



华安证券

HUAAN SECURITIES

证券研究报告

人形机器人产业前景广阔，看好 核心零部件

分析师：尹沿技（SAC执业证书S0010520020001）

2023年8月1日



报告要点

- ▶ **AI助力人形机器人，人形机器人潜在市场广阔，2035年或可达千亿美元。**随着全球数字化进程发展，机器人产业正迎来重要机遇期。高盛预测在最理想的情景下（产品设计、用例、技术、可负担性和公共接受度等障碍被克服），2035年人形机器人市场或将达到1540亿美元。Markets and Markets预测人形机器人市场规模将从2023年的18亿美元增长到2028年的138亿美元，其复合年增长率可达50.2%。
- ▶ **人形机器人发展驱动力：**
 - 1.劳动力短缺问题进一步凸显，人形机器人将来或可成为缓解劳动力短缺问题的关键技术。
 - 2.中国人口老龄化问题严重，人形机器人在养老助残领域大有可为。
- ▶ **人形机器人产业化关键难题是成本控制：**人形机器人要想走入千家万户，应该把价格降低到大多数人能承受的范围。特斯拉人形机器人Optimus可实现直立行走、搬运、洒水等复杂动作，预计售价约为18万RMB。
- ▶ **核心零部件受益，关注投资机会：**
 - 1.人形机器人所需的减速器、伺服系统的数量高于工业机器人，成本占比也应该高于工业机器人。随着人形机器人市场的增长，对减速器、伺服系统需求量也将大大提升，应关注投资机会。
 - 2.人形机器人灵巧手的核心部件空心杯电机制造组装要求较高，目前国内能做空心杯电机的企业不多，比较有优势的是鸣志电器和鼎智科技。
 - 3.人形机器人对人形机器人对交互、导航、避障等功能的要求更高，对传感器的要求也更高，传感器相关企业或将因此受益。
- ▶ **受益标的：**绿的谐波、双环传动、兆威机电、汇川技术、鸣志电器、舜宇光学科技、鑫宏业。
- ▶ **风险提示：**人形机器人发展不如预期的风险、技术先进的人形机器人成本难以降低的风险、国内宏观经济下行的风险。



目录

1

人形机器人：潜在市场广阔

2

人形机器人相关技术解析

3

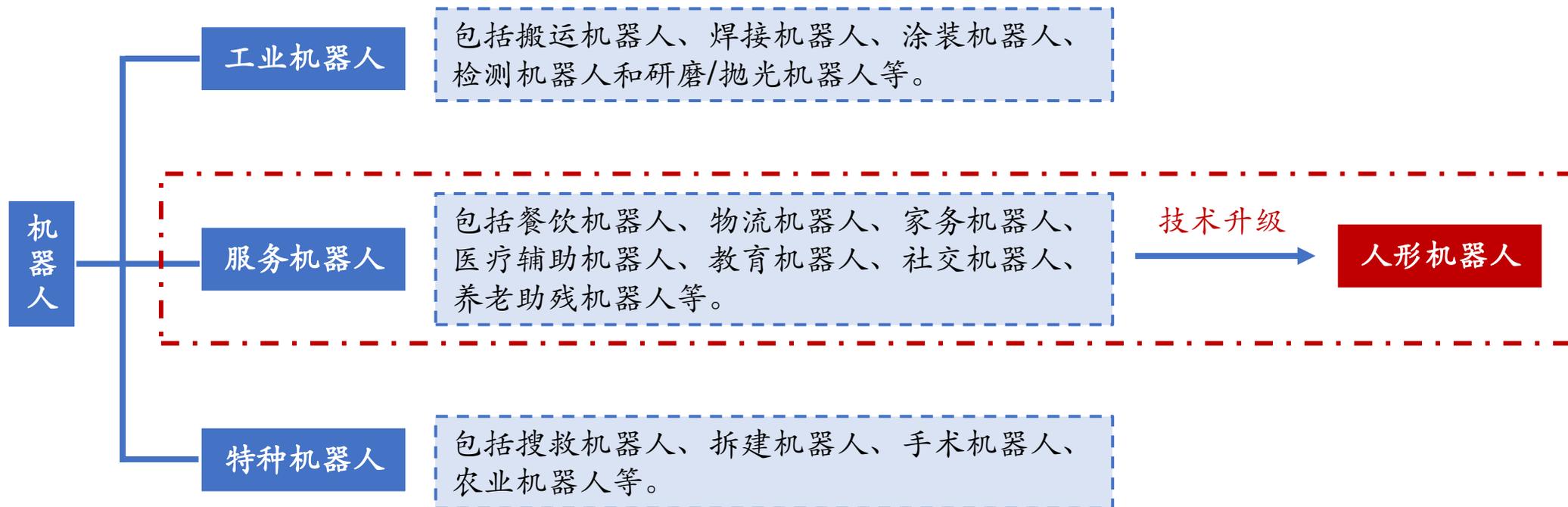
核心零部件受益，关注投资机会

4

受益标的

人形机器人技术升级，可方便操作各种工具

- ▶ **机器人定义：** 机器人是一种能够半自主或全自主工作的智能机器，可以辅助甚至替代人类完成重复枯燥或者危险繁琐的工作，从而提高工作效率与质量。
- ▶ **机器人分类：** 国际机器人联盟（IFR）将机器人按应用场景分为工业机器人和服务机器人两大类。而国内一般把机器人分为**工业机器人、服务机器人和特种机器人**三大类。
- ▶ **人形机器人：** 人形机器人通常是指外表和运动方式接近人类的智能机器人，相比非人形机器人，人形机器人可以更加方便地操作为人设计的各种工具和仪器。

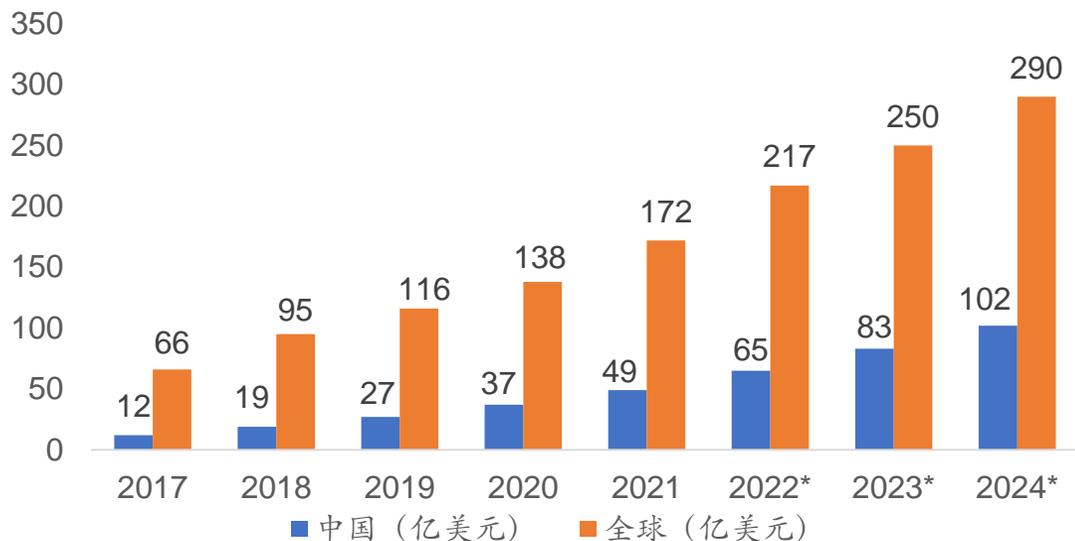




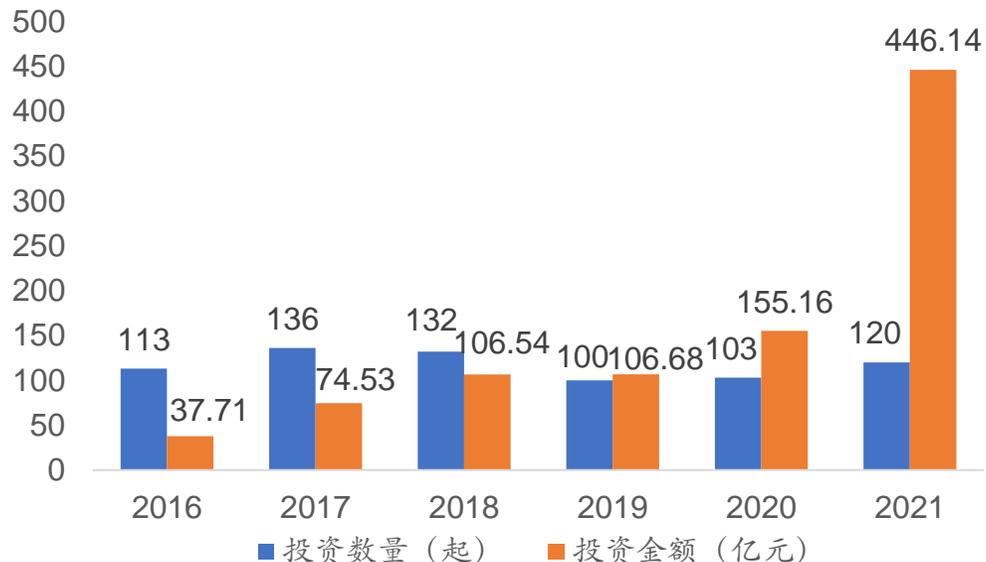
迎来重要机遇期，人形机器人有望加速产业化

- ▶ 机器人产业集机电、材料、计算机、传感器等多门学科于一体，人形机器人是衡量国家科技实力和高端制造业水平的一个重要标志。近年来，中国作为世界最大机器人市场之一，机器人产业正处于快速发展阶段。
- ▶ 随着全球数字化进程发展，机器人产业正迎来重要机遇期。《中国机器人产业发展报告（2022年）》中提到预计到2024年，全球服务机器人市场规模将有望突破**290亿美元**，中国服务机器人市场规模将有望突破**100亿美元**。
- ▶ 人形机器人有望加速产业化：在疫情防控、人口老龄化、和政策支持等因素的驱动下，服务机器人产业进入高速发展期，中国服务机器人的投资金额近年来增长迅速。人形机器人可看作现有服务机器人的进一步技术升级，随着服务机器人的投资金额迅速增长，人形机器人也有望加速产业化。

2017-2024年服务机器人销售额



2016-2021年中国服务机器人投融资情况



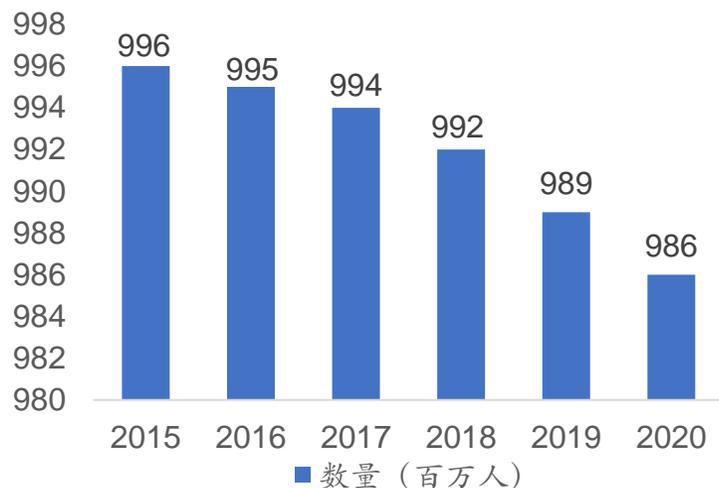
资料来源：IFR，中国电子学会，华经产业研究院，华安证券研究所



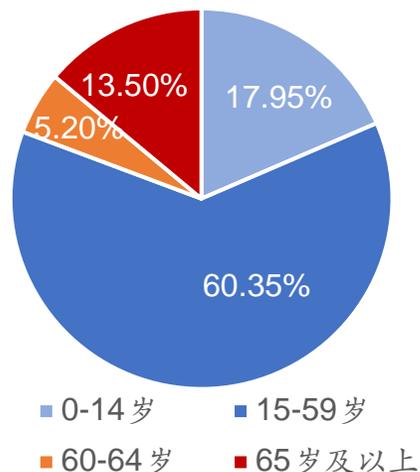
人形机器人潜在市场预估，2035年或可达千亿美元

- ▶ 劳动力短缺问题进一步凸显，人形机器人前景广阔。现在劳动力短缺已成为世界性难题，中国的劳动力数量也连年下降，人形机器人将来或可成为缓解劳动力短缺问题的关键技术。
- ▶ 中国人口老龄化问题严重，人形机器人在养老助残领域大有可为。第七次全国人口普查的结果显示：中国60岁及以上人口为264018766人，占比为18.70%，与2010年第六次全国人口普查相比上升5.44个百分点。
- ▶ 人形机器人潜在市场大，高盛预测市场可达千亿。高盛在2022年11月的一份报告中预估，在未来10到15年内可以实现至少60亿美元的人形机器人市场，甚至在最理想的情景下（产品设计、用例、技术、可负担性和公共接受度等障碍被克服），2035年人形机器人市场或将达到1540亿美元。
- ▶ 另外，Markets and Markets也对人形机器人市场进行了报告，预测人形机器人市场规模将从2023年的18亿美元增长到2028年的138亿美元，其复合年增长率可达50.2%。

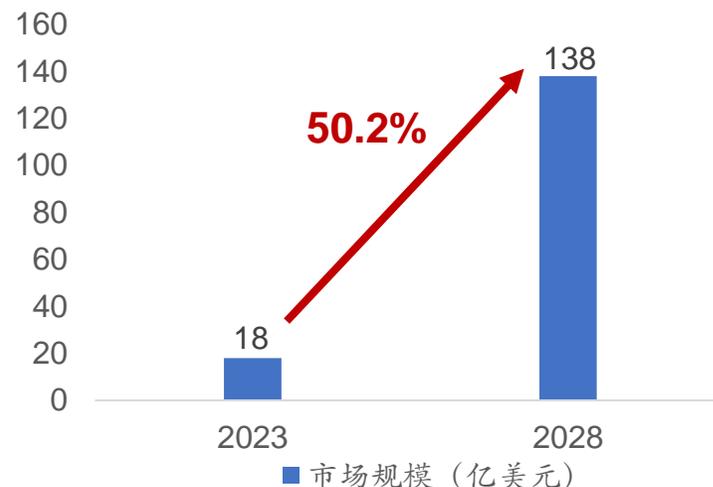
2015-2020年中国劳动力人口数



第七次全国人口普查年龄构成



人形机器人市场规模预测



资料来源：国家统计局，麦肯锡，Goldman Sachs，Markets and Markets，华安证券研究所

主流人形机器人对比分析

- 目前技术最先进的人形机器人是波士顿动力的Atlas机器人，能够倒立、跳马、跳舞和跑酷，但是其成本过于高昂，约为1400多万RMB。
- 目前主流人形机器人主要有Pepper、Walker、Optimus、CyberOne等。

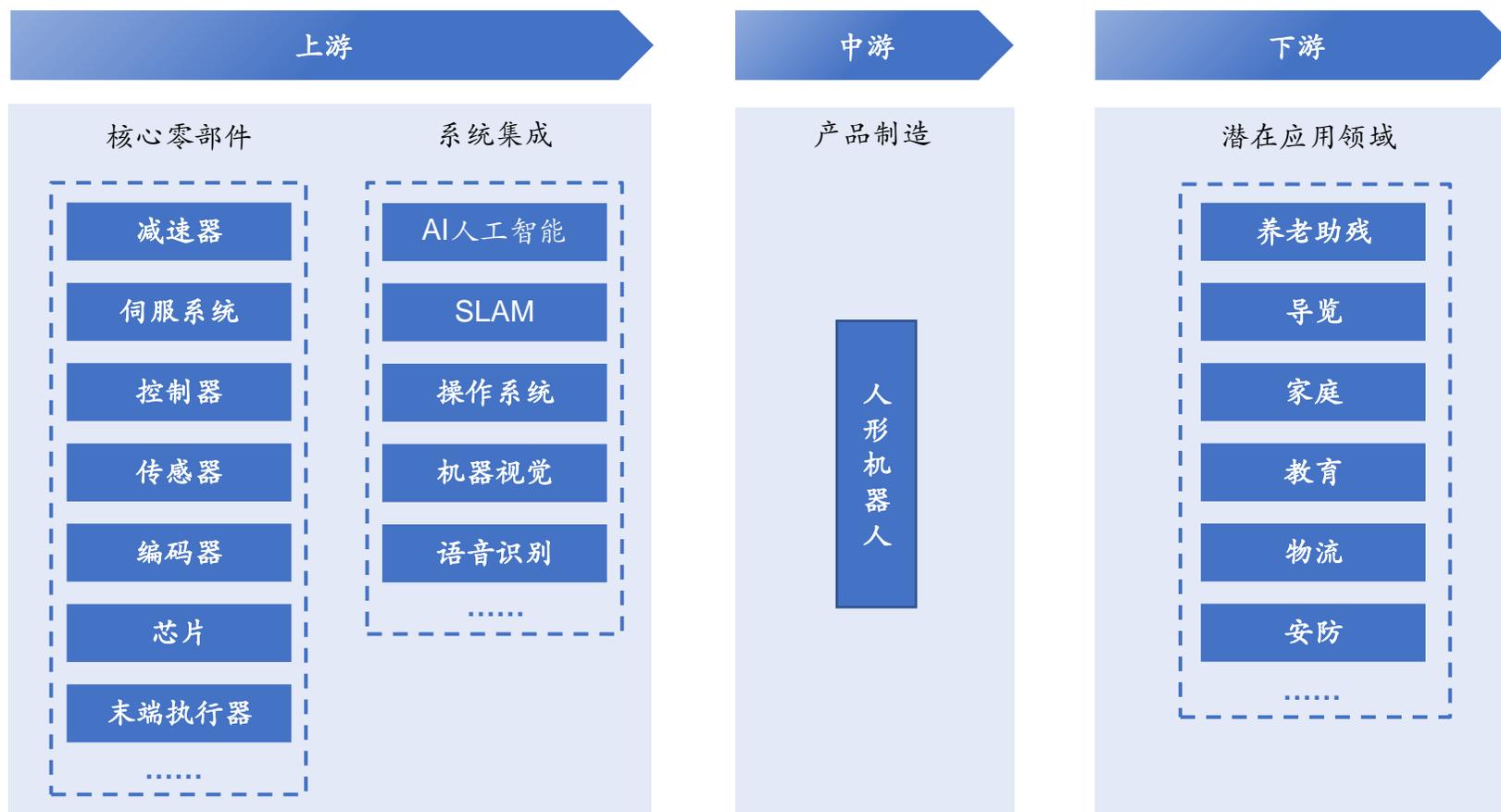
主流人形机器人对比

名称	Pepper	Walker 第二代	Optimus	CyberOne
制造商	软银	优必选	特斯拉	小米
外观				
发布时间	2014年	2019年	2022年	2022年
参数	身高：120cm 重量：29kg 自由度：20个 续航能力：12h	身高：145cm 重量：77kg 自由度：36个 续航能力：2h	身高：173cm 重量：73kg 自由度：28个（不含灵巧手）	身高：177cm 重量：52kg 自由度：21个
亮点	配备了语音识别技术，可与人类进行互动，是首款具有情感功能的人形机器人	复杂地形灵活行走，自平衡调节，手眼协调操作，全身柔性，安全交互	可实现直立行走、搬运、洒水等复杂动作	可感知人类情绪，可对真实世界三维虚拟重建，可实现双足运动姿态平衡，动力峰值扭矩300Nm
应用情况	目前应用案例有万豪国际旗下酒店、宝马和东风日产等	目前应用案例有春晚的舞蹈节目表演	目前为展示阶段，预计应用场景为工厂内的搬运和上下料等工作	目前为展示阶段
售价 (RMB)	1.1万	暂无	预计约为18万	暂无，成本约为70万



人形机器人产业链处于极早期，潜在应用领域广阔

- 从产业链角度来看，人形机器人正处于产业链的极早期阶段，潜在应用领域非常广阔，在养老助残等方面有着巨大的潜力。





相关政策助推人形机器人发展

- 机器人作为智能制造发展领域的重要一环，受到国家的高度重视。近年来，国家出台多项政策，助推机器人的发展，各省市也结合当地实际情况，纷纷发布机器人利好政策。
- 深圳市、上海市、北京市等地率先提出要推动人工智能和机器人的结合，加强对智能机器人的扶持。政策支持助推人形机器人发展，科技企业进军机器人产业已成为大势所趋。

今年以来主要人形机器人利好政策

时间	发布主体	政策	内容
2023年1月	工业和信息化部、教育部、公安部等十七部门	《“机器人+”应用行动实施方案》	到2025年，制造业机器人密度较2020年实现翻番，服务机器人、特种机器人行业应用深度和广度显著提升，机器人促进经济社会高质量发展的能力明显增强。聚焦10大应用重点领域，突破100种以上机器人创新应用技术及解决方案，推广200个以上具有较高技术水平、创新应用模式和显著应用成效的机器人典型应用场景，打造一批“机器人+”应用标杆企业，建设一批应用体验中心和试验验证中心。
2023年5月	深圳市	《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）》	加强科技研发攻关。聚焦通用大模型、智能算力芯片、智能传感器、智能机器人、智能网联汽车等领域，实施人工智能科技重大专项扶持计划，开展通用型具身智能机器人的研发和应用。实施核心技术攻关载体扶持计划，支持科研机构与企业共建5家以上人工智能联合实验室，加快组建广东省人形机器人制造业创新中心。
2023年6月	上海市	《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划（2023-2025年）》	布局新赛道和未来产业，打造智能网联汽车、智能机器人、智能穿戴、虚拟显示等终端品牌。加快建设智能工厂，实施智能工厂领航计划，打造20家标杆性智能工厂、200家示范性智能工厂，新增应用工业机器人不少于2万台。
2023年6月	北京市	《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023—2025年）》	聚焦发展机器人“1+4”产品体系，加紧布局人形机器人，带动医疗健康、协作、特种、物流四类优势机器人产品跃升发展。目标到2025年，本市机器人产业创新能力大幅提升，培育100种高技术高附加值机器人产品、100种具有全国推广价值的应用场景，万人机器人拥有量达到世界领先水平，全市机器人核心产业收入达到300亿元以上。

资料来源：工信部，深圳市人民政府官网，深汕网，上海市人民政府官网，北京市人民政府官网，华安证券研究所



目录

1 人形机器人：潜在市场广阔

2 人形机器人相关技术解析

3 核心零部件受益，关注投资机会

4 受益标的

人形机器人的进化速度快，产业化有望加速

- 人形机器人技术发展迅速，以优必选人形机器人Walker为例，五年时间就经过了四次迭代，运动能力和AI都有了很大的提高。随着AI、传感器、数字化等技术的进一步发展，人形机器人的产业化有望加速。

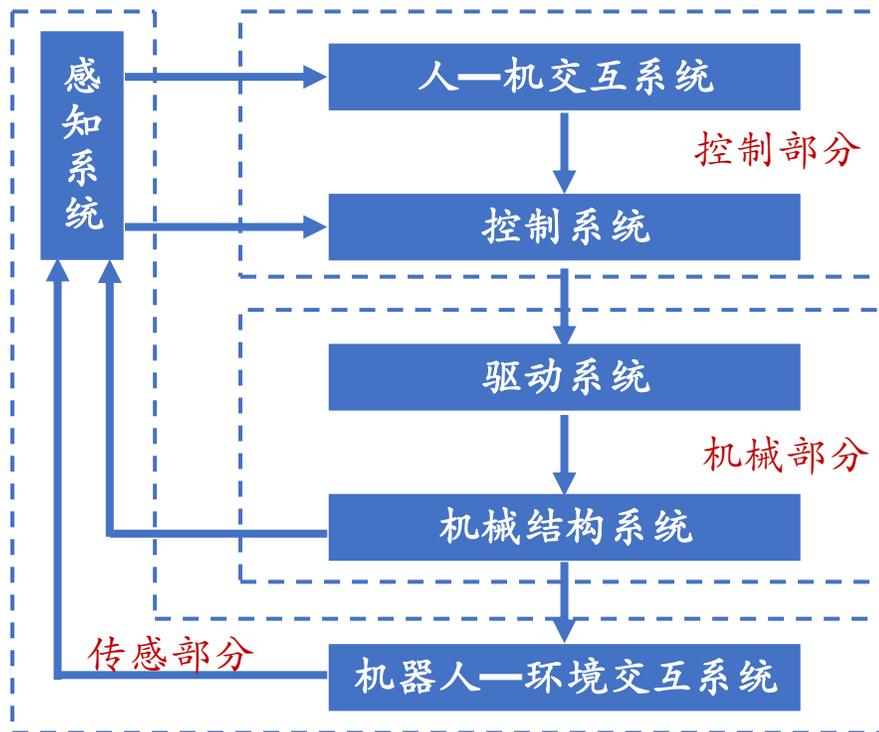
人形机器人Walker的发展历程

名称	Walker原型机	Walker第一代	Walker第二代	Walker X
外观				
发布时间	2016年	2018年	2019年	2021年
类别	双足机器人	双足机器人	人形机器人	人形机器人
参数	身高：120cm 重量：20kg 自由度：双腿6×2个	身高：135cm 重量：37kg 自由度：双腿6×2个，头部2个	身高：145cm 重量：77kg 自由度：总共36个， 双腿6×2个，双臂7×2个， 双手4×2个，头部2个	身高：130cm 重量：63kg 自由度：总共41个， 双腿6×2个，双臂7×2个， 双手6×2个，头部3个
负载能力	无	无	伸展状态单臂1.5kg	伸展状态单臂1.5kg
亮点	初步验证了双足机器人构型设计和控制算法，可以实现平整地面的动静态稳定行走	可以上下楼梯、全向行走，还增加了机器视觉等感知功能和交互元素	复杂地形灵活行走，自平衡调节，手眼协调操作，全身柔性，安全交互	复杂地形自适应，最大行走速度3km/h，最大上下斜坡角度20°。手部更加灵活，可完成更加精细的操作。自主路径规划，定位精度10cm，导航精度20cm，精定位精度1cm



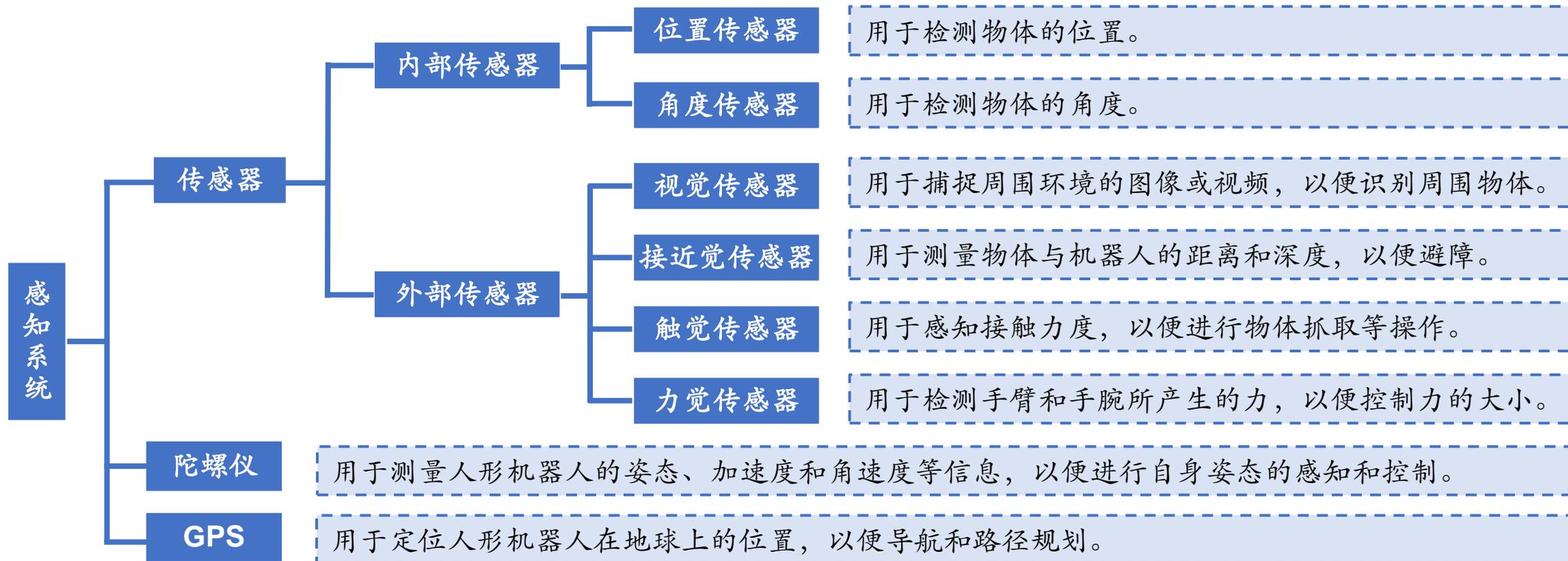
人形机器人的系统构成：传感、控制、机械

- 机器人技术是感知、决策、行动和交互技术的结合，可以分为传感部分、控制部分和机械部分，又可细分为六个子系统。
- 人形机器人技术趋势：人工智能（AI）的进步，传感器技术的进步，运动能力的进步，人机交互能力的进步。



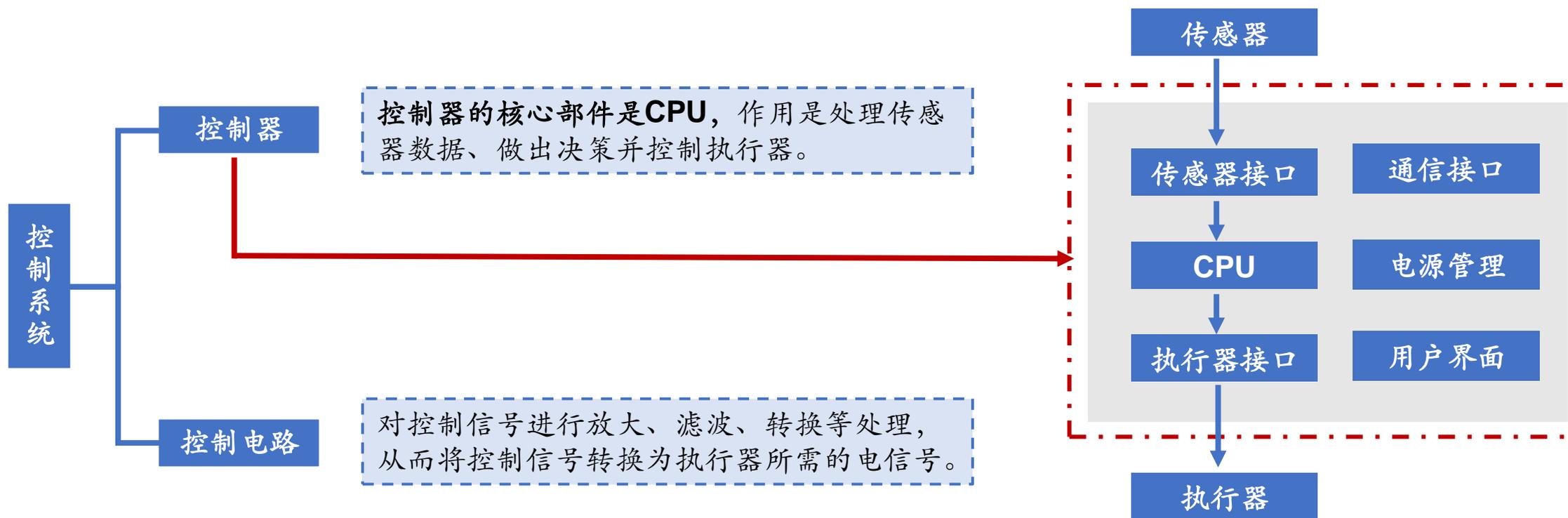
感知系统获取信息，主要由传感器组成

- 人形机器人的感知系统就像是人的眼睛、耳朵等感觉器官，可以获取人形机器人内部和外部的环境信息，并把这些信息反馈给控制系统。
- 感知系统主要是由具有不同功能的各种传感器构成，可分为内部传感器和外部传感器。内部传感器是用来检测机器人本身状态（如手臂间的角度）的传感器，外部传感器是用来检测外部环境及状况的传感器。



控制系统核心为控制器，处理感知系统信息

- ▶ 人形机器人的控制系统根据感知系统提供的信息来对机器人的行为和动作进行控制和调节，和感知系统相互配合，使机器人能够根据感知到的环境信息做出相应的响应和动作。
- ▶ 控制系统的核心是控制器，负责接收传感器的反馈信号，并根据预设的控制算法生成相应的控制信号，驱动机器人的执行器实现所需的动作和任务。



驱动系统驱动关节运动，电动驱动系统为主流

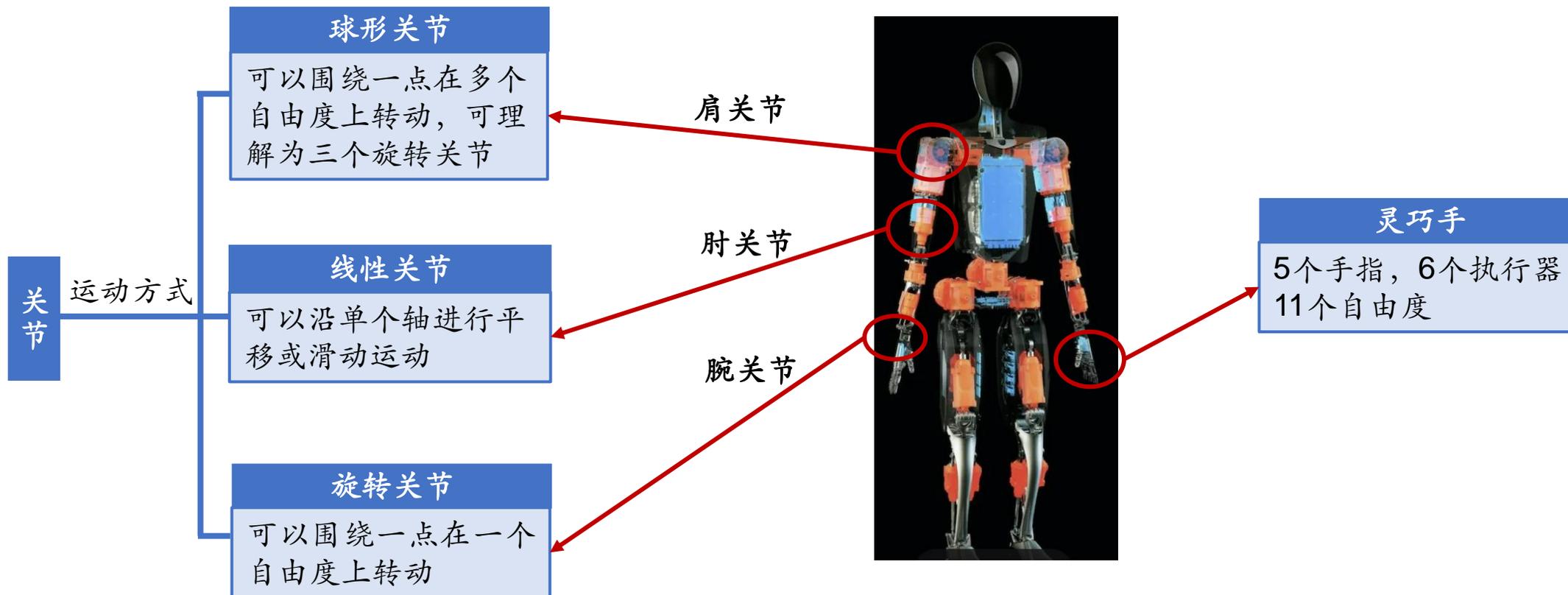
- 人形机器人的驱动系统是指用于实现机器人运动的系统，由各个关节的传动装置组成，可实现关节的转动或移动。根据能量转换方式的不同，驱动系统主要分为三大类型：液压驱动系统、气动驱动系统和电动驱动系统。
- 目前大多数人形机器人使用的是电动驱动系统，因为电动驱动系统控制精度高，可以实现精确的关节位置和速度控制，适用于需要高精度运动的人形机器人。
- 波士顿动力的Atlas机器人使用的是液压驱动系统。

三大驱动系统对比

名称	液压驱动系统	气动驱动系统	电动驱动系统
原理	由液压泵、液压缸和液压阀组成，液压泵通过提供高压液压油，用液压油的压力来驱动液压缸，从而实现机器人关节的运动	由压缩空气源、气缸和气动阀组成，压缩空气源提供高压气体，将气体送入气缸，使活塞在气体压力的作用下运动，通过气体的压力和流动驱动气缸实现关节的运动	控制电机的转速和转向来实现机器人关节的运动，控制器通过向电机提供适当的电流或脉冲信号，使电机按照期望的速度和角度运动
优点	力矩大，稳定性好，不易受外界干扰影响	成本低，安全性高，系统结构简单	控制精度高，响应速度快，功率密度高
缺点	控制复杂，需要液压泵、液压缸和液压阀等组件的配合；油液可能泄漏，需要定期维护和检查	难以实现伺服控制；响应速度较慢；功率密度低，无法提供较大的驱动力	对电源的依赖性较高
适用场景	能提供较大的驱动力矩，适用于承受较大负载的应用	适用于一些轻载荷的机器人应用或者安全需求高的机器人	可以实现精确的关节位置和速度控制，适用于需要高精度运动的人形机器人
应用案例	波士顿动力的Atlas机器人	手爪的开合	大多数人形机器人

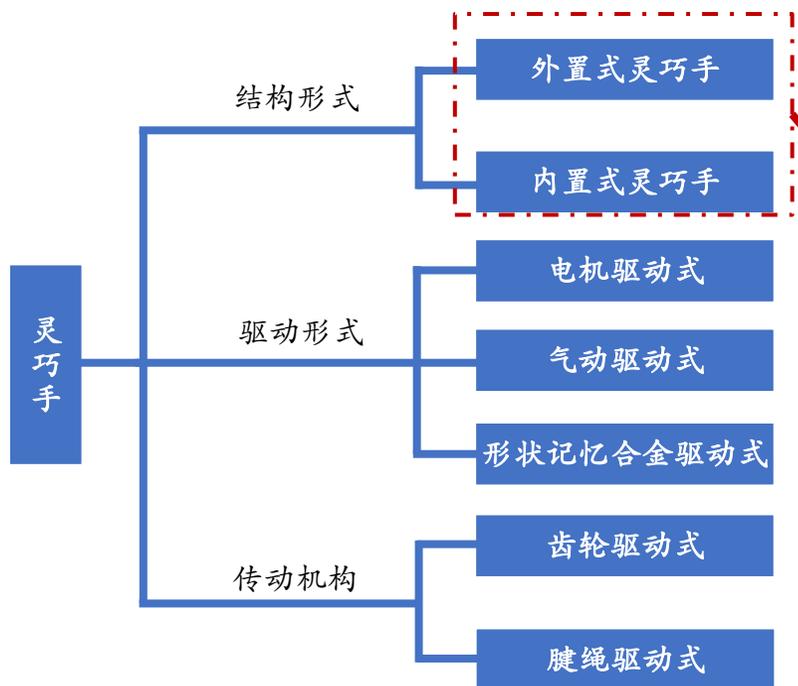
机械结构系统：关节和灵巧手

- ▶ 人形机器人的机械结构系统主要包括关节、灵巧手、骨架等结构。骨架起到支撑作用，而关节、灵巧手对人形机器人的灵活性有着非常重要的影响。
- ▶ **关节**：关节是机器人连杆接合部位形成的运动副，共同形成机器人肢体所需的运动。关节包括线性关节、旋转关节和球形关节。
- ▶ **灵巧手**：人形机器人的末端执行器，用于抓取物品，要求能够柔顺抓取不同形状，不同质量的物体。



机械结构系统：关节和灵巧手

- **灵巧手：**人形机器人的灵巧手是一种末端执行器，与工业机器人相比，人形机器人的灵巧手不是针对特定任务设计的，而要具备通用抓取能力。特斯拉的Optimus使用的是外置式灵巧手，有5个手指，6个执行器，11个自由度。
- **发展趋势：**1.提高自由度，使灵巧手更加灵活
2.灵巧手模块化，往内置式灵巧手方向发展



	外置式灵巧手	内置式灵巧手
结构	将体积较大的电机驱动器外置在手臂，采用拉线方式从远端控制灵巧手的关节	将驱动、传感、控制等所有的驱动执行零部件都集成在手掌内
应用	 特斯拉人形机器人Optimus	 优必选人形机器人Walker X（疑似）
优点	1.外置使得机械手本体的设计空间更大 2.可以增大手指的输出力	1.传感器直接测量，误差小 2.手指的模块化设计使各手指之间的互换性和可维护性大大增强
缺点	1.传感器难以反映手指关节情况 2.绳索机构预紧和标定都非常困难，而且手指的非模块化设计使其可维护性较差	1.驱动器的内置使通信和控制难度加大 2.手指尺寸及灵巧手整手尺寸较大，关节灵活度下降



目录

1

人形机器人：潜在市场广阔

2

人形机器人相关技术解析

3

核心零部件受益，关注投资机会

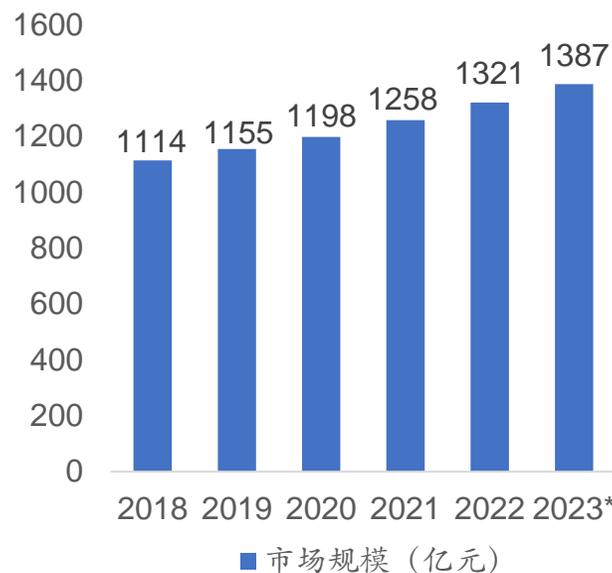
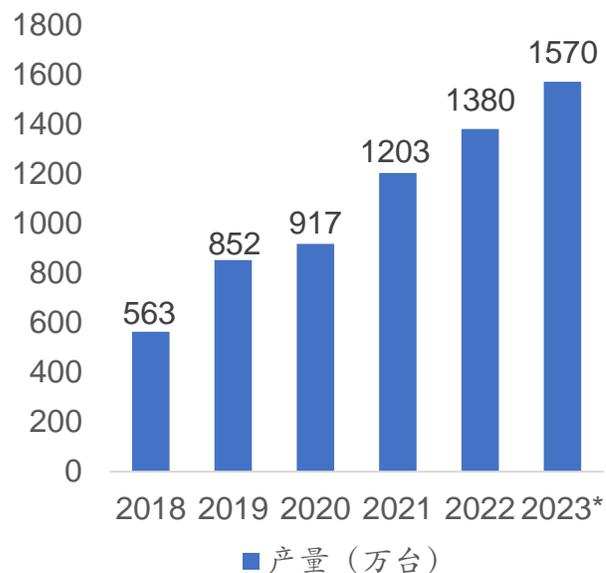
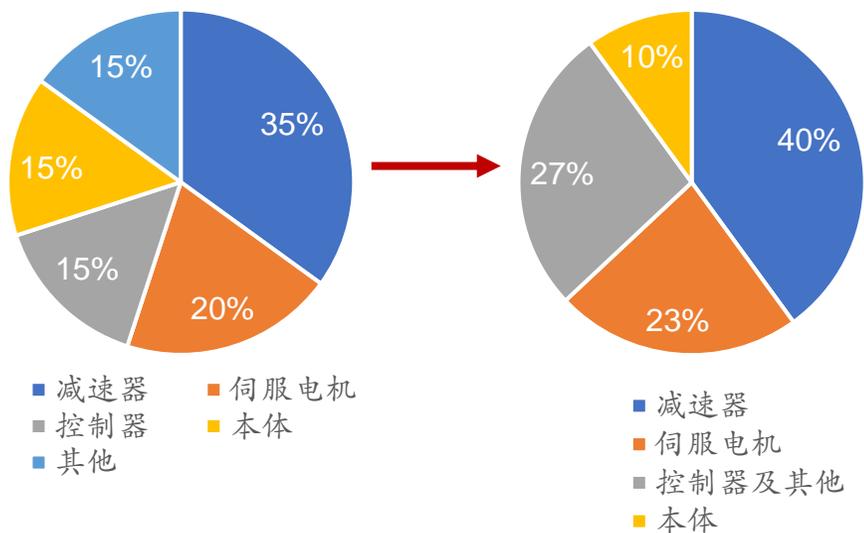
4

受益标的

核心零部件之一减速器：技术壁垒高，需求量大

- 机器人相关零部件中的核心零部件是减速器，伺服电机和控制器，减速器是机器人生产中技术壁垒最高的零部件。人形机器人的发展，对减速器的产量及市场规模起到一个助推作用，2023年中国减速器行业市场规模或将大幅增长。
- 成本构成分析：人形机器人的一个自由度对应一个减速器，相比工业机器人需要的3-6个减速器，人形机器人的自由度明显增多，需要大约三四十个减速器，所以在成本构成中的比例也应该高于工业机器人，预计占40%。而用于驱动的伺服电机的数目也需要相应的增多，预计占23%。由于人形机器人的负载不需要像工业机器人那么大，所以对材料的要求较低，且3D打印技术已经被应用以降低成本，预计占10%。控制器大多由厂家自研，控制器及其他共占27%。

工业机器人成本构成 人形机器人成本构成（预测） 2018-2023年中国减速器行业产量 2018-2023年中国减速器行业市场规模



核心零部件之一减速器：谐波减速器和RV减速器对比

- 减速器是一种用于降低电机输出的转速并增加输出的转矩的机械装置，是人形机器人生产中壁垒最高的零部件。
- 在人形机器人中，关节配备的减速器主要分为谐波减速器和RV减速器两种，通常用于提供足够的力矩和精确的运动控制，可以使机器人关节的运动更加平稳和精确。
- 在人形机器人中，还有一种减速器是行星减速器，如特斯拉Optimus的灵巧手所用的减速器就是行星减速器。

谐波减速器和RV减速器

	谐波减速器	RV减速器
外观		
原理	谐波减速器由波发生器、柔轮和刚轮组成，依靠波发生器使柔轮产生可控弹性变形，并靠柔轮与刚轮啮合来达到减速的目的	RV减速器由一个行星齿轮减速器的前级和一个摆线针轮减速器的后级组成，通过2级变速实现减速功能
优点	体积小、精度高、单级传动比大	刚度高、负载能力高、寿命长
缺点	刚度低、负载能力低，随着使用时间增长运动精度会显著降低	体积大、结构复杂、制作工艺难度大、成本高
使用寿命	大于10000h	6000h-20000h
价格区间	600-7000元	1500-10000元
应用场景	适合小型化、低载荷的应用	适合大型化、高载荷的应用

核心零部件之一减速器：特斯拉Optimus的关节减速器应用

- ▶ **谐波减速器应用**：Optimus的旋转关节使用了谐波减速器，肘关节、腕关节等小型化、低载荷的部位很可能使用谐波减速器。
- ▶ **RV减速器应用**：Optimus的髌关节、膝关节和踝关节等大型化、高载荷的线性关节很可能使用RV减速器。
- ▶ **行星减速器应用**：Optimus的灵巧手使用的是行星减速器。

特斯拉Optimus的六种关节

特斯拉Optimus的关节减速器（推测）

旋转关节部分构成：无框电机+谐波减速器+双编码器+力矩传感器



线性关节部分构成：无框电机+行星滚柱丝杠+力传感器



旋转关节：共14个，肩关节3×2个，腕关节1×2个，髌关节2×2个，腰关节2个。

线性关节：共14个，肘关节1×2个，腕关节2×2个，髌关节1×2个，膝关节1×2个，踝关节2×2个。

肩关节：6个谐波

肘关节：2个谐波

腕关节：6个谐波

膝关节：2个RV

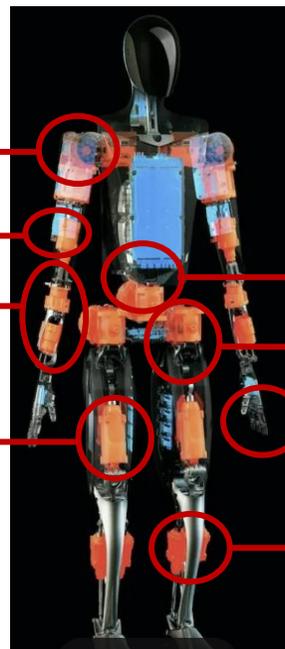
8个RV减速器
20个谐波减速器
12个行星减速器

腰关节：2个谐波

髌关节：2个RV
4个谐波

灵巧手：12个行星

踝关节：4个RV



核心零部件之一减速器：谐波减速器原理

▶ **谐波减速器结构：**谐波减速器由波发生器、柔轮和刚轮组成。

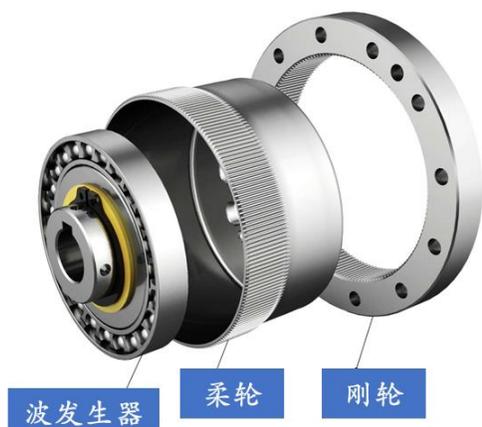
波发生器：由一个椭圆形凸轮和一个柔性轴承组成，通常与输入轴相联。柔性轴承内圈固定在凸轮上，外圈可通过滚珠实施弹性形变成椭圆形。

柔轮：开口部外圈带有齿轮的薄壁型金属弹性体部件，它随波发生器的转动而变形，通常安装在输出轴上。

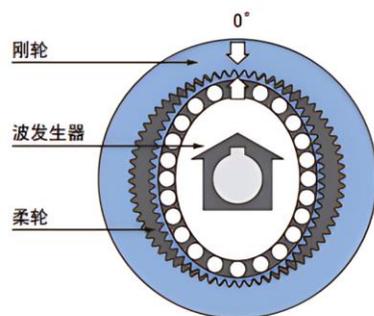
刚轮：刚体环状部件，内周刻有齿轮，一般情况下比柔轮多2齿，通常固定在外壳上。

▶ **谐波减速器原理：**柔轮被波发生器弯曲成椭圆形，随着波发生器转动过程中，其中一个齿从与刚轮的一个齿啮合到再一次与刚轮上的这个齿相啮合时，柔轮恰好旋转一周，而此时波发生器旋转了很多圈，波发生器的旋转圈数与柔轮旋转圈数（1圈）之比，即为谐波齿轮减速器的减速比，故其减速比很大。

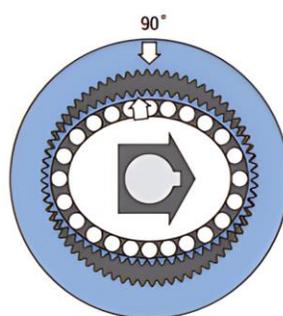
谐波减速器结构图



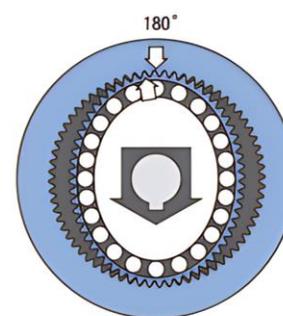
谐波减速器柔轮刚轮啮合过程



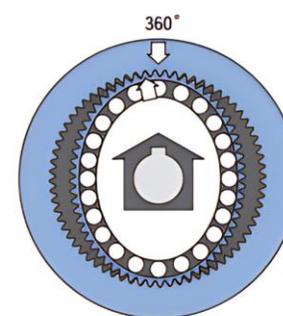
柔轮被波发生器弯曲成椭圆状。因此，在长轴部分刚轮和齿轮啮合，在短轴部分则完全与齿轮呈脱离状态。



固定刚轮，使波发生器按顺时针方向旋转后，柔轮发生弹性形变，与刚轮啮合的齿轮位置顺次移动。



波发生器向顺时针方向旋转180度后，柔轮仅向逆时针方向移动一齿。



波发生器旋转一周（360度）后，由于比刚轮减少2齿，因此柔轮向逆时针方向移动2齿。一般将该动作作为输出执行。

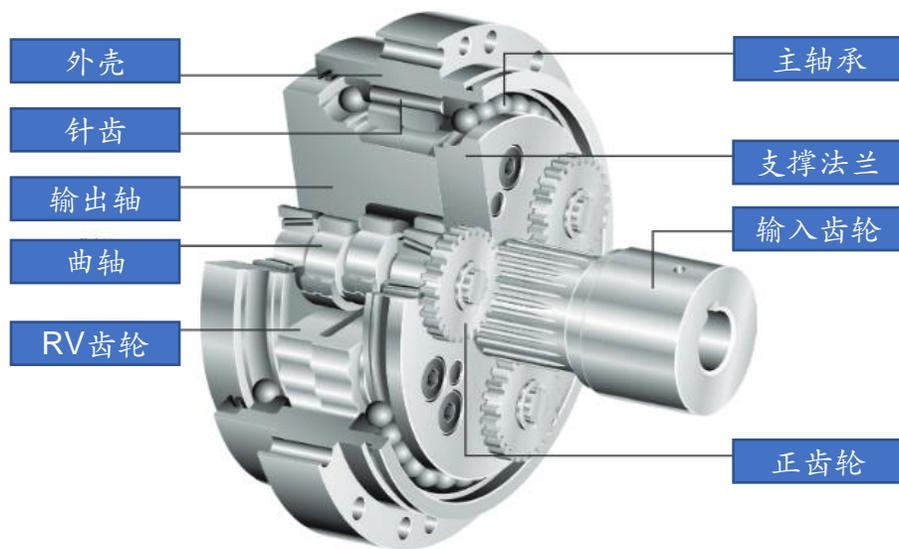
核心零部件之一减速器：RV减速器原理

➤ **RV减速器结构**：RV减速器为二级减速结构，由一个行星齿轮减速器和一个摆线针轮减速器组成。行星齿轮减速器中的正齿轮为第一级减速，摆线针轮减速器的针齿轮为第二级减速。

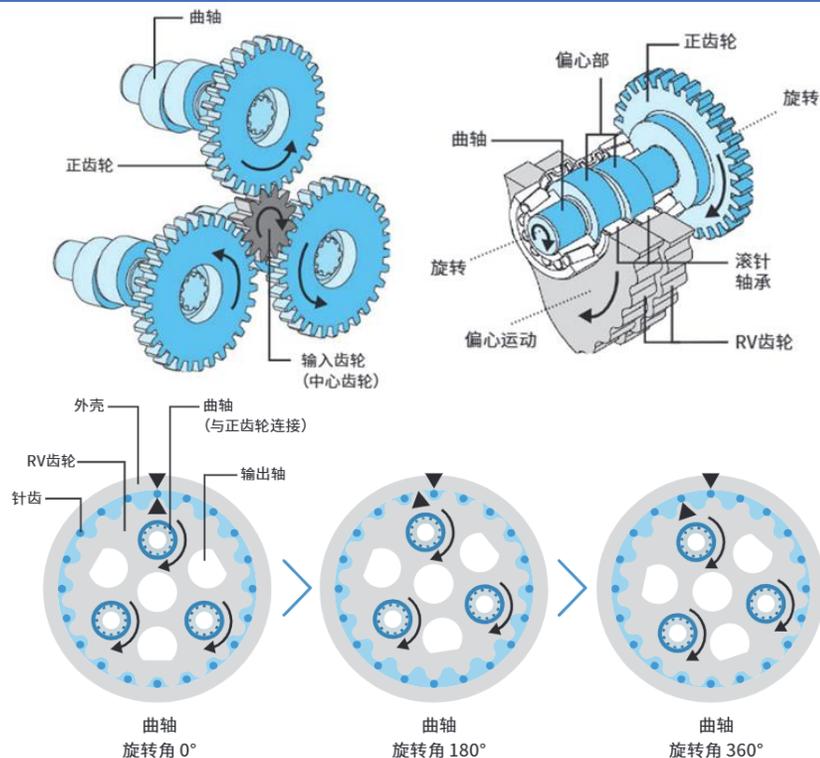
第一级减速：由输入齿轮传递至正齿轮，按齿数比进行减速，曲轴与正齿轮连接，带动RV齿轮进行偏心运动。

第二级减速：针齿比RV齿轮的齿数多1个，RV齿轮进行1圈偏心运动就沿反方向旋转1个齿数。

RV减速器结构图



RV减速器二级减速过程



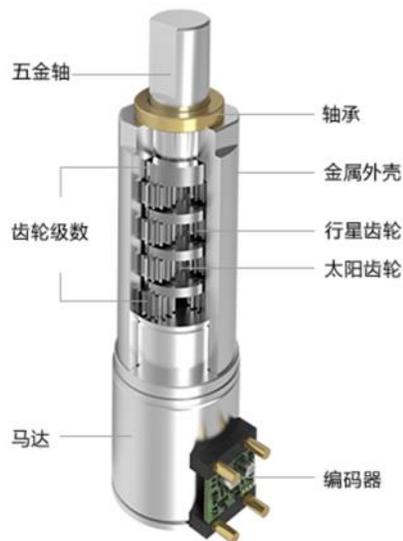
核心零部件之一减速器：行星减速器原理

- ▶ **行星减速器结构：**行星减速器主要由行星齿轮、太阳齿轮、传动轴、传动电机组合而成。
- ▶ **齿轮级数：**由于一套行星齿轮无法满足较大的传动比，经常需要多套行星齿轮来达到较大的传动比，所以行星减速器经常是多级行星减速器。

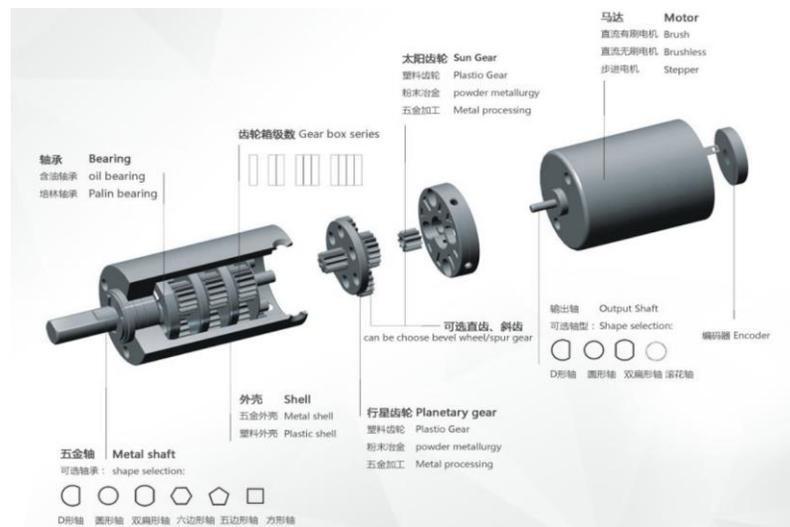
原理：当太阳齿轮旋转时，行星齿轮一边自转一边围绕太阳齿轮公转，按齿数比进行减速，并带动下一级太阳齿轮旋转。

特点：当齿轮级数增多时，效率会逐渐下降，所以传动比实际上不会太大。

行星减速器结构图



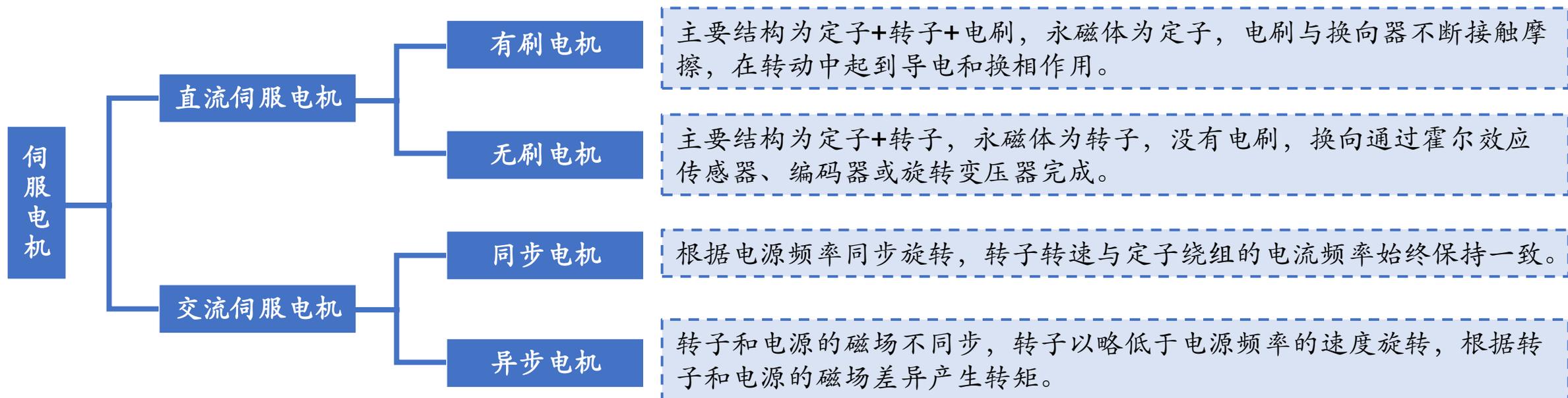
行星减速器爆炸图



核心零部件之二伺服系统：伺服电机精准控制关节

- 大多数人形机器人采用的驱动系统是电动驱动系统，即通过控制电机的转速和转向来实现机器人关节的运动，通常使用的电机是伺服电机。伺服电机是人形机器人电动驱动系统的核心组件，通过与关节相连的机械结构将转动转换为关节的运动，从而对人形机器人各个关节进行精确控制。
- 伺服电机的“伺服”不是指电机的结构，而是指“服从”的意思。伺服电机是一种具有闭环控制系统的电机，通常由直流电机或交流电机作为执行器，并不断将实际状态进行反馈来调整控制，从而实现高度“服从”的精准控制。

伺服电机分类



核心零部件之二伺服系统：汇川技术中国市场占比第一

➤ 伺服系统：伺服电机并不是单独存在，而是作为伺服系统的一部分。伺服系统是由伺服驱动器、伺服电机和编码器组成的闭环控制系统，其作用是将电机的输出与实际需求进行匹配，实现精确的运动控制。

➤ 人形机器人的伺服系统应满足以下几个条件：

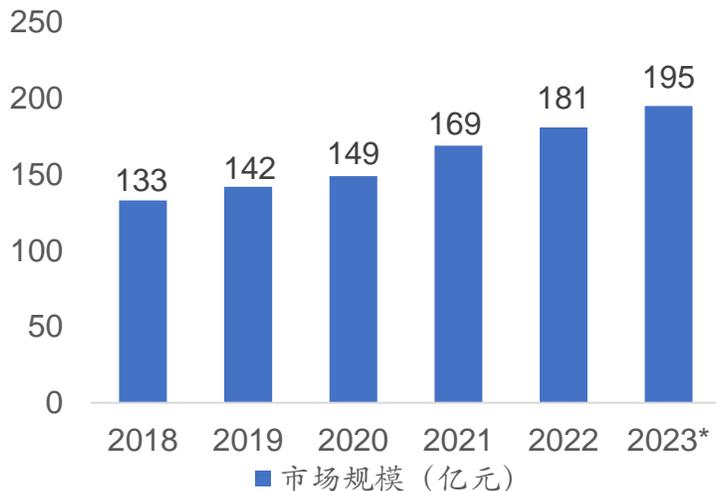
快速响应性：人形机器人对伺服系统的反应灵敏性要求很高。

高负载运作：人形机器人负载量较大，因此要求伺服电机的起动转矩大，转动惯量小，有足够的起动转矩惯量比，并能在短时间内承受数倍过载。

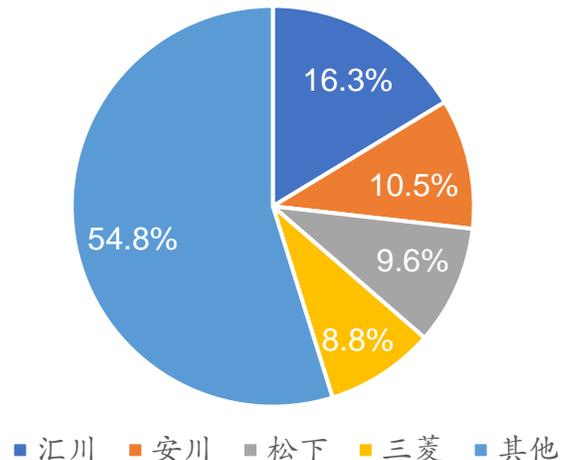
体积质量小：为减小人形机器人的体型，伺服电机必须体积小、质量小、轴向尺寸短。

➤ 伺服系统的龙头企业是汇川技术，2021年汇川技术通用伺服系统在中国市场份额达到16.3%，首次超越外资品牌。

2018-2023年中国伺服电机行业市场规模



2021年中国伺服电机行业市场竞争格局



核心零部件之二伺服系统：伺服系统集成化设计

➤ 伺服系统由伺服驱动器、伺服电机和编码器组成。

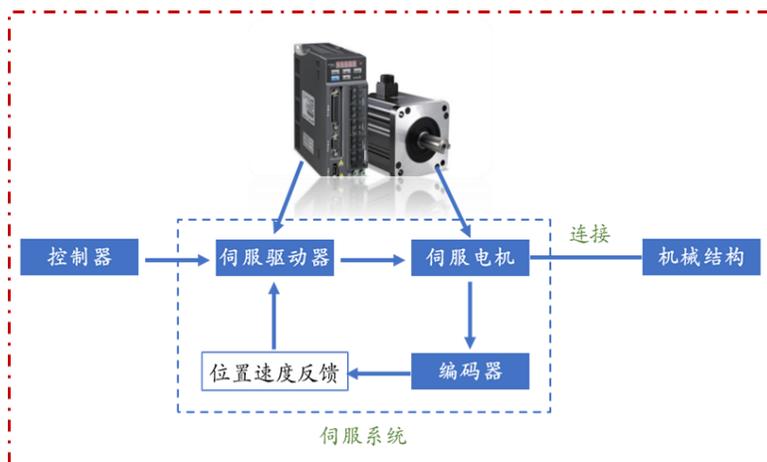
伺服驱动器：接收控制信号并生成相应的电流输出，控制伺服电机的转动。

伺服电机：通过控制电流和位置反馈信号来实现精确的位置和速度控制。

编码器：通常安装在伺服电机的轴上，用于测量和反馈伺服电机位置信息，将位置信息转换为电信号，并传输给伺服驱动器。

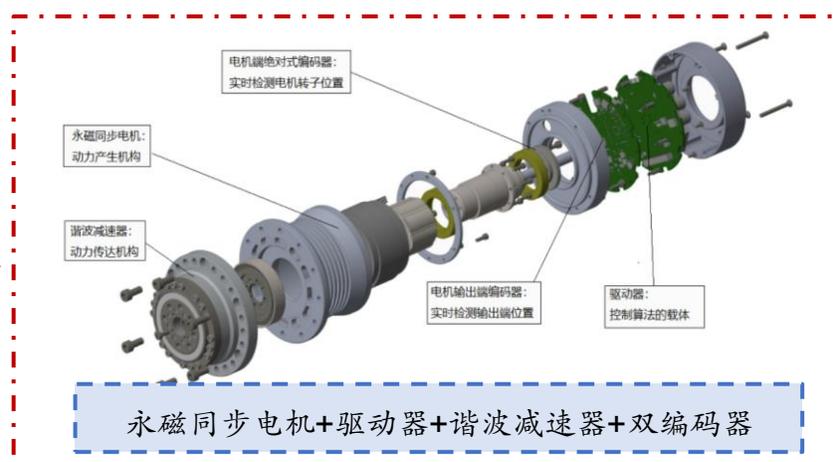
➤ 人形机器人的伺服系统正在往集成化设计的方向发展。以优必选的人形机器人Walker为例，采用集成化的伺服驱动器作为机器人的关节，可以满足高功率密度、大扭矩输出的需求。

伺服系统示意图



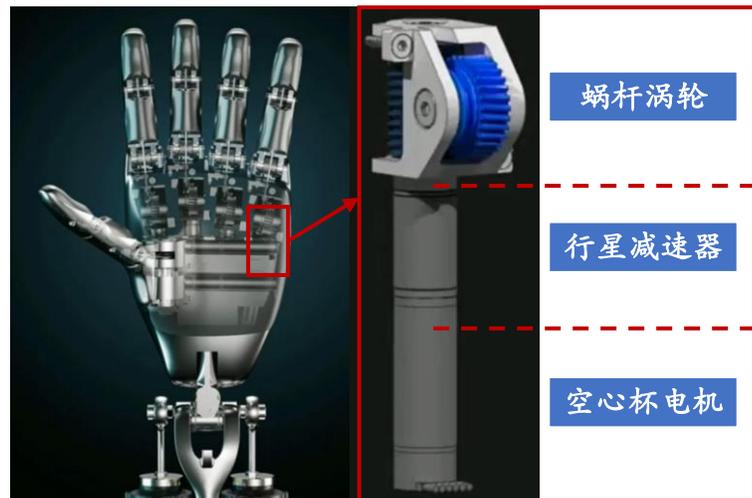
集成化

集成伺服驱动器示意图



核心零部件之三空心杯电机：灵巧手核心部件

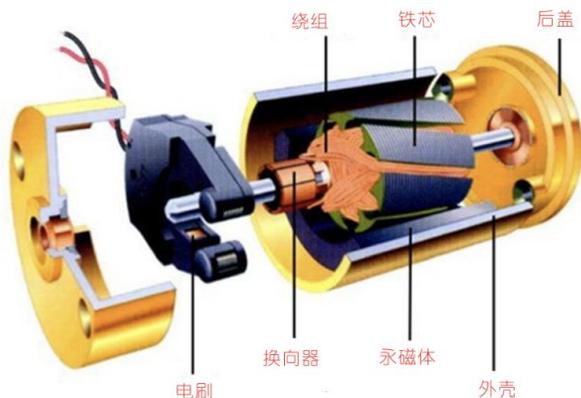
特斯拉灵巧手结构



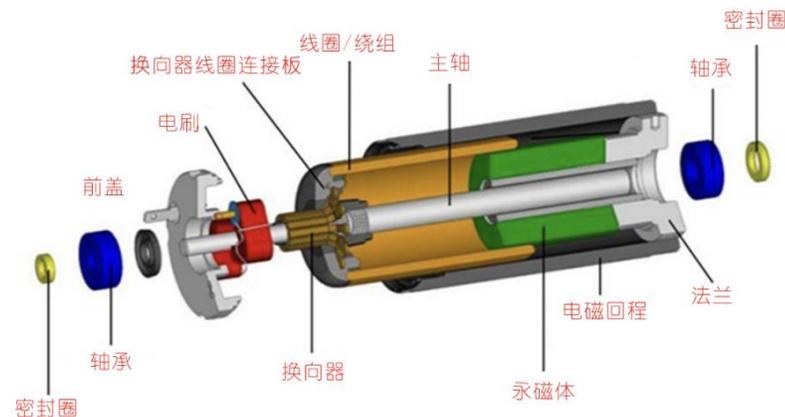
- 空心杯电机是一种特殊的直流永磁伺服电机，不同于传统电机采用铁芯转子，空心杯电机采用的是无铁芯的空心杯型转子。
- 空心杯电机是特斯拉灵巧手的核心部件：灵巧手的手指空间狭小，空心杯电机具有体积小、重量小等优点，与灵巧手的需求非常契合。

优点：1. 没有铁芯，所以体积小、重量小，且转动惯量小，大扭矩急加速急减速性能突出。
2. 无铁芯结构彻底消除了铁芯的涡流造成的电能损耗，效率高。
3. 无齿槽效应，运行平稳，噪音小。

铁芯电机



空心杯电机



核心零部件之三空心杯电机：空心杯电机潜在市场

- 相关企业：空心杯电机的转子没有铁芯，相对于传统的铁芯电机，空心杯电机的结构更加复杂，制造组装要求较高。目前国内能做空心杯电机的企业不多，比较有优势的是鸣志电器和鼎智科技。

鸣志电器：产品包括有刷空心杯电机和无刷空心杯电机，可提供多种额定电压版本的一系列空心杯电机。

鼎智科技：目前产品为无刷空心杯电机，已实现全自动量产。

- 特斯拉灵巧手使用的空心杯电机没有说明是采用有刷空心杯电机还是无刷空心杯电机，但是有刷空心杯电机寿命短（2000h），且易产生火花，而无刷空心杯电机寿命长（20000h），所以估计很可能采用无刷空心杯电机。

- 空心杯电机潜在市场：灵巧手对空心杯电机的需求量较大，参考特斯拉人形机器人Optimus，一个人形机器人需要12个空心杯电机。如果采用有刷空心杯电机，单价约为600元，那一个人形机器人的空心杯价值量为7200元。如果采用无刷空心杯电机，单价约为1000元，则为12000元。根据新思界的报告，2022年全球空心杯电机市场规模为7.9亿美元，机器人为空心杯电机的主要应用领域，人形机器人市场的增长将很大程度上带动空心杯电机市场增长。

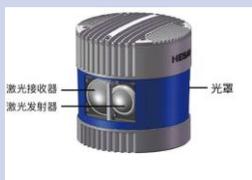
空心杯电机分类



核心零部件之四传感器：人形机器人对传感器要求高

- 传感器的作用是获取人形机器人内部和外部的环境信息，并把这些信息反馈给控制系统，可分为位置传感器、角度传感器等内部传感器和视觉传感器、接近觉传感器、触觉传感器和力觉传感器等外部传感器。与工业机器人相比，人形机器人对交互、导航、避障等功能的要求更高，对传感器的要求也更高。
- 人形机器人的所用的传感器种类繁多，以视觉传感器为例，人形机器人的视觉传感器就包括摄像头、超声波传感器、激光雷达和毫米波雷达等类型，它们共同构成人形机器人的视觉。

不同种类的视觉传感器对比

名称	人脸识别相机	深度相机	超声波传感器	激光雷达	毫米波雷达
外观					
原理	使用普通的彩色相机来捕捉人脸图像，并通过算法来检测、识别和验证人脸	使用结构光、飞行时等技术来测量物体与相机之间的距离或深度信息	通过超声波的发送和接收来测量物体的距离	通过激光束的发送和接收来测量物体的距离和位置	通过毫米波频段的电磁波的发送和接收来测量物体的距离和速度
优点	无需特殊硬件	能够获取物体的距离、形状和位置等信息	成本低，对于小尺寸物体和近距离测量具有较高的精度	具有较高的精度和分辨率	对于天气和光照不敏感
缺点	对光照、角度和遮挡等因素敏感	对于细节和纹理不明显的物体不准确	受环境干扰大	成本高，不适用于透明物体或光学反射率低的物体	成本高，不适用于小尺寸物体
测量范围	0.3m-1.2m	0.2m-4m	0.2-2m	0.3m-200m	0.2m-300m
测量精度	0.005m	1%	0.15%	0.08m	0.15m



目录

1

人形机器人：潜在市场广阔

2

人形机器人相关技术解析

3

核心零部件受益，关注投资机会

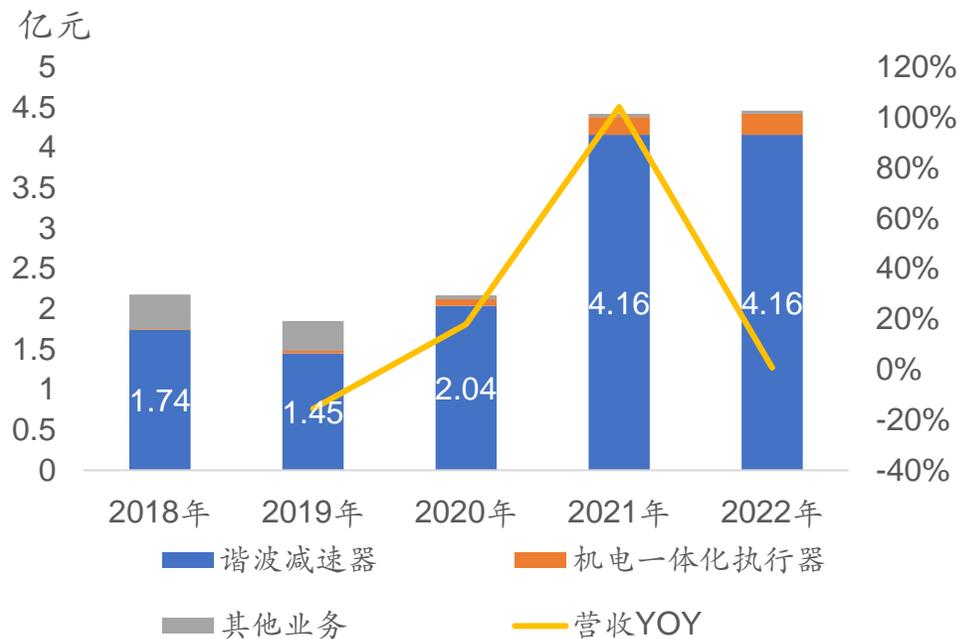
4

受益标的

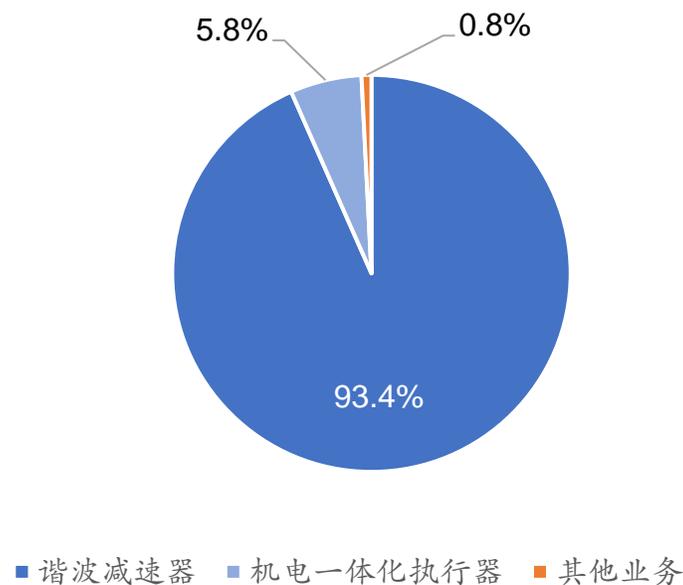
绿的谐波

- ▶ **谐波减速器龙头**：绿的谐波主营业务为谐波减速器和机电一体化执行器，研究谐波减速器多年以来已推出近百种谐波减速器，并不断更新改进产品，品牌受到市场的广泛认同。
- ▶ **谐波减速器业务占比高**：2022年公司营业收入中谐波减速器业务占绝大部分，占比为93.4%。
- ▶ **营收有望大幅增长**：2020年谐波减速器营收为2.04亿元，2021年增长至4.16亿元，2022年稳定维持在4.16亿元。2022年公司谐波减速器的销量接近26万台，人形机器人对谐波减速器的需求量非常大，2023年谐波减速器销量预计会有很大提升，营收有望大幅增长。

2018年-2022年公司营业收入



2022年公司营业收入占比



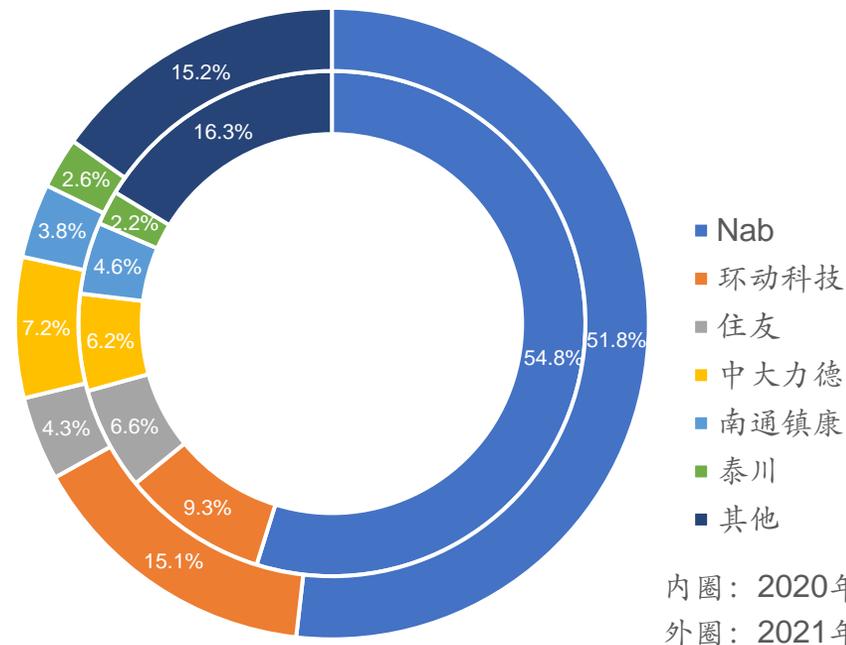
双环传动

- 布局RV减速器赛道：**双环传动主营业务为机械传动齿轮及相关零部件的研发，聚焦精密传动事业40多年，积极布局RV减速器赛道，2020年成立全资子公司环动科技，专门从事机器人关节精密减速器、精密液压零部件的研制及产业化。
- 子公司环动科技为RV减速器龙头：**RV减速器的技术难度大，环动科技已经形成了强大的技术优势，已完成RV减速器的创新研发并向产业化转型，成为国产机器人市场领军品牌，目前主营产品有RV减速器E系列、RV减速器C系列和谐波减速器。近年来，中国RV减速器行业国产化程度提高，环动科技2020年市场份额为9.3%，2021年提高到15.1%。

环动科技主要产品



2020年-2021年中国RV减速器行业市场竞争格局



资料来源：iFinD，华经产业研究院，双环传动，华安证券研究所

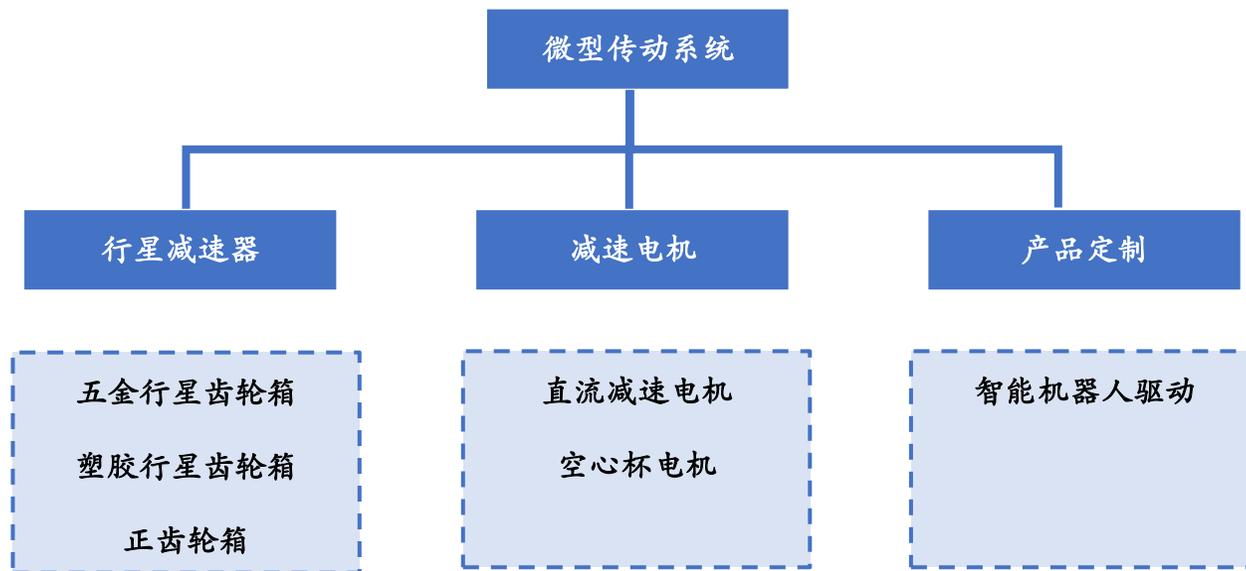
兆威机电

- **相关产品是行星减速器、空心杯电机：**兆威机电的主营业务是微型传动系统的研发、生产和销售。微型传动系统与人形机器人领域联系紧密，公司相关产品为行星减速器、空心杯电机等。
- **技术优势：**可提供尺寸范围大（外径3.4mm-38mm）的一系列行星减速器，行星齿轮组级数在1-5级，有望在空心杯电机中得到应用，并可直接提供外径6mm的空心杯减速电机。
- **营收分析：**兆威机电近三年的营收比较稳定，行星减速器、空心杯电机所在的微型传动系统业务在公司营收中占大部分，考虑到人形机器人的影响，公司营收有望再创新高。

2018年-2022年公司营业收入



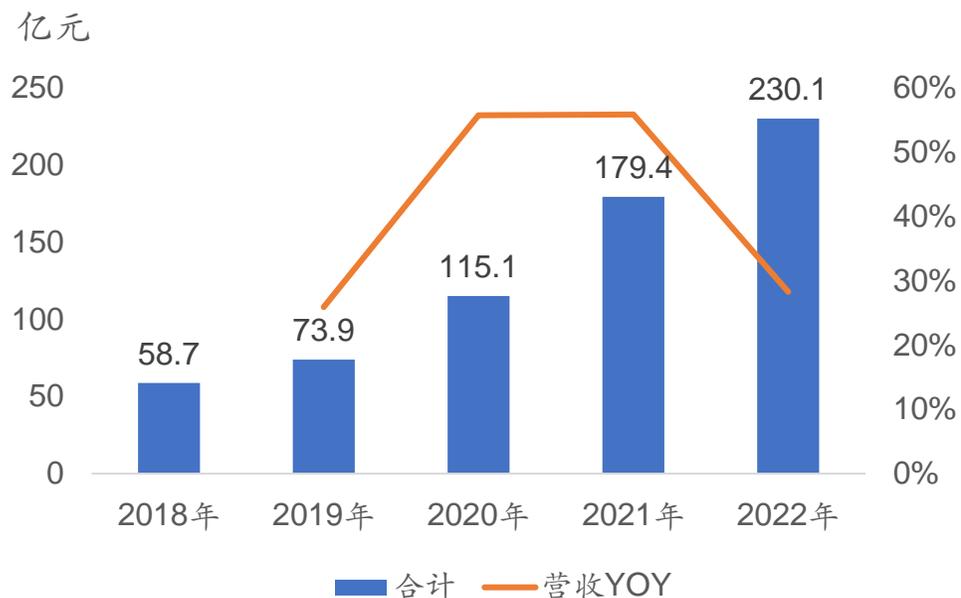
人形机器人领域相关产品



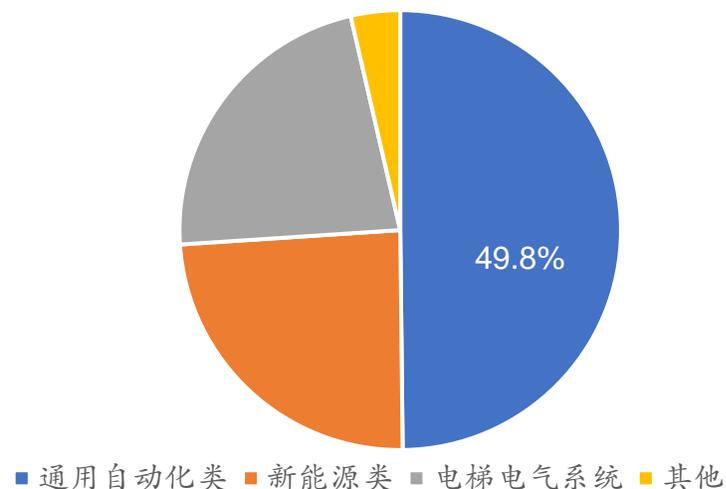
汇川技术

- ▶ **主营业务为伺服系统：**汇川技术的主营业务包括伺服系统、控制系统、工业视觉系统、传感器等。其中伺服系统包括单轴伺服系统和多轴伺服系统，汇川单轴伺服系统是高性能交流伺服系统，系列产品功率范围从50W到7.5kW，可以实现多台伺服驱动器联网运行。
- ▶ **中国市场份额占比第一：**据汇川技术2022年年报，公司通用伺服系统在中国市场份额约占21.5%，位居第一名。且在2022年11月，汇川技术岳阳伺服电机生产基地成功封顶，有望进一步提高产量。
- ▶ **营收同比增速始终保持25%以上：**汇川技术的营收增长迅猛，从2018年的58.7亿元增长至2022年的230.1亿元，同比增速始终保持在25%以上。营业收入构成中，伺服系统所在的通用自动化类占比最大，接近50%。

2018年-2022年公司营业收入



2022年营业收入业务构成

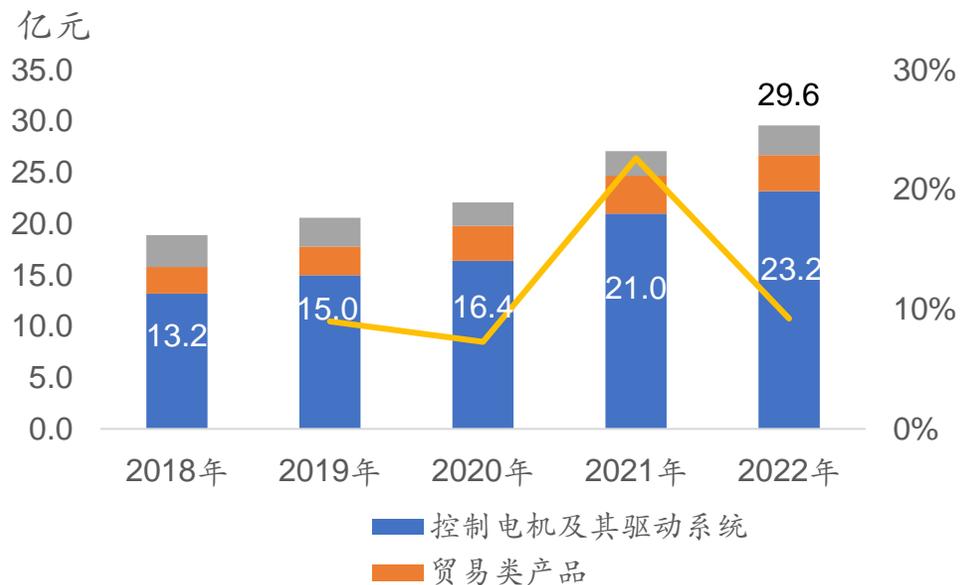




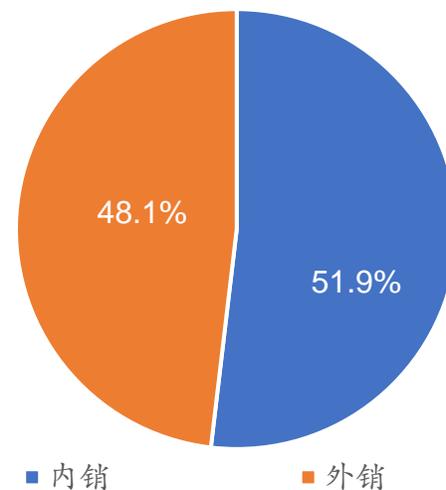
鸣志电器

- ▶ **空心杯电机有技术优势：**鸣志电器主营业务是控制电机及其驱动系统，产品线齐全，包括步进电机、空心杯电机、伺服驱动器与电机等。最有技术优势的人形机器人相关产品是空心杯电机，包括有刷空心杯电机和无刷空心杯电机，可提供多种额定电压版本的一系列空心杯电机。
- ▶ **全球销售网络：**鸣志电器在控制电机业界知名，分公司遍及北美、欧洲、日本和东南亚，已形成全球销售网络，产品受到国内和国外市场认可，在2022年营业收入中，外销占比48.1%。
- ▶ **电机业务营收占比大，空心杯电机或将拉升营收：**2022年公司营业收入为29.6亿元，其中电机业务营业收入为23.2亿元，占比约78%。随着人形机器人的发展，对空心杯电机的需求量也将提升，或将拉升营收。

2018年-2022年公司营业收入



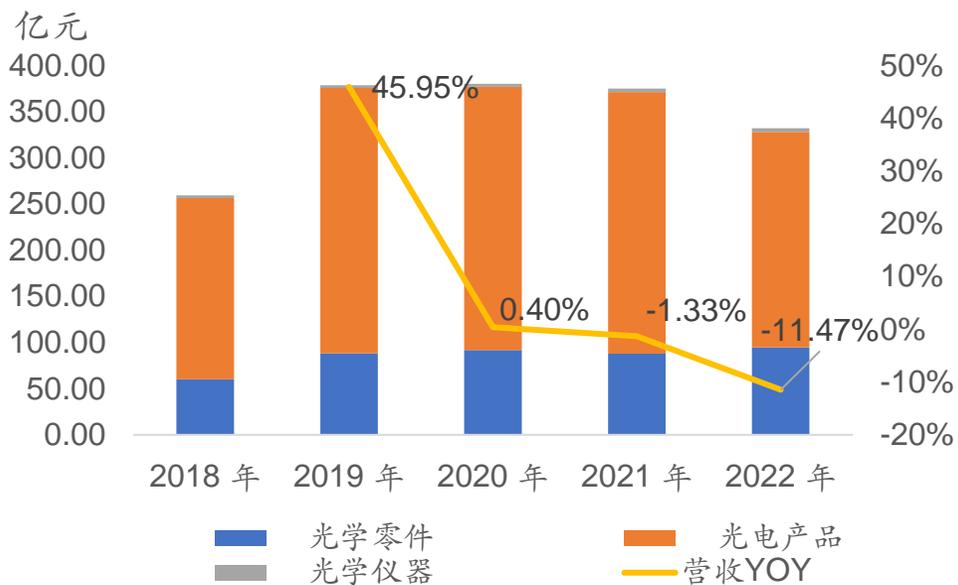
2022年营业收入地区分布



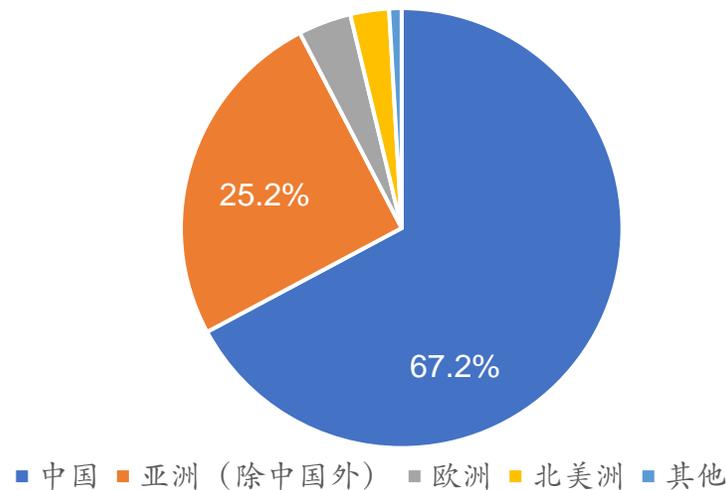
舜宇光学科技

- ▶ **全球领先的综合光学零件及产品制造商：**舜宇光学科技主要从事设计、研发、生产及销售光学及光学相关产品。随着人形机器人产业的发展，传感器市场也会有较大的增长，公司有望受益。
- ▶ **车载镜头市场占有率高，技术积累深厚：**公司客户群体广大，车载镜头的市场占有率连续多年位居全球首位，在视觉传感器领域有着深厚的技术积累，在人形机器人的传感器上可以借鉴车载镜头的相关经验。
- ▶ **营收分析：**舜宇光学科技专营光学零件和光电产品，业务集中于光学领域，受光学领域景气度影响大，2019年光学领域景气度高，公司营收就增长明显，现在人形机器人对光学传感器的需求或将拉高公司业绩。

2018年-2022年公司营业收入



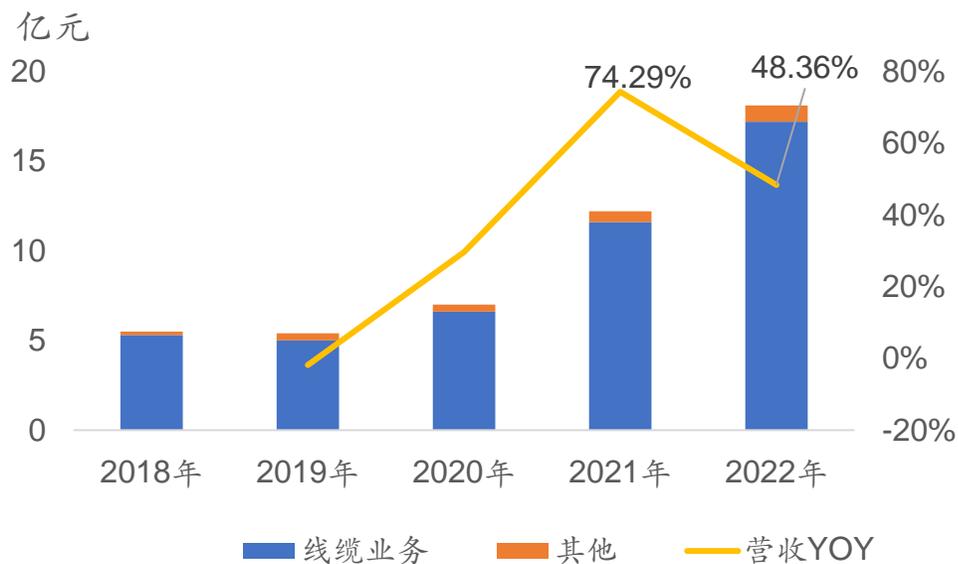
2022年营业收入地区分布



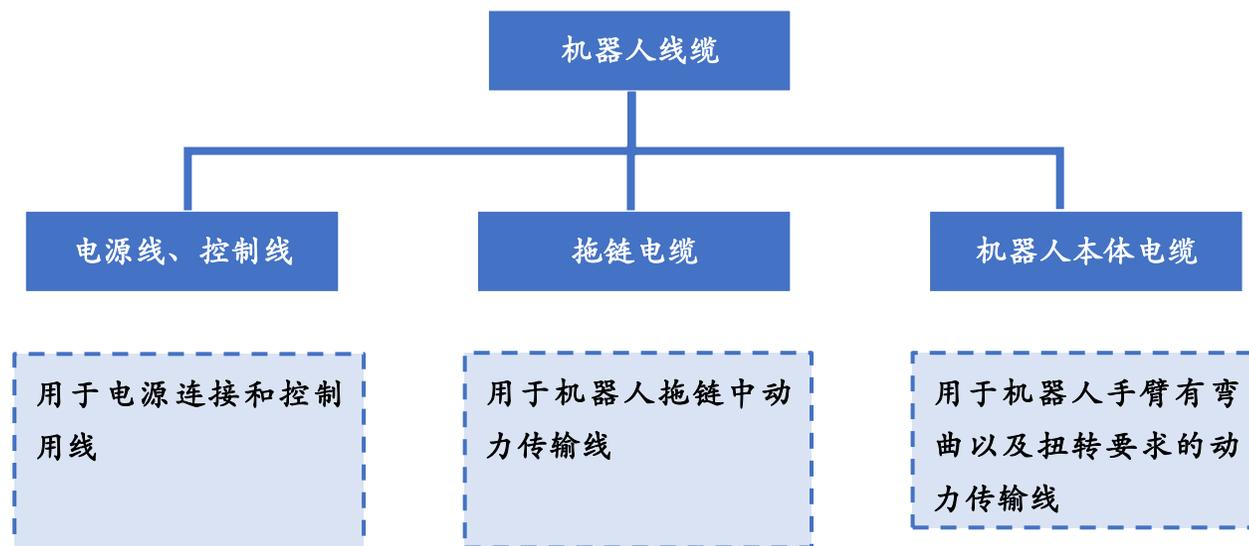
鑫宏业

- **相关产品是机器人线缆：**主营业务为各种特种线缆的研发、生产及销售，其中的机器人电缆包括电源线、控制线、拖链电缆、机器人本体电缆等。公司积极推动专业细分领域行业标准的制定，是本行业标准的主要起草单位之一。
- **生产能力：**公司拥有现代化生产线14条，设备56台，新增设备双层共挤1台，实现月生产力72800KM，同时拥有全套的检验与试验设备，能够满足机器人扩产时线缆生产的需要。
- **营收分析：**鑫宏业的主营业务为线缆业务，2022年公司营收为18.1亿，其中线缆业务营收为17.2亿，占比约95%。近两年营收增长迅猛，2021年同比增长率为74.29%，2022年同比增长率为48.36%。

2018年-2022年公司营业收入



人形机器人领域相关产品





风险提示

➤ 人形机器人发展不如预期的风险

人形机器人的技术难度较大，如果技术突破速度较慢，可能导致发展不如预期的风险。

➤ 技术先进的人形机器人成本难以降低的风险

如波士顿动力的Atlas机器人虽然能够倒立、跳马、跳舞和跑酷，但是因其成本过于高昂而难以量产。

➤ 国内宏观经济下行的风险

如果因为不可预知的因素导致国内宏观经济下行，可能对人形机器人产业造成负面影响。



重要声明

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起6个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，A股以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普500指数为基准。定义如下：

行业评级体系

- 增持—未来6个月的投资收益率领先市场基准指数5%以上；
- 中性—未来6个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至5%；
- 减持—未来6个月的投资收益率落后市场基准指数5%以上；

公司评级体系

- 买入—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数15%以上；
- 增持—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数5%至15%；
- 中性—未来6-12个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至5%；
- 减持—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数5%至；
- 卖出—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数15%以上；

无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。