

多维度赋能，人形机器人蓄势待发

-----人形机器人系列报告

分析师：杨 睿 SAC NO: S1120520050003

分析师：李唯嘉 SAC NO: S1120520070008

研究助理：哈成宸 邮箱：hacc@hx168.com.cn

2023年7月29日

- **人形机器人商业化持续推进。**人形机器人发展到高动态阶段为未来多样化应用场景落地创造了丰富的想象空间，多家企业已就实际应用场景开展了商业化初试，其中1X technologies的机器人EVE和Agility Robotics的机器人Digit取得了不错的成绩，通过复盘他们的发展情况，我们认为人形机器人成功实现商业化需要从以下几点考量：（1）找到降本路径实现规模化，提升机器人应用经济性；（2）提升智能化水平；（3）功能设计与实用场景匹配助力应用，比如EVE、Digit。
- **多维度赋能，人形机器人发展有望提速。**在ChatGPT的加持下，人形机器人有望迎来新一轮进化，科技龙头纷纷入局，技术革新蓄势待发。同时，相关政策激励也将推动人形机器人应用落地。未来，随着技术创新和成本下探，人形机器人具备可观发展潜力，有望迎来广阔的商业化应用前景空间
- **特斯拉入局，人形机器人有望实现“0-1”。**2022年特斯拉人形机器人Optimus原型机在AI day首次亮相，基于特斯拉强大的储备技术，Optimus实现了快速迭代，到2023年5月，其力度精准控制、环境感知能力等方面都有了较大的提升。我们认为基于特斯拉电动车的快速扩产能力以及专注于技术降本的强大的创新研发能力将加快Optimus的经济性提升，人形机器人有望实现“0-1”。
- **投资建议：**目前人形机器人处于商业化初期：一方面，需要重点关注特斯拉等头部企业的人形机器人的研发、生产及应用情况；另一方面，上游核心部件环节有望受益于商业化应用和行业空间扩大。同时，伴随商业化进程的推进，人形机器人降本需求迫切，国内厂商有望凭借硬件部分的性价比等优势迎来机遇，看好：1) 手部方案较为确定以及格局较好的空心杯电机环节；2) 价值量占比较高的减速器、伺服电机、无框力矩电机等环节；3) 壁垒较高的力矩传感器、驱动器、编码器等环节。人形机器人的发展将为零部件制造商提供新的应用市场，技术同源、具备领先优势的相关企业有望受益。
- ✓ **受益标的：**汇川技术、三花智控、绿的谐波、禾川科技、鸣志电器、伟创电气、步科股份、昊志机电、鼎智科技、江苏雷利、五洲新春等。
- **风险提示：**人形机器人技术瓶颈突破不及预期；人形机器人降本不及预期；人形机器人商业化应用不及预期；原材料价格大幅波动；政策变化等风险。

01 人形机器人的发展复盘

1.1 人形机器人探索已经历多个发展阶段

人形机器人前期发展可划分为主要三个阶段：技术探索阶段、功能突破阶段以及高动态发展阶段

- ✓ 1973-2000年：1973年，日本早稻田大学的加藤一郎教授研发出世界上第一款人形机器人 WABOT-1。此后人形机器人的研究主要聚焦于人形机器人的自主控制和运动，人形机器人处于仅能行走、不能预测运动控制且不能跑步的阶段。
- ✓ 2000-2013年：2000年，日本本田公司推出了人形机器人“阿西莫”（ASIMO），展示出强大的行走、跳舞、上楼梯以及拿放物品的能力。随着机器人技术的快速迭代，人形机器人的运行功能逐步完善，并实现能够替代人类完成重力作业的功能。
- ✓ 2013年至今：2013年，波士顿动力推出Atlas，经过几次优化设计后，目前的Atlas已经能够实现跨越障碍物、后空翻等高难度动作。当前的人形机器人具备了更高的环境感知能力、决策能力、学习能力以及运动控制能力，呈现高动态发展趋势，为未来应用场景落地创造了丰富的想象空间。

图：人形机器人发展历程梳理



➤ **1X technologies：EVE已初步实现商业化，NEO预计2023年底开启预订**

- ✓ 1X technologies前身为Halodi Robotics，成立于2014年，是挪威一家专注于开发具有高度灵活性和可扩展性的人形机器人公司。1X Technologies的旗舰产品是EVE，一款拥有两臂、两眼和四轮底盘的机器人，可以在各种环境中执行多种任务，如巡逻、监控、搬运等。目前1X Technologies还在研发一款名为NEO的双足机器人，相比于EVE，其智能化水平更高，具备自主学习、AI导航等功能，预计将在2023年底开启预订。
- ✓ 2023年3月，据1X Technologies宣布，该公司已经完成了规模为2350万美元的A2轮融资，由OpenAI创业基金领投，Tiger Global、Alliance Venture、Investinor和其他投资者跟投。1X计划用这笔资金来加大力度研发双足机器人模型NEO，以及在挪威和北美量产其首款商用机器人EVE。

表：EVE和NEO情况对比

型号	身高(cm)	体重(kg)	速度(km/h)	应用场景	具体情况
EVE	186	83	14.4	安保、护理、调酒等	与ADT commercial合作成功开发EVE应用于商业场景，目前在售，每月可生产10台；在美国和欧洲部分地区开始投入使用
NEO	-	30	步行：4 跑步：12	主要应用于安保、物流、制造、机械操作以及处理复杂的作业	预计2023年底开启预订

图：EVE和NEO官方示意图



资料来源：1X technologies官网、ADT官网、Robotics News、财联社、华西证券研究所 资料来源：1X technologies官网，华西证券研究所

➤ Agility Robotics: 拥有商业化的专注于物流仓储环节的机器人Digit

- ✓ Agility Robotics成立于 2015 年，是美国一家致力于制造行走机器人的公司，其目前的业务重心是卸载货车、搬运箱子、管理货架等仓储工作。2016年Agility Robotics发布名为Cassie的动态步行机器人，可以穿越崎岖地形并越过障碍物；2019年推出双足机器人Digit；2020年福特公司接收了第一批下线的两台Digit机器人。
- ✓ 与福特共同探索“doorstep delivery（送货上门）”，Digit功能设计与物流运输场景高度匹配：（1）可以紧紧折叠，以存储到汽车后部，在需要时再展开使用；（2）可以单脚平衡或小心地避开障碍物，以便于其完成递送过程的最后一步；（3）其重量轻，可以确保长时间运行，从而有能力保障完成每日持续运营的快递业务。
- ✓ 据36氪报道，2022年4月，Agility Robotics获得1.5亿美元的B轮融资，由DCVC和Playground Global领投，Amazon Industrial Innovation Fund等跟投。其中，Amazon涉足仓储物流，多年着力于开发机器人来加速包裹的交付，设立Amazon Industrial Innovation Fund，致力于支持物流、供应链等方面的创新。
- ✓ 据IEEE Spectrum报道，Agility计划在2024年初向其合作伙伴交付机器人Digit，然后在次年全面上市。

表：Digit参数及功能

Digit最新版	参数	功能
	身高175cm	行走功能包括前进、后退、并排、原地转弯、蹲着走、上下坡、穿过不平整路面等
	体重不足65kg	碰撞时,使用手臂、手和脚保持平衡
	可负载16kg	能够拾取和放下不同尺寸和重量的物体
	自动充电	当在路上感知到人或障碍物，暂停并在周围导航
	部署简单	蹲下、深蹲、旋转上半身等

资料来源：Agility Robotics官网，华西证券研究所

➤ **Boston dynamics: 机器狗Spot商业化初显成效, 两足机器人Atlas为高动态机器人领军代表**

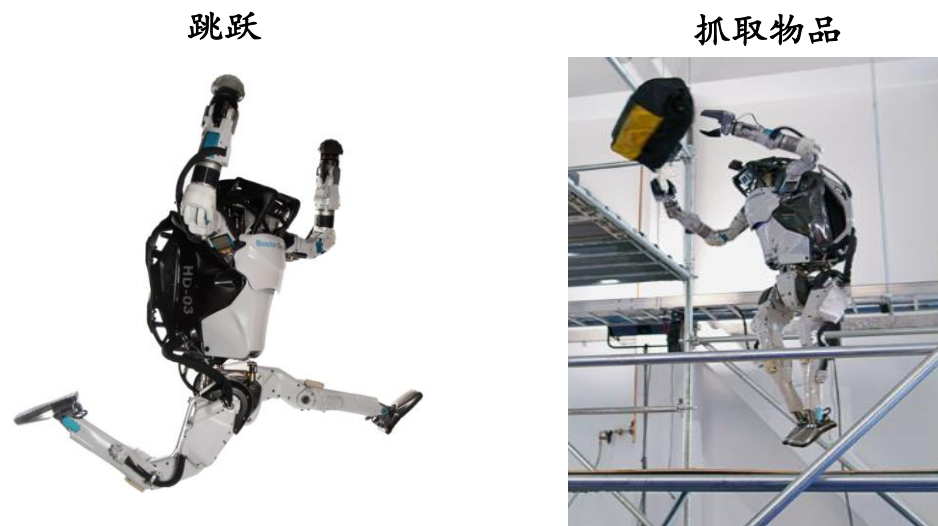
- ✓ Boston Dynamics 成立于 1992年, 是美国一家工程和机器人设计公司, 是从麻省理工学院分拆出来的, 曾服务于美国军方机构。2013、2017以及2021年公司先后被谷歌、软银以及现代汽车收购。
- ✓ **机器狗Spot商业化初显成效:** 2020年公司旗下Spot以7.45万美元开售, 开始初步商业化尝试。Spot已有超过1000台销往了35个国家, 主要被应用于制造业、电力和公用事业、采矿、石油和天然气等领域。
- ✓ **两足机器人Atlas为高动态机器人领军代表:** Atlas于2013年首次亮相, 其功能发展迅速。2017年Atlas已经可以学会台阶之间跳跃以及后空翻; 2018年Atlas学会了跑步, 能够边跑边越过障碍物、跃上台阶; 2019年Atlas掌握“体操”技巧, 能够连续的跳跃、翻滚、倒立; 2023年Atlas在最新视频中展现出了其手部灵活性(能抓能扔)。

图: Spot应用的具体案例

Spot	已实现应用场景
	美国佛吉尼亚州的能源公司Dominion Energy使用Spot在潜在辐射场景给工厂做例行检查。
	在世界最大的铁矿Luossavaara-Kiirunavaara AB (LKAB) 基律纳矿井中用于安全检测。
	Spot已成为National Grid中的一员, 协助能源供应商进行日常运营管理以保障员工安全、提高生产力等。

资料来源: 波士顿动力官网、LKAB官网, 华西证券研究所

图: Atlas跳跃以及抓取物品



资料来源: 波士顿动力官网, 华西证券研究所

➤ **本田：机器人ASIMO2022年宣布退役**

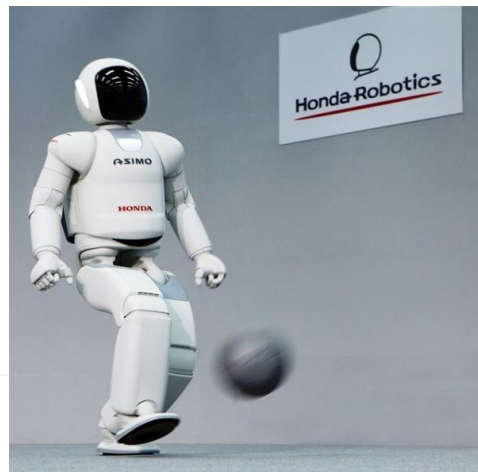
- ✓ 日本本田公司于1993年研发出P3机器人，是ASIMO的原型，后于2000年推出第一代ASIMO。经过数年积累，ASIMO掌握了跑步、单腿跳跃、用五指说手语以及将咖啡倒入纸杯的能力，且拿东西力道准确。最终形态的ASIMO具有57个活动关节，可以轻松模仿人类跳舞，身体灵活度很高，电池续航可达到40分钟。
- ✓ **实用性弱+成本高昂，ASIMO于2022年宣布退役。**虽然ASIMO拥有了丰富的功能，但是这些功能大多数是停留在表演和展示阶段，并不能在实际应用场景中展现出优势，不能适应复杂环境、不能提拿重物，只能完成一些简单、重复的工作，甚至语音互动只能进行简单的对话、舞蹈表演也需要事先编程输入，相比于其高昂的研发投入以及造价成本，性价比低。2018年本田宣布停止ASIMO研发，2022年宣布ASIMO退役。

图：ASIMO展现多种功能

单脚跳跃



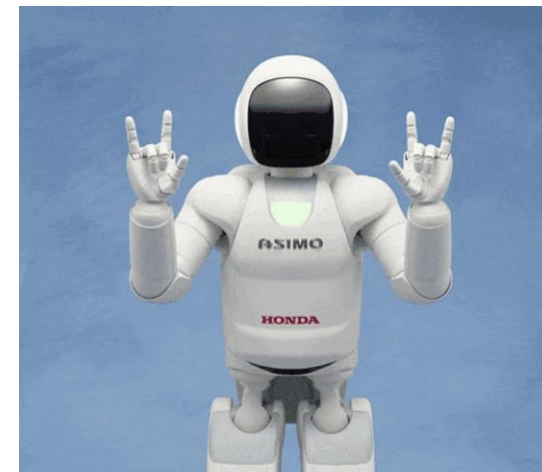
踢足球



倒咖啡



比手语



02 人形机器人发展有望迎来提速

➤ 工业机器人已实现产业化

✓ **工业机器人应用快速渗透。**据MIR睿工业统计，在中国，2012-2022年工业机器人销量从2万多增长到近30万台，十年增长了近15倍，CAGR约为26%。经过多年培育，工业机器人的下游应用场景不断开拓，包括汽车、电子、锂电、光伏、金属加工、食品饮料等。行业中，外资品牌的综合实力强劲，其中发那科、安川、ABB和川崎作为“四大家族”处于领先地位，本土企业受益于国内机器人领域的快速发展而兴起，主要玩家包括埃斯顿、汇川技术、埃夫特、新时达等。

➤ **人形机器人的进阶：**人形机器人不仅外观和功能方面与人相似，其能够具有类人的感知、决策、行为和交互能力，从而辅助甚至替代人类的生产生活。与工业机器人相比，人形机器人从自动化迈向智能化甚至向具身智能进阶：

✓ **人形机器人具有更智能的“大脑”。**工业机器人的行为通常是被事先编码设定的；人形机器人在全方位AI感知技术以及GPT大语言模型加持下，呈现出较高的主动性，具体表现为具有自主学习、决策以及推理的能力。

✓ **人形机器人具有更灵活的“身体”。**通用型工业机器人因为其主要替代的是重复性劳动，根据事先设定完成重复工作，所以其自由度一般为4-6；而人形机器人的行为更类人，其自由度一般在20以上，使其能够完成更加复杂、多样的动作。

✓ **人形机器人的应用场景更加多元化。**由于被事先设定，工业机器人的应用场景相对固定；对于人形机器人，一方面在“大脑层面”具备自主学习、决策以及推理的能力，另一方面在“身体层面”具备更高自由度能够完成更加多样的动作，因而其应用场景更加多元化。

表：工业机器人和人形机器人对比

	工业机器人	人形机器人
价格/成本	出口均价 25850.3美元/台*	小米Cyberone成本 60-70万元/台*
自由度	4-6	平均20+
应用场景	相对固定	多样化
智能化水平	一般	高
技术发展	成熟	早期
商业化程度	高	低

资料来源：佛山市机器人产业创新协会、光电资讯、2022年雷军年度演讲等，华西证券研究所 *出口均价为中国2022年1-11月份数据 *Cyberone成本为2022年8月公开的数据

➤ 人形机器人商业化应用推进

- ✓ **人形机器人商业化进程持续突破。**2015年日本本田ASIMO开售，是人形机器人商业化尝试的开端，随后，多家企业开始推进人形机器人的商业化，包括1X technologies、Agility Robotics等。通过梳理多家主流厂商的发展经验，我们认为，人形机器人想要落地商业化需要重点从以下几点进行考量：
 - 找到降本路径实现规模化，提升机器人应用经济性-----汽车、工业机器人、工控等其他赛道零部件助力
 - 提升智能化水平-----AI赋能
 - 功能设计与实用场景匹配助力应用，比如EVE、Digit
- ✓ **聚集科技企业，多家跨界龙头入局。**区别于工业机器人，当前人形机器人的主要布局者多为科技公司，此外，也有多家跨界公司入局。2022年8月，小米发布人形机器人“Cyberone”；2022年9月，特斯拉在AI day 公布人形机器人Optimus原型机；2023年2月，微软发布论文《ChatGPT for Robotics: Design Principles and Model Abilities》，公开了目前ChatGPT在机器人应用方面的研究成果；2023年3月，谷歌与柏林工业大学共同推出了史上最大的视觉语言模型PaLM-E；2023年4月，腾讯（Robotics X实验室）发布了灵巧操作研究成果，并推出自研机器人灵巧手“TRX-Hand”和机械臂“TRX-Arm”。

表：人形机器人公司情况梳理

公司	型号	身高 (cm)	体重 (kg)	速度 (km/h)	自由度/关节数	具备功能/应用场景	具体情况
Tesla	Optimus	173	73	8	50	浇水植物、移动金属棒、环境感知和记忆力较好、力度控制较精准等	预计Optimus可能将大规模量产至“百万”量级，预计其单台成本或将低于2万美元
小米	Cyberone	177	52	3.6	21	重建真实世界、实现运动姿态平衡、感知人类情绪	根据2022年雷军演讲报告：人形机器人的成本每台大概六、七十万元，尚无法实现量产
Boston dynamics	Atlas	150	89	9	28	可以行走、奔跑并穿越多种复杂地形、手部灵活能完成抓取等动作。	定位为研究平台；成本约250万美元

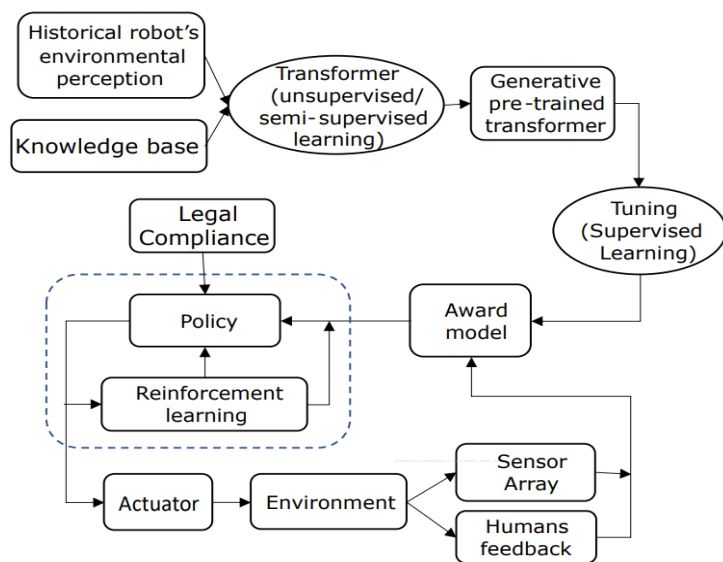
续表：人形机器人公司情况梳理

公司	型号	身高 (cm)	体重 (kg)	速度 (km/h)	自由度/关节数	具备功能/应用场景	具体情况
Agility Robotics	Digit	175	不足65	-	16	移动手提袋或包裹、卸货、行走交付	2020年出售两台给福特，主要用于商用车物流； 预计在2025年全面上市
1X technologies	EVE	186	83	14.4	-	安保、护理、调酒等	与ADT commercial合作成功开发EVE应用于商业场景，目前在售，每月可生产10台；在美国和欧洲部分地区开始投入使用
	NEO	-	30	步行：4 跑步：12	-	主要应用于安保、物流、制造、机械操作以及处理复杂的作业	2023年底开始接受预订
Engineered Arts	Ameca	187	49	-	61	可以在与人类互动时检测情绪和年龄，并可以用常见的表情进行交流；可应用于实验研究、展览、接待、教育	主要是租赁模式
优必选	Walker X	130	63	3	41	复杂地形自适应、动态足腿控制、手眼协调操作、柔顺物理交互、U-SLAM视觉导航、自主径规划等；主要应用于科技馆展馆、影视综艺、商演活动、政企展厅	-
傅利叶	Fourier GR-1	165	55	5	40	动作方面具备直腿行走、快速行走、敏捷避障、稳健上下坡、应对冲击干扰、与人协同完成动作等功能；在工业、康复、居家、科研等多应用场景潜能巨大	-
达闼	Cloud Ginger 2.0	158	89	-	41	应用场景主要包括卖场促销、直播卖货、教育科研、清洁打扫、康养陪护、迎宾导览	-
追觅	追觅通用人形机器人	178	56	-	44	可以完成单腿站立；完成室内三维环境的建模；能够适应不同路面，实现自主避障。	-

资料来源：Robotics News、财联社、各公司官网，华西证券研究所

- **AI赋能，ChatGPT加持，人形机器人有望迎来新一轮“进化”。**人形机器人发展的一个主要痛点是其运动能力与实际使用的应用场景匹配度不够，其原因在于算法复杂度和数据规模限制导致其智能化不足，而ChatGPT的出现将使机器人智能水平获得跨越式提升，主要包括：
- ✓ **人机交互增强：**ChatGPT拥有强大的信息整合和对话能力，它可以根据各种指令和问题生成符合人类理解的响应，大大提升了人与机器之间的语义理解和沟通，从而增强了人机交互的自然度和体验感。
 - ✓ **自主学习和决策能力提升：**ChatGPT可以作为人形机器人身体的大脑，通过人形机器人身体以获得物理世界中真实的反馈，可以利用比如强化学习以得到反复训练，从而提升自由行走、抓取、推理以及决策的能力。
 - ✓ **感知和行为有望形成闭环：**ChatGPT在人形机器人的视觉、大脑感知以及行为动作等方面拓展应用，有望推动人形机器人的感知和行为形成闭环，互为促进改善，助力人形机器人能够适应更为复杂、多元的开放环境，发挥更大的商业价值。

图：RobotGPT运行框架



资料来源：《RobotGPT: From ChatGPT to Robot Intelligence》，华西证券研究所

图：机器学习工程师与接入ChatGPT的Spot机器狗进行自然交流



资料来源：APPSO，华西证券研究所

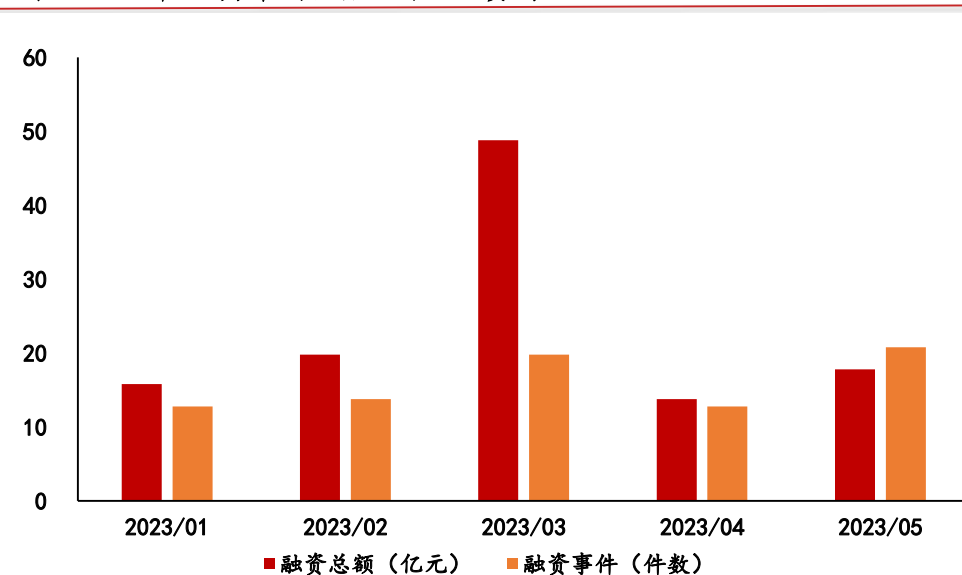
资本抢注，企业纷纷入局加码机器人赛道

- ✓ 在ChatGPT掀起的AI浪潮下，国内外科技龙头包括华为、英伟达、小米、腾讯、OpenAI纷纷入局加码机器人赛道。
- ✓ 从具体投融资情况来看：在国内，根据机器人新媒统计，2023年1-5月机器人领域发生的融资事件累计81起，融资总额预计超110亿元，融资方向主要包括工业机器人、服务机器人、机器人视觉等；在海外，2023年3月1X Technologies完成了2350万美元的A2轮融资，由OpenAI领投；2023年5月，AI人形机器人初创公司 Figure完成了7000万美金的A轮融资，由Parkway Venture Capital领投。

表：科技企业在机器人领域的布局情况

时间	公司	事件
2023.06	华为	以8.7亿元的注册资本成立东莞极目机器有限公司
	达闼	发布海睿AGI平台
	英伟达	发布了可供第三方进行二次开发的全新自主移动机器人平台Isaac AMR
2023.05	Figure	完成了7000万美金的A轮融资，由Parkway Venture Capital领投
2023.04	腾讯（Robotics X实验室）	发布了灵巧操作研究成果，并推出：自研机器人灵巧手“TRX-Hand”和机械臂“TRX-Arm”
	小米	北京小米机器人技术有限公司成立
2023.03	1X technologies	完成了2350万美元的A2轮融资，由OpenAI领投

图：2023年1-5月中国机器人行业融资情况



资料来源：企查查、达闼、腾讯、维科网机器人、机器人大讲堂、高工机器人，华西证券研究所

资料来源：机器人新媒，华西证券研究所

- **政策先行，加速机器人+应用落地。**2023年以来，从中央到地方，支持机器人产业发展的相关政策频繁出台，将持续扩大机器人产业规模、丰富其应用场景，加速机器人商业化进程。相比于工业机器人，受限于高技术门槛以及高成本，人形机器人的发展尚处于早期阶段；未来在政策支持背景下，人形机器人的技术迭代和实际场景落地有望提速。

表：2023年以来国内机器人相关政策梳理

时间	相关部门	文件名称	相关内容
2023/6/29	北京市人民政府办公厅	《北京市机器人产业创新发展行动方案(2023—2025年)》	目标到2025年， 培育100种高技术高附加值机器人产品、100种具有全国推广价值的应用场景 ，万人机器人拥有量达到世界领先水平，形成创新要素集聚、创新创业活跃的发展生态。 机器人核心产业收入达到300亿元以上。 加紧布局人形机器人 ，对标国际领先人形机器人产品，支持企业和高校院所开展人形机器人整机产品、关键零部件攻关和工程化，加快建设北京市人形机器人产业创新中心，争创国家制造业创新中心。
2023/5/31	中共深圳市委办公厅、深圳市人民政府办公厅	《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)》	指出：聚焦通用大模型、智能算力芯片、智能传感器、 智能机器人 、智能网联汽车等领域，实施人工智能科技重大专项扶持计划，重点支持打造基于国内外芯片和算法的开源通用大模型；支持重点企业持续研发和迭代商用通用大模型； 开展通用型具身智能机器人的研发和应用。
2023/5/18	上海市人民政府办公厅	《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划(2023—2025年)》	提出细分目标： 到2025年，规模以上制造业企业数字化转型比例达80%以上，工业机器人使用密度力争达360台/万人。
2023/3/13	上海市经济和信息化委员会	《上海市智能机器人标杆企业与应用场景推荐目录》	请各区产业主管部门支持推动以机器人为代表的智能终端产业发展，培育一流营商发展环境。 力争到2025年，本市将打造10家行业一流的机器人头部品牌、100个标杆示范的机器人应用场景、1000亿元机器人关联产业规模。
2023/1/19	工业和信息化部、教育部等十七部门	《“机器人+”应用行动实施方案》	提出到2025年，制造业机器人密度较2020年实现翻番，服务机器人、特种机器人行业应用深度和广度显著提升。 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个以上具有较高技术水平、创新应用模式和显著应用成效的机器人典型应用场景。

➤ 人形机器人未来具备可观市场规模

- ✓ 已有商业应用场景预期落地，如巡逻、物流仓储。EVE和Digit是商业化进程领先的人形机器人产品，分别来看：1X technologies与ADT commercial共同研发的EVE目前已成功应用于巡逻安保场景；Digit的应用场景主要是在物流仓储环节，进行的任务主要包括卸载货车、搬运箱子、管理货架等，预计将在2025年全面上市。
- ✓ 未来的商业应用场景有望渗透进入服务业、制造业等领域。
 - 马斯克曾表示其设计特斯拉机器人的远景目标是让其服务于千家万户，比如做饭、修剪草坪、照顾老人等。
 - 赛迪顾问报告显示,目前较有潜力的人形机器人发展方向主要面向制造业、航天探索、生活服务业、高校科研等，预计2025年，人形机器人将有望实现制造业场景应用的突破，小批量应用于电子、汽车等生产制造环境。
 - 2023年6月29日北京市人民政府办公厅印发的《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023—2025年）》中指出，面向3C电子制造、新能源汽车生产等典型应用场景，突破复杂运动控制、定位导航、视觉处理和精细操作等技术瓶颈，推动人形机器人工程化和产业化。
- ✓ 我们认为，在政策、资本以及技术多维度赋能下，人形机器人市场的潜力有望被加速释放。
 - 马斯克表示，人形机器人的需求可能会达到100亿台，甚至更多，如果人类和机器人的比例为2:1，数量可能会远远超过汽车的需求。
 - 根据2023年5月GGII发布的报告预测，预计到2026年全球人形机器人在服务机器人中的渗透率有望达到3.5%，市场规模超20亿美元，到2030年，全球市场规模有望突破200亿美元。

03 特斯拉入局，人形机器人有望实现“0-1”

➤ **Optimus原型机亮相，身体+手部共50个自由度**

- ✓ 2022年9月30日，特斯拉AI day上特斯拉机器人Optimus原型机首次亮相，Optimus展现了跳舞、搬运物品以及浇花等功能。Optimus原型机身高173cm，体重73kg，拥有28个身体执行器，包含两类六种。Optimus的灵巧手是设计亮点，单只手有6个执行器可实现11个自由度。马斯克曾表示其设计特斯拉机器人最初的定位是替代人们从事重复枯燥、具有危险性的工作；但远景目标是让其服务于千家万户，比如做饭、修剪草坪、照顾老人等。

表：Optimus参数详情

Optimus参数详情		
参数	项目	原型机
体型	身高	173cm
	体重	73kg
	手臂负载	9.1kg
电池	电池包	2.3KWh, 电压52V
大脑		在特斯拉SoC上运行并支持Wi-Fi和LTE连接；还具备音频处理功能
视觉系统		将Autopilot现有视觉感知技术移植到Optimus人形机器人头部视觉器官（头部集成三颗摄像头：左肩、右肩、中央鱼眼）
灵巧手（单只）	执行器	6个
	自由度	11个
身体执行器	执行器	28个
	类型	旋转执行器：大、中、小 线性执行器：大、中、小

资料来源：Tesla AI day、智通财经、车右智能，华西证券研究所

➤ **储备技术移植，加速Optimus迭代。**

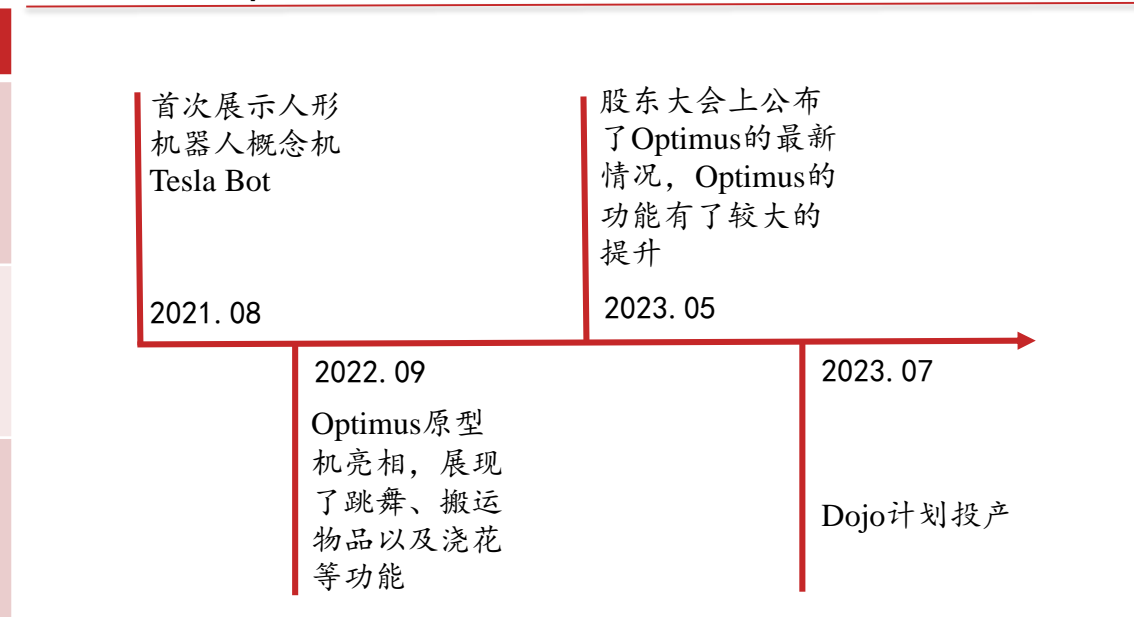
- ✓ 2023年3月，在特斯拉投资者会上，马斯克提到Optimus是可以将公司之前已有技术整合在一起，就能直接制造出来的。根据目前的信息，预计电动车储备技术移植将主要体现在：（1）**FSD算法**：打通FSD和机器人的底层模块；（2）**Dojo 超级计算机**：能为Optimus提供算力支持。Tesla AI推特账号公布，2023年7月特斯拉的 Dojo 计划投产，2024年2月特斯拉的算力规模将进入全球前五，2024年10月特斯拉的算力总规模将达到 100 Exa-Flops；（3）**Autopilot感知技术Occupancy Network**。
- ✓ **受益于技术支撑，Optimus实现快速迭代。**2021年8月，特斯拉首次公开展示概念机Tesla Bot；2022年9月30日，Tesla AI day上Optimus原型机亮相，展现了跳舞、搬运物品以及浇花等功能；2023年5月的股东大会上公布了Optimus的最新情况，Optimus的功能有了较大的提升，包括力度控制更加精准灵敏、环境感知和记忆能力提升、掌握模仿人类行为的能力。

表：特斯拉主要储备技术梳理

技术	介绍
FSD算法	主要功能包括导航辅助驾驶（NOA）、自动变道、自动泊车、智能召唤、交通信号识别、（基于导航路线的）城市道路自动转向等。仅2022年就积累了480万段数据，训练了7.58万个神经网络。
Dojo超级计算机	Dojo解决的是云端深度学习、最终指向纯视觉基础的完全自动驾驶。特斯拉表示，每个Dojo都集成了120个训练模块，内置3000个D1芯片，拥有超过100万个训练节点，算力达到1.1EFLOP（每秒千万亿次浮点运算）。
Autopilot感知技术（Occupancy Network）	其核心是将语义分割和栅格占据地图法相结合，这种结合方法可以使路径规划更加精准和安全，可以运用于自动驾驶、机器人导航、虚拟现实等。

资料来源：Tesla AI day、中国汽车报、财联社、汽车测试网，华西证券研究所

图：特斯拉Optimus发展进程

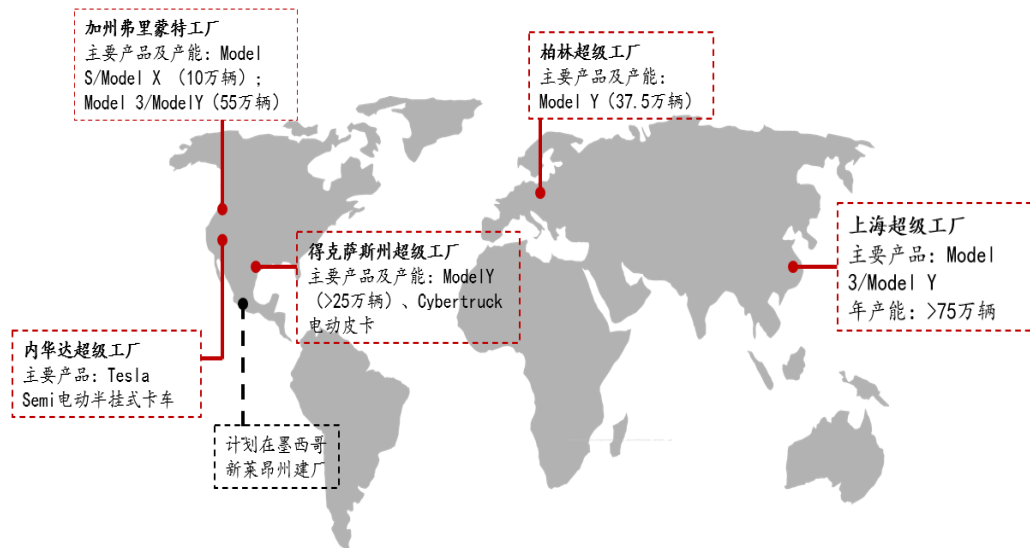


资料来源：IT之家、Tesla AI day、特斯拉股东大会、Tesla AI推特、华西证券研究所

➤ 电动车产能扩张迅速，印证Optimus量产能力

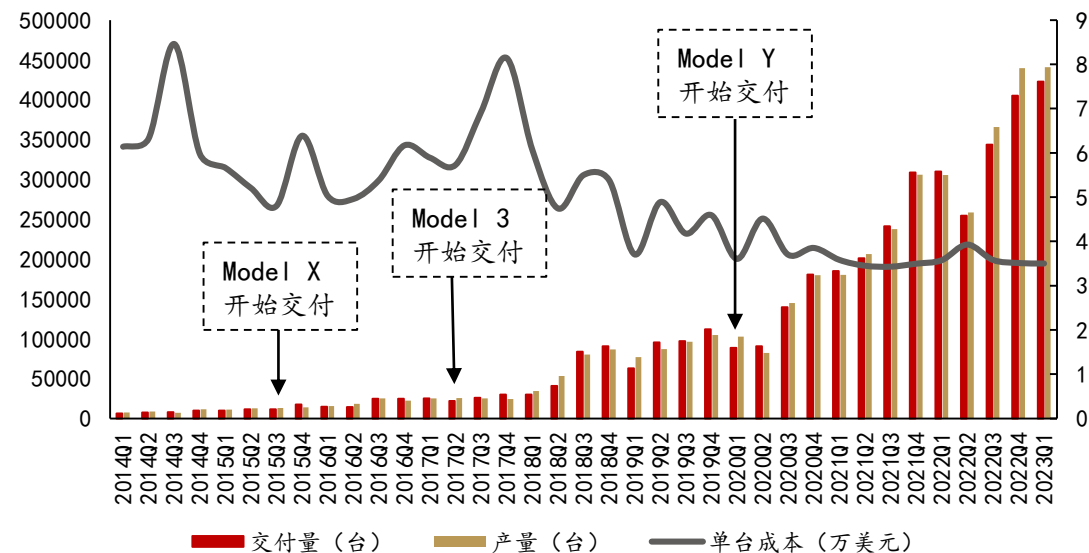
- ✓ 从2014年特斯拉在内华达打造了第一座超级工厂，仅经7年，到2022年底特斯拉在全球已有7家主要工厂（含5家超级工厂）。截止到2023Q2，特斯拉电动车年产能已超过200万辆。2023年3月，马斯克公布了墨西哥超级工厂计划，意味着特斯拉第6座超级工厂即将落地。2023年5月，马斯克在股东大会上表示将扩建内华达超级工厂用于生产特斯拉Semi和4680电池。随着超级工厂的建立，特斯拉汽车产量快速增长，由2014年的3.5万台提升至2022年的137万台，CAGR达到58.15%。
- ✓ 根据马斯克预测，Optimus的单台成本可能低于2万美元。我们认为，一旦Optimus实现了技术上的降本突破以及商业上的应用落地，Optimus将有望借助于特斯拉电动车超强的制造能力而快速量产，从而实现规模化降本，提高经济优势，低成本将促进Optimus快速渗透，渗透带来的规模效应又将进一步推动成本下降，形成良性循环。

图：特斯拉全球汽车产能分布情况



资料来源：特斯拉2023二季报、2023年特斯拉投资者活动日，华西证券研究所

图：2014-2022年特斯拉汽车单季度产销量及单台成本

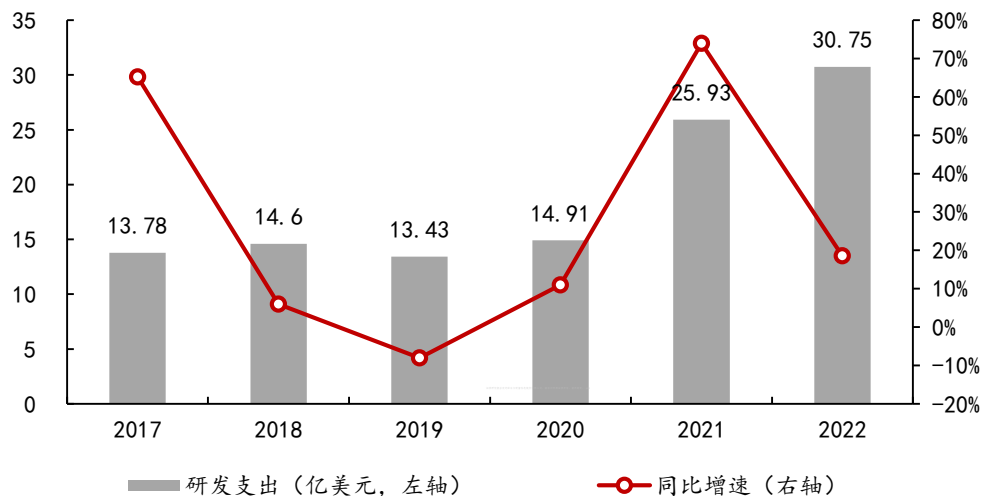


资料来源：特斯拉季报，华西证券研究所
*单台成本=汽车成本/产量

➤ 研发创新力强，Optimus技术降本可期。

- ✓ 特斯拉保持高研发投入，坚持研发创新降本。2017-2022年特斯拉研发支出由13.78亿美元增长至30.75亿美元，CAGR为17.41%。高研发投入产出的成果也十分亮眼，在电动车领域，特斯拉采用了多种技术降本方式，包括自研4680电池、采用CTC技术、一体化压铸、自研FSD芯片、电子电气架构升级、电驱设计降本等。
- ✓ 我们认为，Optimus将受益于特斯拉强大的研发能力，从而有望快速实现技术降本突破。

图：2017-2022年特斯拉研发支出及同比增速




资料来源：特斯拉官网，华西证券研究所

表：Tesla电动车技术降本方式梳理

Tesla电动车技术降本方式	效果
自研4680电池	相比2170电池，4680续航增加54%， 单位成本下降56%，单GWh产能投资额下降69% 。
CTC技术	特斯拉预测，随着CTC技术的应用， 每GWh投资将减少55%，占用空间也将减少35% 。
一体化压铸	Model Y车的车身底板和前底板用一体化压铸后， 零件由171个减至2个，焊点数量减少1600个以上，整车减重10%，底板减重30% 。
自研FSD芯片	搭载自研FSD芯片的HW3较搭载英伟达芯片的HW2.5的成本降低20% 。
电子电气架构升级	Model S线束长度约3km，Model 3线束长度约1.5km（ 从Model S到Model 3，线束重量减少轻17公斤 ），Model Y的车内线束长度缩短到100米。未来特斯拉车辆的低压用电系统将升级到48V电压，并通过硬件的整合， 实现由一根电线连接全部的低压用电器，来提升安装的效率 。
电驱设计降本	总制造成本将降低到约1000美元；减少75%的碳化硅用量、完全不使用稀土材料等 。

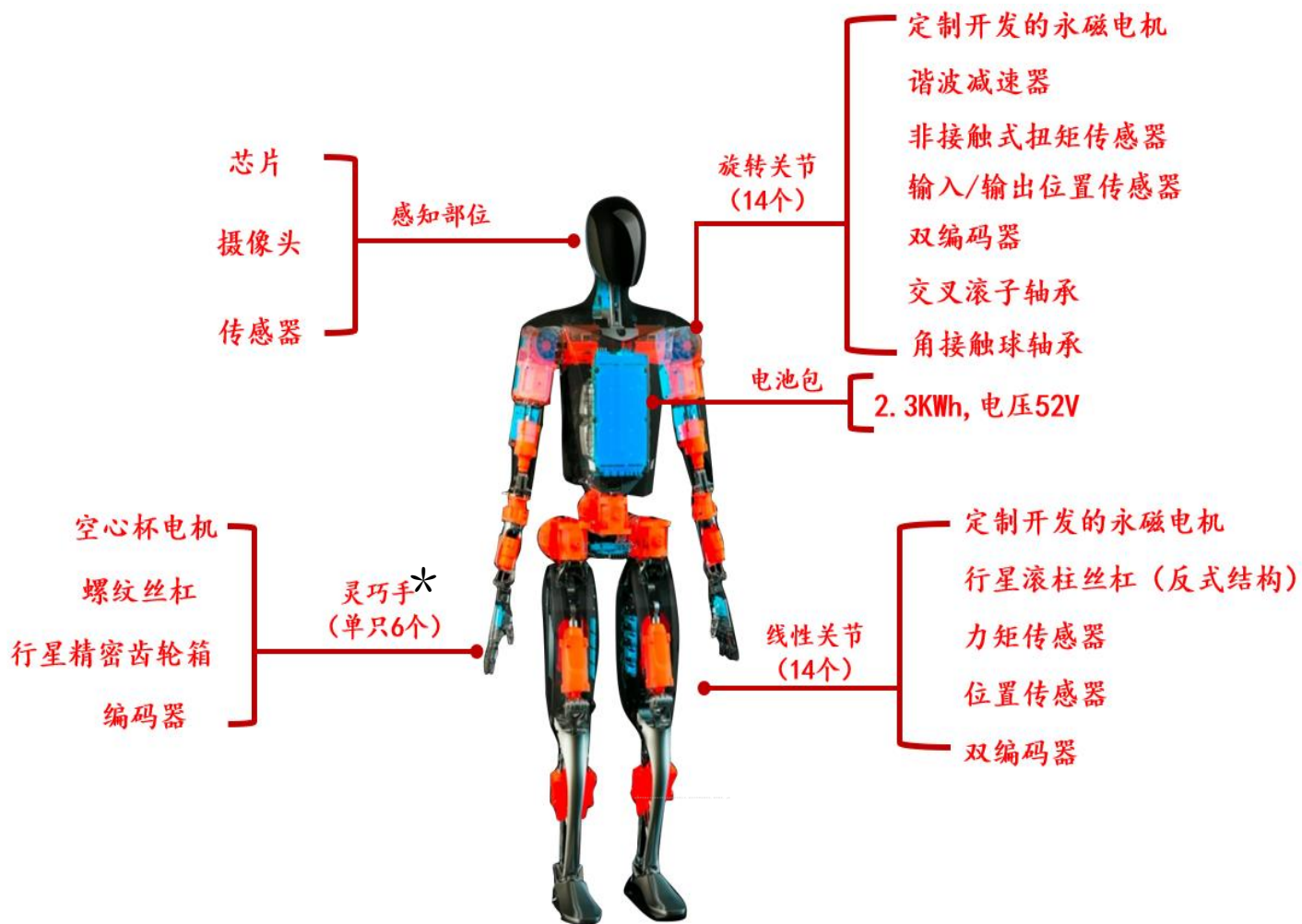
资料来源：2020年特斯拉电池日、中国有色金属报、车业杂谈、盖世汽车每日速递、2023年特斯拉投资者活动日，华西证券研究所



04 产业链迎发展机遇

人形机器人产业链图谱

图：人形机器人主要构造拆解——以Tesla Optimus为例



资料来源：Tesla AI day、高工机器人，华西证券研究所
 注：*为预测

表：人形机器人产业链情况



资料来源：GGII，华西证券研究所

- ✓ 人形机器人已发展到高动态阶段，为未来多样化应用场景落地创造了丰富的想象空间，多家企业已就实际应用场景开展了商业化初试，部分产品已初显成效。虽然目前人形机器人尚处于商业化初期，但在ChatGPT的加持下，人形机器人有望迎来新一轮“进化”，预计智能水平将获得跨越式提升，跨界科技龙头纷纷入局，技术革新蓄势待发。同时在相关激励政策支持推动人形机器人应用落地加速，市场潜力有望被快速释放。
- ✓ 未来，随着技术创新和成本下探，人形机器人具备可观发展潜力，有望迎来广阔的商业化应用空间，应重点把握新兴、高成长赛道机遇。

- ✓ 我们认为，人形机器人目前尚处于商业化初期：
 - 需要重点关注，特斯拉等头部企业的人形机器人的研发、生产、应用情况；
 - 上游核心部件环节有望受益于商业化应用和行业空间扩大。同时，伴随商业化进程的推进，人形机器人降本需求迫切，国内厂商有望凭借硬件部分的性价比等优势迎来机遇，看好：1) 手部方案较为确定以及格局较好的空心杯电机环节；2) 价值量占比较高的减速器、伺服电机、无框力矩电机等环节；3) 壁垒较高的力矩传感器、驱动器、编码器等环节。
 - 人形机器人的发展将为零部件制造商提供新的应用市场，技术同源、具备领先优势的相关企业有望受益。

- ✓ 受益标的：汇川技术、三花智控、绿的谐波、禾川科技、鸣志电器、伟创电气、步科股份、昊志机电、鼎智科技、江苏雷利、五洲新春等。



05 风险提示

- (1) 人形机器人技术瓶颈突破不及预期；
- (2) 人形机器人降本不及预期；
- (3) 人形机器人商业化应用不及预期；
- (4) 政策及市场变化等风险；
- (5) 原材料价格大幅波动。

分析师及研究助理简介

杨睿，华北电力大学硕士，专注能源领域研究多年，曾任民生证券研究院院长助理、电力设备与新能源行业首席分析师。2020年加入华西证券研究所，任电力设备与新能源行业首席分析师。第三届新浪财经金麒麟电力设备与新能源行业新锐分析师第一名。

李唯嘉，中国农业大学硕士，曾任民生证券研究院电力设备与新能源行业分析师，2020年加入华西证券研究所。第三届新浪财经金麒麟电力设备与新能源行业新锐分析师第一名团队成员。

哈成宸，美国康奈尔大学硕士，2022年加入华西证券研究所。

分析师承诺

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

公司评级标准	投资评级	说明
以报告发布日后的6个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。	买入	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过15%
	增持	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在5%—15%之间
	中性	分析师预测在此期间股价相对上证指数在-5%—5%之间
	减持	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数5%—15%之间
	卖出	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过15%
行业评级标准		
以报告发布日后的6个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过10%
	中性	分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在-10%—10%之间
	回避	分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过10%

华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园11号丰汇时代大厦南座5层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持最新状态。同时，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，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理跨部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

THANKS

