



2024人形机器人产业链白皮书

 M2 Consulting
觅途咨询

M2

- 核心观点

- 人形机器人产业宏观环境分析

- 人形机器人产品定义及发展历程

- 人形机器人产业链分析

- 人形机器人主要生产企业分析

- 人形机器人市场投资建议

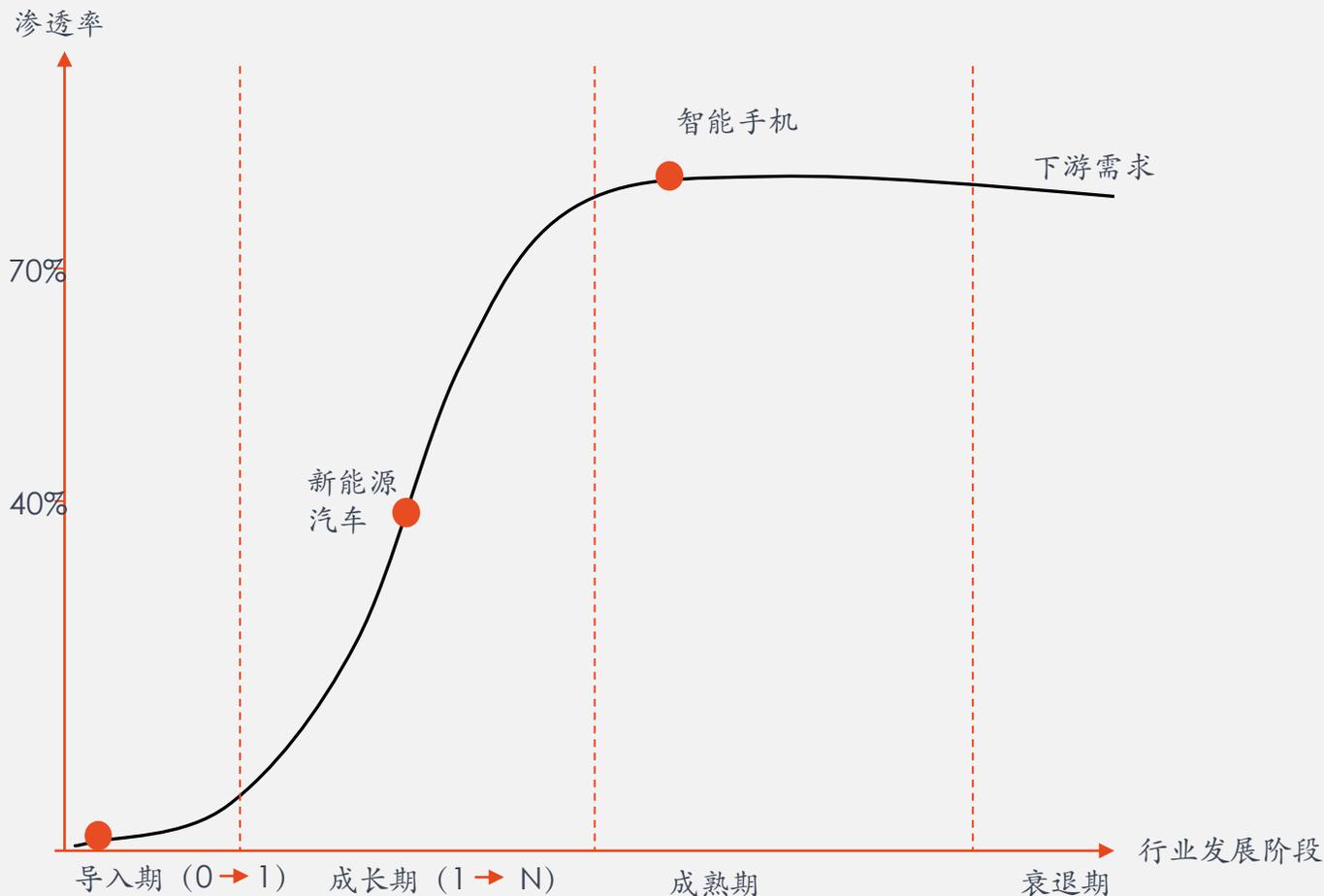
人形机器人产业核心洞察：

1. 人形机器人作为另一个颠覆性产品赛道，在满足社会发展需求的背景下迎来了巨大的发展机遇。预计到**2035年**，人形机器人市场将保持**50%以上**的高增速发展，全球需求总量将达到**100~200亿台**，为人形机器人开辟了巨大的市场空间。
2. 产业链：上游硬件市场基本成熟，中国本土企业市场渗透不断突破；人形机器人核心技术攻关将聚焦软件和算法；
3. 产品层面：扫描人形机器人制造的主流企业，从技术路线上总结两大方向：体能型和智能型；
4. 从应用场景上看：对比服务业，制造业更能快速实现商业化场景落地；
5. 市场前景：人形机器人迎来产业元年，市场规模保守估计**2035年**将达**千亿美元**。

人形机器人处于从“0”到“1”的导入期：东风已至，产业等待量产，场景落地呼之欲出

人形机器人是继智能手机和新能源汽车后的另一个颠覆性产品的赛道，目前尚处于发展的导入期，在社会发展背景的需求下以及产品、产业和政策等条件的促进下商业化落地将加速。

人形机器人目前正处于0~1的发展萌芽期



发展背景

先进的生产力的探索

人口增速变缓，老龄化趋势加深

发展机遇

大脑
小脑

与工业机器人及汽车协同
硬件成熟

巨头纷纷布局
高校重点扶持

中央+地方

AI赋能

技术端

产业端

政策端

1~N的挑战

通用性

成本

伦理道德

市场规模



~2035

CAGR 50%+



全球

总需求量 100~200亿台

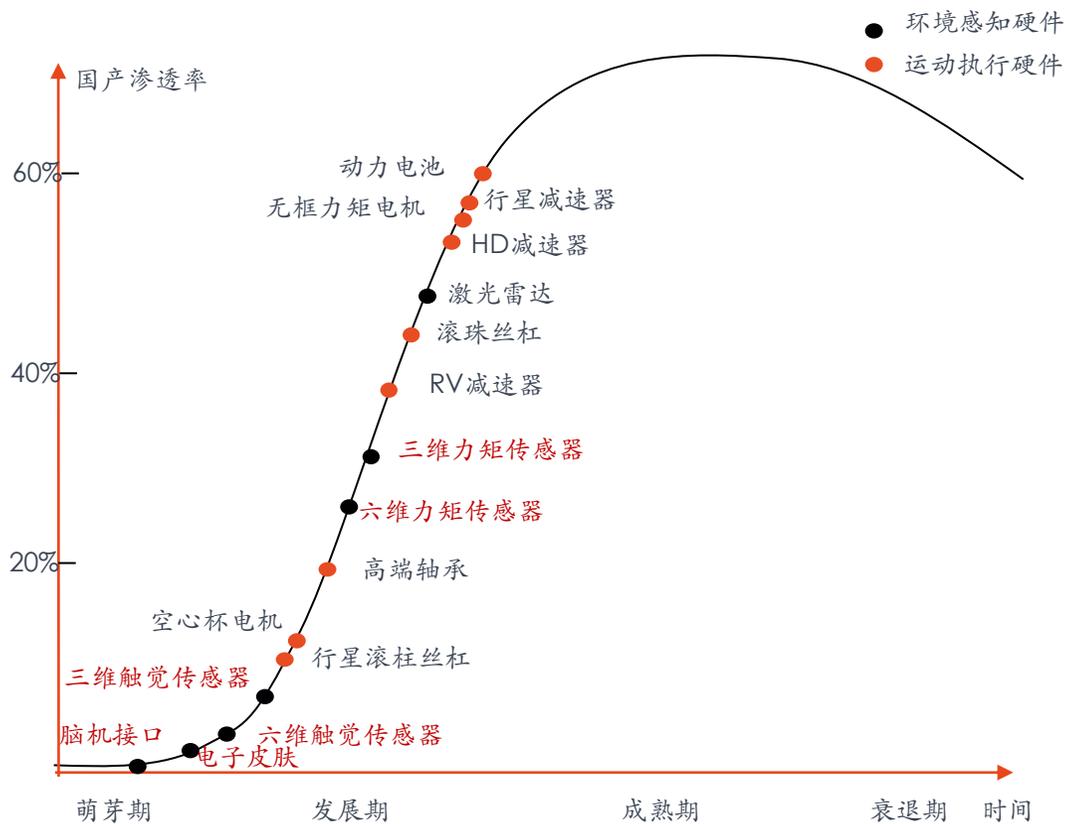
兆亿级市场空间

产业链：上游硬件市场基本成熟，中国本土企业市场渗透不断突破；技术攻关聚焦软件和算法

人形机器人三大核心技术能力：运动控制能力、环境感知能力和人机交互能力；在三大能力中涉及硬件和软件两部分：

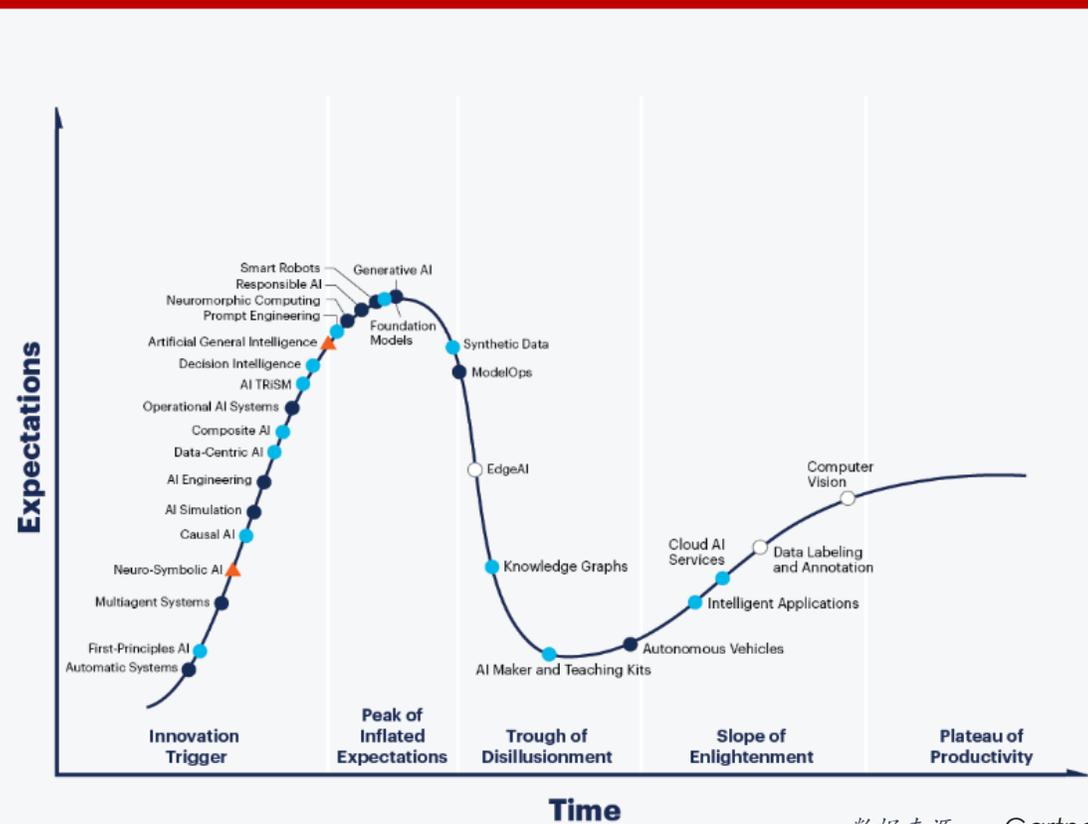
- 硬件包含运动控制系统重的动力、关节执行器以及环境感知系统重的力矩、触觉、视觉传感器以及电子皮肤等。目前市场均有较成熟且商业化的产品，且国产渗透不断加强；
- 算法层面，如何与硬件综合协同以提高人形机器人的运动控制能力以及人机交互能力还有待突破和加强。未来2~5年内将是人形机器人发展的大脑发展的关键时期。

人形机器人核心硬件的产品的生命周期分析



数据来源：； M2 觅途咨询

2023 AI技术成熟度曲线

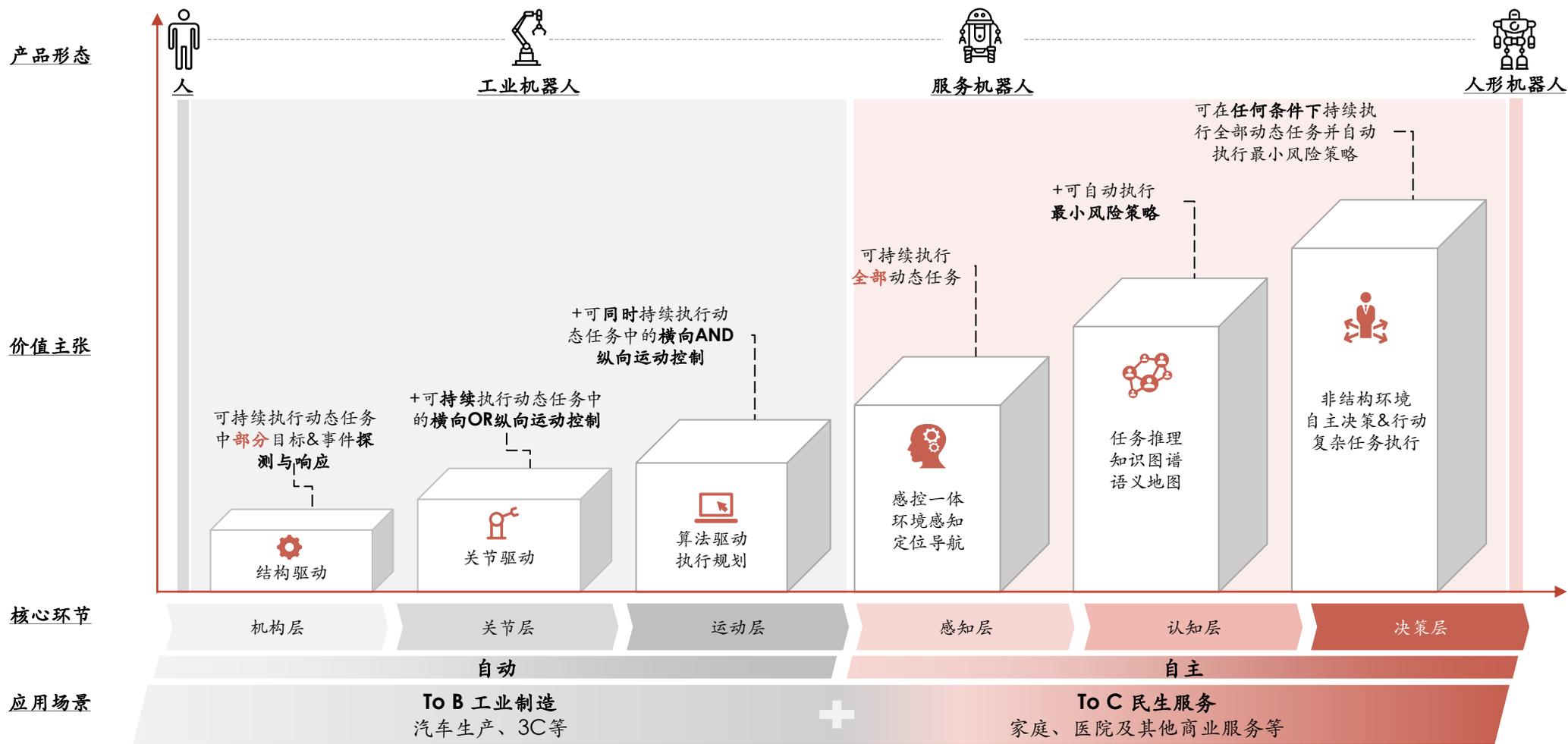


数据来源：； Gartner

Plateau will be reached:
○ less than 2 years ● 2 to 5 years ● 5 to 10 years ▲ more than 10 years ⊗ obsolete before plateau As of July 2023

人形机器人技术发展路径

从迭代路径看，人形机器人是“自动”与“自主”高度耦合的产物，其发展路径将经历多个阶段，由“机构层”向“决策层”演进。

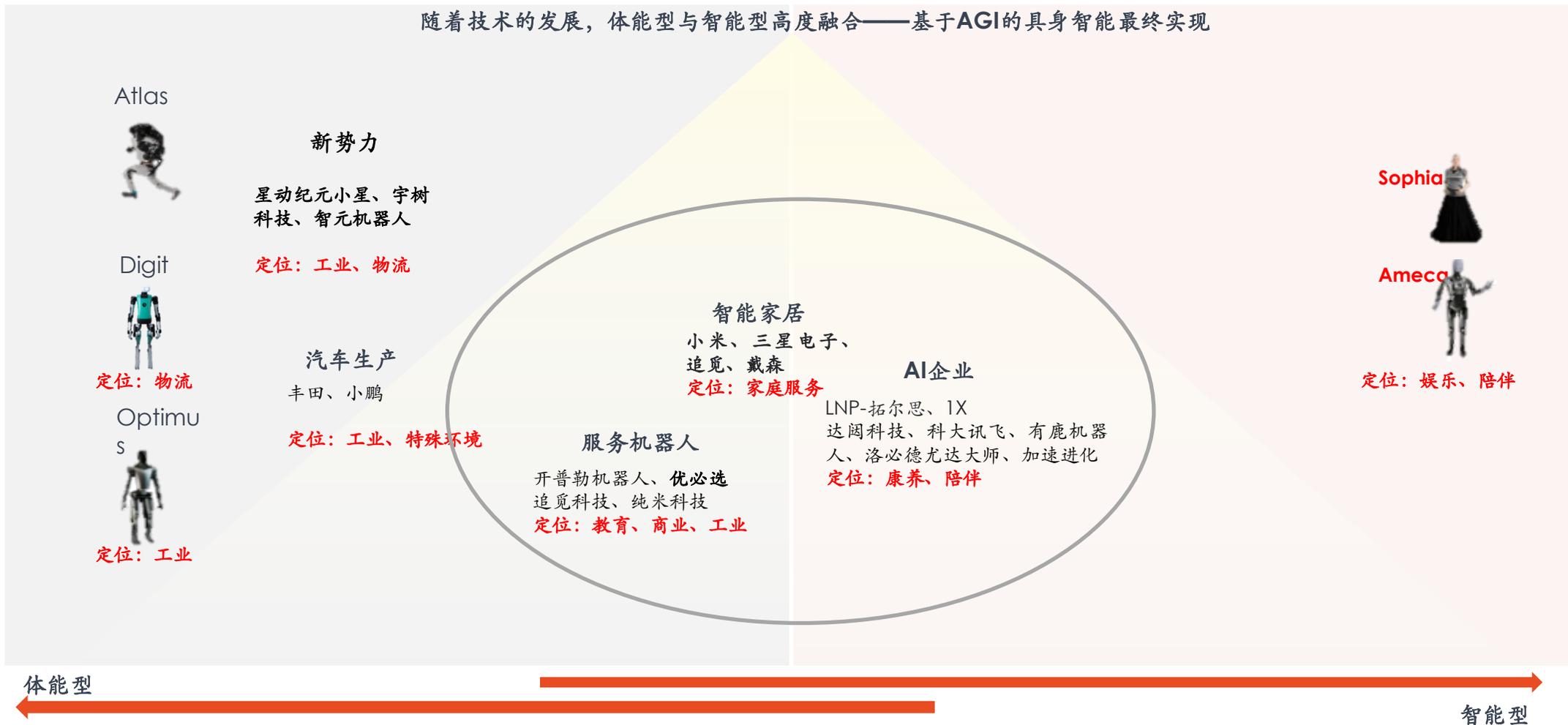


Source: 技术发展路径参考自动驾驶技术国标GB/T40429-2021 (FSD自动驾驶技术, 是主流人形机器人的核心算法之一, 也同样是“自动”与“自主”高度耦合的产物, 因此部分内容初步参考借鉴)

人形机器人产品分两大阵营：体能型和智能型，聚焦两大商业化落地场景的方向

- 体能型以美国波士顿动力的Atlas, Agility 的 Digit, 特斯拉Optimus为代表；智能型以香港Hanson Robotics的Sophia 以及英国 Engineered Arts的Ameca为代表；
- 从商业化定位上来看体能型产品更偏向制造业及物流领域的落地场景，而家庭、康养类的人形机器人则兼具运动及智能

随着技术的发展，体能型与智能型高度融合——基于AGI的具身智能最终实现



应用场景：对比服务业，制造业更能快速实现商业化场景落地

制造业和服务业对人形机器人的需求不同：制造业需要人形机器人在鲁棒性及命令执行的准确性上要求较高；而家庭服务对人形机器人的功能多样性、高度自主性以及交互的流畅性上有较高的要求。

目前受限于交互的能力及协同能力等技术的发展，人形机器人的市场渗透应该从环境相对封闭，工序相对简单且标准的场景开始，有标准的操作流程，有明确的评判标准，在自动化发展受限的情况下，替代部分的人工。因此自动化发展受限的制造工厂（如汽车的总装车间）将是人形机器人走进商业化切入的最佳场景。

人形机器人商业化落地优先从制造业开始

1. 制造业的商业化优先落地政策及产业双轮推动的首要目标；
2. 制造业的环境的相对简单及标准化的工序决定了人形机器人首先商业化落地。

指标	制造业	服务业
服务对象	物	人
应用场景	相对封闭	多样化
识别对象	少	多
路径规划	标准	复杂
突发状况	少	多
产出的一致性	高	低
工序	简单、明确	不确定性高
生产效率的测量标准	简单	复杂
质量标准	明确	难以标准化

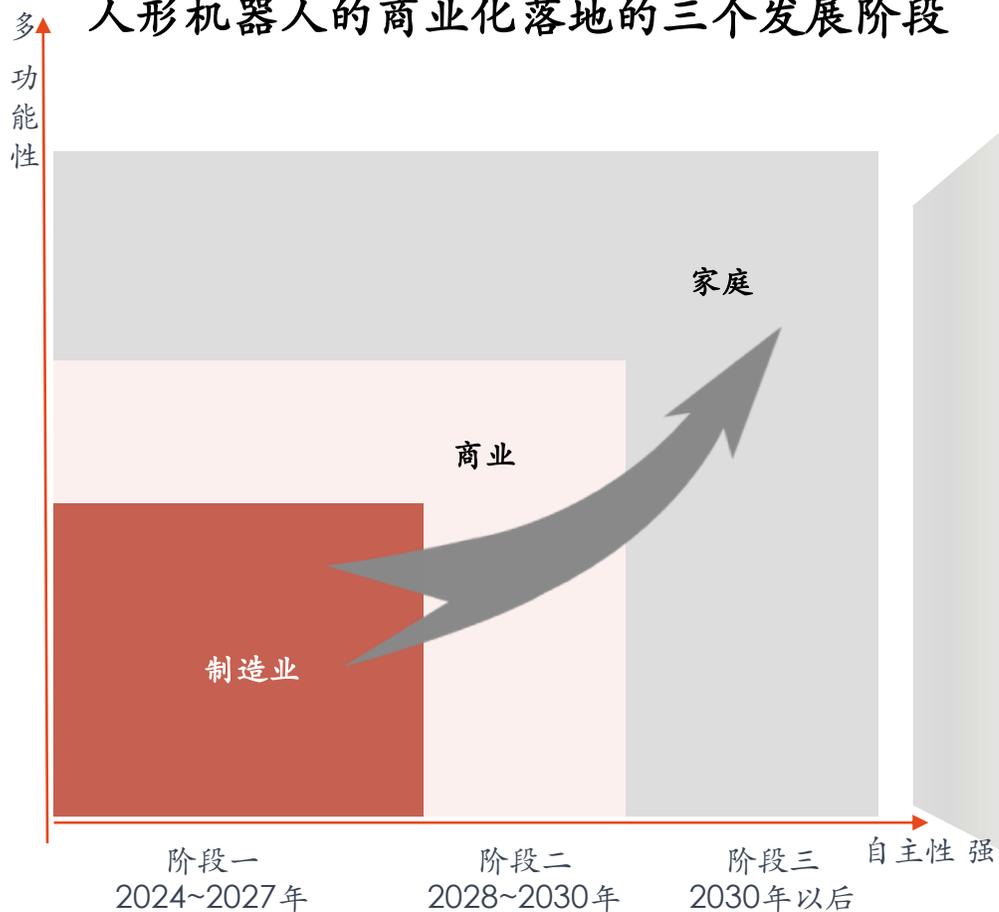
鲁棒性、命令执行的准确性 多功能、流畅交互、高度自主

人形机器人潜在场景及需求特征	制造业	服务业
应用场景（潜在）	<ul style="list-style-type: none"> • 结构化工序（装配、检测、维护等） • 非结构化工序（人-机-环境协同） • 如汽车小型零部件总装、整车总装等，补充原有工业机器人无法实现的精细组装环节，增强人机交互能力，提升不同场景 	<ul style="list-style-type: none"> • 提供综合家政服务（如做饭、打扫等多功能综合） • 提升人机交互可靠安全性（复杂区域引导、灵活操作、鲁棒行走、多模态人机交互）
落地潜力	<ul style="list-style-type: none"> ● 中短期潜力较大，落地应用预计优先释放 • 目前已有人形机器人企业与车企进行联动，将汽车生产工厂作为首要落地场景，应用潜力较大 	<ul style="list-style-type: none"> ● 中短期潜力居中，人机协同技术要求较高、落地应用逐步释放 • 家政服务市场需求较大，但市场认可度待持续开发
精准度	<ul style="list-style-type: none"> ● 制造环节为标准化流程，但对于总装等环节的细节处理要求较高 	<ul style="list-style-type: none"> ● 非标准化场合，对于人形机器人的灵活性要求高，精准度要求居中
人机交互	<ul style="list-style-type: none"> • 主要用于生产环节，需要有一定的人机交互能力 	<ul style="list-style-type: none"> • 面向群体为人，对于人机交互能力要求更高
技术壁垒	<ul style="list-style-type: none"> • 运动控制能力，手部精细化操作能力 	<ul style="list-style-type: none"> • 对于不同场景、不同群体适配性要求更高，模型训练及泛化能力要求更高，研发时间更长

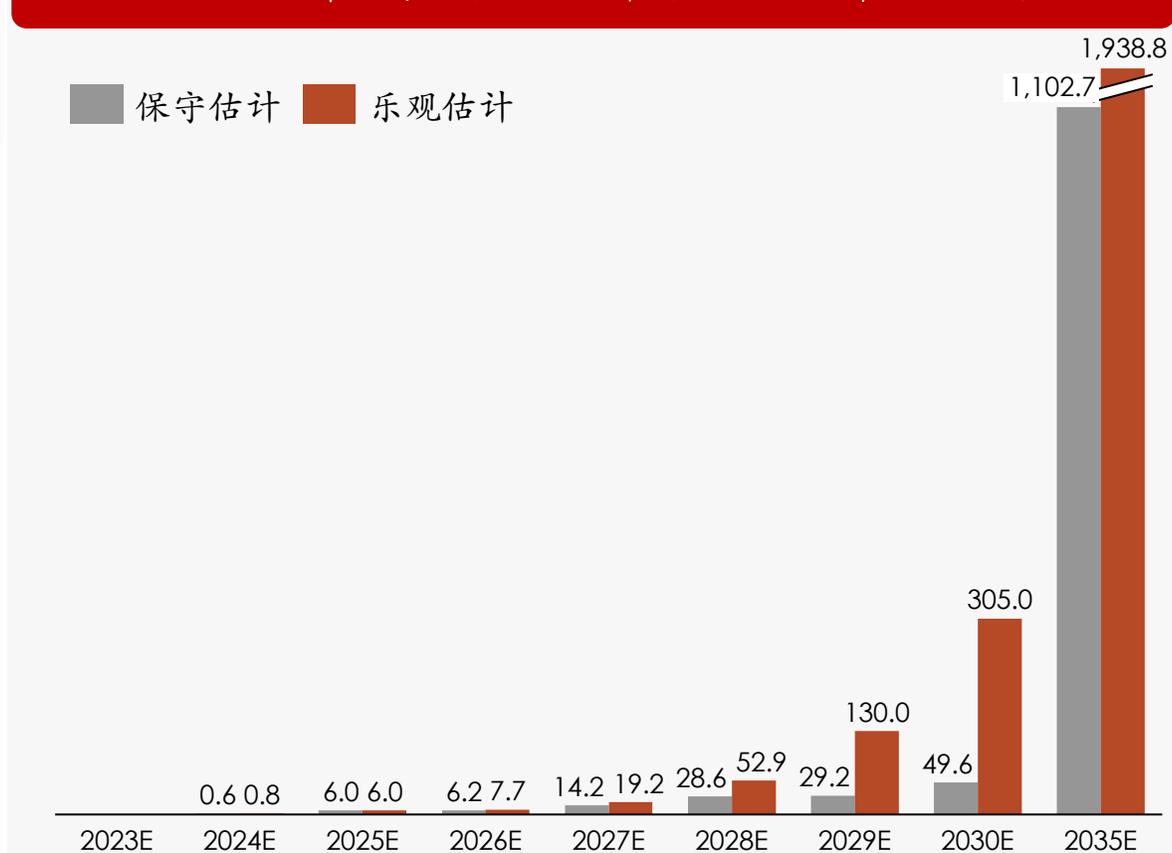
人形机器人迎来产业元年，市场规模保守估计2035年将达千亿美元

- 第一阶段从制造业工厂切入：“替代相对简单且重复性的劳动”为应用标准。市场特点：产品不能执行更复杂的任务，且用户对新事物的接受程度不高，应用场景较为局限；
- 第二阶段，工厂的场景渗透加强，在产品改良持续降本的基础上人形机器人逐渐走进餐厅、商场等商业场景
- 第三阶段，AGI与人形机器人结合，最终实现具身智能，人们对人形机器人的接受程度达到顶峰，人形机器人开始走入家庭
- 技术得到革命性突破的理想状态下，M2从劳动力缺口及收入成本角度分析给出人形机器人市场规模的两种估计预测：在保守估计下，预计2024年全球市场将有千台的突破，到2030年市场规模将达7.6万台；在乐观估计下打破2030年市场规模将突破百万台。

人形机器人的商业化落地的三个发展阶段



2023~2035年全球人形机器人市场规模预测 单位：亿美元



来源：高盛投资；M2 觅途咨询；

- 核心观点

- 人形机器人产业宏观环境分析

- 人形机器人产品定义及发展历程

- 人形机器人产业链分析

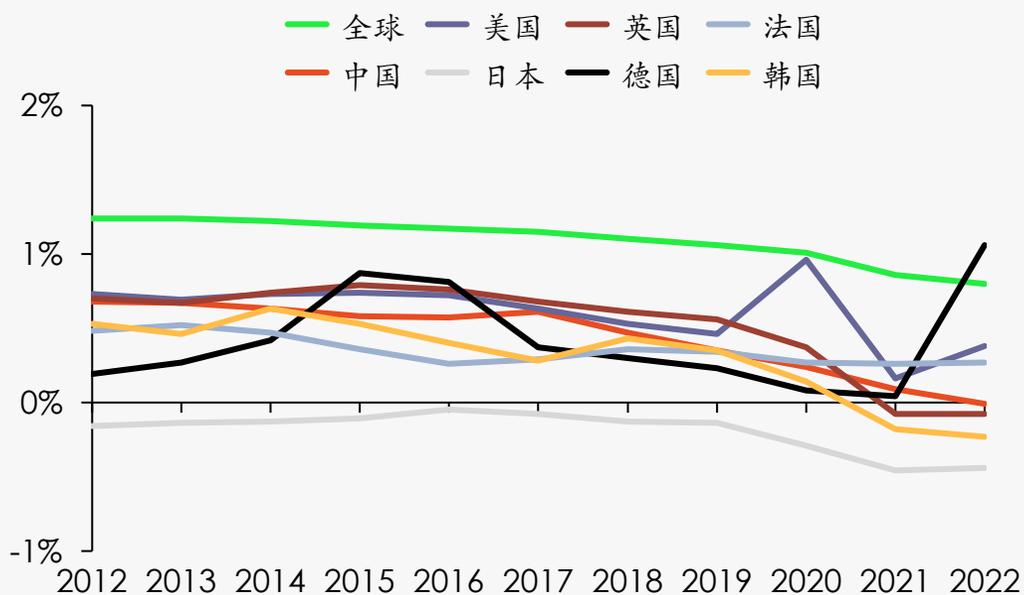
- 人形机器人主要生产企业分析

- 人形机器人市场投资建议

社会环境分析：人口增速变缓，结构老龄化为人形机器人发展创造了机遇

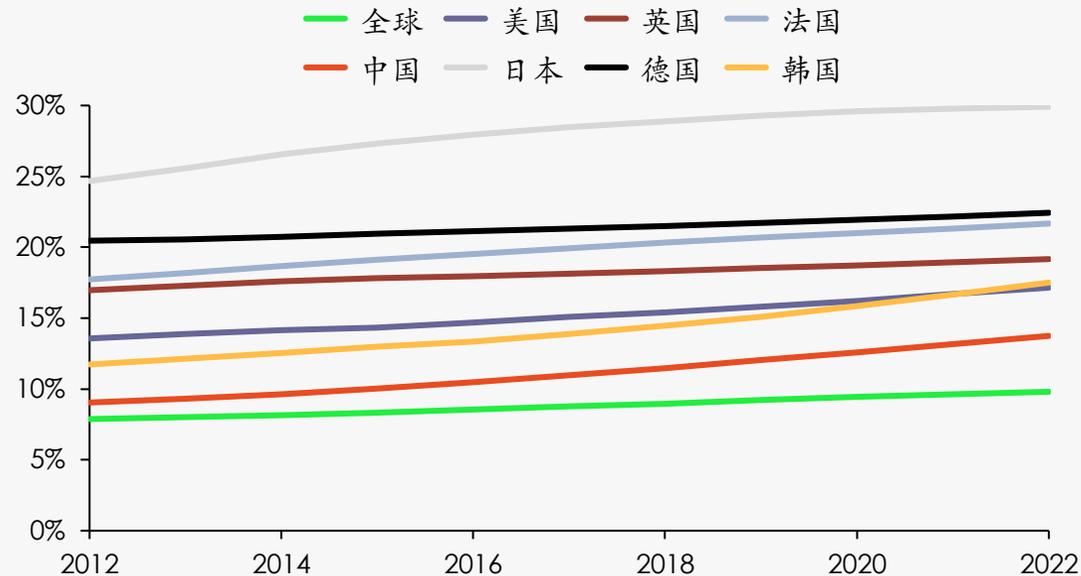
- **人口增速变缓，为人形机器人提供发展机遇：**全球人口呈总体下滑趋势，各主要国家除德国因战争导致的移民因素影响，其他国家人口增长均低于全球平均水平；日本、韩国和英国人口负增长率逐年加大，中国也于2022年开始呈现人口负增长现象。
- **人口结构老龄化趋势加剧，使人形机器人发展紧迫感加剧。**全球65岁以上人口占有率呈上升趋势，各主要国家无一例外均高于全球平均水平以上，其中日本表现最为严重，人口老龄化已接近30%；美国其次，老龄化占比20%以上。

全球及主要国家总人口数量增长率（2010-2022）



来源：世界银行

全球及主要国家65岁以上人口占有率（2010~2022）



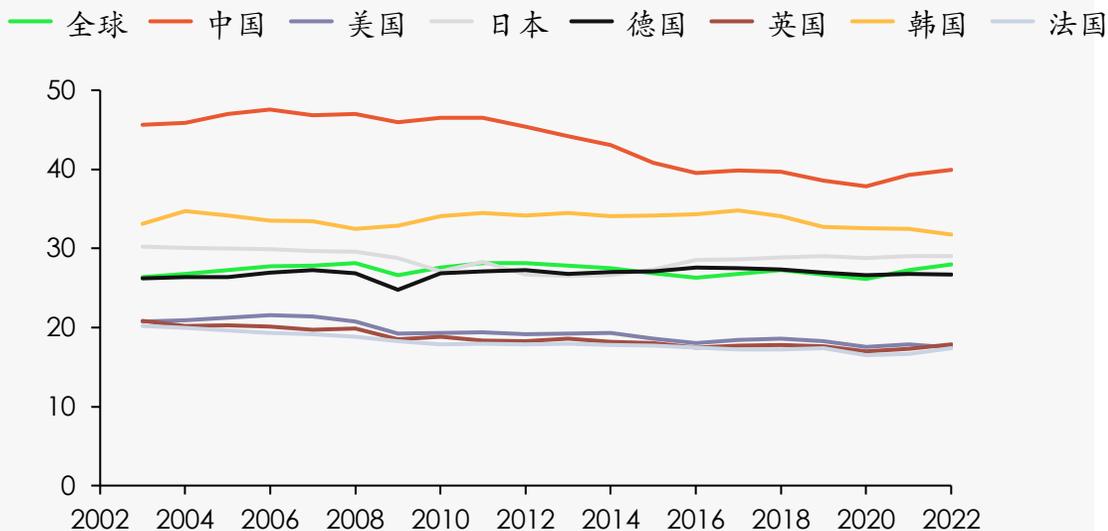
来源：世界银行

- 人口增速变缓，结构老龄化等现象加剧了社会劳动力供给紧张，企业用工成本不断提高，机器人替人需求增大
- 老龄化带来康养需求的不断提升，为人形机器人提供新的落地场景。根据世界经济合作与发展组织的预测，到2030年世界65岁以上人口将呈现年均3%左右的增速发展，养老护理人员缺口进一步加大，因此医疗健康及养老护理方面的市场需求，将给人形机器人带来广阔的空间。

经济环境分析：机器替人是拉动经济增长的长期必要手段

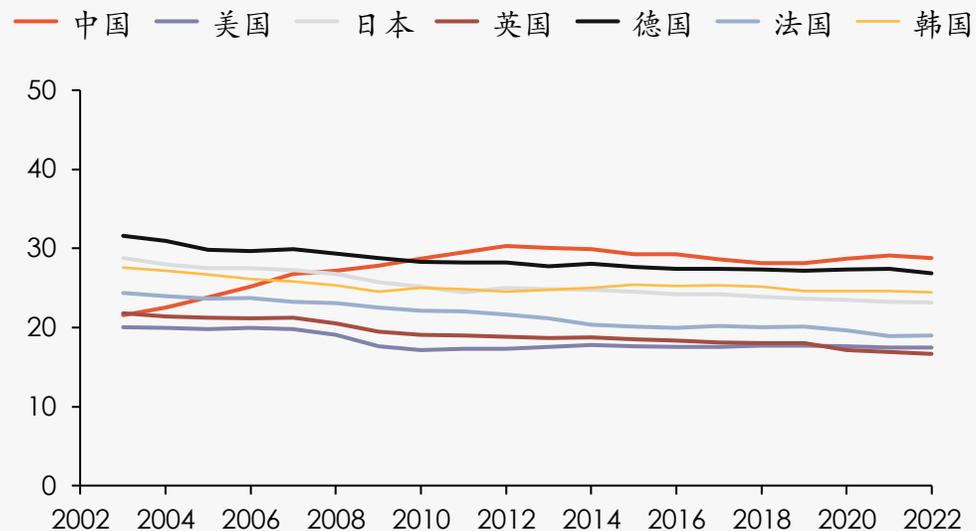
- 在成熟工业体国家，工业增加值占GDP的比重与从业人数的分布大致稳定。但在全球制造业回流以及人口增长减缓的或负增长的趋势下，机器替人成为必然。
- 在中国等发展中国家，机器人可有效提高生产效率，促进经济的发展和产业结构的升级及转型。

全球及主要国家工业增加值占GDP的比重



来源：世界银行

全球主要国家工业从业人数占其各国人口总数的比



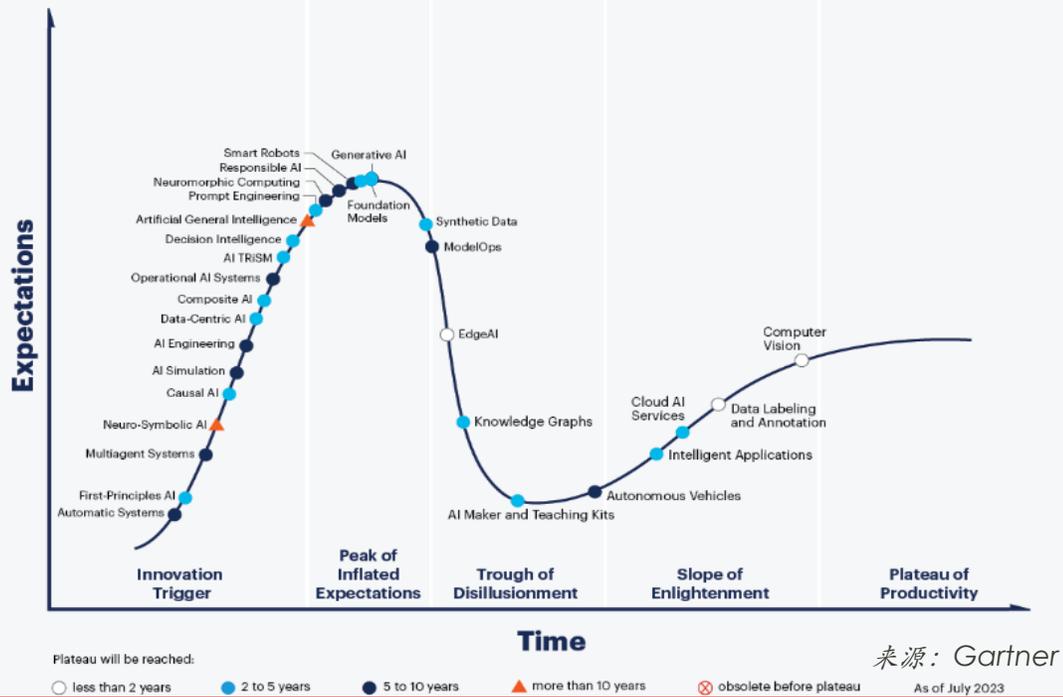
来源：世界银行

- 对人口以及劳动力的依赖是经济发展的基础。但人口增长下滑是世界共同面临的课题。
- 为规避供应链的风险，美国等西方国家提出“中国+1”战略；同时，也加紧布局制造业的回流，面临综合素质劳动力紧缺趋势，给人形机器的发展带来了机遇。
- 随着中国在国际地位的不断提提高，科技兴国、产业结构升级等发展背景下，人形机器人的发展受到充分重视。

技术环境分析：人形机器人技术在飞速发展，硬件市场成熟，软件市场2~5年内将迎来重大突破

- 人形机器人是AI具身智能的最佳载体。随着生成式AI与人形机器人的融合，机器人开启了“具身智能”的全新时代。从技术成熟度上看未来2~5年是人形机器人“大脑”发展的关键期。
- 专利技术体现了产业发展的创兴力和产出绩效，近几年人形机器人相关专利频出。截止目前，人形机器人技术领域的专利已接近2万件，90%以上分布在本体结构、驱动控制以及智能感知领域；中国、日本、韩国、美国和法国是目前持有专利数量最多的国家。

2023 AI技术成熟度曲线

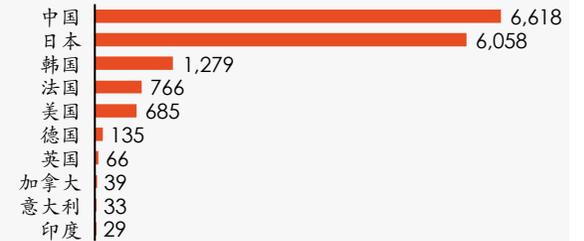


人形机器人技术专利数量布局情况 单位：件

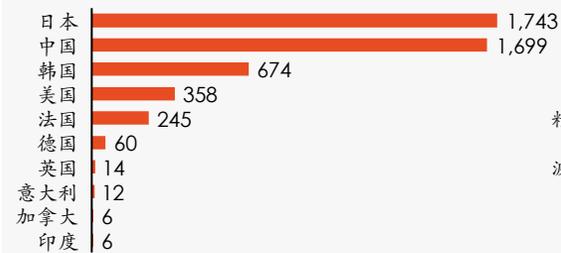
人形机器人各技术分支专利布局情况



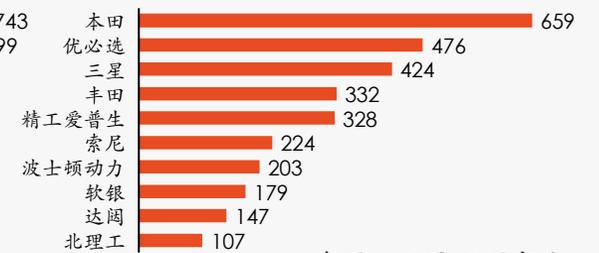
全球各国人形机器人技术专利累计申请量



全球各国人形机器人有效发明专利数量排名



主要申请人有效发明专利数量排名



来源: 人民网研究院

- 从2023年7月份Gartner绘制的AI技术成熟度曲线上来看，目前大部分AI技术已经进入距离成熟还有2~5年的发展关键期，生成式AI、因果AI等技术的发展让人形机器人的大脑更加灵活。
- 除大脑外，人形机器人躯干及“小脑”等相关技术也在迅速发展。从人形机器人相关技术专利的分布领域来看，目前已经积累的技术主要集中在本体结构部分，驱动控制以及智能感知领域其次，核心零部件以及支撑环境分支目前相对较少；从国别来看无论是技术专利还是有效发明专利中国、日本、韩国、美国和法国都是目前持有专利数量最多的国家；从企业来看日本本田、中国的优必选以及韩国的三星是全球持有人形机器人有效发明专利数量前三的企业。

政策环境分析：欧美、日韩等国，政府和产业协作共同设立专项资金推动人形机器人市场发展

人形机器人产业的巨大潜力引起各国政府高度重视，美国国家机器人计划、日本新机器人战略、欧盟地平线欧洲计划、德国高科技战略等都将发展重点瞄向机器人，通过政策和资金扶持产业链各环节的技术研发和生产应用。

国家名称	相关政策	首次发布时间	核心内容
美国	国家机器人计划 (NRI)	2011年	旨在寻求对集成机器人系统的研究，美国政府在2021年向NRI-3.0基金提供了1400万美元的支持，鼓励学术界、工业界、政府、非营利组织和其他组织之间的合作，通过协同研究和开发显著提升机器人性能
日本	新机器人战略 (New Robot Strategy)	2015年	旨在使日本成为世界头号机器人创新中心，为此日本政府在2022年投入了超过9.305亿美元，制造业和服务业的研发计划包括自动驾驶、先进空中交通及将成为下一代人工智能和机器人核心的集成技术。
韩国	第三次智能机器人基础研究计划	-	旨在推动机器人成为第四次工业革命的核心产业
欧盟	地平线欧洲 (Horizon Europe)	2021年	旨在加强欧盟的科技基础，提升欧洲的创新能力和就业机会，落实公民优先权利，维护社会经济模式和价值观。该计划为期7年（2021年至2027年），预算为943亿美元。
德国	高科技战略2025 (Germany's High-Tech Strategy 2025, HTS 2025)	2018年	旨在利用整个社会和工作领域的技术变革来造福人民。该计划到2026年，德国政府每年将提供约6,900万美元的资金，五年的总预算为3.45亿美元，重点课题包括数据眼镜、人机协作、支持员工进行体力工作的外骨骼等。

信息来源：IFR; M2觅途咨询

中国人形机器人产业顶层战略：以重塑全球产业发展格局为目标

明确人形机器人战略意义：“有望成为及计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品，将深刻变革人类生产生活方式，重塑全球产业发展格局”
国家顶层明确部署了人形机器人中短期战略路径，并通过制定多项关键任务（技术、产品、场景、生态等）清晰引导未来产业发展方向。

2023.10

工信部《人形机器人创新发展指导意见》

人形机器人产业3年、5年战略部署

到2025年，人形机器人创新体系初步建立，“大脑、小脑、肢体”等关键技术取得突破，确保核心部组件安全有效供给

培育2-3家有全球影响力的生态型企业...打造2-3个产业发展集聚区...

到2027年，产业加速实现规模化发展，技术创新力显著提升，形成安全可靠供应链体系，构建有国际竞争力的产业生态

应用场景更丰富，相关产品深度融入实体经济，成为重要的经济增长新引擎...

关键任务——技术攻关、产品培育、场景拓展、生态营造及强化支撑能力

1

关键任务一：技术攻关

- 开发基于AI大模型的“大脑”
 - ✓ 感知-决策-控制一体化AI大模型
 - ✓ 增强环境感知、行为控制、人机交互能力...
- 开发控制运动的“小脑”
 - ✓ 复杂地形通过、全身协同、精细作业...
- 突破灵巧“肢体”
 - ✓ 高动态、高爆发、高精度运动结构...
 - ✓ 高强度高集成本体、轻量化骨骼、高精传感...

2

关键任务二：产品培育

- 整机
 - ✓ 基础型：类人外观、双腿行走和双臂双手基本操作功能
 - ✓ 功能型：交互型、高精度型、极端环境高可靠型产品...
- 基础部件
 - ✓ 传感：高精度传感器（视觉、听觉、触觉、嗅觉等）
 - ✓ 执行：高功率密度液压伺服执行器、高精度电驱执行器
- 软件
 - ✓ 高实时、高可靠、高智能操作系统；
 - ✓ 多场景应用软件、开发平台...

3

关键任务三：场景拓展

- 制造业典型场景试点示范（汽车、3C等）
 - ✓ 结构化工序：推广在装配、运转、检测、维护等应用
 - ✓ 非结构化工序：加强交互（人-机-环境）
- 民生及重点行业应用推广（家政、医疗；物流等）
 - ✓ 民生服务：提升人机交互可靠安全性（复杂区域引导、灵活操作、鲁棒行走、多模态人机交互）
 - ✓ 其他重点行业：人机交互、灵巧抓取、分拣搬运、智能配送...
- 特种环境应用加速（要地警戒、救援等）
 - ✓ 强化复杂环境下本体控制、快移、精确感知/决策、防护等

...

其他关键任务：生态营造及强化支撑能力

- 生态营造：培育优质企业、完善创新载体和开源环境、推动产业集聚发展；
- 支撑能力：健全产业标准体系、提升检验检测和中试验证能力、加强安全治理能力。

中国将人形机器人发展定位为国家产业战略高度，中央及地方双重推动，构建国家竞争力

“以重塑全球产业发展格局为目标，将人形机器人发展定位为国家产业战略层面”用产业政策和国家力量推动人形机器人的发展。目前中国国家层面以工信部为主导对人形机器人产业发展已经明确了市场发展的战略目标，地方层面上海、深圳、北京、山东等地政府牵头制定出了详细的行动方案

工信部-《人形机器人创新发展指导意见》

2025年

- 创新体系初步建立
- 关键技术突破
- 整机达国际先进、量产

2027年

- 技术创新能力提升，
- 构建产业生态
- 综合实力达世界先

上海

《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划(2023-2025年)》

人工智能

大模型

产业生态

算法基地

- 瞄准人工智能技术前沿，构建通用大模型。
- 构建产业生态：打造10家头部品牌；100个示范应用场景；1000亿相关联产业规模。
- 建设国际算法创新基地，加快人形机器人创新发展。

深圳

《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)》

通用大模型

具身智能

制造业规模化应用

- 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；开展通用型具身智能机器人的研发和应用；加快组建广东省人形机器人制造业创新中心。
- 发挥粤港澳大湾区制造业优势，开展人形机器人规模化应用。

北京

《北京市机器人产业创新发展行动方案(2023-2025年)(征求意见稿)》

创新中心

批量制造

示范工程

产业链基础提升

- 以公司+联盟模式成立产业联盟。
- 2025年建成人形机器人通用行为控制大模型开发平台，形成完善的超算环境及软件生态，完成百台（套）级原型机的小批量生产，并在3~4个典型场景中开展示范应用。

山东

《山东省制造业创新能力提升三年行动计划(2023-2025年)》

加快布局

推进研发及应用

- 加快布局人形机器人、元宇宙、量子科技、未来网络、碳基半导体、类脑计算、深海极地、基因技术、深海空天开发等前沿领域，推进6G技术研发和应用。

- 核心观点

- 人形机器人产业宏观环境分析

- 人形机器人产品定义及发展历程

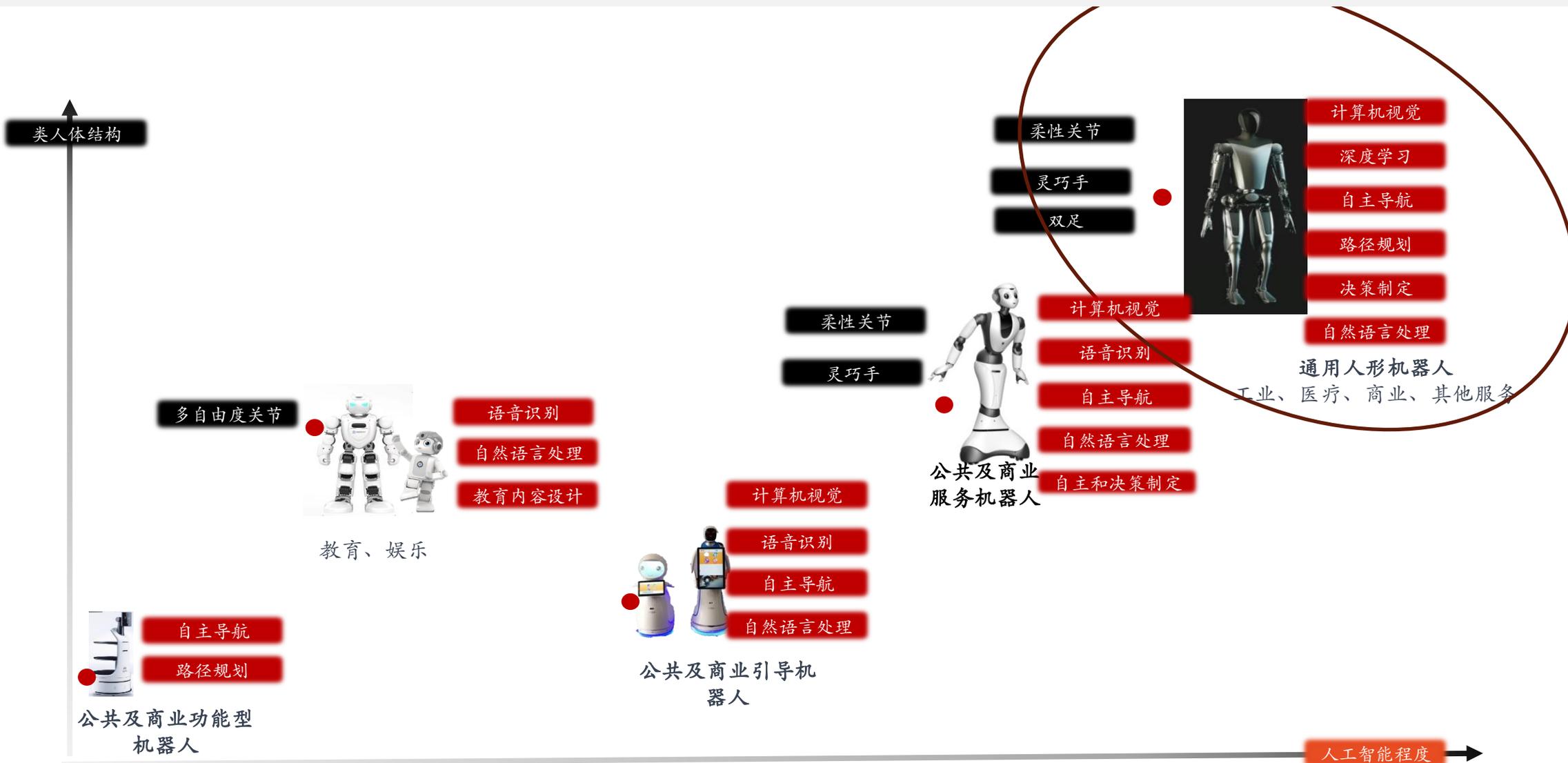
- 人形机器人产业链分析

- 人形机器人主要生产企业分析

- 人形机器人市场投资建议

人形机器人范围界定——大型双足人形机器人

本报告涉及的人形机器人范围为通用型人形机器人，主要为大型双足人形机器人。



注：小型教育及娱乐机器人、商业功能型机器人以及商场或博物馆引导型机器人，因类人程度以及人工智能的应用程度均与通用型人形机器人差距较大，因此不在本次研究范围。

人形机器人的定义

定义：人形机器人是一种模仿人类外形的机器人，除具备人形和模拟人类动作外还兼具智慧化和可交互性等特点。

人形机器人主要包含三大核心技术模块：环境感知模块、运动控制模块和人机交互模块。

人机交互能力

- 识别
- 反馈
- 交互

环境感知能力

- 视觉
- 位置
- 听觉
- 触觉
- 嗅觉

运动控制能力

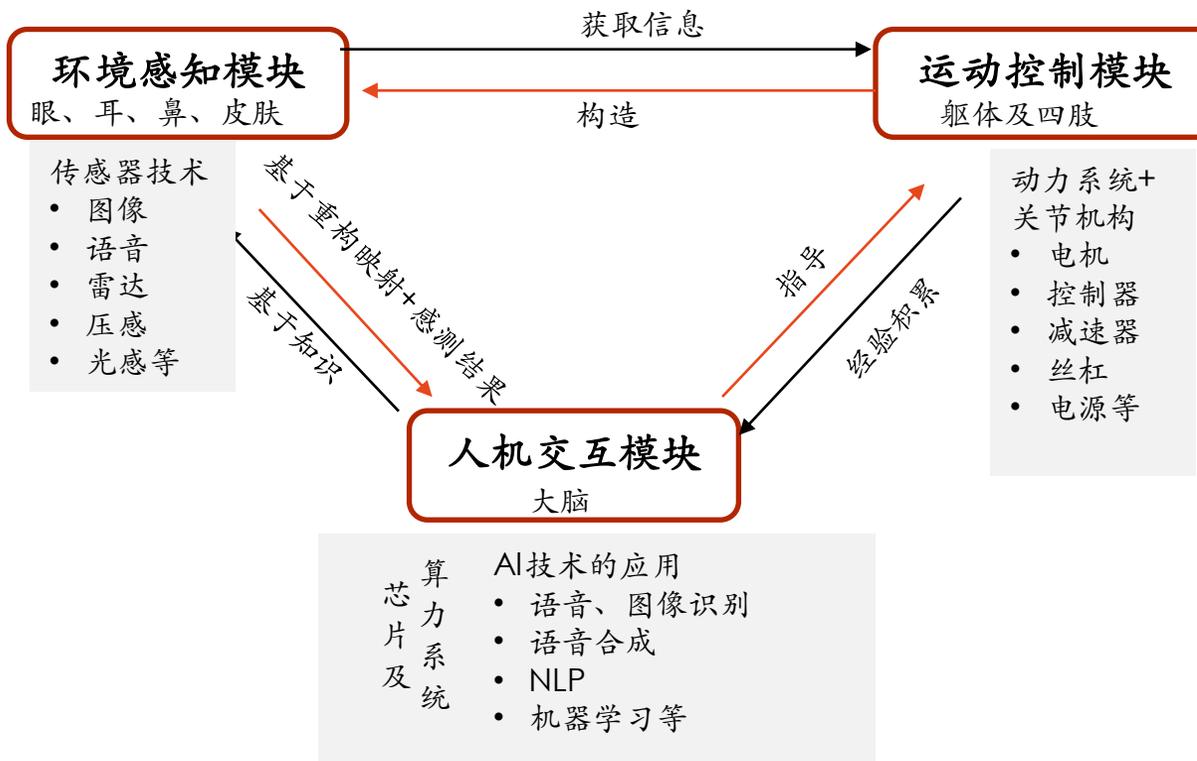
动力系统

关节机构

- 灵巧的手
- 旋转关节
- 线性关节

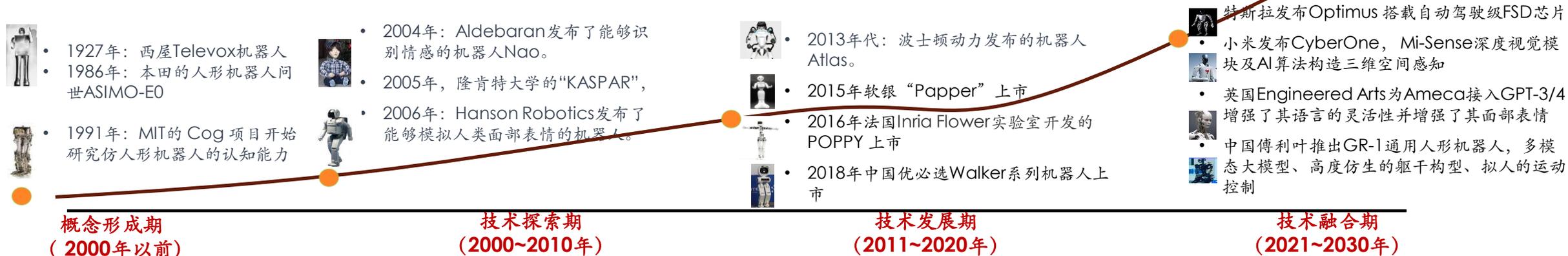


人形机器人：仿人形+三大核心技术能力



全球人形机器人的发展历程

人形机器人始于1927年，到目前市场经历了4个时期；技术发展期，软银paper的上市掀起了人形机器人发展的小高潮，但由于没有找到适合的商业化落地场景，现已经停产；随着特斯拉Optimus的发布掀开了人形机器人发展的新篇章，商业化、AGI、人体工程学将是未来中短期的发展重点。



特点

- 人形机器人初具人形
- 算法有一定的发展
- 但尚未被应用到机器的自主学习

深度学习被引入到运动规划、环境感知和人机交互系统中
技术领域算力和工具方面都有了突破

强化学习让人形机器人在与环境的交互中不断优化动作和行为，情感识别和语言交互技术有了较快的进步

市场基于实用性探索产品开始出现功能性分化的通用人形机器人，商业化进程有望提速

技术能力

- 算法：**
- 1982年，英国科学家霍普尔德发明了神经网络算法
 - 语音及图像识别技术开始发展
- 算力**
- 1997年，IBM用CPU搭建深蓝Deep blue计算机战胜了象棋冠军卡斯帕罗夫。深蓝超级国际象棋电脑有32个微处理器，每秒计算2亿步，可搜索及估计随后的12步棋。

- 算法：**
- 2006年乔治·塞曼提出“深度学习”（Deep Learning）的概念
- 算力：**
- 2006年，AWS云计算发布
 - 2006年，Hadoop大数据存储与计算平台发布
 - 2009年，GPU被使用进行大规模无监督式机器学习工作
- 工具：**
- 2010年：Willow Garage发布了开源机器人操作系统ROS，促进了机器人领域的合作研究。

- 算法：**
- NLP技术迅速发展：Google Transformer架构模型提出，并基于该模型BERT、GPT和T5，也成为了生成式预训练模型的基础
- 算力：**
- GPU普及，2017年Google推出TPU 人工智能计算专用芯片
 - 4G普及5G迅速发展、云计算分布式计算、量子计算高速发展
- 工具：**
- 2016年和2018年Google开源推出Tensorflow深度学习平台和Dopamine强化学习平台
- 应用：无人驾驶技术、计算机视觉、AR/VR技术融合

- 算法：**
- 元学习（Meta-Learning）和自监督学习等领域获得更多关注，提升了模型的泛化能力
- 2023学术论文重点方向
 - 多模态大模型
 - 文本图像归因
 - 自监督学习
 - 时间序列
 - 脑机接口

- 结构模仿
- 运动模仿
- 静态系统

- 深度学习
- 多模态感知
- 自主导航
- 图像\语音识别

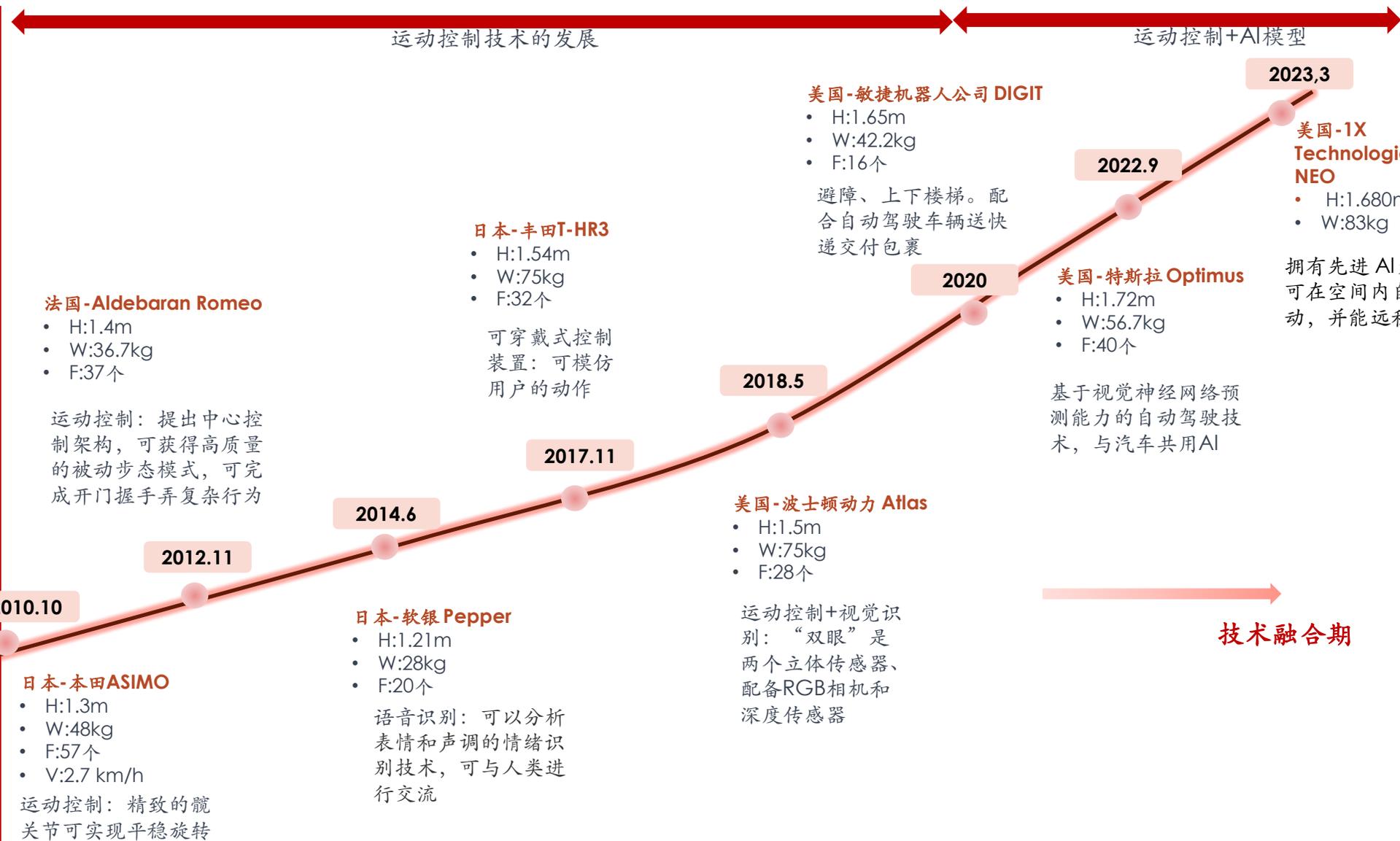
- 强化学习
- NLP
- 自适应
- ANI

- 商业化
- AGI
- 人体工程学

关键词

人形机器人的发展_国外——主要集中在欧美及日本，运动控制+AI模型是未来的发展方向

纵观全球人形机器人的发展，主要集中在日本和欧美，尤其是美国，波士顿动力Atlas是目前运动控制技术最强的产品；敏捷机器人公司的Digit是目前第一个有商业化落地的人形机器人，与自动驾驶车辆一起完成快递包裹的交付，而特斯拉的Optimus是目前被誉为最具市场发展潜力的产品。



- 2020年之前人形机器人的发展主要以运动控制能力的发展为主，从能实现平稳的旋转到波士顿动力Atlas的跑酷，人形机器人的运动控制能力得到了飞跃的提升。
- DIGIT虽然能在复杂场景下进行避障，实现快递的交付，但仍然是基于预设场景下的远程操控来完成。
- 2021年后，随着大模型技术的发展，人形机器人正被赋予强大的大脑，核心能力不断提升，市场基于实用性的探索产品开始出现功能性分化，商业化进程有望提速

人形机器人的发展_中国——起步较晚，但发展并不缓慢

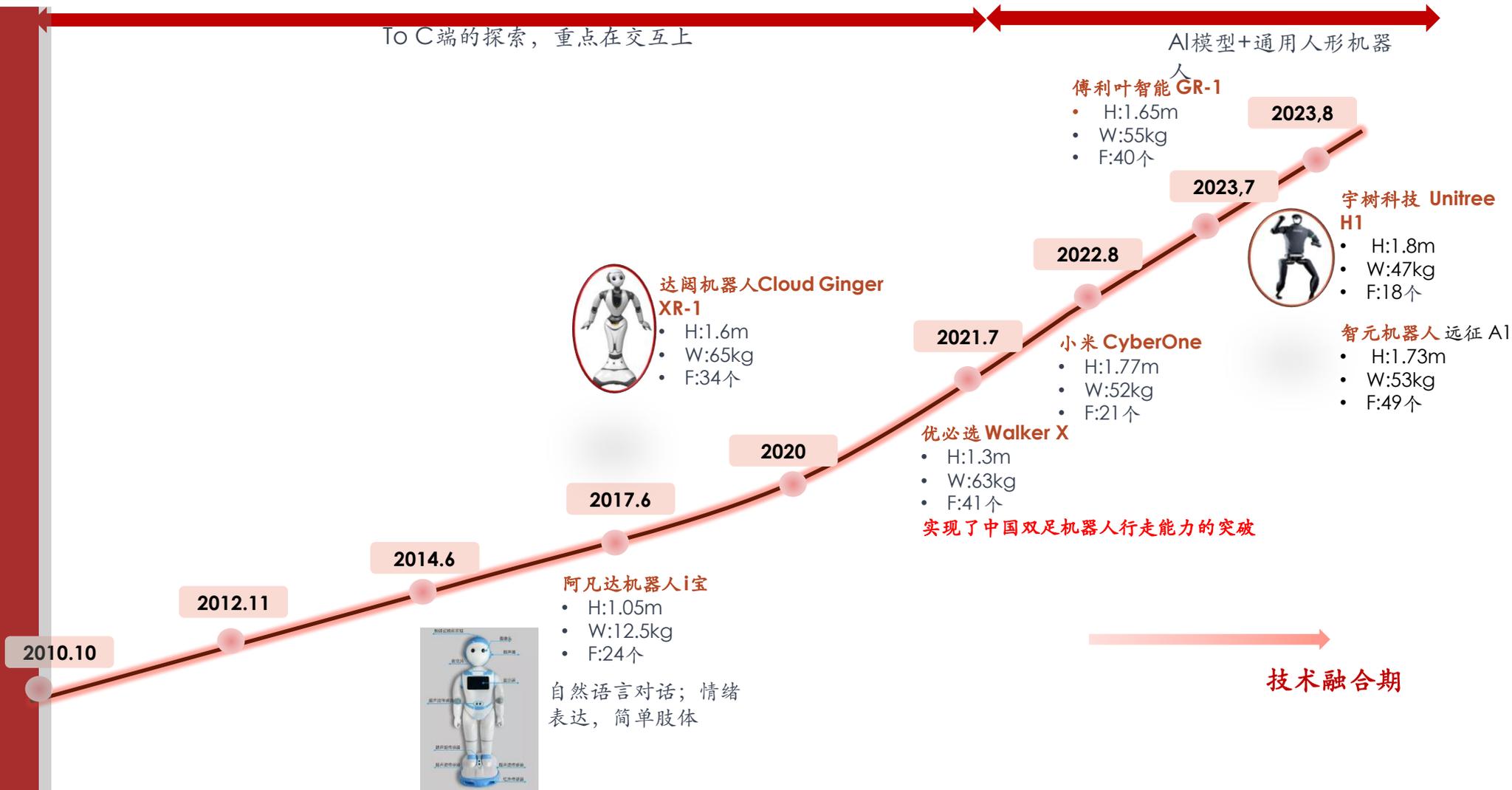
中国的人形机器人市场处于商业化探索的起步阶段，初步商业化落地方向是尝试商业场景和家庭场景的产品迭代和推广；但中国大多数企业认同制造业能够率先真正实现人形机器人商业化落地。其中智元机器人是与特斯拉对标做的汽车生产线落地场景应用的最具潜力企业之一。

中国的人形机器人相较于国外起步较晚，但发展并不缓慢。

2020年后得益于技术的突破和政策的赋能，优秀企业不断脱颖而出

在通用机器人领域，傅利叶智能、宇树科技、智元机器人等先后推出通用人形机器人。

商业落地是目前企业重点探索的方向



- 核心观点

- 人形机器人产业宏观环境分析

- 人形机器人产品定义及发展历程

- 人形机器人产业链分析

- 人形机器人主要生产企业分析

- 人形机器人市场投资建议

人形机器人产业链



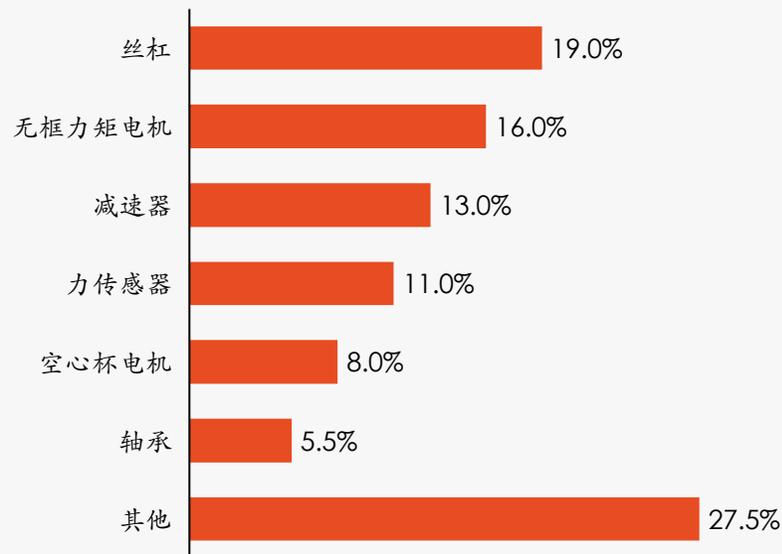
人形机器人核心硬件成本构成

以特斯拉Optimus为例：2023年人形机器人核心零部件价值量分布

模块	产品	数量 (个/套)
大脑	FSD	1
眼睛	摄像头	8
动力	电池	1
灵巧手 (2)	空心杯电机	12
	精密行星减速器	12
	力传感器	12
线性执行器 (14)	无框力矩电机	14
	力传感器	14
	行星滚柱丝杠	14
	单列向心球轴承	14
旋转执行器 (14)	无框力矩电机	14
	力传感器	14
	谐波减速器	14
	交叉棍子轴承	14
其他	结构件/通讯/热管理等	-

2023年人形机器人核心零部件价值量分布

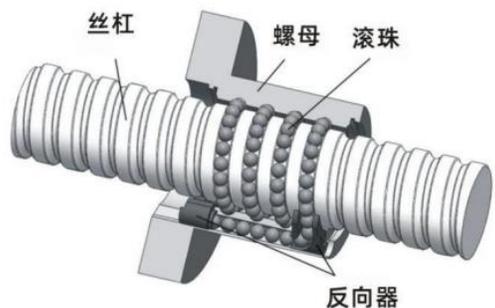
M2觅途咨询根据产品价值量核算，三大执行器（线性执行器、旋转执行器、灵巧手）占人形机器人主要零部件价值量的73%；主要由：丝杠、无框力矩电机、减速器、力传感器、空心杯电机及轴承构成。



来源：M2觅途咨询；特斯拉AI Day

核心零部件—丝杠

丝杠是机械设备中将回转运动、直线运动相互转换的传动元件。



市场特点:

- 广泛应用于数控机床、制造设备、机器人、精密仪器等领域
- 丝杠在加工工艺、生产设备、原材料方面具备较高的壁垒。
- 梯形丝杠结构简单，壁垒相对较低，市场集中度低；
- 滚珠丝杠和行星滚柱丝杠在中国发展较晚，尤其是行星滚柱丝杠中国企业尚处于起步阶段；
- 以特斯拉Optimus为代表的人形机器人主要使用滚珠丝杠和行星滚柱丝杠

主要代表企业:

滚珠丝杠

外资+台资：上银 银泰 TBI NSK THK 黑田 SHUTON 斯凯孚 伊维莱 力士乐

本土：南京工艺 汉江机床

行星滚柱丝杠

外资：Rollvis GSA 伊维莱 CMC

本土：南京工艺 济宁博特 优士特

核心零部件市场介绍——丝杠-产品介绍

丝杠是一种转换运动形式的高精度零件，主要可分为梯形丝杠、滚珠丝杠、行星滚柱丝杠

- 基本定义：**丝杠主要由丝杠和螺母两部分组成。丝杠是一种具有螺纹母线的长条状零件，而螺母则是一种外部具有螺纹母线的零件。螺母可以通过转动丝杠来移动沿丝杠的方向。丝杠是能将回转运动转化为直线运动，或将直线运动转化为回转运动的一种高精度零件，可主要分为梯形丝杠、滚珠丝杠和行星滚柱丝杠3种类型。在机器人领域，丝杠主要用于关节和运动机构传动，实现高精度运动控制

梯形丝杠、滚珠丝杠、行星滚柱丝杠对比

	梯形丝杠	滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
特点	结构简单、精度较低	传动效率高、精度较高	高承载、体积小、高精度
运动原理	通过梯形丝杠的螺纹副实现转动运动和直线运动的转换。在旋转丝杠时，螺母会随着丝杠的旋转而沿着丝杠前进或后退，实现机械传动	丝杠相对螺母旋转时，丝杠的旋转面通过滚珠的循环滚动推动螺母轴向移动，化旋转为线性，丝杠和螺母之间的滑动摩擦转变为滚珠与丝杠、螺母之间的滚动摩擦	行星滚柱丝杠以丝杠旋转作为驱动，当丝杠旋转时，滚柱围绕丝杠作行星运动，同时通过螺旋传动原理将丝杠旋转运动转化为螺母直线往复运动
示意图			
传动效率	低，仅26%-24%	高，可达92%-98%，可显著节能	较高，摩擦力较小时可达90%
转速	慢，滑动摩擦发热严重，一般转速不超过3000RPS	较快，点接触滚动摩擦热效应小，额定转速在3000-5000RPS	快，线接触滚动摩擦热效应小且承载力强，转速可达6000RPS
导程精度	低，品质参差不齐	较高，受滚珠直径限制，常为毫米级的滚珠丝杠	高，可通过调整螺纹头数等因素使导程达到更小的微米级
使用寿命	短，滑动摩擦对元器件的损伤大	长，滚动摩擦损伤小，保持清洁、润滑即可	很长，是滚珠丝杠的10倍以上，荷载运动可达1000万次以上
微进给	难以实现，滑动运动存在爬行现象	可实现，滚珠运动的启动力矩小	可实现，滚柱运动的启动力矩小
自锁性	有，与导程角大小和工作面粗糙度有关	无，需加装制动装置	无，需加装制动装置
应用场景	有多种方案可选，价格较低，适用于利润率低、用量大、对工作转度及精度要求不高的场景，多用于传统行业	适用于无自锁要求、精度要求高、成本控制要求低的场景，如机床、医疗	适合用于精度要求高、高速重载工作的应用场合，如机器人、飞行起落架、精密机床、火炮升降架

Data Source: M2 觅途咨询

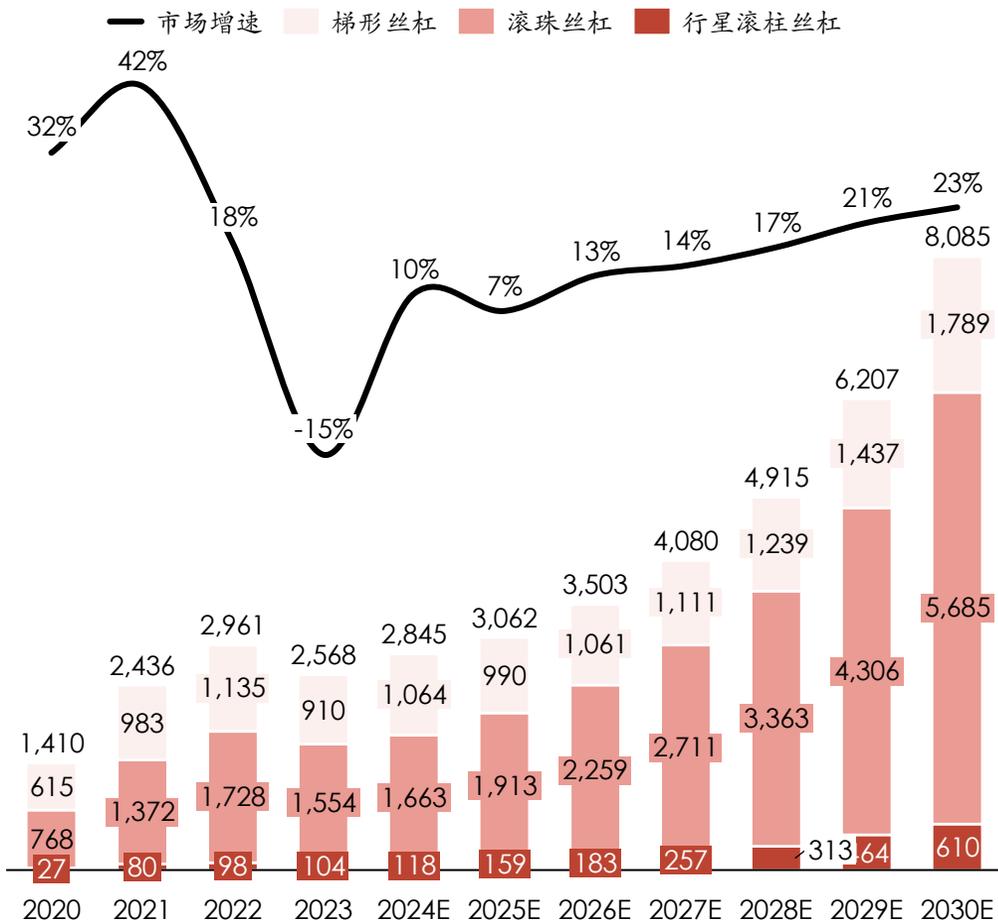
核心零部件市场介绍——丝杠-市场增长

2023年中国丝杠市场规模约25.7亿，其中滚珠丝杠销售额占比最多，约61%，梯形丝杠占比约35%，行星滚柱丝杠应用尚少，占比约4%

2020~2030年丝杠市场增长情况

2020~2030年中国丝杠市场增长情况（不含人形机器人）

单位：Mn RMB



Key Comments

整体市场趋势：

- 2020-2022:** 数字化的进程使得半导体、电动汽车、智能制造等行业持续扩张，医疗保健、物流、包装等与疫情相关的产业也有突破性增长，从而带动了丝杠产品市场规模的扩张，CAGR高达45%
- 2023-2025:** 全球通胀攀升、俄乌冲突等不确定因素使得全球经济增长动力缺乏，同时机械制造、电子信息、医药等下游行业向东南亚转移，丝杠增长乏力，预期增速降低至10%以下。
- 2025-2030E:** 随着经济的不断恢复、智能制造转型升级，丝杠企业逐渐突破技术瓶颈，同时随着智能制造的升级，科技的进步AI、机器人、智慧制造等行业需求也开始爆发，M2预计丝杠市场尤其是滚珠丝杠和行星滚柱丝杠的市场将保持在20%左右的市场增长。

分产品趋势：

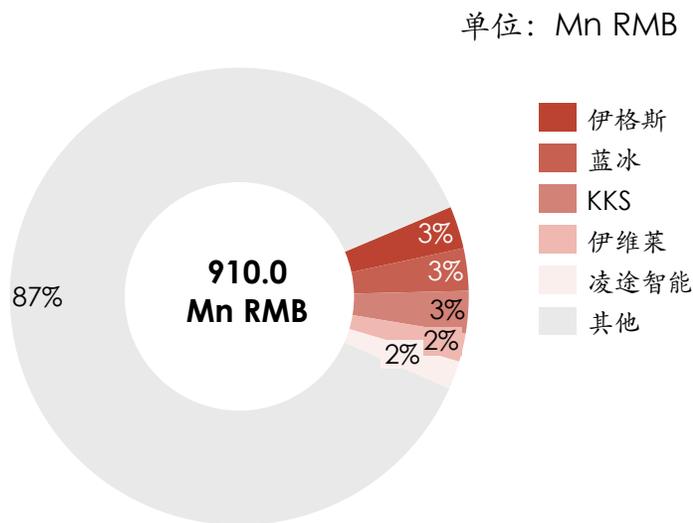
- 梯形丝杠:** 目前销售量最大的丝杠产品，但单品价值量较小，且下游行业多为自动化等传统行业，市场增长主要依赖于传统市场的增长预期~2030年CAGR在10%左右；
- 滚珠丝杠:** 目前销售额最大的丝杠产品，未来也有广泛的应用前景，成本下降后部分替代梯形丝杠，预计市场CAGR为20%
- 行星滚柱丝杠:** 下游行业多为军工、航空、机器人这类高精尖行业，需求还未充分发挥，同时技术壁垒较高，需要较长时间才能得到广泛应用，预计市场占比将从2023年的5%提升至2030年的8%，期间CAGR为31%

Data Source: M2 觅途咨询

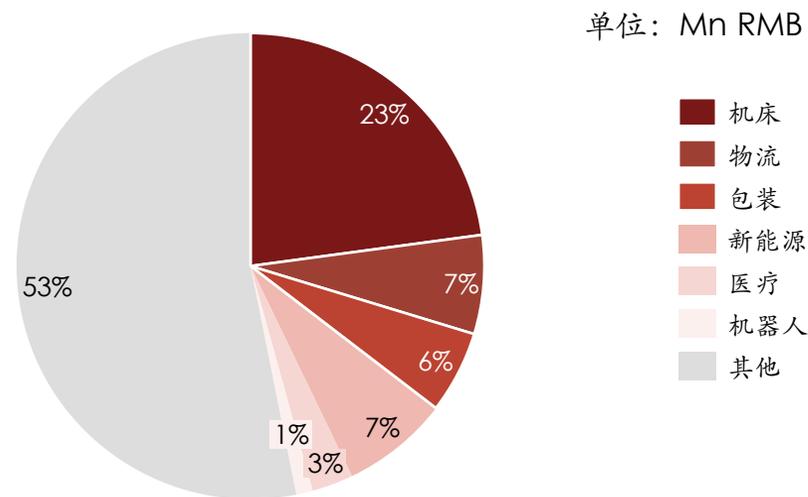
核心零部件市场介绍——梯形丝杠-竞争格局及行业应用

梯形丝杠的市场参与玩家多，集中度较低，CR5仅占整体市场规模的13%；行业应用广泛，最大应用市场为机床行业，市场占比达23%

2023年中国梯形丝杠市场竞争格局



2023年中国梯形丝杠市场行业分布



Key Comments

梯形丝杠特点：

产品特点：

- 1) **安全性高**：梯形丝杠可以自锁，不会对电机等其他部件造成冲击
- 2) **空间利用率高**：体积小，可以在紧凑空间应用
- 3) **低价**：可以有效降低成本

市场特征：

- 1) **集中度低**：技术门槛低，市场中参与者众多。头部企业没有显著的技术优势，小厂家反而能凭借较低的价格获取较多的订单
- 2) **国产化程度高**：市场中有大量的国内厂家参与梯形丝杠的生产和销售，国外产品没有太多竞争优势，产品国产化较充分

下游行业特征：

行业分布广：梯形丝杠是一种比较基础的传动零部件，行业应用很宽泛，机床、物流、包装等行业都会使用

Data Source: M2 觅途咨询

滚珠丝杠的发展历程

滚珠丝杠在国外起步早、发展快、技术成熟，欧美市场在高端滚珠丝杠制造领域占据垄断地位，并且广泛应用到各领域；在国内发展迅速，市场规模快速增长，同时国内大型生产企业如南京工艺、江汉机床等技术逐渐提升，有望逐步实现国产替代

滚珠丝杠的发展历程

产品诞生于美国，商业化起步于汽车行业

技术进步，行星滚柱丝杠开始发展
中国技术开始发展

市场格局形成，
中国技术进步，开始步入国产替代阶段



- 1874年，滚珠丝杠的基本构造在美国以专利申请的形式问世
- 1917年，螺纹磨床问世和螺纹磨削技术的进步，使其在精度和性能上有所提高
- 1940年，美国首先将滚珠丝杠用于汽车转向装置上，使其正式商品化

- 1952年，第一台数控机床问世，其后续发展大大推动了滚珠丝杠的专业化生产
- 1954年，瑞典人申请了标准式和反向式行星滚柱丝杠专利
- 1970年，欧美各大厂商各类型滚珠丝杠产品成熟



- 1964年中国自研的第一套滚珠丝杠诞生
- 1982年，行业标准JB3162-1982《滚珠丝杠副》的诞生
- 1991年，国产制造标准已经完全与国际标准接轨

博世力士乐、NSK、Hiwin、黑田精密等品牌在高端市场占据垄断地位，产品已应用于工业机械、生命科学、医疗设备、电子设备、光学和半导体设备等领域

目前，中低档产品与国外同类产品差距较小或基本持平，但生产效率低于国外；高性能、高档次的产品与NSK、THK、INA等知名企业有明显差距，尚无在国际上有影响力的知名品牌

萌芽期
~1950年

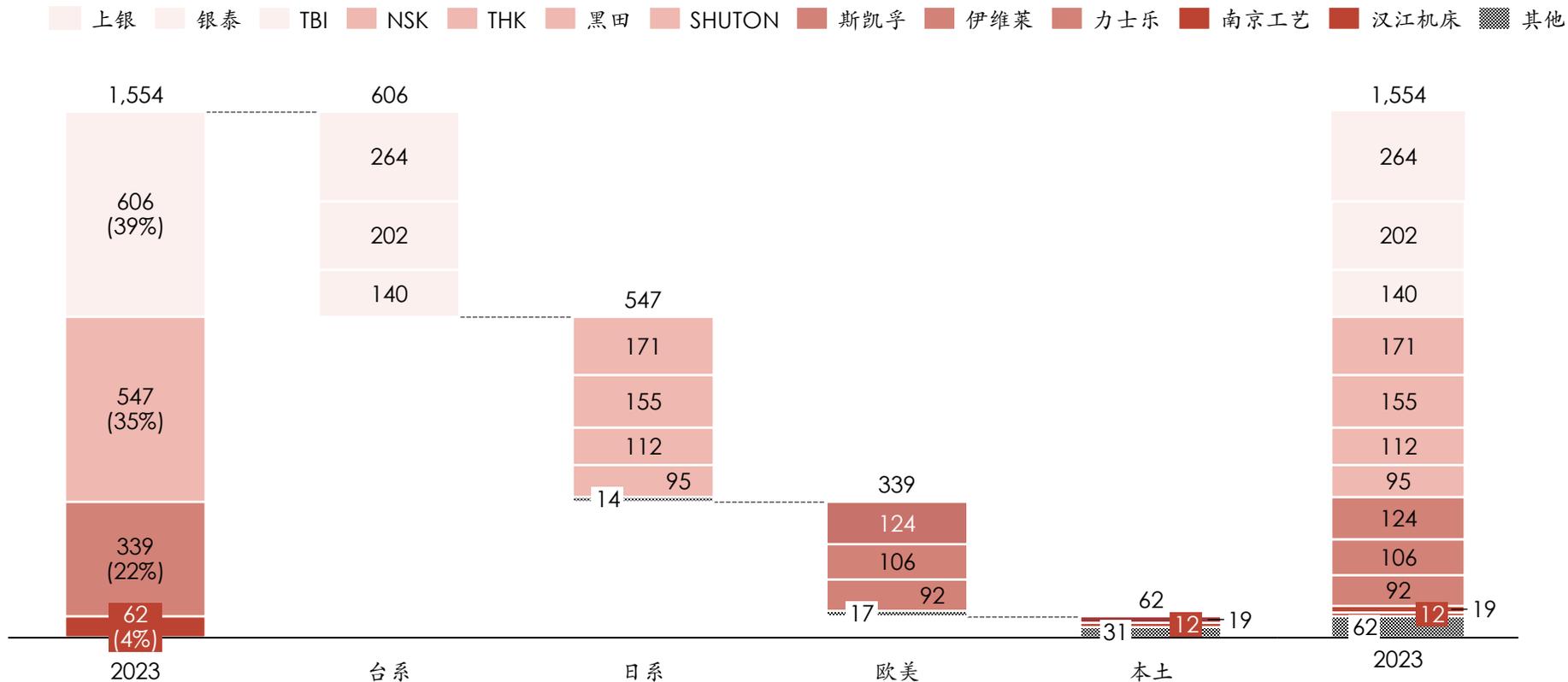
发展期
1950~2000年

成熟期
2000~至今

核心零部件市场介绍——滚珠丝杠-竞争格局

中国滚珠丝杠市场主要被台资企业和外资企业垄断，中国本土企业目前规模较小；总体来看滚珠丝杠的市场集中度较高CR10占比94%

2023年中国滚珠丝杠市场竞争格局 单位：Mn RMB



市场特点:

- 市场集中度高
- 欧美系和日系主要面向偏向高端的应用领域；台资和本土品牌主要面向中低端的市场应用领域
- 由于中国企业入局较晚，目前技术成熟度不断提高，未来国产化进程有望加快

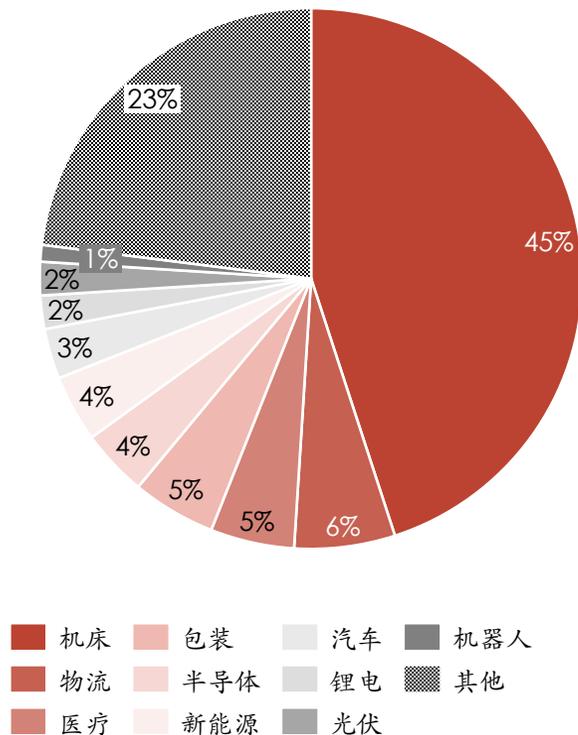
Data Source: M2 觅途咨询

核心零部件市场介绍——滚珠丝杠-行业应用

滚珠丝杠相比梯形丝杠传动效率和精度更高，相比行星滚柱丝杠有更高的效率、更低的后驱力和价格，所以广泛适用于有精密度要求的传动场景；数控机床目前仍然是滚珠丝杠应用最大的市场

2023年中国滚珠丝杠市场行业分布

单位: Mn RMB



Key Comments

- 滚珠丝杠利用滚珠循环将旋转运动转化为直线运动，结构较为复杂，对于加工技术的要求更高，价格也较梯形丝杠更高
- 使用滚珠丝杠的厂商相对更看中滚珠丝杠的品质，如较高的精度和较长的寿命
- 有传动需求、要求一定精度的行业都有可能使用滚珠丝杠，但是目前数控机床是滚珠丝杠应用的最主要的市场
- 随着制造业向数字化智能化的转型升级的深入，滚珠丝杠在机械工业领域的应用呈现均衡化发展，而且应用场景也趋于多元化

Data Source: M2 觅途咨询

行星滚柱丝杠的发展历程

- 行星滚柱丝杠的历史起源于1942年的瑞典，美国、瑞士、德国、英国等纷纷在19世纪七八十年代开始入局。苏联也在1987年进入批量生产状态；
- 2020年中国企业开始少量生产，行星滚柱丝杠产品，比美国晚近50年，比苏联晚30年；
- 目前中国本土企业生产的行星滚柱丝杠产品在效率、承载能力和精度等性能上与国外的产品尚存在较大差距。

行星滚柱丝杠的发展历程



1942年

瑞典的发明家Carl Bruno Strandgren 1942年，申请了第一个**循环式**滚柱丝杠的专利。1954年，又申请了**标准式**的滚柱丝杠专利



1968年

美国William J. Roantree申请了**差动式**行星滚柱丝杠的专利

1970年

瑞士的Rollvis 公司开始研制行星滚柱丝杠，瑞典的SKF也同时研制行星滚柱丝杠。
美国的Moog、德国的Ortlieb和英国的Power Jacks等也都在此时期入局纷纷入局



1987年

瑞士Oliver Saari申请了**轴承环式**行星滚柱丝杠的专利。
苏联生产工艺研究所开始批量生产螺纹长度可以达到1500和2000mm的特长型行星滚柱丝杠副。

2010年

中国北京精密机电控制设备研究所开始研制行星滚柱丝杠。

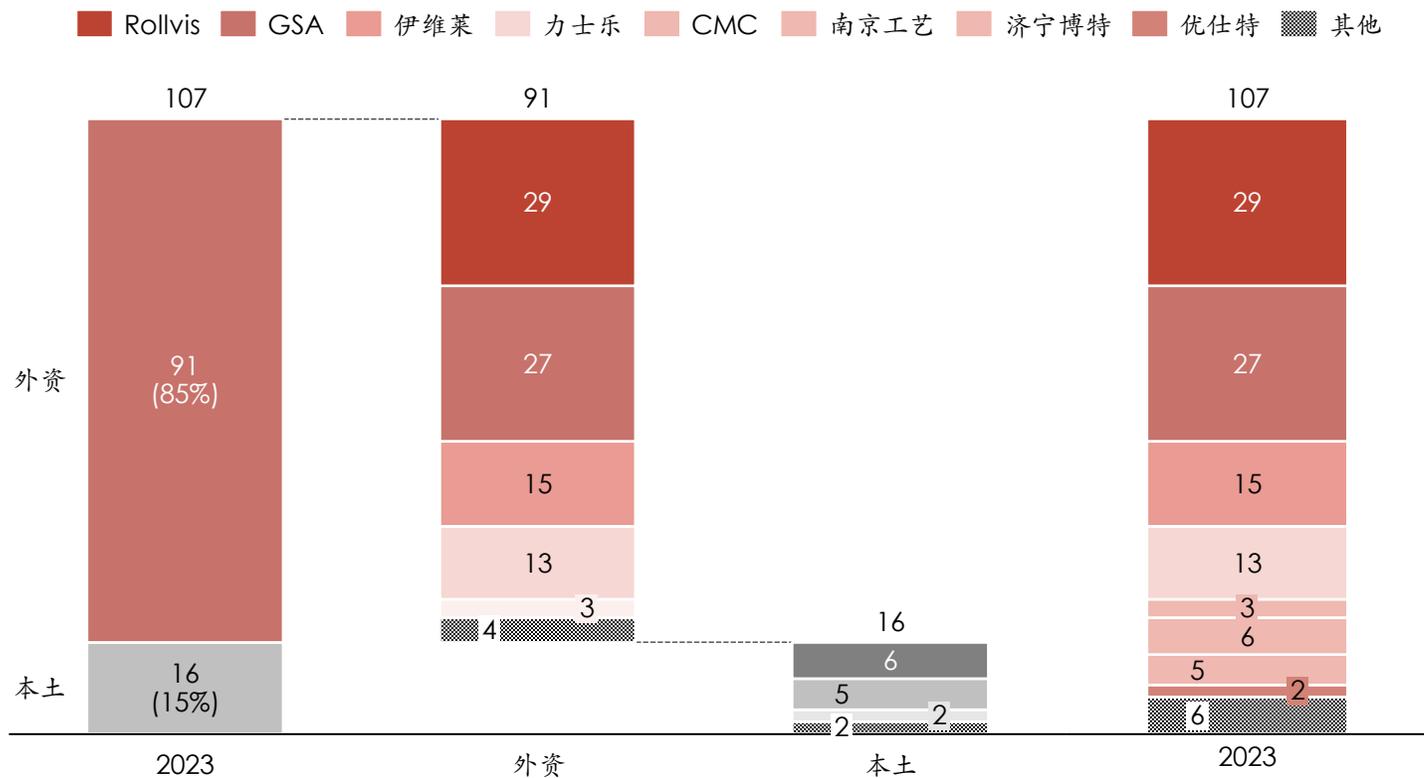
2020年

中国的博特精工、优励聂夫、扬州众孚及精密机电控制设备研究所都对行星滚柱丝杠进行了试制和少量的生产

核心零部件市场介绍——行星滚柱丝杠-竞争格局

2023年中国行星滚柱丝杠市场规模1.07亿，市场在中国仍处于起步阶段，本土企业规模尚小，市场主要由欧美系企业占有，市场集中度较高CR5~80%以上

2023年中国行星滚珠丝杠市场竞争格局 单位：Mn RMB



- **市场特点:** 市场集中度高，欧美系为主导；由于中国企业入局较晚，小批量生产的起步阶段
- **产品特性:** 相比于滚珠丝杠，行星滚柱丝杠具备高承载、耐冲击、体积小、高速度、高精度等优势行星滚柱丝杠行星滚柱丝杠能承受的静载为滚珠丝杠的3倍，寿命是滚珠丝杠的15倍，但相对价格也远高于滚珠丝杠
- **行业应用:** 行星滚柱丝杠通常运用于高速重载且整体价值量更高的行业，如精密机床、飞行器起落架、军工火炮升降架、高精度要求的机器人

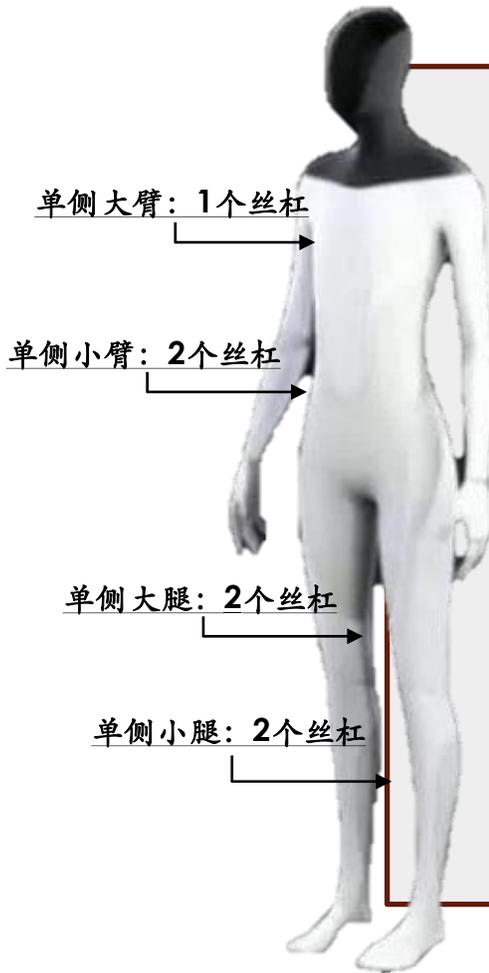
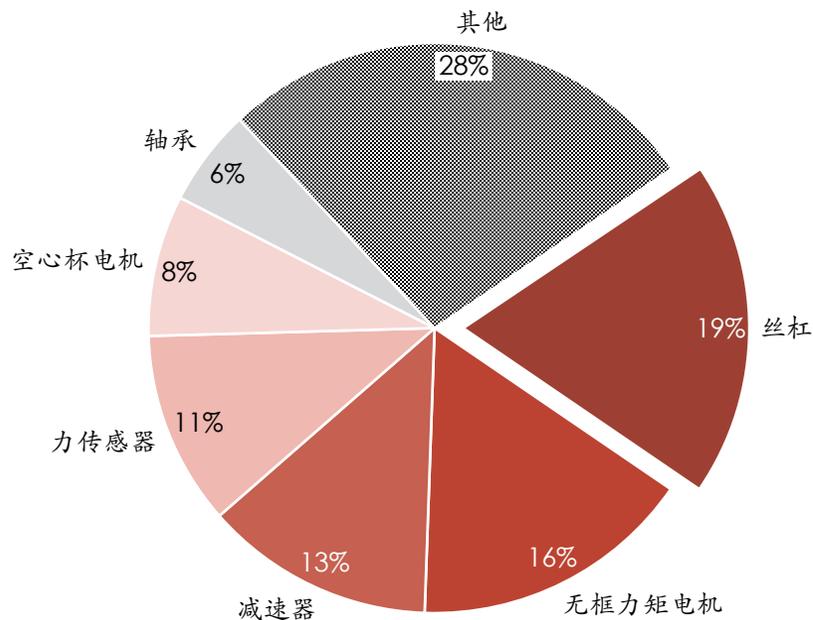
Data Source: M2 觅途咨询

人形机器人领域的丝杠产品应用

丝杠是人形机器人领域的重要传动件，预计特斯拉Optimus有兼用滚珠丝杠和行星滚柱丝杠的方案和只使用行星滚柱丝杠的方案

人形机器人领域的丝杠产品应用

丝杠产品在人形机器人硬件设备中的成本占比



特斯拉Optimus方案

预计特斯拉Optimus方案有两个可能方案:

方案1:

全部使用行星滚柱丝杠，共14个:

- 1) 小臂使用小型行星滚柱丝杠
- 2) 大臂和小腿使用中型行星滚柱丝杠
- 3) 大腿使用大型行星滚柱丝杠

方案2:

- 1) 上半身负载要求较低，使用6个滚珠丝杠
- 2) 下半身负载要求较高，使用8个行星滚柱丝杠

考虑到成本和技术成熟度，目前的人形机器人更适用方案1，即同时使用滚珠和滚柱丝杠，未来会逐渐向方案2过渡

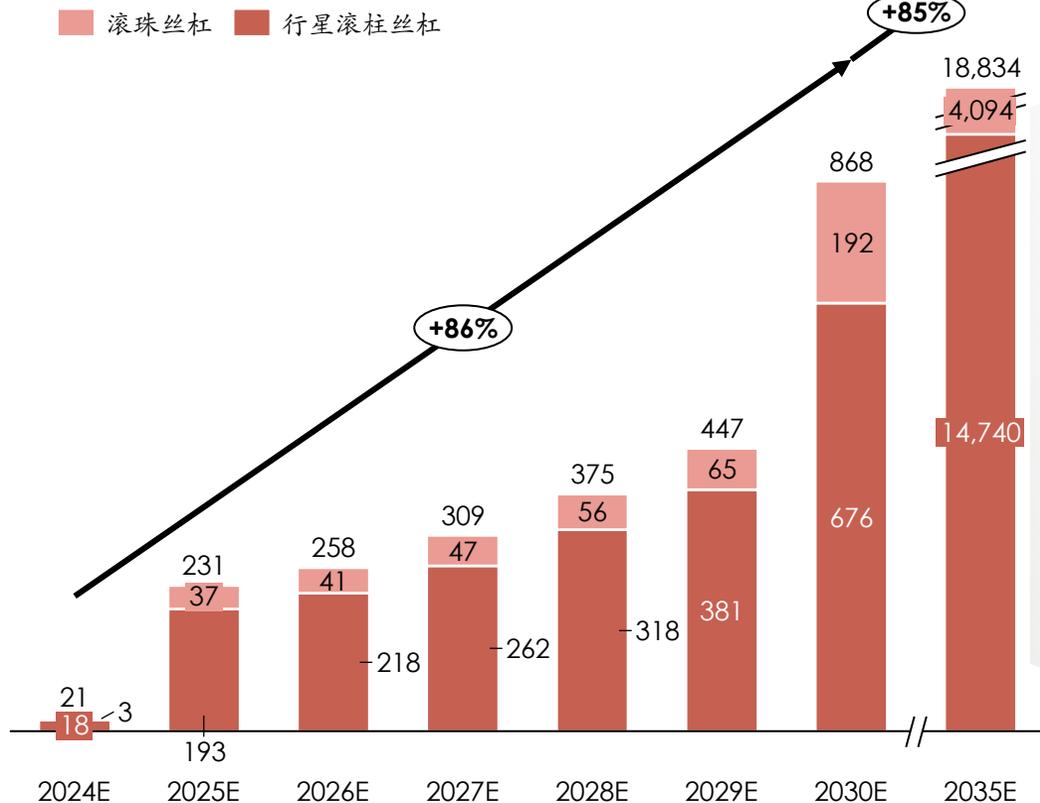
人形机器人领域的丝杠产品市场规模预期

人形机器人未来更多使用行星滚柱丝杠，预计2030年规模到达7亿元；随着市场规模的不断扩大，技术的不断成熟，行星滚柱丝杠的价格也将不断降低

2023~2035年人形机器人为上游零部件市场带来的增量市场预期（全球）——丝杠

2023~2035年人形机器人为丝杠市场带来的增量空间（全球）

单位：Mn RMB



	2023	2024E	2025E	2030E	2035E
全球人口 (亿人)	80	80.5	81	85	87
人形机器人渗透率	0.0	0.1	1.7	8.9	360.9
人形机器人销量 (万台)	0	0.12	1.4	7.57	314
滚珠丝杠单价 (元/个)	500	480	461	376	248
平均单台用量 (个)	6	6	6	6	6
滚珠丝杠市场空间 (百万元)	-	3	37	192	4,094
行星滚柱丝杠单价 (元/个)	2,000	1,840	1,693	1,116	589
平均单台用量 (个)	8	8	8	8	11
行星滚柱丝杠市场空间 (百万元)	-	18	193	676	14,740

- **量产进程:** 目前人形机器人还处在研究阶段，预计2025年有望实现量产，2030年-2035年销售规模有较为明显的增长
- **未来应用:** 行星滚柱丝杠在未来技术更成熟、价格更低的情况下会被更多应用于人形机器人

核心零部件—无框力矩电机

- 电机用以产生驱动转矩，安装在机器人的关节上控制运动，是机器人的核心硬件之一。
- 无框力矩电机体积小、结构紧凑、质量轻、转动惯量小、启动电压低、空载电流小，可打造轻量化的机器人关节



市场特点:

- 以特斯拉Optimus为代表的人形机器人中电机主要采用无框力矩电机和空心杯电机
- 无框力矩电机体积小、质量轻、集成方式多样、可中空走线等特点，被广泛应用于协作机器人关节；
- 无框力矩电机国内技术壁垒已被打破，本土品牌产品可与外资对标；
- 本土品牌依靠其价格优势在市场竞争中有一定的优势；

主要代表企业:

无框力矩电机

外资+台资：科尔摩根、日本产电

本土：步科股份、昊志电机、航天电器、微精电机

核心零部件市场介绍——无框力矩电机-产品介绍

无框力矩电机只有转子和定子两个部件，具有体积小、扭矩高、性能稳定的优点

无框力矩电机产品介绍

原理:

- **运动原理:** 无框力矩电机以输出扭矩为衡量指标，由驱动器供电，驱动器控制 U/V/W 三相电形成电磁场，永磁体的转子在磁场的作用下转动
- **控制方法:** 以扭矩为控制方向，采用开环控制。当负载转矩增大时能自动降低转速，同时加大输出转矩，当负载转矩为一定值时改变电机端电压便可调速

结构:

- **组成:** 无框力矩电机没有轴、轴承、外壳或端盖，只有转子和定子两个部件
- **转子:** 内部部件，由带永磁体的旋转钢圆环组件构成，直接安装在机器轴上；永磁体可作为内转子，也可作为外转子
- **定子:** 外部部件，包含有齿钢叠片，外面包裹着能产生电磁力的铜绕组，紧凑地安装在机器外壳的主体内



无框力矩电机示意图

优点:

- **体积小:** 无框电机中空式设计，最大限度减小电机所占空间，更方便走线布置
- **扭矩高:** 无框力矩电机具有较高的功率，在低转速的情况下，能够输出更大扭矩
- **性能稳定:** 无框电机的电机组件直接整合到机器元件内，不会受到外界高压、高温环境、辐射的影响

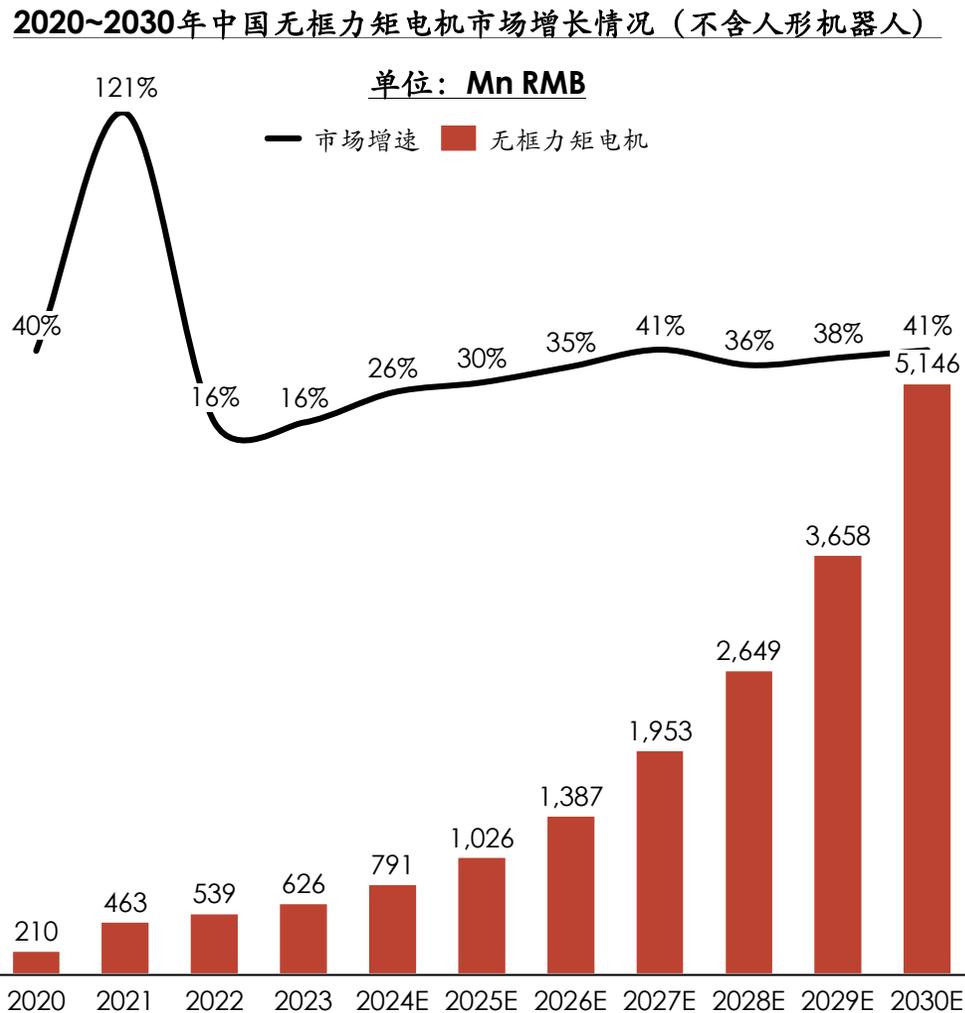
难点:

- **转矩密度:** 关节朝着扭矩不变尺寸更小的方向发展，要求关节电机不断提高功率密度
- **温升:** 较小的尺寸使电机易温升
- **额定和最高转速:** 对于电机系统来说，转矩需求固定，额定速度上限附近将损失转矩，提速意味着更高的电磁设计要求。
- **成本:** 作为关键部件，电机的成本备受关注。核心零部件国产化是必经之路

核心零部件市场介绍——无框力矩电机-市场增长

2023年中国无框力矩电机市场规模约6.3亿（不含人形机器人）；未来下游需求将拉动市场规模高速增长

2020~2030年中国无框力矩电机市场增长情况（不含人形机器人）



Key Comments

整体市场趋势：

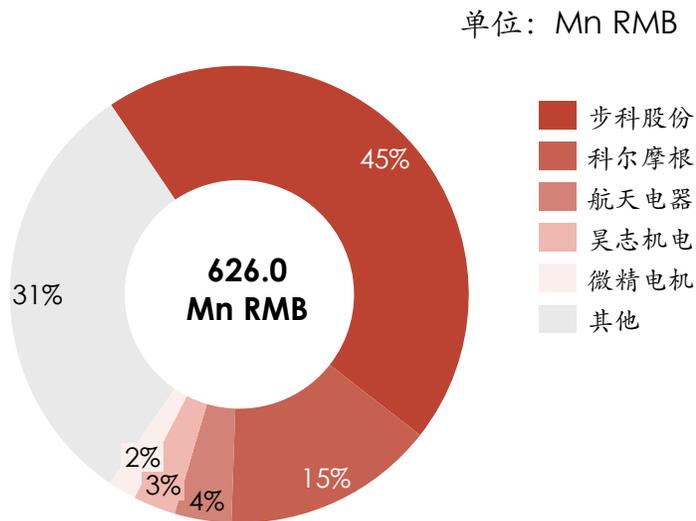
- 2020-2022：** 流行病爆发催生多领域对无人化、自动化、智能化生产的需求，也产生对于劳动力的旺盛需求。在此期间，机器人、医疗等无框力矩电机的下游行业均出现明显的需求增长，拉动无框力矩电机的销售，期间CAGR为60%
- 2023-2025：** 在高通胀、国内外消费需求疲软的背景下，机器人等无框力矩电机的主要应用行业仍然不断释放需求，保持着较高增速。预计在此期间无框力矩电机市场综合增长率接近30%
- 2026-2030：** 经济逐步复苏，工业制造业、服务业等领域的自动化替代需求进一步释放，机器人行业也将有更快的增长。M2预计，此阶段无框力矩电机市场在多种需求叠加拉升和本身技术发展的情况下高速发展，综合增长率接近40%，如果人形机器人行业发展良好有望实现更高增长

Data Source : M2 觅途咨询

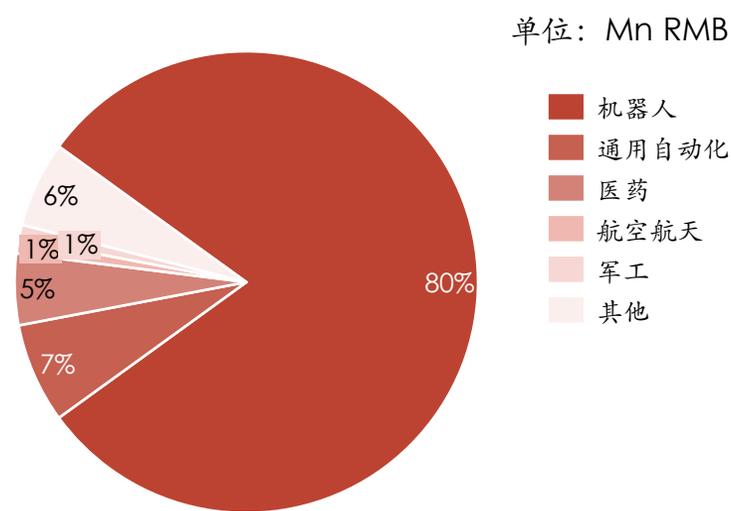
核心零部件市场介绍——无框力矩电机-竞争格局及行业应用

无框力矩电机市场向头部集中，步科股份为目前最大的供应商；无框力矩电机主要应用于机器人领域，最主流的应用为协作机器人

2023年中国无框力矩电机市场竞争格局



2023年中国无框力矩电机市场行业分布



Key Comments

市场特征:

- 头部集中度高:** 无框力矩电机目前还存在较高的技术壁垒，国内只有少量厂商能提供品质较高的无框力矩电机。其中步科股份依靠生产技术和较低成本占据了较大的市场，是行业内最大的无框力矩电机供应商。科尔摩根进入中国市场较早，能生产高品质无框力矩电机，但因为产品价格偏高，使用科尔摩根产品的企业相对较少
- 国产化程度高:** 除了少量高端应用场景需要使用科尔摩根等国外厂商的无框力矩电机，大部分下游场景都已经开始使用国产产品

下游行业特征:

- 行业分布集中:** 无框力矩电机主要应用于机器人行业，包括协作机器人、移动机器人、四足机器人、人形机器人等。其中协作机器人是目前应用最广的分支，无框力矩电机被广泛使用于协作机器人关节模组。机器人领域的其他前沿应用还包括在AGV轮上使用无框力矩电机，以减小AGV体积；在其他行业的主流应用包括医疗或军工中使用的转台、在航空航天领域使用的惯导等

Data Source: M2 觅途咨询

无框力矩电机在协作机器人和人形机器人领域应用对比

相比协作机器人，无框力矩电机在人形机器人上用量更多、应用范围更广

无框力矩在协作机器人领域的应用



协作机器人是目前应用无框力矩电机最多的场景

数量:

一般单台协作机器人使用6-7个

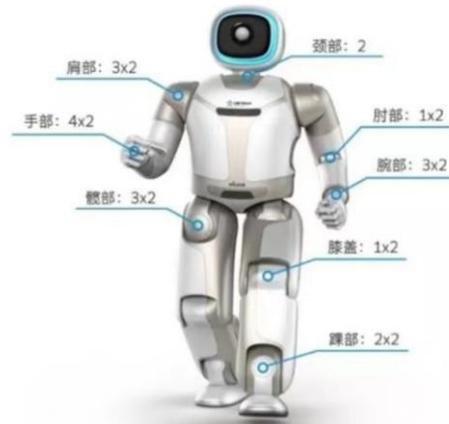
应用:

主要用于协作机器人关节。协作机器人的一体化关节一般包括无框力矩电机+谐波减速器+制动器+力矩传感器+输出轴编码器+电机端编码器+驱动器+机械集成

优势:

无框力矩电机中空的结构、较高的扭矩和扭矩正好能与协作机器人的结构相适应。对于协作机器人，安装无框力矩电机便可以在电机的中空部分布线，有限节省空间

无框力矩在人形机器人领域的应用



人形机器人未来将大量应用无框力矩电机

数量:

一般单台人形机器人使用20个以上，特斯拉Optimus共使用28个，优必选Walker机器人共使用36个

应用:

应用范围更广，既可以用于人形机器人关节（旋转执行器），也可以用于手臂或腿部的线性运动部分

优势:

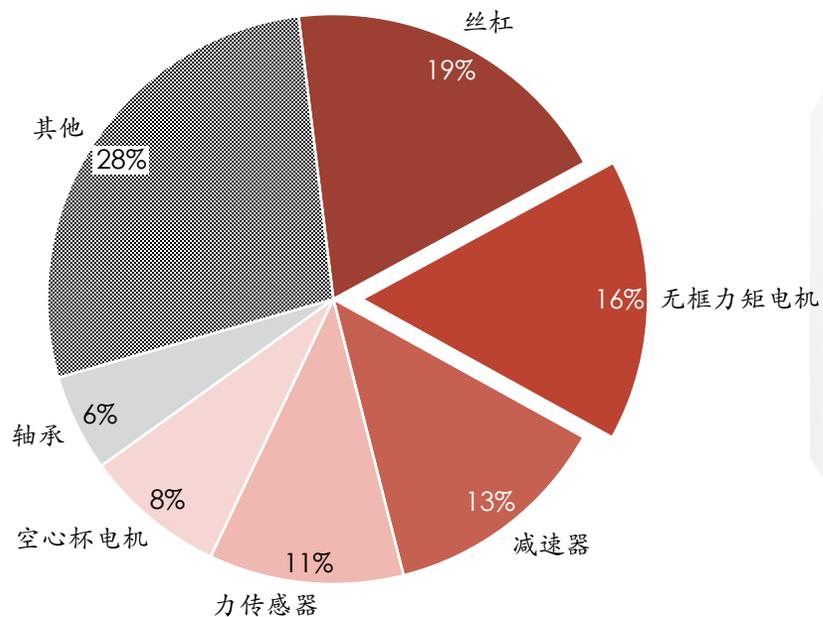
可以适应多个应用场景，在节省空间的同时满足人形机器人对精度和扭矩的需求

人形机器人领域的无框力矩电机产品应用

无框力矩电机可以同时用于人形机器人线性执行器和旋转执行器中，特斯拉Optimus预计共使用28个无框力矩电机

人形机器人领域的无框力矩电机产品应用

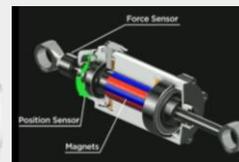
无框力矩电机产品在人形机器人硬件设备中的成本占比



特斯拉Optimus方案

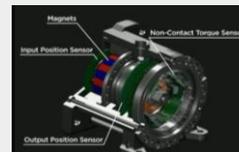


预计特斯拉Optimus中共使用28个无框力矩电机，分别使用在14个线性执行器和14个旋转执行器中



线性执行器

线性执行器：14个，实现类似人体肌肉的拉伸运动运动，构成为无框力矩电机+力传感器+丝杠+轴承等



旋转执行器

旋转执行器：14个，实现类似人体关节的旋转运动，构成为无框力矩电机+力传感器+谐波减速器+轴承等

不同人形机器人厂商会使用不同的无框电机方案，需要根据装配难度、结构适用性、成本等方面综合考虑。在灵活度需求低、要求成本的情况下可能使用比Optimus更少的无框力矩电机

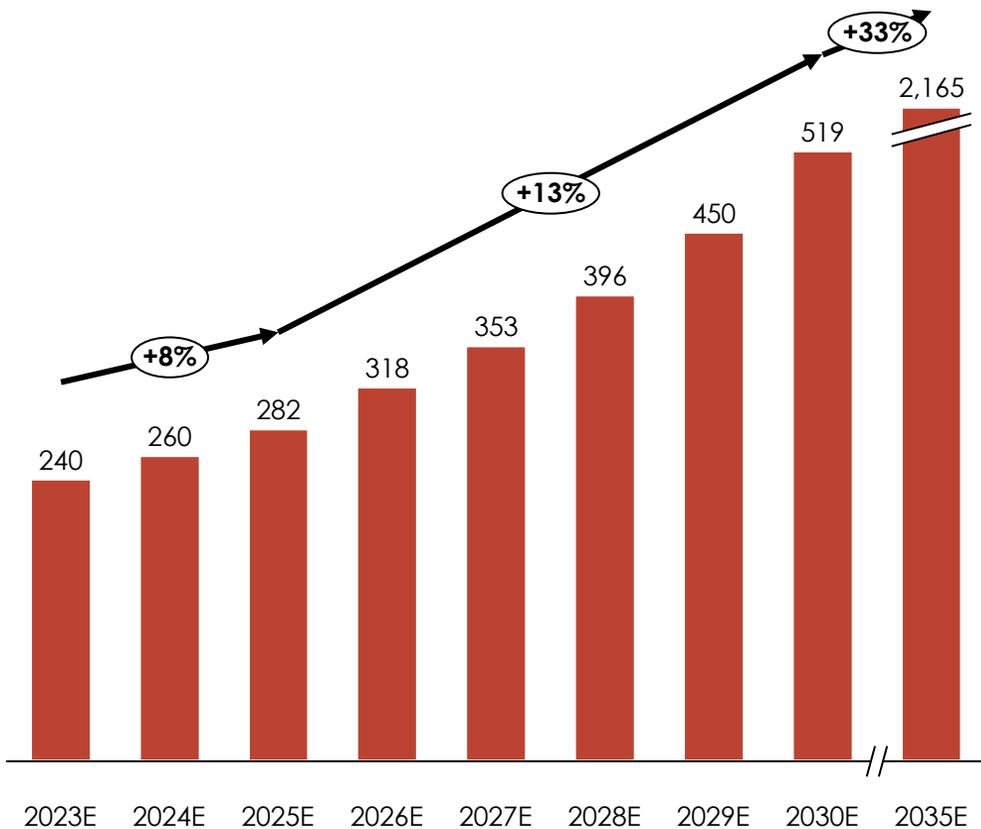
人形机器人领域的无框力矩电机产品市场规模预期

随着人形机器人灵活度增加、无框力矩电机价格下降，无框力矩电机将在人形机器人领域有更广泛的应用

2023~2035年人形机器人为上游零部件市场带来的增量市场预期（全球）——无框力矩电机

2023~2035年人形机器人为无框力矩电机市场带来的增量空间（全球）

单位：Mn RMB

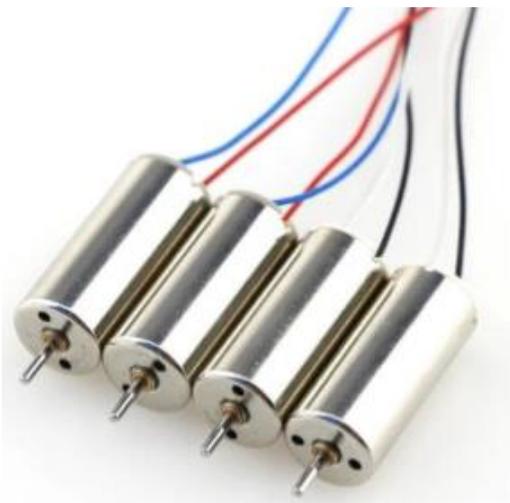


	2023E	2024E	2025E	2030E	2035E
全球人口 (亿人)	80	80.5	81	85	87
人形机器人渗透率 (台/百万人)	0.0	0.1	1.7	8.9	360.9
人形机器人销量 (万台)	0	0.12	1.4	7.57	314
无框力矩电机单价 (元/个)	1,500	1,470	1,441	1,302	1,177
平均单台用量 (个)	20	20	20	20	20
单台价值量	30,000	29,400	28,812	26,044	23,542
无框力矩电机市场空间 (百万元)	-	44	498	2,319	84,966

- **量产进程:** 目前人形机器人还处在研究阶段，预计2025年有望实现量产，2030年-2035年销售规模有较为明显的增长
- **未来应用:** 无框力矩电机的单机使用量可能随人形机器人灵活度需求的增加及装配难度和成本的下降而增加

核心零部件—空心杯电机

空心杯电机是人形机器人灵巧手的关键部件，具有良好的节能效果、动力性能以及控制性能。



市场特点:

- 空心杯电机的特点是高效、低噪音、寿命长和高转矩，广泛应用于电动工具、机器人、无人机、航空航天器和医疗器械等领域；
- 空心杯电机具有较高的技术壁垒，在中国85%以上的市场被外资品牌把控；
- 市场集中度高，CR3≈80%，全部为外资品牌；

主要代表企业:

空心杯电机

外资：MAXON、Faulhaber、Poetescap

本土：鸣志电器、未蓝智控、西铁城、鼎智科技、拓邦股份

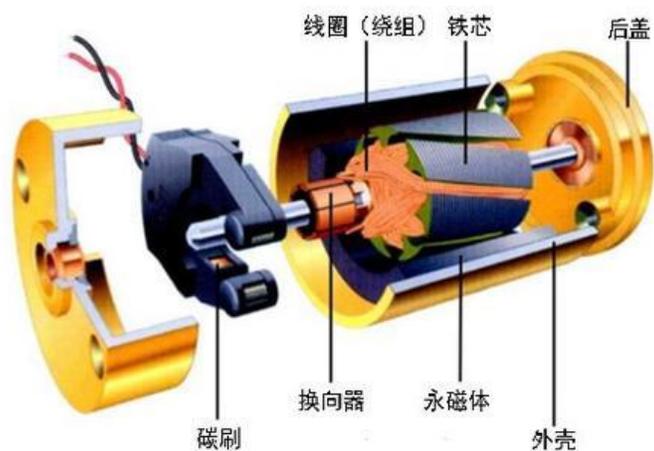
核心零部件市场介绍——空心杯电机-产品介绍

空心杯电机是一种特殊的直流电机，和传统电机相比节能、控制、轻量化等特性更有优势

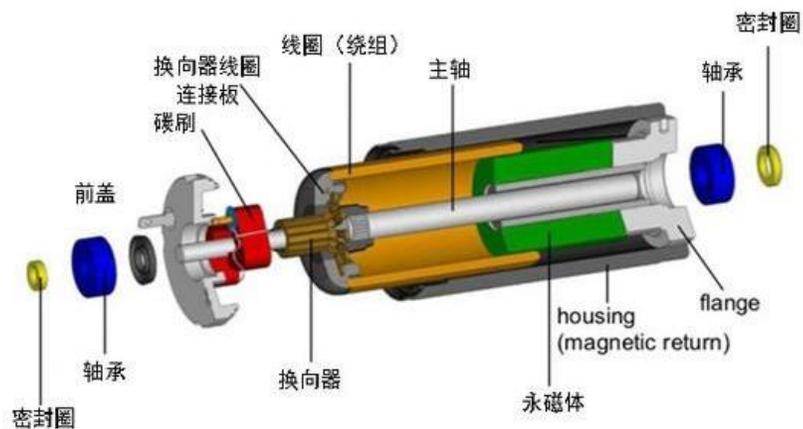
- **基本定义：**空心杯电机是一种采用无铁芯转子的直流永磁伺服控制电机，由于采用无铁芯转子结构空心杯电机消除了因铁芯形成涡流而造成的电能损耗，同时其重量和转动惯量大幅降低，减少了转子自身的机械能损耗，大幅提高了电机的运转性能。电刷是有刷电机的一个重要组成元件，负责在旋转部件与静止部件之间传导电流，空心杯电机主要分为有刷空心杯电机和无刷空心杯电机。在机器人领域，空心杯电机主要用于机械关节控制，力度控制更精准灵敏。

传统直流电机、空心杯电机对比

传统直流电机示意图



空心杯电机示意图



空心杯电机采用了无铁芯转子和空心杯线圈的独特结构，相对于传统直流电机，具备以下显著特点：

- **节能特性：**无铁芯设计消除了涡流损耗，效率高，最大效率通常在70%以上，部分可达90%以上，远超过铁芯电机；
- **控制特性：**启动、制动迅速，响应快，机械响应时间小于28毫秒，部分产品甚至小于10毫秒（铁芯电动机一般在100毫秒以上），对转速的灵敏调节能力强；
- **拖动特性：**运行稳定，转速波动小，作为微型电动机的转速波动可控制在2%以内；
- **轻量化特性：**相同功率下，重量和体积减轻1/3到1/2，能量密度显著提高

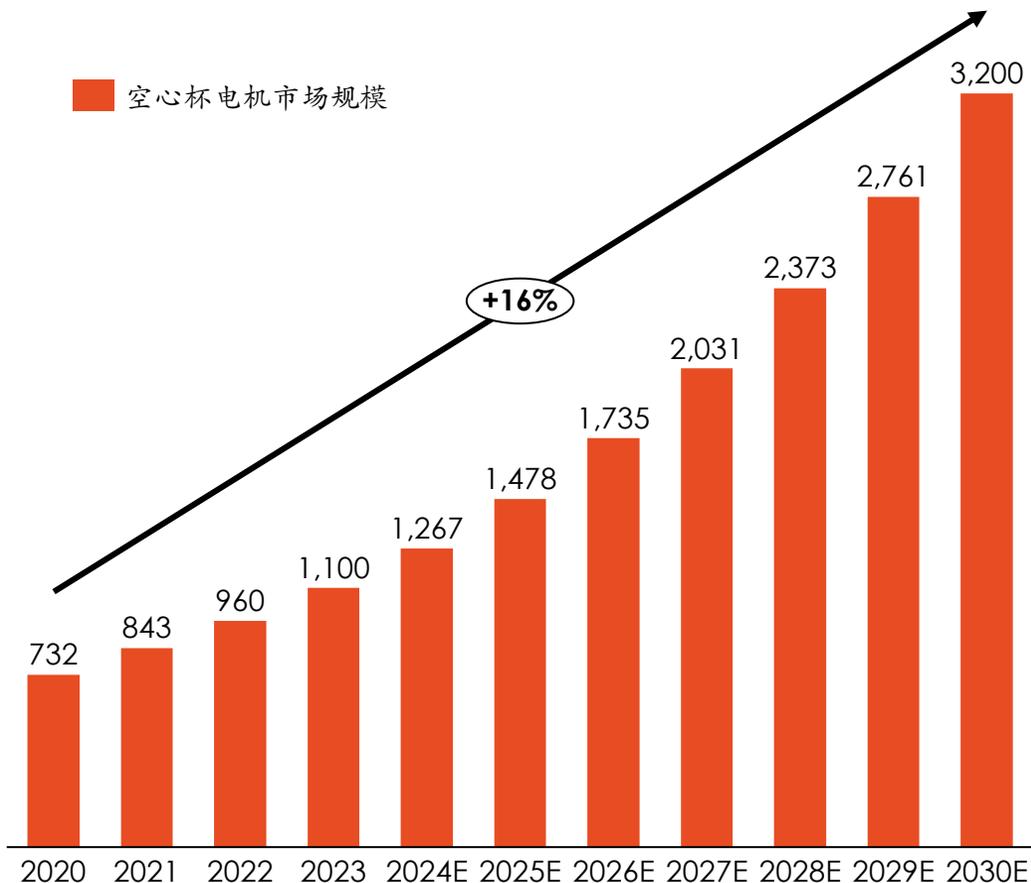
Data Source: M2 觅途咨询

核心零部件市场介绍——空心杯电机-市场增长

2023年中国空心杯电机市场规模~11亿，预计未来受医疗以及机器人行业的拉动，市场将以~16%的增速稳步上涨

2020~2030年空心杯电机市场增长情况

2020~2030年中国空心杯电机市场增长情况 单位: Mn RMB



注: 该市场规模测算不考虑人形机器人板块

Key Comments

整体市场趋势:

- 2020-2022:** 疫情期间医疗器械产业规模持续提高, 上市医疗器械企业数量快速增长达163家, 期间CAGR达到30%以上。疫情期间防控核酸检测常态化及相关医疗器械需求提高, 带动空心杯电机需求量上升。
- 2023-2030E:** 空心杯电机市场未来将保持~16%的增速扩大, 原因如下:
 - 随着人口老龄化进程加快, 对医疗设备配套措施的需求也在增加。据iFind统计, 2021年中国医疗器械市场增速达~16%, M2预测空心杯市场的主要下游行业---医疗器械市场将进一步扩大, 带动空心杯电机市场的增长
 - 空心杯电机潜力市场还和传统行业数字化转型相关, 工信部明确到2025年, 突破50种以上智能监测装备、核心零部件, 部分高端装备达到国际先进水平, 并深化智能检测装备再机械、汽车、航空航天、医药等多个领域规模化应用, 智能装备的应用将推动空心杯电机的应用

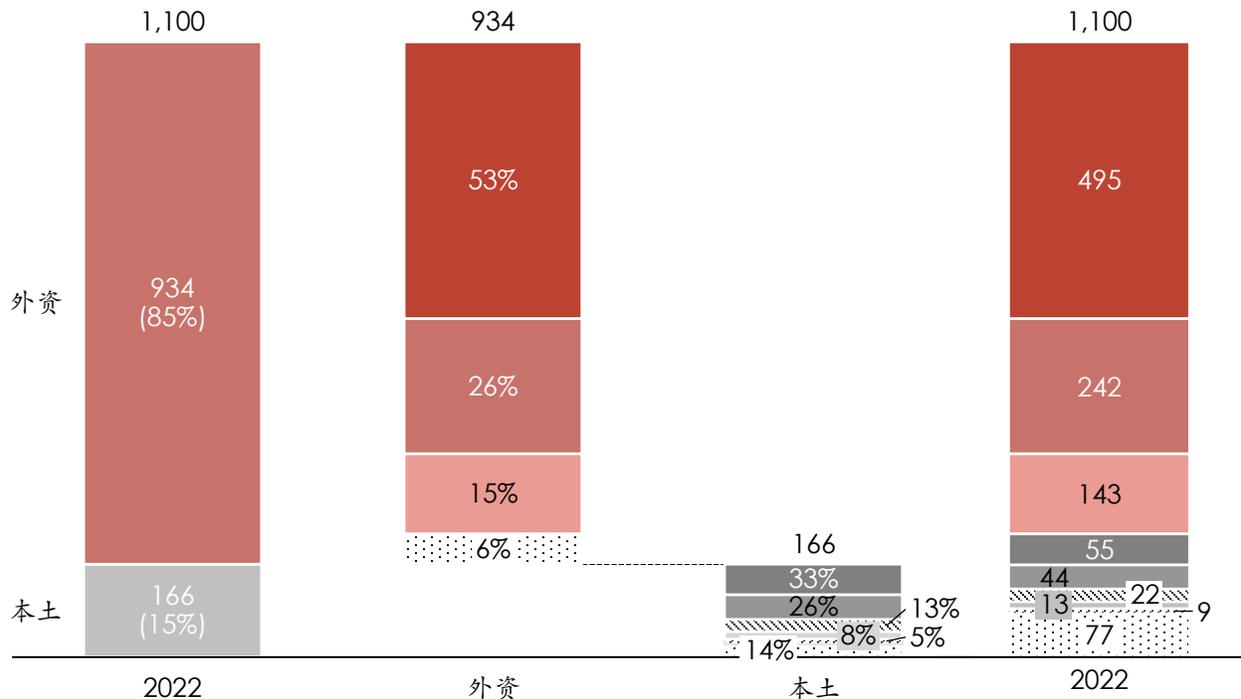
Data Source: M2 觅途咨询

核心零部件市场介绍——空心杯电机-竞争格局

2023年中国空心杯电机市场规模~11亿，该市场在中国仍处于大力研发阶段，市场主要由外资企业占有，市场集中度较高CR3~80%以上

2023年中国空心杯电机市场竞争格局 单位：Mn RMB

MAXON FAULHABER PORTESCAP 鸣志电器 未蓝智控 西铁城 鼎智科技 拓邦股份 其他



- **市场特点:** 市场集中度高，空心杯电机CR3~80%，主要为外资企业；中国企业2015年陆续入局，但空心杯电机绕线技术在设计、制造工艺两方面仍需攻关。目前参与该产品市场的企业都以小批量出货为主，量产能力有待提升
- **产品技术:** 外资龙头企业的绕线技术给性能带来的增益优于本土企业：Maxon倾向于使用直绕型和马鞍形的绕制方法，Faulhaber和Portescap倾向使用斜绕型；本土厂商在生产加工、工艺设计中的绕组环节需要提高精度、自动化程度来提高绕组电阻值、启动电流以及速度常数等电机参数

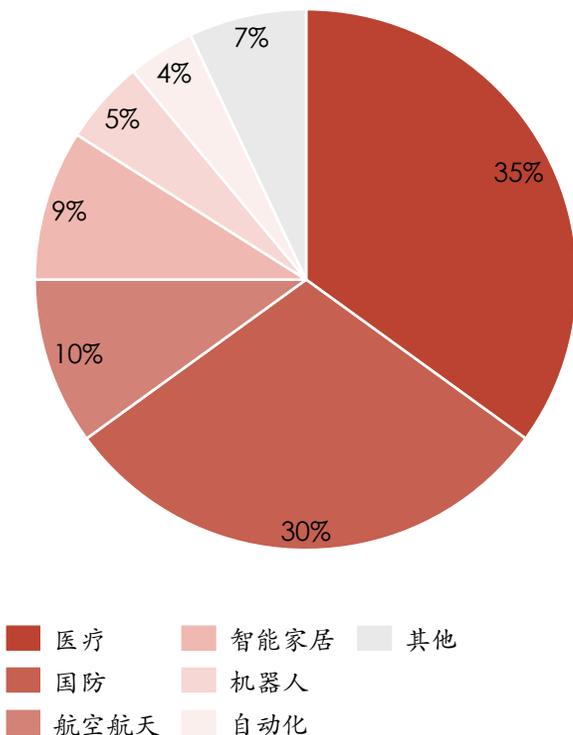
Data Source: M2 觅途咨询

核心零部件市场介绍——空心杯电机-行业应用

空心杯电机体积小、重量轻、功率体积比大的特征适用于对装备有结构、高灵敏要求的领域，目前空心杯电机市场集中应用于医疗及国防领域

2023年中国空心杯电机市场行业分布

单位: Mn RMB



Key Comments

医疗、军工行业为空心杯电机主要应用下游行业，合计占比超过~65%。目前空心杯电机以进口为主，价格较高，这两个下游行业占比较高原因是对价格敏感度不高。

医疗行业目前主要用于外科医疗器械、复健和假肢中：

- **医疗器械**：外科手持电动工具（骨钻、脊椎电动钻、外科缝合器、电动耳鼻喉刨削器等）、手术机器人、呼吸机
- **复健和假肢**：康复训练机器人、机器人外骨骼、仿生手

国防领域主要用于**兵器制造**中，其中包括军用望远镜、移动监测系统、精密衡器等。

中国在2020年人口老龄化率达~13.5%，根据国务院发展研究中心课题组预测，到2035年，中国老龄化率达到~20.5%。随着老龄化规模增加，医疗器械相关需求将提高，M2预测医疗下游行业占比到2030年预计将扩大至~40%。

核心零部件市场介绍——空心杯电机-产品分析

国产空心杯电机虽性价比优胜于进口空心杯电机，但是市面上仍然以进口空心杯电机为主

Maxon、鸣志电器同直径空心杯电机产品对比

	Maxon	鸣志电器
型号	RE 16	DCU16025G12
示意图		
额定电压	12 V	12 V
空载转速	13900 rpm	10600 rpm
额定转矩（最大连续转矩）	4.36 mNm	2.11 mNm
电刷类型	石墨电刷	石墨电刷
最大效率	79%	75%
重量	40 g	24.3 g
价格	¥1,483（电机价格）	¥763（电机+齿轮箱配套价格）

产品特点：国产空心杯电机在空载转速、额定转矩性能上虽未达到进口产品水平，但是以鸣志电器为代表的空心杯电机可满足人形机器人手部电机需求，以及在价格上较进口产品有更大优势

核心零部件市场介绍——空心杯电机-产品分析

国产空心杯电机研发进度较慢，国内目前暂无企业把空心杯电机作为主营业务

Maxon、鸣志电器空心杯电机相关专利分析

公开(公告)号	申请日	发明名称	申请专利人
WO2023073158A1	2022.10.28	用于外转子电机的转子，以及由转子组成的外转子电机	MAXON INT AG
WO2023021180A1	2022.08.19	用于关节驱动装置，特别是机器人关节驱动装置的输出轴承组件	MAXON INT AG
WO2023285574A1	2022.07.13	无槽定子和制造这种定子的方法	MAXON INT AG
WO2022214344A1	2022.03.28	用于电机的快速制造气隙绕组	MAXON INT AG
EP4175124A1	2021.10.29	外转子电机的转子和带有转子的外转子电机	MAXON INT AG
EP4120518A1	2021.07.16	无槽定子和制造这种定子的方法	MAXON INT AG
EP4200957A1	2021.06.17	具有优化定子的电动机	MAXON INT AG
US2021246945A1	2021.04.27	带轭绕组的有源径向磁轴承	MAXON INT AG
EP4070956A1	2021.04.07	用增材制造方法生产的用于电机的气隙绕组	MAXON INT AG
US2023075415A1	2021.01.18	运行可靠的无刷直流电机	MAXON INT AG
EP4082104A1	2020.12.23	振动性能得到改善的有刷直流电机	MAXON INT AG
US2023013171A1	2020.12.23	改进了振荡性能的有刷换向直流电机	MAXON INT AG
EP3920377A1	2020.06.05	转子厚度小的电机	MAXON INT AG
EP3859954A1	2020.01.30	功能安全的无刷直流电机	MAXON INT AG
EP3876418A1	2020.03.06	检测双柱电机转子极性方向的方法	MAXON INT AG

公开(公告)号	申请日	发明名称	申请(专利权)人
CN218514187U	2022.10.30	一种无刷空心杯电机结构	鸣志电器(太仓)有限公司
CN216016568U	2021.09.01	一种自承式空心杯绕组及带有该绕组的电机	上海鸣志电器股份有限公司
CN113612330A	2021.09.01	一种自承式空心杯绕组及其制作方法	上海鸣志电器股份有限公司
CN113922560A	2021.08.25	一种可延长含油轴承寿命的电机	上海鸣志电器股份有限公司
CN113922548A	2021.02.24	一种空心杯电机绕组及制造方法、带该绕组的电机	上海鸣志电器股份有限公司

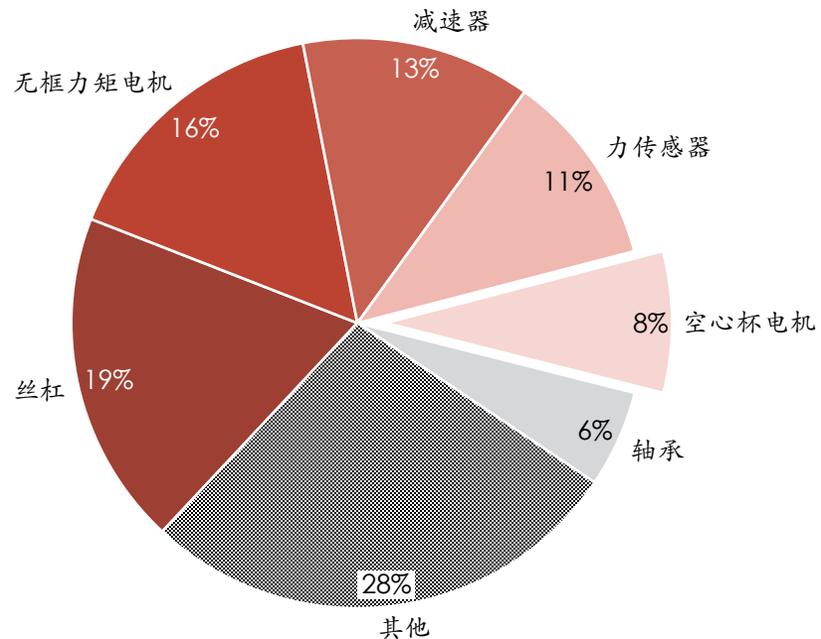
研发进度：外资企业中，空心杯电机产品以Maxon为主，对于空心杯电机的生产工艺、设计研发上比国内企业投入力度更大。目前国内企业暂未将空心杯电机作为主营业务并投入大量的研发费用，主要因为下游行业的需求有限。国内空心杯电机企业还需突破更多的技术壁垒（绕线工艺）来降低材料成本及实现量产

人形机器人领域的空心杯电机产品应用

空心杯电机对应人形机器人灵巧手的手指关节轻量化、高精度等需求，预计特斯拉Optimus一共使用12个空心杯电机

人形机器人领域的空心杯电机产品应用

空心杯电机产品在人形机器人硬件设备中的成本占比



单侧灵巧手：
6个空心杯电机



特斯拉Optimus方案

灵巧手预计采用空心杯电机+蜗轮蜗杆的设计方案，单手共有6个执行器（包含6个空心杯电机，每个手指一个/拇指两个），共11个自由度，可使用工具，实现小物体的准确抓取，举起20磅的重量。



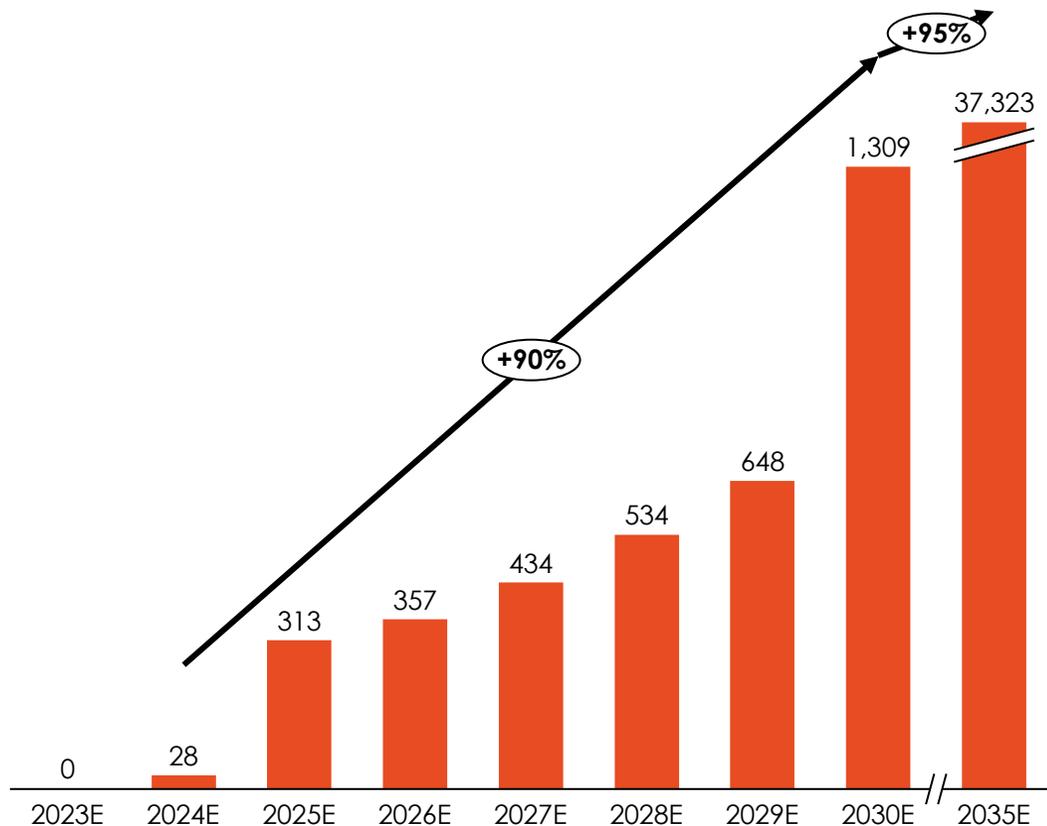
人形机器人领域的空心杯电机产品市场规模预期

人形机器人未来将使用空心杯电机应用于灵巧手中，预计2024年规模到达~1亿元；随着市场规模的不断扩大，技术的不断成熟，空心杯电机的价格也将降低

2023~2035年人形机器人为上游零部件市场带来的增量市场预期（全球）——空心杯电机

2023~2035年人形机器人为空心杯电机市场带来的增量空间(全球)

单位: Mn RMB



	2023E	2024E	2025E	2030E	2035E
全球人口 (亿人)	80	80.5	81	85	87
人形机器人渗透率 (台/百万人)	0.0	0.1	1.7	8.9	360.9
人形机器人销量 (万台)	0	0.12	1.4	7.57	314
空心杯电机单价 (元/个)	2,000	1,960	1,862	1,441	991
平均单台用量 (个)	12	12	12	12	12
单台价值量	24,000	23,520	22,344	17,289	11,886
空心杯电机市场空间 (百万元)	-	28	313	1,309	37,323

- **量产进程:** 目前人形机器人还处在研究阶段，预计2025年有望实现量产，2030年-2035年销售规模有较为明显的增长
- **未来应用:** 未来人形机器人量产后将带动空心杯电机销量上涨，价格随销量上涨而下降；价格下降后空心杯电机将应用到更广的下游行业中

核心零部件—减速机

人形机器人中主要用到精密行星减速机、RV减速机、谐波减速机，价值量占比约13%。



市场特点:

- 减速机行业日系厂商占主导，国内厂商关键技术已攻克，在工艺经验积累方面仍有提升空间。
- 精密行星减速机以日本新宝市场份额最大；在人形机器人中主要应用于关节部位；
- RV减速机以日本纳博特斯克占市场Top1，在人形机器人中主要应用于下肢及腰部；
- 谐波减速机以日本哈默纳克市场份额最大，在人形机器人中主要应用于上身及手部。

主要代表企业:

精密行星减速机

外资：日本新宝、纽卡特、斯德博、威腾斯坦

本土：湖北科峰、精锐科技、

RV减速机

外资：纳博特斯克、住友

本土：环动科技、珠海飞马、中大力德、湖北斯威特

谐波减速机

外资：哈默纳克、日本新宝

本土：绿的谐波、来福、同川、大族

核心零部件市场介绍——精密减速机产品种类介绍

精密减速机作为连接动力源和执行机构的中间机构，通过降低转速和提升扭矩，精准调节机器转动角度；目前应用在人形机器人中减速机基本锁定在精密行星减速机、RV减速机和谐波减速机中，由于减速机产品技术的不同，在应用场景和性能表现上各具特点

人形机器人中常见的精密减速机种类对比

	精密行星减速机	RV减速机	谐波减速机
产品定义	传动结构主要由行星轮、太阳轮、内齿圈三部分组成的精密减速器，其结构简单并且传动效率高，多安装在伺服电机上，用来降低转速，提升扭矩，精确定位	通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成，组成的零部件较多	通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、钢轮、波发生器三个核心零部件组成
示意图			
产品性能	大体积、传动效率高、承载能力强	大体积、高负载能力、高刚度	体积小、传动比高、精密度高
应用场景	目前行星减速器已应用于四足机器人和小型仿人机器人中	一般应用于多关节机器人中机座、大臂、肩部等负重载的位置	主要应用于机器人小臂、腕部和手部
终端领域	自动化产线、机器人技术、航空航天、医疗器械、精密测量设备、新能源设备	汽车、运输、港口码头等行业中通常使用配有RV减速器的重负载机器人	3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗等行业中通常使用由谐波减速器组成的30KG负载以下的机器人
优点	传动效率高，承载力强、抗冲击和振动性能好，运动平稳。结构简单，成本相对谐波、RV低	负载能力强	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
缺点	单级精密行星减速器传动比小，多级减速的长度重量限制其使用场景。需要定期维护，高精度高效率等特殊要求会带来更高的制造成本	重量、体积较大	由于柔轮的反复变形，存在疲劳强度的问题，承载力有限

Data Source: M2 觅途咨询

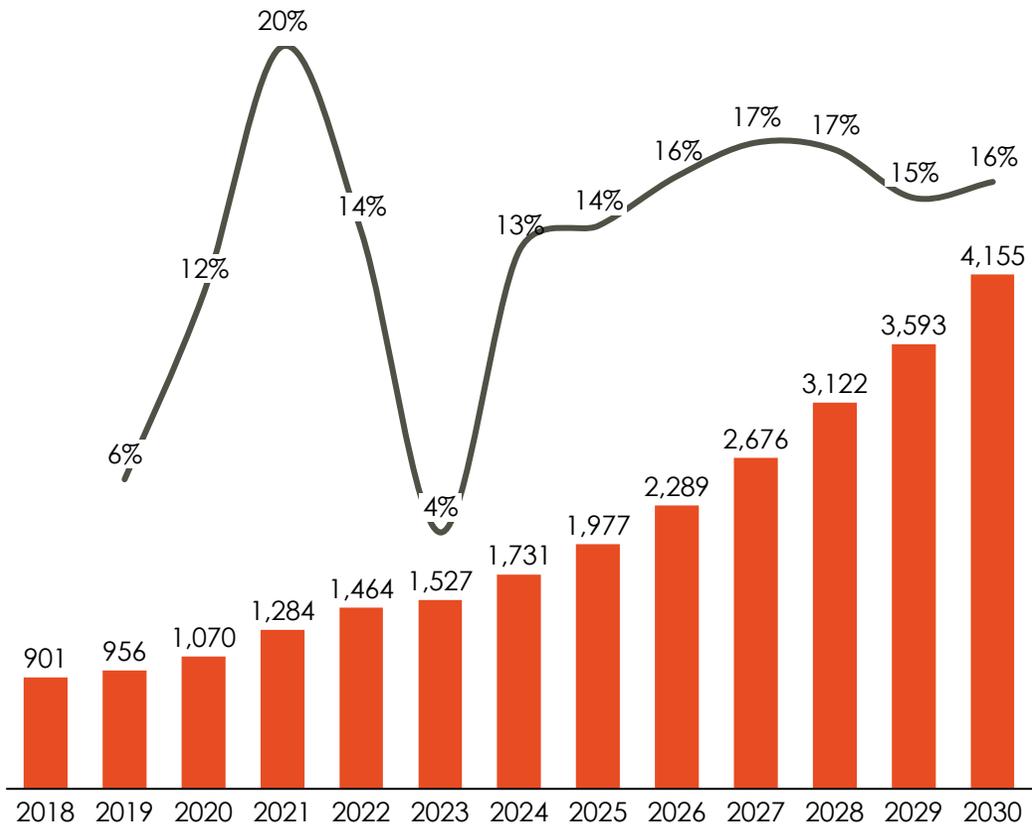
核心零部件市场介绍——精密行星减速机-市场发展走势

2023年中国精密行星减速机市场规模约15.21亿元，随着自动化、智能化产品在需求端释放和技术革新的发展下精密行星减速机有望实现增长突破，预计2030年中国精密行星减速机的市场规模将达41.55亿元

2020~2030年中国精密行星减速机市场增长情况

2018~2030年中国精密行星减速机市场增长情况（不含人形机器人）

单位：Mn RMB



Key Comments

整体市场发展趋势：

在《“机器人+”应用行动实施方案》、《“十四五”智能制造发展规划》政策驱动下，推动精密行星减速器行业发展，并带动销售规模呈现出稳定增长趋势；在整体市场稳定增长的背后，也出现了阶段性的表现差异

阶段性的市场发展趋势：

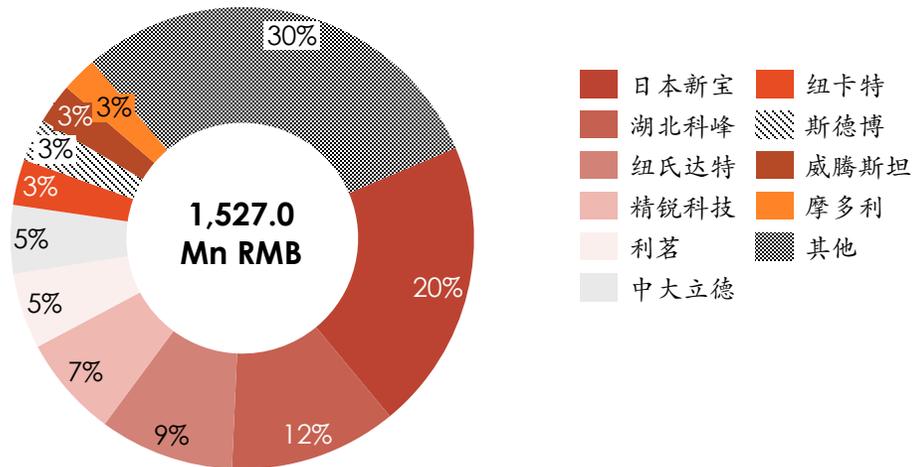
- **2019-2021年疫情激发出智能化运作拐点，带动需求爆发：**在流行病爆发和劳动力旺盛需求的背景下，催生生产制造、服务运输行业对无人化、自动化、智能化生产设备的需求，因此精密行星减速机市场发展出现增速爆发点，并在2021年精密行星减速机的增长率达到20%
- **2021-2023年后疫情时代的经济疲软波及产业表现：**在国内经济情况疲软的背景下，机械设备、机器人制造以及服务运输行业对精密行星减速机的需求出现明显下滑的趋势，市场规模增速放缓；2024年，随着生产制造、机器人、服务运输市场逐步复苏，预计行星减速机的增幅将会有所回升
- **2024-2030年在需求释放和技术迭代的双重加持下，发展进入新一轮突破：**随着经济和消费复苏，机械设备、机器人制造以及新能源、服务运输等领域对自动化替代需求进一步释放。预计，精密行星减速机市场可以在行业需求和本身技术发展的情况下可以实现高速发展

Data Source: M2 觅途咨询

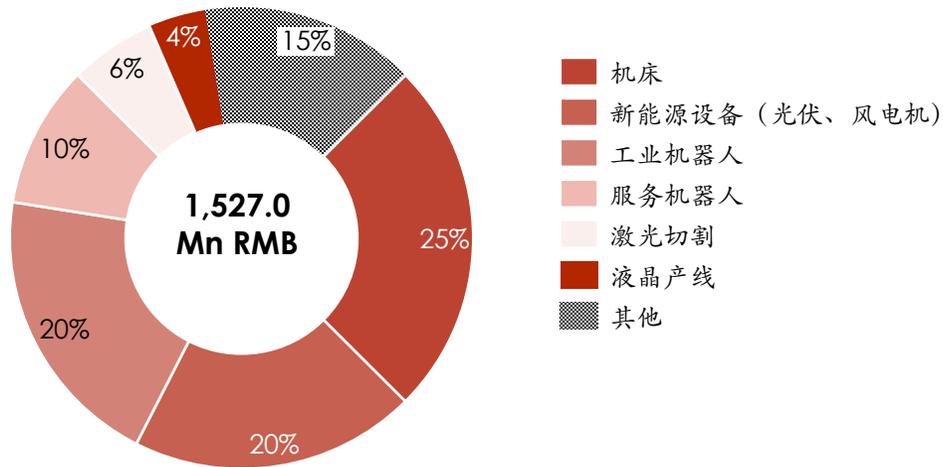
核心零部件市场介绍——精密行星减速机-竞争格局及行业应用

目前中国精密行星减速机市场的主要参与者为外资厂商，本土企业正面对市场竞争和技术升级瓶颈，国产化程度有待提高；在智能制造等技术的快速发展下，自动化设备的需求不断增长，加速拓宽精密行星减速机的下游应用场景

2023年中国精密行星减速机市场竞争格局



2023年中国精密行星减速机下游市场行业分布



Key Comments

市场竞争格局特征:

- 精密行星减速机行业头部企业集中度高，外资企业占据主要市场份额，国产化程度有待提高：
 - 在国内精密减速机市场中，一半以上的精密行星减速机产品由排名前五名的生产企业制造生产；在主要的十家精密行星减速机企业中，外资企业占据70%的市场份额；其中日本新宝的市场份额最大，占比20%；湖北科峰作为中国市场排名第二，国产品牌中排名第一的精密行星减速器制造企业，其占比为12%；内资品牌纽氏达特紧随其后排在第三位，占比为10%；位于第四和第五位的企业均为台资品牌，精锐科技和利茗，占比分别为7%和5%
 - 精密减速器作为智能制造的关键核心零部件，目前还存在较高的技术壁垒；在中国精密行星减速器的市场格局中长期被欧美、日本等发达国家垄断，因此内资品牌面临着激烈的市场竞争和技术升级的挑战，未来需要继续加大研发投入，专注于创新升级，来提高内资企业的核心竞争力

下游市场行业特征:

- 行业应用广泛：精密行星减速机多应用于机床、新能源设备（用于生产光伏、风电机设备）和工业、服务机器人领域，除此之外还广泛应用在激光切割和液晶产线中。随着自动化、智能化、无人化设备的需求趋势愈发明显，精密行星减速器的下游应用场景也在不断扩大

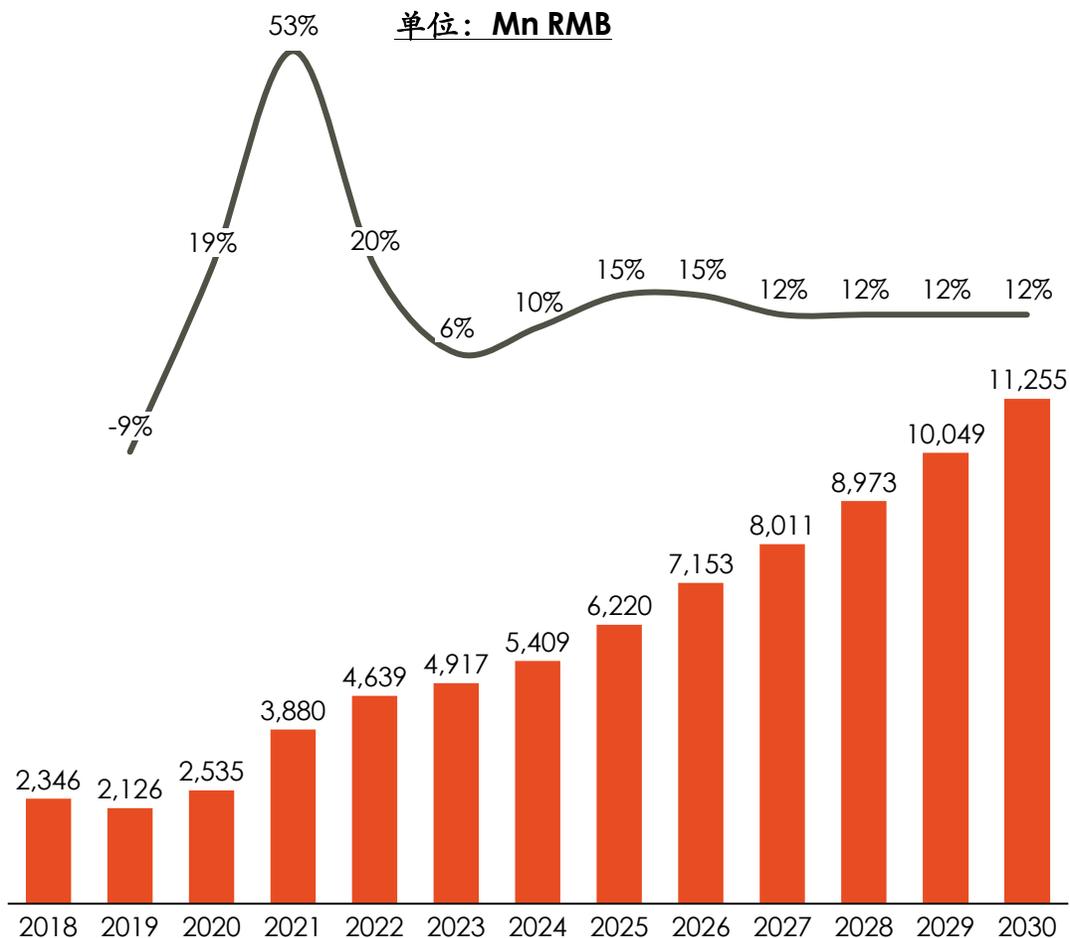
Data Source: M2 觅途咨询

核心零部件市场介绍——RV减速机-市场发展走势

2023年中国RV减速机市场规模约49.4亿元，随着智能制造的不断发展，工业机器人市场不断扩大，预计2030年中国RV减速机市场规模将达110亿

2020~2030年中国RV减速机市场增长情况

2018~2030年中国RV减速机市场增长情况 (不含人形机器人)



Key Comments

RV减速机因刚性好、抗冲击力强、传动平稳、精度高在中、重负载的工业机器人市场得到广泛应用。但因其结构复杂、工艺难度较大，加之生产成本低，因此目前市场主要应用在多关节机器人中。

2023年中国工业机器人市场RV减速机的市场规模为49亿人民币，同比增长6%。未来随着工业机器人市场竞争不断加剧，小型、中、轻负载的比重不断提高，RV减速机市场增长速将略微降低。

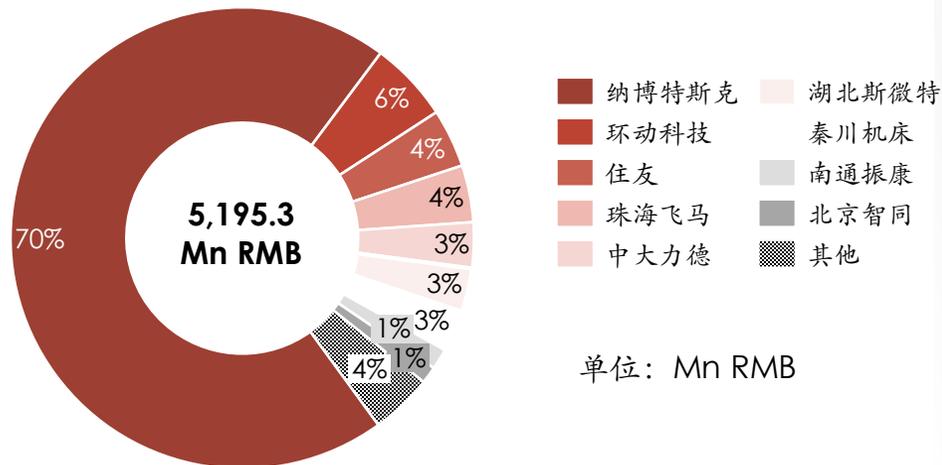
未来在人形机器人领域，因RV减速机有较好的抗冲击能力，有望在人形机器人的下半身的4个旋转关节上有所应用。

Data Source: M2 觅途咨询

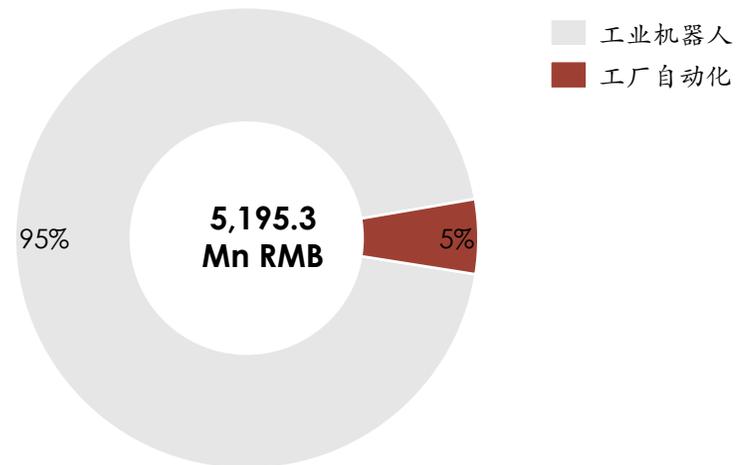
核心零部件市场介绍——RV减速机-竞争格局及行业应用

RV减速机市场被纳博特斯克垄断，中国本土企业技术创新能力不断加强，国产化进程有望加速

2023年中国RV减速机市场竞争格局



2023年中国RV减速机下游市场行业分布



Key Comments

市场竞争格局特征:

RV减速机市场目前仍然被外资品牌的垄断，仅纳博特斯克一家就占据中国70%的市场份额。目前本土品牌RV减速机与外资品牌主要的差距依然在于控制的精度与稳定性，未来的市场成长空间较大，随着国产技术的不断突破，本土品牌的比重将不断提高。

下游市场行业特征:

➢ 工业机器人市场是RV减速机应用最主要的市场，占据市场份额的95%，其他在精密机床等工厂自动化设备上也有少量的应用。

Data Source: M2 觅途咨询

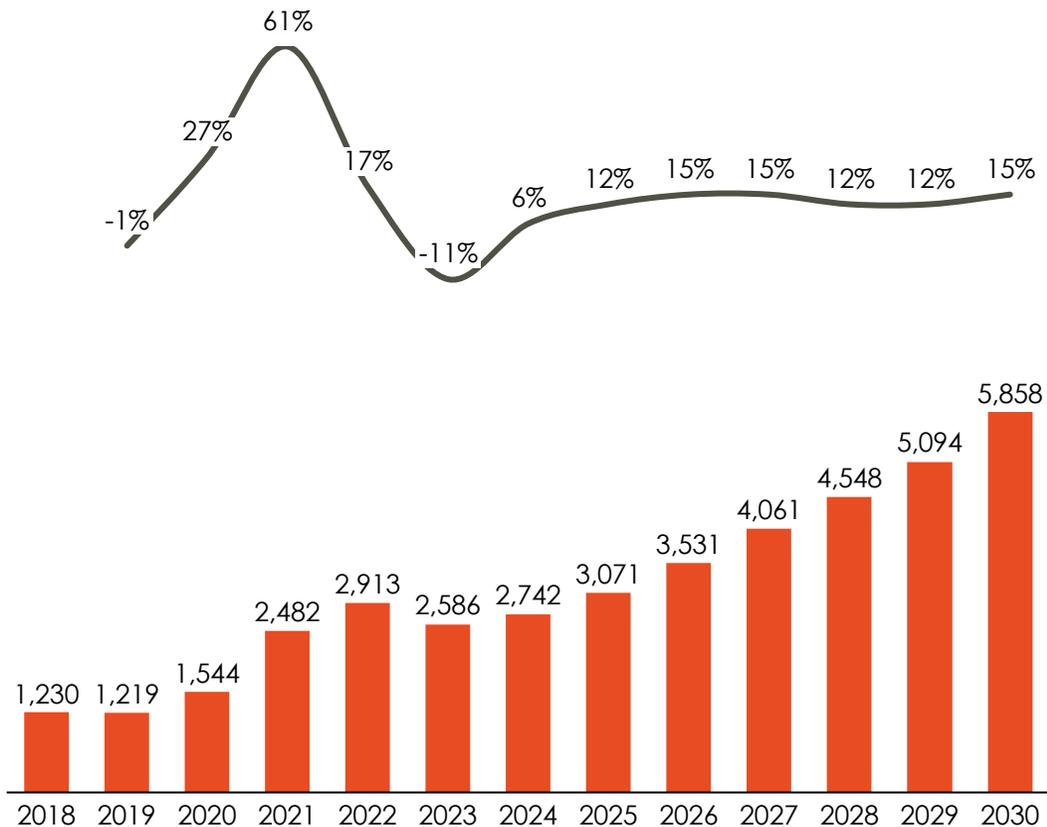
核心零部件市场介绍——谐波减速机-市场发展走势

2023年中国谐波减速机市场规模约26.0亿元，随着低、中载机器人比重的不断扩大，协作机器人市场应用前景区域广泛，预计2030年中国谐波减速机市场规模将达77亿人民币。

2020~2030年中国谐波减速机市场增长情况

2018~2030年中国谐波减速机市场增长情况 (不含人形机器人)

单位: Mn RMB



Key Comments

谐波减速机在工业机器人市场中应用非常广泛，几乎能够应用到各种机械结构的工业机器人中，与RV减速机相比谐波减速机结构简单紧凑，被广泛应用于小型、低中负载的工业机器人中。

2023年中国谐波减速机市场规模约25.9亿，同比增长下滑11%。

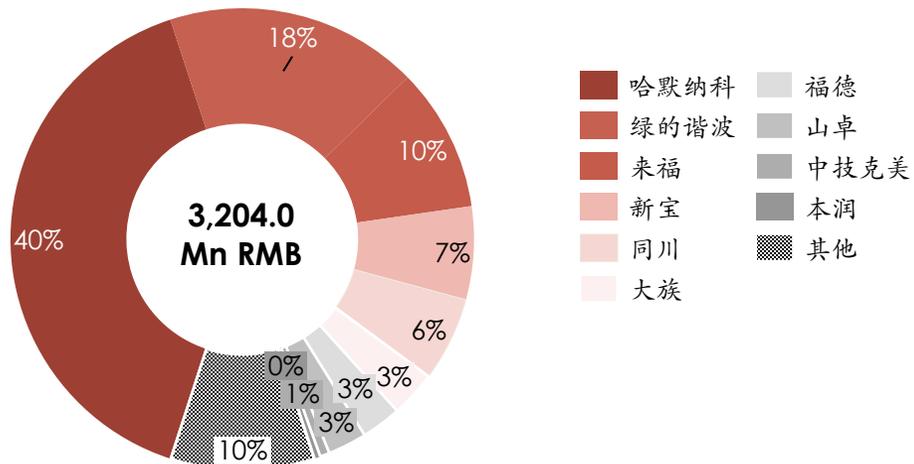
未来随着工业机器人市场低、中载工业机器人的比重不断增大，以及协作机器人市场的迅速扩大，预计谐波减速机的应用空间也将随之更大，中短期内市场将保持10%以上的速度继续发展。

Data Source: M2 觅途咨询

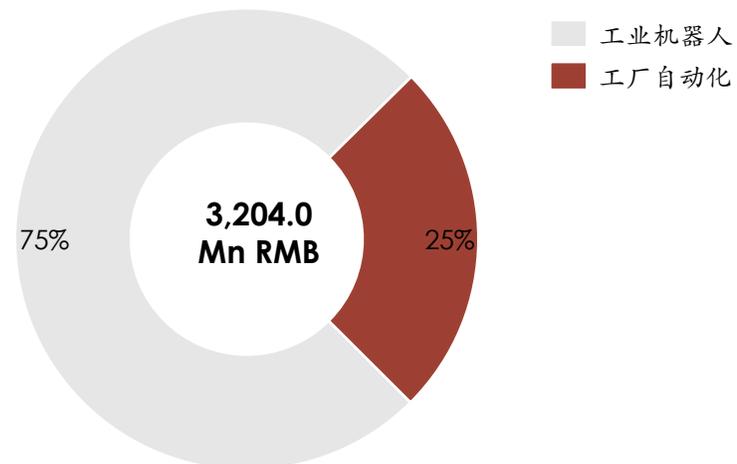
核心零部件市场介绍——谐波减速机-竞争格局及行业应用

谐波减速机市场虽然短期内外资主导地位还将持续，但中国本土优秀品牌也在不断崛起。

2023年中国谐波减速机市场竞争格局



2023年中国谐波减速机下游市场行业分布



Key Comments

市场竞争格局特征：

谐波减速机市场集中度较高，其中日本哈默纳科2023年市场占有率达40%；虽然短期内外资主导地位还将持续，但中国本土优秀品牌也在不断崛起，面前中国本土大约有30余家谐波减速机厂商，其中苏州绿的谐波在技术上不断取得突破，2023年市场占有率已达18%，且市场份额进一步扩大。

下游市场行业特征：

► 工业机器人市场是谐波减速机应用最主要的市场，占据市场份额的75%，其他在半导体生产设备以及机床等工厂自动化设备上也有少量的应用。

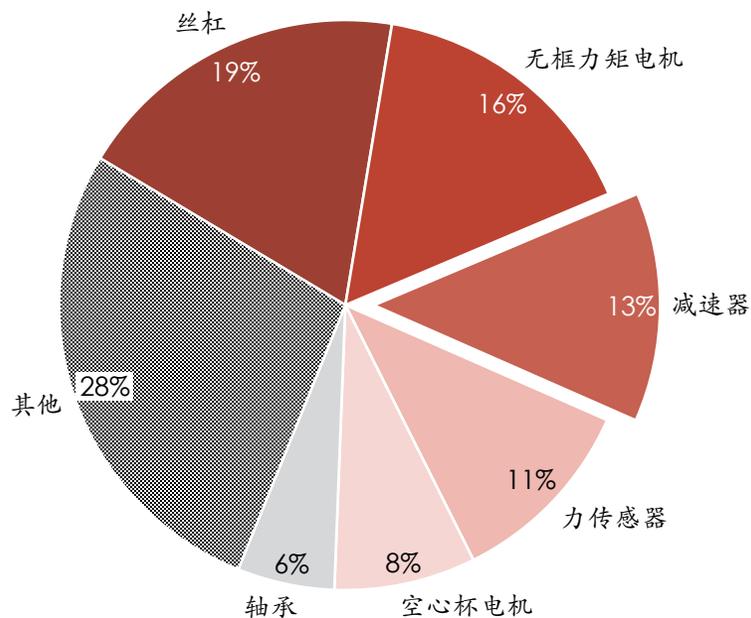
Data Source: M2 觅途咨询

人形机器人领域的精密行星减速机产品应用

人形机器人大臂和关节均需要使用减速机，尽管目前阶段以谐波为主，但由于谐波承载能力存在局限性，未来谐波+精密行星减速机的组合将被广泛采用

人形机器人领域的减速机产品应用

减速器产品在人形机器人硬件设备中的成本占比



特斯拉Optimus方案

特斯拉 Optimus减速机可能应用的方案:

- 特斯拉 Optimus会使用减速机+电机的传统机械驱动模式
- 上身+手部的 20 台减速器会使用谐波减速器；下肢及腰部 8 个减速器使用负载能力较强的 RV 减速器；关节部位将采用6个行星减速器
- 其中，上半身包含 8 个伺服电机+减速器关节，2 个线性推杆电机+减速器关节；下半身包含 6 个线性推杆电机+减速器关节；双手包含 12 个空心杯电机+减速器关节

特斯拉 Optimus旋转关节可能采用的方案:

- 无框电机+谐波减速器+扭矩传感器+位置传感器+轴承(角接触球轴承+交叉圆柱滚子轴承)+编码器

根据目前的市场情况，阻碍人形机器人量产的关键因素是电机+减速机+丝杠的运动控制结构，无法兼顾高效率和低成本

人形机器人领域的减速机产品市场规模预期

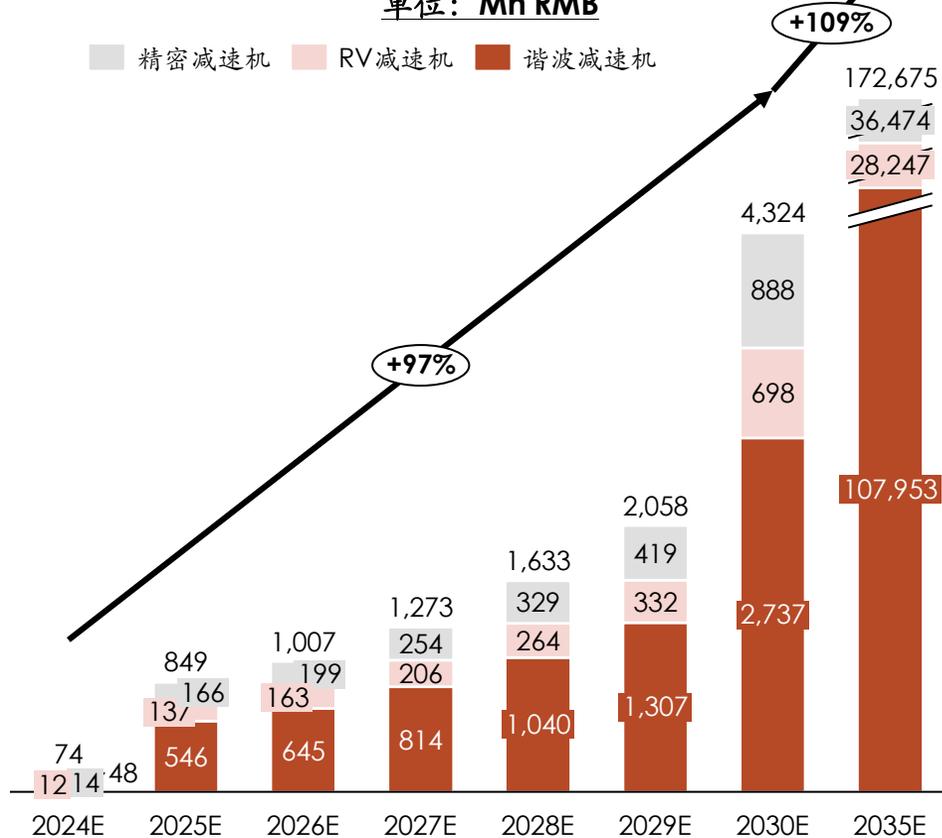
在《“机器人+”应用行动实施方案》鼓励高端机器人制造的政策背景下，推动人形机器人的发展，激发出对减速机的规模化需求，减速机的成本价格也将呈现略微下降的趋势

2023~2035年人形机器人为上游零部件市场带来的增量市场预期（全球）——减速机

2023~2035年人形机器人为减速机市场带来的增量空间（全球）

单位：Mn RMB

精密减速机 RV减速机 谐波减速机



人形机器人销量		2023E	2024E	2025E	2030E	2035E
全球人口 (亿人)		80	80	81	85	87
人形机器人渗透率 (台/百万人)		-	0	2	9	361
销量 (万台) (保守估计)		-	0	1	8	314
精密减速机	价格	2,000	1,983	1,976	1,956	1,936
	用量	6	6	6	6	6
	人形机器人市场规模 (Mn)	-	14	166	888	36,474
RV减速机	价格	5,000	4,950	4,900	4,613	4,498
	用量	2	2	2	2	2
	人形机器人市场规模 (Mn)	-	12	137	698	28,247
谐波减速机	价格	2,000	1,980	1,950	1,808	1,719
	用量	20	20	20	20	20
	人形机器人市场规模 (Mn)	-	48	546	2,737	107,953

- **量产进程：**目前人形机器人还处在研究阶段，预计2025年有望实现量产，2030年-2035年销售规模有较为明显的增长
- **未来应用：**谐波减速机是人形机器人用量最大的减速机，保守估计到2035年，人形机器人市场谐波减速机的市场规模将达到百亿人民币市场空间

核心零部件—力传感器

力传感器是将力的量值转换为相关电信号的器件。人形机器人使用的力传感器可分为一维、三维、六维三种感知维度。一维力传感器用于手臂和腿部等直线关节；三维力传感器用于肩部、肘部和腰部、六维力传感器用于脚腕和手腕。六维力传感器最为复杂，非线性力学特征明显。



市场特点：

- 力矩传感器行业仍处在初期阶段，竞争格局较为分散；
- 相比于单轴压力传感器，六轴力矩传感器可以感受六维的力和力矩，可测量在任何方向、任何轴上的应用负载，并能承受额定测量范围5到20倍的负载；
- 六维力矩传感器生产技术和流程较为复杂，具备较高的技术壁垒，
- 六维力传感器在国内处于卡脖子环节，国内外产品仍存在差距。

主要代表企业：

六维力传感器

外资：ATI

本土：坤维科技、宇立仪器、瑞尔特、蓝点触控

核心零部件市场介绍——力传感器-产品介绍

力传感提供力反馈信息，是环境感知中重要的一环，使用力传感器可以有效提高感知精度，实现精细化作业

常见力传感方式对比

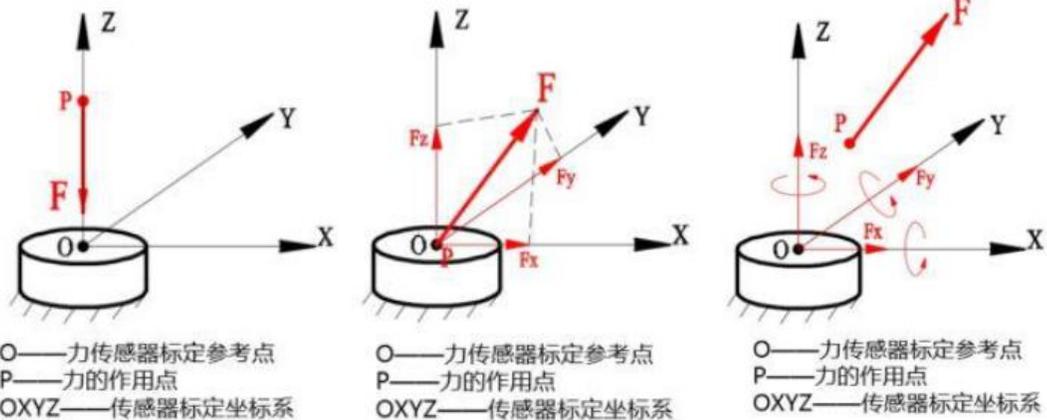
	不使用传感器	使用力传感器	
	关节电流反馈	多轴力传感器	关节式单轴传感器
特点	结构简单、成本低，但精度有限	测量方式简单直接、精度高，但结构复杂、成本高	易于位置控制和力控制，但易谐振
代表产品	电流环	末端力传感器&底座力传感器	关节扭矩传感器
示意图			
位置	伺服电机中内置的控制系统	受力位置的上方或下方	机械臂关节处，减速器输出端
原理	电机以恒定的电流运转，以产生恒定的加速力矩，从电流反馈获得外界力信息	间隔部分机械本体，通过形变直接测量测量力的大小和方向	在关节通过形变直接测量测量力的大小和方向，可以感知扭转力矩
优点	无需额外传感器，结构简单，成本低	检测方式简单直接，精度较高	避免关节摩擦力的影响，精度很高
缺点	需要排除摩擦力，而关节摩擦力通常难以精确建模，力矩精度差；弹簧或减速器结构会使力反馈延时和衰减，不确定性大	检测元件的检测量与实施元件不在一起，会限制机器人力控的动态性能，在刚性较大的环境下稳定性也较低	结构复杂，不易走线；会增加关节结构的复杂度，且会降低关节传动链的刚度
适用	只适用直驱电机或减速比很小的情况	应用广泛，从小负载到大负载都适用	小负载轻型机械臂中
使用场景	如小负载机器人、电动夹爪	如工业机器人末端或底座、汽车安全测试、风洞测试等	如协作机器人关节

Data Source: M2 觅途咨询

核心零部件市场介绍——力传感器-分类

力传感器可以受力情况分为一维、三维和六维力传感器，也可以按原理分为应变片式、光学式和压电/电容式力传感器

力传感器按受力情况区分



一维力传感器
力的方向和作用点
固定时使用

三维力传感器
力的方向不定，但
作用点固定时使用

六维力传感器
力的方向和作用点
都不固定时使用

力传感器按原理区分

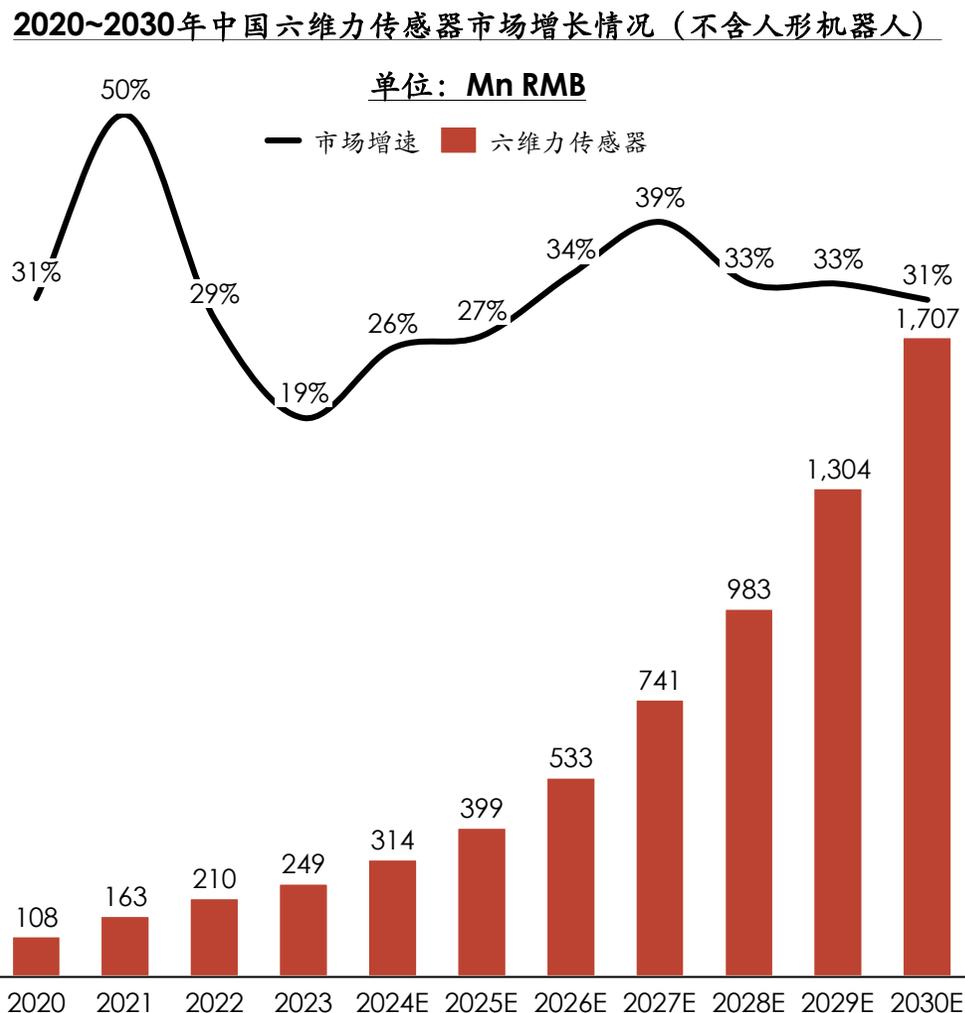
传感	原理
应变片式 (硅应变传感器 / 金属箔传感器)	通常采用的硅应变片或金属箔，利用材料本身发生形变产生的阻值变化提供变形信息，从而计算出
光学式	通过光纤、光栅反映形变，再转化成力
压电/电容式	伺服电容是通过极距的变化导致电压变化，压电则是通过形变改变电机中内置的控制系统

<p>硅应变传感器</p>	<p>金属箔传感器</p>	<p>电容传感器</p>
<p>光学传感器</p>	<p>压电传感器</p>	

核心零部件市场介绍——六维力传感器-市场增长

2023年中国六维力传感器市场规模约2.49亿元（不含人形机器人）；智能化带来的力感知和力控需求将拉动市场规模持续增长

2020~2030年中国六维力传感器市场增长情况（不含人形机器人）



Key Comments

整体市场趋势：

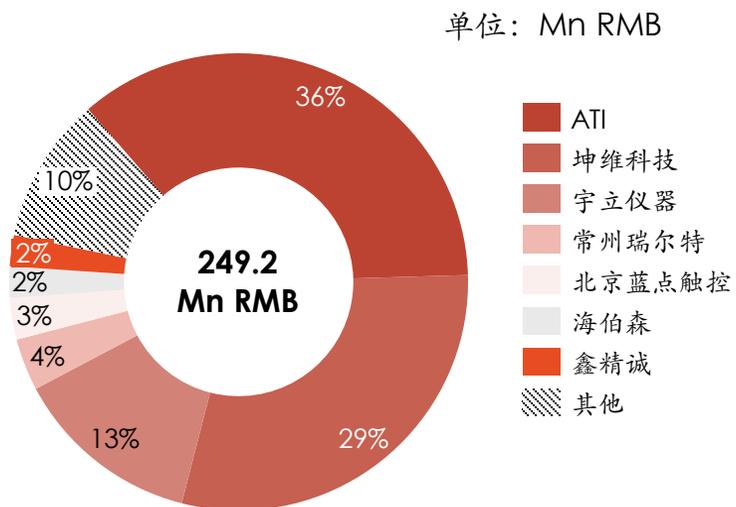
- 1) **2020-2022**：六维力传感器作为目前难度最大、力觉信息反馈最全面的力觉传感器，逐渐从实验室、航空航天、国防军工等场景的小范围应用扩展到医疗、机器人等领域更广泛的应用，国内企业也逐步进入市场，六维力市场综合增长率接近40%
- 2) **2023-2025**：虽然宏观经济环境总体紧缩，但六维力传感器处于初期发展阶段，市场规模有较大增长空间，下游的机器人、医疗等行业也持续增长，带动六维力传感器市场规模增长。预计在此期间力传感器市场综合增长率约为27%
- 3) **2026-2030**：工业制造业、服务业等领域的智能化、自动化进程继续，对于机器与人类安全交互、适应未知环境、动态控制的需求都不断增加，因此对于力学感知和控制的需求也将增加。人形机器人的发展也将是六维力传感器市场规模的增长因素。预计此期间六维力传感器需求持续增长，综合增长率高于30%

Data Source : M2 觅途咨询

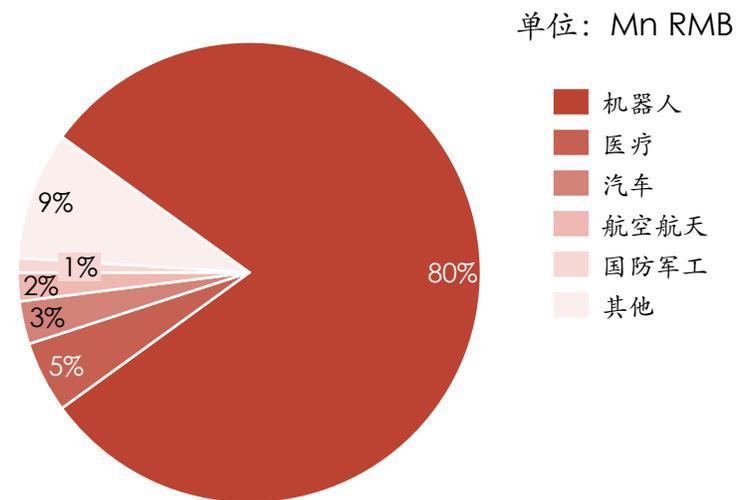
核心零部件市场介绍——六维力传感器-竞争格局及行业应用

六维力传感器头部集中度高，目前处于持续国产化中；六维力传感器的主要应用于机器人

2023年中国六维力传感器市场竞争格局



2023年中国六维力传感器市场行业分布



Key Comments

市场特征:

1) **头部集中度高:** 六维力传感器由于维度较多，存在串扰问题，从设计和仿真水平都有很高壁垒。六维力传感器的标定和解耦，需要传感器厂商的深入理解和长时间积累。ATI作为发明六维力传感器的公司，在六维力产品的生产和应用上都比较成熟，占据36%的市场份额；坤维科技在六维力传感器的精度上与ATI比肩，目前在使用寿命和稳定性上还与ATI有一定差异，但也属市场头部公司

下游行业特征:

1) **行业分布集中:** 六维力传感器主要应用于机器人行业。机器人在完成与环境存在力作用的任务时，为使用合适的力度完成任务并包装对交互对象和自身的安全性，需要通过力感知和力控制来协助各种功能的实现。六维力传感器的精度高、检测方式直接，能够协助机器人与复杂环境交互。除了机器人外，其他六维力传感器应用包括假肢、汽车测试、风洞测试等领域

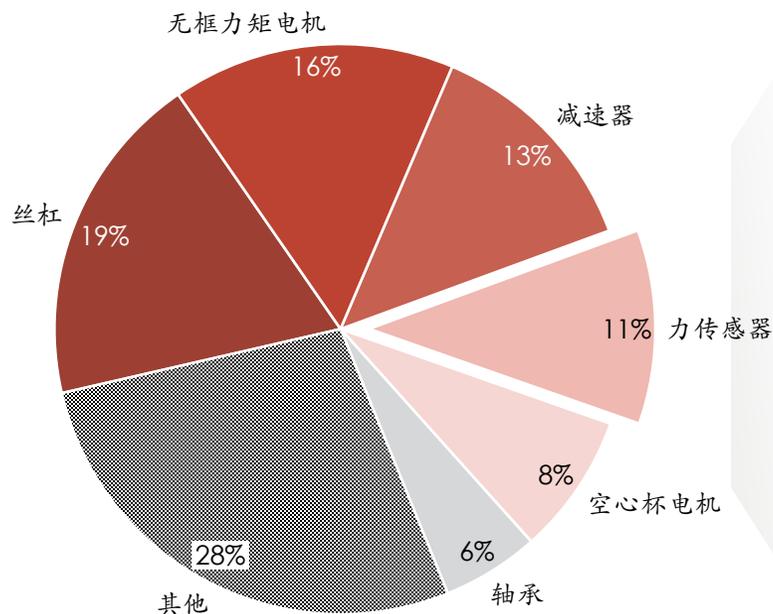
Data Source: M2 觅途咨询

人形机器人领域的力传感器产品应用

人形机器人直线关节和旋转关节均可以使用力传感器，视方案不同，不同传感器存在用量和使用部位的区别

人形机器人领域的力传感器产品应用

力传感器产品在人形机器人硬件设备中的成本占比



特斯拉Optimus方案



预计特斯拉Optimus在力传感器应用上有两个可能方案：

方案1：

- 1) 六维力传感器：共5个，每个足底使用2个六维力传感器，脖子使用1个六维力传感器
- 2) 一维力传感器：共14个，14个直线关节，每个使用1个一维力传感器
- 3) 关节扭矩传感器：共14个，14个旋转关节，每个使用1个关节扭矩传感器

方案2：

- 1) 六维力传感器：共4个，2个踝关节和两个手关节各使用1个六维力传感器
- 2) 一维力传感器：共14个，14个直线关节每个使用1个一维力传感器
- 3) 关节扭矩传感器：共10个，除踝关节和手关节外的10个旋转关节，每个使用1个关节扭矩传感器

出于成本考虑，人形机器人在发展初期会较少使用六维力传感器，更多使用一维力传感器和关节扭矩传感器

人形机器人领域的六维力传感器产品市场规模预期

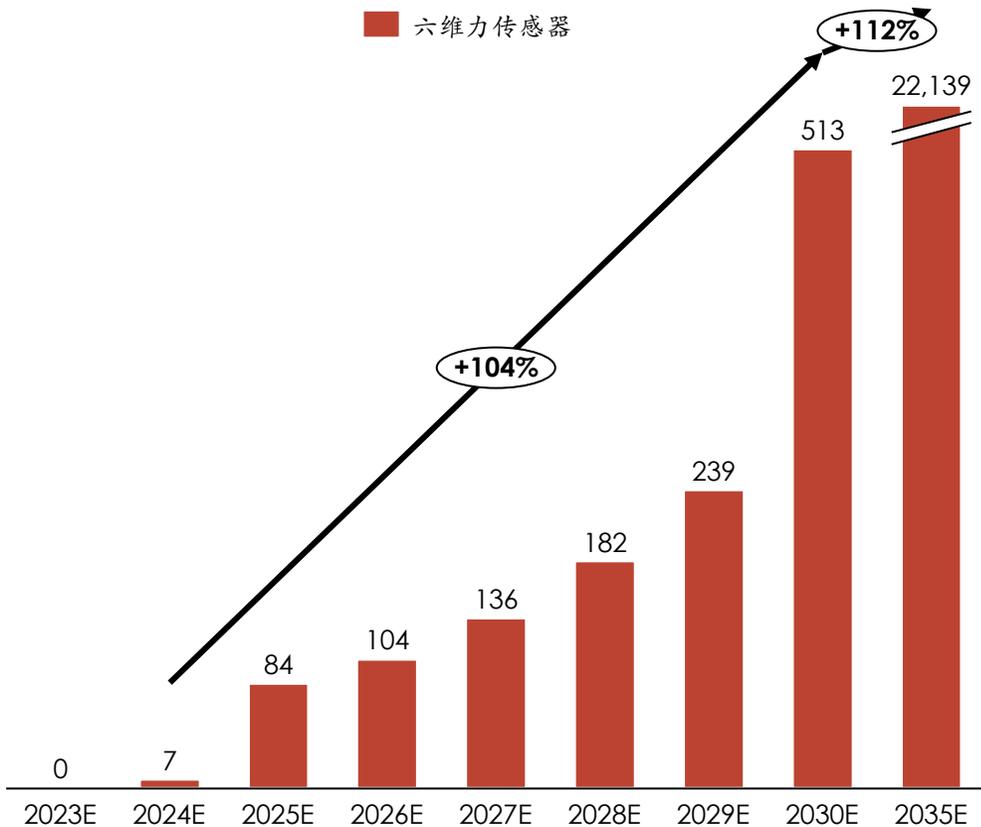
目前六维力传感器处于发展初期，价格较高，价格进一步下降后会有更广应用

2023~2035年人形机器人为上游零部件市场带来的增量市场预期（全球）——六维力传感器

2023~2035年人形机器人为六维力传感器市场带来的增量空间（全球）

单位：Mn RMB

六维力传感器



	2023E	2024E	2025E	2030E	2035E
全球人口 (亿人)	80	80.5	81	85	87
人形机器人渗透率 (台/百万人)	0.0	0.1	1.7	8.9	360.9
人形机器人销量 (万台)	0	0.12	1.4	7.57	314
六维力传感器单价 (元/个)	25,000	24,500	24,010	21,260	17,335
平均单台用量 (个)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
应用率	50,000	49,000	48,020	42,520	34,670
单台价值量	12%	12%	12%	16%	20%
六维力传感器市场空间 (百万元)	-	7	84	513	22,139

- **量产进程:** 目前人形机器人还处在研究阶段，预计2025年有望实现量产，2030年-2035年销售规模有较为明显的增长
- **未来应用:** 六维力传感器是优秀的力感知方案，但目前价格还较高，预计价格下降后有望在量产的人形机器人中使用

核心零部件—轴承

轴承是机器人的重要组成部件，主要应用在人形机器人的电机、减速器以及丝杠等环节



市场特点：

- 中国轴承市场规模庞大，2023年达2572亿人民币
- 市场格局较为分散，CR15仅为30%；
- 高端轴承市场以外资厂商为主导；本土轴承在农机、普通电机以及通用机械轴承市场有较高的竞争优势同时向汽车轴承等高端市场不断渗透。
- 以特斯拉Optimus为代表的人形机器人中共使用70个轴承，分布在14个旋转关节处和14个线性关节处的减速器和丝杠上

主要代表企业：

轴
承

外资：斯凯孚 舍弗勒 铁姆肯 恩斯克 恩梯恩 美蓓亚 不二越

本土：人本轴承 天马 万千钱潮 瓦房店轴承 五洲新春 晋西车轴

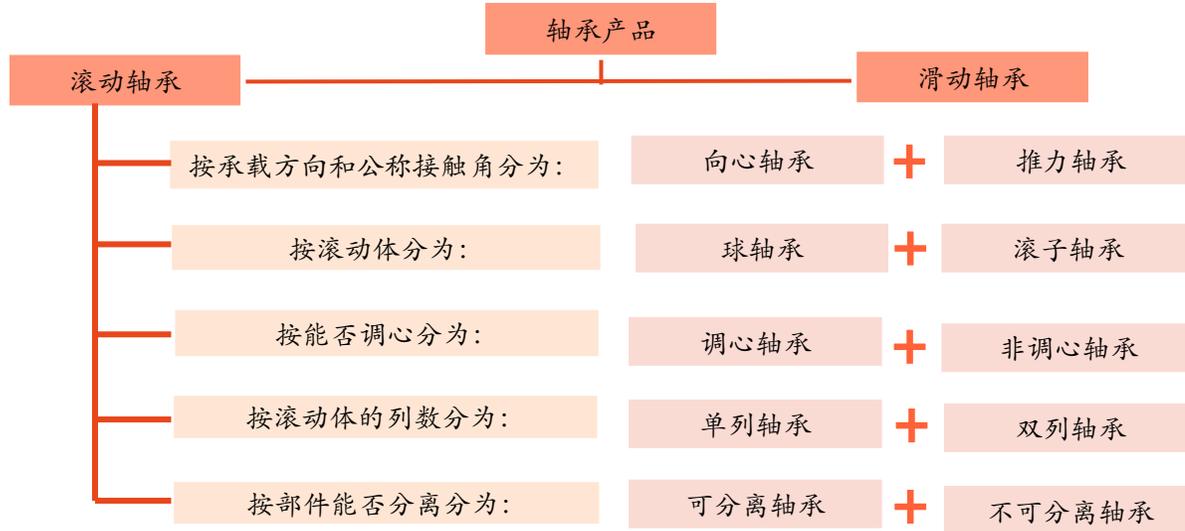
核心零部件市场介绍——轴承-产品介绍

轴承是一种帮助物体转动，使机器顺畅运动的零件，其种类和规格繁多，被广泛应用到各个工业制造领域当中。

- **基本定义：**轴承是一种机械设备上常见的高精密机械基础运动零部件，主要作用是支撑机械旋转体，起到固定和减轻摩擦的作用，以保证回转的精度。轴承作为基础机械部件，广泛应用于工业制造的各个细分领域及各个产业链环节。

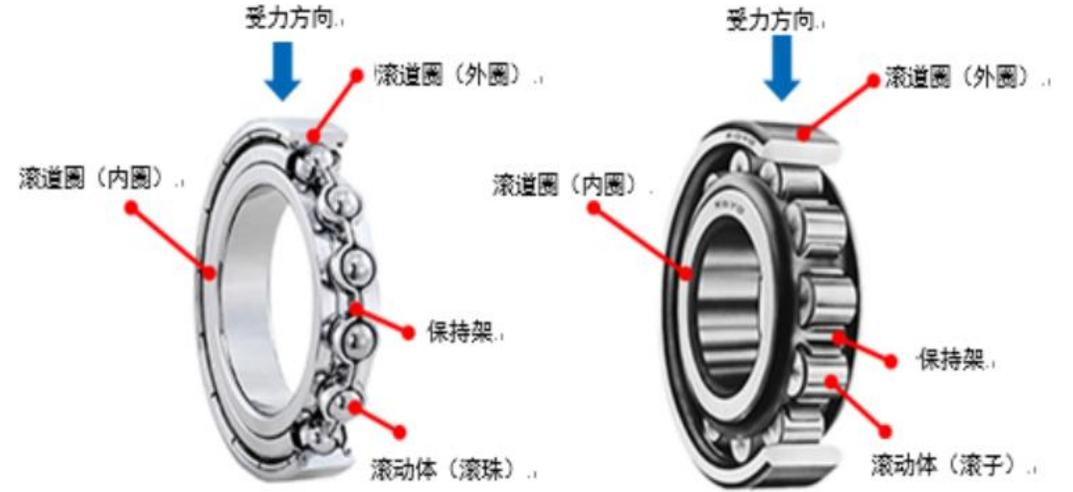
轴承介绍

- **当前主流轴承指的是滚动轴承，占实际应用90%。**根据工作的摩擦性质，轴承分为滚动摩擦轴承（简称滚动轴承）、滑动摩擦轴承（简称滑动轴承）。滚动轴承具有摩擦系数小、消耗功率少、效率高的优点，在实际应用中占据绝大多数。通常所说的轴承就指滚动轴承。
- **轴承的产品种类繁多。**目前全世界已生产的轴承品种超过5万种，规格超过15万种，被广泛应用到各个领域当中。不同轴承的差异主要在于载荷大小、承载方向、转速、精度等特性不同，可按结构、滚动体形状、承载力方向等多种不同维度进行分类。一般根据具体工况选择合适的轴承类型使用。



(此外还可进一步按照结构形状、尺寸分类)

滚动轴承结构图示意



结构：常见的滚珠轴承结构主要由滚道圈、滚珠和保持架三部分组成。滚道圈是轴承的主体部分，滚珠是轴承的运动部分，保持架则是固定滚珠的位置。

原理：利用滚珠在轴承内部滚动从而减少摩擦力和能量损失，提高机械部件的运转效率。

核心零部件市场介绍——轴承-市场增长

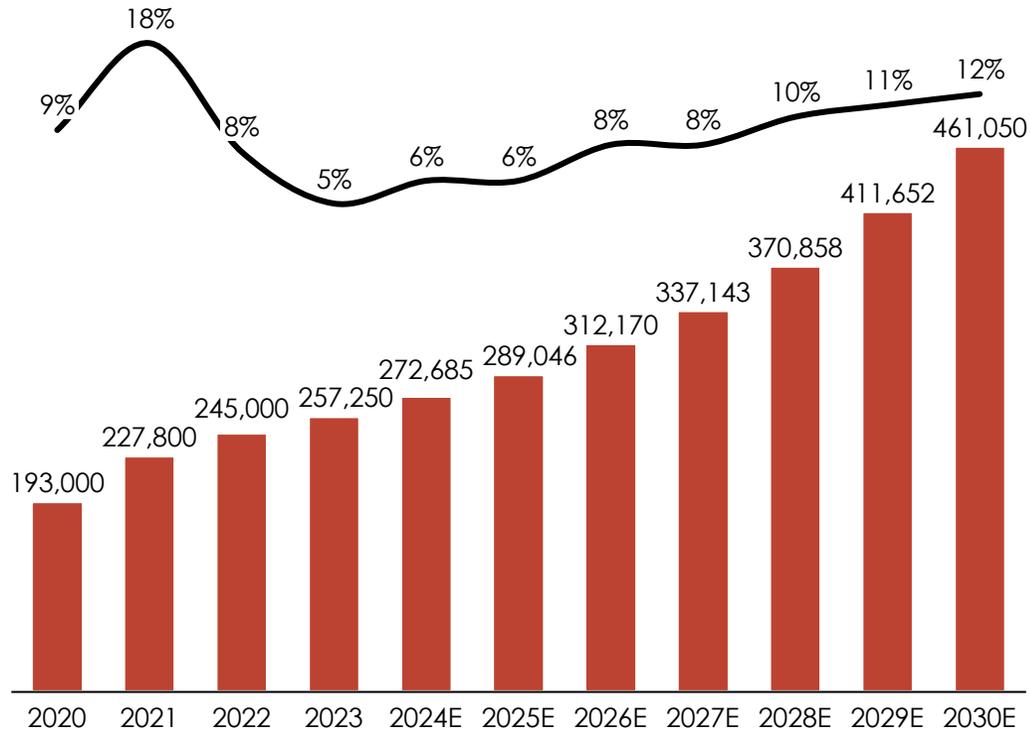
2023年中国轴承市场规模约2573亿元（不含人形机器人）；短期内市场将随下游投资建设减缓增长，长期看重大装备领域将带来增量

2020~2030年中国轴承市场增长情况（不含人形机器人）

2020~2030年中国轴承市场增长情况（不含人形机器人）

单位：Mn RMB

— 市场增速 ■ 轴承



Key Comments

市场趋势：

2020-2022：2020-2022年期间轴承市场CAGR达到9%，主要原因是：

- 1) 新能源汽车的爆发为汽车领域轴承的需求带来突破性增长。
- 2) 同时口罩机等疫情相关领域的工业电机设备也为轴承市场提供了强有力的支撑。

2023-2025：作为工业领域的通用零件，轴承产业基本与宏观经济增速挂钩，预计2023到2025年轴承市场每年增速减小至5%-7%，主要原因是：

- 1) 此前新能源汽车为轴承产业带来的爆发性红利将逐渐减少。
- 2) 与此同时房地产、建筑和基建投资放缓。

2026-2030：2026-2030年期间中国轴承整体市场将加速扩大，预计此期间CAGR可达8%。

- 1) 随着中国轴承产业技术进步、制造业逐步实现产业转型升级，国产轴承产品将在重大装备领域得到更大占比应用，该部分因价值量更高，将为中国轴承产业带来新的市场空间。
- 2) 同时，疫情后经济慢慢复苏，下游房地产投资、基建、工业等疲软局面可能逐步得到扭转。

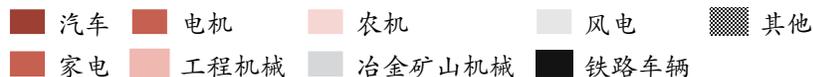
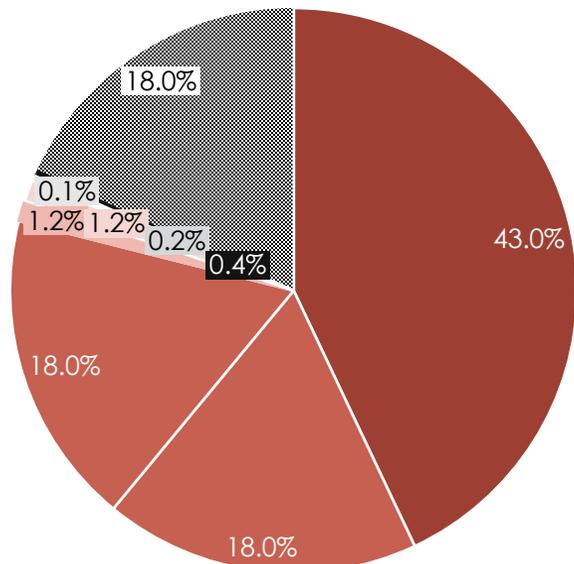
Data Source: M2 觅途咨询

核心零部件市场介绍——轴承-行业应用

汽车是轴承最大的应用领域，重大装备领域是我国当前轴承行业重点突破和产品研发方向，具有重要战略意义，未来国产化代替潜力较大。

2023年中国轴承市场行业分布

单位: Mn RMB



下游领域分布及发展趋势

- 根据终端产品不同，轴承下游可分为四大领域：汽车领域，轻工机械领域，以重型机械领域，以及重大装备领域。

1) **汽车**：汽车是轴承应用占比最大的领域，其消费量已占轴承行业总量43%，主要因为单台汽车对轴承的用量较大（平均每辆在装配及售后维修用备件所使用的各类轴承平均80余套），且行业本身体量大。轴承在传统汽车上用在动力、转向、传动、底盘及辅助系统等区域，在新能源汽车上用在电机、减速器等部件。新能源汽车的高速发展下，汽车行业对轴承产的需求会持续增加。

2) **轻工机械领域**：包括家电、电机、电梯和其他通用机械，其中轴承消费量最大的为家电和电机（指工业电机）产品，合计占比36%。近年来我国房地产行业下滑、人口增速减缓，家电和电机领域需求可能会下滑。

3) **重型机械领域**：包括各类工程机械、农用机械、冶金矿山工程机械等。其中工程机械广泛用于房产基建、水利交通。受当前宏观地产政策调整，建筑业和基础设施投资放缓，工程机械部分对轴承需求可能减少。我国农业机械化整体水平较低，预计该领域轴承需求增速缓慢。

4) **重大装备领域**：包括轨道交通、航空航天、船舶军工、大功率风力发电机主轴承，以及P4级以上的精密数控机床主轴所用的轴承。重大装备使用的高端轴承产品具备技术复杂、附加值高等特点，当前基本被国际八大家垄断。以重大装备领域为代表的高端轴承领域是我国轴承行业未来发展的重要目标，预计在未来会逐步实现国产化替代。

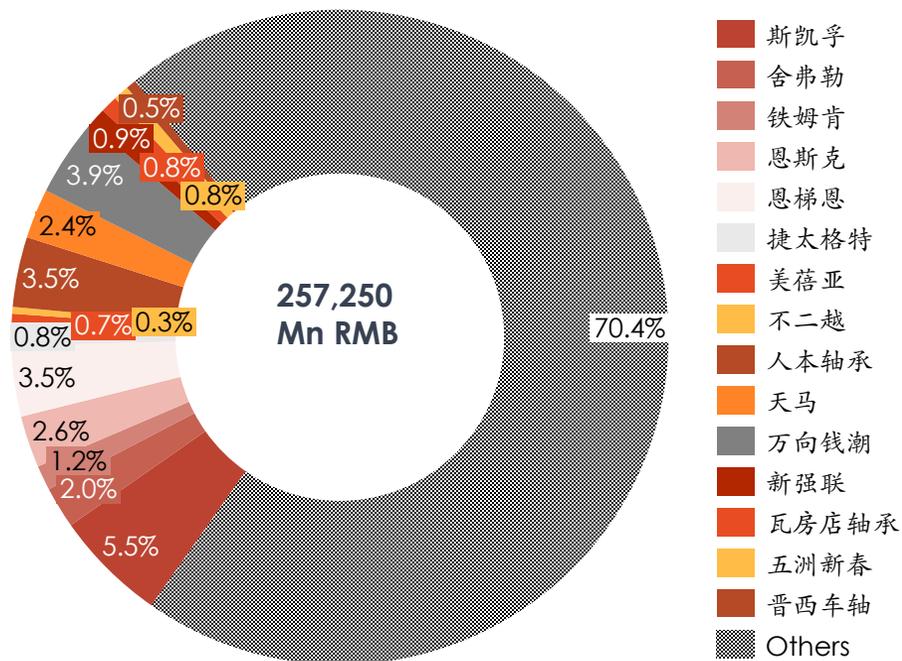
核心零部件市场介绍——轴承-竞争格局

当前中国轴承行业集中度较低，其中高端市场被外资占据，未来具备研发实力的中国企业有望提升市占率，产业格局将走向集中。

2023年中国轴承市场竞争格局

2023年中国轴承市场竞争格局

单位：Mn RMB



中国轴承市场竞争格局分析

- 整体来看，中国轴承市场集中度较低，CR15仅为30%。中国轴承企业数量众多，具备规模化生产能力的有1300家，且因主要在中低端市场，技术门槛较低、市场竞争较为激烈。
- 从产品结构来看，高端轴承领域外资品牌占主导地位；而中国轴承企业占据中低端市场。中国企业在中低端通用轴承领域已发展较为成熟，凭借价格优势占据中低端市场，应用于农业电机、普通产业电机、通用机械设备电机等对性能要求相对低的场景。而在汽车、航空航天、精密机床等对轴承精度与性能要求高的场景仍以斯凯孚、舍弗勒、恩斯克、恩梯恩、铁姆肯和不二越为代表的外资轴承品牌为主导。
- 未来中国轴承市场集中度将提升，同时中资企业将在高端轴承产品上提升市场份额。政策层面，重大装备轴承的自主可控是中国轴承产业重要发展目标，2021年6月《全国轴承行业“十四五”发展规划》明确了“高端轴承研发——工程化——产业化”的总体目标。企业层面，人本股份、哈尔滨轴承、瓦房店轴承、洛阳轴承等为代表的中国企业积极布局高端轴承产品的研发，与海外跨国轴承公司的差距逐渐缩小。行业当前处于产业升级、转型调整的关键时期。在此趋势下预计 1) 低端产能将逐渐被淘汰，市场趋向集中化。 2) 高端轴承产品国产替代将逐步实现。

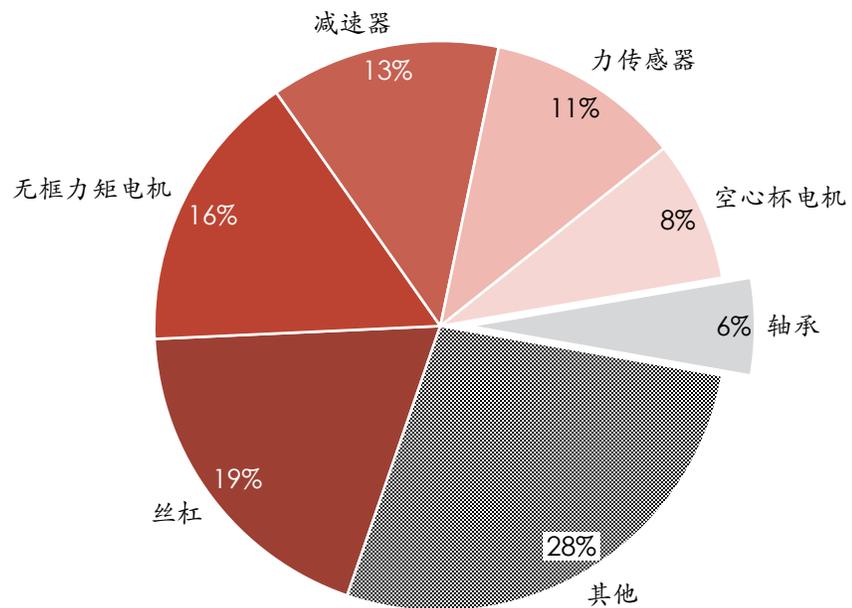
Data Source: M2 觅途咨询

人形机器人领域的轴承产品应用

轴承主要用于人形机器人关节处的减速器中，特斯拉根据不同位置受力特点选择四款轴承产品，预计共使用70个轴承

人形机器人领域的轴承产品应用

轴承产品在人形机器人硬件设备中的成本占比



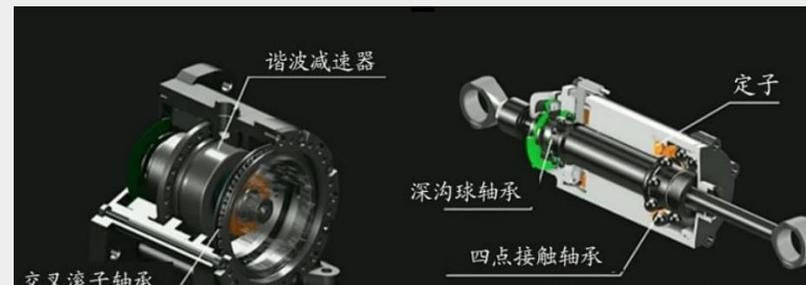
特斯拉Optimus方案



特斯拉Optimus中共使用70个轴承，分布在14个旋转关节处和14个线性关节处的减速器和丝杠上。特斯拉根据不同位置的受力特点选择了四款轴承产品。

- 14个旋转关节上，每处关节使用2个角接触轴承和1个交叉滚子轴承。共计42个轴承使用量。
- 另外的14个线性关节上，每处关节使用1个四点接触轴承和1个深沟球轴承。共计28个轴承使用量。

人形机器人上轴承应用示意图



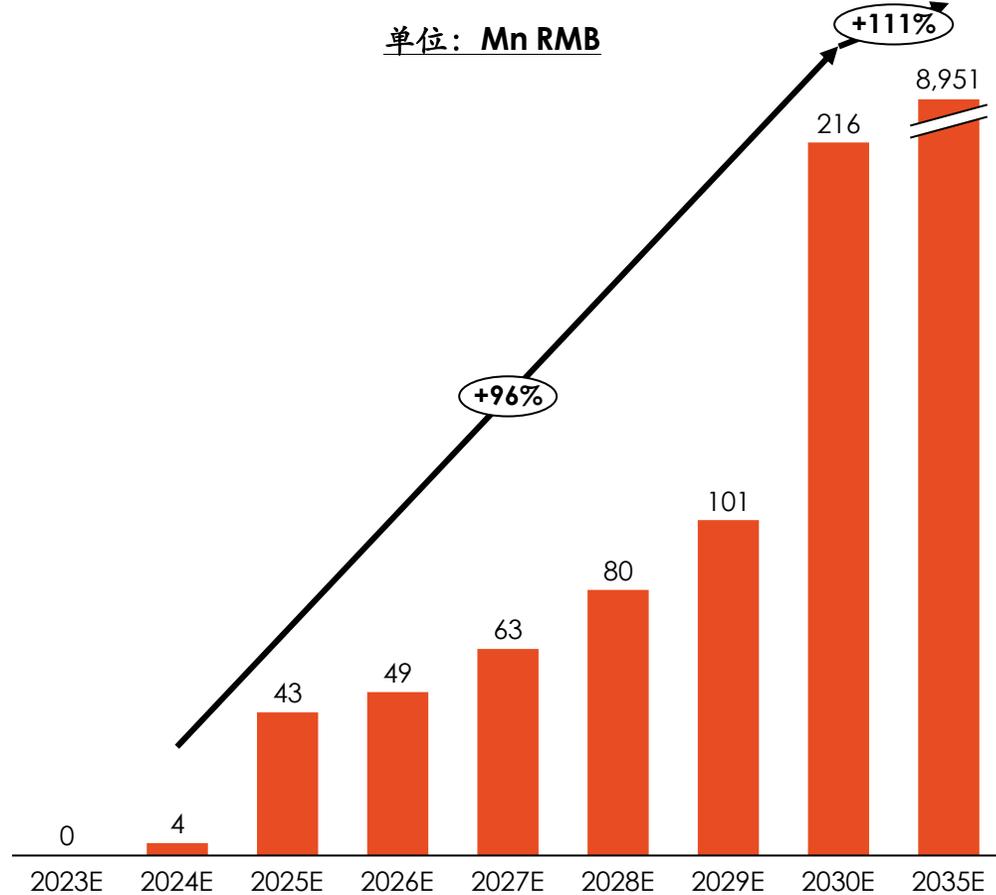
人形机器人领域的轴承产品市场规模预期

人型机器人预计将在2026年开始对全球轴承市场带来明显增量，目前人形机器人以外资品牌为主，中国品牌可能会在2026年人形机器人全面商业化后迎来新的发展机遇

2023~2035年人形机器人为上游零部件市场带来的增量市场预期（全球）——轴承

2023~2035年人形机器人为轴承市场带来的增量空间（全球）

单位：Mn RMB



	2023E	2024E	2025E	2030E	2035E
全球人口 (亿人)	80	80.5	81	85	87
人形机器人渗透率 (台/百万人)	0.0	0.1	1.7	8.9	360.9
人形机器人销量 (万台)	0	0.12	1.4	7.6	314
角接触轴承单价 (元/个)	40	39	38	35	35
平均单台用量 (个)	28	28	28	28	28
单台价值量 (元)	1120	1098	1076	992	992
交叉滚子轴承单价 (元/个)	100	98	96	89	89
平均单台用量 (个)	14	14	14	14	14
单台价值量 (元)	1400	1372	1345	1239	1239
四点接触轴承单价 (元/个)	20.0	19.6	19.2	17.7	17.7
平均单台用量 (个)	14	14	14	14	14
单台价值量 (元)	280	274	269	248	248
深沟球轴承单价 (元/个)	30.0	29.4	28.8	26.6	26.6
平均单台用量 (个)	14	14	14	14	14
单台价值量 (元)	420	412	403	372	372
轴承在人形机器人上单台价值量 (元)	3220	3156	3093	2851	2851
轴承市场空间 (百万元)	-	3.8	43.3	215.8	8950.9

- **量产进程:** 目前人形机器人还处在研究阶段，预计2025年有望实现量产，2030年-2035年销售规模有较为明显的增长
- **未来应用:** 预计2030年开始全球轴承需求将随人形机器人的渗透产生明显提升，此外2026年后可能逐步替换国产轴承，届时人形机器人轴承价格将明显降低。

- 核心观点

- 人形机器人产业宏观环境分析

- 人形机器人产品定义及发展历程

- 人形机器人产业链分析

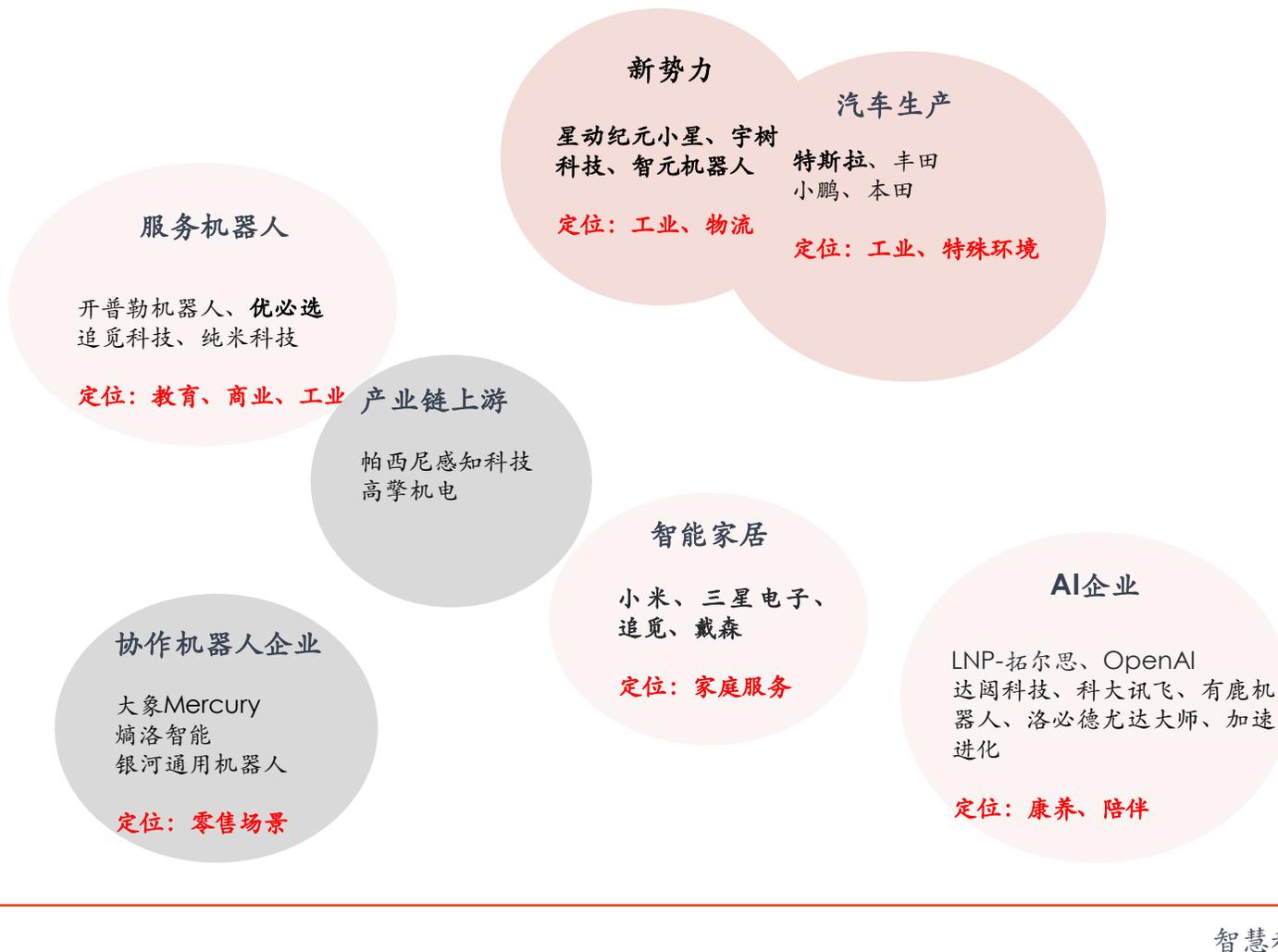
- 人形机器人主要生产企业分析

- 人形机器人市场投资建议

2023年中国人形机器人市场入局者众多，但商业化进程不明朗，企业目的多为预先站位

- 目前大多数企业从教育及商业服务侧切入人形机器人市场，可触达的商业化方向为商业展演；
- 企业正在积极探索汽车、物流等工业自动化生产以及医疗服务、巡检等方面的商业化通路；
- 在行业发展过程中企业的定位或回归或整合原有业务的可能性大，不确定性高；但最终人形机器人市场的参与者将如工业机器人一样企业布局及定位将回归到较为明显的倾向的零部件企业、模组企业、本体生产商及行业系统集成商的格局。

运动能力 (高)



智慧程度 (高)

特斯拉人形机器人缘起于Model3的“产能地狱”

特斯拉的人形机器人Optimus目前是全球最受瞩目的产品，其运动能力及交互能力处于目前市场的前沿，其人形机器人的理念其实起源于Model3的全自动化产线的失败教训。

2017年 特斯拉 Model3 开始预售



2017~2019年
Model3 面临“产能地狱”



每周5000辆的订单需求



全自动化设计的生产线



工业机器人无法在精细化环节替代人工

- 电池包的纤维条处理
- 车窗密封条的处理
- 其他线束处理的问题



1. 召回工人
2. 极大限度的减少线束的使用
3. 人形机器人开始孕育



特斯拉Optimus_2年内快速迭代，两万美元内的售价限制，商业化进程最受瞩目

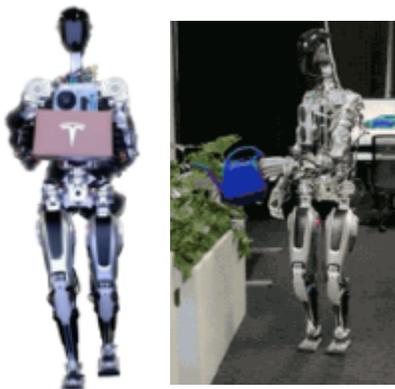
特斯拉Optimus两年的进化历程

2021年 概念机



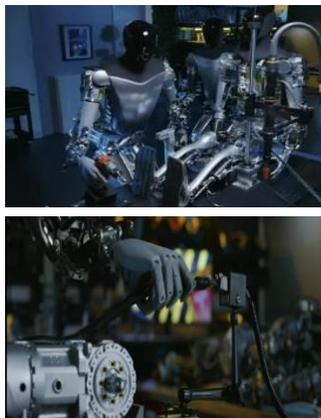
真人扮演

2022年 正式样机



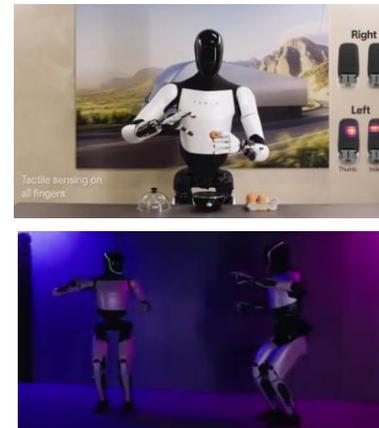
直立行走、搬运、洒水等基本的行为能力

2023年4月 造自己



平稳行走、拧螺丝等更加复杂、精准的动作及控制力度

2023年12月 精细和流畅



双手协调拿鸡蛋、做深蹲，动作流畅度更像人

- 特斯拉人形机器人Optimus（擎天柱）两年内从概念到样机落地，快速开发迭代。
- 特斯拉人形机器人复用电动汽车技术与产业链，加速商业化落地。Optimus采用汽车同款FSD芯片及算法，使用Dojo超级计算机进行训练，在热管理系统、传感器、电池系统等诸多方面与汽车产品有共同之处，产业链更易实现规模化效益。人形机器人与外界有更多交互，比汽车自动驾驶技术更为复杂，特斯拉可在车端AI技术的基础上进一步深化升级。
- 2022年特斯拉AI Day，马斯克预计到2025-2027年Optimus售价将控制在2万美元以内，成本大幅下降，市场空间远期或超汽车业务。

特斯拉 Optimus——综合情况分析

特斯拉将人形机器人视为企业价值新的增长点；2021年底宣布人形机器人Optimus计划后，开发迭代稳步进行。

以打造超越新能源汽车的新的价值点为目标

- 特斯拉将人形机器人业务定义为今后公司最具价值的业务。马斯克在2022年财报会议上指出，人形机器人业务价值将在今后逐步显现，最终超越新能源汽车的新核心业务；在2023年股东大会再次强调通用型AI算法支持的人形机器人是特斯拉未来的价值所在。
- Optimus的应用远景目标是进入千家万户进行生活工作。潜力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年有望实现制造业场景应用突破，小批量应用于电子、汽车的生产制造。

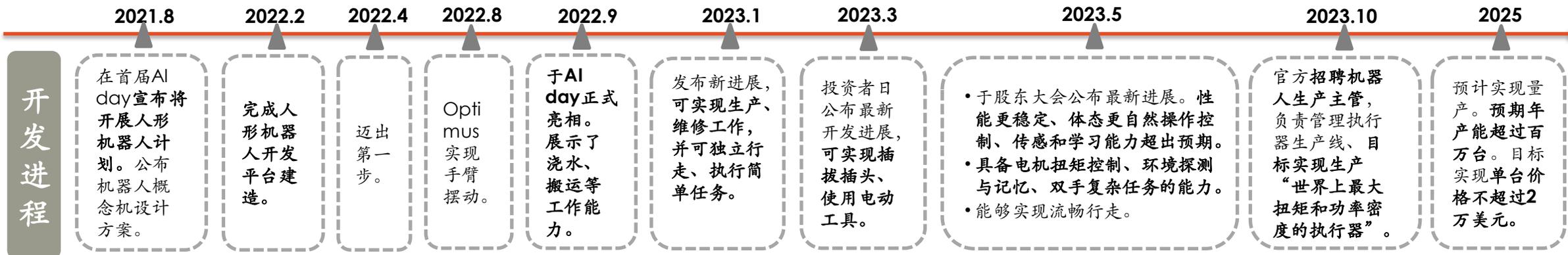


Optimus最新公布参数

- 高：173cm
- 重：63kg
- 灵活度：关节数50
- 负重：可拿取约20千克重物品
- 行走速度：（概念机）最快8英里/h
- 耗电量：静坐100W；慢走500W
- 应用场景：首先应用于特斯拉工厂，长期目标为进入社会应用及家庭生活场景

Optimus不断技术革新、开发有序进行

- 自21年8月特斯拉首次发布人形机器人概念机以来，不到2年时间，实现了机器人开发平台的搭建及机器人性能的持续迭代。目前已经实现了直立行走、搬运物体、洒水等复杂任务，是机器人在AI训练、环境感知、精确控制等方面底层技术不断革新，不断接近能够现实应用的目标。



特斯拉 Optimus——综合情况分析

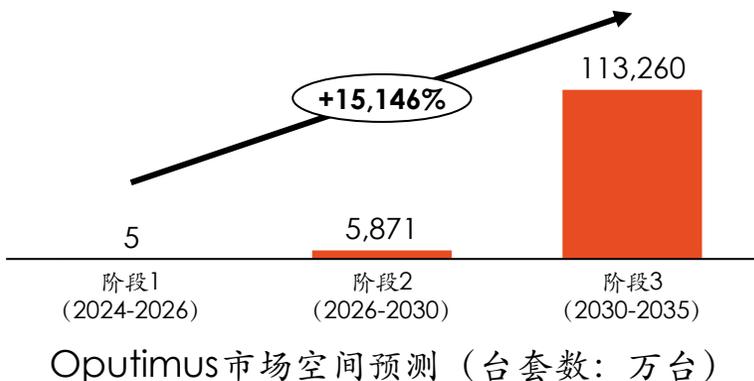
Optimus可借助新能源汽车产业带来的技术积累、应用场景及规模效应带来的生产成本及价格优势，被认为是最有望实现商业化落地的机器人方案；Optimus计划2025年发售，分三个阶段开拓市场空间。

最具商业化落地可能性的人形机器人方案

- 特斯拉新能源汽车业务能够为Optimus提供巨大支持，解决技术积累及应用场景方面的痛点，产业端看好Optimus突出重围。
 - 新能源汽车的FSD自动驾驶技术具有可迁移性经调整后可适配人形机器人；
 - 特斯拉超级工厂能够提供稳定的作业场景，帮助人形机器人实现初期大量应用及收集海量的迭代数据。
- 外Optimus量产后成本有望降至2万美元，在1:1替代流水线工人的情况下，仅需2年可收回成本，回本效率远超同类厂家，具备商业化基础。

阶段渗透，市场广阔

- 阶段1 (2024-2026)：“代替重复劳动”、场景：特斯拉工厂+高净值消费者
- 阶段2 (2026-2030)：“被商业领域接受”、场景：制造业+服务业
- 阶段3 (2030-2035)：“被大众接受”、场景：个人场景+家庭场景



主要厂商人形机器人回本周期预测

厂商	特斯拉	工业机器人 (中位数)	小米	波士顿动力	本田
价格 (万元)	14	20	70	1400	1740
2022年中国制造业平均工资 (万元)	7.06				
回本时间 (年)	2	3	10	198	248

特斯拉人形机器人应用场景预测

引领人形机器人+产业风口



特斯拉Optimus Gen2的升级为人形机器人走入汽车生产车间更近一步

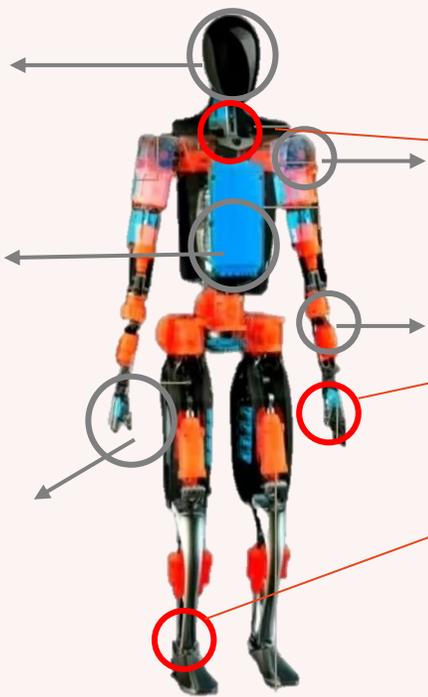
2023年12月特斯拉发布Optimus Gen2，Optimus Gen2对颈部、灵巧手以及足部做了升级，使得全身平衡运动能力提升的同时，手部的灵活性以及双手的协调性也得到了很大的提升，距离将来走入工厂使用各种生产工具进行操作的能力进一步提升。

Optimus 配置

头部
 搭载FSD系统
 Dojo D1 芯片
 Autopilot摄像头
 激光雷达
 ...

躯干
 传感器
 SoC系统
 电池组2.3kwh 52V
 ...

灵巧手*12执行关节
 空心杯电机
 行星减速器
 力/力矩传感器
 触觉传感器
 滚柱丝杠
 ...



图片：
 ● 蓝色部分：电子系统 ■ Gen 1 配置
 ● 橙色部分：执行器 ■ Gen 2 改进

旋转执行器*14
 谐波减速器
 无框力矩电机
 力/力矩传感器
 轴承
 ...

线性执行器*14
 无框力矩电机
 力/力矩传感器
 行星滚柱丝杠
 轴承
 ...

Optimus Gen2 结构升级

- 1, 颈部增加2个自由度，使头部更灵活，全身平衡运动功能提升
- 2, 灵巧手每个手指加入指尖传感器，11个自由度，便于协同及使用工具。
- 3, 足部增加2个扭矩传感器，链接脚趾，模拟人类足部几何学，更稳更灵活。



距离走进生产线更近一步



总装车间-汽车底盘装配



总装车间-汽车零部件检测

Agility Robotics Digit _亚马逊工厂测试使用的人形机器人，但价格较高（25万美元）

从俄勒冈州立大学工程学院拆分出来的机器人公司，曾经获得过美国国防部高级研究计划局的资助，在2020年被福特公司收购；样机试运行，最新产品在亚马逊物流仓库进行试验。

Digit 基本信息:



公司名称: **Agility Robotics**
产品名称: Digit
量产时间: 2024年交付第一批, 2025年全面上市
身高: 175cm
体重: 65kg
载重: 16kg
续航: 16h
特点: 反向膝设计
目标市场: 物流搬运

售价: **25万美元**

What Our Robots Are Working On



Now: Moving Totes & Packages



Up Next: Unloading Trailers



Down the Road: Last Mile Delivery

Digit 发展历程

- 2023年10月, 亚马逊宣布将在其仓库对Digit进行应用测试, 帮助亚马逊仓库员工拾取和移动空手提箱, 未来计划增加货物装卸、配送等场景应用
- 2023年, 推出新版本Digit 头部和机械手得以升级, 专注仓储物流场景
- 2022年4月, 获得AIIF (亚马逊工业创新基金) 参投的1.5亿美元 B+轮融资, 并开始建设RoboFab机器人制造工厂, 计划2023年底投产数百台, 2024年交付第一批, 2025年全面上市
- 2020年被福特公司收购
- 2019年在Cassie基础上加上躯干和手臂 推出第一代Digit
- 2015年 由俄勒冈州立大学孵化 推出Cassie (仅双足)

信息来源: Agility官方网; M2觅途咨询

Atlas机械性能最强的人形机器人，但因成本过高商业化前景渺茫

- 波士顿动力1992年从学术领域实验室诞生，受美国军方资助，经历三次易主，先后被谷歌、软银收购，2021年6月被现代汽车接管。
- 军方背景奠定了对成本不敏感的基础，采用液压驱动以及3D打印技术打造零部件，成本高昂，商业化进程缓慢

Atlas的基本介绍



基本信息

身高：150cm

体重：80kg

步行速度：1.5m/s

自由度：28个

特点

1. Atlas具有超强的运动能力：能够流畅完成分腿跳跃，360度旋转跳跃，倒立动作，甚至是翻筋斗等超高难度的动作。
2. 离线轨迹库+在线精细控制的MPC控制器，确定机器人当前应该进行的最优动作，从而随着时间的推移产生最佳行为。

成本：200~250万美元

高昂的成本基因

• 独特的液压伺服驱动

Atlas搭载一个重5kg，功率5kW的液压驱动装置，可以为其提供极具爆发性的驱动力。

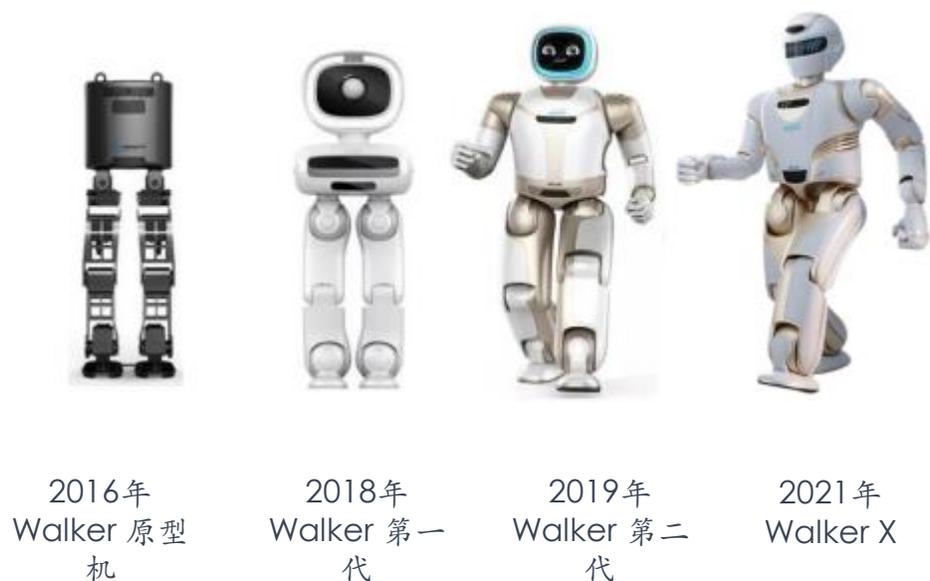
• 采用3D打印技术制造匹配液压驱动的零部件

为实现液压系统与肢体的完美融合，第二代Atlas开始使用3D打印技术制作机器人的腿部，从而将伺服阀、执行器、液压管路完全嵌入到四肢机构件中。

优必选1/2：中国人形机器人企业上市第一股

- 优必选总部位于中国，是中国人形机器人及智能服务机器人解决方案的头部企业。
- 于2018年首次发布第一代大型双足仿人服务机器人Walker，2021年发布人形服务机器人Walker X，高1.3m，63kg，拥有41个自由度，Walker的目标是在家庭场景和办公场景自由活动和服务。
- 截至2020年3月26日，优必选已经汇集9轮融资，2015年3月A轮融资科大讯飞领投，2018年腾讯投资、海尔资本、鼎晖投资等参与，2020年居然之家参与。2023年8月25日更新港交所IPO材料。

优必选的人形机器人历次迭代



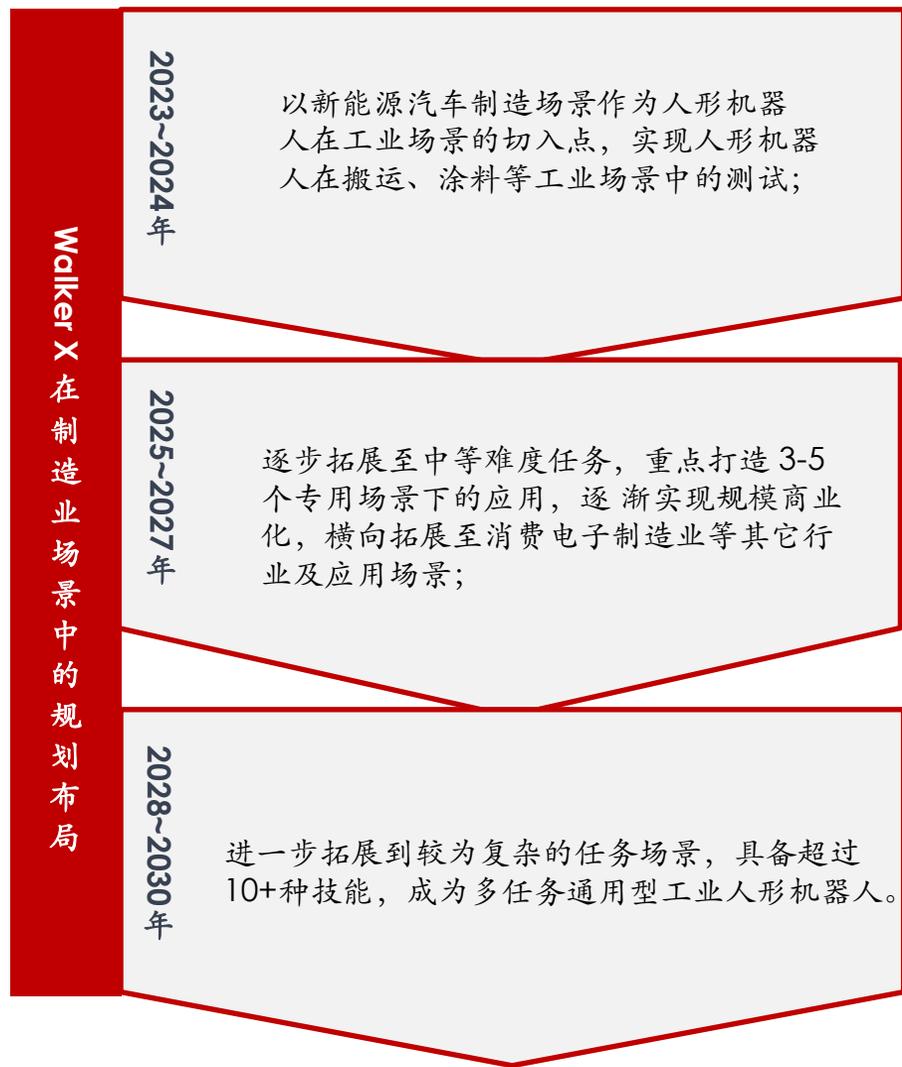
Walker X现已具备上下楼梯、操控家电、按摩、端茶倒水等功能，满足人类情感、教育、陪伴等需求。

优必选的融资历程

序号	披露日期	交易金额	融资轮次	估值	比例	投资方
1	2020/3/26	未披露	D轮	-	-	紫荆资本、朗玛峰创投、居然之
2	2019/3/6	未披露	C+轮	-	1.10%	两江资本、富众投资
3	2018/5/3	8.2亿美元	C轮	51.25亿美元	16%	腾讯投资、工银投资、海尔资本、民生证券、澳电创投、居然控股、居然之家、正大集团、民生银行、宜信、中广核投资、山东铁投、松禾资本、深圳君信达、鼎晖投资、朗玛峰创投、中汇金、久友资本、灏浚投资、利得股权、腾讯开放平台、长鹰资本、鼎晖百孚、宏博基金、汇联投资
4	2018/1/23	未披露	战略融资	-	-	耀莱投资、金晟资产、时代伯乐、
5	2017/4/6	未披露	B+轮	-	-	鸿灏资本、珠海科创投、华发集
6	2016/7/25	1亿美元	B轮	10亿美元	-	鼎晖投资、金石投资、科大讯飞、
7	2015/8/1	900万美元	A+轮	3亿美元	3%	科大讯飞
8	2015/3/1	2000万美元	A轮	10000万美元	20%	科大讯飞、启明创投
9	2013/10/21	2000万人民币	天使轮	10000万人民币	20%	力合华睿、正轩投资

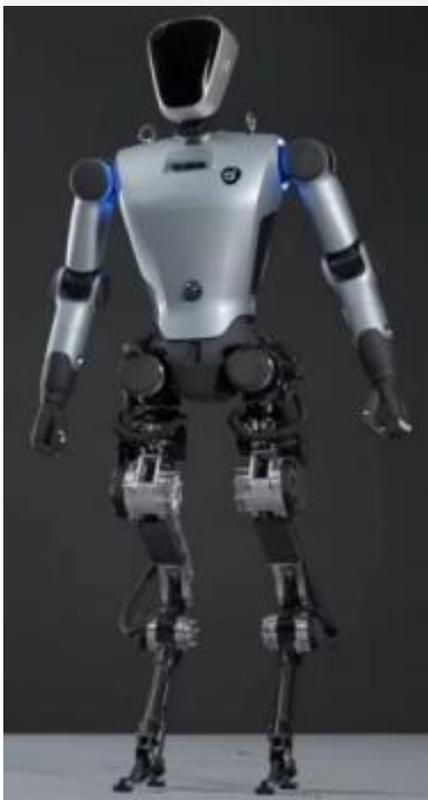
优必选2/2：人形机器人在制造业的布局规划

新能源汽车作为人形机器人工业场景应用的切入点，到2027年拓展至消费电子等其他行业，2030年打造出能够完成多任务的通用工业人形机器人。
优必选与天奇股份合作开发工业人形机器人拟于12月底交付首台样机。计划量产产品首先应用于比亚迪工厂，后复刻到奇瑞、蔚来、长安等生产车间



智元机器人1/2：高效新生团队，专注具身智能

- 智元机器人于2023年2月成立，是一家致力于以AI+机器人的融合创新，打造世界级领先的具身智能机器人产品及应用生态的创新企业。
- 2023年3月开始天使轮融资，到8月21日进行A++轮融资，半年内迅速完成4轮融资，汇集高瓴、鼎辉、经纬、百度、比亚迪等。
- 2023年8月18日，智元发布远征A1人形机器人。



智元机器人的基本介绍

基本信息

身高170cm，体重55kg，步行速度7km/h，承重80kg，单臂最大负载5kg。

特点

1. 具备多模态感知、少样本学习、任务闭环、强人机交互能力。
2. 自研关节电机PowerFlow、灵巧手SkillHand、反曲膝设计等关键零部件。

智元机器人的融资历程

序号	披露日期	交易金额	融资轮次	投资方
1	2023/8/21	未披露	A++轮	比亚迪 沃赋创投 蓝驰创投
2	2023/4/28	未披露	A+轮	BV 百度风投 经纬创投 司南园科
3	2023/4/1	未披露	A轮	高瓴创投 鼎晖投资 高榕资本 临港新片区基金
4	2023/3/7	未披露	天使轮	高瓴创投 奇绩创投

智元机器人2/2：集合多项创新型设计，瞄准工业制造落地场景

多项自研产品以控制总成本在20万元以内；产品以商业化落地为目标，主要瞄准工业制造领域。

自研1：腿部核心关节Powerflow



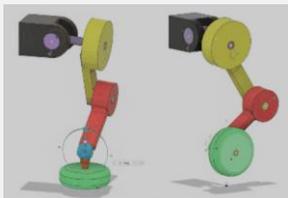
- 径向磁动外转子鼓筛电机方案，低齿槽转矩设计
- 小体积下集成液冷循环散热系统。
- 搭配一体化矢量控制驱动器，控制扭矩超过350Nm，质量1.6kg。
- 反曲膝设计可以在冗余度有限的情况下拥有更大的空间，更适用于生产场景。

自研2：灵巧手



- 主动自由度12，被动自由度5，所有驱动内置。
- 指尖集成基于视觉的之间传感器，可分辨操作物颜色、形状、材质，基于算法数据融合，得到近似压力传感器效果。
- 通过末端视觉闭环设计，可降低整机对空心杯电机的精密度要求。

自研3：“轮足二相腿”



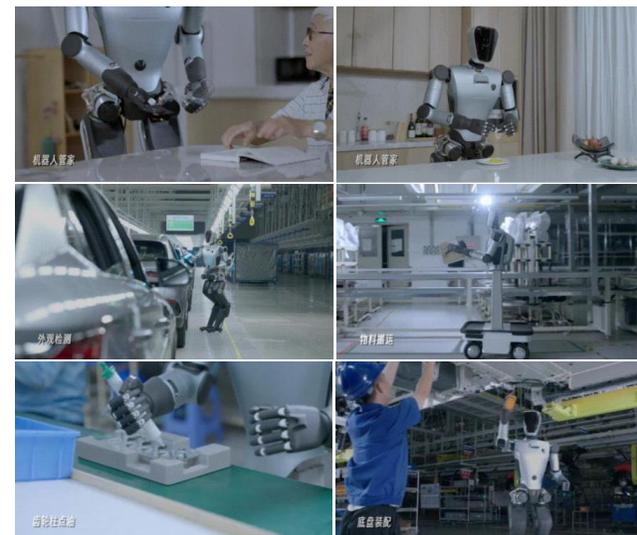
- 具备‘轮’和‘足’的两种形态，能够灵活地适应各种地形，还具有极高的续航性。
- 使用了并联连杆加万向节的方式，降低小腿和大腿的惯量以实现“轮”“足”之间的自由切换。

自研4：AgiROS系统

是一套机器人运行时中间件系统，在AI感知决策与视觉控制等大模型算法方面，能够实现自主任务编排、常识推理与规划执行等

商业化落地目标

主要瞄准工业制造领域（3C制造，汽车制造等），目前，已经和国内相关行业龙头企业进行了对接。



成本目标控制在20万元以内

宇树科技:

宇树成立于2016年8月，是专注于消费级、行业级高性能四足机器人，灵巧六轴机械臂等研发、生产及销售。2023年8月发布人形机器人H1,计划2023年Q4左右发货，预计售价几十万人民币以内。

宇树2022年4月20日完成B轮系列融资，合计数亿元，由经纬创投和敦鸿资产分别领投，世界500强战略方海克斯康集团（Hexagon AB）、老股东顺为资本、知名股权投资机构容亿投资、深创投跟投，此前获得由红杉资本种子基金、祥峰投资、初心资本联合投资的Pre-A+轮以及顺为资本领投的A轮融资。

宇树H1人形机器人的基本介绍

基本信息

身高180cm，体重47kg，步行速度 >1.5m/s，潜在运动能力 >5m/s。

特点

1. 自由度：单腿5（髋*3+膝*1+踝*1）*2+单臂4*2+灵巧手选配（在研）。
2. 搭配自研M107关节电机，峰值扭矩密度89Nm/kg，最大关节扭矩360Nm，采用中空走线。



宇树科技的融资历程

序号	披露日期	交易金额	融资轮次	投资方
1	2022/4/20	数亿人民币	B+轮	顿红资产 海克斯康 顺位资本 容亿投资 深创投 中网投
2	2022/1/5	未披露	B轮	经纬创投
3	2021/7/30	千万级美元	A轮	顺为资本
4	2020/5/21	未披露	Pre-A+轮	红杉中国种子基金 初心资本 祥峰投资中国基金
5	2020/1/22	数千万人民币	Pre-A轮	红杉中国种子基金 德迅投资
6	2018/5/24	未披露	天使轮	安创加速器 变量资本
7	2017/1/1	未披露	种子轮	个人投资者

傅利叶：

傅利叶是国内头部康复机器人企业。2023年7月，傅利叶在上海人工智能大会发布第一款通用人形机器人GR-1。2023年9月23日开放预售，主要用于工业、康复、居家、科研，具备高度可扩展的设计。

截至目前傅利叶已经进行到D轮融资，该轮融资由软银愿景基金2期领投。沙特阿美旗下风险投资基金 Prosperity7 Ventures、元璟资本跟投。IDG资本从2015年天使轮开始多次加注（2018年A轮、2019年B轮融资）。

傅利叶人形机器人 GR-1 简介：

身高165cm，体重55kg，行走速度5km/s，44个自由度，32个FSA关节，最大模组峰值扭矩230Nm，自研一体化执行器，拟人直腿行走，自适应平衡算法避障上下坡抗干扰。



傅利叶的融资历程

序号	披露日期	交易金额	融资轮次	投资方
1	2022/1/26	4亿人民币	D轮	软银愿景二号基金 Prosperity Ventures 元璟资本
2	2021/7/9	数千万美元	C++轮	Prosperity7 Ventures
3	2021/3/8	数千万人民币	C+轮	临港科创投
4	2020/10/26	1亿人民币	C轮	元璟资本 前海母基金
5	2020/5/6	数千万人民币	B+轮	前海母基金
6	2019/7/11	数千万人民币	B轮	国中资本 火山石投资 IDG资本
7	2018/2/26	3000万人民币	A轮	景旭创投 火山石投资 IDG资本 前海母基金
8	2016/9/14	1500万人民币	Pre-A轮	火山石投资
9	2015/7/1	800万人民币	天使轮	IDG资本 张江科投

达闼科技：

- 达闼机器人成立于2015年，总部位于上海。主要产品包括云端智能机器人开发平台，以Cloud Ginger为代表的人形服务云端机器人，按实际应用可分为配送、巡逻递送、清洁、售货等多功能型云端机器人；主要用于酒店、学校、商超、产业园区等生活场景。
- 达闼科技已进行到C轮融资，投资方包括软银中国资本、启明星辰、深创投、中关村发展集团、金地集团、富士康等。该公司在2019年7月曾尝试赴美上市，以失败告终。

达闼科技人形机器人小紫 XR-4 简介：



基本信息

身高1.68米，体重65KG，有60个以上的智能柔性关节，步行速度将为5公里/小时。

阶段

目前小紫的研发还处于第二阶段。双足目前主要能实现站和走路的功能，其他还都处于开发阶段

达闼科技的融资历程

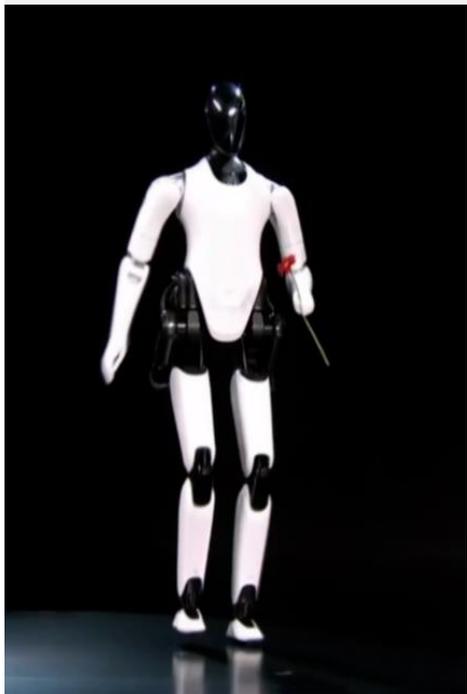
序号	披露日期	交易金额	融资轮次	投资方
1	2023/7/6	超10亿人民币	C轮	知识城集团 水木春锦 上海国盛投资集团
2	2021/6/18	超10亿人民币	B+轮	上海城投、大横琴集团 上海国盛投资集团、海创基金 君正资本、疆豆资本 东方富海、新机创投 诚鼎创投、泽润基金 珠海科创投、日赢控股 格力金投、涵崧资产、中科招商 桉树资本、邦明资本
3	2019/3/26	2.7亿美元	B轮	软银愿景基金、朗玛峰创投 金地集团、博将资本
4	2017/3/1	1800万美元	A+轮	前期投资机构
5	2017/2/19	1亿美元	A轮	软银中国资本、中关村发展集团 富士康科技集团、华登国际 博将资本、凯旋创投 启明星辰、中科乐创
6	2016/5/19	3000万美元	种子轮	软银中国资本、华登国际 富士康科技集团

小米科技:

2023年4月21日，小米在北京投资5000万元设立北京小米机器人技术有限公司。

小米于2022年8月发布首个全尺寸人形仿生机器人“Cyber One”，尚无法实现量产；正在积极推进人形机器人在自有制造系统中落地。

小米科技人形机器人 CyberOne 简介:



基本信息

身高1.77米，重52kg；支持21个自由度，动力峰值扭矩300Nm，峰值扭矩密度96Nm/kg；速度3.6km/h

特点:

- 自研Mi-Sense深度视觉模组，敏锐的下视觉，三维重建真实世界8米内深度信息精度可达1%，辨别85种环境语义，45种人类语义情绪。
- 尚未实现量产

小米科技人形机器人商业化落地路径规划:

积极推进人形机器人在自有制造系统中落地，产业布局将分为三个阶段:

Step1

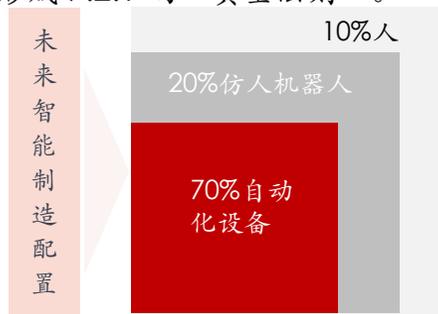
短期将扎根某一个场景，实现多个功能做产品技术的验证，进行原型机的开发；

Step2

中期将融入小米制造、智能制造多个场景来做产业验证，进行规模化的验证，实现仿人机器人在制造场景当中的数据积累和模型迭代；

Step3

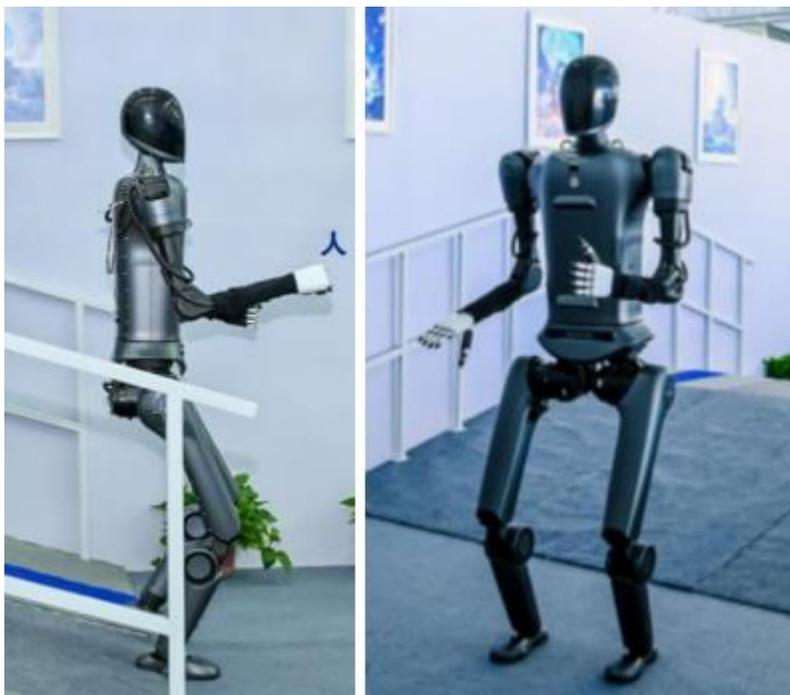
长期拓展至3C和汽车制造场景之外更多场景中的应用和价值实现，形成7:2:1的“黄金法则”。



科大讯飞：以人形机器人为牵引推进多模态具身大模型

2023年的科大讯飞1024全球开发者节上，公司发布星火认知大模型V3.0，以及大模型+具身智能的人形机器人。基于AIBOT开发，具备复杂地形行走、开放场景寻物、复杂任务拆解等一系列高阶能力。未来将以人形机器人为牵引，推动‘视觉-语言-动作’多模态具身大模型，助力机器人脑力升级。

科大讯飞人形机器人样机：



机器人领域的“讯飞超脑2030计划”

2022~2023年

针对医疗、教学、健康等领域的底层技术，实现软硬一体机器人和数字虚拟人的制造；

2023-2025年

实现自适应行走的外骨骼机器人，让外骨骼机器人进入人类生活；

2025-2030年

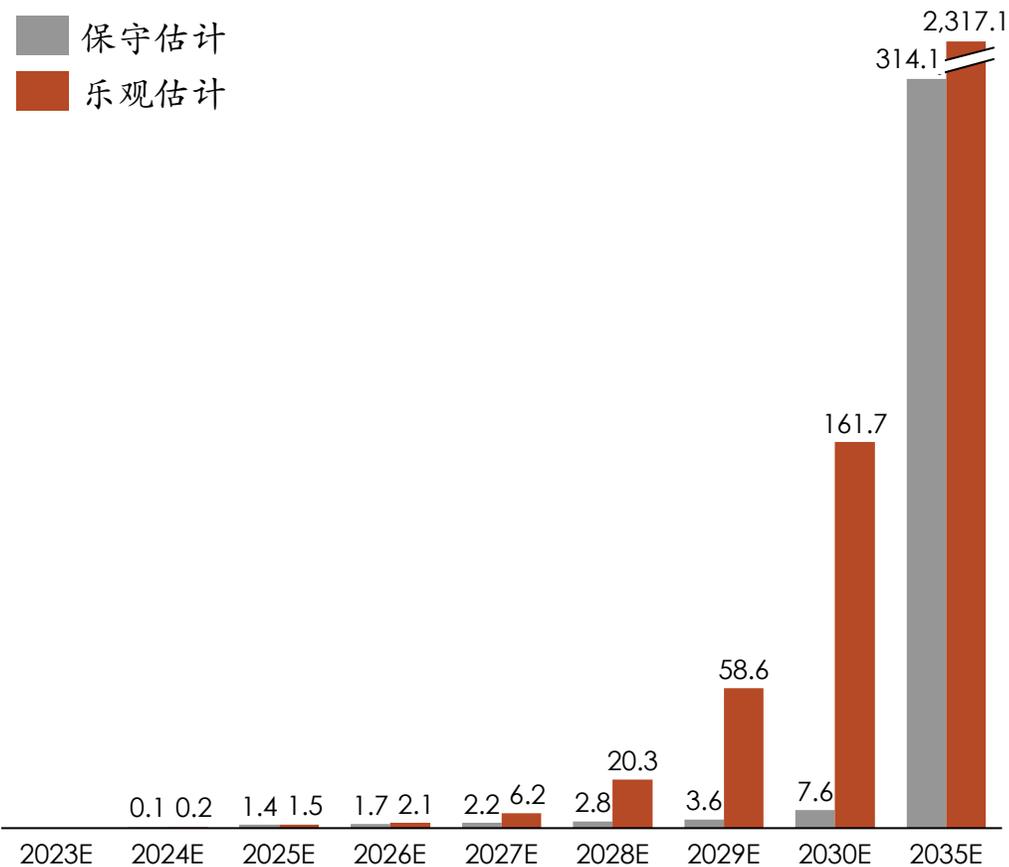
实现懂知识、会学习、能进化的陪伴机器人、自主学习的虚拟人，让机器人拥有交互动作，推动其进入家庭。

- 核心观点
- 人形机器人产业宏观环境分析
- 人形机器人产品定义及发展历程
- 人形机器人产业链分析
- 人形机器人主要生产企业分析
- 人形机器人市场投资建议

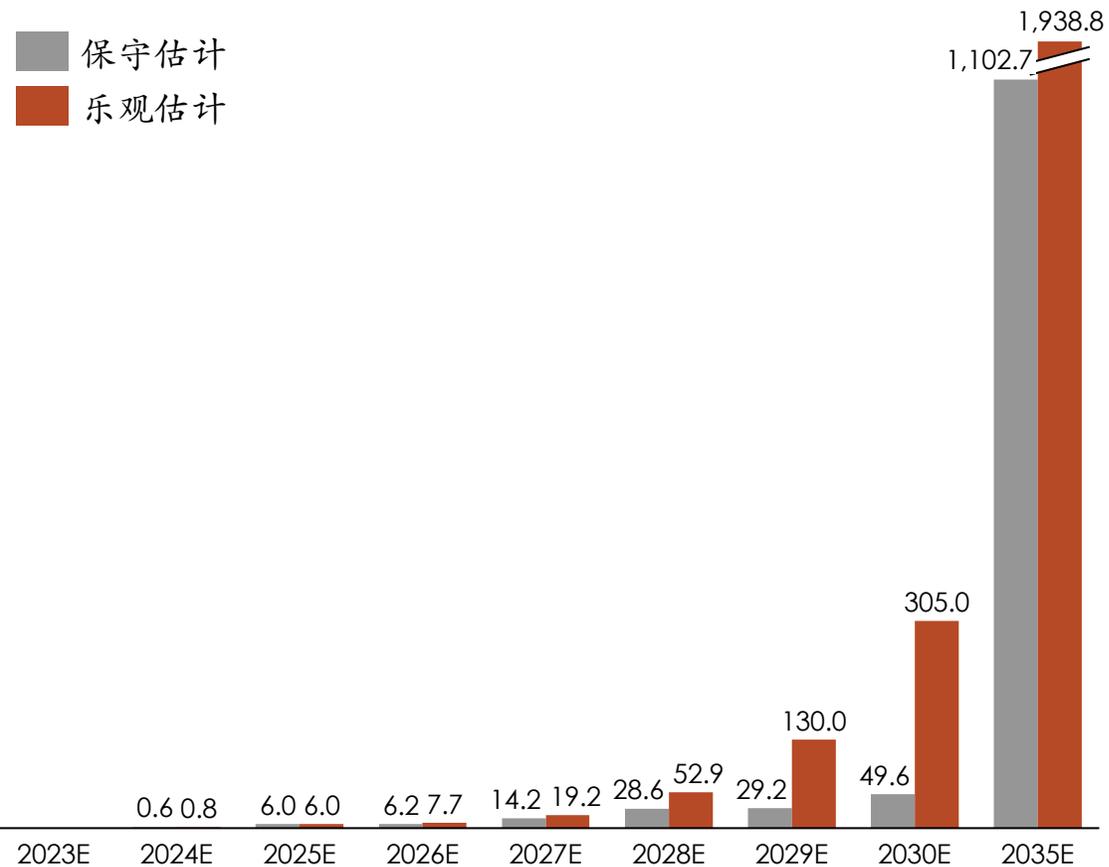
市场规模前景：人形机器人有望成为千亿美元级蓝海市场。

随着人形机器人功能迈向多样化和普适化，产业分工日趋成熟，成本持续下探，潜在应用场景有望涵盖制造业、家庭服务等多个领域，市场机遇广阔。

2023~2035年全球人形机器人市场规模预测 万台



2023~2035年全球人形机器人市场规模预测 亿美元

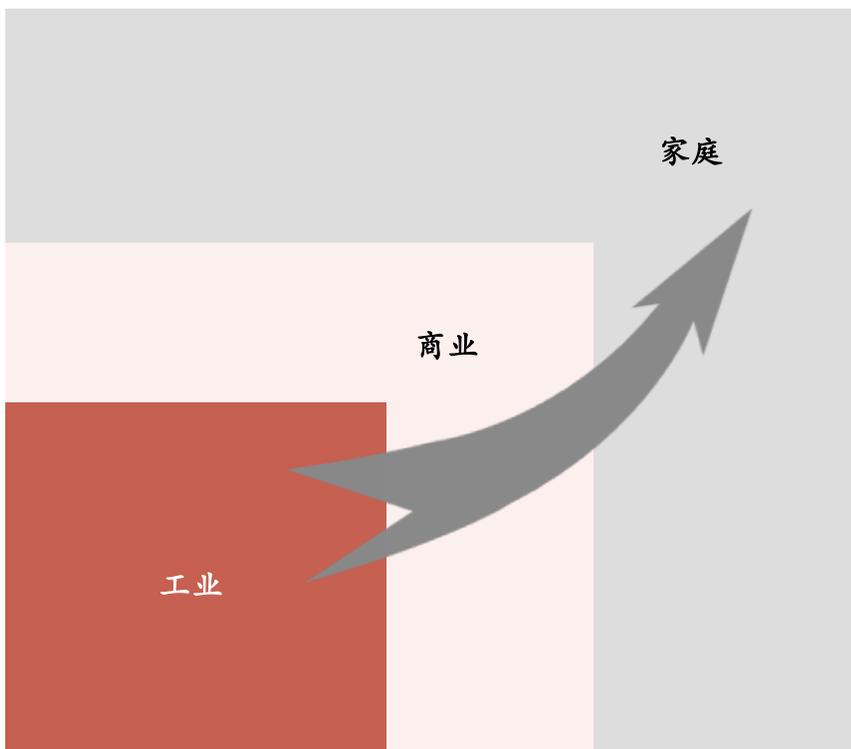


来源：M2 觅途咨询；长城证券产业研究院

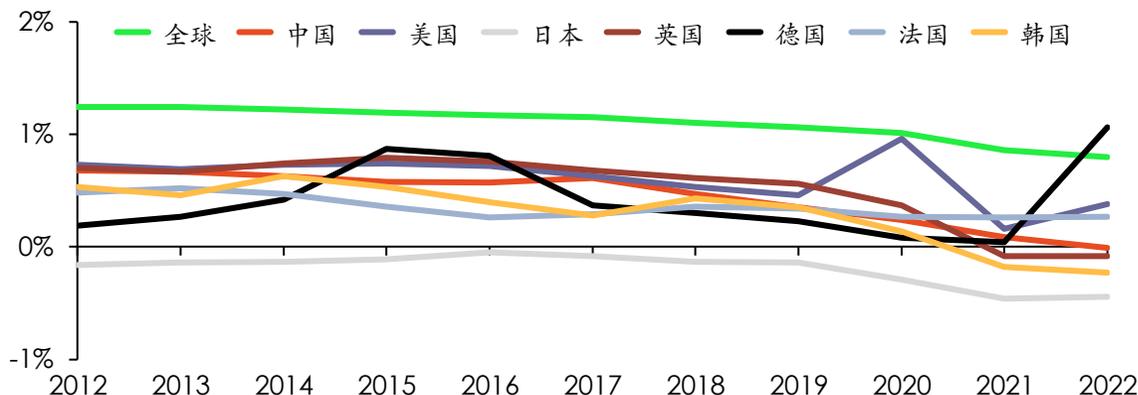
制造业或将是人形机器人商业化落地的导入市场

- 受益于高端制造、新材料等技术的快速发展和产业化落地，人形机器人机械运动系统难题有望率先被攻克，从而满足基础工业级操作需求。
- 另一方面，随着劳动力成本上涨、人口老龄化问题加剧，全球多国出现比较严重的制造业劳动力缺口和人力成本持续升高，对人形机器人在制造业的普及起到推动作用。

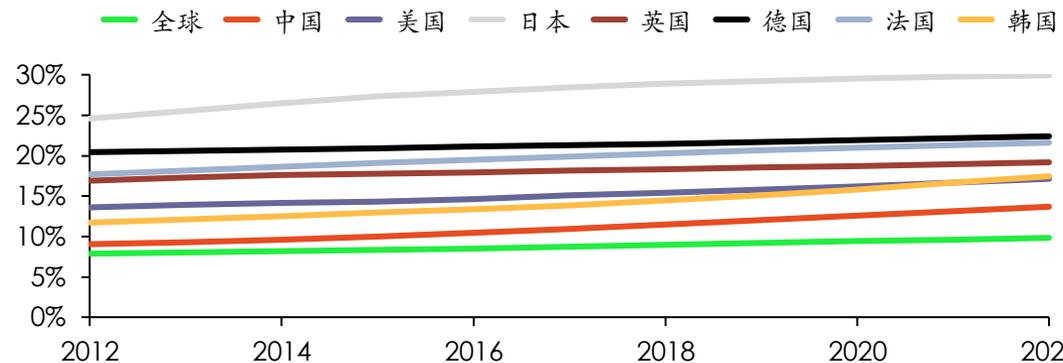
人形机器人的商业化落地场景



全球及主要国家总人口数量增长率 (2010-2022)



全球及主要国家65岁以上人口占有率 (2010~2022)



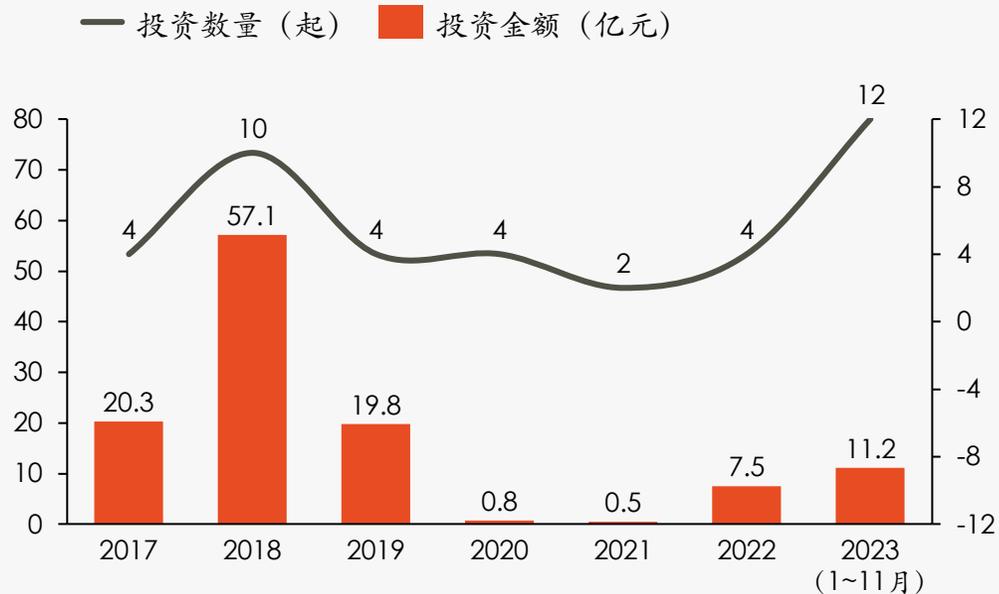
来源：世界银行

人形机器人市场资本市场活跃，但大多处于早期投资阶段

人形机器人资本市场的特征：

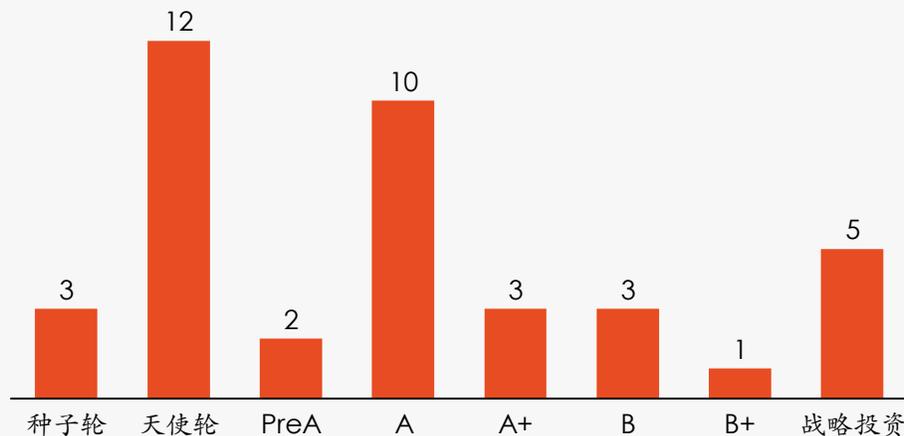
1. 2023年开始人形机器人市场投资热度高涨；但基本处于早期阶段，天使轮和A轮企业较多；
2. 核心零部件是投资的热点；区域上以广东居首、上海和江苏其次；
3. 从投资企业上看，目前仍然是以投资机构的投资为主。

2017~2023年11月人形机器人市场投融资事件



来源：M2 觅途咨询; IT 橘子

人形机器人市场投资轮次分布(2017~2023.11)



来源：M2 觅途咨询; IT 橘子

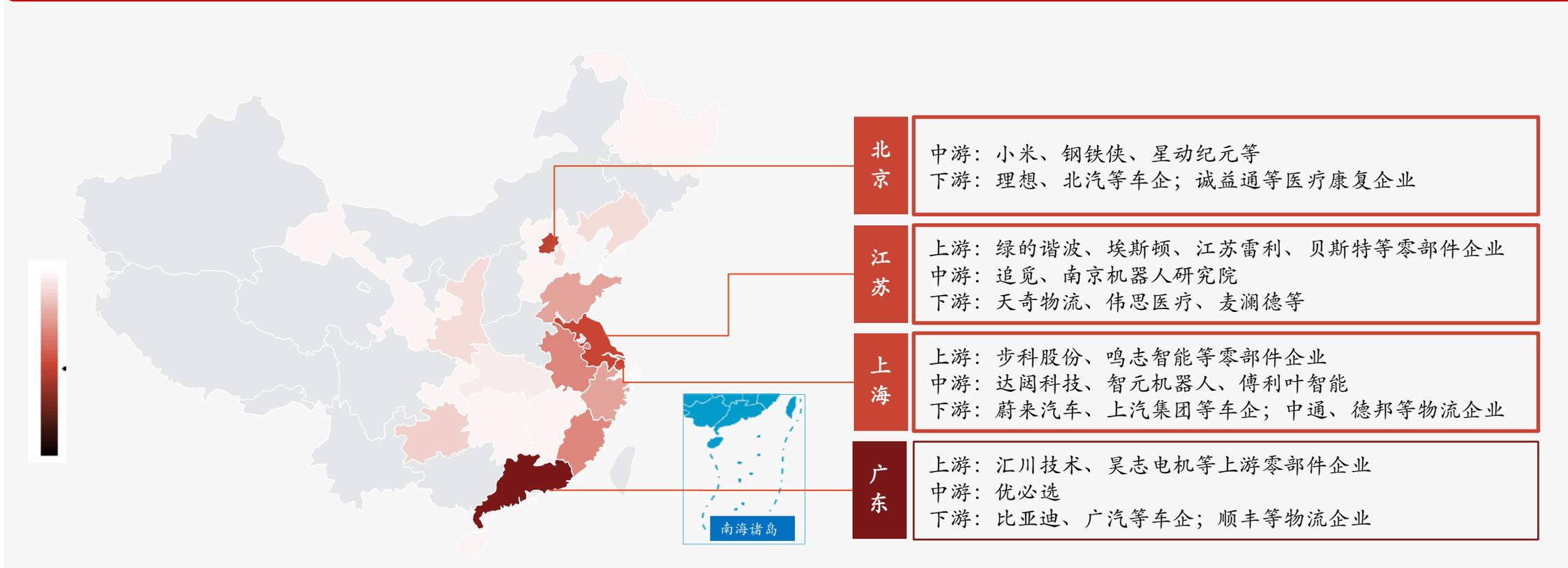
- 2017年至今，有40企人形机器人相关领域的投资事件发生，其中2017年~2019年受优必选上市筹备影响，获投金额较大。
- 人形机器人的发展还处于起步阶段。从整体人形机器人相关企业的融资轮次上看，天使轮数量最多12次，A轮其次10次。
- 人形机器人的投资事件主要发生在广东（14家）、上海和江苏（7家）、浙江（5家）、北京（4家）、其他（2家）。

人形机器人产业分布——广东、上海、北京、江苏是人形机器人产业链的聚集省份

人形机器人市场区域分布特点：

1. 以北上广为中心，以下游应用为依托的区块链发展初见雏形；
2. 广东省是人形机器人产业崛起最迅速的区域；其次是北京、上海及江苏；山东、安徽及福建也在超前布局。

人形机器人相关企业区域分布



根据M2觅途咨询初步统计，全国人形机器人相关企业约150家，其中55家集中在广东省，北京16家、江苏15家、上海12家，其他区域分布相对较少。

人形机器人产业链核心企业

未来在人形机器人核心零部件的销售环节，执行器总成企业将成为品牌决策环节上影响力较重要的一环。

上游核心零部件企业			执行器总成企业		人形机器人主机厂
减速机	外资	本土	旋转执行器	<ul style="list-style-type: none"> 拓普集团 鸣志电机 富临精工 精锻科技 SCHUNK Shadow Robot Qb Robotics Clone Robotics 因时机器人 蓝胖子机器智能 腾讯RoboticsX实验室 	<ul style="list-style-type: none"> 特斯拉 Agility Figure 1X 小米 小鹏 智元 科大讯飞 宇树 达闼 傅利叶 追觅 星动纪元 开普勒 逐际动力 钢铁侠
谐波	哈默纳克、新宝	绿的谐波、来福、同川、大族			
RV	纳博特斯克、住友	环动科技、珠海飞马、中大力德、斯威特			
精密行星	新宝、纽卡特、斯德博威腾斯坦	湖北科峰、精锐科技、中大力德、环动科技	线性执行器		
丝杠	外资	本土/台资			
滚珠丝杠	NSK THK 黑田、SHUTON 斯凯孚 伊维莱 力士乐	南京工艺 汉江机床、上银 银泰 TBI			
行星滚柱丝杠	Rollvis GSA 伊维莱 CMC MOOG	南京工艺 济宁博特 优士特	灵巧手		
空心杯电机	外资	本土			
	MAXON、Faulhaber、Portescap	鸣志电器、未蓝智控、西铁城、鼎智科技、拓邦股份			
轴承	外资	本土			
	斯凯孚 舍弗勒 铁姆肯 恩斯克 恩梯恩 美蓓亚 不二越	人本轴承 天马 万千钱潮 瓦房店轴承 五洲新春 晋西 车轴			
六维力传感器	外资	本土			
	ATI	坤维科技、宇立仪器、瑞尔特、蓝点触控			