

人形机器人专题报告6： 人形本体&灵巧手的电机进化“势”

评级：推荐(维持)

张钰莹(证券分析师)

S0350524100004

zhangyy03@ghzq.com.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

最近一年走势



相对沪深300表现

表现	1M	3M	12M
机械设备	8.6%	3.2%	41.7%
沪深300	2.3%	-0.2%	17.7%

相关报告

《人形机器人专题报告5：Sim to real，具身大模型的问题、现状与投资机会？（推荐）*机械设备*张钰莹》——2025-10-17

《人形机器人专题4：变革前夜：旋转vs直线，关节模组还有哪些机会？——硬件、工艺及设备（推荐）*机械设备*张钰莹》——2025-09-06

《灵巧手专题系列报告3：从运动学原理出发，灵巧手如何“动起来”？（推荐）*机械设备*张钰莹》——2025-06-21

本篇报告研究了以下核心问题：1、人形机器人用电机（包括灵巧手用电机和本体关节电机）目前的技术及应用情况？2、电机板块是否还有新的投资机会？

◆ 一、展望&复盘：变化中的电机技术和投资机会

- 1、从技术更新看电机的重要性：我们认为，从目前特斯拉第三代人形的设计思路看，1）灵巧手的结构变化和降本需求可能会带来灵巧手用电机的选品变化；2）本体用电机需要在空间结构紧凑化、高输出、低温升、轻量化等需求中寻找平衡；
- 2、从股价复盘看电机下一轮投资机会：根据相关标的股价复盘，我们认为电机相关标的符合新进入T链的股价增长预期逻辑，人形机器人灵巧手用电机和关节模组用电机标的仍存在预期差；

◆ 二、微型电机人形机器人上的应用变化及创新

- 1、以各灵巧手产品选用的微型电机及搭配方案作为引入，梳理了微型电机的品类；
- 2、考虑到在灵巧手上的实际应用性，对比各微型电机的结构、特性、控制难度和价格；
- 3、梳理了目前相关厂商的布局，包括灵巧手本体的电机应用和供应商进展等。

◆ 三、无框电机：当前格局下，竞争的是什么？

- 1、整理了当前无框电机在人形机器人领域的选型诉求和逻辑；
- 2、无框电机在人形机器人应用中需要提升的性能；
- 3、关节模组应用和当前的竞争格局等。

◆ 四、轴向磁通电机：技术路径、与传统径向电机比较的优势、在人形机器人上应用的可行性及目前国内厂商的布局。

◆ 相关标的：我们认为人形机器人目前处于技术突破、商业化落地初期，后续有望迎来量产空间，维持人形机器人行业“推荐”评级。建议关注：

1）灵巧手用微型电机供应商：德昌电机控股、伟创电气、鸣志电器、兆威机电等；2）本体电机供应商：雷赛智能、步科股份、江苏雷利等。

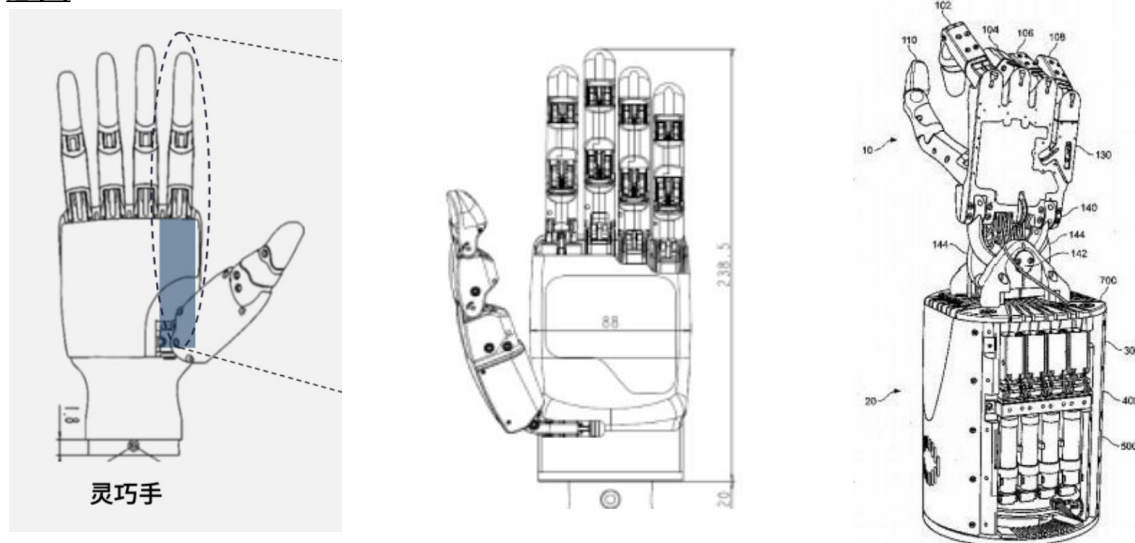
◆ 风险提示：人形机器人行业进展不及预期风险；中美贸易摩擦超预期风险；电机产品落地效果不及预期的风险；重点关注公司业绩不及预期风险；研究报告中使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。

一、动势：电机在灵巧手和本体上的应用变化&股价复盘

◆ 灵巧手用电机：结构设计和降本需求带来选品变化

- ◆ 目前主流灵巧手的电机模组布局可分为：内置式、外置式、混合布置式三类，其中，1) 内置式：电机放于手掌或手指中，同时控制系统也布置于手掌或手腕中；2) 外置式：驱动器和电气系统全部布置于前臂中；3) 混合布置式：大功率驱动器布置在前臂中，其余小功率驱动器则布置在手掌中。
- ◆ 根据马斯克对灵巧手方案变化的更新，我们认为，下一代Tesla灵巧手的变化可能在：1) 布局和电机选型方案：可能采用混合布置式，即结合手腕电机+掌内电机结合，采用腱绳驱动的方式。2) 在电机种类的选择上，可能会以降低成本的逻辑为主线，从以往的空心杯电机替换为价格更低、控制难度较小的无刷直流电机。

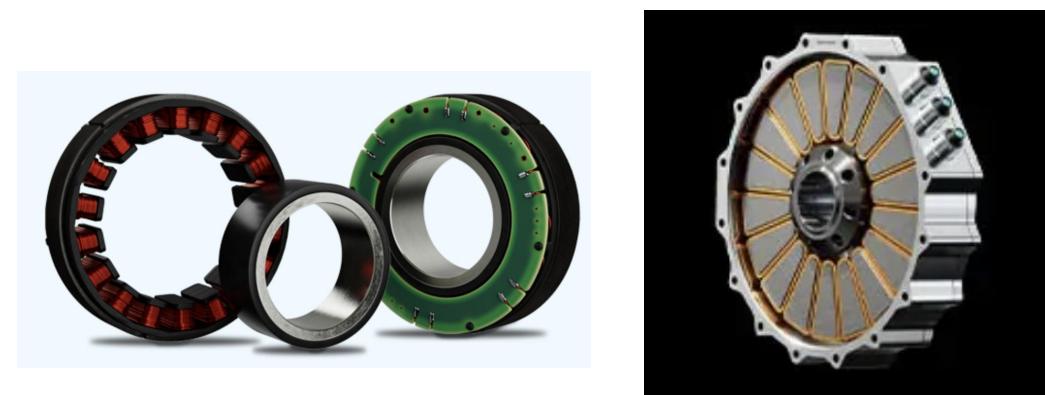
图：手掌内置电机（左）/手掌+手指内置电机（中）/手腕外置电机（右）示意图



◆ 本体用电机：空间结构紧凑化、高输出、低温升、轻量化等需求

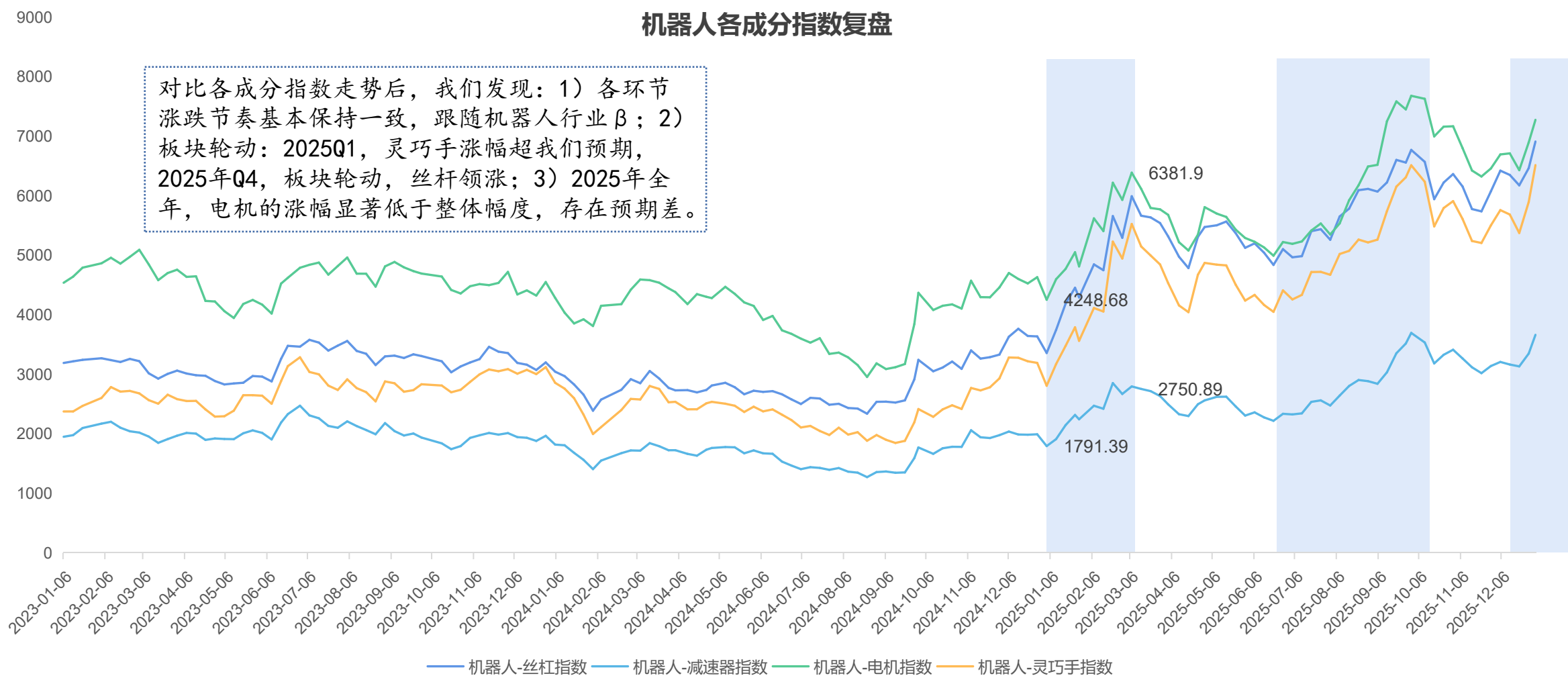
- ◆ 人形机器人关节模组核心部件仍面临着多重技术挑战，需要解决的问题包括：1) 需要在极小的空间内实现高扭矩密度输出，以满足机器人复杂动作执行需求；2) 散热：解决关节模组在长时间运行后产生大量热量并实现有效散发；3) 轻量化：减轻关节模组重量以提升机器人整体灵活性与续航能力。
- ◆ 因此，目前人形机器人电机的拓展包括人形关节用无框力矩电机和可能的轴向磁通电机等。

图：无框力矩电机（左）/轴向磁通电机（右）示意图



◆ 根据机器人核心零部件的拆分，我们编制了对应的机器人电机/丝杠/减速器/灵巧手指数，其中，电机成分主要包括伟创电气、步科股份、卧龙电驱、鸣志电器等，丝杠成分主要包括浙江荣泰、恒立液压、五洲新春、金沃股份等，减速器成分主要包括绿的谐波、科达利、中大力德、双环传动等，灵巧手成分主要包括鸣志电器、兆威机电、伟创电气、南山智尚、汉威科技、浙江荣泰等。

机器人各成分指数复盘



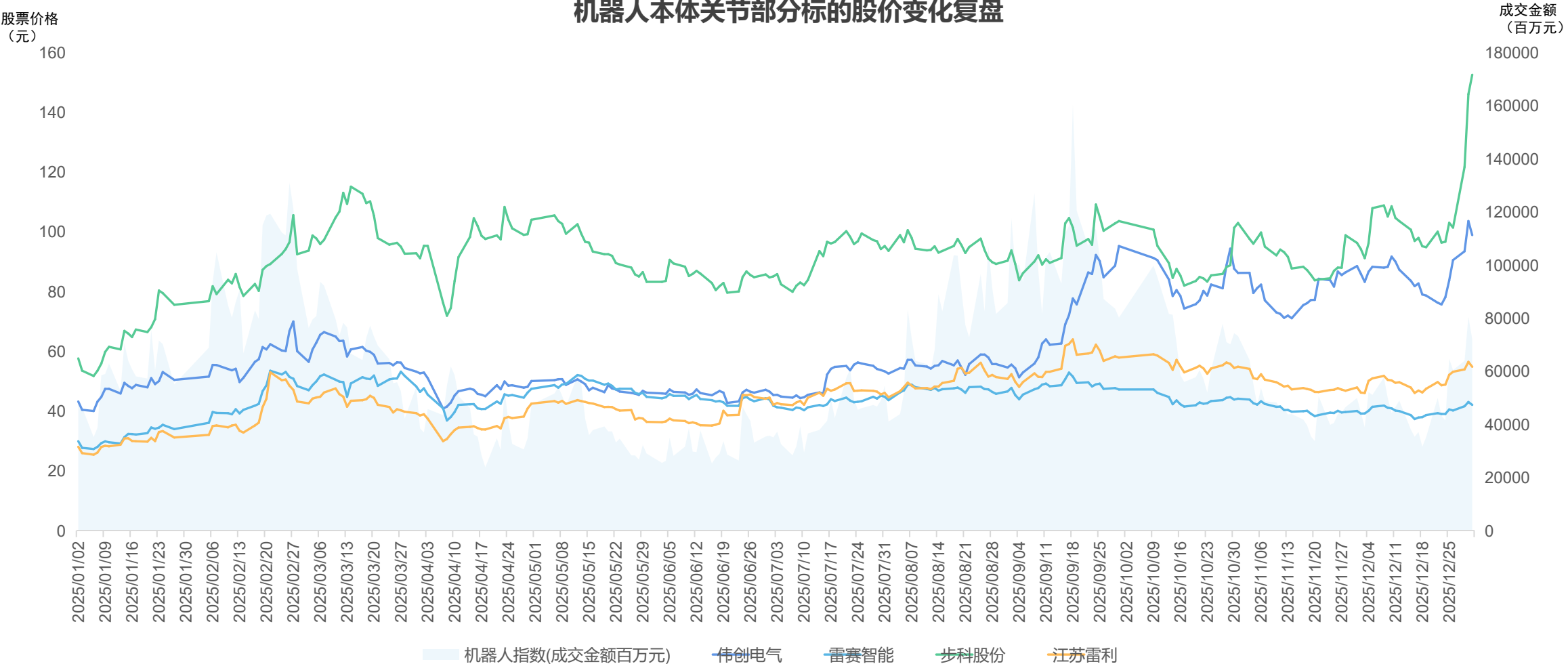
◆ 在灵巧手相关A股标的中，我们细分了灵巧手微型电机/腱绳/电子皮肤并编制对应指数，其中，微型丝杠成分包括浙江荣泰、恒立液压、五洲新春、北特科技、新坐标和双林股份；微型电机成分包括伟创电气、鸣志电器、兆威机电；腱绳成分包括南山智尚、大业股份、云中马、同益中，电子皮肤成分包括汉威科技、日盈电子、福莱新材。

灵巧手各成分指数变化复盘

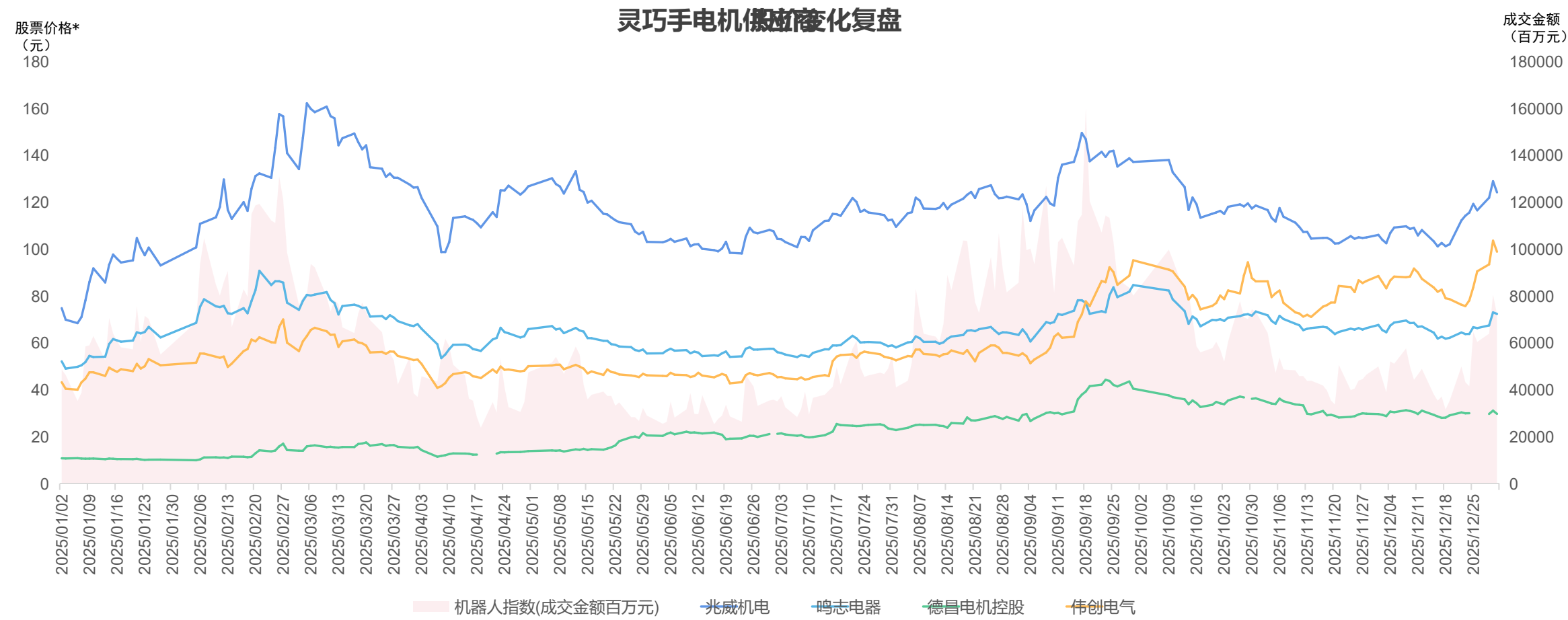


◆ 我们认为，人形机器人关节模组用电机标的仍存在预期差，国产无框力矩电机、轴向磁通电机等低成本、高扭矩、低温升的高性能电机品类有望在后续定点中进入核心的人形机器人主机厂供应链。

机器人本体关节部分标的股价变化复盘



◆ 下图中，我们总结了2025年灵巧手相关标的的股价变化，变化趋势基本符合机器人板块成交额变化的趋势，并符合新进入T链的股价增长预期逻辑，如伟创电气在2025年11月后的强势上涨。



二、态势：灵巧手用微型电机的应用、对比及布局

- ◆ 如前文所述，目前主流灵巧手的电机模组布局可分为内置式、外置式、混合布置式三类。以兆威机电为例，公司2025年发布两款灵巧手，其中，DM 17 采用直线电机直驱解决方案，主动自由度17，通过指关节电机、拇指并排直线电机和掌心直线电机驱动，电机选择可见左侧图；LM06采用连杆传动解决方案，拥有6个主动自由度，电机均设计在手掌内（右侧图）。

图：兆威机电直驱灵巧手DM17（主动自由度17）及微型电机分布

图：兆威机电连杆灵巧手LM06（主动自由度6）及微型电机分布

指关节电机

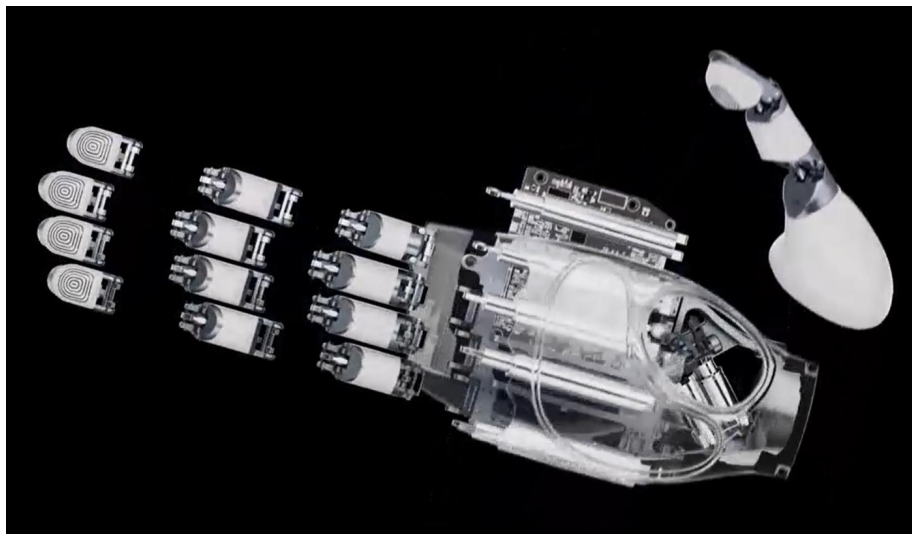
拇指并排直线电机



掌心直线电机

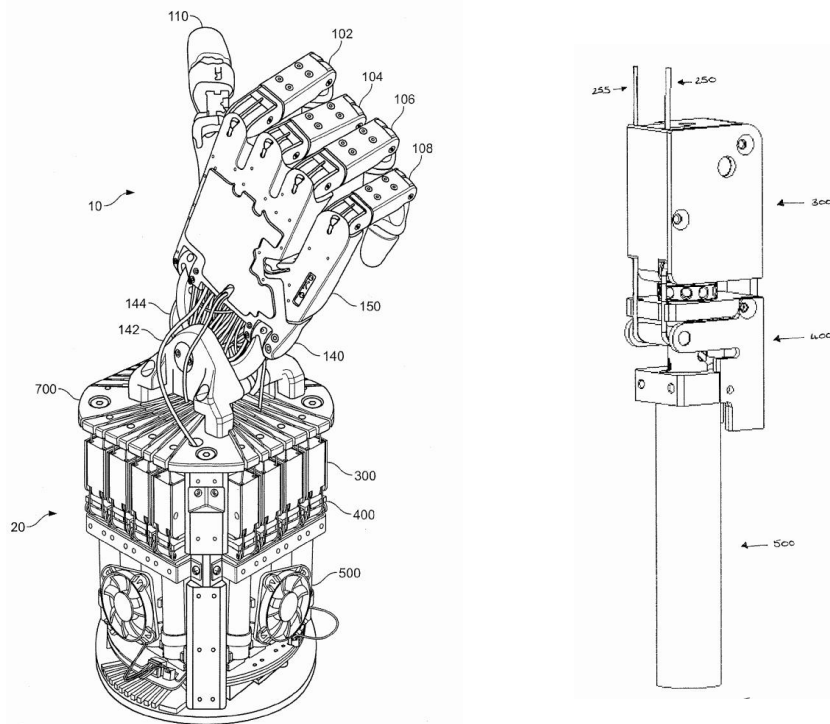


拇指直线电机

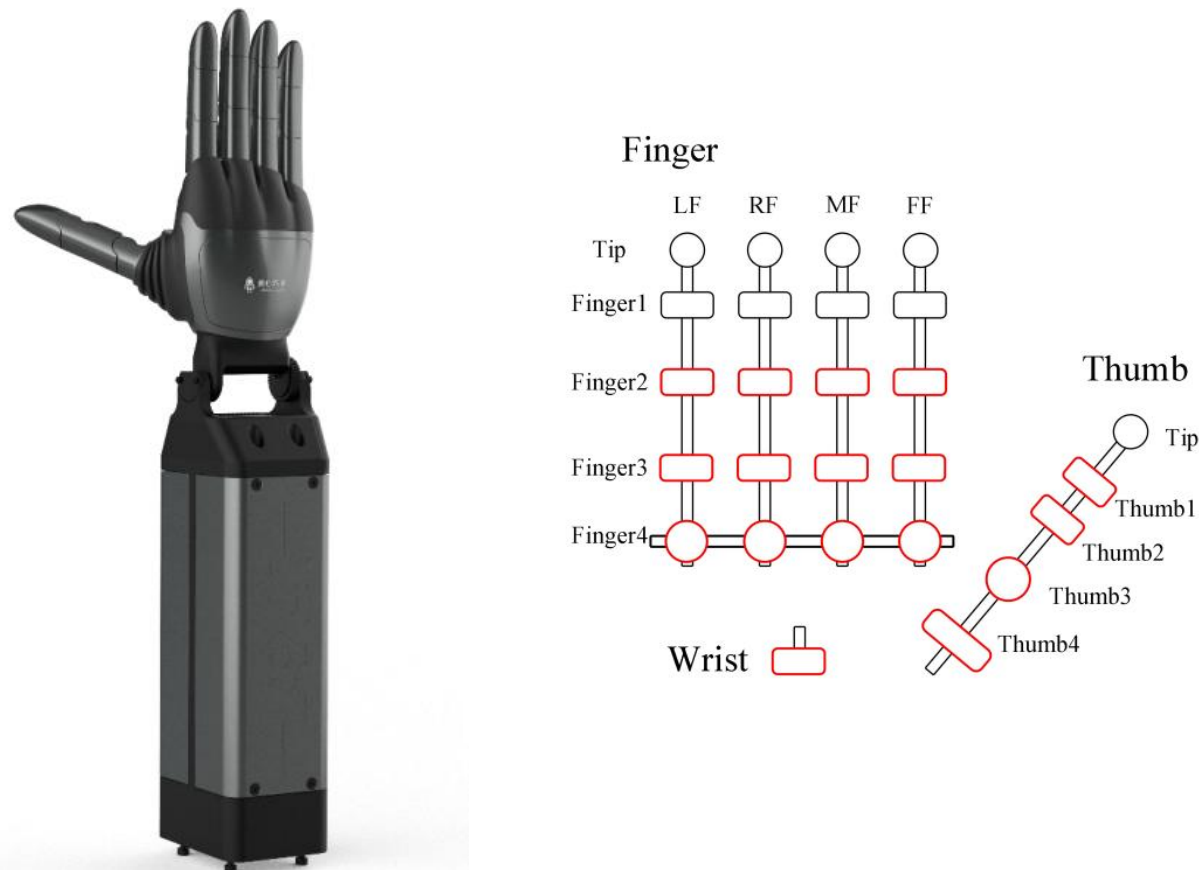


- ◆ 根据马斯克对灵巧手方案变化的更新，我们认为下一代特斯拉Optimus灵巧手的变化可能在布局和电机选型方案方向，可能采用混合布置式，即结合手腕电机+掌内电机结合，采用腱绳驱动的方式。以下两种市场上已有的灵巧手产品采用了手腕电机+掌内电机结合的形式：
- ◆ **Shadow hand**：手腕处采用密集的驱动模组（包括张紧器模块300、传感模块400和电机模组500），并通过腱绳进行传动控制；
- ◆ **灵心巧手**：Linker Hand L30 共 17 个自由度，21 个关节，其中 17 个为主动关节，手腕处设1个关节，采用腱绳传动系统（超高分子量聚乙烯绳+聚四氟乙烯管），通过远端电机组实现精准驱动，可达成 5 指 17 个自由度与 21 个关节（含 1 个手腕自由度）的协同控制。

图：Shadow hand灵巧手及执行模组（右）示意图

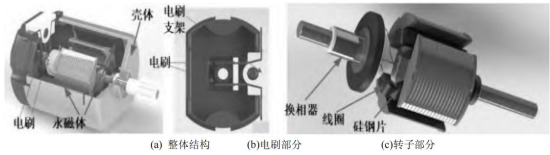
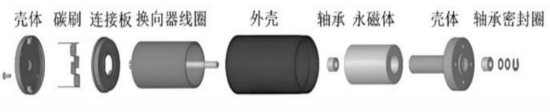
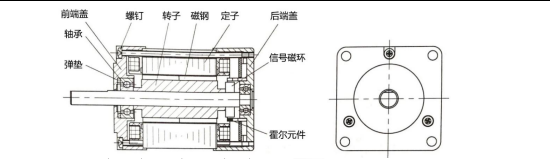


图：灵心巧手L30灵巧手及电机装配位置（右）示意图



◆ 电机的分类：按是否有电刷，微小型关节中常用的电机可以分为有刷电机和无刷电机，有刷电机又可分为直流有刷电机(有刷铁芯电机)、有刷空心杯电机；无刷电机可分为直流无刷电机、无刷空心杯电机、步进电机、永磁同步电机。

表：主流微型电机的分类

电机种类	示意图	零部件结构	驱动路径	优点	缺点
有刷电机：直流电机主要由两个核心部件构成，为定子与电枢。定子，作为电机的固定部分，扮演着提供稳定磁场的重要角色，而电枢，则承载着旋转的功能。在直流电机工作过程中，定子所产生的旋转磁场与电枢发生相互作用，从而驱动电枢进行旋转运动。					
直流有刷电机		定子、转子铁芯、绕组、电刷和换向器等	电流通过电刷和换向器进入电枢绕组，产生电枢电流，电枢电流产生的磁场与主磁场相互作用产生电磁转矩，使电机旋转	制造成本低、启动转矩大	由于转动时电刷与换向器存在摩擦，导致高速旋转时发热严重，机械效率易降低
有刷空心杯电机		结构与直流有刷电机类似，转子部分使用无铁芯的结构，由非磁性材料如铜或铝制成空心杯状结构，线圈看起来类似杯子；定子则由永磁磁钢构成	/	降低了转子转动惯量，大大提高了响应速度与最大转速	由于没有铁芯支撑，线圈只能做得很薄，导致了线圈和输出轴的连接强度有限，从而使最大功率有限（最大功率预计只有几百瓦）
无刷电机：有刷电机中电刷和换向器的存在，会导致运行产生火花和噪音、电机寿命较短、可靠性差等缺陷，逐渐被直流无刷电机和永磁同步电机取代。					
直流无刷电机		定子、绕组、转子、永磁体等，永磁体为等厚的瓦片形状，采用霍尔器件检测转子位置，使用驱动电路改变电流的方向，无需物理电刷和换向器	/	优势：无需物理电刷和换向器，具有更高的效率和更长的使用寿命；在高性能微小型关节中，特别是在对振动、噪声和效率有较高要求的场合中具有广泛应用	
永磁同步电机		与直流无刷电机结构相似，但永磁体形状为不等厚的鼓形	/	可以形成正弦的气隙磁密，转矩脉动更小，转矩更平顺	设计加工较为复杂，永磁体高温易发生不可逆退磁等，限制了其进一步发展
无刷空心杯电机		核心器件主要有永磁体转子、线圈、霍尔传感器	定子由多股线圈紧密绕制而成，采用电子换向器检测转子位置，使用三相全桥逆变电路达成电流方向切换，产生连续旋转磁场	集成了无刷电机的优点和空心杯电机的快速响应特性；无齿槽效应，减少了速度和转矩波动，进一步提高了电机的响应速度和性能	/

◆ 几种微型电机在结构、转速-转矩特性、效率、控制难易程度、价格方面的对比如表所示，其中，相对来说性能好、价格低、控制难度小的是主要是直流无刷电机，性能好、效率高的有直流无刷空心杯和永磁同步电机等。

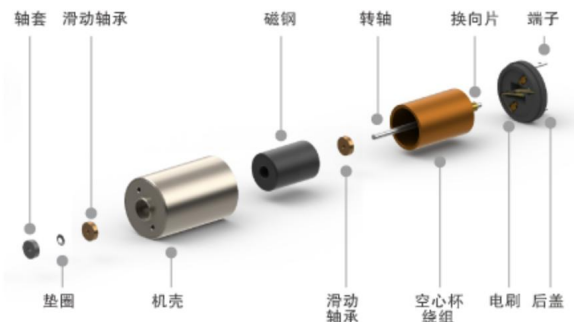
表：各电机结构、特性等综合对比

电机类型	核心零部件对比		电机控制	换向应用原理	转速-转矩特性	效率	控制难易程度	价格
	定子	转子						
直流有刷铁芯电机	由一组固定磁铁构成	线圈等	主要由换向器控制	配备了换向器（“电刷”）的软触点来确保电机的稳定单向旋转，能够在每半个周期反转电流，从而确保持续的单向扭矩输出	★★★	★★★	★	★
直流有刷空心杯电机					★★★★	★★★★	★	★★
直流无刷电机	由线圈绕组和铁心组成	由永磁体等构成	由换相和检相元件以及无刷电机控制器组成	通过电子换向器来实现电机的连续运转，目前主要由霍尔元件实现	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
永磁同步电机	定子等	将传统的步进电机电磁铁替换为永磁体，减少了转子励磁系统（无转子）	/	驱动器根据外来的控制脉冲和方向信号，凭借其内部的逻辑电路，控制步进电机的绕组按照一定的时序正向或反向通电，进而使电机正向或反向旋转，也可使其锁定	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
直流无刷空心杯电机	包含电磁绕组	转子通常采用空心杯形结构。这个空心杯内部通常包含永磁体，可以是磁铁或永磁磁铁。	/	通过配备霍尔传感器或编码器，安装在电机中，监测转子的位置，根据传感器提供的信息，电子控制系统可以调整电流的相位和大小，从而精确地控制电机的旋转。	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★

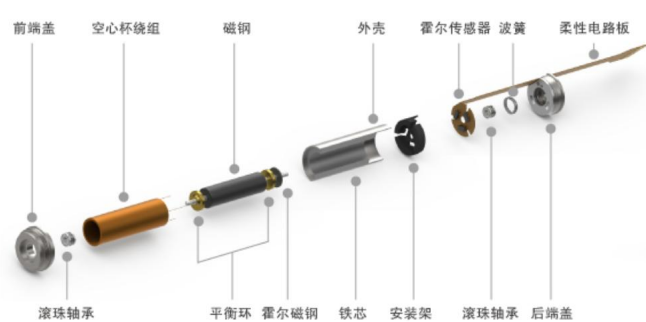
- ◆ 空心杯电机分为有刷和无刷两种，有刷电机转子无铁芯，无刷电机（又称无刷无齿槽电机）定子无铁芯。从下图可以看出两种电机的区别在于有刷空心杯电机利用碳刷（或者金属电刷）和换向器的配合来完成换向，无刷空心杯电机没有这种物理结构，线圈导线直接连接到控制器，通过处理连接板上的霍尔反馈的位置信号完成换向；有刷空心杯电机是线圈，换向器和连接板在外壳和永磁体中间旋转，他们共同组成转子。无刷空心杯电机的线圈是固定的，永磁铁作为转子在中间旋转。

空心杯电机的自支撑绕组技术：空心杯电机的自支撑绕组由漆包线制成，漆包线由铜导体和绝缘漆层两部分组成，裸线经退火软化后，再经过多次涂漆，烘焙而成。在制造过程中，通过施加压力和温度将相邻铜线上的油漆融化在一起。油漆是一种热塑性塑料，含有一种使其易于成型的溶剂。在高温制造过程中的，溶剂气体逸出，热塑体变硬，绕组便有了一定稳定性和刚度。适当的粘合（胶带或玻璃纤维）可进一步提高缠绕的强度和形状稳定性。

图：有刷空心杯电机结构图（直流有刷无铁芯电机）



图：无刷空心杯电机结构图（直流无刷无齿槽电机）



- ◆ 微型无框：以伟创电气为例，公司联合科达利设立伟达利，联合科达利、银轮股份等设立依智灵巧，联合发布具身智能系列核心部件，其中，灵巧手系列微型无框电机产品定子外径已覆盖12mm-21mm。

图：伟创电气微型无框电机产品示意图



- ◆ 直流无刷：鸣志电器的EC系列直流无刷无槽电机提供Ø13mm、Ø16mm和Ø22mm等多种外径及机身长度规格，各系列均提供多种额定电压版本。

图：鸣志电器直流无刷电机示意图



表：市场上灵巧手产品电机及适配方案统计

	型号	主动自由度	电机类型		电机输出（轴）	传动装置
本体厂						
特斯拉	二代手	22	空心杯电机		蜗轮蜗杆	腱绳
	三代手	/	可能为微型无框+微型无刷直流		可能为滚珠丝杠	可能为腱绳或混合方案
shadowhand			长条形柱状电机模组		spool卷轴	腱绳
宇树	DEX5-1	16	空心杯电机		/	12个自研微型力控复合传动关节+4个微型力控关节齿轮传动
智元	OmniHand Pro	12	电机		丝杆	连杆
星动纪元	XHAND 1	12	空心杯电机		/	纯齿轮准直驱
开普勒	/	6	空心杯电机		蜗轮蜗杆	/
灵巧手公司			电机价值量	电机类型	电机输出（轴）	传动装置
因时机器人	RH56BFX	6		空心杯电机	丝杠	连杆
灵心巧手	O6	6		伺服电机	蜗轮蜗杆	连杆
	L6	6		无刷电机	滚珠丝杠	连杆
	L30	21		高精度驱动单元		连杆
灵巧智能	Dexhand021	12		空心杯电机	蜗轮蜗杆	腱绳
傲意科技	ROH-AP001	6	单颗成本控制在百元级	空心杯电机	/	/
上市公司			电机价值量	电机类型	电机输出（轴）	传动装置
雷赛智能	DH2015	15		空心杯电机	/	可能为直驱
兆威机电	DM 17	17	6mm直径约1600元（含税）	空心杯电机/小型无刷直流电机	滚珠丝杠	可能为直驱
	LM 06	6	10mm直径约850元（含税）		/	可能为连杆

- ◆ 根据我们整理的部分厂商推出的灵巧手用电机情况，我们认为：1）目前主要的新产品以高功率密度空心杯为主，并在微型无刷和无框等品类进行拓展；2）微型电机呈现较高的集成化趋势，包括减速齿轮、驱动器和编码器等，受益有配套设计和生产制造能力的供应商；3）性能提升：主要包括小型化、提高功率密度效率和稳定性等。

表：部分供应商灵巧手用电机产品及创新点

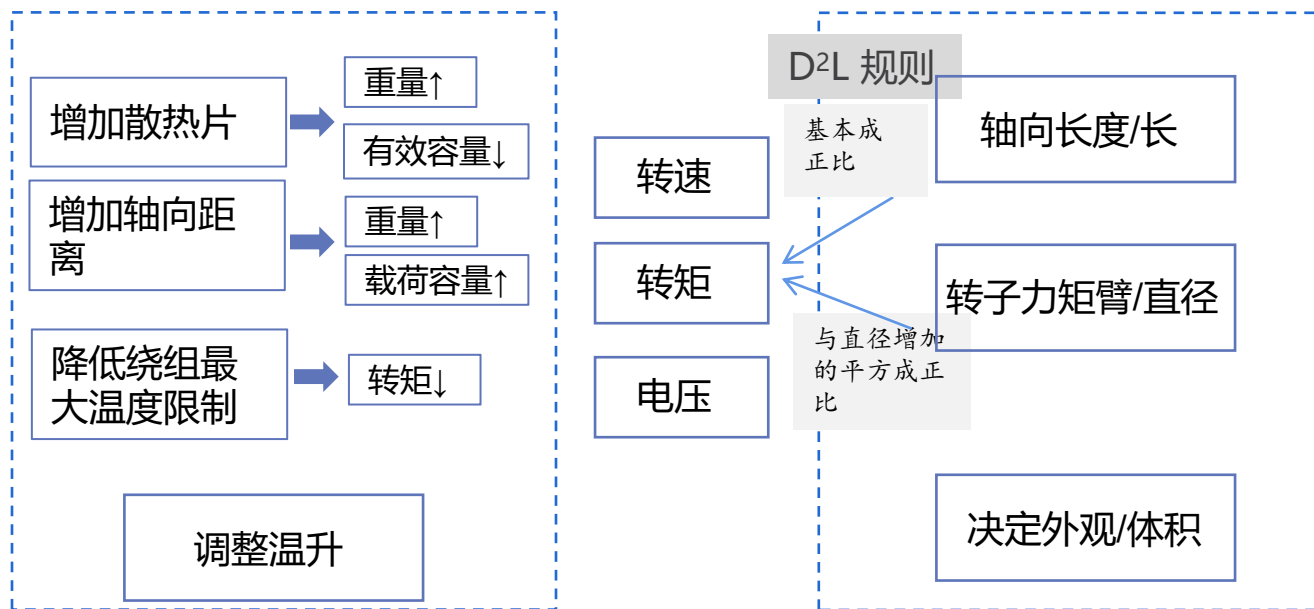
供应商	电机类型	创新点
伟创电气	直流无刷空心杯	将驱动器、减速机、编码器和电机高效集成
	微型无框	定子外径已覆盖12mm-21mm
鸣志电器	无齿槽无刷空心杯	小型化，重量可在11g左右；电压选择灵活；适配行星齿轮箱；扭矩较旧版本可提高40%
截至2025年11月，鸣志电器已围绕自动化运动控制领域推出的新一代产品包括：微型无槽无刷电机、高精度微型电动缸、机器人关节模组等	微型无刷电机	截至2025年9月，已完成小批试制并批量交付
兆威机电	小型无刷直流电机	定子铁芯拼块工艺，有齿槽转矩自锁功能，槽满率在原有基础上提升30%，具备超高转矩密度
	两极转子无刷空心杯	功率密度 > 0.5w/g，机械时间常数 < 5ms，转动惯量 < 0.21gcm ²
	四极转子无刷空心杯	定子采用高效菱形绕组，效率提升15%、转矩平稳性提升5%
雷赛智能	直流无刷空心杯	基于公司标准化、大规模、高质量、低成本的生产供应体系，可以提供高性价比的灵巧手零部件
德昌电机控股	/	配行星齿轮，标品外径可达10mm

三、顺势：当前格局下，本体用无框电机竞争的是什么？

- ◆ 人形机器人电机两大诉求：1) 降低功耗，因为人形机器人通常依靠电池供电自主运行；2) 优化转矩，机器人必须承受自身重量，同时以极高的精度执行需要人力甚至超越人力的任务。
- ◆ 当前运动控制设计的挑战：1) 由于当前通用的运动控制产品并非专门为机器人设计，存在尺寸太大、太重，不适合运动学方面的要求，即无法在人体尺度上执行类人型任务；2) 很多现存高精度电机的设计运行转速相对较高，无法在仿人手臂和腿部关节所需的全速范围内提供稳定的转矩；3) 设计的可制造性vs适销性：价格低廉、大致合适的电机有助于快速匹配人形应用，但缺乏稳定的质量保证和有效的技术支持；高价格的定制解决方案需要面对高昂的成本和量产的难题。

电机选型诉求

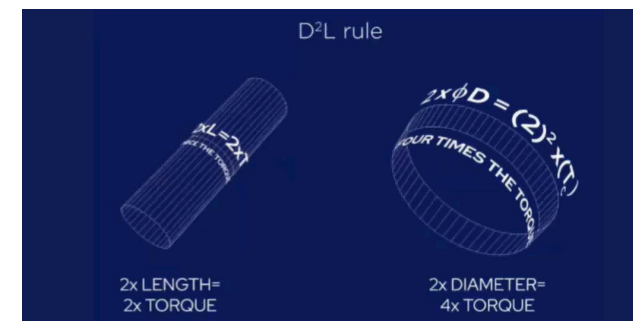
热敏传感器：
可以确保电机在不高于合理绕组温度的情况下提供所需的连续转矩。
如，如果电机开始出现过热并且工作强度过高，控制系统可以通过编程发出警告，并减少电流直到电机冷却，或执行减速/停止序列。



器件或模组零部件	一般温度要求
绕组	<155° C
编码器	<100° C-120° C
减速器	<65° C

电机的其他系统器件附近的热量也可能存在限制，如减速机、反馈装置和轴承。其中，减速机：如果使用的减速机的最高温度额定值为65° C，且附近电机最高绕组温度仅能够高15° C，这将要求电机最高80° C 的绕组温度。

D²L 规则：转矩的增加与电机叠片长度的增加成正比，或者与力矩臂直径增加的平方成正比。



在许多设计中，减少机器人关节的轴向长度可以使机器人更加灵活，在狭小空间和接近周围物体时有更多的工作间隙。

- ◆ 针对人形机器人落地探索的应用情况，需要提升的电机具体指标包括：
 - 性能参数：1）需要在极小的空间内实现高扭矩密度输出，以满足机器人复杂动作执行需求；2）需要降低转矩波动，保证机器人运动的平稳性与精准度，否则会影响其在实际场景中的应用效果；
 - 散热：关节模组长时间运行产生的热量若不能有效散发，会导致电机性能下降甚至损坏，因此高效的散热设计至关重要；
 - 轻量化：减轻关节模组重量有助于提升机器人整体灵活性与续航能力，但这与保证结构强度和稳定性之间存在矛盾。
- ◆ 无框电机：
- ◆ 无框直流无刷 (BLDC) 电机结构：由转子和定子组件构成，通常以套件形式提供，仅包含一个带有铜线绕组的定子和一个安装在轮毂上的稀土磁铁转子，类似于拆开标准电机并舍弃外壳、轴、轴承、反馈设备和电缆连接器。定子和转子直接负责产生运动控制，可被集成到外壳、轴承和其他组件中，最终集成为模组。

表：无框电机对比其他电机技术优势

外形结构	外形紧凑轻便：无框电机去除了多余的组件，可直接将外壳、轴承、轴、联轴器及其他组件集成到极为紧凑的应用设计中
精确性	精确度高，可适配多种减速器：无框电机可直接驱动负载，而无需传动组件。如果需要齿轮减速，它们还可与紧凑的低背隙或零背隙行星、谐波或摆线减速机直接集成。无论采用哪种方式，无框电机都能立刻针对驱动器变化的速度和位置需求做出响应，同时提供出色的转矩密度
环境韧性	环境韧性强：无框电机直接嵌入应用中，可完全免受腐蚀性冲洗液、浸泡、天气暴露及其他环境危害的影响。在面临高温问题时，这种机械结构能提供有效的散热效果
结构设计	结构设计自由：无框电机有力矩电机（轴向长度相对于直径较短）和伺服电机（轴向长度较长）两种设计形式，并有多多种直径、叠片长度和绕组可供选择。力矩电机利用 D2L 规则，可提供出色的转矩密度。所有型号都摆脱了由于标准伺服电机的外壳、轴、连接器和安装配置导致的设计限制

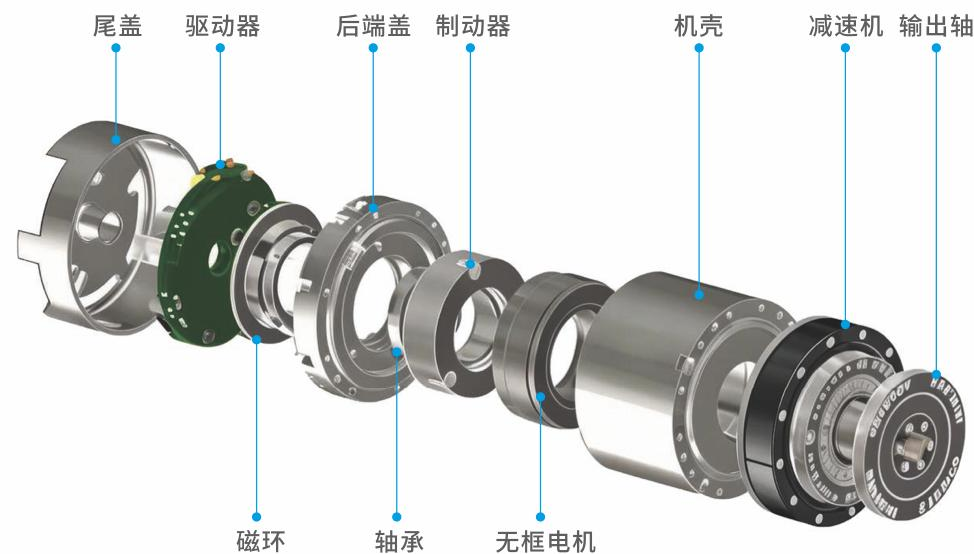


- ◆ 适配场景：机器人与工业自动化+紧凑型旋转执行器
 - 机器人与工业自动化：无框电机可实现极为紧凑强大的机器人关节，增强手术机器人、人形机器人和外骨骼、工业协作机器人等应用的灵活性、多功能性和效率；
 - 紧凑型旋转执行器：无框电机支持紧凑强大的执行器设计，无论是直接驱动负载还是通过紧凑的谐波、行星或摆线减速机，都能实现充分紧密的运动控制集成。

- ◆ 行业痛点：当前机器人关节模组核心零部件面临一些难题，包括体积大、效率低、自重大、精度低、自由度低、能耗高、成本高、温度高等，相对应地，需要各核心零部件的及对应技术的设计。
- ◆ 各厂商产品开发趋势：

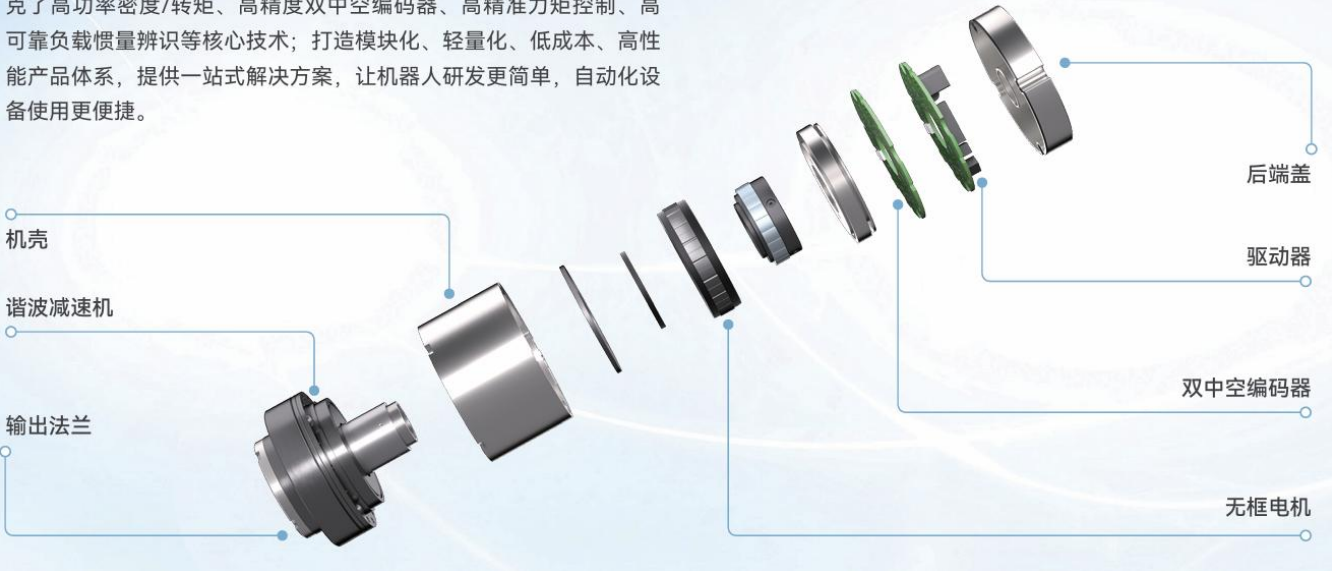
方案	无框电机	驱动器	编码器	磁环	减速机	传感器
性能	低温升/高密度/长续航	高集成/低噪音/高精度	高精度/更紧凑/多圈式	高精度/耐高温/抗干扰	高精度/高扭矩/轻量化	自动补偿/高灵敏/低噪声

图：雷赛智能关节模组产品爆炸图（无框电机+减速器）



图：伟创电气关节模组产品爆炸图（无框电机+减速器）

RB200系列旋转关节模组是将驱动器、双中空编码器、无框电机、谐波减速机、传感器等技术高度融合设计，其核心零部件自主研发，攻克了高功率密度/转矩、高精度双中空编码器、高精准力矩控制、高可靠负载惯量辨识等核心技术；打造模块化、轻量化、低成本、高性能产品体系，提供一站式解决方案，让机器人研发更简单，自动化设备使用更便捷。



◆ 科尔摩根：作为全球运动控制龙头，公司在人形机器人电机应用上使用针对尺寸、重量、速度、转矩和温度要求进行优化的机器人电机，高效地从原型机快速推进至批量生产。

下游应用

产品布局

工程设计

人形机器人：多家行业头部人形机器人企业已在科尔摩根生产工厂开展自主审核

电机+：拥有电机、驱动器、直线执行器、AGV 控制解决方案和自动化平台；
标品&非标：拥有超百万款标准和定制产品

在极短的时间内完成定制运动控制系统

初始设计

确立需求
功率、转矩、速度、占用空间
质量 + 环境
EMC + 其他限制

工程设计支持

选择、定型、配置
在线 3D 模型、尺寸、规格
科尔摩根开发者网络
线上工程设计支持

快速样机制造

加速开发
广泛的产品修改
响应式设计 + 制造
数周内全球交付

长期区域支持

维持供应 + 质量
根据需要扩大或缩小规模
符合全球要求
管理成本 + 交付时间表

生产

快速提高产量
精益制造
可重复的流程
质量 + 库存控制

迭代设计

修改 + 完善
产品的丰富性
快速修改
向上 + 向下的机械可扩展性

电机修改示例

叠片长度
编码器选项
热传感器

转子轮毂几何尺寸
通孔直径
环境密封

特殊绕组 + 仪表
安装尺寸 + 图形
双 / 单混合电缆 + 连接器

软件支持

公司官网提供多种自助式在线设计工具，如下图的性能曲线生成器等，可用于创建图表中显示的电机分析



了解科尔摩根电机选项
电机选型工具



列表比较
产品列表选型



下载图纸
预览和下载2D/3D模型



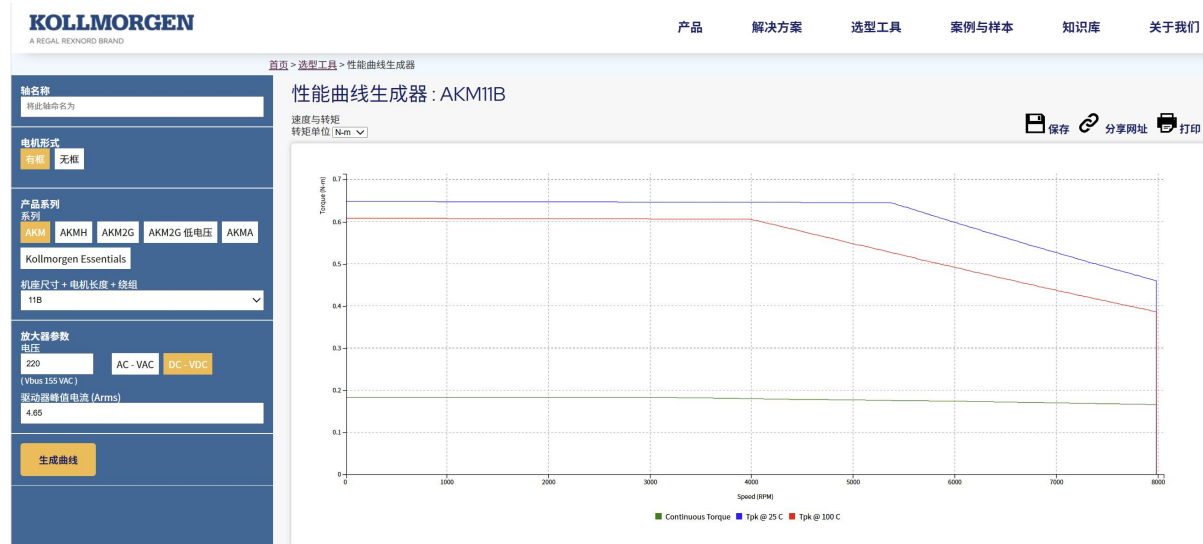
计算选型
Motioneering伺服选型软件



生成性能曲线
性能曲线生成器



设计步进系统
步进优化器



- ◆ **关节模组全面布局：**以德昌电机控股为例，在人形机器人领域，公司针对开发了多款电机及模组，已可应用于头部、手部、腰部、手臂和腿部
- ◆ **快速部署：**德昌电机在直线关节模组的应用中强调其可以直接与各类机器人集成，便于快速部署；
- ◆ **长寿命：**通过使用先进材料等减重和增加耐用性

下游应用

人形机器人：目前已开发多款电机及模组，已可应用于头部、手部、腰部、手臂和腿部等

产品布局

旋转关节：产品峰值扭矩可达396牛米；低背隙；高精度
直线关节：紧凑设计；可实现耐久性；可与各类机器人系统无缝集成，便于快速部署
灵巧手执行器：峰值扭矩可达0.25Nm，紧凑尺寸；可定制
无框电机产品：提供卓越的扭矩密度和运动精度；平滑、高效且响应迅速的运动控制；采用先进材料和工程技术，重量轻且耐用

- ◆ **降价打法，打造高性价比模组：**以雷赛智能为例，公司的HJ2谐波关节模组，强调“为行业带来极致性价比的解决方案”，综合解决关节模组目前价格昂贵、发热严重、重量过大、精度不足等痛点。

- ◆ **性能优化：**以步科股份为例，针对人形机器人关节应用，无框电机在结构设计、重量密度、温升、噪音振动等方面进行了性能提升：

表：步科股份第四代无框电机产品核心性能提升

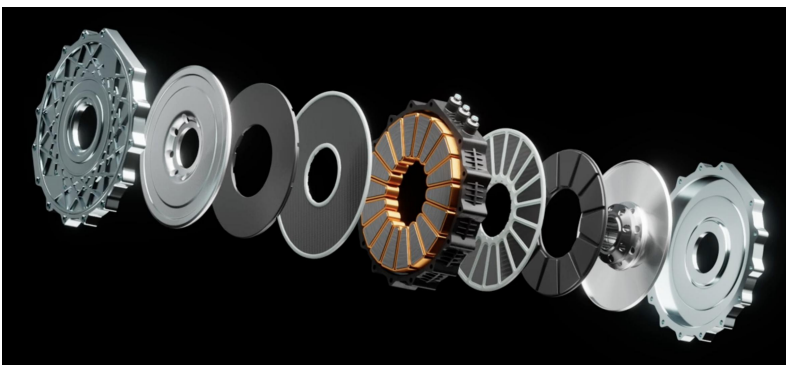
长度	优化了定子焊接工艺，提高定子圆度，保证性能优越的同时尽量缩短电机长度以贴合客户使用需求，配合特殊设计可以使模组长度缩短40%
中空设计	大裂比中控设计，更大的转子内径适配人形机器人机械设计的过线、布板要求
重量密度	工艺更新，降低电机本体重量，提高功率密度
温升	灌胶工艺、电磁优化带来更好的温升控制
噪音振动	降低噪音振动

价格：较平均关节价格少30%；
创新材料减重：减重65%，为轻量化提供更大空间；
体积减小：体积减小20%，结构更紧凑，可实现机器人应用灵活配置

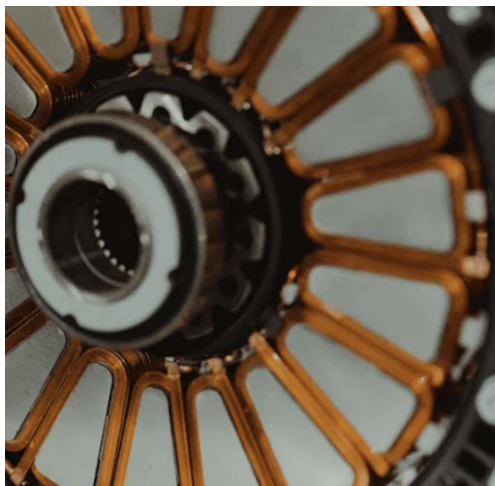
四、造势：新一代高性能轴向磁通电机

- ◆ 在汽车的电气化趋势下，当今市场上几乎所有电动汽车仍采用传统的径向电机技术。而轴向磁通电机在发电与电力管理方面具有独特优势，基于其独特的设计和形态，或代表“高性能的选择”。
- ◆ 轴向磁通电机有两种不同的设计方案：一种是双转子单定子结构，另一种是单转子双定子结构。**双转子夹单个定子的结构与单侧设计相比，其磁相互作用的有效表面积有效增加了一倍，而电机的体积或重量并未显著增加。**
- ◆ **生产制造难度：**早期，轴向磁通技术的制造难度限制了商业化前景，原因在于：1）生产工艺难度：无法像传统径向电机一样通过叠片组装实现生产；2）存在若干额外问题，包括散热能力差（散热能力是实现可重复最大性能的关键）、轴向气隙控制困难以及绕组结构复杂等。

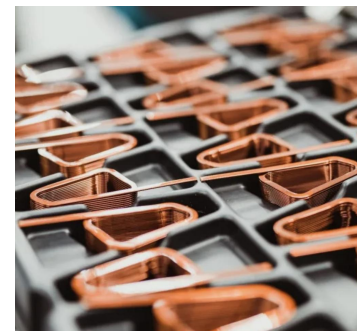
图：轴向磁通电机爆炸图



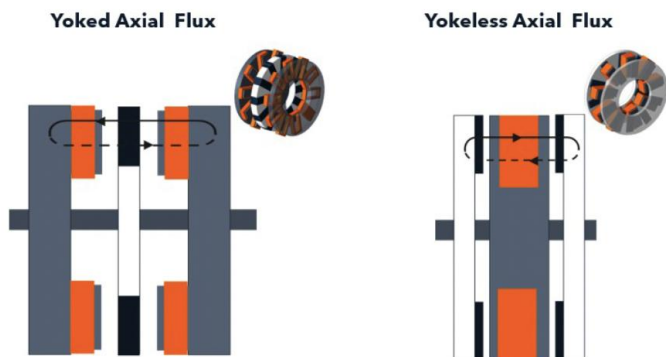
工艺结构改进：
通过将电机分割为极片式的离散结构，采用软磁复合材料进行生产制造，解决了复杂叠片生产困难、绕组难题和散热问题等



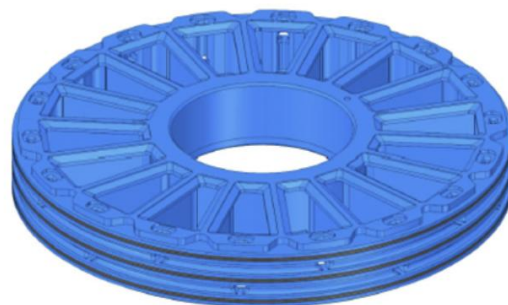
软磁复合材料可低成本压制成多种三维形状，这消除了对复杂叠片的需求，攻克了轴向磁通电机制造的核心难题。



图：轴向磁通电机两种不同的设计方案对比

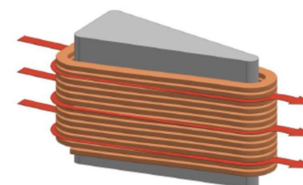


贝壳状结构：
将各个定子齿固定到位。贝壳状结构可以通过注塑成型进行批量生产，克服无轭设计中定子定位的难题



此外，还可以与“直接油冷”设计（下图）集成，使冷却液在每个绕组之间以及金属定子铁芯的侧面流动。

图：线圈导线间冷却液流动路径示意图

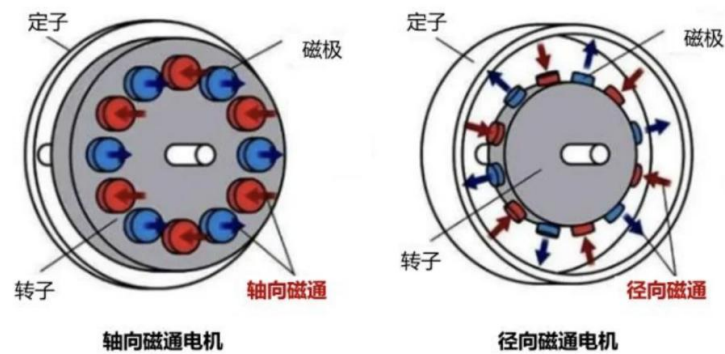


◆ 同样作为将电能转化为机械运动的驱动装置，轴向磁通电机和传统的径向磁通电机在结构、工作原理和适用范围等方面均有很大差异。

轴向磁通电机磁场方向对比

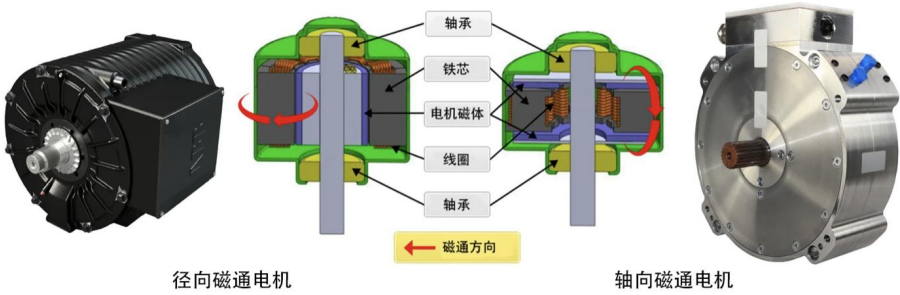
径向磁通电机：磁通沿径向运动，要么从转子中心向外径向指向定子，要么向内径向指向转子中心。这种结构在一个多世纪以来一直是电机行业的标准并至今仍为主流；
轴向磁通电机：磁通方向与旋转轴线平行。这类电机呈扁平状，转子和定子均为圆盘。由于其轴向结构，磁极之间的磁通路径缩短且呈直线，显著提升了其在多个方面的性能。

电机类型	磁场方向	典型结构图示
轴向磁通电机	平行于转轴（轴向）	定转子平行叠放
径向磁通电机	垂直于转轴（径向）	定转子同心嵌套



轴向磁通/径向电机结构对比

组件	轴向磁通	径向磁通
转子	双盘夹持式（单/多转子）	圆柱嵌套式
定子	无槽绕组/SMC拼装	硅钢片叠压+铜线嵌槽
气隙形态	大面积薄气隙（0.5-2mm）	长路径均匀气隙



轴向磁通/径向电机优劣对比

指标	轴向磁通电机	径向磁通电机	用例示例
扭矩密度	高（高出 30-50%）	中等至高	轴向磁通量受益于更大的转子直径
功率密度	较高（适用于短轴向长度）	略低	对于紧凑型应用而言至关重要
效率	>96% 的可能性	通常约为90-95%	轴向磁通可以减少铁芯和铜的损耗。
电机长度	短	长	轴向结构沿其轴线方向紧凑
制造的复杂性	更高（公差严格，双面定子）	降低	径向电机被广泛生产。
成本	通常价格更高	性价比高	径向磁通电机受益于成熟的供应链
最适合	高扭矩、空间受限的设计	具有成熟供应链的通用电机	轴向：航空航天、高性能电动汽车； 径向：行业标准

- ◆ 据Traxial官网，与径向电机相比，轴向磁通电机的优势主要有：1）扭矩密度最高可达3倍；2）功率密度最高可达2倍；3）通常为轴向长度的1/3（减小体积）；4）材料用量最高可降低60%等。
- ◆ 匹配人形机器人关节设计需求：如下表所示，我们认为轴向磁通电机在人形机器人应用上的优势在于：1）提升空间紧凑性，非常适合适配单级行星齿轮，同时实现高扭矩密度和紧凑结构；2）减重：轴向磁通电机的质量可以更轻；3）降低材料用量：以Traxial为例，其无轭轴向磁通电机与最新的Tier1径向磁通电机对比，可以实现降低材料用量，包括：铁质重量减少60%、铜用量减少52%、磁体质量减少20%（降低对稀土材料的依赖性）。
- ◆ 市场化应用及进程：目前主要应用于特斯拉、法拉利等车企和eVTOL飞行器等。
- ◆ 全球量产情况：2025年，YASA斥资1200万英镑在牛津郡建成英国首座轴向磁通超级工厂，预计年产量可突破25,000台，能够有效满足法拉利、兰博基尼等OEM客户需求。

表：轴向磁通电机在车轮上的应用

指标	优势
空间紧凑性	轴向磁通电机的高扭矩密度允许使用减速比较低的齿轮箱（通常为1:6）如 单级齿轮传动 实现。非常适合与同轴单级行星齿轮组适配，进而实现紧凑结构
减重	轴向磁通电机具有更高的扭矩和功率密度，因此驱动单元（EDU）的质量可以更轻。以高端乘用车为例，每台电机可减轻约 20 公斤的重量
降低材料用量	以Traxial为例，其轴向磁通电机与最新的Tier1径向磁通电机对比，可以实现降低材料用量，包括：铁质重量减少60%、铜质量减少52%、磁体质量减少20%（降低对稀土材料的依赖性）

图：两台轴向磁通电机在车轮上的应用



每台电机驱动后轴上的一个独立车轮，实现扭矩矢量控制，从而提升安全性、加速性能和驾驶体验；整个双电机电动驱动单元（EDU）的宽度（轴向长度）小于 500 毫米。

表：轴向磁通电机主流应用

领域	主要产品
电动汽车	轴向磁通电机的高功率密度和轻量化特性使其在电动汽车应用中尤为突出。越来越多的电动汽车制造商开始关注和开发这种类型的电机，以提高车辆的性能和续航里程
航空航天	可用于无人机、eVTOL飞行器、电动飞机和其他航空飞行器的驱动系统
风力发电	可提高风力涡轮机系统的效率并降低与风能相关的成本

◆ 与该类电机相关的布局包括MIM注塑工艺和产品。产品方面，各主要厂商均已在逐步开发或已发布相关产品并进行在人形机器人方向的布局等。

工艺：部分MIM注塑加工厂商统计

公司	
统联精密	2025年前三季度，公司MIM收入占总收入比重约30%
东睦股份	公司是粉末冶金技术平台企业，包含粉末冶金压制成形P&S、软磁复合材料SMC、金属注射成形MIM三大粉末冶金新材料技术平台
福立旺	公司具备MIM件(钛合金以及铝合金)成熟产能和工艺，可广泛运用在人形机器人的关节、传感器和微型齿轮等关键部件
兆威机电	公司具备塑料注塑成型、金属粉末注射成型（MIM）、粉末冶金成型、金属机械加工等多种制造工艺大规模应用能力

产品：部分轴向磁通电机本体研发厂商统计

公司	时间点	布局
伟创电气	2025.11	发布轴向磁通电机新品；携手行业推出轴向磁通电机关机模组
步科股份	2025.09	在人形机器人方向布局轴向磁通电机
信捷电气	2025.07	储备轴向磁通电机技术
江苏雷利	2025.03	战略投资仪坤动力（主营轴向磁通电机产品）
大洋电机	2025.07	公开了一种轴向磁通电机专利
信质集团	2025.08	持续关注并推进研发
卧龙电驱	2025.08	公开了轴向磁通电机专利
科德数控	2025.12	轴向磁通电机的研发正按计划有序推进，公司具备批量投产能力

◆ 我们认为人形机器人目前处于技术突破、商业化落地初期，后续有望迎来量产空间，维持人形机器人行业“推荐”评级。**建议关注：**1) 灵巧手用微型电机供应商：德昌电机控股、伟创电气、鸣志电器、兆威机电等；2) 本体电机供应商：雷赛智能、步科股份、江苏雷利等。

表：相关标的梳理

标的	代码	总市值（亿元）	PE			主营业务
			2026E	2027E	2028E	
伟创电气	688698.SH	193.48	56.77	47.79	——	主业工控自动化，研制空心杯电机、无框电机等
德昌电机控股	0179.HK	280.14	13.35	11.77	10.13	布局人形机器人运动控制环节产品
鸣志电器	603728.SH	277.64	215.22	159.56	——	运动控制产品综合制造商
兆威机电	003021.SZ	280.47	83.16	64.51	——	微型驱动系统供应商，提供高性能伺服电机、减速箱和齿轮零部件
步科股份	688160.SH	92.09	91.17	75.48	——	主营工业自动化及机器人核心部件与数字化工厂软硬件
雷赛智能	002979.SZ	126.28	40.09	33.16	——	运动控制供应商，深耕细分行业工艺及终端大客户
江苏雷利	300660.SZ	237.61	53.60	43.87	——	主营电机产品，包括直流有刷电机、直流无刷电机等，布局机器人业务

*各公司盈利预测均来源于一致预期，总市值数据统计截至2025年12月26日；港股标的市值单位为亿港元

- ◆ **人形机器人行业进展不及预期风险：**人形机器人行业硬件技术及软件技术（大脑及大模型、小脑及运控技术等）发展低于预期，将对人形机器人技术成熟的速度、后续商业化落地和放量节奏产生不利影响；
- ◆ **中美贸易摩擦超预期风险：**若美国对人形机器人中国配套供应链厂商加强技术封锁和关税限制，将对机器人国产产业链中的企业技术革新造成不利影响，增加关税负担和经营成本等；
- ◆ **电机产品落地效果不及预期的风险：**当前各家公司人形机器人用电机产品仍处于技术的早期，可能存在由于技术路径迭代、数据缺乏等因素造成的大模型落地效果不及预期的风险；
- ◆ **重点关注公司业绩不及预期风险：**灵巧手未来技术路线不确定性大，放量时间节点未确定，存在前期投入成本难以收回的风险；涉及上游零部件供应商众多，行业竞争较为激烈；
- ◆ **研究报告中使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险：**人形机器人行业技术方案多样，迭代速度快，研究报告中使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。

机械小组介绍

张钰莹，机械行业首席分析师，致力于前瞻研究及深度研究，擅长自上而下与自下而上相结合挖掘机械板块投资机会。

分析师承诺

张钰莹，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

国海证券投资评级标准

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；
中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；
回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；
增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%～20%之间；
中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%～10%之间；
卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

免责声明

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，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波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 机械研究团队

心怀家国，洞悉四海



国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597