



人形机器人行业研究

买入（维持评级）
行业深度研究

证券研究报告

国金证券研究所

 分析师：满在朋（执业 S1130522030002） 分析师：秦亚男（执业 S1130522030005） 分析师：冉婷（执业 S1130524100001）
 manzaipeng@gjzq.com.cn qinyanan@gjzq.com.cn ranting@gjzq.com.cn

人形机器人，从理想走进现实

量产新纪元+DeepSeek 成功，人形机器人从理想走进现实

在科技浪潮的推动下，人形机器人成为未来最为确定的方向之一，获得了国内外顶级政策、政企资金以及科技龙头的全方位加持，产业进入快速发展期。预计 25 年人形机器人产业可总结为 2 大关键词：（1）量产。过去 2 年，国内外众多科技及初创企业如璀璨星辰，纷纷切入人形机器人新赛道，2024 年是国内外人形机器人的原型机发布大年，如 1XTech 的 NE0、开普勒的先行者 K2、小鹏的 Iron，经过半年到一年的技术优化与调试，2025 年有望成为真正的量产元年。国际巨头特斯拉一马当先，预计 25 年生产 1 万台 Optimus，26 年年中开始量产 1 万台/月，27 年达 50 万台。2 月 6 日，特斯拉发布招聘机器人生产制造工程师，再次强化其机器人量产进程。1 月 30 日，figureAI 公司中标第二个大客户、并表示未来 4 年将量产 10 万台人形机器人。国际巨头人形机器人的量产是产业从概念到应用现实的重大跨越，对发掘人形机器人通用应用场景具备战略指导意义，产业进入“chatGPT”时刻前夕。（2）DeepSeek。DeepSeekAI 成功突破 AI 发展的高昂成本问题，凭借降本、开源的优势，在人形机器人领域展现出强大的赋能能力，有望助力机器人在环境感知、任务规划与决策、持续进化等大模型方面实现质的飞跃。此外，DeepSeek 也让国产厂商在 AI 领域看到希望，强化国产机器人在软件端持续深耕和突破的信心。

聚焦商业化量产短板及产业分工细化趋势，建议关注丝杠和运控及国产机器人链总成环节

（1）硬件端，丝杠产能紧缺是量产痛点。从量产维度看，产能是关键。近两年国内外机器人厂商的硬件设计方案百家争鸣，总体路线目前已趋于收敛。人形机器人硬件不再是本质约束条件，难点主要体现在规模制造及降本能力上。其中，丝杠制造难度相对最高、产能也最为紧缺，属于重资产、劳动密集型环节，短期快速扩产难度大。国内目前已建成的丝杠产能不足以满足人形机器人的量产需求。而恒立液压线性驱动器项目在产能建设上处于全球领先水平，项目总投资 15.27 亿元，设计产能 20 亿元，目前公司线性驱动器项目已投产、滚珠丝杠产品已进行送样和小批量供货。随着下游人形机器人量产的临近，我们看好恒立液压在丝杠及线性总成的产能优势及快速放量能力。

（2）软件端，“小脑”智能亟待突破，运控是被忽视的短板。机器人从软件算法策略上分为“大脑”和“小脑”，“大脑”负责感知外界并模拟人类思维决策过程，“小脑”则模仿生物进行复杂的运动，即运动控制。受益于 AI 大模型的发展，机器人智能化程度有望提升、已备初阶人类脑力。而“小脑”是由一系列算法和硬件设备组成的综合系统，包括传感器融合模块、动力学模型和控制器等，控制人形机器人全身上下几十个自由度进行高维运动，受制于没有通用的算法模型以及海量数据，是当前产业发展的瓶颈。如何进一步提高机器人小脑运动控制算法的实时性、鲁棒性和可解释性是下一步产业重要研究方向。建议关注人形机器人小脑智能运控赛道的进步和突破。

（3）产业链分工有望细化、看好国产机器人链本体代工或总成商。随着产业生态的发展，产业链有望从垂直走向细分，形成专注机器人软件或专注机器人硬件的产业分工。24 年 11 月，华为与禾川科技、兆威机电等 16 家公司签订战略合作协议，就具身智能领域展开合作、共同搭建生态圈。我们认为，像华为这样具备具身大模型研发能力的公司积极布局相关根技术与产业创新赋能，有望给国产机器人本体厂商带来 AI 能力，助力国产机器人厂商可专注于本体或应用场景开发，实现弯道超车。因此建议关注掌握核心零部件自制能力并具备机器人总成能力的公司。

投资建议与估值

科技巨头量产临近+不断进步的软件模型，人形机器人已从主题投资往景气投资风格切换，投资具有板块性效应。建议关注价值量高、产能为王的丝杠（线性执行器）环节，机器人运动控制环节，国产机器人链本体（总成）代工环节。

风险提示

人形机器人商业化进展低于预期的风险；现有主业下游发展不及预期风险；竞争加剧的风险。



内容目录

1、人形产品：群星璀璨，25年迎量产元年、26年有望商业化爆发.....	8
1.1 产业节奏：24年原型机元年，25年量产元年.....	8
1.2 国外公司：特斯拉引领、初创公司跟随.....	13
1.3 国内公司：科技、初创、传统车企多领域发力.....	28
2、政策加持，机器人广受产业资本青睐.....	44
2.1 各国政府推动“机器人”战略，中国重视程度更高.....	44
2.2 国内产业政策加速落地，驱动机器人产业发展驶入快车道.....	45
2.3 人形机器人迎融资热潮，广受资本青睐.....	47
3、软件：“大脑”进步飞速，“小脑”或为量产痛点.....	48
3.1 机器人逻辑架构由“大脑”+“小脑”+肢体组成.....	48
3.2 具身智能技术为人形机器人最具突破性进展.....	49
3.3 “大脑”：受益于大模型进步，已备初阶人类脑力.....	50
3.4 “小脑”：数据及泛化能力亟待突破.....	54
4、硬件：技术路线趋于收敛，核心环节产能是关键.....	56
4.1 硬件方案趋于收敛.....	56
4.2 丝杠：成本+产能为王.....	60
4.3 减速器：谐波为主、行星为辅双路线并存.....	64
4.4 电机：设计创新和新材料是发展趋势，国产性能日益进步.....	67
4.5 传感器：视觉、力觉、触觉为主，亟待培育国产龙头.....	69
4.6 灵巧手：向高承载力、柔性感知方向发展.....	77
4.7 整机：海内外几乎处于同一起跑线，国产整机厂商有望乘势而起.....	79
5、投资建议.....	80
6、风险提示.....	83

图表目录

图表 1：国内外人形机器人典型代表公司情况.....	8
图表 2：人形机器人按形态分类对比.....	9
图表 3：人形机器人下游应用场景.....	10
图表 4：人形机器人公司分为元老级、初创、跨界、原生机器人、科技公司五大类.....	11
图表 5：人形机器人分为“软硬件”均自研、本体自研+大模型合作两类模式.....	12
图表 6：部分人形机器人公司大模型自研/合作情况.....	12
图表 7：特斯拉人形机器人持续进化迭代.....	13



图表 8: 特斯拉 Optimus 硬件拆解.....	14
图表 9: 特斯拉人形机器人量产计划以及关键事件节点梳理.....	14
图表 10: EVE 和 NEO 机器人对比.....	15
图表 11: NEO 采用“无齿轮”设计理念.....	15
图表 12: NEO 进行清洁工作.....	15
图表 13: NEO 通过具身学习、世界模型、多模型分工提升智能化水平.....	16
图表 14: 2025 年 NEO 预计将量产千台.....	16
图表 15: FigureAI 公司发展历程及产品发展历程.....	17
图表 16: Figure01vsFigure02 产品示意图和产品参数对比.....	17
图表 17: Figure02 大脑与 OpenAI GPT-4o 多模态大模型深度集成.....	18
图表 18: Figure02 商业化逐步推进.....	18
图表 19: SanctuaryAI Phoenix 机器人迭代进程.....	19
图表 20: SanctuaryAI 融资与商业合作进程.....	19
图表 21: PhoenixGen8 向轮式人形机器人转变.....	20
图表 22: 自研 CarbonAI 同时向外与微软、英伟达合作.....	20
图表 23: Phoenix 灵巧手精细操作能力强.....	21
图表 24: SanctuaryAI 灵巧手自由度领先.....	21
图表 25: Phoenix Generation8 指腹集成触觉传感器.....	21
图表 26: 2023 年 Appttronik 开发出人形机器人 Apollo.....	21
图表 27: Apollo 机器人产品拆解.....	22
图表 28: Apollo 人形机器人模块化设计.....	23
图表 29: Apollo 物流领域辅助场景.....	23
图表 30: Appttronik 商业化及外部合作进程.....	23
图表 31: 谷歌具身智能大模型迭代至 RT-H, 有望推动 Appttronik 产品智能化加速升级.....	24
图表 32: Digit 的更新改造史.....	24
图表 33: Digit 机器人外观.....	24
图表 34: Digit 主要应用场景.....	24
图表 35: Digit 分为 RaaS 和整机销售两种模式.....	25
图表 36: Digit 搬运货箱.....	25
图表 37: Digit 制造工厂产能爬坡顺畅.....	25
图表 38: Digit 机器人制造工厂.....	25
图表 39: Atlas 人形机器人外观.....	26
图表 40: 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.....	26
图表 41: Atlas 人形机器人在工厂给人类充当助手.....	26
图表 42: Atlas 人形机器人向全电驱转型.....	27



图表 43:	Atlas 人形机器人向全电驱转型.....	27
图表 44:	电驱 Atlas 实现在工厂环境下完全自主抓取、搬运、放置汽车零件.....	28
图表 45:	优必选成立以来已成功开发多款人形机器人产品.....	28
图表 46:	优必选大扭矩伺服驱动器.....	29
图表 47:	优必选中小扭矩伺服驱动器.....	29
图表 48:	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.....	29
图表 49:	优必选机器人拥有稳定的控制能力.....	29
图表 50:	优必选机器人拥有较强的动态平衡能力.....	29
图表 51:	优必选服务机器人可以实现与人类的安全交互.....	30
图表 52:	优必选服务机器人可以实现与人类的安全交互.....	30
图表 53:	WalkerS1 已在多个汽车工厂实训，预计 25Q2 开始规模交付.....	30
图表 54:	宇树科技发展历程.....	31
图表 55:	优必选服务机器人可以实现与人类的安全交互.....	31
图表 56:	宇树 H1 搭载大扭矩高功率 M107 关节电机.....	32
图表 57:	宇树 H1 是国内第一台能跑的人形机器人.....	32
图表 58:	UnitreeH1 亮相 2025 年春晚.....	32
图表 59:	UnitreeG1 能够流畅跑过阶梯.....	33
图表 60:	UnitreeG1 具有较高性价比优势.....	33
图表 61:	UnitreeH1、G1 商业化落地顺利.....	33
图表 62:	成立不到 2 年，智元机器人累计下线 1000 台通用机器人.....	33
图表 63:	智元机器人产品矩阵丰富.....	34
图表 64:	智元关节峰值扭矩提升至 450Nm.....	34
图表 65:	远征 A2 灵巧手提升至 19 个自由度.....	34
图表 66:	三次开源，引领技术革新.....	35
图表 67:	行业规模最大机器人工厂投产，量产加速.....	35
图表 68:	脱胎于哈工大机器人俱乐部，夸父人形机器人接入华为盘古大模型.....	36
图表 69:	夸父人形机器人接入华为盘古大模型.....	36
图表 70:	苏州工厂产线启动，量产或将加速.....	36
图表 71:	技术实力深厚，受资本青睐.....	37
图表 72:	Galbot1 实现泛化能力、自研语言沟通以及零代码部署.....	37
图表 73:	率先在药房、工厂落地，26 年有望开启量产.....	37
图表 74:	产品迭代至 Iron，技术和商业化落地对标 Optimus.....	38
图表 75:	小鹏 Iron 更类人化，灵巧手、智能化升级.....	38
图表 76:	Iron 已进入小鹏工厂实训，商业化进程推进.....	38
图表 77:	小米人形机器人 CyberOne 全身 21 个自由度，行走速度达 3.6km/h.....	39



图表 78:	小米人形机器人 CyberOne 视觉敏锐, 可以三维重建真实世界.....	39
图表 79:	华为机器人领域布局进展.....	40
图表 80:	华为盘古大模型 5.0 能力全面升级.....	40
图表 81:	盘古具身智能大模型赋能人形机器人.....	41
图表 82:	GR-2 具备世界建模和强大泛化能力.....	41
图表 83:	GR-2 能泛化到新背景、新环境、新物体和任务.....	42
图表 84:	GR-2 接受语言指令能生成相应动作轨迹.....	42
图表 85:	GR-2 有望向人形机器人厂商推广.....	42
图表 86:	人居环境机器人“5号”注重人机互动.....	42
图表 87:	小五机器人物理交互辅助老人起身.....	43
图表 88:	小五机器人携人避障.....	43
图表 89:	腾讯采用层次化学习方案.....	43
图表 90:	投资优必选、乐聚机器人, 入局人形机器人.....	43
图表 91:	中国近两年发布机器人相关政策多, 重视程度更高.....	44
图表 92:	2024 年国内机器人产业政策数量更多、目标也更为具体.....	45
图表 93:	2024 年为机器人产业基金落地大年, 25、26 年机器人产业资金短板或得到补齐.....	46
图表 94:	人形机器人迎融资热潮, 广受资本青睐.....	47
图表 95:	机器人技术逻辑架构.....	49
图表 96:	人工智能和机器人的关系.....	49
图表 97:	具身智能机器人具备感知、认知、行动三大要素.....	49
图表 98:	具身智能技术体系.....	50
图表 99:	具身智能机器人技术演进路线.....	50
图表 100:	大模型分类.....	51
图表 101:	大模型在机器人领域研究.....	51
图表 102:	大模型技术路线.....	52
图表 103:	银河通用: 三层大模型系统.....	52
图表 104:	银河通用 10 亿全仿真合成数据 a.....	52
图表 105:	谷歌 RT-2 机器人大模型逻辑.....	53
图表 106:	机器人大模型发展方向.....	54
图表 107:	机器人“小脑”运动控制方案.....	54
图表 108:	具身智能数据采集和生成.....	55
图表 109:	遥控操作数据收集和学习系统.....	55
图表 110:	视频演示指导人形机器人执行新任务.....	56
图表 111:	RoboGen 工作原理.....	56
图表 112:	人形机器人硬件构成示意图.....	57



图表 113: 典型人形机器人厂商执行器方案.....	57
图表 114: 不同厂商灵巧手方案对比.....	58
图表 115: 各类型传感器对比.....	58
图表 116: 主要人形机器人厂商感知方案对比.....	59
图表 117: 特斯拉人形机器人的各类核心零部件对比.....	59
图表 118: 丝杠螺母分类.....	60
图表 119: 反向式行星滚柱丝杠与标准式行星滚柱丝杠结构特点.....	60
图表 120: 特斯拉人形机器人丝杠方案.....	61
图表 121: 新剑传动行星滚柱丝杠标准产品.....	61
图表 122: 丝杠的加工流程较长, 材料、热处理、设计、粗精加工、检测环环相扣涉及大量“KnowHow”... ..	62
图表 123: 丝杠相关市场参与者.....	62
图表 124: 磨床精度等级属于机床里最高一档, 技术难度最高.....	63
图表 125: 泰川机床滚动功能部件扩产设备投资中磨床占比 48%.....	63
图表 126: 丝杠加工设备有较大优化空间, 国内企业贴近终端客户有望抢占先机.....	63
图表 127: 国内磨床企业收入体量较小, 未来有较大成长空间.....	64
图表 128: 以铣代磨、以车代磨设备公司.....	64
图表 129: 三种高性能机器人驱动器(执行器)方案特性比较.....	65
图表 130: 精密减速器主要技术指标对比.....	65
图表 131: 精密减速器精度及价格对比概念图.....	66
图表 132: 国内精密减速器厂商情况.....	66
图表 133: 绿的谐波产能规划.....	67
图表 134: 机器人电机侧重三点: 高效率、高动态和高功率密度.....	67
图表 135: 无框力矩电机.....	68
图表 136: 空心杯电机.....	68
图表 137: 空心杯电机线圈绕制形式.....	68
图表 138: 国内外无框力矩电机厂商对比.....	68
图表 139: 国内外空心杯电机厂商.....	69
图表 140: 人形机器人传感器的主要类型.....	69
图表 141: 机器人视觉感知由芯片、算法、传感器影响.....	70
图表 142: 机器人视觉感知向 3D 化发展.....	70
图表 143: 主流人形机器人厂商视觉传感方案.....	70
图表 144: 主流厂商短距离 3D 视觉传感器性能对比.....	71
图表 145: 主流厂商长距离 3D 视觉传感器性能对比.....	71
图表 146: 主流视觉传感器厂商梳理.....	71
图表 147: 力传感器不同检测方法优缺点对比.....	72



图表 148: 硅/箔电阻应变式传感器具有更强的综合性能.....	72
图表 149: 一维、三维、六维传感器作用示意图.....	72
图表 150: 人形机器人力矩传感器应用场景全景图.....	73
图表 151: 力矩传感器代表厂商梳理.....	73
图表 152: 电子皮肤能感知压力、剪切力、接触力等多种类型力.....	74
图表 153: 电子皮肤主要分为基底层、导电层、传感层.....	74
图表 154: 传统的主要触觉传感器类型优缺点介绍.....	74
图表 155: 帕西尼的 Dex13 多维触觉灵巧手结合了视觉和触觉.....	75
图表 156: 帕西尼 IPTUGEN2 触觉传感器在多项指标技术领先.....	76
图表 157: 2023 年全球柔性触觉传感器行业集中度高.....	76
图表 158: 触觉传感器代表厂商梳理.....	77
图表 159: 机器人灵巧手的发展趋势.....	77
图表 160: 特斯拉灵巧手自由度有提升趋势.....	78
图表 161: 空心杯电机采用无齿槽结构.....	78
图表 162: 有齿横电机及无齿槽电机结构图.....	78
图表 163: 腱绳传动灵巧手整体机构.....	79
图表 164: 腱绳+丝杠复合传动（单自由度视图）.....	79
图表 165: 特斯拉 OptimusGen2 灵巧手搭载触觉传感器轻松拿取鸡蛋.....	79
图表 166: 华为具身智能合作备忘录公司.....	80
图表 167: 产业链全景图.....	81
图表 168: 相关标的估值表.....	82



1、人形产品：群星璀璨，25 年迎量产元年、26 年有望商业化爆发

随着 AI 时代的到来以及人口老龄化加剧，人形机器人有望成为面向未来的黄金赛道。在这一波人形机器人浪潮中，以特斯拉、1X、FigureAI 为首的多家科技明星公司及无数初创团队犹如璀璨星辰，纷纷切入人形机器人新赛道，为人形机器人产业注入了源源不断的活力与希望。从产业发展节奏看，人形机器人产业 25 年有望进入量产元年，26 年则迎来商业化爆发。

1.1 产业节奏：24 年原型机元年，25 年量产元年

预计 25 年是人形机器人量产元年、26 年产业商业化爆发。从国内外人形机器人厂商研发进展上看，国内外厂商进展几乎处于同一起跑线。2024 年是全球人形机器人原型机发布元年，例如 1XTech 发布双足人形机器人 NEO、开普勒发布先行者 K2、波士顿动力发布电动版人形机器人进入 atlas 等。2025 年，人形机器人产业有望进入量产、集中功能测试阶段，马斯克表示，特斯拉 25 年将生产 1 万台 Optimus 机器人，如果一切顺利，特斯拉可能 26 年中开始量产 1 万台/月机器人。

图表1：国内外人形机器人典型代表公司情况

机器人公司	成立时间	团队背景	产品名称	产品首发时间	商业化计划（单位：台）		
					2024A	2025E	2026E
特斯拉	2003 年	马斯克：项目发起者和推动者；MilanKovac：工程主管 BrettAdcock：创始人兼首席执行官； JerryPratt：博士，擅长机器人技术、人工智能 BerntØivindBørnich：挪威奥斯陆大学，机器人与 纳米电子专业	OptimusGen2	2022 年	测试	10000	10000/ 月
FigureAI	2022 年	BerntØivindBørnich：挪威奥斯陆大学，机器人与 纳米电子专业	Figure01/02	2023 年	小批量		
1XTechnologies	2014 年	副总裁 EricJang：布朗大学计算机专业，曾在谷歌 机器人负责 AI	NEOBeta	2024 年 8 月	20	1000	
SanctuaryAI	2018 年	GeordieRose：联合创始人兼前首席执行官，曾是世 界上第一家量子计算公司 D-Wave 的联合创始人； OliviaNorton：联合创始人兼首席技术官，曾领导 KindredAI 位于温哥华的通用人工智能小组 JeffGardenas：创始人，毕业于得克萨斯大学，人形 经验丰富；	PhoenixGen7	2023 年 1 月	原型机	1000	
Apptronik	2016 年	BillHelmsing：联合创始人，机器人技术研发和工程 能力卓越； 团队多来自得克萨斯大学奥斯汀分校人本机器人实验 室，并与 GoogleDeepMind 合作	Apollo	2023 年	原型机	小批量	
AgilityRobotics	2015 年	DamionShelton（CEO，耐基梅隆大学机器人博士学 位，匹兹堡大学生物工程和科学哲学学士学位） RobinDeits：MIT 博士、波士顿动力机器人工程师； MarcRaibert：波士顿动力公司的创始人，数十年研 发经验	Digitv4a	2019 年	原型机	1000+	
波士顿动力	1992 年		电动版 atlas	2024 年 10 月	原型机	试生产	
优必选	2012 年	赵明国（清华双足机器人教授，机器人控制领域专 家）陶大程（AI 国际知名学者）	WalkerS1	2024 年 10 月	工厂测试	500	
智元机器人	2023 年	稚晖君（AI 芯片、算法，华为天才少年），算法研发 能力业界第一梯队，闫维新（上海人工智能研究院首 席科学家，研发 60+餐饮服务机器人） 创始人王兴兴（机械控制背景，曾就职于大疆，研发 团队全自研电机、减速器、控制器、运动控制算法 等）	远征 A1/A2	2023 年 8 月	累计生产 近 1000 台	规模化量产	
宇树科技	2016 年		UnitreeH1/G1	2023 年 8 月	小批量		
乐聚机器人	2023 年	创业团队来自哈工大，董事长冷晓琨是哈尔滨工业大 学计算机学院博士，专注于机器人整体结构设计、核 心部件制造和人工智能算法研发	夸父	2023 年 12 月	小批量	截至 1 月 17 日已批 量交付 100 台	
开普勒机器人	2023 年	胡德波：联合创始人兼 CEO，70 后，曾就职华为	先行者 K2	2024 年 10 月	小批量	批量生产	
小鹏汽车	2015 年	/	Iron	2024 年 11 月	原型机		
魔法原子	2024 年	追觅投资，团队核心成员多毕业于清华大学、上海交 通大学、浙江大学、北京航空航天大学、纽约大学等 国内外知名高校	MagicBot	2024 年 12 月	原型机	100	1000



傅利叶	2015年	徐振华（傅利叶科技联合创始人，研发康复机器人） 顾捷（人工智能高级工程师）	GR-1 通用 人形机器人	2023年7月	100		
小米	2010年	/	CyberOne	2022年8月	原型机		
星尘智能	2022年	程昊曾是字节系高管，师从清华大学人形机器人专家 赵明国教授	AstribotS1	2024年8月	原型机		
银河通用 机器人	2023年	王鹤：创始人、CTO，本科清华大学，博士斯坦福大 学；姚腾洲：联合创始人，是王田苗教授高徒，曾就 职于 ABB 集团上海机器人研发中心	GalbotG1	2024年6月	原型机	小批量	量产
帕西尼感 知科技	2021年	许晋诚：创始人兼 CEO，日本早稻田大学机器人实验 室毕业，师从日本机器人学界权威菅野重树教授，拥 有超多年人形及传感器研发经历	TORA-ONE	2024年8月	原型机		
星动纪元	2023年	陈建宇：创始人，清华大学交叉信息研究院助理教 授，清华大学持股	小星	2023年8月	原型机		
天链机器 人	2012年	胡天链带领西南科技大学相关团队中的 9 名成员	T1	2024年8月	小批量		
达闼	2015年	黄晓庆（董事长兼 CEO，曾任中国移动研究院院长， 擅长人工智能）	XR4	2023年8月	原型机		量产

来源：各公司官网，国金证券研究所（灰色底纹是国外机器人公司）

根据人形机器人的形态，可以将其分为轮式人形机器人、足式人形机器人、通用型人形机器人。人形机器人相比其他机器人，对智能感知、运动控制、智能决策、人机交互的综合能力要求更高，具体包括：

- 智能感知方面：需要配备多种传感器，能够感知非结构化场景并根据不同情况做出相应反应。
- 运动控制方面：需要人形机器人具备高度的精确性和灵敏度、良好的稳定性和平衡控制能力，精确地模仿人类的行走、跑步、抓取等动作，实时响应各种传感器的输入和环境变化。
- 智能决策方面：可通过人工智能技术，根据环境、任务和目标等信息，自主地做出最优的决策，以实现自主导航、任务执行、人机交互等功能，需要高效的算法和强大的计算能力，以处理大量的信息和数据。
- 人机交互方面：需要对自然语言进行识别与处理，以便机器人能够理解用户的指令、问题或指导，需要具备情感识别技术，识别用户情感状态，提供更人性化的互动体验。此外，对手势与动作的识别、多模态交互等方面也有着较高的要求。

图2：人形机器人按形态分类对比

机器人类型	轮式人形机器人	足式人形机器人	通用型人形机器人
特点	轮式驱动+做机器人手臂+灵巧手方案，强调触觉传感器+灵巧手的操作功能，同时兼备移动能力。	强调机器人的腿部运动能力，手部基本只用作平衡。	具备双足+双臂+双手+各类感知+人工智能的功能，以全面的软硬件基础，适应开放环境中的多任务。
典型产品	 <p>1Xtech EVE 帕西尼 TORO-ONE</p>	 <p>宇树科技G1 天链机器人 T1</p>	 <p>特斯拉 Optimus 智元机器人 远征A2</p>

来源：高工机器人产业研究所 (GGII)，国金证券研究所

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

- 工业制造场景：工业制造场景特点为单一性和重复性工作，工作特性导致其是人形机器人应用最易实现落地的场景，并且有利于人形机器人实训获取高质量训练数据。目



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

图表3：人形机器人下游应用场景



来源：亿欧智库，国金证券研究所

人形机器人主要入局者包括元老级公司、初创型公司、跨界公司、原生机器人公司、科技公司：

- 元老级公司：这类公司包括优必选、波士顿动力、乐聚机器人、钢铁侠科技、伟景机器人、Engineered Arts 等，这些公司在成立之初便聚焦机器人领域，拥有专业的研发团队，具备较多的技术积累，但下游渠道相对跨界巨头公司有所欠缺，整体资金实力也相对弱勢。
- 跨界公司：人形机器人跨界公司主要有两类，第一类为特斯拉、小鹏、小米等汽车整车公司，第二类为消费电子、家电公司，包括追觅、戴森、三星等。该类公司优势在于资金实力强、商业化能力强、渠道资源丰富，除了特斯拉以外，其他跨界厂商可能在技术积累方面略弱于元老级人形机器人公司。
- 初创型公司：人形机器人初创型公司包括智元机器人、傅利叶、宇树科技等，创始团队多是院校及研究所出身或科技巨头企业出身，具备机器人控制或算法方面优质禀赋，均有一定的融资能力，但是创始团队或在企业经营管理和商业化经验较少，整体商业化能力、渠道资源仍存在一定短板。
- 原生机器人公司：该类公司在过往的工业机器人、协作机器人、移动机器人等领域有一定成果，具备多年机器人研发经验和成功的应用案例，在人形机器人方面具备部分可嫁接、复制的技术积累和研发经验。但原生机器人公司软件开发和技术创新会略弱于以研发技术为核心的初创型人形机器人公司。
- 科技公司：该类公司最显著的优势在于人形机器人的“智能化”，并且在数据、算法和算力等方面有较多的积累，具备具身智能大模型产品，整体软件能力和资金实力较



强。但大多科技公司缺乏人形机器人硬件设计和制造经验，目前多选择投资人形机器人整机公司或通过软件与整机公司合作。

图4：人形机器人公司分为元老级、初创、跨界、原生机器人、科技公司五大类

类型	公司	能力
元老级	优必选、波士顿动力、乐聚机器人、钢铁侠科技、伟景机器人、1XTechnologies、Appttronik、AgilityRobotics、EngineeredArts	
初创公司	傅利叶智能、智元机器人、宇树科技、戴盟机器人、逐际动力、银河通用机器人、开普勒机器人、星动纪元、魔法原子、星尘智能、FigureAI	
跨界公司	特斯拉、小鹏汽车、追觅、小米、戴森、三星、长安、比亚迪、赛力斯、奇瑞、江汽集团、广汽	
原生机器人公司	遨博智能、埃斯顿酷卓、福德机器人、天太机器人、博实股份、大象机器人、节卡机器人、均普智能	
科技公司	华为、腾讯、字节跳动、科大讯飞、达闼机器人、微软、英伟达、OpenAI	

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

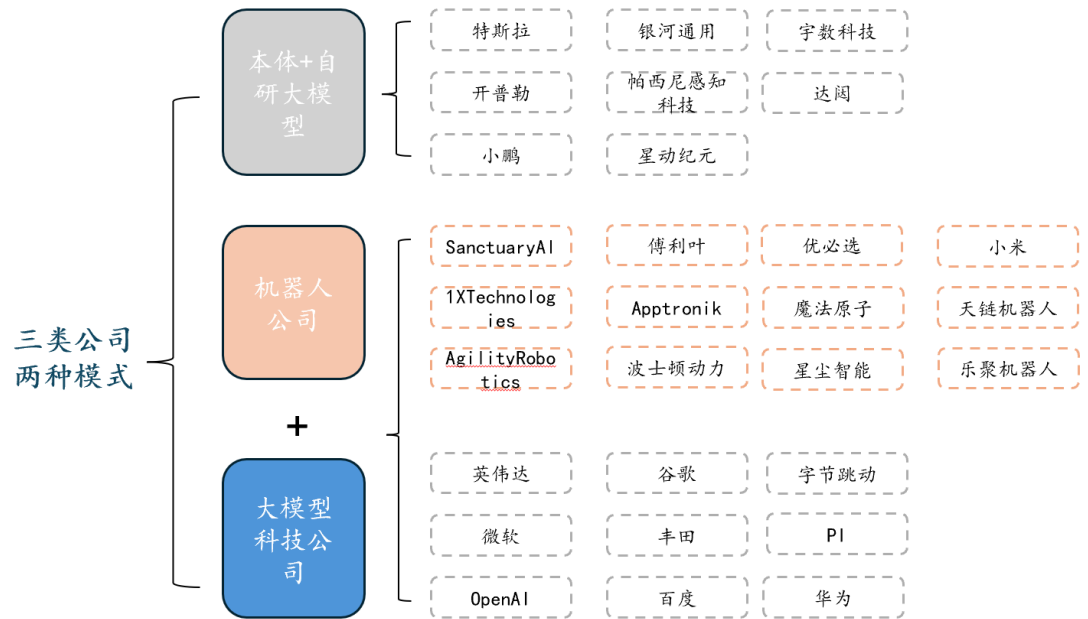
当前，人形机器人本体行业处于产业化发展前期，行业对于人形机器人本体的战略意义已有共识，但其大规模商业化落地的路径仍未真正走通，从人形机器人重要细分赛道和类型看，可以主要分为“三类公司”，包括本体+大模型均自研、本体自研+大模型合作以及为机器人厂商提供大模型的科技公司。

- 本体+大模型自研公司：该类公司研发实力较强，主要玩家以特斯拉为首的少数海外公司，其他玩家主要为国内厂商，包括开普勒、小鹏、宇树科技、达闼、星动纪元、银河通用、帕西尼感知科技等。
- 机器人公司：该类公司主要聚焦在人形机器人本体研发以及推进量产，大模型主要选择与外部厂商合作，其中海外公司有 Sanctuary AI、1XTechnologies、Agility Robotics、Appttronik、波士顿动力等，国内公司包括优必选、魔法原子、星尘智能、乐聚机器人、傅利叶等。
- 大模型科技公司：该类主要是国内外具有较强研发能力，并有相关大模型产品的知名科技公司，海外的主要玩家有 OpenAI、微软、英伟达、谷歌、PI 等，国内的主要玩



家为字节跳动、百度、华为。

图表5: 人形机器人分为“软硬件”均自研、本体自研+大模型合作两类模式



来源: 各公司公告, 机器人大讲堂, 中国经济网, 新智元, 人形机器人洞察研究院, CyberDaily, 有界 UnKnown, 头部科技, 焉知人形机器人, 科创板日报, 工业机器人, 机器人前瞻, 中国机器人网, 电子发烧友网, 36 氪, 星动纪元官方公众号, 国金证券研究所

各大模型科技大厂均选择人形机器人作为大模型落地物理世界的载体, 开始与人形机器人在具身智能大模型领域合作, 如微软与 SanctuaryAI 合作推动大型行为模型 (LBM) 落地、GoogleDeepMind 与 Aptronik 合作提升动态环境智能化、英伟达赋能傅利叶 GR-1 进行技能学习。

图表6: 部分人形机器人公司大模型自研/合作情况

类型	公司名称	机器人本体	具身智能大模型	大模型供应/合作厂商
本体 + 大模型自研	特斯拉	Optimus	FSD、XAI	自研
	开普勒机器人	先行者系列	superhuman 超人智脑、端侧具身智能	自研
	小鹏汽车	小鹏 Iron	小鹏端到端大模型	自研
	宇树科技	H1、G1	GR00T (英伟达)、机器人世界模型 UnifoLM (自研)	英伟达、自研
	智元机器人	远征、灵犀	WorkGPT、4D 世界模型 EnerVerse	-
	银河通用机器人	GalbotG1	抓取基础大模型 GraspVLA; 全球首个开放指令六自由度取放大模型系统 Open6DOR; 世界首个多模态具身导航大模型 NaVid; 能反思、可随机应变的操作大模型系统 SAGE	自研
	帕西尼感知科技	TORA-ONE	VTLA-Model 视触觉多模态感知模型	自研
	星动纪元	STAR1	端到端原生机器人模型 ERA-42	自研
	达闼	XR-4	多模态大模型 RobotGPT	自研
	本体	SanctuaryAI	Phoenix	大型行为模型 (LBM)
天链机器人		T1	-	-
1X Technologies		NEO	OpenAI Gym	OpenAI
Aptronik		Apollo	GR00T (英伟达)、Gemini (Google)	英伟达、GoogleDeepMind
Agility Robotics		Digit	暂无	暂无
	波士顿动力	Atlas	大型行为模型	丰田研究所



优必选	WalkerS	文心大模型	百度
魔法原子	MagicBot	MagicDataAI 数据引擎（自研）、豆包（寻求合作中）	自研、字节跳动
傅利叶	GR-1	GR00T、Cosmos	英伟达
小米	CyberOne	-	-
星辰智能	AstribotS1	机器人世界模型（LWM）	Physical Intelligence (PI)
乐聚机器人	夸父	盘古大模型	华为

来源：各公司公告，机器人大讲堂，中国经济网，新智元，人形机器人洞察研究院，CyberDaily，有界 UnKnown，头部科技，焉知人形机器人，科创板日报，工业机器人，机器人前瞻，中国机器人网，电子发烧友网，36 氪，星动纪元官方公众号，国金证券研究所

1.2 国外公司：特斯拉引领、初创公司跟随

1.2.1 特斯拉：OptimusGEN3 即将发布，计划 25 年小批量部署

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。Tesla 的机器人项目为 TeslaBot，也叫 Optimus，是 Tesla 在 ElonMusk 领导下开发的一款通用双足人形机器人。21 年 8 月，特斯拉 CEO 马斯克于首届 AIDAY 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。23 年 12 月，特斯拉发布 Optimus-Gen2，稳定性、灵活性、速度、轻量化等方面全方位提升。24 年 11 月，特斯拉更新人形机器人视频，展示了机器人单手接球的运动能力，研发人员指出，还有一些工作需要在年底完成，特别是在扩展触觉传感集成方面(比以前的手有更多的表面覆盖)，通过肌腱进行非常精细的控制，以及减轻前臂的重量。

图表 7: 特斯拉人形机器人持续进化迭代

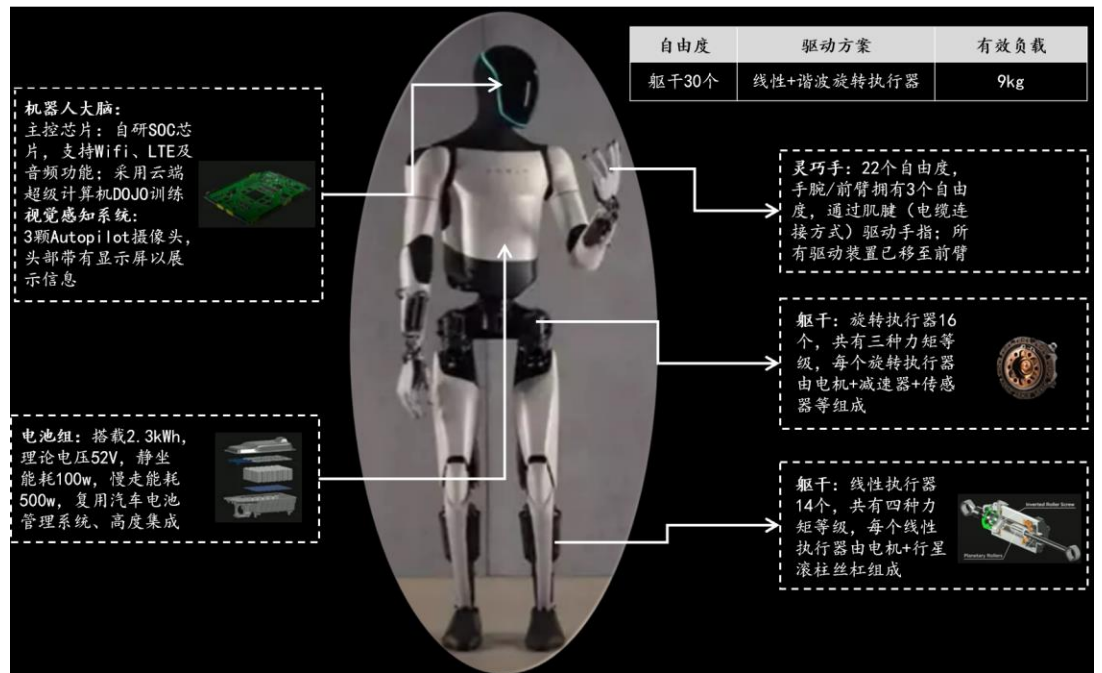


来源：特斯拉，国金证券研究所

特斯拉 Optimus 最新方案：共有 30 个躯干执行器（旋转 16+线性 14），单手 22 个手部执行器。采用了和特斯拉类似自动驾驶技术 FSD 的端到端神经网络控制，这台机器人仅依赖视觉对物体进行分类，“它的神经网络已经完成了端到端的训练：输入视频，输出控制。”并配备了全新的双手，能够抓握更重的物体并进行更加精细的操作。根据 TheHumanoidHub 报道，特斯拉即将推出 Optimus-Gen3 人形机器人。



图表8: 特斯拉 Optimus 硬件拆解



来源: 特斯拉 AIDAY2022, 马斯克推特, 国金证券研究所

根据特斯拉 Q4 投资者会议, 特斯拉计划在 2025 年底累计生产 1 万台人形机器人, 2026 年年中提升至 1 万台/月。从开发的角度来看, “Optimus” 的 “智能” 将继续提高, 并应该在某个时候反映出过去一年中 FSD 的快速改进。

图表9: 特斯拉人形机器人量产计划以及关键事件节点梳理




来源: 上海证券报, 特斯拉投资者会议, 国金证券研究所

1.2. 21XTech 公司: 采用 “无齿轮” 设计理念、预计 25 年量产

1XTechnologies 成立于 14 年, 原名为 HalodiRobotics, 是一家人工智能和机器人公司, 总部位于挪威, 致力于生产通用机器人, 其主要产品包括工业 EVE 和家用 NEO 两款人形机器人。



图表10: EVE 和 NEO 机器人对比

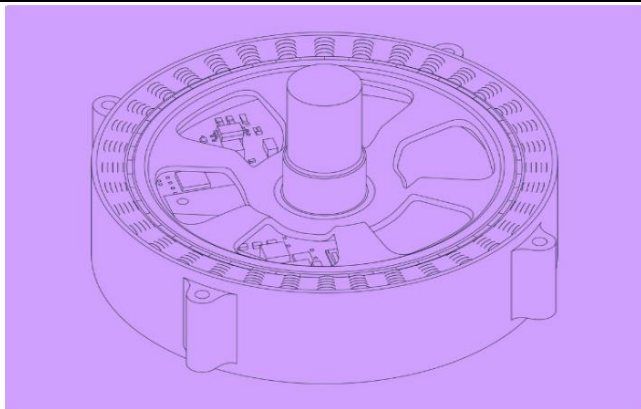
EVE人形机器人基本参数			NEO人形机器人基本参数	
名称	EVE		名称	NEO Beta
发布时间	2020年	发布时间	2024年8月	
身高	1.86米	身高	1.65米	
体重	86kg	体重	30kg	
行走速度	最高14.4km/h	行走速度	步行5km/h 跑步12km/h	
续航时间	6h	续航时间	2-4h	
承载能力	15kg	承载能力	20kg	
应用场景	工业级	应用场景	家用生活	
量产时间	2024年	量产时间	预计2025年	

来源: 1XTechnologies 官网, 国金证券研究所

根据 1X 官网, NEO 作为通用双足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。

NEO 全身被布料包裹让这款机器人更接近于人类, 1X 成功开发出无需使用齿轮就能达到人体肌肉约 80% 力密度的电机, 不依赖于传统的刚性执行器 (能让 NEO 在执行任务时保持安静), 而是利用了仿生设计和更灵活的组件——其身体采用类似人类肌肉组织的结构设计和非严格的液压系统, 其铝芯上覆盖有一层软层, 因此坚固之余也很有柔韧性, 能够在人与人之间安全工作。

图表11: NEO 采用“无齿轮”设计理念



来源: 1XTechnologies 官网, 国金证券研究所

图表12: NEO 进行清洁工作



来源: 1XTechnologies 官网, 国金证券研究所

NEO 采用多方案提升智能化, 将部署于选定的家庭优化人工智能模型, 距离家用商业化又迈进一步。NEO 采用具身学习、世界模型、多模型分工等多方案提升智能化: 1) 具身学习: NEO 采用了 VRTeleop 技术, 通过操作员在现实场景中的指导, 让机器人直观理解任务难度。当数据量达到一定规模, NEO 便掌握了新技能, 实现开箱即用的灵活学习能力。2) 世界模型: 自建仿真环境, 让机器人学习和测试新的行为, 使其不依赖于预设的程序, 还具备了灵活应对新状况的能力; 3) 多模型分工: 通过导航模型、抓取模型等不同模型分工合作、配合, 独立训练不同策略模型来提升性能。在 Beta 测试阶段, 1XTechnologies 将 NEO 部署于选定家庭中, 以收集关键数据, 优化通用人工智能模型。这些数据帮助 NEO 在使用中不断学习, 变得更智能。



图表13: NEO 通过具身学习、世界模型、多模型分工提升智能化水平

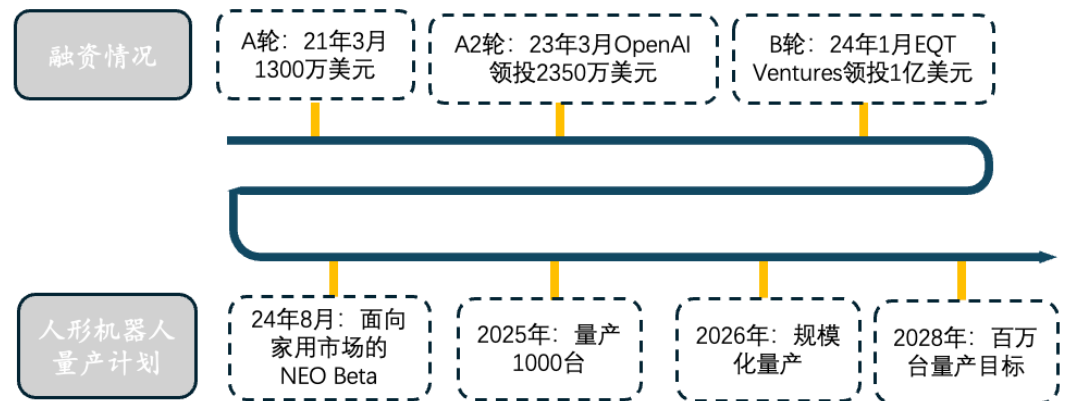


来源：澎湃新闻，财联社，投资界，人形机器人产业通，机械之心，国金证券研究所

OpenAI 领投，从默默耕耘到明星初创，预计 2025 年量产千台 NEO 双足机器人。

- 公司创始人专业性强：1x 公司 CEO Bernt Børnich 毕业于挪威奥斯陆大学，专业为机器人与纳米电子学。AI 副总裁 Eric Jang，则是布朗大学计算机科学专业的毕业生，曾在谷歌机器人团队担任高级研究科学家，并于 2022 年加入 1X。
- 资金端：21 年 3 月，公司；23 年 3 月，1X 获 OpenAI 等机构 A2 轮融资，共筹集 2350 万美元。2024 年 1 月，1X Technologies 完成了由 EQTVentures 领投的 1 亿美元 B 轮融资。其他投资方还包括三星电子旗下的投资公司三星 NEXT、Nistad 集团、Sandwater 和 Skagerak Capital 等挪威风投公司。
- 量产计划：目前 1X 已计划在挪威和北美大规模生产其首款商用机器人 EVE，并利用 B 轮融资的资金加大即将推出的双足机器人模型 NEO 的研发力度，预计 2025 年生产数千台 NEO，2026 年规模化量产，2028 年达到数百万台量产目标。

图表14: 2025 年 NEO 预计将量产千台



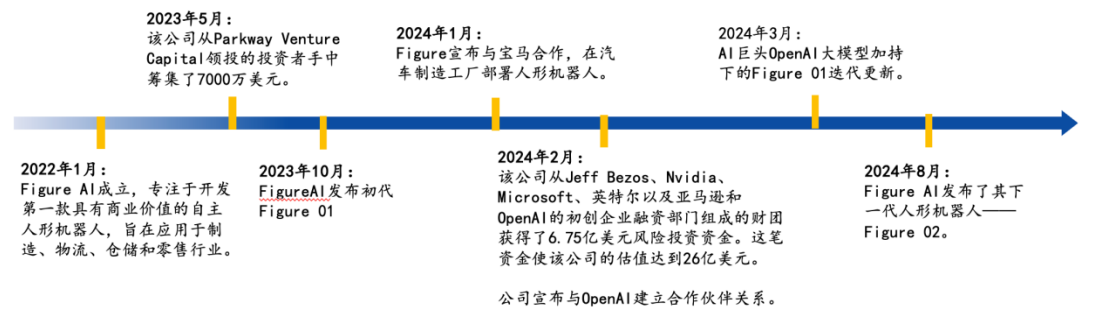
来源：澎湃新闻，高工移动机器人，国金证券研究所

1.2.3 FigureAI 公司：Figure02 执行任务能力大幅提升，商业化进展顺利

巨头加持，产品迭代至 Figure02。FigureAI 公司成立于 22 年，团队包括来自 IHMC、波士顿动力和特斯拉的机器人专家，目标是设计可以应用于人类环境的通用型机器人，让机器人可以执行各种不同的任务。融资层面，FigureAI 在 24 年 1 月和宝马合作，机器人进厂后，商业模式逐渐清晰，吸引了包括亚马逊创始人贝索斯、微软、英伟达、OpenAI 等科技巨头的投资，筹集了约 6.75 亿美元的资金，公司估值达到了 26 亿美元。24 年 8 月，FigureAI 发布软硬件重新设计的人形机器人 Figure02，产品全面升级。



图表15: FigureAI 公司发展历程及产品发展历程



来源: FigureAI 官网, TheRobotReport, Reuters, FastCompany, 人形机器人洞察研究, 华尔街见闻, 国金证券研究所

人形机器人 Figure02 全新设计技术突破, AI 推断能力提升 3 倍。

- Figure01: 2023 年 10 月, FigureAI 发布的人形机器人 Figure01, 利用 OpenAI 的大型语言模型, 可以与人类进行正常的完整对话, 并具备分类识别物品的能力。
- Figure02: 2024 年 8 月, FigureAI 发布的新一代产品 Figure02。相较于 2023 年发布的首代产品, Figure02 对硬件和软件均进行了革新。

Figure02 相对 01 的提升点: 1) 灵巧手: Figure02 灵巧手自由度达 16 个, 相对上一代产品增加 10 个自由度, 具有较高的灵活性和速度; 预计手部集成了触觉传感器, 触觉感知能力和操作灵活性提升; 2) 算力: Figure02 板载计算和 AI 推理能力也较前代产品提高了 3 倍。3) 感知层: 视觉、触觉、激光雷达方面均进行较大升级, Figure02 匹配双目相机(上一代为单目)、手部/脚部多个触觉传感器(上一代无)、360 度激光雷达(上一代为 2D 激光雷达)。

图表16: Figure01vsFigure02 产品示意图和产品参数对比

Figure 01 机器人技术参数		Figure 02 机器人技术参数	
设计目标	专注于基础任务自动化, 例如物流搬运和工业流水线操作。	设计目标	以模拟人类形态和行为为核心, 专注于高灵活性任务和人机交互。
机械性能	自由度 (DOF) 手部6个自由度	机械性能	自由度 (DOF) 手部16个自由度
视觉传感器	单目相机, 分辨率为 720p, 用于简单环境识别。	视觉传感器	Intel RealSense 双目相机, 1080p 分辨率, 支持深度图生成。触觉传感器:
传感器系统	触觉传感器 无触觉传感器。	传感器系统	手部和脚底覆盖多个触觉传感点, 灵敏度达 10 克力。
激光雷达	基础 2D 激光雷达, 扫描范围 10 米。	激光雷达	Velodyne 360° 激光雷达, 检测范围达 30 米。
处理器	低功耗处理器, 支持简单的运动规划。	处理器	Intel Core i7 和 NVIDIA Jetson GPU, 支持复杂实时计算。
算力	每秒数据处理量 <10 GB。	算力	每秒数据处理量高达 100 GB。
数据管理能力	适用于重复性任务, 如工厂流水线、物资搬运。	数据管理能力	适用于需要人机交互和复杂决策的场景, 如服务业、教育和医疗。
应用场景		应用场景	

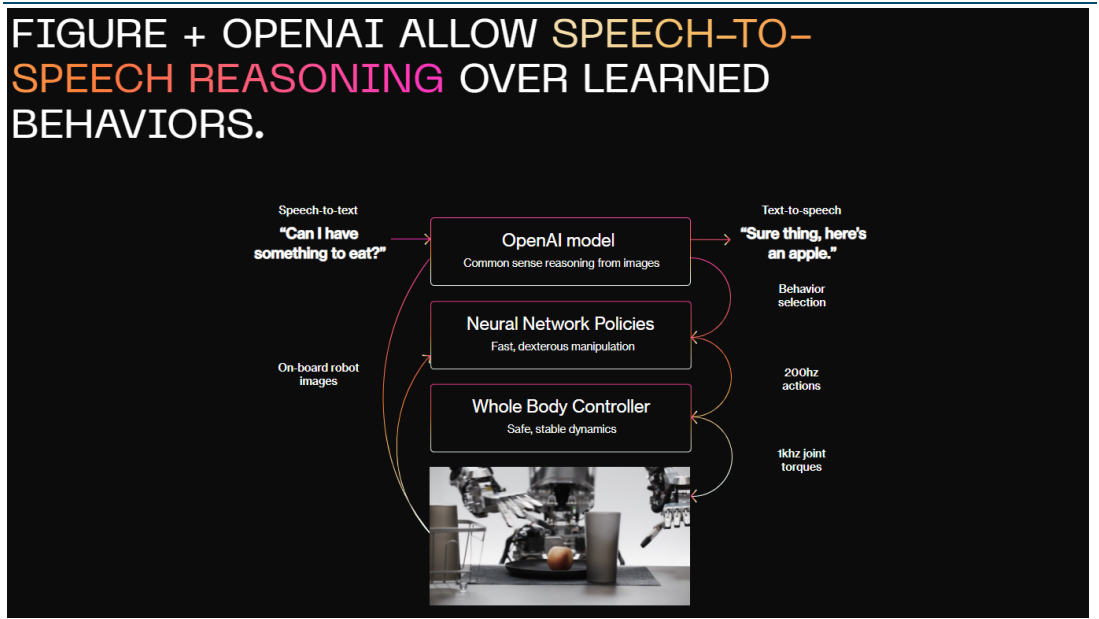
来源: Figure AI 官网, TheRobot Report, AI 技术与应用, 国金证券研究所

人形机器人 Figure02 技术架构延续 Figure01, 智能化能力升级。

- 大脑: Figure02 依然集成了 OpenAI 的 GPT-4o 多模态大模型, 相比较于 01 使用 GPT4, 可以进一步提升机器人的视觉理解和常识推理能力, 实现语音-语音的推理和视觉推理, 能够与人类进行语音交互, 听懂并遵循人类指令, 机载计算和 AI 推理能力提升 3 倍。
- 小脑: Figure02 延续使用 01 的机器人技能行为学习, 类似 RT-X 机器人控制模型, 利用神经网络学习抓取和放置策略, 使用模型预测控制器来确定脚步位置和保持平衡并遵循所需的机器人轨迹所需的力, 结合步态控制以完成机器人的基本运动, 确保了机器人在执行动作时的安全性和平衡性, 未来将持续优化提升动作执行能力。



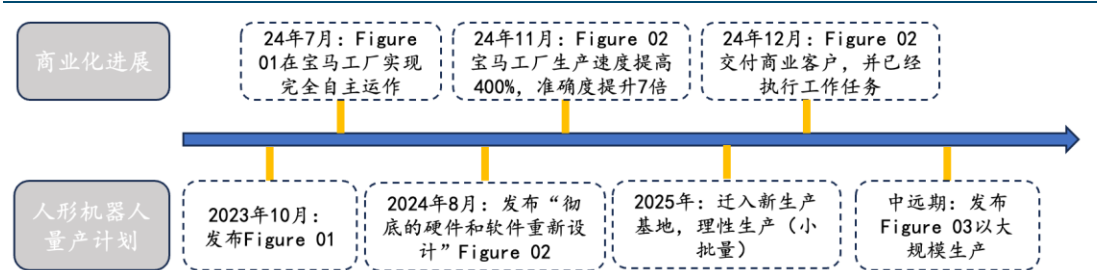
图表17: Figure02 大脑与 OpenAI GPT-4o 多模态大模型深度集成



来源: FigureAI 官网, 国金证券研究所

Figure02 商业化路径逐渐跑通, 量产奇点渐行渐近。24 年 12 月 Figure02 交付其他商业客户, 并已经执行工作任务, Figure 实现在非宝马客户外的销售, 实现创收“0-1”的突破。随着商业化进程推进, 公司量产规划开始提速, 25 年预计迁入新生产基地, 开始理性的小批量生产, 中远期迭代升级量产版本 Figure03 后, 预计将开启大规模生产。1 月 31 日, Figure 创始人 CEO Brett Adcock 发布 Figure 商业化进展: 签约了其第二个商业化客户, 且是美国最大的公司之一, 并在去年签约的 BMW 和新客户之间, 其中一条客户线将给 Figure 4 年内带来 10 万台 Figure 部署的潜力。

图表18: Figure02 商业化逐步推进



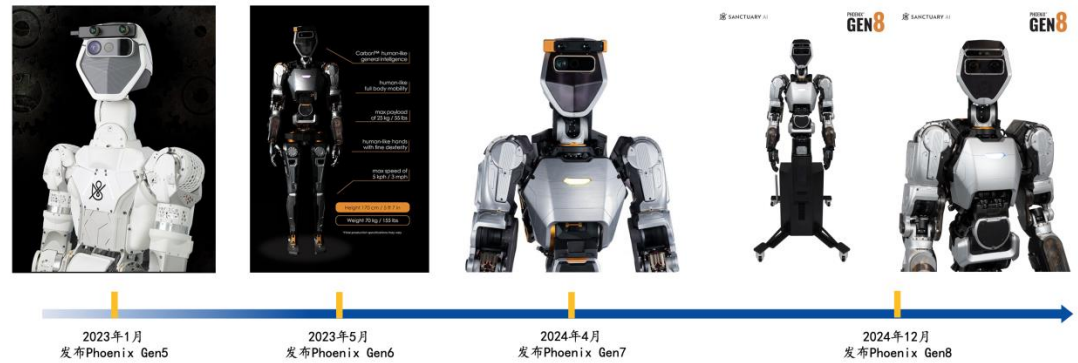
来源: FigureAI 官网, 机器人大讲堂, 国金证券研究所

1.2.4 SanctuaryAI 公司: PhoenixGen8 改用轮式方案, 灵巧手处于行业头部

SanctuaryAI 人形机器人产品已迭代至第八代产品, 成熟度较高。SanctuaryAI 公司成立于 18 年创始团队软件背景强大, 包括 D-Wave (量子计算领域的先驱) 创始人兼首任 CEO Geordie Rose, 以及 Kindred (首家在生产机器人中使用强化学习的公司) 的核心成员 Suzanne Gildert、Olivia Norton 和 Ajay Agrawal。SanctuaryAI 在成立不到 8 年的时间, 人形机器人产品已经迭代至第八代产品——PhoenixGen8。



图表19: SanctuaryAI Phoenix 机器人迭代进程



来源: SanctuaryAI 官网, 国金证券研究所

SanctuaryAI 商业化进程顺畅, 携手微软推进通用人形机器人落地。融资方面通过多轮融资已经具备较强资本实力;在商业化落地方面, 公司产品将落地麦格纳汽车零部件工厂;智能化方面, 2024 年 5 月, 公司与微软合作研发大型行为模型(LBM), 进一步推进通用人形机器人技术的应用。通过这些融资和合作, SanctuaryAI 正在加速推进其人形机器人技术的研发和商业化应用。

图表20: SanctuaryAI 融资与商业合作进程

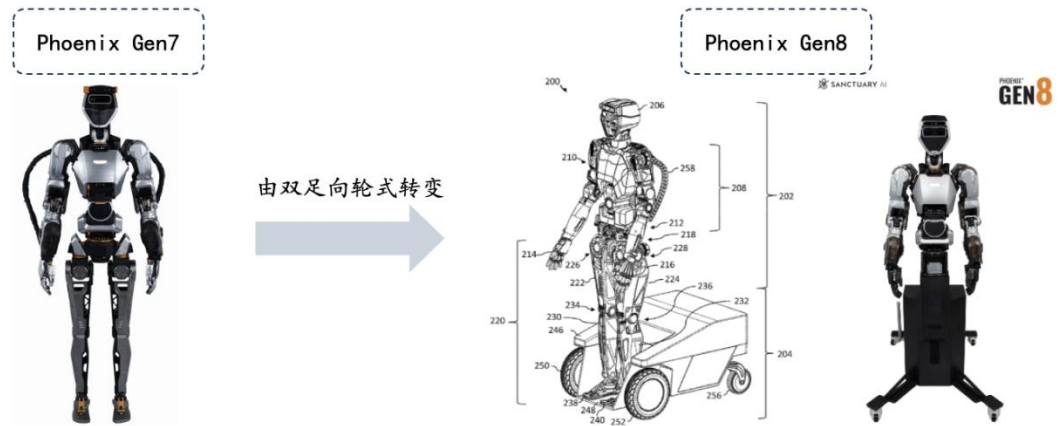
日期	公司发展进程
2022 年 3 月	SanctuaryCognitiveSystemsCorporation 宣布成功完成超额认购的 7550 万加元 (5850 万美元) A 轮融资。投资者包括 Bell、EvokInnovations、ExportDevelopmentCanada、Magna、SEHealth、VerizonVentures 和 WorkdayVentures。
2022 年 11 月	公司获得了加拿大政府 3000 万美元的战略创新基金(SIF)捐款, 这笔捐款使我们的总资金超过 1 亿美元。
2024 年 3 月	埃森哲宣布对 SanctuaryAI 进行战略投资, 进一步加强了公司的技术和商业化能力。
2024 年 7 月	SanctuaryAI 完成了由 BDCCapital 和 InBC 基金投资的最新一轮融资, 目前公司的融资总金额已超过 1.4 亿美元。
2023 年 3 月	SanctuaryAI 宣布与加拿大轮胎公司(CTC)合作, 并成功在 CTC 的商店进行了一周的机器人试点, Phoenix 机器人能够准确地完成 110 项零售相关任务, 包括挑选、包装、清洁、标记和贴标签等。
2024 年 3 月	英伟达 GTC 大会上, SanctuaryAI 作为英伟达 ProjectGROOT 计划的合作伙伴之一, 与其他人形机器人公司共同亮相。此外, SanctuaryAI 的第七代 Phoenix 机器人与英伟达的 Isaac 平台紧密结合, 利用 IsaacLab 在仿真环境中进行大规模并行训练, 以加速机器人的学习和适应能力。
2024 年 4 月	SanctuaryAI 与全球汽车零部件制造商麦格纳国际(MagnaInternational)建立战略合作伙伴关系, 计划将 Phoenix 机器人部署到麦格纳的汽车零部件工厂, 并于明年开始在实际制造环境中进行应用。
2024 年 5 月	公司与微软达成战略合作, 共同推进通用人形机器人 AI 技术的研发, 还为实现大型行为模型(LBM)奠定了基础。

来源: SanctuaryAI 官网, NVIDIA 官网, 立德共创, 人形机器人场景应用联盟, 国金证券研究所

战略调整, PhoenixGeneration8 改做轮式人形机器人。SanctuaryAI PhoenixGen7 是 24 年 4 月发布的双足人形机器人, 但 2024 年 12 月 16 日, SanctuaryAI 推出了 PhoenixGen8, 产品形式发生较大变化, 从双踏板腿改为轮式底座人形机器人。



图表21: PhoenixGen8 向轮式人形机器人转变

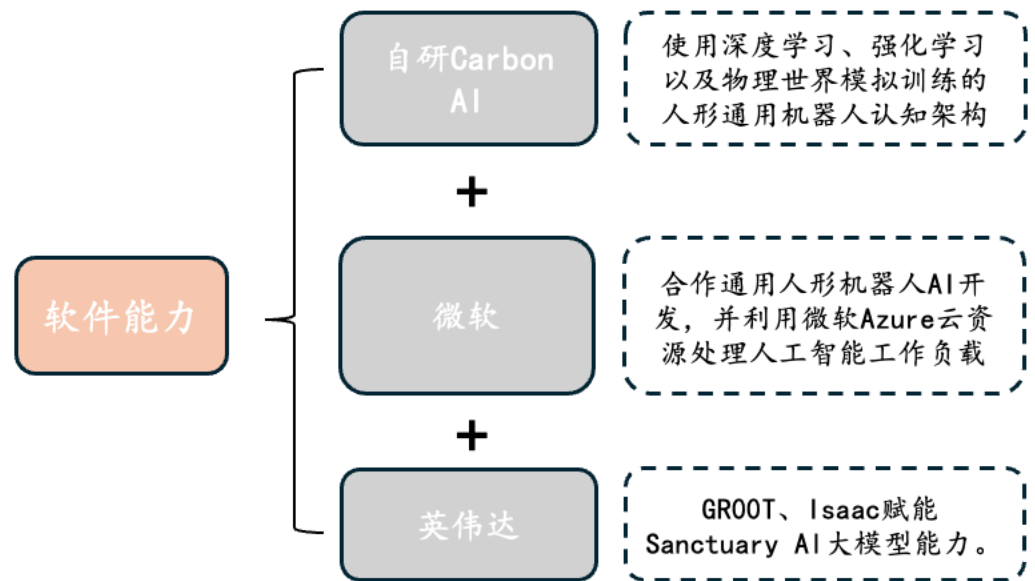


来源: SanctuaryAI 官网, 立德共创, 国金证券研究所

■ PhoenixGen8 注重提升软件和灵巧手能力, 灵巧手自由度领先。

- 自研 CarbonAI+微软合作+英伟达合作加码软件能力。1) 自研 CarbonAI: 不同于传统机器人系统用于解决特定的、单一的任务, CarbonAI 系统模仿人脑中的子系统, 例如记忆、视觉、声音和触觉, 是使用深度学习、强化学习以及物理世界模拟训练的人形通用机器人认知架构。2) 微软合作: 24 年 5 月 SanctuaryAI 与微软合作加强 AI 研发, 并利用微软 Azure 云资源处理人工智能工作负载; 3) 英伟达合作: 英伟达 GROOT、Isaac 赋能 SanctuaryAI 大模型能力。

图表22: 自研 CarbonAI 同时向外与微软、英伟达合作



来源: SanctuaryAI 官网, NVIDIA, 国金证券研究所

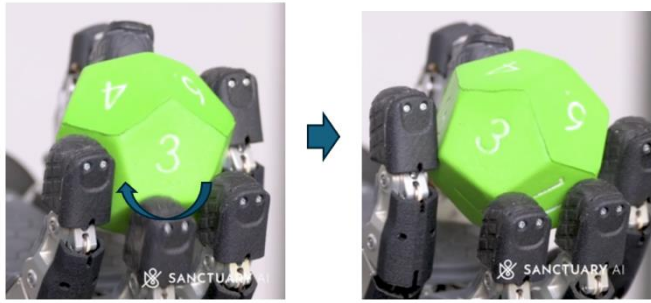
- **灵巧手:** 根据美国劳工统计局, 约 99% 的工作需要手指精细操作。PhoenixGen8 灵巧手采用微型液压阀, 功率密度会比机电系统驱动方法高一个数量级, 灵巧手速度、可控性更强, PhoenixGen8 有望在广泛的工业操作任务中逐步落地。

对比市场竞争对手灵巧手自由度: PhoenixGen8 自由度达 21 个, 自由度多于 OptimusGen2 (11 个)、1XNEO (20 个)、Figure02 (16 个)、远征 A2 (19 个), SanctuaryAI 灵巧手自由度领先。



图表23: Phoenix 灵巧手精细操作能力强

Phoenix Gen 8灵巧手五指灵活转动多面体



来源: SanctuaryAI 官网, 国金证券研究所

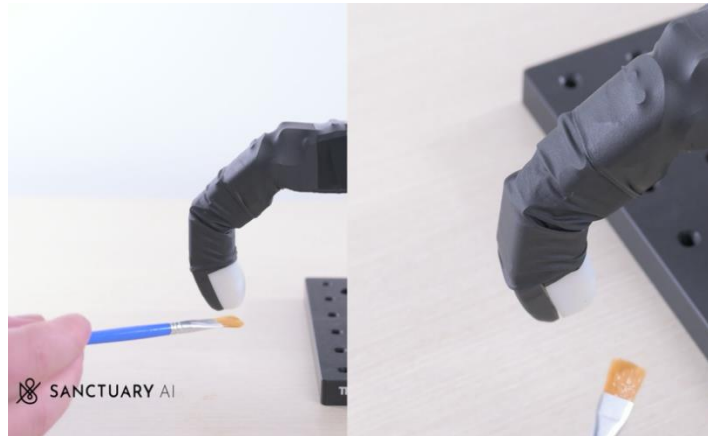
图表24: SanctuaryAI 灵巧手自由度领先

公司	人形机器人	灵巧手自由度
特斯拉	Optimus	11
1X	NEO	20
FigureAI	Figure02	16
智元	远征 A2	19
SanctuaryAI	PhoenixGen8	21

来源: SanctuaryAI 官网, 36 氪, TheRobotReport, 特斯拉 AIDAY2022, 国金证券研究所

SanctuaryAI 新型触觉传感器技术提高通用机器人的速度和成功率, 并且集成触觉技术可为更高性能的具体化 AI 模型提供更大容量和更丰富的数据。

图表25: PhoenixGeneration8 指腹集成触觉传感器



来源: SanctuaryAI 官网, 立德共创, 国金证券研究所

根据 SanctuaryAI 官网, 24 年 11 月 SanctuaryAI 联合创始人兼 CEO 在内的近 30 人离职, 后续量产、商业化进展推进或增添一定不确定性。

1.2.5 Apptronic 公司: 注重执行器和模块化设计, 牵手谷歌提升智能化

与 NASA 深度合作, 23 年推出人形机器人产品 Apollo。Apptronic 脱胎自得克萨斯大学奥斯汀分校的人类中心机器人实验室, 该公司与 NASA 持续深度合作, 团队成员曾参与 2012-2013 年的 DARPA 机器人挑战赛, 赛期间为 NASA 机器人 Valkyrie 工作, 此后在 2022 年 9 月也与 NASA 进行深度合作, 为太空探索做贡献。2023 年 Apptronic 发布人形机器人 Apollo, 定位为与人类一起工作或在家庭、医院等场景服务人类的通用型人形机器人。

图表26: 2023 年 Apptronic 开发出人形机器人 Apollo

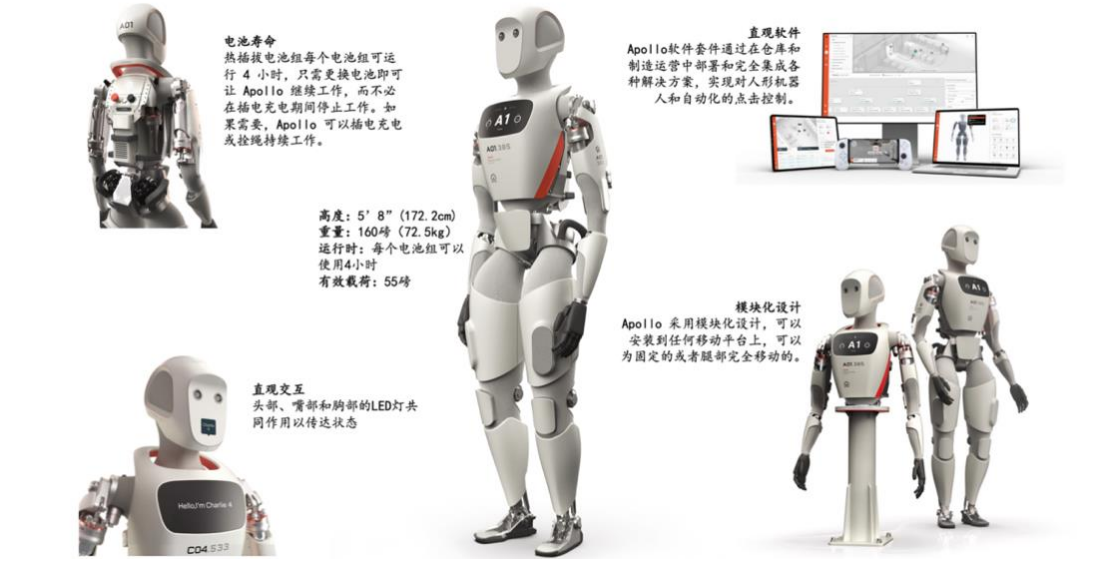




来源：Appttronik 官网，IOTWorldToday，国金证券研究所

Appttronik 首款通用人形机器人 Apollo 模块化设计，灵活性、续航高。Appttronik 公司于 2023 年 8 月推出了其首款通用人形机器人——Apollo，这款机器人身高约 172 厘米，体重 72.6 公斤，设计初衷是与人类协同工作，适用于工厂、医院、家庭等多种场景。模块化设计：Apollo 多部件采用模块化设计，如腿部可更换为固定桩，满足多种应用场景需求；Apollo 电池支持热插拔设计，每块电池续航时间为 4 小时，以解决人形机器人续航痛点。

图表27: Apollo 机器人产品拆解



来源：Appttronik 官网，国金证券研究所

■ 人形机器人 Apollo 核心在于执行器和模块化设计，强调物理智能。

- **执行器**：迭代超 35 次，形成强大的“物理智能”。Apollo 模仿人类的肌肉群分布，利用迭代超 35 次的执行器，构建了其 30 个不同的肌肉群，负责执行基本的动作和活动能力。
- **模块化**：设计根据不同任务需求灵活调整各个部件，实现高效维护和功能扩展。
 - 头部：可以放置不同的传感器，当被用于户外时可根据需要添加激光雷达。
 - 胸部：躯干可以有效地与腿部分离并安装到轮式底座上。
 - 电池：支持热插拔设计，以方便人形机器人续航。
 - 末端执行器：可用单自由度的手和更简单的末端执行器来完成既定任务。

“制造一个可以做数千种不同事情的机器人”。Apollo 机器人模块化设计使其能够在物流、制造、建筑、石油和天然气、电子产品生产、零售、送货上门、老年护理等领域灵活应用。

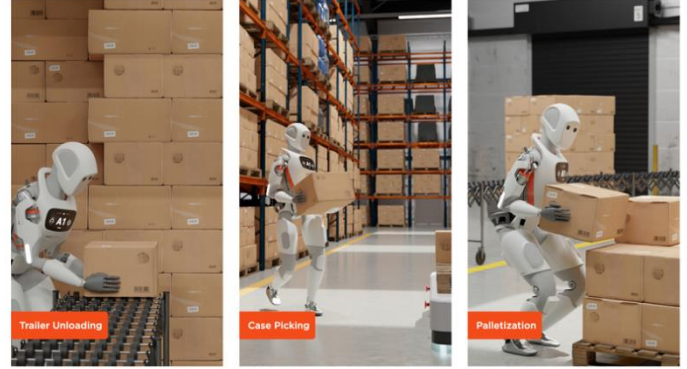


图表28: Apollo 人形机器人模块化设计



来源: Appttronik 官网, 国金证券研究所

图表29: Apollo 物流领域辅助场景



来源: Appttronik 官网, 国金证券研究所

商业化对接奔驰、GXO 物流，大模型牵手 Google。在商业化应用方面，Appttronik 公司依次与 NASA、梅赛德斯-奔驰、全球物流巨头 GXO 展开深度合作。在技术合作方面，2024 年 12 月，公司与 GoogleDeepMind 达成战略合作，共同研发新一代人形机器人，力图让其能够胜任更加复杂的任务。

图表30: Appttronik 商业化及外部合作进程

日期	商业化及对外合作进程
2022 年 9 月	Appttronik 公司与美国国家航空航天局(NASA)的合作始于 2013 年，当时他们在 DARPA 机器人挑战赛期间合作开发了 Valkyrie 机器人。此后，双方于 2022 年重新建立合作关系，旨在加速通用型人形机器人 Apollo 的商业化进程。
2024 年 3 月 15 日	公司宣布已与梅赛德斯-奔驰达成协议，在其生产设施中试用 Apollo，用于执行重复性、低技能的任务，例如向生产线运送零件和检查组件。
2024 年 3 月 18 日	Appttronik 与 NVIDIA 合作推进通用型人形机器人模型，Appttronik 的 Apollo 人形机器人将与 NVIDIA 的新型通用机器学习基础模型 ProjectGROOT 相结合，以实现人形机器人增强未来，更好地服务于人类。
2024 年 6 月	GXO 推进人形机器人战略，宣布与 Appttronik 合作开展多阶段研发计划。两家公司正在实验室环境中共同评估机器人的整体性能，以进一步微调 Appttronik 的 AI 模型，在准备就绪后将该技术部署到美国配送中心。
2024 年 12 月	Appttronik 宣布已与 GoogleDeepMind 机器人团队达成战略合作协议。此次合作将结合一流的人工智能、尖端硬件和具身智能，推动人形机器人的发展，使其能够在动态环境中为人类提供更多帮助。

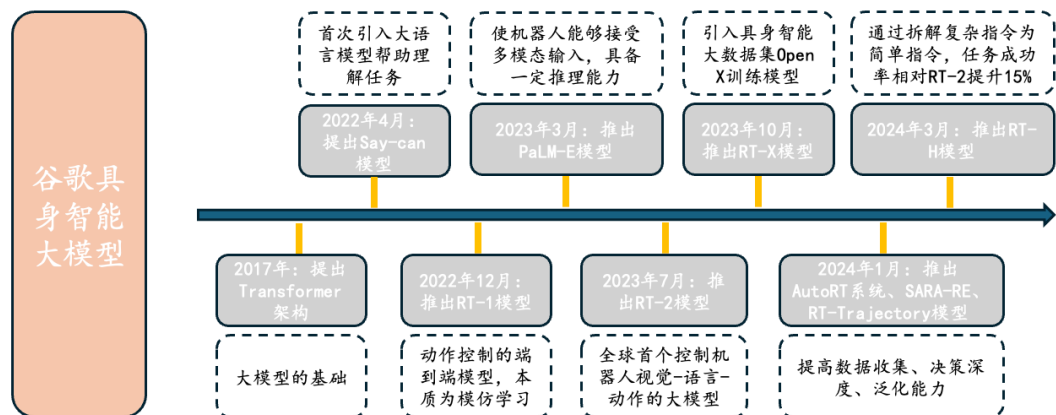
来源: Appttronik 官网, IOTWorldToday, 国金证券研究所

谷歌具身智能大模型迅速迭代，Appttronik 为谷歌入局人形机器人本体赛道的路径，后续新产品智能化有望加速。24 年 12 月 Appttronik 牵手 GoogleDeepMind 团队，谷歌具身智能大模型已从 Saycan 迭代到 RT-H，处于行业头部地位，有望推动 Appttronik 产品智能化



加速升级。

图表31: 谷歌具身智能大模型迭代至RT-H, 有望推动Apptronik产品智能化加速升级



来源: 机器人产业应用, 亿欧, 国金证券研究所

1.2.6 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 2015 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。

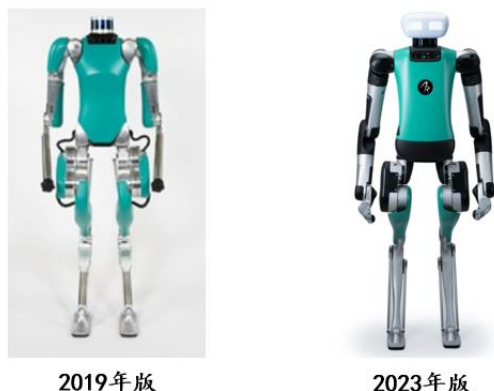
图表32: Digit 的更新改造史



来源: 机器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33: Digit 机器人外观



图表34: Digit 主要应用场景





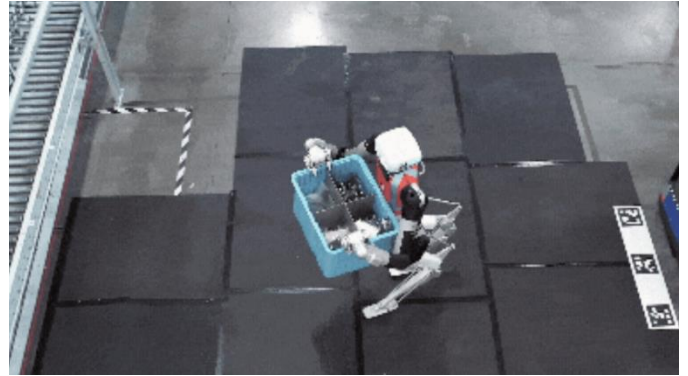
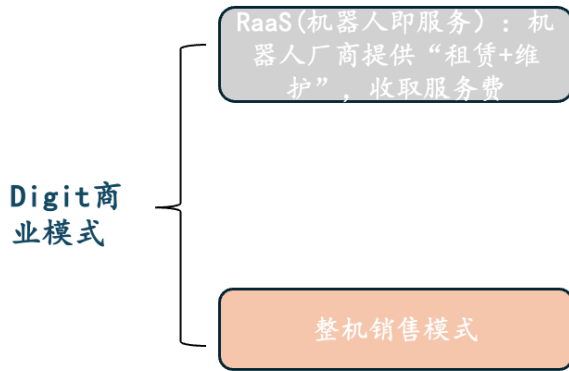
来源: AgilityRobotics 官网, 国金证券研究所

来源: AgilityRobotics 官网, 国金证券研究所

Digit 开创人形机器人历史上首次投入商业化运作先河。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。经过巨头的“蹚雷”成功, 全球最大的纯合同物流供应商 GXO 与 Agility 签订长期协议, 在物流运营中全面部署 Digit, Digit 开创人形机器人历史上首次投入商业化运作先河。

图表35: Digit 分为 RaaS 和整机销售两种模式

图表36: Digit 搬运货箱



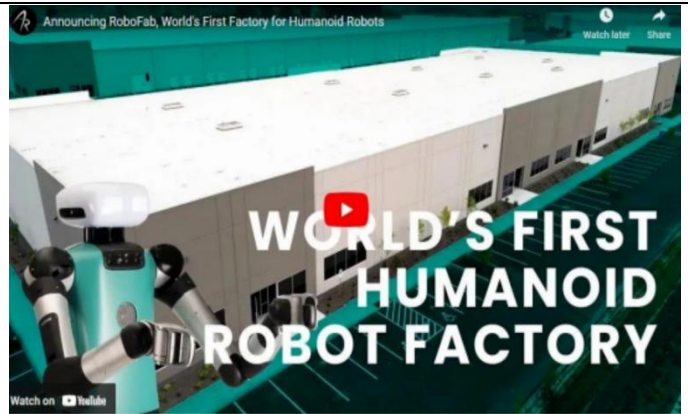
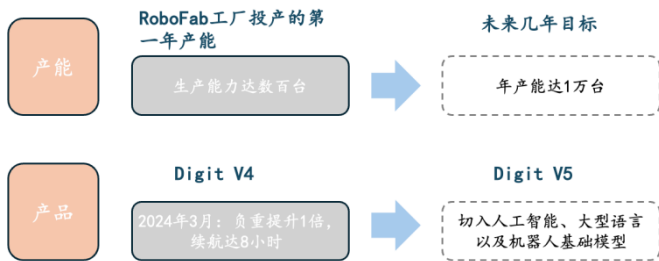
来源: 高工人形机器人, 国金证券研究所

来源: 高工人形机器人, 国金证券研究所

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, 目前该工厂已经投产一年, 产能达数百台, 未来年产能将拓展至 10000+ 台。随着商业模式跑通、产品迭代以及工厂产能爬坡, 预计 Digit 商业化收入将加速扩张。

图表37: Digit 制造工厂产能爬坡顺畅

图表38: Digit 机器人制造工厂



来源: 中国机器人网, CyberRobo, 国金证券研究所

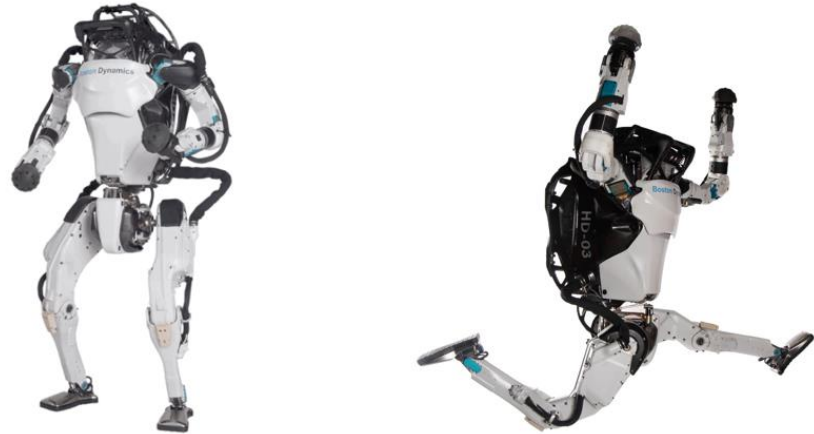
来源: 维科网机器人, 国金证券研究所

1.2.7 波士顿动力: 液压转向全电驱动, 商业化进程推进

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 BigDog。其后, 波士顿动力持续进行机器人研究, 并推出 LS3、WildCat、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39: 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 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40: 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41: Atlas 人形机器人在工厂给人类充当助手

用木板为自己搭桥



将工具包扔给人类



拎工具包上楼梯、过搭桥、蹦上高台, 一气呵成



前空翻方式平稳落地




来源: BostonDynamics, 国金证券研究所



Atlas 由液压转向全电驱动转型。液压系统零件多、制造复杂，还存在漏油等稳定性问题（Atlas 曾出现过液压油从双膝喷射而出的状况），并且液压驱动的机器人还需要一整套液压系统，成本远高于电驱动。2024 年 4 月波士顿动力宣布放弃液压版 Atlas 研发，转而发布了全电驱动 Atlas。

图表42: Atlas 人形机器人向全电驱转型

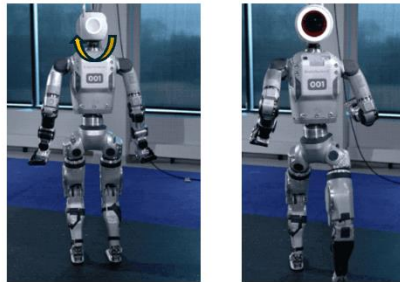
液压版Atlas参数		Atlas液压版	Atlas电驱版	电动版Atlas参数	
身高	1.5m			身高	1.5m
重量	80kg			重量	75kg
自由度	28			电池/续航	2.5-3.0kWh, 续航1h
视觉	RGB相机、深度传感器			自由度	28
膝关节扭矩	890N·m			电机功率	500-800w/台
髋关节扭矩	840N·m			视觉	LiDAR:激光雷达、RGB-D摄像头
步行速度	1.5m/s			控制系统	NVIDIA Jetson AGX Xavier

来源: BostonDynamics, AI 技术与应用, 机器人大讲堂, 国金证券研究所

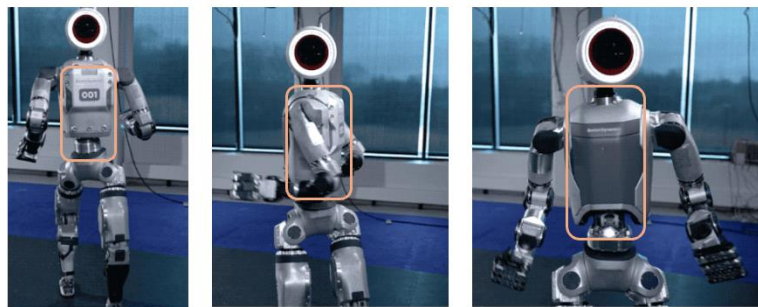
电动 Atlas 增加旋转关节，助力 Atlas 从研究平台向商业化产品转向。电动 Atlas 增加了脖子、腰部的旋转关节，可实现 180 度旋转，能够帮助机器人在工厂工作中减少移动，降低动态平衡需求和提升工作效率。

图表43: Atlas 人形机器人向全电驱转型

Atlas头部可旋转180度



Atlas腰部可旋转180度



来源: BostonDynamics, 机器人大讲堂, 国金证券研究所

电动版 Atlas 工厂环境测试成功，商业化进程或将加速。电动版 Atlas2024 年 10 月进厂，并且在 MPC（模型预测控制）下，实现完全自主地在储物柜之间搬动汽车发动机零件。根据 BostonDynamics, Atlas 工厂测试较为成功，预计 25 年开始在韩国现代汽车工厂开始进行试点测试。根据 RobertPlayer, 公司计划未来将产品投放于工业、物流等流域，推动产品商业化进程。



图表44: 电驱 Atlas 实现在工厂环境下完全自主抓取、搬运、放置汽车零部件



来源：机器人之心，国金证券研究所

1.3 国内公司：科技、初创、传统车企多领域发力

1.3.1 优必选：全新一代工业人形机器人实训顺利，有望开启规模交付

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45: 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，WalkerX 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
2024年	发布全新一代工业机器人 WalkerS1，并已进入汽车工厂实训

来源：BostonDynamics，国金证券研究所

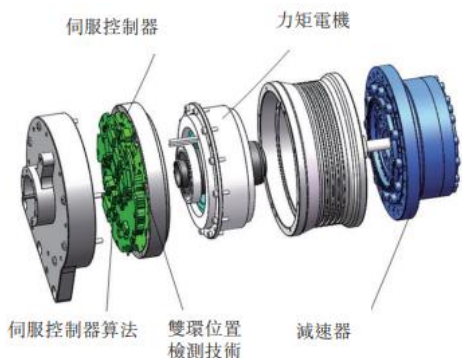
优必选在机器人领域拥有两大核心技术：伺服驱动器、运动规划和控制技术

■ 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—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。

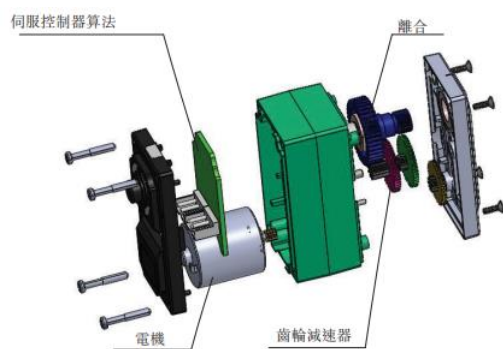


图表46: 优必选大扭矩伺服驱动器



来源: 优必选招股说明书, 国金证券研究所

图表47: 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, 是人形机器人的关键核心技术。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48: 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

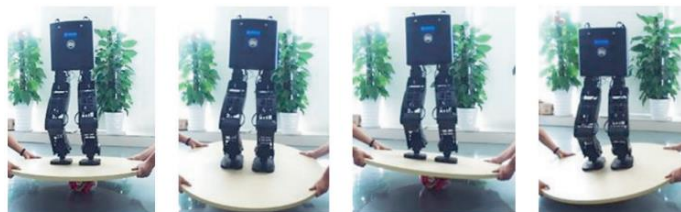
- 稳定控制算法: 优必选将稳定控制算法应用人形机器人中, 使机器人实现稳定控制能力: 1) 倾倒恢复能力: 受到外力影响时, 优必选机器人可在移动过程中纠正步伐频率及落脚点, 提升行走稳定性。2) 单腿平衡能力: 通过单腿平衡能力, 优必选机器人不会被轻易推倒, 稳定性强且能完成一系列不同的动作。3) 动态平衡能力: 优必选采用了力位混合控制算法, 使机器人能够在不稳定的坡地及地面上保持平衡。

图表49: 优必选机器人拥有稳定的控制能力



来源: 优必选招股说明书, 国金证券研究所

图表50: 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

- 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51: 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

Walker 系列迭代升级, 发布 WalkerS1 工业人形机器人。2024 年 10 月优必选发布全新一代工业人形机器人, WalkerS1 身高 1.72 米, 体重 76kg, 最大关节扭矩提升至 250Nm; 该产品具备通用任务多模态规划大模型、学习型全身控制、行业首创语义 VSLAM 导航, 有望在汽车等工业领域加速落地。

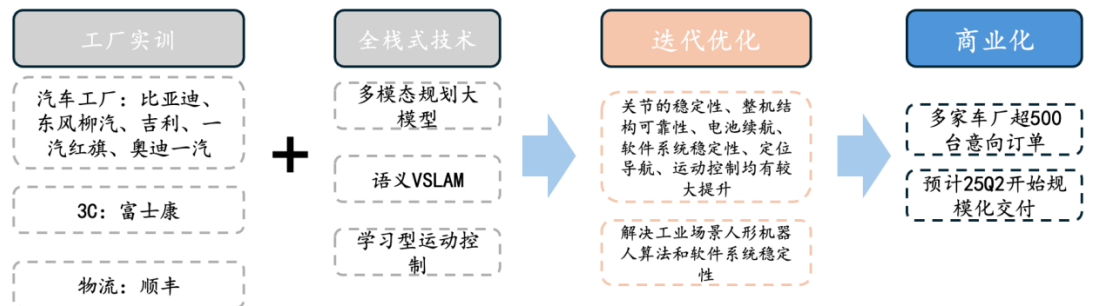
图表52: 优必选服务机器人可以实现与人类的安全交互

Walker X		Walker X (2021年)	Walker S1 (2024年)	Walker S1参数	
身高	1.5m			身高	1.72m
重量	80kg			重量	76kg
自由度	28			负重	15kg
膝关节 扭矩	890N·m			行走速度	3km/h
髋关节 扭矩	840N·m			感知系统	双目鱼眼相机、3D立体视觉
步行速 度	1.5m/s			一体化关 节	250Nm
				运动控制	感控一体、端到端学习型的全 身运动控制框架
				导航	行业首创语义VSLAM导航
				大模型	面型通用任务的多模态规划大 模型

来源: 优必选科技公众号, 技术加公众号, 世界机器人总联盟, 国金证券研究所

WalkerS1 已在多个汽车工厂实训, 预计 25Q2 开始规模交付。WalkerS1 与多个汽车工厂合作进行实训, 包括比亚迪、东风柳汽、吉利、一汽红旗等, 该产品还在富士康、顺丰等 3C、物流企业开启实训。工厂实训能够推动关节稳定性、结构可靠性、运动控制等迭代更新, 目前 WalkerS1 解决了工业场景中人形机器人算法和软件系统稳定性的技术难题, 预计 WalkerS1 在 25Q2 有望开始规模交付。

图表53: WalkerS1 已在多个汽车工厂实训, 预计 25Q2 开始规模交付



来源: 电子发烧友网, 优必选科技官方公众号, 国金证券研究所

1.3.2 宇树科技: 春晚闪亮登场, 市场影响力提升

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。24年5月公司发布性价比人形机器人G1，官方定价9.9万元起，8月宇树科技对G1进行量产设计升级，整体更加符合量产要求；25年1月宇树科技围绕UnitreeG1行走和奔跑能力进行升级。

图表54: 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	发布首款通用人形机器人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
2024年5月	发布通用机器人G1,定价9.9万元起
2024年8月	对G1进行量产设计升级,整体更符合量产要求

来源:宇树科技官网,人形机器人联盟,国金证券研究所

宇树科技通用人形机器人包括H1与G1,其中H1为定位高端科研、G1定位为大众消费市场。根据中国证券报,UnitreeH1早在23年10月就完成了首批商业化小批量交付,定价为65万元左右,定位于高端科研等领域;UnitreeG1主要应对大众消费市场,定价为9.9万元起,宇树科技两款通用机器人通过差异化定位开拓市场,商业化进展有望迎来突破。

图表55: 优必选服务机器人可以实现与人类的安全交互

Unitree H1 参数		Unitree H1	Unitree G1	Unitree G1 参数	
身高	1.8m			身高	1.3m
重量	47kg			重量	35kg
自由度	41个可活动关节			自由度	23-43, 单腿6, 单臂5, 单手7+2
行走速度	2km/h			行走速度	3km/h
感知系统	3D激光雷达+深度相机			感知系统	3D激光雷达+深度相机
最大关节转矩	360Nm			最大关节转矩	120Nm
电池/续航时间	15000mAh			电池/续航时间	9000mAh, 2h

来源:宇树科技官网,深度人工智能公众号,国金证券研究所

■ UnitreeH1 国内第一台能跑的人形机器人, 2025年春晚表演尽显技术实力

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, 而髌关节电机扭矩则为 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56: 宇树 H1 搭载大扭矩高功率 M107 关节电机

Tesla Optimus 人形机器人关节电机



产品	M107	Tesla-1	Tesla-2
最大扭矩 or 拉力 (3.5cm 力臂等效)	360N.m	180N.m	800N
重量	1.9kg	2.26kg	2.2kg
扭矩 or 拉力 / 重量比	189	79	36.36
中空轴	有	无	无
双编码器	有	有	有
尺寸 (mm)	107*74	100*130	60*180

Unitree M107 关节电机

超强动力性能, 显著提升
运动灵活度、速度、负载能力、续航等等



来源: 宇树科技官网, 国金证券研究所

图表57: 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

UnitreeH1 亮相 2025 年春晚, 彰显技术实力。UnitreeH1 机器人在春晚舞台实现转手绢、抛接等高难度动作。从技术角度来看: 1) 转手绢: 机器人身上 32 个高精度传感器, 基本能做到手绢稍微歪一丁点在 0.01 秒内自动摆正, 实时调整旋转力度。2) 抛接: 从手绢抛出到接住, 机器人需要不到 1 秒内完成三个关键动作, 包括视觉追踪、轨迹预测、机械臂动态调整。3) 走位: 依靠 SLAM 定位技术, 实现全自动走位变队形。

图表58: UnitreeH1 亮相 2025 年春晚



- 3D 激光雷达
全自动定位与导航技术
- 基于视频的舞蹈动作的
生成与映射
- 基于强化学习的
全身舞蹈动作
- 手腕对接变换装置
- 手绢抛掷与回收
结构与算法
- 基于力矩补偿的
快速放线算法
- 手绢旋转同步结构
- 欠驱动收线算法
- 集群舞蹈控制台
(自由任意调度机器人)
- 手绢隐藏与释放
- 足底减震降噪结构
- 舞蹈节奏对齐算法

来源: 宇树科技, 青春北京, 国金证券研究所

UnitreeG1 面对大众消费的通用型人形机器人, 商业化落地可期。根据宇树科技 25 年 1 月 16 日的视频, G1 在山坡、草地、阶梯等地方能够流畅行走、跑步, 体现复杂地形适应能力进一步优化。“价格屠夫”G1 起售价 9.9 万元, 相对友商动辄几十万元售价, 价格亲民, 商业化落地有望加速。



图表59: UnitreeG1 能够流畅跑过阶梯



来源：焉知人形机器人，国金证券研究所

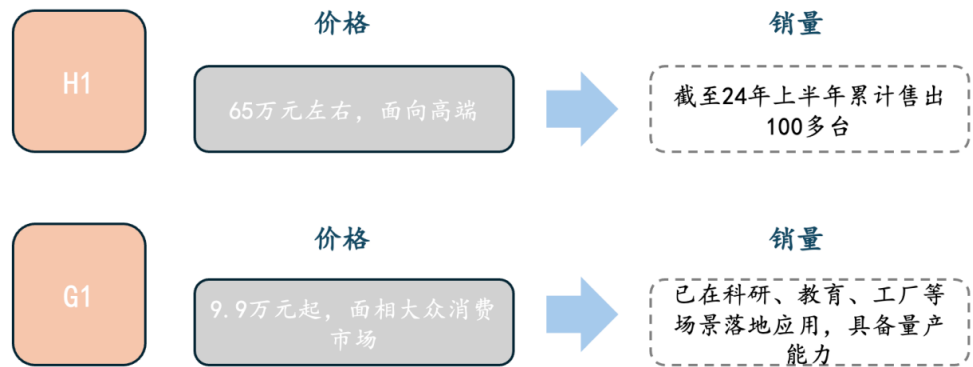
图表60: UnitreeG1 具有较高性价比优势

机器人名称	价格
UnitreeG1	9.9 万元起
特斯拉 Optimus	终极目标价 14 万元左右
优必选 Walker 工业版	50 万元
达闼	39.9 万元
天链机器人	50-100 万元
乐聚夸父	60-80 万元

来源：焉知人形机器人，国金证券研究所

宇树科技两款人形机器人通过差异化定位，面对不同客户群体，有望通过产品矩阵建设推动商业化进程。UnitreeH1 面向高端客户，自 23 年 8 月发布以来，截至 24 年上半年已累计销售 100 多台，商业化落地顺畅。UnitreeG1 定位性价比，面向大众消费市场，已经在科研、教育、工厂等场景落地，具备量产能力。

图表61: UnitreeH1、G1 商业化落地顺利



来源：中国证券报，焉知人形机器人，高工人形机器人，国金证券研究所

1.3.3 智元：商用元年，量产启航

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。时隔仅一年，智元机器人在 24 年 8 月发布远征、灵犀两大家族共 5 款商用人形机器人新品。新品发布后，智元机器人坐上快速发展的列车，截至 25 年 1 月累计下线 1000 台通用机器人。

图表62: 成立不到2年，智元机器人累计下线1000台通用机器人





来源：智元机器人官网，中国机器人网，机器人界，上海临港，硅基生命 Pro，国金证券研究所



智元人形机器人包括远征 A1、远征 A2、远征 A2Max、灵犀 X1。远征 A1 为公司首款人形机器人偏通用场景；远征 A2 智能化和移动能力强，主要用于交互服务场景；远征 A2Max 匹配高自由度的灵巧手和大关节电机，定位于重载特征作业；灵犀 X1 面向科研教育领域，提供全栈开源，智元人形机器人产品矩阵丰富，有望在多个下游应用“多点开花”。

图表63：智元机器人产品矩阵丰富

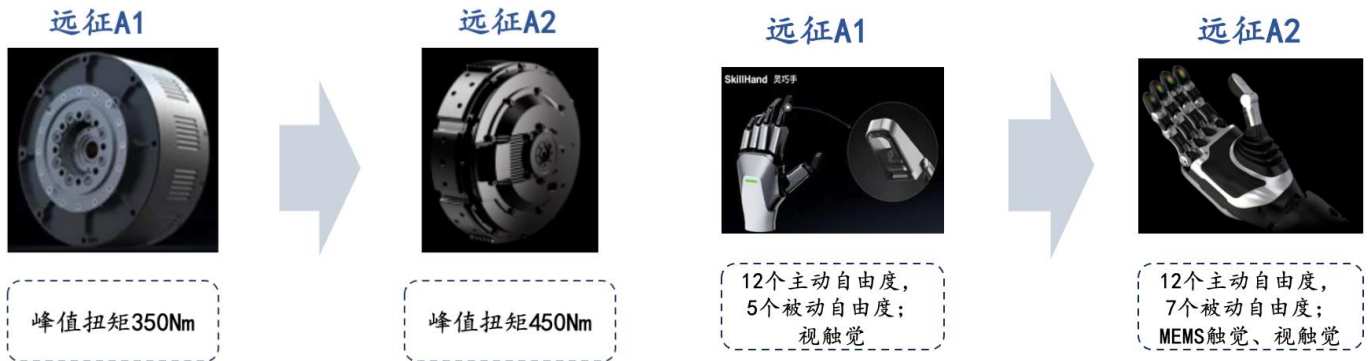
远征A1参数				远征A2参数	
身高	1.75m			身高	1.69m
重量	55kg	自由度	40+	行走速度	7km/h
自由度	49+	感知系统	RGB-D相机*2、激光雷达、胸部鱼眼相机		
行走速度	7km/h	最大关节转矩	430Nm	电池/续航	700wh/2h
感知系统	RGB-D相机、激光雷达	智能化	语言大模型、RAG、多模态大模型、动作大模型		
最大关节转矩	350Nm	移动	3D-SLAM算法、VectorFlux算法、RTMOF算法		
灵巧手	12个自动自由度和5个被动自由度	远征A2 Max参数		身高	1.75m
算力	200Tops	重量	85kg	自由度	67
		行走速度	1m/s	最大关节转矩	450Nm
		电池/续航	2h	负载	全工作空间可搬运40KG重物
		灵巧手	19个自由度		
		灵犀X1参数			
身高	1.30m	重量	33kg	自由度	31
重量	33kg	行走速度	1m/s	感知系统	RGB-D相机、激光雷达
自由度	31	续航	2h	特点	开源
行走速度	1m/s				
感知系统	RGB-D相机、激光雷达				
续航	2h				
特点	开源				

来源：智元机器人官网，国金证券研究所

关节电机、灵巧手迭代升级。1) PowerFlow 关节模组：远征 A2 对关节模组进行量产化迭代，峰值扭矩从 350Nm 提升至 450Nm；2) 灵巧手：从 17 个自由度升级为 19 个自由度，触觉感知从之前视触觉丰富为 MEMS 粗觉+视粗觉。

图表64：智元关节峰值扭矩提升至 450Nm

图表65：远征 A2 灵巧手提升至 19 个自由度



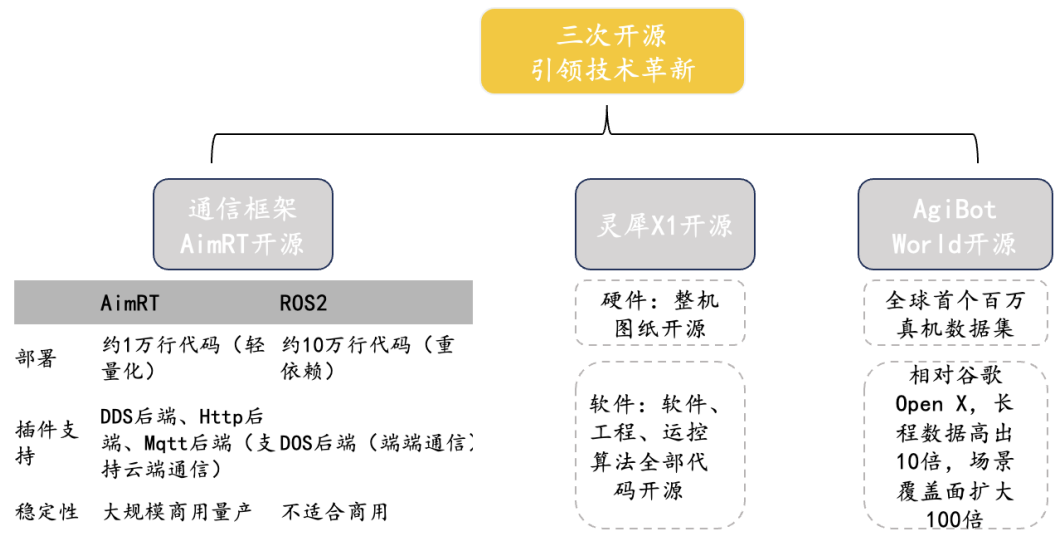
来源：焉知人形机器人，智元机器人，国金证券研究所

来源：焉知人形机器人，智元机器人，国金证券研究所

三次开源，引领技术革新。24 年智元启动“中间件+整机+数据”三次开源：1) 中间件：开源 AimRT 通信框架，推动机器人商业加速；2) 整机：公开灵犀 X1 硬件图纸和软件代码；3) 数据：开源 AgiBotWorld 全球首个百万真机数据集，推动机器人训练升级。智元通过三次开源，引领技术革新，并有望依靠开源开始构筑智元生态，成为人形机器人行业领军者。



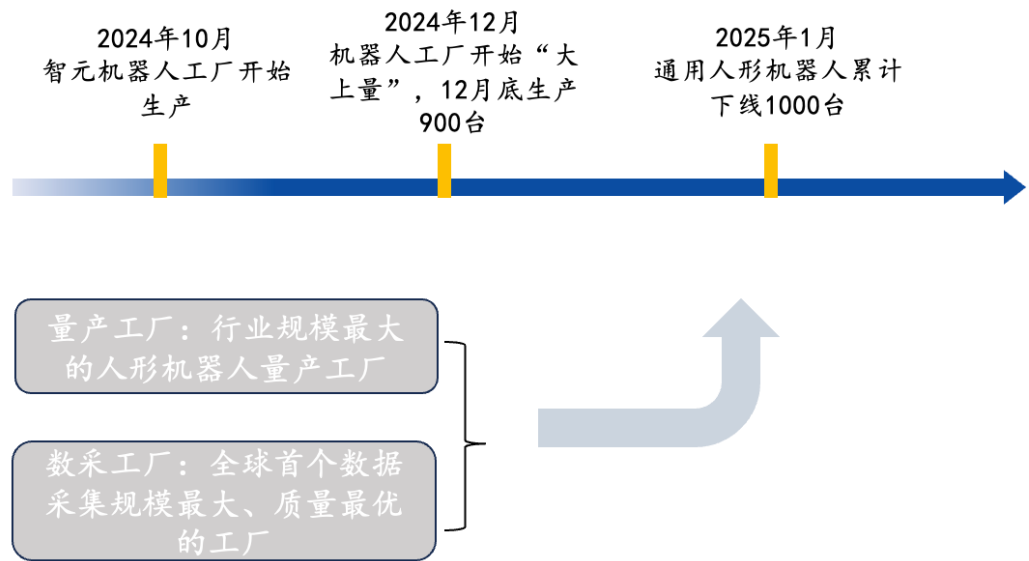
图表66: 三次开源, 引领技术革新



来源: 智元机器人官方公众号, 科创板日报, 国金证券研究所

行业最大规模量产工厂+全球数据采集规模最大的数采工厂, 量产或将加速。智元机器人量产工厂于24年10月投产, 12月开始“大上量”, 截至24年12月底生产900台, 25年1月累计下线1000台。在行业最大规模量产工厂和数采工厂赋能下, 智元机器人量产或将加速。

图表67: 行业规模最大机器人工厂投产, 量产加速



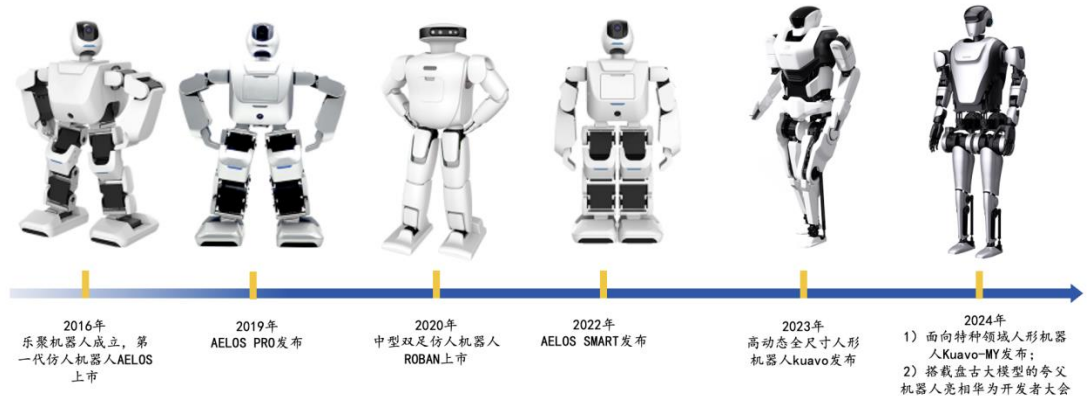
来源: 智元机器人官方公众号, 上海临港官方公众号, 国金证券研究所

1.3.4 乐聚机器人: 盘古大模型加持, 新产线投产提升量产能力

脱胎于哈工大机器人俱乐部, 夸父人形机器人接入华为盘古大模型。乐聚机器人是由哈工大机器人俱乐部脱胎而成, 创始团队为机器人整体结构设计、人工智能算法背景, 是由学术向产业进化的团队。乐聚从创立第一年就发布第一款仿人机器人AELOS, 随后机器人持续迭代, 2023年发布全尺寸人形机器人夸父, 并于24年接入华为盘古具身智能大模型, 在华为开发者大会亮相。



图表68: 脱胎于哈工大机器人俱乐部, 夸父人形机器人接入华为盘古大模型



来源: 乐聚机器人官网, 国金证券研究所

夸父-MY 自由度提升, 接入盘古大模型。24年5月乐聚发布新款人形机器人夸父-MY, 全身自由度提升至40个以上, 灵巧手自由度达11个, 软件端接入华为盘古具身智能大模型, 赋能人形机器人, 提升小样本下的泛化能力。

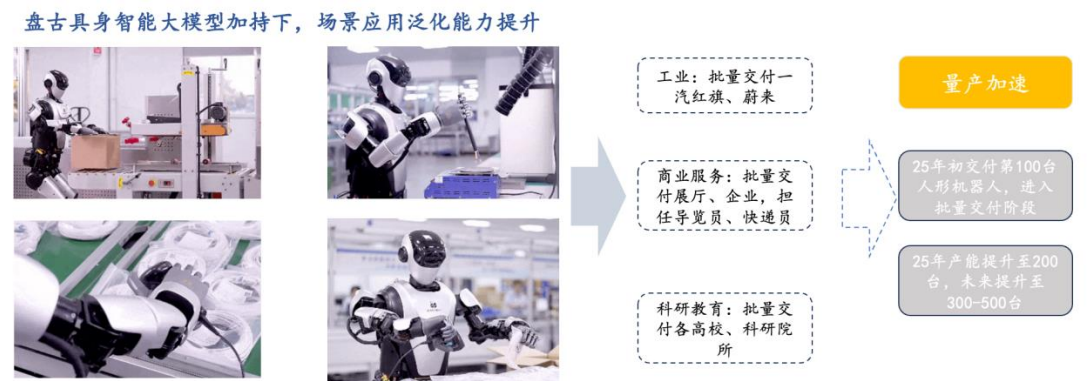
图表69: 夸父人形机器人接入华为盘古大模型



来源: 乐聚机器人官网, 国金证券研究所

夸父进入工业、商业服务、科研教育场景, 江苏新机器人产线投产有望推动量产加速。盘古大模型加持下, 夸父人形机器人已经开启商业化应用: 1) 工业: 批量交付一汽红旗、蔚来汽车, 负责搬运、扫码等工作; 2) 商业服务: 在各展厅、企业担任导览员、快递员等; 3) 科研教育: 在高校、科研院所实验教学等。25年1月夸父江苏新产线投产, 产能提升至200台/年, 中远期有望提升至300-500台/年, 量产加速。

图表70: 苏州工厂产线启动, 量产或将加速



来源: 乐聚机器人官网, 吴江总商会, 国金证券研究所

1.3.5 银河通用: 具身大模型领军者, 商业化快速落地

学院派、务实派组合, 银河通用成为中国人形机器人融资“标王”。公司创始人为王鹤(北京智源人工智能研究院具身大模型负责人)、姚腾洲(拥有销售千万级智能硬件产品的量产经验)分别为学院派和务实派的代表, 24年吸引12亿元融资, 成为具身大模型赛道最大融资额的公司。



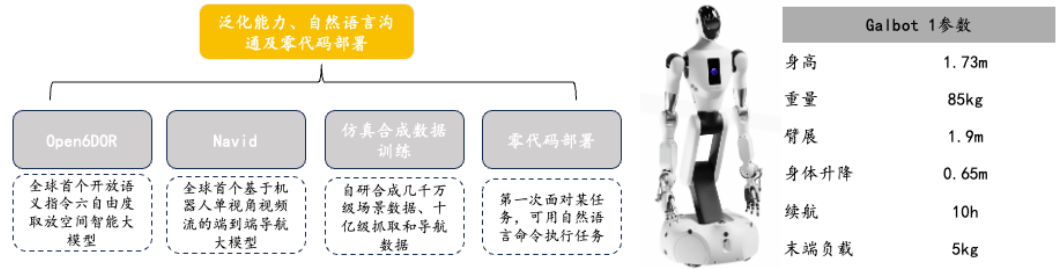
图表71: 技术实力深厚, 受资本青睐



来源: 高工人形机器人, 投资界, 机器人大讲堂, 银河通用官网, 国金证券研究所

Galbot1 依靠具身大模型、仿真合成数据训练, 实现泛化能力、自研语言沟通、零代码部署。泛化能力: 没有采集任何物流真实数据, 通过仿真合成数据训练和 Open6DOR 大模型加持, 推动 Galbot1 实现泛化抓取, 成功率达 95%; 自然语言沟通、零代码部署: Galbot1 能够通过自然语言命令执行任务。

图表72: Galbot1 实现泛化能力、自研语言沟通以及零代码部署



来源: 高工人形机器人, 容亿投资, 机器人大讲堂, 银河通用官网, 国金证券研究所

Galbot1 率先在药房、工厂落地, 26 年有望开启量产。银河通用已经满足商业化落地三大技术要素——泛化能力、自然语言沟通及零代码部署, 商业化落地无人智慧药房、工厂工作。预计随着商业化场景小批量落地后, 推动 Galbot1 加速迭代, 2026 年有望开始量产。

图表73: 率先在药房、工厂落地, 26 年有望开启量产



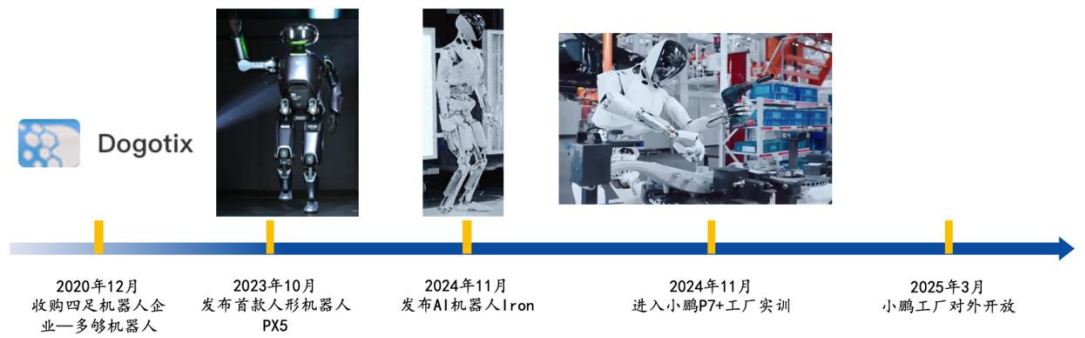
来源: 高工人形机器人, 投资界, 机器人大讲堂, 银河通用官网, 国金证券研究所

1.3.6 小鹏: 车企跨界典范, Iron 技术和商业化落地路径对标 Optimus

产品迭代至 Iron, 技术和商业化落地对标 Optimus。小鹏机器人业务始于 2020 年 12 月收购四足机器人企业 Dogotix (多够机器人), 后合资成立鹏行智能, 并从优必选引入团队正式布局机器人赛道, 23 年 10 月发布首款人形机器人 PX5, 24 年 11 月发布 AI 机器人 Iron, 基于车企的 Ai 和智能驾驶技术积累, 将视觉系统、感知系统等应用于机器人, 首批使用场景选择自家汽车工厂内部, 技术和商业化落地对标特斯拉 Optimus。



图表74: 产品迭代至 Iron, 技术和商业化落地对标 Optimus



来源: 小鹏汽车微信公众号, 机器人前瞻, 人形机器人联盟, 亿欧数据, 人形机器人场景应用联盟, 国金证券研究所

小鹏 Iron 人形机器人在外形、灵巧手、智能化方面均有升级。1) 外形: 小鹏 Iron 身高 1.78m, 重 70kg, 相对 PX5 更加拟人; 2) 灵巧手: PX5 灵巧手自由度为 11 个, Iron 灵巧手自由度为 15 个, 自由度提升; 3) 智能化: 将车端 AI 鹰眼视觉系统、自研图灵芯片、端到端大模型以及强化学习算法移植至 Iron 上, 智能化程度提升。

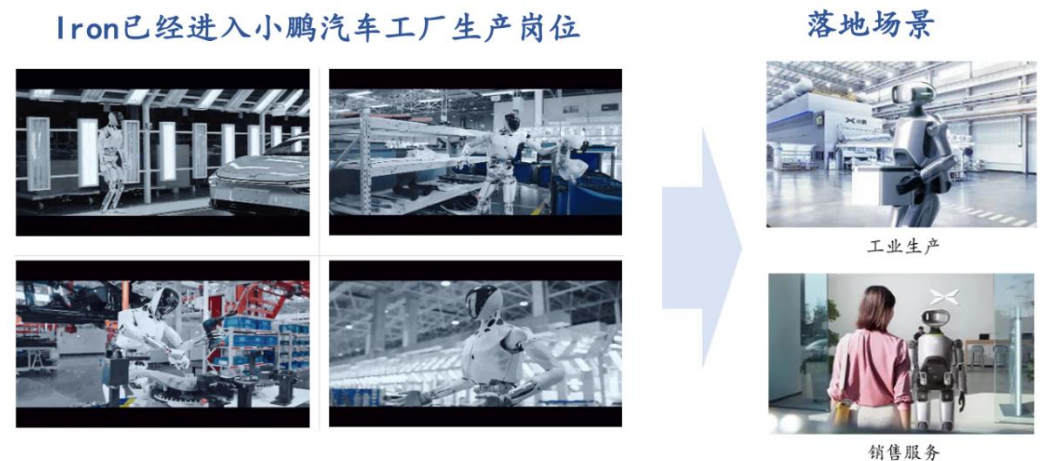
图表75: 小鹏 Iron 更类人化, 灵巧手、智能化升级

小鹏PX5参数			小鹏Iron参数	
身高	1.5m		身高	1.78m
重量	33kg	重量	70kg	
手臂自由度	7	全身自由度	62	
灵巧手自由度	11	灵巧手自由度	15	
手臂定位精度	0.05mm	视觉	AI鹰眼视觉系统	
手臂最大负载	3KG	算力	自研的图灵AI芯片, 3000T算力	
		智能化	端到端大模型、强化学习算法	

来源: 小鹏汽车微信公众号, 高工人形机器人, 人形机器人联盟, 国金证券研究所

Iron 已进入工厂实训, 商业化进程推进。根据小鹏 Iron 发布会信息, Iron 已经进入汽车工厂开始实训, 未来有望率先在工业生产、门店商业化落地。

图表76: Iron 已进入小鹏工厂实训, 商业化进程推进



来源: 小鹏汽车微信公众号, 机器人大学讲堂, 国金证券研究所

1.3.7 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77: 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78: 小米人形机器人 CyberOne 视觉敏锐, 可以三维重建真实世界



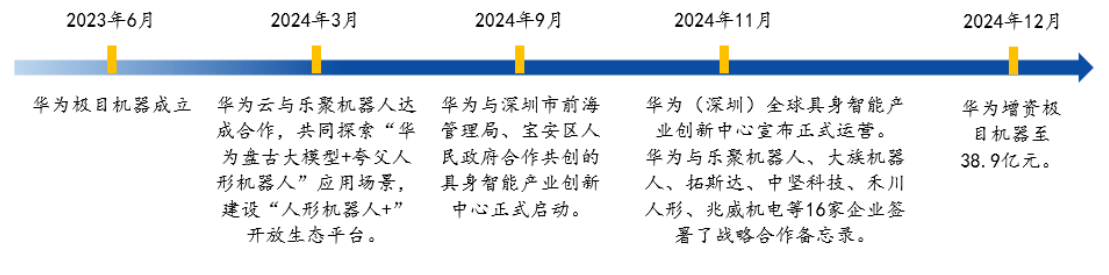
来源: 小米公司微信公众号, 国金证券研究所



1.3.8 华为：加速布局具身智能生态

华为发力人形机器人联合产业链加速布局具身智能生态。24年11月15日，在人工智能应用创新成果发布会上，华为（深圳）全球具身智能产业创新中心宣布正式运营，华为在具身智能领域的蓝图也随之浮出。当日，华为还与乐聚机器人、大族机器人、拓斯达、中软国际、禾川人形机器人、兆威机电等16家企业签署了战略合作备忘录。华为正在通过技术、生态、应用等多个维度，全方位推进人形机器人的发展，为人形机器人的广泛应用及通用化、商业化奠定坚实基础，并有望加速中国人形机器人产业链崛起。

图表79：华为机器人领域布局进展



来源：证券日报，腾讯网，国金证券研究所

华为有望为产业联盟提供华为云机器人平台，助力企业制造开发、集成以及使用机器人。具身智能技术具有很多基础性共性技术，AI技术部分是关键因素。由华为牵头研发，有望给国产机器人厂商带来确定性的AI能力，并加速技术革命性突破，扩大行业影响力。24年6月，华为云发布盘古大模型5.0。盘古大模型的数据容量、网络结构和泛化能力已在自动驾驶、工业设计、建筑设计、媒体生产和应用、高铁、钢铁、气象、医药等众多领域实现了创新应用和落地实践。

图表80：华为盘古大模型5.0能力全面升级



来源：华为官网，国金证券研究所

华为盘古具身智能大模型开始在乐聚机器人落地，参考华为与汽车厂合作模式，华为有望依靠领先的大模型入局人形机器人。2024年6月21日，华为开发者大会上，华为云还推出了专精垂类的盘古具身智能大模型，可驱动机器人完成10步以上的复杂任务规划，还可生成机器人所需的训练视频，加速机器人对复杂场景的学习。其多模态能力和思维能力的提升，使机器人能够模拟人类常识进行逻辑推理，并在现实环境中精准执行任务，有效解决了复杂环境感知与物理空间认知的难题。参考华为智能汽车合作模式，华为有望依靠大模型和车企合作经验赋能人形机器人厂商，入局人形机器人行业。



图表81：盘古具身智能大模型赋能人形机器人

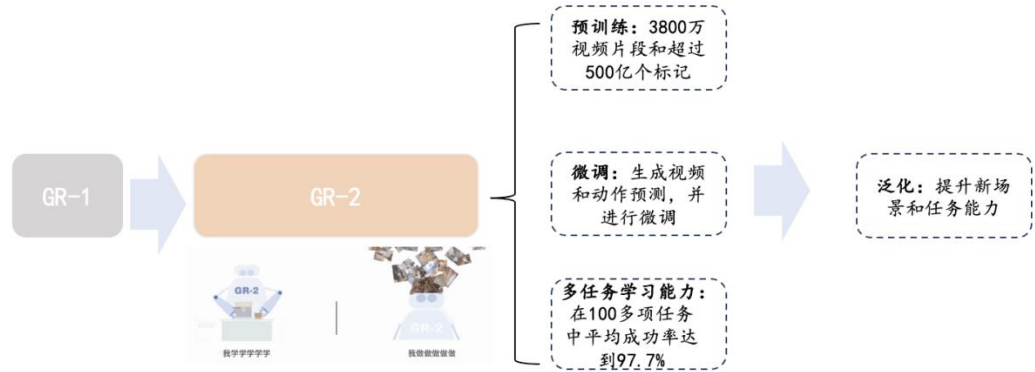


来源：华为云，达闼机器人官方公众号，人形机器人联盟，智驾最前沿，国金证券研究所

1.3.9 字节跳动：聚焦具身智能大模型，大模型迭代至 GR-2

GR-2 具备世界建模和强大泛化能力。GR-2 通过预训练-执行实现指导机器人执行任务：1) 预训练：采用 3800 万视频片段和超过 500 亿个标记对任务进行预学习；2) 生成和微调：对任务视频和动作预测并微调；3) 实现泛化任务：在 105 项任务操作任务中，能实现 97.7% 的成功率。

图表82：GR-2 具备世界建模和强大泛化能力



来源：机器之心，ADFeed，康奈尔大学，Github，国金证券研究所

GR-2 经过长时间的预训练后，具有较强的泛化能力。根据字节跳动机器人研究团队论文《GR-2: A Generative Video-Language-Action Model with Web-Scale Knowledge for Robot Manipulation》，经过预训练后，GR-2 工作能力能够泛化到新背景、新环境、新物体和新任务。



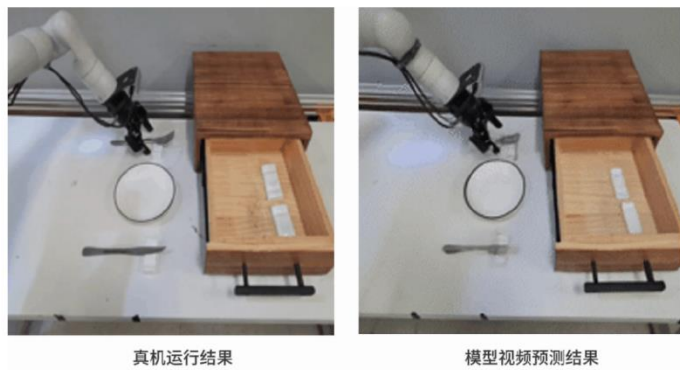
图表83: GR-2 能泛化到新背景、新环境、新物体和任务



来源: ADFeed, 国金证券研究所

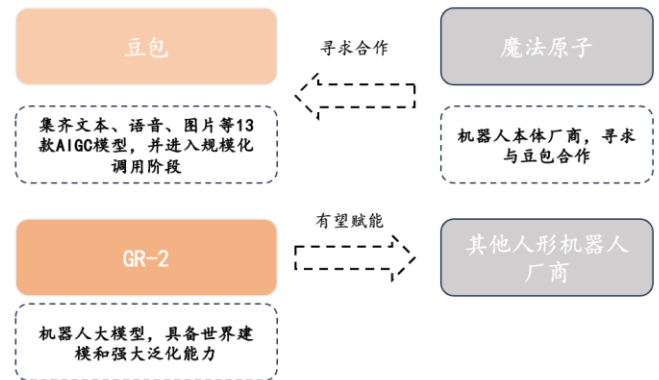
字节跳动大模型能力强, 人形机器人厂商魔法原子寻求与字节跳动豆包大模型合作, 而 GR-2 是机器人模型, 具备世界建模和强大泛化能力, 有望吸引其他人形机器人寻求合作。

图表84: GR-2 接受语言指令能生成相应动作轨迹



来源: 机器之心, 国金证券研究所

图表85: GR-2 有望向人形机器人厂商推广



来源: 钛度实验室, 国金证券研究所

1.3.10 腾讯: 自研+投资入局人形机器人

自研小五机器人, 瞄准人居环境。24年9月24日, 腾讯 RoboticsX 实验室发布人居环境机器人“5号”, 身高 1.4m-1.8m, 全身自由度达 29 个, 最高负载达 50kg, 能够实现物理交互辅助老人起身、推轮椅避障等功能。

图表86: 人居环境机器人“5号”注重人机互动



腾讯“小五”参数

身高	1.4m-1.8m
重量	80kg
全身自由度 (不含手)	29
负载	50kg
轮式运动速度	最高3m/s
上下楼梯速度	3s/step

来源: 腾讯 RoboticsX 实验室, 国金证券研究所



图表87: 小五机器人物理交互辅助老人起身



图表88: 小五机器人携人避障

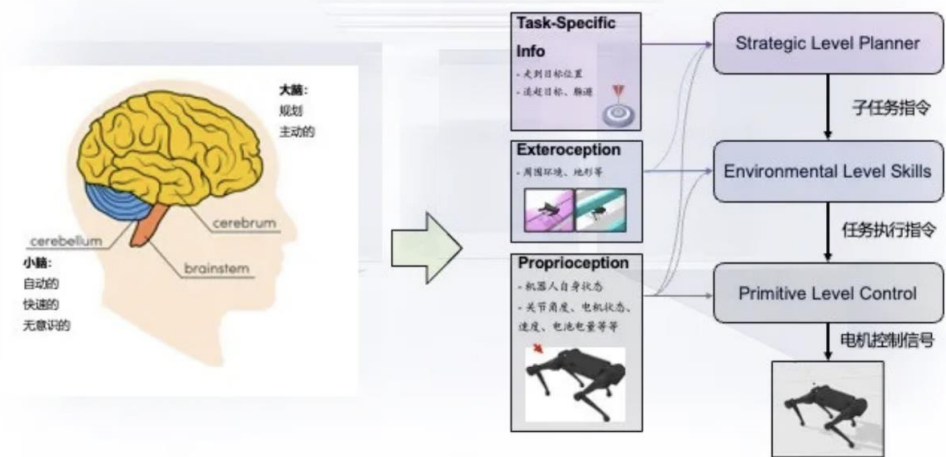


来源: 腾讯 RoboticsX 实验室, 国金证券研究所

来源: 腾讯 RoboticsX 实验室, 国金证券研究所

区别于端对端解决方案, 腾讯采用层次化学习方案, 使得机器人更智能。根据腾讯首席科学家张正友, 有别于业界端到端的解决方案, 腾讯提出层次化学习解决方案, 第一层为自身状态的估计, 第二层为环境感知, 实现机器人对不同环境的控制智能, 第三层为对任务的感知, 通过三层拆分学习, 能够不断积累更新知识, 每个层次解耦更新不会影响其他层次, 使机器人更加智能。

图表89: 腾讯采用层次化学习方案



来源: 腾讯 RoboticsX 实验室, 国金证券研究所

投资优必选、乐聚机器人, 入局人形机器人。腾讯不止自研机器人, 还通过投资优必选、乐聚机器人进入人形机器人赛道: 1) 优必选: 2017年腾讯参与优必选股权转让+C轮融资, 斥资约1.2亿美元成为优必选重要机构股东; 2) 乐聚机器人: 2017年5000万元战略投资乐聚机器人, 并在2023年B轮融资跟投。

图表90: 投资优必选、乐聚机器人, 入局人形机器人



来源: 时代财经, 维科网机器人, 深圳启元, 国金证券研究所



2、政策加持，机器人广受产业资本青睐

2.1 各国政府推动“机器人”战略，中国重视程度更高

各国政府持续推进“机器人战略”，中国近两年连续颁布机器人相关政策，重视程度更高。美国、日本、欧美对机器人产业的政策布局较早，美国从 2011 年开始提出《国家机器人计划 1.0》、日本 2014 年提出《机器人白皮书》、欧盟 2014 年提出《民用机器人项目》，并持续推出新政策。中国产业布局较晚，但连年发布政策从产业规划、资金支持等多方面推动机器人产业发展，未来中国有望依靠供应链和技术整合优势成为全球机器人新高地。

图表91：中国近两年发布机器人相关政策多，重视程度更高

国家	时间	主要规划政策	主要内容
美国	2011 年	《国家机器人计划 1.0》	强调机器人与人类的协作，加速该产业在美国的发展和應用
	2013 年	《美国机器人技术路线图：从互联网到机器人》	强调机器人技术在美国制造业和卫生保健领域的重要作用
	2017 年	《国家机器人计划 2.0》	主要目标聚焦于研究基础、技术和集成系统，以实现机器人在人类生活中的协助
	2021 年	《国家机器人计划 3.0》	以之前的项目为基础，寻求集成机器人系统的研究
	2024 年 11 月	《CDAO 人工智能服务和治理有效性评估报告》	认为“公私合作伙伴关系是推进通用人工智能的关键”
日本	2014 年	《机器人白皮书》	总结机器人研发涉及前沿科技的种类，以及应用场景和领域
	2015 年	《机器人新战略》	三大核心目标：1 建设机器人创新基地，2 在医用领域深化机器人的应用，实现全球第一，3 构建 5 年发展计划，成为机器人领域领先的國家
	2021 年	《2021 年科技创新白皮书》	到 2050 年，软件和硬件共同发展，机器人具备自主学习和行动的拟人化
	2024 年 11 月	《AI 领域战略投资》	日本石破茂内阁批准了一项价值为 21.9 万亿日元（1400 亿美元）的经济刺激计划，强调对半导体和人工智能（AI）领域的战略投资
欧盟	2014 年	《民用机器人项目》	目前全球最大的民用机器人研发计划，到 2020 年将投入 28 亿欧元，目的是增强欧洲工业竞争力
	2016 年	《“2020 地平线”机器人项目》	资助 21 个机器人研发项目，主要应用领域为工业和服务業，投资总额近 1 亿欧元，执行期 2-5 年
	2018 年	《欧盟人工智能战略》	在增加投资、提供更多数据、培养人才和确保信任四个领域发力，以促进欧洲人工智能的研发和应用
	2023 年 11 月	德国发布《机器人技术研究行动计划》	1. 教育部扩大对人工智能支持；2. 建立德国机器人技术研究所；3. 针对性教育培养机器人技术专业人才；4. 将机器人解决方案用于民用服务、手工业等
中国	2024 年 3 月	《欧盟人工智能法案》	规范人工智能产业的研发和制造，以人的需求为目标推动产业发展
	2021 年	工信部等 15 部门联合印发《“十四五”机器人产业发展规划》	明确提出到 2025 年，中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
	2022 年	科技部发布国家重点研发计划——“智能机器人”专项	4350 万美元的支持基金
	2023 年 1 月	《“机器人+”应用行动实施方案》	力求到 2025 年制造业机器人密度较 2020 年实现翻番，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 个以上的机器人典型应用场景，打造一批“机器人+”应用标杆企业
	2023 年 11 月	工业和信息化部印发的《人形机器人创新发展指导意见》	到 2025 年，初步建立人形机器人创新体系，整机达到世界先进水平，量产落地；到 2027 年，提升科技水平和创新能力，突出安全性和可靠性，依靠产业链和供应链，实现全球综合实力领先



国家	时间	主要规划政策	主要内容
	2024年1月	工信部等7部门印发《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	明确提出突破人形机器人等高端装备产品，以整机带动新技术产业化落地，打造全球领先的高端装备体系。
	2024年1月	国务院发布《关于深化养老服务改革的意见》	研究设立养老服务相关国家科技重大项目，重点推动人形机器人、脑机接口、人工智能等技术产品研发应用。

来源：中欧知识产权 SESIP,《人形机器人产业发展现状和启示》，政府网，智研咨询，中国科学院科技战略咨询研究院，新华社，第一财经，国金证券研究所

2.2 国内产业政策加速落地，驱动机器人产业发展驶入快车道

2024年国内机器人产业政策数量更多、目标也更为具体，驱动机器人产业发展驶入快车道。22、23年北京、上海、深圳等一线城市率先出台机器人相关产业政策，2024年以来江苏、山东、广东、湖北、安徽等多省市跟进发布机器人产业政策。从数量来看，2024年产业政策落地数量比23年更多；从政策内容来看，24年的机器人产业政策更加具体，北京、黑龙江等地区明确提出突破机器人“大脑”、“小脑”、“肢体”技术，浙江、四川、河南等多地对整机产品、整机企业给出明确目标。各地政府更加重视和细化对机器人产业链的孵化、引导、扶持，有望驱动人形机器人产业加速发展。

图表92：2024年国内机器人产业政策数量更多、目标也更为具体

年份	省市	时间	颁布机构	政策名称	核心内容
2022、23年	深圳	2022年6月	深圳市工信局等	《深圳市培育发展智能机器人产业集群行动计划（2022-2025年）》	到2025年实现工业机器人、服务机器人、特种机器人规模快速增长，实现智能机器人在重点行业的规模化应用
	深圳	2023年5月	深圳市福田区工信局	《深圳市福田区支持智能终端和智能机器人产业集群发展若干措施》	“整机+关键零部件”协同，给予资金配套
	北京	2023年6月	北京市人民政府	《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023—2025年）》	加紧布局人形机器人整机
	江西	2023年7月	江西省人民政府	《江西省制造业重点产业链现代化建设“1269”行动计划（2023-2026年）》	布局“核心零部件—整机—后市场”
	上海	2023年10月	上海市经信委	《上海市促进智能机器人产业高质量创新发展行动方案（2023-2025年）》	推动工业机器人规模化、服务机器人场景化和通用机器人工程化
	江苏	2023年11月	江苏省人民政府	《江苏省关于培育发展未来产业的指导意见》	聚焦研究平台和人才团队
	广东	2023年12月	广东省人民政府	《广东省培育智能机器人战略性新兴产业集群行动计划（2023-2025年）》	规划25年机器人产业收入规模800亿和工业机器人产量18万台/年
2024年至今	河北	2023年12月	河北省工信厅	《河北省支持机器人产业发展若干措施》	推动机器人应用加速
	江苏	2024年4月	江苏省工信厅	《江苏省机器人产业创新发展行动方案》	25年培育出5家标杆企业、50个应用场景、制造业机器人落地
	浙江杭州	2024年4月	杭州市人民政府	《杭州市促进智能机器人产业高质量发展的实施意见》（征求意见稿）	26年国际先进零部件100项、整机新品100项、产业化整机不少于3项、示范应用场景30个、产值突破500亿
	山东	2024年4月	山东省工信厅	《山东省促进人形机器人产业创新发展实施方案（2024-2027年）》	规划25年整机实现批产
	广东	2024年5月	广东省人民政府	《广东省关于人工智能赋能千行百业的若干措施》	规划27年智能机器人产业收入达900亿元
	湖北	2024年6月	湖北省人民政府	《湖北省加快未来产业发展实施方案（2024-2026年）》	突破高性能运动控制和感知定位算法、高功率密度关节，开展3C、养老、医疗应用示范
	安徽	2024年6月	安徽省经信厅	《安徽省人形机器人产业发展行动计划》	规划打造2个产业先导区和4种代表性人形机器人整机
	黑龙江	2024年7月	黑龙江省人民政府	哈尔滨启动特色产业园区建设	推动宇树、科大讯飞项目落地，目标26年产业规模达100亿元
	上海	2024年7月	上海市人民政府	《上海市促进工业服务业赋能产业升级行动方案（2024-2027年）》	创建国家人形机器人制造业创新中心，强调工业场景落地
	四川	2024年8月	成都市人民政府	《关于促进成都市机器人产业高质量发展的若干政策措施（试行）（征求意见稿）》	对机器人重点技术、零部件补贴
北京	2024年8月	北京市经开区	《北京经济技术开发区建设全球一流具身智能机器人产业新城行动计划（2024-2026年）》	聚焦具身智能机器人“大脑”“小脑”“肢体”等关键领域	
河南	2024年8月	河南省人民政府	《河南省具身智能产业发展行动计划（2024—2027年）》	2027年培育出5家整机生产企业和3-5家研发机构	



年份	省市	时间	颁布机构	政策名称	核心内容
	四川	2024年8月	成都市人民政府	《成都市机器人产业发展三年行动计划（2024—2026年）》	2026年打造出100款机器人、100家企业、100个标杆场景
	浙江	2024年9月	浙江省经信厅	《浙江省人形机器人产业创新发展实施方案（2024-2027年）》	规划全省整机产量达2万台
	黑龙江	2024年9月	黑龙江省人民政府	“进一步全面深化改革，推动高质量发展”	突破机器人“大脑”、“小脑”、“肢体”关键技术
	湖南	2024年9月	湖南省工信厅	《湖南省人工智能产业发展三年行动计划（2024-2026年）》	开发一批具有核心竞争力的低成本交互型、高精度型以及极端环境下高可靠型等人形机器人整机产品
	重庆	2024年12月	重庆市经信委等	《重庆市支持具身智能机器人产业创新发展若干政策措施》	推动机器人软硬件攻关和企业金融扶持
	吉林	2025年1月	长春新区	《长春新区人形机器人产业链2025年行动方案》	加强产业链上下游相关企业协同合作，促进技术创新与成果转化。

来源：政府网，中关村创业生态圈公众号，中国证券网，工业机器人公众号，中国电子报公众号，武汉中小企业服务公众号，国金证券研究所

2024年为机器人产业基金落地大年，25、26年机器人产业资金短板或得到补齐。2024年各省市、地区机器人产业基金密集设立，从规模来看，上海国家地方共建人形机器人创新中心、深圳市人工智能和具身机器人产业基金、吴中区机器人产业基金、厦门追创机器人产业创投基金等多个百亿及以上规模产业基金落地，我们认为机器人领域资金支持力度显著加强，产业链发展有望在政策、资金双重支持下，进入加速成长期，人形机器人整机迭代和商业化落地将加速。

图表93：2024年为机器人产业基金落地大年，25、26年机器人产业资金短板或得到补齐

年份	省市	时间	产业基金名称	金额	具体内容
2023年	北京市	2023年12月	北京机器人产业发展投资基金	100亿元	北京机器人产业发展投资基金作为首批市级产业投资基金，截至2024年9月30日已累计投资11个项目12亿元。
	河北省	2023年8月	河北省机器人产业基金	20亿元	由河北产业投资引导基金有限公司牵头组建，存续期8年，以母子基金架构运行，聚焦机器人产业。
	河北省唐山市	2023年11月	唐山机器人产业投资基金	50亿元，首期规模10亿元	重点投资于机器人及其上下游产业相关的优质项目。
	黑龙江省哈尔滨市	2023年12月	黑龙江省数字经济产业投资基金	首期规模15-20亿元	聚焦智能硬件设备（机器人）等投资方向，促进新一代信息技术与制造业融合发展。
2024年	上海市	2024年5月	国家地方共建人形机器人创新中心	100亿元，首期规模为20亿元	用于助力孵化人形机器人企业。
	上海市	2024年7月	上海国投先导人工智能私募投资基金	225亿元	聚焦智能驾驶、智能软件、智能机器人等领域，已正式落地徐汇区。
	上海市	2024年11月	上海首宝智业投资基金	约5亿元	为机器人产业引导基金，由首钢基金成员企业首程资本领投，宝山国投集团、顾村镇跟投。
	上海市	2024年11月	人工智能和具身机器人产业基金	-	上海人工智能研究院与易方达私募基金管理有限公司签署战略合作协议，共同发起建设。
	上海市	2024年12月	上海具身智能基金	首期规模为10亿元	围绕具身智能产业链上下游开展投资。
	广东省深圳市	2024年4月	粤科智能机器人基金	30亿元，首期规模4亿元	投资对象为协会会员、国内其他地区从事机器人产业处于成长期或成熟期的优质企业，同时关注初创及成长期的优质项目。
	广东省深圳市	2024年11月	深圳市人工智能和具身机器人产业基金	拟设规模100亿元	对人工智能和具身机器人领域集群的基金，可投金额应100%投资于人工智能、具身机器人产业领域。
	广东省深圳市	2024年11月	龙岗区粤科人工智能产业基金	10亿元	是广东首支由省属国企与地方合作成立的人工智能产业专项母基金，该项基金存续期12年。
	广东省东莞市	2024年7月	金万智造基金	5亿元，首期规模为1.01亿元	由金控集团联合万江街道、华中工研院共同发起，将重点围绕人工智能、机器人、工业母机、先进制造、装备制造等行业。
	广东省广州市	2024年9月	广州金融资产投资公司（AIC）股权投资基金	100亿	将重点支持广州新一代信息技术、智能装备与机器人等战略性新兴产业。截至9月30日，该基金已对接具体项目并即将实现投资。
江苏省苏州市	2024年5月	吴中区机器人产业基金	100亿元	由吴中金控牵头，集国发创投、英诺天使、沃赋创投、绿的谐波、科沃斯、追觅科技共同发布，聚焦机器人产业。	
江苏省	2024年6月	江苏省战略性新兴产业母基金	500亿元	省战略性新兴产业母基金，2024年11月11日首批产业专项基金完成首个直投项目酷卓科技投资协议签署。	
浙江省绍兴市	2024年5月	新昌机器人产业园配套	20亿元	机器人产业园配套基金，以期形成“基金+基地”模式。	



年份	省市	时间	产业基金名称	金额	具体内容
	兴市		基金（拟建设）		
	河南省郑州市	2024年6月	郑州经开机器人行业股权投资基金（拟组建）	3.3亿元	暂定投资期不超过1年，退出期不超过4年，采取单项目基金直投的方式投资。
	河南省郑州市	2024年11月	郑州市战略新兴产业母基金	50亿元	支持郑州市传统优势产业升级改造、战略新兴产业转型升级，包括机器人、人工智能等领域。
	福建省厦门市	2024年8月	追创机器人产业创投基金	目标规模为110亿元	该基金由两部分组成：一支成长长期战略基金，和一支中早期孵化基金，其中中早期孵化基金规模10亿。
	河北省唐山市	2024年9月	唐山市高新机器人科技创新创业投资基金	2亿元	主要投资于天使期、早中期科技企业，投资方向为机器人产业及相关领域。
	安徽省合肥市	2024年9月	合肥市智能机器人专项基金	50亿元	用以支持机器人产业的持续发展。
	安徽省合肥市	2024年10月	合肥海恒新兴产业股权投资基金	30亿元	重点投资于未来新兴产业，包括新一代信息技术、人形机器人等领域。
	安徽省芜湖市	2024年12月	安徽省中金机器人产业发展基金	-	投资机器人产业。
	湖北省武汉市	2024年	武汉市促进未来产业创新发展实施方案	每年将安排至少40亿元产业基金	投向包含人形机器人等在内的13个细分领域，此外还成立了30亿元的数字经济产业基金，重点关注人工智能、机器人等领域。
	辽宁省沈阳市	2024年8月	辽宁新质生产力基金	计划规模30亿元	主要围绕新一代信息技术、人形机器人等九大未来产业。
	四川省成都市	2024年10月	成都人工智能与机器人基金	100亿元，首期规模10亿元	主要围绕机器人、人工智能、低空经济等领域进行全生命周期股权投资。
	浙江省衢州市	2024年10月	人形机器人产业子基金	10亿元	重点投资于人形机器人产业链上下游企业，以推动拓展龙游县人形机器人领域的产业发展。
	重庆市	2024年12月	重庆具身智能机器人产业投资基金（鼓励建设）	-	鼓励重庆市产业投资母基金和产业资本、社会资本、有关区县以市场化方式共同出资组建具身智能机器人产业投资基金。
	江西省赣州市	2025年1月	赣州-黄浦江资本智能机器人基金+项目	12.7亿元	总投资10亿元的智能机器人产业基金项目、总投资2.7亿元的智能仿生人形机器人项目等。
	天津市	2024年1月	天开九安海河海棠科创母基金	50亿元	布局人工智能与超算、脑机交互与人机共融、通用机器人等未来产业。
	天津市	2025年1月	津南区产业引导基金	-	针对“具身通用人工智能+来源：国金证券研究所人形机器人”等领域及相关智能产业进行投资引导。

来源：政府网，上海证券报，上海市人民政府，投资界，上海经信委，上海证券报，北京发布，中国政府引导基金频道，科创板日报，广东省机器人协会，深圳市财政局，广东省粤科金融集团，东莞金控，中关村股权投资协会，合肥发布，北京基金业协会，各省市官方日报，吴中金控集团，盛京金控，科技金融时报，龙游汇龙投资，国金证券研究所注：灰色底色为2024年设立产业基金

2.3 人形机器人迎融资热潮，广受资本青睐

国内人形机器人赛道融资热度持续高涨。国内以宇树科技、银河通用为首的人形机器人厂商接连获资本青睐，24年均获10亿元以上融资，国外FigureAI、1XTechnologies等人形机器人老牌厂商也接连获上亿美元投资，我们认为，在资本加持下，人形机器人迭代和商业化落地有望加速。

图表94：人形机器人迎融资热潮，广受资本青睐

地区	时间	机器人/大模型公司	投资方	金额（元）
国内	2024年2月	宇树科技	美团、金石投资、源码资本，深创投、中网投、容亿、敦鸿、米达钧石	10亿
	2024年9月		北京机器人产业投资基金、美团龙珠、中关村科学城、琥珀资本、上海科创基金、红杉资本中国、中信证券、祥峰投资中国基金	-
	2023年7月	达闼科技	知识城集团、上海国资	10亿
	2024年12月	魔法原子	追创创投、翼朴基金	1.5亿
	2024年6月	银河通用机器人	美团战投、北汽产投、商汤国香基金、讯飞基金、启明创投、蓝驰创投、经纬创投、源码资本、IDG资本	7亿
	2024年11月		深创投、上海人工智能产业基金、北京机器人产业基金、IDG资本、	5亿



		经纬创投、北京人工智能产业基金等	
2023年3月		高瓴创投、奇继创坛、鼎晖投资、高榕资本、临港新片区基金	-
2023年4月		BV 百度创投、经纬创投、司南园科	-
2023年8月	智元机器人	比亚迪、沃赋创投、蓝驰创投	-
2023年12月		高瓴创投、临港新片区基金、银杏谷资本等	6 亿
2024年3月		M31 资本、HongShan 红杉中国、上汽投资	-
2023年3月	斯坦德机器人	小米产投、中信建投	6 亿
2023年10月		绿洲资本、联想创投	-
2024年7月	逐际动力	杭州灏月（阿里巴巴旗下）	-
2024年5月		招商局创投、尚硕资本（上汽集团旗下）等	-
2024年6月	浙江人形机器人创新中心	宁波金融开发投资、宁波工业互联网研究院、宁波海曙产投	1.1 亿
2024年1月		联想创投、金鼎资本、泽羽资本、清控天诚、世纪金源	1 亿
2024年10月	星动纪元	清流资本、元璟资本、阿里巴巴、联想创投等	3 亿
2025年1月		杭州灏月（阿里巴巴旗下）、成都高新策源	200 万

地区	时间	被投资方	投资方	金额（美元）
	2023年1月		微软	100 亿
	2023年4月	OpenAI	SequoiaCapital, AndreessenHorowitz, ThriveandK2Global	3 亿
	2024年10月		ThriveCapital、KhoslaVentures、微软、英伟达、软银、Fidelity、AltimeterCapital、阿联酋科技投资公司 MGX	66 亿
	2023年3月	FigureAI	ParkwayVentureCapital、BrettAdcock、AliyaCapital 等	7000 万
	2023年7月		BigSkyPartners、IntelCapital	900 万
	2024年2月		微软、英伟达、OpenAISTartupFund、杰夫·贝佐斯、ParkwayVentureCapital、IntelCapital 等	6.75 亿
国外	2023年3月	1XTechnologies	OpenAISTartupFund、TigerGlobal、Sandwater、AllianceVentures、SkagerakCapital	2350 万
	2024年1月		EQTVentures、Sandwater、SamsungNEXT、SkagerakCapital、Nistad	1 亿
	2024年7月	SanctuaryAI	BDCCapital（ThriveVentureFund）、InBC	-
	2023年2月	Apptronik	Terex	1390 万
	2024年11月	AgilityRobotics	SchaefflerGroup	-
	2023年7月		Lingotto、VsquaredVentures、Primepulse、HVCapital	5500 万
	2023年10月	NeuraRobotics	InterAlpenPartners	1600 万
	2025年1月		LingottoInvestmentManagement、BlueCrestCapitalManagement、VolvoCarsTechFund、InterAlpenPartners 等	1.24 亿

来源：宇树科技官网，新浪财经，36 氪，第一财经，立德共创，StandardRobots，新浪财经，财联社，微软，AGV 网，BWDIsrupt，SanctuaryAI 官网，Vertikal，AgilityRobotics 官网，Finsmes，NeuraRobotics 官网，TechCrunch，国金证券研究所

3、软件：“大脑”进步飞速，“小脑”或为量产痛点

3.1 机器人逻辑架构由“大脑”+“小脑”+肢体组成

机器人逻辑架构：由“大脑”+“小脑”+肢体组成。人形机器人大致分为三大部分：人形本体、高动态性能的控制算法（小脑）、具有泛化性的具身智能及非常接近人的通用人工智能（机器人“大脑”）。从底层算法模型来看，机器人的软件可以分为“大脑”与“小脑”，对机器人大小脑的划分不是完全按照人类大小脑工作的机理，而是在一个物理世界去应对不同层次的问题的一种策略。“大脑”负责感知外界并模拟人类思维决策过程，“小脑”则模仿生物进行复杂的运动控制，即运动控制。

- 大脑：负责感知外界并模拟人类思维决策过程，主要职能是环境理解、智能交互与认



知推理，基础是机器视觉、大语言模型的发展。

- 小脑：模仿生物进行复杂的运动控制，主要职能是运动控制、路径规划和步态平衡。
- 本体（硬件）：包含机器人的物理结构和执行器，它根据小脑层的运动规划，来进行精确的伺服闭环控制每个电机高效精准地执行，完成既定的任务。

图表95：机器人技术逻辑架构



来源：创业邦研究中心，国金证券研究所

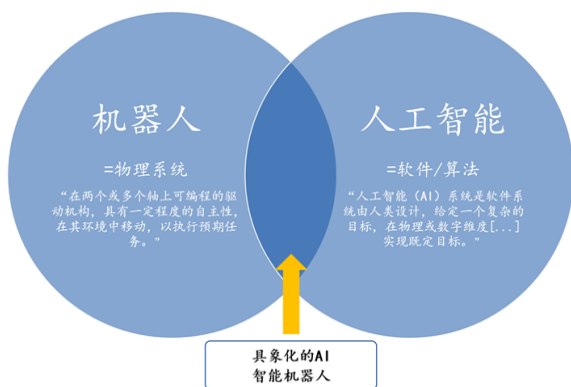
伴随着大模型的进展，人形机器人“大脑”智力快速提升，而“小脑”能实现的灵巧操作能力却急需加强，主要受制于现实世界的多模态数据的采集能力，以及灵巧操作的软件泛化能力较弱。供给端硬件的生产制造及成本早已不再是约束条件，当前，软件算法进步才是推动人形机器人自主能力提升和应用场景拓展的关键。

3.2 具身智能技术为人形机器人最具突破性进展

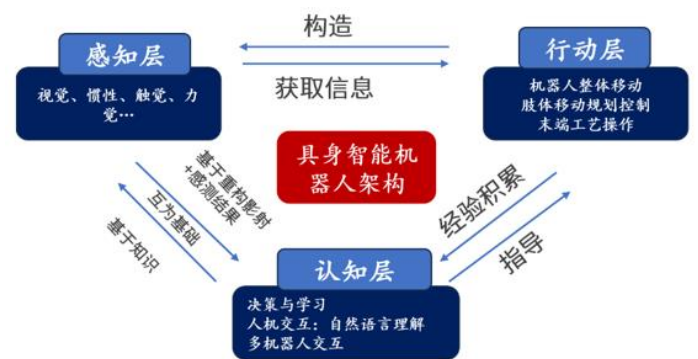
具身智能是人工智能的一个发展方向，指一种智能系统或机器能够通过感知和交互与环境进行实时互动的能力。具身智能不等于“大模型+机器人”，准确来说是人工智能+机器人等物理实体，同时链接物理和虚拟两个世界，具身智能需要同时具备“本体+环境+智能”三要素。

- 首先强调要具身本体，通常是机器人等物理实体。
- 其次强调要能与环境交互：能主动感知环境，还能通过行动改变环境，并能在与环境的交互中不断学习和适应。
- 最后强调要有智能的提升：不仅通过算法和计算实现智能，还通过本体与物理世界的交互来展现和发展智能。

图表96：人工智能和机器人的关系



图表97：具身智能机器人具备感知、认知、行动三大要素



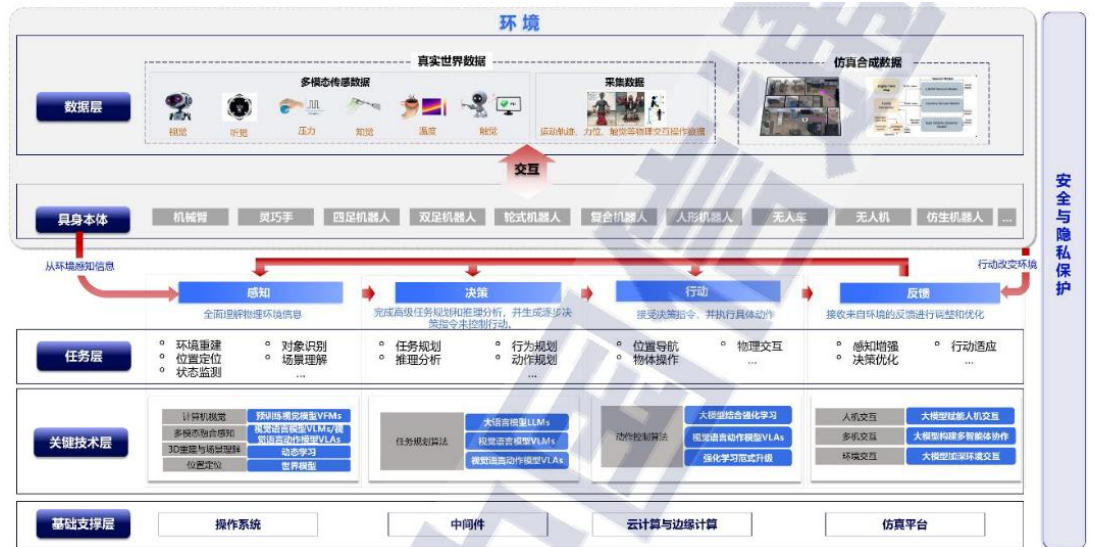
来源：国金证券研究所

来源：中国信通院，国金证券研究所

具身智能技术的发展对人形机器人最具突破性意义。具身智能技术体系可分为“感知—决策—行动—反馈”四个模块，四个模块形成一个闭环，在与环境的不断交互中，实现对环境的重构映射、自主决策和自适应行动，并从经验反馈中不断学习进化。伴随着硬件制造和软件技术等方面的进步，具身智能将赋予机器人更多的智慧，不断拓宽机器人的智能边界和自主行动能力，使其更好地理解世界、自然化人机交互和高效执行任务，应对长尾的能力，跨场景、跨行业、跨任务的能力能够进一步的提升。而人形机器人是具身智能的一种形态，也被广泛认为是最理想的应用形态。因此，具身智能技术的突破对人形机器人的量产与广泛应用具备关键性意义，有望引领人形机器人进入通用智能新代际。



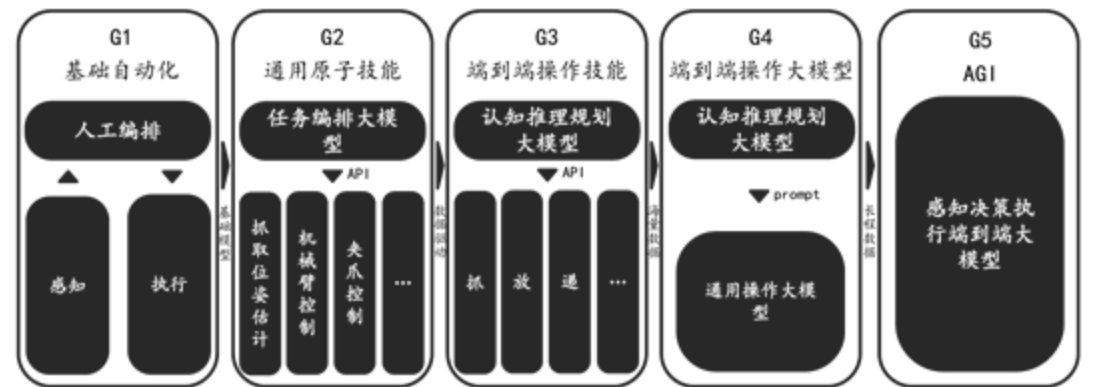
图表98：具身智能技术体系



来源：中国信息通信研究院，国金证券研究所

智元机器人提出了具身智能 G1 到 G5 的演进路径和技术框架，通用人工智（AGI）是一个长期的发展目标，就是在提供足够多、高质量的任务数据下，可以形成一个真正、全面的、从感知决策到执行大模型、拥有具身智能、将具备跨任务的泛化能力、开放场景的机器人技术能力。

图表99：具身智能机器人技术演进路线



来源：2024 智元年度新品发布会，国金证券研究所

3.3 “大脑”：受益于大模型进步，已备初阶人类脑力

大模型是现阶段“大脑”的最佳解决方案。伴随着 AI 大模型的发展，机器人“大脑”实现产业实现跨越式发展，智能化程度有望提升。目前人形机器人“大脑”技术以大模型为核心，为人形机器人提供任务级交互、环境感知、任务规划和决策控制能力。

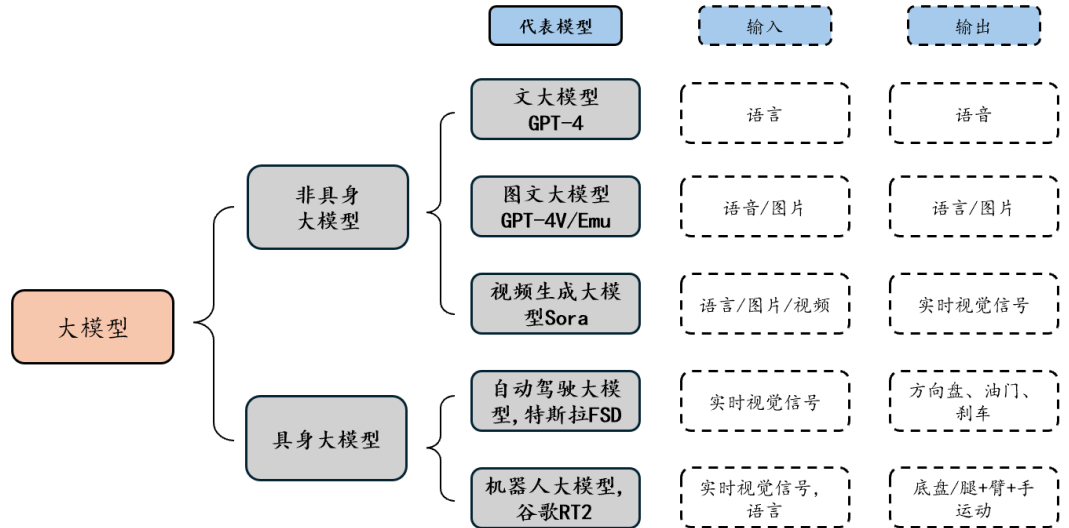
- 在环境感知方面：视觉大模型赋能人形机器人识别更精确，场景更通用；
- 在任务交互方面：基于大模型的语言/视觉运行处理方式可为人形机器人提供任务级交互入口。
- 在任务规划方面：大型潜在的真实世界知识学习能力、强大的思考、推理和生成能力为“大脑”的任务规划提供基础。
- 在决策方面：通过多模态统一建模，整合环境、运动等多样化信息，使得机器人能综合视觉、语音、文本多维度信息，实现决策控制功能。

目前大模型可以分为非具身和具身大模型两类，他们本质的区别在于服务的对象不同。非具身大模型服务的对象是人类，如 GPT-4、GPT-4V、Sora 等，它输出的内容是给人看或者



给人读，更多还是在人机交互、内容生成等方面展现价值。而具身大模型的特点服务对象是机器，其输出的内容是需要机器人能够理解、并最终要转化为具体可执行动作的控制指令，以机械臂为例，最终输出可能就是电机的控制信号。具身智能大模型被称作为机器人的“大脑”，搭载具身智能大模型，赋予人形机器人“最强大脑”，已成为人形机器人发展的必然趋势。

图表100: 大模型分类



来源: 国金证券研究所

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

图表101: 大模型在机器人领域研究

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

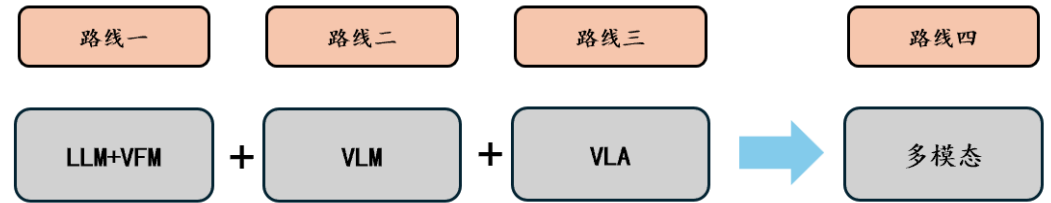
来源: 各公司官网, 国金证券研究所

人形机器人大模型多技术路线并行探索，有望从分层大模型逐渐向端到端大模型演进。现阶段，机器人大模型主要是 4 条技术路线，一是 LLM(大语言模型)+VFM(视觉基础模型) 分层大模型，实现人机语言交互、任务理解、推理和规划，目前最为成熟。二是 VLM(视觉-语言模型)，结合语言与视觉理解间的差距，实现更准确的任务规划和决策，大多数的机器人公司都采取了这个方案，典型代表有 FigureAI、银河通用、智元机器人等。三是 VLA(视觉-语言-动作模型)端到端大模型，在 VLM 基础上增加运动控制，解决机器人运动轨迹决策问题，以谷歌的 RT 模型为代表。四是多模态大模型，实现对物理世界环境的全面感知，



是未来的主要研究方向。主要代表是麻省理工、IBM 等共同研究的 MultiPLY 模型，将视觉、触觉、语音等 3D 环境的各类特征作为输入，以形成场景外观的初步印象，并通过多视图关联将印象中的输出融合到 3D，最终得到以对象为中心的場景特征。

图表102: 大模型技术路线

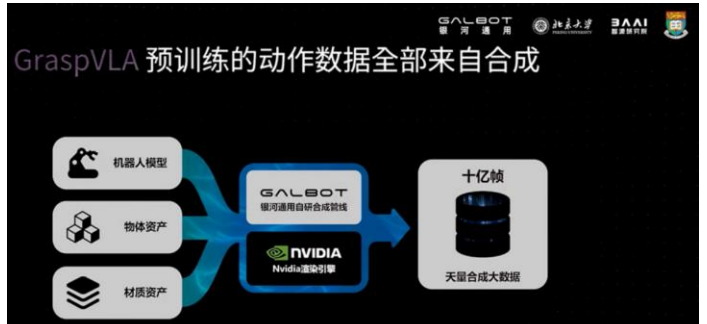
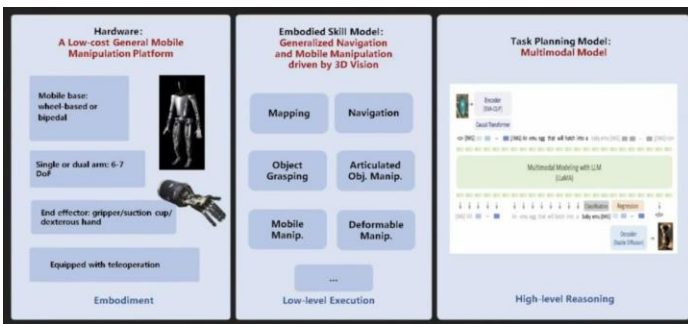


来源：人形机器人产业发展研究报告(2024年)，国金证券研究所

银河通用采用三层架构模型 VLA 大模型。底层是硬件层，中间层是通过仿真合成数据不用任何真实世界数据训练的泛化的技能，包括自主建图、自主导航、物体抓取、开门开抽屉开冰箱、移动操作、挂衣服叠衣服柔性物体操作的泛化技能。上层是大模型层，指负责任务规划的基础大模型。1月9日，银河通用以发布全球首个端到端具身抓取基础大模型 GraspVLA。GraspVLA 的训练包含预训练和后训练两部分。其中预训练完全基于合成大数据，训练数据达到了有史以来最大的数据体量——十亿帧「视觉-语言-动作」对，掌握泛化闭环抓取能力、达成基础模型；预训练后，模型可直接 Sim2Real 在未见过的、千变万化的真实场景和物体上零样本测试，全球首次全面展现了七大卓越的泛化能力，满足大多数产品的需求；而针对特别需求，后训练仅需小样本学习即可迁移基础能力到特定场景，维持高泛化性的同时形成符合产品需求的专业技能。

图表103: 银河通用: 三层大模型系统

图表104: 银河通用 10亿全仿真合成数据 a



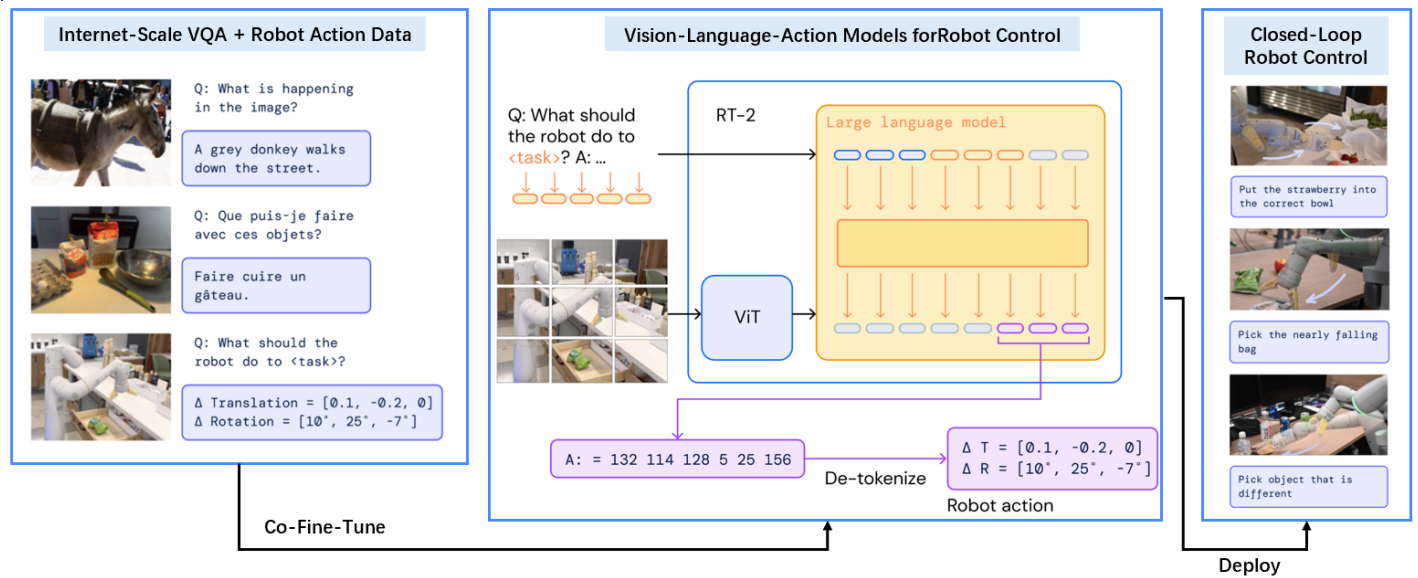
来源：银河通用机器人，国金证券研究所

来源：银河通用机器人，国金证券研究所

谷歌采用端到端大模型 RT-X 模型。2023年10月4日，谷歌旗下著名 AI 研究机构 DeepMind 在官网发布全球最大通用大模型之一 RT-X，并开放了训练数据集 OpenX-Embodiment。RT-X 由控制模型 RT-1-X 和视觉模型 RT-2-X 组成的大模型同时训练决策和操作，直接端到端地实现从人类指令到机械臂执行。但谷歌表示，AI 机器人非常强大，但在通用方面却很差。例如，想开发一款物理扫地机器人，需要根据特定的环境、动作、障碍、反馈等数据进行漫长地训练，然后进行反复测试才能完成产品研发。



图表105: 谷歌 RT-2 机器人 大模型逻辑



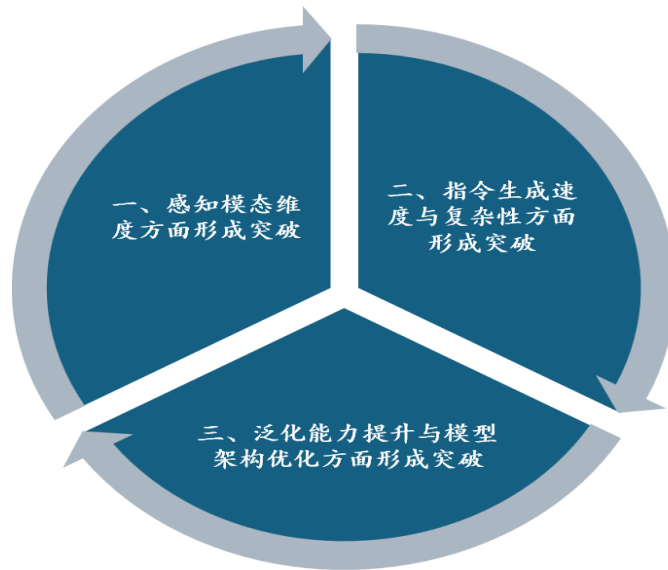
来源：谷歌官网，国金证券研究所

人形机器人“大脑”仍需向更高级的智能化和自主化进化。当前，人形机器人“大脑”刚刚具备初阶人类脑力，无法形成人类大脑全能力闭环。然而，要实现真正的智能化和自主化，现有的大模型仍需在多个方面重点发力。

- 一是在感知模态维度方面形成突破。当前的人形机器人 大模型主要依赖于视觉或语音感知，这种单一的感知模态在处理复杂环境时显得力不从心。未来的大模型需要整合视觉听觉、触觉等多种感知模态，能够提供更丰富的环境信息使机器人在复杂场景中做出更准确的决策。
- 二是在指令生成速度与复杂性方面形成突破。现有的大模型在生成指令时速度较慢，且生成的结果往往过于简单。这在需要快速反应的场景如紧急救援或复杂操作任务中，可能导致机器人无法及时作出正确响应。目前主流机器人 大模型偏向于任务理解和拆分，对于机器人运动控制的涉及较少，只是用预设的端到端的训练方式生成了简单且离散分布的机械臂末端位置和底盘移动指令，未渗透到连续路径和轨迹规划等更偏机器人领域的内容。
- 三是在泛化能力提升与模型架构优化方面形成突破。泛化能力是大模型在新环境和任务中表现的关键。当前的模型在泛化能力上仍有待提高，尤其是在面对未知环境和任务时，模型的表现往往不尽人意。为了提高泛化能力，未来的大模型需要在架构、训练方法和数据集方面进行创新。例如，通过引入元学习、迁移学习等技术，可以使模型更好地适应新任务。



图表106: 机器人大模型发展方向



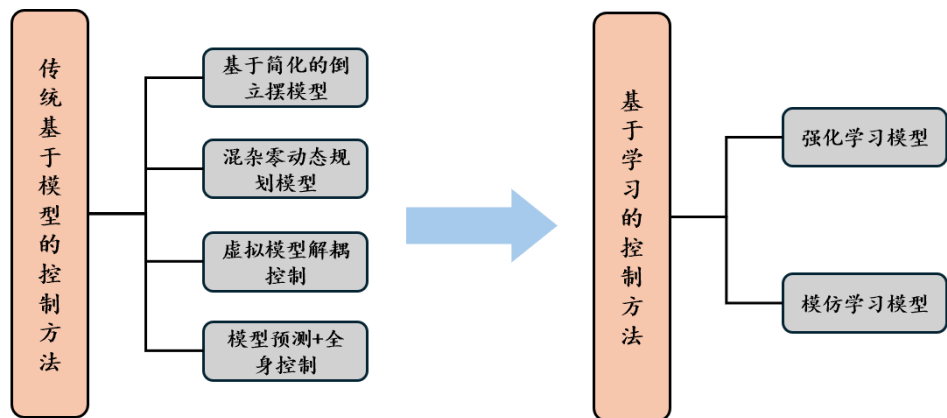
来源：人形机器人产业发展研究报告(2024年)，国金证券研究所

3.4 “小脑”：数据及泛化能力亟待突破

人形机器人“小脑”核心技术正在从基于模型的控制方法向基于学习的控制方法演进。机器人“小脑”的运动规划与控制是人形机器人实现自然和流畅动作的关键，主要包括基于模型的控制方法和基于学习的控制方式两个大类。传统的机器人控制方法依赖于精确的动力学模型和专家知识，难以适应非结构化环境的不确定性和复杂性。学习型控制的发展使得机器人能够从数据中学习控制策略，但其泛化能力和鲁棒性仍难以满足复杂场景需求。

- 传统的基于模型的控制方法：通过建立机器人的运动学和动力学模型，进行运动轨迹规划和平衡控制，特点是身体控制稳健，步频较慢，代表算法有零力矩点(ZMP)算法、线性倒立摆(LIP)算法、模型预测控制(MPC)算法、中心引力优化(CFO)算法等，但整体开发较为复杂，成本高，不利于产品快速迭代。
- 基于学习的控制方法：使用端到端的AI技术，代替复杂的运动学模型，大幅度降低了“小脑”开发难度、提升了迭代速度，一般通过人类示教或自主学习建立运动执行策略。其中通过人类示教的方式也称为模仿学习，指通过人或者其他专家提供反馈示教的方式使机器人以产生与示教相似的行动策略进行学习，效果依赖高质量示。

图表107: 机器人“小脑”运动控制方案

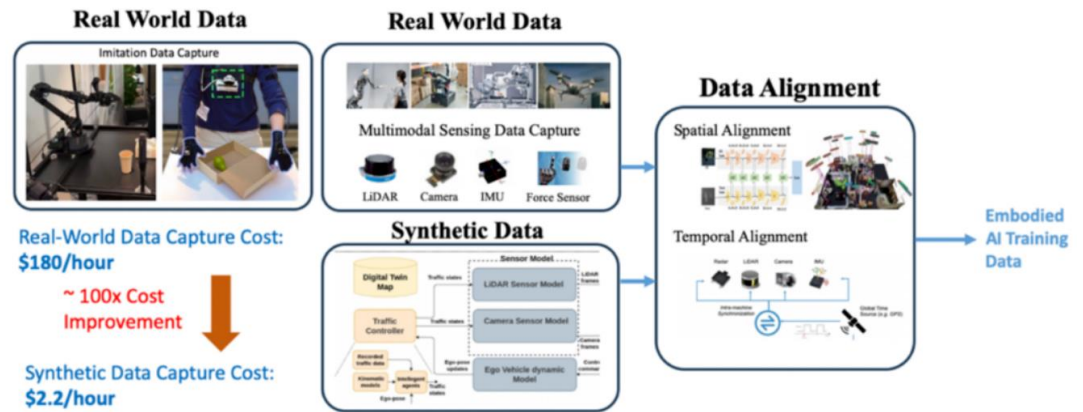


来源：人形机器人产业发展研究报告(2024年)，国金证券研究所



数据采集是机器人“小脑”发展的制约因素之一。提升机器人泛化能力的关键之一在于数据的丰富性和准确性，不同于语言大模型的训练得益于互联网上海量的数据，机器人训练数据则需要更多来自物理世界即真实世界动态环境中的交互数据，数据稀缺机器人技能学习中的一个主要瓶颈，限制了算法的泛化能力和适应性。如何解决物理世界数据匮乏问题，成为眼下人形机器人技术演进路上最大的难题。

图表108：具身智能数据采集和生成

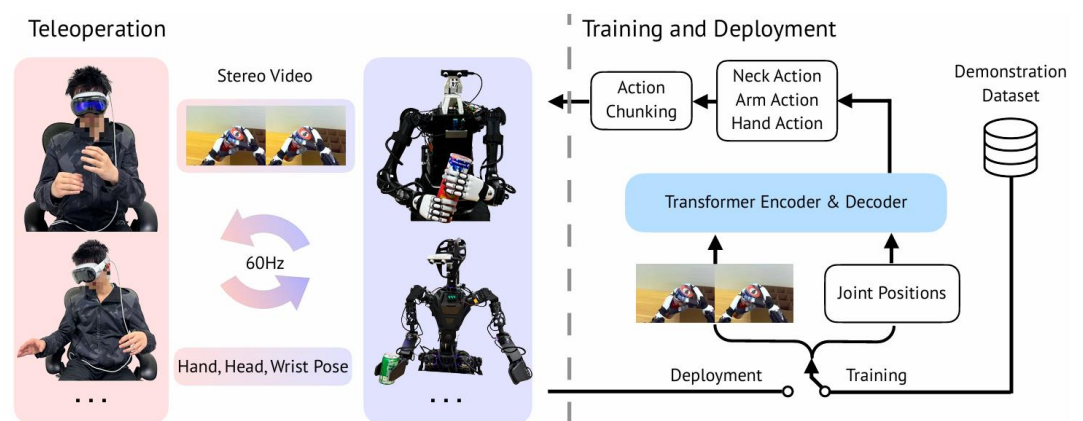


来源：深圳市人工智能与机器人研究院，国金证券研究所

主流的具身智能数据采集方法主要包括遥控操作、视频学习、合成数据等。

- 遥控操作：通过人类操作员远程控制机器人来直接捕获数据，适用于广泛的任任务，数据可以很容易地被模仿学习算法利用，采集效率比较低、成本过高，比较依赖本体、很难泛化。目前采用这种方式的公司有特斯拉、Physical Intelligence 以及智元机器人。其中 Optimus 的数据来自于 VR 遥操+动捕手套。
- 视频学习：通过人操作的视频，直接让机器人通过视频学习人类动作，积累训练数据。这种方式可以从广泛的互联网视频中提取数据可，减少对专业设备和人员的依赖，降低训练成本。但存在视频数据质量参差不齐、数据可解释性不足的问题。
- 合成数据：通过计算机模拟或生成模型创造的数据。合成数据的主要优势在于可以摆脱现实条件的限制、快速且大量地生成数据，从而降低成本，赋予机器人更强的泛化能力。例如，RoboGen 和银河通用，在海量合成的仿真环境中生成机器人训练数据。

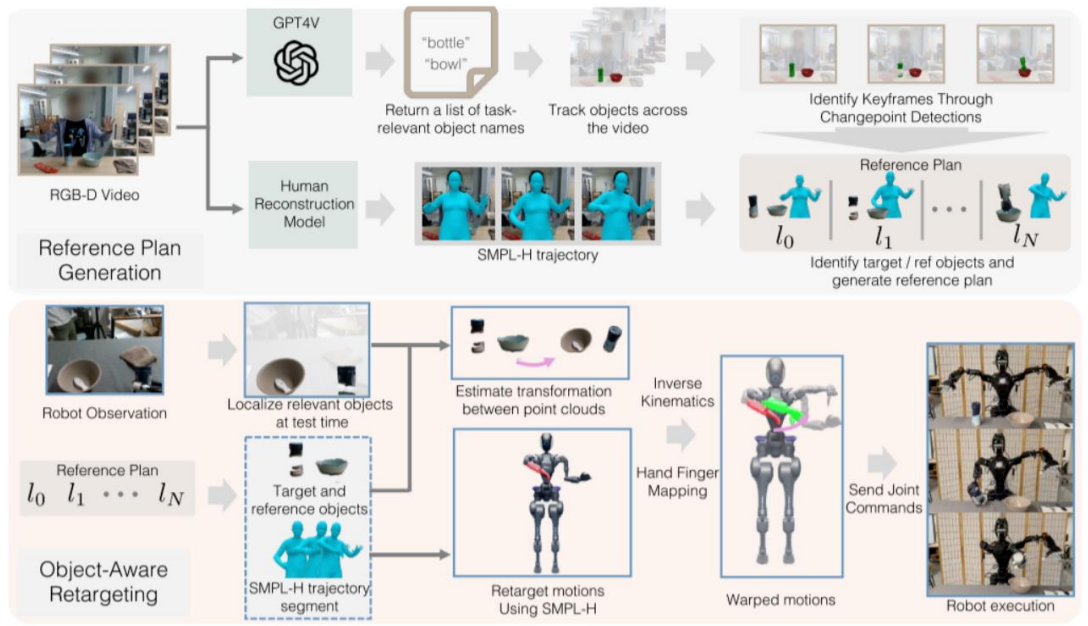
图表109：遥控操作数据收集和学习系统



来源：Open-TeleVision: Teleoperation with Immersive Active Visual Feedback，国金证券研究所

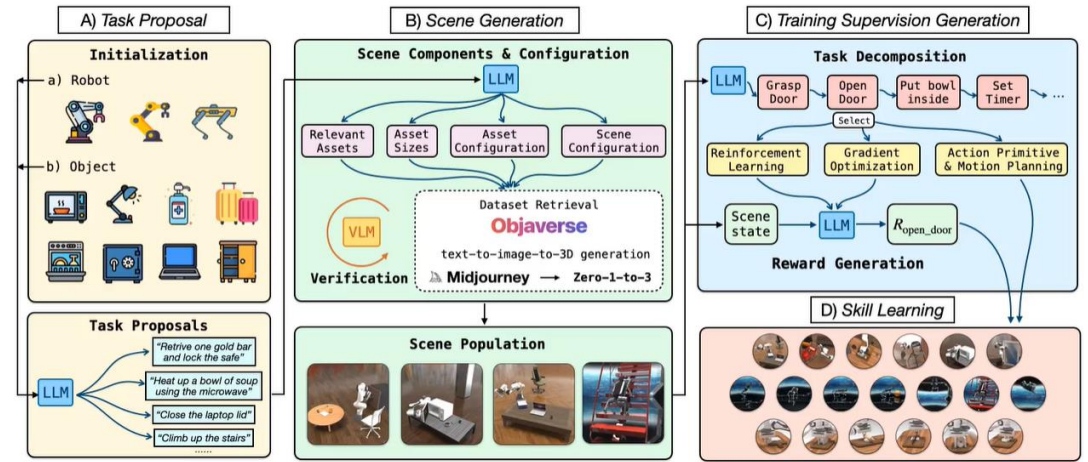


图110: 视频演示指导人形机器人执行新任务



来源: OKAMI:TeachingHumanoidRobotsManipulationSkillsthroughSingleVideoImitation, 国金证券研究所

图111: RoboGen 工作原理



来源: OKAMI:TeachingHumanoidRobotsManipulationSkillsthroughSingleVideoImitation, 国金证券研究所

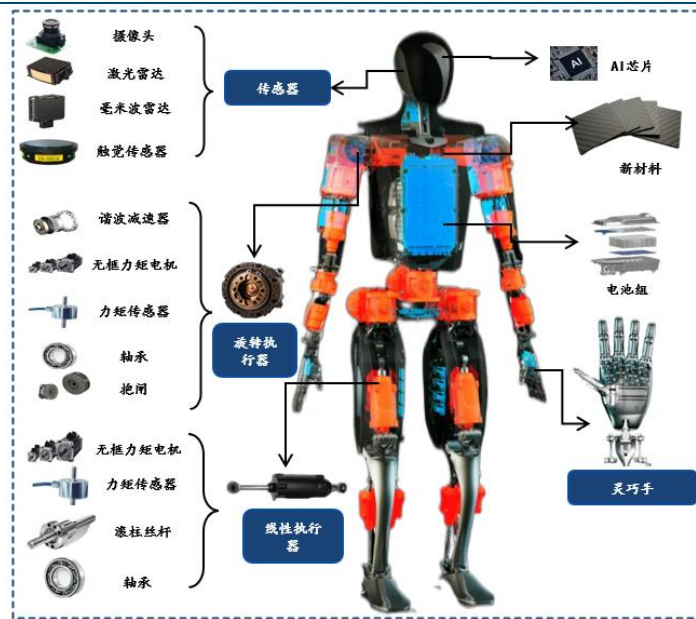
4、硬件：技术路线趋于收敛，核心环节产能是关键

4.1 硬件方案趋于收敛

“肢体”是人形机器人实现所有拟人载体和基础，主要包含执行器、传感器、灵巧手、电源、芯片、新材料结构件等方面。



图表112: 人形机器人硬件构成示意图



来源: Tesla, 国金证券研究所

■ 执行机构对比: 各家设计方案百花齐放、各具特色

关节执行器即机器人一体化关节,是影响机器人硬件成本和运动性能的关键部分。关节执行器是驱动机器人执行机构(手臂、腿部等)运动的组件,安装在机器人关节处,通过电机的旋转运动转化为驱动连杆机构运动,又被称为(关节)驱动器或关节模组。按照运动类型,执行器可分为旋转执行器、线性执行器。两者区别在于,线性执行器是将旋转运动转换为直线运动输出,而旋转执行器则是输出旋转运动。基于成本、技术性能与软硬件耦合等多方面的考量,各家人形机器人厂商在驱动器部件选用细节上存在一定的差异。大部分厂商均以旋转执行器为主,少数厂商会采用线性执行器,如特斯拉。

- 旋转执行器多用于人形机器人关节处,如手腕、膝关节,主要由电机和减速器组成,核心零部件是无框力矩电机、行星减或速器和谐波减速器等。目前主流的技术路线有两条。从代表厂商披露的执行器方案来看,主要以刚性驱动器方案和准直驱驱动器方案为主。刚性驱动器主要包括无刷电机+高传动比减速器(谐波)+高刚性力矩传感器。准直驱驱动器主要包括高扭矩密度电机(无框力矩电机)+低传动比减速器(行星)。
- 线性执行机构多安装于机器人上臂、大腿及肘部,可理解为旋转执行器的线性转换,通常实现伸展、推拉等直线运动,主要通过梯形丝杠、滚珠丝杠或行星滚柱丝杠实现。其中,行星滚柱丝杠具有更高承载力、更小的体积和更高的寿命,或为未来发展趋势。

图表113: 典型人形机器人厂商执行器方案

公司	型号	执行器类型		执行器核心零部件方案				编码器
		旋转/直线	刚性/弹性/准直驱	电机	力矩传感器	减速方案		
特斯拉	Optimus	旋转+直线	刚性	无框力矩电机	有	谐波+行星滚柱丝杠		旋转 2+直线 1
1Xtech	NEO	旋转	弹性	直驱电机	/	谐波		
FigureAI	Figure02	旋转	准直驱	/	无	行星或摆线针轮		
智元机器人	远征 A2	旋转+直线	刚性+准直驱	/	有	谐波+行星+行星滚柱丝杠		
开普勒	先行者 K2	旋转+直线	/	/	有	谐波+行星+行星滚柱丝杠		
宇树科技	UnitreeH1	旋转	准直驱	无框力矩电机	无	行星		2 个
优必选	WalkerS1	旋转	刚性	无框力矩电机	有	谐波		2 个
达闼	XR4	旋转	刚性	无框力矩电机	选配	行星		2 个

来源: 高工机器人, 各公司官网, 国金证券研究所



■ **灵巧手：美国相对领先，国产灵巧手快速崛起**

人形机器人是模仿人类手部结构与功能的高复杂度机械装置，灵巧手需要具备像人手一样的灵活性、精巧性和功能多样性。这需要从外形、内在结构、驱动和传动原理等多个方面进行深度仿生，使机器人能够模拟人类手指的复杂运动，实现抓取、操作和感知等多种功能。当前美国在机器人灵巧手技术上处于领先地位，美国的许多公司和研究机构在灵巧手的硬件设计和智能化控制系统方面积累了丰富的技术经验。中国近年在机器人灵巧手领域的技术积累迅速增长，尽管与美、欧相比还有一定差距，但市场规模庞大，政府支持力度强，市场化进程快。自由度角度看，海外特斯拉、ShadowHand、SCHUNK 和 ILDA 已经将 DOF 自由度做到 20 个以上，国内青龙灵巧手自由度做到 19 个，处于国内较为领先地位。抓握力角度，海外的 QBhand 和国内的星动纪元较为领先，抓握力分别达到 62N 和 80N。国内市场上，因时机器人、傲意、腾讯 RoboticsX 实验室等企业也在积极布局，且具有低成本供应链优势，未来国产灵巧手有望占据更多市场份额。

图表114：不同厂商灵巧手方案对比

灵巧手名称	驱动方式	传动方式	重量	最大抓握力	手指数量	DOF	DOA	传感方式	执行器数量	承载力
特斯拉灵巧手	电驱	腱绳、蜗轮蜗杆	\	\	5	22	13-17 (预测)	霍尔传感器、触觉传感器	13-17 (预测)	\
Shadow Hand	动人工肌肉驱动	腱绳	4300g	\	5	24	20	129个传感器	20	4KG
SCHUNK SVH Hand	电驱	齿轮/连杆	1300g	0.85kg	5	20	9	\	9	\
SoftHand Pro	\	腱绳	\	\	5	19	\	\	\	\
Pisa/IIT SoftHand	电驱	腱绳	\	\	5	19	\	\	\	\
DLR 五指灵巧手	电驱	谐波减速器、齿轮、绳驱	1800g	10N	5	\	15	40个模拟传感器+45个数字传感器	15	\
Qbhand	电驱	腱绳	770g	62N	5	19	\	\	\	1.1KG
ILDA hand	电驱	连杆	1100g	34N	5	15	15	\	15	\
因时科技灵巧手	电驱	齿轮/丝杠	540g	30N	5	12	6	\	6	2-3KG
思灵灵巧手	电驱	齿轮/连杆	490g	15N	5	15	6	\	6	数千克
清华大学	电驱	\	550g	\	5	\	\	\	\	5KG
腾讯灵巧手TRX-Hand	电驱	减速器	1160g	15N	3	\	8	角度传感器、接近传感器、微型激光雷达	8	6.5KG以上
小鹏灵巧手PX5	电驱	\	430g	\	5	11	\	\	\	数千克
智元高自由度灵巧手	电驱	\	1600g	5KG	\	19	12	手视觉的指尖传	12	1.1KG
傲意灵巧手	电驱	\	535±5g	\	5	6	11	\	6	10KG
星动纪元	电驱	\	1100g	80N	5	12	\	\	\	25KG
青龙灵巧手	电驱	\	600g	≥15N	5	19	6	指尖触觉感知	12	≥5KG
狻猊灵巧手	电驱	\	480g	\	5	\	6	\	6	\

来源：各公司官网，国金证券研究所

■ **传感器配置对比：各家设计方案百花齐放、各具特色**

机器人对环境的感知大多通过激光雷达、摄像头、毫米波雷达、超声波传感器、GPS 这五类传感器及其之间的组合来实现。机器人感知方案或如同自动驾驶，分为纯视觉感知与激光雷达两大路线。纯视觉方案利用摄像头和视觉算法进行环境感知，其优势为成本低且符合人眼逻辑，在数据积累达到一定规模后能够超越激光雷达方案的表现，但在恶劣环境下，摄像头完成感知任务的难度也会随之提升。激光雷达方案可以在现有技术条件下实现快速 3D 建模，比较精准的还原路况信息，目前的痛点在于成本高昂、且对芯片算力需求大。

图表115：各类型传感器对比

传感器类型	探测距离	成本	精度	优点	缺点
激光雷达	>100 米	>1000 美元	极高	测量精度高、抗干扰强	成本高，大雾、雨雪天气效果差
摄像头	50 米	<10 美元	一般	成本低、可以通过算法实现各种功能	易受光影影响；算法要求高
毫米波雷达	250 米	200-300 美元	较高	不受天气影响、性价比高	识别行人、道路指示能力弱
超声波传感器	3 米内	10 美元左右	高	价格低、体积小，近距离停车应用极佳	无法进行远距离探测
红外线	3 米内	100 美元左右	短距离高	夜视效果极佳	无法获得周围障碍物的位置信息

来源：Apollo《自动驾驶中的 GNSS/融合定位技术》讲座，国金证券研究所

当前，人形机器人感知方案主要分为纯视觉感知与多传感器融合两大路线。人形机器人视觉方案目前主要以结构光、双目或多目 RGB、TOF 等的组合方案为主；算法基础强的厂商会采用更为简单的传感器方案，而算法相对薄弱的厂商会选择更为核心的硬件。纯视觉方案典型代表如特斯拉、小鹏。特斯拉 Optimus 采用纯视觉传感器方案，搭载了 2D 视觉传感器和与特斯拉车辆相同的 FSD 技术以及 Autopilot 相关神经网络技术。大多数多传感器融合方案主要结合深度相机与摄像头进行感知，代表公司有智元、宇树等厂商。



图表116: 主要人形机器人厂商感知方案对比

	公司	型号	传感器方案
纯视觉方案	特斯拉	Optimus	高清 2D 摄像机 x2+广角鱼眼摄像机 x1
	小鹏	Iron	AI 鹰眼视觉系统
	FigureAI	Figure02	RGB 摄像机 x6
多传感器融合方案	优必选	WalkerS1	RGBD 相机+鱼眼相机
	智元机器人	远征 A2	激光雷达+RGBD 相机 x6+鱼眼相机
	宇树科技	UnitreeH1	3D 激光雷达+深度相机
	波士顿动力	Atlas	ToF 深度相机、RGB 摄像机

来源：高工机器人，各公司官网，国金证券研究所

- 电池：**动力电池为人形机器人提供所需的能量，对机器人的性能、续航能力、安全性以及成本等方面具有重要影响。FigureAI 发布的 Figure02 人形机器人搭载 2.25KWH 的电池组，一次充电可以运行 5 小时。我国目前大部分人形机器人的运行时间通常为 2-4 小时。电源包括电池和电源管理系统两部分。电池方面，目前锂离子电池是主流，但其在能量密度、循环寿命等方面仍无法满足未来人形机器人长时间、高负荷工作的要求。国内企业如宁德时代等正在研发更高性能的电池技术。电源管理系统方面，主要用于监控电池状态，优化能源使用，确保人形机器人在各种工况下都能稳定运行。国内在电源管理系统的研发方面也在不断加强。
- 新材料结构件：**人形机器人的新材料主要应用在骨骼、外壳等方面。该部分是支撑人形机器人进行各种行动的基本框架，其应用场景包括外壳标料脊椎、大臂、小臂、大腿、小腿等结构件。目前人形机器人“朋支体”骨骼的常用材料包括钢材、铝合金、镁合金、碳纤维、工程塑料等。在保证机器人功能的先进性、稳定性、使用可靠性和服役安全性的前提下，采用轻量化材料，结合结构优化设计、先进制造工艺，可使机器人构件轻量化，能够提高机器人的机动灵活性，保证机器与人类一起协作工作时不会受到机器的伤害等问题。目前，聚醚醚酮(PEEK)在人形机器人“肢体”方面具有较大的应用潜力，可以满足人形机器人本体轻量化的要求，大幅提高人形机器人灵活性和工作效率，减轻其运动惯性，提高安全性。采用了 PEEK 材料的特斯拉 OptimusGen2 较上一代减重 10kg。
- 综上，**结合 1.2 及 1.3 节展示的各家人形机器人具体方案对比，可见，在硬件方案设计，各家方案趋于收敛，人形机器人硬件不再是本质约束条件，难点主要体现在 0-1 设计、规模制造及降本上。

根据特斯拉人形机器人 Optimus 公开信息，我们预测：

从技术壁垒看：行星滚柱丝杠>六维力矩传感器>谐波减速器>空心杯电机>无框力矩电机。

从竞争格局看，国产供应链具备较强的创新及降本能力，有望对人形机器人的量产及降本做出巨大贡献，预计未来随着人形机器人市场的爆发，国内厂商市场份额有望进一步提升，实现跨越式发展。

图表117: 特斯拉人形机器人的各类核心零部件对比

环节	市场成熟度	技术壁垒	国产化率	关键要素
线性总成、旋转总成				
滚柱/滚珠丝杠	低	高	低	性能、产能
六维力矩传感器	低	高	低	算法、设计、制造
灵巧手	低	高	低	设计、控制、制造
无框力矩电机	高	低	高	设计、价格
谐波减速器	高	中	中	性能、产能
一维/关节扭矩传感器	高	低	中	性能、价格
空心杯电机	中	中	高	设计、制造工艺



行星减速器	高	低	高	产能
软件及系统	低	高	低	大模型能力

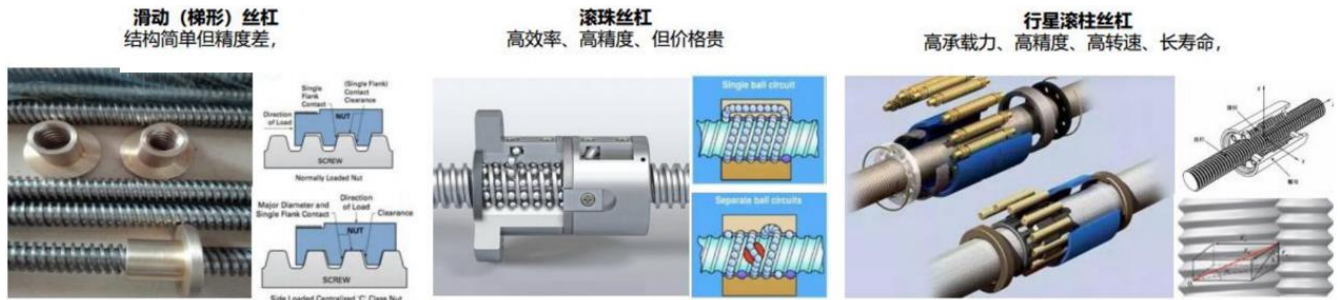
来源：国金证券研究所

4.2 丝杠：成本+产能为王

4.2.1 丝杠厂商：规模制造能力是关键，其次降本能力

丝杠螺母传动将旋转运动变换为直线运动（或相反传递），主要分为滑动丝杠、滚珠丝杠、行星滚珠丝杠。滑动丝杠是滑动摩擦、结构简单但精度差，传动效率 25-50%；滚珠丝杠是滚动摩擦，传动效率约 90-99%，精度高、效率高、但价格高。行星滚柱丝杠承载力强、耐冲击、体积小，但是由于结构复杂、加工难度大且成本高。

图表118：丝杠螺母分类



来源：《机电一体化》，国金证券研究所

反向式行星滚柱丝杠与标准式行星滚柱丝杠的差别在于螺母作为动力输入构件，绕自身轴线旋转，丝杠作为执行部件，沿轴向移动；丝杠两端增加齿轮替代内齿圈与滚柱端齿啮合，保证滚柱在丝杠上为滚动，滚柱与丝杠没有相对轴向位移，一起沿轴向移动。反向式行星滚柱丝杠的螺母为主动件，丝杠为输出构件，滚柱、丝杠之间无相对轴向位移，其主要用于中小负载、小行程和高速的应用场景，其最大的优势在于可将其螺母作为电机转子实现电机和丝杠一体化设计，形成结构紧凑的一体式机电作动器。

图表119：反向式行星滚柱丝杠与标准式行星滚柱丝杠结构特点



左图：标准式行星滚柱丝杠结构

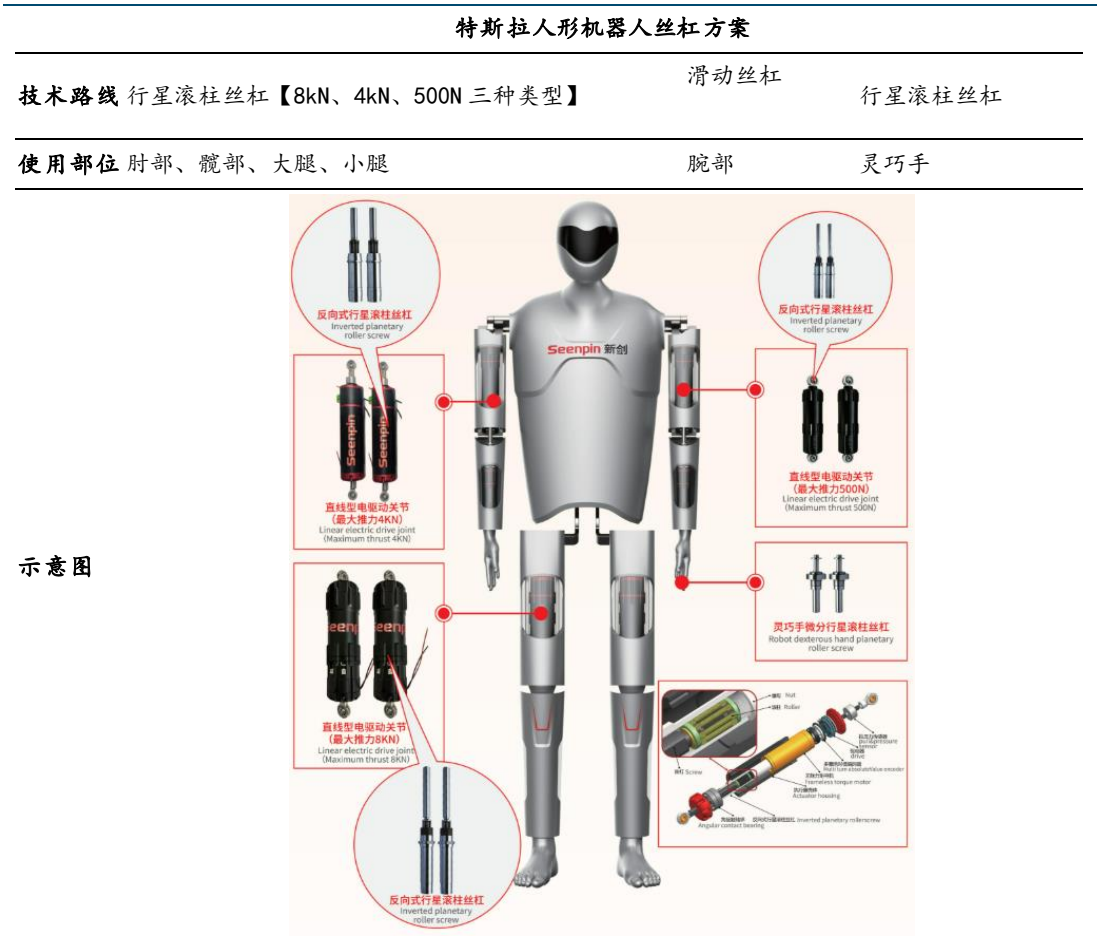
右图：标准式行星滚柱丝杠结构

来源：《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》柯浩、《行星滚柱丝杠设计》王家健，国金证券研究所

行星滚柱丝杠是人形机器人“肢体”的核心组成部分，可以广泛应用于机器人的手臂、腿部以及灵巧手等多个方面，为机器人提供精确的线性运动控制。以特斯拉人形机器人为例，其人形机器人髋部、大腿、小腿部分采用行星滚柱丝杠，肘部采用滑动丝杠，丝杠分为 500N、3900N、8000N 三种规格，以适应不同关节的承载需求。根据特斯拉公开信息，GEN3 灵巧手自由度从 11 提升到 22 个，驱动方式预计采用线性执行器。目前，特斯拉在其人形机器人 Optimus 中使用反向/反转式行星滚柱丝杠，主要基于其在性能上的优势，尤其是在承载能力和刚度方面，但不排除对承载力要求更低的人形机器人采用成本更低的滚珠丝杠。



图表120: 特斯拉人形机器人丝杠方案



来源: Tesla, 新剑传动官网, 国金证券研究所

精度是衡量行星滚柱丝杠性能的关键指标之一。国际行星滚柱丝杠精度分类标准 G 级, 行星滚柱丝杠标准精度等级为 G1、G3、G5 (导程精度: $6\mu\text{m}/315\text{mm}$ 、 $12\mu\text{m}/315\text{mm}$ 、 $23\mu\text{m}/315\text{mm}$)。我们估计, 人形机器人不需要像机床考虑重复定位精度, 丝杠精度或许不需要达到 G3 级别, G5 精度或能满足需求。

图表121: 新剑传动行星滚柱丝杠标准产品

	丝杠中径(mm) PITCH DIAMETER OF LEAD SCREW	丝杠长度 (mm) LENGTH OF LEAD SCREW	导程(mm) LEAD	效率(%) EFFICIENCY	导程精度(μm) LEAD ACCURACY	静态承载 (KN) STATIC load	动态承载 (KN) DYNAMIC load
标准式 行星滚柱丝杠 Standard planetary roller lead screw	3.5-60	960	1-35	75-90	G3, G5, G7 (每315mm行程, 导程精度: $12\mu\text{m}$, $23\mu\text{m}$, $52\mu\text{m}$) G3, G5, G7 (per 315mm stroke, lead accuracy: $12\mu\text{m}$, $23\mu\text{m}$, $52\mu\text{m}$)	8.9-950	3.9-470
反向式 行星滚柱丝杠 Reverse planetary roller lead screw	10.5-80	960	2-16	70-90	G1, G3, G5 (每315mm行程, 导程精度: $6\mu\text{m}$, $12\mu\text{m}$, $23\mu\text{m}$) G1, G3, G5 (per 315mm stroke, lead accuracy: $6\mu\text{m}$, $12\mu\text{m}$, $23\mu\text{m}$)	20.8-225	13.4-559
循环式 行星滚柱丝杠 Circular planetary roller lead screw	8-63	960	0.25-4	60-80	G3, G5, G7 (每315mm行程, 导程精度: $12\mu\text{m}$, $23\mu\text{m}$, $52\mu\text{m}$) G3, G5, G7 (per 315mm stroke, lead accuracy: $12\mu\text{m}$, $23\mu\text{m}$, $52\mu\text{m}$)	14.3-560	7.3-219
差动式 行星滚柱丝杠 Differential Planetary Roller Lead screw	5-63		0.8-2.66	60-80	T5, T7 (每315mm行程, 导程精度: $23\mu\text{m}$, $52\mu\text{m}$) T5, T7 (per 315mm stroke, lead accuracy: $23\mu\text{m}$, $52\mu\text{m}$)	10-370	8-256

来源: 新建传动官网, 国金证券研究所

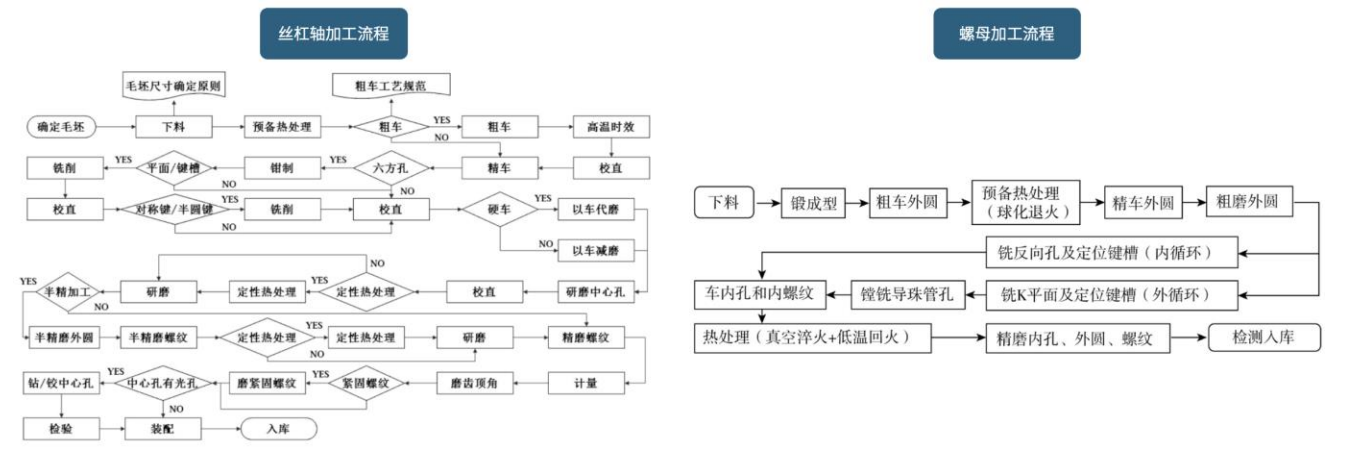
高精度行星滚柱丝杠制造难度非常高, 主要有三大壁垒: 原材料、工艺流程、生产设备。并且由于反转式的螺母长度远远高于普通式, 如何在如此高长度的螺母内加工螺纹是难点, 需要精密的机械加工技术和高质量的控制。

- 材料: 普通的金属材料无法满足需求, 通常需要特种金属材料来进行制备, 国外丝杠与国产丝杠均采用加入了 Mo 元素的优质合金结构钢, 但国产仍有不小差距。



- 工艺流程：丝杠加工流程长工艺复杂，规模制造能力是关键。从材料、热处理、设计、粗精加工、检测环环相扣涉及大量“KnowHow”，丝杠制造厂商需要较长时间的积累才能掌握全部工艺，并且应用和反馈中不断迭代和优化。
- 生产设备：设备决定丝杠的加工精度和效率，磨床是丝杠加工的核心技术壁垒，其精度直接决定丝杠精度。磨床通过其高度精密的磨削技术，能够确保丝杠具有一致的螺纹形状和尺寸，从而提供可靠的性能和稳定的运动控制。磨床的精度直接影响着丝杠的轴向精度、径向精度以及整体的运动平稳性。磨床研磨工艺的选择及磨床技术人员的储备是一个制约因素。

图表122：丝杠的加工流程较长，材料、热处理、设计、粗精加工、检测环环相扣涉及大量“KnowHow”



来源：《高性能滚珠丝杠副加工工艺分析与CAPP系统的开发》，国金证券研究所

当前行星滚柱丝杠格局较为集中，主要被海外龙头垄断，国内仅有几家具备量产能力。随着人形机器人市场的爆发，国产厂商积极进入行星滚柱丝杠市场，将在产品性能、成本控制以及产能扩张能力进行比拼。

- 全球市场，海外龙头企业占据了在高端行星滚柱丝杠领域的主导地位，包括：瑞士 GSA、瑞士 Rollvis、瑞典 Ewellix、博世力士乐、美国 CMC 等。瑞士 GSA 公司是舍弗勒子公司，于 2015 年收购瑞士 rollvis 集团，并且和母公司收购了伊维莱集团（前 skf 行星滚柱丝杠部门），成为全球行星滚柱丝杠龙头之一。目前，特斯拉人形机器人用的是瑞士 GSA 集团的 RGTI 行星滚柱丝杠。
- 我国行星滚柱丝杠进口占比较高，具备量产能力的仅有南京工艺、博特精工等少数几家。人形机器人市场，新进入的国内厂商包括贝斯特、恒立液压、北特科技、双林股份、新剑传动、北特科技、五洲新春、江苏雷利、震裕科技等。

图表123：丝杠相关市场参与者

公司名称	丝杠产品简介及进展
舍弗勒	全球行星滚柱丝杠全球大型供应商，实力较强，有 RGT 行星滚柱丝杠，RGTR 循环式行星滚柱丝杠，RGTI 和 RGTRI 反转行星滚柱丝杠
斯凯孚 SKF	全国第二大行星滚柱丝杠生产商，有 SR/BR/TR/PR 系列标准式行星滚柱丝杠及 SV/BV/PV 系列循环式滚柱丝杠
穆格 Moog	美国的慕格是全球精密运动控制系统的领先集成商，有超过 30 年的行星滚柱丝杠定制历史
博世力士乐	滚柱丝杠产品是在近 10 年内推出的新产品，采用轧制成型技术
博特精工	公司主要产品有包含行星滚柱丝杠在内的多种机械传动用轴类产品，其研制的 BT-GZXS 行星滚柱丝杠具有长时间承受重载的能力
思科瑞传动	全球极少数拥有设计、制造全系列行星滚柱丝杠的企业，目前设计多种产品已投入石化、军事等领域使用
仲孚机械	具有非标直径、非标导程、行星滚柱丝杠的描绘与出产才能，并成功研制出了高精度行星滚柱丝杠
中国船舶 704 所	其成功自主研发的超精密行星滚柱丝杠导程误差测量仪，目前公司已掌握多种滚珠丝杠的核心工艺
恒立液压	部分设备已到，已建设相关技术团队，在研滚柱丝杠
贝斯特	设备已到，已建设相关技术团队，在研滚柱丝杠
五洲新春	已有滚珠丝杠产品，在研滚柱丝杠，积极推进机器人领域
新剑传动	已实现滚柱丝杠类产品的生产销售，并积极推进；拟建设年产 100 万台人形机器人行星滚柱丝



斯菱股份	已建设相关技术团队，在研滚柱丝杠
南京化纤	拟收购南京工艺，产品有滚珠丝杠副、滚动导轨副等
双林股份	滚柱丝杠产品已研发出样品，试制产线也在建设之中，由于尚未获得客户定点
北特科技	推进丝行星滚柱丝杠和 T 型丝杠，包括螺母、行星滚柱、丝杆、齿圈等部件研发工作，目前上海嘉定工厂投资建设了相应的小批量产线，拟投资 18.5 亿 昆山扩产
鼎智科技	产品包括线性执行器、混合式步进电机等产品，其在微型行星滚柱丝杠的研发有里程碑式进展，其产品具有负载能力更高、使用寿命更长等优点
震裕科技	行星滚柱丝杠产品有两家本体厂小批试制、两家打样

来源：公司公告，国金证券研究所

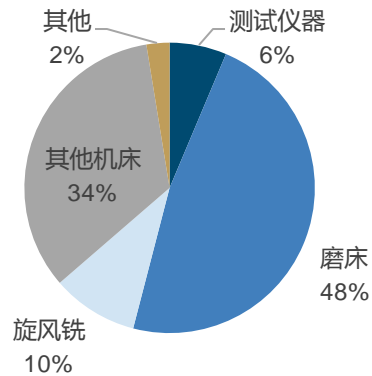
4.2.2 设备：磨床是核心，关注精加工环节降本新路线

磨床是精加工设备核心，需求弹性大。在丝杠有较大潜在成长空间背景下，产能扩产有望成为丝杠企业下一步工作重点。丝杠制造流程较长，会带来热处理、校直、车床、磨床、检测设备等多类设备需求。其中，螺纹磨床是决定丝杠精度的核心设备之一，要实现最终的高精度加工，磨床核心功能部件需要具有较高精度。根据秦川机床公告信息，从再融资项目中关于滚动功能部件扩产的项目规划看，5 亿丝杠产值（公司公告披露的测算结果）对应设备投资额 1.56 亿元，其中磨床价值量占比约为 48%，价值量占比高主要由于高端磨床采用了进口机床，单价较高，高精度床身导轨磨单价可达 2800 万元。

图表124：磨床精度等级属于机床里最高一档，技术难度最高

图表125：秦川机床滚动功能部件扩产设备投资中磨床占比 48%

加工方法	IT等级																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
外圆磨削																	
内圆磨削																	
平面磨削																	
无心磨削																	
粗车																	
半精车																	
精车																	
精细车																	
粗铣																	
精铣																	



来源：《机械加工工艺简明速查手册》，国金证券研究所

来源：秦川机床公司公告，国金证券研究所

假设人形机器人出货量达到 100 万台，平均每台机器人使用 10 支行星滚柱丝杠，使用两台磨床（内螺纹和外螺纹加工）进行制造，假设设备单价为 200 万元（内螺纹磨加外螺纹磨对应 400 万元/套），每支丝杠平均制造时间分别为 40/60/80 分钟（按照精磨环节时间计算），对应磨床市场需求分别为 44/67/89 亿元。

图表126：丝杠加工设备有较大优化空间，国内企业贴近终端客户有望抢占先机

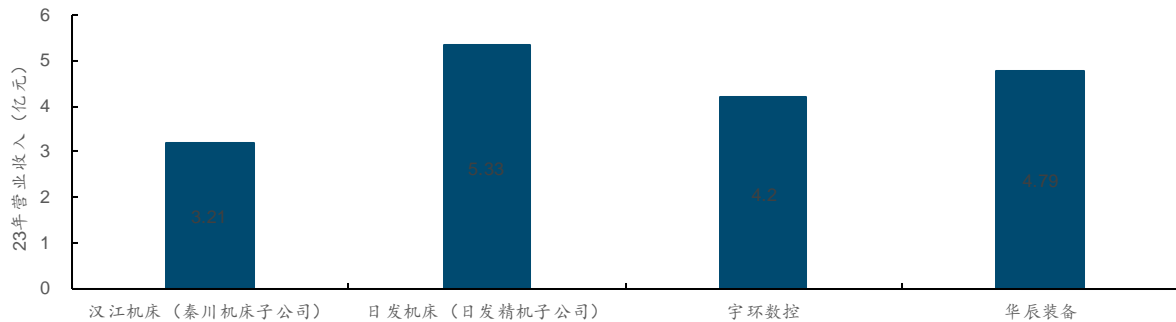
人形机器人出货量 (万台)	100	
单机行星滚柱丝杠需求 (支)	10	
丝杠总需求 (万支)	1000	
平均加工时间 (分钟)	40	60
每日有效加工时间 (小时)	20	20
一套设备年产量 (按照 300 天计算)	9000	6000
设备需求量 (套)	1111	1667
设备单价 (万元/套)	400	400
设备市场需求 (亿元)	44	67

来源：《面向精密螺纹丝杠的智能制造单元系统研究》，国金证券研究所



螺纹磨床原本是较小的市场，海外企业单一体量不会太大，国产厂商未来有较大成长空间。德国、日本等发达国家的磨床企业起步较早、技术水平领先，产品附加值较高，包括德国斯来福临集团、日本捷太格特、德国埃马克、士罗曼蒂克等。国内磨床企业普遍体量也还较小，在丝杠扩产有较大潜在市场需求的情况下，我们认为国内有能力实现螺纹磨床突破的企业将有较大弹性。目前秦川机床、华辰装备、日发精机均积极加码螺纹磨床布局。

图表127：国内磨床企业收入体量较小，未来有较大成长空间



来源：Wind，国金证券研究所；注：汉江机床、日发机床业务不仅限于磨床

粗加工制造环节存在技术升级迭代的新机会。提升加工效率是实现降本的重要方式之一，例如通过以车代磨、以铣代磨实现降本，这会带来硬车床、旋风铣床、超硬刀具的需求。

- 以铣代磨：经统计，传统磨削工艺中，螺纹磨削时间占整个工艺流程的2/3。基于螺纹磨削切削用量的限制，并且在磨削过程中要不断地修整砂轮和校直丝杠，工时较长。硬铣螺纹工艺是将螺纹滚道一次成形铣削，不仅减少了工序，而且不必反复修整刀具和校直，在一定程度上降低了螺纹加工所占时间份额，从而大大缩短了滚珠丝杠加工周期，提高了加工效率。目前国内企业正积极布局旋风铣床开发，秦川机床子公司汉江机床目前开发的数控丝杠铣床可用于滚珠丝杠滚道硬旋铣成型加工，加工效率比传统方式提高30%。
- 以车代磨：粗加工环节，通过数控车床实现以车代磨，以缩短磨削加工工时、提升加工效率是丝杠降本核心方向之一。目前浙海德曼开发的高精度高刚性主轴结构电主轴，可以承受较大的轴向负荷，可实现重切削及以车代磨，根据浙海德曼公告信息，公司已积极与下游多家企业进行了应用技术交流对接，已向相关企业供应过相关设备。现有产品高端机（车床及车铣复合加工中心）系列精度指标已达到了行业领先水平，未来将往更高精度突破，实现部分工艺以车代磨技术。

图表128：以铣代磨、以车代磨设备公司

方式	公司
以铣代磨	德国莱斯特瑞兹、秦川机床、晨光数控
以车代磨	Humbrug、Kummer、浙海德曼、沈阳机床

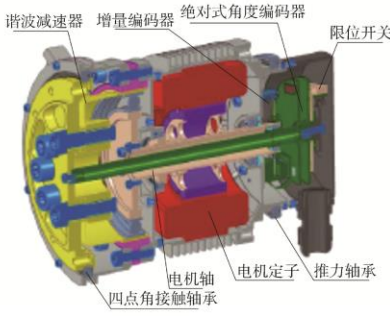
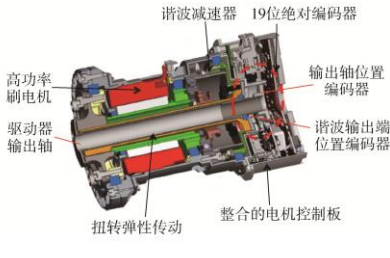
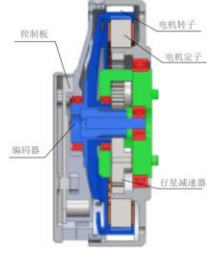
来源：浙海德曼官网，Humbrug，沈阳机床，南京工艺官网，秦川机床，晨光数控公众号，国金证券研究所

4.3 减速器：谐波为主、行星为辅双路线并存

从代表厂商披露的执行器方案来看，基于成本、技术性能与软硬件耦合等多方面的考量，主要以刚性驱动器方案（谐波减速器）和准直驱驱动器（行星减速器）方案为主，其中特斯拉人形机器人采用刚性驱动方案（即谐波减速器）、国产人形机器人大多采用准直驱动方式（即行星减速器方案）。根据《国内外双足人形机器人驱动器综述》，人形机器人的驱动单元主要包括了刚性驱动、弹性驱动和准直驱驱动三种，刚性驱动器在双足人形机器人率先应用，设计理论也相对成熟，在传统的双足机器人、工业机器人、协作机器人和工业精密转台等方面得到广泛应用，但受到电机装置功率密度限制。弹性驱动器由于弹性体的引入，系统驱动不足，给控制带来了难度，尤其是在机器人前置使用时，机器人整机的运动控制比较难实现。准直驱动驱动器是最近几年新兴技术，发展迅速，并有很多产品得到应用。



图表129: 三种高性能机器人驱动器(执行器)方案特性比较

类型	刚性驱动单元	弹性驱动单元	准直驱驱动单元
结构配置	电机+高传动比减速器(谐波)+高刚性力矩传感器	电机+高传动比减速器(谐波)+弹性体	高扭矩密度电机(无框力矩电机)+低传动比减速器(行星)
示意图			
传感器方案	2个位置传感器(编码器)	3个位置传感器(编码器)	1个位置传感器(编码器)
力矩测量方式	应变片原理或电流	编码器或应变片原理	电流环
控制方式	简单、精度高	较复杂、精度低	简单、精度一般
扭矩密度	高	高	较低
冲击减缓性	差	好	好
效率	低	功率一般	效率高
应用场景	传统双足机器人、协作机器人	协作、四足机器人、人形机器人	人形机器人、四足机器人
典型案例	特斯拉 Optimus	1Xtech 公司 NEO	FigureAI 公司 Figure02

来源:《国内外双足人形机器人驱动器研究综述》,高工产业研究院,国金证券研究所

减速器是旋转执行器的核心零部件之一,在原动机和工作机或执行机构之间起匹配转速和传递转矩的作用。目前谐波减速器、行星减速器以及创新型减速器存在技术路线问题。特斯拉人形机器人主流路线是谐波减速器方案,同时也与双环传动研发的新型减速器、或者行星减速器方案。国产人形机器人大多采用行星减速器为主,谐波减速器为辅。使用谐波减速器方案需用到力矩传感器做力控,结构和成本更加复杂,多级行星结构相对简单、但精度相对较低。从产品和成本差异度看,谐波减速器赛道好于行星减速器,谐波减速器未来规模经济和成本迭代空间大于行星。

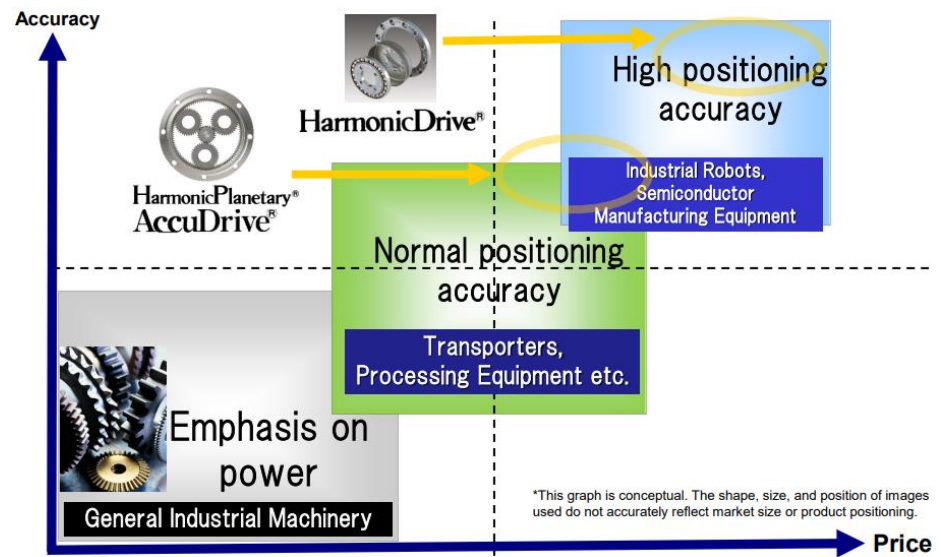
图表130: 精密减速器主要技术指标对比

主要指标	精密行星减速器	谐波减速器
优点	高刚性、高扭矩、结构简单	传动比大、体积小
缺点	减速比小	效率较低、抗冲击能力弱、结构复杂
传动效率	>95%	>70%
传动精度(")	≤180	≤60
传动比	3-512	30-160
设计寿命(h)	>20,000	>8,000
扭转刚度(N·m/arcmin)	10-370	1.34-54.09
额定输出转矩(N·m)	40-1200	6.6-921
噪音(db)	≤65	≤60
温升(°C)	≤30	≤40

来源:科峰智能招股书,国金证券研究所



图表131: 精密减速器精度及价格对比概念图



来源: 哈默纳克科公告, 国金证券研究所

全球谐波减速机市场较为集中, 日本的哈默纳科、日本新宝等企业技术水平处于行业领先地位。国内谐波齿轮传动技术发展相对较晚, 内资绿的谐波率先在国内实现了谐波减速器的产业化和规模化, 同时也涌现了来福、大族等优质厂商。国内部分企业通过技术攻关、生产工艺的改进, 研发出的产品在性能和稳定性等方面已能够达到国际先进水平, 打破了国外的技术垄断, 对国外品牌逐渐形成一定的替代。在行星减速器方面, 相对来说, 中国产厂商已经占据较大市场份额, 主要代表厂商有赛威传动(德国)、纽卡特(德国)、威腾斯坦(德国)、新宝(日本)、纽格尔智能(中国)、罗斯特(中国)、中大力德(中国)、纽仕达特(中国)、科峰智能(中国)等。

图表132: 国内精密减速器厂商情况

公司名称	专注领域
绿的谐波	谐波减速器
来福谐波	谐波减速器
同川科技	谐波减速器
中大力德	谐波、RV 减速器、行星
大族传动	谐波减速器
国茂股份	谐波减速器
双环传动	RV 减速器、谐波减速器
南通振康	RV 减速器
秦川机床	RV 减速器
斯菱股份	谐波减速器
瑞迪智驱	谐波减速器
丰立智能	谐波减速器、行星减速器

来源: 公开资料整理, 各公司公告, 高工机器人, 国金证券研究所

龙头公司已率先计划扩产。面对人形机器人对谐波减速器的需求, 哈默纳科、绿的谐波纷纷扩产。2024年10月, 哈默纳科计划进行约100亿日元的战略投资, 开拓新兴的人形机器人市场。2025年1月1日, 绿的谐波完成非公开发行募集资金14亿元用于新一代谐波减速器扩产项目, 拟建设100万台/年谐波减速器产能, 预计2027年两代谐波减速器产能合计159万台/年。



图表133: 绿的谐波产能规划

单位: 万台/年	2019	2020	2021	2022	2024	2027E
谐波减速器	9	12	25	33	50	59
新一代						100

来源: 绿的谐波公司公告, 国金证券研究所

4.4 电机: 设计创新和新材料是发展趋势, 国产性能日益进步

人形机器人电机要求三个关键点, 即高效率、高动态和高功率密度。电机是指依据电磁感应定律实现电能转换或传递的一种电磁装置, 主要作用是产生驱动转矩, 作为用电器或各种机械的动力源。关节电机为人形机器人各种动作和姿态的实现提供动力, 具备减速、传动、提升扭矩等功能, 作为机器人的核心硬件, 是机器人运动的“心脏”。人形机器人的自由度决定电机需求的数量, 机器人灵活性越高, 所需的电机数量越多。

- **高效率:** 低能耗和低摩擦损失很重要, 因为机器人通常由电池供电, 能经受得起苛刻的运行条件, 可进行十分频繁的正反向和加减速运行, 并能在短时间内承受过载。
- **高动态:** 整个驱动器(电机、机构、接线、传感器和控制器)的惯性应尽可能低, 电动机从获得指令信号到完成指令所要求的工作状态的时间应短。
- **高功率密度:** 机器人应用需要高速、高扭矩电机, 这些电机还需要小巧, 紧凑, 轻巧。

图表134: 机器人电机侧重三点: 高效率、高动态和高功率密度



来源: Maxon 官网, 高工机器人产业研究所 (GGII), 国金证券研究所

空心杯电机和无框力矩电机为人形机器人核心电机。通常, 无框力矩电机具有高效、高扭矩密度和长寿命等特点, 因此在需要高性能和精确控制的人形机器人关节中得到了广泛应用。空心杯电机是一种直流永磁的伺服控制电机, 主要应用于末端灵巧手。

- **无框力矩电机:** 无框力矩电机是一种以输出扭矩为衡量指标的无框架式永磁电机, 没有轴、轴承、外壳或端盖, 只有转子和定子两个部件。转子是内部部件, 由带永磁体的旋转钢圆环组件构成, 直接安装在机器轴上。定子是外部部件, 包含有齿钢叠片, 外面包裹着能产生电磁力的铜绕组, 紧凑地安装在机器外壳的主体内。以特斯拉人形机器人为例, 特斯拉人形机器人全身共有 28 个执行器, 则对应需求 28 个无框力矩电机。
- **空心杯电机:** 属于伺服电机, 不同于普通铁芯电机将电机绕组固定在铁芯之上, 空心杯电机绕组不依靠铁芯支撑, 而是利用特殊工艺将电机绕组做成可以独立支撑的杯状。由于采用无铁芯转子结构, 空心杯电机消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗。同时, 其重量和转动惯量大幅降低, 减少了转子自身的机械能损耗, 大幅提高了电机的运转性能。



图表135: 无框力矩电机



图表136: 空心杯电机

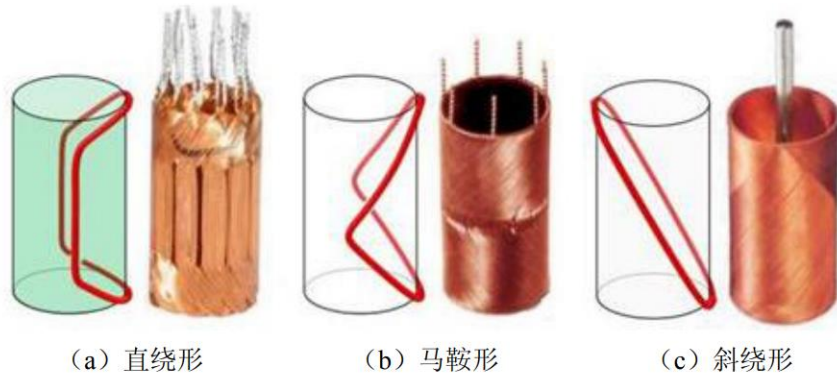


来源: 高工机器人, 国金证券研究所

来源: 高工机器人, 国金证券研究所

空心杯电机的生产难点在于线圈的绕制过程, 这一环节包括设计和加工两个关键步骤, 直接影响电机本身特性的重要参数。目前, 空心杯电机厂商线圈绕制主要使用专门定制的绕线设备, 国内市场主流绕线设备供应商包括田中精机、中特科技、东莞台立、昆山库克等。

图表137: 空心杯电机线圈绕制形式



来源: 《永磁无刷空心杯电机及控制器研究》, 水母研究, 国金证券研究所

无框力矩电机国内外厂商产品性能逐渐缩小。美国科尔摩根是全球无框力矩电机龙头, 拥有超 70 年的运动控制研发经验, 电机性能在全球处于第一梯队。国内目前进展较快的公司包括步科股份、航天电器。相比海外龙头, 国产无框力矩电机在产品性能方面虽然仍有差距, 关键参数与国外企业的差距不断缩小。

图表138: 国内外无框力矩电机厂商对比

公司	主要产品	无框力矩电机进展
科尔摩根 (美国)	运动控制器、电机、驱动器、电机和驱动器附件等	全球领先的运动控制系统和配件供应商, 无框力矩电机全球龙头, 性能远超竞争对手, 实现轻量化、高扭矩, 更符合人形机器人需求
步科股份	人机界面、伺服系统、步进系统等	国内无框力矩电机头部企业, 目前无框电机产品主要应用在协作机器人
航天电器	电机、连接器、光电器件和广电设备、智能制造等	子公司贵州航天林泉电机在机器人高动态感知驱动功能部件方面实现突破, 技术已经应用于惯导领域、转台领域及无框力矩电机领域, 并产生收入

来源: 各公司官网, 各公司公告, 国金证券研究所

鸣志电器是人形机器人空心杯电机国产先锋, 兆威机电厚积薄发。空心杯电机起源于德国、瑞士等欧美国家, 全球头部企业包括德国 Faulhaber、瑞士 Maxon 和瑞士 Portescap。海外龙头在空心杯电机领域布局较早, 技术经验积累深厚, 是全球空心杯电机的主要供应商。国内起步较晚, 有业务布局的企业包括鸣志电器、拓邦股份、江苏雷利和伟创电气。根据上述各公司公告, 鸣志电器空心杯电机技术水平位居全球前列; 拓邦股份空心杯电机已经实现批量应用; 江苏雷利子公司鼎智科技的空心杯电机已实现量产, 目前处于小批量验证阶段; 伟创电气处于产品内部测试阶段, 其余企业技术相对薄弱, 国产替代空间广阔。



图表139：国内外空心杯电机厂商

公司	主要产品	空心杯电机进展
瑞士 Maxon 德国 Faulhaber	机电驱动系统、直流有刷电机、齿轮箱、传感器等 直流伺服电机等	全球空心杯电机龙头，ECX、EC-max、EC-4pole 等系列空心杯电机远销海内外 空心杯电机拥有 BX、CXR、CR 和 CT 四大系列产品
鸣志电器	步进电机、无齿槽&空心杯电机等、LED 驱动及智能照明产品等	提供 Ø8mm-Ø24mm 多种外径及机身长度规格型号的有刷空心杯电机，技术水平位居全球前列
拓邦股份	智能控制器、锂电池、高效电机、工控产品等	已批量应用于智能制造的电动来爪、医疗健康的骨科动力工具、智能跟随的高尔夫球包车等领域
兆威机电	微型驱动系统方案	空心杯电机的产品已推出，量产能力得到验证，积极布局 3.4mm 和 4.4mm 电机研发
禾川科技		
鼎智科技	步进电机、空心杯电机等	空心杯电机实现量产，目前处于小批量验证阶段
伟创电气	变频器、伺服系统、控制系统等	空心杯电机目前处于内部测试阶段

来源：各公司公告、官网，国金证券研究所

4.5 传感器：视觉、力觉、触觉为主，亟待培育国产龙头

具身智能机器人是指将 AI 融入机器人物理实体，赋予它们像人一样感知、学习和与环境动态交互的能力。具身智能机器人根据其功能和应用场景，配备了多种类型的传感器，包括视觉传感器（如摄像头、激光雷达、毫米波雷达、红外传感器等）、听觉传感器（如麦克风）、嗅觉传感器（如气味传感器）、触觉传感器（包括力传感器）、编码器、IMU 等，以实现感知和分析外部环境并进行自身状态反应，实现复杂的交互和操作任务。

图表140：人形机器人传感器的主要类型

传感器类型	原理	获得的信息	在工业机器人中的应用
触觉传感器	电容式、压电式、压阻式、光学式	接触力、面积、位置	人机协作、物体抓取、质量监控
视觉传感器	CCD 或 CMOS 成像	图像	人-机器人协作 (HRC)、导航、机械手控制、装配、机器人编程
激光传感器	飞行时间 (TOF)、三角测量、光学干涉	距离、位移	人-机器人协作 (HRC)、导航、操纵器控制
编码器	光电、磁性、电感性、电容性	角位移	导航、操纵器控制
接近传感器	电容式、电感式、光电式	物体接近	人-机器人协作 (HRC)、物体抓取
惯性的传感器	航位推算 (DR)	加速度、角速度、方位角	导航、操纵器控制
扭矩传感器	感应电阻应变	扭矩	人-机器人协作、物体抓取、机器人编程
声传感器	电容的	声音信号	人-机器人协作 (HRC)、焊接
磁性传感器	霍尔效应	磁场强度	航行
超声波传感器	飞行时间 (TOF)	距离	障碍物回避

来源：《工业机器人传感器技术综述》，国金证券研究所

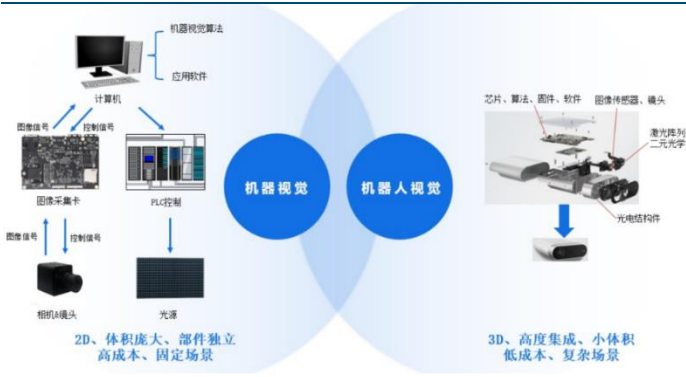
4.5.1 视觉：主流方案为 3D 视觉，国产化较高

视觉方案主要分为 2D 视觉和 3D 视觉：1) 2D 视觉：通过 2D 相机分析灰度或彩色图像中的像素灰度特征获取目标中的有用信息，识别纹理形状。容易受到光照影响，且无法实现三维精准测量。2) 3D 视觉：精度更高、信息量更大（三维图像）、集成度更高，适用于更加复杂、精密的识别、检测需求。

机器人的视觉感知属于高度集成的模组方案，对于体积、成本、精准度都有较高要求，因此 3D 视觉高度集成、体积小、精度高的优势更适合机器人的场景。



图表141: 机器人视觉感知由芯片、算法、传感器影响



图表142: 机器人视觉感知向 3D 化发展

对比指标	2D	3D
产品形态	模块化视觉设备 (体型大)	嵌入式视觉设备 (高度集成)
应用场景	一般固定	复杂多变
扫描精度	工业产线范围内	毫米级甚至更高
维度	平面维度	立体维度
技术要求	较低	技术壁垒较高
下游市场	识别、检测、测量	刷脸支付、FaceID、智能机器人

来源: 奥比中光官网, 国金证券研究所

来源: 奥比中光官网, 国金证券研究所

目前主流机器人厂商的视觉方案各不相同。其中波士顿动力 Atlas 选择的是 TOF 深度相机方案, 特斯拉 Optimus 选择多目摄像头方案, 小米 CyberOne 采用深度视觉模组, 优必选 WalkersX 采用多目视觉传感器。

图表143: 主流人形机器人厂商视觉传感方案



来源: 奥比中光官网, 波士顿动力, Tesla AIDAY, 优必选, 小米官网, 国金证券研究所

3D 视觉传感器的性能由芯片、算法、传感器模组影响。从硬件端来看, 壁垒在于感光芯片、多传感器融合模组设计以及生产中标定、对齐等工艺把控。从软件端来看, 3D 视觉传感器对于算法研发、光学系统等有较高要求。

- 从性能表现来看, 壁垒在于精度、视角、测量范围、分辨率:
- 深度分辨率: 代表每一帧图像深度数据点数, 分辨率越高细节越优;
- 深度帧率: 帧率越高, 动态场景支持越好。
- 视场角/测量范围: 视场角/测量范围越大覆盖场景范围越大。
- 精度: 体现 3D 测量数据值与真实值之间的差异。
- 功耗: 同性能下, 功耗越低适配性越好。

从性能指标来看, 国内头部厂商奥比中光在部分指标 (如: 分辨率、精度和功耗等) 已经对标、甚至超过海外竞争对手, 有望引领国产厂商实现替代。



图表144: 主流厂商短距离 3D 视觉传感器性能对比

技术指标	公司				
	英特尔	瑞芯微	华捷艾米	AstraE	奥比中光
型号	D435	RMSL201-1301	A100S+mini	AstraE	Astra—MiniS
深度分辨率、深度帧率	1280x720@30fps		640×480@30fps	1280×800@30fps	1280x1024@7fps
视场角(H,V)	85.2, 58.46	0, 68.2	60, 47	67.9, 45.3	60, 49.5
测量范围	0.1~10m		0.28~1m	0.25~1.5m	0.35~1m
精度	±20mm@2m		±5mm@1m	±5mm@1m	±1mm@1m
功耗	<4.5w	<2.5w	3.2w~4w	<2.2w	<2.4w

图表145: 主流厂商长距离 3D 视觉传感器性能对比

技术指标	公司				
	微软	英特尔	英特尔	华捷艾米	奥比中光
型号	Kinect1.0	R200	D435	A100M	AstraPro
深度分辨率、深度帧率	640×480@30fps	640×480@30fps	1280x720@30fps	640×480@30fps	1280x1024@7fps
视场角(H,V)	57, 43	59, 46	85.2, 58	60, 48	60, 49.5
测量范围	0.8~3.5m	0.4~2.8m	0.1~10m	0.4~6m	0.6~8m
精度	±1mm@1m	±12mm@2m	±20mm@2m	±20mm@1m	±1mm@1m
功耗	<2.5w	1.3~1.6w	<4.5w	<3.5W	<2.4w

来源: 奥比中光招股书, 国金证券研究所

来源: 奥比中光招股书, 国金证券研究所

海外头部厂商先发优势明显, 国内厂商多技术布局、通过芯片自研逐渐打开市场。海外头部 3D 视觉传感器厂商通过芯片自制、自身产品依托, 业务规模较大, 国内代表公司奥比中光等通过自研芯片, 实现 3D 视觉传感器部分技术指标逐渐接近海外龙头厂商, 未来有望实现国产替代。

图表146: 主流视觉传感器厂商梳理

公司	主要技术	市场地位 (3D视觉领域)	核心竞争力
苹果	结构光dToF	全球最大的内置3D视觉传感器的移动产品制造商, 在消费电子领域基于3D视觉感知技术的布局一直处于领先地位	①芯片自主性: 一款以上带结构光深度引擎加速的芯片, 与STMicro合作结构光感光芯片, 与索尼合作dToF感光芯片 ②关键元器件自主性: 自主设计且有高质量的供应商、代工厂资源 ③量产能力: 高于百万级 ④其他: 有手机、平板等终端产品线做依托
微软	结构光iToF	3D视觉传感器以及配套的算法服务知名度高	①芯片自主性: 自主研发的iToF芯片 ②关键元器件自主性: 自主设计加采购 (微软已经宣布和奥比中光合作设计制造下一代Kinect3D视觉传感器) ③量产能力: 高于百万级 (代工) ④其他: 有算法 (如骨架等) 平台、云计算平台 (Azure云)、操作系统 (Windows系列) 以及游戏机 (Xbox) 等作为依托
英特尔	结构光双目Lidar	目前世界上规模最大的消费级双目3D视觉传感器制造商	①芯片自主性: 双目3D深度引擎芯片自主, 芯片的设计及制造是英特尔的领先优势 ②关键元器件自主性: 自主设计加采购 ③量产能力: 百万级
华捷艾米	结构光	自研结构光3D视觉传感器, 有一定的量产能力。	芯片自主性: 深度引擎芯片自主设计
奥比中光	结构光双目iToF/dToF Lidar	在3D传感器领域持续出货到手机、人脸、机器人、三维扫描等多个潜力领域, 市场规模稳步扩大, 在客户中的认可程度也逐步提高	①芯片自主性: 结构光、双目深度引擎芯片自主设计, iToF感光芯片自主设计, dToF、结构光感光芯片在研; ②关键元器件自主性: 自主设计加采购; ③量产能力: 百万级; ④其他: 全球化技术团队+本土化产业链配套+本土化庞大市场规模 (消费电子、移动支付等), 形成了对国际巨头差异化及本土化优势, 对国内企业的先发技术储备及应用优势

来源: 奥比中光招股书, 国金证券研究所

4.5.2 力觉: 机器人精确、灵活操作的核心

从力传感的检测方法来看, 可分为电阻式、电容式、电感式, 光电式等。电阻应变式综合性能检测模式优势明显, 有望在人形机器人中得到应用。

硅/金属箔电阻应变传感器有望应用于人形机器人。不同类型的力矩传感器在稳定性、刚度、动态特性等维度进行比较后, 硅/金属箔电阻应变式传感器在稳定性、刚度、信噪比等方面具有优势, 有望在人形机器人中得到应用。

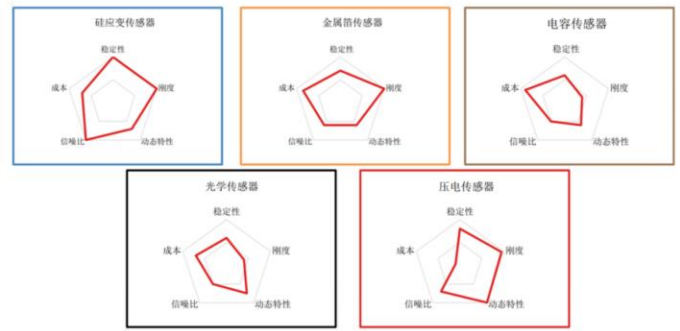


图表147: 力传感器不同检测方法优缺点对比

检测方法	方法描述	优点	缺点
电磁式	力作用下使磁通量的变化	动态测量范围大、功耗小、系统简单可靠	非线性误差较大、互换性分辨率较差
光电式	力作用下使光学量的变化	可靠性高、测量范围广、动态响应好	价格昂贵、对测试环境要求高
电感式	力作用下使电感量的变化	高灵敏度和高分辨率、线性度好、重复性高	不适用于动态测量、可靠性不高
电阻应变式	力作用下使应变片电阻变化	精度高、技术成熟、测量范围广、成本低、频响特性好	存在非线性误差、信号输出微弱
电容式	力作用下使电容改变	高灵敏度和分辨率、频率范围宽、结构简单、环境适用性强	调理电路复杂、寄生电容影响大

来源:《机器人多维力传感器》, 国金证券研究所

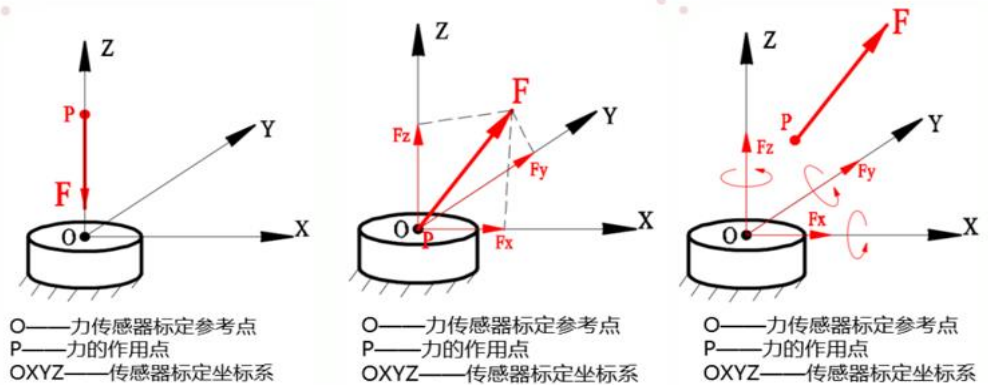
图表148: 硅/箔电阻应变式传感器具有更强的综合性能



来源: leaderobot, 国金证券研究所

从力传感器的感知维度来看, 力矩传感器可以分为一维到六维, 测量维度的数量越多, 产品生产难度越大、档次越高; 从主流的传感器的测量维度来看, 一、三、六维力矩传感器为常见产品, 二、五维力矩的相对较少。

图表149: 一维、三维、六维传感器作用示意图



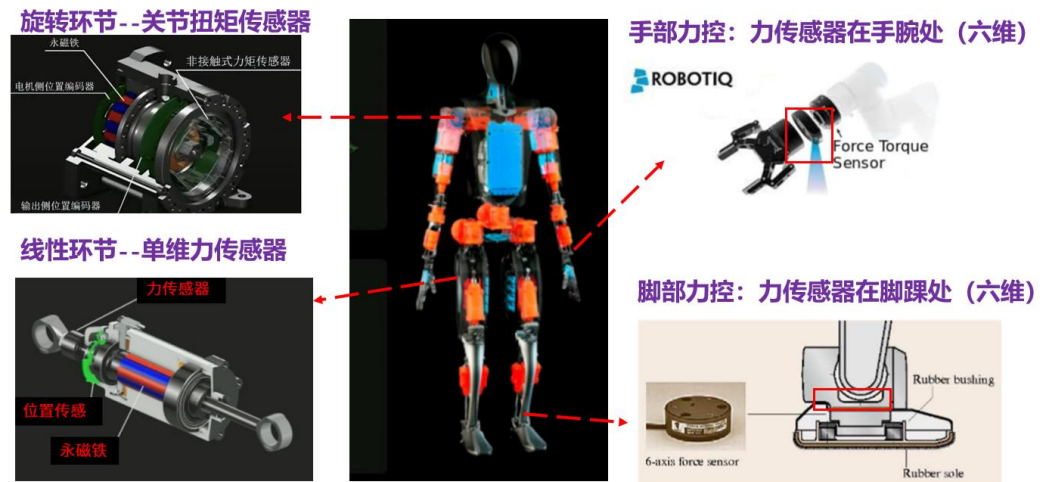
来源: 坤维科技, 国金证券研究所

从人形机器人的工作原理来看, 我们判断未来人形机器人的手腕、脚踝环节需六维力矩传感器、其他关节可以适用关节扭矩传感器。

- 1) 末端执行机构(手部、脚部)——六维力矩传感器: 由于人形机器人末端执行机构主要为手部和脚部, 执行的过程中力臂在几十到几百毫米之间, 力臂较大且属于随机变化; 而对于这两类环节的力也要求实现精确处理, 因此这两类关节所受的力并非简单的一维、三维力, 我们判断这个关节需要适用六维力矩传感器。
- 2) 其他关节——关节扭矩传感器: 特斯拉人形机器人旋转执行机构类似协作机器人关节, 而线性执行机构也通过滚珠丝杠完成直线运动, 整体对于力的感知相对简单, 我们预计其他关节需单轴力矩传感器。



图表150: 人形机器人力矩传感器应用场景全景图



来源:《Force-Torque Sensing in Robotics》, Tesla AI Day, 国金证券研究所

全球力矩传感器的龙头为美国 ATI, 国内目前力矩传感器技术领先的企业主要为创业公司(南宁宇立仪器、常州瑞尔特), 上市公司主要为柯力传感、中航电测、东华测试等。

图表151: 力矩传感器代表厂商梳理

	公司	是否上市	力矩传感器进展
Tier1	ATI	否	ATI 致力于机器人末端执行器的研发制造有三十余年, 已生产制造了世界上高性能的六维力和力矩传感器, 目前已在机器人、航空航天、生物医学、科研等领域得到了广泛应用, 特别是在机器人领域, 在为机器人提供触觉感知方面起了关键作用。
	宇立仪器	否	宇立仪器是集研发、生产为一体的技术密集型企业, 公司主营多轴力传感器、力控打磨设备和汽车测试设备, 围绕力测量和力控制, 为全球客户提供系列化的解决方案。多轴力传感器包括六维力传感器、三维力传感器、一维力传感器和关节扭矩传感器。
Tier2	常州瑞尔特	否	一家提供各类高端标准测力传感器以及非标定制服务于一体的综合性高新技术企业。公司所生产的三维、六维以及多维测量传感器: 精度高、抗偏载能力强、容易安装、串扰小、耐冲击力、稳定性好、体积小、响应快、过载能力强, 已用于军工、航空航天、核电等级的测量, 机器人手臂精密控制、曲面研磨抛光、加工中心精雕加工、医疗精密设备测试。
	坤维科技	否	2020年12月实现了KWR46/96系列六维力传感器的量产; 2021年成功开发出基于MEMS器件的低成本高可靠性六维传感器制造技术; 公司六维力传感器产品矩阵完善, 已经形成了从直径36毫米到直径200毫米的传感器, 可以覆盖各类智能机器人的全部应用场景。
Tier3	柯力传感	是	截至24H1, 公司六维力/力矩传感器已完成人形机器人手腕、脚腕, 工业臂、协作臂末端的产品系列开发, 掌握了结构解耦、算法解耦、高速采样通讯等技术要点, 并已给多家国内协作机器人、人形机器人客户送样。
	中航电测	是	公司面向国产大飞机、民用直升机、公务机等, 形成压力、接近、力矩传感器等传感器配套, 力争实现通航领域吊挂投放系统的专业配套
	东华测试	是	公司已投入六轴力传感器研发, 支持RS485、CAN和工业以太网等通信方式, 可应用于机器人、科学研究、自动化检测等领域。目前处于内部研发状态, 拟达到目标参数: 串扰: < 2%FS, 非线性: <0.5%FS, 迟滞: <0.5%FS

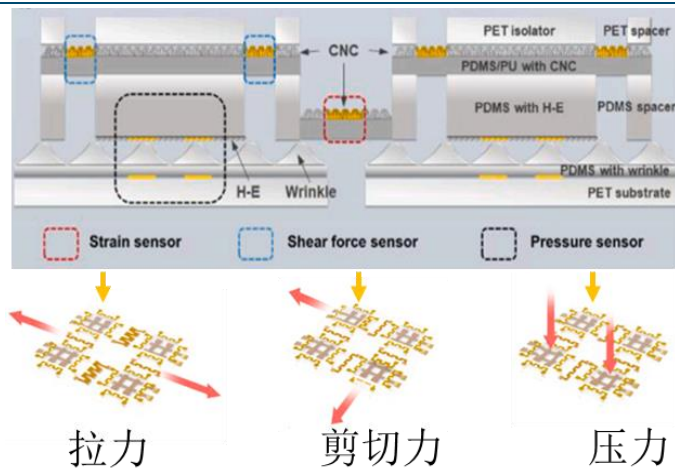
来源: ATI 工业自动化公众号, 宇立仪器官网, 高工机器人公众号, 坤维科技官网, 柯力传感公告, 中航电测公告, 东华测试公告, 国金证券研究所

4.5.3 触觉: 视觉+触觉为目前技术前沿、应用潜力大

电子皮肤是新型的仿生柔性触觉传感系统, 通过柔性传感器进行信号感知转换。从表面的接触方向来看, 电子皮肤能够感知压力、剪切力、接触力等多多个类型的力, 能够助力机器人在手部实现更加精细的操作。



图表152: 电子皮肤能感知压力、剪切力、接触力等多种类型力

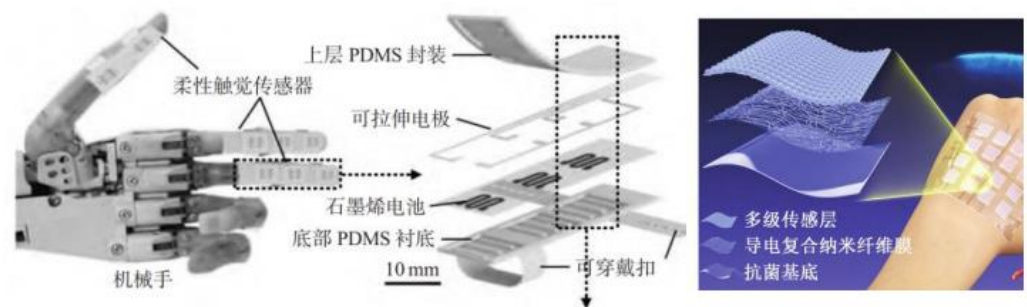


来源:《Abioinspiredthree-dimensionalintegratede-skinformultiplemechanicalstimulirecognition》, 国金证券研究所

电子皮肤主要分为基底层、导电层、传感层。

- 基底层: 基底层是电子皮肤的最内层, 通常由柔性材料制成, 以模拟人体皮肤的弹性和柔韧性。又称为支撑层, 起到支撑作用。
- 导电层: 导电层在电子皮肤中起到传导电信号的作用, 通常包含导电材料, 如导电石墨或特定的导电聚合物, 用于检测并传输由外界刺激引起的电信号变化。导电层的设计和材料选择对于电子皮肤的灵敏度和响应速度至关重要。
- 传感层: 传感层位于电子皮肤的中间层, 包含了大部分的传感元件, 负责精确识别压力和摩擦力并转化为电信号。传感层可以实现对外界刺激的精细感知, 是电子皮肤的核心材料。

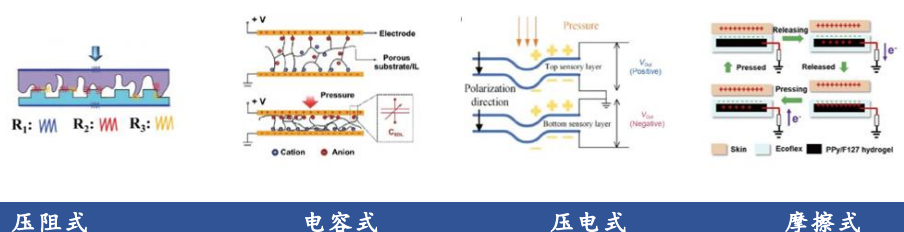
图表153: 电子皮肤主要分为基底层、导电层、传感层



来源:《纤维基自供能电子皮肤的构建及其应用性能研究进展》, 国金证券研究所

电子皮肤主要内部的柔性传感器是触觉传感器的一个子集。从检测方法来看, 柔性触觉传感器传统方案主要包括压阻式、电容式、压电式、摩擦式四种类型, 其中压阻式触觉传感器具有成本低、稳定性好等多个优点, 是目前的主流方案。

图表154: 传统的主要触觉传感器类型优缺点介绍





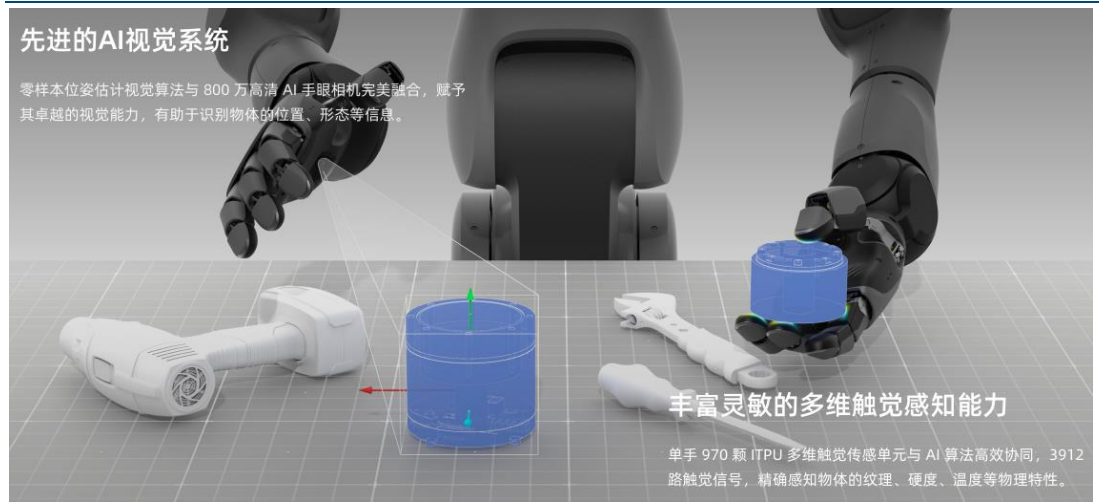
原理	材料的压阻效应，即将机械信号转换成电信号，具体机制包括材料的电阻率变化、接触电阻的变化以及复合材料中的量子隧穿效应等。	电容效应，将力学信号转化为电容信号，通过测量电容值的变化来获取物体与电子皮肤之间接触状态的信息	压电效应，压电材料由于形变而产生电极化	柔性摩擦纳米发电机，通过摩擦效应和静电感应耦合作用将外部机械能转换为电能
优点	成本较低、制造结构简单、稳定程度高、灵敏度高、响应快	灵敏度高，能够测量微小接触力	高灵敏性、响应快	结构简单，制备简便
缺点	电阻变化可能受到环境因素的影响	对噪声敏感，介电常数易受到环境温度影响	压电材料常常会受到温度和湿度等环境因素的影响	受环境影响大，只能检测动态压力

来源：《柔性触觉传感电子皮肤研究进展》，国金证券研究所

国内头部厂商帕西尼提出了视觉+触觉方案，在触觉的多项技术指标实现领先，有望成为未来的主流方案。

在去年的 2024WRC 大会上，帕西尼正式发布了、第二代多维触觉灵巧手 DexH13，及基于 IPTU 技术的多维度触觉传感器 PX-6AXGEN2。在帕西尼感知科技的 DexH13 双手上，搭载了近 2000 颗自研生产的高精度触觉传感器 PX-6AXGEN2；此外，该双手还集成了 DexH13 双手集成了有 800 万高清 AI 手眼相机，基于先进的零样本位姿估计视觉算法，能够识别和抓取物体六维位姿，适应多种复杂环境和任务。

图表155：帕西尼的 Dex13 多维触觉灵巧手结合了视觉和触觉



来源：帕西尼官网，国金证券研究所

帕西尼的 IPTUGEN2 触觉传感器在多项技术指标领先、且成本低。根据帕西尼官网，IPTUGEN2 多维触觉传感器在灵敏度、抗干扰等多项指标表现优异，且通过全集成方案，产品成本相对较低。



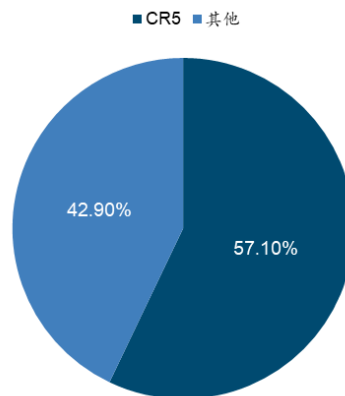
图表156: 帕西尼 IPTUGEN2 触觉传感器在多项指标技术领先

	PaXini专业级机器人ITPU GEN2	光学触觉传感	压阻触觉传感	电容触觉传感
灵敏度	高	高	低	高
动态范围	高	低	低	中
响应速度	高	低	高	高
迟滞	低	高	高	低
尺寸	小	大、厚	小	小
抗干扰能力	软硬件优化, 抗干扰能力强	中	强	弱
柔性抓取能力	高	高	低	低
多维力表征能力	六维力+量化的9种人类触觉参数	有一定切向力表征能力但较难直接定量测量	无	无
模组集成度	高集成度, 测、算、传一体	低集成度, 需上位机提供图像处理算力	低集成度, 需外置信号采集处理装置	低集成度, 需上位机提供时序信号处理算力
成本	全集成, 成本低	需高成本采集卡+视觉算力	需高成本采集卡	需高成本采集卡

来源: 帕西尼官网, 国金证券研究所

全球市场以外资品牌为主, 行业集中度高。全球柔性触觉传感器市场主要以外资品牌为主, 其中CR5为57.1%, 头部厂商包括Novasentis、Tekscan、JapanDisplayInc. (JDI)、Baumer、Fraba。国内柔性传感器厂商以帕西尼科技、汉威科技、钛深科技、弘信电子等企业为代表, 近年来迅速发展。

图表157: 2023 年全球柔性触觉传感器行业集中度高



来源: 华经产业研究院, 国金证券研究所

国内目前触觉传感器技术领先的企业主要为创业公司(钛深科技、柔宇科技、苏州慧闻), 上市公司主要为汉威科技旗下的苏州能斯达。



图表158: 触觉传感器代表厂商梳理

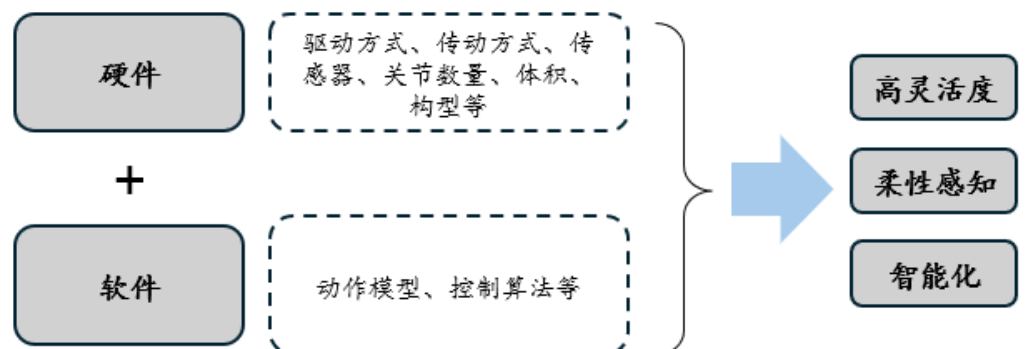
名称	概况	主要产品
国内厂商		
帕西尼	为业内首家实现多维度大阵列触觉传感器及机器人产品批量商业化公司。公司技术来源来自日本早稻田大学菅野实验室，该实验室在机器人自动化和传感器领域拥有数十年丰富经验，发布了数款行业前沿的人形机器人、及灵桥手等产品	具有多维触觉人形机器人、多为触觉灵巧手、ITPU 多为触觉传感器等多个产品
苏州能斯达	具有稳定的纳米敏感材料体系；柔性压阻、柔性压电、柔性温湿度、柔性电容四大核心技术；一条年产 1000 万支柔性传感器的超净印刷线和组装线	柔性压力传感器、柔性压电传感器、柔性织物、柔性应变传感器、柔性温湿度传感器、柔性热敏传感器、柔性电容传感器
钛深科技	开发并拥有全球最灵敏、最柔性的触觉传感技术-柔性离电式传感技术(FITS)、能够提供实时的、高质量的、低噪声的触觉/压力信号、并拥有全柔性、光学透明及超薄封装等物理特性	脉搏波测量、压力分布测量、柔性压力传感器、触觉传感器、压力阵列传感器、压力薄膜传感器、压力分布测量系统、压电式压力传感器
柔宇科技	成立于 2012 年，拥有自主研发的核心柔性电子技术，推出全球最薄彩色柔性显示屏、建立全球首条全柔性显示屏大规模量产线	生产全柔性显示屏和全柔性传感器
苏州慧闻	成立于 2014 年，是国内少数能够提供人工嗅觉解决方案的智能传感器企业	柔性薄膜压力传感器、气体传感器
国外厂商		
Tekscan	成立于 1987 年，公司拥有薄型触觉传感器技术，专注于超薄、柔性压力传感器，具有极高的分辨率和超薄性，既可用作测试和测量工具，也可用作嵌入式传感组件	压力传感器 5051、压力传感器 3000、压力传感器 7202、压力传感器 6300
JapanDisplay	成立于 2002 年，从事中小型显示设备及相关产品的开发、生产和销售，通过结合静电容量式玻璃指纹传感技术和柔性显示屏技术，成功开发静电容量式柔性指纹传感器	透明传感器、柔性 OLED 面板
Canatu	成立于 04 年，是 3D 可成型和可弯曲透明导电薄膜和触摸传感器的开发商和制造商	汽车 3D 触摸控制面板
Sensel	成立于 13 年，开发了一种多点触控输入设备，能感应施加在各个点上的压力	压敏输入设备
Forciot	成立于 2015 年，可穿戴设备、汽车和物流行业的压力传感器组件供应商，传感器可以通过集成来监控力分布、负载平衡、运动等参数。适用于运动状态跟踪、物流和汽车跟踪，以优化负载平衡并防止机器组件颤动等。	基于物联网的压力传感器

来源：传感器专家网，CINNO，人形机器人场景应用联盟，国金证券研究所

4.6 灵巧手：向高承载力、柔性感知方向发展

灵巧手的设计灵感来源于人类手部的复杂结构和功能，它使得机器人能够执行诸如抓取、操纵、甚至感知等多样化任务，灵巧手的成熟度决定了其融入人类世界的深度。灵巧手结构设计三要素：驱动、传动、感知。典型灵巧手由驱动系统、传动系统、感知系统和控制系统构成。灵巧手的技术迭代方向往高灵活性、柔性感知、智能化方向发展。

图表159: 机器人灵巧手的发展趋势



来源：国金证券研究所



根据特斯拉公开信息，GEN3 灵巧手相比于 GEN2 的主要变化在于：

- (1) 手部增加了自由度，从 11 个提升至 22 个。
- (2) 驱动器装载在了手腕部位。

图表160：特斯拉灵巧手自由度有提升趋势

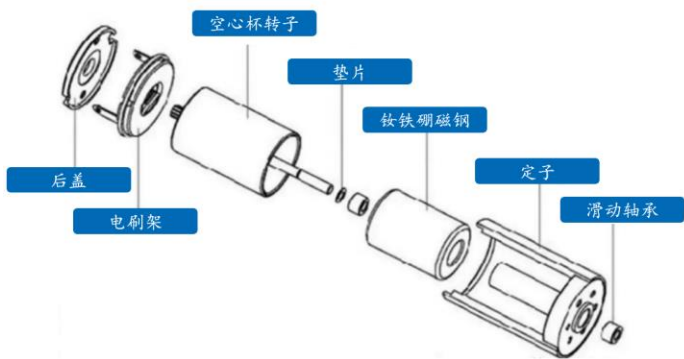


来源：特斯拉发布会，马斯克采访，国金证券研究所

■ 驱动方式：空心杯电机是灵巧手电机主流方案，无刷有齿槽电机是降本方案。

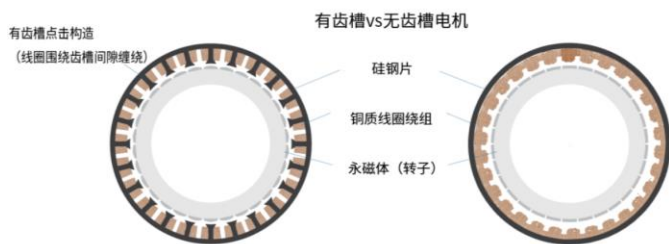
电机驱动是最适合灵巧手批量生产使用的方式，其使用的电机按有无齿槽区分为无刷有齿槽电机和无刷无齿槽电机，大部分直流无刷电机都是有齿槽设计，空心杯电机属于无齿槽电机，具备小直径、扭矩波动小等特点，是当前机器人灵巧手电机的主流方案。无刷有齿槽电机直径较空心杯电机更大，可部分替代空心杯电机在灵巧手中的应用，是可行的灵巧手降本方案。

图表161：空心杯电机采用无齿槽结构



来源：万泰电机官方微信公众号，国金证券研究所

图表162：有齿槽电机及无齿槽电机结构图



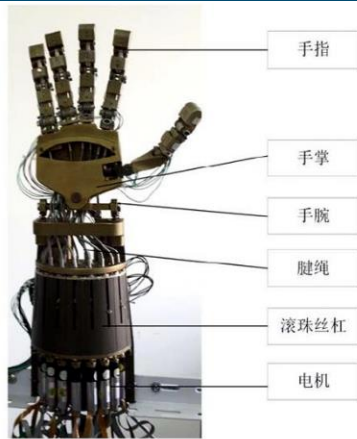
来源：科尔摩根官方公众号，国金证券研究所

■ 传动方式：微型丝杠+腱绳复合传动或成未来灵巧手主流方案。

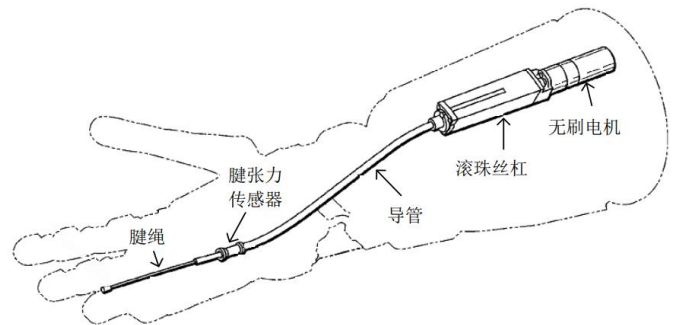
机器人灵巧手抓取的稳定性和灵活性指标主要取决于传动系统，按照传动方式不同，可将灵巧手分为腱传动、连杆传动、齿轮/蜗轮蜗杆传动等类型。特斯拉 OptimusGen1 灵巧手采用空心杯电机+多级行星减速器+蜗轮蜗杆方案。腱传动是应用最广泛的灵巧手传动方式，具备排布灵活、柔性传动等优点，但负载能力较弱。微型丝杠新型传动方案具备高承载、高效率、高精度、高可靠性等优点，未来微型丝杠+腱绳复合传动或成主流方案。2024 年 11 月 28 日，TeslaOptimus 在 X 平台官方账号发布旗下 Optimus 机器人接球视频展示其新一代手臂和灵巧手，掌内所有驱动系统已移至前臂，通过腱绳驱动手指。根据《空间五指灵巧手控制系统设计_韩运崧》，电机和滚珠丝杠外置于手臂中，电机通过减速器带动滚珠丝杠，电机轴的旋转运动被转化为丝杠螺母的平移运动，丝杠螺母拉动腱绳，腱绳另一端连接到手指指骨上，拉动手指关节绕关节轴旋转，形成手指弯曲运动。



图表163: 腱绳传动灵巧手整体机构



图表164: 腱绳+丝杠复合传动 (单自由度视图)



来源:《空间五指灵巧手控制系统设计_韩运峥》, 国金证券研究所

来源:《空间五指灵巧手控制系统设计_韩运峥》, 国金证券研究所

■ 感知系统: 电阻式和电容式触觉传感器有望成为主流。

灵巧手感知系统可使用的传感器包含力、位移、触觉、角位移、视觉、压力、力矩、位置、霍尔和温度传感器等。根据特斯拉 GEN2 发布会, 特斯拉机器人上确定搭载了触觉传感器。触觉传感器赋予灵巧手触觉感知能力, 通过接触测量物体的物理特征, 从而实现对周围环境的感知。根据原理不同, 触觉传感器分为压阻式、电容式、压电式和光学式等, 最见的是压阻式、电容式和压电式触觉传感器。通常, 电阻式适用于大面积覆盖, 可用于手臂和身体部位; 电容式适用于高精度场景, 可用于指腹以辨别纹理; 热辐射式: 可布局在指缝间感知温度。

图表165: 特斯拉 OptimusGen2 灵巧手搭载触觉传感器轻松拿取鸡蛋



来源: X 平台 TeslaOptimus 官方账号, 国金证券研究所

4.7 整机: 海内外几乎处于同一起跑线, 国产整机厂商有望乘势而起

2023 年 11 月 2 日, 工业和信息化部又印发了《人形机器人创新发展指导意见》, 提出到 2027 年, 人形机器人技术创新能力显著提升, 构建具有国际竞争力的产业生态, 综合实力达到世界先进水平。自上而下的政策支持体系, 产生了一系列区域集群效应。

人形机器人行业发展海内外几乎处于同一起跑, 国产主机厂有望充分分享产业上升浪潮。国内机器人厂商, 如智元机器人、宇树科技、优必选、埃夫特、禾川科技均积极投身人形机器人主机研发中, 且华为重磅加码人形机器人产业, 随着以华为为中心的具身智能产业链联盟技术逐渐完善, 国产人形机器人在应用场景开拓及产业链降本中起到重要作用, 迎来快速发展。



图表166：华为具身智能合作备忘录公司

序号	公司	原有优势领域	序号	公司	原有优势领域
1	埃夫特	工业机器人、控制器、伺服系统	9	自变量机器人	具身智能通用大模型
2	拓斯达	工业机器人、控制器、伺服系统	10	佛山奥卡机器人	地坪研磨机器人
3	禾川人形机器人	伺服系统、控制器、编码器	11	华夏深圳科技	安防领域
4	兆威机电	小模数齿轮、灵巧手	12	深圳华成工业控制	控制系统、伺服系统
5	创新乐知信息技术	互联网	13	华龙讯达	人工智能
6	大族机器人	工业机器人	14	浙江强脑科技	脑机
7	乐聚机器人	人形机器人	15	北京中软国际教育	互联网、数字化
8	墨影科技	协作机器人	16

来源：证券日报，国金证券研究所

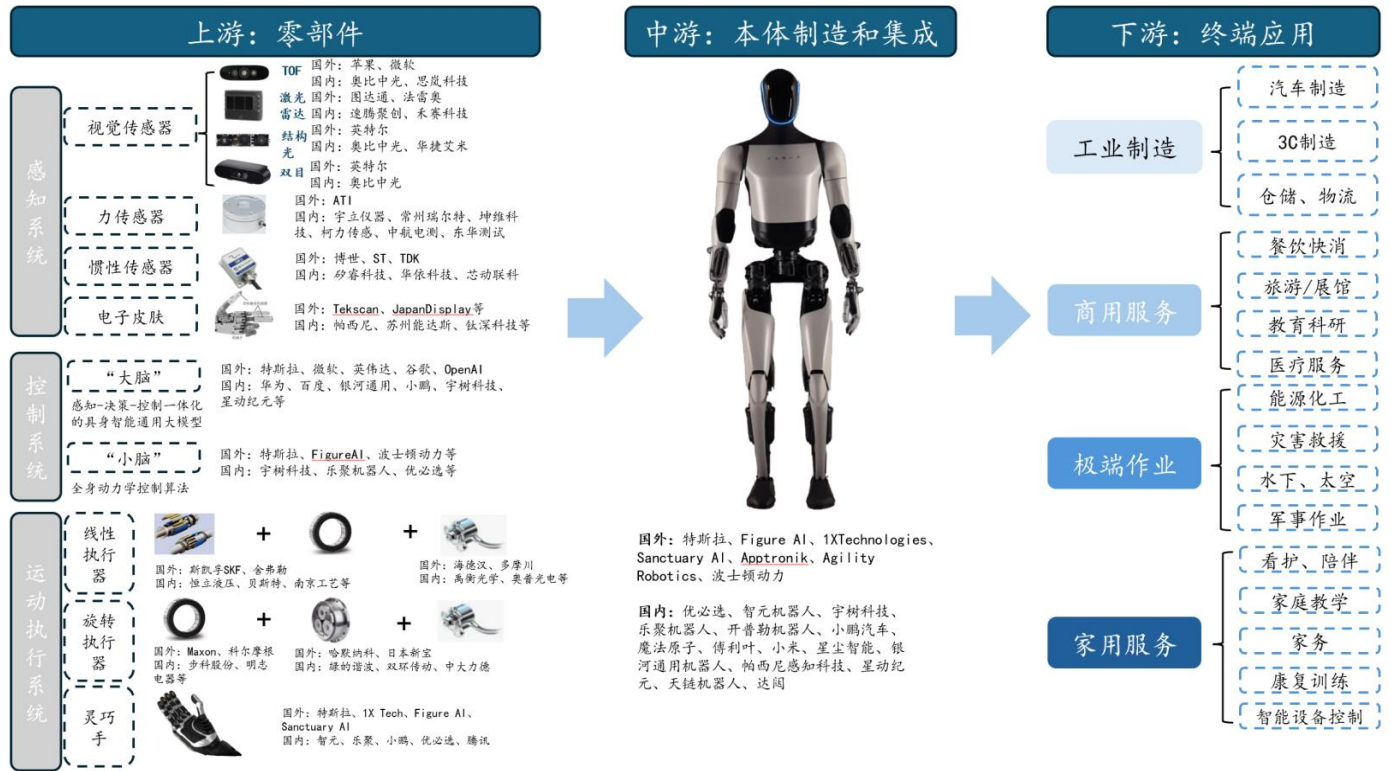
5、投资建议

25 年是人形机器人量产元年，26 年商业化应用有望落地，人形机器人产业迎来高速发展期，具备板块性投资机会，已从主题投资往景气投资切换，建议关注产业链的短板环节。

- 丝杠制造难度相对最高、产能也最为紧缺，属于重资产、劳动密集型环节，短期快速扩产难度大。特斯拉人形机器人要实现万台量产，目前已建成的丝杠产能是不足以满足人形机器人的量产需求。而恒立液压线性驱动器项目在产能建设上处于领先水平，随着下游人形机器人量产的临近，我们看好恒立液压丝杠及线性总成的产能优势及快速放量能力。
- 当前，机器人小脑智能其迈向通用领域被广泛应用的技术瓶颈，机器人运控是下一步产业重点发力环节。具备机器人运控能力的公司产业地位及关注度有望提升，我们看好具备机器人智能化、运动控制方面龙头公司，如固高科技、埃夫特、华中数控等。
- 从商业模式发展看，未来随着政策、产业基金以及技术的进步，仍将为有更多的公司参与到人形机器人产业浪潮中，产业链分工也将更加细化，有望形成专注机器人软件或专注机器人硬件的产业分工，因此利好掌握核心零部件自制能力并具备机器人系统解决方案能力的公司，首推禾川科技。禾川科技已实现人形机器人空心杯电机、无框力矩电机、编码器等核心零部件自制能力，同时拥有旋转执行器、线性执行器总成制造能力，有望凭借较强的成本控制能力以及系统解决方案能力分享产业成长蛋糕。



图表167: 产业链全景图



来源: 高工机器人产业研究所, 奥比中光招股书, 各公司官网, ATI 工业自动化公众号, 柯力传感公告, 中航电测公告, 东华测试公告, 机器人技术与应用, 传感器专家网, CINNO, 人形机器人场景应用联盟, 特斯拉 AIDAY2022, 焉知人形机器人, 机器人大讲堂, 中国机器人网, 工业机器人, 36 氪, 人形机器人洞察研究院, 澎湃新闻, 国金证券研究所



图表168: 相关标的估值表

(潜在) 产业链	股票名称	市值 (亿元)	归母净利润(一致预测均值, 亿元)				PE			
			2023A	2024E	2025E	2026E	2023A	2024E	2025E	2026E
总成	*拓普集团	1,159	21.51	30.25	39.96	46.65	54	38	29	25
	*三花智控	1,193	29.21	34.25	41.95	50.10	41	35	28	24
	*恒立液压	929	24.99	27.52	32.59	38.64	37	34	28	24
	禾川科技	70	0.54	-1.49	0.16	0.83	130	-47	449	84
	*贝斯特	135	2.64	3.46	4.21	5.25	51	39	32	26
	*秦川机床	105	0.52	0.77	1.53	2.39	202	137	69	44
丝杠	北特科技	162	0.51	0.80	1.14	1.68	318	203	142	96
	震裕科技	149	0.43	2.70	4.10	5.72	349	55	36	26
	南京化纤	68	-1.85				-37			
	*五洲新春	146	1.38	1.63	2.11	2.54	106	89	69	57
	双林股份	145	0.81	4.68	4.05	4.82	180	31	36	30
	鼎智科技	61	0.81	0.53	0.70	0.87	76	115	87	70
减速器	绿的谐波	287	0.84	0.87	1.15	1.55	341	330	251	186
	*双环传动	300	8.16	10.30	12.85	15.50	37	29	23	19
	中大力德	98	0.73	0.89	1.09	1.30	133	109	89	75
	丰立智能	75	0.24	0.29	0.49	0.75	311	260	152	100
	瑞迪智驱	80	0.97	1.00	1.12	1.30	83	80	72	62
	奥比中光	225	-2.76	-0.80	0.16	1.32	-82	-283	1,417	171
传感器	东华测试	54	0.88	1.76	2.35	3.03	62	31	23	18
	福莱新材	79	0.70	0.95	1.16	1.37	112	82	68	57
	日盈电子	28	0.08	0.00	0.00	0.00	358			
	柯力传感	205	3.12	3.34	3.89	4.42	66	62	53	46
	汉威科技	94	1.31	1.27	1.55	1.90	72	74	61	49
	安培龙	80	0.80	1.00	1.33	1.76	100	80	60	45
电机(灵巧手)	凌云股份	140	6.32	7.09	8.35	9.71	22	20	17	14
	鸣志电器	303	1.40	1.20	1.90	2.48	216	253	160	122
	兆威机电	272	1.80	2.16	2.72	3.48	151	126	100	78
	步科股份	66	0.61	0.72	0.97	1.30	109	92	68	51
	伟创电气	109	1.91	2.70	3.41	4.29	57	40	32	25
	金力永磁	250	5.64	3.27	6.35	8.24	44	77	39	30
运控	汇川技术	1,793	47.42	50.40	60.29	71.29	38	36	30	25
	固高科技	120	0.51	0.00	0.00	0.00	233			
	拓斯达	151	0.88	0.18	1.63	2.73	172	818	93	55
	埃夫特	156	-0.47							
	*华中数控	58	0.27	0.62	1.27	1.85	213	94	45	31
	秦川机床	105	0.52	0.87	1.46	2.06	202	121	72	51
设备	日发精机	50	-9.03				-6			
	华辰装备	80	1.18				68			
	田中精机	31	0.10				310			
	浙海德曼	37	0.29	0.32	0.66	0.88	124	114	55	42

来源: iFind, 国金证券研究所 (*表示国金证券研究所预测, 估值日期 2025 年 2 月 15 日)



6、风险提示

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

现有主业下游发展不及预期风险。各主机厂多数下游呈中低速增长，若订单交付量不及预期，将对业绩经营产生负向影响。

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



行业投资评级的说明：

- 买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
- 增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
- 中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在-5%—5%；
- 减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

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

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

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

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

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

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

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

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

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

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



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究