



INDUSTRY REPORT

2025 深度行业分析报告

行业研究 | 市场分析 | 全景洞察



2025人形机器人灵巧手技术路径、应用
场景与产业链关键环节分析报告



公众号 · IMPCIA

① 灵巧手：人形机器人重要末端执行器

② 技术路线：仿人主流与特化创新并行，共拓应用边界

③ 应用场景：特殊场景率先落地，工业场景赋能柔性制造

④ 相关标的梳理

1.1、人手重要性：人手是人类生存、创造和发展的关键工具

- 手的演化伴随着人类操作能力从简单抓握向精密操作的提升。在约3.6亿年前四足动物的起源过程中，带有指趾结构的强壮四肢逐渐形成；大约6500万年前的灵长类动物化石显示其拥有可能与抓握树枝相关的长手指结构；大约450~300万年前，古人类手的进化反映出精密操作能力的增强，化石证据显示当时人类已会制作并使用工具（石器）。
- 现代文明中，人手的力量抓握、精捏等动作至关重要。人手共有24个自由度（手指21个自由度+腕的外展、腕的弯曲和手掌的弧度3自由度），这种结构使人手可完成力量抓握、精捏等核心动作。这些动作在现代人类日常生活中经常被使用到，例如在清洁、烹饪等活动中。

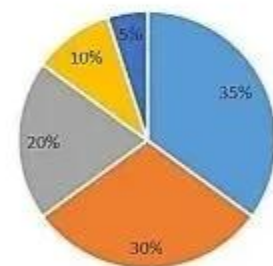
图表1：人手发展演化

时间	演化节点	手部变化	解决的问题
约3.6亿年前	四足动物起源	带有指趾结构的强壮四肢逐渐形成	支撑身体重量、行走
6500万年前	灵长类动物适应树栖环境	出现长手指结构	抓握树枝
450~300万年前	古人类直立行走，解放前肢	拇指明显增长	能够实现精细操作，比如制作石器
至今	人类社会的发展	几乎无变化	更加发达的脑部使人类得以用手执行更复杂的操作

来源：《A Devonian tetrapod-like fish and the evolution of the tetrapod body plan》《Primate Origins and the Plesiadapiforms》《Ardipithecus hand provides evidence that humans and chimpanzees evolved from an ancestor with suspensory adaptations》，中泰证券研究所

图表2：人手常用动作及比例

人手常用动作及比例



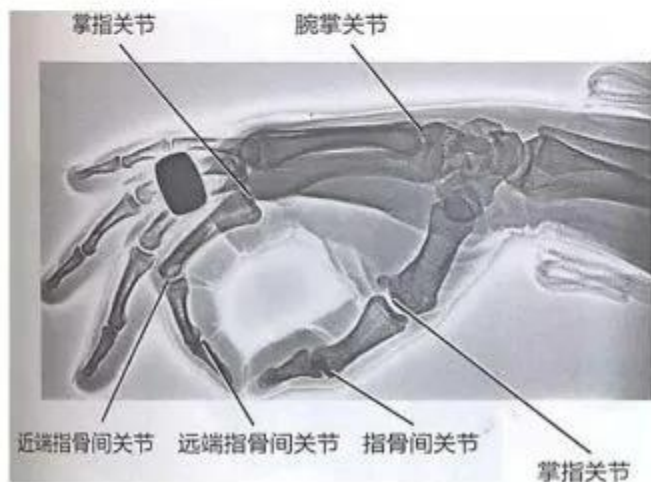
■ 力量抓握 ■ 精捏 ■ 侧捏 ■ 钩状抓握 ■ 其它

来源：《高仿生性能假肢设计研发与应用研究》，中泰证券研究所

1.2、灵巧手从仿生出发，旨在拓展人类能力边界

- 灵巧手的结构基于仿生人手。灵巧手在结构设计上模仿人手，以达到人手的灵活性与稳定性。人手的骨骼结构是其功能的基础：①第1掌骨的位置使拇指可以自由地越过掌心对向其余4指；②控制手弓的凹陷程度允许人手安全握住和操控各种形状和大小的物体；③腕掌关节大大提高了手的灵活性；④掌指关节是支撑手部掌弓活动的拱顶石，其附属运动使得手指更好地适应所持物体的形状；⑤指骨间关节仅可做屈曲和伸展运动，拇指指骨间关节可以在用拇指指腹给物体施加压力时过伸。
- 灵巧手设计目标在于模拟人手的核心功能、突破人类生理限制，并在特定领域实现性能增强。1) 感知与信息处理：通过多模态感知技术感知物体的形状、姿态、表面纹理等信息，使得灵巧手能够像人手一样对物体进行精细的感知和判断，为后续的操作和决策提供准确的信息支持；2) 工具操作与生产力创造：灵巧手的设计使其能够像人手一样灵活地操作各种工具，精确地抓取和操作零件，进行装配、加工等操作，提高生产效率和质量；3) 社会交互与情感沟通：灵巧手可以模拟人手的动作，与人进行自然的互动，还能通过握手、拍肩等动作表达关怀和鼓励，增强情感体验。

图表3：人手关节分布



来源：《基础肌动学》，中泰证券研究所

图表4：人手关节特征与功能

名称	特征	功能
腕掌关节	由腕骨远排与5根掌骨的底部形成的关节	使得手掌呈轻微凹陷，大大提高手的灵活性
掌指关节	由凸起的掌骨头和近节指骨的近端浅凹面形成的相对较大的关节	其力学稳定性对手的整体生物力学至关重要
指骨间关节	每个关节只有一个自由度，仅可做屈曲和伸展运动	拇指在用指腹给物体施加压力时可过伸

来源：《基础肌动学》，中泰证券研究所

1.2、灵巧手从夹持器演化而来，关键在于泛化能力

- 灵巧手属于抓手类末端执行器，可实现抓持和操作。末端执行器是机器人动作决策的执行输出工具，按功能分为两大类：①工具类末端执行器根据具体工作要求专门设计并预留标准化接口；②抓手类末端执行器担负着执行各种动作、抓持和操作的任務，经历了从两指夹持器（结构简单、适配单一场景）、多指抓持手（仅能抓持、无法操作）到多指灵巧手（更高系统集成度、更强感知能力、可实现抓持和操作）的发展过程。
- 灵巧手泛化能力强于传统夹爪，可实现多任务迁移和使用工具。传统工业夹爪重复精度达 ± 0.02 毫米，对抓取成功率要求极高，特点是精密力控、大行程，需要每个任务单独编程。灵巧手由于传动链路更长，重复定位精度基本只能达到 ± 0.2 毫米，可实现多任务迁移和使用工具，泛化能力更强，优势在于柔性生产、快速部署和换型，比如抓治具、拣货、包装入盒等，比人从事同类工作良率更高、一致性更好，但相对来说又有一定的容错率。

图表5：抓手类末端执行器演变过程



1.2、灵巧手是人形机器人重要末端执行器

□ 灵巧手相对下肢重要性更强。

- ✓ ①灵巧手是人形机器人与外界交互感知的重要枢纽。灵巧手集成丰富传感器，可助机器人对外界进行感知交互；而下肢主要搭载压力传感器、惯性测量单元等，作用主要为满足自身平衡与移动需求。
- ✓ ②灵巧手是人形机器人实现精细操作的执行终端。对于人形机器人，主要提供操作功能的是上肢，下肢虽在部分任务中也可辅助操作，但主要提供本体支撑、全身协调与移动功能。
- ✓ ③灵巧手是人形机器人高价值量环节。灵巧手占人形机器人整机成本的 14-18%，其技术溢价能力高于下肢，性能直接决定人形机器人的商业化落地广度与深度。

□ 灵巧手向“全感知”和“自适应”方向发展。灵巧手诞生于上世纪70年代，大致经历了三个发展阶段。

- ①1970-1990，具备基础结构（驱动+传动+感知），可实现简单抓取；
- ②1990-2020，随着嵌入式硬件发展，系统集成度提高，感知能力提升；
- ③2020至今，随着电子皮肤的发展和感知与运控算法的进步，向“全感知”和“自适应”方向发展。

图表6：灵巧手发展历程

时间	外部环境变化	硬件变化	软件变化	代表产品
1970-1990	工业需求趋势显露，机器人技术以及相关学科飞速发展	具备基础结构（驱动+传感+感知）	/	Okada灵巧手（1974） Utah/MIT灵巧手（1983）
1990-2020	嵌入式硬件的发展	系统集成度提高，感知能力提升	/	DLR I灵巧手（1998） GIFU II手（2001）
2020至今	电子皮肤、感知与运控算法的发展	感知能力进一步提升	引入支持基本操作自适应调整的算法	TRX-Hand灵巧手（2023） 智元灵巧手（2024）

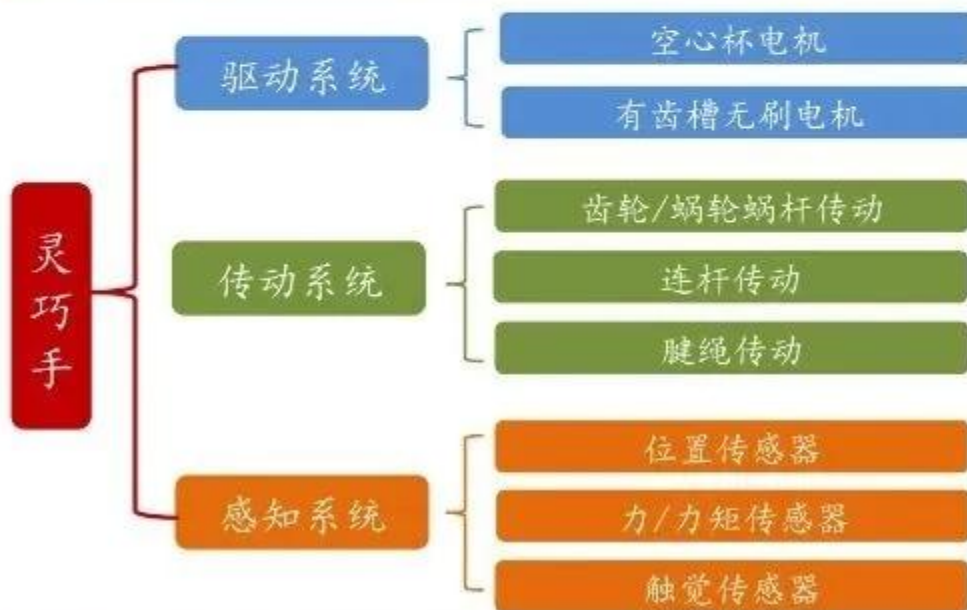
来源：《机器人灵巧手的研究与发展》《机器人多指灵巧手的研究现状、趋势与挑战》，中泰证券研究所

1.3、灵巧手构成：由驱动+传动+感知构成，驱动价值量占比最高

□典型灵巧手由驱动、传动、感知三个系统组成。1) 驱动系统：提供动力；2) 传动系统：将驱动系统产生的动力转换为手指关节运动；3) 感知系统：感知自身变化和外界环境。

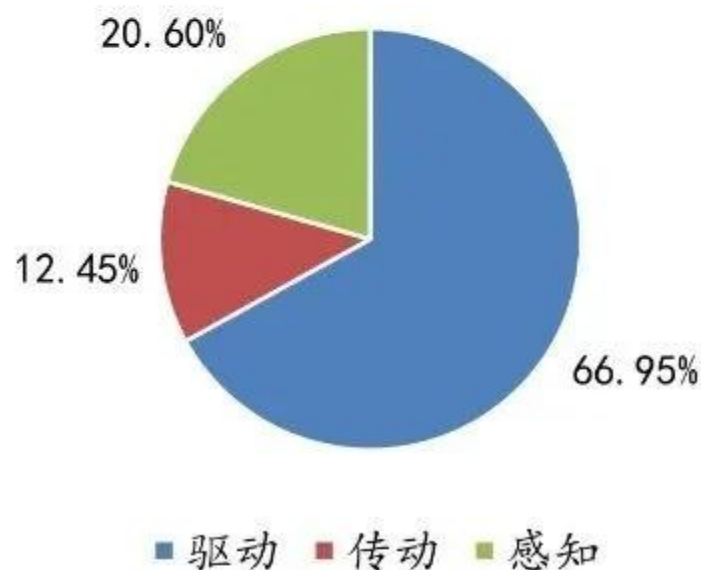
□成本拆分中驱动系统占比最高。以Tesla Bot灵巧手为例，成本结构中，单只灵巧手约11650元，驱动系统（驱动器、空心杯电机）占比约67%，传动系统（蜗轮蜗杆、行星齿轮箱）占比约12%，感知系统（编码器）占比约21%。

图表7：灵巧手构成



来源：中泰证券研究所绘制

图表8：Tesla Bot灵巧手成本拆分



来源：智能制造IMS、中泰证券研究所

1.3.1、驱动：驱动方式多样，以电机驱动为主流

- 驱动系统负责为灵巧手提供动力。主要驱动方式包括电机驱动、液压驱动、气压驱动、形状记忆合金驱动。
- 大多数灵巧手选取电机驱动方式。灵巧手可以从输出力矩、反应的快慢、灵巧手控制性能、可靠性、使用期限以及造价等综合因素选取驱动源。电驱方案有着响应快、精度高、可靠性高等优点，如今的大多数灵巧手选取的都是电机驱动方式。

图表9：不同类型驱动优劣势对比

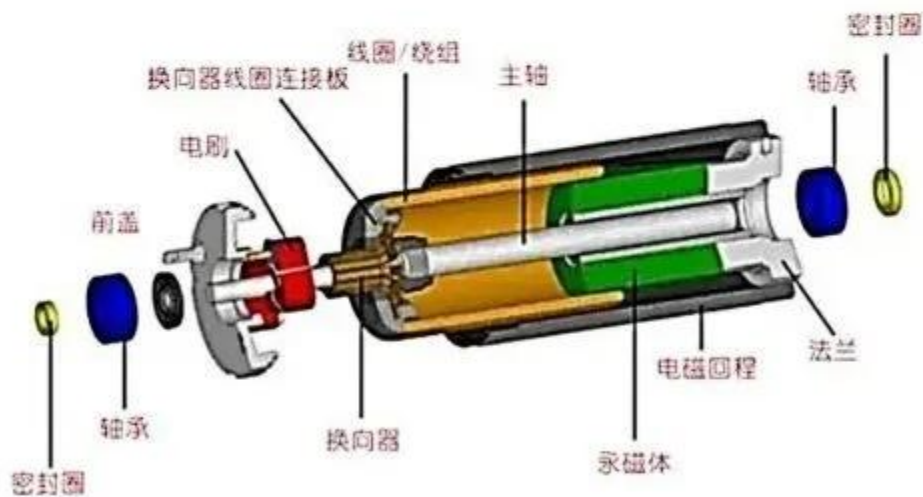
	优势	缺陷
电机驱动	响应快、精度高、可靠性高	质量大、体积大、功耗高
液压驱动	输出力矩大、动作速度快、稳定性高、负载高	系统庞大、维护和保养困难
气压驱动	成本低、无污染、操作简单、易于维护	输出力和稳定性较低、无法实现高负载和复杂动作
形状记忆合金驱动	结构简单、轻量化、功重比大	成本高

来源：《机器人多指灵巧手的研究现状、趋势与挑战》《中国人形机器人产业发展蓝皮书》（高工机器人研究院），中泰证券研究所

1.3.1、驱动：空心杯电机紧凑而高效，目前广泛应用

- 空心杯电机是一种直流永磁伺服电动机，在结构上突破了传统电机的转子结构形式，采用无铁芯转子，定子为空心杯状，外形尺寸紧凑，机体轻巧。
- ✓ ①新颖转子结构减少能量损耗。空心杯电机新颖的转子结构消除了由于铁芯形成涡流而造成的电能损耗，同时其重量和转动惯量大幅降低，从而减少了转子自身的能量损耗。
- ✓ ②相比普通电机效率高、轻量化。空心杯电机效率高、响应速度快、灵敏度高、轻量化，完美契合灵巧手空间小但精度要求高的特点。
- ✓ ③目前多款灵巧手采用空心杯电机作为驱动方案。目前兆威ZWHand、特斯拉Optimus第一代灵巧手、因时机器人灵巧手、雷赛智能DH2015、星动纪元XHAND1等灵巧手产品都选择使用空心杯电机作为其驱动方案。

图表10：空心杯电机示意图以及普通铁芯电机对比表



	空心杯电机	普通电机
能量转化效率	>70%，部分达90%	15%-50%
响应性能	<28ms	>100ms
稳定性	无齿槽效应使运行更平稳	会产生电机低频振动现象
重量与体积	相比同等功率普通电机重量减轻 1/3-1/2，体积减小 1/3-1/2	铁芯导致重量体积大

来源：科国技术官网，《中国人形机器人产业发展蓝皮书》（高工机器人研究院），中泰证券研究所

1.3.1、驱动：直流有齿槽无刷电机或成降本方案

- ❑ 直流有齿槽无刷电机是一种通过电子换向替代传统机械换向的电机，相较传统有刷电机，直流有齿槽无刷电机寿命长、速度高、效率高、噪声低。
- ❑ 直流有齿槽无刷电机相对无刷空心杯电机的优势是高负载、低成本。
- ✓ ①其高负载特性适配低速高功率场景。直流有齿槽无刷电机的起动扭矩较大，适合需要低速、高功率输出的场合。无槽直流无刷电机（例如无刷空心杯电机）适用于高速、高转矩密度、小空间的工作场合
- ✓ ②可能凭借低成本特性替代空心杯电机。鸣志电器官网显示，有刷空心杯电机售价在1000-2000元不等，无刷空心杯电机售价在1000-3000元不等，而直流有齿槽无刷电机售价普遍在1000元以下。在低速高功率场合使用直流有齿槽无刷电机替代空心杯电机能够有效实现灵巧手电机部件的大幅降本。

图表11：直流无刷电机与直流有刷电机对比

	直流无刷电机	直流有刷电机
原理	无电刷，电子换向	有电刷
寿命	长	短
能量效率	较高	较低
额定转速	500-10000	1000-10000
成本	高	低
尺寸	小	大
可靠性	优秀	一般

来源：鸣志电器，中泰证券研究所

图表12：直流有齿槽无刷电机与空心杯电机对比

	直流有齿槽无刷电机	有刷空心杯电机	无刷空心杯电机
是否有齿槽	有齿槽	无齿槽	有齿槽
重量	低至0.019kg	低至0.0071kg	低至0.0146kg
平稳性	有齿槽效应，一般	依赖电刷，较平稳	最平稳
成本	<1000元	1000-2000元	1000-3000元

来源：鸣志电器，中泰证券研究所

1.3.2、传动：传动方案多样并可组合使用，连杆方案是国内主流

- 传动系统将驱动系统的动力传递到手指关节，使关节运动。以Tesla的灵巧手为例，其传动装置分为三个环节：①减速模块：位于电机侧，负责降速和提高输出扭矩；②线性传动：将旋转运动转换为直线运动；③末端传动：连接驱动器和关节末端。
- 连杆方案可控性强，是国内主流。当前灵巧手的传动方案主要包括腱绳传动、连杆传动、齿轮/蜗轮蜗杆传动等。部分厂商使用单一方案（如曦诺未来的全绳驱方案），也有部分厂商采用混合方案（如智元Skill Hand的“丝杠+连杆+腱绳”混合传动方案），目前腱绳方案和连杆方案应用最为广泛：①腱绳方案节省空间、柔韧性好、成本较低，但其一致性和刚度略差，长期使用后腱绳易拉伸变形，导致精度下降；②连杆方案存在结构冗杂、笨重、柔性不足的问题，但是刚度大、负载能力强、结构稳定，成为国内主流，落地产品包括因时机器人-RH56DFX等。
- 腱绳+连杆混合方案兼顾仿生、精度与握力，有望成为趋势。腱绳使得灵巧手的运动更接近人手，而机械连杆能提供更高的负载和精度，混合方案兼顾仿生、精度与握力，有望成为未来趋势。

图表13：传动方案对比

	优势	缺陷	使用产品
腱绳传动	节省空间、柔韧性好、成本低	刚度略差，长期使用后腱绳易拉伸变形，导致精度下降	Shadow Hand、PISA/IIT SoftHand等
连杆传动	刚度大、负载能力强、结构稳定	结构冗杂、笨重、柔性不足	因时机器人RH56BFX、BeBionic Hand等
齿轮/蜗轮蜗杆传动	手指驱动更灵活	结构冗杂、笨重、柔性不足	Vincent Hand、i-limb ultra Hand等
人工肌肉	模拟人类肌肉、高度仿生	目前无法实现可靠、快速、精确抓取	浙江工业大学全驱气动灵巧手、Festo章鱼手等

来源：小米技术公众号，中泰证券研究所

1.3.2、传动：减速器、丝杠是关键环节

- 减速模块主要使用行星减速器，未来有望向谐波减速器过渡。**灵巧手的减速模块将高转速、低转矩的输入转换为低转速、高转矩的输出，同时起到增加传动精度和增加负载能力的作用。减速模块主要关注行星减速器和谐波减速器。①行星减速器精度略逊，但承载能力高、成本较低，是当前主流方案；②谐波减速器体积小、重量轻、精度高，适配灵巧手轻量化、高精度的需求，但成本较高，未来随着技术进步，有望实现降本、替代传统方案。
- 线性传动的主流方案是丝杠，关注滚珠丝杠（中低负载）与行星滚柱丝杠（高负载）。**线性传动环节将旋转运动转换为直线运动，主流方案是丝杠，主要包括滚珠丝杠和行星滚柱丝杠。行星滚柱丝杠相比滚珠丝杠具有承载高、速度高、体积小、寿命长等优点。在相同体积下，行星滚柱承载能力强于滚珠丝杠，但滚珠丝杠成本较低。若处于中低负载场景下，灵巧手可选用性价比更高的滚珠丝杠；若处于高负载场景下，灵巧手则更适用行星滚柱丝杠。

图表14：谐波减速器和行星减速器对比

类型	谐波减速器	行星减速器
图示		
技术特点	通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮及三个核心部件组成，与RV及其他简易减速器相比，谐波减速器使用的材料、体积及重量大幅度下降	行星齿轮结构减速机通常由多级行星轮组成，由齿数少的齿轮啮合输出轴上的大齿轮来达到减速的目的
工作原理	波发生器产生谐波运动，驱动柔性齿轮实现减速输出	行星轮在太阳轮的驱动下转动，实现减速输出
功率密度	高	相对较低
传动效率	可达90%以上	可达80%以上
传动精度	高	较高
输出扭矩	中	小
成本	较高	低
人形机器人应用部位	肩关节、肘关节、腕关节、指关节、腕部、颈部等	手部、膝关节、踝关节等

来源：《中国人形机器人产业发展蓝皮书》（高工机器人研究院），中泰证券研究所

图表15：滚珠丝杠和行星滚柱丝杠对比

	滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
传动效率	摩擦较小，效率较高	摩擦较大，效率较低
导程	受滚珠限制大于0.5mm	可小于0.5mm或更小
承载能力	较低	比滚珠丝杠高出3-10倍
速度	较慢	最高线速度可达2000mm/s
体积	同载荷下较大	同载荷下小1/3
寿命	较低	可达滚珠丝杠的15倍

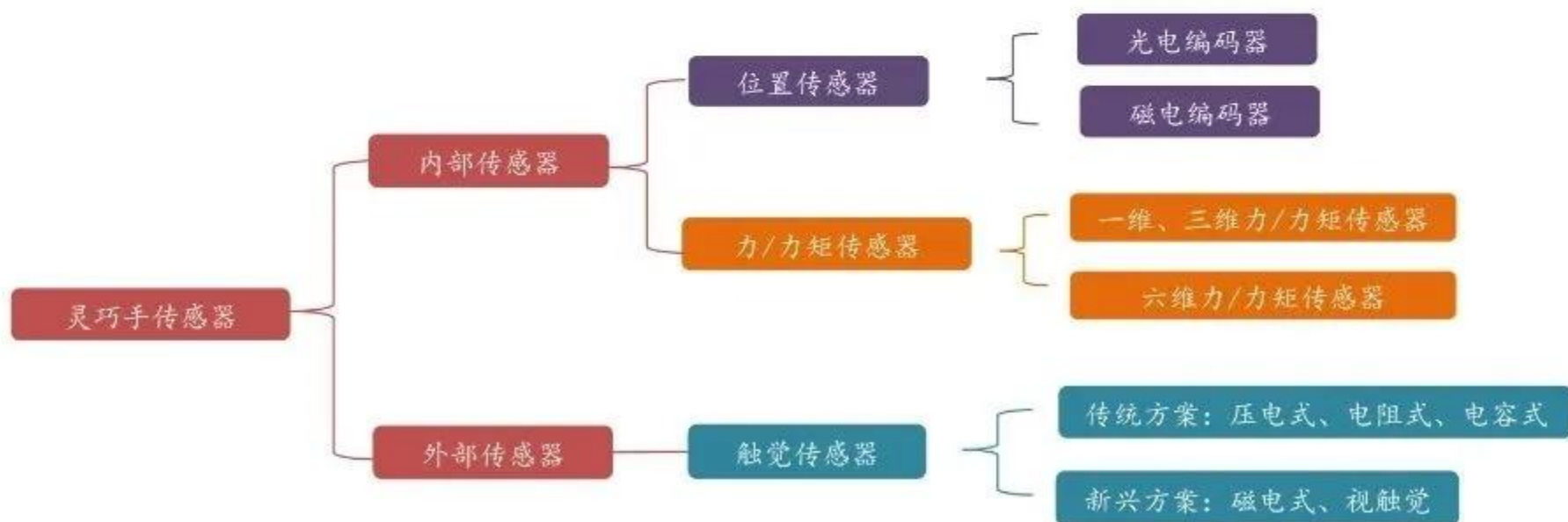
来源：《中国人形机器人产业发展蓝皮书》，山东理工精密机械公众号，中泰证券研究所

1.3.3、感知：关注位置传感器、力/力矩传感器与触觉传感器

□ 灵巧手搭载的传感器可分为内部传感器与外部传感器。

- ✓ 内传感器感知自身状态信息，主要关注力/力矩、位置传感器。位置传感器用于检测灵巧手的位置，主要路线有光电编码器和磁电编码器；力/力矩传感器应用于灵巧手内部，为灵巧手提供动态力反馈，目前主要有一维、三维等低维的力/力矩传感器和更精密的六维力/力矩传感器。
- ✓ 外传感器获取外部环境信息，主要关注触觉传感器。触觉传感器用于实时感知与物体的接触力、压力分布等信息，为精确控制提供数据支持，按技术路线主要可分为压电式、电阻式、电容式等传统方案和磁电式、视触觉等新兴方案。

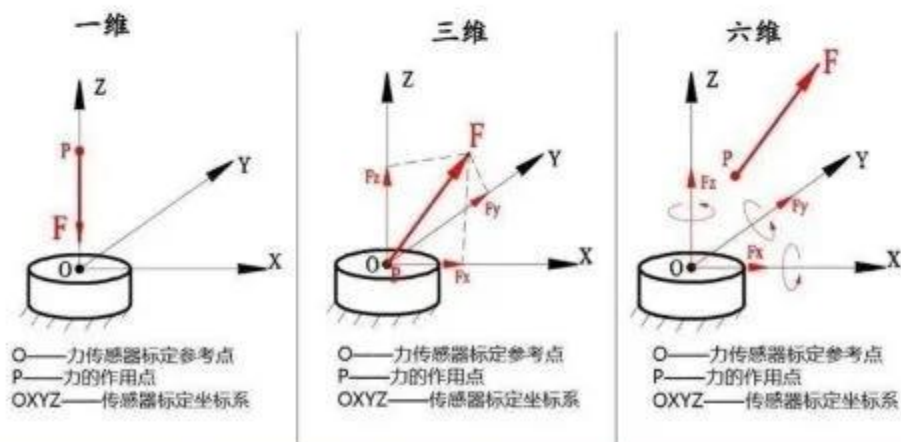
图表16：灵巧手传感器分类



1.3.3、感知：力/力矩传感器与位置传感器实现内部闭环反馈

- 力/力矩传感器：**关节采用一/二/三维传感器；手腕、指尖采用信息更全面、精度更高的六维传感器。在灵巧手上，力/力矩传感器主要分布在手指关节、指尖等，主要包含一维、三维和六维传感器。以HIT/DLR灵巧手为例，一维、二维传感器布置在手指关节，测量手指对物体施加的作用力。与一维、三维传感器相比，六维传感器是维度最高的力觉传感器，能提供最为全面的力觉信息，实现更高精度的力觉测量，布置在HIT/DLR的指尖。微型六维指尖力/力矩传感器能够直接检测手指尖与被抓握物体的接触力与力矩，为手指柔顺控制提供更为直接力感信息。部分灵巧手在手腕处也会采用六维力/力矩传感器，如Tesla的Optimus。
- 位置传感器：**主流路线包括光电编码器和磁电编码器，后者更泛用。位置传感器用于将机械运动（如旋转）转换成电信号，精确检测灵巧手的位置、位移或运动状态，普遍采用编码器。编码器主要分为光电编码器和磁电编码器两种路线，分别通过光信号、磁场信号进行转换。由于磁场信号抗干扰能力更强，所以磁电编码器对灰尘、湿气、一般振动及温度变化的适应性优于光电编码器，更适用于一般环境。

图表17：一维、三维、六维力传感器示意图



来源：坤维科技，中泰证券研究所

图表18：光电编码器与磁电编码器对比

	光电编码器	磁电编码器
精度	较高	较高
环境适应	对环境要求较高，不宜在恶劣环境中使用	能在有油污、灰尘、潮湿等恶劣环境中稳定工作
成本	较高	较低
应用场合	高精度场合	恶劣环境

来源：旺材伺服与运动控制，中泰证券研究所

1.3.3、感知：触觉传感器提供外部感知

- 触觉传感器按照感知原理可分为压阻式、压电式、电容式、磁电式、视触觉：①压阻式灵敏度高、检测限低、制备工艺简单、技术成熟、成本低，但存在信号采集难度较高、部分材料可能受温度影响等问题；②压电式动态响应性能好、耐用性高，但易受温度影响、难以检测静态力；③电容式灵敏度高、响应速度快、功耗低、结构简单、受温度影响小、可测量接近觉，但稳定性不好、易受寄生电容影响；④磁电式精度高、灵敏度高，能测量六维力、位置、材质、温度、硬度等多种触觉信息，数据输出频率高达 1000Hz，但成本高、无法抗强磁干扰。⑤视触觉可感知多维信息且无电气干扰，但实时反馈和柔性响应有局限，易受温度影响且体积较大。
- 柔性电子皮肤是发展趋势。柔性电子皮肤兼备柔性+触觉反馈+仿生的特性，可实现温度、湿度、压力等多功能感知能力，是当前重要的发展趋势。
- 触觉模态将在进入消费场景后成熟。虽然大多数灵巧手均加装触觉传感器，但目前触觉数据缺乏，触觉模态的发展仍处于起步阶段。从成本角度出发，短期内触觉模态意义不大；长期内，随着具身智能在工业、商业应用彻底成熟并进入交互要求更精细的家庭场景，触觉模态将成为机器人真正理解物理世界的关键。

图表19：触觉传感器技术路线对比

技术路线	优点	缺点
压阻式	灵敏度高、检测限低、制备工艺简单、技术成熟、成本低	信号采集难度较高、部分材料可能受温度影响
压电式	动态响应性能好、耐用性高	易受温度影响、难以检测静态力
电容式	灵敏度高、响应速度快、功耗低、结构简单、受温度影响小	稳定性不好、易受寄生电容影响
磁电式	精度高、灵敏度高，能测量六维力、位置、材质、温度、硬度等多种触觉信息，数据输出频率高达1000Hz	成本高、无法抗强磁干扰
视触觉	能够同时感知法向力、切向力、相对滑动和物体的位姿等多维信息；无电气干扰的问题	在实时反馈和柔性响应上有所局限，容易受到温度影响，体积较大

① 灵巧手：人形机器人重要末端执行器

② 技术路线：仿人主流与特化创新并行，共拓应用边界

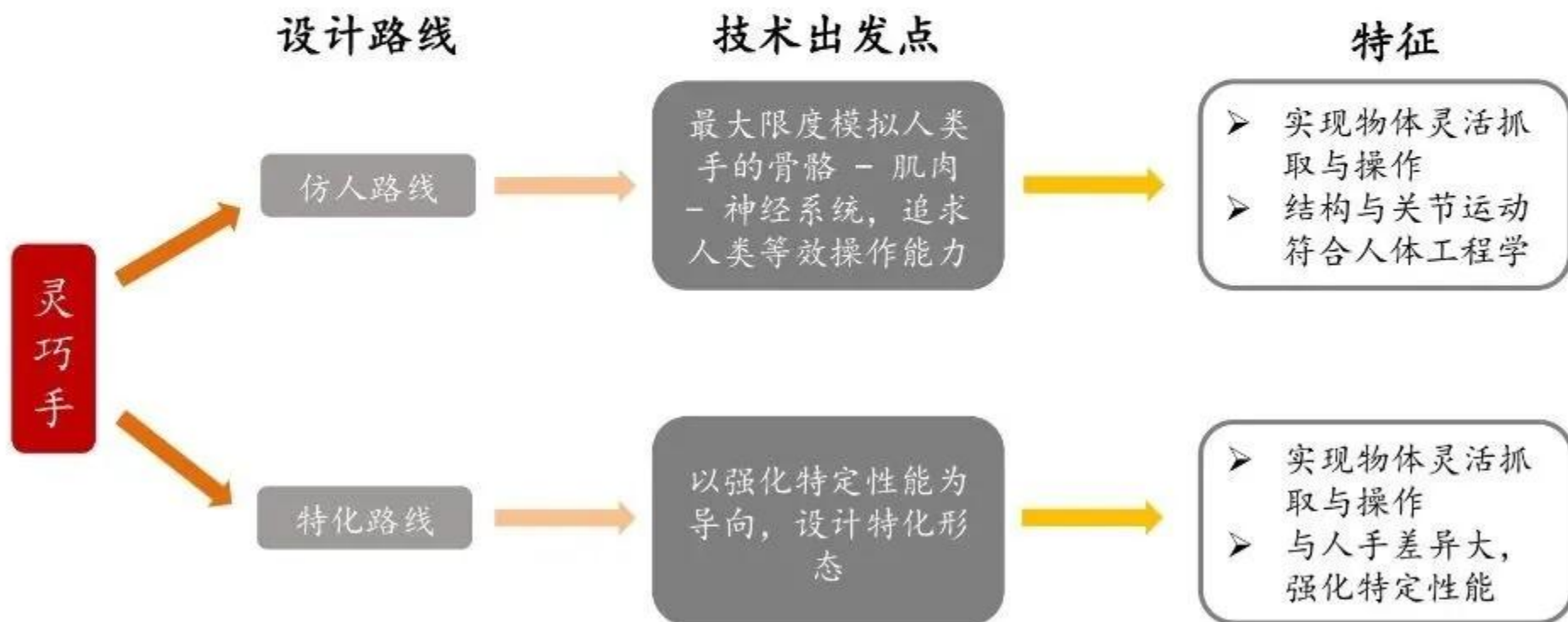
③ 应用场景：特殊场景率先落地，工业场景赋能柔性制造

④ 相关标的梳理

2.1、仿人路线为主流技术路线

- 仿人路线以人手的结构、运动方式和感知能力为模仿对象；特化路线则以强化特定性能为导向，设计特化形态。目前大多数灵巧手走仿人路线，部分科研团队积极探索特化路线，或将拓宽灵巧手发展边界。

图表20：灵巧手设计路线划分



来源：《机器人多指灵巧手的研究现状、趋势与挑战》，中泰证券研究所绘制

2.2、仿人路线：追求结构、运动方式和感知能力与人手相似

- 为具备人手运动效果，在自由度、传动方式上结构仿生。
 - ✓ 自由度接近人手：部分灵巧手自由度接近人手，为复现人手精细动作提供结构基础支撑。例如帕西尼DexH13有16个自由度，兆威机电灵巧手有17-20自由度。
 - ✓ 腱绳传动模拟肌腱收缩：为模拟肌腱收缩，减少机械式转动关节带来的限制，提高灵活性，部分灵巧手采用腱绳传动模拟人手的腱与肌肉，如Shadow Dexterous Hand。

- 为具备人手级感知能力，在传感技术上功能仿生。
 - ✓ 触觉传感器模拟人手触觉：部分灵巧手单手配备近千个多维触觉传感单元，通过几千个触觉信号精确感知物体的纹理、硬度、温度等物理特性，如帕西尼DexH13。
 - ✓ 柔性电子皮肤模拟人手皮肤，实现全覆盖感知：柔性电子皮肤可模拟人类皮肤触感，进行曲面贴合，布置大量感应点，实现全覆盖感知。例如华威科的柔性电子皮肤，每个感应点面积仅1平方毫米，一只机器人灵巧手可布置超1000个感应点，灵敏度达1克级别，目前已装备1000台人形机器人灵巧手。

图表21：典型仿人路线技术方案

主要产品	手指数	自由度	传感方案
灵巧智能DexHand021	5	19	内置23个精密传感器
灵心巧手L30直驱版	5	21	多传感器系统，包括摄像头、电子皮肤等
兆威机电ZWHAND	5	17	可选装手指、手心的柔性电子皮肤，具备感知压力、温度、湿度等能力
宇树Unitree Dex5	5	20	单手94个灵敏触点

来源：电子发烧友网，灵心巧手官网，宝安日报，中泰证券研究所

2.3、特化路线：以强化特定性能为导向

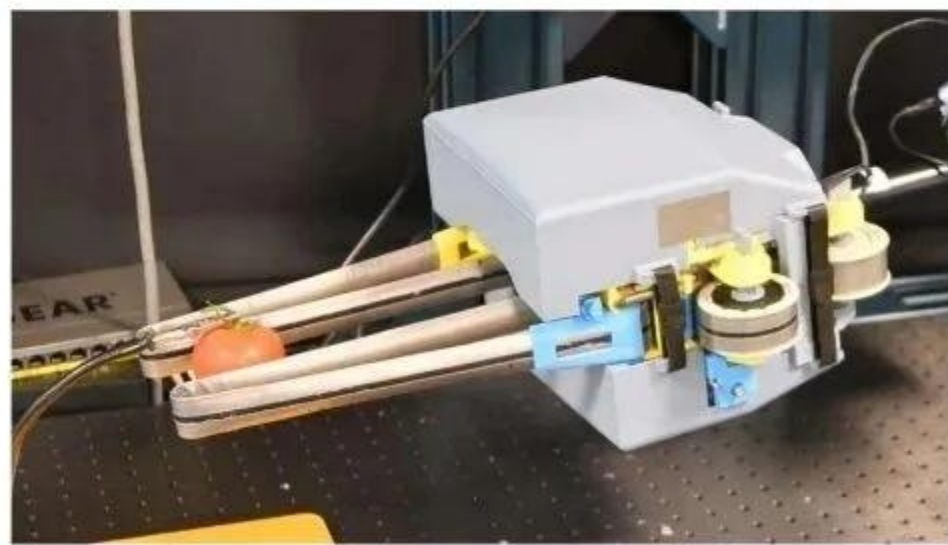
- 核心性能聚焦“高适应性”，面向特定需求场景。特化路线以“拓展灵巧手应用边界”为目标，可应对多样化操作场景。以创新结构为设计核心，突破传统灵巧手局限，举例如下：
- ✓ 触手形方案模仿章鱼，实现高适应性、高负载和抓取稳定性。中国科大团队研发的触手型执行器SpiRobs在结构上受生物对数螺旋结构启发，运动方式上模仿章鱼触手。使用电机驱动电缆，通过控制触手的卷曲/舒展运动来实现到达、包裹、抓取和运输不同物体；它可以对多尺度物体、不规则物体进行抓取，负载最高可达260倍自重，实现了高适应性和抓取稳定性。
- ✓ 卷尺形方案具备轻量化、柔性、可扩展性特点，有望应用于极端环境。加州大学团队研发的卷尺形执行器GRIP-tape使用类似卷尺的双向带簧附肢，实现一定柔性和扩展性。未来GRIP-tape可能凭借其轻量化、柔性、高可扩展性、多模式操作能力在农业与太空、深海等极端环境落地。

图表22：中国科大团队触手形执行器SpiRobs



来源：《SpiRobs: Logarithmic spiral-shaped robots for versatile grasping across scales》，中泰证券研究所

图表23：加州大学团队卷尺形执行器GRIP-tape



来源：《Grasping and rolling in-plane manipulation using deployable tape spring appendages》，中泰证券研究所

- ① 灵巧手：人形机器人重要末端执行器
- ② 技术路线：仿人主流与特化创新并行，共拓应用边界
- ③ 应用场景：特殊场景率先落地，工业场景赋能柔性制造
- ④ 相关标的梳理

3.1、场景需求：作为末端执行器赋能特殊、工业和消费场景

- **特殊场景中灵巧手作为末端执行器将参与应对多元化作业需求。**作为机器人的末端执行器，灵巧手能在应急救援与巡检防爆场景中发挥作用、参与应对多元化作业需求。**应急救援场景（如地震、火灾、水下）：**传统救援方式在极端环境、复杂地形与黄金救援时间窗的夹击下，往往力有不逮。机器人在救援场景中可以达到人类无法到达的危险区域、提供实时影像和数据、保护救援人员安全，灵巧手作为机器人末端执行器之一，将在其中发挥重要作用。**巡检防爆场景（如矿山、石油化工、核电站）：**矿山、化工企业、电力企业的巡检环境复杂且危险，人工巡检面临诸多风险。巡检防爆机器人能进入高风险区域代替人工操作，有效降低风险，保障人员安全，提高效率和准确性，灵巧手作为机器人末端执行器可在其中参与应对多样化作业需求。
- **工业场景中灵巧手将成为柔性制造生产线升级重要工具。**在**3C电子、汽车零部件**等高精密装配行业，传统刚性夹爪或二指抓手难以适应多变工件的形态、材质及操作策略。灵巧手凭借其多自由度、多模态传感与自适应控制能力，能完成螺丝拧紧、柔性组件组装、缆线插拔等复杂任务，成为柔性制造生产线升级的重要工具。
- **消费场景灵巧手对于提升服务、拟人交互至关重要。**养老康养、家庭家政为消费场景主要应用方向。**养老康养：**灵巧手可协助完成如握持水杯、整理物品、开关门等典型动作，对于提升服务智能化和拟人交互体验至关重要。**家庭家政：**灵巧手推动技术升级，未来可拓展至烹饪等复杂家务。

图表24：灵巧手应用场景示例

场景	领域	特点	具体示例
特殊场景	应急救援	极端环境、复杂地形、时间紧迫	地震、火灾、水下、深海
	巡检防爆	复杂、危险的环境	矿山、石油化工、核电站
工业场景	柔性制造	复杂任务、精密操作	3C电子、汽车
消费场景	养老康养、家庭家政	复杂环境、拟人交互、复杂任务	/

3.2、不同应用场景对灵巧手设计提出针对性要求

- 特殊场景对灵巧手的感知功能、防护技术提出要求。①应急救援场景要求数据实时精准，需强化感知功能。救援场景需要搜索幸存者及探测周围环境，灵巧手作为与外界接触的末端执行器，应具备较强的感知功能。②巡检防爆场景或存在极端环境、易燃易爆风险，需特化防护性能。电力企业巡检场景存在高压、高温环境，矿山、石油化工等场景存在易燃易爆风险，灵巧手需要应用特定材料与相应防护技术。
- 工业场景对灵巧手有长时间运行、低成本、高精度等需求。①降本逻辑下无刷有齿槽电机有望替代空心杯电机。空心杯电机方案能效高，是满足灵巧手长时间运行的理想方案，但成本更低的无刷有齿槽电机随着技术升级有望在工业场景实现替代。②连杆传动方案可控性强，有望成为最优选。腱绳传动方案一致性和刚度略差，长期使用后腱绳易拉伸变形，导致精度下降；连杆传动方案刚度大、负载能力强、结构稳定，有望成为工业场景灵巧手传动方案的最优选。
- 消费场景对灵巧手的灵活性、泛用性、交互性要求更高。①空心杯电机+腱绳传动或是未来趋势。空心杯电机相比普通电机具有灵敏度高、响应速度快、重量小、体积小、噪音小的优势；腱绳传动具有柔性、轻量化、低成本的优点；空心杯电机+腱绳传动或是消费场景下的未来趋势。②触觉传感器势在必行，或将向柔性电子皮肤演化。触觉模态将成为机器人真正理解物理世界的关键，触觉传感器势在必行，或将向柔性电子皮肤演化。柔性电子皮肤可贴覆在灵巧手的指尖、手心与手背，完美贴合各种复杂曲面，模拟人手触觉，精准感知压力、温度等环境信息，有望成为未来趋势。

图表25：不同场景特点及其解决方案

应用场景	定制方案
特殊场景	①应急救援场景要求数据实时精准，需强化感知功能；
	②巡检防爆场景或存在极端环境、易燃易爆风险，需特化防护性能。
工业场景	①降本逻辑下有齿槽无刷电机有望替代空心杯电机；
	②连杆传动方案可控性强，有望成为最优选。
消费场景	①空心杯电机+腱绳传动或是未来趋势；
	②触觉传感器势在必行，或将向柔性电子皮肤演化。

3.3、特殊场景机器人需求迫切，有望率先落地

- **特殊场景机器人需求迫切，政策持续助推。**应急救援、巡检防爆等特殊场景中存在大量威胁人类安全的因素，机器人需求迫切。政策持续发力，2023年11月发布的《人形机器人创新发展指导意见》提出面向恶劣条件、危险场景作业等需求打造特种应用场景下的高可靠人形机器人解决方案；同年12月发布的《关于加快应急机器人发展的指导意见》提出到2025年要研发一批先进应急机器人。
- **作为机器人重要末端执行器，灵巧手有望率先打开特种作业新空间。**
 - ✓ **在应急救援场景实现机器替人。**目前已有应急救援场景试用四足机器人，但四足机器人不具有抓取、操作能力，一般承担运输物品、搭载设备等简单任务，无法替代人类进入危险场景作业。而灵巧手可进行智能化精细操作，有望助力人形机器人在危险场景替代人类。
 - ✓ **推动巡检防爆场景智能化。**目前部分国内变电站已引进四足机器人进行巡检试水，但四足机器人的任务主要以监测为主。灵巧手具备交互感知与精细操作能力，有望助力人形机器人完成设备交互和作业执行等任务，推动巡检智能化程度提高。

图表26：特殊场景机器人相关政策

时间	相关部门	政策	内容
2023年11月	工业和信息化部	《人形机器人创新发展指导意见》	在拓展场景应用部分中将“服务特种领域需求”放在第一位，提出加快人形机器人在特种环境应用，面向恶劣条件、危险场景作业等需求打造特种应用场景下的高可靠人形机器人解决方案。
2023年12月	应急管理部、工业和信息化部	《关于加快应急机器人发展的指导意见》	到2025年，要研发一批先进应急机器人，大幅提升科学化、专业化、精细化和智能化水平；建设一批重点场景应急机器人实战测试和示范应用基地，逐步完善发展生态体系

来源：工业和信息化部网站，中国政府网，中泰证券研究所

图表27：防爆人形机器人示例



来源：具身智能大讲堂，中泰证券研究所

3.4、工业场景空间广阔，降本增效加速灵巧手渗透

- **灵巧手泛用性强，助力工业制造。**当前柔性制造已成趋势，2024年1月，工信部等七部门发布《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，提出“推广柔性制造、共享制造等模式。以3C、汽车行业为例，行业新品迭代速度快、定制化程度高，需要频繁调整产线、更换末端执行器，产线具有高柔性特点。在这样的背景下，灵巧手依靠触觉、温度、视觉等多模态感知能力能够精准补偿环境扰动，实现多种工具的操作并完成多种任务，或将成为未来工业柔性生产的基础设施。
- **国产灵巧手价格或将持续下探，加速人形机器人落地工业场景进程。**目前国产灵巧手价格仅为国外价格的1/10，且价格在持续下探。灵巧智能灵巧手目前售价在7~9万元，计划未来3年将终端售价做到1万元左右；2024年因时机器人灵巧手价格已从5万元下探至3.5万元；灵心巧手新品灵巧手也下探至万元内，售价仅8000元。目前人形机器人的高成本是其商业化的最大障碍，灵巧手作为人形机器人重要的末端执行器，目前成本约占人形机器人的14%~18%，其价格下探将加速人形机器人落地工业场景的进程。

图表28：灵巧手工业场景演示



来源：无锡市产业创新研究院，灵心巧手官网，中泰证券研究所

- ① 灵巧手：人形机器人重要末端执行器
- ② 技术路线：仿人主流与特化创新并行，共拓应用边界
- ③ 应用场景：特殊场景率先落地，工业场景赋能柔性制造
- ④ 相关标的梳理

4.1、灵巧手新品发布频出

□ 梳理近期灵巧手新品发布情况如下：

图表29：新品发布梳理

企业	产品	自由度	亮点
灵心巧手	Linker Hand O6	6主动+10被动	小型化、轻量化
亿海原识	ArtiHand-350	25	模块化设计
兆威机电	DM17系列	17	连杆+直驱，指尖覆盖电子皮肤
曦诺未来	Xynova Flex 1	20主动+5被动	轻量化、腱绳传动
赛博格机器人	Cyborg-H01	16	多模态
因时机器人	RH5EG1系列	14主动+4被动	结构紧凑轻巧、兼顾精细操作与强劲抓取能力，集成高灵敏度触觉传感器
伟景机器人	第三代	16	无刷电机+丝杠，配备专用视觉标记Mark点
傲意科技	ROH-LiteS系列	6主动+11被动	为小型机器人设计
睿研智控	RY-H1	16主动+5被动	超仿生、工业级精度
大寰机器人(联合南方科技大学)	DH-5-6	6主动+5被动	高灵敏触觉
达奇月泉仿生科技	X-Hand M1	11	复刻人手运动机理，单手530个触觉传感单元
达奇月泉仿生科技	Y-Hand M1	38	握力强大、五指闭合极速响应、高指尖定位精度
中科硅纪	Casia Hand-H	25	应用深度学习算法

来源：艾邦智造资讯，伟景智能VizumLab，傲意科技官网，大寰机器人公众号，智能涌现，中泰证券研究所

4.1、相关标的梳理

□ 我们梳理各环节标的如下：

图表30：相关标的梳理

模块	零部件	相关标的
灵巧手整机	整机	兆威机电、雷赛智能、速腾聚创
驱动系统	空心杯电机、无刷有齿槽电机	鸣志电器、德昌电机、伟创电气、捷昌驱动、拓邦股份
传动系统	滚珠丝杠、行星滚柱丝杠	北特科技、恒立液压、浙江荣泰、震裕科技、五洲新春
	腱绳	南山智尚、大业股份、恒辉安防
	减速器	兆威机电、鸣志电器、中大力德、汇川技术
感知系统	六维力传感器	安培龙、柯力传感、东华测试、昊志机电、杭州柯林
	触觉传感器、电子皮肤	日盈电子、汉威科技、福莱新材
	视觉传感器	奥比中光
核心材料	PEEK材料	恒勃股份

来源：中泰证券研究所绘制

4.2、灵巧手整机：速腾聚创、兆威机电接连发布，性能已达到较高水平

- 速腾聚创在2025年1月发布第二代灵巧手Papert 2.0，具有20个自由度，最大负载五千克，在指尖指腹和手掌上共有14个力传感器，可以与感知系统闭环组合成为“手眼协同”解决方案。秉持“成为全球领先的机器人技术平台公司”的清晰愿景，速腾聚创将立足整机，持续为行业提供机器人增量零部件及解决方案，为机器人开发者缩短研发周期，加速智能机器人在工业、商业、消费等应用领域的商业化落地。
- 兆威机电在2025年7月5日发布新一代仿生灵巧手ZWHAND。相较于上一代的产品，新产品实现了从单点突破到系统升级的跨越，其核心优势体现在：①仿生性能进阶：外形贴合人体工程学，核心组件设计寿命超1万小时，全链路安全保护机制；②场景化产品矩阵：全驱动方案具有高灵活、柔顺控制等特点，适用于工业场景；欠驱动方案则具备高负载、强抓力等优势，适配服务机器人领域。

图表31：速腾聚创第二代灵巧手Papert2.0



来源：RoboSense公众号，中泰证券研究所

图表32：兆威机电灵巧手



来源：兆威机电官网，中泰证券研究所

4.3、驱动电机：鸣志电器、伟创电气持续投入驱动业务

- 鸣志电器的核心业务是控制电机及其驱动系统，2024年公司持续在核心业务研发端投入资源以提高产品线的技术含量。公司的无刷电机在工控自动化，机器人，高端医疗仪器以及生化实验设备，智能驾驶/激光雷达等新兴高附加值应用领域布局。
- 伟创电气自成立以来始终专注于电气传动和工业控制领域，布局了轴关节模组、无框力矩电机、空心杯电机等产品，面对人形机器人的应用场景，为其提供旋转执行器、灵巧手、线性执行器等关键部件。伟创电气ECH系列直流无刷空心杯电机，具备高效率、高转矩、高转速的特点，显著降低了温升和噪音，适用于人形机器人仿真手指关节。

图表33：鸣志电器空心杯电机



来源：鸣志电器官网，中泰证券研究所

图表34：伟创电气空心杯电机



来源：伟创电气公众号，中泰证券研究所

4.4、减速器：中大力德、汇川技术积极布局

- 中大力德从事机械传动与控制应用领域关键零部件的研发制造，以精密减速器、减速电机等核心零部件及智能执行单元组件为主要产品。公司具有深厚的生产研发经验，同时具备行星减速器、谐波减速器和RV减速器生产能力。
- 汇川技术在精密机械产品方面积极布局，已具备成熟的高精度滚珠丝杠设计能力。公司位于南京的新工厂已开始投产，主要生产工业机器人及精密机械产品。

图表35：中大力德行星减速器



来源：中大力德官网，中泰证券研究所

图表36：汇川技术滚珠丝杠



来源：汇川技术公众号，中泰证券研究所

4.5、传感器：主要关注六维力传感器与触觉传感器

□ 六维力传感器：

- ✓ 柯力传感作为智能传感器及工业物联网的龙头企业，近年来持续加码机器人传感器赛道，已推出多款适配不同场景的六维力传感器。近日公司投资他山科技，将进一步完善在机器人核心传感部件上的产品矩阵，强化“力觉+触觉”一体化解决方案的竞争力。
- ✓ 昊志机电成立于2006年，其产品涵盖谐波减速器、DD电机、无框力矩电机、六维力矩传感器、机器人关节模组、末端执行机构等，是国内少数能够生产六维力矩传感器的企业之一。
- ✓ 杭州柯林成立于2002年，于2021年上市，2025年3月发布A股首个钙钛矿GW线募资计划，拟募集资金总额不超过14.6亿元，扩产步伐加速。公司凭借十多年传感器研发及应用的核心优势，已成功研发多款六维力传感器产品，近期正稳步推进多家头部目标客户的适配送样。

□ 触觉传感器：

- ✓ 汉威科技是国内领先的传感器及智能仪器仪表企业，掌握柔性压阻、柔性压电、柔性汗液、柔性电容四大核心技术，形成了自主知识产权的多品种、多量程的柔性微纳力学量传感器及大面积阵列的核心设计能力、大面积印刷电子批量制造等核心能力，并已取得百余项核心专利。

图表37：柯力传感多维力传感器



来源：柯力传感官网，中泰证券研究所

图表38：汉威科技柔性微压力传感器



来源：汉威科技官网，中泰证券研究所