

基础执行向智能感知演进，高性能与成本优化并行 ——灵巧手行业深度报告

分析师：龚斯闻
执业证书编号：S0020522110002
邮箱：gongsiwen@gyzq.com.cn

分析师：冯健然
执业证书编号：S0020524090002
邮箱：fengjianran@gyzq.com.cn

分析师：许元琨
执业证书编号：S0020523020002
邮箱：xuyuankun@gyzq.com.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

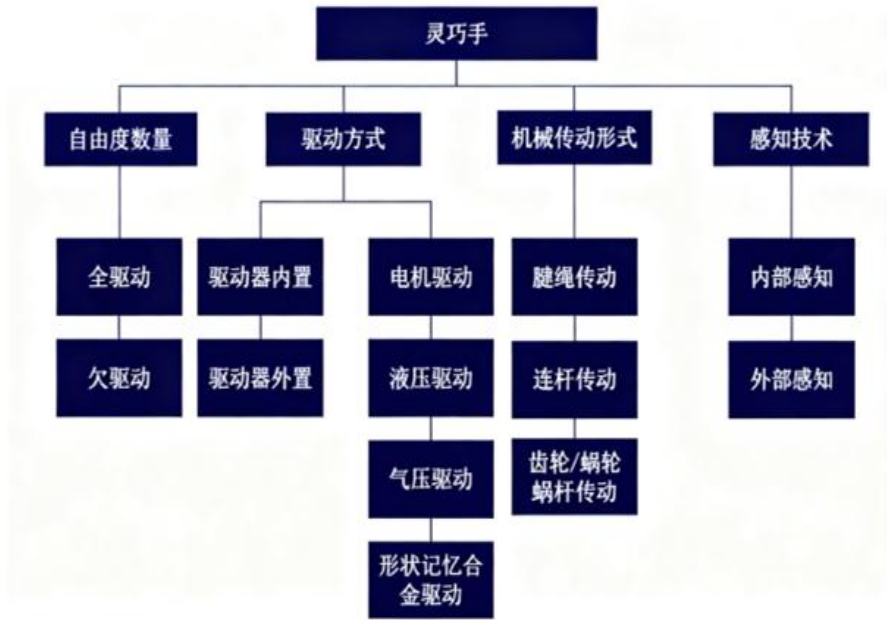
- 一、行业概况：具身智能核心执行终端，市场快速扩张
- 二、发展趋势：腱绳传动刚柔并济，电子皮肤赋能感知
- 三、竞争格局：三类玩家共塑产业生态，产品迭代进化不止
- 四、投资建议
- 五、风险提示

灵巧手是集多方面功能于一体的高精度末端执行器，能够在极限或者有害环境下替代人类进行复杂的操作任务，主要由驱动、传动、感知三大模块组成。人的双手经过长期劳动进化完美，可应用于不同场合完成不同工作任务，具备充分的泛化性。传统末端执行器具备结构简单、便于控制、适用于大范围负荷运动作业等优点，但是也存在通用性差、精度不足、可靠性欠缺等一系列缺点。灵巧手是集成驱动、传动、感知等多方面功能于一体的高精度末端执行器，能够在极限或者有害环境下替代人类进行复杂的操作任务，主要由驱动、传动、感知三大模块组成。从运动学的观点看，人形机器人灵巧手需满足两个条件：指关节运动时能使物体产生任意运动、指关节固定时能完全限制物体的运动，这意味着人形机器人灵巧手至少要3个手指和9个自由度。

表：传统末端执行器的优缺点

优缺点描述	简述
传统末端执行器的优点	结构简单、控制方便，适用于大范围负荷运动作业
传统末端执行器的缺点	1. 抓取精度低、稳定性和可靠性差（依赖摩擦力，未考虑几何封闭和力封闭）； 2. 通用性差，执行不同任务需重新设计手爪，增加成本、影响生产效率； 3. 制约机器人精细作业水平，机械臂尺寸大，难精确定位操作，反应速度慢； 4. 力控制能力不精确，仅适用于夹持力要求不高的作业

图：灵巧手结构主要分类



1.2发展历程：产品演进五十余年，向更高仿生度、感知能力和轻量化方向迭代

- 灵巧手是机器人操作和动作执行的末端工具，行业演进五十余年，2010年后相关研究加速，目前正向更高仿生度、更强感知能力和轻量化方向发展。1974年，日本电工实验室研发的Okada灵巧手n1是严格意义上的第一款灵巧手，由3个手指组成，共11个自由度；20世纪80年代，灵巧手研究大幅增加，以斯坦福大学研发的Stanford Hand为代表，其具有3个手指9个自由度，单只手指采用4个电机驱动，并利用N+1腱传动结构控制N个自由度，同时能够保证腱具有正张力。2016年，华盛顿大学基于仿生设计原理研制出一款灵巧手，质量小于1kg，利用人造关节囊、韧带、肌腱和弹性滑轮结构设计，使得人手的韧带和关节特征得以复现，抓取也更加灵活可靠。2021年，韩国的科研团队研发了一种集成连杆驱动的灵巧手ILDA，共有15个自由度(20个关节)、34N的指尖力，结构紧凑，无须外置驱动部件，质量仅为1.1kg，在手指关节处安装有触觉传感器，具备感知能力，可以轻松抓取鸡蛋，并可完成剪纸、夹装芯片和挤压瓶罐等操作。整体来看，灵巧手产品在向更高仿生度、更强感知能力、轻量化的方向迭代。

表：灵巧手研究历史阶段

灵巧手（参考文献）	主要研究单位	研究年份	手指个数	关节数目	自由度	传动方式
Okada Hand	日本电工实验室	1974	3	11	11	腱 - 滑轮
SALISBURY Hand	斯坦福大学	1983	3	9	9	腱 - 滑轮
Belgrade/USC Hand	贝尔格莱德大学	1988	5	15	15	连杆
UB Hand	博洛尼亚大学	1992	3	13	11	腱 - 滑轮
NTU Hand	台湾大学	1996	5	17	17	齿轮
DIST Hand	热那亚大学	1998	4	16	16	腱 - 滑轮
Robonaut Hand	NASA	1999	5	22	14	腱 - 滑轮
LMS Hand	普瓦提埃大学	1998	4	16	16	腱 - 滑轮
GIFU Hand	日本岐阜大学	2001	5	20	16	齿轮连杆
DLR Hand	德国宇航中心	2001	4	17	13	腱 - 滑轮
High Speed Hand	东京大学	2003	3	8	9	齿轮
Keio Hand	庆应义塾大学	2003	5	20	20	腱 - 滑轮
Yokoi Hand	东京大学	2004	5	15	11	腱
Robotic Hand MA-1	加泰罗尼亚理工大学	2004	4	16	16	齿轮
BH895 Hand	北京航空航天大学	2005	5	20	11	齿轮连杆
MAC - HAND	意大利热那亚大学	2005	4	12	12	腱

表：灵巧手研究历史阶段

灵巧手（参考文献）	主要研究单位	研究年份	手指个数	关节数目	自由度	传动方式
NAIST - HAND	日本奈良先进科学技术大学	2005	4	16	12	齿轮连杆
SKKU Hand II	韩国成均馆大学	2006	4	13	10	齿轮
HEL Hand II	哈尔滨工程大学	2006	3	9	9	齿轮
SAH	Schunk 公司	2007	4	16	13	齿轮连杆
LARM Hand	Cassino 大学	2010	3	9	12	连杆
KNTH	K. N. Toos 科技大学	2011	3	6	9	全柔性
Metamorphic Hand	天津大学	2013	4	12	16	连杆
Barret Hand	巴雷特技术公司	2013	3	9	9	连杆齿轮
Ritsumeikan Hand	日本立命馆大学	2013	5	16	20	连杆
Pisa/IIT Soft Hand	意大利	2014	5	19	21	韧带
ISR-Soft Hand	美国	2014	5	15	21	腱
Washington Hand	华盛顿大学	2016	5	15	21	线绳
SSSA-My Hand	ScuolaSuperiore Sant' Anna	2016	5	10	21	齿轮连杆
HERI Hand	意大利	2017	3	12	15	连杆
Shadow Hand	Shadow 公司	2019	5	24	20	腱 - 滑轮
欠驱动灵巧手	河北工业大学	2020	5	15	15	单腱
软体仿人手	上海交通大学	2020	5	15	11	软体
Anthropomorphic Robot Hand	韩国	2021	5	15	20	线绳
ILDA Hand	韩国	2021	5	20	15	连杆

根据自由度与驱动源数量，可将灵巧手分为全驱动和欠驱动两大类，其中全驱动灵巧手灵巧程度更高但对手掌体积、安装提出更高要求，欠驱动灵巧手硬件集成度以及轻量化程度高，但存在功能性不足以及精巧控制能力存在提升空间等特点。全驱动灵巧手驱动源的数量与被控制灵巧手的自由度数量相等。每个手指关节都有驱动器，使其能够实现主动控制，在某种程度上能够像人手一样完成全部的动作指令甚至要求更高的灵巧动作。但是，全驱动也意味着需要更多的驱动器，会使手掌体积变大、安装困难、操作复杂。欠驱动灵巧手被控制的自由度多于驱动源的数目，缺少驱动源的部分则进行耦合随动。欠驱动手硬件集成度高，整体系统简洁高效、体积小、质量轻，便于进行动力学分析。但是，欠驱动机械手的高集成性一定程度上也是牺牲高自由度性能的结果，存在功能性不足的问题，尤其是对于精度要求比较高的手指精巧控制无法胜任。

表：不同自由度与驱动源灵巧手特点

特征（自由度与驱动源数量/驱动方式）	类型	特点	产品案例
自由度与驱动源数量相等	全驱动	每个手指关节都有驱动器，可实现主动控制，完成高灵巧动作；但驱动器多导致手掌体积大、安装困难、操作复杂	Michelangelo Hand、DLR Hand、Utah/MIT Hand、Actuated Sheffield Hand、Smart Motor Hand、MLR Hand、Shadow Hand、ZAR4 Hand、Anthropomorphic Robot Hand
自由度多于驱动源数量	欠驱动	硬件集成度高，系统简洁高效、体积小、质量轻，便于动力学分析；但功能性不足，难以胜任高精度手指控制	Vincent Hand、Utah/MIT Degrees hand、H ₂ Company Hand、MechaTE Hand、Sandia Hand、Robostix Hand、SDM Hand、Barrett Hand、FluidHand、FESTO ExoHand、Metamorphic Hand、Marx&Sarah Hand、PISA-III SoftHand、MANUS Hand、Washington Hand、Abeego Hand、HE RI Hand、Ricumeikan Hand、SSSA MyHand、DART Hand、Bebionic Hand、Yokoi Hand、RTR ₂ Hand、SPRING Hand、Miyazaki Lab Hand、RII Hand、i-limb ultra Hand

电机驱动具备体积小、响应快，调控方便、稳定性好、精度高、输出力矩稳定等优点，成为灵巧手的主流驱动方式。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。其中液压驱动、气压驱动、形状记忆合金驱动适用场景存在精度不足、疲劳强度低等缺点，与灵巧手的高精度、使用寿命高要求需求难以匹配，电机驱动具备体积小、响应快，调控方便、稳定性好、精度高、输出力矩稳定等优点，更加适合灵巧手的使用。目前人形机器人主流灵巧手均为电机驱动。

表：不同驱动方式灵巧手特点

不同驱动方式	特点
液压驱动	驱动系统由液动机、伺服阀、油泵和油箱等组成，适合大型抓取作业，常用于工业机械手，适合大型抓取作业。
电机驱动	体积小、响应快、调控方便、稳定性好、精度高、输出力矩稳定，在灵巧手控制中应用广泛
气压驱动	操作方便、质量轻巧、动作迅速、价格适中、维护简便；但可操作性不强，轨迹精度不够
形状记忆合金驱动	适合小型、高精度机器人装配作业，可负载驱动、反应快速、位移大、变位迅速；但无法长时间工作，疲劳强度较低

机械传动机构的选择对于灵巧手的性能至关重要。一方面决定了机械设计的复杂程度以及成本，另一方面则直接影响灵巧手传动的效率和可靠性。灵巧手的主要传动方式有连杆传动、齿轮传动、带传动以及腱绳传动，其中连杆传动以及腱绳传动为主流趋势。连杆传动能够抓取大型的物体且结构设计紧凑，可以完成包络抓取，但是在远距离的控制上就比较困难，容易发生弹射，抓取的空间较小。腱绳传动在一定程度上模拟了人手的肌腱结构，腱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，排布灵活，适合空间狭小且需要驱动自由度数目较多的传动场合。

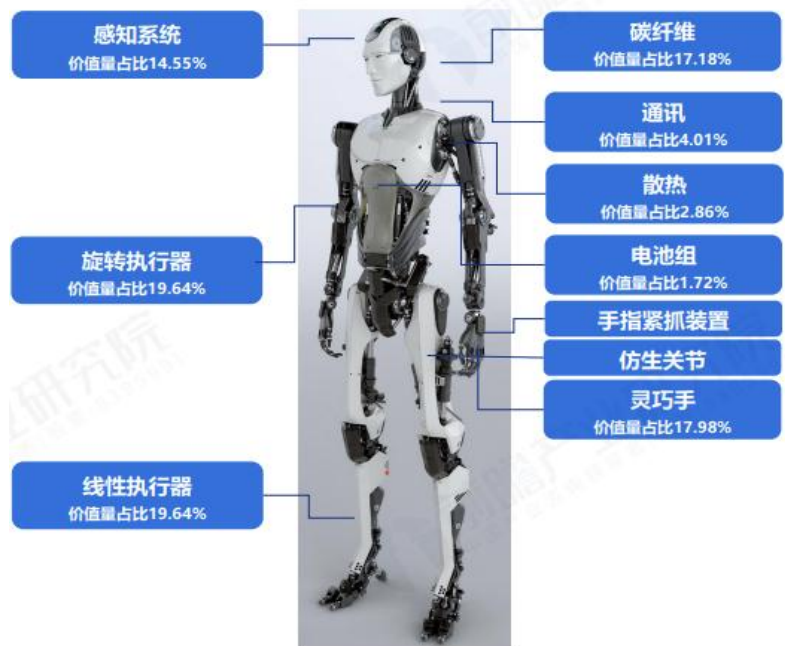
表：不同传动方式灵巧手特点

不同传动方式	特点	产品案例
连杆传动	引多用于工业和商业用途，多个连杆串并联混合的使用形式较为常见。手指的运动和动力由刚性连杆传递，能够抓取大型的物体且结构设计紧凑，可以完成包络抓取。但是在远距离的控制上就比较困难，容易发生弹射，抓取的空间较小。	
齿轮传动	在工业机器人中应用比较广泛，能获得稳定的传动比，传递效率高，可靠性更强。但齿轮本身的质量加大了整体的质量和惯性。	FESTO Hand、Michelangelo Hand、MLR Hand、Robotiq Hand等
带传动	结构简单且传动平稳、可以起到缓冲作用，能在大的轴间距和多轴间传递动力，同时具有价格便宜、不需润滑和维护便利等优点。	
腱绳传动	在一定程度上模拟了人手的肌腱结构，腱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，排布灵活，适合空间狭小且需要驱动自由度数目较多的传动场合。但它也有自身的局限性，如带负载能力弱，预紧力变化大，负载越大效率越低等。	Utah/MIT Hand、Utah MIT Dexterous band (UMDH)、DLR Hand、Metamorphic Hand、Actuated Sheffield Hand等

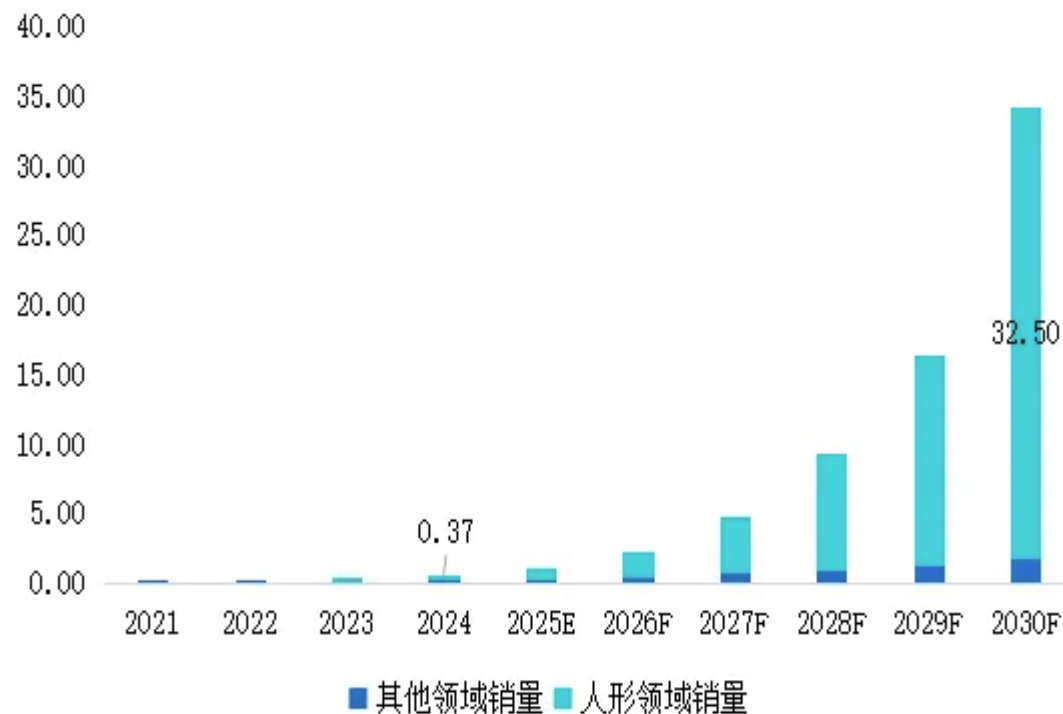
1.4市场空间：整机价值量占比或达17.98%，预计销量快速增长

- 灵巧手占据整机价值量或达17.98%，销量或以90% CAGR快速增长。目前业界将灵巧手视为解决人形机器人规模化落地应用“最后一厘米”的关键末端执行器，占据整机价值量或达17.98%。根据高工机器人产业研究所（GGII）数据，2024年中国机器人灵巧手市场销量约0.57万只，预计到2030年，中国机器人灵巧手市场销量将有望突破34万只，2024-2030年CAGR约为90%。当前灵巧手行业仍处于起步阶段，随着材料、电机、传动、运控、传感等技术的持续进步与提升，灵巧手实质性产业化的拐点有望加快到来。

图：灵巧手占比或达到整机价值量的17.98%



图：2021-2030年中国灵巧手市场销量及预测（单位：万只）



- 一、行业概况：具身智能核心执行终端，市场快速扩张
- 二、发展趋势：腱绳传动刚柔并济，电子皮肤赋能感知
- 三、竞争格局：三类玩家共塑产业生态，产品迭代进化不止
- 四、投资建议
- 五、风险提示



2.1 发展趋势:腱绳传动打破机器人灵巧手多重性能权衡的困境

- **腱绳具备轻量化、柔性化等优势。**当前国内主流采用的连杆传动方案虽具备双向控制、耐用性强、制造维护便捷等优势，但其结构笨重、柔性不足、抗冲击性弱等固有缺陷正成为技术升级的瓶颈。常见传动方案中，腱绳传动是一种通过柔性肌腱实现动力传递的机器人灵巧手关节驱动方案。由于灵巧手对紧凑性的严苛要求，电机、减速器等大体积驱动组件难以集成到有限的手部空间内。腱绳传动可将驱动单元外置于前臂或机身，通过腱绳和滑轮结构将动力传递至手指关节。虽然腱绳传动具备轻量柔性等优势，但在实际应用中仍存在一定挑战：布线复杂、需配备张力感知机构，以及滑轮系统中的摩擦问题等，对性能表现带来一定影响。在高自由度设计中，系统体积和集成难度较大，例如Utah/MIT手需大量滑轮与独立驱动空间；而Pisa/IIT SoftHand虽简化驱动，却在精度上有所妥协。
- **腱绳主流应用材料为超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE）。**目前主流材料为超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE），具备超高强度（13倍于钢）、极低密度、优异耐磨性与化学稳定性。不过，长期处于辐射与机械载荷作用下会导致结晶度上升，从而影响韧性与摩擦学性能，限制其使用寿命与可靠性。因此，科研机构和企业正通过表面改性与复合工艺手段进行优化，推动其在高精度、高耐久场景下的可靠应用。此外，腱绳传动可根据每个关节驱动器数量分为N型、N+1型和2N型三种配置，适配不同自由度与控制策略。相较其他方案，其轻量化优势显著，同时支持欠驱动设计，能提升抓握灵活性与适应性。正因如此，腱绳传动被认为是当前最有可能突破灵巧手“不可能三角”（成本—系统参数—稳定性）限制的技术路径。目前该技术已广泛应用于机器人灵巧手及仿人机器人等领域，不同配置方案为开发者在自由度、紧凑性和控制精度等关键指标之间提供了多样化的选择空间。

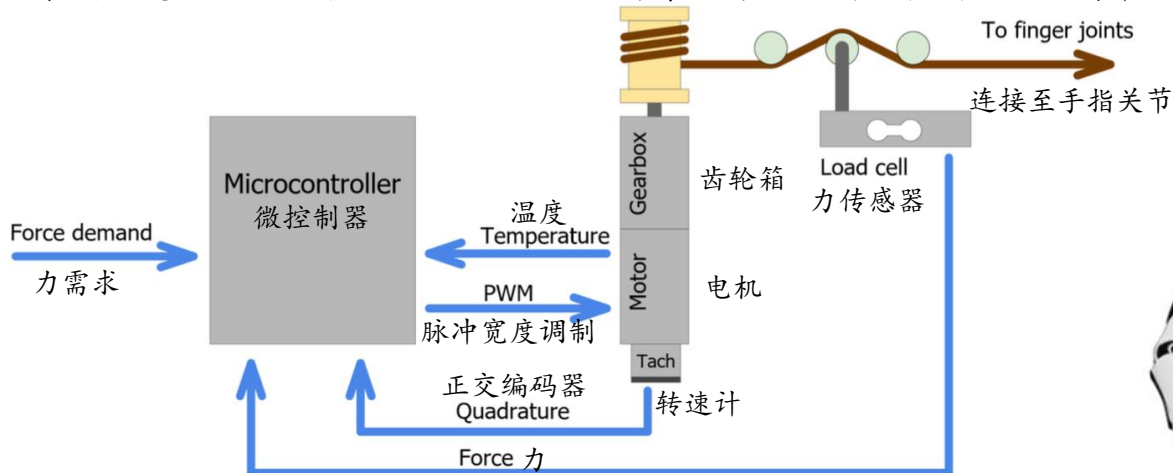
表：机器人灵巧手四种主流传动方式

传动方式	结构设计	优势	缺点	灵巧手代表产品
腱绳传动	主要通过腱绳和滑轮结构传动，通常会将驱动装置置于小臂或胸腔等部分进行远程力传递，由电机带动腱绳拉动手指。有三种配置方式：N，2N，N+1（N为手指自由度数）	在结构上解决了灵巧手的“不可能三角”，理论上在负载与自由度方面具有更高的上限。	结构设计容易做得复杂，腱本身的刚度有限从而影响位置精度，在大负载下需关注滑索与蠕变特性，需预紧，同时形变会影响寿命和可靠性	灵心巧手 L30（腱驱版）
人工肌肉传动	依靠液体聚合物材料/记忆合金材料/气动，其原理与人类肌肉收缩和拉长相似	可以减少驱动器的体积	散热较慢，限制了动作速率与控制精度的进一步提升，控制难度大，技术极不成熟	Festo BionicSoftHand（人工智能气动机械手）
刚性连杆传动	通过连杆机构与电机连接，电机通常置于掌内，电机转动带动连杆运动从而带动关节旋转。	刚度较大，负载能力强，便于强力抓握物体，迟滞性较低，传动精确，易于达到较高的动态响应	难以平衡灵巧手的“不可能三角”，控制难度较高，对手内空间配置要求高，柔性表现与冲击适应性相对有限，对系统集成和控制策略要求较高，特别是在抓取易碎物品等应用中。	因时机器人 RH56DFX
电机直驱传动	通过齿轮啮合实现传动，电机往往置于手指内	透明度较高，易实现稳定控制	难以平衡灵巧手的“不可能三角”，在抗冲击性方面仍有进一步优化空间，结构较为复杂，对零部件设计、加工的要求极高	兆威机电 ZWHAND DM17（全直驱）

资料来源《A Comprehensive Review of Dexterous Robotic Hands: Design, Implementation, and Evaluation》（Ying-Ying Lin 等）、《Determination of the Influence of Selected External Factors on the Physical and Structural Properties of UHMWPE》（Marcin Nabrdalik 等）、《Kinematics Rapid Modeling Method of Tendon-Driven Robotic Mechanisms Using the Tendon-Routing Matrix and Equivalent Radius Matrix》（Hongqiang Sang 等）、《The Design of a Robotic Finger》（Nancy S. Pollard 等）、星河焕华、

2.1 发展趋势:腱绳传动打破机器人灵巧手多重性能权衡的困境

- 典型应用案例包括采用2N型滑轮传动系统的Utah/MIT灵巧手和Awiwi灵巧手，具备高强度、低摩擦的传动特性，而Shadow马达灵巧手采用N型配置则实现了更紧凑的结构设计（Shadow Dex-EE三指灵巧手采用N+1型配置）。目前国内采用腱绳传动的灵巧手以灵心巧手的L30腱驱版为代表。这一趋势在特斯拉Optimus灵巧手的迭代中得到了充分验证：从早期“蜗轮蜗杆+腱绳”混合传动（存在结构笨重、动态响应不足等问题），到第三代采用“行星齿轮箱+行星滚柱丝杠+腱绳”复合传动方案的协同设计，成功解决了传统方案在重量与灵活性之间的矛盾，使灵巧手在提升单手承载力的同时，仍能保持接近人类手指的灵活运动能力。这一演进过程充分展现了腱绳传动在实现远距离柔性动力传输方面的不可替代性，是构建高性能灵巧手的理想选择。



图：Shadow Dex-EE 腱绳传动操作与控制系统

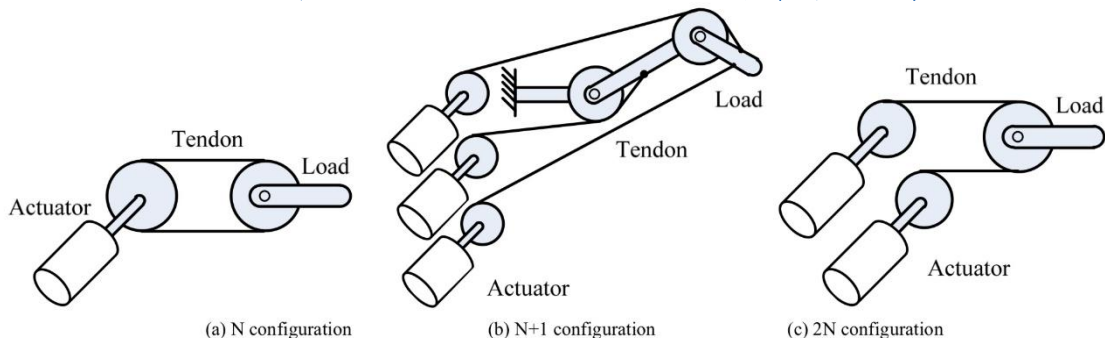
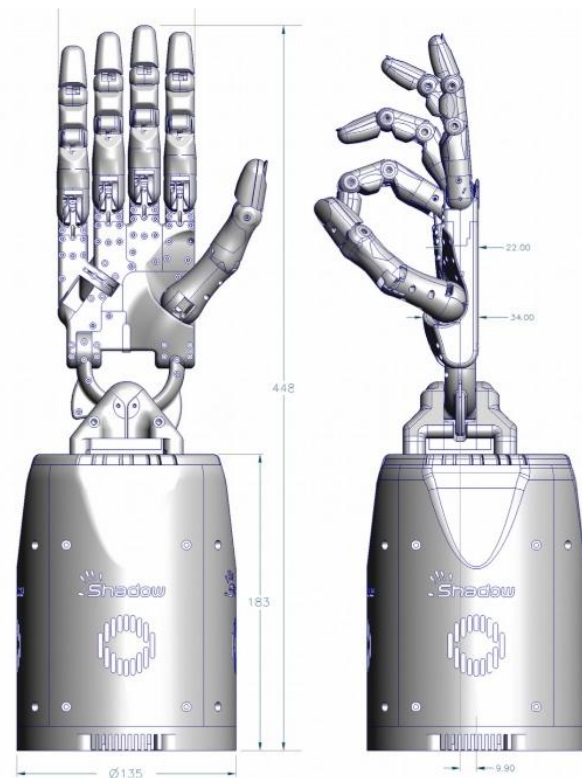


FIGURE 1. THE CLASSIFICATION OF SERIAL ACTIVE TENDON-DRIVEN ROBOTIC MECHANISMS

图：N、N+1、2N三种腱绳驱动结构图



图：Linker Hand L30
(腱驱版)



Shadow Dexterous Hand - Technical Specifications

图：Shadow五指灵巧手（腱驱动）

资料来源：灵心巧手官网、Shadow Robot 官网、《A Comprehensive Review of Dexterous Robotic Hands: Design, Implementation, and Evaluation》

- **UHMWPE腱绳潜在市场规模：百万人形机器人或对应9.6-72亿元市场空间。**目前机器人腱绳材料主要采用钢丝绳或超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE）。其中，UHMWPE具有超高强度（13倍于钢）、极低密度、化学稳定性和卓越耐磨性，可显著提升机器人的动态响应与耐久性，是机器人腱绳的最优材料。目前，灵巧手厂商在材料选择上正呈现明显趋势，超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE）腱绳因其优异性能，逐渐成为高精度机器人的关键组件。
- 假设国内市场上用于机器人灵巧手的单根腱绳价格为40~60元，不同自由度N+1型腱绳传动结构灵巧手（双手）对应单台机器人腱绳价值量为960~3720元；若出货量达100万台则对应腱绳市场规模可达9.6~37.2亿元。
- 同理，假设国内市场上用于机器人灵巧手的单根腱绳价格为40~60元，不同自由度2N型腱绳传动结构灵巧手（双手）对应单台机器人腱绳价值量为1760~7200元；假设出货量为100万台则对应腱绳市场规模可达17.6~72亿元。

表：不同自由度（双手）N+1型腱绳传动结构灵巧手对应单台机器人腱绳价值量（元）

单根腱绳价格假设（元）	每只手11个自由度	每只手16个自由度	每只手20个自由度	每只手30个自由度
40	960	1360	1680	2480
50	1200	1700	2100	3100
60	1440	2040	2520	3720

表：不同自由度（双手）2N型腱绳传动结构灵巧手对应单台机器人腱绳价值量（元）

单根腱绳价格假设（元）	每只手11个自由度	每只手16个自由度	每只手20个自由度	每只手30个自由度
40	1760	2560	3200	4800
50	2200	3200	4000	6000
60	2640	3840	4800	7200

- 中国作为全球腱绳生产大国，截至2024年产业规模占据全球六成以上，具备较强的制造与供给能力。随着人形机器人进入规模化发展阶段，对腱绳在强度、耐磨性、疲劳寿命和控制稳定性等方面的要求不断提升，特别是灵巧手等高精度部件对材料模量与断裂伸长率等性能指标提出更严苛标准。国产UHMWPE腱绳在断裂强度与初始模量方面部分已具备国际先进水平（海外UHMWPE领域龙头企业Dyneema最新推出的“SK99纤维”断裂强度为42.5cN/dtex，初始模量为1590cN/dtex），并正加速向高模量、低延展方向发展。未来国产产品将在保障供给安全的同时，实现从“产量领先”向“性能提升”的转型，进一步夯实在全球产业链中的竞争优势。
- 超高分子量聚乙烯纤维具备超高强度、超高模量、耐磨损、低密度、耐疲劳等性能，能够满足人形灵巧手传动的要求，南山智尚、恒辉安防、同益中等公司具备UHMWPE对应产能，可应用于人形机器人灵巧手腱绳，部分企业已经开始送样，有望伴随人形机器人浪潮核心受益。

表：国内主要UHMWPE腱绳材料厂商性能与产能概览

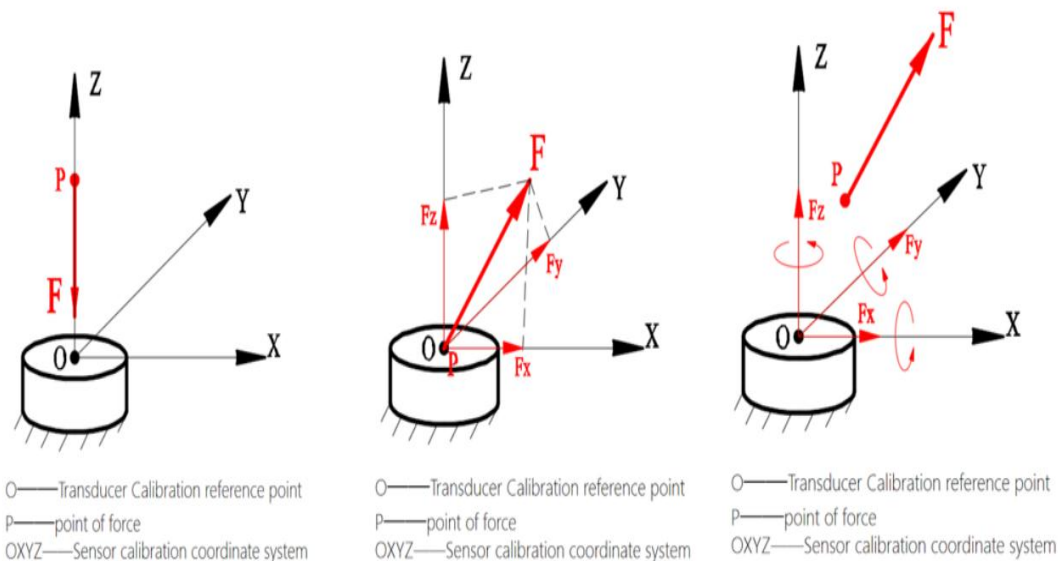
企业	简介	量产能力 (吨/年)	最好断裂强度 (cN/dtex)	最好初使模量 (cN/dtex)	最好断裂伸 长率(%)
九州星际	成立于2022年6月20日，以合成纤维织物的制造与销售为主营业务。致力打造超高分子量聚乙烯纤维全球专业化生产工厂。目前，超高分子量聚乙烯纤维年产位居全球第一，被国家工信部认定为制造业单项冠军，产品规格品种齐全。	32000	40~50	1200~2000	≤4
千禧龙纤	成立于2010年，专注于超高分子量聚乙烯纤维及制品的研发、生产与销售。拥有多项国家专利和完全的自主知识产权，成熟的生产工艺和全自动化的集成控制。	8000	≥43	≥1800	≤3.5
同益中	成立于1999年，于2021年在上交所上市，主要从事特种纤维、工程塑料及复合材料的技术开发、转让、技术服务，以及相关防护产品的研发生产（如防弹衣等）。主要产品是UHMWPE纤维、复合材料公司销售自研防护材料等产品，并经营自产产品及技术的进出口业务。	7960	42	1800	3
南山智尚	成立于2007年，于2020年在深交所上市，主营精纺呢绒面料、服装及纺织纤维的研发、生产和销售核心产品包括精纺呢绒、服装、超高分子量聚乙烯纤维和锦纶纤维。	3600	42	/	/
恒辉安防	成立于2004年，于2021年在深交所上市，专注于手部防护用品及超高分子量聚乙烯纤维的研发、生产和销售，主营功能性/普通防护手套、防护用品及超高分子纤维材料。	3000	>35	>1000	/
湖南中泰	成立于2001年，是公安部警用防弹衣和防弹防刺服定点生产企业。主要从事高强高模聚乙烯纤维及其系列产品的研制、开发、生产和销售。	3000	≥43	≥1600	≤3.5
仪征化纤	中国石化旗下重要的中高端聚酯及特种纤维生产基地，是国内率先建成干法纺丝超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE）工业化生产线的企业，现有产能达3,300吨/年，产品广泛应用于防弹防护、海洋工程等领域。	3300	/	/	/



2.2发展趋势：传感器赋予多维感知能力，触觉、力觉传感器为高价值量方向

- 目前传感器方面的整体趋势是向多维度、高精度、高集成度、高延展性方向发展，高维力矩传感器和触觉传感器是传感器方面的当前研究重点。传感器是灵巧手的“皮肤”和“神经系统”，它不仅赋予机器人感知外部环境的能力，还为其精细操作提供了关键信息支撑。灵巧手的传感器主要分为位置传感器、视觉传感器、力/力矩传感器、触觉传感器。
- 力/力矩传感器是一种能感知力、力矩并转换成可用输出信号的传感器，核心原理是将力作用下的形变转换成电信号，当有力/力矩作用时，力/力矩施加于传感器本体单元上，并引起本体单元的应变或形变，检测系统感知本体的应变或形变，通过电路将其转化为相应电压，通过测量电压值来表征力/力矩大小，并转换成可用输出信号，实现力/力矩的测量。人形机器人关节处使用单维力传感器，执行器末端主要使用六维力传感器，目前国内厂商主要处于提高测量精度及降本阶段。
- 触觉传感器的核心是“感知交互”，主要任务是为获取对象与环境信息和为完成某种作业任务而对机器人与对象、环境相互作用时的一系列物理特征量进行检测或感知。本质上是将接触面形状、压力、摩擦力、温度等信息进行感知识别和转换的传感器，其组成部分包括电极、敏感材料和导电材料等。当下触觉传感器两种主要的技术路线：MEMS、柔性触觉传感器（电子皮肤）。

图：一维、三维、六维力传感器对比



图：Optimus Gen2捏取鸡蛋涉及触力感知

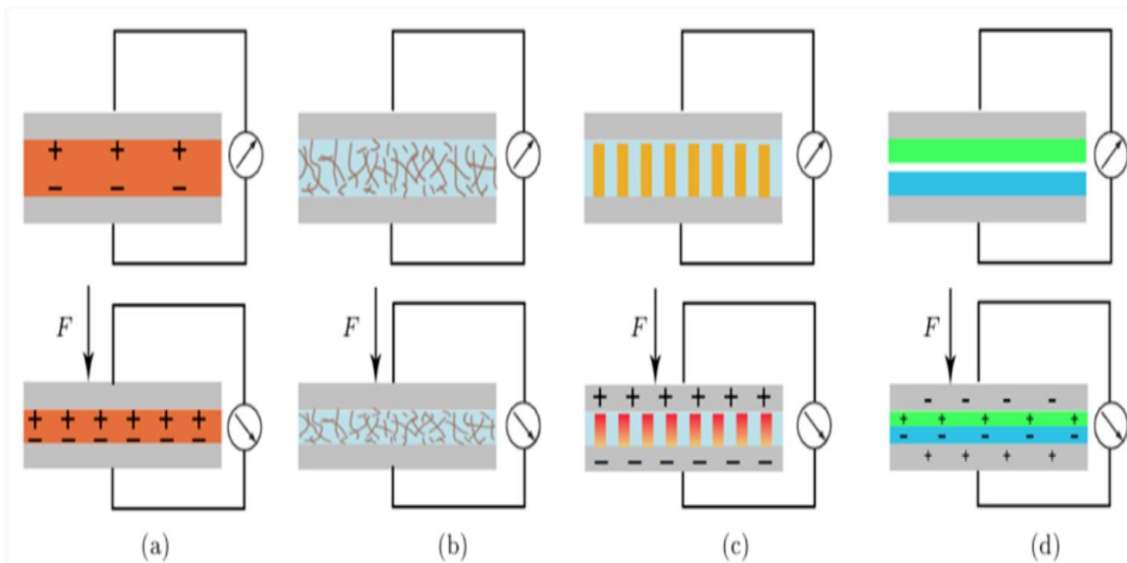




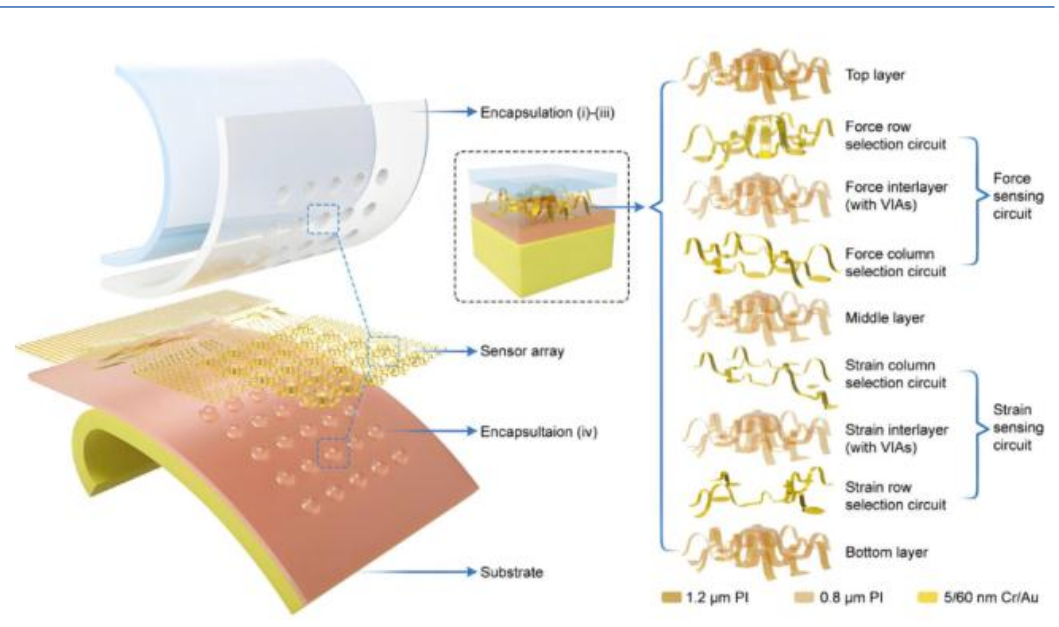
2.2发展趋势：传感器赋予多维感知能力，触觉、力觉传感器为高价值量方向

- 电子皮肤具备产业化价值，国内企业有望在全球竞争中占据重要地位。柔性触觉传感器又称为“电子皮肤”，能够实现与环境接触力、温度、湿度、震动、材质、软硬等特性的检测，是利用柔性材料的物理特性，将外部的力学量转换为电信号，从而实现对触觉感知的传感器产品。其具备类似于人类皮肤的柔韧性，可以适应任意载体形状，更利于测量物体表面受力信息、感知目标物体性质特征，具有研发和产业化价值，目前正处于研发和小批量应用阶段。
- 技术层面来看，按照转换信号原理的不同，柔性触觉传感器可以分为压阻式（电阻式）、电容式、电感式、压电式、光电式等，其中电容式、压阻式柔性传感器应用较多。柔性压阻式传感器以器件结构简单、灵敏度高、响应快、制造成本低、稳定性好等优点被认为是下一代柔性压力传感器的理想选择。劣势是体积大，不易实现微型化；功耗高，接触表面易碎；易受噪声影响。电子皮肤作为仿生智能界面，其研发面临材料、制造和算法三端协同挑战。产业链涵盖材料研发、传感器制造、系统集成、终端应用等多个环节，全球范围内已形成以欧美为主导、亚太快速追赶的竞争格局。目前国内福莱新材、日盈电子、汉威科技等企业凭借技术储备与市场潜力，有望在全球竞争中占据重要地位。

图：电子皮肤主要包含电容式、电阻式、压电式、摩擦电式等多种技术路线



图：基于三维架构的仿生电子皮肤



- 一、行业概况：具身智能核心执行终端，市场快速扩张
- 二、发展趋势：腱绳传动刚柔并济，电子皮肤赋能感知
- 三、竞争格局：三类玩家共塑产业生态，产品迭代进化不止
- 四、投资建议
- 五、风险提示

➤ 灵巧手独立集成商相较其他厂商整体更早推出成熟产品并且对外发售，其中，国外厂商发展较早，但产品售价较高，国内厂商产品在自由度、核心部件设计、感知等层面各有特点，单价普遍介于5-10万元之间。国外以Shadow Robot为代表，其系列产品广受NASA等全球顶尖机构认可，但售价较为昂贵。国内则以灵心巧手、因时机器人、帕西尼感知为代表，其中灵心巧手2024年产品一经推出就占据了国内高自由度灵巧手超80%市场份额，产品最高可达42自由度；因时机器人自主研发设计微型伺服电缸具备体积小、精度高、负载大、成本低等优势，2024年完成近2000台仿人五指灵巧手的交付。帕西尼感知于灵巧手电子皮肤领域发力，2024年WRC推出的DexH13 GEN2搭载了上千颗专业级ITPU多维触觉传感器以及800万高清AI手眼相机，在灵巧手多维触感方面处于业界领先水平。

表：独立集成商灵巧手产品概况

公司名称	创立年份	简介	代表性产品	自由度	参考价（万）
Shadow Robot	1997年	英国老牌机器人企业，专注于高性能灵巧手研发。其Shadow系列产品广受NASA等全球顶尖机构认可。	Shadow五指灵巧手（Shadow Dexterous Hand）	24（20主动）	100-220
北京思灵机器人	2018年	依托德国宇航中心技术，致力于人工智能与机器人技术融合创新。在机器人感知、力控、视觉、操作系统及深度学习领域具备领先优势，推动机器人多领域应用。	Agile Hand	16	-
因时机器人	2016年	专注于微型精密运动部件与伺服控制技术的研发制造。旗下伺服电机、驱动器、减速器、编码器等核心元件均实现自主研发，广泛应用于机器人、精密制造、生物医药和科研教育等领域。	RH56E2系列	6	4.8
灵巧智能	2024年	依托上海交通大学科研实力，由中科院院士领衔创办，专注于通用智能多模态触视感知的灵巧操作系统研发与产业化。核心产品DexHand系列灵巧手具备高自由度与多模态感知能力。	Dexhand 021量产版	19（12 主动）	6.8（首批体验价）
灵心巧手	2019年	专注于“灵巧手+云端智脑”技术路线，打造具身智能专用平台。核心产品包括自主研发的Linker Hand系列灵巧手、动捕遥操作系统及数字孪生平台，实现软硬件协同，赋能企业、科研机构与开发者落地真实场景应用。	Linker Hand系列L30直驱版	21（全主动）	9.9
			Linker Hand系列 L20	20（16主动）	4.9
帕西尼感知科技	2021年	专注多维触觉传感技术，研发高可靠性触觉传感器与人形机器人。旗下产品已实现规模化量产，全球出货量领先。	DexH13-E1	16（13主动）	9.8
戴盟机器人	2021年	专注高分辨率多模态触觉感知与灵巧手软硬件研发。结合视觉、触觉和语言的操作模型（VTLA），为具身智能、智慧物流、智能制造及实验室自动化等领域提供创新抓取解决方案。	DM-Hand1	12（6主动）	-
苏州钧舵机器人	2018年	孵化于哈工大机器人研究所，专注工业级智能末端执行器研发与生产。产品涵盖15大系列、300余款型号，包括灵巧手、电动夹爪及旋转执行器等，广泛应用于3C、半导体、新能源、生命科学和汽车电子等行业。	Mozart系列（1.0） 型号：CDH-M0-5-16-E0	16（6主动）	3-5 5（满配，带触觉传感器）
深圳忆海原识	2017年	致力于研发类脑智能与灵巧操作机器人，以基础技术辐射工业生产自动化、实验室自动化、消费服务自动化等广阔市场。	25-DOF 工业级	基础款：25主动 定制版：12-32主被动	-
知行机器人	2018年	专注灵巧手及具身智能机器人研发生产。旗下知行手系列涵盖工业平动手、协作手、仿生手和重型手，为航空航天、工业制造、仓储物流、教育科研及生命科学等多个领域。	GTHG-3F-110	8主动	-

➤ 目前人形机器人本体厂商于近年推出自身本体产品后将研发重心拓展至灵巧手方向，且持续进行多自由度控制、结构设计、任务适用性等维度的迭代。海外代表企业为特斯拉推出的Optimus，灵巧手已迭代至第三代，手部自由度由原来的11个增加至22个，采用腱绳驱动的三级传动结构将执行模组与手指末端连接，有效兼顾了重量与灵活性。国内代表性厂商为智元、宇树、星动纪元、魔法原子，其中智元机器人2024年8月推出的19自由度视触觉灵巧手集成了高精度的MEMS触觉感知和视触觉感知技术，提升抓取、操作等任务中的精度和效率的同时为其在复杂环境中的自主决策和适应性提供了有力支持，此外，其灵巧手抓握力有明显提升（整手抓握5kg，自锁提拉30kg），能够轻松应对工业级的高负载工况。宇树科技推出的Dex5-1灵巧手通过全关节反驱+丰富触觉传感器设计，指尖重复定位精度达±1mm，适合复杂曲面抓握任务。魔法原子主打高控制精度与高负载能力，通过自研关节模组和力位混合控制算法，MagicHand S01力分辨率最高可达0.1N可实现双指精细操作，满足如拧螺丝等工业高精度作业需求。星动纪元推出的XHAND1具备高可靠性（空载寿命可达百万次）的同时每指指尖120-300点的三维触觉信息采集能力。

表：人形机器人本体厂商灵巧手概况

公司名称	创立年份	简介	产品名称	自由度	本体预计出货量
特斯拉	2003	特斯拉的机器人项目Optimus于2021年首届AI Day首次亮相，标志公司进军人形机器人领域。Optimus定位为通用型机器人助手，旨在替代人类执行“危险、重复、无聊”的任务，并拓展至工业、服务及家庭等场景。	Optimus第三代灵巧手（尚未正式发布，预计2025年底发布原型机）	22	数千台（特斯拉2025年Q3财报电话会议：Optimus Gen3预计2026Q1发布原型机，计划于2026年末量产）
星动纪元	2023	北京星动纪元科技有限公司是由清华大学交叉信息研究院孵化，也是唯一一家清华大学占股的人形机器人企业。	XHAND1	12主动	截至6月交付超200台（上百个订单量产交付中）
宇树科技	2016	杭州宇树科技股份有限公司是全球领先的民用机器人企业，专注于高性能足式、人形机器人及灵巧机械臂的自主研发与产业化。公司是首家公开零售四足机器人的企业，并率先实现行业落地，全球销量持续领先。	Unitree Dex5-1	20（16主动）	今年出货量明显增长（2024年出货量为1500台）
智元机器人	2023	智元机器人构建了领先的机器人“本体+AI”全栈技术，拥有远征、精灵、灵犀三大机器人家族，产品覆盖多种商用场景。2025年1月第1000台通用具身机器人正式量产下线，刷新行业记录。	视触觉灵巧手	19（12主动）	数千台
魔法原子	2024	魔法原子具备从自主研发到生产制造、销售服务的全链条能力，旗下产品涵盖通用机器人、仿生四足机器人等，覆盖工业、商业和家庭场景，以满足不同行业的多样化需求。	MagicHand S01	11	400台
优必选	2012	优必选科技是人形机器人的领导者和智能服务机器人的领航企业，具备人形机器人全栈式技术能力。	第三代仿人五指灵巧手		1000（居然智家500台）

➤ 随着脑机接口与灵巧操作技术的融合发展，国内企业如BrainCo、傲意科技等，探索多种技术路径向康复、工业和具身交互等场景应用布局，兆威机电、雷赛智能凭借强大工业储备切入灵巧手赛道。BrainCo强脑科技依托非侵入式脑机接口技术，现已开发出具备高精度与实时控制能力的智能仿生手，支持截肢用户的直觉控制。其2025年5月推出的仿生灵巧手 Revo 2仅重383g，整手握力大于等于50N的同时可单手承载20kg，公司具备一定的跨领域适配能力。此前公司已于2020年向市场推出全球首款实现量产的脑控智能义肢。傲意科技以轻量化设计与高负载性能为特色，ROH-LiteS小手重量仅约457克，单指负载最高可达8kg。且依托医疗级仿生手的成熟供应链体系，公司成功将工业灵巧手的单台BOM降至万元以内。兆威机电与雷赛智能在微型驱动系统与运动控制方面具备深厚积累，兆威机电主打紧凑设计与高耐久性，雷赛智能主打高负载，其DH116灵巧手最大负载可达全球领先的40kg，自重仅490g，抓握寿命超100万次，在需要高批量、低成本的工业和商业自动化环境中具有显著优势。

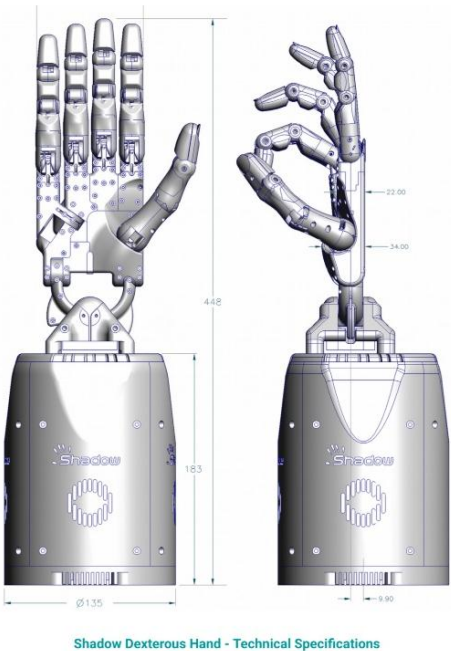
表：多领域厂商灵巧手产品概况

公司名称	创立年份	简介	产品名称	自由度	参考价（万）
强脑科技	2015	BrainCo强脑科技是首个入选哈佛大学创新实验室的中国团队，专注于非侵入式脑机接口技术，致力于在康复、大健康与人机交互等领域提供领先解决方案。核心产品包括脑机接口智能仿生手、智能仿生腿及面向人形机器人的灵巧手。	REVO 2	11（6主动）	-
			REVO 1	6	-
傲意科技	2015	上海傲意信息科技有限公司专注于无创脑机接口、神经信号AI解码及机器人核心部件的研发，推出脑电图机、灵巧手、穿戴外骨骼等产品，广泛应用于科研、康复及人形机器人领域，并获得包括苹果在内的国际具身智能企业采购意向。	ROHand（ROH-AP001）	11（6主动）	-
兆威机电	2001	深圳市兆威机电股份有限公司是一家集设计、研发、制造于一体的微型驱动系统方案解决商。兆威机电在人型机器人技术领域相关产品包括高性能电机及全驱动仿人灵巧手。	ZW Hand	17主动	12.7
雷赛智能	1997	深圳市雷赛智能控制股份有限公司是智能装备运动控制领域的全球知名品牌和行业领军企业。公司专注于伺服电机驱动、步进电机驱动、运动控制卡和运动控制PLC等产品的研发、生产与销售，致力于为客户提供竞争力产品与服务，实现共赢发展。	DH116普及型（2025年Q2量产试销）	11（6主动）	-
			DH2015（计划2025年Q3启动试产试销和小批量生产）	20（15主动）	-

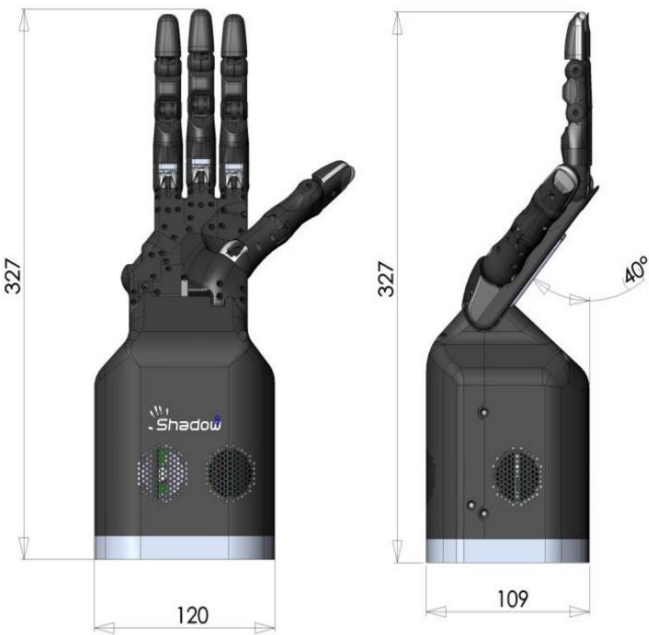
Shadow Robot Company 公司成立于1997年，是英国老牌机器人企业，专注于机器人灵巧手和远程控制系统的开发。公司长期致力于开发仿人机器人部件，灵巧手产品拥有媲美人手的运动学设计。灵巧手产品广受NASA、GSK、西门子、MIT、高通等全球顶尖机构认可，是全球最早将高自由度灵巧手商品化的企业之一。Shadow系列灵巧手完全集成ROS、可通过EtherCAT接口以100Hz至1kHz的频率提供实时反馈、可轻松集成在机械臂、且支持其他组件升级；与Google Deepmind合作后最新推出的Shadow Dex-EE声称是“市场上最坚固耐用的机械灵巧手之一”。公司所有产品均为客户提供集成了用于抓取和操作开发的完整物理模型代码库，且所有微控制器的源代码和电子子系统的原理图均可在保密协议下获取。软件接口完全一致，无需修改代码，只需更换对应的启动文件即可在开发流程中无缝切换模拟和真实硬件，方便调试和部署。

表：Shadow robot灵巧手产品概况

产品名称	自由度	重量 (kg)	驱动与传动方式
Shadow五指灵巧手	24个 (20个主动自由度)	4.3	电机驱动+腱绳传动
Shadow四指灵巧手 (Lite版)	16个 (13个主动自由度)	2.4	电机驱动+腱绳传动
Shadow三指灵巧手 (Extra Lite)	12个 (10个主动自由度)	2.1	电机驱动+腱绳传动
Shadow两指灵巧手 (Super Lite)	8个 (7个主动自由度)	1.8	电机驱动+腱绳传动
Shadow DEX-EE (三指灵巧手)	-	4.1	电机驱动+腱绳传动



图：Shadow五指灵巧手



图：Shadow四指灵巧手 (Lite版)



灵心巧手：单手可达最高42个自由度，2024年占据超80%国内高自由度灵巧手市场份额

➤ 灵心巧手成立于2019年，聚焦“灵巧手+云端智能”的技术路线，构建面向具身智能的专用平台。核心产品包括自研的Linker Hand系列灵巧手、动捕遥操作系统及数字孪生平台，具备软硬一体化能力，助力企业与科研团队在真实场景中高效部署智能系统。自2019年成立以来，经历五年研发，2024年，产品一经推出就占据了国内高自由度灵巧手超80%市场份额，其产品最高可达42自由度，媒体称为目前全球商用灵巧手最高水平。公司旗舰款Linker Hand L30（直驱款）采用连杆传动方式与自研电机驱动，具备21个全主动自由度，产品采用端云融合技术，可直接通过云端技能库快速加载所需功能，用户无需编写代码，简化使用流程，实现高效的个性化操作。另有具备18主动自由度的腱绳驱动版，可提供更自然的手部运动。

表：灵心巧手Linker Hand系列灵巧手产品概况

产品名称	自由度	重量 (kg)	传动方式	驱动方式
Linker Hand L10	20（10主动）	0.75	连杆驱动	自研关节模块
Linker Hand L20	21（16主动）	1.1	连杆驱动	自研关节模块
Linker Hand L30直驱版	21（全主动）	1.2	电机直驱	自研关节模块
Linker Hand L30腱驱版	25（18主动）	1.3	腱绳驱动	-



图：Linker Hand L30（腱驱版）



图：Linker Hand L30（直驱版）

➤ 帕西尼感知科技（深圳）有限公司成立于2021年，专注于多维触觉感知技术，致力于自主研发高可靠性的触觉传感器与人形机器人。公司产品线覆盖从“传感器核心零部件”到“人形机器人整机制造”的全链路环节，并已实现批量商业级交付，客户群体涵盖智能制造、康养医疗、工业生产、消费电子等重点领域。随着机器人触觉感知能力的提升，公司将引领下一代人形机器人行业的变革。目前公司产品已实现批量化落地，广泛应用于工业、服务与科研等场景，在触觉智能领域发展迅速。公司于2024年WRC世界机器人大会上发布的DexH13 GEN2灵巧手，搭载了上千颗专业级ITPU多维触觉传感器及800万像素高清 AI手眼相机，在多维触觉融合与精细操作性能方面达到业界先进水平。

表：帕西尼感知灵巧手产品概况

产品名称	自由度	驱动方式	触觉感知能力	触觉信号路数	视觉能力
DexH13 Gen2	16（13主动）	空心杯电机驱动	搭载1140颗ITPU触觉传感单元	3420 路	800 万像素高清 RGB AI 手眼相机
DexH5 Gen1	9（5主动）	空心杯电机驱动	搭载528颗ITPU触觉传感单元	-	-



图：DexH5 GEN1



图：DexH13 GEN2



特斯拉：机器人灵巧手围绕感知和轻量化推进迭代，Optimus人形机器人目标在5年内生产100万台

- 特斯拉于2003年成立，其机器人项目Optimus于2021年首届AI Day首次亮相，标志公司进军人形机器人领域。Optimus定位为通用型机器人助手，旨在替代人类执行“危险、重复、无聊”的任务，并拓展至工业、服务及家庭等场景。特斯拉灵巧手从初代到三代，自由度从11个增加到22个，电机等驱动装置移至前臂，传动方案从蜗轮蜗杆传动升级为腱绳与高精度丝杠传动。感知能力方面，新一代的传感器覆盖范围更大，集成了包括六维力矩传感器等更高精度的传感器。据特斯拉Optimus副总裁Milan Kovic透露，目前人形机器人项目正围绕视觉感知、运动控制、动态响应和防摔倒机制四大方向进行迭代，力求让机器人行动更智能、步态更自然、反应更迅速，并具备自我保护与再站立能力。接下来，Optimus团队将重点优化手部系统，包括扩大触觉感知范围、提升肌腱控制精度、减轻前臂重量，并在确保触觉灵敏度的前提下，为手掌和手指增加柔软且顺应性的保护层，以增强其安全性与适应性。根据特斯拉2025年Q3财报电话会议：Optimus Gen3预计2026年Q1推出原型机，计划于2026年底量产，最高年产能100万台。



图：Optimus接网球
发布于2024年11月28日



图：Optimus在复杂地形进行上下爬坡
发布于2024年12月10日



图：Optimus跳舞
发布于2025年5月14日



图：Optimus灵巧手捏起鸡蛋

北京星动纪元科技有限公司成立于2023年8月，由清华大学交叉信息研究院孵化，也是唯一一家清华大学占股的人形机器人企业。截至2025年6月已交付超200台本体机器人（上百个订单量产交付中）。公司从底层硬件（驱动电机与减速模块等，实现全自研一体化关节模组）到高层智能（端原生机器人模型ERA-42）均实现自主研发，构建了“本体+模型”协同演进体系，形成软硬一体的结构性优势，具备快速迭代与多场景落地能力。

表：星动纪元灵巧手产品概况

产品名称	自由度	传动方式	驱动方式	重量（g）	整手最大负载	整手握力（kg）	指尖重复定位精度（mm）
星动XHAND1 （全直驱）	12全主动	低阻尼小间隙 减速器，自研齿轮传 动力控关节模组	高功率密度 空心杯电机	1100	25kg	80N	±0.20 mm



图·星动XHAND1灵巧手

➤ 杭州宇树科技股份有限公司是全球领先的民用机器人企业，专注于高性能足式、人形机器人及灵巧机械臂的自主研发与产业化。公司是首家公开零售四足机器人的企业，并率先实现行业落地，全球销量持续领先。Dex5-1灵巧手通过全关节反驱+丰富触觉传感器设计，指尖重复定位精度达±1mm，适合复杂曲面抓握任务（手指均可独立更换，降低维修成本）。单手94个触觉传感器，提升机器人精度以及感知功能。2024年完成超1500台人形机器人交付，据公司首席执行官王兴兴披露2025年机器人出货量持续增长。

表：宇树科技灵巧手产品性能概况

产品名称	自由度	传动方式	驱动方式	重量	整手最大负载
Dex5-1 (五指灵巧手)	20 (16主动)	低阻尼小间隙减速器， 自研微型力控复合传动关节， 微型力控关节齿轮传动	高功率密度空心杯电机	1000g	4500g
Dex3-1 (三指灵巧手)	7全主动	微型无刷力控关节直驱， 微型无刷力控关节齿轮传动	-	710g	500g



图：Dex3-1灵巧手



图：Dex5-1灵巧手



图：Dex5-1灵巧手打扑克牌，翻动书页，
抛起并接住橙子



魔法原子：多项核心零部件实现自主研发，2025年计划量产400台本体机器人

➤ 魔法原子（MagicLab）成立于2024年1月，是一家专注于具身智能通用机器人的高科技公司。公司具备从自主研发到生产制造、销售服务的全链条能力，致力于打造具备强大感知、认知与动作能力的通用机器人。旗下产品包括通用人形机器人、仿生四足机器人等，覆盖工业、商业、家庭等多样化应用场景，以满足不同领域对通用智能体的需求。公司核心团队深耕机器人与人工智能多年，秉持长期主义理念，推动具身智能技术的产业化与普及化。公司推出的MagicHand S01灵巧手核心零部件如微型电动推杆、多圈绝对值编码器、六轴电机驱动器、高灵敏多点触觉传感器以及灵巧手控制器均由公司自主研发，并在设计中预留了性能余量，不仅显著提升了负载能力，也有效延长了零部件的使用寿命。

表：魔法原子灵巧手产品概况

产品名称	自由度	驱动方式	重量（g）	整手负载（kg）	单指握力（kg）	末端重复定位精度（mm）	张合时间
MagicHand S01	11个	微型电动推杆 六轴电机驱动	580	5	2.5	0.2	1.2s



图：MagicHand S01

➤ 智元机器人（AgiBot）成立于2023年2月，专注于通用具身智能领域，构建完整产品链，致力于打造融合硬件本体与人工智能的全品类具身智能机器人矩阵。公司自主研发了覆盖机器人本体、智能系统及软硬件平台的核心能力，形成了远征、灵犀、精灵三大产品系列，广泛应用于交互服务、柔性制造、数据采集等商用场景。2025年1月，随着第1000台通用具身机器人成功量产下线，智元成为国内首家实现人形机器人规模化商业交付的企业。2024年8月18日，智元发布拥有19个自由度的视触觉灵巧手，该产品集成了高精度的MEMS触觉感知和视触觉感知技术，标志着其已构建起完整的灵巧手产品体系，进一步巩固了其在具身智能领域的研发深度与整机集成能力的领先地位。

表：智元机器人灵巧手产品概况

产品名称	自由度	负载提拉能力	整手抓握
视触觉灵巧手	19个（12个主动自由度）	30kg	5kg



图：智元机器人 视触觉灵巧手

BrainCo强脑科技创立于2015年，是首个入选哈佛大学创新实验室的中国团队，专注于非侵入式脑机接口技术，其突破性BrainCo Hand系列产品支持先进的非侵入式脑机接口技术，赋能截肢用户实现五指独立的直觉化精准控制。依托于仿生手研发经验，目前公司新发布的Revo 2灵巧手是全球最轻量专业级灵巧手，基于假肢手与一代灵巧手的成熟技术迭代升级，延续了前代产品的稳定性和高性能优势，通过仿生关节优化、精密传动机构与整机轻量化方案，实现了极致轻量、小巧轻便但功能强大，可精准感知物体硬度、纹理及受力方向。其通用化的协议与接口设计，可无缝应用于机器人平台，达成通用的灵巧操作能力。同时Pro版集成了EtherCAT通讯接口支持最高1kHz实时控制。目前，强脑科技智能仿生义肢手产品已实现量产，相关技术平台也为其在服务机器人与灵巧操作领域的应用拓展奠定了基础。随着Revo 2等灵巧手产品的发布，公司正逐步构建面向康复、人形机器人与多场景交互的产品体系。

表：强脑科技灵巧手产品概况

产品型号	发布时间	产品类型	自由度	重量	驱动方式
REVO 2	2025年4月	第二代机器人灵巧手	11（6主动）	383g	-
REVO 1	-	第一代机器人灵巧手	6	540g	高性能精密微型电机



图：Revo 2灵巧手



图：Revo 1灵巧手

上海傲意信息科技有限公司成立于2015年，专注于无创脑机接口、神经信号AI解码及机器人核心部件的研发，推出工业级ROHand灵巧手、面向截肢患者的OHand™智能仿生手、面向由于神经功能损伤导致的手部运动障碍的手指关节外骨骼等产品。广泛应用于科研、康复及人形机器人领域，并获得包括苹果在内的国际具身智能企业采购意向。灵巧手产品在签署授权协议后可提供 ROS/ROS2 平台二次开发用 SDK，方便客户在现有系统中快速集成与功能拓展，加快应用落地进程。配备高密度点阵触觉传感器的第二代灵巧手ROH-AP001 如同装上“电子神经末梢”，实时感知 0.1N-25N 压力并精准调力，从捏薯片到握重工具都更稳。依托医疗级仿生手的成熟供应链体系，通过共用核心部件实现成本摊薄，成功将工业灵巧手的单台 BOM 成本从早期的3万元降至万元以内，显著降低量产门槛。当前，公司已形成“低成本—高性能—稳定产能”的正向闭环，成为国内少数具备批量交付能力的灵巧手厂商。2025年以来，灵巧手订单量同比增长超两倍，产能紧张，部分客户提前锁单。

表：傲意科技灵巧手产品概况

产品型号	自由度	重量
ROH-A002	11 (6主动)	545g±5g
ROH-AP001	11 (6主动)	640g±5g
ROH-LiteS001	11 (6主动)	457g±5g



图：ROH-A002



图：ROH-AP001



图：ROH - LiteS

➤ 深圳市雷赛智能控制股份有限公司是智能装备运动控制领域的全球知名品牌和行业领军企业。公司专注于伺服电机驱动、步进电机驱动、运动控制卡和运动控制PLC等产品的研发、生产与销售，其灵巧手具有高自由度、高速通讯、高可靠性、强大感知能力、强大负载能力、轻量化等核心竞争优势，可广泛应用于工业自动化、商业与家庭等各类场景。DH116 作为公司第一款灵巧手，定位是普及型灵巧手，自重 490 克，最大负载能力达全球领先的 40 公斤，单指负载 10 公斤，目前已进行试产试销。继今年3月发布DH116普及型灵巧手后，雷赛已在多个客户场景完成试用验证，覆盖迎宾、娱乐、物流等大批量低成本应用。新推出的DH2015高自由度方案主打高端家用与商业场景，具备20自由度、高速通讯、高可靠性、强感知、强负载与轻量化六大优势，兼顾精度、响应与适配能力。雷赛智能子公司深圳灵巧专注高质价比的灵巧手零部件研发和生产，拥有先进设备和大规模制造能力。目前 DH 系列灵巧手解决方案由子公司灵巧驱控负责研发、生产、销售，通过自家零部件供应，帮助客户降低成本，提高产品竞争力。

表：雷赛智能灵巧手产品概况

产品型号	发布时间	自由度	重量	最大负载	传动方式	驱动方式
DH116普及型 (2025年Q2量产试销)	2025年3月	11 (6主动)	490g	40kg	行星减速机 滚珠丝杆	无刷空心杯电机 微型驱动器 (6-15轴)
DH2015 (计划2025年Q3启动试产试销和小批量生产)	2025年6月	20 (15主动)	670g	15kg	滚珠丝杆 梯形丝杆	多合一驱动器 (6-20轴)



图：DH116普及型灵巧手

- 集设计、研发、制造于一体的微型驱动系统方案解决商，兆威机电在人型机器人技术领域相关产品包括高性能电机及全驱动仿人灵巧手。兆威机电于2024年11月发布全球首款指关节内置全驱动力单元的灵巧手，集成微型电机、减速器、传感器和控制模块，实现17个主动自由度，具备高响应速度和高控制精度。2025年7月，ZWHAND系列推出新一代灵巧手，在上一代基础上实现重要升级：采用创新的微型丝杠步进电机，在指节空间内实现线性驱动，产品型号扩展为LM06、DM17和DM20，覆盖如高负载等更多应用需求，实现了从单点突破向系统化集成解决方案的升级。兆威机电称其自主研发的微型行星减速机在性能上已达到日本电产（Nidec）同类产品水平，同时具备明显的成本优势。



图：DM17全直驱灵巧手

DM17 1.4L



内置 17 个微型电机

LM06 1.0



内置 6 个微型电机

DM20 1.0



内置 20 个微型电机

图：兆威机电三大灵巧手

LM06 强握力灵巧手

6 电机驱动 16 自由度，自适应抓取更高效

200N 强大握力，轻松应对高负载场景

超高 性价比-性能翻倍，成本减半

DM17全直灵巧手

17 电机全独立直驱，灵活控制每个指关节

0°-90° 弯曲 15° 侧摆
精准仿人手操作

0.1N 微力反馈，轻拿轻放不在话下



图：DM17全直驱灵巧手, LM06强握力灵巧手产品性能

- 一、行业概况：具身智能核心执行终端，市场快速扩张
- 二、发展趋势：腱绳传动刚柔并济，电子皮肤赋能感知
- 三、竞争格局：三类玩家共塑产业生态，产品迭代进化不止
- 四、投资建议
- 五、风险提示

- ✓ 当前，全球人形机器人产业正站在“从技术验证走向商业化量产”的关键转折点。随着特斯拉Optimus、Figure AI、智元、宇树等头部厂商相继发布最新产品以及进行应用场景的迭代，行业逐步从早期的“概念展示”阶段迈入“工程化落地攻坚期”。其中，灵巧手作为人形机器人与物理世界直接交互的“末端执行核心”，其性能直接决定了机器人能否完成精密装配、柔性抓取、工具操作等高复杂度任务，是决定整机商业化价值的核心瓶颈之一，根据高工机器人产业研究所（GGII）数据，2024年中国机器人灵巧手市场销量约0.57万只，预计到2030年，中国机器人灵巧手市场销量将有望突破34万只，2024-2030年CAGR约为90%。当前灵巧手行业仍处于起步阶段，随着材料、电机、传动、运控、传感等技术的持续进步与提升，灵巧手实质性产业化的拐点有望加快到来。
- ✓ 从技术路径看，目前灵巧手的方案尚未完全收敛——不同厂商在自由度设计（11-24自由度为主）、传动结构（连杆/腱绳/齿轮组）感知配置（视、触觉传感器配置）等维度仍在进行多元探索。我们认为从技术路径方面，传动以及感知是灵巧手的核心功能，传动维度，腱绳方案具备轻量化、柔性化等优势，逐步走向主流，或对应百万台人形机器人UHMWPE腱绳9.6-72亿元市场空间，建议关注南山智尚、恒辉安防、同益中等具备超高分子量聚乙烯纤维产能企业；感知维度，高维力矩传感器和触觉传感器是传感器方面的当前研究重点，其中触觉传感器电子皮肤路线具备产业化价值，福莱新材、日盈电子、汉威科技等国内企业有望在全球竞争中占据重要地位。
- ✓ 从当前参与厂商来看，灵巧手市场主要以独立集成商、人形机器人本体厂商、多领域跨界厂商三大类玩家为主，其中灵巧手独立集成商相较其他厂商整体更早推出成熟产品并且对外发售，其中国外厂商发展较早，但产品售价较高，国内厂商产品在自由度、核心部件设计、感知等层面各有特点，单价普遍介于5-10万元之间，根据细分市场需求，推出针对性的产品，注重产品的技术创新与场景适配性的同时具备价格优势；人形机器人本体厂商于近年推出自身本体产品后将研发重心拓展至灵巧手方向，持续进行多自由度控制、结构设计、任务适用性等维度的迭代；多领域厂商中，随着脑机接口与灵巧操作技术的融合发展，国内企业如BrainCo、傲意科技等，正在探索多种技术路径，并逐步构建面向康复、工业和具身交互等场景的应用布局；兆威机电、雷赛智能等上游零部件厂商向下拓展，凭借在核心零部件领域的技术积累与生产能力，横向切入灵巧手市场，为整机厂提供性价比高的灵巧手产品或核心模组。建议关注表现优异或于工业场景率先商业验证企业及其对应产业链条。

- 一、行业概况：具身智能核心执行终端，市场快速扩张
- 二、发展趋势：腱绳传动刚柔并济，电子皮肤赋能感知
- 三、竞争格局：三类玩家共塑产业生态，产品迭代进化不止
- 四、投资建议
- 五、风险提示

- 技术迭代不及预期风险
- 国产供应链替代不及预期风险
- 降本不及预期风险
- 宏观经济风险

投资评级说明

(1) 公司评级定义

买入	股价涨幅优于基准指数 15%以上
增持	股价涨幅相对基准指数介于 5%与 15%之间
持有	股价涨幅相对基准指数介于-5%与 5%之间
卖出	股价涨幅劣于基准指数 5%以上

(2) 行业评级定义

推荐	行业指数表现优于基准指数 10%以上
中性	行业指数表现相对基准指数介于-10%~10%之间
回避	行业指数表现劣于基准指数 10%以上

备注：评级标准为报告发布日后的6个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现，其中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指数或纳斯达克指数，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。

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人承诺报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业操守和专业能力，本报告清晰准确地反映了本人的研究观点并通过合理判断得出结论，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

证券投资咨询业务的说明

根据中国证监会颁发的《经营证券业务许可证》（Z23834000），国元证券股份有限公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议，并直接或间接收取服务费用的活动。证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

法律声明

本报告由国元证券股份有限公司（以下简称“本公司”）在中华人民共和国境内（台湾、香港、澳门地区除外）发布，仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。若国元证券以外的金融机构或任何第三方机构发送本报告，则由该金融机构或第三方机构独自为此发送行为负责。本报告不构成国元证券向发送本报告的金融机构或第三方机构之客户提供的投资建议，国元证券及其员工亦不为上述金融机构或第三方机构之客户因使用本报告或报告载述的内容引起的直接或连带损失承担任何责任。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的信息、资料、分析工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的投资建议或要约邀请。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有本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投资银行业务服务或其他服务，上述交易与服务可能与本报告中的意见与建议存在不一致的决策。

免责声明

本报告是为特定客户和其他专业人士提供的参考资料。文中所有内容均代表个人观点。本公司力求报告内容的准确可靠，但并不对报告内容及所引用资料的准确性和完整性作出任何承诺和保证。本公司不会承担因使用本报告而产生的法律责任。本报告版权归国元证券所有，未经授权不得复印、转发或向特定读者群以外的人士传阅，如需引用或转载本报告，务必与本公司研究所联系并获得许可。网址：www.gyzq.com.cn

国元证券研究所

合肥	上海	北京
地址：安徽省合肥市梅山路 18 号安徽国际金融中心 A 座国元证券 邮编：230000	地址：上海市浦东新区民生路 1199 号证大五道口广场 16 楼国元证券 邮编：200135	地址：北京市东城区东直门外大街 46 号天恒大厦 A 座 21 层国元证券 邮编：100027