2024人形机器人产业链白皮书



目录

- 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

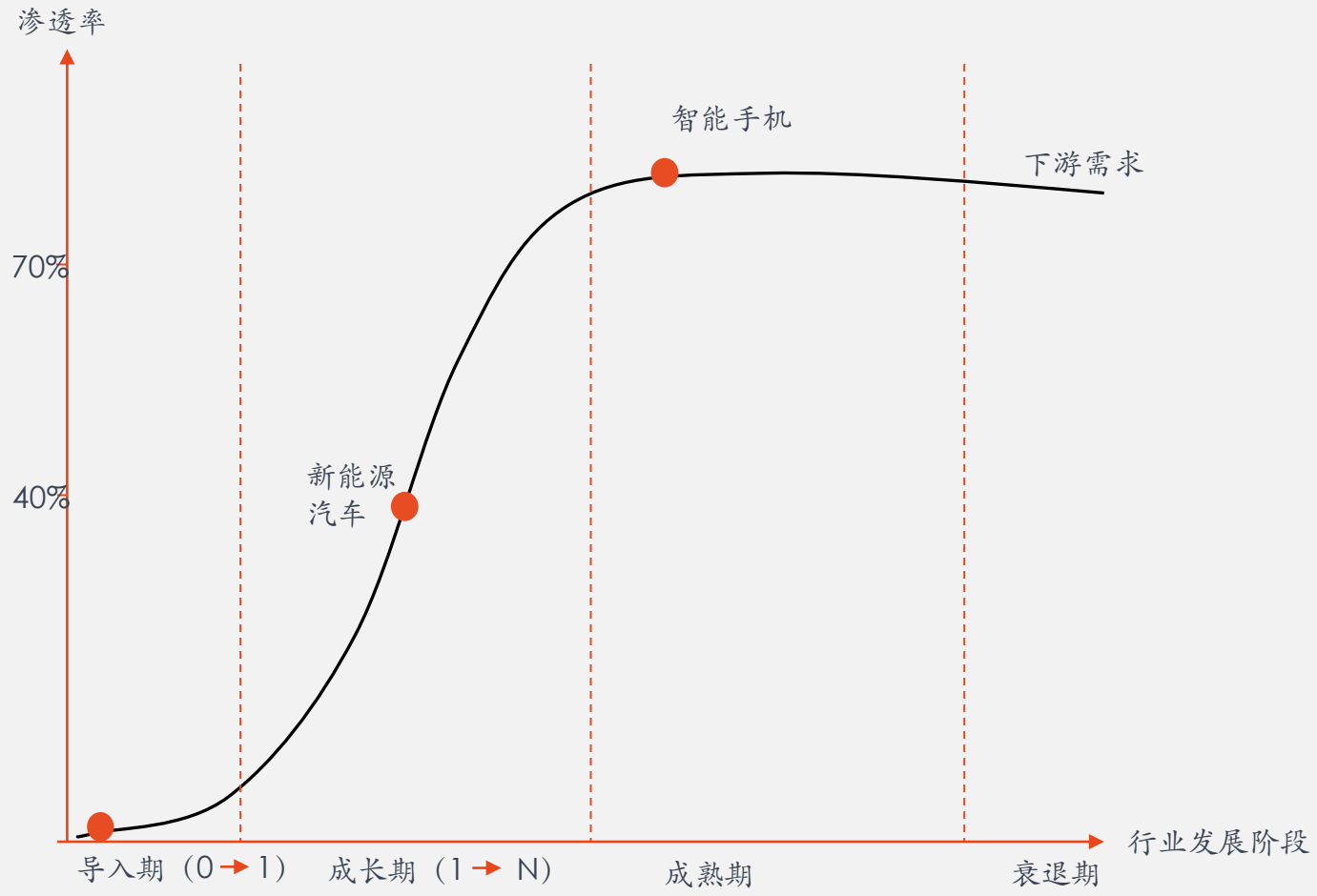
人形机器人产业核心洞察：

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

技术端	产业端	政策端
大脑 小脑 AI赋能	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

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**

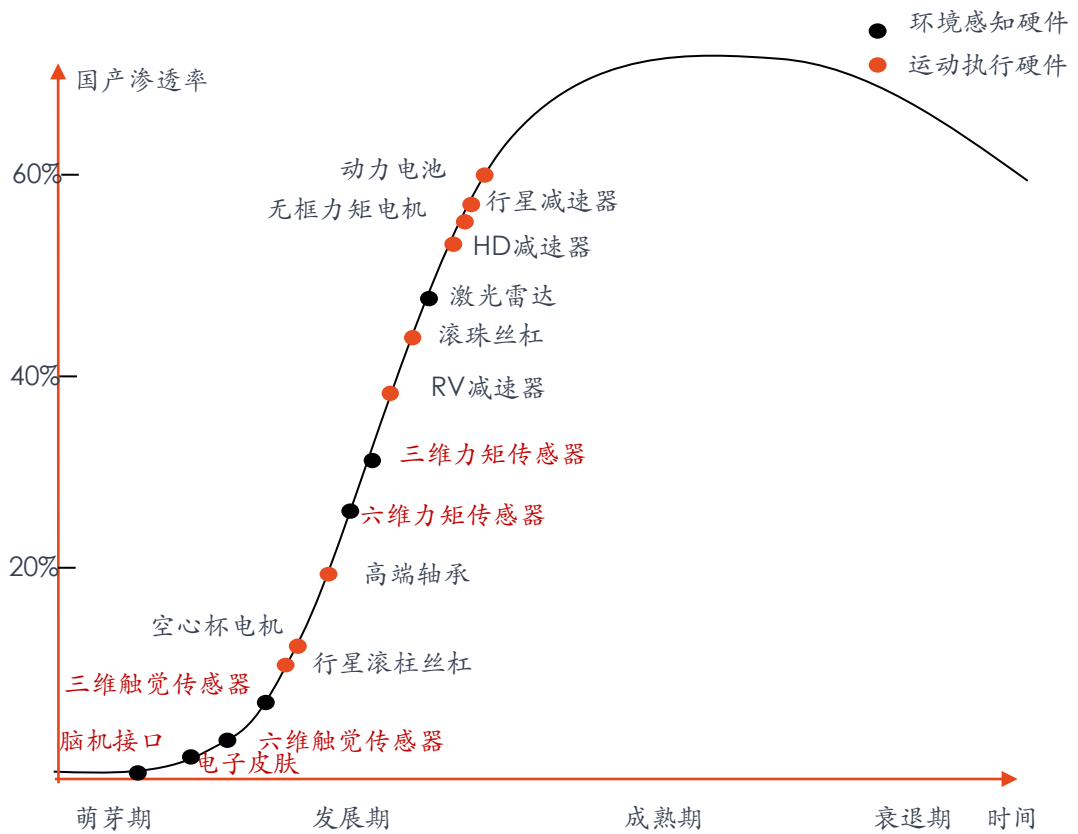
兆亿级市场空间

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：

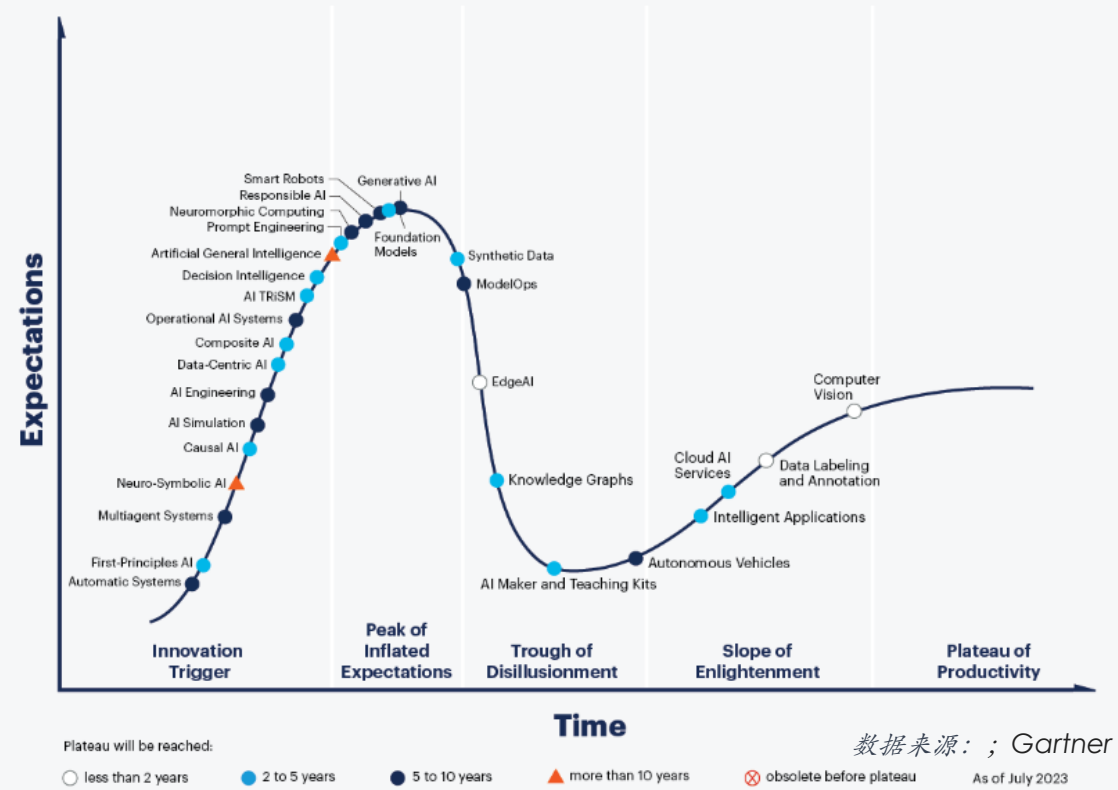
- 硬件包含运动控制系统重的动力、关节执行器以及环境感知系统重的力矩、触觉、视觉传感器以及电子皮肤等。目前市场均有较成熟且商业化的产品，且国产渗透不断加强；
- 算法层面，如何与硬件综合协同以提高人形机器人的运动控制能力以及人机交互能力还有待突破和加强。未来2~5年内将是人形机器人大脑发展的关键时期。

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

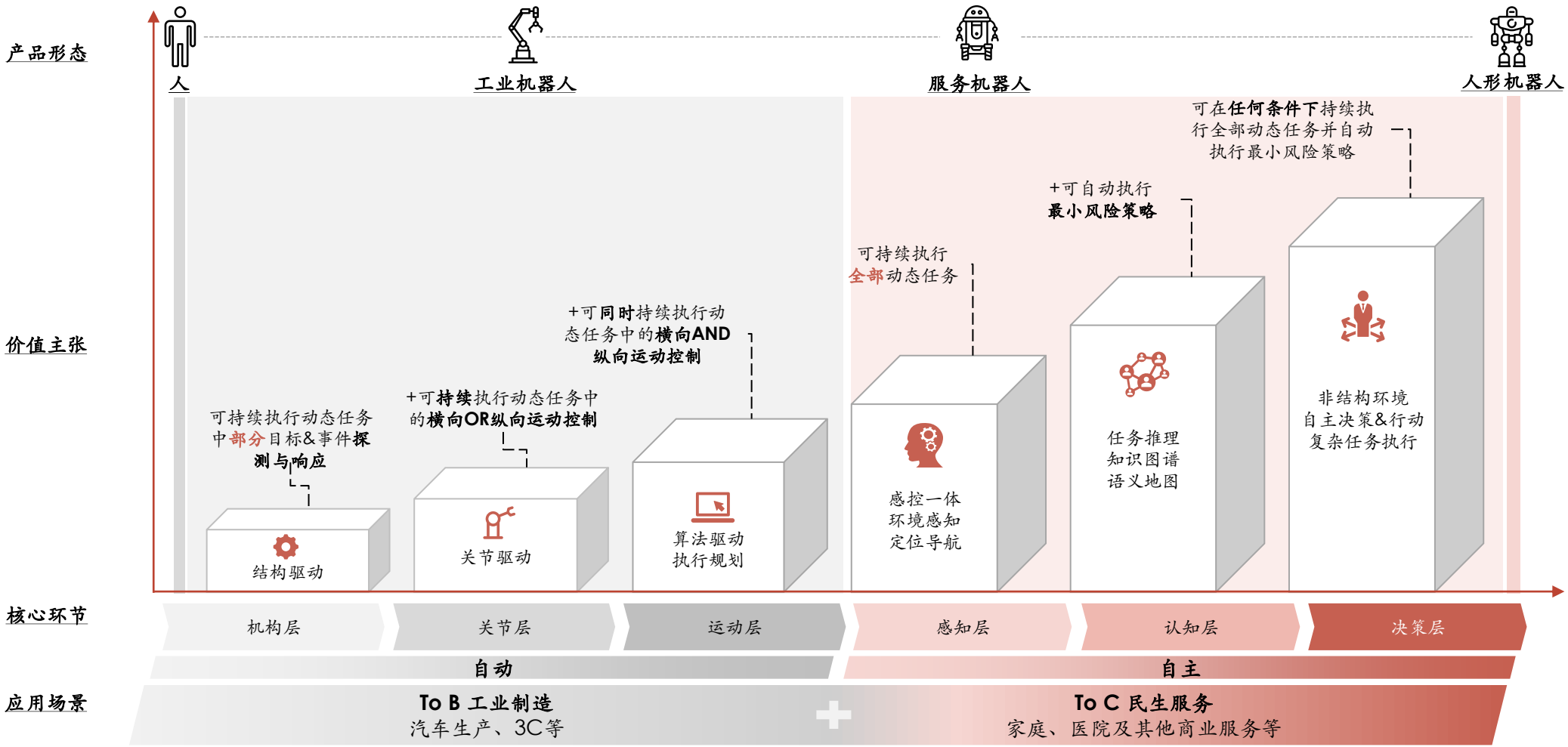
2023 AI技术成熟度曲线



数据来源：；Gartner

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

Atlas



新势力

星动纪元小星、宇树科技、智元机器人

定位：工业、物流

Digit



定位：物流

Optimus



定位：工业

汽车生产

丰田、小鹏

定位：工业、特殊环境

智能家居

小米、三星电子、追觅、戴森

定位：家庭服务

服务机器人

开普勒机器人、**优必选**
追觅科技、纯米科技

定位：教育、商业、工业

AI企业

LNP-拓尔思、1X
达阔科技、科大讯飞、有鹿机器人、洛必德尤达大师、加速进化

定位：康养、陪伴

Sophia



Ameca



定位：娱乐、陪伴

体能型 → **智能型**

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式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

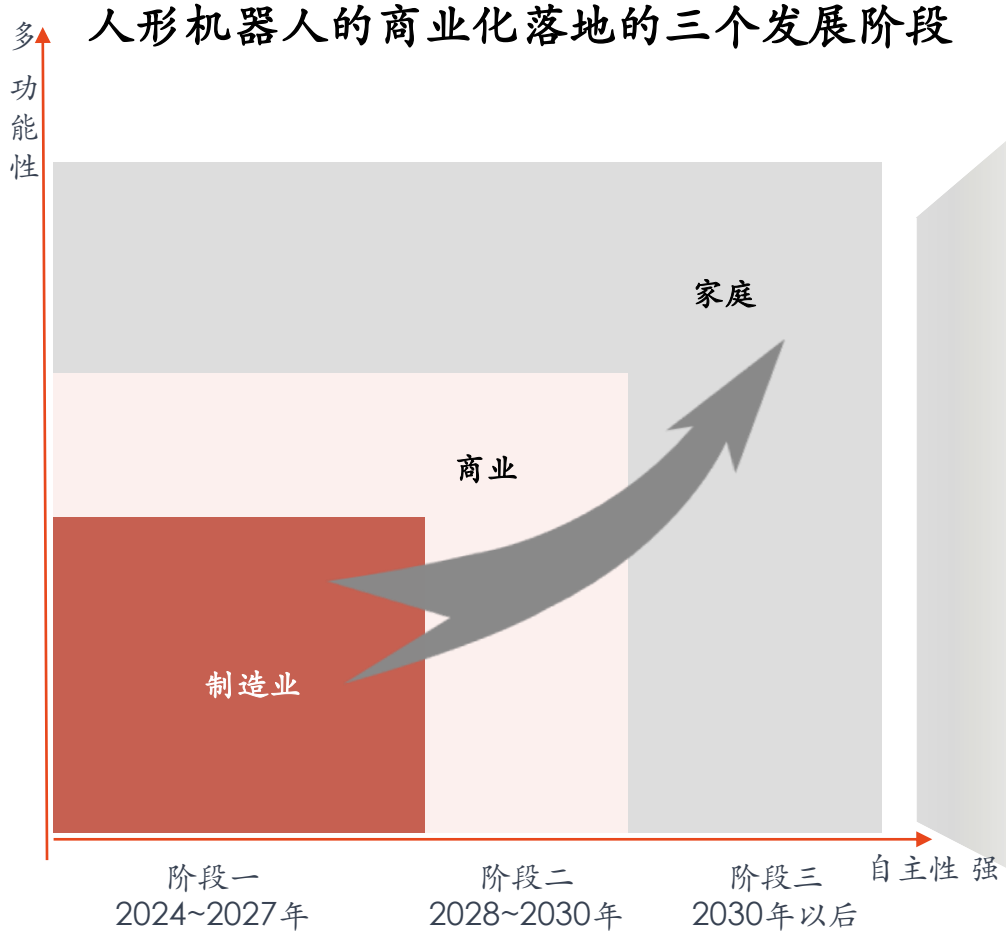
鲁棒性、命令执行的准确性　　多功能、流畅交互、高度自主

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）	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 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	• 主要用于生产环节，需要有一定的人机交互能力	• 面向群体为人，对于人机交互能力要求更高
技术壁垒	• 运动控制能力，手部精细化操作能力	• 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

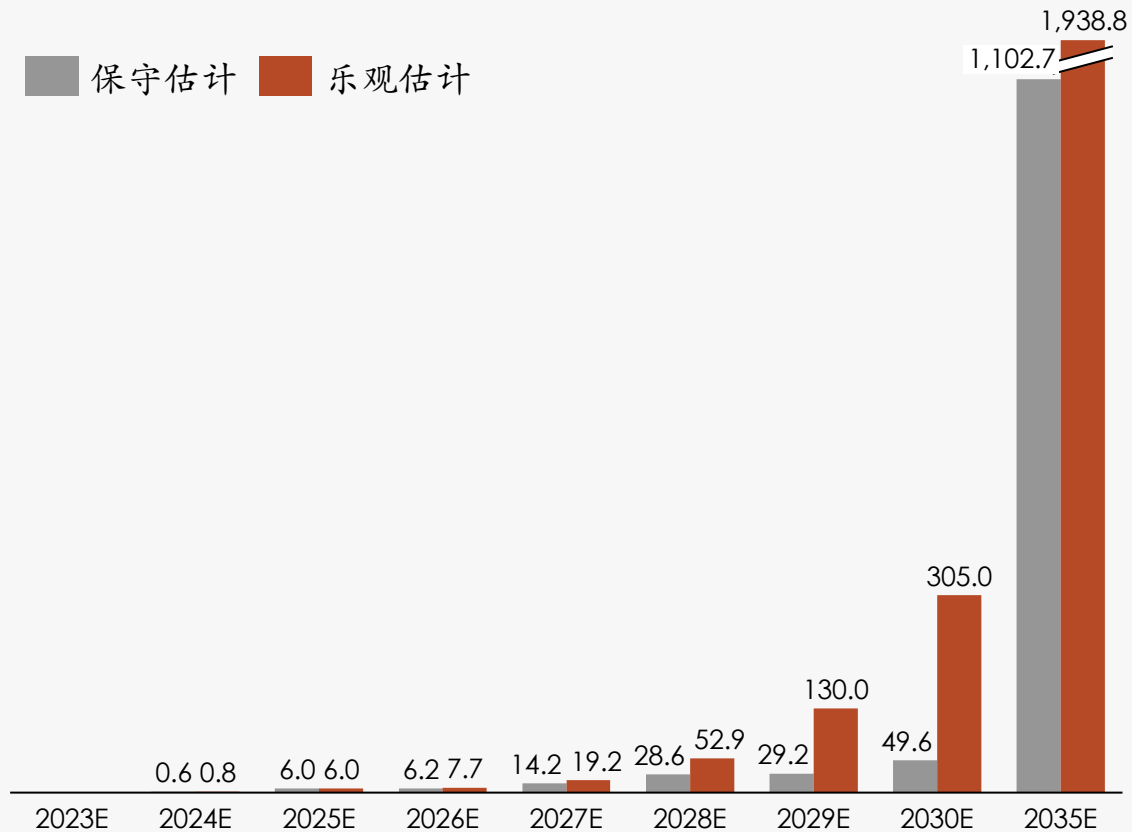
人形机器人迎来产业元年，市场规模保守估计2035年将达千亿美元

- 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；

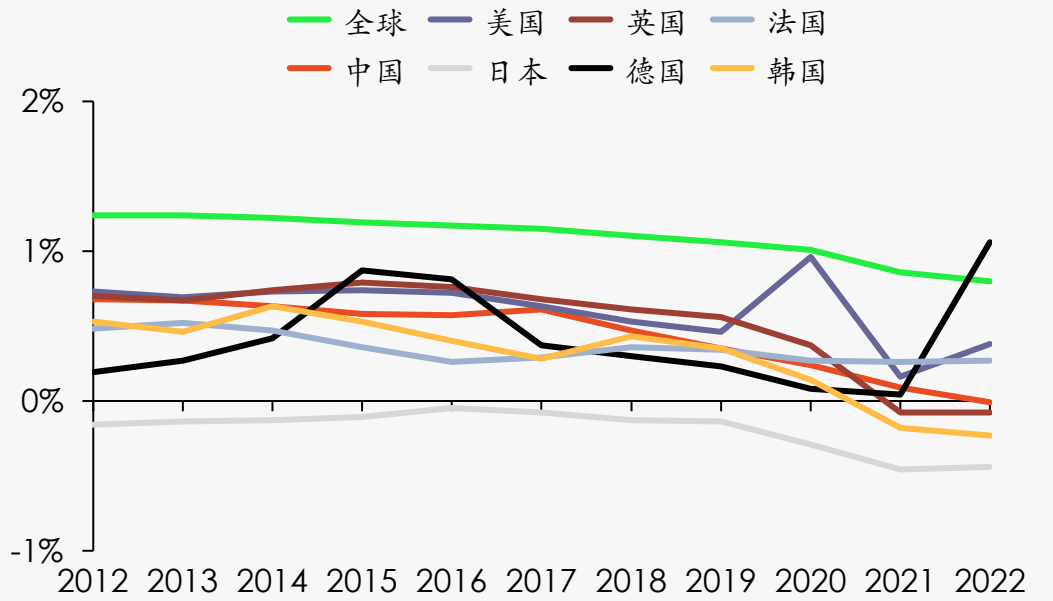
目录

- 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

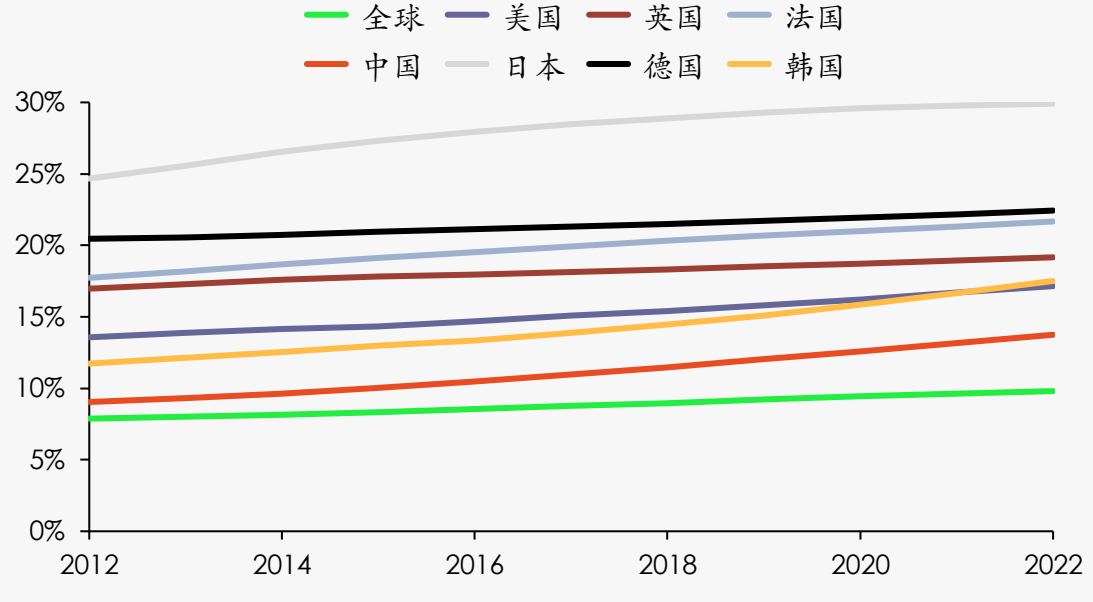
- **人口增速变缓，为人形机器人提供发展机遇：**全球人口呈总体下滑趋势，各主要国家除德国因战争导致的移民因素影响，其他国家人口增长均低于全球平均水平；日本、韩国和英国人口负增长率逐年加大，中国也于2022年开始呈现人口负增长现象。
- **人口结构老龄化趋势加剧，使人形机器人发展紧迫感加剧。**全球65岁以上人口占有率呈上升趋势，各主要国家无一例外均高于全球平均水平以上，其中日本表现最为严重，人口老龄化已接近30%；美国其次，老龄化占比20%以上。

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）



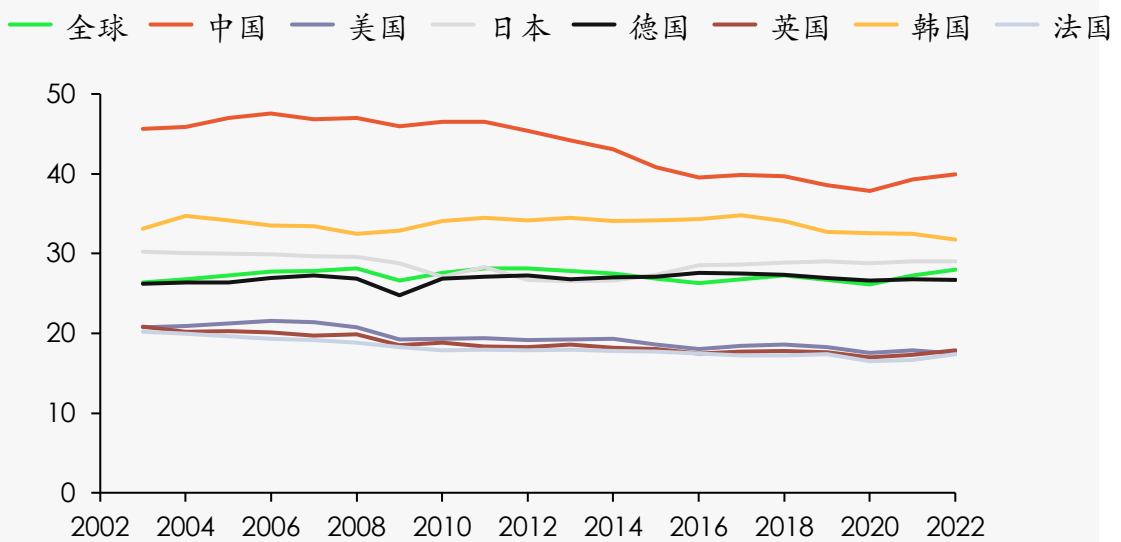
来源：世界银行

- 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

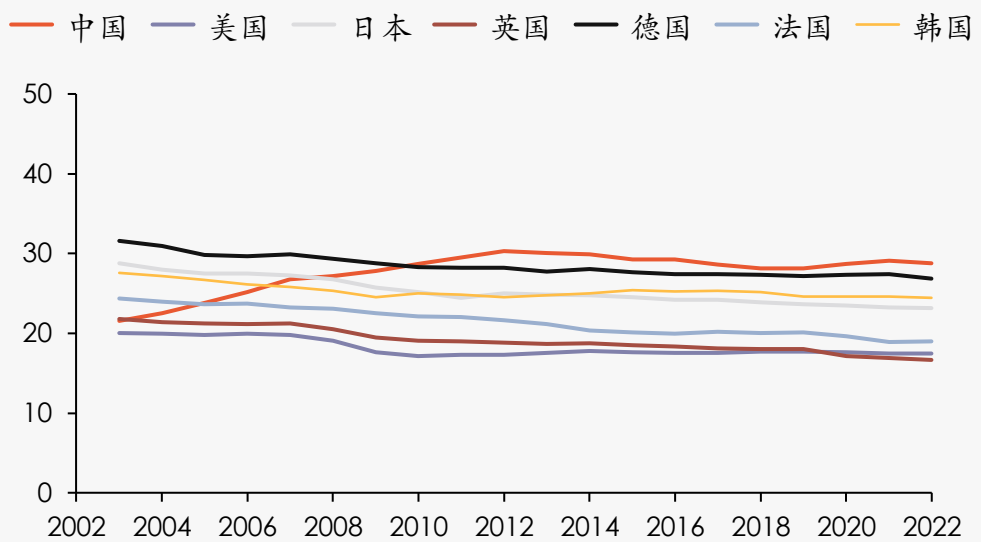
- 在成熟工业体国家，工业增加值占GDP的比重与从业人数的分布大致稳定。但在全球制造业回流以及人口增长减缓的或负增长的趋势下，机器替人成为必然。
- 在中国等发展中国家，机器人可有效提高生产效率，促进经济的发展和产业结构的升级及转型。

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



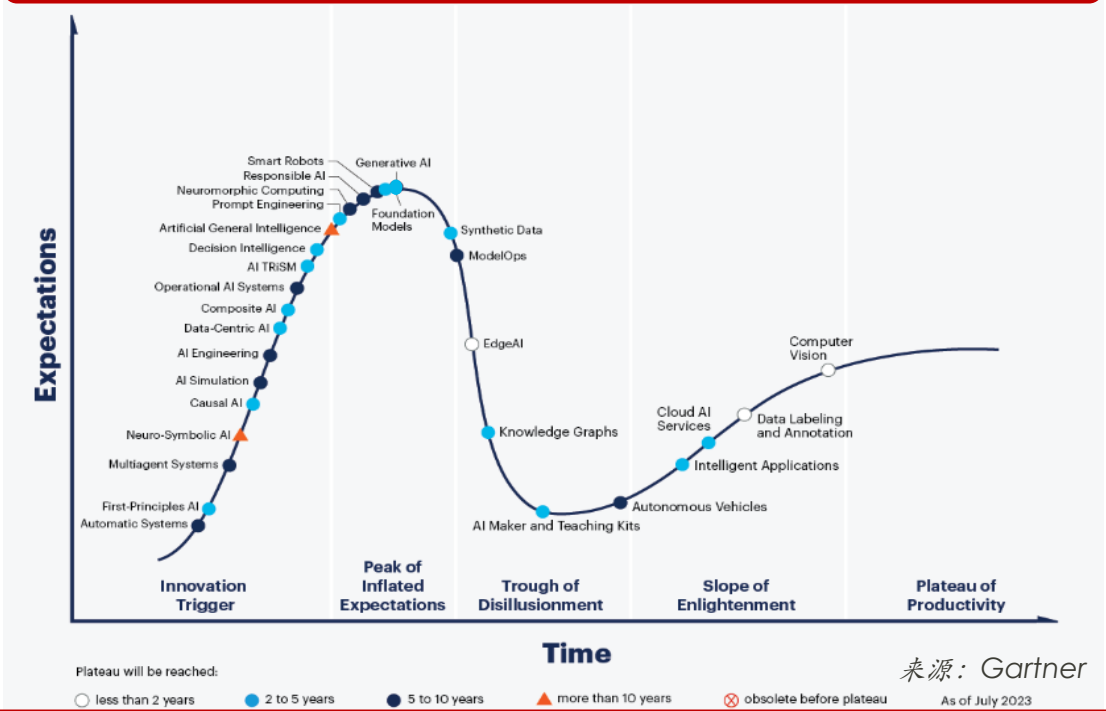
来源：世界银行

- 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。

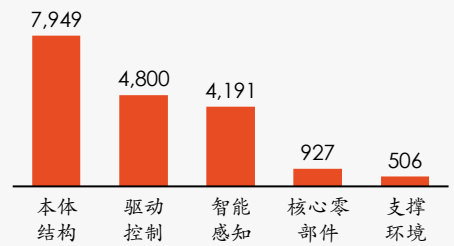
2023 AI技术成熟度曲线



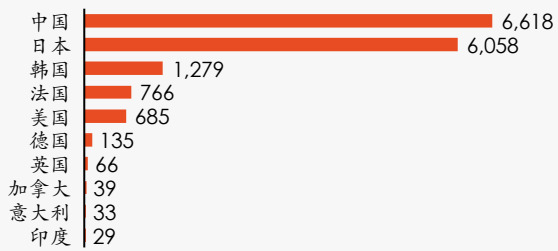
来源：Gartner

人形机器人技术专利数量布局情况 单位：件

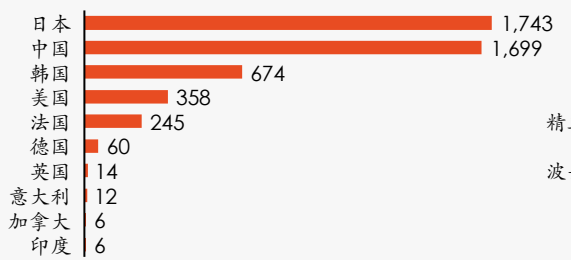
人形机器人各技术分支专利布局情况



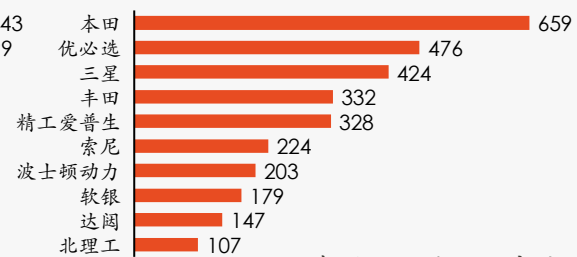
全球各国人形机器人技术专利累计申请量



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，狠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、竞争力和就业机会，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

M2 Consulting 觅途咨询

“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

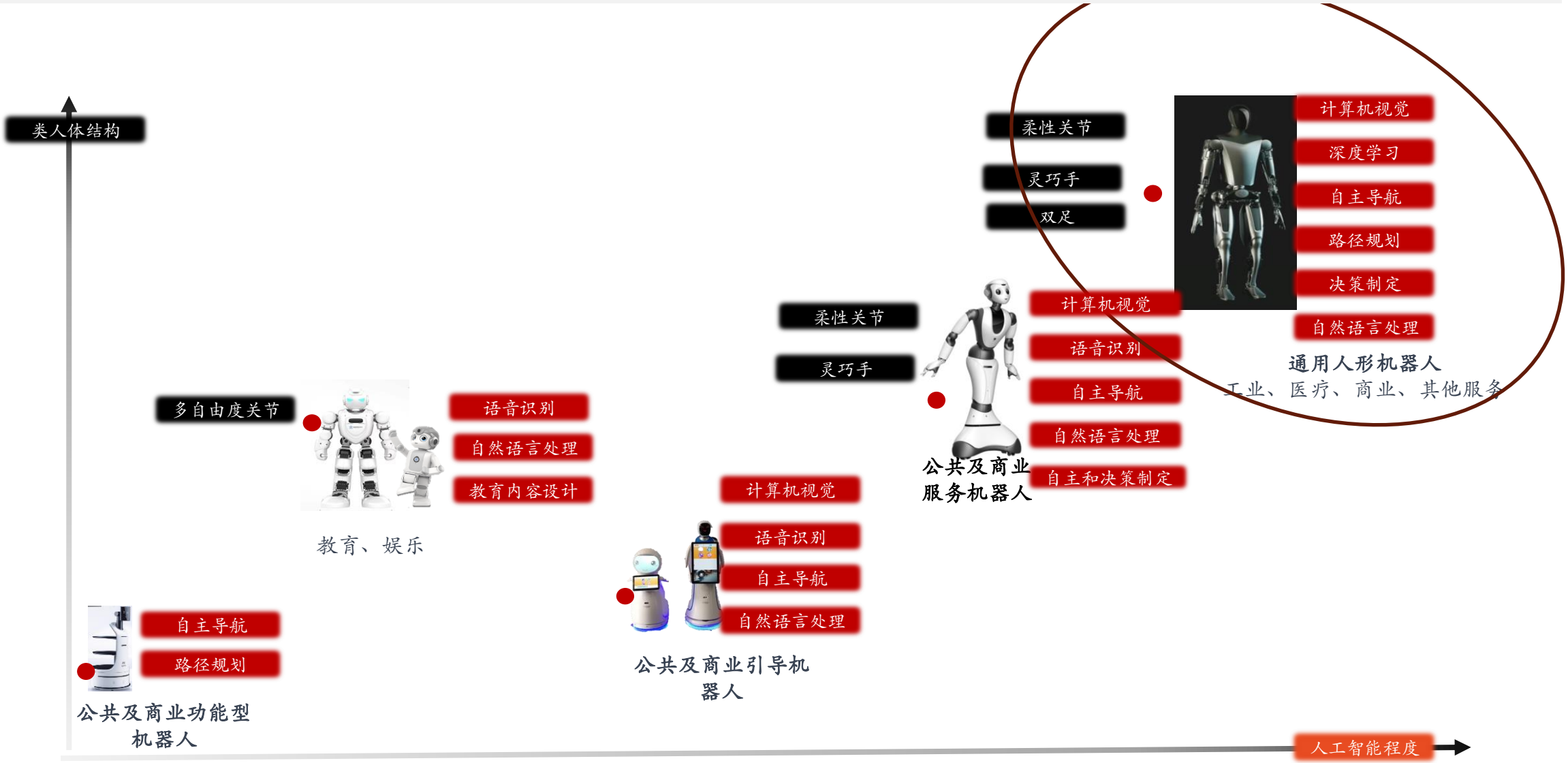
上海	《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划(2023-2025年)》	人工智能 大模型 产业生态 算法基地 • 瞄准人工智能技术前沿，构建通用大模型。 • 构建产业生态：打造10家头部品牌；100个示范应用场景；1000亿相关联产业规模。 • 建设国际算法创新基地，加快人形机器人创新发展。
深圳	《深圳市加快推动人工智能高质量发展高水平应用行动方案(2023-2024年)》	通用大模型 具身智能 制造业规模化应用 • 聚焦通用大模型、智能算力芯片、智能传感器、智能机器人、智能网联汽车等领域；开展通用型具身智能机器人的研发和应用；加快组建广东省人形机器人制造业创新中心。 • 发挥粤港澳大湾区制造业优势，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。

目录

- 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

运动控制能力

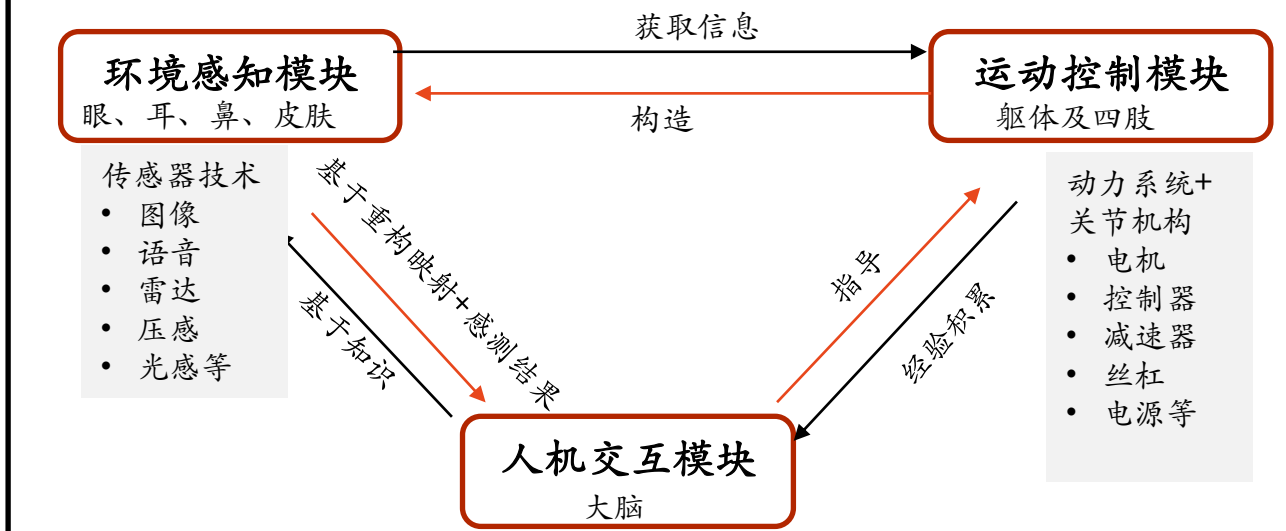
动力系统

关节机构
- 灵巧的手
- 旋转关节
- 线性关节



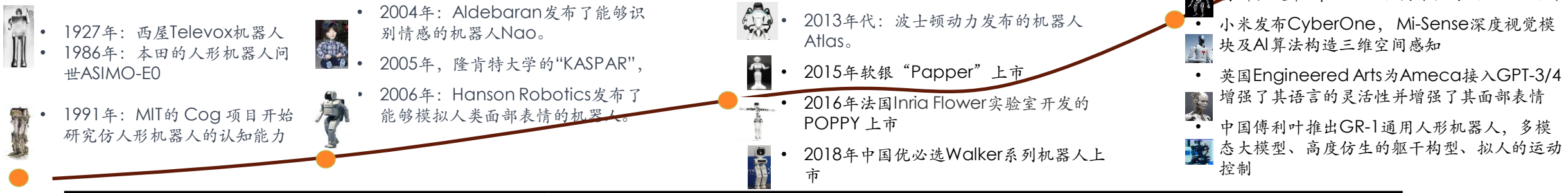
环境感知能力
- 视觉
- 位置
- 听觉
- 触觉
- 嗅觉

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Tesorflow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

关键词

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

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

运动控制技术的发展

运动控制+AI模型

2010.10

日本-本田ASIMO
- H:1.3m
- W:48kg
- F:57个
- V:2.7 km/h

运动控制：精致的髋关节可实现平稳旋转

2012.11

法国-Aldebaran Romeo
- H:1.4m
- W:36.7kg
- F:37个

运动控制：提出中心控制架构，可获得高质量的被动步态模式，可完成开门握手弄复杂行为

2014.6

日本-软银Pepper
- H:1.21m
- W:28kg
- F:20个

语音识别：可以分析表情和声调的情绪识别技术，可与人类进行交流

2017.11

日本-丰田T-HR3
- H:1.54m
- W:75kg
- F:32个

可穿戴式控制装置：可模仿用户的动作

2018.5

美国-波士顿动力 Atlas
- H:1.5m
- W:75kg
- F:28个

运动控制+视觉识别：“双眼”是两个立体传感器、配备RGB相机和深度传感器

2020

美国-敏捷机器人公司 DIGIT
- H:1.65m
- W:42.2kg
- F:16个

避障、上下楼梯。配合自动驾驶车辆送快递交付包裹

2022.9

美国-特斯拉 Optimus
- H:1.72m
- W:56.7kg
- F:40个

基于视觉神经网络预测能力的自动驾驶技术，与汽车共用AI

2023,3

美国-1X Technologies NEO
- H:1.680m
- W:83kg

拥有先进AI大脑，可在空间内自由移动，并能远程操控。

技术融合期

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业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

To C端的探索，重点在交互上

AI模型+通用人形机器人

2010.10

2012.11

2014.6



阿凡达机器人i宝
- H:1.05m
- W:12.5kg
- F:24个

自然语言对话；情绪表达，简单肢体

2017.6



达闼机器人Cloud Ginger XR-1
- H:1.6m
- W:65kg
- F:34个

2020

2021.7

优必选 Walker X
- H:1.3m
- W:63kg
- F:41个

实现了中国双足机器人行走能力的突破

小米 CyberOne
- H:1.77m
- W:52kg
- F:21个

2022.8

2023,7



宇树科技 Unitree H1
- H:1.8m
- W:47kg
- F:18个

智元机器人 远征 A1
- H:1.73m
- W:53kg
- F:49个

2023,8

傅利叶智能 GR-1
- H:1.65m
- W:55kg
- F:40个

技术融合期

目录

- 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


上游：零部件及系统
中游：研发及生产
下游：应用场景
执行器
旋转执行器
线性执行器
灵巧手
• 减速器
• 无框电机
• 力矩传感器
• 丝杠
• 空心杯电机
• 轴承
• 伺服电机
• 红外探测
• 步进电机
感知
力传感器
压力传感器、应变传感器、磁电传感器、压电传感器、扭转传感器
视觉传感器
图像传感器、相机、摄像头、雷达
编码器
控制与交互
算法和系统
步态规划、人机交互、手眼协调、视觉与导航、语言交互、IoT物联网
芯片
GPU CPU
动力
电池、充电装置
结构件
机体骨架、玻璃面罩、触摸屏
热管理系统
研发
本体生产
• 组装
• 测试
系统集成
• 软件系统集成
• 场景训练
军事
工业
汽车制造
电子组装
煤矿
化工业
食品加工
屠宰业
服务
家庭服务
• 教育
• 陪伴
商业服务
• 娱乐
• 餐饮
• 清洁
公共服务
• 安保
• 科研
• 物流
医疗护理
• 护理
• 养老

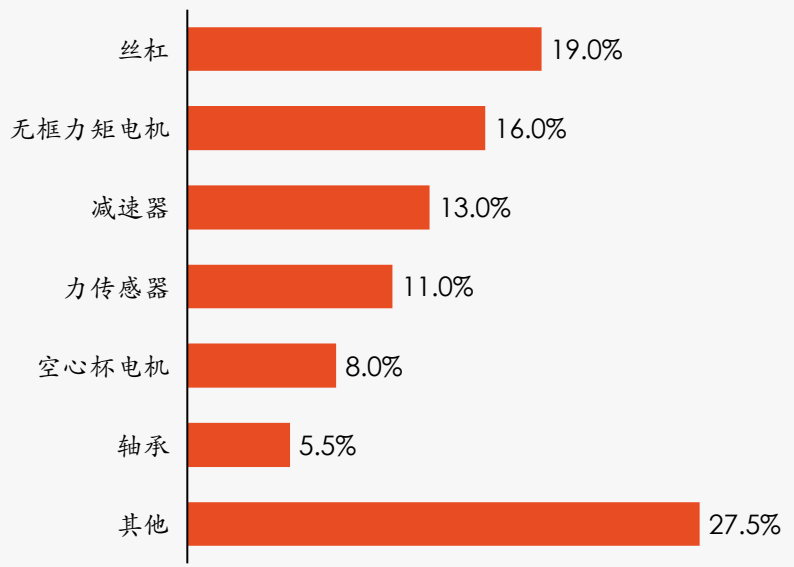
人形机器人核心硬件成本构成

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

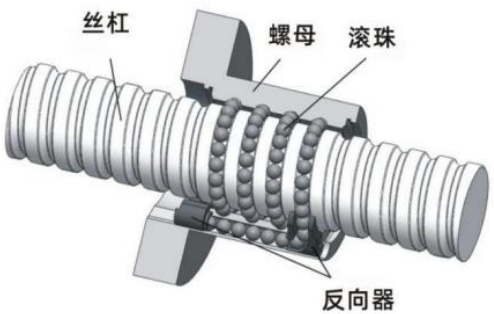
M2觅途咨询根据产品价值量核算，三大执行器（线性执行器、旋转执行器、灵巧手）占人形机器人主要零部件价值量的73%；主要由：丝杠、无框力矩电机、减速器、力传感器、空心杯电机及轴承构成。



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：

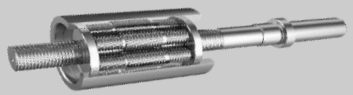
滚珠丝杠	外资+台资：上银 银泰 TBI NSK THK 黑田 SHUTON 斯凯孚 伊维莱 力士乐	本土：南京工艺 汉江机床
行星滚柱丝杠	外资：Rollvis GSA 伊维莱 CMC	本土：南京工艺 济宁博特 优士特

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：**丝杆主要由丝杆和螺母两部分组成。丝杆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杆来移动沿丝杆的方向。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	通过梯形丝杆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	行星滚柱丝杆以丝杆旋转作为驱动，当丝杆旋转时，滚柱围绕丝杆作行星运动，同时通过螺旋传动原理将丝杆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

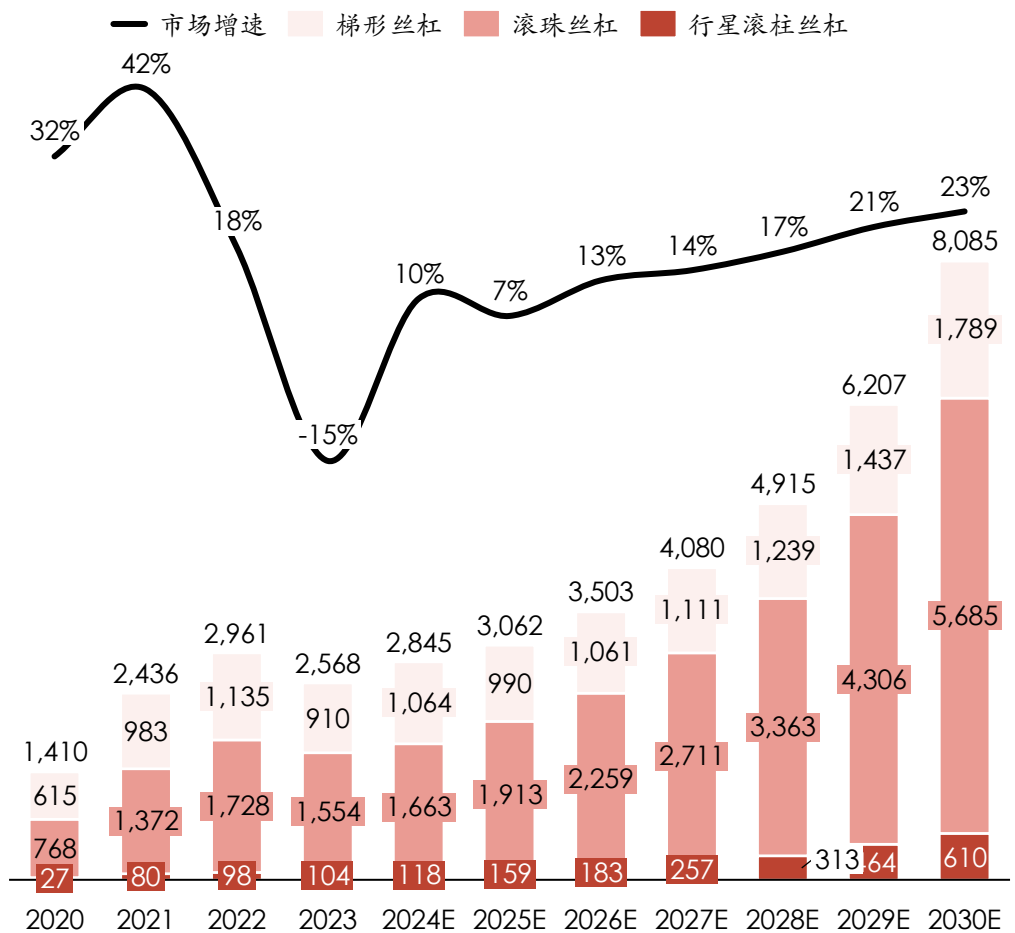
核心零部件市场介绍——丝杠-市场增长

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：

1）**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%

2）**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。

3）**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：

1）**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；

2）**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%

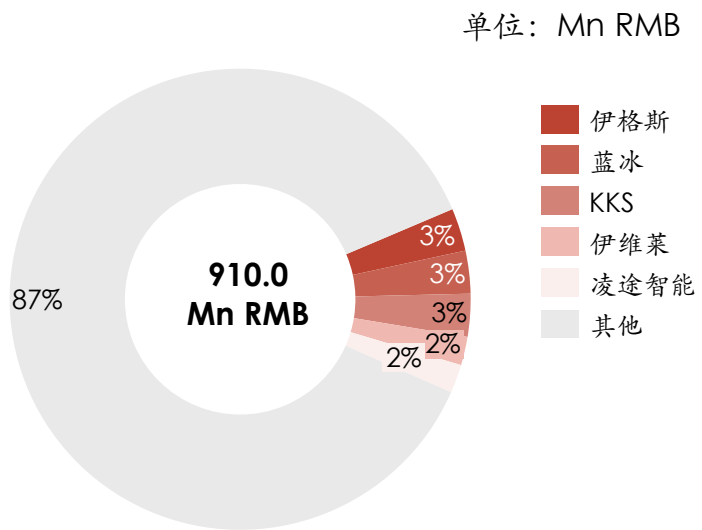
3）**行星滚柱丝杠：**下游行业多为军工、航空、机器人这类高精尖行业，需求还未充分发挥，同时技术壁垒较高，需要较长时间才能得到广泛应用，预计市场占比将从2023年的5%提升至2030年的8%，期间CAGR为31%

Data Source：M2觅途咨询

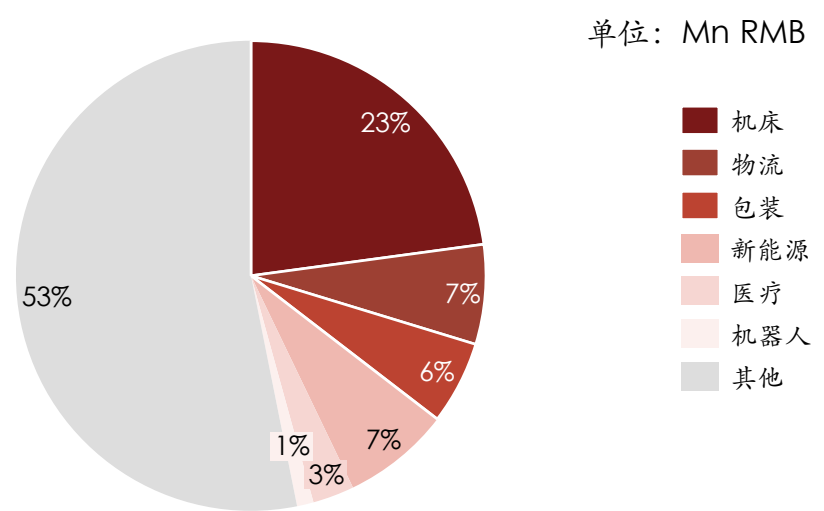
核心零部件市场介绍——梯形丝杠-竞争格局及行业应用

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

萌芽期 ~1950年

产品诞生于美国，商业化起步于汽车行业

- 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

发展期 1950~2000年

技术进步，行星滚柱丝杠开始发展

- 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

中国技术开始发展

- 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

成熟期 2000~至今

市场格局形成，

中国技术进步，开始步入国产替代阶段

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

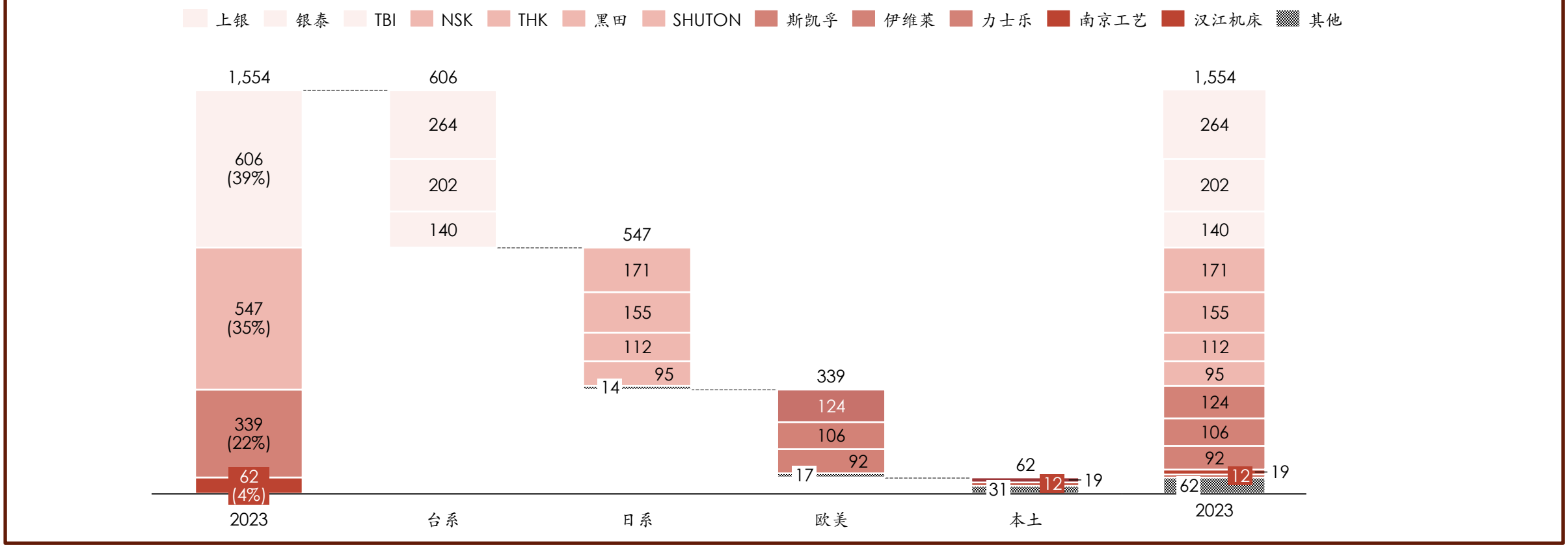
目前，中低档产品与国外同类产品差距较小或基本持平，但生产效率低于国外；
高性能、高档次的产品与NSK、THK、INA等知名企业有明显差距，尚无在国际上有影响力的知名品牌

Data Source：M2觅途咨询

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

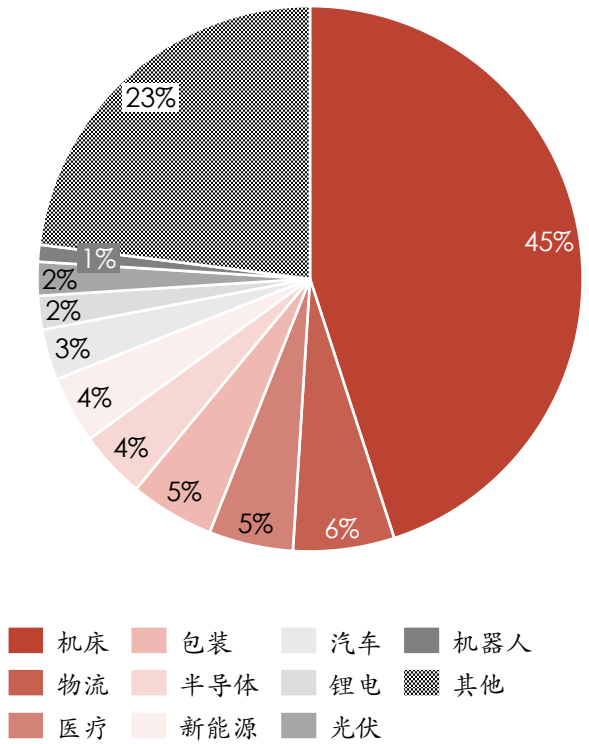
Data Source：M2觅途咨询

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

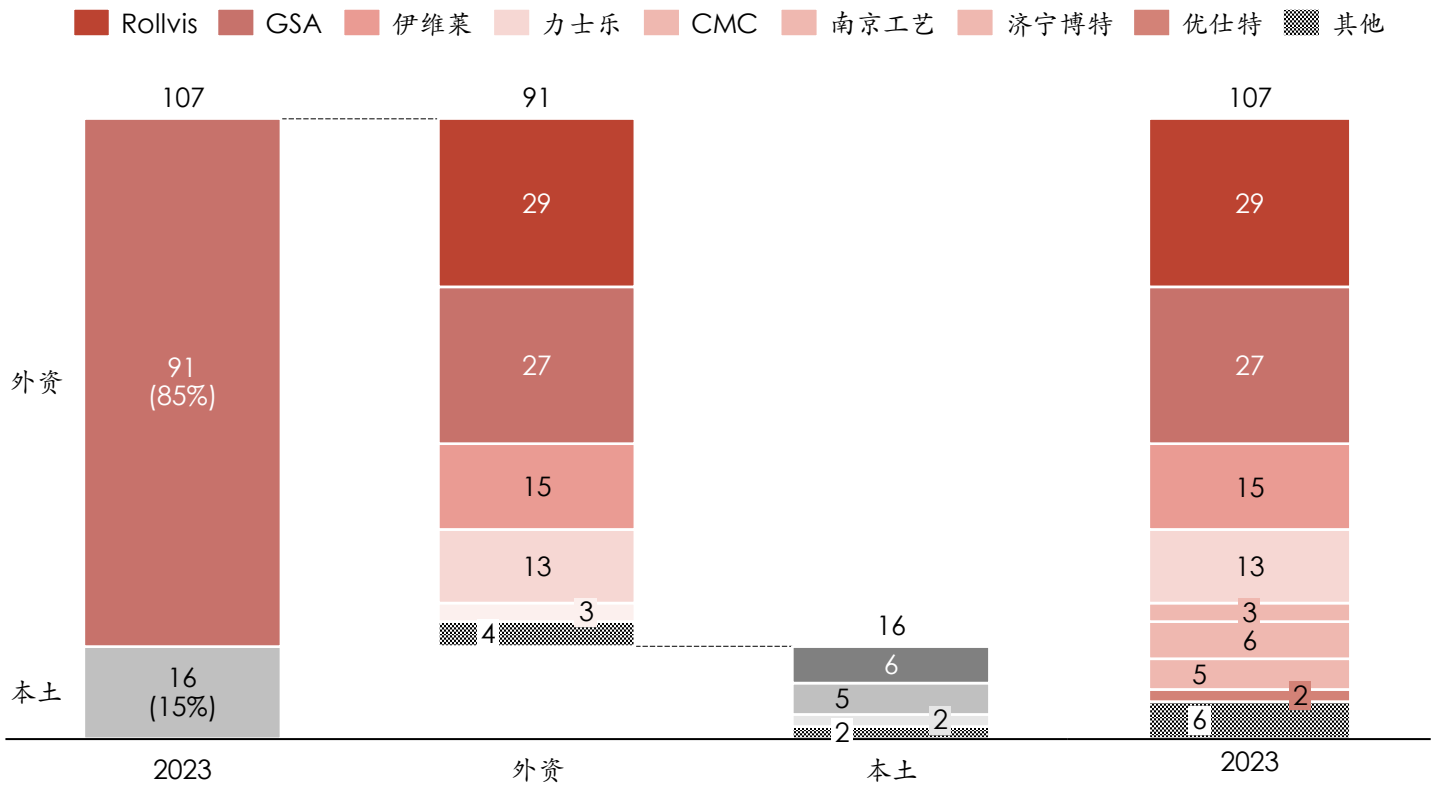
中国的博特精工、优励聂夫、扬州众孚及精密机电控制设备研究所等都对行星滚柱丝杠进行了试制和少量的生产

Data Source：M2觅途咨询

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

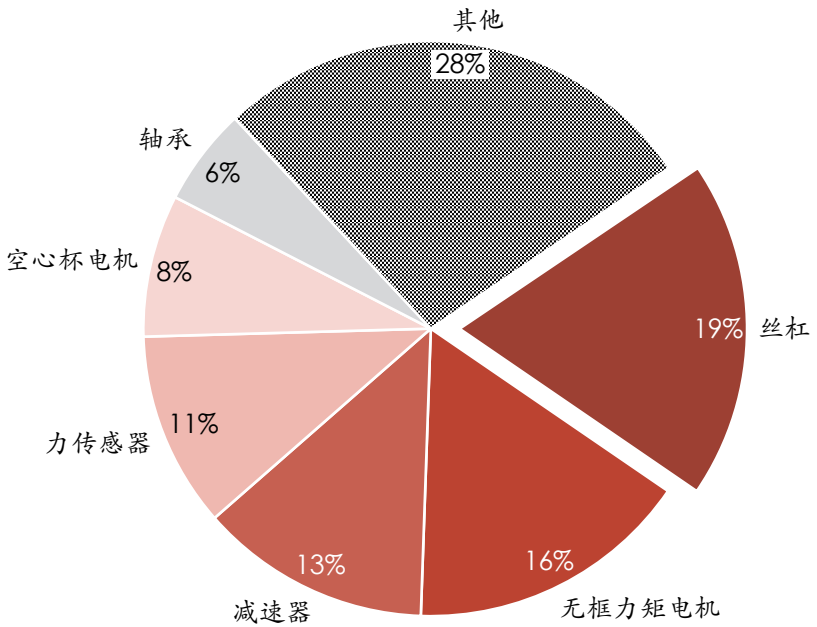
Data Source：M2觅途咨询

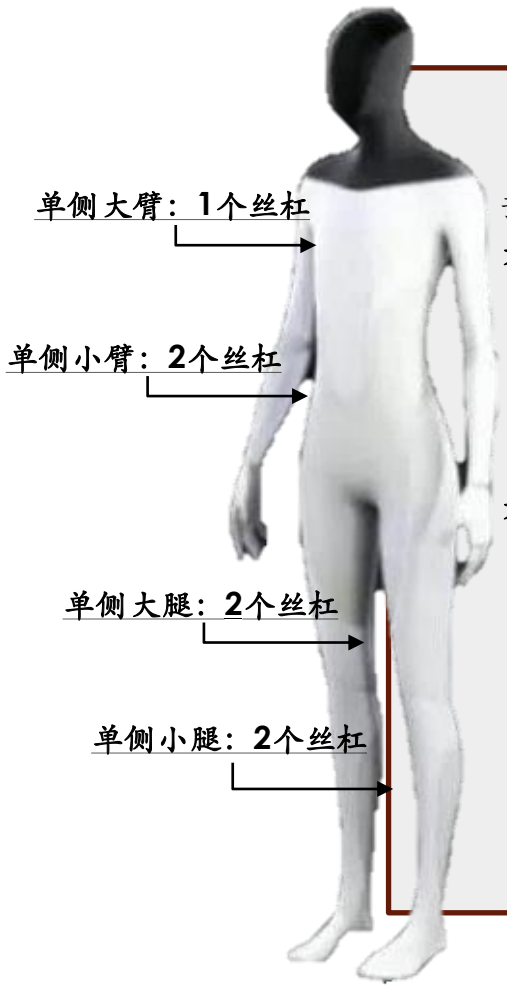
人形机器人领域的丝杠产品应用

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

Data Source：M2觅途咨询

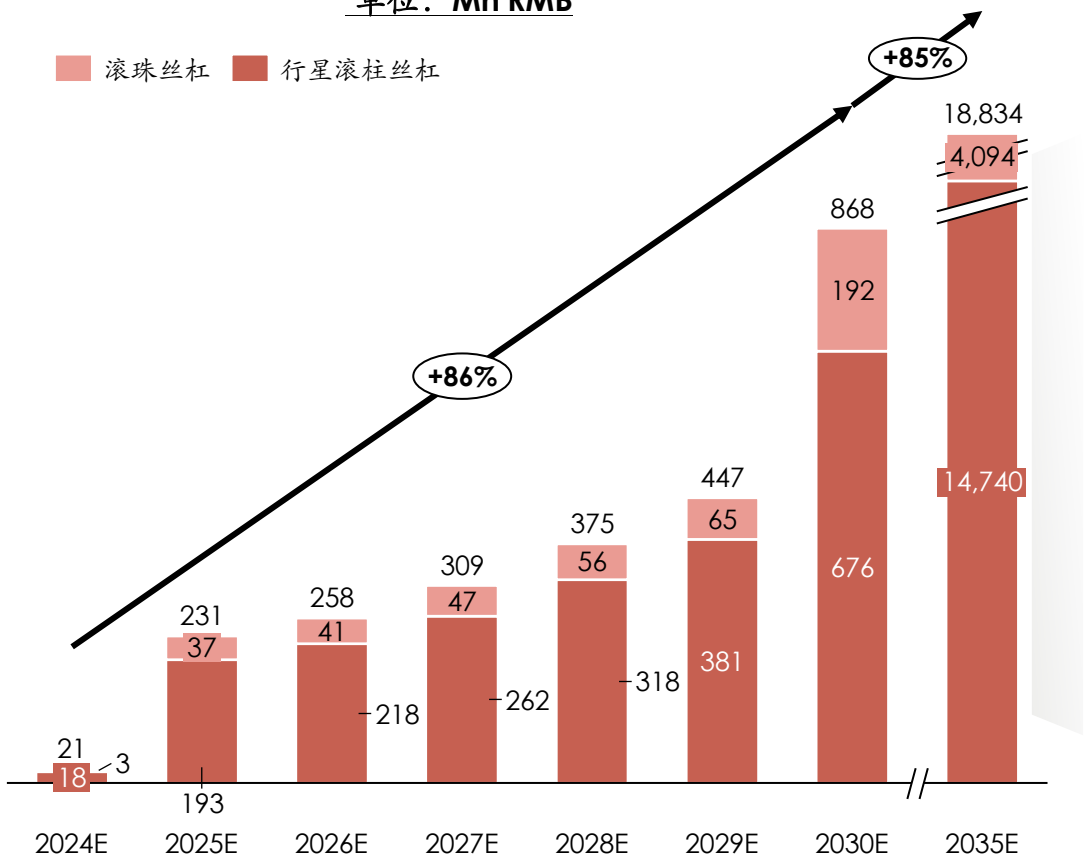
人形机器人领域的丝杠产品市场规模预期

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

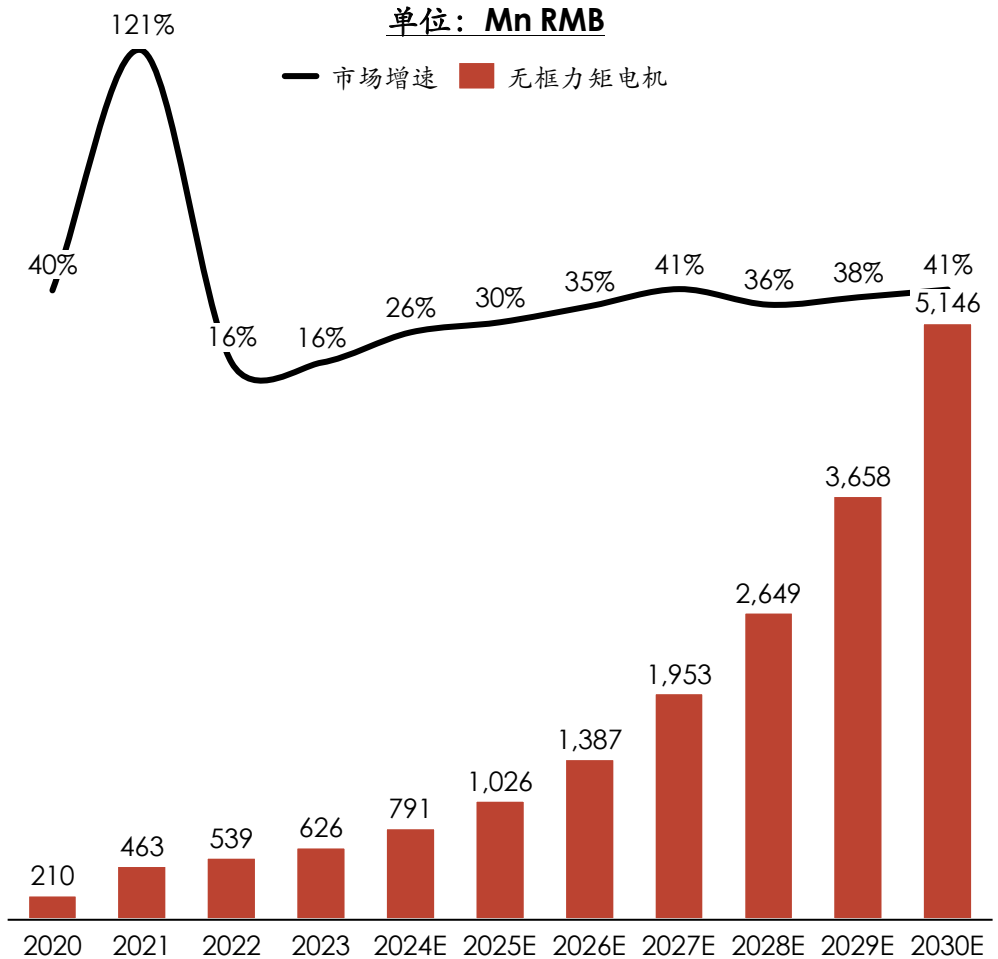
Data Source：M2觅途咨询

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）

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：

1）**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%

2）**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%

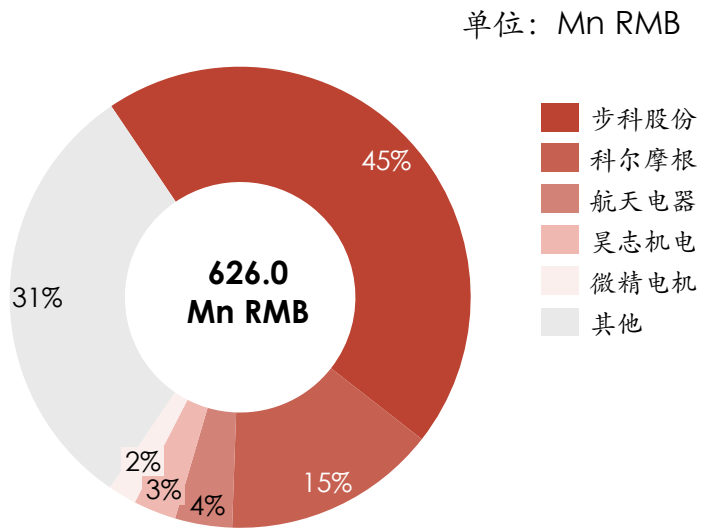
3）**2026-2030**：经济逐步复苏，工业制造业、服务业等领域的自动化替代需求进一步释放，机器人行业也将有更快的增长。M2预计，此阶段无框力矩电机市场在多种需求叠加拉升和本身技术发展的情况下高速发展，综合增长率接近40%，如果人形机器人行业发展良好有望实现更高增长

Data Source：M2觅途咨询

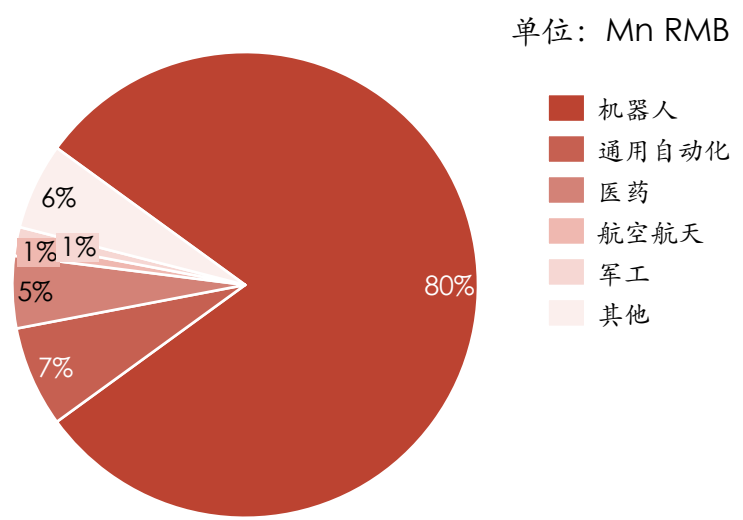
核心零部件市场介绍——无框力矩电机-竞争格局及行业应用

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：

1）**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否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

2）**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：

1）**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

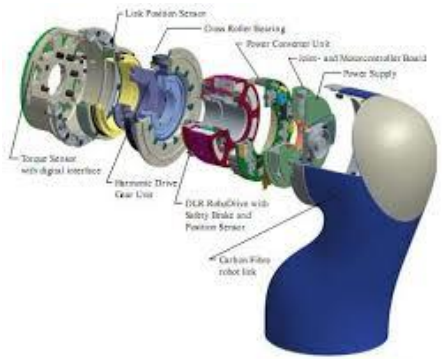
Data Source：M2觅途咨询

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

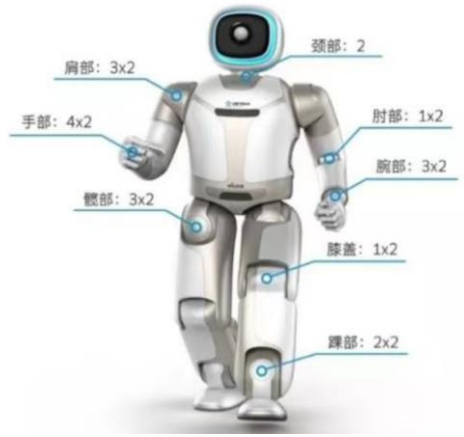
应用：

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

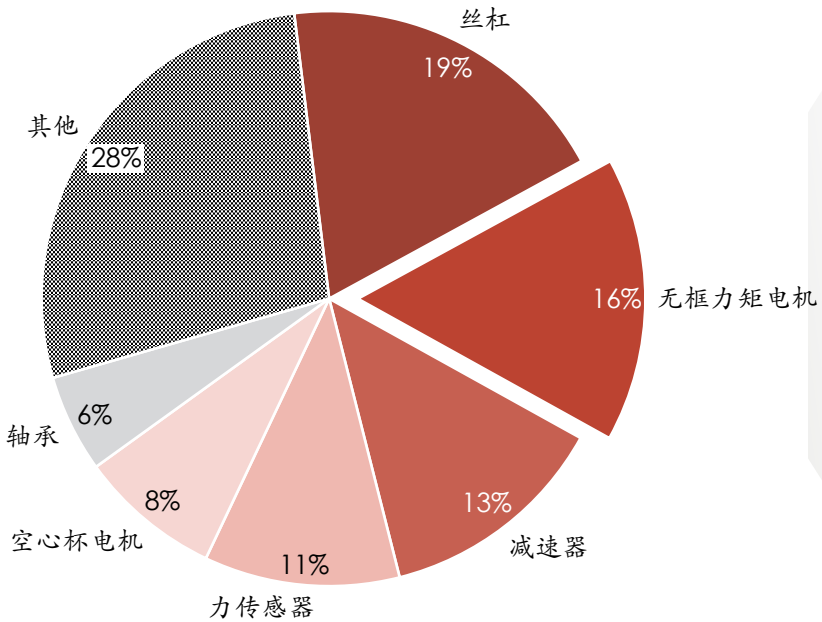
Data Source：M2觅途咨询

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

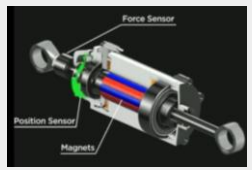
无框力矩电机产品在人形机器人硬件设备中的成本占比



特斯拉Optimus方案

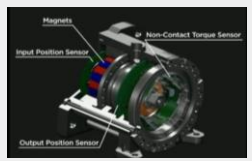


预计特斯拉Optimus中共使用28个无框力矩电机，分别使用在14个线性执行器和14个旋转执行器中



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

Data Source：M2觅途咨询

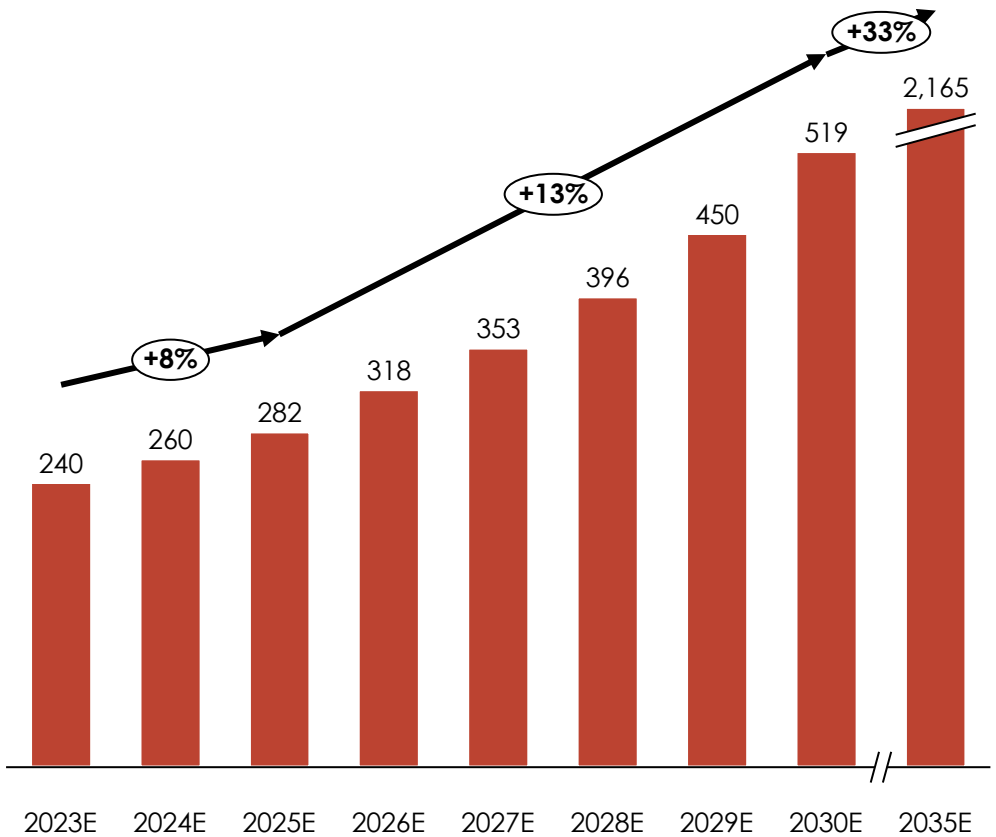
人形机器人领域的无框力矩电机产品市场规模预期

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

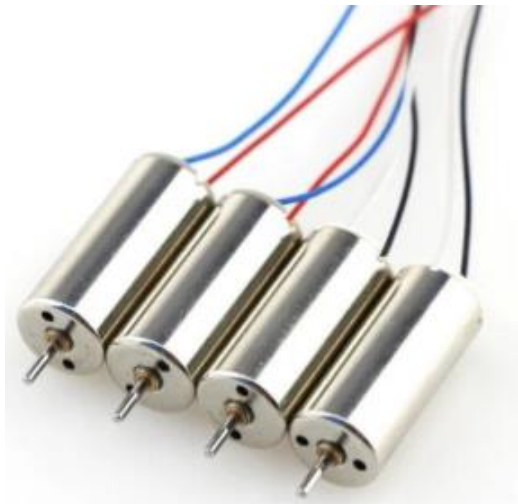


	2023E	2024E	2025E	2030E	2035E
全球人口（亿人）	80	80.5	81	85	87
人形机器人渗透率（台/百万人）	0.0	0.1	1.7	8.9	360.9
人形机器人销量（万台）	0	0.12	1.4	7.57	314
无框力矩电机单价（元/个）	1,500	1,470	1,441	1,302	1,177
平均单台用量（个）	20	20	20	20	20
单台价值量	30,000	29,400	28,812	26,044	23,542
无框力矩电机市场空间（百万元）	-	44	498	2,319	84,966

- **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

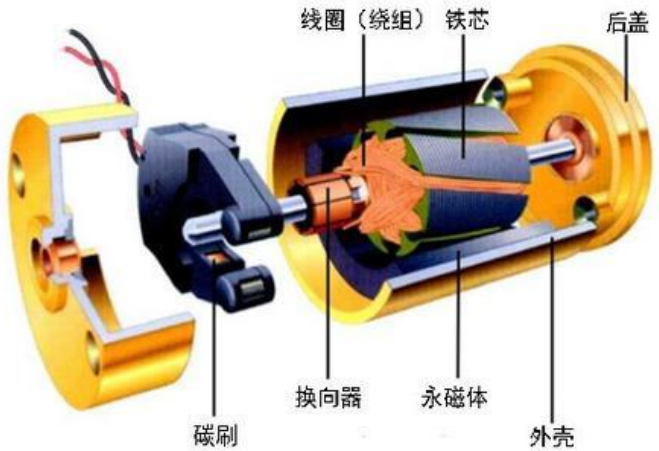
核心零部件市场介绍——空心杯电机-产品介绍

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

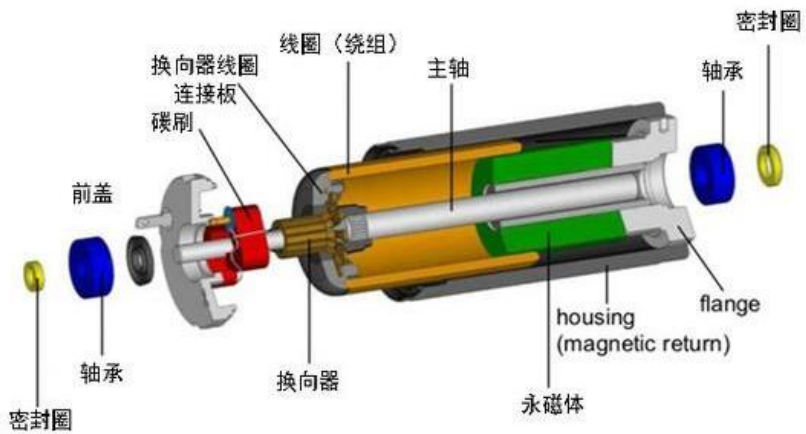
- **基本定义：**空心杯电机是一种采用无铁芯转子的直流永磁伺服控制电机，由于采用无铁芯转子结构空心杯电机消除了因铁芯形成涡流而造成的电能损耗，同时其重量和转动惯量大幅降低，减少了转子自身的机械能损耗，大幅提高了电机的运转性能。电刷是有刷电机的一个重要组成元件，负责在旋转部件与静止部件之间传导电流，空心杯电机主要分为有刷空心杯电机和无刷空心杯电机。在机器人领域，空心杯电机主要用于机械关节控制，力度控制更精准灵敏。

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

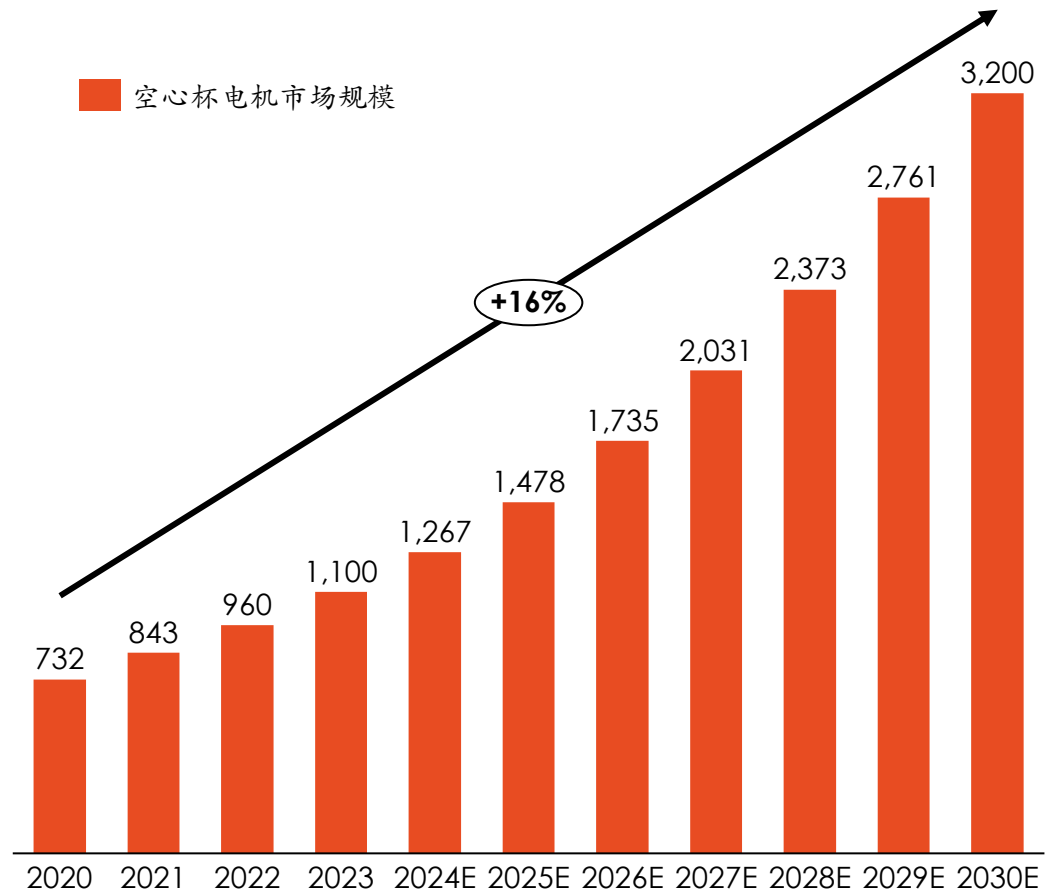
Data Source：M2觅途咨询

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：

1）**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。

2）**2023-2030E：空心杯电机市场未来将保持~16%的增速扩大，原因如下：**

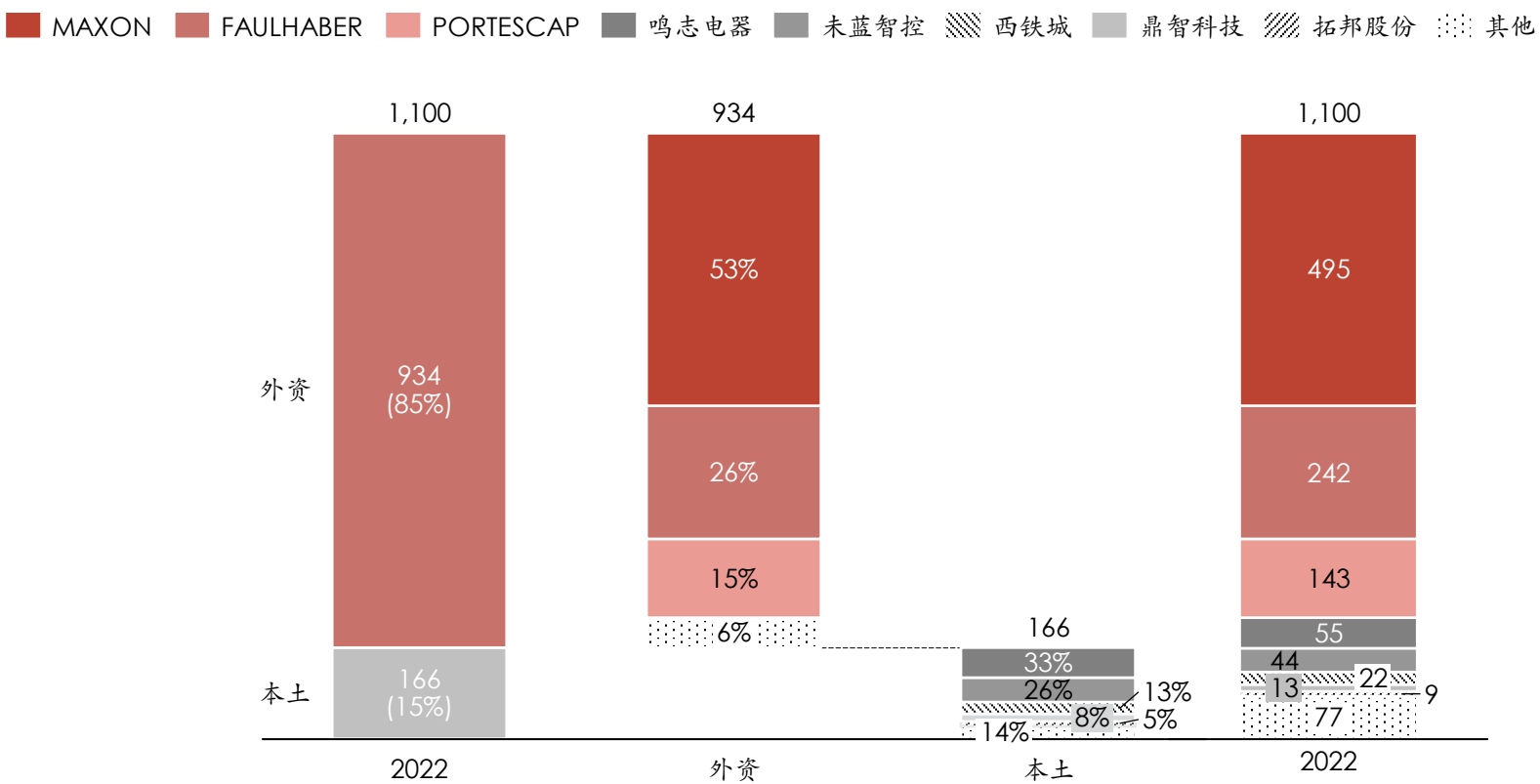
- 随着人口老龄化进程加快，对医疗设备配套措施的需求也在增加。据iFind统计，2021年中国医疗器械市场增速达~16%，M2预测空心杯市场的主要下游行业----医疗器械市场将进一步扩大，带动空心杯电机市场的增长
- 空心杯电机潜力市场还和传统行业数字化转型相关，工信部明确到2025年，突破50种以上智能监测装备、核心零部件，部分高端装备达到国际先进水平，并深化智能检测装备再机械、汽车、航空航天、医药等多个领域规模化应用，智能装备的应用将推动空心杯电机的应用

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



- **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

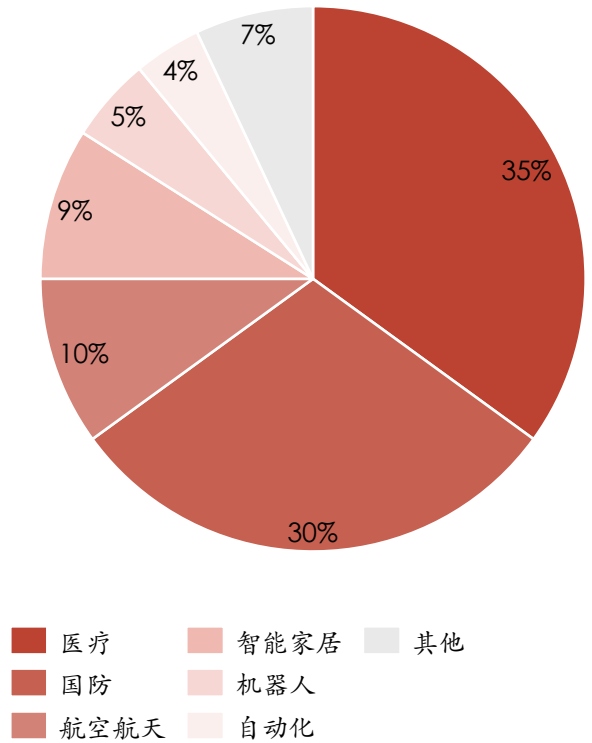
Data Source：M2觅途咨询

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%。

Data Source：M2觅途咨询

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

Data Source：M2觅途咨询

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

Data Source：M2觅途咨询

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/998120130045006121