



具身智能天高海阔，人形破晓塑新局

—— “十五五” 专题报告

分析师：曾韬、鲁佩、石金漫、段尚昌、秦智坤

研究助理：彭星嘉



具身智能天高海阔，人形破晓塑新局

——“十五五”专题报告

2025 年 09 月 27 日

核心观点

- **具身智能是人工智能下一个浪潮。**具身智能=思考的大脑+感知和行动的身体，其核心价值是推动 AI 大规模商业化与产业化，推动效率、模式重构。我们认为中国布局具身智能意义在于两方面：全球竞争下的先发卡位、新质生产力的引擎作用。以史为鉴看未来，我们认为具身智能发展重在：1) 硬件解决方案追求更极致的性能突破，全新工业设计有望重塑供应链体系；2) 更核心的是数据、模型等软实力突破。具身智能竞争格局或将以新的逻辑实现重塑。
- **扬长补短，中国具身抢先机：**我们认为中国在政策、市场和供应链等方面已形成一定的领先优势，但在顶尖模型、高端芯片等核心领域与全球领先玩家仍存差距。“十五五”规划有望进一步将具身智能上升为支撑制造强国、数字中国战略的核心赛道，实现从“基础布局、生态培育”向“核心攻坚、融合赋能”的战略升级，打造“具身中国”发展模式，重塑全球智能产业竞争格局。
- **市场规模可期，预计工业、商业、家庭场景逐渐突破。**具身智能市场规模快速扩容，未来前景广阔，预计 2026 年将超万亿。具身代表人形机器人有望率先在工业领域实现应用，随后逐步扩展至商业服务、家庭生活领域，到 2040 年市场规模有望达到近 3 万亿元水平。
- **上下游齐发力，人形迎来量产元年。**产业链涵盖多个环节，上游包括零部件和基础软件，中游包括整机系统研发设计、本体测试、生产制造、系统集成，下游覆盖工业制造应用场景。2025 是人形机器人量产元年，技术与产业发展需求、政策方向均支持应用场景落地，积累数据反哺产品迭代。我们认为：1) 具备优质大客户资源、量产能力强的零部件厂商，或制造能力突出、专业化全维度协助初创企业落地的代工企业有望脱颖而出。2) 未来人形机器人赛道中有望能够脱颖而出的本体厂商，要拥有多领域跨学科人才（如具备前瞻性的领导者，AI 及其他算法、硬件、生产制造、供应链等领域人才），可构建长期技术壁垒（如模型架构、数据来源和策略），能够解决真实问题并给客户明确投资回报。机器人赛道上的角逐，将是人才吸引能力+技术实力+产品思维+融资能力的综合体现。随着量产加速，我们同时建议关注制造能力突出、专业化全维度协助头部本体企业落地的代工企业。
- **投资建议：**我们重申相较于其他新质生产力产业，当前具身智能推进速度、远期空间等均具备优势，行业具备强阿尔法属性；其中人形机器人方向是重中之重，各技术路线尚未收敛，各环节均存在差异化或边际变化较大的重点推荐方向。建议关注标的：1) 电新组：卧龙电驱、汇川技术、震裕科技、雷赛智能、鸣志电器、富临精工、星源材质、捷昌驱动、鸣志电器等。2) 机械组：三花智控、绿的谐波、丰立智能、中大力德、五洲新春、恒立液压、浙江荣泰、兆威机电、鼎智科技、汉威科技、福莱新材；3) 汽车组：速腾聚创，拓普集团、伯特利、精锻科技、旭升集团、均胜电子、地平线机器人-W、双林股份、中鼎股份、凌云股份、贝斯特、爱柯迪、安培龙。
- **风险提示：**关键技术突破不及预期的风险，下游场景开发进度、需求空间不及预期的风险等。

新能源智造

推荐 维持评级

分析师

曾韬

☎：18621248856

✉：zengtao_yj@chinastock.com.cn

分析师登记编码：S0130525030001

鲁佩

☎：021-20257809

✉：lupei_yj@chinastock.com.cn

分析师登记编码：S0130521060001

石金漫

☎：010-8092-7689

✉：shijinman_yj@chinastock.com.cn

分析师登记编码：S0130522030002

段尚昌

☎：13261771659

✉：

duanshangchang_yj@chinastock.com.cn

分析师登记编码：S0130524090003

秦智坤

☎：18810778290

✉：qinzhikun_yj@chinastock.com.cn

分析师登记编码：S0130525070003

研究助理：彭星嘉

☎：18721913996

✉：pengxingjia_yj@chinastock.com.cn

目录

Catalog

一、 具身智能——人工智能下一个浪潮	4
(一) 具身智能：赋予智能系统物理实体	4
(二) 以史为鉴：需求爆发启动引擎，AI 为核心重塑格局	5
二、 具身中国：政策、市场、供应链齐发力	10
(一) 政策支持为具身智能发展营造良好环境	10
(二) 市场需求为具身智能发展提供广阔空间	13
(三) 完备工业体系&供应链支撑具身硬件发展	15
(四) 补齐顶尖技术短板，攻坚“卡脖子”环节	16
三、 市场规模快速增长，应用场景不断拓展	18
(一) 市场规模：具身智能市场规模快速增长，未来前景广阔	18
(二) 应用场景：具身智能应用场景丰富，各领域应用不断深化	19
四、 上下游协同发展，推动具身智能产业进步	24
(一) 具身智能产业链概述	24
(二) 上游：软硬件供应是具身智能发展的基础	25
(三) 中游：产品制造是具身智能发展的关键	44
(四) 下游：应用场景是具身智能发展的动力	47
五、 企业积极布局，市场竞争逐渐加剧	48
六、 投资建议	50
七、 风险提示	51

一、具身智能——人工智能下一个浪潮

(一) 具身智能：赋予智能系统物理实体

具身智能=思考的大脑+感知和行动的身体。具身智能指具有物理载体的智能体，能够利用自身的感知、决策和交互能力在现实世界执行任务，并可通过与环境交互不断学习进化。这也区别于传统物联网，后者更强调将人工智能应用于设备间的数据链接、分析处理以及最终决策。

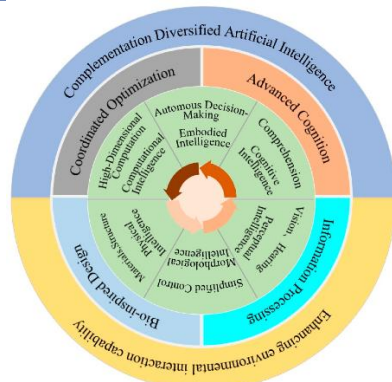
AI 的下一个浪潮是物理 AI。具身智能被视为最高层次的人工智能，2025 年 7 月黄仁勋在第三届链博会先进制造链主题活动现场表示“AI 的下个浪潮是物理 AI”，具身智能的技术趋势已经形成。

表1：具身智能与离身智能对比

类型	环境	物理实体	描述	典型案例
离身智能（disembodied AI）	赛博空间	无	认知与物理实体分离	ChatGPT、RoboGPT
具身智能（embodied AI）	物理空间	机器人、汽车、其他设备	认知整合进物理实体	RT-1、RT-2、RT-H

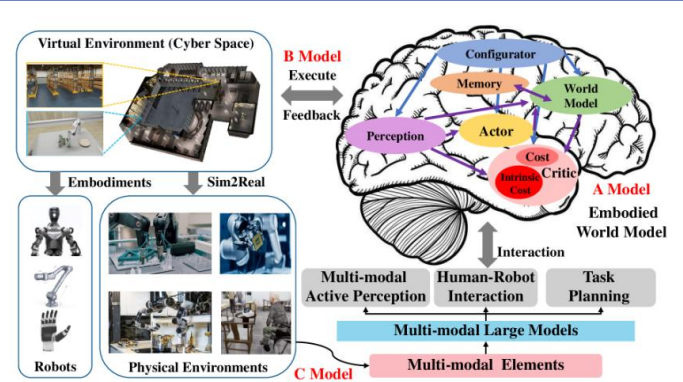
资料来源：《Aligning Cyber Space with Physical World: A Comprehensive Survey on Embodied AI, Liu Yang, et.al》，中国银河证券研究院

图1：具身智能被视为最高层次的人工智能



资料来源：《Exploring Embodied Intelligence in Soft Robotics: A Review, Zhao ZK, et.al》，中国银河证券研究院

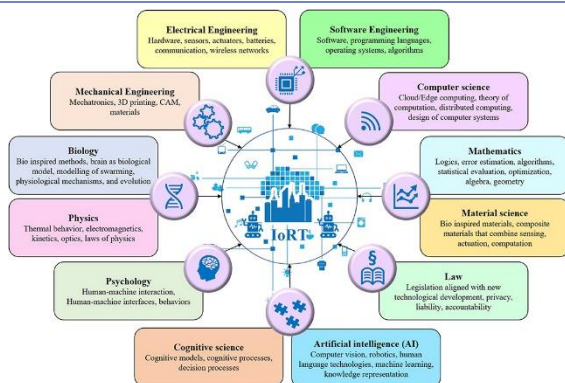
图2：基于多模态模型和世界模型的具身智能框架



资料来源：《Aligning Cyber Space with Physical World: A Comprehensive Survey on Embodied AI, Liu Yang, et.al》，中国银河证券研究院

多领域融合创新是具身智能发展基础。华为指出具身智能发展建立在多个领域技术发展之上，深刻贯穿数字世界与物理世界的系统性跃迁，是一个复杂的系统工程。我们认为十五五将持续加大基础学科投入，强化原始创新能力，完善跨学科数据共享平台，为具身智能发展提供强力支持。

图3：智能机器人物联网表现出各学科高度交叉融合的特点



资料来源：《Internet of Robotic Things Intelligent Connectivity and Platforms, Ovidiu Vermesan, et.al》，中国银河证券研究院

图4：具身智能立足于多项产业技术的发展



资料来源：《智能世界 2035》华为，中国银河证券研究院

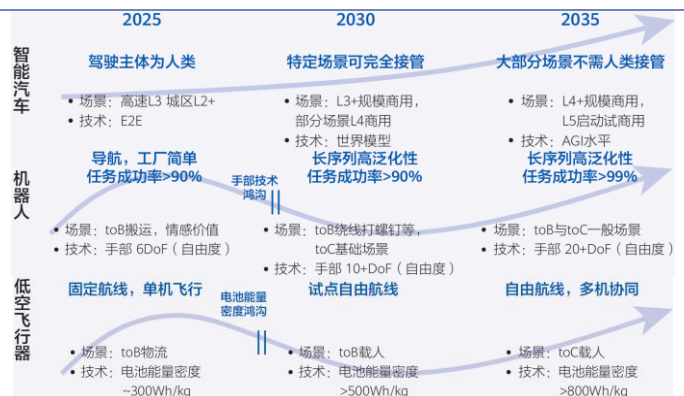
具身智能的核心价值是推动 AI 大规模商业化与产业化。具身智能广泛渗透至制造业、物流、医疗、交通、能源等行业，推动效率和模式的重构，将带来更多产业落地机会，其具象产品包括但不限于各类机器人、智能汽车等，华为预测具身智能将应用于智能驾驶、智能机器人和低空经济三大重点行业。IFR 指出 AI、人形机器人已成为全球机器人主要趋势，2023 年全球专业服务机器人销量增长 30%，其中绝大多数产品具备不同程度的智能特征，商业化潜力正在快速释放。

图5：具身智能产品多样化



资料来源：中国银河证券研究院

图6：具身智能将应用于智能驾驶、机器人和低空经济三大行业



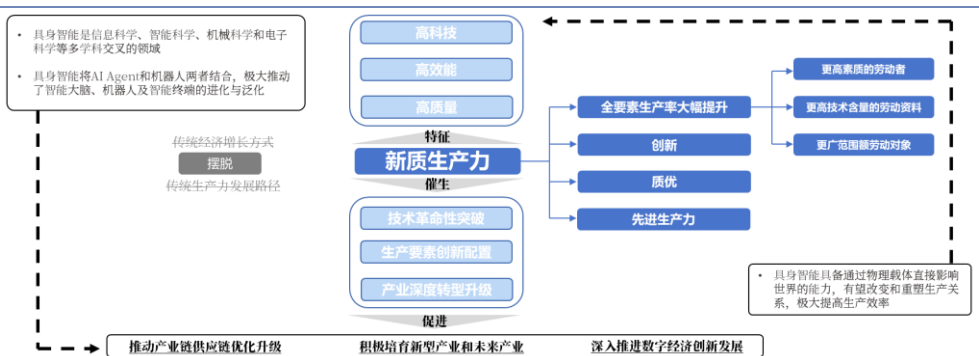
资料来源：《智能世界 2035》华为，中国银河证券研究院

中国视角下，我们认为布局具身智能的意义在于：

全球竞争下的先发卡位：具身智能逐渐上升为大国科技竞争的核心议题，关系到国家长期竞争力和产业安全，全球主要经济体加紧投入抢占未来科技制高点。当前中国将具身智能列入国家未来产业培育体系，在政策上举旗定向，有望在全球科技格局中率先掌握主动权。

新质生产力的引擎作用：具身智能可以深刻变革传统生产方式和生产关系，通过传统产业深度融合，创造出新业态、新模式，成为经济增长的新引擎，推动传统产业向智能化、高端化转型，提升生产效率和产品质量，培育壮大新兴产业集群，优化我国经济结构，实现高质量发展。

图7：具身智能技术是推动新质生产力发展的重要引擎



资料来源：甲子光年，中国银河证券研究院

（二）以史为鉴：需求爆发启动引擎，AI 为核重塑格局

纵观具身智能发展史，根据其内含，我们认为具身智能发展建立在两大支柱之上：一是物理能力的持续增强构建了具身智能物质基础，这依赖于高端制造业的长足进步，当前成熟的工业机器人、汽车制造、通信、电力电子等经验已成为我国领先优势的强大保障；二是智能能力的不断突破，当前多模态、世界模型等跨越式发展使具身智能的发展或迎来历史性拐点。展望后续，我们认为具身智能发展依然清晰，先发布局正当时：一方面硬件解决方案追求更极致的性能突破，全新工业设计有望重塑供应链体系；另一方面，更核心的是数据、模型等软实力突破，具备长序列任务强泛化能力的模型有望在多元化应用场景的快速落地中实现具身智能的“ChatGPT 时刻”。

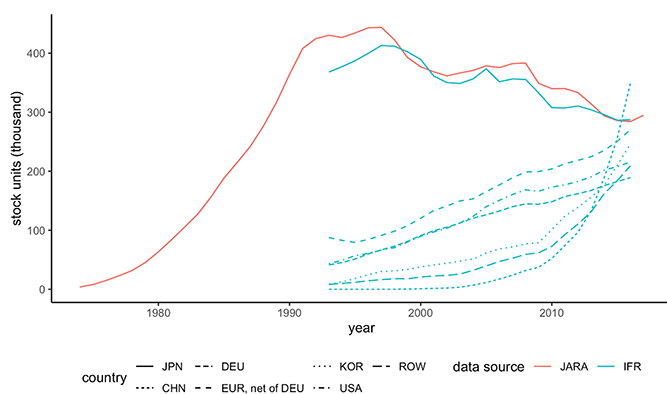
图8：具身智能发展的两大支柱及未来两大脉络



资料来源：甲子光年，中国银河证券研究院

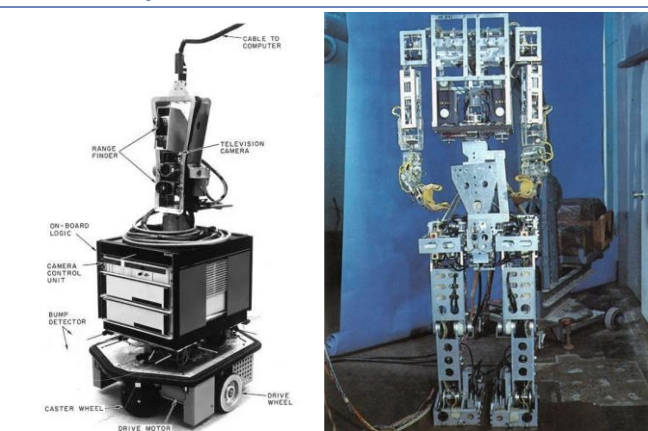
早期奠基阶段：美日领衔，产业需求与前沿创新是孕育具身智能的原生动力。1959 年美国 Unimation 创造了第一台可编程工业机器人 Unimate，其于 1961 年首次安装于通用汽车工厂；1969 年该技术被引入日本，1970-1980 年日本机器人迎来爆发式增长，并逐渐改变现代工业和汽车制造业。同时，前沿科研领域已现早期具身智能的雏形：1968 年斯坦福开发出首个智能移动机器人 Shakey，可自主感知环境、规划行动；日本早稻田大学 1972 年创造首个全人形机器人 Wabot-1。

图9：各国机器人库存水平



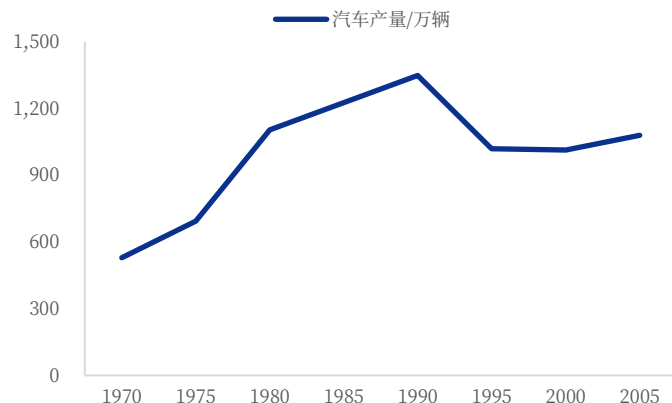
资料来源：RIETI，中国银河证券研究院（JARA：日本机器人协会）

图11：Shakey 与 Wabot-1



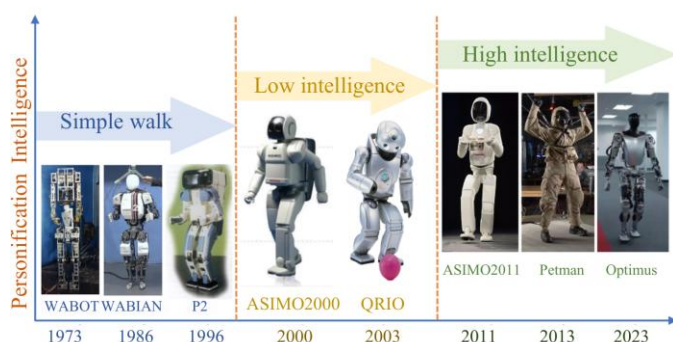
资料来源：思岚科技，早稻田大学，中国银河证券研究院

图10：自动化升级推动日本汽车产业规模发展



资料来源：Global X，中国银河证券研究院

图12：全球首个全人形机器人 Wabot-1



资料来源：《Advancements in Humanoid Robots: A Comprehensive Review and Future Prospects, Tong YC, et.al》，中国银河证券研究院

规模化阶段：工业市场孕育全球机器人巨头。日本机器人厂商围绕汽车、电子等领域需求，不断提升质量和性能，迅速占据全球主导地位。同期欧美亦涌现出 ABB、库卡等龙头企业。中国则在 2010 年后制造业自动化升级浪潮下快速发展为全球工业机器人最大市场，2024 年埃斯顿、汇川技术等 4 家国内企业跻身全球出货量前十。

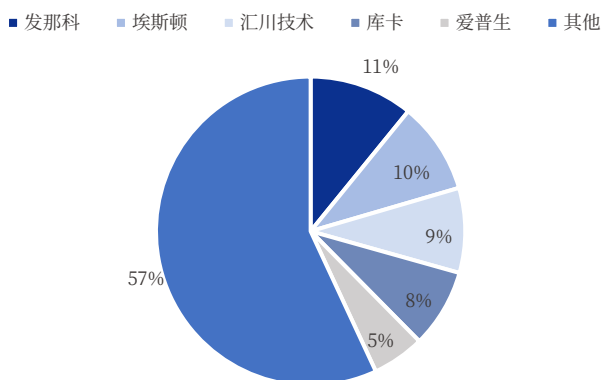
需求爆发启动增长引擎，具身打开远期空间。机器人发展史揭示，需求确立并启动是行业增长核心动因且爆发力强，汽车之家数据已验证智驾平权趋势下智能辅助驾驶渗透率从 21 年 31% 迅速提升至 25H1 的 75%，另外工业较服务业场景往往落地更领先。我们认为具身智能的通用能力将改变生产生活方式，地空交通系统的重建、三大产业全面生产力替换均可孕育出数个类似于工业机器人的千亿级市场空间，十五五将是人形机器人蓄势突破期，商业逻辑和盈利闭环模式下仍看好人形机器人在工业、特种领域的率先突破，远期服务业等综合性更强的行业潜力无虞。

表2：全球领先的机器人制造厂商快速崛起于 1970-1980 年间

代表企业	国家	详情
Kawasaki Heavy Industries	日本	1968 年成立工业机器人国产推进室。1969 年川崎造出了第一台本地制造的 Unimate 型号工业机器人。1980 年川崎总共出货了 1000 台 Unimate。
KUKA	德国	1973 年发布了其第一台六轴电驱动机械臂机器人“Famulus”，也定义了今天工业机器人常见的运动学设计。1985 年研发出世界首台 Z 型六自由度机器人。1989 年研发出交流伺服驱动的工业机器人产品。
FANUC	日本	1974 年开发并安装了第一台发那科机器人。随后发那科将其业务扩展到欧洲，并开发了 ROBOCUT 和 OBODRILL 产品。1982 年发那科与通用成立了 GMFANUC，后重组成立了发那科机器人公司并推出智能机器人原型。
ABB (ASEA)	瑞士	1974 年推出其第一台全电气驱动、微处理器控制的工业机器人 IRB 6。1998 年研制出了 Robot Studio 离线编程和仿真软件，同年研制出了 Flex Picker 柔性手指。2001 年成为全球首家机器人销量突破 10 万台的制造商。
Yaskawa Electric	日本	1977 年发布了其第一台全电动工业机器人 Motoman。1998 年 Motoman 生产达到 5 万台

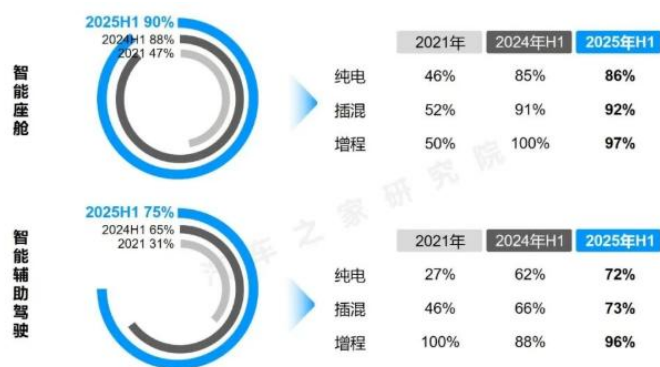
资料来源：川崎机器人、发那科机器人官网，中国机器人网等，中国银河证券研究院

图13：2024 年全球工业机器人市场格局



资料来源：MIR，中国银河证券研究院

图14：智能辅助驾驶渗透率提升体现出技术增长的爆发性



资料来源：汽车之家，中国银河证券研究院

特斯拉 Optimus 引领市场，订单支撑下 2025 年有望迎来量产元年。自 2022 年原型发布以来，特斯拉 Optimus 已迭代多次，我们预计将于 2025 年底推出 V3 版本并正式定型从而转向量产，马斯克最新薪酬方案显示未来 5 年 Optimus 剑指百万台出货目标。美国 Figure AI 则与宝马等达成试用协议。国内方面，优必选拿下全球最大单笔 2.5 亿元 Walker S2 人形机器人产品和解决方案大单，目前其 Walker 系列累计合同已近 4 亿元；宇树携手智元中标中国移动子公司 1.24 亿采购项目。25H1 国内已公开人形机器人项目超 83 个、总金额近 3.3 亿元。在下游订单驱动下，供应链企业纷纷入局精密减速器、伺服电机、传感器等核心零部件。我们认为 2025 年全球人形机器人正式迈上万台出货量台阶，批量化交付要求下各大厂商全力冲刺产能，行业迎来量产元年。

图15：特斯拉人形机器人发展复盘



资料来源：Tesla 官网，中国银河证券研究院

表3：特斯拉人形机器人带来的零部件价值量测算（以前一代特斯拉 Optimus 硬件方案预测）

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

资料来源：爱采购网，中国银河证券研究院

表4：目前全球人形机器人订单&应用案例梳理

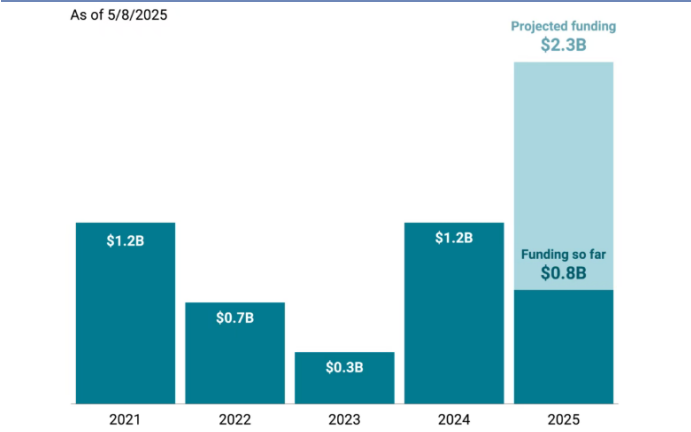
企业	订单&应用案例详情
优必选	25 年 9 月与国内某知名企业签订价值 2.5 亿元人民币的人形机器人产品及解决方案采购合同，以 Walker S2 为交付主体，并计划于年内启动交付。该合同是截至目前全球人形机器人领域金额最大的单笔合同；同月与云智汇签署全球战略合作协议。
智元机器人	25 年 6 月，中标中国移动约 7800 万元全尺寸人形双足机器人标段； 25 年 8 月，与富临精工达成数千万元项目合作，计划向后者交付近百台远征 A2-W 型机器人，用于柔性智造生产场景。
宇树科技	25 年 6 月，中标中国移动约 4605 万元小尺寸人形双足机器人及配套算力背包、五指机械手标段；
Figure AI	24 年 1 月，与宝马签署商业协议，计划分阶段在宝马美国斯帕坦堡工厂部署其通用型人形机器人。
Apptронik	24 年 3 月，与梅赛德斯-奔驰达成商业合作协议，在奔驰的制造工厂试点部署其 Apollo 人形机器人，应用于内部物流场景。
Sanctuary AI	23 年 1 月，在加拿大轮胎公司旗下的零售门店完成了全球首例通用型人形机器人商业环境试点部署。
Agility Robotics	24 年 6 月，与全球第三方物流企业 GXO 签署多年度合作协议，率先以机器人即服务（RaaS）模式署其双足人形机器人 Digit。

资料来源：优必选官网、智元官网、宇树官网等，中国银河证券研究院

算法模型迎突破，资本助推加速进行时。以 ChatGPT 为代表的大语言模型是本轮 AI 革命的引爆点，针对具身智能模型科技公司&初创企业开始全面发力。新一轮技术革命伊始，资本迅速跟进，如 25 年 9 月 Figure 官宣 C 轮融资超 10 亿美元，成立仅 3 年最新估值达已约 390 亿美元，CBinsight 预测 25 年全球机器人公司融资规模将达到 23 亿美元。从方向看，我们认为“大脑”模型能力热度高于硬件方案，也将成为未来竞争的胜负手，科技企业有一定先发优势，初创企业也在资本加持下凭借创新力迎来弯道超车计划，具身智能整体发展进入快车道。

具身智能有望重塑格局。受限于市场定位等原因，传统机器人企业虽在高精度、高效执行重复任务方面经验丰富，但缺乏智能模型与算法领域积累；相反，头部科技公司&初创企业却可通过成熟供应链补齐硬件短板实现后来居上，具身智能竞争格局或将以新的逻辑实现重塑。

图16：人形机器人公司有望在 25 年创下 23 亿美元融资纪录



资料来源：CBinsight, 中国银河证券研究院

图17：科技巨头全面压注人形机器人赛道

Company	Internal	Investment	Partnership / Pilot	Key Relationships	Details
amazon	✓	✓	✓	Agility Robotics	Invested in Skill AI (July 2024) and Agility Robotics (April 2022), piloting Agility's Digit robot in warehouses (Oct. 2023)
Apple	✓	✓	✓	N/A	Exploring humanoid robots per reports (Feb. 2025)
Baidu 百度	✓	✓	✓	UBTECH	Developed its ERNIE Bot AI model and integrated into UBTECH's Walker S robot (April 2024)
Google	✓	✓	✓	APPTONIK	Invested in (Feb. 2025) and entered strategic partnership with Apptонik via Google DeepMind (Dec. 2024)
HUAWEI	✓	✓	✓	Figure AI	Developed its Panda AI model (July 2023), implemented Panda into L40 Robotics (June 2024), invested in L40 Robotics (Dec. 2024)
intel	✓	✓	✓	FIGURE	Intel Capital invested in Figure (July 2023)
Meta	✓	✓	✓	N/A	Formed new unit under its Reality Labs hardware division to develop humanoid robots (Feb. 2025)
Microsoft	✓	✓	✓	SANCTUARY AI	Invested in Figure (Feb. 2024), partnered with Sanctuary AI (May 2024), released Magna multimodal foundation model (Feb. 2025)
NVIDIA	✓	✓	✓	FOXCORP	Released Project GR00T foundation model for humanoid, invested in Figure (Feb. 2024), partnered with Foxconn (Feb. 2025)
OpenAI	✓	✓	✓	IX	Opened Startup Fund invested in IX and listed as a partner (Jan. 2023), exploring building its own humanoid (March 2025)
SAMSUNG	✓	✓	✓	RAINBOW ROBOTICS	Acquired a minority stake in Rainbow Robotics (Jan. 2023), Samsung NEXT invested in IX (Jan. 2024)
TESLA	✓	✓	✓	N/A	Developed its Optimus general-purpose humanoid robot for internal uses and to sell commercially

资料来源：CBinsight, 中国银河证券研究院

表5：部分全球头部企业的代表模型

企业	模型	企业	模型
Figure AI	VLA 大模型 Helix	1X Technologies	1X World Model
智元	启元大模型 Genie Operator-1	Covariant	RFM-1
宇树科技	世界模型 UnifoLM-WMA-0	丰田研究所&波士顿动力	LBMs
谷歌 Deepmind	RT、Gemini Robotics 项目	SKild AI	Skild Brain
英伟达	开源基础模型 Isaac GR00T N1	银河通用	GraspVLA、TrackVLA
Physical AI	VLA 模型π0	华为	盘古+CloudRobo 平台

资料来源：宇树科技官网、智元官网、AGI 研习社、Figure AI 官网、机器人大讲堂等，中国银河证券研究院

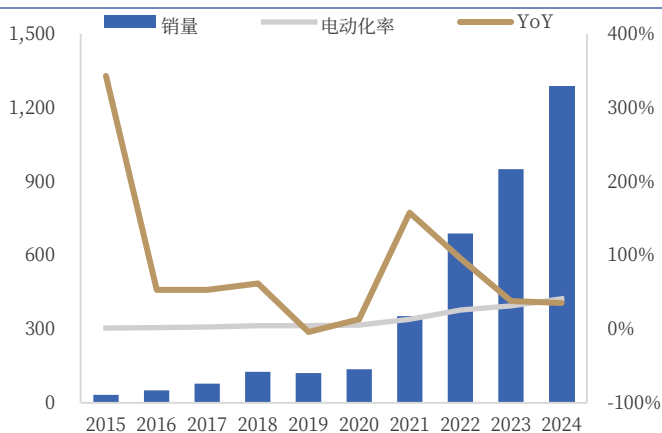
二、具身中国：政策、市场、供应链齐发力

“十五五”时期是多重历史交汇下的关键节点，在“两个变局，一个飞跃”这一历史背景下，“十五五”规划在“新发展阶段、新发展理念、新发展格局”三者有机统一的基础上，以“新五年规划”全面推进高质量发展来加快中国式现代化进程。而正当时，具身智能也将迎来从实验室走向量产、从科研走向实际生产生活的关键跨越期，我们认为中国在政策、市场和供应链等方面已形成一定的领先优势，但在部分环节，尤其是顶尖模型话语权和高端芯片等核心领域，我们与全球领先玩家仍存差距。我们认为“十五五”规划将在“十四五”规划基础上，进一步将具身智能上升为支撑制造强国、数字中国战略的核心赛道，实现从“基础布局、生态培育”向“核心攻坚、融合赋能”的战略升级，打造“具身中国”发展模式，为“十五五”时期经济社会高质量发展注入新质生产力，重塑全球智能产业竞争格局。

（一）政策支持为具身智能发展营造良好环境

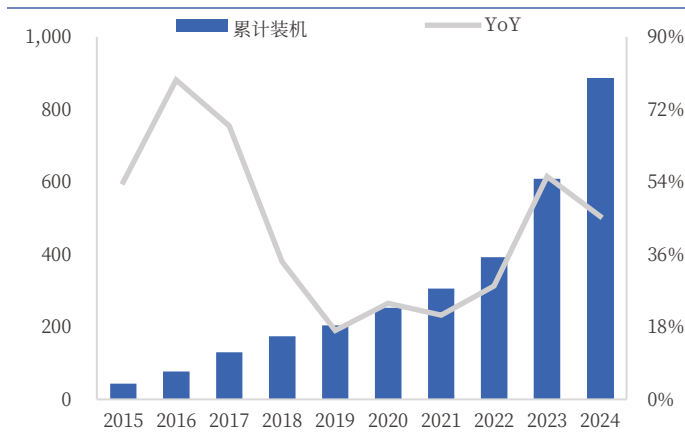
政策引领下，中国发展新兴产业取得斐然成果。中国政策举旗定向，“政企合力办大事”经验丰富，政策定力、执行力与规划力，构成中国国家级操作系统基座，中国在战略性新兴产业上的顶层设计强调目标清晰、路径分解与责任压实，具备跨部门统筹与分区试点的组织能力，能把不确定的前沿技术转化为可落地的工程化路线。以“十三五”、“十四五”经验来看，我国新能源汽车产业、数字基础设施建设、“双碳”战略均取得显著成绩：2024 年我国新能源汽车产销分别达 1289 万/1287 万辆，电动化率 41%，连续 10 年全球第一；截至 2024 年底 5G 基站 425 万座，占比 34%，遥遥领先全球；截至 2024 年底光伏发电累计装机 886GW，“十三五”至今 CAGR 高达 40%。

图18：2015-2024 年中国新能源汽车销量（单位：万辆）



资料来源：中汽协，中国银河证券研究院

图19：2015-2024 年中国光伏累计装机容量（单位：GW）



资料来源：国家能源局，中国银河证券研究院

科技创新仍是“十五五”重要命题。回顾过去十年的规划文件，可以看到“创新驱动发展”的延续性，“十四五”规划更是将科技创新、现代化产业升级提至最高优先级，单列一章“发展壮大战略性新兴产业”。为实现中国现代化升级改革、重塑经济增长的底层逻辑，“十五五”规划必将在历史基础上进一步强调科技创新重要性，强化新质生产力地位。

具身智能将成为“必答题”。当前正值人工智能引领的“第四次工业革命”，是新一轮科技革命和产业变革的加速期，人工智能是塑造大国竞争力的关键力量，而具身智能作为人工智能“皇冠上的明珠”，我们认为这将是政策规划面临的“必答题”，而纲领性政策一旦落定，产业发展步伐将驶入快车道，持续释放强劲增长红利，相关板块有望成为核心主线。

表6：历届五年规划关于新兴产业的表述

类别	主要内容
十五五（2026-2030，规划中）	<p>预期发展方向：深入推进战略性新兴产业融合集群发展。开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动，推动商业航天、低空经济、深海科技等新兴产业安全健康发展。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。</p> <p>预期发展方向——智能原生产业：到 2027 年，率先实现人工智能与 6 大重点领域广泛深度融合，新一代智能终端、智能体等应用普及率超 70%，智能经济核心产业规模快速增长，人工智能在公共治理中的作用明显增强，人工智能开放合作体系不断完善。到 2030 年，我国人工智能全面赋能高质量发展，新一代智能终端、智能体等应用普及率超 90%，智能经济成为我国经济发展的重要增长极，推动技术普惠和成果共享。</p>
十四五（2021-2025）	<p>九大战略性新兴产业：聚焦新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等战略性新兴产业，加快关键核心技术创新应用，增强要素保障能力，培育壮大产业发展新动能。</p> <p>前瞻谋划未来产业：在类脑智能、量子信息、基因技术、未来网络、深海空天开发、氢能与储能等前沿科技和产业变革领域，组织实施未来产业孵化与加速计划，谋划布局一批未来产业。</p> <p>科技前沿领域攻关：新一代人工智能、量子信息、集成电路、脑科学与类脑研究、基因与生物技术、临床医学与健康、深空深地深海与极地探测</p>
十三五（2016-2020）	<p>主要部署：信息技术、高端装备与新材料、生物、新能源汽车、数字创意产业；超前布局战略性新兴产业，包含空天海洋、信息网络、生物技术、核技术</p> <p>强调发展：现代农业技术、新一代信息技术、先进制造技术、新材料技术、清洁高效能源技术、现代交通技术与装备、先进高效生物技术、现代食品制造技术、生态环保技术、资源高效循环利用技术、人口健康技术、新型城镇化技术、公共安全与社会治理技术、海洋资源开发利用技术、空天探测开发和利用技术、深地极地技术</p>

资料来源：中国政府网，人民网，中国共产党新闻网，中国银河证券研究院（引自中国银河证券研究院宏观团队深度报告《“十五五”规划》八大重点）

“十四五”重磅政策密集发布，积极看“十五五”。“十四五”时期，中国具身智能相关方向纳入国家发展主线，构建了“核心技术攻关—示范应用—产业集群—标准体系—人才工程”框架，措施表述全面：以重大专项牵引关键部件攻关，以示范应用拉动整机可靠性爬坡，以创新平台和标准规范确保安全可控与互联互通，以财政金融工具和政府采购降低初期部署成本与试错成本。2023 年底工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》，对人形机器人这一具身智能“终极载体”首次提出明确规划；2025 年具身智能更是首次进入政府工作报告并被列为未来产业，我们积极看好“十五五”规划中具身智能表述将得到持续增强。

表7：具身智能相关的国家级政策梳理

政策文件	部门	时间	重要内容
“十四五”机器人产业发展规划	多部门	2021.12	2025 年我国成为全球机器人技术创新策源地、高端制造集聚地和集成应用新高地。机器人产业营业收入年均增速超过 20%，建成 3~5 个有国际影响力的产业集群，制造业机器人密度实现翻番。2035 年我国机器人产业综合实力达到国际领先水平。
“机器人+”应用行动实施方案	工信部	2023.1	2025 年聚焦 10 大应用重点领域，突破 100 种以上机器人创新应用技术及解决方案，推广 200 个以上具有较高技术水平、创新应用模式和显著应用成效的机器人典型应用场景，打造一批“机器人+”应用标杆企业，建设一批应用体验中心和试验验证中心。
人形机器人创新发展指导意见	工信部	2023.11	2025 年培育 2-3 家有全球影响力的生态型企业和一批专精特新中小企业，打造 2-3 个产业发展集聚区。2027 年形成安全可靠的产业链供应链体系，实现规模化发展
关于推动未来产业创新发展的实施意见	工信部	2024.1	做强未来高端装备，加快实施重大技术装备攻关工程，突破人形机器人、量子计算机、超高速列车、下一代大飞机、绿色智能船舶、无人艇等高端装备产品
2025 年政府工作报告	国务院	2025.3	建立未来产业投入增长机制，培育具身智能、6G 等未来产业；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

资料来源：政府官网，中国银河证券研究院

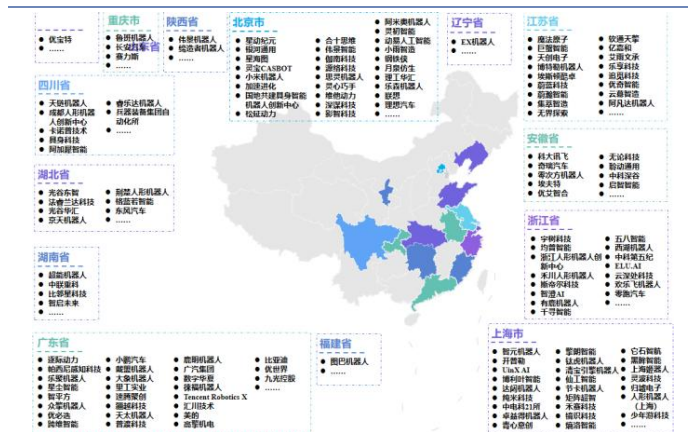
各地政策同频共振，产业集群效应显现。近一年已有多个省市行政区发布具身智能相关政策。其制定目标更细化、更落地，具体支持举措包括实际补贴、税收优惠、算力资源倾斜、人才吸引等，**各地共性在于均重视应用场景的开发与示范**，此外对算法模型、硬件供应链布局关注度高。目前，国内已形成长三角、珠三角、京津冀、成渝四大核心产业集群，以及武汉、合肥等新兴集聚区，地方性平台更好地实现了区域资源共享、产学研合作加深。上海、北京等地成立的**数据采集中心**成为一大地区性发展特色，紧密结合当地产业链布局 and 特色，充分发挥各地优势，加速具身智能技术在不同领域的落地应用，同时也成为了批量采购人形机器人、推动量产的重要角色。

表8：我国已形成多个具身智能产业集群，各地纷纷推出支持性政策

长三角地区		
上海具身智能“模力聚申”行动计划	25/7	上海要发挥大模型、机器人、算力基础设施等领域先发优势，促进具身智能产业发展。要强化基础研究、共性技术攻关、数据支撑、应用引领等方面工作
上海市具身智能产业发展实施方案	25/8	2027 年实现具身模型、具身语料等方面核心算法与技术突破不少于 20 项，建设不少于 4 个具身智能高质量孵化器，实现百家行业骨干企业集聚、百大创新应用场景落地与百件国际领先产品推广，具身智能核心产业规模突破 500 亿元。重点支持感知决策、运动控制等关键技术攻关，给予最高 30%项目投资且不超过 5000 万元支持。最高 4000 万元/年的算力券支持。对产业创新融合示范应用项目，给予最高 20%且不超过 1000 万元支持。
浙江省人形机器人产业创新发展实施方案	24/9	2027 年培育省级及以上高能级创新载体 5 家、企业研发机构 30 家，实施重大科技项目 30 项；企业科技创新主体作用充分发挥，培育链主企业 5 家，制造业单项冠军和专精特新“小巨人”企业 50 家；省级未来产业先导区 2 个，示范应用场景 50 个，全省整机年产量达到 2 万台，核心产业规模达到 200 亿元，关联产业规模达到 500 亿元。
珠三角地区		
深圳具身智能机器人技术创新与产业发展行动计划	25/3	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。
广州开发区黄浦区支持具身智能机器人产业发展若干政策措施	25/5	对通过相关标准体系认证的人形机器人销量达到 50、100 台以上的人形机器人整机制造企业，给予 1 万、5000 元/台，最高 300、100 万元扶持。根据应用场景可推广性、实际投入和影响力等标准综合评定，每年遴选 10 个应用案例，按不超过应用场景实际投入的 30%给予扶持，单个项目最高 50 万元。
京津冀地区		
北京具身智能科技创新与产业培育行动计划	25/2	2027 年突破不少于 100 项关键技术，产出不少于 10 项国际领先的软硬件产品。培育产业链上下游核心企业不少于 50 家。形成量产产品不少于 50 款。在科研教育、工商业、个性化服务三大场景实现不少于 100 项规模化应用，量产总规模率先突破万台，培育千亿级产业集群。建设不少于 2 个具身智能特色产业集聚区。
北京市人工智能赋能新型工业化行动方案	25/7	打造具身智能工厂示范标杆。对符合条件的示范项目给予最高不超过 3000 万元支持。

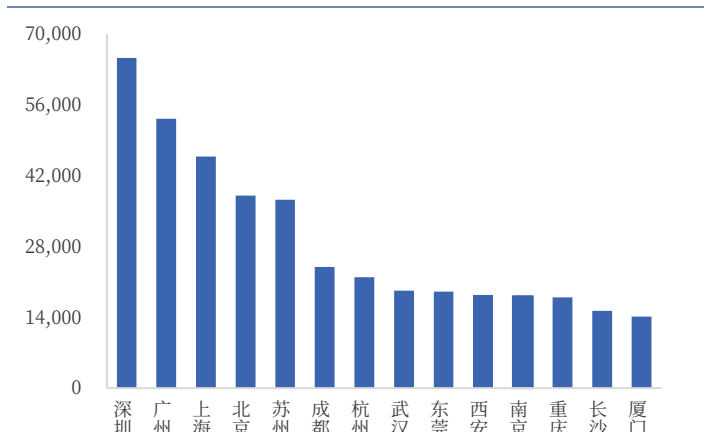
资料来源：政府官网，中国银河证券研究院

图20: 中国具身智能机器人产业分布



资料来源：人形机器人洞察，中国银河证券研究院

图21: 全国机器人企业数量排名领先的主要城市 (单位: 个)

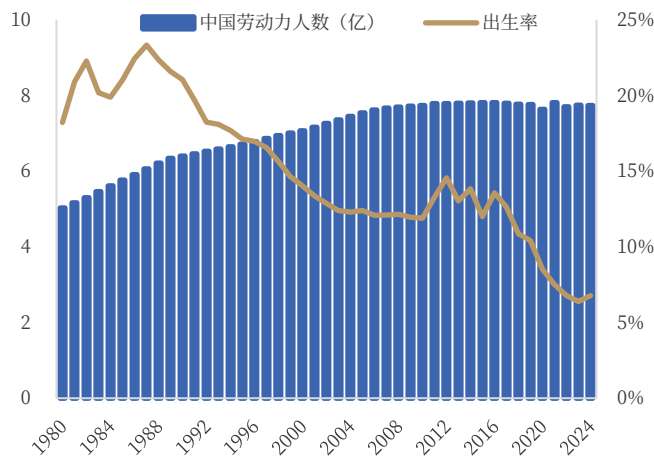


资料来源：天眼查，中国银河证券研究院

（二）市场需求为具身智能发展提供广阔空间

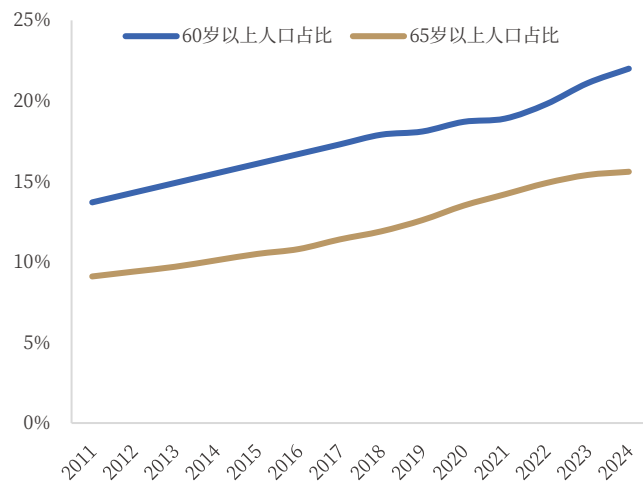
中国市场劳动力人口增长放缓、出生率下滑叠加人口老龄化深化，劳动力边际递减趋势带来机器人需求提升。据世界银行数据，2024 年我国劳动力人数为 7.7 亿人，同比-0.1%，20 世纪以来我国劳动力人口增长呈现明显放缓趋势。据国家统计局数据，2024 年我国人口出生率为 6.8%，60 岁及以上人口占比为 22.0%，同比+0.9pct，65 岁及以上人口占比为 15.6%，同比+0.2pct，2020 年以来我国人口出生率中枢降低至 10% 以下，持续走低，我国人口老龄化趋势进一步深化，我国劳动力人数面临边际抵减趋势，带来劳动力市场对以机器人为代表的自动化设备的需求提升，以弥补劳动力人口的缺失。

图22：2024 年我国劳动力人数同比-0.1%



资料来源：Wind，中国银河证券研究院

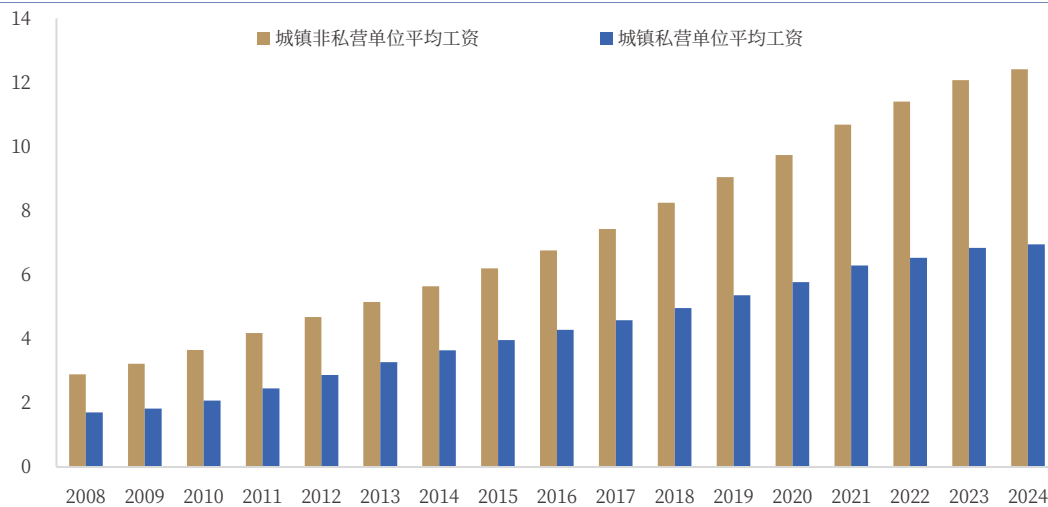
图23：2020 年以来我国人口老龄化趋势深化



资料来源：Wind，中国银河证券研究院

人力成本逐年上升，大规模量产的标准化机器人有望帮助企业实现降本，带来需求提升。据国家统计局数据，2024 年我国城镇非私营单位平均年工资为 12.4 万元，同比+2.8%，城镇私营单位平均年工资为 6.9 万元，同比+1.7%，自 2008 年以来，伴随我国经济的持续发展，我国人力成本也在逐年上升。大规模量产的标准化机器人有望通过帮助企业缓解人力成本的上升，实现降本，因而带来对机器人的需求提升。

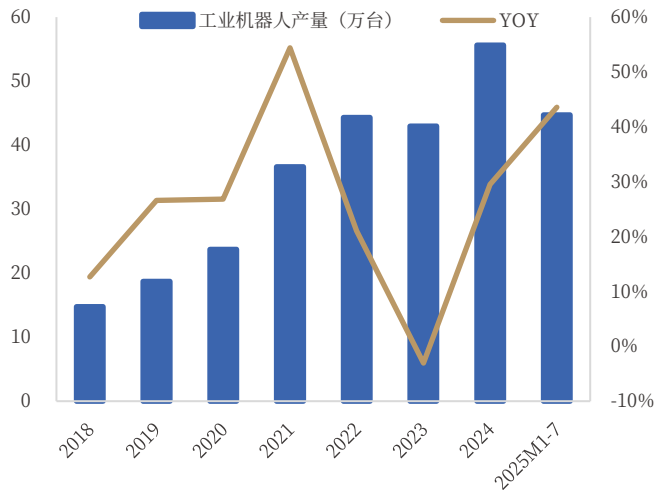
图24：2008 年以来我国城镇单位平均年工资逐年上升（万元）



资料来源：Wind，中国银河证券研究院

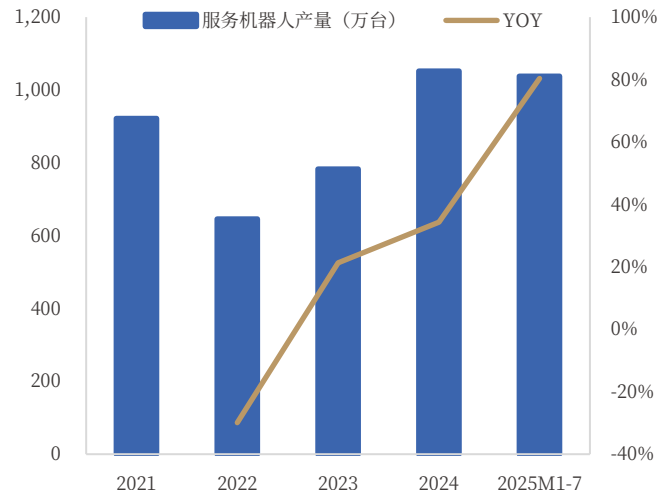
工业与服务机器人市场需求快速上升，具身智能机器人具备广阔替代与应用场景拓展空间。据国家统计局数据，2025 年 1-7 月我国工业机器人产量为 44.7 万台，同比+43.6%，服务机器人产量为 103.8 万台，同比+80.4%，市场需求快速上升，机器人市场规模处于高速扩张阶段。相比于传统机器人，具身智能机器人的智能化水平更高，能够承担更复杂的工作任务，应用场景更为广泛，不仅能够替代工业与服务场景的传统机器人，还有望扩展应用场景，市场前景广阔。

图25：2025 年 1-7 月我国工业机器人产量同比+43.6%



资料来源：Wind，中国银河证券研究院

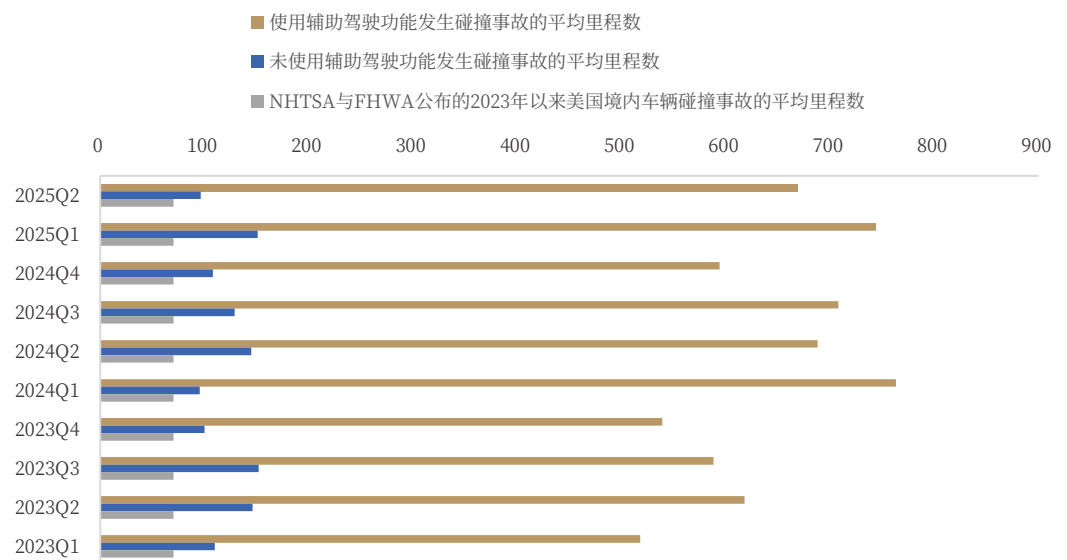
图26：2025 年 1-7 月我国服务机器人产量同比+80.4%



资料来源：Wind，中国银河证券研究院

具身智能技术成熟发展能够提升生产效率、优化生活体验、减少安全事故，市场需求提升空间十足。在工业场景下，具身智能机器人的工作时长、操作精准度等均较人工具有优势，能够起到提高生产效率的作用，且能够减少工业事故对人身生命安全的威胁；在服务业场景下，具身智能机器人的使用可以提升生活便捷程度，优化生活体验；在交通场景下，以智能辅助驾驶为例，不仅能够减低驾驶员的疲劳程度，还能够提升驾驶安全，据特斯拉车辆安全报告，在使用辅助驾驶功能的情况下发生碰撞事故的平均里程数在 500 英里以上，远高于不适用辅助驾驶的场景（100 英里左右），大幅提升车辆驾驶安全。

图27：使用特斯拉辅助驾驶功能发生碰撞事故的概率明显降低（英里）



资料来源：特斯拉官网，中国银河证券研究院

(三) 完备工业体系&供应链支撑具身硬件发展

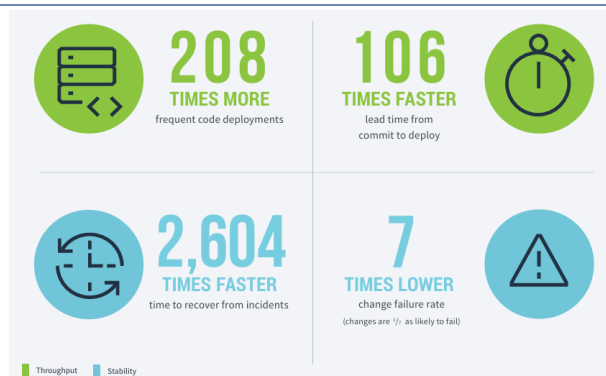
具身智能产品多元，高速迭代难度大。按照下游应用行业、落地场景的不同，以及技术路线的分歧，具身智能有非常多元化的产品形态，其硬件的性能、尺寸、成本均有差异化，规模化后还要求满足标准化的关键零部件能够易得、可换甚至可拓展，这种多元化需求倒逼供应链具备高度灵活性，在前期能够提供定制化的核心部件，并实现快速量产。全面发展就必须依托于成熟的工业体系才能实现。另一方面，高端科技产品的设计开发往往意味着高频率、高效的迭代，Dora 研究指出高水平科技服务团队的迭代频率是低水平的 208 倍；具身智能重要方向——人形机器人目前在全球范围内也没有统一的技术路线可供参考，头部主机企业在产品开发时会存在频繁的试错和方案修改，未来定型后的迭代阶段也会高频向供应商反馈细节和需求，这将会对供应链的技术水平、及时调整能力等方面形成巨大的考验。

图28：人形机器人主流旋转关节模组，但也有其他解决方案



资料来源：中国银河证券研究院

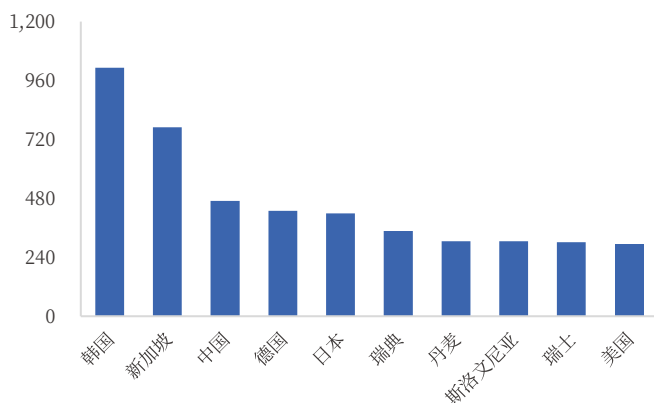
图29：前沿领域高水平团队与低水平团队的表现



资料来源：Dora，中国银河证券研究院

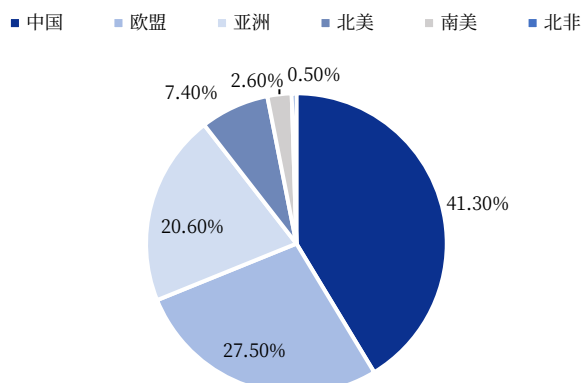
中国制造高端制造，强大工业实力及完整供应链为具身智能发展保驾护航。中国是全球唯一拥有联合国 ISIC 所列全部工业门类的国家，使整机厂可以在同一国内市场完成从材料、部件到系统集成的闭环协同。另外，经过数字化、自动化升级，中国制造已能代表全球高端制造领先水平，2023 年制造业机器人密度达 470 台/万人全球第三；全球 201 个灯塔工厂中国占比 41% 排名第一；联合国工发组织 2023 年 CIP 指数中国排名第二，在技术复杂度、全球制造影响力等维度已处于世界前列。

图30：2023 年全球工业机器人密度排名前十国家（单位：台/万人）



资料来源：IFR，中国银河证券研究院

图31：全球灯塔工厂分布

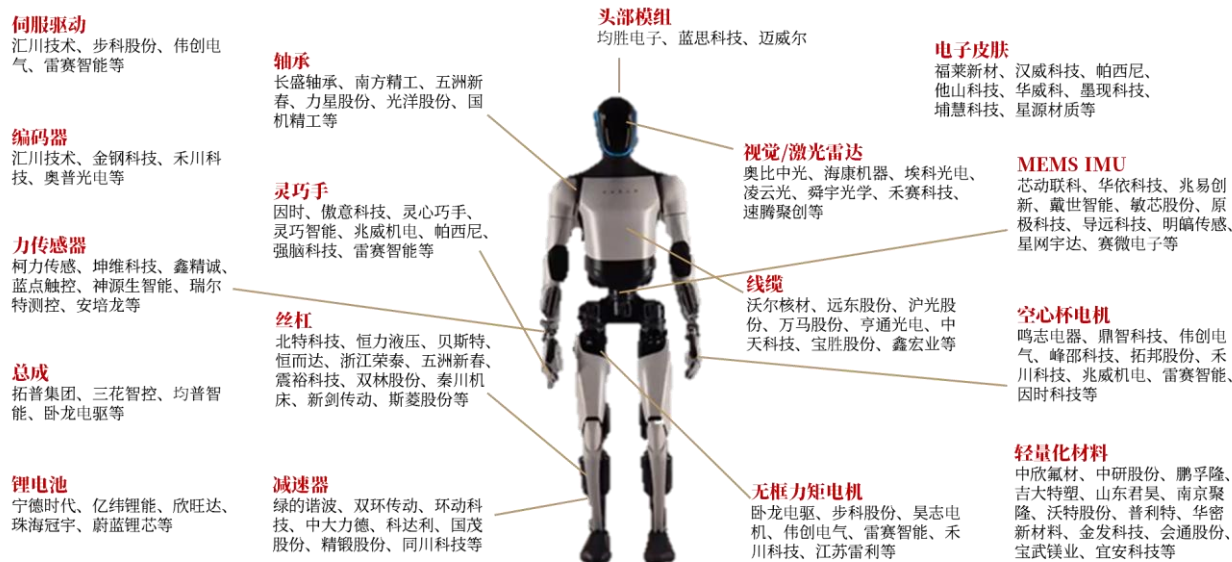


资料来源：世界经济论坛，中国银河证券研究院

若具体到人形机器人领域，我们认为中国供应链已具备明显领先能力：1) 最上游的原材料环节，高性能电机离不开稀土永磁等资源，中国拥有全球 40% 资源储量与 92% 冶炼分离产能；2) 中游零

部件制造环节，受益于其他技术同源性较强的成熟行业（汽车行业最为典型）发展成果，国内供应链布局十分全面，高功率密度电机、谐波/行星减速器、模组、六维力矩与 IMU/深度相机等传感器、高比能电池在国内均有龙头供应商选择，国产化率高，能迅速搭建产品原型；此外，大规模量产已积累丰富的工程化、生产管理运营经验，为后续降本，形成极致性价比优势，从而加速应用拓展打下基础。展望后续，我们认为：与主机厂合作紧密、具备强技术实力、规模化生产经验丰富是零部件企业竞争的三大核心基本要素。

图32：以人形机器人为代表，我国供应链十分全面，龙头布局广（人形机器人图片为 Optimus 仅为实例不代表）



资料来源：中国银河证券研究院（人形机器人图片为 Optimus 仅为实例不代表供应链合作关系，排名不分先后）

（四）补齐顶尖技术短板，攻坚“卡脖子”环节

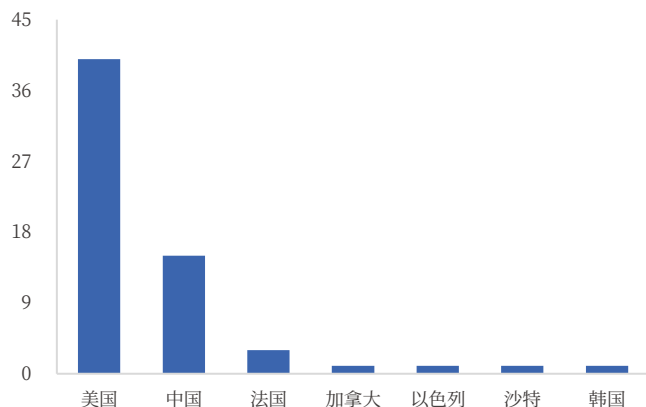
“小脑”顶尖，“大脑”算法模型亟待突破。国内以宇树为代表的机器人企业在硬件运控的“小脑”能力上已体现出顶尖水平，舞蹈、拳击、越野、长距离奔跑等均能实现较高完成度。但在“大脑”能力上，我国仍有一定差距。目前全球人工智能模型依旧由海外机构引领，2024年更新的全球顶级 AI 模型中美国为 40 个，显著领先欧盟 21 个与中国 15 个，排名前 10 企业中我国仅占 3 席。具身智能主流 VLA 模型均发源于海外，2025 年发布的 Physical Intelligence 发布的 $\pi 0$ 已基本实现自主完成叠衣服等灵巧任务。目前国内头部企业取得一定进展，如智元 25 年 9 月 23 日开源了通用具身基座大模型 GO-1，创新了全球首个 ViLLA 架构。

图33：宇树科技拳击赛体现出强大的“小脑”能力



资料来源：宇树科技，中国银河证券研究院

图34：2024 年全球顶尖模型数量上美国连续 10 年稳居第一



资料来源：《AI Index Report 2025, Stanford》，中国银河证券研究院

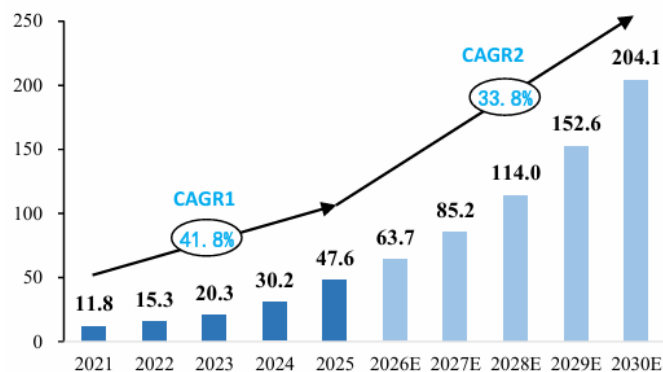
数据维度存在领先机会，多路线积极寻出路。人形机器人与大语言模型、智能驾驶等区别在于，后者凭借多年的发展以及庞大用户基数，有高质量的数据库资源，而人形机器人产业方兴未艾历史积累较少，且没有形成下游规模应用反哺研发，更重要的是其需要融合物理交互反馈的异构数据，中国工程院外籍院士张建伟指出其需求规模可能是自动驾驶的上千倍、大语言模型的上百万倍。因此全球均缺乏大规模、高质量的开源数据集，**我们认为具身智能领域数据将成为与模型同等重要的角力点，我国有望通过多条路线布局实现弯道超车：**1) **合力建设数据共享平台与大型采集中心。**2) **开发合成数据应用能力**，但这依赖企业高保真物理仿真建模等系统化工程能力，有望形成企业的差异化核心竞争力。

图35：北京人形机器人数据训练中心



资料来源：机器人产业应用，中国银河证券研究院

图36：合成数据市场空间测算（单位：亿元）



资料来源：沙利文，中国银河证券研究院

高端芯片仍是桎梏，期待“十五五”攻坚克难成果。当前，全球人形机器人市场的处理器供应主要由英伟达（侧重“大脑”）、英特尔（侧重“小脑”）两大巨头主导，2025年8月英伟达发布 Jetson AGX Thor，2070 TFLOPs 的 AI 算力是前代 Orin 的 7.5 倍，差距进一步拉大。大国博弈背景下，欧美对华技术出口限制风险直接影响我国具身智能发展，在国家产业安全和科技主权的战略考量下，我们认为“十五五”时期 AI 芯片将成为科技突破的重要命题，研发将获得更多的政策支持和资源倾斜，市场有望迎来半导体、芯片等领域中长期的发展红利期。

表9：国内头部人形机器人企业处理器选型情况，英伟达与英特尔占比高

企业	型号	配置
宇树科技	G1/G1 EDU	8 核高性能 CPU（EDU 版配 NVIDIA Jetson Orin NX）
宇树科技	R1/R1 EDU	8 核高性能 CPU（EDU 版配 NVIDIA Jetson Orin（40-100TOPS 算力））
宇树科技	H1-2	标配 Intel Core i5（可升级 Intel Core i7 或 Orin NX）
优必选	Walker X	Intel i7-8665U + NVIDIA GT1030
智元	灵犀 X2 旗舰版	RK3588*2+Orin NX（157 TOPS）
智元	远征 A2 旗舰版	16 核高性能 CPU+Nvidia Jetson Orin（275TOPS）
逐际动力	LimX Oli Lite	RK3588/8G/64G
逐际动力	LimX Oli EDU	RK3588/8G/64G+Orin NX（100TOPS）/16G/1T
逐际动力	LimX Oli Super	RK3588/16G/256G+Orin NX（100TOPS）/16G/2T
北京人创	天工 1.1Pro	Intel x86 CPU + Orin AGX 64*2（275TOPS*2）
越疆科技	DOBOT Atom Max	Intel i9+独立 GPU（1500 TOPS）
银河通用	Galbot G1	NVIDIA Jetson Thor 芯片
傅利叶	N1	Intel i7-13700H CPU+Intel Iris Xe GPU
傅利叶	GR-3	Intel i7-13700H

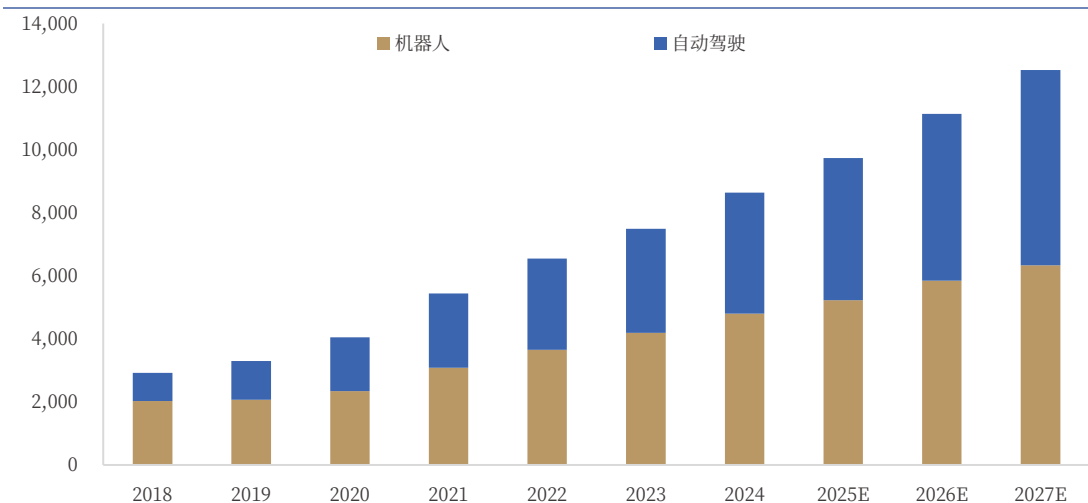
资料来源：半导体产业纵横，中国银河证券研究院

三、市场规模快速增长，应用场景不断拓展

（一）市场规模：具身智能市场规模快速增长，未来前景广阔

具身智能市场规模快速扩容，未来前景广阔，预计 2026 年将超万亿。2025 年以来具身智能市场规模快速扩容，宇树科技创始人王兴兴在 2025 世界人工智能大会上表示“今年上半年全国智能机器人行业平均增速可达 50%到 100%”。据 36 氪研究所预计，2025 年我国具身智能行业市场规模预计可达 9731 亿元，其中机器人市场规模预计可达 5229 亿元，同比+8.9%，自动驾驶市场规模预计可达 4502 亿元，同比+17.5%，到 2026 年我国具身智能行业市场规模预计将超万亿元。

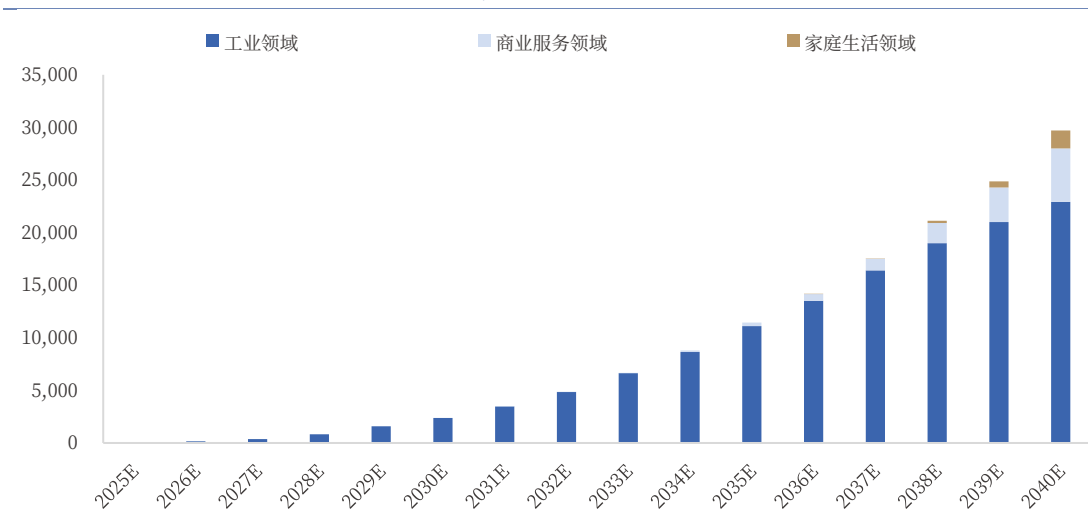
图37：2025 年我国具身智能行业市场规模预计可达 9731 亿元（亿元）



资料来源：36 氪研究所，中国银河证券研究院

人形机器人有望率先在工业领域实现应用，随后逐步扩展至商业服务领域与家庭生活领域。工业场景具有工作步骤标准化程度高、重复度高、场景相对封闭的特征，有助于人形机器人产品在早期落地应用，据亿欧智库预测，2025-2030 年人形机器人有望率先应用于工业领域，2030 年后人形机器人将逐步应用于商业服务领域，2035 年后人形机器人将逐步应用于家庭生活领域，到 2040 年人形机器人市场规模有望达到近 3 万亿元水平。

图38：人形机器人有望率先在工业领域实现应用，随后逐步扩展至商业服务领域与家庭生活领域（亿元）



资料来源：亿欧智库，中国银河证券研究院

（二）应用场景：具身智能应用场景丰富，各领域应用不断深化

1. 工业：人形机器人率先落地实践，头部企业产品进驻多家汽车工厂

人形机器人在工业场景的应用前景广泛。工业对自动化和智能化需求高，生产流程复杂，对效率、精度和柔性有较高要求，并且存在许多危险场景，能够通过人形机器人的应用实现效率的提升和安全事故的降低，因而对人形机器人有较高的需求。人形机器人能够应用于汽车、电子电气、化工、机械制造、纺织、食品饮料等多个行业的多个生产环节，具备广泛的应用前景。

图39：人形机器人在工业场景的应用前景广泛

行业	人形机器人的主要潜在应用环节				
汽车及零部件制造	装配与组装	焊接	喷涂	质量检测	物料搬运
电子电气设备制造	精密装配	焊接	测试与检验	洁净室操作	包装与分拣
化工与石化	危险物料处理	设备监测与维护	应急响应	样品采集与分析	
金属冶炼与加工	高温作业	铸造与锻造	焊接与切割	质量检测	
机械制造	零部件装配	焊接与切割	喷漆	搬运	
纺织服装制造	裁剪	缝纫	熨烫	质量检验	
食品饮料加工	分拣与包装	装瓶与灌装	质量检测	物料搬运	
冶金与矿业	采矿作业	设备维护	危险环境操作	巡逻巡检	

资料来源：新战略，中国银河证券研究院

多家头部企业产品进驻汽车工厂，人形机器人应用场景实践加速。目前已有多家企业将人形机器人产品部署在以汽车工厂为代表的工业场景中，推动人形机器人在工业场景应用实践的加速，如特斯拉 Optimus 进入自身工厂开始进行电池单元分装工作；Figure 02 在宝马生产线实践一段时间后将速度提升 400%，成功率提升七倍；优必选与东风柳汽、吉利汽车、一汽-大众青岛分公司、奥迪一汽、比亚迪、北汽新能源、富士康、顺丰等知名企业合作，推动旗下工业版人形机器人 Walker S 系列进入工厂“实训”，并在极氪汽车 5G 智慧工厂内部署数十台 Walker S1，尝试在同一统一“大脑”指挥下承担协同工作，如分拣、搬运、装配等。

图40：Optimus 在特斯拉汽车工厂进行电池单元分装



资料来源：澎湃新闻，中国银河证券研究院

图41：优必选 Walker S1 在极氪工程协同搬运

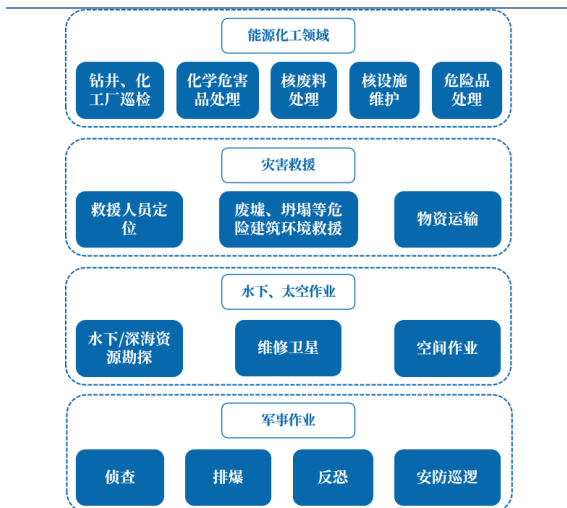


资料来源：腾讯，中国银河证券研究院

2. 特种行业：替代恶劣、危险场景下的人类工作，当前应用以机器狗为主，人形机器人有望适配更多场景应用

特种行业作业环境恶劣、危险度高，机器人能有效替代人类工作。机器人能够解决人类在恶劣环境下进行特种工作所面临的危险性难题，更好保障生命安全，提高救援效率，因而具备广泛的应用场景，如能源勘探、化学品处理、灾害救援、水下/太空工作等。

图42：特种行业作业机器人替代空间大



资料来源：亿欧智库，中国银河证券研究院

机器狗率先尝试在特种环境下工作，人形机器人能够适配更复杂环境，应用前景更为广泛。由于特种环境各细分场景环境特征差异大，高质量训练数据较少、人形机器人当前运动控制有限等原因，当前人形机器人在特种环境的应用较少，机器狗是目前率先在特种场景尝试应用的机器人主要品类，如七腾机器人有限公司研发的防爆四足机器人-X3 stable 能负载 200 千克重物，可持续工作 5 小时，爬沟过坎能力强，能携带或挂载云台、机械臂等多种设备，搭载 500 多种 AI 智能算法，善于完成多样化巡检、物资运输、抢险救援以及操作运维等任务。相比于机械狗，人形机器人的体征与人类更为相近，在危害品处理、维修作业、救援等场景下更为适配，应用前景更为广泛，如德国航空航天中心（DLR）研制的 Rollin' Justin 在设计之初计划用于太空作业。

图43：七腾四足机器人能够完成巡检、物资运输等任务



资料来源：凤凰网，中国银河证券研究院

图44：DLR 研制的 Rollin' Justin 计划用于太空



资料来源：Rollin' Justin 官网，中国银河证券研究院

3. 服务行业：应用场景多元化，头部企业积极探索商业化落地

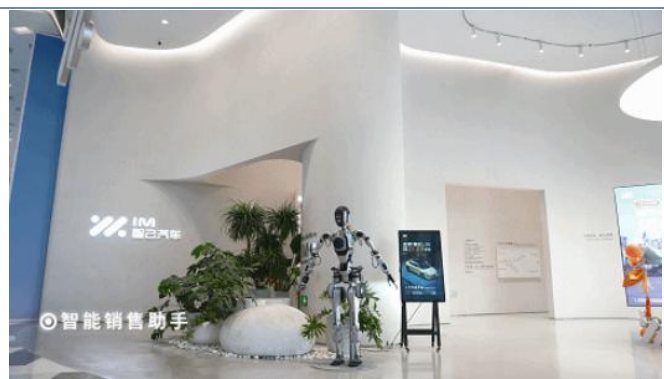
商业服务具有多元化服务场景，头部企业积极探索产品在商业服务场景下的商业化落地。商业化场景多元化属性十足，机器人具备广泛的应用场景，智元机器人在首届合作伙伴大会宣布聚焦讲解接待、文娱商演、工业智造、物流分拣、安防巡检、商用清洁、数采训练、科研教育八大场景，推出定制化解决方案并实现多行业规模化应用。头部企业积极在多个场景探索产品的商业化落地，如银河通用 Galbot 在 2025WAIC 期间，在商品货架前不间断长时间稳定工作，为李强总理、外方嘉宾、国际组织代表等领导精准取送商品；傅利叶与建设银行上海浦东分行共同成立智能人形机器人银行大堂经理场景训练基地，傅利叶 GR-1 负责协助工作人员完成银行大堂业务咨询、业务分流、智慧柜员机个性化操作指南、金融业务讲解等服务；傅利叶 GR-1 入驻永达智己北外滩店，通过为顾客提供丰富有趣的线下体验，为门店吸引大量客流。

图45：银河通用 Galbot 在商品货架前工作



资料来源：36 氪，中国银河证券研究院

图46：傅利叶 GR-1 在智己汽车门店担任销售



资料来源：傅利叶，中国银河证券研究院

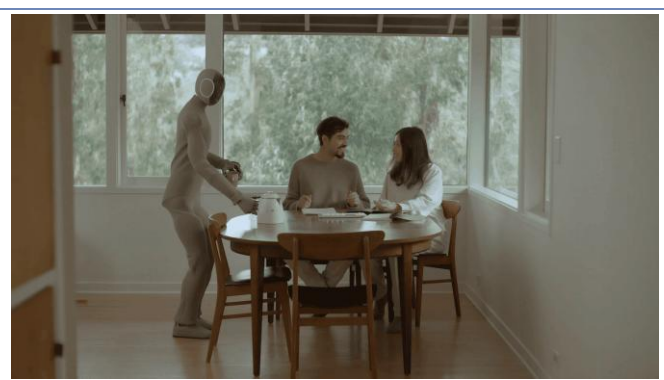
家庭服务场景能够提供家务服务与情感陪伴，成为有爱的家庭助手。在家庭服务场景下，机器人不仅能够提供清洁、整理等家务服务，还能够通过人机交互提供情感陪伴，如傅利叶发布的全尺寸人形 Care-bot GR-3 搭载自研的全感交互系统，集成听觉、视觉、触觉三大模块，通过协同反馈实现更自然、拟人的情感互动，并且嵌入微表情反馈，新增的眼神交互与表情系统可以通过转动眼球、眨眼以及定制化瞳眸特效，增强情绪传达与陪伴感；1X 发布的最新家庭机器人 NEO Gamma 能够通过专有语言模型进行自然对话和富有表现力的肢体语言。

图47：傅利叶 GR-3 能够通过眼神交互和表情系统增强情绪传达



资料来源：傅利叶官网，中国银河证券研究院

图48：1X 的 NEO Gamma 定位为下一代家庭机器人



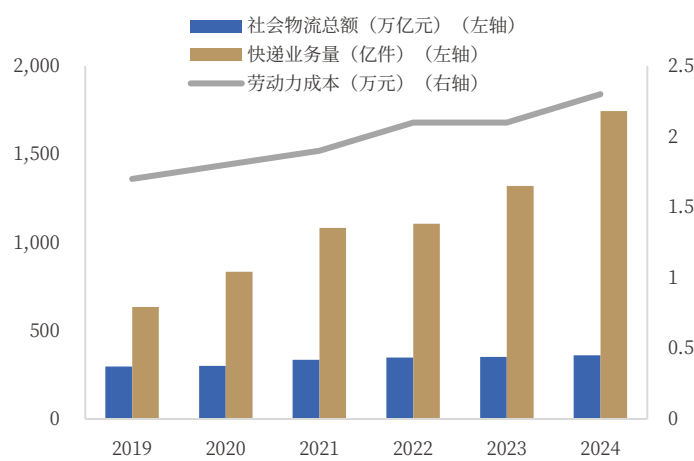
资料来源：1X 官网，中国银河证券研究院

4. 物流行业：无人物流车市场规模快速提升，机器人可解决配送“最后 10 米”难题

物流运输劳动力成本逐年上升，软硬分离的无人物流解决方案可明显降低成本与前期现金流压力。据国家邮政局数据，2019-2024 年，我国社会物流量和快递业务量逐年提升，2025 年全国社会

物流总额为 360.6 万亿元，较 2019 年增长 21.0%，全国快递业务量为 1745.0 亿件，较 2019 年增长 174.7%，劳动力成本为 2.3 万元，较 2019 年增长 35.3%。对比传统运输和无人车运输来看，前期由于无人物流多为软硬一体的整车交付方案，初始投资大，经济性不明显，市场接受度不高，随着软硬分离的解决方案出现，整车硬件购置成本明显降低，全生命周期成本经济性明显提升，能够有效降低成本和前期现金流压力，无人物流车开始进入需求爆发期。

图49：2019-2024 年我国物流运输劳动力成本逐年上升



资料来源：国家邮政局，国家统计局，前瞻产业研究院，中国银河证券研究院

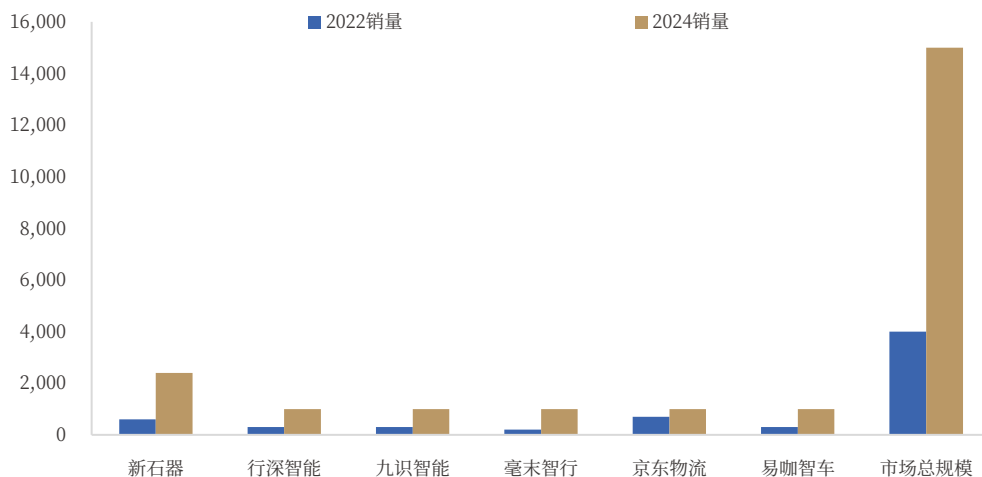
表10：软硬分离的无人车经济性明显（以 5m3 空间城配无人车为例）

传统运输	无人车运输
轻卡/微卡购置成本 10w (包含手续费、第一年保险等)	无人车购置成本 15w-20w (软硬一体的整车交付方案) / 5w (仅整车硬件)
司机工资 1w/月 (包含基础工资、社保等)	软件费用 2.5k/月 (包含维护保养、保险等)
合计成本 22w (不含车辆维护等费用)	合计成本 8w (软硬分离的无人物流解决方案)

资料来源：亿欧智库，中国银河证券研究院

得益于技术成熟与经济性优势，无人驾驶物流车市场规模快速提升，2024 年突破 1.5 万辆大关。伴随自动驾驶技术的成熟、无人驾驶物流车成本的下降以及经济性优势的展现，无人驾驶物流车的的市场需求迎来爆发，据前瞻产业研究院估算，2024 年中国无人驾驶物流车销量已突破 1.5 万辆大关，其中新石器交付量创 2400 台新高。

图50：得益于技术成熟与经济性优势，无人驾驶物流车市场规模快速提升，2024 年突破 1.5 万辆大关（辆）



资料来源：前瞻产业研究院，各公司公告，国家邮政局，中国银河证券研究院

人形机器人在物流配送中有望应用于末端配送场景，解决“最后 10 米”难题。无人运输物流车能够完成商品从发配地运输向网点的任务，从网点到终端消费者的配送任务仍以配送员完成为主，目前行业在积极探索运用人形机器人产品解决“最后 10 米”难题，如乐聚与华为、中国移动联合发布的业界首款 5G-A 具身智能机器人“夸父”能够与无人机协同配合，接收无人机投递的物品后完成地面转运，技术成熟后有望替代部分配送员的工作。

图51：5G-A 具身智能机器人“夸父”能够将无人机投递的物品完成地面转运



资料来源：网易，中国银河证券研究院

四、上下游协同发展，推动具身智能产业进步

（一）具身智能产业链概述

具身智能产业链涵盖多个环节，上游包括零部件和基础软件，中游包括整机系统研发设计、本体测试、生产制造、系统集成，下游覆盖科研教育、商业服务、工业制造、高危作业、医疗康养、家庭服务等应用场景。其中上游零部件可以划分成感知器件（如视觉、力/力矩、触觉及其他传感器等），运动器件（如电机/控制、减速器、丝杠等），控制交互（如芯片、动力系统等）；基础软件包括操作系统、控制算法、大模型和仿真软件等。中游具身智能机器人具有多样化的本体结构，包括臂式/轮式/足式/履带/复合/人形/仿生及其他无人系统等，其中人形以其更高拟人性、更强交互性和对环境的适配性，成为最具关注度的形态。

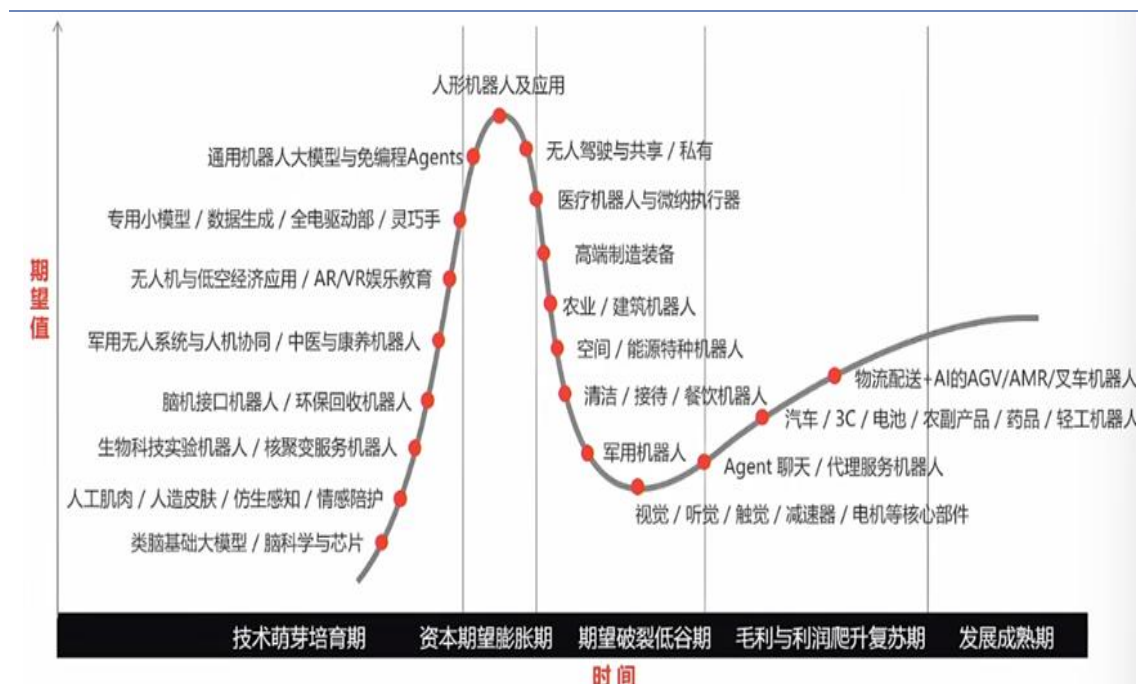
图52：具身智能产业链



资料来源：前瞻产业研究院，中国银河证券研究院

从技术与产业热点上看，人形机器人应用正处于资本期望膨胀期，而零部件正待从期望值低谷回升。2025 是人形机器人量产元年，技术与产业发展需求、政策方向均支持应用场景落地，积累数据反哺产品迭代。当前产业发展核心卡在具身大模型，重点问题在数据瓶颈和模型架构探索，区别于智能汽车、AGV/AMR、四足机器人等产品，人形机器人操作重要性大幅提升，多指灵巧手设计（含触觉传感器研究）、灵巧操作数据集、操作大模型成为提升功能性的关键。本体出货量尚小限制了当前各零部件生产的规模效应，研发投入多而现阶段创收少，对零部件企业资金实力提出要求，同时参与者快速增加，带来行业竞争加剧。但随着量产临近，具备优质大客户资源、量产能力强的零部件厂商，或制造能力突出、专业化全维度协助初创企业落地的代工企业有望脱颖而出。

图53：具身智能技术与产业热点预判



资料来源：王田苗 2025 年人形机器人和具身智能大会演讲，中国银河证券研究院

（二）上游：软硬件供应是具身智能发展的基础

1. 核心零部件概览

核心零部件占具身智能整机成本比例较高，涉及技术原理、材料、工艺等多领域，是机器人实现感知、运动、推理决策的硬件基础。主要包括运动系统（电机，减速器，丝杠等，其共同集成关节模组）、感知系统（传感器等）、控制交互（芯片、电池、充电系统等）。从产业角度看，零部件行业的发展需要关注规模量产后的 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。此外，目前本体厂商硬件方案中的增量变化集中在灵巧手、触觉传感器、轻量化、散热系统、高功率/转矩密度电机等，伴随量产时点靠近，相关行业有望获得增益。

图54：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
运动系统	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。主要用于机器人关节	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
	摆线针轮减速器		可能先在人形机器人下肢、腰髋关节渗透	24年全球16.86亿美元（QY research）；中国摆线类减速器（含RV）约3-4亿美元（MIR）	高	齿廓设计与修形；摆线轮成型磨削需专用磨齿机，针齿壳加工依赖高精度成型磨工艺，需磨床、热处理等设备	中等偏大	加工设备依赖进口，材料与热处理工艺有差距
	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，磁盘技术	小	重要元件芯片依赖进口，磁盘技术工艺
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	24年中国出货量14500台，销售额2.72亿人民币，其中用于人形机器人的出货量2040台，占比约14.1%（MIR）	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
控制交互	AI芯片	人形机器人“大脑”的重要组成部分，执行感知控制交互决策等功能	/	2023年全球AI芯片销售收入536亿美元（据Gartner）	高	制程工艺，架构设计，软件生态	大	硬件性能，系统生态，及光刻机等设备受制于国外

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.关节执行器

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，线性执行器成为重要选择之一。

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减速比减速器（如谐波减速器）、电机、编码器、高刚性力矩传感器（可选）和控制板等组成，精度高，但实现的运动能力有限，能量效率和安全性相对不足。弹性驱动非目前主流的人形机器人驱动方案。准直驱动主要由低减速比减速器（如

行星减速器)、高扭矩密度电机、编码器和控制板等组成,能量效率高,但精度一般。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用于一些大负载关节,如宇树科技、智元机器人等。

图55: 人形机器人旋转关节驱动方案



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

未来搭配线性关节的机器人本体占比可能提升。线性执行器相比旋转执行器优势体现在: 1) 空间利用率高, 可以纵向分布, 从而配备更大的电机; 2) 满足柔性需求, 有些狭窄地方旋转关节太大机器人难以进入; 3) 螺杆传动机构通过合理设计可以具备自锁能力, 低耗能。目前已采用线性执行器本体: 特斯拉, 开普勒, 小米, 小鹏, 智澄 AI 等。尝试采用线性执行器本体: 众擎, 优必选等。

表11: 线性关节较旋转关节负载和续航更优

	旋转关节	线性关节
优点	动态性能强, 运控较容易, 成本相对低	高负载能力, 续航时间长, 工业属性更强
缺点	负载能力更弱, 续航能力更差, 部分狭窄空间灵活性不足	高动态性差, 运控算法难度更大, 成本相对偏高

资料来源: 中国银河证券研究院

关节在机器人中重量及 BOM 成本占比超过 50%, 是轻量化核心之一。关节轻量化可以通过材料选择、结构设计、工艺改进实现。

材料选择上: 铝合金、镁合金(或铝镁合金)、碳纤维和高性能工程塑料 PEEK 等材料

- PEEK 材料: 可应用于谐波减速器钢轮和柔轮, 摆线减速器线和针轮, 及其他关节材料、轴承、齿轮等部件。波士顿动力 Atlas 掌指关节使用 PEEK-石墨烯复合材料, 特斯拉 Gen2 使用 PEEK。

结构设计上: 关节模组集成、拓扑优化

- 关节模组集成: Gen2 提高关节集成度, 优必选 walkerX 采用一体化伺服模组
- 拓扑优化, 精密分布材料, 且优化范围扩大(从单一零部件至整机)。如特斯拉 Gen2 较 Gen1, 天工 Ultra。

工艺上: MIM/3D 打印工艺

- MIM: 适用于大批量生产精密微型零件, 支持贵金属、钛合金、钴铬、镍/镍基高温合金、钨/钨铜和颗粒复合材料等, 和材料轻量化相辅相成。Figure 在尝试采用。

- 3D 打印：采用点阵（网格）结构减少实体材料用量，或一体化打印原本通过多个构件组合的零件等，如优必选 walker S2 相比 S1 采用了 3D 打印减重。

3.电机

具身智能机器人对关节电机的要求可概括为满足尺寸限制、高转矩密度（有限空间提高驱动力、快速动态响应）、低转矩波动（精密操作）、高过载能力（高爆发力、大转矩输出）、高结构强度（抗冲击）。目前已经用于机器人的电机包括无框力矩电机（用于 Optimus 旋转执行器）、空心杯电机（用于灵巧手手指关节）、无刷有齿槽电机（可用于灵巧手大拇指及绳驱版手腕处）。

无框力矩电机仅包括转子和定子，没有轴、轴承、外壳或端盖，可集成到机械结构中，具备转矩密度高、响应速度快、稳定性强、控制精度和集成度较高的优势，在散热上以结构散热为主，还需进一步优化。

空心杯电机无冲片齿槽结构和铁芯，减少了电机运行时磁阻力矩，降低输出转矩波动，同时消除了铁芯涡流效应引起损耗，减少了电机运行时的能量损耗，适用于高速、小型、高精度场合，但扭矩较小需搭配精密行星减速机，结构紧凑散热较弱，高精度依赖严格工艺和设备要求，成本较高。

无刷有齿槽电机转矩密度高于空心杯电机，适合更高负载、预留空间更大的场合。但存在齿槽转矩影响精度，铁芯涡流效应引起能量损耗，噪声相对更大。基于其成本优势，且绳驱版灵巧手将驱动电机集成到手腕手臂处空间更足，无刷有齿槽电机在机器人中应用范围可能扩大。

表12：机器人用电机种类对比

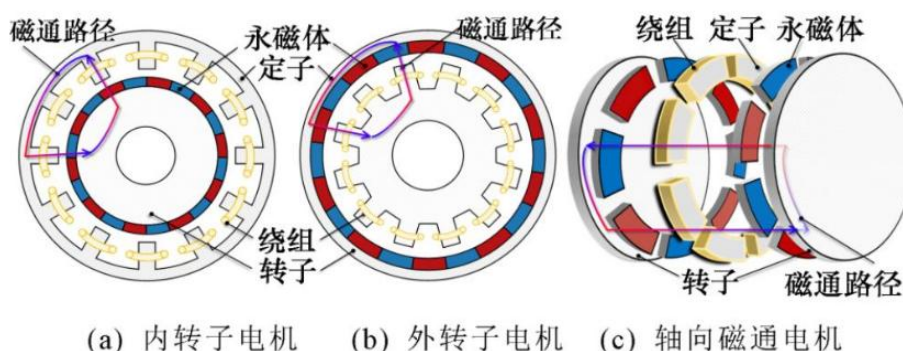
	无框力矩电机	空心杯电机	无刷有齿槽电机
			
结构特点	转子带永磁体，定子带有铜线绕组，没有轴、轴承、外壳或端盖，可集成到机械结构中	定子为无铁芯空心杯绕组，转子带永磁体	定子带有铁芯齿槽，转子带永磁体
原理	通过电流在转子上产生的磁场和永磁体在定子上产生的磁场相互作用，从而实现转矩输出	没有冲片齿槽结构和铁芯，减少了电机运行时磁阻力矩，从而降低输出转矩波动，消除了铁芯涡流效应引起损耗，进而减少了电机运行时的能量损耗	通过控制定子上缠绕线圈的电流方向，依次切换定子磁场，使转子（带永磁体）旋转
转矩特性	转矩密度高，适合直驱	转矩密度低，无齿槽转矩，转矩波动平稳	转矩密度高于空心杯电机，存在齿槽效应，转速较低时转矩波动大
响应速度	快	较快	中等
转动惯量	较低	低	相对较高
过载能力	较强	较强	较强
效率	较高	高。消除了铁芯产生的磁阻力矩和涡流效应造成的损耗	高
控制精度	无需传动组件直接耦合，且通常搭配高分辨率绝对值编码器，背隙问题小，可实现较高精度控制	磁场分布较复杂，精确控制难度更大，高精度依赖相对严格的工艺要求	齿槽转矩影响精度，需优化定转子设计、极槽配合、驱动器补偿等降低齿槽转矩影响
噪音	小	小	一般

寿命	较长	较长，但无铁芯转子强度相对低，抗外力冲击能力弱于有铁芯电机	较长
散热性能	当前散热以结构散热为主。同时无框定子被直接嵌入到机器中，因此需要确保支撑定子的外壳材料具有足够的散热性能	无铁芯避免了涡流和磁滞损耗，发热情况相对好，但结构设计紧凑，散热相对弱	铁芯导热快，散热较好
成本	中等	高	低
典型应用	适合低速高转矩应用场合。如：高精度旋转平台、机器人关节、机床主轴、飞行控制面执行器	适合高速小型高精度应用场合。如：机器人灵巧手及假肢、仪器装备、电动车、航空航天飞行器、精密医疗设备、小型发电设备	较空心杯电机适合更高负载、预留空间更大的场合。如：工业自动化、电动车、航空航天等

资料来源：张忠强《永磁无刷空心杯电机及控制器研究》，步科股份官网，昊升电机官网，科尔摩根科学家俱乐部公众号，中国银河证券研究院

按关节拓扑结构分，常见的机器人关节电机拓扑包括内转子径向磁通永磁电机、外转子径向磁通永磁电机和轴向磁通永磁电机。特斯拉等机器人本体用的无框力矩电机主要是内转子结构。而宇树科技、本末科技、灵足时代的关节模组则采用外转子电机+行星减速器的准直驱模式，主要由于外转子电机较内转子电机具备更大转矩，其构成的准直驱执行器反驱性好、机械阻抗低，使机器人抗冲击性和动态响应性提升。基于对更高转矩密度的需求，轴向磁通电机关注度提升，其较之径向磁通电机轴向长度短，结构紧凑，转矩/功率密度高，目前“青龙”机器人、广汽 GoMate 已尝试采用。但当前轴向磁通电机高扭矩持续输出时存在较严重的发热严重，批量化生产工艺难度高、材料利用率低，限制了其广泛应用。

图56：三种机器人关节电机拓扑结构



资料来源：史婷娜《机器人关节用伺服电机关键技术与展望》，中国银河证券研究院

表13：机器人关节电机拓扑结构对比

	内转子电机			外转子电机	轴向磁通电机	空心杯电机
执行器组成	电机+齿轮箱（+弹性元件）	电机+高减速比减速器（+弹性元件）	电机+低减速比减速器	电机+低减速比减速器	电机+减速器	电机+齿轮箱+蜗轮蜗杆/丝杠
结构图						
径-长比	低	中	中	高	较高	低
转矩密度	较低	高	中	较高	高	低
成本	低	较高	中	中	高	高
集成度	低	中	较高	高	较高	低
可靠性	中	低（装弹性元件时高）	较高	高	较低	中

固有缺点	多关节集成受限	抗冲击性能差	爆发性能弱	一体化振动存在	发热问题严重	制造难度高
适用场景	微/小型机器人的高动态关节	高精度、大负载机器人的上肢关节	高动态机器人的下肢关节	高动态、高爆发机器人的下肢关节	大负载机器人关节	小型、高精度关节

资料来源：史婷婷《机器人关节用伺服电机关键技术与展望》，中国银河证券研究院

4. 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。按照控制精度可划分成一般传动减速器和精密减速器。**精密减速器主要包括谐波减速器、RV 减速器、行星减速器、摆线针轮减速器等。**

减速比（减速装置的传动比）/扭矩、大小/重量、精度、价格等是选择减速器的主要参考因素。
谐波减速器具备高精度特性，但受制于柔轮反复性变带来的寿命折损，目前主要用于机器人小臂、腕部等轻负载关节，并不适用于高负载强冲击场景。**行星减速器**结构简单，成本较低，但具备较大传动间隙，适用于对精度要求不高的末端执行器。**RV 减速器**常用于工业机器人重负载部位，以及汽车、运输、港口码头等行业，但由于重量和体积偏大，并不适配对运动灵活性有一定要求的机器人本体。随着材料和工艺不断进步，**摆线针轮减速器**凭借“精度高于行星、负载优于谐波、体积小于 RV”优势，逐渐成为人形机器人关节构成的重要考量。**我们认为，未来各类减速器应用并非完全互斥，而将根据不同应用场景要求进行灵活选择。**

表14：不同种类减速器原理及特点

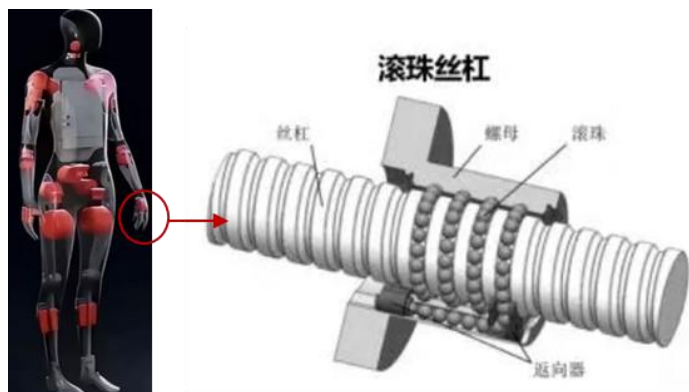
名称	示意图	原理	大小	减速比	优点	缺点	应用	终端行业	单价
谐波减速器		通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮、波发生器三个核心零部件组成	偏轻偏小	大	小体积、高精度	传递扭矩相对较小、传动效率低、低负载能力	小负载工业机器人小臂、腕部或手部；协作和 SCARA 机器人大部分动力关节	3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗等行业	中等
RV 减速器		通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成	偏重偏大	大	高负载能力、高刚度	结构复杂、制造难度大、成本高	多关节机器人中机座、大臂、肩部等重负载的位置	汽车、运输、港口码头等行业	更高
精密行星减速器		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、结构简单	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
摆线针轮减速器		以摆线针齿啮合为载体	相比 RV 更轻更小	单级介于谐波和行星之间	精度高于行星、负载优于谐波、体积小于 RV	结构较行星更复杂，精度较谐波更低，需磨齿机、磨床、热处理等精密加工设备	重负载领域，部分机器人领域	矿山、化工等行业	中等偏低

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

5.丝杠

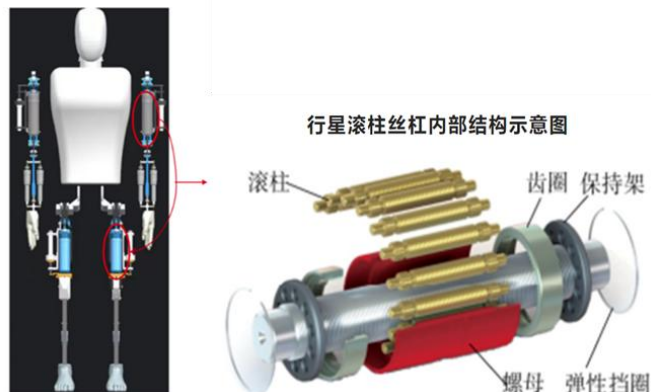
丝杠是一种将旋转运动转化为直线运动的机械传动装置,是工具机械和精密机械上常见的部件。在人形机器人中使用的丝杠产品包括滚珠丝杠和行星滚柱丝杠,前者可用于构成灵巧手,后者主要构成线性执行器。

图57：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58：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。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15：三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

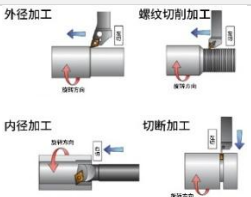
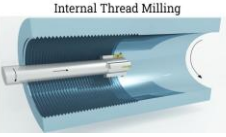


资料来源：杨光《基于行星滚柱丝杠的伺服电动缸节能高效起竖关键技术》，怡合达，张大伟、赵升吨《行星滚柱丝杠副滚柱塑性成形的探讨》，中国银河证券研究院

丝杠较成熟的加工方式可以分为车削、铣削、磨削、轧制。磨削产品精度和寿命高，但效率和成本控制上不及车削。磨削精度可达 G1 级，表面粗糙度值较低，产品寿命长，但加工工序多、效率较低、对磨床等设备要求高，整体制造成本偏高。车削精度可达 C3-C5，加工效率高，对加工设备要求不高，切屑带走部分切削热从而降低螺纹表明烧伤或开裂风险，但刀片磨损较快。铣削加工精度可达 G3~G5 级，采用干切削加工工序短，生产率高，且绿色环保，但前期设备投入较大，对刀具

精度、耐磨性和寿命要求高。**轧制**自动化程度高，效率高，生产成本低，比较适合大批量生产，但精度偏低，暂可达 G9 级，且齿形精度取决于轧辊精度及寿命，设备成本偏高。

内螺纹磨削加工效率在提升，“以车代磨”得到尝试。现阶段滚珠丝杠副中螺母主要研磨，丝杠可冷轧/研磨，冷轧偏批量制造，精度更低，磨制偏精密制造。同时“以车/铣代磨”凭借更低成本更高效率特征，运用也逐渐广泛。行星滚柱丝杠副螺距误差要求更严格，加工难度更大。当前人形机器人对行星滚柱丝杠精度要求普遍为 C3-C5，随着产品量产临近和落地应用加速，对精度、效率、一致性与成本控制综合要求提升。在核心步骤螺纹加工环节，研磨为主，伴随技术/工艺进步，基于磨削工艺的内螺纹加工效率在提升，砂轮材质也逐步优化以减少砂轮磨损带来的中径锥度异常。同时，亦有厂家尝试用高精度数控车床和高精度成型刀片通过车削完成螺纹加工。

表16：行星滚柱丝杠副螺纹加工方法对比

加工方法	车削	铣削	磨削	轧制
释义	在零件热处理后，采用高刚性、高精度数控车床进行硬切削	在零件淬火后，采用高精度专用加工设备，以工件外圆为基准，利用安装在高速旋转刀盘上的成型铣刀，实现螺纹滚道加工	以中心孔及外圆为基准，核心在于螺纹磨床、磨削参数、热处理参数及变形控制	材料在软态情况下采用挤压方式加工，使材料产生塑性变形，然后进行淬火处理，经抛光后表面光滑
图片				
材料要求	材料有足够的强度，面硬度高，芯部韧性好	材料稳定性良好，外圆圆柱度及表面粗糙度要求高，淬硬层深度及硬度均匀	外圆及中心孔要求高，材料需要合理的热处理工艺	材料表面质量、外圆尺寸、圆度、直线度要求较高，有适当的强度和均匀的组织结构，有良好的塑性
加工精度	精度可达 G3~G5 级，齿型稳定性一般，表面粗糙度值 Ra 为 1.6um 以下	精度可达 G3~G5 级，表面质量略低于磨削，表面粗糙度值 Ra 可达 0.8um	精度可达 G1 级，导程精度高，圆度好，齿型精度高，表面粗糙度值 Ra 为 0.4um 以内	精度可达 G9 级，齿形精度差，外观光滑
加工效率	加工效率较高	加工效率不高	效率不高、加工较慢、周期长	加工效率高
制造成本	设备要求不高、刀具磨损较快	设备投入高，刀具成本高	制造成本较高	设备投入较大
应用领域	汽车自动化生产线、塑料等	民用设备、人形机器人等	军工、航空航天、机床、人形机器人、医疗器械和光学设备等	机械设备、汽车零部件、电子设备等

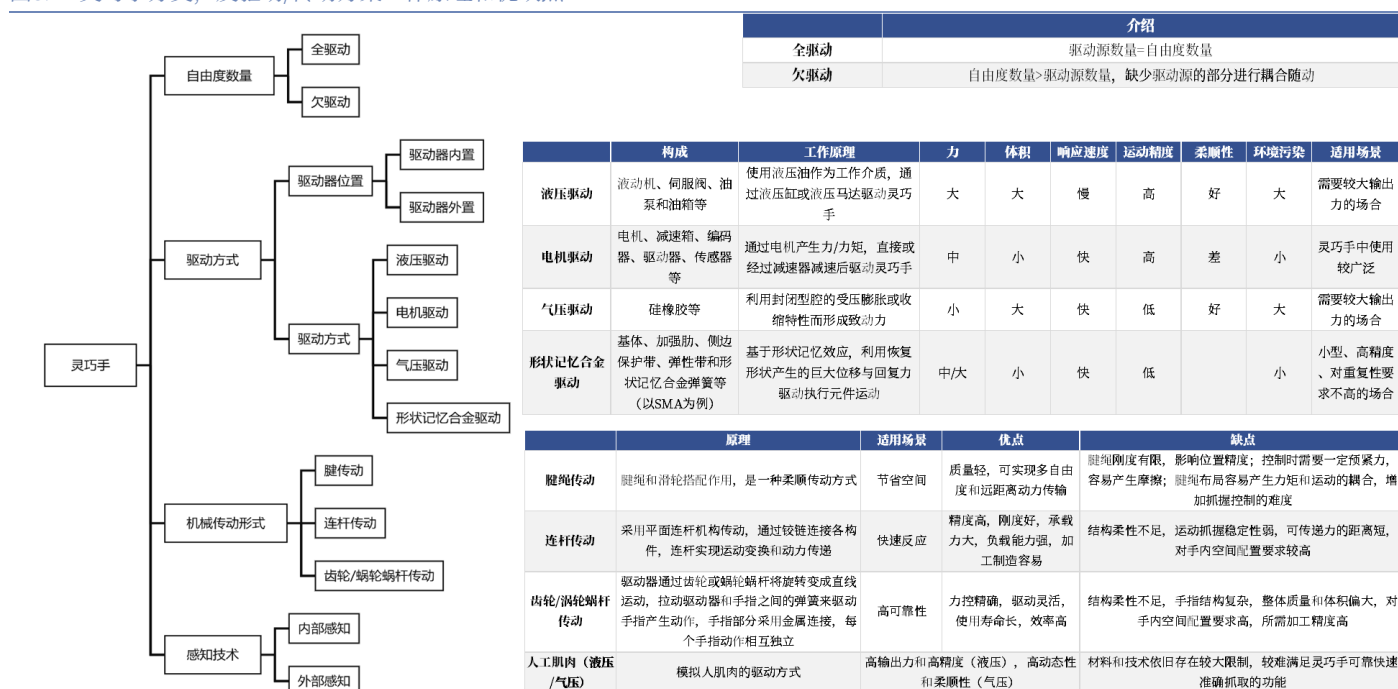
资料来源：王建修《行星滚柱丝杠副技术分析及装备应用》，中国银河证券研究院

6.灵巧手

当前机器人灵巧手技术路径尚未统一：手指数量有 2/3/4/5 指，自由度覆盖 6dof 至 20+dof，驱动传动方式有全直驱、齿轮/蜗轮蜗杆传动、连杆传动、腱绳传动等。灵巧手种类多元，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，波士顿动力液压版 Atlas 已于 2024 年被电驱动版取代。传动方式上，特斯拉 Optimus 三代灵巧手采用“腱绳+精密行星减速器+微型丝杠”，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，星动纪元初代手选择齿轮方案，因时机器人选择连杆传动，但二者具有柔性欠缺、对手内空间配置要求较高的不足。

图59：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

当前灵巧手领域的技术进步主要体现在：

- 1) 从单一款式扩充至产品矩阵：**因时现有产品为 12dof，计划后续推出高自由度版；灵心巧手 L30 推出直驱和绳驱两种版本；灵巧智能推出 3 指 8dof 性价比版 DexHand21 S 和 5 指 22dof 高自由度版 DexHand21Pro；雷赛今年推出普及版 11dof DH116 和高自由度（20dof）DH2015。
- 2) 传感反馈更多元：**标配触觉比例提升（电容式或压阻式），视觉/触觉/电磁式指尖指腹可自主选配，手指近端/手掌/手背后续可能加电子皮肤，部分场景应用可能集成温度传感器。
- 3) 集成度提升：**将驱动单元从手掌集成到手腕，强脑科技 Revo 2 内置集成三维触觉传感器，因时推出驱控一体微型伺服电缸，灵心巧手“工业大师版”配备驱控一体电缸模块，兆威机电采用高性能 MCU 单芯片整合多电机控制。

图60：已发布灵巧手汇总（不完全统计）

品牌	产品	重量	负载能力	驱动方式	电机数量	传动技术	手指数量	单手自由度（个）	触觉	重复定位精度	寿命
因时机器人	RH56BFX	540g	拇指最大抓握力6N，四指最大抓握力4N	空心杯无刷电机	6	微型伺服电机缸，位置传感器+丝杠+减速器+空心杯电机+力传感器+伺服驱动器	5	6主动+6被动	电容式，供应商有他山科技、华威科	±0.2mm	
	RH56DFX	540g	拇指最大抓握力15N，四指最大抓握力10N	空心杯无刷电机	6		5	6主动+6被动		±0.2mm	
	RH56E2	790±10g	3kg单指主动力，指尖最大输出力30N	空心杯无刷电机	6		5	6主动+6被动		±0.2mm	
	RH56F1	620±10g	拇指最大抓握力15N，四指最大抓握力10N	空心杯无刷电机	6		5	6主动+6被动		±0.2mm	带负载至少20万次
傲意科技	ROH-A001	545±5g	最大单个手指载荷98N（10KG）		6		5	6		±1mm	
	ROH-LiteS	457克±5克	最大提重物（四指弯曲状态）25千克，最大单指静态载荷（手指弯曲状态）8千克，最大单指指尖静态载荷（平伸状态）5千克		6		5	6主动+5被动		±1mm	
	ROH-AP001	640g±5g	最大提重物（四指弯曲状态）30千克，最大单指静态载荷（手指弯曲状态）10千克，最大单指指尖静态载荷（平伸状态）8千克	空心杯电机	6	连杆传动	5	6主动+5被动	高密度点阵触觉传感器（感知0.1-25N压力）；在和帕西尼接触	±1mm	
强脑科技	智能仿生灵巧手Revo1	547g	单指最大负载8kg，整手最大负载30kg；单指最大握力30N，五指握力50N	空心杯电机+减速器	6	蜗轮蜗杆+连杆传动	5	10（6主动+4被动）	可选配电容式传感器	操作精度0.1mm	手指开合30万次
	Revo2	383g	单手承载20kg，五指握力≥50N		6	蜗轮蜗杆	5	6主动+5被动	电容式，覆盖指尖指腹		≥30万次
灵巧智能	DexHand21量产版	1000g	负载5kg，单指1kg负载力	空心杯电机	12	腱绳传动，单绳驱	5	12主动+7被动	电容式		>15万次（带载）
	DexHand21 S	620g	抓握力峰值22N，负载额定2.5kg，最大5kg	空心杯电机		齿轮+腱绳+连杆	3	8	触觉选配	±0.5mm（空载）	20万次（带载500g）
	DexHand21Pro	2000g	负载5kg	空心杯电机+直线推杆	16	腱绳传动，双绳驱	5	22（16主动+4被动+2手腕被动）	电容式，指尖、指腹、手掌感知		
灵心巧手	L10	750g	最大负载5kg，拇指最大抓握力12N，四指最大抓握力12N	自研电机	10	连杆传动	5	10主动+10被动	电子皮肤，标压阻压传感器，阵列6*12，寿命10万次；可选配电容传感器/视觉/视触。	±0.20mm	
	L20	1000g（加触觉）	最大负载5kg，拇指最大抓握力15N，四指最大抓握力10N	自研电机	16	连杆传动	5	21（16主动+5被动）		±0.20mm	
	L30直驱	1200g	最大负载20kg，拇指最大抓握力15N，四指最大抓握力10N	全直驱，自研电机	21	连杆传动	5	21全主动		±0.20mm	
	L30腱驱	1300g	拇指最大抓握力9~20N，四指最大抓握力10~20N，抓握力分辨率0.5N。最大承重≥8kg	自研电机	18	腱绳传动	5	18主动+7（共25，含手腕2）		±0.2mm	
星动纪元	XHAND1	1100g	单指/四指/单手最大5/20/25kg负载，单手最大80N握力	空心杯电机+行星减速器	12	锥齿轮传动	5	12（大拇指3+食指3+其他手指各2），无被动自由度	五个指尖均配有阵列式高精度高分辨率（>100点）触觉传感器提供三维力触觉+温度感知（20个温度分布阵列）	±0.2mm	空载抓握寿命100万次
兆威机电	DM17			全直驱，5空心杯电机（手指根部）+12步进电机（指关节）	17	行星减速箱+滚珠丝杠+推杆传动	5	17主动	压阻式触觉传感（福莱新材、途见科技等合作）		
	LM16			欠驱动，无刷直流电机	6	连杆传动	5	6主动			
雷赛智能	DH116	490g	钩握最大负载40kg	无刷空心杯伺服电机+行星减速器	6	丝杠+连杆	5	6主动+5被动	FOC电流环与压阻式触觉传感器融合的力位混合算法，选配多模态传感器或电子皮肤		抓握寿命超过100万次
	DH2015	670g	整手最大负载15kg，单指最大负载5kg	无刷空心杯伺服电机	15		5	15主动+5被动	FOC电流环与压阻式触觉传感器融合的力位混合算法，选配多模态传感器或电子皮肤		抓握寿命超过100万次
帕西尼	DexH5 Gen1		4kg	空心杯电机			4	9（5主动+4被动）	528个ITPU 触觉感知单元		
	DexH13 Gen2		负载5kg+指尖力15N	空心杯电机	13	连杆传动	4	16（13主动+3被动）	搭载1140个多维触觉传感单元，具备15种触觉感知能力		100万次
	GMH18 Gen3		额定负载20kg	空心杯电机	11	连杆传动	5	18（11主动+7被动），拇指5自由度	搭载千余颗自研GEN3 ITPU 多维触觉传感单元，触觉覆盖指甲、指尖、指腹、手掌		
宇树科技	Dex5-1		常温掌面向下3.5kg，掌面向左4.5kg	空心杯电机		12个自研微型力控复合传动关节+4个微型力控关节齿轮传动	5	20（16主动+4被动），16主动dof=拇指4+食指3+中指3+无名指3+小拇指3	单手94个触觉传感器，支持灵巧手触觉算法的二次开发	±1mm	

资料来源：因时机器人官网，傲意科技官网，强脑科技官网，灵巧智能官网，灵心巧手官网，星动纪元官网，兆威机电官网，雷赛智能官网，帕西尼官网，宇树科技官网及视频号，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61：人形机器人传感器分类

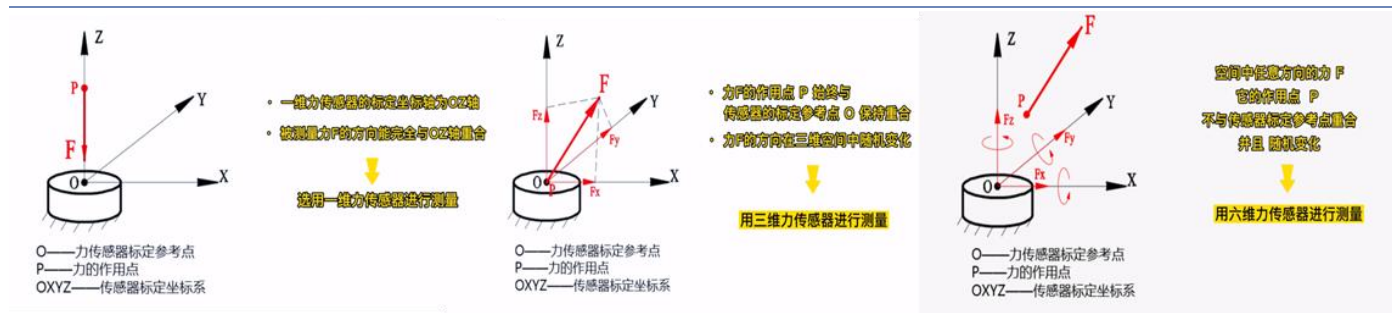


资料来源：Yole, GGII, 中国银河证券研究院

（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的核心部件之一。按照测量维度划分，力传感器可以分为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62：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应变式、电容式、光电式、压电式、压阻式等。其中应变式基于应变片的电阻-应变效应实现力/力矩信号的检测，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，但其不足之处在于桥路受外界因素影响大，有蠕变和零漂，且布线复杂，封装工艺要求高。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，线性响应好，动态范围宽，易实现非接触测量，但抗干扰差，存在寄生电容的问题。光电式通过弹性体的变形调制光波，使接收器接收到的光强发生变化，具备高分辨率、与视觉技术相容性好、抗电磁干扰强优点，但结构刚度低，对测量环境要求高，成本较高。压电式主要基于压电效应工作，适合动态测量，但无法长时间作用静态力。压阻式原理为两个相对（或相邻）电极之间敏感材料的电阻随作用压力载荷的变化而变化，动态范围宽，负载能力强，但存在迟滞和非线性。

表17：不同原理六维力传感器的特点

类型	原理	优点	缺点
应变式	在外力的作用下，一定形状的弹性元件发生弹性应变，进而引起弹性元件上的应变材料发生阻值的变化。	输出线性度好，精度高，稳定性好，耐久性好；刚度大；既可以检测静态量，又能检测动态量	布线复杂，封装工艺要求高；受温度影响较大；存在机械滞后；有蠕变和零漂
电容式	两相对极板间介质层受压变形，从而使电容发生变化	线性响应好；动态范围宽；易实现非接触测量	易受噪音干扰；介电常数易受温度影响
光电式	通过弹性体的变形调制光波，使接收器接收到的光强发生变化	高分辨率；与视觉技术相容性好；无电气干扰，抗电磁干扰强；信号处理电路分离	结构刚度低；性能主要依赖于弹性体；对测量环境要求高；成本较高
压电式	在敏感元件上施加压力时，两端产生电压变化	动态范围宽；工作可靠；固有频率高；灵敏度和信噪比较高	仅能测量动态力，不适合于静态力测量；阻抗高
压阻式	两个相对（或相邻）电极之间敏感材料的电阻随作用压力载荷的变化而变化	单调响应；动态范围宽；良好的负载能力；耐用	存在迟滞及非线性；弹性材料的机械、电性能需优化

资料来源：孙永军《空间机械臂六维力/力矩传感器及其在线标定的研究》，MIR，中国银河证券研究院

在人形机器人领域，六维力传感器可用于力控反馈，步态平衡，重心和安全控制，地面识别等，可配置在手腕、脚踝和灵巧手（在研，难度较大）。特斯拉 Optimus Gen2 将其用于手腕和脚踝。

表18：六维力传感器在人形机器人上的应用

部位	六维力传感器实现功能	主要应用结构	直径范围/mm	价格范围/元	未来趋势
上肢	主要用于前臂末端力控反馈，如抓握力感知、物体接触检测、抗冲撞反馈等，实现精密装配、打磨、搬运等柔性操作	倾向 Y 型/悬臂梁结构	30~35	10000~30000/个	薄型化、圆形中空设计
下肢	用于动态步态平衡、重心控制、地面识别等	十字梁结构为主	60~75	5000~10000/个	趋于稳定标准化
多指灵巧手	实现最精细的抓取、物体识别、接触反馈、力控制闭环	高度定制化的小型 Y 型梁、悬臂梁结构，或新型柔性结构(如微悬臂+ MEMS/薄膜)	20mm，或更小	>50000/个	超小型、轻量化

资料来源：MIR，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、位置和姿势转换成电信号的装置。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19：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	
字树科技	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20：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子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

8. 芯片和算力

机器人大小脑芯片一般选用大算力芯片，特斯拉采用自研 FSD 芯片，国内本体厂主流选用英特尔 x86 芯片和英伟达 Jetson，国产芯片亦被尝试。特斯拉机器人 Optimus 主芯片采用 FSD HW4.0（端侧）+Dojo D1（云端训练芯片）组合。宇树 G1 和机器狗 Go2 采用 8 核 CPU+高算力模组 Nvidia Jeston Orin（EDU 款配备），H1 和机器狗 B2 标配 Intel Core i5(平台功能)/Intel Core i7(用户开发), 选配 Intel Core i7 或 Nvidia Jetson Orin NX。智元灵犀 X2 基础算力采用瑞芯微 RK3588*2, Ultra 版搭配 Nvidia Orin NX(16GB 157TOPS)。优必选 Walker X 选用了 Intel i7-8665U（双路，1.9GHz）+NVIDIA GT1030 显卡（384 核心）。众擎通用机器人 PM01 采用 8 核 CPU Intel N97 作基础算力，同时教育版搭配 Nvidia Jeston Orin。

表21：部分具身机器人芯片和算力情况

名称	名称
特斯拉 Optimus Gen2	端侧芯片 FSD Hardware 4.0+训练端芯片 Dojo D1 FSD: 7nm, 总算力 144 TOPS（双芯片设计），CPU+GPU+NPU，支持多模态数据处理 Dojo D1: 7nm, 支持 BF16/CFP8 算力 362 TFLOPS, FP32 算力 22.6 TFLOPS, FSD 视觉 SLAM 算法直接应用于 Optimus 环境建模
宇树科技 G1/G1-EDU	8 核 CPU+高算力模组 Nvidia Jeston Orin（EDU 款配备）
宇树科技 H1/H1-2	标配：Intel Core i5(平台功能)+Intel Core i7(用户开发) 选配：Intel Core i7 或 Nvidia Jetson Orin NX
宇树科技 Go2	8 核 CPU（AIR 款无，其余标配）+EDU 款选配 NVIDIA Jeston Orin（40-100Tops 算力）
宇树科技 B2	标配：Intel Core i5（平台功能），Intel Core i7（用户开发） 选配：Intel Core i7 及 Nvidia Jetson Orin NX（最多 3 块）
智元灵犀 X2	瑞芯微 RK3588*2（基础算力）+Nvidia Orin NX(16GB 157TOPS)(Ultra 版配)

优必选 Walker X	Intel i7-8665U（双路，1.9GHz）+NVIDIA GT1030 显卡（384 核心），CPU+GPU，适合复杂视觉导航、多模态交互和精密操作
众擎 EngineAI se01	4 核 CPU Intel N92+NVIDIA Jetson Orin Nano
众擎 EngineAI PM01	8 核 CPU Intel N97（基础算力）+Nvidia Jeston Orin（教育版搭配）

资料来源：宇树、智元、优必选、众擎等公司官网，中国银河证券研究院

英伟达 8 月 25 日发布了新一代机器人专用芯片 Jetson Thor，AI 计算能力是上一代的 7.5-10 倍，能效是上一代的 3.5 倍，I/O 吞吐量提升 10 倍，内存容量也提升两倍。这些能够帮助机器人更好处理端侧多元传感器数据和进行视觉推理，提高性能并降低延迟。当前银河通用、智元、优必选、众擎、联影医疗等都将搭载最新 Jetson Thor 芯片。期待 AI 芯片性能提升助力具身大模型实现新突破。

9. 电池&续航&散热

目前很多人形机器人还是采用圆柱形锂电池，但体积重量限制+工业场景连续少间断作业需求，要求锂电池能量密度高和瞬时放电。如：欣旺达高镍高硅化学体系加轻量化结构设计提高电池能量密度；亿纬锂能采用掺硅负极高镍正极、超薄顶盖设计、全极耳设计提高能量密度和极速快充。新电池方案则包括半固体/全固态：广汽集团 GoMate 采用全固态电池方案，续航达 6h。

此外，提高续航亦可通过结构设计和算法优化：1）结构设计：采用线性关节自锁设计，无需电机运行保持站立；优必选将 1 个大电池包分成 2 个小电池包，支持热插拔自主快速换电；跨维智能 W1 等采用轮式底盘，可将更大电池包置于底部。2）算法优化：通过控制算法让部分电机而非全部电机工作。

散热处理上，主要有冷却降温、材料散热、控制算法优化 3 种方式。1）冷却降温：主要包括风冷（普通工况多用，可用于感知系统、控制系统、能源系统），液冷（动力系统，能源系统、计算系统等），相变冷却等方式；2）材料散热：采用高导热复合材料，比如石墨烯涂层、铝合金基体、碳纳米管增强材料，提高电机外壳的热传导性能，如把电机芯片贴上散热硅胶，然后贴在锯齿状铝片上；3）控制算法：让不需要工作的电机低功率运行。单纯物理降温需要时间，在持续工作的情况下降温效果不佳。控制算法降温效果可大幅提升，但难度较大。

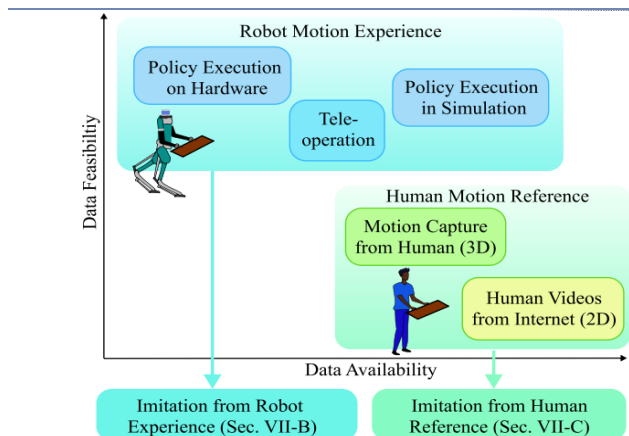
10. 数据、算法和大模型。

（1）数据

机器人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。另外，通过算法、仿真或其他人工方法生成合成数据，并构建虚拟环境，让 AI 智能体在其中学习和训练，可一定程度上降低真机数据不足的限制。

目前研究方法之一是多层次数据融合。比如 GR00T N1 底层采用 Web 图文数据用于 VLM 预训练，人类第一视角视频用于 System 1 DiT 的预训练；中层采用合成数据，包括视频生成数据和仿真环境中生成的数据；顶层采用 GR-1 人形机器人真机数据和 OpenX-Embodiment 机械臂数据。

图63：机器人技能学习的四种（非合成）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64：机器人技能学习（非合成）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

图65：部分具身数据集汇总

数据集名称	发布时间	发布机构	采集方式	轨迹数量	场景	动作技能	数据模态	数据格式	评价
AgiBot World	2024年12月	智元机器人，上海AI实验室	遥操作双臂机器人（100个机器人）、灵巧手	100+万，真机数据	100+种	数百个	机器人状态、六维力、RGB视觉、触觉	统一采集，具备工业级质控	任务更多样，包括精细操作、工具使用和多机协作；具备六维力、6dof灵巧手数据；长程任务数据占比更高；会对失败任务进行错因标注
OpenX-Embodiment	2023年10月	Google DeepMind等21家机构	单臂、双臂、四足等22种形态的机器人	100+万，真机数据	311种	527个（16.0266万项任务）	多源视觉、传感器观测和动作	RLDS标准格式（强化学习数据集固有格式）	任务多样，除抓取外还有搬运和装配；支持的机器人类型更多元，除机械臂外还有四足机器人数据；开源开放
DROID	2024年3月	Stanford, UC Berkeley 等13所机构	遥操作单臂机械臂（Franka Panda 7DoF机械臂）	7.6万，真机数据	564种	86个	专注于机器人动态交互，包含视觉、力觉、触觉等多种传感器数据。形式包括多视角RGB视频、机器人控制指令	统一硬件平台采集，高精度标注	场景数量多，包括实验室、办公室、厨房、浴室等；机器人可在工作空间自由移动，不局限于桌面；数据质量高，硬件标准化+标注完整
RT-1/RT-2	2022年12月/2023年7月	Google DeepMind	遥操作EDR机械臂（7自由度机械臂、两指夹爪和移动底座）	13万真机数据（约111GB）+十亿级互联网图文数据（RT-2中增加，用于预训练）	家居环境	超过700个，如拾取、开关等	相机图像、自然语言指令、机器人动作	开源代码	RT-2新增了用于预训练的网页图文数据
BridgeData V2	2023年9月	UC Berkeley, Stanford, Google DeepMind, CMU	VR遥操作WidowX 6DoF桌面机械臂	6万真机数据	24种环境	13个，如推拉扫	多视角RGBD视频、文本指令、动作	HDF5，所有数据都包含自然语言标签，并通过众包平台对轨迹进行了事后标记	多种环境和任务，支持开放词汇的任务规范，兼容多种多任务学习方法；标注较完整
RoboSet	2023年9月	CMU, Meta AI	桌面机械臂（Franka Emika），动作和遥操作	2.85万真机数据	厨房场景	12个技能28项任务	RGB视频（四视角）、自然语言指令、动作	HDF5	数据视觉多样性高，每帧含4个不同摄像机视图，及演示场景变化
BC-Z	2022年2月	Google, Everyday Robots, UC Berkeley, Stanford	单臂机械臂，遥操作	2.6万真机数据（1.1纯专家演示+1.5HG-Dagger）+1.87万人类视频数据	/	9种技能100个任务	视觉图像、语言指令和机器人动作等	/	较早支持零样本任务泛化；数据收集方法独特，除专家演示外增加HG-Dagger，即策略执行任务+人类监督纠正
ARIO (All Robots In One)	2024年8月	鹏城实验室、松灵机器人、中山大学、南科大、香港大学、慕尼黑工业大学、达闼、地瓜机器人等	多种机器人形态（主要是主从双臂机器人），遥操作	300万（真机+仿真）	258种	345个	含5种感官模态（文本指令、2D图像、3D点云、声音、触觉），有运动、机器人末端和夹持器状态数据	统一标准	真机采集+仿真+开源数据整合，有助于研究sim2real；感知数据模态丰富，数据时间戳对齐，支持多模态数据整合
RoboMIND	2024年12月	北京人形机器人创新中心、北京大学、智源研究院	单臂和双臂机械臂、带灵巧手的人形机器人等	10.7万遥操作真机数据+部分仿真数据	多元场景	479个	多视角RGB、机器人状态、自然语言指令	统一的数据采集平台和标准化协议	场景丰富，覆盖了家居、厨房、工业、办公和零售等；具备灵巧手操作数据；含较多认知任务数据，如路径规划、目标识别；真机+仿真结合，且支持长程任务学习；包含失败案例数据
RH20T	2023年7月	上海交大	遥操作，单双臂等4种机械臂，4种夹爪，3种力矩传感器	11万真机数据	多元场景	42技能140+个任务	视觉、力、音频和动作信息，及对应人类演示视频和语言描述	对数据进行了预处理，包括坐标系对齐、力矩传感器配重等，以提供一致的数据接口	相比视觉更注重触觉反馈；支持少样本学习，有助于单样本模仿学习；数据质量较高，对传感器进行了校准，对数据进行了预处理

资料来源：智元，Google，Stanford，UC Berkeley，CMU，Meta AI，北京人形机器人创新中心，北京大学，鹏城实验室，香港大学，慕尼黑工业大学，上海交大等，中国银河证券研究院

（2）控制算法和大模型

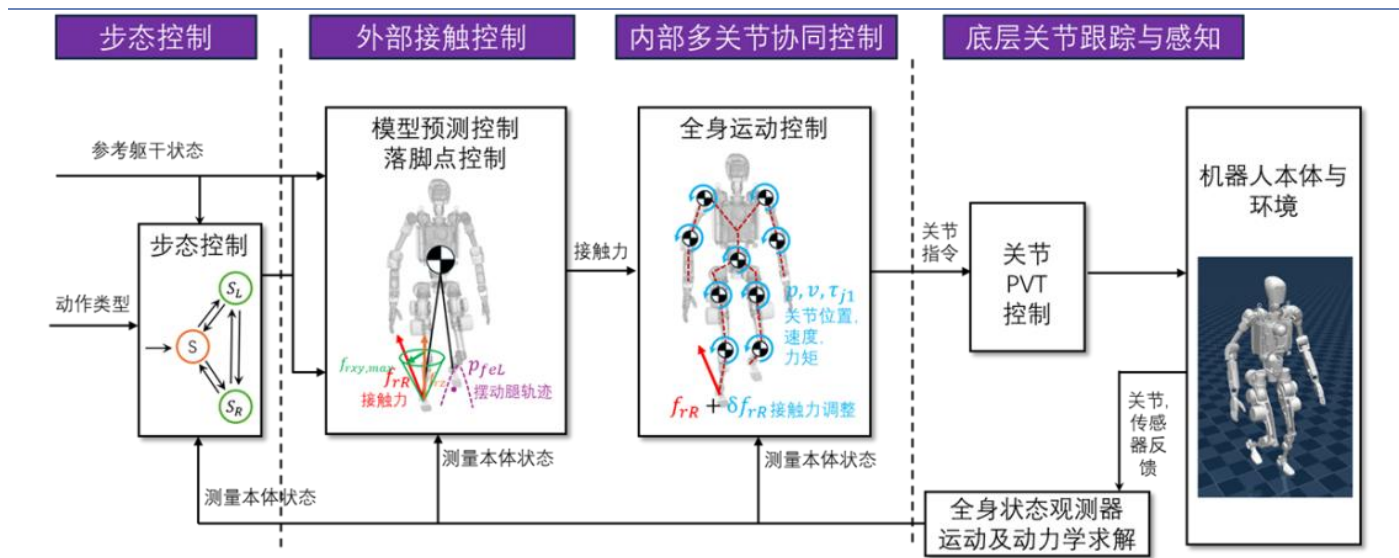
传统运动控制方案主要采用 Model-Based 方法（基于模型的控制方案），从 LIMP+ZMP 演变至 MPC+WBC 并进一步向全身动量控制发展。

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。

图66：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。

表22：机器人相关控制算法

	定义	优点	局限&挑战
MPC	核心是一种基于优化的方法，使用动态模型预测系统未来行为，并在每步求解优化问题得出控制指令	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、	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

		足端位置限制等多种限制因素；4) 具备一定的预测能力	会导致难以实时求得可行解；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：降低对突发情况的即时响应能力
WBC	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。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	适用于：1) 基于简化模型的轨迹计算，2) 基于全阶模型的轨迹规划但计算过于复杂，3) 以及在环境不确定性和规划不准确性下需要鲁棒的 WBC。基于优化的 WBC 具有很强灵活性，允许模块化地添加或删除约束	1) 无规划和预测能力，依赖外部轨迹输入，仅优化当前时刻；2) 对模型准确性和控制精度要求更高；3) 随着优化变量和任务约束方程数量增加，对更快硬件计算速度的需求增长
RL	借助智能体与环境交互产生的数据来训练和优化策略。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	1) 简单，对模型依赖度不高；2) 适应性强；3) 泛化度高；4) 在多地形混合的不规则场景、极限场景中表现更优	1) 奖励设计依赖工程师经验；2) 奖励稀疏问题；3) sim-to-real gap；4) 可解释性和行为预测性差；5) 无法在线调整参数
IL	通过观察和模仿由人类或其他智能体提供的演示来学习执行任务	无需显式编程或手动设计奖励函数，更高效直观	1) 获取专家演示数据成本高昂，数据缺乏多样性、质量不齐，流程耗时；2) 基于有限演示数据训练的策略通常泛化能力不足，难以适应新环境或任务
VLA	集成了视觉感知、语言理解和动作生成。核心概念是利用大型语言模型 (LLM) 的推理能力，将自然语言指令直接映射到实体机器人的动作	缩短了指令理解和任务执行间的距离，提升了机器人对复杂环境的理解和适应能力，让模型更加通用和泛化	1) 依赖大规模和多样化的高质量数据，获取困难；2) 计算复杂，实时推理限制动态响应能力；3) 长期规划与状态跟踪能力欠缺；4) 推理能力待提升，目前 VLA 缺乏真正“测试时计算闭环”，动作执行后无法回流至 VLM 形成迭代优化
世界模型	理解现实世界动态（包括其物理和空间属性）的生成式 AI 模型。它们使用文本、图像、视频和运动等输入数据来生成视频。通过学习能够理解现实世界环境的物理特性，从而对运动、应力以及感官数据中的空间关系等动态进行表示和预测（英伟达）	1) 使 AI 系统能够超越直接的感官输入，进行深层次的推理和决策，对在复杂环境中的自主性和适应性很重要；2) 可用于训练和评估机器人进行复杂长期的交互	动作空间和交互有限。1) 动作空间：只能模拟到机器人采取不同推理策略、执行不同动作后能得到的视频结果，但这些动作并非真实执行，世界模型并不知道动作执行是否有误；2) 交互：在共享环境中尚难以准确模拟多个独立代理之间的复杂交互

资料来源：《A Survey: Learning Embodied Intelligence from Physical Simulators and World Models》，《Humanoid Locomotion and Manipulation: Current Progress and Challenges in Control, Planning, and Learning》，乐聚机器人，英伟达，GAIR Live，甲子光年，中国银河证券研究院

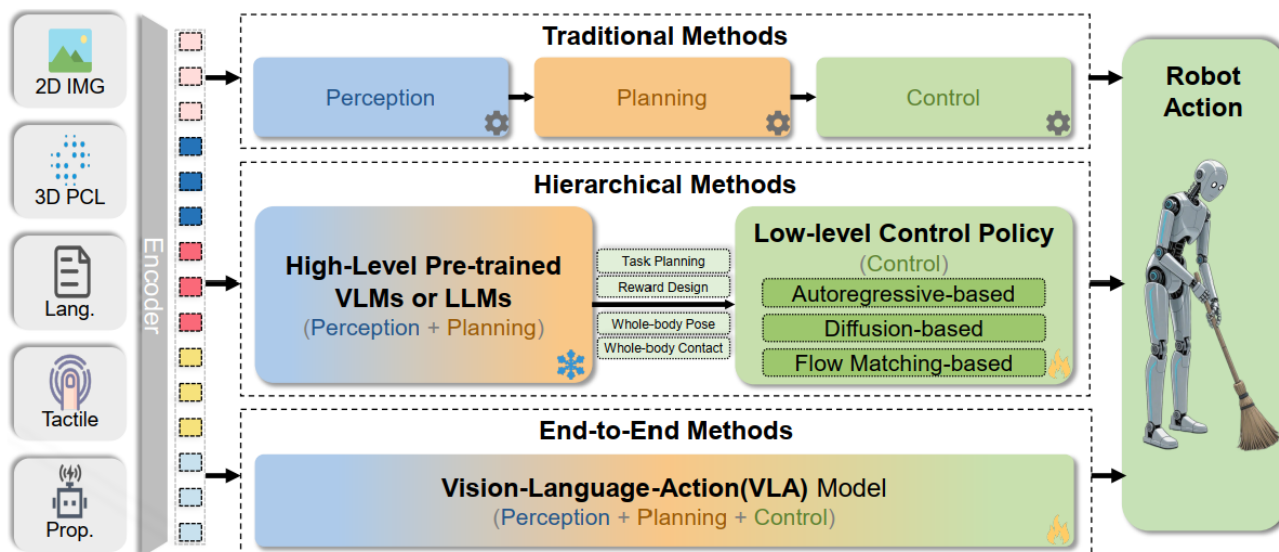
机器人操作基础模型可以分成三类：传统方法、分层式、端到端。

分层式方法利用预训练的语言或视觉语言基础模型作为高级任务规划和推理引擎，以理解用户指令、解析场景信息并将复杂任务分解为一系列子目标。这些高级输出（通常是可操作的知识或图像语言标记）随后被传递给低级操作策略（通常是通过模仿学习或强化学习训练的专家策略），以执行物理交互操作。Transformer 因其可扩展性而成为此类低级策略的常见选择。**优势：**充分利用了基础模型强大的语义和逻辑推理能力，同时结合了低层策略在具体动作执行中的效率，使机器人在多任务处理和跨场景泛化方面表现出色。具备模块化和可解释。**挑战：**信息瓶颈以及高层与低层之间语义鸿沟等。如，Figure AI Helix，NVIDIA GR00T N1 等。

端到端方法将机器人操作数据直接纳入基础模型的训练或微调过程，构建端到端 VLA 模型。这些模型直接学习从多模态输入（如图像和语言指令）到机器人动作输出的映射。通过对大量机器人交互数据进行预训练或微调，VLA 模型可以隐式学习任务规划、场景理解和动作生成，而无需显式的层次结构。**优势：**允许模型针对下游部署任务进行整体优化，从而可能提升性能。**挑战：**通常需

要大量机器人数据，并且模型的可解释性相对较弱。例如，谷歌 DeepMind 的 RT2。

图67：三类人形机器人操作基础模型（传统、分层和端到端）

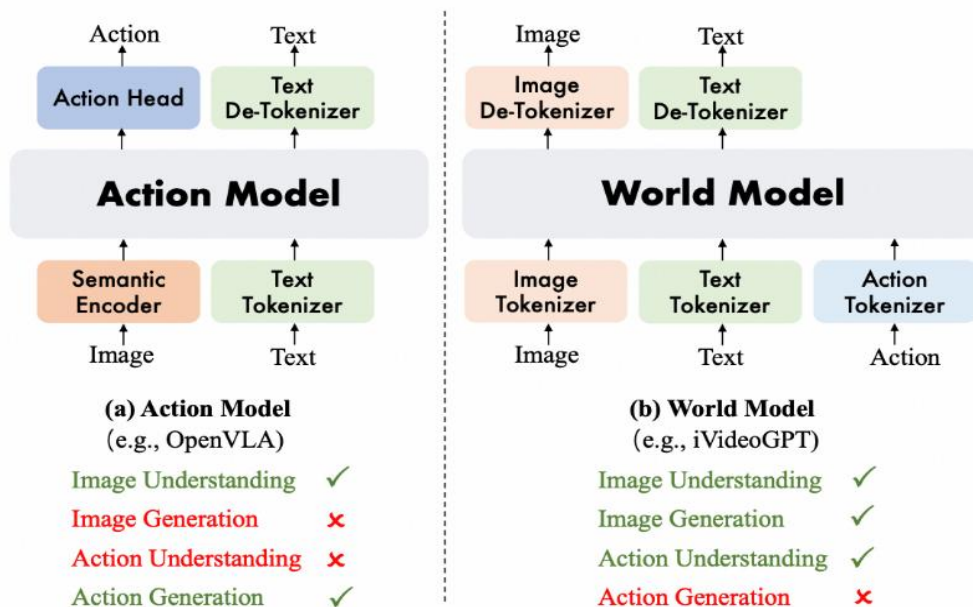


注：叫法未完全统一，有些也把上述“分层式/端到端”叫做“分层端到端/完全端到端”。

资料来源：《A Survey: Learning Embodied Intelligence from Physical Simulators and World Models, Long XX, et.al》，中国银河证券研究院

VLA 难解数据问题之时，研究者对世界模型的关注提升，其是理解现实世界动态（包括其物理和空间属性）的生成式 AI 模型。使用文本、图像、视频和运动等输入数据来生成视频，通过学习能够理解现实世界环境的物理特性，从而对运动、应力以及感官数据中的空间关系等动态进行表示和预测（英伟达）。世界模型让系统能够超越直接的感官输入，进行深层次的推理和决策，不只根据相关性而真正能理解动作。但其与 VLA 一个重要不同在于，世界模型只能模拟到机器人采用不同推理策略、执行不同动作后能得到的结果的视频效果，但是这些动作并非真实执行，模型不知道后续执行是否有误。此外，世界模型目前尚难以在共享环境中模拟多个独立智能体之间的复杂交互。

图68：动作模型（VLA）与世界模型对比



资料来源：《WorldVLA: Towards Autoregressive Action World Model, Cen J, et.al》，中国银河证券研究院

当前，基于学习的方法在运控、导航、机器人操作上重要性提升。基于强化学习的方法在跑步、跳跃和复杂地形适应上已表现较优，并在处理动态障碍物避让上提供了较强灵活性和适应性。步态规划上，近期研究多将基于优化的精确轨迹与基于学习的控制策略相结合，以提升越野性能。操作层面，随着大规模数据收集，基于学习的端到端方法日益重要，尤其是强化学习之于复杂多指灵巧手双手操作。

表23：机器人运控、导航、操作领域技术进展

研究领域	细分领域	技术进展
运动控制	腿部运动	传统基于模型的方法仅能使机器人适应有限地形。基于强化学习的方法在跑步、跳跃和复杂地形适应上已表现较优。模仿学习帮助机器人实现更自然、更具表现力和动态性的行为
导航	全局规划	传统全局路径规划算法依赖预建地图，使用图搜索或基于采样的方法生成无碰撞路径。近年来，稀疏拓扑地图被用于替代密集地图，减少计算成本，同时保留关键信息。多模态导航（使用视觉和语言线索）也是一个新兴研究方向
	局部规划（处理动态障碍物避让）	基于规则的方法使用模块化设计，计算效率高且可解释，但适应性有限；基于监督学习的方法从专家示范数据中学习，但依赖数据集分布；基于强化学习的方法通过试错学习策略，提供灵活性和适应性，但安全性和可解释性需要增强。
	步态规划	启发式方法在平坦表面有效，而基于优化的方法能根据特定标准找到最优解。近期研究将基于优化的精确轨迹与基于学习的控制策略相结合，显著提升了越野性能
机器人操作	单手操作	传统的基于模型的控制方法难以应对高维状态空间和复杂的接触。基于学习的方法，包括两阶段和端到端。两阶段方法首先生成抓取姿势，然后控制灵巧手实现这些姿势，挑战在于如何从视觉观察中生成高质量姿势，可采用基于优化/回归/生成的策略，如扩散模型、对部分观测不确定性建模等。端到端方法使用强化学习或模仿学习直接建模抓取轨迹，也有采用VLA+扩散模型的方法。
	双手操作	早期研究通过引入归纳偏差或结构分解来简化学习和控制。随着大规模数据收集和模仿学习的进步，端到端方法日益重要，但主要基于夹爪。目前强化学习方法已被采用于多指灵巧手操作
	全身操作	基于学习的人形机器人全身操控技术取得了显著进展，其中一个趋势是利用大型预训练模型（如 LLM/VLM 和生成模型）来增强语义理解和泛化能力。视频演示也被用于指导学习操作技能

资料来源：《A Survey: Learning Embodied Intelligence from Physical Simulators and World Models, Long XX, et.al》，《A Comprehensive Review of Humanoid Robots, Sheng QC, et.al》，智源研究院，中国银河证券研究院

（三）中游：产品制造是具身智能发展的关键

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，腾讯早期曾试水推出类人形机器人“小五”，字节等也在加快布

局，是实力强劲的潜在竞争者。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，如阿里&蚂蚁投资宇树、星海图、逐迹动力等；腾讯投资宇树和智元；美团投资宇树、银河通用、星海图等，布局医疗配送、无人零售、低空等领域；京东投资千寻智能、众擎机器人、逐迹动力等，配合自身 JoyAI 大模型和 JoyScale AI 算力平台，服务公司物流、仓储等供应链场景。

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，要拥有多领域跨学科人才（如具备前瞻性的领导者，AI 及其他算法、硬件、生产制造、供应链等领域人才），可构建长期技术壁垒（如模型架构、数据来源和策略），能够解决真实问题并给客户明确投资回报。机器人赛道上的角逐，将是人才吸引能力+技术实力+产品思维+融资能力的综合体现。

随着量产加速，我们同时建议关注制造能力突出、专业化全维度协助头部本体企业落地的代工企业。当前众多具身智能机器人企业是初创公司，对资源利用效率要求更高，缺乏大规模制造经验，外部代工-内部组装可能是走向规模量产的重要一环。对于代工企业而言，可以扩大规模，摊薄成本，深度参与产业技术与产品迭代。当前丰立智能-星动纪元，蓝思科技/均普智能/领益智造/宁波华翔/博众精工-智元机器人，蓝黛科技-乐聚机器人已达成代工合作，禾川科技和雷赛智能等也属意开展代工业务，我们看好制造能力已被验证、具备优质本体客户资源的代工厂商。

图69：海内外部分本体厂商

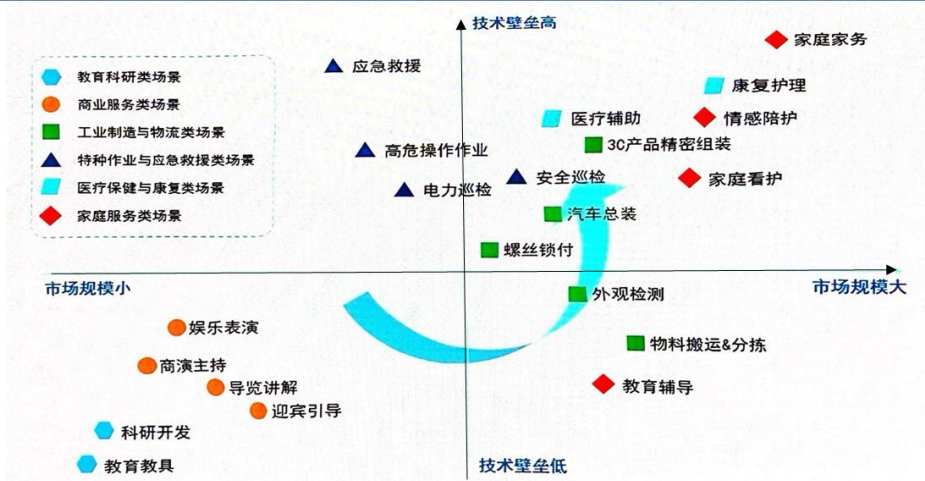
公司	代表产品	发布时间 (Demo/最新版本)	类型	产品参数						现阶段实训练场景					适用场景	公司人形机器人商业化进展 (量产计划)	官方/京东售价	应用落地客户/合作伙伴
				身高 (cm)	体重 (kg)	负载 (kg)	行走速度 (m/s)	自由度 (DoF)	连续运行时间 (h)	工业生产	仓储物流	商业服务	家庭服务	特种应用				
Tesla	Optimus Gen-2	2023年12月	双足	173	63.5	20	2.2	50 (手部11)							工业生产 (车厂内部电池分拣等)、仓储物流, 后续也会拓展商用和家用	年底公布Gen3原型机, 26年规模量产, 2029/2030可达年产量100万台		
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	现代汽车预计在未来几年采购数万台其机器人		现代汽车集团等
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年量产数千台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等
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等
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等
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)			蔚来, 吉利等
宇树科技	G1	2024年5月	双足	130	35	手臂2-3	2	23 (腿6*2+臂5*2+腰1)	2							预计25全年量产数千台。G1已于2024年下半年实现量产; H1进入小规模量产交付阶段	基础版9.9万元, EDU版16.9万元	
宇树科技	R1	2025年7月	双足	121	25	手臂2		24 (腿6*2+臂5*2+腰2) /26 (腿6*2+臂5*2+腰2+头2)	1						教育、科研及开发者群体的实验基础平台		3.99万元起	
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	25年计划量产数千台。远征A2 24年12月已正式开启商业化量产, 灵犀X2 25年5月正式开启商业化进程	19.8万元 (首单可减3千)	中国移动, 富临精工等
智元机器人	灵犀X2	2025年3月	双足	131	35-37	3	2	27 (腿6*2+臂5*2+腰3+颈2) /31 (腿6*2+臂7*2+腰3+颈2)	2						文娱表演、展厅讲解、科研教育		青春版9.8万元	
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	2025年规划人形机器人产能1000台, 全年预计交付500台		觅亿、东风柳汽、比亚迪、吉利、奥迪一汽、一汽大众、顺丰、富士康等
优必选	Walker S2	2025年7月	双足	176	70	15	2	52 (单手11)										
银河通用机器人	Galbot-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	未来1年内目标交付千台以上, 25年计划落地部署智慧零售门店达百家		美团, 奔驰, 极狐等
众擎	pm01	2024年12月	双足	138	40		2	≥23 (腿6*2+臂5*2)	2						可用于家庭陪伴、文旅导览、科研实验等	计划于25Q4完成产线优化升级, 多款机器人计划于2025年批量交付	教育版18.8万元, 商业版8.8万元	已与海内外头部产业伙伴 (包括英伟达、亚马逊、京东、腾讯、字节等) 构建深度协同合作生态
众擎	se01	2024年10月	双足	170	55		2	32 (单手6+单臂4+单腿6)	2						工业场景			
加速进化	BoosterT1	2024年8月	双足	118	30	3		23 (腿6*2+臂4*2+腰1+头2)	2h (行走), 4h (站立)						专门为开发者设计	至2025年3月交付量突破百台		机器人世界杯 RoboCup等
松延动力	N2	2025年3月	双足	118	30		最大3.2m/s	18 (腿5*2+臂4*2)	1~2						面向未来家庭与服务场景	2025年是量产元年, 具备每月数百台的交付能力		
松延动力	Dora	2024年8月	双足	100	20	5	最大1m/s	20 (腿6*2+臂4*2)							家庭、教育、养老等应用场景			
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	已开始批量生产, 25年目标出货数百台		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	2025年整体有望达千台以上。至24年9月底GR-1交付量已超过100台		上汽通用, 建设银行等
傅利叶智能	GR-3	2025年8月	双足	165	55			55 (灵巧手12)	3						社交陪伴, 辅助陪护			
乐聚机器人	KUAVO (夸父)	2023年10月	双足		45			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, 中兴等
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, 已实现超200台产品交付, 还有上百订单交付中		全球市值TOP10的科技公司有9家成为星动客户
星海图	Galaxea R1	2024年8月	轮式	170		额定4, 最大7	1.5	24 (臂6*2, 躯干4, 矢量底盘2*3)	>4						医药分拣、生活整理、物流搬运等	同构型本体出货量与开发者数量迅速跃升至行业第一。	R1-Lite22.5万元, R1 32万元, R1-Pro夹爪/灵巧手39.99/45.99万元	交付至国内外百余家顶尖开发者客户

资料来源：新浪财经，机器之心，智猩猩 ROBOT，智元机器人官网，宇树官网，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，盖世汽车，众擎官网，钛媒体，第一财经，京东，中国银河证券研究院

（四）下游：应用场景是具身智能发展的动力

根据 2025WRC 发布的《人形机器人十大潜力应用场景》，结合 2025WAIC 和 WRC 现场展示情况，应用场景相似特点是，**劳动密集、重复性强，风险高、结构化/简单半结构化**。通过初期投入、后续运营成本、政府政策支持等维度对机器人落地投资回报情况进行衡量，我们归纳了两个筛选易于落地应用场景的角度，**第一是技术可实现性，即在容错率高，执行速度/同步性要求不高，可重复纠错，易于收集数据的场景具备率先落地优势；第二是成本效益，即在区别于自动化、能体现物体/任务/环境泛化性，能真正提高效率或降低死伤率的场景具备率先落地优势**。我们看好中短期具身智能机器人在工业物流、toB 机构养老、特种环境（转炉炼钢，石油化工，电力巡检），以及 toC 陪伴&玩具具机器人场景中的应用，长期走进家庭。

图70：具身智能机器人商业化场景探索



资料来源：GGII，中国银河证券研究院

图71：2025 世界机器人大会“人形机器人十大潜力应用场景”



资料来源：世界机器人大会，新浪财经，公共安全装备网，中国银河证券研究院

五、企业积极布局，市场竞争逐渐加剧

灵巧手：当前灵巧手领域技术尚未收敛，本体自研和第三方供应商同步发展，竞争逐渐加剧。前者包括智元机器人、宇树科技、星动纪元、魔法原子、中科慧灵（灵宝 CASBOT）等，后者也分化出了不同特点，如强脑智能、傲意科技从脑机接口切入机器人灵巧手，因时、帕西尼、戴盟、雷赛智能、兆威机电等除了整手外同步提供手内零部件，帕西尼、灵巧智能除了提供硬件手，还分别推出了数采工厂和操作数据集，灵初智能、中科硅纪则将 AI 操作算法和硬件灵巧手结合。

电机：无框力矩电机海外有先发优势，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。**空心杯电机全球 CR3>50%，外资为主**，如瑞士 MAXON，德国 FAULHABER 和瑞士 PORTESCAP，优势在绕组设计和绕线工艺积淀深厚，先进绕线设备自研自制等。国内鸣志电器、鼎智科技、拓邦股份、伟创电气、兆威机电等亦致力于国产替代，其中鸣志电器具有空心杯绕组自主专利，产品线齐全，产品性能接近外资水平，是国内空心杯电机龙头之一。**轴向磁通电机全球 CR3 约 84%，国内厂商盘毂动力是龙头之一**。据 QY research，轴向磁通电机核心厂商 YASA、盘毂动力和 Naxatra Labs 三者占全球约 84% 份额。分区域，欧洲/亚太/北美分别占约 48%/32%/15%。

丝杠：高端滚珠丝杠以海外为主，中端市场以中国台湾和大陆企业为主，低端市场以大陆厂商为主。据华经产业研究院，德国力士乐、日本 THK、NSK 占我国高端/中端滚珠丝杠市场 90%/30%，中国大陆厂商仅占高端/中端 5%/30%。**行星滚柱丝杠海外主导，国内厂商 22 年市占率合计不足 20%**。据王有雪《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，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%）。**人形机器人丝杠市场参与者，除了传统丝杠厂商新剑传动、南京工艺等，新进入者以汽车零部件厂商居多，亦有其他机械设备和工业领域零部件供应商**（如工程机械液压件龙头恒立液压，轴承厂商五洲新春等）。前者基于汽车零部件和丝杠在生产工艺上相对较高的同源性，具备低成本产业化的生产经验及车厂客户资源。后者基于精密加工技术积淀及规模量产能力。

减速器：谐波减速器日系为主，23 年哈默纳科全球/中国市占率 85%/40%。据观研报告网，23 年哈默纳科全球市占率 85%，绿的谐波 8%；23 年我国谐波减速器行业 CR3、CR5 市场份额分别 68%、81%，其中哈默纳科 40%，绿的谐波 18%，来福谐波 10%。**精密行星减速器以德系厂商为主，国内市场本土厂商科峰智能/纽氏达特 22 年市占率 12%/9%**。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%。**摆线减速器日系占优，但格局未固化，国内部分车端齿轮企业和 RV 减速器企业均在尝试开发适用于人形机器人的摆线针轮减速器产品**。

六维力传感器：全球市场集中度较高，前三均为海外龙头，23 年合计市占率超过 50%。据 QY Research，23 年全球前五大厂商 ATI、Schunk、AMTI、宇立仪器和 Kistler 市占率分别 36.2%/8.2%/8.0%/4.3%/4.3%，CR5 61%；按品类，应变片式占比 76.2%，其余主要是压电/电容式。**23 年中国市场国产化率约 30%**。据中商产业研究院，23 年国内市场中 CR5 50.5%，前三分别是 ATI/宇立仪器/Epson，占比分别 22.4%/12.2%/6.4%，蓝点触控/坤为科技/鑫精诚市占率分别 4.8%/4.7%/2.2%。**24 年中国人形机器人六维力传感器市场中，蓝点/坤维/宇立/鑫精诚/ATI 市占率分别 62%/26%/7%/4%/1%（MIR）**。

柔性触觉传感器：全球市场北美和欧洲主导。据 QY Research，22 年全球前五大厂商全部为海外企业 (Novasentis、Tekscan、Japan Display Inc.、Baumer、Fraba)，合计市占率约 57.1%。**国内市场较分散，按不同技术路线，压阻式-福莱新材/华威科、电容式-他山科技、视触觉-戴盟/纬钛机器人、电磁霍尔式-帕西尼等，汉威科技在压阻/压电/电容/柔性汗液路线上均有产品推出。**目前多数灵巧手标配压阻式/电容式传感器，选配视触觉/电磁式传感器。

AI 芯片：英伟达占据绝对主导，国产化率持续提升。24 年英伟达在全球 AI 芯片市占率高达 90% (Gartner)，在制程工艺、架构设计、软件生态上具备优势。同期中国本土 AI 芯片品牌渗透率约 30%，较去年实现翻倍 (IDC)，其中地平线、黑芝麻智能等在机器人上有效复用智能汽车领域高性能、高可靠、车规级芯片技术，寒武纪则提供支撑机器人 AI 模型训练和复杂推理所需的云端/边缘基础算力。

六、投资建议

具身智能是人工智能发展的下一个浪潮，也将为“十五五”规划下最值得重视的板块之一。在具身智能代表性行业中，我们尤其看好人形机器人行业带来的阿尔法机会，“十五五”将成为人形机器人迈向量产的关键时期，我们建议围绕全产业链提前深度布局：

1) 主机：国内多个主机厂量产落地成果亮眼，围绕重点玩家已形成 T 链、F 链、宇树链、智元链等明确主线，同时还有诸多潜力巨大的玩家待挖掘。机器人本体形态尚未收敛，国内主机厂对线性关节重视度提升。我们建议布局方向有 ① 综合技术积累深厚、产品生态格局好的龙头企业；② 制造能力突出，专业化全维度协助初创企业落地的代工企业。

2) 应用场景：我们认为该环节是具身智能产业化的最大突破点之一，应用场景的差异化也会影响到各上游的技术路线走向，落地能力极强的企业有望获取产业链主导而享受更高的弹性。目前场景主要集中于数据采集、汽车工业等领域，短期内我们看好特种、危险领域等领域带来的加速放量机遇，长期看好大模型等打通商业、生活服务等通用领域，同时关注部分规模体量大、且有较强资质壁垒市场带来的溢价空间。

3) 灵巧手：该环节占主机成本高，同时直接影响机器人实际工作能力，是具身智能产业化关键一环，投融资关注度高。但同时由于软硬件技术瓶颈较高、收益-成本比低等因素，分歧也相对较大，路线趋势均未收敛，兼具较高的成长性及不确定性。我们认为当前灵巧手布局需以下游应用为核心出发点，各细分材料、传感器等均具备结构性机会，技术优势是公司成长潜力的最大催化剂，关注电子皮肤等边际变化较大的领域。

4) 零部件：核心零部件如丝杠、减速器、电机等均已实现国产化突破，但同时大量新入局者增加了赛道拥挤度，竞争态势存在快速激化风险。我们认为当前布局方向主要在于龙头企业，尤其是汽车产业链头部企业具备出色的大规模产品量产与质控能力，成熟的供应链体系有利于快速降本落地，同时已拥有良好的主机厂客群关系，将持续受益于产业发展机遇，成为具身智能产业核心参与者。硬件代工模式渐起，研产销分工初探。1-100 量产阶段，对零部件一致性和成本控制的要求提升，硬件代工、主机厂组装模式采纳度有望提升。

5) “大小脑”：目前产业硬件壁垒在降低，大小脑是重要短板。当前大模型技术路线依旧发散，VLA 目前关注度高，以 Figure AI helix、英伟达 GR00T N1 为例的双系统架构蓬勃发展。运控层面，多方案融合，逐步趋于收敛。此外，数据是实现通用具身智能的核心瓶颈之一，现阶段机器人经验数据可直接用于策略学习但是较为稀缺，人类数据丰富但是需要重定位或非物理运动数据，数据质量可能不高。我们认为数据训练场和仿真方案或成为重点发展方向，一方面，各地政府牵头“产学研”合作打造采集和训练中心，另一方面，仿真与合成数据亦不断被尝试。

投资建议：我们重申相较于其他新质生产力产业，当前具身智能推进速度、远期空间等均具备优势，行业具备强阿尔法属性；同时由于路线尚未收敛，各环节均存在差异化或边际变化较大的重点推荐方向。建议关注：1) 电新组：卧龙电驱、汇川技术、震裕科技、雷赛智能、鸣志电器、富临精工、星源材质、捷昌驱动、鸣志电器等。2) 机械组：三花智控、绿的谐波、丰立智能、中大力德、五洲新春、恒立液压、浙江荣泰、兆威机电、鼎智科技、汉威科技、福莱新材；3) 汽车组：速腾聚创，拓普集团、伯特利、精锻科技、旭升集团、均胜电子、地平线机器人-W、双林股份、中鼎股份、凌云股份、贝斯特、爱柯迪、安培龙。

七、风险提示

- 1、关键技术突破不及预期，导致产品性能要求低于市场水平，无法正常适应下游应用场景，行业发展受阻的风险。
- 2、下游场景开发缓慢，需求空间打开不及预期，行业缺乏市场验证的正反馈以及改进的过程，产业化进程停滞的风险。
- 3、全球贸易壁垒提升，供应链受到打击，尤其芯片等高端零部件紧缺导致行业发展失速的风险。
- 4、政策调整过快或支持性减弱，具身智能新兴行业未能形成内生成长性导致行业发展减慢的风险。

图表目录

图 1: 具身智能被视为最高层次的人工智能	4
图 2: 基于多模态模型和世界模型的具身智能框架.....	4
图 3: 智能机器人物联网表现出各学科高度交叉融合的特点	4
图 4: 具身智能立足于多项产业技术的发展	4
图 5: 具身智能产品多样化	5
图 6: 具身智能将应用于智能驾驶、机器人和低空经济三大行业	5
图 7: 具身智能技术是推动新质生产力发展的重要引擎	5
图 8: 具身智能发展的两大支柱及未来两大脉络.....	6
图 9: 各国机器人库存水平	6
图 10: 自动化升级推动日本汽车产业规模发展	6
图 11: Shakey 与 Wabot-1	6
图 12: 全球首个全人形机器人 Wabot-1.....	6
图 13: 2024 年全球工业机器人市场格局	7
图 14: 智能辅助驾驶渗透率提升体现出技术增长的爆发性.....	7
图 15: 特斯拉人形机器人发展复盘.....	8
图 16: 人形机器人公司有望在 25 年创下 23 亿美元融资纪录	9
图 17: 科技巨头全面压注人形机器人赛道	9
图 18: 2015-2024 年中国新能源汽车销量（单位：万辆）	10
图 19: 2015-2024 年中国光伏累计装机容量（单位：GW）	10
图 20: 中国具身智能机器人产业分布	12
图 21: 全国机器人企业数量排名领先的主要城市（单位：个）	12
图 22: 2024 年我国劳动力人数同比-0.1%	13
图 23: 2020 年以来我国人口老龄化趋势深化	13
图 24: 2008 年以来我国城镇单位平均年工资逐年上升（万元）	13
图 25: 2025 年 1-7 月我国工业机器人产量同比+43.6%	14
图 26: 2025 年 1-7 月我国服务机器人产量同比+80.4%	14
图 27: 使用特斯拉辅助驾驶功能发生碰撞事故的概率明显降低（英里）	14
图 28: 人形机器人主流旋转关节模组，但也有其他解决方案.....	15
图 29: 前沿领域高水平团队与低水平团队的表现	15
图 30: 2023 年全球工业机器人密度排名前十国家（单位：台/万人）	15
图 31: 全球灯塔工厂分布	15
图 32: 以人形机器人为代表，我国供应链十分全面，龙头布局广（人形机器人图片为 Optimus 仅为实例不代表） ..	16

图 33: 宇树科技拳击赛体现出强大的“小脑”能力	16
图 34: 2024 年全球顶尖模型数量上美国连续 10 年稳居第一	16
图 35: 北京人形机器人数据训练中心	17
图 36: 合成数据市场空间测算（单位：亿元）	17
图 37: 2025 年我国具身智能行业市场规模预计可达 9731 亿元（亿元）	18
图 38: 人形机器人有望率先在工业领域实现应用，随后逐步扩展至商业服务领域与家庭生活领域（亿元）	18
图 39: 人形机器人在工业场景的应用前景广泛	19
图 40: Optimus 在特斯拉汽车工厂进行电池单元分装	19
图 41: 优必选 Walker S1 在极氪工程协同搬运	19
图 42: 特种行业作业机器人替代空间大	20
图 43: 七腾四足机器人能够完成巡检、物资运输等任务	20
图 44: DLR 研制的 Rollin' Justin 计划用于太空	20
图 45: 银河通用 Galbot 在商品货架前工作	21
图 46: 傅利叶 GR-1 在智己汽车门店担任销售	21
图 47: 傅利叶 GR-3 能够通过眼神交互和表情系统增强情绪传达	21
图 48: 1X 的 NEO Gamma 定位为下一代家庭机器人	21
图 49: 2019-2024 年我国物流运输劳动力成本逐年上升	22
图 50: 得益于技术成熟与经济性优势，无人驾驶物流车市场规模快速提升，2024 年突破 1.5 万辆大关（辆）	22
图 51: 5G-A 具身智能机器人“夸父”能够将无人机投递的物品完成地面转运	23
图 52: 具身智能产业链	24
图 53: 具身智能技术与产业热点预判	25
图 54: 人形机器人主要零部件特点总结	26
图 55: 人形机器人旋转关节驱动方案	27
图 56: 三种机器人关节电机拓扑结构	29
图 57: 滚珠丝杠示意图	31
图 58: 行星滚柱丝杠示意图	31
图 59: 灵巧手分类，及驱动/传动方案工作原理和优缺点	33
图 60: 已发布灵巧手汇总（不完全统计）	34
图 61: 人形机器人传感器分类	35
图 62: 按维度分力传感器种类与适用情况	35
图 63: 机器人技能学习的四种（非合成）数据来源	40
图 64: 机器人技能学习（非合成）数据源优劣对比	40
图 65: 部分具身数据集汇总	40
图 66: 基于 MPC 与 WBC 的人形机器人运动控制算法框架	41
图 67: 三类人形机器人操作基础模型（传统、分层和端到端）	43
图 68: 动作模型（VLA）与世界模型对比	43
图 69: 海内外部分本体厂商	46

图 70: 具身智能机器人商业化场景探索	47
图 71: 2025 世界机器人大会“人形机器人十大潜力应用场景”	47
表 1: 具身智能与离身智能对比	4
表 2: 全球领先的机器人制造厂商快速崛起于 1970-1980 年间	7
表 3: 特斯拉人形机器人带来的零部件价值量测算（以前一代特斯拉 Optimus 硬件方案预测）	8
表 4: 目前全球人形机器人订单&应用案例梳理	9
表 5: 部分全球头部企业的代表模型	9
表 6: 历届五年规划关于新兴产业的表述	11
表 7: 具身智能相关的国家级政策梳理	11
表 8: 我国已形成多个具身智能产业集群，各地纷纷推出支持性政策	12
表 9: 国内头部人形机器人企业处理器选型情况，英伟达与英特尔占比高	17
表 10: 软硬分离的无人车经济性明显（以 5m3 空间城配无人车为例）	22
表 11: 线性关节较旋转关节负载和续航更优	27
表 12: 机器人用电机种类对比	28
表 13: 机器人关节电机拓扑结构对比	29
表 14: 不同种类减速器原理及特点	30
表 15: 三种丝杠性能和优劣对比	31
表 16: 行星滚柱丝杠副螺纹加工方法对比	32
表 17: 不同原理六维力传感器的特点	36
表 18: 六维力传感器在人形机器人上的应用	36
表 19: 人形机器人视觉方案选择	37
表 20: 不同触觉传感器	38
表 21: 部分具身机器人芯片和算力情况	38
表 22: 机器人相关控制算法	41
表 23: 机器人运控、导航、操作领域技术进展	44

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。

曾韬，电新首席分析师，曾任职于中金公司，2025 年 3 月加入银河证券。石金漫，汽车行业首席分析师，曾供职于国泰君安证券研究所，香港理工大学理学硕士、工学学士。鲁佩，机械首席分析师，伦敦政治经济学院经济性硕士，2021 年加入中国银河证券研究院。段尚昌，北京大学本硕，2022 年 8 月加入银河证券。秦智坤，北京邮电大学应用经济学硕士、经济学学士，2023 年 7 月加入银河证券研究院。

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。	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
行业评级	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
公司评级	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	机构请致电：	
深圳市福田区金田路 3088 号中洲大厦 20 层	深广地区：	程 曦 0755-83471683 chengxi_yj@chinastock.com.cn 苏一耘 0755-83479312 suyiyun_yj@chinastock.com.cn
上海浦东新区富城路 99 号震旦大厦 31 层	上海地区：	陆韵如 021-60387901 luyunru_yj@chinastock.com.cn 李洋洋 021-20252671 liyangyang_yj@chinastock.com.cn
北京市丰台区西营街 8 号院 1 号楼青海金融大厦	北京地区：	田 薇 010-80927721 tianwei@chinastock.com.cn 褚 颖 010-80927755 chuying_yj@chinastock.com.cn
公司网址：www.chinastock.com.cn		