

机器人的进化与觉醒：

人形机器人执行/传感机构方案探讨

民生机械团队 李哲/罗松/占豪

总体策略

- 2023年5月特斯拉展示了Tesla Bot人形机器人“擎天柱”（Optimus）的全新型号。该款人形机器人搭载了DOJO D1超级计算机芯片，配合特斯拉自创的高带宽、低延迟的连接器，算力高达9PFLOPs（9000万亿次）。**AI技术结合下Tesla Bot不仅会模仿人类动作，还可以完成物品分类、抓力控制等更复杂的任务。**
- **国产人形机器人也在持续发力。**随着国内人口老龄化程度的不断加深、适龄劳动人口的数量不断下降，“机器换人”进程持续加速。同时，全球又进入新一轮科技涌现期，AI、人形机器人等新科技到达发展奇点，势必将对制造业发展产生深远影响。小米、傅里叶、优必选等国产品牌不落人后，在自主研发领域下加速发展。
- **多模态大模型主力下，人形机器人产业化进程有望加速。**多模态大模型与通用机器人平台进行物理交互的发展路径，这种结合方式将充分利用场景支持和数据反馈调优，使大模型与机器人能够更好地协同工作。同时，人形机器人为通用AI提供了物理实体，使其成为超文本存在，并具备与物理世界交互的能力，这种结合为通用AI赋予了劳动价值和情感价值，有助于通用AI感知和理解物理定律。
- 因此，**我们提出重点关注赋于人形机器人与物理世界交互能力的执行/传感机构设计方案。**
- **风险提示：**1) 新产品研发及拓展不及预期的风险；2) 下游需求不及预期的风险；3) 宏观经济增速放缓的风险。



01

人形机器人产业进展

02

执行/传感机构设计方案

03

重点标的

04

风险提示

CONTENTS

目录



01. 人形机器人产业进展

1.1 特斯拉bot加速人形机器人赛道争夺战

- 2023年5月特斯拉展示了Tesla Bot人形机器人“擎天柱”（Optimus）的全新型号。该款人形机器人不仅会模仿人类动作，还可以完成物品分类、抓力控制等更复杂的任务。该款人形机器人结合了特斯拉的AI技术，即基于视觉神经网络神经系统预测能力的自动驾驶技术，具有极强算力的DOJO D1超级计算机芯片，Dojo 架构拥有一个大规模计算平面，极高宽带和低延迟。作为 Dojo 架构的重要组成部分，D1 芯片采用 7 纳米制造工艺，处理能力为每秒 1024 亿次。由于每个D1芯片之间都是无缝连接在一起，相邻芯片之间的延迟极低，训练模块最大程度上实现了带宽的保留，配合特斯拉自创的高带宽、低延迟的连接器，算力高达9PFLOPs（9000万亿次）。

图表：Optimus实物



资料来源：财华社，民生证券研究院

图表：Optimus三维渲染图



资料来源：快科技，Techweb，民生证券研究院

产品名称：OPTIMUS

身高：1.72米

体重：56kg

携带能力：≤ 45磅 (20kg)

举重能力：≤ 150磅 (68kg)

运动速度：≤ 8km/h

核心设备：FSD计算机和自动驾驶摄像头

产品用途：替人类完成一些重复无聊和一些危险的工作

产品造价：预计20万元左右

上市日期：预计9月30日特斯拉AI Day原型机亮相

量产日期：预计2023年

主要硬件：屏幕（获取有用信息）；轻质材料；人级别手；2个轴脚（保持平衡）、力反馈传感器；40个驱动器马达：手臂（12个）、脖子（2个）、躯干（2个）、手（12个）、腿（12个）

1.2 市面上已有的人形机器人

- Tesla Bot并非首款人形机器人，从21世纪初本田发布首款人形机器人ASIMO原型机开始，全球多家科技公司及高校先后发布人形机器人。其中，较为知名的不乏有波士顿动力的Atlas机器人、欧洲iCUB、软银的Pepper、Alderbran公司的Nao机器人，以及优必选Walker系列。

图表：历史上知名人形机器人（1）

| | 本田ASIMO | Atlas系列 | 欧洲iCUB | POPPY | ROMEO | Pepper |
|-----------|---|---|--|---|---|---|
| 图片 |  |  |  |  |  |  |
| 厂商 | 本田 | Google子公司波士顿动力&美国国防部 | 欧洲几个大学组成的联合开发组织RobotCub | 法国团队INRIA Flowers | Alderbran公司 | 日本软银集团和Alderbran公司 |
| 国家 | 日本 | 美国 | 欧洲 | 法国 | 法国 | 日本 |
| 首次发布时间 | 2000年 | 2013年7月 | 2011年 | 2016年 | 2012年 | 2015 |
| 自由度 | 第一代 26个自由度; 第二代 34个自由度; 第三代 57个自由度。 | 四肢共拥有28度的自由度。 | iCub 3具有53个驱动自由度 | 25个自由度 | 37个自由度 (眼睛2个, 每只脚1个, 后背 3个, 每只手1个) | 20个自由度 (头部2个, 手臂5*2, 手1*2, 腿3个) |
| 设计初衷及发展现状 | 主要用于科研领域，全球共100套左右，仍是世界上最先进机器人之一。 | 基于早期的PETMAN检测化学防护服的人形机器人，实现运动能力的提升。 | 验证人类认知模型的合理性，从而更好的理解人类的认知过程。 | 制造一款仿生的机器人 | 用于个人护理。目前已经可以在实验室完成行走，观察周围3D环境，听、说等。 | 定位是与人类交互。全球有超过2000家企业采用Pepper，服务零售、金融、健康护理、教育等众多行业。 |

资料来源：人工智能机器人联盟，MAXON，百度百科，搜狗百科，民生证券研究院整理

1.2 市面上已有的人形机器人


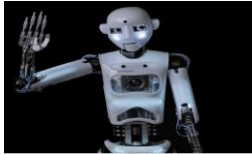




图表：历史上知名人形机器人（1）（续表）

| | 本田ASIMO | Atlas系列 | 欧洲ICUB | POPPY | ROMEO | Pepper |
|------|---|---|--|---|---|---|
| 图片 |  |  |  |  |  |  |
| 特点 | 太空服外形。可像人类一样完成“8”字行走，下台阶、弯腰等复杂动作，也可以完成端茶送水等任务。 | 可以垂直起跳、跨越障碍、后空翻、舞蹈，兵逐步开启手脚均可参与的酷跑功能。 | 外形像一个不到5岁的孩子。可以匍匐四肢，坐起来，平衡行走，身体与环境互动，识别物体。它是世界上为数不多的具有灵敏的全身电子皮肤系统以提供触觉的机器人之一。 | 主要部件均通过3D打印生产，包含5个电机驱动的脊柱，腿部可以弯曲，使其能像人类一样，保持一定姿态的同时更自然的运动。 | 看起来像一个小男孩，面部表情柔和，可以识别别人的情绪，并调整自己的行为。 | 可根据人类的表情、声音等判断人类的心情，从而选择不同的谈话内容。有一个显示屏，可以展示自己的心情。 |
| 配置情况 | <p>作动器：伺服电机+ 谐波减速器 + 驱动单元</p> <p>控制装置：行走/操作控制单元，无线发送单元</p> <p>传感器：脚部 六轴向脚部方位传感器、躯体陀螺仪和加速传感器</p> <p>电源部分：38.4V/10AH(镍锌)</p> <p>操作部分：操纵台和便携控制器</p> | 第一版需要用电缆传输电源与信号，新一代可通过电池供电，无线控制。 | <p>装载了使用四台喷气发动机的控制系统。</p> <p>iClub3每条手臂配备了7个电机、每只手9个、头部6个、躯干（腰）3个、以及每条腿6个。头部内置了可当做“眼睛”的立体旋转摄像头、当做耳朵的双麦克风、以及可反映嘴唇与眉毛动作的LED线条，此外每个指尖还有触觉传感器。</p> | <p>引入了脊柱的概念，利用5个伺服电机构建了机器人的脊柱。在膝盖处，他们使用弹簧连接下肢上部 and 下部关节。</p> <p>配备了一款鞋子，鞋子上放置5个压力传感器。</p> <p>总共16个力传感器（FSR），2个PS眼睛，1个IMU（9DDL），4.3" LCD 480×272像素，立体显微镜，Raspberry Pi</p> | <p>有39台来自瑞士的直流电机，其中RE 40和RE 25各有十台。还使用了不同规格的RE-max系列款式以及五台DCX电机（特点在于高效，并便于在线配置）。</p> <p>所有驱动器均为有刷电机，配备特殊的无铁芯绕组，调节性极佳。</p> <p>为了降低重量，主要结构采用碳纤维与橡胶材料。</p> | <p>锂电池：容量30.0Ah/795Wh</p> <p>运行时间：约超过12小时</p> <p>头：Mic x 4、扬声器x 2、x 500万像素摄像头，3D摄像头、[6] 触控传感器x 3</p> <p>胸：陀螺仪传感器x 1、惯性传感器</p> <p>手：触控传感器x 2</p> <p>腿：声纳传感器x 2、激光传感器x 6、红外传感器x 2、全向轮x 3、触碰传感器x 3</p> |
| 身高 | 1.3m | 1.5m | 1.25m | 0.84m | 1.46m | 1.2m |
| 体重 | 48kg | 75kg | 52kg | 3.5kg | 40kg | 28kg |
| 价格 | ASIMO机器人是本田公司为展示自己的科技实力而研发的产品，不打算用这款机器人盈利，无销售价格。预计290多万人民币1台。 | Atlas机器人不对外卖，之前是军方项目。 | 25 万英镑 | 制作一台机器人所需的材料总计约7500/10250欧元 | | 官方价格未公开 |

资料来源：人工智能机器人联盟，MAXON，百度百科，搜狗百科，民生证券研究院整理

1.2 市面上已有的人形机器人

图表：历史上知名人形机器人（2）

| | Nao | Robothespian | ACTROID-SIT | LEXY和TESS | Walker | Optimus |
|-----------|---|---|---|---|---|---|
| 图片 |  |  |  |  |  |  |
| 厂商 | Alderbran公司 | Engineering Arts | 日本国立研究机构“产业技术综合研究所”（AIST） | 德国软件公司Tobot | 优必选 | 特斯拉 |
| 国家 | 法国 | 英国 | 日本 | 德国 | 中国 | 美国 |
| 首次发布时间 | 2008年 | 2007 | | | 2018 | 2022 |
| 自由度 | 25个 | | 12个 | | 第二代36个自由度，Walker X有41个自由度 | |
| 设计初衷及发展现状 | 定位为开发平台。开发给所有高教项目。是一款应用遍及全球教育市场的双足人形机器人。 | 定位是在公共场合与人类进行互动。目前已在许多科技中信、旅游景点、商场进行试用。 | 交互机器人。 | 德国软件公司Tobot | 在家庭场景和办公场景自由活动和服务 | 它的诞生是为了：消除危险、重复和无聊的任务 |
| 特点 | 拥有与人类一样自然的肢体语言，能够听、看、说，也能与人互动，或 NAO 之间彼此进行互动。NAO 能提供一个独立、完全可编程、功能强大且易用的操作应用环境。 | 熟悉多种语言，有多种娱乐功能，可以和人类进行良好的交互。只需看过一次人的动作就能迅速模仿出来。 | 可自主运动并与人类进行交流，还可以与人类通过手势进行交互。 | 能够伴随音乐的旋律舞动，并表现出异乎寻常的美感。 | 集六大AI技术于一身，搭载高性能伺服关节以及多维力觉、多目立体视觉、全向听觉和惯性、测距等全方位的感知系统。 | 最高可举着58千克的重量，8km/h速度运动，其配备了FSD计算机和自动驾驶摄像头，马斯克生产机器人的目的是为了替人类完成一些重复无聊和一些危险的工作。 |

资料来源：人工智能机器人联盟，MAXON，百度百科，搜狗百科，民生证券研究院整理

1.2 市面上已有的人形机器人

图表：历史上知名人形机器人（2）（续表）

| | Nao | Robothespian | ACTROID-SIT | LEXY和TESS | Walker | Optimus |
|------|--|----------------|-------------|---------------|--|----------|
| 图片 | | | | | | |
| 配置情况 | 机体材料：工业塑料； 可抓握的双手； 充电器：AC 90-230 V/DC 24 V； 电池能量：持续时间约 90 min； 两个扬声器及噪音合成； 四个扩音器，以及语言分析和识别系统； 视觉：两个CMOS摄像头； 联接类型：无线网络网络（IEEE 802.11g）和以太网端口； 支持很多种编程环境 | | | | 负载：伸展状态单臂1.5kg； 视觉&导航：定位精度10cm， 导航精度20cm，精定位精度1cm 电源：锂电池 54.6V/10Ah/ 3.6 kg；充电：2h； 处理器：Intel i7 8665U 频率 1.9Ghz *2；NVIDIA GT1030显卡，384核心； 软件框架：ROSA； 操作系统：Ubuntu+ Linux RT Preempt+Android | |
| 身高 | 0.58m | | | | 第二代1.45m, WalerX 1.3m | 1.73m |
| 体重 | 5.4kg | | | | 第二代77kg, WalkerX 63kg | 56kg |
| 价格 | 5w~8.5w | 豪华版的价格是79500英镑 | | 两台价格共计3.95万美元 | | 量产大概2万美元 |

资料来源：人工智能机器人联盟，MAXON，百度百科，搜狗百科，民生证券研究院整理

1.3 国产人形机器人持续发力-小米

- 2022年8月小米发布公司首个全尺寸人形仿生机器人“CyberOne”，高1.77米，重52kg，内部名称“铁大”。CyberOne 配备 Mi-Sense深度视觉模块，搭配AI 算具备感知3D空间并识别个体、手势和表情的能力；凭借自主研发的MiAI环境语义识别引擎和MiAI语音情感识别引擎，CyberOne可识别85种环境声音和45类人类情感；面部的曲面OLED模块，可以显示实时交互信息。
- 人形机器人尚需突破多项关键技术，小米持续耕耘。小米“极度看好智能机器人在生活、工作中的应用”，目前人形机器人的成本每台大概六、七十万元，尚无法实现量产；2023年4月21日，小米在北京投资5000万元设立北京小米机器人技术有限公司，持续耕耘人形机器人板块。

图表：小米CyberOne发布



资料来源：小米，民生证券研究院

图表：小米CyberOne参数图



资料来源：小米，民生证券研究院

1.4 国产人形机器人持续发力-优必选

- 优必选科技在2012年成立前就开始投入人形机器人的研发，至今已超过11年。2016年优必选搭建Walker原型机，2018年发布第一代大型双足仿人服务机器人Walker，迄今已经过四次迭代，2021年发布人形服务机器人Walker X。
- Walker X身高130cm、体重63kg，具有41个高性能伺服驱动关节，能够进行类人步态行走，最高时速为3km/h；面部160°环绕4.6K高清双柔性曲面屏，灵动酷炫的四维灯语体系；机器人的头部、手掌、电池都可以快速拆卸和组装，实现了“模块化”；配备便捷可拆卸电池。

图表：优必选 Walker X

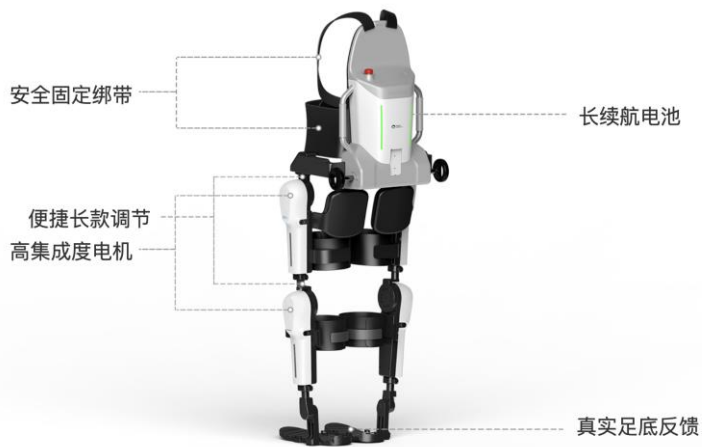
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------------|--|--------------------------------------|----|--------|-------|----------------------------|----|-------|----|------------------------------------|-----|--------------------|--|-------------------|------|----------------|--|-----------------|----------------|--|-------------|----|--------------|----|------------------------|------------|--|--------------------|---------------|-----|----------------------------|----|--------------|--|-----------------------|----------------|------|-----------|------------|--|--------------------------------------|--|--|--|-------------|
| | | <table> <tr> <td>身高</td><td>130 cm</td><td>视觉&导航</td><td>定位精度10cm，导航精度20cm，精定位精度1cm</td></tr> <tr> <td>重量</td><td>63 kg</td><td>连接</td><td>Wi-Fi: 802.11 a/b/g/n 5G/2.4 GHz双频</td></tr> <tr> <td>自由度</td><td>腿6*2；臂7*2；手6*2；颈*3</td><td></td><td>Ethernet：千兆RJ45接口</td></tr> <tr> <td rowspan="2">伺服关节</td><td>转矩：4.5Nm-200Nm</td><td></td><td>EtherCAT：高速实时总线</td></tr> <tr> <td>转速：30rpm-90rpm</td><td></td><td>USB：高速3.0接口</td></tr> <tr> <td rowspan="3">行走</td><td>最大行走速度：3km/h</td><td>电源</td><td>锂电池 54.6V/10Ah/ 3.6 kg</td></tr> <tr> <td>最大平整适应：3cm</td><td></td><td>充电：2h； 使用（综合工况）：2h</td></tr> <tr> <td>最大上下台阶高度：15cm</td><td>处理器</td><td>Intel i7 8665U 频率1.9Ghz *2</td></tr> <tr> <td rowspan="3">操作</td><td>最大上下斜坡角度：20°</td><td></td><td>NVIDIA GT1030显卡，384核心</td></tr> <tr> <td>负载：伸展状态单臂1.5kg</td><td>软件系统</td><td>软件框架：ROSA</td></tr> <tr> <td>臂展：单臂600mm</td><td></td><td>操作系统：Ubuntu+Linux RT Preempt+Android</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td>仿真平台：Webots</td></tr> </table> | | 身高 | 130 cm | 视觉&导航 | 定位精度10cm，导航精度20cm，精定位精度1cm | 重量 | 63 kg | 连接 | Wi-Fi: 802.11 a/b/g/n 5G/2.4 GHz双频 | 自由度 | 腿6*2；臂7*2；手6*2；颈*3 | | Ethernet：千兆RJ45接口 | 伺服关节 | 转矩：4.5Nm-200Nm | | EtherCAT：高速实时总线 | 转速：30rpm-90rpm | | USB：高速3.0接口 | 行走 | 最大行走速度：3km/h | 电源 | 锂电池 54.6V/10Ah/ 3.6 kg | 最大平整适应：3cm | | 充电：2h； 使用（综合工况）：2h | 最大上下台阶高度：15cm | 处理器 | Intel i7 8665U 频率1.9Ghz *2 | 操作 | 最大上下斜坡角度：20° | | NVIDIA GT1030显卡，384核心 | 负载：伸展状态单臂1.5kg | 软件系统 | 软件框架：ROSA | 臂展：单臂600mm | | 操作系统：Ubuntu+Linux RT Preempt+Android | | | | 仿真平台：Webots |
| 身高 | 130 cm | 视觉&导航 | 定位精度10cm，导航精度20cm，精定位精度1cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 重量 | 63 kg | 连接 | Wi-Fi: 802.11 a/b/g/n 5G/2.4 GHz双频 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 自由度 | 腿6*2；臂7*2；手6*2；颈*3 | | Ethernet：千兆RJ45接口 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 伺服关节 | 转矩：4.5Nm-200Nm | | EtherCAT：高速实时总线 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 转速：30rpm-90rpm | | USB：高速3.0接口 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 行走 | 最大行走速度：3km/h | 电源 | 锂电池 54.6V/10Ah/ 3.6 kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 最大平整适应：3cm | | 充电：2h； 使用（综合工况）：2h | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 最大上下台阶高度：15cm | 处理器 | Intel i7 8665U 频率1.9Ghz *2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 操作 | 最大上下斜坡角度：20° | | NVIDIA GT1030显卡，384核心 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 负载：伸展状态单臂1.5kg | 软件系统 | 软件框架：ROSA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 臂展：单臂600mm | | 操作系统：Ubuntu+Linux RT Preempt+Android | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 仿真平台：Webots | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

资料来源：优必选，民生证券研究院

1.5 国产人形机器人持续发力-傅利叶

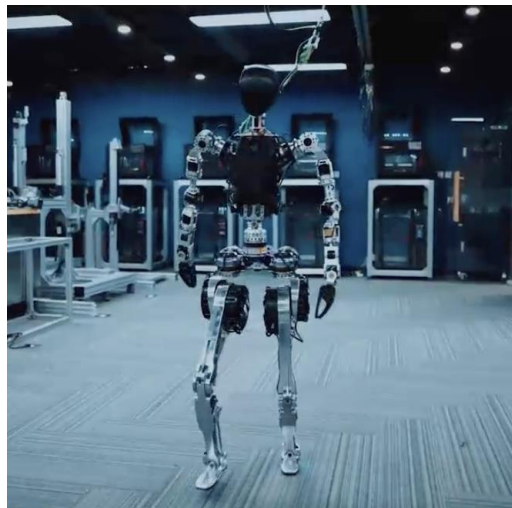
- 傅利叶是国内康复机器人头部企业。目前，傅利叶智能在康复机器人领域的产品矩阵已经基本成型，包括上肢、下肢、运动与平衡以及物理治疗；自主研发的ArmMotus™ EMU三维上肢康复机器人、ExoMotus™ 下肢康复机器人、运动与平衡训练系统、物理因子治疗系列等产品，针对身体不同部位，融合多种康复类型，提供从急性期、稳定期到恢复期的全周期同质化康复治疗，显著提升康复效率。
- 2023年7月，傅利叶将在上海发布该公司第一款通用型人形机器人GR-1。

图表：傅利叶ExoMotus™下肢康复机器人



资料来源：傅利叶，民生证券研究院

图表：傅利叶7月将发布的第一款通用型人形机器人GR-1概念片

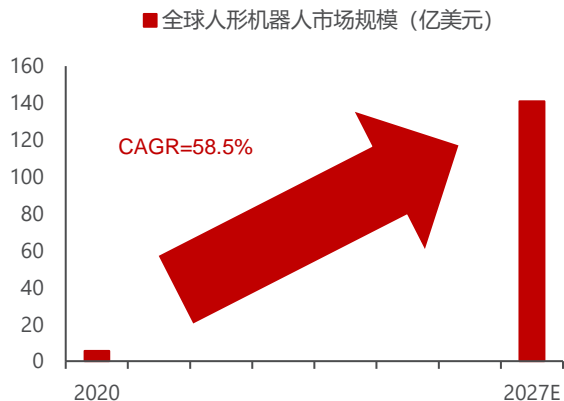


资料来源：傅利叶，民生证券研究院

1.6 人形机器人潜在市场规模千亿级别，增速迅猛

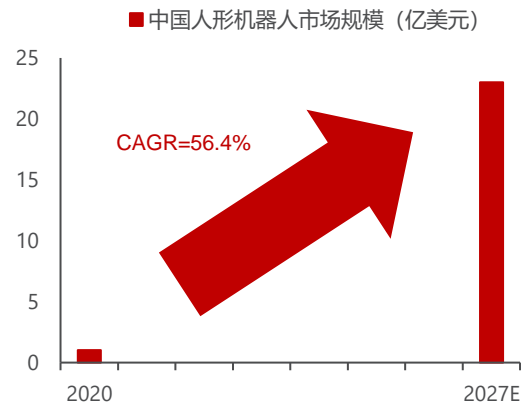
- 下游应用领域广阔，人形机器人市场空间大，增速迅猛。人形机器人下游应用领域按最终用户可以划分为涵盖了教育、医疗、酒店、公共设施、住宅、零售和其他。根据Statistics Market Research Consulting的数据，2020 年全球人形机器人市场估计为 5.6 亿美元，而到2027 年预计市场规模将达到 141 亿美元，CAGR达58.5%。其中，2027年中国人形机器人市场有望达到23亿美元，CAGR达56.4%。

图表：全球人形机器人市场规模



资料来源：Statistics Market Research Consulting，民生证券研究院

图表：中国人形机器人市场规模



资料来源：Statistics Market Research Consulting，民生证券研究院

02. 执行/传感机构设计方案

2.1 特斯拉人形机器人解构

- Optimus 人形机器人工程机在会场展示行走能力，并在播放视频中完成提起水壶行走浇花，工厂内搬运物品等动作，这些动作都是通过Optimus 自身集成的软硬件执行完成，没有外部控制与外接线束，说明样机已具备一定程度的运动规划与任务执行能力。
- 据官方描述，特斯拉 Optimus 机器人身高约 172CM、体重约 56KG，能够硬拉 68KG 左右，它的诞生是为了消除危险、重复和无聊的任务，以便人类可以专注于更加愉快的工作。

图表：特斯拉人形机器人拆解



产品名称：OPTIMUS身高：1.72米

体重：56kg

携带能力：<45磅(20kg)

举重能力：<150磅(68kg)

运动速度：<= 8km/h

核心设备：FSD计算机和自动驾驶摄像头

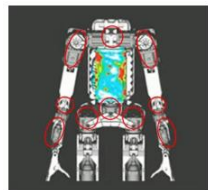
产品用途：替人类完成一些重复无聊和一些危险的工作

产品造价：预计20万元左右

上市日期：预计9月30日特斯拉AI Day原型机亮相

量产日期：预计2023年

主要硬件：屏幕(获取有用信息);轻质材料;人级别手;2个轴脚(保持平衡)、力反馈传感器;40个驱动器
马达：手臂(12个)、脖子(2个)、躯干(2个)、手(12个)、腿(12个)



资料来源：因时机器人，民生证券研究院

2.2 人形机器人传感器与执行器类型拆解

执行器总成结构：旋转执行器采用谐波减速器内部具有离合器，采用永磁力矩电机驱动；直线执行器采用内部旋转螺杆结构。

手部结构：手部结构采用和人体相同的五指多关节设计，执行器为螺杆旋转带动齿轮旋转进而使手指关节旋转的结构。手部参数：6 执行器，11 自由度，可提起 20 磅（9kg）重的包，使用较为经典的六电机驱动方式，拇指采用双电机驱动弯曲和侧摆，其它四指各用一个电机带动。

擎天柱腿部的线性执行器主要分布负责支撑和承力的髌关节、膝关节及踝关节，具有前后摆动自由度。

视觉系统：已与 FSD 算法打通，机器人在行走时可实现环境感知与记忆。

图表：人形机器人执行器类型

| | 20Nm | 110Nm | 180Nm | 500Nm | 3900Nm | 8000Nm | 类型 | 结构 |
|-------------|------|-------|-------|-------|--------|--------|----------------|------------------------------|
| 肩 shoulder3 | | 3 | | | | | 旋转执行器 | 伺服电机+谐波减速器 |
| 肘 elbow1 | | | | | 1 | | 线性执行器 | 直线运动关节+丝杠导轨 |
| 腕 wrist3 | 1 | | | 2 | | | 线性执行器 旋转执行器 | 伺服电机+谐波减速器 直线运动关节+丝杠导轨 |
| 腰 torso2 | | | 1 | | | | 旋转执行器 | 伺服电机+谐波减速器 |
| 髌 hip3 | | | 2 | | | 1 | 线性执行器 旋转执行器 | 准直驱电机+行星减齿轮减速器 伺服电机+谐波减速器 |
| 膝 knee1 | | | | | | 1 | 线性执行器 | 准直驱电机+行星减齿轮减速器 |
| 踝 ankle2 | | | | | 2 | | 线性执行器 | 直线运动关节+丝杠导轨 |

资料来源：Kaiyuan，民生证券研究院

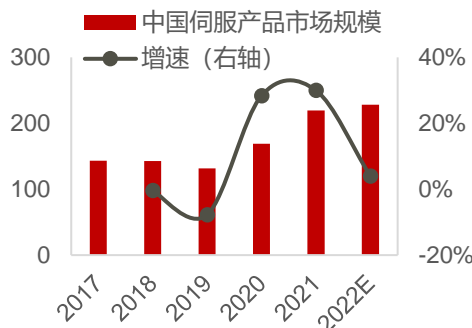
2.3 伺服电机，机器人关节的驱动装置

- 工业机器人通常使用交流伺服电机直接驱动，在低频运转下容易发热和出现低频振动，对于长时间和周期性工作的工业机器人这都不利于确保其精确、可靠地运行。因此，通常需要与减速器组合，保持电机运转在合适的速度的同时提高输出力矩。
- 参考工业机器人，对于人形机器人的大多关节，可能采用伺服系统。** 伺服系统主要包括伺服电机、伺服驱动器、指令装置三大部分。其中，伺服电机是执行机构，可将电压信号转化为电机的转矩和转速。伺服驱动器是用来控制伺服电机，其作用类似于变频器作用于普通交流马达，一般通过位置、速度、力矩三种方式对伺服电机进行控制，属于传动技术的高端产品。指令装置则是发脉冲或者给速度用于配合驱动器正常工作的。
- 伺服系统国内市场占有率不断提升。** 由于需要的技术水平较高，过往国内伺服系统市场一直为外资品牌主导。伴随着国产伺服技术研发水平的不断提升，国产伺服系统进口替代的步伐加快，内资品牌在伺服系统的崛起之势愈发明显。根据格物致胜咨询公司数据，2021年我国伺服市场中，汇川技术以16%的市场占有率位列第一。

图表：伺服电机与减速器连接图

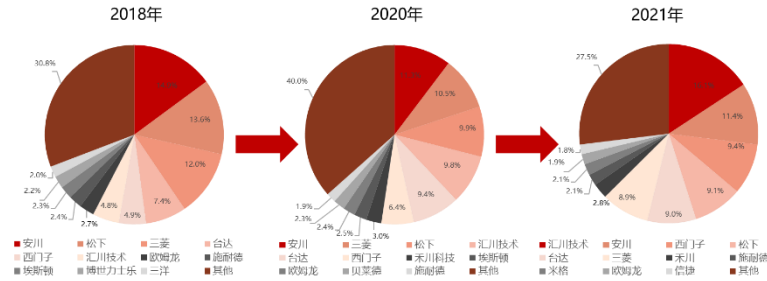


图表：国内伺服系统市场规模（亿元）



资料来源：禾川科技，格物致胜，控制工程网，民生证券研究院

图表：国内伺服系统市场份额变化



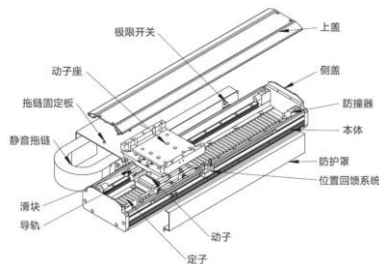
资料来源：高工机器人，《工业机器人减速器市场分析与产业供需格局研究报告》，民生证券研究院

资料来源：瓦玛特减速电机、民生证券研究院

2.4 准直驱电机——大承重关节更优选择

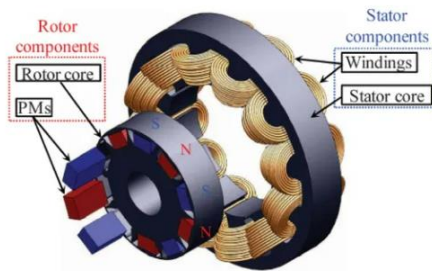
- 直驱电机是直接驱动式电机的简称，是直接驱动负载不需经过传动装置（如传动皮带等）的电机，可以分为旋转直驱电机或直线直驱电机两类。
- 与非直驱电机相比直驱电机有多重优势。**由于负载直接和电机相连，中间没有减速器，同步带，涡轮蜗杆等传动结构，**所以直驱电机传动刚度高，系统控制带宽高，系统响应迅速，精度更高，具有较高的能源效率，且减少了维护工作量，可靠性更高。**直驱电机的主要缺点在于简单1：1时，成本高于传统电机。但考虑到省去了中间齿轮和联轴器，以及相关的维护和整体机械简化，直驱电机也通常具有成本效益。**因而，在部分承力较大的关节我们认为大扭矩直驱电机也是不错的选择。**当然，实际制造中直驱电机技术难度较高，开发者多采用准直驱电机+低减速比减速器组合来折中。
- 从生产商来说，全球范围内，大扭矩直驱电机核心厂商主要包括NSK、科尔摩根、安川电机、博世和日本精工等。国内主要生产商包括智赢装备（弘讯科技子公司）、新四达电机（电光科技子公司）、大族电机（大族激光子公司）、昊志机电等。

图表：直线直驱电机示意图



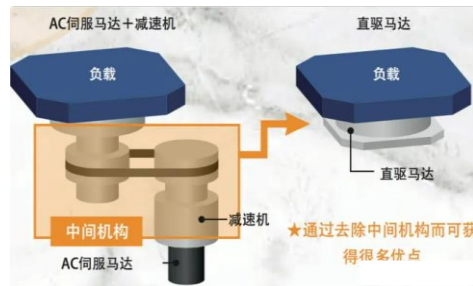
资料来源：东莞市泰莱自动化、民生证券研究院

图表：旋转直驱电机示意图



资料来源：罗罗日记、民生证券研究院

图表：直驱电机与非直驱电机的区别

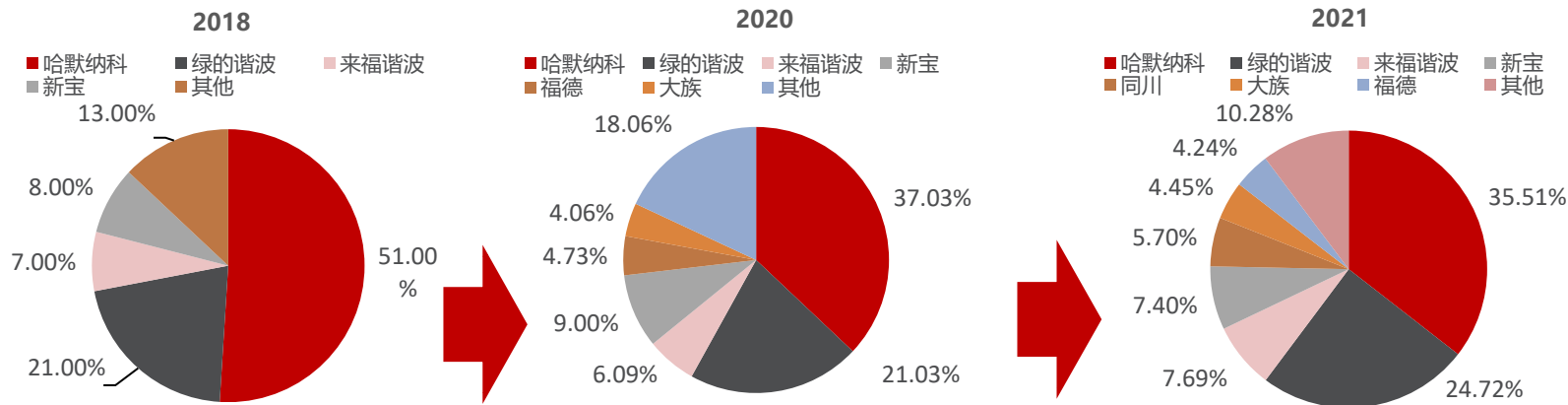


资料来源：罗罗日记、民生证券研究院

2.5 谐波减速器更有望更适配

- **谐波减速器是人形机器人的重要核心零部件。**减速器是常用作原动件与工作件之间的减速传动装置，在二者之间起到匹配转速、传递扭矩的作用，常见的有RV减速机、谐波减速机等。由于谐波减速器具有体积小、重量轻的优点，因此是人形机器人的优质选择。
- **国产替代持续进行，哈默纳科仍是国内市占第一。**哈默纳科在全球范围内谐波减速器领域处于市场主导地位，依靠长期的研发技术积累、规模化的生产能力、稳定的产品质量和性能持续保持竞争力。但近年来，随着国内谐波减速器技术的突破，国产化进程不断推进，2021年国内市场占有率已经超过45%，未来有望继续提高。

图表：国内谐波减速器市场国产替代持续进行



资料来源：高工机器人，《工业机器人减速器市场分析与产业供需格局研究报告》，民生证券研究院

2.5

丝杠与导轨配套使用，实现支撑与机械导向

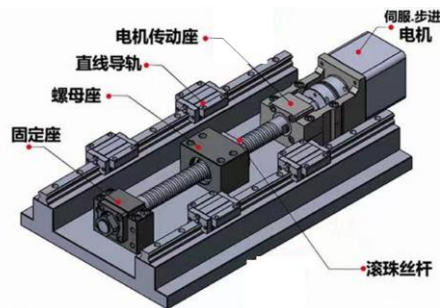
- 丝杠按其摩擦特性可分为三类：即滑动丝杠、滚动丝杠及静压丝杠。**1) 滑动丝杠**：摩擦力较大，传动效率较低，一般为26%~46%，磨损快，易自锁，定位精度和轴向刚度较差；但结构简单，成本较低。**2) 滚动丝杠**：可分为滚珠丝杠和滚柱丝杠两大类，传动效率较高，一般能达到90~96%；且耐磨性好，寿命长，精度高，通过给滚珠适度施加预压，可获得较高的刚性。**3) 静压丝杠**：螺纹牙形与标准梯形螺纹牙形相同，但牙形高于同规格标准螺纹1.5~2倍，目的在于获得良好油封及提高承载能力。但调整麻烦，且需要一套液压系统，工艺复杂，成本较高。
- 导轨与丝杠成套运行，导轨用于实现支撑和导向。**常用导轨种类包括滑动导轨、滚动导轨、静压导轨等。

图表：主要导轨种类与特点

| | 一般滑动导轨 | 滚动导轨 | 塑料导轨 | 静压导轨 | |
|-------|--------|-------|------|------|------|
| | | | | 液体静压 | 气体静压 |
| 定位精度 | 一般 | 较高 | 高 | 高 | 高 |
| 刚度 | 高 | 较高 | 高 | 较高 | 低 |
| 摩擦性 | 大 | 小 | 较小 | 很小 | 很小 |
| 运动平稳性 | 低速易爬行 | 好 | 好 | 好 | 好 |
| 抗振性能 | 一般 | 较差 | 吸振 | 吸振性好 | 吸振性好 |
| 成本 | 低 | 较高 | 较高 | 很高 | 很高 |
| 寿命 | 中等 | 防护好时高 | 高 | 很高 | 很高 |

资料来源：《机电一体化技术》，民生证券研究院

图表：滚珠丝杠及导轨结构



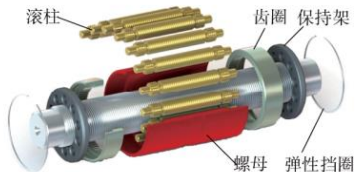
资料来源：上银科技，民生证券研究院

2.5 行星滚柱丝杠承载能力强、精度高

- 标准式行星滚柱丝杠是将螺旋运动和行星运动结合在一起，将丝杠旋转运动转变为螺母直线运动的传动机构，**主要由丝杠、滚柱、螺母、内齿圈、保持架和弹性挡圈组成**。工作时，丝杠通常作为动力输入端，绕自身轴线转动；螺母通常与负载连接，只沿自身轴线移动；滚柱在螺母和丝杠之间做行星运动，并且与螺母相对轴向位移为零，与螺母一起沿轴向移动。**行星滚柱丝杠具有承载能力强、刚度大、精度高、耐磨损、耐冲击和寿命长等特点。**

- 根据结构组成及运动关系的不同，行星滚柱丝杠可以分为**标准式行星滚柱丝杠、反向式行星滚柱丝杠、循环式行星滚柱丝杠、差动式行星滚柱丝杠、轴承环式行星滚柱丝杠**。五种类型根据结构特点及优势适用于不同的场合。

图表：行星滚柱丝杠结构形式



资料来源：《行星滚柱丝杠运动原理及有限元分析》，民生证券研究院

图表：不同类型的行星滚柱丝杠结构

| 类型 | 结构 | 特点 | 应用场景 | 示意图 |
|------------|---|---|---------------------------------------|---|
| 标准式行星滚柱丝杠 | 丝杠、螺母为三角形多头螺纹，滚柱为具有一定螺旋升角的球形单头螺纹。丝杠为主动件，螺母为输出构件。 | 能够实现较大行程，适用于环境恶劣、高负载、高速等场合。 | 主要应用于精密机床、机器人、军工装备等领域 |  |
| 反向式行星滚柱丝杠 | 结构与标准式类似但没有内齿圈，丝杠两端加工有直齿与滚柱两端的齿轮啮合。螺母作为主动件，长度比标准式的大得多；丝杠为输出构件，滚柱、丝杠之间无相对轴向位移。 | 可实现电机和丝杠一体化设计，形成结构紧凑的立体式机电作动器C-EMA。主要缺点唯行程受螺母内螺纹长度限制。 | 主要用于中小负载、小行程和高速的应用场景。用于航空、航天、船舶、电力等领域 |  |
| 循环式行星滚柱丝杠 | 去掉内齿圈并增加凸轮环结构，功能类似于滚珠丝杠的返回器。滚柱上无螺纹、齿轮结构，为环槽状，环槽间距与丝杠、螺母的螺纹匹配，并增加了参与啮合的螺纹数量 | 具有较高的刚度和较大的承载能力。但凸轮环结构易产生振动冲击，存在噪音问题。 | 主要应用于要求高刚度、高承载、高精度的场合，如医疗器械、光学精密仪器等领域 |  |
| 差动式行星滚柱丝杠 | 去掉了内齿圈，滚柱上也没有齿轮段。滚柱、螺母均为环槽结构，且滚柱的环槽分为多段，其中小中径段与螺母啮合，大中径段与丝杠啮合。 | 可以获得更小的导程。但重载情况下易产生磨损，导致精度丧失，可靠性降低。 | 传动比较大、承载能力较高的应用场合 |  |
| 轴承环式行星滚柱丝杠 | 滚柱与循环式相同，为环槽结构，相比于标准式，其螺母上去掉了内齿圈，增加了壳体、端盖及推力圆柱滚子轴承等部件。 | 提高了承载能力，同时也减小了各构件间的磨损，增大了传动效率。但其存在着结构复杂、径向尺寸大、制造成本高等缺点。 | 主要适用于高承载、高效率等场合，如石油化工、重型机械等领域。 |  |

资料来源：《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》，民生证券研究院

2.5 国外滚柱丝杠领先，人形机器人带动国内厂商投入

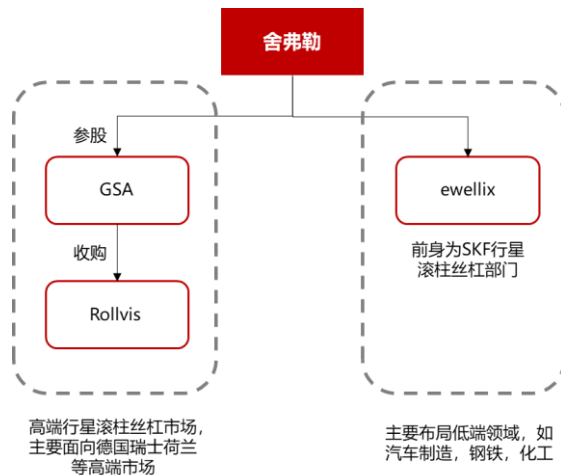
- 根据persistence market research 数据，**2022年全球滚柱丝杠市场规模为2.85亿美元，预计2023年市场规模将达到3.03亿美元**。从市场集中度来看，persistence market research预计**2023年行星滚柱丝杠市场中美国市场份额将达到21.1%**。此外，受益于汽车行业需求及工业自动化需求，**2023-2033年中国滚柱丝杠市场规模年复合增长率预计将达到6.5%**，高于全球复合增速5.8%。
- 行星滚柱丝杠以往产能主要集中于欧洲、美国等。舍弗勒集团于2022年收购ewellix公司，其前身为SKF行星滚柱丝杠部门，结合旗下传统高端行星滚柱丝杠品牌GSA，舍弗勒基本垄断国际高端行星滚柱丝杠市场。

图表：主要国外行星滚柱丝杠厂家

| 公司 | 国家 | 主要产品 |
|------------|----|--|
| SKF | 瑞典 | 推出的 SR/BR/TR/PR 系列标准式行星滚柱丝杠已应用于塑料模具、自动控制、军工和核工业等领域，其生产的 SV/BV/PV 系列循环式滚柱丝杠则主要应用于一些高精技术场合 |
| Rollvis | 瑞士 | 1970 年成立，目前已生产有非循环型 (RV/HRV 系列)、反向式(RVI 系列)、差动式(RVD 系列)以及循环式(RVR 系列)等产品 |
| LTK | 德国 | 生产的主要型号有 RV/BRV/RVR/RVI/RVD 等系列 |
| Exlar | 美国 | 机电作动器的研发与推广 |
| Power Jack | 英国 | 机电作动器的研发与推广 |
| GSA | 瑞士 | 产品直径范围为 5mm~245mm、导程范围为 0.5mm~50mm。2017年收购Rollvis，是目前该领域内产品系列最全、型号最多、规模最大、实力最强的制造厂家 |

资料来源：《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》，民生证券研究院

图表：舍弗勒行星滚柱丝杠布局

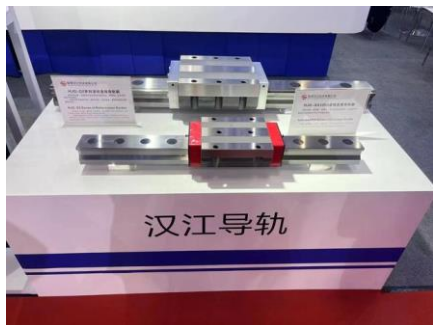


资料来源：高品智，民生证券研究院

2.5 国外滚柱丝杠领先，人形机器人带动国内厂商投入

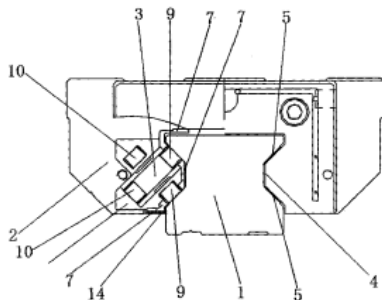
- 国内行星滚柱丝杠目前还处于早期阶段，生产难度较大，国内企业较少布局。近年来以华中科技大学、西北工业大学、南京理工大学为代表的高校力量逐步推动底层研究。近期人形机器人、精密机床等行业的发展带动了国内企业在行星滚柱丝杠方面的投入。**中国目前的主要参与企业包括秦川机床和鼎智科技。**
- 秦川机床：**子公司汉江机床在滚柱传动系统方面布局较早，**2014年汉江机床取得整体注塑滚柱直线导轨副专利。**此后，公司进一步拓展滚柱导轨类新产品，并逐步就滚柱丝杠副进行研究。**2020年，汉江机床完成滚柱直线导轨副等15项丝杠产业新产品开发，完成滚柱丝杠副可靠性试验等基础性能试验5项。**
- 鼎智科技：**公司产品包括线性执行器、混合式步进电机等，是全球线性执行器产品领域内少数具备丝杠部件和螺母部件独立生产能力的企业。其中，公司线性执行器包括滑动丝杠、滚动丝杠，行星滚柱丝杠。**公司在微型行星滚柱丝杠的研发与生产上已有里程碑式达成。**该产品与滚珠丝杠相比负载能力更高、使用寿命更长，可以适应更极端的环境；与梯形丝杠相比精度和效率更高。

图表：汉江机床重型滚柱导轨



资料来源：爱采购，民生证券研究院

图表：整体注塑滚柱直线导轨副剖面结构图



资料来源：国家知识产权局，民生证券研究院

图表：鼎智科技线性执行器相关产品



资料来源：鼎智科技公告，民生证券研究院

2.6 空心杯电机——机器人的手指执行器

- **对于手部关节，空间狭小、要求较高，空心杯电机是最佳之选。**人形机器人的商用属性要求其具备更加灵活的应用场景，其手指应具备更高的自由度。此外，人形机器人的手指空间狭小，因而人形机器人手指关节需配备更多小型化且能够输出较大力的电机。属于直流永磁伺服电动机的空心杯电机完美契合人形机器人对应手指关节轻量化、高精度等需求。
- **无刷空心杯电机的难点在于产品设计与制造工艺，其中大批量生产为核心难点，手工制作方式在生产效率、产品稳定性方面无法满足客户需求。**国内具备空心杯电机公司不多，只有鸣志电器/鼎智科技等，且瑞士Maxon和德国Faulhaber掌握了大批量生产的核心工艺，国内大多数厂商主要受制于此项工艺。

图表：人形机器人手部示意图



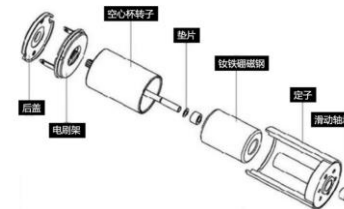
资料来源：快科技、民生证券研究院

图表：空心杯伺服电机



资料来源：北京博创兴盛机器人、民生证券研究院

图表：空心杯伺服电机内部结构



资料来源：找磁材、民生证券研究院

图表：国内企业相关进展

| 公司 | 相关消息 |
|------|--|
| 鸣志电器 | 公司的空心杯电机和直流无刷电机产品已广泛应用于重症呼吸机的应用场景。 |
| 江苏雷利 | 公司与鼎智科技及其他合作方共同研发无刷空心杯电机，其中，绕线生产由公司负责，绕线设备由三方共同研发。公司核心技术优势在于能实现空心杯电机的批量生产。 |
| 鼎智科技 | 已实现空心杯电机全自动量产，并能针对客户的不同需求提供定制化产品和组件。当前多款样品处在测试阶段。 |

资料来源：鸣志电器、江苏雷利、鼎智科技、民生证券研究院

2.7 3D传感器应用方案

- 目前市场上的3D视觉采用的应用方案原理主要有三种：结构光法、ToF法和多目（双目）立体视觉法。结构光法：通过投影特定的光模式到物体上，并通过检测反射光的变形来获取物体的三维形状。ToF法（Time-of-Flight）：通过测量光线从发射到反射回来的时间来估计物体的距离。多目（双目）立体视觉法：模仿人眼，通过测量两个相机视角之间的视差来计算物体的深度。
- 3D视觉应用方案领域三大原理的提供商分别有：多目（双目）立体视觉法提供商：国外（英特尔、微软、Leapmotion）；国内（图漾科技、纵目科技、凌云光技术、西纬科技和弼智仿生）。结构光法提供商：国外（英特尔、谷歌）；国内（图漾科技、奥比中光和华捷艾米）。
- 飞行时间法提供商：国外（微软、谷歌、英飞凌、德州仪器、意法半导体），国内（海康威视、舜宇光学和乐行天下）。

图表：3D视觉应用方案优缺点及案例

| | 多目（双目）立体视觉法 | 结构光法 | ToF 法 |
|---------------|-------------|-------|-------|
| 软件冗余性 | 高 | 中 | 低 |
| 材料成本 | 低 | 高 | 中 |
| 穿透性 | 低 | 高 | 低 |
| 响应速度 | 中 | 慢 | 快 |
| 深度精确度 | 低 | 高 | 中 |
| 低光环境下性能 | 低 | 良好 | 良好 |
| 高光环境下性能 | 良好 | 低 | 良好 |
| 功耗 | 低 | 中 | 可调节 |
| 量程 | 高倍 | 可调节 | 可调节 |
| 应用领域 | | | |
| 游戏 | | X | X |
| 3D 影院 | X | | |
| 3D 扫描 | | X | X |
| 用户界面控制 | | | X |
| 增强现实（AR） | X | | X |
| 应用案例 | | | |
| 英特尔 RealSense | X | X | |
| 微软 Kinect | | X（1代） | X（2代） |
| 谷歌 Tango | | X | X |

资料来源：微迷网、民生证券研究院

图表：国内外3D视觉应用方案主要参与者

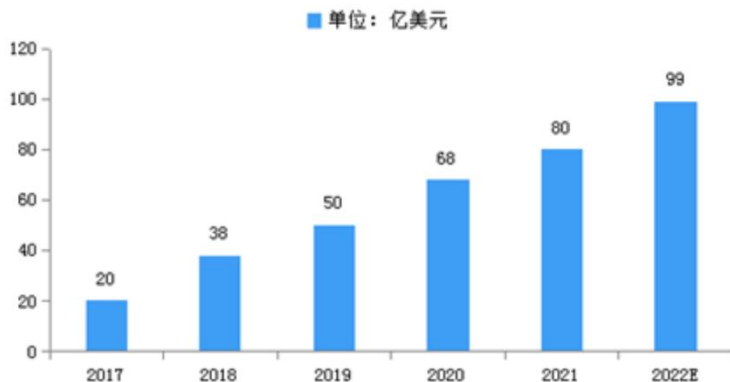
| 多目（双目）立体视觉法 | 结构光法 | ToF法 |
|--|---|---|
|  |  |  |
|  |  |  |
|  | | |

资料来源：微迷网、民生证券研究院

2.7 3D传感器市场规模

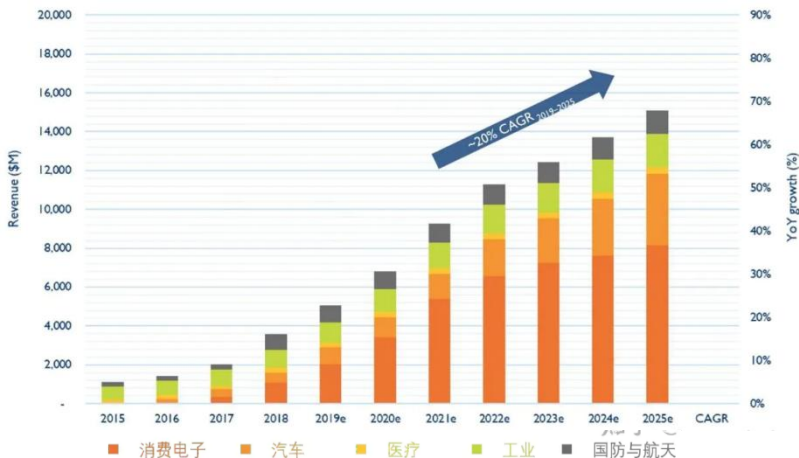
- 随着2D成像逐步向3D视觉感知升级，3D视觉感知市场处于规模快速增长前期。2019年，全球3D视觉感知市场规模为50亿美元，2020年接近70亿美元，2022年将进一步增长至99亿美元。
- 2018年消费电子领域是3D视觉感知行业最大的应用领域，占比约为40%。其次是工业领域，占比达21%。国防及航天和汽车领域军占比17%。医疗占比最少，仅有5%。

图表：全球3D视觉市场规模趋势图



资料来源：中商情报网、民生证券研究院

图表：全球3D成像和传感市场规模预测（百万美元）



资料来源：电子工程专辑、民生证券研究院

2.7 毫米波雷达的应用场景

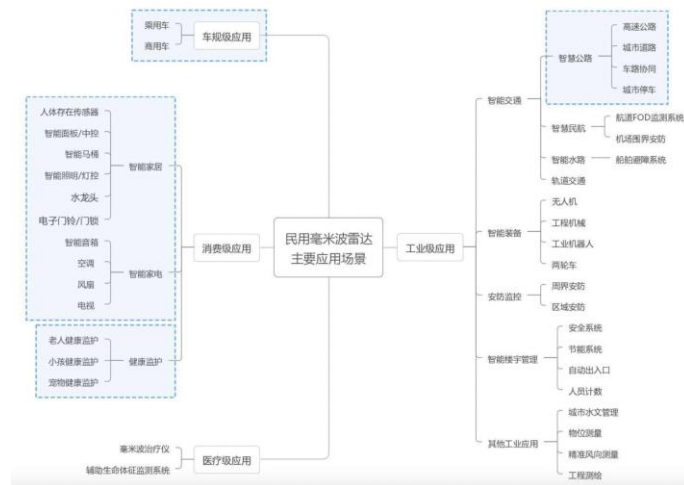
- 毫米波雷达有24GHz、60GHz、77GHz、80GHz、120GHz 等频段产品。目前，国内常用的毫米波雷达频段为24GHz、60GHz 和 77GHz 这三个频段。24G 毫米波雷达在各方面性能比较成熟，且成本较低，适用的领域会更广，例如交通、安防、智能家居、康养医疗等等；77GHz 毫米波雷达在精度上相比 24GHz 更高，主要应用于汽车领域，且应用规模已超过 24GHz。

图表：毫米波传感器应用领域使用频率

| 应用领域 | 使用雷达频率 |
|------|------------------------------|
| 智能汽车 | 24GHz、60GHz、77GHz |
| 智慧交通 | 24GHz、77GHz、80GHz |
| 安防 | 24GHz |
| 无人机 | 24GHz |
| 工业测量 | 24GHz、60GHz、80GHz、120GHz |
| 智能家居 | 5.8GHz、10.525GHz、24GHz、60GHz |
| 康养医疗 | 24GHz、60GHz |

资料来源：Techtorch、民生证券研究院

图表：毫米波雷达传感器应用场景

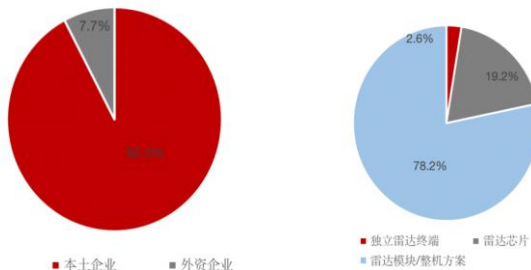


资料来源：Techtorch、民生证券研究院

2.7 毫米波雷达的竞争格局

- AIOT星图研究院统计，截至2022年9月底，国内注册的毫米波雷达企业（含子分公司）共有234家。其中本土企业216家，占比92.3%，外资企业18家，占7.7%；从产业链环节来看，雷达芯片企业有45家，占比19.2%，雷达模块和整机方案企业183家，占比78.2%，独立式雷达终端企业6家，占比2.6%。
- 全球毫米波雷达市场由国外供应商主导。**据OFweek统计，2018年博世、大陆、海拉、富士通天、电装为全球前五的厂商，合计占据68%的份额。

图表：2022年中国毫米波雷达企业类型分布



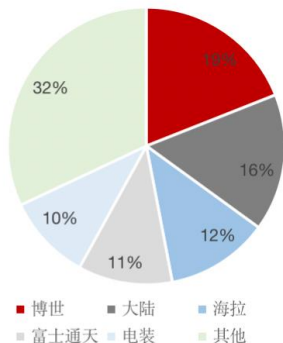
资料来源：RFID、民生证券研究院

图表：中国毫米波雷达企业区域分布图



资料来源：RFID、民生证券研究院

图表：2018年全球毫米波雷达主要厂商市场份额

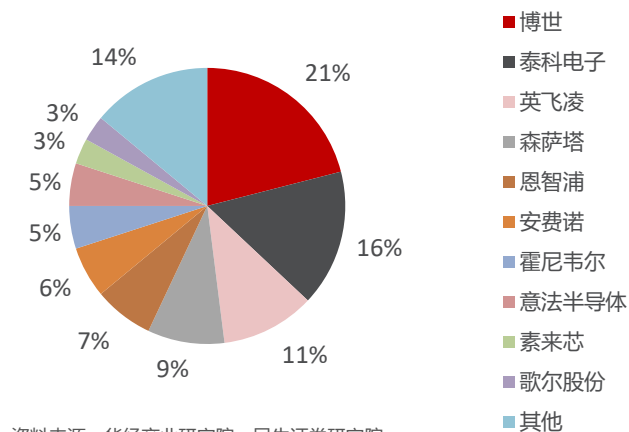


资料来源：OFweek、民生证券研究院

2.8 力传感器的类别与市场规模

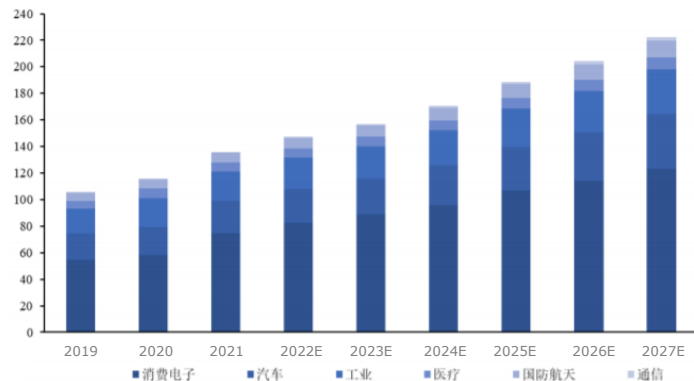
- 根据检测原理不同力传感器可以分为：感应式力传感器、电容式力传感器、压电式力传感器、压阻式力传感器。
- 根据Mordor Intelligence数据，20年全球压力传感器市场规模为54.57亿美元，预计2026年市场规模将超过83.22亿美元，市场空间稳步提升。目前MEMS传感器市场还是以国外厂商如博世、泰科电子、英飞凌等国外企业为主，据华经产业研究院统计，2020年博世、泰科电子、英飞凌市场占有率分别为21%、16%和11%。

图表：2020年MEMS压力传感器市场份额（按出货量）



资料来源：华经产业研究院、民生证券研究院

图表：MEMS 行业市场规模预测（亿美元）



资料来源：芯动联科、民生证券研究院

2.8 MEMS陀螺仪——角速度的测量器件

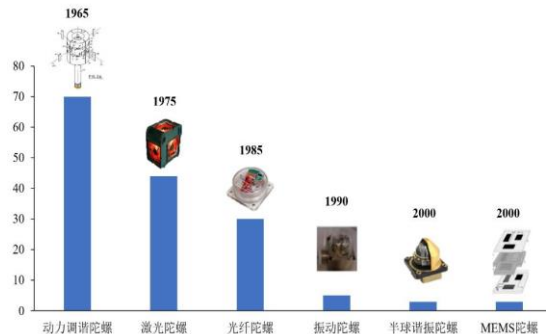
- **惯性传感器组成：**MEMS 惯性传感器属于 MEMS 传感器的重要分支，主要包括陀螺仪、加速度计等，并可通过组合形成惯性组合传感器 IMU。
- **陀螺仪**是测量角速率的一种器件，是惯性系统的重要组成部分，主要用于导航定位、姿态感知、状态监测、平台稳定等应用领域。
- MEMS 陀螺仪的核心是一颗微机械（MEMS）芯片，一颗专用控制电路（ASIC）芯片及应力隔离封装。陀螺仪主要包括激光陀螺仪、光纤陀螺仪和 MEMS陀螺仪。

图表：不同陀螺仪的特点

| 类型 | 典型应用场景以及客户群体 | 优势 | 劣势 |
|-------------|--|-----------------|-----------------|
| MEMS 陀螺仪 | 主要应用场景以及客户群体面向于消费领域、汽车、无人系统、高端工业、高可靠等；高性能 MEMS 陀螺仪主要面向无人系统、高端工业、高可靠等 | 低成本，小体积，高可靠，易批产 | 精度接近中低精度两光陀螺 |
| 激光陀螺仪/光纤陀螺仪 | 两光陀螺主要应用场景以及客户群体面向于无人系统、高可靠等，部分光纤陀螺仪也用于高端工业领域 | 超高精度 | 体积大，成本高，功耗大，难批产 |

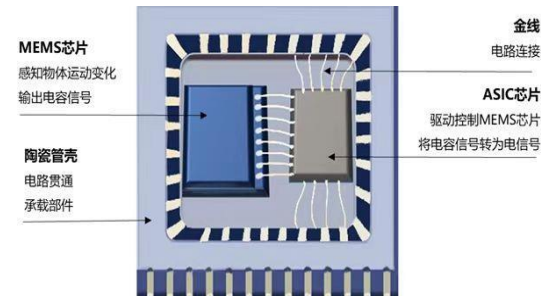
资料来源：芯动联科、民生证券研究院

图表：市场上主要陀螺仪的应用时间及组件数（件）



资料来源：芯动联科、民生证券研究院

图表：MEMS 陀螺仪内部结构示意图

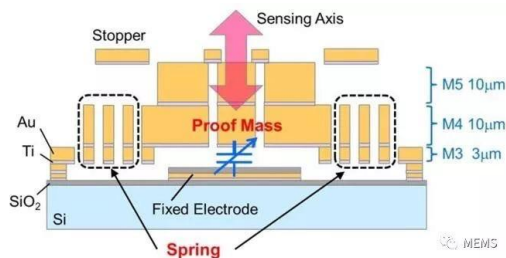


资料来源：芯动联科、民生证券研究院

2.8 MEMS加速度计——加速度的测量器件

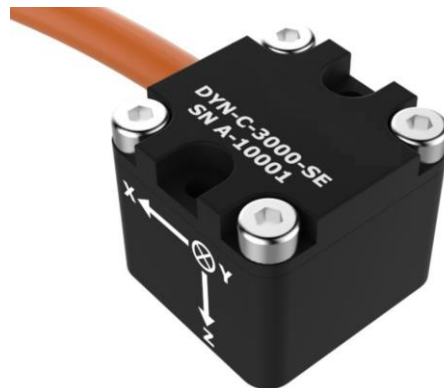
- **加速度计**是一种能够测量物体线加速度的器件。加速度计理论基础是牛顿第二定律，传感器在加速过程中，可通过对质量块所受惯性力的测量计算出加速度值。如初速度已知，就可以通过对时间积分得到线速度，再次积分即可计算出直线位移。
- MEMS 加速度计通常由质量块、阻尼器、弹性元件、敏感元件和适调电路等部分组成。目前电容式 MEMS 加速度计是应用最多的类型。电容式 MEMS 加速度计具有检测精度高、受温度影响小、功耗低、宽动态范围、以及可以测量静态加速度等优点，被广泛应用于消费电子、汽车、工业、高可靠等各个领域。

图表：加速度计结构示意图



资料来源：MEMS、民生证券研究院

图表：电容式MEMS加速度计传感器



资料来源：汉矢德、民生证券研究院

2.8

MEMS惯性系统

- 惯性技术领域可以分为惯性器件与惯性系统两个层级，惯性器件主要包括测量角速率的陀螺仪和测量线加速度的加速度计。
- **惯性系统是以惯性器件为核心**，利用集成技术实现的惯性测量、惯性导航以及惯性稳控系统，其中惯性导航应用领域最为广泛。目前，MEMS 惯性系统已由发展初期的消费、汽车领域扩展到工业、航空航天等高端应用领域。

图表：Honeywell公司HG1900型MIMU



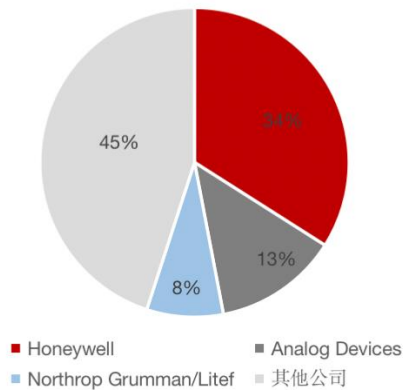
资料来源：麦姆斯咨询、民生证券研究院

2.8

惯性传感器的竞争格局

- **海外龙头占据绝大部分市场。** Yole 统计的数据，2021 年，全世界高性能 MEMS 惯性传感器市场规模约 71,000 万美元，世界 MEMS 惯性产品市场份额集中在 **Honeywell**、**ADI**、**Northrop Grumman/Litef** 等行业巨头手中，市场份额前三的公司合计占有 50% 以上的份额。
- **芯动联科：产品性能达国际先进水平。** 2021 年惯性传感器市场份额约 3.67%，在全世界高性能 MEMS 惯性传感器市场占有率较小，产品性能达国际先进水平，但与国际巨头公司相比整体规模较小，仍处于快速发展期。

图表：2021年MEMS惯性传感器市场份额



资料来源：芯动联科、民生证券研究院

图表：Honeywell 惯性传感器和导航仪



资料来源：Honeywell、民生证券研究院

03. 重点标的

3.1 大扭矩准直驱电机重点标的

- **弘讯科技：**公司专注工业自动化行业多年，深谙塑料机械控制系统的自动化控制技术，产品包括各类控制系统、其他控制系统、智能型控制器、伺服驱动系统、驱动器等，广泛应用于塑料机械、塑料加工、金属加工机械、现代农业、光储行业等行业。
- 公司参股子公司意大利 EEI 在2022年成功参股国家级检测机构 CREI Ven Scarl 实验室，该实验室主要负责工业和电气产品的研究、欧规产品（如风电、光伏产品）的认证包括电气安全、电磁兼容规范测试认证等，将对公司现有工业自动化控制相关产品进入欧洲市场提供支持。
- 公司还参股了东莞智赢公司，该公司自主研发生产**直线模组、直线电机、力矩电机、DD马达**、编码器、光栅尺、磁栅尺、智赢驱动器、智赢AKS驱动器、高性能伺服驱动器、高性能直线电机伺服驱动器。
- **电光科技：**公司是一家专业从事矿用防爆电器研发、设计、生产及销售的公司，产业涵盖矿用防爆、厂用防爆、电力设备、应急救援、监测监控、互联网+3D打印和教育等领域。基本覆盖煤矿井下电力系统中的供电、配电、受电设备的各个领域，适用于煤矿井下和周围介质中含瓦斯、煤尘等有爆炸危险的环境。
- 公司是国内领先的防爆电器制造商，具有明显的规模优势。根据中国电器工业协会防爆电器分会说明，电光科技在矿用防爆电器领域占有主导地位，所生产的矿用防爆电器在技术工艺、产品销售上一直处于行业领先，是行业内的龙头企业。公司在矿用高压真空配电装置、馈电开关、启动器、组合开关、软启动器等产品销量，在国内矿用防爆电器领域处于领先地位。
- 公司21年参股了河北新四达股份有限公司，持股比例为55%。新四达是国家工信部服务型制造示范企业，河北省科技型中小企业。在**低速大扭矩永磁直驱电机（高低压及防爆）及大中型高压高效电机**产品设计研发、生产制造、节能技术再造的专业化生产中具有较强的竞争实力，大中型高压电机研发、生产位于河北省前列。产品主要面向工业用户机械设备配套，客户遍布全国众多工业领域。

3.2 丝杆导轨重点标的：鼎智科技

- **机器人方面：线性传动电缸主要用在手上和腿上，总共18个执行器。** 目前供应丝杆部件，人形、大腿、小腿+大臂-行星滚珠丝杆(4个)，小臂-滑动丝杆(8个)，目前丝杆产品供了1台需求约12个，asp在大几千；还有手部的关节动力系统-空心杯电机+减速箱在等待供。(按照目前特斯拉迭代进度，24年会有几千台的量，25年批量)。目前通过中间客户供应丝杠(三花)。
- **滑动丝杆、音圈电机：**精度、寿命、噪音、效率上有较多要求，需要有经验积累、设备投入，是有门槛的。产品不是通用产品，是多品种、小批量、定制化的，含很多技术服务，公司要提供系统的解决方案，不只是按材料算价格，所以毛利率较高、客户黏性强。对于设计能力和精密加工的能力都有要求。
- **空心杯电机的成本拆分：**成本比例最大的是稀土永磁体(50%)，然后是钢材、铜材、轴承等。上量以后稀土的比例也不会下降。空心杯电机的成本和三花做的电机差不多。
- **制导控制系统：**公司可以提供电机+齿轮箱+线性传动+编码器全套解决方案，产品在测试(最难的测试环节已经通过)。微电机行业数量多，低端微电机80-90%(红海市场)，中端10-15%(少品种，大批量)，高端1-5%(技术门槛高，多品种、小批量)。音圈电机：配套迈瑞，迈瑞市占率仅5%，空间大。
- **公司优势：**电机、微型的精密行星减速箱和线性传动零件有强竞争力。将两者能结合起来提供高性价比产品，又能够得到1+1>2的效果。

图表：鼎智科技滚珠丝杆、空心杯电机、音圈电机及机器人应用

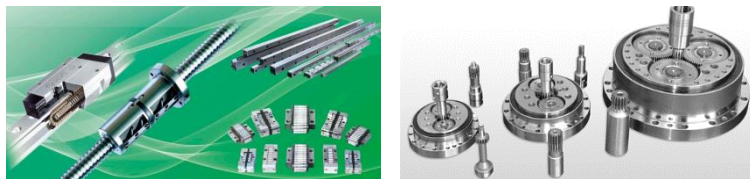


资料来源：鼎智科技，民生证券研究院

3.2 丝杆导轨重点标的：秦川机床

- **丝杆导轨国产化率25%，国产替代空间大。** 目前全球丝杆导轨市场被日本NSK、日本THK等企业垄断，CR5约46%，日本和欧洲企业占据了全球约70%市场份额。国内市场目前上银、银泰市场占有率接近50%，NSK、THK等企业市场占有率约15%，国内企业占有率约为25%，国产替代空间广阔。
- **子公司汉江机床深耕滚动功能部件领域。** 公司控股子公司汉江机床专注于螺纹制造技术装备和精密滚动功能部件，产品广泛应用于航空航天、高铁及高档数控机床等领域，参与多项国家重大项目。截至2020年，汉江机床完成滚柱直线导轨副等15项丝杠产业新产品开发，完成滚柱丝杠副可靠性试验等基础性能试验5项。
- **减速器技术实力强劲。** 公司目前可以实现5KG至800KG全系列RV减速器供应。同时减速器核心部件行星架、行星齿轮、偏心轴、针齿壳、摆线轮全部为自制，技术实力较强。公司子公司沃克齿轮开发的AGV减速器产品已有两个系列定型，性能对标国际先进，具有功率密度大、体积小、精度高、噪音低的特点，日常使用免维护。

图表：秦川机床滚动件及减速器产品



资料来源：汉江机床官网，秦川机床官网，民生证券研究院

3.2 丝杆导轨重点标的：新剑传动

- **公司行星滚柱丝杠电动缸产线系列产品已于2022年3月实现批量化生产。**该产品是省级首台套，替代进口卡脖子工程，将成为液压驱动、滚珠丝杠电动缸的未来技术主力替代方案。**公司建有国内行星滚柱丝杠首条批量化生产线，行星滚柱丝杠已建成350万套的批量化生产能力，并在汽车行业首先进行了应用。**
- 2022年，公司实现销售收入1.84亿元，同比增长39.76%，毛利率29.5%。**其中，行星滚柱丝杠电动缸产品系列实现收入0.24亿元，毛利率达33.47%。**

图表：新剑传动行星滚柱丝杠产品



资料来源：新剑传动官网，民生证券研究院

3.3 空心杯电机重点标的：鸣志电器

- 公司是专注于运动控制领域和 LED 智能照明控制领域核心技术及系统级解决方案供应商，生产产品主要包括传感器、步进电机、直线电机、线性模组和电动缸产品等，广泛应用于医疗器械和生化分析仪器、安防、移动服务机器人（AMR+AGV）、通信设备、太阳能光伏设备、智能水阀控制等领域。
- **深耕控制电机及驱动系统业务，布局新兴高附加值应用领域。**经过多年发展，公司在混合式步进电机技术和业务领域已挤身为世界主要供应商，品牌优势和市场优势明显，占据全球市场份额 10%以上，稳居全球前三。同时公司也是最近十年之内唯一改变混合式步进电机全球竞争格局的国内企业，打破了日本企业对该行业的垄断。此外，**公司的直流无刷电机、交流伺服电机、空心杯电机技术亦在全球居于前列水平。**
- **全球布局效果显现。**公司海外子公司美国 Lin、美国 AMP 和瑞士 T Motion 凭借各自在高端高精度控制电机和电机驱动控制系统领域的尖端技术，在欧洲、北美地区市场，尤其在医疗仪器和实验室设备、高端智能安防监控系统、超细微加工、半导体设备、移动服务机器人等运动控制自动化尖端技术应用领域占有重要的市场份额。

3.3

惯性传感器重点标的：芯动联科

- **公司惯性传感器产品：** 1) MEMS 陀螺仪；2) MEMS 加速度计；3) 惯性测量单元 (IMU)
- 公司主营业务收入来自于 MEMS 陀螺仪和加速度计的销售以及提供 MEMS惯性传感器相关的技术服务，MEMS陀螺仪为主要营业收入贡献点，2020-2022年分别占营业收入77.96%、80.25%、80.70%；此外，MEMS 加速度计2020-2022年占营业收入16.74%、13.11%、6.04%。
- **惯性传感器募投规划：** 公司募集资金拟投资项目的投资总额为 100,000 万元，拟投资建设高性能及工业级 MEMS 陀螺开发及产业化、高性能及工业级 MEMS 加速度计开发及产业化、高精度MEMS 压力传感器开发及产业化、MEMS器件封装测试基地建设等项目，满足国内产业升级对 MEMS 传感器的需求，扩充产品类别，提高核心竞争力。

图表：芯动联科MEMS陀螺仪和加速度计



资料来源：芯动联科，民生证券研究院

04. 风险提示

4

风险提示

□ 新产品研发及拓展不及预期的风险。

- ✓ 机器人产业中很多产品的基础研发周期较长，且研发成果的产业化具有不确定性，产品推广方面也可能不及预期，公司也面临因疫情开工延后，产能及产能利用率不足等问题。若新产品拓展不及预期，会给公司带来不及预期的经营风险和收益风险。

□ 下游需求不及预期的风险。

- ✓ 受国内外宏观经济环境变化和国际贸易摩擦加剧的影响，下游行业投资放缓，机器人行业的发展环境和市场需求可能会因此受到不利影响，若机器人下游行业发展不及预期，则公司的盈利能力会下降。

□ 宏观经济增速放缓的风险。

- ✓ 虽国内疫情防控整体形势较为良好，但若疫情反复影响，仍可能会造成宏观经济增速放缓，下游资产投资增速也可能会放缓，行业在短期内将会受到一定的影响。

THANKS 致谢

民生机械研究团队：



分析师 李哲

执业证号：S0100521110006

电话：13681805643

邮件：lizhe_yj@mszq.com



分析师 罗松

执业证号：S0100521110010

电话：18502129343

邮件：luosong@mszq.com



分析师 占豪

执业证号：S0100522090007

电话：15216676817

邮件：zhanhao@mszq.com

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路8号财富金融广场1幢5F； 200120

北京：北京市东城区建国门内大街28号民生金融中心A座19层； 100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路6001号太平金融大厦32层05单元； 518026

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并登记为注册分析师, 基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论, 独立、客观地出具本报告, 并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰准确地反映了研究人员的研究观点, 结论不受任何第三方的授意、影响, 研究人员不曾因、不因、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收到任何形式的补偿。

评级说明:

| 投资建议评级标准 | 评级 | 说明 |
|--|------|------------------|
| 以报告发布日后的12个月内公司股价(或行业指数)相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中:A股以沪深300指数为基准;新三板以三板成指或三板做市指数为基准;港股以恒生指数为基准;美股以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。 | 推荐 | 相对基准指数涨幅15%以上 |
| | 谨慎推荐 | 相对基准指数涨幅5%~15%之间 |
| | 中性 | 相对基准指数涨幅-5%~5%之间 |
| | 回避 | 相对基准指数跌幅5%以上 |
| | 推荐 | 相对基准指数涨幅5%以上 |
| | 中性 | 相对基准指数涨幅-5%~5%之间 |
| | 回避 | 相对基准指数跌幅5%以上 |

免责声明:

民生证券股份有限公司(以下简称“本公司”)具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用, 并不构成对客户投资建议, 不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要, 客户应当充分考虑自身特定状况, 不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下, 本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写, 但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断, 且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期, 本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告, 但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下, 本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易, 也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务, 本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突, 勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告, 则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有, 未经书面许可, 任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记, 除非另有说明, 均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。