



Research and  
Development Center

# 机器人系列报告（二）：机器人“动力源”，看好国产电机持续突破

2023年7月30日

证券研究报告

行业研究

行业深度研究

电力设备与新能源

投资评级 看好

上次评级 看好

武浩 电力设备与新能源行业首席分析师

执业编号: S1500520090001

联系电话: 010-83326711

邮箱: wuhao@cindasc.com

孙然 电力设备与新能源行业研究助理

联系电话: 18721956681

邮箱: sunran@cindasc.com

信达证券股份有限公司

CINDA SECURITIES CO., LTD

北京市西城区闹市口大街9号院1号楼

邮编: 100031

## 机器人“动力源”，看好国产电机持续突破

2023年7月30日

### 本期核心观点

- **控制电机是机器人“动力核心”。**电机是一种将电能转换为机械能的装置，主要由外壳、定子、转子、绕组组成。电机种类繁多，根据不同方式可以划分为不同种类，应用领域众多，本文主要关注应用在机器人领域的控制电机（伺服电机）。控制电机的产业链上游主要是磁性原材料、编码器、芯片和轴承等，其中磁性材料和编码器相对关键：1) 磁性材料对电机性能影响较大，磁性材料中钕铁硼性能较好，渗透率有望提升；2) 编码器的分辨率和精度与电机运动控制性能有着密切的关联，可分为磁编码器和光电编码器等，光编码器精度较高，成本较高，磁编码器对环境要求较低。我们认为编码器是电机核心部分，国内企业持续突破，有望加速高端电机国产化。
- **人形机器人时代将至，有望带动无框电机&空心杯电机快速增长。**机器人相关的电机可以分为伺服电机、直流电机、交流电机和步进电机，机器人需要根据不同场景去选择对应使用电机，工业机器人、服务机器人、协作机器人等机器人根据应用场景不同，会选择不同电机：1) 工业机器人对性能和精度要求较高，主要使用伺服电机；2) 协作机器人追求轻量化、小型化等特性，通常采用整体式的无框电机，并采用关节一体化技术；3) 人形机器人关节要求与协作机器人有相似之处，主要使用无框电机、空心杯电机。从市场角度来看，2021年机器人电机市场规模约11亿美元，随着人形机器人逐步落地，有望贡献新增量，若人形机器人数量超过100万个，将带来电机市场增量344亿元。
- **看好人形机器人带动国内厂商切入高端电机市场。**复盘MAXON发展之路，我们认为其布局高壁垒产品+新兴领域应用，并布局上游零部件和驱控技术，是MAXON维持高利润的关键。而国内电机企业处于“量增”走向“提质”阶段，部分企业不断加速中高端电机相关行业渗透（工控等），若人形机器人加速落地，或将给国内企业带来参与先进领域设计/制造的机会：人形机器人潜在空间较大，这类高成长赛道或将带动国内企业对高端电机领域研发和布局，带动国内企业切入高端电机市场。
- **投资建议：**我们认为人形机器人有望提高机器人相关电机市场空间，驱动国产电机突破中高端电机市场。推荐汇川技术、旭升集团（信达证券研发中心电机组&汽车组联合覆盖）；建议关注空心杯电机和步进电机头部企业鸣志电器、兆威机电，工控领先企业伟创电气、无框电机制造商步科股份。
- **风险因素：**核心技术发展不及预期；特斯拉Optimus机器人量产不及预期；地缘政治风险&宏观经济下行风险等。

## 目录

一、控制电机是机器人“动力核心” .....	5
1.1 电机构成与原理介绍 .....	5
1.2 电机原材料：钕铁硼渗透率有望提升，编码器国产化步入快车道 .....	6
二、人形机器人时代将至，看好国内厂商切入高端电机市场 .....	10
2.1 风起人形机器人，机器人电机市场蓄势待发 .....	10
2.1.1 工业机器人：伺服电机系统是机器人“心脏” .....	11
2.1.2 协作机器人：轻量化设计背景下，无框电机成首选 .....	12
2.1.3 人形机器人：有望贡献新增量 .....	13
2.2 复盘海外高端电机厂商，人形机器人有望加速国内高端电机突破之路 .....	16
三、国产替代进行时，看好国产企业突破高端电机壁垒 .....	19
3.1 伺服电机：进军中高端市场，国产替代进行时 .....	19
3.2 空心杯电机：绕线是核心壁垒，看好国内企业突破绕线壁垒 .....	21
3.3 无框电机：国产企业有望凭借性价比优势加速突破 .....	26
四、投资建议 .....	30
五、风险因素 .....	31

## 图表目录

图表 1：交流电机核心部件 .....	5
图表 2：直流有刷电机核心部件 .....	5
图表 3：电机分类 .....	6
图表 4：电机产业链情况 .....	6
图表 5：主要永磁材料的特性 .....	7
图表 6：光编码器原理 .....	8
图表 7：磁编码器原理 .....	8
图表 8：光编码器和磁编码器对比 .....	8
图表 9：部分国内企业编码器布局情况 .....	9
图表 10：2021 年全球机器人主要电机占比情况 .....	10
图表 11：2021-2030 全球机器人电机主要区域情况 .....	10
图表 12：不同应用场景下电机需求情况分析 .....	10
图表 13：全球工业机器人市场规模及增速 .....	11
图表 14：全球服务机器人市场规模及增速 .....	11
图表 15：中国工业机器人成本构成 .....	11
图表 16：传统工业机器人和协作机器人 .....	12
图表 17：中国协作机器人市场规模及增速 .....	12
图表 18：全球服务机器人市场规模及增速 .....	12
图表 19：双足人形机器人驱动器的发展历程 .....	13
图表 20：一体化关节内部构成（以协作机器人为例） .....	14
图表 21：一体化关节外观 .....	14
图表 22：绳驱手指结构 .....	14
图表 23：绳驱驱动方式 .....	14
图表 24：Optimus 躯干拥有 28 个运动关节 .....	15
图表 25：Optimus 手部情况 .....	15
图表 26：全球电机市场规模（亿美元） .....	15
图表 27：全球机器人电机市场规模（亿美元） .....	15
图表 28：特斯拉汽车销售变化情况 .....	16
图表 29：电机主要市场情况分析 .....	17
图表 30：电机主要市场情况分析 .....	18
图表 31：鸣志电器收购相关公司情况 .....	18
图表 32：伺服系统工作原理 .....	19

图表 33: 伺服主要成本构成情况 .....	19
图表 34: 伺服系统的分类 .....	19
图表 35: 2021 年伺服系统主要应用领域 .....	20
图表 36: 通用伺服系统市场规模 (单位: 亿元) .....	21
图表 37: 2022 前三季度通用伺服市场竞争格局 .....	21
图表 38: 某公司空心杯电机的可定制部分 .....	21
图表 39: 空心杯电机形状 .....	21
图表 40: 空心杯电机优势和应用范围 .....	22
图表 41: 空心杯电机应用场景 .....	23
图表 42: 空心杯电机线圈绕制形式 .....	23
图表 43: 卷绕式生产步骤图 .....	24
图表 44: 绕线机一体成型绕线 .....	24
图表 45: meteor 大线圈全自动生产线 .....	25
图表 46: 田中精机株式会社全自动绕线机 .....	25
图表 47: 全球空心杯电机市场规模 (亿美元) .....	25
图表 48: 2021 年全球空心杯电机主要类型占比情况 .....	25
图表 49: 国内企业空心杯电机布局情况 .....	26
图表 50: 无框电机外形 .....	26
图表 51: 无框电机优势 .....	27
图表 52: 无框电机在人形机器人领域应用 .....	27
图表 53: 无框电机在协作机器人领域应用 .....	27
图表 54: 瓦形磁体拼接辐向环和辐射充磁环 .....	28
图表 55: 科尔摩根一体化磁钢无框电机 .....	28
图表 56: 全球无框力矩电机市场规模 (亿美元) .....	28
图表 57: 2021 年全球无框力矩电机主要类型占比情况 .....	28
图表 58: 步科股份与科尔摩根产品对比 .....	29
图表 59: 主要标的情况 .....	30

# 一、控制电机是机器人“动力核心”

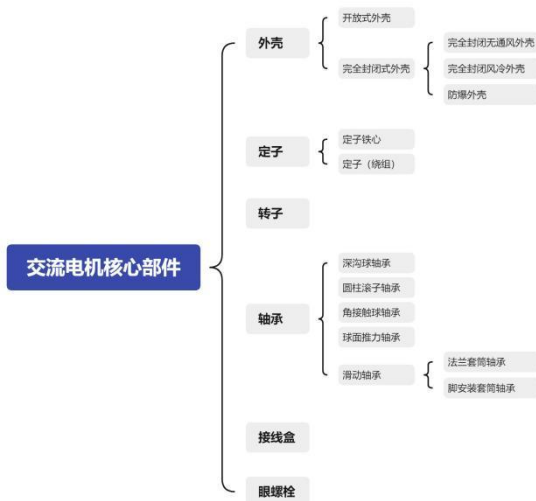
## 1.1 电机构成与原理介绍

电机是一种将电能转换为机械能的装置。大多数电机通过电流在导线绕组中与磁场的相互作用来产生扭矩，作用在电机轴上形成力。电机主要由定子和转子组成，定子上的绕组通电产生磁场，而转子则通过与磁场相互作用而转动。

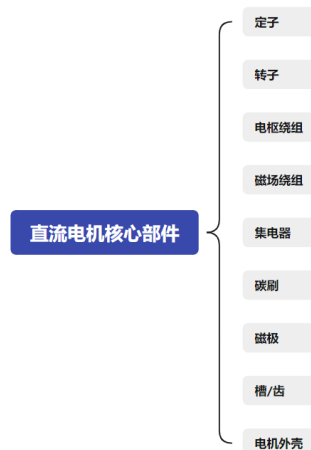
主要组成部分可以分为：

- 1) **外壳**：外壳由一个框架（或轴心）和两个端盖（或轴承座）组成。电机的外壳不仅可以将电机的组件保持在一起，还可以保护内部组件免受湿气和污染物的影响。此外，外壳类型还会影响电机的冷却，外壳可以分为开放式外壳，完全封闭式外壳。
- 2) **定子**：定子承载磁场绕组和极。定子与转子一起构成机器的磁路或核心。
- 3) **转子**：承载电枢绕组。电枢是承载负载的部分。
- 4) **绕组**：通电后，会产生电磁力。

图表 1：交流电机核心部件



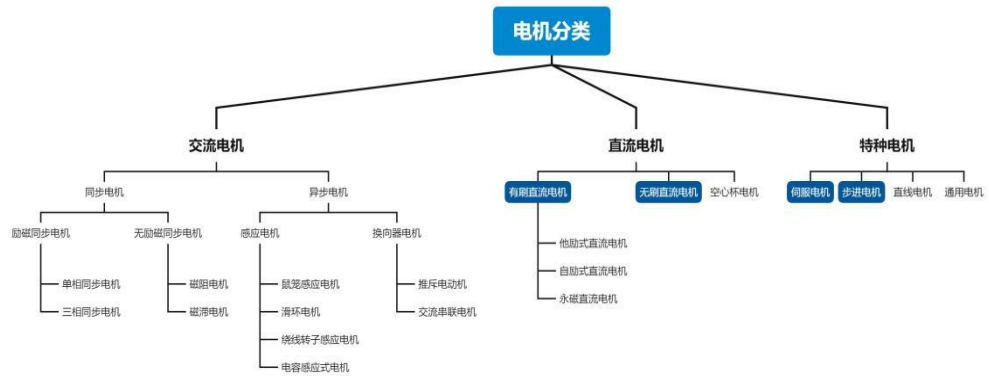
图表 2：直流有刷电机核心部件



资料来源: *Electrical Knowhow*, 信达证券研发中心

资料来源: *Electrical Knowhow*, 信达证券研发中心

电机种类多，可以按照不同方式进行分类：1) 从运行方式来分，有旋转电动机（含连续旋转、断续旋转和步进旋转三大类）、直线电动机、平面电动机等；2) 从所用电源来分，有交流电动机（含单相和三相、同步和异步、工频和中频等多种分类）和直流电动机两大类；3) 还可从电压高低、结构形式、体积或功率大小、用途、适用环境等多方面进行分类。

**图表 3：电机分类**


资料来源：ELECTRICAL TECHNOLOGY, 信达证券研发中心

从应用场景来看，电机应用场景众多，在消费市场、工业、车载等都有应用。本文以机器人为切入点，重点关注在工控、工业机器人领域、人形机器人等领域应用的控制电机。

### 1.2 电机原材料：钕铁硼渗透率有望提升，编码器国产化步入快车道

电机的上游主要是磁性材料、编码器、芯片和其他零部件，中游是电机制造，下游是工控、工业机器人等行业应用。

**图表 4：电机产业链情况**


资料来源：信达证券研发中心

**磁性材料是电机主要原料之一，对电机性能影响较大。**电机一般使用磁性较强的材料，强磁性材料包括了永磁材料、软磁材料以及功能性磁性材料。永磁的特性在于一经磁化，很难退磁，而软磁也容易磁化，但是磁化后容易退磁：永磁材料目前的划分有三大类，金属永磁、铁氧体永磁和稀土永磁，而软磁材料则有铁氧体软磁、金属粉芯、金属软磁和非晶纳米晶等。两种磁材料的最不同的特征在于矫顽力不同。矫顽力的定义为使已磁化的磁材无法向外磁路提供能量（但磁体内部仍具有一定能量）而必须施加的、与原磁化方向相反的外磁场强度，单位为  $0e$  或  $A/m$ 。简单一点理解就是矫顽力越高，材料越不容易退磁：

- 1) 永磁材料的目标是不断追求更高的矫顽力，强化不退磁能力，在永磁电机中应用较多；
- 2) 软磁通过降低矫顽力，追求更高的磁导率，可以起到电能参数变换，提高磁性元件效率并节省空间的作用，目前作为各类电机、变压器、继电器、电感器、滤波器等元器件的磁芯



应用在新能源汽车、机器人、光伏等诸多领域。

钕铁硼性能较好，渗透率有望提升。钕铁硼材料在矫顽力上的表现较优异，同时在磁能积上也优于其他材料。磁能积较好也意味着单位磁场强度下钕铁硼体积更小，这也非常有利于节省电机空间。尤其是高性能钕铁硼磁材料（矫顽力与磁能积之和大于 60），能大大减小电机体积，减轻电机质量，缩小电机能量损耗并提高整个电机系统效率。唯一的劣势在于温度稳定性比较差，需要通过添加钴等其他元素来改善温度性能，价格相对较高。

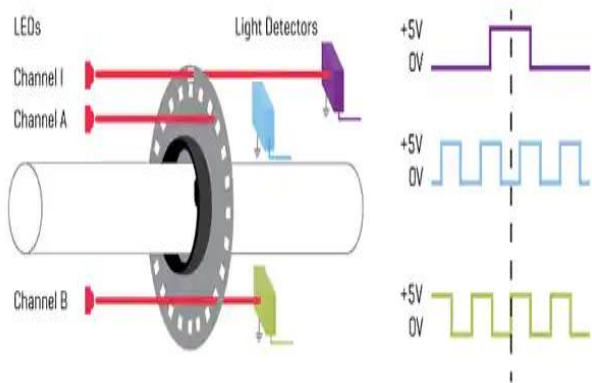
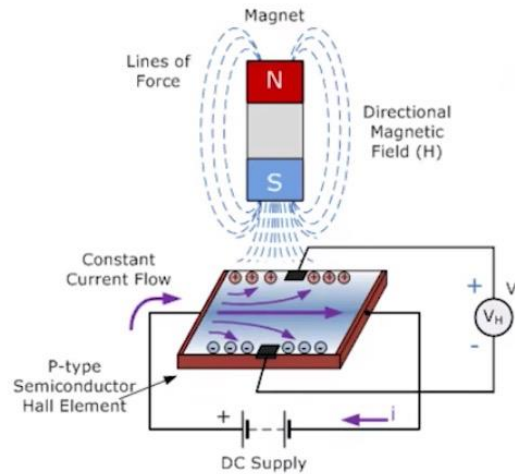
图表 5：主要永磁材料的特性

永磁材料	铝镍钴	铁氧体永磁	钐钴永磁	烧结钕铁硼
内禀矫顽力 (kOe)	0.38~1.53	1.76~4.21	15~21	11~40
最大磁能积 (MGOe)	1.4~13.2	0.17~5.2	24~33	33~50
剩磁强度 (T)	0.58~1.35	0.32~0.43	0.8~1.2	1.17~1.48
工作温度 (°C)	-250~550	-40~250	-250~525	-125~220
主要应用领域	主要是仪表、电能表	大体积扬声器、电动玩具、玩具、家电的风扇电机等	军事及航天航空	VCM、各种永磁电机、汽车 EPS、MRI 等
优点	最好的温度稳定性和时间稳定性，耐腐蚀性高	资源丰富，价格低廉	工作温度高，耐腐蚀性好，磁性能优于铝镍钴和铁氧体	磁能积高，机械力学性能好，可切削和钻孔
缺点	含有战略元素钴，性价比比较低	磁性能较差，温度稳定性差	含有战略元素钴，性价比低	居里温度低、温度稳定性差、化学稳定性低

资料来源：大地熊招股说明书，信达证券研发中心

**编码器的分辨率和精度与电机运动控制性能有着密切的联系。**编码器是将信号进行编制、转换为可用以通讯、传输的信号形式的设备，如为伺服电机的闭环控制产生速度或位置的实际测量值。编码器种类繁多，按照读出方式可分为接触式和非接触式两种；按照检测工作原理，伺服电机编码器可主要分为光电编码器、磁性编码器、电感式编码器和电容式编码器。其中，基于光电转换原理的光编码器和基于磁敏感元件感应磁场变化原理的磁编码器的应用较为广泛。

- 1) 光电编码器由 LED 光源（通常是红外光源）和光电探测器组成，二者分别位于编码器码盘两侧。码盘由塑料或玻璃制成，上面间隔排列着一系列透光和不透光的线或槽。码盘旋转时，LED 光路被码盘上间隔排列的线或槽阻断，从而产生两路典型的方波 A 和 B 正交脉冲，可用于确定轴的旋转和速度。
- 2) 磁电式编码器的原理是采用磁阻或者霍尔元件对变化的磁性材料的角度或者位移值进行测量。磁性材料角度或者位移的变化会引起一定电阻或者电压的变化，通过放大电路对变化量进行放大，通过单片机处理后输出脉冲信号或者模拟量信号，达到测量的目的。磁性转盘的磁极数、磁阻传感器的数量及信号处理的方式决定了磁性编码器的分辨率，使磁场信号不会受到灰尘、湿气、高温及振动的影响。

**图表 6：光编码器原理**

**图表 7：磁编码器原理**


资料来源：电子发烧友微信公众号，CUI Devices，信达证券研发中心

资料来源：长石新能源微信公众号，信达证券研发中心

心

光编码器一般精度较高，成本较高，对工业环境有一定要求，粉尘、水汽等可能会影响编码器精度；磁编码器成本较为简单，价格优势相对明显。

**图表 8：光编码器和磁编码器对比**

	光编码器	磁编码器
精度	分辨率高，可实现精确的位置控制	依靠电磁感应工作，精度较差，不适于在精小处实施位移检测
环境适应性	粉尘、水汽较多时，码盘可能受到污染，导致光信号传递受阻，影响光学编码器的可靠性；玻璃或塑料码盘容易因振动或极端温度而损坏，因而限制了光学编码器在恶劣环境应用中的适用范围；将其组装到电机上不仅耗时，而且受污染的风险更大	能够适应高水平的振动或污染；但是电机（尤其是步进电机）产生的电磁干扰会造成影响，而且温度变化也会使其位置偏移
经济成本	精度要求高、结构复杂，经济成本较高	磁编结构简单、磁性芯片技术国产化、上游供应链厂商发展快，价格优势明显

资料来源：王聘等《电机转子位置传感器的评述与发展趋势》，信达证券研发中心

**编码器国产化进行时，看好国内企业突破高端编码器。**当前，编码器中的一些芯片、码盘及磁头等重要元器件仍然依赖于进口，这是国内编码器厂商下阶段的主要突破目标。以码盘为例，码盘的码道数越多，其最外道被分割的区域就越多，即编码器的最小分辨率越高。码盘的生产要求每个码道刻划精准，并且要求彼此对准，给编码器的国产化进程造成了极大阻碍。除码盘之外，光电编码器的芯片属于光敏器件，光电结合紧密且工艺特殊，对参数控制要求较高，需要在高温条件下持续工作，还要保证信号形态正常，且电流输出能力较大，有特殊的封装工艺要求，是国产化的壁垒。



**图表 9：部分国内企业编码器布局情况**

公司名称	编码器布局
汇川技术	收购长春市汇通电子有限责任公司整体资产，获取伺服系统中必须使用的编码器技术，在此基础上，公司又攻克了更高位数的编码器技术，提升了伺服系统性能。
奥普光电	奥普光电控股子公司禹衡光学的主导产品为光电编码器。研制出的绝对式光栅尺等高端位移传感器产品已成功打破国外出口管制，解决了高精度位移传感器“卡脖子”问题，在一些针对于特殊领域要求的产品可以做到 100%国产化。
伟创电气	掌握全套磁编解码及生产矫正关节技术，有望满足可批量、稳定制造生产工艺，降低产品不良率，降低产品生产成本，提升整套系统市场竞争力。
禾川科技	磁编码器最高可达 21 位，光编码器最高可达 23 位、精度可达±20 角秒，掌握核心技术的同时降低了公司伺服电机的制造成本，提供性能与价格的完美结合。
鸣志电器	公司自主开发生产高精度编码器，并主要为公司的伺服驱动控制系统配套。

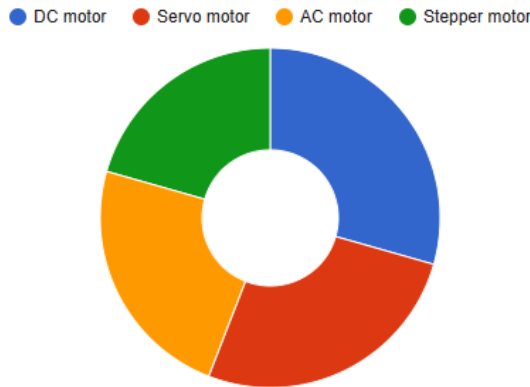
资料来源：各公司公告，汇川技术投资者关系微信公众号，界面新闻，wind，格隆汇，信达证券研发中心

## 二、人形机器人时代将至，看好国内厂商切入高端电机市场

### 2.1 风起人形机器人，机器人电机市场蓄势待发

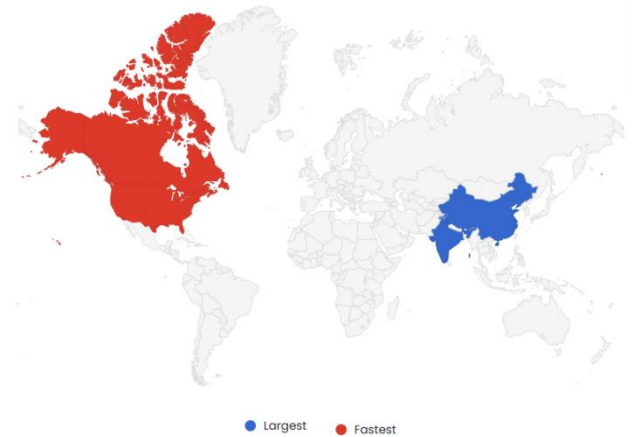
电机是机器人的关键组成部件之一，电机的扭矩、功率密度和转速等指标决定了机器人的性能。机器人相关的电机可以分为伺服电机、直流电机、交流电机和步进电机，参考 Skyquest 数据，目前直流电机占比较高，而伺服电机增长较快，主要应用在工业机器人、CNC 系统对精度要求较高的场合。

图表 10：2021 年全球机器人主要电机占比情况



资料来源：Skyquest，信达证券研发中心

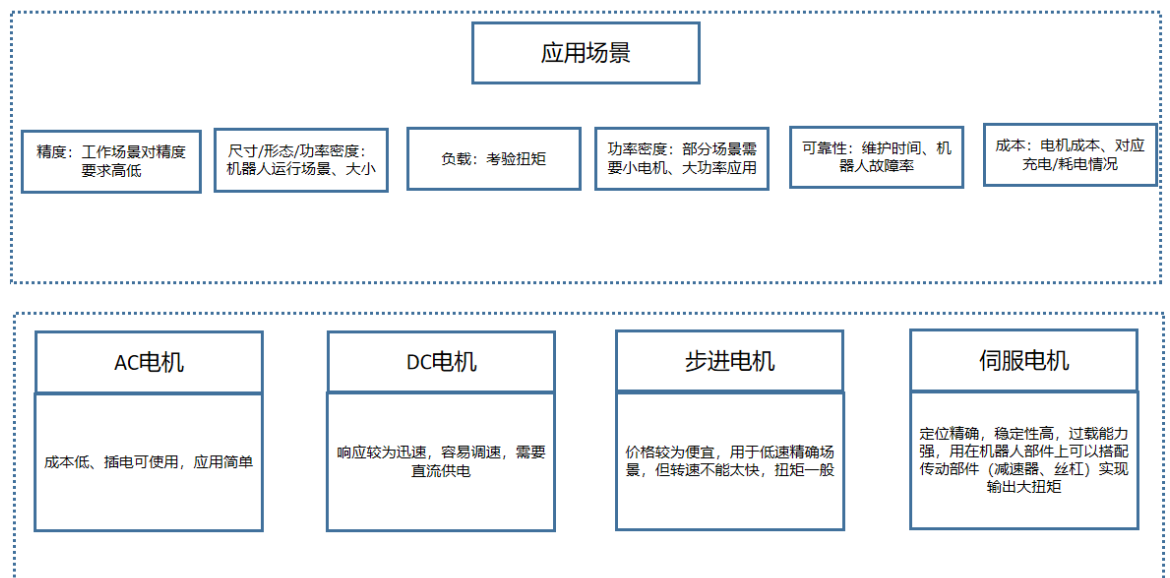
图表 11：2021-2030 全球机器人电机主要区域情况



资料来源：Skyquest，信达证券研发中心

我们认为机器人需要根据不同场景去使用对应的电机，工业机器人、服务机器人、协作机器人等机器人根据应用场景不同，会选择不同电机。本文主要以工业机器人、协作机器人和人形机器人为例，分析对应电机情况。

图表 12：不同应用场景下电机需求情况分析

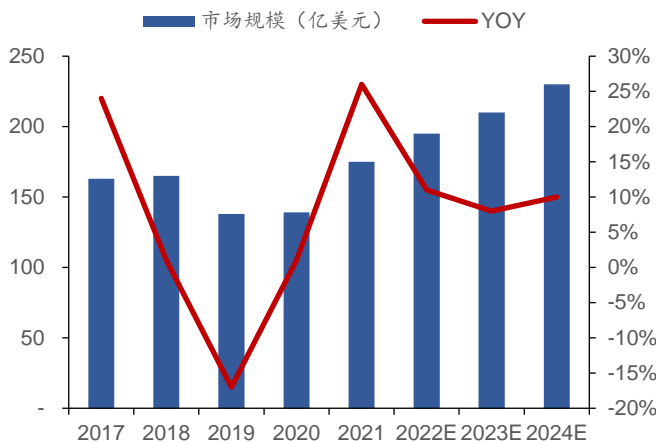


资料来源：信达证券研发中心

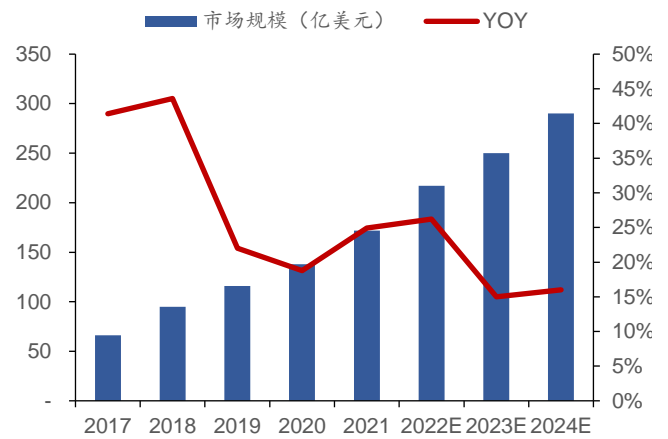
### 2.1.1 工业机器人：伺服电机系统是机器人“心脏”

工业机器人指面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人，在工业生产加工过程中通过自动控制来代替人类执行某些单调、频繁和重复的长时间作业，主要包括焊接机器人、搬运机器人、码垛机器人、包装机器人、喷涂机器人、切割机器人和净室机器人。工业机器人在机械结构上有类似人类的行走、扭腰、大臂、小臂、手腕、爪子等部件，由计算机控制。工业机器人广泛应用于电子、物流、化工等工业领域。按照机械机构分类，工业机器人可以分为线性机器人（又叫直角坐标机器人）、多自由度机器人（又叫多关节机器人）、并联机器人（又叫 delta $\Delta$  机器人）和水平多关节机器人（又叫 scara 机器人）等。

图表 13：全球工业机器人市场规模及增速



图表 14：全球服务机器人市场规模及增速

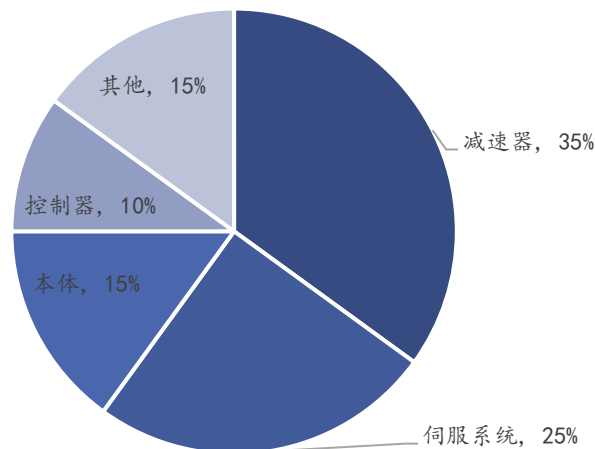


资料来源：IFR，中国电子学会《中国机器人产业发展报告（2022 年）》，贵州省大数据发展管理局，信达证券研发中心

资料来源：IFR，中国电子学会《中国机器人产业发展报告（2022 年）》，贵州省大数据发展管理局，信达证券研发中心

工业机器人对精度要求较高，一般使用伺服电机，伺服系统成本在机器人中的占比为 25%。伺服系统作为工业机器人核心零部件，可以将控制层指令准确、及时、稳妥地传送到执行层。

图表 15：中国工业机器人成本构成



资料来源：深圳市电子商会，中商产业研究院，信达证券研发中心

### 2.1.2 协作机器人：轻量化设计背景下，无框电机成首选

**协作机器人追求轻量化、人机相互。**协作机器人是在 SCARA 机器人以及垂直多关节机器人等机械结构基础上衍生出的新类型。协作机器人除在外观形态上与传统工业机器人有些差别外，在产品特性上也区别于传统工业机器人追求的“刚度”，协作机器人更多追求轻量化、柔性和安全协作性。此外在结构特点、交互方式、部署成本以及应用场景等方面与传统工业机器人也存在一定的差距。

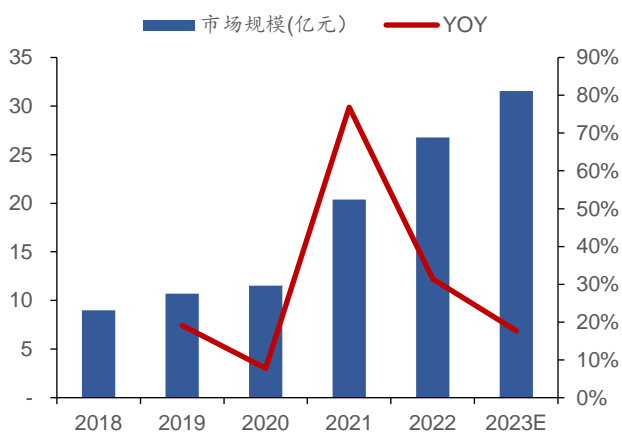
图表 16：传统工业机器人和协作机器人

	传统工业机器人	协作机器人
结构特点	零部件多，体积大，自重较大	一体化关节，结构简单，自重小
监护方式	通常采用代码编程点位示教等；需要操作人员具备一定的知识储备和技术水平	可采用图形化编程，拖动示教等；使用方法相对简单，大幅降低学习成本
部署成本	围栏半径通常为 2-5，基座直径通常较大空间要求高，部署成本相对高	无需设置围栏，基座直径通常较小，空间要求不高，部署成本相对低
产品特性	刚度高，重视精度、速度	强调轻量化、柔性、安全性
额定负荷	覆盖广泛，中大负荷通常为 20-1,000kg	较小，通常为 25kg 以内
应用场景	主要面向工业场景，主要为完成“人力不可为”或“人力难为”的生产、加工任务，如总装、冲压、切削、打磨、焊接等	可面向与人协作的各类生产及服务场景，主要为完成“人力可为”的生产、加工或服务任务，如喷涂、包装涂胶、零售等

资料来源：节卡股份招股说明书，觅数据 MDATA 微信公众号，信达证券研发中心

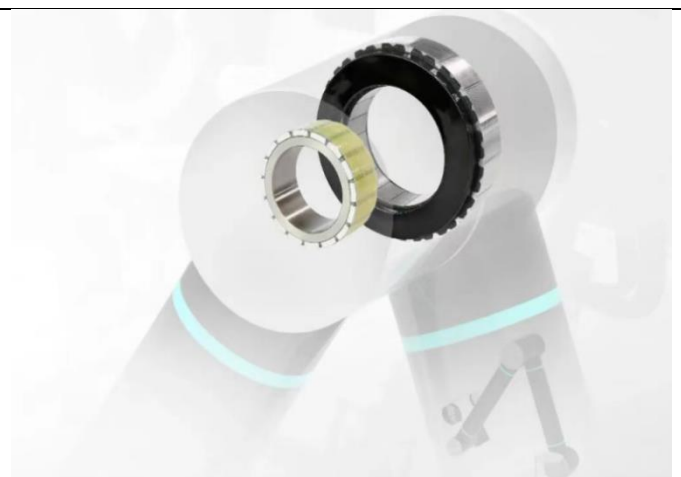
协作机器人具有紧凑小型化、轻量化特性，因此选择更加紧凑、高效率的电机方案。协作机器人与传统机器人在构造上有一定差异，协作机器人通常采用整体式的无框电机，采用关节一体化技术。无框电机只由定子和转子两个部分组成，相较于传统电机，去除了轴、轴承和外壳，使其体积更小、结构更紧凑，易于维护，并便于被高度集成到协作机器人本体的中空结构内，从而提高其机械性能。除了伺服电机外，协作机器人通常还使用体积小、重量轻的谐波减速机。我们认为随着未来机器人小型化的发展，协作机器人关节中狭窄的安装空间和末端力矩的要求显著增高，对无框电机本身性能的挑战也不断提升。

图表 17：中国协作机器人市场规模及增速



资料来源：GGII，中商产业研究院，深圳市电子商会，信达证券研发中心

图表 18：全球服务机器人市场规模及增速



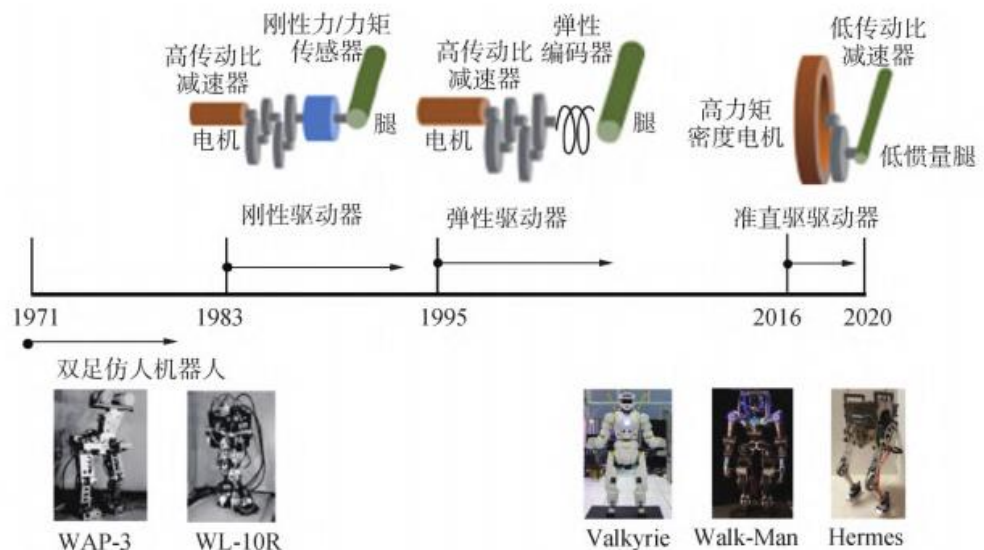
资料来源：觅数据 MDATA 微信公众号，步科股份官网，信达证券研发中心

### 2.1.3 人形机器人：全新市场带来新增量

人形机器人运动离不开驱动器，目前驱动器方案可以分为刚性驱动、弹性驱动和准直驱。双足人形机器人关节运动特点和人类关节运动类似，运动速度较快、机动性较好，因此相比其他驱动器，人形机器人驱动器需要具有高功率密度、高响应性、高能量利用效率和耐冲击性等特性。参考丁宏钰等的《国内外双足人形机器人驱动器研究综述》，目前人形机器人电动驱动器方案可以分为三类：

- 1) **刚性驱动**：1983 年，早稻田大学研究的 WL-10R 机器人使用刚性驱动器 TSA。自此双足人形机器人开始广泛应用刚性驱动器为关节动力源。刚性驱动器主要由电机、高传动比减速器、编码器、力矩传感器和控制板等组成（力矩传感器是可选项）。相比其他方案，刚性驱动较为成熟，但能量效率相对较低一些
- 2) **弹性驱动**：1995 年，麻省理工学院的 Pratt 等提出了弹性驱动器 SEA (series elastic actuator) 的概念。美国宇航局的机器人 Valkyrie 和意大利技术研究院的机器人 Walk-Man 都使用了弹性驱动器。弹性驱动器通过增加弹性单元来模拟肌肉系统功能，可以缓冲外部冲击和储能，使关节表现出柔顺、安全和高能量效率特性。但由于弹性元件引入，系统变为欠驱动系统，因此运动控制精度较低。
- 3) **准直驱驱动**：2016 提出了准直驱方案，准直驱驱动器含义是依靠驱动器电机开环力控，不依赖于附加力或力矩传感器，就可以本体感知机器人脚部和外界的交互力，也被称为本体驱动器。一般方案是采用电机加低传动比减速器的方案，同时要求负载质量和转动惯量尽可能地小，这样可以实现高带宽力控和良好的抗冲击能力。准直驱驱动器主要由高扭矩密度电机、低传动比减速器、编码器和控制板等组成。相比其他方案，运动控制系统较为复杂。

图表 19：双足人形机器人驱动器的发展历程



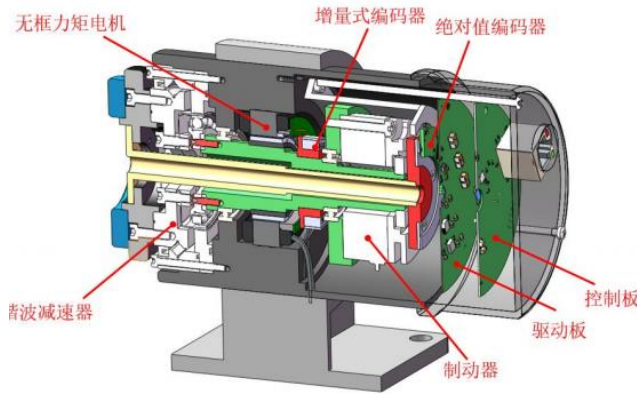
资料来源：丁宏钰等《国内外双足人形机器人驱动器研究综述》，信达证券研发中心

我们认为特斯拉人形机器人在方案方面偏好刚性驱动方案，其一体化关节（旋转关节）类似协作机器人设计，无框力矩电机是核心，利用高转速电机+高减速比减速器实现快速响应。以协作机器人为例，一体化机器人关节主要由扭矩传感器、谐波减速机、力矩电机、制动器、增量编码器、绝对值编码器和伺服驱动器组成。根据金力等《驱控一体化机器人关节的研制及应用》，一体化机器人关节采用无框力矩电机，电机定子与关节壳体之间一般通过耐高温树脂胶粘接或过盈配合连接。电机转子与电机轴之间一般通过树脂胶粘接。无框力矩电机的大直径长



度比和多磁极对保证了电机的大扭矩输出性能和低转速特性，其转子中空结构，方便关节的内部走线。

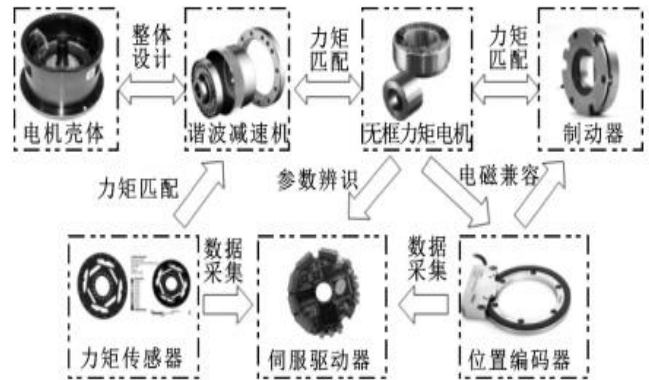
图表 20：一体化关节内部构成（以协作机器人为例）



资料来源：刘哲《协作机器人一体化关节力矩感知与柔顺控制

研究》，信达证券研发中心

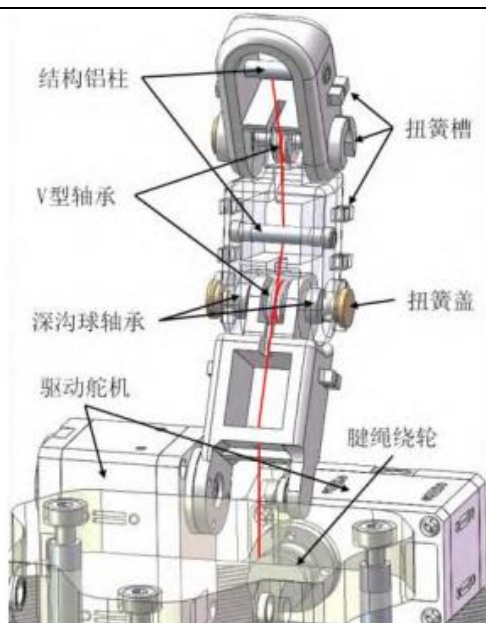
图表 21：一体化关节外观



资料来源：金力等《驱控一体化机器人关节的研制及应用》，信达证券研发中心

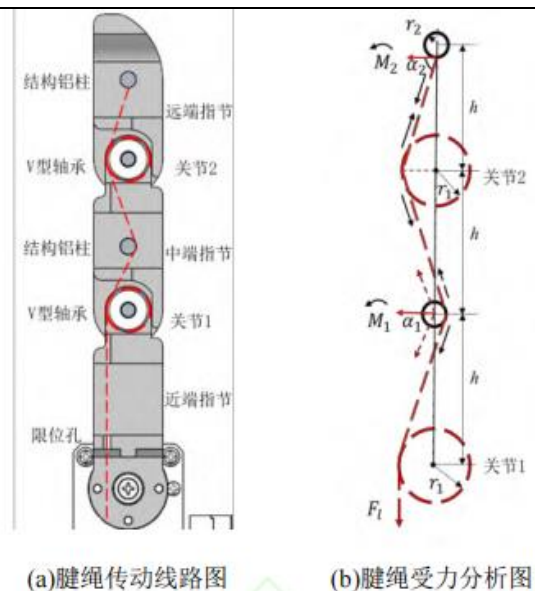
人形机器人需要完成复杂的工作，对手部“灵巧性”提出需求。根据来森等的《腱驱动仿人型五指灵巧手的设计》，目前灵巧手的传动方式有很多，常见的有齿轮传动、连杆传动和腱传动等多种方案。腱传动使用钢丝绳模仿人手的肌腱部位，将驱动器外置于手掌或者手臂处，用腱绳实现远距离传动，精简了手指处的结构设计，相对齿轮和连杆，钢丝绳的重量和摩擦更小，我们推测特斯拉人形机器人采用的是经典的六电机+金属腱绳方案。

图表 22：绳驱手指结构



资料来源：徐光宇等《腱绳驱动机械手的设计及其柔性抓取控制》，信达证券研发中心

图表 23：绳驱驱动方式

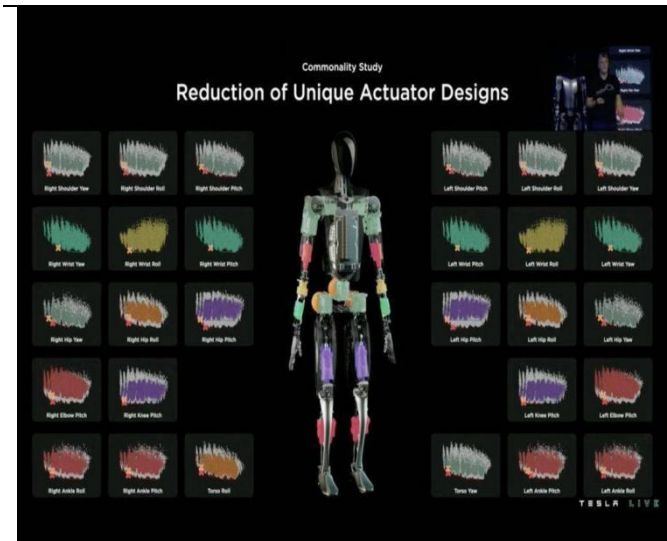


资料来源：徐光宇等《腱绳驱动机械手的设计及其柔性抓取控制》，信达证券研发中心



人形机器人采用集成化方案，对轻量化、紧凑结构追求较高，手部采用轻量高效的空心杯电机，身体部位采用无框电机等构成的一体化关节。特斯拉 Optimus 共有 28 个运动关节，包括三种旋转执行器和三种线性执行器：其中旋转关节采用电机+传感器+谐波减速器的方案；而线性关节采用电机+丝杠+传感器（从形态上，我们推测是无框电机）；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。从数量来看，共 12 个驱动，手指部分我们推测是空心杯电机+驱动装置+传动装置构成。

图表 24: Optimus 躯干拥有 28 个运动关节



资料来源: Tesla AI DAY, 信达证券研发中心

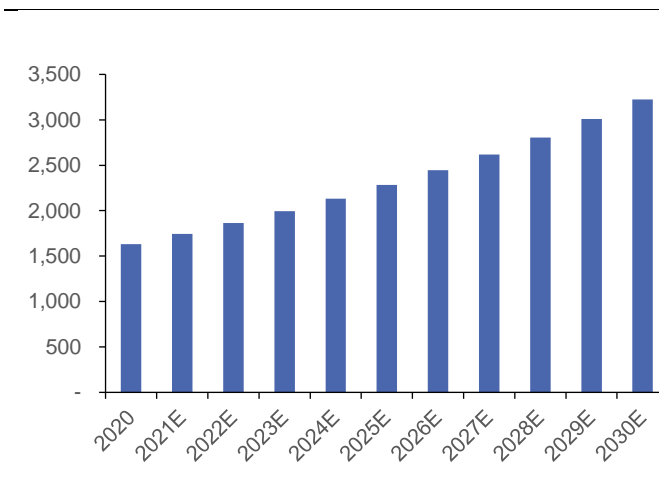
图表 25: Optimus 手部情况



资料来源: Tesla AI DAY, 信达证券研发中心

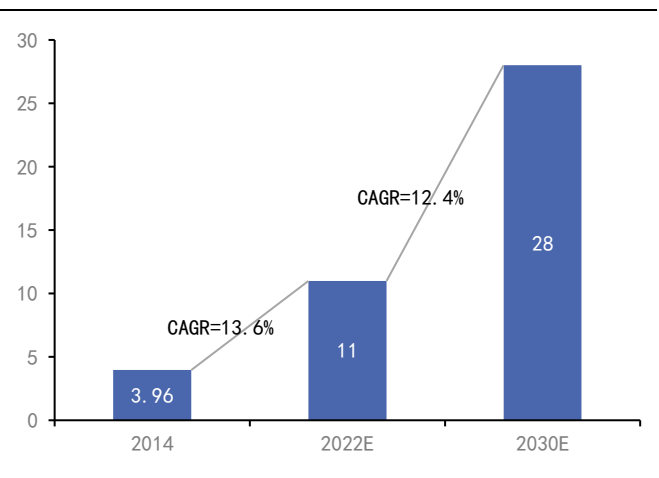
机器人电机市场占电机市场约 1%，增速相对较快。Skyquest 预计 2021 年全球机器人相关电机规模为 11 亿美元，2030 年有望达到 28 亿美元，复合增速达 13.4%。根据 Fortune Business Insights 公布的数据，2021 年全球电机市场规模约为 1139 亿美元，机器人相关电机市场份额约 1%，但增速相对较快。

图表 26: 全球电机市场规模 (亿美元)



资料来源: Precedence Research, 信达证券研发中心

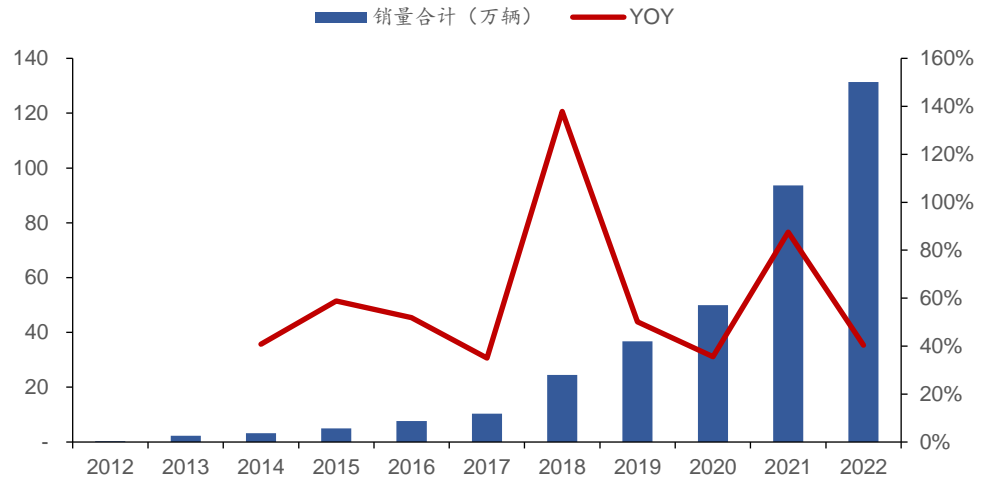
图表 27: 全球机器人电机市场规模 (亿美元)



资料来源: Skyquest, FMI, 信达证券研发中心

我们认为人形机器人有望复制特斯拉新能源车成长道路，较快实现大规模量产。特斯拉新能源汽车第一个五年突破 10 万销量，第二个五年达到百万销量，展示了特斯拉较强的量产能力。我们认为有望人形机器人复制特斯拉新能源汽车 0-1 的过程，有望在初步量产后快速上量。目前方案下人形机器人身体拥有 28 个无框电机，手部对应 12 个空心杯电机，假设人形机器人量产后，无框电机价值量为 800 元/个，空心杯电机 1000 元/个，则 100 万人形机器人对应电机市场空间约为 344 亿元。

图表 28：特斯拉汽车销售变化情况



资料来源：特斯拉公司公告，信达证券研发中心

**国内企业加速推进人形机器人相关项目+落地场景逐渐清晰，看好人形机器人加速落地。**

- 1) 国内企业纷纷入局机器人项目，近期傅利叶智能发布了最新研发的通用人形机器人 GR-1，GR-1 是国内领先的自主研发、可商业化落地的人形机器人产品，展示了机器人直腿行走、敏捷避障等功能，国内人形机器人推进迅速。此外，华为、字节跳动也入局机器人业务；腾讯 Robotics X 实验室发布了灵巧操作研究成果，并推出自研机器人灵巧手“TRX-Hand”和机械臂“TRX-Arm”。我们认为国内多家企业入局机器人相关环节，有望加速人形机器人落地。
- 2) 人形机器人有望在工厂场景落地。2023 年二季度业绩说明会上，特斯拉 CEO 埃隆·马斯克公布了备受关注的特斯拉人形机器人 Optimus 的最新进展。马斯克表示，特斯拉已经生产了 10 台人形机器人。预计在今年 11 月份进行行走测试，计划明年在特斯拉工厂进行实用性测试。

## 2.2 复盘海外高端电机厂商，人形机器人有望加速国内高端电机突破之路

复盘海外高端电机厂商 MAXON 发展历程，我们认为，率先布局高壁垒/新兴领域+掌握一体化技术，掌握先发优势是维持电机企业高利润的关键。

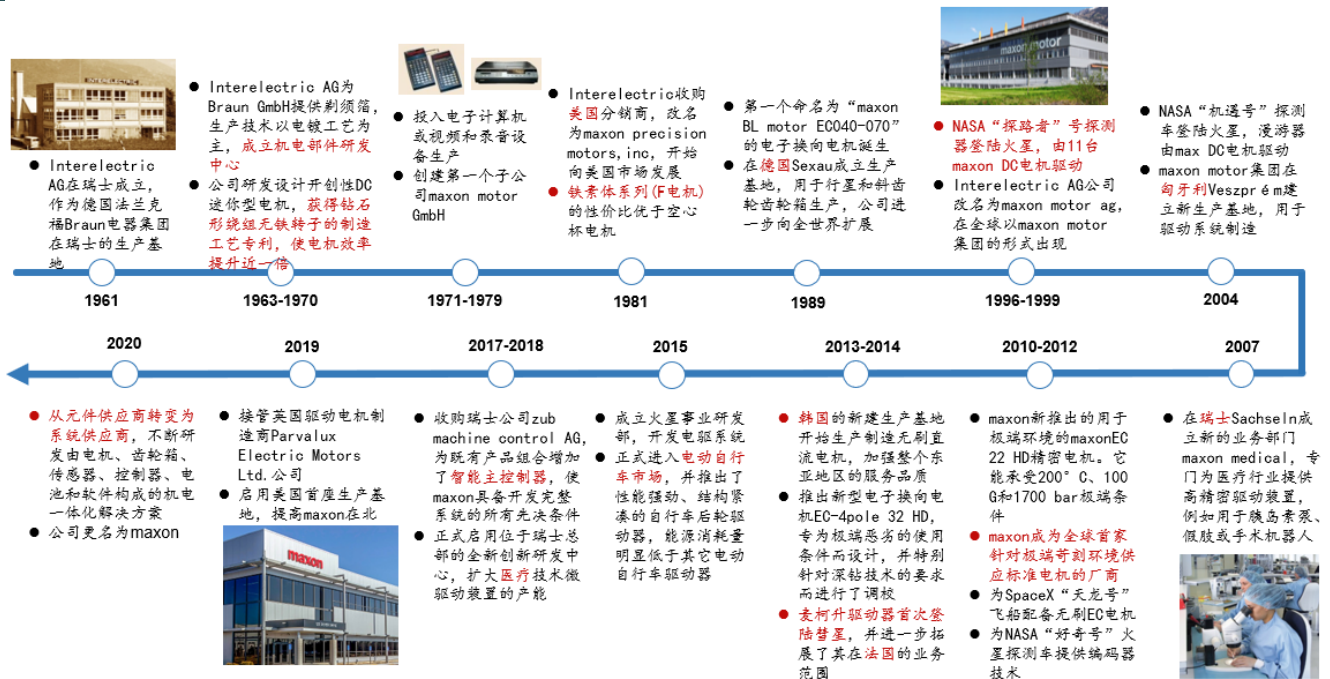
我们认为 MAXON 的发展可以分为三个阶段：

- 1) **发展初期 (1961-1996)：**MAXON 1961 年成立，开发设计 DC 迷你型电机，并通过收购美国分销商，逐步打通美国市场，我们认为这一时期是公司发展初期，主要是“量增”；
- 2) **快速发展期 (1996-2012)：**公司 1996-1999 年参与 NASA “探路者”计划，确定了公司高端

电机定位，为公司拓展高端领域客户打下了基础，同时航空航天相关设计需求也可以复用到其他高端电机场合，我们认为这一时期公司完善了公司产品高端定位，是公司产品品牌“质”飞跃；

**3) 产业链布局完善期 (2012-2020):** 2015 年开发电驱系统，2017 年收购瑞士公司 ZUB machine control AG，增加了公司在控制器领域的布局，到 2020 年公司逐渐从元器件供应商转变为系统供应商。

图表 29: 电机主要市场情况分析



资料来源: Maxon 官网, 信达证券研发中心

国内电机企业电机处于“量增”到“提质”的过渡期。目前电机的主要应用市场可以分为消费级、车端市场、工业（工控等）、尖端市场等：1) 消费级市场进入门槛较低，国产化率较高；2) 车端市场对电机企业资金壁垒要求较高，但整体盈利相对一般；3) 工业尤其是自动化控制相关电机盈利水平相对较高，在中高端领域国内企业待突破，相关电机需有精密控制、复杂工业环境适应等能力，可以用于机床、机器人等领域；在航空航天、军工、精密医疗器械，包括部分探索性领域（探索新应用、新产品）等领域，对电机企业要求较高，客户壁垒高，需要电机企业具有较强的设计能力和生产能力，毛利率相对较高，以MAXON 等为代表的海外企业占据主导地位。我们认为，从整体市场来看，国内企业在消费级市场、车端、工业领域都有所布局，中低端电机市占率较高，但在中高端市场依然待突破；而从企业角度来看，以汇川技术、鸣志电器为代表国内企业，技术积累丰富，拥有研发能力+高端客户资源，有望突破高端电机市场。

**图表 30：电机主要市场情况分析**

消费级市场	车端市场	工业等应用	尖端/探索性领域
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 应用在空调、洗衣机、玩具等消费市场</li> <li>● 竞争激烈，门槛不高</li> <li>● 参与竞争企业较多</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 23年市场规模约300亿</li> <li>● 竞争相对激烈，高端车型门槛要求高</li> <li>● 车企自制和第三方供应并行</li> <li>● 毛利率相对较低，汇川技术电驱动毛利率低于19%，方正电机、巨一动力等低于10%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 可以应用在风机水泵、采矿、冶金等</li> <li>● 主要企业包括卧龙电驱等</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 中低端伺服电机，国内包括汇川、信捷、禾川、伟创电气等</li> <li>● 高端伺服主要以西门子等为海外企业主导</li> <li>● 通用伺服系统整体市场规模约200多亿，头部毛利率40%+</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 航空航天、军工、精密医疗器械等领域</li> <li>● 探索性领域：人形机器人</li> <li>● 目前以海外企业为主导，包括科尔摩根、MAXON、Faulhaber等</li> </ul>
进入门槛低，主要看中产品价格，毛利率低	资金壁垒较高，需要进行资质认证，拥有一定研发和定制化能力	一般搭配工控相关产品销售，中高端产品对产品性能（高压、极端工业环境影响，精度等有一定要求。高端伺服对原材料、编码器（高精度）要求较高，对产品稳定性要求高。	客户壁垒较高，需要拥有很强的设计能力。如航空、医疗等部分场景需要小体积、功率密度高、高精度等特性对原材料（磁性材料）、设计、生产（绕线等环节）多方面要求高

资料来源：信达证券研发中心

以鸣志电器为例，国内头部企业通过收并购逐渐拥有高端电机定制化设计+核心零部件自产+触达高端客户的能力。鸣志电器通过收购 AMP、Lin Engineering 等企业拥有了高端步进电机的技术，获得了触达北美核心客户群的机会，另外通过收购 Technosoft Motion AG 公司帮助公司完善无齿槽和空心杯电机+驱动控制器的系统级平台产品。此外，公司拥有行星齿轮箱、编码器零部件的积累，有望在高端电机领域市场实现突破。

**图表 31：鸣志电器收购相关公司情况**

事项	时间	原因
收购 AMP	2014 年	1、AMP 在步进电机驱动器、集成式智能步进伺服控制技术处于全球前列地位， 2、AMP 在北美拥有稳定客户群
收购 Lin Engineering	2015 年	1、扩展公司在高端电机布局 2、打开北美市场，实现技术、产品、业务、市场、管理的协同效应 3、与收购 AMP 实现互补
收购 Technosoft Motion AG 公司	2019 年	帮助公司完善无齿槽和空心杯电机+驱动控制器的系统级平台产品，进一步释放产品的协同效应

资料来源：鸣志电器公司公告，信达证券研发中心

我们认为以人形机器人为代表的高成长赛道或将给国内企业进军高端电机带来突破性机会，：

- 1) 相比如精密医疗器械、航天等领域，人形机器人潜在空间较大，带来的成长空间大；
- 2) 人形机器人电机对精度要求没有航空等领域高，但需要电机厂商具有设计、调整工艺和大规模制造降本能力，国内企业擅长降本，这将给国内企业带来与头部企业合作设计/调整相关电机方案的机会；
- 3) 以空心杯电机为代表的微特精密电机，性能优异，可以应用于航空航天、光学、国防等领域，整体市场较小，但毛利率高，人形机器人有望带动相关市场扩容，促进国内企业对相关领域研发和布局。

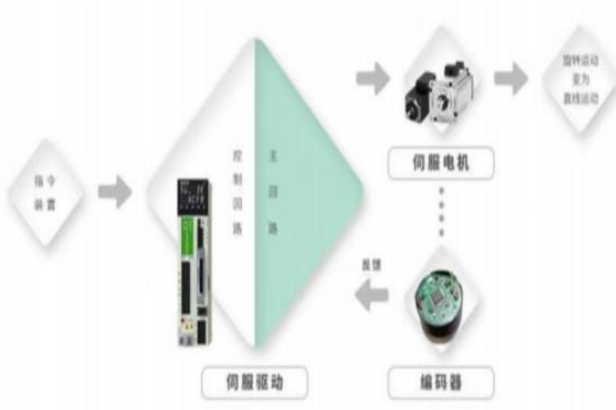


### 三、国产替代进行时，看好国产企业突破高端电机壁垒

#### 3.1 伺服电机：进军中高端市场，国产替代进行时

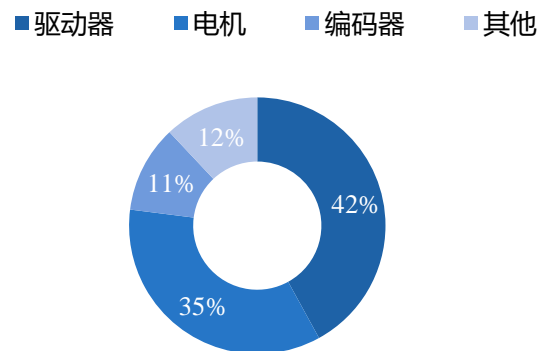
伺服电机系统是工业自动化控制设备主要的动力来源之一，伺服系统主要由伺服驱动器、伺服电机和编码器组成，编码器通常嵌入于伺服电机。伺服系统可通过闭环方式实现精确、快速、稳定的位置控制、速度控制和转矩控制，主要应用于对定位精度和运转速度要求较高的工业自动化控制领域。从原理来看，伺服系统由伺服驱动器发出信号从而驱动伺服电机转动，同时编码器将伺服电机的运动参数反馈给伺服驱动器，伺服驱动器再对信号进行汇总、分析、修正。整个工作过程通过闭环方式精确控制执行机构的位置、速度、转矩等输出变量。从成本构成上看，驱动器成本占比 42%；电机占比约 35%；编码器由码盘、光源和接收器组成，成本占比约为 11%。

图表 32：伺服系统工作原理



资料来源：禾川科技招股说明书，信达证券研发中心

图表 33：伺服主要成本构成情况



资料来源：埃斯顿招股说明书，华经产业研究院，信达证券研发中心

从分类来看，伺服电机系统可以分为通用伺服系统和专用伺服系统，两种伺服电机系统在产品技术、应用领域等方面存在差异。通用伺服系统下游应用广泛，包括电子及半导体、机床、机器人、包装、纺织、塑料、纸巾等。专用伺服系统根据不同行业需求定制化开发，提供专业化产品，主要为交流电伺服以外的其他品类伺服，其市场规模较小。其下游应用领域包括风力发电、矿山机械、缆车索道、电梯等。

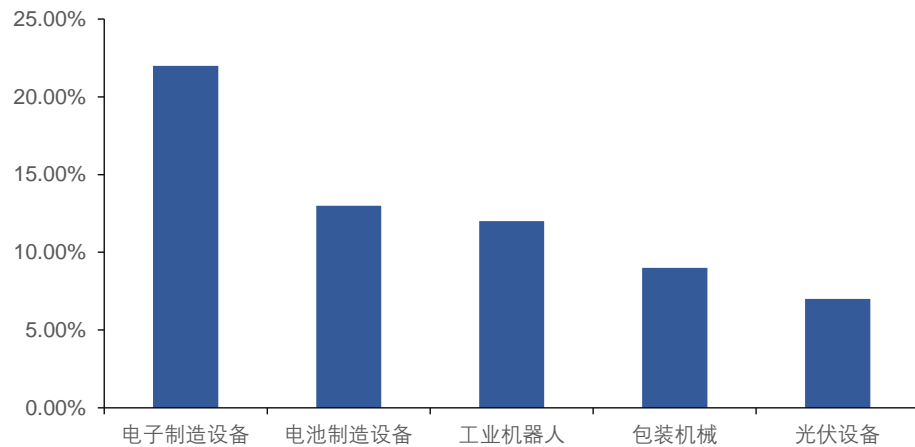
图表 34：伺服系统的分类

差异	通用伺服系统	专用伺服系统
产品技术	需要基于不同行业的应用需求提供专业化产品	需要使其产品在不同行业应用领域内均保持高水平运作
电机结构	整机为主	整机、半整机、无框架电机
功率段	额定功率一般在 7.5Kw 一下	额定功率一般在 7.5kw 以上

额定转速	1500rpm、2000rpm、3000rpm、4000rpm、6000rpm 为主	电机额定转速可定制
震动性要求	EN60034-14A 级振动强度	特殊设计，可适用于客户现场更强振动环境
机械接口	光轴或平键为主；标准法兰止口	光轴、平键轴、内花轴/外花键、空心轴；法兰止口可定制

资料来源：华经产业研究院，信达证券研发中心

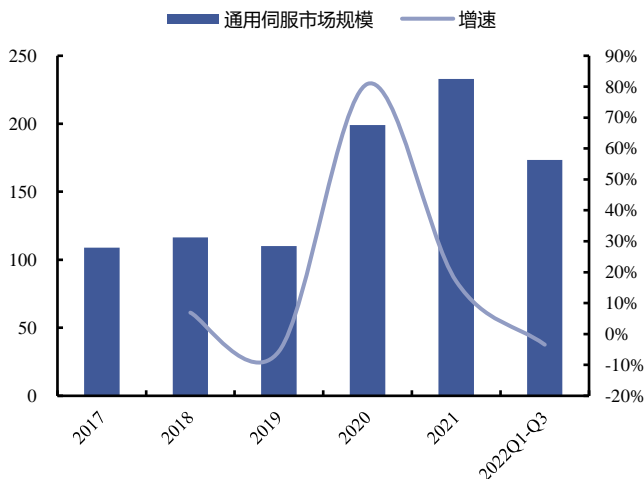
**图表 35：2021 年伺服系统主要应用领域**



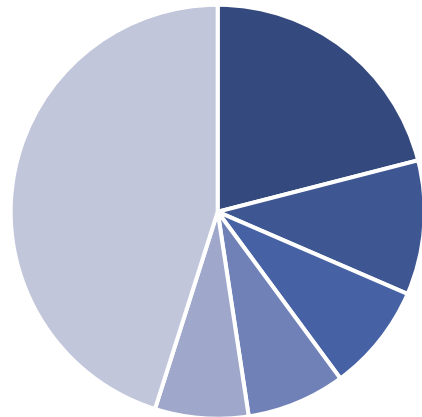
资料来源：华经产业研究院，信达证券研发中心

**伺服电机系统国产化替代进行时。**从市场规模来看，2022 年前三季度通用伺服市场规模为 173.3 亿元，同比下滑 3.45%，主要受到 2022 年传统制造业景气度较弱以及国内疫情影响。从国产化率来看，国内伺服厂商以较短的货期和充足的备货扩大自身竞争优势，市场份额均实现增长。近年来通用伺服国产化率逐年攀升，2021 年行业国产化率达到 23.57%，2022 年前三季度提升至 30.51%。



**图表 36：通用伺服系统市场规模（单位：亿元）**


资料来源：汇川技术公告，MIR 睿工业，华经产业研究院，信达证券研发中心

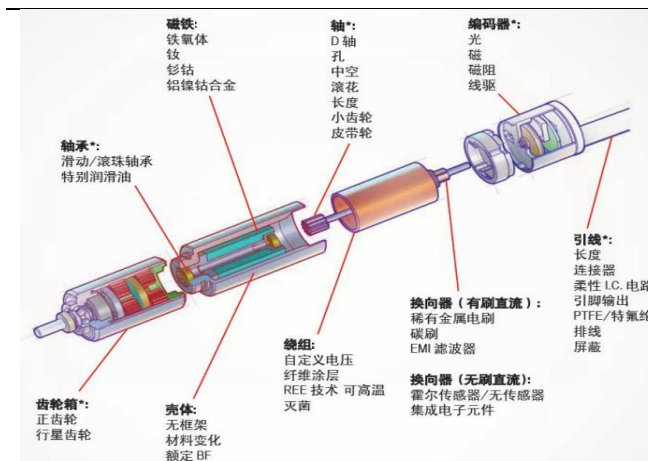
**图表 37：2022 前三季度通用伺服市场竞争格局**


■ 汇川技术 ■ 西门子 ■ 松下 ■ 安川 ■ 三菱 ■ 其他

资料来源：华经产业研究院，MIR 睿工业，信达证券研发中心

### 3.2 空心杯电机：绕线是核心壁垒，看好国内企业突破绕线壁垒

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。空心杯电机主要由后盖、接线端子、电刷端盖、电刷、换向器、杯形绕组（转子）、转轴、垫圈、滑动轴承、外壳、磁铁（定子）、法兰、定位环组成。定子由永磁体、壳体、法兰组成。外壳提供了恒定的磁场，使电机无铁损耗。没有软磁性牙齿。所产生的转矩是均匀的，即使在低速情况下也能运行平稳。在较高的速度下，电机能减少振动，减少噪音。

**图表 38：某公司空心杯电机的可定制部分**


资料来源：陈安《空心杯电机定制化应用研究》，信达证券研发中心

**图表 39：空心杯电机形状**


资料来源：MAXON 官网，信达证券研发中心

分类方面，空心杯电机可以分为有刷和无刷两种，有刷空心杯电机转子无铁芯，无刷空心杯电机定子无铁芯：

1) **有刷空心杯电机：**空心杯直流有刷微电机采用机械换向，磁极不动，线圈旋转。电机工作时，线圈和换向器旋转，磁钢和碳刷不转，线圈电流方向的交替变化是通过随电机转动的

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 21

换向器和电刷来完成的。在转动的过程中会摩擦碳刷，造成损耗，需要定期更换碳刷。碳刷与线圈接线头之间通断交替，会发生电火花，产生电磁波，干扰电子设备。

- 2) **无刷空心杯电机**：无刷空心杯直流电机采取电子换向，线圈不动，磁极旋转。无刷空心杯直流电机，是使用一套电子设备，通过霍尔元件，感知永磁体磁极的位置，根据这种感知，使用电子线路，适时切换线圈中电流的方向，保证产生正确方向的磁力，来驱动电机。因为是自控式运行的，所以不会像变频调速下重载启动的同步电机那样在转子上另加启动绕组，也不会在负载突变时产生振荡和失步。

相比普通电机，空心杯电机不含铁芯，提升了电机的性能。

空心杯电机具有能量转换效率较高，起动、制动迅速，响应较快和运行稳定性可靠，转速的波动较小等优势，因此适合需要快速响应的系统，如导弹飞行方向快速调节，高倍率光驱的随动控制，快速自动调焦，高灵敏的记录和检测设备，工业机器人，仿生义肢等。在特斯拉人形机器人中，空心杯电机可以运用在手部，从而满足手部运动的快速响应需求。

图表 40：空心杯电机优势和应用范围

	特点	优势	应用范围
空心杯电机	1、 <b>节能特性</b> ：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%）。 2、 <b>控制特性</b> ：起动、制动迅速，响应极快，机械时间常数小于 28 毫秒，部分产品可以达到 10 毫秒以内（铁芯电动机一般在 100 毫秒以上）；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。 3、 <b>拖动特性</b> ：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 2% 以内。	1、主要是启动转矩低、转子与定子间无径向作用力； 2、速度曲线平滑，噪音小、峰值转矩高； 3、响应速度快，散热好	1、需要快速响应的随动系统（导弹的飞行方向快速调节，高倍率光驱的随动控制，快速自动调焦，高灵敏的记录和检测设备，工业机器人，仿生义肢等） 2、对驱动元件要求平稳持久拖动的产品（仪器仪表） 3、各种飞行器，包括航空、航天、航模等

资料来源：万泰电机微信公众号，信达证券研发中心

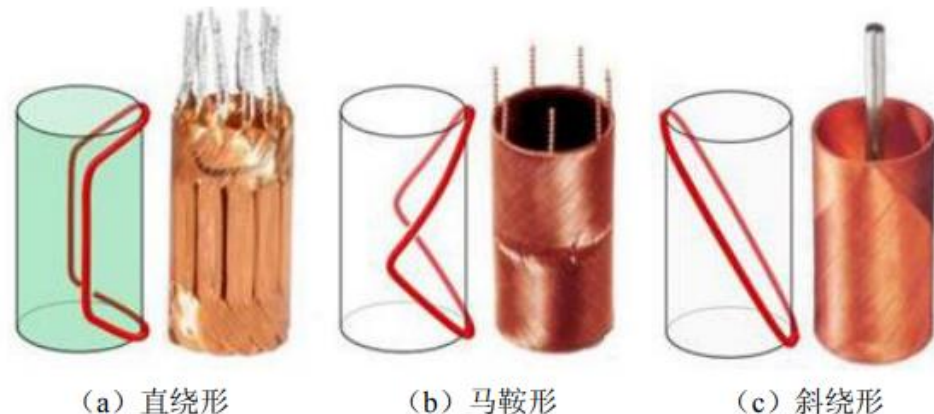
由于空心杯电动机避开了有铁芯电动机多种技术弊端，使其具备了广阔的应用领域。尤其是随着工业技术的飞速发展，对电动机的伺服特性不断提出更高的期望和要求，使空心杯电动机在很多应用场合拥有不可替代的地位。空心杯电机的应用场景包括：

- 1) 需要快速响应的随动系统。如导弹的飞行方向快速调节，高倍率光驱的随动控制，快速自动调焦，高灵敏的记录和检测设备，工业机器人，仿生义肢等，空心杯电动机能很好地满足其技术要求。
- 2) 对驱动元件要求平稳持久拖动的产品。如各类便携式的仪器仪表，个人随身装备，野外作业的仪器设备等，同样一组电源，供电时间可以延长一倍以上。
- 3) 另外还有光学仪器、医疗设备、机器人等，细分应用有牙科设备、微型泵、红外镜头、移液模块、电动夹爪、机器人手、点胶阀、手术工具等。

**图表 41：空心杯电机应用场景**


资料来源：鸣志电器官网，信达证券研发中心

空心杯电机常用的线绕组电枢有直绕组、斜绕组、菱形绕组三种，核心壁垒是绕线。参考谢春辉的《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》，空心杯电机常用的线圈绕法有直绕形、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。斜绕形和马鞍形在绕制工艺上相对简单，国内外绕线机多采用这两种方式。欧洲著名品牌 Faulhaber 电机采用的是斜绕形线圈，瑞士 Maxon 电机采用马鞍形绕制方法，有着较为优越的性能。

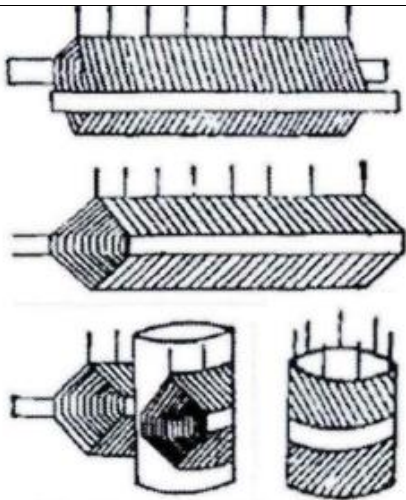
**图表 42：空心杯电机线圈绕制形式**


资料来源：谢春辉《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》，信达证券研发中心

生产空心杯电机的关键在于线圈的绕制。需要将自粘漆包线紧密排列，最终绕成一个规则的杯状结构。参考王鹏飞的《空心杯线圈绕线机机构设计及控制》，空心杯电机的绕制方法分为三种，自动化生产技术门槛较高：

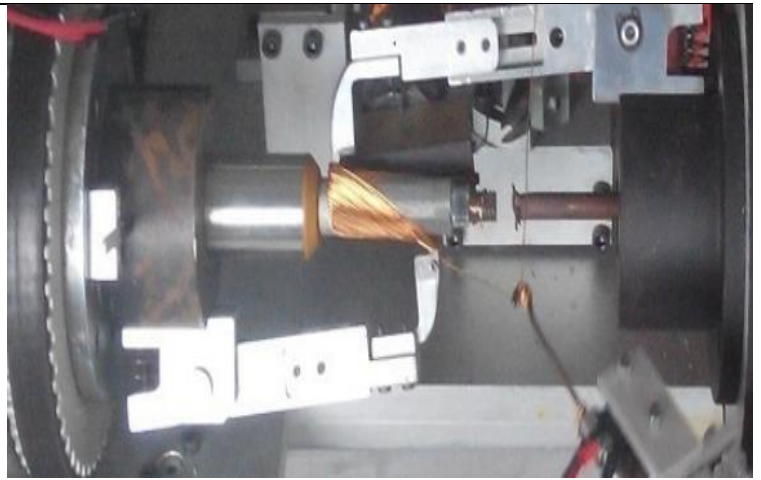
- 1) 人工绕线，通过复杂的工艺，包括插针、手动卷线、手动排线等步骤进行生产；
- 2) 半自动化生产，卷绕式生产技术是半自动化生产，首先将漆包线顺序绕到横截面为菱形的主轴上，达到需要的长度后将其取下，然后压扁成线板，最后将线板卷绕成杯状的线圈，此生产方式工艺比较繁琐，工人劳动强度大，废品率高；
- 3) 一次成型自动化生产技术，通过自动化设备将一根漆包线按规律绕到一主轴上，线圈卷绕成杯状后取下，完成一个线圈的绕制。

图表 43：卷绕式生产步骤图



资料来源：王鹏飞《空心杯线圈绕线机机构设计及控制》，信达证券研发中心

图表 44：绕线机一体成型绕线



资料来源：张忠强《永磁无刷空心杯电机及控制器研究》，信达证券研发中心

**海外厂商占据绕线机主导地位。**参考王鹏飞的《空心杯线圈绕线机机构设计及控制》，在绕线机厂商上，瑞士的 Meteor 公司是世界上有着较高占有率的绕线机供应商，伺服电机来实现线圈的精密排线+ CNC 数控技术进行精准控制，确保了绕线机绕线精度；而日本田中精机株式会社，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，研发出 CNC 可翻转的多轴绕线设备。

**国内厂商有望突破绕线机壁垒：**1) 根据田中精机招股说明书，田中精机全资子公司田中日本无偿受让日本田中精机株式会社与绕线机相关的专利与商标，拥有绕线相关技术，有望在空心杯绕线机上实现突破；2) 江苏雷利及控股子公司鼎智科技围绕“编码器+控制器+空心杯电机+精密齿轮箱”产品，不断加大研发投入，研发绕线机相关产品。



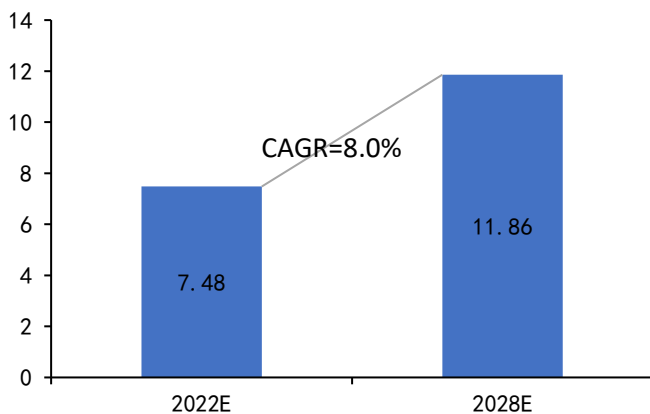
**图表 45: meteor 大线圈全自动生产线**


资料来源：谢春辉《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》，信达证券研发中心

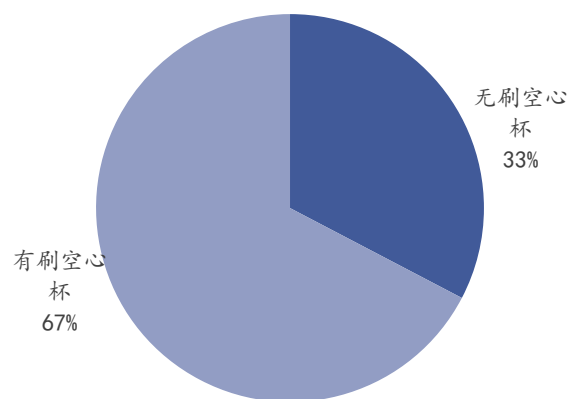
**图表 46: 田中精机林氏协会全自动绕线机**


资料来源：谢春辉《马鞍形空心杯电机线圈绕制设备研究》，信达证券研发中心

海外厂商如瑞士的 MAXON、德国 Faulhaber 等企业深耕行业多年，行业地位较高。国内企业相较海外厂商仍存在一定的技术差距，未来潜在发展空间大，主要原因是：1) 相比普通电机，空心杯电机由于少了铁芯支撑，对线圈要求较高；2) 国内厂商更注重成本控制，缺乏对高端技术的投入，导致技术水平相对滞后，同时在减速器等机械件上依然在追赶海外企业。我们认为，在高端微型电机上，国内企业与海外依然存在差距，但以鸣志电器、江苏雷利为主的国内企业也在不断进步，依托国产企业降本能力，有望在这块市场取得相应进展。

**图表 47: 全球空心杯电机市场规模 (亿美元)**


资料来源：Market Research，信达证券研发中心

**图表 48: 2021 年全球空心杯电机主要类型占比情况**


资料来源：Market Research，信达证券研发中心

**国内企业持续布局，有望打开高端空心杯市场。**以鸣志电器和鼎智科技产品为例，国内企业空心杯产品已经可以应用在军工、医疗、半导体等高端领域，且可以定制不同规格产品，并可以以“编码器+控制器+空心杯电机+精密齿轮箱”方案形式提供产品。工控领域头部企业伟创电气也切入机器人板块，布局空心杯电机、无框电机等产品，其他微传动头部企业兆威机电也

有相应积淀。我们认为，叠加国产绕线机器持续突破，国内相关企业加速突破空心杯电机壁垒，有望打开高端空心杯电机市场。

图表 49：国内企业空心杯电机布局情况

	产品及布局情况
鸣志电器	可提供 Ø8mm~Ø24mm 有刷空心杯电机、Ø13mm, Ø16mm, Ø22mm 无刷空心杯电机 可以空心杯点击+减速器+编码器方案形式提供产品
江苏雷利/鼎智科技	可用于军工、半导体设备、医疗等高端领域，围绕“编码器+控制器+空心杯电机+精密齿轮箱”产品，不断加大研发投入
兆威机电	微传动领域有较强的积累，拥有空心杯电机相关研发人员积累，具有齿轮箱技术
拓邦股份	拥有无刷空心杯电机产品，可以应用在医疗用具、电动工具、机械自动化、精密电子、智能家居等多个领域
伟创电气	2022 年，公司成立机器人行业部，切入机器人产业链，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。

资料来源：鸣志电器官网，江苏雷利公告，兆威机电公告，伟创电气公告，拓邦无刷电机微信公众号，信达证券研发中心

### 3.3 无框电机：国产企业有望凭借性价比优势加速突破

无框电机可以将定转子部件直接装配在机器中，便于终端产品的高度集成化，缩小体积。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。

图表 50：无框电机外形



资料来源：科尔摩根微信公众号，信达证券研发中心



无框电机通常安装在先进的机器中，具有结构紧凑、易于维护等优势，可以提升机器性能。

图表 51：无框电机优势

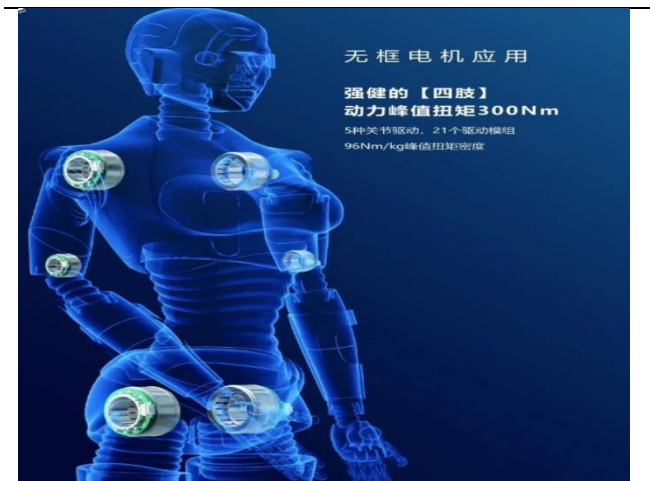
	主要优势
提升机器性能	直接耦合（无背隙）；更高的系统带宽；提高机器效率
结构更紧凑	机器占用空间更小；单位体积扭矩更高
减少维护	更少的机械部件；无易磨损或需维护的组件

资料来源：科尔摩根微信公众号，信达证券研发中心

无框电机可以运用在多种机器人和自动化领域，包括机器人、医药、机床、包装、印刷、加工和通用自动化。在人形机器人领域，无框电机也有望发挥自身结构紧凑、性能较高的优势，在机器人四肢等领域应用。

机器人需要无框电机具有较强的过载能力、高响应能力和可靠性。机器人诸如行走、跑、弹跳等动作均由机器人关节电机驱动产生。机器人关节电机作为机器人的核心硬件，直接决定机器人的重要性能。机器人对电机总体要求为质量轻、体积小、扭矩大。比如机器人在快跑、弹跳时，需要电机具有瞬时爆发式功率输出能力，因此关节电机需具备高过载能力、高动态响应能力；另一方面，在复杂工况下，对关节电机提出高可靠性的要求。参考王晟的《腿足式机器人无框力矩电机设计与优化》，美国科尔摩根 TBM(S) 系列无框电机、德国 TQ 公司研制的 ILM 系列无框电机、Aerotech 公司研制的高性能无框力矩电机等在机器人关节电机上应用较多。

图表 52：无框电机在人形机器人领域应用



资料来源：富兴电机微信公众号，信达证券研发中心

图表 53：无框电机在协作机器人领域应用



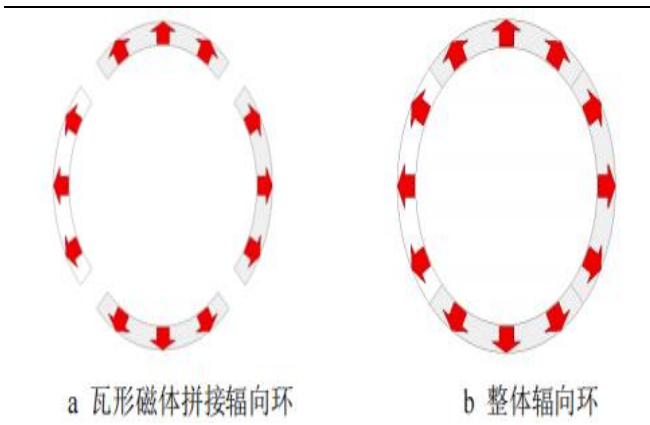
资料来源：富兴电机微信公众号，信达证券研发中心

转矩密度和转矩波动要求较高，一体磁钢有利于提升无框电机效率、节省空间。参考王治会的《基于辐向环充磁的高转矩密度永磁力矩电机设计与分析》，机器人关节的核心部件为关节永磁力矩电机，力矩电机的高转矩密度和低转矩波动是实现机器人关节轻量化和高精度运行的基础。传统拼接式磁瓦型永磁体存在较大漏磁的情况，降低了电机效率和气隙磁密，从而降低了关节电机的转矩密度。根据王治会的《基于辐向环充磁的高转矩密度永磁力矩电机设计与分析》，永磁电机磁环大多数应用拼接瓦形磁体或者磁环粘结的结构：1) 因为粘接剂等非磁性相的出现，磁环粘结的磁功能相当低；2) 瓦形烧结磁体加工程序长，材质耗费很大，磁极拼接缝隙漏磁相当大；3) 基于全密度辐射取向 Nd-Fe-B 整体永磁环而言，它的磁化取向呈辐射状，

从而在磁环内外两端构成 N 极以及 S 极，它能够替代众多传统的方形或者瓦形磁体，精简电机安装流程，提升安装精确度，加大了电机运转的平稳性，合理缩减元件体积并提升其性能，实现了提升效率、节省耗能的意图。

以科尔摩根一体式磁钢产品为例：1) 提升功率密度，新一代 TBM2G 无框电机较上一代 TBM 产品相比，功率提升 70% 以上，功率密度提升 80% 以上，从而转矩提升可高达 45%；2) 内径增大，转矩臂直径得以增加，并且也进一步提升了电机内部的宝贵空间。

图表 54：瓦形磁体拼接辐向环和辐射充磁环



资料来源：王治会《基于辐向环充磁的高转矩密度永磁力矩电机设计与分析》，信达证券研发中心

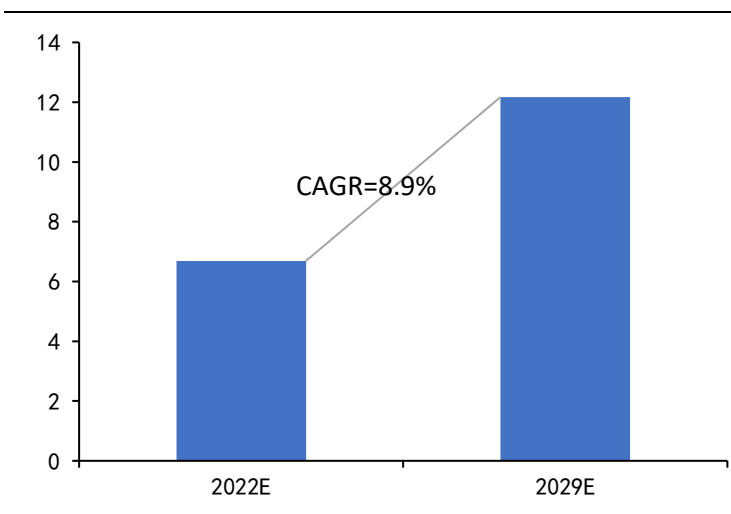
图表 55：科尔摩根一体化磁钢无框电机



资料来源：麦克厅微信公众号，科尔摩根，信达证券研发中心

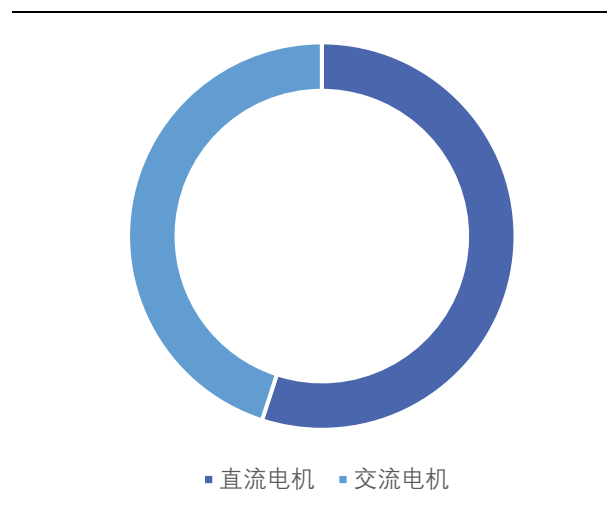
根据 Market Research 数据，2022 年全球无框力矩电机市场规模为 6.69 亿美元，2029 年预计将达到 12.17 亿美元，Kollmorgen, Moog, Maxon Motor, BEI Kimco, Woodward 和 Shinano Kenshi 等企业在市场占据优势地位，国产厂商如步科股份有望借助国产产业链成本优势，在市场份额上取得突破。

图表 56：全球无框力矩电机市场规模（亿美元）



资料来源：Market Research，信达证券研发中心

图表 57：2021 年全球无框力矩电机主要类型占比情况



资料来源：Market Research，信达证券研发中心

国内产品性能逐步接近海外企业产品，市占率有望提升。我们以步科股份与科尔摩根 60mm 左右的转子内径产品对比，可以发现国内头部企业产品过载能力、额定转矩等部分性能已经逐步接近海外产品。在此情况下，国产品牌有望凭借价格优势提升市占率。

图表 58：步科股份与科尔摩根产品对比

	转子内径 (mm)	定子外径 (mm)	额定扭矩 (N. m)	转速 (rpm)	最大电流/额定电流
步科股份 FMC057 (200)	27	57.8	0.64	3000	3
科尔摩根 TBM2G-060-26	30	60	0.75	4400	2.8-3.9

资料来源：步科股份官网，科尔摩根官网，信达证券研发中心

## 四、投资建议

我们认为人形机器人有望拉动机器人相关电机市场快速增长，驱动国产电机突破中高端电机市场。推荐汇川技术、旭升集团（信达证券研发中心电新组&汽车组联合覆盖）；建议关注空心杯电机和步进电机头部企业鸣志电器、兆威机电，工控领先企业伟创电气、无框电机制造商步科股份。

图表 59：主要标的情况

证券简称	证券代码	股价	市值	EPS			PE		
		(元)	(亿元)	2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E
鸣志电器	603728.SH	60.00	252.0	0.95	1.45	2.02	62.84	41.41	29.68
旭升集团	603305.SH	25.50	238.0	1.10	1.53	2.00	23.24	16.64	12.75
汇川技术	300124.SZ	69.61	1,853.5	2.10	2.73	3.43	33.12	25.53	20.30
兆威机电	003021.SZ	70.87	121.2	2.10	2.73	3.43	33.72	26.00	20.67
步科股份	688160.SH	57.20	48.0	2.10	2.73	3.43	27.21	20.98	16.68

资料来源：Wind，信达证券研发中心

备注：股价为7月28日收盘价，旭升集团和汇川技术为信达证券研发中心预测，其余为wind一致预期

## 五、风险因素

**核心技术发展不及预期。**电机企业突破高端市场需要拥有“电磁学”、“动力学”的复合人才，对技术要求较高，若技术发展不及预期将影响国内企业突破高端市场。

**特斯拉 optimus 机器人量产不及预期。**特斯拉 optimus 若量产不及预期，将影响产业链企业相关订单落地情况。

**地缘政治风险&宏观经济下行风险。**地缘政治风险及宏观经济下行将影响电机产业链及技术转移。



## 研究团队简介

武浩，电力设备新能源首席分析师，中央财经大学金融硕士，6年新能源行业研究经验，曾任东兴证券基金业务部研究员，2020年加入信达证券研发中心，负责电力设备新能源行业研究。研究聚焦细分行业及个股挖掘，公众号：电新之瞻。

黄楷，电力设备新能源行业分析师，墨尔本大学工学硕士，2年行业研究经验，2022年7月加入信达证券研发中心，负责光伏行业研究。

曾一赞，新能源与电力设备行业研究助理，悉尼大学经济分析硕士，中山大学金融学学士，2022年加入信达证券研发中心，负责新型电力系统和电力设备行业研究。

陈玫洁，团队成员，上海财经大学会计硕士，2022年加入信达证券研发中心，负责锂电材料行业研究。

孙然，新能源与电力设备行业研究助理，山东大学金融硕士，2022年加入信达证券研发中心，负责工控、充电桩及机器人产业链研究。

## 分析师声明

负责本报告全部或部分内容的每一位分析师在此申明，本人具有证券投资咨询执业资格，并在中国证券业协会注册登记为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告；本报告所表述的所有观点准确反映了分析师本人的研究观点；本人薪酬的任何组成部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体分析意见或观点直接或间接相关。

## 免责声明

信达证券股份有限公司(以下简称“信达证券”)具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本报告由信达证券制作并发布。

本报告是针对与信达证券签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。信达证券不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。客户应当认识到有关本报告的电话、短信、邮件提示仅为研究观点的简要沟通，对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告是基于信达证券认为可靠的已公开信息编制，但信达证券不保证所载信息的准确性和完整性。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告最初出具日的观点和判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会出现不同程度的波动，涉及证券或投资标的的历史表现不应作为日后表现的保证。在不同时期，或因使用不同假设和标准，采用不同观点和分析方法，致使信达证券发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告，对此信达证券可不发出特别通知。

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、意见及推测仅供参考，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做出邀请。

在法律允许的情况下，信达证券或其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，并可能会为这些公司正在提供或争取提供投资银行业务服务。

本报告版权仅为信达证券所有。未经信达证券书面同意，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若信达证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，信达证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成信达证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。

如未经信达证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。信达证券将保留随时追究其法律责任的权利。

## 评级说明

投资建议的比较标准	股票投资评级	行业投资评级
本报告采用的基准指数：沪深 300 指数（以下简称基准）； 时间段：报告发布之日起 6 个月内。	<b>买入</b> ：股价相对强于基准 20% 以上；	<b>看好</b> ：行业指数超越基准；
	<b>增持</b> ：股价相对强于基准 5%~20%；	<b>中性</b> ：行业指数与基准基本持平；
	<b>持有</b> ：股价相对基准波动在±5%之间；	<b>看淡</b> ：行业指数弱于基准。
	<b>卖出</b> ：股价相对弱于基准 5% 以下。	

## 风险提示

证券市场是一个风险无时不在的市场。投资者在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。建议投资者应当充分深入地了解证券市场蕴含的各项风险并谨慎行事。

本报告中所述证券不一定能在所有的国家和地区向所有类型的投资者销售，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业顾问的意见。在任何情况下，信达证券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，投资者需自行承担风险。