

| 证券研究报告 |

人形机器人行业深度： 具身智能，迈向广阔蓝海市场

2023.06.29

中泰机械首席：王可
执业证书编号：S0740519080001
邮箱：wangke03@zts.com.cn

中泰机械分析师：张晨飞
执业证书编号：S0740522120001
Email：zhangcf01@zts.com.cn

找报告，上“数据理河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（13462421224）同步分享更新

核心观点

□ 人形机器人：从专用到通用，打开机器人市场空间。

- **人形机器人打开机器人市场空间。**人形机器人指具备人类的外形特征和行动能力的智能机器人。传统机器人一般应用于单一场景，通过特定数据库进行训练，例如搬运、送餐、扫地机器人等；而人形机器人基于通用大模型，不限制固定应用领域，运转时可根据人的指令无缝生成相关代码并指挥机器人行动。从专用到通用场景的升级，人形机器人有望打开机器人应用场景，远期市场空间大。
- **行业市场空间广阔。**根据优必选招股书，预期2026年全球人形机器人解决方案市场规模将达到80亿美元。马斯克认为，人形机器人将会是今后特斯拉主要的长期价值来源。如果人形机器人和人的比例在2比1左右，则人们对机器人的需求量约100亿至200亿个，远超电动车的数量。

□ AI助力+商业巨头入局，产业进展加速。

- **人形机器人发展多年，为何近年发展加速？**全球第一台人形机器人于1973年诞生于日本，已发展多年，2022年以来行业迎来密集催化，行业进展加速。我们认为主要原因有以下两点：（1）通用大模型发展，人形机器人有望迎来技术奇点；（2）特斯拉凭借强大的软件技术、供应链能力有望带动整个产业的发展。
- **人形机器人发展的难点：**人形机器人有三大关键技术模块：运动模块、传感模块和人工智能模块，是现有机器人技术的延伸。目前人形机器人的难点存在三个：（1）人形机器人工作场景复杂，需要更强大的通用型算法以保证动作执行的成功率；（2）人形机器人应用会带来隐私和安全性问题，需完善行业标准规范；（3）成本控制以实现经济可行。

□ 关注上游核心零部件投资机会。

- **人形机器人主要由关节、灵巧手、躯干、算法构成。**关节：采用减速机+电机的传动方式，包括旋转关节和线性关节；灵巧手：能实现细微操作。躯干：躯干包含传感器、电池管理、和冷却系统。算法：复用电动车全自动驾驶系统和感知计算单元，硬件包括芯片、摄像头等。

核心观点

- **关注上游核心零部件增量机会。**机器人核心零部件包括减速器、伺服、控制器等。根据ofweek数据，减速器、伺服、控制器占工业机器人成本的比例分别为35%、20%、15%。人形机器人关节和自由度更多，预计零部件占比更高。关注人形机器人发展为上游核心零部件带来的增量机会。
- **受益方向：**谐波减速器、无框力矩电机、空心杯电机、行星滚珠丝杠、传感器等。
- **风险提示：**人形机器人产业发展不及预期的风险；相关标的业绩不达预期的风险；研报引用数据更新不及时的风险等。

目 录

CONTENTS

- 1 人形机器人：从专用到通用，打开机器人市场空间
- 2 AI助力+商业巨头入局，人形机器人产业进展加速
- 3 关注上游核心零部件投资机会
- 4 受益标的
- 5 风险提示



1

人形机器人：从专用到通用，打开机器人市场空间

领先！深度

找报告，上“数据理河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（13462421224）同步分享更新

□根据应用领域，机器人可分为工业、服务和特种机器人。（1）工业机器人：面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人，在工业生产加工过程中通过自动控制来代替人类执行某些单调、频繁和重复的长时间作业；（2）服务机器人：在非结构环境下为人类提供必要服务的多种高技术集成的先进机器人，其应用范围更加广泛，可从事运输、清洗、安保、监护等工作；（3）特种机器人：替代人类从事高危环境和特殊工况的机器人，主要包括军事应用机器人、极限作业机器人和应急救援机器人。

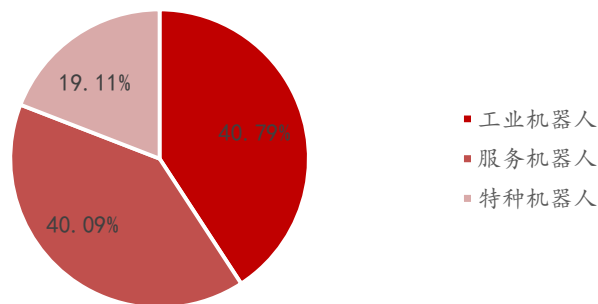
□人形机器人指外形类人的机器人，能胜任多种应用场景。人形机器人指具备人类的外形特征和行动能力的智能机器人，可以采用双腿行走的方式，通过手臂和身体的协调完成一些功能，以及通过语音和人类进行交互。从应用看，人形机器人与服务机器人更加类似，但人形机器人通用性更强，能胜任多种场景。

图表1：机器人分类

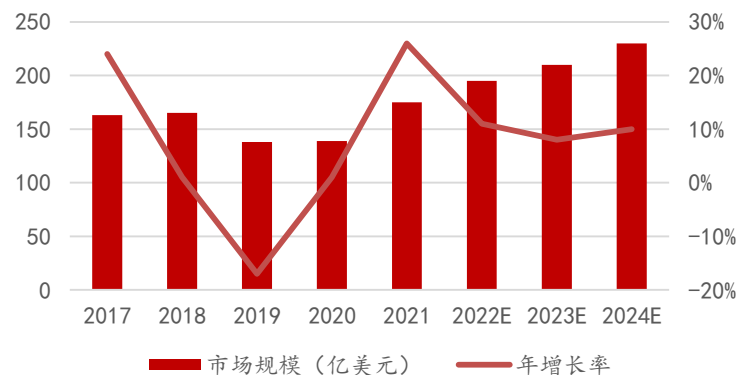


□ **机器人市场持续成长。**根据中国电子学会数据，2012-2021年全球机器人市场规模由107亿美元增长至429亿美元，CAGR约16.7%，行业持续成长。2021年全球工业、服务、特种机器人市场规模分别为175亿美元、172亿美元、82亿美元，占比分别为40.8%、40.1%、19.1%。2012-2021年，服务机器人占机器人市场规模的比例由12.1%提高至40.1%，表现出更好的成长性。

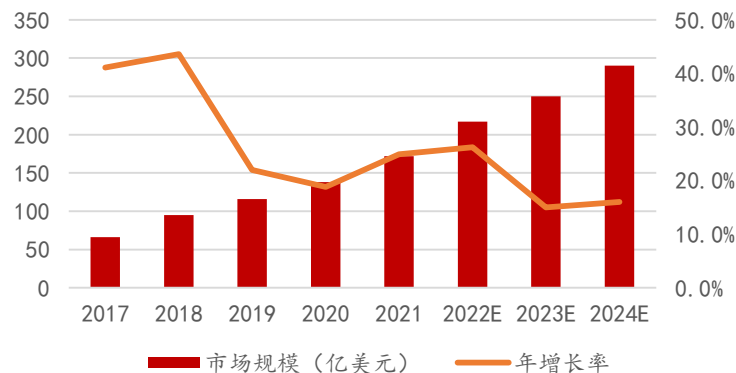
图表2：2021年全球机器人市场结构



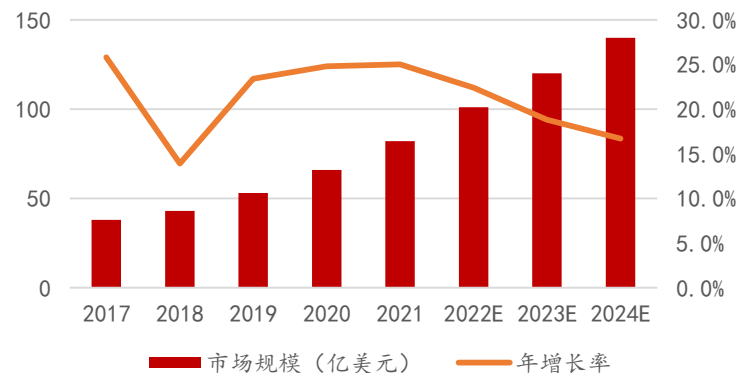
图表3：全球工业机器人市场规模



图表4：全球服务机器人市场规模



图表5：全球特种机器人市场规模



□人形机器人是机器人从专用到通用场景的升级。

- **传统机器人一般为专用场景。**传统机器人的应用一般集中于某一领域，例如协作机器人、搬运机器人、手术机器人、送餐机器人、扫地机器人、物流机器人等，一般提前预设指令和规则，机器人运作时时根据场景和预设规则执行相应动作。
- **人形机器人是机器人行业从专用到通用场景的升级。**人形机器人基于通用型算法，通过生成式AI，具备语义理解、人机交互、自主决策等能力，可适用于多个场景，因此人形机器人式机器人行业从专用到通用的一次重要升级。在特斯拉、优必选等企业发布的视频里，人形机器人开始出现在工厂，它们能够探索环境，复刻人类工作，自主操控物品等等，让人们看到了人形机器人在家庭陪伴、咨询等领域以外的更多可能性。

图表6：部分专用场景机器人的市场规模和单价

	市场规模（2022E，亿元）	2021-2026年预期复合增速（%）	2022年售价区间（人民币，千元）
教育机器人	25	24.60%	3-10
物流及移动机器人	125	38.40%	50-800
康养机器人	20	34.70%	30-200
巡检机器人	101	16.30%	100-800
扫地及地面清洁机器人	145	20.30%	0.6-6
接待机器人	5	30.30%	8-60
送餐机器人	8	39.90%	15-60

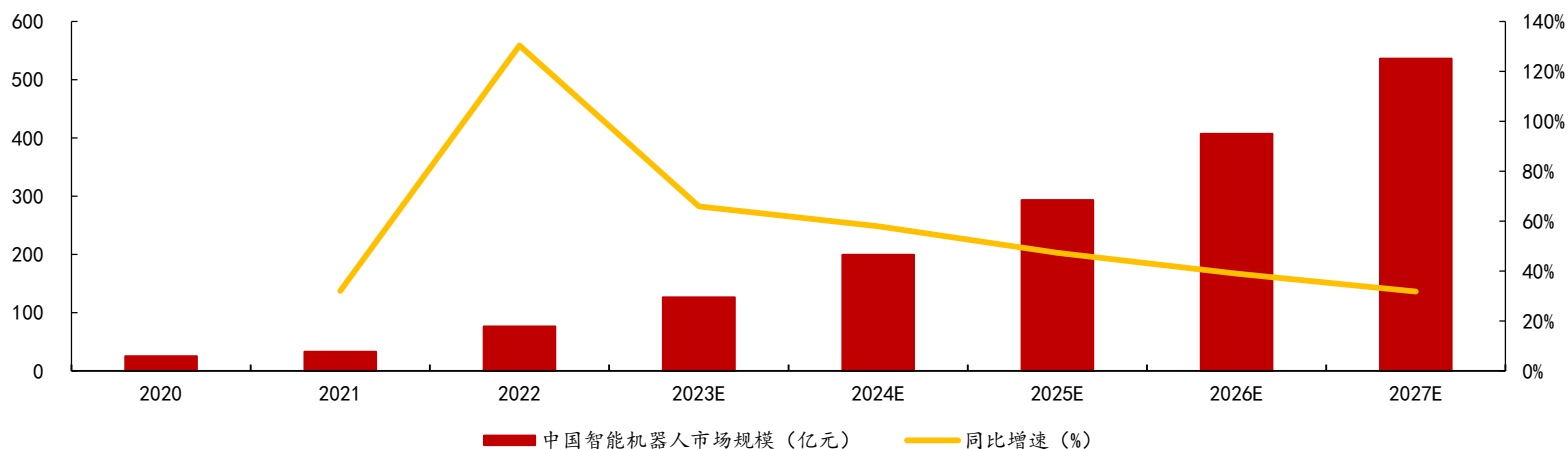
来源：优必选招股说明书，中泰证券研究所

□人形机器人打开机器人应用场景，远期市场空间广阔。人类生活场景复杂，与人体结构相似度较高的人形机器人能够在人类生活环境中自如运动，不需要为人形机器人特别改造环境。同时，人形机器人外形与人类相似，更容易在心理上为人所接受，除了让人的生活方式变得更加便捷化和智能化之外，还能提供更加人性化的服务。人形机器人的通用性打开其应用场景，远期市场空间广阔。

□根据优必选招股书，预期2026年全球人形机器人解决方案市场规模将达到80亿美元，占全球智能服务机器人解决方案市场规模的11.8%。根据艾瑞咨询，2022年中国智能机器人市场规模为76亿元，预计2027年市场规模将达到536亿元，2022-2027年CAGR有望达到47.9%。

□马斯克认为，人形机器人将会是今后特斯拉主要的长期价值来源。如果人形机器人和人的比例在2比1左右，那么人们对机器人的需求量可能是100亿至200亿个，远超电动车的数量。

图表7：中国智能机器人市场规模（特指结合AI的机器人，具体定义见备注）



来源：艾瑞咨询，中泰证券研究所

注：智能机器人指结合AI算法、具备自主学习能力和环境特征适应性的机器人产品，包含应用于工业、物流、服务等行业的商用机器人，不含家用机器人。

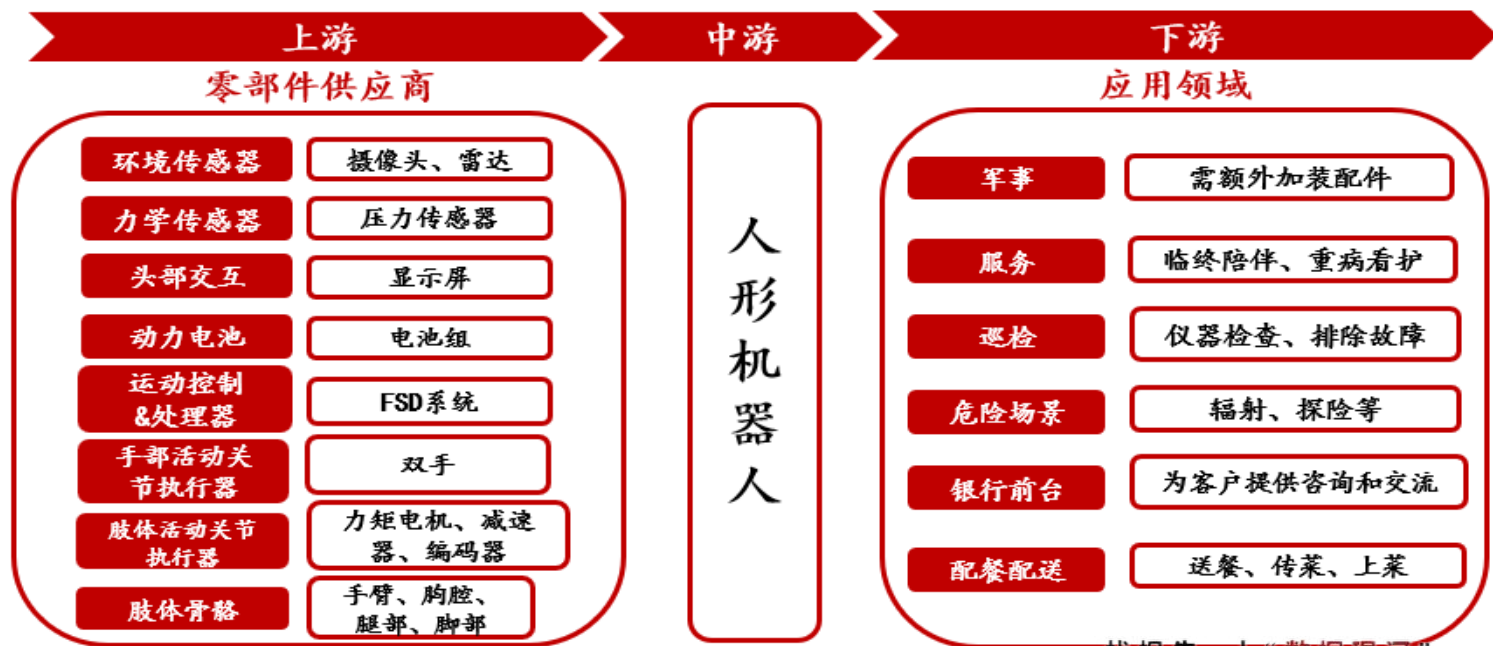
找报告，上“数据理河”

□上游为核心零部件和软件系统: 核心零部件有减速器(减速器占比最大)、伺服电机、控制器、传感器, 对比传统机器人还增加了体现算力水平的半导体芯片、用于人机交互的面板玻璃等。软件部分包括机器视觉、人机交互、机器学习、系统控制等。机器人感知、决策、控制、交互能力的升级使得软件系统与配套技术支持在产业链中占比加大。

□中游为本体制造: 国内产商包括优必选、北京钢铁科技等; 国外包括波士顿动力、美国敏捷机器人、日本丰田、本田、特斯拉等。

□终端应用领域: 目前还未有成熟的商业应用, 可能的应用场景包括迎宾接待、展厅引导、高校科研、医疗协助、娱乐休闲、安防巡检等。

图表8: 人形机器人产业链



找报告, 上“数据理河”

图表9: 机器人产业图谱





2

AI助力+商业巨头入局，产业进展加速

领先！深度

找报告，上“数据理河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（13462421224）同步分享更新

□人形机器人发展历程：诞生于1973年，持续发展进步，目前特斯拉、波士顿动力、小米、优必选、OpenAI、华为等多家商业巨头布局人形机器人产业。

图表10：人形机器人发展历程

全球第一台数控人形：日本早稻田大学研发的WABOT-1，能用双腿缓慢移动，用手抓握，并且能用日语进行简单交流，震惊了全世界。



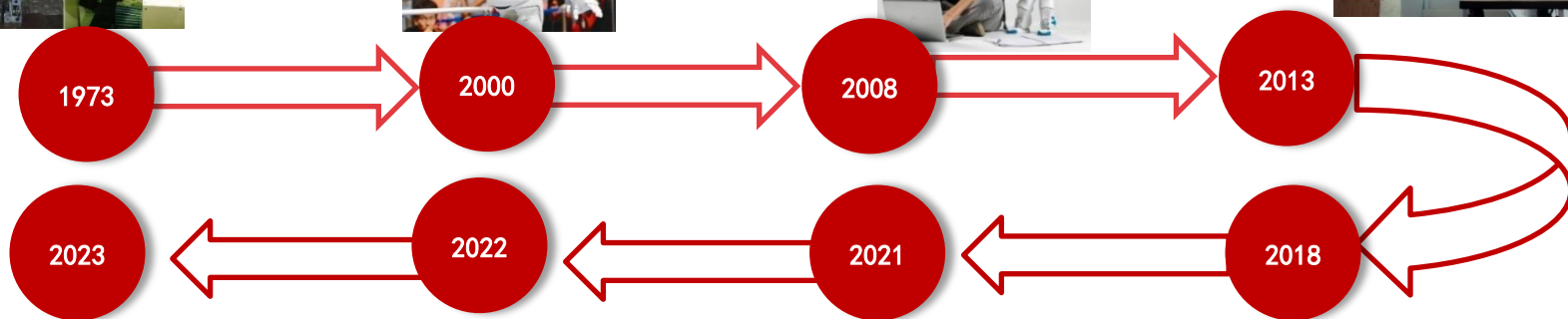
人形运动能力重大进步：本田创造出ASIMO初代机。历经数次迭代，ASIMO掌握了双足奔跑、搬运托盘、搀扶老人、上下楼梯等功能。



人形成功商业落地：法国公司Aldebaran（后被软银收购）研发的小型教学陪伴用人形NAO实现商业落地。由于NAO可在多平台编程的便利性，被在如北京、纽约大学等一流学府内广泛使用。



人形动作能力迈入新纪元：由波士顿动力研发，初始设定用于救灾任务的Atlas初代机首次公开发布。历经多次迭代，现在最新版的Atlas已经能不依赖预编程，主动识别周遭环境进行自主决策，并完成如跳跃、空翻等多种高难度“跑酷”动作。



AI与云端技术提供无限可能：OpenAI开发的AI交流工具ChatGPT大火，其极高的交互能力为人形机器人的应用发展打开了广阔空间。



商业大佬正式入局：马斯克在特斯拉AI日上展示了其为替代人工而设计的Optimus原型机。特斯拉的加入引发了全世界对于人形机器人行业的关注。



人形拟真度飞跃提升：英国企业Engineered Arts公开了史上“最有人情味的”互动机器人Ameca，Ameca可以与人类交流哲学问题，也能模仿人类表情传达微妙情绪，她的诞生标志着人机互动性飞跃式的提升。

中国第一台商业用人形：中国企业优必选自主研发，定位为家庭服务用人形机器人Walker一代，在CES（美国消费电子展）首次亮相。标志着国内商业化人形机器人的重大进步。



□人形机器人产品梳理。除特斯拉Optimus外，历史上较有名的人形机器人产品包括波动顿动力的Atlas、优必选的walker等。人形机器人产品分为两类。一类是侧重于运动控制的机器人，例如波士顿动力的Atlas，另一类为侧重于人机交互的机器人，例如索菲亚机器人。

图表11：人形机器人部分产品梳理

参数类别	参数指标	小米	优必选	特斯拉	波士顿动力	Agility Robotics
基本信息	名称	CyberOne、铁大	WalkerX	Optimus	Atlas	Digit
	身高	1.77m	1.30m	1.72m	1.5m	1.75m
	体重	52kg	63kg	56.7kg	89kg	65kg
	负载		最大负载 10kg 移动时双臂负载 3kg 单臂垂直负载 1.5kg	双手载重约10kg		双手负载16kg
	自由度	21 DoF (钳状手掌无十指)	41 DoF (6自由度手掌)	50 DoF (11自由度手掌)	28个液压关节 (球状手部无十指)	30 DoF (钳状手掌无十指)
导航感知	机器视觉	Mi-sense视觉模块： 8米内深度信息精度能达到1%	U-SLAM自主导航系统	特斯拉汽车迁移来的FSD 芯片摄像头、激光雷达 等	ToF深度相机结合传统相机： 通过发射光波并测量光 折射的相位差 判断物体形状和距离	
	人机交互	MiAI环境语义识别和语音情绪识别能： 识别45种人类情绪+85种 环境语义	多模态情感交互以及仿 人共情表达 头部有显示器	暂未展现人机交互能力	暂不具备人机交互能力	首席技术官：不打算设计 人机交互功能
	驱动	电机+减速器	电机+减速器	电机+减速器	电机与液压两种传动结构 互补	电机+减速器
	成本造价	人民币60-70万	优必选自称每台成本10 万美元以内	马斯克称量产预计2.5 万美元	业内专家估计每台成本 200万人民币左右	2020年发售的版本售价 约为2.5万美元
						

□行业催化事件密集，产业进展加速。特斯拉、小米、英伟达、华为等巨头纷纷看好或布局人形机器人产业，行业进展加速。

图表12：人形机器人行业重要事件梳理

时间	事件
2022年6月	黄奇帆：今后二三十年，能够形成万亿美元级别市场的“五大件”目前已经初现雏形。一是新能源汽车，二是家用机器人，三是头戴式AR/VR眼镜或头盔，四是柔性显示，五是3D打印设备。
2022年8月1日	小米展示了全尺寸人形仿生机器人CyberOne，又名“铁大”。
2022年9月30日	特斯拉人工智能日推出“擎天柱”原型机
2023年1月19日	工信部等十七部门印发《“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。
2023年5月17日	英伟达创始人兼首席执行官黄仁勋在ITP World 2023半导体大会上，强调了英伟达加速计算和AI解决方案在芯片制造中的潜力，他认为“芯片制造是英伟达加速和AI计算的理想应用”。展望未来，黄仁勋表示人工智能下一个浪潮将是“具身智能”，他也公布了Nvidia VIMA，这是一个多模态具身人工智能系统，能够在视觉文本提示的指导下执行复杂的任务。
2023年3月	OpenAI领投挪威机器人公司1X，1X原名为Halodi Robotics，成立于2014年，生产能够模仿人类动作和行为的机器人。1X称其宗旨是创造具有实际应用价值的机器人，以增加全球劳动力。
2023年5月16日	在特斯拉举行的2023股东大会上马斯克表示，特斯拉正在开发的人形机器人“擎天柱”（Optimus）未来将能够在斯拉的高级辅助驾驶系统软件和计算机上运行。他相信，特斯拉大部分的长期价值最终将来自Optimus。在马斯克看来，未来人们对人形机器人的需求量会非常大，人形机器人将会是今后特斯拉主要的长期价值来源。“如果在人形机器人和人的比例是2比1左右，那么人们对机器人的需求量可能是100亿乃至200亿个，会远超电动车的数量。”马斯克指出。
2023年6月	华为全资成立东莞极目机器有限公司，注册资本8.7亿元，经营范围包含电子院卡紧制造、工程和技术研究金额试验发展等。
2023年7月	“傅利叶智能通用机器人战略发布会”将在上海举行。届时，该公司最新研发成果——通用机器人GR-1将首次与公众见面，此外，傅利叶智能还将分享在通用机器人领域的未来发展愿景。

来源：科创板日报、华尔街见闻等，中泰证券研究所

AI发展为人形机器人奠定技术基础。

- 人形机器人需要通用型算法。传统机器人应用于特定领域，专门针对某个应用场景开发算法。人形机器人在应用场景上具备通用性，通用型算法没有限制固定领域，需要对更大的数据集建模，并且需要对语言和指令有更强大的理解力。在实际运转过程中，机器人需要针对人的指令无缝生成相关代码，再利用代码指挥机器人行动。
- 通用大模型发展，人形机器人产业进展加速。ChatGPT引爆新一轮人工智能热潮，其能胜任高情商对话、生成代码、构思剧本和小说等多个场景，将人机对话推向新的高度。ChatGPT 代表了人工智能通用大模型的最新进展，显示了大模型的影响力。大模型是指容量较大、用于深度学习任务的模型，通常具有海量的参数和复杂的架构，具有涌现性、扩展性、复合性的特征）大算力、大数据、大网络结构等技术特点，具有更丰富的通用知识、更强的学习与推理能力，可更好地降低人工智能应用成本、缩短研发周期、提升识别准确率。通用型AI发展，人形机器人产业进展有望加速。

图表13：全球AIGC行业发展历程



图表14：ChatGPT依托于LLM（大型语言模型）

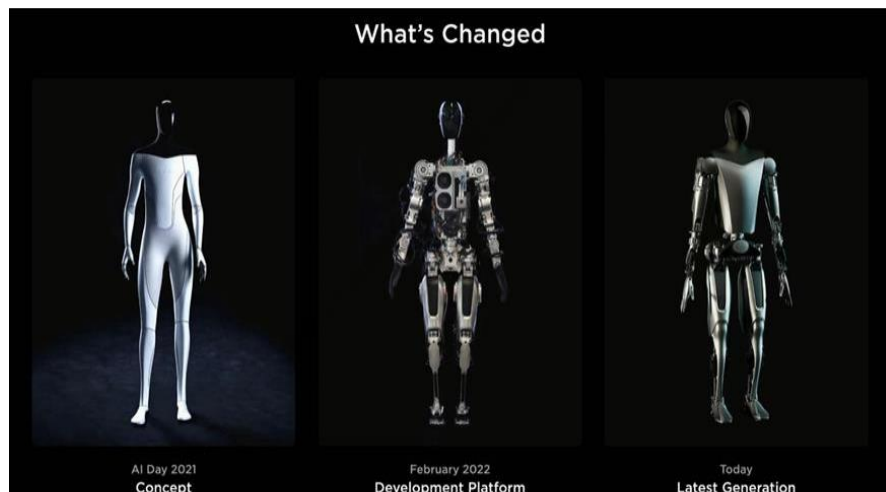


找报告，上“数据理河”

□ 凭借强大的软件和硬件优势，特斯拉有望带动产业发展

- **软件层面：**特斯拉具备强大的自动驾驶技术；通过汽车自动驾驶技术的迁移快速掌握人形机器人自主导航定位功能；通过车祸安全模拟技术的迁移，保证机器人碰撞损坏在可控范围内。
- **硬件层面：**特斯拉在电动汽车领域具备强大的供应链，有望和人形机器人供应链实现协同，通过供应链协同有望实现快速降本效果。
- **应用场景：**特斯拉人形机器人率先在自己的工厂中使用，有望快速积累know-how，实现人形机器人产品力快速提升。
- 马斯克认为，人形机器人将会是今后特斯拉主要的长期价值来源。如果人形机器人和人的比例在2比1左右，那么人们对机器人的需求量可能是100亿至200亿个，远超电动车的数量。

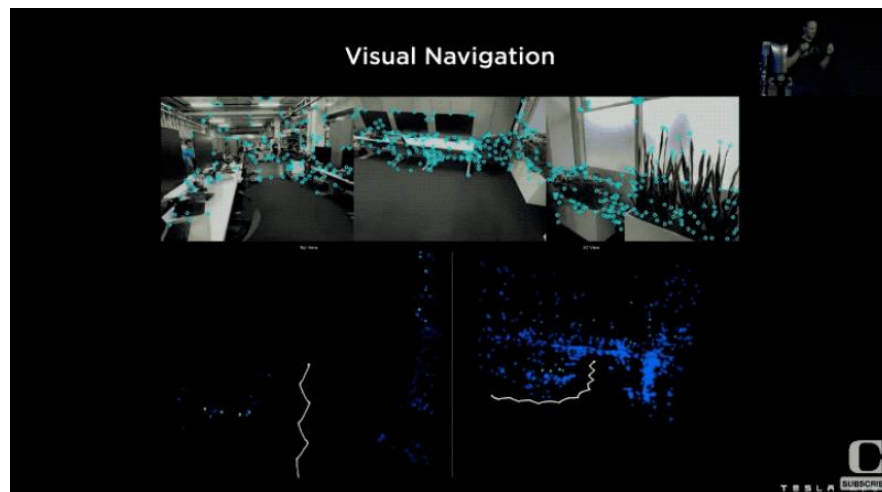
图表15：特斯拉 Optimus 示意图



来源：智东西，中泰证券研究所

注：（左图概念机，中间原型机，右图最新版本）

图表16：Optimus视觉导航系统采用汽车同款神经网络



来源：智东西，中泰证券研究所

□ 特斯拉人形机器人产品力快速提升。

- 2021年8月马斯克于首届“人工智能日”公开展示特斯拉人形机器人概念机 Tesla Bot。
- 2022年9月30日，特斯拉在第二届“人工智能日”发布最新版本的 Optimus人形机器人：可实现行走、挥手、摇摆等动作，现场还通过视频展示了其在汽车工厂搬运、给植物浇水、移动金属零件的视频。据马斯克预计，Optimus将于3-5年内实现量产上市，其最终数量将会达到百万级，而成本将降至2万美元。
- 2023年5月17日，特斯拉投资者日展示Optimus最新进展，外观有改善，除了浇花、搬运东西外，还掌握了抓取小物品的能力。

图表17：概念机Tesla Bot与Optimus对比

指标	概念机	Optimus
身高 (cm)	172	173
体重 (kg)	56.7	73
时速 (km/h)	8	行走缓慢
载重 (kg)	20	9
执行器 (个)	40	28

来源：特斯拉AI Day，中泰证券研究所

□人形机器人关键技术模块有三个：运动模块、传感模块和人工智能模块。对于传统机器人，其技术往往侧重于其中一个，例如工业机器人侧重于运动控制技术、扫地/送餐机器人侧重于导航技术。而人形机器人技术的集成度更高，是现有应用的延伸和演变。

- **运动模块（肌肉骨骼）**：电机、伺服、减速器等动力和传动装置使机器人具备运动能力，其作用类似于人类的肌肉和骨骼；
- **传感模块（神经/知觉）**：包括各种传感器（触摸/力反馈/加速度/视觉/语音传感器）、3D/深度摄像头、激光雷达等，传感模块的作用是收集内部和外部数据，供机器人进行任务处理分析，其作用类似于人类的神经系统；
- **人工智能（大脑）**：主要为软件，包括导航技术（解决运动路线和避障问题）、智能决策（语意理解并对人类的命令进行回应）等，其作用类似于人类的大脑。

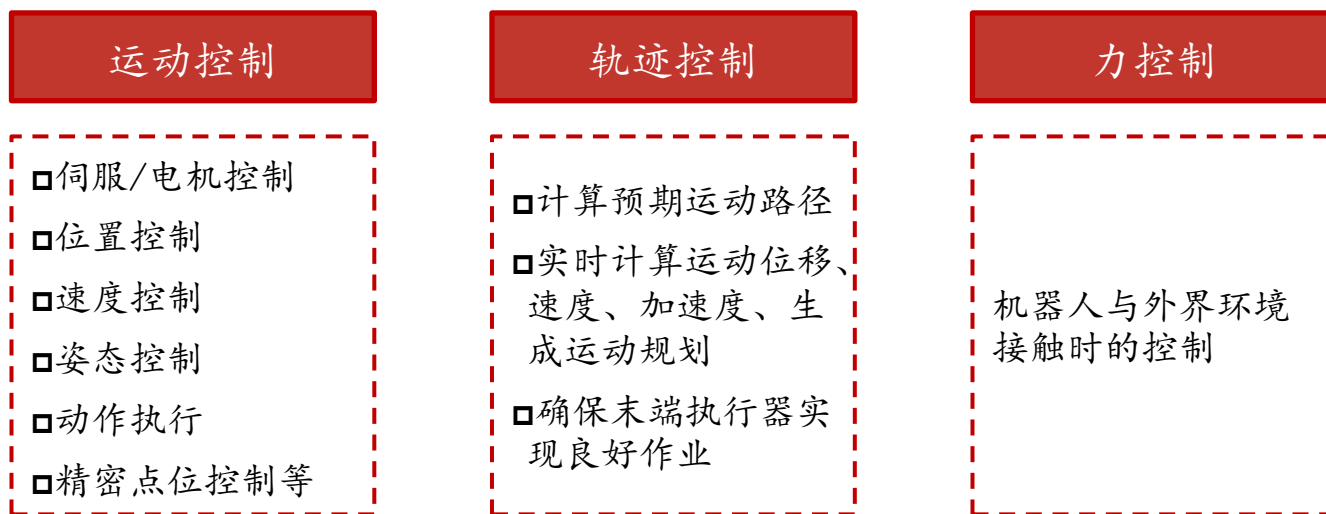
图表18：人形机器人是现有技术的演变和延伸



□运动模块：控制位置、姿态、轨迹、操作顺序和动作时间。（1）底层控制：以机械部分、驱动器、传感器等为核心的运动和机器人姿态控制；（2）上层控制：涵盖运动分析、配套软件控制等。

□机器人运动模块主要包含三方面：运动控制、轨迹控制、力控制。其中运动控制主要通过伺服或电机驱动人形机器人行走或操作；轨迹控制的作用是保证末端执行器实现良好作业；力控制主要控制机器人与外界环境接触的动作。

图表19：人形机器人运动模块技术

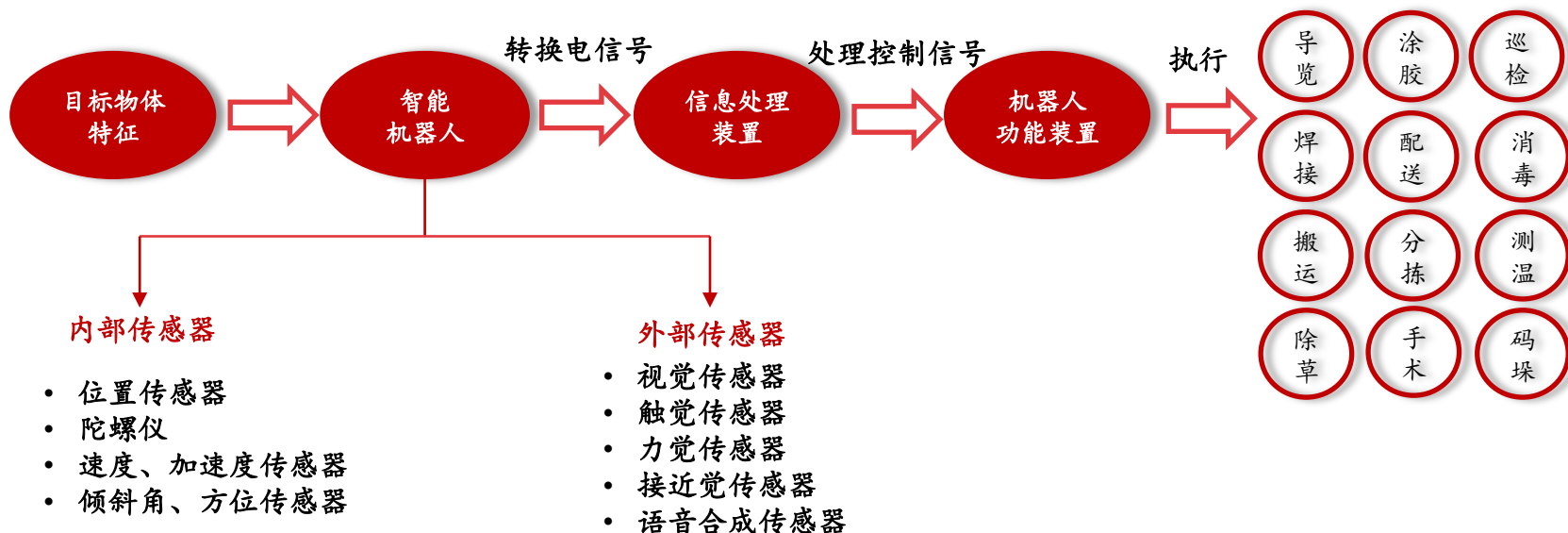


来源：艾瑞咨询，中泰证券研究所

□感知模块是机器人感知内外部环境的基础。传感器是机器人具有类人直觉与反应能力的基础，起到内部反馈控制，感知并于外部环境产生交互的作用。根据检测对象，传感器可分为内部传感器和外部传感器，内部传感器用于测量智能机器人自身状态，外部传感器用于测量与机器人作业相关的外部因素。根据检测要素，传感器可分为力觉传感器、拉压力传感器、摄像头、激光雷达等。

□多传感器融合是发展方向。为了获取完整可靠的信息，通常采用多传感器融合来提高机器人识别的准确度。在机器人系统上配置不同功能的传感器，可构建融合视觉、听觉、触觉等感知能力的综合系统，便于人形机器人在执行工作中精准获取内外部信息。

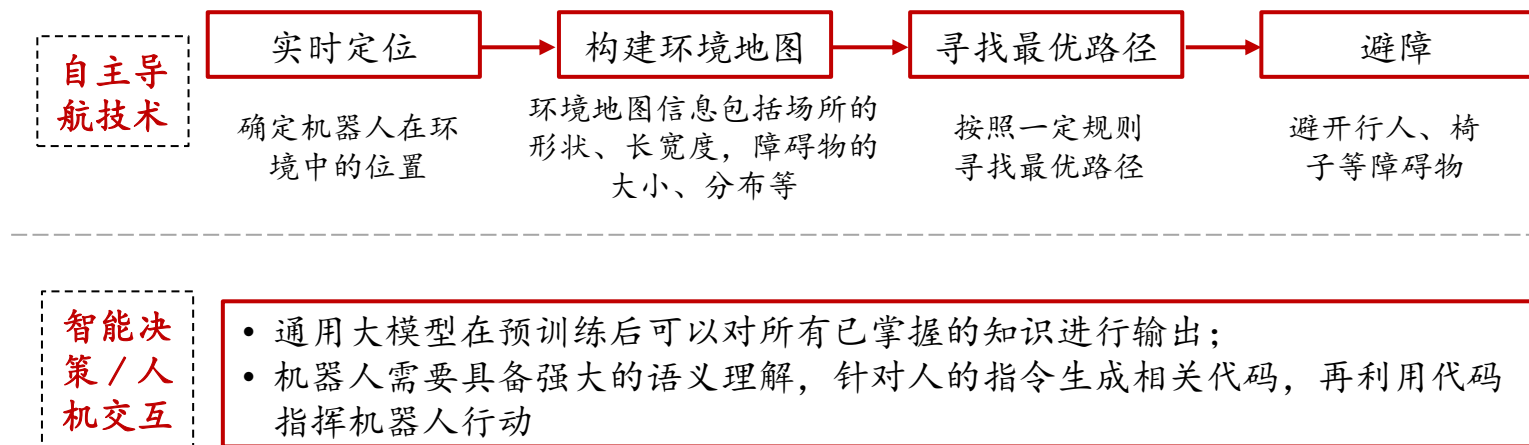
图表20：机器人感知外界的过程



□人工智能：包括自主导航、决策、人机交互等。

- **自主导航**：解决的是“在哪里、去哪里、怎么去”的问题。自主导航包括定位、构建地图、路径规划、避障等技术，根据采用传感器的不同，可分为激光导航、视觉导航等，其中激光导航使用激光雷达，而视觉导航采用摄像头作为传感器。
- **智能决策**：通过语义理解，理解人类命令并执行相应动作。机器人需要对人类指令进行理解，并且通过AIGC生成需要执行的任务，之后进行动作执行。

图表21：人形机器人人工智能技术

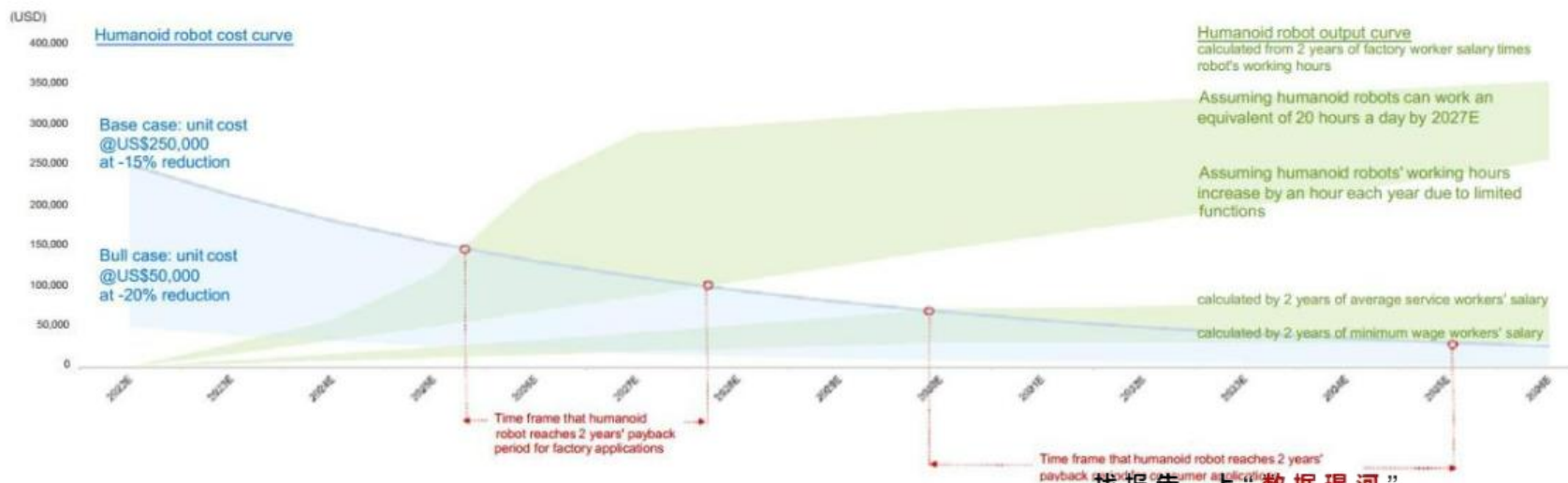


来源：艾瑞咨询，中泰证券研究所整理

□人形机器人目前存在哪些难点？

- 1. 算法。**人形机器人基于通用性算法，通用型AI没有限制固定应用领域的，其在预训练完成过后可以对所有已掌握的知识进行输出。在家庭等C端场景，对人形机器人的需求十分零散，例如拿一个苹果，要求机器人在任何家庭里都能拿到这个苹果，而每个家庭的环境是不一样的，苹果的大小颜色也有差别，这就需要人形机器人在视觉、语音层面要有更强大的通用性算法。
- 2. 行业标准规范。**人形机器人的应用会带来隐私和安全问题，例如家庭场景下搜集信息的处理、养老或看护时的安全性问题等。行业需要更加统一的标准和规范。
- 3. 成本控制。**人形机器人的终极目的是机器换人，只有机器人具备经济性才能大范围应用。人形机器人需要通过设计优化、供应链整合、规模效应等进一步降低成本。根据高盛评估，人形机器人的工厂应用在2025E-2028E经济可行，消费场景应用在2030E-2035E经济可行（指投资回收期达到2年）。

图表22：人形机器人经济性评估





3

关注上游核心零部件投资机会

领先！深度

找报告，上“数据理河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（13462421224）同步分享更新

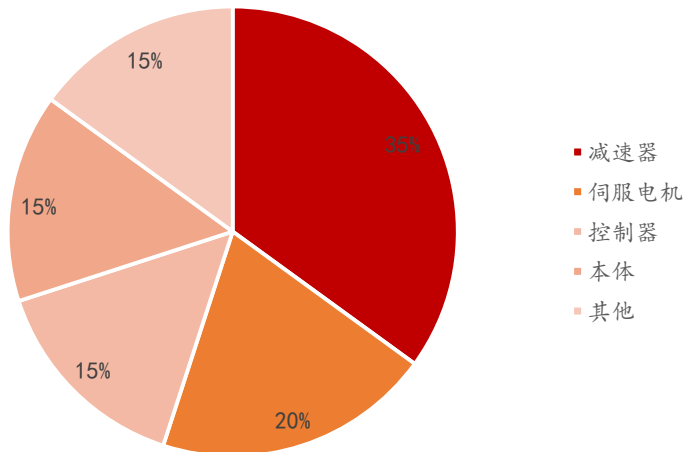
3.1、硬件拆解：由四大结构组成，零部件成本占比高

□人形机器人零部件价值量占比预计超过50%:

□机器人核心零部件包括减速器、伺服、控制器等。根据ofweek数据，减速器、伺服、控制器占工业机器人成本的比例分别为35%、20%、15%。

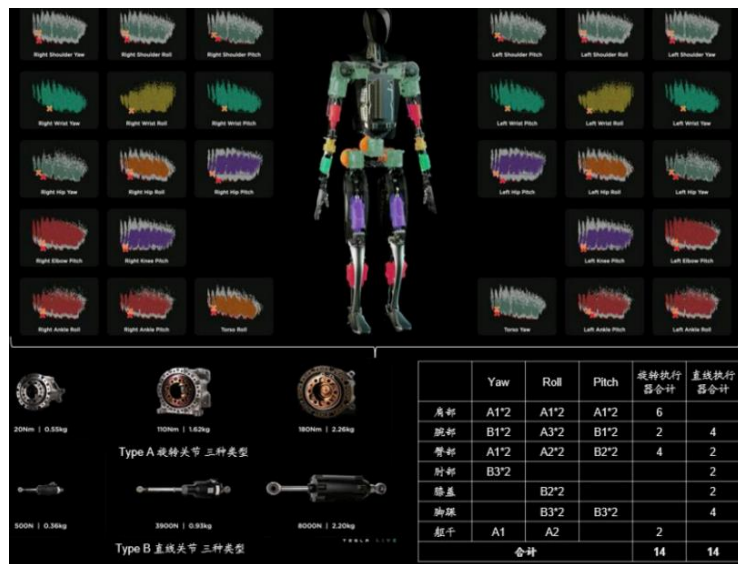
□人形机器人关节和自由度更多。以特斯拉机器人为例，共有6类关节，搭载28个执行器，并且在灵巧手等部位配备大量传感器。考虑到人形机器人关节和自由度更多，预计零部件占比更高。

图表23：工业机器人成本占比



来源：ofweek，中泰证券研究所

图表24：特斯拉人形机器人包括28个执行器



来源：Tesla AI Day，中泰证券研究所

□参照Optimus，人形机器人主要由关节、灵巧手、躯干、算法构成。

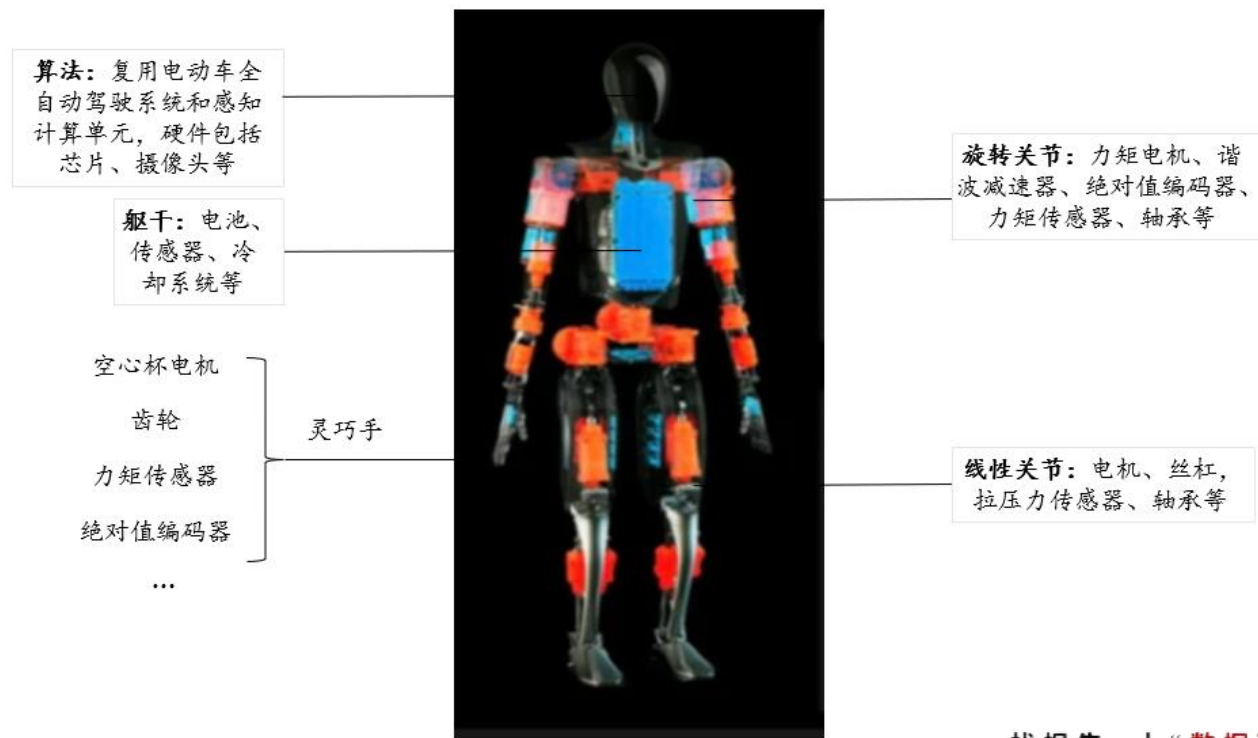
□关节：采用减速机+电机的传动方式，包括旋转关节和线性关节；Optimus共28个执行器，其中线性执行器14个、旋转执行器14个。

□灵巧手：拇指为双电机，其他手指个采用一个电机驱动，可实现11个自由度。

□躯干：躯干包含传感器、电池管理、和冷却系统。

□算法（大脑）：复用电动车全自动驾驶系统和感知计算单元，硬件包括芯片、摄像头等。

图表25：人形机器人结构拆解



- 旋转执行器**：由谐波减速器、交叉滚子轴承、绝对值编码器、无框电机、力矩传感器等组成。Optimus的旋转执行器共14个：两个肩部共6个、肘部2个、腰部2个、髋部4个；
- 线性执行器**：由行星滚柱丝杠、无框电机、力矩传感器、绝对值编码器、深沟球轴承等组成。Optimus的线性执行器共14个：肘部2个、腕部4个、腿部8个；
- 灵巧手**：主要由空心杯电机、丝杠、行星精密齿轮箱、力矩传感器、绝对值编码器组成。灵巧手共2个，每个灵巧手由6个电机驱动。

□减速器具有匹配转速和增加扭矩的作用。减速器是连接动力源和执行机构的中间机构，机器人通过减速器将转速降到各关节所需速度并增加扭矩，以满足对动力输出的要求。优质的减速器能够提供稳定的传动和高精度的定位，从而保证机器人的运动稳定性和精度。

□谐波减速器在人形机器人中应用广泛。谐波减速器体积小、精度高、传动比高、传动平稳、可以向密闭空间传递运动等多个优点，但谐波减速器的刚度不高，在负载较大的情况下容易出现跳齿、脱齿现象，一般只能用于中轻型器械中。在工业机器人中谐波减速器主要用于小臂、腕部、手部等轻负载部位，人形机器人的负载较轻，因此谐波减速器的应用更加广泛。

图表26：谐波减速器介绍

	谐波减速器
技术特点	通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮、波发生器三个核心零部件组成。与RV及其他精密减速器相比，谐波减速器使用的材料、体积及重量大幅度下降。
产品性能	体积小、传动比高、精密度高
应用场景	主要应用于机器人小臂、腕部或手部。
价格区间	1,000-5,000元人民币/台
主要企业	HD（日本）、苏州绿的（中国）、新宝（日本）、来福谐波（中国）、大族精密（中国）、北京谐波（中国）、宏远皓轩（中国）、中技克美（中国）、钧兴（中国）、裕智精密（中国）

来源：绿的谐波招股说明书，中泰证券研究所

图表27：谐波减速器优缺点

	优缺点
优点	结构简单、体积小、重量轻
	传动比范围大
	承载能力大
	运动精度高
	运动平稳，无冲击，噪声小
	齿侧间隙能够调整
	传动效率高
	同轴性好
缺点	可向密闭空间传递运动
	刚度不高，一般用于中轻型器械
	加工难度大
	获得的传动比固定

来源：《谐波减速器柔轮疲劳特性分析及啮合刚度研究》，中泰证券研究所

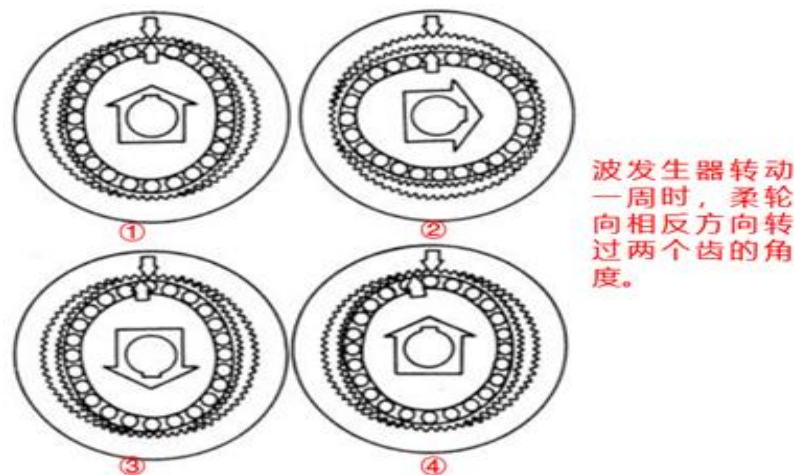
□**谐波减速器结构**：谐波减速器主要由带有内齿圈的刚性齿轮（刚轮）、带有外齿圈的柔性齿轮（柔轮）、波发生器三个基本构件组成。

□**谐波减速器工作原理**：当波发生器装入柔轮内圈时，迫使柔轮产生弹性变形而呈椭圆状，长轴处柔轮齿轮插入刚轮的轮齿槽内，成为完全啮合状态；而其短轴处柔轮与刚轮完全不接触，处于脱开状态，当波发生器连续转动时，迫使柔轮不断产生变形并产生了错齿运动，从而实现波发生器与柔轮的运动传递。。

图表28：谐波减速器基本结构



图表29：谐波减速器运行示意图



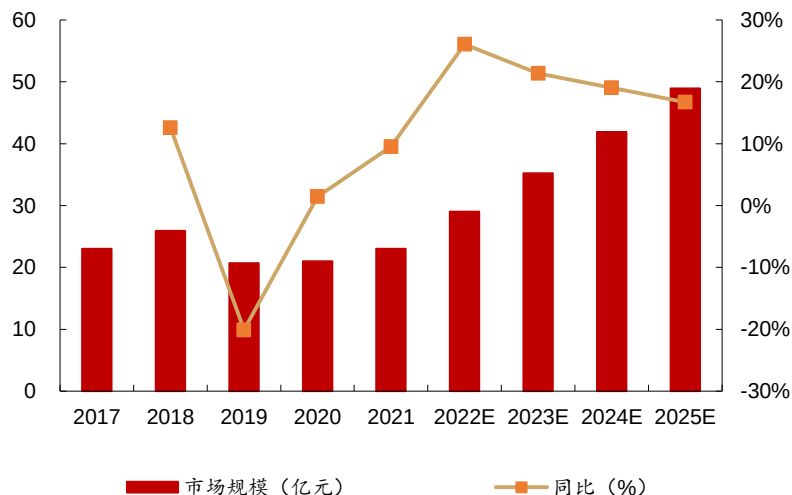
来源：绿的谐波招股说明书，中泰证券研究所

来源：绿的谐波招股说明书，中泰证券研究所

□谐波减速器市场规模。2021年全球机器人谐波减速器市场规模23亿元，预计到2025年市场规模将达到48.9亿元。

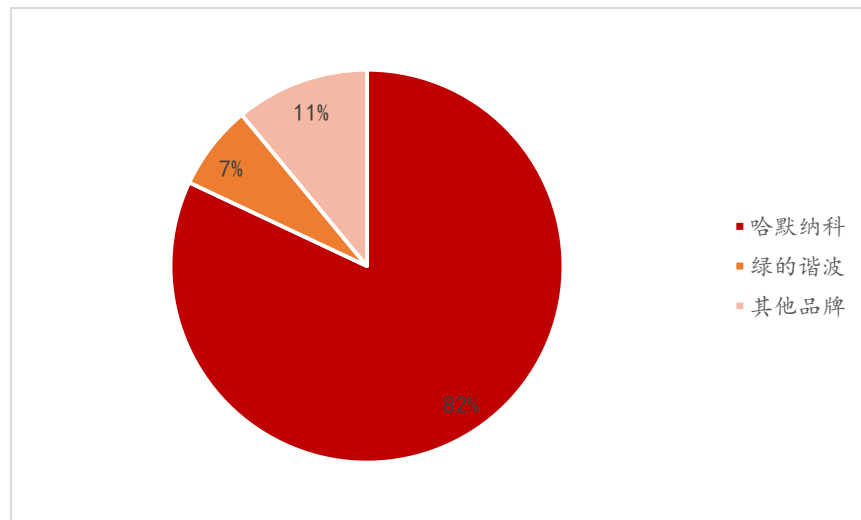
□谐波减速器国产化持续推进。哈默纳科是谐波减速器行业龙头，近年来中国厂商已完成谐波减速器的技术攻克，在该领域市场上已占有一席之地。绿的谐波已率先打破国际企业在中国市场上的垄断，随着中国企业技术的持续进步和下游需求持续拓宽，预计未来减速器国产化率将得到大幅提升。

图表30：全球机器人谐波减速器市场规模（亿元）



来源：华经情报网，中泰证券研究所

图表31：2021全球工业机器人用谐波减速器市场份额



来源：华经情报网，中泰证券研究所

□谐波减速器主要企业：海外主要企业包括哈默纳科、日本新宝，国内主要企业有绿的谐波、中技克美、汉宇集团、双环传动、国茂股份等。

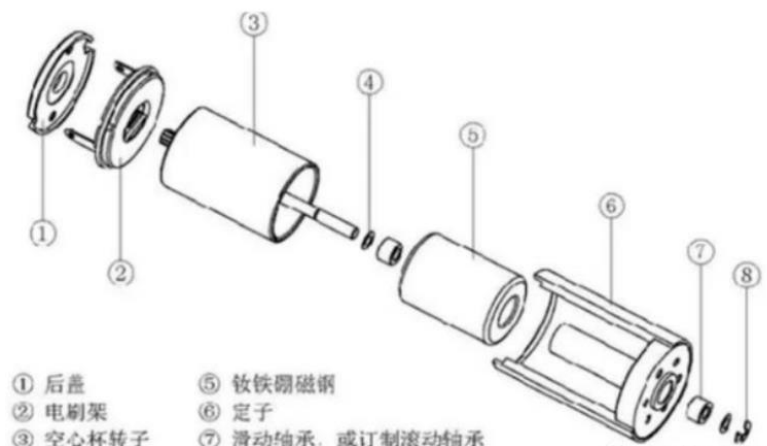
图表32：谐波减速器主要企业

企业名称	基本情况
哈默纳科（日本）	成立于1970年，总部位于日本东京，是日本东京证券交易所上市公司（6324.T），主要从事谐波减速器、机电一体化产品、精密行星减速器等生产和销售，是整体运动控制的领军企业，其生产的谐波减速器被广泛应用于各种传动系统中，在全球工业机器人领域中有着较高的市场占有率。
日本新宝（日本）	成立于1952年，总部位于日本京都，是日本电产公司（6549.T）旗下子公司，主要从事精密减速机、变速机的开发、生产和销售。
绿的谐波（中国）	成立于2011年，位于江苏苏州，在国内率先实现谐波减速器的工业化生产和规模化应用，打破了国际品牌在国内机器人谐波减速器领域的垄断。
中技克美（中国）	成立于1994年，注册资本4,000万元，位于北京市，在2017年于全国中小企业股份转让系统挂牌（871601.0C），主营业务包括谐波传动产品、谐波传动机电产品的制造和研发。
汉宇集团（中国）	成立于2002年，以售卖家用电器通用排水泵为主，控股子公司同川精密做谐波减速器。
双环传动	成立于1980年，专注于机械传动齿轮行业，拓展了RV减速器和谐波减速器。
国茂股份	国产通用减速机龙头，拓展机器人谐波减速器。
来福谐波	公司从事高精密谐波减速器的研发，产品批量运用在工业机器人、服务机器人、医疗器械、高精密自动化设备等领域。
昊志机电（中国）	成立于2006年，是一家专业从事高速精密电主轴及其零配件的研发设计、生产制造、销售与配套维修服务的高新技术企业。主要产品有各类主轴、转台、减速器、关节模组、末端执行机构、直线电机、运动控制器、伺服电机和伺服驱动等。以售卖主轴为主，减速器占比较少

□**定义：**空心杯电动机属于直流永磁的伺服、控制电动机，也可以将其归类为微特电机。在结构上突破了传统电机的转子结构形式，采用的是无铁芯转子，也叫空心杯型转子。

□**空心杯电机结构和分类：**空心杯电机主要由后盖、接线端子、电刷端盖、电刷、换向器、杯形绕组（转子）、转轴、垫圈、滑动轴承、外壳、磁铁（定子）、法兰、定位环组成。定子由永磁体、壳体、法兰组成。外壳提供了恒定的磁场，使电机无铁损耗。空心杯电机包括有刷和无刷两种，有刷空心杯电机转子无铁芯，无刷空心杯电机定子无铁芯。

图表33：空心杯电机结构



来源：电机及控制，中泰证券研究所

图表34：空心杯电机外观



来源：企讯网，中泰证券研究所

□空心杯电机的主要优点：启动转矩低、转子与定子间无径向作用力、速度曲线平滑，噪音小、峰值转矩高、散热效果好等。

□空心杯电机应用于人形机器人手部关节。人形机器人手指关节自由度提升，考虑到人形机器人的仿真性，其手指关节处需要配备体积小且能输出较大力的电机，空心杯电机具备较强契合度。

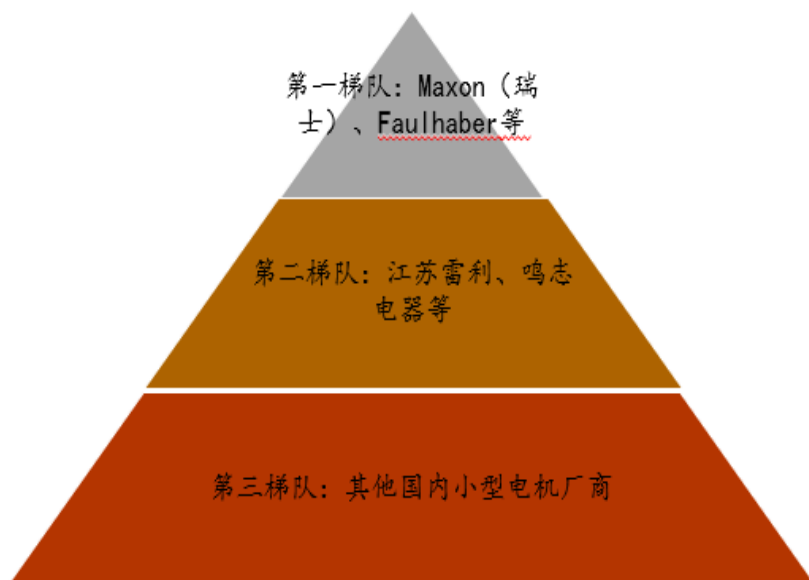
图表35：空心杯电机特点

特点	详解
节能特性	能量转换效率很高，其最大效率一般在70%以上，部分产品可达到90%以上（铁芯电动机一般在70%）。
控制特性	起动、制动迅速，响应极快，机械时间常数小于28毫秒，部分产品可以达到10毫秒以内（铁芯电动机一般在100毫秒以上）；在推荐运行区域内的高速运转状态下，可以方便地对转速进行灵敏的调节。
拖动特性	运行稳定性十分可靠，转速的波动很小，作为微型电动机其转速波动能够容易的控制2%以内

来源：电机及控制，中泰证券研究所

□海外品牌占据高端市场，国内产品性价比优势明显。空心杯电机作为电机的新的发展方向，国外厂商也纷纷加强产品布局，如Maxon（瑞士）、Faulhaber（德国）等著名微电机厂商都已经大量申请空心杯电机相关的专利技术。目前，国内企业不断加速国产替代，主要布局企业有鸣志电器、鼎智科技、伟创电气等。

图表36：空心杯电机主要企业



来源：Maigoo，中泰证券研究所

图表37：特斯拉Optimus手部关节

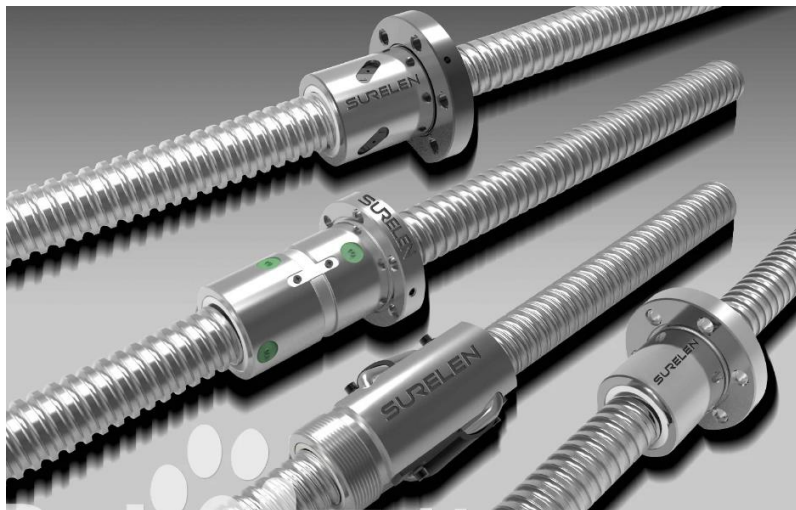


来源：Tesla AI Day，中泰证券研究所

□定义：滚珠丝杠的作用是将旋转运动转变为直线运动，或者将直线运动转变为旋转运动。因此滚珠丝杠既是传动原件，也是直线运动与旋转运动相互转化元件。

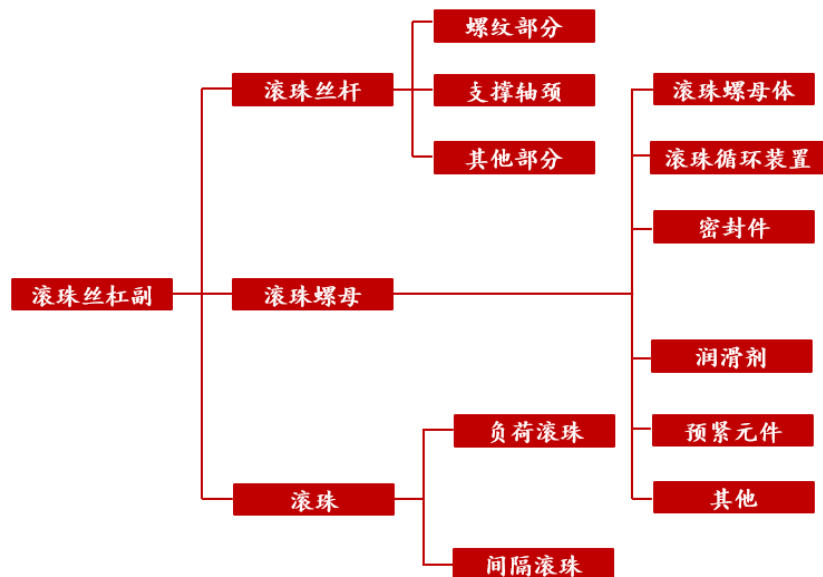
□滚珠丝杆结构：滚珠丝杆是由丝杆轴和螺母组成，而其中螺母又是由钢球、预压片、反向器、防尘器等组成。

图表38：滚珠丝杆外观



来源：江苏麦哲隆，中泰证券研究所

图表39：滚珠丝杆结构组成



来源：沐风机械，中泰证券研究所

□**下游应用：**滚珠丝杠广泛应用于各种工业设备和精密仪器，下游包括机床、机器人、注塑机等。

□**滚珠丝杠分类：**滚珠丝杠包括自润式滚珠丝杠、静音式滚珠丝杠、高速化滚珠丝杠以及重负荷型滚珠丝杠等，而从循环方式看，滚珠丝杠包括内循环和外循环两种，其中内循环是指滚珠在循环过程中始终与丝杠保持接触，外循环是指滚珠在循环过程中有时与丝杠脱离接触。

□**滚珠丝杠应用于人形机器人直线关节。**滚珠丝杠具有摩擦损失小、传动效率高、精度高、高速给进和微进给可能、轴向刚度高、不能自锁、具有传动的可逆性等优点，用于人形机器人的直线关节。

图表40：滚珠丝杠特点

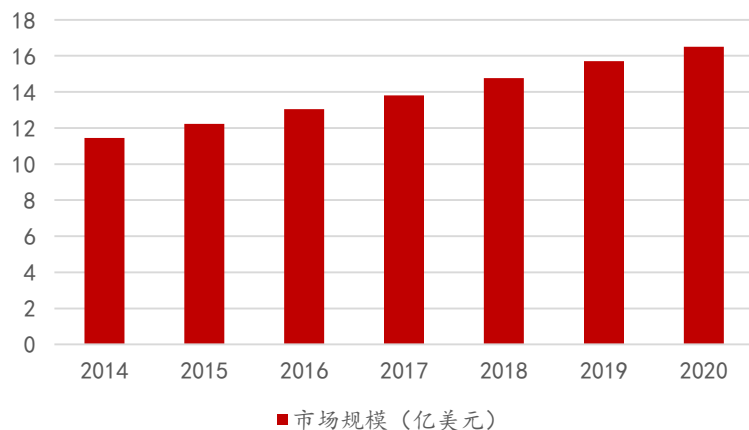
滚珠丝杠特点	
摩擦损失小、传动效率高	由于滚珠丝杠的丝杠轴与丝杠螺母之间有很多滚珠在做滚动运动，所以能得到较高的运动效率。与过去的滑动丝杠相比驱动力矩达到1/3以下，即达到同样运动结果所需的动力为使用滑动丝杠的1/3。在省电方面很有帮助。
精度高	滚珠丝杠一般是用世界最高水平的机械设备连贯生产出来的，特别是在研削、组装、检查各工序的工厂环境方面，对温度、湿度进行了严格的控制，由于完善的品质管理体制使精度得以充分保证。
高速给进和微进给可能	滚珠丝杠由于是利用滚珠运动，所以启动力矩极小，不会出现滑动运动那样的爬行，能保证实现精确的微进给。
轴向刚度高	滚珠丝杠可以加与预压，由于预压力可使轴向间隙达到负值，进而得到较高的刚性（滚珠丝杠内通过给滚珠加予压力，在实际用于机械装置等时，由于滚珠的斥力可使丝母部的刚性增强）。
不能自锁、具有传动的可逆性	防止逆转滚动螺旋传动逆转率高，不能自锁。为了使螺旋副受力后不逆转，应考虑设置防逆转装置，如采用制动电机、步进电机，在传动系统中设有能够自锁的机构（如蜗杆传动）；在螺母、丝杠或传动系统中装设单向离合器、双向离合器、制动器等。选用离合器时，必须注意其可靠性。防止螺母脱出在滚动螺旋传动中，特别是垂直传动，容易发生螺母脱出造成事故，设计时必须考虑防止螺母脱出的安全装置。

▣**市场规模：**2020年全球滚珠丝杠市场规模为16.5亿美元，国内滚珠丝杠市场规模为23.6亿元人民币。

▣**市场竞争格局：**目前全球主要的滚珠丝杠厂商有NSK、THK、SKF等，CR5市占率约46%，其中主要来自欧洲和日本。

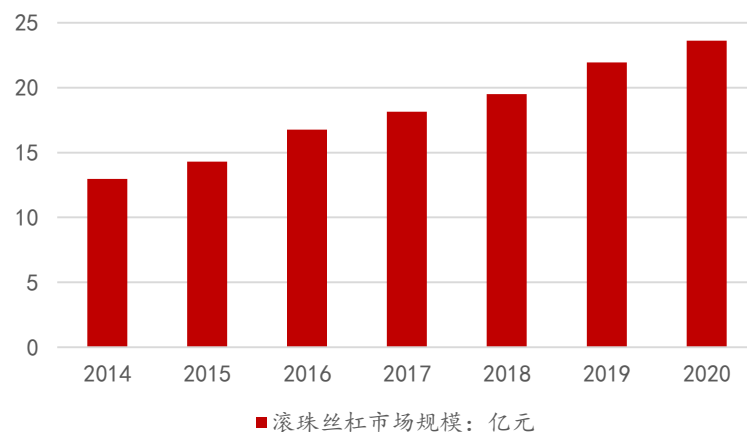
▣**国内主要布局企业为**鼎智科技、秦川机床、恒力液压等。

图表41：全球滚珠丝杠市场规模



来源：智研咨询，中泰证券研究所

图表42：中国滚珠丝杠市场规模

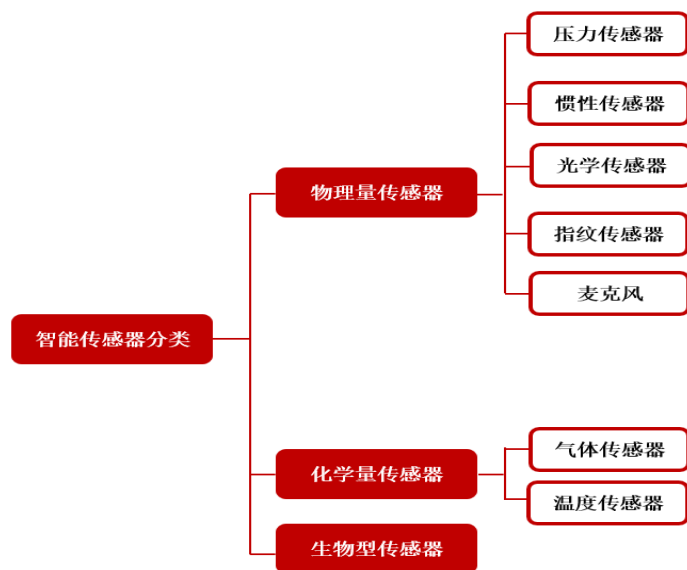


来源：智研咨询，中泰证券研究所

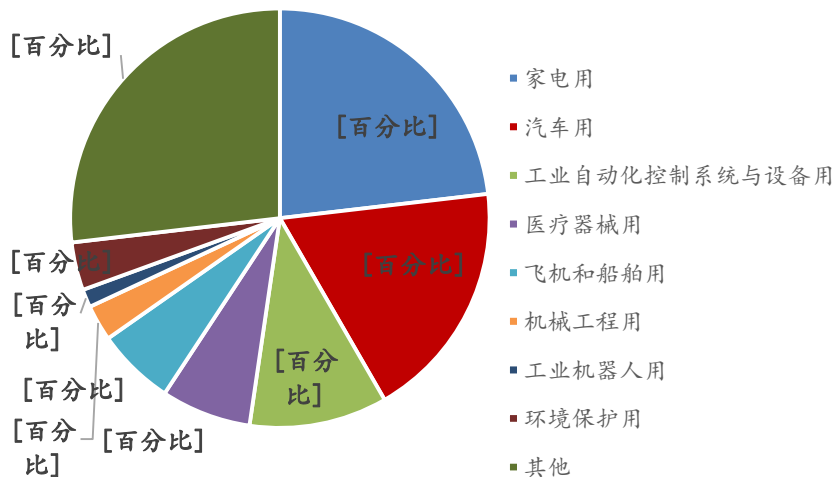
□传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

□传感器种类多样。按照外界输入的信号变换为电信号采用的效应，可将传感器分为物理量传感器、化学量传感器和生物型传感器三大类，按照“工作原理+应用领域”的分类依据具体展开，可分为压力传感器、惯性传感器、磁传感器、光学传感器等。

图表43：传感器分类



图表44：全球传感器市场下游分布



来源：前瞻产业研究院，中泰证券研究所

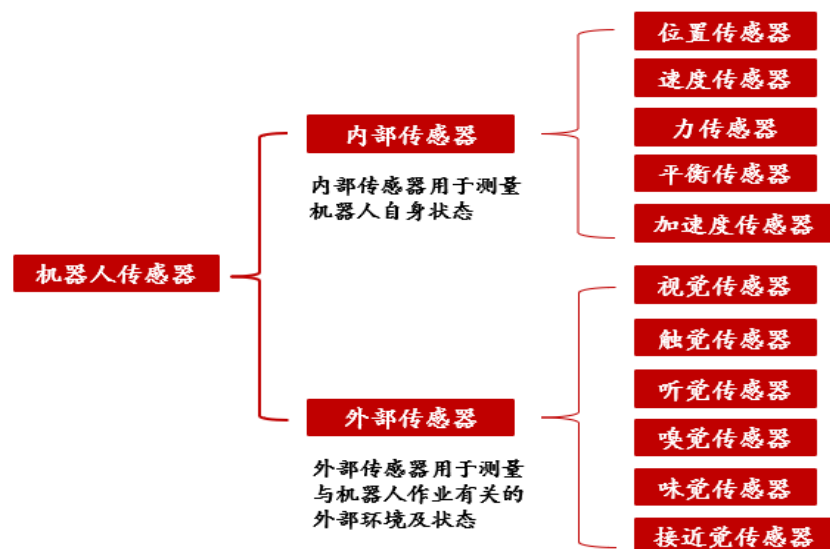
来源：前瞻产业研究院，中泰证券研究所

□机器人传感器分为内部传感器和外部传感器。根据检测对象的不同，可分为用于测量机器人自身状态的内部传感器和用于测量外部与机器人作业相关的外部因素的外部传感器。

□机器人传感器市场规模约7亿美元。机器人用传感器与其他领域传感器有一定差异，如机器人特有的空间限制、灵敏度要求、高度集成的反馈决策系统等。根据YOLE数据，2015-2021年无人机及机器人传感器市场从3.51亿美元增长至7.09亿美元，复合增长率高达12.4%，其中光学传感器占比达74%。

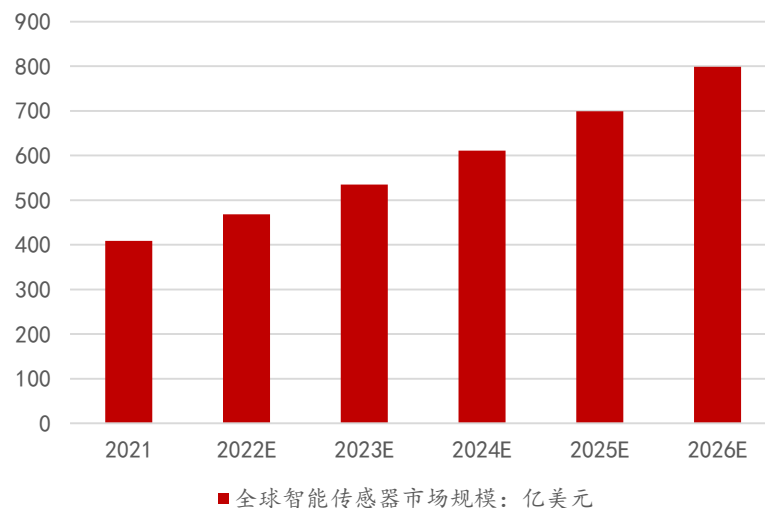
□主要企业。全球传感器市场份额主要由基恩士、安森美、意法半导体等企业占据。国内企业主要包括汉威科技、柯力传感、保隆科技等。

图表45：人形机器人传感器分类



来源：艾瑞咨询，中泰证券研究所

图表46：全球传感器市场规模



来源：Allied Market Research，中泰证券研究所

找报告，上“数据理河”



4

受益标的

领先！深度

找报告，上“数据理河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（13462421224）同步分享更新

图表47：人形机器人标的梳理

主要相关产品	公司代码	股票名称	2023/6/28	归母净利润				PE			
			市值(亿元)	2022	2023E	2024E	2025E	2022	2023E	2024E	2025E
谐波减速器	688017.SH	绿的谐波	262.62	1.55	2.47	3.41	4.56	169.10	106.20	76.98	57.64
谐波减速器	603915.SH	国茂股份	135.83	4.14	5.31	6.65	8.06	32.82	25.60	20.43	16.86
无框力矩电机	688160.SH	步科股份	65.51	0.91	1.15	1.49	1.92	71.95	56.96	44.04	34.21
行星减速器	002896.SZ	中大力德	67.72	0.66	0.99	1.49	1.88	102.05	68.41	45.45	36.02
丝杠导轨	000837.SZ	秦川机床	150.11	2.75	3.39	4.49	5.74	54.58	44.33	33.46	26.17
空心杯电机	603728.SH	鸣志电器	301.77	2.47	4.04	6.08	8.41	122.06	74.75	49.62	35.86
谐波减速器	300403.SZ	汉宇集团	54.93	2.04	2.39	2.68	3.19	26.90	23.03	20.54	17.22
空心杯电机	300660.SZ	江苏雷利	120.63	2.59	3.51	4.63	5.57	46.62	34.32	26.06	21.64
传感器	603662.SH	柯力传感	100.21	2.60	3.62	4.43	5.52	38.51	27.69	22.61	18.17
机电执行器	002050.SZ	三花智控	1,070.08	25.73	31.25	38.54	46.95	41.58	34.24	27.77	22.79
执行器	601689.SH	拓普集团	835.68	17.00	23.47	32.75	43.96	49.15	35.61	25.52	19.01
精密减速器	002472.SZ	双环传动	290.16	5.82	8.03	10.51	13.51	49.85	36.15	27.61	21.47
行星减速器	301255.SZ	通力科技	46.74	0.97				48.30			
谐波减速器	301368.SZ	丰立智能	64.28	0.45				143.16			
行星减速器	002527.SZ	新时达	86.65	(10.57)				(8.20)			
谐波减速器	300503.SZ	昊志机电	48.08	0.22				215.91			
新型减速机	002553.SZ	南方精工	68.90	0.48				142.11			

来源：Wind，中泰证券研究所整理 注：估值数据来自wind一致预期



5

风险提示

领先！深度！

找报告，上“数据理河”

微信小程序、知识星球、www.bj-xinghe.com、微信群（13462421224）同步分享更新

1. **人形机器人产业发展不及预期的风险。**若人形机器人技术进步或成本下降偏慢，可能导致产业进展不及预期的风险。
2. **相关标的业绩不达预期的风险。**相关标的业绩预期是基于一定假设条件得出来的，存在不达预期风险。
3. **研报引用数据更新不及时的风险。**

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。