下载日志已记录，仅供内部参考

机器人：模型升级催化，订单开始逐步兑现

证券研究报告
2026 年 10 月 28 日

作者

吴开达 分析师
SAC 执业证书编号：S1110524030001
wukaida@tfzq.com

肖峰 分析师
SAC 执业证书编号：S1110524040003
xiaofeng@tfzq.com

周宣佑 联系人
zhouxuanyou@tfzq.com

相关报告

1《投资策略：完善资本市场 AI 治理路径-2026 金融街论坛解读》2026-10-27

2《投资策略：中观景气度高频跟踪及运用-中观景气度数据库和定量模型应用》 2026-10-26

3《投资策略：A 股策略周报-静待五中全会》 2026-10-25

产业赛道投资图谱

技术能力升级、政策支持与场景拓展共同推动机器人商业化进程加快。

通用模型向物理任务延伸，机器人跨环境适应、运动控制与连续操作能力持续提升，为复杂任务执行提供技术支撑。标准体系建设与实景实训、首购首用等政策协同推进，支持产品验证和应用推广。汽车制造、消费电子等工业场景的作业验证进一步深入，应用向零售门店等商用服务场景拓展。根据 SAG 统计，2026 年上半年，全球人形机器人出货量同比增长 272%；绿的谐波产能实现大幅爬升，雷赛智能获得主流机器人客户订单，并开始规模化供货；东方精工、拓普集团、五洲新春等公司机器人相关业务订单开始兑现。

产业框架：模型、数据、本体、算力四要素协同演进。

模型端：VLA 与世界模型双主线并行，走向分层融合架构。能够统一“感知—决策—执行”闭环的主导架构仍未出现，技术路线沿 VLA（视觉—语言—行动）模型与世界模型两条主线协同演进。VLA 模型在测试环境中性能已接近当前技术体系天花板，2026 年主流模型在 LIBERO 基准上成功率普遍稳定在 98.5%以上；但纯反应式 VLA 缺乏对未来状态演化的显式推理，面对长时程、多步骤任务时易因累积误差失效。行业正通过多路线推动具身智能模型的认知和行动能力突破——延续 VLA，协同推动通用行为策略迭代和专用部署落地，或是融合世界模型，拓展可用的数据基础，强化物理认知能力。

数据端：核心矛盾在有效数据形态缺失，分层“数据金字塔”逐步形成。 现阶段行业核心矛盾不在于数据总量不足，而在于尚未形成能够支撑具身预训练的有效数据形态；根据中国新闻周刊发表文章，国内真实物理交互场景的合规数据仅约 50 万小时，与商业化落地所需的数千万小时相比缺口超过 99%。在此背景下，分层“数据金字塔”结构逐步形成。

本体端：传感器与执行器共同决定系统成本、可靠性与长期性能。感知层涵盖视觉与深度、触觉与力、惯性及环境等多类传感器，其中深度相机、激光雷达、触觉与力传感器及边缘计算单元四类硬件尤为关键；视觉与激光雷达受益于汽车和自动驾驶规模化应用、技术相对成熟，触觉与力传感器则仍是关键瓶颈，现有方案在鲁棒性与耐用性上尚不足以支撑连续工业运行。六维力/力矩传感器被誉为力传感器“金字塔顶端”，力传感器在人形机器人中占比约 16%，特斯拉 Optimus Gen2 所用六维力传感器单价接近 2.5 万元、占整机传感器总成本 24.4%，市场主流单价 1—3 万元，高成本已成为应用的一大阻力，行业正通过材料国产替代与工艺迭代降本。执行层将电能转化为受控的机械运动和力，是决定移动能力、操作能力与动态性能的核心环节，电机、减速器、丝杠及专用灵巧手执行系统四类硬件在很大程度上决定系统成本、机械可靠性与长期性能：无框力矩电机与空心杯电机构成电机市场双轮驱动，RV 减速器、谐波减速器、精密行星减速器三大路线并存，据华经产业研究院统计，行星滚柱丝杠预计 2030 年市场规模达 267.9 亿元（CAGR 约 42%），灵巧手直驱、连杆、腱绳三种传动方案并行发展、技术仍未收敛。

风险提示：技术迭代与路线收敛风险；商业化落地不及预期风险；政策推进不及预期风险；行业竞争加剧风险。

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

内容目录

1. 技术升级与应用拓展并进，机器人商业化进程加快 4
1.1. 模型与运动控制持续升级，复杂任务执行能力增强 4
1.2. 标准建设与应用推广协同推进，政策助力机器人商业化落地 5
1.3. 工业应用持续深化，商用服务场景逐步拓展 6
1.4. 整机出货加速放量，上游零部件公司订单逐步兑现 7
2. 具身智能产业链 8
2.1. 具身智能模型：模型架构尚未收敛 VLA 与世界模型协同演进 9
2.2. 数据：具身数据分层供给逐步形成，高质量交互数据仍存缺口 10
2.3. 本体——传感器：传感器支撑多模态感知 触觉与力传感仍是关键瓶颈 10
2.3.1. 六维力 / 力矩传感器：六维力传感器技术门槛高，材料与工艺迭代推动降本 11
2.3.2. 触觉传感器：技术路线尚未收敛，性能边界与场景适配决定下一代落地路径 12
2.4. 本体——执行器：性能与成本影响人形机器人持续工业部署 13
2.4.1. 电机：电机驱动是目前人形机器人的主流，无框力矩电机与空心杯电机分别适配关节与灵巧手 14
2.4.2. 减速器：RV 减速器、谐波减速器和精密行星减速器构成三大技术路线 14
2.4.3. 丝杠：行星滚柱丝杠是人形机器人的核心传动部件 15
2.4.4. 灵巧手：灵巧手三类传动方案并行发展 技术路线尚未收敛 15
3. 风险提示 16

图表目录

图 1：Helix 2.5 跨环境适应能力增强，陌生家庭任务成功率达 56% 4
图 2：智元 GO-2 在多项任务测试中表现领先，机器人模型能力取得新进展 4
图 3：通用语言模型可完成基础机械臂操作，复杂任务完成度分化 5
图 4：智元 G2 进入消费电子产线，工业场景应用持续深化 6
图 5：灵犀 X2 进入零售门店，机器人应用向商用服务拓展 7
图 6：人形机器人出货加速放量，国内头部厂商保持高增长 7
图 7：绿的谐波减速器业务收入延续高增长 8
图 8：雷赛智能伺服系统业务收入增长提速 8
图 9：人形机器人产业化可拆解为模型、数据、本体与算力四大要素协同推进 8
图 10：具身智能大模型发展趋势 9
图 11：具身智能大模型技术路线 10
图 12： “数据金字塔” 结构 10
图 13：感知层涵盖视觉与深度、触觉与力、惯性及环境等多类传感器模态，广泛分布于机器人全身 11
图 14：人形机器人四类主要传感硬件的技术成熟度、成本水平以及关键工程挑战 11
图 15：人形机器人六维力传感器配备情况 12
图 16：触觉传感技术四条主要技术路线 12

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

图 17：当前的人形机器人通常会在全身分布使用数十个执行器 13
图 18：人形机器人四类主要执行硬件的技术成熟度、成本水平以及关键工程挑战 14
图 19：无框力矩电机示意图 14
图 20：空心杯电机示意图 14
图 21：RV 减速器、谐波减速器和精密行星减速器 15
图 22：灵巧手不同传动方式比较 16
图 23：各厂商灵巧手方案总结 16

表 1：2025 年末以来机器人产业政策持续细化，聚焦标准建设与应用落地 6

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

1. 技术升级与应用拓展并进，机器人商业化进程加快

机器人是物理 AI 落地的重要载体，模型能力与运动控制升级正推动其承担更复杂的实际任务。2026 年以来，机器人任务理解、陌生环境适应及连续作业能力持续增强，标准建设与应用推广政策进一步完善，汽车制造、消费电子和零售等场景的验证与部署逐步深入。与此同时，整机出货保持快速增长，多家 A 股公司机器人相关订单开始兑现，行业在技术进步的基础上加快向批量交付和商业应用拓展。

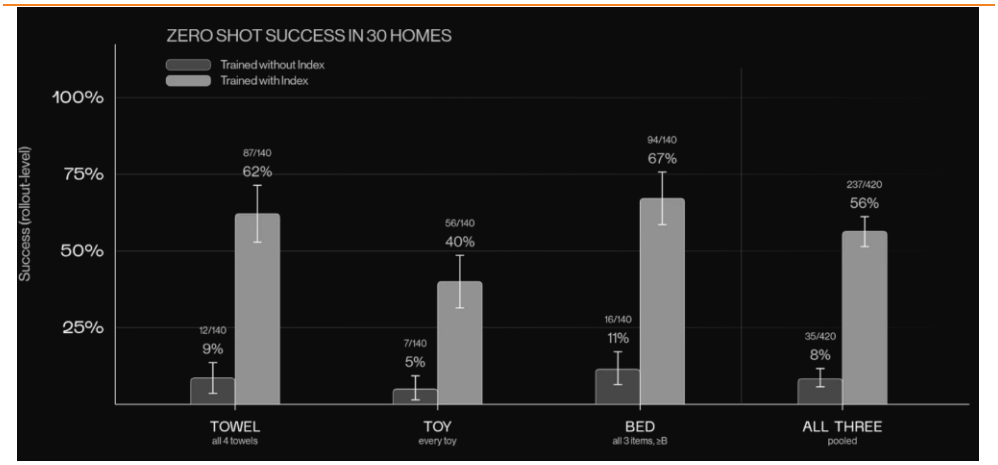
1.1. 模型与运动控制持续升级，复杂任务执行能力增强

通用模型向物理任务延伸，机器人任务理解与自主执行能力持续提升。2026 年 10 月，Artificial Analysis 发布机械臂评测，通用语言模型通过摄像头获取环境信息，调用代码工具与机械臂接口，完成按键、物品摆放等桌面任务。通用 AI 的视觉理解、空间推理与任务规划能力已初步应用于真实物体操作，为机器人执行更复杂任务提供了技术基础。

跨环境适应能力增强，有望降低重复训练与部署成本。2026 年 9 月，Figure 公布 Helix 2.5 在 30 个陌生家庭中的测试结果。在未针对这些家庭采集训练数据或调整模型的情况下，机器人在客厅整理、毛巾折叠和铺床三类任务中的综合成功率约为 56%。这一结果体现出机器人将已有操作技能应用于陌生环境的能力，有望减少新场景部署所需的重复训练与调试投入。国内智元发布的 GO-2 则通过引入统一架构，将逻辑推理与动作执行整合在单一系统内，使机器人不仅能够正确规划，还能在真实环境中可靠执行。

持续运动与连续操作能力同步改善，为机器人承担实际作业提供支撑。2026 年北京亦庄机器人半马冠军净用时为 50 分 26 秒，较 2025 年冠军的 2 小时 40 分 42 秒明显缩短，体现出头部产品持续运动能力的进步。Figure 的 Helix 02 则展示了约 4 分钟的自主装卸洗碗机任务，将行走、平衡、餐具取放与跨区域搬运连接为连续流程。运动控制与手部操作的配合增强，有助于机器人完成涉及多个位置、多项操作的工作，拓展其在搬运、移动服务等场景中的应用范围。

图 1：Helix 2.5 跨环境适应能力增强，陌生家庭任务成功率达 56%

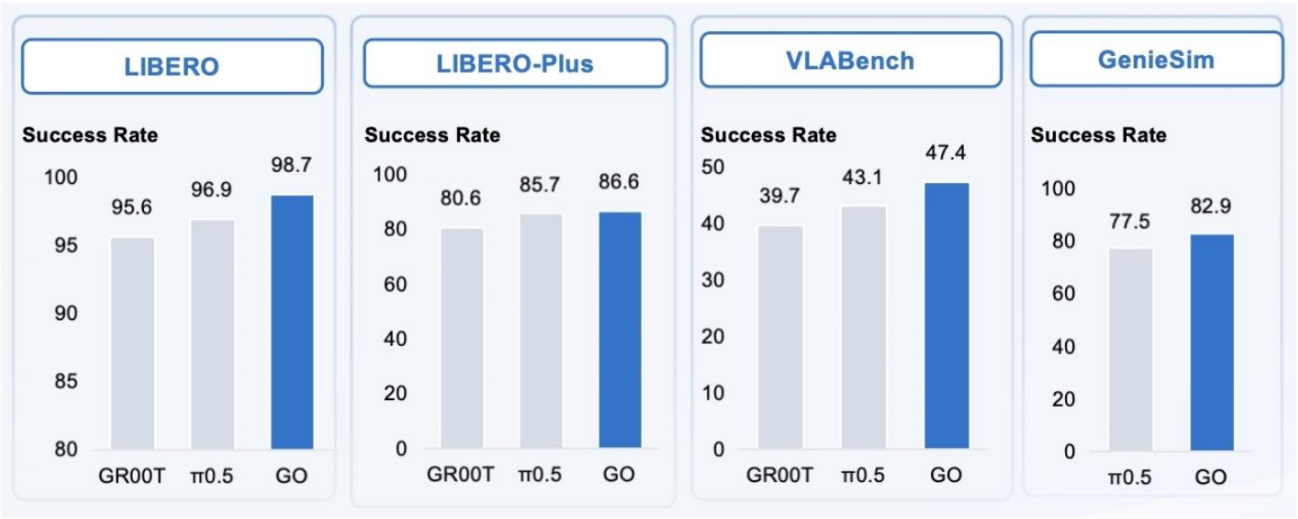


资料来源：Figure 官网，天风证券研究所

图 2：智元 GO-2 在多项任务测试中表现领先，机器人模型能力取得新进展

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考



资料来源：智元机器人官网，天风证券研究所

图 3：通用语言模型可完成基础机械臂操作，复杂任务完成度分化

Results per Task

● Full score (100) ● Partial (1 to 99) ● Zero (0)

Task	GPT-6 Astra	GPT-6.1 Sol	Gemini 4 Argon	Claude Opus 5.5	Claude Fable 5.1
Press the red button	●	●	●	●	●
Place the crocodile toy in the rectangle	●	●	●	●	●
Pour the drink into the cup	●	●	●	●	●
Tidy the blocks into the box	●	●	●	●	●
Complete the shape matching challenge	●	●	●	●	●
Write hello world	●	●	●	●	●
Build the tallest tower	●	●	●	●	●
Measure the box	●	●	●	●	●
AA-Robotics Score	69.4	64.6	55.3	48.8	46.3

资料来源：Artificial Analysis，天风证券研究所

1.2. 标准建设与应用推广协同推进，政策助力机器人商业化落地

标准建设与应用支持协同推进，政策助力机器人商业化落地。标准建设方面，2025 年末工信部成立人形机器人与具身智能标准化技术委员会，标委会于 2026 年 2 月发布《人形机器人与具身智能标准体系（2026 版）》；8 月，工信部就《国家人形机器人产业标准体系建设指南（2026 版）》公开征求意见，提出到 2028 年完成至少 100 项关键标准制定，开展标准宣贯和实施推广的企业超过 200 家，进一步明确标准建设目标。应用推广方面，6 月工信部办公厅、国务院国资委办公厅联合部署实景实训专项行动，提出到 2026 年底凝练形成百个以上高价值应用场景、带动形成万台级规模落地能力，推动机器人在真实生产生活环境中完成应用验证和常态部署。地方政策同步支持需求培育，7 月广州明确对遴选的场景或应用项目给予单项最高 100 万元支持，鼓励机器人产品首购首用及租赁应用。10 月，商务部等 9 部门进一步明确推动具身智能技术在商贸领域落地，拓展家庭服务、商贸物流等应用场景，加速具身智能等前沿科技成果向市场转化。标准规范、实景验证与市场推广形成协同，有望为机器人规模化应用提供持续支撑。

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

表 1：2025 年末以来机器人产业政策持续细化，聚焦标准建设与应用落地

时间	部门	文件/事件	具体内容
2025/12/31	工业和信息化部	成立人形机器人与具身智能标准化技术委员会	工业和信息化部决定成立部人形机器人与具身智能标准化技术委员会，编号为 MIIT/TC8，主要负责人形机器人与具身智能基础共性、关键技术、部组件、整机与系统、应用、安全等领域行业标准制修订工作。
2026/2/28	工业和信息化部人形机器人与具身智能标准化技术委员会	《人形机器人与具身智能标准体系（2026 版）》	标委会发布《人形机器人与具身智能标准体系（2026 版）》，该体系紧扣产业发展现状与未来趋势，覆盖基础共性、类脑与智算、肢体与部组件、整机与系统、应用、安全等全产业链环节，填补了国内人形机器人与具身智能领域标准体系的研究空白。
2026/6/8	工业和信息化部办公厅、国务院国资委办公厅	《关于联合开展 2026 年度人形机器人与具身智能实景实训专项行动的通知》	到 2026 年底，人形机器人等重点产品在一批代表性场景中率先完成应用验证和常态部署，开启“作业模式”；**凝练形成百个以上高价值应用场景，进一步丰富具身智能应用谱系，带动形成万台级规模落地能力**。
2026/7/3	广州市工业和信息化局	《广州市推动具身智能机器人产业高质量发展若干措施》	支持企业方和场景方共建具身智能机器人应用场景，**每年遴选 10 个推广价值较高、示范作用显著的场景或应用项目，单个项目给予最高不超 100 万元支持**。支持机器人产品首购首用，探索机器人租赁、服务外包等灵活采购方式，鼓励党政机关、事业单位、国有企业按有关规定采购和应用具身智能机器人产品。
2026/8/24	工业和信息化部科技司	《关于公开征求〈国家人形机器人产业标准体系建设指南（2026 版）〉（征求意见稿）意见的公示》	到 2028 年，创新探索标准研制工作模式，建成系统科学、协调配套的标准体系。**在人形机器人能力测试及评估方法、关键技术、平台与系统、场景应用、安全治理等方面完成至少 100 项关键标准制定，开展标准宣贯和实施推广的企业超过 200 家**，为人形机器人产业高质量发展提供坚实支撑。
2026/10/19	商务部等 9 部门	《关于加快推进科技兴商的意见》	推动具身智能技术在商贸领域落地，拓展家庭服务、商贸物流等应用场景。 聚焦消费品领域培育一批技术转移转化机构，加速脑机接口、具身智能等前沿科技成果向市场转化。支持智能仓储、数智供应链等领域商贸企业申报专精特新企业。

资料来源：工业和信息化部、中国电子学会、广州市工业和信息化局、商务部，天风证券研究所

1.3. 工业应用持续深化，商用服务场景逐步拓展

工业应用逐步深入生产流程，汽车制造与消费电子形成具体落地案例。2026 年，Figure 03 进入宝马斯帕坦堡工厂，开展按生产顺序拣配零件、牵引料车等物流作业验证，应用环节较此前 Figure 02 承担的钣金件取放上料进一步拓展。国内方面，6 月 23 日至 28 日，8 台智元精灵 G2 在龙旗科技南昌工厂开展为期 6 天、累计 64 小时的产线直播作业，围绕平板产品检测工段执行取放、转运及分拣等任务。

商用服务向零售业务延伸，多门店部署拓展应用空间。9 月 28 日，智元与炊具品牌爱仕达的合作正式落地：100 台灵犀 X2 人形机器人进入爱仕达全国 100 家门店，担任门店促销员，在真实零售场景上岗。当天上午 10 点起，双方在温岭、上海、无锡三地开启为期三天每天 10 小时直播，实时呈现机器人在真实消费环境中的服务状态。最终百店累计销售金额达 225.3 万元，带动门店业绩增长 39%。

图 4：智元 G2 进入消费电子产线，工业场景应用持续深化

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考



资料来源：龙旗科技，天风证券研究所

图 5：灵犀 X2 进入零售门店，机器人应用向商用服务拓展



资料来源：智元机器人，天风证券研究所

1.4. 整机出货加速放量，上游零部件公司订单逐步兑现

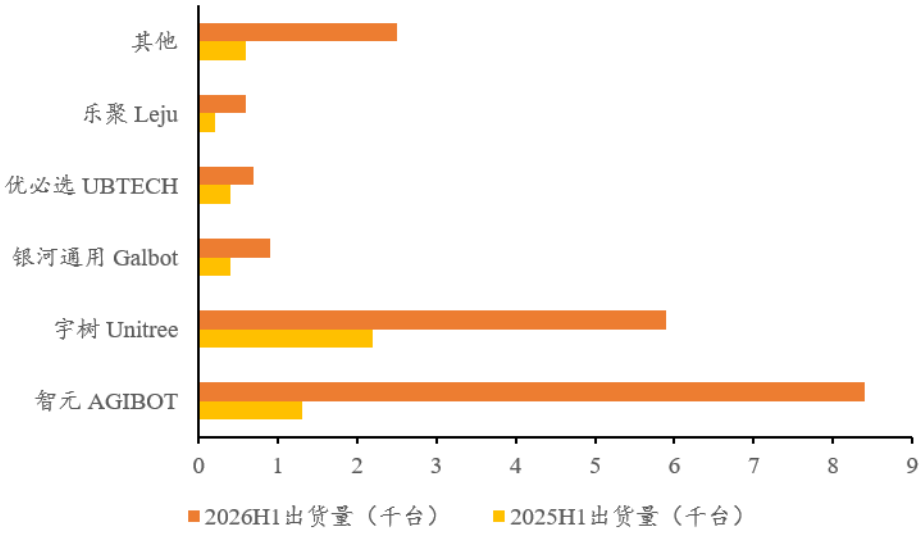
人形机器人出货保持快速增长，多家厂商交付规模显著扩大。据 SAG 统计，2026 年上半年全球人形机器人出货量同比增长 272%。其中，智元同比增长 562%，宇树同比增长 170%，银河通用、乐聚分别同比增长 150%、171%。多家国内厂商出货实现翻倍增长，叠加工商业应用场景持续拓展，人形机器人批量交付与商业部署进程加快。

多家 A 股公司机器人订单开始兑现。绿的谐波在 2026 年半年报中披露，受机器人业务订单规模增长带动，公司产能实现大幅爬升，产能利用率持续改善，规模效应逐步释放。雷赛智能在同期报告中披露，行星关节模组、谐波关节模组及高自由度灵巧手已研发成功并实现批量供应，获得主流机器人客户订单，并开始规模化供货。与此同时，东方精工、拓普集团、五洲新春等公司已在 26 年半年报中披露机器人整机或零部件业务收入，相关订单正陆续转化为实际收入贡献。

图 6：人形机器人出货加速放量，国内头部厂商保持高增长

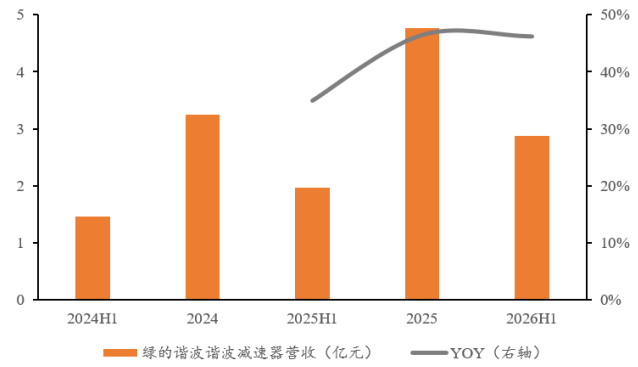
Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考



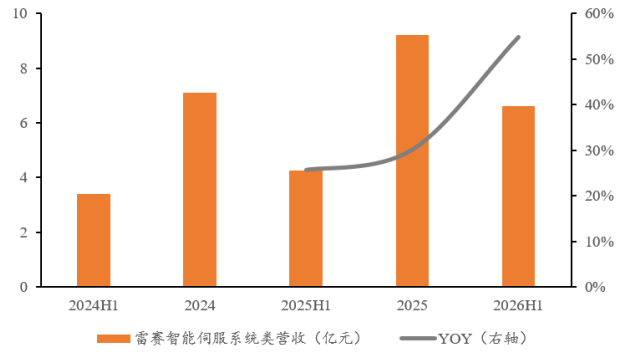
资料来源：SAG，天风证券研究所

图 7：绿的谐波减速器业务收入延续高增长



资料来源：iFind，天风证券研究所

图 8：雷赛智能伺服系统业务收入增长提速



资料来源：iFind，天风证券研究所

2. 具身智能产业链

人形机器人产业化可拆解为模型、数据、本体与算力四大要素协同推进。模型端，VLA 与世界模型两条主线并行演进，但统一“感知—决策—执行”闭环的主导架构尚未出现，行业正探索分层融合的混合智能架构；数据端，核心矛盾不在总量而在有效数据形态，真机遥操作、人类交互与仿真合成构成“数据金字塔”，触觉与力觉数据尤为稀缺；本体端，感知层视觉与激光雷达相对成熟、触觉与力传感器仍是瓶颈，执行层电机、减速器、丝杠与灵巧手决定成本与可靠性。

图 9：人形机器人产业化可拆解为模型、数据、本体与算力四大要素协同推进

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考



资料来源：《具身智能发展报告(2026 年)》中国信息通信研究院和清华大学电子工程系、具身智能测试实验室，天风证券研究所

2.1. 具身智能模型：模型架构尚未收敛 VLA 与世界模型协同演进

能够统一“感知—决策—执行”闭环的主导架构仍未出现，技术路线正沿着“VLA（视觉—语言—行动）模型”与“世界模型”两条主线协同演进。VLA（Vision-Language-Action，视觉-语言-行动）模型是一类旨在赋予机器人同时处理视觉信息、理解语言指令并执行物理动作能力的智能系统，在测试环境中，VLA 模型性能已接近当前技术体系下的天花板——2026 年主流模型在 LIBERO 基准上的成功率普遍稳定在 98.5%以上；但在真实世界，纯反应式 VLA 缺乏对未来状态演化的显式推理，面对长时程、多步骤任务时易因累积误差而失效。为了突破物理认知和行动能力短板，让具身智能在真实环境中学会“动手干活”，行业正通过多路线推动具身智能模型的认知和行动能力突破——延续 VLA，协同推动通用行为策略迭代和专用部署落地，或是融合世界模型，拓展可用的数据基础，强化物理认知能力。（来源:中国信息通信研究院和清华大学电子工程系、具身智能测试实验室）

图 10：具身智能大模型发展趋势



资料来源：艾瑞咨询公众号，天风证券研究所

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

图 11：具身智能大模型技术路线

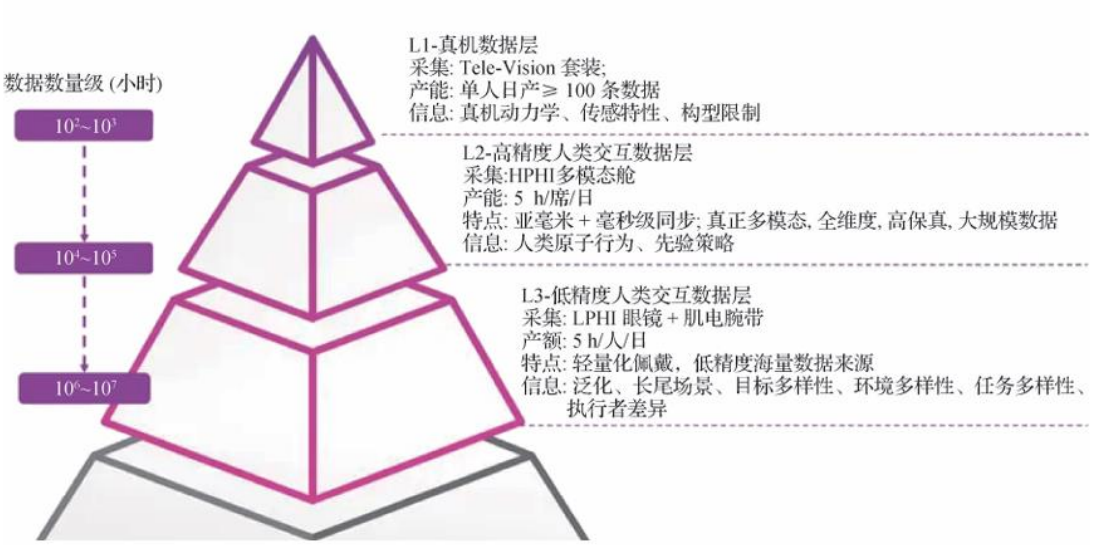
路线	路线1：延续 VLA 路线	路线2：融合世界模型,拓展可用的数据基础,强化物理认知能力		
		方向1：级联式世界模型架构	方向2：VLA 和世界模型的协同架构	方向3：统一世界动作模型
架构	延续VLA,协同推动通用行为策略迭代和专用部署落地	世界模型作为外部辅助，保留世界模型与 VLA 的模块化分工，动作仍由独立策略模块生成	将未来预测与策略训练结合，使世界模型和 VLA 在交互反馈中共同改进	将未来预测、动作生成和动作评价纳入同一模型，世界模型成为动作决策主体
突破点	增强物理感知、长程任务决策可靠性、跨本体动作策略泛化和反应式行动能力	在不改变 VLA 架构的前提下，用世界模型生成视觉子目标辅助规划	世界模型可以支持 VLA 预测轨迹的多轮尝试（Rollout），让 VLA 策略在连续预演和尝试执行中，获得可用于强化学习的策略优化经验	依靠世界模型原生完成决策推演
代表案例	FigureAI 搭载 Helix 02 模型的 Figure 03 于 6 月进驻宝马工厂，承担物流与零部件排序作业	PhysicalIntelligence于2026年4月发布的π0.7采用分层提示架构,世界模型生成视觉子目标,引导VLA生成更高质量的动作策略。	2026年2月,极佳视界发布GigaBrain-0.5M,借助世界模型推演动作后果并预判价值,再通过强化学习优化VLA策略,在叠衣、装箱和咖啡制作等复杂任务中,其RAMP方法较RECAP基线提升约30%,	DreamZero（英伟达，2026 年 2 月）：在同一扩散过程中联合生成未来视频和动作，平均任务进度达到 62.2%，相比 π0.5 提升 34.8%。

资料来源:《具身智能发展报告(2026 年)》中国信息通信研究院和清华大学电子工程系、具身智能测试实验室，天风证券研究所

2.2. 数据：具身数据分层供给逐步形成，高质量交互数据仍存缺口

对行业而言，现阶段核心矛盾不在于数据总量不足，而在于尚未形成能够支撑具身预训练的有效数据形态。我们认为，参照大语言模型的成功经验，具身模型的泛化能力同样有望随高质量数据供给的增长而提升。然而，根据中国新闻周刊发表文章，当前国内真实物理交互场景的合规数据仅 50 万小时，与机器人商业化落地所需的数千万小时相比，缺口超过 99%。据《具身智能前沿展望：数据、模型与系统演进》，一种分层的"数据金字塔"结构逐步形成，它重新定义了不同数据源在智能体学习中的定位。**塔尖为真机遥操作数据，**精度最高、物理保真度最强，但依赖真实本体，操作者受视角与交互方式限制，采集效率偏低且成本极高。**塔身为第一视角人类交互数据与人体动捕数据，**其轻量级、in-the-wild 的第一视角数据可突破实验室"笼子"，以 AI 眼镜、可穿戴手环（如 Apple Vision Pro）等方式在真实世界中采集，达到中等数据规模，更贴近大模型所需的数据密度与多样性。**塔基为互联网视频与仿真合成数据，**规模最为庞大，包含丰富的物理常识、物体语义和长尾场景。同时，在视觉主导的金字塔之外，触觉与力觉数据的缺失构成当前具身智能迈向"精细操作"的突出短板：物理世界的本质不仅是"看"，更是"接触"，而受限于触觉传感器（如 GelSight、电子皮肤）的非标与高昂成本，相关数据稀缺。

图 12："数据金字塔"结构



资料来源:《具身智能前沿展望：数据、模型与系统演进》穆尧等，天风证券研究所

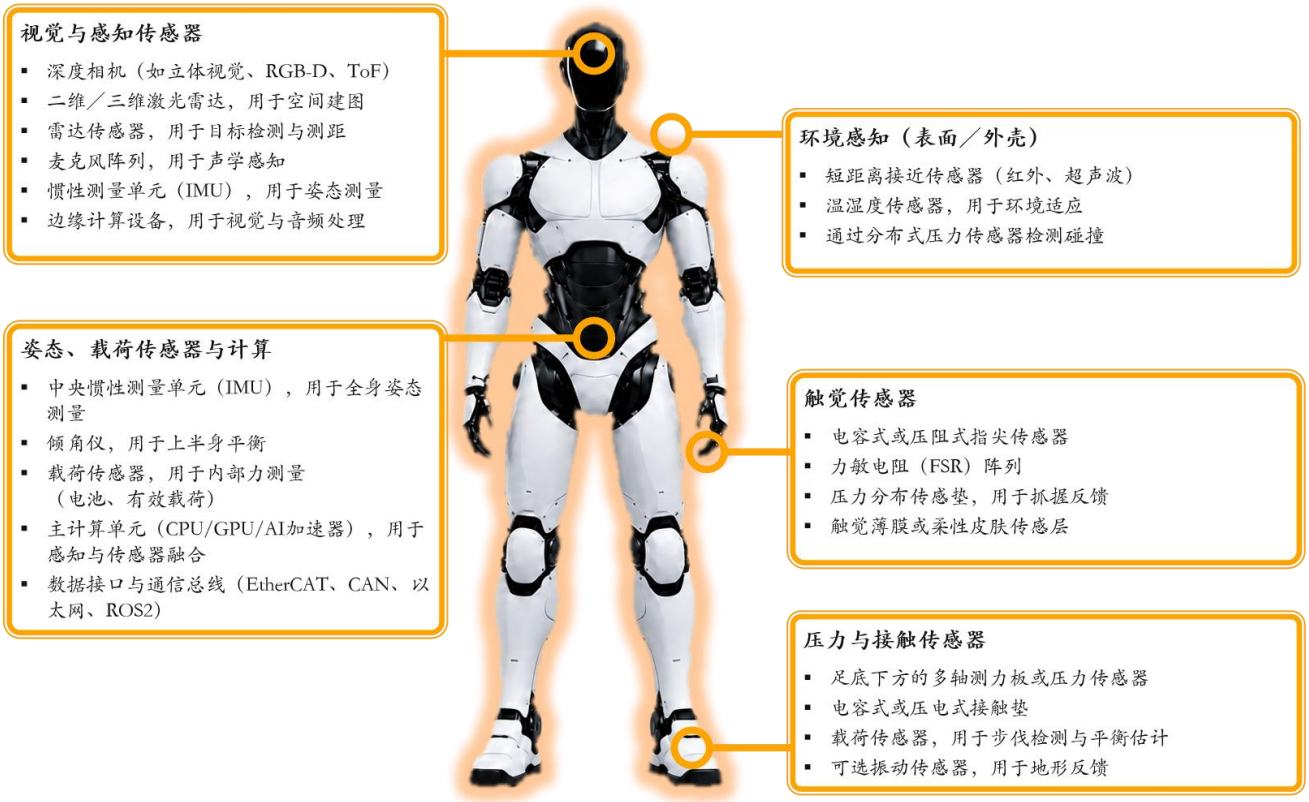
2.3. 本体——传感器：传感器支撑多模态感知 触觉与力传感仍是关键瓶颈

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

感知层是人形机器人实现环境感知、状态估计与物理交互的基础，对机器人在以人为中心的环境中的移动、操作与安全运行至关重要。从构成看，感知层涵盖视觉与深度、触觉与力、惯性及环境等多类传感器模态，广泛分布于全身；其中深度相机、激光雷达、触觉与力传感器及边缘计算单元四类硬件尤为关键。从成熟度看，视觉与激光雷达受益于汽车和自动驾驶系统的规模化应用，技术相对成熟；触觉与力传感器则仍是关键瓶颈，现有方案在鲁棒性与耐用性上尚不足以支撑连续工业运行。

图 13：感知层涵盖视觉与深度、触觉与力、惯性及环境等多类传感器模态，广泛分布于机器人全身



资料来源：Fraunhofer IPA，天风证券研究所

图 14：人形机器人四类主要传感硬件的技术成熟度、成本水平以及关键工程挑战

硬件	技术成熟度	成本	挑战
深度相机	◕	$$	▪ 探测距离有限 ▪ 覆盖范围
激光雷达	◕	$$	▪ 计算能力 ▪ 运动畸变
触觉／力传感器	◔	$$$	▪ 耐久性 ▪ 成本 ▪ 功能性
边缘SoC	◕	$$$	▪ 成本 ▪ 能耗

资料来源：Fraunhofer IPA，天风证券研究所

2.3.1. 六维力 / 力矩传感器：六维力传感器技术门槛高，材料与工艺迭代推动降本

六维力传感器被誉为力传感器领域的“金字塔顶端”产品，兼具高价值和高技术门槛。从

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

技术门槛来看，六维力传感器的结构设计与材料工艺、解耦算法和标定检测环节，共同构筑了行业的高技术护城河。**从价值量来看，**力传感器在人形机器人中占比约 16%，而六维力传感器更是其中的关键部分。以特斯拉 Optimus Gen2 为例，其使用的六维力传感器单价接近 2.5 万元，占整机传感器总成本的 24.4%。目前市场上主流六维力矩传感器产品单价在 1-3 万元之间，作为能够完整测量三维空间力与力矩的高端传感器，它已成为实现人形机器人精准力控的核心部件，通常部署于手腕、脚踝等关键位置，赋能灵巧手完成精细操作，并助力机器人在复杂地面上稳定行走、奔跑甚至跳跃，同时保障人机交互安全。未来还有望集成于指尖，进一步提升操作的灵巧性。

高成本已成为六维力传感器应用的一大阻力。人形机器人行业内正在研究摆脱昂贵力传感器的力控算法。**六维力传感器企业正通过材料、工艺迭代进行降本。一是材料的国产替代，**如用铝合金替代钛合金，国产薄膜应变片替代德国 HBM 贴片等；**二是工艺迭代，**如自动化贴片、自动化标定、布局 MEMS 技术路线，在弹性体精密加工方面，探索 3D 打印替代 CNC 加工等。

图 15：人形机器人六维力传感器配备情况

厂家	类型	型号	配备数量	配置位置	机器人价格（万元）
智元	轮式柔性智造机器人	远征 A2-W	2	手腕	数十万元
	轮式人形机器人	精灵 G1	2	手腕	45
优必选	工业人形机器人	Walker S2	2	手腕	50-80
	工业人形机器人	Walker S1	4	手腕、脚踝	100
	工业人形机器人	Walker S	4	手腕、脚踝	104
	商用人形机器人	Walker X	4	手腕、脚踝	——
	轮式人形机器人	Cruzer S2	2	手腕	——
	熊形机器人	优悠	4	手腕、脚踝	——
北京人形机器人	人形机器人	天工 1.1 pro	2	手腕	——
	人形机器人	天工 1.2 MAX	2	手腕	——
	轮式人形机器人	天轶 2.0	2	手腕	35
千寻智能	轮式人形机器人	Moz1	2	手腕	——
特斯拉	轮式人形机器人	Optimus	4	手腕、脚踝	——
波士顿动力	人形机器人	Atlas	4	手腕、脚踝	——

资料来源：高工人形机器人公众号，天风证券研究所

2.3.2. 触觉传感器：技术路线尚未收敛，性能边界与场景适配决定下一代落地路径

目前，电容式与压阻式触觉传感器已在消费电子领域广泛应用，而面向机器人、医疗保健等未来场景的“下一代”触觉传感技术仍处于积极探索阶段。各类技术路线在性能与适用性上各有优劣：**电容式传感器**利用软介电层受压产生的电容变化进行检测，具有轻薄、柔性好、对微小力高度敏感、易集成于曲面等优势，但易受湿度、温度漂移及介电层磨损影响，长期稳定性面临挑战；**压阻式传感器**通过电阻变化测量形变，结构坚固、简单且力程宽，适合指尖反复接触，但存在信号漂移、迟滞及低力分辨率较差的问题，难以满足人形机器人精密操作需求；**视触觉传感器**利用可变形凝胶捕获高分辨率的接触几何与微滑移信息，可为灵巧操作提供细节感知，但体积较大、功耗较高，且凝胶表面易暴露，限制了其在严苛人形机器人应用中的实用性；此外，**磁触觉传感器**通过嵌入磁体的弹性结构形变引起磁场变化（通常由霍尔或磁阻传感器测量），或利用电磁感应变化推断形变。

图 16：触觉传感技术四条主要技术路线

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

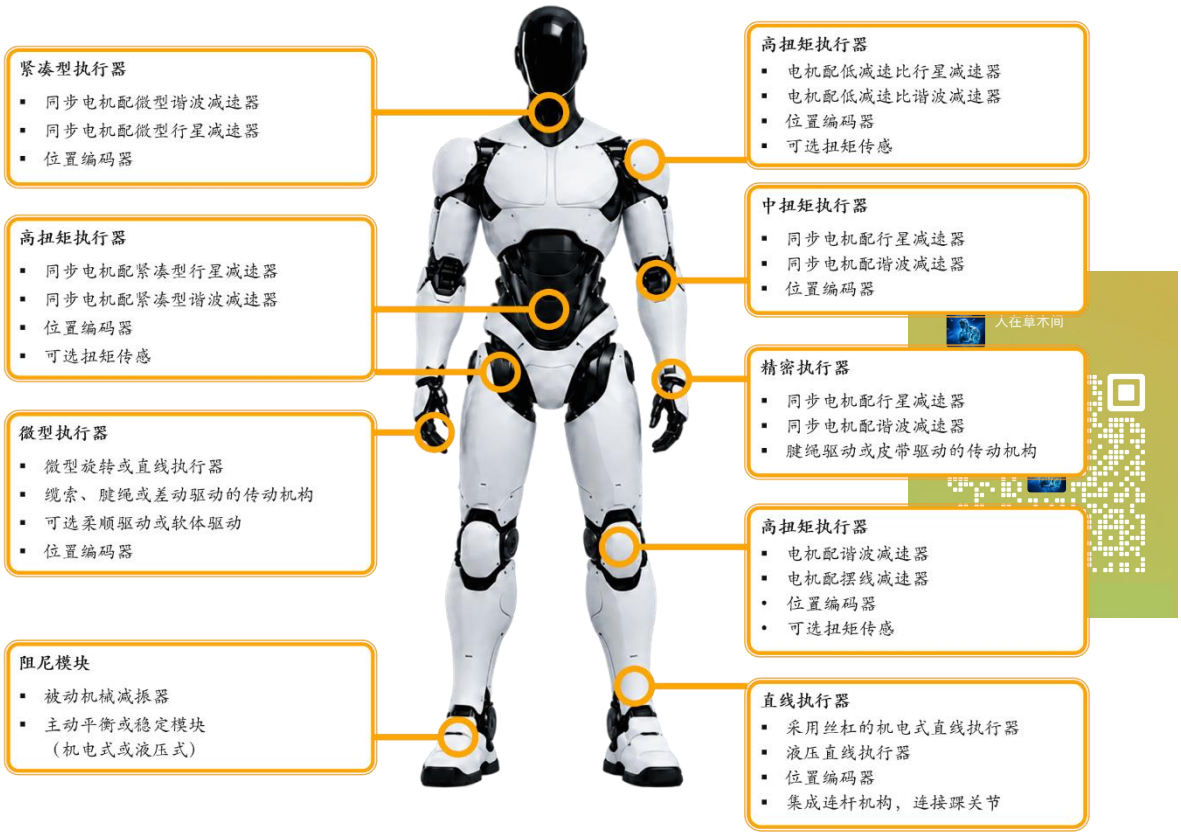
传感器类型	关键特性	应用	主要局限	技术成熟度
电容式	高灵敏度、柔性	手部、皮肤	漂移、湿度、磨损	◑
压阻式	鲁棒性强、低成本	手部、皮肤	迟滞、漂移	◑
磁式	高灵敏度、高鲁棒性	手部、皮肤	设计复杂度、磁干扰	◕
视触觉	极高分辨率	手部、皮肤	体积大、磨损、计算负载	◔

资料来源：Fraunhofer IPA，天风证券研究所

2.4. 本体——执行器：性能与成本影响人形机器人持续工业部署

执行层将电能转化为受控的机械运动和力，是决定人形机器人移动能力、操作能力与动态性能的核心环节。为逼近类人的运动范围与力分布特性，当前人形机器人通常在全身上分布数十个执行器，执行方案在精度、扭矩、复杂度与成本之间形成广泛权衡——直驱电机可实现无背隙高精度运动、机械复杂度低、维护需求少，但在高扭矩输出场景中存在明显局限，许多应用场景超出直驱系统的实际扭矩范围，或需在成本上作出妥协。从产业落地看，电机、减速器、丝杠及专用灵巧手执行系统四类执行硬件尤为关键，这些组件在很大程度上决定了系统成本、机械可靠性与长期性能，是人形机器人能否实现持续工业部署的关键所在。

图 17：当前的人形机器人通常会在全身分布使用数十个执行器



资料来源：Fraunhofer IPA，天风证券研究所

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

图 18：人形机器人四类主要执行硬件的技术成熟度、成本水平以及关键工程挑战

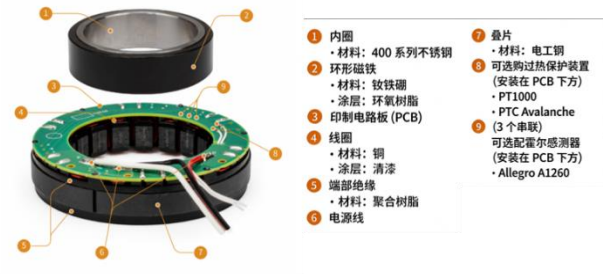
硬件		技术成熟度	成本	挑战
电机			$$$	• 热管理与效率 • 重量 / 扭矩 • 成本、精度与耐久性
减速器			$$$	• 耐久性 • 精度 • 复杂度与成本
丝杠			$$$	• 复杂度与成本 • 供应 • 制造复杂度
灵巧手			$$$$	• 复杂度与成本 • 灵巧性 • 耐久性

资料来源：Fraunhofer IPA，天风证券研究所

2.4.1. 电机：电机驱动是目前人形机器人的主流，无框力矩电机与空心杯电机分别适配关节与灵巧手

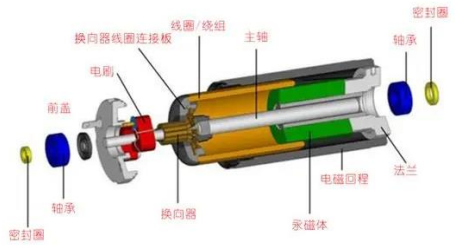
目前主流的机器人关节驱动器是由电机驱动，其具有成本较低、响应快、精度高、轻便灵活等优势。人形机器人中常见的电机类型包括步进电机、无框力矩电机以及空心杯电机等。其中，**无框力矩电机**具备体积小、功率高、低转速输出大扭矩等特性，**是人形机器人线性关节和旋转关节驱动的主流电机。空心杯电机**则以其体积小、重量轻、响应速度快和控制精度高等特点，**在机器人灵巧手中得到广泛应用**，既满足了手部驱动单元对小型化与轻量化的严格要求，也保障了指尖精细操作的准确性和灵敏性。

图 19：无框力矩电机示意图



资料来源：SMMC 公司官网，天风证券研究所

图 20：空心杯电机示意图



资料来源：科固电机公司官网，天风证券研究所

2.4.2. 减速器：RV 减速器、谐波减速器和精密行星减速器构成三大技术路线

减速器的主要功能是匹配原动机（如电机）和工作机构（如机器人的关节）之间的转速，并有效传递扭矩。其结构由多个齿轮组成，通过不同大小的齿轮啮合来降低转速并提高输出扭矩。**目前，机器人用减速器主要包括 RV 减速器、谐波减速器和精密行星减速器三大技术路线**，它们在机器人的不同部位发挥着至关重要的作用。RV 减速器主要应用于机器人的基座、大臂、肩部等重负载部位，具备高刚性、高扭矩承载能力；谐波减速器则常用于小臂、腕部、手部等负载较轻但精度要求高的关节；而精密行星减速器则广泛应用于数控机床、半导体设备，以及部分对成本与性能平衡有较高要求的工业机器人场景。

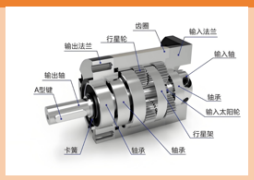
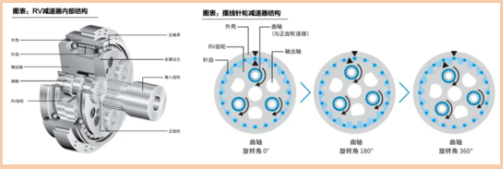
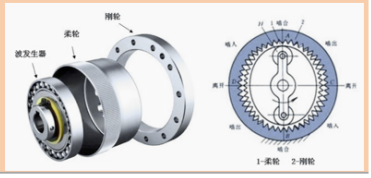
机器人快速增长预期拉动减速器市场规模快速扩张，据 MIR 睿工业数据预计，2024-2030 年精密减速器市场规模年均增速为 21%。根据 MIR 睿工业数据，2024 年中国减速器市场规模达 923 亿元，其中精密减速器作为高端制造的“核心关节”，主要应用于机器人、数

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

控机床、半导体等精密制造领域，占整体市场规模的 10%左右。近几年，中国精密减速器市场规模呈快速增长趋势。从细分产品来看，谐波减速器和 RV 减速器由于高精度、结构扁平化的特点主要应用于工业机器人行业，伴随工业机器人销量增长，减速器的市场规模也随之上涨。同时人形机器人在工业场景与非工业场景（如服务机器人、特种作业）的快速增长预期将成为拉动精密减速器市场高速发展的重要增量市场。

图 21：RV 减速器、谐波减速器和精密行星减速器

对比维度	行星减速器	RV 减速器	谐波减速器
图示			
结构特点	**体积小、重量轻：**精密设计与制造工艺相结合，减小了体积和重量。 **高传动效率：**对称结构使单级传动效率可达97-98%。 **强承载能力：**多个行星轮共同分担载荷，提高承载能力。 **结构简单：**相比谐波、RV减速器、环面包络蜗轮蜗杆减速器，成本较低。	**传动比范围广泛：**RV减速器能够提供多样化的传动比，灵活满足不同应用场景的需求，适应性极强。 **长寿命与高精度：**得益于同时啮合的齿轮数量较多，RV减速器展现出卓越的刚性和耐超载能力，确保其传动精度在长时间使用中保持稳定，延长了设备的整体使用寿命。 **高效传动与平稳运行：**凭借其结构的对称性和精密设计，RV减速器不仅具有较高的传动效率，还能有效控制振动，实现平稳的运行效果。	**速比大：**紧凑设计、高减速比和高传动精度。 **负载能力：**适合轻负载、高精密应用。
劣势	**单级减速比小，**一般在3到10之间。多级减速会增加长度和重量。 **需要定期维护与保养，**包括更换润滑油和维修传动部件。 **精度相对不如其他类型减速器，**高精度要求增加制造成本。	**体积较大：**为了实现强大的扭矩传递能力，RV减速器的齿轮数量和附属部件（如轴承、润滑系统和密封件）较多，这使得其整体体积相对较大。 **制造成本较高：**RV减速器的生产过程复杂，需依赖高精度的加工工艺及特殊制造设备。这不仅增加了生产和装配的复杂性，延长了制造周期，还导致了整体制造成本的上升。	**承载力弱：**相对于RV减速器，其承载能力和使用寿命较低。 **成本较高：**成本较高但低于RV减速器。

资料来源：深圳市机器人协会公众号，天风证券研究所

2.4.3. 丝杠：行星滚柱丝杠是人形机器人的核心传动部件

据智研咨询，**丝杠是将旋转运动转换为直线运动的传动副零件，**不仅需要准确传递运动与动力，还对精度、强度和耐磨性有较高要求。因此，其加工从毛坯到成品的每道工序均需精密控制，以确保最终精度。丝杠按其摩擦特性可分为滑动丝杠、滚动丝杠和静压丝杠。其中滚动丝杠中的行星滚柱丝杠凭借其超高精度、超强负载、超长寿命及超高效率的显著优势，已成为工业自动化、高端机器人等领域不可或缺的关键部件。

行星滚柱丝杠作为人形机器人的核心传动部件，预计到 2030 年，市场规模达 267.9 亿元，CAGR 达 42%。据华经产业研究院统计，2023 年全球人形机器人领域的行星滚柱丝杠需求量约为 210 万个，市场规模达 23 亿元；展望未来，随着人形机器人产业的快速发展，预计到 2030 年，其全球需求量将升至 7836 万个，相应市场规模有望增长至 267.9 亿元，需求量和市场规模年均复合增长率分别为 67.7%、42%。

2.4.4. 灵巧手：灵巧手三类传动方案并行发展 技术路线尚未收敛

灵巧手多种传动方案并行发展，技术仍未收敛。目前，灵巧手主要存在关节直驱、连杆传动和腱绳传动等三种技术路线。直驱方案便于独立控制各手指关节并获取位置反馈，但直驱方案中，电机集中在手部，会增加重量、占用空间并限制散热。二是连杆方案通过刚性杆件带动手指，兼顾抓握力和动作控制。但连杆方案增加关节数量和活动范围后，存在杆件相互干涉和部分关节难以独立控制的问题。三是腱绳方案则将电机移至前臂，减少指节

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

内的驱动机构，为感知传感器留出空间。（来源:中国信息通信研究院和清华大学电子工程系、具身智能测试实验室）

图 22：灵巧手不同传动方式比较

驱动方式	优点	缺点
连杆传动	刚度好、负载能力强、加工制造容易、易获得较高的精度，构件之间的接触可以依靠几何封闭来实现，较好实现多种运动规律和运动轨迹	结构冗杂，笨重，柔性不足，抗冲击性能较弱，对空间配置要求较高
齿轮/蜗轮蜗杆传动	齿轮或蜗轮蜗杆将旋转变成直线运动，手指动作相互独立，具有多种的抓取构形，驱动更加灵活	运动时间较长，结构冗杂，笨重，柔性不足，抗冲击较弱，对空间配置要求较高，结构复杂容易故障
腱传动	由腱绳加上滑轮或者软管实现传动，腱一般具有很高的抗拉强度，容易实现多自由度和远距离动力传输，节省空间和成本，是一种柔顺传动方式	腱本征刚度有限，影响位置精度；控制时需要一定的预紧力，容易产生摩擦；腱的布局容易产生力矩和运动的耦合，控制难度和复杂性较高

资料来源：刘伟等《机器人灵巧手研究综述》,《柔性机械手驱动方式及结构方案设计》王熙杰，小米技术公众号，天风证券研究所

图 23：各厂商灵巧手方案总结

项目	shadow	DLR		因时		帕西尼		兆威机电	优必选				星动纪元	宇树	智元
		Dexhand	Hand II	RH56B/DFX	RH56DFTP	Dex H13	Dex H5	ZWHand	四代灵巧手	三代	二代	一代	XHAND1	Dex 5-1 / 1P	智元灵巧手
驱动方案	Maxon电机	无刷直流电机	无刷直流电机	微型电缸（空心杯电机）		直线电机	直线电机	直线电机（无刷空心杯）	直线电机	直线舵机（电机）		舵机（电机）	空心杯有刷电机	空心杯电机	电机
传动方案	腱绳	谐波+锥齿轮/绕线盘+高分子腱绳	谐波+差速+同步带/绕线盘+钢丝腱绳	行星减速箱+行星滚柱丝杠+连杆+弹簧		连杆	连杆	行星减速器+行星滚柱丝杠	簧圈+连接臂组件/轴+连杆	丝杠+推杆+转动销轴/球窝球头	丝杠+推杆+连杆+推杆球副	减速器+丝杠+扭簧+腱绳	行星减速箱+齿轮一锥齿轮	齿轮减速器	丝杠+连杆，蜗轮蜗杆+腱绳，侧握连杆
传感方案	指尖触觉+腱张力+位置+力+温度	关节力矩+关节位置+温度	指尖力+关节力矩+关节位置+腱张力+触觉+温度	位置+力传感器	位置+力传感+触觉	触觉传感器+手部摄像头	触觉传感器	力传感器+触觉传感器	—	电机磁传感器+压力传感器	电机磁传感器	电机集成滑动变阻器	指尖触觉+角度传感	关节力矩/温度/电压电流+IMU+传感器压力/温度	MEMS触觉+视触觉+手背摄像头
主动自由度	20	12	15	6		13	5	17	6	6		4	12	16	12
自由度	24	16	15	12		13	12	17	11	11		10	12	20	19

资料来源：各公司官网，国家知识产权局等，天风证券研究所

3. 风险提示

技术迭代与路线收敛风险：具身智能模型仍处于 VLA、世界模型等多路线并行探索阶段，主导架构尚未收敛；触觉传感器、灵巧手传动等技术路线亦未统一。若关键技术路线出现方向性偏差或迭代不及预期，可能导致相关企业前期研发投入难以兑现，影响产业化进程。

商业化落地不及预期风险：人形机器人当前在汽车制造、消费电子、零售等场景的验证与部署仍处于早期阶段，实景实训、多门店部署等能否形成可复制、可持续的商业模式尚待观察。若应用场景拓展缓慢、客户付费意愿不足或单机经济性无法改善，整机出货与订单兑现可能低于预期。

政策推进不及预期风险：标准体系建设、实景实训专项行动、地方场景补贴等政策对产业落地形成重要支撑。若标准制定进度、应用场景遴选与推广、首购首用及租赁等支持措施落地不及预期，行业规模化应用进程可能放缓。

行业竞争加剧风险：整机厂商出货高速增长，多家企业加速布局。若竞争加剧导致价格战或盈利空间压缩，相关企业收入增长与盈利能力可能受到影响。

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster

下载日志已记录，仅供内部参考

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益 20%以上
		增持	预期股价相对收益 10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅 5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

天风证券研究

北京	海口	上海	深圳
北京市西城区德胜国际中心 B 座 11 层	海南省海口市美兰区国兴大道 3 号互联网金融大厦 A 栋 23 层 2301 房	上海市虹口区东长治路 855 号北外滩金茂中心 T1 栋 19 楼	深圳市福田区金田路 3088 号中洲大厦 22 层
邮编：100088	邮编：570102	邮编：200082	邮编：518028
邮箱：research@tfzq.com	电话：(0898)-65365390	电话：(8621)-60256006	电话：(86755)-23915663
	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com

Remove Demo Watermark from http://www.wancaiinfo.com/pdfmaster