

中国平安 PINGAN

专业·价值

专业 让生活更简单

证券研究报告

人形机器人系列专题（二） 执行系统之旋转关节：扭矩跃升，动力内核

电子行业 强于大市（维持）

证券分析师

徐碧云 投资咨询资格编号：S1060523070002

2025年3月17日

请务必阅读正文后免责条款

平安证券

投资要点

- **执行器：驱动关节活动，电驱动已成主导。** 执行器即一体化关节，其本质是将电机的旋转运动转化为驱动连杆机构的运动。执行器当前占人形机器人整体成本约55%，性能和成本主要取决于核心零部件。根据动力来源，执行器可分为液压、气动和电驱动三类，电驱动凭借成本低、控制精度高和密闭性优等特点，成为主流方案。人形机器人躯干的执行器分为旋转执行器与线性执行器两类，不同之处在于传动机构：旋转执行器采用减速器，而线性执行器采用行星滚柱丝杠，国内大部分本体厂以旋转执行器方案为主。从趋势上看，高性能、智能化、微型化的一体化关节模组是降低人形机器人制造成本的关键。
- **电机：产生驱动转矩，无框力矩电机应用广泛。** 电机是将电能转换为机械能的动力源，是人形机器人中最常用的驱动器件之一。机器人自由度越高，所需的电机数量越多。电机的种类繁多，不同类型的电机在结构和性能上各有特点，适用于不同的应用场景。无框力矩电机以高转矩密度、紧凑结构和散热优势在人形机器人关节单元方案中广泛应用。GGII数据显示，2023年中国无框力矩电机市场规模1.80亿元，同比增长19.73%，其中协作机器人市场需求占比约为70%。美国科尔摩根等海外厂商是行业的头部玩家，步科股份等国内领军企业与国际领先企业产品仍存在一定技术差距。
- **减速器：增加扭矩，谐波和精密行星最适配人形。** 减速器在原动机和工作机或执行机构之间起降低转速和增加扭矩的作用，主要应用在机械传动领域。根据原理不同，精密减速器主要分为谐波减速器、RV减速器、摆线针轮减速器、行星减速器等，由于传动原理和结构等技术特点差异，各类减速器在下游产品及应用领域方面各有侧重。本体厂基于不同减速器的特征、成本等因素的考量，采用不同的减速器方案。鉴于人形机器人对减速器小型化和轻量化要求高，谐波和精密行星减速器最适配。
- **投资建议：** 国内大部分人形机器人厂商的执行器方案以旋转执行器为主，其旋转关节模组对扭矩密度、动态响应等指标要求更高，需强化定制化开发能力，降低本体企业研发成本，并可提升产品易用性及灵活性。未来随着技术的升级、产业链降本以及新型应用场景的不断拓展，人型机器人也有望早日商业化落地，国内上游执行器、电机、减速器等核心零部件相关公司也在积极布局，建议关注三花智控、震裕科技、绿的谐波、中大力德、步科股份、卧龙电驱、双环传动、雷赛智能、禾川科技、伟创电气等。
- **风险提示：** 1) 人工智能技术发展不及预期。2) 行业竞争加剧风险。3) 技术迭代不及预期。



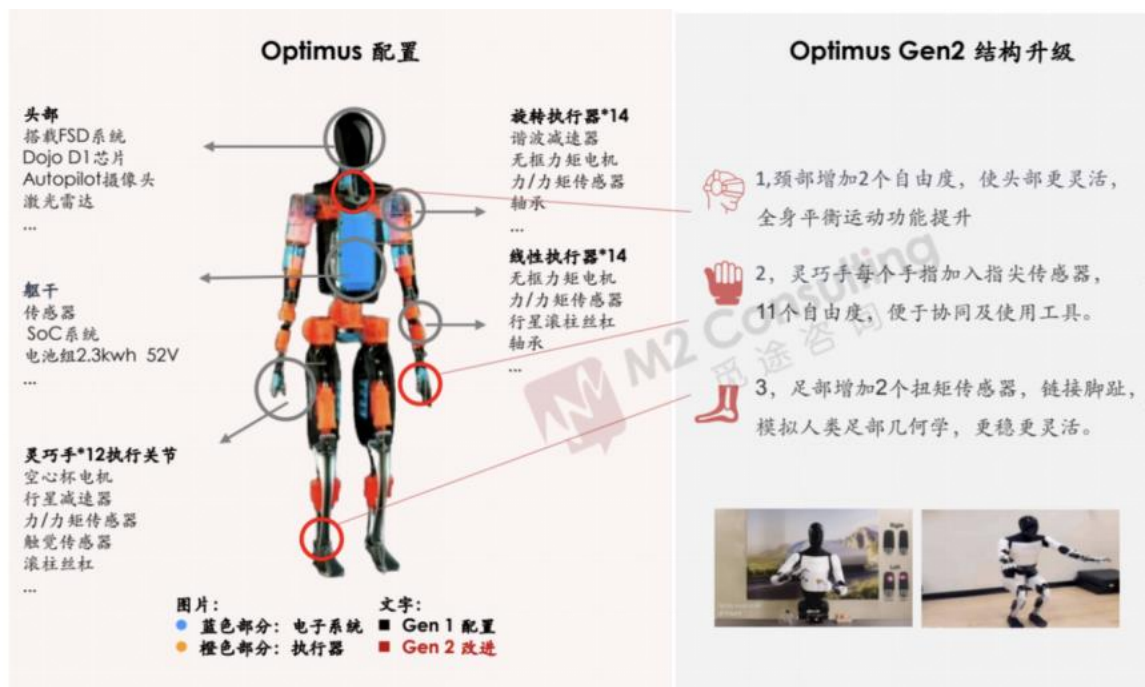
目录CONTENTS

- ① 执行器：驱动关节活动，电驱动已成主导
- ② 电机：产生驱动转矩，无框力矩电机应用广泛
- ③ 减速器：增加扭矩，谐波和精密行星最适配人形
- ④ 投资建议及风险提示

热点 | 宇树科技机器人H1在春晚出圈

- 2022年9月，特斯拉在AI Day上发布Optimus Gen1；2023年12月，Tesla发布了Optimus Gen2。Optimus Gen1主体共28个自由度，包括14个旋转自由度、14个线性自由度；Optimus Gen2在脖颈处增加2个自由度，全身具备30个自由度。2025年1月CES展上，马斯克表示特斯拉在2025年将生产数千台人形机器人，并在工厂初步测试，如果一切进展顺利，2026年产量将增加10倍，目标生产5万到10万台，后年再增加10倍。
- 2025年春节联欢晚会上，宇树科技的16个人形机器人H1亮相，身着秧歌服、手持红手帕登上舞台表演扭秧歌，流畅的动作引起观众广泛关注和热议。

◎ 特斯拉Optimus配置结构升级示意图



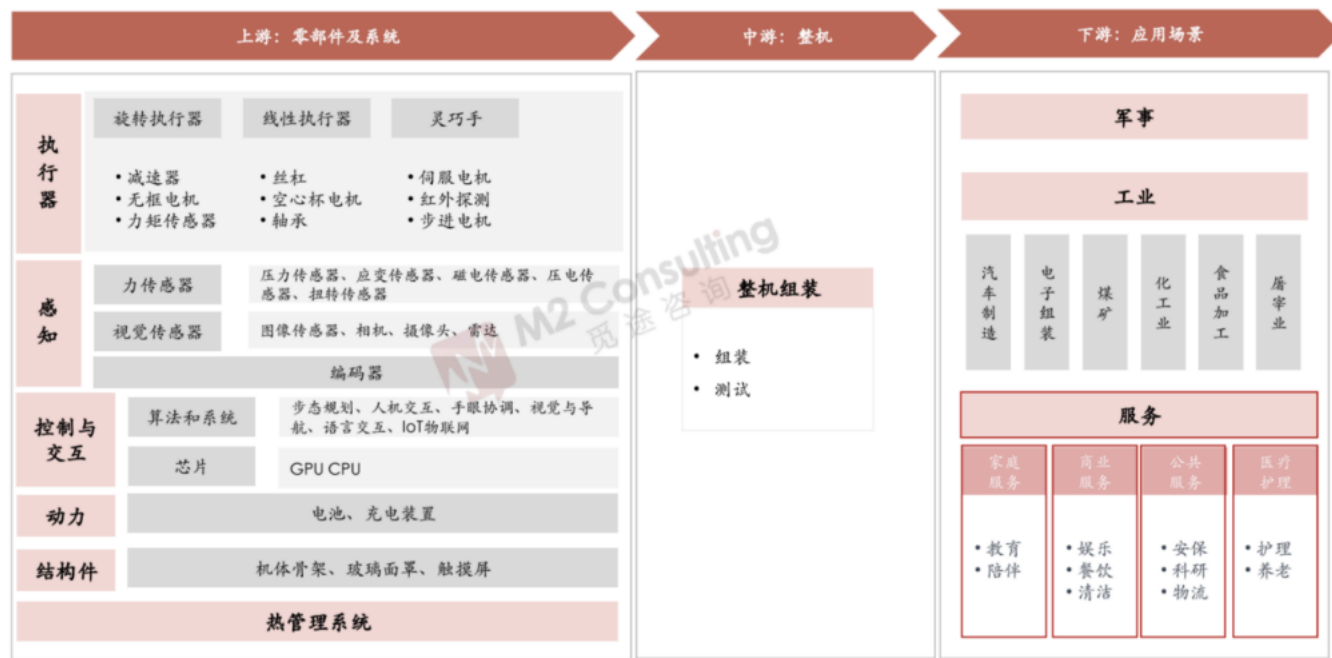
◎ 宇树科技机器人H1



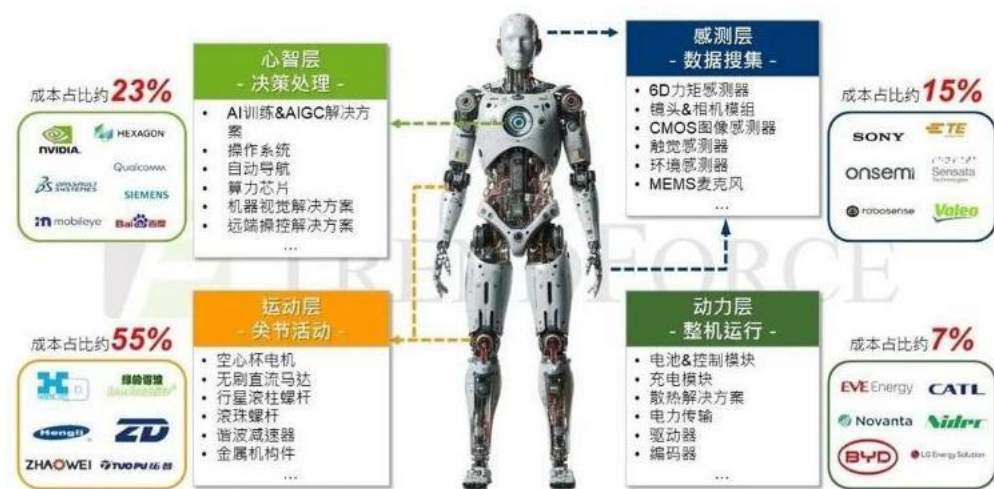
概述 | 执行器：硬件系统核心部件，用于驱动各个关节和部件的运动

- 人形机器人产业链主要由上游零部件、中游人形机器人本体及下游终端应用等环节组成。从当下看，价值占比高、增量空间大的主要是传感器、减速器、电机、丝杠等核心零部件。
- 关节执行器（简称执行器）即一体化关节，又称为驱动器/关节模组，是人形机器人硬件系统的关键部件。执行器是驱动机器人执行机构（手臂、腿部等）运动的组件，其本质是将电机的旋转运动转化为驱动连杆机构的运动。根据集邦咨询的数据，执行器是人形机器人成本最高的部分，占机器人整体成本约55%。执行器的性能和成本主要取决于核心零部件，包括电机（驱动装置）、减速器（传动装置）、编码器（传感装置）、伺服驱动和控制软件（控制装置）等。

人形机器人产业链



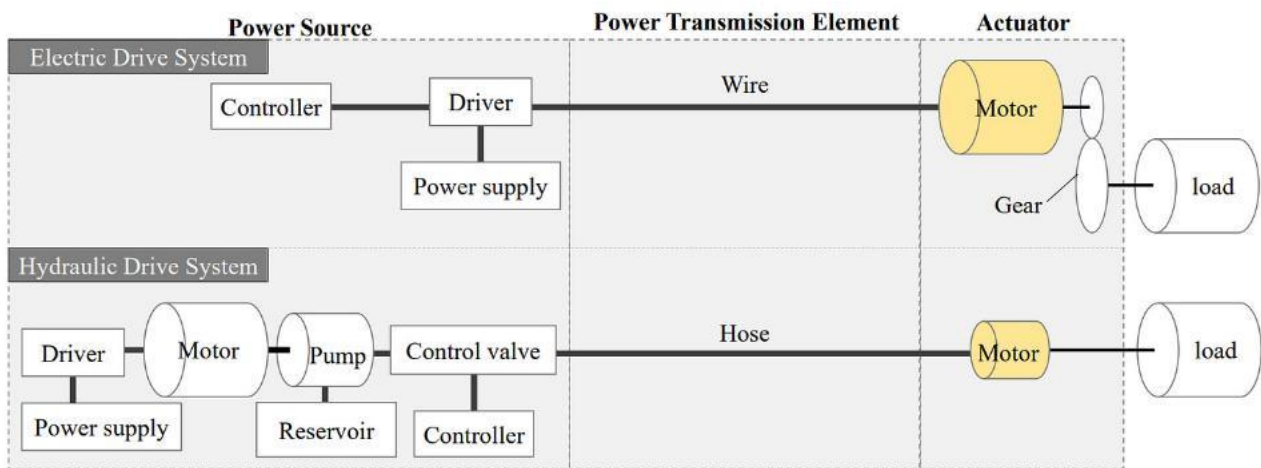
人形机器人关键零部件及潜在供应商



动力源 | 电驱动已成人形机器人领域主导

- 根据动力来源，执行器可分为液压、气动和电驱动三大类：1) 液压驱动适合重载场景，但结构复杂、平稳性差；2) 气动驱动响应快，但噪音大、负载能力有限；3) 电驱动凭借成本低、控制精度高和密闭性优等特点，成为主流方案。早期液压马达功率密度远超电机（20世纪90年代约100倍），但随着钕铁硼等永磁体技术的发展，电机性能大幅提升，功率密度差距已缩小至10倍以内，且整个系统占用的空间要小得多。
- 波士顿动力早期大型机器人（BigDog、Petman）采用液压驱动，2013年Atlas、Handle升级为电液混合，2016年Spotmini转向全电驱动，2024年新版Atlas彻底采用电驱动方案，标志着行业全面向电机技术迭代。

● 电力和液压驱动系统配置示例



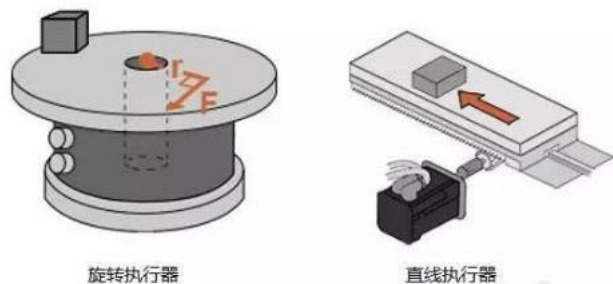
● 波士顿动力驱动方式的变化



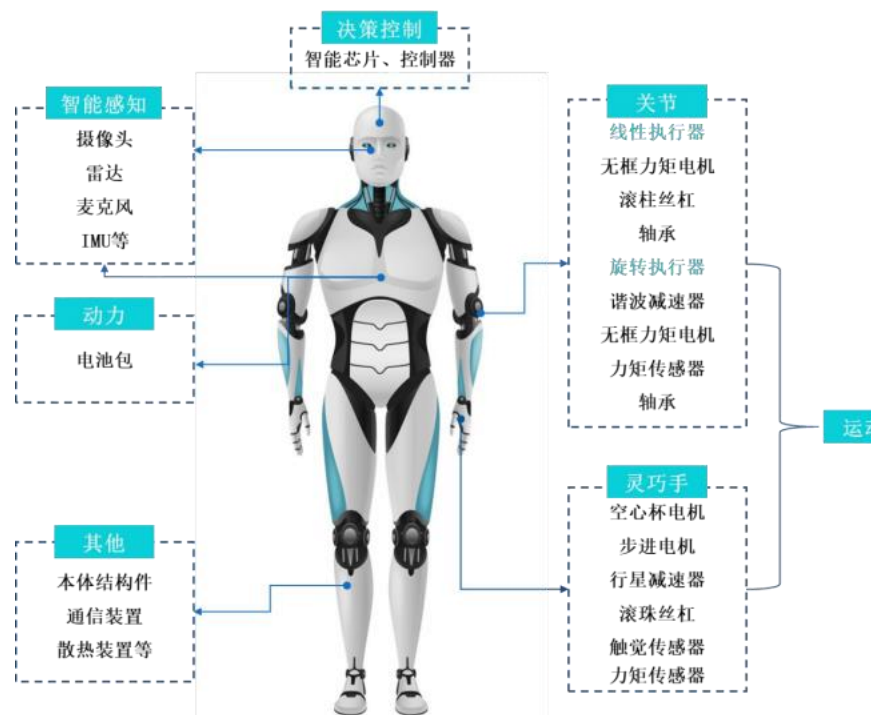
分类 | 人形机器人执行器分为旋转执行器和线性执行器两大类

➤ 按照运动类型，人形机器人躯干的执行器分为旋转执行器与线性执行器两类，旋转执行器输出旋转运动，而线性执行器则是将旋转运动转换为直线运动输出。从各家人形机器人厂商的执行器方案来看，大部分厂商以旋转执行器为主，不少机器人本体采用全旋转执行器方案，少数如特斯拉会采用线性执行器。它们动力来源均为无框力矩电机，不同之处在于传动机构，如特斯拉Optimus的旋转执行器是“电机+精密减速器”结构，线性执行器为“电机+滚柱丝杠”结构。

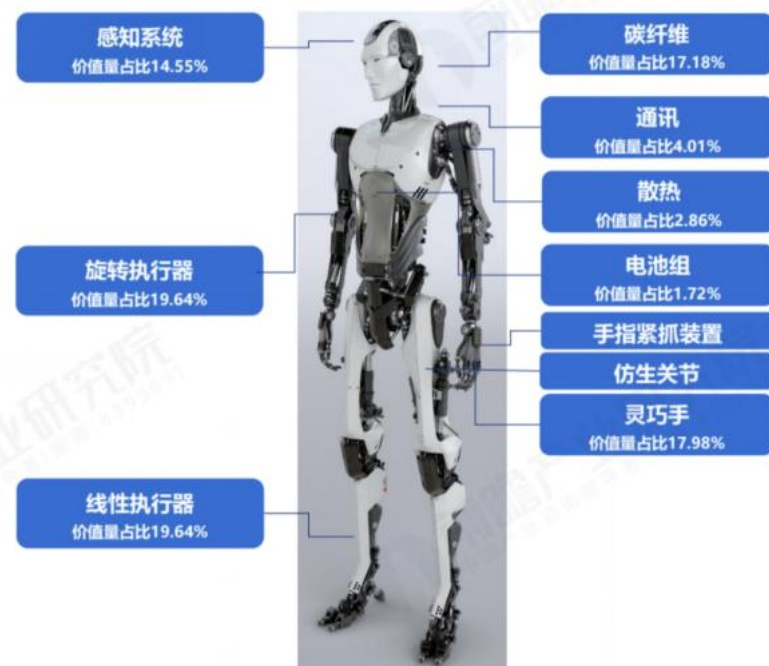
① 旋转执行器和线性执行器对比



② 人形机器人各分系统示意图



③ 人形机器人各分系统占比



资料来源：前瞻产业研究院整理

Optimus旋转执行器配置为：无框力矩电机+谐波减速器+双编码器

- 旋转执行器是让机器人的关节进行旋转运动的装置，其将电机输出由高速低扭转化为低速高扭的旋转运动，主要用于肩部、髌部、腕部等需要大角度旋转的关节。目前主要存在高减速比和准直驱两大技术路线，高减速比方案优点是输出扭矩大、精度高，适合下肢需要高扭矩的部位；而准直驱方案具有更高的响应速度和效率，更适合肩部、肘部、腕部等小负载场景。
- 特斯拉Optimus全身共部署14个旋转执行器，分布于肩部（6个）、腕部（2个）、髌部（4个）、躯干（2个），配置为：无框力矩电机+谐波减速器+力矩传感器+编码器+驱动器+交叉滚子轴承+角接触球轴承。

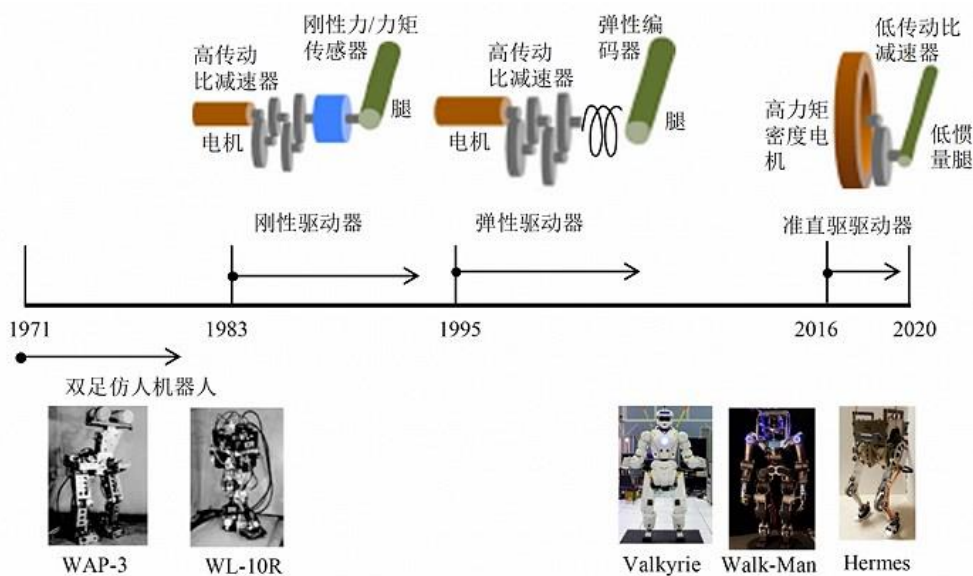
◎ Optimus采用的旋转关节执行器示意图



发展路径 | 从刚性到准直驱，简单可靠、低成本、快速响应是主要诉求

- 执行器技术历经变革：1983年刚性执行器（TSA）实现高精度但结构复杂；1995年弹性执行器（SEA）引入柔性缓冲，牺牲响应速度；2016年准直驱执行器（QDD/PA）融合二者优势，以直驱电机+低减速比传动实现轻量化、低成本及毫秒级响应。从代表厂商的执行器方案可知，主要采用刚性驱动器（TSA）方案和准直驱驱动器（PA/QDD）方案。鉴于成本、技术性能以及软硬件耦合等多方面因素，各家人形机器人厂商在驱动器部件选用上有所不同。准直驱适配消费级高动态场景（智元A1），TSA仍用于工业级高精度任务（特斯拉Optimus关节）。
- 当下，准直驱执行器凭借结构简单、成本低廉、响应速度快等特性，在人形机器人领域应用潜力巨大，宇树科技、智元机器人等产品均有涉及。

人形机器人驱动器（执行器）类型和发展历史



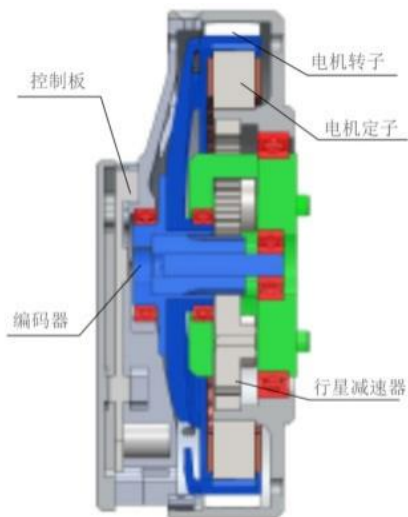
主要人形机器人厂商执行器方案

公司	型号	核心零部件方案					执行器类型		灵巧手关节方案
		电机	伺服驱动	编码器	力矩传感器	减速方案	旋转 / 直线	TSA/SEA/PA	
优必选	WalkerX	无框力矩电机	有	2个	有	谐波	旋转	TSA	/
智元	远征A1	/	矢量控制驱动器	2个	/	行星	/	PA	/
达闼	小紫XR-4 (双足)	无框力矩电机	/	2个	选配	行星	旋转	PA	空心杯电机 + 齿轮传动
宇树	Unitree H1	无框力矩电机	有	2个	/	行星	旋转	PA	/
小米	Cyberone (铁大)	无框力矩电机	有	1个	无	行星	旋转	PA	/
傅利叶	Fourier GR-1	/	有	有	无	/	旋转	/	/
小鹏	PX5	/	有	有	/	谐波 + 行星	/	TSA、PA	空心杯电机 + 连杆
开普勒	先行者 K1	/	有	有	/	谐波 + 行星 + 行星滚柱丝杠	旋转 + 直线	/	/
特斯拉	Optimus	无框力矩电机	有	旋转关节2个 + 直线关节1个	有	谐波 + 行星滚柱丝杠	旋转 + 直线	TSA	空心杯电机 + 行星精密齿轮箱 + 位置传感器 + 金属腱绳
1x Technologies	EVE	直驱电机	/	/	/	/	/	PA	/
Agility Robotics	Digit	有刷 / 无刷直流电机	/	/	/	/	/	/	/

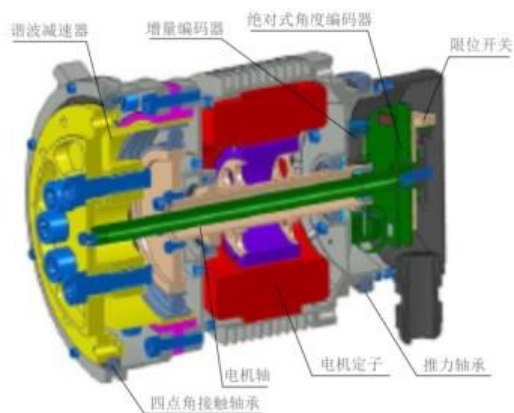
趋势 | 准直驱驱动器因效率高成本低已逐渐成为机器人行业研究热点

- 准直驱关节模组执行器摒弃传统力/力矩传感器，采用电流环开环力控技术，基于电机输出力矩与电流成正比的物理特性，通过监测电机绕组电流变化，解算电机扭矩，进而感知机器人与外界的交互力。
- 该技术优势在于：1) 结构上，无需额外传感器，使得执行器结构紧凑，降低整体成本，减少系统复杂度与故障点，提升可靠性与维护便利性。2) 性能方面，调整电流即可实现对力的精准控制，能快速响应外部指令；低传动比减速器的运用，带来低惯性，使执行器对外力响应更直接，保障机器人动态性能与安全性。

准直驱执行器结构



刚性执行器结构



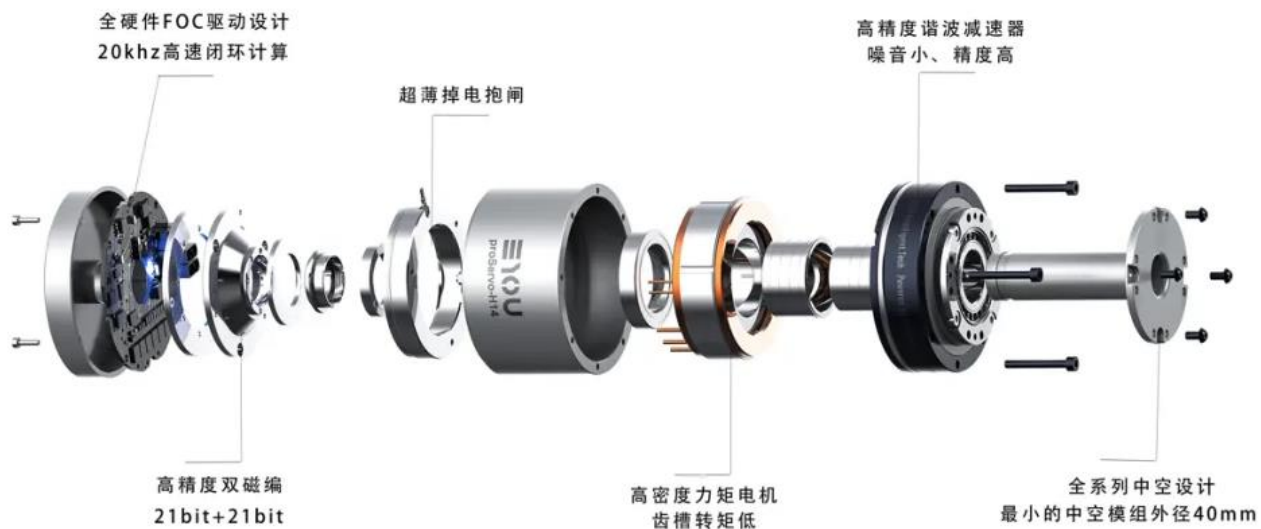
不同执行器方案比较

类型	刚性驱动器 (TSA)	弹性驱动器 (SEA)	准直驱驱动器 (PAQDD)
结构配置	无刷电机 + 高传动比减速器 (谐波) + 高刚性力矩传感器	无刷电机 + 高传动比减速器 (谐波) + 弹性体	高扭矩密度电机 (无框力矩电机) + 低传动比减速器 (行星)
传感器方案	双位置传感器 (编码器)	三个位置传感器 (编码器)	一个位置传感器 (编码器)
力矩测量方式	应变片原理或电流	编码器或应变片原理	电流环
控制特点	简单、精度高	复杂、精度低，机器人整机的运动控制比较难实现	简单、精度一般
功率特点	无功率调制	功率调制好	无功率调制
扭矩密度	高	高	较低
外部冲击减缓性	差	好	好
能量效率	效率低	功率一般	效率高
技术成熟度	相对完善成熟	主流研究中	发展崛起中
性能优势	力测量精度高，双通道可解扭矩和弯矩的耦合；本体刚度高，测量力通频带宽；高频响应，技术成熟，输出能力强	力测量精度较高，无温漂、零漂等问题，无需频繁标定；生产效率高；柔性抗外界冲击性能强且能够储能，输出能力强	关节结构简洁，硬件可靠性高；本体刚度高，测量力通频带宽；实现成本低，能耗低；高频响应，可做到高精度控制，抗冲击能力强
性能缺陷	存在温漂、零漂，实际使用中需频繁标定，动态物理交互性能差；关节结构复杂，硬件可靠性低（如谐波减速器易受冲击损坏），生产工艺复杂；实现成本高	在本体高刚度、测量高精度和实现低成本这三个维度很难取得平衡。一般刚度较小，高频力矩响应性能较弱，通频带较窄	力测量精度低，串联复杂减速箱传动环节，静摩擦建模难，在高减速比关节中测量微小扭矩不灵敏；小减速比减速器，能量输出密度不足

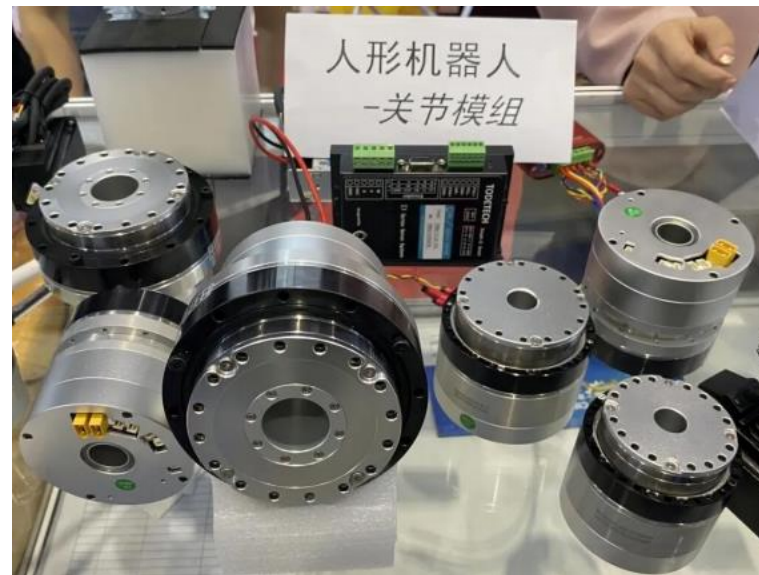
技术方向 | 一体化关节模组设计是趋势

- 机器人关节技术正向智能化、微型化、模块化方向发展，一体化关节模组通过集成驱动器、电机、减速器及传感器等核心部件，实现紧凑设计，显著提升安装便捷性与维护效率。其优势包括：1) 性能提升：优化设计增强精度、速度、负载能力及安全性；2) 成本优化：标准化生产降低单位成本；3) 场景拓展：适配工业机械臂、服务机器人及人形机器人等多领域。
- 人形机器人兴起推动关节模组需求升级，其旋转关节模组虽与协作机器人方案部分重叠，但对扭矩密度、动态响应等指标要求更高，需强化定制化开发能力，研制高性能的关节模组亦是降低人形机器人制造成本的关键，可以缩短供应链环节，降低本体企业研发成本，并可提升产品易用性及灵活性。

◎ 意优机器人人形机器人专用关节模组爆炸图



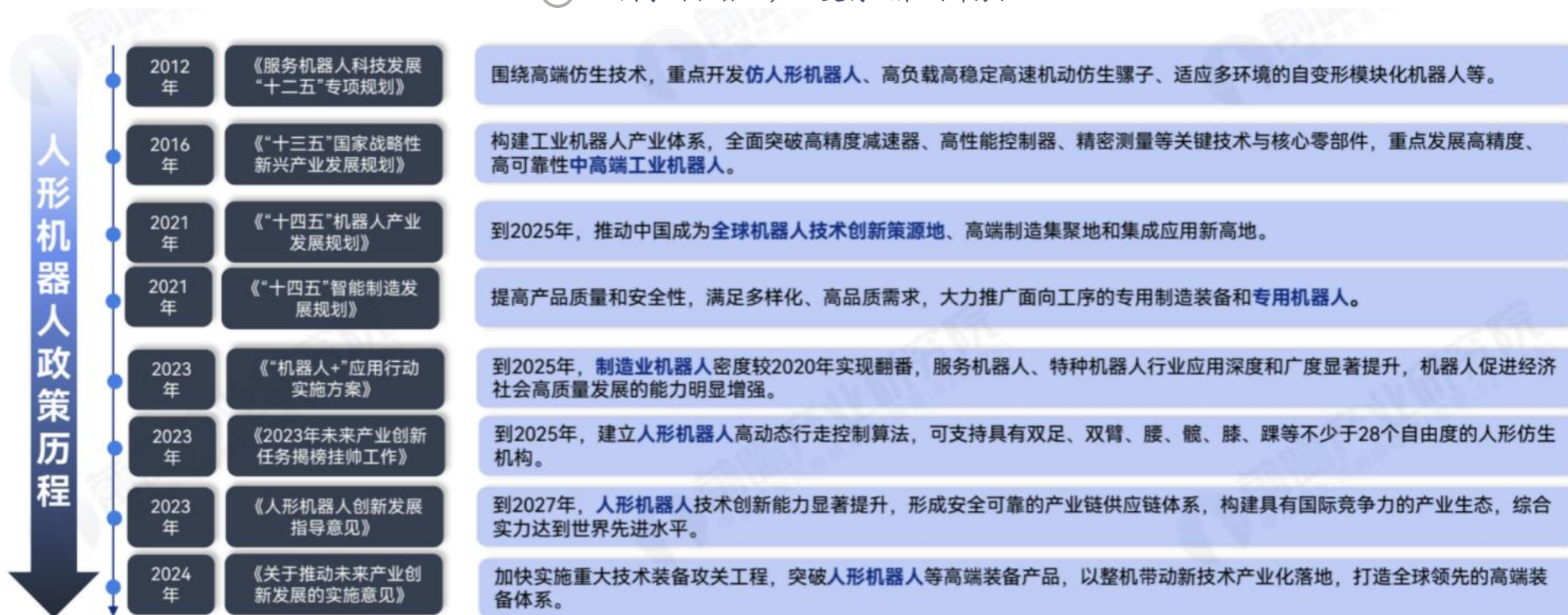
◎ 钛虎机器人一体化关节模组



背景及政策 | 聚焦供应链与关键零部件自主开发，产业化进程有望加速

- “十四五”规划将机器人产业列为发展重点，此后各部门陆续发布人形机器人创新发展指导意见等政策文件，聚焦供应链与关键零部件自主开发能力。据TrendForce调查，三花智控、恒立液压、新剑传动、兆威机电等不仅对中国市场需求可稳定供货，也已打入海外大厂供应链或进入送样阶段。人形机器人领域核心零部件的国产化将显著优化成本、性能及可靠性，奠定量产基础。国内宇树科技等整机厂商已推出成熟产品，配合零部件厂商通过技术创新和规模化生产，推动执行器成本下降与性能提升，加速人形机器人产业化进程。

◎ 国家对机器人产业支持政策（部分）



三花智控 | 专注于热泵技术和热管理系统，同时布局机器人机电执行器

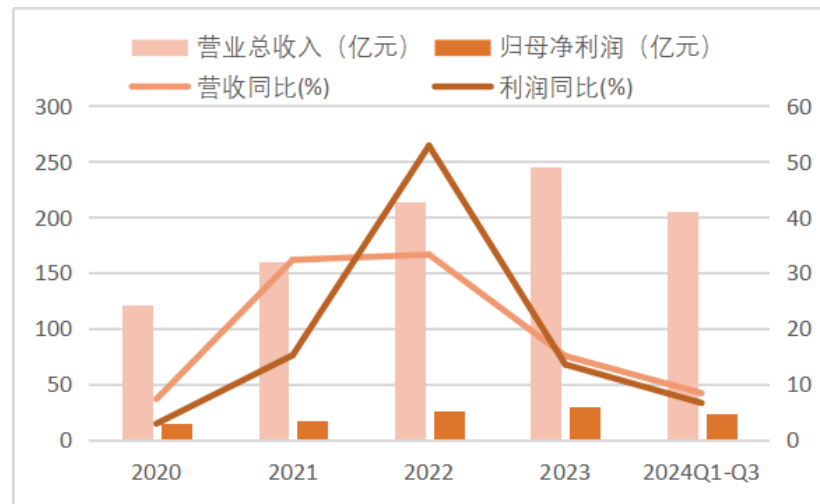
公司及主营业务简介

- 三花智控成立于1994年，2005年在深交所上市，公司主营业务为机械电子控制部件和组件类产品的研发、生产和销售，根据产品应用领域主要分为制冷空调电器零部件和汽车零部件业务。制冷空调电器零部件业务主要产品包括四通换向阀、电子膨胀阀、电磁阀、微通道换热器、Omega泵等；汽车零部件业务主要产品包括热力膨胀阀、电子膨胀阀、电子水泵、新能源车热管理集成组件等。同时公司积极布局机器人产业，重点聚焦仿生机器人机电执行器业务。
- 2024年1-9月，公司实现营业收入205.63亿元，同比上升8.36%；实现归母净利润23.02亿元，同比上升6.59%；净利率达11.3%。

上下游相关企业

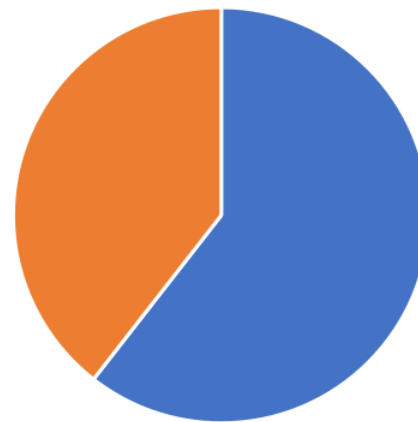
- 下游应用领域：**制冷空调电器（空调、冰箱、冷链物流、洗碗机等）、新能源汽车和传统燃油车。
- 获客：**主要采用直销模式。
- 典型客户：**制冷空调电器领域主要面向开利、大金、格力、美的、海尔、松下、夏普等客户，汽车领域的客户包含奔驰、宝马、通用、比亚迪、理想等车厂，以及法雷奥、电装、马勒等Tier1。

各年营收及利润（亿元）



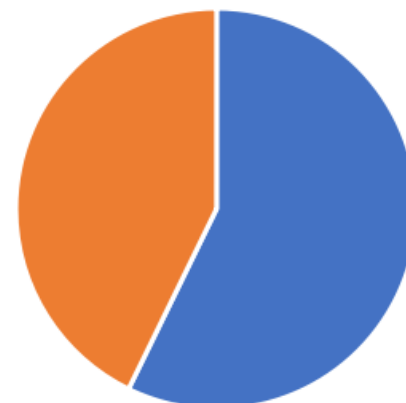
2024H1各产品营收贡献

■ 制冷空调电器零部件 ■ 汽车零部件



2024H1国内外营收贡献

■ 国内 ■ 国外





目录CONTENTS

● 执行器：驱动关节活动，电驱动已成主导

● 电机：产生驱动转矩，无框力矩电机应用广泛

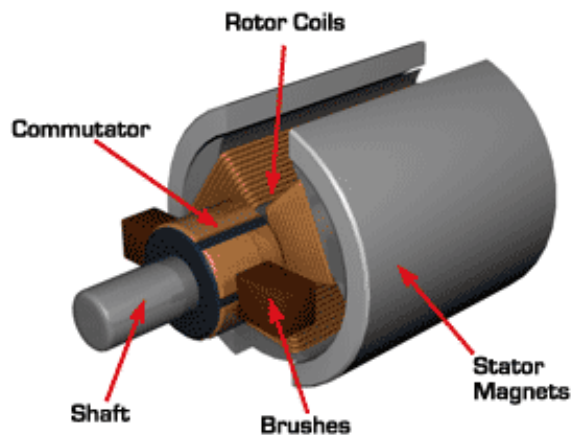
● 减速器：增加扭矩，谐波和精密行星最适配人形

● 投资建议及风险提示

概述 | 电机是将电能转换为机械能的动力源

- 电机是指依据电磁感应定律将电能转换为机械能的一种电磁装置，通常由定子和转子两部分组成，主要作用是产生驱动转矩，作为动力源。关节电机为人形机器人各种动作和姿态的实现提供动力，具备减速、传动、提升扭矩等功能，驱动关节和执行器，是机器人的核心硬件。人形机器人的自由度决定电机需求的数量，机器人自由度越高，所需的电机数量越多。
- 在实际应用中，电机的种类繁多，不同类型的电机在结构和性能上各有特点，适用于不同的应用场景。常用的电机类型包括永磁同步电机、永磁直流电机、空心杯电机、步进电机和无框力矩电机等。目前用于人形机器人的电机类型主要是用于关节处的无框力矩电机和用于灵巧手的空心杯电机。

电机原理示意图



各类电机性能比较

性能	步进电机	无框力矩电机	永磁同步电机	空心杯电机
控制精度	取决于相数和拍数，两相混合式步进电机的步距角一般为 1.8° 、 0.9°	取决于电机结构和编码器，高精度的无框力矩电机控制精度可以达到 0.1° 甚至更高精度	取决于编码器，高性能的永磁同步电机能达到 0.1° 甚至更高精度	高性能的空心杯电机能达到 0.1° 甚至更高精度
低频特性	低速时易出现低频振动现象	扭矩产生相对平滑，无显著的扭矩脉动	具有良好的低频特性	具有良好的低频特性
矩频特性	输出力矩随转速升高而下降，低速时转矩较高，高速时转矩会急剧下降	具有高扭矩输出，且随着频率增加，扭矩性能逐渐减小	具有较高的转矩密度，使其在高速运行时仍然能够输出较大的扭矩	具有较高的功率密度，温升低，效率高
过载能力	一般不具有过载能力	具有较强的过载能力	具有较强的过载能力	具有较强的过载能力
运行性能	开环控制，启动频率过高或负载过大易出现失步或堵转的现象，停止时转速过高易出现过冲现象	闭环控制，一般不会出现失步或过冲现象	闭环控制，一般不会出现失步或过冲现象	闭环控制，一般不会出现失步或过冲现象
速度响应性能（从静止到工作转速）	200~400毫秒	几毫秒到十几毫秒	20~50毫秒	<28毫秒
悬停能力	停转时转矩达到峰值，保持力矩较大，可以在不使用刹车的情况下保持在停止位置	在无外部扭矩作用下能够保持稳定的转速	悬停状态下能够保持稳定的输出，为悬停运动提供强大的支持	悬停状态下能够保持稳定的输出，为悬停运动提供强大的支持
经济性	结构简单，成本较低	结构相对简单，成本高	结构相对简单，成本高	结构相对简单，成本高

电机 | 人形机器人需要电机的要求：高效率、高动态、高功率密度

- 人形机器人对电机有以下三点关键要求：1) 高效率，因靠电池供电，需低能耗、低摩擦，能适应苛刻工况和过载；2) 高动态，驱动器惯性要低，电机响应时间需短；3) 高功率密度，电机要高速、高扭矩且小巧紧凑轻巧。
- 无框力矩电机是以输出扭矩的大小为性能指标的一种力矩电机，以输出大扭矩为核心优势，采用无外壳结构，定子与转子直接集成至轴承系统。其特点包括高转矩密度、优异散热性、中空走线设计及紧凑轻量化，适配中低速高扭矩场景。相比有框电机，具备更强的定制灵活性和功率密度，适用于小体积、低惯量、高效能的应用场合，在有限空间内提供强大的动力输出，适合高度集成化的复杂人形机器人系统。

● 机器人电机的要求



● 无框力矩电机构造示意图

定子外径

50 / 70 / 85 MM

转子内径

30 / 42 / 52 MM

额定转矩范围

0.3 ~ 2.1 N.M

峰值扭矩范围

0.96 ~ 6.3 N.M

标配

霍尔传感器、温度传感器

可定制

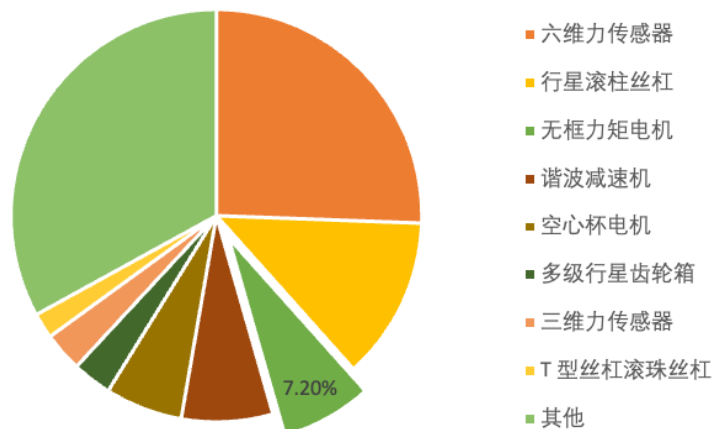
出线形式、机身厚度、电压等



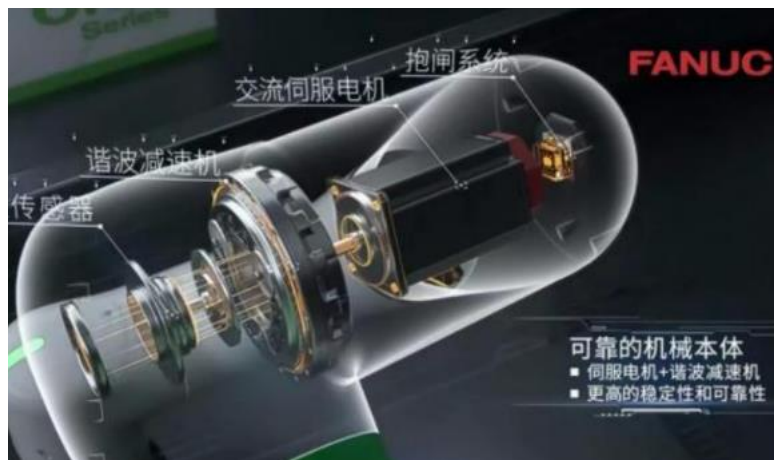
无框力矩电机|在人形机器人关节单元方案中广泛应用

- 无框力矩电机常用于人形机器人线性关节和旋转关节。如特斯拉Optimus的14个线性执行器与14个旋转执行器均使用它。国产的宇树H1、远征A1、小米Cyberone、优必选X1、傅里叶GR-1等机器人关节单元也如此。以Optimus为例，其上肢关节方案类似协作机械臂，采用无框电机+谐波减速器的旋转关节方案，即无框力矩电机+谐波减速器+高低速双编码器+抱闸+力矩传感器+输出端交叉滚子轴承。
- GGI数据显示，2023年中国无框力矩电机市场规模1.80亿元，同比增长19.73%，其中协作机器人市场需求占比约为70%，预计2024年中国无框力矩电机市场规模有望超过2亿元，在未考虑人形机器人市场的情况下，到2028年市场规模将有望超过5.6亿元。

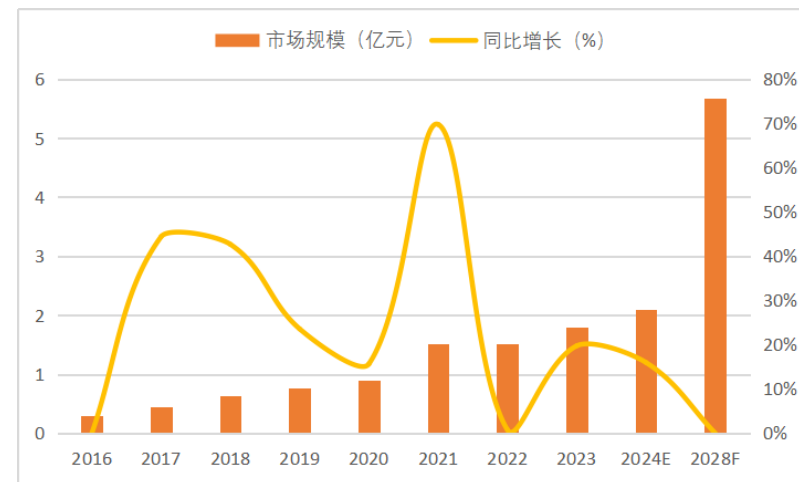
Optimus核心部件价值量占比估算



机器人机械臂关节方案



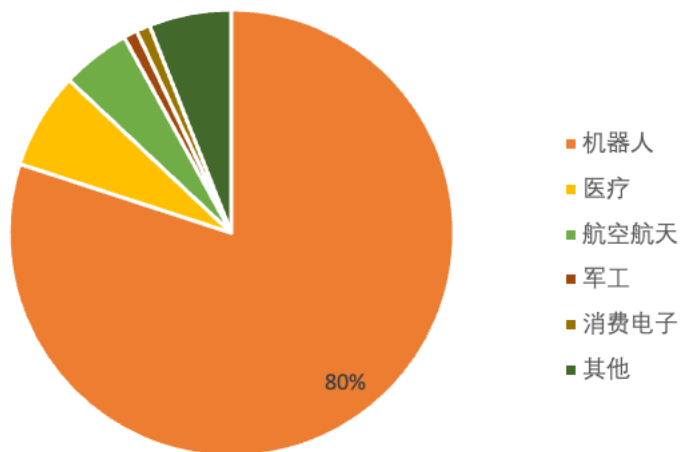
中国无框力矩电机市场规模（亿元）



无框力矩电机 | 国内领军企业与国际领先企业产品之间仍存在一定技术差距

- 无框力矩电机作为关键部件，其磁路与工艺设计深刻影响着电机的转矩密度与功率密度。由于无框力矩电机存在编码器芯片、磁路设计等高技术壁垒，且需一体化集成到机器人关节内部，定制化需求强烈，实现稳定量产颇具挑战。
- 从市场格局来看，美国科尔摩根、德国威腾斯坦、瑞士Maxon Motor等海外厂商是行业的头部玩家，其中科尔摩根凭借长期的技术沉淀以及市场先发优势，以TBM系列为代表性产品，在产品核心性能指标和市场份额上占据显著优势。国内的步科股份、昊志机电、雷赛智能等国内企业经过多年发展不断创新，产品关键参数与国外的差距逐步缩小，但与国外高端产品相比仍有提升空间。

2023年中国无框力矩电机市场行业分布



步科股份和科尔摩根产品性能比较

	步科股份	科尔摩根	人形机器人
系列	FMC	TBM2G - 050xx	定制
转矩 Nm	0.45 - 3.5	0.27 - 6.03	0.2 - 1.5
定子直径 mm	57.8 - 104	50 - 115	30 - 55
额定功率 kW	0.1 - 1.05	0.205 - 1.430	-
转速 rpm	2500 - 3000	3100 - 8000	>3000
主要应用行业	智能机器人	手术机器人、协作机器人等	人形机器人

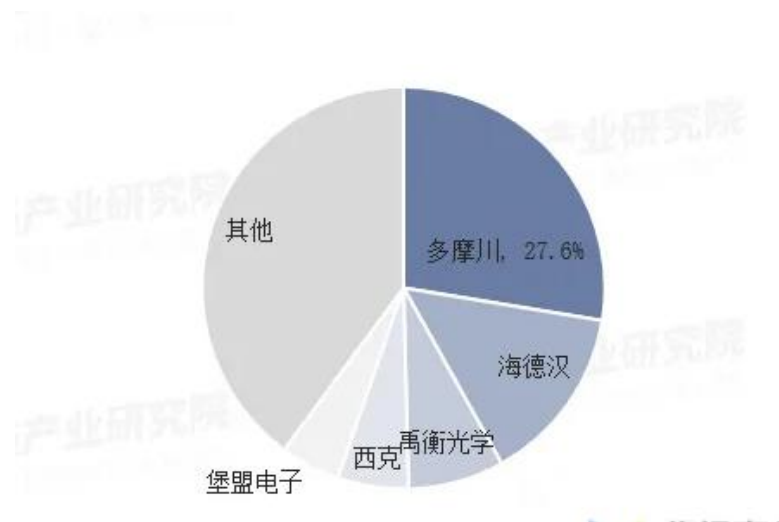
编码器 | 影响电机运动控制功能，磁性和光学编码器目前应用较为广泛

- ▶ 电机运动控制性能高度依赖编码器的分辨率与精度，编码器实际上是一种传感器，通过检测位置、速度、加速度等信息实现闭环控制，直接影响运动精度、稳定性和响应速度。编码器种类繁多，按照输出类型可分为绝对和增量两种；按照检测工作原理，分为磁性编码器、光学编码器、电容编码器等，磁性（抗干扰强）和光学（精度高）两类目前应用较为广泛。
- ▶ 编码器的技术壁垒集中于芯片、码盘的精密制造工艺，高端市场长期由海德汉、多摩川等外资厂商主导，其产品以高可靠性、长寿命著称。根据华经产业研究院数据，2022年我国编码器市场中多摩川、海德汉、西克和堡盟占据了50%以上的市场份额，行业集中度较高。国产企业如禹衡光学、汇川技术、禾川科技、大族电机等正加速突破，但核心元件工艺复杂度高，进口依赖仍是主要挑战。

◎ 各类编码器性能对比

编码器类型	工作原理	主要组成部分	优点	缺点
光电编码器	光信号变化反映设备运动变化，码盘旋转改变光敏元件接收光频，进而转化为电信号	外壳、光源、码盘、光敏元件、输出电路	精度高、兼容性好、抗外界磁场干扰	多尘肮脏环境影响可靠性和精度；发光元件寿命有限；码盘易因振动、极端温度损坏
电磁式编码器	磁感应元件检测被磁化码盘旋转产生的磁场变化	码盘（磁化圆盘，磁极按极性相异原则分布） 磁感应元件（霍尔元件或磁阻元件）、调节电路、电源线、差动信号线	更耐用、抗震、抗冲击 不受灰尘等污染物影响	易受电机电磁干扰，温度变化产生位置漂移，分辨率和精度相对低
电容式编码器	依靠电极间电容值变化反映被测电极运动状态，转子纹路转动产生信号经转换计算轴位置和方向	转子、固定发射器、固定接收器	不受环境污染物影响，抗振动和极端温度，使用寿命长，封装尺寸小 电流消耗小，灵活性和可编程性好	精度较低，电介质致信号失真

◎ 2022年中国编码器市场竞争格局



步科股份 | 从工业移动机器人切入，配套伺服电机销量领先

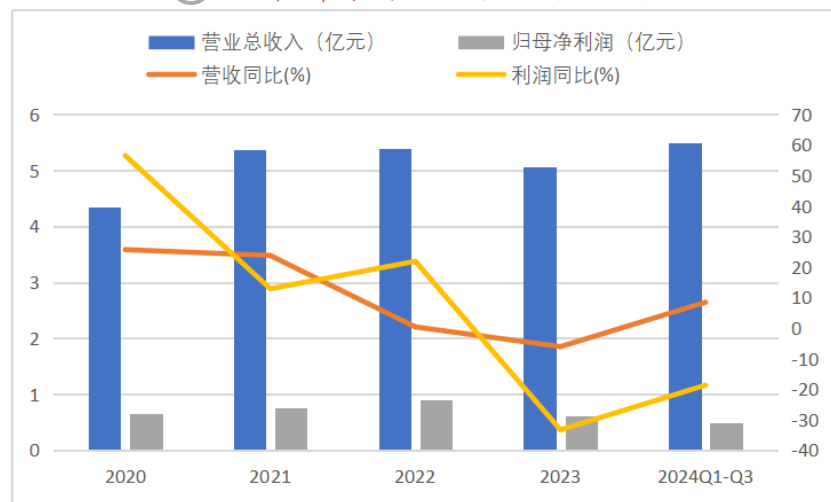
公司及主营业务简介

- 步科股份成立于1996年，2020年11月在上交所科创板上市，主要从事工业自动化及机器人核心部件与数字化工厂软硬件的研发/生产/销售及相关技术服务，目前已拥有人机界面、可编程逻辑控制器、伺服系统、步进系统、低压变频器等完整的工业自动化核心部件产品线，覆盖工业自动化控制主要领域。在机器人领域，公司为工业移动机器人（AGV/AMR）、协作机器人、泛服务机器人、仿生机器人、工业机器人等行业客户提供运动控制解决方案。
- 步科股份自2015年开始研发无框力矩电机，2016年推出首代产品，并于2022年完成第三代产品的迭代升级，2024年前三季度出货量约1.5万台，目前第四代无框力矩电机正在研发中。
- 根据业绩预告，步科股份2024年实现营业收入5.49亿元，同比增长8.45%；实现归母净利润4,932.04万元，同比下降18.73%。

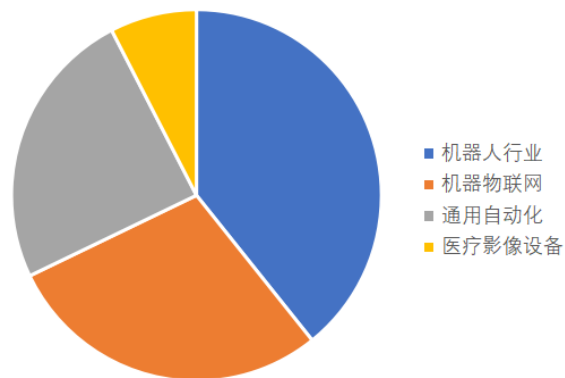
上下游相关企业

- 下游应用领域：**机器人、医疗影像设备、机器物联网、通用自动化、物流等。
- 获客：**采取直销与经销并重的销售方式。
- 客户：**在医疗影像领域，成为西门子医疗、联影医疗等巨头的全球战略供应商；在移动机器人等领域，为众多机器人行业客户提供产品及解决方案，在工业移动机器人应用占比较高。

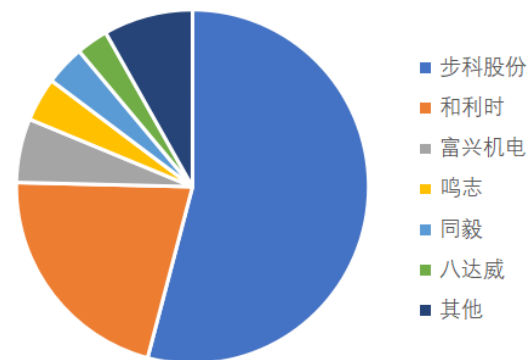
各年营收及利润（亿元）



2024年1-9月各产品营收贡献



2023年中国移动机器人行业伺服电机市场份额（按销量）





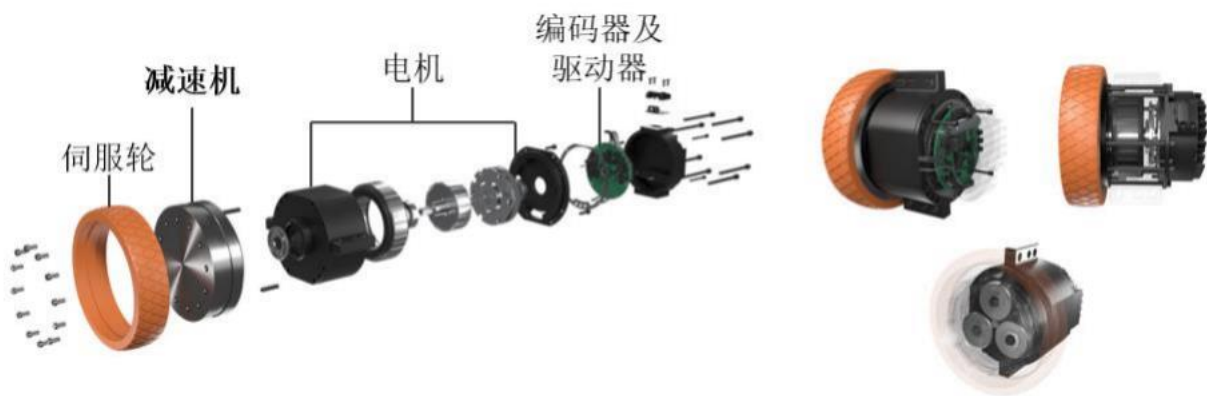
目录 CONTENTS

- 执行器：驱动关节活动，电驱动已成主导
- 电机：产生驱动转矩，无框力矩电机应用广泛
- 减速器：增加扭矩，谐波和精密行星最适配人形
- 投资建议及风险提示

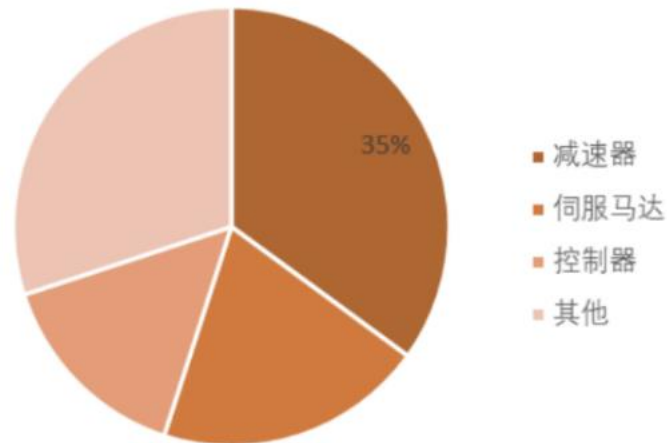
概述 | 减速器主要用于降低转速和增加扭矩

- 减速器又称减速机，在原动机和工作机或执行机构之间起降低转速和增加扭矩的作用，主要应用在机械传动领域。由于多数机械设备不适宜用原动机直接驱动，通常减速器把电动机、内燃机等高速运转的动力通过输入轴上的小齿轮啮合输出轴上的大齿轮来达到减速的目的，并传递更大的扭矩，以实现原动机和执行机构之间的传动。
- 根据DIGITIMES的数据，减速器在一定程度上决定工业机器人的精度和负载，是工业机器人核心零部件之一，占工业机器人成本的35%左右。

① 减速机在伺服模组中的构成示意图



② 工业机器人零部件成本占比



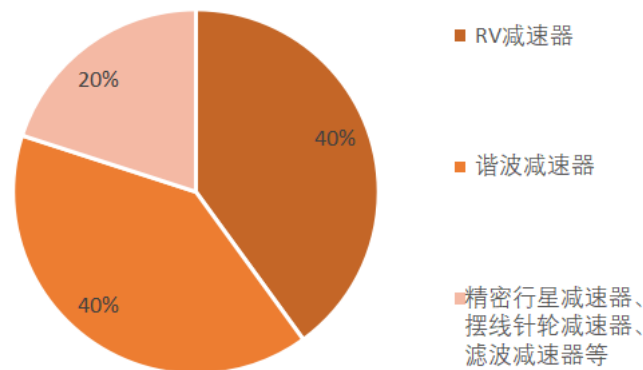
精密减速器 | 主要分为谐波减速器、RV减速器、行星减速器几类

- 减速器种类及型号繁多，按照控制精度划分，减速器可分为一般传动减速器和精密减速器。一般传动减速器控制精度低，仅能满足机械设备基本的动力传动需求，而精密减速器回程间隙小、精度较高、寿命长、运行可靠稳定，是机械传动装置中实现精准控制的关键基础部件。
- 根据原理不同，精密减速器主要分为谐波减速器、RV减速器、摆线针轮减速器、行星减速器等，由于传动原理和结构等技术特点差异，在下游产品及应用领域方面各有所侧重、相辅相成。根据中商产业研究院，全球机器人领域中，RV减速器、谐波减速器的销量占比均为40%左右。各本体厂基于不同减速器的特征、成本等因素考量，采用不同的减速器方案。鉴于人形机器人对减速器小型化和轻量化要求高，谐波和精密行星减速器最适配。

◎ 各类减速器对比

减速器类别	结构特点	优点	缺点	应用领域	结构示意图
精密行星减速器	体积比较小，主要包括行星轮、太阳轮和內齿圈。精密行星减速器单级传动比都在10以内，且减速级数一般不会超过3级。	扭矩大、精度可高达1'以内、单级传动效率高达97%、质量轻、寿命可长达2万小时、免保养	单级传动比范围小	移动机器人、新能源设备、高端机床、智能交通等行业的精密传动装置	
谐波减速器	主要包括波发生器、柔轮与刚轮。减速器工作时，波发生器会发生可控变形，同时依靠柔轮、刚轮的啮合传递动力。	传动精度高，重量和体积小，运转平稳、传动比大	传递扭矩相对较小，传动效率低、使用寿命有限	机器人中负载较小的小臂、腕部和手部等关节、航空航天、精密加工设备和医疗设备领域	
RV减速器	主要包括两级传动装置，分别为渐开线行星齿轮传动和摆线针轮行星传动。	传动比范围广至31-171，传动效率高达85%-92%，传动平稳性高，承载能力强，刚性和耐过载冲击性能好，传动精度高。	结构复杂、制造难度大、成本高	机器人中负载较重的机座、大臂、肩部等大关节	

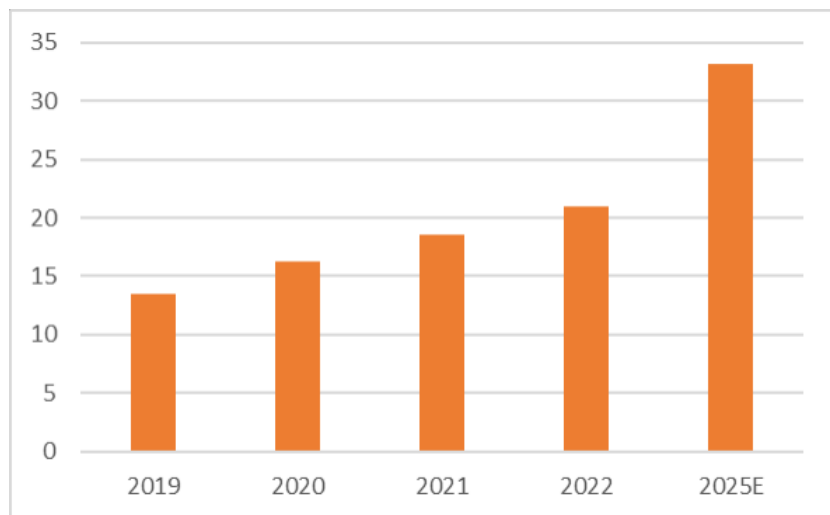
◎ 全球机器人领域精密减速器销量占比情况



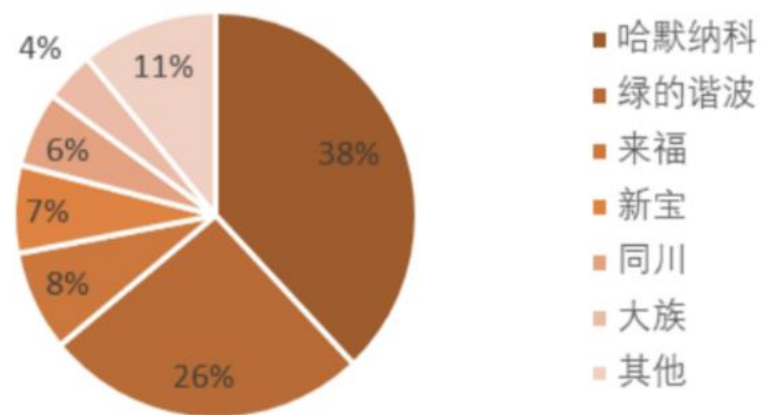
谐波减速器 | 国产品牌打破垄断，绿的谐波引领国产化

- ▶ 谐波减速器主要由刚轮、柔轮、波发生器三个基本构件组成，是一种靠波发生器使柔轮产生可控的弹性变形波，通过其与刚轮的相互作用，实现运动和动力传递的传动装置。在轻负载精密减速器领域内，谐波减速器凭借其体积小、传动比高、精密度高等优势，占据该领域的主导地位。
- ▶ 根据中商产业研究院的报告，2022年中国谐波减速器市场规模约21亿元，预计2025年有望达到33亿元，CAGR达16.3%。日本的哈默纳科、日本新宝等企业技术水平处于行业领先地位。国内部分企业通过技术攻关、生产工艺的改进，在减速比、输出转速、传动精度等方面和海外品牌差距明显缩小，对国外品牌已基本可以实现一定的进口替代。2022年中国谐波减速器市场竞争格局中，哈默纳科市场份额最大，占比38%，其次是绿的谐波，市场份额为26%，来福谐波以8%的份额位居第三。

中国谐波减速器市场规模（亿元）



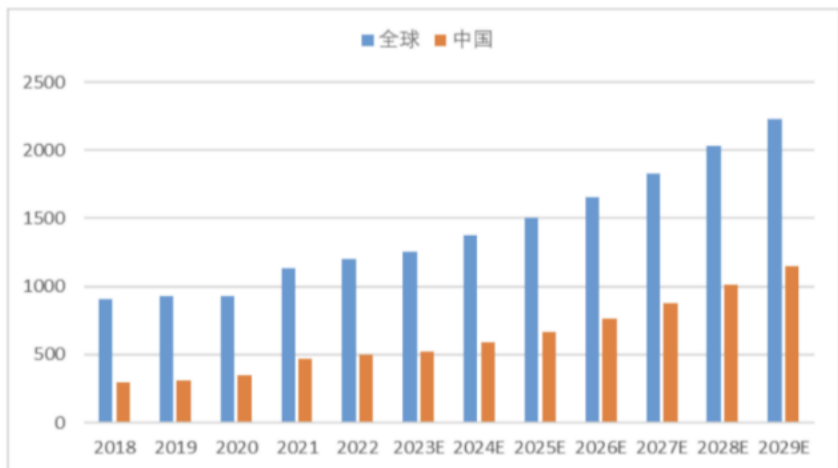
2022年中国谐波减速器市场格局



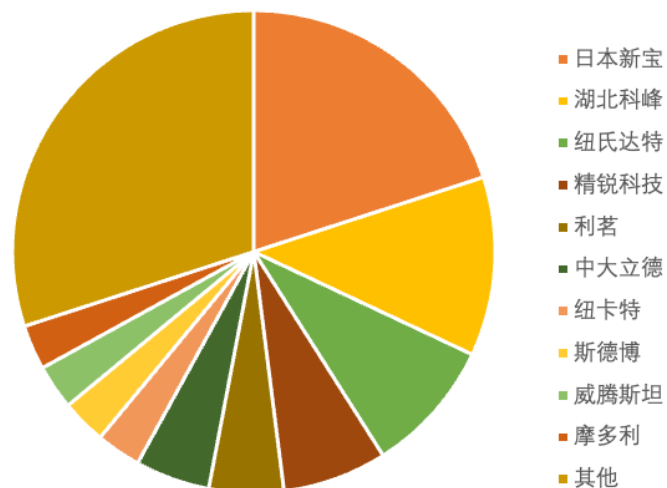
精密行星减速器 | 主要参与者为外资厂商，湖北科峰国内第一

- ▶ 行星齿轮传动机构主要由行星齿轮、行星架和太阳轮构成。行星齿轮传动结构是传动效率最高的齿轮传动结构。由于结构原因，单级行星减速器减速比一般不小于3，最大一般不超过10，且一般不超过3级。
- ▶ 根据QY Research的统计数据，2022年全球行星减速器销售额为12.03亿美元，其中中国境内销售额为5亿美元，2029年全球行星减速器销售规模达22.31亿美元，期间CAGR约9.2%，中国市场规模达11.49亿美元，期间CAGR约12.6%。精密行星减速器供给格局相对更分散，根据智研咨询，目前我国精密减速机市场一半以上的精密行星减速机产品由日本新宝、湖北科峰、纽氏达特、精锐科技和利茗制造生产，其中日本新宝的市场份额最大，占比20%；湖北科峰在中国市场排名第二，其占比为12%。

全球及中国行星减速器销售额（百万美元）



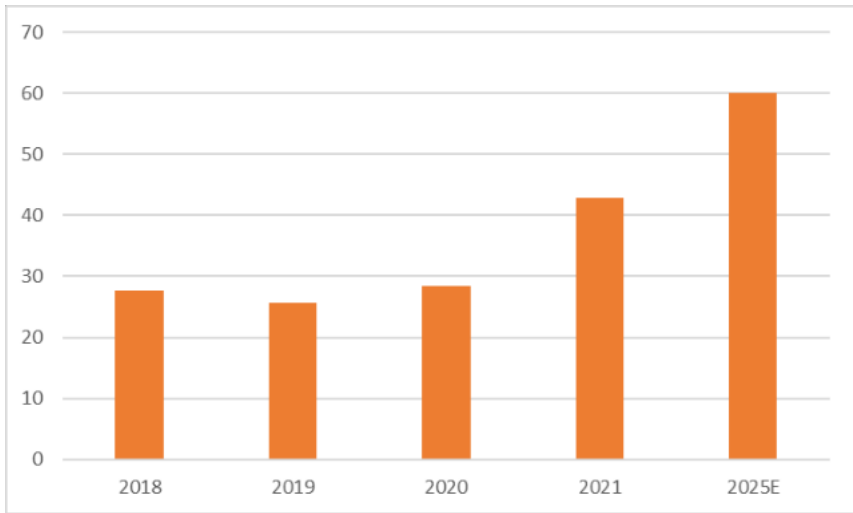
2023年中国精密行星减速器市场竞争格局



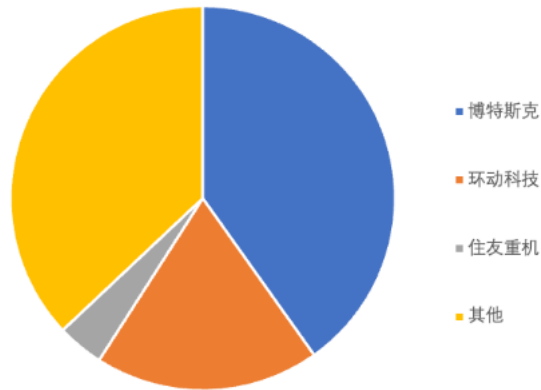
RV减速器 | 在重负载领域内具有一定主导地位，广泛用于工业机器人

- RV减速器由一个行星齿轮减速机的前级和一个摆线针轮减速机的后级组成，具有大体积、高负载、高刚度、结构紧凑、定位精度高、传动比大等特点，其在重负载精密减速器领域内具有一定主导地位，是工业机器人中应用范围最广泛的精密减速器。
- 根据中商产业研究院的报告，2021年我国RV减速器市场规模约42.9亿元，同比增长50%，2025年RV减速器市场规模有望达到60亿元。环动科技招股书显示，2020年，纳博特斯克在国内机器人RV减速器市场占有率为54.8%，具有绝对优势，不过我国本土企业竞争力不断提升，2023年环动科技市占率达到18.89%，且仅次于纳博特斯克，而纳博特斯克市场占有率下降为40.17%，未来国产替代仍有较大的提升空间。

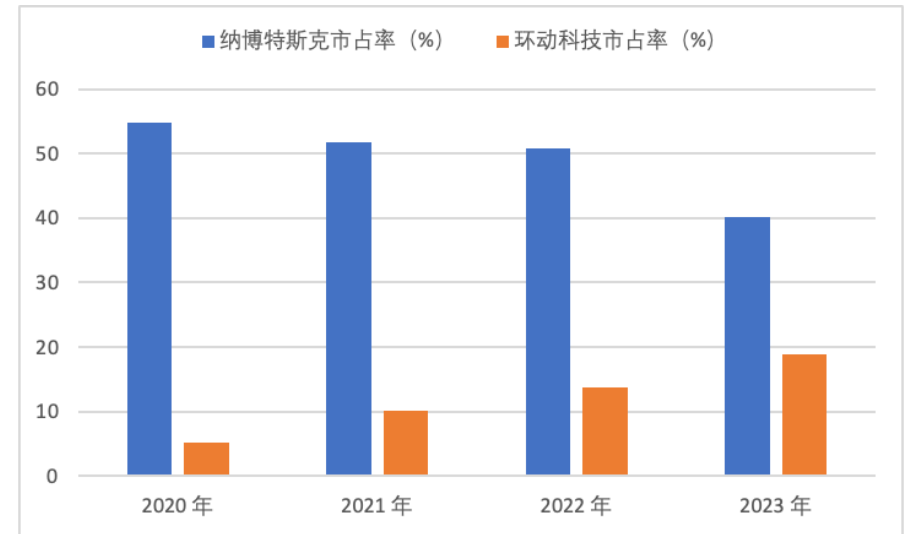
中国RV减速器市场规模（亿元）



2023年中国机器人RV减速器市场格局



2020-2023年纳博特斯克与本土企业环动科技RV减速器市占率对比



中大力德 | 以减速器为核心完善产品结构，延伸布局机电一体化

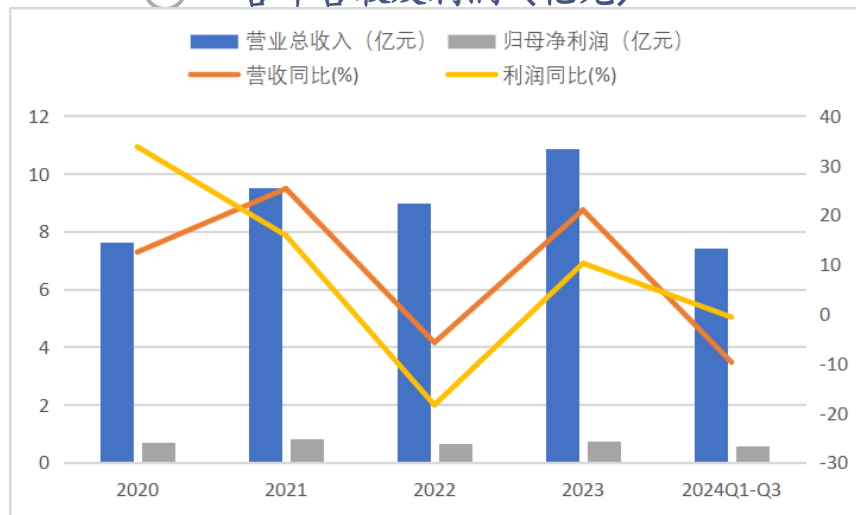
公司及主营业务简介

- 中大力德成立于2006年，2017年8月在深交所上市，公司从事机械传动与控制应用领域关键零部件的研发、生产、销售和服务，公司从2008年开始研发减速器，目前已经批量销售行星减速器、RV减速器、谐波减速器。公司以精密减速器、减速电机等核心零部件及智能执行单元组件为主要产品，形成了“减速器+电机+驱动”一体化的产品架构，为各类工业自动化和智能制造设备提供安全、高效、精密的动力传动与控制应用解决方案。
- 中大力德2024年前三季度实现营业收入7.42亿元较上年同期下降9.79%，归属于上市公司股东的净利润5,693.73万元，较上年同期下降0.68%。

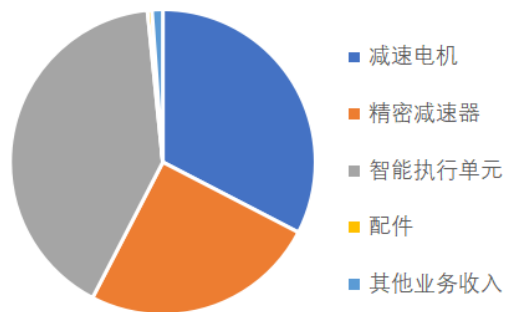
上下游相关企业

- 下游应用领域：**公司产品应用于工业机器人、智能物流、新能源设备、工业母机、纺织机械等工业自动化领域。
- 获客：**公司采取“直销+经销”的营销模式，主要销售市场为华东、华南等地区。
- 典型客户：**终端客户包括诺力股份、中科微至、杭叉集团等智能物流企业，拓斯达、广州数控、新松机器人等机器人生产企业，宇环数控、亚威股份、沈阳机床等机床企业，京山轻机、苏州晟成等光伏设备企业，Maersk集团、三一国际等。

各年营收及利润（亿元）



各产品营收贡献



公司主要产品





目录 CONTENTS

- ① 执行器：驱动关节活动，电驱动已成主导
- ② 电机：产生驱动转矩，无框力矩电机应用广泛
- ③ 减速器：增加扭矩，谐波和精密行星最适配人形
- ④ 投资建议及风险提示

4.1 投资要点

- 投资建议：**国内大部分人形机器人厂商的执行器方案以旋转执行器为主，其旋转关节模组对扭矩密度、动态响应等指标要求更高，需强化定制化开发能力，降低本体企业研发成本，并可提升产品易用性及灵活性。未来随着技术的升级、产业链降本以及新型应用场景的不断拓展，人型机器人也有望早日商业化落地，国内上游执行器、电机、减速器等核心零部件相关公司也在积极布局，建议关注三花智控、震裕科技、绿的谐波、中大力德、步科股份、卧龙电驱、双环传动、雷赛智能、禾川科技、伟创电气等。

股票简称	股票代码	2025/3/13	EPS (元)				PE(倍)				评级
		收盘价 (元)	2023A	2024F	2025F	2026F	2023A	2024F	2025F	2026F	
中大力德	002896	98.69	0.48	0.59	0.78	0.96	205.6	167.3	126.5	102.8	推荐
三花智控	002050	29.47	0.78	0.86	1.03	1.21	37.8	34.3	28.6	24.4	未评级
步科股份	688160	109.69	0.72	0.59	1.03	1.47	152.3	185.9	106.5	74.6	未评级
卧龙电驱	600580	26.17	0.4	0.68	0.83	0.95	65.4	38.5	31.5	27.5	未评级
绿的谐波	688017	154.61	0.5	0.31	0.65	0.9	309.2	498.7	237.9	171.8	未评级
双环传动	002472	35.81	0.96	1.22	1.51	1.83	37.3	29.4	23.7	19.6	未评级
雷赛智能	002979	45.08	0.45	0.68	0.92	1.20	100.2	66.3	49.0	37.6	未评级

注：除中大力德外，其余公司EPS均为3月13日Wind一致预期。资料来源：Wind，平安证券研究所

4.1 投资要点

股票简称	股票代码	2025/3/13	EPS (元)				PE (倍)				评级
		收盘价 (元)	2023A	2024F	2025F	2026F	2023A	2024F	2025F	2026F	
禾川科技	688320	44.66	0.35	-1.04	0.1	0.50	127.6	-42.9	446.6	89.3	未评级
伟创电气	688698	58.70	0.91	1.16	1.52	1.87	64.5	50.6	38.6	31.4	未评级
震裕科技	300953	150.00	0.42	2.22	3.44	4.87	357.1	67.6	43.6	30.8	未评级

• 注：除中大力德外，其余公司EPS均为3月13日Wind一致预期。资料来源：Wind，平安证券研究所

4.2 风险提示

- 1) **人工智能技术发展不及预期。**若人工智能技术进展不及预期，则智能机器人的应用落地将存在低于预期的风险。
- 2) **行业竞争加剧风险。**市场竞争持续加剧，若公司不能持续更新具有市场竞争力的产品，将影响产业链相关公司业绩。
- 3) **技术迭代不及预期。**机器人行业技术变化迅速，如果技术迭代不及预期，机器人的渗透率可能会受到不利影响。

平安证券研究所电子信息团队

分析师/研究助理	邮箱	资格类型	资格编号
闫磊	YANLEI511@pingan.com.cn	投资咨询	S1060517070006
徐勇	XUYONG318@pingan.com.cn	投资咨询	S1060519090004
徐碧云	XUBIYUN372@pingan.com.cn	投资咨询	S1060523070002
陈福栋	CHENFUDONG847@pingan.com.cn	投资咨询	S1060524100001
郭冠君	GUOGUANJUN625@pingan.com.cn	投资咨询	S1060524050003

股票投资评级：

强烈推荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现20%以上）

推 荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现10%至20%之间）

中 性（预计6个月内，股价表现相对市场表现±10%之间）

回 避（预计6个月内，股价表现弱于市场表现10%以上）

行业投资评级：

强于大市（预计6个月内，行业指数表现强于市场表现5%以上）

中 性（预计6个月内，行业指数表现相对市场表现在±5%之间）

弱于大市（预计6个月内，行业指数表现弱于市场表现5%以上）

公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

免责条款：

此报告旨在发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司2025版权所有。保留一切权利。