

# 人形机器人动力之源，电机应用要求与变革方向

投资评级：推荐（维持）

报告日期：2025年12月18日

- 分析师：林子健
- SAC编号：S1050523090001
- 联系人：张智策
- SAC编号：S1050124020009

- 联系人：程晨
- SAC编号：S1050124070018

研究创造价值

## 电机是人形机器人动力源，性能直接影响人形机器人运动能力、稳定性等多方面表现

电机是实现电能向机械能转换的枢纽，人形机器人电机主要采用无框力矩电机及空心杯电机。作为人形机器人核心零部件之一，电机性能直接影响人形机器人运动能力、灵活性、稳定性和能效等多方面的表现。从特斯拉Optimus、宇树H1/G1等多款人形机器人关节核心参数看，电机动力输出、能效优化诉求突出，高性能电机是目前关节迭代的关键，为人形机器人从实验室走向规模化应用奠定基础。

## 人形机器人结构紧凑，有限空间内提升电机性能需聚焦结构、原理、材料及控制等方向

人形机器人结构紧凑，根据电机转矩公式： $T_e = K_e [D_i^2 L_e] A B_g \eta \cos \phi \propto [D_i^2 L_e] A B_g$ ，在不增加体积的情况下，实现扭矩/动态响应速度的提升，需提升电机电负荷、磁负荷及转矩线性度，对应在电机设计中需聚焦三个主要方向：结构创新、原理创新、材料与控制创新。

**1、电机本体结构革新：**①轴向磁通电机：相对普通电机结构扁平轻薄，同等条件下扭矩提升可达4倍，功率密度极高。②PCB定子电机：定子线圈蚀刻在电路板上，减重50%，适合轻量化需求。③超声波电机：拥有断电自锁、低速大扭矩等特点，是灵巧手驱动的潜在竞争者。④扁平线绕组：槽满率提升20-30%，增加磁场强度，且扁线接触面积大，散热更优。

**2、电机工作原理创新：**谐波磁场技术（磁场调制）：打破定转子极对数限制，大幅提升转矩密度。

**3、热管理与控制系统升级：**①散热改进：引入液冷通道、碳纳米管及相变材料，解决高负载发热问题。②GaN（氮化镓）驱动：相比传统MOSFET，GaN能实现更高频率的PWM控制（如100kHz），提升控制精度并减小驱动器体积。

## 灵巧手集成化设计趋势明显，微型电机壁垒较高

我们认为手部执行器总数约为50个左右，按照每个微型电机200元的价格测算，Optimus的微型电机ASP约为10000元。

空心杯电机和微型无框电机已成为灵巧手实现精确伺服驱动运动的理想解决方案：1) **空心杯电机**：采用了无铁芯转子，使得电机重量和转动惯量大幅降低，从而减少转子自身的机械能损耗；2) **无框电机**：已精简到只剩定子和转子，并舍弃了传统的框架、轴承和轴，支持轴向长度灵活调整，径向尺寸也可以根据关节腔定制，甚至能实现径向安装或中空贯通布局，这种灵活性能让工程师“创造关节”而不是被动地“适配电机”。

## 建议关注具备高壁垒技术以及规模化制造能力的龙头企业

推荐关注卧龙电驱、伟创电气、鸣志电器、江苏雷利、信捷电气、科尔摩根、尼得科。

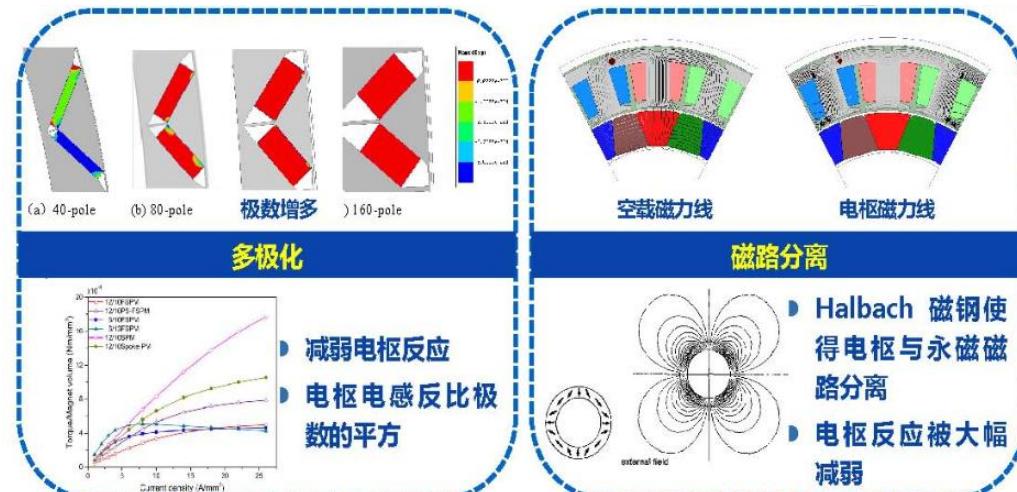
## 传统电机电磁转矩表达式:

$$T_e = K_e [D_i^2 L_e] A B_g \eta \cos \phi \propto [D_i^2 L_e] A B_g$$

其中:

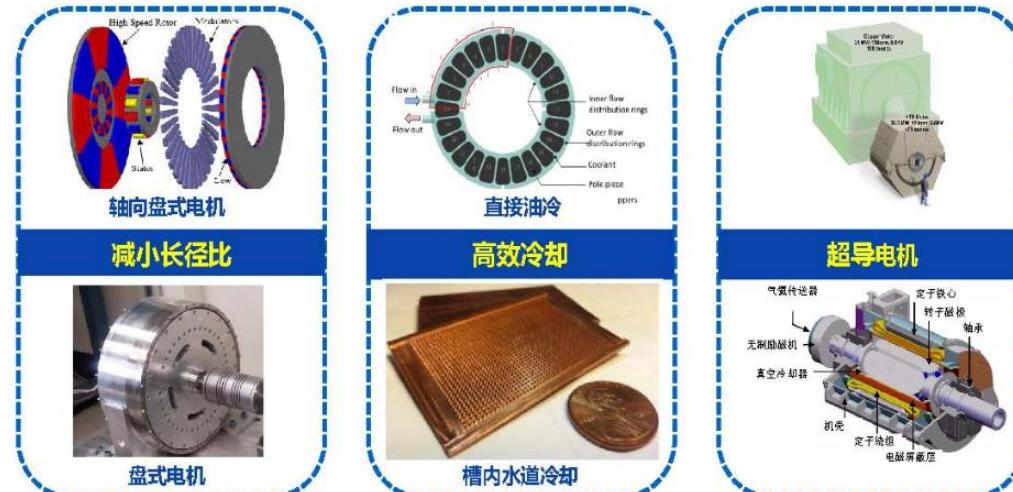
- $T_e$ : 电机扭矩
- $D_i$ : 电机定子内径
- $L_e$ : 电机有效铁芯长度
- $A$ : 电负荷
- $B_g$ : 磁负荷
- $K_e$ 、 $\eta$ 、 $\cos\phi$ : 结构常数、效率、功率因数

## 提升负荷与转矩线性度

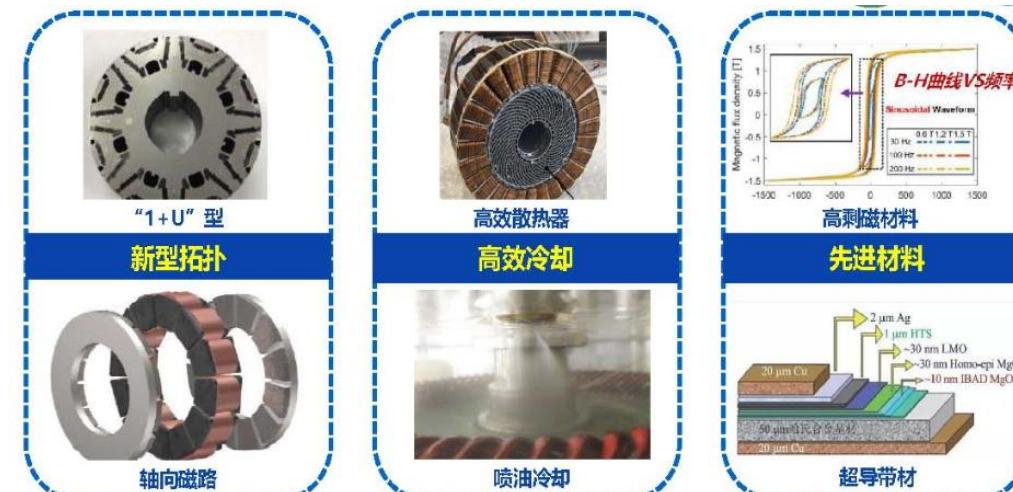


资料来源：磁场调制—高转矩密度电机的创新与发展，华鑫证券研究所

## 提升电负荷



## 提升磁负荷



# 重点关注公司及盈利预测

公司代码	名称	2025-12-18 股价	EPS			PE			投资评级
			2024	2025E	2026E	2024	2025E	2026E	
300660.SZ	江苏雷利	46.23	0.92	0.81	0.99	50.25	57.07	46.70	未评级
600580.SH	卧龙电驱	39.28	0.61	0.65	0.73	64.39	60.43	53.81	未评级
603416.SH	信捷电气	52.51	1.63	1.72	2.1	32.21	30.53	25.00	未评级
603728.SH	鸣志电器	61.78	0.19	0.21	0.31	325.16	294.19	199.29	未评级
688698.SH	伟创电气	79.00	1.16	1.3	1.58	68.10	60.77	50.00	未评级

资料来源：Wind，华鑫证券研究（未评级公司数据取自Wind一致预期）

电机新技术研发与产业化进程不及预期

人形机器人商业化落地不及预期

行业竞争加剧与格局恶化

原材料价格波动风险

01

电机是机器人动力源泉，性能高低至关重要

研究创造价值

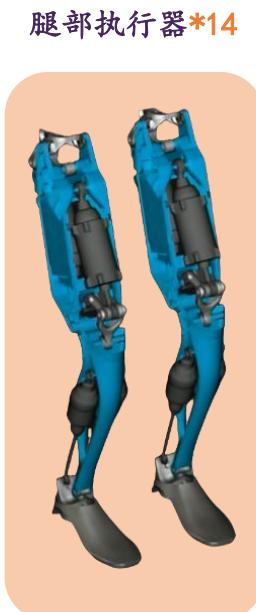
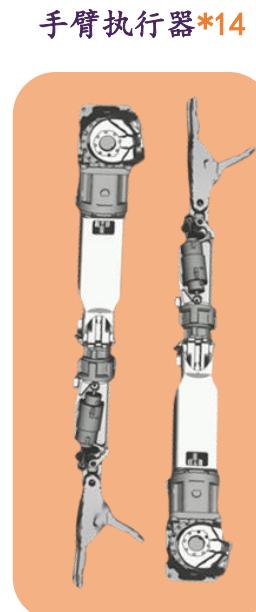
# 1.1 电机是人形机器人动力之源

**执行器是机器人实现运动的核心部件，躯干按传动形式可分为旋转与线性两类。**执行器（即一体化关节）是将电机的旋转运动转化为连杆机构运动的关键组件，是机器人实现动作的核心动力单元。电机作为执行器的核心零部件，负责将电能转化为机械能，为整体运动提供驱动力。人形机器人躯干中的执行器可分为两类：旋转执行器与线性执行器，主要区别在于其传动机构形式——前者通常采用减速器，后者则采用行星滚柱丝杠。以特斯拉Optimus为例，其全身配置14个线性执行器与14个旋转执行器，通过协同运作实现精确灵活的运动控制。此外，机器人灵巧手中同样需要电机进行驱动。

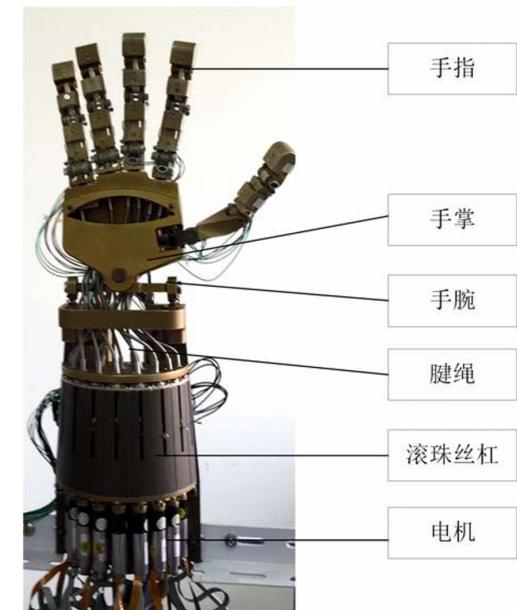
图表：特斯拉Optimus执行器



Optimus躯干共需要28个执行器



图表：灵巧手结构



资料来源：Tesla AI Day, 空间五指灵巧手控制系统设计\_韩运峥, 华鑫证券研究所

## 1.2 电机性能对人形机器人至关重要，是机器人核心部件

电机作为人形机器人的核心部件之一，其性能直接影响人形机器人的运动能力、灵活性、稳定性和能效等方面的表现：

- 电机的峰值扭矩为机器人提供负重作业、复杂动作执行的动力支撑，是实现重载操作、越障移动等功能的基础；
- 电机高扭矩密度则通过“轻量化 + 高效动力输出”的结合，大幅提升机器人的运动灵活性，同时降低能耗以延长续航时长；
- 电机的输出精度与稳定性，是机器人实现平稳行走、精准操作、动态平衡的关键保障，从细微动作的精准控制到复杂场景下的姿态调整，均依赖电机的稳定动力响应。

电机性能不稳定会造成机器人摔倒



电机散热影响机器人长时间运转能力



资料来源：中国青年报、华鑫证券研究

# 1.3 电机性能对人形机器人至关重要，是机器人核心部件



**人形机器人对电机的核心性能需求正持续攀升。**从宇树 H1/G1、特斯拉 Optimus、智元灵犀 X1 等多款人形机器人关节的核心参数来看：一方面，动力输出要求逐步提高，例如宇树 H1 膝部关节电机的峰值扭矩已达  $360\text{N}\cdot\text{M}$ ，为机器人复杂动作与负重作业提供支撑；另一方面，轻量化与能效优化的诉求突出，宇树 H1、智元灵犀 X1 的扭矩密度分别达到  $189.5\text{N}\cdot\text{M/kg}$ 、 $156.3\text{N}\cdot\text{M/kg}$ ，体现出电机在控制自身重量的同时，需实现更高的动力输出效率，电机的效率将直接影响机器人的续航能力。

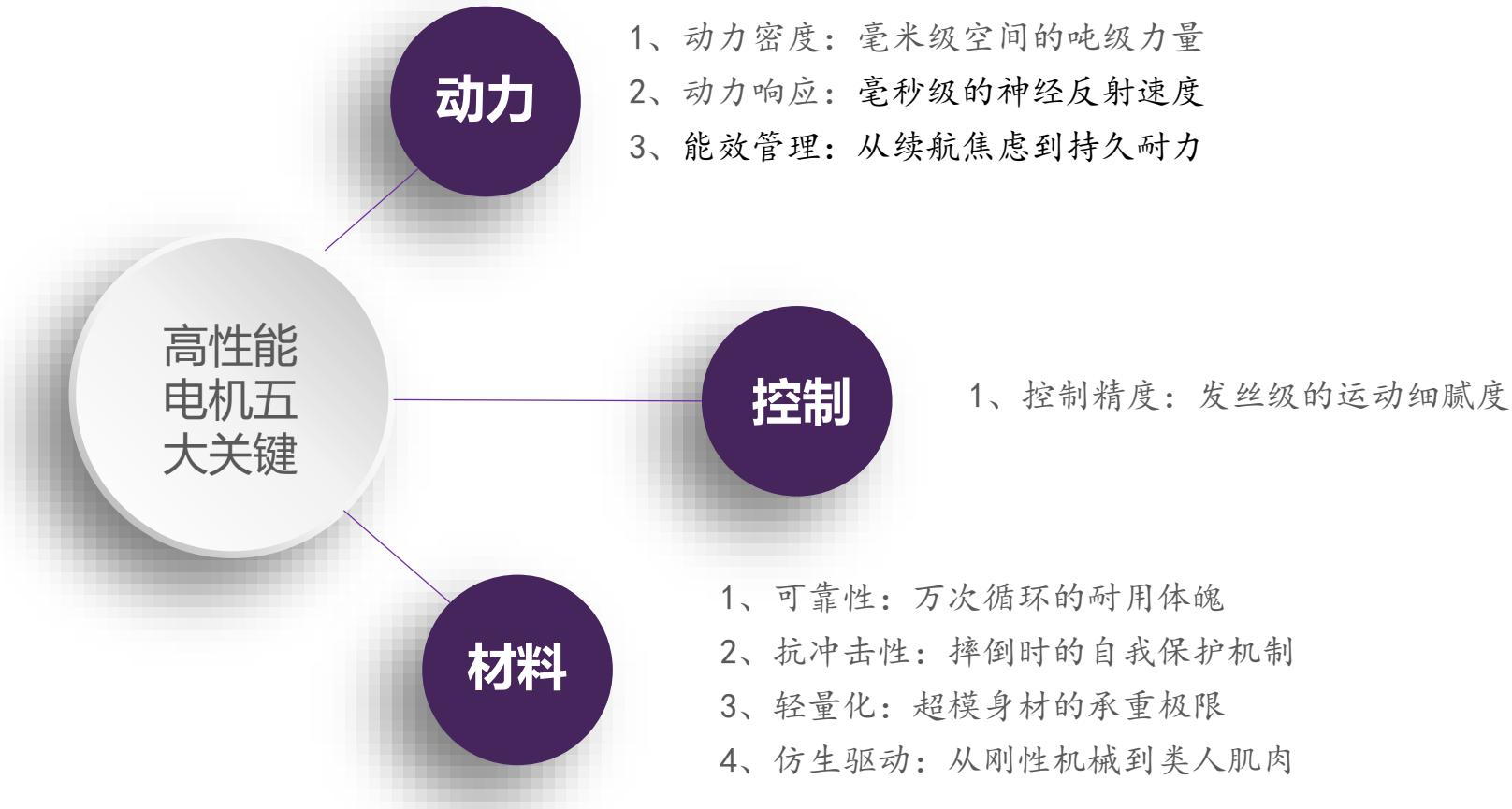
## 各类机器人核心关节参数对比

	宇树H1	宇树G1	特斯拉Optimus	特斯拉Optimus	智元灵犀X1	远征A2	优必选WalkS1	Figure02
关节种类	膝部关节	膝部关节	腰部旋转关节	大腿线性关节	膝关节	膝关节	膝关节	膝关节
电机峰值扭矩 ( $\text{N}\cdot\text{M}$ )	360	120	180	280 (3.5cm力臂等效)	200	270	250	150
关节重量 (kg)	1.9		2.26	2.2	1.28			
扭矩密度 ( $\text{N}\cdot\text{M/kg}$ )	189.5		79.6	127.3	156.3			

资料来源：各机器人官网，机器人大讲堂，华鑫证券研究

## 1.4 高性能关节为人形机器人从实验室走向规模化应用奠定基础

人形机器人高性能关节的“高性能”主要体现在动力及控制。其核心是仿生运动能力与工业级可靠性的融合，技术演进路径可概括为：材料革命→结构集成→控制智能→系统仿生。随着3D打印、AI算法和新型材料的突破，未来关节有望实现300Nm/kg扭矩密度和98%能效，为人形机器人从实验室走向规模化应用奠定基础。



资料来源：华鑫证券研究所整理

# 1.5 电机是执行器核心部件，通过电磁感应原理实现能量转换



电机是通过电磁感应实现能量或信号转换的电气设备，可按功能或结构分为发电机、电动机等多种类型。电机是一种依靠电磁感应原理运行的电气设备，用于实现机械能与电能之间的转换，或不同形式电能及信号之间的传递与转换。电机种类繁多、结构多样、性能各异，通常可从以下两方面进行分类：① 按能量转换或传递的功能及用途，可分为发电机、电动机、变压器和控制电机；② 按结构特点及电源类型，可分为变压器与旋转电机两大类。其中，旋转电机具有相对旋转的运动部件，可进一步细分为控制电动机、功率电动机及信号电机。

## 电机主要分类

类别	产品	特点
控制电机	伺服电机	将输入的电压信号转换为电机轴上的机械输出量，拖动被控制元件，从而达到控制目的。
	步进电机	将电脉冲转化为角位移的执行机构；可以通过控制脉冲的个数来控制电机的角位移量，从而达到精确定位的目的；同时还可以通过控制脉冲频率控制电动机转动的速度和加速度，从而达到调速的目的。
	力矩电机	一种扁平型多极永磁直流电动机。其电枢有较多的槽数、换向片数和串联导体数，以降低转矩脉动和转速脉动。力矩电动机有直流力矩电动机和交流力矩电动机两种。
直流电机	有刷电机	直流电动机可分为有换向器和无换向器两大类。直流电动机有较好的控制特性。直流电动机在结构、价格、维护方面不如交流电动机，但是由于交流电动机的调速控制问题一直未得到很好的解决方案，而直流电动机具有调速性能好、起动容易、能够载重起动等优点，所以目前直流电动机的应用仍然很广泛，尤其在可控硅直流电源出现以后。
	无刷电机	
功率电机	异步电机	异步电动机是基于气隙旋转磁场与转子绕组感应电流相互作用产生电磁转矩而实现能量转换的一种交流电机。异步电动机一般为系列产品，品种规格繁多，其在所有的电动机中应用最为广泛，需量最大。
交流电机	同步电机	在交流电的驱动下，转子与定子的旋转磁场同步运行的电动机。同步电动机的定子和异步电动机的完全一样；但其转子有“凸极式”和“隐极式”两种。凸极式转子的同步电动机结构简单、制造方便，但是机械强度较低，适用于低速运行场合；隐极式同步电动机制造工艺复杂，但机械强度高，适用于高速运行场合。
信号电机	位置信号电机	最有代表性的位置信号电机：旋转变压器、感应同步器和自整角机；可测量线位移等。
	速度信号电机	最有代表性的速度信号电机是测速发电机，其实质上是一种将转速变换为电信号的机电磁元件，其输出电压与转速成正比。从工作原理上讲，它属于“发电机”的范畴。测速发电机在控制系统中主要作为阻尼元件、微分元件、积分元件和测速元件来使用。

资料来源：华鑫证券研究所根据SUMZI等公开资料整理

0 2

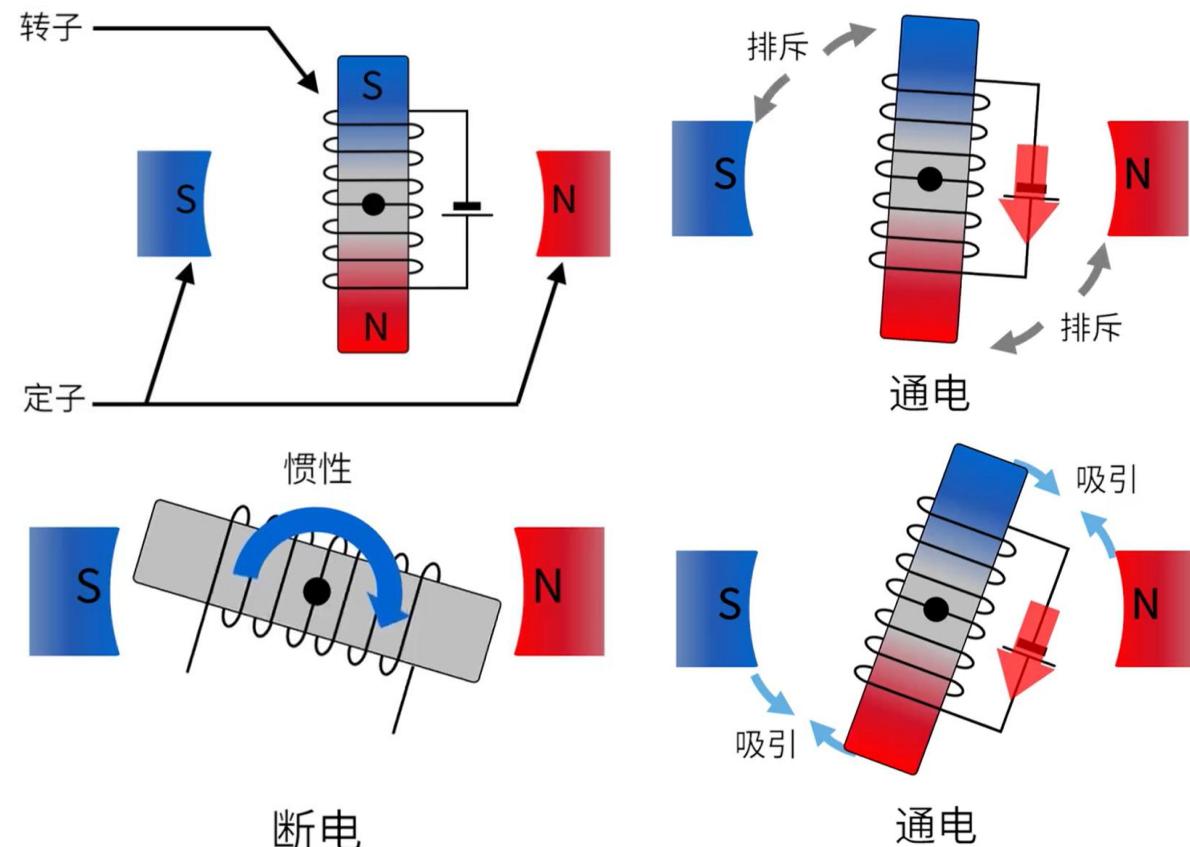
## 关节电机路径解析

研究创造价值

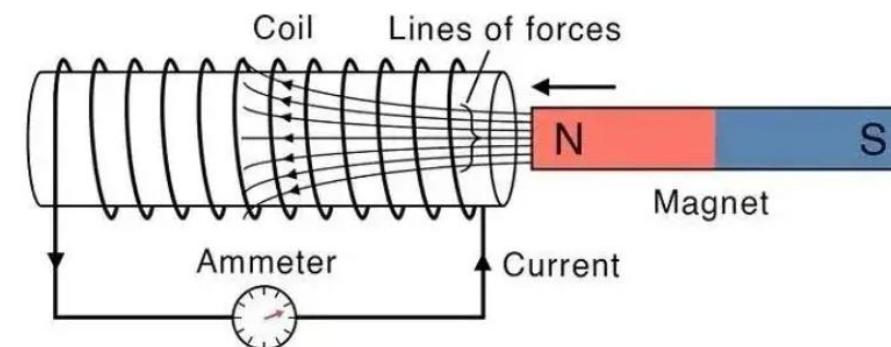
## 2.1 电机扭矩和旋转的产生由磁场和电流之间的相互作用产生

电机旋转是定转子相互排斥/吸引的周期行为体现，由线圈匝数、磁通量等多因素决定。电流在线圈中流动时由磁体和磁场之间产生的排斥 / 吸引，利用来自相同磁极的排斥力和不同磁极的吸引力来旋转电机。然后，通过控制定子上缠绕线圈的电流方向，依次切换定子磁场，使转子（带永磁体）旋转。电动势大小由线圈匝数、磁通量变量决定。

电机旋转原理



法拉第电磁感应定律



$\varepsilon$ 是电动势 (EMF)

N是线圈的匝数

磁通量随时间的瞬间变化  $\phi$

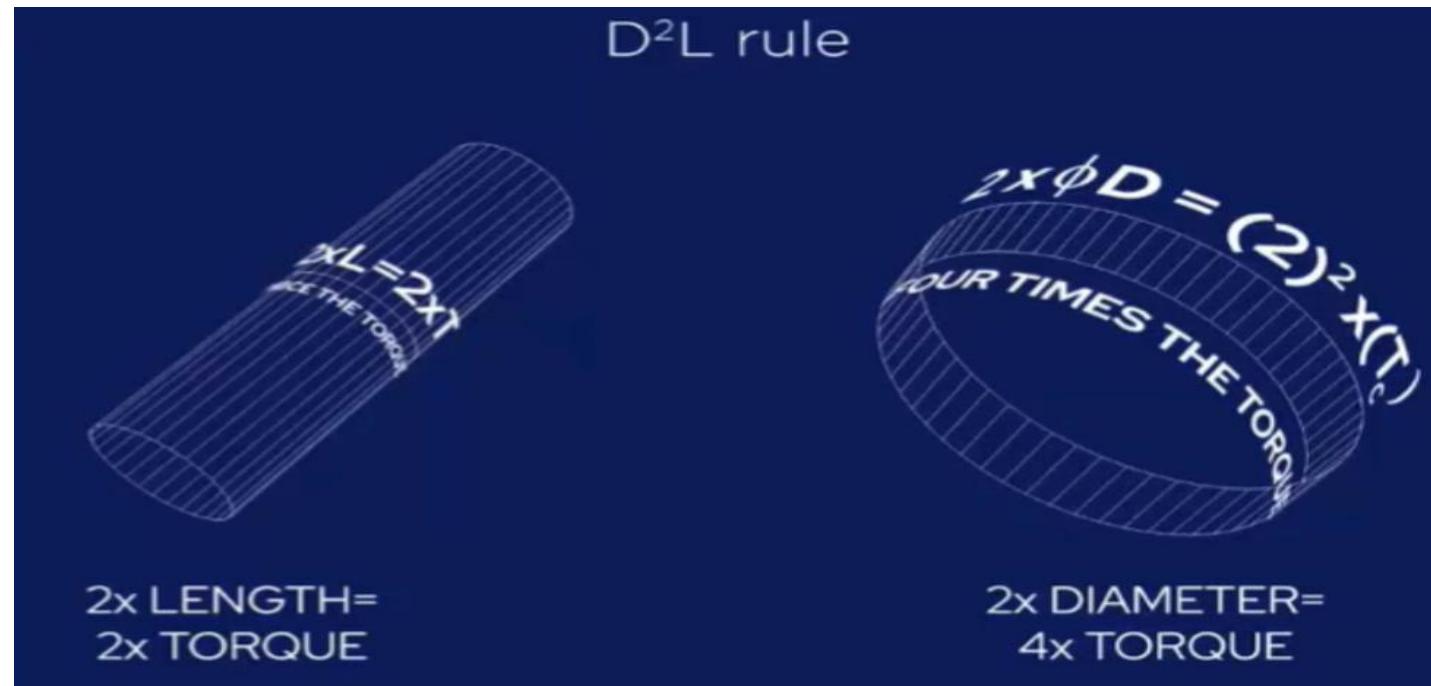
$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$$

资料来源：东芝，国际教育联盟，华鑫证券研究所

## 2.2 人形机器人性能突破关键：功率/扭矩密度提升

在机器人本体空间有限的约束下，提升电机功率及扭矩密度，是增强整机性能与灵巧手抓握能力的重要途径。根据D<sup>2</sup>L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。电机峰值扭矩性能直接决定人形机器人的整体动态表现，而当前功率密度不足则限制了灵巧手的抓取力上限。因此，在有限空间内实现电机功率与扭矩密度的进一步提升，已成为推动人形机器人整体性能进阶的主要技术方向。

### D<sup>2</sup>L规则



资料来源：科尔摩根，华鑫证券研究所

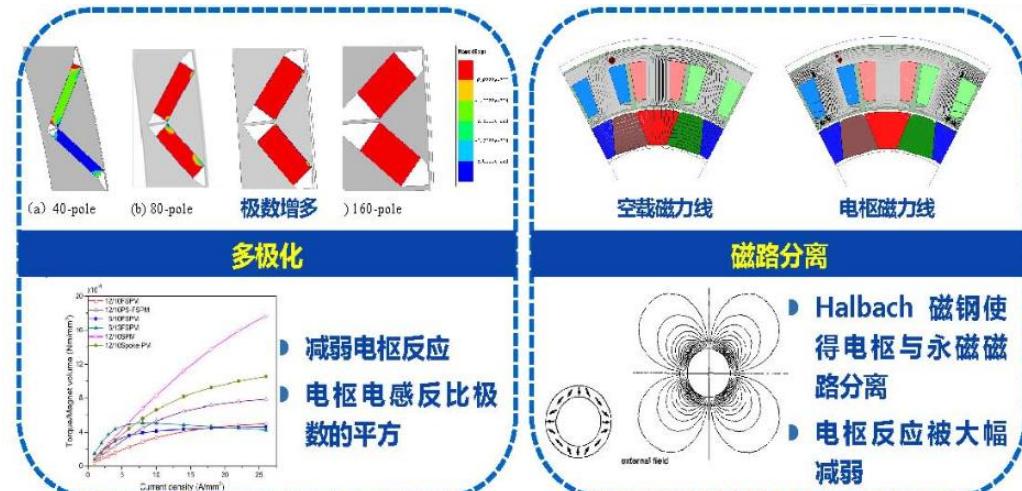
## 2.3 电机提升扭矩的常规思路 - 电负荷、磁负荷、转矩线性度以及体积

传统电机电磁转矩表达式：

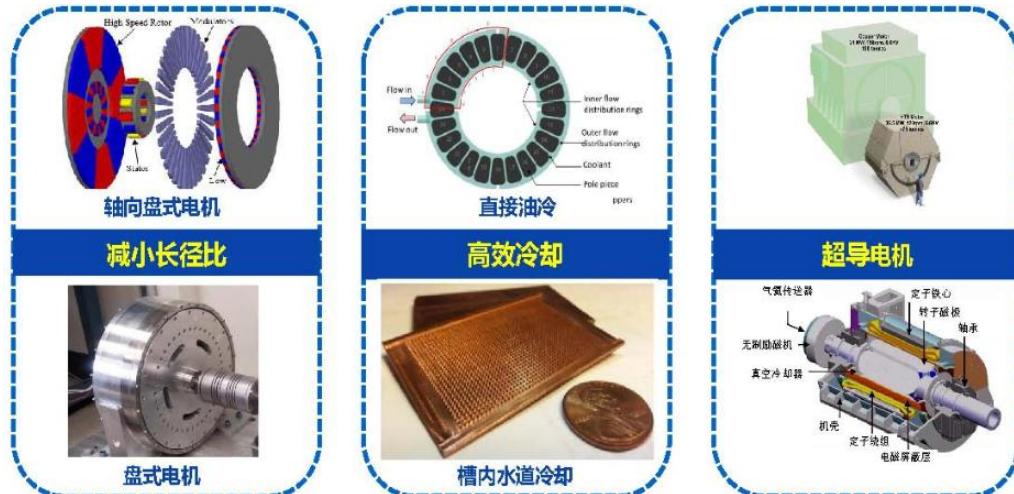
$$T_e = K_e [D_i^2 L_e] A B_g \eta \cos \phi \propto [D_i^2 L_e] A B_g$$

- 其中：
- $T_e$ : 电机扭矩
  - $D_i$ : 电机定子内径
  - $L_e$ : 电机有效铁芯长度
  - $A$ : 电负荷
  - $B_g$ : 磁负荷
  - $K_e$ 、 $\eta$ 、 $\cos\phi$ : 结构常数、效率、功率因数

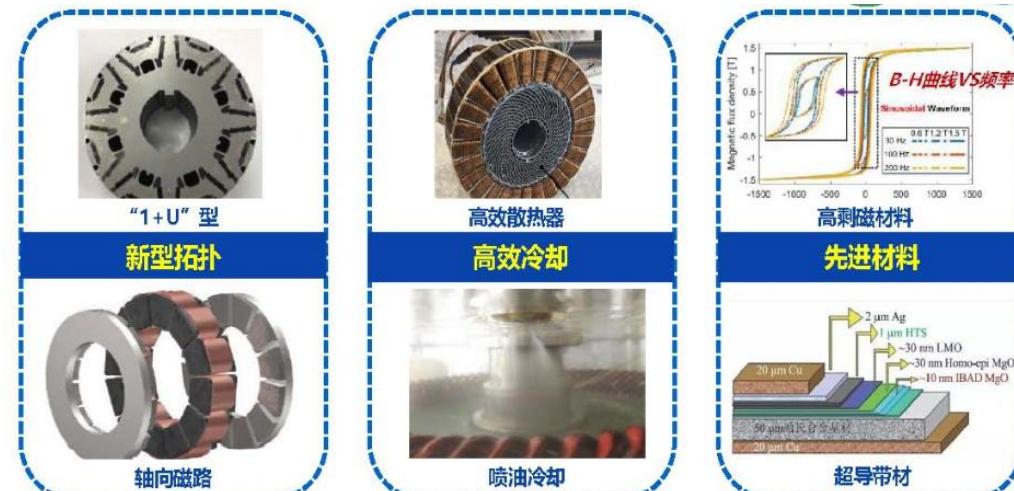
提升负荷与转矩线性度



提升电负荷



提升磁负荷 (Increase Magnetic Load)



资料来源：磁场调制—高转矩密度电机的创新与发展，华鑫证券研究所整理

## 2.4 高效电机是高性能关节关键，聚焦功率密度、高动态等三维度



人形机器人电机有三个关键需求：高效率、高动态和高功率密度。需要从电机结构、原理等方向出发实现电机性能提升。

- 高效率：低能耗和低摩擦损失很重要，因为机器人通常由电池供电，能经受得起苛刻的运行条件，可进行十分频繁的正反向和加减速运行，能在短时间内承受过载。
- 高动态：整个驱动器（电机、机构、接线、传感器和控制器）的惯性应尽可能低，电动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。
- 高功率密度：机器人应用需要高速、高扭矩电机，电机还需要小巧，紧凑，轻巧。

### 电机主要技术方向及其特点

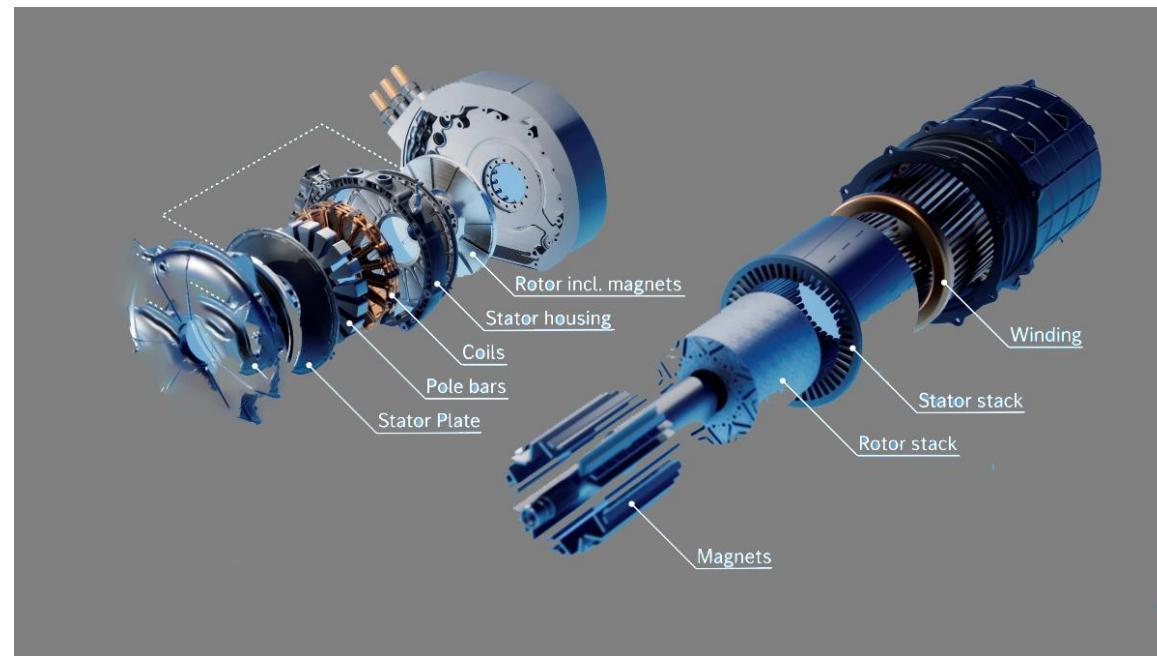
电机/技术类型	关键优势（针对体积/功率）	对精度的贡献（低脉动/高效率）	主要挑战
结构	无框力矩电机	空间利用率最大化，高集成度	绕线工艺壁垒高，对轴承系统刚度要求高
	轴向磁通电机	极致扁平化、高扭矩密度	散热困难、气隙精度要求极高、制造成本高
	PCB/SMC定子	促进轴向磁通电机规模化；降低涡流损耗	SMC磁性能挑战；PCB定子制造工艺复杂，适用于微型化
原理	磁场调制电机	大幅提升功率密度	增加定转子设计复杂性，可能轻微牺牲基波性能
	超声波/压电电机	体积小、重量轻、低速大扭矩	最高转速低、功率有限
控制策略	GaN 驱动技术	驱动器体积减小，高功率密度	成本高，EMC/EMI挑战，散热设计严格
	模型预测MPC	动态响应快、电流控制性能好、易于考虑系统线性约束、控制灵活等优点	开关频率较高，且计算量非常大，易引起电机的铁、铜损耗增加，可能会诱发不良的谐波振荡
新材料	第四代稀土钐铁氮、导热材料		

资料来源：华鑫证券研究所整理

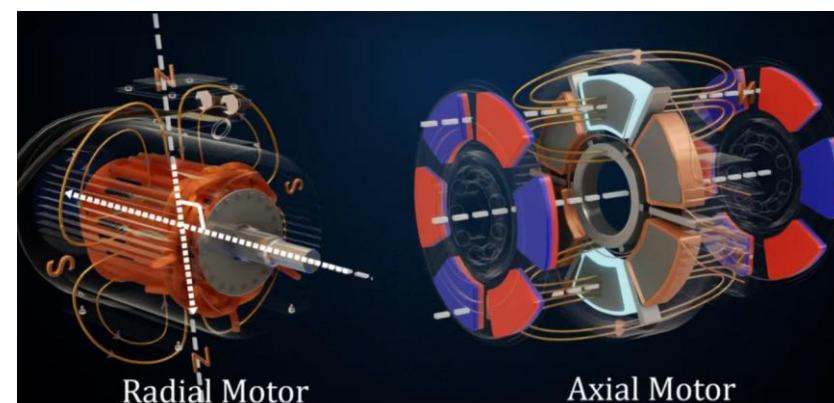
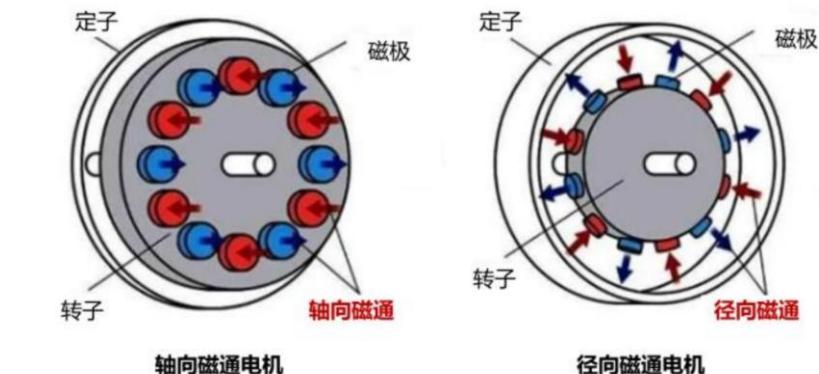
## 2.5 轴向磁通电机：磁通量平行于轴线的电机，盘式结构带来性能优势

轴向磁通电机通过改变磁通方向与结构布局，使转子位于定子侧面，实现更高的功率密度与设计灵活性。轴向磁通电机（又称“盘式电机”）是一种磁通路径区别于传统径向电机的创新型电机，其气隙为平面结构，气隙磁场方向与电机轴线平行。与普通电机相比，轴向磁通电机在结构上最大的特点是转子位于定子的侧面，而非包覆于定子内部。此设计使转子直径可显著增大，从而带来更高的转矩密度与结构设计灵活性，成为新一代高性能驱动系统的重要发展方向。

轴向磁通电机爆炸图



轴向与径向磁通电机磁场通路



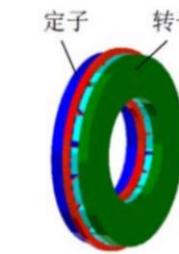
资料来源：YASA, 明阳电路, 电动车千人会, 华鑫证券研究所

## 2.5 轴向磁通电机：设计灵活，可根据定转子不同数量组合成多类型

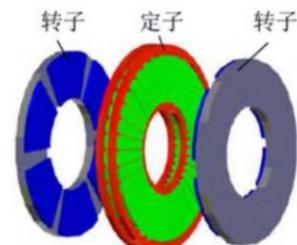
轴向磁通电机可根据定转子组合分为多种结构形式，不同配置在功率密度、受力特性及应用领域上各具优势。根据定子与转子的组合方式，轴向磁通电机可分为以下四种典型结构：

- 1、单定子/单转子结构：由一个转子与一个定子组成，结构简单、体积紧凑，但存在单边磁拉力大、轴承负荷高、振动噪音明显及定转子摩擦风险，影响电机寿命。
- 2、单定子/双转子结构：由一个内定子与两个外转子构成，功率密度高，能在有限空间内输出更大转矩，适用于牵引系统、航空航天等对性能密度要求高的领域。
- 3、双定子/单转子结构：由一个内定子与两个外转子组成，结构对称性好，可有效降低单边磁拉力，常用于风力发电等需要稳定运行的系统。
- 4、多定子/多转子结构：由多个定子与转子叠加形成，能输出极高转矩，适合船舶推进、大型风力与水力发电机组等大功率场景。

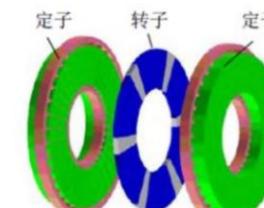
轴向磁通电机组合结构



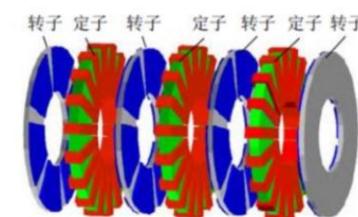
(a) 单定子/单转子结构



(b) 单定子/双转子结构



(c) 双定子/单转子结构



(d) 多盘式结构

轴向磁通电机各参数对比

拓扑结构	功率密度	效率	转动惯量	质量	尺寸	散热	转矩脉动	材料与工艺	成本
单转子单定子	B	B	0	B	B	0	B	G	G
双定子单转子	0	0	G	0	0	G	0	G	G
单定子双转子	G	G	B	G	G	0	G	0	0
多盘式	0	0	0	0	G	B	0	B	B

资料来源：明阳电路，汽车电驱动新型轴向磁通电机技术综述，华鑫证券研究所，B代表坏，0代表一般，G代表好

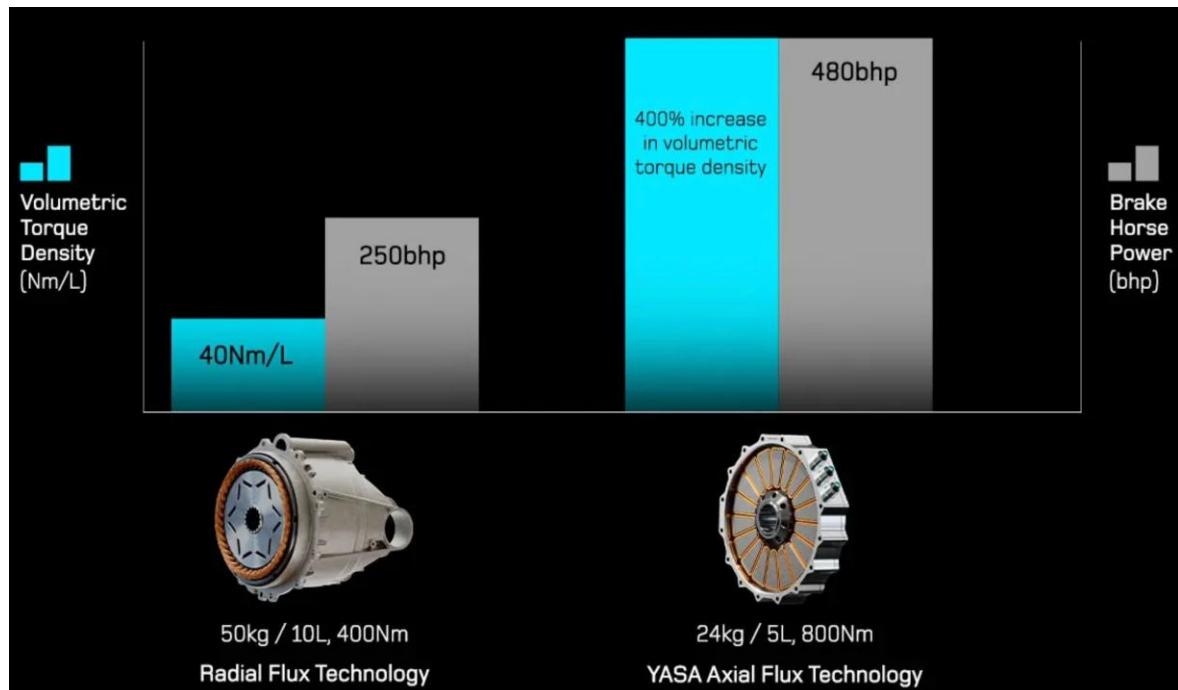
## 2.5 轴向磁通电机：拥有高转矩与高功率密度优势

轴向磁通电机因转矩与转子直径立方成正比，在相同材料与转速条件下可实现4倍扭矩提升。电机的能量输出主要以转矩衡量，转矩定义为力  $\times$  半径。对于轴向磁通电机，其转矩与转子直径的立方成正比，而传统径向磁通电机的转矩仅与转子直径的平方成正比，因此在相同的受力条件下，轴向磁通电机能获得更高的转矩输出。功率密度与扭矩密度通过转速相联系，公式为  $P = T \times \omega$  (功率 = 转矩  $\times$  角速度)，即在相同转速下，轴向磁通电机可实现更高功率输出。总体来看，在使用相同数量的永磁材料与铜线材料时，轴向磁通电机可较径向磁通电机实现4倍扭矩提升，展现出显著的能量转换效率优势。

轴向磁通电机与普通径向电机对比

参数	YASA 轴向磁通电机	车用 径向磁通电机
体积 (L)	5	10
质量 (kg)	24	50
扭矩 (Nm)	800	400
功率 (kW)	358	186
扭矩密度 (Nm/L)	160	40
功率密度 (kW/kg)	14.9	3.7

轴向磁通电机可实现更高扭矩/质量比

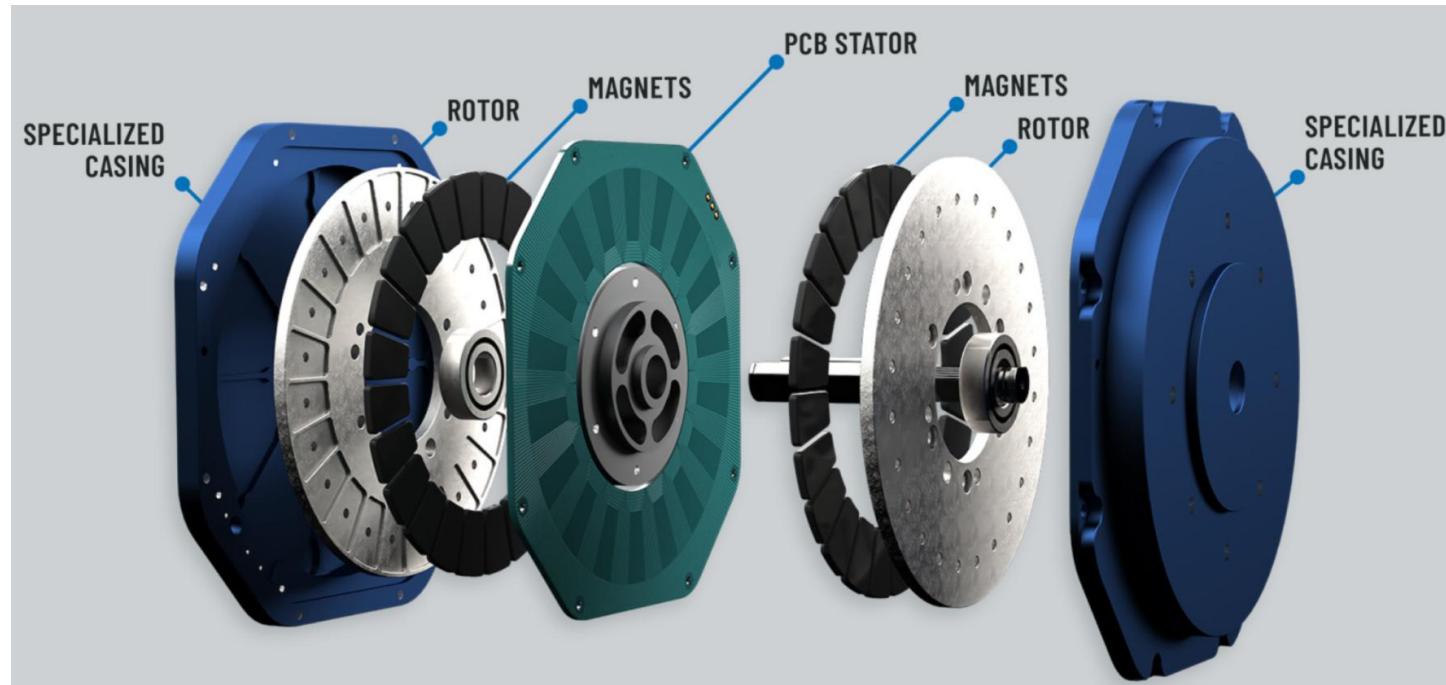


资料来源：YASA, 明阳电路, 华鑫证券研究所

## 2.6 PCB定子电机：可实现轻量化、高效与高可靠性

PCB定子通过无铁芯设计显著减轻体积与重量，同时降低损耗并提升效率与可靠性。与传统电机相比，PCB定子将铜线圈直接蚀刻在电路板上，使电机的重量和尺寸可减少约50%。在电动汽车电源系统中，牵引逆变器的驱动电流通过固定的PCB定子绕组产生轴向磁通量，驱动转子旋转，从而推动车辆前进。除了体积和重量的优势，无铁芯设计还可显著减少定子磁滞损耗与涡流损耗，提升能效和单位电力输入的物理输出。同时，通过消除传统电机中铜绕组及绝缘相关的潜在故障点，PCB定子能够有效提高电机整体可靠性，为轻量化与高性能电驱动系统提供创新解决方案。

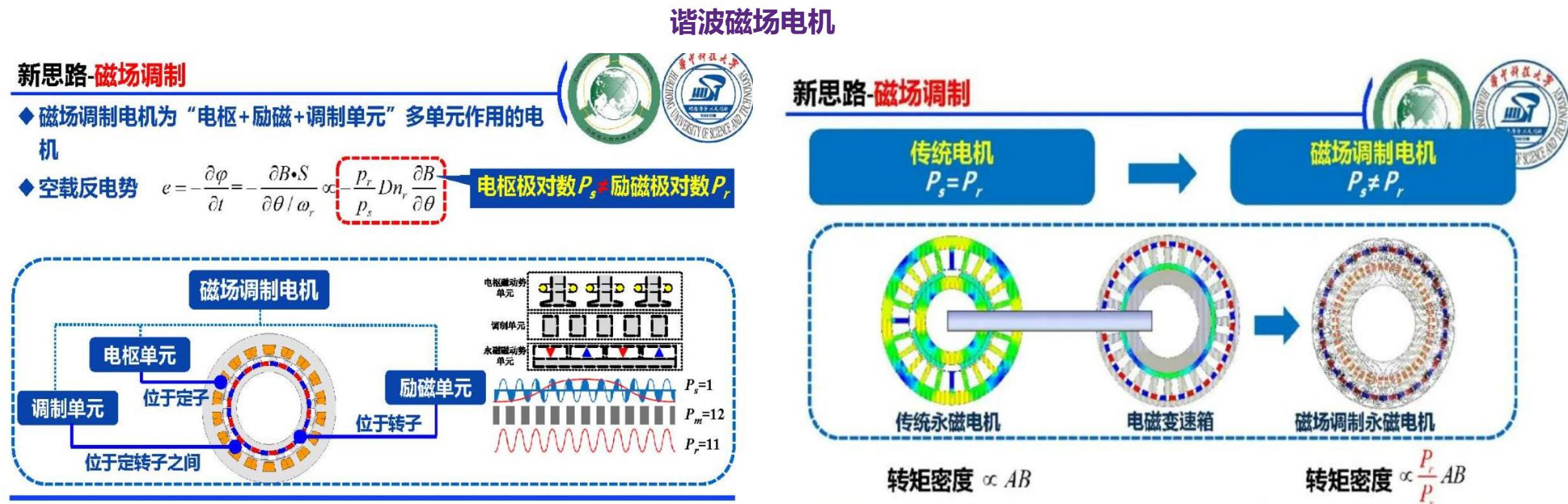
PCB轴向磁通电机图示



资料来源：TENGYE，华鑫证券研究所

## 2.7 谐波磁场电机：打破励磁和电枢单元的极对数相等限制，提升扭矩

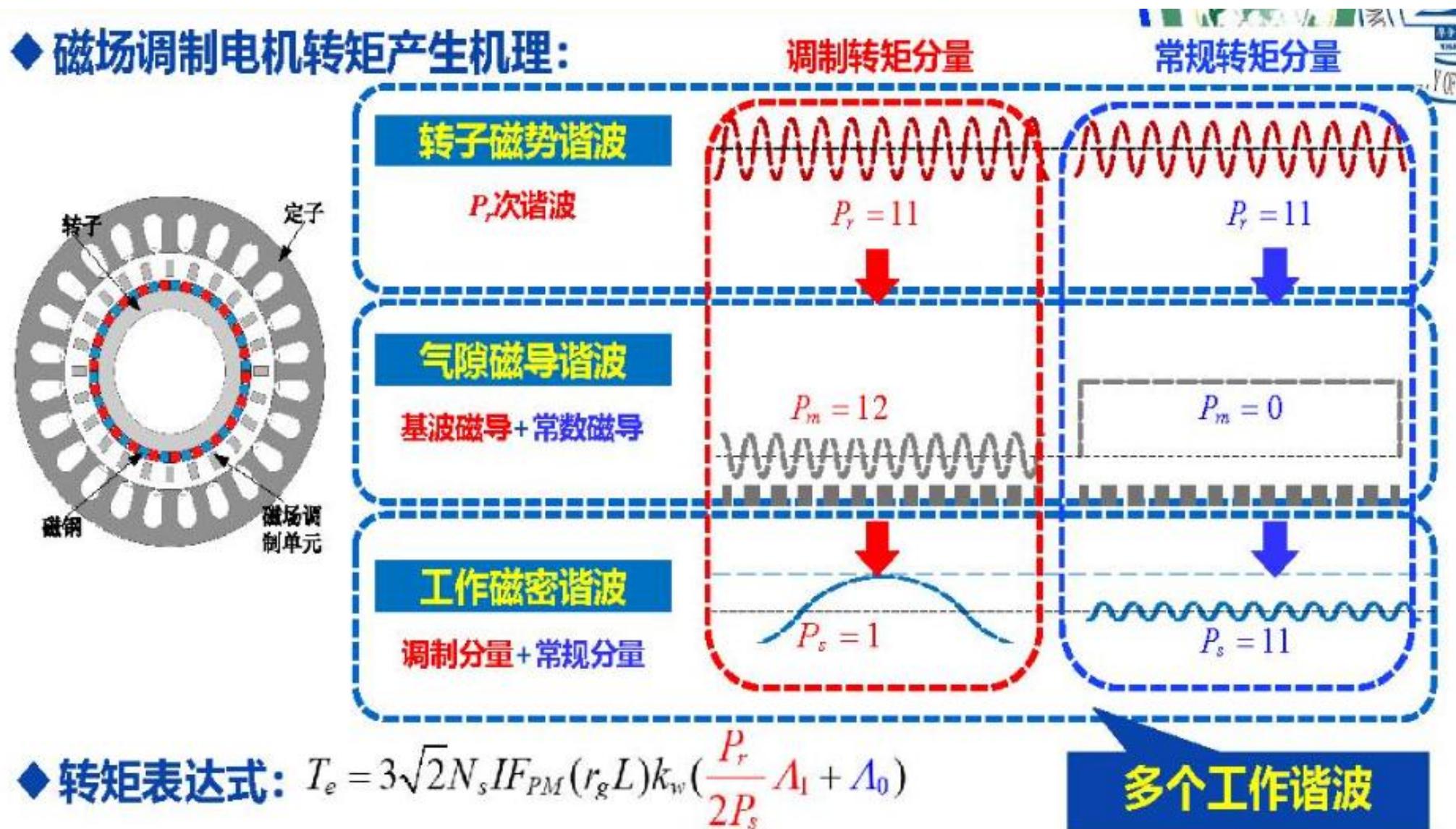
谐波磁场电机是基于磁场调制原理工作的新型电机。谐波磁场电机的励磁和电枢单元的极对数不等，需新增调制单元进行磁场极对数转换，这种特殊的电磁现象称为“磁场调制效应”。在该效应下，谐波磁场电机在外特性上与机械减速齿轮箱类似，转矩新增放大系数“极比”，从而可在相同材料选型和散热条件下大幅提升电机转矩密度，具有广阔应用前景。



资料来源：磁场调制——高转矩密度电机的创新与发展，华鑫证券研究所

## 2.7 谐波磁场电机：工作原理为利用气隙磁场谐波磁通产生感应电势

### ◆ 磁场调制电机转矩产生机理：

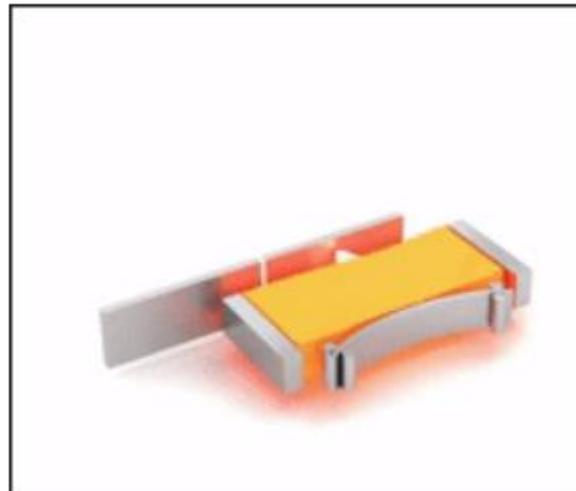


资料来源：磁场调制——高转矩密度电机的创新与发展，华鑫证券研究所

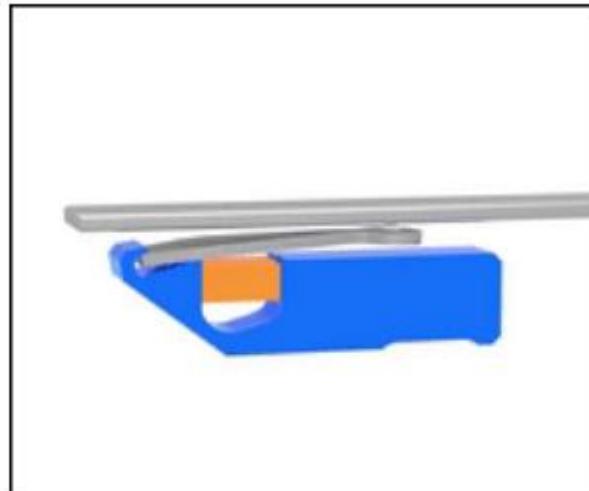
## 2.8 超声波电机：拥有自锁及高精度等特点，有望运用于灵巧手

**超声波电机利用压电材料的逆压电效应制成的新型驱动器。**超声波电机由定子、转子以及施加预压力的机构等部件构成。超声波电机把超声频交变电压加在压电陶瓷上可以在定子表面产生超声振动，通过定子与转子之间的摩擦力驱动转子运动。与电磁电机相比，超声电机的主要特点包括：①具有低速、高扭矩特性，不需要减速装置；②不需要减速齿轮，因此，静音性能优异；③不通电时拥有保持扭矩；④不会受到磁影响，不产生电磁场；⑤小型、轻量。

### 超声波电机



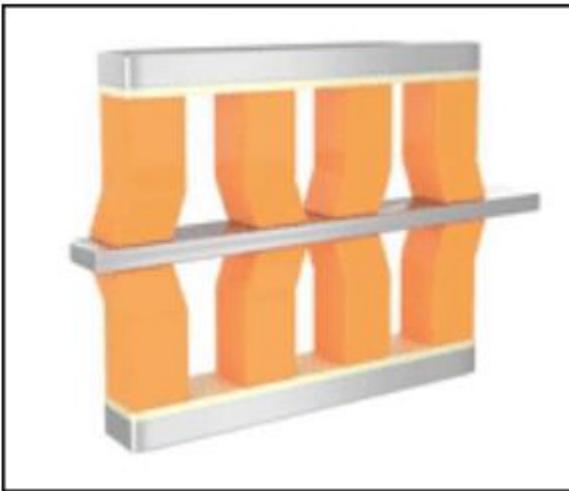
高速超声波压电直线电机驱动器



粘滑（惯性）压电电机原理



薄型旋转压电电机级



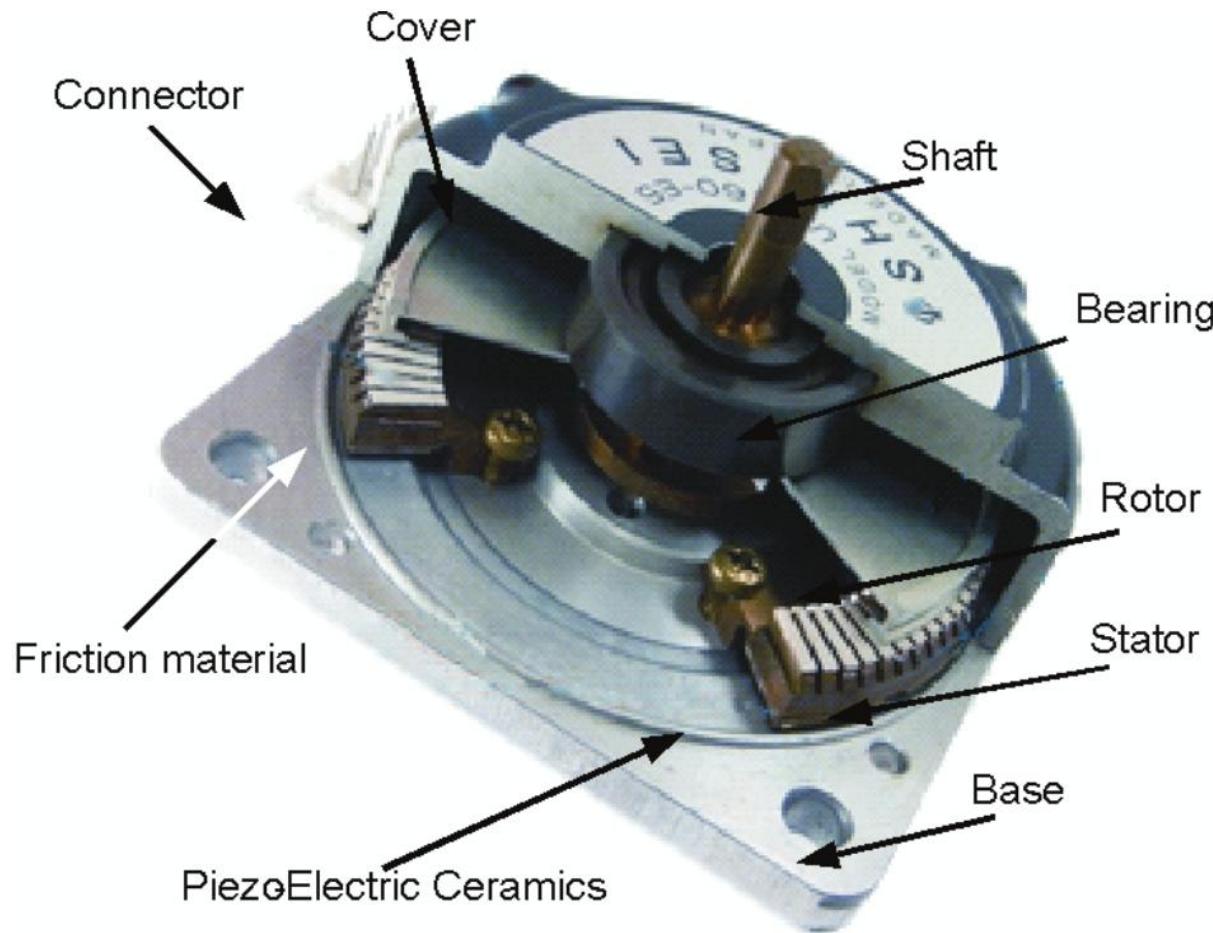
PiezoWalk 电动机

+ 精度

资料来源：PI，华鑫证券研究所

## 2.8 超声波电机：有较强物理柔韧性，易于实现体积非常薄的电机

超声波电机



不同类型电机对比

	电磁马达 (无刷马达)	静电马达	超声波马达
构造 (图片)	(左)永磁转子 (右)定子 		
力学原理	磁力线的张力  $\mu_0 = \text{真空透磁率}$ $B = \text{磁通密度}$	电张力(电力线)  力 电力线 高电压	摩擦力  由于接触面的椭圆形运动而产生的摩擦力
主要材料·部件	硅钢板、永磁铁、铜线		压电陶瓷 接触面的材料
马达的性质	高速、低扭矩型	轻量、高电压	低速、高扭矩型

资料来源：尼得科，新生工业，华鑫证券研究所

## 2.9 氮化镓GaN：电流更精准的控制，减少开关损耗，并减小执行器体积

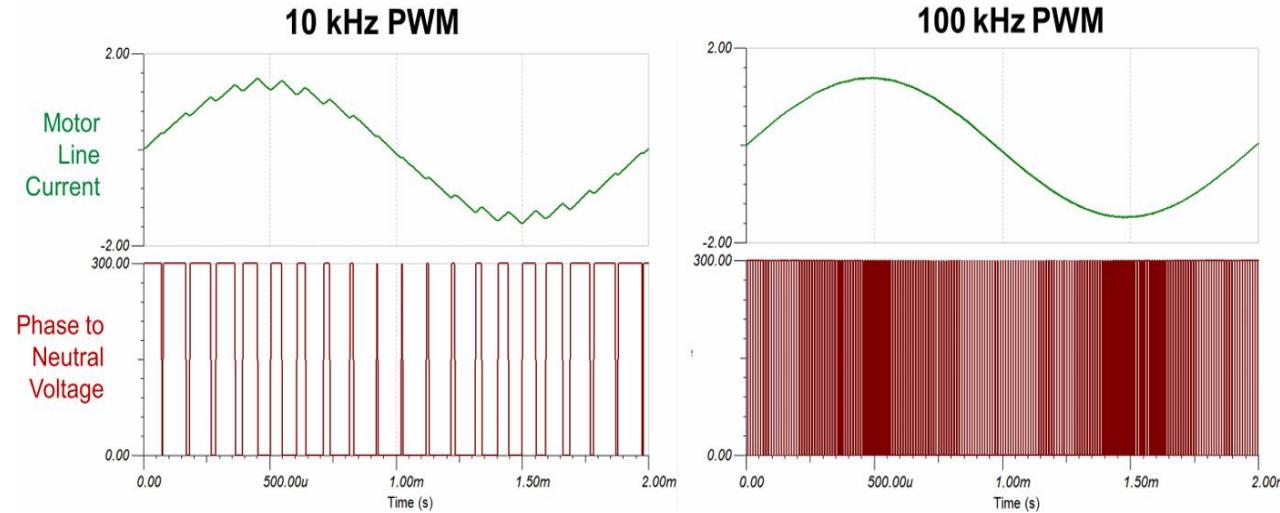
华鑫证券  
CHINA FORTUNE SECURITIES

**更精确的控制。** GaN可通过提高电机控制回路的速度和 PWM 频率。例如，100kHz 的开关频率可以实现分辨率更高的电机电流，从而实现更小的电机电流纹波和更精确的控制。高分辨率电机电流波形也意味着可以获得更好的正弦电流，这可以提高电机的运行效率并减少电机发热。

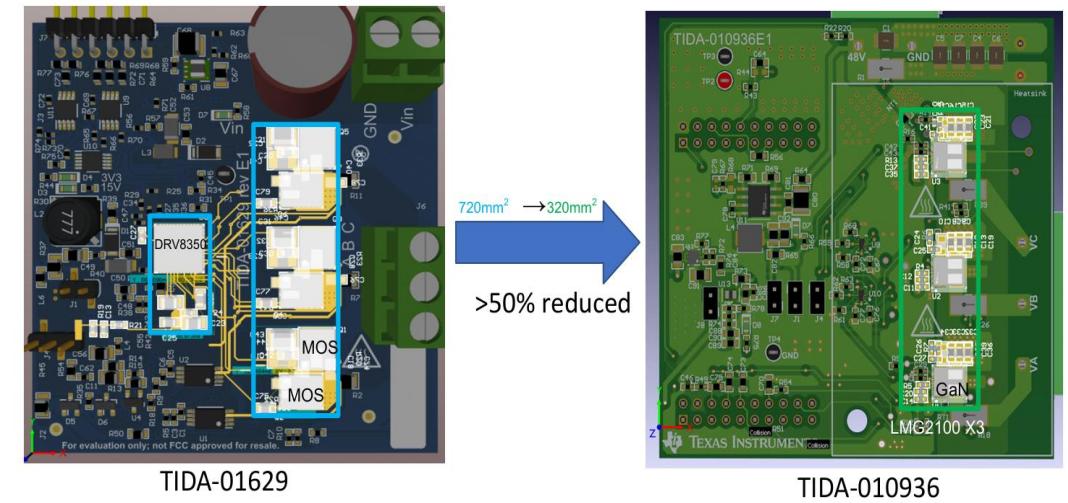
**减少开关损耗。** GaN 器件具有更小的栅极电容和更小的输出电容，相比Si-MOSFET可实现更快的开关速度。由于关断和开通时间缩短，可以在较短的范围内控制死区时间，死区时间的缩短可降低开关损耗。

**GaN尺寸更小。** 与 MOSFET 相比，GaN 具有更小的 RSP (比电阻、裸片面积尺寸比较)，这意味着与具有相同 RDSON 的 MOSFET 相比，GaN 具有更小的裸片面积。

### GaN可实现更精准的控制



### GaN尺寸更小



资料来源：TI，华鑫证券研究所

诚信、专业、稳健、高效

请阅读最后一页重要免责声明

## 2.10 扁平线绕组：带来高功率、高效率与可靠性等优势

槽填扁平线绕组通过高槽填充率、优化热管理和形状设计，实现更大功率、更高效率及更优耐热耐压性能。

**高槽填充率：**扁平线绕组能够在相同空间内容纳更多导体，槽填充率比传统圆线高出约20-30%，从而产生更强磁场并提升电机功率。

**更优热管理：**扁平线的形状优势增加了导线间接触面积，增强散热能力。在高槽填充率情况下，绕组间热导率可提升至低槽填充率的150%，有效降低运行温度并延长使用寿命。

**高速高频工况适应性：**在高速、高频操作下，扁线的宽高比可随转速优化，增大比表面积，减轻集肤效应，提高电机效率。

**耐电压与耐热性：**得益于特殊绕制方法，扁平线圈在耐压和耐热性能上优于传统圆线绕组，增强了电机的可靠性与长期稳定性。

扁平线圈定子图示



## 2.11 电机热管理优化设计：提升定子与转子散热能力

通过定子分段、转子通风孔优化及导热材料布局，  
电机散热效率显著提升，降低涡流和滞后损耗导致  
的热量积聚。

**定子铁芯分段设计：**将定子铁芯沿轴向或径向分割，并在段间保留间隙或使用低导热材料，可减少内部热传导路径，降低涡流和磁滞损耗产生的热量。同时，间隙处可设置冷却通道或填充导热材料，进一步提升散热效果。

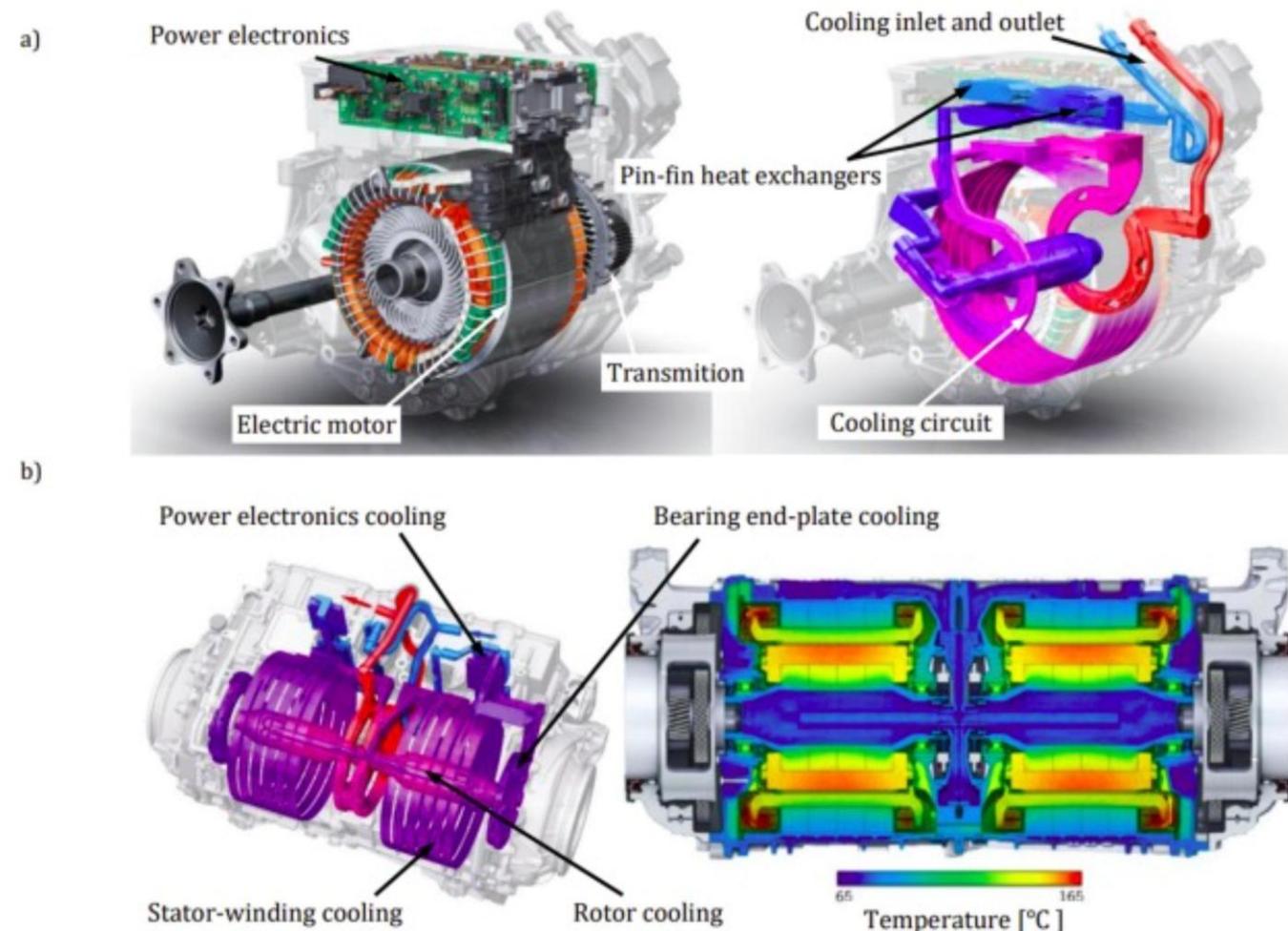
**优化转子通风孔设计：**在转子上设计形状和分布独特的通风孔（如不对称或螺旋布置），形成复杂气流路径，增加空气与转子之间的热交换面积与停留时间，从而提高冷却效率。

**优化定子设计：**在定子齿轴向中心嵌入导热材料，形成单向冷却通道。这些通道可在不影响电气连接的前提下，为绕组提供直接散热路径，同时间接冷却转子组件，有效增强整体热管理能力。

资料来源：TENGYE，华鑫证券研究所

诚信、专业、稳健、高效

### 电机结构优化



请阅读最后一页重要免责声明

## 2.12 新型材料：液冷、碳纳米管等应用有望带动电机散热技术提升

通过液冷通道、碳纳米管导热和相变材料吸热，电机散热效率显著提升，实现高功率密度稳定运行。

**液冷通道：**在定子支架外壁及支撑杆内部设计冷却液流路，使冷却液可直接带走定子铁芯及其周围线圈的热量。另一种方式是使用带有多个小孔的条形铝板水通道，将铁芯绕组线圈安置于通道内，既吸收热量，又有效传递绕组热量，同时实现结构密封。

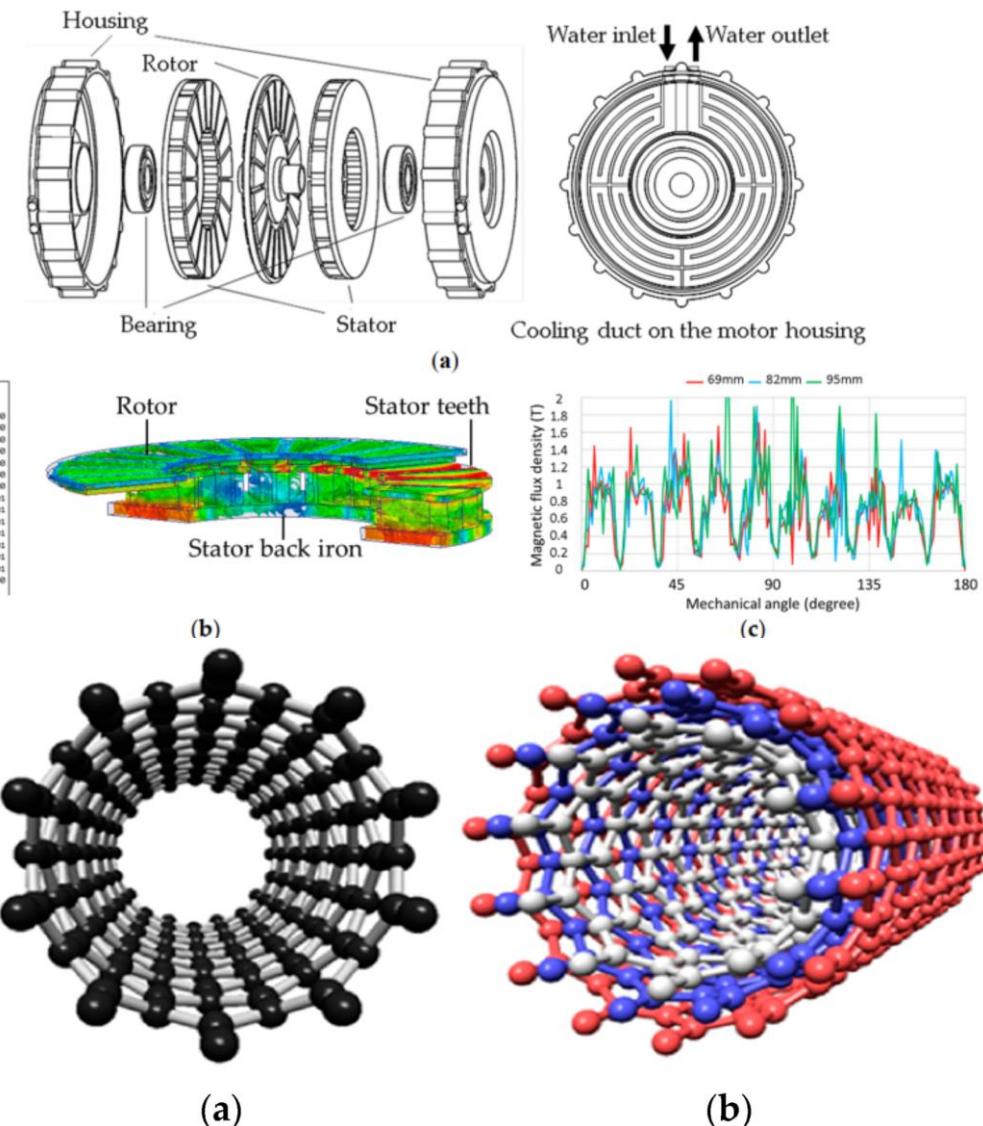
**碳纳米管：**碳纳米管具有极高导热性，将其与定子绕组或转子组件结合使用，可快速传导热量。例如，在定子绕组绝缘层中添加碳纳米管，既保持绝缘性能，又显著增强散热效率。

**相变材料：**将相变材料封装于微胶囊中，添加至电机冷却介质或直接填充到冷却结构，可在温度升高时吸收热量，实现临时热缓冲。封装设计可防止泄漏和腐蚀，确保电机安全可靠运行。

资料来源：TENGYE，华鑫证券研究所

诚信、专业、稳健、高效

### 新型材料及散热系统



请阅读最后一页重要免责声明

0 3

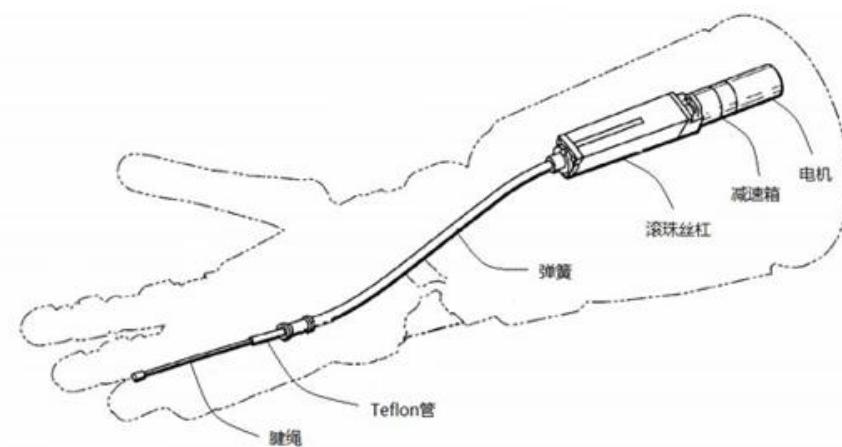
## 灵巧手微型电机路径解析

研究创造价值

### 3.1 灵巧手是机器人最重要的末端执行器

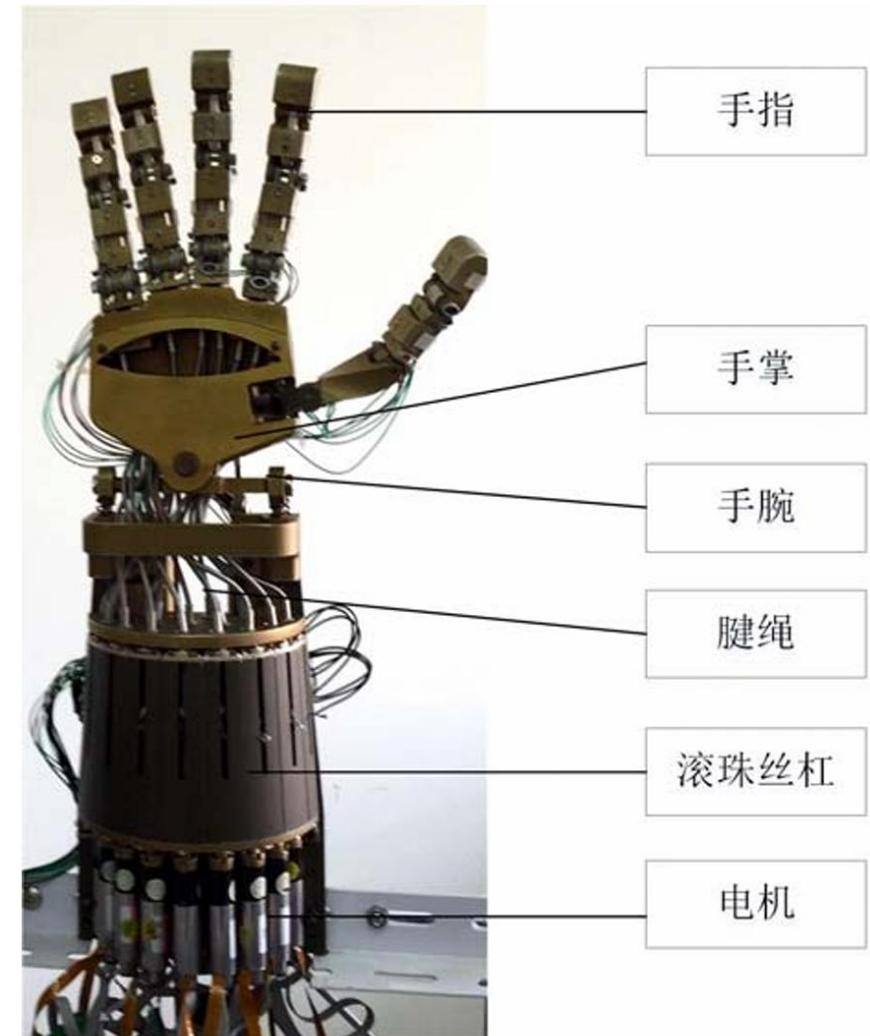
电机和滚珠/滚柱丝杠外置于手臂中，电机通过减速箱带动滚珠丝杠，**电机轴的转动被转化为丝杠螺母的平移运动，丝杠螺母拉动腱绳，腱绳另一端连接到手指指骨上，拉动手指绕关节轴旋转。**由于手腕的俯仰和侧摆运动会扭动腱绳的位置和形状，为了消除手腕运动对腱绳的影响，在腱绳外面套上硬质弹簧，类似自行车刹车线的原理。当手腕运动时，硬质弹簧能保证腱绳中的张力不受影响。但弹簧的引入又增大了腱绳受到的摩擦力，为了减小腱绳与弹簧之间的摩擦力，在腱绳和弹簧之间套入Teflon管，既能提高传动效率，又解决了腱绳与弹簧之间的长时间摩擦带来的磨损问题。

**腱驱动原理**



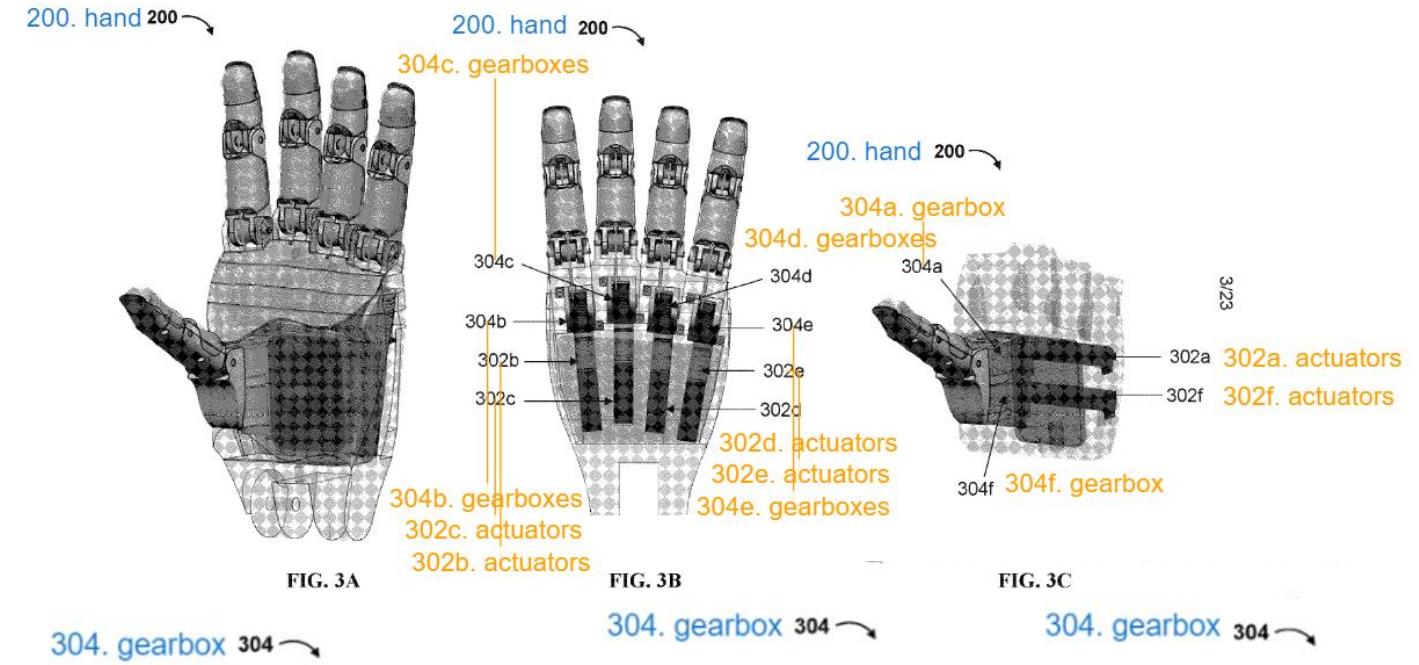
资料来源：空间五指灵巧手控制系统设计\_韩运峥，华鑫证券研究

**驱动器外置灵巧手整机机构**

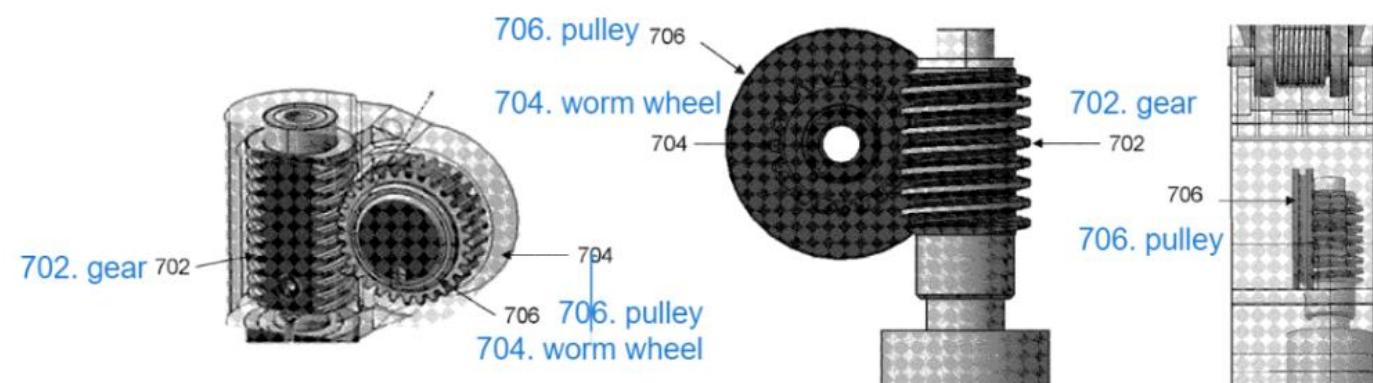


### 3.2 特斯拉灵巧手电机设计朝着小型化、集成化方向发展

➤ 驱动装置：本专利灵巧手采用空心杯电机作为驱动装置，这种电机以其体积小、重量轻、响应速度快的特点，非常适合用于需要精密控制的场合。



➤ 传动装置：传动装置采用绳驱结合蜗轮蜗杆的方式，既保证了传动的平顺性，也确保了足够的力量传递及自锁性能。



资料来源：人形机器人研究院，华鑫证券研究

FIG. 7A

FIG. 7B

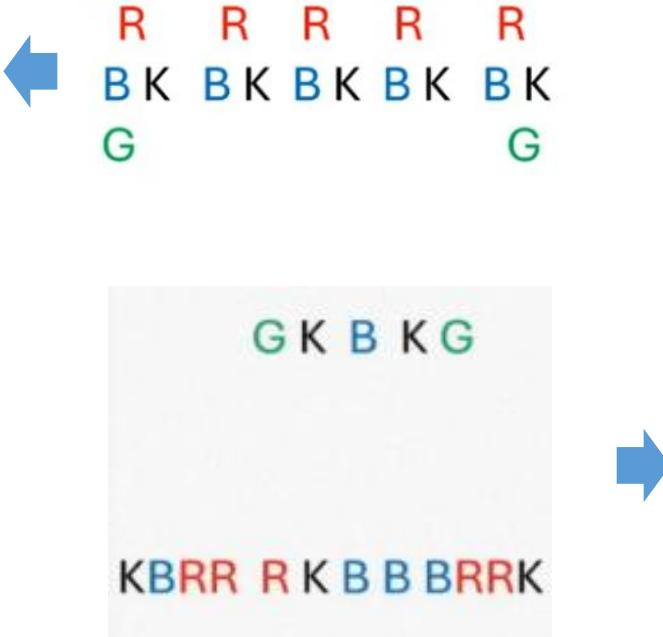
FIG. 7C

### 3.3 特斯拉灵巧手电机设计朝着小型化、集成化方向发展

特斯拉股东大会视频中，手部执行器设计与此前不同。我们认为手部执行器总数为17个，支撑22个自由度。手部采用了颜色编码肌腱，表明这是为了解决组装复杂性而进行的改进。

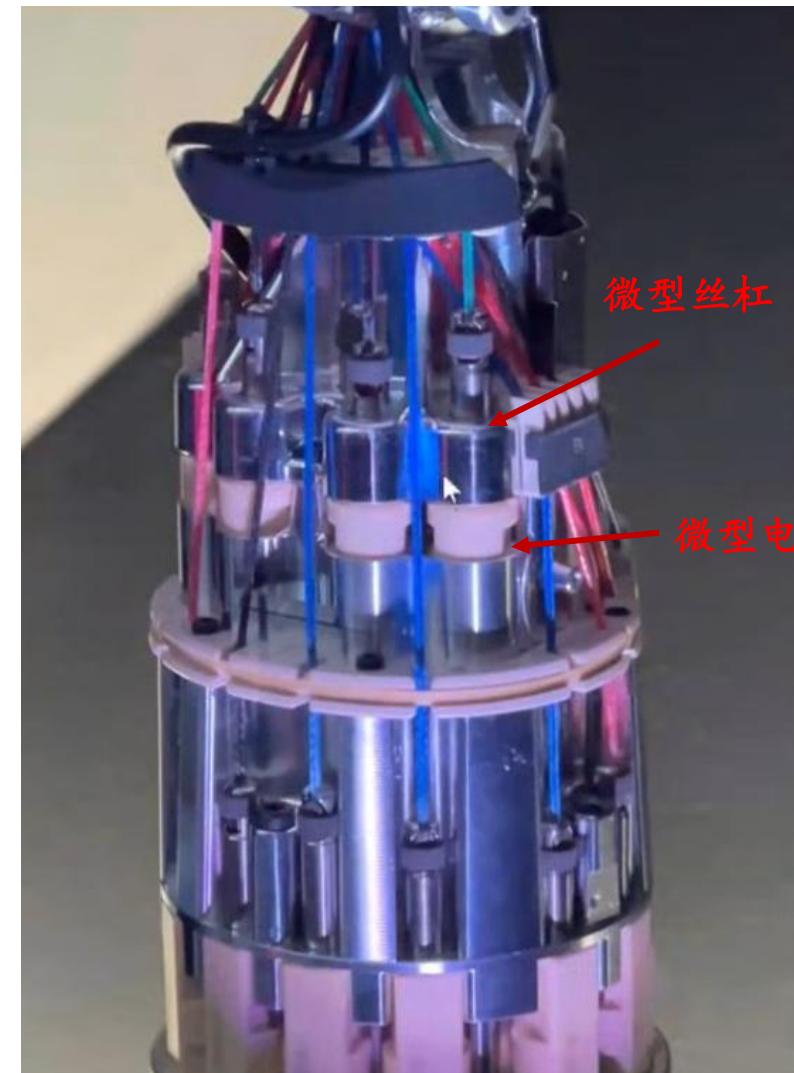


特斯拉灵巧手新一代腱绳设计



资料来源：Socetter Walter，华鑫证券研究

特斯拉灵巧手新一代设计



### 3.4 特斯拉灵巧手电机设计朝着小型化、集成化方向发展



目前市场上大部分灵巧手采用的是空心杯电机、无刷有齿槽电机和微型无框电机方案。

对比项目	空心杯电机	无刷有齿槽电机	微型无框电机
结构特点	转子无铁芯、绕组呈杯状结构，无齿槽	定子有铁芯和槽口，绕组嵌入槽中	定子与转子分离式设计，无外壳可直接集成到机械结构
体积与结构紧凑性	小型，但需要独立外壳	体积较大，需完整机壳和轴承	最紧凑，可直接嵌入关节结构中
重量	较轻	较重（铁芯与壳体）	轻（无壳体与轴承）
扭矩密度	低至中等	高（磁通集中）	中高，可根据结构优化
功率密度	中等（受散热限制）	高	高（可充分利用安装空间与结构散热）
效率	中等偏高（无齿槽损耗）	高（磁路效率高）	高（优化磁路设计与散热）
转动平滑度	非常平滑（无齿槽效应）	存在齿槽转矩，低速不够平滑	平滑，可通过优化设计消除齿槽效应
响应速度	极快，惯量小	较快	快，适合精密控制
控制复杂度	简单（有刷或无刷控制）	中等（需霍尔/编码器反馈）	高（需外部驱动与精确位置控制）
散热性能	一般，依赖外壳散热	较好（定子导热性强）	优秀，可直接热耦合结构散热
成本	中等偏高	较低（批量成熟）	较高（需定制设计与装配）
典型应用	医疗仪器、精密微驱动	工业伺服电机、通用自动化	机器人灵巧手、协作机械臂末端关节

资料来源：《空心杯电机定制化管理的应用研究》，思瀚研究院，香磁磁业，御马股份，Nanotec，华鑫证券研究

### 3.5 空心杯电机功率密度高、响应速度快

微型电机是由定子、转子(由铁芯转子和绕组构成)、电枢绕组、电刷、换向器等部件组成。**空心杯电机的转子是直接采用导线绕制而成**，线圈通过连接板与换向器、主轴连接在一起；从结构上看，其是由外框架、沿外围分布的驱动线圈、中间的空心转子以及附加的传感器组成。

**空心杯电机属于直流永磁的伺服控制电机**，也可以将其归类为微特电机。空心杯电机在结构上突破传统电机的转子结构形式，**采用了无铁芯转子**，这种新颖的转子结构彻底消除了因铁芯形成涡流而造成的电能损耗；同时，空心杯电机重量和转动惯量大幅降低，从而减少转子自身的机械能损耗。由于转子结构变化而使电机的运转特性得到极大改善，不但具有突出的节能特点，更为重要的是具备了铁芯电机所无法达到的控制和拖动特性。作为高效率的能量转换装置，在很多领域代表了电动机的发展方向

#### 空心杯电机和普通电机的区别

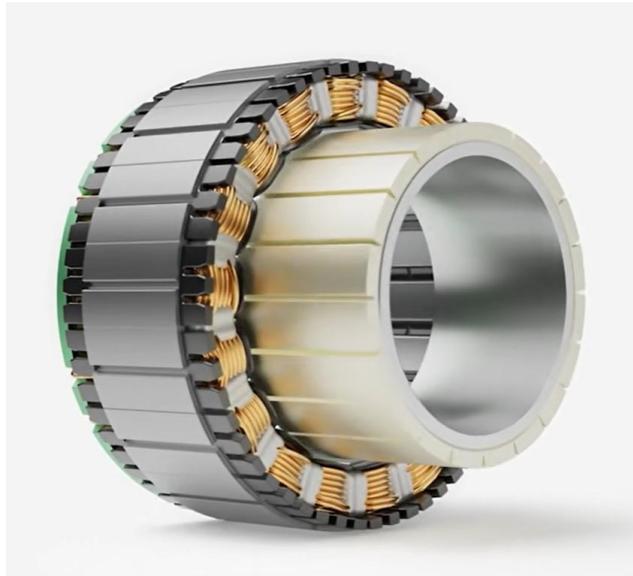
	空心杯电机	普通(有刷直流)电机
结构图		
结构	转子为空心杯形状 (由一个薄壁金属杯构成，内部为空心，外部为环形磁极)	转子通常为实心或有槽的圆柱形，内部装有导线和磁极
工作原理	利用空心杯转子中的磁场与定子产生的磁场相互作用而产生转矩  外形尺寸小、轻巧；转矩密度较高；集成度高； 高精度、高效率(最高效率>80%)； 转速高(受限于换向系统，最高转速≥10000rpm)； 响应速度较快(机械时间常数通常只有十几个ms)； 寿命长(预期大约在1000-3000h)； 制造成本较高(9或11或13片换向片)	利用转子中的导线在磁场中受到的洛伦兹力来产生转矩  体积和重量较大； 铁损较大(存在涡流损耗，最高效率约为50%)； 无法运行在高转速下(一般最高转速<5000rpm)； 响应较慢(机械时间常数一般>100ms)； 寿命较短(一般几百个h)； 制造成本较低(3-5片换向片)
性能特点	应用于对性能要求较高的领域，如航空航天、机器人等	应用于对性能要求较低的领域，如家用电器、工业设备等
应用场景	资料来源：天孚电机官网，上海茂硕机械设备有限公司官网，鸣志电器官网，《空心杯电机定制化管理的应用研究》，华鑫证券研究	

#### 空心杯电机优势

特点	优势
低速运行平稳	
无齿槽效应	低振动，低噪音
	转子可控制在任意位置
磁路设计更优	
结构紧凑	功率密度更高
	温升低，效率高
高动态响应	
低电感	高加速度

无框电机是实现精确伺服驱动运动的控制轴的理想解决方案，包括机器人末端执行器和机器人关节。无框电机已精简到只剩基本组件：定子和转子，并舍弃了传统的框架、轴承和轴。得益于这种简单的结构，设计人员能够将无框电机直接安装到机器人关节或末端执行器组件上，以传输所需的扭矩。支持轴向长度灵活调整，径向尺寸也可以根据关节腔定制，甚至能实现径向安装或中空贯通布局。这种灵活性能让工程师“创造关节”而不是被动地“适配电机”。

## 微型无框电机主要结构图示



### 主要优点

嵌入性设计抵消误差

便于散热

模块化封装

一体化集成

可以进行创新设计

### 微型无框电机性能优势

#### 微型无框电机优势

机器人关节的定位精度不仅与电机的能力、质量有关，传统电机与关节结构的装配间隙、传动环节的回程误差，也会影响其精度，所以无框力矩电机的嵌入性设计，有利于抵消这些隐性误差。由于直接集成在关节内部，无框电机与减速器、编码器的同轴度误差可控制在0.02mm以内（理想情况下），比传统电机的装配误差低很多。

有的机器人正是依靠无框力矩电机无框结构的直接导热设计，配合中空散热风道，才使得电机温度始终保持在安全区间。

因为既然没有外露的接线端子、没有易损耗的外置轴承，那么电机故障的概率自然也就降低了，从源头上减少了故障点。

无框电机的定子与关节壳体是直接接触的，这就便于集成温度、振动等微型传感器，理论上结合AI算法可实现故障预警。比如通过监测电机绕组温度变化，可提前预判绝缘层老化情况；通过分析转矩波动的异常，能识别减速器磨损情况等等。这种预测性维护的本领，有助于减少机器人的计划外停机时间。

无框力矩电机是需要定制化的，其转子与定子是分离式设计的，支持轴向长度灵活调整，径向尺寸也可以根据关节腔定制，甚至能实现径向安装或中空贯通布局。这种灵活性能让工程师“创造关节”而不是被动地“适配电机”。

资料来源：Maxon, 御马股份, Nanotec, 华鑫证券研究

0 4

标的推荐

研究创造价值

## 4.1 电机设计生产是一个高度综合性产业

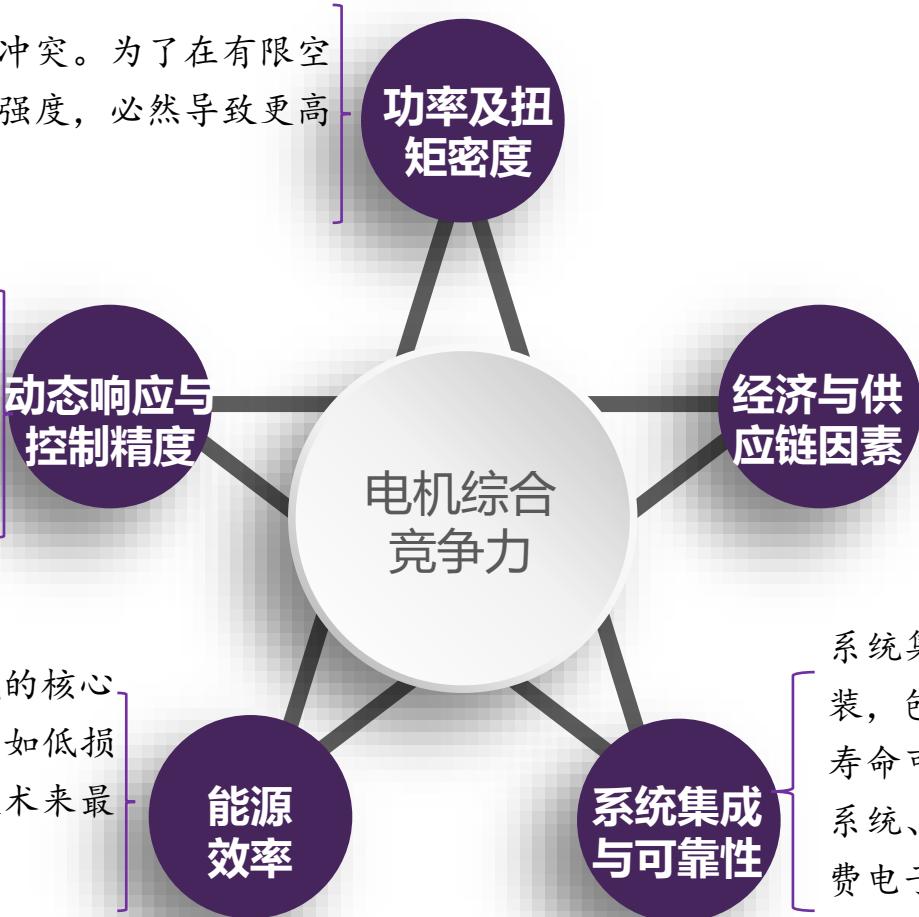
电机公司的竞争力由性能三要素、经济与供应链以及系统集成能力共同决定。电机制造的竞争优势是多维度的，基于性能物理极限、经济可行性以及系统弹性。电机优势并非单一因素决定，而是由性能三要素、经济与供应链因素，以及系统集成能力共同构成。

### 电机产业五大竞争要素

最大限度提高功率密度与对峰值效率的要求相冲突。为了在有限空间内压缩更多功率，必须提高电流密度和磁场强度，必然导致更高的热损耗，从而降低整体效率。

对于机器人、数控机床等需要精确位置控制的应用，动态响应速度和控制精度至关重要，精度依赖于电机的控制电子系统以及机械装配的精度（低扭矩脉动）。高精度电机公司必须掌握复杂的控制算法和微米级的制造公差。

能效提升是全球监管指令和长期运营成本降低的核心驱动力。实现高效率需要使用专业的材料，例如低损耗硅钢片和高质量铜线，并采用先进的绕线技术来最小化电阻和铁损。



制造成本和可扩展性：不同行业对成本结构的要求差异巨大。消费电子产品要求大规模自动化和简化的生产流程，工业电机则要求的是多年的坚固性和可靠性。制造上的专业化导致了不可转让的规模经济。

材料约束与地域风险：对稀土永磁体的依赖是电机产业一个关键的战略脆弱点。在竞争中获得优势的公司，需确保多元化、长期稳定的采购渠道，或投资于不含稀土的拓扑结构，

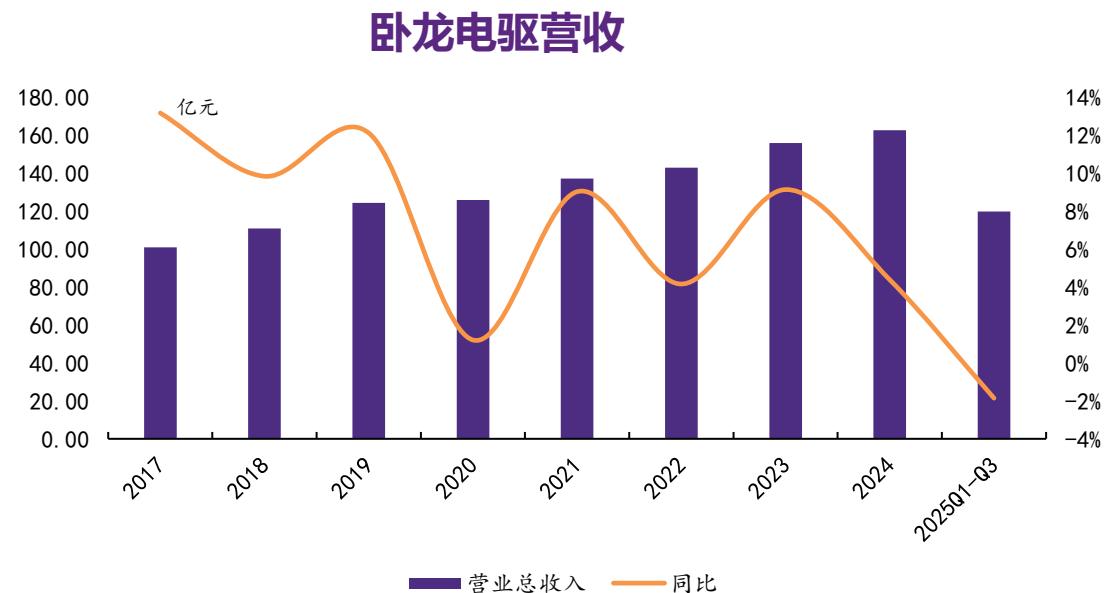
系统集成：现代电机竞争力取决于整个系统的效率和封装，包括电机、齿轮箱、逆变器和控制器等。

寿命可靠性与认证：在重工业等领域，需要卓越的绝缘系统、坚固的轴承和高质量的结构材料共同决定，与消费电子领域追求的高速度、低成本和短产品周期的要求不同。

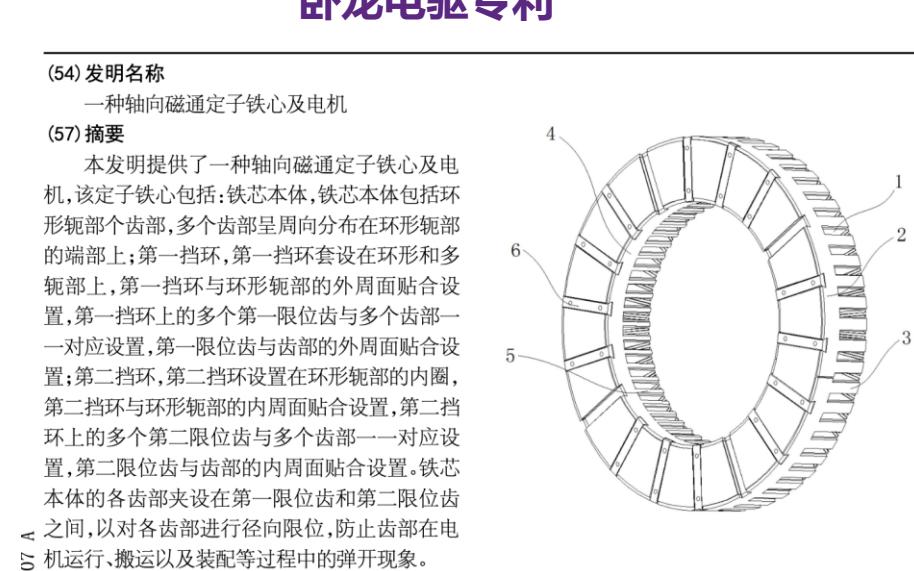
资料来源：华鑫证券研究所整理

## 4.2 卧龙电驱：电机龙头，拥有多项轴向磁通电机专利

公司以电机及控制技术为核心，积极拓展机器人与AI领域，并在轴向磁通电机结构与散热等技术进行探索。公司主营业务涵盖电机及控制系统的研发、生产、销售与服务，产品可应用于防爆、暖通、工业及新能源交通等多个领域。同时，公司积极布局新兴技术方向，包括机器人组件与人工智能。旗下拥有多家机器人相关子公司，如浙江希尔机器人股份有限公司。2025年3月，卧龙电驱成为智元机器人的战略股东，持股约0.74%；同月，智元通过增资扩股战略注资卧龙电驱旗下浙江希尔机器人，双方合作推进具身智能技术及柔性制造解决方案的开发。在技术研发方面，公司已申请多项轴向磁通电机相关专利，涵盖《一种混合冷却轴向磁通永磁电机》《一种轴向磁通定子铁心及电机》等，主要聚焦于电机结构优化与散热改进。

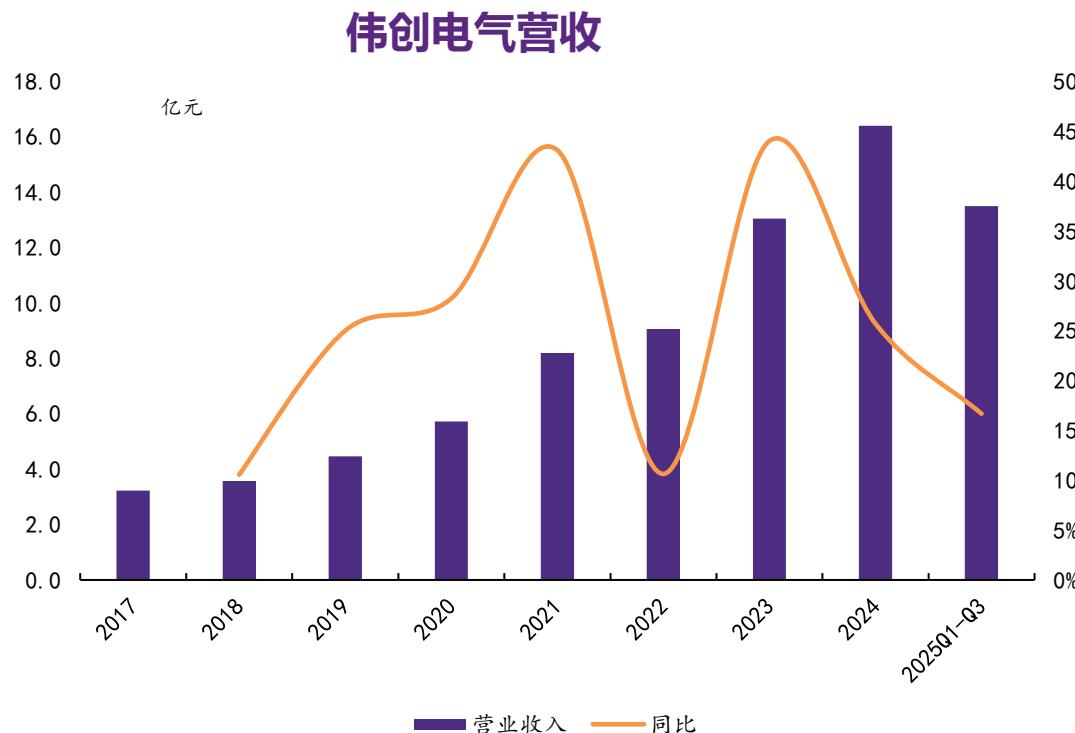


资料来源：Wind，专利顾如，华鑫证券研究所



## 4.3 伟创电气：工控平台解决方案全链路供应商

公司是变频器、伺服系统、运动控制器专业制造商，现积极转型场景化解决方案提供商。公司成立于2005年，以工业自动化为核心，产品覆盖变频器、伺服系统、控制器等。变频器方面，公司逐步构建起覆盖驱动层、控制层与执行层的全栈工业自动化产品体系，实现了从核心部件供应商向系统解决方案平台的战略跃迁。2025年Q1-Q3公司实现营收13.5亿元，同比+16.7%，数字能源业务营收快速增长。公司毛利率稳中有进，2025H1综合毛利率达37.8%。公司积极研发机器人用电机，产品覆盖关节模组、灵巧手等多方面。随着机器人产业加速落地，相关产品收入有望快速增长，带动公司营收进一步提升。

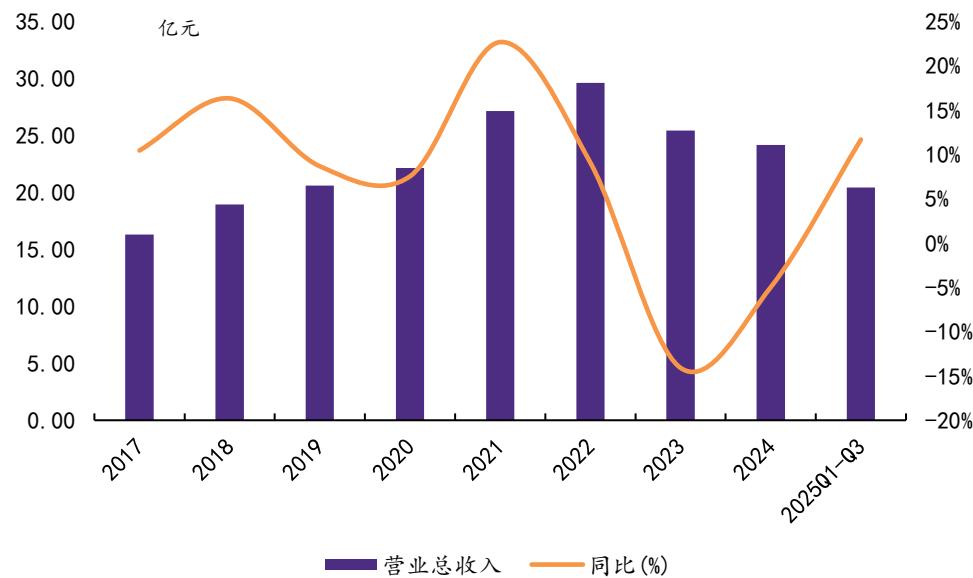


资料来源：Wind, 公司公告, 华鑫证券研究所

## 4.4 鸣志电器：产业持续扩张，人形机器人带来广阔市场空间

**积极拓展高端设备领域，人形机器人有望带来第二增长曲线。**公司成立于1998年，是全球领先的混合式步进电机和空心杯电机制造商，专注于运动控制及智能电源领域核心技术和系统级解决方案的研发与经营，产品广泛应用于机器人、医疗器械、工业自动化和智能照明等高端装备领域。公司持续向控制电机及其驱动系统业务在激光雷达等高附加值行业持续扩张，包括①工业自动化领域；②智能汽车及自动驾驶/激光雷达应用领域；③机器人领域；④医疗设备和生化实验仪器领域；⑤太阳能光伏领域。公司空心杯电机产品技术全球领先，价格优势明显，2024年无齿槽空心杯业务在机器人应用领域的增长接近200%。随着新兴技术的持续发展和公司在人形机器人应用领域的产品和市场布局优势显现，相关业务有望实现更快速增长。

鸣志电器营收



鸣志电器产品

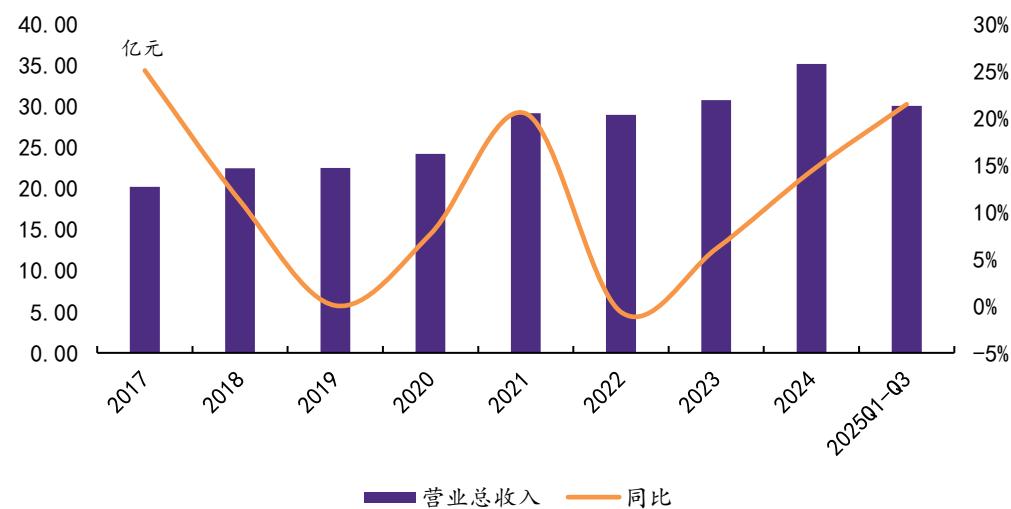


资料来源：Wind，公司官网，华鑫证券研究所

## 4.5 江苏雷利：产品矩阵持续扩张，加速全球化布局

**微特电机领军企业，加速产品及全球化布局。**公司成立于2006年，是国内微特电机及组件领域的领先企业，深耕家电、汽车零部件、工控、医疗等多元业务板块，具备从研发、制造到方案交付的全链路能力。公司2025年Q1-Q3实现营收30.08亿元，同比+21.5%，新兴业务如汽车电机及零部件、工业控制电机及组件板块增速突出。公司主要客户包括国内外知名的家电、新能源汽车、工控、医疗器械生产商，其中国内客户主要为格力、美的、迈瑞医疗、图达通等知名企业，国外客户主要包括LG、松下、GE、富士通、戴森、滨特尔、西门子医疗等知名企业。公司持续推动产品矩阵升级，如激光雷达电机、空调无刷电机等在多个下游高景气赛道实现量产，技术创新成果显著，并通过越南、墨西哥等海外工厂加速全球化布局。

江苏雷利营收



江苏雷利产品



资料来源：Wind，公司官网，华鑫证券研究所

## 4.6 信捷电气：工控领军企业，海外市场持续拓展

**加速具身智能产业布局，国际化战略成效显著。**公司于2008年成立于无锡，2016年12月登陆上交所主板。主要经营小型可编程逻辑控制器(PLC)、人机界面(HMI)、伺服系统和机器视觉等机器人核心部件等产品，拥有视觉感知技术、运动控制技术。公司2025年Q1-Q3实现营收13.82亿元，同比+14.2%。公司在人形机器人领域持续发力，布局无框力矩电机、空心杯电机、驱动器及编码器等核心零部件，并与参股公司长春荣德合作，实现小批量销售。同时，公司加快具身智能产业布局，开发适配人形机器人的产品，并与华为云合作推进双臂协作智能焊接机器人、智能移动双臂分拣机器人等项目落地，展现出在智能制造和机器人领域的前瞻性和技术实力。公司加快海外市场拓展步伐，重点布局俄罗斯、中东、东南亚、日韩等区域，2025H1海外订单同比增长近50%。



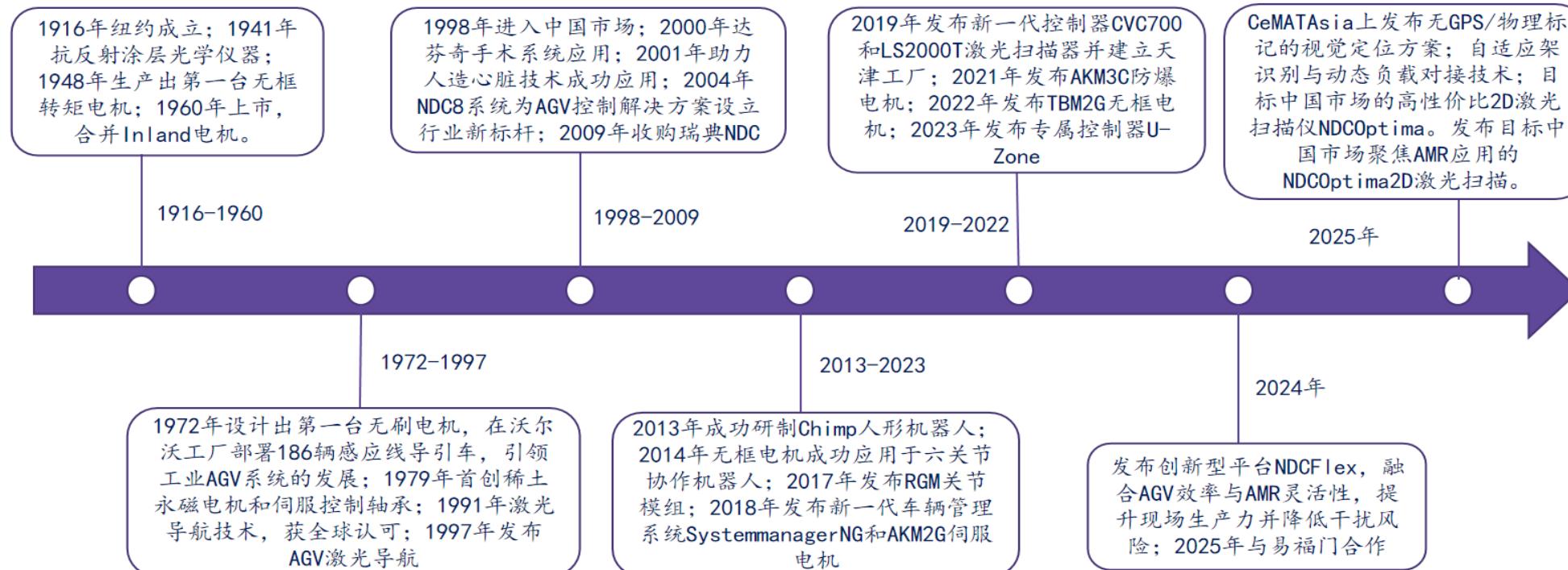
资料来源：Wind，公司官网，华鑫证券研究所



## 4.7 科尔摩根：百年历史，精密运动控制领域技术领导者

**技术积淀深厚，无框电机领军企业。**科尔摩根（Kollmorgen）是全球出色的运动控制系统和配件供应商，凭借七十多年的运动控制设计与开发专业经验，科尔摩根公司提供的突破性解决方案，具有突出的性能、可靠性和便捷性。科尔摩根研发和制造整合直线运动控制伺服系统：运动控制器,伺服电机,无框电机,步进电机,伺服驱动器,线性定位器,减速机等运动控制产品。科尔摩根拥有世界一流的运动控制技术、业内领先的运动控制产品质量、以及集成和定制运动控制产品的专业能力。

### 公司主要发展历程



资料来源：公司官网，AGV网，华鑫证券研究

## 4.7 科尔摩根：百年历史，精密运动控制领域技术领导者



**电机产品性能优势显著。**公司的TBM2G无框力矩电机具备七种框架尺寸，适配 48 伏及以下直流电压，可选集成不增加长度的霍尔传感器与多种热传感器，绕组针对3.5、15千克级协作机器人的速矩需求优化，85°C内性能优异且温度达 155°C时仍能稳定持续工作。科尔摩根同时具备交流/直流伺服电机、直流有刷电机、步进电机、直驱电机等多种产品。公司核心伺服电机产品AKM2G，其机体尺寸较市面上同类型产品（包括 AKM 上一代产品）小 20%，并且在同等尺寸条件下，其动力输出能力要高出 30%。

### 科尔摩根无框力矩电机与雷赛智能，步科股份的参数对比

性能参数	科尔摩根 (TBM2G 系列)	雷赛智能 (FM1 系列)	步科股份 (FMC 系列)
转矩 (Nm)	0.27-6.03	0.03-9.32	0.24-6.37
定子直径 (mm)	50-115	25-115	57.8-127
额定功率 (Kw)	0.205-1.430	0.034-1.086	0.075-1.600
额定转速 (rpm)	2600-8000	650-10500	2000-3000
负载 (kg)	-	45,741.00	45,741.00

资料来源：SMM电机资讯，华鑫证券研究

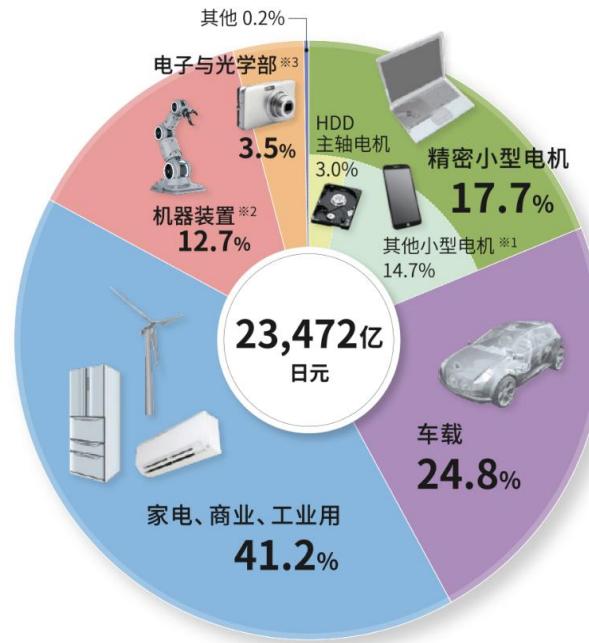
诚信、专业、稳健、高效

请阅读最后一页重要免责声明

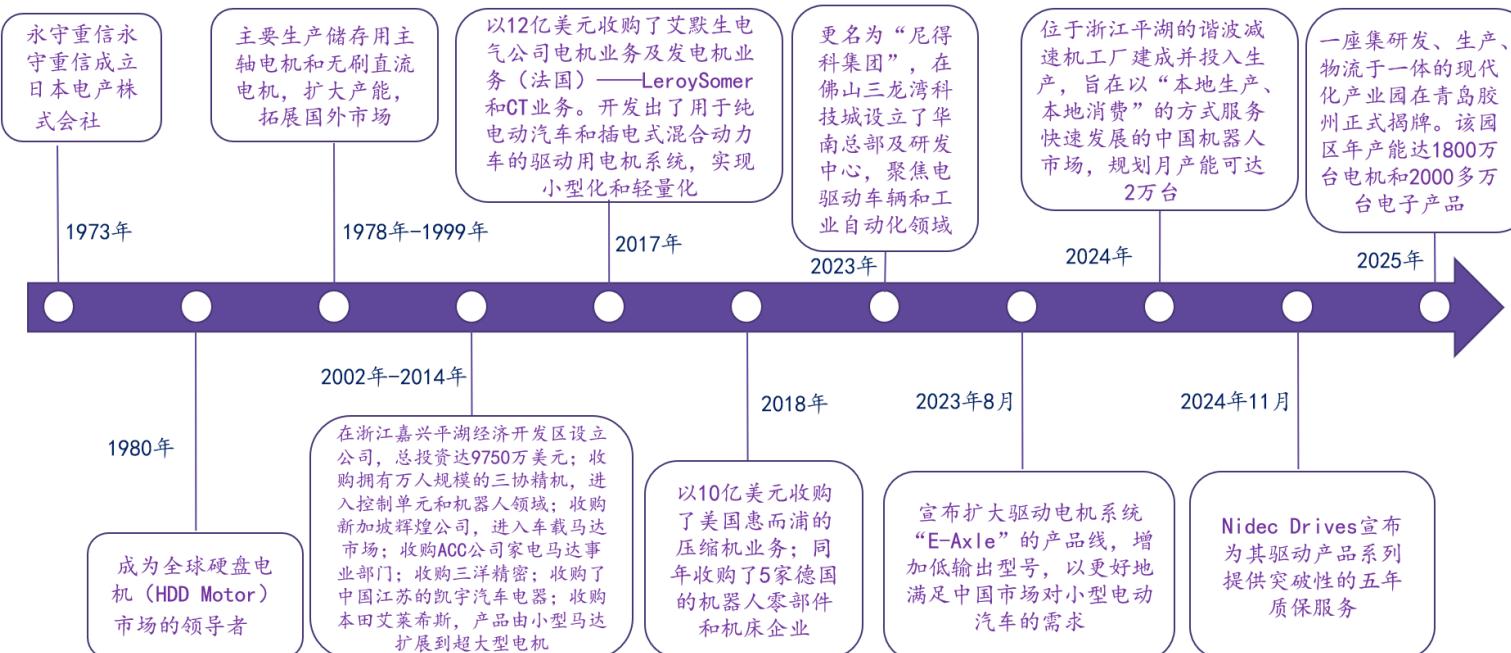
## 4.8 尼得科：深耕电机领域数十余载，市占率全球领先

**产业遍布全球，市场占有率居于世界前列。**尼得科（Nidec）是一家在全球拥有300家以上分支机构、为各类“转动体、移动体”提供精密小型到超大型电机产品的“全球颇具实力的综合电机制造商”。经过数十年的发展，日本电产的无刷电机的销量已经全球领先，小型精密马达、自动化器械等电子零部件的市场占有率也居于世界前列，主打品牌已覆盖家电、工业、汽车、IT等领域，在超精密马达、轴流风机、硬件驱动装置用马达等领域全球占比超70%。

### 公司主要产品收入占比



### 公司主要发展历程

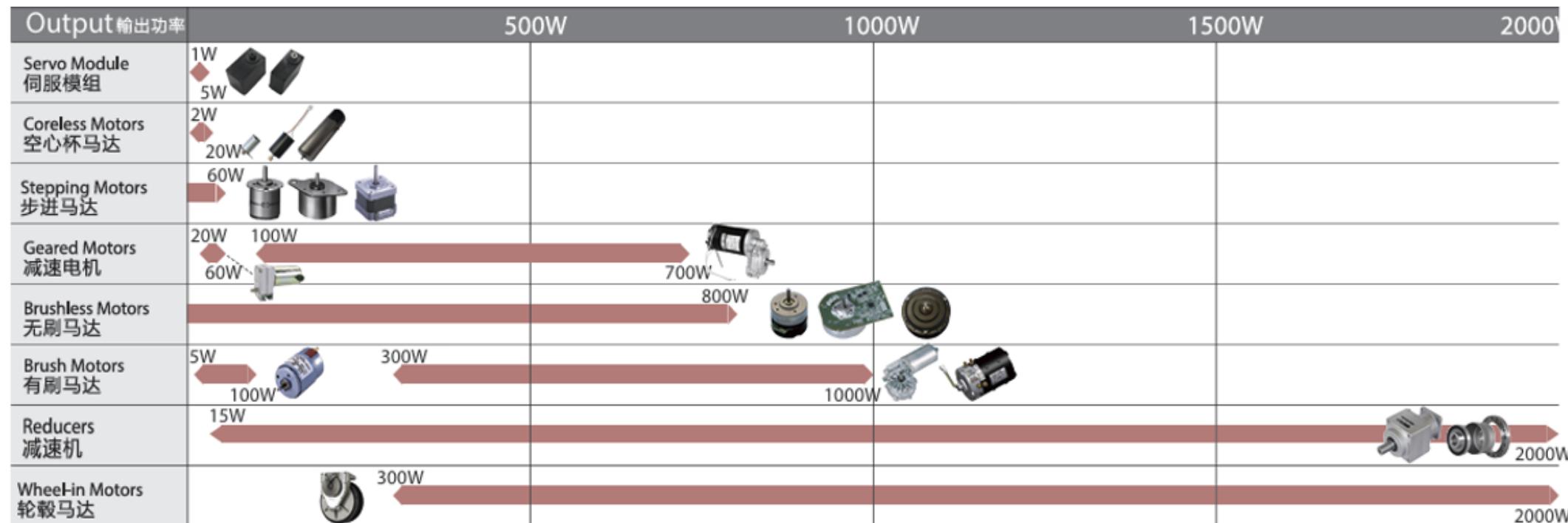


资料来源：公司官网，佛山市新闻传媒中心，中华工控网，界面新闻，21ic电子网，华鑫证券研究

## 4.8 尼德科：深耕电机领域数十余载，市占率全球领先

**电机产品品类齐全，功率、场景全覆盖。**公司具备“类型全品类、功率全区间、场景全行业”的三维全域覆盖的电机产业涵盖面。第二代E-Axle电机于2022年开始量产，输出功率为135kW，扭矩2400Nm，重量57kg，将扭矩和功率密度提高了20%，同时重量减轻了19%，在功率密度方面远超其他公司的产品，应用于从小型汽车到大型SUV的所有细分市场的电动汽车，并在中国得到了高度认可，截至2023年4月，第二代E-Axle已被采用于15款电动汽车中。常情况下，E-Axle从设计研发到生产、供应的周期为2~2.5年，但尼得科能够将该周期缩短约一半，即1~1.5年。

尼德科电机产品矩阵完善



资料来源：公司官网，华鑫证券研究

# 4.9 Maxon：全球微型电机领军企业，高端场景应用广泛



**Maxon Motor**是全球范围内高精密电机和驱动系统的产品供应商。瑞士Maxon Motor成立于1961年，总部位于瑞士波昂德兹，是全球领先的精密电机和驱动系统制造商。公司专注于开发和生产高精度的直流电机、无刷电机（EC电机）、步进电机及其相关的控制系统和齿轮箱。Maxon的产品广泛应用于医疗设备、自动化、机器人技术、航空航天以及其他工业领域。

## 公司主要发展历程

1961—1979年

1961年：Interelectric AG 成为博朗（BRAUN）的生产基地，从事电气工程业务。

1963年：博朗开始生产金属涂层剃须工具，这些是博朗流行剃须刀的核心部件。同时，公司也成立了电子设备研发部门。

1967年：博朗股份有限公司被美国吉利公司收购。

1968-1969年：**maxon** 直流电机的研发成功，这款电机成为后续创新的基石。带有铁氧体磁铁的直流电机效率比传统电机几乎翻倍，其钻石形绕组和制造工艺均已申请专利。

1979年：**maxon** 电机被用于袖珍计算器和视频设备等日常用品，也应用于精密设备。Interelectric AG 在慕尼黑成立首家子公司。

1981—2004年

1981年：美国市场的重要性日益凸显，Interelectric AG收购了位于美国加利福尼亚州旧金山市南部的 maxon precision motors。

1989年：Interelectric 在德国塞克绍开设生产基地，制造微型电机和齿轮箱。塞克绍基地员工数10人；如今538人。

1997年：NASA的“旅居者号”火星车登陆火星，这是人类首辆火星车，**其上搭载了11台maxon 直流电机。**

2004年：**maxon** 在匈牙利开设新的电机生产基地，位于维斯普雷姆，负责驱动部件的制造。美国火星太空行动中勇气号和机遇号火星探测器上的40个的电机中有39个电机来自**maxon**。维斯普雷姆基地员工数 85 人，如今 569 人。

2007—2018年

2007年：成立医疗部门，研发用于胰岛素泵、假肢和手术机器人等场景的高精度驱动装置。

2012年：推出全球首款可在线定制的X 驱动电机。

2013年：在韩国首尔成立maxon motor manufacturing co., ltd.，开始生产首批无刷直流电机。首尔基地员工数5人；如今111人

2015年：收购英国传动装置制造商 Parvalux，扩充了其用于工业自动化等场景的驱动产品组合。创新中心启用：公司在瑞士总部开设创新中心，该设施采用医疗技术中的微驱动技术，配备尖端洁净室。

2018年：**maxon先进机器人与系统业务单元成立**，专注于机电驱动系统的开发，包括BIKEDRIVE。

2019—2022年

2019年：与无人机初创公司 Flybotix 合作，为其自主飞行的无人飞行器开发优化的无刷直流电机；同时，公司进入载人安全车辆市场，与机器人初创公司 ANYbotics 合作开发自主巡检机器人 ANYmal。

2020年：在美国马萨诸塞州陶顿开设首个生产基地。公司逐渐从零部件供应商转型为系统供应商，开发完整的机电解决方案：集成电机、齿轮箱、传感器、控制器、电池和软件。

2021年：“毅力号” 火星车登陆火星，其搭载的多台 **maxon** 电机被用于复杂任务，包括首次火星直升机 “机智号”的驱动。其中，**maxon** 的微型电机驱动机械臂移动并采集样本。

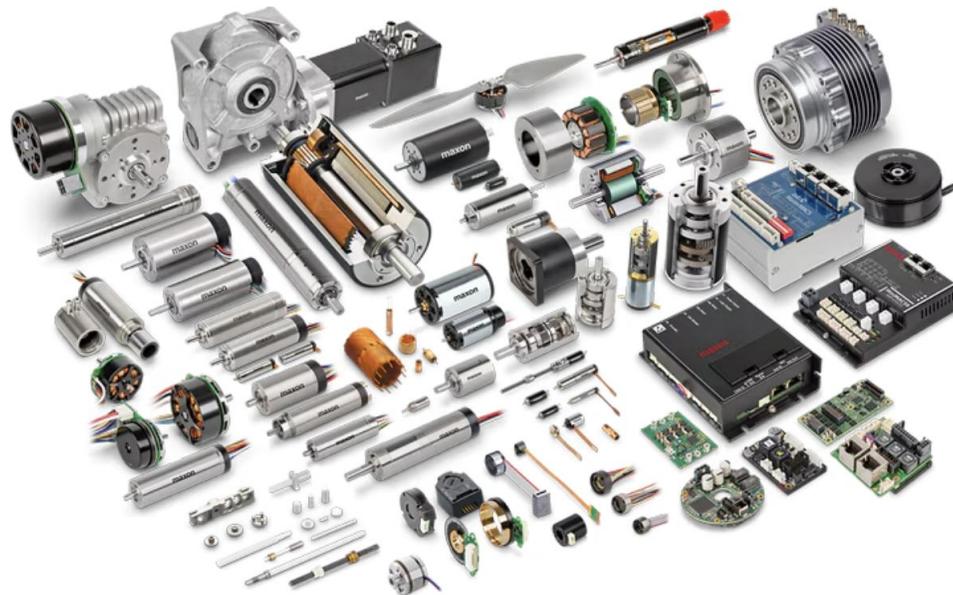
2022年：约3,300员工，全球范围9个生产站点，销售网络覆盖40个国家。

资料来源：公司官网，华鑫证券研究

## 4.9 Maxon：全球微型电机领军企业，高端场景应用广泛

无框电机的应用环境复杂，Maxon微型驱动电机产品优势明显。无框电机常用于高动态、电池供电的移动机器人应用场景。这类机器人的高动态特性，使其电机工作点极不规则，不仅需要频繁加速与减速，还需承受高峰值扭矩负载。Maxon在驱动系统开发方面拥有超过60年的经验，其驱动装置能输出高达484Nm的转矩，而最坚固耐用的版本可承受1200万个负载周期的使用寿命，同时还能实现约93%的减速箱效率，驱动系统专为恶劣、非结构化环境设计，能达到最高的质量与可靠性标准。不仅如此，Maxon生产具备高扩展性，可快速将复杂机器人驱动系统的年产量扩张至数百万台规模；可有效降低系统复杂度，能够简化包含电子设备、电机及齿轮箱在内的驱动子系统，并实现无缝集成。

公司产品矩阵



公司ECX产品参数

电机型号	电机直径 (mm)	电机长度 (mm)	功率 (W)	最大额定转矩	最高电机转速 (rpm)
ECX FLAT	Ø22-42	14-21.2	4.5-150	214 mNm	15000
ECX PRIME	Ø6-16	19.9-53	1.6-60	最高 25 mNm	最高 50,000
ECX SPEED	Ø4-22	19-60	0.5-120	29 mNm	120000
ECX TORQUE	Ø22	43-82	30-45	80 mNm	16000

资料来源：公司官网，华鑫证券研究

电机新技术研发与产业化进程不及预期

人形机器人商业化落地不及预期

行业竞争加剧与格局恶化

原材料价格波动风险

林子健：厦门大学硕士，自动化/世界经济专业，CPA。9年汽车行业研究经验，兼具买方和卖方研究视角。立足产业，做深入且前瞻的研究，覆盖人形机器人行星滚柱丝杠、线性关节模组、灵巧手以及传感器等领域。

张智策：武汉大学本科，哥伦比亚大学硕士，2024年加入华鑫证券。2年华为汽车业务工作经验，主要负责智选车型战略规划及相关竞品分析。

程晨：上海财经大学金融硕士，2024年加入华鑫证券，主要负责汽车&人形机器人板块。

钱臻：伦敦大学学院本科及硕士，2025年加入华鑫证券。

## 证券分析师承诺

本报告署名分析师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、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。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受到任何形式的补偿。

## 免责条款

华鑫证券有限责任公司（以下简称“华鑫证券”）具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。本报告由华鑫证券制作，仅供华鑫证券的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告中的信息均来源于公开资料，华鑫证券研究部门及相关研究人员力求准确可靠，但对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。我们已力求报告内容客观、公正，但报告中的信息与所表达的观点不构成所述证券买卖的出价或询价的依据，该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时结合各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就财务、法律、商业、税收等方面咨询专业顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华鑫证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。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。

本报告中的资料、意见、预测均只反映报告初次发布时的判断，可能会随时调整。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，华鑫证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。华鑫证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告版权仅为华鑫证券所有，未经华鑫证券书面授权，任何机构和个人不得以任何形式刊载、翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若华鑫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，华鑫证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成华鑫证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。如未经华鑫证券授权，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。华鑫证券将保留随时追究其法律责任的权利。请投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的华鑫证券研究报告。

## 证券投资评级说明

股票投资评级说明：

	投资建议	预测个股相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	买入	>20%
2	增持	10%—20%
3	中性	-10%—10%
4	卖出	<-10%

行业投资评级说明：

	投资建议	行业指数相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	推荐	>10%
2	中性	-10%—10%
3	回避	<-10%

以报告日后的12个月内，预测个股或行业指数相对于相关证券市场主要指数的涨跌幅为标准。

**相关证券市场代表性指数说明：** A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以道琼斯指数为基准。



华鑫证券 | 研究创造价值

CHINA FORTUNE SECURITIES

报告编号: 251218194146