

机器人产业深度(八)

机器人

表情陪伴人形机器人：AI 陪伴的高级赛道

评级：

增持

上次评级：

增持



肖群稀(分析师)

刘麒硕(研究助理)

0755-23976830

0755-23976666

xiaoqunxi027589@gtjas.com liuqishuo028693@gtjas.com

登记编号S0880522120001

S0880123070153

本报告导读：

人人都需要陪伴，表情陪伴人形机器人是AI 陪伴的高级赛道。表情陪伴机器人领先公司已经实现量产，技术要素和应用场景陆续突破，前沿公司发展有望提速。

投资要点：

- 中国陪伴机器人潜在市场需求近万亿，表情陪伴机器人是AI 陪伴的高级赛道，具备较大投资前景，建议关注本体厂商、核心部件的微特电机、仿生皮肤：1) 本体：帝艾斯(EX-robot)、卓益得(未上市)、Hanson Robotics、Engineered Arts;2) 微特电机潜在市场空间690亿：推荐兆威机电、伟创电气，受益公司：优必选、EX-robot、瑞声科技等；3) 仿生皮肤：目前仿生皮肤都掌握在本体厂商手中，领先的有：Hanson Robotics的弹性橡胶、Engineered Arts的硅胶皮肤、EX-robot 的医用级高分子皮肤。
- ◎ 人人都需要陪伴，中国陪伴机器人潜在市场需求近万亿。据腾讯研究院调研，98%的人都考虑使用AI 陪伴去弥补平日未被满足的社交困境。我们参考宠物市场、潮玩市场、智能监测手表行业的发展趋势及渗透率情况，测算出陪伴机器人在老年人群中的潜在需求约4200亿元人民币，陪伴机器人在青年人群中的潜在需求约5000亿元人民币。在医疗场景下，尤其是自闭症儿童的情绪监控领域也有较大的应用前景。表情陪伴机器人是AI 陪伴的高端品类，根据仿生学原理模仿人的外观设计、与人类进行自然交互，在强人机交互需求、强人形结构需求、强角色认同需求等场景具备独特优势。
- ◎ 表情陪伴机器人的核心技术壁垒：情感智能与交互、面部表情控制与仿生皮肤设计。1) 感知：表情陪伴机器人需要高精度的传感器来模拟生物的感知能力，如视觉、听觉、触觉、仿生皮肤等；2) 情感计算：核心在于利用机器学习和人工智能算法，通过处理感知层捕捉到的人类的语音、面部表情、生理特征等多个维度情感信息，进行建模、计算、学习，从而实现与人类的交互，达成情感陪伴的需求；3) 表情控制：语音、视觉、情感交互需要通过高度仿真的面部表情和触感实现，采用高精度的执行器控制机器人的表情输出。
- 关注仿生皮肤和微特电机：仿生皮肤与微特电机(舵机为主)是表情控制机器人区别于人形机器人的核心零部件。1) 为了让机器人更像人，表情仿生人形机器人会在机器人上覆盖一层仿生皮肤模仿人类的皮肤，与传感器、机械结构融合，实现柔性表面、机器人微表情呈现。主流厂商仿生皮肤技术三大路线：Hanson Robotics采用弹性橡胶、Engineered Arts采用硅胶皮肤模仿人类皮肤触感，EX-robot采用医用级高分子皮肤、具有高韧性和高柔软度等特质，同时具备与常人相似的温度。2) 微特电机：用于驱动柔性面部，结合人工智能算法模拟真人的面部表情，2023年中国舵机市场规模105亿元，表情陪伴机器人将拉动中国舵机市场新增需求690亿元。
- 风险提示：1) 技术进步慢；2) 行业竞争激烈；3) 投资过度。

相关报告

机器人《宇树机器狗野外表现震撼，OpenAI 或重启机器人计划》2024.12.29

机器人《字节人形机器人：迭代具身大模型，布局TOC 场景》2024.12.24

机器人《宇树发布四足机器狗视频，野外行动力令人震撼》2024.12.24

机器人《字节机器人受追捧，智元计划量产千台通用机器人》2024.12.21

机器人《特斯拉发布机器人爬坡视频，比亚迪开启具身智能团队招聘》2024.12.15

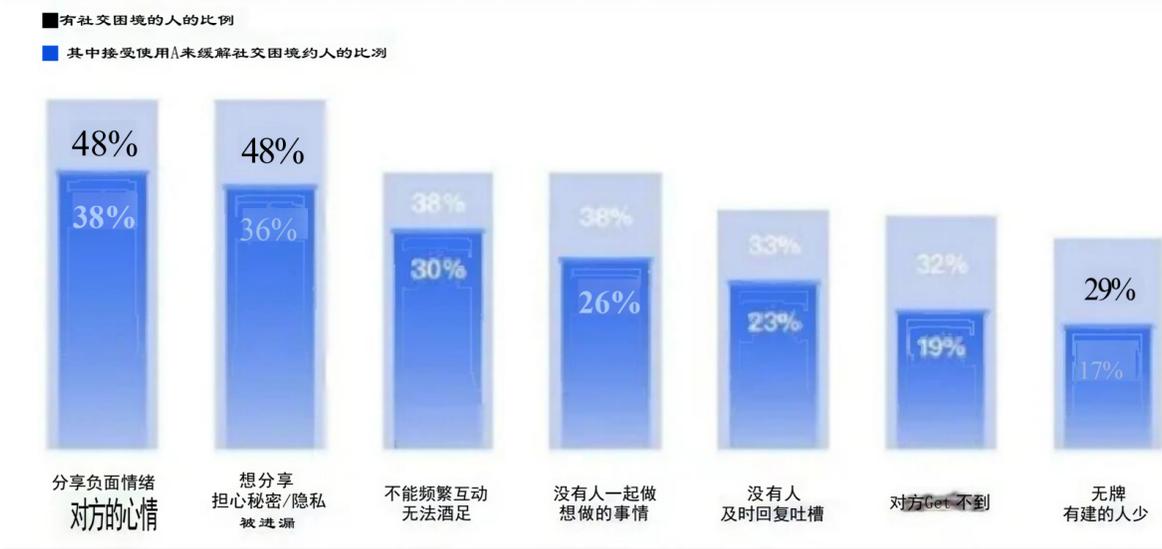
1. 物理实体的陪伴是AI 陪伴的高级赛道

1.1. 人人都需要陪伴：98%的人选择AI陪伴

2013年，电影《Her》描绘了一个人与AI 相恋的美好故事。10年之后，ChatGPT的出现，让大家看到“Her”从电影走向现实的可能性。各种AI 应用层出不穷，“AI 助手”、“AI 陪聊”、“AI 心理咨询”等等。

人们普遍渴求陪伴。腾讯研究院的调查显示，仅有4.6%的人认为自己的陪伴需求都被满足了，大部分人群都面临着各种各样的社交困境。人们对于AI陪伴总体抱着好奇与开放的心态：98%的人都会考虑选择使用AI 陪伴去弥补平日未被满足的社交困境。

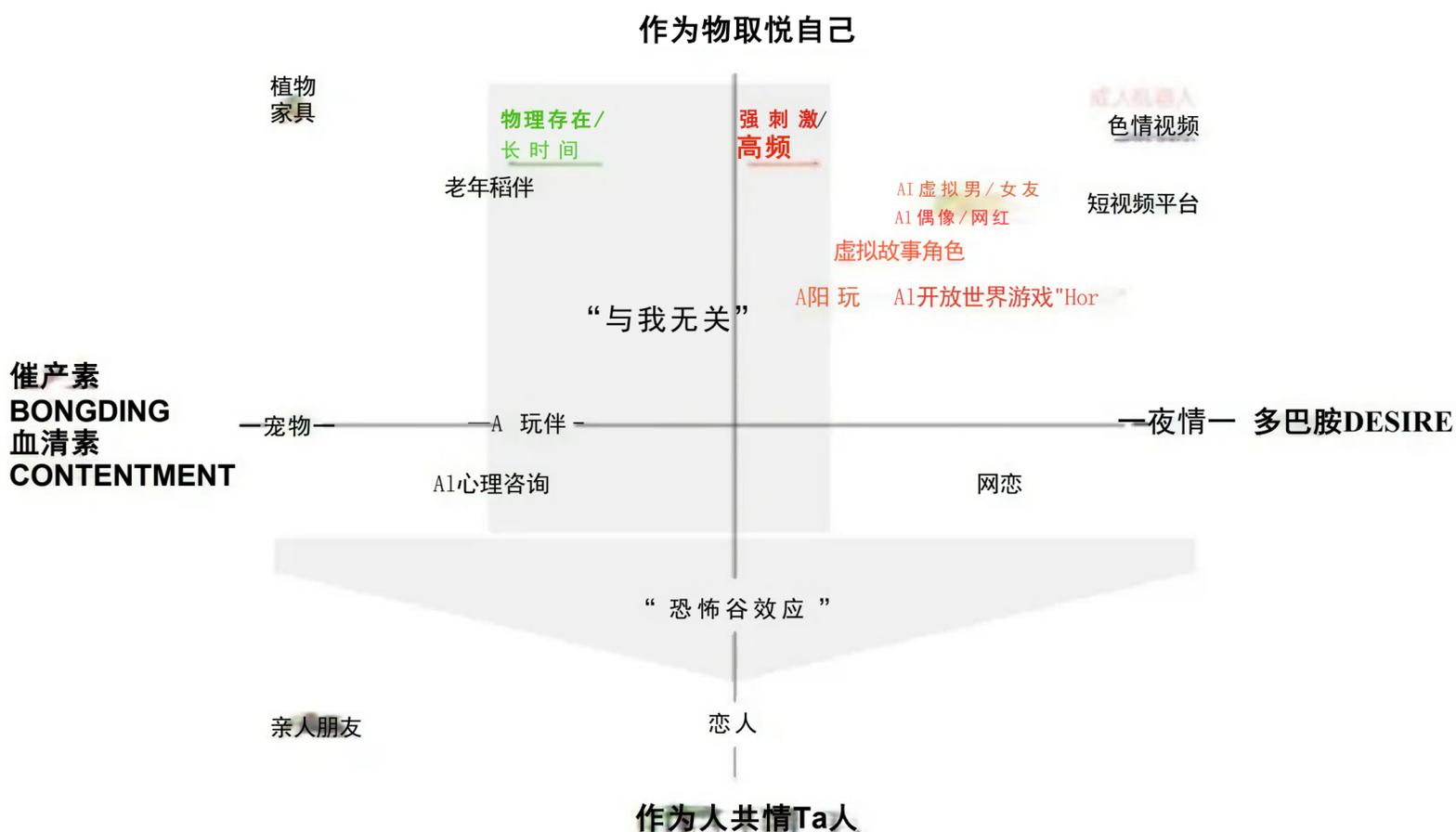
图1: 当下陷入社交困境的人倾向于通过AI 解决



数据来源：腾讯研究院

AI陪伴有显著缺陷：缺乏物理实体。根据技术发展阶段，AI 陪伴的自然发展一定是从虚拟形式开始，但在“陪伴”的语境下，物理实体的重要性是不可小视的：无法交流的植物、毛绒玩具、家具、房间也可以凭借“物理存在”来给人带来安抚与舒缓。如果能将物理实体与AI 的虚拟能力结合，则可以在“陪伴”这一赛道上创造出优越的产品。AI 心理顾问、AI 儿童玩伴、AI 老年陪伴在图的左侧，具备更大的市场想像空间。

图2: 物理实体与AI 相结合具备更大想象空间



数据来源：腾讯研究院

物理实体的陪伴非常重要。目前市场对AI 陪伴的具体实体形态并没有固定的认知。根据腾讯研究院的调查，针对儿童和青少年的陪伴，29%的用户将人形机器人作为首选，其次学龄前儿童也容易给玩偶等非生命体赋予生命和人格，物理实体的陪伴能提供一种真实的存在感和安全感，避免进一步增加儿童的屏幕使用时间。针对老年人的调研中，有36%用户选择了人形机器人，显著高于其他形态一方面是人形机器人能提供类似人类的多模态情感互动，另一方面是考虑到人形机器人形态可能带来的照料老人等功能。在具身智能发展成熟时，表情陪伴人形机器人有望成为主流产品形态。

图3:表情陪伴机器人有望成为物理实体陪伴的主流形态

物理实体类型	老年人AI陪伴	儿童AI陪伴
人形机器人	36%	28%
可穿戴设备(例如:手表、项链等)	26%	27%
非人形机器人(例如:动物等)	13%	22%
摆件(例如:音响、台灯等)	11%	9%
手办玩具	6%	6%
毛绒玩具	7%	8%

数据来源:腾讯研究院

AI 陪伴的发展路径:软件级AI 陪伴——桌面级陪伴机器人——宠物级陪伴机器人——表情陪伴人形机器人,

1) 桌宠级陪伴机器人:可以辅助工作完成,缓解用户工作压力,代表厂商:苹果(即将推出桌面级陪伴机器人),乐天派等;

2) 宠物级陪伴机器人:具备行动能力,识别人类情感,并提供一定的情绪价值,外观多设计成可爱类型。代表厂商:日本索尼公司、日本GROOVE X公司;

3) 表情陪伴人形机器人:具备与人类相近的面容,可以通过表情变化生动形象的传达情感,代表厂商:EX-robot、Engineered Arts、Promobo、卓益得、数字华夏等。

图4：表情陪伴人形机器人将是AI陪伴机器人的下一代产品



数据来源：豆包、筑梦岛、猫箱、星野、乐天派、索尼、EX-ROBOT、Engineered Arts等公司或应用官网，国泰君安证券研究

1.2. 表情陪伴人形机器人：陪伴机器人的高级形态

本文讨论的表情陪伴机器人是情绪陪伴机器人的一个高端领域，指的是硅胶皮肤覆盖，根据仿生学原理模仿人的外观设计、能够与人类进行自然交互的人形机器人：

(1) 外形仿生：表情陪伴机器人在外观设计具备人类相似特征。具有与人类相似的身体部位和比例，外形细节逼真，在设计上充分考虑柔性、接受度、与环境适配度等因素。

(2) 行为仿生：表情陪伴机器人在行为模式上模仿人类的行为。能够通过多模态情感交互进行仿人共情表达，能够模仿人类的操作行为，具备手眼协调、动态足控制能力。

(3) 智能仿生：表情陪伴机器人通过技术模拟人类智能行为和决策。具备语音识别和自然语言识别等智能技术，能够通过学习改进自身行为，能够为人类提供智能操作选择。

(4) 应用仿生：表情陪伴机器人在各个领域的实际应用和用途。可以应用于医疗、教育、娱乐、军事等多个领域，协助人类完成各种复杂任务，提供了与人类更加紧密和自然的交互方式。



图5：全球已有多家企业布局表情陪伴机器人相关产品

EX ROBERT(大连蒂艾斯)



HANSON ROBOTICS

Promobot



Engineered Arts

东芝-宫原香苗

卓益得

数字华夏



数据来源：EX-ROBOT、Hanson robotics、Promobot、Engineered Arts、东芝、卓益得、数字华夏等公司官网，国泰君安证券研究

1.3. 表情陪伴机器人核心技术：外观设计、情感计算、表情控制

产品外观设计：3D打印骨骼与硅胶仿真皮技术使机器人外表和触感都接近真人；柔性关节技术，满足人形机器人小型化、参数可定制、大扭矩等特殊需求，提升了机器人动作的柔顺度。

感知与交互技术：

- 1) 多模态感知技术：让机器人具备类似人类五感的多模态智能感知能力，可感知用户语言、表情、情绪等，并做出正确反馈，实现情感交互。
- 2) 情感识别与表达：通过表情识别、语音情感分析等技术，让机器人感知人类情绪并做出相应情感回应，增加亲和力和互动性。
- 3) 自然语言处理与情感交互：核心算法中有偏情感、感知能力的多模态大模型，使机器人能够理解和生成自然语言，可主动引导对话，实现语音、表情、动作等人机交互。

面部表情控制技术：机器人控制系统和相关控制算法助力实现对机器人面部和肢体动作的精准控制和协调，让机器人做出眨眼、皱眉等多种人类微表情。

图6:外观设计、感知与交互技术、面部表情控制技术是表情陪伴机器人的核心技术

	算力			
	训练 CPU	存储 GPU	存储芯片	DSP
	Nvidia • 特斯拉 Intel AMD 谷歌 亚马逊 华为升腾 寒武纪	三星 Sk海力士 美光 海力士 兆易创新 长鑫存储 普冉股份	三星 Sk海力士 美光 海力士 兆易创新 长鑫存储 普冉股份	ADL 摩托罗拉 中科吴芯 中科本源 国睿科技 江苏宏
	大模型系统 (相比人形机器人, 涉及更多情感计算类算法)			
	Skid AI OpenAI-GPT4 Covariant Field AI Stable Diffusion PI 书生浦语 百川大模型 天工大模型	星火 千问 心 EI Dalu Llama 制担	MiniMax Character ai Hume AI Kyutai 智谱AI	
	传感器			
仿生电子皮肤 GclSight Canatu Novasentis 英国格拉斯哥大学的研究团队 中国科学院的研究团队 清华大学航天航空学院研究团队 EX robot		触觉传感器	Tekscan 他山科技 Sensor Products 帕西尼感知 汉威科技 墨观科技 钛深科技 中科纳芯 Pressure Profile Systems	
视觉系统/语音交互系统				
机器视觉 苹果 微软 英特尔 索尼 三星 德尔 日本 海康 大恒 奥比 舜宇 欧特		语音交互	科大讯飞 阿里云 百度智能云 拓尔思 小爱机器人 思必驰 歌尔股份 精伦电子 海天瑞声 汉威科技 汉王科技	
电机系统				
微特电机 日本电产 日本电装 德国施乐 依必安派! 兆威机电 睿思凯 澄星股份 优必选 EX robot	直流无框电机 步科股份 赛智能 常州富兴 江苏雷利 纳多利 多尔克 科派克 全智摩 博	空心杯电机 MAXON Faulhaber Portescap Allied Motion 江苏雷利 鸣志电器 日本电产 拓邦股份 瑞声科技	谐波减速器 哈默纳科 日本新宝 绿的谐波 来福谐波 同川科技	

数据来源: EX-Robot官网, 国泰君安证券研究

注: 右侧公司列表为产业链内相关企业, 非EX-ROBOT公司实际使用产品来源

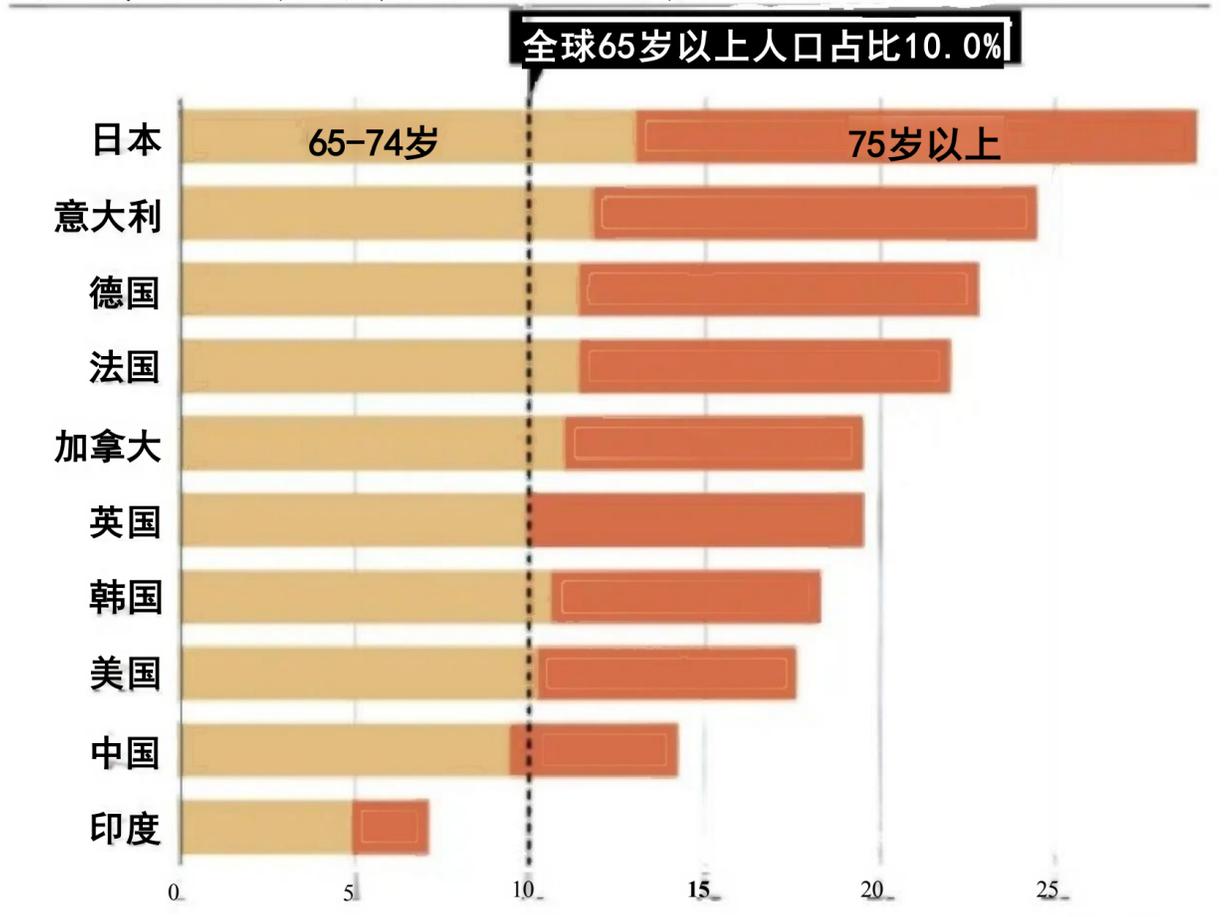
2. 陪伴及情绪看护机器人市场潜在需求近万亿

表情陪伴机器人的发展趋势是“行为能力更像人，交互方式更像人，思维方式更像人”。表情陪伴机器人在强人机交互需求、强人形结构需求、强角色认同需求等场景具备独特优势，表情陪伴机器人应用场景以面向生活和服务为主，我们测算，中国养老陪伴、青年陪伴场景，表情陪伴机器人潜在市场空间分别4200亿元人民币、5000亿人民币，全球自闭症儿童医疗情绪监控市场潜在需求约39亿美元(约280亿人民币)。

2.1. 陪伴机器人在中国老年人中的潜在需求约4200亿元

老年陪伴场景是表情陪伴机器人最具应用潜力的市场之一。2030年全球60岁以上老年人口数量11.5亿，联合国预计2050年全球老年人口将达到21亿。在老年人陪护方面，表情陪伴机器人能够为孤独的老人提供陪伴和简单的对话互动、在高危/救援等场景实现对人的替代。

图7: 截止2023年7月中国65岁以上老年人口占比接近15%



数据来源: Wind, 世界银行, 国泰君安证券研究, 截止日期: 2023年7月

老人关怀最大的痛点: 保障隐私情况下的安全, 健康和情感关怀

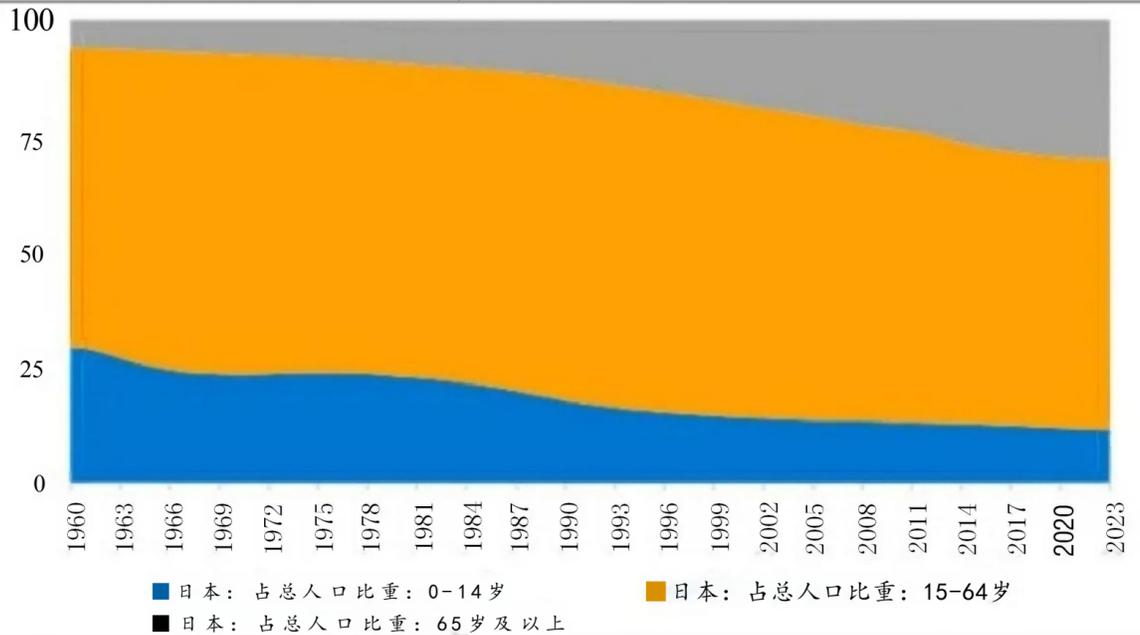
√健康: 呼吸, 心率, 睡眠质量等

√安全: 意外跌倒/坠床, 导致受伤; 长时间滞留在卧室或卫生间; 突发疾病, 引发晕倒、卒中、呼吸暂停; 外出时, 长时间未归等

√情感关怀: 聊天, 娱乐

以日本为例, 人口老龄化加速、独居老人占比提升。根据世界银行统计数据, 2023年底日本65岁以上老人占日本总人口比例为30.07%。日本政府研究机构公布的推算显示, 75岁以上人口中独居比例的日本全国平均值将从2020年的22.4%上升到2050年的28.9%。日本总务省统计, 目前日本养老院平均费用为15.3万日元/月(约7100元人民币), 而日本养老院想要入住需要先付首付, 平均首付款为98.3万日元(约4.6万人民币)。日本居家养老的老年人占比约60%, 相较于养老院养老人员, 这部分老人更需要陪伴机器人。

图8: 日本老人占比约30%(单位: %)



数据来源: Wind, 世界银行, 国泰君安证券研究

三大社交机器人在日本老年陪伴市场中发挥重要作用。2020年日本75岁以上人口中独居比例达22.4%，独居老人陪伴市场体量庞大，目前日本三大社交机器人在老年陪伴市场发挥重要作用。1) Pepper 机器人能够与老年人进行互动，播放歌曲，并通过灵活的手臂伴舞，用丰富的表情逗乐，还能识别快乐、悲伤、愤怒、惊讶等情感，并根据周围人的情绪调整行为。2) Aibo 是索尼公司推出的机器狗，全身有22处可自由活动关节，可以像真实的小狗一样灵活运动，比如歪头、竖起耳朵、吠叫、呜咽和翻滚。Aibo 安装了先进的面部识别系统，能够对主人的动作做出反应，并记住主人的偏好，逐渐养成专属某个主人的“性格”。3) Paro是一款毛茸茸的幼年海豹机器人，它模拟竖琴海豹宝宝的外形、大小、颜色和触感，Paro 能够提供柔软触感和温暖的物理体验，当老年人抱在怀里时，它会轻轻地移动，给老年人带来轻松或温柔的感觉。Paro 通过减少焦虑并提供动物治疗在国际医疗机构中取得成功。

图9: 日本三大社交机器人在缓解老人孤独方面发挥重要作用



软银: Pepper(2020 年停产)
养老院里的广场舞领队

一款人形机器人，能够与病人对话，在过道里值夜，还能记录体育锻炼课上的情况。Pepper 通过播放老歌来缓解老年人的孤独感，并且具备灵活的手臂动作来弥补面部表情的缺失。



索尼: AIBO
机器小狗的暖心陪伴

一款由索尼公司开发的机器狗，它能够通过面部识别系统和先进的面部表情与用户互动，为用户的生活带来色彩和欢乐。



AIST: PARO
阿茨海默症老人的温暖

一款交互式治疗机器人，外观模仿竖琴海豹宝宝，能够模拟照顾者和病人之间的互动。对老年痴呆症和阿尔茨海默病有安抚作用，能够降低老人们的孤独感。

数据来源: 软银机器人, 中国机器人网, 《International Journal of Nursing Studies》Nur Lidiya Abdul Rashid, 国泰君安证券研究

我们测算，陪伴机器人在中国老年人群中的潜在市场需求为4200亿人民币。

核心假设:

- ✓ **渗透率:** 根据国家民政局统计，2023年65岁以上人口占比为15.4%，考虑到当前中国生育率情况，参考日本人口结构，我们假设未来远景中国老年人占比为30%。
- 个 考虑到陪伴机器人为可选消费产品，我们参考智能手表在中国的

渗透情况，审慎考虑出发，我们假设陪伴机器人未来在中国老年市场中的渗透率中枢为5%。根据前瞻产业研究院数据，2017年中国智能手表销量为400万只，2022年中国智能手表销量为3179万只，2017-2022年CAGR达49.6%。考虑到智能手表的使用寿命为2-4年，我们认为市场保有量约0.8-1.6亿只，对应市场渗透率为5.7%~11.4%。

- ◇ 我们认为参考智能手表在老年市场的渗透率是合理的。因为1) 智能手表具有身体健康监控功能，作为可选消费品，与陪伴机器人有可比性；2) 陪伴机器人未来有望完成养老工作，替代养老院或者护工，作为一次性买断产品，产品价格具备优势。3) 智能手表在老年市场渗透率并不高，参考智能手表的市场渗透率是较为审慎的。因为中国老年人中有一定比例的文盲群体，以及部分老年人对于智能手机、手表等电子产品接受度不高，而陪伴机器人可以语音控制(且支持方言)，使用起来更加方便，所以我们认为参考智能手表，给予陪伴机器人在老年市场中渗透率中枢为5%的假设是合理的。
- √ **产品价格：**我们判断未来中国陪伴机器人(含桌面级、宠物级、表情陪伴机器人)的售价将会在0.5-6万元区间。表情陪伴机器人是陪伴机器人中的高端产品，产品价值量高，目前海外三大表情陪伴机器人东芝的宫原香苗机器人价格6500美元~12000美元，Engineered Arts 机器人价格13.3万美元，HANSON ROBOTICS 机器人价格为8500美元。随着产业链逐渐成熟，规模效应显现，产品均价有望持续下降至3000~60000美元。考虑到中国市场消费能力，我们认为以2万元/台作为价格的中性假设是合理的。

在均价2万元，老年市场渗透率5%的中性假设下老年场景的陪伴机器人潜在市场空间为4200亿元。

表1:敏感性分析：老年场景的陪伴机器人潜在市场空间约4200亿元

中国人口：14亿 65岁以上人口占比：30%	使用陪伴机器人的老年人比例				
	1%	3%	5%	7%	9%
6	2520	7560	12600	17640	22680
5	2100	6300	10500	14700	18900
4	1680	5040	8400	11760	15120
陪伴机器人产品价格(万元)					
3	1260	3780	6300	8820	11340
2	840	2520	4200	5880	7560
1	420	1260	2100	2940	3780
0.5	210	630	1050	1470	1890

数据来源：国泰君安证券研究

2.2. 陪伴机器人在中国青年人中的潜在需求约5000亿元

AI玩具市场高速发展，揭开青年情感需求市场面纱。从和博主谈恋爱的ChatGPT"DAN"模式，到网页月访问量超过2亿次的Character.AI，再到获得OpenAI投资的儿童陪伴应用Heeyo，大模型能力使人们通过手机屏幕得到情感交流和陪伴需求的满足。但上述尝试主要集中于软件层面，这些"AI伴侣"并不与人产生物理接触，而物理接触也是陪伴的重要基础，所以陪伴类AI硬件开始出现，比如AI玩偶、仿真AI宠物等，带来了AI玩具赛道高速发展，产品定位直击孤独的年轻人。

AI陪伴类硬件产品主要分两类：1) 将AI能力与毛绒玩具结合而成的AI玩具，如BubblePal、Moflin、Cupboo啼啼。当前AI玩具赛道火热，主要是AI玩具软硬件结合及玩具市场供应链成熟，产品批量化成本较低，商业化

速度快。软件层面：现有AI玩具企业多采用“接入底层通用大模型+自研垂直小模型”结构，通用大模型负责计算推理，自研小模型识别意图并转化结果。2) 仿生机器人形态，这一产品定位在商业化要求上更高，需要具备深厚的机器人技术积累，并且产线搭建成本更高。从下游需求端看，仿生机器人形态在沟通、认同感上更具优势，随着产品成熟，市场空间将进一步打开。

图10: 中国AI玩具市场高速发展



企业：跃然创新
产品：BubblePal
客群：儿童

一个外形像彩色泡泡的AI Friend, 可以挂在儿童的毛线玩具上, 通过捏住泡泡与背后的AI角色对话。孩子们可以选择不同的角色, 如爱因斯坦、艾莎公主或孙悟空等, 与他们互动。家长可以通过手机APP查看孩子的对话内容, 了解孩子的成长和心理健康。

企业：珞博智能
产品：Demo, 未命名
客群：Z世代女性

养成类陪伴机器人：搭载多模态大模型的养成类陪伴机器人, 能够根据与用户的互动逐渐形成自己的性格和语言风格。AI 搭子: 更轻便, 形态创新好玩, 主要作用是提供情绪价值, 类似于倾听者, 而不是提供实用工具价值。

企业：金科汤姆猫、西湖心辰
产品：汤姆猫AI童伴机器人
客群：儿童

汤姆猫AI机器人产品围绕汤姆猫家族IP角色形象打造, 能够识别儿童的情绪, 可以与儿童进行互动对话, 支持中英双语交流, 通过游戏和互动进行教育, 并且具备记忆功能, 能够记住与儿童的互动。

企业：乐天派
产品：Rux Robot
客群：青年

Rux 能够通过表情和动作回应用户, 它能够行走并探索桌面环境, 为工作空间带来动感和好奇心。Rux能够播放音乐、跳舞, 参与有意义的对话, 从互动中学习, 开提供个性化体验。

企业：卡西欧、Vanguard Industries
产品：MOFLIN(AI 宠物机器人)
客群：女性和儿童

缓解孤独, 且不需要食物和运动, 可以模拟温度和呼吸, 并且会随着养成逐渐成为独一无二的性格, 可以用其代替真实养宠。

数据来源：各公司官网，新浪财经，智见AGI，硅基研究室，国泰君安证券研究

我们测算，陪伴机器人在中国青年人群中的潜在市场需求约5000亿。

- ✓ **渗透率：**参考我国潮玩客群及35岁以下宠物饲养人群的数量，约为5000万人。根据世界人口网数据2023年中国15-35岁人口约3.6亿人口，青年人口在全国占比约25.9%，展望远景市场，我们假设青年人口比例为26%。
- ◇ 我们参考潮玩市场渗透率和宠物市场渗透率情况，假设陪伴机器人未来在中国青年市场中的渗透率中枢为7%，因为陪伴机器人、潮玩、宠物这三者之间都具备情感陪伴、可选消费的属性，在年轻人中具备较快传播速度。
- 个 具体来看：1) 根据Statista的数据显示，2020年中国潮玩客群约为3000万人，根据《中国潮玩与动漫产业发展报告(2024)》预计2030年中国潮玩客群数达4900万人，潮玩在青年人口中的市场渗透率约8%-13%。2) 2024年城镇犬猫消费市场规模3002亿元，预计2025~2027年市场规模将继续保持10%以上的增长。根据《2023~2024年中国宠物行业白皮书(消费报告)》，2023年我国城镇饲养宠物的人数超7510万，其中00后宠物主持持续攀升，占比为25.6%，90后宠主仍是养宠主力军，占比为41.2%，由此测算，2023年青年中宠物饲养人员约为5000万人。我们猜测，潮玩客群及宠物饲养人群可能在很大程度上重叠。
- ✓ **产品价格：**我们判断未来中国陪伴机器人(含桌面级、宠物级、表情陪伴机器人)的售价将会在0.5-6万元区间。表情陪伴机器人是陪伴机器人中的高端产品，产品价值量高，目前海外三大表情陪伴机器人东芝的宫原香苗机器人价格6500美元~12000美元，Engineered Arts机器人价格13.3万美元，HANSON ROBOTICS机器人价格为8500美元。随着产业链逐渐成熟，规模效应显现，产品均价有望持续下降至3000~60000美元。考虑到中国市场消费能力，我们认为以2万元/台作为价格的中性假设是合理的。

在均价2万元，青年市场渗透率7%的中性假设下青年场景的陪伴机器人潜在市场空间为5000亿元。

表2:敏感性分析：青年场景的陪伴机器人潜在市场空间约5000亿元

中国人口：14亿		使用陪伴机器人的青年人比例							
15-35岁以上人口占比：26%		1%	3%	5%	7%	9%	11%	13%	15%
陪伴机器人产品价格 (万元)	6	2184	6552	10920	15288	19656	24024	28392	32760
	5	1820	5460	9100	12740	16380	20020	23660	27300
	4	1456	4368	7280	10192	13104	16016	18928	21840
	3	1092	3276	5460	7644	9828	12012	14196	16380
	2	728	2184	3640	5096	6552	8008	9464	10920
	1	364	1092	1820	2548	3276	4004	4732	5460
	0.5	182	546	910	1274	1638	2002	2366	2730

数据来源：国泰君安证券研究

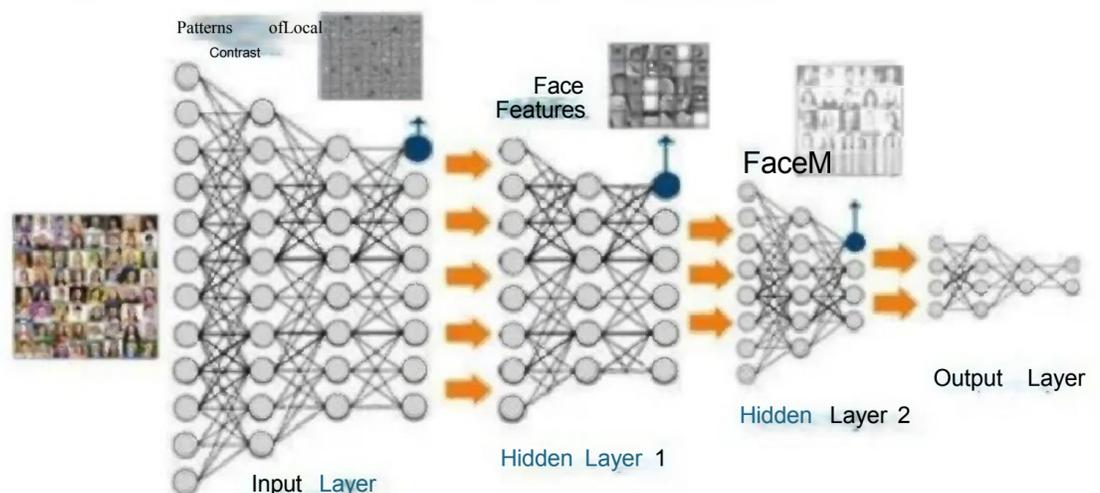
2.3. 医疗场景：自闭症儿童情绪监控潜在市场需求约39亿美元

表情陪伴机器人能够对自闭症儿童产生更好的治疗和情绪监控效果，同时解决专业治疗师短缺的问题。根据美国疾病控制与预防中心的估计，大约每59名儿童中就有1人患有ASD，他们需要接受早期的强化治疗。但受限于自闭症专业人员短缺、培训成本高、训练效率低等因素，许多儿童其实无法获得足够的早期治疗协助。自闭症患者的视觉、听觉和感觉与他人不同，这影响了他们与他人的互动方式。这使得以交流为中心的活动对自闭症谱系障碍(ASCs)的儿童来说相当具有挑战性。治疗师发现在教育治疗中很难让他们参与这些活动。为了应对这一挑战，治疗师最近开始在治疗过程中使用人形机器人，自闭症儿童对机器人互动的排斥感较小。

研究表明，训练有素的机器人在自闭症治疗中将扮演重要角色。根据techxplore 的研究报道，研究人员在日本和塞尔维亚的35名儿童身上进行了测试，让3到13岁的孩子们在35分钟的时间里与机器人互动。这些机器人通过改变眼睛的颜色、声音的音调和四肢的位置来表达不同的情绪——愤怒、恐惧、快乐和悲伤。当它与孩子互动时，机器人会捕捉他们的面部表情、动作和头部姿势的视频，以及他们说话的音调和声音的录音。每个孩子手腕上的监控器还向机器人提供了他们的体温、心率和皮肤出汗反应的数据。这些数据被用来提取孩子的各种行为线索，然后输入机器人的感知模块。利用深度学习模型，机器人根据提取出来的行为线索估计孩子的情感和参与程度。这些结果被用于在随后的治疗过程中调节儿童与机器人的互动。

全球不少机构投入机器人帮助自闭症治疗的研究。如英国赫特福德大学、麻省理工学院、软银机器人公司、LuxAI 机器人公司等。

图11:MIT将深度学习用于治疗机器人，使其更自然地感知孩子的行为



数据来源：MIT

全球自闭症儿童治疗费用为360亿美元/年。根据美国国家健康访谈调查(NHIS)的统计美国自闭症的患病率从2016年的2.29%增加至2020年的3.49%，呈现逐年增加的趋势。全球疾病负担研究(GBD)统计数据显示，全球5岁以下患自闭症儿童人数超过60万人，平均每个儿童每年花费6万美元，每年治疗费用约360亿美元。假设当前的陪伴机器人价格为6500美元(参考东芝的宫原香苗机器人价格6500美元~12000美元)，若每个自闭症儿童配备一个陪伴机器人，潜在市场需求为39亿美元。

表3:全球自闭症儿童陪护潜在陪伴机器人需求为39亿美元

全球5岁以下患自闭症儿童人数	60万
自闭症儿童年均花费	6万美元
自闭症儿童治疗费用规模	360亿美元
陪伴机器人价格	6500美元/个
陪伴机器人市场空间	39亿美元

数据来源: GBD, 国泰君安证券研究



3. 表情陪伴机器人三大技术壁垒

3.1. 情感计算：情感智能——为人类情感健康提供监测和管理

情感陪伴机器人的核心是人机交互，在智能人机交互的研究中，对情感的识别、分析、理解、表达的能力是重点研发方向。情感计算作为人机交互技术的重要内容之一，致力于通过计算机对人类的情感状态进行识别和分析。情感计算的核心在于利用机器学习和人工智能算法，从人类的语音、面部表情、生理特征等多个维度捕捉情感信息，并对其进行分析和判别。

表4:情感计算包括文本、语音、视觉三种形式
技术生态

	相关技术
文本情感计算	可以由3部分组成：文本信息采集、情感特征提取和情感信息分类。文本信息采集模块通过文本抓取工具(如网页爬虫工具)获得情感评论文本，并传递到下一个情感特征提取模块，然后对文本中自然语言文本转化成计算机能够识别和处理的形式，并通过情感信息分类模块得到计算结果。
语音情感计算	(1)20世纪80年代末至90年代初期，麻省理工学院多媒体实验室构造了一个“情感编辑器”对外界各种情感信号进行采集，综合使用人体的生理信号、面部表情信号、语音信号来初步识别各种情感，并让机器对各种情感做出适当的简单反应； (2)1999年，Moriyama提出语音和情感之间的线性关联模型，并据此在电子商务系统中建造出能够识别用户情感的图像采集系统语音界面，实现了语音情感在电子商务中的初步应用。
视觉情感计算	(1)面部表情识别：到目前为止，面部表情识别模型都是将情感视为离散的，即将面部表情分成为数不多的类别，例如“高兴”，“悲伤”，“愤怒”等。1971年，Ekman和Friesen研究了6种基本表情(高兴、悲伤、惊讶、恐惧、愤怒和厌恶)，并系统地建立了上千幅不同的人脸表情图像库。 (2)手势识别：一个完整的手势识别系统包括三个部分和三个过程，三个部分分别是采集部分、分类部分和识别部分；三个过程分别是分割过程、跟踪过程和识别过程。

数据来源：国泰君安证券研究

头部研发机构皆聚焦于情感智能模型的研发。目前全球顶尖的互联网企业与头部科研院所皆有在情感智能大模型进行研发突破，例如META、谷歌、Hume AI,国内的上海交通大学等科研机构。主要研发项目在语音、表情、聊天的识别于反馈上，随着后续技术成熟，搭载了先进模型算法的表情陪伴机器人将可以实现更精准的交流与深层次的情感沟通，进而给用户提供更情绪价值。

表5:头部研发机构皆聚焦于情感智能模型的研发

情感智能模型	研发团队	产品特点
SpiritLM模型	Meta	多模态语音大模型。具备自动语音识别、文本转语音和声音分类三大功能，通过记录声音的音高和音调信息，能够捕捉细微的情绪变化，进而输出极具表现力的、带有语气和情感的真人声，可应用于虚拟助理、情感陪伴和AI智能客服等领域。
PaliGemma2模型	谷歌	人工智能模型。不仅具备图像分析能力，还能够识别情感并生成与图像相关的详细描述，通过分析图像中的人物面部表情、姿态等视觉线索判断情感状态。
移情大语言模型(eLLM)	Hume AI	聊天机器人EVI的底层模型。结合大型语言模型和表达测量体系，能够识别53种不同情绪，通过捕捉说话者语气细节推理情绪并做出回应，可应用于情感交流、心理治疗、客户服务、教育教学等垂直领域
讯飞星火	科大讯飞	自2023年5月正式发布讯飞星火大模型以来，持续迭代。2024年1月，发布讯飞星火V3.5版本，推出超拟人合成语音功能，4月再升级，新推出的多情感超拟人合成功能，使得合成声音的情绪感知度达到了85%以上，能够表达出高兴、抱歉、安慰、撒娇、困惑等多种情感语气。
星野Talkie	MiniMax	主要大模型为“ABAB6.5系列模型”，主要产品为AI伴侣产品。核心模型：其AI伴侣产品星野和Talkie等基于全球领先的多模态AIGC技术，能为用户提供情绪价值。
心辰Lingo	超级崽崽	由AI驱动的情感陪伴平台，拥有全栈自研的多模态AI大模型、智能芯片以及App,致力于为中国玩具和中国IP提供软硬一体的次世代娱乐陪伴能力。其垂直AI大模型融合了文本、语音、视觉等多种能力，具备声音、性格形象的一键克隆与生成能力，可实现教育、娱乐、恋爱、疗愈等多场景的陪伴。
心元大模型	西湖心辰	孵化于西湖大学，成立于2021年，聚焦在模型的拟人性、长程对话能力的研发，并将研究成果用于AI+心理的场景落地。研发了多模态情感大模型、西湖大模型以及“心辰Lingo”端到端语音大模型等，在处理对话时能直接理解语音，捕捉语气、节奏和情绪，并进行语音回复。
心元大模型	心言集团	成立于2011年，秉承“以科技服务心灵”的愿景，专注于AI情感陪伴和泛心理产品和服务。心元大模型是情感疏导与陪伴领域唯一通过国家备案的大模型，具有高度的共情能力和自然对话体验，能精准感知和识别用户情绪。
GLM-4-Voice	智谱AI	在2024年CNCC大会上推出，能够直接理解和生成中英文语音，进行实时语音对话，在情绪感知、情感共鸣、情绪表达、多语言、多方言等方面实现突破，且延时更低，可随时打断。发布即开源，并上线清言app,让清言成为国内首个具有端到端高级语音(超拟人语音)能力的大模型产品。

emotion2vec 模型	上海交通大学、语音情感表征模型。利用自监督学习方法在大量无标记的公开情感数据上预训练，学习到高度通用的语音情感特征，在多种情感任务上超越现有技术，还基于此开发了语音情感识别基座模型。 阿里巴巴、复旦大学、香港中文大学
-------------------	---

数据来源：CSDN,Meta官网，谷歌官网，Hume官网，科大讯飞官网，国泰君安证券研究

3.2. 感知：仿生皮肤——实现情感沟通的核心外显设备

与所有的机器人一样，仿生陪伴机器人的感知系统也包括：摄像头模组，触觉传感器、温度传感器、电子皮肤等。我们在之前的人形机器人系列深度报告已经介绍过视觉、力觉、触觉传感器(电子皮肤)，本文我们本节重点介绍仿生皮肤。为了让机器人更像人，表情仿生人形机器人会在机器人上覆盖一层仿生皮肤模仿人类的皮肤，与传感器、机械结构融合，实现柔性表面、机器人微表情呈现。

表6：仿生陪伴机器人采用视觉、听觉、触觉三大感知方式

视觉感知	通过高精度的摄像头实时获取周围环境的图像信息，并进行图像识别和目标跟踪。
听觉感知	利用麦克风和声音识别技术实时捕捉声音信号，转化为数字信号进行处理。
触觉感知	在手臂、脚部等关节配备触觉传感器，感知外界物体的触摸和力度。

数据来源：国泰君安证券研究

主流表情人形机器人厂商的仿生皮肤技术路线：

- 1)Hanson Robotics: 采用弹性橡胶。Hanson Robotics的“Frubber”纳米技术专利皮肤技术是较为成熟的技术路线，也是公司产品在社交互动和表情展示上能够达到高度仿真的关键技术之一。“Frubber”，简称肉骨胶，具有肉质般的弹性质地，通过模仿真实的人类肌肉组织和皮肤，表现出高质量的表情和交互性，模拟出类似人类的面部特征和表情。这种材料在受到挤压后能产生皱纹，甚至在毛孔大小上也与人类几乎没差别，是公司产品比其他机器人更像人的原因之一。
- 2)Engineered Arts: 采用硅胶皮肤模仿人类皮肤触感。
- 3)EX-ROBOT: 采用医用级高分子皮肤。具有高韧性和高柔软度等特质，同时具备与常人相似的温度。

表7：三大表情陪伴机器人公司仿生皮肤技术路线对比

主流表情陪伴机器人公司	仿生皮肤技术	仿生皮肤技术原理
Hanson Robotics	“Frubber”专利技术	是一种弹性橡胶或弹性体，模仿人类皮肤的触感和灵活性。
Engineered Arts	硅胶皮肤	使用硅胶皮肤模仿人类皮肤触感，通过3D内部扫描真人，准确地模仿人体骨骼结构、皮肤纹理和表情。在立体光刻3D打印机上生产精确模具，并将硅胶注入模具中，为机器人打造类人皮肤，头发和精细的细节涂料则需要手工添加到硅胶皮肤上。其明星机器人产品Ameca皮肤呈灰色，是团队的刻意设计，表达理性、中立、包容。
EX-ROBOT	医用级高分子皮肤	具有高韧性和高柔软度等特质，同时具备与常人相似的温度、增加交互的真实感。

数据来源：Hanson Robotics、Engineered Arts、EX-ROBOT等公司官网，国泰君安证券研究

仿生皮肤与柔性传感器融合，实现柔性表面、机器人微表情呈现。柔性传感器能够在可弯曲、拉伸甚至扭曲的状态下准确感知外界物理量的变，从智能穿戴设备到医疗健康监测，从人机交互到脑机接口等众多领域都有应用价值。柔性传感器的材料主要包括柔性基底材料和敏感材料，常用的柔性基底材料有聚二甲基硅氧烷(PDMS)、聚乙烯醇(PVA)、聚酰亚胺(PI)等。敏感材料包括碳材料(如碳纳米管、石墨烯)、金属纳米线(如银纳米线、铜纳米线)、导电聚合物(如聚苯胺、聚吡咯)以及压电材料(如PVDF及其共聚物)等，根据不同的传感需求选择合适的敏感材料与基底材料进行组合。制备工艺包括：1)溶液浇铸法：将溶解有敏感材料和基底材料前体的

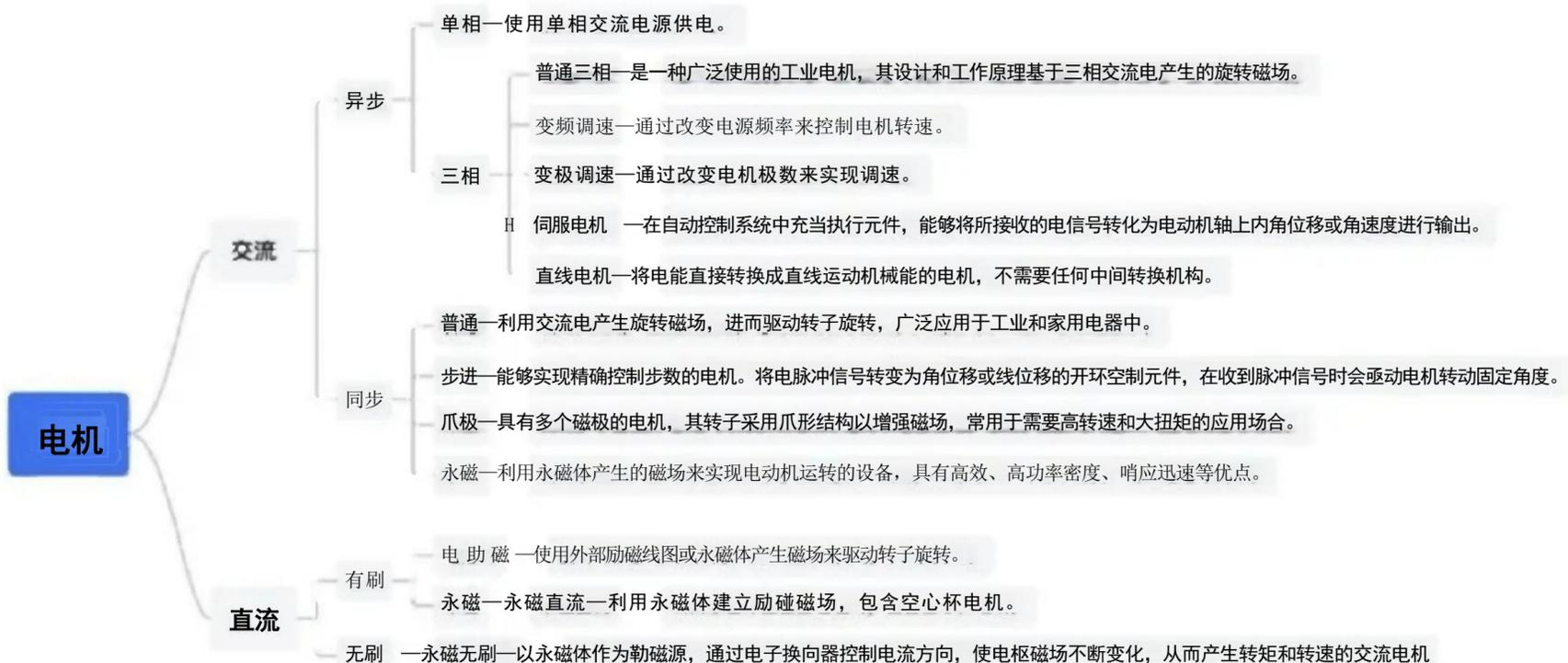
图14:表情陪伴机器人头部结构复杂



数据来源: Engineered Arts公司官网, 国泰君安证券研究

微电机/微特电机一般指直径小于160mm, 工作电压1-24V 或额定功率小于750W 的电机。常用于控制系统或传动机械负载中, 用于实现机电信号或能量的检测、解析运算、放大、执行或转换等功能。微电机的工作原理主要基于电磁感应原理、电磁力原理和电动机的结构原理展开。微电机通电时, 电流在线圈中产生磁场, 磁铁和线圈之间的相互作用产生电磁力, 驱动微电机的转动。微电机品类众多, 人形机器人中灵巧手上的空心杯电机、关节中需要的无框力矩电机若做成小尺寸电机, 皆可称之为微特电机。此外, 表情陪伴机器人面部微表情控制需要额外配备小尺寸舵机。

图15:传统电机小尺寸化后皆可称之为微特电机



数据来源: 国泰君安证券研究

微特电机的技术壁垒体现在制造工艺、材料技术、控制技术和应用经验上:

(1) 制造工艺水平: 微特电机生产涉及到精密加工、绕线、装配等多道工序, 对工艺精度和一致性要求高。如电机的定转子冲片制造, 需高精度模具和先进冲压设备, 保证冲片尺寸精度和表面质量, 否则会影响电机性能。此外, 在绕线工艺上, 要确保绕组的匝数、线径、电阻等参数符合设计要求, 且在批量生产中保持高度一致性。

(2) 材料技术：高性能的材料是微特电机的基础，如高性能的永磁材料、电磁线、绝缘材料等。永磁材料的性能直接影响电机的功率密度和效率，而电磁线的导电性、绝缘材料的绝缘性能和耐热性等，也对电机的性能和可靠性至关重要。开发和应用新材料需要深厚的材料科学基础和研发实力。

(3) 控制技术：现代微特电机常需与复杂的控制系统配合使用，实现精确的速度、位置和力矩控制。这要求企业掌握先进的电机控制理论和技术，如矢量控制、直接转矩控制等，并具备开发高性能电机控制器的能力，同时要解决电机与控制器之间的兼容性和协同工作问题。

(4) 测试技术：为保证产品质量和性能，微特电机需经过严格测试。企业需配备高精度、多功能的测试设备和专业测试人员，建立完善的测试体系，对电机各项性能指标进行准确测量和评估，如转矩、转速、效率、振动、噪声等，还需具备对测试数据的分析和处理能力，以优化产品设计和制造工艺。

(5) 行业应用经验：以微电机海外龙头瑞士 Maxon 公司为例，其产品应用于美国国家航空航天局火星探测车的驱动力，及医疗、机器人、精密工业设备等多个领域，有效为产品销售建立官方背书。

表 8：国内外微特电机在技术发展商存在差异

微型无刷空心杯电机					
公司	电机直径 (mm)	转速 (rpm)	输出功率 (W)	转矩 (mN · m)	
瑞士 MAXON	4-65	4370-17600	0.3-250	0.194-839	
德国 FAUL HABER	3-44	10000-100000	0.065-282	0.0018-217	
美国 Portescap	10-24	780-11049	0.7-19	0.9-13.29	
美国 Allied Motion	12-66	1800-65300	3-140	8.5-100	
日本 Citizen Micro	10-21	3070-14100	0.26-15.5		
日本 Orbrat	4-22	8100-30800	0.04-15.4	0.01-5.5	
中国鸣志电器	8-24	86-16000	0.3-9.5	1.24-583	
中国兆威机电	6-12	20970-46800		1.73-3.87	
中国鼎智科技	16-42	9000-58000	33-120	7.4-180	
中国拓邦股份	16-40	1600-58000	0.26-568	0.3-1208	

微型舵机				
产品	尺寸 (mm)	扭矩	速度 (sec/60)	重量 (g)
Futaba CT702	40.5*21.0*26.2	23-30	0.07-0.08	53
睿思凯 S5455H	40*20*39	34.2-41	0.16-0.19	72

微型伺服电机					
产品	电机直径 (mm)	编码器分辨率 (bit)	最大转矩 (%)	最高转速 (r/min)	频率响应速度 (kHz)
松下 MINAS-A6 系列	38-150	23	350	6500	3.2
三菱 MR-J5 系列	40-176	26	350	6700	3.5
安川 Σ-7 系列	107-264	26	350	7000	3.5
西门子 S210	40-200	20	350	6000	3
汇川技术 SV680 系列	60-150	26	350	7000	3.5
台达 ASDA-A3 系列	40-80	24	350	6000	3.1
禾川科技 SV-X6 系列	40-130	23		6500	

数据来源：MAXON、松下、三菱、西门子、汇川技术等各公司官网，国泰君安证券研究

表情陪伴机器人面部表情的驱动方案有3种方案：1)舵机驱动方案；2)微型步进电机驱动方案；3)微型无刷直流电机驱动方案。根据三种方案的优缺点，考虑到控制精度与成本，以及技术难度几个方面：舵机依靠控制精度较高，价格相对较便宜，虽然扭矩较小但足以在面部表情控制中使用，我们认为舵机或为主要的面部表情驱动方案。

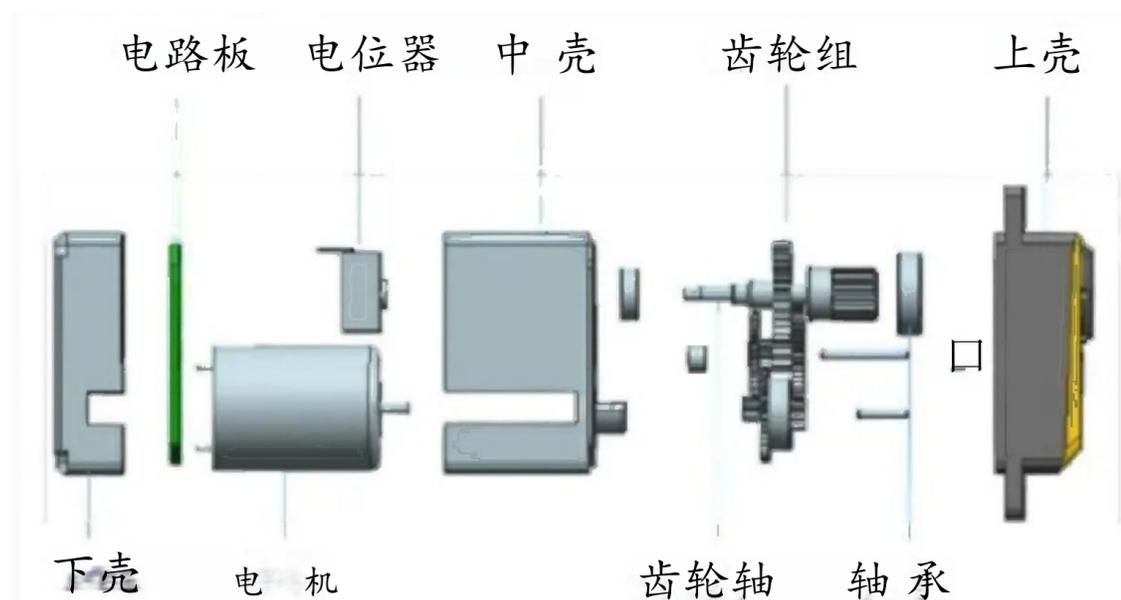
表 9：3 种面部表情驱动方案各有优劣

特性	舵机驱动方案	微型步进电机驱动方案	微型无刷直流电机驱动方案
工作原理	通过控制信号，精确控制轴的角度位置。	将电脉冲信号转换为角位移或线位移的执行元件。每接收到一个脉冲信号，电机就会按照固定的步距角转动。	利用电子换相技术，使电机在运行过程中没有电刷的磨损，运行效率高。
优点	1) 控制精度较高； 2) 价格相对较便宜，容易获取和使用。	1) 定位精度高，运行平稳； 2) 具有较强的扭矩输出能力。	效率高、寿命长、噪音低，
缺点	1) 扭矩相对较小； 2) 多个舵机同时工作时，可能发生响应速度不一致。	1) 控制较为复杂； 2) 需要专门驱动电路，成本较高。	1) 需要配套电子换相电路，成本较高； 2) 控制精度不如舵机和微型步进电机。

数据来源：国泰君安证券研究

舵机在具备伺服功能的同时，在精确控制上具备优势。舵机是一种位置(角度)伺服的驱动器，适用于需要角度不断变化并可以保持的控制系统，由下壳、控制电路、电机、中壳、齿轮组、轴承以及上壳组成。其工作原理为：接收机向舵机发送信号，电路板上的IC 对该信号进行判断以确定转动方向，随后驱动无核心马达开始运转。动力通过减速齿轮传递至摆臂，与此同时，位置检测器回传信号，用于判断舵机是否已到达指定位置。位置检测器实质上为可变电阻，当舵机转动时，电阻值相应发生变化。通过检测电阻值的变化，便可得知舵机转动的角度。舵机能够根据控制信号精确地转动到指定角度，常用于对位置精度要求较高的场合。例如，在遥控模型飞机中，舵机可以精确控制机翼、尾翼的角度，实现飞机的平稳飞行。

图 16：舵机结构精巧



数据来源：德晟智能公司官网，国泰君安证券研究

当前舵机具备三种主流技术路线，其中电动舵机性能较好。舵机技术路线包括液压、气动、电动三类，其中电动舵机性能较好。

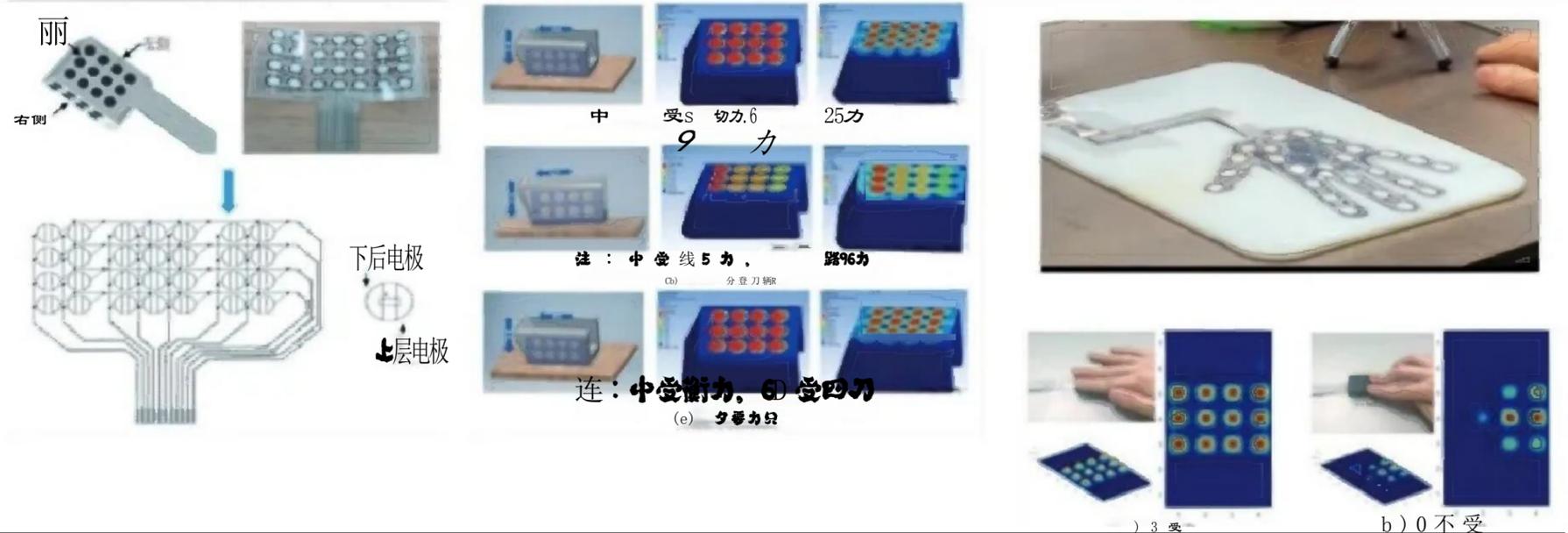
表10: 舵机有三种主流技术路线

特性	液压舵机	气动舵机	电动舵机
承载能力	大	较大	大
快速性	快	较快	快
刚度	好	差	较好
重量	重	较重	轻
体积	大	小	小
工作时间	短	短	长
可靠性	低	较高	高

数据来源：德晟智能公司官网，国泰君安证券研究

溶液均匀浇铸在模具或基底上，通过加热、固化等处理步骤形成柔性传感器薄膜。例如，将含有石墨烯和PDMS 前体的溶液浇铸在玻璃基底上，经固化后可得到石墨烯/PDMS 柔性传感器。2) 3D 打印技术：利用3D 打印的高精度成型能力，可以直接打印出具有复杂结构的柔性传感器。如采用导电油墨作为打印材料，在柔性基底上打印出特定的电极图案和敏感结构，能够实现个性化定制的柔性传感器制备。3) 自组装技术：借助分子间的相互作用力，如氢键、静电作用等，使敏感材料在基底上自组装形成有序的结构。例如，利用DNA 分子与金属纳米粒子之间的相互作用，将金属纳米粒子自组装在柔性基底上，形成具有特殊性能的柔性传感器。

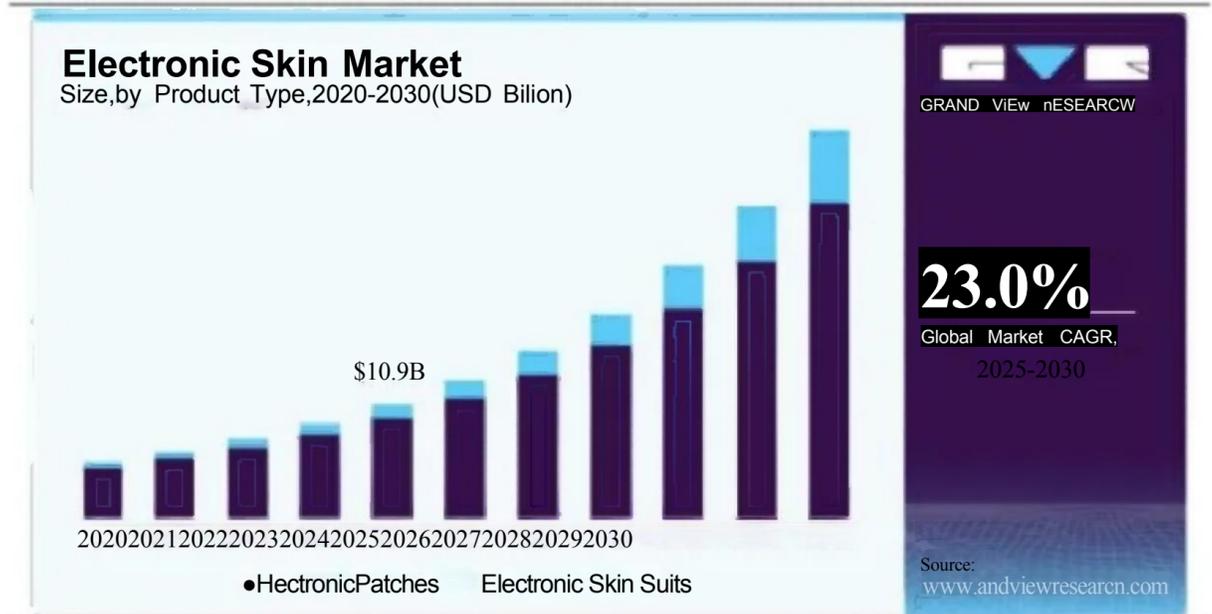
图12: 柔性触觉传感器为机器人面部表情提供更多细节



数据来源: GrandView Reserch

根据Grand View Reserch统计，2024年全球电子皮肤市场规模为10.9亿美元，预计2025年全球市场规模为13.2亿美元，预计2025-2030年全球电子皮肤市场CAGR为23.0%。

图13: 预计2025-2030年全球电子皮肤市场CAGR为23.0%



数据来源: GrandView Reserch

3.3. 控制：微特电机——面部表情控制的硬件基础

对于机器人来说，面部表情控制需要用微特电机驱动柔性面部，结合人工智能算法模拟真人的面部表情。表情陪伴机器人的亮点在于其高度仿真的面部表情和触感，通过部署30个电机驱动器，实现了机器人面部肌肉的协同工作，让机器人能够呈现出真实自然的表情。表情陪伴机器人需要使用多种电机驱动，本文着眼于微特电机，其余的电机应用及产业深度内容详见我们的另一报告《机器人产业深度(六): 机器人的关节——高效电机》。

表情陪伴机器人带来的中国舵机市场空间约690亿元，2023年中国舵机市场规模105亿元。核心假设：

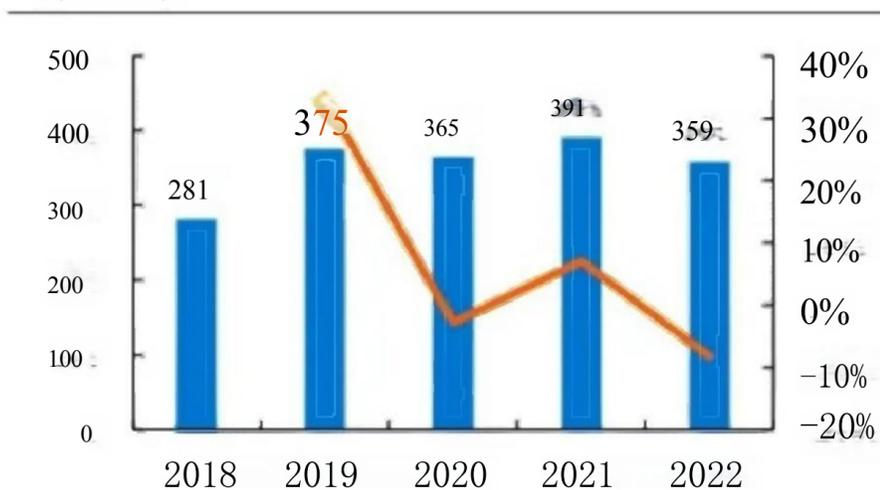
- 1) 表情陪伴机器人市场：根据2.1和2.2节的市场空间测算，我们取老年市场与青年市场需求测算中的中性假设，即老年市场渗透率为5%，青年市场渗透率为7%，在老年人口占比30%，青年人口占比26%的远景假设下，表情陪伴机器人的国内销量约4600万台。
- 2) 微特电机用量：表情模拟机器人公司HANSON ROBOTICS的明星机器人产品Sophia，面部与脖子上有62个控制部件，国内EX-robot有25组左右执行器；
- 3) 价格：舵机生产门槛较高，日本单个舵机售价500到1000元人民币，国内企业优必选通过自主研发，耗时五年、耗资半亿，将舵机价格压缩至20元，单价远低于海外厂商。我们假设舵机单价为20-40元。

表11:表情陪伴机器人带来的舵机市场空间约690亿元

表情陪伴机器人：4600万台		单个表情陪伴机器人的面部舵机的需求量				
		30	40	50	60	70
舵机单价(元)	20	276	368	460	552	644
	25	345	460	575	690	805
	30	414	552	690	828	966
	35	483	644	805	966	1127
	40	552	736	920	1104	1288

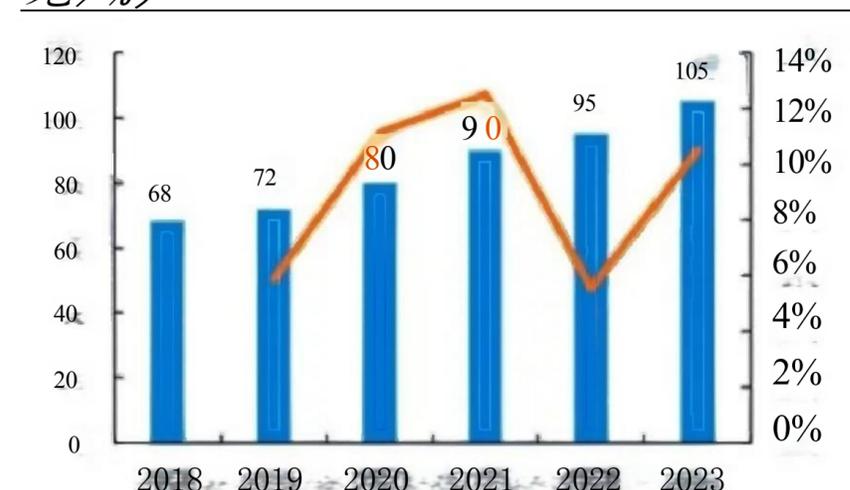
数据来源：国泰君安证券研究

图17:2022年全球微特电机市场规模达359亿美元(亿美元/%)



数据来源：Market.US.Allied Market Research, 国泰君安证券研究

图18:2023年中国舵机市场规模达105亿美元(亿美元/%)



数据来源：产业研究报告网, 国泰君安证券研究

微特电机市场已形成较为稳定的竞争格局，集中度较高，以日本和德国的知名企业为主导，如日本电产、电装、三叶、美蓓亚，德国施乐百、依必安派特等。在舵机领域，国内舵机厂商包括兆威机电、伟创电器、睿思凯、超力电机、澄星股份、优必选、大疆等，海外舵机企业龙头包括TowerPro、Futaba、Hitec、JRPropo、Sanwa等。优必选也多次强调其人形机器人产品核心技术在于伺服舵机和相关算法，未来伺服舵机技术上的积累也能够帮助优必选机器人视觉有效在多种应用场景落地。

表12: 国内外多家知名企业涉足微特电机市场

企业名称	所属国家	主营业务
日本电产	日本	主要研发、生产和销售精密小型马达、车载及家电/商用/工业用马达电机、机器装置、电子/光学零部件以及其他相关产品。
德国施乐百	德国	主要产品包括电动机、发动机、轮毂电机、电梯马达、轴流风机、离心风机、控制技术、工艺空气风机、通风驱动控制器等。
Towerpro	中国香港	专注于遥控(R/C)电动配件领域的制造商，自2000年以来生产一系列R/C产品，包括舵机、电子调速器、电机及其配件。
JRPropo	日本	主要提供无线遥控传输设备、各类伺服机、遥控直升机等系列产品。
Hitec	韩国	专注于模型及模型配件产品的研发和生产，包括航模用舵机、遥控器及相关航模零配件。
兆威机电	中国	主业涉及微型传动系统、精密注塑件和电机驱动控制模块的研发、生产与销售。
伟创电器	中国	产品种类丰富，包括变频器、伺服系统以及控制系统等，研制了空心杯电机、无框电机、光伏储能逆变器、手术动力系统等产品。
睿思凯	中国	专注于无线通信系统和智能控制系统领域内的电子产品及嵌入式系统软件研发、生产和销售。公司主营业务包括遥控器、接收机、传感器、模块配件及其相关嵌入式系统软件的研发、生产和销售。
优必选	中国	专注于人工智能和人形机器人研发、制造和销售，公司具备人形机器人全栈式技术能力的公司，包括机器人运动规划和控制技术、伺服驱动器、计算机视觉和语音交互等。
大疆	中国	主要产品包括消费级无人机和影像系统，同时在上游精密零部件也有布局。
超力电机	中国	拥有空芯杯电机、有刷铁芯电机、无刷电机、扁平振动电机、减速电机、微型发电机等138个型号的产品

数据来源：表格内各公司官网，国泰君安证券研究



4. 表情陪伴机器人主机厂梳理：国内外处于同一起跑线上

海外表情陪伴机器人厂商主要包括Engineered Arts、HANSON ROBOTICS、Promobot 等，国内厂商包括大连蒂艾斯、卓益得、数字华夏等。各家公司表情陪伴机器人产品各有优势，当前主要研究方向集中于面部表情及情绪感知等。

表 13：表情陪伴机器人产品各有优势

年份	国家/地区	主要产品	发展现状	产品优势
Engineered Arts	英国	Ameca	全球已安装100多台机器人，尚不能行走	机器人操作系统Tritium、真人表情系统Mesmer
HANSON ROBOTICS	中国香港	Sophia等	已设计9款以上机器人角色，主要产品Sophia已诞生24个版本	产品丰富，纳米技术专利材料Frubber
Promobot	俄罗斯	Android robot-c	计划两年内年产能从250台增加到1000台，投入40余国家使用	可以按照任何人的外貌定制产品
大连蒂艾斯	中国大陆	EX-ROBOT	部分产品已经标准化量产	腰部以上功能乃至情绪感知和表达
卓益得	中国大陆	Ulaa等	最近完成1亿元人民币的A轮融资	高仿真表情模拟技术
数字华夏	中国大陆	夏澜	2024年7月完成天使轮融资，投资方为智元机器人	搭载先进AI系统，赋予丰富的情感表达能力，能呈现上百种面部表情

数据来源：表格内各公司官网，国泰君安证券研究

4.1.Engineered Arts: 英国头部表情控制机器人企业

英国机器人公司Engineered Arts是领先的人形娱乐机器人制造商，代表产品为Ameca 机器人，通过装备更精细、更智能的身体(Artificial Body, AB) 实现逼真表情。

图19：Engineered Arts追求更逼真的表情

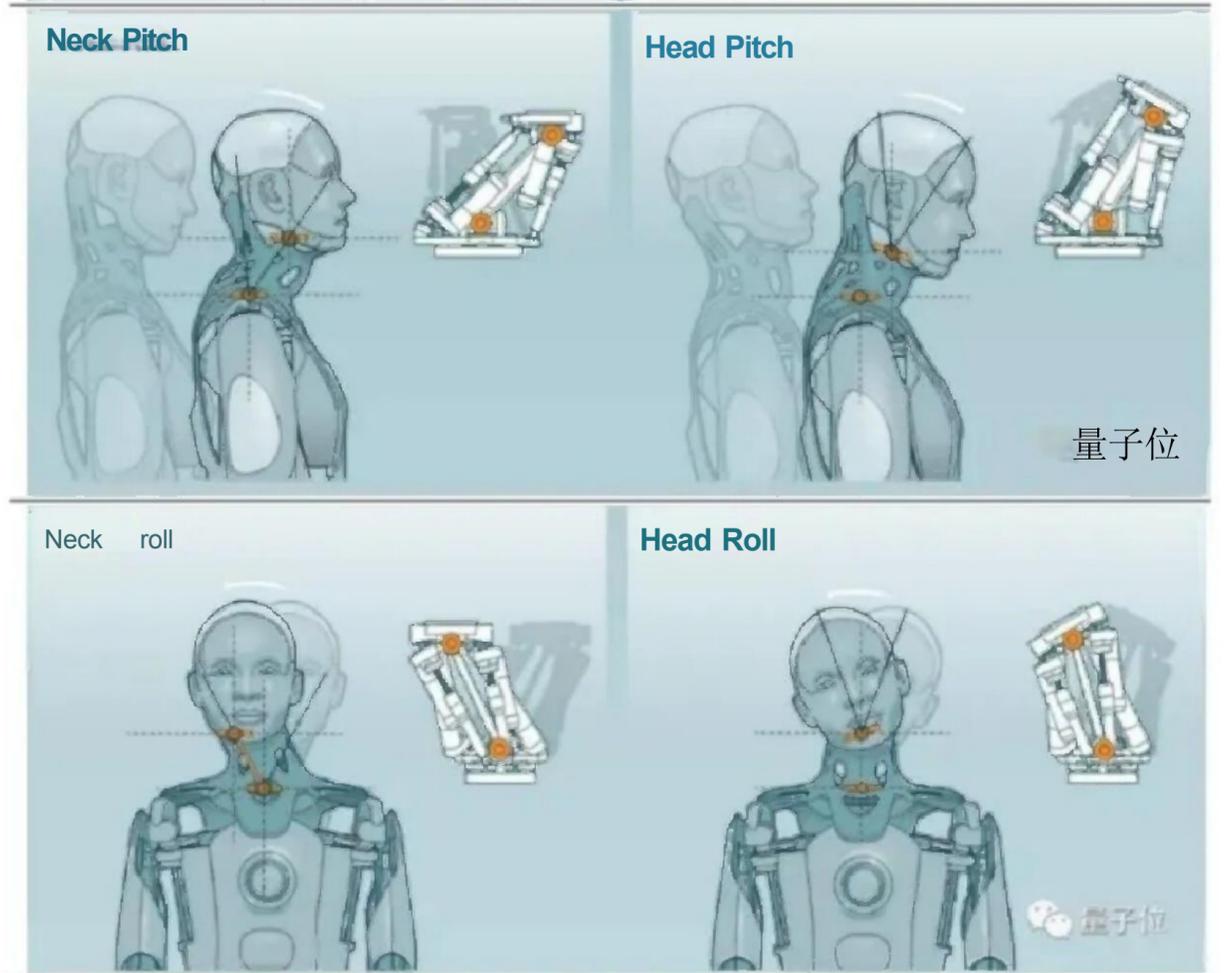


数据来源：Engineered Arts官网，国泰君安证券研究



Tritium系统(机器人操作系统):Tritium系统是实现表情管理的基础，它连接了软件，硬件的和云端，可以驱动硬件的每一个组成部分。由于真实人类在流露表情的时候并不是只有面部发生变化，还会牵动头颈、肢体、肌肉等多个部分，因此硬件组成部分越灵活越接近人体骨骼，机器人的表情也就越逼真。除此之外，Tritium 系统有很强的兼容性，可以识别多种编程语言，适应多种软件，以便进行远程操作，实现平台化。真人表情数据，只有真实表情”看“多了，才可以”模仿“得惟妙惟肖。

图20:Tritium 系统是实现表情管理的基础

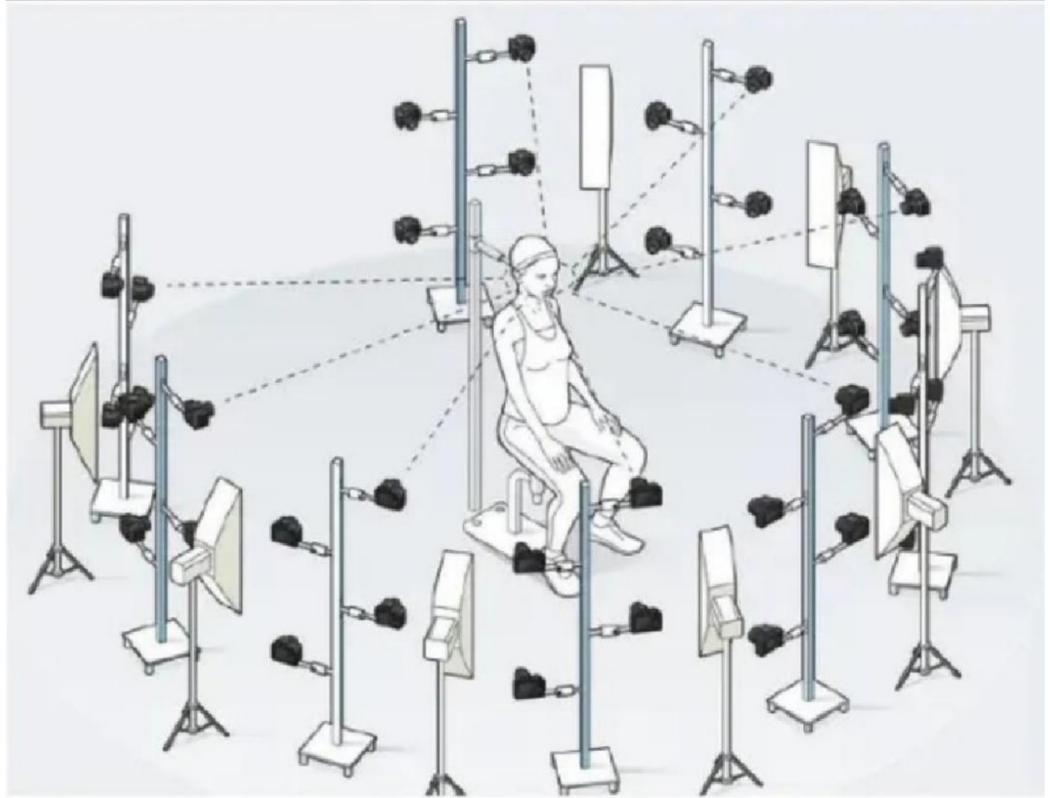


数据来源: Engineered Arts官网

Mesmer技术:为Ameca 提供大量的真人表情数据，只有真实表情”看“多了，才可以”模仿“得惟妙惟肖。如果说Tritium 系统是Ameca 的神经驱动，那Mesmer 就是注入灵魂了。具体而言，在摄影测量环节中，会有36个摄像机无死角地采集真人的信息，包括骨骼结构，皮肤纹理和表情等。摄影测量通过从不同角度拍摄多张重叠的照片，比较像素颜色和锚点，为3D建模提供数据支持。测量完成后，有了真人数据，就可以在建模软件中去掉头发，建立3D模型。



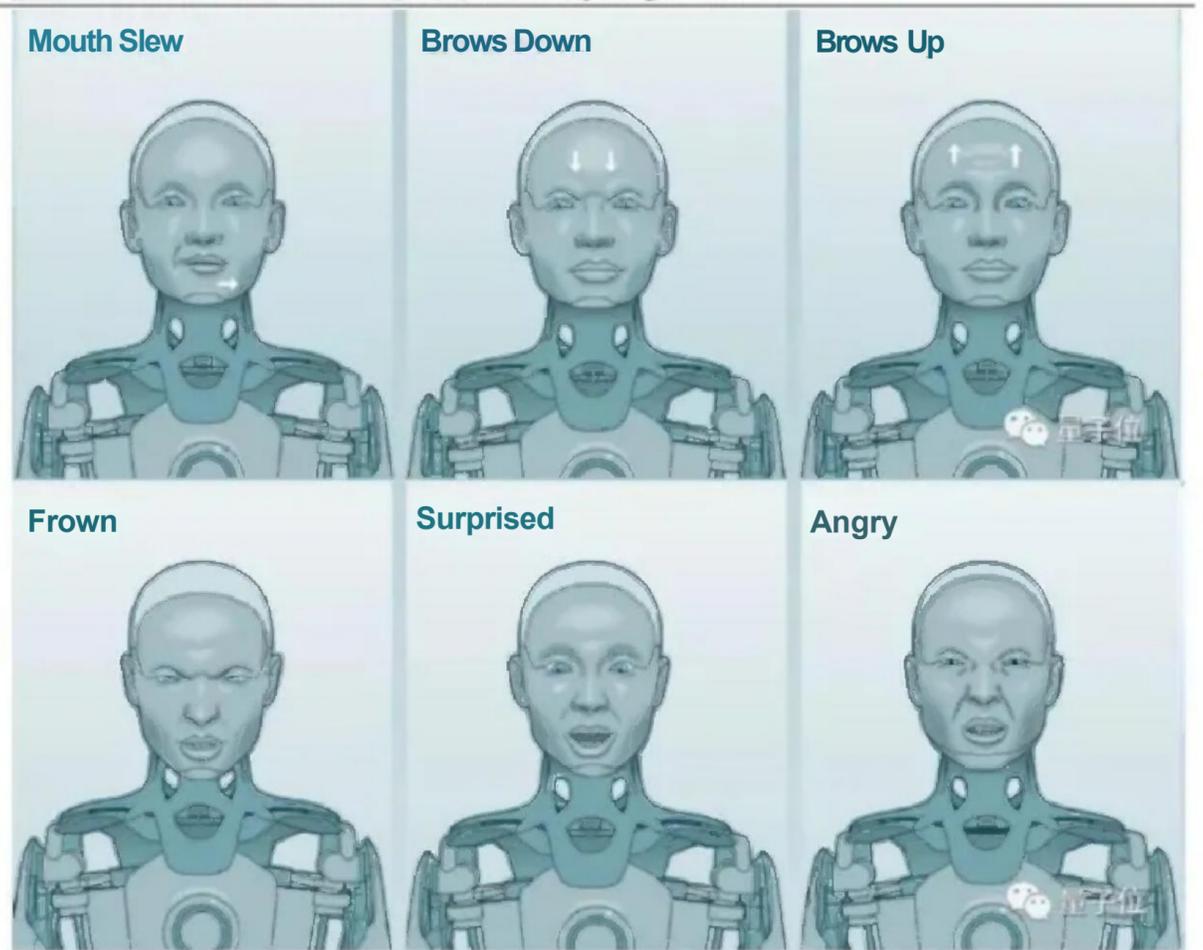
图 21：Mesmer 技术通过 36 个摄影机无死角采集真人信息



数据来源：Engineered Arts 官网

有了这几方面的共同作用，无论是比较简单的基础表情，还是复杂度较高的喜怒哀乐，Ameca 都可以呈现出来。Ameca 能呈现出比较基础的表情，例如：微笑，张嘴，挑眉，眨眼等，也能呈现出比较复杂的表情，例如：皱眉，惊讶，生气等。

图 22：A meca 可以呈现出复杂度较高的喜怒哀乐



数据来源：Engineered Arts 官网

4.2. EX-ROBOT： 国内表情陪伴机器人新秀

大连蒂艾斯科技发展股份有限公司于2013年7月成立，以仿真人偶企业，切入表情陪伴机器人的研发、生产、销售及服务，拥有业内知名品牌 EX-robot。

图23: EX-ROBOT 产品落地多种场景

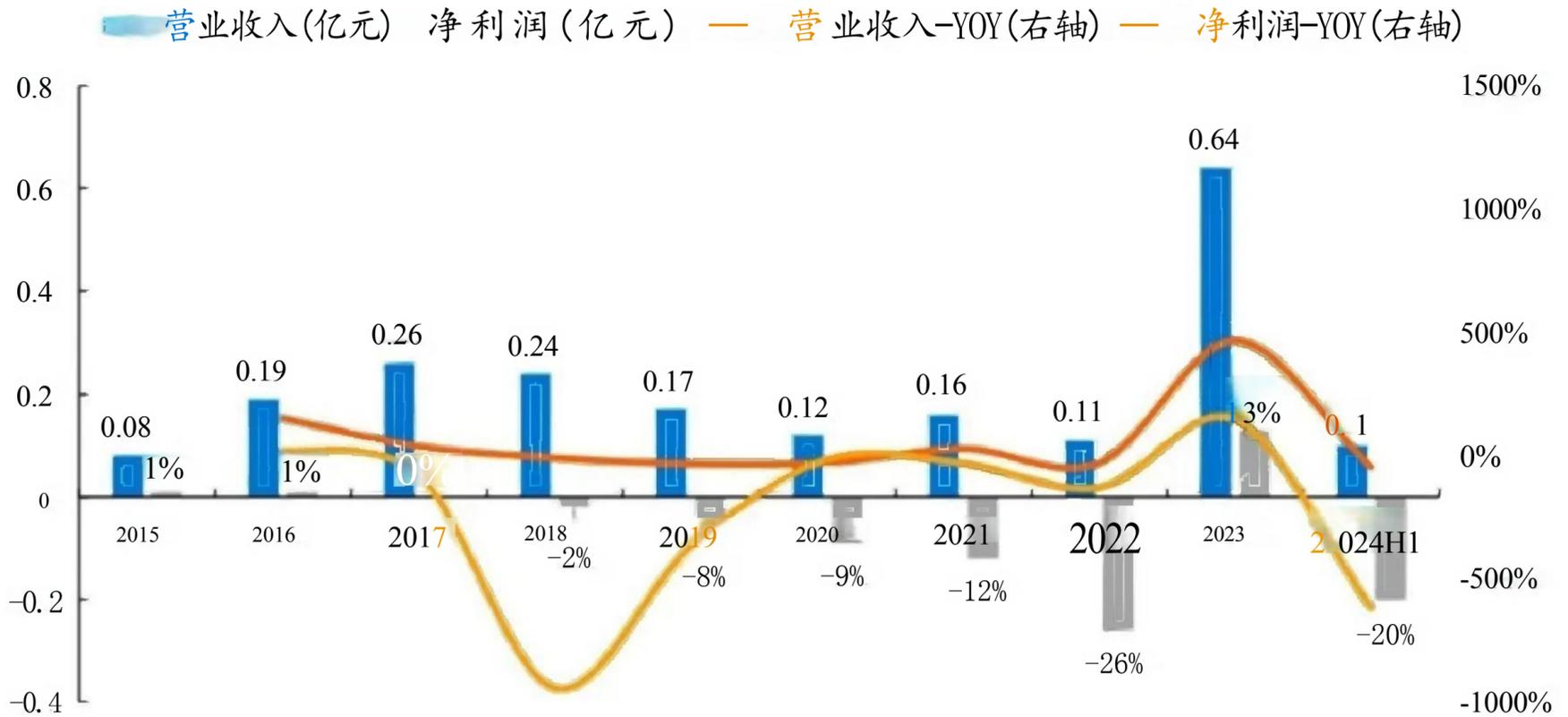


数据来源：EX-ROBOT官网，国泰君安证券研究

公司主营业务包括人形机器人、仿生克隆人、人形机器人科技馆门票及相关业务等。2024年5月，公司特定型号的机器人实现量产，生产周期为1-2周，根据功能定制需求的不同、价格大约30-50万元。目前采取由需求拉动的订单式生产方式，强调生产效率。

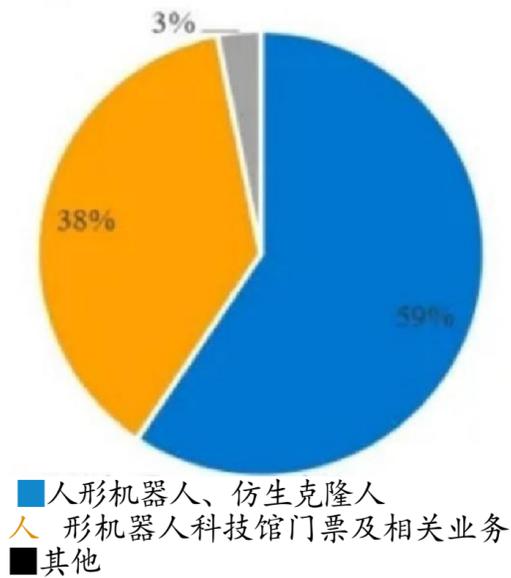


图24：2023年大连蒂艾斯营收与净利润受新增人形机器人销售而实现高增



数据来源：Wind, 国泰君安证券研究

图25：2023年 EX-ROBOT 主营业务收入源自人形机器人相关产品



数据来源：Wind, 国泰君安证券研究

图26：2018-2024H1, EX-ROBOT 研发高投入持续提升



数据来源：Wind, 国泰君安证券研究

面部表情控制，仿生皮肤技术与微特电机控制是EXROBOT 机的核心能力：

表14：EX-ROBOT深入研发设计面部表情控制

硬件设计	设计特点
仿真皮肤	✓ 3D扫描和3D打印：通过真人模特3D扫描生成数据，利用3D打印技术制造出高度还原真人面部特征和细节的皮肤。
	✓ 医用级高分子材料：皮肤采用医用级高分子材料制作，具有高韧性和高柔软度。
微特电机	✓ 高性能设计：自研高性能舵机和无刷电机，具备更高能效、更低噪音和更长使用寿命。
	✓ 响应速度：自研舵机在响应速度上实现毫秒级突破。
	✓ 智能控制：通过智能控制系统，实时监测微特电机运行状态，保持精准定位和稳定性能。
辅助设计	✓ 精密减速齿轮：EX ROBOT的舵机还搭配了减速齿轮来增加扭矩，确保面部表情精准到位。
	✓ 面部表情精确控制：产品基于人类肌肉骨骼打造，能精准控制机器人面部运动，模拟人类喜怒哀乐等上百种精细表情。

数据来源：EX-ROBOT官网, 国泰君安证券研究

1) 面部皮肤采用医用级仿生硅胶，结合3D扫描与打印技术制造出高度仿真的机器人面部细节。仿真度、触感、韧性更接近人类肌肤，与传感器、机械结构融合实现柔性表面、机器人微表情呈现。

图 27：EX-ROBOT 的仿生皮肤采用医用级仿生硅胶



数据来源：蒂艾斯官网，国泰君安证券研究

2) 公司着力于微特电机的技术研发，自研舵机与无框力矩电机来精准控制面部表情。在同体积下实现更大扭矩，同扭矩更小体积。这意味着可以为机器人内部腾出更多宝贵空间，为后续自由度的增加创造条件。

通过对开源项目代码的深度重构，实现了在软件层面对超级电机的精准控制和运行时保护。在硬件层面深度集成多种传感器，实现了掉电抱闸、冲击保护、高精度编码。通过对结构的合理优化和复合材料的使用，在性能参数相同的情况下，具有更低的成本。

图 28：EX 自研微特电机



- ◇大扭矩、小体积
- ◇软硬件智能化
- ◇低成本
- ◇深度定制化

数据来源：蒂艾斯官网，国泰君安证券研究

公司研发核心在于腰部以上的功能乃至情绪感知和表达，腰部以下未来可能采用双足机器人的解决方案。

(1) 软件层面，算法上偏向情感和感知能力的多模态大模型。通过表情、语音的交互，实现对环境的感知。不仅生成文字、语音、视频，还要生成表情和动作，应该用什么样的语气表达，以什么样的表情和肢体动作输出。

(2) 硬件层面，更关注机器人的智能表情以及机器人的灵巧手，核心零部件包括机器人柔性关节、柔性触觉传感器、仿生皮肤等。通过机械结构与控制，实现电机的小型化高精度，以及耐久度可靠性。

(3) 通过软硬件一体化模组，实现表情陪伴机器人的双足行走。在具备了上半身运动能力和表情系统的基础上，具备双足行走能力的高表情陪伴机器人，理论上可以在所有服务领域实现对人工的替代。未来将围绕五大方面开展技术攻关和产品研发，包括双足核心零部件开发、腿部结构的持续改进、双足步态虚拟仿真、运动控制与步态规划和拟人双足步态分析。

表 15 : EX ROBOT 研发核心在于腰部以上的功能乃至情绪感知和表达

技术生态	相关技术
结构仿真技术	(1) 仿真皮肤：模拟人类皮肤的外观和触感，提高人机交互的亲切感和真实感。 (2) 仿真肢体机构与驱动系统：模仿人类的骨骼与肌肉系统以支撑和驱动其运动。
感知技术	(1) 视觉感知：通过高精度的摄像头实时获取周围环境的图像信息，并进行图像识别和目标跟踪。 (2) 听觉感知：利用麦克风和声音识别技术实时捕捉声音信号，转化为数字信号进行处理。 (3) 触觉感知：在手臂、脚部等关节配备触觉传感器，感知外界物体的触摸和力度。
运动控制技术	(1) 姿态控制：通过关节控制实现各种姿态的切换，如站立、行走、弯曲等。 (2) 步态控制：通过合理的腿部动作和重心调整实现自主行走和奔跑。 (3) 灵巧手控制：通过手部多自由度的控制实现抓、握、捏、举等手部动作，使用人类社会的各种工具，操作多场景设备。
人工智能技术	(1) 多模态识别：机器人同时处理、分析两种或多种不同模态(如图像、文本、声音等)的数据，并提取有意义的信息。 (2) 自主学习：机器人在没有人工干预的情况下，通过自我学习、优化和改进，逐渐提高性能和智能水平。 (3) 世界认知模型：模拟人类感知、理解和处理外部世界的信息。
智能人机交互技术	(1) 智能表情交互系统：基于表情生成系统和控制策略设计，实现与人类相似的面部表情。系统包含表情识别模块，能够捕捉并识别人的表情，以及表情生成模块，用于在机器人脸上产生对应的表情。 (2) 智能肢体语言系统：肢体语言系统基于机器人的运动控制系统设计，通过伺服器、驱动器及传感器控制机器人的四肢运动。系统能够识别并模拟人类的肢体语言，如手势、姿态等。
电力系统与安全保护技术	(1) 电池供电：内部电池为机器人提供短时间的能量供给。 (2) 特殊供电：如通过导线或无线方式接入电源，适用于特殊应用的人形机器人。 (3) 碰撞检测与避障：通过多个传感器实时检测前方障碍物并进行规避。 (4) 安全保护技术：确保人形机器人在运行过程中不会对人类或其他物体造成伤害。

数据来源：EX-ROBOT官网，国泰君安证券研究

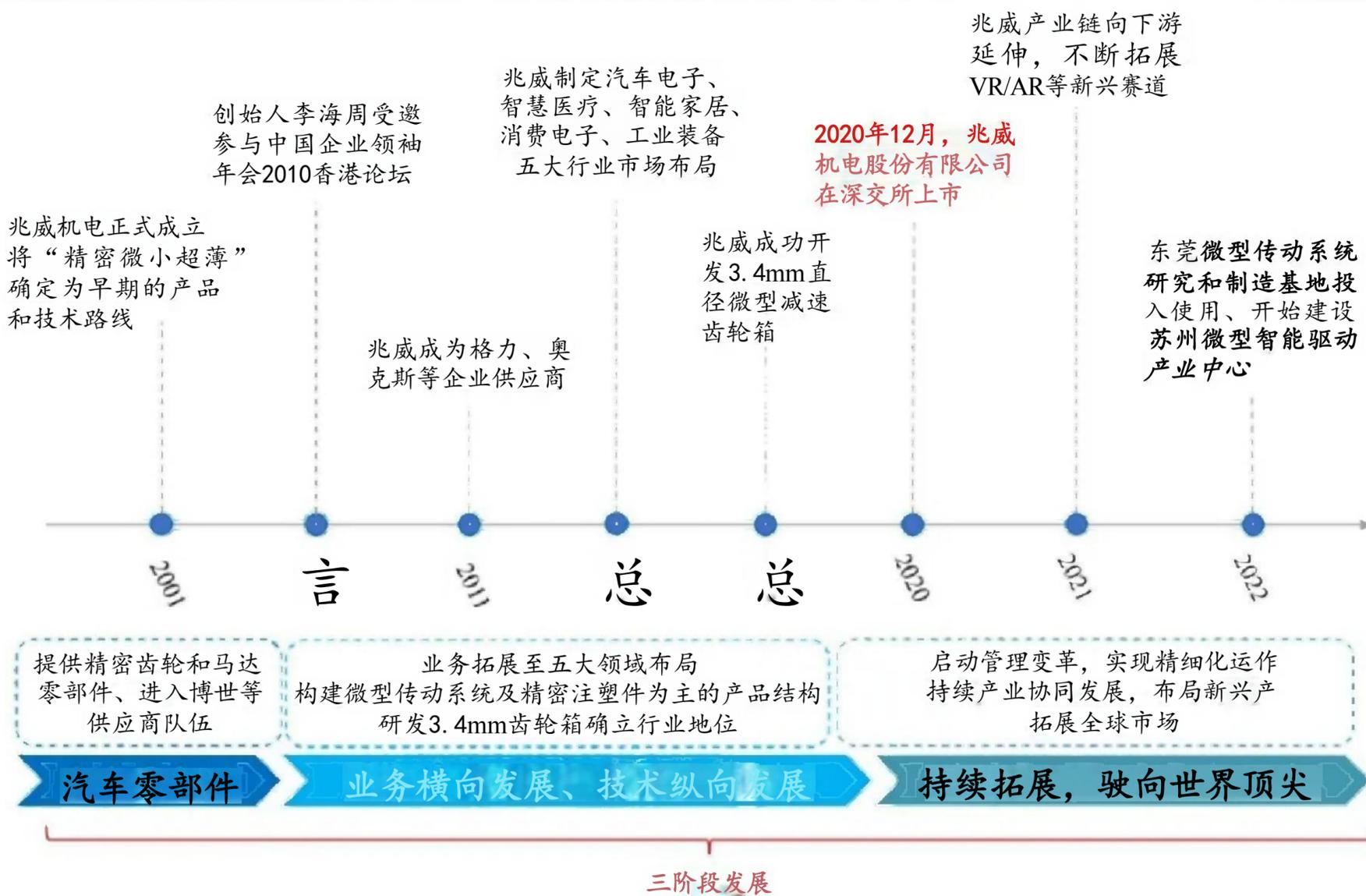


5. 投资建议

5.1. 兆威机电：国内微型传动头部企业

深耕微型传动系统多年，公司产品覆盖多个新兴下游行业。深圳市兆威机电股份有限公司是一家专业从事微型传动系统、微型驱动系统的研发、生产与销售的高新技术上市公司。自2001年成立以来，公司始终坚持深耕于微型传动系统产品。公司早期主营业务是为日本松下、尼康等公司提供精密齿轮和马达零部件，后凭借强大零部件供应实力进入博世等汽车行业供应商队伍，从此正式进军汽车行业。公司在2013年制定了汽车电子、智慧医疗、智能家居、消费电子、工业装备五大行业市场布局，实现业务横向发展。2020年12月，公司在深交所上市，随后产业链向下游延伸，不断拓展人形机器人、汽车电子、VR/AR 等新兴赛道。目前，兆威机电在立足于深圳兆威总部同时，战略布局苏州、东莞两大“智造”基地，并先后建立上海、德国等分公司或子公司，实现全球化布局，客户覆盖欧洲、美国、日本等发达地区，产品销往印度、墨西哥等全球各地。

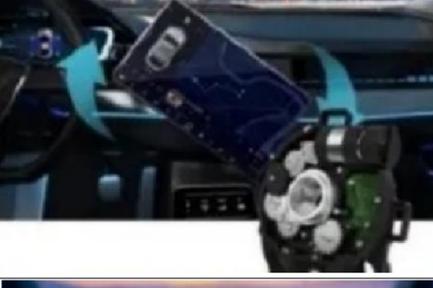
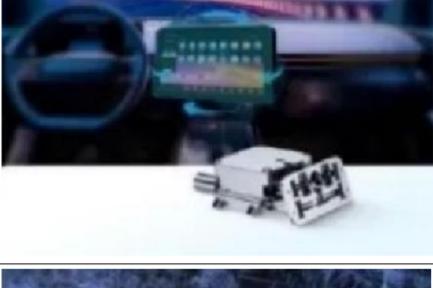
图29:兆威机电深耕微型传动系统多年



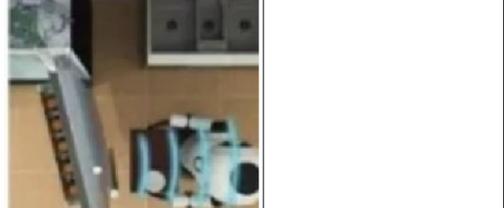
数据来源：兆威机电官网，兆威机电招股书，国泰君安证券研究

公司产品矩阵丰富，下游覆盖领域广泛。微型传动系统被用来将动力装置提供的动力进行转换并传递给执行机构，发挥着传递动力、控制、变速、换向等重要作用。公司主要产品为微型传动系统、微型驱动系统，具备高精度、小体积、低噪音等特性，能够适应下游行业的应用需求，可应用于汽车电子、医疗和个人护理、工业自动化、智能消费、通信行业、机器人等多个领域。

表16:公司产品矩阵丰富

业务	主要产品	产品介绍	产品展示
汽车电子	中控屏偏摆执行器	通过直流电机+平行传动+蜗轮蜗杆传动实现减速增力，最终带动安装屏幕的主轴实现汽车中控屏幕左右各15°的旋转，使屏幕面向主驾或者副驾。	
	中控屏旋转执行器	通过直流无刷电机+一级蜗轮蜗杆传动+平行传动，带动中控屏幕0-90°的横竖旋转。止挡位置加缓冲结构，让屏幕旋转更加平稳。	
	两度自由中控屏执行器	从用户实际使用场景出发，以两套独立的驱动结构，实现中控屏幕0-90°的横竖旋转和左右各15°的偏摆旋转两组功能融合，更好的适应用户调整屏幕的方向，方便观看和操作。	
	车载雷达升降驱动系统	采用步进电机+蜗杆斜齿结构，根据驾驶情况将雷达的发射端露出于车外或隐藏于车内，可以扩大雷达探测范围及灵活性，实现车辆360度环境感知，帮助提升复杂环境下的驾驶安全性。	
	尾翼升降执行器	通过直流电机+行星齿轮箱+平行传动实现减速增力，通过连接的轴驱动尾翼的升降，避免气流对尾翼复杂的作用力，使尾翼的角度发生改变，提升尾翼的稳定性。	
	隐藏式门把手执行器	采用结构紧凑的微型驱动设计，能够在兼具小体积的同时，输出较大推力，实现车辆门把手伸缩功能。	
医疗和个人护理	微创电动吻合器驱动系统	采用电机带动行星齿轮箱传动模式，驱动皮肤钉合器的前后移动，从而实现缝合功能，具备力矩大、结构紧凑、噪音低等特点。	
	骨科手术创面清洗泵系统	用于骨科手术冲洗流量调节。本产品通过直流电机+面齿轮传动对流量进行控制，多挡位调节功能，可根据手术要求进行合理选择，控制流量大小输出。	

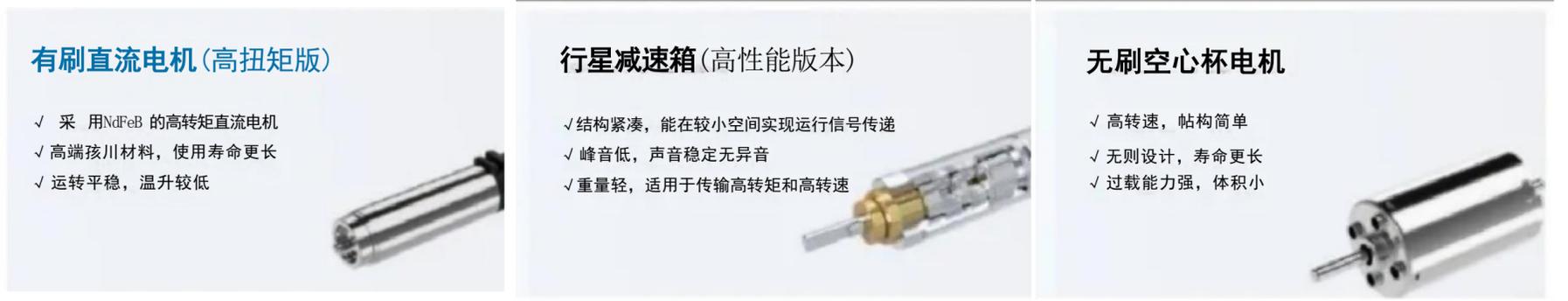


	<p>电动滚筒驱动系统</p> <p>一款“电机+齿轮箱+电控系统”内置集成化的新一代电动滚筒，具有体积小、组装方便、操作简单等特点。广泛用于食品运输、自动化工业、机场/高铁安检等场景。</p>	
<p>工业自动化</p>	<p>直角电机驱动系统</p> <p>适用于空间非常有限且扭矩要求高的自动化设备。当应用场景需要在执行机构与输出之间要求一个角位置，又要求大量扭矩的时候，直角齿轮电机驱动系统将是个不错的选择。</p>	
	<p>IPD瞳距调节</p> <p>一种调节智能穿戴设备两个镜片之间的间距，以与使用者瞳距相适配的驱动装置，主要应用于VR头盔、VR眼镜等设备。本产品通过先进工艺和精巧设计，简化组装工艺、提高传递效率和调节精度，减少传动噪音，在降本增效的同时，还能更好保证使用者获得较佳观看效果。</p>	
<p>智能消费</p>	<p>冰箱门驱动系统</p> <p>结合距离感应器(如红外线传感器等),可解决传统冰箱开关门存在的不方便之处。该系统可以通过网络控制、开关控制或语音控制,向门体传递驱动力,提高冰箱门开合的稳定性。</p>	
	<p>割草机器人行走执行器微型驱动系统</p> <p>采用无刷电机配合多级平行传动齿轮箱,实现减速增矩,带动割草机器人轮子旋转,提供驱动力,实现前、后旋转移动。</p>	
	<p>5G基站中的RCU模组</p> <p>涵盖硬件及驱动模块设计的整套解决方案,配合客户的软件系统,可用来远程调节基站天线辐射信号的下倾角,进而调整网络覆盖位置及范围等。</p>	
<p>通信行业</p>	<p>天馈系统微型传动模组</p> <p>通过调节移相器的相位而达到调节天线的信号覆盖范围。天线传动模组通过1组电机换挡和1组电机驱动,控制调节多端口的天线相位,调节其信号覆盖范围。</p>	
<p>机器人</p>	<p>灵巧手</p> <p>集结构、软硬件系统研发于一体。主要应用于机器人领域,可与各种柔性机器人配合使用,具有多自由度和高功率密度的特点,可完成复杂灵巧的抓握动作。</p>	

数据来源：兆威机电公告，国泰君安证券研究

深耕微型传动行业多年，公司在机器人领域推出多款电机产品。公司的微型传动、微型驱动系统产品，凭借其高精度运动控制、高扭矩输出和紧凑体积等特性，与机器人领域的运动控制需求高度契合。基于公司在微型传动、微型驱动行业积累的丰富经验和技術优势，公司紧跟客户需求，开发了一系列包括空心杯电机、行星减速箱、高扭矩有刷直流电机等产品。目前，高扭矩直流电机和无刷空心杯电机均已形成系列产品，成功用于汽车、医疗、人形机器人等领域，公司正开展4mm直径无刷空心杯电机攻关，以突破国外技术壁垒。

图 30：兆威机电在机器人领域推出多款电机产品



数据来源：兆威机电官网，国泰君安证券研究

发布机器人灵巧手新品，持续加码人形机器人赛道。在华为人工智能应用创新成果发布会上，公司举办灵巧手发布会，推出了其最新研发成果——手指集成驱动的高可靠灵巧手。参数和技术上看，该灵巧手产品具备兆威独创的单关节驱动技术，速度控制和位置控制精确均较好；驱动芯片采用基于ARM框架的驱动器芯片，主频600Mhz，是国内灵巧手控制的最强算力芯片；高集成度板级设计，一块控制板就可以实现对所有关节的控制。整手配备了17个自由度，以及15个关节(可扩展至20自由度以上)。其中单个关节自由度大于3个。公司仿生机器人灵巧手，集结构、软硬件系统研发于一体，主要应用于机器人领域，可与各种柔性机器人配合使用，具有多自由度和高功率密度的特点，可完成复杂灵巧的抓握动作。公司表示灵巧手的承诺寿命大于10年，可精巧穿针引线，能够适应工业生产、特种作业、生活服务复杂操作环境。

图31：兆威灵巧手具备17个自由度



数据来源：兆威机电灵巧手发布会现场

图32：兆威灵巧手单个关节拥有3个及以上的自由度



数据来源：兆威机电灵巧手发布会现场

5.2. 相关标的估值情况

由于目前表情陪伴机器人为新兴行业，机器人主机厂多为国外企业及部分国内新兴企业，如海外的 AMECA、HANSON ROBOTICS,国内的 EX ROBOT(新三板上市)、卓益得。两大核心硬件中，仿生电子皮肤产业链同样以GelSight、Canatu 等海外企业为主。

核心硬件设备的微特电机，目前有较多上市企业布局如兆威机电、伟创电气、鸣志电器、优必选、瑞声科技等，海外企业有日本电产、日本电装、德国施乐百，国内还有大疆等非上市企业涉足。其中推荐标的有兆威机电和伟创电气。兆威机电为微型传动行业的头部公司，主要产品包含无刷直流电机、微型无刷空心杯电机等具备较高技术壁垒的产品，并且布局舵机产品；伟创电气为国内头部工控企业，近年紧跟时代趋势，向机器人、新能源、医疗等新兴领域延伸，研制了空心杯电机、无框电机等产品，具备深厚技术积累。