

中国电子皮肤行业概览：机器人的触觉革命

China Electronic Skin Industry

中国电子皮膚產業

报告标签：触觉传感器、柔性传感器、人形机器人
主笔人：张诗悦

报告提供的任何内容（包括但不限于数据、文字、图表、图像等）均系头豹研究院独有的高度机密性文件（在报告中另行标明出处者除外）。未经头豹研究院事先书面许可，任何人不得以任何方式擅自复制、再造、传播、出版、引用、改编、汇编本报告内容，若有违反上述约定的行为发生，头豹研究院保留采取法律措施、追究相关人员责任的权利。头豹研究院开展的所有商业活动均使用“头豹研究院”或“头豹”的商号、商标，头豹研究院无任何前述名称之外的其他分支机构，也未授权或聘用其他任何第三方代表头豹研究院开展商业活动。

摘要

电子皮肤属于触觉传感器的一种，是具有仿生性的柔性触觉传感器，模拟生物皮肤触觉感知机制，旨在赋予传感器以类似人类的触觉功能。电子皮肤行业壁垒较高，主要有技术、制造、性能和商业化应用四个方面的壁垒，但其应用前景广阔，可广泛用于消费电子、医疗、汽车、机器人等领域。在机器人领域主要应用于人形机器人，目前由于技术和成本问题，应用较少，但随着人形机器人的量产，厂商将把注意力放在提升人机交互和操作的准确性上，电子皮肤的用量将有所增加，届时，人形机器人市场将为电子皮肤市场带来不小的增量。本篇报告主要回答电子皮肤领域近期关注的问题，主要涉及：

- 1) 电子皮肤的行业壁垒？
- 2) 电子皮肤行业竞争情况？
- 3) 人形机器人为电子皮肤市场带来多少增量？

■ 电子皮肤的行业壁垒？

电子皮肤行业壁垒较高，主要有技术、制造、性能和商业化应用四个方面的壁垒。在技术方面需开发出功能更强、更稳定的电子皮肤材料；在制造方面，需实现低成本的高密度集成制造技术；在性能方面，需保证材料在长期使用中的稳定性和耐用性；在应用方面，需创新应用场景、建立市场信任、完善相关法规

■ 电子皮肤行业竞争情况？

电子皮肤市场中，国际企业具备先发优势，占据市场主导地位，少部分中国企业掌握核心技术，随着中国企业对电子皮肤技术的积极探究，未来将凭借价格优势逐渐提升市场份额

电子皮肤行业技术壁垒高，少数企业掌握核心技术，具备技术、研发及资金实力的企业将在市场上占优，如汉威科技、安培龙、申昊科技、柯力传感等企业

■ 人形机器人为电子皮肤市场带来多少增量？

当前电子皮肤应用较少，但随着人形机器人产量的飞速提升，以及量产后各厂商对电子皮肤重视程度的提升，电子皮肤市场需求将逐渐增长，预计2030年人形机器人电子皮肤市场规模将达90.5亿元，年复合增长率为64.3%

目录

◆ 电子皮肤行业综述	-----	06
• 电子皮肤与人类皮肤	-----	07
• 电子皮肤的定义及分类	-----	08
• 电子皮肤发展历程	-----	10
• 电子皮肤行业壁垒	-----	11
• 行业政策分析	-----	12
◆ 电子皮肤产业链分析	-----	13
• 电子皮肤产业链图谱	-----	14
• 上游——成本构成及原材料	-----	15
• 中游——制备工艺	-----	17
• 中游——制备技术	-----	18
• 中游——参与者情况	-----	19
• 中游——竞争情况	-----	20
• 新兴下游领域——人形机器人	-----	21
• 人形机器人电子皮肤市场规模测算	-----	22
◆ 代表企业介绍	-----	24
• 能斯达	-----	25
• 钛深科技	-----	27
• 力感科技	-----	29
◆ 方法论	-----	32
◆ 法律声明	-----	32

Contents

◆	Overview Of The Electronic Skin Industry	06
•	Electronic Skin And Human Skin	07
•	Definition And Classification Of Electronic Skin	08
•	Development History Of Electronic Skin	10
•	Barrier In The Electronic Skin Industry	11
•	Industry Policy Analysis	12
◆	Analysis Of The Electronic Skin Industry Chain	13
•	Electronic Skin Industry Chain Map	14
•	Upstream - Cost Composition And Raw Materials	15
•	Mid Stream - Preparation Process	17
•	Mid Stream - Preparation Technology	18
•	Mid Stream - Participant Situation	19
•	Mid Stream - Competitive Situation	20
•	Emerging Downstream Field - Humanoid Robots	21
•	Market Size Estimation Of Humanoid Robot Electronic Skins	22
◆	Introduction On Behalf Of Enterprises	24
•	Leanstar	25
•	Tac Sense	27
•	LEEACT	29
◆	Methodology	32
◆	Legal Statement	32

Chapter 1

行业综述

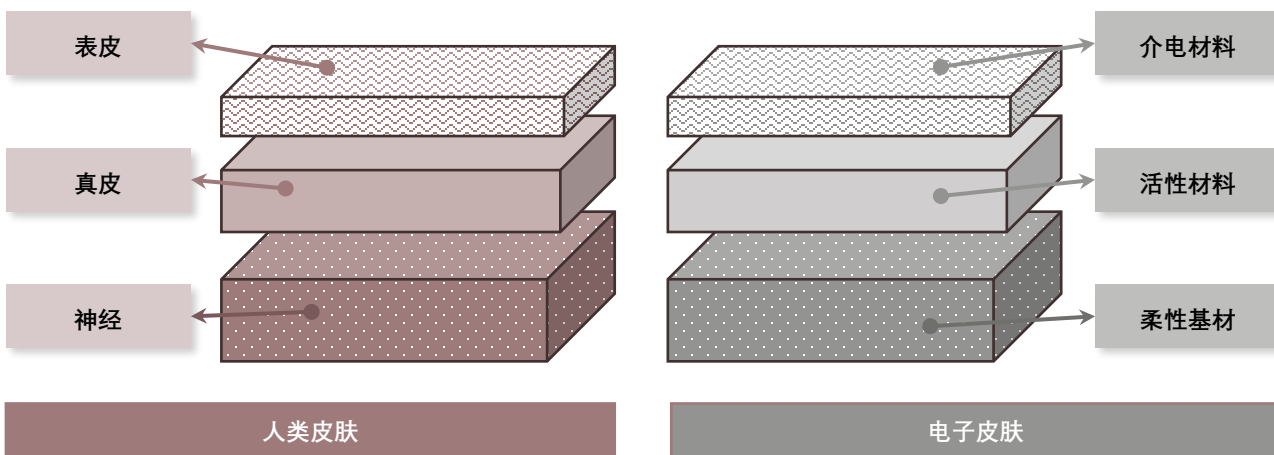
- 电子皮肤与人类皮肤
- 电子皮肤的定义及分类
- 电子皮肤发展历程
- 电子皮肤行业壁垒
- 行业政策分析

电子皮肤与人类皮肤

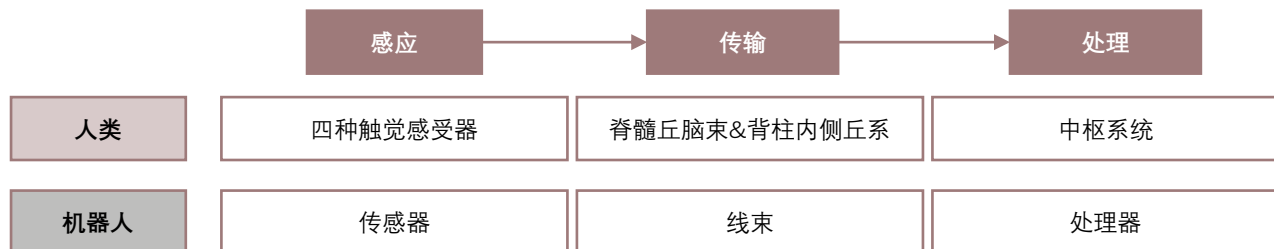
- 电子皮肤模拟人类皮肤的触觉功能，与人类皮肤构造相似，且需具备人类皮肤的灵敏性、柔弹性、自愈性、多类型感知等特性

电子皮肤与人类皮肤构造及感知方式

人类皮肤与电子皮肤构造



触觉感知过程及对应的人类和机器人组织



电子皮肤需具备与人类皮肤相似的结构和特性

人类皮肤具有保护、排泄、调节体温和感受外界刺激等多种功能，由表皮、真皮和神经构成，其中真皮层含有丰富的血管和神经，能够感知压力、温度和痛觉等。人类皮肤能够感知极其微小的振动和单分子层的差别，显示出高度发达的触觉感知能力。电子皮肤旨在模拟人类皮肤的触觉感知功能，其构造亦与人体皮肤相似，对应为介电材料、活性材料和柔性基材

触觉感知的过程主要为感应外界刺激、传输触觉信号、处理触觉信号三个步骤，人类皮肤通过触觉感受器、传输通道、中枢系统来实现，机器人则通过传感器、线束和处理器实现

电子皮肤若达到人类皮肤的感知能力，需具有人类皮肤的特性，如延展性、柔韧性、自愈性、灵敏性、多类型感知等。人类皮肤具有弹性，电子皮肤的柔弹性能使其在拉伸、弯曲时正常工作；自愈性使电子皮肤在受到物理伤害时可自行修复；多类型感知使电子皮肤能够感受各种行为产生的力、方向等因素，从而完成各类动作；灵敏性能够提升电子皮肤感知的精准性

来源：头豹研究院

■ 电子皮肤的定义及分类

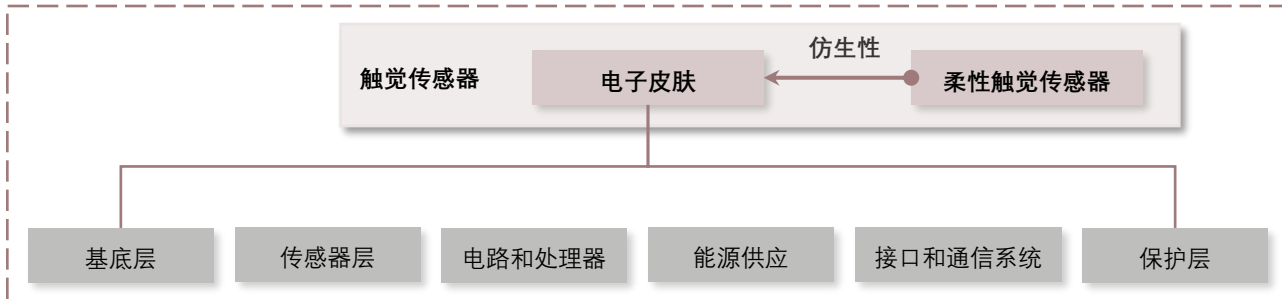
- 电子皮肤是具有柔弹性和仿生性的触觉传感器，由基底层、传感器层、电路和处理器、能源、接口和通信系统以及保护层组成；柔性触觉传感器根据原理的不同可以分为电容式、压阻式、压电式和光学式四种类型

电子皮肤的定义及组成

电子皮肤

电子皮肤属于触觉传感器的一种，是具有仿生性的柔性触觉传感器。电子皮肤模拟生物皮肤触觉感知机制，旨在赋予传感器以类似人类的触觉功能。该系统通过集成先进的柔性电子材料、纳米传感器和微加工技术，实现对接触力、温度、湿度等环境变量的高灵敏度检测与实时反馈。电子皮肤技术的发展对于推动人工智能、智能假肢、可穿戴医疗设备等领域的发展具有重要意义

电子皮肤与触觉传感器的关系以及电子皮肤的组成结构



电子皮肤主要组成结构的作用

组件	主要作用
传感器层	集成压力、温度和湿度传感器，模拟人类皮肤感知，将接触的强度、位置以及环境温湿度变化转换为电信号
电路和处理器	将传感器层产生的电信号转化为数字数据，并通过算法进行处理和分析，处理后的数据可以用于各应用领域
能源和通信	通过嵌入式电池或能量收集系统实现能源管理，并利用无线通信模块如蓝牙或Wi-Fi进行数据通信，以确保持续功能和信息传输至外部设备

■ 电子皮肤的定义及组成结构

电子皮肤是具有柔弹性和仿生性的触觉传感器，主要由基底层、传感器层、电路和处理器、能源、接口和通信系统以及保护层组成。电子皮肤通过模拟人类皮肤的感知能力，使用先进的传感材料和电子组件来感应和响应如压力、温度和湿度等外界刺激，通过电路和处理器将物理信号转换为电信号，并通过内置微处理器进行数据分析，最终实现智能响应

来源：头豹研究院

柔性触觉传感器分类

材料	原理	优点	缺点
电容式	通过测量电容器的电容量变化来检测压力变化。当手指或其他导体靠近电容器的一个极板时，由于电容量的变化，可以检测到触摸事件	测量范围广、分辨率可达微米级、动态响应特性好、结构简单、耐高温、耐辐射	灵敏度较低；易受环境因素如温度、湿度影响；边缘效应和寄生电容可能影响测量精度
压阻式	基于半导体材料的压阻效应，即当材料受到压力作用时，其电阻率发生变化。这种变化可以通过测量电路转换为与力变化成正比的电信号输出	灵敏度高、结构尺寸小、压力分辨率高、可靠性高、使用寿命长	对温度变化敏感，可能需要温度补偿；工艺较复杂，造价较高
压电式	利用压电材料的特性，在受力时产生电荷，即正压电效应；逆压电效应则用于将电能转换为机械振动	自发电、高柔韧性、高灵敏度、响应速度快	信号处理电路较复杂；对温度变化敏感，可能需要温度补偿
光学式	通常基于光电效应，如利用光的干涉、吸收或散射原理来检测压力或形变引起的光学性质变化	高精度度、非接触式测量、抗干扰能力强、可测量透明或半透明物体	成本较高、对环境光照条件有一定要求

不同类型的触觉传感器适用工艺对比

性能	复杂性及成本			稳健性		
	微机械加工	模具/压印	3D制造	微机械加工	模具/压印	3D制造
电容式	低	中	高	低	中	高
压阻式	低	中	高	低	中	高
压电式	低	中	高	低	中	高
光学式	低	中	高	低	中	高

■ 柔性触觉传感器的分类及适用工艺

柔性触觉传感器根据原理的不同可以分为电容式、压阻式、压电式和光学式四种类型，其中电容式、压阻式和压电式最为常用。各类型传感器具有不同的特性，适用于不同的应用领域，如电容式适用于需要高灵敏度和快速响应的应用，压阻式常用于需要检测压力变化的场景，压电式适用于需要能量收集或对动态压力、振动和冲击有响应的应用，光学式适用于需要非接触式测量或对透明物体进行检测的应用

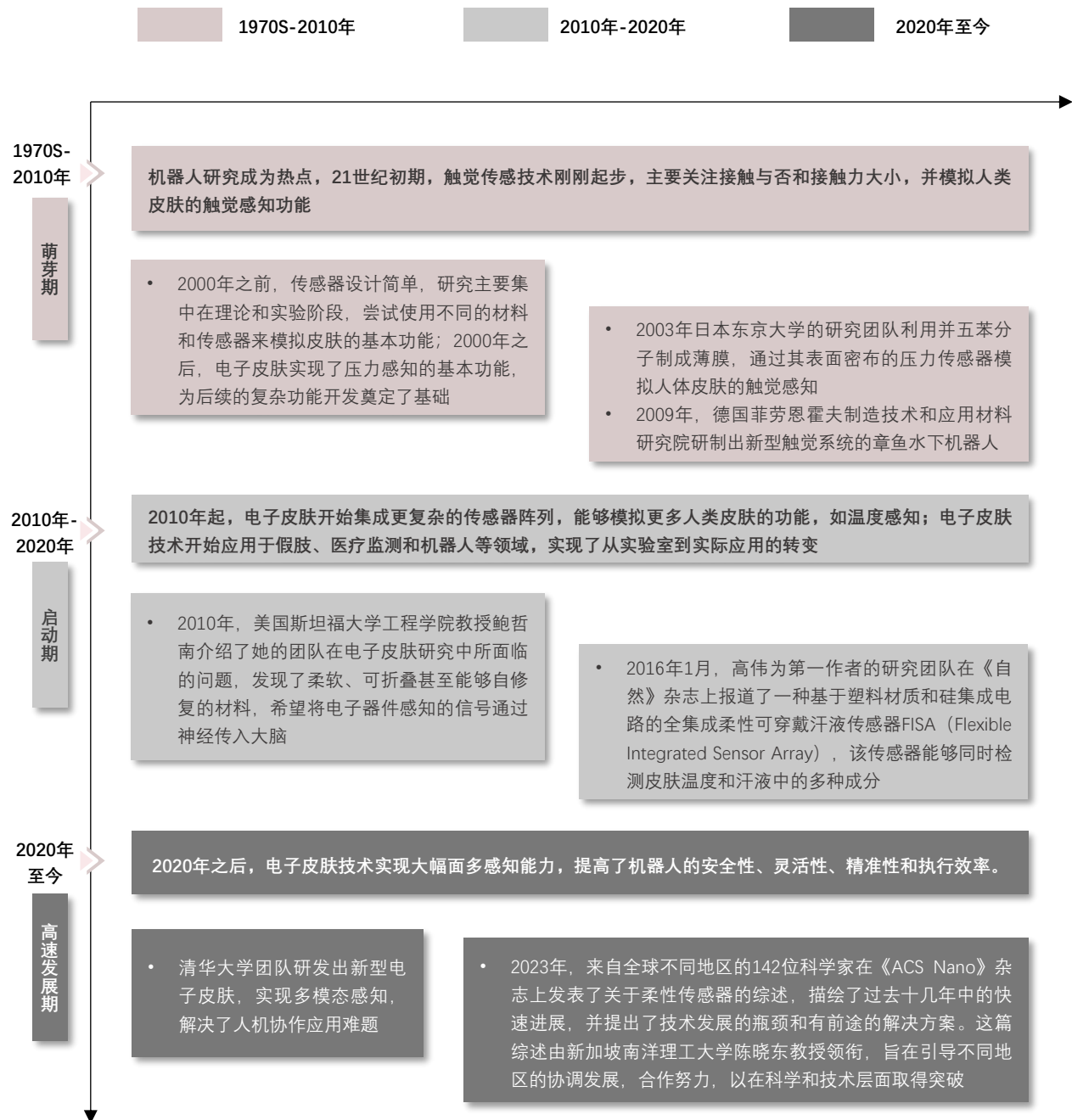
触觉传感器的制造工艺可大致分为微机械加工、模具/压印和3D制造，不同类型的传感器选用工艺时需综合考虑工艺的复杂性、成本及稳健性

来源：头豹研究院

电子皮肤发展历程

- 电子皮肤技术自20世纪末发展，经历材料创新与功能集成。21世纪初，新材料如五苯分子实现触觉感知；2010年代后，技术应用于健康监测、人机交互，至2020年代市场化加速，广泛应用于医疗、机器人等领域，市场潜力巨大

全球电子皮肤发展历程

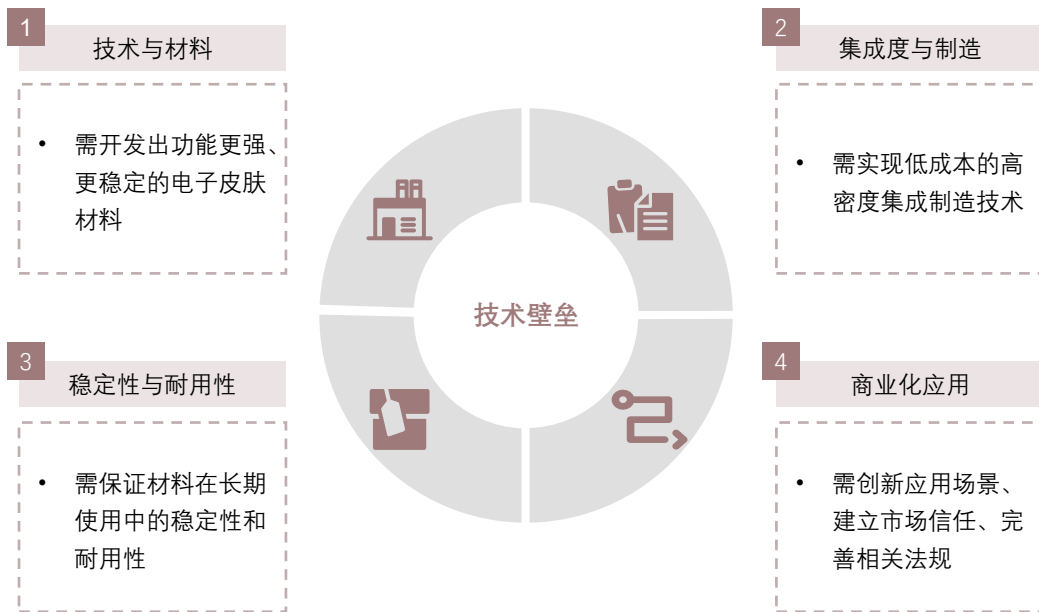


来源：头豹研究院

电子皮肤行业壁垒

- 电子皮肤行业壁垒较高，主要有技术、制造、性能和商业化应用四个方面的壁垒；电子皮肤技术应用前景广阔，要实现广泛的商业化和产业化需克服上述壁垒

电子皮肤行业壁垒



电子皮肤行业壁垒

技术与材料方面，电子皮肤技术的核心在于模拟人类皮肤的特性，包括柔韧性、自愈能力、高机械韧性和触觉感知能力。目前，虽然已经发现了一些柔软、可折叠甚至自修复的材料，但这些材料与人类皮肤的复杂功能相比仍有差距。电子皮肤需要能够感知压力、温度、湿度等不同刺激，并将这些刺激转化为电信号，这要求材料不仅要具有良好的导电性，还要有高灵敏度和稳定性。此外，电子皮肤还需要具备良好的生物相容性和环境适应性，这对材料的选择和设计提出了更高的要求

集成度与制造方面，电子皮肤的商业化需要解决集成度和制造成本的问题。随着电子皮肤功能的增加，如何在有限的空间内集成更多的传感单元、运算单元和显示单元，同时保持系统的稳定性和可靠性，是一个难题。此外，高端触觉传感器的价格昂贵，尤其是当需要大面积部署时，成本问题尤为突出。这限制了电子皮肤技术的大规模应用，因此，降低制造成本、提高生产效率是电子皮肤商业化的关键

性能方面，电子皮肤在实际应用中需要具备良好的稳定性和耐用性。当前，电子皮肤材料在经过多次使用后，可能会出现测量结果的漂移和误差增大的问题，这影响了传感器的一致性和可靠性。耐用度和分辨率是评估触觉传感器性能的重要指标，直接关系到电子皮肤的实用性和商业化进程。因此，提高电子皮肤材料的稳定性和耐用性，减少长期使用中的性能衰减，是当前需要研究的难题之一

应用方面，作为一种新兴技术，电子皮肤的商业化需要获得市场的认可和接受，不仅需要消费者对新技术信任和适应，还需要相关行业标准和法规的建立。此外，电子皮肤的应用场景开发也是一个渐进的过程，需要不断探索和优化，以满足不同领域的具体需求

来源：头豹研究院

中国电子皮肤行业政策分析

- 中国政府重视机器人和电子皮肤领域的发展，通过研发资助、税收优惠等措施，为电子皮肤技术和产业化提供强有力的推动作用，促进其在机器人等领域的应用，助力电子皮肤行业长远发展

中国电子皮肤相关政策，2021-2024年

政策名称	颁布年份	颁布主体	政策要点	政策影响
《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	2024-01-18	工信部、教育部等七部门	加强前瞻谋划部署。把握全球科技创新和产业发展趋势，重点推进未来制造、未来信息、未来材料、未来能源、未来空间和未来健康六大方向产业发展	该政策的实施将促进未来产业的创新发展，包括电子皮肤在内的新材料和新技术将得到重点支持，有助于电子皮肤行业的技术突破和产业化进程
《人形机器人创新发展指导意见》	2023-10-20	工信部	强调要研究高强度轻量化新材料等关键技术，打造具有高安全、高可靠、高环境适应性的人形机器人本体结构	该指导意见将推动高强度轻量化新材料的研究和应用，电子皮肤作为关键技术之一，将在人形机器人的本体结构中发挥重要作用，提升机器人的性能和应用范围
《关于组织开展2023年未来产业创新任务揭榜挂帅工作的通知》	2023-08-28	工信部	研发小体积、高可靠性、高稳定性的人形机器人手部触觉传感器，满足人形机器人灵巧手感知、操作、交互等需求，提升新型触觉传感器自主设计与研发水平，推动触觉传感器的产业化应用，并提出2025年预期目标	该政策将驱动电子皮肤行业朝着更小型化、高可靠性和高稳定性的方向发展。这将促进技术突破，加速产品创新，满足人形机器人等高端应用的需求，进而推动整个行业的技术进步和市场扩张
《“机器人+”应用行动实施方案》	2023-01-18	工信部、教育部等十七部门	方案鼓励机器人企业与用户单位联合开展技术试验验证，支持机器人整机企业实施关键零部件验证，增强公共技术服务平台试验验证能力，推动机器人应用场景开发和产品示范推广	该政策将促进电子皮肤技术在机器人领域的应用，特别是在提高机器人的感知能力和交互性方面，有助于推动电子皮肤技术的创新和产业化进程
《“十四五”机器人产业发展规划》	2021-12-21	工信部、发改委等十五部门	提高产业创新能力，加强核心技术攻关。聚焦国家战略和产业发展需求，突破机器人系统开发、操作系统等共性技术。研发仿生感知与认知、生机电融合等前沿技术	该政策鼓励机器人产业的技术创新，特别是在仿生感知与认知技术方面，这将直接推动电子皮肤技术的发展，促进其在机器人领域的应用

政策助力机器人的发展

近年来，中国政府颁布一系列政策支持机器人和电子皮肤行业的发展。这些政策通过提供研发资助、税收优惠、产业合作平台和市场准入支持，为电子皮肤技术的创新研究和产业化提供了强有力的推动力。政策的实施意见和发展规划，不仅促进了电子皮肤技术在基础研究阶段的突破，还特别强调了其在人形机器人等应用领域的实际部署和规模化生产。《“机器人+”应用行动实施方案》等鼓励性政策，通过促进技术试验验证和示范推广，加速了电子皮肤技术在实际应用场景中的测试和优化，增强了公共技术服务平台的能力，为技术的成熟和商业化铺平了道路。此外，政策还关注了提升电子皮肤技术的自主设计和研发水平，以及推动相关产品的标准化和产业化，为电子皮肤行业的长远发展提供了助推作用

来源：各政府网站、头豹研究院

Chapter 2

产业链分析

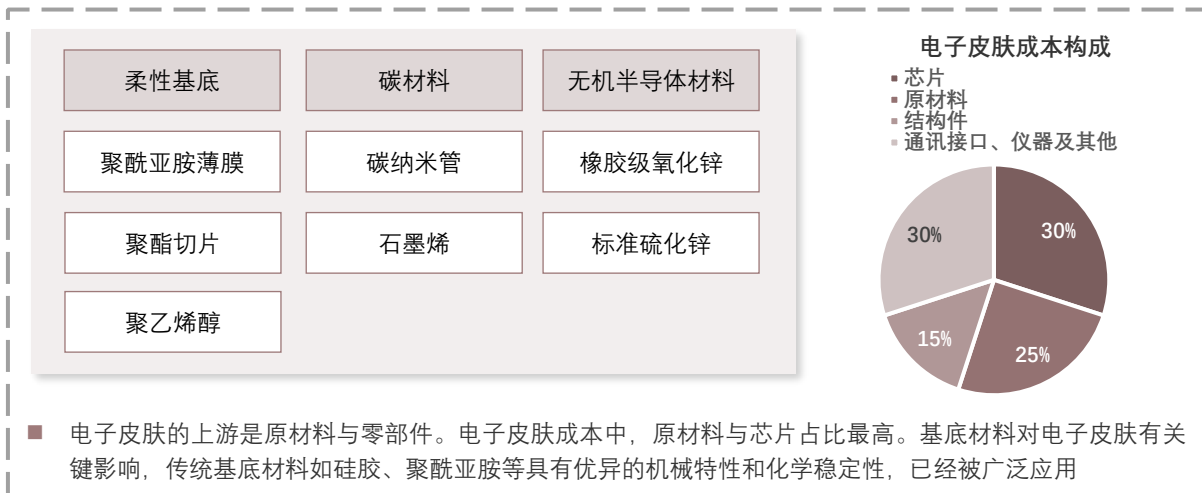
- 电子皮肤产业链图谱
- 产业链上游分析
- 产业链中游分析
- 产业链下游分析

电子皮肤产业链图谱

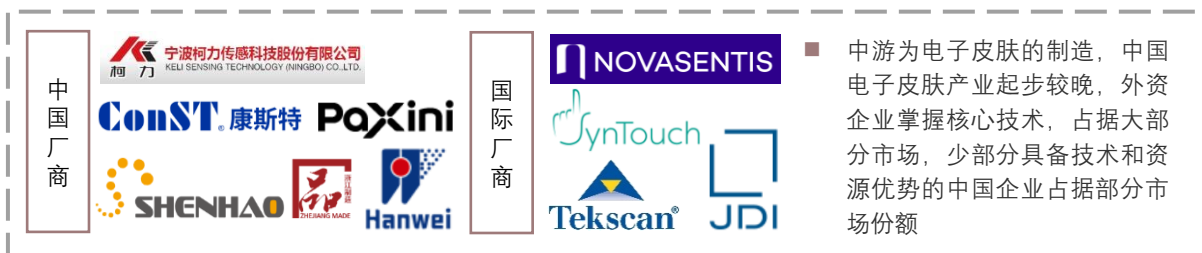
- 电子皮肤上游为原材料与零部件，基底材料对电子皮肤性能影响较大；中游为电子皮肤的制造，以国际厂商为主；下游为电子皮肤的应用，目前主要应用消费电子、医疗、汽车和机器人领域

电子皮肤产业链图谱

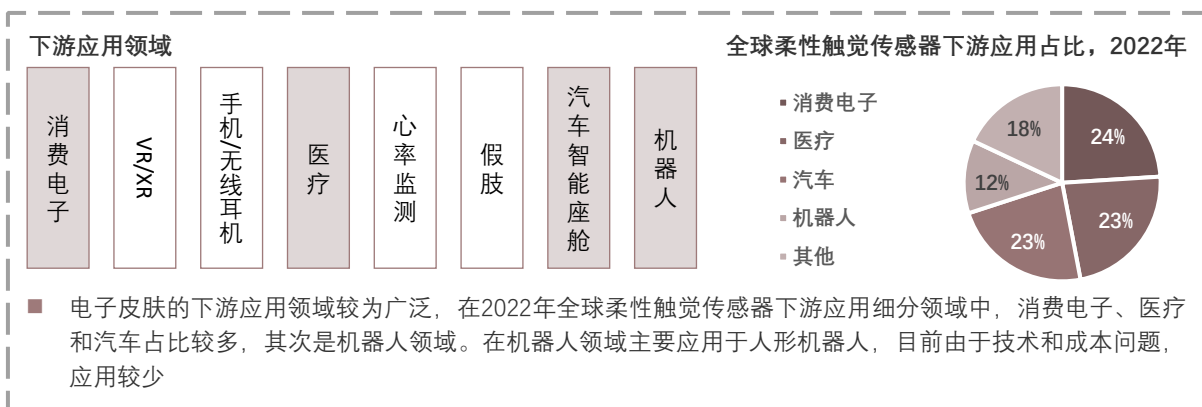
上游：电子皮肤原材料与零部件



中游：电子皮肤的制造



下游：应用领域



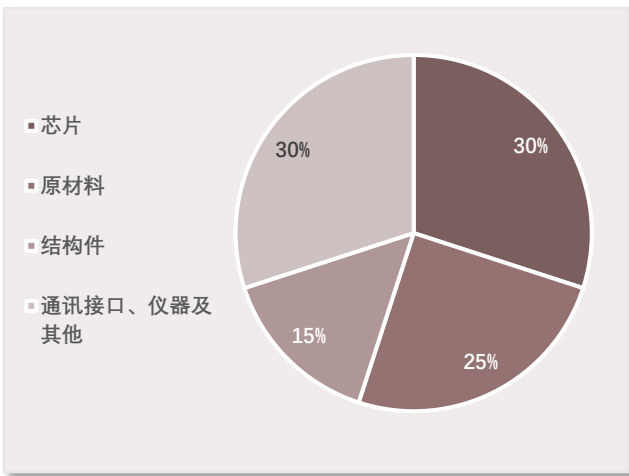
来源：QYResearch、专家访谈、头豹研究院

上游——成本构成及原材料

- 电子皮肤上游为原材料与零部件，原材料成本占比较高，主要原材料供应已实现本土化；基底材料是电子皮肤的关键性材料，主要使用传统材料，新型材料持续研发中

电子皮肤成本结构

电子皮肤成本构成



■ 芯片与原材料成本占比最高

电子皮肤的生产成本包括前端采集、芯片和结构件等部分。电子皮肤信号的采集需要通过材料的形变或者电荷、电容的变更进行，前端采集材料大致占电子皮肤总体造价的20%-30%。电子皮肤的芯片为核心组件之一，负责采集数据的处理，占总成本的30%左右。结构件如保持架、屏蔽网罩等占据15%-20%的成本，电子皮肤需通过额外的特殊材料进行EMC屏蔽，防止零点漂移误差，因此结构件也占据了不小的成本。剩余的20%-35%是通讯接口、仪器及其他部分

主要原材料的种类、主要产品及代表企业

原材料	基底材料			碳材料		无机半导体	
主要种类	聚酰亚胺	聚酯	聚乙烯醇	碳纳米管	石墨烯	ZnO	ZnS
代表产品	聚酰亚胺薄膜	聚酯切片	聚乙烯醇	FT9000系列粉末	超细石墨粉	橡胶级氧化锌	标准ZnS
代表企业	瑞华泰	桐昆股份	皖维高新	天奈科技	方大碳素	恒山锌业	国晶辉

■ 主要原材料供应已实现本土化

电子皮肤常用材料包括柔性基底、碳材料、无机半导体材料等，其中柔性基底材料为电子皮肤提供了机械柔韧性和可穿戴性，碳材料有助于提高电子皮肤的灵敏度和稳定性，无机半导体材料可用于电子皮肤的传感器和晶体管中，以实现压力、温度和光线等不同刺激的响应。主要材料类型均有中国企业作为供应商，国产化率在原材料供应上已经达到较高水平

来源：专家访谈、头豹研究院

基底材料

基底材料的种类

材料	优点	缺点	应用领域
聚酰亚胺 (PI)	具有极高的热稳定性 (>500°C)，出色的介电性能和低热膨胀系数，优秀的机械性能，耐化学性好	加工难度较大，成本较高	广泛应用于电子、航空航天、汽车领域，特别是在高温环境下的应用，如燃料电池、平板显示器、航空航天复合材料、化工和环保行业
聚乙烯醇 (PVA)	生物可降解，无毒，耐油和耐溶剂，气体阻隔性能好，水溶性好，成膜性能优异	耐水性差，加工成型需经历溶解和干燥过程，工艺复杂	纺织浆料、维尼纶纤维、造纸用涂布剂、建筑料、粘剂、PVA膜、PVB原料、食品医药等领域
聚酯 (PET)	耐热性能好，机械性能优良，化学稳定性好，电绝缘性能优越，可回收利用	耐水解性能较差，对某些化学物质抵抗能力差，热变形温度较低，加工难度高	包装材料、纤维制品、工程塑料等领域
聚二甲基硅氧烷 (PDMS)	柔韧性好，高抗拉强度，生物相容性好，低摩擦，透明性，严格的公差	-	医疗设备，如心血管导管、取回设备、推环、标记带、血管成形术、支架输送设备、神经设备等
聚乳酸 (PLA) & 聚己内酯 (PCL)	生物可降解，环境友好	-	正在研究中，有望用于环境友好的柔性电子设备

■ 基底材料是电子皮肤结构的基础，主要使用传统材料

在电子皮肤技术的开发中，基底材料的选择至关重要，需要具备柔韧性、耐用性、生物相容性和导电性，以便于集成至电子皮肤，并使电子皮肤能够承受不同幅度的弯曲、伸展以及机械应力

目前柔性基底材料的选择多样，包括聚酰亚胺、聚酯、硅胶、聚乳酸和聚己内酯等。其中传统材料如硅胶、聚酰亚胺等具有优异的机械特性和化学稳定性，已经被广泛应用，如聚酰亚胺具有良好的电气绝缘性能、机械性能、化学稳定性、耐老化性能、耐辐照性能、低介电损耗，且这些性能在较大的温度范围内不会发生显著变化，被誉为“二十一世纪最有希望的工程塑料之一”，高性能适用于电子皮肤的制造

除传统材料外，新材料也在研发当中，如聚乳酸和聚己内酯等生物降解材料，旨在提高环境可持续性、减少电子废物；石墨烯和导电高分子可提升灵敏度、信号传输效率等性能

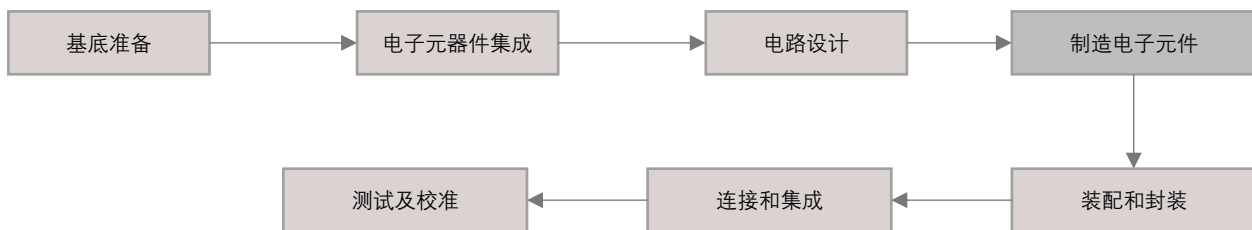
来源：头豹研究院

中游——制备工艺

- 电子皮肤的制备包括基底准备、电子元件制造、装配和封装、连接和集成以及测试及校准等环节；制备的难点在于实现高可拉伸性、提升耐久性、兼容封装与内部功能材料

电子皮肤的制备工艺及难点

电子皮肤制作流程

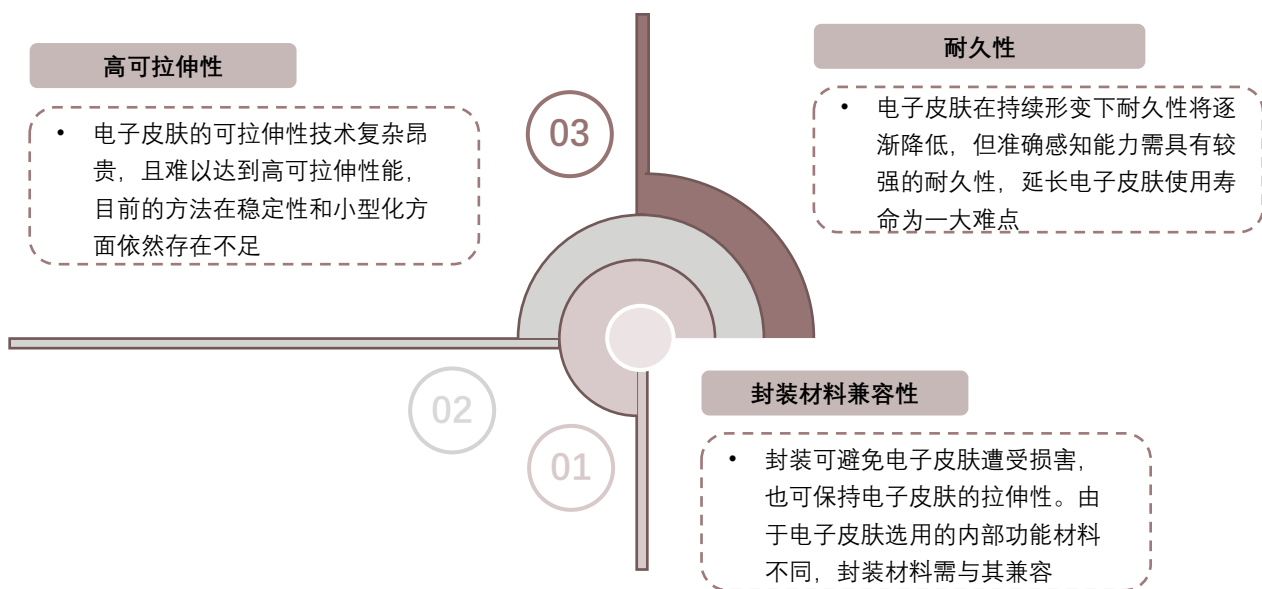


■ 电子皮肤的制备环节

电子皮肤的制备流程大致为基底准备、电子元件制造、装配和封装、连接和集成以及测试及校准

制备基底可选用喷涂、旋涂、真空过滤等方法将基底材料均匀地涂覆在衬底上，形成柔性的电子皮肤基底；电子元件制备包含沉积导电材料、半导体材料或其他功能性材料，以形成能够感应外界刺激的传感器；在电路设计中，利用光刻、喷涂或打印等技术在电子皮肤上定义电极和互连线路，以实现电信号的传输。封装为电子皮肤起到保护的作用，封装材料通常是透明、柔性且具有良好的气密性；在测试环节，对电子皮肤进行一系列包括电性能测试、机械拉伸测试和传感性能测试，确保其满足设计要求；校准则根据电子皮肤在应用场景中的验证结果进行优化

电子皮肤制备难点



来源：鼎达信、头豹研究院

中游——制备技术

- 电子皮肤制备技术主要为印刷法，包括丝网印刷、喷墨打印、激光剥离和3D打印等，在不同的工艺环节各有所长

电子皮肤的制备技术

电子皮肤主要制备技术

丝网印刷

- **原理：**通过一个带有精细图案的丝网将油墨挤压到基底上，形成所需的图案
- **优势：**适合大批量生产，成本效益高，图案边缘清晰，适合制作较粗线条和图案
- **局限：**不适合极细线条或复杂图案，分辨率受限于丝网的孔径大小
- **应用：**在柔性电子中常用于制作导电轨迹、电极和封装层

喷墨打印

- **原理：**利用喷头将导电或绝缘“墨水”按需喷射到基底上，形成电子器件的特定图案
- **优势：**可以实现高精度的图案化，适合定制和小批量生产，具有良好的灵活性
- **局限：**墨水的粘度和表面张力需要精确控制，干燥和固化过程可能影响器件性能
- **应用：**适用于打印电子皮肤中的微型传感器、逻辑电路和存储单元

激光剥离

- **原理：**用激光束照射附着在牺牲层上的薄膜材料，通过激光的能量使薄膜与牺牲层分离
- **优势：**可制造极薄的柔性电子器件，如薄膜太阳能电池和晶体管，具有高精度和重复性
- **局限：**设备成本较高，对材料特性有特定要求，生产效率受限于激光处理速度
- **应用：**在柔性电子中，用于从硅片上剥离出单晶硅薄膜，制造高性能电子器件

3D打印

- **原理：**通过逐层添加材料的方式，根据三维模型数据打印出立体结构
- **优势：**设计自由度高，可以制造复杂的三维微结构，适合定制化产品
- **局限：**打印速度相对较慢，不同材料的打印参数需要精细调整，后处理工艺复杂
- **应用：**用于制造具有复杂几何形状的微流体通道、仿生结构和集成系统

■ 电子皮肤主要使用印刷法

电子皮肤制备技术主要为印刷法，包括丝网印刷、喷墨打印、激光剥离和3D打印等，具有制造成本低、简单易操作、生产速度快等特性。这些技术在电子皮肤不同的制备工艺环节中各有所长，可根据具体的应用需求和成本效益进行选择

来源：头豹研究院

中游——参与者情况

- 电子皮肤市场中，国际企业具备先发优势，占据市场主导地位，少部分中国企业掌握核心技术，随着中国企业对电子皮肤技术的积极探究，未来将凭借价格优势逐渐提升市场份额

电子皮肤中游参与者类型及主要参与者

		主要触觉传感器产品	应用领域	
电子皮肤市场参与者	国际企业	初创公司 <ul style="list-style-type: none"> Novasentis Syntouch 	<ul style="list-style-type: none"> 薄膜触觉传感器 触觉传感器 	<ul style="list-style-type: none"> AR/VR、可穿戴设备、运动训练、游戏控制器等 机器人灵巧手、汽车、消费电子等
		跨国集团 <ul style="list-style-type: none"> Tekscan JDI 	<ul style="list-style-type: none"> 超薄力传感器 电容式指纹传感器 	<ul style="list-style-type: none"> 医疗、机器人、电池制造、汽车、运动训练等 消费电子、医疗、显示屏等
		上市企业 <ul style="list-style-type: none"> 汉威科技 申昊科技 柯力传感 	<ul style="list-style-type: none"> 柔性微纳传感器 电子皮肤传感器 触觉传感器 	<ul style="list-style-type: none"> 消费电子、健康医疗、机器人 机器人智能巡检、工业设备在线监测 人形机器人
	中国企业	初创/合资企业 <ul style="list-style-type: none"> 帕西尼 纽迪瑞 力感科技 钛深科技 	<ul style="list-style-type: none"> 多维触觉传感器 指尖触觉传感器 薄膜传感器、阵列式传感器 薄膜传感器 	<ul style="list-style-type: none"> 3C电子、车机产线、物流仓储、医疗康养、工业制造、商业服务等 机器人指尖 接触式测量、无损检测、机器人、生物力学 消费电子、工业、医疗

■ 国际企业具备先发优势，占据市场主导地位

中国电子皮肤起步晚于国际企业，大部分市场份额被国际龙头企业占据。行业龙头为Novasentis、Syntouch、Tekscan、JDI等企业，这些企业凭借悠久的历史、雄厚的资本实力和长期的技术积累，占据了全球电子皮肤市场90%左右的份额，在全球机器人电子皮肤市场中占有先发优势。人形机器人是电子皮肤较有潜力的新兴应用领域，该行业处于起步阶段，制造商在研发电子皮肤产品时优先考虑国际企业，以保证产品精度和性能，同时，由于电子皮肤技术壁垒较高，核心技术掌握在国际企业手中，因此目前仍是国际企业占主导地位。中国企业如汉威科技、柯力传感、申昊科技等企业也积极研发电子皮肤在机器人领域的应用，且已掌握部分核心技术。未来随着人形机器人对电子皮肤需求的增加，更多企业将加入该赛道，国产企业将凭借成本优势逐渐提升市场份额

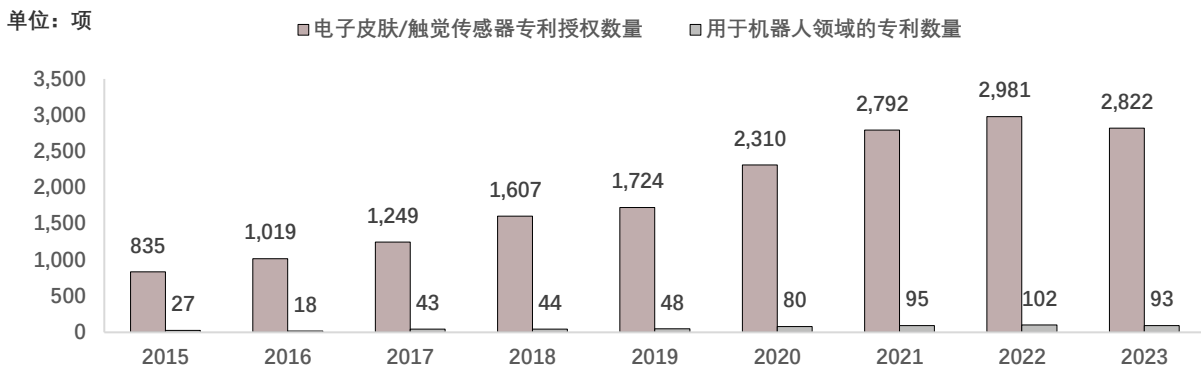
来源：头豹研究院

中游——竞争情况

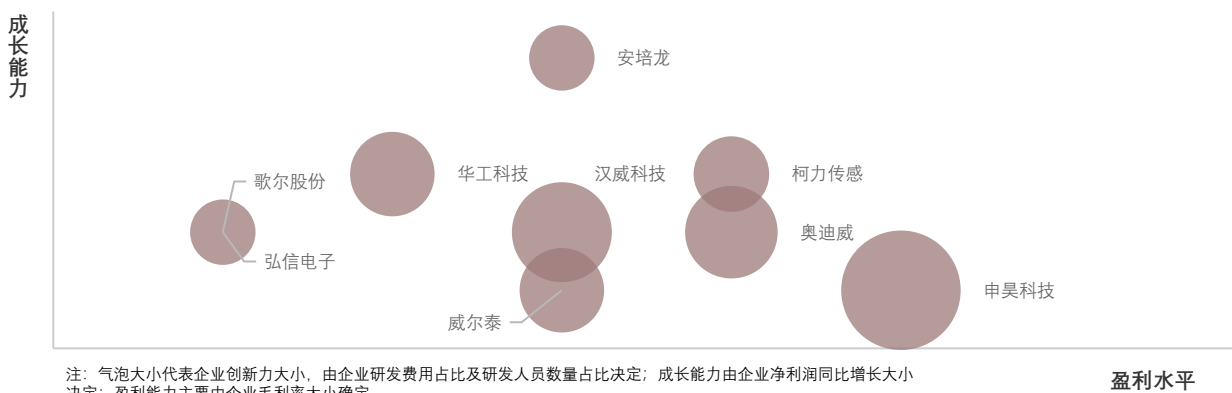
- 电子皮肤行业技术壁垒高，少数企业掌握核心技术，具备技术、研发及资金实力的企业将在市场上占优，如汉威科技、安培龙、申昊科技、柯力传感等企业

中国电子皮肤企业竞争格局

中国电子皮肤/触觉传感器领域授权专利数量，2015-2023年



中国电子皮肤代表企业竞争格局



■ 具备技术、研发及资金实力的企业更具优势

中国部分企业已掌握电子皮肤制备技术，但在机器人等精度要求较高的领域，掌握核心技术的企业较少。从2015-2023年相关专利数量可见，电子皮肤/触觉传感器领域的授权专利总数超过30,000项，专注于机器人应用的相关专利仅有约1,000项。但2018年以来，中国在该领域的专利申请量显著增长，特别是在2020至2023年间，每年的专利申请数量均维持在130项以上，随着人形机器人热度的提升，中国企业加紧研发机器人用电子皮肤技术

由于电子皮肤行业属于技术密集型产业，具备较强技术实力以及研发资源的企业将在市场上更具优势。目前仅少部分头部企业掌握电子皮肤核心技术，如汉威科技子公司能斯达目前已掌握柔性压阻、柔性压电、柔性温湿度、柔性电容四大核心技术，拥有一条年产1,000万支柔性传感器的超净印刷线和组装线，具备较强的技术实力与生产能力；安培龙已掌握从原材料、IC芯片到传感器研发、测试与应用等全生产过程的技术与工艺；此外，柯力传感、申昊科技等企业也具备较强的创新力和较高的盈利水平，为其电子皮肤产业的发展提供坚实的基础

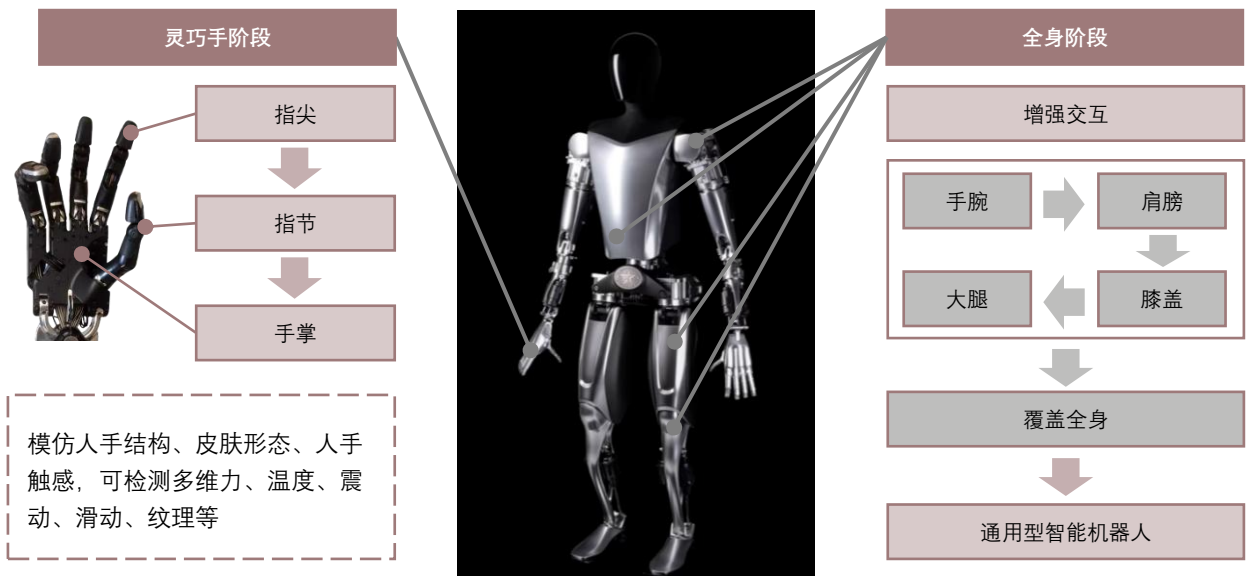
来源：Choice、头豹研究院

新兴下游领域——人形机器人

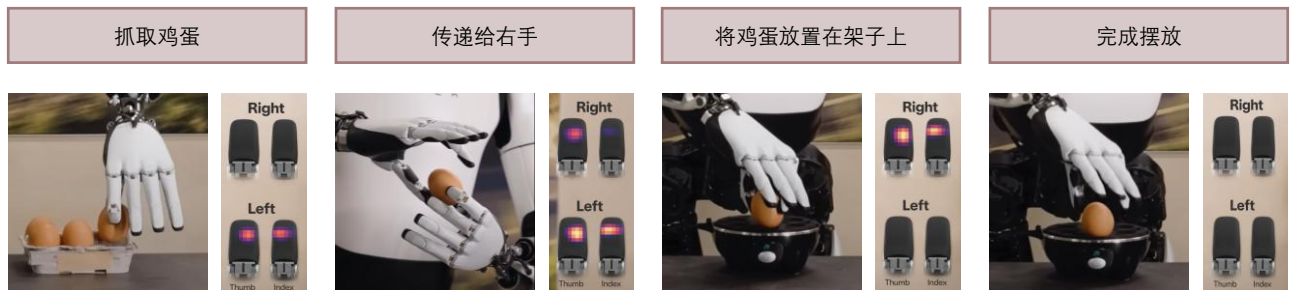
- 目前电子皮肤在人形机器人中主要用于手部，辅助灵巧手实现精细操作；未来电子皮肤在机器人中的用量将逐渐增加，最终覆盖全身，实现通用型智能机器人的目标

电子皮肤应用于人形机器人

电子皮肤在人形机器人中的应用部位及作用



灵巧手阶段电子皮肤发挥的作用



电子皮肤在人形机器人中的应用

人形机器人是电子皮肤新兴的应用领域，具有较高的市场潜力。在人形机器人中，电子皮肤将优先用于灵巧手中，进行力、温度、纹理等多种类感知，实现精准操作。人形机器人的长期目标是成为替代劳动力的通用型机器人，将高度模拟人类触感，因此电子皮肤在机器人机身上的应用范围将逐渐扩大，由手部扩张至四肢进而覆盖全身，实现真正的通用型智能机器人

目前电子皮肤在人形机器人中主要用于手部，触觉传感器可辅助灵巧手在执行精细任务时，做到精准力控。以特斯拉二代灵巧手为例，其每个指尖配备了触觉传感器，在手指接触鸡蛋时，通过触觉传感器反馈使其施加适当的力度，在进行每一步的操作中，机器人大脑对执行机构下达加力、减力的命令，从而实现精准操作

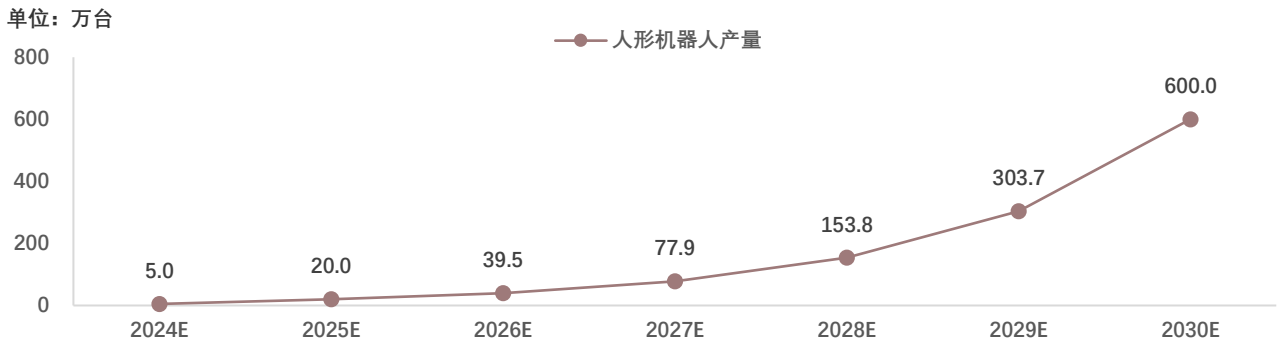
来源：Tesla Optimus Gen2发布视频、头豹研究院

人形机器人电子皮肤市场规模测算

- 当前电子皮肤应用较少，但随着人形机器人产量的飞速提升，以及量产后各厂商对电子皮肤重视程度的提升，电子皮肤市场需求将逐渐增长，预计2030年人形机器人电子皮肤市场规模将达90.5亿元，年复合增长率为64.3%

人形机器人电子皮肤市场规模测算

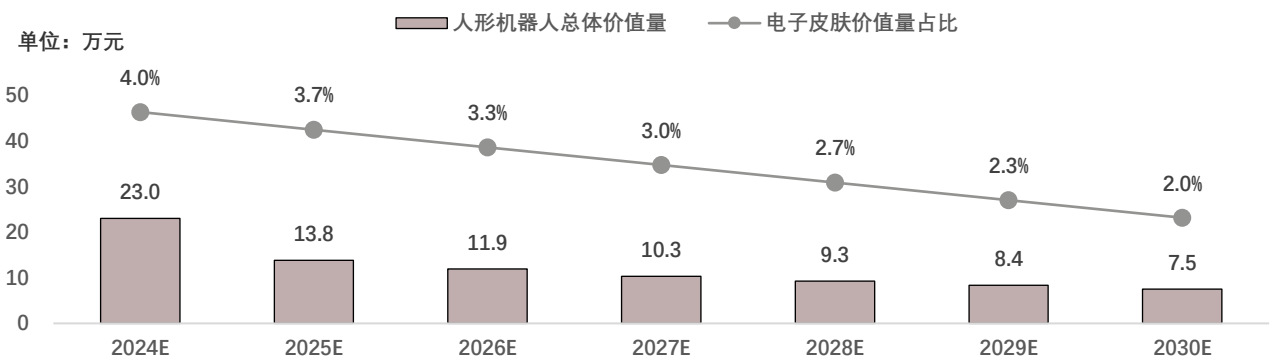
中国人形机器人产量预测，2024-2030年预测



中国人形机器人产量将呈爆发式增长

电子皮肤在机器人领域主要应用于人形机器人。目前全球人形机器人整体市场仍处于研发阶段，预计2024年下半年部分企业实现人形机器人的小批量量产，假设量产级别能够达到5-10万台；到2025年，将形成初期的人形机器人量产目标，预计能够实现20-30万台的量产能力，但是真正市场的接受程度，需要看实际的订单的趋势。2025年在量产的规模化效应的作用下，成本将能够得到较大幅度的下降，同时，市场中将有更多的参与者的进入，比如早期做传统工业型机器人的企业也将进入到人形机器人赛道中，将在产线中用到人形机器人进行基础操作。在这两因素的作用下，到2030年量产能力将不断提升，预计产能将达到500-600万台

中国人形机器人价值量及电子皮肤价值量占比预测，2024-2030年预测



电子皮肤应用少，价值量占比较低

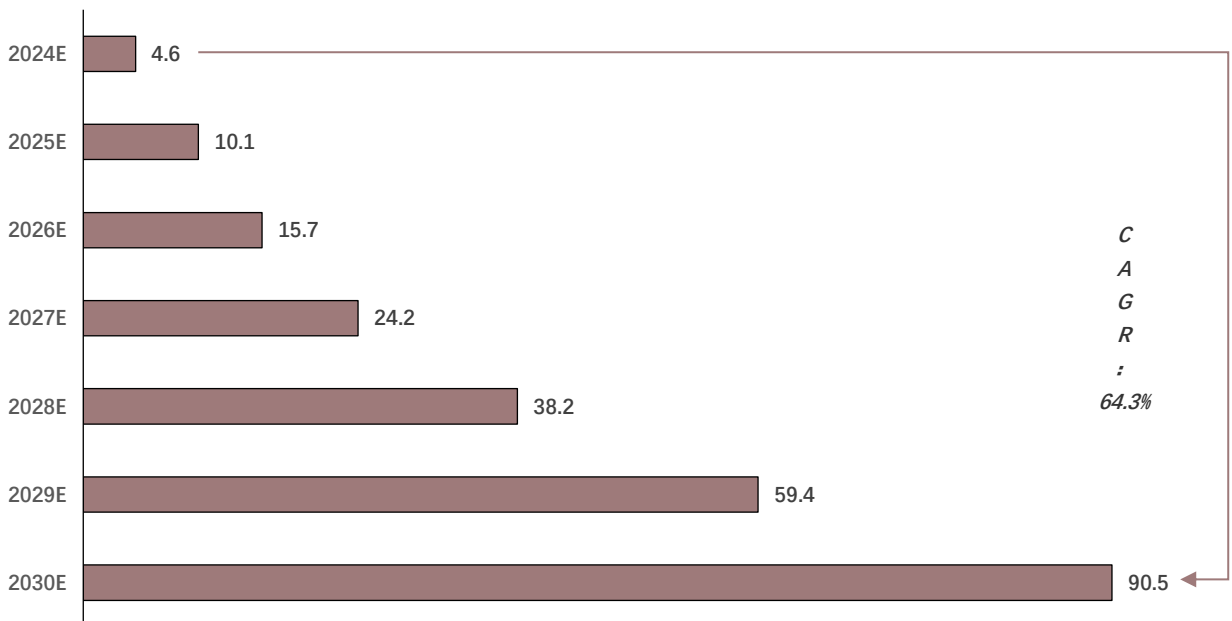
目前人形机器人尚未实现量产，2024年预计仍以研发为主，零部件产品存在技术溢价，量产前成本下降难，价值量在4万美金左右。2024年下半年成本需下降以实现小批量量产，到2025年大规模量产前下降幅度最大，大概在30-40%。2025年价值量大概为13.8万元，之后主要是技术溢价较高的零部件成本略有下降，整体成本下降幅度较小，预计到2030年下降至7.5万元（接下页）

来源：专家访谈、头豹研究院

(接上页) 电子皮肤目前在人形机器人当中应用较少。一方面，人形机器人在研发阶段，主要注重于掌管机器人行为能力的零部件的性能提升，如减速器、电机等，致力于在量产前达到较高精度，以实现机器替代人的愿景。电子皮肤主要是提升人机交互的体验感，以及提升外界感知能力，扮演着补充和增强的角色，属于锦上添花的功能，研发优先级较低。另一方面，电子皮肤技术难度大，需要具备高度的灵敏度和多功能感知能力，原材料加工存在技术壁垒，小批量加工下成本极高。因此目前较少企业将其应用于人形机器人当中，在机器人整机价值量中占比较低，约为4%，此后随着技术进步及规模化效应，价值量占比将下降至2%

中国人形机器人电子皮肤市场规模，2024-2030年预测

单位：亿元



$$\text{机器人行业用电子皮肤市场规模} = \text{人形机器人总体价值量} * \text{电子皮肤在人形机器人中的价值量占比} * \text{人形机器人产量}$$

■ 2030年人形机器人电子皮肤市场规模将达90.5亿

目前电子皮肤在人形机器人中应用较少，预计2024年市场规模较小，为4.6亿元。随着人形机器人量产的实现，基本功能逐渐成熟，厂商希望人形机器人能够更加仿生，电子皮肤能够使人形机器人拥有像人一样的真实皮肤，在人机交互方面大大提升体验感，同时机器人能够感知外界的温度、湿度等等，同时触觉回馈使其对力的把控更为精准。因此电子皮肤将在未来的人形机器人开发中扮演更加重要的角色，随着人形机器人市场的高速增长，电子皮肤的需求量也将不断上升，预计2030年人形机器人电子皮肤市场规模将达90.5亿元，年复合增长率为64.3%

来源：专家访谈、头豹研究院

Chapter 3 代表企业介绍

- 能斯达
- 钛深科技
- 力感科技

传感器行业公司——能斯达

- 能斯达于2013年成立，在柔性传感器产业化方面具有国际领先水平；能斯达注重核心技术的突破，已掌握柔性传感器四大核心技术，同时注重知识产权的积累，拓展人机交互领域

苏州能斯达电子科技有限公司



- 企业名称：**苏州能斯达电子科技有限公司
- 成立时间：**2013年
- 总部地址：**江苏省苏州市
- 对应行业：**传感器行业

- 苏州能斯达电子科技有限公司（以下简称“能斯达”）于2013年创立于江苏省苏州市，专注于柔性微纳传感技术的研发和产业化，目前已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阵列的核心设计能力、敏感材料及导电墨水合成制备能力、大面积印刷电子批量制造能力等核心能力，解决了柔性微纳传感器灵敏度低、稳定性差和规模化制造难等关键技术难题，在柔性传感器产业化方面具有国际领先水平

能斯达电子皮肤/柔性传感器产品

MF3216阵列式柔性薄膜压力传感器



产品介绍

- 超薄，厚度<0.6mm
- 有效检测区域大
- 压力点分布密度大
- 压力敏感区域内有492个压力点

DT10-50柔性压力温度一体化传感器



产品介绍

- 超薄
- 灵敏度高
- 功耗低
- 检测方案易于集成

ZD10-100柔性压力传感器



产品介绍

- 寿命长
- 灵敏度高
- 轻薄耐弯折
- 压敏功能

MF6060阵列式柔性薄膜压力传感器



产品介绍

- 响应速度快
- 可高速动态扫描
- 检测压力范围大，单点最大可检测1Mpa
- 压力敏感区域内有3,600个压力点

MY2901柔性薄膜压力传感器模组



产品介绍

- 8个输入通道
- 提供UART方式输出信号
- 小尺寸，低功耗，易于集成
- 最多可支持8路信号同时测量

MY2801柔性薄膜压力传感器模组

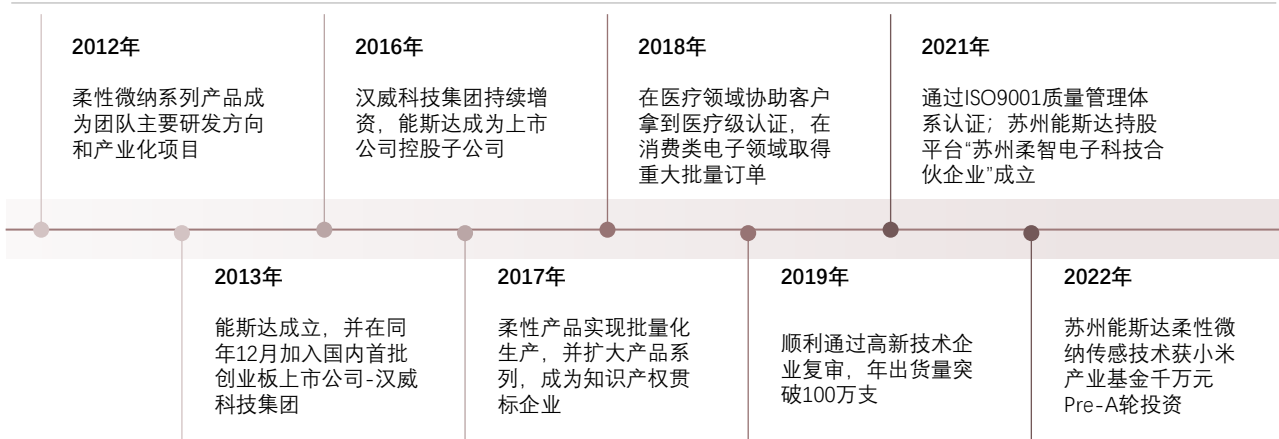


产品介绍

- 用于柔性传感器的测量与显示
- 多种数显方式
- 低功耗，采用锂电池供电，续航时间长
- 可存储多达2,000条记录

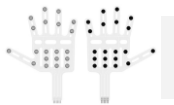
来源：能斯达官网、头豹研究院

能斯达的发展历程




能斯达在人形机器人领域的进展

抓住行业痛点推出人机交互柔性传感器产品



获人形机器人技术合作奖&与多家机器人企业建立合作



进展情况

- 在人机交互方面，传感器是驱动人形机器人发展的核心部件，能斯达抓住行业痛点，将柔性微纳传感器嵌入各种智能终端设备，实现人机交互功能，推动人形机器人的进一步发展
- 推出手套型柔性薄膜压力传感器，可广泛应用于智能机器人、人机交互、智能手套等领域
- 鞋垫型柔性薄膜压力传感器可置于鞋底，能够检测出人体站立和行走时的足底压力，检测数据可用于足底压力分析，可广泛应用于人形机器人等领域

进展情况

- 4月9日至10日，首届中国人形机器人产业大会暨具身智能峰会在北京市海淀区举办，能斯达作为柔性感知产业的领先企业参与了此次展会，并获得“Leaderobot 2024年度人形机器人技术合作奖”
- 能斯达专注于柔性微纳传感技术的研发和产业化，不断优化“柔性感知技术+采集系统+人机交互”的解决方案，能够为人形机器人领域的应用提供完整的智能感知解决方案。2023年，能斯达与小米科技、九号科技、深圳科易机器人等企业积极开展业务合作

能斯达竞争优势

1 技术优势

能斯达已建立了稳定的纳米敏感材料体系，掌握了柔性压阻、柔性压电、柔性温湿度、柔性电容四大核心技术，拥有百余项核心专利，拥有一条年产1,000万支柔性传感器的超净印刷线和组装线

2 知识产权

能斯达注重知识产权积累，专注于新一代柔性传感芯片、人机交互AI智能算法。在长期的研究开发过程中对相关核心技术进行了高价值专利布局，已申请相关专利90余件，授权专利50余件，申请商标19件

来源：能斯达官网、头豹研究院

传感器行业公司——钛深科技

- 钛深科技于2018年成立，专注于锂电池全生命周期管理，首创离电子传感技术，性能优于现有的电阻式、电容式和压电式传感技术，其产品在中具有较强的竞争优势

钛深科技(深圳)有限公司



- 企业名称：**钛深科技(深圳)有限公司
 - 成立时间：**2018年
 - 总部地址：**深圳市
 - 对应行业：**传感器行业
- 钛深科技(深圳)有限公司（以下简称“钛深科技”）于2018年创立，是一家新型技术型企业，专注于锂电池全生命周期管理，旨在解决锂电安全以及梯次利用等方面的诸多问题。钛深科技总部位于深圳，同时在北京、成都和常州设有研发团队和市场团队

钛深科技电子皮肤/柔性传感器产品

薄膜分布式压力传感器



产品特性

- 超薄柔性：不改变电芯模组结构直接无缝集成
- 压力分布检测：以压力云图方式呈现膨胀力分布状态
- 高精度、高灵敏度、高线性度
- 宽温度范围：可满足热失控高温环境下的持续压力监控
- 高可靠性、超长寿命：>15年使用寿命
- 级联式设计，节省空间，便于模组PACK集成

产品特性

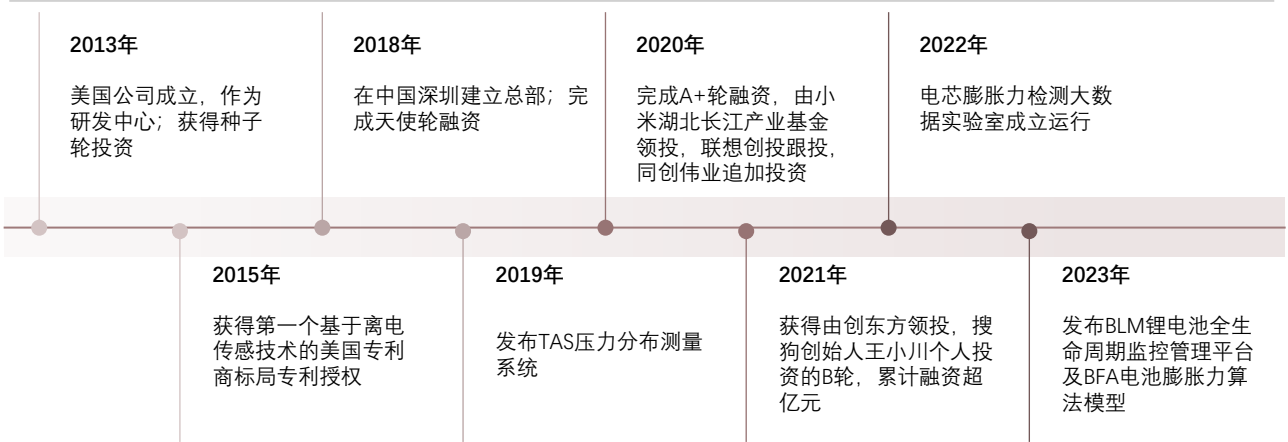
- 宽压、宽温范围：宽压力检测范围，可满足固态电芯超高膨胀力检测需求。宽温度应用范围，可满足电芯热失控实时监测需求
- 高信噪比：信噪比可达4,000:1，相比传统压感技术提高1至2个数量级
- 低成本：受益于简洁的结构设计及独家材料优势，成本降幅最高达90%
- 高灵敏、密度：灵敏度高达1.58 μ F/kPa，达0.025%量程，高度模拟人类触觉特性及指标。厚度低至0.1mm，空间密度小于1mm²，可实现定制化矩阵传感器，与电芯模组无缝集成

产品参数

非线性度	重复性	精度	工作温度	工作湿度	厚度	压力范围	压力点数	传感点间距
<3%	<5%	<5%	-20°C—200°C	0-85%	<0.15mm	500KPa	30 (5X6)	9.2mm

来源：钛深科技官网、头豹研究院

钛深科技的发展历程



钛深科技核心技术

离电子传感技术

技术详情

- 钛深科技首席科学家潘挺睿教授团队于2010年在国际上首先提出了不同于现有电阻式、电容式和压电式传感之外的，第四代传感机理：界面离电子触觉传感技术，离电子传感器采用全新的压力感应原理，通过可形变的离子材料层和柔性导电材料表面的接触面积改变来感知外部压力
- 除技术参数全面领先外，离电子传感可提供实时的、高质量的、低噪声的触觉信号，同时可拥有全柔性、光学透明及超薄封装等特性；其“灵、柔、透、密、广”的特性使产品在消费电子、工业、医疗等领域具备独有的竞争优势

钛深科技竞争优势

- 1 材料**
在材料方面，钛深科技实现材料自主化、配方系列化、工艺成熟化
- 2 传感器**
钛深科技传感器具有超高灵敏度、超高信噪比、全柔性、全透明、支持场景定制的优势
- 3 硬件及固件**
钛深科技的硬件及固件能耗低，集成度高
- 4 无线通信**
钛深科技提供多种无线通信方案，保证复杂场景下压力数据的可靠传输
- 5 软件及AI算法**
钛深科技运用AI算法实现触觉压感的可视化展示及智能识别、统计与分析

来源：钛深科技官网、头豹研究院

传感器行业公司——力感科技

- 力感科技于2016年成立，是一家中国科学院孵化的创新型企业；力感科技注重技术研发，其力传感技术具备超薄、超低功耗和极速响应等优势，广泛用于各应用场景；此外，其丰富的合作资源有助于其产品的推广和应用



深圳市力感科技有限公司



- 企业名称：**深圳市力感科技有限公司
- 成立时间：**2016年
- 总部地址：**深圳市
- 对应行业：**传感器行业

- 深圳市力感科技有限公司（以下简称“力感科技”）于2016年创立，是一家中国科学院孵化的创新型企业，依靠科学家们丰富的传感器、软件、算法等专业知识，为消费电子和健康领域提供力感应技术的解决方案，主要产品包括智能笔、智能小家电、睡眠监测器、压力分布等智能设备

力感科技电子皮肤/柔性传感器产品

RP-C6-R薄膜压力传感器



RP-C18.3-ST薄膜压力传感器

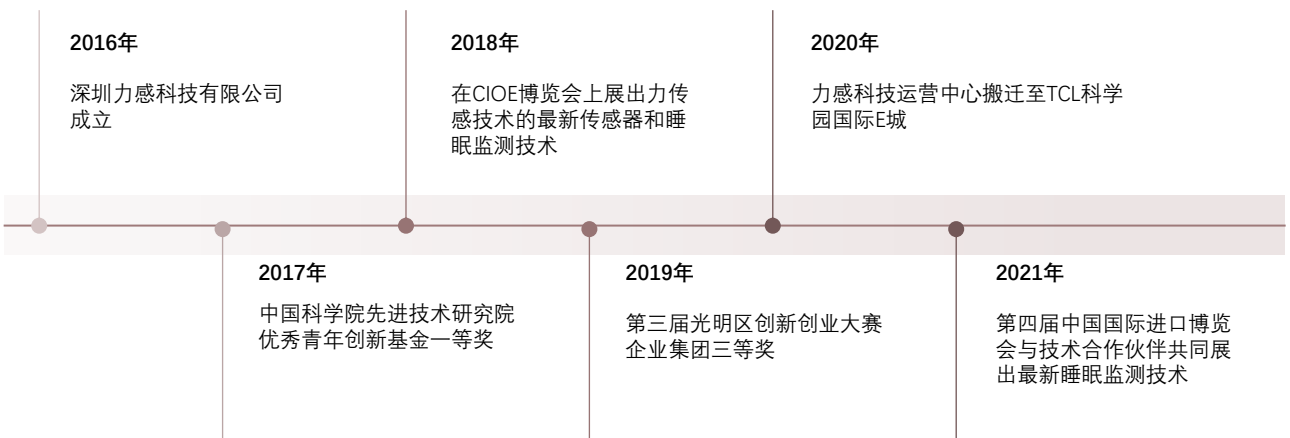


厚度	0.25mm
触发力	100g, 默认电阻值小于200kΩ时触发
压力感应范围	100g~5kg
分辨率	静态或动态 (频率10Hz以内)
使用温度	-40°C~+85°C
耐久性	100万次以上
一致性	单个产品阻值+/-5%以内, 同批产品+/-10%以内(同等测试条件下)
迟滞	+10%, (RF+-RF-)/FR+, 1kg力
漂移	<10%, 1Kg力静载24H

厚度	0.40mm (带背胶的厚度)
触发力	20g, 默认电阻值小于200kΩ时触发
压力感应范围	20g~6kg
分辨率	静态或动态 (频率10Hz以内)
使用温度	-40°C~+85°C
耐久性	100万次以上
一致性	单个产品阻值+/-3%以内, 同批产品+/-10%以内 (同等测试条件下)
迟滞	+10%, (RF+-RF-)/FR+, 1kg力
漂移	<5%, 2.5Kg力静载24H

来源：力感科技官网、头豹研究院

力感科技的发展历程



力感科技核心技术

力传感技术



技术特点

- 超薄：厚度0.2mm，有多种尺寸
- 耐候性强：可设计于防水，工作温度-40°C -120°C等严苛环境
- 及时响应：毫秒级响应
- 经久耐用：通过2kg砝码1,000万次敲击寿命测试
- 低功耗：最低电阻低于500Ω，功耗小于20mA

应用

- **力感应电阻器**：薄膜压力传感器由综合机械性能优异的聚酯薄膜、高导电材料和纳米级压感材料组成
- **压感材料**：底层是柔性薄膜和复合其上的导电层，顶层是柔性薄膜和复合其上的压感材料。两者通过双面胶贴合，并隔离上下两层的感应区域

力感科技竞争优势

1

技术研发

力感科技与中科院先进技术研究院的深度合作，使其在柔性压力传感器领域拥有较强的研发实力。力感科技持续在技术创新上取得突破，自主研发的柔性传感器具备超薄、超低功耗和极速响应等特点

2

合作认可

力感科技在业内获得了一定的认可，如获得中国科学院先进技术研究院优秀青年创新基金一等奖等荣誉；同时，力感科技与国内外多家知名上市企业和高等学府建立了深入的合作关系，为其产品的推广和应用提供了强有力的支持和资源

来源：力感科技官网、头豹研究院

■ 业务合作

会员账号

阅读全部原创报告和百万数据

定制报告/词条

募投可研、尽调、IRPR研究咨询

白皮书

定制行业/公司的第一本白皮书

招股书引用

内容授权商用、上市

市场地位确认

赋能企业产品宣传

云实习课程

丰富简历履历

头豹研究院

咨询/合作

网址：www.leadleo.com

电话：18129990784 陈女士

电话：13080197867 李先生

深圳市华润置地大厦E座4105室

方法论

- ◆ 头豹研究院秉承匠心研究、砥砺前行的宗旨，以战略发展的视角分析行业，从执行落地的层面阐述观点，为每一位读者提供有深度有价值的研究报告。头豹通过深研19大行业，持续跟踪532个垂直行业，已沉淀100万+行业数据元素，完成1万+个独立的研究咨询项目。
- ◆ 头豹研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业发展周期，伴随着行业内企业的创立、发展、扩张，到企业上市及上市后的成熟期，研究员积极探索和评估行业中多变的产业模式、企业的商业模式和运营模式，以专业视野解读行业的沿革。融合传统与新型的研究方法论，采用自主研发算法，结合行业交叉大数据，通过多元化调研方法，挖掘定量数据背后根因，剖析定性内容背后的逻辑，客观真实地阐述行业现状，前瞻性地预测行业未来发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去、现在和未来。
- ◆ 头豹研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会跟随行业发展、技术革新、格局变化、政策颁布、市场调研深入，不断更新与优化。

法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何证券或基金投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告或证券研究报告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告或文章。头豹均不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。