

灵巧手：人形机器人硬件迭代核心模块

——人形机器人系列深度PPT（五）

行业评级：看好

2024年03月04日

分析师

邱世梁

分析师

王华君

研究助理

姬新悦

邮箱

qiushiliang@stocke.com.cn

邮箱

wanghuajun@stocke.com.cn

邮箱

jixinyue@stocke.com.cn

证书编号

S1230520050001

证书编号

S1230520080005

1、灵巧手：人形机器人末端执行与感知的工具，是人形机器人未来硬件迭代空间最大的功能模块之一。灵巧手模仿人手的结构和功能，实现对物体的灵活抓取，满足多种工作需求。根据我们测算，目前单只人形机器人灵巧手成本约2.8万元，我们预计产业化成熟后，单只价值量有望降低到1.5万元，在人形机器人整机成本中占比约14%。**我们预计2030年人形机器人灵巧手全球市场空间约568亿元，2023-2030年市场空间复合增速约35%。**

2、传动、驱动、传感系统多元集成解决方案，赋能灵巧手精准化、智能化发展方向

- (1) **传动系统**：包括连杆传动、齿轮传动、带传动、线绳驱动等，多种传动方式可结合应用，实现优势互补；
- (2) **驱动系统**：电机驱动为主流路线，驱动力大、控制精度高、响应快，适配于灵巧手的通用性、移动性，易于实现商业化；
- (3) **传感系统**：内在传感器反馈机器人动态信息，外部传感器感知外部环境，相互搭配实现灵巧机械手的运动和控制。

3、空心杯电机：灵巧手电机最佳选择之一，海外厂商占据市场龙头，国内企业起步较晚，有望借助人形机器人实现弯道超车

(1) 使用绕线杯式电机绕组，减小了电机运行时的磁阻力矩和齿槽引起的转矩脉动，降低了电机运行过程中的能量损失，**具有节能、效率高、灵敏度高、运行稳定等特点，适配灵巧手对体积、性能、成本的优化需求。**

(2) **人形机器人帮助打开空心杯电机未来市场**，根据华经产业研究院，2022年全球空心杯电机市场规模约为51亿人民币，预计2028年市场规模将达到83亿人民币，期间复合年均增长率约8.5%。我们预测，人形机器人2030年需求实现177.2万台，带动空心杯市场空间达到132亿元。

(3) 中国与欧洲为空心杯电机的主要市场，根据QYResearch数据，2021年中国和欧洲的空心杯市场分别占全球34.8%、25.9%。**全球竞争格局高度集中，中高端市场仍由欧洲企业主导**，CR4占据市场份额的65%以上。国内鸣志电器等暂居第二梯队，国内厂商在生产效率、产品寿命、精度方面，较海外厂商仍存在一定的技术差距，随人形机器人需求空间打开，国产替代进程提速。

4、绕线机：空心杯制造核心环节，以斜绕形和马鞍形为主，海外厂商自动化程度相对较高，国产厂商自动化率快速提升

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，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。Metetor、田中精机等厂商自动化发展居于领先地位，国内厂商研发技术存在优化空间。

5、投资建议：关注人形机器人灵巧手的重点部件及设备国产供应龙头。重点推荐鸣志电器、汇川技术、禾川科技、柯力传感，重点关注拓邦股份、伟创电气、江苏雷利、鼎智科技、雷赛智能、丰立智能、东华测试、汉威科技、田中精机等。

6、风险提示：中美贸易冲突超预期、技术迭代不及预期、产业化进展不及预期

目录

CONTENTS

- 01 灵巧手：模仿人手的结构和功能，机器人末端执行的工具**
- 02 传动体系：多种传动方式并存，可结合应用实现优势互补**
- 03 驱动系统：空心杯电机应用广泛，国产替代进行时**
- 04 传感系统：灵巧手的感知系统，实现精准调控**
- 05 投资建议及风险提示**

01

灵巧手：

**模仿人手的结构和功能，
是机器人末端执行的工具**

1.1 灵巧手：模仿人手的结构和功能，是机器人末端执行的工具

- 灵巧手是机器人操作和动作执行的末端工具，在机器人学领域属于末端执行器的范畴。
- 末端执行器是机器人执行部件的统称，一般安装于机器人腕部的末端，是直接执行任务的装置。末端执行器作为机器人与环境相互作用的最后环节与执行部件，对提高机器人的柔性和易用性有着极为重要的作用，其性能的优劣在很大程度上决定了整个机器人的工作性能
- 灵巧手模仿人手的结构和功能，在机器人与环境的交互中起着关键作用。机器人灵巧手从结构和功能上参考人手，能够灵活操作对象，实现对物体的灵活抓取，满足多种工作需求。如特斯拉机器人“灵巧手”使用较为经典的六电机驱动方式，和人手一样同样使用5个手指，拥有11个自由度，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，可完成搬运、浇花、实现装配任务、抓取电动工具等动作。

图： 特斯拉 Optimus 灵巧手实现浇花动作



图： 特斯拉机器人完成自助分类物品



1.2 灵巧手发展历程:

图：灵巧手发展历程



- 目前大多多的多指灵巧手外观多为仿生设计，手指关节等内部结构主要有机械式传动（如齿轮传动等）、腱绳传动方式、软指手、刚柔结合结构、特殊构型、仿生生物关节等。

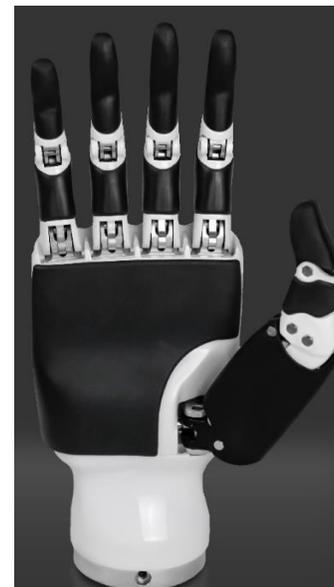
仿生结构设计类别	优点	缺点	案例
机械式铰链设计	传动效率高，响应快，关节刚度高，输出力稳定且可控。	结构冗杂，笨重，柔性不足，抗冲击性能较弱，对手内空间配置要求较高。	
腱绳拮抗驱动设计	轻量化，柔顺适用性，与传统结构相适应。	关节刚度受腱绳形变影响，腱绳与手指结构摩擦干扰大，传动效率低，寿命较低，维修成本高。	
软指手	结构柔性高，交互安全，成本低廉，抗干扰。	输出力小，结构刚度低，建模困难，控制精度低。	
刚柔混合结构	柔顺，可靠。	刚柔材料和结构的融合设计困难，刚性与柔性的跨量级建模困难。	
特殊构型	多功能，成本低。	通用性差，结构与普通灵巧手差异大，使用学习成本高。	
仿生生物关节	高度仿人化，柔顺，抗冲击，可控。	成本高，系统复杂，对驱动器要求高。	

特斯拉Optimus灵巧手、因时机器人的仿人五指灵巧手RH56BFX、RH56DFX系列，是人形机器人灵巧手的典型代表。根据因时机器人官网，仿人五指灵巧手单价约5万元/只。



特斯拉Optimus灵巧手

- 关节数：11
- 主动自由度：6
- 传感器：可能含力传感器、触觉传感器
 - 价格：未知

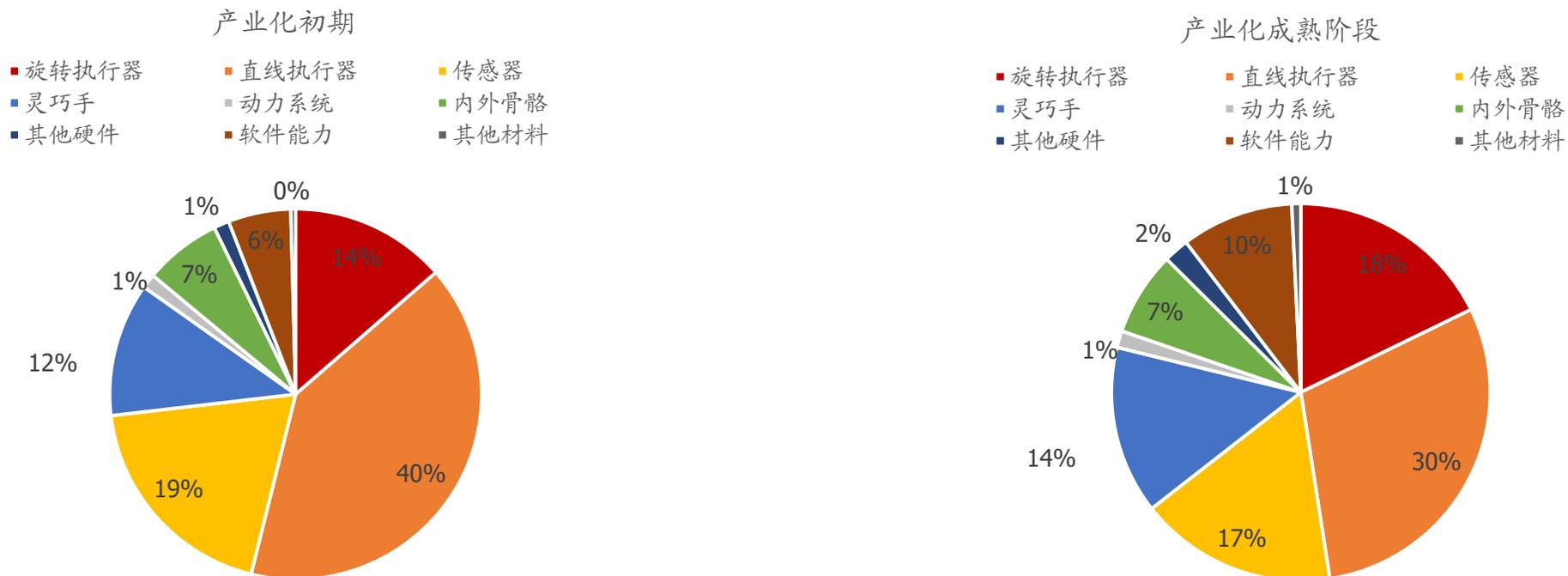


因时机器人RH56DFX系列灵巧手

- 关节数：12
- 主动自由度：6
- 传感器：集聚力传感器
- 价格：约5万元/只

部件	细分零部件	产业化初期				产业化成熟阶段				
		单机用量 (个)	单价 (元)	单机价值量 (元)	价值占比	单机用量 (个)	单价 (元)	单机价值量 (元)	价值占比	降本空间
灵巧手	空心杯电机	12	1200	14400	6.0%	12	600	7200	6.9%	-50%
	齿轮组	2	300	600	0.3%	2	150	300	0.3%	-50%
	触觉传感器 (假设为MEMS压力反馈单元)	12	600	7200	3.0%	12	300	3600	3.5%	-50%
	柔性材料	-	2000	2000	0.8%	-	1500	1500	1.4%	-25%
	编码器	12	300	3600	1.5%	12	200	2400	2.3%	-33%

图：产业化初期及产业化成熟阶段，灵巧手在人形机器人BOM成本中占比分别为12%、14%



		2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年
TO C端	世界总人口（亿人）	80	81	82	83	83	84	85	85
	YOY	1.0%	1.0%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.8%
	0-14岁人口占比	25%	25%	25%	25%	25%	25%	24%	24%
	65岁以上人口占比	10%	10%	10%	11%	11%	11%	11%	12%
	15-64岁人口占比	65%	65%	65%	64%	64%	64%	64%	64%
	目标收入群体：前百分比	1.3%	1.7%	2.3%	3.1%	4.1%	5.0%	5.9%	6.8%
	目标市场渗透率	0.2%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.8%	0.9%
	TO C端人形机器人需求量（万台）	2.8	5.3	9.5	15.7	25.8	34.1	43.9	54.8
TO B端	全球工业就业人数（亿人）	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	8.0	8.1	8.2
	全球服务业就业人数（亿人）	17.0	17.3	17.7	18.0	18.3	18.7	19.0	19.4
	人形机器人替代比例	0.004%	0.01%	0.01%	0.02%	0.04%	0.06%	0.09%	0.13%
	TO B端人形机器人需求量（万台）	4.3	6.7	14.3	22.5	40.3	60.2	89.3	122.4
合计	人形机器人需求量（万台）	7.1	12.0	23.7	38.2	66.0	94.4	133.1	177.2
灵巧手									
单机用量		2	2	2	2	2	2	2	2
均价（元）		50000	42500	36125	30706	26100	22185	18857	16029
市场空间（亿元）		71	102	172	235	345	419	502	568
YOY		70%	44%	68%	37%	47%	21%	20%	13%

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/147165036126006046>