

机器人电机行业研究

买入（维持评级）

行业深度研究

证券研究报告

机械组

分析师：满在朋（执业 S1130522030002） 联系人：房灵聪

manzaipeng@gjzq.com.cn

fanglingcong@gjzq.com.cn

机器人动力之源，人形孕育新市场

投资逻辑：

■ 电机分为哪些类型？

- 电机是将电能转换为机械能的装置，按应用领域分为动力电机和控制电机。动力电机输出功率大，驱动性能好，常应用于汽车、家电等领域。控制电机控制精度高、响应速度快，常在控制系统中承担执行、检测和解算功能。
- 控制电机分为步进电机、伺服电机、力矩电机。步进电机结构简单但效率和精度较低，多用于办公自动化、通信设备、印刷设备等领域。伺服电机增加了编码器与反馈机制，控制精度高，适用于半导体、工业自动化、机器人等领域。空心杯电机属于特殊的伺服电机。力矩电机以扭矩为控制方向，在电动机低速时仍能持续运转，并提供稳定的力矩给负载，具有低转速、大扭矩、过载能力强、响应快等优点，分为有框力矩电机和无框力矩电机。

■ 无框力矩电机：机器人关节电机，国内外厂商性能仍有差距

- 为什么机器人关节要用无框力矩电机？机器人关节要求电机体积小、扭矩大、响应快。而无框力矩电机仅由转子和定子组成，体积小，同时具有较高的功率，低转速情况下能够输出更大扭矩，更符合人形机器人的需求。
- 如何看待无框力矩电机的壁垒、竞争格局？（1）壁垒：磁路和工艺设计。海外厂商起步早，工艺技术拥有先发优势，例如科尔摩根采用分布式的分数槽及碳纤维绑扎技术，TQ Robodrive 采用模块化定子和环氧塑封灌胶技术。国内企业起步晚，工艺水平和国外相比存在差距。（2）格局：全球龙头为科尔摩根，国内外厂商产品性能仍有差距。科尔摩根是全球无框力矩电机龙头，其电机性能在全球处于第一梯队。国内目前进展较快的公司包括步科股份、航天电器。相比海外龙头，国产无框力矩电机输出扭矩较小，在产品性能方面仍有差距。

■ 空心杯电机：灵巧手动力之源，国产替代空间广阔

- 为什么机器人灵巧手要用空心杯电机？灵巧手空间狭小，需要配备小型化且控制精度高的电机。空心杯电机属于特殊的伺服电机，采用无铁芯转子结构，消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗，具有体积小、控制精度高、寿命长、转速快、能效高、能量密度大等优势，完美契合了灵巧手对驱动电机的轻量化和高精度要求。

➢ 如何看待空心杯电机的壁垒、竞争格局？

壁垒 1：线圈绕组设计。（1）线圈成型方式分为卷绕生产和一次成型生产，后者工艺简单、效率高。国内厂商多采用卷绕式生产，生产效率低，废品率高，线圈直径小。（2）线圈绕法分为直绕形、马鞍形和斜绕形，其中斜绕形和马鞍形工艺简单，具有输出力矩大、转动惯量小、时间常数小等优势，国外厂商工艺更加纯熟。

壁垒 2：绕线设备。海外厂商 Meteor、田中精机等设备先进，基本实现了绕线设备的自动化、智能化。国内设备自动化程度低，尤其是面对较大功率电机的粗线径线圈，在可靠性和绕制精度方面与海外厂商仍有较大差距。

格局：海外厂商技术领先，国产替代空间广阔。空心杯电机全球头部企业包括瑞士 Maxon、瑞士 Portescap 和德国 Faulhaber 三家。国内企业中，鸣志电器技术水平位居全球前列，拓邦股份空心杯电机已实现批量应用；江苏雷利处于小批量验证阶段；伟创电气处于产品内部测试阶段，其余企业技术相对薄弱，国产替代空间广阔。

投资建议

考虑当前电机市场空间较大，同时国内厂商在无框力矩电机和空心杯电机技术领域仍有较大提升空间，在人形机器人产业链发展催化下，国内厂商有望加速实现国产替代，建议重点关注无框力矩电机领域的步科股份，空心杯电机领域的鸣志电器、拓邦股份、江苏雷利。

风险提示

人形机器人发展不及预期，国产替代进展不及预期，行业竞争加剧。

内容目录

1. 电机分为哪些类型？	5
1.1 按照应用领域分为动力电机和控制电机	5
1.2 按照电源类型分为直流电机和交流电机	6
2. 无框力矩电机：机器人关节电机，国内外厂商性能差距明显	8
2.1 为什么机器人关节要用无框力矩电机？	8
2.2 如何看待无框力矩电机的壁垒、竞争格局？	10
3. 空心杯电机：灵巧手动力之源，国产替代空间广阔	10
3.1 为什么机器人灵巧手要用空心杯电机？	10
3.2 如何看待空心杯电机的壁垒、竞争格局？	12
4. 投资建议	15
4.1 步科股份：国内无框力矩电机龙头，盈利能力维持高位	15
4.2 鸣志电器：电机品类丰富，业务实现全球化布局	17
4.3 拓邦股份：智能控制系统领导者，布局新能源构建增长新引擎	18
4.4 江苏雷利：微特电机领域龙头，电机产品种类丰富	20
5. 风险提示	21

图表目录

图表 1：电机按照应用领域分类	5
图表 2：电机按照电源类型分类	5
图表 3：旋转电机和直线电机结构示意图	5
图表 4：步进电机结构图	6
图表 5：伺服电机结构图	6
图表 6：有框力矩电机图	6
图表 7：无框力矩电机图	6
图表 8：直流有刷电机结构图	7
图表 9：直流无刷电机结构图	7
图表 10：单相电机的转子受力图	7
图表 11：三相电机的转子受力图	7
图表 12：异步电机图	7
图表 13：同步电机图	7
图表 14：机器人关节要求电机体积小、扭矩大、响应快	8
图表 15：无框力矩电机工作原理图	8

图表 16:	无框力矩电机外观图	8
图表 17:	科尔摩根的无框力矩电机实现更高扭矩	9
图表 18:	科尔摩根的无框力矩电机实现更小尺寸	9
图表 19:	特斯拉擎天柱关节执行器分为旋转和线性两类	9
图表 20:	特斯拉擎天柱关节执行器结构图	9
图表 21:	优必选仿人服务机器人 Walker 采用无框力矩电机	9
图表 22:	海外厂商无框力矩电机及设计工艺	10
图表 23:	国内外无框力矩电机厂商对比	10
图表 24:	普通铁芯电机与空心杯电机对比	11
图表 25:	空心杯电机机械时间常数小、控制精度高 (ms)	12
图表 26:	空心杯电机转速更快 (rpm)	12
图表 27:	机器人灵巧手是空心杯电机的应用方向之一	12
图表 28:	因时机器人灵巧手内置空心杯电机	12
图表 29:	一次成型生产技术工艺相对简单、效率更高	13
图表 30:	空心杯电机线圈绕制形式	13
图表 31:	绕线机全球头部厂商集中在欧美和日本	13
图表 32:	瑞士 Meteor 和日本日特机械绕线机	14
图表 33:	中特科技和勤联科技绕线机	14
图表 34:	国内外空心杯电机厂商对比	14
图表 35:	国内产品价格优势明显	15
图表 36:	重点公司估值表	15
图表 37:	18-22 年步科股份收入 CAGR 达 14%	16
图表 38:	18-22 年步科股份归母净利润 CAGR 达 26%	16
图表 39:	步科股份毛利率保持在 40%左右	16
图表 40:	步科股份第三代无框力矩电机性能优越	17
图表 41:	鸣志电器多种产品可运用于人形机器人	17
图表 42:	17-22 年鸣志电器收入 CAGR 为 12.7%	17
图表 43:	17-22 年鸣志电器归母净利润 CAGR 为 8.27%	17
图表 44:	鸣志电器收入以控制电机及其驱动系列产品为主	18
图表 45:	鸣志电器已实现全球布局	18
图表 46:	拓邦股份业务布局	19
图表 47:	17-22 年拓邦股份收入 CAGR 为 27.03%	19
图表 48:	17-22 年拓邦股份归母净利润 CAGR 为 22.66%	19
图表 49:	工具、家电业务为基本盘, 22 年占比超 70%	19
图表 50:	新能源业务增长迅速	19

图表 51: 拓邦股份电机产品一览.....	20
图表 52: 江苏雷利布局家电、工业控制、汽车、运动健康四大领域.....	20
图表 53: 18-22 年江苏雷利收入 CAGR 为 6.56%.....	21
图表 54: 18-22 年江苏雷利归母净利润 CAGR 为 6.68%.....	21
图表 55: 江苏雷利毛利率近年来呈增长态势.....	21
图表 56: 江苏雷利空心杯电机系列.....	21

1.电机分为哪些类型？

电机是依据电磁感应定律将电能转换为机械能的装置，主要由定子、转子及其他附件组成。其利用通电线圈产生旋转磁场并作用于转子形成磁电动力旋转扭矩，从而为多种机械提供动力。电机有多种分类方式，按照应用领域分为动力电机和控制电机；按照电源类型分为直流电机和交流电机。

图表1：电机按照应用领域分类



图表2：电机按照电源类型分类



来源：机械工程文摘，国金证券研究所

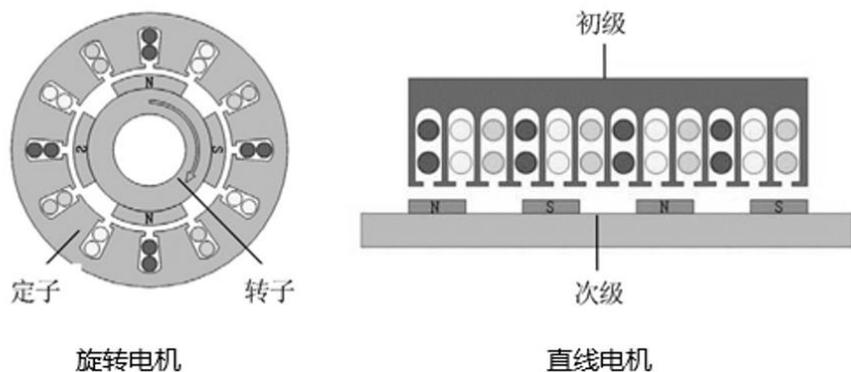
来源：机械工程文摘，国金证券研究所

1.1 按照应用领域分为动力电机和控制电机

动力电机输出功率较大，注重电机的驱动、运行及制动性能，主要应用于汽车、家电、小型机床等领域。控制电机侧重电机输出量的幅频特性、相频特性及输出特性的精度、灵敏度、稳定性、线性度等指标，精度高、响应速度快，主要在自动控制系统中承担执行、检测和解算功能。

(1) **动力电机**：按照运动方式进一步分为旋转电机和直线电机。直线电机可看作由旋转电机展平而得，其定子叫初级、转子叫次级，其优势在于可以直接将电能转换为直线运动的机械能，而无需再借助中间转换装置。常见的直线电机可分为U型槽式、平板式和管式。其主要应用于自动控制系统、短距离需要巨大直线运动能的装置或作为长期连续运行的驱动电机，例如用于磁悬浮列车以及无钢丝绳电梯的驱动。

图表3：旋转电机和直线电机结构示意图



来源：《浅谈直线电机在轨道交通车辆车门上的应用》，国金证券研究所

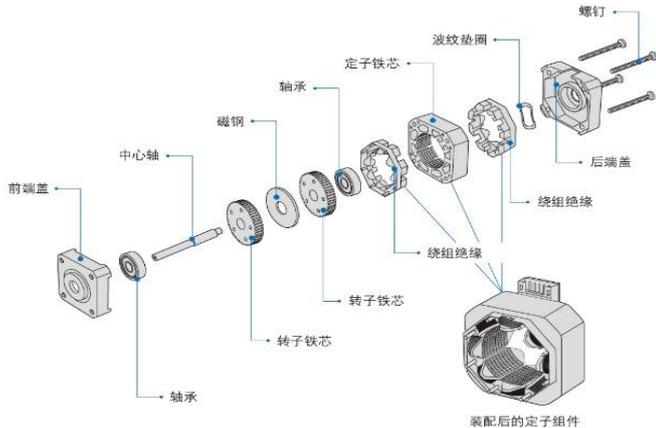
(2) **控制电机**：按照控制方式进一步分为步进电机、伺服电机、力矩电机。

- 步进电机是一种把电脉冲信号转换成角位移的电动机，每输入一个脉冲信号，步进电机就按照设定的方向转动一个固定的角度。其结构简单但效率和精度较低，多用于办公自动化、通信设备、印刷设备等领域。
- 伺服电机相较于步进电机增加了编码器与反馈机制，使得驱动器可以根据目标值与编码器的反馈信号之间的差异来调整转子转动的角度，从而可实现更精密的控制，主要适用于半导体、光伏、锂电、工业自动化、机器人等对于控制精度、速度响应、过载

能力及稳定性要求高的领域。空心杯电机是一种特殊的伺服电机，采用无铁芯转子，呈空心的杯状结构，内部环绕着绕组和磁铁。

- 力矩电机是以扭矩为控制方向的电机，采用开环控制。当负载转矩增大时能自动降低转速，同时加大输出转矩，当负载转矩为一定值时改变电机端电压便可调速。在电动机低速甚至堵转（转子无法转动）时仍能持续运转，不会造成电动机的损坏，并提供稳定的力矩给负载，具有低转速、大扭矩、过载能力强、响应快、特性线性度好等优点。力矩电机分为有框力矩电机和无框力矩电机。

图表4：步进电机结构图



图表5：伺服电机结构图



来源：鸣志电器官网，国金证券研究所

来源：鸣志电器官网，国金证券研究所

图表6：有框力矩电机图



来源：杰瑞特官网，国金证券研究所

图表7：无框力矩电机图



来源：科尔摩根微信公众号，国金证券研究所

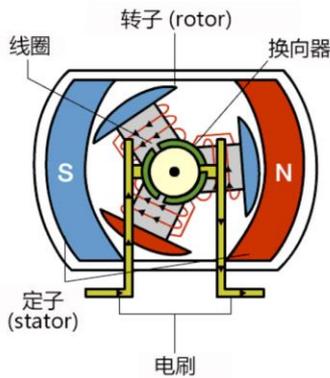
1.2 按照电源类型分为直流电机和交流电机

直流电机由直流电源驱动，交流电机由交流电源驱动。直流电机调速性能好、启动力矩大，适用于在重负载下启动或需要均匀调节转速的机械。交流电机效率高、噪音低，常用于家用电器中。

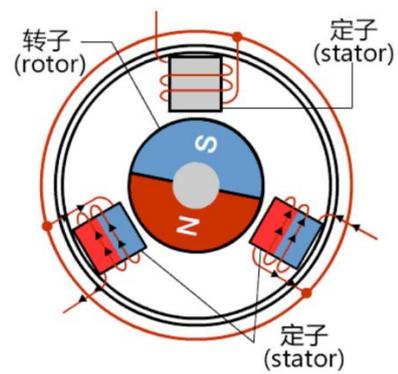
(1) 直流电机：按照电刷的有无进一步分为有刷电机与无刷电机。对于直流电机，为使转子转动需要不断改变电流方向。

- 有刷电机采用机械换向，内部的电枢和换向器一起旋转，而外部的磁极和电刷都不动。通过换向器与电刷的交替接触，电机运行时电流的方向就会不断改变，从而改变电机的运动方向。其优势在于启动快速、制动及时、调速平稳，并且启动电流大、在低速时扭矩大，因而能带很重的负荷，常用在电钻等日常电动工具中。但由于换向器与电刷之间存在摩擦，因而电刷易损耗、寿命短，并且效率较低。
- 无刷电机采用电气换向，以霍尔元件等电子换向器替代了机械电刷装置，其线圈不动而磁极旋转。其原理是通过霍尔元件感知永磁体磁极的位置，从而适时切换线圈中电流的方向，以产生正确方向的磁力来驱动电机。无刷电机的优势在于故障率低、使用寿命长、运行时间和电压比较稳定。

图表8: 直流有刷电机结构图



图表9: 直流无刷电机结构图



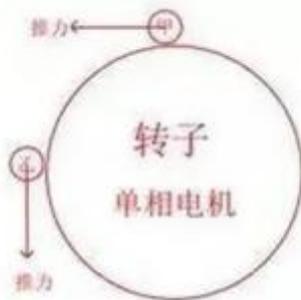
来源: 智能建筑电气技术杂志, 国金证券研究所

来源: 智能建筑电气技术杂志, 国金证券研究所

(2) 交流电机

交流电机按照电源类型分为单相电机与三相电机。单相电机采用单相交流电源供电, 定子仅含一个绕组, 需借助启动线圈或运行电容器等以产生旋转磁场。特点是结构简单、维修方便, 多应用于小型家用电器等生活场景。三相电机采用三相交流电源供电, 定子绕组分为三组, 通入互差 120° 的交流电就可产生旋转磁场。三相电机效率高、功率大、可靠性和精度高, 多用于水泵、机床等工业领域。

图表10: 单相电机的转子受力图



图表11: 三相电机的转子受力图

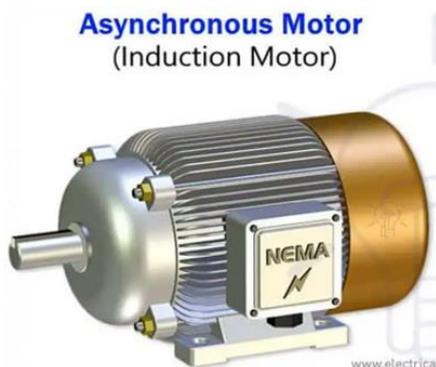


来源: 电子发烧友, 国金证券研究所

来源: 电子发烧友, 国金证券研究所

交流电机按照转子转速与定子旋转磁场的转速是否相同, 交流电机分为同步电机与异步电机。同步电机的转速恒定, 而异步电机的转速可以随着负载的变化而调节。常见的电力拖动机械大多由异步电机驱动, 如空气压缩机、鼓风机、大型起重设备等。而同步电机主要适用于要求转速恒定的大功率生产机械, 如连续式轧钢机、球磨机等, 由于其造价昂贵、维修困难而应用较少。

图表12: 异步电机图



图表13: 同步电机图



来源: Electrical Technology, 国金证券研究所

来源: Electrical Technology, 国金证券研究所

2.无框力矩电机：机器人关节电机，国内外厂商性能差距明显

2.1 为什么机器人关节要用无框力矩电机？

机器人关节要求电机体积小、扭矩大、响应快。机器人关节是机器人各个零部件之间发生相对运动的机构，是机器人结构中重要的组成部分，其重量、结构、尺寸的选择对机器人性能影响较大。电机是机器人关节结构的主要部件，因此，机器人对关节电机的要求较高，主要包括：1) 快速响应：电机从获得指令信号到完成指令所要求的工作状态的时间应短。2) 起动转矩惯量比大：在驱动负载的情况下，要求机器人的伺服电动机的起动转矩大，转动惯量小。3) 体积小、质量小、轴向尺寸短。4) 控制特性的连续性和直线性：随着控制信号的变化，电动机的转速能连续变化，有时还需转速与控制信号近似成正比。

图表14：机器人关节要求电机体积小、扭矩大、响应快

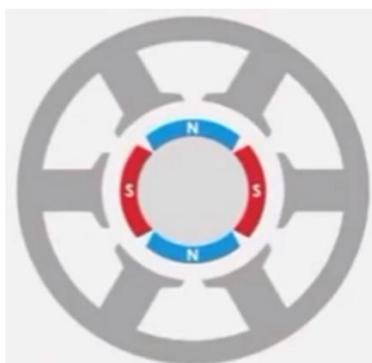


来源：广西大学电机课堂，国金证券研究所

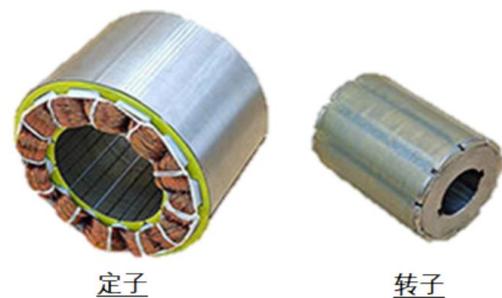
无框力矩电机原理：无框力矩电机是一种以输出扭矩为衡量指标的无框架式永磁电机，由驱动器供电，驱动器控制 U/V/W 三相电形成电磁场，永磁体的转子在磁场的作用下转动。

无框力矩电机外观：无框力矩电机没有轴、轴承、外壳或端盖，只有转子和定子两个部件。转子是内部部件，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，包含有齿钢叠片，外面包裹着能产生电磁力的铜绕组，紧凑地安装在机器外壳的主体内。

图表15：无框力矩电机工作原理图



图表16：无框力矩电机外观图



来源：研一机械官网，国金证券研究所

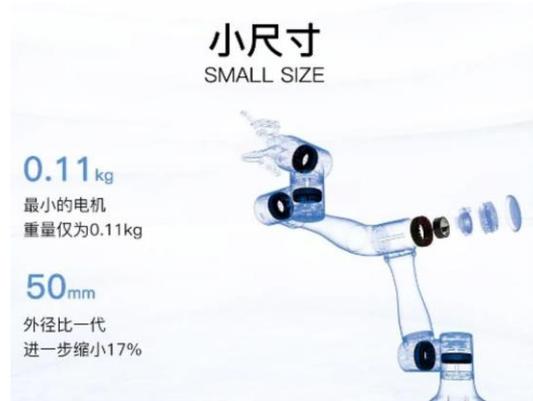
来源：研一机械官网，国金证券研究所

相对于普通电机，无框力矩电机具有体积小、扭矩高、极端环境性能稳定等优势，更符合人形机器人的需求。1) 体积小：无框电机中空式设计，最大限度减小电机所占空间，更方便走线布置；2) 扭矩高：无框力矩电机具有较高的功率，在低转速的情况下，能够输出更大扭矩；3) 性能稳定：无框电机的电机组件直接整合到机器元件内，不会受到外界高压、高温环境、辐射的影响。

图表17: 科尔摩根的无框力矩电机实现更高扭矩



图表18: 科尔摩根的无框力矩电机实现更小尺寸



来源: 科尔摩根微信公众号, 国金证券研究所

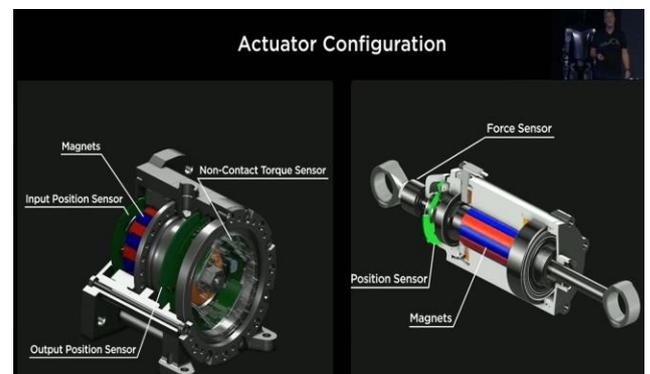
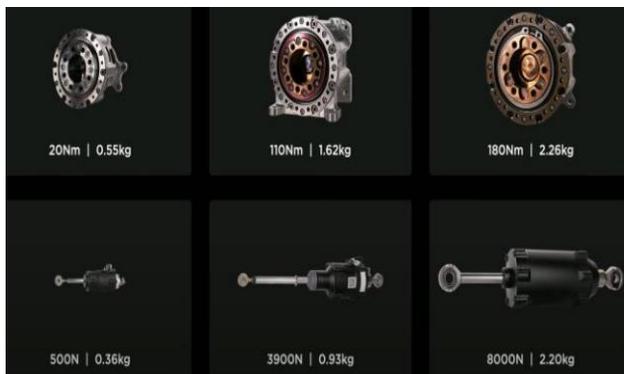
来源: 科尔摩根微信公众号, 国金证券研究所

使用无框力矩电机的机器人案例包括特斯拉擎天柱 Optimus 以及优必选仿人服务机器人 Walker。

- 特斯拉 2022 年推出的机器人 Optimus 躯干包括 28 个关节执行器, 分为旋转与线性两大类, 每类包含 3 种执行器。其中旋转执行器解决方案预估为无框力矩电机+谐波减速器+传感器+轴承, 用来实现类似人体关节的旋转运动; 直线执行器解决方案预估为无框力矩电机+滚柱丝杠+传感器+轴承, 用来实现类似人体肌肉的拉伸运动。
- 优必选仿人服务机器人 Walker 在全身关节部位安装了 36 个自研的高性能伺服舵机, 该伺服舵机是一体化驱动单元, 主要由无框力矩电机、精密谐波减速、驱动控制器及双编码器组成。机器人拥有从 2.5Nm 到 160Nm 的系列伺服舵机作为驱动单元, 速度可以达到 60 转/分钟, 支持位置模式、速度模式和力矩模式三种控制方式。

图表19: 特斯拉擎天柱关节执行器分为旋转和线性两类

图表20: 特斯拉擎天柱关节执行器结构图



来源: 特斯拉 AI Day, 国金证券研究所

来源: 特斯拉 AI Day, 国金证券研究所

图表21: 优必选仿人服务机器人 Walker 采用无框力矩电机

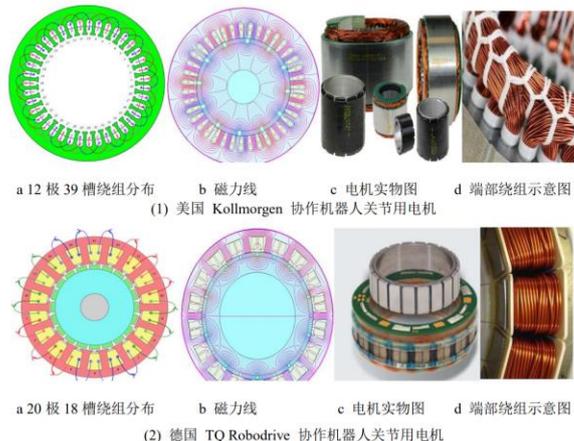


来源：优必选微信公众号，国金证券研究所

2.2 如何看待无框力矩电机的壁垒、竞争格局？

壁垒：磁路和工艺设计。电机的转矩密度、功率密度是影响机器人性能的重要指标，而无框力矩电机要在低压供电的环境下输出较大的功率，因此在磁路和工艺设计方面存在一定的技术能力要求。海外厂商起步较早，工艺技术存在先发优势，例如韩国 TM TECH 转子采用整体充磁磁环技术，美国科尔摩根采用分布式的分数槽及碳纤维绑扎技术，德国 TQ Robodrive 采用模块化定子和环氧塑封灌胶技术。国内企业起步晚，转矩密度和国外高端无框力矩电机相比存在差距。

图表22：海外厂商无框力矩电机及设计工艺



来源：《基于辐向环充磁的高转矩密度永磁力矩电机设计与分析》，国金证券研究所

格局：全球龙头为科尔摩根，国内外厂商产品性能仍有差距。美国科尔摩根是全球无框力矩电机龙头，拥有超 70 年的运动控制研发经验，电机性能在全球处于第一梯队。国内目前进展较快的公司包括步科股份、航天电器。相比海外龙头，国产无框力矩电机输出扭矩较小，在产品性能方面仍有差距。

图表23：国内外无框力矩电机厂商对比

公司	主要产品	无框力矩电机进展	22 年营收
科尔摩根 (美国)	运动控制器、电机、驱动器、电机和驱动器附件等	全球领先的运动控制系统和配件供应商，无框力矩电机全球龙头，性能远超竞争对手，实现轻量化、高扭矩，更符合人形机器人需求	—
步科股份	人机界面、伺服系统、步进系统等	国内无框力矩电机头部企业，目前无框电机产品主要应用在协作机器人	5.4 亿元
航天电器	电机、连接器、光电器件和广电设备、智能制造等	子公司贵州航天林泉电机在机器人高动态感知驱动功能部件方面实现突破，技术已经应用于惯导领域、转台领域及无框力矩电机领域，并产生收入	60.2 亿元

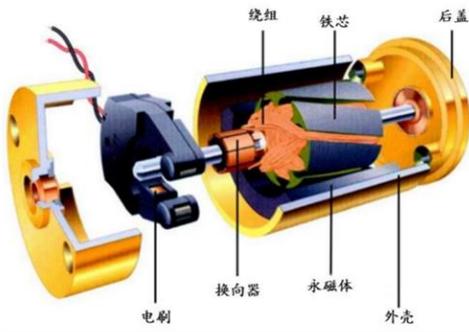
来源：各公司官网，各公司公告，国金证券研究所

3.空心杯电机：灵巧手动力之源，国产替代空间广阔

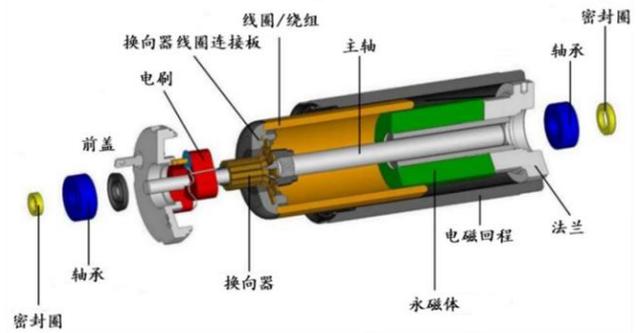
3.1 为什么机器人灵巧手要用空心杯电机？

空心杯电机属于伺服电机，被誉为“电机皇冠上的明珠”。不同于普通铁芯电机将电机绕组固定在铁芯之上，空心杯电机绕组不依靠铁芯支撑，而是利用特殊工艺将电机绕组做成可以独立支撑的杯状。由于采用无铁芯转子结构，空心杯电机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，减少了转子自身的机械能损耗，大幅提高了电机的运转性能。

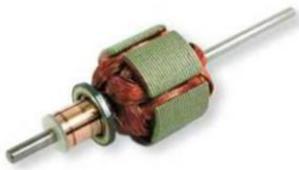
图表24：普通铁芯电机与空心杯电机对比



普通铁芯电机结构图



空心杯电机结构图



普通铁芯电机线圈



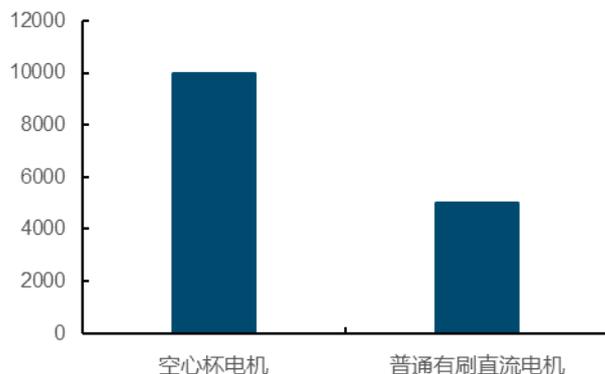
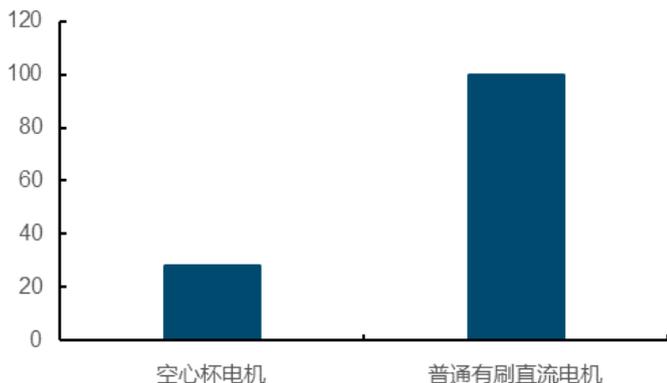
空心杯电机线圈

来源：Maxon 官网，《空心杯线圈绕线机控制系统设计》，国金证券研究所

空心杯电机性能优越，具有控制精度高、寿命长、转速快、能效高、体积小、能量密度大等优势。

- 控制精度高、寿命长。空心杯电机的机械时间常数小，一般在 28 毫秒以内，而铁芯电机一般在 100 毫秒以上，因此空心杯电机响应时间极快。由于电机特性为线性，因而具有理想的控制性能，转子转速范围宽，便于对转速进行高精度控制操作。此外，空心杯电机换向片数量多，换向时电流波动小，加之电机电感量较小，换向系统在换向时受到的腐蚀小，从而寿命更长，可达 1000-3000 小时，约是普通有刷直流电机的 4-6 倍。
- 转速快、能效高。空心杯电机由于采用无铁芯转子结构，基本没有涡流损耗、磁滞损耗，所以最高转速设计可达 10000rpm，最高能效多位于 65%-85%。普通有刷直流电机由于涡流损耗与转速的平方成正比，故其连续力矩会随转速上升而快速下降，最高转速一般在 5000rpm 以下。此外，由于铁损耗与机械损耗的存在，普通有刷直流电机的能量转化效率一般在 50% 左右。
- 体积小、能量密度大、拖动特性优。与同等功率的普通有刷直流电机相比，空心杯电机体积更小、质量更轻，因而能量密度更大。此外，其输出转矩较高、转矩脉动更小，加之其换向片数量很多，因而操作更加平稳、可靠，转速波动小且容易控制，具有理想的拖动性能。

图表25: 空心杯电机机械时间常数小、控制精度高 (ms) 图表26: 空心杯电机转速更快 (rpm)



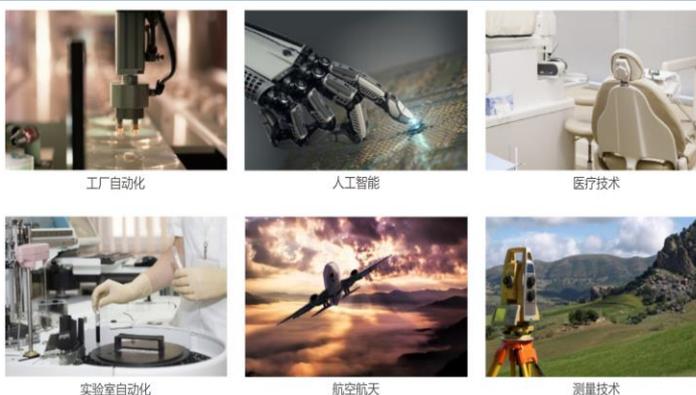
来源:《空心杯微型电机及线圈的研究进展》, 国金证券研究所

来源:《空心杯电机定制化管理的应研究》, 国金证券研究所

空心杯电动机应用广泛, 与灵巧手轻量化、高精度需求完美契合。空心杯电机凭借性能优越, 广泛应用于工厂自动化、机器人、医疗技术、航空航天等领域。在机器人领域, 灵巧手空间狭小, 需要配备小型化且控制精度高的电机。空心杯电机尺寸较小, 直径一般不超过 40mm, 同时还具有转速高、响应快、精度高等优势, 完美契合了灵巧手对驱动电机的轻量化和高精度要求。例如, 因时机器人在灵巧手中内置微型驱动器, 该驱动器为小型一体化直线伺服系统, 内部集成了空心杯电机、精密行星减速器、传感器等部件。

图表27: 机器人灵巧手是空心杯电机的应用方向之一

图表28: 因时机器人灵巧手内置空心杯电机



来源: 鸣志电器官网, 国金证券研究所

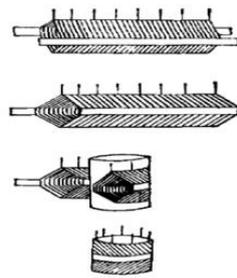
来源: 因时机器人, 国金证券研究所

3.2 如何看待空心杯电机的壁垒、竞争格局?

➤ 壁垒 1: 线圈绕组设计: 国内以卷绕生产为主, 生产效率低

空心杯电机线圈绕制技术按成型方式分为卷绕生产和一次成型生产。1) 卷绕生产工艺较为复杂, 先将铜线绕制成几何形状的空心线圈, 进而将线圈挤扁, 制成扁平的铜线板, 最后将线板绕成圆柱状的线圈。2) 一次成型技术通过绕线机将铜线按照既定的规则缠绕在主轴上, 一次成型, 不需要卷圆压扁等工序。两种技术相比, 后者工艺简单, 绕制效率高。目前我国生产空心杯电机多采用卷绕式生产技术, 生产效率较低, 废品率高, 生产出来的线圈直径较小, 生产高性能大尺寸的线圈技术有待提升。

图表29：一次成型生产技术工艺相对简单、效率更高



卷绕线圈制造流程

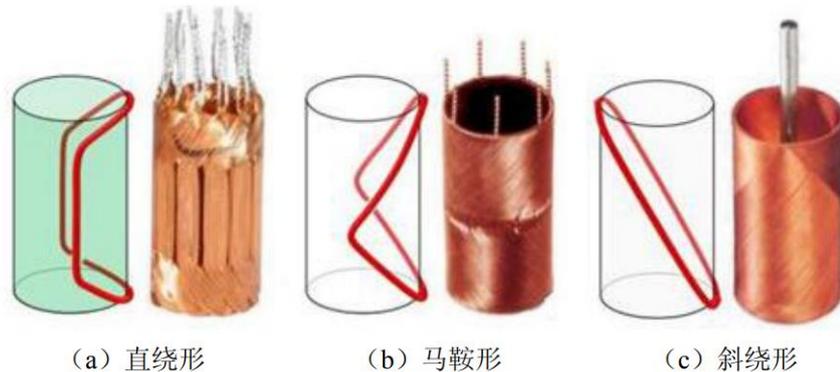


一次成型后的线圈

来源：《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》，国金证券研究所

空心杯电机线圈绕制技术按线圈绕法分为直绕形、马鞍形、斜绕形三种形式。其中，直绕形绕制方法工艺较为复杂，多用于较长绕组结构，常为多次绕制而成。斜绕形和马鞍形的绕制工艺简单，具有电枢重量轻、转动惯量小、时间常数小、拖动特性好、输出力矩大等优势，是国外先进空心杯电机厂商常用的两种线圈形式。例如，德国 Faulhaber 电机采用斜绕形线圈，瑞士 Maxon 电机采用马鞍形线圈，因而电机性能更加优越。

图表30：空心杯电机线圈绕制形式



(a) 直绕形

(b) 马鞍形

(c) 斜绕形

来源：《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》，国金证券研究所

► 壁垒 2：绕线设备：绕线机技术海外领先，国内企业自动化程度低

绕线机全球头部厂商集中在欧美和日本，包括瑞士 Meteor、日本田中精机、日本日特机械等企业。海外厂商设备先进，基本实现了绕线设备的自动化、智能化、网络化，绕线设备质量可靠，生产效率高。

图表31：绕线机全球头部厂商集中在欧美和日本

	绕线机工艺水平	代表产品
瑞士 Meteor	技术先进，研制出诸多类型的线圈绕制设备，全球占有率高	M21、M21S、M22 型绕线机
日本田中精机	“世界绕线机生产的鼻祖”，第一个将计算机控制用于全自动绕线机上，发明了磁铁无摩擦张力器，研发 CNC 可翻转的多轴绕线设备	NW7503 绕线机
日本日特机械	全球大型绕线机专业生产商，绕线机种类多且性能可靠、通用性强	BAS 系列、BHS 系列
日本萨比克	专门设计制造线圈绕线机，在无骨架、空心杯线圈绕线机领域具有代表性，绕线机性能可靠、经济性好，畅销世界各地	PNS-61FA 空心杯线圈绕线机

来源：《空心杯线圈绕线机控制系统设计》，《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》，国金证券研究所

例如：（1）瑞士 Meteor 专业从事绕线机制造，是瑞士 MAXON 等知名空心杯电机企业绕线机供应商。其 M21 系列绕线机通过伺服电机实现线圈的精密排线，系统采用 CNC 数控技术精准控制，确保了绕线机在高速运转状态下的绕制精度。（2）日本日特机械是全球大型绕线机专业生产

商，绕线机种类多且性能可靠、通用性强。其 BAS 系列是绕制各种空心线圈，能够实现一次成型的设备。该绕线机采用高刚性的排线导轨，使得其在无槽夹具的情况下，同样能实现高质量的排线绕制。

图表32: 瑞士 Meteor 和日本日特机械绕线机



来源:《空心杯线圈绕线机控制系统设计》,《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》,国金证券研究所

国内绕线设备自动化程度低,技术与海外存在差距。我国绕线机研发起步晚,线圈设计以卷绕式为主,工序较为繁琐。部分绕线机可实现一次成型绕制,但面对较大功率电机的粗线径线圈,国产设备在可靠性和绕制精度方面相比世界先进水平仍有较大差距。

国内绕线机厂商包括中特科技、勤联科技、台立电子等公司。以中特科技为例,其全自动双轴空心杯绕线机绕制原理依旧属于卷绕式生产,工序相对复杂。勤联科技的空心杯绕线机采用一次性绕制成型技术,但主要适用于尺寸较小、线径较细的线圈,对于大功率空心杯电机的线圈绕制存在一定难度。

图表33: 中特科技和勤联科技绕线机



来源:各公司官网,国金证券研究所

格局: 海外厂商技术领先, 国产替代空间广阔。

空心杯电机起源于德国、瑞士等欧美国家,全球头部企业包括德国 Faulhaber、瑞士 Maxon 和瑞士 Portescap。海外龙头在空心杯电机领域布局较早,技术经验积累深厚,是全球空心杯电机的主要供应商。国内起步较晚,有业务布局的企业包括鸣志电器、拓邦股份、江苏雷利和伟创电气。根据上述各公司公告,鸣志电器空心杯电机技术水平位居全球前列;拓邦股份空心杯电机已经实现批量应用;江苏雷利子公司鼎智科技的空心杯电机已实现量产,目前处于小批量验证阶段;伟创电气处于产品内部测试阶段,其余企业技术相对薄弱,国产替代空间广阔。

图表34: 国内外空心杯电机厂商对比

公司	主要产品	空心杯电机进展	22 年营收
瑞士 Maxon	机电驱动系统、直流有刷电机、齿轮箱、传感器等	全球空心杯电机龙头, ECX、EC-max、EC-4pole 等系列空心杯电机远销海内外	58 亿元

德国 Faulhaber	直流伺服电机等	空心杯电机拥有 BX、CXR、CR 和 CT 四大系列产品	—
鸣志电器	步进电机、无齿槽&空心杯电机等、LED 驱动及智能照明产品等	提供 Ø8mm-Ø24mm 多种外径及机身长度规格型号的有刷空心杯电机，技术水平位居全球前列	30 亿元
拓邦股份	智能控制器、锂电池、高效电机、工控产品等	已批量应用于智能制造的电动来爪、医疗健康的骨科动力工具、智能跟随的高尔夫球包车等领域	89 亿元
江苏雷利	PM 步进电机、永磁步进减速电机、同步电机等	子公司鼎智科技的空心杯电机实现量产，目前处于小批量验证阶段	29 亿元
伟创电气	变频器、伺服系统、控制系统等	空心杯电机目前处于内部测试阶段	9 亿元

来源：各公司官网，各公司公告，国金证券研究所 注释：22 年瑞士 Maxon 销售额 7.08 亿瑞士法郎，采用 23 年 7 月 29 日汇率，对应人民币 58 亿元

相比海外龙头，国内企业具备价格优势。选取瑞士 MAXON 和鸣志电器机座尺寸同为 16mm 的机型相比，瑞士 MAXON 在转矩、转速、响应速度、工作效率等指标上表现更佳，而国产机型价格更低，具有价格优势。未来随着人形机器人应用对空心杯电机市场规模的拉动，国内核心供应商有望充分受益。

图表35：国内产品价格优势明显

产品	瑞士 MAXON	鸣志电器
	ECX SPEED16 空心杯电机	ECU16036H18 系列空心杯电机
机座尺寸 (mm)	Ø16	Ø16
额定转矩 (mNm)	15.5	—
堵转转矩 (mNm)	366	61.5
空载转速 (rpm)	61200	17100
最大效率	92%	81%
最大绕组温度 (°C)	155	155
机械时间 (ms)	2.1	1.72
零售价格 (元)	2510	1057

来源：瑞士 MAXON 官网，鸣志电器官网，国金证券研究所

4.投资建议

考虑当前电机市场空间较大，同时国内厂商在无框力矩电机和空心杯电机技术领域仍有较大提升空间，在人形机器人产业链发展催化下，国内厂商有望加速实现国产替代，建议重点关注无框力矩电机领域的步科股份，空心杯电机领域的鸣志电器、拓邦股份、江苏雷利。

图表36：重点公司估值表

领域	代码	公司	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)				PE						
				2022	2023E	2024E	2025E	2022	2023E	2024E	2025E			
无框力矩电机	688160.SH	步科股份	48.05	0.91	1.11	1.39	1.76	52.77	43.21	34.65	27.31			
				603728.SH	鸣志电器	252.04	2.47	4.02	6.13	8.55	101.94	62.64	41.12	29.47
				002139.SZ	拓邦股份	144.60	5.83	8.16	11.21	14.05	24.82	17.72	12.90	10.29
空心杯电机	300660.SZ	江苏雷利	93.52	2.59	3.48	4.61	5.58	36.15	26.84	20.29	16.75			

来源：Wind，国金证券研究所（估值日期为 2023 年 7 月 28 日）

4.1 步科股份：国内无框力矩电机龙头，盈利能力维持高位

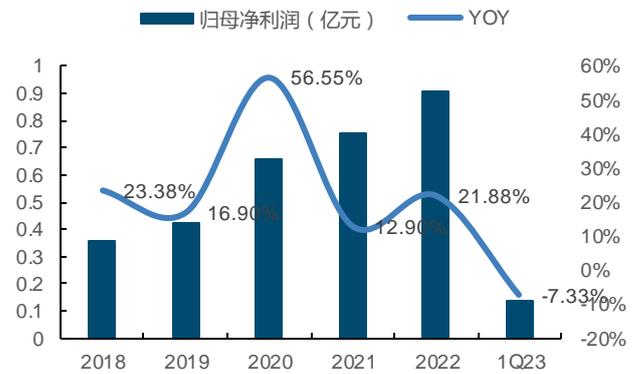
步科股份主营工业自动化设备控制核心部件与数字化工厂软硬件。(1) 工业自动化设备控

制核心部件包括工业人机界面、伺服系统、步进系统等，广泛应用于物流设备、工业机器人等领域。其中工业人机界面产品 19 年市占率国内第八，国产品牌中排名第二。(2) 数字化工厂产品包括产线智能终端、智能网关、数据采集器、智能电子看板等，主要应用于制造设备的联网与上云、数字化工厂建设与改造，中小企业产销协同制造等领域。

收入、利润增长稳健，盈利能力保持稳定。18-22 年，步科股份收入从 3.19 增长至 5.39 亿元，CAGR 达 14.01%；归母净利润从 0.36 增长至 0.91 亿元，CAGR 达 26.09%。公司毛利率相对稳定，18-1Q23 维持在 40%左右。

图表37: 18-22 年步科股份收入 CAGR 达 14%

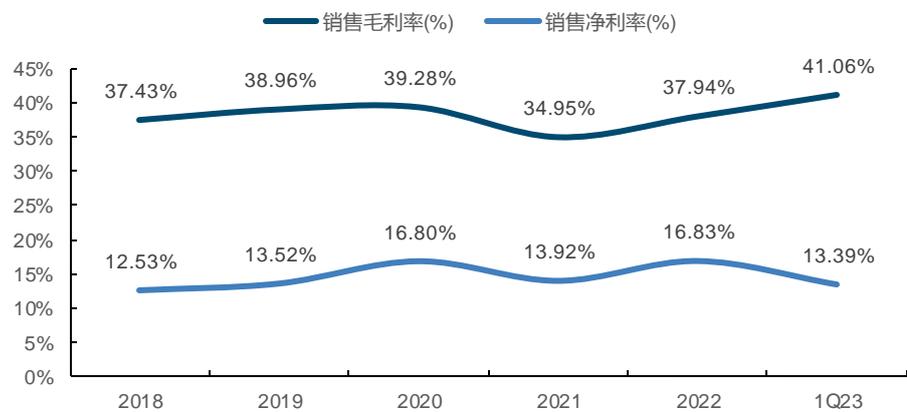
图表38: 18-22 年步科股份归母净利润 CAGR 达 26%



来源：步科股份公告，国金证券研究所

来源：步科股份公告，国金证券研究所

图表39: 步科股份毛利率保持在 40%左右



来源：步科股份公告，国金证券研究所

推出第三代无框力矩电机，产品性能持续提升。步科股份于 16 年推出首代无框力矩电机，其后公司持续进行产品研发和技术迭代，并在第二代无框力矩电机中采用多槽分瓣式结构，极大提高了槽满率，降低了温升。22 年步科推出第三代无框力矩电机 FMC 系列，产品优化了电磁方案，转矩密度进一步提升。目前有 52mm-132mm 10 种框架尺寸，覆盖 3-25kg 负载需求，相同转矩下，尺寸更小，温升更低。

图表40: 步科股份第三代无框力矩电机性能优越

优势	解释
专业化	通过深入优化电磁方案，获得更高的转矩密度
精细化	目前有 52mm-132mm10 种框架尺寸，覆盖 3-25kg 负载需求，相同转矩下，尺寸更小，温升更低
特色化	首创无框灌封工艺，轻量化设计、更薄机身，运动速度更快，更平稳，与市场产品相比，铜损下降率高达 20%
新颖化	与市场主流的谐波减速机尺寸匹配，更大的中空内径满足客户多样化的穿线需求

来源：步科股份微信公众号，国金证券研究所

4.2 鸣志电器：电机品类丰富，业务实现全球化布局

鸣志电器是全球领先的电机及驱动系统制造商，在步进电机、伺服电机、空心杯电机及前述电机的驱动系统等方面实现了深入布局，同时掌握了运动控制领域的控制电机研发、驱动控制、尖端制造、产品系统集成等技术，核心优势明显。

图表41: 鸣志电器多种产品可运用于人形机器人

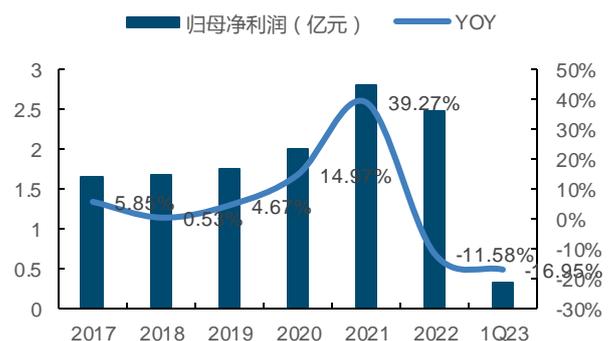


来源：鸣志电器官网，国金证券研究所

22 年业绩短期承压，长期增长趋势稳定。22 年鸣志电器实现收入 29.6 亿元，同比+9.05%，增速放缓；归母净利润 2.47 亿元，同比-11.58%，主要系疫情防控停工停产所致。长期来看，公司增长趋势稳定，17-22 年收入、归母净利润复合增速分别为 12.7%和 8.27%。

图表42: 17-22 年鸣志电器收入 CAGR 为 12.7%

图表43: 17-22 年鸣志电器归母净利润 CAGR 为 8.27%

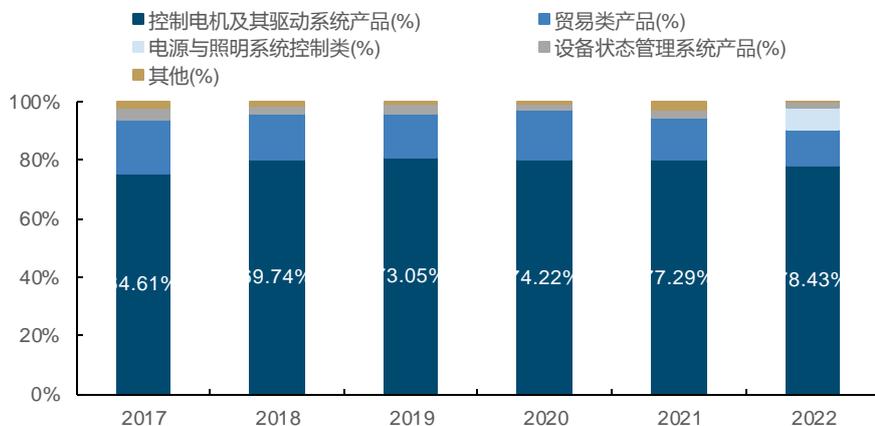


来源：鸣志电器公告，国金证券研究所

来源：鸣志电器公告，国金证券研究所

17-22年，控制电机及其驱动系统产品为鸣志电器最主要的业务板块，此板块的营收占比稳定增加，22年已接近80%。

图表44：鸣志电器收入以控制电机及其驱动系列产品为主



来源：鸣志电器公告，国金证券研究所

差异化竞争提高产品竞争优势。鸣志电器立足于应用的高技术领域、高附加值领域和新兴市场，通过与国内外主要客户的广泛磨合与认证，与全球客户之间培养长期、稳定的战略供应链，充分发挥鸣志电器产品的品牌美誉度。鸣志电器产品重点布局高端应用领域，以满足各种应用的设计需求为出发点，特别是满足客户对各种严酷使用场景的苛刻要求。鸣志电器在全球最主要的工业区设立分支机构，现已在国内设立了11家办事处，在美国、意大利、新加坡、日本、德国分别设立了公司，业务已经覆盖北美、欧洲、东亚及东南亚的主要国家和地区。

图表45：鸣志电器已实现全球布局



来源：鸣志电器官网，国金证券研究所

4.3 拓邦股份：智能控制系统领导者，布局新能源构建增长新引擎

拓邦股份主营智能控制系统解决方案，以电控、电机、电池、电源、物联网平台的“四电一网”技术为核心，面向家电、工具、新能源、工业、智能解决方案等五大行业提供各种定制化解决方案。拓邦股份是全球领先的智能控制解决方案商，是家电和工具行业智能控制解决方案的领导者，是新能源和工业行业的创新引领者。

图表46: 拓邦股份业务布局



来源: 拓邦股份公告, 国金证券研究所

拓邦股份收入、利润长期增势稳健, 17-22 年收入、归母净利润复合增速分别为 27.03% 和 22.66%。工具和家电业务为公司基本盘, 22 年合计占比超 70%。新能源业务近几年维持高增, 22 年实现收入 20.36 亿元, 同比+63.98%。拓邦股份新能源业务拥有“一芯 3S”(电芯、BMS、PCS、EMS) 核心技术, 主要聚焦于中小储能及新能源车应用领域, 助力公司构建增长新引擎。

图表47: 17-22 年拓邦股份收入 CAGR 为 27.03%

图表48: 17-22 年拓邦股份归母净利润 CAGR 为 22.66%



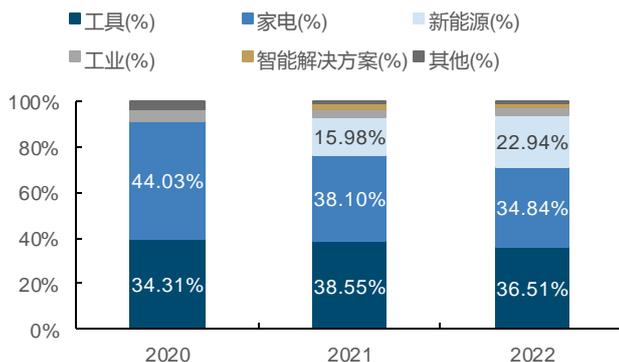
来源: 拓邦股份公告, 国金证券研究所



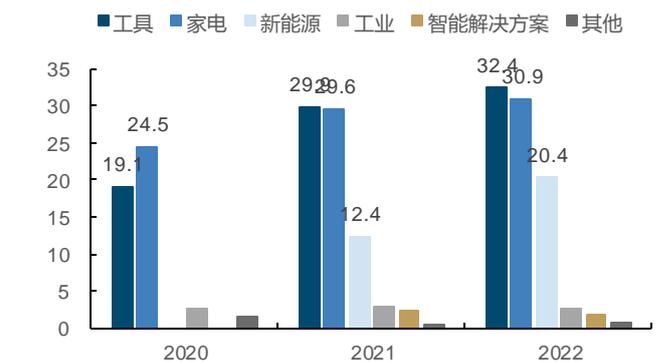
来源: 拓邦股份公告, 国金证券研究所

图表49: 工具、家电业务为基本盘, 22 年占比超 70%

图表50: 新能源业务增长迅速



来源: 拓邦股份公告, 国金证券研究所



来源: 拓邦股份公告, 国金证券研究所

在电机方面，拓邦股份重点围绕电机的高效、低噪声、高精度、高稳定持续创新，建立了从电机设计和仿真、测试和验证到规模化制造的完整技术能力，形成了直流无刷电机（BLDC）、步进电机、伺服电机等数十个先进的电机产品平台，电机技术已经成功应用于电动工具、自动化设备、智能电器、新能源汽车、机器人等多个领域。

图表51：拓邦股份电机产品一览



来源：拓邦股份官网，国金证券研究所

4.4 江苏雷利：微特电机领域龙头，电机产品种类丰富

江苏雷利主营家用电器、汽车微特电机、医疗仪器用智能化组件、工控电机及组件及相关零部件，覆盖家电、工业、汽车、运动与健康四大领域。公司产品包括空调电机及组件、洗衣机电机及组件、OA金融设备电机、工业设备电机、新能源汽车电机及组件、商用车电机及组件、医疗器械电机、运动器材电机等。公司是微特电机产品及智能化组件制造行业的领先企业。

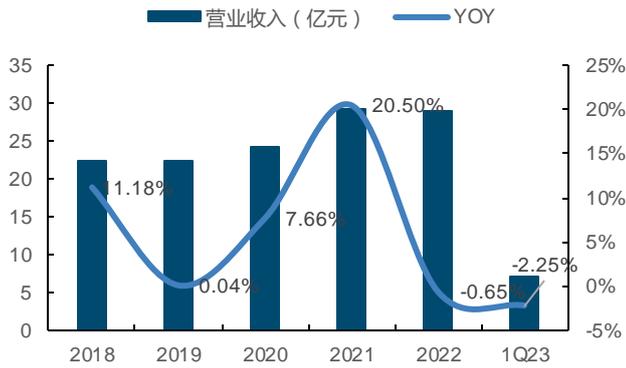
图表52：江苏雷利布局家电、工业控制、汽车、运动健康四大领域

家电领域				工业领域			
空调电机及组件		洗衣机电机及组件		OA金融设备电机		工业设备电机	
永磁步进减速电机	导风机构	排水电机	交流同步排水泵	PM步进电机	混合式步进电机	永磁无刷电机	直流有刷电机
汽车领域				运动健康领域			
新能源汽车电机及组件		商用车电机及组件		医疗器械电机		运动器材电机	
汽车水泵	电机类冲压件	混合式步进电机	无刷直流电机	直流无刷电机	有铁芯平板直线电机	直流有刷电机	升降电机

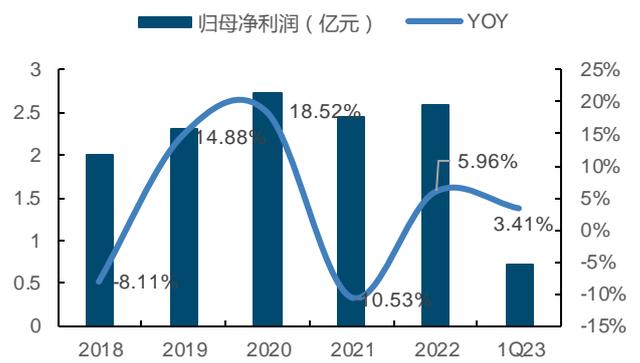
来源：江苏雷利官网，国金证券研究所

18-22年，江苏雷利营收、归母净利润复合增速分别为6.56%和6.68%，整体保持稳定增长态势。21年公司归母净利润同比减少10.53%，主要系原材料价格大幅上涨，毛利率降低所致。22年得益于产品结构优化，组件化新产品推广加速，叠加美元升值影响，毛利率提升2.93pct至28.5%，1Q23毛利率进一步提升至32.91%。

图表53: 18-22年江苏雷利收入 CAGR 为 6.56%



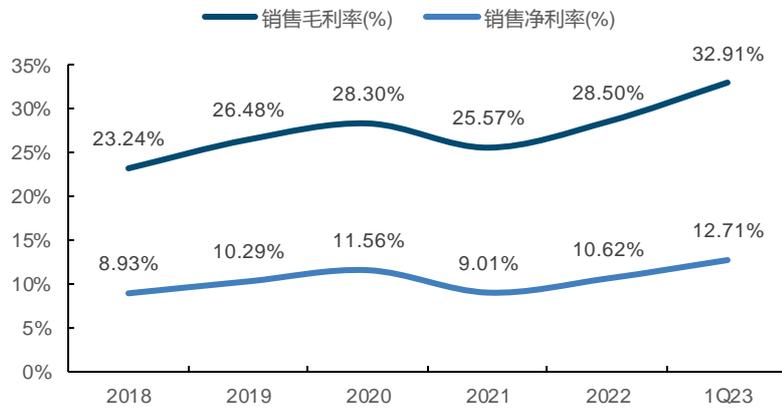
图表54: 18-22年江苏雷利归母净利润 CAGR 为 6.68%



来源: 江苏雷利公告, 国金证券研究所

来源: 江苏雷利公告, 国金证券研究所

图表55: 江苏雷利毛利率近年来呈增长态势



来源: 江苏雷利公告, 国金证券研究所

重点发展空心杯电机业务, 已实现批量生产。空心杯电机业务由江苏雷利及子公司鼎智科技共同开展, 在医疗领域产品的开发与销售主要由鼎智科技全面承接。空心杯电机是江苏雷利重点发展业务, 目前无刷空心杯电机及其精密传动组件处于样品测试阶段。根据投资者关系活动记录表, 江苏雷利现已实现空心杯电机的批量生产, 并在绕线工艺、生产效率、精度方面存在领先优势。江苏雷利未来将围绕“编码器+控制器+空心杯电机+精密齿轮箱”加大研发投入, 做好产品技术储备, 形成能提供系统解决方案的能力。

图表56: 江苏雷利空心杯电机系列



来源: 鼎智科技官网, 国金证券研究所

5.风险提示

- 人形机器人发展不及预期风险。人形机器人处于发展初期, 风险较大, 若未来发展不及预期, 无框力矩电机和空心杯电机等核心零部件需求不及预期, 影响相关公司业绩。
- 国产替代不及预期风险。目前国内企业在无框力矩电机和空心杯电机技术方面与海外头部厂商仍有较大差距, 如果未来技术研发滞后, 或导致国产替代进展不及预期, 影

响企业业绩增长。

- 行业竞争加剧风险。随着需求的变化，机器人零部件细分市场如果竞争加剧，则存在企业盈利能力下降风险。

行业投资评级的说明：

- 买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
- 增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
- 中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
- 减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-60753903	电话：010-85950438	电话：0755-83831378
传真：021-61038200	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	传真：0755-83830558
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮编：100005	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	地址：北京市东城区建内大街 26 号	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号	新闻大厦 8 层南侧	地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心
紫竹国际大厦 7 楼		18 楼 1806