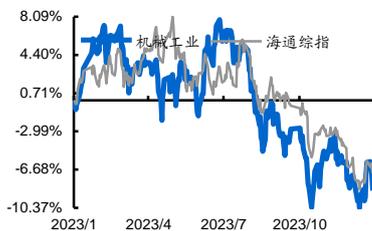


投资评级 优于大市 维持

市场表现



资料来源：海通证券研究所

相关研究

《N型产品加速渗透，价格有望出现分化》2024.01.02

《孚能科技配套全球首辆钠电车型下线，金美新材料复合铜箔规模化产品正式落地》2024.01.03

《工信部等发布加快传统制造业转型升级指导意见；CME 预估中国 12 月挖机销量约 yoy-2%》2024.01.01

分析师:赵玥琦

Tel:(021)23219814

Email:zyw13208@haitong.com

证书:S0850520070002

分析师:毛冠锦

Email:mj15551@haitong.com

证书:S0850523060003

人形机器人行业深度：产业化渐行渐近，关节执行器环节有望受益

投资要点：

- **多个厂商加快人形机器人布局与研发，有望加速人形机器人的产业化发展。** 2022年，特斯拉公布了人形机器人“擎天柱”原型机。根据当时的发布内容来看，“擎天柱”躯干包含28个关节执行器，主要分为旋转与线性两大类。“擎天柱”身体执行器有6种：3种旋转执行器和3种线性执行器，共28个执行器，能够实现28个自由度。另外“擎天柱”单手也有6个执行器，11个自由度。2023年12月，特斯拉发布了第二代人形机器人产品Optimus Gen2。Optimus Gen2的行走速度比上一代提高了30%，同时全身重量减轻了10kg，颈部增加了2个自由度，脚部采用了铰接式脚趾设计，并配备了力和力矩传感器，手部自由度增加至11个，并且所有手指都配备了触觉传感器。另外，Optimus Gen2还通过材料和技术改进来降低全身重量。特斯拉人形机器人依托其对效率、通用性和经济性的极致追求，我们认为其或具有较强商业化潜质。同时，优必选、小米、傅利叶智能等公司加快了其在人形机器人的布局与研发，有望进一步推动人形机器人产业化发展。
- **AI技术的发展、劳动力缺口及人工智能普及等有望推动人形机器人打开市场空间。** 1) AI技术有望加持人形机器人发展：机器翻译、智能控制、专家系统及语言和图像理解不仅是人工智能需要研究的重点，也是智能机器人得以实现的科技难点；人工智能实际上是将人的智能赋予其他工具，而机器人则是为这样的智能化提供了一个很好的容器与载体。2) 劳动力缺口及人工智能的成熟普及有望进一步打开人形机器人的市场空间：根据Markets and Markets数据，人形机器人市场规模预计将由2023年的18亿美元提升至2028年的138亿美元，年复合增速约50.2%。根据特斯拉官方微信公众号2022年10月1日发布的文章，特斯拉机器人预计将在3-5年（大约2025-2028年）内交付，产量将达到数百万台，价格可能不到2万美元。
- **受益人形机器人的产业化进程提速，执行器中的核心零部件国产化率有望得到提升。** 执行器是提供受控和有限移动或定位的机械或机电装置，其零部件制造工序较多、工艺复杂，因此对工艺设备及模具的数量和精度的要求严苛，同时需要根据产品生产特点对工艺装备及模具进行定制化。目前执行器关键零部件如丝杠、减速器、微特电机等高端领域的产品国产化率较低，特别是行星滚柱丝杠、空心杯电机、六维力矩传感器等产品在下游市场规模不算太大、应用范围受限的情况下，国内大规模布局的企业更是较少。我们认为，国内相关企业借助此次特斯拉人形机器人带来的发展机遇，有望实现技术上的突破，从而受益。
- **投资建议：** 建议关注关节执行器相关标的：1) 执行器集成：三花智控（家电）、拓普集团（汽车）；2) 减速器：绿的谐波（机械）、双环传动（机械）、中大力德（机械）、丰立智能（机械）等；3) 丝杠：秦川机床（机械）、贝斯特（汽车）、江苏雷利（机械）、鼎智科技（电新）、恒立液压（机械）等；4) 电机：江苏雷利（机械）、鼎智科技（电新）、伟创电气（电新）、鸣志电器（电新）等；5) 无框力矩电机：昊志机电（电新）、伟创电气（电新）等；6) 六维力矩传感器：昊志机电（电新）、柯力传感等。
- **风险提示：** 技术进步不及预期、人形机器人渗透率不及预期、相关零部件无法大规模量产、关节等技术方案变化、竞争加剧等。

目 录

1. 人形机器人：持续更迭，产业化渐行渐近	6
1.1 机器人概述：不断演进，AI 技术有望加快实现具身智能	6
1.2 什么是人形机器人？	7
1.3 特斯拉发布人形机器人原型机，商业化序幕或将开启	8
2. 关节执行器：核心零部件，有望受益人形机器人打开市场空间	10
2.1 电机：无框力矩电机和空心杯电机有望放量	11
2.1.1 无框力矩电机：磁路和工艺设计是难点，通常需要定制	11
2.1.2 空心杯电机：手指关节匹配度较高，难点在于大批量生产、装配	13
2.2 减速器：RV 和谐波减速器常用在机器人中，已逐步进行国产替代	14
2.2.1 RV 减速器：高精度、大负载	15
2.2.2 谐波减速器：体积小、重量轻，或更适合人形机器人	16
2.3 滚动功能部件：高端滚珠丝杠和行星滚柱丝杠国产化率尚低	18
2.4 力矩传感器：六维力矩传感器壁垒最高，国内企业已有布局	21
3. 长期：劳动力缺口及人工智能的成熟普及有望进一步打开人形机器人的市场空间	23
3.1 劳动力短缺等宏观因素影响加大对人形机器人需求	23
3.2 AI 技术的加持，推动人形机器人渗透率提升	23
4. 投资建议	25
5. 风险提示	26

图目录

图 1	工业机器人系统组成.....	6
图 2	工业机器人关键零部件	6
图 3	工业机器人图例	7
图 4	服务机器人图例	7
图 5	机器人的发展经过三代	7
图 6	早期早稻田大学的双足机器人和仿生机器人.....	8
图 7	“擎天柱”机器人迭代	8
图 8	线性执行器示意图.....	10
图 9	旋转执行器示意图.....	10
图 10	特斯拉“擎天柱”执行器	11
图 11	无框力矩电机示意图.....	12
图 12	科尔摩根无刷电机组成	12
图 13	无框力矩电机的优势.....	12
图 14	协作机器人和关节模组（采用无刷力矩电机）	12
图 15	无刷空心杯电机	13
图 16	有刷空心杯电机	13
图 17	减速器分类	14
图 18	工业机器人中减速器应用.....	14
图 19	RV 减速器.....	15
图 20	RV 减速器传动原理	15
图 21	RV 减速器市场份额（2021）	16
图 22	RV 减速器市场份额（2022）	16
图 23	全球工业机器人 RV 减速器需求量及市场规模.....	16
图 24	中国工业机器人 RV 减速器需求量及市场规模.....	16
图 25	谐波减速器	17
图 26	谐波减速器传动原理.....	17
图 27	特斯拉“擎天柱”旋转执行器或采用谐波减速器	17
图 28	谐波减速器市场份额（2021）	18
图 29	谐波减速器市场份额（2022）	18
图 30	全球工业机器人谐波减速器市场规模.....	18

图 31	中国工业机器人谐波减速器市场规模.....	18
图 32	滚珠丝杠（内循环）的组成.....	19
图 33	丝杠、螺母、滚珠配合截面图.....	19
图 34	行星滚柱丝杠副结构图.....	19
图 35	滚柱丝杠、滚珠螺母与滚柱啮合原理图.....	19
图 36	反向滚柱丝杠结构图.....	19
图 37	单个滚柱的行星滚柱丝杠机构运动简图.....	19
图 38	“擎天柱”部分线性执行器可能采用反向式行星滚珠丝杠.....	20
图 39	力传感器示意图.....	21
图 40	六维力矩传感器可用于人形机器人.....	22
图 41	力控插拔.....	22
图 42	中国六维力/力矩传感器销量及预测.....	22
图 43	各国 65 岁以上人口比例（2021 年）.....	23
图 44	2025 年工业机器人装机量预计达到 69 万台.....	23
图 45	ChatGPT for Robotics: 设计原则和模型能力.....	24

表目录

表 1	波士顿动力、特斯拉、小米、傅利叶四款人形机器人对比	9
表 2	部分无框力矩电机各个厂商介绍	12
表 3	部分空心杯电机各个厂商布局情况	13
表 4	RV 减速器和谐波减速器在工业机器人中应用具体对比	14
表 5	RV 减速器和谐波减速器参数对比	15
表 6	滚珠丝杠副和行星滚柱丝杠副对比	20
表 7	不同类型六维力/力矩传感器原理、特点及代表企业	21
表 8	国内外六维力/力矩传感器主要生产商	22
表 9	核心零部件企业介绍	25

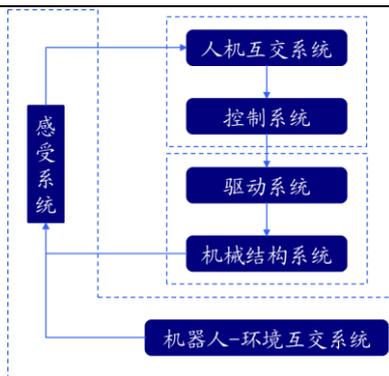
1. 人形机器人：持续更迭，产业化渐行渐近

引言：特斯拉在 2022 年 9 月 30 日（北美时间）的 AI 日上，推出了 TeslaBot 原型机。特斯拉人形机器人被命名为‘Optimus’或“擎天柱”，此时的“擎天柱”高约 1.73 米，重量约 56.7 千克，身体由特殊材料制成，头部为可显示信息的屏幕，四肢共由 40 个（手臂 12 个+颈部 2 个+躯干 2 个+腿部 12 个+手部 12 个）电机控制实现平衡和敏捷动作，内置了特斯拉 FSD 芯片，并通过 DOJO 有能力处理大量 AI 任务。我们认为，特斯拉推出人形机器人原型机，有望加速人形机器人产业化发展。2023 年 12 月，特斯拉发布了第二代人形机器人产品 Optimus Gen2。Optimus Gen2 的行走速度比上一代提高了 30%，同时全身重量减轻了 10kg，颈部增加了 2 个自由度，脚部采用了铰接式脚趾设计，并配备了力和力矩传感器，手部自由度增加至 11 个，并且所有手指都配备了触觉传感器。另外，Optimus Gen2 还通过材料和技术改进来降低全身重量。

1.1 机器人概述：不断演进，AI 技术有望加快实现具身智能

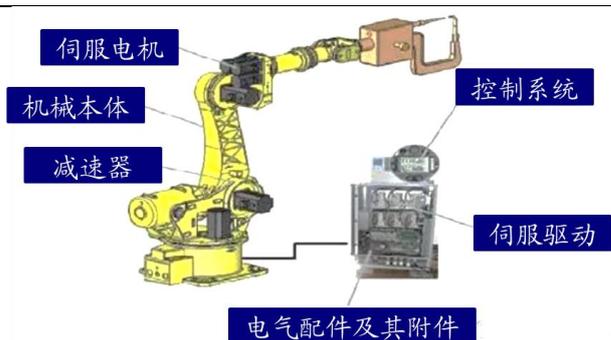
我国科学家对机器人的定义是：“机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器”。以工业机器人为例，工业机器人系统主要由三大部分、六个子系统、四大零部件组成。三大部分：机械部分、传感部分、控制部分；六个子系统：驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人—环境交互系统、人机交互系统、控制系统；四大关键零部件：控制器、伺服电机、伺服驱动器和减速器。

图1 工业机器人系统组成



资料来源：《机器人技术与智能系统》陈继文等，海通证券研究所

图2 工业机器人关键零部件



资料来源：elecfans，海通证券研究所

根据 International Federation of Robotics (IFR)，机器人一般分为工业机器人和服务机器人两大类。1) 工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。2) 服务机器人是指用于非制造业、以服务为核心的自主或半自主机器人，可从事清洁、陪护、运输、售货、安保等工作，在休闲娱乐、商业服务、医疗、教育等领域应用广泛。

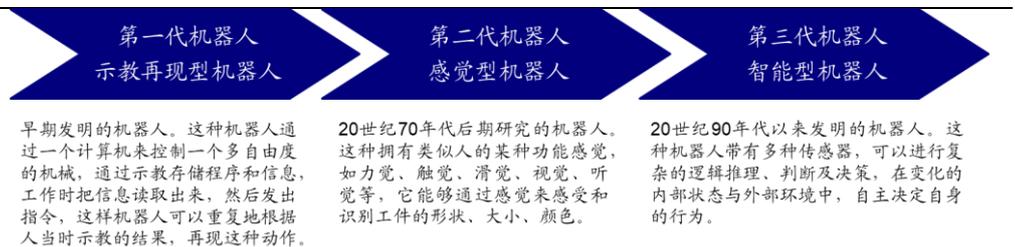
图3 工业机器人图例


资料来源：IFR，海通证券研究所

图4 服务机器人图例


资料来源：IFR，海通证券研究所

机器人朝着多样化发展，智能化程度逐渐提高。机器人系统最早用遥控操纵装置，自问世以来，极大扩大了人类的影响力范围。此后，因为其在不同时空尺度（从纳米级到百万级）内有效提升了人类的实践能力，所以其数量、多样性和复杂性显著增强。目前，机器人系统的发展更注重非制造应用领域，主要集中于服务型机器人领域。其次，由于传感、驱动、计算等技术的进步，以基本的科学认识和算法实施得以改进，不同形状、大小和功能的机器人系统取得显著发展。硬件、软件、工具的模块化和标准化及商业利益与开放源代码运动的结合开始新定义机器人领域。同时，伴随着新一轮创新而生的技术交流，不仅改进了现有的机器人系统，也为智能移动机器人的应用提供了空间，有效地创造了新的市场。我们认为，随着 AI 技术进入发展快车道，机器人未来有望实现具身智能。

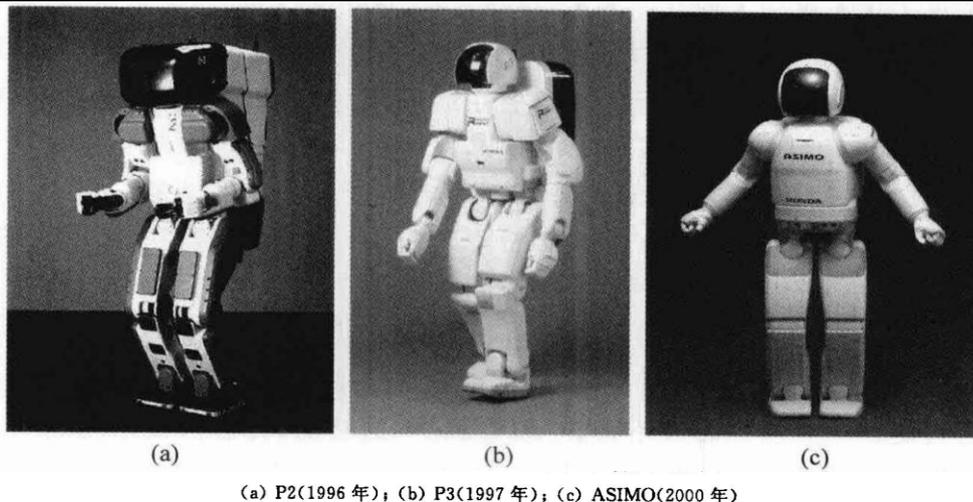
图5 机器人的发展经过三代


资料来源：《机器人技术与智能系统》陈继文等，海通证券研究所

1.2 什么是人形机器人？

人形机器人也叫做仿人机器人，是研究人类智能的高级平台，也是综合机械、电子、传感器、控制技术、人工智能、仿生学等多种学科的复杂智能机械。“仿人”的本质在于此类高级机器人具有类人的感知、决策、行为和交互能力，即人形机器人不仅需要具有类人的形体和外观、类人的知觉和感官功能、类人的大脑思维与控制能力，更需要具备行为的“类人特征”，这一特征的基本体现为类人双足运动平衡与控制能力的实现水平。

图6 早期早稻田大学的双足机器人和仿生机器人



资料来源:《仿人机器人理论与技术》陈恩等,海通证券研究所

人形机器人在持续更迭。从第一款人形机器人由加藤一郎研发,到最新特斯拉“擎天柱”机器人,技术路线发生多次迭代。1980年日本研发的WL9-DR机器人属于第二代机器人,其运动系统由预先编码的程序控制并由驱动电机组成。其运动模式基于ZMP(zero moment point)概念,并提出双足协调控制的方法。该时代人形机器人的外界感知方式仍然是简单的人工视觉、听觉装置。进入20世纪90年代,在计算机和微电子技术迅猛发展的背景下,人形机器人技术路线得到更新,其机器人底层步行理论迭代为被动行走模式下的极限环步态优化方法、分层递阶控制策略以及主动行走模式的虚拟模型控制以及仿生传感反射网络。进入21世纪,机器人走向人工智能化,具备自主路径规划以及行走能力并且依赖更多样的传感器对外界进行感知,运动系统也进一步迭代为一体化程度较高,同时具备驱动器、电机以及传感器。

1.3 特斯拉发布人形机器人原型机,商业化序幕或将开启

在2021年的特斯拉AI日上,特斯拉公布了人形机器人“擎天柱”的概念。2022年9月(北美时间)特斯拉人形机器人原型机首次亮相AI日,2023年5月在特斯拉股东大会上,马斯克展示了Tesla Bot人形机器人项目“擎天柱”当时的最新型号。2023年12月,特斯拉发布了第二代人形机器人产品Optimus Gen2。

图7 “擎天柱”机器人迭代



资料来源:特斯拉官方微信公众号,海通证券研究所

特斯拉虽以电动车起家,但不仅仅是一家电动汽车公司,更是一家人工智能和机器人公司,其机器人的开发参考了特斯拉现有的汽车开发流程。根据特斯拉官方微信公众号介绍,“擎天柱”基于特斯拉车辆技术实现更强安全能力,搭载与特斯拉车辆相同的完全自动驾驶(FSD)电脑(或芯片),使用Autopilot相关神经网络技术,同时拥有高

度集成充电管理、传感器、冷却系统的电池系统。

特斯拉机器人有望实现商业化。机器人公司波士顿动力的人形机器人 Atlas 采用液压动力作为驱动系统，其运动更加灵活。但由于液压驱动方案的缺点是噪音大、易漏液、对污染敏感、对液压元件的精度质量要求高、对维护团队要求高等，导致制造成本较高。电机驱动可以通过搭配减速器提高扭矩密度，其现有技术已能满足机器人的多数运动需求，同时拥有能量转化效率、易维护、低成本、零件规整等优势。另外，参照特斯拉在新能源汽车领域对效率、通用性和经济性的极致追求，且在其人工智能的加持下，特斯拉人形机器人或具有较强商业化应用的潜质。在国内，优必选、小米、傅利叶智能等公司加快了其在人形机器人的研发或布局，有望进一步推动人形机器人产业化进程。

表 1 波士顿动力、特斯拉、小米、傅利叶四款人形机器人对比

技术路线	身高	体重	速度	关节数/自由度/执行器	动力系统
波士顿动力 Atlas	1.5 米	89kg	2.5 米/秒	28 个关节	液压驱动
特斯拉 Optimus (第一代)	1.73 米	56.7kg	2.24 米/秒	40 个执行器	电机驱动
小米 CyberOne	1.77 米	52kg	1 米/秒	21 个自由度	电机驱动
傅利叶智能 GR-1	1.65 米	55kg	1.39 米/秒	40 个自由度	--

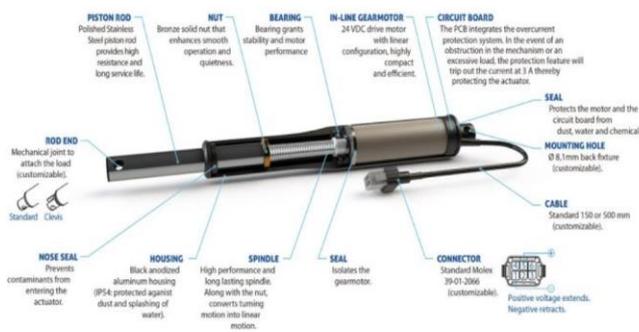
资料来源：小米官网，机器之心微信公众号，界面新闻微信公众号，波士顿动力官网，傅利叶智能官网，海通证券研究所

2. 关节执行器：核心零部件，有望受益人形机器人打开市场空间

执行器是提供受控和有限移动或定位的机械或机电装置，其通过一些流体的帮助来操作。

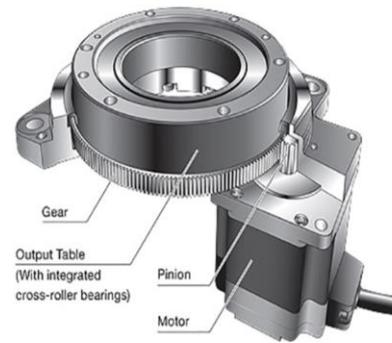
两种基本运动是直线运动和旋转运动。线性执行器将能量转换为直线运动，主要用于定位应用，通常具有推拉功能。旋转执行器相对于中点（即沿圆）以角度移动。在其最简单的形式中，线性执行器是旋转执行器的延伸，包含一个额外的运动转换器，可将旋转运动转换为线性运动。滚珠丝杠、滚柱丝杠、皮带和皮带轮、齿条和小齿轮能够将旋转转换为线性运动。

图8 线性执行器示意图



资料来源：robotics tomorrow，海通证券研究所

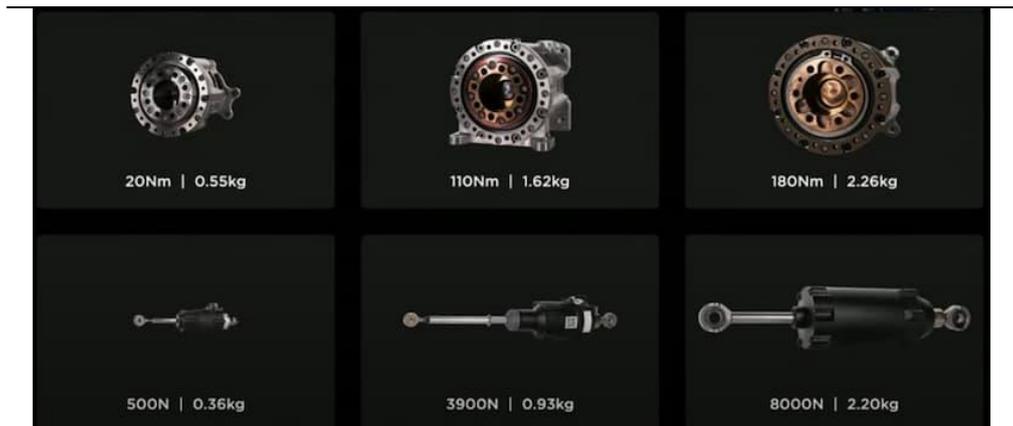
图9 旋转执行器示意图



资料来源：robotics tomorrow，海通证券研究所

制造精密运动控制产品不仅需要高精度工艺设备，亦需要大量的工艺积累。以微特电机为核心的精密运动控制产品制造工序较多，不同类型的电机由于工作原理、应用材料和内部结构各异，其工艺存在较大的差异，涉及精密机械、精细化工、微细加工、磁材料处理、绕组制造、绝缘处理等工艺技术，涵盖机座铸造、定转子冲片、定子绕组嵌线、转子铁心铸铝、转子校平衡、轴承热套、永磁材料的充磁、丝杆加工和螺母注塑等众多工艺环节，所需的工艺装备及模具数量大、精度高，需要根据产品生产特点对工艺装备及模具进行定制化。

根据 AI 日发布内容来看，“擎天柱”躯干包含 28 个关节执行器，主要分为旋转与线性两大类。1) “擎天柱”身体执行器有 6 种：3 种旋转执行器和 3 种线性执行器，共 28 个执行器，能够实现 28 个自由度。另外“擎天柱”手部（单手）也有 6 个执行器和 11 个自由度，符合人体工程学设计。2) “擎天柱”关节执行器初步方案主要涉及电机、谐波减速器（旋转关节）、滚珠/滚柱丝杆（线性关节）、传感器等，由于集成在和人一样大小的关节上，因此对零部件的性能及大小提出了更高要求。

图10 特斯拉“擎天柱”执行器


资料来源：智能车参考微信公众号，海通证券研究所

2.1 电机：无框力矩电机和空心杯电机有望放量

微特电机是指直径小于 160mm 或者具有特殊性能和用途的设备，其通常被应用于控制系统之中，用来实现机电信号和能量的检测、解算、执行和转换等功能，也可以作为设备的交流和直流电源，用于传动机械负载。由于机器人要求控制精度高、工作环境复杂、结构紧凑，因此对微电机提出较高技术要求：

- ✓ 转矩惯量比要大，机电时间常数要小，以满足系统快速反应的要求；
- ✓ 调速范围宽，低转速运行平稳，零速附近可控，力矩波动要小，以满足各种运动速度和精确定位的要求；
- ✓ 功率体积比和功率重量比要大，以满足有限安装空间，即要求微电机尽量做到小型化和轻量化；
- ✓ 过载能力大，耐热性能好，在恶劣环境条件能长期工作，即具有良好耐环境性和高可靠性。

2.1.1 无框力矩电机：磁路和工艺设计是难点，通常需要定制

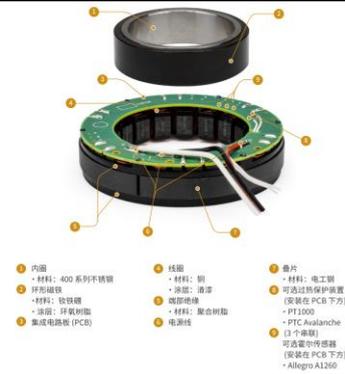
无框架电机是传统电机中用于产生扭矩和速度的部分，但没有轴、轴承、外壳或端盖。无框电机只有两个部件：转子和定子。转子通常是内部部件，由带永磁体的旋转钢圆环组件构成，直接安装在机器轴上。定子是外部部件，齿轮外部环绕钢片和铜绕组，以产生紧密攀附在机器壳体内部的电磁力。无框电机在机器人、医药、机床、包装、印刷、加工和通用自动化等行业得到了广泛应用。根据 Technavio 数据，2022 年，全球力矩电机市场规模预计 6.12 亿美元，预计到 2028 年达到 8.99 亿美元，期间复合年增长率为 8.01%。

图11 无框力矩电机示意图



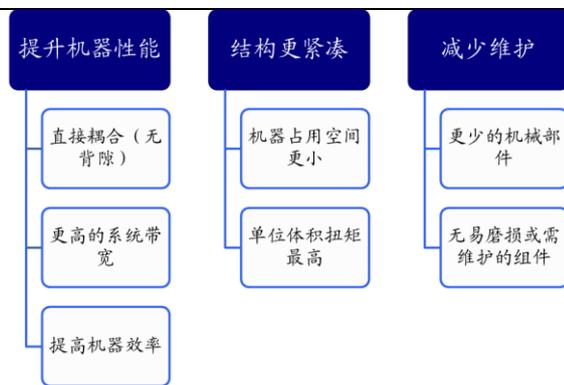
资料来源：科尔摩根官网，海通证券研究所

图12 科尔摩根无刷电机组成



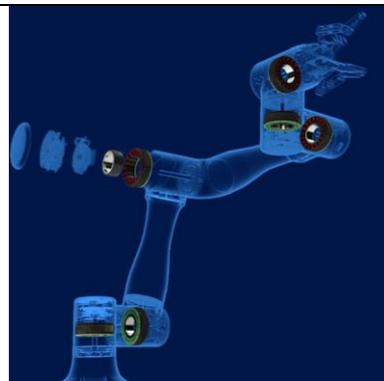
资料来源：科尔摩根官网，海通证券研究所

图13 无框力矩电机的优势



资料来源：科尔摩根官网，海通证券研究所

图14 协作机器人和关节模组 (采用无刷力矩电机)



资料来源：科尔摩根官网，海通证券研究所

无框力矩电机偏向定制，国内企业无框电机也有布局。无框力矩电机更偏向以输出扭矩为衡量指标，而普通伺服电机更偏向以输出功率为评价指标。无框力矩电机是需要一体化设计并集成到机器内部，需要根据具体的机械设计尺寸来确定无框力矩电机的外形尺寸和扭矩/转速性能。因此，无框力矩电机在磁路和工艺设计方面有一定的技术壁垒，需要在低压供电的环境下输出更大功率，从驱动性的电路设计以及电路转换等方面来看，通常需要定制，对整体安装、固定的工艺及设计具有较高的要求。目前无框电机的代表性产品有美国科尔摩根的 TBM 无框力矩电机、Parker 公司的 K 系列无框伺服电机；国内昊志机电等有无框力矩电机布局。

表 2 部分无框力矩电机各个厂商介绍

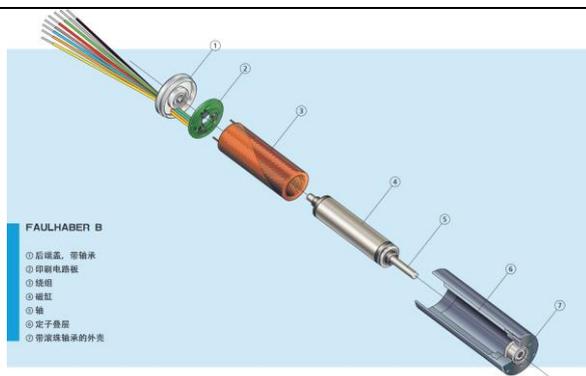
地区	企业名称	简介
海外	科尔摩根	全球领先的运动控制系统和配件供应商。科尔摩根的 TBM2G 无框伺服电机 (TBM2G) 是历经数年潜心研发和测试，并吸取全球客户反馈后的新一代力矩电机。
	Aerotech	全球领先的的运动控制系统及高精度的运动平台供应商，电机系列包括线性、旋转、无框和有框。
	Parker	是运动与控制领域的先行者。电机系列包括无刷伺服电机、无框电机、主轴电机、直驱力矩电机、电动汽车 (EV) 电机、直流有刷伺服电机、混合步进电机、直线伺服电机、齿轮电机，以及异步感应和矢量电机。
	昊志机电	2023 年 6 月 28 日在深交所互动易表示，公司现有的产品包括谐波减速器、无框力矩电机、驱动器、编码器、力矩传感器等可应用于人形机器人
	伟创电气	2023 年 6 月 9 日在上证 e 互动表示，2022 年公司成立机器人行业部，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。
	江南奕帆	2023 年 7 月 14 日在互动易平台表示，近期团队在研发无框力矩电机，未来可能用于精密控制行业

资料来源：各公司官网，Wind，深交所互动易，上证 e 互动，海通证券研究所

2.1.2 空心杯电机：手指关节匹配度较高，难点在于大批量生产、装配

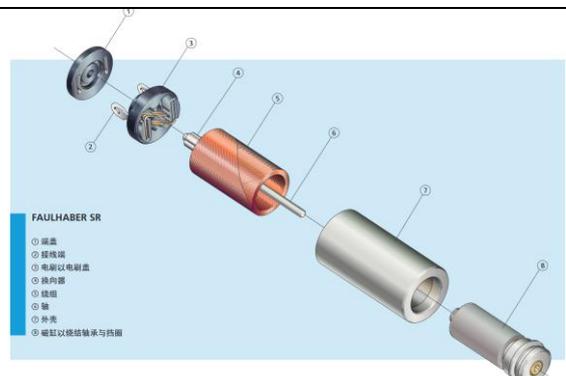
空心杯电动机属于直流永磁的伺服、控制电动机，也可以将其归类为微特电机。空心杯电动机（又称无铁芯电机、无齿槽电机）在结构上突破了传统电机的转子结构形式，采用的是无铁芯转子。这种转子结构彻底消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗。同时其重量和转动惯量大幅降低，从而减少了转子自身的机械能损耗。由于转子的结构变化而使电动机的运转特性得到了改善，不但具有突出的节能特点，更为重要的是具备了铁芯电动机所无法达到的控制和拖动特性。因此，作为高效率而体积又小的能量转换装置，空心杯对人形机器人手指关节的匹配度较高。空心杯电机在航空航天、军工、电器设备、工业控制等众多领域拥有广阔应用前景。在航空航天领域，空心杯电机可用于减轻飞行器的重量；在军工领域，空心杯电机能够快速调节导弹飞行方向；在工业控制领域，空心杯电机可用于制造工业机器人。根据 Business Research 数据，全球空心杯直流电机市场在 2022 年的市场规模约为 7.48 亿美元，预计到 2028 年将达到 11.86 亿美元，在 2023-2029 年的预测期内的复合年增长率为 8.0%。

图15 无刷空心杯电机



资料来源：Faulhaber 官网，海通证券研究所

图16 有刷空心杯电机



资料来源：Faulhaber 官网，海通证券研究所

海外厂商优势明显，国内厂商加紧追赶。空心杯电机由于体积小，大多使用螺旋管微型线圈。螺旋管微型线圈是一个三维线圈，由多匝导线缠绕而成，缠绕内部空心，电流流入缠绕导线，并产生均匀磁场。传统螺旋管微型线圈制作方法以手工缠绕为主，第一步绕线和粘胶带；第二步压扁；第三步切线头，第四步浸锡；第五步取胶带；第六步卷圆；第七步浸酒精，第八步整形打圆。手工生产空心杯电机线圈劳动生产率低，人工成本高，而且工作环境使用酒精，对工人的适应性有一定阻碍且增加了材料成本，已不能适应现代化大规模精细生产要求。因此，空心杯制作的难点在于大批量生产及较难的装配，手工制作方式在生产效率、产品稳定性方面无法满足客户需求。海外厂商 Maxon、Faulhaber 等公司深耕空心杯电机多年，已经形成的强大的品牌效应和技术壁垒，国内厂商如鸣志电器、鼎智科技、伟创电气等众多公司也有空心杯电机相关布局。

表 3 部分空心杯电机各个厂商布局情况

地区	企业名称	简介
海外	Maxon	maxon DC 电机品质领先全球。其 DC 采用高性能永磁体。电机的“心脏”是享有全球专利的空芯杯转子。
	Faulhaber	FAULHABER 直流电机有一个自承式斜绕铜线圈。这种设计不仅最大限度地降低了转子的惯性矩，还为驱动设备提供了最大的动力和精确的无齿槽运行。
	鼎智科技	2023 年 3 月 28 日在全景网-互动平台表示，公司空心杯电机关键绕线工艺设备实现自制，能实现多工位自动化绕线成型。空心杯电机产线正在筹建。
国内	鸣志电器	2022 年 11 月 14 日在上证 e 互动表示，公司的空心杯电机和直流无刷电机产品广泛应用于重症呼吸机的应用场景
	伟创电气	2023 年 6 月 9 日在上证 e 互动表示，公司自主研发设计空心杯电动机，产品目前在内部测试阶段

资料来源：各公司官网，Wind，上证 e 互动，全景网，海通证券研究所

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/847032123020006033>