

2023 年 12 月 20 日

证券研究报告 | 产业深度报告

智能化进阶开启，商业化落地在即

人形机器人专题报告一

机器人

投资评级：推荐（维持）

分析师：曾文婉

分析师登记编码：S0890521020007

电话：021-20321380

邮箱：zengwenwan@cnhbstock.com

销售服务电话：

021-20515355

行业走势图(2023 年 12 月 19 日)



资料来源：iFind，华宝证券研究创新部

相关研究报告

投资要点

④人形机器人当前又称仿人机器人或类人机器人，指具有人的形态和功能的机器人，具有拟人的肢体、运动与作业技能（形似），以及感知、学习和认知能力（神似）。人形机器人是机器人中设计最复杂、控制难度最高的类型，当前产品普遍存在速度慢、稳定性差等问题。机器人之所以设计成人形，主要出于通用性、适应性以及交互性等几方面。具身智能、AI 和人形机器人，三者之间既有区别又有着紧密联系，具身智能可能是 AI 的终极形态，而人形机器人则是实现具身智能的物理形态之一，具身智能又是人形机器人智力水平提升的重要技术。

④从组成结构上看，在理想情况下，人形机器人“头脑”发达、“四肢”也不简单。相比传统机器人组成部分，人形机器人在感知、控制、机械三大组成部分的基础上增加了思考部分（认知与决策），其次在各组成部分向下的具体设计会略有不同。人形机器人具备模仿人类“感知-认知-决策-执行”过程的能力，主要由感知、认知、决策、运控（控制与运动，即执行）四部分组成。

④人形机器人智能化进阶开启，开始从“仿人”走向“类人”。人形机器人的研制开始于 20 世纪 60 年代末，至今全球人形机器人发展已进入搭载人工智能、机器学习和计算机视觉系统等先进技术的智能化进阶阶段（2016 年至今）。在人形机器人领域，日本和美国的研究最为深入，成果也最为丰富。而我国于 20 世纪 90 年代开始人形机器人的研究，目前产业发展尚处于初期。从产品本身来看，人形机器人分为“仿人”、“类人”、“真人”三个阶段，当前处于“仿人”并走向“类人”阶段。

④人形机器人产品进展如何？1、产品基本情况：近两年新品“扎堆”，产品已逐步贴近“人类”，电驱为主流。2、驱动及机械结构：基本与人“形似”，硬件方案相对成熟，但尚未完全收敛。3、感知与交互硬件：视觉感知为人机标配，以 3D 视觉+多模态融合为主流。4、核心算法部分：大模型等新技术与传统机器人技术融合仍需时日，认知算法尚未成熟。5、商业化情况：工业、物流或为人机应用优先突破场景，成本或价格有下降空间，人机商业化落地在即。总的来说，全球人形机器人产业仍处于技术探索和发展的早期阶段，市场参与者较有限，且目前大多数人形机器人产品仍处于研发阶段，尚未真正进入商业化阶段。但通过各厂商规划及产品迭代情况来看，人形机器人量产已箭在弦上，硬件方案相对成熟，软件技术融合仍待时日。

④风险提示：产业政策支持力度不及预期；行业技术发展、商业化进程不及预期；行业竞争加剧；原材料价格、设备价格波动的风险；下游行业需求不及预期；人形机器人存在伦理道德风险。

内容目录

1. 人形机器人：既求“形似”人，还求“神似”人.....	3
2. 从组成结构上看，人形机器人“头脑”发达、“四肢”也不简单.....	4
3. 智能化进阶开启，人形机器人从“仿人”走向“类人”.....	6
4. 人形机器人产品进展如何：量产在即，硬件方案相对成熟，软件技术融合仍待时日.....	9
4.1. 产品基本情况：近两年新品“扎堆”，已逐步贴近“人类”，电驱为主流驱动方案.....	9
4.2. 驱动及机械结构：基本与人“形似”，硬件方案相对成熟，但尚未完全收敛.....	13
4.3. 感知与交互硬件：视觉感知为标配，以 3D 视觉+多模态融合为主流.....	18
4.4. 核心算法部分：新技术融合仍需时日，认知算法尚未成熟.....	20
4.5. 商业化情况：工业、物流或为优先突破场景，成本/价格有下降空间，商业化落地在即.....	25
5. 风险提示.....	32

图表目录

图 1：人形机器人组成部分.....	6
图 2：人形机器人的三个关键发展阶段.....	7
图 3：人形机器人发展重要里程碑事件.....	7
表 1：人形机器人主要特征.....	3
表 2：人形机器人组成部分.....	4
表 3：人形机器人发展阶段.....	8
表 4：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-1（产品基本情况对比）.....	10
表 5：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-2（驱动及机械结构对比）.....	14
表 6：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-3（感知与交互硬件部分梳理与对比）.....	18
表 7：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-4（核心算法部分梳理与对比）.....	21
表 8：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-5（商业化情况梳理与对比）.....	26

1. 人形机器人：既求“形似”人，还求“神似”人

人形机器人（简称为“人机”）当前又称仿人机器人或类人机器人，指具有人的形态和功能的机器人，包括拟人的肢体、运动与作业技能（形似），以及感知、学习和认知能力（神似）。人形机器人通常被用来辅助或替代人类做各种工作，采用类似人的双足直立行走模式移动，从而能在现实环境中更好地与人类共同工作。人形机器人技术是集多门学科于一体的科学技术，综合运用了机械、电气、材料、传感、控制和计算机来实现拟人化的形象与功能，因此相比传统机器人，有环境适应更通用、任务操作更多元、人机交互更亲和等特点，是机器人技术的集大成者，也是一个国家综合科技发展水平的重要体现。总的来说，人形机器人是机器人中设计最复杂、控制难度最高的类型，当前人机产品普遍存在速度慢、稳定性差等问题。

表 1：人形机器人主要特征

分类	特征
外形	人形机器人的外形必须在某些方面与人类相似，包括有头部、躯干、两只手臂及腿。也有一些机器人仅保留部分类人特征设计，如仅保留腰部以上设计。部分人形机器人还具有其他更为生动的类人特征设计，如面部表情。
运动	人形机器人应该具有类似于人类运动的运动能力，包括走、跑、跳和其他需要使用四肢的运动。
感知	人形机器人必须能够以类似于人类的方式感知和响应其环境，包括识别人脸、检测物体和理解语言、语音。
交互	人形机器人应该能够以自然和直观的方式与人进行交互，包括使用手势、说话、以及对口头或非口头暗示做出反应。
智力	人形机器人一般属于智能机器人，智能机器人最重要的一点是具备思考能力，思考（智力活动）可以帮助机器人利用从外界所获得的信息，制订出最合适的解决方案，进而采用最合理的动作完成命令。相关智力活动包括决策判断、逻辑分析、理解体会等，属于信息处理的过程。对于人形机器人来说，计算机运算是完成信息处理过程的主要手段。

资料来源：《机器人技术与智能系统》（陈继文、姬帅、杨红娟等），《智能机器人导论》（朱明），《人工智能创新启示录：赋能产业》（中国电子信息产业发展研究院），《智能机器人：从“深蓝”到 AlphaGo》（韦康博），《人形机器人技术现状及场景应用思考》（朱秋国、熊蓉），华宝证券研究创新部

机器人之所以设计成人形，主要出于通用性、适应性以及交互性等方面。首先，人类身体结构灵活度很高，手部有 27 个自由度、全身有 200 多个自由度，因此人可以以多种多样的方式移动或运动，适应不同环境。人形机器人贴合人类形态进行设计，具有广阔的工作活动空间，例如尽管行走系统的占地面积小，但可活动的范围很大，此外其配置的机械手也提供了相对传统机器人更大的活动空间。因此使得人形机器人：一是可更大程度执行与人类活动能力相仿的任务，即人能做到的、它也应该能做到，提升了机器设备的通用性；二是在现有模仿学习的技术（如动作捕捉、虚拟现实等）下，能更容易地复制、学习和训练人类动作，能更快速地在真实的物理世界中完成复杂任务。**其次**，由于现实世界中的一切都是为人类的生产生活而设计建造的，因此人形机器人通过仿人设计理念（第一性原理），将更容易融入现实世界，而不需要对现实世界做出过多改造，例如在理想情况下，人形机器人能适应各种地面且具有较高的逾越障碍的能力，由于配备灵巧手，故可使用人类的任何工具、适应人类可适应甚至不能适应的环境，在人类需要的任何地方提供帮助。**最后**，相较于非人形机器，人们对于看起来与人类相似的机器可能有更高的接受度与熟悉感，这有助于弥合人类和机器人之间的差异，营造一个舒适的合作环境。部分人形机器人的设计甚至具有面部表情、肢体语言和语音功能，这使它们能够与人进行更自然的社交互动，在医疗和教育等对于有效沟通有较高要求的场景中尤为有益。

人形机器人、具身智能都是与机器人技术和人工智能领域相关的概念，两者有概念交叉，

但并不完全相同。具身智能（Embodied AI）是指一种基于物理身体（本体）进行感知和行动的智能系统，其通过智能体与环境的交互获取信息、理解问题、做出决策并实现行动，从而产生智能行为和适应性，具身智能具备本体、智能体、数据、学习和进化架构等核心要素。简单来说，具身智能指的是具有主动性的第一人称智能，其本质上可与环境交互感知，能自主规划、决策、行动，并具有执行能力。人形机器人是具身智能的物理形态之一，具身智能相当于把 GPT 这类大模型技术引入人形机器人，让其具备更强的感知和交互能力，且人形机器人要落地应用场景，必须提升通用化、智能化水平，因此具身智能技术的引入是很有必要的。但具身智能并不一定就长成人的样子，根据使用用途和场景的不同，具身智能也可以是动物、汽车、飞行器等形态。具身智能强调的是 AI 系统具备感知、思考、学习、决策等能力，并且能够和环境进行交互；而人形机器人指的是具备人类的外形特征和行动能力的智能机器人，可以双腿行走，通过手臂和身体的协调完成功能，还可以与人类交流互动。因此，具身智能可能是 AI 的终极形态，而人形机器人则是实现具身智能的物理形态之一，具身智能又是人形机器人智力水平提升的重要技术。

2. 从组成结构上看，人形机器人“头脑”发达、“四肢”也不简单

相比传统机器人组成部分，人形机器人在感知、控制、机械三大组成部分的基础上增加了思考部分（认知与决策），其次在各组成部分向下的具体设计会略有不同。人形机器人具备模仿人类“感知-认知-决策-执行”过程的能力，主要由感知、认知、决策、运控（控制与运动，即执行）四部分组成，又可细分为感知系统（感官系统中的感受）、认知与决策系统（大脑、部分小脑）、控制系统（部分小脑、脑干）、驱动系统（心脏、肌肉）、机械机构（身躯、四肢）、交互系统（沟通与互动）。在人类的规划中，相比传统机器人，人形机器人“头脑”更发达，即“智商”更高、通用性更强，且一般拥有完整“四肢”以及灵活手。

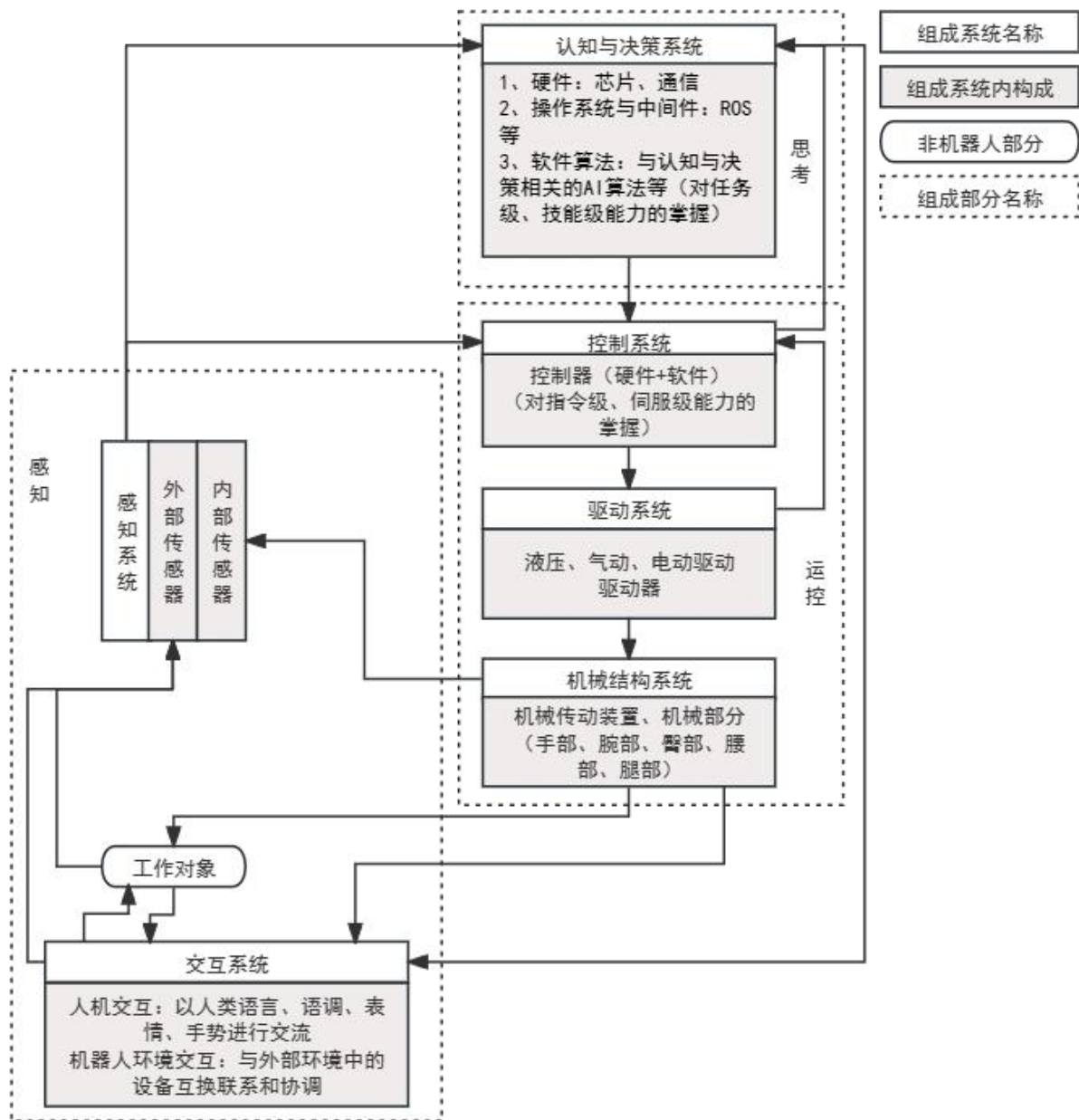
表 2：人形机器人组成部分

组成系统	定义
感知系统	该系统利用传感器帮助人形机器人获取外界环境及自身状态信息，同时进行信息的加工与处理，是机器人智能发育与外部交互的关键前提。人形机器人的传感系统包括为其获取类“五官”感知的各类传感器（硬件+软件，感知算法一般已与硬件耦合），帮助机器人感知环境并与之互动。通常包含： - 视觉：摄像头和深度传感器提供视觉感知、物体识别和深度信息。这些传感器使机器人能够感知环境，检测物体，识别人脸和手势。 - 触觉（力觉）：触觉传感器或力觉传感器，如压力传感器或力/扭矩传感器，集成到机器人的手指、手掌和关节部位。它们提供接触力的反馈，使机器人能够操作物体，执行精细的任务，并确保与人类的安全互动。 - 位移与姿态：用于控制稳定性的惯性测量单元（IMU）主要由加速度计、陀螺仪和磁力计组成，作用是测量机器人的方向、角速度和加速度。这些信息有助于机器人的平衡控制、步态规划和整体运动协调。
认知与决策系统	认知与决策系统负责人形机器人学习、认知、推理和决策等思维活动的产生（即智能发育和智能强化），可提升机器人整体运动、操作能力，以及理解、记忆和推理等类人认知水平。认知与决策系统主要包含硬件（通信、算力等）、操作系统和应用软件三个部分，从技术架构上包括四个部分（类人自主智能发育的机理、模型与计算方法；环境认知能力发育技术；对人合作意图的理解能力发育技术；行为优化决策能力发育技术），最终形成对任务级、技能级能力的理解与掌握。当前软件算法层面，人形机器人思维能力的提升依赖具有学习、记忆和认知能力的类脑构架、多模态感知联合学习、虚拟仿真等，具体涉及强化学习、深度强化学习、模仿学习、

组成系统	定义
	迁移学习、元学习等算法模型。
控制系统	控制系统负责管理人形机器人的整体活动功能，包括接受传感器检测信号、认知决策系统信号等，使其根据任务要求而运动、操作和响应。该系统通常包括硬件和软件的组合，为确保人形机器人按预期执行任务，通常在以下 3 个方面存在要求： - 通信：人形机器人通常具有复杂的分布式控制系统，在其不同肢体部位之间需要控制系统和伺服关节之间的通信速度足够快、周期性的定时跳动足够小，才能提升算法在高动态情况下的使用效能。解决方案包括使用 EtherCAT 实时高速以太网实现高速传输等。 - 算力：控制算法的目标主要包含末端位置、末端速度、末端姿态和末端力控制四个方面，对此的底层要求包括具备多自由度的运动学及动力学算法，而计算的复杂度会随着自由度的增加而显著提升，由此对芯片提出更高要求。 - 软件：上述运动控制算法会以独立的 APP 方式来运行，因此要求控制系统提供实时的运行框架以满足不同运行周期算法 APP 的实时计算要求，从而充分发挥硬件的计算资源。
驱动系统	驱动系统对人形机器人的运动性能具有重要影响。人形机器人的驱动系统由电机和其他将电信号转换为机械运动的部件组成。电机将电能转化为机械能，使机器人的关节和末端执行器运动，从而可以移动关节、四肢和其他部件。主要的驱动方式包含电动驱动、气压驱动和液压驱动。许多机器人使用的是电动执行器，真人大小的人形机器人在每个关节都需要大量输出，而单个电动机可能无法提供足够的输出，因此采用多电机驱动系统。
机械系统	人形机器人的机械系统负责提供机器人的物理结构和身体组件，是机器人移动和执行任务的基础物理条件。按部位分类，人形机械系统包含头部、胸腔、手臂和手部、腿部和足部，以及模拟人类的关节和骨骼架构，通常人形机器人有 15-70 个关节。
交互系统	将人-机器人-环境三者联系起来并互相协调的系统，主要功能为发送信息指令及显示信息。该系统又可划分为人类与机器交互系统以及机器与环境交互系统。人类与机器交互系统中，与传统机器人与人的交互方式（开环、代码语言）不同，（理想情境中）人形机器人可理解、模仿人类的语言、语调、表情与手势，并具备从人体安全性、舒适性与自然性（动作拟人化）以及主观意图等维度建立优化行为的能力。机器与环境交互系统指人形机器人与外部环境中的设备互换联系和协调的系统部分，例如经过感知系统获取信息后，人形机器人进一步通过相应识别的模型确认外界意图，并通过机器人面部表情及运动反应等方式完成人形机器人与外界环境的互动。

资料来源：《机器人技术与智能系统》（陈继文、姬帅、杨红娟等），《智能机器人导论》（朱明），《工业机器人技术基础》（林燕文，陈南江，许文稼），《人工智能创新启示录：赋能产业》（中国电子信息产业发展研究院），量子位智库，优必选，智元机器人，华宝证券研究创新部

图 1：人形机器人组成部分



资料来源：《机器人技术与智能系统》（陈继文、姬帅、杨红娟等），《智能机器人导论》（朱明），《工业机器人技术基础》（林燕文，陈南江，许文稼），《人工智能创新启示录：赋能产业》（中国电子信息产业发展研究院），量子位智库，优必选，智元机器人，华宝证券研究创新部

3. 智能化进阶开启，人形机器人从“仿人”走向“类人”

人形机器人的研制开始于 20 世纪 60 年代末，至今全球人形机器人发展可简要概括为以下三个阶段：**1）在腿部功能上以实现简单行走为目的、在手部功能上以外观仿形并实现简单运动为目的的早期探索阶段（1970s-2000 年）**，彼时的人形机器人模型粗犷，但初具人类躯干与肢体形态，侧重实现行走功能和手部简单运动，尚未具备交互能力且智能化水平较低，例如本田于上世纪 90 年代研发的自主行走机器人 P2；**2）具备初级感知功能的智能化起步阶段（2001-2015 年）**，进入二十一世纪，随着感知系统及交互系统等技术进步，人形机器人在该

阶段可实现与外界环境有限的互动，并且运动自由度提升，能实现行走以外的其他简单行动操作，例如本田由P系列所迭代出的ASIMO系列中的“All-new ASIMO”机器人；3）搭载人工智能、机器学习和计算机视觉系统等先进技术的智能化进阶阶段（2016年至今），以上技术大幅提升了人形机器人的认知及感知能力，使其表现出对外界环境更灵活、敏捷的适应性和通识理解能力，例如特斯拉2022年发布的Optimus机器人。

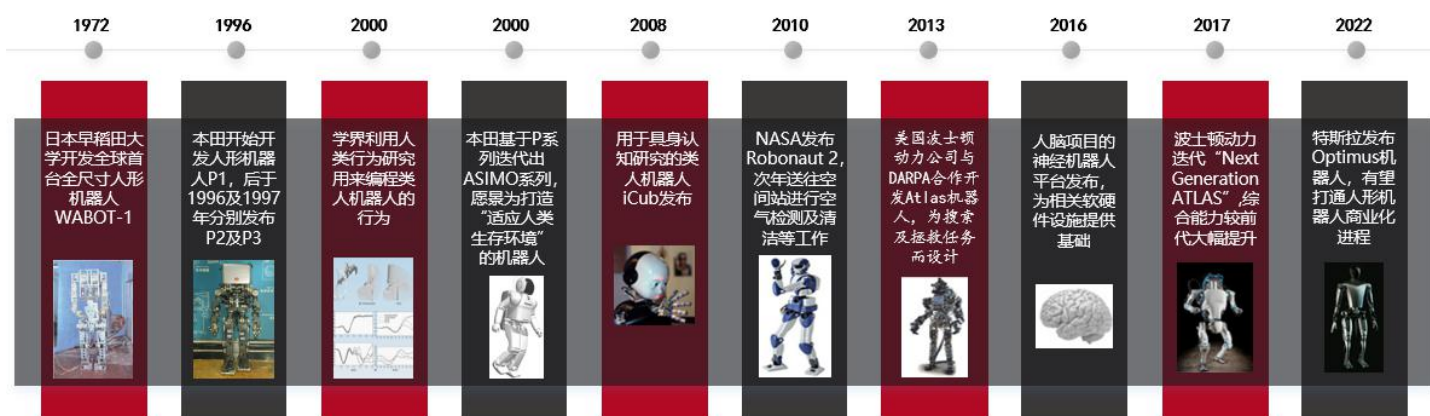
总的来说，在人形机器人领域，日本和美国的研究最为深入，成果也最为丰富。日本方面侧重于外形仿真，美国则侧重用计算机模拟人脑的功能。目前，已研发出的技术最为领先且最具代表性的，当属日本本田研制的ASIMO机器人和美国波士顿动力研制的Atlas机器人、特斯拉的Optimus机器人。其中，ASIMO和Atlas在技术路线上分别是电机驱动和液压驱动，位置控制和动态力控的典型代表，Optimus采用了高扭矩密度电机伺服技术、人工智能算法、智能芯片，更注重机器人智能水平提升和成本降低。

图2：人形机器人的三个关键发展阶段



资料来源：《仿人机器人的设计和制作》（罗庆生、罗霄、蒋建峰），特斯拉，华宝证券研究创新部

图3：人形机器人发展重要里程碑事件



资料来源：IEEE，NASA，帝国理工大学，各公司官网，华宝证券研究创新部

我国于20世纪90年代开始人形机器人的研究，目前产业发展尚处于初期。起初（1990s-2010年左右）以高校或高校联合企业带头研发为主，包括哈工大、国防科技大、清

华大学、北理工等等。2015 年左右开启中外合资研发生产时期，ABB、安川电机等在我国建立生产基地，开展机器人零部件制造及应用集成业务。该时期叠加《机器人产业发展规划（2016—2020 年）》《中国制造 2025》等政策引导、我国人工智能及制造业水平升级以及海外 Atlas、ASIMO、NAO、Pepper 等人形机器人原型机的推出，国内人形机器人产业化进程开始起步，并形成了部分优秀厂商品牌，如优必选、达闼等。2021 年及之后，随着全球备受瞩目的概念人形机器人产品逐步出现，包括特斯拉 Optimus、Engineering Arts 的 Ameca、小米 CyberOne、Agility Robotics 的 Digit 等，以及大模型、AGI 等技术的发展，越来越多的科技公司加入人形机器人制造大军，如科大讯飞、智元机器人、华为等，同时车企（如比亚迪、小鹏汽车）对人形机器人应用领域的关注度也在逐步提升，人形机器人产业规模将有望提升。

从产品本身来看，人形机器人分为“仿人”、“类人”、“真人”三个阶段，当前处于“仿人”并走向“类人”阶段。在仿人阶段，人工智能在很多场景中的应用还是机器人为人类提供协助，提供力矩输出及力矩控制。下一个阶段是类人阶段，面对复杂的运动环境，人形机器人控制的能力、智能化水平更高。再往长远看，人形机器人将会等同或强于人类，在外形上与人类没有差异，并能用于极限场景等。在此阶段，全场景的强 AI 技术可以让机器人实现自我学习、自我决策。

表 3：人形机器人发展阶段

发展阶段	仿人	类人	真人
运动控制	具备基本运动与控制能力。	运动环境适配、高运动强度、微控制等能力。	等同或强于人，外形无差异，可应用于极限场景等。
人工智能	弱 AI、弱传感器数据收集能力。	基于特定场景的 AI 技术，全方位的人机交互（语音、视觉、触觉、情感等）。	全场景的强 AI 技术，包括自我学习、自我决策。
图例			

资料来源：优必选，华宝证券研究创新部

尽管人形机器人技术已经取得显著进展，但在本体设计、运动能力和智能能力方面仍面临着重要的技术挑战，同时在成本降低、应用端落地、规模化生产等方面面临着商业化挑战。

技术方面：

- 本体设计：人机本体是人机实现快速、高灵巧、高精度、高爆发、高效率运动的基础，好的本体结构和零件选用是优秀运动体能的保证。但人机本体又是一个多关节且具有冗余自由度的复杂系统，因此如何实现预期功能而又使结构最优化是尤为关键的问题，主要技术包括高爆发大力矩驱动、低损耗高精度传动、高集成灵巧结构设计、高能量密度电池技术、先进材料选用、零部件制造与装配精度提升等。
- 运动能力：人机运动能力是人机实现高动态运动和作业的关键，由于人机的高阶、强耦合及非线性，使得人机的运动学和动力学的精确求解非常困难，也没有十分理想的理论或方法来求解逆运动学解析解，因此要得到理想的运动规划，必须在运动学和动力学的求解方法上以及 AI 技术融合上有所突破，主要包括动态变构型精确建模、高自由度复杂运动规划、未知扰动平衡控制等。

- **智能能力：**首先，人机安装了视觉、力觉、平衡觉、接近觉等多种传感器来实现环境感知并决策运动，如何提升传感器精度是人机进一步应用面临的重要问题；其次，尽管目前可以通过体系建设和工具产品的优化来提升机器人的易用性，但最终软件技术手段才是机器人实现大规模落地的有效途径，即提升机器人智能水平和自主学习能力，例如特斯拉将纯视觉方案的 FSD 复用于 Optimus，Google 的 RT-2 模型可帮助机器人实现技能自学习的能力，均可提高机器人的泛化能力和智能化程度。同时与一般机器人相比，人机的高自由度和高不稳定性，为其感知、决策、规划系统的设计，以及算力设备带来了新的挑战。

商业化方面：

- **经济性：**人机商业化不仅需要技术 Ready，还需要具备经济性，因此成本设计是人机商业化落地的关键一步，其价格需要考虑相应应用场景下的市场预期，才具备大规模推广的可能性。例如工业端应用需对标国内工人工资（约 10 万元/年），商业服务端应用需根据具体应用场景从 ROI 角度考虑（对标国内人工成本 20 万元/年），面向家用市场则需从功能性家电替换或家政服务的角度考虑（对标家政服务人员年薪 10 万元/年），但从目前各家公布的人机成本及价格上来看，仍有较大下浮空间。同时，为了降低产品成本，还可以通过不同商业模式来实现成本的分摊，例如人机服务租用等。
- **应用破局：**由于人机通用性的设计目标，对人形产品的应用设想已经非常广泛——横跨从家用、商用到工业的各个场景，但通用化仍旧是不同场景应用积累的结果，从实际落地来说，人机落地路径是 $1 \rightarrow \infty$ 的过程。结合当前市场、技术和供应链的成熟度情况，人机目前仍处于场景概念化阶段到小规模落地的商业化触地阶段，亟需寻到一个最快能实现规模化应用的场景，这有利于形成清晰的技术路线图，打磨建立前期技术优势，加速核心技术的快速变现和优化产品的成本设计。
- **生产规模化：**商业化的落地不是让一台人机实现功能，而是考虑生产成千上万台机器人，且能在不同地域、各种场景下能稳定、有效的运行，因此这需要更系统性和全局性地考虑规模化生产、装配人机的具体路径。

4. 人形机器人产品进展如何：量产在即，硬件方案相对成熟，软件技术融合仍待时日

全球人形机器人产业仍处于技术探索和发展的早期阶段，市场参与者较有限，尚未实现大规模商业化。高工机器人（GGII）预计 2024 年制造人形机器人的企业将超过百家，但截至目前，大多数人形机器人产品仍处于研发阶段，尚未真正进入商业化领域。

4.1. 产品基本情况：近两年新品“扎堆”，已逐步贴近“人类”，电驱为主流驱动方案

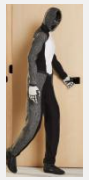
从时间线上看，近两年人形机器人产品原型大量发布或更新，尤其是在 2023 年新品“扎堆”，在代表性产品中超过 60% 的产品均在 2023 年发布或更新。从公司类型上看，发布人形机器人的本体厂商背景多样，有传统机器人（服务机器人、医疗机器人、扫地机器人等）或以机器人技术起家的，有研发仿生机器人（四足机器人、人形机器人、双足机器人）起家的，这两类公司均有较强的机器人工程技术背景和产业链复用优势，有科研机构背景的本体厂商，这

类公司具有较强的研究及技术实力，也有科技公司、互联网公司，这类企业在软件端的开发上相对占优，也有车企，这类公司有较强的产业链及技术复用优势。此外较多公司来自中、美、日三国。从基本参数上看，代表性人机产品整体来看已贴近人类基本构造与初级运动功能，如代表性产品中平均身高 160cm、平均体重为 62kg、平均行走速度为 5.8km/h（不考虑轮式或不能动的人形机器人产品）、平均整机负重为 26kg、平均单臂负重为 3.7kg。从使用材料上看，人形机器人较多采用轻量化、高强度材料，例如铝、碳纤维、塑料等。从驱动方式及续航情况看，大部分代表性产品为电驱动模式，但续航能力有待提升。相比液压驱动技术，电力驱动具备控制精度高、响应快，受外界环境影响小，效率高、性价比高的特点，因此成为绝大多数机器人企业的首选，同时电驱也是目前业内相对比较成熟、最适合商业化落地的解决方案。但从续航能力上看，当前人形机器人产品续航能力有待提升（平均续航水平为 4h）。

表 4：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-1（产品基本情况对比）

公司	背景	国家	型号	时间线	身高	体重	材料	驱动	续航	行走速度	整机负载	单臂负载	图片
优必选	服务机器人起家	中国	Walker X	2016 年开始研发，2021 年发布第四代，预计 2023 年 12 月发布工业版人形机器人 Walker S	130cm	63kg	/	电驱	2h，电池可拆卸	3km/h	10kg	1.5kg	
智元	人形机器人起家	中国	远征 A1	2023 年发布，预计 2024 年商业化落地	175cm	55kg	/	电驱	/	7km/h	80kg	5kg	
达闼	服务机器人起家	中国	小紫 XR-4（双足人形）	预计将于 2024 年正式发布，2025 年规模量产	165cm	65kg	全身大量采用了轻质高强度的碳纤维复合材料	电驱	/	5km/h	/	/	
			Ginger 2.0（轮式人形）	2022 年发布	160cm	89kg	/	电驱	≥ 12h，可加电池	/	/	5kg（抓取能力）	
宇树	四足机器人起家	中国	Unitree H1	2023 年发布，预计 2023Q4 量产发货	180cm	47kg	采用轻量化材料（四足机器人用铝合金+高强度工程塑料）	电驱	2h，可快速更换	大于 1.5m/s（5.4km/h），潜在运动性能大于 5m/s（18km/h）	/	/	

公司	背景	国家	型号	时间线	身高	体重	材料	驱动	续航	行走速度	整机负载	单臂负载	图片
小米	互联网公司, 消费电子、家电	中国	CyberOne (铁大)	2022 年发布	177cm	52kg	/	电驱	1.5h	3.6km/h	/	单手垂直抓握 1.5kg	
傅利叶	医疗机器人起家	中国	Fourier GR-1	2023 年发布	165cm	55kg	铝合金+工程塑料	电驱	/	5km/h	/	5kg	
追觅	扫地机器人、家电起家	中国	通用人形机器人	2023 年发布	178cm	56kg	/	/	/	/	/	/	
帕西尼	触觉传感器起家	中国	Tora (人形轮式)	2023 年发布	146-180cm (可调节)	86kg	/	电驱	8h	25km/h(轮式)	/	5kg	
理工华汇	科研机构背景	中国	汇童	2002 年发布第一代, 2023 年发布第六代	165cm	55kg	/	电驱	2h	7km/h	/	5kg	
浙江大学	科研机构背景	中国	悟空-4	2006 年开始研制, 2016 年发布第一代, 2023 年发布第四代	140cm	46kg	/	/	/	超过 6km/h	/	/	
小鹏	车企	中国	PX5	2023 年发布(当前处于早期阶段), 2024-2025 年量产	150cm	/	/	电驱	2h 以上	/	/	3kg	
开普勒	人形机器人公司	中国	先行者 r K1 D1 S1	2023 年发布	178cm	85kg	/	/	/	/	/	/	

公司	背景	国家	型号	时间线	身高	体重	材料	驱动	续航	行走速度	整机负载	单臂负载	图片
中国电科21所、电科机器人	微特电机	中国	人形机器人	2023 年发布	162cm	60kg	/	/	/	5km/h	/	5kg	
特斯拉	科技公司, 车企	美国	Optimus	2022 年发布 Gen1, 2023 年发布 Gen2, 预计 2025-2028 年正式批量生产	173cm	73kg (Gen 1), 63kg (Gen 2)	原计划用塑料, 但由于强度不够采用铝	电驱	/	8km/h, Gen2 行走速度提升 30%	20kg	伸展状态单臂 4.5kg	
本田	车企	日本	ASIMO	2000 年发布第一版本, 2018 年起停止研发, 2022 年退役	130cm	48kg	机身由镁合金框架制成, 框架上覆盖着塑料树脂	电驱	1h	9km/h	/	0.5kg	
波士顿动力 (软银收购)	机器人工程技术公司	美国、日本	Atlas	2013 年发布初代版本, 2018 年发布第五代和第六代	150cm	89kg	航空级铝和钛, 使其具有跳跃和翻筋斗所需的强度重量比	液压驱动	1h	9km/h	/	/	
1X Technologies	服务机器人起家	挪威	NEO	开发中	167cm	30kg	/	/	2-4h	行走 4km/h, 跑步 12km/h	20kg	/	
			EVE (人形轮式)	2020 年发布	186cm	86kg	塑料、铝、织物	/	6h	最高速度 14.4km/h	15kg	/	
美国宇航局	科研机构背景	美国	Valkyrie	2016 年发布	188cm	136kg	泡沫、织物	电驱	1h	/	/	/	
Engineered Arts	仿生娱乐机器人公司	英国	Ameca GEN 2	2023 年发布	187cm	49kg	/	电驱	/	不可移动	/	/	

公司	背景	国家	型号	时间线	身高	体重	材料	驱动	续航	行走速度	整机负载	单臂负载	图片
Agility Robotics	专注于开发高性能双足机器人	美国	Digit	2019 年只有躯干, 2023 年增加头部和手部	175cm	65kg	铝、塑料(聚碳酸酯)、碳纤维复合材料	电驱	/	/	18kg	/	
Aldebaran Robotics (软银)	服务机器人	法国、日本	NAO	2008 年发布	58cm	5.5kg	聚碳酸酯-ABS 塑料合金、聚酰胺材料、碳纤维增强热塑性塑料	/	1.5h	0.3km/h	/	/	
		法国、日本	Pepper (轮式人形)	2014 年发布, 2020 年已停止生产	120cm	28kg	/	/	12h	3km/h	/	/	
Figure	AI 人形机器人	美国	Figure 01	2023 年发布	168cm	60kg	/	/	5h	1.2km/h	20kg	/	

资料来源：各公司或研究机构官网，各公司官方微信公众号，Explorer Robots，高工机器人，2023 年世界机器人大会官网，机器人大讲堂公众号，新智元公众号，机器之心公众号，DF 创客社区公众号，华宝证券研究创新部

注：“/”为未公布，未公布不代表没有。

4.2. 驱动及机械结构：基本与人“形似”，硬件方案相对成熟，但尚未完全收敛

人形机器人自由度均较高。已公布自由度的代表性产品的平均自由度为 36，其中各产品手臂、腿部、灵巧手设计的自由度均较高，手臂（仅看臂部）平均自由度为 5.8，腿部平均自由度为 5.9，灵巧手平均自由度为 8.1，其他躯干部分一般在头颈部、腰部设置分别有 1-3 个自由度。

一般关节（非灵巧手）以旋转或旋转+直线方案为主，不同方案使用的减速装置不同，位置传感器为标配，力传感器并非为标配。从执行器上看，本体厂商多自研甚至自产关节执行器，且关节各零部件集成化、驱控一体化趋势明显，大部分仅使用旋转执行器，小部分采用旋转+直线执行器。此外，关节执行器中的核心零部件电机、减速器、驱动器可能外采或自研自产，但位置传感器（编码器）、力传感器一般为外采。从电机类型上，无框电机、有刷/无刷直流电机为常见配置。从减速装置类型上，旋转关节一般采用谐波/行星减速器，直线关节一般采用行星滚柱丝杠。从一般关节的其他零部件使用情况上看，一般采用双编码器（双编）方案，使用非直驱方案的关节一般配有力矩传感器，使用直驱方案的则无配置，部分产品在手部或脚部配

置有六维力/力矩传感器、触觉传感器。

国内灵巧手以杆式结构为主流，国外以绳驱结构为主流。从灵巧手的机械结构上看，近几年发布的产品均配备或将配备灵巧手，国内灵巧手执行器以杆式结构为主流，以因时灵巧手的微型伺服电缸结构为例，使用空心杯电机+精密减速器+丝杠传动机构+力传感器+位置传感器+驱动器，国外则以绳驱结构为主流，一般使用空心杯电机+多级行星减速器+金属腱绳+位置传感器+驱动器。一般来说杆式结构对电机的体积要求比较小，控制精度要求比较高，力控要求稍低一些。

此外，当前本体厂商会对人形机器人产品进行模块化设计，这样拆卸、组装更加方便快捷，能更快适应多种应用场景。

总的来说，人形机器人机械结构的技术方案已相对成熟，但细节并不完全统一，未来也存在不断变化的可能性。首先，从梳理结果可以看到，目前本体厂商对人形机器人产品的侧重点会有不同，部分侧重上肢运动能力（例如灵巧手的精细操作），部分侧重下肢运动能力（例如避障、腿部运动的稳定性和高性能等），部分则对运动能力要求不高而更侧重交互能力，这是由于不同厂商对后续产品的应用场景的规划不同导致的。此外，侧重点的不同将会影响人形机器人产品机械结构设计、AI技术的应用方向与应用程度。同时正由于机械结构与AI技术应用之间是可以互补的，例如可以通过算法来弥补硬件精密性的不足，因此随着AI技术的不断成熟，人形机器人硬件的技术路线也预计会随之变化。

表 5：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-2（驱动及机械结构对比）

公司	型号	自由度数量	自由度分布	一般关节方案						灵巧手	其他
				电机	伺服驱动器	位置传感器	力传感器	减速装置	备注		
优必选	Walker X	41	腿 6*2, 臂 7*2, 手 6*2, 颈 3	高密度无框力矩电机	高性能控制器	位置编码器*2	手部与脚部分别有 2 个六维力/力矩传感器	谐波减速器	公司自研的高性能伺服驱动关节，最大关节扭矩 200Nm	单手五指、6 自由度	模块化设计，头部、手掌、电池都可以拆卸和组装，为更多场景做匹配
智元	远征 A1	49	/	/	矢量控制驱动器（自研）	编码器*2	/	10 速比以内的高力矩透明度行星减速器	自研的 PowerFlow 关节电机，最大关节扭矩 350Nm，使用准直驱关节方案，包含一体液冷循环散热系统；膝盖采用反关节设计	单手五指，12 个主动自由度+5 个被动自由度，驱动内置，集成基于视觉的指尖传感器	采用上下肢分体的模块化设计，手能更换执行工具，下肢也可以更换工具
达闼	小紫	大于	/	高扭矩	/	编码器*2	其他关节可	行星减	自研的智能	单手五指、7	/

公司	型号	自由度数量	自由度分布	一般关节方案						灵巧手	其他
				电机	伺服驱动器	位置传感器	力传感器	减速装置	备注		
	XR-4(双足)	60		密度无框电机(自研)			选配扭矩传感器, 脚部采用了六维力矩传感器	速器	柔性关节SCA, 均为旋转关节, 下半身为并联结构(四个电机), 最大关节扭矩600Nm	自由度, 空心杯电机+齿轮传动	
	Ginger 2.0(轮式)	41	/				可选配扭矩传感器	/	自研的智能柔性关节SCA, 均为旋转关节		
宇树	Unitree H1	19	臂 4*2, 髋 3*2, 膝 1*2, 踝 1*2, 其他 1	无框电机(自研自产)	有, 自研自产	编码器*2	/	以行星减速器为主(自研自产)	自研的Unitree M107 关节电机, 最大关节扭矩 360Nm	正在开发	/
小米	CyberOne(铁大)	21	/	无框力矩电机(以公司自研的微电机Cybergear为例)	有驱动器(以公司自研的微电机Cybergear为例)	编码器*1(以公司自研的微电机Cybergear为例)	无(以公司自研的微电机Cybergear为例, 半直驱设计)	行星减速器(以公司自研的微电机Cybergear为例, 小米四足机器人使用的是行星)	自研机械关节模组, 最大关节扭矩300Nm, 上肢为1Nm级灵敏度电流环力控	无灵巧手, 单手两指	/
傅利叶	Fourier GR-1	44	头 3, 臂 7*2, 腰 3, 手 6*2, 腿 6*2	有, 未公布类型	有	有	无	有减速器, 未公布类型	自研 FSA 高性能一体化关节(旋转), 最大关节扭矩 230Nm	单手五指、6 自由度	可直腿行走
追觅	通用人形机器人	44	腿 6*2, 手 6*2, 其他未公布	无框电机	有	编码器*2	可能有多维力传感器(高性能伺服关节具有多维力觉感知)	有减速器, 未公布类型	自研的高性能伺服关节	单手五指、6 自由度	/
帕西尼	Tora(轮式)	31	臂 7*2, 手 5*2, 其他未	/	/	/	/	/	/	单手四指、5 个主动自由度, 手指采	模块化设计, 可根据具

公司	型号	自由度数量	自由度分布	一般关节方案						灵巧手	其他
				电机	伺服驱动器	位置传感器	力传感器	减速装置	备注		
			公布							用三段结构，有触觉传感器	体场景快速重构
理工华汇	汇童	26 (未包含手部自由度)	腿 6*2, 臂 6*2, 其他未公布	推测为无框力矩电机 (根据官网电机产品)	/	/	/	有减速器, 未公布类型	自研的大力矩轻质精密关节, 最大关节扭矩或可达 300Nm	可选配灵巧手, 单手五指、11 自由度 (自由度可定制)	/
浙江大学	悟空-4	27	/	/	/	/	/	/	/	单手五指	/
小鹏	PX5	38 (包含手部自由度)	臂 3*2, 手 11*2, 腿 5*2	有 (外采), 未公布类型	有 (自研)	有 (磁编码器, 外采)	/	谐波+行星减速器 (单级+多级, 外采)	具体减速器的使用上, 手臂和脚踝使用谐波, 大腿驱动小腿的关节使用单级行星, 其他使用多级行星	单手五指、11 自由度, 配置一个按压传感器, 4 个推杆电机 (集成空心杯电机)	可直腿行走
开普勒	先行者 r K1 D1 S1	40	/	有, 未公布类型	有	有	/	使用减速器和行星滚珠丝杠	自研旋转 (峰值扭矩 200Nm) + 线性一体化执行器 (峰值推力 8000N), 线性执行器用于腿部, 使用行星滚柱丝杠	单手五指 +12 个自由度	/
中国电科 21 所、电科机器人	人形机器人	39	/	/	/	/	/	/	/	单手五指	/
特斯拉	Optimus	40 (Gen1)、52 (Gen2)	腿 6*2, 臂 7*2, 手 6*2, 躯干 2 (Gen2 手部为 11 个自由度, 颈	无框力矩电机	/	位置传感器 (电感式) (旋转关节为 2 个, 直线关节为 1 个)	扭矩传感器	谐波减速器, 行星滚珠丝杠	14 个线性执行器 (传动装置是行星滚珠丝杠)、14 个旋转执行器 (传动装置为谐波减速器)	单手五指+6 自由度 (Gen2 为 11 自由度), 绳驱结构 (空心杯电机+行星精密齿轮箱+	/

公司	型号	自由度数量	自由度分布	一般关节方案						灵巧手	其他
				电机	伺服驱动器	位置传感器	力传感器	减速装置	备注		
			部增加2个自由度)							位置传感器+金属腱绳)	
本田	ASIMO	57	头3, 臂7*2, 手13*2, 腰2, 腿6*2, 其他2	直流电机以及无刷直流电机	有	/	/	谐波减速器	/	单手五指+13自由度, 手掌内置接触传感器, 五指分别内置力传感器、2个马达	/
波士顿动力 (软银收购)	Atlas	28	颈1, 臂6*2, 躯干3, 腿6*2	/	/	/	/	/	28个液压执行器(定制伺服阀), 包含直线执行器和伺服摆动缸	无灵活手, 可配置夹爪	/
1X Technologies	NEO	/	/	高扭矩重量比的直驱电机 (Revo 1, 自研)	/	/	/	/	/	/	/
	EVE (人形轮式)	25	颈1, 臂7*2, 腿6, 手1*2, 轮子1*2						使用准直驱方案	无灵活手, 配置有夹爪	/
美国宇航局	Valkyrie	44	颈3, 臂4*2, 手腕3*2, 手4*2, 躯干3, 腿6*2, 脚踝2*2	/	/	/	/	/	旋转+线性执行器	单手四根手指+4自由度	/
Engineered Arts	Ameca GEN 2	61	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Agility Robotics	Digit	16	腿5*2, 臂3*2	有刷/无刷直流电机	/	/	/	谐波/摆线减速器	/	无灵巧手	/
Aldebaran Robotics (软银)	NAO	25	头2, 臂5*2, 骨盆1, 腿5*2, 手1*2	无刷直流电机 (外采自Portescap)	/	/	/	/	/	单手3指+1自由度, 灵巧度较低	/
	Pepper	19	头2, 臂	直流电	/	/	/	/	/	单手五指+1	/

公司	型号	自由度数量	自由度分布	一般关节方案						灵巧手	其他
				电机	伺服驱动器	位置传感器	力传感器	减速装置	备注		
	(轮式)		5*2, 手 1 *2, 髋 2, 膝部 1, 移动基 地 2	机						自由度, 灵 巧度较低	
Figure	Figure 01	/	/	/	/	/	/	/	/	有灵巧手	/

资料来源：各公司或研究机构官网，各公司官方微信公众号，Explorer Robots，高工机器人，2023 年世界机器人大会官网，机器人大讲堂公众号，新智元公众号，机器之心公众号，DF 创客社区公众号，华宝证券研究创新部

注：“/”为未公布，未公布不代表没有。

4.3. 感知与交互硬件：视觉感知为标配，以 3D 视觉+多模态融合为主流

视觉以单/双/多目立体视觉、Lidar、ToF、结构光等 3D 视觉感知技术为主流，采用多模态融合的方案。首先，绝大部分人形机器人产品均配置了视觉传感器，类比人类，人获取的 80% 以上的信息来自视觉系统且有 50% 的大脑皮层参与视觉功能运转，故对于人形机器人来说，配备机器人视觉相当重要，相比其他类型的外部传感器，视觉传感器的重要性毋庸置疑。其次，人形机器人产品以单/双/多目立体视觉、Lidar、ToF、结构光等 3D 视觉感知技术为主流。较多人形机器人产品采用深度相机（ToF 或结构光），例如优必选 Walker X、智元远征 A1、小米 CyberOne、达闼 Ginger2.0、波士顿动力 Atlas、Agility Robot 的 Digit 等，其次使用较多的是单/双/多目立体视觉，例如优必选 Walker X、波士顿动力 Atlas、Engineered Arts 的 Ameca GEN 2 等使用的是双目，达闼 Ginger2.0、帕西尼 Tora 等使用的是单目，最后使用较多的是 Lidar，一般与其他传感器配套使用。目前，较多人形机器人产品采用多模态融合的方案，摄像头、激光雷达等视觉传感器或继续叠加红外线传感器、声呐等传感器融合使用，例如智元远征 A1、达闼 Ginger 2.0、宇树 H1、波士顿动力 Atlas、美国宇航局 Valkyrie、Agility Robotics 的 Digit 等均有不同测量方法的融合。仅少数厂商采用纯视觉方案，如特斯拉 Optimus 坚持第一性原理，故采用的是与人类贴近的纯视觉方案。

其他方面，部分人形机器人产品配置有 IMU 等姿态传感器或六维力传感器，已配备 IMU 等姿态传感器的机器人占比超过 40%，一般配置在头部、脚部或躯干，目前配备有六维力传感器的产品较少，一般配置在手部或脚部。此外，部分产品配置有听觉传感器（麦克风等）。

表 6：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-3（感知与交互硬件部分梳理与对比）

公司	型号	感知与交互硬件配置			
		视觉	姿态	力觉	其他
优必选	Walker X	四目系统及双 RGBD 传感器	惯导 IMU	4 个六维力矩传感器	/
智元	远征 A1	手部配置基于视觉的指尖传感器，RGBD 相机、激光雷达	IMU	基于视觉的指尖传感器（可以基于算法的数据融合，做到近似触觉的压力传感器的效果）	/

公司	型号	感知与交互硬件配置			
		视觉	姿态	力觉	其他
达闼	小紫 XR-4 (双足)	/	/	/	/
	Ginger 2.0 (轮式)	RGB 单目摄像头*2 (前后各一个), 3D 深度摄像机*2 (头部, 腰部), 单点 TOF 相机*1 (腿部), 激光 雷达*1 (脚部)	惯导 IMU	力矩传感器、六维力传感器	/
宇树	Unitree H1	3D 激光雷达、深度相机等	/	/	/
小米	CyberOne (铁大)	深度相机配合 AI 相机 (Mi-Sense 深度视觉模组, 由 iToF 模组、RGB 模组、可选的 IMU 模块组成)	IMU (可配置)	/	听觉模块配备了双麦克风听觉识别系统
傅利叶	Fourier GR-1	深度相机 (Realsense, 英特尔的 结构光产品)	IMU	自主多维力传感器	/
追觅	通用人形机 器人	3D 深度相机 (ToF 激光雷达、结 构光等)	/	/	/
帕西尼	Tora (轮式)	4 个单目摄像头, 1 个 RGBD 摄像 头等	/	手指表面搭载自研高精度三维 力传感器以及多维度触觉传感 器	
理工华汇	汇童	/	/	/	/
浙江大学	悟空-4	/	/	/	/
小鹏	PX5	暂时无	IMU (或配置, 或 转向六维力传感 器)	/	/
开普勒	先行者 r K1 D1 S1	红外双目 3D 摄像头, 鱼眼摄像头	姿态传感器	拉压力传感器	听觉配置了远 场四麦线性整 列
中国电科 21 所、电 科机器人	人形机器人	/	/	/	/
特斯拉	Optimus	纯视觉方案, 多目视觉方案, 头 部使用三颗 Autopilot 摄像头作 为感知系统: Left/Right Pillar Camera 左/右摄像头, 和 Fisheye Camera 中央鱼眼摄像头, 提供大 于 180 度体前场景覆盖	/	力/力矩传感器 (Gen2 增加触 觉传感器)	/
本田	ASIMO	视觉传感器 (头部两个), 超声 波传感器	陀螺仪和加速度 计	手掌上有触觉传感器, 每个手 指上都有力传感器, 两只脚分 别带有六维力传感器	/
波士顿动 力 (软银收 购)	Atlas	激光雷达和立体视觉 (TOF 深度相 机、RGB 摄像头)	IMU	/	/
1X Technologies	NEO	/	/	/	/
	EVE (人形轮 式)	高分辨率 HDR 摄像机, 两个前置 摄像头和一个后置摄像头	/	/	/
美国宇航	Valkyrie	头部包括四个摄像头与激光雷	IMU (骨盆和躯	脚部配置六维力传感器	/

公司	型号	感知与交互硬件配置			
		视觉	姿态	力觉	其他
局		达，身体其他部位还配置有摄像头、声纳等	干)		
Engineered Arts	Ameca GEN 2	双目摄像头	/	/	/
Agility Robotics	Digit	激光雷达、四个英特尔 Realsense 摄像头（结构光）	MEMS IMU	/	/
Aldebaran Robotics（软银）	NAO	两个 5 万像素的 OmniVision 摄像头（2D）、声纳测距仪、两个红外传感器	带有三轴加速度计和两个陀螺仪的惯性单元	九个触觉传感器和八个压力传感器	四个全向麦克风
	Pepper（轮式）	头部配有两个高清 500 万像素摄像头（嘴部和前额，2D）、3D 传感器（眼部），两个声纳、六个激光器	惯性传感单元	触觉传感器、碰撞传感器	四个麦克风
Figure	Figure 01	/	/	/	/

资料来源：各公司或研究机构官网，各公司官方微信公众号，Explorer Robots，高工机器人，2023 年世界机器人大会官网，机器人大讲堂公众号，新智元公众号，机器之心公众号，DF 创客社区公众号，华宝证券研究创新部

注：“/”为未公布，未公布不代表没有。

4.4. 核心算法部分：新技术融合仍需时日，认知算法尚未成熟

我们将人形机器人核心算法分为三类——认知与决策层面算法、感知与交互层面算法和运动控制层面算法。软件算法将极大影响人形机器人产品的运动功能、交互功能和智能化水平。

运控算法分为上肢和下肢部分，传统技术路线有所收敛，不同方案对硬件要求有所不同，但随着 AI 技术的成熟，或将迎来新老技术融合。在运动控制层面，一般人形机器人会分为上肢运动控制和下肢运动控制，但当前不是所有产品均会在两个部分进行深入的软件开发，例如优必选 Walker X、智元的远征 A1、达闼的人形机器人、小米 CyberOne、特斯拉 Optimus 等最近几年新推出的产品均开发了针对上肢、下肢的运动控制算法，而浙江大学悟空、本田 ASIMO、波士顿动力的 Atlas、Aldebaran Robotics 的 NAO 等更多地布局下肢的运动控制算法，这与不同产品的定位（偏向运动功能还是偏向工作能力）有关。具体算法方面，一般厂商都采用了离线行为库和实时调整相结合的方案，但披露的具体内容不多。在上肢运控算法中，根据各家披露情况，人形机器人产品主要使用视觉伺服、或手眼协调的算法（位置控制）、或者力控算法、或者力位控制融合的方法进行上肢运动的控制（例如抓取动作等）。而在下肢运控算法方面，根据各家披露情况，则主要使用模型预测控制（MPC）、最优控制算法（WBC）等。力控算法相比位置控制抗干扰性相对更佳，机器人稳定性会更好，故在下肢运控中更多还是采取力控算法。尽管大部分人机产品使用的仍然是传统运控算法（通过复杂编程进行精确性操作与控制），当前已有产品使用模仿+强化学习的 AI 技术来处理机器人的一部分运控问题，提升人机的适应性，例如 Optimus 等。

感知与交互算法分为自主导航、外部信息识别、对外交互等方面，传统技术路线相对成熟，大模型的出现带来“搅动”。将在感知与交互层面，算法技术最终体现的是机器人自主导航能力、视觉/声音/情绪的感知/识别能力、对外交互能力等。自主导航方面，较多使用 SLAM（同步定位与建图）+深度学习的算法技术，也有使用 BEV（鸟瞰视图）+Transformer 的算法技术（例如特斯拉 Optimus）。视觉/声音/情绪的感知/识别以及交互方面，则主要使用计算机视觉

（图像分割、三维重建、特征提取等）、NLP（自然语言处理）、ASR（自动语音识别技术）、TTS（语音合成技术）等技术，部分明确引入了神经网络等深度学习或者大模型等算法技术，例如特斯拉的 Optimus、智元的远征 A1、达闼、追觅的人形机器人等。

认知与决策算法的发展尚未成熟，技术尚未收敛，是未来人形机器人重点研究方向。认知与决策层面，算法技术最终体现的是机器人的学习、理解、决策能力，最新的主流技术包括强化学习（Reinforcement Learning）、深度强化学习（Deep Reinforcement Learning）、模仿学习（Imitation Learning）、迁移学习（Transfer Learning）、元学习（Meta Learning）等。目前人形机器人产品在该层面的研究相比前两个层面较差，技术尚未收敛，但已有产品已经开发或计划未来通过接入 AI 大模型的方式，通过端到端的学习来提升机器人的认知、理解、推理与决策以及自主解决问题的能力，例如特斯拉 Optimus 采用自动驾驶系统 FSD 用到的神经网络（多模态、端到端）和在线仿真模拟，能够进行立体渲染、路径规划、视觉融合和视觉导航，更高效学习各种任务。

总的来说，人形机器人技术复杂、门槛高，传统软件算法相对成熟，但新技术如大模型等 AI 技术与传统机器人技术还并未出现进一步融合和相适应，例如大模型可以与传统运控算法、计算机视觉、自然语言处理等技术融合，提升机器人的泛化能力和智能水平，但目前在商业应用上还需攻克稳定性问题。

表 7：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-4（核心算法部分梳理与对比）

公司	型号	硬件配置（处理器）	操作系统	软件算法		
				认知与决策	感知与交互	运动控制
优必选	Walker X	Intel i7 8665U *2, NVIDIA GT1030 显卡	自研 ROSA	基于深度学习的物体检测与识别算法、人脸识别算法和跨风格人脸生成技术，可在负载环境中识别人脸、手势、物体等信息，丰富准确的理解和感知外部环境。	1、计算机视觉算法与人脸检测/识别技术（物体、场景检测识别），利用机器学习的计算机视觉底层算法（图像增强算法、视觉特征检测算法），语音技术（ASR、NLP、TTS），U-SLAM 视觉导航，自主路径规划；2、多模态情感交互，放任共情表达：视、听、触、环境多通道感知；内置原生 28+机器人情绪体系；主动式交互，与用户建立共情。	包含步态规划、柔顺控制、手眼协调等：1、复杂地形自适应平稳快速行走；2、动态足腿控制，自平衡抗干扰；3、手眼协调操作、精准灵活服务。
智元	远征 A1	/	自研 AgiROS	具身智脑 EI-Brain 中的云端超脑层（任务级）以及端侧的大脑层（技能级）、小脑层（指令级）。基于任务数据反馈，EI-Brain 具备在机器人任务执行过程中不断自我学习强化地能力（强化学习算法）。使用语言任务模型 WorkGPT，充分应用了语言和图像大模型庞大的先验知识库和强大的通识理解能力，并实现了复杂的语义多级推理能力，即思维链。	具身智脑 EI-Brain 中的小脑层（指令级）、脑干层（伺服级），包含上位抓取规划和下位步态控制。具体在运控算法层面，使用的非线性 MPC（模型预测控制）。	
达闼	小紫 XR-4（双足）	英伟达芯片，用于云端训练	自研海睿 OS（融入了自主研发的 RobotGPT）	可实时接入达闼云端大脑，通过多模态大模型 RobotGPT 赋能，具备多模态融合感知、认知、决策和行为生成能力，实现高性能的具身智能。		基于数字孪生的深度强化学习完成自主智能训练，生成机器人多种步态和动作，实现平衡站立、优美步态、灵巧双
	Ginger 2.0（轮	/				

公司	型号	硬件配置（处理器）	操作系统	软件算法		
				认知与决策	感知与交互	运动控制
	式)					臂和双手操作。
宇树	Unitree H1	Intel Core i7-1265U *2	/	宇树在 H1 人形机器人集成了 AI 大模型，以提升与人类的交互水平。		借鉴了四足机器人的控制技术，用了模型预测控制，例如将全身力控制（WBC）和模型预测控制（MPC）结合起来。
小米	CyberOne (铁大)	以 Cyberdog 2 为例：实现的高精度动作响应，由全志 MR813 进行控制，实现的智能交互则由全志 R329 处理完成	以 Cyberdog 2 为例：Ubuntu 18.04 + ROS2		1、听觉模块：音频算法有 85 种环境语义识别，6 类 45 种人类语义情绪识别。2、视觉模块：使用了自研三维重建算法，即通过 CV 算法获得物体三维模型实现避障，“万物追焦”技术让其集中注意力看关键物体。同时能够实现人物身份识别、手势识别、表情识别。3、可以通过显示模组实时表达情绪。	全身控制算法：13 个关节，21 个自由度运动控制模块与控制算法，自研人形双足控制算法，上肢具备零力矩拖动示教功能。
傅利叶	Fourier GR-1	Intel i7-13700h	自研	采用高度可扩展的设计方案，可对接 AI 模型进行算法验证。	/	/
追觅	通用人形机器人	/	/	1、追觅科技突破 SLAM、ToF 激光雷达、结构光等算法核心技术，同时集成 AI 大型语言模型，增强了场景识别和语义理解能力。2、复用扫地机器人上的丰富的目标检测与识别、多传感器感知融合处理策略、导航定位及地图管理与应用经验，包括地图语义理解自动分割、航点导航等技术。		/
帕西尼	Tora (轮式)	/	/	基于视触觉双模态模型与模仿学习功能，高效习得人类生产作业技能，机器人能够更快速地适应不同的环境和任务，并且在与人类互动中不断优化自身的表现。		力/位混合控制规划
理工华汇	汇童	/	Linux	/	/	突破了基于高速视觉伺服的灵巧动作控制、全身协调自主反应等关键技术。
浙江大学	悟空-4	/	/	/	通过融合腿足运动技术与环境感知技术，实现了机器人的三维环境地图构建和自主动态导航。基于 MPC 控制框架的快速步行规划与控制技术，以及全身协调及优化控制技术，以提升机器人运动协调性和抗扰能力。	
小鹏	PX5	AIU	/	/	将机器人感知、交互系统，同小鹏汽车已经积累的 XNGP、XOS 拉通，在底层的操作系统、感知能力等实现一定程度的核心技术复用。	/

公司	型号	硬件配置（处理器）	操作系统	软件算法		
				认知与决策	感知与交互	运动控制
开普勒	先行者 r K1 D1 S1	/	自研星云系统	/	视觉识别系统可实时感知周围物体、人脸、运动，实现目标检测和识别。视觉 SLAM 实现 3D 建模，自主规划路线。同时具备动态感知技术，感知周围环境变化，及时做出调整。	40 个自由度的全身控制算法，实现精准导航、移动和执行任务。通过感知获得外部物体位置及信息，实时配合运动物体进行相应操作，可实现手眼协同。
中国电科 21 所、电科机器人	人形机器人	/	/	已完成计算机算法仿真工作，语音模块则在开发中，同时也在尝试另外几种算法，让人形机器人走路更加的轻盈、迈步更大。		
特斯拉	Optimus	单颗 Tesla SOC 芯片	/	Optimus 与特斯拉 FSD（全自动驾驶）构建的强大视觉系统能够共通，两者的底层模块已经打通。Optimus 训练 FSD 用到的神经网络（多模态、端到端）和在线仿真模拟，能够进行立体渲染、路径规划、视觉融合和视觉导航，以及可以自我精确操控手部、腿部的动作，更高效学习各种任务。例如只利用视觉和关节位置传感器，就能够在空间中精确定位手的位置，能够自动分类不同颜色的积木块。此外，还使用了模仿学习等技术，如 Optimus 上肢操作借助基于动作捕捉和逆运动学映射构成的离线行为库，通过实时轨迹优化实现自适应操作。此外，Optimus 采用运动重心控制算法，能够像人一样在行走时或者在受到一定外力冲击的情况下保持平衡。		
本田	ASIMO	/	VxWorks 实时操作系统和自定义控制软件	/	1、拥有语音识别功能、人脸识别功能。2、使用自律性的连续移动技术，通过地面传感器获得的周围环境信息和预先录入的地图信息等，用于修正路线偏差或避障。3、使用配合人的活动而连贯活动的技术，通过头部视觉传感器、手腕部位的腕力传感器等检测人的动作，实现与人相配合。	1、行走：采用 I-WALK 技术实现“预测运动控制”，使得 ASIMO 能够不需要停止就能够转身，实现边走边转身。同时采用水平反应控制、目标 ZMP（零力矩点）控制、步长位置控制等。2、上下楼梯：采用独特的数学算法。3、其他：新姿势控制技术，提升运动性能。
波士顿动力（软银收购）	Atlas	/	/	1、认知能力：根据感知信息使用感知算法来识别和导航，具体在视觉感知软件使用了多平面分割算法。2、离线行为库：基于轨迹优化算法（质心运动学优化+运动学优化）和动作捕捉（Motion Capture）创建，行为库中包含提前给机器人创建的轨迹和动作模版，同时可以通过离线设计进行轨迹优化，帮助机器人选择与给定目标尽可能匹配的行为。3、具体执行中采用模型预测控制（MPC）的技术，控制器会调整机器人的力、姿势和行为时间等细节，以应对环境、脚滑或其他实时因素带来的影响。		
1X Technologies	NEO	/	/	使用了具身学习模型		
	EVE（人形轮式）	Intel i7 用于实时控制，Nvidia	基于 Linux 的自定义操作系统	1、内置自动学习系统（具身学习模型），可以在不断的动作训练中	融合了 VR、AI、智能导航等多种技术，使其具备了强大的拟人化执行能力，例如转弯、开门、抬起物品等，在安保领域已实现场景化落地。	

公司	型号	硬件配置（处理器）	操作系统	软件算法		
				认知与决策	感知与交互	运动控制
		Xavier 用于 AI 推理		学会新的动作。2、通过语言调节和专家演示相结合的方式进行全面的端到端的培训。		
美国宇航局	Valkyrie	/	/	高级目标执行：使用 Affordance Theory（AT）定义机器人的编码策略，通过一系列在这些对象帧中定义的末端效应路点轨迹和姿态位置来操作对象。	1、在视觉感知层面，使用地形分割算法。2、在导航层面，使用增量式启发式搜索方法。3、自动创建了一个对象注册方案来自动将已知对象网格模型与激光雷达点云数据进行匹配（使用迭代最近点算法）。	1、使用基于动量的全身控制算法（二次规划）。2、任务空间控制和存储姿态：例如对于 Valkyrie 的手，使用了一个快速的在线 IK（逆向运动学）解决方案来预览用户指定的末端执行器的姿态。
Engineered Arts	Ameca GEN 2	/	/	采用了与 OpenAI 的 ChatGPT 类似的技术。	具备人脸与表情识别，多人语音识别等技术。	/
Agility Robotics	Digit	两个英特尔 i7 多线程 CPU	基于 Linux 的实时操作系统	基于层级控制，通过强化学习轨迹规划与模型反馈调节实现机器人的步态平衡与运动控制。具体使用了神经网络轨迹规划器、反馈调节模块、动作空间降维方法、策略训练、奖励函数等算法。		
Aldebaran Robotics（软银）	NAO	Intel Atom e3845	NAOqi 系统和用于编程和可视化的 Choregraphe 套件	/	1、语言交互：具备语音合成和自动语音识别功能，适用超过 20 种语言；拥有 Mitek 智慧大脑，可实现自主高智能的对话交流。2、人脸识别：采用两个高清摄像头，通过视觉软件，可再现图片及视频流，且包含了一系列算法，用于探测和识别不同的面部和物体形状。3、声源定位：基于“到达时间差”法，根据感知信息通过数学运算可获得声源的当前位置。	1、全方位行走：使用简单动态模型（线性倒摆，LIPM）及二次规划，根据感知信息完成行走平衡。2、全身运动：基于逆运动学原理保持平衡。3、摔倒管理：主要功能在于探测机器人的重心是否超出支持多边形的范围，该支持多边形根据接触地面的双足位置来确定，在机器人摔倒时起到保护作用。
	Pepper（轮式）	Intel Atom e3845		/	具备语音、表情识别技术以及分析表情和声调的情绪识别技术。	拥有呈现优美姿态的关节技术。
Figure	Figure 01	/	自研	未来将整合 AI 技术（如 LLM、视觉语言模型）、将具备与云端通信的能力，对于一些不需要高带宽、不必担心延迟问题的任务，例如规划机器人的下一步行动等高级行为，将部署在云端	感知层面使用了较多机器学习算法。	动态双足行走（依赖于动量来保持平衡），采用行走算法，正在努力开发机器人在摔倒情况下的安全行为。

公司	型号	硬件配置（处理器）	操作系统	软件算法		
				认知与决策	感知与交互	运动控制
				处理。		

资料来源：各公司或研究机构官网，各公司官方微信公众号，Explorer Robots，高工机器人，2023 年世界机器人大会官网，机器人大讲堂公众号，新智元公众号，机器之心公众号，DF 创客社区公众号，华宝证券研究创新部

注：“/”为未公布，未公布不代表没有。

4.5. 商业化情况：工业、物流或为优先突破场景，成本/价格有下降空间，商业化落地在即

人形机器人的能力范围与应用场景规划相关，大部分厂商规划未来将人机应用在工业制造、物流仓储、家庭服务领域，其中工业制造、物流运输或为人形机器人优先商业化场景。首先，人形机器人的能力与产品应用场景是匹配的，例如规划用于工业或商业领域、家庭服务场景的机器人，一般会具备较强的工作能力与交互能力，相比之下运动能力并不突出，规划用于教育场景的机器人则在交互能力上更强，规划用于特种服务场景的机器人，在运动能力与工作能力上相对更强，而规划用于家庭陪伴场景的机器人，在交互能力、工作能力上更为注重。其次，从时间线上看，过去（2022 年之前，下同）发布的人形机器人产品主要以科研教育、商业服务或特种服务应用为主，以上应用领域需求空间较小、技术实现难度相对低，而最近一两年（2022 年之后，下同）发布的人形机器人产品则把目光更多投向工业制造、物流仓储、家庭服务领域，人形机器人产品的应用领域范围有扩大趋势，且以上领域均为需求空间大、技术实现难度相对高的领域，相应地，人机产品的工作能力（广度和深度）、交互能力均有所加强。最后，从应用领域实现路径上看，最近一两年发布的产品大多计划优先在工业制造（尤其是汽车制造）或物流运输（包含仓储）领域进行落地，其次是商业服务和家庭服务，较多厂商认为人机在家庭服务领域的落地需要一定时日才能实现。

人形机器人量产在即，成本/价格有较大下降空间。当前已有小部分人形机器人产品已实现量产，例如达闼的 Ginger 机器人、1X Technologies 的 EVE、Aldebaran Robotics 的 NAO 和 Perpper（已停产）等，近一两年发布的人形机器人产品大多规划在近 1-3 年内量产，且有较为明确的量产规划，例如 Agility Robotics 正在塞勒姆建造世界上第一座人形机器人工厂，将于 2023 年底正式开业并进行产能爬坡，最终具备 10000 台/年的产能，特斯拉预计 2024 年在自己的工厂进行实用性测试，并拟在其得州工厂部署数千个 Optimus。此外，成本/价格有较大下降空间，商业化可能性增加。过去人形机器人产品商业化难度较高，主要原因在于落地场景窄（需求空间小）、功能不强、价格昂贵，例如已退役的 ASIMO 售价为 250 万美元/台、价格 200 万美元/台的 Atlas 也未能实现商业化、已停产的 Pepper 运动及工作能力不强，而过去成功商业化且未停产的产品为 NAO，其价格较低（7000-8000 美元/台，折合人民币约 5 万-6 万之间）且垂直切入教育科研应用场景。而近一两年发布产品的厂商对未来量产的成本或售价均有降低预期，例如 Agility Robotics 预计 Digit 量产价格将低于当前原型机价格（25 万美元/台），小米 CyberOne 当前单台成本为 10 万美元左右，未来整机成本将控制在 20-30 万人民币/台。同时厂商规划的量产成本/价格远低于过去发布的人机产品，例如特斯拉将数百万量产的规模将把成本控制在 2 万美元以内，智元预计将把远征 A1 的单台成本控制在单台 20 万人民币以内，达闼小紫 XR-4 未来价格规划为单台 30 万元左右，以上价格远低于 ASIMO、Atlas 等产品价格。总的来说，从代表性产品来看，过去产品价格大多在百万人民币及以上、成本在 60 万人民币以上，而近一两年发布产品的厂商对产品未来的成本将控制在 10-30 万人民币之间、而价格预计在 10-60 万人民币之间。

表 8：国内外代表性人形机器人产品及公司情况梳理表-5（商业化情况梳理与对比）

公司	型号	能力			应用场景	单台成本	单台售价	量产计划	近期合作或投资方
		运动	工作	交互					
优必选	Walker X	复杂地形自适应，平稳快速行走；动态足腿控制，自平衡抗干扰；自主路径规划。	卓越的物体识别分拣与操作能力，自主操控冰箱、咖啡机、吸尘器等家电；末端柔顺控制，完成按摩、拧瓶盖、端茶倒水等家居任务。	可在复杂环境中识别人脸、手势、物体等信息，丰富准确地理解和感知外部环境；多模态情感交互，仿人共情表达。	已覆盖科技馆、影视综艺、商演活动、政企展厅等商用服务场景，以及运动控制、机器视觉、定位导航等科研开发场景。后续将先在工业场景进行验证（分拣、搬运），家庭场景则分陪伴场景、服务场景逐步实现。	单台 10 万美元左右	Walker X 约 360 万人民币/台（招股说明书 2022 年 1-9 月数据）	预计 2023 年 12 月发布工业版人形机器人 Walker S，2024 年商业化落地。	与新能源汽车制造供应链企业天奇股份成立合资公司，专注于汽车领域应用的人形机器人的研发、制造及整体解决方案。投资方包括比亚迪、腾讯、科大讯飞等，2019 年 3 月公司估值约为 357.50 亿人民币。
智元	远征 A1	跳舞、跑酷（未来规划）	工业场景：可以在汽车产线中从事地盘装配、外观检测；在工厂中进行 3C 产品的组装修配、物料搬运；在生化实验室中帮助研究员进行样本制备、样本扩增。家庭场景：在烹饪场景中磕鸡蛋；能帮助老人吃药；能帮助孩子辅导功课。	/	首先应用于工业制造领域（底盘装配、齿轮模组工位、样本制备），随后逐步走向家庭（机器人管家，厨子、保姆、医护，预计 5-8 年之后）。	单台 20 万人民币以内（未来规划）。	/	目前智元机器人称已经和多家头部制造业服务企业对接，预计 2024 年商业化落地。	投资方包括比亚迪、百度等，2023 年 5 月公司估值约为 80.00 亿人民币。
达闼	小紫 XR-4（双足）	跑步、跳跃（未来规划）	在养老院照顾老人，在咖啡厅提供送咖啡等服务	/	家庭保姆机器人（终极目标）	/	单台 30 万元左右（未来规划）	将于 2024 年正式发布，2025 年规模量产	投资方包括软银中国、富士康等，2023 年 7 月公司估

公司	型号	能力			应用场景	单台成本	单台售价	量产计划	近期合作或投资方
		运动	工作	交互					
			务（未来规划）。					产，实践达阔创立之初“2025家庭保姆，2035全球商用”的企业初心。	值约为200.00亿人民币。
	Ginger 2.0(轮式)	自主定位导航和避障	可实现高精度智能抓取，各种外设工具操控。	多角色情感人机交互，多表情表达。	定位为智能服务机器人，应用场景包括康养陪护、迎宾导览、教育科研、清洁打扫、卖场促销、直播带货等。	/	/	已量产	/
宇树	Unitree H1	拥有稳定的步态和高度灵活的动作能力，能够在复杂地形和环境中自主行走和奔跑，平稳应对冲击干扰。	/	/	预计将在工业领域优先落地，已经在某流水线工厂中进行实际场景验证。	/	单台9万美元以内（未来规划）	预计2023Q4量产，正式发售。	投资方包括海克斯康集团等，2022年4月公司估值约为15.00亿人民币。
小米	CyberOne(铁大)	行走姿态平稳	/	能够实现人物身份识别、手势识别、表情识别、环境音识别、情绪识别，通过显示模组进行交互。	服务场景：主要用于家庭和高校，包括教育、娱乐和陪伴等。工业领域：拓展在新能源车制造、3C制造等领域的应用。	当前单台成本为10万美元左右，未来整机成本控制在20-30万人民币/台。	/	CyberOne暂时不会实现量产	/
傅利叶	Fourier GR-1	可实现直腿行走、快速行走、敏捷避障，稳健上下坡、应对冲击干扰。	/	与人协同完成动作	在工业制造、养老陪护、接待引导以及安全巡检等场景具有较大的应用潜力。	/	/	2023年年底正式量产发售	投资方包括IDG资本等，2021年7月公司估值约为22.75亿人民币。
追觅	通用人形机器人	/	咖啡拉花	/	规划的商业化路径排序是：商用、工厂、家庭。其中家庭场景的实现至少还需要十	/	/	/	投资方包括昆仑万维、小米集团等，2021年10月公司估值约

公司	型号	能力			应用场景	单台成本	单台售价	量产计划	近期合作或投资方
		运动	工作	交互					
					年。				为 165.00 亿人民币。
帕西尼	Tora（轮式）	/	灵巧手操作，如捏、抓、按、提、推等基础动作及其复合动作，同时可衍生出高灵活性的操作，如捡取、搬运、装配等任务。	/	/	/	/	/	2023 年 8 月公司估值约为 0.10 亿人民币。
理工华汇	汇童	可实现快速行走、单脚跳跃、双脚离地奔跑等一系列高难度运动，是目前国际上跳的最高、最远的电机驱动人形机器人。	通过人形机器人遥控操作抓取特定目标物体。	/	可用于代替人类完成一些重复劳动和危险的作业	/	/	/	/
浙江大学	悟空-4	可跑可跳，实现室外不平整路面的稳定行走，可上下 25 度斜坡和 10 厘米台阶。	/	/	/	/	/	/	/
小鹏	PX5	能够轻松适应草地、碎石等多种复杂地形，能直腿行走，可以完成 2 小时以上的室内外行走和越障，平稳应对冲击干扰，具备踢足球、骑平衡车等技能。	能够执行与人类类似的精细抓取动作，例如能够抽纸巾、倒水、握笔写字等。	/	预计 2024 年正式用于工厂巡逻或门店卖车。	当前单台成本约 80 万人民币，预计 2024 年降低至 20 万人民币/台，批量生产时成本降至 10 万人民币/台。	/	2024-2025 年量产，未来规划 2024 年具备 20 台/年的产能，2025 年产能达到每年上百台。	/
开普勒	先行者 r K1 D1	可在复杂地形行走、智能	可强力负重搬运、手部	可智能交互沟通	K1：教育科研，自动化生产线	/	预计对外售价 2-3	量产路径：第一代先	/

公司	型号	能力			应用场景	单台成本	单台售价	量产计划	近期合作或投资方
		运动	工作	交互					
	S1	规避障碍	灵活操控		(检测、装配、质检)，搬运和运输。S1：智能巡检，户外作业。D1：高危作业。(未来规划)		万美金之间	用于科研领域，第二代用于工业领域。(未来规划)	
中国电科 21 所、电科机器人	人形机器人	可以在斜坡、碎石地、草地等非平整路面上如履平地。	已具备拿水杯、搬运箱子等灵巧操作能力。	/	目前已初步完成整机在智慧物流场景下的测试应用验证，未来还将拓展工业制造、安防巡逻、应急救援等应用领域。	/	/	/	/
特斯拉	Optimus	自主行走，并且利用视觉学习周围的环境；可单腿原地跳跃、完成深蹲；可以进行简单瑜伽动作，平衡感强。	可拿取物体，手臂力道控制精确，可拧螺丝，可不打碎鸡蛋（二指捏鸡蛋）；柔性手掌可以拿捏不同物品；能完成积木分类，拾取与放置物体。	/	将优先运用于工厂生产，当智能性和规模量产的问题解决后，将用于家庭服务，例如照顾老人和孩子、整理家务、做饭等。	数百万量产的规模将把成本控制在 2 万美元以内。	/	预计 2024 年在特斯拉自己的工厂进行实用性测试，并拟在其得州工厂部署数千个 Optimus，最终推广到全球范围；预计在 2025-2028 年左右量产并上市，量产规模达数百万台。	/
本田	ASIMO	腿部具备行走、跑步、单/双脚跳，以及上下楼梯等能力。	手部可完成端茶、拧瓶、倒水开电灯、开门、拿东西、拖盘子等基本动作，还能推车。	具备智能交互功能	可用于展示、接待、娱乐等，定位为老年人的人类助手。	/	售价 250 万美元/台，租金高达 12 万人民币/天，120 万人民币/年。	2022 年退役	/
波士顿动力 (软银)	Atlas	运动能力强，可进行高难度的运动动	双臂可协同搬运重物，双手可完成	/	可应用于搜索、国防任务测试、极端环境救援等	/	200 万美元/台	未进行商业化	/

公司	型号	能力			应用场景	单台成本	单台售价	量产计划	近期合作或投资方
		运动	工作	交互					
收购)		作（立定跳跃、跳高、跳转身和后空翻、跑酷、三连跳）。	开关门和抓取物体的动作。		场景。				
1X Technologies	NEO	可以走路、慢跑、爬楼梯，可自主导航。	可抓取东西	可通过面部表情进行交流	工业场景：擅长安全、物流、制造、操作机械和处理复杂任务等领域的工业任务；消费场景：给家庭提供有价值的帮助，完成清洁或整理等家务劳动。预计1年内首先落地室内安防场景，5年内落地物流、医疗康养等场景。（未来规划）	/	/	预计 2024 年发布，预计在 5-10 年内实现量产商业化。	投资方包括 OpenAI。
	EVE（人形轮式）	/	可以移动货物，处理易碎物品，可融入物流、仓储、配送等工作流程。	可通过面部表情进行交流	应用场景包括物流配送、园区巡检、零售商店。	/	15 万美元/台	已经实现量产并成功商业化，在 2022 年已向 ADT Commercial 交付了 140 台机器人，应用于夜间巡逻工作，2023 年 1 月公司表示今年目标是部署 150 到 300 台机器人。	/
	Valkyrie	可自主行走、单脚站立	可以拿起并操作物体，拧螺丝，可完成的临时爆炸装置响应的任务。	/	可应用于危险环境作业（救灾）、进行无人和海上能源设施的远程看守工作，此外可作为宇航员助手进行太空作	/	200 万美元/台	已经进入商业化赛道	/

公司	型号	能力			应用场景	单台成本	单台售价	量产计划	近期合作或投资方
		运动	工作	交互					
					业。				
Engineered Arts	Ameca GEN 2	无法行走	/	可通过面部表情、手势动作、语言进行多轮交流。	展会导览、教育、科研、招待等商业化服务场景。	/	购买价格超过10万英镑/台	目前仍未实现商业化量产	/
Agility Robotics	Digit	能够实现崎岖地形穿越，越过障碍物，具有稳健的步行和跑步步态，可在非结构化环境中实现爬楼梯和自主导航。	可操纵手臂执行基本任务，例如移动手提袋和包裹、卸货拖车、最后一英里物流配送。	/	已进入亚马逊位于萨姆纳的BF11运营中心进行打工测试，作为仓储机器人在工厂上岗，负责回收亚马逊标志性的黄色箱子，还能下蹲完成堆放物品和简单的任务。未来将率先在自己的工厂运输材料。此外也将用于学术科研、远程实现、工业自动巡检、娱乐等场景。	/	为预生产测试创建的原型价格为25万美元，但商业版本的价格将低于这一价格。	正在塞勒姆建造世界上第一座人形机器人工厂，将于2023年底正式开业并进行产能爬坡，最终具备每年生产10000台量产能力。参与公司合作伙伴计划的客户都有望在2024年收到第一批机器人（预计数百个），并计划于2025年在一般市场上市开售。	投资方包括亚马逊创业基金。
Aldebaran Robotics（软银）	NAO	可在多种地面上行走，如地毯、瓷砖地、木质地板等，跳舞、踢足球。	/	可通过语言进行对话交流，可识别人脸、声纹。	桌面级的小型机器人，广泛应用于机器人研究、人工智能、计算机科学等教育以及医疗服务领域，已成为600多所大学、实验室和学校用于教育和研究的国际采用平台。	/	7000-8000美元/台	已量产，已商业化落地。	/
	Pepper	/	手和胳膊不	可通过语	被设计为伴侣和	/	198000日	已量产，但	/

公司	型号	能力			应用场景	单台成本	单台售价	量产计划	近期合作或投资方
		运动	工作	交互					
	(轮式)		能灵活操作	言、表情、动作进行对话交流，能识别并对人类的基本情绪做出适当的反应。	助手机器人，可用于迎宾接待、产品顾问、排队管理、数据分析，场景包括医疗、商业、教学、公共服务等。		元（约合人民币10650元，2015年价格）	由于商业化无果，2021年已停产。	
Figure	Figure 01	可行走，具备自主导航的能力。	具备自主地捡东西、搬运物品。	可通过屏幕交流（未来规划）。	最初将用于工业场景，包括制造、物流、仓储等，此外还可用于零售、看护等服务场景以及太空探索场景。预计到2030年左右，才可能看到人形机器人在家庭环境中的广泛应用。	/	/	预计2023年下半年推出，未来1-2年内将不断迭代。	2023年5月时公司估值已超4亿美元。

资料来源：各公司或研究机构官网，各公司官方微信公众号，Explorer Robots，高工机器人，2023年世界机器人大会官网，机器人大讲堂公众号，新智元公众号，机器之心公众号，DF创客社区公众号，iFind，路透社，华宝证券研究创新部

注：“/”为未公布，未公布不代表没有；投资方及估值相关数据取自iFind，路透社。

5. 风险提示

产业政策支持力度不及预期：人形机器人产业作为新兴技术产业，初期研发投入与设备投入较高，盈利压力大，需要依靠政府相关政策支持，若产业政策支持不及预期，企业发展将受到一定负面影响。

行业技术发展、商业化进程不及预期：人形机器人相比传统机器人技术难度更高，若行业技术发展不及预期，人形机器人在功能、智能以及应用场景方面发展将会受限，将会阻碍整个行业的发展。同时，当前各大公司布局的人形机器人存在量产节奏、商业化进程不及预期，下游缺乏刚性需求场景等可能性。

行业竞争加剧：当下越来越多企业布局人形机器人领域，部分产业链企业也逐渐向上下游延伸，各细分领域均可能面临企业进行价格战等竞争加剧的风险，故存在企业盈利能力下降的可能性。

原材料价格、设备价格波动的风险：机器人行业处于产业链中游，生产过程中需要采购原材料（如高端金属/非金属材料、芯片等）、生产设备，而关键的高端材料和高端设备目前仍需进口，同时对上游议价能力不强，因此需要关注上游原材料、设备价格变化情况，可能会对企业盈利或者下游需求产生影响。

下游行业需求不及预期：根据各厂商产品规划，人形机器人下游包含工业制造业、商业服务业、个人服务业等，其作为设备投资品、个人消费品，易受到下游景气度影响。若下游行业

需求或消费低迷，可能会导致相关产业投资及资本开支、消费开支下降，进而导致行业销量萎缩。

人形机器人存在伦理道德风险：当人形机器人具备了人类的感知、思考与感情之后，将可能出现伦理和道德问题，包括人形机器人的隐私和安全性问题、人形机器人的替代性问题，人形机器人是否应该受到道德规范的约束，人形机器人是否能够拥有道德感等等。

分析师承诺

本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告，本报告清晰准确地反映本人的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体建议或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

公司和行业评级标准

★ 公司评级

报告发布日后的 6-12 个月内，公司股价相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

买入：	相对超出市场表现 15% 以上；
增持：	相对超出市场表现 5% 至 15%；
中性：	相对市场表现在 -5% 至 5% 之间；
卖出：	相对弱于市场表现 5% 以上。

★ 行业评级

报告发布日后的 6-12 个月内，行业指数相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

推荐：	行业基本面向好，行业指数将跑赢基准指数；
中性：	行业基本面稳定，行业指数跟随基准指数；
回避：	行业基本面向淡，行业指数将跑输基准指数。

风险提示及免责声明

★ 华宝证券股份有限公司具有证券投资咨询业务资格。

★ 市场有风险，投资须谨慎。

★ 本报告所载的信息均来源于已公开信息，但本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。

★ 本报告所载的任何建议、意见及推测仅反映本公司于本报告发布当日的独立判断。本公司不保证本报告所载的信息于本报告发布后不会发生任何更新，也不保证本公司做出的任何建议、意见及推测不会发生变化。

★ 在任何情况下，本报告所载的信息或所做出的任何建议、意见及推测并不构成所述证券买卖的出价或询价，也不构成对所述金融产品、产品发行或管理人作出任何形式的保证。在任何情况下，本公司不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的承诺或担保。投资者应自行决策，自担投资风险。

★ 本公司秉承公平原则对待投资者，但不排除本报告被他人非法转载、不当宣传、片面解读的可能，请投资者审慎识别、谨防上当受骗。

★ 本报告版权归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何组织或个人不得对本报告进行任何形式的发布、转载、复制。如合法引用、刊发，须注明本公司出处，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。

★ 本报告对基金产品的研究分析不应被视为对所述基金产品的评价结果，本报告对所述基金产品的客观数据展示不应被视为对其排名打分的依据。任何个人或机构不得将我方基金产品研究成果作为基金产品评价结果予以公开宣传或不当引用。

适当性申明

★ 根据证券投资者适当性管理有关法规，该研究报告仅适合专业机构投资者及与我司签订咨询服务协议的普通投资者，若您为非专业投资者及未与我司签订咨询服务协议的投资者，请勿阅读、转载本报告。