

# 灵巧手与传感器，拟人化与智能化

## ——人形机器人系列报告

### 核心观点

- **灵巧手是人形机器人“小脑”实现灵巧操作、人机交互的重要载体，向高集成度和智能化发展。**灵巧手是一种高度灵活、复杂的末端执行器，在机器人与环境交互中起关键作用。灵巧手因其能够模仿人手的各种灵巧抓持和复杂操作能力，广泛应用于航空航天、医疗、智能制造等领域。根据 Statista 数据，2021 年全球机器人灵巧手市场规模约为 11.6 亿美元，预计在 2030 年增长至 30.35 亿美元，2022-2030 年间 CAGR 为 10.9%。
- **空心杯电机是灵巧手的核心部件，国产替代空间广阔。**空心杯电机是一种特殊的直流电机，采用无铁芯转子性能优异，是电机领域“皇冠上的明珠”。按换向方式分为无刷空心杯电机和有刷空心杯电机，前者寿命和转速优于后者，未来更偏向无刷空心杯电机。欧洲主导中高端市场，国内厂商仍在追赶，根据 QR Research 预测，到 2028 年空心杯电机全球市场将达到 83 亿元。空心杯电机在线圈设计、绕制工艺以及绕制设备三个方面存在高技术壁垒，相关设备厂商国产化替代有望加速。考虑到特斯拉人形机器人未来逐步放量，我们对不同情景进行测算，当特斯拉人形机器人产量达到 50 万、100 万、200 万台时，全球空心杯电机市场空间可能分别新增 48 亿元、84 亿元、144 亿元。
- **传感器是人形机器人感知系统的核心部件，是灵巧手智能化的基础。**特斯拉 Optimus Gen2 人形机器人采用 11 自由度灵巧手和手指触觉传感器，响应更快，要实现捏鸡蛋的操作需要用到多种传感器的技术支撑，包括压力感知、触力感知和柔性微压力感知等。1) 六维力/力矩传感器：应用于人形机器人的手腕处和脚腕处，其中六维联合加载设备是高精度六维力传感器研发和生产的必要条件。根据 GII 预测，2027 年中国六维力/力矩传感器市场规模将超过 15 亿元。2) 柔性触觉传感器/电子皮肤：能够实现与环境接触力、温度、湿度、震动、材质、软硬等特性的检测，是机器人直接感知环境作用的重要传感器。其关键技术包括：材料技术、加工技术、结构设计及扩展、高柔性和多功能。3) MEMS 压力传感器：具有易于批量生产、小型化、成本效益以及易于制造复杂结构的能力等优势，例如 Superior Sensor Technology 的 MEMS 压力传感器集成了包括先进的数字滤波、闭环控制和基于软件的压力开关等先进的功能，可提供精确的运动控制和灵活的物体操纵能力所需的基本内部扭矩和力的反馈。

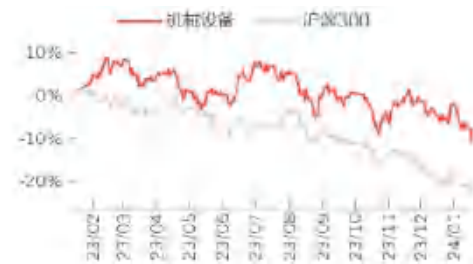
### 投资建议与投资标的

灵巧手是人形机器人“小脑”实现灵巧操作、人机交互的重要载体，其中传感器作为灵巧手智能化的基础，是推动人形机器人深度融合入人类生活生产的重要器件。2024 年人形机器人有望迎来小批量生产，大产业趋势下中长期维度看，我们认为除了由中国制造赋能硬件端所带来的持续降本趋势，产业链可能还具备潜在的抗通缩环节，如智能化水平的提升离不开传感器的广泛使用。因此我们看好人形机器人的产业趋势，看好灵巧手和传感器的发展，建议关注产业链相关公司：东华测试(300354，未评级)、康斯特(300445，未评级)、柯力传感(603662，未评级)、田中精机(300461，未评级)、万讯自控(300112，未评级)、瀚川智能(688022，未评级)等；军工组：芯动联科(688582，未评级)、高华科技(688539，未评级)等；新能源组：鸣志电器(603728，未评级)、鼎智科技(873593，未评级)、伟创电气(688698，未评级)等；汽车组：凌云股份(600480，未评级)、华依科技(688071，未评级)、华培动力(603121，未评级)等；电子组：汉威科技(300007，未评级)、敏芯股份(688286，未评级)、安培龙(301413，未评级)等；轻工组：福莱新材(605488，未评级)等。

**风险提示：**下游需求不及预期；人形机器人进展不及预期；国产替代进程不及预期；行业竞争加剧；假设条件变化影响测算结果。

行业评级 **看好（维持）**

国家/地区 **中国**  
行业 **机械设备行业**  
报告发布日期 **2024 年 01 月 21 日**



### 证券分析师

王天一 021-63325888\*6126  
wangtianyi@orientsec.com.cn  
执业证书编号：S0860510120021

杨震 021-63325888\*6090  
yangzhen@orientsec.com.cn  
执业证书编号：S0860520060002  
香港证监会牌照：BSW113

丁昊 dinghao@orientsec.com.cn  
执业证书编号：S0860522080002

### 联系人

刘嘉倩 liujiaqian@orientsec.com.cn

### 相关报告

政策与产业趋势共振，人形机器人产业化有望提速：——机械行业周报 2024-01-06

精密减速器：国产替代有望提速，人形机器人旋转传动的重要纽带：——人形机器人系列报告 2023-12-20

复苏可见，海外可期，新兴可为：——机械行业 2024 年度投资策略 2023-11-22

人形机器人：国内蓝图开启，国产厂商有望突围 2023-11-03

丝杠：核心传动部件，人形机器人开启成长空间：——人形机器人系列报告 2023-10-25



# 人工智能产业链联盟

星主： AI产业链盟主

 知识星球

微信扫描预览星球详情



# 目录

1. 灵巧手：向高集成度和智能化发展 .....	7
1.1 灵巧手简介 .....	7
1.2 灵巧手：2030 年全球市场规模约为 30.35 亿美元 .....	9
1.2.1 部分国内灵巧手简介 .....	11
1.2.2 部分海外灵巧手简介 .....	13
2. 空心杯电机：灵巧手核心部件，国产替代空间广阔 .....	13
2.1 简介：空心杯电机性能优异，是电机领域“皇冠上的明珠” .....	13
2.2 格局：欧洲主导中高端市场，国内厂商仍在追赶 .....	15
2.3 设备：绕线技术成高壁垒，国产化替代有望加速 .....	17
2.4 增量：人形机器人放量在即，有望给空心杯电机带来百亿增长空间 .....	19
3. 传感器：感知系统的核心部件，灵巧手智能化的基础 .....	23
3.1 传感器是人形机器人感知系统的核心部件 .....	23
3.2 特斯拉 Optimus Gen2，为何选择“捏鸡蛋”？ .....	24
3.3 六维力/力矩传感器 .....	26
3.4 柔性触觉传感器/电子皮肤 .....	32
3.5 MEMS 压力传感器 .....	34
4. 相关标的介绍 .....	37
4.1 鸣志电器：世界级运动控制制造商，空心杯电机领跑同行 .....	37
4.2 鼎智科技：微特电机“小巨人”，积极布局空心杯电机和行星滚柱丝杠 .....	38
4.3 伟创电气：工控出海先行者，积极布局机器人领域 .....	39
4.4 田中精机：国内精密绕线设备领导者，空心杯电机绕组设备供应商 .....	39
4.5 汉威科技：国内气体传感器龙头，子公司积极拓展柔性微纳传感器应用场景 .....	40
4.6 柯力传感：国内应变式传感器龙头，多维力传感器处于开发试制阶段 .....	41
4.7 康斯特：高端校准检测设备龙头，引领高精度传感器国产替代 .....	41
4.8 敏芯股份：MEMS 传感器全产业链发展，积极布局六维力矩传感器 .....	42
4.9 万讯自控：自动化仪表引领者，积极布局高端传感器与机器人 .....	43
4.10 东华测试：结构力学测试仪器龙头，力传感器技术领先 .....	44
4.11 凌云股份：汽车管路行业龙头，揭榜人形机器人研发项目 .....	44
4.12 福莱新材：国内功能性涂布复合材料领军者，子公司积极布局电子皮肤 .....	45
4.13 华依科技：汽车动力总成测试龙头，惯导开启增长新引擎 .....	46
4.14 华培动力：汽车总成业务先进企业，拓宽汽车传感器业务版图 .....	46
4.15 瀚川智能：国内智能制造装备领军企业，子公司积极布局六维传感器 .....	47
4.16 芯动联科：MEMS 惯性传感器龙头，国产替代领军者 .....	48

4.17 安培龙：国内陶瓷传感器龙头，积极拓展 MEMS 传感器 .....	48
4.18 高华科技：高可靠传感器标杆龙头，军民双轮共驱成长 .....	49
5. 投资建议 .....	50
6. 风险提示 .....	50

## 图表目录

图 1: 灵巧手早期典型代表.....	7
图 2: 机器人多指灵巧手分类.....	8
图 3: 2021-2030E 年全球机器人灵巧手市场规模预测（单位：百万美元）.....	9
图 4: 2021-2030E 年全球机器人灵巧手市场容量预测（单位：万只）.....	10
图 5: 主动型肌电假肢手的典型构成组件示意图.....	10
图 6: TRX-Hand 外观图.....	11
图 7: 因时机器人灵巧手 RH56BFX/RH56DFX 系列外观图.....	12
图 8: 智元机器人 SkillHand 灵巧手外观图.....	12
图 9: 帕西尼感知科技-基于视触觉双模态模型控制架构.....	12
图 10: DLR-HIT Hand II 灵巧手外观图.....	13
图 11: SVH 灵巧手外观图.....	13
图 12: 有刷空心杯电机结构图（转子无铁芯）.....	14
图 13: 无刷空心杯电机结构图（定子无铁芯）.....	14
图 14: 空心杯电机下游应用.....	15
图 15: 2022-2028 全球空心杯电机市场规模预测（单位：亿美元）.....	15
图 16: 2021-2028 中国空心杯电机市场规模预测（单位：亿美元）.....	15
图 17: 2021 年全球空心杯电机市场占比.....	15
图 18: 2028 年全球空心杯电机市场占比预测.....	15
图 19: 2021-2028 全球空心杯电机行业细分市场市场份额占比.....	16
图 20: 三种空心杯电机线圈绕制模型和实物图.....	17
图 21: 绕卷式空心杯和工艺流程图.....	18
图 22: 一次成型绕线过程.....	18
图 23: 绕线机机械结构.....	19
图 24: 特斯拉人形机器人发展历程图.....	19
图 25: 2026-2030 年全球及中国人形机器人行业市场规模预测(单位：亿美元).....	20
图 26: 2023 年人形机器人核心零部件价值量分布图预测.....	20
图 27: 2030 年人形机器人核心零部件价值量分布图预测.....	20
图 28: 特斯拉人形机器人共 52 个自由度.....	21
图 29: 特斯拉人形机器人采用的旋转和线性执行器示意图.....	21
图 30: 特斯拉人形机器人采用的灵巧手示意图.....	22
图 31: 传感器是人形机器人感知系统的核心部件.....	23
图 32: 人形机器人捏鸡蛋.....	24
图 33: 一维、三维、六维力传感器工作示意图.....	26
图 34: 六维力传感器安装部位.....	26

图 35：一维/六维联合加载标定示意图.....	29
图 36：美国和德国的六维力传感器标定及检测设备示意图 .....	29
图 37：全球六维力/力矩传感器主流厂商 .....	30
图 38：2022 年中国六维力/力矩传感器市场竞争格局（按销量划分） .....	30
图 39：2017-2027 年中国六维力传感器机器人行业销量及预测（单位：套） .....	30
图 40：2017-2027 年中国六维力传感器机器人行业市场规模及预测（单位：百万元） .....	30
图 41：六维力/力矩传感器在人形机器人领域的应用场景 .....	31
图 42：柔性触觉传感器 .....	32
图 43：全柔性触觉压力传感器 .....	32
图 44：2017-2022 年中国柔性触觉传感器行业市场规模及区域分布（单位：亿元） .....	34
图 45：2017-2022 年世界柔性触觉传感器行业市场规模（单位：亿美元）、需求量（单位：亿个）、均价（单位：亿元/个） .....	34
图 46：监控人体肌肉运动 .....	34
图 47：MEMS 传感器及局部显微放大 .....	35
图 48：MEMS 电阻式压力传感器 .....	35
图 49：MEMS 电容式压力传感器 .....	35
图 50：2023 年 MEMS 压力传感器应用领域占比 .....	35
图 51：2023E 和 2028E 年 MEMS 压力传感器世界市场规模（单位：亿美元） .....	36
图 52：集成柔性压力传感器阵列的机械手 .....	36
图 53：鸣志电器 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	38
图 54：鸣志电器 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	38
图 55：鼎智科技 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	39
图 56：鼎智科技 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	39
图 57：伟创电气 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	39
图 58：伟创电气 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	39
图 59：田中精机 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	40
图 60：田中精机 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	40
图 61：汉威科技 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	40
图 62：汉威科技 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	40
图 63：柯力传感 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	41
图 64：柯力传感 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	41
图 65：康斯特 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	42
图 66：康斯特 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	42
图 67：敏芯股份 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	42
图 68：敏芯股份 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	42
图 69：万讯自控 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元） .....	43
图 70：万讯自控 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%） .....	43
图 71：东华测试 2018-2022 年营业收入和归母净利润（亿元）及增速（%） .....	44

图 72: 东华测试 2018-2022 年销售毛利率和销售净利率 (%)	44
图 73: 凌云股份 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	45
图 74: 凌云股份 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	45
图 75: 福莱新材 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	45
图 76: 福莱新材 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	45
图 77: 华依科技 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	46
图 78: 华依科技 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	46
图 79: 华培动力 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	47
图 80: 华培动力 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	47
图 81: 瀚川智能 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	47
图 82: 瀚川智能 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	47
图 83: 芯动联科 2019-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	48
图 84: 芯动联科 2019-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	48
图 85: 安培龙 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	49
图 86: 安培龙 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	49
图 87: 高华科技 2019-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)	49
图 88: 高华科技 2019-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)	49
表 1: 机器人灵巧手发展历史	7
表 2: 灵巧手结构形式对比 (按照结构形式分类)	8
表 3: 灵巧手驱动方式对比 (按驱动方式分类)	9
表 4: 传统直流电机与空心杯电机性能对比	14
表 5: 有刷空心杯电机与无刷空心杯电机对比	14
表 6: 国内外空心杯电机主要供应商	16
表 7: 中国人形机器人行业核心零部件国产替代空间对比和部分代表企业	20
表 8: 特斯拉人形机器人灵巧手的参数	22
表 9: 特斯拉人形机器人不同产量下的空心杯电机新增市场空间的测算	23
表 10: 机器人的常用传感器	23
表 11: 与人相对应的传感系统	24
表 12: 六维力传感器主要作用及功能	27
表 13: 六维力传感器分类及代表企业	27
表 14: 六维力/力矩传感器海内外部分企业产品准度对比	28
表 15: 六维力/力矩传感器在人形机器人领域的应用场景	31
表 16: 柔性触觉传感器分类	32
表 17: 鸣志电器公司下游应用领域及终端产品	37
表 18: 鼎智科技公司主营产品系列及其主要应用行业情况	38

# 1.灵巧手：向高集成度和智能化发展

## 1.1 灵巧手简介

机器人灵巧手作为一种新型的末端执行器，在机器人与环境的交互中起着关键作用。自 20 世纪 70 年代起，国内外对灵巧手展开了大量研究，从三指到五指，从工业到生活，从简单的抓取到灵巧操作，以期解决复杂的实际作业问题。灵巧手是为多任务而研究开发的一种智能型通用机械手，灵巧的抓取是任务操作的先决条件。灵巧指的是手的姿势可变性，这种可变性越高，则认为手就越灵巧。机器人灵巧手从结构和功能上参考人手，能够灵活操作对象，实现对物体的灵活抓取，满足多种工作需求。

机器人多指灵巧手的研究始于 20 世纪 70 年代。早期灵巧手多采用腱驱动系统与电机驱动，以日本“电子技术实验室”的 Okada 灵巧手、美国斯坦福大学的 Stanford/JPL 灵巧手、美国麻省理工学院和犹他大学联合研制的 Utah/MIT 灵巧手作为该领域研究初始阶段的典型代表，为后续仿人型多指灵巧手研究建立了理论基础。20 世纪末，随着嵌入式硬件的发展，多指灵巧手的研究向着高系统集成度和丰富的感知能力提升的方向发展，进入了快速发展阶段。如德国宇航中心先后研制的 DLR-I 和 DLR-II 灵巧手，共集成了 25 个传感器，包括类似人工皮肤的触觉传感器、关节扭矩传感器、位置传感器和温度传感器等，使灵巧手在灵活性和感知能力方面都有显著提升。多指灵巧手高系统集成度的灵巧手具有灵活性和功能性的优势，但是复杂的系统导致了高额的制造成本并且降低了系统的可靠性和易维护性。因此近 10 年，多指灵巧手设计的一个重要方向是简化系统与提高鲁棒性。手的研究向着高系统集成度和丰富的感知能力提升的方向发展，进入了快速发展阶段。

图 1：灵巧手早期典型代表



数据来源：小米技术公众号，东方证券研究所

表 1：机器人灵巧手发展历史

年代	灵巧手	指数	自由度	驱动	传动	传感	结构
20 世纪 70 年代	Okada 手 (1974, 日本)	3	11	电机	腱	电机/关节位置、电机电流	外置
20 世纪 80 年代	Utah/MIT 手 (1983, 美国)	4	16	气缸	腱	电机/关节位置、张力、触觉	外置
	Stanford 手 (1983, 美国)	3	9	电机	腱	电机位置、张力、指尖力、指尖触觉	外置
	Barret 手 (1988, 美国)	3	4	电机	齿轮	电机位置、关节力矩	内置
	UB II 手 (1992, 意大利)	3	11	电机	腱	关节位置、触觉	外置

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。



20 世纪 90 年代	DLR I 手 (1998, 德国)	4	12	直 线 电机	腱	电机/关节位置、指尖力	外置
	NASA 多指灵巧手 (1999, 美国)	5	14	电机	腱	电机/关节位置、张力、触觉	外置
20 世纪初	DLR II (2000, 德国)	4	13	电机	齿 形 皮带	电机/关节位置、6 维指尖力	内置
	东大的快速手 (2003, 日本)	3	8	电机	齿轮	电机位置、指尖力/力矩、触觉、视觉	内置
	HIT/DLR II (2008, 中国、德国)	5	15	电机	齿 形 皮带	电机/关节位置、关节力矩、6 维指尖力、触觉	内置

数据来源：刘伊威等《机器人灵巧手的研究与发展》，东方证券研究所

**灵巧手种类繁多，可根据结构形式、驱动方式、传动机构进行分类。**

- 1) 灵巧手按照结构形式分类可分为驱动器内置式、驱动器外置式与驱动器混合制式。早期机器人驱动器的尺寸较大，故驱动器外置式应用较多。随着工艺的发展与驱动器尺寸的减小，驱动器逐渐走向内置式与混合制式，在保证手指自由度的同时尽量实现体积大小可控。
- 2) 灵巧手按驱动方式分类可分为电机驱动式、气动驱动式与形状记忆合金驱动式。电机驱动具有驱动力大，控制精度高、响应快等优点，但电机体积较大且市场很难匹配到通用电机是目前的发展瓶颈；气动驱动成本较低，但存在刚度低、动态性能差等性能缺陷；形状记忆合金驱动式的驱动速度快，但合金寿命有限，不能长期使用。
- 3) 灵巧手按照传动机构分类可分为腱绳传动式、齿轮驱动式与连杆驱动式。腱绳传动结构简单、控制灵活但控制精度不高、抓取力不足；齿轮驱动式可以实现高控制精度，但结构复杂，成本较高；连杆驱动式能够抓取大型的物体且结构设计紧凑，但是在远距离的控制上就比较困难，抓取的空间较小。

图 2：机器人多指灵巧手分类



数据来源：众星智能官网，东方证券研究所

表 2：灵巧手结构形式对比（按照结构形式分类）

结构形式	优点	缺点	应用
驱动器外置	驱动器选型自由，不用考虑体积空间	传感器不能反应关节信息，控制器难度大；标定难，非模块化设计，可维护性差	Stanford/JPL
驱动器内置	手指各关节刚性较好，更利	通信和控制难度加大，手指尺	HIT/DLR - II

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

	于传感器的直接测量，且模块化设计利于更换维护。	寸及灵巧手整手尺寸较大，关节灵活度下降	
驱动器混合置式	保证较高自由度的同时，控制体积大小	技术难度高	RoboRay

数据来源：众星智能官网，东方证券研究所

表 3：灵巧手驱动方式对比（按驱动方式分类）

驱动方式	优点	缺点	应用
电机驱动	驱动力大，控制精度高、响应快、模块化设计、易于更换维护	电机本身固有的体积较大	主流驱动方式，如特斯拉 Optimal 所用灵巧手
气动驱动	易于控制、能量储存方便、柔性好	其刚度低、动态性能差	上海交大联合 MIT 开发的气动灵巧手
形状记忆合金驱动	驱动速度快、负载能力强	存在疲劳和寿命问题	中国计量大学基于 SMA 驱动的中国三指灵巧手

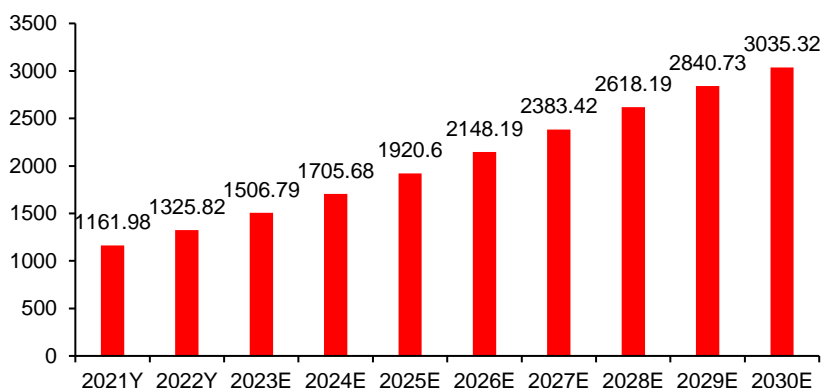
数据来源：众星智能官网，东方证券研究所

**电机驱动是目前最主流的机器人灵巧手驱动方式，空心杯电机大放异彩。**综合看各种灵巧手驱动方式，电机驱动因其驱动力大，控制精度高、响应快、模块化设计、易于更换维护等优异性能成为市场主流。而面对电机本身固有体积较大的缺点目前行业主流的解决方案是采用尺寸更小的空心杯电机。HIT/DLR II 灵巧手使用的是扁平无刷空心杯电机，Shadow 灵巧手使用的是有刷电机 Maxon 118608，国产因时机器人灵巧手内部有 6 个集成了无刷空心杯电机的微型伺服电缸作为动力来源。虽然特斯拉机器人灵巧手使用空心杯电机暂未公布型号，**但无刷空心杯电机具有高寿命、高效率、高转速等优势，是未来发展趋势。**

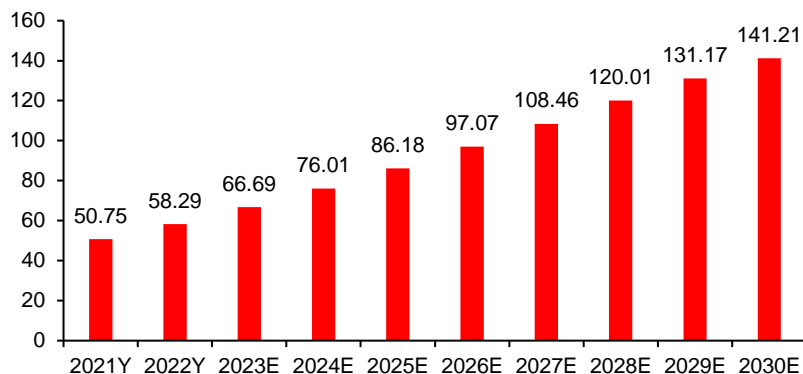
## 1.2 灵巧手：2030 年全球市场规模约为 30.35 亿美元

根据 Statista 预测，全球机器人灵巧手 2021 年市场规模约为 11.6 亿美元。随着工业自动化、航空航天、医疗保健等行业对灵巧手需求的不断增加与技术进步对灵巧手的降本效应，灵巧手市场规模有望不断增加。根据 Statista 的预测数据，全球机器人灵巧手市场规模将由 2021 年的 11.6 亿美元增长至 2030 年的 30.35 亿美元，2022-2030 年间 CAGR 为 10.9%。同时，全球机器人灵巧手市场容量将由 2021 年的 50.75 万只增长到 2030 年的 141.21 万只，2022-2030 年间 CAGR 为 11.7%。

图 3：2021-2030E 年全球机器人灵巧手市场规模预测（单位：百万美元）



数据来源：Statista, 东方证券研究所

**图 4：2021-2030E 年全球机器人灵巧手市场容量预测（单位：万只）**


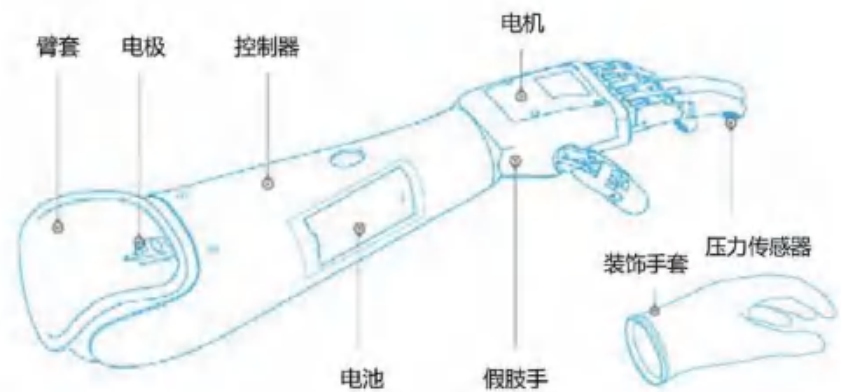
数据来源：Statista, 东方证券研究所

**灵巧手目前主要应用在航空航天、医疗、智能制造等领域。**如执行航天飞行器的舱外任务、仿生假肢和远程手术、拼装流水线上小尺寸零件等。随着近年来人形机器人技术的突飞猛进，人形机器人用灵巧手有望成为灵巧手未来的主流应用领域。

**航天领域：**外太空具有超低温、高压、无氧、强辐射等不利于宇航员工作的环境特点，**这时灵巧手就能较好地帮助宇航员完成一些机械性的舱外活动**，如移除和安装多层绝缘材料、操作太空行走工具、样品收集和实验、航天器外部维修等。目前比较成功的案例有美国 NASA（美国航空航天局）的 Robonaut 手和 Robonaut 2 手、德国 DLR（德国宇航中心）的 DLR-I 和 DLR-II 手等。DEXHAND 应能够抓住掌握太空行走(EVA)工具，并支持它们的操作：如钳子、剪刀、小型切割器、刷子、锤子、铲子、切割器、缆绳(多个)、内六角扳手和手枪握持的自动螺丝刀（并支持其扳机切换机制）。

**医疗领域：**灵巧手在医疗领域主要用在仿生假肢手方面。截肢患者特别是上肢残疾患者，因为手部的丧失中断了大脑等中枢神经系统与环境互动的通路。而假肢手的使用能有效地补偿丧失的运动控制和感觉反馈功能，是残疾人康复和功能恢复中的重要手段。目前市售假肢手根据动力来源可分为被动型和主动型两大类，随着假肢技术的发展，仿生主动型假肢手逐渐成为主流。目前市售的高自由度、高性能仿生假肢手，通常使用基于模式识别的控制系统，来实现多自由度假肢手关节的运动控制例如 Ottobock 公司的 SensorHand Speed、Bebionic 和 Michelangelo 假肢手，Open Bionics 公司的 Hero Arm 等。而使用者对于使用舒适度的要求，也将可穿戴式、轻量化以及提供具有高具身认知感的触觉反馈作为了仿生假肢手发展的方向。

**图 5：主动型肌电假肢手的典型构成组件示意图**



数据来源：高兆龙《仿生假肢手抓握运动中的控制及电触觉反馈方法研究》，东方证券研究所

### 1.2.1 部分国内灵巧手简介

#### (1) 腾讯 TRX-Hand 灵巧手

腾讯 Robotics X 实验室于 2023 年 4 月 25 日推出自研机器人灵巧手 TRX-Hand 和机械臂 TRX-Arm。灵巧手 TRX-Hand 拥有像人手一样灵活的操作能力，可适应不同场景，灵活规划动作，自主完成操作。在运动能力上，得益于创新的刚柔混合驱动专利技术和自研高功率密度驱动器 TRX-Hand 兼具高灵巧和高负载速度的特性，拥有 8 个可独立控制关节，自重仅 1.16 千克，最大持续指尖力可达 15 牛，最大关节速度不低于 600 度每秒，可轻松应对不同形状尺寸物体的抓取和操作，对高动态的抛接动作也游刃有余。在感知能力上，灵巧手在指尖、指腹和掌面均覆盖了自研的高灵敏度柔性触觉传感器阵列，掌心处安装有微型激光雷达和接近传感器，同时每一个关节均集成了角度传感器，保证灵巧手在抓取和操作过程中能准确地感知自身与物体状态信息。

图 6：TRX-Hand 外观图



数据来源：腾讯 RoboticsX 实验室公众号，东方证券研究所

#### (2) 因时机器人灵巧手：RH56BFX/RH56DFX 系列

因时机器人仿人五指灵巧手采用创新型直线驱动设计，具有 6 个自由度和 12 个运动关节，结合力位混合控制算法，可以模拟人手实现精准的抓取操作。其中 RH56BFX 系列灵巧手又称钢琴手，速度快、抓握力稍小，集成力传感器，适用于弹钢琴及手势交互等场景；RH56DFX 系列灵巧手抓握力大，速度适中，适用于机器人或假肢的抓取操作。二者都支持 ROS，可提供 ROS 插件。两款产品适用于人形机器人、协作机器人、医疗机器人、特种机器人及假肢等，可在迎宾接待、无人零售、楼宇服务、家庭服务、助老助残、特种应用等多种应用场景使用。

图 7：因时机器人灵巧手 RH56BFX/RH56DFX 系列外观图



数据来源：因时机器人官网，东方证券研究所

图 8：智元机器人 SkillHand 灵巧手外观图



数据来源：新智元公众号，东方证券研究所

### （3）智元机器人 SkillHand 灵巧手

智元机器人是 2023 年 2 月创立的专注于打造智能机器人与应用场景的高科技企业，于 2023 年 8 月正式发布智能机器人“远征 A1”。该机器人使用了智元自研的 SkillHand 灵巧手，拥有 12 个主动自由度，5 个被动自由度，所有驱动内置。SkillHand 的指尖集成了基于视觉的指尖传感器，可以分辨操作物的颜色、形状、材质，而且可以基于算法的数据融合，做到近似触觉的压力传感器的效果。同时，该灵巧手创新的指尖传感器视觉闭环的设计，可以实现末端的视觉闭环，降低了对于整机电机的精度需求。

### （4）帕西尼 DexH5 灵巧手

帕西尼 DexH5 灵巧手拥有 0.01N 高精度力控和 5KG 高负载能力和三段手指结构和高还原仿人手弯曲角度。帕西尼感知科技专注于多维触觉传感技术的突破和创新，在国内首家落地多维多阵列触觉传感器，通过多维度触觉和机器人技术的深度融合，赋予机器人人体般灵敏的多维感知能力，使机器人能在更复杂、柔性的工作环境里，精准、安全、高效地执行任务，广泛应用于特种环境、制造业、物流、医疗、家政等领域。

图 9：帕西尼感知科技-基于视触觉双模态模型控制架构



数据来源：帕西尼，东方证券研究所

## 1.2.2 部分海外灵巧手简介

### (1) DLR-HIT Hand II(德国&中国)

**DLR-HIT Hand II 灵巧手**是德国宇航局和哈尔滨工业大学合作开发的科研性质灵巧手。该灵巧手采用高度仿生设计，手指模块化设计带来独立的手指和手掌运动，具备极佳的灵巧性，多种传感器的运用（角度、力矩，指尖力及阵列触觉传感器）给予了机械手良好的反馈能力。此外，该灵巧手秉承 DLR 一贯的风格，具有高度机电系统集成化的特点——所有的电机、减速箱、机械传动结构、传感器、驱动电路都集成在人手大小的系统中。

图 10: DLR-HIT Hand II 灵巧手外观图



数据来源：小米技术公众号，东方证券研究所

图 11: SVH 灵巧手外观图



数据来源：Schunk 公司官网，东方证券研究所

### (2) Schunk 公司 SVH 灵巧手(德国)

**SVH 灵巧手**是德国 Schunk 公司开发的五指伺服电动灵巧手产品。SVH 灵巧手采用高度仿生设计，高度集成化，能够实现绝大部分人手的运动。SVH 灵巧手具有极其紧凑的设计，将完整的控制、调节器和电力电子设备集成在灵巧手手腕上。此外用户可自定义灵巧手的接口，可轻松连接市场标准的工业和轻型机器人。并且，SVH 灵巧手时能耗低，适合移动应用领域。

## 2.空心杯电机：灵巧手核心部件，国产替代空间广阔

### 2.1 简介：空心杯电机性能优异，是电机领域“皇冠上的明珠”

**空心杯电机**是一种特殊的直流电机，在结构上突破了传统直流电机的结构形式。传统直流电机由定子和转子两大核心部分组成，直流电机运行时静止不动的部分称为定子，定子的主要作用是产生磁场，由机座、主磁极、换向极、端盖、轴承和电刷装置等组成。运行时转动的部分称为转子，其主要作用是产生电磁转矩和感应电动势，是直流电机进行能量转换的枢纽。空心杯电机在结构上突破了传统直流电机的结构形式，采用的是无铁芯转子，其电机绕组为空心杯线圈，形状类似水杯，因此被称为“空心杯电机”。

**采用无铁芯转子，空心杯电机性能优异。**与传统直流电机相比，空心杯电机首先具备节能特性，由于无铁芯设计彻底消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗，能量转换效率很高，其最大效率一般在 70%以上，部分产品可达到 90%以上（铁芯电动机一般在 70%）。同时具备控制特性，其启动、制动迅速，响应极快，机械时间常数通常只有十几个毫秒（铁芯电动机一般在 100 毫秒

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

以上)；在推荐运行区域内的高速运转状态下，可以方便地对转速进行灵敏的调节。此外还有拖动特性，即运行稳定性十分可靠，转速的波动很小，作为微型电动机其转速波动能够容易的控制 在 2%以内；以及轻量化特性，与同等功率的铁芯电动机相比，其重量、体积减轻 1/3-1/2，能量密度大幅度提高。

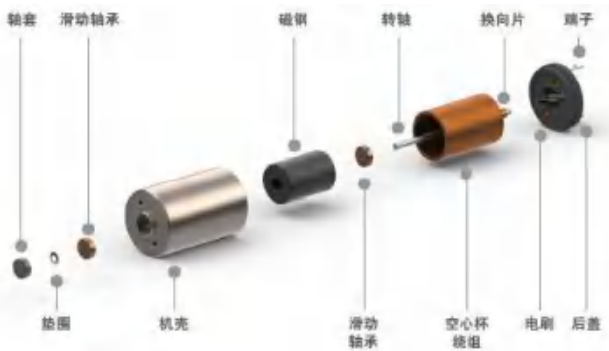
表 4: 传统直流电机与空心杯电机性能对比

性能	传统直流电机	空心杯电机
能效	50%左右	80%以上
转速	5000rpm 以下	10000rpm 左右，最高可达 16000rpm
响应速度	慢，机械时间常数 100 毫秒以上	快，机械时间常数只有十几毫秒
运行稳定性	一般	非常平稳
寿命	几百小时	1000-3000 小时

数据来源：陈安《空心杯电机定制化管理的应用研究》，东方证券研究所

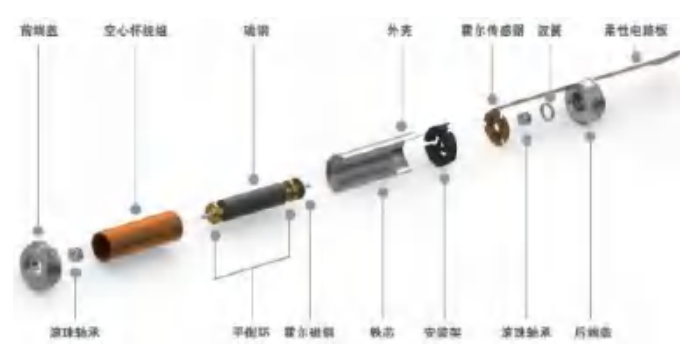
按换向方式分类，空心杯电机可分为有刷空心杯电机与无刷空心杯电机两大类。有刷电机采用机械换向，随着电机旋转，电刷沿着换向器滑动，产生动态的磁场，但也由于电刷和换向器存在相对滑动，容易损耗。无刷空心杯电机：又名无刷无齿槽电机，其定子部分使用空心杯绕组，采用无齿槽铁芯设计。该型电机具有传统直流无刷电机高转速、长寿命、低噪音的特性，又兼具有刷空心杯电机高功率密度、高效率的优势。无刷空心杯电机需要搭配电机驱动器，实现驱动控制；有刷空心杯电机电流控制即可。无刷空心杯电机寿命、转速优于有刷空心杯电机，从发展趋势上看，未来更偏向无刷空心杯电机。

图 12: 有刷空心杯电机结构图（转子无铁芯）



数据来源：鸣志电器官网，东方证券研究所

图 13: 无刷空心杯电机结构图（定子无铁芯）



数据来源：鸣志电器官网，东方证券研究所

表 5: 有刷空心杯电机与无刷空心杯电机对比

项目	无刷空心杯电机	有刷空心杯电机
寿命	长寿命 (10000h+)	电机寿命受限 (1000-3000h)
转速	高转速	低转速
电磁干扰	可忽略	有电火花
铁损	有	无
控制	需要驱动控制	控制简单

数据来源：电机微信公众号，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

受益于优良的性能，空心杯电机下游应用场景广泛。在产业链方面，空心杯电机属于微特电机，上游原材料与微特电机原材料类似，包括铜、钢材、磁钢、轴承、塑料等。空心杯电机由于响应快、能耗低等优良性能，最初被应用于航空、航天、军事等高端产业；最近也在医疗装置、消费类电子产品、工业自动化、测绘等民用领域拓展新应用场景。

图 14：空心杯电机下游应用



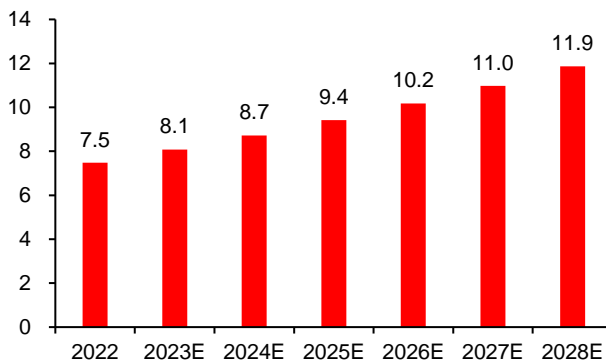
数据来源：鸣志电器官网，东方证券研究所

## 2.2 格局：欧洲主导中高端市场，国内厂商仍在追赶

空心杯电机产业蓬勃发展，QY RESEARCH 预计至 2028 年全球市场将达到 83 亿元。随着工业技术飞速发展及下游需求不断增加，全球空心杯电机行业市场规模持续不断扩大。根据 QY RESEARCH 的预测数据，2022 年全球空心杯电机行业市场规模预计为 7.48 亿美元，预计 2028 年市场规模将达到 11.9 亿美元，2022-2028 年 CAGR 约 7.98%。

中国空心杯电机市场占全球份额持续提升，QY RESEARCH 预计至 2028 年提升至 40%。中国是全球最大的空心杯电机市场，发展前景广阔。根据 QY Research 的预测数据，中国 2021 年空心杯电机市场为 2.36 亿美元，占全球份额 34.8%，并预测 2028 年中国市场规模达到 4.7 亿美元，占全球份额 39.8%。2022-2028 年 CAGR 约 10.44%。

图 15：2022-2028 全球空心杯电机市场规模预测（单位：亿美元）



数据来源：QR Research，东方证券研究所

图 16：2021-2028 中国空心杯电机市场规模预测（单位：亿美元）



数据来源：QR Research，东方证券研究所

图 17：2021 年全球空心杯电机市场占比

图 18：2028 年全球空心杯电机市场占比预测

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。



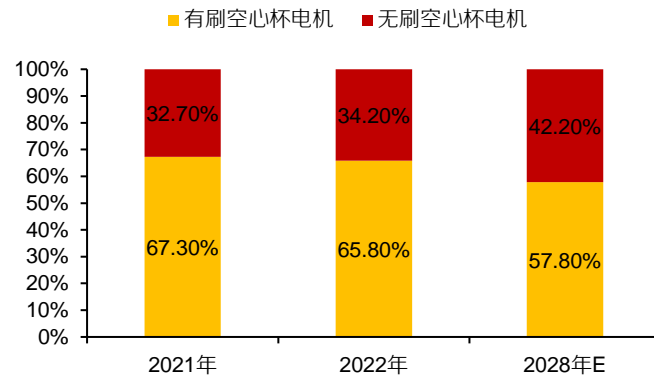


数据来源: QR Research, 东方证券研究所

数据来源: QR Research, 东方证券研究所

分产品类别看，无刷空心杯电机占比持续提升。2022 年全球有刷空心杯电机市场规模 4.92 亿美元，占比 65.8%，无刷空心杯电机市场规模 2.56 亿美元，占比 34.2%。无刷空心杯电机寿命、转速、可靠性等性能均优于有刷空心杯电机，但需要搭配电机驱动器实现驱动控制。目前由于驱动器价格较高，市场份额不及有刷电机。但随着电子控制技术的发展与普及，驱动器的价格有望降低，无刷空心杯电机的市场份额将会持续提升。根据观研报告网的预测，至 2028 年无刷空心杯电机的市场份额将上升至 42.2%。

图 19: 2021-2028 全球空心杯电机行业细分市场份额占比



数据来源: 观研报告网, 东方证券研究所

欧洲老牌龙头企业主导全球市场，全球 CR3 占 55.43% 的市场份额。空心杯电机起源于德国和日本，德国、瑞典、日本和其他欧洲厂商起步较早，现已具备完整成熟的工艺和性能优良的设备。目前全球主要的空心杯电机厂商有德国的 Faulhaber（福尔哈贝），瑞士的 Maxon Motor、Portescap，美国的 Allied Motion Technologies（艾莱德摩斯）等。根据 QY Research 的数据，2021 年全球前三大厂商占据空心杯电机市场 55.43% 的市场份额，市场集中度较高。海外厂商如德国 Faulhaber 和瑞士的 Maxon 等企业深耕行业多年，行业地位较高，且掌握了大批量生产的核心工艺。国内厂商如鸣志电器、鼎智科技等通过本土化的销售战略逐渐打开国内市场，但核心技术与海外老牌龙头企业比仍有差距。

表 6: 国内外空心杯电机主要供应商

公司名称	注册地	主要产品种类	应用领域
Maxon	瑞士	电机、DC 电机、无刷 DC 电机、齿轮箱、传感器、控制电子系统等	工业自动化、医疗技术、安全技术、仪器仪表、通讯技术、日用消费等等
Faulhaber	德国	编码器、微型电机、伺服电机、减速箱、减速机	医疗及实验设备、仪器仪表、工人自动化及机器人、工业机械及

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

		等	设备、办公、安全及通讯设备、宇航及国防、光学、声频及视频产品、环境及保健、模型火车、赛车、航模及优质成型等
Portescap	瑞典	直流无刷电机、直流有刷电机、步电机、配件	医疗设备、自动化、航空航天、工业机械、汽车和消费类电子等
Allied Motion	美国	直流无刷电机、有刷电机、步进电机、伺服电机、减速器和电子控制器	航空航天、国防、汽车、商业、太空、工业自动化、医疗设备、图像和打印、泵、半导体设备等
鸣志电器	中国	步进电机、无刷电机、伺服电机、空心杯电机、驱动器、控制器等	运动控制、智能 LED 照明控制和工业设备管理等
鼎智科技		线性执行器、混合式步进电机、音圈电机以及智能驱控器等	医疗诊断设备、生命科学仪器、实验室自动化、机器人、流体控制、半导体及精密电子生产设备，各类工业自动化设备等
江苏雷利		微型步进电机、同步电机、直流有刷电机、直流无刷电机、微型水泵多种电机产品等	家用电器、汽车零部件、工业、运动健康等
伟创电气		变频器、伺服系统以及控制系统、空心杯电机、无框电机、光伏储能逆变器、手术动力系统	重工、轻工、高端装备、机器人、新能源、医疗等
雷赛智能		伺服系统、步进系统、可编程运动控制器	电子制造装备（含 3C、半导体、锂电、光伏设备）、特种机床、喷绘印刷设备、纺织服装设备、物流装备、工业机器人、医疗健康装备等

数据来源：各公司官网，东方证券研究所

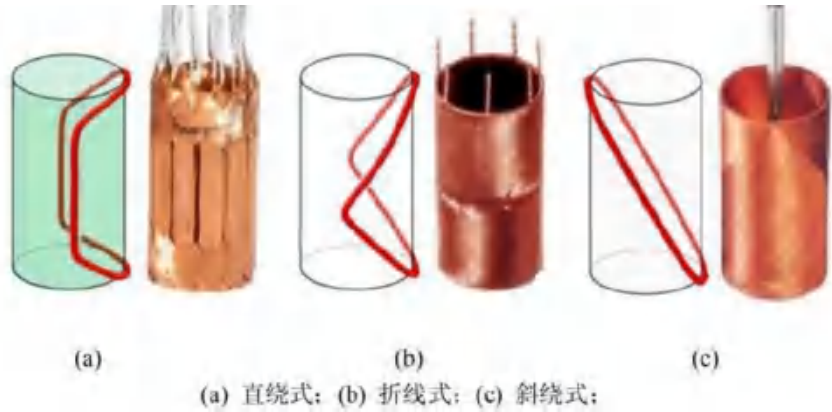
### 2.3 设备：绕线技术成高壁垒，国产化替代有望加速

受限于材料设备、本体设计、驱动配置等方面，国内厂商相比海外龙头仍有差距。材料方面，国外企业具有先进的加工镀膜工艺与更扎实的电机材料理论研究，使得电机材料丰富多样，可应用于抗腐蚀、抗高温、抗辐射等专业领域。并且国外企业具有先进的加工镀膜工艺与更扎实的电机材料理论研究，使得电机材料丰富多样，可应用于抗腐蚀、抗高温、抗辐射等专业领域。本体设计方面，国外企业小尺寸电机设计能力强，直径最小尺寸可至 6mm，而国内企业少有 12mm 以下尺寸的空心杯电机产品，且输出特性不如外企产品。驱动配置方面，Faulhaber 具备上千种方案进行驱动配置，由于未形成体系化的正向理论设计流程，多以仿制为主，电机配置方面很难根据实际需求的变化进行定制化设计，也是国内发展的劣势。然而，国内厂商也在加大研发投入，加紧攻破技术壁垒与技术封锁，有望在未来追赶上海外龙头的制造水平。

**空心杯电机的一个核心技术在于电机绕组。**导线粗细、绕组匝数的不同，使得绕组电阻值，启动电流以及速度常数等电机参数存在较大的差异。电机绕组是电机的重要组成部分，绕组的质量决定了空心杯电机的质量，直接影响到电机可靠性和运行性。具体分为**线圈设计、绕制工艺以及绕制设备**三个方面。

**壁垒 1：线圈设计各有不同。**直绕式由于受其自身工艺的影响，往往用于线圈匝数要求较少的绕制；而斜绕式和马鞍式是当前国外先进空心杯电机厂最主流的线型设计。根据《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》Faulhaber 采用的是斜绕形线圈，瑞士 Maxon 电机采用马鞍形绕制方法。

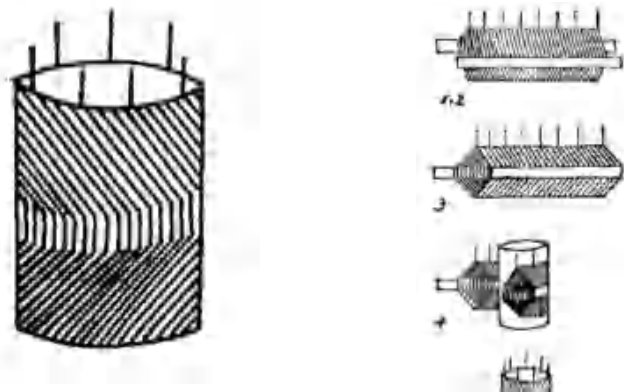
图 20：三种空心杯电机线圈绕制模型和实物图



数据来源：温纯《空心杯线圈绕线机控制系统设计》，东方证券研究所

**壁垒 2：绕卷式简单但低效，一次成型提效显著。**绕卷式工艺分为三步，首先在斜绕组绕线机上绕制线坯线圈，然后借助于胶带粘结把线坯线圈展平成为扁平线坯。局限性在于生产方式工艺比较繁琐，工人劳动强度大，废品率高，而且只能生产线径为 0.2 以下的线圈，而较大功率电机线径较粗无法生产。

图 21：绕卷式空心杯和工艺流程图



数据来源：赵秉生《绕卷式空心杯电枢制作工艺及其设备》，东方证券研究所

一次成型是绕线机将铜线按照既定的规则缠绕在主轴上，一次成型，不需要卷圆压扁等多道工序。

图 22：一次成型绕线过程



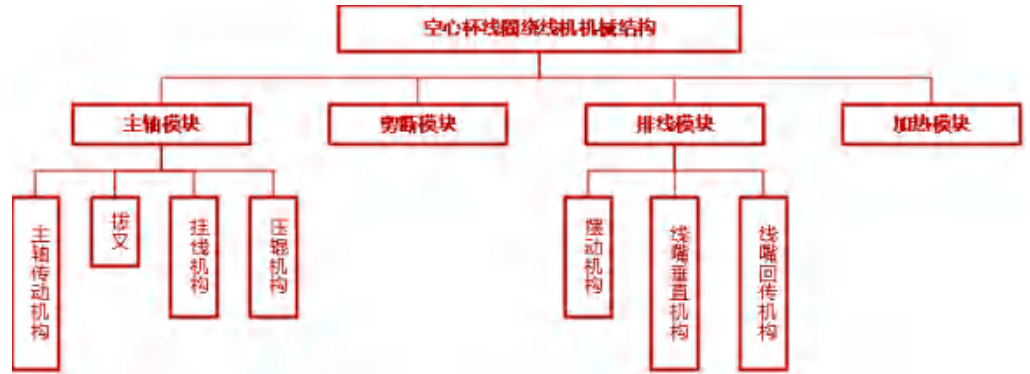
数据来源：张忠强《永磁无刷空心杯电机及控制器研究》，东方证券研究所

**壁垒 3：设备水平决定工艺水平。**绕线机机械结构主要分为主轴模块、排线模块、剪断模块、加热模块。而主轴模块又可以细分为主轴传动装置、挂线装置、拨叉、压辊装置，排线模块分为摆动机构、线嘴垂直运动机构、线嘴回转机构。四大模块通过绕线机总体结构框架结合在一起，满

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

足线圈技术指标对设备的要求。

图 23：绕线机机械结构



数据来源：温纯《空心杯线圈绕线机控制系统设计》，东方证券研究所

## 2.4 增量：人形机器人放量在即，有望给空心杯电机带来百亿增长空间

海外看，特斯拉人形机器人进展迅速，在两年不到的时间内实现了快速迭代，完成了开发平台建造、Optimus 产品亮相以及电机扭矩控制、环境探测与记忆、双手复杂任务等能力的实现。2021年首届特斯拉 AI DAY 上其首席执行官马斯克首次公布特斯拉机器人 Tesla Optimus 概念图。2022 年特斯拉 AI DAY 上特斯拉公布了 Optimus 原型机的首秀，实现了自主行走，转身，挥手等动作。2023 年 5 月的股东大会提到特斯拉自研超算 Dojo 为 Optimus 提供算力支持，可加快训练速度并降低训练成本，加快人形机器人的产业化落地。截至 2023 年 8 月，至少有五个特斯拉 Optimus 机器人原型已经建成并能够行走，使用的电机、控制器和电子设备均由特斯拉设计和制造。马斯克预计 Optimus 将大规模量产至“百万”量级，预计其单台成本或将低于 2 万美元。

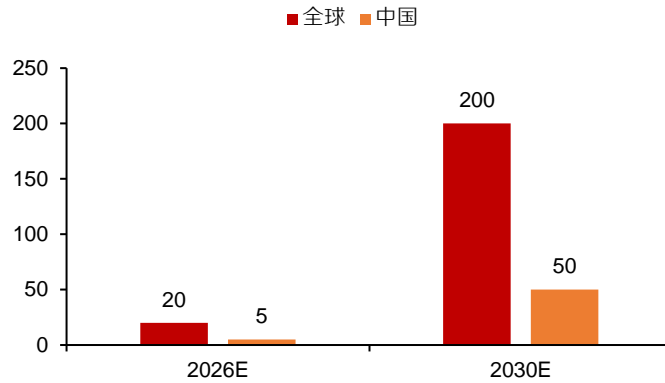
图 24：特斯拉人形机器人发展历程图



数据来源：特斯拉公司官网，前瞻产业研究院，东方证券研究所

根据 2023 年 5 月 GII 发布的报告预测，预计到 2026 年全球人形机器人在服务机器人中的渗透率有望达到 3.5%，市场规模超 20 亿美元，到 2030 年全球市场规模有望突破 200 亿美元。参考中国服务机器人市场约占全球市场 25% 的数值测算，2030 年中国人形机器人市场规模将达 50 亿美元。

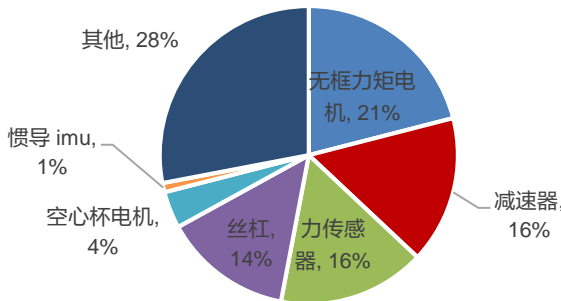
图 25：2026-2030 年全球及中国人形机器人行业市场规模预测(单位：亿美元)



数据来源：GGII，前瞻产业研究院，东方证券研究所

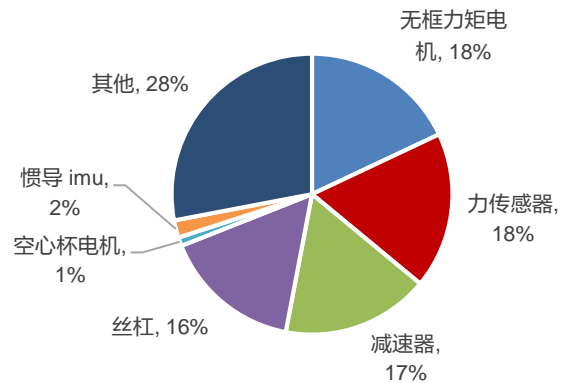
根据 Tesla AI Day 的预测数据，以特斯拉 Optimus 为例，2023 年人形机器人核心零部件价值量排名前三的是无框力矩电机、减速器和力传感器；2030 年无框力矩电机价值量占比下降，力传感器、减速器价值量占比上升，且力传感器将超过减速器，排名第二，三者合计占比仍超过 50%。

图 26：2023 年人形机器人核心零部件价值量分布图预测



数据来源：Tesla AI Day，前瞻产业研究院，东方证券研究所

图 27：2030 年人形机器人核心零部件价值量分布图预测



数据来源：前瞻经济学人 APT，东方证券研究所

从单机价值量占比来看，无框力矩电机、减速器和力传感器价值量占比较高；从降本空间来看，空心杯电机、无框力矩电机等降本空间较大；而从国产替代空间来看，行星滚柱丝杠、空心杯电机、惯导 imu 等国产化率较低，国产替代空间大。

表 7：中国人形机器人行业核心零部件国产替代空间对比和部分代表企业

核心零部件	2023 单机价值量占比	国产化率	部分代表企业
无框力矩电机	21%	中等	步科股份、禾川科技、昊志机电、雷赛智能、伟创电气等
减速器	16%	较高	绿的谐波、双环传动、昊志机电、国茂股份、秦川机床、丰立智能、中大力德、科峰智能、夏厦精密、豪能股份等
力传感器	16%	中等	柯力传感、昊志机电、东华测试等

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

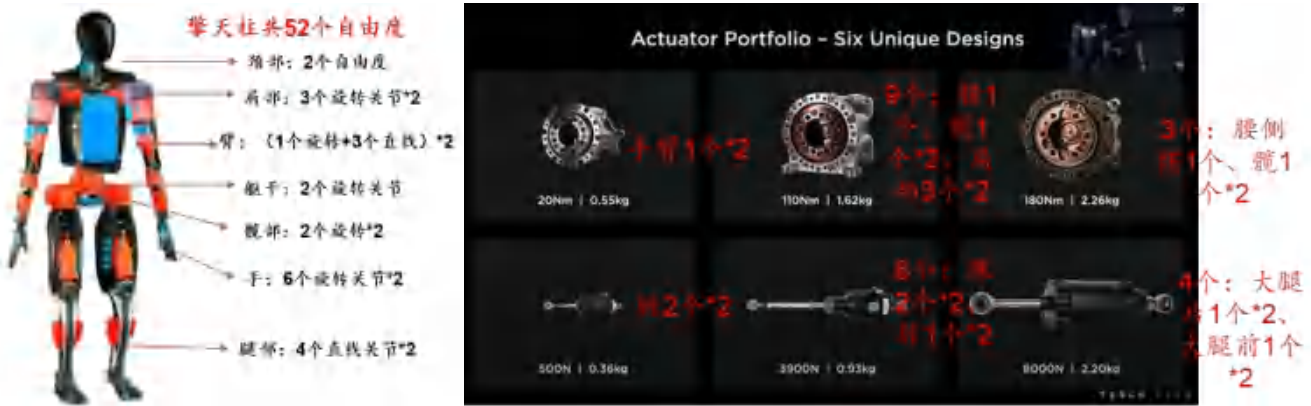
丝杠	14%	低	五洲新春、新剑传动、贝斯特、北特科技、斯菱股份、恒立液压、秦川机床、鼎智科技、禾川科技、长盛轴承、南京工艺等
空心杯电机	4%	低	鸣志电器、鼎智科技（江苏雷利）、拓邦股份等
惯导 imu	1%	低	芯动联科、华依科技、苏州固得等

数据来源：Tesla AI Day，各公司官网，前瞻产业研究院，东方证券研究所

**特斯拉人形机器人自由度：共 52 个，手以外有 28 个关节（躯干 2 个、肩臂 14 个、髌腿 12 个）、灵巧手 6 个主动关节（两只 22 个自由度）、脖颈 2 个自由度。身体 28 个运动关节方案：分为旋转和线性 2 大类执行器，每类包括 3 种旋转执行器和 3 种线性执行器。**

- 14 个旋转执行器：由电机+谐波减速器+力矩传感器+位置传感器+交叉滚子轴承+向心止推滚珠轴承构成。
- 14 个线性执行器：由电机+行星滚柱/梯形/滚珠丝杠+力矩传感器+位置传感器构成。

图 28：特斯拉人形机器人共 52 个自由度



数据来源：Tesla AI Day，东方证券研究所

旋转执行器主要分布于肩腕等需要大角度旋转的关节，线性执行器分布于肘膝等摆动角度不大的单自由度关节和腕踝两个双自由度但是体积紧凑的关节。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，采用线性执行器驱动器关节的第一个优势是空间利用率高，第二个优势是线性执行器的螺杆传动机构通过合理设计可以具备自锁能力；上肢的肘关节屈伸采用线性执行器的理由和腿部原理一致，低耗能高推力，让擎天柱拥有强壮的二头肌；前臂的两个线性执行器构成并联关节主要目的是降低腕关节的尺寸。

图 29：特斯拉人形机器人采用的旋转和线性执行器示意图

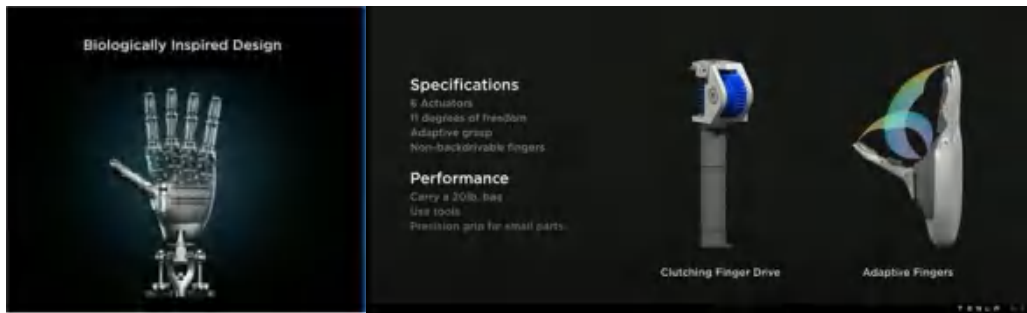


有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

数据来源：Tesla AI Day，东方证券研究所

灵巧手作为机器人实现操作的终端工具，十分重要且复杂，目前设计面临的主要难题是空间极小而驱动自由度极多，人手（不含腕关节 2 个自由度及 4 个被动自由度）共有 21 个主动自由度，如果将 21 个执行器完全布置于掌内，现有技术根本无法实现。当下解决这个难题有两个方向：一种是采用欠驱动方式，牺牲一定灵活性减少电机数量。另一种是将电机布置转移至前臂，采用拉线方式从远端控制灵巧手的关节，如英国的 shadow 手，但这个方案的缺陷是拉线机构随着使用，精度会逐渐变化，机构复杂易损坏，因此尚不具备实用性。特斯拉机器人灵巧手采取了折中的方案，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。电机采用蜗杆传动机构的目的是与腿部直线伺服如出一辙，采用机构自锁降低能耗。为追求形态美观及自适应性，手指采用拉线的传动机构。

图 30：特斯拉人形机器人采用的灵巧手示意图



数据来源：Tesla AI Day，东方证券研究所

特斯拉人形机器人的灵巧手主要包括空心杯电机、蜗轮蜗杆、绳驱，能够携带 20 磅重的背包、使用工具、精确抓取小型零件。手指执行器一共有 12 个，单个手拥有 6 个执行器。每个手 6 个主动自由度，由空心杯电机+螺纹丝杠+精密行星齿轮箱+编码器构成；还有 5 个被动自由度（各个手指各 1 个，线驱动），可负重 20 磅和自适应抓取的能力。

表 8：特斯拉人形机器人灵巧手的参数

参数	内容
手部自由度	11DOF×2(5 根手指每根 2DOF+大拇指侧向摆动)
执行器	6 个×2:大拇指 2 个，其余 4 个手指 4 个(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)
负载能力	20 磅(约 9 千克)
仿生性	自适应抓握，仿生性较好
自锁能力	反向自锁(利用蜗轮蜗杆实现反向自锁)

数据来源：Tesla AI Day，东方证券研究所

假设人形机器人进展顺利逐步放量，或将为空心杯电机新增百亿市场空间。考虑到特斯拉人形机器人未来逐步放量，或将打开空心杯电机市场的天花板，同时考虑到未来产业入局者可能会增多，在旺盛需求下我们假设单个空心杯电机价格会呈现下降趋势。我们假设特斯拉人形机器人产量 1 万台时，单个空心杯电机的价格约 1000 元；随着特斯拉人形机器人大规模量产，达到 200 万台产量时，单个空心杯电机价格约降至 600 元。我们对不同情景进行测算，当特斯拉人形机器人产量达到 50 万、100 万、200 万台时，全球空心杯电机市场空间可能分别新增 48 亿元、84 亿元、144 亿元。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

表 9：特斯拉人形机器人不同产量下的空心杯电机新增市场空间的测算

	空心杯电机市场规模测算				
	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4	情景 5
特斯拉人形机器人产量（万台）	1	10	50	100	200
单机空心杯电机用量（个）	12	12	12	12	12
空心杯电机需求量（万个）	12	120	600	1200	2400
空心杯电机单价（元）	1000	900	800	700	600
空心杯电机市场空间（亿元）	1	11	48	84	144

数据来源：Tesla AI Day，东方证券研究所

### 3.传感器：感知系统的核心部件，灵巧手智能化的基础

#### 3.1 传感器是人形机器人感知系统的核心部件

人形机器人传感器检测对象不同分为内部传感器和外部传感器。内部传感器：用来感知机器人的自身状态的传感器，比如位置、速度、加速度。外部传感器：用以感受机器人周围环境、目标物的状态信息的传感器，比如视觉、触觉、听觉、嗅觉、温度、力觉等。

图 31：传感器是人形机器人感知系统的核心部件



数据来源：传感器专家网，东方证券研究所

表 10：机器人的常用传感器

传感器	检测元件	应用举例
位置	光电开关、限位开关	运动平台限位与规定位置检测
速度	光电编码器、测速发电机	轮式机器人里程计算 机械臂关节转动及操作控制
加速度	皮变式、微电容、压电式，压阻式加速度计	振动控制与飞行加速度控制
平衡	陀螺仪、惯性传感器组、GPS	移动机器人空间定位与导航 飞行机器人姿态控制；
力觉	应变片、压阻、压电	腕力、指力控制；柔性装配；
触觉	导电橡胶、PVDF、光纤	抓取判断防止冲击抓取物体轮廓与材质识别
视觉	CGD 摄像机、激光雷达	目标识别、定位、导航
听觉	麦克风，超声波传感器	语音识别与交互

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。



接近觉	电涡流、电容式、红外、超声，光电接近传感器	避障、探索与轨迹控制
距离	超声、红外、激光距离传感器	障碍物定位、自身标的物定位:
嗅觉	气敏元件	嗅觉定位

数据来源：传感器专家网，东方证券研究所

人形机器人需要用到多种传感器，包括力矩传感器，拉压力传感器、编码器、温度传感器、六维力传感器和惯导传感器等。其中，惯导传感器（IMU）是实现人形机器人姿态控制的核心，六维力传感器是力控、摆动稳定控制的核心，可精准测量随机变化的力。

表 11：与人相对应的传感系统

人类	功能	机器人传感器
视觉	物体的大小、明暗、颜色、动静	CCD CMOS LiDar 深度相机等
听觉	音高(音调)音响(音强)音色(音质)	Mic 振动传感器等
味觉	酸甜苦辣咸	味觉传感器
触觉	触摸的压迫感	触觉传感器
嗅觉	各种气味	气敏传感器
痛觉	机械/温度/化学等刺激导致疼痛	力传感器、温度传感器等
前庭觉	平衡觉	IMU
本体觉	本体的位置与姿态	码盘、超声波距离传感器等

数据来源：传感器专家网，东方证券研究所

### 3.2 特斯拉 Optimus Gen2，为何选择“捏鸡蛋”？

2023 年 12 月 12 日，特斯拉发布了第二代人形机器人擎天柱 Optimus Gen2。演示视频中，机器人用手指捏起鸡蛋的能力受到广泛关注：机器人用左手的拇指和食指把鸡蛋从纸浆蛋托里拿起来，再用右手的食指和拇指捏住，将鸡蛋稳稳地放到锅里。这个看似简单而日常的动作，背后需要动用的技术却一点也不简单。

图 32：人形机器人捏鸡蛋



数据来源：中国电子报，东方证券研究所

有那么多物品可以展示，特斯拉为什么偏偏选择了鸡蛋？根据中国电子报的报道，他们推测之所以做这样的选择，是因为鸡蛋易碎的特点：力气小了会滑落，力气大了会捏破。显然，鸡蛋这种重量轻、质地薄且易碎、表面平滑且易落的物品，对机器人感知系统的识别能力和抓取动作精细度提出了更高的要求。可能这也是特斯拉希望借助视频传达出来一条信息：二代擎天柱连抓握鸡蛋的功能都能实现，那么也能轻松完成日常生活所涉及的其他动作手部。

**机械手捏鸡蛋，背后需要什么样的技术支撑？完成抓取的动作，首先要具备感知能力。**关于机器人指尖的感知方式，有如下几种：

- 其一是压力感知。相较于工业机器人，人形机器人手部的受力方向更复杂。因此，有业界人士认为，手部的力量感知应该用六维力传感器实现。根据中国电子报的报道，坤维科技CTO 袁明论介绍称：“如果力的方向是固定的，可以采用一维力传感器；如果力作用点与传感器标定参考点重合，但力的方向随机变化，可以用三维力传感器；而如果力的方向和作用点都在三维空间里随机变化，就应该选用六维力传感器进行测量。”人形机器人的手部抓握力的测量，就属于这第三种情况。且不仅要求测量的方位更多，也要求其测量精度更准，需要控制在 mN（毫牛）级。
- 其二是触力感知。根据中国电子报的报道，霍尼韦尔技术支持工程师王海军介绍了以触力传感器探测机器人指尖力大小的解决方案。他表示，霍尼韦尔可以检测触碰到的地方的力的大小。触力传感器和压力传感器的工作原理比较类似，区别在于，触力计算出来是力的大小，压力传感检测出来的是压强。例如汽车刹车系统是通过液压的方式感知，如果需要，再通过计算转化为力的大小。王海军表示，触力传感器的适应的量程数值较小，一般在 25N 以下，精度可达到 1% 左右，因此能够适应人形机器人用机械手抓取精细物品的需求。该技术现已在医疗手术机器人等领域实现应用。
- 其三是柔性微压力感知。与压力感知类似，柔性微压力传感器同样感知的是传感器表面受到的压力。而区别在于，柔性传感器采用更轻薄的薄膜材料，可更灵活地配置在机器人表面，并实现对来自不同方向的压力的感知。根据中国电子报的报道，汉威传感器研究院副院长刘建钢曾表示，柔性微压力传感器也能够实现阵列功能，也就是说，能够实现特斯拉二代机器人在视频中展示的——呈现机器人指尖不同位置感受到的不同压力值的功能。

**对于机器人取蛋这个动作而言，精细化感知只是这个复杂系统中非常微小的一步。取蛋动作是毫秒间的多轮信号交换。**取蛋——将鸡蛋放置到另一只手中——再放置到特定容器内，在特斯拉发布的 Optimus Gen2 宣传视频中，整个过程仅耗时 10 秒。但如果将这个技术流程拆解开来，我们看到的在几秒钟的时间内发生的取蛋、传蛋、放蛋的过程，**背后经历了非常长的技术流程：**

- 1) 首先，机器需要通过视觉判断待抓取的物体的物理位置、表面材质和大小，以此选定抓取物品所需力量的初步参数；
- 2) 此后，机器人需要调动机械手靠近物品，并放慢速度进行抓取；
- 3) 抓取过程中，机械手首先需要缓慢抓握物体，同时感受过程中物体的力反馈，并将该信息传递给上位处理器，以此判断是否要继续施力；
- 4) 经过抓握、力反馈、信号处理，再将机械手执行指令信息传回到手指的多轮信号交换之后，机械手最终确定抓握力度，抓住物体并移动。
- 5) 放置鸡蛋的动作，背后同样有很长的计算流程：从判断放置点位置，到机械手松开的幅度调试，其中又将经历获取视觉信息、获取力反馈信息等多轮信息交换。

人形机器人，必须经历多次的“判断”和“计算”来完成拿取动作。原因就在于：以服务人类、成为人类工作和生活助手为目标的人形机器人，其面临的应用场景、面对的工作环境与人类的生活环境高度类似：人手接触的物体多种多样，其表面质地、大小、质量都各不相同，而非标准化的工业物件，人每一次拿取背后，其实都蕴含着复杂的经验——这是人类从婴幼儿时期逐渐培养起来的。

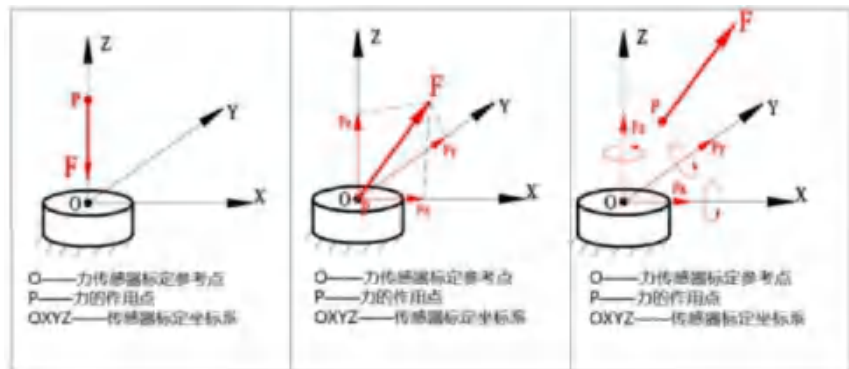
“对于机器人而言，任何一个在人们看来很简单的动作，都是一个复杂场景，需要机器人具备多维度数据感知能力与算法模型支撑，还需要完整的时序控制软件设计，多项技术相互协同的基础上瞬间输出运算结果形成‘指令’，才呈现出机器人在视频中表现的流畅动作。”北京理工大学前沿技术研究院首席专家郭源生表示。人体的手部与皮肤是一个精妙的系统，对物体的感知包含粗糙度、硬度、导热性、温度、湿度、锐利性、振动、触觉力、触觉压力等诸多维度。而对于人形机器人而言，要模仿人类的行为举动，就要将上述人类对物体的感知转化为物理参数指标，经过机器人多次与物体接触、反复验证，最终将这些物理参数转化为机器人不断学习，修正模型的基础数据。“从技术上来看，软硬件协同能力是关键。”北京理工大学前沿技术研究院首席专家郭源生表示。

### 3.3 六维力/力矩传感器

**力传感器是测量物体因受力变形而产生的应变传感器**，将力信号转变为电信号输出的电子元件，可以检测张力、压力、重量、扭矩、应变和内应力等机械量。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。六维力传感器也是维度最高的力觉传感器，它能给出最为全面的力觉信息，因此六维力传感器的技术难度和使用难度都相对较大。

**六维力传感器也称为六维力矩传感器、F/T 传感器，用于精确测量 X、Y、Z 三个方向的力信息和  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  三个维度的力矩信息。**六维力传感器的内部算法，会解耦各方向力和力矩间的干扰，使力的测量更为精准；这类传感器更适用于参考点的距离较远，且随机变化情景，测量精度要求较高；目前，六维力传感器主要用于检测、预防、控制、示教、测量、保护等场景，通常安装在机器人的底座或者末端，可以提供应用过程中的力交互信息，对于下游客户而言，有效且可靠的数据至关重要；随着智能制造和机器人产业的发展，力觉传感器逐渐上升到国家战略发展层面，六维力传感器作为新型传感器被列入到机器人关键基础提升行动中。

图 33：一维、三维、六维力传感器工作示意图



数据来源：高工机器人，东方证券研究所

图 34：六维力传感器安装部位



数据来源：：高工机器人，东方证券研究所

**表 12：六维力传感器主要作用及功能**

作用	描述
检测	检测是否抓取到工件
预防	在损坏前检测到不正常的装配力
测量	记录工艺过程的力反馈实时确保质量
控制	利用力/力矩传感器来引导机器人在复杂的工作环境中的过程控制
示教	手动牵引示教机器人轨迹或自动触发确定位置
保护	安全感应可以检测意外接触情况下与人的接触

数据来源：高工机器人，东方证券研究所

根据传感元件的不同，六维力/力矩传感器主要分为：应变片式、光学式以及压电/电容式；目前，市场应用的六维力/力矩传感器大部分是基于应变式的测量。基于压电、电容和光学等原理测量的传感器有一定的理论研究和实验，下游尚未得到广泛应用。随着相关研究的不断深入，不同测量机理的传感器将会发挥自身优势被应用到各种场合，进而推动六维力传感器向多元化方向发展。

**表 13：六维力传感器分类及代表企业**

传感元件类型	原理及特点	优点	缺点	代表企业
应变片式	通常采用的是硅应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化	精度高、技术成熟； 测量范围广、成本低； 频响特性好；	生产工艺复杂； 金属箔式应变计输出微弱；	ATI、宇立仪器、坤维科技、鑫精诚、蓝点触控、海伯森、神源生智能、Sintokogio、Bota Systems AG、SCHUNK、埃力智能、ME-MeBsysteme GmbH 等
光学式	通过光纤、光栅反映形变，再转化成为力	可靠性高； 测量范围广； 抗电磁干扰能力强；	对测试环境要求高； 刚性偏弱；	OnRobot、松果体、华力创等

压电/电容式	电容是通过极距的变化导致电压变化，压电则是通过形变改变电荷	高灵敏度和高分辨率；频率范围宽，结构简单；环境适用性强；	调理电路复杂信号漂移难以抑制；	Robotiq、Robotous、WACOH-TECH、Kistler 等
--------	-------------------------------	------------------------------	-----------------	---------------------------------------

数据来源：高工业机器人，东方证券研究所

多维力传感器准确度衡量的是测量结果与理论真值的偏离程度，**准确度其实涵盖了滞后、线性、蠕变等误差因素，更能体现产品的综合性能**，是多维力传感器最为核心的技术指标之一。其获得的方法是，对传感器进行多组多维联合加载，计算得到的传感器测量值与所加载荷理论真值之间的标准偏差，并除以量程。

**表 14：六维力/力矩传感器海内外部分企业产品准确度对比**

国家	企业	准确度 (%/FS)
中国	坤维科技	0.5%
	鑫精诚传感器	1%-3%
	宇立仪器	1%-5%
	蓝点触控	1%-2%
	海伯森	1%-2%
美国	ATI	0.5%-2%
德国	SCHUNK	2%
加拿大	Robotig	3%
丹麦	OnRobot	3%
日本	Sintokogio	1%-3%
	WACOH-TECH	1%-3%

数据来源：高工业机器人，东方证券研究所

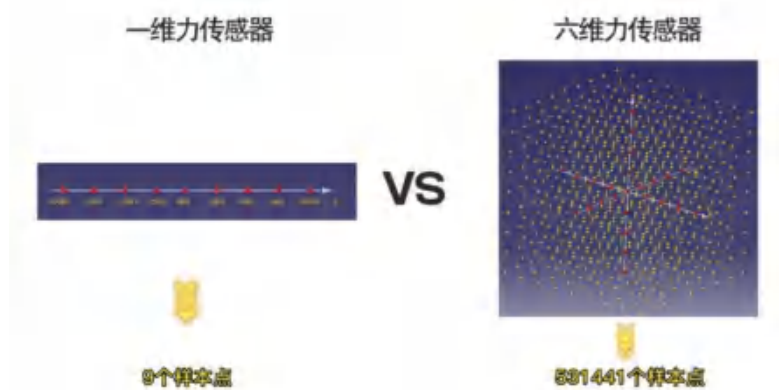
工信部发布《人形机器人揭榜挂帅任务榜单》对力传感器提出新的要求。**揭榜任务**：面向人形机器人准确获取驱动关节和肢体末端触感力学信号的需求，突破稳定可靠的力传感器结构设计与制造、智能化信号处理与分析、多信息智能识别与模型分析等关键技术，研制系列化、高性能、低成本、智能化的新型力传感器，发展低成本、规模化的传感器生产制造方法，推动新型力传感器在人形机器人上的产业化应用。**预期目标**：到 2025 年，完成人形机器人系列化力传感器的设计与制造，满足驱动关节、手指、足底等肢体末端力测量需要，并在人形机器人上开展实际应用。传感器采用低成本、高性能的设计，精度达到 0.5%FS，响应时间优于 0.035，具有智能信息采集与处理能力，提升力传感器的智能化水平。

**标定是指**，通过加载理论值的载荷并同时记录传感器输出的对应原始信号的方式，获得六维力传感器内部算法的各个参数。也就是建立传感器原始信号和受力之间的映射关系。

**检测是指**，通过加载已知理论真值的载荷并同时记录传感器测量结果的方式，统计、比较测量结果和理论真值的差异，获得传感器的精度和准确度，也就是测试传感器准不准。

对坐标轴以外的黄色的交叉样本点进行的加载，就叫做联合加载。**在六维力传感器标定过程中，采用三个方向的力和三个方向的力矩同时加载的方式，就叫做六维联合加载标定**。六维联合加载标定的样本空间的复杂程度我们已经无法通过图形来表示了，但可以用数字来说明。一维力传感器，比如拉压力传感器，仅仅只需要 9 个样本点来标定。同样是每个维度取 9 个样本点，六维力传感器的样本空间就包含 531441 个样本点。

图 35：一维/六维联合加载标定示意图



数据来源：坤维科技，东方证券研究所

使用这么多样本点进行六维联合加载标定会带来三点优势：

1. 首先，交叉样本点可以使传感器的受力情况模拟得非常接近真实的使用情况。
2. 其次就是这样标定便于考察传感器在多维载荷同时作用下的非线性力学特性，可以有效改善传感器结构的设计。
3. 最后，这样是基于传感器的非线性力学特性做的标定，可以大幅优化解耦算法的数学模型。

总之，采用六维力联合加载标定，才能使传感器的准度更好、串扰更低。六维力传感器在承受多个维度的力的同时作用时，非线性特性非常显著，六个维度的线性模型叠加是无法精准描述这种非线性效应的。

**六维力传感器标定检测设备可以对力觉传感器实现正交三个方向力和三个方向力矩的同时精确加载。**只有在传感器标定和检测过程中采用这种六维联合加载的方式，才能实现 0.5%FS 准度。也就是说六维联合加载设备是高精度六维力传感器研发和生产的必要条件。**六维联合加载设备目前还没有标准产品可以直接采购，一般都是由六维力传感器的厂商自行研制的，**所以如美国和德国的六维联合加载设备的形态差别非常大。六维联合加载设备的研发涉及到空间光学定位、载荷位移补偿、机电一体化等多项综合技术，有上百个 Know How，非常依赖工程经验。一旦某个细节考虑不周全，加载效果就会不理想，加载设备自己产生的耦合误差可能超过 1%FS，这势必无法标定出高准度的六维力传感器。

图 36：美国和德国的六维力传感器标定及检测设备示意图



数据来源：坤维科技，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

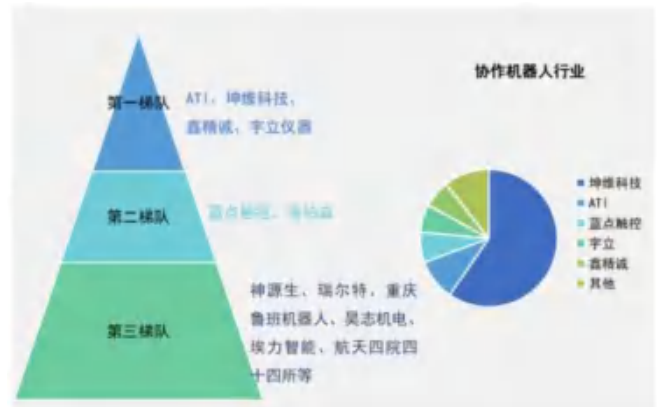
受益于机器人市场需求催化，中国六维力(矩)传感器市场近年来入局者逐年增加，但受限于该领域的高技术壁垒，真正具备批量化产品供应能力的厂商依然偏少；根据 2022 年国内市场销量口径看 ATI、宇立仪器、坤维科技、鑫精诚位于第一梯队，各家厂商下游应用的侧重有所差异。ATI 作为全球龙头，经过多年的积累，应用面相对更广；宇立在工业机器人磨抛行业和汽车碰撞测试行业应用更多；坤维科技在协作机器人、医疗手术机器人、医疗检测机器人和康复机器人领域具备明显优势，同时其产品在航空航天领域具备行业核心竞争力；鑫精诚凭借苹果供应商的身份已将其产品推入到 3C 行业，同时在机器人行业和医疗行业也有布局。

图 37：全球六维力/力矩传感器主流厂商



数据来源：高工机器人，东方证券研究所

图 38：2022 年中国六维力/力矩传感器市场竞争格局（按销量划分）

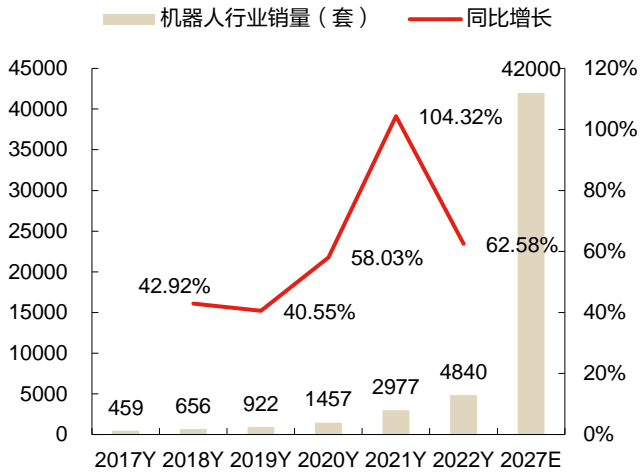


数据来源：高工机器人，东方证券研究所

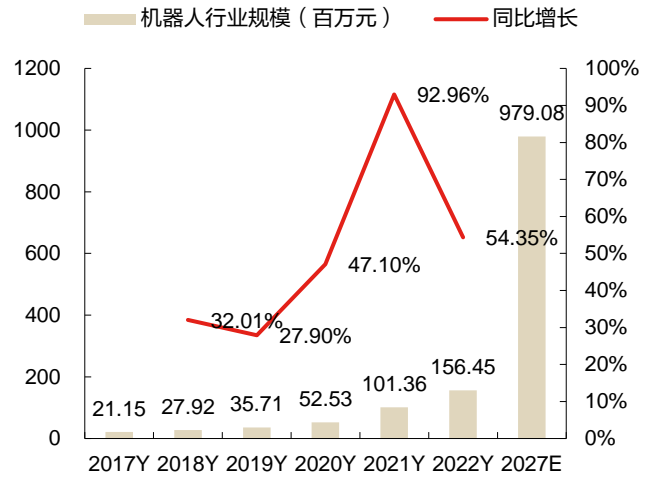
六维力/力矩传感器有望进入高速成长期，GGII 数据显示，2022 年中国市场六维力/力矩传感器销量 8360 套，同比增长 57.97%，其中机器人行业销量 4840 套，同比增长 62.58%。GGII 预计，到 2027 年中国市场六维力/力矩传感器销量有望突破 84000 套，2023-2027 年复合增长率超过 60%，其中机器人行业销量有望突破 42000 套；2022 年中国六维力/力矩传感器市场规模 2.39 亿元，同比增长 52.04%，其中机器人行业六维力/力矩传感器市场规模 1.56 亿元，同比增长 54.35%。GGII 预计，2027 年中国六维力/力矩传感器市场规模将超过 15 亿元，按照 2022 年机器人行业占比推算，预计 2027 年中国机器人行业六维力/力矩传感器市场规模将达到 9.79 亿元。目前，六维力和力矩传感器市场基数依然偏小，尚未形成明显规模效应。随着入局者的持续增加，叠加下游细分市场认知的逐年提升以及应用领域的拓展，六维力/力矩传感器的增长空间仍在拓宽，期间将伴随多技术路线产品矩阵的完善、产品价格的下降以及国产化率的提升。

图 39：2017-2027 年中国六维力传感器机器人行业销量及预测（单位：套）

图 40：2017-2027 年中国六维力传感器机器人行业市场规模及预测（单位：百万元）



数据来源：高工机器人，东方证券研究所



数据来源：高工机器人，东方证券研究所

**人形机器人持续推进，六维力传感器将迎来发展机遇。**2022年，ChatGPT的横空出世，具身智能再次被提起，为机器人的发展带来新的想象空间。具身智能使得人工智能具备环境的感知交互能力，届时人形机器人将成为具身智能算法的重要载体。2023年，特斯拉新款Optimus人形机器人完成了电机扭矩控制，力度控制更精确、环境探测与记忆等复杂任务，在力控方面表现得更加灵敏。未来，人形机器人将通过配备(A1、视觉、力觉等)传感器，呈现出多信息融合(触觉、力觉和视觉等)的力控实现形式，将为六维力传感器在人形机器人领域的应用带来巨大的发展空间。

**表 15：六维力/力矩传感器在人形机器人领域的应用场景**

应用场景	用途及特点
力控	机器人手臂可以用于进行复杂的力控操作，比如对物品的抓取、装配或拍打等操作，六维力传感器可以感知机器人手臂施加在物品上的力和扭矩，以便机器人控制系统进行精密控制。
摆动稳定控制	人形机器人的行走过程中需要保持平衡，此时也需要用到六维力传感器，它可以感测机器人脚下地面反作用力，以便机器人控制系统可以调整人形机器人手臂和身体的姿态。
安全控制	六维力传感器可以用于安全控制系统，以实现机器人在进行危险操作之前或者人类接近机器人时的自动停止，避免对人体造成伤害。

数据来源：高工机器人，东方证券研究所

**图 41：六维力/力矩传感器在人形机器人领域的应用场景**



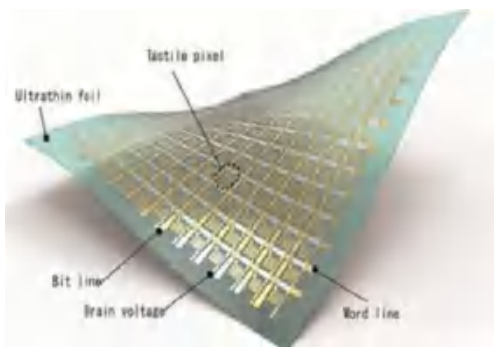


数据来源：高工机器人，东方证券研究所

### 3.4 柔性触觉传感器/电子皮肤

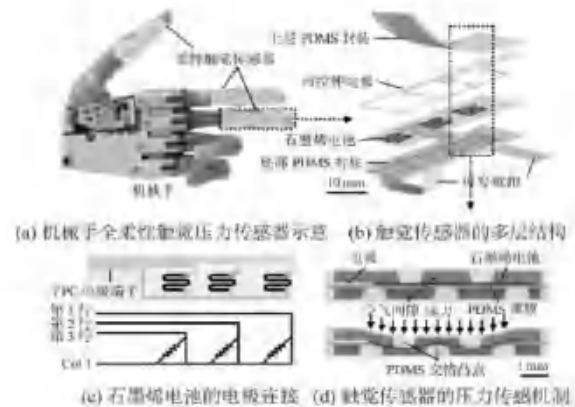
触觉传感器是实现机器人智能感知和人机交互的核心器件。触觉传感器将触觉刺激转换为电信号送入机器人控制器，为机器人感知外界环境提供丰富的信息，如物体尺寸、形状、纹理、刚度、温度等特性，还能提供与他人的力触觉交互。**柔性触觉传感器又称为“电子皮肤”，能够实现与环境接触力、温度、湿度、震动、材质、软硬等特性的检测**，是机器人直接感知环境作用的重要传感器。柔性触觉传感器的特点有：像人皮肤一样具有柔韧性；在保证测量准确度和灵敏度的同时，能够实现任意弯曲变形、有弹性；能够覆盖在非规则、非平面的机器人本体表面，可扩展，分辨率高。

图 42：柔性触觉传感器



数据来源：2022 世界传感器大会，东方证券研究所

图 43：全柔性触觉压力传感器



数据来源：吴帅帅等《高灵敏度柔性电子皮肤的研究与应用进展》，东方证券研究所

机器人触觉传感器从敏感元件的感应原理上主要分为：压阻式、压电式电容式、光电式、磁敏式、光纤式和超声式等，各种原理各有其优点和缺点。其中**电容、压阻、压电**是常用的原理方法。**电阻式**触觉传感器是利用传感单元电阻值的变化情况来检测施加力的位置和大小，由于原理简单成本一般较低，但是响应有所滞后；**电容式**触觉传感器通过电容值的变化来检测外部作用力的大小，问题在于制造体积过小，电容值非常小，对检测不敏感，结果容易受噪声影响；**压电式**触觉传感器是利用压电材料在受力变形时产生电压的特性来进行测力的，用于制备的材料主要是 PVDF，其特点在于仅适用于动态测量、且拉伸性较为有限。

表 16：柔性触觉传感器分类

传感技术	调节参数	优点	缺点
------	------	----	----

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

电容式	电容值	灵敏度高，空间分辨率高，动态范围大	存在寄生电容，对噪声敏感，测量电路复杂
压阻式	电阻值	频率响应高，空间分辨率高，噪音干扰小，易结构化	可重复性差，迟滞，功率消耗高，工艺复杂
压电式	电荷	频率响应高，灵敏度高，动态范围大，可靠性高	空间分辨率差，测量电路复杂，仅适用性高动态检测
光电式	光强度	空间分辨率高，无电气干扰，响应速度快，成本低	整体结构缺乏柔性，对弹性体依赖性强
磁敏式	磁场强度	灵敏度高，体积小	结构设计复杂，分辨率低
超声式	超声波	空间分辨率高，不受电磁干扰	布线困难，存在滞后和非线性，易受外部超声干扰

数据来源：2022 世界传感器大会，东方证券研究所

### 柔性触觉传感器的关键技术包括：材料技术、加工技术、结构设计及扩展、高柔性和多功能。

1. **材料技术：**柔性触觉传感器材料选择包含两部分：**敏感材料**(包括有机聚合物、碳纳米管、石墨烯、纳米线等)和**基底材料**(PDMS、PET 等)。近年来科研人员不断研究各种新的材料，在保证测量敏感度的同时，提高柔软性和弹性。
2. **加工技术：**基于 MEMS 的硅压阻式触觉传感器具有**高精度和微小体积**的优点。但是，传统的硅基底材料有易碎等特性，不能承受较大的形变和瞬时的冲击。柔性衬底材料具有很好的挠曲性、耐冲击性及机械性能。近些年**聚合物微机械加工**、**电子印刷工艺**、**3D 打印技术**迅速发展，在部分领域颠覆了传统的设计和制造方式。
3. **结构设计及扩展：**人们设计了触觉传感器的**不同结构以实现柔弹性，提高灵敏度**，如金字塔结构、多孔结构、两层框架式节点结构。其次，柔性触觉传感器需要能够**任意剪裁和拼接**，必须具备良好的可扩展性。目前，单个传感单元的灵敏度、线性度、柔弹性等性能已经得到很大提升，但扩展为大面积柔性触觉传感器不仅要考虑电极层、触点位置的布置，还要求后续的处理电路相对简单、易于阵列化。
4. **高柔性和多功能：**柔性触觉传感器覆盖于机器人等载体复杂的三维表面活动关节，必须具有很高的柔弹性。能够弯曲、延展、挤压、扭转或变形成复杂的曲面形状。要想实现人类手腕部位的拉伸，柔性触觉传感器的**弹性范围应该在 30%左右**。其次。传统的触觉传感器均为单一功能，这与皮肤的多功能相比差距甚远。除了压力觉之外，研究能够**感知物体形状、材质、表面纹理、温度、湿度**等多功能柔性触觉传感器是未来的发展方向之一。

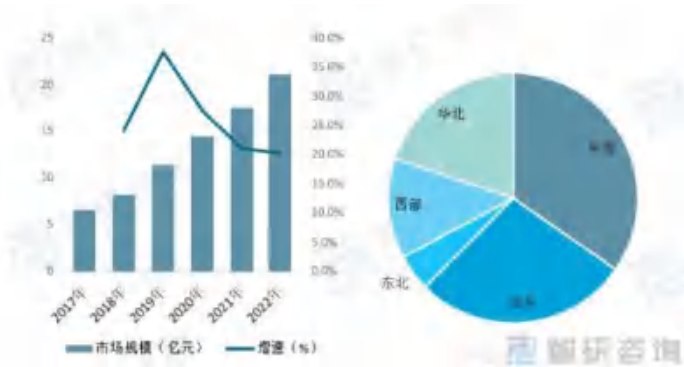
工信部发布《人形机器人揭榜挂帅任务榜单》对触觉传感器提出新的要求。**揭榜任务：**围绕人形机器人灵巧手使用工具、操作设备、分拣物品、高精度装配等能力，在灵巧手掌内配置触觉传感器，以感知操作目标的位姿、硬度、肌理等特征，提高灵巧手的智能化操作能力。研发小体积、高可靠性、高稳定性的人形机器人手部触觉传感器，满足人形机器人灵巧手感知、操作、交互等需求，提升新型触觉传感器自主设计与研发水平，推动触觉传感器的产业化应用。**预期目标：**完成小体积高可靠性高稳定性的手部触觉传感器研制，实现指尖、指腹和掌面部位传感器阵列密度 1mmx1mm (厚度<0.3mm); 力检测范围 0.1N/cm<sup>2</sup>~240N/cm<sup>2</sup> (10g/cm<sup>2</sup>~24kg/cm<sup>2</sup>)+5%: 最小检测力 10g。

**柔性触觉传感器市场规模快速增长，以消费电子和医疗领域为主。**根据智研咨询的数据，**中国柔性传感器**行业市场规模增长速度较快，2022 年中国柔性传感器行业市场规模为 21.12 亿元，2017-2022 年的 CAGR 为 20.2%，市场主要分布在华北、中南、华东地区，占比分别为 19.84%、34.66%、27.79%。在 2022 年中国柔性传感器产业链下游占比中，医药领域占比为 40.05%，消

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

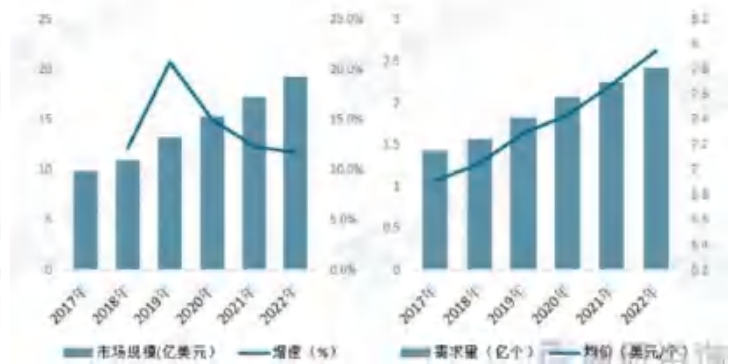
消费电子领域占比为 36.22%，其他应用领域占比为 23.73%。随着科技的不断进步和应用领域的拓展，柔性传感器在消费电子、医疗保健、汽车、工业自动化等领域的广泛应用使全球柔性传感器行业市场规模也呈现逐年上涨态势，2022 年全球柔性传感器市场规模为 19.31 亿美元，需求量为 2.43 万个，均价为 7.95 美元/个。

图 44：2017-2022 年中国柔性触觉传感器行业市场规模及区域分布（单位：亿元）



数据来源：智研咨询，东方证券研究所

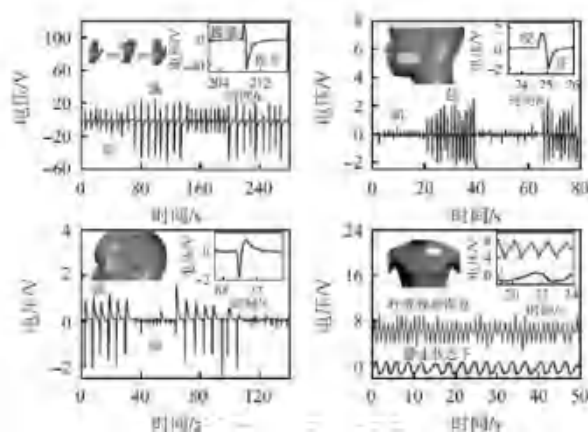
图 45：2017-2022 年世界柔性触觉传感器行业市场规模（单位：亿美元）、需求量（单位：亿个）、均价（单位：亿元/个）



数据来源：智研咨询，东方证券研究所

电子皮肤在智能系统应用中具有重要意义，由于触觉传感器的高性能，电子皮肤在智能系统中的应用越来越广泛，研究电子皮肤不仅可以实现更智能的机器人，而且在可穿戴设备和医疗领域具有重要意义。

图 46：监控人体肌肉运动



数据来源：吴帅帅等《高灵敏度柔性电子皮肤的研究与应用进展》，东方证券研究所

电子皮肤在实际应用中仍存在着挑战，高灵敏度、高柔性的电子皮肤制造工艺复杂成本高和难以批量生产；目前，柔性电子皮肤的发展仍然受材料与结构的限制，在测量精度上无法与传统成熟的金属及半导体传感器相比；在未来的研究中，探索新的材料和结构设计仍是制备高性能电子皮肤的关键，尤其是高灵敏度和高柔性电子皮肤。

### 3.5 MEMS 压力传感器

MEMS 是微电子和微机械的巧妙结合，全称是微型电子机械系统，利用半导体制造工艺和材料，将传感器、执行器、机械机构、信号处理和控制电路等集成于一体的微型器件或系统，其内部结

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

构一般在微米甚至纳米量级。MEMS 压力传感器的核心结构为一层薄膜元件，受到压力时变形，形变会导致材料的电性能（电阻、电容）改变，之后输出响应的电信号进行压力数据计算。

图 47：MEMS 传感器及局部显微放大

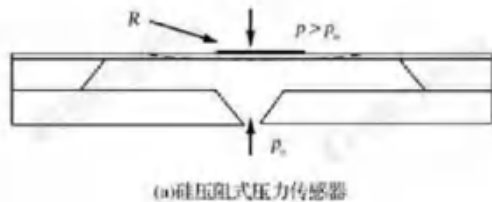


数据来源：博正智库，东方证券研究所

**MEMS 压力传感器具有易于批量生产、小型化、成本效益以及易于制造复杂结构的能力等优势。**近年来，MEMS 传感器技术在原理、理论、设计和制造技术（例如体硅蚀刻、薄膜制造和低温键合）等方面的进步，促进了压力传感器的快速发展和多样化。采用创新技术和封装方法的新型压力传感元件，提供了更高的测量精度、微型化的尺寸以及更宽泛的温度适应性。此外，第三代半导体材料、石墨烯和纳米线等新材料在压力传感器中的应用进一步提高了其性能。

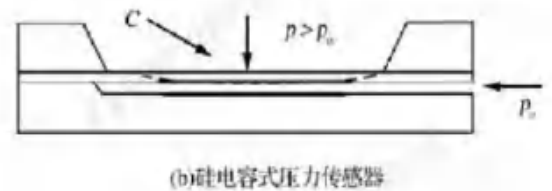
按照工作原理，MEMS 压力传感器主要细分为电容式和电阻式。电容式：当受到压力时，上下两个横隔（传感器横隔上部、传感器下部）之间的间距变化，导致隔板之间的电容变化，据此可以测算出压力大小；电阻式：由一个带有硅薄膜的底座和安装在其上的电阻结构组成，当外力施加时，电压与压力大小成比例变化产生测量值。

图 48：MEMS 电阻式压力传感器



数据来源：前瞻产业研究院，东方证券研究所

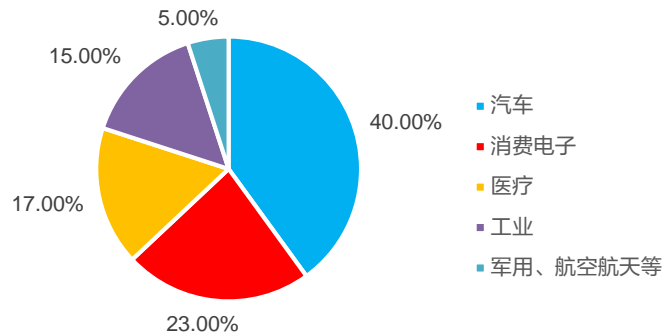
图 49：MEMS 电容式压力传感器



数据来源：前瞻产业研究院，东方证券研究所

目前，汽车、消费电子、医疗是 MEMS 压力传感器较大的应用领域。汽车产业占 MEMS 压力传感器市场销售额超 40%，其次是消费电子，销售额占比约 23%，医疗领域占 17%，工业领域约占 15%，其余市场如军用、航空航天等领域。

图 50：2023 年 MEMS 压力传感器应用领域占比

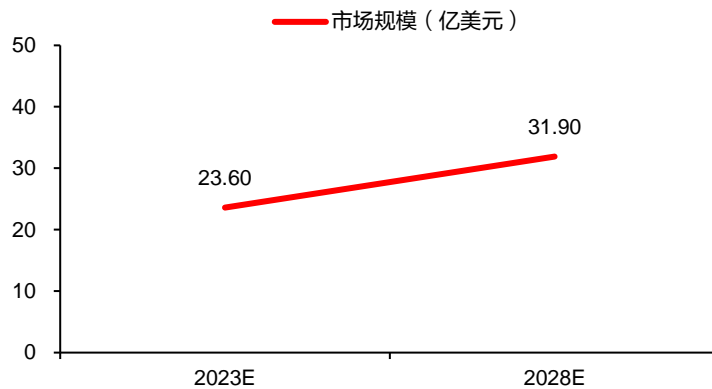


数据来源：湖报资本，东方证券研究所

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

**MEMS 传感器被广泛应用于机器人智能感知领域，逐渐成为时代新的风口。**随着机器人产业智能化的发展，MEMS 传感器适应更加多元的应用场景，具备更复杂的动作信号采集与控制，极致状况下甚至可以使机器手臂配有触觉感知的夹爪达到媲美人手的灵活程度。随着机器人的智能化程度不断提高，其中加载的 MEMS 传感器将变得越来越多，据中国电子报数据，由于机器人的智能化程度不同，传感器等感知部分约占机器人总成本的 10%到 20%，机器人领域有望继消费电子、汽车之后，成为 MEMS 传感器的新兴的主要应用市场。据 Mordor intelligence 数据，MEMS 压力传感器市场规模估计在 2023 年为 23.6 亿美元，预计到 2028 年将达到 31.9 亿美元，在预测期间（2023-2028 年）以 6.20%的复合年增长率增长。

图 51：2023E 和 2028E 年 MEMS 压力传感器世界市场规模（单位：亿美元）



数据来源：Mordor intelligence, 东方证券研究所

一些先进的系统将超小型的微机电系统（MEMS）压力传感器直接应用于机器人关节，以提供高分辨率的本体感觉反馈。这种 MEMS 压力传感器技术堪比生物本体感觉，使机器人能够意识到自己的运动和负载情况。同样，**将 MEMS 压力传感器集成到机器人外部的外表皮可提供关于接触力的触觉反馈。**带有多个单独压力传感器的大型传感器阵列有助于绘制机器人身体上力的分布及其大小。MEMS 制造允许使用高分辨率和极其紧凑的压差传感器，该传感器可以将本体感觉集成到机器人关节和执行器中。例如，Superior Sensor Technology 的 MEMS 压力传感器集成了包括先进的数字滤波、闭环控制和基于软件的压力开关等先进的功能。这些传感器的完全集成形式，提供了精确的运动控制和灵活的物体操纵能力所需的基本内部扭矩和力的反馈。关于数据处理，可以使用深度神经网络等先进的机器学习（ML）方法，利用来自传感器阵列的实时压力数据来优化控制和响应。计算模型使用本体感觉和触觉传感器的压力模式来传递反射反应、指挥机械臂运动。

图 52：集成柔性压力传感器阵列的机械手



数据来源：麦姆斯咨询, Superior Sensor Technology, 东方证券研究所

## 4.相关标的介绍

### 4.1 鸣志电器：世界级运动控制制造商，空心杯电机领跑同行

公司是运动控制领域综合制造商。公司成立于 1994 年，目前已发展为运动控制领域的龙头综合制造商，是全球控制电机系统的综合提供商和主要生产商。经过二十余年发展，公司始终秉持对专业应用技术和国际化科学管理手段的追求，从工厂自动化专业部件到智能 LED 照明驱动器，从大型工厂设备的智能管理系统到汽车通信设备的控制执行机构，通过内生+外延方式，形成步进电机、无刷电机、伺服电机、空心杯电机、驱动器、控制器等多产品矩阵的发展模式，目前已成为全球步进电机排名前五企业。

表 17：鸣志电器公司下游应用领域及终端产品

产品大类	产品类别	主营产品系列	主要应用行业	收入占比 2022
控制电机及其驱动系统类	电机类	步进电机、直流无刷电机、伺服电机、空心杯电机、减速机模组、直线电机模组、电动缸/单轴机器人	工业自动化设备、自动化医疗器械、生命科学仪器、智能汽车电子、智能泵阀控制、光伏锂电/半导体生产自动化装备、移动通信设备、安防、舞台灯光、专业银行设备、纺织机械、3D 打印、航空航天电子等	78.43%
	驱动控制系统类	步进驱动系统、步进伺服系统、直流无刷系统、交流伺服系统、空心杯伺服系统、集成式控制系统	工业自动化设备、3C 电子、光伏锂电/半导体生产自动化装备、移动服务机器人、AGV /AMR 自动化仓储设备、自动化医疗器械、生命科学仪器、激光加工设备等	
	传感器类	编码器		
电源与照明系统控制类	基本型 LED 照明驱动类	基本型 LED 驱动电源	高端商业照明、智能楼宇照明、医疗照明、防爆照明、工业照明、户外照明（如路灯照明、隧道灯照明）	7.48%
	智能型 LED 照明控制与驱动类	可编程 LED 电源、照明控制系统、智能 LED 电源		
	标准电源	普通电源	金融打印、电力保护设备	
	电控装置	电控产品	家用锅炉系统等	
其他电控装置				
设备状态管理系统类	小神探系列	设备状态管理系统、点检管理信息系统、状态监测与故障诊断系统、SAP、ICC 解决方案	电力、冶金、石化、煤炭、汽车、烟草、市政等	2.16%
贸易类	国际贸易	主要代理松下继电器	电力系统继电保护、电表及负控终端、铁路电力电气牵引设备、AFC 售检票系统等	11.82%

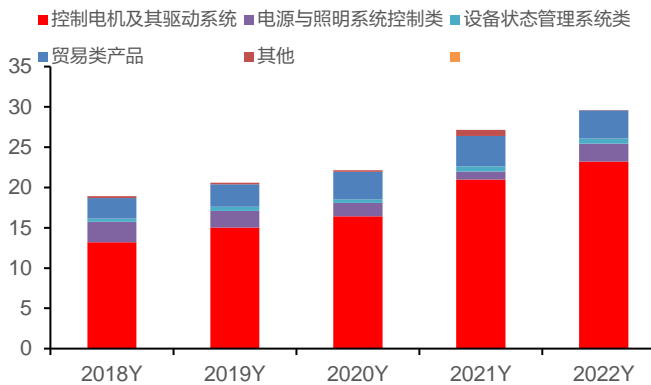
数据来源：公司公告，东方证券研究所

公司较早布局空心杯电机，专利矩阵领先同行。2018 年公司开始布局空心杯电机，具有十余项专利，利用在直流无刷系统中拥有的技术储备和产品开发优势，研发出无刷空心杯电机，转速到达 8 万转，控制模型线性，无齿槽转矩，低振动噪音，运转平顺；2019 年公司进一步研发能量转换效率更高、响应速度更快的高速空心杯电机，并开发搭配使用的高性能行星齿轮箱。截至 2019 年，公司空心杯电机已取得十余项国际、国内发明专利和实用新型专利，技术处于全球领先水平；空心杯电机产品线已形成战斗力，在全球各主流应用市场与其他世界一流同行同场竞技。而国内主要竞争对手布局较晚；同时，公司收购瑞士 Technosoft Motion AG，该公司在空心杯电机

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

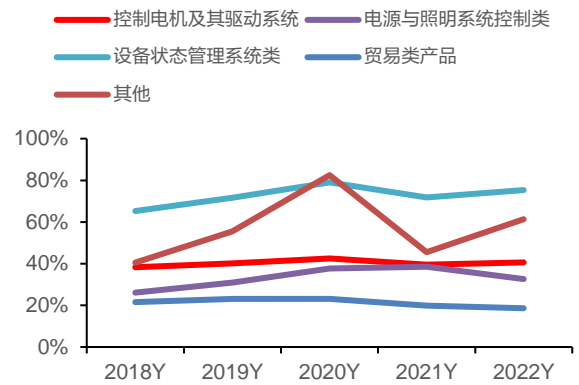
和无齿槽电机的驱动控制领域保持全球领先优势，专注于高端医疗/生命科学及实验室仪器、超细微加工、半导体设备、AGV 和机器人等应用领域；鼎智科技 2023 年 6 月接受投资者调研时称已实现空心杯电机全自动量产，并能针对客户的不同需求提供定制化产品和组件，当前多款样品处在测试阶段。

图 53：鸣志电器 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元）



数据来源：iFinD，东方证券研究所

图 54：鸣志电器 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%）



数据来源：iFinD，东方证券研究所

## 4.2 鼎智科技：微特电机“小巨人”，积极布局空心杯电机和行星滚柱丝杠

公司是微特电机“小巨人”，受益于医疗器械和工业自动化领域的国产替代。公司专注于医疗及工业自动化用线性执行器、编码器、驱控器及其组件为基础的精密运动控制系列产品，为客户提供精密运动控制系列产品一揽子解决方案。主要产品包括线性执行器、混合式步进电机、音圈电机以及智能驱控器等，广泛使用于医疗诊断设备、生命科学仪器、实验室自动化、机器人、流体控制、半导体及精密电子生产设备，各类工业自动化设备。凭借多年的生产制造与服务经验积累，公司现已拥有综合性的能力，包括产品研发设计、样品打样制造、核心部件自制、柔性精密生产以及产品检验检测等服务。

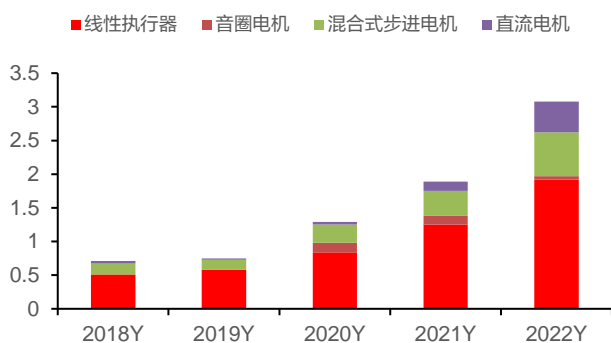
表 18：鼎智科技公司主营产品系列及其主要应用行业情况

产品	下游应用领域	主要终端产品
线性执行器	医疗领域、工业自动化领域	体外诊断设备、核酸提取设备、宠物诊断设备、血液分析设备、尿液分析设备等医疗设备、工业机器人等工业设备
混合式步进电机	医疗领域、工业自动化领域	体外诊断设备、工业设备等
直流电机	医疗领域、工业自动化领域	物流自动化设备等工业设备、医学影像分析设备等医疗设备
音圈电机	医疗领域	呼吸机

数据来源：wind，公司公告，东方证券研究所

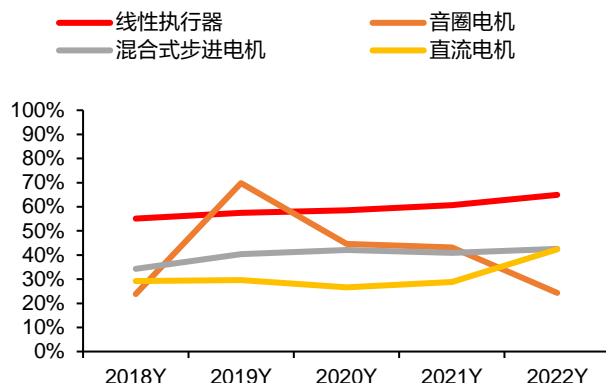
公司关注人形机器人机遇，布局空心杯电机、行星滚柱丝杠等高端产品。空心杯电机是公司重点发展的核心产品，最小直径 8mm，最大转速 8 万转/分钟。目前，公司空心杯电机已基本成熟，处于中小批量供货阶段。公司自研空心杯电机绕线设备，可实现空心杯电机全自动批量生产。由于核心工艺及设备自研，公司的空心杯电机产能建设周期较短，可以快速满足批量订单。空心杯电机技术壁垒核心在于高转速下的平稳性、寿命、噪音以及配套的行星减速箱。公司掌握减速箱核心技术，自研产品处于样机和测试阶段，公司空心杯电机+减速箱配套产品国内领先。

图 55: 鼎智科技 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)



数据来源: iFinD, 东方证券研究所

图 56: 鼎智科技 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



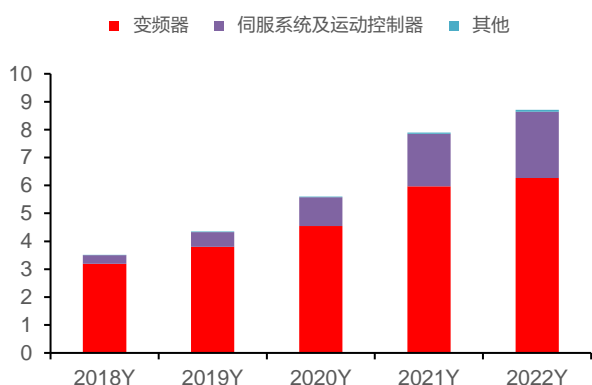
数据来源: iFinD, 东方证券研究所

### 4.3 伟创电气: 工控出海先行者, 积极布局机器人领域

公司专注电气传动和工控领域, 主营变频器与伺服及控制系统。公司的主要产品为 0.4kW 至 5600kW 的变频器, 50W 至 200kW 的伺服系统, 控制系统包含运动控制器及 PLC 等。产品广泛应用于数控机床、纺织机械、矿用设备、起重、高效能源、轨道交通、智能装备、电液伺服、印刷包装、石油化工等行业。公司产品的终端用户数量众多, 行业分布广泛, 包含国内外知名企业。公司系高新技术企业, 并在 2021 年获得由国家工信部颁发的专精特新“小巨人”企业称号。

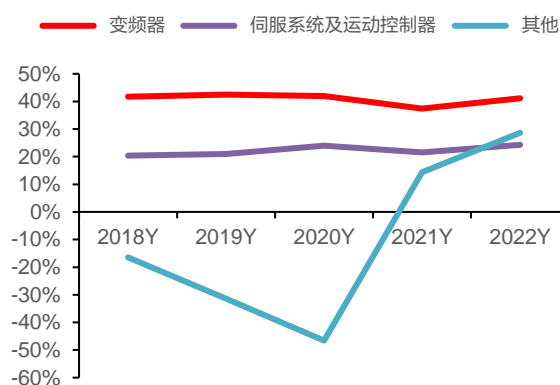
公司积极布局机器人行业。公司在 2022 年成立机器人事业部, 切入机器人产业链, 目前主要是以机器人配套为主, 主要面向移动类、协作类、服务类的机器人领域, 提供低压伺服、空心杯电机、特种无框力矩电机等核心部件。公司自主研发设计空心杯电动机, 具有高转速、高扭矩、低噪音振动的优势, 电机运行平稳、更精确的控, 电机结构紧凑让电机提供了更高的效率和功率密度。产品目前在开发验证阶段, 主要面向机器人、医疗等行业。

图 57: 伟创电气 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)



数据来源: iFinD, 东方证券研究所

图 58: 伟创电气 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



数据来源: iFinD, 东方证券研究所

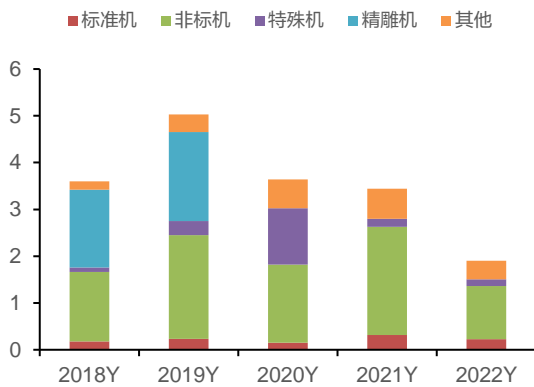
### 4.4 田中精机: 国内精密绕线设备领导者, 空心杯电机绕组设备供应商

公司是国内精密绕线设备领域的领导者。公司前身为日本田中精机株式会社, 始创于 1933 年日本福岛县, 经过将近一个世纪的技术积累, 公司从单一绕线机领域逐步的拓展到消费电子产业、



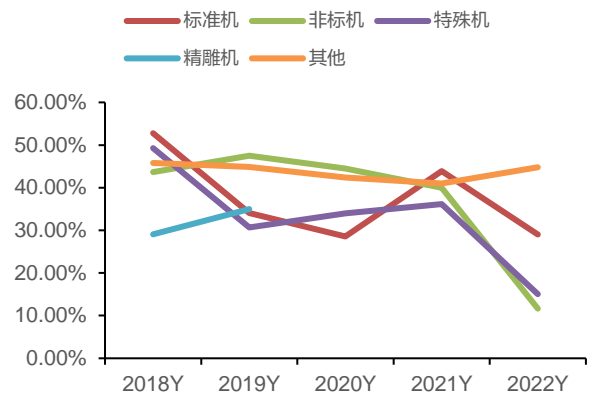
汽车产业、家电产业、医疗行业等相关领域。公司产品主要包括数控自动化标准机、非标准机以及数控自动化特殊设备，其中数控自动化标准机产品的设计、生产工艺和流程较为固定，主要实现基本的绕线功能，用于生产标准化的电子线圈。公司是国内精密绕线设备领域的领导者，在无线充电、快充、配套车规级变压器、音圈、震动马达、伺服电机、电梯曳引机、汽车转向助力 EPS 电机为代表的汽车相关配套产品、柔性装配和以激光雷达自动化装配为代表的精密装配等多个相关领域的设备研发上积累了丰富的经验，实现了精密绕线技术在新兴产业内的横向拓展。凭借多年积累的行业经验和系统设计优势，公司积极拓展产品线，根据客户特定需求，为其提供了一体化的产品和服务解决方案。在原有数控标准机的基础上，公司已完成向绕线前后工序设备、非标准机和特殊机设备的延伸，实现包括自动上料、绕线、移栽、焊锡、插端子、包胶、检测以及数据上传等主要功能在内的全流程工序的自动化和一体化，很好地满足了客户差异化、精细化及全产业链自动化的需求。

图 59：田中精机 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元）



数据来源：iFinD，东方证券研究所

图 60：田中精机 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%）



数据来源：iFinD，东方证券研究所

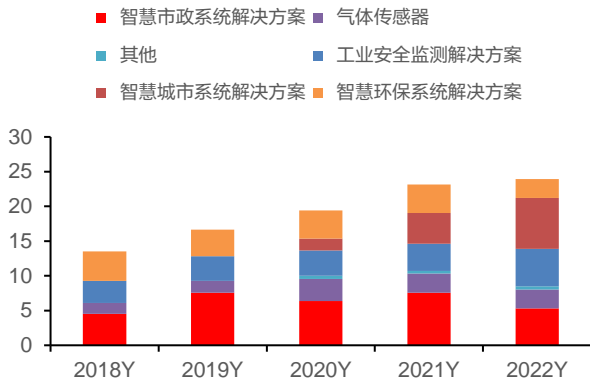
#### 4.5 汉威科技：国内气体传感器龙头，子公司积极拓展柔性微纳传感器应用场景

**公司是国内气体传感器龙头。**公司以传感器为核心，将传感技术、智能仪表技术、数据采集技术、地理信息和云计算等物联网技术紧密结合，形成了“传感器+监测终端+数据采集+空间信息技术+云应用+AI”的系统解决方案，业务应用覆盖传感器、物联网综合解决方案、公用事业及居家智能与健康等行业领域，在所涉及的产业领域中形成了相对领先的优势。公司产品包括传感器、智能仪表、智慧安全系统解决方案、智慧环保系统解决方案、智慧城市系统解决方案、公用事业。

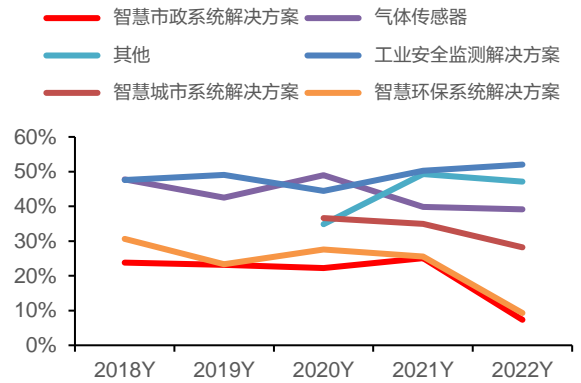
**子公司苏州能斯达积极拓展柔性微纳传感器的应用场景。**目前已建立了稳定的纳米敏感材料体系，掌握了柔性压阻、柔性压电、柔性温湿度、柔性电容四大核心技术。根据 2023 年中报，苏州能斯达订单金额不断增加，应用领域不断拓展，柔性微纳传感器目前已在智能机器人领域有明确的应用，并与小米科技、九号科技、深圳科易机器人等积极开展业务合作，后续发展空间广阔。2022 年 3 月，小米长江产业基金以 1000 万元对公司控股子公司苏州能斯达进行增资，增资后将持有苏州能斯达 5.21% 的股权。

图 61：汉威科技 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元）

图 62：汉威科技 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%）



数据来源: iFinD, 东方证券研究所



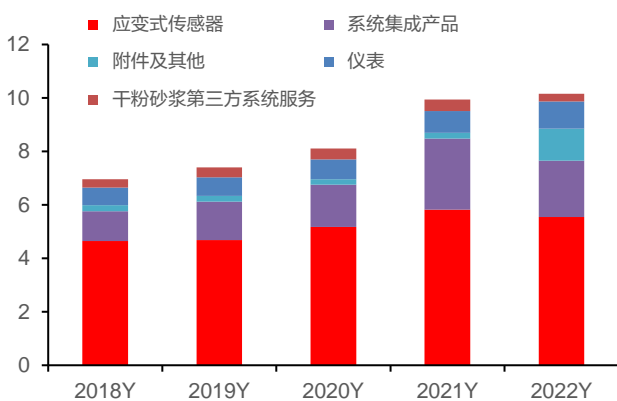
数据来源: iFinD, 东方证券研究所

#### 4.6 柯力传感：国内应变式传感器龙头，多维力传感器处于开发试制阶段

公司是国内应变式传感器龙头，朝多传感器融合平台发展。公司主营业务为研制、生产和销售应变式传感器（其中主要为应变式称重传感器）、仪表等元器件，提供系统集成及干粉砂浆第三方系统服务、不停车检测系统、无人值守一卡通等智能称重系统、制造业人工智能系统等。公司主要产品有应变式传感器、仪表、称重系统集成、软件产品、干粉砂浆第三方系统服务。目前已是全球大型钢制传感器制造企业和工业物联网应用拓展引领者之一。通过“内生+外延”的方式，公司横向拓宽传感器产品矩阵，横向参股意普兴、驰诚电气，推进气体传感器、光栅传感器等产品布局。

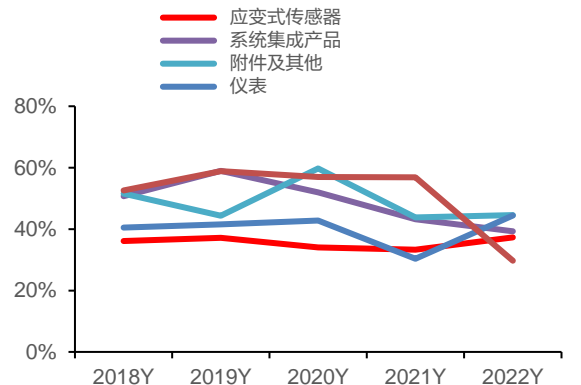
多维力传感器处于开发试制阶段。公司开发了三维力、六维力等多维力传感器可用于机器手臂运动与工作载荷监测、曲面研磨抛光、加工中心精雕加工、医疗设备精密测控等，具有高精度、高灵敏度、抗偏载能力强、维间耦合小等特点，目前多维力系列产品处于小批量试制阶段。公司市占率多年高踞国内力学传感器行业榜首，随着人形机器人产业逐渐成熟，六维传感器在机器人场景的应用有望成为公司新的增长点。

图 63: 柯力传感 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)



数据来源: iFinD, 东方证券研究所

图 64: 柯力传感 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



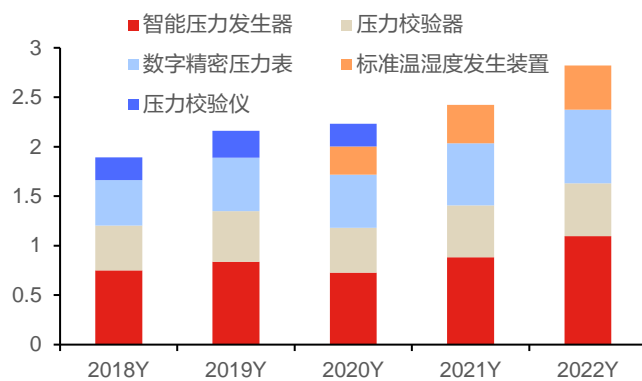
数据来源: iFinD, 东方证券研究所

#### 4.7 康斯特：高端校准检测设备龙头，引领高精度传感器国产替代

康斯特是我国压力温湿度检测领域的龙头企业。公司的主营业务是数字校准测试仪器仪表产品的研发、生产与销售。公司打破了国外技术在相关应用领域高精度测量的垄断格局，通过多年自主研发掌握了高精度压力、温湿度传感器的核心生产技术，并逐步实现由小批量、多品种离散式生产向批量化、规模化制造模式转变。目前公司的压力、温湿度检测产品已广泛的应用于石油、化工、计量、电力、冶金、机械、民航、气象、交通及医疗等领域，并积极的拓展海外市场。

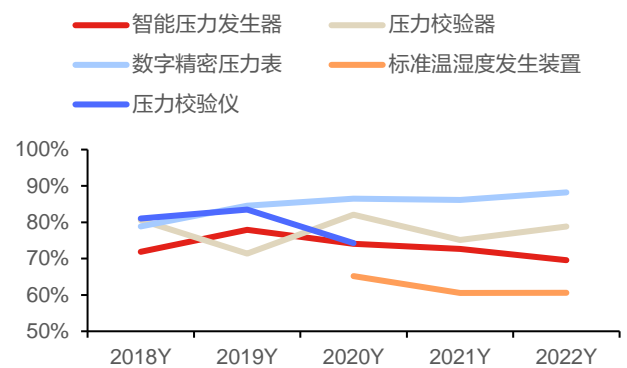
公司引领高精度传感器国产替代。公司专注研发，弥补了国内高端国产压力、温湿度传感器空白的现状，并在多项核心技术达到国际先进水平，对推动我国关键测试设备国产化有重要贡献。高精度仪器仪表是国家实现高质量发展的基础保障，长期以来被外国厂商垄断，面对下游行业不断增长和国产替代的趋势，康斯特通过差异化竞争优势积极拓宽市场，并加速 MEMS 压力传感器等高精度产品的垂直制造落地。

图 65: 康斯特 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

图 66: 康斯特 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



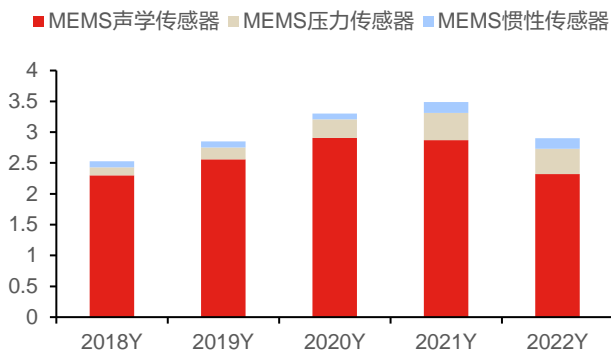
数据来源: Ifind, 东方证券研究所

#### 4.8 敏芯股份: MEMS 传感器全产业链发展, 积极布局六维力矩传感器

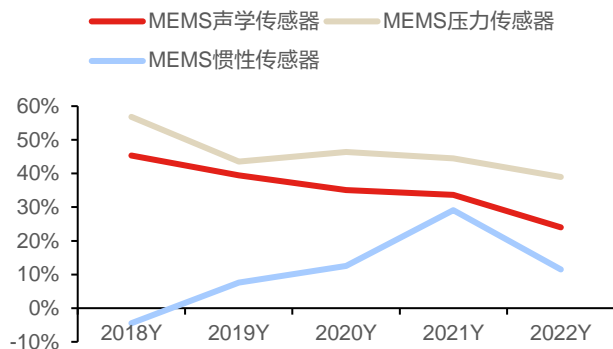
敏芯股份是我国 MEMS 传感器全产业链发展的领军企业。公司以芯片设计起家, 目前主要产品线包括 MEMS 声学传感器、MEMS 压力传感器和 MEMS 惯性传感器, 是中国少有的拥有全产业链研发与全供应链体系国产化的 MEMS 企业, 并掌握各环节的核心技术工艺, 其中以 MEMS 声学传感器为主营产品。公司下游主要应用领域包括消费电子、汽车、工业控制、医疗、通信等, 客户包括华为、传音、小米、三星、OPPO、联想、索尼、九安医疗、乐心医疗等。公司以产业链完整、产品线众多、高出销量、综合竞争优势显著等竞争优势跻身全球知名 MEMS 企业集团行列。

图 67: 敏芯股份 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)

图 68: 敏芯股份 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

公司是国内唯一掌握多品类设计和制造工艺的 MEMS 芯片制造商。目前公司除了声学传感器, 消费类压力传感器、汽车压力模组、微差压产品、加速度计等主营产品外, 也在六维传感器、force touch 等领域积极研发布局, 并逐步形成技术积累, 致力于成为一家技术平台型公司。随着人工智能、人形机器人、物联网技术的发展, MEMS 传感器的应用场景将更加多元, 利用 MEMS 多品类布局和 MEMS 传感器全生产环节国产化的优势, 公司未来有望抓住下游市场需求结构性变化的趋势, 迎来新的增长点。

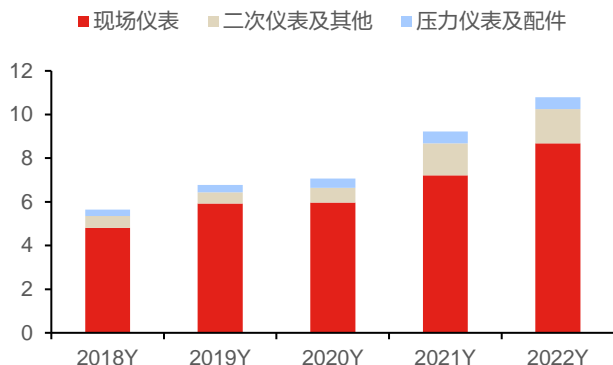
#### 4.9 万讯自控: 自动化仪表引领者, 积极布局高端传感器与机器人

**万讯自控是国内自动化仪表领域的头部企业。**公司专注智能自动化仪表及中高端数控系统等工业自动化领域产品的研发、生产与销售。公司坚持自主研发并掌握部分核心技术, 一些产品的技术和性能指标已接近或达到国际先进水平, 打破了工业自动化仪器仪表中高端市场被国外品牌垄断的旧有壁垒。目前, 公司产品已广泛应用于化工、冶金、电力等传统工业领域及医药、军工、航空航天、新能源等新兴行业, 以国内市场为主。公司致力于将 MEMS 技术应用于传感器的研发以实现传感器系统及产品的微型化、多功能化、智能化和集成化, 顺应行业技术发展趋势。

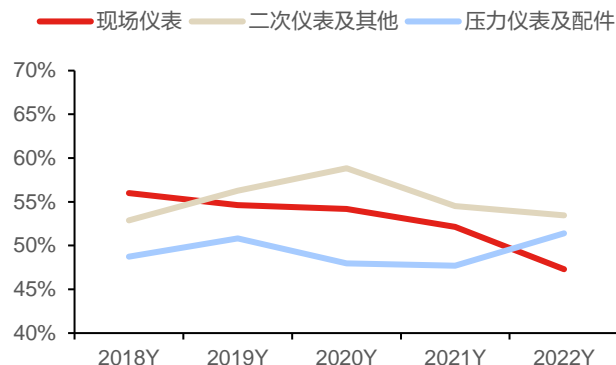
**积极布局高端传感器与工业机器人领域。**近年来, 公司顺应行业和产业发展趋势, 积极布局工业机器人 3D 视觉系统和中高端数控系统等相关新兴领域。2015 年, 公司与丹麦 Scape 达成了战略合作, 并于 2017 年共同投资成立了深圳视科普, 为万讯自控在工业机器人 3D 视觉业务的发展打开了新的篇章, 目前已成功应用于宝马、奥迪、大众、沃尔沃等汽车厂商, 包括国内某新能源车企业。

图 69: 万讯自控 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)

图 70: 万讯自控 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所



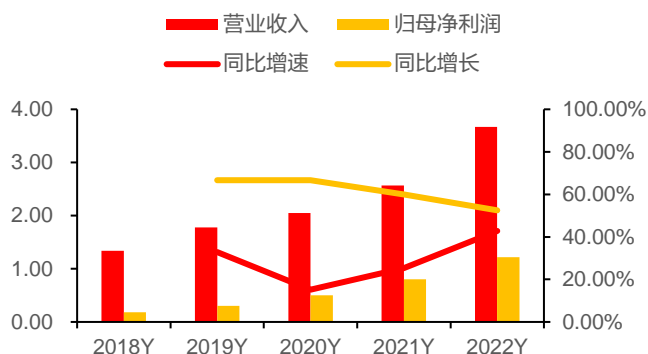
数据来源: Ifind, 东方证券研究所

#### 4.10 东华测试：结构力学测试仪器龙头，力传感器技术领先

公司是国内结构力学测试仪器龙头企业。公司的主营业务是结构力学性能测试仪器及配套软件的研发、生产和销售，产品主要有传感器、测试仪器、控制分析软件等，在国防工业、航空航天、车辆船舶、土木建筑、工程机械、能源电力等领域广泛应用，公司目前客户结构中，军工市场占比过半，高校及科研院所也是重要客户，公司产品在华为 PCB 板的可靠性测试中得到了应用。公司的核心技术优势为从传感器、模拟电路、数字电路到分析算法、软件全技术链的自主可控，公司在结构力学性能测试仪器产业具有独立自主核心技术，致力于帮助客户解决结构的安全性、可靠性问题，为国家顺利推进装备现代化，科学技术自主创新和国家产业升级提供着必要条件，在测控分析技术与电化学高效检测等领域也同样在实现国产替代。

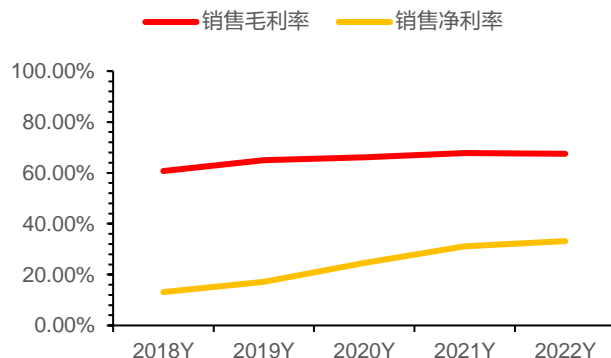
公司力传感器技术领先。公司持续推进传感器的研发，产品布局包括加速度传感器、速度传感器、位移传感器、应变传感器、转速传感器、压力传感器、各类缓变量传感器等，公司全资子公司江苏东华校准覆盖了东华测试全部仪器及传感器产品，并为客户提供第三方计量校准及检测服务。与此同时，公司 PHM 检测系统与基于 PHM 的设备维保平台业务也在持续拓展。

图 71: 东华测试 2018-2022 年营业收入和归母净利润（亿元）及增速（%）



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

图 72: 东华测试 2018-2022 年销售毛利率和销售净利率（%）



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

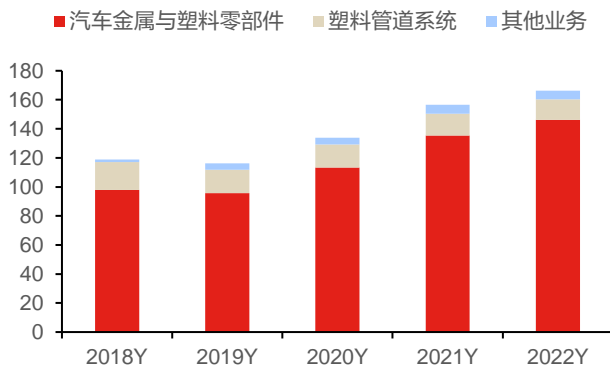
#### 4.11 凌云股份：汽车管路行业龙头，揭榜人形机器人研发项目

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

公司是兵工集团旗下军转民的标杆企业，是汽车管路行业龙头。公司前身是生产高榴弹的国营 333 厂，1986 年开始军用转民用，主要从事汽车零部件及市政工程塑料管道系统的生产及销售业务，目前已成长为具有国际影响力的汽车零部件制造商。随着国产新能源汽车的崛起，公司也顺势进行了向新能源方向的转型，加大了高强度、轻量化产品在新能源车市场的推广和应用，并在新能源车电池壳、水冷板、储能等方面取得了较大的市场成效。与此同时，公司设立子公司上海亚大汽车，专门开展高性能车用 MEMS 系列压力传感器关键技术攻关项目。

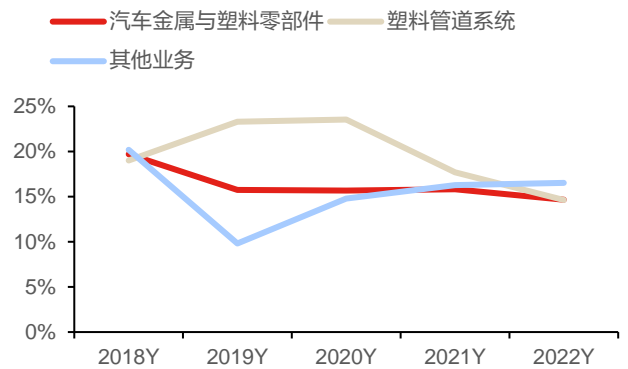
**公司揭榜人形机器人研发项目。**公司积极布局战略性新兴产业和未来产业，加强前瞻性研发，2023 年，公司联合中国科学院合肥物质科学研究院和中兵智能创新研究院，牵头“低成本高精度智能化人形机器人力感知关键技术及制造方法研究”项目，联合揭榜了工信部 2023 年未来产业人形机器人方向力传感器创新任务。助力我国在六维力矩传感器领域打破国际垄断，实现人形机器人产业链自主发展。

图 73：凌云股份 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元）



数据来源：Iifind，东方证券研究所

图 74：凌云股份 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%）



数据来源：Iifind，东方证券研究所

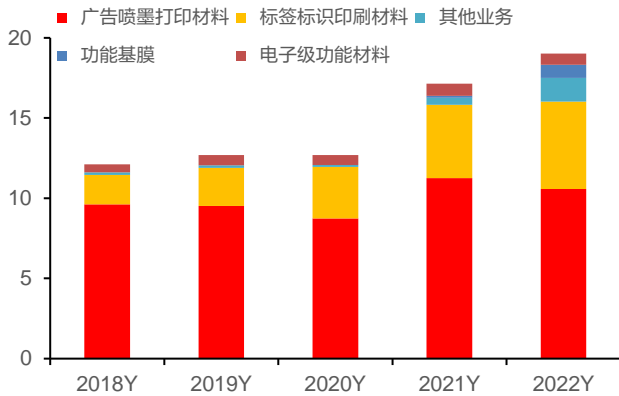
#### 4.12 福莱新材：国内功能性涂布复合材料领军者，子公司积极布局电子皮肤

公司是国内功能性涂布复合材料行业领军者。公司主营业务为功能性涂布复合材料的研发、生产和销售，是国内喷墨打印复合材料行业首家实现基膜、胶水、涂布一体化的企业。公司产品主要分为广告喷墨打印材料、标签标识印刷材料、电子级功能材料、新型功能型薄膜材料、胶粘材料等工业消费品及高端智能装备。在 2023 年 7 月，公司入选国家级专精特新“小巨人”企业。

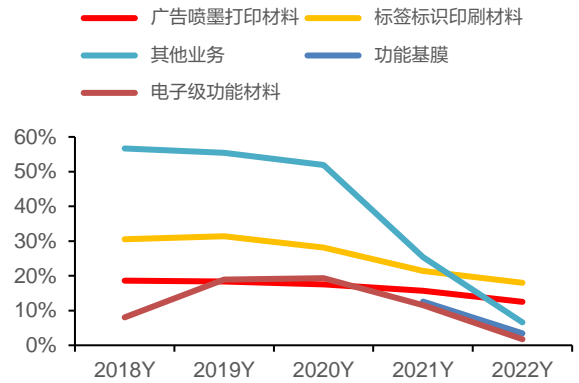
**全资子公司欧仁新材料积极布局电子皮肤领域。**浙江欧仁新材料有限公司成立于 2015 年，建立了实力雄厚的研发团队并长期投入研发力量，公司的技术总监杨晓明此前在电子皮肤（柔性传感器）有众多专利布局，如基于柔性压敏元件的拉伸传感器、一种柔性温度传感器及其制备方法、一种基于改性纸基的高灵敏度柔性压力传感器及其制备方法。不仅目前公司电子皮肤有技术积累和专人团队，后续重心也在针对应用端进行开发定制化产品。

图 75：福莱新材 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元）

图 76：福莱新材 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%）



cc 数据来源: iFinD, 东方证券研究所



数据来源: iFinD, 东方证券研究所

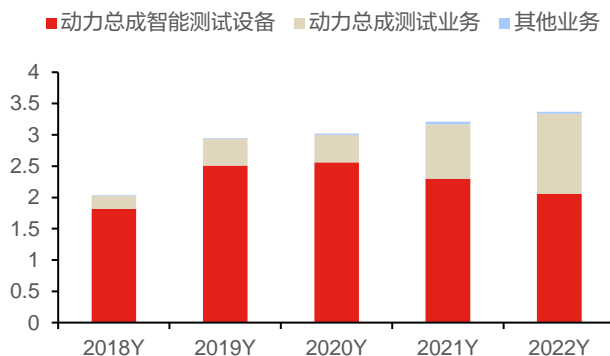
### 4.13 华依科技: 汽车动力总成测试龙头, 惯导开启增长新引擎

华依科技是我国汽车动力总成测试领域的龙头企业。公司的主要产品及服务为高精度惯导、动力总成智能测试设备、动力总成测试服务等, 业务同时覆盖传统燃油车和新能源汽车。长期以来我国汽车动力总成的关键部件的研制主要依赖国外, 但以华依科技为代表的国内企业打破了国外技术在国内动力总成测试的垄断格局, 逐步向国际先进技术水平靠近, 通过多年自主研发实现了在发动机冷试设备等关键领域的进口替代。目前公司的主要客户包括比亚迪、吉利、长安、蔚来、上汽、理想、大陆、西门子、宁德时代、雷诺等国内外知名品牌车企及汽车零部件供应商。

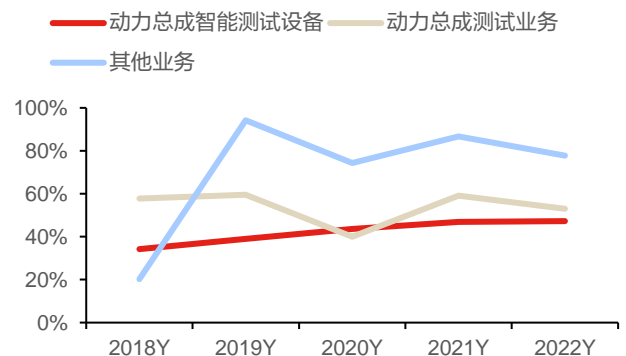
公司先发布局 IMU 惯性测量单元。智能汽车与自动驾驶的发展带动了高精度惯导市场规模的快速增长, 惯性测量单元 (IMU) 则是惯性导航系统 (INS) 中的核心部件。公司早在 2018 年即成立智能驾驶事业部, 开展智能驾驶核心零部件的前期研发布局, 在多年的潜心布局与专注研发后, 核心产品 IMU 已实现落地并达到量产条件, 并获得了奇瑞汽车、智己汽车等 OEM 厂商的订单。随着公司车用 IMU 产品的商业化规模化落地, 从 IMU 产品的技术可延伸性角度, 未来也有望在机器人领域获得新的突破。

图 77: 华依科技 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)

图 78: 华依科技 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

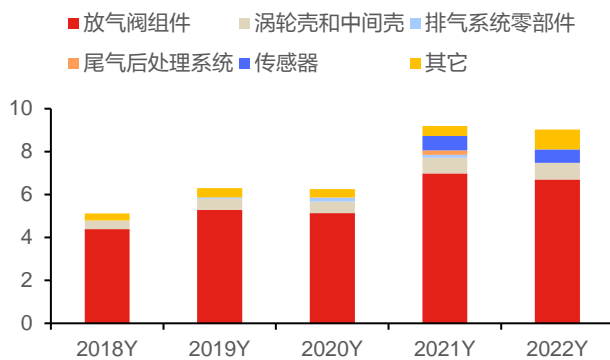
### 4.14 华培动力: 汽车总成业务先进企业, 拓宽汽车传感器业务版图

有关分析师的申明, 见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分, 或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

**华培动力是我国汽车总成业务的先进企业。**公司的主营业务是汽车动力总成业务及传感器业务。动力总成业务的主要产品为发动机进气系统中涡轮增压器放气阀组件、涡轮壳及中间壳等零部件，排气系统中的端锥、弯管、法兰等零部件，商用车后处理系统中的排气节流阀阀体等产品，客户包括宝马、长城等 OEM 整车厂及博格华纳、盖瑞特、三菱重工、德国大陆等涡轮增压器厂商。公司精简产线，将低效率的南通工厂相关业务整合至武汉工厂，更加充分高效地利用武汉工厂的产能与高自动化率，精细化管理，帮助动力总成事业部提升了总利润率。

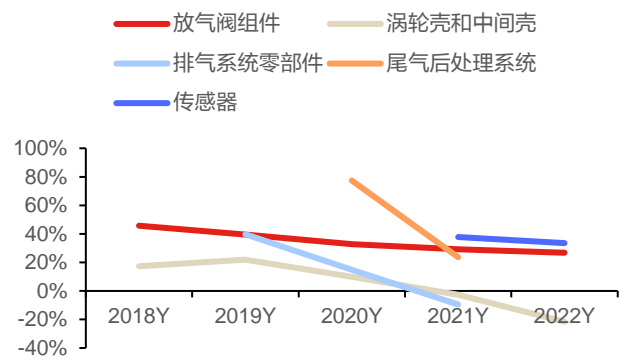
**公司积极拓宽汽车传感器业务版图。**通过收购无锡盛迈克传感技术有限公司，公司布局汽车压力传感器、温度传感器等产品线。公司传感器业务由盛迈克、盛邦、盛美芯、中科阿尔法四家子公司负责，目前主要面向国内商用车前装市场，主要产品包括全压力量程范围的压力传感器、速度位置传感器、温度传感器、尿素品质传感器等多品类传感器及部分核心芯片，商用车及工程机械整机厂客户包括一汽解放、中国重汽、陕汽、三一重工等，发动机厂商客户包括潍柴动力、康明斯、博世、玉柴、锡柴、云内、常柴等。

图 79：华培动力 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元）



数据来源：Iifind，东方证券研究所

图 80：华培动力 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%）



数据来源：Iifind，东方证券研究所

#### 4.15 瀚川智能：国内智能制造装备领军企业，子公司积极布局六维传感器

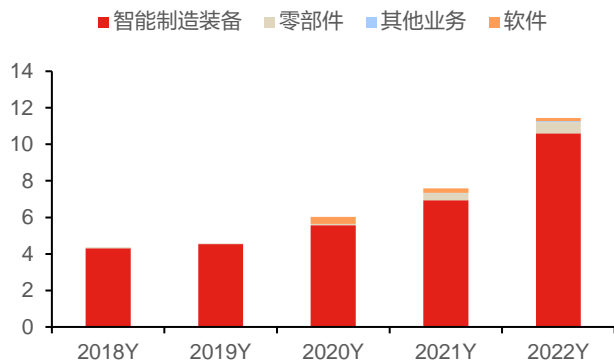
**瀚川智能是国内智能制造装备的领军企业。**公司聚焦汽车电动化和智能化，主要业务为汽车智能制造装备、电池智能制造装备以及新兴业务产品等智能制造装备及系统，是国内企业中为数不多能够参与到国际智能制造装备项目的供应商，在汽车零部件、新能源锂电池、充换电等细分赛道业务有大量全球知名客户积累。作为汽车制造解决方案的龙头企业，公司与大陆集团、博世、采埃孚、比亚迪、马勒、日本电装等客户都建立了长期稳定的合作关系。在电池设备业务板块与充换电设备业务板块，公司也覆盖消费锂电、动力锂电及储能电池领域，获得了亿纬锂能、比亚迪、国家电网、吉利集团、东风等下游客户的认可。

**子公司坤维科技积极布局六维传感器。**公司全资子公司苏州瀚海皓星于 2020 年 12 月投资了坤维科技，目前持股比例为 4.56%。坤维科技主要业务为高精度力觉传感器（六轴力传感器），其自主研发的产品打破了国外企业在六维力传感器领域的长期垄断并处于领先地位，加快推进了产业链的上下游合作。

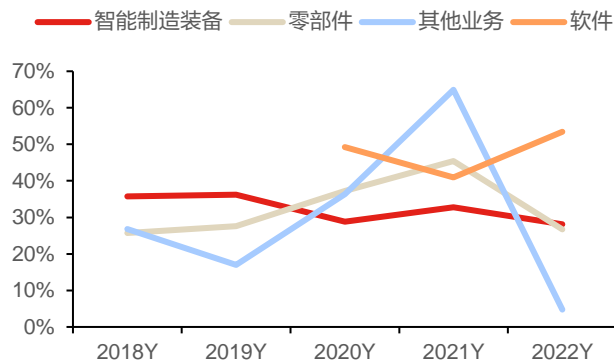
图 81：瀚川智能 2018-2022 年主营业务分产品收入（亿元）

图 82：瀚川智能 2018-2022 年主营业务分产品毛利率（%）





数据来源: Ifind, 东方证券研究所



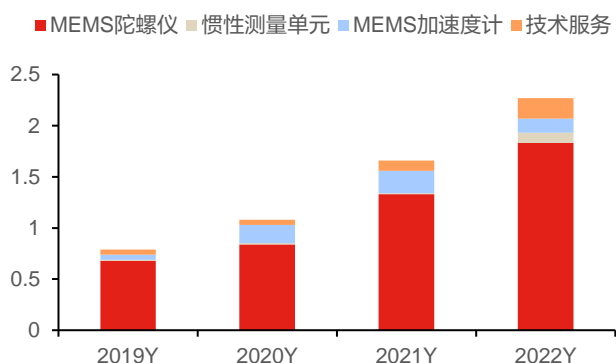
数据来源: Ifind, 东方证券研究所

#### 4.16 芯动联科: MEMS 惯性传感器龙头, 国产替代领军者

公司是国内高端 MEMS 惯性传感器龙头企业。公司采用 fabless 模式, 主要产品为高性能 MEMS 惯性传感器, 包括 MEMS 陀螺仪和 MEMS 加速度计, 均包含一颗微机械 MEMS 芯片和一颗专用控制电路 ASIC 芯片, 主要应用于高端工业、高可靠领域和无人系统等领域, 包括无人驾驶与无人机, 涵盖 5G 通信、工业 4.0、商业航天、自动驾驶、石油勘探、船舶等, 具有广阔的市场空间。

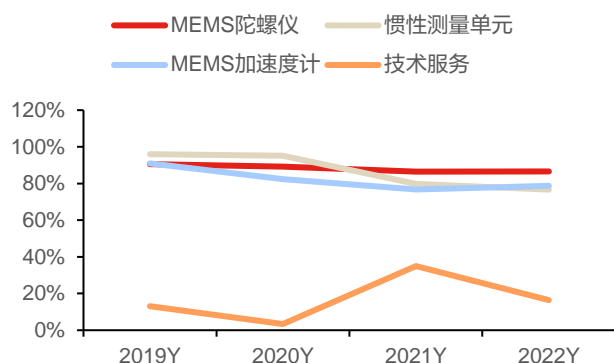
公司引导高性能 MEMS 惯性传感器的国产替代。公司是我国较早涉足高性能 MEMS 惯性传感器研发的半导体公司, 拥有多年在 MEMS 领域的设计与工艺开发经验, 目前已经掌握高性能 MEMS 惯性传感器的核心技术, 高性能 MEMS 陀螺仪的核心性能指标已达到国际先进水平, 是目前我国为数不多可稳定量产高性能 MEMS 惯性传感器的企业。得益于起步较早, 长期以来 MEMS 产品的市场份额基本被国际知名企业瓜分, 但随着自动驾驶和机器人市场的快速发展, 在国产替代的浪潮下, 公司有望迎来快速发展。

图 83: 芯动联科 2019-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

图 84: 芯动联科 2019-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

#### 4.17 安培龙: 国内陶瓷传感器龙头, 积极拓展 MEMS 传感器

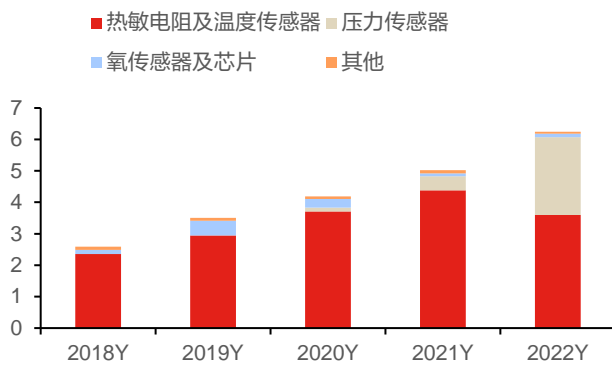
安培龙是国内陶瓷传感器的龙头。公司长期以来专注于陶瓷材料产业及陶瓷工艺技术的研发, 主要从事热敏电阻及温度传感器、氧传感器、压力传感器的生产及销售业务, 拥有完整的产业链,

有关分析师的申明, 见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分, 或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

是相关领域的隐形冠军。公司三大类产品线广泛应用于家电、汽车、工业控制、通讯、光伏、储能、医疗等下游市场，主要客户包括美的、TCL、比亚迪、伟嘉集团、万里扬、华为等国内公司，并伴有少量的家电制造与汽车零部件国际业务。公司温度传感器关键性能指标已接近国际先进水平，在家电产品及消费电子领域逐步完成国产替代。

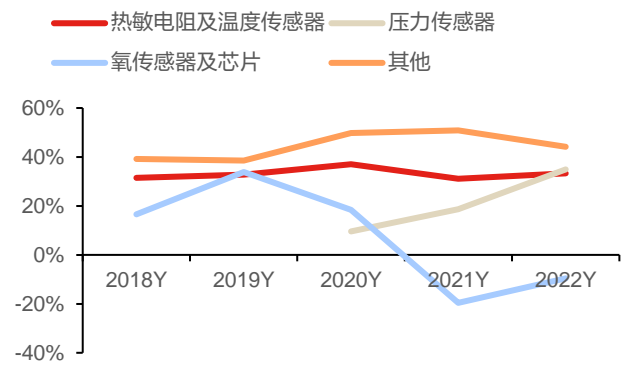
**公司积极拓展 MEMS 传感器智能制造业务。**公司目前基于 MEMS 技术平台生产的主要是 MEMS 压力传感器，主要应用于汽车及消费电子等领域，客户包括东风、全柴等 OEM 主机厂。随着公司 MEMS 压力传感器芯片业务的发展，公司将逐步形成 MEMS 低压压力传感器、玻璃微熔高压压力传感器、陶瓷电容式中压压力传感器共同覆盖低、中、高压全量程的产业化生产，覆盖家电、汽车、储能等行业绝大部分的需求。

图 85: 安培龙 2018-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

图 86: 安培龙 2018-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

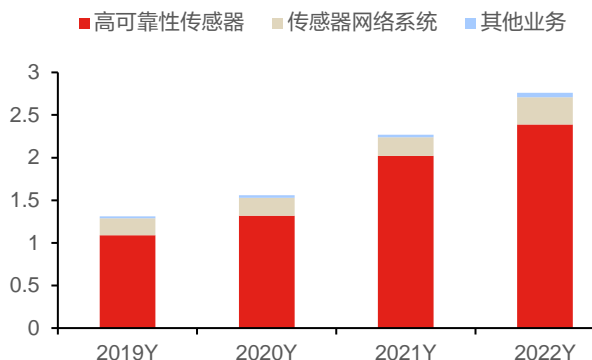
#### 4.18 高华科技: 高可靠传感器标杆龙头, 军民双轮共驱成长

**公司是国内高可靠传感器的标杆龙头。**公司主要从事主营业务为高可靠性传感器及传感器网络系统的生产及销售业务，主要产品为各类压力、加速度、温湿度、位移等传感器。公司长期以来布局高可靠性传感器的研发与设计，在相关工艺上拥有了自主研发能力和核心技术，在行业内处于技术领先地位。公司 MEMS 技术逐步渗透压力传感器产业链全流程，并已经具备芯片自主设计能力。

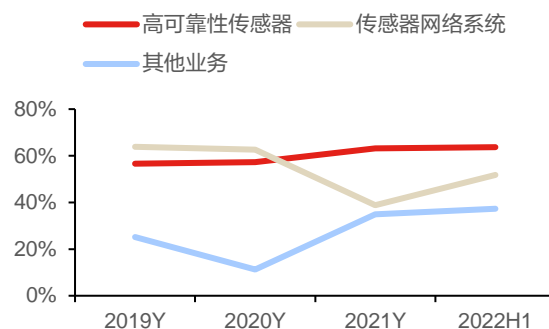
**公司军民双轮共驱成长。**公司以“行业覆盖（军用）+地域覆盖（工业）”为主，承担了国家科技部、工信部、江苏省科技厅、江苏省工信厅、南京市科技局、南京市工信局等各部委和各级政府部门的多项传感器研制项目，并参与了包括载人航天工程、北斗工程、空间站建设工程、探月工程等国家级工程的配套工作，全力协助我国军用装备信息化智能化建设。在轨道交通、工程机械、工业自动化等民用领域，公司也在努力进行国产替代。

图 87: 高华科技 2019-2022 年主营业务分产品收入 (亿元)

图 88: 高华科技 2019-2022 年主营业务分产品毛利率 (%)



数据来源: Ifind, 东方证券研究所



数据来源: Ifind, 东方证券研究所

## 5.投资建议

灵巧手是人形机器人“小脑”实现灵巧操作、人机交互的重要载体，其中传感器作为灵巧手智能化的基础，是推动人形机器人深度融入人类生活生产的重要器件。2024 年人形机器人有望迎来小批量产，大产业趋势下中长期维度看，我们认为除了由中国制造赋能硬件端所带来的持续降本趋势，产业链可能还具备潜在的抗通缩环节，如智能化水平的提升离不开传感器的广泛使用。因此我们看好人形机器人的产业趋势，看好灵巧手和传感器的发展，建议关注产业链相关公司：东华测试(300354，未评级)、康斯特(300445，未评级)、柯力传感(603662，未评级)、田中精机(300461，未评级)、万讯自控(300112，未评级)、瀚川智能(688022，未评级)等；军工组：芯动联科(688582，未评级)、高华科技(688539，未评级)等；新能源组：鸣志电器(603728，未评级)、鼎智科技(873593，未评级)、伟创电气(688698，未评级)等；汽车组：凌云股份(600480，未评级)、华依科技(688071，未评级)、华培动力(603121，未评级)等；电子组：汉威科技(300007，未评级)、敏芯股份(688286，未评级)、安培龙(301413，未评级)等；轻工组：福莱新材(605488，未评级)等。

## 6.风险提示

**下游需求不及预期：**空心杯电机应用于航空、航天、军事等高端产业，同时也在医疗装置、消费类电子产品、工业自动化、测绘等民用领域拓展新应用场景，可能下游需求不及市场预期；传感器下游涵盖汽车电子、网络通信、工业电子、消费电子、医疗电子等领域，可能下游需求不及市场预期；

**人形机器人进展不及预期：**人形机器人目前还处于初期阶段，技术路线等尚未完全确定，发展进程可能不及市场预期；

**国产替代进程不及预期：**目前国内相关厂商的技术与国外头部厂商相比仍有较大差距，若技术突破进展不及预期，将影响到国产替代进程；

**行业竞争加剧：**伴随人形机器人放量以及行业降本趋势下，新参与者可能会增加，产品价格可能会有所下降，行业竞争可能会有所加剧；

**假设条件变化影响测算结果：**文中测算基于设定的前提假设基础之上，若相关假设的数量、价格、用量等发生改变，存在假设条件发生变化导致结果产生偏差的风险。

## 信息披露

---

**依据《发布证券研究报告暂行规定》以下条款：**

发布对具体股票作出明确估值和投资评级的证券研究报告时，公司持有该股票达到相关上市公司已发行股份1%以上的，应当在证券研究报告中向客户披露本公司持有该股票的情况，

**就本证券研究报告中涉及符合上述条件的股票，向客户披露本公司持有该股票的情况如下：**

截止本报告发布之日，资产管理、私募业务业务合计持有瀚川智能(688022)达到相关上市公司已发行股份 1%以上。

提请客户在阅读和使用本研究报告时充分考虑以上披露信息。

# AI人工智能产业链联盟

#每日为你摘取最重要的商业新闻#

更新 · 更快 · 更精彩



Zero

AI音乐创作人

水墨动漫联盟创始人

百脑共创联合创始人

人工智能产业链联盟创始人

中关村人才协会秘书长助理

河北北大企业家分会秘书长

墨攻星辰智能科技有限公司CEO

河北清华发展研究院智能机器人中心线上负责人

中关村人才协会数字体育与电子竞技专委会秘书长助理



主要业务:AI商业化答疑及课程应用场景探索, 各类AI产品学习手册, 答疑及课程



欢迎扫码交流

提供: 学习手册/工具/资源链接/商业化案例/  
行业报告/行业最新资讯及动态



人工智能产业链联盟创始人

邀请你加入星球, 一起学习

## 人工智能产业链联盟报 告库



星主: 人工智能产业链联盟创始人

每天仅需0.5元, 即可拥有以下福利!  
每周更新各类机构的最新研究成果。立志将人工智能产业链联盟打造成市面上最全的AI研究资料库, 覆盖券商、产业公司、科研院所等...

知识星球

微信扫码加入星球 ▶



## 分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

## 投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内行业或公司的涨跌幅相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅为基准（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数）；

### 公司投资评级的量化标准

- 买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；
- 增持：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15%；
- 中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
- 减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

### 行业投资评级的量化标准：

- 看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；
- 中性：相对于市场基准指数收益率在-5% ~ +5%之间波动；
- 看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

## 免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

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所引致的任何损失负任何责任，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经许可的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

---

## 东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

电话：021-63325888

传真：021-63326786

网址：[www.dfzq.com.cn](http://www.dfzq.com.cn)

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。