

# 人形机器人

# 2025

# 产业链分析报告

HUMANOID ROBOT INDUSTRY CHAIN ANALYSIS REPORT



# 01. 产业链全局：上游零部件众多，下游应用场景丰富

- 人形机器人产业链由三部分组成，上游主要是组成机器人的零部件，由4大系统构成，感知系统、控制系统、运动与执行系统以及智能决策系统，每个系统都由较多的零部件组成，如感知系统有视觉、力矩、触觉等不同传感器组成。运动与执行系统由减速器、滚珠丝杠、电机等核心零部件组成。中游则是主要输出人形机器人本体产品，对机器人外形及架构设计，并集成各个零部件，输出完整功能模块的机器人。下游则是机器人的应用场景，包括仓储物流、工业制造、家庭服务等场景。从产业链可以看出，人形机器人上游零部件较多，构成较为复杂，是产业链核心。

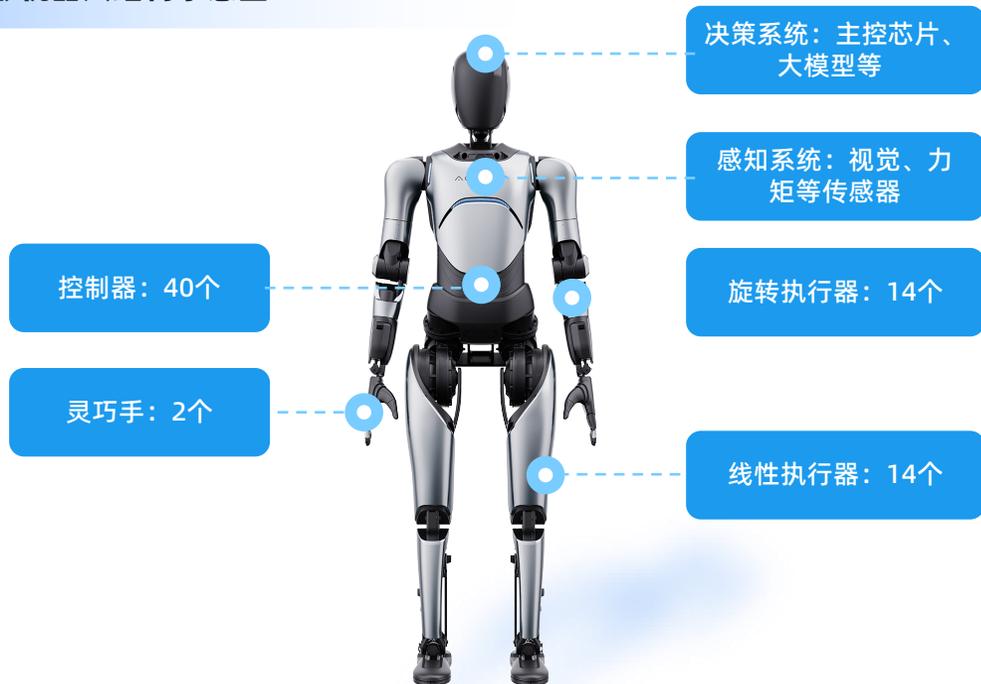
## 人形机器人产业链

产业链环节	上游				中游	下游		
细分领域	伺服系统/电机	减速器	传感器/控制器	丝杠/轴承	本体制造与系统集成	工业制造	医疗/教育/公共服务	消费服务
主要参与企业	步科股份 鸣志电器 江苏雷利 昊志机电	绿的谐波 中大力德 双环传动 秦川机床	汇川技术 奥普光电 汉威科技	长盛轴承 北特科技 恒立液压	特斯拉 (Optimus) 优必选 (Walker系列) 小米 (CyberOne) 智元机器人 (远征A1) 傅利叶智能 (GR-1) 宇树科技 (H1)	汽车装配 3C电子生产 物流搬运等场景	手术辅助 康复训练 教学演示 应急救援等应用	家庭陪护 商业导览 家政服务等

## 02. 人形机器人上游：执行器是核心，感知系统覆盖面广

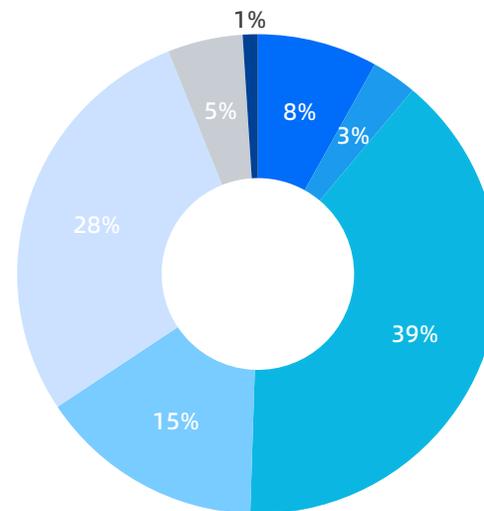
- 上游四大系统，其中运动与执行系统最为核心，其可拆分为3大模块，旋转执行器、线性执行器以及灵巧手。三大模块负责执行机器人的手部拿抓操作以及行走、跳跃等活动，三大模块占成本比重高达60%。其中，线性执行器是成本核心，占比占机器人的39%，在所有零部件中最高。感知系统是机器人与外界交互的核心，通过视觉、触觉、力矩等传感器取得外界信息从而做出反馈，其成本占比达到28%，感知系统覆盖机器人全身各个位置，覆盖面较广。决策系统组成零部件较少，主控芯片和大模型算法及软件，但价值量大，占比达到8%。控制系统及电池占比相对较小。

### 人形机器人结构示意图



### 机器人各零部件成本构成

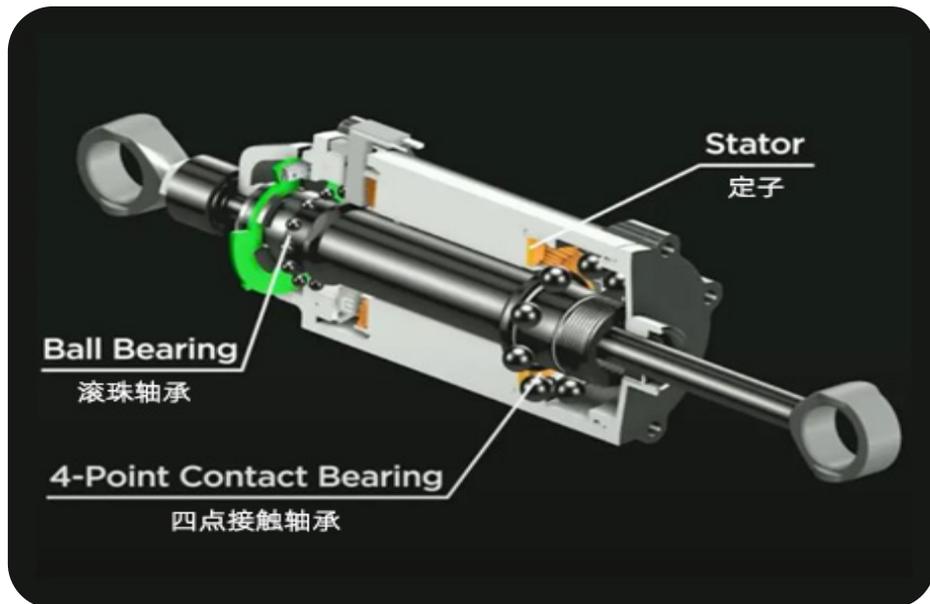
■ 决策系统 ■ 控制系统 ■ 线性执行器 ■ 旋转执行器 ■ 感知系统 ■ 灵巧手 ■ 电池



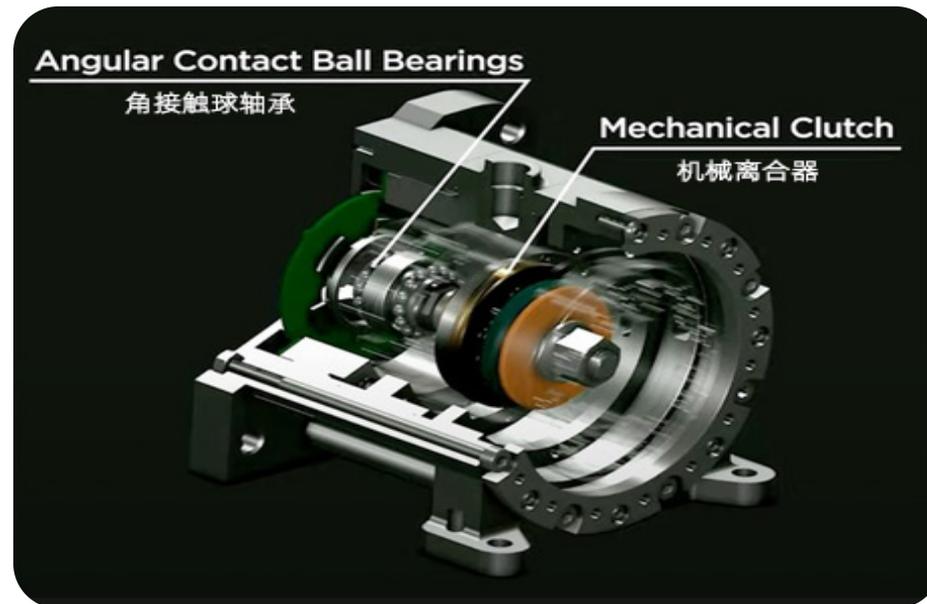
## 03. 执行器：两种主流方案并行，丝杠和减速器是各自的核心

- 人形机器人的执行器采用一体化设计，将各个零部件集成为一个驱动关节，执行器主要将能量转化为机器人的机械运动，线性执行器是将旋转运动转为直线运动，驱动机器人位移等动作的关键，如行走、奔跑等。
- 线性执行器在机器人生产成本中占比最高，构成较为复杂。目前主流有两种方案，一种是通过减速器+连杆来实现线性传动，另外一种是以特斯拉为首的以行星滚珠丝杠作为线性传动。

特斯拉线性执行器



特斯拉旋转执行器



## 04. 旋转执行器：两种方案为主流，减速器和无框电机是核心

- 人形机器人旋转执行器是驱动机器人做旋转、灵活操作的核心，为机器人提供运动自由度，越复杂的任务需要用到旋转执行器越多。同时，机器人操作的精度和承载性能也由旋转执行器来决定。旋转执行器主要由电机、减速器、传感器、控制器等零部件组成。旋转执行器以电机作为动力来源，经过减速器调节到所需的力矩输出范围，最终通过传感器以及控制器实现伺服控制。
- 旋转执行器的设计主要由电机和减速器的搭配来调整，目前主流两种方案，高减速比方案以及准直驱方案。高减速比是由高转速、低扭矩电机搭配高传动比减速器构成。准直驱是由高扭矩电机+低减速比行星减速器构成。

### 旋转执行器两种方案对比

旋转执行器方案	代表产品	关节峰值扭矩	扭矩密度
高减速比	Optimus/JAXON等	180-394Nm	80-130Nm
准直驱	GR-1/Unitress GO等	12-230Nm	38-46Nm(除了液驱的远征)

### 特斯拉三种独特设计的旋转执行器



20Nm | 0.55kg



110Nm | 1.62kg

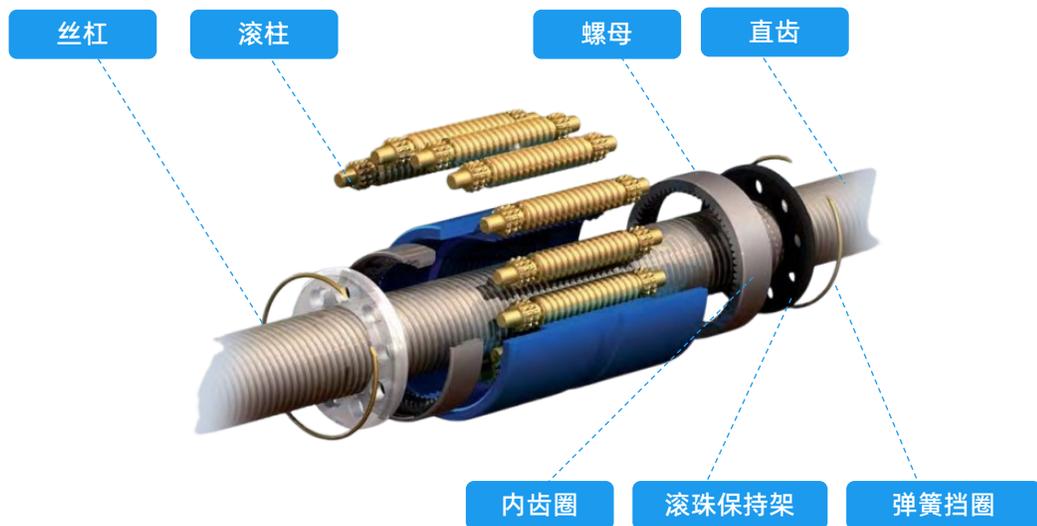


180Nm | 2.26kg

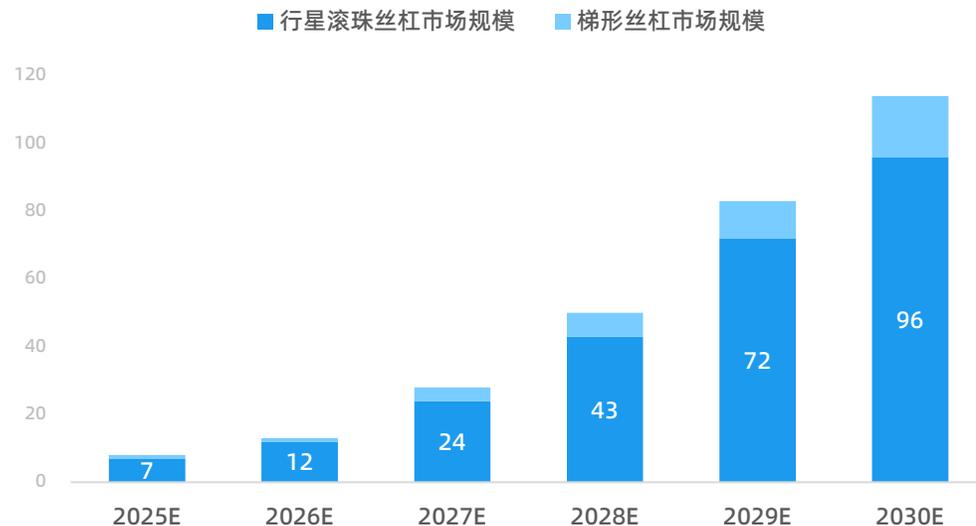
## 05. 执行器核心部件：滚柱丝杠

- 丝杠是将机器人的旋转运动转换为直线运动的关键机械元件，是旋转执行器和线性执行器的核心部件，包括梯形、滚珠和滚柱丝杠等类型。性能排序为：滚柱丝杠>滚珠丝杠>梯形丝杠，滚柱和梯形丝杠有望受益于人形机器人的发展；未来成本下降后，滚柱丝杠将基本替代滚珠丝杠。梯形丝杠：适用于低速、低精度场合，主要用于切削工艺，技术成熟，价格低廉，适用于机器人的大关节运动使用。滚珠丝杠：目前机器人常用，精度高，运动平滑。滚柱丝杠：人形机器人采用的主要类型，其高精度、适用于机器人精细化操作的手部、小臂等，提升操作精度和丝滑程度。
- 目前丝杠市场空间不足10亿元，当人形机器人销量达到100万台时，市场空间有望达到100亿元。

行星滚柱丝杠示意图



2025-2030E丝杠市场规模预测（亿元）



# 06. 执行器核心零部件：减速器

- 精密减速器是机器人转动关节的核心零部件。精密减速器具备体积小、重量轻、精度高、稳定性强等特点，能够对机械传动实现精准控制，主要可以分为谐波减速器、RV减速器、精密行星减速器。
- 谐波减速器有质量小、传动精度较高、运转平稳且体积较小等特性，适合用在机器人手腕、手部以及小臂；不同于谐波，RV减速器则是传动效率较高、传动范围大、耐过载和刚性性能较好，适用于机器人的大臂、肩部、机座等较大关节，对精度要求不高的领域；精密行星减速器具有高单级传动效率、大扭矩高刚性等特性，主要与控制器和伺服电机构成机器人的驱动系统。
- 人形机器人操作的精度要求较高，灵活的关节采用较多的谐波减速器，将推动谐波减速需求的增长。在活动范围大的大关节也使用一定数量的行星减速器，预计2030年谐波减速器在人形机器人驱动下市场规模突破100亿，行星减速器突破10亿。

## 减速器的三种类型



谐波减速器



行星减速器



RV减速器

## 各类别减速器的差异

减速器类别	结构特点	优点	缺点	应用领域
精密行星减速器	体积比较小，主要包括行星轮、太阳轮和内齿圈。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%、重量轻、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，钢性和耐过载，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

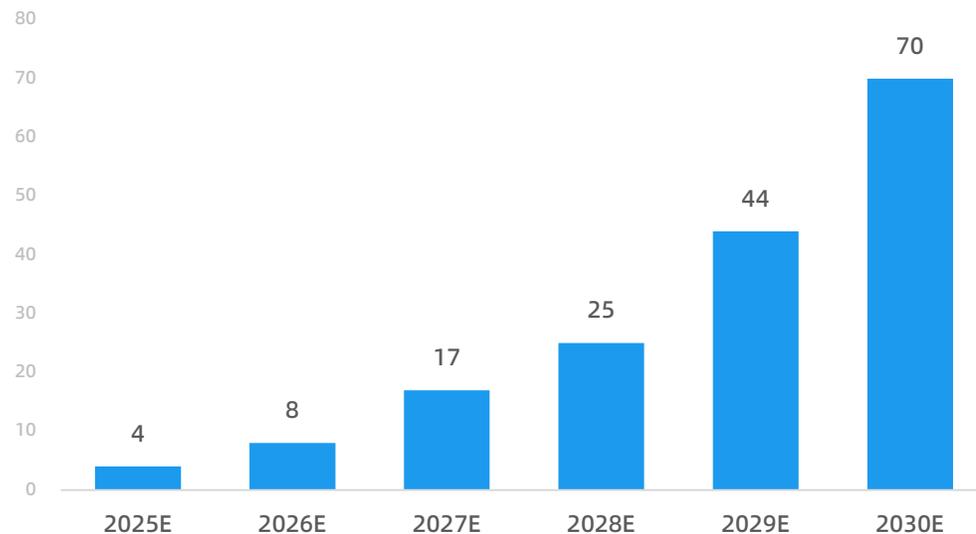
## 07. 执行器动力源：无框电机

- 电机是为机器人提供动力源的核心，机器人关节所使用的控制电机主要有伺服电机和步进电机两种类型。步进电机便于操作且价格相对较低，而伺服电机在承受过载的能力、频率范围以及精确度等方面具有明显的优势。
- 人形机器人关节要求快速响应、高功率密度、高效率、高灵活度，需要电机输出扭矩和精度，因此采用伺服电机为主，且关节部分主要采用伺服电机中的直流无刷电机，力矩电机属于直流无刷电机，为更好集成到机器人的关节，以去边框的设计集成，故目前机器人关节主要采用无框力矩电机。
- 无框力矩电机的技术主要在于工艺设计和磁路设计、国内技术起步较晚，企业发展相对较慢，在转矩密度和国外高端无框力矩电机相比仍有一定差距。目前国内厂家基本处于行业第二梯队，还在国产替代中。

无框电机示意图



2025-2030E无框力矩电机市场规模预测（亿元）



# 08. 人形机器人主要部件：灵巧手

- 灵巧手为机器人手部精密操作的末端模块，直接传导执行了细微的操作动作，如抓取物品，精细度要求较高。灵巧手核心零部件包含空心杯电机、微型齿轮箱和微型丝杠，加工制造能力要求高，设计和装配工艺壁垒高。
- 灵巧手的传动装置一般可以分为三级：
  - (1) 第一级：位于电机侧，主要为减速器，以皮带为主，起到的作用是精度调节；
  - (2) 第二级：主要采用丝杠或者锥齿轮，负责动作执行；
  - (3) 第三级：连接驱动器和关节末端，主要有腱绳和连杆。

## 两种人形机器人的灵巧手



因时机器人灵巧手



特斯拉机器人灵巧手

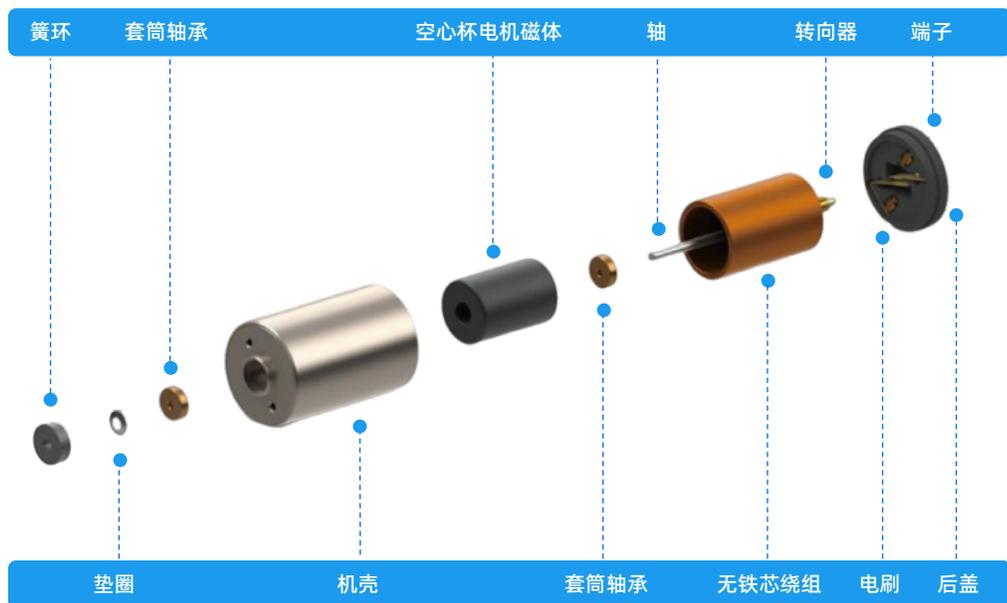
## 各种类型灵巧手的优劣势

类型	传动方式	优势	劣势
连杆传动	多个连杆串并联混合使用	能够抓取大型的物体、可以完成包络抓取	远距离控制困难、易发生弹射、抓取空间有限
齿轮传动	齿轮副传递运动和动力	传动比稳定、传递效率高、可靠性强	质量和惯性大、操作难度高
线绳驱动	模拟人手的肌腱结构	末端负载和惯量小、抓取速度快、排布灵活	负载能力弱、预紧力变化大、负载越大效率越低

# 09. 灵巧手的核心：空心杯电机

- 空心杯电机是人形机器人灵巧手的核心部件，在灵巧手使用的空心杯电机一般指的是空心杯电机+多级行星减速箱组成的模组。空心杯电机在结构上突破传统电机的转子结构形式，采用了无铁芯转子，也叫空心杯型转子，这种新颖的转子结构彻底消除了因铁芯形成涡流而造成的电能损耗。其形状类似于杯子，故称为空心杯电机。
- 目前市场上的空心杯电机可分为有刷电机和无刷电机，无刷电机具备更高性能，而有刷电机具备成本优势，基于不同场景下，人形机器人场景对两种电机进行选配。
- 根据华西证券预测，当2030年机器人销量突破100万台，空心杯电机将有望突破120亿市场规模。

### 空心杯电机示意图



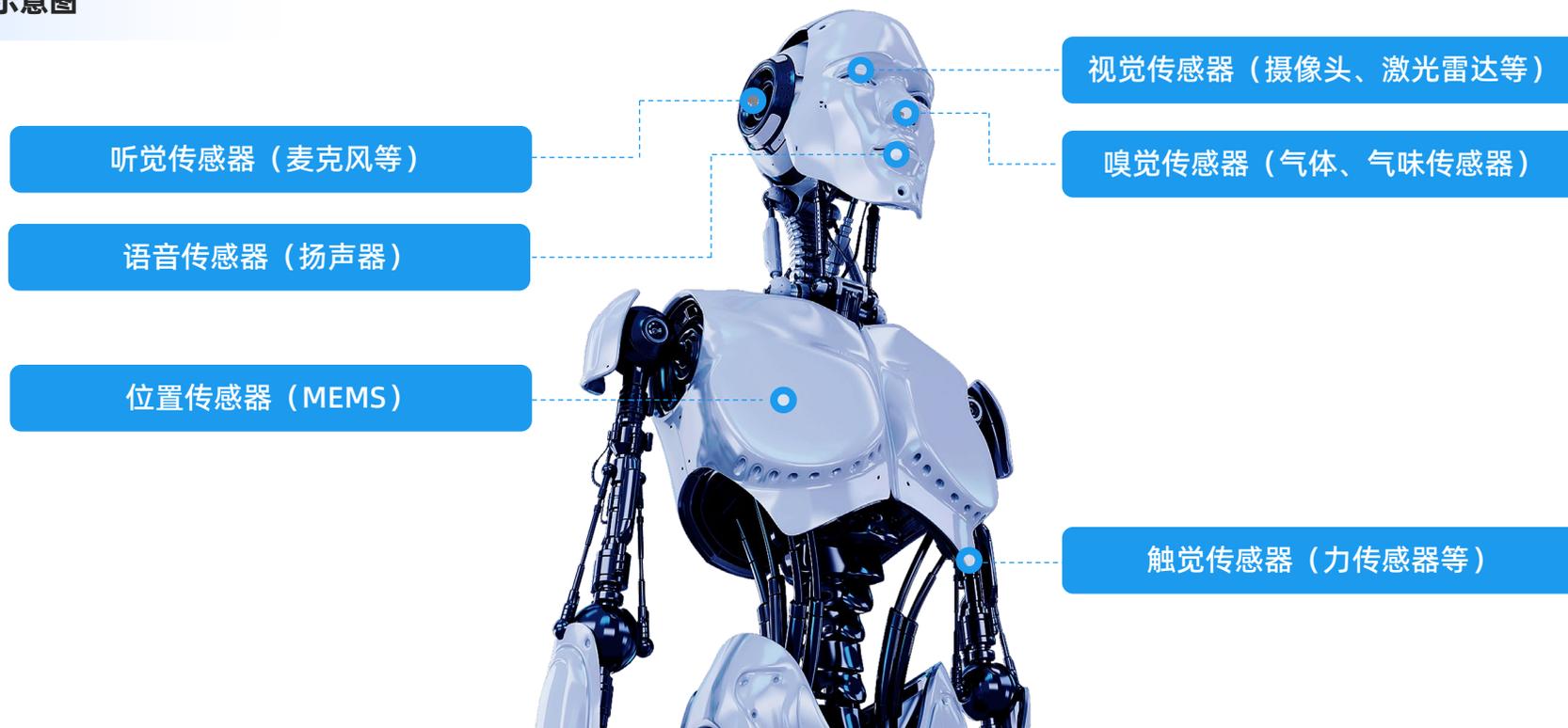
### 截止到2023年三大健康体检机构中心数量

	无刷空心杯电机	有刷空心杯电机
换向方式	无刷空心杯电机则采用电子换向，通过霍尔元件感知磁极位置，使用电子线路适时切换电流方向。这种方式没有物理摩擦，效率更高，转矩波动小，使用寿命更长。	有刷空心杯电机采用机械换向，通过电刷和换向器的摩擦来切换电流方向。这种机械换向方式会导致摩擦和电火花，影响电机的使用寿命，并可能干扰周围的电子设备。
效率	无刷空心杯电机由于没有物理摩擦，效率更高，特别是在高转速或高负载条件下表现更为出色。	有刷空心杯电机由于存在机械摩擦，效率相对较低，特别是在高转速或高负载情况下，效率下降更为明显。
寿命和维护成本	无刷空心杯电机几乎无需维护，没有电刷磨损问题，可靠性更高，使用寿命更长。	有刷空心杯电机因为有电刷的存在，维护成本较高，且电刷磨损会影响性能，缩短电机寿命。
应用场景	无刷空心杯电机则适用于需要高性能、高效能和低维护成本的场合。	有刷空心杯电机适用于对成本较为敏感且易于维护的场合。

# 10. 人形机器人对外交互核心：传感器

- 感知是人形机器人控制和执行的前提。感知层的传感器是软件控制和硬件零部件的桥梁，是物理世界与数字世界的接口，是取得外界交互数据的关键。
- 人形机器人对感知要求较高，主要有视觉、力觉、听觉、触觉以及位置等传感器，赋能机器人取得以上属性的感知能力。
- 其中视觉传感器是交互的核心（视觉信息交互占据80%），触觉传感器是人形机器人的一大新增点，原本工业机器人无触觉传感器，以力矩传感器为核心的触觉传感器赋予了机器人“手”的感觉，使得机器人能够根据手感重量进行灵活操作。

人形机器人传感器示意图



# 11. 力矩传感器核心：六维力传感器

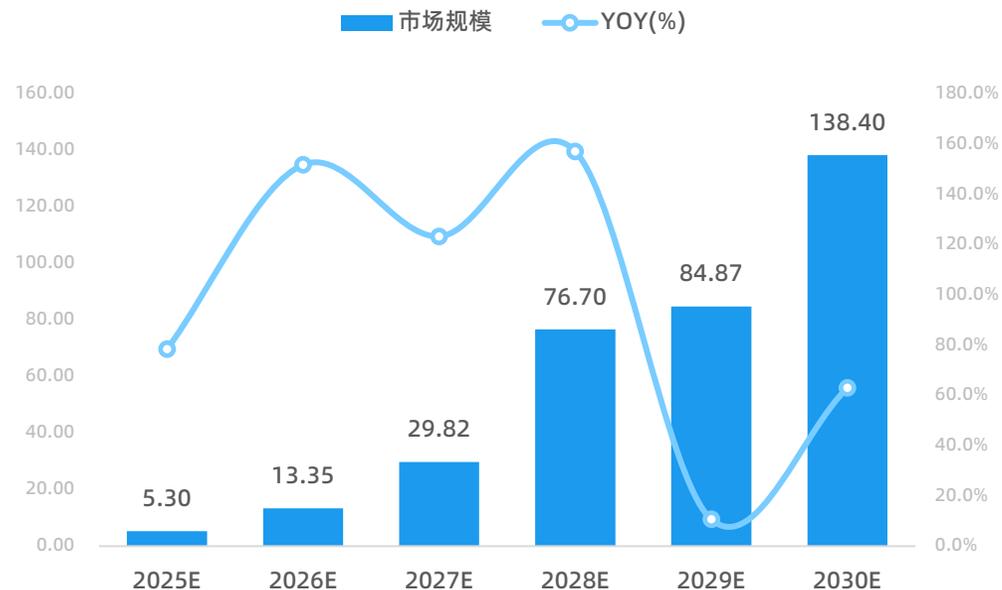
- 按照测量维度，力觉传感器可以分为一至六维力传感器。一般传感器能测几个维度，它就是几维力传感器。一维、三维和六维力传感器最常见，二维和五维的力传感器较少见。一维力传感器只能精确测量特定方向的力，三维传感器可以精确测量设备参照点延伸的受力，而六维力传感器可以精确测量远离力矩的受力，当人形机器人摆动或者扭动时，力矩远离受力点的动态场景下，六维能排除干扰，准确测量受力数据，从而调整手臂或者灵巧手动作，是人形机器人实现精确控制的关键传感器。
- 高工机器人产研所（GGII）预测，全球2023年人形机器人用的力传感器市场规模达到328.06亿元，其中六维力传感器市场规模达到138.40亿元。

## 六维力传感器的主要结构



- 上台板
- 应变片
- 弹性体
- 信息处理器
- 下台板

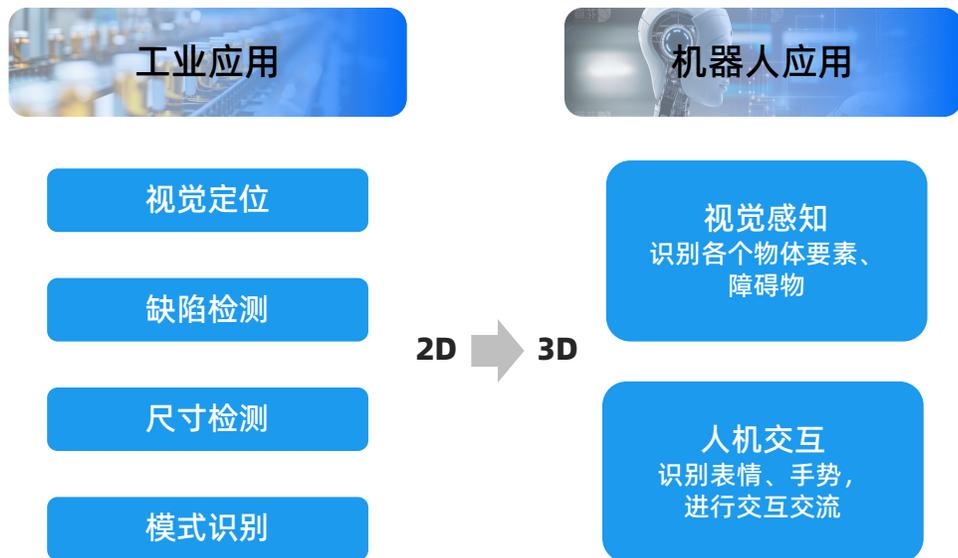
## 2025-2030E六维力传感器市场规模（亿元）



# 12. 人机交互的关键：视觉传感器

- 视觉传感器，也称为机器视觉，它能够模仿人类视觉系统，赋予机器“观看”和“认知”的能力，在识测量、定位和检测等多个领域替代人眼的功能。在工业应用，自动化设备及工业机器人，视觉传感器就已经普遍应用，主要用于视觉定位、缺陷检测、尺寸检测以及模式识别。人形机器人将视觉传感器进行升级应用，用于识别各个物体和障碍物，实现视觉信息的全面感知。并可以识别表情和姿态，从而能够基于视觉识别来做人机交互。传感器从2D视觉向3D视觉升级，以提升机器人的感知能力。
- 在人形机器人视觉方案的选择上，主要采用高清相机和毫米波雷达或者激光雷达等视觉传感的组合，并搭配相应的视觉算法，属于软硬件组合的产品。目前各家大厂采用的方案不同，算法强的大厂，会采用普通的视觉传感器。视觉算法薄弱的厂家会采用3D以及高级视觉传感器，以弥补算法不足。

## 视觉传感器的进化：2D到3D



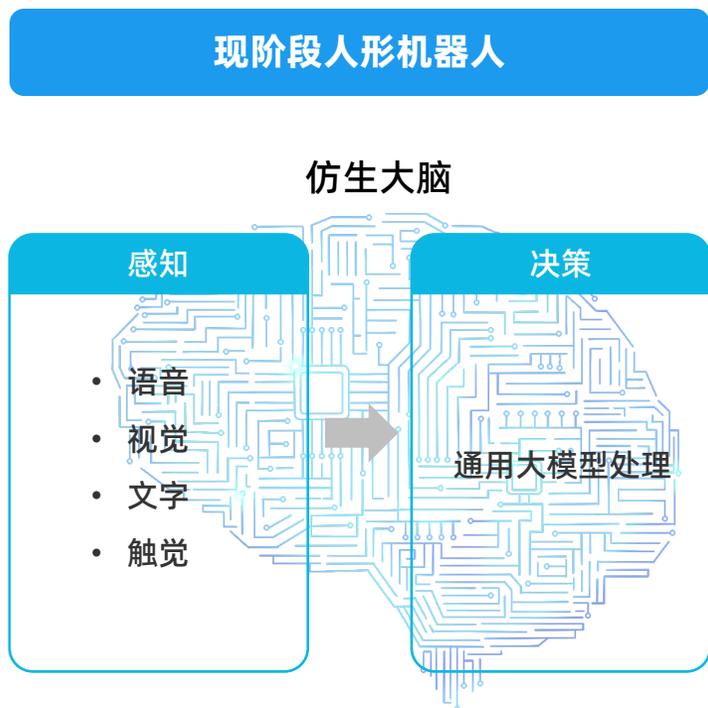
## 不同机器人厂家视觉传感器方案





# 14. 人形机器人的大脑：决策系统

- 人形机器人决策系统，类似于人类的大脑，将感知取得外界信息，进行智能分析处理后，做出决策，再发出操作指令。从功能上看，决策系统可以为机器人赋能智能决策和规划，传感信息的融合理解，学习和适应以及人机交互等功能。
- 目前其基本决策路径，通过感知系统获得外界语音、视觉、触觉、文字等不同信息，对传感信息进行融合感知，整体判断外部环境情况，用通用大模型进行处理分析，生成能完成任务操作的指示或指令。同时，还可以基于外界交互信息进行学习理解新任务和新环境，不断优化模式。当下的决策系统采用通用大模型，无法真正实现对机器人运动操作及各个关节情况融合理解，形成的决策有迟滞性和非连续性问题。因此部分大厂及创业公司已经在布局机器人本身的垂类模型，即具身智能大模型，以优化智能决策能力，推动其向完全智能升级。



主流机器人决策系统



GR00T

GR00T 基于英伟达深度技术堆栈开发，能够驱使机器人理解自然语言、视频和人类演示等多模态指令，从而增强学习技能和处理任务的协调性和灵活性。



RoboAgent

RoboAgent的核心在于其多任务动作分块Transformer (MT-ACT) 架构，该架构通过语义增强和高效的策略表示来处理多模态多任务机器人数据集。



pi-zero

与通用大模型不同，pi0通过训练机器人的具身经验获得物理智能，并最终可以直接输出低级电机执行指令。

# 15. 人形机器人产业链未来面临的挑战

## 智能化程度不足

目前量产的人形机器人在智能化方面存在局限，难以在复杂的非结构化环境中灵活应对突发情况，这限制了其在实际应用中的表现。

01

## 研发成本高昂

先进传感器、高性能芯片、复杂机械结构等的研发投入巨大，且技术研发充满不确定性，突破的难度和所需时间难以准确预估。

03

## 市场需求不确定性

市场需求的不确定性和快速变化是人形机器人行业面临的另一大风险，消费者偏好的转变、新兴技术的兴起等都可能影响市场需求。

05

## 核心技术瓶颈

谐波减速器传动速比受限影响精度与响应速度，无框力矩电机温升控制困难，数据采集方法局限影响学习适应能力，底层算法模型不统一降低整体效率。此外，行走稳定性、高精度传感器技术、交互自然度等方面的技术难题也亟待突破。

02

## 应用场景局限

人形机器人的大规模应用市场尚不成熟，应用场景依然局限且碎片化，主要集中在特定的工业生产、科研领域及少数高端服务业。在家庭消费市场，高昂的价格和有限的实际功能使得其进入普通家庭面临巨大挑战。

04

## 人才聚集难

人形机器人产业涉及机械、电子、材料、计算机、传感器、控制技术等多学科，对跨学科人才的需求量大，但目前相关人才的培养和聚集存在困难。

06

# 16. 人形机器人产业链未来的发展趋势

## 硬件突破

在硬件方面，将出现更先进的传感器、执行器、电机、电池和材料等。例如，更高精度的传感器可以让人形机器人更准确地感知周围环境，更高效的电池可以延长其续航时间。

01

## 服务领域广泛应用

在家庭服务、医疗护理、教育娱乐等民用领域，人形机器人的应用将不断拓展。例如，在家庭中提供陪伴、教育、娱乐等服务，在医疗领域协助医护人员执行手术操作、病人护理和康复训练等工作。

02

## 特种场景优先落地

在危险作业、极端环境等高价值场景，人形机器人将率先实现规模化应用。例如，在深海探测、太空探索、核辐射环境等人类难以到达的地方，人形机器人可以代替人类执行任务。

03

## 上下游企业合作加强

随着市场的不断扩大和竞争的加剧，产业链上下游企业将加强合作与整合。上游零部件供应商、中游本体制造商和下游系统集成商将形成更加紧密的合作关系，共同推动人形机器人产业的发展。

04

## 产业链分工优化

产业链各环节的分工将更加明确和优化。例如，上游企业专注于核心零部件的研发和生产，中游企业负责本体的集成和制造，下游企业则主导技术框架设计和市场推广。

05

## 政策支持力度加大

政府将出台更多支持人形机器人产业发展的政策，如提供资金扶持、税收优惠等，以推动产业的快速成长。

06

## 版权说明

本报告为简版报告，内容为嘉世咨询研究员通过桌面研究整理撰写。如有深度调研需求，请联系：  
mcr@chinamcr.com 或 021-52987060；

本报告中的所有内容，包括但不限于文字报道、照片、影像、插图、图表等素材，均受《中华人民共和国著作权法》、《中华人民共和国著作权法实施细则》及国际著作权公约的保护。

本报告的著作权属于上海嘉世营销咨询有限公司所有，如需转发、转载、引用必须在显著位置标注出处，并且不得对转载内容进行任何更改。

