁环或导磁块），让不同极对数的永磁磁场与电枢磁场先“被调制”再耦合，从而在无机机械减速器的前提下实现低速大转矩输出。磁场调制电机



具备“励磁-调制-电枢”3个功能单元，在拓扑结构上具有更高的设计自由度，从而形成丰富的磁场调制电机族。根据各功能单元运动关系，可将无刷磁场调制电机分为3大类，即调制单元静止型、励磁单元静止型和三单元旋转型。在此基础上，可根据各功能单元的励磁方式划分出具体拓扑。

谐波磁场电机与传统电机的工作原理不同在于其电枢与励磁磁场要经过磁场调制单元的调制后才能相互作用产生转矩。当气隙内加入调制单元后，在永磁体和某一个导磁块中心线对齐时，由于铁磁材料导磁性远大于空气，所以磁场都穿过导磁块，导致该导磁块对应气隙内的磁密提升；而当永磁体中心线逐渐偏离导磁块中心线时，这种导磁效果会逐渐削弱，直到永磁体中心线开始靠近下一块导磁块的中心线，并在两者重合时，该导磁块对应的气隙磁场重新达到峰值。因此当气隙中加入导磁块后，气隙磁场会由于其导磁作用变得不规则，从空间谐波的角度分析，可以预测新的磁场谐波分量被引入。

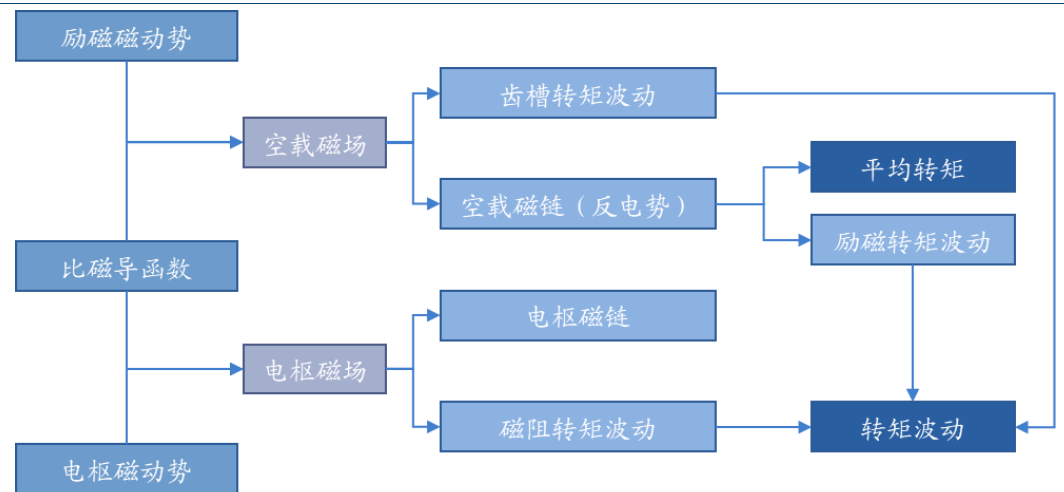
图表63：谐波磁场电机打破励磁和电枢单元的极对数相等限制



来源：《磁场调制——高转矩密度电机的创新与发展》，国金证券研究所

谐波磁场电机核心优势在于平均转矩大、转矩波动小。电机作为机电能量转换装置，其性能体现在“电”与“机械”两个方面。机械端口的主要指标是平均转矩与转矩波动，而电端口的主要指标为电压、电流、功率因数、电压畸变程度等。根据电机学理论，电机的电压与电流可以通过线匝数调节，因此其内在的性能仅为功率因数与电压畸变程度两项。由于电压畸变程度主要在转矩波动中体现，所以谐波磁场电机的主要两项性能指标为平均转矩和转矩波动。

图表64：谐波磁场电机的主要两项性能指标为平均转矩和转矩波动



来源：《磁场调制电机》，国金证券研究所

GaN 电控：氮化镓（GaN）电控系统是以第三代宽禁带半导体材料氮化镓为核心功率器件的电力电子控制系统，主要应用于新能源汽车的电机驱动、充电和电源管理等领域。与传统硅基电控相比，GaN 电控凭借其独特的物理特性实现了效率、功率密度和响应速度的全面提升。GaN 与 SiC 作为第三代半导体的两大主流技术路线，从材料物理特性来看各有优



势。SiC 在高温稳定性和热管理方面具有明显优势。SiC 的热导率高达 $4.9W/(cm \cdot K)$ ，是 GaN 的 3 倍多，这使得 SiC 器件在高温工作时热管理更容易。在电动汽车电驱系统中，SiC MOSFET 的高温导通电阻仅上升 37.5% (从 $40m\Omega$ 升至 $55m\Omega$)，而 GaN 器件在高温下易出现反向电流能力下降和热失效。SiC 器件可在 $200^\circ C$ 以上高温环境稳定工作，而 GaN 器件的工作温度通常限制在 $150^\circ C$ 以下。

而 GaN 在高频特性方面具有压倒性优势。GaN 的电子迁移率达到 $2000cm^2/V \cdot s$ ，比 SiC 高一个数量级，特别适合高频应用。GaN 器件可实现 ns 级开关速度，比 SiC 快 3-5 倍，开关损耗降低 50% 以上。在 650V 等级，GaN 器件的导通电阻比 SiC 低 30%，但在 1200V 时 SiC 优势明显，其比导通电阻仅为 GaN 的 60%。GaN 电控系统凭借其高效率、高功率密度、超紧凑体积和精准控制能力，正在成为新能源汽车电驱系统的主流技术路线，不仅能直接提升续航 3-5%，还能通过系统轻量化和集成化创造更大价值。

图表 65: SiC 与 GaN 核心性能参数对比

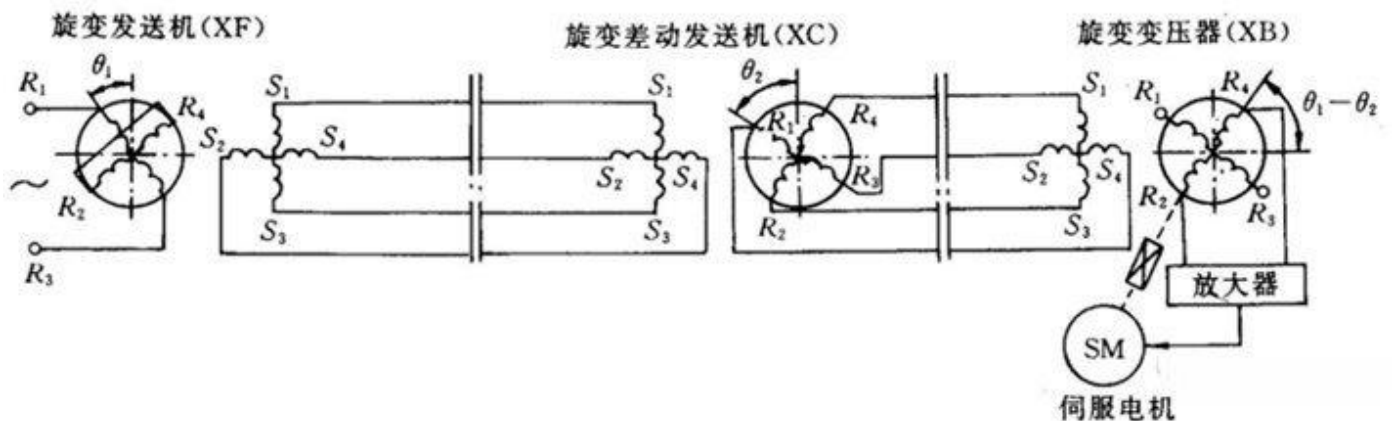
性能参数	SiC	GaN
禁带宽度	3.26eV	3.4eV
击穿电场强度	3MV/cm	3.3MV/cm
热导率	$4.9W/(cm \cdot K)$	$1.3W/(cm \cdot K)$
电子迁移率	$900cm^2/V \cdot s$	$2000cm^2/V \cdot s$
饱和电子漂移速度	$2 \times 10^7 cm/s$	$2.5 \times 10^7 cm/s$

来源：稀土掘金，国金证券研究所

旋转变压器：旋转变压器（简称旋变）是一种基于电磁感应原理工作的角位置/转速检测传感器，本质是一种精密的小型交流电机，通过转子旋转改变定、转子绕组间的电磁耦合程度，输出与转子机械角度呈正弦余弦函数关系的电信号，经后续解码电路解算后，可精准获取转子的绝对位置或转速信息。旋转变压器主要用于需要高精度、高可靠性的闭环控制系统，是新能源汽车电驱系统、工业伺服电机、航空航天舵机等设备的核心传感部件，与光电编码器并列为主流的电机位置检测装置，但在恶劣工况下的适应性远超编码器。

旋转变压器依托无接触式电磁耦合设计，适配高振动、高温等恶劣工况，优势显著。其一环境适应性极强，工作温度覆盖 $-55^\circ C \sim +150^\circ C$ ，军工级可耐受 $+200^\circ C$ ，能承受 100g 振动冲击，抗电磁干扰、粉尘油污，无需额外屏蔽，性能优于光电编码器；其二定位精度高、分辨率优，隐极式精度 $\pm 3' \sim \pm 10'$ ，高精度款 $\leq \pm 1'$ ，配合解码器分辨率可达 1/10000 转以上；其三可靠性高且长寿命免维护，无摩擦磨损，寿命达数万至数十万小时，维护成本低；其四适配 0~数万转/分钟宽转速，高低速均能精准响应无盲区；其五结构紧凑易集成，可内置电机轴端，契合新能源汽车电驱小型化趋势；其六抗过载安全性高，能承受电气与机械过载，保障检测精度与系统容错性。

图表 66: 旋转变压器按用途分类示意图



来源：驱动视界，国金证券研究所

新型电驱动技术已深度融入机器人的关键运动部位。在大关节（如髌、膝、肘）上，普遍采用高功率密度的无框力矩电机，将转子直接套在关节轴上以实现强劲的扭矩输出，成为机器人奔跑与负重的核心动力源。而在手部，则依赖响应极快的微型空心杯电机，通过高度集成的驱控芯片进行精准的力控与位控，完成各种精细操作。此外，直线电机直接提供高精度的直线运动，智能电磁刹车驱动器则保障了关节的安全制动与锁止。未来，电驱动



系统将向更高度的集成化、更智能的控制以及更低的成本方向发展。同时，如何进一步提升能量利用效率、降低高功率密度下的发热、以及优化传感器与驱动器的集成，仍是需要持续攻克的技术挑战。

图表67：新型电驱动解决人形机器人核心痛点

人形机器人核心需求	新型电驱动技术特点	关键应用部件
体积小、重量轻	高功率密度、结构紧凑（如无框电机、空心杯电机）	关节、灵巧手
高精度、高响应	高精度伺服控制、低机电时间常数	灵巧手（毫米级操作）、关节（精准定位）
高扭矩输出	高效率、直接驱动（力矩电机）	髌关节、膝关节等承重部位
高可靠性、长续航	高效能、低摩擦、先进热管理与能源控制	整机动力系统

来源：国际科技创新中心，世界电子元器件，中国粉体网，电子产品世界，国金证券研究所

4.1.2 电子手套

电子手套是一种集成了传感器、执行器和通信系统的可穿戴设备，核心技术在于高精度感知手部动作与触觉，并将其转化为数字信号。其关键用途已从传统的虚拟现实、机器人控制，拓展到医疗康复、智能交互等更广泛的领域。动作捕捉与力触觉感知是电子手套的技术基础，柔性压力/应变传感器和摩擦电传感器负责捕捉手指的弯曲、角度和力度。为了模拟真实触感，像 DextrES 手套使用的静电黏合技术，能通过产生阻力让用户“感觉”到虚拟物体。而信号处理与系统集成是实现产品落地的关键，譬如哈工大的手套集成了边缘计算模块，能在本地快速处理数据，将操作延迟降低 70%，识别精度提升至 98% 以上。同时，将多种传感器（如 IMU、温度湿度传感器）融合，能更全面地理解手部动作意图。目前，高端人机交互与远程控制是电子手套最成熟的应用领域。例如，操控无人机和工业机器人时，手套能将手势直接转化为控制指令，提高作业安全与效率。在虚拟现实 (VR) 中，除了动作捕捉，还能提供触觉反馈，提升沉浸感。

图表68：特斯拉机器人最新展出的电子手套



来源：运控产业协会 IMC，国金证券研究所



图表69：用于智能可穿戴数据手套的不同类型传感器材料与性能规格

传感器	传感器性能		优势	缺陷
	材料	传感器数量		
压力传感器	金纳米线(gold nanowires, AuNWs)	5	灵敏度高、耐久性高	制造工艺复杂
	热塑性聚氨酯(thermoplastic polyurethane, TPU)纳米纤维、银纳米线(ag nanowires, AgNWs)	10	灵敏度高、线性度大、稳定性高、响应时间快	电容信号采集系统复杂、信号稳定性差
	多壁碳纳米管(multi-walled carbon nano-tubes, MWNTs)、聚二甲基硅氧烷(polydimethylsiloxane, PDMS)	6	灵敏度高、重复性好、制造工艺简单	检测范围小
	聚二甲基硅氧烷(polydimethylsiloxane, PDMS)、碳氮化物 MXene 纳米片、Ag 纳米花(ag nanoflower, AgNF)	5	灵敏度高、稳定性好、响应/恢复时间快	制造工艺复杂
光纤传感器	玻璃纳米纤维(glass micro/nanofibers, MNFs)、聚二甲基硅氧烷(Polydimethylsiloxane, PDMS)	5	灵活、与人体皮肤兼容、分辨率高	光信号采集误差大、精度低
	柔性硅橡胶纤维	5	成本低、柔韧性高、稳定性高	供电系统稳定性差
	二氧化硅、聚氨酯弹性芯	5	灵活性高、精度高	测量系统复杂
应变传感器	石墨烯纳米片(graphene nanoplatelets, GNPs)、聚偏氟乙烯(polyvinylidene fluoride, PVDF)	1	灵敏度高、柔软性好、导电性好	制造工艺复杂
	碳纳米管/银纳米线(carbon nanotube/silver nanowire, CNT/AgNW)	5	高拉伸性、高导电性、响应和恢复速度快	长期耐用性差
	碳纳米管(carbon nanotubes, CNTs)多孔软硅弹性体(porous soft silicone elastomer, PSSE)	5	高灵敏度、大拉伸性、柔软性好、耐用性高	制造工艺复杂
温度传感器	银纳米线(ag nanowire, AgNWs)油墨、硅纳米带(silicon nano ribbons, SiNR)	20	动态范围大、线性度好	灵敏度低
	多壁碳纳米管/聚二甲基硅氧烷(multiwall carbon nanotubes/polydimethylsiloxane, MWNTs/PDMS)	10	响应快、灵敏度高、良线性度好、耐久性高	易受环境影响、稳定性低
	碳纳米管(carbon nanotubes, CNTs)、离子液体([EMIM] T2N)混合物	4	导热性强、灵敏度高、响应速度快	电信号放大处理系统复杂

来源：《智能可穿戴柔性数据手套传感技术研究进展》(张燕，谢红)，国金证券研究所

4.1.3 丝杠新技术

丝杠新技术方面，各大研发团队主要从材料、结构、工艺三个维度，全面推动了丝杠的性能革新。系统性地解决了人形机器人对高强度、轻量化、高精度、智能化的核心诉求，共同推动人形机器人从实验室原型，迈向能在工业、服务、家庭等复杂真实环境中可靠、高效、安全作业的实用化产品。

材料方面，轻量化和耐磨损是丝杠材料未来的核心要求。

PEEK（聚醚醚酮）是一种性能优异的工程塑料。具有出色的机械性能、抗腐蚀性和高温稳定性。PEEK 还具有自润滑性好、易加工、绝缘性稳定、耐水解等优异性能。在机器人领域，PEEK 材料凭借其显著的轻量化特性，成为了备受瞩目的关键材料。机器人在执行任务时，需要具备灵活的运动能力和高效的能源利用效率，过重的机身会严重影响其灵活性与续航能力。PEEK 材料密度低，质量轻，将其应用于机器人制造，能够有效减轻机器人的整体重量，使机器人在运动过程中更加敏捷，能耗更低。

目前国内 PEEK 材料的主要供应商有中研股份、新瀚新材、沃特股份。中研股份是继英国威格斯公司、比利时索尔维公司和德国赢创公司之后全球第 4 家 PEEK 产能超过千吨级的企业，是目前除英国威格斯公司外全球第 2 家能够使用 5000L 反应釜进行 PEEK 聚合生产



的企业，是目前 PEEK 产量最大的中国企业。

近年来，国内企业在 PEEK 材料领域取得了显著进步，多个国产 PEEK 产品的主要性能指标已达到国际先进水平。同时，得益于较低的原料和人工成本，国产 PEEK 材料在性价比上展现出明显优势，国产替代的步伐正在加快。

图表70：PEEK 材料的主要供应商

企业名称	企业标签
中研股份	专精特新小巨人企业\规模以上工业\企业技术中心\高新技术企业
金发科技	制造业单项冠军企业\技术创新示范企业\绿色制造\国家级重点实验室
沃特股份	专精特新中小企业\国家标准制定企业
吉大赢创	规模以上工业
吉大特塑	专精特新企业\国家标准制定企业\规模以上工业
山东君昊	科技型中小企业\规模以上服务业

来源：企查查，国金证券研究所

PEEK 复合材料常见加工成型方法，主要有注塑成型、热压成型、模压成型、缠绕成型及等离子体喷涂、热喷涂等。注塑成型可制备复杂结构产品，成型效率高，但制品强度偏低，力学性能增强效果不理想。热压成型工艺相对简单，便于批量生产，可先制成平面制品，再二次加工出所需形状。模压成型效率高，工艺简单，常用于结构简单、尺寸较大的平面制品，但工艺参数选择不当会产生裂纹。缠绕成型可个据制品受力情况确定缠绕方式，制品质量稳定，便于自动化生产。

图表71：PEEK 五种加工工艺

加工方式	加工流程
注塑成型	混合粉末→注塑机熔化→注入模具→烧结固化
热压成型	原料→预处理后的模具→施压升温固化成型
模压成型	预浸料/预混料→放入模具→加压、升温→固化成型
缠绕成型	预浸带预热→缠绕于芯模→加热接触点→预浸料逐层黏合成型
等离子体喷涂	粉末喷涂→加速沉积→预处理工件表面→形成涂层
热喷涂	注入氧-乙炔火焰中→有孔隙的涂层→激光后处理→致密微观涂层结构

来源：《PEEK 复合材料及其在风电滑动轴承中的应用》，国金证券研究所

陶瓷材料是一种新型材料，具有重量轻、强度高，不易变形、抗电性好等优良性能，是微型丝杠的理想材料。

- 重量轻，契合灵巧手轻量化发展趋势：陶瓷材料的密度通常较低，这使得其在相同体积下，陶瓷比金属等传统材料更轻。微型丝杠采取陶瓷路径，能够满足灵巧手轻量化需求，有助于提升机器人整体的运动灵活性与能源利用效率。
- 强度高，可提高微型丝杠传动速度：陶瓷材料具有晶体结构，存在紧密排列的离子键或共价键的键合结构，这使得陶瓷材料具有高强度的特点，。高强度陶瓷材料应用于微型丝杠，可在不影响精度的情况下实现更高的速度。
- 耐磨损，能够实现微型丝杠寿命的延长：陶瓷材料具有优异的耐磨性、抗腐蚀性以及低摩擦特性，使用陶瓷材料的微型丝杠能够大大提升耐用性，减少维护和更换频率，为灵巧手的长时间稳定运行提供保障。

陶瓷材料凭借其卓越性能，在机械、汽车零部件领域已得到广泛应用。机器人丝杠作为机器人的核心传动部件，对材料的精度保持性、耐磨性和轻量化要求极高。鉴于陶瓷材料在汽车领域的出色表现，将其应用于机器人丝杠制造具有极大的潜力。

图表72：陶瓷材料主要应用领域及代表企业

应用领域	产品类型	主要材料举例	代表企业
机械	密封环	SiC, Al ₂ O ₃	美国 Carborundum
	轴承、轴套	Si ₃ N ₄ , ZrO ₂	日本东芝陶瓷, 日本光洋精工
	泵的内衬、叶片、柱塞、阀门	ZrO ₂ , Al ₂ O ₃	日本京瓷公司
	拔丝模、喷丝嘴、喷砂嘴、热挤模	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , Si ₃ N ₄	日本特殊陶业, 英国 Morgan
	切削刀具	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , Si ₃ N ₄	德国 CeramTec, 瑞典 Sandvik



汽车零部件	火花塞、电热塞	Al_2O_3, Si_3N_4	日本特殊陶业
	挺柱、摇臂银块	Si_3N_4	日本特殊陶业
	涡轮增压器转子、气门	Si_3N_4	日本京瓷公司
	蜂窝陶瓷催化剂载体	堇青石瓷	美国康宁公司

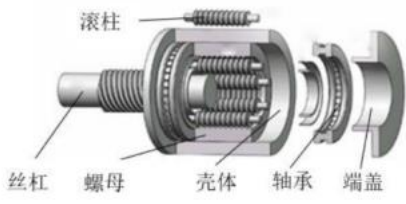
来源：粉体网，国金证券研究所

丝杠的结构不同决定了线性执行器整体的体积大小、散热能力等问题。根据结构不同，行星滚柱丝杠可分为标准式行星滚柱丝杠、反向式行星滚柱丝杠、循环式行星滚柱丝杠、差动式行星滚柱丝杠和轴承环式行星滚柱丝杠五种类型。其中标准式行星滚柱丝杠是目前应用最广泛的类型，其他4种类型均是为了适应于不同的应用环境而在其基础上演变而来的。反向式行星滚柱丝杠适用于环境恶劣、高负载、高速等场合，反向式行星滚柱丝杠用于中小负载、小行程和高速的应用场景，循环式行星滚柱丝杠在高刚度、高承载、高精度的场合下得到广泛应用，差动式行星滚柱丝杠可应用于传动比较大，承载能力较高的情境下，轴承环式行星滚柱丝杠则多应用于高承载、高效率等场合。

图表73：滚柱丝杠可分为标准式、反向式、循环式、差动式和轴承环式五种类型

类型	结构	特点	应用场景	示意图
标准式行星滚柱丝杠	丝杠、螺母为三角形多头螺纹，滚柱为具有一定螺旋升角的球形单头螺纹，并在其两端加工有直齿，内齿圈固定在螺母两端并与滚柱两端的直齿轮啮合。	一般情况下，丝杠为主动件，螺母为输出构件。能够实现较大行程。	适用于环境恶劣、高负载、高速等场合，主要应用于精密机床、机器人、军工装备等领域，是目前应用最广泛的类型。	
反向式行星滚柱丝杠	结构形式与标准式类似，不同在于其没有内齿圈，丝杠两端加工有直齿与滚柱两端的齿轮啮合，且螺母作为主动件，其长度比标准式的大得多。	一般情况下，反向式行星滚柱丝杠的螺母为主动件，丝杠为输出构件，滚柱、丝杠之间无相对轴向位移。最大的优势在于可将其螺母作为电机转子实现电机和丝杠一体化设计，形成结构紧凑的一体式机电作动器。其主要缺点为行程受到螺母内螺纹长度的限制。	主要用于中小负载、小行程和高速的应用场景。可替代传统液压、气压伺服动作系统用于航空、航天、船舶、电力等领域。	
循环式行星滚柱丝杠	相比于标准式，其去掉了内齿圈，增加了凸轮环结构，其功能类似于滚珠丝杠的返回器，目的是为了让滚柱在螺母内旋转一周后回到初始位置，另外其滚柱上无螺纹、齿轮结构，为环槽状，环槽间距与丝杠、螺母的螺纹匹配，其安装在具有凹槽结构的保持架上	循环式行星滚柱丝杠的结构特点增加了参与啮合的螺纹数量，因此具有较高的刚度和较大的承载能力。其缺点在于其凸轮环结构会产生振动冲击，存在噪音问题。	主要应用于要求高刚度、高承载、高精度的场合，如医疗器械、光学精密仪器等领域。	
差动式行星滚柱丝杠	与标准式相比，其去掉了内齿圈，滚柱上也没有齿轮段。其滚柱、螺母均为环槽结构，且滚柱的环槽分为多段，其中小中径段与螺母啮合，大中径段与丝杠啮合	差动式行星滚柱丝杠的结构特点使其可以获得更小的导程。但在其运动过程中，螺纹会产生滑动现象，在重载情况下，容易产生磨损，导致精度丧失，可靠性降低等问题。	适用于传动比较大，承载能力较高的应用场合	



<p>轴承环式行星滚柱丝杠</p>	<p>其滚柱与循环式相同，为环槽结构，相比于标准式，其螺母上去掉了内齿圈，增加了壳体、端盖及推力圆柱滚子轴承等部件</p>	<p>轴承环式行星滚柱丝杠上的推力圆柱滚子轴承大大提高了其承载能力，同时也减小了各构件间的磨损，增大了传动效率。但存在着结构复杂，径向尺寸大，制造成本高等缺点</p>	<p>主要适用于高承载、高效率等场合，如石油化工、重型机械等领域</p>	
-------------------	---	---	--------------------------------------	---

来源：《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》，国金证券研究所

工艺方面，目前精密丝杠加工主要分为车铣磨、冷锻+磨削两类工艺路线。车铣磨工艺路线中，在粗加工阶段借助车削利用主轴回转与刀具移动切除多余材料，铣削凭借旋转多刃刀具高效切割，共同对丝杠、滚柱和螺母毛坯进行初步成型；随后通过淬火、回火等热处理提升零件性能；最后运用外圆磨床、内圆磨床等设备进行磨削精加工，确保高精度。

冷锻+磨削工艺路线，则先以冷轧技术对坯件冷态施压使其塑性变形，高效加工成接近成品的形状，提升材料利用率与零件表面性能，之后依据需求进行热处理消除内应力，最后磨削余量已达高精度要求。而硬车和砂轮磨工艺路线主要用于反向式行星滚柱丝杠螺母加工，硬车可在硬态材料上直接车削，效率高、成本低，能加工出螺母内螺纹等；砂轮磨则精度更高，用于进一步提升螺母加工精度与表面质量，不过长螺母内螺纹磨削时，因砂轮单边支撑存在精度控制难题。

图表74：车铣磨加工流程图

序号	工艺内容	备注
1	下料	GCr15
2	球化退火热处理并检验校直	降低硬度
3	加工端面，钻中心孔	
4	粗车	
5	高温时效并检验	去应力
6	加工端面，修研中心孔	
7	半精车	
8	铣	
9	粗磨	两顶尖
10	工作表面（滚道）与加工基准（中心孔）淬、回火—检验	
11	研磨中心孔	
12	粗磨 90° V形槽	两顶尖
13	磁力探伤	
14	时效处理并检验	去应力
15	研磨中心孔	
16	半精磨滚道	两顶尖
17	低温时效处理并检验	
18	铣键槽	
19	磨端部螺纹	
20	研磨中心孔	
21	精磨滚道，全检	两顶尖
22	装配--跑合--检验--防锈包装--检验--入库	

来源：《精密滚珠丝杠机械加工工艺规程研究》，国金证券研究所

目前磨削工艺为市场上精密丝杠加工的主流技术方案，精度可达P0-P1级，为超精密丝杠主流工艺，但工序复杂、效率偏低。较低精度领域则采用半精加工方案如硬态车削和旋风铣削。硬车（P2-P3级，Ra<1.6μm）效率优于磨削，但存在刀具损耗问题；旋风铣削（P3级，Ra≈0.4μm）兼顾效率与表面质量，但高精度领域仍依赖磨削，且需关注铣刀寿命。冷轧通过模具塑性变形高效成形，但精度较低（P5-P10级），表面粗糙度Ra值0.8-1.6μm，需要通过磨削进一步精加工以提升产品精度。

图表75：磨削工艺精度最高，是市场上的主流技术方案

工艺	加工精度	表面质量	特征
冷轧	P7	0.8 μm<Ra<1.6 μm	效率高、精度低



磨削	P1	受砂轮粒度号和磨削速度影响	精度高、工序复杂、效率低
硬车	P2-P3	$Ra < 1.6 \mu m$	效率高、刀具易磨损
旋风铣	P3	$Ra = 0.4 \mu m$	兼顾效率与质量、精度欠缺

来源：金属加工、焉知人形机器、东佑、青轩小研、园区产业招商、磨床与磨削等公众号，《滚珠丝杠螺纹制造技术向高效、低耗、绿色方向发展》、《滚珠丝杠滚道硬车加工技术研究》，国金证券研究所

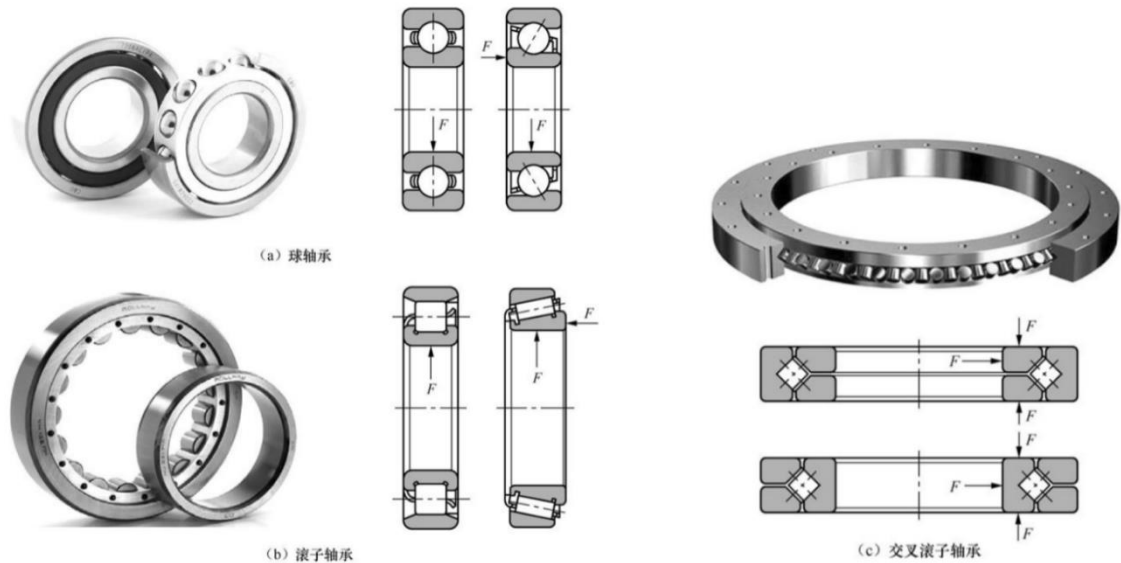
4.1.4 薄壁交叉滚子轴承新技术

薄壁交叉滚子轴承是一种高精度、高刚性的轴承类型，是一种技术含量高、制造难度大的精密基础零部件。凭借其独特的结构设计，薄壁交叉滚子轴承在多个关键性能指标上展现出显著优势。

薄壁交叉滚子轴承具有卓越的承载能力。薄壁交叉滚子轴承的核心在于其滚子呈 90° 交叉排列，且滚子与滚道为线接触。相比球轴承的点接触，这种设计提供了更大的接触面积，能够同时承受径向载荷、轴向载荷以及倾覆力矩等复杂负荷。其承载能力远超同尺寸的传统轴承，为设备在重载或复合受力工况下的稳定运行提供了可靠保障。以某型号主机所用交叉圆柱滚子转盘轴承为例，其径向载荷可以达到 800kN，轴向载荷为 4000kN，倾覆力矩达到 11000kNm。

薄壁交叉滚子轴承具有极高的精度与刚性。得益于滚子与滚道的线接触特性，轴承在承受相同载荷时产生的弹性变形远小于点接触的球轴承，其刚性可达同尺寸传统轴承的 3 至 4 倍。同时，通过两分割套圈的结构可实现间隙精确调整甚至施加预载，结合精密制造工艺，共同确保了轴承能够实现纳米级的极高旋转精度。以圆锥交叉滚柱轴承为例，其理论设计精度为 0.01mm，实际使用精度最高可达 0.005mm。

图表76：薄壁交叉滚子轴承可替代传统双支撑结构轴承，结构简单且节省空间



来源：《工业机器人完全应用手册》（龚仲华，龚晓雯主编），国金证券研究所

薄壁交叉滚子轴承可满足紧凑的安装空间需求。轴承采用一体化设计，将承受复杂载荷的功能高度集成于一个紧凑单元之内。相比于以往需要多套角接触球轴承或圆锥滚子轴承组合才能实现的支承方案，薄壁交叉滚子轴承仅用单套轴承即可替代，极大地简化了主轴及支承结构。通过滚子的直交排列，背对背安装的接触角为 45° 的单列滚子轴承和球轴承的 2 个大小的截面面积缩小到了 1 个大小，节省了宝贵的轴向与径向安装空间，特别适用于结构紧凑、布局精密的设备。

图表77：薄壁交叉滚子轴承不同细分类型可适应多样化的应用需求

类型	结构特点	适用场景
RB 型 (外圈分割型)	外圈两分割，内圈一体式	要求内圈旋转精度高的部位
RE 型 (内圈分割型)	内圈两分割，外圈一体式	要求外圈旋转精度高的部位



RU 型 (内外圈一体型)	内外圈均为整体结构, 带安装孔	内外圈都可能旋转, 安装简便, 不需额外法兰/支撑座
CRBH 型 (内外圈一体型)	内外圈整体结构, 超薄设计, 无安装孔	空间极其受限且要求高刚性的场合, 需配合法兰和支撑座
RA 型 (超薄型)	将 RB 型内外环厚度减小到极限的紧凑型	需要重量轻、紧凑设计的部位, 如机器人和机械手旋转部位
XR 型 (交叉圆锥滚子)	采用圆锥滚子, 滚道和滚子构造上的线接触提供了最大旋转精度、高稳定性和更大的倾斜刚度	适用于高速机床应用, 如立式撞床和立式磨床

来源: 鸿源轴承官网, 国金证券研究所

薄壁交叉滚子轴承具有较高的稳定性和工作寿命。滚子之间设置有精密隔离块, 这一设计有效防止了滚子倾斜与相互摩擦, 不仅降低了旋转力矩, 还避免了应力集中或锁死现象。无论是匀速运转还是变速工况, 轴承都能保持平稳、顺滑的运动特性, 显著提升了设备运行的动态稳定性与可靠性。由于薄壁交叉滚子轴承摩擦系数小, 为 0.001-0.005, 工作面的磨损接近于零, 在正常使用条件下寿命可达 10-25 年, 而传统滚动轴承在高速重载情况下工作寿命较低。

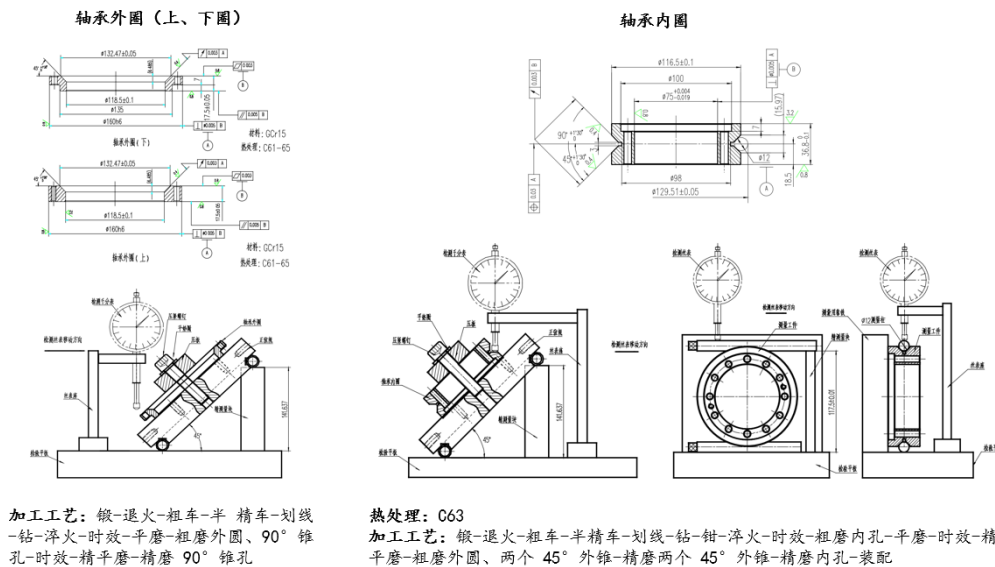
图表 78: 薄壁交叉滚子轴承核心参数参考

	精密交叉圆锥滚子轴承	精密交叉圆柱滚子轴承
转速范围	50-200r/min	50-200r/min
精度等级	P4、P2	P4、P2
轴向跳动	<0.006mm	<0.008mm
精度寿命	20000-30000h	20000-30000h
尺寸范围	内径 200-1600mm, 外径 280-1800mm	内径 500-1060mm, 外径 600-1800mm

来源: 《中国战略性新兴产业也研究与发展: 轴承》, 国金证券研究所

薄壁交叉滚子轴承行业三大核心环节存在显著的技术壁垒。交叉滚子轴承的技术壁垒主要体现在抗变性能、磨削精度(以微米级计算)、刚性、寿命、转动平滑度及预警装置等多个方面。在材料工艺方面, 需采用高强度、高韧性的特种材料, 确保轴承在重载和冲击载荷下的可靠性。目前交叉滚子轴承高端材料依赖进口, 日本特种钢纯度领先国两个等级, 而国内热处理依赖军工设备, 热处理技术有待提升。

图表 79: 交叉滚子轴承各零件结构及加工工艺



来源: 《交叉圆柱滚子轴承的加工工艺分析》(师如华), 国金证券研究所

在精密加工方面, 交叉滚子轴承加工工序复杂, 包括锻造、车削钻孔、磨削处理等环节, 优质品通过锻造确保刚性和密实性, 此外, 产品要求极高的尺寸精度和旋转精度, 误差需控制在微米级, 这对加工设备提出了极致要求。目前国内交叉滚子轴承超精加工尚未普及, 但已开始使用国产磨床替代进口设备, 并研发了金刚石砂轮修整器以提升精度。



在装配检测环节，交叉滚子轴承对装配精度的要求极高，需确保滚子与滚道的完美配合，目前装配过程依赖人工，限制了批量生产。目前全球范围内能大规模量产的企业主要集中在日本与德国，国内供应商不到 10 家，其中包括具备小批量供应能力的人本股份、具备技术储备的国机精工、非上市企业洛阳博盈轴承、洛阳普瑞森等。

图表80：交叉滚子轴承各环节技术壁垒与国内外情况对比

		国外	国内
原材料		一般采用精炼电渣重熔轴承钢或者渗碳钢	原材料性能较差
轴承加工	套圈	超精研磨和轴承装配的自动化程度非常高	超精研磨仍以单机自动为主，装配以单机半自动为主；设备可靠性差，联机技术不成熟
	滚子	普遍使用精密凸轮圆锥滚子，且多为自动线生产	圆滚子的制造精度低，母线不带凸度和同组锥滚子尺寸分散度大，滚子表面也存在烧伤、脱碳和磨削变质层等问题
	保持架	对浪形保持架，采用真圆形兜孔并加宽包络面，采用多工位（最长达 15 个工位）压力机制作；对于框形保持架，采用为多头冲孔一次冲工艺	对浪形保持架，仍沿用椭圆形兜孔，采用单工位压力机制造；对于框形保持架，采用依次逐个冲孔的工艺
检测		在纳米技术超精切削和超精磨削领域已取得较大进展；自适应磨削技术、在线测量技术、故障诊断技术、仿真试验等已得到广泛应用	纳米级轴承加工和测量技术刚起步

来源：海鑫钢网，国金证券研究所

4.2 供应链发包在即，确定性较高的公司具备超额收益

马斯克预计 2026 年将建设 100 万台机器人产能，对应供应链已经陆续扩产和储备产能。经统计，特斯拉及其相关供应链企业正逐步在泰国形成以机器人核心零部件为主的产业集群，以拓展全球机器人渠道的快速增长。分结构件看，已经在泰国投资布局的有：关节总成端的三花智控、拓普集团等；丝杠端的浙江荣泰等；微型电机端的兆威机电等；电池端的宁德时代等；减速器端的精锻科技等；轻量化结构件的旭升集团等。各公司在泰国布局的产能既可以用于汽车零部件，又可以复用于人形机器人，兼顾了长短期的经济效益。

图表81：特斯拉机器人相关的主流产业链企业已开始泰国建厂

公司名称	设立地区	产能	投资额度	达产时间
三花智控	泰国	聚焦换热器产品生产，服务东南亚及周边市场汽车客户	项目投资总额 1.02 亿元人民币，拟使用募集资金 6800 万元人民币	2025 年 8 月披露预计 2025 年 Q3 量产，产能根据客户订单配置并预留安全余量
拓普集团	/	预计年产能 100 万台，覆盖执行器、传感器、结构件全链条	项目总投资 6.48 亿元，分阶段根据订单需求和业务进展实施投资	仍处规划和筹建阶段
浙江荣泰	泰国春武里府	年产 1.8 万吨新能源汽车用云母材料及新型复合材料；投产后周产能达 3 - 4 万根	总投资 2.5 - 3 亿元人民币	2025 年下半年完成厂房建设，2026 年开始产能爬坡并逐步达产
蓝思科技	泰国	未披露	未披露	25Q3 仍在建设中
双林股份	泰国春武里府附近	已布局 5 条高端轮毂轴承生产线，量产后月产量预计达 4.5 万套	未披露具体总投资额度	泰国新火炬工厂已于 2025 年 1 月正式量产。2024 年 10 月，公司泰国新火炬 OEM 生产线 6 月份实现小批量下线
北特科技	泰国春武里府	达产后年产能 80 万套行星滚柱丝杠	总投资不超 5000 万美元，一期拟用定增募资不超 3 亿元人民币，项目总投资额 3.49 亿元人民币	建设周期二年，分多期建设，具体达产时间待后续公告披露
德昌电机	泰国罗勇府 WHA 工业园	年产 500 万台家电产品	项目总投资 63799.94 万元人民币	建设周期 3 年，未披露具体达产时间



公司名称	设立地区	产能	投资额度	达产时间
	区			
兆威机电	泰国	未披露	不超过 1 亿美元	未披露
鼎智科技	泰国大城府 乌泰镇乌泰 街道 4 号 村 42/29 号	规划年产能 100 万套，重点辐射 东南亚机器人市场，2025 年第三 季度投产	初始注册资本等值 100 万美元； 2025 年 8 月拟追加投资 150 万美元，追加后总投资额达 250 万美元（折合人民币约 1813.75 万元）	暂未明确披露，预计 2025 年第三季度投产， 预计将逐步释放产能至规划规模
精锻科技	泰国罗勇府	未披露	投资规模 4.5 亿元，2025 年 10 月拟追加投资 2.5 亿元人民币	2025 年 9 月披露已小规模量产，主要应对 美国订单
斯菱股份	泰国	预计能够满足北美市场大部分订 单需求	初始注册资本 4500 万泰铢；未 披露单期投资额度，为持续产能 扩建投入	二期 2024 年一季度达产；三期 2025 年 一季度完成投资并逐步达产
贝斯特	泰国	二期建成后实现新增年产能 8000 吨各类中间壳铸件	投资总额从不含 3.5 亿元上调 至不超 5 亿元（含钢活塞产品 生产线投资）	2025 年 10 月一期正式开业
汇川技术（上 海莱恩）	泰国	未披露	注册资本 6,000 万泰铢	2024 年 7 月正式投产
安培龙	泰国北榄府	未明确披露具体产能数据，本地 化生产可缩短交货周期约 30%	总投资额不超过 7000 万元人民 币，泰国孙公司注册资本暂定 2.3 亿泰铢	未披露
旭升集团	WHA 工业园	全面投产后预计年产值超 2 亿 美元	9000 万美元（约 6.6 亿人民币）	无明确达产时间，规划两期建设

来源：各公司官网，各公司公告，各公司官方微信公众号，国金证券研究所

参考汽车供应链，我们预计每个环节将最终选定 2-3 家供应商。因此特斯拉各环节核心供应链将缩圈，具备确定性的公司通过份额提升有望获得估值溢价。因此我们持续建议关注各环节具备确定性的标的。

图表82：特斯拉各环节潜在供应商

零部件环节	潜在供应商
头部总成	蓝思科技、均胜电子
关节总成	三花智控、拓普集团、博世、舍弗勒、尼得科、恒立液压、步科股份、恒帅股份、新剑传动、震裕科技、双环传动、双林股份、浙江荣泰、斯菱股份
灵巧手	三花智控、拓普集团、浙江荣泰
手部微型电机	鸣志电器、兆威电机、拓普集团、浙江荣泰、三花智控&峰昭科技、鼎智科技、恒帅股份
手部微型丝杠	浙江荣泰、新剑传动、恒立液压、震裕科技、五洲新春、北特科技、THK
减速器	哈默纳科、绿的谐波、双环传动、精锻科技、斯菱股份、瑞迪智驱
丝杠	舍弗勒、新剑传动、浙江荣泰、北特科技、双林股份、恒立液压、斯菱股份、秦川机床、人本集团、鼎智科技、汇川技术、浙江荣泰
无框电机	三花智控、拓普集团、信质集团、恒帅股份
六维力矩	ATI、柯力传感
其他传感器	Interlink、纬钛、日盈电子、汉威科技
电池	宁德时代
轻量化	旭升集团、爱柯迪、宁波华翔、中欣氟材
其他零部件	世运电路、唯万密封

来源：各公司公告，国金证券研究所



4.3 格局优：peek 材料、GaN 驱动、深度相机、谐波减速器等环节具备较高的市场集中度

4.3.1 PEEK：宁波华翔为全球产能、技术龙头

PEEK 材料由吉林大学率先打破国外垄断，国内产能规划约 7200 吨。由英国帝国化学公司于 1978 年开发，问世后长期作为战略国防军工材料被列入封锁和禁运清单。在我国政策大力扶持下，2005 年 6 月，吉林大学率先自主研发出 PEEK 合成技术，打破了国外垄断，之后通过与德国赢创合作，于 2010 年开始商业化探索。2016 年，我国 PEEK 产业迎来快速发展，中研股份、浙江鹏孚隆、长春吉大特塑、山东浩然、山东君昊等企业实现规模化生产。根据中石化经研院数据，截至 2024 年末，我国 PEEK 产能规模约 7200 吨，产量约 3808 吨。

图表83：2024 年末我国 PEEK 产能规模约 7200 吨

企业名称	产能/(吨·年)	技术特点
中研股份	1000	国产首条 5000L 反应釜
沃特股份	1000	攻克了高温高压合成工艺
南京聚隆	900	实现精密注塑与金属化工工艺的成熟应用
山东君昊	1500	采用 6000L 聚合釜实现规模化生产
盘锦伟英兴	1500	技术引进威格斯工艺
金发科技	500	自主研发
东华大学	300	生物基 PEEK 研发
吉大特塑	500	技术来源于吉大

来源：中国石化经研院，公司公告，国金证券研究所

宁波华翔成立子公司，正式布局 peek 材料。2025 年 8 月 27 日，公司公告拟与实控人共同投资设立宁波峰梅匹意克新材料有限公司，其中公司以货币方式出资 1500 万元，持股占比 30%。合资公司主要进行聚醚醚酮（PEEK）材料的研发与应用，针对其生产的相关产品，宁波华翔及其下属分子公司享有合资公司的优先供货和相应的优惠价格的权利。

专利最全、产能布局最大的 peek 全产业链龙头。合资公司出资 3000 万元获得吉林大学拥有的与 PEEK 工业化量产相关的中国专利及专有技术的普通实施许可，期限为 20 年；同时，合资公司聘请吉林大学的专家教授等技术团队提供相应的全套技术服务与培训。获得授权后，合资公司将依据许可技术开展 PEEK 材料的聚合、提纯、改性、型材加工及复合增强工艺的研发与试生产。宁波峰梅匹意克将开展 PEEK 材料的聚合、提纯、改性、型材加工及复合增强工艺的研发与生产。其规划年产能 12000 吨，分四期投产，一期产能 4000 吨。



图表84：宁波华翔绑定吉林大学PEEK材料权威技术团队



来源：公司官网，国金证券研究所

PEEK 材料应用前景广阔，但成本是制约其普及的主要因素。中研普华预测，2025 年全球 PEEK 市场规模将接近 70 亿元，2031 年将超过 131 亿元；中国市场规模预计于 2025 年达到 21.8 亿元，2031 年达到 50 亿元，2025—2031 年年复合增长率为 14.4%。然而，目前普通级 PEEK 价格约 200 元/kg，医疗级更是高达 800 元/kg，远高于其他特种材料。

宁波华翔在 peek 赛道拥有卡位优势在于其成本低、有应用。12000 吨是目前国内 peek 企业最大的产能布局，产能优势叠加产业链纵向一体化延伸，将为公司带来巨大的降本空间。同时，华翔的 peek 材料将在自身的零部件中逐步应用。2025 年 12 月 23 日，公司与国内某头部机器人关节厂商签订了《机器人关节委托生产合同》，华翔启源将在未来两年内为其生产制造部分机器人关节产品。本次合作是有利于华翔启源打造有差异化竞争优势的智能机器人零部件产品矩阵，为开发基于 PEEK 材料的核心关节件打下坚实基础。

4.3. 2GaN 驱动器：功率器件的“三高一小”革命，关注龙头英诺赛克、宏微科技

人形机器人的动态特性依赖于全身 40 个以上的伺服关节系统，每个关节需要兼具驱动、传感、控制功能。传统硅基功率器件在机器人控制系统中广泛应用，但其性能已逐渐接近物理极限。硅基器件在高频开关、能效、体积等方面存在明显局限性，难以满足人形机器人对高动态响应、低能耗、轻量化等需求。

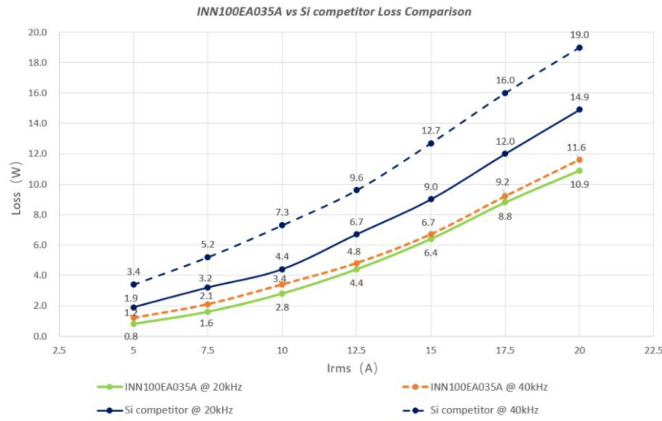
具体来看，人形机器人对功率器件的需求可概括为“三高一小”，即高频开关能力、高功率密度、高效率转换，以及小体积封装。

高频性能的革命性突破。氮化镓器件的核心优势在于其电子迁移率和击穿电场远高于硅基材料。硅基 MOSFET 的典型工作频率通常在几十千赫兹 (kHz) 范围内，而氮化镓器件可轻松实现数百千赫兹甚至兆赫兹 (MHz) 级别的高频开关。这一特性直接推动了人形机器人伺服控制系统中 PWM (脉宽调制) 控制精度的提升。在特斯拉 Optimus 人形机器人的关节电机控制中，高频 PWM 信号能够实现更细腻的电流感应，从而让机器人的动作更加平滑自然，甚至能够完成类似人类手指抓取玻璃杯的精细操作。

低导通损耗与高效能转化。硅基 MOSFET 在高频率开关过程中会产生显著的导通损耗和开关损耗，导致系统效率下降和散热压力增加。而氮化镓器件的导通电阻 (R_{ds(on)}) 比硅基器件低一个数量级，开关损耗几乎可以忽略不计。人形机器人在实际应用中需要应对复杂环境，例如搬运重物、跨越障碍等场景，这对关节电机的爆发功率提出了极高要求。据意优科技技术总监李战猛透露，氮化镓驱动器的转换效率可达 98.5% 以上，而传统硅基方案的效率通常在 85%-95% 之间。这意味着在相同面积下，氮化镓可以获得更高的功率输出，满足人形机器人高爆发力运动的需求。



图表85: 分立方案总损耗相较 Si 方案降幅达 39%



来源: INNOSCIENCE 公众号, 国金证券研究所

图表86: 合封方案总损耗相较 Si 方案降幅达 39%

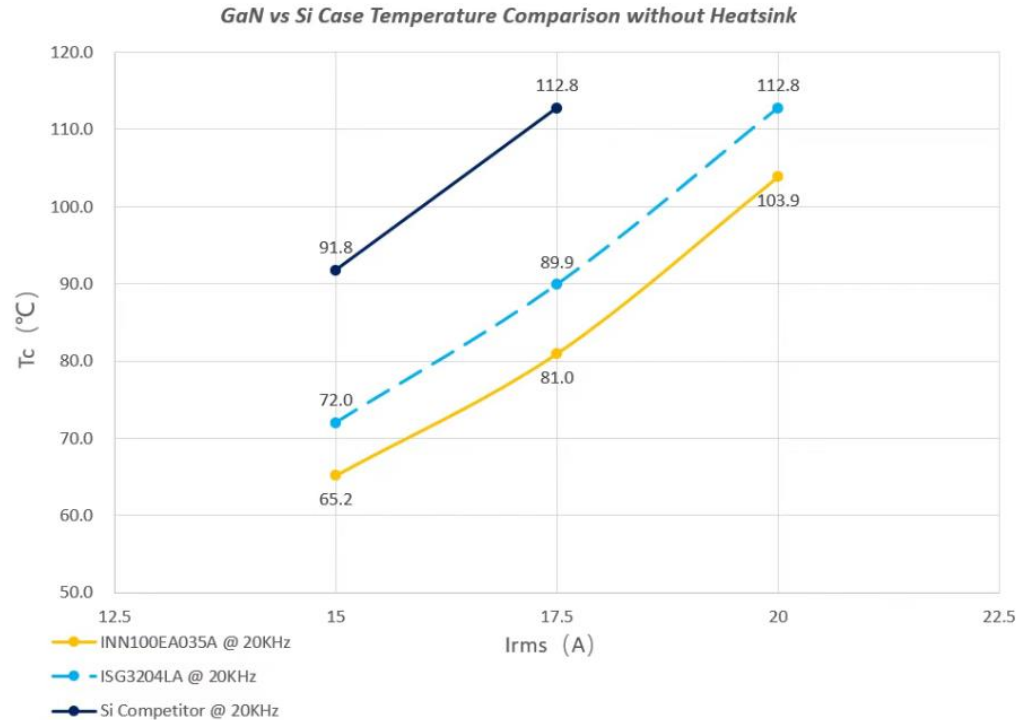


来源: INNOSCIENCE 公众号, 国金证券研究所

高功率密度与小型化潜力。氮化镓能够在较小的空间内处理较大的电场, 同时拥有更快的开关速度, 这就使得基于氮化镓的功率器件可以实现更高的功率密度输出。换句话说, 就是在相同体积下, 氮化镓器件能够提供更大的功率, 或者在提供相同功率时, 氮化镓器件的体积可以更小、重量更轻。例如, 英诺赛科的 100V 氮化镓芯片应用于人形机器人关节驱动时, 成功将电源模块的体积减少了 30%。

热稳定性与可靠性。氮化镓材料的禁带宽度远高于硅, 使其在高温环境下仍能保持稳定的性能。研究表明, 氮化镓器件在 650°C 以上的高温中仍能正常工作, 且其热导率较高, 能够快速将热量传导至散热系统。人形机器人在密集运动时, 关节电机和驱动器会产生大量热量, 导致局部温度骤升, 而传统硅基系统的散热需求往往需要额外的冷却结构(如风扇或散热片), 进一步增加了体积和重量。氮化镓器件因低损耗和高热导率, 能够将热量集中在可控范围内, 从而减少对主动散热系统的依赖。

图表87: 相同散热条件下, GaN 器件温度比 Si 方案低 23°C 以上



来源: INNOSCIENCE 公众号, 国金证券研究所

单台机器人的基础 GaN 用量达到约 300 颗。当前主流人形机器人单机约含 40 个关节电机, 其 GaN 器件用量因关节大小而异。小关节(如手指)用量较少(3-6 颗), 中等关节(如肘)用量中等(约 12 颗), 大关节用量最多(24 颗)。当引入如五指灵巧手、腰部扭转等更复杂的自由度后, 单机 GaN 用量将显著攀升至 1000 颗以上。



智元人形机器人已在脖子、手肘等关键活动关节的3个电机中应用 GaN 器件，每个电机集成 3 颗 GaN 芯片，GaN 器件已装配至数百台人形机器人。此外，在多轴协同控制中，GaN 的同步响应能力至关重要。依托 GaN 技术高频开关（MHz 级）、超低死区时间（ns 级）以及高集成度等优势，解决了多轴协同中的延迟累积、通信抖动和热管理难题。中科阿尔法科技有限公司发布了一款基于氮化镓（GaN）驱动的机器人关节模组。该模组内置中科无线半导体 AI ASIC 具身机器人动力系统芯片家族关节系列“GaN 阵列驱动器芯片”，具有 250Hz 高频神经反射与 5ms 全链路时延，这对于人形机器人实现快速、精准的动作控制至关重要。

图表88：中科阿尔法推出具身机器人氮化镓驱动器关节模组

 <p>中科阿尔法 CTech-Alpha</p> <p>氮化镓驱动器 机器人关节模组</p>		<table border="1"> <tr> <td>外径尺寸 Outer diameter</td> <td>80.0 mm</td> <td>传动结构 Transmission structure</td> <td>行星结构 Planet</td> </tr> <tr> <td>产品厚度 Thickness</td> <td>25.6 mm</td> <td>反电动势常数 (Ke) Back electromotive force constant</td> <td>0.0727Vs/Rad</td> </tr> <tr> <td>产品重量 Weight</td> <td>305g</td> <td>电机 Kv 值 Motor KV value</td> <td>104kv</td> </tr> <tr> <td>减速比 Reduction ratio</td> <td>i=9.67</td> <td>额定电压 Rated voltage</td> <td>15-48V DC</td> </tr> <tr> <td>背隙 Backlash</td> <td>15-20 arcmin</td> <td>最小/最大电压 Minimum/maximum voltage</td> <td>12/72V DC</td> </tr> <tr> <td>电机功率 Motor Power</td> <td>328W</td> <td>相电流满量程 Phase current full scale</td> <td>33 A</td> </tr> <tr> <td>额定电压 Rated Voltage</td> <td>24-48 V</td> <td>额定母线电流 Rated bus current</td> <td>12 A</td> </tr> <tr> <td>额定转速 Rated Speed</td> <td>310 rpm</td> <td>静态工作母线电流 Static working bus current</td> <td>0.08 A</td> </tr> <tr> <td>额定扭矩 Rated Torque</td> <td>6 Nm</td> <td>待机功耗 Standby power consumption</td> <td><10mA</td> </tr> <tr> <td>峰值扭矩 Peak Torque</td> <td>18 Nm</td> <td>CAN总线最大波特率 Maximum baud rate of CAN bus</td> <td>1Mbps</td> </tr> <tr> <td>空载转速 No-load speed</td> <td>400 rpm</td> <td>Type-C速率 Type-C speed</td> <td>10Mbps</td> </tr> <tr> <td>相位阻尼 Phase damping</td> <td>224 ufi</td> <td>编码器分辨率 Encoder resolution</td> <td>16bit (单圈绝对值)</td> </tr> <tr> <td>相位电感 Phase inductance</td> <td>235 uH</td> <td>工作环境温度 Working environment temperature</td> <td>-40°C~70°C</td> </tr> <tr> <td>电机结构 Motor structure</td> <td>18N20P</td> <td>告警电机温度 Alarm for motor temperature</td> <td>90°C (可调)</td> </tr> <tr> <td>热敏电阻 Thermistor</td> <td>10kB3435 %1</td> <td>告警驱动板温度 Alarm temperature</td> <td>90°C (可调)</td> </tr> <tr> <td>ntc的B值 B value of ntc</td> <td>3435</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	外径尺寸 Outer diameter	80.0 mm	传动结构 Transmission structure	行星结构 Planet	产品厚度 Thickness	25.6 mm	反电动势常数 (Ke) Back electromotive force constant	0.0727Vs/Rad	产品重量 Weight	305g	电机 Kv 值 Motor KV value	104kv	减速比 Reduction ratio	i=9.67	额定电压 Rated voltage	15-48V DC	背隙 Backlash	15-20 arcmin	最小/最大电压 Minimum/maximum voltage	12/72V DC	电机功率 Motor Power	328W	相电流满量程 Phase current full scale	33 A	额定电压 Rated Voltage	24-48 V	额定母线电流 Rated bus current	12 A	额定转速 Rated Speed	310 rpm	静态工作母线电流 Static working bus current	0.08 A	额定扭矩 Rated Torque	6 Nm	待机功耗 Standby power consumption	<10mA	峰值扭矩 Peak Torque	18 Nm	CAN总线最大波特率 Maximum baud rate of CAN bus	1Mbps	空载转速 No-load speed	400 rpm	Type-C速率 Type-C speed	10Mbps	相位阻尼 Phase damping	224 ufi	编码器分辨率 Encoder resolution	16bit (单圈绝对值)	相位电感 Phase inductance	235 uH	工作环境温度 Working environment temperature	-40°C~70°C	电机结构 Motor structure	18N20P	告警电机温度 Alarm for motor temperature	90°C (可调)	热敏电阻 Thermistor	10kB3435 %1	告警驱动板温度 Alarm temperature	90°C (可调)	ntc的B值 B value of ntc	3435		
外径尺寸 Outer diameter	80.0 mm	传动结构 Transmission structure	行星结构 Planet																																																															
产品厚度 Thickness	25.6 mm	反电动势常数 (Ke) Back electromotive force constant	0.0727Vs/Rad																																																															
产品重量 Weight	305g	电机 Kv 值 Motor KV value	104kv																																																															
减速比 Reduction ratio	i=9.67	额定电压 Rated voltage	15-48V DC																																																															
背隙 Backlash	15-20 arcmin	最小/最大电压 Minimum/maximum voltage	12/72V DC																																																															
电机功率 Motor Power	328W	相电流满量程 Phase current full scale	33 A																																																															
额定电压 Rated Voltage	24-48 V	额定母线电流 Rated bus current	12 A																																																															
额定转速 Rated Speed	310 rpm	静态工作母线电流 Static working bus current	0.08 A																																																															
额定扭矩 Rated Torque	6 Nm	待机功耗 Standby power consumption	<10mA																																																															
峰值扭矩 Peak Torque	18 Nm	CAN总线最大波特率 Maximum baud rate of CAN bus	1Mbps																																																															
空载转速 No-load speed	400 rpm	Type-C速率 Type-C speed	10Mbps																																																															
相位阻尼 Phase damping	224 ufi	编码器分辨率 Encoder resolution	16bit (单圈绝对值)																																																															
相位电感 Phase inductance	235 uH	工作环境温度 Working environment temperature	-40°C~70°C																																																															
电机结构 Motor structure	18N20P	告警电机温度 Alarm for motor temperature	90°C (可调)																																																															
热敏电阻 Thermistor	10kB3435 %1	告警驱动板温度 Alarm temperature	90°C (可调)																																																															
ntc的B值 B value of ntc	3435																																																																	

来源：中科阿尔法公众号，国金证券研究所

关注氮化镓功率器件龙头英诺赛克、宏微科技。

英诺赛科是一家专注于第三代半导体氮化镓研发与制造的高新技术企业，拥有全球最大的氮化镓功率半导体生产基地。2023 年，以折算氮化镓分立器件出货量计算，英诺赛科在全球氮化镓功率半导体公司中市场份额排名第一，市占率达 42.4%。截至 2024 年 6 月，累计出货量超过 8.5 亿颗。截止 25H1，公司 150V 和 100V 的功率器件开始广泛应用在机器人的关节电机驱动和内部电源转换及电源管理等模块。

图表89：公司推出两款高性能 GaN 低压电机驱动方案





来源：INNOSCIENCE 公众号，国金证券研究所

宏微科技是国内功率半导体器件行业领军企业之一。公司自产 IGBT、FRD、SiC 芯片技术已达国际先进、国内领先水平，打破国外垄断，填补了多项国内空白。子公司宏微爱赛自成立以来专注于 GaN 芯片设计及器件开发与应用。目前，公司正针对人形机器人关节电机的特殊需求，积极开发高性能 GaN 器件。凭借在功率半导体领域多年的技术积累和研发实力，宏微爱赛致力于打造更贴合应用场景、性能更卓越的 GaN 解决方案，为下一代高性能人形机器人的发展注入强劲动力。

12月30日，公司公告与一家国内传动领域的控制设备与系统集成头部公司签署了《战略合作协议》，未来将聚焦电控系统、液压控制系统、伺服系统、机器人核心零部件（执行器、电动缸、控制器）中所用到的功率半导体器件，并重点围绕氮化镓（GaN）功率半导体器件开展联合共研，旨在强化双方在电控系统、液压控制系统、伺服系统、机器人等诸多领域的业务布局与竞争优势。

图表90：宏微爱赛 CTO 崔崧发表《氮化镓器件赋能人形机器人关节电机发展》主题报告



来源：公司官网，国金证券研究所

4.3.3 深度相机：奥比中光为全球龙一，技术壁垒极高

深度相机是人形机器人的眼睛，公司国内市占率超 70%。根据 GGII 统计，在中国服务机器人 3D 视觉传感器领域，奥比中光市占率超过 70%，位列行业第一，领跑全球 3D 视觉感知市场。在韩国市场，奥比的市占率也超过 70%。



图表91: 奥比中光在中国服务机器人 3D 视觉传感器市占率超过 70% (2022 年)



来源：公司官网，国金证券研究所

与 Intel 达成合作，世界龙头地位初步确立。预计公司与 intel 的合作模式类似于与英伟达的合作，但意义更高，因为 real sense 是深度相机领域原本的全球龙头，但目前其前主 intel 开始与公司合作，可见公司从产能保供性、技术、性价比等方面都已经开始超过 real sense，走向龙一地位。

图表92: 奥比中光是唯一拥有所有底层深度相机技术的公司

	国际竞争格局							国内竞争格局			
	奥比中光	苹果	微软	英特尔	MV	TI	索尼	华为	华捷艾米	图漾	汇顶科技
结构光	√	√	x	√	√	x	x	√	√	√	√
ToF	√	√	√	x	x	√	√	√	x	x	√
双目	√	√	√	√	x	√	√	√	x	x	x
芯片	√	√	√	√	x	√	√	√	√	x	x
嵌入手机	√	√	x	x	x	x	x	√	x	x	x
百万级量产	√	√	√	√	x	x	√	√	x	x	x
对外供货	√	x	√	√	√	√	√	x	√	√	√

来源：奥比中光官方媒体号，国金证券研究所

公司料将成为视觉板块的“台积电”，具身智能发展打开公司成长空间。当前 intel、英伟达、地平线（地瓜机器人）等芯片龙头都已跟公司合作，预计未来具身智能的大脑、系统基本都有公司适配和支持的身影。

公司深度相机渗透率+单机搭载量+市占率均有望提升。随机器人智能化提升，对深度相机的需求度将提升，带来深度相机的渗透率提升和单机搭载量增加；格局上，因为公司综合实力开始超越强势竞对 intel，预计将维持较高的市占率。



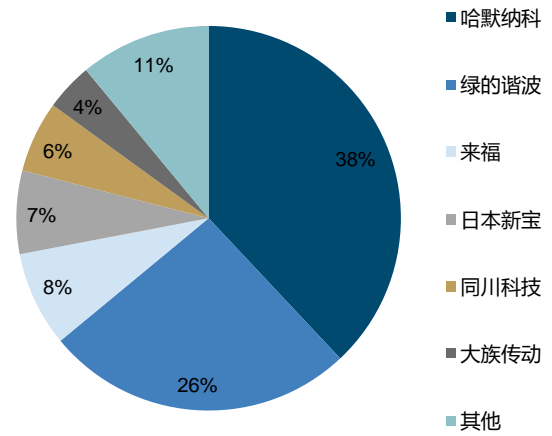
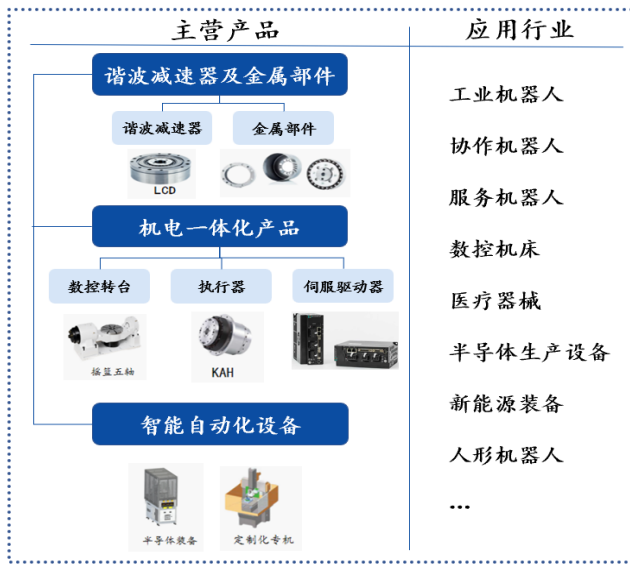
4.3.4 谐波减速器：绿的谐波国产市占率第一，机器人进展领先

绿的谐波成立于 2011 年，主营产品包括谐波减速器及精密零部件、机电一体化产品、智能自动化装备等，广泛应用于工业机器人、服务机器人、数控机床、医疗器械、半导体生产设备、新能源装备等高端制造领域。同时，绿的谐波以谐波减速器为核心，对谐波减速器进行进一步集成和延伸，布局下游机电一体化产品/智能机器人等多个领域，业务涉及伺服系统/传感器集成模块，同时还横向拓展多种精密传动技术路线。

绿的谐波作为国内谐波减速器第一大龙头，打破了国际品牌在国内机器人谐波减速器领域的垄断。经过多年发展，绿的谐波已积累了一大批人形机器人、工业机器人、数控机床等高端装备行业的优质龙头客户，包括新松机器人、埃斯顿、新时达等，并成功跻身国际主流市场。根据中商情报局数据，2022 年绿的谐波在国内谐波减速器市场占有率已提升至 26%。因 2025 年人形机器人环节国产率先放量，而绿的为国产龙头，产品原创能力和性能领先，因此实际其市占率有较大提升空间。

图表 93：公司主要产品

图表 94：2022 年我国谐波减速器市场竞争格局



来源：公司官网，国金证券研究所

来源：中商情报局，国金证券研究所

5、风险提示

人形机器人发展过程中将面临智能能力提升、硬件降本和政策等多重阻碍，若放量时间低于预期，将导致相关设备的放量时间不及预期，资本投入长期难以回收，对公司的业绩产生负向影响。

现有主业下游发展不及预期风险。目前大多数机器人供应链主业为汽车，各汽车主机厂多数下游呈中低速增长，若订单交付量不及预期，将对相关公司业绩经营产生负面影响。

竞争加剧的风险。随着需求的变化，细分市场的企业竞争关系如果竞争加剧，则存在企业盈利能力下降风险。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级(含C3级)的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-86695353
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100005	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路1088号 紫竹国际大厦5楼	地址：北京市东城区建国内大街26号 新闻大厦8层南侧	地址：深圳市福田区金田路2028号皇岗商务中心 18楼1806



**【小程序】
国金证券研究服务**



**【公众号】
国金证券研究**