

人形机器人系列十九

灵巧手：百家争鸣，进化不息

核心观点：

- **灵巧手的核心组成囊括驱动、传动、感知三大系统。**（1）**驱动方案：**电驱已成为主流，空心杯电机/无刷有齿槽电机是首选。（2）**传动方案：**主要分为连杆、腱绳、蜗轮蜗杆/齿轮三种路线，其中腱绳传动应用较为广泛。（3）**感知方案：**内部核心是力传感器、外部核心是触觉传感器，六维力传感器能够实现精准力控，触觉重视电子皮肤的应用。
- **Optimus 三代灵巧手的迭代：传动结构升级+增加触觉传感，自由度大幅提升。**首代产品以空心杯电机驱动、绳驱+蜗轮蜗杆为核心结构，配套基础传感器，用于实现基础抓取与非反向驱动控制；第二代产品则在维持自由度不变的同时，系统引入触觉传感器、提升柔顺性与力控精度，验证“抓蛋”等精细动作场景。三代架构重构后，传动方案演进为“丝杠+腱绳”协同，同时感知系统有望形成闭环控制能力。整体关节自由度由上一代的 11 个提升至 22 个，其中主动控制的自由度由 6 个提升至 17 个。
- **灵巧手的核心环节：（1）无刷直流电机：**驱动结构关键部件，无刷有齿槽电机或凭借其低成本逐步成为主流，主要公司包括鸣志电器、兆威机电、伟创电气、鼎智科技等；（2）**微型丝杠：**精密直线传动核心部件，将电机的旋转运动转换为高精度线性运动，主要公司包括恒立液压、浙江荣泰、震裕科技、双林股份、五洲新春、北特科技等；（3）**触觉传感器：**实现力觉与触觉反馈的关键感知部件，国内主要公司包括帕西尼、汉威科技、福莱新材等；（4）**腱绳：**用于完成手指关节柔性驱动的核心材料，一般由超高分子量聚乙烯或者钢丝构成，国内 UPMWPE 供应商有恒辉安防、南山智尚，钢丝绳供应商为大业股份。
- **灵巧手赛道优质玩家陆续涌现。**未上市独角兽以因时机器人、傲义科技，灵巧智能为代表，捷昌驱动、雷赛智能、兆威机电等企业也陆续布局灵巧手，具备从核心部件向灵巧手延伸的潜力，未来有望在灵巧手产业化加速中受益。
- **投资建议。**灵巧手作为人形机器人的关键执行部件，受益于人形机器人放量预期，有望率先迎来产业化落地。**建议关注在灵巧手具备技术积累与客户基础的优质公司，捷昌驱动、雷赛智能、兆威机电等；无刷直流电机环节推荐鸣志电器，关注伟创电气、兆威机电、鼎智科技；微型丝杠环节推荐恒立液压，关注浙江荣泰、震裕科技；触觉传感器环节关注汉威科技，福莱新材；腱绳环节关注南山智尚、大业股份等。**
- **风险提示。**人形机器人产品落地不及预期；灵巧手方案迭代风险；供应链竞争格局变化风险。

行业评级

买入

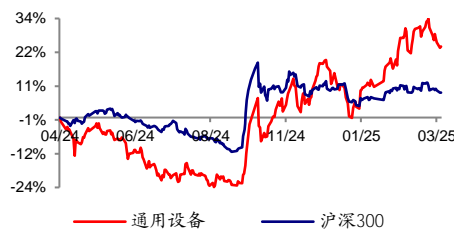
前次评级

买入

报告日期

2025-04-02

相对市场表现



分析师：

代川



SAC 执证号：S0260517080007

SFC CE No. BOS186



021-38003678



daichuan@gf.com.cn

分析师：

孙柏阳



SAC 执证号：S0260520080002

021-38003680



sunboyang@gf.com.cn

分析师：

蒲明琪



SAC 执证号：S0260524080003

SFC CE No. BUP066



021-38003807



pumingqi@gf.com.cn

请注意，孙柏阳并非香港证券及期货事务监察委员会的注册持牌人，不可在香港从事受监管活动。

相关研究：

| | |
|---------------------------------|------------|
| 人形机器人系列十八:机器狗: 技术进步与市场需求的交汇点 | 2025-03-17 |
| 人形机器人系列十七:自动驾驶端到端技术对人形大模型的启示 | 2025-02-09 |
| 春节期间人形机器人跟踪:人形机器人首登春晚, 特斯拉指引超预期 | 2025-02-04 |

「水木人工智能学堂」

水木AI知识荟 & 交流群 📣

📖 每日分享行业报告、行业资讯等！

🔗 链接海量AI行业精英！

🎉 不定时进行名校名企行活动！

🚀 足不出户，尽在水木AI知识荟！

🔥 扫码添加小编微信，免费进水木AI交流群

交流
社群



去噪
星球



去噪星球 每日仅需0.5元

公众号：水木人工智能学堂

重点公司估值和财务分析表

| 股票简称 | 股票代码 | 货币 | 最新 收盘价 | 最近 报告日期 | 评级 | 合理价值 (元/股) | EPS(元) | | PE(x) | | EV/EBITDA(x) | | ROE(%) | |
|------|-----------|-----|-----------|------------|----|---------------|--------|-------|--------|--------|--------------|-------|--------|-------|
| | | | | | | | 2024E | 2025E | 2024E | 2025E | 2024E | 2025E | 2024E | 2025E |
| 鸣志电器 | 603728.SH | CNY | 67.19 | 2024/12/31 | 买入 | 65.17 | 0.20 | 0.43 | 335.95 | 156.26 | 148.13 | 93.19 | 2.90 | 5.80 |
| 恒立液压 | 601100.SH | CNY | 79.90 | 2024/10/30 | 买入 | 58.38 | 1.95 | 2.45 | 40.97 | 32.61 | 32.19 | 25.63 | 16.60 | 17.30 |
| 贝斯特 | 300580.SZ | CNY | 29.20 | 2024/10/24 | 买入 | 20.60 | 0.59 | 0.71 | 49.49 | 41.13 | 28.38 | 24.69 | 9.40 | 10.10 |

数据来源: Wind、广发证券发展研究中心

备注: 表中估值指标按照最新收盘价计算

目录索引

| | |
|--|----|
| 一、灵巧手：性能与成本的博弈..... | 6 |
| （一）灵巧手核心是驱动、传动、感知三大系统，技术路径仍有分歧..... | 6 |
| （二）主流厂商灵巧手百花齐放，通用方案尚未出现..... | 14 |
| 二、OPTIMUS 三代灵巧手的迭代..... | 16 |
| 三、灵巧手关键零部件拆解分析..... | 17 |
| （一）无刷直流电机：灵巧手核心驱动源，兼顾紧凑结构与高功率密度..... | 17 |
| （二）微型丝杠：精密直线传动核心部件，驱动性能与结构紧凑性兼具..... | 20 |
| （三）触觉传感器：提升灵巧手感知能力的关键单元，兼具精度与柔性控制要求.. | 23 |
| （四）腱绳：传动核心结构，兼顾仿生结构与多关节协调控制..... | 26 |
| 四、从研发驱动到应用导向，灵巧手玩家演化出多元成长路径..... | 28 |
| （一）因时机器人：灵巧手领域的快速成长型玩家，产品落地节奏加速..... | 28 |
| （二）傲意科技：聚焦仿生义肢与机器人末端应用，构建双线产品体系..... | 29 |
| （三）灵巧智能：打造多模态感知与 AI 融合的模块化灵巧手..... | 30 |
| （四）捷昌驱动：聚焦线性驱动，研发机器人核心零部件..... | 31 |
| （五）雷赛智能：依托电机驱动优势，自研推出灵巧手整手产品..... | 32 |
| （六）兆威机电：发挥微型传动技术优势，切入灵巧手等高精度执行端市场..... | 34 |
| 五、风险提示..... | 34 |

图表索引

| | |
|--|----|
| 图 1: 灵巧手是人形机器人实现任务交互的核心部件 | 6 |
| 图 2: 灵巧手驱动、传动和感知系统的方案与选择取决于性能与成本的取舍 | 6 |
| 图 3: 空心杯电机和无刷有齿槽电机优缺点以及灵巧手适用性对比 | 7 |
| 图 4: 以传动方案为划分的灵巧手技术路线的使用场景、代表产品、机械原理及零部件选型 | 8 |
| 图 5: 电驱+连杆传动方案技术原理示意图 | 9 |
| 图 6: 基于腱绳传动的灵巧手结构与手指驱动原理 | 9 |
| 图 7: 特斯拉最新 22 自由度灵巧手可能采用了微型丝杠+腱绳的方案 | 10 |
| 图 8: 灵巧手所需传感器分类 | 11 |
| 图 9: 一维、三维、六维力传感器示意图 | 12 |
| 图 10: Optimus 二代灵巧手拿起、传递、释放鸡蛋的精准力控过程 | 12 |
| 图 11: 电子皮肤通过与人类皮肤相同的结构模拟生物触觉信号 | 13 |
| 图 12: 柔性电子皮肤可能是灵巧手的最终形态 | 13 |
| 图 13: 灵巧手目前面临的硬件和软件挑战及可能的解法 | 15 |
| 图 14: 灵巧手的应用场景决定了零部件的数量及选型 | 15 |
| 图 15: Optimus 三代灵巧手迭代过程 | 16 |
| 图 16: Tesla Optimus Gen3 灵巧手 | 17 |
| 图 17: Tesla Optimus Gen3 灵巧手指自由度拆解 | 17 |
| 图 18: 无刷直流电机结构图 | 18 |
| 图 19: 有刷空心杯电机结构 | 19 |
| 图 20: 无刷空心杯电机结构 | 19 |
| 图 21: 空心杯电机竞争格局 | 20 |
| 图 22: 滚珠丝杠结构 | 21 |
| 图 23: 2022 全球触觉传感器市场竞争份额 | 25 |
| 图 24: 腱绳间的作用关系 | 26 |
| 图 25: 钢丝 | 27 |
| 图 26: 超高分子量聚乙烯纤维 (UHMVPE) | 27 |
| 图 27: DexHand021 结构尺寸 | 31 |
| 图 28: DexHand021 手指自由度 | 31 |
| 图 29: 捷昌驱动部分电动推杆产品 | 32 |
| 图 30: 浙江灵捷机器人零部件有限公司股权结构 | 32 |
| 图 31: 雷赛智能产品情况 | 33 |
| 图 32: DH 系列灵巧手核心部件 | 33 |
| 图 33: 兆威机电灵巧手发布 | 34 |
| 图 34: 兆威机电灵巧手产品结构 | 34 |
| | |
| 表 1: 超高分子量聚乙烯 (UHMWPE)、PBO 纤维与其他纤维性能参数对比 .. | 10 |
| 表 2: 目前主流人形机器人厂商最新灵巧手搭配及技术路线 | 14 |

| | |
|------------------------------|----|
| 表 3: 滚珠丝杠与行星滚柱丝杠对比 | 21 |
| 表 4: 微型丝杠潜在玩家 | 23 |
| 表 5: 触觉传感器分类 | 24 |
| 表 6: 部分国际触觉传感器龙头梳理 | 25 |
| 表 7: 国内触觉传感器产品 | 25 |
| 表 8: 腱绳部分材料商梳理 | 27 |
| 表 9: 因时机器人灵巧手系列产品及基本属性 | 29 |
| 表 10: 傲意科技灵巧手系列产品及基本属性 | 30 |
| 表 11: DexHand021 产品属性 | 31 |

一、灵巧手：性能与成本的博弈

（一）灵巧手核心是驱动、传动、感知三大系统，技术路径仍有分歧

灵巧手是一种仿生物学的末端执行器，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，满足多种工作要求。特别在人形机器人领域，对于人类仿真的需求更高，要求机器人必须具备与真实人类相当的手部结构和运动能力，因此能够实现灵巧操作的灵巧手是人形机器人的必备组成部分。有无灵巧手以及灵巧手的能力如何也是判断一款人形机器人产品竞争力强弱标准之一。

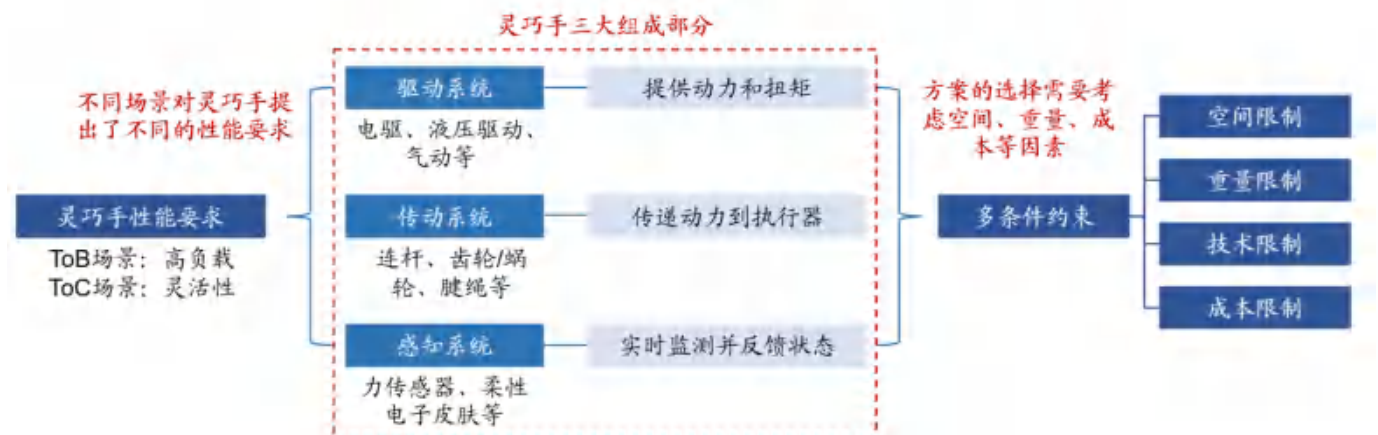
图 1：灵巧手是人形机器人实现任务交互的核心部件



数据来源：特斯拉 Optimus 官方推特，广发证券发展研究中心

灵巧手的核心组成部分包含驱动、传动和感知三大系统。其中驱动系统负责为灵巧手提供动力和扭矩；传动系统负责将驱动系统的动力传递到末端执行器（如手指关节）；感知系统负责实时监测灵巧手的状态（位置、力、触觉等），并与环境交互，实现闭环控制。三大系统各自均有种类繁多的硬件方案可供选择，本质上是条件约束下性能与成本的取舍。

图 2：灵巧手驱动、传动和感知系统的方案与选择取决于性能与成本的取舍



数据来源：广发证券发展研究中心

1. 驱动方案：电驱已成为主流，空心杯电机/无刷有齿槽电机是首选

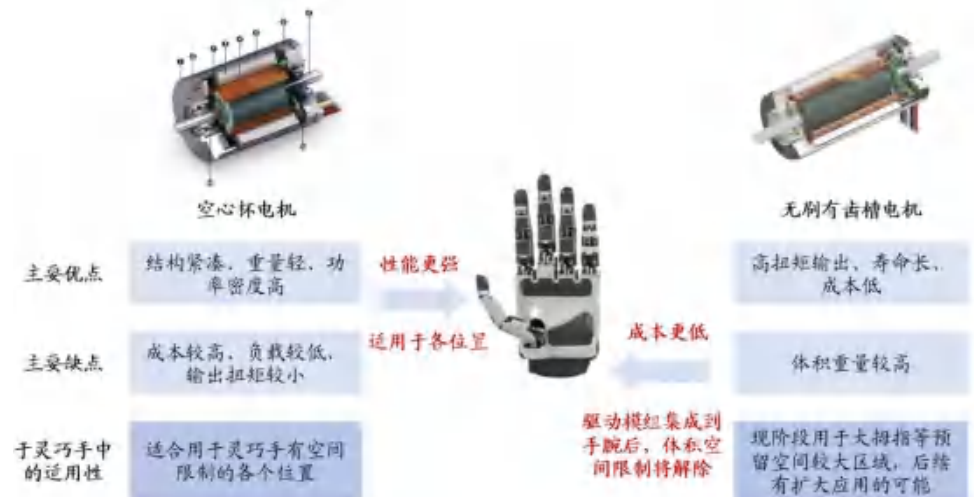
电驱是驱动系统的主流发展趋势。从技术角度来看，灵巧手主要的驱动方式包括4种：液压驱动、电机驱动、气压驱动、形状记忆合金驱动，四种方案各有优缺点，适用于不同的应用场景。而从商业化落地的角度来看，电驱方案凭借体积小、响应快，调控方便、成本较低、精度高、输出力矩稳定等优点，已经成为了人形机器人灵巧手的主流方案。

空心杯电机/无刷有齿槽电机是电驱方案下的核心部件，两者在性能表现和成本上各有优势：

(1) 空心杯电机：由于灵巧手需要“紧凑而精密”的驱动装置，因此相比传统的直流电机，采用无铁芯转子的空心杯电机具备体积小、响应速度快、控制精度高、运行平稳等特点，是满足灵巧手驱动装置需求的首选之一（应用于特斯拉Optimus、因时机器人等灵巧手产品中）。但空心杯电机的劣势在于输出扭矩相对较小且成本较高，耐用性较差。

(2) 无刷有齿槽电机：相比空心杯电机最重要的优点在于成本较低，可以有效促进灵巧手降本，而缺点在于体积和重量较大、响应速度慢。根据特斯拉2024年AI Day展示的最新型22自由度灵巧手，特斯拉已经将驱动装置集成到了手腕位置，随着体积限制问题得以解决，成本更低的无刷有齿槽电机在灵巧手中的应用有望逐渐增加。

图 3：空心杯电机和无刷有齿槽电机优缺点以及灵巧手适用性对比



数据来源：万高电机官网，广发证券发展研究中心

2. 传动方案：路线分歧较大，各方案选择与组合种类繁多

机械传动结构的选择对于灵巧手的性能至关重要。一方面，它决定了机械设计的难易复杂程度以及成本，另一方面则直接影响灵巧手传动的效率和可靠性。

灵巧手的传动方案包括连杆传动、腱绳传动、齿轮/蜗轮蜗杆传动等，目前商业化方案以连杆、腱绳为主。灵巧手的驱动方案和传感器选择具有一致性，功能上的差异主要由传动方式的不同体现。**(1) 腱绳传动**结构简单且灵活度较高，已有特斯拉

Optimus、Shadow Hand等商业化落地产品；**(2) 连杆传动**刚度大，易实现强力抓取，在假肢等领域应用较为成熟，同样也被应用于灵巧手领域（因时机器人方案）；**(3) 齿轮/蜗轮蜗杆传动**扭矩输出强且结构紧凑，但在背隙、磨损、噪音、体积和重量方面有所缺陷，这使其较难在机器人灵巧手形成规模化应用。

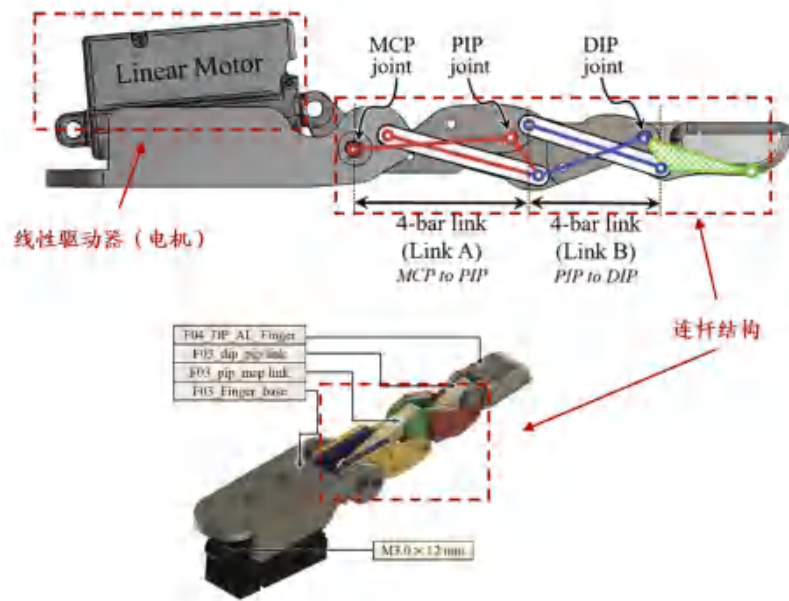
图 4：以传动方案为划分的灵巧手技术路线的使用场景、代表产品、机械原理及零部件选型

| | | 零部件 | 机械原理 | 代表产品 | |
|--------------|-----------|---|---|---|---------|
| 性能提升 成本增加 | 连杆传动 |  驱动：微型电机 传动：丝杠，导轨，关节轴承，曲柄，连杆等 传感：触觉，位置，力/力矩传感器等 |  优点：重复定位精度高，刚度大，强力抓取 缺点：不规则形状物体抓握适应性较差；传动结构复杂 |  代表产品：因时灵巧手， <u>5万元/只</u> 6DoF+12关节/0.53kg 指尖力10-15N 重复定位精度0.2mm | 商业化成熟方案 |
| | 腱绳传动 |  驱动：微型电机，气动柔性驱动（PMA）等 传动：绳腱，连杆，丝杠等 传感：六轴陀螺仪，加速度计，角度，力矩，触觉，电流，温度传感器等 |  优点：灵活性高，柔性抓取 缺点：负载能力弱；使用寿命较低 |  代表产品：Shadow Hand， <u>5-9万美钞/只</u> 20DoF+24关节/4.3kg 单手抓取重量5kg | |
| | 齿轮/蜗轮蜗杆传动 |  驱动：微型电机等 传动：微型谐波，钢丝绳，齿轮，带，丝杠等 传感：角度，力矩，触觉，速度，温度传感器等 |  优点：具有高精度、高重复性，高刚度 缺点：关节复杂，设计困难，成本极高 |  代表产品：DLR-HIT Hand II， <u>90万元/只</u> 15DoF+15关节/1.5kg 指尖力10N | |

数据来源：Integrated linkage-driven dexterous anthropomorphic robotic hand, Development of Cable-driven Anthropomorphic Robot Hand, Multisensory Five-Finger Dexterous Hand: The DLR/HIT Hand II, GaiTech, robots guide, Shado, 《仿人灵巧手动力学研究》（靳果、邱兵涛、韩枫），《机器人灵巧手研究综述》（刘伟、肖钊、瞿寅朋、许守亮），因时机器人产品手册，爱采网，Shadow Hand 产品手册，DLR 官网，小米技术，广发证券发展研究中心

连杆传动具有优良的负载能力和传动刚度优势。连杆传动采用多个连杆结构串并联混合使用，通过电机结合减速装置进行减速，再使用连杆结构将动力传递至手指。其优点在于刚性驱动模式下刚度大，能够抓取大型的物体且结构设计紧凑。但是其也存在一定缺点，例如传动结构极为复杂，拟人化程度较低。目前连杆传动方案是商业化假肢最佳方案，在部分机器人产品中也有使用（ILAD、因时机器人灵巧手、仿生手BeBionic等），但其自适应差、灵活度不足的缺点使其在目前人形机器人灵巧手中的应用逐步减少。

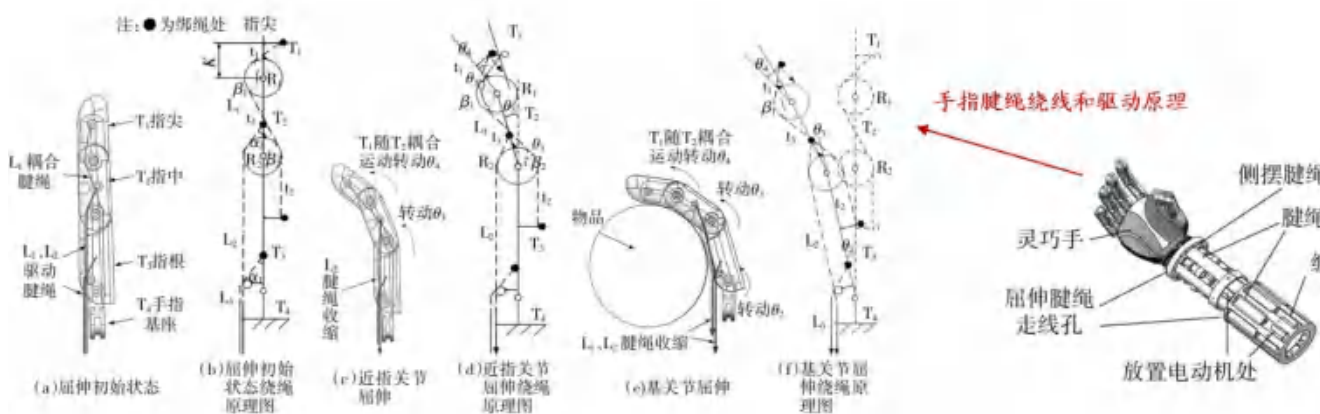
图 5: 电驱+连杆传动方案技术原理示意图



数据来源: 《An open-source anthropomorphic robot hand system: HRI hand》
(Hyeonjun Park 等), 广发证券发展研究中心

腱绳传动是目前灵巧手研究中应用最为广泛的一种传动方式。腱绳在一定程度上模拟了人手的肌腱结构, 线绳传动使得大型的驱动器远离了执行机构, 减轻末端的负载和惯量, 提升了抓取的速度。同时腱绳传动系统可以实现模拟人手的柔性控制, 适合空间狭小且需要驱动自由度数目较多的传动场合。但腱绳传动也有自身的局限性, 例如带负载能力较弱, 不适合特定工业场景下的高负载抓握, 以及腱绳本身存在预紧力, 需要较好的控制算法抵消输出误差等。

图 6: 基于腱绳传动的灵巧手结构与手指驱动原理



数据来源: 《基于腱绳驱动的仿人灵巧手》(刘阳等), 广发证券发展研究中心

腱绳材料一般选用高性能纤维材料, 主流的选择包括UHMWPE和PBO纤维。两者相对比, PBO纤维拥有更高的拉伸强度、拉伸模量和优异的阻燃耐高温性能等优势, 目前已经成为航空航天、国防军工、警用消防装备、轨道交通、电子通讯以及民用防护等领域的关键材料, 材料性能表现更加优异, 但成本极高, 每吨价格可达约180万

元。相比之下，UHMWPE纤维（超高分子量聚乙烯）作为继芳纶和碳纤维之后的第三代高性能纤维，具有超高强度、重量轻、耐冲击性能好、电绝缘性好、导热性能佳、耐化学腐蚀、抗紫外线性能佳等优势，且对比PBO纤维成本较低（约10万元/吨），短期内更适合作为灵巧手的腱绳材料，但在一些特殊的工作场景下（例如150°C以上的工作环境），UHMWPE纤维会出现热分解，不适宜作业。对比来看，腱绳材料的选择也需综合应用场景、性能要求和成本考量。

表 1: 超高分子量聚乙烯（UHMWPE）、PBO纤维与其他纤维性能参数对比

| 参数 | UHMWPE | PBO | 对位芳纶 | 钢丝 |
|-------------------------|-----------|-----------|-------------|---------|
| 拉伸强度 (GPa) | 3.5 | 5.8 | 2.8 | 2.8 |
| 拉伸模量 (GPa) | 110 | 280 | 109 | 200 |
| 断裂伸长率 (%) | 3.5 | 2.5 | 2.4 | 1.4 |
| 密度 (g/cm ³) | 0.97 | 1.56 | 1.45 | 7.8 |
| 热分解温度 (°C) | 150 | 650 | 550 | - |
| 极限氧指数 (%) | 16.5 | 68 | 29 | - |
| 价格 | ~10 万元 /吨 | ~180 万元/吨 | ~10-20 万元/吨 | <1 万元/吨 |

数据来源：中国复合材料工业协会官网，百度爱采购网，广发证券发展研究中心

注：PBO 纤维参数选取日本东洋纺公司初生丝参数

微型丝杠+腱绳的复合传动方案有望带来灵巧手最新解。根据2024年特斯拉AI Day所展示的最新灵巧手，其传动方案可能由“蜗杆+腱绳”转换为了“微型丝杠+腱绳”。根据《多指灵巧手动力学与操作控制技术研究》，“微型丝杠+腱绳”方案是指将电机和滚珠丝杠外置于手臂中，电机通过减速箱带动滚珠丝杠，从而拉动腱绳控制手指关节运动的一种方法。

图 7: 特斯拉最新22自由度灵巧手可能采用了微型丝杠+腱绳的方案



数据来源：特斯拉 Optimus 官方推特，《多指灵巧手动力学与操作控制技术研究》（徐彤彤），广发证券发展研究中心

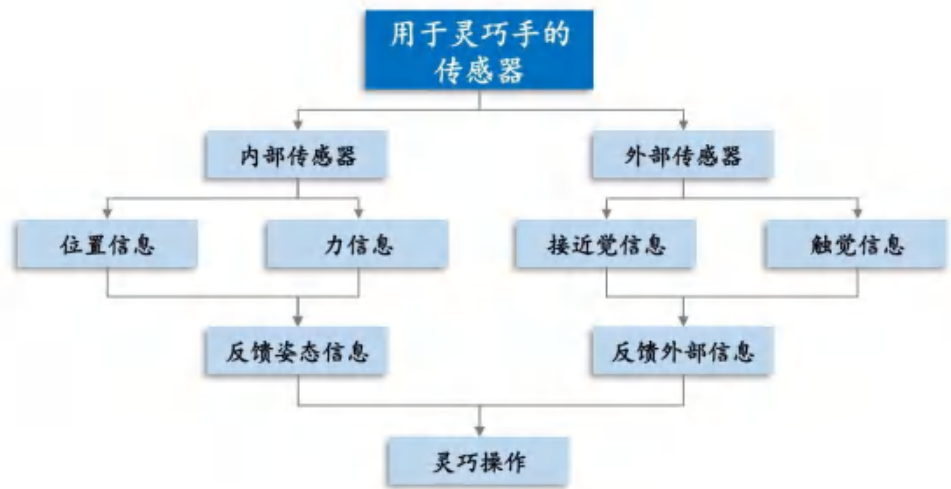
综合来看，传动方案的选择是目前人形机器人灵巧手的主要争议所在。不同方案之间存在各自的优缺点（例如连杆适合高负载，腱绳适合柔性操作），同时各传动方案也存在彼此融合搭配的可能（例如特斯拉微型丝杠+腱绳的方案），而不同的方案下

硬件搭配又各不相同，因此现阶段我们对于灵巧手的迭代需要重点关注其传动方案的确定情况，以及是否出现了通用性方案吸引行业厂商跟随。

3. 感知方案：多维感知需求将推动传感器种类、数量增加

灵巧手的传感器大致分为内部和外部两大类。内部传感器主要包括位置、弯曲和扭矩传感器用于捕捉关节的位置信息、转动角度、关节扭矩等数据，以实现灵巧手对抓取力度的精确掌控。外部传感器划分为接近觉和触觉传感器，提供探测物体表面和物体与灵巧手之间的相对位置的能力以及感知物体信息和抓取力度等多方面信息。

图 8：灵巧手所需传感器分类



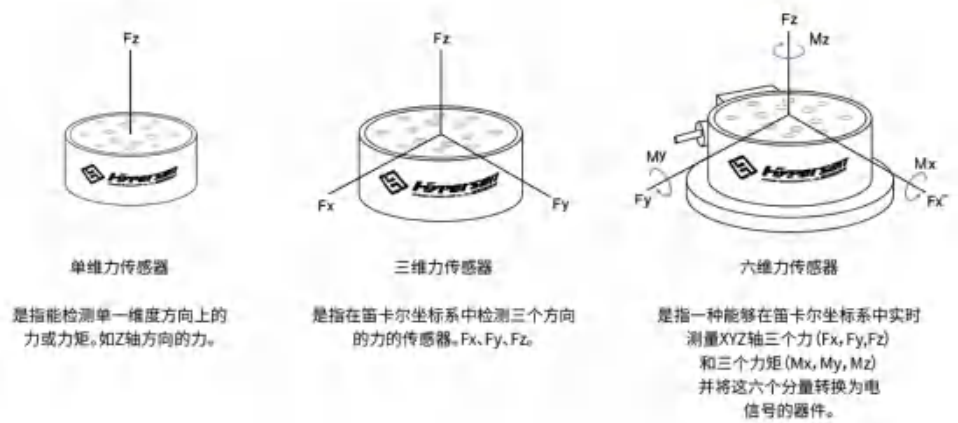
数据来源：广发证券发展研究中心

(1) 内部传感器：力/力矩传感器是灵巧手实现精确力控的关键

力/力矩传感器可将力或力矩的量值转换为相关电信号。根据测力的维数，力传感器通常分为一维、三维和六维力传感器。简单来说，任何力在空间坐标系中都可被拆分为三个坐标轴方向的力（力的大小）和力矩（围绕坐标轴的转矩），即六个维度。多维力传感器相比于低维力矩传感器技术壁垒更高，因为多维力传感器不仅要解决对所测力分量敏感的单调性和统一性难题，还要解决因结构加工和工艺偏差引起的维间扰乱难题、动静态标定难题以及矢量运算中的解耦算法和电路实现等。

其中，六维力矩传感器是性能最优、力觉信息最全面的力矩传感器。在指定的直角坐标系内，六维力矩传感器能够同时测量沿三个坐标轴方向的力(F、FY、FZ)和绕三个坐标轴方向的力矩(MX、MY、MZ)，是目前最完整的多维力传感器形式。

图 9：一维、三维、六维力传感器示意图



数据来源：海伯森技术官网，广发证券发展研究中心

作为人形机器人中的关键零部件，六维力传感器的关键性能参数直接影响灵巧手的运作效果。其全面的感知能力能够帮助灵巧手实现精确力控和柔顺控制，根据海伯森技术官网，目前人形机器人业内对提升人形机器人柔顺控制的共识是将六维力传感器安装在人形机器人的手腕、脚踝和灵巧手等部位，让其持续检测人形机器人与环境之间的多维交互力和力矩，并最终在运控规划、姿态调整、力度感知等功能中起到重要作用。例如特斯拉展示的第二代人形机器人Optimus已经采用六维力传感器用于手腕和脚踝的力控，通过六维力传感器，Optimus能够精确感知和调整与环境的交互力，从而实现复杂任务的自主操作，如搬运物品、装配零件等。

(2) 外部传感器：灵巧手有望带动触觉传感器的增量需求

阵列触觉传感器提供多信息触觉反馈，助力手脑协同。阵列触觉传感器通过建立多个单模态传感器获得的触觉信息的联系，综合感知抓取物体的多物理量信息，反馈并优化手指抓取动作的力度与位置。根据特斯拉发布的Optimus二代机器人展示视频，其灵巧手指尖部位采用能阵列触觉传感器实现精准力控，已经可以完成抓取鸡蛋的动作，具备抓取易碎物品的能力。

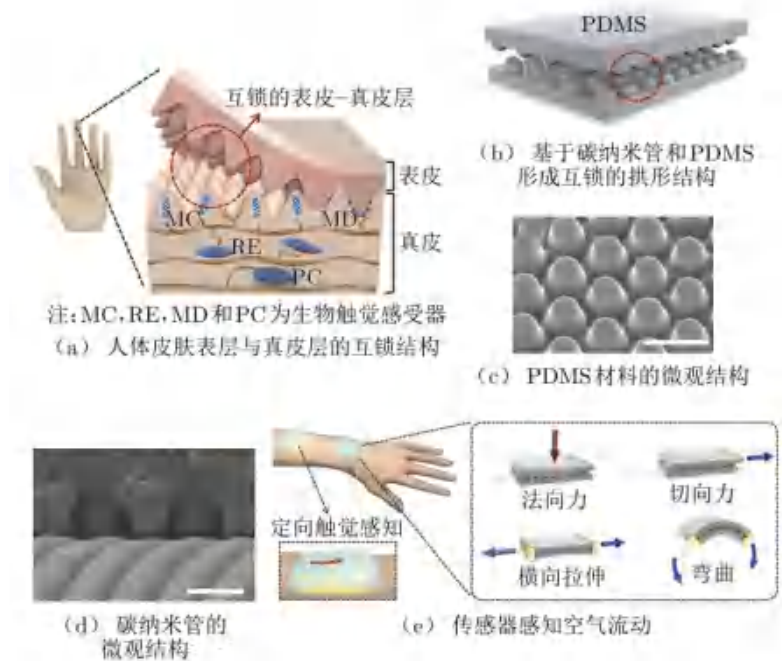
图 10：Optimus二代灵巧手拿起、传递、释放鸡蛋的精准力控过程



数据来源：特斯拉 Optimus 官方推特，广发证券发展研究中心

电子皮肤可感知更高维度信息且具备更高仿生特性，未来或将应用于灵巧手。随着感知信息的要求和仿生学要求的不断提升，兼备柔性+触觉反馈+仿生的特性的电子皮肤或成为灵巧手传感方案的高端选择。触觉传感器也将不再局限于采集力信息，而是向着模拟生物皮肤复杂属性与功能的仿生化需求前进。

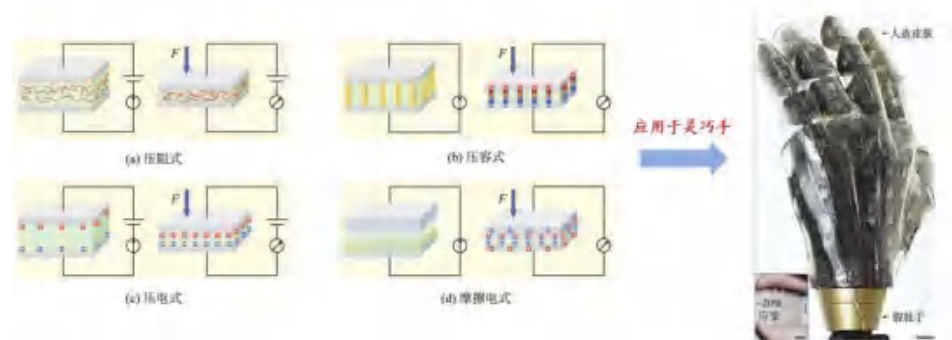
图 11: 电子皮肤通过与人类皮肤相同的结构模拟生物触觉信号



数据来源：《触觉传感器与电子皮肤研究进展》（朱盛鼎等），广发证券发展研究中心

目前电子皮肤主流的触觉传感器技术路线各有优劣。根据原理不同，触觉传感器分为压阻式、电容式、压电式和光学式等，最常见的是压阻式、电容式和压电式触觉传感器。电阻式灵敏度高、设计简单却在宽量程压力下信号一致性欠佳；电容式分辨率和灵敏度高，但面临电路复杂与需电磁屏蔽的问题；压电式信号线性度良好，却低频响应弱且仅能测量动态信号；光学式分辨率极高，不过成本高昂且易出现信号漂移；霍尔效应式支持三维力感知，然而存在结构复杂和易受磁场干扰的不足。

图 12: 柔性电子皮肤可能是灵巧手的最终形态



数据来源：《柔性触觉传感器智能感知技术与应用研究进展》（尹宝凡等），广发证券发展研究中心

（二）主流厂商灵巧手百花齐放，通用方案尚未出现

市面上主流机器人厂商灵巧手路线各不相同。从目前公开的技术和专利信息来看，大部分成熟的机器人厂商在灵巧手的选型上都沿用了不同的路线。传动系统上，以特斯拉为例，Optimus最早采用“蜗杆+腱绳”的方案，而2024年底公布的第三代灵巧手则采用了“丝杠+腱绳”的方案；与特斯拉的混合传动方案相似的是智元于2024年8月发布的最新视触觉五指灵巧手，在不同的部位采用了丝杠+连杆+涡轮杆+腱绳等多有混合传动方案。感知方案上，目前主流灵巧手产品均搭载了触觉传感器。

表 2：目前主流人形机器人厂商最新灵巧手搭配及技术路线

| 机器人型号 | 灵巧手搭配 | 自由度 | 驱动方案 | 传动方案 | 感知方案 | |
|-----------|-----------|----------------------|---------------|----------|------------------|-----------|
| 宇树科技 | G1 | 可搭载因时机器人 RX56DFX 灵巧手 | 6 | 微型伺服电机 | 直驱 | 力传感器*6 |
| | H1 | 自研 Dex3-1 三指灵巧手 | 7 | 微型无刷直驱电机 | 齿轮传动 | 33 个触觉传感器 |
| 智元 | 远征 A1 | 视触觉五指灵巧手 | 19 (12 主动) | - | 丝杠+连杆+涡轮杆+腱绳混合传动 | 视触觉传感器 |
| 小鹏 | PX5 | PX5 机械手 | 11 | - | 连杆传动 | - |
| | Iron | 新一代灵巧手 | 15 | - | - | - |
| 星动纪元 | Star1 | XHand1 | 12 | 准直驱 | 齿轮传动 | 触觉阵列传感器 |
| Tesla | Optimus | 第三代灵巧手 | 22 | 空心杯电机 | 丝杠+腱绳混合传动 | 指尖触觉传感器 |
| Figure AI | Figure 02 | 第四代灵巧手 | 16 | - | - | - |
| 1X | NEO Gamma | 灵巧手 | | | 暂未公开 | |

数据来源：宇树科技官网，因时机器人官网，智元机器人官网，小鹏官网，星动纪元官网，Tesla 官方推特，Figure AI 官方推特，广发证券发展研究中心整理

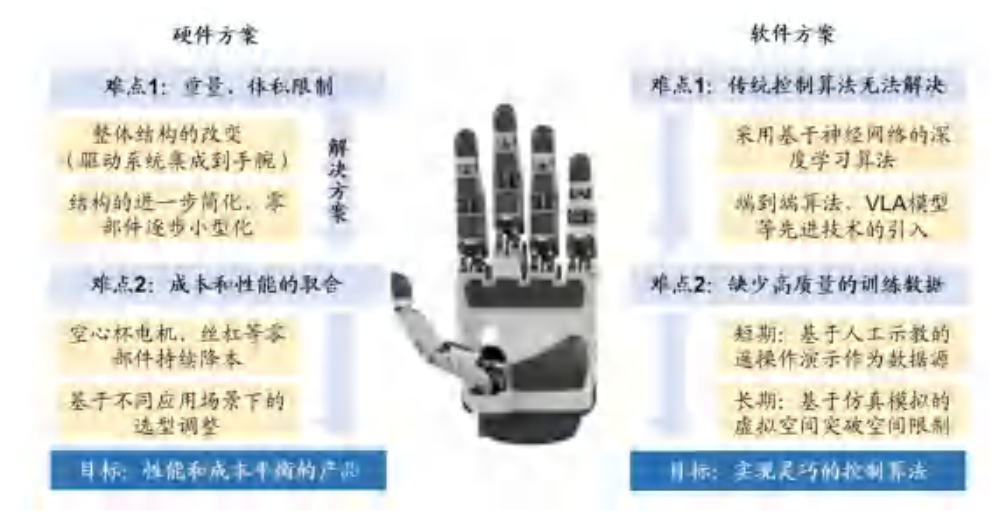
注：所有自由度数量、传感器数量均为单手参数

灵巧手的难点何在？我们认为是硬件和软件的双重挑战。

硬件上：目前电机、丝杠等零部件的性能已经可以满足灵巧手的需求，主要的难点在于成本和性能的权衡。人手具有极高的自由度（约20-27个自由度），而灵巧手要实现类似的灵活性，需要在有限的空间内集成大量驱动部件，同时还必须考虑灵巧手的整体重量和体积，这就对灵巧手整体结构的设计提出了高要求；此外，高自由度、高精度的灵巧手通常成本较高，限制了其大规模商业应用，因此在具体选型上也必须综合考虑零部件和材料的成本问题。

软件上：灵巧手的自由度越高，动作规划的复杂度越高，对运动控制算法的要求也就越高，目前基于规则的传统控制算法已经无法满足灵巧手，主流的解决方案是采用基于神经网络的深度学习进行训练；其次，灵巧手的算法训练需要大量的高质量数据，但目前灵巧手领域缺乏类似大语言模型的大型开源数据集，数据获取成本高且难度大（目前采用人工示范、仿真模拟等），限制了算法的优化和提升。

图 13: 灵巧手目前面临的硬件和软件挑战及可能的解法

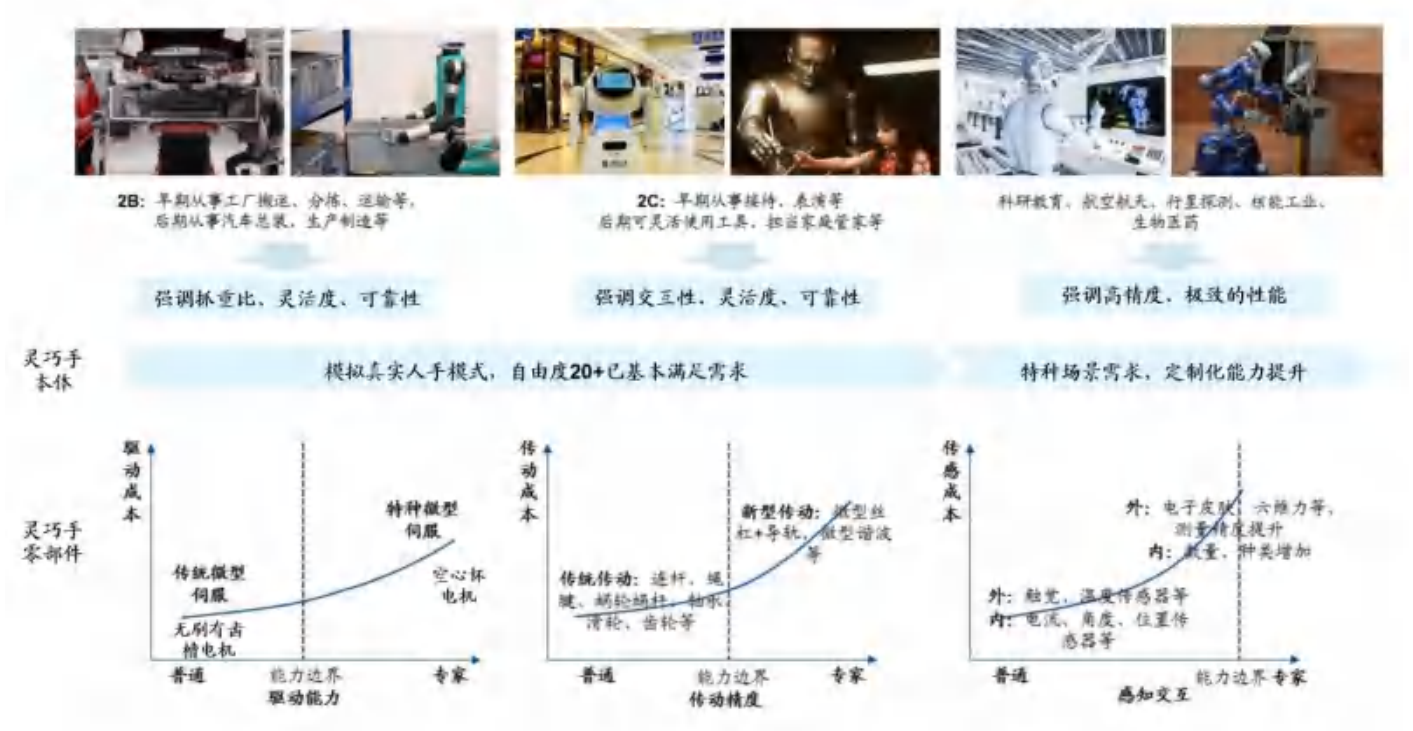


数据来源: 广发证券发展研究中心

从场景出发, 极致的性能和成本不可兼得。以特斯拉Optimus为例, 根据其演示视频目前第三代灵巧手采用的“空心杯电机+微型丝杠+腱绳+触觉传感器”的方案可以实现非常好的操作表现, 甚至能够抓住飞来的网球等此类难度较高的任务, 在性能上已经能够满足人形机器人的要求。但该方案采用的零部件(空心杯电机、微型丝杠等)均成本较高, 难以在短期满足降本需求。

结合现有案例分析而言, 我们认为短期内在尚未出现成熟的通用灵巧手方案时, 人形机器人需要在满足功能需要的同时尽可能降低成本, 以场景驱动灵巧手方案的选择可行性更高, 未来灵巧手可能存在选配方案, 高端产品与中低端并存。

图 14: 灵巧手的应用场景决定了零部件的数量及选型



数据来源: 广发证券发展研究中心

二、Optimus 三代灵巧手的迭代

特斯拉灵巧手第三代重构驱动与传动架构，迭代路径由验证迈向性能跃升。2024年发布的第三代灵巧手产品在整体架构上实现关键突破，自由度由11个倍增至22个，改用腱绳驱动+丝杠传动，驱动器从手掌内移至前臂，释放空间用于复杂传动布置，标志着特斯拉灵巧手向高性能执行系统演进的关键跃迁。

回顾演进路径，首代产品以空心杯电机驱动、绳驱+蜗轮蜗杆为核心结构，配套基础传感器，用于实现基础抓取与非反向驱动控制；第二代产品则在维持自由度不变的同时，系统引入触觉传感器、提升柔顺性与力控精度，验证“抓蛋”等精细动作场景。三代架构重构后，传动方案演进为“丝杠+腱绳”协同，驱动响应与输出功率双向优化，同时感知系统有望形成闭环控制能力，支撑更高自由度下的稳定协调操作，进一步强化灵巧手在多任务操控与交互应用中的可行性与鲁棒性。整体来看，特斯拉灵巧手已步入“精密控制+系统协同”阶段。

图 15: Optimus三代灵巧手迭代过程



数据来源：Tesla 官网，Dirty Tesla，广发证券发展研究中心

特斯拉第三代灵巧手结构全面升级，主动关节数量显著提升，仿生性与操控精度同步进化。在前两代产品的基础上，特斯拉第三代灵巧手实现大幅升级，整体关节自由度由上一代的11个提升至22个，其中主动控制的自由度由6个提升至17个。结构上，第三代产品新增多个手指关节节点，使各手指具备更完整的仿生构型，显著增强了手指的独立运动能力与整体协调性。同时，拇指与小指在环绕手掌方向的协同能力进一步优化，抓取适应性与操控精度同步提升，赋予灵巧手更强的多任务操作能力。

在手掌近端，五根手指的掌指关节均具备两个主动自由度，分别对应屈伸与横向摆

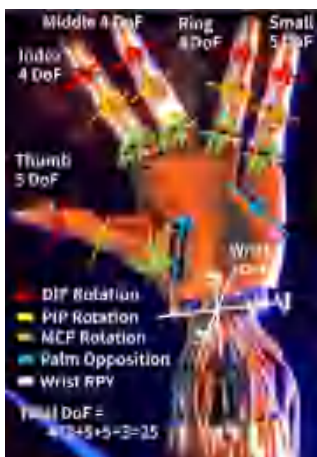
动,总计实现10个主动关节控制。该设计允许每根手指在抓取过程中自主调整姿态,从而更好适应不同形状与尺寸的目标物体,提高整体抓握的稳定性和顺应性。

中指节区域采用“主-从控制”策略,所有中间关节配备1个主动自由度,而远指关节通过被动回弹机构实现跟随式驱动,具备一个被动自由度。此结构方案依托腱绳传动及回弹复位系统,通过掌指关节的主动控制间接带动远端关节弯曲,形成自然的手指弯曲路径,在降低控制系统复杂度与能耗的同时,实现更高的结构柔顺性与仿生表现。

拇指与小指作为实现“对掌能力”的关键部位,比其他手指多一个自由度,二者分别配置5个自由度。其中掌指、中指、远指关节结构与其他手指相同,并额外加入1个独立的对掌旋转关节,使拇指可绕手掌旋转完成高精度捏取,小指则在大物体包覆过程中提升侧向支撑与稳定性。

总体来看,特斯拉第三代灵巧手在结构布局与驱动机制上形成系统性跃升。17个主动自由度与5个被动自由度协同设计,全面提升了灵巧手在仿生性、操控精度与多场景适应性方面的综合能力,为后续在人形机器人、智能制造、医疗康复等高要求场景中的工程化落地提供了坚实支撑。

图 16: Tesla Optimus Gen3灵巧手



数据来源: : Optimus Gen 3 Hand SECRETS REVEALED W/Scott Walter, DirtyTesla, 广发证券发展研究中心

图 17: Tesla Optimus Gen3灵巧手手指自由度拆解

| | 主动自由度 | 被动自由度 | 单指自由度合计 |
|-----------|-----------|----------|---------|
| 大拇指 | 4 | 1 | 5 |
| 食指、中指、无名指 | 3 | 1 | 4 |
| 小拇指 | 4 | 1 | 5 |
| 合计 | 17 | 5 | |

数据来源: Dirty Tesla, 广发证券发展研究中心

三、灵巧手关键零部件拆解分析

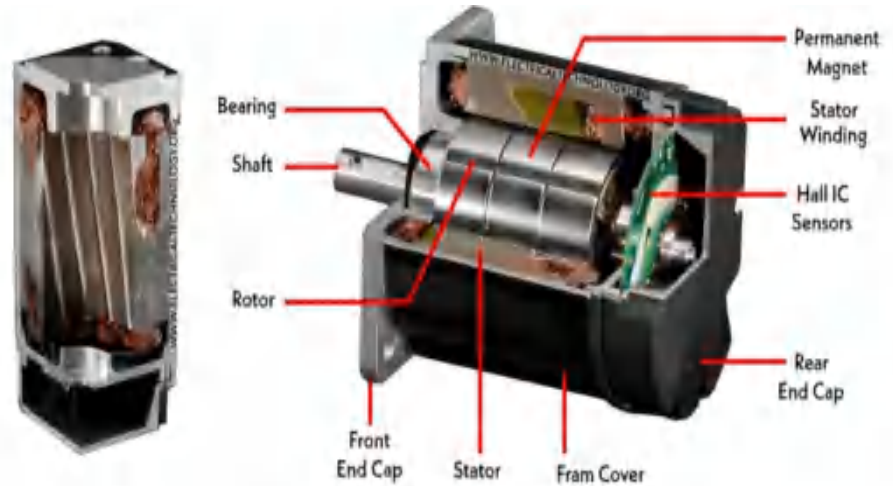
灵巧手作为人形机器人末端执行的重要模块,其性能上限高度依赖于核心部件的协同配置与集成能力。从动力传动到感知反馈,从微型结构件到材料选型,灵巧手逐步走向小型化、高功率密度、闭环控制与仿生结构深度融合的发展趋势。

(一) 无刷直流电机: 灵巧手核心驱动源, 兼顾紧凑结构与高功率密度

无刷直流电机 (BLDC) 是现代电机技术的重要分支,因其高效率、长寿命和低维护成本,在机器人、工业自动化和精密设备领域得到了广泛应用。无刷直流电机与传

统直流电机的主要区别在于其采用**电子换向而非机械换向**，消除了电刷和换向器所带来的摩擦损耗和电磁干扰，从而提高了可靠性和运行效率。BLDC电机的基本结构包括定子、转子和电子控制器，其中定子包含绕组线圈，转子则配备永磁体。电子控制器根据传感器反馈信号，精确控制绕组的通电顺序，以确保电机稳定运行。根据定子绕组和转子结构的不同，无刷直流电机可以进一步细分为外转子电机、内转子电机和盘式电机等不同类型。

图 18: 无刷直流电机结构图



数据来源: ELECTRICAL TECHNOLOGY, 广发证券发展研究中心

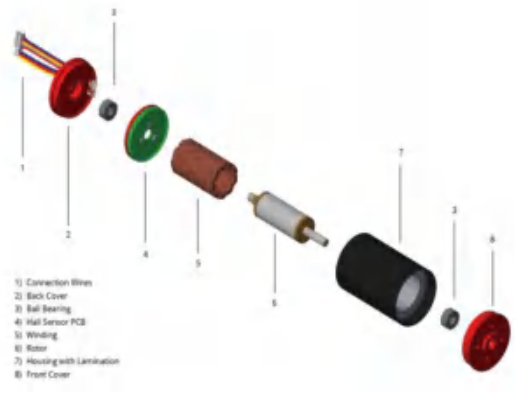
空心杯电机是一类特殊结构的直流电机，其定子绕组采用无铁芯设计，使得转子惯量极低，极大地提高了电机的响应速度和控制精度。空心杯电机根据换向方式的不同，可以分为有刷空心杯电机和无刷空心杯电机。有刷空心杯电机通过碳刷和换向器实现电流换向，具有结构简单、成本较低的优势，但碳刷磨损会影响电机寿命和运行稳定性。而无刷空心杯电机采用电子换向，消除了碳刷的摩擦损耗，具备更高的效率和更长的使用寿命，适用于高速、高精度的运动控制场景。相较于传统有铁芯电机，空心杯电机在高速运行时能够有效减少涡流损耗，显著提升效率。此外，空心杯电机具备优异的启停性能和低噪音特性，广泛应用于医疗器械、精密仪器和机器人关节等高精度运动控制场景。

图 19: 有刷空心杯电机结构



数据来源: Assun ,Motor, 广发证券发展研究中心

图 20: 无刷空心杯电机结构



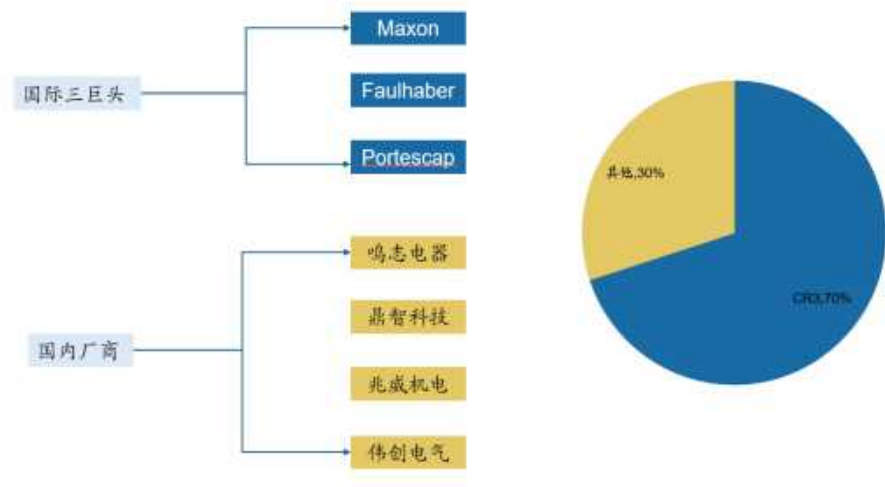
数据来源: Assun ,Motor, 广发证券发展研究中心

无刷空心杯电机因其轻量化、高响应速度和低能耗的特性，在灵巧手领域具有广泛应用。其核心优势在于能够提供精准的扭矩控制，并结合高精度传感器，实现灵巧手的精细化操控。目前，市场上的高端灵巧手，如Tesla Optimus Gen3、Shadow Dexterous Hand等，均采用无刷空心杯电机，以提升抓取精度和运动稳定性。此外，结合腱驱动技术和微型丝杠推进器，无刷空心杯电机能够有效降低系统惯量，提高灵巧手的控制精度和运动平稳性。随着机器人技术的发展，未来无刷空心杯电机在灵巧手领域的应用有望进一步拓展，推动仿生机械手在工业制造、医疗康复等高端应用场景中的广泛落地。

空心杯电机竞争格局：海外寡头主导，国内龙头加速追赶。当前全球空心杯电机市场格局高度集中，Maxon、Faulhaber和Portescap三家国际巨头凭借早期技术积累和稳定下游绑定关系，构筑坚实技术与品牌壁垒，根据电机通统计，三家合计市占率高达70%–80%，稳居第一梯队。以Maxon为例，根据其公司官网显示，产品年产能超500万件，广泛用于NASA火星探测、医疗等高端领域。

国内厂商积极突破中高端市场瓶颈，技术与产能同步推进。其中，鸣志电器实现空心杯电机批量化生产，在慢速移动机器人、高端医疗等领域取得突破，订单超产能，产线持续扩张；鼎智科技为国内首家实现空心杯电机自动化批产企业，自研制造设备保障产品一致性和寿命，已向军工及医疗领域渗透；兆威机电和伟创电气则分别聚焦齿轮箱一体化驱动方案与机器人测试样机，具备逐步切入中高端市场的潜力。

图 21：空心杯电机竞争格局



数据来源：电机通公众号，广发证券发展研究中心

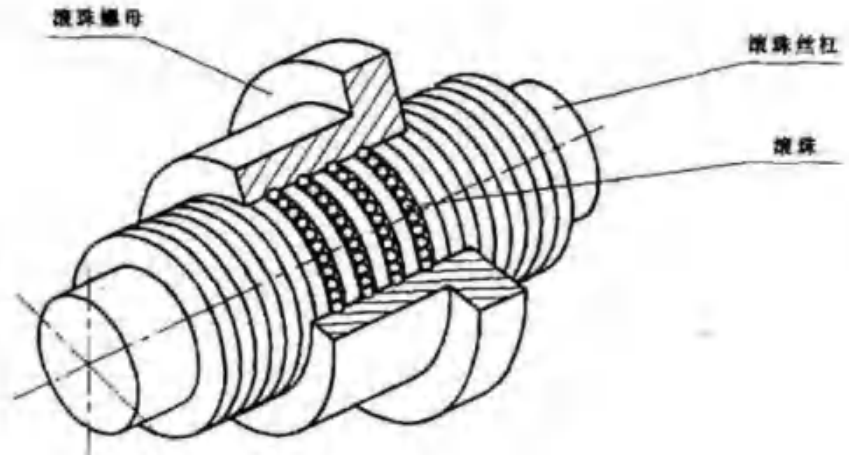
从竞争壁垒看，国外厂商在电机材料、本体结构和电磁方案设计等方面具备领先优势，兼具成熟的工艺与批产能力。国内厂商虽与之存在差距，但近年来在驱动控制、绕线设备及本土化适配方面不断突破，随着人形机器人、医疗器械等下游放量应用的催化，国产空心杯电机有望加速进入高端替代窗口期。

（二）微型丝杠：精密直线传动核心部件，驱动性能与结构紧凑性兼具

微型滚珠丝杠是灵巧手内部关键的线性传动装置，其核心作用在于将电机的旋转运动转换为高精度线性运动，实现手指的精准屈伸。相较于传统的螺纹传动方案，滚珠丝杠通过滚珠在丝杠槽内滚动来降低摩擦，具备更高的传动效率和定位精度，使灵巧手在有限的空间内提供更稳定的推力输出。目前，微型滚珠丝杠已广泛应用于人形机器人、医疗康复设备、精密执行机构等领域，为灵巧手的高自由度操控提供了核心支撑。

相较于其他传动方式，微型滚珠丝杠在高精度、低摩擦、小型化设计方面具备显著优势，适用于灵巧手对精细控制和紧凑结构的需求。首先，滚珠丝杠的滚珠传动方式大幅减少了机械摩擦损耗，使手指关节在执行高精度抓取动作时更加稳定。其次，其高推力紧凑型设计能够在有限空间内提供较大的输出力矩，满足灵巧手对小型化和高功率密度的要求。此外，滚珠丝杠的耐用性较高，使灵巧手在高强度使用场景下具备更长的使用寿命。

图 22: 滚珠丝杠结构



数据来源：金属加工公众号，广发证券发展研究中心

滚珠丝杠和行星滚柱丝杠是两种常见的高精度线性传动装置，但由于结构和性能特性的不同，在机器人不同部件中的应用场景有所区别。滚珠丝杠由于结构紧凑、摩擦小、响应快，适用于低载荷、高精度、小型化应用，如灵巧手及微型执行机构，在需要高灵活性和精细运动控制的场景表现优异。相比之下，行星滚柱丝杠则更适用于高负载、高刚性应用，如机械臂和大扭矩执行机构。其承载能力和刚性远超滚珠丝杠，适用于工业机器人及人形机器人关节驱动，以提升整体系统的稳定性和耐久性。

表 3: 滚珠丝杠与行星滚柱丝杠对比

| 特性 | 滚珠丝杠 | 行星滚柱丝杠 |
|--------|---|--|
| 结构组成 | 由丝杠、螺母、钢球、导珠管等组成。丝杠和螺母螺纹为单头或多头，丝杠、螺母螺纹滚道为单圆弧滚道或双圆弧滚道，结构简单。 | 由丝杠、螺母、滚柱、内齿圈、压盖、挡圈等构成。丝杠、螺母为齿形角 90° 三角形多头螺纹，滚柱为双凸圆弧齿形单头螺纹，结构复杂。 |
| 循环方式特点 | 丝杠、螺母滚道通过导珠管组成滚珠循环回路，每一个导珠管组成 1.5 圈或多圈滚珠链，丝杠副可以由多个导珠管组成多个滚珠链。 | 滚柱丝杠结构类似于行星齿轮结构，丝杠有多个滚柱，且滚柱与丝杠、螺母呈多点接触。 |
| 滚动体 | 滚珠 | 滚柱 |
| 外形尺寸 | 由于滚珠螺母及滚珠丝杠滚道槽较深，滚珠嵌在丝杠、螺母内部，因此，滚珠螺母外形尺寸小。 | 由于丝杠螺母牙型深度较小，滚柱直径又大，滚柱螺母外形尺寸大。 |
| 运动平稳性 | 由于滚珠在丝杠循环滚珠链中运动要通过返向机构，容易产生冲击，影响丝杠副平稳性。 | 滚柱在丝杠中滚动没有返向机构，不产生冲击、震动，因而丝杠副运行平稳。 |
| 传动效率 | 由于滚珠外表面粗糙度高且精度高，滚动摩擦系数小，传动效率高，可以大于 90%。 | 虽滚柱与丝杠、螺母接触为点接触及滚动摩擦，由于螺母、丝杠及滚柱加工误差及表面粗糙度等原因，传动效率一般低于 90%。 |
| 承载 | 小规格、小导程，承载小，大规格、大导程承载大。 | 滚柱接触点多，接触承载大。小规格、小导程行星滚柱丝杠副承载大于滚珠丝杠副承载。 |

| 加工及装配工艺性 | 简单 | 复杂 |
|----------|-----------------------------|--|
| 可靠性 | 结构简单，零件加工及装配精度易于保证，因此，可靠性高。 | 丝杠、螺母为多头细牙螺纹，由于螺纹分度误差及牙型强度等原因，实际承载远小于理论承载，且可靠性差。 |

数据来源：《行星滚柱丝杠副的研究》(肖正义,2019)，广发证券发展研究中心

未来，微型滚珠丝杠的发展趋势将围绕更高精度、更轻量化、更智能化方向展开，以适应灵巧手对高性能传动组件的需求。首先，随着人形机器人对手部执行机构小型化的要求提升，微型滚珠丝杠的结构设计将进一步优化，以减小直径并提升推力密度。其次，高性能材料的应用将提升微型丝杠的耐磨性，降低摩擦损耗，并实现更轻的质量优化。最后，智能传感融合方案的发展将进一步提升微型滚珠丝杠的闭环控制能力，如结合力传感器、位置编码器，提升灵巧手在不同抓取任务中的精准适应能力，使机器人具备更强的感知交互能力。

国内微型丝杠产业链加速构建，企业布局呈现“扩产投入+产品突破+并购整合”三类模式。微型丝杠作为灵巧手等小型执行机构中的关键直线传动部件，对精度、体积、装配和材料性能要求极高，属于滚珠丝杠体系中的高难度细分方向。当前，多家企业已在丝杠领域形成一定制造能力，部分厂商具备向微型规格延伸的技术与工艺基础，正加快向微型丝杠赛道探索与切入。

扩产投入型企业如震裕科技、浙江荣泰、北特科技、恒立液压和五洲新春，正通过新建产线和产能扩张完善滚珠丝杠产品体系，为后续小型化延伸提供支撑。震裕科技已顺利建成一条行星滚柱丝杠半自动产线并投入批量生产，五洲新春拟投资15亿元建设微型与行星滚柱丝杠产线，恒立液压与浙江荣泰在海外布局线性驱动工厂，提升结构件一体化制造能力。北特科技在苏州、泰国两地同步扩建滚珠丝杠副产线，提升系统配套能力。

产品突破型企业如贝斯特、双林股份、新坐标等，依托原有精密结构件或电驱动核心零部件基础，逐步启动滚珠丝杠副开发，部分样品进入车规级与机器人领域的客户验证阶段。尽管是否具备微型规格能力仍待进一步验证，但其制造能力和平台具备一定的延伸潜力，部分厂商已同步推进工艺平台建设与小批量交付测试。

并购路径成为部分厂商切入微型丝杠市场的重要方式。南京化纤通过重大资产重组控股南京工艺装备，掌握精密丝杠副制造技术；雷迪克在首次收购狄兹精密未果后，转而收购誉展精密股权，持续寻找切入路径；浙江荣泰最终完成对狄兹精密的并购，推动其在小型化丝杠方向布局落地；捷昌驱动则联合浙江灵巧智能科技设立合资公司，布局微型丝杠在智能执行器方向的产业化方案。

整体来看，丝杠具备较高制造门槛与市场壁垒，微型丝杠作为其中技术与工艺要求更高的细分方向，正逐步成为国内高端零部件厂商的重要延伸目标。随着企业平台建设、客户验证与产能释放同步推进，国产微型丝杠有望在灵巧手、手术机器人等高精密场景率先实现替代突破。

表 4: 微型丝杠潜在玩家

| 类型 | 企业 | 相关进展 |
|-------|------|---|
| 战略扩产 | 震裕科技 | 公司机器人零部件滚柱丝杠产线建设进展顺利，已建成一条行星滚柱丝杠半自动产线并投入批量生产，日产能拓展至 50 套，自建丝杠综合测试实验室已投入使用。公司计划在 2025 年 Q1 开始建设第二条半自动产线，并在 2025 年年内建设一条集加工、在线检测、装配于一体的全自动丝杠生产线，以提高产品一致性和稳定性。此外，公司精密零部件开拓下游客户进展顺利，行星滚柱丝杠产品已实现小批试制并通过客户性能测试。 |
| | 浙江荣泰 | 2024 年上半年，公司通过全资子公司新加坡荣泰在墨西哥和泰国成立子公司的方式投资建设生产项目 |
| | 北特科技 | 25 年 3 月投资泰国孙公司，经营项目包括零部件加工制造；24 年 10 月签订投资协议，拟在苏州昆山投资 18.5 亿元设立行星滚阻丝杠研发基地 |
| | 恒立液压 | 布局海外墨西哥工厂，用于建设线性驱动器和超大重型油缸，投资金额 2.5 亿元，预计 2026 年底完成建设 |
| | 五洲新春 | 2025 年公司计划投资 15 亿元用于建设行星滚珠丝杠以及微型滚珠丝杠及智能汽车建设，同时和杭州新剑签订合作框架协议，共同推进行星滚珠丝杠以及微型滚珠丝杠等研发 |
| 产品突破 | 贝斯特 | 贝斯特在工业母机、新能源汽车和人形机器人领域取得进展。工业母机方面，高精度丝杠副和导轨副获批量订单，C0 级丝杠副实现突破；新能源汽车领域，滚珠丝杠副完成首次客户交样；人形机器人领域，行星滚柱丝杠工艺优化，批量生产工艺布局完善，国产化设备开发推进。 |
| | 双林股份 | 23 年 7 月开始对滚珠丝杠立项研发，已经完成滚珠丝杠样件知道，预计 24 年 12 月份实现 EHB 制动用滚珠丝杠轴承 PPAP；完成人形机器人滚珠丝杠研发，正在推进样件和设备投资 |
| | 新坐标 | 拓展冷成形技术在驻车滚珠丝杠等多领域运用。 |
| 并购整合型 | 捷昌驱动 | 与浙江灵巧智能科技有限公司共同出资成立浙江灵巧机器人零部件有限公司 |
| | 雷迪克 | 2024 年 10 月,公司与上海狄兹精密签订股权收购意向性协议,2024 年 11 月《股权收购意向性协议》终,2025 年 3 月 7 号宣布拟收购睿展精密 51% 股权 |
| | 南京化纤 | 24 年 11 月公司拟收购南京工艺装备 100% 股份,南京工艺装备拥有高精度滚珠丝杠副、大型滚珠丝杠副,滚动导轨副生产线 |
| | 浙江荣泰 | 2025 年 2 月 15 日宣布计划收购狄兹精密 51% 的股权 |

数据来源：《震裕科技：300953 震裕科技投资者关系管理信息 20250219》，《浙江荣泰：投资者关系活动记录表 2025-01》，《五洲新春关于拟签订对外投资协议的公告》，《五洲新春：五洲新春关于签订战略合作框架协议的公告》，《贝斯特：300580 贝斯特投资者关系管理信息南京工艺装备官网》，《恒立液压：中国国际金融股份有限公司关于江苏恒立液压股份有限公司部分募投项目结项及延期的核查意见》，北特科技 2024 年半年报，双林股份 2024 年半年报，《杭州雷迪克节能科技有限公司关于签订股权收购意向协议的公告 2025-008》，《南京化纤：关于重大资产重组进展的公告(2025-007)》，爱企查，广发证券发展研究中心

（三）触觉传感器：提升灵巧手感知能力的关键单元，兼具精度与柔性控制要求

触觉传感器是灵巧手中关键的感知元件，主要作用在于模拟人手的触觉能力，感知接触压力、摩擦力、剪切力等外界物理信息，并将其转换为可处理的电信号，供系统进行实时反馈控制。其广泛部署于指腹、掌面等位置，帮助灵巧手实现对物体的力控调节、自主适应与稳健抓取，是实现高精度抓取、避免夹碎或滑落的核心硬件支撑。尤其在人形机器人、康复辅助、精密制造等场景中，触觉反馈已成为评估灵巧手智能化水平的重要指标。

触觉传感器根据感应原理的不同，主要可分为电容式、电阻式和压电式三类，各类方案在性能表现上具有明显差异。电容式传感器在灵敏度、重复性、温度稳定性及设计灵活性方面表现优异，适用于对精度与可靠性要求较高的仿生手或人形机器人场景，缺点则在于最大量程与最小元件尺寸方面表现一般。电阻式传感器的优势在于可实现较小元件尺寸，灵活嵌入柔性结构中，同时具备较大量程，但其灵敏度、重复性及温度稳定性相对较差，限制了在高精度任务中的应用空间。压电式传感器灵敏度一般，在微小压力识别方面性能有限，除量程较差外，在重复性、温度稳定性及设计灵活性方面表现同样不佳。总体来看，电容式传感器在整体性能维度上具备最优平衡，未来在高端灵巧手中的应用占比有望持续提升。

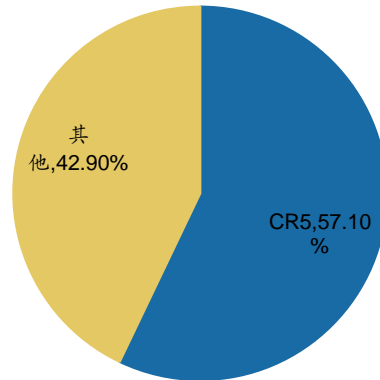
表 5：触觉传感器分类

| 感测技术 | 电容式 | 电阻式 | 压电式 |
|--------|-----|-----|-----|
| 最大量程 | 良好 | 优秀 | 一般 |
| 灵敏度 | 优秀 | 较差 | 一般 |
| 最小元件尺寸 | 一般 | 优秀 | 较差 |
| 重复性 | 优秀 | 一般 | 较差 |
| 温度稳定性 | 优秀 | 一般 | 较差 |
| 设计灵活性 | 优秀 | 一般 | 一般 |

数据来源：Pressure Profile Systems 官网，广发证券发展研究中心

触觉传感器的技术壁垒主要体现在信号灵敏性、动态响应速度、柔性贴合能力与系统集成度。一方面，传感器需要具备高灵敏度和高分辨率，能准确感知微小接触力变化；另一方面，器件必须具备柔性材料和薄型结构，能够贴合复杂曲面并不影响手部运动自由度。此外，传感器的集成能力和抗干扰性能也是量产应用的关键：既要与电机、控制器无缝协同，又需避免复杂电磁环境下信号漂移。

产业端方面，当前市场已初步形成以欧美日企业为主导、国内厂商加速突破的格局。国际方面，SynTouch、Novasentis、Tekscan Inc.、JDI等厂商在高精度触觉传感器方面具有领先布局，已广泛用于工业抓取与仿生手产品中。国内方面，触觉传感器尚处于早期产业化阶段，代表企业逐步突破核心感知结构设计与封装集成等关键环节。帕西尼推出的PX-6AX GEN2系列具备多维指尖与腹部触觉测量能力，支持三轴力（MPa）与力矩（N/Nm）输出；汉威科技依托苏州能斯达专注于柔性微纳传感器产业化，推出多款柔性压力感知模块；福莱新材发布的FOS系列电子皮肤集成压力、温度、剪切等多模态感知，可满足机器人高精度仿生反馈需求。随着人形机器人渗透率提升，触觉传感器有望在中长期成为自主可控受益环节。

图 23: 2022全球触觉传感器市场竞争份额


数据来源: 研观天下, 广发证券发展研究中心

表 6: 部分国际触觉传感器龙头梳理

| 公司名称 | 国家 | 公司简介 |
|---------------|----|---|
| Novasentis | 美国 | 专注于开发超薄、高性能的柔性触觉传感器技术, 产品广泛应用于可穿戴设备、医疗器械和消费电子等领域。 |
| Tekscan, Inc. | 美国 | 提供高精度的压力和触觉传感解决方案, 产品涵盖医疗、工业、牙科和消费电子等多个行业。 |
| JDI | 日本 | 主要以显示技术闻名, 近年来涉足柔性触觉传感器领域, 致力于将触觉反馈集成到其显示产品中。 |

数据来源: 各公司官网, 广发证券发展研究中心

表 7: 国内触觉传感器产品

| 公司 | 产品型号 | 特点 | 部分产品图片 |
|------|-------------------|---|--------|
| 帕西尼 | PX-6AX GEN2 系列 | 产品包括多维触觉指尖传感器和多维触觉指腹传感器; 测量输出(可选): 表面应力分布(三轴阵列, 单位 MPa), 三维力及三维力矩(N/Nm); 采样频率 | |
| 汉威科技 | 柔性触觉传感器 | 其子公司苏州能斯达专注于柔性微纳传感技术的研发和产业化。 | |
| 福来新材 | 机器人触觉与电子皮肤 FOS 系列 | 集成压力、温度、接近觉和剪切力多模态感知, 支持机器人触觉反馈和信号采集; 即贴即用设计, 适配复杂曲面结构, 实现精准实时反馈, 满足智能机器人高灵敏触觉需求。 | |

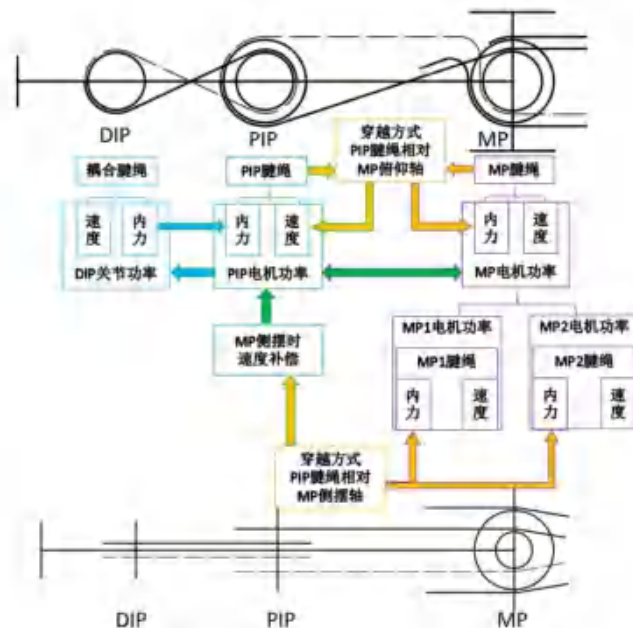
数据来源: 各公司官网, 苏州能斯达官网, 广发证券发展研究中心

（四）腱绳：传动核心结构，兼顾仿生结构与多关节协调控制

腱绳为灵巧手关键柔性驱动结构，具备仿生性与高集成优势。腱绳是实现灵巧手柔性驱动与仿生结构的核心环节之一，其通过模拟人体肌腱构型，在空间受限条件下实现远程牵引控制，具备轻量化、高柔顺性与结构紧凑等优势，广泛应用于高自由度灵巧手设计中。在结构上，腱绳一般由高强度柔性材料制成，配合驱动源、导向结构和回弹装置形成完整闭环，适用于需要高精度控制与低摩擦传动的复杂手部运动系统。特斯拉第三代Optimus灵巧手即采用腱绳作为主要传动介质，17个驱动器通过腱绳布置于掌背及手指部位，构建出手指各关节上的自由度配置。

腱绳驱动结构的技术壁垒主要体现在布线路径、张力控制与腱绳材料选型三个层面。首先，在腱绳布线方面，为保证每个关节获得合适的张力与运动幅度，需进行精准的路径规划与张力分配设计，同时要避免过多的摩擦损耗和控制耦合。其次，腱绳系统对控制精度要求极高，尤其在回弹控制、张力保持与冗余协调方面，对传感器和算法的响应速度与鲁棒性提出更高要求。

图 24：腱绳间的作用关系



数据来源：《腱传动灵巧手指的传动分析与结构设计》（李柏毅，2019），广发证券发展研究中心

腱绳结构配置日益复杂，材料性能决定控制边界与寿命极限。腱绳在使用中不仅承担传动任务，还需长期承受高频疲劳、弯曲与摩擦，材料性能直接影响系统稳定性与控制上限。以Tesla第三代灵巧手为例，其通过17个腱绳驱动器实现22个自由度控制，全部依赖高性能腱绳完成不同关节动作的力传导，要求腱绳材料兼具高张力、高柔性与抗疲劳性能。此外，腱绳端部连接、张力传感器集成与滑动导管设计也对材料耐磨与尺寸稳定性提出更高要求。根据《腱传动灵巧手指的传动分析与结构设计》（李柏毅，2019）介绍，目前腱绳主要分为两类：金属丝绳与高分子材料腱绳。金属丝绳（如钢丝绳）具备一定强度和耐磨性，但存在弯曲半径大、刚性高、传动效率低等明显缺陷，更适合工业机械。相较之下，高分子纤维编织而成的腱绳具备

柔性高、质量轻、强度高与耐磨性好的特点，如UHMWPE，根据国家新材料产业资源共享微信公众号说明，其强度为优质钢材的14倍，碳纤维的2倍，芳纶纤维的1.7倍。

图 25: 钢丝



数据来源：大业股份公司官网，广发证券发展研究中心

图 26: 超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE）



数据来源：国家新材料产业资源共享微信公众号，广发证券发展研究中心

海外UHMWPE厂商在技术成熟度和品牌影响力方面处于领先。荷兰皇家帝斯曼集团是世界上率先形成UHMWPE纤维产业化的公司，也一直是UHMWPE纤维行业的引领者，其他生产商还包括美国霍尼韦尔国际公司以及日本的东洋纺织株式会社、三井化学株式会社等。

国内厂商正加速构建自主可控的腱绳材料供应体系。受制于核心原料与技术门槛，国内材料长期依赖进口，但近年来产业链国产替代趋势明显加速。高强度钢丝方向，大业股份作为国内钢绳行业龙头，根据爱企查显示，已于2024年底设立专注腱绳开发的子公司大业机器人科技，现阶段已向特斯拉等客户送样。UHMWPE方向，恒安安、南山智尚亦在积极拓展下游应用，逐步填补本土产业空白。

表 8: 腱绳部分材料商梳理

| 供应商 | 产品类别 | 地区 | 特点 |
|-----------|-----------------------|----|--------------------------------------|
| Dyneema | UHMWPE 纤维 (Dyneema®) | 荷兰 | 全球领先的高强度纤维，广泛应用于机器人传动系统。 |
| Honeywell | UHMWPE 纤维 (Spectra®) | 美国 | 高性能纤维材料，应用于多种高要求领域，包括机器人腱绳。 |
| 东洋纺 | UHMWPE 纤维 (Tsunooga®) | 日本 | 在亚洲市场具有重要影响力的高强度纤维产品。 |
| 恒辉安防 | UHMWPE 纤维 | 中国 | 国内主要的 UHMWPE 纤维生产商之一，产品应用于安全防护和工业领域。 |
| 南山智尚 | UHMWPE 纤维 | 中国 | 国内 UHMWPE 纤维生产商，产品规格多样。 |

大业股份

钢丝绳

中国

主要生产胎圈钢丝、钢帘线等，根据公司在投资者互动平台回复，其正在研发特种钢丝以应用于机器人领域。

数据来源：国家新材料产业资源共享微信公众号，QY Research,各公司官网，广发证券发展研究中心

四、从研发驱动到应用导向，灵巧手玩家演化出多元成长路径

（一）因时机器人：灵巧手领域的快速成长型玩家，产品落地节奏加速

以灵巧手为核心产品，兼顾微型伺服电机等关键零部件的研发制造，形成了以技术突破驱动商业化落地的清晰路径。因时机器人从2016年在北京成立至今，2019年，苏州子公司成立，仿人五指灵巧手通过海外上市技术产品认证，客户数量突破百家，并完成Pre-A+轮融资，为后续大规模市场化奠定基础。2020年起，公司在仿生五指灵巧手与微型伺服电机双线发力，产品入选国家重点研发计划，30mm与50mm行程的微型伺服电缸量产，率先切入医疗设备上游市场，开启商业化探索。2021年完成A轮融资，电缸累计销量突破万台，订单金额突破百万元，进一步验证产品力与市场接受度。2022年，公司加快组织架构扩张，成立上海子公司，推动灵巧手在教育科研、工业、医疗等多场景落地。2023年完成B+轮融资，灵巧手销售量迎来爆发式增长，在新能源汽车行业实现规模化交付，并获北京市“专精特新”企业认证。2024年，根据公司官网信息，公司实现灵巧手年度交付近2000台，完成超亿元B2轮融资，参与工信部揭榜挂帅项目，苏州基地正式投产，具备规模化生产能力。整体来看，因时机器人在灵巧手赛道中具备核心产品矩阵、自主核心零部件及多轮资本支持的优势，已形成“技术验证—小批量交付—行业渗透—产能扩张”的发展闭环，未来有望在多场景复制商业模式，持续扩大领先优势。

因时机器人面向人形机器人应用场景，推出两款灵巧手产品RH56BFX-2与RH56DFX-2，分别满足快速操作与大力抓取的多元化需求。

RH56BFX-2主打轻量化与高速度特性，采用R5485控制接口，配备五指六自由度与12个关节数，整体自重540g，在保持较低负载的前提下，具备6N的拇指最大抓握力与4N的四指抓握力，拇指和四指弯曲速度分别达到750°/s与570°/s，适用于手势交互、轻物抓取等对响应速度要求高的场景。

RH56DFX-2则聚焦大力抓取与刚性执行，结构参数与RH56BFX-2一致，但显著提升抓力性能，拇指和四指最大抓握力分别为15N和10N，同时保持良好的控制稳定性，适用于机器人装配、仿真抓取等对抓力与操作精度要求较高的复杂任务。产品定价为5万元/只，现已进入多个示范场景验证阶段

表 9：因时机器人灵巧手系列产品及基本属性

| 型号 | RH56BFX-2 | RH56DFX-2 |
|---------|-----------------|------------------|
| 控制接口 | R5485 | R5485 |
| 手指数量 | 5 | 5 |
| 自由度 | 6 | 6 |
| 关节数 | 12 | 12 |
| 工作电压 | DC24V ± 10% | DC24V ± 10% |
| 自重 | 540g | 540g |
| 拇指最大抓握力 | 6N | 15N |
| 四指最大抓握力 | 4N | 10N |
| 拇指侧摆速度 | 235. /s | 107. /s |
| 拇指弯曲速度 | 150. /s | 70. /s |
| 四指弯曲速度 | 570. /s | 260. /s |
| 特点 | 速度快、抓握力小、集成力传感器 | 速度适中、抓握力大、集成力传感器 |
| 应用场景 | 适用于弹钢琴及手势交互等场景 | 适用于机器人或假肢的抓取操作 |
| 售价 | / | 5 万元/只 |
| 产品图片 | | |

数据来源：因时机器人产品手册，爱采网，广发证券发展研究中心

（二）傲意科技：聚焦仿生义肢与机器人末端应用，构建双线产品体系

建以核心器件自研为基础、覆盖康复医疗与人机交互应用的技术与产品体系。傲意科技成立于2015年，专注于神经信号传感器、人机神经接口及AI识别算法的自主研发，形成以智能仿生义肢、神经康复系统、脑电监测设备及可穿戴外骨骼为核心的产品矩阵。公司技术体系完整，累计获得60余项核心专利与9项软件著作权，具备较强的底层技术自主可控能力。凭借在神经科学与人工智能交叉领域的持续积累，傲意科技正加速核心技术国产化替代进程，并在智能仿生与脑机接口赛道持续巩固技术壁垒与产品落地能力。

傲意科技围绕智能仿生手与机器人末端执行器两大核心方向，推出傲翼™（OHand™）与ROHand两款代表性产品，分别面向义肢适配与机器人集成场景，构建了覆盖医疗与智能制造的多元化产品体系。

傲翼™（OHand™）智能仿生手定位于高性能义肢市场，根据公司官网介绍，其采用五指独立直线电机驱动方案，具备高自由度与高响应性，最大拇指推力达1.1千克，支持27种预设手势动作，用户可通过OHand App进行个性化设置并实现云端管理。产品外形拟人，提供标准手与小手型号，满足不同人群适配需求，应用于康复义肢与教育科研等领域。

ROHand则针对人形机器人和工业机器人需求优化。根据公司官网信息，该型号具备6个主动自由度与11个运动关节，结构紧凑、重量轻，采用铝合金与锌合金材料，并内嵌PID控制算法，抓取精度可达 $\pm 1\text{mm}$ 。该产品可实现捏取、抓握等多种拟人动作，适用于人形机器人、仿真平台、智能巡检等高集成度场景，具备良好的系统兼容性与扩展性。

表 10: 傲意科技灵巧手系列产品及基本属性

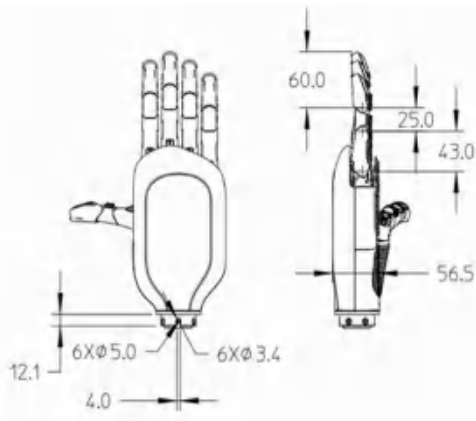
| 产品名称 | 傲翼™ (OHand™) 智能仿生手 | ROHand 机器人灵巧手 |
|---------|--|--|
| 适用场景 | 义肢适配、康复医疗、科研教学 | 人形机器人、机器人末端执行器、智能巡检等 |
| 主要驱动方式 | 五指独立直线电机驱动 | 电机驱动，PID 控制 |
| 自由度/关节数 | 预置 27 种常用手势动作，支持自定义 | 6 自由度，11 关节 |
| 最大拇指推力 | ≥ 1.1 千克力 | — |
| 最大食指推力 | ≥ 0.45 千克力 | — |
| 控制精度 | — | $\pm 1\text{mm}$ |
| 材质 | — | 铝合金、锌合金 |
| 控制方式 | 支持 Android/iOS 平台 App 控制，支持云端同步 | 内置 PID 电机控制系统 |
| 产品特性 | 拟人外形，双尺寸可选，支持个性化手势设置 | 结构紧凑、轻量化，动作灵活 |
| 产品图片 |  |  |

数据来源：傲意科技公司官网，广发证券发展研究中心

（三）灵巧智能：打造多模态感知与 AI 融合的模块化灵巧手

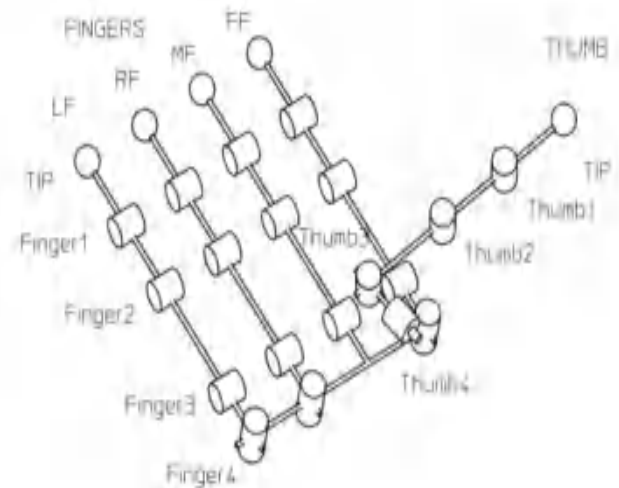
聚焦多模态感知与模块化设计的量产型高性能五指末端执行器。灵巧智能科技2024年10月推出首款量产型五指灵巧手DexHand021，面向复杂操作与多任务适应场景，具备较强的通用性与系统集成潜力。产品采用电机驱动与腱绳传动结构，具备19个自由度（其中12个为主动自由度），整体自重1.0kg，支持位置、法向力、切向力及接近觉四类多模态传感。在结构层面强化模块化设计，五指均可独立更换，使用寿命超过10万次，满足工业科研用户对高可靠性与易维护性的并重需求。

图 27: DexHand021结构尺寸



数据来源: DexHand 使用说明书, 广发证券发展研究中心

图 28: DexHand021手指自由度



数据来源: DexHand 使用说明书, 广发证券发展研究中心

DexHand021灵巧手在控制性能与智能化接口方面具备全面扩展能力。在功能实现方面,根据使用说明书,DexHand021通过CANFD通信协议支持电机位置控制与关节位置控制双模式,最小开合时间达1.0秒,最大负载能力为5kg,可实现转魔方、球形抓握、多指捏夹等15种以上类人复杂操作。配套软件生态完备,支持Python、C++、ROS等开发接口,集成动作映射、遥操作、强化学习等AI算法工具包,并可结合作业捕捉与VR交互系统,构建集感知、控制与训练于一体的开放式平台,赋能智能机器人与科研应用场景的快速落地与拓展。

表 11: DexHand021产品属性

| 产品型号 | DexHand021 |
|-----------|---------------------------------|
| 驱动方式 | 电机驱动 |
| 传动方式 | 腱绳传动 |
| 自由度 / 关节数 | 共 19 个自由度 (12 主动+7 被动) / 15 个关节 |
| 自重 | 1.0 kg |
| 控制模式 | 电机位置控制、关节位置控制 |
| 最小开合时间 | 约 1.0 秒 |
| 负载能力 | 最大 5kg |
| 使用寿命 | >10 万次 |
| 产品图片 | |

数据来源: DexHand 使用说明书, 广发证券发展研究中心

(四) 捷昌驱动: 聚焦线性驱动, 研发机器人核心零部件

深耕线性驱动系统, 服务多元化应用领域。捷昌驱动成立于2000年, 专注于线性驱

动产品的研发、生产和销售。公司产品广泛应用于智慧办公、医疗康护、智能家居和工业自动化等领域。作为行业龙头企业，根据公司官网说明，捷昌驱动牵头起草了中国《直流电动推杆》和《电动升降桌》行业标准，推动了行业的标准化和产业化进程。

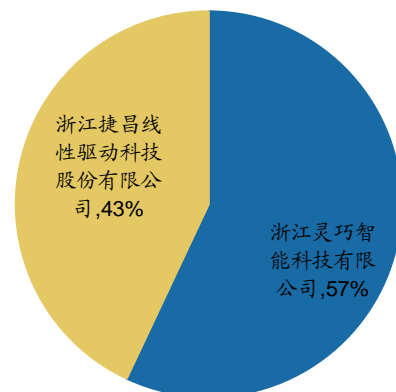
布局机器人核心零部件，深化灵巧手领域合作。捷昌驱动（603583.SH）专注于线性驱动技术，布局机器人线性关节和灵巧手等核心零部件的研发与应用。根据企查查信息显示，公司与浙江灵巧智能科技有限公司共同出资成立浙江灵捷机器人零部件有限公司，专门从事机器人灵巧手、关节模组、空心杯电机、微传动部件及电机驱动器等关键零部件的研发、生产和销售。同时，公司主持承担浙江省2024年度“领雁”研发攻关计划项目——《高推力密度电动线性致动器关键技术研究》，重点面向人形机器人线性执行器关节开展研发及产业化。目前已完成大、中、小三款线性执行器关节样机设计与初步制作，正处于样品测试与工艺优化阶段。核心部件中，丝杠与电机主要实现自研自产，进一步增强公司在机器人核心零部件环节的技术壁垒与国产化替代能力。

图 29: 捷昌驱动部分电动推杆产品



数据来源: 捷昌驱动公司官网, 广发证券发展研究中心

图 30: 浙江灵捷机器人零部件有限公司股权结构



数据来源: 企查查, 广发证券发展研究中心

（五）雷赛智能：依托电机驱动优势，自研推出灵巧手整手产品

电机驱动技术见长，深度布局机器人核心部件市场。雷赛智能作为国内领先的运动控制整体解决方案提供商，主业聚焦于步进、伺服电机及其驱动系统的研发与产业化，在工业自动化、数控设备、医疗仪器等领域具备稳定的客户基础与出货规模。近年来，公司积极向机器人核心零部件领域延伸，依托自主控制算法与电机驱动积淀，加快在空心杯电机、减速器、丝杠等关键零部件的产品化落地，构建多层次的机器人驱控系统平台。

图 31: 雷赛智能产品情况



数据来源: 雷赛智能公司官网, 广发证券发展研究中心

推出DH系列灵巧手, 切入人形机器人关键末端赛道。2024年, 公司发布DH系列灵巧手解决方案, 正式进入人形机器人末端执行器赛道。首款型号DH116具备11个自由度(含6个主动自由度), 自重仅490g, 单指最大负载10kg、整手最大负载达40kg, 适用于轻量化、多功能的工业与服务型机器人场景。产品采用无刷空心杯伺服电机、行星减速器与滚珠丝杠的联合驱动方案, 搭载FOC电流环与力位混合控制算法, 性能指标突出。标配6个触觉传感器, 并支持选配多模态感知模块, 实现对温湿度、滑动与振动等信息的高精度识别。

图 32: DH 系列灵巧手核心部件



数据来源: 中国传动网、广发证券发展研究中心

（六）兆威机电：发挥微型传动技术优势，切入灵巧手等高精度执行端市场

深耕微型传动领域，拓展灵巧手等机器人核心部件。兆威机电成立于2001年，专注于微型传动系统和微型驱动系统的研发、生产和销售。公司产品以高精度、小体积、低噪音等特点，广泛应用于汽车电子、医疗器械、工业自动化、智能消费品和通信设备等领域。作为微型传动领域的领先企业，兆威机电在电机控制、传动系统和微电机等方面积累了丰富的经验，形成了从设计到制造的完整产业链。

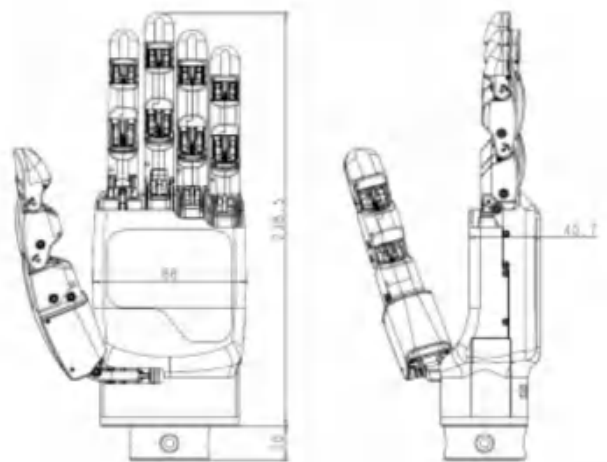
推出高可靠性灵巧手，进军人形机器人关键部件市场。2024年11月，兆威机电发布了其最新灵巧手，正式进军人形机器人核心部件市场。该灵巧手采用仿生学设计，根据公司官网信息，其拥有**17个自由度**（可扩展至20个），每根手指至少具备3个自由度，能够模拟人手的复杂动作。核心部件包括电机驱动控制器、微电机和传动模组等，均为自主研发，确保了产品的高可靠性和高精度。其中，传动模组设计寿命高达10年，回程差小于 1° ，电机控制误差不超过 0.3° ，并配备3个以上的传感器，实现精确的动力输出和快速响应。

图 33：兆威机电灵巧手发布



数据来源：兆威机电公司官网，广发证券发展研究中心

图 34：兆威机电灵巧手产品结构



数据来源：兆威机电公司官网，广发证券发展研究中心

五、风险提示

（一）人形机器人产品落地不及预期

人形机器人虽已取得较大进展，但仍尚处于量产初期，考虑到人形机器人技术具备复杂性，短期内量产难度较大，相关厂商的人形机器人的研发和量产的落地依然具有不确定性。

（二）灵巧手方案迭代风险

机器人灵巧手目前尚处在选型和验证阶段，新技术或是新方案的出现会对灵巧手整

体结构、驱动传动等部分零部件的选型产生影响，进而影响供应链。

（三）供应链竞争格局的变化风险

目前人形机器人处于量产早期，灵巧手也处于定型阶段，核心零部件供应商与下游整机厂仍是初步合作，后续随着产能的提高，部分零部件降本趋势明显，可能会对部分环节的竞争格局造成影响，进而影响供应链的盈利能力。

广发机械行业研究小组

- 代川：首席分析师，中山大学数量经济学硕士，2015年加入广发证券发展研究中心。
- 孙柏阳：联席首席分析师，南京大学金融工程硕士，2018年加入广发证券发展研究中心。
- 朱宇航：资深分析师，上海交通大学机械电子工程硕士，2020年加入广发证券发展研究中心。
- 汪家豪：资深分析师，美国约翰霍普金斯大学金融学硕士，2022年加入广发证券发展研究中心。
- 范方舟：资深分析师，中国人民大学国际商务硕士，2021年加入广发证券发展研究中心。
- 王宁：资深分析师，北京大学金融硕士，2021年加入广发证券发展研究中心。
- 蒲明琪：高级分析师，纽约大学计量金融硕士，2022年加入广发证券发展研究中心。
- 黄晓萍：高级研究员，复旦大学金融硕士，2023年加入广发证券发展研究中心。
- 张智林：研究员，同济大学建筑学硕士，2024年加入广发证券发展研究中心。

广发证券—行业投资评级说明

- 买入：预期未来12个月内，股价表现强于大盘10%以上。
- 持有：预期未来12个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-10%~+10%。
- 卖出：预期未来12个月内，股价表现弱于大盘10%以上。

广发证券—公司投资评级说明

- 买入：预期未来12个月内，股价表现强于大盘15%以上。
- 增持：预期未来12个月内，股价表现强于大盘5%-15%。
- 持有：预期未来12个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-5%~+5%。
- 卖出：预期未来12个月内，股价表现弱于大盘5%以上。

联系我们

| | 广州市 | 深圳市 | 北京市 | 上海市 | 香港 |
|------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 地址 | 广州市天河区马场路 26号广发证券大厦 47楼 | 深圳市福田区益田路 6001号太平金融大厦 31层 | 北京市西城区月坛北 街2号月坛大厦18 层 | 上海市浦东新区南泉 北路429号泰康保险 大厦37楼 | 香港湾仔骆克道81 号广发大厦27楼 |
| 邮政编码 | 510627 | 518026 | 100045 | 200120 | - |
| 客服邮箱 | gfzqyf@gf.com.cn | | | | |

法律主体声明

本报告由广发证券股份有限公司或其关联机构制作，广发证券股份有限公司及其关联机构以下统称为“广发证券”。本报告的分销依据不同国家、地区的法律、法规和监管要求由广发证券于该国家或地区的具有相关合法合规经营资质的子公司/经营机构完成。

广发证券股份有限公司具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，接受中国证监会监管，负责本报告于中国（港澳台地区除外）的分销。

广发证券（香港）经纪有限公司具备香港证监会批复的就证券提供意见（4号牌照）的牌照，接受香港证监会监管，负责本报告于中国香港地区的分销。

本报告署名研究人员所持中国证券业协会注册分析师资质信息和香港证监会批复的牌照信息已于署名研究人员姓名处披露。

重要声明

广发证券股份有限公司及其关联机构可能与本报告中提及的公司寻求或正在建立业务关系，因此，投资者应当考虑广发证券股份有限公司及其关联机构因可能存在的潜在利益冲突而对本报告的独立性产生影响。投资者不应仅依据本报告内容作出任何投资决策。投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，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者口头承诺均为无效。

本报告署名研究人员、联系人（以下均简称“研究人员”）针对本报告中相关公司或证券的研究分析内容，在此声明：（1）本报告的全部分析结论、研究观点均精确反映研究人员于本报告发出当日的关于相关公司或证券的所有个人观点，并不代表广发证券的立场；（2）研究人员的部分或全部的报酬无论在过去、现在还是将来均不会与本报告所述特定分析结论、研究观点具有直接或间接的联系。

研究人员制作本报告的报酬标准依据研究质量、客户评价、工作量等多种因素确定，其影响因素亦包括广发证券的整体经营收入，该等经营收入部分来源于广发证券的投资银行类业务。

本报告仅面向经广发证券授权使用的客户/特定合作机构发送，不对外公开发布，只有接收人才可以使用，且对于接收人而言具有保密义务。广发证券并不因相关人员通过其他途径收到或阅读本报告而视其为广发证券的客户。在特定国家或地区传播或者发布本报告可能违反当地法律，广发证券并未采取任何行动以允许于该等国家或地区传播或者分销本报告。

本报告所提及证券可能不被允许在某些国家或地区内出售。请注意，投资涉及风险，证券价格可能会波动，因此投资回报可能会有所变化，过去的业绩并不保证未来的表现。本报告的内容、观点或建议并未考虑任何个别客户的具体投资目标、财务状况和特殊需求，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的投资建议。本报告发送给某客户是基于该客户被认为有能力独立评估投资风险、独立行使投资决策并独立承担相应风险。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被广发证券认为可靠，但广发证券不对其准确性、完整性做出任何保证。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价。广发证券不对因使用本报告的内容而引致的损失承担任何责任，除非法律法规有明确规定。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策，如有需要，应先咨询专业意见。

广发证券可发出其它与本报告所载信息不一致及有不同结论的报告。本报告反映研究人员的不同观点、见解及分析方法，并不代表广发证券的立场。广发证券的销售人员、交易员或其他专业人士可能以书面或口头形式，向其客户或自营交易部门提供与本报告观点相反的市场评论或交易策略，广发证券的自营交易部门亦可能会有与本报告观点不一致，甚至相反的投资策略。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且无需另行通告。广发证券或其证券研究报告业务的相关董事、高级职员、分析师和员工可能拥有本报告所提及证券的权益。在阅读本报告时，收件人应了解相关的权益披露（若有）。

本研究报告可能包括和/或描述/呈列期货合约价格的事实历史信息（“信息”）。请注意此信息仅供用作组成我们的研究方法/分析中的部分论点/依据/证据，以支持我们对所述相关行业/公司的观点的结论。在任何情况下，它并不（明示或暗示）与香港证监会第5类受规管活动（就期货合约提供意见）有关联或构成此活动。

权益披露

(1) 广发证券（香港）跟本研究报告所述公司在过去 12 个月内并没有任何投资银行业务的关系。

版权声明

未经广发证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、转载和引用，否则由此造成的一切不良后果及法律责任由私自翻版、复制、刊登、转载和引用者承担。