



机器人行业研究

买入（维持评级）

行业专题研究报告

证券研究报告

机械组

分析师：满在朋（执业 S1130522030002） 联系人：房灵聪

manzaipeng@gjzq.com.cn

fanglingcong@gjzq.com.cn

国内外人形机器人产品梳理及未来发展趋势探讨

投资逻辑

■ 国外人形机器人产品梳理

(1) 特斯拉：Optimus 机器人采用电机驱动，全身 40 个执行器，22 年发布后持续迭代更新。据马斯克预计，Optimus 将于未来 3-5 年量产上市，并计划 24 年用于特斯拉工厂。(2) 波士顿动力：人形机器人 Atlas 采用电液混合驱动，膝关节扭矩 890Nm，运动表现机动灵活，具备翻越障碍物、后空翻等能力。同时 Atlas 拥有自主步伐规划算法+行为库+模型预测控制等技术，感知、导航功能强大。(3) 1X：旗下人形机器人 EVE 拥有环境感知交互功能，主要用于物流、零售和安保领域；人形机器人 NEO 尚在研发中，预计采用无齿轮设计理念，未来将用于物流、制造、操作机械以及清洁整理家务等场景。(4) Agility：旗下人形机器人 Digit 主要用于仓库货物搬运、物流配送。Agility 在建机器人制造工厂，规划产能 10000+台，预计 23 年底投产。Agility 预计 24 年可交付第一批 Digit，25 年将全面上市。

■ 国内人形机器人产品梳理

(1) 优必选：18 年推出大型机器人 Walker 成为中国首家实现人形机器人商业化的企业；21 年发布 WalkerX，是全球首个能够量产交付的人形机器人。小型机器人领域拥有悟空、Alpha Ebot 等，主要用于教育领域。(2) 达闼：19 年推出轮式机器人 Ginger，主要应用于迎宾导览、商业促销、节目表演、养老陪护等领域。23 年展出机器人小紫 XR-4，拥有 60+柔性关节，单腿峰值扭矩 600Nm，运动性能较强。(3) 傅利叶：GR-1 搭载自研发 FSA 一体化执行器，集电机、驱动器、减速器及编码器于一体，最大关节模组峰值扭矩 300NM。23 年 9 月开启预售，计划未来 1-2 年量产交付。(4) 智元：远征 A1 搭载 PowerFlow 关节电机，峰值扭矩超 350NM，计划 24 年商业化落地，先应用于 3C 制造、汽车制造，并逐步走向家庭。(5) 宇树：H1 机器人搭载 M107 关节电机，膝关节峰值扭矩 360Nm，是国内首台能跑的人形机器人。H1 目前可预订采购，23Q4 左右发货，商业化进展领先。(6) 小米：机器人 CyberOne 全身 21 个自由度，髋关节电机峰值扭矩 300Nm，可感知 45 种人类语义情绪，主打服务人本身。(7) 科大讯飞：将认知大模型和运动智能相结合，推出具身智能人形机器人。机器人根据自然语言指令，可以自动拆解任务并执行相关操作，实现特定任务流闭环。(8) 小鹏：PX5 机器人拥有高负载机械臂和 11 自由度灵巧手，感知交互可以和汽车领域的 XNGP、XOS 技术打通，在感知能力方面实现核心技术复用。PX5 未来将优先在小鹏的工厂和销售场景进行实地应用，通过迭代升级提升稳定可靠性。(9) 追觅科技：追觅通用人形机器人搭载自研的伺服电机，内含 60+个零件，集成了电机、驱动器、减速器及双编码器；配备深度相机，可以完成室内三维环境的建模，结合先进姿态控制算法+多种传感器，实现自主避障。

■ 怎么看人形机器人未来发展趋势？

- ✓ 人形机器人未来驱动方案选择：“电机+减速器”是未来商业化推广首选方案。
- ✓ 人形机器人未来应用场景：先用于工厂，未来逐步走进家庭。
- ✓ 人形机器人厂商未来发展方向：电机扭矩提升成机器人创业公司重要竞争方向、感知能力复用是跨界车企首要任务、大模型技术是互联网企业布局人形机器人的突破口。

投资建议

我们认为人形机器人产业链核心部分是运动关节，综合考虑价值量和竞争壁垒，建议重点关注滚珠丝杠和减速机环节。减速机领域建议关注双环传动、绿的谐波；滚珠丝杠环节建议关注恒立液压、贝斯特。

风险提示

人形机器人发展不及预期，国产替代进展不及预期，行业竞争加剧。



内容目录

1. 国外人形机器人产品梳理.....	6
1.1 特斯拉: Optimus 人形机器人持续迭代, 计划 24 年用于特斯拉工厂.....	6
1.2 波士顿动力: 采用液压伺服驱动方式, Atlas 机动性表现突出.....	9
1.3 1X Technologies: 重视产品轻量化, NEO 采用“无齿轮”设计理念.....	12
1.4 Agility Robotics: Digit 主打物流配送, 建设机器人工厂助力量产加速.....	14
2. 国内人形机器人产品梳理.....	15
2.1 优必选: 我国首家人形机器人商业化企业, 教育智能机器人行业领军者.....	15
2.2 达闼机器人: 拥有云端机器人系列产品, 主打商业+生活服务.....	21
2.3 傅利叶智能: GR-1 搭载一体化 FSA 执行器, 23 年 9 月预售、商业化进展领先.....	22
2.4 智元机器人: 推出远征 A1 人形机器人, 加速商业化应用落地.....	24
2.5 宇树科技: Unitree H1——国内首台能跑的通用型人形机器人, 预计 4Q23 发货.....	26
2.6 小米: 推出 CyberOne 人形机器人, 产品侧重人类生活服务.....	27
2.7 科大讯飞: 推出具身智能人形机器人, 讯飞超脑 2030 计划加速.....	28
2.8 小鹏汽车: 发布首款人形机器人 PX5, 高效拟人步态.....	30
2.9 追觅科技: 扫地机器人技术复用, 切入人形机器人领域.....	31
3. 如何看人形机器人未来发展趋势?	32
4. 投资建议.....	33
5. 风险提示.....	34

图表目录

图表 1: 特斯拉 Optimus 发展节点.....	6
图表 2: Optimus 原型机在搬运货物.....	6
图表 3: Optimus 基本参数.....	6
图表 4: Optimus 身体具有 28 个自由度.....	7
图表 5: Optimus 采用 6 类执行器.....	7
图表 6: Optimus 灵巧手采用五指多关节设计.....	7
图表 7: Optimus 灵巧手具有 11 个自由度.....	7
图表 8: Optimus 躯干内部搭载 2.3kWh 的电池组.....	7
图表 9: Optimus 实现静坐能耗 100w, 慢走能耗 500w.....	7
图表 10: Optimus 视觉导航技术.....	8
图表 11: Optimus 基于环境感知规划行走路线.....	8
图表 12: 特斯拉在 23 年股东大会最新 Optimus 机器人.....	8



图表 13: Optimus 机器人力度控制更加精确灵敏.....	8
图表 14: Optimus 机器人感知能力提升.....	8
图表 15: Optimus 可根据动作范例进行端到端动作操控.....	8
图表 16: Optimus 能够仅依靠视觉分类物体.....	9
图表 17: Optimus 可以实现单腿站立.....	9
图表 18: Atlas 人形机器人外观.....	9
图表 19: Atlas 人形机器人可以完成跃平衡木、过斜坡、后空翻等高难度动作.....	10
图表 20: Atlas 人形机器人在工厂给人类充当助手.....	10
图表 21: 液压驱动方式演示.....	11
图表 22: Atlas 液压驱动装置.....	11
图表 23: Atlas 采用 3D 打印将液压管和阀件内置.....	11
图表 24: Atlas 人形机器人 3D 打印的零部件.....	11
图表 25: 深度相机拍摄的 Atlas 机器人的点云旋转视图.....	11
图表 26: Atlas 机器人通过视觉感知来规划行为.....	11
图表 27: 离线轨迹优化帮助 Atlas 完成翻平衡木等行为.....	12
图表 28: Atlas 感知和规划的路径.....	12
图表 29: EVE 和 NEO 机器人对比.....	12
图表 30: EVE 是一款专为工作环境设计的轮式机器人.....	13
图表 31: EVE 机器人身高 186 厘米, 体重 86 公斤.....	13
图表 32: EVE 融入物流工作流程.....	13
图表 33: EVE 机器人巡检视角.....	13
图表 34: NEO 人形机器人外观.....	13
图表 35: EVE 人形机器人身高 167 厘米, 体重 30 公斤.....	13
图表 36: NEO 采用“无齿轮”设计理念.....	14
图表 37: NEO 进行清洁工作.....	14
图表 38: Digit 的更新改造史.....	14
图表 39: Digit 机器人外观.....	15
图表 40: Digit 主要应用场景.....	15
图表 41: Digit 帮助亚马逊员工拾取和移动空手提箱.....	15
图表 42: Agility 机器人制造工厂.....	15
图表 43: 优必选机器人产品种类丰富.....	16
图表 44: 优必选成立以来已成功开发多款人形机器人产品.....	16
图表 45: 20 年以来, 优必选研发费用率保持在 40%以上.....	16
图表 46: 优必选科技自主研发关键核心技术.....	16
图表 47: 优必选大扭矩伺服驱动器.....	17



图表 48:	优必选中小扭矩伺服驱动器	17
图表 49:	优必选的步态规划和控制算法技术助力机器人实现稳定行走	17
图表 50:	优必选机器人拥有稳定的控制能力	18
图表 51:	优必选机器人拥有较强的动态平衡能力	18
图表 52:	优必选服务机器人可以实现与人类的安全交互	18
图表 53:	16-21 年, 优必选 Walker 人形机器人历经 4 次迭代	19
图表 54:	优悠具备人机交互功能, 可进行导览讲解	19
图表 55:	优悠具备 41 个伺服关节, 可完成书画任务	19
图表 56:	优必选教育机器人产品提供人工智能教育课程, 以及相关软件及配套服务	19
图表 57:	悟空机器人高 24.5cm, 为便携式机器人	20
图表 58:	悟空机器人拥有图形化编程能力	20
图表 59:	优必选 Alpha Ebot 机器人外观	20
图表 60:	优必选 Alpha Ebot 搭载 16 个伺服电机	20
图表 61:	优必选人形 Yanshee 偃师机器人外观	21
图表 62:	Yanshee 机器人支持多种 AI 应用的设计学习	21
图表 63:	人形机器人 Ginger 1 外观	21
图表 64:	Ginger 1 可用于养老陪护、迎宾导览等领域	21
图表 65:	人形机器人 Ginger 2 外观	22
图表 66:	Ginger 2 搭载智能柔性关节 2.0 技术	22
图表 67:	23 年 8 月达闼在世界机器人大会上展出人形机器人新品小紫 XR-4	22
图表 68:	傅利叶智能发展历程	22
图表 69:	傅利叶智能 GR-1 全身 44 个自由度	23
图表 70:	傅利叶智能 GR-1 采用直腿行走方案	23
图表 71:	傅利叶智能 GR-1 拥有较强的运动能力	23
图表 72:	傅利叶智能 GR-1 全栈底层硬件自研	24
图表 73:	傅利叶智能 GR-1 采用自研的 FSA 执行器	24
图表 74:	23 年 8 月, 智元发布远征 A1 人形机器人	24
图表 75:	A1 全身 49 个自由度, 搭载谐波一体关节、行星伺服、空心杯电机等执行器	24
图表 76:	智元 PowerFlow 关节电机使用准直驱关节方案	25
图表 77:	远征 A1 灵巧手拥有 12 个主动+5 个被动自由度	25
图表 78:	远征 A1 的语言任务模型 WorkGPT 实现了更强的语义多级推理能力	25
图表 79:	远征 A1 具身智脑 EI-Brain 架构图	25
图表 80:	远征 A1 计划 24 年商业落地, 未来将应用于工业智造、家庭服务领域	26
图表 81:	宇树科技发展历程	26
图表 82:	宇树 H1 搭载大扭矩高功率 M107 关节电机	27



图表 83: 宇树 H1 是国内第一台能跑的人形机器人.....	27
图表 84: 宇树 H1 具备较强的抗冲击能力.....	27
图表 85: 宇树 H1 可实现自主避障和定位导航.....	27
图表 86: 小米人形机器人 CyberOne 全身 21 个自由度, 行走速度达 3.6km/h.....	28
图表 87: 小米人形机器人 CyberOne 视觉敏锐, 可以三维重建真实世界.....	28
图表 88: 科大讯飞“讯飞超脑 2030”计划内容.....	29
图表 89: 科大讯飞以人形机器人为牵引, 推进“视觉-语言-动作”多模态具身大模型.....	29
图表 90: 科大讯飞人形机器人可实现运动智能和具身智能.....	29
图表 91: 小鹏发布首款人形机器人 PX5.....	30
图表 92: PX5 (工程版) 能够轻松适应复杂地形.....	30
图表 93: PX5 具有较强的精细抓取能力.....	30
图表 94: 小鹏人形机器人计划未来将优先在小鹏工厂和销售场景实地应用.....	30
图表 95: 追觅科技机器人研发历程.....	31
图表 96: 追觅科技拥有伺服电机制造能力.....	31
图表 97: 追觅科技在扫地机器人领域拥有算法技术积累.....	31
图表 98: 追觅科技机器人家族展览.....	32
图表 99: 追觅科技人形机器人可以实现咖啡拉花.....	32
图表 100: 国内外主要人形机器人参数及市场推广计划对比.....	33
图表 101: 国内外主要人形机器人未来应用场景规划.....	33
图表 102: 重点公司估值.....	33

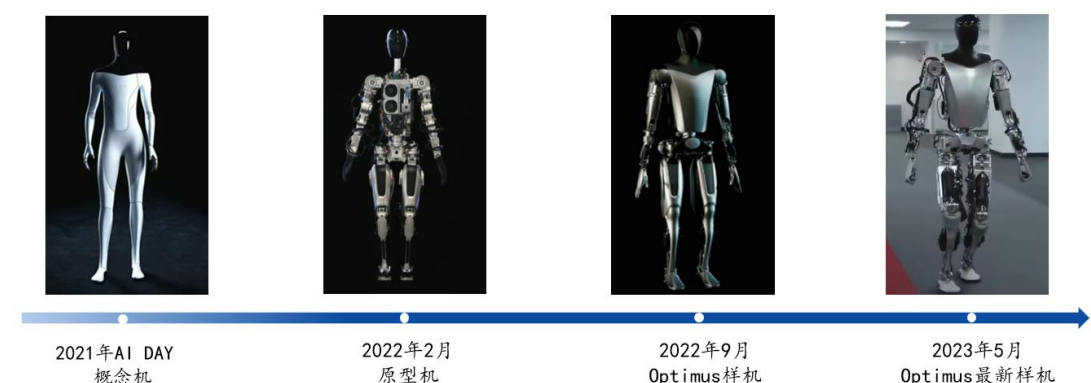


1. 国外人形机器人产品梳理

1.1 特斯拉：Optimus 人形机器人持续迭代，计划 24 年用于特斯拉工厂

全球电动汽车领军企业，人形机器人持续迭代更新。特斯拉成立于 03 年，为全球电动汽车领域领军企业。21 年 8 月，特斯拉 CEO 马斯克于首届 AI DAY 展示人形机器人概念机 Tesla Bot。22 年 2 月，特斯拉在提出概念仅 6 个月后成功推出人形机器人原型机，并作为开发平台进行深度研发。22 年 9 月，特斯拉在第二届 AI DAY 发布新版本的 Optimus 人形机器人，可以实现直立行走、搬运、洒水等复杂动作。据马斯克预计，Optimus 将于 3-5 年内实现量产上市，其最终数量将会达到百万级，成本将降至 2 万美元左右。23 年 5 月，特斯拉在年度股东大会上展示了 Optimus 最新样机。

图表1：特斯拉 Optimus 发展节点



来源：特斯拉 AI DAY 2022，特斯拉 2023 股东大会，国金证券研究所

■ Optimus 2022 年版

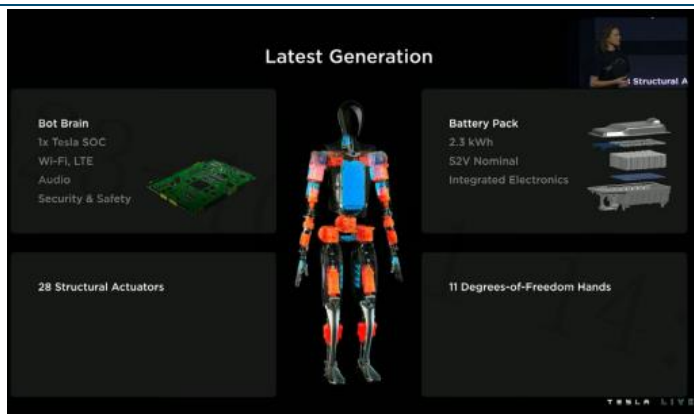
22 年 9 月，特斯拉在 AI Day 上推出人形机器人“擎天柱”（Optimus）。在发布会现场，特斯拉机器人展示了行走、挥手、摇摆等动作，同时分享了其在汽车工厂搬运、给植物浇水、移动金属零件的视频。从公布数据来看，Optimus 身高约 173cm，体重 73kg。马斯克表示人形机器人具备一定程度智能化，可以替代体力劳动，有望在 3-5 年后实现量产，量产后将达到数百万台，其价格可能低于 2 万美元。

图表2：Optimus 原型机在搬运货物



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

图表3：Optimus 基本参数



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

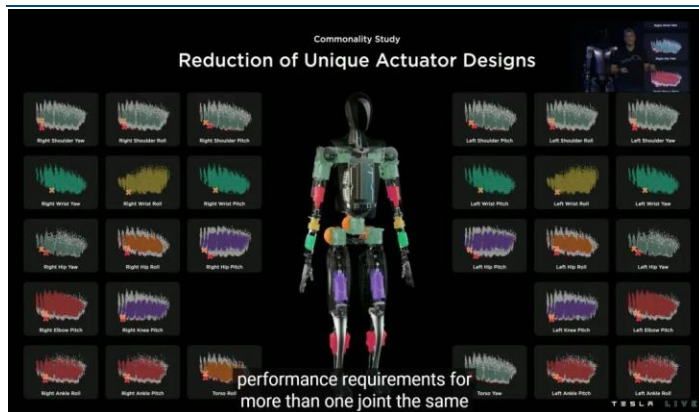
执行系统：全身具有 40 个执行器，50 个自由度，采用了减速机+电机的传动模式，减速机扭矩范围 20Nm-180Nm，电机力矩范围 500N-8000N。

- **躯干：**躯干 28 个自由度，分别为肩部 6 个、肘部 2 个、腕部 6 个、腰部 2 个、髋部 6 个、膝部 2 个、踝部 4 个，对应 28 个关节执行器，考虑到成本以及节能等问题，共采用 6 种结构设计（3 种旋转、3 种线性），应对不同载荷需求，同时关节结构加入仿生学设计，如膝盖关节分为 4 个子电机，和人类膝盖关节/韧带构成类似。
- **灵巧手：**Optimus 手部结构采用五指多关节设计，单手具有 6 个执行器和 11 个自由度，搭载多个传感器，且具有手内控制器，可以驱动手指并接受传感器反馈，且拥有自适应的抓握角度，具备工具使用能力和小物件精准抓握能力，负荷可达 20 磅（9 公



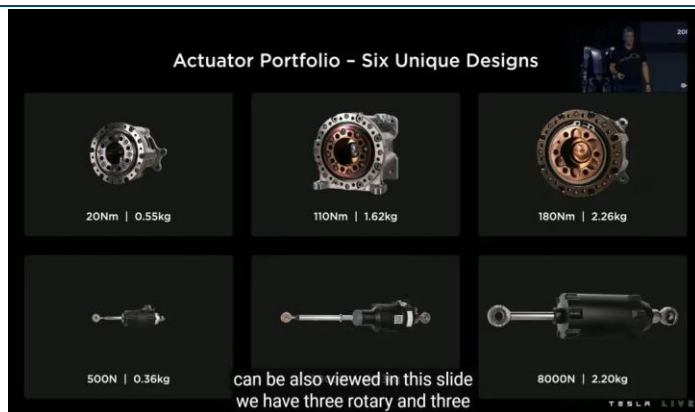
斤)。

图表4: Optimus 身体具有 28 个自由度



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

图表5: Optimus 采用 6 类执行器



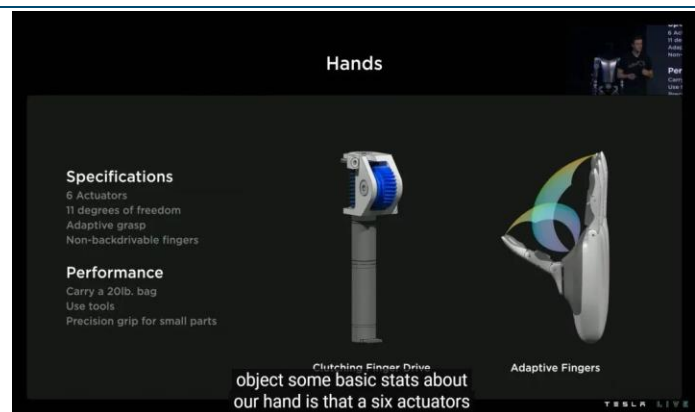
来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

图表6: Optimus 灵巧手采用五指多关节设计



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

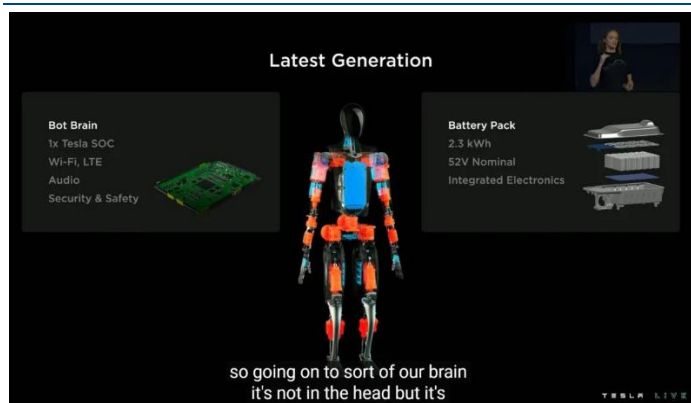
图表7: Optimus 灵巧手具有 11 个自由度



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

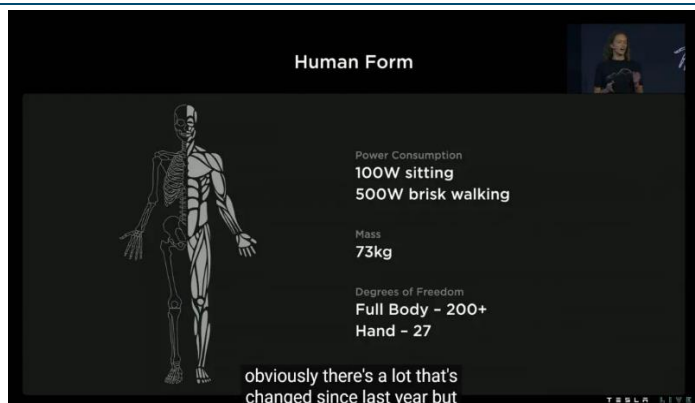
动力系统：高度集成，搭载特斯拉自研电池技术，其配备一个带有集成电子设备的 2.3kWh 电池组，理论电压为 52V。冷却系统特斯拉采用高度集成充电管理，复用汽车电池的能量管理系统，实现静坐能耗 100w，慢走能耗 500w，躯干内部 2.3kWh 的电池组可以满足一整天用电需求。

图表8: Optimus 躯干内部搭载 2.3kWh 的电池组



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

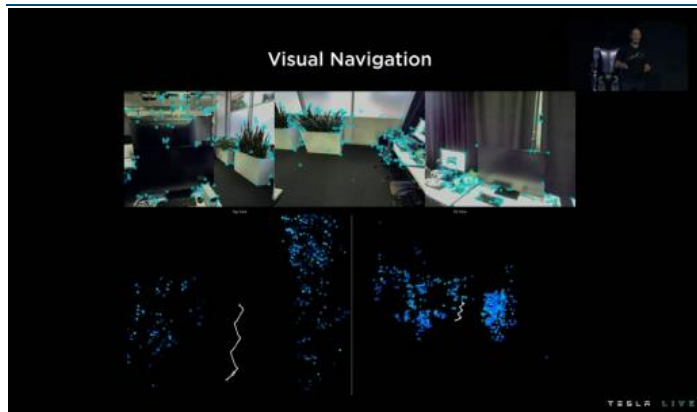
图表9: Optimus 实现静坐能耗 100w，慢走能耗 500w



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

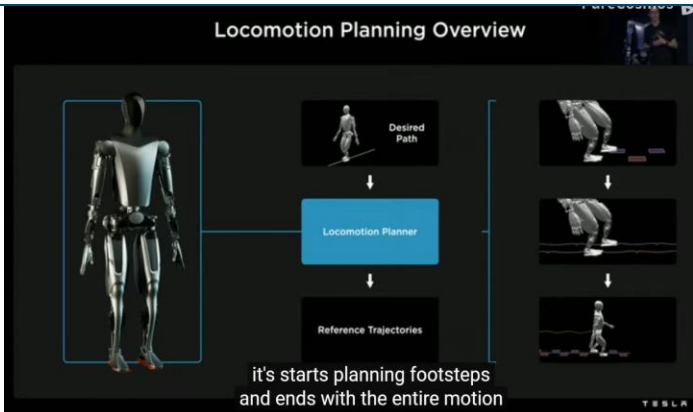
感知系统：Optimus 采用与特斯拉电动车相同的全自动驾驶系统 FSD 和感知计算单元，包括自主研发的芯片集成系统作为“大脑”以及三颗 Autopilot 级别摄像头。特斯拉采用与 Autopilot 相同的算法框架，通过自动标注、仿真和数据引擎形成训练数据用以训练 Optimus 的神经网络，使 Optimus 能够做到感知周围环境、自主规划行动路径、直立行走并保持相对平衡等功能。

图表10: Optimus 视觉导航技术



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

图表11: Optimus 基于环境感知规划行走路线



来源：特斯拉 AI DAY 2022，国金证券研究所

■ Optimus 2023 年版

特斯拉在 23 年 5 月股东大会上，发布了 Optimus 人形机器人演示视频。在机械关节控制方面，特斯拉机器人电机扭矩控制，力度控制更加精确灵敏，能做到精准控制力道不打碎鸡蛋；在感知方面，Optimus 环境感知和记忆能力提升不仅可以看路，亦会记路；在学习方面，Optimus 可根据人类动作范例，进行端到端动作操控。

图表12: 特斯拉在 23 年股东大会最新 Optimus 机器人



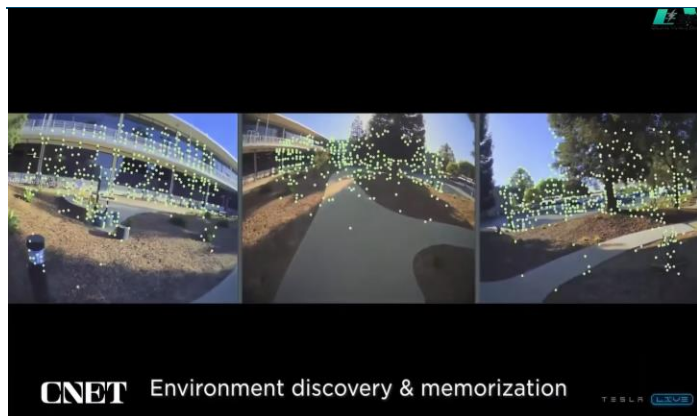
来源：特斯拉 2023 股东大会，国金证券研究所

图表13: Optimus 机器人力度控制更加精确灵敏



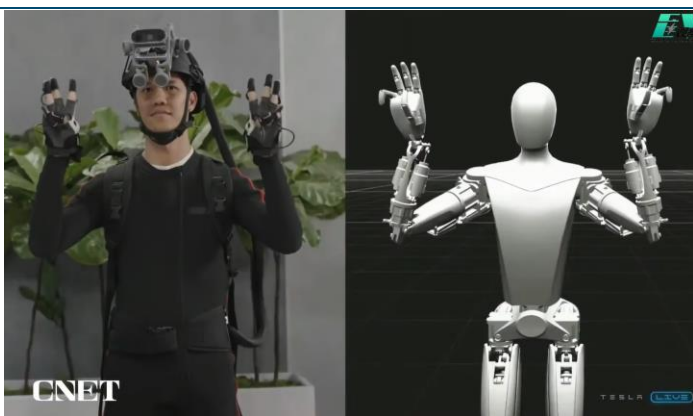
来源：特斯拉 2023 股东大会，国金证券研究所

图表14: Optimus 机器人感知能力提升



来源：特斯拉 2023 股东大会，国金证券研究所

图表15: Optimus 可根据动作范例进行端到端动作操控



来源：特斯拉 2023 股东大会，国金证券研究所

特斯拉公布 Optimus 最新进展，特斯拉人形机器人再进化。23 年 9 月，特斯拉发布机器人最新视频：Optimus 能够仅依靠视觉来对物体进行分类，甚至还能完成瑜伽动作。

- **视觉能力：**Optimus 拥有了自我校准手臂和腿部的能力，仅使用视觉和关节位置编码器，即可在空间中精准定位自己的肢体。经过校准，Optimus 可以更高效的学习各种



任务。目前 Optimus 能够完全自主的按颜色对色块进行排序，排除现实世界的动态影响。在旁边人的干扰下也可以继续完成工作。

- **平衡能力：**目前 Optimus 还可以做出多个单腿支撑的运动拉伸动作，并能在拉伸的同时保持躯干平衡。

图表16: Optimus 能够仅依靠视觉分类物体



来源：特斯拉 Optimus 官方推特，国金证券研究所

图表17: Optimus 可以实现单腿站立



来源：特斯拉 Optimus 官方推特，国金证券研究所

Optimus 目标为代替人劳动，预计 24 年将用于特斯拉工厂。特斯拉 CEO 马斯克表示，Optimus 的目标是替代人类完成重复劳动、危险操作等工作，以智能助手的角色投入生产中。它将首先在特斯拉工厂做些移动搬运、零部件装配等工业级操作，之后可扩展至家庭等更复杂环境中，成为通用服务机器人。在特斯拉第二季度财报电话会议上，马斯克表示现在特斯拉已经生产了 10 台 Optimus，预计会在 2024 年用于特斯拉工厂。

1.2 波士顿动力：采用液压伺服驱动方式，Atlas 机动性表现突出

深耕机器人领域三十余年，机器人技术领先。波士顿动力成立于 92 年，为美国著名机器人公司。1) 在四足机器人领域，创始人 Raibert 早在 86 年仍在麻省理工学院任职期间便开发出第一台能够行走和奔跑且完全动态稳定的四足机器人。05 年，波士顿动力与美国国防高等研究计划署合作，推出四足机器人 Big Dog。其后，波士顿动力持续进行机器人研究，并推出 LS3、Wild Cat、Spot 等机器人产品。2) 在人形机器人领域，波士顿动力于 09 年推出双足机器人 Petman，主要用于检验美军防护服性能和军事设备。其后，波士顿动力在 Petman 基础上改进，于 13 年发布人形机器人 Atlas。13 年至今，波士顿动力不断改进 Atlas 性能，现已具备翻越障碍物、空中转体、后空翻，在狭窄地形中自主导航等能力。

图表18: Atlas 人形机器人外观



来源：Boston Dynamics，国金证券研究所

■ 人形机器人 Atlas 性能表现机动灵活

人形机器人 Atlas 机动灵活，可完成较多高难度动作。Atlas 人形机器人高 1.5 米、重约 80 千克，自由度 28 个(液压关节)，配备 RGB 相机和深度传感器。Atlas 的膝关节扭矩高达 $890\text{N} \cdot \text{m}$ ，髋关节扭矩达 $840\text{N} \cdot \text{m}$ ，步行速度达 1.5m/s 。根据波士顿动力 21 年发布的



Atlas 跑酷视频, Atlas 可以顺利完成跃平衡木、过斜坡、连续后空翻等动作。23 年 1 月, 波士顿动力发布 Atlas 人形机器人最新视频, 视频中 Atlas 在工地给人类当助手, 并完成了搭桥、爬楼、飞身旋转、向人类扔工具包、前空翻等灵敏动作。

图表19: Atlas 人形机器人可以完成跃平衡木、过斜坡、后空翻等高难度动作



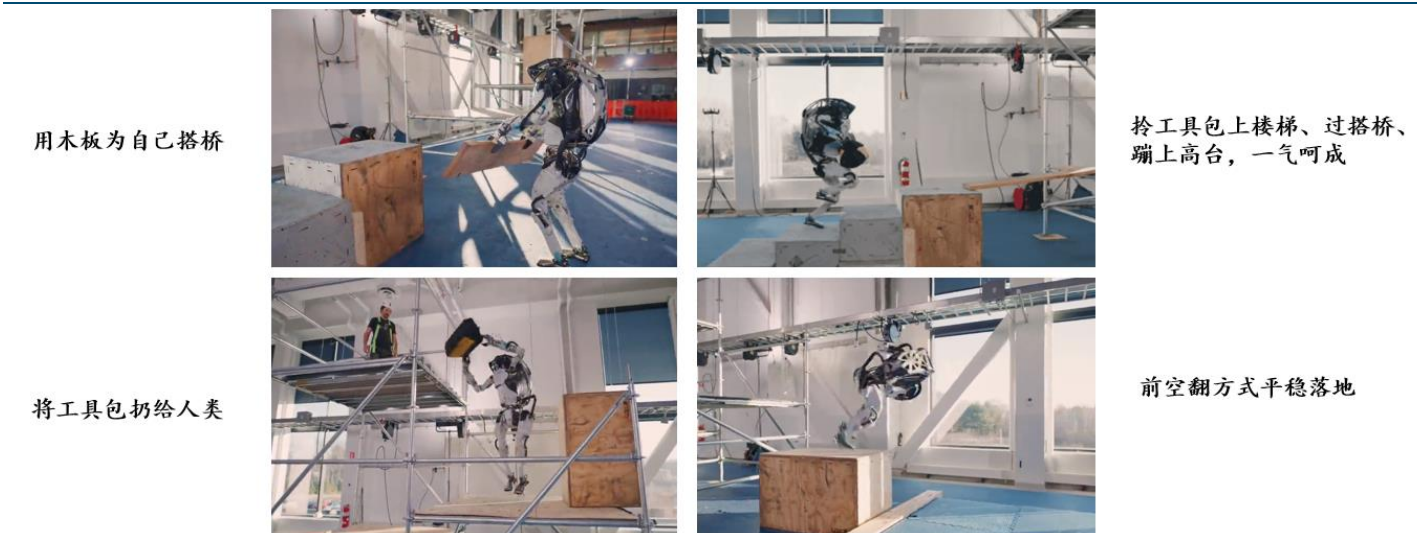
跃过平衡木

顺利过斜坡

连续两次后空翻

来源: Boston Dynamics, 国金证券研究所

图表20: Atlas 人形机器人在工厂给人类充当助手



用木板为自己搭桥

拎工具包上楼梯、过搭桥、
蹦上高台, 一气呵成

将工具包扔给人类

前空翻方式平稳落地

来源: Boston Dynamics, 国金证券研究所

■ 人形机器人 Atlas 性能表现优秀原因

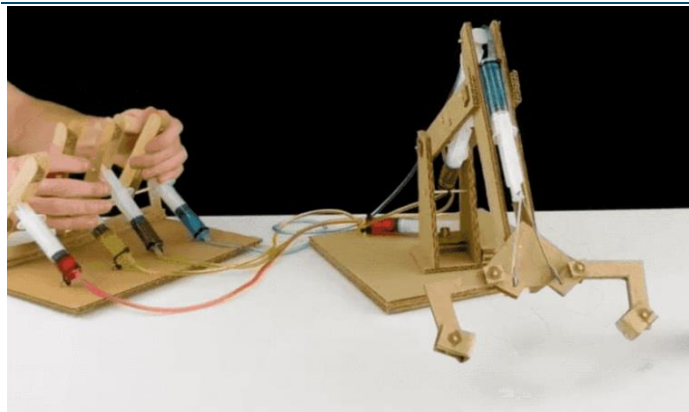
硬件: 液压驱动+3D 打印零件, 人形机器人 Atlas 机动性强。

- **液压伺服驱动技术优势:** 液压驱动原理是通过液体压缩泵产生高压液体, 高压强作用于缸体产生巨大推力, 带动机器人关节运动。单纯从后空翻动作分析, 落地时刻 Atlas 所受地面的冲击力较大。Atlas 采用电动+液压混合驱动模式, 相比单纯的电机驱动, 液压驱动具有高负载驱动特性, 为 Atlas 带来更大的抗冲击能力。此外, 液压结构使机器人更具“弹性”, 除了油液自身的可压缩性, 采用蓄能器还能起到减震作用, 使肢体更具有弹性。

波士顿动力在液压驱动领域技术领先。根据波士顿动力官网, Atlas 拥有世界上最紧凑的移动液压系统之一。定制的电动机、阀门和紧凑的液压动力单元使 Atlas 能够向其 28 个液压接头中的任何一个提供高功率。Atlas 有一个非常紧凑的液压驱动装置, 重 5kg、功率 5kW, 内含电动泵储液罐、电池、过滤器、电子设备和一个冷却系统, 凭借 28 个液压驱动器可以完成各种爆发力强的杂技动作。



图表21: 液压驱动方式演示



来源: 智东西, 国金证券研究所

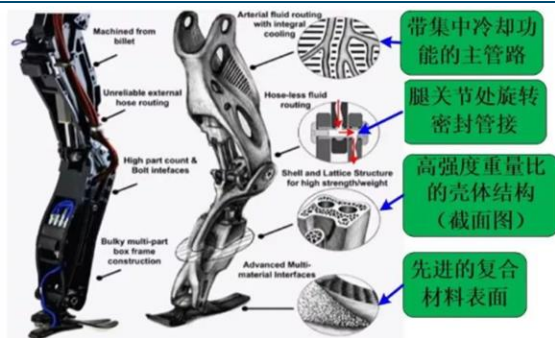
图表22: Atlas 液压驱动装置



来源: 智东西, 国金证券研究所

- **3D 打印节省空间:** 最简单的液压执行器需要油箱、液压泵、伺服液压阀、溢流阀、液压管路、执行器（油缸）以及做反馈控制用的扭矩、角位移、角速度等各种液压传感器。为了节省空间，Atlas 使用 3D 打印技术制作机器人的腿部，将伺服阀、执行器、液压管路完全嵌入到四肢机构件中，实现了液压系统与肢体的完美融合，同时还节省了成本。此外，Atlas 高度 1.5m，重量 80kg，3D 打印零件赋予其跳跃和翻腾所需的强度重量比。

图表23: Atlas 采用 3D 打印将液压管和阀件内置



左图: 液压管和阀件外置;
右图: 3D打印将液压管和阀件内置

来源: 液压传动与控制, 国金证券研究所

图表24: Atlas 人形机器人 3D 打印的零部件

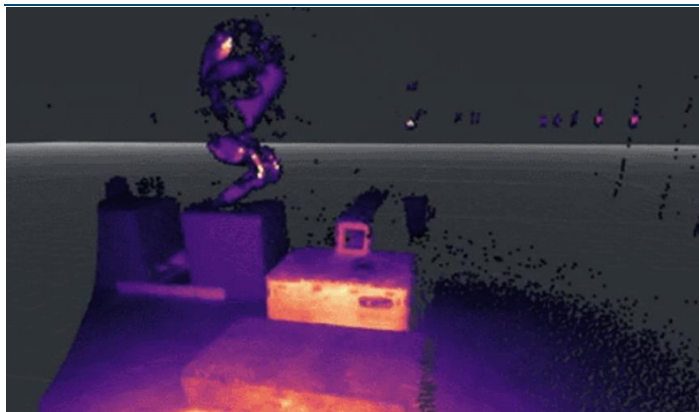


来源: 波士顿动力官网, 国金证券研究所

软件: 自主步伐规划算法+行为库+模型预测控制, 感知、执行功能强大

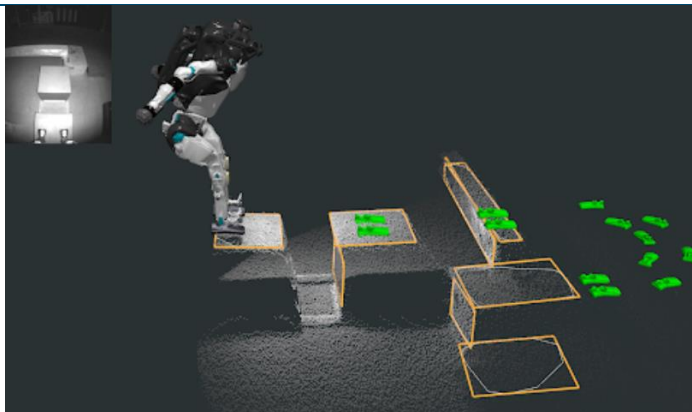
- **自主步伐规划算法:** Atlas 使用集成 IMU、联合位置和力传感器来控制自身的肢体动作, 并通过感知地面来保持平衡、识别障碍物的间隙。Atlas 使用 TOF 深度相机以每秒 15 帧的速度生成环境的点云 (测距的大规模集合)。Atlas 的感知软件使用多平面分割算法从点云中提取平面, 并最终为各种障碍物构建模型。

图表25: 深度相机拍摄的 Atlas 机器人的点云旋转视图



来源: 机器之心, 国金证券研究所

图表26: Atlas 机器人通过视觉感知来规划行为



来源: 机器之心, 国金证券研究所 注: 橙色轮廓标记障碍物的矩形面, 绿色的



脚步代表下一步要跳向的地点

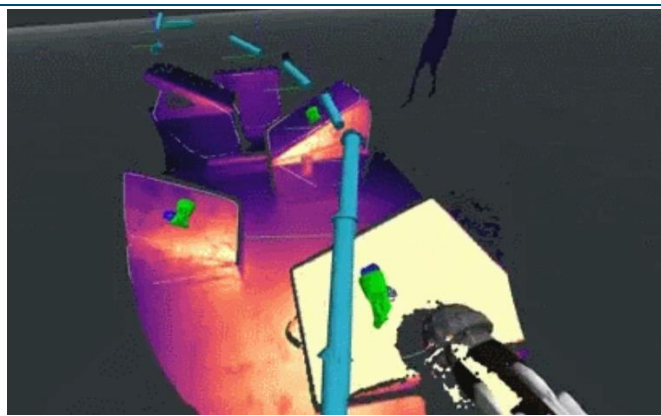
- **行为库：**Atlas 在跑酷中所做的每个动作都源自使用轨迹优化提前创建的模板。通过向模板库中添加新的轨迹，可以不断为 Atlas 添加新的功能。在给定感知计划目标后，Atlas 可以从库中选择与给定目标匹配的行为。工程师通过离线设计可以优化 Atlas 的运动轨迹。例如，在越过平衡木时，机器人行为是使用离线轨迹优化设计的复杂行为，同时在线控制器将模板动作变成现实。
- **模型预测控制：**在确定了机器人前面的箱子、坡道或障碍物，并计划一系列操作以越过它们后，Atlas 需要可靠地执行计划所需的细节。Atlas 控制器被称为模型预测控制器（MPC），该控制器使用机器人动力学模型来预测机器人未来的动作。其工作原理是通过优化来计算 Atlas 当前要做的最优事情，从而随着时间的推移产生最佳动作，行为库中的模板会向控制器提供最佳解决方案。

图表27：离线轨迹优化帮助 Atlas 完成翻平衡木等行为



来源：机器之心，国金证券研究所

图表28：Atlas 感知和规划的路径



来源：机器之心，国金证券研究所 注：蓝色箭头为 MPC 预测的机器人在整个移动过程中的质心和动量

定位研究平台，尚未实现商业化。液压驱动方案虽然爆发力强，但缺点在于噪音大、易漏液、对污染敏感、对液压元件的精度质量要求高、对维护团队要求高等，导致制造成本较高，难以走出实验室、走向商业化。根据大豫机器人微信公众号，Atlas 人形机器人售价过高，单台价值约 200 万美元，目前暂无商业化尝试。此外，Atlas 的后空翻等能力在实际商业环境中的作用较小，波士顿动力目前仍将 Atlas 定位为一个研究型平台。

1.3 1X Technologies：重视产品轻量化，NEO 采用“无齿轮”设计理念

1X Technologies 成立于 14 年，为挪威的一家专注于开发具有高度灵活性和可扩展性的人形机器人制造商。1X 主要有两款人形机器人产品：EVE 和 NEO，其中 EVE 已上市，NEO 正在研发中。23 年 3 月，1X 获 OpenAI 等机构 A2 轮融资，共筹集 2350 万美元。1X 计划利用该资金加大力度研发其即将推出的双足人形机器人 NEO，并在挪威和北美大规模生产其首款商用机器人 EVE。

图表29：EVE 和 NEO 机器人对比

名称	身高 (cm)	体重 (kg)	速度 (km/h)	承载能力 (kg)	续航能力 (h)	应用场景
EVE	186	86	14.4 (最高)	15	6	物流、巡逻、监控、搬运等
NEO	167	30	4 (步行)、 12 (跑步)	20	2—4	物流、制造、操作机械等工业任务，清洁、整理、陪伴等日常生活服务

来源：1X Technologies 官网，国金证券研究所

■ EVE

EVE 是一款专为工作环境而设计的轮式机器人。EVE 是 1X Technologies 的旗舰产品，是一款专为工作环境设计的轮式机器人，拥有两臂、两眼和四轮底盘。EVE 机器人身高 186 厘米，体重 86 公斤，最高时速为 14.4 公里每小时，拥有 15 公斤承载能力及 6 小时的续航能力。



图表30: EVE 是一款专为工作环境设计的轮式机器人



图表31: EVE 机器人身高 186 厘米, 体重 86 公斤

EVE Specifications	
1.86 meters	As tall as most refrigerators.
86 kilograms	The weight of a kangaroo.
14.4 kilometers/hour top speed	
15 kilograms carry capacity	About four cans of soda
6-hour run time	

来源: 1X Technologies 官网, 国金证券研究所

来源: 1X Technologies 官网, 国金证券研究所

EVE 配备摄像头和传感器, 可以感知周围环境并与之互动。EVE 的移动性、灵巧性和平衡性使其能够驾驭复杂的环境并有效地操纵物体, 主要应用于物流、零售和守卫巡逻领域。

- ✓ 物流环节: EVE 可以移动货物和处理易碎物品等, 轻松融入物流工作流程, 并在仓库或配送中心与团队无缝协作。
- ✓ 零售管理: EVE 的轮式导航和抓手使其可以轻松管理库房、获取库存, 管理商店等。
- ✓ 守卫巡逻: EVE 车队可以守卫企业园区, 并在办公楼的不同楼层之间移动。在一个人工操作员的监督下使用多个机器人, 可以在不增加劳动力成本的情况下实现生产力。

图表32: EVE 融入物流工作流程



图表33: EVE 机器人巡检视角



来源: 1X Technologies 官网, 国金证券研究所

来源: siwei in Ai, 国金证券研究所

■ NEO

NEO 属于双足人形机器人, 目前正在开发当中。根据 1X 官网, NEO 人形机器人身高 167 厘米, 体重 30 公斤, 步行速度为 4 公里每小时, 跑步速度为 12 公里每小时, 拥有 20 公斤的承载能力及 2-4 小时的续航能力。

图表34: NEO 人形机器人外观



图表35: EVE 人形机器人身高 167 厘米, 体重 30 公斤

NEO Specifications	
1.67 meters	The average height of an adult.
30 kilograms	The weight of a Norwegian sled dog.
4 kilometers/hour walk speed	A rabbit
12 kilometers/hour run speed	An Olympic athlete
20 kilograms carry capacity	About four cans of soda
2-4 hour run time	



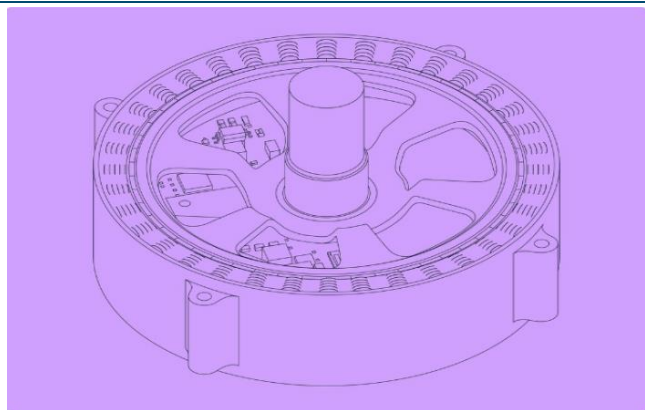
来源：1X Technologies 官网，国金证券研究所

来源：1X Technologies 官网，国金证券研究所

重视产品轻量化，NEO 将采用“无齿轮”设计理念。根据 1X 官网，1X 认为机器人使用齿轮可以提供动力，但也会增加重量，降低敏捷性。目前，1X 已成功开发出无需使用齿轮即可实现约 80%人类肌肉力密度的电机，NEO 预计将采用“无齿轮”设计理念。

NEO 作为通用人形机器人，应用场景广泛。根据 1X 官网，NEO 作为通用人形机器人可处理物流、制造、操作机械等工业任务。长期来看，NEO 未来还可以提供清洁、整理家务以及为行动不便的个人提供支持、获取物品和陪伴等日常生活服务。

图表36: NEO 采用“无齿轮”设计理念



来源：1X Technologies 官网，国金证券研究所

图表37: NEO 进行清洁工作



来源：1X Technologies 官网，国金证券研究所

1.4 Agility Robotics: Digit 主打物流配送，建设机器人工厂助力量产加速

Agility Robotics 成立于 15 年，是从俄勒冈州立大学拆分出来的机器人公司。16 年 Agility 发布机器人产品 Cassie，Cassie 为动态行走机器人，可以穿越崎岖的地形并跨越障碍。19 年 2 月，Agility 在 Cassie 基础上改进并推出人形机器人 Digit，于 20 年上市。

图表38: Digit 的更新改造史

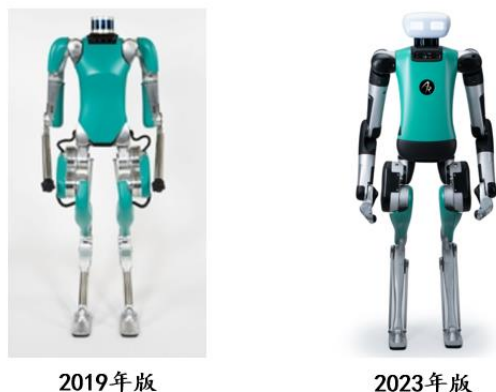


来源：机器人人大讲堂微信公众号，国金证券研究所

发布新版 Digit，主要用于物流场景。23 年 3 月，Agility 推出新版 Digit 人形机器人，该版 Digit 机器人身高 175 厘米，体重小于 65 公斤，最多可承载 16 公斤，采用可充电锂电池供电，续航能力达 16 小时。相比旧版，新版 Digit 增加了头部和机械手，安装头部可以提供人机交互（HRI）焦点，手部呈小爪状，可以在保持平衡的状态下搬运和装卸货物。根据 Agility 官网，新版 Digit 专为物流工作设计，目前主要用于搬运仓库的手提袋、包裹，未来还计划应用于货物卸载、配送等工作场景。



图表39: Digit 机器人外观



2019年版

2023年版

来源: Agility Robotics 官网, 国金证券研究所

图表40: Digit 主要应用场景



现在: 搬运手提袋和包裹

下一步: 卸载拖车

路上: 最后一公里交付

来源: Agility Robotics 官网, 国金证券研究所

Digit 获亚马逊使用测试, 未来将合作拓展机械手解决方案。根据 Agility 官网, 23 年 10 月, Digit 人形机器人获得亚马逊使用测试, 主要用于帮助亚马逊仓库员工拾取和移动空手提箱。根据 Agility 官网, 未来双方有望合作拓展 Digit 机械手解决方案, 进一步协作业员工工作, 维护工作场所安全, 提升亚马逊产品交付能力。

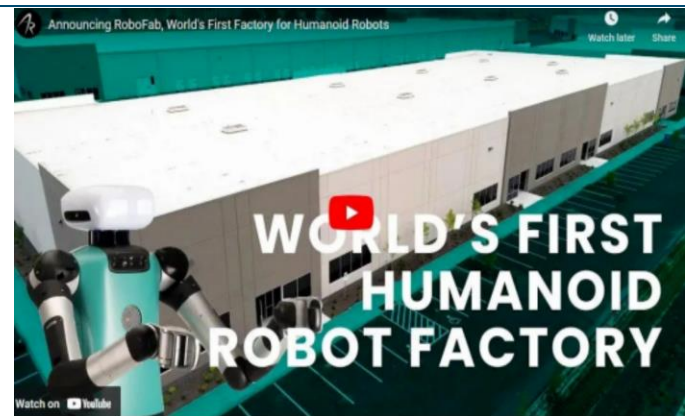
打造全球首座人形机器人工厂, Digit 量产加速。根据 Agility 官网, Agility 从 22 年开始建设 RoboFab 机器人制造工厂, 该工厂占地 70000 平方英尺, 预计 23 年底投产。Agility 规划第一年产能为数百台 Digit 机器人, 未来年产能将拓展至 10000+ 台。随着新工厂建成投产, Agility 预计 24 年交付第一批 Digit, 25 年将全面上市。

图表41: Digit 帮助亚马逊员工拾取和移动空手提箱



来源: Agility Robotics 官网, 国金证券研究所

图表42: Agility 机器人制造工厂



来源: 维科网机器人, 国金证券研究所

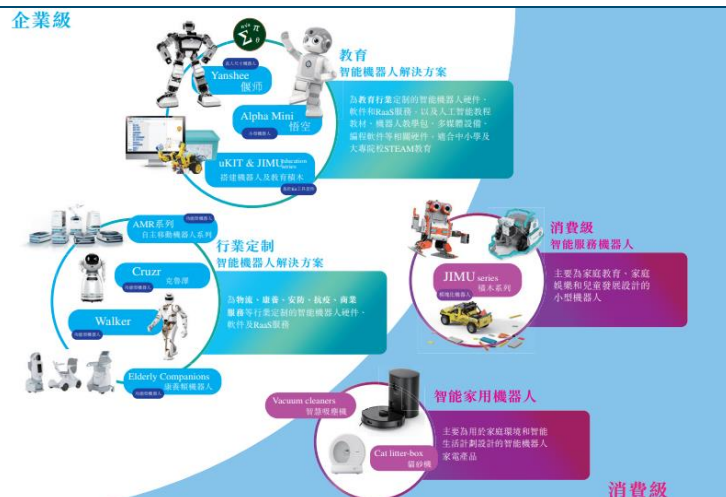
2.国内人形机器人产品梳理

2.1 优必选: 我国首家人形机器人商业化企业, 教育智能机器人行业领军者

优必选成立于 12 年, 从人形机器人的核心源动力伺服舵机研发起步, 逐步推出了消费级人形机器人、教育智能编程机器人、商用服务机器人、智能巡检机器人等产品。18 年优必选推出大型机器人 Walker, 成为中国首家实现人形机器人商业化的企业。根据弗若斯特沙利文, 在我国教育智能机器人领域, 优必选 22 年市占率 22.5%, 位居国内第一; 在我国智能服务机器人领域, 优必选 22 年市占率 2.8%, 位居国内第三。



图表43：优必选机器人产品种类丰富



来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

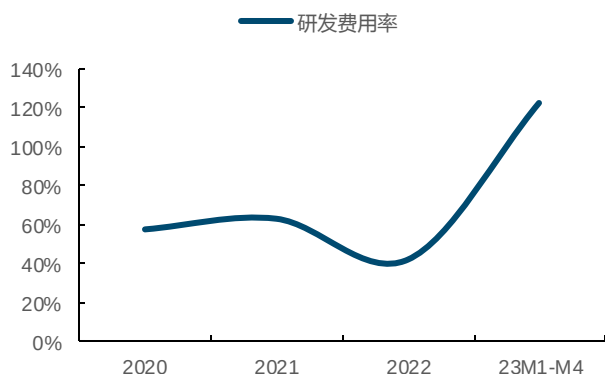
图表44：优必选成立以来已成功开发多款人形机器人产品

时间	事件
2012 年	优必选成立并开始研发、设计机器人
2014 年	成功开发并生产首款小型人形机器人 Alpha 机器人
2015 年	Alpha 机器人在中国国际高新技术成果交易会上展示
2016 年	540 台 Alpha 机器人在央视春节联欢晚会上同时登台表演
2018 年	开发出第一代 Walker 机器人，实现了中国双足机器人行走能力的突破
2019 年	推出第二代 Walker 机器人，实现更高的行走速度及自由移动
	6 台 Walker 机器人于春节联欢晚会上表演
2021 年	开发了新一代 Walker 机器人，Walker X
	熊猫机器人悠悠全球首发，上岗迪拜世博会中国馆
2022 年	悟空机器人在北京冬奥会开幕式上进行表演

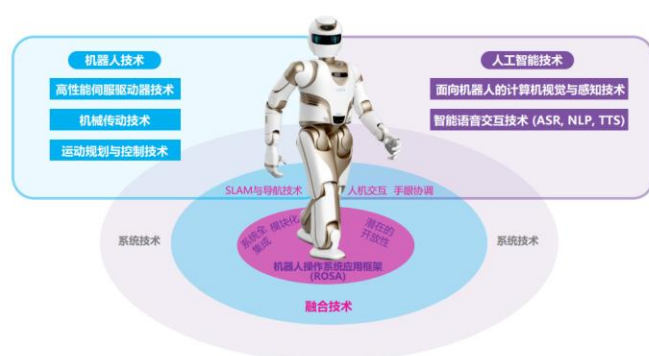
来源：优必选官网，优必选招股说明书，国金证券研究所

优必选重视研发，已布局机器人领域核心技术。根据优必选招股说明书，20-22 年优必选研发费用率分别为 57.9%、63.3%、42.5%，维持在 40% 以上。23M1-M4，优必选研发投入 1.61 亿元，研发费用率高达 122.1%。优必选目前重点布局的技术包括机器人技术（机器人运动规划和控制技术以及伺服驱动器）、人工智能技术（计算机视觉及语音交互技术）、机器人与人工智能融合技术（SLAM 及自主技术、视觉伺服操作及人机交互），并通过专有的机器人软件框架——机器人操作系统应用框架（ROSA）实现功能及控制。

图表45：20 年以来，优必选研发费用率保持在 40% 以上



图表46：优必选科技自主研发关键核心技术



来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

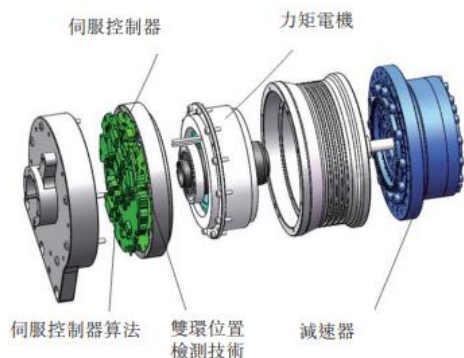


优必选在机器人领域拥有两大核心技术：伺服驱动器、运动规划和控制技术：

■ 伺服驱动器

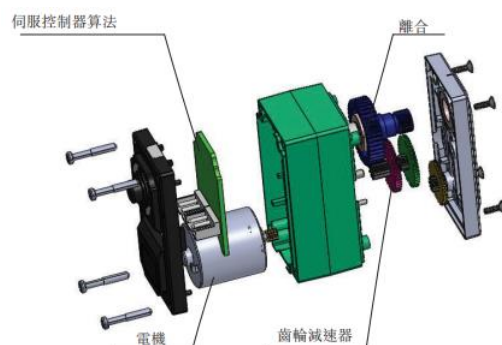
优必选伺服驱动器技术领先，0.2-200N·m 扭矩领域实现量产。伺服驱动器一机器人关节是开发机器人控制和运动能力的关键硬件。根据优必选招股说明书援引弗若斯特沙利文信息，优必选是全球少数将集成多个伺服驱动器为关节的服务机器人商业化的公司之一，是全球少数实现多系列伺服驱动器量产及实际应用的公司之一，也是全球少数完成小扭矩到大扭矩（扭矩从 0.2N·m 到 200N·m）伺服驱动器批量生产的公司之一。凭借伺服驱动器的领先优势，优必选人形机器人的运动更加精准，产品自由度最高达 41 个，可顺利抓取不同形状和大小的物体。

图表47：优必选大扭矩伺服驱动器



来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

图表48：优必选中小扭矩伺服驱动器



来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

■ 运动规划和控制技术

机器人运动规划和控制是指实时控制及管理机械移动部件的位置、速度及力量，以实现根据预期运动轨迹及特定运动参数进行运动，是人形机器人的核心关键技术。优必选在该领域布局的技术包括步态规划和控制算法、稳定控制算法和柔性控制算法。

- 步态规划和控制算法：优必选步态规划和控制算法可实现步态规划及平衡控制，实现机器人的正常行走。步态规划帮助机器人实现行走、上下楼梯、跳跃等功能的规划；平衡控制使机器人能够在复杂的表面上行走，防止潜在的干扰，提高机器人步行的稳定性、稳健性及环境自我适应能力。

图表49：优必选的步态规划和控制算法技术助力机器人实现稳定行走



上下楼梯



踢球



稳定行走

来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

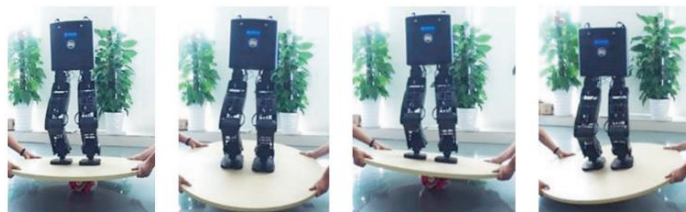
- 稳定控制算法：优必选将稳定控制算法应用人形机器人中，使机器人实现稳定控制能力：1) 倾倒恢复能力：受到外力影响时，优必选机器人可在移动过程中纠正步伐频率及落脚点，提升行走稳定性。2) 单腿平衡能力：通过单腿平衡能力，优必选机器人不会被轻易推倒，稳定性强且能完成一系列不同的动作。3) 动态平衡能力：优必选采用了力位混合控制算法，使机器人能够在不稳定的坡地及地面上保持平衡。



图表50：优必选机器人拥有稳定的控制能力



图表51：优必选机器人拥有较强的动态平衡能力



来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

- 柔性控制算法：优必选已开发出自有的柔性控制算法（结合远程操作与双臂力控技术），以实现灵活安全的人机交互。

图表52：优必选服务机器人可以实现与人类的安全交互



来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

优必选的人形机器人产品根据体型分为两类：1) 大型人形机器人，包括 Walker 系列（Walker、Walker2、Walker X）、熊猫机器人优悠等；2) 小型人形机器人，包括悟空、Alpha Ebot 等机器人产品。

■ 大型人形机器人产品

➤ Walker 系列（Walker、Walker2、Walker X）

优必选 Walker 机器人最早于 16 年推出原型机，原型机具备全向行走功能，但速度较慢，仅为 1.0km/h。18 年，优必选正式推出第一代 Walker 机器人，该机器人拥有 14 个自由度，行走速度达 1.5km/h，具备了上下楼梯、踢球、舞蹈、感知避障、人机交互等功能。根据优必选招股说明书，该机器人系中国首款商业化的双足真人尺寸人形机器人。

19 年优必选推出第二代 Walker，产品增加了灵活的双臂和灵巧的双手，结合机器视觉能力，可以实现手眼协调抓取。同时，也引入了语音交互，机器人可以与人沟通交流。除了进一步优化运动控制算法，还集成了更多的传感器，让机器人获得了感知功能，可以识别周围的环境和地形，实现自主导航行走。运动和平衡能力也得到了更多突破，即使受到外部冲击，也能自己调整平衡。

21 年优必选在世界人工智能大会发布新一代 Walker X，该机器人身高 130 厘米，体重 63 公斤，拥有 41 个高性能伺服关节构成的灵巧四肢，并搭载了多维力觉、多目立体视觉、全向听觉和惯性、测距等全方位的感知系统，行走速度提升到 3km/h。根据优必选微信公众号，Walker X 是全球首个能够量产交付的人形机器人，22 年成功出口到沙特 NEOM 新未来城，成为第一代大型人形机器人市民，提供智能化服务。



图表53: 16-21 年, 优必选 Walker 人形机器人历经 4 次迭代



来源: 机器之心, 国金证券研究所

► 熊猫机器人悠悠

熊猫机器人悠悠身高 1.30 米, 体重 63 公斤, 是优必选以大熊猫的形象为设计原型, 在人形机器人 Walker X 的基础上, 为迪拜世博会中国馆专属定制, 并于 21 年在世界机器人大会全球首发。其主要功能如下:

- ✓ 导览讲解: 熊猫机器人悠悠融合文字、语音、视觉、动作、环境等多模态交互方式进行人机交互, 可模拟人的表达特征进行导览讲解。
- ✓ 舞蹈表演: 熊猫机器人悠悠具备 41 个高性能伺服关节构成的灵巧四肢, 展示其丰富的灵活度和自由度, 同时可以实现多台机器人同步舞蹈表演。
- ✓ 写字画画: 熊猫机器人悠悠具备高性能的伺服关节, 通过对字形的在线轨迹规划, 高精度的轨迹跟踪以及力位混合控制, 可以很好地实现书画任务。

图表54: 悠悠具备人机交互功能, 可进行导览讲解



来源: 优必选官网, 国金证券研究所

图表55: 悠悠具备 41 个伺服关节, 可完成书画任务



来源: 优必选官网, 国金证券研究所

■ 小型人形机器人产品

优必选人形机器人产品在我国教育机器人领域处于领先地位, 代表产品包括悟空机器人、Alpha Ebot、人形 Yanshee 偃师机器人等。优必选教育机器人产品采用了计算机视觉、语音交互、伺服驱动器等技术, 融合了机器人教学包、编程软件等人工智能教育课程, 并向客户提供 AI 智慧教育平台、AI 教育软件工具、uPython 等各种软件及配套服务。

图表56: 优必选教育机器人产品提供人工智能教育课程, 以及相关软件及配套服务

分类	内容
产品	悟空机器人、人形 Yanshee 偃师机器人、Alpha Ebot
应用场景	培养 K-12 学生对机器人及人工智能学科的理解及兴趣



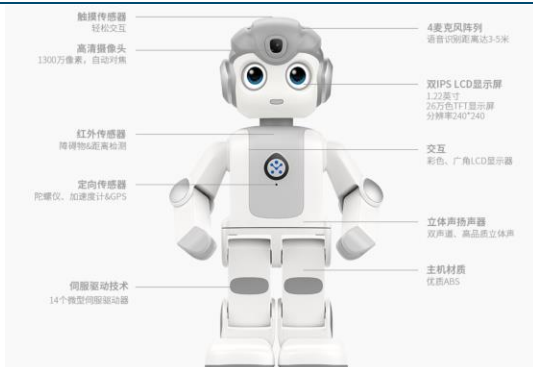
分类	内容
	在高等职业课程及大学培养技术人才，以满足机器人及人工智能相关数字化产业中要求应用技术的职业及职位的技术能力要求
核心技术	计算机视觉、语音交互、伺服驱动器及机器人运动控制及规划
软件及配套服务	AI 教育课程、AI 智慧教育平台（教师可在该平台定制人工智能教育课程，有效教学并监控学习进度）、AI 教育软件工具，包括 uCode—为 7 岁至 14 岁学生设计的可视化图形块编程工具、uPython—为 Python 机器人初学者设计的编程工具

来源：优必选招股说明书，国金证券研究所

➤ 悟空机器人

悟空机器人分为教育用和非教育用两种。1) 人形 Alpha Mini 悟空（教育）于 19 年推出，主要应用于教育及康养领域。悟空（教育）支持 UCode、人工智能编程及教学模式，可以为校内外学生提供机器人、编程及人工智能教育服务，以及为不同阶段和群体的学生设计的人工智能课程。2) 人形 Alpha Mini 悟空（非教育）于 16 年推出，主要用于家庭娱乐。与悟空（教育）类似，悟空（非教育）也能拍照、视频监控、打电话、唱歌跳舞等，并具有感知周围环境及人类并做出相应反应的能力。

图表57：悟空机器人高 24.5cm，为便携式机器人



来源：优必选官网，国金证券研究所

图表58：悟空机器人拥有图形化编程能力



来源：优必选官网，国金证券研究所

➤ Alpha Ebot 人形机器人

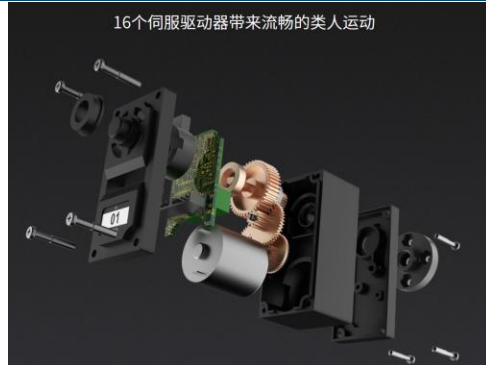
Alpha Ebot 为优必选联合腾讯推出的智能教育人形机器人，内含 16 自主研发的伺服舵机，内置 MCU，包含伺服控制系统、传感反馈系统及直流驱动系统。舵机间的时间差控制在 0.01s 内，支持 360° 旋转运动，动作精度达 1°。此外，优必选与编程猫合作针对 Alpha Ebot 开发了一套由浅及深的编程课程体系，由机器人原理开始，再接触简单的动作编辑和图形化编程，最终学会 Python 语言的脚本编程。

图表59：优必选 Alpha Ebot 机器人外观



来源：优必选官网，国金证券研究所

图表60：优必选 Alpha Ebot 搭载 16 个伺服电机



来源：优必选官网，国金证券研究所

➤ 人形 Yanshee 偃师机器人

Yanshee 偃师机器人于 18 年推出，是优必选为高中、大学和职业院校人工智能课堂及实验室开发的开源教育机器人。Yanshee 机器人拥有 17 个自由度，内置 800 万像素摄像头、陀螺仪及多种通信模块，配套 C/C++、Python 及 Java 等多种编程语言，支持多种 AI 应用



的设计学习。通过人形 Yanshee 偃师，学生可以通过编程及机器人运动编程了解人工智能的原理和应用以及机器人的基础知识。

图表61：优必选人形 Yanshee 偃师机器人外观



来源：优必选官网，国金证券研究所

图表62：Yanshee 机器人支持多种 AI 应用的设计学习



来源：优必选官网，国金证券研究所

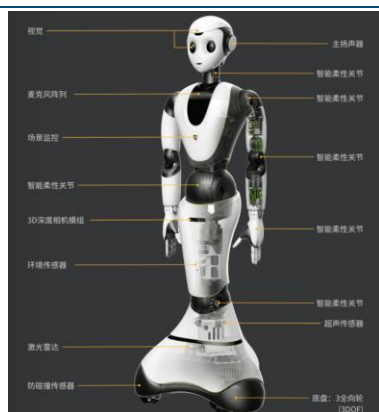
2.2 达闼机器人：拥有云端机器人系列产品，主打商业+生活服务

达闼成立于 15 年，主要产品包括云端智能架构、人形服务云端机器人、功能型云端机器人、通用人工智能平台等。达闼公司拥有云端机器人（云脑+安全网+机器人）全栈技术解决方案，并成功实现云端机器人的商业化。在人形机器人领域，达闼推出了 Ginger 1、Ginger 2、小紫 XR4 等产品，主要应用于酒店、学校、商超、产业园区等生活场景。

■ Ginger 1

Ginger 1 于 19 年世界移动通信大会推出，是由达闼自主研发，拥有高精度视觉引导、柔性抓取和操控能力的云端智能机器人。Ginger 1 拥有 34 个自由度的柔性关节，遍布颈、肩、肘、腕、手、腰、膝、底盘，可以实现智能抓取、自主行走、自动避障、自动平衡等功能。此外，Ginger 1.0 搭载多个 2D/3D 相机、激光雷达、超声传感、IMU、力传感、麦阵等，可实现多层立体感知。主要应用于迎宾导览、商业促销、节目表演、教育科研、养老陪护等领域，目前京东零售价为 69.8 万元。

图表63：人形机器人 Ginger 1 外观



来源：达闼公司官网，国金证券研究所

图表64：Ginger 1 可用于养老陪护、迎宾导览等领域



来源：达闼公司官网，国金证券研究所

■ Ginger 2

Ginger 2 于 22 年世界人工智能大会推出，身高 160cm，体重 89kg，灵巧手 7 自由度，能负重 5 公斤，续航时间超 24 小时。相比第一代机器人，Ginger 2 将柔性关节从 34 个增加至 41 个，采用了新一代智能柔性关节-SCA 2.0 技术和多种传感器，依托视觉传感、灵巧手和 AI 算法，可实现高精度智能抓取。Ginger 2 具备视觉和激光定位导航能力，可实现精准定位和自主行走。此外，Ginger 2 全身多处硬件扩展接口，可实现各种外设工具操控能力。目前 Ginger 2 主要应用于康养陪护、迎宾导览、教育科研、直播卖货、商场促销、清洁打扫、教育科研等领域。

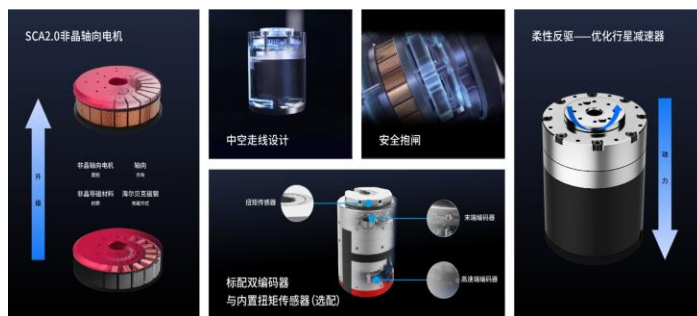


图表65: 人形机器人 Ginger 2 外观



来源: 达闼公司官网, 国金证券研究所

图表66: Ginger 2 搭载智能柔性关节 2.0 技术



来源: 达闼公司官网, 国金证券研究所

■ “七仙女”小紫-XR4

60+柔性关节、600N·m 扭矩, 小紫 XR-4 运动性能较强。23 年 8 月, 达闼在世界机器人大会展出机器人新品“七仙女”小紫 XR-4。XR4 身高 165cm, 体重 65kg, 全身采用轻质高强度的碳纤维复合材料, 拥有 60+个智能柔性关节, 采用并联驱动结构和高扭矩密度电机, 单腿峰值扭矩高达 600N·m, 可以高灵敏高动态运动, 提升了机器人的整体性能, 并降低了重量, 能够胜任更加广泛的服务场景。

大模型赋能+自主智能训练, 小紫 XR-4 智能性强。小紫 XR-4 支持实时接入达闼云端大脑, 通过多模态大模型 RobotGPT 赋能, 具备多模态融合感知、认知、决策和行为生成能力, 从而实现高性能的具身智能, 能够以接近人类智慧的能力开展工作。此外, 小紫 XR-4 基于数字孪生的深度强化学习完成自主智能训练, 可以生成机器人多种步态和动作, 实现平衡站立、优美步态、灵巧双臂和双手操作。

图表67: 23 年 8 月达闼在世界机器人大会上展出人形机器人新品小紫 XR-4



来源: 达闼微信公众号, 国金证券研究所

2.3 傅利叶智能: GR-1 搭载一体化 FSA 执行器, 23 年 9 月预售、商业化进展领先

通用机器人企业, 商业化进展行业领先。傅利叶智能成立于 15 年, 是一家通用机器人平台型企业。傅利叶智能自创立伊始, 坚持聚焦通用机器人底层技术, 不断攻克核心零部件(执行、感知)能力瓶颈, 并自建高技术密度、医疗级机器人产品量产交付能力。傅利叶智能也已将机器人技术在医疗康复场景实现规模化应用, 通过“智能康复港”产品矩阵, 累计为全球超过 40 个国家和地区的 2000 多家客户提供高性能康复机器人及综合性解决方案。23 年 7 月, 傅利叶智能发布首款通用双足机器人产品 GR-1, 并于 9 月开启预售, 商业化进展行业领先。

图表68: 傅利叶智能发展历程

时间	事件
2015 年	傅利叶智能成立
2016 年	上肢康复机器人 M2 发布
2017 年	国内首款商业化下肢外骨骼机器人发布, 探索人形机器人雏形

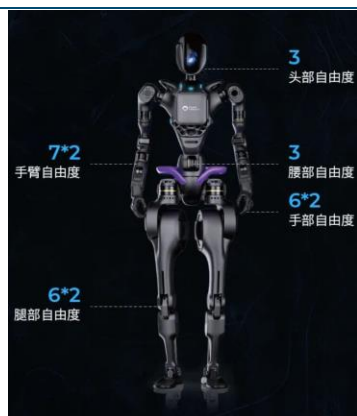


时间	事件
2018 年	在康复行业率先落地
2019 年	通用人形机器人项目启动
2020 年	智能康复港解决方案发布
2021 年	入驻超过 1000 家医疗机构，实现康复商业化
2022 年	人形机器人第一代样机推出，康复机器人进入 2000 多家医疗机构
2023 年	通用人形机器人 GR-1 发布

来源：傅利叶智能微信公众号，国金证券研究所

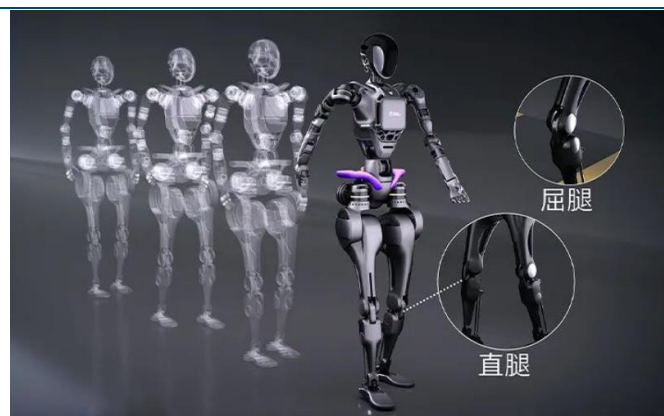
GR-1：高度仿生躯干构型，运动能力较强。GR-1 身高 165cm，体重 55kg，全身自由度 44 个，步速可达 5km/h，负荷可达 50kg。GR-1 采用直腿行走方案，模拟人类直膝行走的自然步态，有效增加步长降低步行功耗，提升步行效率。GR-1 运动能力较强，具备快速行走、敏捷避障、稳健上下坡、抗冲击干扰等功能，在工业、康复、居家、科研等多种应用场景中的潜能巨大。

图表69：傅利叶智能 GR-1 全身 44 个自由度



来源：傅利叶智能微信公众号，国金证券研究所

图表70：傅利叶智能 GR-1 采用直腿行走方案



来源：傅利叶智能微信公众号，国金证券研究所

图表71：傅利叶智能 GR-1 拥有较强的运动能力



来源：傅利叶智能官网，国金证券研究所

全栈底层硬件自研，FSA 执行器赋予高效执行能力。傅利叶智能在人形机器人多年研发过程中积累了传感器、一体化执行器、模块化设计、机械仿生结构等底层技术，并在执行器关节领域具备领先优势。执行器决定机器人在执行动作和任务时的力量、稳定性、负载适应能力以及安全性和可靠性。GR-1 采用电机驱动方案，使用自主研发的 FSA 高性能一体化执行器，集成电机、驱动器、减速器及编码器于一体，最大关节模组峰值扭矩达 300NM，在相同自重下动力更强，机身更灵巧，续航更持久。

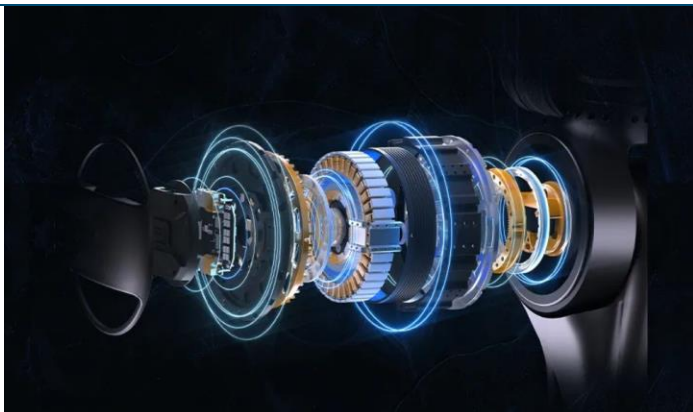


图表72：傅利叶智能 GR-1 全栈底层硬件自研



来源：傅利叶智能微信公众号，国金证券研究所

图表73：傅利叶智能 GR-1 采用自研的 FSA 执行器



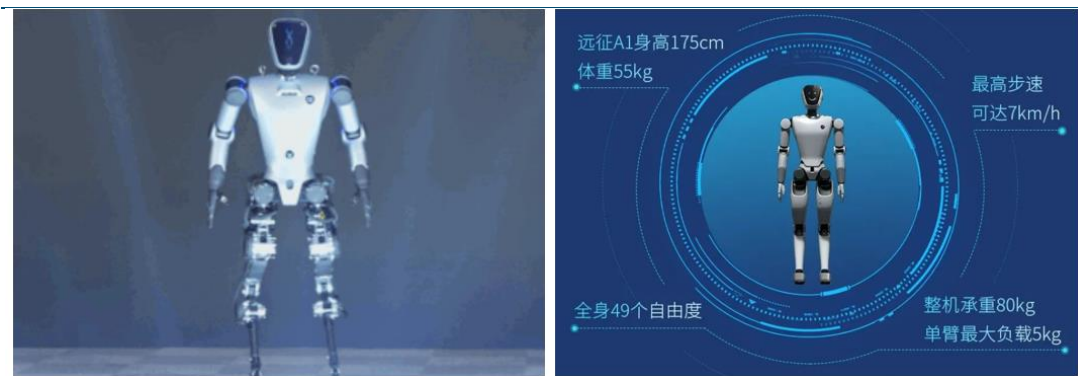
来源：傅利叶智能微信公众号，国金证券研究所

9 月开启预售，未来 1-2 年量产交付。根据傅利叶智能微信公众号，GR-1 于 23 年 9 月 26 日开启预售。公司计划在未来一两年内实现量产交付，三年左右让机器人能够灵巧地完成通用任务，五至十年内实现机器人真正走入普通人的家庭。

2.4 智元机器人：推出远征 A1 人形机器人，加速商业化应用落地

机器人创业公司，人形机器人研发迅速。智元机器人成立于 23 年 2 月，创始团队包括“稚晖君”彭志辉等业内资深人士，具有较强的技术背景和产业资源。23 年 8 月，智元发布远征 A1 人形机器人。远征 A1 是智元的第一代通用型具身智能机器人，机器人身高 175cm，体重 55kg，步行速度可达 7km/h，整机承重 80kg，单臂最大负载 5kg。

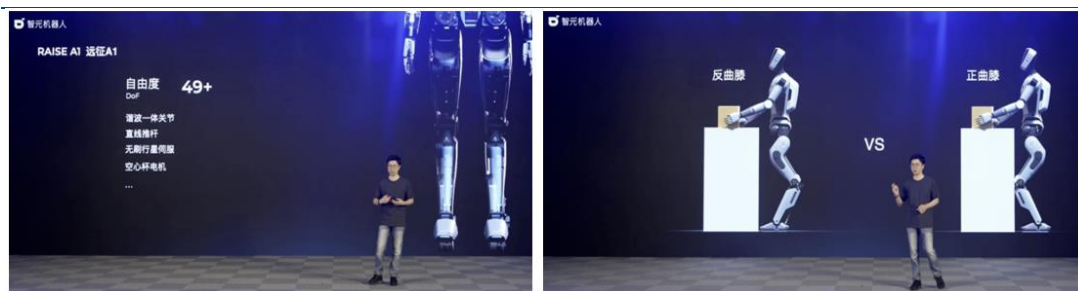
图表74：23 年 8 月，智元发布远征 A1 人形机器人



来源：智元机器人微信公众号，国金证券研究所

- **硬件设计方面**，远征 A1 全身共有 49 个自由度，搭载了谐波一体关节、直线推杆、无刷行星伺服、空心杯电机等各类执行器。机器人在膝盖设计上采用了反关节设计，膝盖向后弯曲可以拥有更大的空间，以应对更多的任务场景。

图表75：A1 全身 49 个自由度，搭载谐波一体关节、行星伺服、空心杯电机等执行器



来源：智元机器人官网，国金证券研究所

- **关节电机方面**，智元自研的 PowerFlow 关节电机使用了准直驱关节方案，实现了低齿槽转矩设计，搭配 10 速比以内的高力矩透明度行星减速器、共扼同轴双编码器、一体液冷循环散热系统，以及自研的矢量控制驱动器，峰值扭矩超过 350N·M，而重量仅为 1.6KG。PowerFlow 关节电机的液冷循环散热系统，可以有效将电机内部产生的



热量通过液体传导到外部的散热器，从而降低电机的温度和阻抗，提高电机的效率和稳定性，以便在更高功率密度和扭矩下运行。

- **灵巧手方面：**远征 A1 的 SkillHand 拥有 12 个主动自由度和 5 个被动自由度，所有驱动器内置，并集成了基于视觉的指尖传感器，可以分辨操作物的颜色、形状、材质。此外，SkillHand 可以基于算法的数据融合，做到近似触觉的压力传感器的效果。同时，通过创新的指尖传感器视觉闭环的设计，降低了对于整机电机的精度需求。

图表76：智元 PowerFlow 关节电机使用准直驱关节方案

图表77：远征 A1 灵巧手拥有 12 个主动+5 个被动自由度



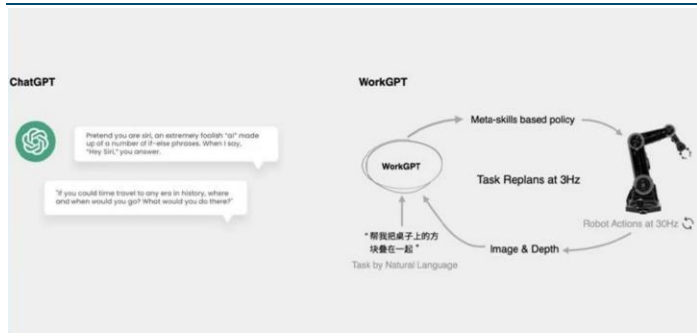
来源：智元机器人微信公众号，国金证券研究所

来源：智元机器人微信公众号，国金证券研究所

- **语言任务模型方面：**不同于传统 AI 技术，智元的 WorkGPT 应用了语言和图像大模型庞大的先验知识库和强大的通识理解能力，实现了复杂的语义多级推理能力。
- **具身智脑架构方面，**智元在具身智脑 EI-Brain 架构中，把机器人的思维系统分为部署在云端的超脑，端侧的大脑、小脑以及脑干，分别对应机器人任务级、技能级、指令级以及伺服级的能力。大脑负责抽象思考、多级推理，小脑负责运动控制方面的指令生成，脑干负责电机控制、伺服等硬件底层任务。

图表78：远征 A1 的语言任务模型 WorkGPT 实现了更强的语义多级推理能力

图表79：远征 A1 具身智脑 EI-Brain 架构图



来源：智元机器人微信公众号，国金证券研究所

来源：智元机器人微信公众号，国金证券研究所

计划 24 年落地，优先应用于工业智造。远征 A1 计划 24 年商业化落地，先应用于 3C 制造，汽车制造等工业智造领域，随后逐步走向家庭，协助工人、科研人员和家庭成员完成各种任务。根据智元机器人微信公众号，目前智元机器人已推进与多家制造业头部企业对接，将远征 A1 应用于各种实际场景，未来将推广至更多领域。



图表80：远征 A1 计划 24 年商业落地，未来将应用于工业智造、家庭服务领域



来源：智元机器人微信公众号，国金证券研究所

2.5 宇树科技：Unitree H1——国内首台能跑的通用机器人，预计 4Q23 发货

四足机器人领导者，切入人形机器人领域。宇树科技成立于 16 年，是我国四足机器人领域领先企业。创始人王兴兴在硕士期间便独立开发了使用低成本外转子无刷电机驱动的全自由度高性能四足机器人 XDog。16-23 年，宇树在四足机器人领域不断进行产品迭代，其中，21 年发布的四足机器人 Go1 最高奔跑速度可 17Km/h，打破了近似规格四足机器人最快奔跑世界纪录。23 年 8 月，宇树发布首款人形机器人 H1，顺利切入人形机器人领域。

图表81：宇树科技发展历程

时间	事件
2013-2016 年	在硕士期间，现任宇树科技 CEO 王兴兴独立开发了使用低成本外转子无刷电机驱动的全自由度高性能四足机器人 Xdog
2016 年	王兴兴从大疆辞职，创立宇树科技
2017 年	重构的四足机器人 Laikago 问世，独立研发了电机、电机驱动及主控、整机机械结构及全新重构的控制系统
2019 年	发布 Aliengo 四足机器人，采用了全新设计的动力系统，更轻量集成，一体化机身设计，在同类产品中达到世界先进水平
2020 年	在美国拉斯维加斯 CES 发布四足机器人 A1，最大持续室外奔跑速度可达 3.3m/s，是国内近似规格奔跑速度最快、最稳定的中小型四足机器人
2021 年	发布伴随仿生机器人 Go1，最高奔跑速度 4.7m/s(17Km/h)，打破了近似规格四足机器人最快奔跑世界纪录
2023 年	发布首款通用机器人 H1，被誉为国内第一台能跑的全尺寸通用机器人，具备全球近似规格最高动力性能

来源：宇树科技官网，国金证券研究所

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

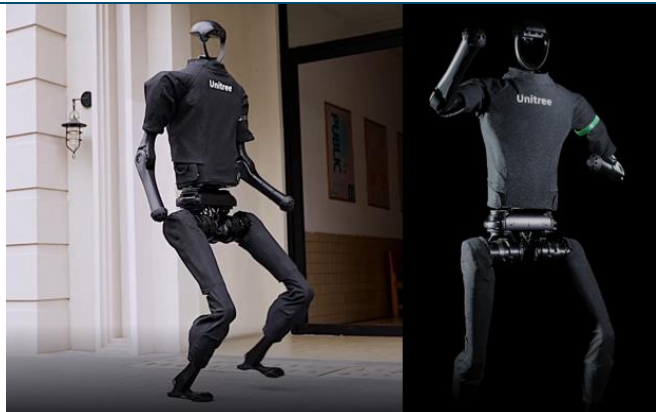


图表82: 宇树 H1 搭载大扭矩高功率 M107 关节电机

Unitree M107关节电机			
超强动力性能，显著提升运动灵活性、速度、负载能力、续航等等			
		Tesla-1	Tesla-2
产品	M107	Tesla-1	Tesla-2
最大扭矩或拉力 (5.5cm 力臂等效)	360N.m	180N.m	8000N
重量	1.9kg	2.26kg	2.2kg
扭矩或拉力 / 重量比	189	79	3636
中空轴径	5263		
中空轴径	有	无	无
双编码器	有	有	有
尺寸 (mm)	107*74	100*130	60*180

来源: 宇树科技官网, 国金证券研究所

图表83: 宇树 H1 是国内第一台能跑的人形机器人



来源: 宇树科技官网, 国金证券研究所

运动控制算法稳定, 抗冲击能力较强。H1 人形机器人的行走和平衡均通过自主计算完成, 在受到外部冲击后, 能够快速调整姿态, 保持身体平衡。

搭载 3D 激光雷达, 实现自主避障和定位导航。H1 人形机器人配有 3D 激光雷达+深度相机, 通过全景扫描可以实时获取高精度的空间数据, 实现自主避障和定位导航功能。

图表84: 宇树 H1 具备较强的抗冲击能力



来源: 宇树科技官网, 国金证券研究所

图表85: 宇树 H1 可实现自主避障和定位导航



来源: 宇树科技官网, 国金证券研究所

预计 4Q23 左右发货, 商业化进展较快。根据宇树官网, H1 人形机器人将于 23 年第四季度左右发货, 目前处于可预订采购阶段, 商业化进展行业领先。

2.6 小米: 推出 CyberOne 人形机器人, 产品侧重人类生活服务

22 年 8 月, 小米在秋季新品发布会上推出首款全尺寸人形仿生机器人 CyberOne。该人形机器人是继 21 年小米仿生四足机器人 Cyberdog 后, 小米机器人 Cyber 家族的新成员。

其特征包括:

- 外观方面, CyberOne 身高 177cm, 体重为 52kg, 脸部没有采取拟真的精致五官路线, 而是采用一个面罩, 外层半透明材质, 内层为 OLED 与柔光特效, 搭配 2D 弯曲贴合显示模组可以实时表达机器人情绪。
- 运动能力方面, CyberOne 全身由 5 种关节驱动, 共 21 个自由度, 行走速度达 3.6km/h。上肢有小米自研的 30N·m 扭矩的高效电机, 电机重量仅为 500g, 上半身较灵活。髋关节主要电机瞬时峰值扭矩可达 300N·m, 配合自研的人形双足控制算法, 下半身行走更加平稳。此外, CyberOne 单手垂直抓握物体重量可达 1.5kg。
- 传感器方面, CyberOne 对外界信息获取来自听觉和视觉。CyberOne 搭载了小米自研的 Mi-Sense 深度视觉模组, 可以对人脸、肢体动作等外界环境进行感知, 三维重建真实世界。同时 CyberOne 通过自然语言处理算法可感知 6 类 45 种人类语义情绪, 分辨 85 种环境语义, 可以从说话的语气判断人类的心情。

综合来看, CyberOne 人形机器人具有表现突出的行动速度、抓握力、交互能力以及环境语义识别能力, CyberOne 更加侧重于面向/服务人本身。



图表86：小米人形机器人 CyberOne 全身 21 个自由度，行走速度达 3.6km/h



来源：小米公司微信公众号，国金证券研究所

图表87：小米人形机器人 CyberOne 视觉敏锐，可以三维重建真实世界



来源：小米公司微信公众号，国金证券研究所

2.7 科大讯飞：推出具身智能人形机器人，讯飞超脑 2030 计划加速

国内智能语音和人工智能企业，大模型升级迭代加速。科大讯飞成立于 99 年，主要从事智能语音、自然语言理解、计算机视觉等核心技术研究，并积极推动人工智能产品和行业应用落地。基于人工智能技术的长期积累，科大讯飞于 23 年 5 月发布星火认知大模型 V1.0；6 月升级星火认知大模型 V1.5 版本，开放问答取得突破，逻辑推理、数学、多轮对话能力升级。8 月发布 V2.0 突破了代码能力，多模态交互再升级。10 月发布讯飞星火 V3.0，对标 ChatGPT-3.5 实现中文超越、英文相当，星火大模型迭代加速。

22 年启动讯飞超脑 2030 计划，目标让人工智能懂知识、善学习、能进化，让机器人走进每个家庭。科大讯飞超脑 2030 计划分为三级阶段：1) 22-23 年：让软硬一体机器人发展为外骨骼机器人，做宠物型的机器智能硬件，要具备理解人多模态的认知能力，以陪伴为概念且可养成。2) 23-25 年：让外骨骼机器人进入生活，未来十年每个家庭都将有一个机器人，并发布陪伴虚拟人家族，可以陪伴老人，有温度的进行情感化交流。3) 25-30 年：



让懂知识、会学习的陪伴机器人进入家庭，且数字虚拟人能够自我学习和进化。

图表88：科大讯飞“讯飞超脑2030”计划内容



来源：科大讯飞微信公众号，国金证券研究所

推出具身智能人形机器人，讯飞超脑2030计划加速。23年10月，科大讯飞在全球1024开发者节上，利用大模型认知能力的提升，将认知大模型具身智能和运动智能整合，推出具身智能人形机器人，加速讯飞超脑2030进程。

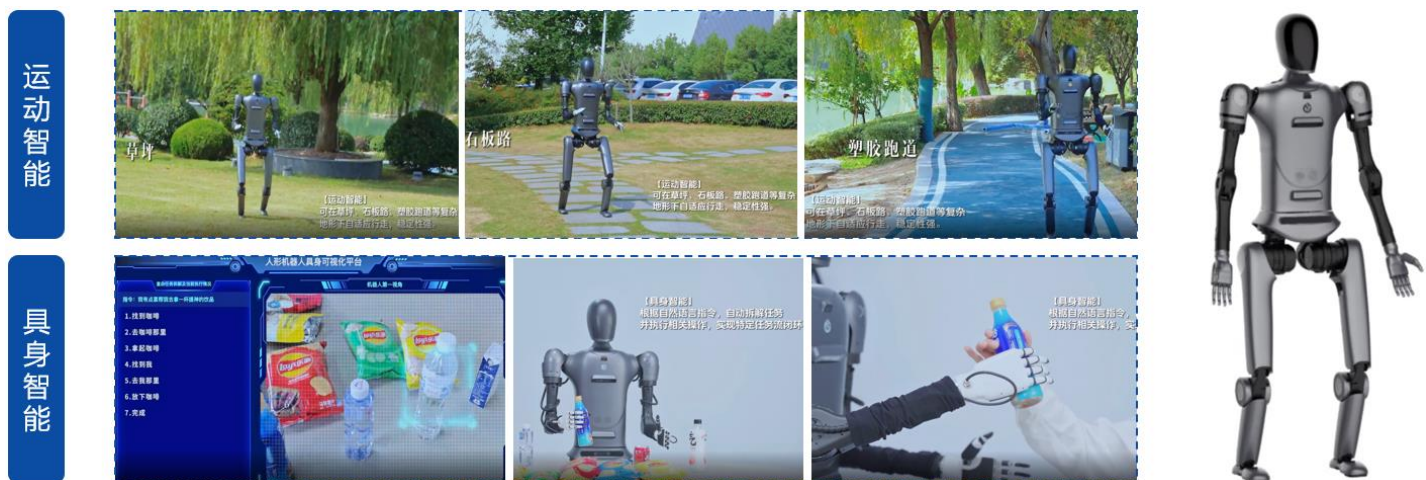
图表89：科大讯飞以人形机器人为牵引，推进“视觉-语言-动作”多模态具身大模型



来源：科大讯飞微信公众号，国金证券研究所

科大讯飞人形机器人实现运动智能和具身智能。1) 运动智能：科大讯飞机器人可以在草坪、石板路、塑胶跑道等复杂地形下自适应行走，稳定性强。2) 具身智能：科大讯飞机器人根据自然语言指令，可以自动拆解任务并执行相关操作，实现特定任务流闭环。

图表90：科大讯飞人形机器人可实现运动智能和具身智能



来源：科大讯飞微信公众号，国金证券研究所



2.8 小鹏汽车：发布首款人形机器人 PX5，高效拟人步态

23 年 10 月，小鹏汽车在科技日上发布了首款人形机器人 PX5。

采用“直腿”行走方案，平衡能力较强。PX5 采用了“直腿”、大跨步的行走方式，步态更加自然、拟人，且更加节能，续航里程相比屈膝行走提高一倍。除了平地行走外，PX5 能够轻松适应草地、碎石等多种复杂地形，对于前后向、侧向冲击，均具有较好的抗冲击能力。此外，PX5 还能够踢足球、骑平衡车，平衡能力较强。

图表91：小鹏发布首款人形机器人 PX5



来源：小鹏汽车微信公众号，国金证券研究所

图表92：PX5（工程版）能够轻松适应复杂地形



来源：小鹏汽车微信公众号，国金证券研究所

机械臂高负载+11 自由度灵巧手，精细抓取能力较强。1) 机械臂方面，PX5 手臂部分具备 7 自由度，重复定位精度为 0.05mm，单臂最大负载 (3kg)/机械臂自重 (5Kg 自重)，负载自重比超 0.6，最大末端线速度 1m/s。2) 灵巧手方面，PX5 单手有 11 个自由度，双指保持力达 1kg，采用刚柔混合驱动方案，提供对不同形状物体的抓取包覆姿态。此外，PX5 实现了驱控一体，单手仅重 430g，具备末端触觉感知能力。超轻重量、高负载重量比的机械臂+11 自由度的灵巧手，使 PX5 可以顺利完成柔顺抓取、搬运操作。

图表93：PX5 具有较强的精细抓取能力



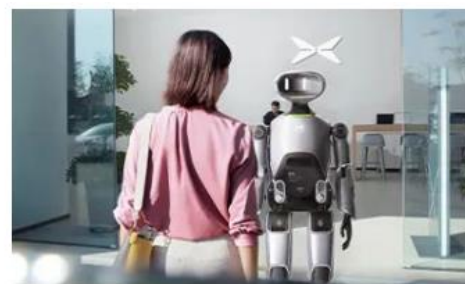
来源：小鹏汽车微信公众号，国金证券研究所

未来规划：根据小鹏汽车微信公众号，目前小鹏人形机器人项目仍处于早期，PX5 计划未来将优先在小鹏的工厂和销售场景进行实地应用，通过迭代升级，不断提升稳定可靠性。

图表94：小鹏人形机器人计划未来将优先在小鹏工厂和销售场景实地应用



工业生产



销售服务

来源：小鹏汽车微信公众号，国金证券研究所



2.9 追觅科技：扫地机器人技术复用，切入人形机器人领域

依托电机+算法技术，顺利切入人形机器人领域。追觅科技成立于17年，主营业务为扫地机器人、吸尘器、洗地机等家电产品。追觅在成立之初便专注研发高速数字马达技术，是全球第一家高速数字马达突破18万转/分钟的公司，储备了20万转/分钟的技术能力。同时追觅重视机器人算法研究，并在扫地机器人领域多次迭代。凭借前期在扫地机领域的电机和算法基础，追觅顺利切入机器人领域，并推出多款四足机器人产品。23年8月追觅在世界机器人大会推出通用人形机器人。

图表95：追觅科技机器人研发历程

时间	事件
2021年10月	追觅第一代四足机器人完成研发
2023年1月	追觅工业级四足机器人完成研发，主要面向B端市场
2023年3月	追觅通用人形机器人和具有15个自由度的Dream Dog在追觅首场发布会上亮相
2023年7月	追觅通用人形机器人已经可以脱离实验室环境，在室内室外场景中展示招手互动、行走等动作行为；在经历了重力拍打、拳击之后，仍能稳定行走
2023年8月	世界人工智能大会上推出通用人形机器人

来源：追觅科技微信公众号，国金证券研究所

- **伺服电机：**追觅科技具有伺服电机的设计生产能力。追觅自研伺服电机内含60+个零件，集成了电机、驱动器、减速器及双编码器；其中减速器部分采用高强度铬钢，主体结构部分采用铝合金和镁合金。电机最大输出力矩可达32Nm，最大转速220RPM。具备快速响应能力，力矩带宽>1kHz，能够实现对机器人关节力度和精度的精准控制。
- **算法：**追觅科技突破SLAM、ToF激光雷达、结构光等算法技术，增强了机器人场景识别和语义理解能力。在扫地机器人领域，追觅科技拥有丰富的目标检测与识别、多传感器感知融合处理策略、导航定位及地图管理与应用经验，包括地图语义理解自动分割、航点导航等技术。在四足以及人形机器人研发过程中，追觅科技顺利实现技术复用。

图表96：追觅科技拥有伺服电机制造能力



来源：追觅科技官网，国金证券研究所

图表97：追觅科技在扫地机器人领域拥有算法技术积累



来源：追觅科技官网，国金证券研究所

灵巧手灵活度高，算法+传感器助力实现自主避障。根据追觅科技官网，追觅通用人形机器人实现了高度仿生，身高178cm，体重56kg，全身共44个自由度，其中单腿有完整的6自由度，可以完成单腿站立。凭借较高的伺服电机技术，追觅人形机器人灵巧手操作灵活，可以实现给咖啡拉花。交互方面，追觅人形机器人配备了深度相机，可以完成室内三维环境的建模，结合先进姿态控制算法+多种传感器，能够适应不同路面，实现自主避障。



图表98：追觅科技机器人家族展览



来源：追觅科技微信公众号，国金证券研究所

图表99：追觅科技人形机器人可以实现咖啡拉花



来源：追觅科技微信公众号，国金证券研究所

3.如何看人形机器人未来发展趋势？

■ 人形机器人未来驱动方案选择

“电机+减速器”是未来商业化推广首选方案。目前除波士顿动力 Atlas 采用电液混合驱动方案外，其他厂商基本均采用电机驱动。液压驱动虽然功率更大，但由于噪音大、易漏液、对污染敏感、对液压元件的精度要求高、维修难度大，导致制造成本高，商业化难度大。因此优必选、小米、特斯拉等厂商均选用性价比更高的电机驱动。此外，电机驱动虽然扭矩密度低于液压驱动，但可以搭配减速器来满足机器人的多数运动需求，同时拥有能量转化效率高、易维护、低成本、零件规整等优势。例如特斯拉 Optimus、傅利叶 GR-1、智元远征 A1、追觅通用机器人等均采用电机+减速器搭配方案。

■ 人形机器人未来应用场景

先用于工厂，未来逐步走进家庭。我们认为未来人形机器人应用场景将由 ToB 走向 ToC，第一步先面向工厂。因为工厂环境相对单纯、风险可控，并且成本和收益容易衡量和对比。在工厂里面，未来人形机器人将取代工人从事一些相对枯燥的工作，但是比传统的工业机器人更加柔性、更加通用。例如，Agility 公司人形机器人 Digit 目前已用于亚马逊工厂，帮助亚马逊仓库员工拾取和移动空手提箱等重复性工作。此外，特斯拉 Optimus、智元远征 A1、1X NEO 等机器人也均提出应用规划，未来将优先应用于工厂制造，例如从事移动搬运、零部件装配等工作，未来计划逐步走进家庭，提供清洁整理、老人陪伴等领域。

■ 人形机器人厂商未来发展方向

➢ 机器人创业公司：电机扭矩提升成重要竞争方向

驱动电机决定了人形机器人的灵活性和承载能力。从数量上看，关节电机越多，自由度越高，机器人越灵活。从质量上看，扭矩、功率密度和转速等指标影响机器人的性能，输出扭矩越大，承载能力越强。在目前已发布的电机驱动式人形机器人中，国内机器人创业公司智元和宇树的关节电机性能处于国内较高水平。其中，智元自研的 PowerFlow 关节电机采用准直驱关节方案，搭配行星减速器、共扼同轴双编码器、一体液冷循环散热系统等部件，峰值扭矩超 350Nm。宇树自研的 M107 关节电机应用在 H1 的膝关节上，峰值扭矩达到 360Nm，和特斯拉人形机器人关节电机相比，尺寸更小、更轻、动力性能更强劲。我们认为，大扭矩、高功率电机研发能力将成为未来机器人创业公司的核心竞争方向。

➢ 跨界车企：感知能力复用是首要任务

车企跨界人形机器人拥有感知系统优势，人形机器人行走及越障能力更强。例如，特斯拉 Optimus 采用与特斯拉电动车相同的全自动驾驶系统 FSD 和感知计算单元，将汽车领域的算法技术复用到机器人上，使 Optimus 能够做到感知周围环境、自主规划行动路径、直立行走并保持相对平衡等功能。小鹏人形机器人 PX-5 的感知、交互也已和汽车领域的 XNGP、XOS 技术打通，在底层的操作系统、感知能力方面实现核心技术复用，能够完成 2 小时以上的室内外行走和越障，感知识别规划能力行业领先。

➢ 互联网企业：大模型技术是布局人形机器人的突破口

我们认为大模型认知技术是国内互联网企业切入人形机器人领域的突破口，也是赋能人形机器人综合性能提升的重要因素。例如，科大讯飞将认知大模型具身智能和运动智能相结合，推出具身智能人形机器人。其机器人根据自然语言指令，可以自动拆解任务并执行相



关操作，实现特定任务流闭环。通过搭载星火大模型 3.0，其人形机器人复杂任务拆解准确率提升 95%，开放场景物体寻找成功率提升 85%，强化学习泛化抓取成功率提升 30%，强化学习仿人行走能力提升 30%，运动能耗降低 20%。

图表100：国内外主要人形机器人参数及市场推广计划对比

厂商	产品名称	发布时间	产品参数						市场推广计划
			体重	身高	步行速度	全身自由度	驱动方式	扭矩	
特斯拉	Optimus	2022年9月	73kg	173cm	最快8km/h	50（躯干28个，双手各11个）	电机驱动	20Nm-180Nm	预计2025-2027年量产
波士顿动力	atlas	2013年	80kg	150cm	5.4km/h	28Dof（臂12+颈2+腰2+腿12）	电机+液压混合驱动	Atlas的膝关节扭矩高达890Nm，髋关节扭矩达840Nm	—
1X Technologies	EVE	2022年初	86kg	186cm	14.4km/h	23Dof	—	—	已销售上百台
	NEO	未发布	30kg	167cm	4km/h（步行） 12km/h（跑）	—	—	—	—
Agility Robotics	Digit	2023年3月	<65kg	175cm	—	—	—	—	计划2024年交付第一批Digit，2025年全面上市
优必选	Walker X	2021年7月	63kg	130cm	3km/h	共41个DOF，腿12+臂14+手12+颈3	电机驱动	4.5Nm-200Nm	已量产交付沙特，未来落地节奏，先陪伴场景，再服务场景
达闼	小紫XR4	未发布	65kg	165cm	5km/h	60Dof+	电机驱动	单腿峰值扭矩高达600Nm	达闼预计在24年发布，25年量产，35年提供全球化服务
傅利叶	GR-1	2023年7月	55kg	165cm	5km/h	44Dof	电机驱动（FSA一体化电机）	最大关节模组峰值扭矩达300Nm	一两年量产交付，三年能灵巧完成通用任务，五至十年走入家庭
智元	远征 A1	2023年8月	55kg	175cm	7km/h	共49个DOF，其中手（主动12+被动5）	电机驱动（PowerFlow电机）	峰值扭矩超过350NM	计划24年商业化落地，先用于汽车、3C制造，再逐步走向家庭
宇树	Unitree H1	2023年8月	47kg	180cm	5.4km/h（潜在运动能力18km/h）	19个DOF，腿10+臂8+腰1	电机驱动（M107关节电机）	膝关节峰值扭矩360Nm，髋关节220Nm，踝关节45Nm，手臂关节75Nm	23Q4左右发货
小米	CyberOne	2022年8月	52kg	177cm	3.6km/h	21Dof	电机驱动	峰值扭矩300Nm	小米处于刚刚起步的第一阶段
小鹏汽车	PX5	2023年10月	—	150cm	—	单手11个自由度、单臂7自由度	—	—	未来将优先在小鹏的工厂和销售场景进行实地应用
追觅科技	通用人形机器人	2023年3月	56kg	178cm	—	44Dof，其中双腿12	电机驱动（一体化电机）	最大输出扭矩32Nm	2023年3月百亩机器人生产项目动工

来源：各公司官网，各公司微信公众号，机器之心，高工机器人，特斯拉 AI DAY，国金证券研究所

图表101：国内外主要人形机器人未来应用场景规划

机器人	应用场景
特斯拉 Optimus	预计 2024 年将用于特斯拉工厂，做移动搬运、零部件装配等工业级操作，之后扩展至家庭等更复杂环境中，成为通用服务机器人
1X EVE	主要应用于物流、零售和守卫巡逻领域
1X NEO	处理物流、制造、操作机械等工业任务，未来还可以提供清洁、整理家务以及为行动不便的个人提供支持、获取物品和陪伴等日常生活服务
Agility Digit	专为物流工作设计，目前主要用于搬运仓库的手提袋、包裹，未来计划应用于货物卸载、配送等场景
达闼 Ginger	迎宾导览、商业促销、节目表演、教育科研、养老陪护等领域
傅利叶 GR-1	工业、康复、居家、科研
智元远征 A1	先应用于 3C 制造，汽车制造等工业智造领域，随后逐步走向家庭，协助工人、科研人员和家庭成员完成各种任务
小鹏 PX5	优先在小鹏的工厂和销售场景进行实地应用

来源：各公司官网，各公司微信公众号，国金证券研究所

4.投资建议

我们认为人形机器人产业链核心部分是运动关节，综合考虑价值量和竞争壁垒，建议重点关注滚珠丝杠和减速机环节。减速机领域建议关注双环传动、绿的谐波；滚珠丝杠环节建议关注恒立液压、贝斯特。另外，建议关注有能力布局电机或丝杠等相关业务的禾川科技、五洲新春。

图表102：重点公司估值

代码	公司	市值 (亿元)	归母净利润(亿元)				PE			
			2022	2023E	2024E	2025E	2022	2023E	2024E	2025E
002472.SZ	双环传动	232.6	5.8	7.9	10.5	13.2	40.0	29.4	22.2	17.6



代码	公司	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)				PE			
			2022	2023E	2024E	2025E	2022	2023E	2024E	2025E
688017. SH	绿的谐波	239.8	1.6	1.6	2.3	2.6	154.4	148.0	104.3	94.0
601100. SH	恒立液压	772.2	23.4	24.0	29.8	36.5	33.0	32.2	25.9	21.2
300580. SZ	贝斯特	111.5	2.3	2.9	3.4	4.1	48.7	38.9	33.2	27.5
688320. SH	禾川科技	65.7	0.9	1.5	2.4	3.1	73.0	43.2	27.4	21.0
603667. SH	五洲新春	74.1	1.5	2.3	3.1	4.1	50.1	32.1	23.6	18.3

来源：Wind，国金证券研究所（绿的谐波取自 wind 一致预期，估值日期为 2023 年 11 月 12 日）

5.风险提示

- 人形机器人发展不及预期风险。人形机器人处于发展初期，风险较大，若未来发展不及预期，电机、传感器、减速器、滚珠丝杠等核心零部件需求不及预期，影响相关公司业绩。
- 国产替代不及预期风险。目前在电机、减速器等领域部分国内企业已经步入第一梯队，但未来如果技术研发滞后，或导致国产替代进展不及预期，影响企业业绩增长。
- 行业竞争加剧风险。随着需求的变化，机器人零部件细分市场如果竞争加剧，则存在企业盈利能力下降风险。



行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

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

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

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

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

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

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

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

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

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海
电话：021-80234211
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn
邮编：201204
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号
紫竹国际大厦 5 楼

北京
电话：010-85950438
邮箱：researchbj@gjzq.com.cn
邮编：100005
地址：北京市东城区建内大街 26 号
新闻大厦 8 层南侧

深圳
电话：0755-83831378
传真：0755-83830558
邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：518000
地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心
18 楼 1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究