

电子皮肤：人形进化时，感知即未来

投资评级:推荐(维持)

---人形机器人行业专题报告

华龙证券研究所 机械行业

分析师：邢甜

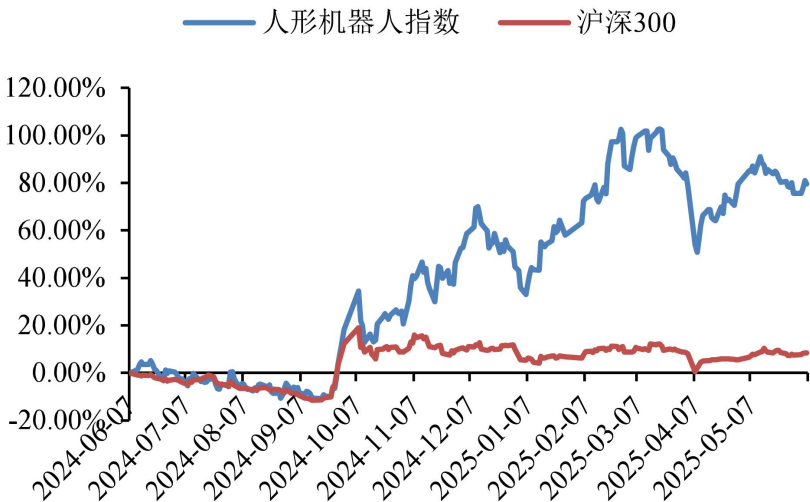
SAC执业证书编号：S0230521040001

邮箱：xingt@hlzq.com

2025年06月16日

证券研究报告

近一年市场走势



相对沪深300表现 (2025. 06. 16) (单位: %)

表现	1M	3M	12M
沪深300	-0.85	-3.31	9.38
人形机器人指数	-3.48	-10.68	71.51

相关报告

- 《人形机器人行业专题研究点评：政策+1，关注智能养老服务机器人》
2025. 06. 10
- 《人形机器人行业专题研究周报-人形机器人应用场景加速落地，高关注度赛事带动主机厂订单》 2025. 06. 09
- 《人形机器人行业专题研究周报-特斯拉展示机器人舞蹈能力，腾讯云和越疆深化战略合作》 2025. 05. 20

- **电子皮肤（E-skin）：**是一种能够模仿人类皮肤结构和感知功能的柔性电子系统。
 - 结构组成：柔性基材（如聚酰亚胺）、活性功能层（压阻/电容材料）、电极层，通过信号转换实现触觉反馈。
 - 电子皮肤材料的选择需要在柔韧性、导电性、传感性能、机械强度、耐久性、生物相容性功能和成本之间进行复杂的权衡，未来的趋势是开发具有人形机器人电多功能集成（如同时具备传感、自修复、自供能）、更高性能和更低成本的新型智能材料及复合体系。
 - **柔性压力传感：**是电子皮肤最基本&最重要的功能之一，用于感知机器人与环境或物体的接触力。根据活性功能层传感原理，压力电子皮肤大体可分为：压阻型、压容型、压电型、摩擦电型。各有优缺点，根据类型和实际应用进行选择。人类皮肤能够同时感知多种刺激。因此，电子皮肤的发展趋势是集成多种传感器单元，或开发能够响应多种刺激的复合传感器，以实现多模态感知。
 - 电子皮肤产业链主要包括①上游的原材料与核心零部件，②中游的电子皮肤传感器/模组制造与系统集成，以及③下游的人形机器人本体制造和各领域应用。
- **市场规模：**根据Emergen Research数据，2021年全球电子皮肤规模63亿美元，2030年预计市场规模达349亿美元，年复合增长率为21.1%。我国人形机器人传感器市场规模预计到2035年超过百亿元，且随【人形机器人放量+单机使用量提升】，有望进一步增长。
- **竞争格局：**海外主导，国产加速替代。欧洲、美国、日本拥有良好的技术基础，产业链上下游配套成熟，几乎垄断了“高、精、尖”的智能传感器市场。我国柔性触觉传感器产品的抗干扰能力、精度与国外企业仍有差距。目前仅少部分头部企业掌握电子皮肤核心技术。主要参与者：国外：Interlink Electronics（美国）、Tekscan（美国）等；国内：汉威科技、福莱新材、帕西尼等。
- **电子皮肤在人形机器人中的应用：**按面积和功能计价，面积越大，精度越高，则成本越高。目前，主机厂多围绕灵巧手展开，后续随着机器人智能化程度提高，应用面积有望进一步增大，精度有望进一步提高。
 - tesla通过嵌入式传感器阵列（如压阻式传感器）维持触觉敏感度，可感知 0.1N 级别的压力变化，适合抓取鸡蛋、玻璃器皿等易碎物品。
 - 2025年6月5日，福莱新材发布触觉传感第二代新品，突破三大核心技术。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。
- **建议关注：**维持机器人行业“推荐评级”。①材料供应商：祥源新材（高分子基材）、苏州固锟（MEMS微机电系统）、沃特股份【LCP（液晶聚合物）材料】；②传感器厂商：汉威科技（多模态柔性传感器）、福莱新材（电阻式触觉方案）、申昊科技（指尖传感器）、苏试试验（石墨烯基柔性传感器）、深天马A（柔性TFT技术开发非显示智能传感）、柯力传感（力传感器）；③设备与集成商：途见科技（未上市）、墨现科技（未上市）。
- **风险提示：**宏观经济与外部环境风险，产业扶持政策变动风险，下游需求释放不及预期风险，市场竞争加剧风险，研发不及预期风险，技术迭代风险等。

目录

1

电子皮肤概述

2

市场规模及竞争格局

3

人形机器人电子皮肤解决方案剖析

4

投资建议

5

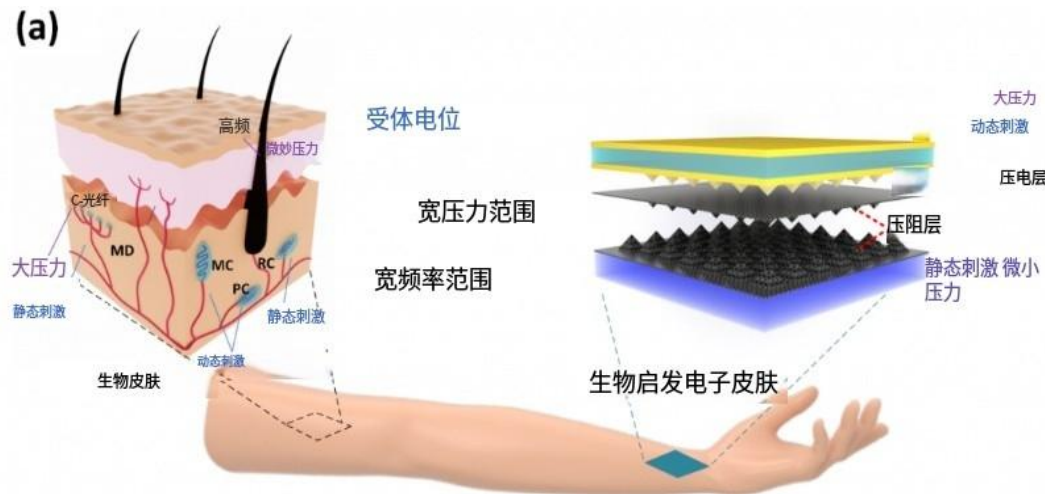
风险提示

1.1 什么是电子皮肤

电子皮肤 (E-skin)：是一种能够模仿人类皮肤结构和感知功能的**柔性电子系统**。它不仅能让机器人“感受”到压力、温度、湿度、纹理等外界刺激，更能通过与人工智能等技术的深度融合，提升机器人的环境适应能力和智能交互水平。

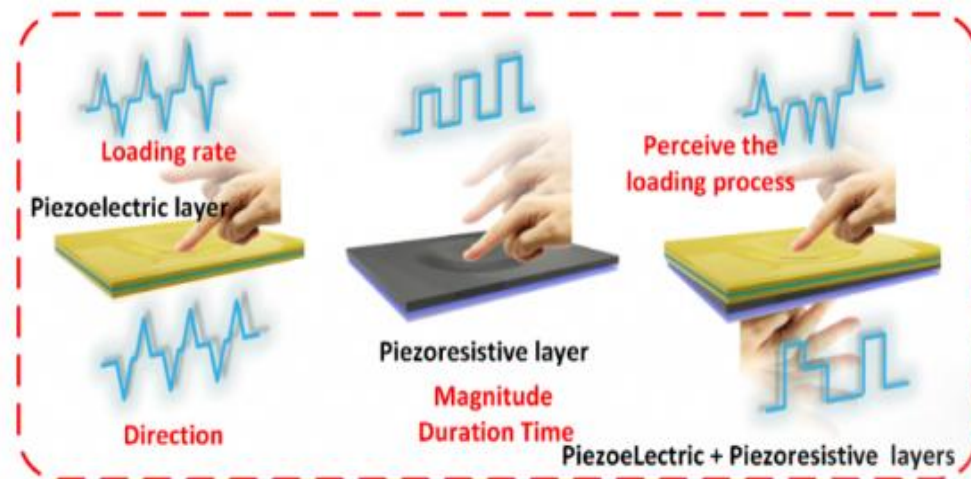
➤ **结构组成：**柔性基材（如聚酰亚胺）、活性功能层（压阻/电容材料）、电极层，通过信号转换实现触觉反馈。其中，柔性基材提供支撑和保护，活性功能层负责将物理刺激转换为电信号，电极层负责传输电信号。这些材料和结构的选择直接影响电子皮肤的性能，如灵敏度、动态范围和稳定性。工作原理可以概括为“感知-转换-处理”三个步骤。

图1：生物皮肤和电子皮肤



数据来源：浙商工业大学，华龙证券研究所

图2：电子皮肤压力感知加载过程



数据来源：浙商工业大学，华龙证券研究所

1.1 电子皮肤的构成与制备工艺

- 材料： 材料的选择直接决定电子皮肤的灵敏度、响应速度、柔韧性、生物相容性、耐久性等核心性能，通过材料复合和微结构设计可实现性能的协同提升和多功能集成。电子皮肤材料的选择需要在柔韧性、导电性、传感性能、机械强度、耐久性、生物相容性功能和成本之间进行复杂的权衡，未来的趋势是开发具有多功能集成（如同时具备传感、自修复、自供能）、更高性能和更低成本的新型智能材料及复合体系。
- 制备工艺： 包括高分辨率的光刻、薄膜沉积，低成本、大面积的印刷电子（丝网印刷、喷墨打印），以及可实现复杂三维结构的3D打印和新兴的激光加工、静电纺丝等。现有的电子皮肤制造工艺（如印刷电子、光刻、自组装等）在实现大规模、高良率、低成本、高一致性的生产方面仍面临挑战。

表1: 电子皮肤的材料及制备方法			
核心结构	材料	功能	制备方法
基底层 (支撑层)	柔性聚合物（如PDMS、Ecoflex、聚氨酯）、水凝胶、3D海绵基体或纤维基材料（纳米纤维膜）	提供机械柔韧性、可拉伸性及生物相容性，需适应曲面贴合	喷涂/真空过滤、静电纺丝、模板牺牲法等
导电层 (电极层)	金属纳米材料：银纳米线（AgNWs）、金纳米线（高导电性）；碳基材料：石墨烯、碳纳米管（CNTs）、导电炭黑（轻量、高稳定性）；导电聚合物：PEDOT:PSS、聚苯胺（PANI）（兼具柔性与可加工性）	需要满足高导电性的同时，保持优异的机械柔韧性和可拉伸性，以适应基底的形变。	纳米材料自组装：AgNWs溶液埋入液态PDMS，形成导电路径。 印刷技术：丝网印刷、喷墨打印导电油墨（低成本、大面积）。 气相沉积：电子束沉积金属层（如Cr/Au）提升导电稳定性
传感层 (核心功能层)	压阻/压电材料（ZnS:Cu）、摩擦电材料（PDMS）、热敏材料（PEDOT:PSS）	微结构增强灵敏度：倒伏纳米圆锥（应变传感）、半椭球微结构（压力传感）、波浪结构（剪切力传感）。 多模态集成：分层设计隔离压力、温度、湿度信号，避免串扰	光刻与蚀刻：高精度制备微孔或微柱阵列（电容式传感器）。 3D打印：构建复杂立体结构（如多孔PDMS）。 激光直写/纳米压印：定制化微纳图案。
辅助系统	电路与处理器、能源供应、保护层等。		

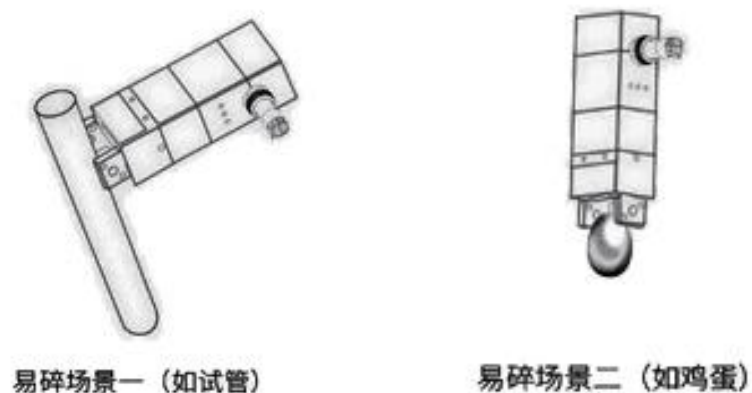
数据来源：纺织学报, 材料工程, 中科院, 高分子科技, DTU library, MDPI, 《纳米铜基柔性导电薄膜制备现状及前景》，化学进展, 华龙证券研究所

1.1 电子皮肤的关键作用是提升操作精度、增强安全性

➤ 核心价值

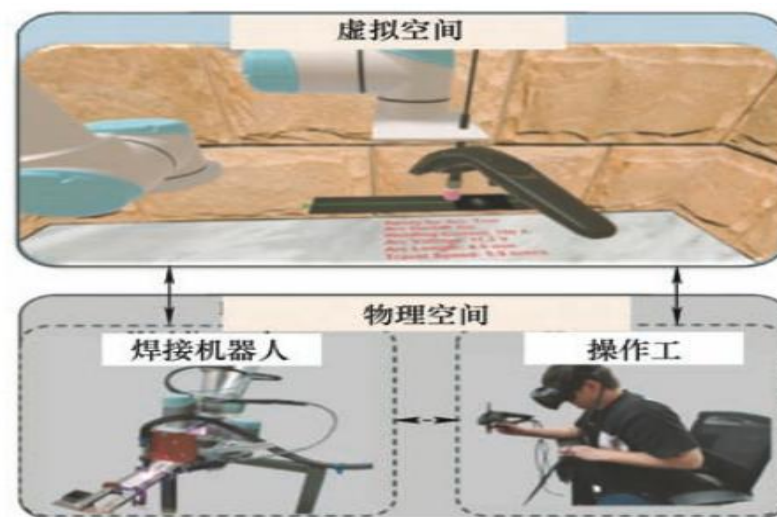
- ✓ 提升操作精度：①医疗场景机器人需感知患者体温与接触力，例如，触觉传感器通过模拟人类皮肤的感知机制，赋予机器人类似人类指尖的触觉能力，使其能够精准地操作微小或易碎物品，如抓取鸡蛋或进行微创手术。②工业场景需精准抓握易碎物品。
- ✓ 增强安全性：①实时障碍物检测与避障：人机协作环境中，实时检测障碍物是保障安全的关键。通过机器视觉技术和传感器融合，机器人可以快速识别障碍物并规划路径，避免碰撞。②滑移检测与紧急停止：在工业环境中，滑移或意外接触可能导致事故。通过高灵敏度的力控传感器和实时监控系統，机器人可以在检测到异常外力时自动中止动作，确保人机协作的安全性。

图3:工业场景抓握易碎物品示例



数据来源：慧灵科技，华龙证券研究所

图4:滑移检测示例-基于数字孪生的人机协作安全控制

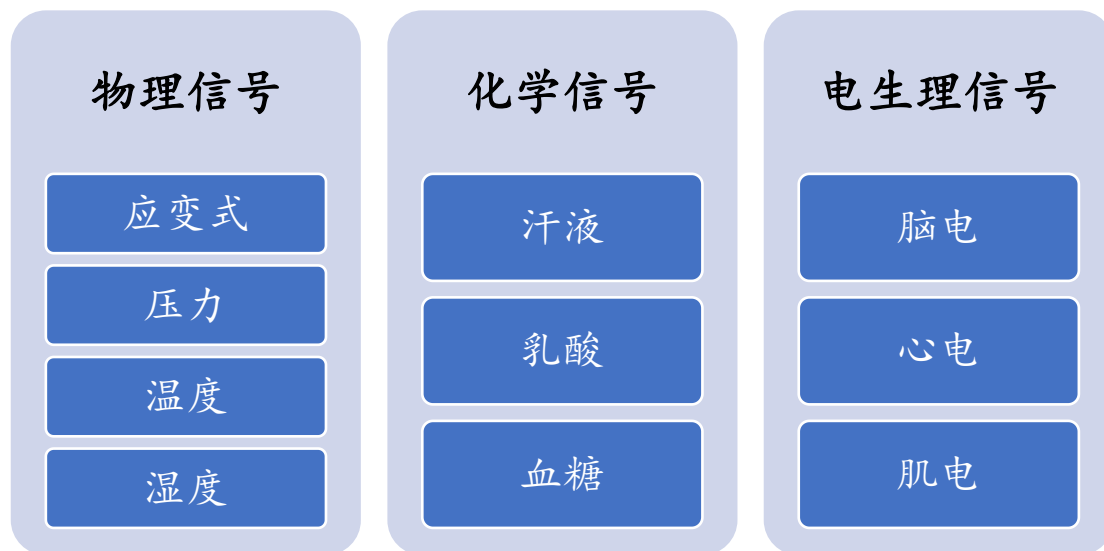


数据来源：机械工程学报，华龙证券研究所

1.2 广义电子皮肤

- ✓ 电子皮肤的核心功能在于感知外部世界的各种刺激。根据感知信号类型，可以分为基于①物理信号(应变、压力、温度和湿度等)，②化学信号(汗液、乳酸、血糖等)，③电生理信号(脑电、心电和肌电)等不同类型的传感器。
- ✓ 其中，物理信号感知可采用应变式传感器、压力传感器、温度传感器、湿度传感器等；化学信号感知可采用非侵入性/微侵入性中的可穿戴和柔性化学传感器；电生理信号传感器需要采用薄的、适形的和生物兼容的表皮电极，以减少皮肤电极接触阻抗。
- ✓ 人类皮肤能够同时感知多种刺激。因此，电子皮肤的发展趋势是集成多种传感器单元，或开发能够响应多种刺激的复合传感器，以实现多模态感知。

图5：根据感知信号的类型分类（广义）



数据来源：《电子皮肤研究进展:材料、功能与应用》，华龙证券研究所

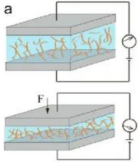
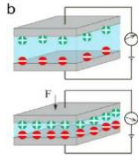
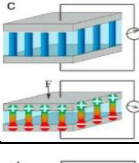
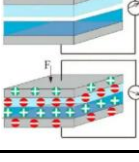
图6：物理/化学/电生理信号检测传感器



数据来源：《电子皮肤研究进展:材料、功能与应用》，华龙证券研究所

1.2 狭义电子皮肤：主要指压力传感器，进一步拓展到温度传感器等。

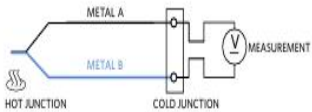
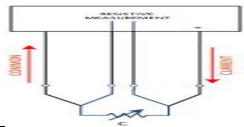
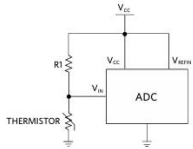
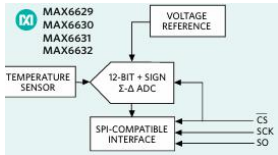
- ✓ **柔性压力传感**：是电子皮肤**最基本&最重要**的功能之一，用于感知机器人与环境或物体的接触力。根据活性功能层传感原理，压力电子皮肤大体可分为：压阻型、压容型、压电型、摩擦电型。其中压阻式结构相对简单，制造成本较低，是目前应用的主流方案之一。
- ✓ 不同类型的的压力传感器各有优缺，需要根据类型和实际应用进行选择。

表2：压力传感器分类、原理、优缺点				
分类	图例	原理	优点	缺点
压阻式		利用压阻效应，即某些材料的电阻率或几何形状（从而导致电阻）随所受机械应力或应变的变化而改变。 <u>当外部压力作用于传感器时，导电通路发生变化，引起电阻值的改变。</u>	结构相对简单，制造成本较低，易于大面积集成，灵敏度可调范围较宽。	可能存在非线性响应、迟滞效应、信号漂移、对温度敏感等问题。
电容式		基于平行板电容器的原理 ($C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r A / d$)，当施加压力时，介电层的 <u>厚度(d)或电极的有效面积(A)</u> 发生变化，导致电容值的改变。	灵敏度高，响应速度快，功耗低，受温度影响较小，线性度相对较好。	易受电磁干扰，需要有效的屏蔽措施。电路设计相对复杂，
压电式		利用压电效应，即某些材料在受到机械应力时，其内部会产生电偶极矩，导致材料表面出现电荷，从而产生电压或电流信号。	响应速度快，对动态压力和振动非常敏感，具有自供能潜力	通常对静态或缓慢变化的压力响应较差，输出信号可能较弱，需要精密放大电路。
摩擦电式		当两种不同材料接触并分离或相对滑动时，它们表面会产生相反的静电荷。这些电荷的积累和流动会产生电压或电流信号，其大小与施加的压力或接触状态相关。	具有高灵敏度、结构简单、材料选择广泛、成本低以及自供能潜力。	静态场景下信号漂移严重，不适合静态测量，循环稳定性较差。

数据来源：《电子皮肤新型材料与性能研究进展》，柔性电子与智能技术，传感器专家网，西安工程大学，Soft Science，华龙证券研究所

1.2 柔性温度传感器：对机器人进一步拓展到家用和医疗等应用场景至关重要。

- ✓ 温度感知对于机器人理解环境、安全交互（如避免接触过热物体）以及某些特定操作（如涉及温度控制的任务）至关重要。在现代电子设备中，有5种最常用的温度传感器：热电偶、电阻温度检测器 (RTD)、热敏电阻、本地温度传感器、远端测温二极管 IC 等。
- ✓ 人类皮肤能够同时感知除了压力和温度外的多种刺激，未来人形机器人还需要更高级的触觉能力，如纹理识别、滑移检测和硬度感知等。因此，电子皮肤的发展趋势是集成多种传感器单元，或开发能够响应多种刺激的多功能传感材料，以实现多模态感知。

表3：温度传感器分类、原理、优缺点			
图例	原理	优点	缺点
热电偶 	基于塞贝克效应，两种不同导电材料构成的回路中，若两个连接点存在温差，则会产生电动势（电压）。	偶比较便宜、耐久性好、自供电，且测量的温度范围较宽。具有非常快的响应速度、温度测量没有明显延迟	输出电压非常小，需要高精度放大器，具有一定的设计挑战。
电阻温度检测器 (RTD) 	RTD利用金属导体（如铂、金、银）的电阻随温度线性变化的特性。	具有较宽的温度范围、优异的精度和可重复性，以及适中的线性度。	热稳定性较高，对温度变化的响应较慢。
热敏电阻 	热敏电阻则利用半导体材料（如金属氧化物）电阻随温度发生显著（通常是非线性）变化的特性。	热敏电阻一般耐久性好、尺寸小。	热敏电阻的典型温度范围一般远低于热电偶和RTD
本地温度传感器 (IC) 	本地温度传感器IC利用管芯上晶体管的物理特性作为检测元件。使用ADC、放大器和电平转换等附加电路构成具有模拟或数字接口的传感器。	拥有非常高的设计灵活性，容易使用且拥有非常小的封装。	温度范围受限，响应慢，需外部电源。

数据来源：maxim integrated产品设计指南，华龙证券研究所

1.3 电子皮肤产业链

- 人形机器人电子皮肤产业链主要包括①上游的原材料与核心零部件，②中游的电子皮肤传感器/模组制造与系统集成，以及③下游的人形机器人本体制造和各领域应用。
- ✓ 上游原材料与零部件：主要包括前端采集芯片、结构件和其他部分。前端采集材料占总成本的20%-30%，芯片占约30%，结构件占15%-20%，剩下的20%-35%包括通讯接口、仪器及其他部分。主要材料类型均有中国企业供应，国产化率较高。
- ✓ 中游制造商由海外主导，国产加速替代。国际领先企业在触觉传感器技术方面拥有深厚积累，中国企业已具备一定的研发实力和生产能力。在2022年中国柔性传感器产业链下游占比中，医药领域占比为40.05%，消费电子领域占比为36.22%，其他应用领域占比为23.73%。

图7：电子皮肤产业链



数据来源：发现报告网，有研资本，人形机器人发布，华龙证券研究所

目录

1

电子皮肤概述

2

市场规模及竞争格局

3

人形机器人电子皮肤解决方案剖析

4

投资建议

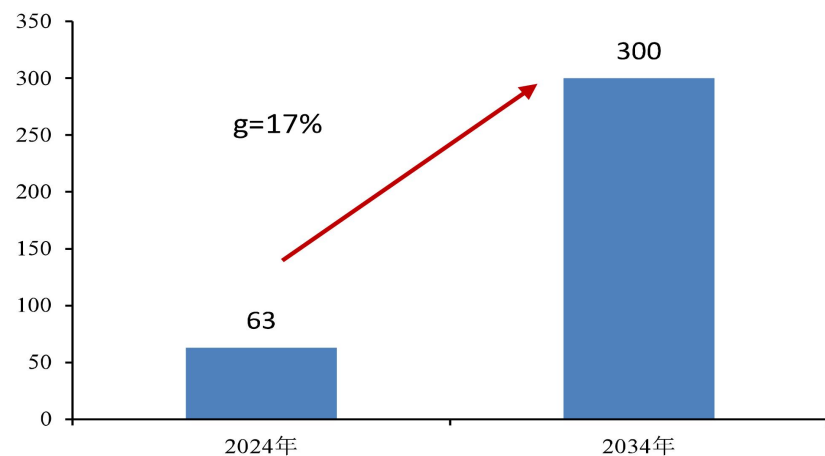
5

风险提示

2.1 全球电子皮肤市场规模2030年达349亿美元，北美占主要份额，中国市场潜力巨大

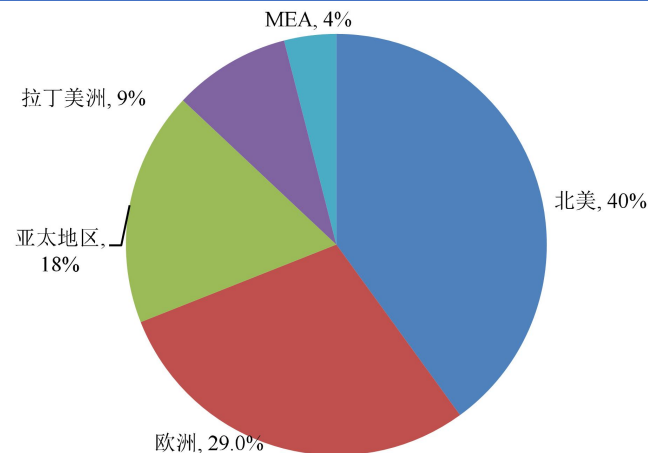
- **全球市场规模：**得益于人形机器人产业化进程加快、医疗领域对实时健康监测和智能诊疗的需求增长、消费电子产品对新型人机交互方式的探索、柔性电子和传感器技术的不断突破、以及AI和物联网技术的普及应用。根据新财富杂志援引Precedence research数据：2024年全球电子皮肤市场规模为63亿美元，预计到2034年将达到300亿美元，年复合增速将达到17%。
- ✓ **北美：**是全球最大的电子皮肤市场，2023年市场份额约40%，占据主导地位。主要得益于其领先的科研水平、活跃的初创企业生态、以及在医疗健康和高科技领域的强大需求。
- ✓ **亚太地区：**份额18%，是增长最快的市场。**中国：**市场潜力巨大，政府政策大力支持，人形机器人产业快速发展，以及庞大的消费电子和医疗健康市场，都为中国电子皮肤产业的崛起提供了有利条件。**日本和韩国：**在机器人技术、半导体材料、显示技术和消费电子领域拥有传统优势，其电子皮肤技术在特定领域（如美容科技、高端制造）也有应用。

图8:全球电子皮肤市场规模（亿美元）



数据来源：新财富杂志援引Precedence research，华龙证券研究所

图9:2023年北美市场占40%份额



数据来源：Precedence reserch，华龙证券研究所

2.1 我国人形机器人传感器市场规模预计到2035年超过百亿元，且随【人形机器人放量+单机使用量提升】，有望进一步增长

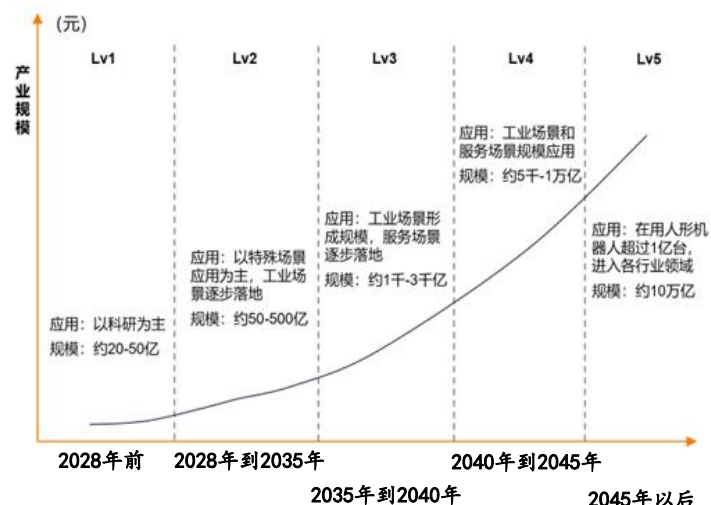
- 人形机器人E-skin市场规模=（人形机器人产量×人形机器人成本）×电子皮肤价值量占比=市场规模×电子皮肤价值量占比
- ✓ 从功能实现上，人形机器人可分为5个能力等级。
- ✓ 目前全球绝大多数全能型人形机器人产品处于Lv1等级，少部分头部企业最新产品和轮式机器人等其他形态的人形机器人正在逐步向Lv2等级探索，并从工业制造领域的to B端向服务领域的to C端拓展。（不同等级市场规模见图11）
- ✓ 以特斯拉Optimus为例，当前整体BOM成本为42.08万元，传感器（含力矩传感器等）是价值占比最大的环节，成本达12.86万元，占比约为30%。柔性传感器在精细操作与人机交互应用中至关重要，不同部位需求对应价格会有所不同，预计整体价值量占比约10%。
- ✓ 测算出：以上文涉及的30%计算，我国人形机器人所需传感器市场规模，在LV1阶段（现在到2028年）为6-15亿元；LV2阶段（2028年-2035年），为15-150亿元。

图10:人形机器人五个发展等级

第一级 (Lv1)	是基础能力实现，指人形机器人具备稳定的走、跑、跳功能和初步的交互能力。
第二级 (Lv2)	是初级智能实现，本阶段人形机器人可实现特定场景下的特定功能，结构化任务，泛化能力较弱。
第三级 (Lv3)	是场景智能实现，本阶段人形机器人在特定场景下能够完成大部分非结构化任务，具备一定泛化能力。
第四级 (Lv4)	是多场景适配，本阶段人形机器人能够在多个场景完成大部分非结构化的任务，且不少于3个场景。
第五级 (Lv5)	是全面智能实现，本阶段人形机器人能够实现真正的具身智能，通过简单的学习即可完成各类任务。

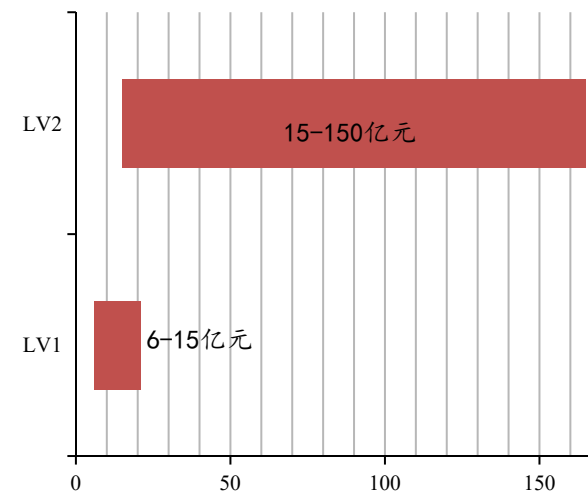
数据来源：中国信息通信研究院，华龙证券研究所

图11:人形机器人各等级主要应用场景和规模预期



数据来源：中国信息通信研究院，华龙证券研究所

图12:LV2我国人形机器人电子皮肤规模

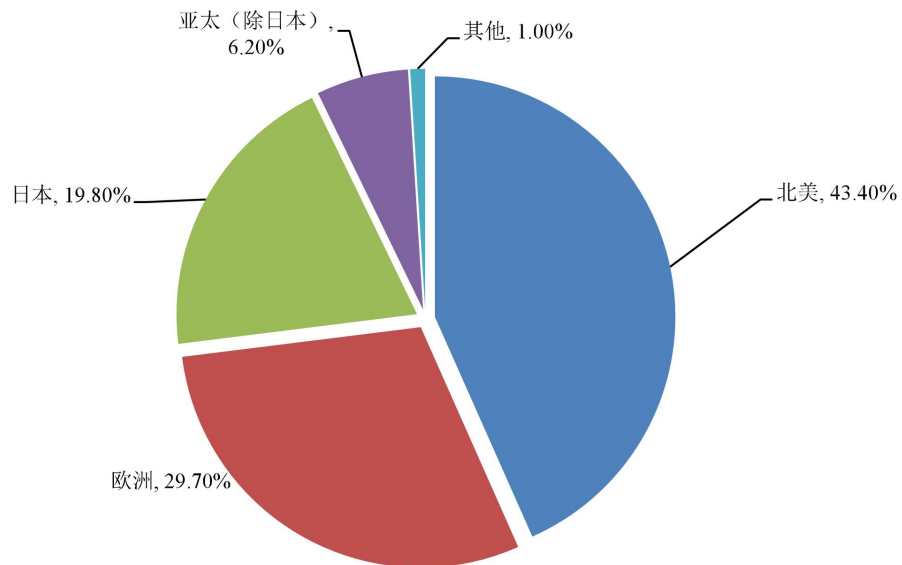


数据来源：中国信息通信研究院，钛祺汽车，华龙证券研究所

2.2 竞争格局：海外主导，国产加速替代

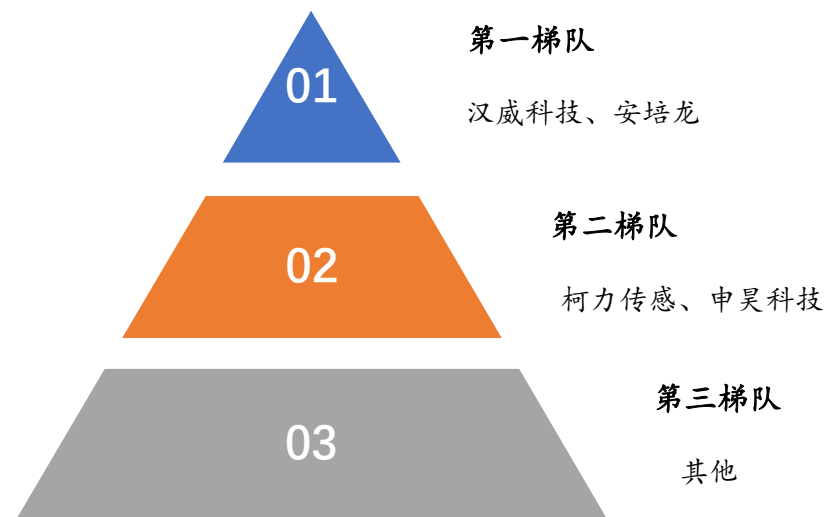
- 欧洲、美国、日本拥有良好的技术基础，产业链上下游配套成熟，几乎垄断了“高、精、尖”的智能传感器市场。北美、欧洲、日本占据全球智能传感器九成以上份额，是全球智能传感器最主要的生产基地，其中北美智能传感器产值最高，达到43.3%，欧洲次之，占比29.7%，亚太地区（中国、印度等）保持较快的增长速度。
- 我国传感器产业起步于20世纪50年代（较美国晚30年），近年来发展迅速，企业数量均增长显著，截至2023年11月，全国共传感器相关企业1.7万余家，主要集中在沿海经济发达地区。国内厂商通过多年产业、技术积累，已涌现出像帕西尼这类从触觉传感器到触觉机器人全产业链的公司。但柔性触觉传感器产品的抗干扰能力、精度与国外企业仍有差距。目前仅少部分头部企业掌握电子皮肤核心技术。

图13:全球传感器产值分布



数据来源：传感器专家网，华龙证券研究所

图14:中国电子皮肤竞争格局



数据来源：智研咨询，华龙证券研究所

2.2.1 主要参与者

- 国外：Interlink Electronics（美国）、Tekscan（美国）等。
- ✓ Interlink Electronics是全球领先的HMI（人机界面）解决方案提供商之一，拥有35年的FSR技术经验。公司持续在柔性力觉传感器领域深耕，提供定制化、模块化和集成化的传感器解决方案。此外，Interlink还涉足气体传感器和环境监测等领域，进一步拓展其技术应用范围。
- ✓ Tekscan是全球领先的公司每年将14%的收入用于研发，高于行业平均水平，确保其在触觉传感领域的领先地位。触觉压力和力测量系统制造商之一，其技术被广泛应用于OEM产品和行业标准。

表4：电子皮肤国外核心企业简介		
项目	Interlink Electronics	Tekscan
成立时间	1985年	1987年
核心技术	FSR、压电、电容、混合传感	薄膜触觉力传感器、压力测量系统
产品特点	超薄、低成本、高灵敏度	薄、灵活、高分辨率、定制化
应用场景	汽车、消费电子、医疗、工业	医疗、工业、科研、零售
定制化能力	强	强
无线传输	无	有（VersaTek）
传感器类型	多样化（FSR、压电、电容等）	以薄膜压力传感器为主

数据来源：中国叉车网，tect electronics，Interlink Electronics 官网，华龙证券研究所

2.2.2 主要参与者

➤ 国内:汉威科技、福莱新材、帕西尼等。我国电子皮肤企业以柔性技术创新、多维感知突破、低成本制造及快速场景落地形成差异化优势。预计未来3-5年,随着人形机器人商业化加速,具备全产业链服务能力的企业有望在国产替代中主导中高端市场,但需在基础材料寿命、超精密传感等底层技术上持续突破。

表5：电子皮肤国内核心企业简介			
企业名称	技术特点	应用场景	产品类型
汉威科技 (300007.SZ)	多模态传感技术：集成压力、温度、湿度等多种感知能力。 微纳加工技术：厚度<0.3mm,耐弯曲超100万次。 AI算法融合：结合深度学习实现触觉信号处理,支持机器人动态抓取和材质识别。	人形机器人：与近30家机器人整机厂及零部件厂商建立联系及合作。 医疗健康：手术机器人触觉监测、可穿戴健康设备。 工业检测：高精度压力分布测量（如锂电池极片缺陷检测）	柔性压阻/电容/压电传感器、电子鼻系统（嗅觉感知）
福莱新材 (605488.SH)	压阻式技术路线：成本低（目标500元/片），灵敏度0.5kPa。 涂布工艺优势：依托传统涂布产线改造,量产良率65%（国际水平95%）。 工业级耐久性：1万次弯曲后电阻漂移15%,需提升抗干扰性	人形机器人：与多家灵巧手和本体机器人公司在接触,同步推进定制研发、送样、技术交流。 精密制造：电子产品组装、精密零件操作； 工业自动化：质量检测、材料分拣。	电阻式柔性传感器
帕西尼 (未上市)	仿生触觉技术：灵巧手DexH5集成数百个触觉单元,支持捏、抓、推等复合动作。 多模态融合：结合视觉+触觉闭环控制,能够实现全方位环境感知。	人形机器人：自研多维触觉人形机器人、灵巧手。 工业、康养、家庭服务等。	PX系列多维触觉传感器、DexH系列灵巧手、TORA-ONE人形机器人
苏州能斯达 (汉威科技控股)	依托中科院背景,掌握柔性压阻、压电、温湿度、电容四大核心技术。 拥有纳米敏感材料体系和超净印刷生产线（年产1000万支）。	医疗健康：脉搏检测（MP301模组）、步态分析（MF-6060阵列传感器）、睡眠监测（HX-01压阻传感器）。 消费电子：TWS耳机触控（E2517微纳传感器）。 IoT：电动车智能感知解决方案（合作九号科技、雅迪）。	柔性压力/压电/应变/温湿度/电容传感器、智能织物。
钛深科技 (未上市)	全球领先的柔性离电式传感技术（FITS），高灵敏度、全柔性、光学透明。	医疗/健康：FootWARE智能鞋（心率、呼吸率监测）。 工业/消费电子：触觉反馈、压力分布测量。	触觉传感器、压力阵列传感器、压电薄膜传感器。
三三智能（未上市）	主掌握柔性薄膜制备工艺,打破国外技术垄断。	工业振动监测、智能设备。	压电薄膜振动传感器、柔性薄膜。
力感科技（未上市）	中科院孵化,专注薄膜压力传感技术。	智慧养老：智能床垫、睡眠监测带（呼吸率、心率）。 消费电子：智能笔、小家电。	薄膜压力传感器、阵列传感器。
慧闻纳米（未上市）	多气体传感+柔性压力传感,牵头国家重大研发项目。	消费电子：TWS耳机、手机（柔性薄膜压力传感器）。 环境监测：甲醛、TVOC等气体检测。	柔性薄膜压力传感器、MEMS气体传感器。
初和科技（未上市）	中科院宁波材料所孵化,弹性电子材料技术领先。	智能穿戴：康复手套、智能鞋垫、运动裤（压力、心率监测）。 家居：智能床垫（合作博洋家纺）。	弹性应变传感器、弹性导线。

数据来源：传感器专家网,各公司官网、中华网援引实况网,中国日报援引东方网,公司公告,华龙证券研究所

目录

1

电子皮肤概述

2

市场规模及竞争格局

3

电子皮肤在人形机器人中的应用

4

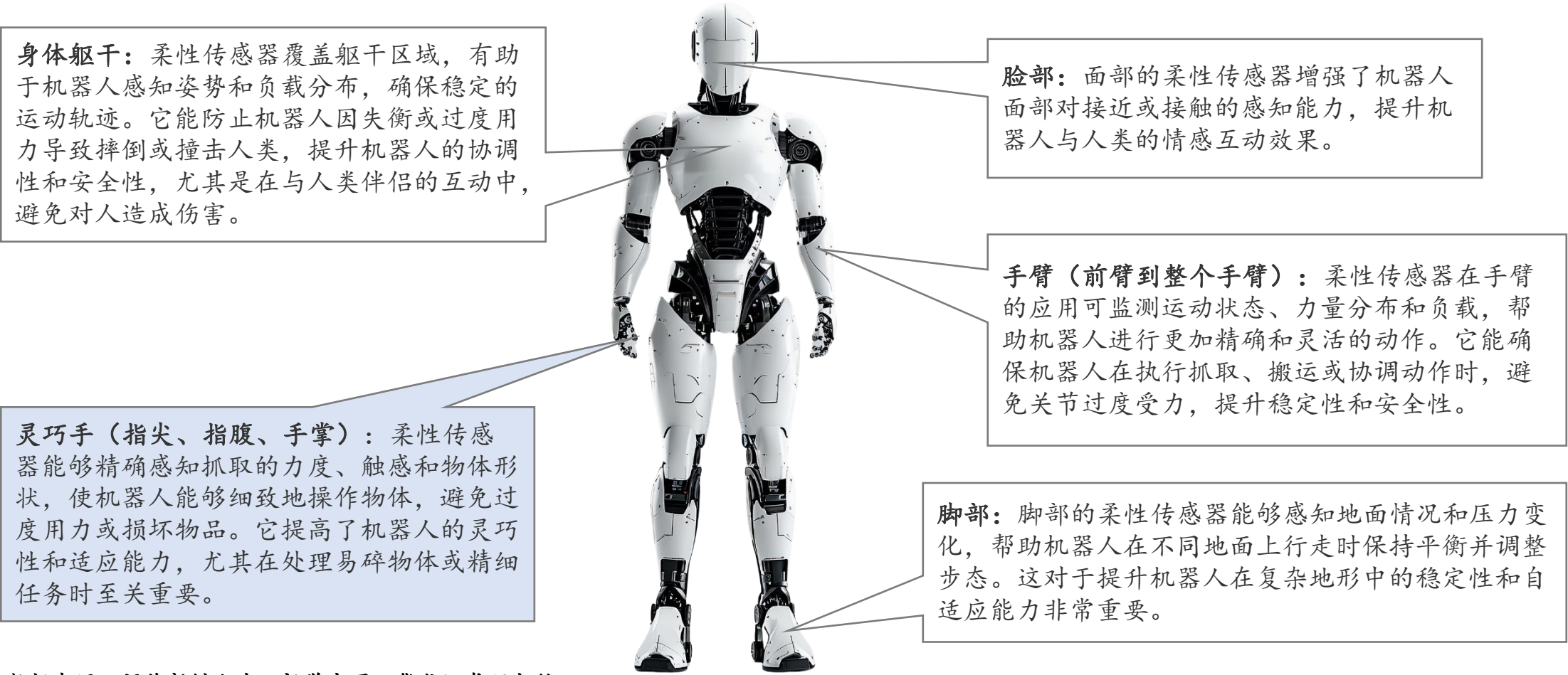
投资建议

5

风险提示

➤ 按面积和功能计价，面积越大，精度越高，则成本越高。目前，主机厂多围绕灵巧手展开，后续随着机器人智能化程度提高，应用面积有望进一步增大，精度有望进一步提高。

图15：电子皮肤在人形机器人的应用场景



数据来源：福莱新材公告，视觉中国，华龙证券研究所

Tesla Optimus皮肤解决方案剖析：

- Tesla optimus gen-2：手部使用触觉传感器
- ✓ **自由度 (Degrees of Freedom)**：11*2个手指关节自由度（双手） + 3*2 个前臂关节自由度=28个，使抓握动作更接近人类灵活性。
- ✓ **触觉保护设计**：软质保护层采用柔性硅胶或类似材料，通过**嵌入式传感器阵列**（如压阻式传感器）维持触觉敏感度，可感知 0.1N 级别的压力变化，适合抓取鸡蛋、玻璃器皿等易碎物品。
- ✓ **执行器前置技术**：将驱动电机和传动机构移至前臂，减少手部重量，同时通过肌腱传动系统（Tendon-based Control）实现远程精细操控，类似人类手部肌腱传导原理。
- Tesla optimus gen-3：我们预计升级手指传感器（例如传感器列阵升级为64通道），感知压力等级提升，能实现精准操控动作等。

图16：二代灵巧手拿起、传递、释放鸡蛋的精准力控过程



数据来源：optimus公众号，智能感知工程，elonbuzz，华龙证券研究所

福莱新材：触觉传感器主要采用压阻式技术，制备工艺涂布方式。

- 2025年6月5日，公司发布福莱新材触觉传感第二代新品，突破三大核心技术。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。
- ✓ **真柔性**：第二代产品采用了创新的柔性薄膜制备工艺，结合独特的结构和形状设计，实现了真正意义上的柔性。传感器能够完美贴合各种复杂曲面，包括柱面、球面等三维几何形状，这种适应性确保了传感器在实际应用中的可靠性和精确性。
- ✓ **全曲面**：第二代产品实现了全方位的触觉感知覆盖。无论是机器人灵巧手的指尖、指腹，还是手心、手背等不同曲率的表面，我们的传感器都能无缝集成，真正做到了触觉感知的“零死角”。这为机器人提供了类似人类的全方位触觉体验。
- ✓ **三维力**：传统触觉传感器主要感知垂直方向的压力，我们的第二代产品能够同时检测X、Y、Z三个方向的力矢量，除了能感知传统的垂直按压力以外，还能感知其他方向的力。
- ✓ **在材料方面**，采用分子层面优化的复合传感材料提升灵敏度和可靠性，并应用仿生表面硅胶模拟人类皮肤结构与微观纹理，提升接触稳定性和抓取成功率。在算法方面，运用深度学习触觉识别与多模态感知数据融合技术，实现高维特征实时提取与异构信号的智能整合，大幅提升感知精度。

图17：搭载福莱新材柔性传感器的灵巧手



数据来源：福莱新材官网、公众号、公告，华龙证券研究所

图18：FOS系列多模态感知电子皮肤



数据来源：福莱新材官网、公众号、公告，华龙证券研究所

目录

1

电子皮肤概述

2

市场规模及竞争格局

3

人形机器人电子皮肤解决方案剖析

4

投资建议

5

风险提示

我们认为：机器人电子皮肤行业正处在**技术加速突破与市场需求共振的关键时期**，维持机器人行业“推荐评级”。行业的核心驱动力源于以人形机器人为代表的产品对高级感知能力的迫切需求，以及医疗健康、工业自动化等领域对柔性、智能传感技术的持续探索。

➤ 技术层面，行业聚焦**①高性能柔性材料的创新**（如碳基材料、导电聚合物、自修复材料等）、**②多模态感知单元集成**（实现力、温、湿、滑移等多种信号同时获取）、**③人工智能在复杂信号中的解读与决策应用**。

➤ 市场层面，预计未来5-10年，全球及中国电子皮肤市场，特别是与人形机器人相关的细分市场，将保持**显著的高速增长态势**。产业链各环节，从上游核心材料、中游传感器件与模组制造，到下游应用场景的解决方案，均存在技术创新机遇及投资价值。

建议关注：①**材料供应商**：祥源新材（高分子基材）、苏州固锴（MEMS微机电系统）、沃特股份【LCP（液晶聚合物）材料】；②**传感器厂商**：汉威科技（多模态柔性传感器）、福莱新材（电阻式触觉方案）、申昊科技（指尖传感器）、苏试试验（石墨烯基柔性传感器）、深天马A（柔性TFT技术开发非显示智能传感）、柯力传感（力传感器）；③**设备与集成商**：途见科技（未上市）、墨现科技（未上市）。

表6：重点公司及盈利预测											
股票代码	股票简称	2025/6/11	EPS（元）				PE				投资评级
		股价（元）	2024A	2025E	2026E	2027E	2024A	2025E	2026E	2027E	
300980. SZ	祥源新材	25.09	0.24	0.52	0.90	1.33	77.1	48.1	28.0	18.8	未评级
300853. SZ	申昊科技	21.95	-1.64	0.00	0.00	0.00	--	0.0	0.0	0.0	未评级
002079. SZ	苏州固锴	9.48	0.09	0.00	0.00	0.00	54.3	0.0	0.0	0.0	未评级
300007. SZ	汉威科技	35.88	0.23	0.36	0.44	0.53	51.2	99.3	80.8	67.0	未评级
605488. SH	福莱新材	34.76	0.75	0.43	0.55	0.73	58.6	80.8	64.0	48.0	未评级
300416. SZ	苏试试验	14.37	0.45	0.60	0.74	0.89	19.0	23.7	19.2	16.0	未评级
002886. SZ	沃特股份	19.22	0.14	0.21	0.44	0.68	741.9	92.7	42.8	27.8	未评级
000050. SZ	深天马A	8.14	-0.27	0.09	0.24	0.37	--	93.4	34.0	21.9	未评级
603662. SH	柯力传感	65.13	0.92	1.24	1.48	1.76	58.2	53.3	44.8	37.6	未评级

数据来源：Wind，华龙证券研究所（未评级个股盈利预测数据均来自Wind一致预期）

目录

1

电子皮肤概述

2

市场规模及竞争格局

3

人形机器人电子皮肤解决方案剖析

4

投资建议

5

风险提示

宏观经济与外部环境风险：全球经济增长放缓、通货膨胀、利率上升等宏观经济因素可能抑制企业投资和消费者支出，从而影响下游市场对电子皮肤产品的需求。地缘政治冲突、国际贸易关系紧张、以及突发公共卫生事件等不可抗力因素也可能对全球供应链稳定、市场信心和行业正常运营带来负面冲击。

产业扶持政策变动风险：电子皮肤作为高新技术产业，其发展在一定程度上依赖于政府的研发补贴、税收优惠、重大专项支持等产业政策。若未来这些扶持政策发生调整、力度减弱或支持方向转变，可能对相关企业的研发投入意愿和行业的整体发展速度产生不利影响。

下游需求释放不及预期风险：人形机器人、高端医疗设备、智能座舱等被视为电子皮肤核心驱动的下游市场，其自身发展速度、对电子皮肤的实际需求、性能接受度、以及成本敏感度可能与市场乐观预期存在较大差距。若下游市场渗透缓慢或需求证伪，将直接影响电子皮肤行业的增长。

市场竞争加剧风险：随着电子皮肤市场潜力的显现，可能会吸引大量新资本和参与者涌入，包括大型科技公司、传统制造企业以及众多初创公司。竞争加剧可能导致价格战、人才争夺激烈、利润空间压缩，尤其对技术壁垒不高或缺乏规模优势的中小企业构成较大生存压力。

研发不及预期风险：电子皮肤技术，尤其是高性能敏感材料、多模态感知集成、自修复/自供能等前沿方向，其研发难度极大，存在关键技术久攻不破、产品性能无法达到预期指标、或研发成果难以实现低成本产业化的风险。这可能导致企业错失市场机遇，前期投入无法回收。

技术迭代风险：电子皮肤领域技术路线仍在快速演进和探索中，新的传感原理、材料体系或制造工艺可能在短期内出现并迅速替代现有技术。若企业未能及时跟上技术迭代步伐，或在已被淘汰的技术路线上投入过多，将面临被市场边缘化的风险。

分析师声明：

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉尽责的职业态度，独立、客观、公正地出具本报告。不受本公司相关业务部门、证券发行人士、上市公司、基金管理公司、资产管理公司等利益相关者的干涉和影响。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人在预测证券品种的走势或对投资证券的可行性提出建议时，已按要求进行相应的信息披露，在自己所知情的范围内本公司、本人以及财产上的利害关系人与所评价或推荐的证券不存在利害关系。本人不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。据此入市，风险自担。

投资评级说明：

投资建议的评级标准	类别	评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后的6-12个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅。其中：A股市场以沪深300指数为基准。	股票评级	买入	股票价格变动相对沪深 300 指数涨幅在 10%以上
		增持	股票价格变动相对沪深 300 指数涨幅在 5%至 10%之间
		中性	股票价格变动相对沪深 300 指数涨跌幅在-5%至 5%之间
		减持	股票价格变动相对沪深 300 指数跌幅在-10%至-5%之间
		卖出	股票价格变动相对沪深 300 指数跌幅在-10%以上
	行业评级	推荐	基本面向好，行业指数领先沪深 300 指数
		中性	基本面稳定，行业指数跟随沪深 300 指数
		回避	基本面向淡，行业指数落后沪深 300 指数

免责声明：

本报告的风险等级评定为R4，仅供符合华龙证券股份有限公司（以下简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（C4及以上风险等级）参考使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到报告而视其为当然客户。

本报告信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。同时，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。以往表现并不能指引未来，未来回报并不能得到保证，并存在损失本金的可能。

本报告仅为参考之用，并不构成对具体证券或金融工具在具体价位、具体时点、具体市场表现的投资建议，也不构成对所述金融产品、产品发行或管理人作出任何形式的保证。在任何情况下，本公司仅承诺以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告以供投资者参考，但不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的承诺或担保。据此投资所造成的任何一切后果或损失，本公司及相关研究人员均不承担任何形式的法律责任。

在法律许可的情况下，本公司及所属关联机构可能会持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行证券交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

版权声明：

本报告版权归华龙证券股份有限公司所有，本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。

华龙证券研究所

北京

地址：北京市东城区安定门外大街189号天鸿宝景大厦西配楼F4层
邮编：100033

兰州

地址：兰州市城关区东岗西路638号文化大厦21楼
邮编：730030
电话：0931-4635761

上海

地址：上海市浦东新区浦东大道720号11楼
邮编：200000

深圳

地址：深圳市福田区民田路178号华融大厦辅楼2层
邮编：518046