

| 证券研究报告 |

人形机器人产业系列报告（一）

——三重因素加速行业发展，产业链迎来新机遇

2023.11.03

冯胜

中泰中游制造负责人&先进产业研究首席

执业证书编号：S0740519050004

齐向阳

中泰先进产业研究组 分析师

执业证书编号：S0740523100001

曹森元

中泰先进产业研究组 研究助理

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

核心观点

□ 发展历史已久，人形机器人初具产业基础：

首台双足机器人诞生于1969年，至今已有五十余年发展历史。从产业角度来看，海内外已涌现出一批以特斯拉、优必选为代表的人形机器人主机厂，并在视觉识别、语言模型、电驱伺服等多项软硬件技术上取得突破。目前人形机器人已经能初步应用于教育、医疗、工业等行业，未来有望覆盖几乎所有涉及人类作业的下游场景。

□ 人形机器人有望借鉴电动车行业技术&产业链，市场空间广阔：

1) 人形机器人与电动车均以电力为直接能源，天然地支持数据运算和信号传输环节，为智能化提供了坚实底座。人形机器人有望借鉴电动车发展经验，复用其技术&产业链：①架构方面，人形机器人有望参考电动车采用“感知层-决策层-执行层”的架构；②技术方面，人形机器人有望复用视觉等电动车领域的人工智能模型；③产业链方面，特斯拉先后发力电动车、人形机器人的经验表明，人形机器人有望复用电动车产业链。

2) 人形机器人在结构上与人类类似，未来有望覆盖所有涉及人类作业的下游场景。据高盛预测，最理想情况下，2035年人形机器人市场空间有望达1540亿美元。长期来看，特斯拉认为人形机器人的需求量远超电动车，可能会达到100亿至200亿个；假设人形机器人价格为10万元/台，按十年折旧期计算，每年新增市场空间超百亿元。

□ 三重要素催化，人形机器人行业有望迎来发展拐点：

人形机器人尚处产业化初期，在大模型技术突破、政策加码、特斯拉强势入局三重要素催化下，有望迎来发展拐点。未来人形机器人行业大概率经历“生产扩张->需求扩张->产能出清”的过程，最终实现产品降本和行业健康发展。

1) 大模型日趋成熟，有望显著提升人形机器人智能化水平：以Transformer架构为代表的新技术涌现，推动大模型日趋成熟，并表现出更强的智能性。在大模型技术的加持下，人形机器人的可用性有望显著增强，有望迅速打开下游应用场景。

核心观点

2) 特斯拉强势入局, “鲶鱼效应”带动行业发展: 2021年特斯拉正式入局人形机器人行业, 经过两年的大力投入实现了产品快速迭代, 完成了算力、模型、硬件等多方面的技术&产品突破; 通过示范效应, 吸引了众多玩家入局。

3) 国内政策加码, 推动人形机器人行业加速落地: 2023年, 北京\上海\深圳等地区密集出台人形机器人相关政策, 工信部以榜单的形式积极鼓励人形机器人产业发展, 产业前期培育期投入产出不匹配的问题, 有助于推动国内人形机器人行业健康发展。

□ 人形机器人核心零部件总价值量约10万元/台:

- ①传感器: 单机使用力、视觉、惯性传感器, 单机总价值量为2.3万元;
- ②滚动轴承: 单机用量为84-96套, 单套价格为50~100元, 对应单机总价值量为4200~9600元;
- ③滑动轴承: 单机用量为75-150套, 单套价格为10元, 对应单机总价值量为750~1500元;
- ④无框电机: 单机用量为28套, 单套价格为1500元, 对应单机总价值量为4.2万元;
- ⑤空心杯电机: 单机用量为12套, 单套价格为500元, 对应单机总价值量为0.6万元;
- ⑥滚柱丝杠: 单机用量为14套, 单套价格为1500元, 对应单机总价值量为2.1万元。

□ 建议关注:

- 【关节总成】三花智控、拓普集团;
- 【传感器】中航电测、柯力传感、芯动联科、奥比中光;
- 【轴承】长盛轴承、苏轴股份、斯菱股份、五洲新春、力星股份;
- 【电机/减速器/钢丝绳】祥明智能、中大力德、大业股份、鸣志电器、步科股份、鼎智科技;
- 【滚柱/滚珠丝杠】长盛轴承、恒立液压、汇川技术、秦川机床、鼎智科技。

□ 风险提示: 人工智能&大模型技术发展不及预期、人形机器人商业化进程不及预期、行业规模测算偏差风险、研报使用的信息存在更新不及时风险等

目录

CONTENTS

- ① 人形机器人有望成为具身智能最好的载体
- ② 以Optimus为例解析人形机器人架构
- ③ 智能算法构筑人形机器人“大脑”
- ④ 核心零部件企业迎来发展新机遇
- ⑤ 相关标的：海内外齐发力，千山待越
- ⑥ 投资建议



1

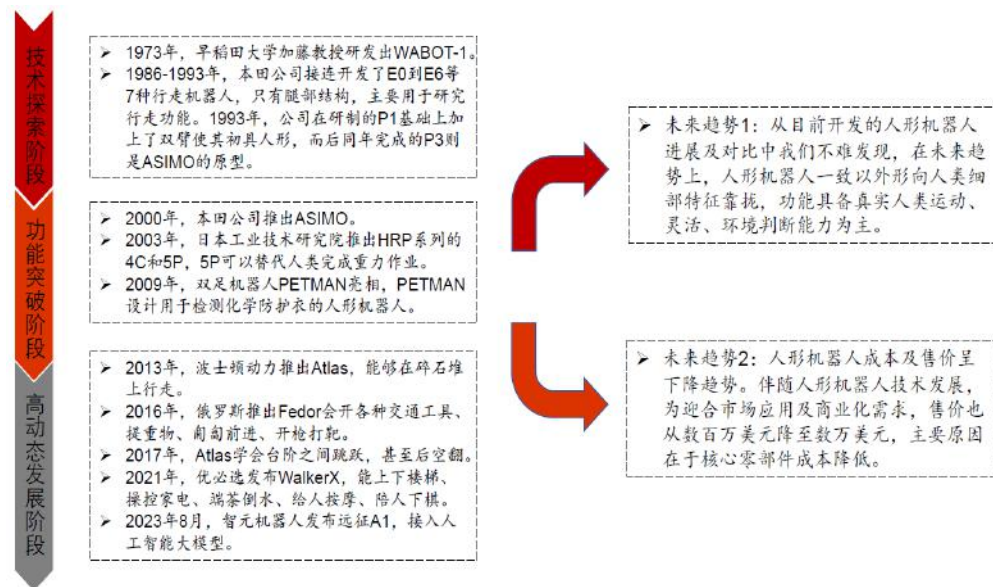
人形机器人有望成为具身智能最好的载体

领先 | 深度

1.1 人形机器人发展历史已久，海外起步更早

- 首台双足机器人诞生于1969年，至今已有五十余年发展历史。随着零矩点（ZMP）稳定性理论被攻克，人形机器人逐步由静态机转向动态机发展。波士顿动力、软银、亚马逊等企业纷纷布局人形机器人行业，2021年特斯拉强势入局，推动了全球人形机器人行业加速发展。
- 在全球人形机器人产业逐步成长的背景下，2000年国内首台人形机器人“先行者”（国防科大发布）问世，并涌现了优必选、小米、傅利叶、达闼等一批人形机器人主机厂。

图表1：人形机器人发展沿革



来源：前瞻产业研究院，中泰证券研究所

图表2：人形机器人行业竞争格局



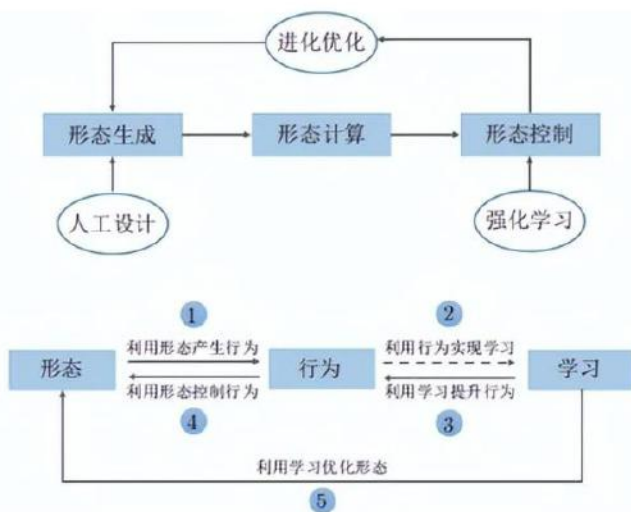
来源：前瞻产业研究院，中泰证券研究所

1.2 人形机器人有望成为具身智能最好的载体

□ 具身智能浪潮下，机器人有望表现出强智能性。传统机器人只能基于预设程序进行固定作业，不具备独立处置突发（非程序内）问题的能力。伴随“具身人工智能（embodied AI）”成为下一波人工智能浪潮，机器人有望通过与环境交互感知，自主规划、决策、行动，进而获得更强的智能化属性。

□ 人形机器人有望成为具身智能最好的载体。具身智能因为需要外界信息反馈，所以一定要依赖于硬件实体。人形机器人一方面由于其与人类相似，能够更好地服务人类，所以有望成为数量最大的机器人类型；另一方面由于其下游应用广泛，所以有望接触更多复杂场景。得益于未来人形机器人基数大&场景复杂的特性，其有望成为具身智能最好的载体。

图表3：具身智能为人工智能终极形态



来源：自动化学报，中泰证券研究所

图表4：具身机器人四大挑战



来源：腾讯网、中泰证券研究所

1.3 海内外厂商纷纷布局，产品迭代加速

□ 国内外多家厂商加速入局人形机器人，技术路线差异大。其中，以本田的ASIMO为代表的早期机器人由于高昂的成本以及系统的智能水平限制未能实现量产，而以波士顿动力为代表的液压技术路线虽然整体运动能力强、迭代速度较快，但由于其极为复杂的设计和高成本，至今未能找到成熟的商业化落地场景。在类人路线上，英国的Ameca公司生产的机器人可以实现人类面部表情的高度模仿，但运动能力有限；在通用人形机器人方面，以特斯拉为代表的技术路线有望短时间内实现量产，国内包括小米、优必选、傅利叶、智元等厂商也在加速跟进。

图表5：各主机厂人形机器人布局

型号	生产商	国家	发布时间	参数	产品特点	量产规划
ASIMO	本田	日本	2000年	身高1.3m，体重48kg，最大速度是9km/h，全身57个关节	实现小跑、单脚跳、上下楼梯以及踢足球等系列复杂运动	其高昂的价格导致未进行商业化
Atlas	波士顿动力	美国	2013年	身高1.5m，体重80kg，速度1.5m/s，依靠28个液压执行器实现各种高难度运动	高动态的运动性能，能做高难度运动动作	很难找到成熟的市场落地场景
Walker	优必选	中国	2016年	身高1.3m，体重63kg，具备36个高性能伺服关节	突破了波动地形上的自平衡，力位混合控制，不平整地面行走等技术	已实现成本可控以及稳定量产交付
GingerXR-1	达闼	中国	2019年	身高1.6m，重62kg，能够最快以1m/s速度移动，全身共34个智能柔性关节SCA	具备抓取负载能力，能完成端茶倒水、穿针引线等高难度复杂动作	可规模化量产
Ameca	Engineered Arts	英国	2021年	高1.87m，重49kg，身体共有52个模块，支持51种关节运动	实现人类面部表情的高度模仿，但运动功能非常有限	还不具备量产能力
CyberOne	小米	中国	2022年	身高1.77m，体重52kg，单手握持1.5千克重物，多达21个自由度	感知人类情绪，具有视觉建模能力	还不具备量产能力
Optimus	特斯拉	美国	2022年	身高1.72m，重量73kg，负载9kg，全身共28个自由度，灵巧手11个自由度	具有自由行走和自我组装的能力；可以在不同的环境中自主导航	24年底量产
GR-1	傅利叶	中国	2023年	身高1.65m，体重达到55kg，全身自由度多达40个，步行速度可达5km/h，负重50kg	采用自研FSA高性能一体化执行器，拥有强大且灵活的运动性能	一两年内实现量产交付
远征A1	智元	中国	2023年	身高1.75m，体重53kg，最高步速可达7km/h，全身49个自由度，整机承重80kg，单臂最大负载5kg	成本价不到20万元，自研核心关节电机PowerFlow，灵巧手SkillHand，统一软件框架AgiROS，语言任务模型WorkGPT，具身智脑El-Brain架构	预计2024年快速切入商业化落地

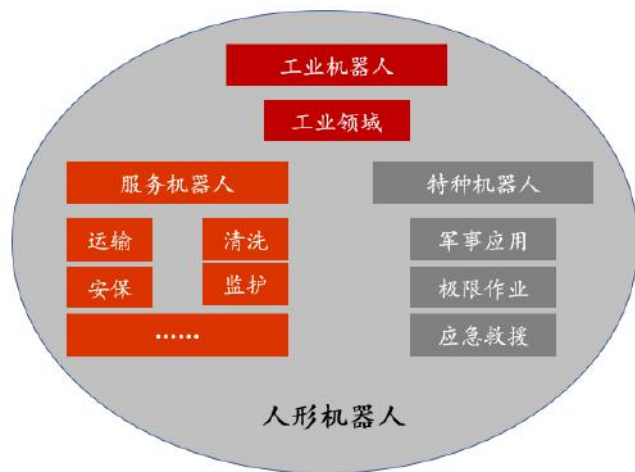
来源：上游新闻、星船智造、36Kr、达闼机器人官网、Engineeredarts、每日经济新闻、远瞻研究、腾讯新闻、傅利叶官网，中泰证券研究所

1.4 潜在市场巨大，2035年市场空间或超千亿美元

□人形机器人应用领域广泛，理论上能应用于绝大多数行业。传统的机器人分为工业机器人、服务机器人和特种机器人三类，能覆盖的下游场景有限，而人形机器人在结构上与人类类似，理论上能覆盖所有涉及人类作业的下场景，未来有望应用于多个下游行业。

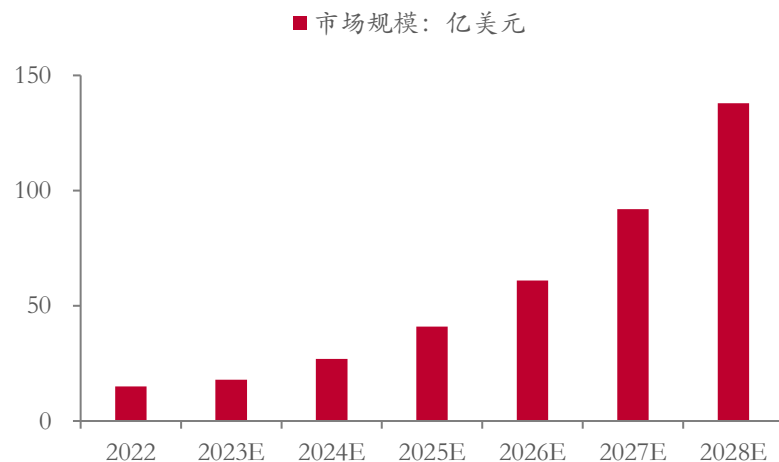
□人形机器人市场空间广阔，最理想情况下，2035年市场空间或超千亿美元。据高盛预测，未来10~15年人形机器人市场空间至少达60亿美元，最理想情况下预计2035年人形机器人市场空间有望达1540亿美元。从远期来看，马斯克预计人形机器人数量将远超电动车，假设人形机器人与人口比例为2:1，未来人形机器人需求量有望达到100~200亿台。

图表6：机器人分类及应用领域



来源：腾讯新闻，中泰证券研究所

图表7：2022-2028全球人形机器人市场规模预测趋势



来源：中商情报网，Markets and Markets，中泰证券研究所

1.5 我国政策引导人形机器人产业发展

□ 2023年我国相关政策密集出台，积极推动人形机器人产业发展。2023年5月31日，深圳市提出建设1000亿元人工智能基金群，推动智能机器人发展；6月15日，上海市在三年计划中提出加快人形机器人创新发展；6月28日，北京市提出集中突破人形机器人原型机关键技术；9月13日，工信部以榜单的形式鼓励各社会部门积极突破人形机器人核心技术。目前人形机器人产业尚处发展初期，我国各部门相关政策的密集出台有助于抢占行业先机，为人形机器人产业创建良好的发展环境，未来人形机器人行业有望在政策的持续催化下迎来加速发展的契机。

图表8：我国政策引导人形机器人产业发展

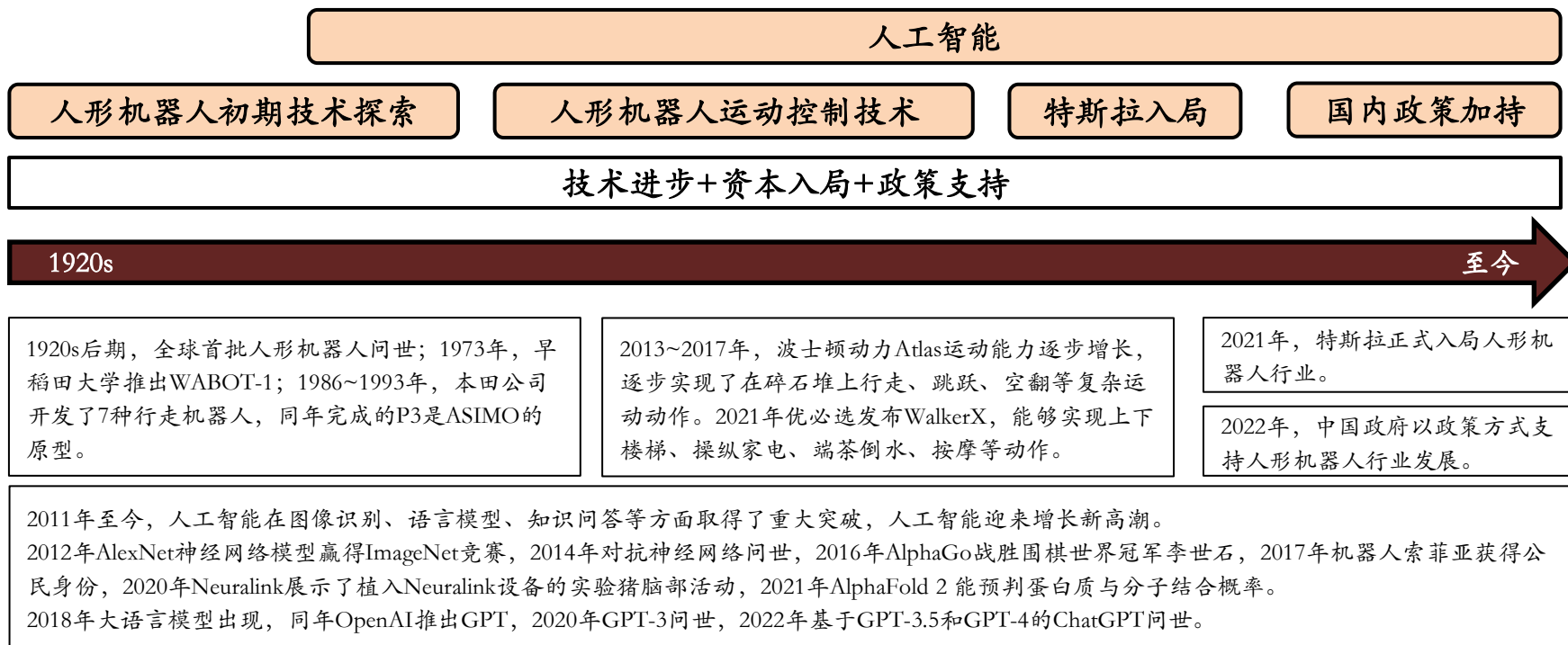
	地区	文件	内容
2023/5/31	深圳市	《深圳市加快推动人工智能高质量发展高水平应用行动方案（2023-2024年）》	统筹设立规模1000亿元的人工智能基金群，创建人工智能先锋城市；提出民生诉求平台嵌入民意速办AI机器人，积极孵化高度智能化的生产机器人，孵化高度智能化的生产机器人。
2023/6/15	上海市	《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划（2023-2025年）》	深入贯彻制造强国战略，努力打造高端制造业增长极；打造世界级产业集群，提出加快人形机器人的创新发展。
2023/6/28	北京市	《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023—2025年）》	加快推动机器人产业创新发展，紧扣机器人智能化、仿生化、模块化发展趋势，打造全球机器人产业高地；加紧布局人形机器人，支持高效和企业开展人形机器人研发攻关，集中突破人形机器人通用原型机和通用人工智能大模型等关键技术。
2023/9/13	工信部	《2023年未来产业创新任务揭榜挂帅工作》	加快人形机器人等未来产业的创新发展，鼓励企业、金融机构、科技服务机构、高校、科研院所积极参与，发掘培育一批掌握关键核心技术、具备较强创新能力的优势单位，突破一批标志性技术产品，加速新技术、新产品落地应用。

来源：工信部等，中泰证券研究所整理

1.6 以新能源车为鉴，人形机器人有望迎来加速发展

□ 人形机器人有望借鉴电动车发展经验，复用其技术&产业链。人形机器人与电动车均以电力为直接能源，天然地支持数据运算和信号传输环节，为智能化提供了坚实底座。人形机器人有望在三方面借鉴电动车行业经验：1) 架构方面，人形机器人有望参考电动车采用“感知层-决策层-执行层”的架构；2) 技术方面，人形机器人有望复用视觉等电动车领域的人工智能模型；3) 产业链方面，特斯拉先后发力电动车、人形机器人的经验表明，人形机器人有望复用电动车产业链。

图表9：我国政策引导人形机器人产业发展



1.6 以新能源车为鉴，人形机器人有望迎来加速发展

□ 新能源车由政策驱动、资本驱动逐渐转为技术驱动、需求驱动，目前人形机器人行业尚处发展初期，随着政策出台与资本加持，人形机器人可以参考新能源车的发展历程。

图表10：新能源车产业发展复盘



来源：中华人民共和国中央人民政府，wind等，中泰证券研究所整理



2

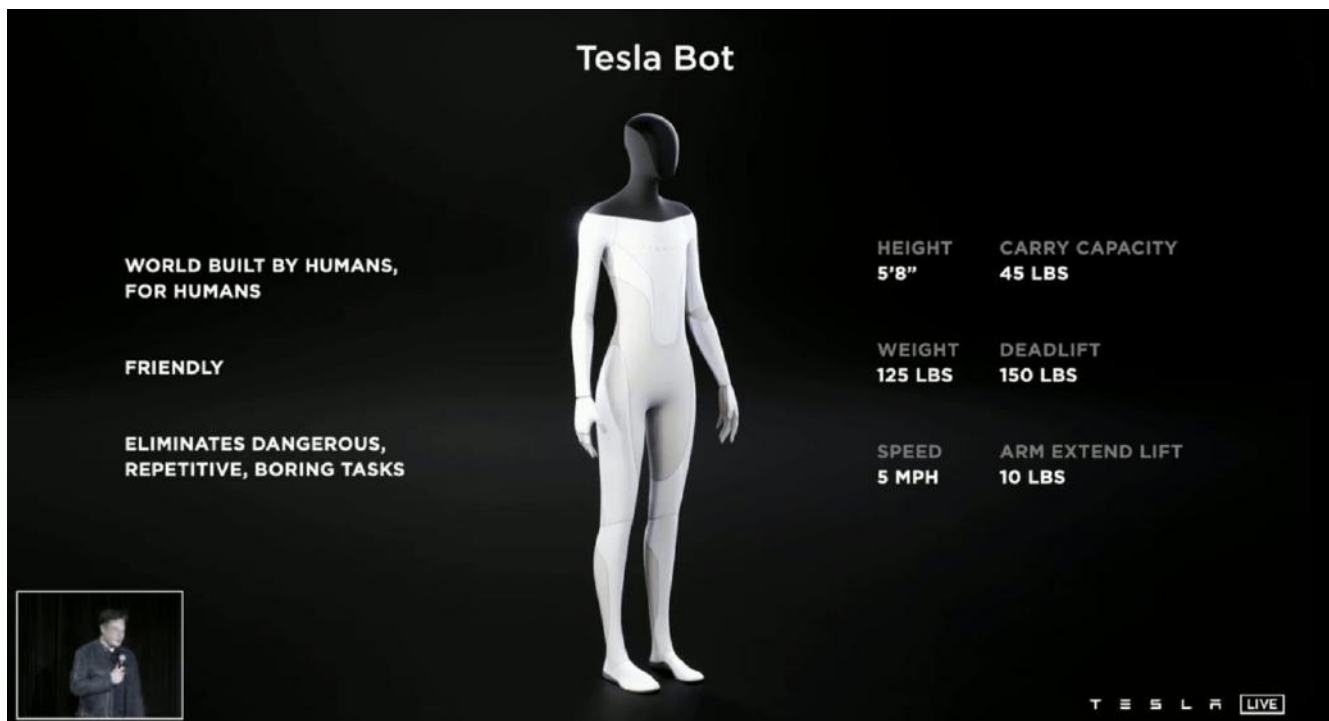
以Optimus为例解析人形机器人架构

领先 | 深度

2.1 特斯拉强势入局,加速行业发展

□ 特斯拉强势入局,“鲶鱼效应”带动行业发展。特斯拉在2021年AI Day首次发布人形机器人概念机,标志着正式入局人形机器人行业。特斯拉对人形机器人产品大力研发,解决了行业初期技术可用性问题,并通过示范效应吸引众多主机厂入局&加速研发,促进行业加速发展。同时,特斯拉通过产业化的方式逐步降低人形机器人成本,加速行业落地节奏。

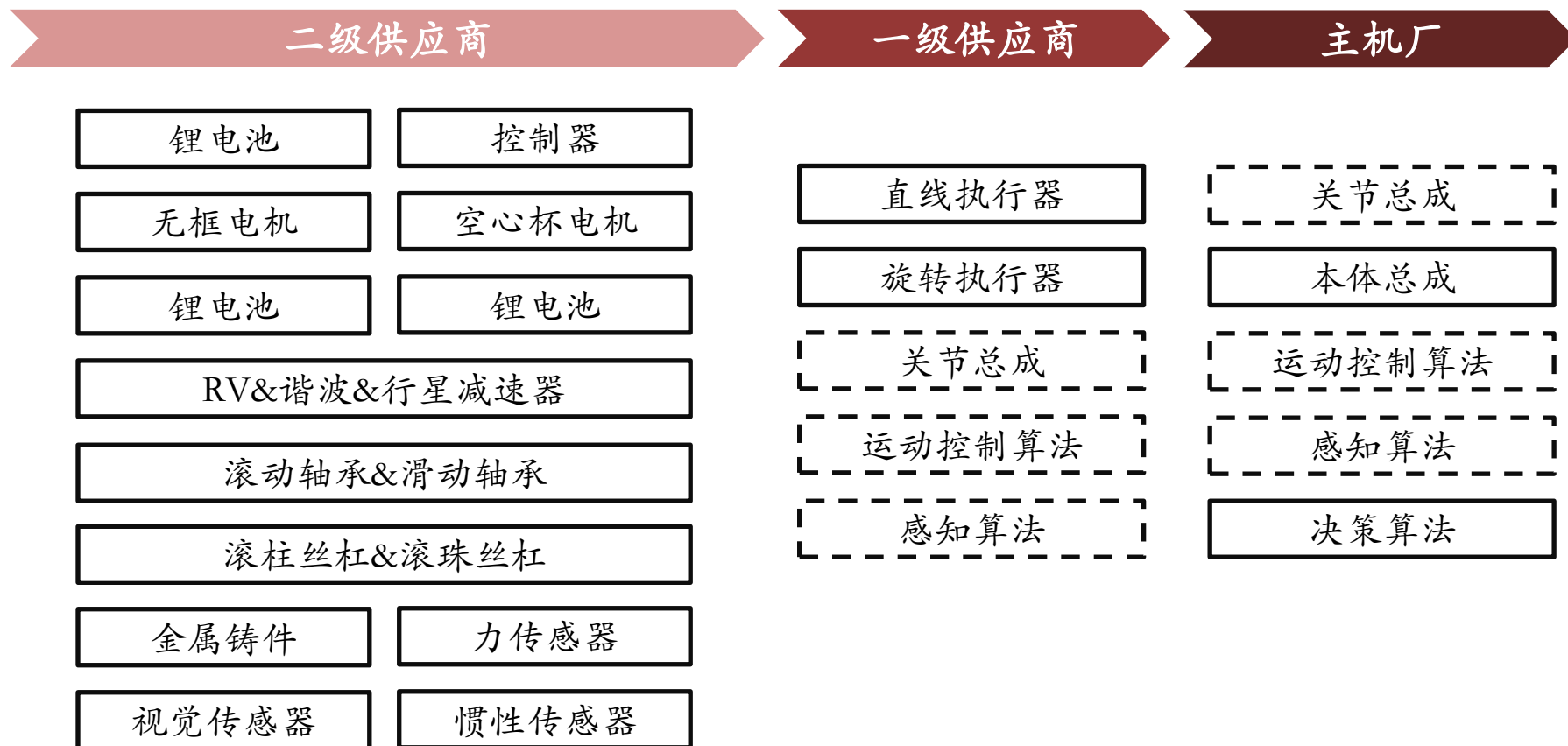
图表11: 特斯拉人形机器人核心设计参数较接近人类



来源: Bloomberg, Tesla AI day, 中泰证券研究所

2.1 特斯拉强势入局, 加速行业发展

图表12: 特斯拉人形机器人产业链展望

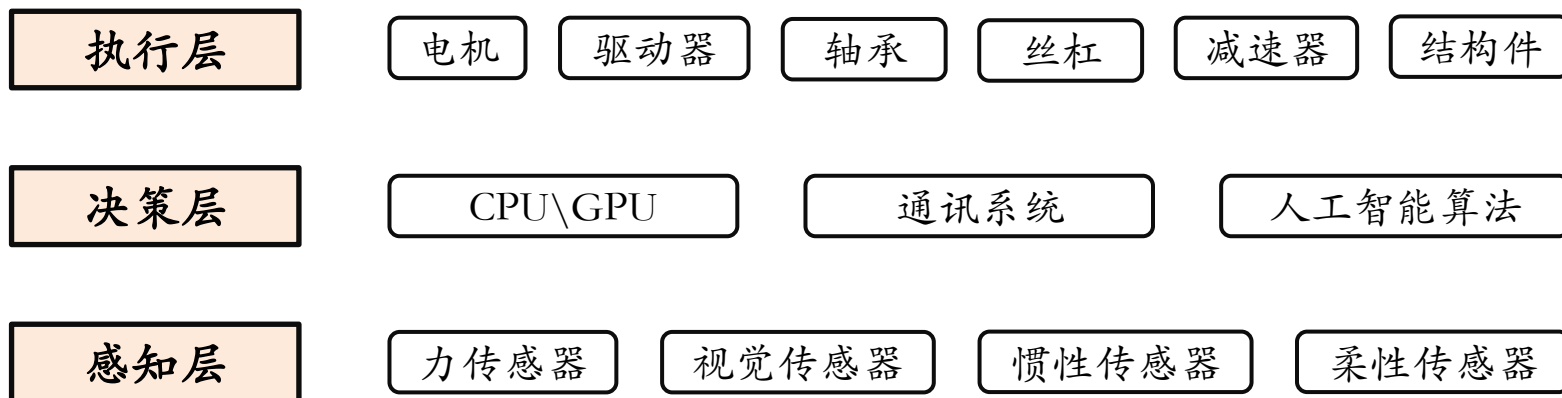


注: 虚线框表示此产品的生产不一定由本环节企业负责

2.2 人形机器人自下而上分为三层架构

- 特斯拉人形机器人或将参考其电动车架构，自下而上划分为感知层、决策层、执行层。
- 传感器是构筑感知层的关键：人形机器人中应用的传感器包括力传感器、视觉传感器、惯性传感器、柔性传感器等，通过采集多维参数实现对周围环境的感知，并向上提供数据素材供决策层使用。
- 算力&AI提供智能决策能力：CPU\GPU等芯片主要负责提供算力，人工智能算法扮演“大脑”进行智能决策，此外通讯系统扮演“神经网络”，实现于执行部件之间的信息传输。
- 核心零部件助力人形机器人精密执行动作：人形机器人需要无框\空心杯电机、电机驱动器、轴承、滚珠\滚珠丝杠，RV\谐波减速器等核心零部件，主要用于动作的精密执行。

图表13：特斯拉人形机器人架构



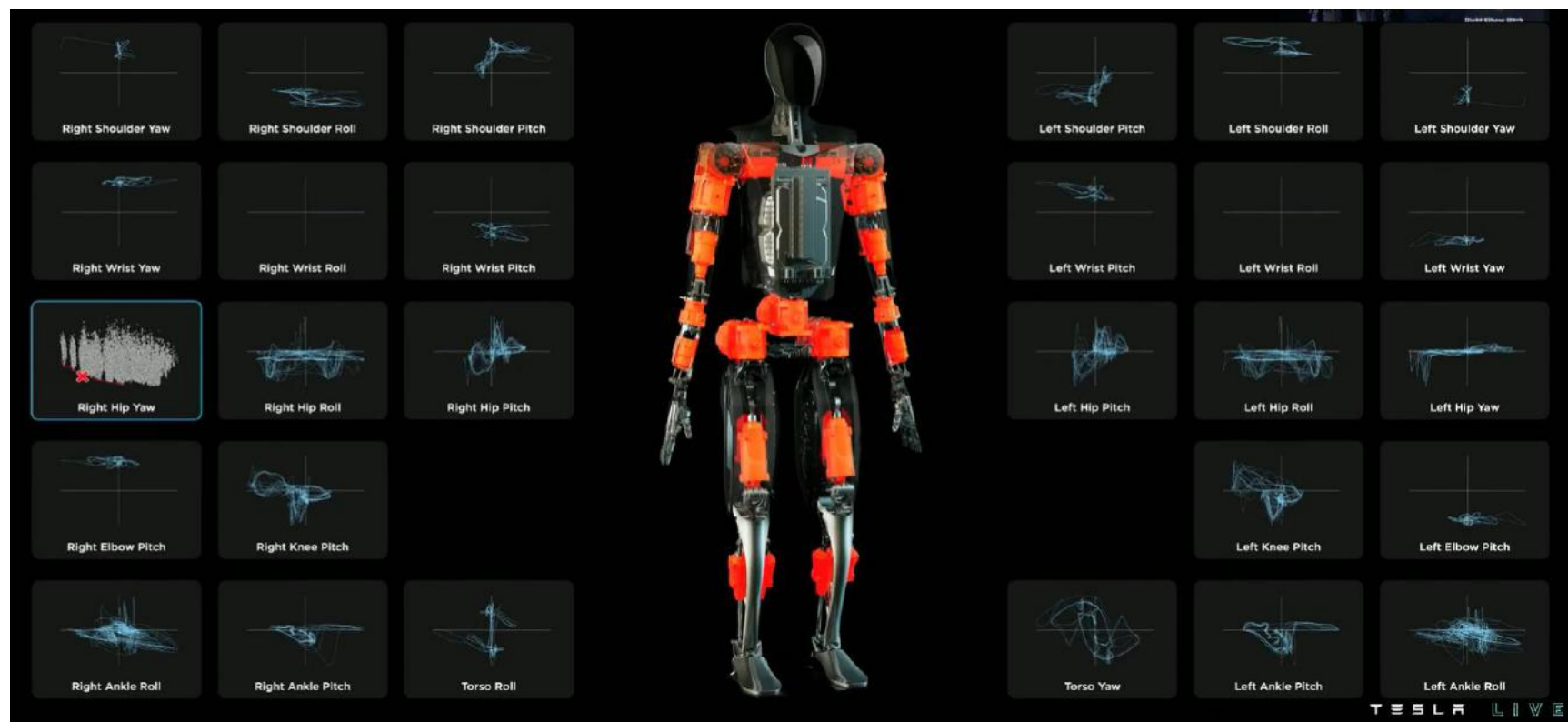
来源：特斯拉，中泰证券研究所

2.3 人形机器人核心零部件（以特斯拉Optimus为例）

□ 特斯拉Optimus包括28个自由度，可细分为14个旋转执行器、14个线性执行器，由无框电机、滚动轴承、滚柱丝杠等核心零部件构成。

□ Optimus灵巧手模仿人手生物学构成，通过空心杯电机实现精密动作的执行。

图表14: Optimus概念图



来源：特斯拉，中泰证券研究所



3

智能算法构筑人形机器人“大脑”

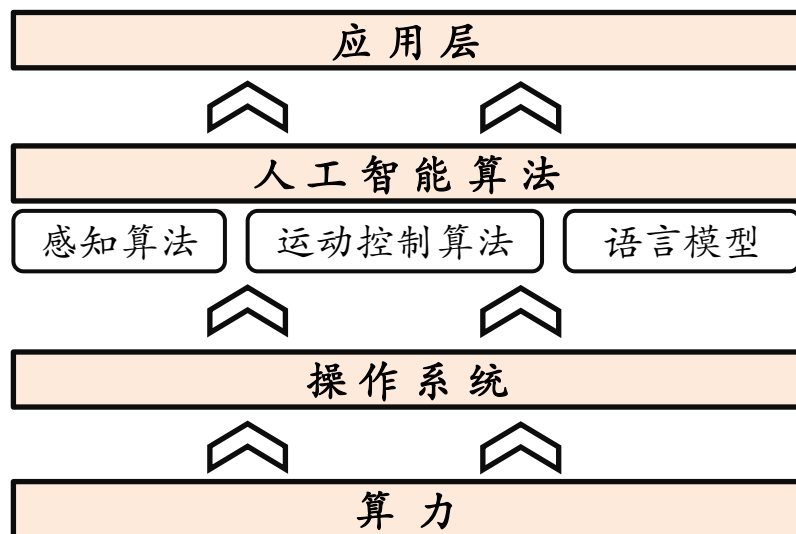
领先 | 深度

3.1 大模型有望促进人形机器人加速落地

□ 人工智能算法是人形机器人的“灵魂”。人形机器人软件架构自下而上可大致分为算力、操作系统、人工智能算法与应用四个层级，其中人工智能算法包括感知算法、运动控制算法、大语言模型与其他AI算法，是人形机器人“智能性”的来源。

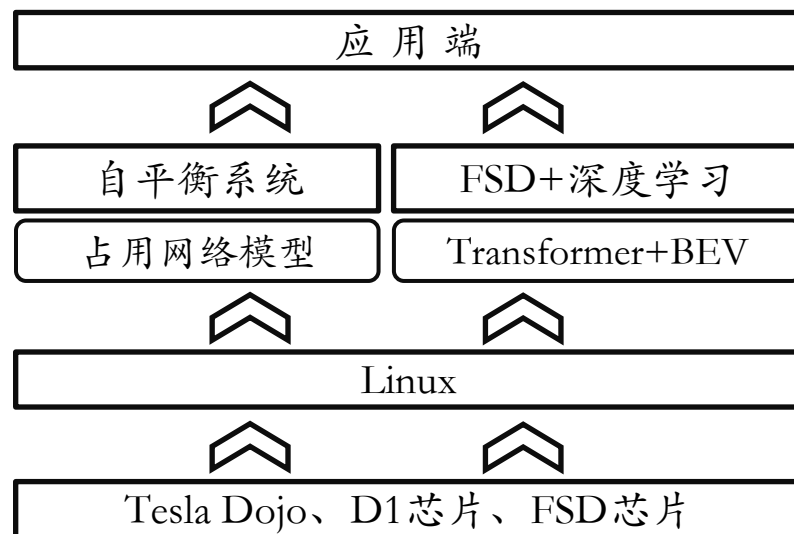
□ 大模型蓬勃发展，催化人形机器人加速落地。Transformer架构解决了传统RNN和CNN无法解决长距离信息关联的难题，推动人工智能向大模型时代迈进，以ChatGPT为代表的大语言模型的率先落地验证了其可行性，未来更多大模型有望逐渐成熟。伴随着大模型的发展，人形机器人的可用性有望显著增强，相关产业链有望加速落地。

图表15：人形机器人软件架构



来源：中泰证券研究所

图表16：Tesla有望将电动车能力复用至人形机器人



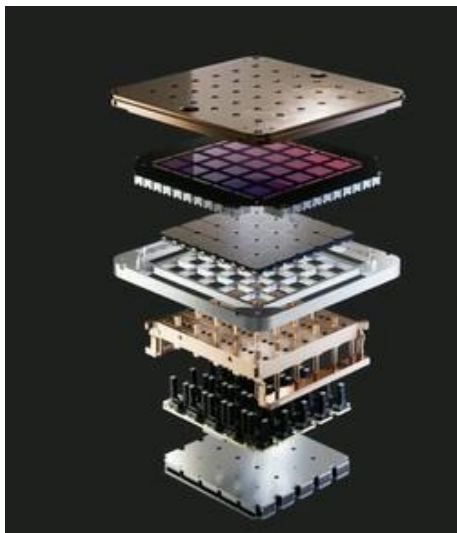
来源：特斯拉，中泰证券研究所

3.2 特斯拉：自研芯片、Dojo为Optimus提供算力支持

□ 特斯拉重视全栈开发，有望将电动车解决方案复用至人形机器人。特斯拉自研FSD芯片、D1芯片适配主机需求，并推出Dojo超级计算机用于深度神经网络训练，加速提升产品智能化程度。目前特斯拉实现了由算力端到全栈AI算法端的覆盖，并成功应用于电动车，未来伴随特斯拉在软件能力方面的进一步深化，有望将其解决方案拓展至人形机器人产品。

□ 特斯拉算力端能力可以复用至人形机器人产品：1) 特斯拉自研FSD芯片，适配产品视觉系统，提升整体的安全性和可靠性；2) D1芯片具备高算力、低功耗等优势；3) Dojo超级计算机能快速有效地进行神经网络训练，有助于人形机器人快速提升智能化程度。

图表17: Dojo硬件架构



来源：Tesla AI Day，中泰证券研究所

图表18: Dojo集群架构



来源：Tesla AI Day，中泰证券研究所

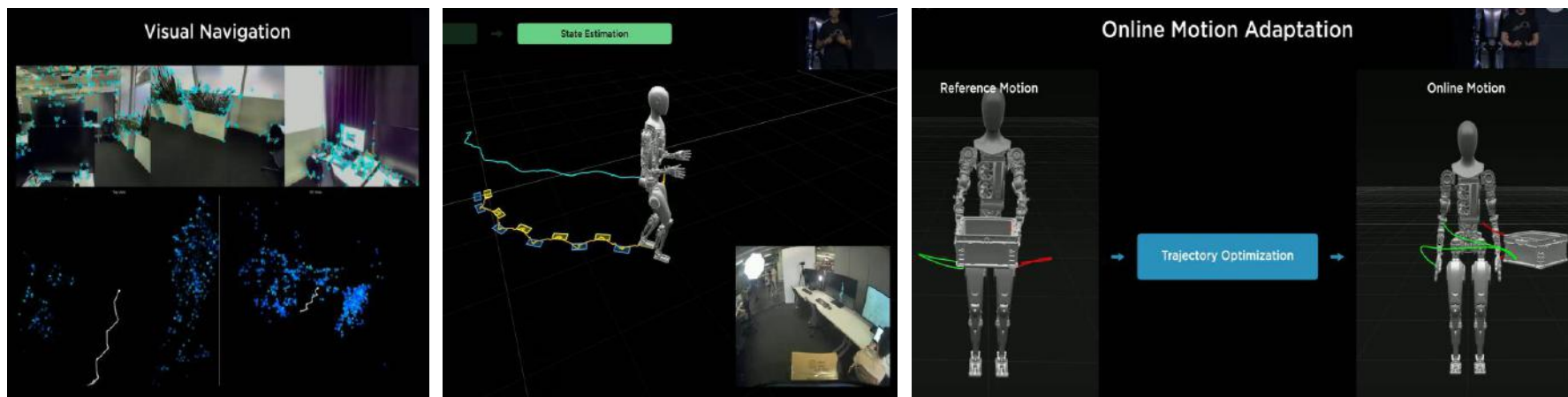
3.3 特斯拉：Optimus采用“FSD视觉方案+运动控制算法”

□特斯拉Optimus复用了FSD视觉方案，并自研运动控制算法实现运动动作。

□推出占用网络模型，进一步完善FSD视觉系统。传统的BEV+Transformer解决方案以二维建模为主，特斯拉推出占用网络模型解决了三维建模问题，能够更好地完善真实场景。占用网络模型增强了FSD视觉系统性能，并为人形机器人视觉系统了良好解决方案。

□Optimus运动控制算法表现出较强的可用性。在运动控制算法方面，Optimus以对现实世界的模拟为基础，深度融合动力学知识，过捕捉真人动作建模、生成参考轨迹、优化轨迹程序的方式实现运动控制，并体现出良好的成果。

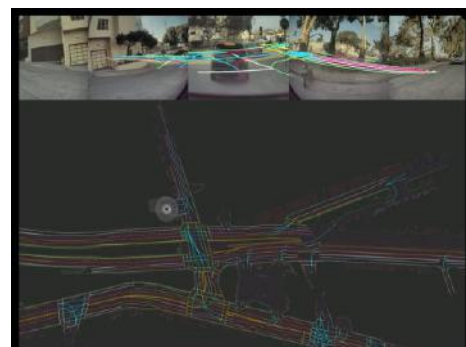
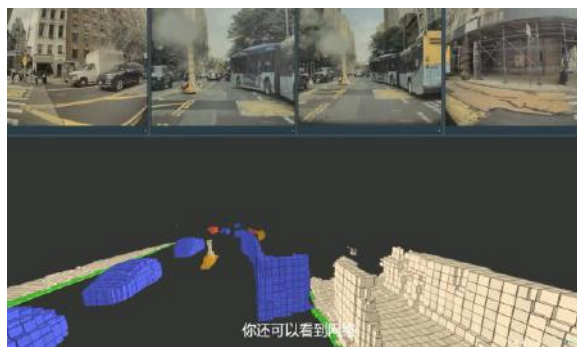
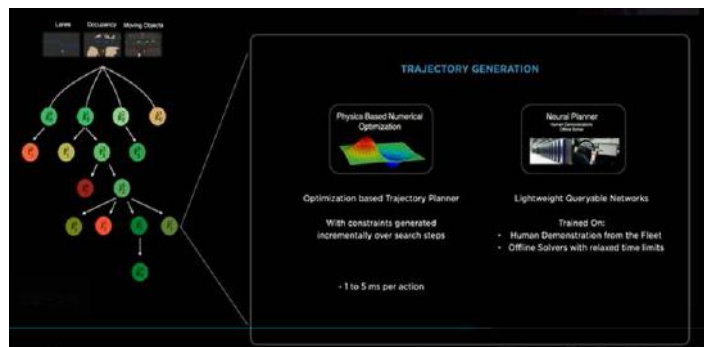
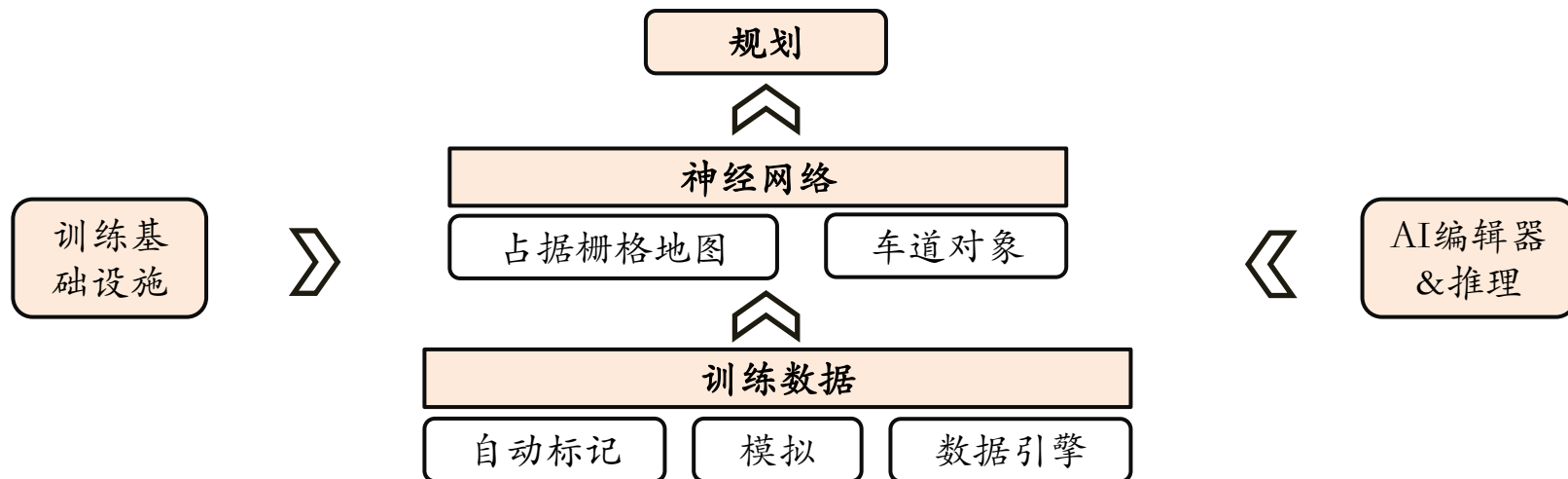
图表19: Optimus通过模拟现实世界实现运动控制



来源：Tesla AI Day，中泰证券研究所整理

3.3 特斯拉：Optimus采用“FSD视觉方案+运动控制算法”

图表20：占用网络模型进一步优化FSD视觉解决方案





4

核心零部件企业迎来发展新机遇

领先！深度

4.1 传感器：具身智能感知层的关键

□ 人形机器人的具身智能更重视感知层和交互层。人形机器人强调具身智能，即能够感知并理解周边环境，通过自主学习完成任务的智能体。传感器及软件是具身智能的关键，感知层和认知层是机器人向具身智能机器人迈进的门槛，机器视觉和多态语言大模型的快速迭代有望大幅提升机器人的感知能力和认知能力。传感器是“感知”的核心，其质量和技术水平将直接影响到机器人的性能和稳定性。机器人传感器可以根据检测对象的不同，分为内部传感器和外部传感器。部传感器用来感知机器人自身的状态，如速度、位置等；外部传感器用来感知机器人周边环境情况，如视觉、听觉、触觉、嗅觉、压力、温度、湿度、距离等。

□ 特斯拉人形机器人上传感器的成本占比接近30%。在一个机器人中，传感器的用量是巨大的，除摄像头（图像传感器）、雷达（激光、毫米波、超声波）、六维力矩传感器、编码器、触觉传感器外，还有位置、速度、加速度、平衡、力觉、触觉、视觉、听觉、接近觉、距离、嗅觉等等10多种传感器应用于人形机器人中。由传感器专家网数据，特斯拉optimus机器人上各类传感器成本占比接近30%。

图表21：与人相对应的传感器系统

人类	功能	机器人传感器
视觉	物体的大小、明暗、颜色、动静	CCD CMOS LiDar深度相机等
听觉	音高（音调）音响（音强）音色（音质）	Mic振动传感器
味觉	酸甜苦辣咸	味觉传感器
触觉	触摸的压迫感	触觉传感器
嗅觉	各种气味	气敏传感器
痛觉	机械/温度/化学等刺激导致疼痛	力传感器、温度传感器
前庭觉	平衡觉	IMU
本体觉	本体的位置与姿态	码盘、超声波距离传感器等

还有：超越人类感知能力和感知类型的传感器

图表22：机器人的常用传感器

传感器	检测元件	应用举例
位置	光电开关、限位开关	运动平台限位与规定位置检测
速度	光电编码、测速发电机	轮式机器人里程计算；机械臂关节转动及操作控制；
加速度	应变式、微电容、压电式、压阻式加速度计	振动控制与飞行加速度控制；
平衡	陀螺仪、惯性传感器组、GPS	移动机器人空间定位与导航；飞行机器人姿态控制；
力觉	应变片、压阻、压电	腕力、指力控制；柔性装配；
触觉	导电橡胶、PVDF、光纤	抓取判断防止冲击、抓取物体轮廓与材质识别；
视觉	CCD摄像机、激光雷达	目标识别、定位、导航
听觉	麦克风、超声波传感器	语音识别与交互
接近觉	电涡流、电容式、红外、超声、光电接近传感器	避障、探索与轨迹控制；
距离	超声、红外、激光距离传感器	障碍物定位、自身标的物定位；
嗅觉	气敏元件	嗅觉定位、导航

来源：传感器专家网，中泰证券研究所

来源：传感器专家网，中泰证券研究所

4.1 传感器：力、视觉、惯性传感器均有大量应用

□ 力矩传感器是机械臂感知力度的重要部件，应用前景广阔。按照测量维度，力矩传感器可分为一至六维力矩传感器，人形机器人中，灵巧手或将使用微型压力传感器或微型六维力传感器，对柔顺控制要求高的手腕和脚踝或将使用六维力矩传感器，而身体的其他关节将使用关节扭矩传感器。根据高工机器人的数据，以模拟关节及肢体末端触感的力传感器为例，其在人形机器人成本中占比约为15%。六维力传感器研发和制造工艺难度高，国内已具备量产能力，降本空间有望打开。

□ 视觉传感器是机器人视觉系统的核心，是提取环境特征最多的信息源。视觉传感器是指通过对摄像机拍摄到的图像进行图像处理，来计算对象物的特征量（面积、重心、长度、位置等），并输出数据和判断结果的传感器。特斯拉自动驾驶FSD系统目前采用的就是纯视觉方案，即不依靠雷达或其他传感器，完全使用摄像头（视觉传感器）实现自动驾驶，马斯克表示，特斯拉已经打通了FSD和机器人的底层模块，实现了一定程度的算法复用。FSD算法利用传感器数据进行环境感知，这些传感器也可以帮助机器人感知周围环境，识别物体、人和障碍物等。

□ 惯性传感器有望成为机器人标配。惯性传感器又称惯性测量单元（IMU：Inertial Measurement Unit）在机器人上可以与摄像头、力传感器等多传感器数据融合，以达到维持身体平衡，预测速度和轨迹并进行定位导航等功能，在四足机器人、人形机器人上均有望标配。惯性传感器技术壁垒高，国内已有公司掌握核心技术并实现稳定量产。

图表23：力传感器在人形机器人上的应用



图表24：惯性传感器相关企业

公司	技术水平	高性能MEMS惯性传感器行业排名
Honeywell	Honeywell产品线较广，主要产品包括MEMS惯性传感器、激光传感器及相关惯性传感器系统。陀螺仪方面，Honeywell的MEMS陀螺仪是行业内战术级陀螺仪的标杆产品；加速度计方面，MEMS加速度计和石英加速度计可达到导航级和战术级水平，石英加速度计是该产品的行业标杆产品。目前Honeywell正推动高性能MEMS传感器替代光学陀螺仪	行业第一
ADI	ADI主要产品为MEMS陀螺仪和MEMS加速度计，技术水平领先，产品耐环境能力强，性能覆盖工业级和低端战术级，在工业级陀螺仪领域具备较大影响力	行业第二
Silicon Sensing	Silicon Sensing主要产品为MEMS陀螺仪，技术较为先进，产品耐环境能力强，性能覆盖工业级，战术级	行业第四
Sensoror	Sensoror主要产品为三轴陀螺仪模块和IMU。产品主要以战术级为主	行业前十
Colibrys	Colibrys产品有战术级MEMS加速度计和导航级加速度计。因其技术迭代慢，输出非数字化，市场份额呈下降趋势	/
美泰科技	美泰科技产品有战术级MEMS加速度计，在国内加速度计产品领域具有一定的市场地位	/
芯动联科	芯动联科主要产品为MEMS陀螺仪和加速度计，高性能MEMS陀螺仪核心性能指标已达到国际先进水平，产品实现批量化应用	/

来源：高工机器人，深圳鑫精诚，中泰证券研究所

来源：芯动联科招股说明书，中泰证券研究所

4.2 电机：人形机器人的动力之源

□ Optimus所有关节执行器均搭载无框电机：无框力矩电机是以扭矩为控制方向的电机，采用开环控制，具备低转速、大扭矩、过载能力强、响应快、特性线性度好等优点。特斯拉Optimus线性执行器均搭载无框电机，单机对无框电机需求量为28个。

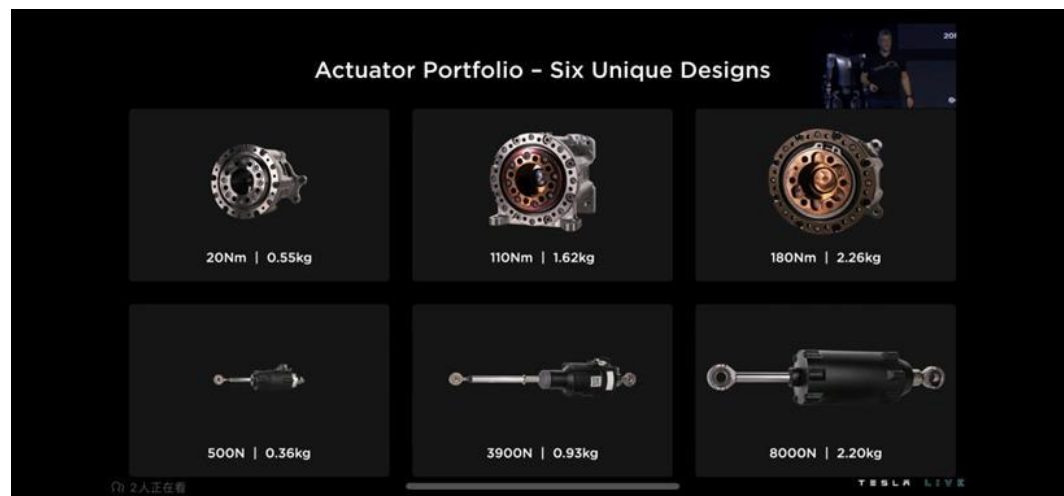
□ Optimus灵巧手采用空心杯电机方案：空心杯电机采用无铁芯转子，消除了铁芯形成涡流而造成的电能损耗，属于直流永磁、伺服微特电机，具备高效节能、启停性好、稳定性强等特点。特斯拉Optimus灵巧手采用了五指多关节结构，每只灵巧手搭载6个空心杯电机。

图表25：特斯拉Optimus灵巧手



来源：特斯拉，中泰证券研究所

图表26：Optimus需要28个无框电机



来源：特斯拉，中泰证券研究所

4.3 轴承：滚动轴承广泛应用于Optimus关节执行器

□ Optimus关节执行器使用角接触、深沟球、交叉滚子等多款滚动轴承，据我们测算，单机的滚动轴承用量约为84-96套。

□ 旋转关节执行器：搭配谐波减速器或RV减速器使用。

①谐波减速器：使用角接触轴承、交叉滚子轴承等，每个旋转关节执行器搭配3-4套滚动轴承；

②RV减速器：使用角接触轴承、滚针轴承等，每个旋转关节执行器搭配9-15套滚动轴承。

□ 线性关节执行器：使用深沟球轴承、四点接触轴承等。

□ 据我们测算，单台人形机器人滚动轴承价值量约为0.42-0.96万元，长期来看假设人形机器人产量与汽车相同，则对应滚动轴承市场规模为3570-8160亿元。2021年全球轴承市场规模约8000亿（1200亿美元），人形机器人有望成为轴承行业的重要发展支柱。

图表27: Optimus关节执行器对滚动轴承的应用

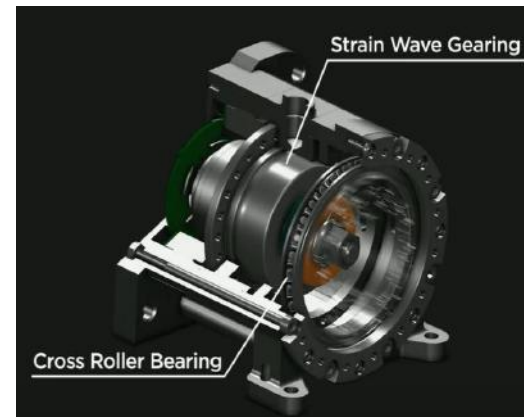
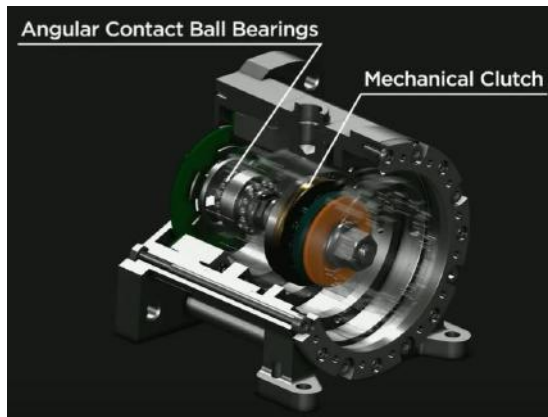
		方案一		方案二	
		轴承类型	配套数量	轴承类型	配套数量
旋转关节	电机	角接触轴承	1*14	角接触轴承	1*14
	谐波减速器	柔性轴承	1*14	柔性轴承	1*12
		十字交叉滚子轴承	1*14	十字交叉滚子轴承	1*12
		薄壁深沟球轴承	1*14	薄壁深沟球轴承	1*12
	RV减速器	\		角接触轴承	2*2
				圆锥滚子轴承	6*2
				滚针轴承	1*2
线性关节	\	深沟球轴承	1*14	深沟球轴承	1*14
		四点接触轴承	1*14	四点接触轴承	1*14
合计			84		96

来源：wind等，中泰证券研究所测算

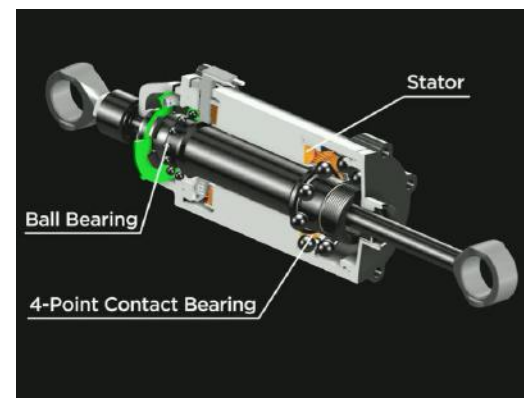
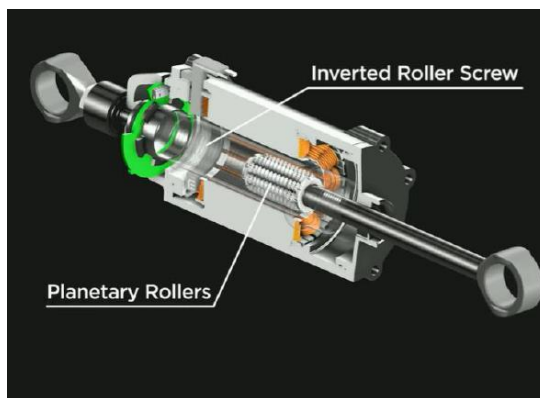
4.3 轴承：滚动轴承广泛应用于Optimus关节执行器

图表28: Optimus关节执行器

旋转
关节
执行
器



线
性
关
节
执
行
器



4.3 轴承：自润滑轴承应用于人形机器人关节部位

- 自润滑轴承在人形机器人的应用潜力较大：自润滑轴承具有轻量化、小体积、无噪声、免维护等优势，适用于人形机器人关节中绝大多数的摩擦点位。以膝关节为例，我们测算单关节对自润滑轴承的需求量为5-10套，目前Optimus的活动关节约为15个，故单机的自润滑轴承需求量为75-150套。未来伴随人形机器人的自由度增长，单机对自润滑轴承的需求量有望继续提升。
- 目前优必选的人形机器人产品已经采用了自润滑轴承解决方案，未来自润滑轴承在人形机器人上的应用有望加速。
- 自润滑轴承以10元/套单价计算，单台人形机器人的自润滑轴承价值量为750-1500元，长期来看假设人形机器人产量与汽车相同，对应自润滑轴承市场规模为638-1275亿元。2020年全球滑动轴承市场约为900亿元（137亿美元），人形机器人有望成为自润滑轴承的重要下游行业。

图表29：自润滑轴承有望广泛应用于人形机器人



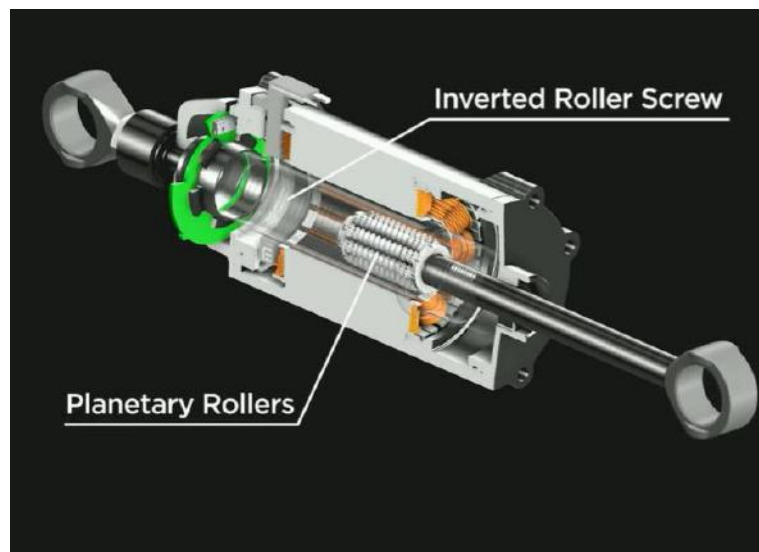
来源：特斯拉，中泰证券研究所

4.4 滚珠&滚柱丝杠：人形机器人打开需求空间

□ 人形机器人有望催生千亿滚珠&滚柱丝杠市场：滚珠&滚柱丝杠具备高精度、可逆性和高效率的特点，主要用于精密线性运动场景。Optimus线性关节执行器中采用了滚柱丝杠解决方案，单机使用14套滚柱丝杠产品，对应价值量约为21000元。未来人形机器人有望成为滚珠&滚柱丝杠重要下游行业，打开其发展空间。

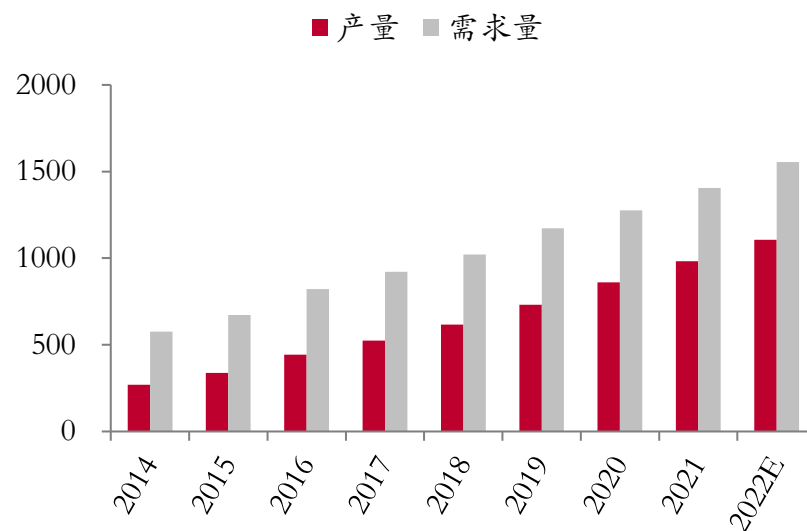
□ 滚珠&滚柱丝杠对材料、设计、制造等环节的要求较高，目前国内市场仍以NSK、THK、SKF等外资企业为主导，国内滚珠&滚柱丝杠仍存在较大供需缺口。

图表30: Optimus线性执行器采用滚珠丝杠



来源：特斯拉，中泰证券研究所

图表31: 国内滚珠丝杠产量及需求量（万套）



来源：华经产业研究院，中泰证券研究所

4.5 钢丝绳：不应被忽视的人形机器人零部件

- Optimus灵巧手采用仿生设计，关节部位采用了“弹簧+钢丝绳”的方案，在抓取物体时，实现了对物体外形的自适应和抓取力自适应，所以即便Optimus手指没有装力传感器或触觉传感器，依旧可以实现自适应抓取。
- 在人形机器人指关节方案中，单纯的刚性杆或弹簧方案都存在弊端，我们认为“刚性杆+钢丝绳”或“弹簧+钢丝绳”能够更好地兼顾刚性和灵活性，未来有望成为主流解决方案。钢丝绳在灵巧手中需求量较大，未来有望受益于人形机器人行业发展。

图表32: Optimus灵巧手方案



来源：特斯拉、中泰证券研究所

图表33: Optimus灵巧手蜗轮蜗杆



来源：特斯拉、中泰证券研究所

4.6 人形机器人核心零部件价值量测算

□ 单台人形机器人中力传感器&视觉传感器&惯性传感器的总价值量约2.3万元：

- ①力传感器：普通单维力传感器总价值量为6400元，六维力传感器总价值量为8000元；
- ②视觉传感器：单目摄像头总价值量300元，4D毫米波雷达总价值量860元；
- ③惯性传感器：包含加速度计和陀螺仪，IMU的总价值量约为7800元。

□ 单台人形机器人中轴承&电机&丝杠的总价值量为7.4万元~8.0万元：

- ①轴承：滚动轴承总价值量约为4200~9600元，滑动轴承总价值量约为750~1500元；
- ②电机：无框电机总价值量约为42000元，空心杯电机总价值量约为6000元；
- ③滚柱丝杠：滚柱丝杠总价值量约为21000元。

图表34：人形机器人中轴承&电机价值量测算

		应用类型\位置	单价（元）	单机用量（套）	价值量（元）
传感器	力传感器	普通力传感器	400	16	6400
		六维力传感器	2000	4	8000
	视觉传感器	单目摄像头	100	3	300
		4D毫米波雷达	860	1	860
	惯性传感器	IMU（惯性测量单元）	7800	1	7800
电机	无框电机	旋转执行器	1500	28	42000
		线性执行器			
	空心杯电机	灵巧手	500	12	6000
轴承	滚动轴承	电机	50-100	84-96	4200-9600
		旋转执行器			
		线性执行器			
	自润滑轴承	全身关节位置	10	75-150	750-1500
滚柱丝杠	滚柱丝杠	线性执行器	1500	14	21000

来源：wind、AI Day等，中泰证券研究所整理



5

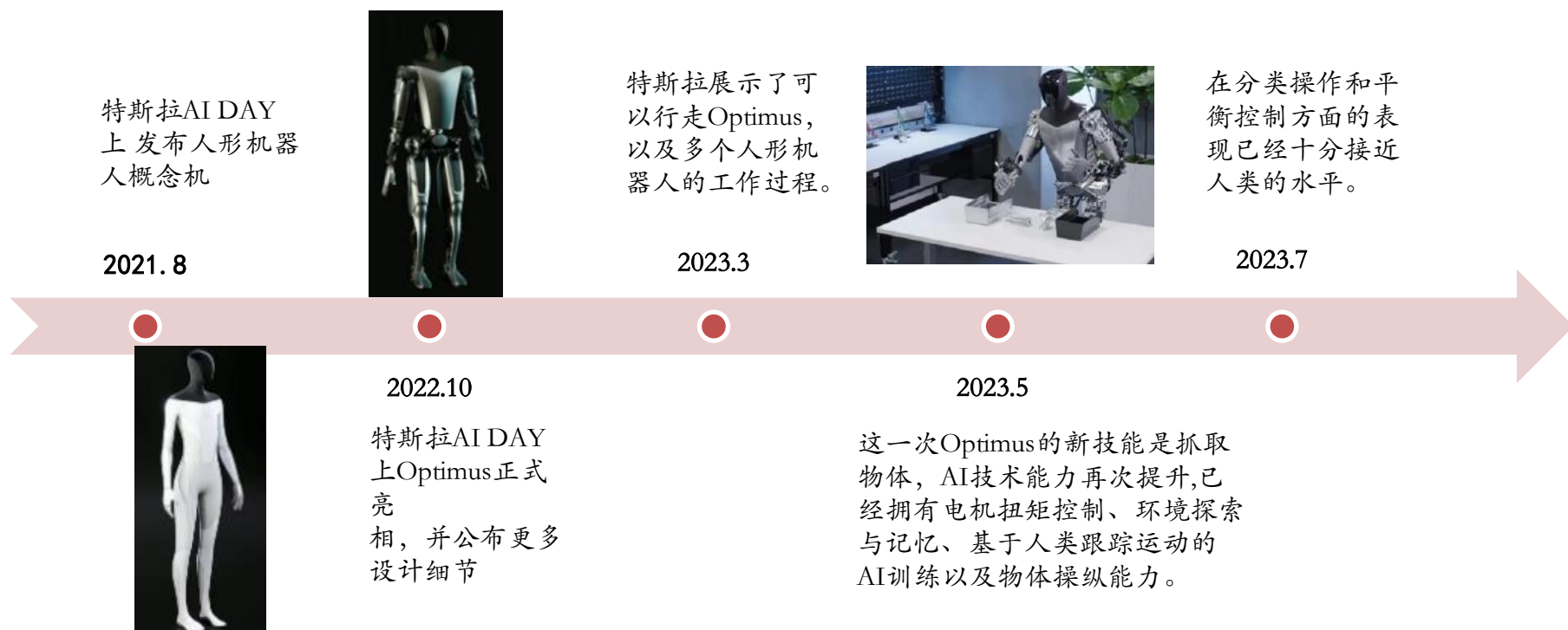
相关标的：海内外齐发力，
千山待越

领先！深圳

5.1 特斯拉：Optimus有望引领人形机器人行业发展

- 2021年，特斯拉在AI Day中首次发布人形机器人概念机，并在此后两年时间内实现了快速迭代，完成了开发平台建造、Optimus产品亮相以及电机扭矩控制、环境探测与记忆、双手复杂任务等能力的实现。
- 特斯拉Optimus整身共28个自由度，采用2.3kwh电池组供电，搭配电驱伺服关节形式，使用6种定制关节驱动器和单颗自研SoC芯片，结合汽车同款神经网络进行视觉导航，通过行动控制系统解决平衡问题，且具备表现优秀的灵巧手结构。

图表35：特斯拉人形机器人发展历程



来源：前瞻产业研究院，经济观察报，优必选科技，中泰证券研究所

5.2 波士顿动力Atlas：运动能力强，商业化进展缓慢

□ 波士顿动力成立于1992年，致力于研究AI仿真和具有高机动性、灵活性和移动速度的先进机器人。Atlas是波士顿动力旗下旨在突破全身运动极限的研发平台，被设计用于各种搜救任务，但目前仍处于实验室阶段，没有市售。

□ Atlas采用液压驱动，高1.5m，重89kg，速度可达2.5m/s，共28个自由度，通过模型预测控制器MPC等技术，实现了从提前预设行动到自主规划路径的转变。Atlas能够进行倒立、跳马、跳舞和跑酷等复杂动作，目前其双臂已增加夹取功能，可实现双臂负重敏捷机动、灵敏感知通过独木桥、旋转跳跃重物抛投。

图表36: Atlas跑酷视觉“看到”和规划的信息



来源：虎嗅网、中泰证券研究所

图表37: 波士顿动力Atlas



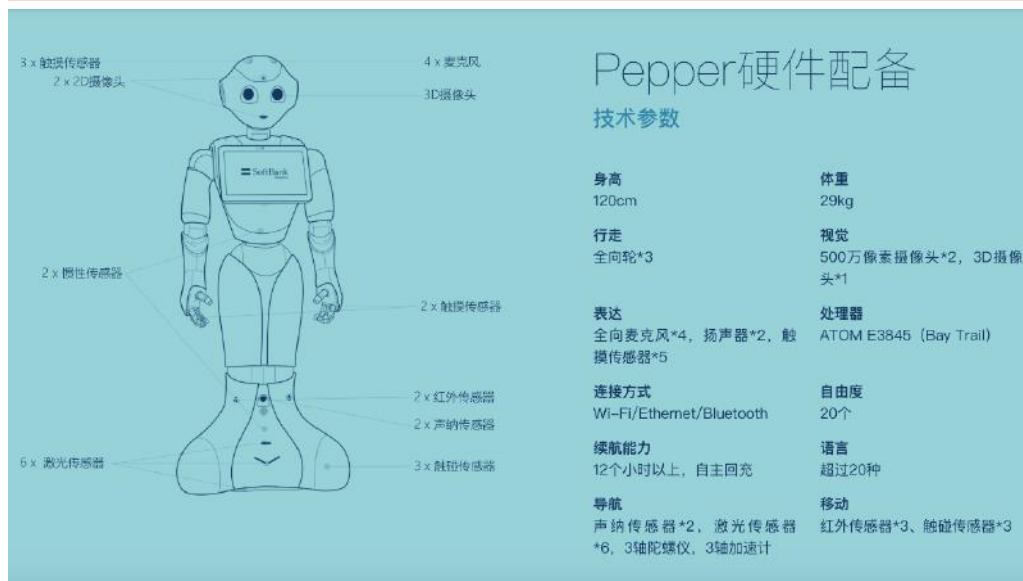
来源：公司官网、中泰证券研究所

5.3 软银/Pepper：性能较弱、商业化失败的人形机器人

□ Pepper是由日本软银集团和法国Aldebaran Robotics于2014年推出的类人型情感机器人，但由于库存积压，2020年宣告停产，共计生产约2.7万台。

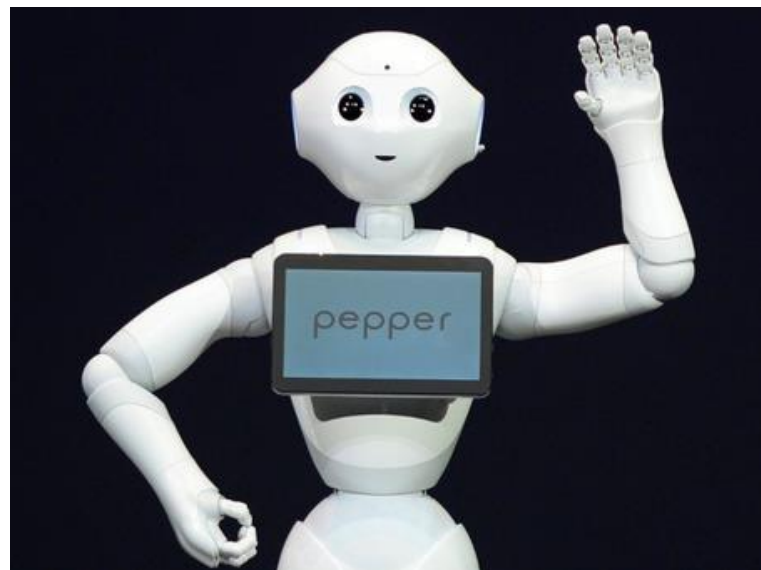
□ Pepper高120cm，重29kg，共20个自由度，胸前自带10.1英寸的触摸屏，续航可达12小时以上，可通过人类表情和音调来判断感情，并使用动作手势和人进行简单的交谈，但其核心的情感引擎开发较为落后，且手部抓握能力薄弱。

图表38：软银机器人技术参数



来源：公司官网、中泰证券研究所

图表39：软银机器人示意图



来源：人民网、中泰证券研究所

5.4 Agility Robotics/Digit: 亚马逊参投的兼具移动性和操纵能力的人形机器人，价格昂贵

□ Digit为首款销售的双足机器人，其应用场景灵活多样，但价格昂贵，商业化规模小。Digit的膝盖关节可以做到向后弯曲，这意味着它可在各种表面上改善平衡性和稳定性。

□ Digit高175cm，重65kg，双臂最多可携带16kg负载，能够进行前后走动、原地转弯、蹲步、上下倾斜和穿越无结构地形（草地、岩石、路缘）等动作，可应用于物流、仓库远程控制和工业检测等领域。

图表40: Digit产品示意图



来源：公司官网、中泰证券研究所

图表41: 最后一公里快递业务



来源：公司官网、中泰证券研究所

5.5 Engineered Arts/Ameca: 面部表情逼真但是运动性能较弱的娱乐人形机器人

□ Ameca由英国科技公司Engineered Arts开发的人形娱乐机器人，动作和面部表情仿若人类，备受社交媒体关注，但其运动能力有限，缺少步行功能，且价格超过 13.3 万美元，目前仍未实现商业化量产。

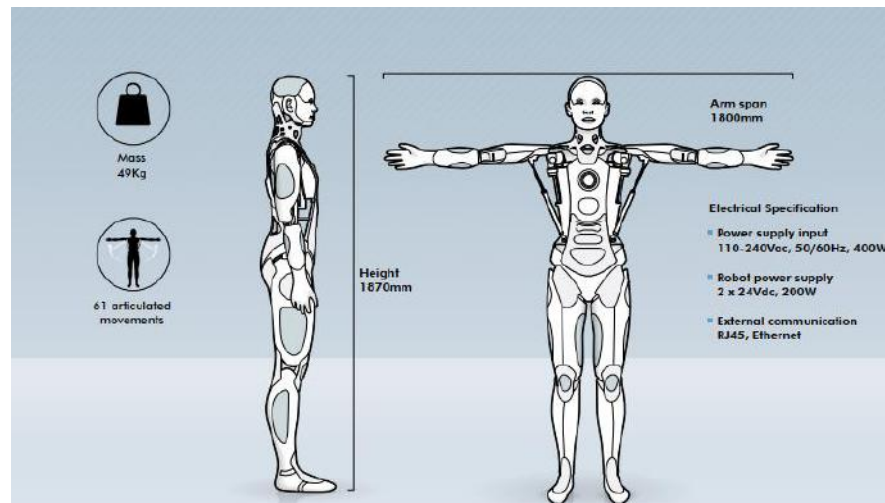
□ Ameca高约1.87m，重约49kg，结合 AI 与 AB（Artificial Body）技术，底层则是机器人操作系统 Tritium 和工程艺术系统 Mesmer，它能够在橡胶皮肤上表现出超过 62 种面部表情。在接入 Stable Diffusion 和 GPT-3后，可现场完成作画。

图表42: Ameca产品示意图



来源: CNET、中泰证券研究所

图表43: Ameca技术参数



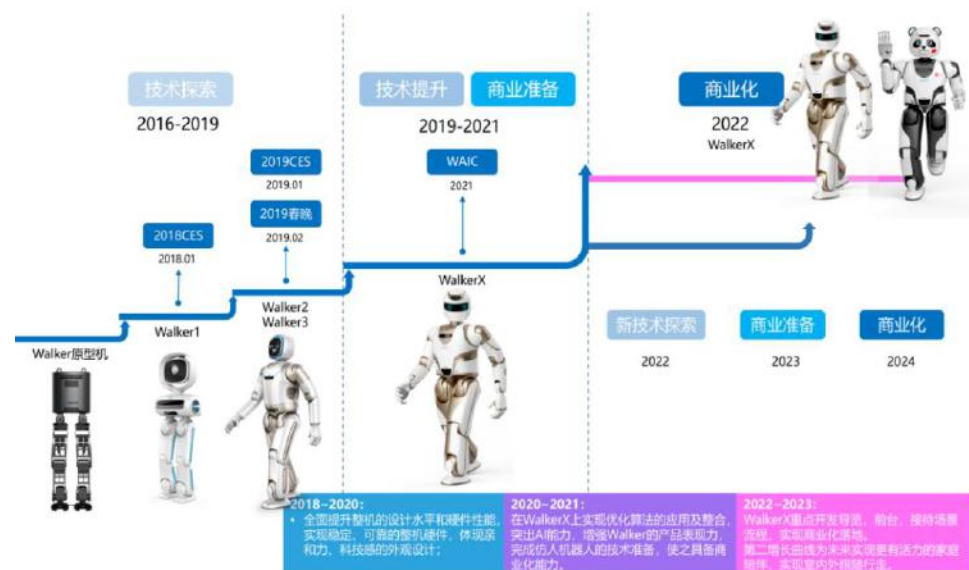
来源: 公司官网、中泰证券研究所

5.6 优必选：人形机器人研发十余年，场景聚焦服务、陪伴等

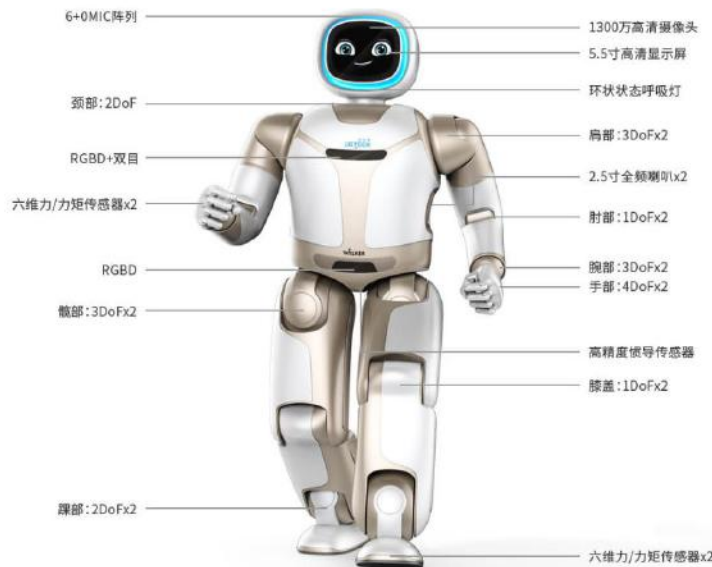
□ 优必选科技在2012年成立前就开始投入人形机器人的研发，至今已超过11年。2016年优必选搭建Walker原型机，2018年发布第一代大型双足仿人服务机器人Walker，迄今已经过四次迭代，2021年发布人形服务机器人Walker X。

□ Walker X身高130cm、体重63kg，具有41个高性能伺服驱动关节，能够进行类人步态行走，最高时速为3km/h；面部160°环绕4.6K高清双柔性曲面屏，灵动酷炫的三维灯语体系；机器人的头部、手掌、电池都可以快速拆卸和组装，实现了“模块化”；配备便捷可拆卸电池。

图表44：优必选人形机器人发展历程



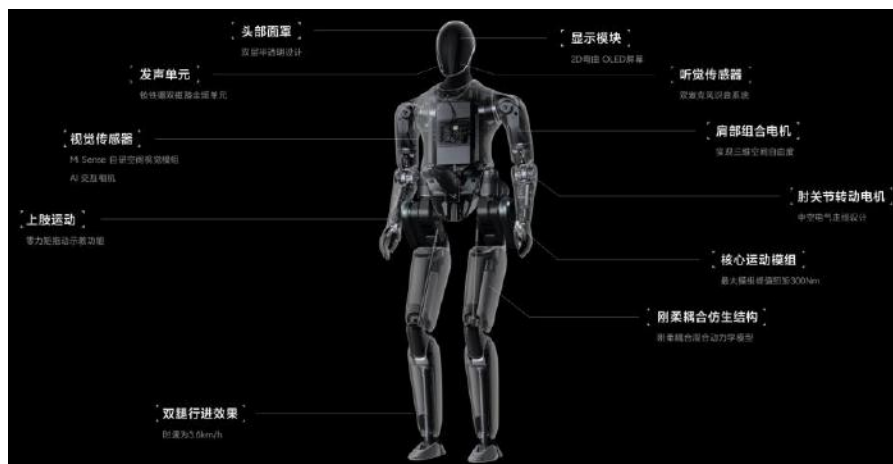
图表45：优必选人形机器人产品拆解



5.7 小米Cyberone：背靠小米强大的供应链和自研能力

- 2022年8月小米发布公司首个全尺寸人形仿生机器人“CyberOne”，研发尚处于初级阶段，每台成本六七十万，尚无法实现量产。
- CyberOne高1.77米，重52kg，内部名称“铁大”。CyberOne 配备 Mi-Sense深度视觉模块，搭配AI 具备感知3D空间并识别个体、手势和表情的能力。此外，凭借自主研发的MiAI环境语义识别引擎和MiAI语音情感识别引擎，CyberOne可识别85种环境声音和45类人类情感。其面部的曲面OLED模块，可以显示实时交互信息。

图表46：小米机器人产品构成



来源：公司官网、中泰证券研究所

图表47：小米机器人产品示意图



来源：新浪、中泰证券研究所

5.8 达闼机器人：软硬件自研，预计25年量产，聚焦多场景的服务机器人

❑ 达闼人形双足机器人XR4“七仙女”亮相于2023世界机器人大会，由达闼全栈自研，搭载海睿云端大脑操作系统，集成多模态大模型RobortGPT，并创新性引入并联驱动结构的智能柔性关节技术，解决机器人关键零部件卡脖子问题，创始人预计2024年正式发布，2025年规模量产。

❑ XR4高165cm，重65kg，全身采用碳纤维复合材料，拥有60多个智能柔性关节，采用并联高扭矩密度电机。同时，支持实时接入云端大脑，由多模态大模型RobotGPT赋能，实现具身智能，且通过基于数字孪生的深度强化学习可实现平衡站立、优美步态、灵巧双臂和双手操作。

图表48：达闼机器人产品示意图



来源：新浪、中泰证券研究所

图表49：智能柔性关节SCA演进过程



来源：新浪、中泰证券研究所

5.9 傅利叶：康复机器人赛道龙头，前期积累技术成果可复用

□ 傅利叶智能成立于2015年，2019年启动通用人形机器人项目。GR-1通用人形机器人采用自研FSA高性能一体化执行器，拥有强大且灵活的运动性能，具备商业化落地能力，预计2023年底量产发售，目前已有AI公司购买以验证其AI算法。

□ GR-1通用人形机器人高1.65m，重55kg，全身共40个自由度，最大关节模组峰值扭矩可达300NM，步行速度可达到5KM/h，负重50kg。GR-1采用电驱动方案，行走动作流畅，已具备较高的运动智能表现。

图表50：傅利叶人形机器人产品示意图



来源：公司官网、中泰证券研究所

图表51：傅利叶人形机器人运动表现



来源：公司官网、中泰证券研究所

5.10 智元：后起之秀，成立近半年，成果亮眼

□ 智元机器人成立于2023年2月，8月即推出第一代通用型人形双足机器人“远征A1”，搭载自研“WorkGPT”，实现基于大语言模型的机器人行为自动编排和任务执行。已与比亚迪洽谈，或将率先应用于比亚迪工厂，预计未来成本将控制在20万元以内，具备落地商用的可能。

□ “远征A1”高 175cm，重 55kg，拥有超过 49 个自由度，整机承重 80kg，单臂最大负载 5kg，关节电机峰值扭矩 $350\text{N} \cdot \text{m}$ ，配有水冷散热，腿部采用了反关节设计，步速达7km/h，部拥有 12 个主动自由度，5 个被动自由度，配有指尖摄像头，具备200TOPS 算力。

图表52：远征A1 登台行走



来源：公司官网、中泰证券研究所

图表53：远征 A1应用场景



来源：公司官网、中泰证券研究所



6

投资建议

领先 | 深度

6.1 重点关注人形机器人核心标的

图表54：人形机器人核心标的盈利预测与估值

公司代码	公司简称	2023/11/3	EPS				PE				评级
		股价	2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E	
002050.SZ	三花智控	26.50	0.72	0.85	1.07	1.31	36.81	31.01	24.88	20.21	-
601689.SH	拓普集团	67.20	1.54	2.10	2.88	3.85	43.64	31.97	23.30	17.45	-
300114.SZ	中航电测	45.36	0.33	0.42	0.52	0.61	137.45	106.93	87.60	74.59	-
603662.SH	柯力传感	30.05	0.92	1.11	1.40	1.72	32.66	27.15	21.51	17.48	-
688582.SH	芯动联科	38.18	0.34	0.40	0.57	0.78	112.29	94.95	67.27	48.85	-
688322.SH	奥比中光	31.42	-0.77	-0.55	-0.18	0.13	-40.81	-57.58	-176.72	240.58	-
300718.SZ	长盛轴承	17.21	0.34	0.85	1.04	1.43	50.62	20.25	16.55	12.03	买入
430418.BJ	苏轴股份	15.26	0.87	1.12	1.48	1.91	17.54	13.63	10.31	7.99	买入
301550.SZ	斯菱股份	54.80	1.49	-	-	-	36.78	-	-	-	-
603667.SH	五洲新春	16.99	0.48	0.50	0.73	0.98	35.40	33.84	23.40	17.39	-
300421.SZ	力星股份	9.57	0.26	0.45	0.69	0.93	37.44	21.16	13.93	10.33	-
301226.SZ	祥明智能	22.84	1.02	0.56	0.62	0.66	22.39	40.79	36.84	34.61	增持
002896.SZ	中大力德	38.87	0.47	0.53	0.67	0.89	82.70	73.00	58.18	43.69	-
603278.SH	大业股份	11.69	-0.88	0.60	1.12	1.42	-13.28	19.48	10.44	8.23	买入
603728.SH	鸣志电器	66.40	0.59	0.55	0.87	1.28	111.94	121.06	76.36	51.83	-
688160.SH	步科股份	55.95	1.08	1.21	1.48	1.84	51.81	46.11	37.90	30.40	-
873593.BJ	鼎智科技	30.16	2.01	2.67	3.43	4.50	15.00	11.30	8.79	6.70	增持
601100.SH	恒立液压	57.06	1.79	1.94	2.31	2.84	31.88	29.48	24.66	20.07	-
300124.SZ	汇川技术	62.47	1.64	1.89	2.41	3.05	38.09	33.10	25.93	20.48	-
000837.SZ	秦川机床	10.99	0.31	0.26	0.37	0.49	35.94	42.19	30.00	22.62	-

来源：wind，中泰证券研究所（股价取自2023年11月3日，除长盛轴承、苏轴股份、祥明智能、大业股份、鼎智科技外，EPS\PE数据均取自wind）

风险提示

- 人工智能&大模型技术发展不及预期；
- 核心零部件成本高居不下带来的需求不及预期；
- 下游落地场景拓展不及预期；
- 人形机器人商业化进程不及预期；
- 政策支持力度减弱带来的风险；
- 行业规模测算偏差风险；
- 研报使用的信息存在更新不及时风险。

投资评级说明：

	评级	说明
股票评级	买入	预期未来6~12个月内相对同期基准指数涨幅在15%以上
	增持	预期未来6~12个月内相对同期基准指数涨幅在5%~15%之间
	持有	预期未来6~12个月内相对同期基准指数涨幅在-10%~+5%之间
	减持	预期未来6~12个月内相对同期基准指数跌幅在10%以上
行业评级	增持	预期未来6~12个月内对同期基准指数涨幅在10%以上
	中性	预期未来6~12个月内对同期基准指数涨幅在-10%~+10%之间
	减持	预期未来6~12个月内对同期基准指数跌幅在10%以上
备注：评级标准为报告发布日后的6~12个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现。其中A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准，美股市场以标普500指数或纳斯达克综合指数为基准（另有说明的除外）。		

重要声明

- 中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。
- 本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，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，可能会随时调整。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。
- 市场有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。
- 投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司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投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。