

电力设备行业深度报告

汇添富机器人主题 ETF: 具身智能终极载体, 奇点已至

增持 (维持)

2026 年 07 月 20 日

证券分析师 曾朵红

执业证书: S0600516080001

021-60199793

zengdh@dwzq.com.cn

证券分析师 许钧赫

执业证书: S0600525090005

xujunhe@dwzq.com.cn

证券分析师 孙石

执业证书: S0600526020001

suns@dwzq.com.cn

研究助理 张学诚

执业证书: S0600125090014

zhangxch@dwzq.com.cn

■ **人形机器人开启人工智能应用大未来, Optimus 量产前夕、国内外进入下一产业阶段:** 人形机器人的通用性打破工业及服务机器人的限制, 未来 20 年产业大趋势确立。特斯拉人形正式进入制造导入阶段, 近岸化供应链配套推进, 重资产零部件供应商 PPA 已签。我们认为当前 T 链应重点关注订单节奏及海外审厂情况。国内人形已关注出货、数据建设和资本化推进, 比拼“真实数据—模型训练—场景反馈”闭环效率, 重点关注 26 年出货预期及上市节奏。

■ **核心零部件壁垒高, 格局好, 将充分受益。** 1) **谐波减速器:** 谐波减速器对使用寿命、传动精度、传动效率、刚度、升温、噪声等性能指标要求高。技术壁垒高度集中于齿形设计、材料制备、精密加工及设备。2027 年谐波减速器或现供需拐点, 远期全球空间破千亿元。2) **丝杠:** 从性能及壁垒排序, 滚柱丝杠>滚珠丝杠>梯形丝杠, 滚柱及梯形将受益于人形机器人爆发。设备与工艺为滚柱丝杠核心壁垒, 良率和效率是滚柱丝杠需突破的重点。目前滚柱丝杠市场空间不足 10 亿元, 我们预计 2030 年人形机器人新增需求 300 万台, 滚柱丝杠价格跌至 2000 元以下, 对应空间超 309 亿。3) **灵巧手:** 灵巧手要求具备运动能力、负载能力、控制能力、感知能力、耐用能力、轻量化等, 由驱动、传动、控制、感知四大模块构成。头部本体厂商选择全栈自研, 方案各异, 独立第三方集成商, 如因时机器人、强脑科技、傲意科技、灵心巧手、灵巧智能等进展较快; 此外零部件厂商延伸至整手集成, 如兆威机电、雷赛智能、帕西尼等, 同时兼售模组零部件。我们测算 2030 年人形机器人 300 万台+, 市场空间 907 亿元, 对应零部件市场空间较大的为触觉传感器、空心杯电机、齿轮、丝杆。4) **轻量化:** 轻量化可以解决当前人形机器人行业的几大痛点—续航、散热、零部件性能不达标、灵活度不足等, 主要分为结构轻量化及材料轻量化。在整机重量分布中, 关节模组占比较大, 结构件次之。因此谐波 PEEK 刚轮是减重首选, 滚柱丝杠采用 PEEK 减重效果突出, 无框电机核心是磁材选择和磁路设计。综合测算下, 百万台人形机器人(旋转&线性关节)中, PPS/改性 PEEK 市场空间分别为 1/20 亿元。

■ **中证机器人指数(指数代码: H30590.CSI, 以下简称“中证机器人”)** 反映机器人产业相关上市公司证券的整体表现。

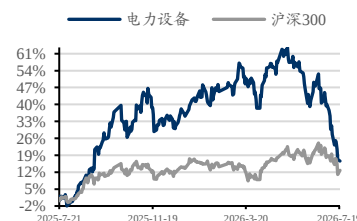
■ **中证机器人指数完整布局机器人产业链, 重点配置上游核心硬件, 同时覆盖中游系统集成、下游应用等多元方向。** 指数上游硬件权重占比为 64.93%, 中游系统集成权重占比为 30.13%, 两者合计权重达 95.06%; 其中执行器、伺服电机和设备权重分别为 18.99%、14.66%和 11.33%, 对机器人核心零部件国产替代、硬件升级及产业化进程具备较高敏感度。

■ **指数近三年表现整体优于国证机器人产业、国证机器人龙头等同类指数。** 截至 2026 年 7 月 3 日, 中证机器人指数近三年累计收益率为 36.91%, 年化收益率为 11.00%, 夏普比率为 0.34, 最大回撤为 -38.70%, 整体兼具较高收益弹性和较优风险收益表现。

■ **汇添富中证机器人交易型开放式指数证券投资基金(代码: 159213, 以下简称“汇添富中证机器人 ETF”)** 上市于 2025 年 4 月 21 日, 管理人为汇添富基金管理股份有限公司, 追踪指数为中证机器人指数。

■ **风险提示:** 宏观经济下行; 股市波动率上升; 金融监管力度抬升超预期。该基金属于股票型基金, 预期风险收益水平较高; 历史表现不代表未来。

行业走势



相关研究

《消费税不改储能锂电高景气, 电网设备稳健》

2026-07-19

《消费税影响有限, 排产旺盛趋势不改》

2026-07-18

内容目录

1. 机器人行业热点价值分析	6
1.1. 人形机器人：通用性打破工业及服务机器人的限制	6
1.1.1. 人形机器人最基本的特征是具有人类的外形特征和行动能力	6
1.1.2. 人形机器人的商业化路径：工业→商业→家庭，十万亿空间	8
1.2. Optimus 已具备量产前的四项关键条件，国内机器人产业关注出货、数据建设和资本化推进	9
1.2.1. 特斯拉机器人：算力底座升级、系统级设计冻结、供应链收敛、弗里蒙特改线，Optimus 已具备量产前的四项关键条件	9
1.2.2. 特斯拉机器人：长期空间判断未变，但短期表述已明显从愿景切换为围绕 SOP、设计冻结等口径	10
1.2.3. 特斯拉机器人：Fremont 先验证，Austin 承接规模化扩产	11
1.2.4. 国内机器人：“样机展示”切换到“量产与场景验证”	11
1.2.5. 国内机器人：关键词从“发布”切换到“交付”	12
1.2.6. 国内机器人：数据与真实场景成为下一轮竞争壁垒	13
1.2.7. 国内机器人：产品矩阵分层，行业进入“多路线并行”阶段	14
1.2.8. 零部件成本：动力总成系统>智能感应系统>结构件	15
1.3. 谐波减速器：差齿传动，持续进化	16
1.3.1. 设计、材料、工艺、设备造就谐波减速器高壁垒	16
1.3.2. 谐波需求：机器人提供增量，27 年开始爆发	17
1.3.3. 谐波供给：以日系厂商为主，国产厂商份额持续提升	18
1.4. 滚柱丝杠：让运动更丝滑，国产替代蓄势待发	20
1.4.1. 人形机器人将成丝杠新增放量市场	20
1.4.2. 设备与工艺为核心壁垒，良率和效率是关键	20
1.4.3. 丝杠需求：未来空间广阔，设备先行	21
1.4.4. 丝杠供给：当前外资为主，国产替代趋势明确	22
1.5. 灵巧手：灵巧之“手”，解锁人形机器人黄金赛道	22
1.5.1. 灵巧手打开人形机器人应用上限，快速迭代	22
1.5.2. 混合机械方案是趋势，兼具高自由度和承载力	24
1.5.3. 本体厂全栈自研，零部件提供整体解决方案	27
1.6. 轻量化：产业化前夕的进修课，应用为重	28
1.6.1. 轻量化：人形机器人量产前夕的进修课	28
1.6.2. 人形机器人轻量化：空间广阔，任重道远	30
1.6.3. 轻量化材料市场空间：综合测算下，PEEK 材料市场空间较大	32
2. 中证机器人指数：聚焦机器人产业链	33
2.1. 指数基本信息	33
2.2. 指数表现：近三年整体优于国证机器人产业、国证机器人龙头等可比指数	34
2.3. 指数流动性：成交活跃度维持较高水平	35
2.4. 市值分布：覆盖大中小盘，大盘股权重较大	36
2.5. 重仓机器人产业链上游核心硬件，覆盖中游系统集成、下游应用等多元方向	37
2.6. 相较于国证机器人产业、深证机器人 50 等同类指数，中证机器人指数营收增速持续改善	38
2.7. 估值水平：PE 和 PB 处于指数发布以来较高位置	39

2.8. 指数成分股：前十大权重股集中于机器人产业链上游核心硬件..... 39

3. 汇添富中证机器人 ETF：一键布局机器人产业链 41

3.1. 基金基本信息..... 41

3.2. 基金经理..... 41

4. 风险提示 42

图表目录

图 1:	工业机器人、服务机器人、人形机器人对比.....	6
图 2:	人形机器人三大构成部分.....	7
图 3:	人形机器人下肢动作.....	7
图 4:	手部抓取动作.....	7
图 5:	人形机器人应用市场进度.....	8
图 6:	人形机器人产量预测.....	9
图 7:	特斯拉人形机器人进展梳理.....	10
图 8:	特斯拉管理层对 Optimus 进展预期梳理.....	10
图 9:	特斯拉工厂建设节奏.....	11
图 10:	特斯拉全球产能布局.....	11
图 11:	特斯拉管理层对 Optimus 进展预期梳理.....	12
图 12:	国内人形机器人产业逻辑拐点变化.....	13
图 13:	国内人形机器人数据训练将是下一轮竞争的核心壁垒.....	13
图 14:	国内部分人形机器人企业产品梳理.....	14
图 15:	国内重点人形机器人企业资本化进展梳理.....	15
图 16:	人形机器人零部件构成.....	15
图 17:	人形机器人生产成本拆分.....	15
图 18:	人形机器人零部件需求预测.....	16
图 19:	谐波减速器 VS 行星减速器 VS RV 减速器.....	16
图 20:	谐波减速器关键性能及厂商差异.....	17
图 21:	谐波减速器需求测算.....	18
图 22:	2024 年全球谐波减速器市场格局（按销售额）.....	19
图 23:	全球谐波减速器供需格局梳理.....	19
图 24:	丝杠分类.....	20
图 25:	滚柱丝杠工作原理.....	20
图 26:	外螺纹加工示意图.....	21
图 27:	内螺纹生产技术分类.....	21
图 28:	人形机器人对应的滚柱丝杠及相关设备市场空间.....	21
图 29:	国内主要的滚柱丝杠参与者及特点.....	22
图 30:	灵巧手的性能要求.....	23
图 31:	灵巧手机械运动、感知系统、材料构成.....	23
图 32:	各类灵巧手传动方式特点.....	24
图 33:	各类齿轮传动特点.....	24
图 34:	各类丝杆传动特点.....	25
图 35:	腱绳传动优劣势.....	26
图 36:	各类腱绳材料对比.....	26
图 37:	灵巧手机械驱动和传动方案总结.....	26
图 38:	主要灵巧手公司技术方案对比.....	27
图 39:	大规模量产后，典型灵巧手方案成本测算.....	28
图 40:	灵巧手市场空间测算（只配套人形机器人）.....	28
图 41:	轻量化优势.....	29

图 42:	主流人形机器人历代产品性能对比.....	29
图 43:	轻量化路径.....	30
图 44:	人形机器人各部位重量分布测算.....	30
图 45:	关节模组各组件重量分布测算.....	30
图 46:	谐波减速器各零部件重量分布.....	31
图 47:	无框电机各零部件重量分布.....	31
图 48:	Peek 谐波减速器特点.....	31
图 49:	钕铁硼分类.....	32
图 50:	雷赛智能 FM2 系列无框电机.....	32
图 51:	人形机器人轻量化材料市场空间测算（亿元）.....	33
图 52:	指数净值走势.....	35
图 53:	指数流动性.....	36
图 54:	成分股流通市值权重分布（%，截至 2026-6-30）.....	37
图 55:	成分股流通市值数量分布（%，截至 2026-6-30）.....	37
图 56:	成分股行业权重分布（截至 2026-6-30）.....	38
图 57:	成分股行业数量分布（截至 2026-6-30）.....	38
图 58:	指数营收同比（%）.....	38
图 59:	指数 PE (TTM)与 PB (LF).....	39
表 1:	指数基本信息.....	34
表 2:	指数近三年收益.....	35
表 3:	指数前 10 大成分股（截至 2026-6-30）.....	40
表 4:	产品基本信息.....	41
表 5:	基金经理管理产品信息.....	42

1. 机器人行业热点价值分析

1.1. 人形机器人：通用性打破工业及服务机器人的限制

1.1.1. 人形机器人最基本的特征是具有人类的外形特征和行动能力

人形机器人相比工业机器人拥有更高级的感知交互系统，包括传感模块和软件方面（导航技术、智能决策等）。与服务机器人相比更需要保持平衡，普通服务机器人有底盘，用轮式驱动，不存在摔倒问题，人形机器人比服务机器人更高，靠双足行走，并需要适应不同的地面，每个关节受力更加复杂，对减速器负载和电机响应速度要求更高。

图1：工业机器人、服务机器人、人形机器人对比

	工业机器人	服务机器人	人形机器人
特点	1) 精度较服务机器人高 2) 通过执行明确的程序进行重复性工作	1) 精度相对较低 2) 形态多样，模仿人类能力	1) 仿真程度高，更接近人形 2) 具备较强的自主性，环境感知+人机交互要求高 3) 运动控制能力更强，关节对减速器和电机要求高 4) 多功能性，通用性更强
应用领域	代替人类执行危险任务，焊接、搬运、喷涂、装配、磨削等	主要协助人类工作，医疗、餐饮、酒店、物流等	应用领域更广，涵盖服务业和工业制造业
形态类型	单臂机器人、双臂机器人、移动机器人、固定机器人	人形机器人、车型机器人、无人机、智能家居	一般具有躯干、头部、两条手臂和两条腿
主要制造商	瑞典ABB、日本Fanuc、日本安川电机、德国库卡等	科沃斯、美国iRobot、海康等	特斯拉、本田、波士顿动力等
示意图			

数据来源：各公司官网，东吴证券研究所

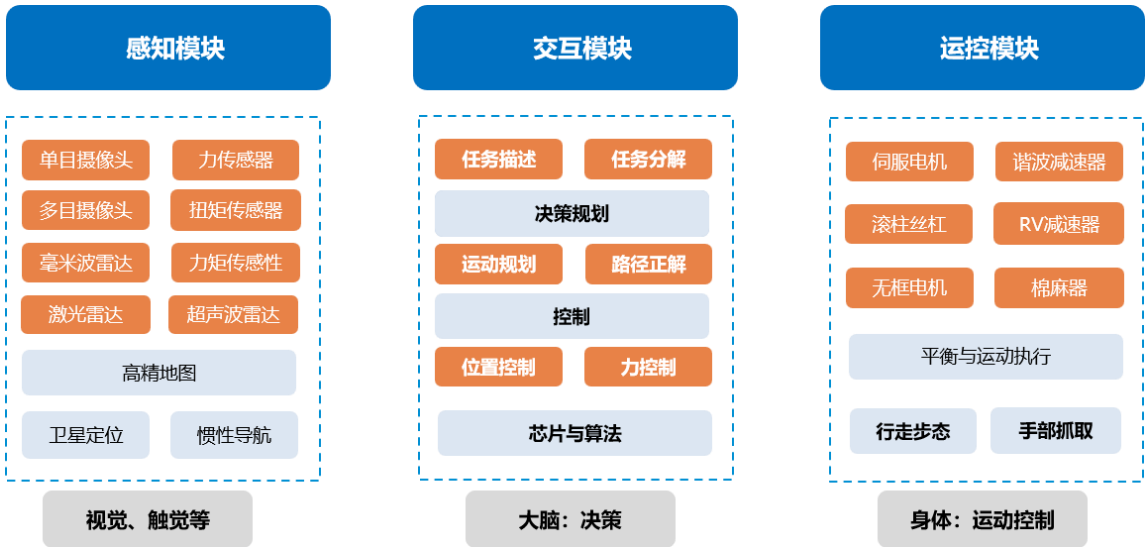
人形机器人构成：三大模块，软件与硬件交互。

感知模块：包括两方面视觉和触觉，视觉有纯视觉路线，也有依靠雷达等多方式融合路线，以便躲避障碍、规划路线；触觉主要通过传感器判断物体的重量、特性等，以便更好实行动作控制。

决策模块：是机器人的大脑，核心是芯片与算法，为输入的任务进行分解、制定最佳决策规划，并根据感知和运控模块的反馈，实时调整；同时可利用大模型不断训练和迭代算法。

运控模块：机器人的身体，根据指令，对关节的控制是核心，包括角度、力、速度等控制，难点是保持动态平衡、行走跳跃奔跑、手部抓取等，电驱动方式下主要由电机、减速器、丝杠、编码器等构成。

图2：人形机器人三大构成部分



数据来源：BFT 机器人，东吴证券研究所

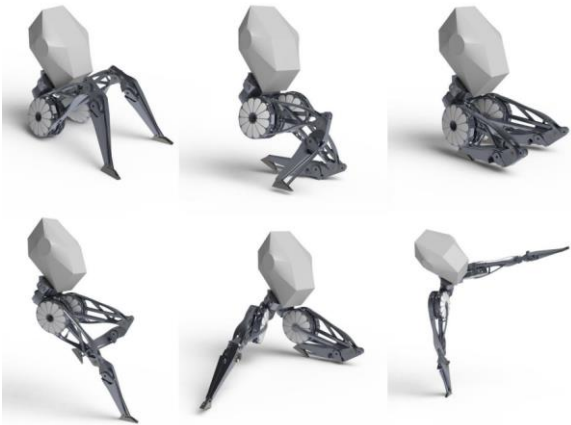
人形机器人难点：软硬件均存在难点，降本与空间不是问题

硬件：灵敏度与承压能力的协调，关节能力不能匹配运动规划。下肢要求保持灵敏的同时，可承受奔跑跳跃的重压，这对关节要求高；手要求具备极高灵敏度，以便完成精细化工作。同时，全身关节需快速、准确执行运动规划。

软件：算法是核心，需不断的训练与迭代。需准确的拆解任务、训练不同任务的运动规划（行走与抓取），实时反馈视觉检测与理解，并对运动规划做调整。

大规模降本路径清晰，应用场景不是问题：硬件供应链与汽车供应链部分重合，大规模量产可大幅降低高壁垒零部件价格，成本下降空间大。

图3：人形机器人下肢动作



数据来源：昊目智能，东吴证券研究所

图4：手部抓取动作

Power				Intermediate		Precision	

数据来源：昊目智能，东吴证券研究所

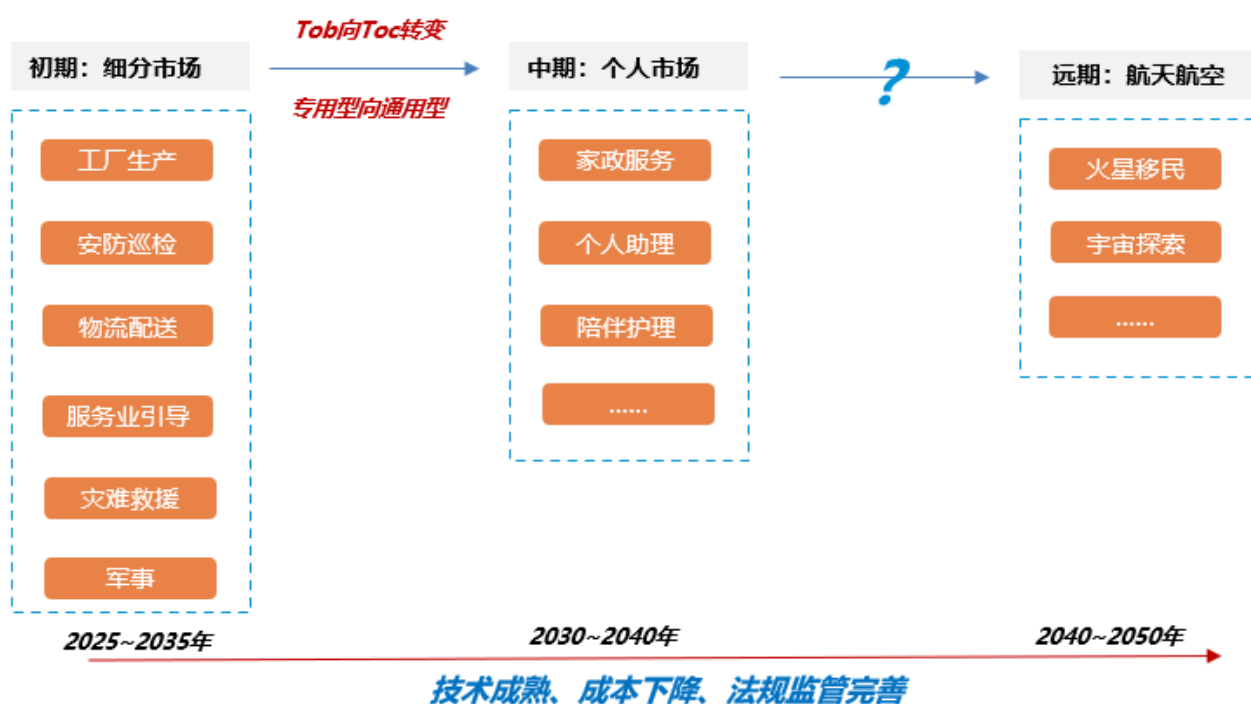
1.1.2. 人形机器人的商业化路径：工业→商业→家庭，十万亿空间

市场空间：供给创造需求，远期亿台可期。按照制造业和服务业从业人员 20% 机器人渗透率，6 年更换，toC 端需求类比汽车需求，全球机器人空间接近 1.5 亿台，对应 15-20 万亿市场空间，高于汽车市场。

落地场景：先工业、商业，再到 TOC 端放量，25 年工业端小批量落地，27-28 年大规模，30-35 年 TOC 端爆发。机器人通用性为瓶颈，类比智驾从 L1-L5 迭代，当前处于 L2 级别，L2-L3 都将在工业和商业领域应用，从搬运、分拣最简单的工种逐步升级，当智能化达到 L4 级别，将在 TOC 端大规模放量。

一个好的机器人可以不是最终“完美的”机器人：参照自动驾驶，从 L1-L3 是经历 5 年以上迭代的，并且完全自动驾驶 L5 也仍需时间。我们认为人形机器人的成熟也是渐进式，可在细分市场的率先商业化，如工厂生产、安防巡检、物流配送、服务业引导、救援、军事等，初期功能单一，后逐步成熟转为通用型机器人，由 toB 转为 toC，进入家政等市场。更远期，人形机器人有望应用于航天航空领域，切合 Musk 火星移民构想。

图5：人形机器人应用市场进度



数据来源：特斯拉，东吴证券研究所

25 年量产元年，国内外共振，27-28 年工业场景放量，30-35 年 Toc 端放量可期。特斯拉最新量产计划为：25 年底投产几千台且自用于收集数据和模型训练；26 年中发

布 toB 端量产机型，29-2030 年有望达到 100 万台。海外 FigureAI 和 1X 跟进，25 年均 1000 台目标。国内智元机器人和宇树科技引领，其次优必选、乐聚智能、开普勒、银河通用、星动纪元等均制定千台量产目标。2025 年国内外机器人产量超过 2 万台，我们预计 27-28 年呈指数级增长。

图6：人形机器人产量预测

海外	2025	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	远期
海外人形机器人产量 (万台)	1.11	6	33	66	118	171	1,754
-同比		427%	464%	100%	79%	45%	30%
特斯拉	0.5	3	20	40	70	100	1,000
Figure AI	0.1	1	5	8	15	20	300
Agility	0.1	0.5	1	3	6	10	80
Appttronik	0.05	0.1	0.5	2	4	6	24
Sanctuary AI	0.05	0.2	1	3	5	7	50
波士顿动力	0.01	0.05	0.5	1	3	7	30
1X	0.1	0.5	2	3	7	10	200
Neura Robotics	0.1	0.5	1	2	3	5	20
其他	0.1	0.5	2	4	5	6	50
国内人形机器人产量 (万台)	1	4	17	34	62	129	1,246
-同比		366%	310%	100%	82%	108%	16%
智元	0.35	1	5	10	20	40	500
宇树	0.5	1	5	10	15	30	200
优必选	0.15	0.5	1.5	3	5	10	100
乐聚	0.1	0.5	2	3	5	10	50
普渡	0.05	0.1	0.5	1	2	8	50
纵擎	0.1	0.2	0.5	1	2	8	50
银河通用	0.1	0.2	1	2	4	8	50
星动纪元	0.1	0.2	1	3	4	10	50
其他	0	0	1	2	3	5	140
全球人形机器人销量 (万台)	2	10	50	100	180	300	3,000
-同比		400%	400%	100%	80%	67%	88%

数据来源：各公司官网，东吴证券研究所

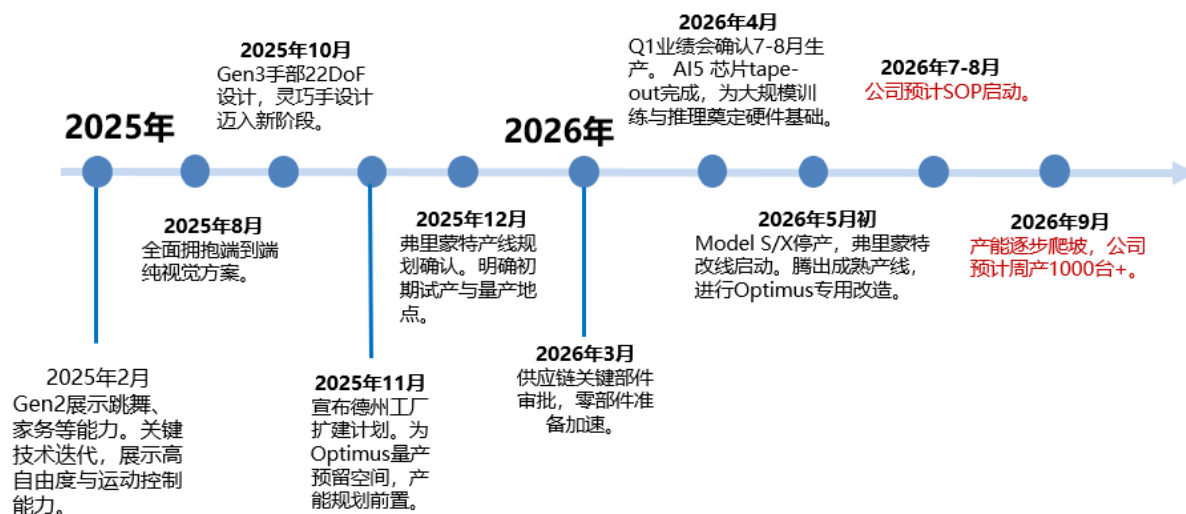
1.2. Optimus 已具备量产前的四项关键条件，国内机器人产业关注出货、数据建设和资本化推进

1.2.1. 特斯拉机器人：算力底座升级、系统级设计冻结、供应链收敛、弗里蒙特改线，Optimus 已具备量产前的四项关键条件

Optimus 已完成四项最关键的量产前置工作：1) AI5 芯片于 2026 年 4 月完成 tape-out，机器人与 FSD 共用的新一代算力底座开始成型；2) V3 设计基本定型；3) 供应链已由送样推进至 PPA、审厂、预生产环节；4) 弗里蒙特已完成 Model S/X 停产并转入机器人产线改造。

这四个条件同时具备的意义在于：Optimus 已真正进入制造导入阶段。26H2 真正值得跟踪的，不再是演示视频，而是产线是否开起来、周产是否能建立、供应链是否能从资格进入配额分配。

图7：特斯拉人形机器人进展梳理

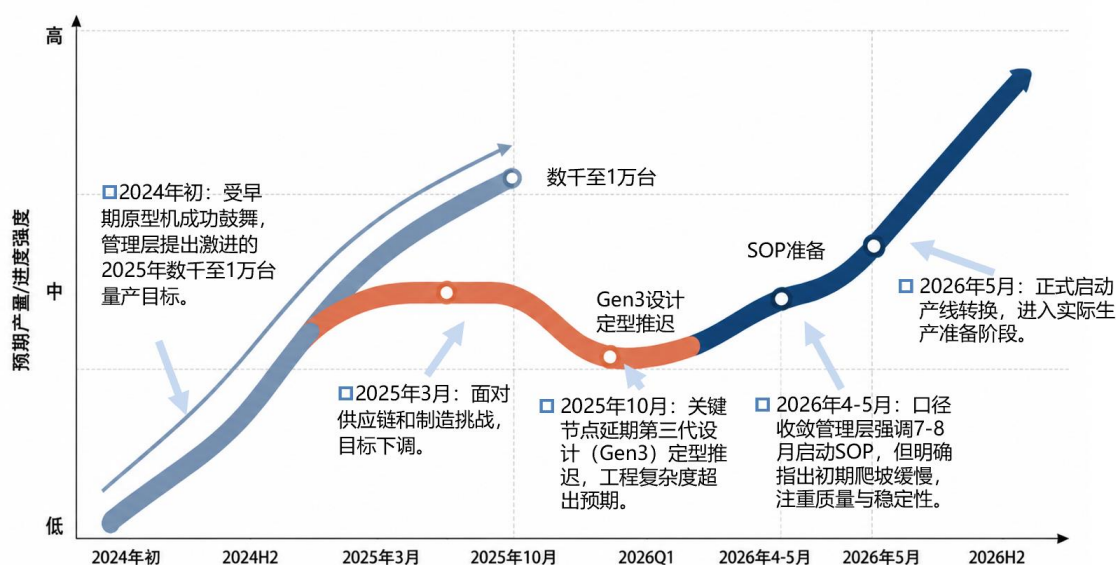


数据来源：公司官网，东吴证券研究所

1.2.2. 特斯拉机器人：长期空间判断未变，但短期表述已明显从愿景切换为围绕 SOP、设计冻结等口径

特斯拉管理层对 Optimus 长期空间的看法始终积极，核心判断仍然是其潜在市场远大于汽车业务。但从近两年口径变化看，特斯拉已经逐步收缩对短期产量和发布时间的前置承诺。当前更清晰的口径是：Gen3 设计定型的延迟是关键转折点，标志着对制造难度的重新评估 2026 年进入实质性兑现阶段，年中附近展示 Gen 3，7-8 月在弗里蒙特启动生产，但初期爬坡会很慢，项目已经接近真正需要被验证的阶段。

图8：特斯拉管理层对 Optimus 进展预期梳理



数据来源：公司官网，东吴证券研究所

2026H2 的核心意义在于，它第一次同时考验产品、制造和供应链：1）产品端，要看 Gen3 在设计冻结后的性能；2）制造端，要看弗里蒙特能否建立稳定节拍，量产爬坡是否顺利；3）供应链端，要看 PPA 和审厂之后，是否能形成连续批量供货，供应链产能建设是否顺利，产品良率是否随自动化不断提升。

2026H2 对市场的最大意义，不在于 Optimus 贡献了多少收入，而在于其是否完成了“可展示”向“可制造”的切换：一旦 Q3-Q4 顺利验证，商业化场景导入的可信度会显著提升，市场放量节奏或可大幅提前。

1.2.3. 特斯拉机器人：Fremont 先验证，Austin 承接规模化扩产

特斯拉的产能策略——先在 Fremont“验证”首代量产工艺，再由 Austin 承接中长期大规模生成：

整机产能：Fremont 负责 2026H2 的首代量产导入，Austin 已于 26 年 5 月动工，公司预计在 2027 年夏季投产，远期目标为年产能 1000 万台。Fremont 具备更成熟的整车制造组织与调试经验，因此适合承担首代机器人产线的试错任务，Austin 则在空间和长期扩展能力上更有优势，承接后续规模化复制。

供应链近岸化也在推进：泰国、墨西哥等区域配套，通过非中国大陆的零部件配套降低交付不确定性。

图9：特斯拉工厂建设节奏

工厂地址	节奏	目标
Fremont	26年5月产线转换，7-8月首代验证线SOP启动	跑通工艺、验证设计
Giga Texas	27年夏季启动SOP，28年进入规模化扩产阶段	实现大规模量产交付
泰国 墨西哥	持续配套支持	

数据来源：各公司公告，东吴证券研究所

图10：特斯拉全球产能布局



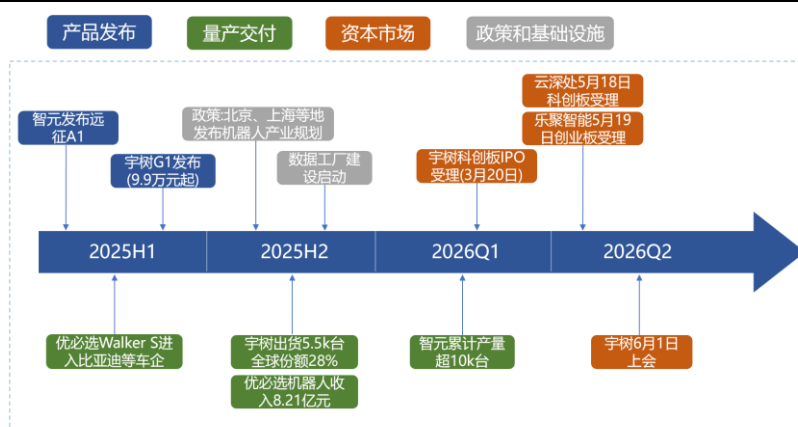
数据来源：各公司公告，东吴证券研究所

1.2.4. 国内机器人：“样机展示”切换到“量产与场景验证”

2026 年以来，国内人形机器人产业已从产品发布切换至出货、数据建设和资本化推进：

从头部企业动态看，行业已经明显分化出不同路线。宇树科技主打极致成本控制和高性价比平台化产品，持续推进灵巧手、自研关节和开源模型生态。优必选则更强调工业和商业场景落地，Walker 系列已部署至众多车企。智元机器人则突出工业场景验证，到 2026 年 3 月累计生产已超 1 万台。行业已从“集体秀视频”转向“各自找落地抓手”。车企背景公司更强调自家工厂导入和供应链协同，平台型公司更强调模型、开源和生态，工业派公司更强调真实工位验证，部分企业则深耕垂直场景。

图 11：特斯拉管理层对 Optimus 进展预期梳理



数据来源：公司官网，东吴证券研究所

1.2.5. 国内机器人：关键词从“发布”切换到“交付”

2026 年人形机器人行业竞争的关键词已经从“发布新品”切换为“稳定交付、场景运行和客户复购”：

2025 年行业更多比拼的是新品节奏、参数、动作展示与融资热度；而到了 2026 年，竞争重点已经切换成能否稳定交付、能否在工厂或半结构化场景中持续工作、能否形成可复制部署。这一变化背后，是行业从“证明技术方向成立”转向“证明商业模式成立”的拐点。

从应用看，最先落地的场景仍集中于制造、物流、巡检、接待等半结构化任务，因为这些场景需求刚性、ROI 相对可测、对极限智能要求较低，更适合量产初期验证。因此，后续市场真正应跟踪的指标是出货量、连续运行时长、成功率、客户复购和成本曲线。

图12：国内人形机器人产业逻辑拐点变化



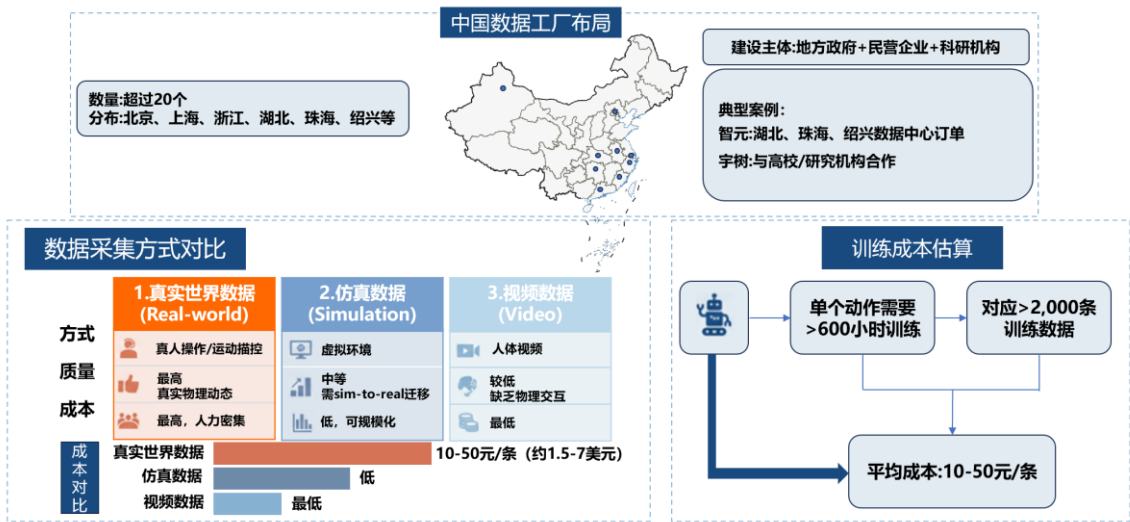
数据来源：各公司公告，东吴证券研究所

1.2.6. 国内机器人：数据与真实场景成为下一轮竞争壁垒

人形机器人下一阶段的竞争，不只是本体能力，而是“真实数据—模型训练—场景反馈”的闭环效率：

随着人形机器人逐步走出实验室，行业的壁垒正在从单一硬件能力向数据飞轮能力迁移。短期看，世界模型与 VLA 仍并存，技术路线尚未完全收敛，但行业共识已经形成：稀缺的真实机器人数据将成为下一阶段最关键的资产。这也是为什么越来越多企业开始布局工厂试点、开发者生态、数据采集中心和强化学习训练体系。谁能更快积累场景数据、清洗数据并反哺模型，谁就更可能在未来产品泛化和操作能力上形成领先。

图13：国内人形机器人数据训练将是下一轮竞争的核心壁垒



数据来源：各公司公告，东吴证券研究所

1.2.7. 国内机器人：产品矩阵分层，行业进入“多路线并行”阶段

当前行业并非沿单一路径竞争，而是在全尺寸人形、小尺寸研发平台、垂直场景机器人等多路线并行推进：

国内人形赛道正经历“全品类扩张”：宇树科技、智元机器人、优必选等头部公司年内陆续发布四足/轮式/小型双足/全尺寸双足新品，不断补齐形态与尺寸维度。多形态并行研发、平台化关节共用、供应链复用，使企业能以矩阵式产品快速切入工业、服务、教育等碎片化场景，抢占数据、订单与政策窗口——“单点爆款”时代结束，“全品类覆盖”正成为人形机器人竞逐的新基线。

图14：国内部分人形机器人企业产品梳理

企业	四足机器狗	轮式机器人	小型双足机器人	全尺寸双足机器人	补齐维度
宇树科技	原有	新增G1-D	原有G1/新增R1	新增H2	形态/尺寸
智元机器人	新增D1 Ultra	原有	新增灵犀X2	原有	形态/尺寸
优必选	-	新增Cruze S2	原有	原有WalkerS/新增Walker S2	形态/尺寸
乐聚	-	-	原有	原有	-
星动纪元	-	原有	-	新增L7	形态
逐际动力	原有	原有	-	新增LimX Oli	形态
魔法原子	新增MagicDog Y1	-	-	原有	形态
优里奇	-	原有	-	新增Martian	形态
零次方	-	原有	新增Zerith-Z1	-	形态
普渡科技	新增PUDU D5	原有	-	新增PUDU D9	形态

数据来源：各公司公告，东吴证券研究所

国内机器人：2026 年或为人形机器人主机厂 IPO 元年

2026H2 整机厂商集中进入 IPO 窗口期。从当前进度看，宇树科技处于第一梯队，6月1日已上会；云深处与乐聚智能已分别于5月18日、5月19日获科创板/创业板受理。与此同时，智元机器人、星海图、众擎机器人、银河通用、傅里叶、松延动力、智平方等企业均已完成股改，行业资本化进程已从个案变为趋势。

图15：国内重点人形机器人企业资本化进展梳理

企业	最新进展	申报板块	时间节点
宇树科技	已上会	科创板	3月20日受理，6月1日上会
云深处	已获受理	科创板	5月18日受理
乐聚智能	已获受理	创业板	5月19日受理
智元机器人	已完成股改	未披露	2026年已完成股改
星海图	已完成股改	未披露	2026年已完成股改
众擎机器人	已完成股改	未披露	2026年已完成股改
银河通用	已完成股改	未披露	2026年已完成股改
傅里叶	已完成股改	未披露	2026年已完成股改
松延动力	已完成股改	未披露	2026年已完成股改
智平方	已完成股改	未披露	2026年已完成股改

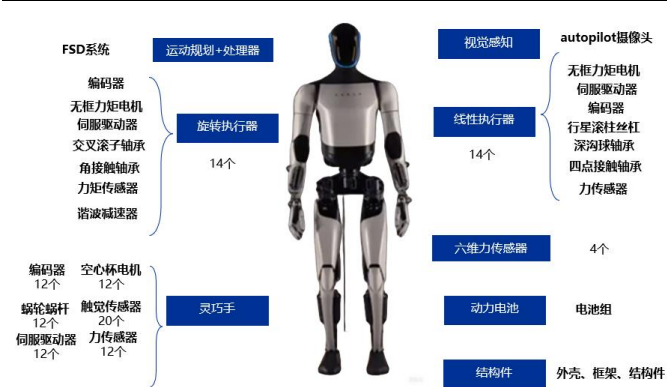
数据来源：各公司公告，东吴证券研究所测算

1.2.8. 零部件成本：动力总成系统>智能感应系统>结构件

人形机器人零部件可分为动力总成系统、智能感应系统、结构件及其他三大部分：

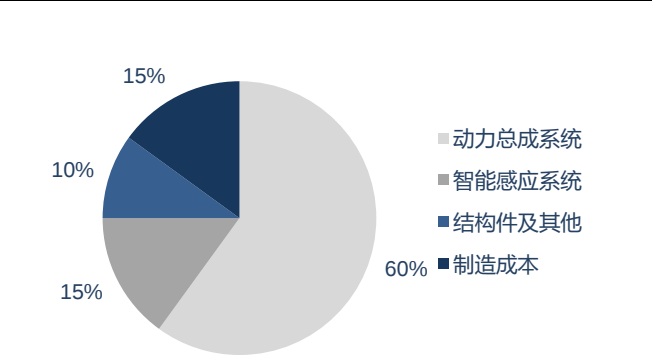
动力总成系统包括电池系统和各关节机电执行器（旋转执行器+直线执行器），核心零部件有无框力矩电机、谐波减速器、行星减速器、行星滚柱丝杠等，在人形机器人整体成本占比中占比约 60%；智能感知系统包括摄像头、传感器、芯片等，占比约 15%；结构件及其他占比 10%，制造成本占比 15%。

图16：人形机器人零部件构成



数据来源：特斯拉，东吴证券研究所

图17：人形机器人生产成本拆分



数据来源：东吴证券研究所测算

图18：人形机器人零部件需求预测

	2025	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	远期
全球机器人新增需求 (万台)	2	10	50	100	180	300	3,000
-单价 (元/套)	35	25	15	13	12	11	10
市场空间 (亿元)	70	250	750	1,300	2,160	3,300	30,000
旋转执行器需求量 (万套)	28	140	700	1,400	2,520	4,200	42,000
-单价 (元/套)	3,500	3,325	3,159	2,211	1,879	1,692	1,240
市场空间 (亿元)	10	47	221	310	474	710	5,208
直线执行器需求量 (万套)	18	90	450	900	1,620	2,700	27,000
-单价 (元/套)	13,000	12,350	8,645	6,052	4,539	3,858	2,671
市场空间 (亿元)	23	111	389	545	735	1,042	7,211
谐波减速器需求量 (万套)	28	140	700	1,400	2,520	4,200	42,000
-单价 (元/套)	1,200	1,080	1,026	718	575	546	422
市场空间 (亿元)	3	15	72	101	145	229	1,774
无框力矩电机需求量 (万套)	50	250	1,250	2,500	4,500	7,500	75,000
-单价 (元/套)	600	570	542	379	265	252	175
市场空间 (亿元)	3	14	68	95	119	189	1,309
行星滚柱丝杠需求量 (万套)	16	80	400	800	1,440	2,400	24,000
-单价 (元/套)	10,000	9,000	6,300	3,780	2,646	1,852	1,000
市场空间 (亿元)	16	72	252	302	381	445	2,400
梯形丝杠需求量 (万套)	12	60	300	600	1,080	1,800	18,000
-单价 (元/套)	1,000	950	903	632	505	480	200
市场空间 (亿元)	1	6	27	38	55	86	360
灵巧手 (万套)	4	20	100	200	360	600	6,000
-单价 (元/套)	30,000	28,500	27,075	18,953	15,162	14,404	9,972
市场空间 (亿元)	12	57	271	379	546	864	5,983
行星减速器需求量 (万套)	4	20	100	200	360	600	6,000
-单价 (元/套)	200	190	181	126	101	96	66
市场空间 (亿元)	0	0	2	3	4	6	40
六维力矩传感器需求量 (万套)	4	20	100	200	360	600	6,000
-单价 (元/套)	15,000	14,250	13,538	9,476	7,581	7,202	4,986
市场空间 (亿元)	6	29	135	190	273	432	2,992
电池需求量 (gwh)	0	0	1	2	4	8	122
-单价 (元/kwh)	1,000	950	903	857	815	774	599
市场空间 (亿元)	0	2	10	20	34	59	732

数据来源：各公司官网，东吴证券研究所

1.3. 谐波减速器：差齿传动，持续进化

1.3.1. 设计、材料、工艺、设备造就谐波减速器高壁垒

减速器是旋转执行器的核心部件，分为谐波减速器、行星减速器、RV 减速器，人形多使用前二者。减速器是一种机械传动装置，其主要功能是降低转速并增加扭矩。减速器可分为谐波减速器、行星减速器和 RV 减速器，其中人形机器人主要使用谐波减速器和行星减速器。其中，谐波减速器体积小、重量轻、精度高，但软轮抗冲能力差、寿命有限、成本较高。行星减速器虽精度有限，但承载力和抗冲击力好于谐波。

图19：谐波减速器 VS 行星减速器 VS RV 减速器



数据来源：绿的谐波招股说明书，哈默纳克官网、东吴证券研究所

谐波减速器关键性能指标为使用寿命、传动精度、传动效率、刚度、升温、噪声等。哈默纳科性能行业最优，使用寿命可达10年以上，传动平稳性高，噪音和震动较小，抗冲击能力强，而国内厂商多数使用寿命在2-3年，高温高转速下存在噪音、漏油等问题。哈默纳科在材料热处理、齿形设计(IH齿形专利)、精密加工、润滑技术等方面领先。

图20：谐波减速器关键性能及厂商差异

指标	哈默纳克	绿的谐波	二线厂商
常用减速比	高减速比：重载低速场景（关节机器人） 低减速比：告诉轻载场景	30:1~320:1	30:1~200:1 30:1~160:1
直径	小直径与大直径生产难度大	最小外直径6mm	最小外直径6-8mm 最小外直径8-10mm
传动精度	输出轴实际位置与理论的偏差，单位角分（arcmin）	≤1arcmin (高端可小于0.3)	1-3arcmin 3-5arcmin
传动效率	影响能耗与发热	80-90%	75-85% 70-80%
扭矩刚度	抵抗扭矩变形的能力，刚度越高，振动越小	10-50Nm/arcmin	8-40Nm/arcmin 5-30Nm/arcmin
回差	输入轴固定时，输出轴可自由旋转的角度，回差大，影响重复定位精度	≤1arcmin	≤3arcmin ≤5arcmin
寿命	额定负载下的寿命	1-2万小时 (高端更高)	0.8-1.5万小时 0.5-1万小时
温升	温升过高会影响润滑性能和寿命	≤30℃	≤40℃ ≤50℃
噪声	影响工作环境	≤60dB	≤65dB ≤70dB

数据来源：哈默纳克官网，绿的谐波官网，来福谐波官网，东吴证券研究所

谐波减速器具备较高的技术壁垒，核心难点在于材料制备、齿形设计和生产工艺。以生产工艺为例，齿形磨削工艺要求达到微米级。谐波减速器的加工精度高，误差需控制在1微米以内，多依赖于进口高精度设备，设备成本高昂，工艺需长期的经验积累；此外，谐波减速器的装配工艺复杂，其中柔轮和钢轮装配中无法完全自动化，还需根据总装技术要求进行精细调整和校正，新进入者难以在短时间内培养出足够经验丰富的技工。

1.3.2. 谐波需求：机器人提供增量，27年开始爆发

短期人形机器人谐波减速需求来自海外厂商，27年爆发，全球需求超600万台：特斯拉和Figure AI增长确定性高，且谐波单台用量高，而国内短期谐波单台用量我们预计3-4台。我们预计25/26年全球人形销量2/10万台，对应谐波需求16/93万套。而27年若人形机器人突破50万台，对应谐波需求500万台+，超过传统需求领域。

2030年全球人形销量300万台，单台人形谐波用量10台，对应谐波空间超2900

万台，远期若人形销量 3000 万台，对应谐波需求超过 3.2 亿台。

图21：谐波减速器需求测算

	2025	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	远期
特斯拉人形销量 (万台)	0.5	3	20	40	70	100	1000
-单台人形谐波减速器用量 (个)	14	13	13	12	11	10	10
Figure人形销量 (万台)	0.1	1	5	8	15	20	300
-单台人形谐波减速器用量 (个)	30	28	26	24	22	20	18
其他海外人形销量 (万台)	0.51	2	6	18	33	51	500
-单台人形谐波减速器用量 (个)	5	6	7	8	9	10	10
海外人形谐波减速器需求 (万台)	13	79	432	816	1397	1910	20400
国内人形机器人销量 (万台)	1	4	17	34	62	129	1246
-单台人形谐波减速器用量 (个)	3	3.5	5	6	7	8	10
国内人形谐波减速器需求 (万台)	3	14	85	204	434	1032	12460
全球人形销量 (万台)	2	10	50	100	180	300	3,000
-同增		400%	400%	100%	80%	67%	30%
-单台人形谐波减速器用量 (个)	7	9	10.8	10.5	10.3	10.1	10.8
全球人形谐波减速器需求 (万台)	16	93	517	1020	1831	2942	32860
同增		498%	456%	97%	80%	61%	30%
传统工业传统领域谐波需求 (万台)	225	247	269	290	313	337	430
-同增		10%	9%	8%	8%	8%	5%
合计谐波减速器需求 (万台)	241	340	786	1310	2144	3279	33290
同增		41%	131%	67%	64%	53%	28%

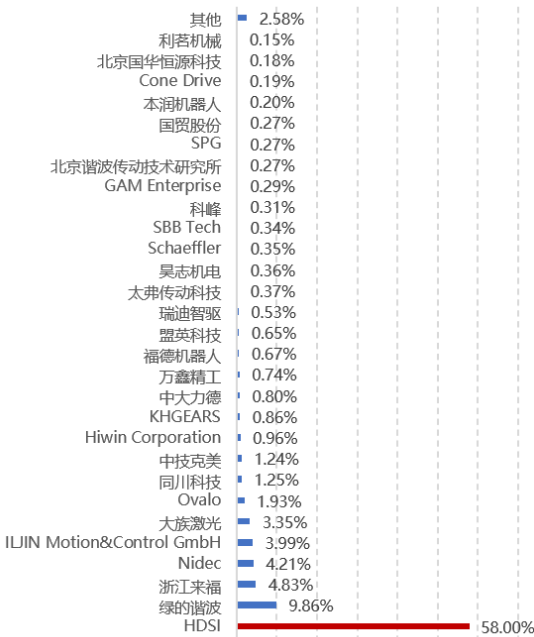
数据来源：东吴证券研究所测算

1.3.3. 谐波供给：以日系厂商为主，国产厂商份额持续提升

哈默纳克仍占据全球市场 50%+份额。根据 QYResearch 统计，2024 年哈默纳克谐波销售额占全球份额 58%，出货量占比 40-50%；其次为中国绿的谐波和来福谐波，分别占 10%和 5%，日本 Nidec 和韩国 ILJIN 以 4%份额紧随其后，另外国内的大族激光和同川科技份额分别达到 3.4%和 1.3%，其余超 20 家厂商规模较小。

国产替代进程加速，国内厂商份额明显提升。日本企业哈默纳克、日本新宝两家合计在中国市占率由 2018 年的 61%下降到 2023 年的 45%。目前，哈默纳克仍是我国谐波减速器市场龙头企业，2023 年市场份额为 38.7%；本土企业绿的谐波排名第二，约为 14.5%。而同川科技、来福谐波、大族激光等份额明显提升。

图22：2024 年全球谐波减速器市场格局（按销售额）

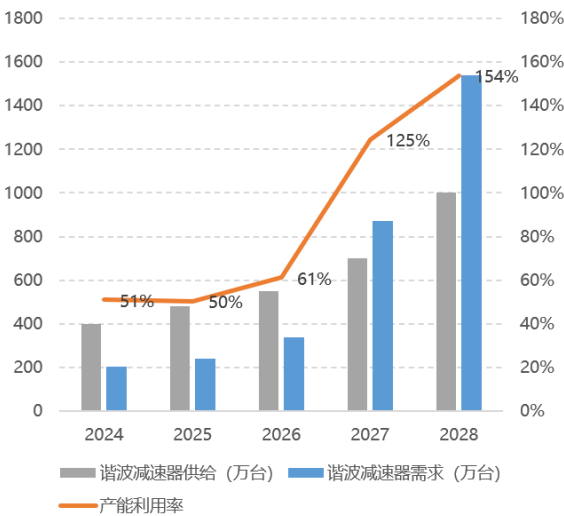


数据来源：QYResearch，东吴证券研究所测算

25 年全球谐波有效产能 450-500 万台，产能利用率 50%。其中哈默纳克 220 万台左右，绿的谐波 50 万台，行业需求约 240 万台，总体产能利用率 50%，仍较低。因此短期扩产更多集中于小厂商及新进入者，单一扩产规模为 5-10 万台，未来两年产能扩张稳健。

我们预计 2027 谐波供需格局扭转，或出现供给紧缺。2027 年若人形机器人销量突破 50 万辆，则对应全球谐波减速器需求近 900 万台，而龙头 HD 扩产缓慢，总体供给我们预计 700 万台，行业或出现供给紧缺。

图23：全球谐波减速器供需格局梳理



数据来源：各公司公告，东吴证券研究所测算

1.4. 滚柱丝杠：让运动更丝滑，国产替代蓄势待发

1.4.1. 人形机器人将成丝杠新增放量市场

丝杠是一种常见的机械传动运动，用于将旋转运动转为直线运动。可以分为滑动丝杠（多为梯形丝杠）、滚珠丝杠、行星滚柱丝杠、静压丝杠。

人形机器人为丝杠新增放量点。梯形丝杠和滚珠丝杠在机械机床领域已成熟应用，行星滚柱丝杠目前仅在航空等高端领域应用。特斯拉的人形机器人使用 14 个线性关节，而国内大部分人形机器人采用电流环方案，无需使用丝杠。

滚柱丝杠：性能更优，但加工难成本高，空间待开发

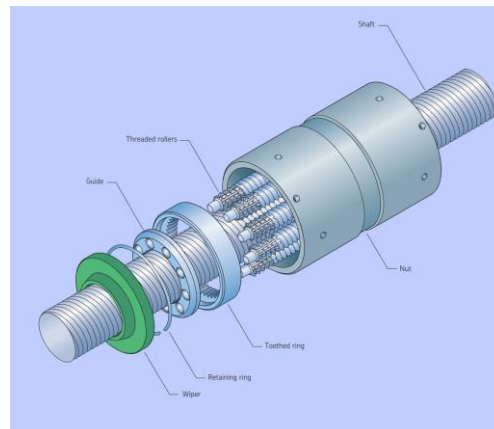
行星滚柱丝杠是线接触的滚动运动，具备滚珠优势，同时承载力更强、寿命长、体积小。行星滚柱丝杠由主丝杆，6-12 根滚柱，螺母，轴承盖和齿套筒组成，与滚珠丝杠的结构相似，区别在于其载荷传递元件为螺纹滚柱，是线接触；而滚珠丝杠载荷传递元件为滚珠，是点接触。滚柱替代滚珠将使负载通过众多接触点迅速释放，从而能有更高载荷和抗冲能力，同规格的滚珠丝杠的载荷是滚珠的 3 倍，寿命是滚珠的 15 倍，同载荷情况下，体积是滚珠的 1/3。

图24：丝杠分类



数据来源：CSDN，东吴证券研究所

图25：滚柱丝杠工作原理



数据来源：CSDN，东吴证券研究所

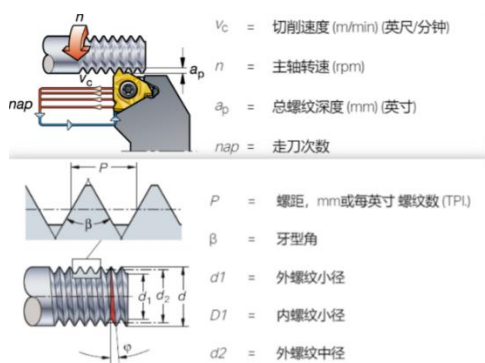
1.4.2. 设备与工艺为核心壁垒，良率和效率是关键

滚柱丝杠评估指标众多，人形机器人中看重高精度、负载大、结构紧凑等性能。在滚柱丝杠选型时，重点关注几个指标精度等级（丝杠旋转一周后，定位精度误差的最大值，一般选 300mm 螺纹长度测量导程误差）、效率（各种接触界面处耗散的热功率，影响电机扭矩计算）、速度（转速）、负载、额定寿命、刚度等。这与丝杠的直径、导程、螺母设计（单螺母看轴向间隙、预紧螺母看预紧力）、工艺等有关。

精磨对滚柱丝杠的精度起到绝对性影响，包括螺纹的螺距误差、螺纹的牙形误差等，是丝杠生产的最核心环节，对设备依赖度和工艺要求高，需要 knowhow 积累：

1) 螺母内螺纹：反式行星滚柱丝杠螺母长度长，其内滚道的内螺纹加工难度极大，需使用高精度的内螺纹磨床。2) 丝杆和滚柱：为提高精度，丝杆与滚柱通常也使用精磨方式加工螺纹，除了控制螺纹精度，对滚柱的一致性控制同样影响最终产品的精度。

图26：外螺纹加工示意图



数据来源：上海惠腾，东吴证券研究所

图27：内螺纹生产技术分类

类型	特点
攻丝	初始投资低，连续切削工艺，工件材料由顺序排列的切削刀依次切除，通过一次走刀即可获得最终螺纹尺寸，精度低。
车削	在多轴机床或车床上，用可转位刀片或整体式小型镗刀车削螺纹，精度低
铣削	螺纹铣刀采用螺旋插补方式来切削内螺纹，加工过程中需补偿调整
磨削	通常需要在专用磨床上进行
挤压成形	通过转移工件材料，挤压成形丝锥可以加工深度达4倍直径的内螺纹，强度高

数据来源：上海惠腾，东吴证券研究所

1.4.3. 丝杠需求：未来空间广阔，设备先行

滚柱丝杠 2030 年市场空间 445 亿：考虑降价影响，2025 年单个滚柱丝杠价格约 1 万元；我们预计 2030 年人形机器人生产数百万台后，单个滚柱丝杠价格将降至 2000 元以下，对应市场空间 445 亿。

设备 2030 年市场空间 309 亿：考虑未来设备国产化降本，我们预计 25 年单套设备投资超 1500 万元，2030 年将降至 1000 万以内，且目前生产效率低，平均一天为 2 套，2030 年将提升至每天 6 套，对应 2030 年设备的市场空间 309 亿，其中磨床占比 60%。

图28：人形机器人对应的滚柱丝杠及相关设备市场空间

	2025	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	远期
全球机器人新增需求 (万台)	2	10	50	100	180	300	3000
-单价 (万/台)	35	25	15	13	12	11	10
市场空间 (亿元)	70	250	750	1300	2160	3300	30000
行星滚柱丝杠需求量 (万套)	16	80	400	800	1440	2400	24000
-单价 (元/套)	10000	9000	6300	3780	2646	1853	1000
市场空间 (亿元)	16	72	252	302	381	445	2400
梯形丝杠需求量 (万套)	12	60	300	600	1080	1800	18000
-单价 (元/套)	1000	950	903	632	505	480	200
市场空间 (亿元)	1	6	27	38	55	86	360
新增滚柱丝杠需求量 (万套)	16	64	320	400	640	960	21600
单套设备生产效率 (套/天)	2	2	2	3	4	6	10
单套设备投资额 (万)	1600	1440	1296	1037	829	705	478
新增设备需求金额 (亿)	35	91	568	379	363	309	2828
-磨床	21	55	341	227	218	185	1697
-车铣及其他	14	36	227	152	145	124	1131

数据来源：Wind，东吴证券研究所

1.4.4. 丝杠供给：当前外资为主，国产替代趋势明确

德国 Schaeffler 集团多次收购竞争对手、几乎垄断滚柱丝杠市场：以舍弗勒控股的瑞士 GSA 为例，在欧洲市场滚柱丝杠份额第一，且聚焦高端市场；舍弗勒基本垄断中低端滚珠丝杠市场。规模第四的厂商为意大利 VCS（2007 年被美国 MOOG 集团收购）。其余厂商如美国 CMC、Exlar，日本的 THK、NSK 等均未形成大规模。

国内厂商加大滚柱丝杠研发与布局，看好拥有精磨设备的厂商。滚柱丝杠作为线性执行器最重要的零部件，壁垒高、价值量大，随着人形机器人产业兴起，国内厂商加速布局。主要有三类厂商，一是滚珠丝杠厂商延伸，二是购买精磨设备的新厂商，三是代工组装方式。滚珠丝杠厂商如秦川机床、新剑传动，有一定的技术同源性，但技术待提升空间也较大；已购精磨设备新厂商，如贝斯特、恒立液压，其优势在于拥有进口的高精度精磨设备，但由于新进入，经验积累有限，因此进度相对较慢。

图29：国内主要的滚柱丝杠参与者及特点

公司	介绍
有滚珠丝杠技术积累厂商	新剑传动 22年3月公司行星滚柱丝杠电动缸产线系列产品批量生产，已建成 350 万套的批量化生产能力，下游为汽车行业、人形机器人、工程机械等，22年形成收入0.2亿。公司目前与国内执行器集成商和终端均有接触。
	秦川机床 1) 子公司汉川机床可生产精度为2-3级别的滚珠丝杠，下游应用领域为汽车、机床。公司现有滚珠丝杠产能达10万件，主要应用于电动车领域，计划投资2亿，再扩产28万件。 2) 公司拥有螺纹磨床生产能力，可提供设备。
拥有高精度进口磨床厂商	贝斯特 公司已投资3.5亿进口高精度机床设备，用于生产应用于工业母机的高端滚珠丝杠，23H2设备已陆续到位。同时公司已完成滚柱丝杠产品研发，并送样。
	恒立液压 公司拟投资15亿建设滚珠丝杠，并采用进口的高精度机床设备，24年设备将陆续到位，主要用于生产高端滚珠丝杠。
锁定潜在大客户	北特科技 公司主业为汽车零部件，已完成行星滚柱丝杠配件研发及送样。由于公司缺乏进口高精度磨床，故预计部分环节需代加工完成。
	五洲新春 公司主要配合滚柱丝杠厂商做前道粗加工。

数据来源：公司官网，东吴证券研究所

1.5. 灵巧手：灵巧之“手”，解锁人形机器人黄金赛道

1.5.1. 灵巧手打开人形机器人应用上限，快速迭代

人形机器人优势在于通用性，而灵巧手作为机器人的末端执行器，很大程度上决定了机器人的精细操作与执行复杂任务的能力，是人形机器人替代人类工作的关键部件。从远期角度看，我们预计灵巧手占人形全成本比重 20%-30%，仅次于身体执行，是最重要的硬件。同时，灵巧手在精细操作和执行任务的同时，收集数据，训练大脑，手脑协同，加速具身智能。

不同场景对灵巧手方案要求不同：如工业搬运场景，自由度要求低，但负载和握力要求高，而家庭场景反之。

从性能角度看，灵巧手需要满足几方面的性能：运动能力、负载能力、控制能力、感知能力、耐用能力、轻量化等。运动能力主要指标为自由度和运动速度，自由度越高越灵活，目前灵巧手自由度从 6-24 自由度均有。

控制能力看中操作的精度和稳定性，感知能力看中其触觉分辨率、力觉感知等，耐用性看中抓握寿命，另外灵巧手还看中体积和质量，需要做到轻巧，同时材料选择上同样关键。

图30：灵巧手的性能要求

性能	运动能力	负载能力	控制能力	感知能力	其他
衡量指标	1) 自由度 2) 活动范围 3) 运动速度	1) 单手最大负载	1) 精度 2) 稳定性 3) 响应速度	1) 触觉分辨率 2) 力觉精度 3) 测量精度 4) 泛化性	1) 耐用能力 2) 轻量化
特点	1) 自由度：15自由度以上为高自由度，自由度越高越灵活 2) 运动速度：决定效率	1) 可抓取和操作物体的最大重量及抵抗外部干扰的能力。 2) 目前普遍为15kg	1) 精确地控制到目标位置、姿态和力度等的能力 2) 操作过程保持稳定，且根据环境等进行调整	1) 可精确感知物体的特征、材质等 2) 精确控制施加在物体上的力 3) 精确控制灵巧手的运动和姿态 4) 对不同物体的适应性	1) 抓握寿命，目前水平为100万次 2) 手体积和质量要精巧，单手重量目前400-600g

数据来源：Shadow Robot 官网，东吴证券研究所

灵巧手核心为机械设计和结构设计，各家方案不一，可分为结构形式、驱动方式、传动方式、感知方式和材料等多方面。厂商灵巧手设计采用多种融合方式。

驱动和传动为最核心设计，按照自由度与驱动源数量关系可以分为直驱和欠驱，绝大部分采用电机驱动（空心杯、无刷有齿槽）。传动方式种类多样，包括腱绳传动、蜗轮蜗杆、连杆、齿轮、微型丝杆等。此外触觉材料决定手部的感知能力，结构形式和使用材料影响体积、质量和寿命等。

图31：灵巧手机械运动、感知系统、材料构成



数据来源：Shadow Robot 官网，Robotics and Computer-Integrated Manufacturing，东吴证券研究所

1.5.2. 混合机械方案是趋势，兼具高自由度和承载力

传动方案的类型多样，各有优劣势。传动系统是将电机的运动转化为手指关节运动的机构，要求微型化、高扭矩密度、长寿命、抗冲击力强。常见的传动方式包括丝杆、齿轮、连杆、腱绳、蜗轮蜗杆等。其中齿轮用于旋转运动；丝杆、蜗轮蜗杆用于直线运动；连杆和腱绳用于联动。各类传动方式各有优缺点，综合性能是齿轮+丝杆商业化进度更快，产业方向是混合传动、AI 驱动设计（根据灵巧手实际操作，实时动态补偿控制）。

图32：各类灵巧手传动方式特点

类型	齿轮	丝杆	连杆	腱绳	蜗轮蜗杆
原理	通过齿轮组传递动力，放大或减速扭矩	通过电机驱动丝杆旋转，螺母沿丝杆轴向移动，将旋转运动转换为直线运动，再通过连杆或铰链驱动关节弯曲。	通过刚性连杆和铰链将电机运动传递至关节	模仿生物肌腱，通过电机收紧或放松绳索驱动关节弯曲。	通过蜗杆驱动涡轮，实现大减速比和自锁
类型	行星齿轮、谐波齿轮	滚珠丝杆、滚柱丝杆、滑动丝杆		钢丝绳、高分子材料绳	
优势	1) 高效率：传动效率90%-98%。 2) 高扭矩密度：谐波齿轮扭矩放大比可达100:1。 3) 紧凑结构	1) 高精度：微米级定位（±0.01mm）。 2) 高负载：推力可达数百牛（如工业夹爪）。 3) 自锁性：断电后保持位置（无需持续耗电）。	1) 结构简单：无滑动摩擦，可靠性高。 2) 运动轨迹可控：通过几何设计实现复杂动作。 3) 高刚性：适合高速、高冲击场景。	1) 高灵活性，多自由度协同控制。 2) 轻量化，无刚性传动部件，重量减轻30%-50%。 3) 柔顺性，天然缓冲，适合抓取脆弱物体。	1) 自锁性 2) 高减速比 3) 低噪音
缺点	1) 齿轮间隙导致回差 2) 噪声大	1) 速度慢 2) 体积大 3) 摩擦损耗大	1) 自由度受限 2) 体积较大，难以微型化 3) 动作响应慢	1) 绳索磨损快，寿命较短 2) 控制复杂（需张力传感器） 3) 负载能力弱（通常 < 5kg）	1) 效率低（30-50%） 2) 发热严重 3) 体积大
精度	高	极高	中	中	低
负载	极高	高	中	低	中
响应速度	中	中	低	快	低
寿命	长（需维护）	长（2wh）	极长	短	中（5k h）
成本	行星减速器价格<100元/个 谐波减速器价格500-2000元/个	滚珠丝杆价格<200元/个 滚柱丝杆价格>2000元/个	价格<100元/个		
技术方向	轻量化、免维护	微型化、低摩擦、高集成化	拓扑优化、柔性连杆	抗磨损材料、智能控制	集成散热

数据来源：Festo 仿生手白皮书，东吴证券研究所

齿轮传动：旋转运动，行星适用高负载，谐波适用高精度。齿轮传动包括行星减速器、谐波减速器、斜齿轮、直齿轮。行星减速器具备高扭矩容量，且寿命时间长，更适合用于高负载灵巧手，且性价比高，生产厂商众多，应用更广泛。谐波减速器较行星减速器，具备高减速比、高精度、体积小的优点，适合用于高精度灵巧手，但目前微型谐波价格高，单个 1k 元以上，小尺寸制造难度大。

图33：各类齿轮传动特点

类型	行星减速器	谐波减速器	直齿轮	斜齿轮
减速比	3:1 - 100:1（多级可达更高，但体积变大）	50:1 - 160:1（单级）	1:1 - 10:1（单级）	1:1 - 20:1（单级）
传动精度	背隙 1-5 arcmin（中高精度）	背隙 0-1 arcmin（零回差）	背隙 5-15 arcmin（低精度）	背隙 3-10 arcmin（中低精度）
扭矩密度	高（50-200 Nm）	中（10-50 Nm）	低（5-30 Nm）	中（20-80 Nm）
寿命	长（10,000-20,000h）	中（8,000-15,000h）	长（15,000-30,000h）	长（15,000-25,000h）
重量/体积	大（直径30-60mm，重100-500g）	小（直径20-40mm，重50-200g）	小（直径10-30mm，重20-100g）	中（直径20-50mm，重50-200g）
噪音	中（50-60dB）	低（40-50dB，柔轮弹性缓冲）	高（60-70dB）	中（50-60dB）
效率	90%-97%	70%-90%	95%-98%	90%-95%
成本	中	高	低	中低
抗冲击性	强（多齿啮合分摊负载）	弱（柔轮易疲劳）	强（刚性结构）	中（齿面倾斜抗冲击略优）
应用	高负载灵巧手	高精度灵巧手	低成本项目	家电、轻型机械臂

数据来源：Festo 仿生手白皮书，深圳银创新兴产业智库，东吴证券研究所

丝杆传动：直线运动，滚珠是主流，滚柱适用于高负载场景。丝杆传动优势在于精度高、自锁性和较高负载，主要分为滚珠丝杆、滚柱丝杆和滑动丝杠。滚珠丝杆精度高、结构紧凑、速度快，直径 4-6mm，大规模量产售后售价 50-300 元/个，在高精度灵巧手中更适合使用。滚柱丝杆优势在于负载能力极高，但目前微型化较难，最小 5.5mm，且价格贵，尚未大规模使用。滑动丝杆精度低、传动效率低，但是成本低，适合用于低端领域。

图34：各类丝杆传动特点

类型	滚珠丝杆	滚柱丝杆	滑动丝杆
原理	通过滚珠在丝杆与螺母间循环滚动，将旋转运动转化为之直线运动	通过滚柱（螺纹滚子）与丝杆啮合传动，接触面积大，承载力更高	通过螺纹副直接滑动摩擦传动，结构简单
精度	±0.01mm（高精度研磨）	±0.02mm	±0.1-0.5mm
负载能力	中高（动态负载50-500N）	极高（动态负载500-5000N）	低（动态负载10-1001N）
速度	快（线速度可达1-2m/s）	中（线速度0.5-1m/s）	慢（线速度<0.5m/s）
体积	紧凑，直径4-20mm	难度大，最小螺母直径5.5mm	小，直径5-30mm
噪音	低	中	高
效率	90-95%	85-90%	30-50%
成本	低端50-300元，高端1k-2k	1k-10k	低端<50元，高端<200元
寿命	2-5万h	5-10万h	0.5-1万h
应用	高精度灵巧手	高负载灵巧手	低端领域

数据来源：Festo 仿生手白皮书，深圳银创新兴产业智库，东吴证券研究所

腱绳传动：最具灵活性，但维护成本高，仍需新的材料开发。

通过电机收紧或放松绳索驱动关节弯曲，模仿生物肌腱，最大的优势在于灵活性，可大幅提高自由度。但最大问题在于腱绳长期使用易蠕变，需频繁校准预紧力，维护成本高，且平均寿命低，粉尘、高温等加剧损耗，同时布线难度大、算法要求高。

腱绳材料，包括金属类材料（304 不锈钢丝绳、钛合金丝绳等）和高分子材料（超高分子量聚乙烯、芳纶纤维、PBO 等）。高分子材料重量轻、可弯曲，金属腱绳负载高、寿命长，各有优劣势。普通腱绳成本低，按照 20 个自由度，考虑冗余设计，单手用量我们预计为 5m，对应单手价值量<500 元。但腱绳日常维护成本高，实时预紧力校准、替换绳索等。

图35：腱绳传动优劣势

	优势	劣势	技术基本方向
灵活性	自由度高达20个+	腱绳耦合导致运动干扰	
负载		理论5-10N	1) 力传感器+算法校准, 提高精度
精度		易蠕变导致精度下降	2) 开发新型材料, 提高寿命, 降低蠕变
响应速度		存在延迟	3) 集成化、热管
成本	初始成本低	维持成本高(日理常校准+寿命短需更换)	

数据来源: Festo 仿生手白皮书, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 东吴证券研究所

图36：各类腱绳材料对比

	直径 mm	抗拉强度 Mpa	伸长率 %	疲劳寿命 (万次)	价格 (元/米)
304不锈钢 钢丝绳	0.1-0.5	1500-1800	<1	50-100	5-15
钛合金钢丝绳	0.08-0.3	1200-1500	0.5-1	200+	80-150
超高分子量 聚乙烯	0.2-0.6	2700-3500	2-3	10-20	30-60
芳纶纤维	0.3-0.8	2800-3200	1.5-2.5	5-8	40-80
PBO	0.1-0.4	5800-6200	1.8-2.2	3-5	200-600

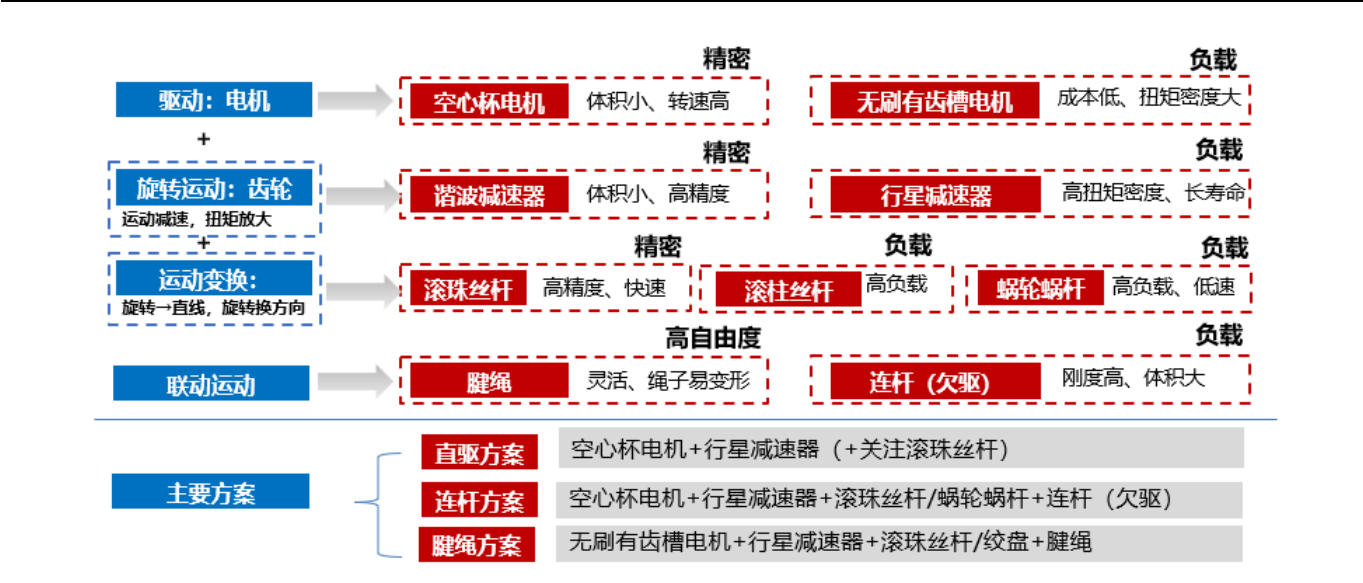
数据来源: Festo 仿生手白皮书, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 东吴证券研究所

驱动方案基本定型，传动多样性，混合为趋势。

驱动方案看，若电机需集成于手内部，基本选用空心杯电机，部分用步进电机；腱绳方案，电机可集成于手臂，空间大，可选无刷有齿槽电机。传动方案看，齿轮满足运动减速和扭矩放大，丝杆/蜗轮蜗杆负责运动方向变化，可形成直驱方案。连杆和腱绳是用于连接驱动与关节，用于增加自由度。

短期，空心杯电机+行星减速器+滚珠丝杆+连杆方案，自由度、承载力、成本等可满足当前工业场景需求，最先放量。中长期趋势是高自由度+负载力，因此机械设计可用融合方案，如近掌关节采用刚性更高的减速器+丝杆、手指末端关节采用腱绳等。

图37：灵巧手机械驱动和传动方案总结



数据来源: Festo 仿生手白皮书, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 东吴证券研究所

1.5.3. 本体厂全栈自研，零部件提供整体解决方案

主机厂自研和集成、零部件厂商提供整体方案为趋势

灵巧手为人形机器人操作性能的核心，决定机器人功能的上限，是具身智能的核心，因此头部人形机器人厂商选择全栈自研，如特斯拉、FigureAI、智元、宇树、星动纪元等。

独立第三方公司多为创业公司，如因时机器人，具备自研零部件技术；强脑科技、傲意科技具备脑机接口技术积累；其外灵心巧手、灵巧智能专注灵巧手。

零部件厂商延伸至整体方案解决，如电机/齿轮、驱动器供应商兆威机电、雷赛智能提供整手解决方案。

图38：主要灵巧手公司技术方案对比

类型	公司	产品	自由度	驱动方式	传动方式	传感器	重量	握力/负载	定位精度
本体厂商	特斯拉	Gen-3	22	无刷有齿槽	腱绳	10指（压阻+视觉）			
	FigureAI	第四代	16	空心杯电机	连杆			负载25kg	
	星动纪元	XHAND1	12（主动）	空心杯电机	直驱	三维电磁式传感器	1.1kg	负载25kg/握力8kg	±1mm
	宇树科技	Dex5-1	20（15主动）	电机	连杆	12个压力传感器	1kg	握力3.5kg	
	智元机器人	12自由度五指	19（12主动）	空心杯电机	腱绳+连杆	视觉和电磁式		负载30kg/握力5kg	
独立集成商	Shadow	标准版	24（20主动）	电机	腱绳	标配食指+拇指	4.3kg	负载4kg	
	北京因时	RH56DFTP系列	12（6主动）	空心杯电机	连杆	17个触觉传感器	800g	单指握力30N	±0.2mm
	灵心巧手	L30	25（18主动）	电机	腱绳	有	1.3kg	负载8kg	±0.2mm
	强脑科技	智能仿生灵巧手	6（主动）	空心杯	连杆	电容式	530g	负载30kg/握力6kg/单指握力30N	±0.1mm
	敖意科技	ROH-A001	6（主动）	空心杯	连杆		550g	负载30kg	±1mm
零部件厂	灵巧智能	Dexhand 021	19（12主动）	电机	腱绳	电容式	1kg	负载5kg	
	兆威机电		17（主动）	空心杯+步进	直驱	-	900g		±0.3mm
	雷赛智能	DH116普及型	11（6主动）	空心杯	连杆	6个触觉	490g	负载40kg	

数据来源：各公司官网，东吴证券研究所

灵巧手成本与自由度相关，未来降本空间大

我们按照目前典型的三类方案测算成本。6个主动自由度的连杆方案，不考虑传感器Bom成本为1万元/只+，考虑未来零部件降本空间大，成本有望降至0.5万元/只以内。12个自由度的直驱方案，不考虑传感器，bom成本为2.5万元/只，加触觉传感器为3万元/只，未来不考虑传感器，bom成本有望降至0.8万元/只。18个自由度的腱绳方案，若采用无刷有齿槽电机，总体成本与12个自由度的直驱方案相似，但维护成本高。

图39：大规模量产后，典型灵巧手方案成本测算

传动方式	连杆	直驱	腱绳
主动自由度	6	12	18
电机	类型 空心杯 单价 (元/个) 300 成本合计 (元) 1,800	类型 空心杯 单价 (元/个) 300 成本合计 (元) 3,600	类型 无刷有齿槽 单价 (元/个) 300 成本合计 (元) 5,400
齿轮	类型 行星减速器 单价 (元/个) 100 成本合计 (元) 600	类型 行星减速器 单价 (元/个) 100 成本合计 (元) 1,200	类型 行星减速器 单价 (元/个) 100 成本合计 (元) 1,800
丝杆	类型 蜗轮蜗杆 单价 (元/个) 50 成本合计 (元) 300	类型 滚珠丝杆 单价 (元/个) 100 成本合计 (元) 1,200	类型 滚珠丝杆 单价 (元/个) 100 成本合计 (元) 1,800
联动	类型 连杆 单价 (元/米) 100 成本合计 (元) 600		类型 腱绳 单价 (元/米) 100 成本合计 (元) 500
驱动器	成本合计 (元) 900	成本合计 (元) 1800	成本合计 (元) 2700
传感器	类型 电磁式 单价 (元/指尖) 500 成本合计 (元) 2,500	类型 电磁式 单价 (元/指尖) 500 成本合计 (元) 2,500	类型 电磁式 单价 (元/指尖) 500 成本合计 (元) 2,500
结构件	成本合计 (元) 300	成本合计 (元) 300	成本合计 (元) 300
合计bom成本 (元/手)	7,000	10,600	15,000

数据来源：各公司公告，东吴证券研究所测算

图40：灵巧手市场空间测算（只配套人形机器人）

	2025	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	远期
全球人形机器人销量 (万台)	2	10	50	100	180	300	3,000
灵巧手占比	40%	400%	400%	100%	80%	67%	26%
灵巧手需求 (万/只)	1.6	10	60	140	288	492	5,520
单手价值 (万/只)	3.5	3.2	2.7	2.3	2	1.8	1
灵巧手市场空间 (亿元)	5.6	32	161	319	590	907	5,520
平均主动自由度	6	8	10	11	12	13	16
电机							
空心杯需求 (亿个)	0	0.01	0.05	0.12	0.26	0.47	6.09
-占比	83%	82%	80%	78%	76%	74%	69%
单价 (元/个)	700	630	504	378	321	273	100
市场空间 (亿元)	0.6	4.1	24	45	84	129	609
无刷有齿槽需求 (亿个)	0	0	0.01	0.03	0.08	0.16	2.65
-占比	15%	17%	19%	21%	23%	25%	30%
单价 (元/个)	300	270	216	162	113	79	50
市场空间 (亿元)	0	0.4	2	5	9	13	132
齿轮							
行星减速器需求 (亿个)	0	0.01	0.06	0.14	0.29	0.51	6.62
-占比	96%	94%	92%	90%	85%	80%	75%
单价 (元/个)	300	270	216	162	138	117	50
市场空间 (亿元)	0.3	2	12	22	40	60	331
谐波减速器需求 (亿个)	0	0	0	0.01	0.05	0.12	2.12
-占比	3%	5%	7%	9%	14%	19%	24%
单价 (元/个)	1,500	1,350	1,080	810	567	397	200
市场空间 (亿元)	0	1	5	11	27	48	424
丝杆							
滚珠丝杆需求 (亿个)	0	0.01	0.06	0.14	0.29	0.51	6.62
-占比	96%	94%	92%	90%	85%	80%	75%
单价 (元/个)	500	450	360	270	230	195	80
市场空间 (亿元)	0.5	3.4	20	37	67	100	530
滚柱丝杆需求 (亿个)	0	0	0	0.01	0.05	0.12	2.12
-占比	3%	5%	7%	9%	14%	19%	24%
单价 (元/个)	2,000	1,800	1,440	1,080	756	529	200
市场空间 (亿元)	0.1	0.7	6	15	37	64	424
腱绳							
腱绳需求 (亿米)	0	0	0.01	0.02	0.04	0.07	0.99
-占比	15%	17%	19%	21%	23%	25%	30%
单价 (元/米)	100	90	72	54	38	36	28
市场空间 (亿元)	0	0.1	0.5	1	1.5	2.7	27.6
传感器							
传感器需求 (万个)	4	26	162	392	878	1,624	20,976
-占比	50%	52%	54%	56%	61%	66%	76%
单价 (元/指尖)	1,000	900	720	540	486	462	300
市场空间 (亿元)	0.4	2.3	12	21	43	75	629

数据来源：各公司公告，东吴证券研究所测算

1.6. 轻量化：产业化前夕的进修课，应用为重

1.6.1. 轻量化：人形机器人量产前夕的进修课

轻量化是人形机器人商业化前夕的进修课。轻量化可以解决当前人形机器人行业的几大痛点——续航、散热、零部件性能不达标、灵活度不足等：1）提高续航：通过减少重力势能&转动惯性实现静态&动态功耗降低，进而提升续航；2）零部件要求降低：减重可以减少轴承、连接件的称重与摩擦，电机功率需求降低等；3）提升灵活

度：降低零部件惯性，控制更加灵活，进而提升通用性；4）易于搬运：当前机器人需要两位成年男性搬运，减重后可单人搬运，易于推广。

图41：轻量化优势

优势	原理
提高续航	重力势能减少，惯性减少-能耗降低
零部件要求降低	电机功率需求减少，驱动器算法难度降低，散热要求降低
提升灵活性	控制部件重量减轻，电机控制更加灵活
易于搬运	当前机器人需两位成年男性搬运，不利于推广

数据来源：机器人大讲堂公众号，东吴证券研究所

轻量化产业趋势确定，当前主流主机厂正在发力。特斯拉于 AI Day 2022 发布 Optimus 首个原型机，身高 1.72 米，体重 73kg，而 2023 年 12 月特斯拉发布第二代人形机器人，在增加颈部两个自由度及迭代为 11 自由度灵巧手外，全身质量由 73kg 减少为 63kg，实现行走速度提高 30%。此外，在北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松赛事中，青心 Orca I 、行者二号、天工 Ultra 等均进行轻量化设计，减少跑步时冲击力并提升续航。

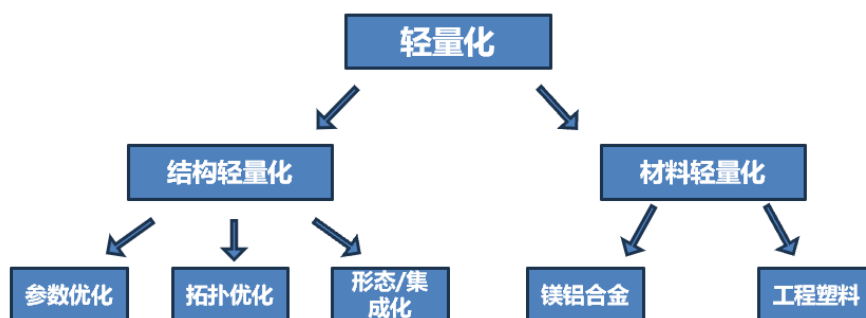
图42：主流人形机器人历代产品性能对比

参数	特斯拉		优必选		宇树科技	
产品	Optimus Gen1	Optimus Gen2	Walker (第二代)	Walker X	H1	G1 (入门版)
发布时间	2022年9月	2023年12月	2019年1月	2021年7月	2023年8月	2024年5月
身高 (cm)	172	172	145	130	180	130
体重 (kg)	73	63	77	63	47	35
自由度	40	40	32	37	19	32
最大行走速度 (米/秒)		较上一代提升 30%		0.83	3.3	2
续航 (h)	2-4	8	2	2		2

数据来源：各公司官网，东吴证券研究所

轻量化的两种路径：当前人形机器人轻量化的路径可以分为结构轻量化和材料轻量化：1）结构轻量化：通过参数优化/拓扑优化/形态优化/集成化来实现“0 成本”轻量化；2）材料轻量化：当前主流的方式是采用镁铝合金或“以塑代钢”实现性能达标下的密度降低。由于轻量化之路刚刚开始，基于材料本身设计结构仍处早期，未来可期。

图43：轻量化路径

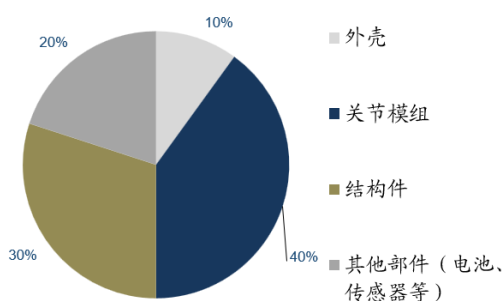


数据来源：东吴证券研究所绘制

1.6.2. 人形机器人轻量化：空间广阔，任重道远

人形机器人整机重量分布中，关节模组占比较大。当前通用人形机器人关节模组（以旋转模组为例）约 1~2kg，约占全身重量 40%左右，结构件（如轴承、连杆等）约占全身重量 30%，外壳占比约 10%，其他（如电池、传感器、控制器等）占比 20%。其中，关节模组中以减速器重量占比最大（600g 左右，占比 45%），电机其次（500g，占比 35%左右），外壳仅约 10%（用于关节模组尾部保护驱动器等）。

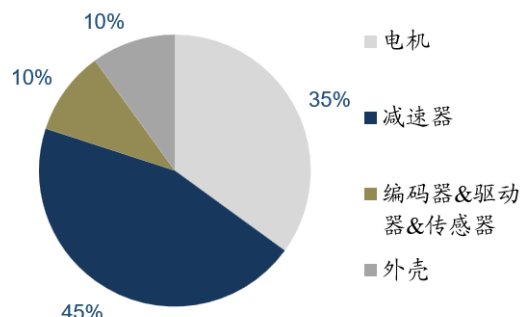
图44：人形机器人各部位重量分布测算



数据来源：东吴证券研究所测算

注：以上机器人整机&零部件重量参考优必选、宇树科技、钛虎机器人、科达利等产品参数

图45：关节模组各组件重量分布测算



数据来源：东吴证券研究所测算

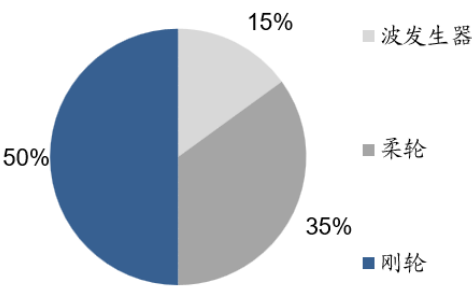
注：以上机器人整机&零部件重量参考优必选、宇树科技、钛虎机器人、科达利等产品参数

刚轮是谐波减速器减重的核心。按照重量分布拆分，谐波的重量来源主要是刚轮和柔轮，其中柔轮需要同时具备高强度和良好的弹性（高弹性模量），PEEK 等工程塑料难以胜任，仍需使用钢材，而刚轮对于刚性&强度&耐磨度&热稳定性要求较高，对于弹性要求较低，可通过使用 PEEK 等工程塑料进行减重并提升强度。

电机以塑代钢可一定程度减重，但主要为刚性&绝缘。无框电机的主要重量来源是定子和转子，其中转子一般由永磁体、基座组成，定子一般由硅钢片、线圈、基

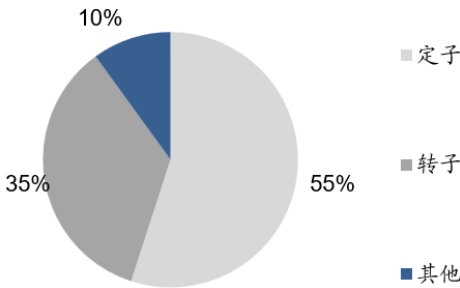
座，其中除基座外均需要电磁性能，无法被塑料替代，而基座重量占比小，且主要作用为保持部件位置，强度需求一般，且目前使用 PPS 等工程塑料方案成熟，有一定减重效果，但主要为刚度&绝缘。

图46：谐波减速器各零部件重量分布



数据来源：东吴证券研究所测算
注：以上机器人整机&零部件重量参考优必选、宇树科技、钛虎机器人、科达利等产品参数

图47：无框电机各零部件重量分布



数据来源：东吴证券研究所测算
注：以上机器人整机&零部件重量参考优必选、宇树科技、钛虎机器人、科达利等产品参数

PEEK 材料在谐波减速器可大幅减重、降低温升，更适合用于人形： PEEK 材料在谐波减速器中主要用于替代刚轮/柔轮，其优势在于轻量化（可减重 70%+）、自润滑（降低温升和噪音）以及耐腐蚀。然而，PEEK 的刚性较低（需碳纤维增强）、长期高负载下可能蠕变（寿命下降 20%），且材料成本高昂（约金属的 5 倍+）。

头部厂商已有专利布局，新进入者已发布相关产品： 哈默纳科、绿的谐波等头部厂商已有相关专利和技术储备，科达利子公司 25 年 4 月发布多款 Peek 材料谐波减速器，钢轮和外壳采用 Peek 材料注塑，计划用于人形机器人上半身关节。Peek 谐波与传统谐波工艺有所不同，PEEK 部件依赖注塑或 3D 打印，降本还需大规模生产。

图48：Peek 谐波减速器特点



数据来源：菲尔森官网,《PEEK 基复合材料短筒谐波减速器的设计关键问题研究》,公司公告, 东吴证券研究所

电机减重的核心仍需回到电磁设计，主要涉及磁材选择与磁路设计。

磁材选择：钕铁硼是第三代稀土永磁材料，具有高磁能积和轻量化优势，被称为“永磁王”。根据制备工艺不同，钕铁硼可分为烧结、粘接和热压三类，这三类在制造工艺、性能和应用领域方面存在显著差异。烧结钕铁硼与粘接钕铁硼已实现规模化生产及产业化，产业链完善，相比之下，热压钕铁硼目前产量较少，尚未形成完整的产业。

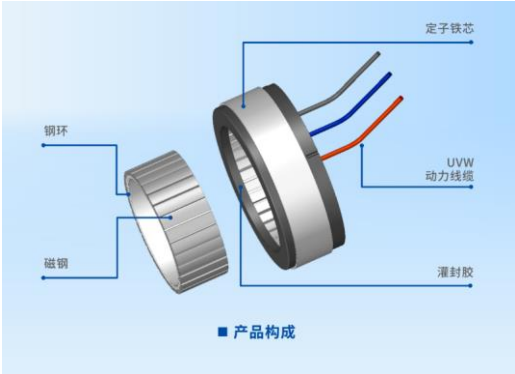
磁路设计：以雷赛智能为例，结合 FEA 优化磁路设计，通过有限元分析精细调整磁路与槽极布局，提高磁效率；减少无效磁通，进一步降低结构尺寸和部件重量。

图49：钕铁硼分类

分类	工艺	优点	缺点	工作温度(°C)	应用领域
烧结钕铁硼	经磨制、混料、压型和烧结等工艺	高剩磁、高矫顽力、高磁能积、	加工过程中易出现碎裂、加工精密	200	风力发电机、工业电机、电动车、医疗设备
粘接钕铁硼	压延成型、注射成型、挤压成型和模压成型，其中压延和注射较为主流	生产工艺简单、成本低、尺寸精度高、形状复杂、无需后续加工及适于量产	磁性不如烧结钕铁硼、工作温度低	160	IT及办公自动化、智能家电、汽车
热压钕铁硼	热挤压、热变形等成型工艺	密度高、耐腐蚀性好、矫顽力高、有较高的磁性性能	制作工艺较复杂、生产成本较高	180	汽车电动助力转向(EPS)

数据来源：观研咨询，东吴证券研究所

图50：雷赛智能 FM2 系列无框电机



数据来源：雷赛智能公众号，东吴证券研究所

1.6.3. 轻量化材料市场空间：综合测算下，PEEK 材料市场空间较大

综合测算下，PEEK 材料市场空间较大。综合考虑纯旋转关节方案及旋转&线性关节人形机器人重量分布及轻量化材料选择，我们进行了以下核心假设及测算：材料选择方面，PPS 以其高刚性、绝缘性及性价比应用于电机定子绕组基座及转子护套，PEEK 作为“工程塑料的皇冠”应用于对性能要求最高的减速器刚轮及滚柱丝杠的丝杠及滚柱。全球百万台人形机器人（旋转&线性关节）测算下，人形机器人用 PPS/改性 PEEK 市场空间分别为 1/20 亿元。

图51：人形机器人轻量化材料市场空间测算（亿元）

	单位	旋转关节方案	旋转&线性关节方案
人形机器人重量（没有使用轻量化前）	KG/台	80	90
关节模组	KG/台	32	42
其中：旋转关节	KG/台	32	17
其中：线性关节	KG/台	—	25
关节模组：电机	KG/台	11	11
定子绕组基座	KG/台	0.6	0.6
转子护套	KG/台	0.4	0.4
基座使用PPS的量	KG/台	1.0	1.0
百万台下吨数	吨/百万台	1008	1008
单价	万元/吨	10	10
百万台出货-PPS市场空间（亿元）	亿元	1	1
旋转关节：减速器重量	KG/台	14	8
刚轮	KG/台	7.2	3.8
刚轮使用PEEK的量	KG/台	2.2	1.1
百万台下吨数	吨/百万台	2160	1134
线性关节：滚柱丝杠重量	KG/台	—	15
丝杆+滚柱	KG/台	—	12.1
丝杆+滚柱使用PEEK的量	KG/台	—	2.4
百万台下吨数	吨/百万台	—	2419
PEEK需求合计	吨/百万台	2160	3553
改性PEEK单价（万元/吨）	万元/吨	56	56
百万台出货-PEEK市场空间（亿元）	亿元	12	20
外壳&结构件	KG/台	24	27
镁合金方案	KG/台	15.6	17.6
百万台下吨数	吨/百万台	15600	17550
镁合金单价（万元/吨）	万元/吨	1.8	1.8
百万台出货-镁合金市场空间（亿元）	亿元	3	3
改性尼龙方案	KG/台	11.6	13.0
百万台下吨数	吨/百万台	11556	13000
改性尼龙单价（万元/吨）	万元/吨	2.5	2.5
百万台出货-尼龙市场空间（亿元）	亿元	3	3

数据来源：东吴证券研究所测算

2. 中证机器人指数：聚焦机器人产业链

2.1. 指数基本信息

中证机器人指数（指数代码：H30590.CSI，以下简称“中证机器人”）以中证全指指数的样本空间为样本空间，首先剔除过去一年日均成交金额排名后 20% 的证券，并选取为机器人生产提供软件和硬件的上市公司作为待选样本，包括但不限于系统方案商、数字化车间与生产线系统集成商、自动化设备制造商、底层自动化零部件商以及其他与机器人相关的公司；随后按照过去一年日均总市值由高到低排序，选取排名前 100 的证券作为指数样本，不足 100 只时全部纳入，以反映机器人产业相关上市公司证券的整体表现。该指数英文名称为 CSI Robot Index，发布日期为 2015 年 2 月 10 日，基点日期为 2010 年 12 月 31 日。

指数样本每半年定期调整一次，调整实施时间分别为每年 6 月和 12 月的第二个星期五的下一交易日，权重因子随样本定期调整同步调整，调整时间与指数样本定期调整实施时间相同，并在下一次定期调整日前一般保持不变。

表1: 指数基本信息

指数全称	中证机器人指数
指数代码	H30590.CSI
英文名称	CSI Robot Index
发布日期	2015年2月10日
基点日期	2010年12月31日
样本空间	同中证全指指数的样本空间
选择方法	剔除过去一年日均成交额排名后 20% 的证券；选取为机器人生产提供软件和硬件的上市公司作为待选样本，包括但不限于：系统方案商、数字化车间与生产线系统集成商、自动化设备制造商、底层自动化零部件商以及其他与机器人相关的公司；按照过去一年日均总市值前 100 的证券作为指数样本，不足 100 只时全部纳入。
指数调整	指数样本每半年调整一次，样本调整实施时间分别为每年 6 月和 12 月的第二个星期五的下一交易日。权重因子随样本定期调整而调整，调整时间与指数样本定期调整实施时间相同。在下一个定期调整日前，权重因子一般固定不变。

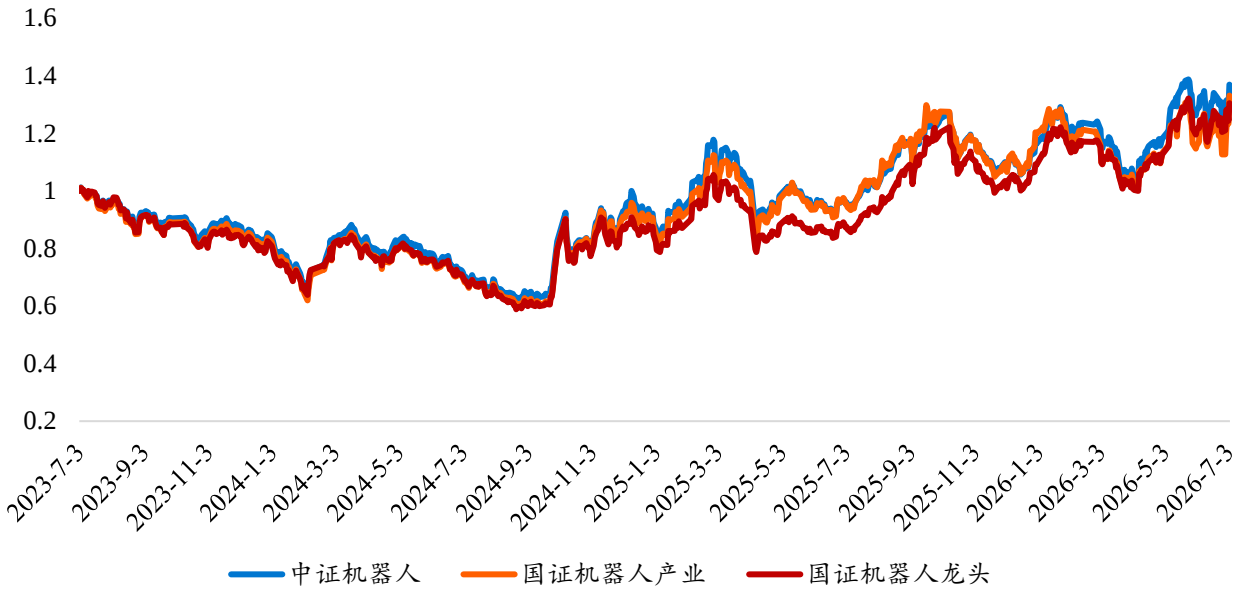
数据来源：Wind，东吴证券研究所

2.2. 指数表现：近三年整体优于国证机器人产业、国证机器人龙头等可比指数

截至 2026 年 7 月 3 日，中证机器人近三年表现整体优于国证机器人产业(980022.CNI)和国证机器人龙头(980071.CNI)等可比指数。从收益表现来看，中证机器人近三年累计收益为 36.91%，高于国证机器人产业的 33.12%和国证机器人龙头的 30.44%，在可比指数中收益表现领先。年化收益率方面，中证机器人为 11.00%，同样高于国证机器人产业的 9.88%和国证机器人龙头的 9.15%，显示其在近三年机器人板块震荡上行过程中具备更强的收益弹性。

从风险收益特征来看，中证机器人近三年年化波动率为 32.63%，低于国证机器人产业的 34.52%，与国证机器人龙头的 32.36%较为接近，但其收益补偿更为充分，夏普比率达到 0.34，高于国证机器人产业的 0.29 和国证机器人龙头的 0.28。回撤方面，中证机器人最大回撤为 -38.70%，优于国证机器人产业的 -40.70%和国证机器人龙头的 -41.70%。整体来看，中证机器人在近三年兼具较高收益弹性和较优风险收益表现，相较主要机器人主题可比指数具备更强的综合表现。

图52：指数净值走势



数据来源：Wind，东吴证券研究所

表2：指数近三年收益

	中证机器人	国证机器人产业	国证机器人龙头
年化收益率（%）	11.00	9.88	9.15
年化波动率（%）	32.63	34.52	32.36
最大回撤（%）	-38.70	-40.70	-41.70
夏普比率	0.34	0.29	0.28
累计收益（%）	36.91	33.12	30.44

数据来源：Wind，东吴证券研究所

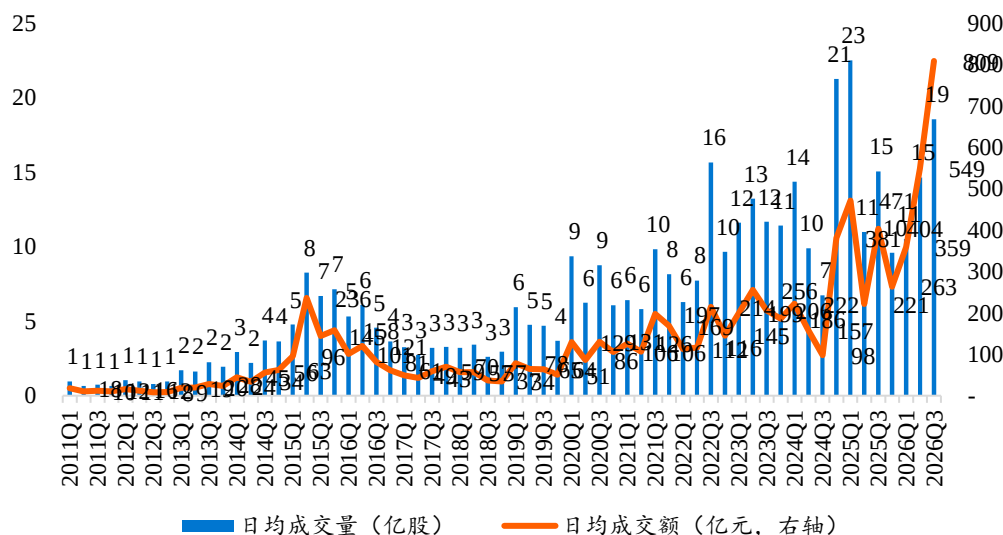
2.3. 指数流动性：成交活跃度维持较高水平

中证机器人指数交投较为活跃，近年来成交量和成交额中枢明显抬升。从日均成交量来看，指数 2024 年以来流动性改善较为明显，2024Q4 日均成交量达约 21 亿股，2025Q1 进一步升至约 23 亿股，为图表区间内高位水平；2025Q3 日均成交量为约 15 亿股。截至 2026 年 7 月 13 日，指数 2026Q3 日均成交量约为 19 亿股，仍处于相对活跃区间。

从日均成交额来看，指数成交额同样保持较高水平。2025Q1 指数日均成交额达 471 亿元，2025Q2、2025Q3 和 2025Q4 分别为 221 亿元、404 亿元和 263 亿元，均显著高于

2024 年前水平。2026Q1 和 2026Q2 指数日均成交额分别为 359 亿元和 549 亿元；截至 2026 年 7 月 13 日，指数 2026Q3 日均成交额进一步升至 809 亿元，创图表区间内高点，显示机器人产业方向具备较好的资金承载能力和交易活跃度，为相关产品跟踪指数和投资者参与机器人产业板块提供了较好的流动性基础。

图53：指数流动性



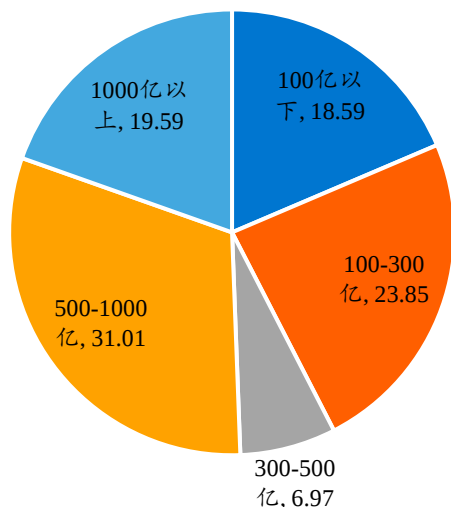
数据来源：Wind，东吴证券研究所

2.4. 市值分布：覆盖大中小盘，大盘股权重较大

截至 2026 年 6 月 30 日，中证机器人指数成分股的流通市值合计 11,238 亿元。成分股市值分布覆盖大、中、小市值公司，但权重配置相对向中大市值公司倾斜。从成分股流通市值权重分布来看，500-1000 亿元成分股权重占比最高，达到 31.01%；1000 亿元以上、300-500 亿元成分股权重分别为 19.59%、6.97%，300 亿元以上成分股合计权重约 57.57%，显示指数主要收益弹性和方向暴露更多由中大型机器人产业链公司主导。相比之下，100 亿元以下和 100-300 亿元成分股权重分别为 18.59%、23.85%，300 亿元以下成分股合计权重约 42.44%，对指数整体权重亦形成较为重要的贡献。

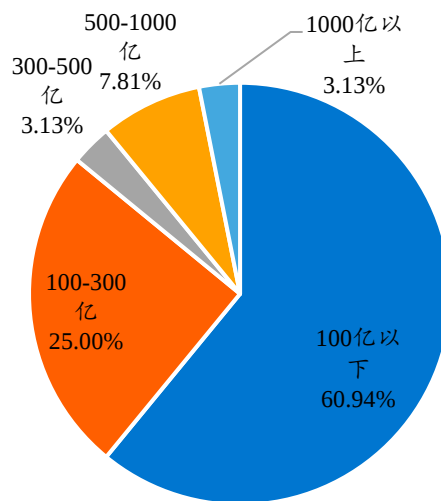
从成分股数量分布来看，指数对中小市值公司具有较高覆盖度。100 亿元以下成分股数量为 39 只，是数量最多的市值区间；100-300 亿元成分股数量为 16 只，300 亿元以下成分股合计 55 只，占成分股数量的主体。300-500 亿元、500-1000 亿元和 1000 亿元以上成分股数量分别为 2 只、5 只和 2 只。整体来看，中证机器人指数在数量层面广泛覆盖机器人产业链中的中小市值公司，但在权重层面相对集中于中大型公司，体现出“广覆盖、重中大型”的市值结构特征。

图54: 成分股流通市值权重分布(%, 截至 2026-6-30)



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

图55: 成分股流通市值数量分布(%, 截至 2026-6-30)



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

2.5. 重仓机器人产业链上游核心硬件, 覆盖中游系统集成、下游应用等多元方向

中证机器人指数行业分布覆盖执行器、伺服电机、减速器、传感器、控制器、软件算法、系统研究及机器人应用等多个机器人产业链细分方向, 权重结构以上游核心硬件为主。截至 2026 年 6 月 30 日, 根据机器人产业链分类, 从成分股行业权重分布来看, 上游硬件为第一大产业链环节, 权重占比为 64.93%; 中游系统集成位居第二, 权重占比为 30.13%, 两者合计权重达 95.06%。由此可见, 指数在机器人产业链内部更集中配置核心零部件及系统集成环节, 对机器人硬件升级、核心零部件国产替代及产业化进程具备较高敏感度。

从细分领域来看, 执行器为第一大权重方向, 权重占比为 18.99%; 伺服电机和设备权重分别为 14.66%和 11.33%, 三者合计权重达 44.98%。此外, 装配、软件算法、减速器、控制系统、传感器和控制器权重分别为 11.72%、8.48%、8.45%、7.85%、6.88%和 3.80%; 服务机器人和特种机器人权重分别为 2.69%和 2.25%。从成分股数量来看, 上游硬件、中游系统集成和下游应用层分别包含 36 只、22 只和 6 只成分股, 其中装配成分股数量最多, 达到 15 只; 伺服电机、控制器和减速器分别有 9 只、8 只和 6 只成分股。

整体来看, 中证机器人指数在权重端重点配置执行器、伺服电机及设备等上游核心硬件, 同时覆盖可观数量的装配、控制系统、软件算法及机器人应用等细分领域, 兼具上游核心环节集中度与机器人产业链覆盖广度。

图56: 成分股行业权重分布 (截至 2026-6-30)



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

图57: 成分股行业数量分布 (截至 2026-6-30)

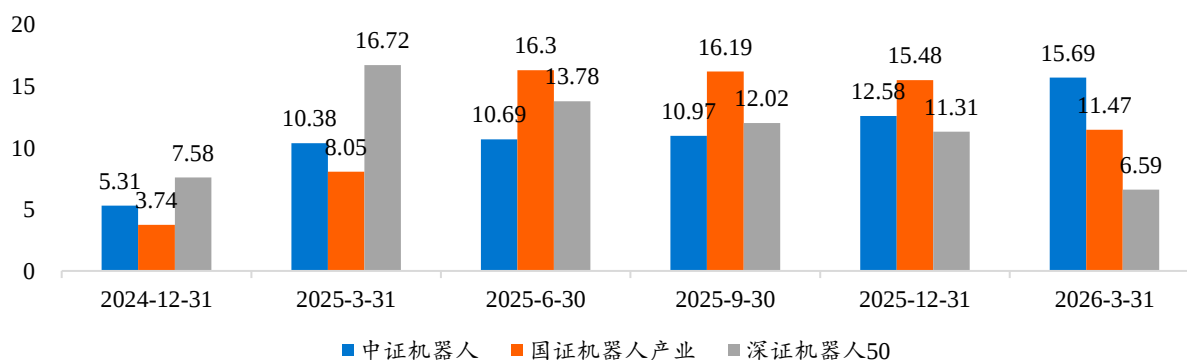


数据来源: Wind, 东吴证券研究所

2.6. 相较于国证机器人产业、深证机器人 50 等同类指数，中证机器人指数营收增速持续改善

中证机器人指数营收增速持续改善，成长动能逐步增强。2024Q4 以来，中证机器人指数营收同比增速由 5.31% 连续提升至 2025Q1、2025Q2、2025Q3 和 2025Q4 的 10.38%、10.69%、10.97% 和 12.58%，截至 2026Q1 进一步升至 15.69%。同期，国证机器人产业指数营收同比增速由 2025Q3 的 16.19% 回落至 2026Q1 的 11.47%，深证机器人 50 (399283.SZ) 指数则由 2025Q1 的 16.72% 持续下降至 2026Q1 的 6.59%。截至 2026Q1，中证机器人指数营收同比增速分别领先国证机器人产业和深证机器人 50 指数 4.22 和 9.10 个百分点，在同类指数中展现出更强的营收增长韧性。

图58: 指数营收同比 (%)



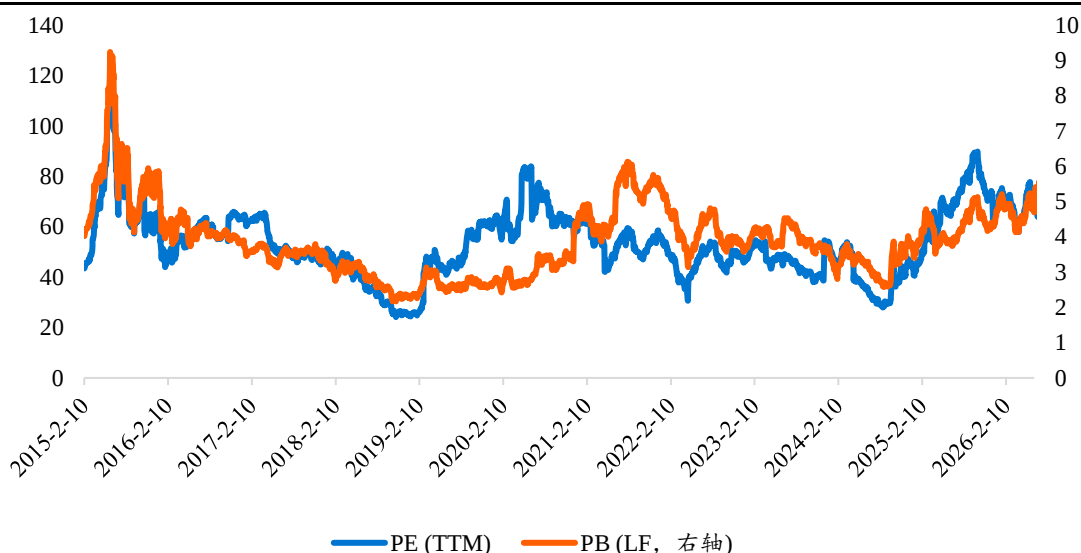
数据来源: Wind, 东吴证券研究所

2.7. 估值水平：PE 和 PB 处于指数发布以来较高位置

中证机器人指数当前估值处于历史相对较高区间，市场对机器人产业链成长预期已给予一定定价。截至 2026 年 7 月 13 日，指数 PE (TTM) 为 61.08 倍，处于指数发布以来 70.49% 的分位水平；PB (LF) 为 4.84 倍，处于 84.88% 的分位水平。从估值分位来看，指数当前 PE 估值处于历史中枢以上位置，尚未达到历史极端高位区间，反映当前市场对机器人产业链盈利增长和长期成长空间已给予一定估值溢价。

从 PB 角度看，指数 PB (LF) 分位水平高于 PE 分位，显示市场对机器人行业资产质量、成长属性和中长期盈利能力给予较高溢价。整体来看，中证机器人指数当前估值处于历史中高位，PB 估值相对偏高，估值安全边际相对有限；若后续人形机器人产业化、工业自动化需求、核心零部件国产替代和智能制造投资持续兑现，指数估值中枢有望获得基本面改善支撑。

图59：指数 PE (TTM)与 PB (LF)



数据来源：Wind，东吴证券研究所

2.8. 指数成分股：前十大权重股集中于机器人产业链上游核心硬件

截至 2026 年 6 月 30 日，中证机器人指数成分股数量为 64，前十大成分股权重集中度较高，龙头属性较为突出。从表中来看，指数前十大权重股合计权重达 60.00%，其中大族激光、汇川技术、三花智控、科大讯飞、中控技术分别位列前五，权重分别为 10.58%、9.01%、8.40%、6.72%和 6.37%，前四大成分股合计权重达 40.08%。从自由流通市值看，汇川技术、大族激光、三花智控、中控技术等公司市值规模较大，反映指数在配置上较为重视机器人产业链中的核心龙头公司。

从申万三级行业分布来看，前十大成分股覆盖激光设备、工控设备、家电零部件、横向通用软件、工程机械器件、机器人、底盘与发动机系统和安防设备方向。其中，工控设备板块包括汇川技术和中控技术，合计权重达 15.38%；底盘与发动机系统板块包

括拓普集团和双环传动，合计权重为 6.62%；激光设备板块由大族激光代表，权重为 10.58%；家电零部件板块由三花智控代表，权重为 8.40%。

从机器人细分领域来看，前十大成分股覆盖设备、伺服电机、执行器、软件算法、控制系统、减速器和传感器等核心环节，其中执行器相关成分股合计权重达 17.54%，设备、伺服电机和减速器相关成分股权重分别为 10.58%、9.01%和 7.01%，体现出指数对机器人核心硬件环节的重点配置。从产业链位置来看，前十大成分股明显集中于上游硬件环节，相关成分股合计权重达 46.91%；其余中游系统集成环节合计权重为 13.09%，主要包括软件算法和控制系统，前十大成分股中暂未覆盖下游应用环节。整体来看，中证机器人指数前十大成分股以执行器、伺服电机、减速器、传感器等上游核心零部件及设备龙头为主，同时兼顾软件算法和控制系统等中游环节，体现出较强的产业链覆盖能力和龙头配置特征。

表3：指数前 10 大成分股（截至 2026-6-30）

代码	简称	自由流通市值(亿元)	权重	申银万国三级行业	机器人行业细分领域	机器人产业链位置
002008.SZ	大族激光	1172.11	10.58%	激光设备	设备	上游硬件
300124.SZ	汇川技术	1289.63	9.01%	工控设备	伺服电机	上游硬件
002050.SZ	三花智控	907.87	8.40%	家电零部件III	执行器	上游硬件
002230.SZ	科大讯飞	762.94	6.72%	横向通用软件	软件算法	中游系统集成
688777.SH	中控技术	734.07	6.37%	工控设备	控制系统	中游系统集成
601100.SH	恒立液压	514.21	4.94%	工程机械器件	执行器	上游硬件
688017.SH	绿的谐波	501.06	4.59%	机器人	减速器	上游硬件
601689.SH	拓普集团	407.92	4.20%	底盘与发动机系统	执行器	上游硬件
002236.SZ	大华股份	300.82	2.77%	安防设备	传感器	上游硬件
002472.SZ	双环传动	265.75	2.42%	底盘与发动机系统	减速器	上游硬件

数据来源：Wind，东吴证券研究所

3. 汇添富中证机器人 ETF：一键布局机器人产业链

3.1. 基金基本信息

汇添富中证机器人交易型开放式指数证券投资基金（代码：159213，以下简称“汇添富中证机器人 ETF”）上市于 2025 年 4 月 21 日，管理人为汇添富基金管理股份有限公司，追踪指数为中证机器人指数。汇添富中证机器人 ETF 采用被动式投资策略，紧密跟踪标的指数，追求跟踪偏离度和跟踪误差的最小化。基金管理费率为 0.50%，托管费率为 0.10%。

基金经理由何丽竹担任。

表4：产品基本信息

基金全称	汇添富中证机器人交易型开放式指数证券投资基金		
基金简称	汇添富中证机器人 ETF	基金代码	159213
基金管理人	汇添富基金管理股份有限公司		
上市日期	2025 年 4 月 21 日	基金经理	何丽竹
标的指数	中证机器人指数	标的代码	H30590.CSI
基金类型	被动指数型基金		
投资目标	紧密跟踪标的指数，追求跟踪偏离度和跟踪误差的最小化。		
投资比例	投资于标的指数成份股和备选成份股的比例不低于基金资产净值的 90%，且不低于非现金基金资产的 80%，因法律法规的规定而受限制的情形除外。如法律法规或监管机构变更投资品种的投资比例限制，基金管理人在履行适当程序后，可以调整上述投资品种的投资比例。		
风险收益特征	本基金属于股票型基金，其预期的风险与收益高于混合型基金、债券型基金与货币市场基金。同时本基金为指数基金，主要采用完全复制法跟踪标的指数表现，具有与标的指数相似的风险收益特征。		
费率结构	管理费率	0.50%	
	托管费率	0.10%	

数据来源：Wind，东吴证券研究所

3.2. 基金经理

基金经理何丽竹女士，硕士研究生（复旦大学金融学硕士）。2021 年 7 月加入汇添富基金管理股份有限公司，投资经理年限为 1.32 年。截至 2026 年 7 月 10 日，何丽竹女士投资经理年限为 1.32 年，在任管理基金数 19 只，在管基金总规模 68.15 亿元。

何丽竹女士当前管理产品以被动指数型基金为主，覆盖中证沪港深产业、沪深 300、中证智能汽车主题、中证机器人、中证 800 自由现金流、国证自由现金流等多个方向。

表5：基金经理管理产品信息

基金代码	基金名称	基金类型	规模（亿元）	任职时间
020630.OF	汇添富中证芯片产业ETF联接A	被动指数型	1.12	2025-03-18
159795.OF	汇添富中证智能汽车主题ETF	被动指数型	0.32	2025-03-21
159213.OF	汇添富中证机器人ETF	被动指数型	5.88	2025-04-21
563680.OF	汇添富中证800自由现金流ETF	被动指数型	2.18	2025-04-30
024002.OF	汇添富国证自由现金流ETF联接A	被动指数型	4.39	2025-05-13
516920.OF	汇添富中证芯片产业ETF	被动指数型	6.25	2025-05-16
024768.OF	汇添富中证机器人ETF联接A	被动指数型	3.17	2025-07-15
159276.OF	汇添富国证自由现金流ETF	被动指数型	4.63	2025-07-17
159273.OF	汇添富中证沪港深云计算产业ETF	被动指数型	13.64	2025-07-28
024745.OF	汇添富中证800自由现金流ETF联接A	被动指数型	1.91	2025-08-05
014543.OF	汇添富中证沪港深云计算产业ETF联接A	被动指数型	11.33	2025-08-18
560300.OF	汇添富中证电信主题ETF	被动指数型	0.58	2025-08-18
020632.OF	汇添富中证电信主题ETF联接A	被动指数型	0.43	2025-08-18
589560.OF	汇添富上证科创板人工智能ETF	被动指数型	3.96	2025-08-25
159103.OF	汇添富中证金融科技主题ETF	被动指数型	2.00	2025-08-29
026654.OF	汇添富上证科创板人工智能ETF联接A	被动指数型	1.19	2026-02-09
159178.OF	汇添富国证消费电子主题ETF	被动指数型	2.54	2026-04-20
027166.OF	汇添富中证金融科技主题ETF联接A	被动指数型	0.13	2026-04-28
159042.OF	汇添富国证价值100ETF	被动指数型	2.5	2026-05-27

数据来源：Wind，东吴证券研究所

4. 风险提示

宏观经济下行：机器人产业链具备较强顺周期性。若国内或全球宏观经济增速显著放缓，可能导致制造业资本开支和居民消费收缩、机器人需求延期。

股市波动率上升：机器人板块因成长属性强、估值弹性大，在市场风险偏好急剧变化时，其价格波动率可能高于市场均值。

金融监管力度抬升超预期：若监管部门对资本市场实施超预期的从严措施，可能阶段性影响板块流动性及市场交易活跃度。

该基金属于股票型基金，预期风险收益水平较高：本基金为股票型基金，其预期风险和预期收益高于货币市场基金、债券型基金和混合型基金。

历史表现不代表未来：基金的过往业绩并不预示其未来表现，基金管理人管理的其他基金的业绩并不构成基金业绩表现的保证。

免责声明

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

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）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。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，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后 6 至 12 个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证 50 指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准在 15%以上；

增持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于 5%与 15%之间；

中性：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与 5%之间；

减持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来 6 个月内，行业指数相对强于基准 5%以上；

中性：预期未来 6 个月内，行业指数相对基准-5%与 5%；

减持：预期未来 6 个月内，行业指数相对弱于基准 5%以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所
苏州工业园区星阳街 5 号
邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>