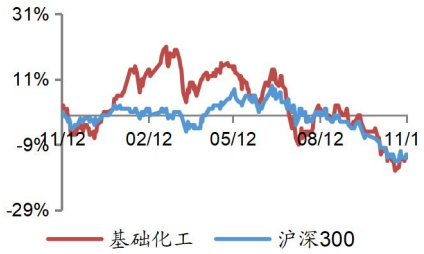
长坡厚雪，人形机器人新材料应用研究

行业评级： 增持

报告日期： 2026-11-12

行业指数与沪深 300 走势比较



分析师：王强峰

执业证书号：S0010522110002

邮箱：wangqf@hazq.com

联系人：韩浩然

执业证书号：S0010126040034

邮箱：hanhr@hazq.com

相关报告

1.【华安化工】卫星化学及烯烃行业周度动态跟踪 2026-11-10

2.天津市发布生物制造创新发展行动计划，武汉西生物合成产业园开工 2026-11-10

3.农药产业发展“十五五”规划发布，国际原油价格高位回落 2026-11-09

主要观点：

- **高强度、轻量化新材料助力人形机器人“减重瘦身”。**

人形机器人产业正从原型验证走向规模商用，据宇树科技招股书，2030 年全球人形机器人销量有望达 60.57 万台、市场规模 150 亿美元。整机降本放量的过程中，复杂精密的结构设计对材料性能提出多维要求，其中轻量化、高强度、耐疲劳特性为核心需求。PEEK 材料凭借高比强度、耐腐蚀性、自润滑特性和轻量化优势脱颖而出，替代传统金属材料用于机器人骨架、关节及精密减速器中，例如特斯拉 Optimus-Gen2 通过 PEEK 应用减重 10 公斤并提升 30%行走速度。与此同时，碳纤维复合材料（CF/PEEK）通过添加 30%碳纤维进一步提升机械性能与使用寿命，满足机器人高强度、高刚度与耐冲击要求，提升灵活度及续航能力。**相关公司：中研股份、凯盛新材、南京聚隆、光威复材、中简科技。**

- **灵巧手方案持续演化，腱绳材料价值量提升。**

相比传统齿轮、连杆等刚性传动机构，腱绳传动通过模拟生物肌腱结构实现狭小空间内的柔性动力传输，显著提升抓取动作适应性，特斯拉 Optimus Gen3 自由度由 11 增至 22，同时电机位置由手部调整至小臂带动腱绳价值量提升。材料端超高分子量聚乙烯纤维以极高比强度为腱绳材料主流解决方案，但因耐热性能和抗蠕变性能较差，芳纶纤维与 PBO 纤维有望在特定应用场景下成为重要补充方案。**相关公司：同益中、南山智尚、泰和新材、鼎龙科技、万凯新材。**

- **大模型+机器人，高频计算场景下 LCP 大有可为。**

Figure AI 新机型通过融合大模型整合视觉感知、自然语言处理和动作生成，人形机器人与 AI 驱动形成共振。高频计算与信号传输发展趋势下，LCP（液晶高分子）材料以极低的介电常数成为最优解。目前，LCP 需求结构中电子电气领域消费占比超 70%，叠加供给端新产能投放在即，人形机器人领域可实现快速导入。**相关公司：普利特、金发科技、沃特股份。**

- **电子皮肤赋予机器人感知能力，人工肌肉或为传动更优解。**

通过电子皮肤中部署多维度传感元件（如压力、温度、振动等），使机器人能实时感知环境并做出反馈，可帮助机器人行动交互更加自然、安全，突破传统机器人仅依赖视觉或预设程序的局限性。人工肌肉是弥合“机器刚性”与“生物柔性”差距的核心技术，满足轻量化与交互安全。当前柔性传感器与人工肌肉领域国产化率偏低，进口依赖尚存，国内企业正加速布局，跟进产业发展趋势。**相关公司：汉威科技、福莱新材、聚杰微纤、天奈科技、福莱蕙特。**

- **风险提升**

环保及安全督察力度不及预期，
海外经济复苏不及预期，
材料需求不及预期，
产业化进展不及预期，
原材料价格大幅波动，
企业安全生产风险等。

● 相关公司盈利预测与估值：

公司	净利润（亿元）			PE		
	2025A	2026E	2027E	2025A	2026E	2027E
中研股份	0.12	0.21	0.30	255.32	144.28	100.99
凯盛新材	1.28	1.72	2.18	62.73	46.82	36.94
南京聚隆	1.32	-	-	16.06	-	-
光威复材	6.03	6.43	7.76	29.37	27.58	22.85
中简科技	3.15	2.07	2.94	26.86	40.83	28.75
同益中	1.09	0.00	0.00	30.46	0.00	0.00
南山智尚	1.28	1.44	1.93	46.94	41.74	31.15
泰和新材	0.41	1.43	2.28	203.92	59.07	37.16
鼎龙科技	1.49	2.29	2.79	27.22	17.73	14.55
普利特	3.67	3.01	5.37	28.06	34.26	19.20
金发科技	11.50	14.72	21.17	29.40	22.96	15.97
沃特股份	0.64	0.94	1.56	91.14	62.25	37.68
汉威科技	1.59	1.51	1.80	89.13	93.98	78.60
福莱新材	0.77	1.13	1.73	244.67	167.58	109.30
上纬新材	0.41	-0.13	-0.92	2,359.27	-	-
福莱蒽特	0.45	-	-	84.09	-	-
万凯新材	1.69	11.53	12.80	56.68	8.31	7.49

资料来源：iFind，华安证券研究所

注：股价及估值数据根据 2026/11/11 日收盘价计算；盈利预测为 iFind 一致预期

正文目录

1 人形机器人量产元年，关注产业链投资机会 6
1.1 拟人智能、类人形态和广泛适用三大特点加持，人形机器人产业前景广阔 6
1.2 结构精密、应用复杂，驱动高性能新材料应用提升 8
2 羽量钢骨，高强度轻量化新材料需求广阔 9
2.1 机器人减重瘦身趋势下，PEEK 材料迎来机遇。 9
2.2 碳纤维：碳纤维复合材料，性能进一步提升 12
3 灵巧手方案持续演化，腱绳材料迎来机遇 17
3.1 灵巧手：模拟人手设计，是实现人形机器人与环境的灵活交互的重要末端执行器。 17
3.2 超高分子量聚乙烯纤维：高比强度契合灵巧手设计需求，是腱绳主流材料 20
3.3 芳纶纤维：耐高温、抗蠕变性能优异，与超高分子量聚乙烯存在应用场景互补 23
3.4 PBO 纤维：极致性能的超级纤维 26
3.5 腱绳材料市场空间测算 28
4 机器人+AI 高频计算趋势已至，高性能电子元件方兴未艾 29
5 壳体选材呈现多元，电子皮肤与人工肌肉加持突破人机交互瓶颈 32
5.1 壳体材料选择多样，根据应用场景侧重有所不同 32
5.2 引入柔性传感器，电子皮肤赋予机器人多维度感知能力 33
5.3 电子皮肤市场空间测算 40
5.4 从第一性原理出发，人工肌肉或为家用人形机器人传动更优解 40
6 行业相关公司 46
6.1 围绕 PEEK/碳纤维轻量化材料布局相关公司： 46
6.2 围绕腱绳材料布局相关公司： 47
6.3 围绕 LCP 材料布局相关公司： 48
6.4 围绕电子皮肤&人工肌肉布局相关公司： 49
6.5 围绕机器人与灵巧手整机布局相关公司： 50
7 风险提示： 51

图表目录

图表 1 人形机器人特点 6
图表 2 中国人形机器人不同发展阶段和产业规模预计 7
图表 3 全球及中国老龄人口比重 7
图表 4 宇树 H1 自由度说明 8
图表 5 机器人领域新材料应用梳理 8
图表 6 Optimus-Gen2 人形机器人 9
图表 7 PEEK 化学结构 9
图表 8 PEEK 与通用金属材料指标对比情况 10
图表 9 PEEK 材料位于工程塑料顶端 10
图表 10 PEEK 材料与主要工程材料性能对比 10
图表 11 PEEK 材料需求量 11
图表 12 PEEK 材料需求领域 11
图表 13 全球 PEEK 产能格局 11
图表 14 PEEK 聚合单元的反应方程式 12
图表 15 PEEK/CF 复合材料制备工艺流程 13
图表 16 填充 30%碳纤维的 CF/PEEK 复合材料性能大幅提升 13
图表 17 亨睿碳纤维（HRC）应用于小鹏打造的 “旅航者 X2” 飞行汽车 15
图表 18 复合材料中 CF 添加量与摩擦因数 15
图表 19 复合材料中 CF 添加量与磨损率 15
图表 20 国内碳纤维产能扩张放缓 16
图表 21 国内不同级别碳纤维产量情况 16
图表 22 碳纤维需求结构 17
图表 23 全球碳纤维需求量 17
图表 24 PEEK 材料与碳纤维受机器人需求拉动测算 17
图表 25 灵巧手模拟人手设计，灵活度与适应性高 18
图表 26 不同灵巧手传动方式对比 18
图表 27 特斯拉灵巧手自由度拆解 19
图表 28 灵巧手腱绳材料案例 20
图表 29 高性能纤维参数对比 20
图表 30 超高分子量聚乙烯纤维国内产能产量 21
图表 31 超高分子量聚乙烯纤维产能格局（吨） 21
图表 32 中国超高分子量聚乙烯纤维需求结构 23
图表 33 中国超高分子量聚乙烯纤维需求快速增长 23
图表 34 芳纶纤维分子结构 23
图表 35 对位芳纶（PPTA）和间位芳纶（PMTA） 24
图表 36 对位芳纶供给格局 24
图表 37 对位芳纶需求结构 26
图表 38 PBO 与其他高性能纤维对比 26
图表 39 PBO 单体合成路径 27
图表 40 鼎龙科技特种工程材料单体销量与售价 28
图表 41 各厂商灵巧手驱动路线 28
图表 42 腱绳材料市场空间测算 29
图表 43 三种类型的液晶高分子典型结构 30
图表 44 LCP 需求结构 30
图表 45 LCP、MPI、PI 随频率变化的损耗情况 31
图表 46 Figure AI 经大模型训练高频、精准输出动作 31
图表 47 中国液晶聚合物（LCP）供需情况 31
图表 48 全球 LCP 格局 31
图表 49 LCP 机器人应用市场空间测算 32
图表 50 NAO 外壳主要材料为聚碳酸酯-ABS 塑料 33
图表 51 Gamma 身穿针织尼龙外衣 33

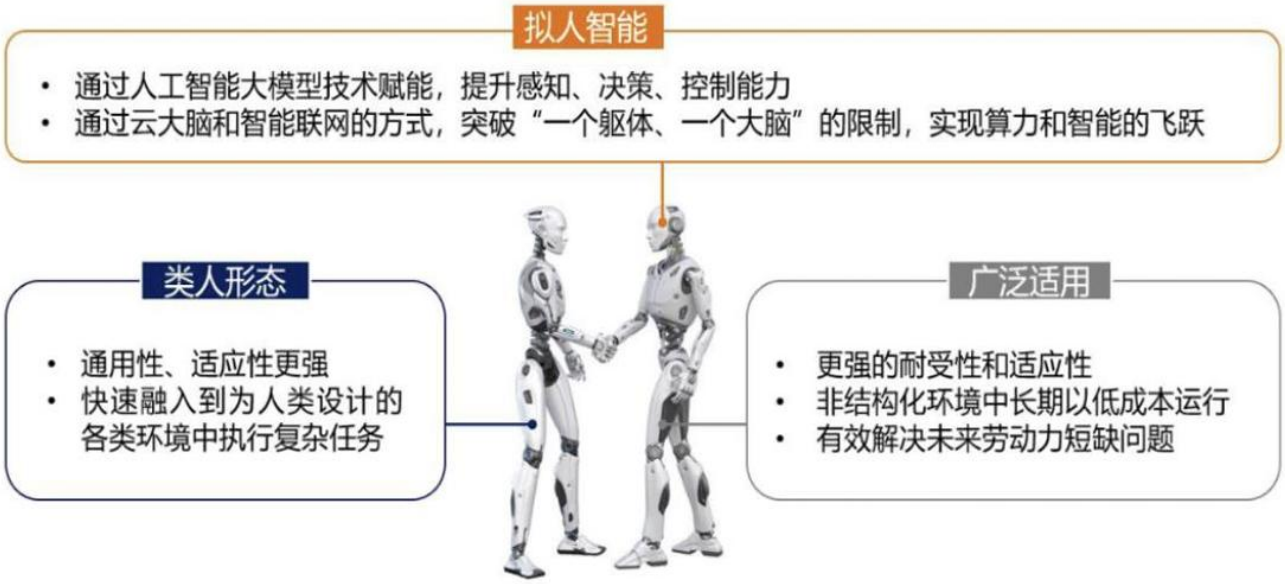
图表 52 有机硅用作人形机器人外壳 33
图表 53 Optimus Gen2 全部手指均部署触觉感应器 34
图表 54 电子皮肤的仿生设计 34
图表 55 不同路径柔性传感器优缺点对比 35
图表 56 柔性压阻式传感器的工作原理示意图 35
图表 57 压电触觉感应器原理及构造 36
图表 58 摩擦式触觉感应器机制 36
图表 59 电容式传感器构造及原理 37
图表 60 帕西尼电磁触觉传感器与压阻、电容触觉传感器对比 37
图表 61 衬底材料性能对比 38
图表 62 一种碳纳米管、PVDF、PDMS 复合的电子皮肤材料制备 39
图表 63 柔性传感器应用领域 39
图表 64 机器人电子皮肤市场空间测算 40
图表 65 采用仿生人工肌肉驱动的 Clone Alpha 41
图表 66 传统驱动器与人工肌肉特性对比 42
图表 67 膜状人工肌肉结构 42
图表 68 螺旋捻曲结构的人工肌肉结构及机制 42
图表 69 电热驱动机制示意图 43
图表 70 赝电容驱动机制示意图 44
图表 71 双层电容驱动机制示意图 44
图表 72 介电弹性体人工肌肉工作原理 44
图表 73 各人工肌肉驱动路线优点、局限性和应用场景对比 45
图表 74 基于电化学驱动的纤维人工肌肉生物胶带 46
图表 75 康复训练用人工肌肉 46
图表 76 相关公司市值及估值 50

1 人形机器人量产元年，关注产业链投资机会

1.1 拟人智能、类人形态和广泛适用三大特点加持，人形机器人产业前景广阔

人形机器人是一类形状与尺寸近似人体、具有双足、双臂、躯干、头部等拟人化结构的仿生机器人，能够适应为人类设计的非结构化环境；其依托视觉、力觉、听觉等传感器与人工智能大模型，实现环境感知、自主决策与任务规划，可应用于工业制造（搬运、装配）、家庭服务（家务、陪伴）、医疗护理、特种作业（救援、安防）等复杂工作场景，有望成为继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性科技创新。

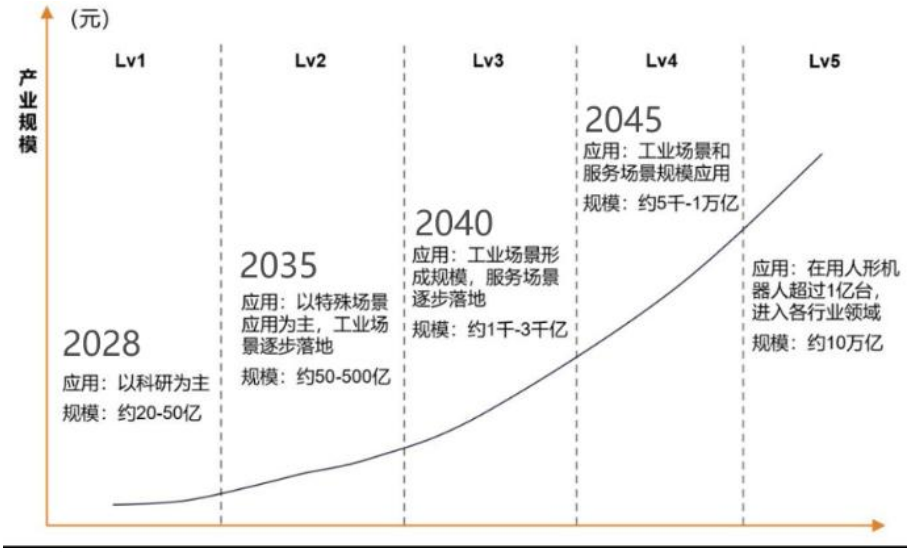
图表 1 人形机器人特点



资料来源：《人形机器人产业发展研究报告（2024）》，华安证券研究所

当前人形机器人产业正处于从实验室验证过渡向规模化商用的关键阶段。国内外机器人产业经历了萌芽探索（1960 年前）、集成发展（2000-2010 年）、高动态运动（2010-2022 年）和智能化发展（2022 年至今）四个阶段。在人工智能技术赋能下，机器人智能化发展进程加速，2024 年原型机发布呈井喷式增长，伴随政策端扶持密集出台、华为/小米/小鹏等科技巨头跨界布局，部分机型已在工业制造及仓储物流领域率先实现应用。据宇树科技招股书，预计到 2030 年全球人形机器人市场规模将达到 150 亿美元，销量规模将增长至 60.57 万台；其中，中国人形机器人市场规模到 2030 年将达到近 380 亿元，销量规模将增长至 27.12 万台。

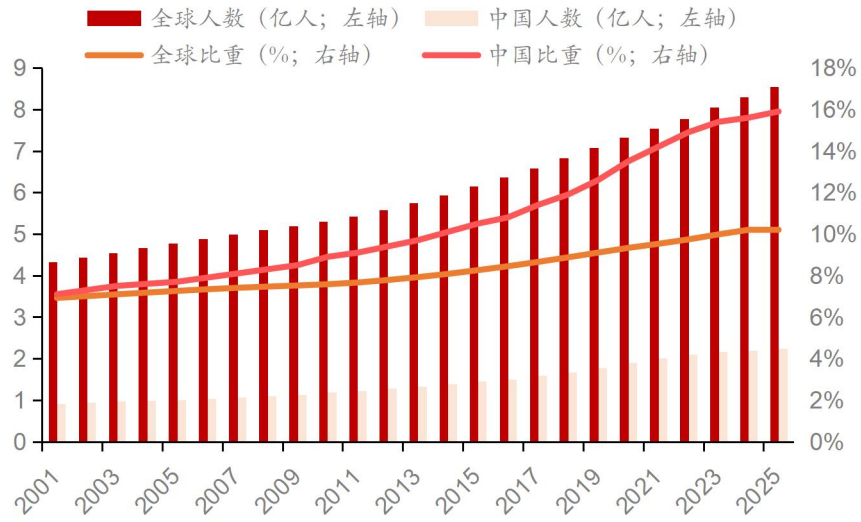
图表 2 中国人形机器人不同发展阶段和产业规模预计



资料来源：《人形机器人产业发展研究报告（2024）》，华安证券研究所

人口结构老龄化下劳动力短缺与人形机器人性价比凸显，需求高度确定。2023年，全球65岁以上人口占比接近10%，同时中国65岁以上人口占比超15%，老龄化人口结构正在重构劳动力市场格局，同时伴生大量老年人护理与安全监护新需求。此外，随着人形机器人产业化进程加快，供应链成熟后整机成本将迅速下行，以特斯拉预估Optimus规模化生产成本2万至3万美元之间为例，对比美国平均薪酬8.8万美元/年，对应回本周期不足0.5年，人形机器人性价比突出。

图表 3 全球及中国老龄人口比重



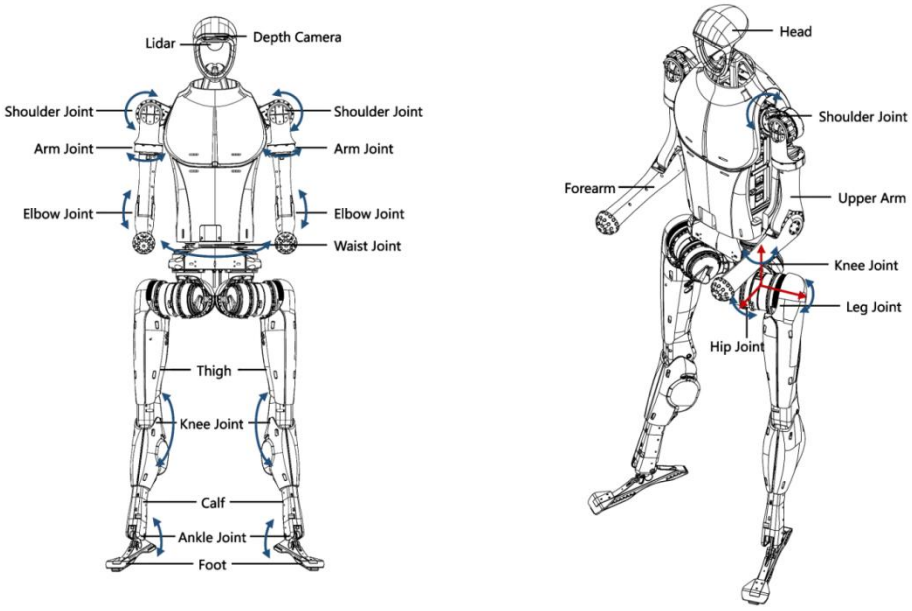
资料来源：国家统计局、世界银行，华安证券研究所

机器人行业催化密集，产业进度有望提速。2026年，国家首批人形机器人国家标准正式发布，涵盖总则、环境感知、决策规划、运动控制与作业操作五大部分，行业规范出台作为制造业放量重要前提，行业产业化有望加速。海外企业中，特斯拉搭建Optimus首条产线进入大规模量产准备，同时OpenAI宣布其正布局人形机器人研发赛道，有望在2027年推出演示样机，国内外机器人行业迎来密集催化。

1.2 结构精密、应用复杂，驱动高性能新材料应用提升

相比于新能源汽车与工业机器人，机器人零部件的传动需求更多，活动自由度要求也更复杂。以宇树人形机器人 H1 为例，全身共有 19 个关节电机，其中单腿关节为 5 自由度，单手臂为 4 自由度，再与腰部、头部的电机自由组合，可以模拟人体的多个自由度动作，实现精确的运动和姿态控制。

图表 4 宇树 H1 自由度说明



资料来源：Autodiscovery，华安证券研究所

机械结构复杂，驱动高性能材料应用。机器人运行过程中，关节转动件、主体骨架需要持续承受高频往复运动带来的循环应力，同时还要应对行走、攀爬、负重、扭转等多维度、变方向的复合动态载荷工况。传统金属材料（如铝合金、合金钢）难以兼顾轻量化与强度，高性能材料的应用有望更好地应对人形机器人的复杂应用场景。

图表 5 机器人领域新材料应用梳理

机械零部件	机器人应用需求	部件类型	传统材料	新材料
精密减速器	轻量化、自润滑	RV 减速器、谐波减速器	40Cr 合金钢	PEEK、碳纤维复材
结构件	轻量化、高强度、高刚度、耐冲击	骨架结构	铝合金	PEEK、碳纤维复材
灵巧手	高强度、低蠕变、耐磨损	腱绳	不锈钢	超高分子量聚乙烯、芳纶、PBO

覆盖件	轻量化、耐磨损、环境友好、环境感知能力	外壳、织物外衣、电子皮肤	工程塑料	改性塑料、化纤织物、有机硅、柔性传感器
传感器、线路	高耐热、低介电损耗	视听觉传感器、高精度编码器、柔性电路板		LCP

资料来源：华安证券研究所整理

2 羽量钢骨，高强度轻量化新材料需求广阔

2.1 机器人减重瘦身趋势下，PEEK 材料迎来机遇。

人形机器人需要具备轻量化和高强度的材料，以实现灵活的运动和承受外部冲击，所用材料不仅需要轻巧耐用，而且具有高强度和抗疲劳性能。2023 年 12 月，特斯拉展示了 Optimus-Gen2 二代人形机器人，通过改用大量 PEEK 树脂，其重量相较于初代 Optimus-Gen1 的 73 公斤减轻了 10 公斤，行走速度提高了 30%。

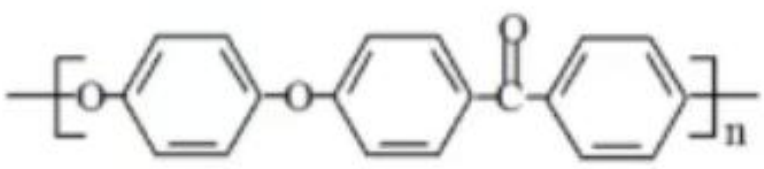
图表 6 Optimus-Gen2 人形机器人



资料来源：TESLA，华安证券研究所

PEEK 材料是一种高性能的聚合物材料，属于聚芳醚酮（PAEK）大类，是一种由亚苯基环通过醚键和羰基连接而成的结晶型芳香族热塑性聚合物，具有优异的耐高温、耐磨、耐腐蚀、耐辐射、耐疲劳、高抗冲击强度性能和自润滑、绝缘等特性。

图表 7 PEEK 化学结构



资料来源：艾邦高分子，华安证券研究所

对比金属材料，PEEK 材料具有高比强度、绝缘性好、耐腐蚀特点。PEEK 材料比强度高达 1500 Nm/kg ，为传统钢材的 20 倍，铝合金的 8 倍，能在减轻重量的同时保证部件强度，对机器人轻量化、提升灵活性与降低能耗十分友好；高介电常数和耐化学腐蚀，有助于在特殊工作环境中保障电气系统稳定，延长使用寿命。

图表 8 PEEK 与通用金属材料指标对比情况

性能指标	指标含义说明	单位	PEEK	钢	铝合金
比强度	拉伸强度与密度的比值，值越大说明材料在相同密度情况下强度越好	Nm/kg	1500	70	190
介电常数	反映绝缘能力特性的系数	-	优	差	差
耐化学性	是指物体对酸液、碱水、有机溶剂浸泡的耐力	-	优	良	良

资料来源：中研股份招股说明书，华安证券研究所

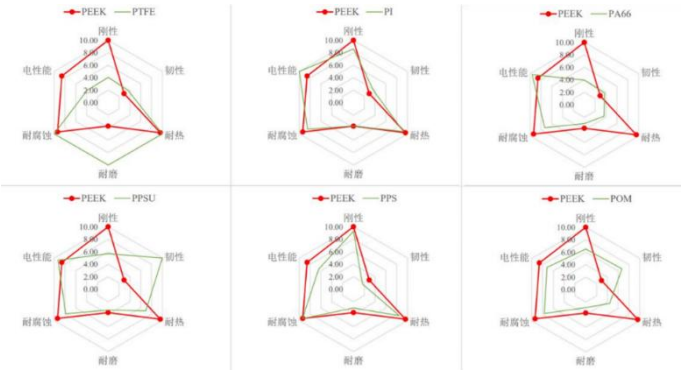
对比工程塑料，PEEK 在性能、商业价值上位于金字塔顶。PEEK 材料性能全面，在刚性、耐热、耐磨方面优于绝大多数工程塑料的同时兼具韧性与高寿命，能够在宽温度范围和极端条件下展现显著的优势和综合性能，是公认的全球性能最好的热塑性材料之一。

图表 9 PEEK 材料位于工程塑料顶端



资料来源：中研股份招股说明书，华安证券研究所

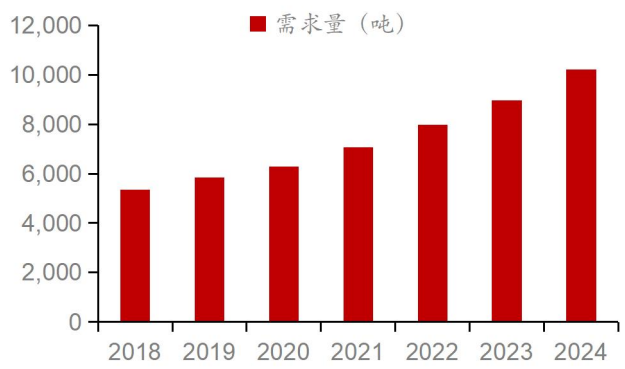
图表 10 PEEK 材料与主要工程材料性能对比



资料来源：中研股份招股说明书，华安证券研究所

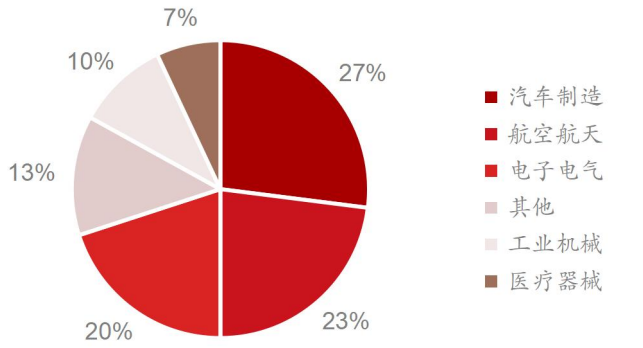
需求端多重领域并驾齐驱，人形机器人产业放量成为 PEEK 材料新需求增长极。据华经产业研究院数据，全球 PEEK 市场需求呈持续增长态势， 2024 年全球 PEEK 市场需求量为 10203 吨，同比增长 13.8%。需求端 PEEK 材料应用集中在汽车制造（车用轴承、密封件）、航空航天（承力件、高压电线导管）、电子电器（手机天线、工装夹具、晶圆吸盘）、医疗健康（人工骨骼及牙齿）及工业机械等多个高端制造业。人形机器人产业化进程推进预计将成为 PEEK 材料新需求增长极，一方面由于 PEEK 材料相比金属密度低，轻量化提升机器人灵活度，同时刚性、韧性、寿命均较高，耐磨性、耐热性、耐腐蚀性好，可满足复杂乃至极端工况下工作需求；另一方面，PEEK 材料易于加工，可制成不同形态的零部件用在机器人的不同部位如齿轮、轴承及骨架材料。

图表 11 PEEK 材料需求量



资料来源：华经产业研究院，华安证券研究所

图表 12 PEEK 材料需求领域



资料来源：华经产业研究院，华安证券研究所

供给端产能集中海外企业，格局呈现一超多强。英国威格斯是全球最大的 PEEK 生产商，产能达到 7150 吨/年，并在中国合资设立子公司盘锦伟英兴，建设 1500 吨/年 PEEK 产线；比利时索尔维现有 PEEK 产能 2,500 吨/年，其生产基地主要集中在印度并出口于欧洲和日本市场；德国赢创 PEEK 产能已达到 1800 吨/年，在中国投资控股的吉大赢创系其生产 PEEK 的主要实体，年产能 1250 吨。前三大 PEEK 生产企业均为外企，行业 CR3 超 75%。

图表 13 全球 PEEK 产能格局

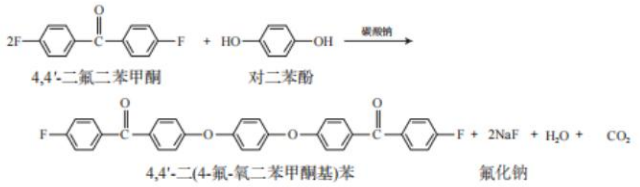
公司	产能	规划新产能
威格斯 Victrex	7150	
索尔维 Solvay	2500	
赢创 Evonik	1800	
中研股份	1000	
长春吉大特塑	500	
浙江鹏孚隆	200	760
山东君昊高性能塑料	1500	
山东浩然特塑聚合物有限公司	300	
吉林省聚科高新材料有限公司	200	1500

盘锦伟英兴高性能材料	1500	
中润盘锦	200	
沃特股份		1000
合计	16850	3260

资料来源：中研股份招股书、鹏孚隆招股说明书(申报稿)、化工智库、嘉肯咨询，华安证券研究所

PEEK 材料生产壁垒高，产能爬坡周期长。PEEK 材料主链由高刚性苯环与醚酮键交替构成，但醚键与酮键的反应活性差异导致反应过程中极易发生支化或交联副反应；且反应为温变反应，反应过程中溶液存在流变特性，反应容器过程控制存在极大挑战，对设备设计、耐腐蚀性和稳定性要求极高。海外生产巨头对知识产权和技术的保护十分严格，行业新进入者生产出高质量、稳定批次的 PEEK 树脂需长期的技术、研发投入及工艺细节积累。

图表 14 PEEK 聚合单元的反应方程式



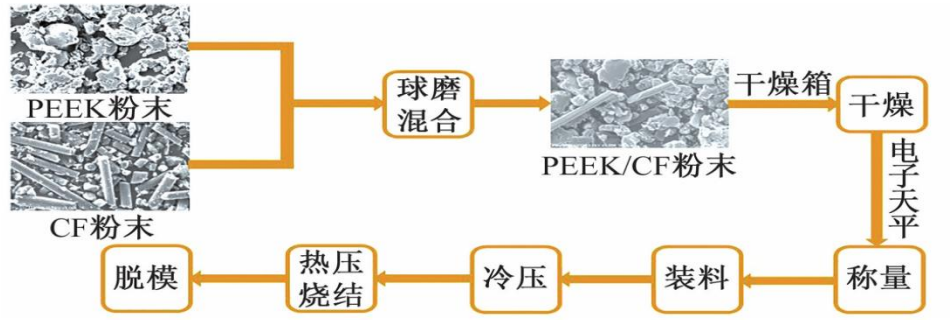
资料来源：《PEEK 的合成技术进展及其经济性分析》，华安证券研究所

行业供给扩容或滞后于机器人产业放量。以中研股份产量爬坡周期为例，中研股份从约 100 吨/年的产量增长至 2023 年的 986 吨/年（1000 吨年化产能，产能利用率 98%）大约经历了 9 年时间。因此国内 PEEK 行业虽有扩张，但中期内新增供给有限，需求端看好机器人产业爆发式增长，行业或面临供不应求的局面。

2.2 碳纤维：碳纤维复合材料，性能进一步提升

填充碳纤维的 CF/PEEK 复合材料相较于纯 PEEK 材料，性能大幅提升。PEEK 材料在低温下可能变脆，在外力冲击下易开裂，其在寒冷环境中使用受限。通过 PEEK 与纤维材料（如碳纤维，CF 即碳纤维）复合可有效解决 PEEK 低温脆性的问题，同时 CF/PEEK 复合材料中连续碳纤维的高强高模特性，赋予复合材料更高强度、模量以及抗变形特性，复合材料性能优势相较单向带材大幅提升。

图表 15 PEEK/CF 复合材料制备工艺流程



资料来源：《碳纤维/聚醚醚酮(CF/PEEK)复合材料摩擦磨损性能及抗摩擦静电特性研究》，华安证券研究所

据君华股份官网，PEEK 树脂在添加 30%碳纤维后尽管密度小幅提升 7%，但换来拉伸强度提升 133%，弯曲强度提升 100%，压缩强度提升 103%。此外热变形温度由 163℃上升至 315℃，热膨胀系数下降 68%，耐高温性能大幅提升同时材料热稳定性显著加强。

图表 16 填充 30%碳纤维的 CF/PEEK 复合材料性能大幅提升

项目	测试标准或仪器	单位	纯 PEEK	PEEK 添加 30%玻璃纤维	PEEK 添加 30%碳纤维	PEEK 添加 PTFE、石墨、碳纤维
机械性能						
拉伸强度(23℃)	ISO527	MPa	90	155	210	134
弯曲强度(23℃)	ISO178	MPa	150	212	298	186
压缩强度(23℃)	ISO604	MPa	118	215	240	150
Lzod 冲击强度(无缺口)	ISO180/IU	kJ/m2	无断裂	51	40	32
热性能						
熔点	ISO11357	℃	343	343	343	343
热变形温度	ISO75-f	℃	163	315	315	293
连续使用温度	UL74685	℃	260	260	260	260
热膨胀系数	ASTMD696	10-5℃	4.7	2.2	1.5	2.2

易燃性等级	UL94	V-0@mm	1.5	1.5	1.5	0.75
其它性能						
密度	ISO1183	g/cm3	1.3±0.02	1.5±0.02	1.4±0.02	1.43±0.02
洛氏硬度	ISO2039	HRR	118	119	121	108
摩擦系数	ASTMD3702	-	0.30-0.38	0.38-0.46	0.28	0.18
吸水率(25℃.24Hrs)	ISO62	%	0.15	0.11	0.06	0.06
成型收缩率（25-24℃）-流动方向	3mm 厚度，170℃条件	%	1.2	0.4	0.1	0.3
成型收缩率（25-24℃）-垂直于流动方向	（饱和结晶后大些）	%	1.5	0.8	0.5	0.5

资料来源：君华股份官网，华安证券研究所

碳纤维复材在低空产业已有应用，减重效果显著。eVTOL（电动垂直升降飞行器）采用电池供能、电机驱动，其对于轻量化的要求较传统飞行器更高，而碳纤维具有密度低、比强度大、比模量大、耐腐蚀、耐低高温（负 180°C—2000°C 均可使用）等诸多优点，在同等重量下拉伸强度可达到钢、铝合金、钛合金的 9 倍以上、弹性模量可达到钢、铝合金、钛合金的 4 倍以上，因此碳纤维成为航空航天飞行器轻量化的理想选择。目前 eVTOL 飞行器机身结构 70%以上均采用复合材料，其所用复合材料中 90%以上使用碳纤维增强，其余约 10%采用玻璃纤维增强。按照小鹏旅航者 X2 裸机重量 360kg，其中碳纤维用量约 85kg，碳纤维约占 eVTOL 整机重量约 25%。

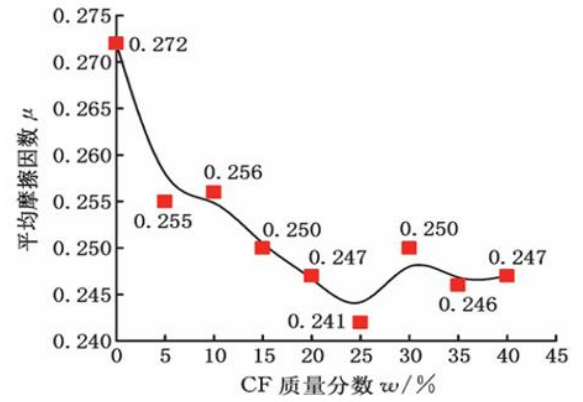
图表 17 亨睿碳纤维（HRC）应用于小鹏打造的 “旅航者 X2” 飞行汽车



资料来源：上观新闻，华安证券研究所

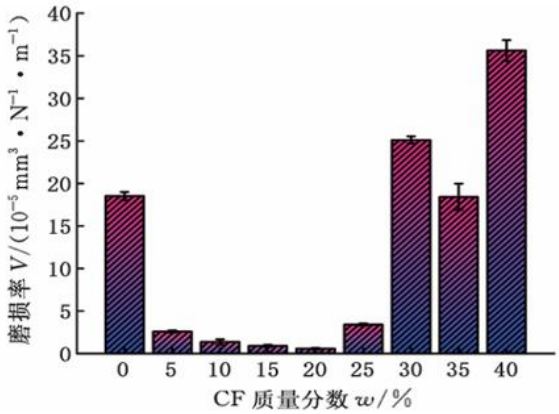
轻量化高性能外，CF/PEEK 兼具高耐磨与高疲劳寿命，用于机器人关节优势显著。PEEK 材料混合适量碳纤维，利用其片状多晶石墨结构在摩擦界面形成自润滑膜，显著降低摩擦系数与材料磨损率，因此 CF/PEEK 复合材料在机器人关节精密传动部件（齿轮、轴承及减速器）中具备显著优势。特别在谐波减速器领域，CF/PEEK 复合材料相较于传统金属材料大幅减重同时变形应力仅为钢材的 1/7，从根本上规避了金属材料因应力集中导致的早期失效问题，大幅提升机器人关节寿命。

图表 18 复合材料中 CF 添加量与摩擦因数



资料来源：《碳纤维/聚醚醚酮(CF/PEEK)复合材料摩擦磨损性能及抗摩擦静电特性研究》，华安证券研究所

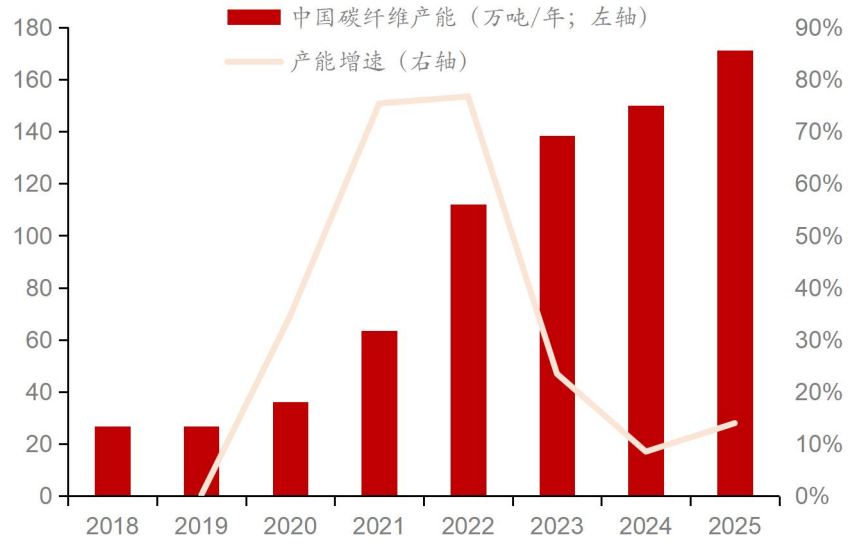
图表 19 复合材料中 CF 添加量与磨损率



资料来源：《碳纤维/聚醚醚酮(CF/PEEK)复合材料摩擦磨损性能及抗摩擦静电特性研究》，华安证券研究所

中国碳纤维产能持续扩张，后续扩产进度放缓。我国碳纤维产能从 2019 年的 2.7 万吨增长至 2025 年的 17.1 万吨，年复合增速达到 38%。行业扩产节奏在 2022 年见顶，2023 年开始增速有所放缓，2025 年新增碳纤维产能 2.1 万吨，增速回落至 14%。

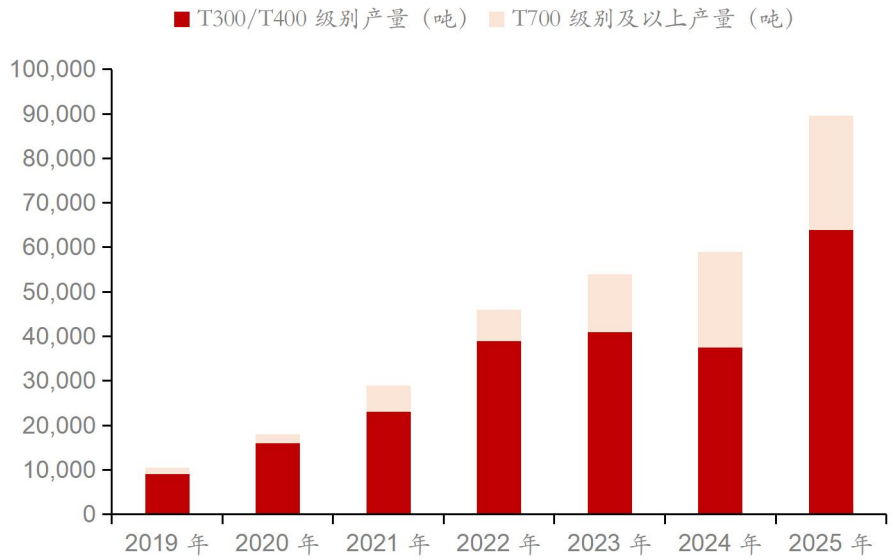
图表 20 国内碳纤维产能扩张放缓



资料来源：赛奥碳纤维，华安证券研究所

碳纤维产量稳步增长，中高端产品占比提升。受制于技术等多种因素，国内碳纤维产能大量集中于 T300/T400 级别的低端产品，伴随国内企业研发投入与碳纤维生产技术逐步成熟，T700 级别及以上产品的产量正稳步释放。2025 年我国 T300/T400 级别碳纤维产品产量约为 63883 吨，占比约为 71%；我国 T700 级别及以上碳纤维产品产量约为 25702 吨，占比提升至 29%，标志着我国碳纤维产业正由量变发展迈向质变发展阶段。

图表 21 国内不同级别碳纤维产量情况

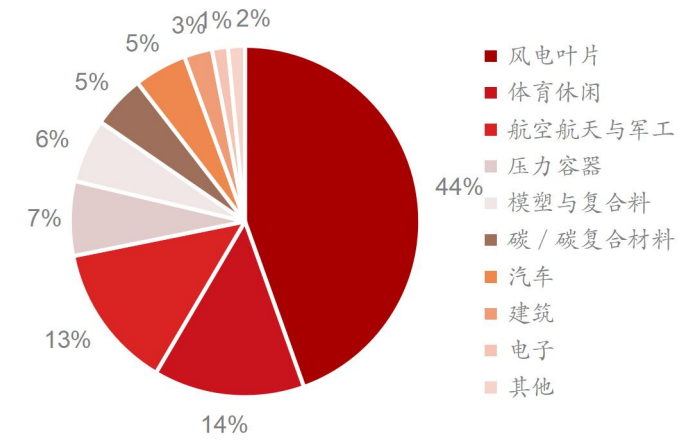


资料来源：百川盈孚，华安证券研究所

需求稳步增长，碳纤维市场潜力十足。全球碳纤维市场需求结构以休闲体育与风电叶片为主，需求合计占比近 60%，航空航天、压力容器及汽车等领域需求占比分别约 7%、6%、5%。据赛奥碳纤维统计，2025 年全球碳纤维复合材料需求量为 22.4 万吨，同比增长 43.8%。此前由于疫情导致行业库存累积与风电领域碳纤维用

量减少等因素导致 2023 全球碳纤维复合材料需求同比下滑，但长期来看，伴随商用飞机交付回暖、低空飞行器商业化落地、氢能基础设施建设推进带动下，全球碳纤维市场自 2017 年以来保持快速增长，年复合增长率超 13%。据赛奥碳纤维《2025 全球碳纤维复合材料市场报告》预计，到 2030 年全球碳纤维复合材料市场需求将达 66.93 万吨。

图表 22 碳纤维需求结构



资料来源：赛奥碳纤维，华安证券研究所

图表 23 全球碳纤维需求量



资料来源：赛奥碳纤维，华安证券研究所

目前特斯拉、优必选、宇树科技等机器人平均重量约 60 公斤，核心假设如下：1）据中原产业研究院，单台人形机器人 PEEK 用量约 6.6~6.9 公斤；2）据宇树机器人上市招股书，2030 年全球机器人出货量预计 60 万台；3）按照 Optimus Gen2 的手臂应用单向增强碳纤维与 PEEK 的比例约为 55:45，推算碳纤维用量约 8~8.5 公斤。人形机器人对 PEEK 材料与碳纤维材料需求测算如下：

图表 24 PEEK 材料与碳纤维受机器人需求拉动测算

项目	2025	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球人形机器人销量-万台	1	5	10	20	40	60
单台机器人对 PEEK 需求量-kg	6.6	6.6	6.7	6.8	6.8	6.9
人形机器人对 PEEK 材料需求拉动-吨	**66**	**330**	**670**	**1360**	**2720**	**4140**
PEEK 材料单吨价值量-万元/吨	35	35	35	35	35	35
PEEK 材料人形机器人市场规模-亿元	**0.23**	**1.16**	**2.35**	**4.76**	**9.52**	**14.49**
单台机器人碳纤维需求量-kg	8	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5
人形机器人对碳纤维材料需求拉动-吨	**80**	**405**	**820**	**1660**	**3360**	**5100**
碳纤维材料单吨价值量-万元/吨	15	15	15	15	15	15
碳纤维材料人形机器人市场规模-亿元	**0.12**	**0.61**	**1.23**	**2.49**	**5.04**	**7.65**

资料来源：华安证券研究所整理

3 灵巧手方案持续演化，腱绳材料迎来机遇

3.1 灵巧手：模拟人手设计，是实现人形机器人与环境的灵活交互的重要末端执行器。

灵巧手通过模拟人手结构和功能，具备多指设计和多个自由度，能够执行抓取、捏取等精准操作及复杂动作以实现类人化交互能力。其他非仿人手构造的末端执行器多为特定工况设计，人类社会的物理环境均基于人体工学，人形机器人在此环境中实现高度泛用性，如无缝使用工具、操作物体等，末端执行器必须模拟人手的灵活性和适应性。

图表 25 灵巧手模拟人手设计，灵活度与适应性高



资料来源：《机器人多指灵巧手的研究现状、趋势和挑战》，华安证券研究所

腱绳模拟人手肌肉驱动，成为主流传动方案。灵巧手手指的传动方式可分为腱绳传动、连杆传动、齿轮传动、丝杠传动，机械结构上的差异直接影响灵巧手的抓取稳定性和灵活性。早期灵巧手研究多采用齿轮、连杆等传动机构，然而因为尺寸和质量大、运动不灵活等问题导致体积笨重、泛用性差。腱绳传动通过腱绳将驱动源的力矩传送到手指各个关节上实现指关节轴向转动，可实现狭小空间中多自由度驱动，目前已成为应用最广泛的传动方案，如特斯拉 Optimus 三代均采用腱绳传动方案。

图表 26 不同灵巧手传动方式对比

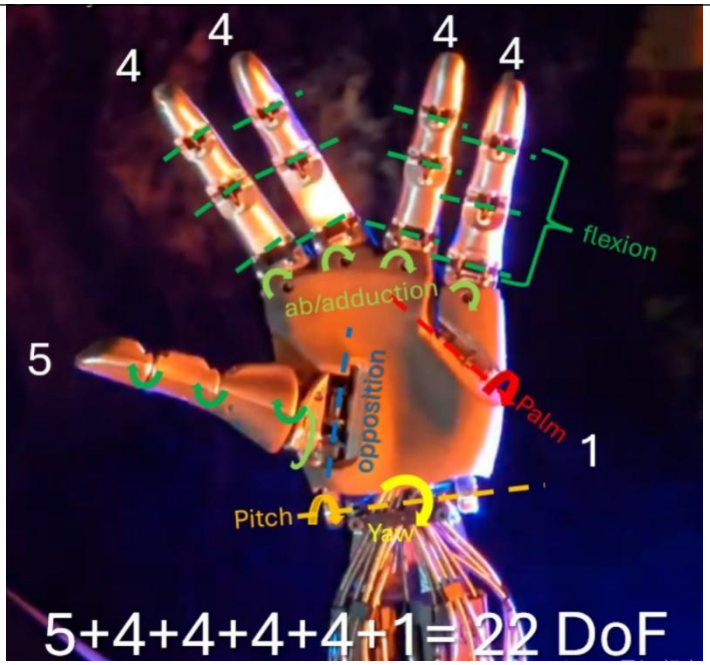
类别	核心优势	主要短板
机械式铰链设计	传动效率高、刚度高、输出稳定	笨重、柔性差、占空间
腱绳拮抗驱动设计	轻量化、柔顺适配性好	刚度受形变影响、摩擦大、寿命短
软指手	柔性高、交互安全、成本低	输出力小、建模与控制精度低

刚柔混合结构	柔顺且可靠	材料融合与跨量级建模困难
特殊构型	多功能、低成本	通用性差、学习成本高
仿生生物关节	高度仿人、抗冲击、可控	成本高、系统复杂、驱动要求高

资料来源：《机器人多指灵巧手的研究现状、趋势和挑战》，华安证券研究所

Optimus 灵巧手方案迭代，腱绳需求边际递增。特斯拉第一代 Optimus 单手 11 个自由度共 6 个执行器模组，空心杯电机置于掌内，由腱绳牵引手指弯曲；全新 Gen3 灵巧手单手自由度由 11 个提升至 22 个，同时执行器集成由手掌移动至前臂。在驱动器与手指间距扩大以及单手自由度提高的双重推动下，单台机器人所需腱绳的长度和数量同步增加。

图表 27 特斯拉灵巧手自由度拆解



资料来源：机器人产业应用，华安证券研究所

腱绳材料整体分为不锈钢、高分子纤维两大类，其中高分子纤维使用更为广泛。人形机器人灵巧手所需的传动材料需要高强度、低蠕变性、耐磨损、折叠不受损等特性。不锈钢丝没有内摩擦，且与滑动表面的摩擦系数较小，但由于多次弯折易在晶界处产生裂纹，抗疲劳性能差，寿命不如高分子材料而被淘汰。高分子材料主要集中于超高分子量聚乙烯纤维，也有研究采用芳纶纤维和 PBO 纤维。

图表 28 灵巧手腱绳材料案例

腱绳材料	腱绳牌号	应用案例
钢丝	不锈钢	DLR Hasy Hand
液晶纤维复合芳纶纤维	Vectran™+Teflon™	R2 Hand
超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE）/PBO	前期使用 Dyneema，后续改进为 PBO	DEXHAND
聚对苯撑苯并二恶唑（PBO）	Zylon®	Spacehand

资料来源：《腱传动灵巧手指的传动分析与结构设计》、《Spacehand: a multi-fingered robotic hand for space》，华安证券研究所整理

3.2 超高分子量聚乙烯纤维：高比强度契合灵巧手设计需求，是腱绳主流材料

超高分子量聚乙烯纤维简称 UHMWPE 纤维，是分子量 150 万以上的无支链的线性聚乙烯，分子链高度取向，结晶度高，是继碳纤维、芳纶后第三代高性能纤维，具有低密度、抗切割、耐腐蚀、耐磨损等优异性能。在目前工业化高性能纤维中，超高分子量聚乙烯纤维比强度和比模量最高，性能优异，生产壁垒高，其比强度是优质钢材的 15 倍，是玻璃纤维的 4 倍，是碳纤维的 2.6 倍，是芳纶纤维的 1.7 倍，对空间设计高度友好，同时由于质量轻便，动力远程传输惯性负载低，控制精度高，契合灵巧手需求。

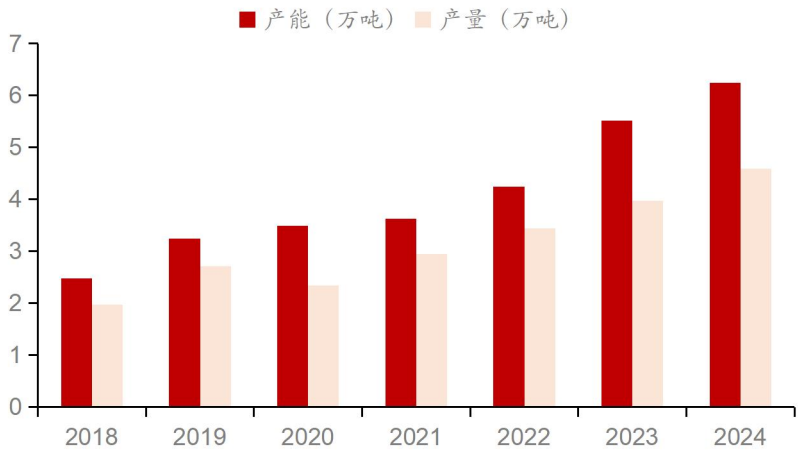
图表 29 高性能纤维参数对比

	密度（g/cm3）	强度（GPa）	模量（GPa）	断裂伸长率（%）	分解温度（℃）	使用温度（℃）
UHMWPE	0.97	2.60~4.50	87.0~172.0	3.5	140	＜90
碳纤维	1.8	3.5~7.00	230.0~460.0	0.5~1.4	3700	2000
对位芳纶	1.44	2.70~3.30	70.0~120.0	2.4	570	250
间位芳纶	1.38	0.55~0.66	13.8~16.6	20.0~22	430	204
玻璃纤维	2.54	3.45	73	4.5	—	—

资料来源：千禧龙纤招股说明书，华安证券研究所整理

超高分子量聚乙烯产能持续扩张，高端产品仍有较大缺口。2018-2024 年我国超高分子量聚乙烯纤维产能持续扩张，由 2.5 万吨增长至 6.25 万吨，产量由 1.97 万吨增长至 4.59 万吨，产能、产量年复合增速分别达 16.6%、15.1%。目前国内 UHMWPE 产能总体呈现中低端产能富余、高端产能紧缺的情况，产品主要集中在中低端应用产品（防切割手套丝、防护丝等），高初始模量、高断裂强度（强度大于 40cN/dtex）牌号产品仅部分头部企业具备生产能力，高端产品线仍处于追赶海外领军企业的位置。

图表 30 超高分子量聚乙烯纤维国内产能产量



资料来源：华经产业研究，华安证券研究所

超高分子量聚乙烯纤维行业竞争格局可按照企业产能大致分为三个主要层级。首先是国际化工行业巨头，例如美国 Avient、美国 Honeywell、日本东洋纺。这些巨头的技术产业化时间较早、规模较大，高端产能较为丰富，产业协同效应较强。其次，处在超高分子量聚乙烯纤维行业第二梯队的企业主要为年产能在 3,000 吨及以上的国内早期投产厂家，例如同益中、九州星际、山东爱地、仪征化纤等。这类厂商较早完成投产与扩产，相对于其它规模较小的企业取得规模优势，兼具生产经验与技术积淀，以同益中为代表在 20 世纪末实现初代国产工艺突破，九州星际等其他国内厂商亦在 2010 年之前完成产能布局。最后，处于第三梯队的厂家大致年产能在 3,000 吨左右，主要包括锵尼玛（已更名为“璟邦”）、千禧龙纤以及恒尚材料等。

图表 31 超高分子量聚乙烯纤维产能格局（吨）

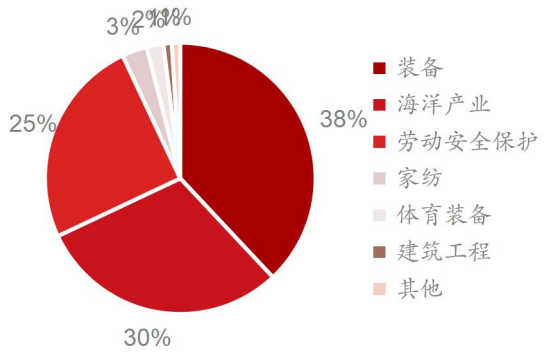
厂商	产能	在建产能	备注
九州星际	30000	20000	位于洋口港，列入江苏重大项目
同益中	7960		
山东爱地	5000		荷兰 DSM 的合资公司
千禧龙纤	4000	1200	
璟邦新材料（原锵尼玛）	2500		
长青藤	5400		
仪征化纤	3300		

山东莱威	3000		
浙江毅聚	3000		
山东星宇	1200	4800	
恒尚新材料	3000	12000	分两期建设，一期 4800 吨
南山智尚	3600	5000	
康隆达	1000		
国内产能合计	72960	43000	
埃万特（原帝斯曼）	19000		荷兰
霍尼韦尔	5000		美国
东洋纺	5000		日本
全球产能合计	101960	52040	

资料来源：千禧龙纤招股书、各公司环评及公告，华安证券研究所

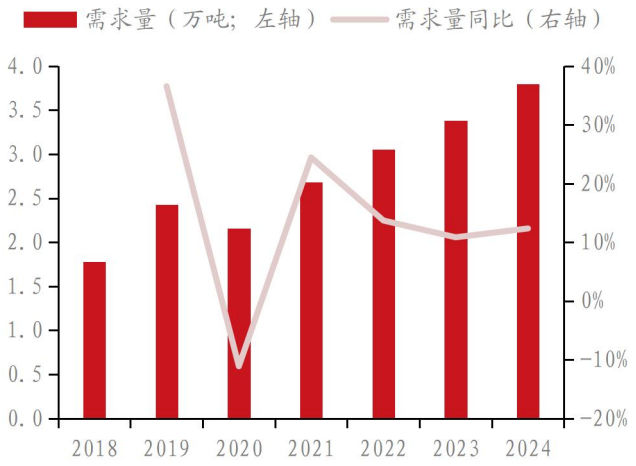
军民两端均有增量，需求保持高速增长。一方面国际形势变幻不定，地区冲突不断，超高分子量聚乙烯纤维制防护品需求高增，其复合材料的比弹击载荷值 U/p 是钢的 10 倍，是玻璃纤维和芳纶的 2 倍以上，因此制成的防弹服饰保护力更强、穿着更轻便；另一方面民用需求随着超高纤维国产化推进逐步放量，如海洋绳缆、纺织服饰和体育用品领域需求稳步提升。据华经产业研究院数据，2024 年我国 UHMWPE 纤维需求量为 3.8 万吨。随着我国社会生活水平的不断改善以及国防建设的稳步发展，民用和军用两方面的需求将为 UHMWPE 纤维带来更广阔应用市场。

图表 32 中国超高分子量聚乙烯纤维需求结构



资料来源：《现代化工》2024 年第 11 期，华安证券研究所

图表 33 中国超高分子量聚乙烯纤维需求快速增长

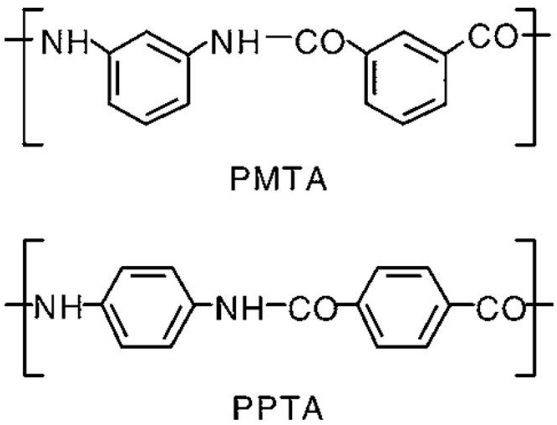


资料来源：华经产业研究，华安证券研究所

3.3 芳纶纤维：耐高温、抗蠕变性能优异，与超高分子量聚乙烯存在应用场景互补

芳纶（Aramid fibers），是由酰胺基以及芳香环或其衍生物构成的高聚物长链分子，统称为“芳香族聚酰胺纤维”，简称为“芳纶”。目前 UHMWPE 纤维行业普遍的痛点在于耐热性能和抗蠕变性能较差，导致其在高温或长时间拉伸的情景下无法使用。芳纶的主链由芳香环和酰胺键构成，其共轭苯环结构刚性，具备高强、高耐磨、防切割和耐高温的特性，同时由于分子链间存在氢键形成的闭合网络，其抗蠕变性能优于超高分子量聚乙烯纤维，适用于空间敏感度低、长期高温或拉伸工况。

图表 34 芳纶纤维分子结构



资料来源：《芳纶纤维的研究现状与进展》，华安证券研究所

结构上可分为对位芳纶（PPTA）和间位芳纶（PMIA），对位芳纶更贴近腱绳材料需求。根据结构不同芳纶可分为对位芳纶(PPTA)和间位芳纶(PMIA)，对位芳纶以对苯二甲酰氯(TPC)和对苯二胺(PPD)为聚合单体，溶解拉丝合成，结构上排列呈直线状；间位芳纶则由间苯二甲酰氯(IPC)和间苯二胺(MPD)缩聚而成，结构上呈现锯齿状。其中对位芳纶高强度、高模量特性更适合腱绳材料使用场景，且使用温度可

达 250 摄氏度，有效补足超高分子量聚乙烯纤维易热变形缺陷。

图表 35 对位芳纶（PPTA）和间位芳纶（PMTA）

差异点	间位芳纶（芳纶 1313）	对位芳纶（芳纶 1414）
分子排列	链段呈锯齿状，耐高温、强度模量比较低	链段规整，耐高温、高强度、高模量
生产原料	间苯二甲酰氯、间苯二胺	对苯二甲酰氯、对苯二胺
性能优势	高强度、高模量、耐热性优异	低刚性、高延长性、优异绝缘性
主要产业链条	绳索光缆、防护领域、橡胶制品、摩擦密封、复合材料	蜂窝复合材料、安全防护、工业过滤、绝缘材料
热学性能与阻燃性	分解温度 371℃ 极氧指数 29	分解温度 500℃ 极氧指数 32
机械性能	断裂强度 4-5g/ d 初始模量 60~120g/d	断裂强度 20-27g/ d 初始模量 600~800g/d
其他	高强度：拉伸强度是钢丝的 6 倍，是玻璃纤维、高强尼龙工业丝的 2 至 3 倍；拉伸模量是钢丝、玻璃纤维的 2 至 3 倍，是高强尼龙工业丝的 10 倍；密度只有钢丝的 1/5 左右	优异的电绝缘性：可制成耐击穿电压 20kv/mm 的绝缘纸

资料来源：DT 新材料、《芳纶纤维的发展现状及应用》、华经产业园，华安证券研究所

对位芳纶供给端集中海外，进口依赖度高。根据产研社数据，全球对位芳纶总产能约 10 万吨，总体维持供需平衡，其中国内需求在 3 万吨以上。全球产能主要高度集中于杜邦公司、帝人两家，杜邦和帝人分别拥有对位芳纶产能 31500 吨和 32750 吨，合计占比 60%以上，韩国 Kolon 在 2023 年完成对位芳纶的扩建，总产能达到 15310 吨。国内对位芳纶突破较晚，仅泰和新材、中蓝晨光、中芳特纤、中化国际等企业产品可规模化供应市场。

图表 36 对位芳纶供给格局

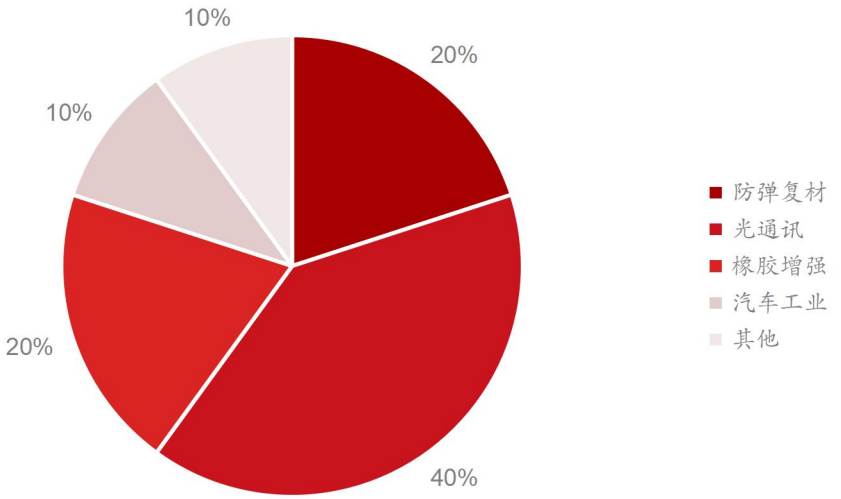
公司	装置所在地	名义产能（吨）

美国杜邦	美国、日本、北爱尔兰	31500
日本帝人	日本、荷兰	32750
韩国可隆	韩国	7500
泰和新材	中国山东&宁夏宁东	16000
中国国际	中国宁夏	8000
中芳特纤	中国山东	5200
东方盛虹	中国江苏	5000
韩国晓星	韩国	3700
韩国泰光	韩国	1500
蓝星新材	中国四川	1200
仪征化纤	中国江苏	1000
京博聚芳	中国山东	1000
平煤神马	中国河南	4000

资料来源：产研社，华安证券研究所

对位芳纶下游从传统的防弹装备、光缆增强向新能源汽车橡胶骨架材料等新兴领域延伸。对位芳纶在国内下游应用多集中于光通信、安全防护、橡胶增强及汽车工业领域。近年来随着新能源汽车渗透率提升，车重增加带动汽车轮胎防爆要求提升，同时空气悬架国产普及对空气弹簧需求增长，芳纶因其高强度的特性，成为新能源汽车理想的橡胶增强材料，在车用领域芳纶骨架材料应用不断拓展，我们预计芳纶纤维需求将维持快速增长。据石化联合会统计 2023 年中国对位芳纶行业需求量为 2.38 万吨，预计 2027 年国内需求将达到 3 万吨。

图表 37 对位芳纶需求结构



资料来源：中国纺织建设规划院，华安证券研究所

3.4 PBO 纤维：极致性能的超级纤维

PBO 纤维（聚对苯撑苯并二噁唑纤维）具有高比强度、高比模量、耐高温、阻燃、轻质等特性，被誉为“21 世纪超级纤维”。其强度和模量极高，相对强度是钢的 12 至 14 倍，而密度仅为 1.52~1.55g/cm3，除极致的力学性能外，耐高温性能和抗拉伸强度均超过钢材和超高分子量聚乙烯纤维。独特分子结构和分子间氢键导致其具备优异的抗蠕变性能，能够反复拉伸且无应力衰减。

图表 38 PBO 与其他高性能纤维对比

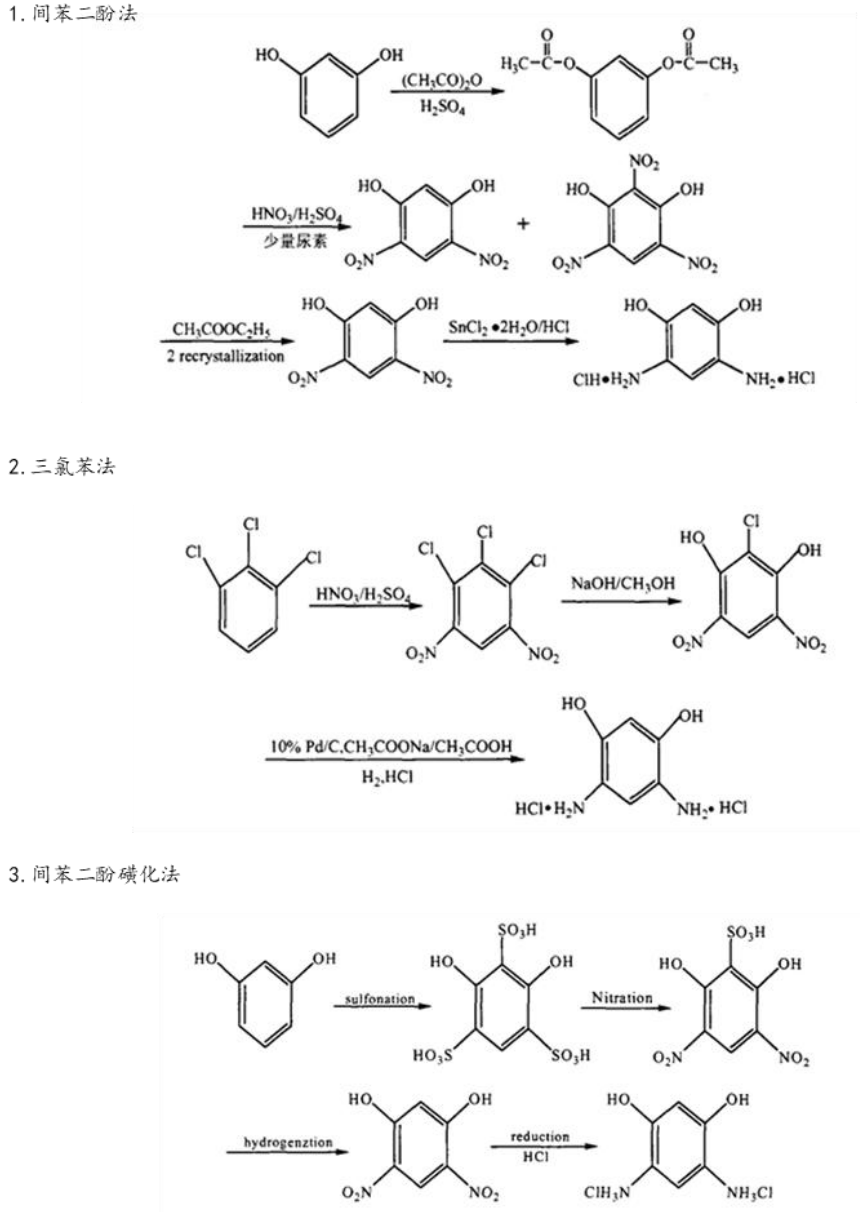
纤维品种	拉伸强度 Gpa	模量 Gpa	延展性%	密度 g/cm3	耐热度℃
PBO-HM	5.8	270	2.5	1.56	650
PBO-AS	5.8	180	3.5	1.54	650
对位芳纶	2.8	109	2.4	1.45	550
间位芳纶	0.65	17	22	1.38	400
PBI 纤维	0.4	5.6	30	1.4	550

资料来源：东洋纺，华安证券研究所

PBO 极高生产壁垒源自于核心单体 DAR。早在 1991 年日本东洋纺同陶氏合作研发 PBO 纤维，并于 1994 年研发取得巨大进展后日本东洋纺公司迅速申请专利并开始建立生产线，1998 年 10 月 180 吨/年的 PBO 生产装置正式投产，将商品命名

为 Zylon 中文名为紫隆，并牢牢掌握 PBO 合成单体 DAR（4，6-二氨基间苯二酚）的工业生产能力使得至今日本东洋纺公司仍然是世界上唯一一家可以进行商业化生产 PBO 纤维的公司。由于高纯度 DAR 原料对 PBO 聚合至关重要，若产品质量不合格将无法合成高品质的材料，而 DAR 单体又具有极强的还原性，极易被氧化变质，对反应控制、分离纯化、储存和运输均提出了非常高的要求。尽管我国早在 20 世纪八十年代中期就开始对 PBO 纤维研究，但因为原料 DAR 只能依靠进口且价格昂贵，加之外国对 DAR 垄断和禁售，导致研究与产业化进展缓慢。

图表 39 PBO 单体合成路径

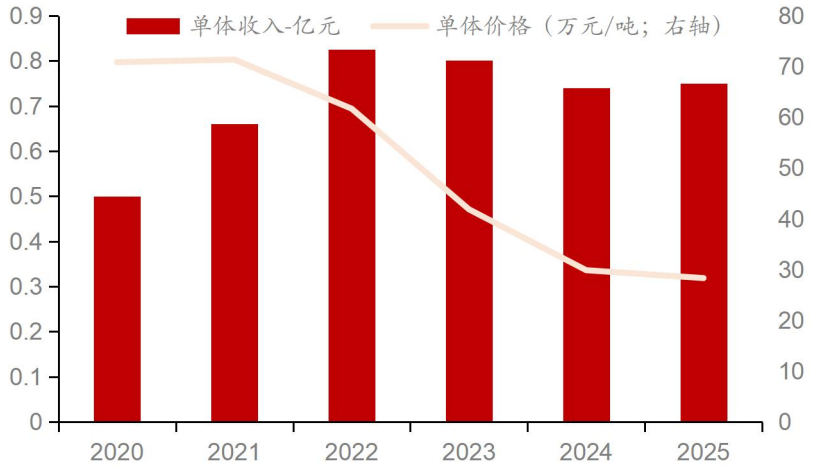


资料来源：《高性能树脂 PBO 单体及苯并二噁唑类聚合物的合成与表征》，华安证券研究所

当前我国已经成为继日本之后第二个实现 PBO 纤维量产的国家。2018 年，中科金绮率先建成了国内首条 PBO 纤维工业化生产线，实现了 PBO 纤维的工业化生产；2019 年 3 月，成都新晨年产 380 吨高性能 PBO 装置顺利投产，标志着中国成为继日本之后全球第二个能大批量生产高性能 PBO 纤维的国家。

极端恶劣环境或长期高负载运行的场景中，PBO 纤维应用潜力大，应用推广受制于成本。目前，PBO 纤维在机器人或腱绳领域的应用尚未完全推广，核心原因在于 PBO 纤维成本较高。参考鼎龙科技特种工程材料单体销售单价，PBO 单体销售价格常年高于 30 万元/吨，考虑下游纺丝合理利润，PBO 纤维价格显著高于芳纶、超高分子量聚乙烯纤维 10~20 万元/吨售价区间。

图表 40 鼎龙科技特种工程材料单体销量与售价



资料来源：公司公告，华安证券研究所

3.5 腱绳材料市场空间测算

由于传统聚合物或钢制腱绳存在蠕变和磨损问题尚待解决，当前的技术突破集中在材料创新上。我们认为超高分子量聚乙烯纤维（UHMWPE）凭借高比强度、高比模量、轻量化的特性，正成为腱绳的理想之选；芳纶纤维耐高温、抗蠕变性能优异，与超高分子量聚乙烯存在应用场景互补；PBO 纤维则在极端恶劣环境或长期高负载运行的场景中具备强应用潜力。当前行业趋势是向腱绳+丝杠的复合传动方案演进，特斯拉 Optimus 第三代灵巧手已采用"丝杠+腱绳"方案，国内如智元机器人、灵心巧手、曦诺未来等也开始跟进这一路线，通过微型丝杠驱动腱绳，兼顾力量与柔性。

图表 41 各厂商灵巧手驱动路线

主打路线	代表玩家	主力产品	自由度
连杆	因时	RH56 系列	6
连杆	傲意	ROH-AP 系列	6-11
连杆	帕西尼	DexH13/H16	13-16
腱绳	Tesla	Optimus Gen 3	22
腱绳	智元-临界点	OmniHand Ultra-T	22+3
腱绳	灵巧智能	DexHand021	19
腱绳	曦诺未来	Xynova Flex 1	25（被动 5）

直驱	Sharpa	SharpaWave	22
直驱	舞肌	Wuji Hand 1.0	20
全覆盖	灵心巧手	Linker Hand 全系	6-22

资料来源：人形机器人联盟，华安证券研究所

我们参考灵巧手 Gen3 采用腱绳传动方案，单手自由度 22 个接近人类手部自由度，核心假设如下：1）平均单手自由度当前为 10 个，2030 年提升至 25 个，其中单台灵巧手自由度 70%为腱绳驱动；2）单根腱绳价值量为 100 元，随产业放量至 100 万台逐步降本至 50 元/根；3）据宇树机器人上市招股书，2030 年全球机器人出货量预计 60 万台，灵巧手腱绳驱动方案渗透率在 2030 年达 80%。测算机器人腱绳市场空间如下：

图表 42 腱绳材料市场空间测算

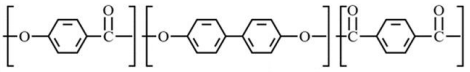
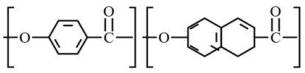
	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球人形机器人销量-万台	1	5	10	20	40	60
腱绳方案渗透	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
单台灵巧手自由度	10	13	16	20	22	25
其中：腱绳用量	7	9	11	14	15	18
单根价格	100	90	80	70	50	50
单台机器人腱绳价值量	1400	1620	1760	1960	1500	1800
人形机器人领域腱绳市场规模-亿元	0.042	0.324	0.88	2.352	4.2	8.64

资料来源：华安证券研究所整理

4 机器人+AI 高频计算趋势已至，高性能电子元件方兴未艾

LCP 材料种类繁多，主要分成两种形态和三种耐热等级。LCP 材料指其分子排列在特定条件下（如熔融或溶解）呈现有序性，形成液晶相，系在物理状态下定义的，可以采用不同的化学结构。全球至今已合成出两千多种结构的 LCP。根据液晶相的形成条件，可分为溶致性液晶（LLCP）和热致性液晶（TLCP），其中 LLCP 只能在溶液中加工，不能熔融，用作纤维和涂料；TLCP 可在熔融状态加工，既可通过溶液纺丝形成高强度纤维，也可以经注射、挤出等热加工方式形成各种制品，应用更为广泛。根据熔融加工温度和耐热温度性能区分，LCP 材料可分为 I 型、II 型与 III 型，加工温度 I 型>II 型>III 型。

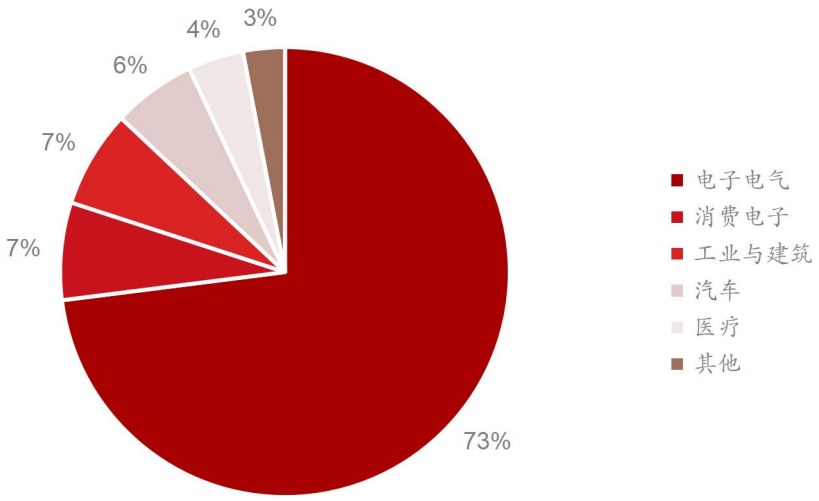
图表 43 三种类型的液晶高分子典型结构

类型	液晶相转变温度（℃）	耐焊接温度（℃）	分子结构
I	330 ～	280 ～	
II	280 ～ 320	230 ～ 270	
III	～ 240	～ 190	

资料来源：艾帮高分子，华安证券研究所

LCP 在电子电器领域已有广泛应用。LCP 分子能够在熔融状态下棒状排列，使得材料本身具有优良的机械性能和加工性能，其制品不产生毛边、低热膨胀系数、低吸湿性、高尺寸稳定性、高强度和高刚度，适用于电器电子产品领域的小型化和薄壁化要求，是精密电子元件的优选。目前 LCP 在电子电气领域消费最多占比 73%，消费电子占比 7%，工业与建筑占比 7%，汽车占比 6%，医疗占比 4%。

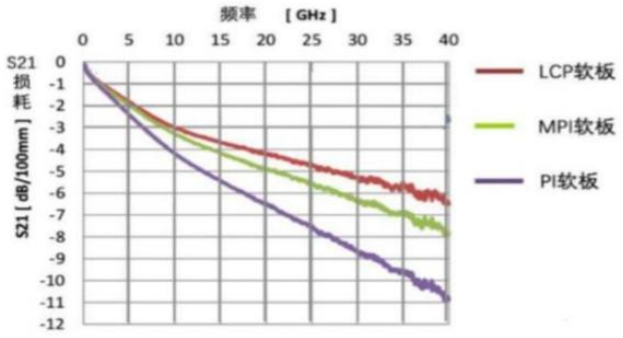
图表 44 LCP 需求结构



资料来源：链塑网，华安证券研究所

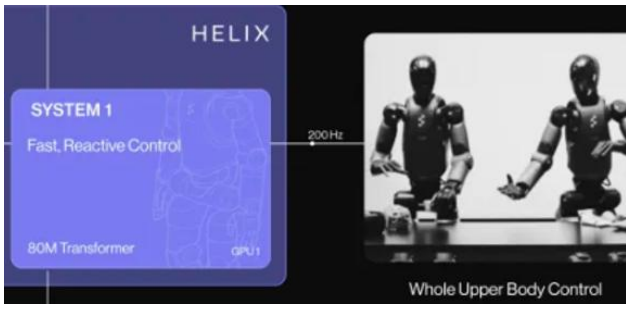
除优秀机械与加工性能外，液晶高分子具有优异的介电性能，高频场景应用空间广阔。研究表明介质传输损耗（TLD）与频率（f）、材料介电常数（Dk）、介质损耗因子（Df）呈正相关，由于 LCP 分子在液晶态下运动受限，因此在高频率波段下能够表现出极低的介电常数与介电损耗，在光电信号传输领域有着独到的优势。伴随人工智能大模型在机器人领域应用拓展，以 Figure AI 发布的 Helix 为例，将 6 台 RGB 摄像头（视觉感知）、语言理解（自然语言指令）、35 自由度上半身（动作生成），通过单一神经网络权重集打通，直接输出 200Hz 高频连续控制信号。由于人形机器人每个关节自由度需要相应的信号接收器进行控制，未来随着控制精度与信号传输频率同步提升，看好 LCP 材料在人形机器人信号传输领域（传感器、雷达、摄像头等）巨大应用潜力。

图表 45 LCP、MPI、PI 随频率变化的损耗情况



资料来源：艾邦高分子，华安证券研究所

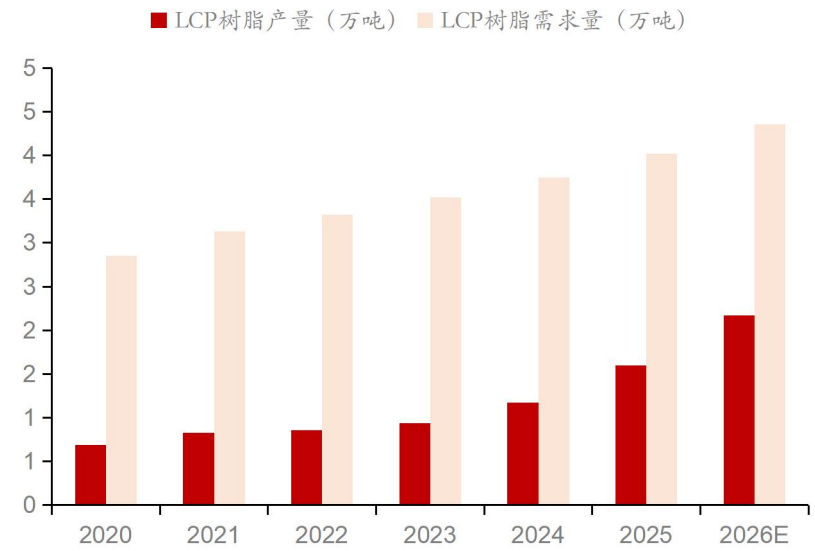
图表 46 Figure AI 经大模型训练高频、精准输出动作



资料来源：Figure AI，华安证券研究所

随着中国电子产业的快速发展及高性能材料需求的增加，LCP 市场规模持续增长。近年来除消费电子产业驱动外，新能源、武器装备以及人工智能技术的飞速发展带动下，LCP 的潜在市场空间被大幅拓展，近年来需求增速维持 20%以上。据共研产业咨询，2025 年中国液晶聚合物（LCP）总需求量约 4 万吨，同期产量仅 1.6 万吨，进口依存度高达 60%。

图表 47 中国液晶聚合物（LCP）供需情况



资料来源：共研产业咨询，华安证券研究所

供给端 LCP 国内产能投放在即，打破海外垄断格局。此前全球 LCP 产能高度集中于美、日两国，海外厂商总产能占比超 60%。国内相关企业虽起步较晚，但产业推进速度较快，以沃特股份、聚嘉新材料、金发科技、普利特为代表， LCP 国产化节奏持续提速，将有效助推 LCP 材料在人形机器人领域应用放量。

图表 48 全球 LCP 格局

地区	企业	产能(吨/年)	备注
美国	塞拉尼斯	22000	江苏新建 9300 吨

	宝理	20000	含中国台湾 5000 吨产能
日本	住友化学	10000	
	上野制药	3750	
	东丽	2500	
比利时	索尔维	4000	
中国	普利特	10000	现有 4000 吨 LCP 树脂，5000 吨改性 LCP，1000 吨 LCP 纤维，金山工厂 2000 吨技改
	金发科技	5000	15000 吨规划
	沃特股份	20000	
	聚嘉新材	6600	公司拥有 6600 吨/年聚合、2000 吨/年纤维和 300 万平方米/年薄膜产能
	清研高分子	10000	
	德众泰	1000	

资料来源：观研天下，华安证券研究所

我们参考人形机器人领域，波士顿动力 Atlas 单机使用 LCP 连接器 44 个，特斯拉 OptimusGen3 规划增至 60 个，核心假设如下：1）单连接器质量约 20g；2）单机用量当前 40 个，后续增长至 80 个；3）据宇树机器人上市招股书，2030 年全球机器人出货量预计 60 万台。测算机器人 LCP 市场空间如下：

图表 49 LCP 机器人应用市场空间测算

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球人形机器人销量-万台	1	5	10	20	40	60
LCP 插座数量	40	45	50	60	70	80
LCP 单个质量-g	20	20	20	20	20	20
单机用量-kg	0.8	0.9	1	1.2	1.4	1.6
单吨价格-万元/吨	7.40	7.20	7.00	7.00	7.00	7.00
人形机器人领域 LCP 市场规模-吨	8	45	100	240	560	960

资料来源：华安证券研究所整理

5 壳体选材呈现多元，电子皮肤与人工肌肉加持突破人机交互瓶颈

5.1 壳体材料选择多样，根据应用场景侧重有所不同

机器人外壳选材根据目标市场差异，侧重有所不同，不同需求导向下壳体选材呈现多元化。工程塑料具备轻量化、高强度，且可通过改性实现功能定制化等特性，已成为机器人常用壳体选材，如 ABS 材料具有低成本、易加工性、抗冲击优势，软银集团推出的人形机器人 NAO 主要材料为聚碳酸酯-ABS 塑料；PA 机械强度高、耐疲劳性突出、表面摩擦系数低等特性，NeoGamma 采用编织尼龙外衣，兼顾柔软性与抗撕裂性，降低碰撞伤害风险，适用家庭使用环境。宇树科技、特斯拉 Optimus 则在外壳材料中大量采用铝、镁合金材料以提升结构耐久性、减少电子干扰并增强散热性能。

图表 50 NAO 外壳主要材料为聚碳酸酯-ABS 塑料



资料来源：Cyber Daily，华安证券研究所

图表 51 Gamma 身穿针织尼龙外衣



资料来源：1X，华安证券研究所

有机硅凭借其独特物理化学特性，助力人形机器人更为拟人。有机硅是指含有 Si-C 键、且至少有一个有机基是直接与硅原子相连的化合物。下游硅胶制品具有柔软亲肤特性，触感接近人体皮肤，适配人形机器人外壳，如优必选 2026 年 6 月发布的优世界 U1 系列超仿生陪伴机器人，将有机硅材料作为核心仿生表皮解决方案，打造出高度拟真的人机交互触感。由于有机硅生物相容性高，无毒无味，与人类互动安全，在柔性机器人领域的应用前景可观，推动机器人从工业工具向情感化、场景化服务载体升级。

图表 52 有机硅用作人形机器人外壳

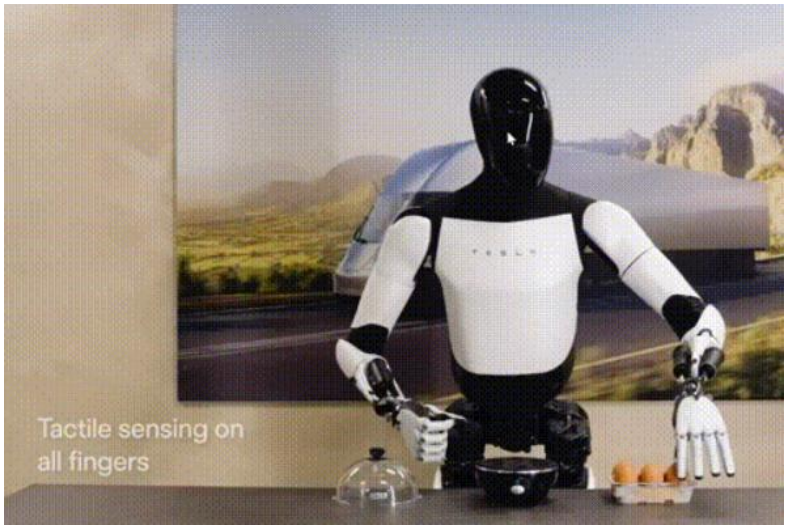


资料来源：优必选，华安证券研究所

5.2 引入柔性传感器，电子皮肤赋予机器人多维度感知能力

通过电子皮肤中部署多维度传感元件（如压力、温度、振动等），使机器人能实时感知环境并做出反馈，从而突破传统机器人仅依赖视觉或预设程序的局限性，实现更智能、安全、自然的交互与应用。如特斯拉 Optimus Gen2 可以轻松准确地抓取、拿起、放下鸡蛋，中间不会掉落或破损，鸡蛋由左手转至右手的整个过程也极为连贯，展现 Optimus Gen2 的精准物体操控能力。

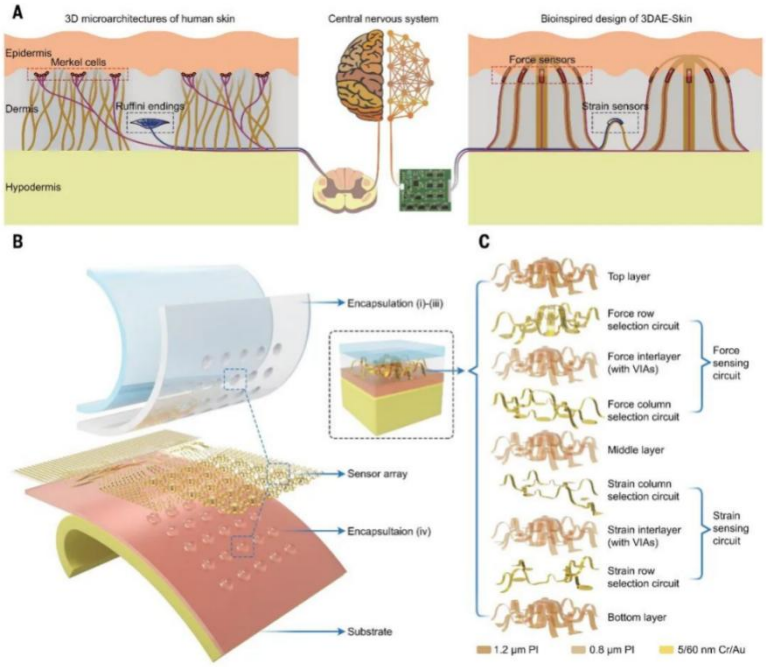
图表 53 Optimus Gen2 全部手指均部署触觉感应器



资料来源：TESLA，华安证券研究所

电子皮肤模仿人体皮肤构造。对应人类触觉传感系统，模仿皮肤的三层结构包括“表皮层”、“真皮层”和“皮下层”，机器人电子皮肤构造由封装层（Encapsulation）、传感器阵列层（Sensor array）和衬底层（Substrate）构成。传感元件和相关电路主要嵌入真皮层，传感元件将采集到外界信号如温度、湿度、应力变化等转化为可检测的电信号，通过电极发挥中枢神经系统的功能向机器人“大脑”传输并完成运算及动作反馈，实现感知传递的闭环过程。

图表 54 电子皮肤的仿生设计



资料来源：《A three-dimensionally architected electronic skin mimicking human mechanosensation》，华安证券研究所

柔性触觉传感器是电子皮肤中重要的感知元件。人类的双手可以从拉压力、剪切力、纹理等多维度感知识别物体，而机器人在交互过程中仅通过关节部位的扭矩传感器无法实现真正的“灵巧应用”，为提升人形机器人的手部态势感知并执行精细姿态调控，触觉传感器至关重要，目前常见类型分为压阻式、压电式、电容式、摩擦式和电磁式，适用场景与性能优劣各有不同。

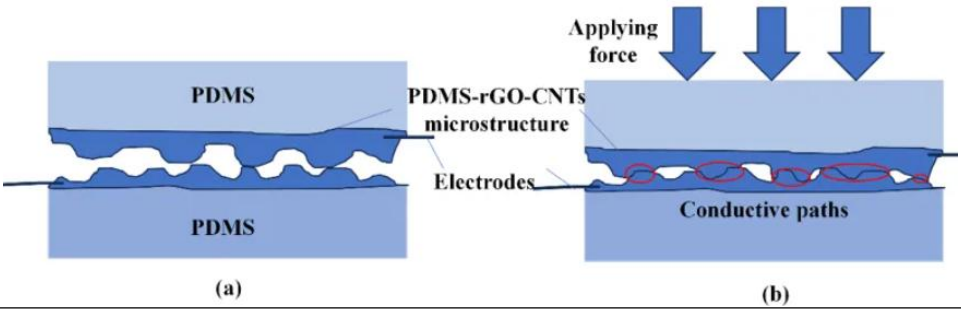
图表 55 不同路径柔性传感器优缺点对比

传感机制	测量物理量	优点	缺点
压阻式	电阻值	结构简单、制备成本低、不易受噪声影响	迟滞较大、温度敏感性高
电容式	电容值	灵敏度高、响应速度快、功耗低	测量电路复杂、易受电磁干扰
压电式	电荷数	灵敏度高、响应速度快、动态范围大	无法测量静态力
摩擦电式	电荷数	自供电、结构简单、灵敏度高	动态范围小、耐久性较低
电磁式	磁通量	精度高、响应快、迟滞小	易受电磁干扰

资料来源：《触觉传感器的现在与未来》、《Multi-parameter e-skin based on biomimetic mechanoreceptors and stress field sensing》，华安证券研究所整理

压阻式：结构简单、成本低，已经在工业领域广泛应用。当加载压力作用于压阻式传感器时，传感器输出电阻随之变化，实现对压力或应变的物理测量。由于压阻式传感器对外力的电阻响应由表面接触电阻与体电阻共同决定，阻值易随温度、湿度的变化而漂移，限制了其应用场景。

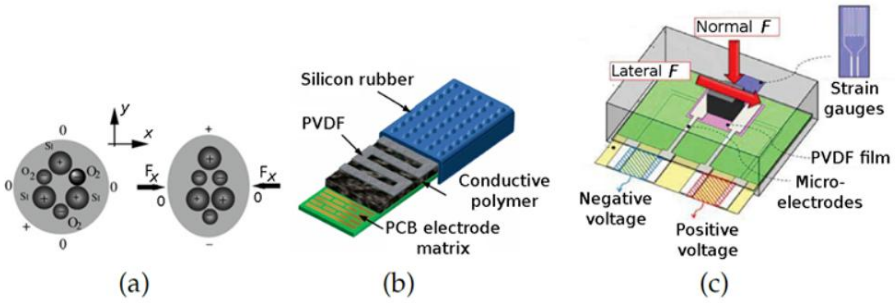
图表 56 柔性压阻式传感器的工作原理示意图



资料来源：《基于石墨烯-碳纳米管-聚二甲基硅氧烷复合材料的柔性压阻式压力传感器》，华安证券研究所

压电式：压电效应为晶体材料在受力/压力引起的变形下产生电荷的现象，可以在石英晶体、人造陶瓷和聚合物中产生。压电材料将机械能转化为电能或者将电能转化为机械能的能力表述为压电常数，其值越大越好。在已有众多压电材料中，PVDF 因其柔韧性，化学稳定性，在柔性触觉传感器中更具优越性。

图表 57 压电触觉感应器原理及构造

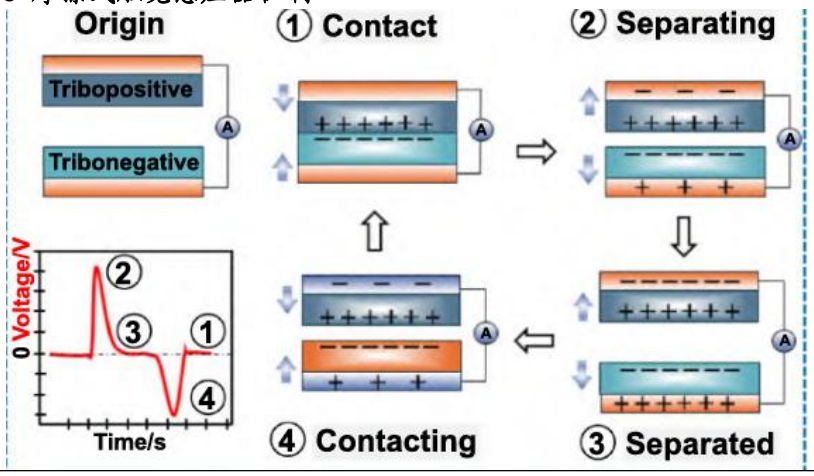


资料来源：《Tactile sensing in dexterous robot hands》，华安证券研究所

注：(a) 压电效应——施加的力导致正 Si 和负 O2 粒子的重新排列，导致电位升高；(b) 基于压电效应的触觉感应阵列，其底层为电极，中间为压电材料，顶部为橡胶；(c) 压电感应触点的示意模型。

摩擦式：触觉传感器的工作机制与压电式相似，即两种材料接触时，由于摩擦效应，一种材料表面带正电荷，另一种材料表面带等量负电荷，当带正、负电荷的两种摩擦材料之间发生相互运动时，其对应两电极之间就会有电位差的变化，在外接回路中将会产生电流。摩擦式与压电式两种方案均具备动态响应速度、灵敏度高的优点，但仅可测量动态数值，也面临着连接材料脆性和温度敏感性限制问题。

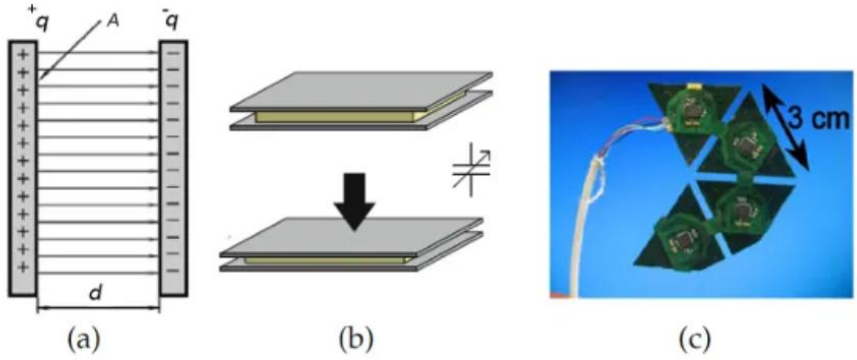
图表 58 摩擦式触觉感应器机制



资料来源：《Manufacturing strategies for highly sensitive and self-powered piezoelectric and triboelectric tactile sensors》，华安证券研究所

电容式：响应快、动态范围大、可计算切向力。电容式触觉传感器由两块导电板组成，中间隔着可压缩的电介质材料，当在外力作用下两块导电板之间的间隙发生变化时，电容也会随之改变，自身不受温度影响，动态范围大且空间分辨率高。除了可以测量法向力外，通过使用嵌入的多个电容器，传感器还可以计算剪切力。由于电容技术被广泛应用于日常生活中，例如触摸屏，有望在机器人领域实现快速导入，主要缺点为易受电磁噪声影响。

图表 59 电容式传感器构造及原理



资料来源：《Tactile sensing in dexterous robot hands》，华安证券研究所

注：(a) 平行板电容器的电容取决于板间距离 d 和板面积 A（q 为存储电荷）；(b) 两块导电板由弹性电介质分隔—当施加力时，板之间的距离减少，从而改变电容；(c) iCub 类人机器人手掌上的三角形电容传感器网格

电磁式：基于霍尔效应的磁性电子皮肤正走向商业化。电磁式触觉传感器由一层经过单面多级正弦磁化的磁膜和霍尔传感器组成。当外力施加在磁膜上时，霍尔传感器将测量到由磁膜变形所引起的磁场变化，进而测量出施加外力的大小和方向，进一步在磁膜和霍尔传感器之间可通过填充不同厚度和弹性软质材料，调节传感器的灵敏度和量程。相较于其他触觉传感器，磁性触觉感知技术由于磁滞低、全表面连续感知、精度高等优点，如帕西尼 PX-6A 系列具备六维力（三维力及三维力矩）测量能力，触觉信号多达 456 种，同时可以测量法向力和切向力，性能突出。其主要缺点在于霍尔传感器易受周围电磁设备干扰，需通过软硬件改进磁信号屏蔽与噪声去除。

图表 60 帕西尼电磁触觉传感器与压阻、电容触觉传感器对比

项目	PaXini 电磁传感器	压阻触觉传感	电容触觉传感
灵敏度	高	低	高
动态范围	高	低	中
响应速度	高	高	高
迟滞	低	高	低
尺寸	小	小	小
抗干扰能力	软硬件优化抗干扰能力强	强	弱
柔性抓取能力	高	低	低

多维力表征能力	六维力+量化的 9 种人类触觉参数	无	无
模组集成度	高集成度（测、算、传一体）	低集成度，需外置信号采集处理装置	低集成度，需上位机提供时序信号处理算力
成本	全集成，成本低	需高成本采集卡	需高成本采集卡

资料来源：PaXini 官网，华安证券研究所整理

衬底材料决定电子皮肤柔韧性和机械性能。传统的传感器通常以无机硅为基材，电子皮肤所使用的柔性基材除了需要具备无机硅基材的绝缘性，还需要透明柔软和轻质，以实现美观和复杂的机械变形。目前常用的基体材料包括弹性薄膜基体如聚酰亚胺（PI）、聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚二甲基硅氧烷（PDMS）、热塑性聚氨酯（TPU）等，具有优异的柔韧性和制备简单的特点。

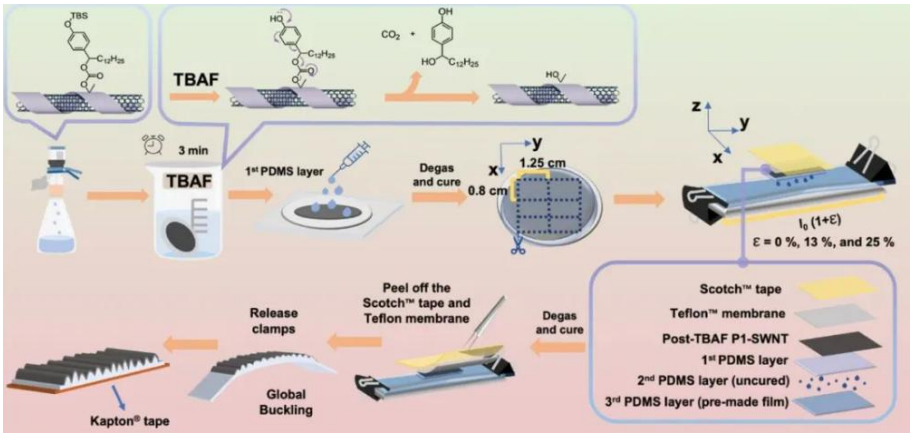
图表 61 衬底材料性能对比

材料	性能
聚酰亚胺 (PI)	耐腐蚀，耐磨，耐高温，良好的力学性能可有效保护内部传感元件不受外界破坏，优异的电学绝缘性能够有效减弱或消除外界环境中的低频信号干扰，提高压力感应点信号收集的有效性、感应灵敏性和动态响应特性
聚二甲基硅氧烷 (PDMS)	良好的生物可降解、化学黏合性、耐腐蚀、柔软透明、低弹性模量与高弹性，良好的，可以非平面任意弯曲并与传感器件牢固黏结集成抵抗形变能力
聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)	较好的耐磨性、抗冲击性、电绝缘性、表面能、耐温及尺寸稳定性，但具有较高的初始模量
热塑性聚氨酯（TPU）	较高的韧性和较强的抗机械损伤能力，在外力冲击和长期使用中更耐用

资料来源：《机器人柔性压力传感皮肤的研究开发现状》、《宽线性柔性压阻式压力传感器的研究进展》，华安证券研究所

引入高导电材料，提升电子皮肤信号传输与敏感性。由于电子皮肤常用的聚合物基底普遍具有绝缘性，需通过嵌入导电材料构建电极和信号通路。所使用的导电材料不仅具备高导电性，还需足够模量与机械强度与柔性基底实现力学适配，当前主流的导电材料有石墨烯、碳纳米管、导电高分子、离子导体、金属纳米材料等。

图表 62 一种碳纳米管、PVDF、PDMS 复合的电子皮肤材料制备



资料来源：《Facile Preparation of Carbon Nanotube-Based Skin-Like Pressure Sensors》，华安证券研究所

需求端消费电子、医疗健康、汽车电子等领域为柔性传感器基本盘，需求持续增长。柔性传感器本身具备柔韧与可拉伸特性，可紧密贴合机器人关节、人体皮肤，适配汽车座椅、折叠屏、智能穿戴及可穿戴心电设备等各类复杂曲面并长期承受复杂形变工况，对比传统硬质硅基传感器，其在消费电子、医疗健康、汽车电子等民用场景中的适配性具备显著优势。据 QYResearch 预计，2029 年全球柔性传感器市场规模将达到 53.2 亿美元，复合年增长率 CAGR 达 17.9%，市场前景广阔。

图表 63 柔性传感器应用领域

应用领域	具体应用
消费电子领域	TWS 耳机采用压感操控，轻按或滑动耳机柄可切换模式、暂停、调节音量。
智能穿戴领域	智能运动鞋采集脚步运动、压力分布数据，辅助矫正运动姿态。
医疗康养领域	智能监测带监测心率、呼吸率、在/离床状态；智能鞋垫实现步态监测与糖尿病足检测。
汽车电子领域	智能座椅、方向盘监测驾乘者体征信息与方向盘握力；柔性压力电池检测系统预警电池鼓包。
人机交互领域	智能交互手套监测手势变化，控制智能设备，用于动作捕捉、VR 游戏等场景。
人形机器人领域	电子皮肤赋予机器人触觉，实现手抓鸡蛋等精细动作，替代人类从事相关作业。

资料来源：汉威科技，华安证券研究所

5.3 电子皮肤市场空间测算

看好电子皮肤的价值量随机器人技术迭代与应用场景升级持续攀升，成为新需求增长极。触觉传感器目前主要部署于机器人手指等末端执行器。随着人机协作场景复杂化及安全交互需求提升，单一部位的感知能力将无法满足动态环境下的态势感知需求，例如处理易碎大型物品或家庭陪护需求情况下，对于机器人与物品的交互不再限制于抓、握等手部动作而需全身肢体高度协作完成，因此机器人的手臂、肩膀、膝盖、臀部、脚部等可能与外界发生接触的部位均可部署，电子皮肤从局部应用到系统感知的进化，带动价值量提升。如机器人足部，部署柔性传感器可以通过与地面接触监测重心，避免打滑，同时提升机器人步行拟人度，不再需要时刻通过踏步微调自身重心保持站立姿态。

由于电子皮肤的价格与其传感器路线、微结构复杂度和制造工艺密切相关，人形机器人触觉方案仍在探索阶段，降本路线尚不明确。基于公开信息、论文、传感器厂商官方商城等价格信息，核心假设如下：1）据曼陀咨询测算，2025 年人形机器人全身电子皮肤价值量约 0.8~5 万元/台，至 2030 年单台机器人电子皮肤价值量下降至 0.3~1.96 万元/台；2）根据人形机器人用途不同而导致电子皮肤单台价值量有所区分，其中陪伴型机器人由于具备家庭陪护需求，电子皮肤价值量更高，我们假设 2025~2030 年，家庭陪护人形机器人渗透率由 5%逐步提升至 20%；3）据宇树机器人上市招股书，2030 年全球机器人出货量预计 60 万台。测算机器人电子皮肤市场空间如下：

图表 64 机器人电子皮肤市场空间测算

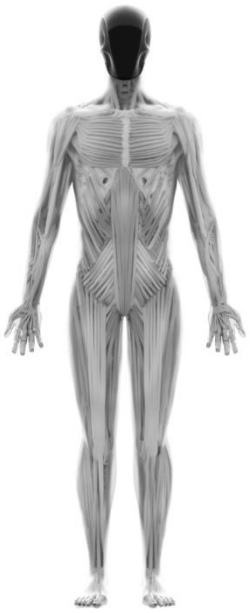
	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球人形机器人销量-万台	1	5	10	20	40	60
单台普通机器人电子皮肤价值量-万元	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
普通人形机器人渗透率	95%	92%	88%	85%	82%	80%
普通人形机器人电子皮肤市场空间-亿元	0.76	3.22	5.28	8.5	13.12	14.4
单台陪伴机器人电子皮肤价值量-万元	5.00	4.38	3.75	3.13	2.50	1.96
陪伴人形机器人渗透率	5%	8%	12%	15%	18%	20%
陪伴人形机器人电子皮肤市场空间-亿元	0.25	1.75	4.5	9.375	18	23.52
人形机器人电子皮肤市场合计空间-亿元	1.01	4.97	9.78	17.875	31.12	37.92

资料来源：华安证券研究所整理

5.4 从第一性原理出发，人工肌肉或为家用人形机器人传动更优解

人形机器人要模拟人类的运动功能且适应复杂的工况环境，需要完成精确、灵活、快速、可逆的执行收缩、伸展、弯曲、扭曲等动作。目前，机器人的结构与动力系统设计依然是传统的机械齿轮传动与电磁驱动器，虽然具有高精度、高功率密度、高效率、优异的重复性与可靠性等特点，但其刚性且沉重的特性并不完全契合家用人形机器人的柔性结构、灵巧变形、轻量化等设计需求。从第一性原理出发，人形机器人厂商 Clone Robotics 采用与特斯拉 Optimus、波士顿动力 Atlas 等依赖金属骨架和电机驱动的机器人不同路线，其直接参考人体解剖模型进行构建，从肌肉、骨骼到神经系统均 100% 复刻人类，并用人工肌肉系统替代传统刚性传动组件以求机器人像人类一样灵活适应复杂环境。

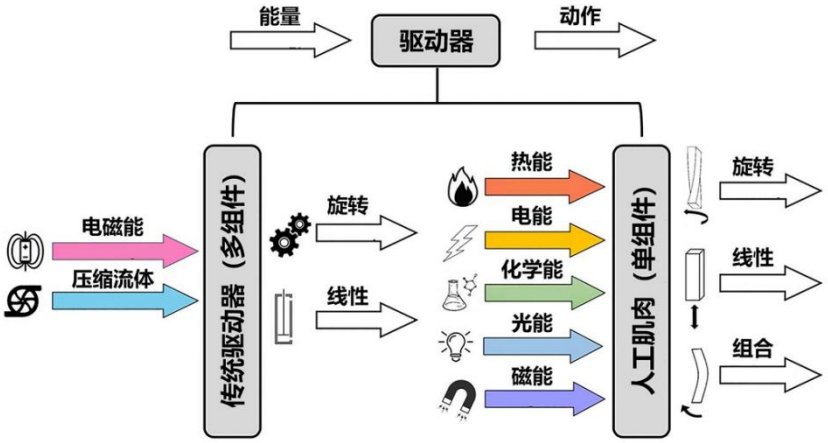
图表 65 采用仿生人工肌肉驱动的 Clone Alpha



资料来源：Clone Robotics，华安证券研究所

人工肌肉材料可在电压、磁场、温度、光照等外部刺激下发生可逆的收缩、伸展或旋转等驱动响应，与传统驱动器存在显著差异：（1）电机和流体压缩型等传统驱动器通过多组件实现机械运动，而人工肌肉仅需单个组件即可输出变形；（2）传统驱动器只输出旋转或线性动作，而人工肌肉不仅能够完成旋转、收缩、伸展等基础动作，还可输出如弯曲、扭转等组合动作；（3）人工肌肉的驱动机制根据所选材料不同，可选的输入能量种类相较于传统驱动器更加丰富，例如热能、光能、磁能、电能等均可作为输入能量驱动人工肌肉运动；（4）传统驱动器无法兼具高功率密度与便携性，而人工肌肉的低重量与单组件特性，使其能够覆盖更大的功率密度范围。目前 Clone Robotics 表示将会量产 279 台的限量版整机 Clone Alpha，其仿生人工肌肉在重量、功率密度、速度、力重比和能量效率方面实现对标哺乳动物骨骼肌特性，据其官网介绍可实现响应时间小于 50ms、无负载收缩大于 30%，每三克重的肌纤维产生的收缩力大于一公斤。

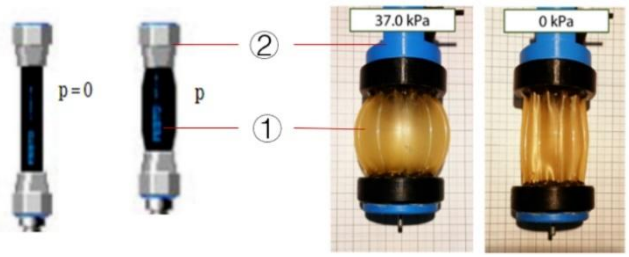
图表 66 传统驱动器与人工肌肉特性对比



资料来源：《电驱动碳纳米管纤维人工肌肉的微观结构、性能与驱动机理》，华安证券研究所

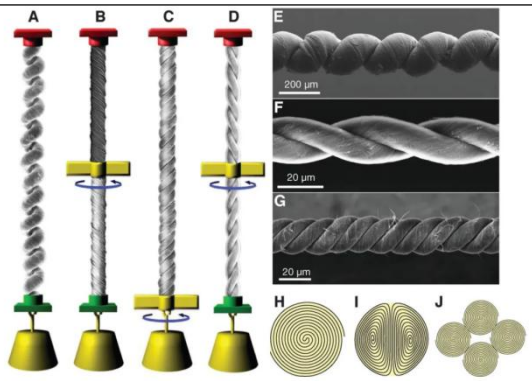
纤维状人工肌肉为主流路线，驱动结构呈类弹簧的螺旋捻曲结构。参照中科院苏州纳米技术与纳米仿生研究所王玉莲等人的研究，人工肌肉根据其宏观表现形态可分为纤维状和膜状。膜状人工肌肉多由可拉伸的柔性薄膜和刚性末端两部分组成，利用流体驱动（气体或液体）产生弯曲变形；纤维状人工肌肉的收缩行为源于前体纤维在受外部刺激下各向异性的膨胀系数。以尼龙 66 等纤维为例，其内部含有沿轴向排列的大分子链段，同时纤维内部含有半结晶结构，在加热过程中聚合物纤维的结晶区域体积膨胀，未插入捻度的纤维可在径向上膨胀、轴向上收缩。通过使用传统纺织领域中生产纱线和绳索的纤维加捻技术将前体纤维经过加捻，平行排列的分子链重新定向成螺旋构型，当受到加热或其他刺激时纤维膨胀解捻产生扭矩，进而驱动人工肌肉收缩。由于纤维状人工肌肉柔韧性好、力学性能优异，能量转换效率和功率密度高，同时纤维状人工肌肉可通过并股和编织等方式克服了薄膜状材料各向同性的局限以实现更复杂的运动，因此现有研究中纤维状人工肌肉为主流路线。

图表 67 膜状人工肌肉结构



资料来源：《3D-printed biomimetic artificial muscles using softactuators that contract and elongate》，华安证券研究所

图表 68 螺旋捻曲结构的人工肌肉结构及机制



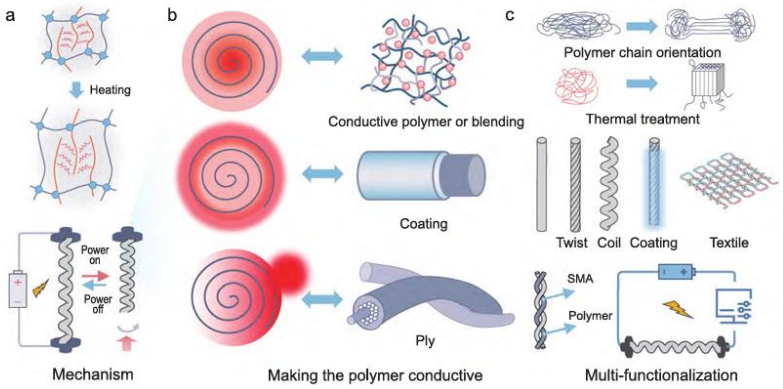
资料来源：《Electrically, Chemically, and Photonically Powered Torsional and Tensile Actuation of Hybrid Carbon Nanotube Yarn Muscles》，华安证券研究所

根据驱动机制不同，主要包含电热式、电化学式与介电式，所用材料存在差异。

电热驱动机制：电热驱动是人造肌肉纤维开发的基石，通过电流产生的焦耳热使材料热膨胀/收缩，结合纤维的螺旋结构实现轴向拉伸和旋转运动。已有研究中多种常见聚合物纤维被用于尝试制备人工肌肉，柔性聚合物纤维如聚氨酯（PU）纤

维、聚酰胺（尼龙）纤维、橡胶纤维等，具有高拉伸应变，其所制备的人工肌肉具有高驱动行程的优点，但驱动应力较低，存在高蠕变现象；刚性聚合物纤维如聚酰亚胺（PI）纤维、芳纶纤维、聚对亚苯基苯并二恶唑（PBO）纤维等，具有高拉伸强度和弹性模量，其所制备的人工肌肉表现出高驱动载荷与驱动稳定性；LCE 液晶弹性体纤维由于兼具弹性体的机械柔性与液晶的光学和热响应性，处于当前人工肌肉技术的最前沿。由于电热驱动机制中热量的吸收和散失控制是技术发展关键限制，有效控制仿生人工肌纤维的热吸收和热耗散是电热驱动人工肌纤维精确驱动的主要因素，但目前对仿生人工肌纤维热管理的研究较少，受制于材料自身热容和散热效率限制，高频高负载情况下存在材料性能退化失效甚至热失控风险。

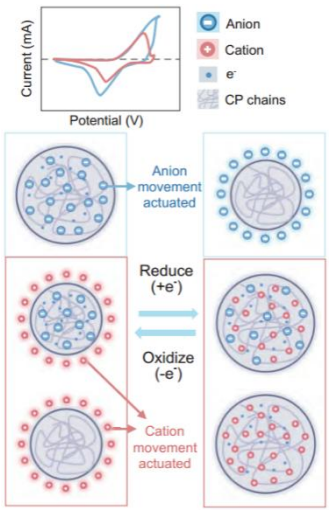
图表 69 电热驱动机制示意图



资料来源：《Emerging innovations in electrically powered artificial muscle fibers》，华安证券研究所

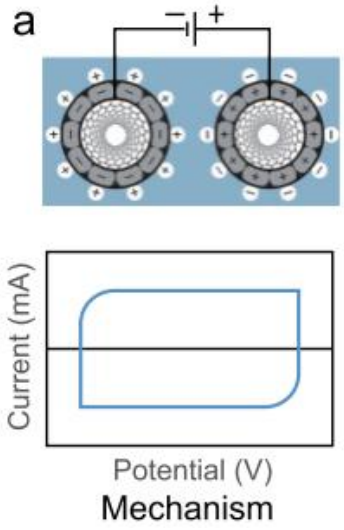
电化学式驱动机制：电化学驱动核心机制为电场作用下离子在材料内部和周围的移动，导致体积变化（膨胀或收缩）产生机械驱动，进一步可分为赝电容和双电层电容两种机制。赝电容机制主要涉及氧化还原反应，在导电聚合物（如聚苯胺 PANI 或聚吡咯 PPy）中，施加电势时发生电子转移，氧化过程中电子被移除产生正电荷，溶剂中的阴离子与溶剂一同进入聚合物以维持电荷平衡，导致材料膨胀，反之在还原过程中电子注入，阴离子与溶剂脱出导致聚合物收缩；双电层电容机制则利用碳纳米材料（如碳纳米管 CNTs 或石墨烯）的高表面积和导电性，施加电场时，离子从电解质中在电极/电解质界面聚集形成紧密的双电层，产生静电压力（Maxwell 应力），机械性地使碳结构变形（如沿电场方向压缩或垂直方向膨胀），例如在碳纳米管纱线中，双电层充电导致静电排斥或吸引，引起纱线收缩或扭转，从而输出驱动力。电化学驱动路径相较于其他方案效率更高，但由于人工肌肉中含有液态或凝胶电解质，其性能受环境湿度和温度波动显著影响，摆脱环境依赖的固态电解质路线尚未成熟。

图表 70 赝电容驱动机制示意图



资料来源：《Emerging innovations in electrically powered artificial muscle fibers》，华安证券研究所

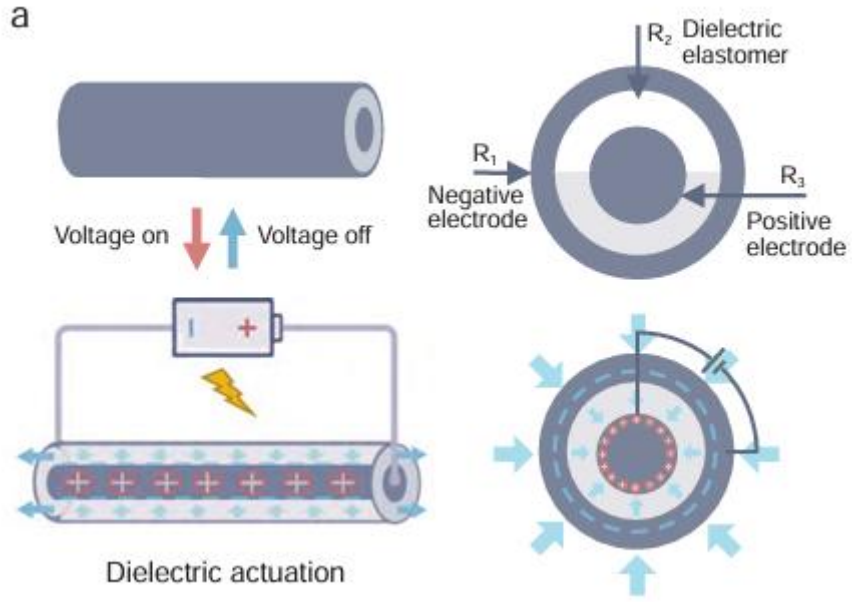
图表 71 双层电容驱动机制示意图



资料来源：《Emerging innovations in electrically powered artificial muscle fibers》，华安证券研究所

介电式驱动机制：介电弹性体驱动器（DEA）可看作一个平行板电容器，弹性体膜位于两个平行金属电极之间。当在两个金属电极上施加上千伏高压直流电压时，两电极之间产生的静电引力（麦克斯韦应力）会挤压弹性体膜，使其在水平方向上被压缩变薄进而产生驱动行为，关闭电压后，弹性体薄膜则会恢复原来形状。介电驱动人工肌肉纤维是近年来兴起的研究方向，具有响应速率高、响应频率宽等优势；但也存在明显瓶颈：一方面驱动电压较高，器件难以小型化；另一方面可选活性材料有限，已有研究常用的硅胶、聚丙烯酸酯等存在弹性损耗，制约效率提升。

图表 72 介电弹性体人工肌肉工作原理



资料来源：《Emerging innovations in electrically powered artificial muscle fibers》，华安证券研究所

各驱动路线优点、局限性不同，适用场景存在显著差异。电热驱动通过焦耳热使活性材料膨胀或收缩，优势在于快速响应和高功率密度，但对热管理的强依赖限制了其工作频率范围；电化学驱动机制提供精确控制和高能量效率的优势，但依赖液体或凝胶电解质，限制了其在不同环境中的适应性；介电驱动机制则在高频操作、高效率和可扩展性方面表现优异，但高电压需求使其在便携设备应用中受限。

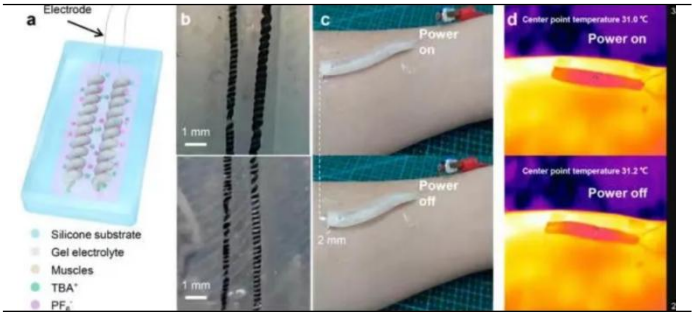
图表 73 各人工肌肉驱动路线优点、局限性和应用场景对比

作用机制	典型材料	性能（最优值）	优势	局限性	应用领域
电热驱动	PA、PI、PU、PBO、聚乳酸、碳纳米管、芳纶、形状记忆金属、液晶弹性体（LCE）等	肌肉收缩率：≈60% 应力：>100 Mpa 做功能力：>2.7 kJ/kg 带宽：<25 Hz 循环稳定性：10^6	成本低、功率密度高、响应速率快、循环稳定性高	效率低、安全性低、热管理挑战	可穿戴技术、生物医学设备、软体机器人
电化学驱动	赝电容材料（聚苯胺 PANI、聚吡咯 PPy、聚噻吩 PT 及衍生物如 PEDOT）	肌肉收缩率：≈30% 应力：>10 Mpa 做功能力：0.3 kJ/kg 带宽：<1 Hz 循环稳定性：2.5×10^3	肌肉收缩范围宽、生物相容性好	强度低、刚度低、循环稳定性低、成本高	可穿戴电子设备、生物医学设备、储能、软体机器人
电化学驱动	双电层电容器（碳纳米管、石墨烯）	肌肉收缩率：>60% 应力：60 Mpa 做功能力：4.1 kJ/kg 带宽：<10 Hz 循环稳定性：10^4	重量轻、响应速率高、做功能力高、循环稳定性好	成本高	软体机器人、生物医学与仿生设备
介电驱动	介电弹性体（硅胶、聚丙烯酸酯、聚氨酯）	肌肉收缩率：≈12% 应力：≈15 N 做功能力：4.32 J/kg 带宽：>700 Hz 循环稳定性：2.6×10^6	响应速率高、效率高、响应范围宽、功耗低	驱动电压高（千伏级）	软体机器人

资料来源：《Emerging innovations in electrically powered artificial muscle fibers》，华安证券研究所整理

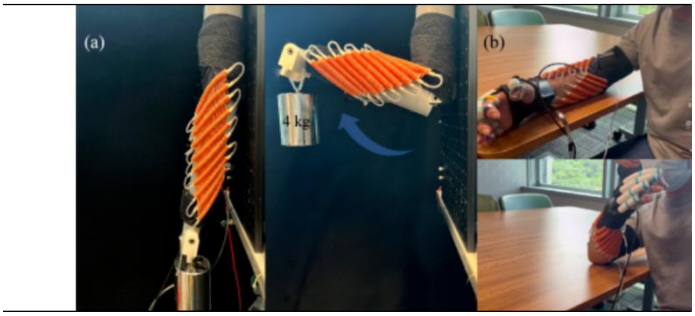
人工肌肉已应用于软体机器人、医疗器械及可穿戴技术等领域。人工肌肉驱动的软体机器人可实现弯曲、爬行、扭转、抓取等复杂动作且在尺寸上具有极大的灵活性，不仅可以制备成小体积以用于刚性机器人无法工作的狭缝等极端环境，实现监测等任务；也可以制备成较大尺寸以完成重负荷工作；医疗器械领域由人工肌肉驱动的全柔性手术器械提高了手术的精确性和安全性，还增加了多内脏器官由于手术空间狭小而难以完成的微创手术可能性；可穿戴设备领域伴随 AI、传感器等技术的深度融合，高性能假肢、矫形器及辅助设备不断演化，为人造肌肉市场提供了广阔的应用空间。据 QYResearch 预计，全球人造肌肉市场预计将在未来几年内持续扩张，至 2030 年市场规模有望达到 36.85 亿美元，年均复合增长率（CAGR）保持在 5%的稳定水平。

图表 74 基于电化学驱动的纤维人工肌肉生物胶带



资料来源：中国科学报，华安证券研究所

图表 75 康复训练用人工肌肉



资料来源：BME 康复工程分会，华安证券研究所

人工肌肉是弥合“机器刚性”与“生物柔性”差距的核心技术，助力人形机器人融入 To C 应用场景。家用场景下，一方面工作噪音与轻量化要求提升，传统驱动依赖多组件协同，动作机械，力量与灵活性难以兼顾；另一方面在互动过程中人造肌肉的软体特性在与人接触时可通过形变缓冲力，在如服务/看护机器人拥抱、搀扶人类时避免刚性冲击，解决传统机器人“力量失控”与“刚性接触”的安全隐患，助力人形机器人融入医疗服务、家庭陪伴等近距离交互场景。

6 行业相关公司

6.1 围绕 PEEK/碳纤维轻量化材料布局相关公司：

（1）中研股份

中研股份自 2006 年设立以来一直致力于 PEEK 的研究和开发，是国内最早从事 PEEK 生产的企业之一，现有 PEEK 产能 1000 吨。公司是继英国威格斯、比利时索尔维和德国赢创之后全球第 4 家 PEEK 年产能达到千吨级的企业，同时是继英国威格斯后全球第 2 家能够使用 5000L 反应釜进行 PEEK 聚合生产的企业，生产效率高，产品批次间质量稳定，下游遍布电子信息、交通运输、高端制造、航空航天、核能、医疗等领域，静待人形机器人领域产业化进程加快推动业绩放量。

（2）凯盛新材

由于 PEKK 与 PEEK 材料具有相似的化学结构与材料特性，均是具有耐高温、自润滑、易加工和高机械强度等优异性能的特种工程塑料，应用领域涵盖航空航天、医疗器械、汽车工业制造等，未来有望受益于人形机器人需求的增长。凯盛新材以氯化亚砜业务为基础，产业链衍生布局聚醚酮酮（PEKK），目前具备 1000 吨/年的 PEKK 产能，通过核心原料自配大幅降低生产成本。此外，公司配备芳纶单体年产能达 5.2 万吨，产能规模位于国内龙头地位，市场占有率高，长期与杜邦、帝人等国际芳纶头部企业保持良好合作关系。

（3）南京聚隆

公司主要产品包括改性塑料、热塑性弹性体材料、生物基资源循环塑木型材、碳纤维复合材料制件四大类，产品广泛应用于汽车、高铁及轨道交通、5G 通讯及电子电气、

医疗健康、航空航天、环保建筑工程等六大市场领域，在轻量化、高强度材料开发上具备 PEEK、PPS、LCP 及碳纤维复合材料的研发积累。针对机器人市场，公司专用材料项目团队重点聚焦高性能材料在人形机器人领域的应用，已开展同多家相关单位合作洽谈，积极推动人形机器人相关材料项目落地。

（4）光威复材

光威复材拥有近二十年的碳纤维生产历程和生产线长期连续开车经验，形成从原丝、碳纤维、预浸料到复材制品全产业链布局，产品线涵盖高强、高强中模、高模、高强高模系列，产品牌号涵盖 T300 级/T700 级/T800 级/T1000 级/T1100 级、M40J 级/M55J 级等。公司紧抓航空航天、兵器装备等高端应用市场，深耕低空经济、商业航天、新能源、机器人等新兴领域，把握行业发展机遇。

（5）中简科技

中简科技是我国航空航天用高端碳纤维核心供应商，专注于高性能碳纤维产品的研发和生产，先后成功研发并生产 ZT7、ZT8、ZT9 及 M40J 等多系列碳纤维产品。产品序列中 ZT7 已批量稳定应用于我国航空航天八大型号；ZT9、M40J 可满足新一代航天和航空装备对高强度、高刚度、低结构重量系数应用场景的需求，营收占比逐步提升。随着公司三期产线建成投产，产能逐步释放，一方面有望在人形机器人产业放量下催生公司产品多元应用场景，丰富客户结构；另一方面受益产能提升，规模效应带动公司生产单位成本下降，夯实竞争优势。

6.2 围绕腱绳材料布局相关公司：

（1）同益中

公司是国内最早实现 UHMWPE 纤维产业化的公司之一，当前拥有超高分子量聚乙烯纤维产能 7960 吨，具备可规模化生产断裂强度不低于 42.5cN/dtex 的高端牌号生产能力，下游配套无纬布产能约 2175 吨。受俄乌冲突影响，2022 年超高分子量聚乙烯纤维在防弹衣需求带动下价格暴涨，尽管伴随国内产能投放，超高分子量聚乙烯纤维价格有所下降，但下游无纬布军品证壁垒极高，防弹制品需求及利润稳定，公司整体毛利率维持 30%以上，主营业务基本盘稳固。

（2）南山智尚

南山智尚由纺织服装行业起家，借由集团资源于 2021 年开始布局超高分子聚乙烯业务，目前已扩建至 3600 吨。南山集团裕龙石化未来超高分子量聚乙烯树脂（超高纤维前端材料）投产后，将为南山智尚提供稳定、高端 PE 原材料构建产业链协同，保障品质稳定性；集团旗下的南山铝业是特斯拉等车企的车用铝材供应商，为超高分子聚乙烯业务对接机器人链条客户提供基础。此外南山智尚毛纺主业具备的丰富公检法和军队等客户资源，有利于超高分子聚乙烯在军用品领域的导入。2025 年公司与武汉大学研究院、武汉手智创新签署战略合作协议，有效期 5 年，旨在促进超高分子量聚乙烯纤维在机器人领域的应用，联合武汉手智创新，聚焦传动结构、仿生皮肤以及骨架结构等，开发高性价比、创新性的机器人材料，标志公司正式进军机器人材料领域。

（3）泰和新材

公司前身为烟台氨纶厂，拥有烟台以及宁东合计约 9.5 万吨氨纶产能。分别于 2004 年、2011 年实现间位芳纶、对位芳纶产业化投产，是国内唯一同时具备间位芳纶与对位芳纶工业化生产的企业，打破海外垄断格局。目前公司芳纶板块具有 1.6 万吨对位芳纶以及 1.6 万吨间位芳纶产能，并有 2 万吨产能在建，分别为全球第三和全球第二大生产企业，并围绕芳纶上下游积极布局芳纶纸、芳纶涂覆等新应用领域，后续看好芳纶腱绳同超高分子量聚乙烯纤维形成互补格局，满足人形机器人复杂、多样化应用场景。

（4）鼎龙科技

公司主营业务染发原料、特种 PI 单体、植保材料及 PBO 单体。染发剂业务经过多年的技术积累和产品更新迭代，目前已经成为国内外领先的染发剂原料生产企业，核心客户群体覆盖欧莱雅、汉高、科蒂/威娜等多个知名品牌。公司为国内外极少数能够生产 PBO 单体的企业，当前采用以间苯二酚为原料的方法合成，新建产能将以三氯苯为起始原料合成，有望实现产品降本，进而推动 PBO 纤维于航空航天、国防军工、线缆绳索及人形机器人等领域广泛应用。

6.3 围绕 LCP 材料布局相关公司：

（1）普利特

公司于 2007 年布局 LCP 产业，是国内首家 LCP 树脂聚合产业化企业，经过 16 年自主开发及产业整合，在 LCP 领域实现全产业链布局，具有 4000 吨 LCP 树脂聚合生产能力、5000 吨 LCP 共混改性生产能力，300 万平方米 LCP 薄膜生产能力，以及 1000 吨(1000D)LCP 纤维的生产能力，上海普利特年产 2000 吨 LCP 技改项目正有序推进中。

（2）金发科技

金发科技是全球规模最大、产品种类最为齐全的改性塑料生产企业，围绕改性塑料产业链向上衍生绿色石化保障原料供给，同时开拓新材料产线，涵盖生物基 BDO、PPSU、碳纤维复合材料及 LCP 树脂。2025 年改性塑料板块销量再创新高，实现产成品销量 295.06 万吨，同比增长 15.64%，工程塑料占比不断提升，实现营业收入 357.81 亿元，同比增长 11.55%。人形机器人领域，金发科技深度绑定宇树科技，不仅通过基金间接持有宇树科技股权，还与优必选、傅利叶智能、银河通用等多家头部机器人企业建立了材料供应或联合开发关系，实现人形机器人关键零部件的批量应用。

（3）沃特股份

沃特股份拥有改性通用塑料、工程塑料合金、特种工程塑料等多品类的高分子材料产品链，特种工程塑料产品主要包括 LCP、PPA、PPS、PSF、PAEK、PTFE、碳纤复合材料(制件)等。公司现有 LCP 合成树脂产能 20,000 吨，2025 年 5 月，重庆基地新建 20,000 吨 LCP 树脂材料项目的一期、二期进入正式生产期，三期项目将根据前

期投产及销售节奏灵活匹配市场需求变化，公司有望成为全球产能最大的 LCP 供应商。

6.4 围绕电子皮肤&人工肌肉布局相关公司：

（1）汉威科技

汉威科技主营业务涵盖传感器、仪器仪表和物联网行业。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，经过十余年的技术积累已具备多品种、多量程的柔性微纳传感器（压力、压电、应变、织物）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，在消费电子、健康医疗等场景已有产品落地；具身智能领域，公司积累了丰富的传感器产品储备，例如：柔性触觉传感器、机器人指尖压力采集模块、触觉感知超薄透气手套、惯性测量单元、MEMS 压力应变片、气味嗅觉传感器（电子鼻）、非制冷红外热成像模组等，目前已构建起覆盖“触觉-嗅觉-平衡-力控-视觉”的多维产品矩阵，为机器人智能化发展提供了多种感知解决方案。

（2）福莱新材

公司主营广告喷墨打印材料、标签标识印刷材料、电子级功能材料、新型薄膜材料、胶粘材料等工业消费品及高端智能装备。依托主营业务涂布工艺优势切入柔性触觉传感器领域，产品集成压力、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，拥有多路线专利技术储备，可提供多模态感知软硬件一体化方案。目前已具备批量交付能力，并与国内外多家头部客户展开合作。

（3）聚杰微纤

公司主营产品包括超细纤维制成品、超细纤维仿皮面料、超细纤维功能面料以及超细纤维无尘洁净制品等，客户积累深厚，与国际知名品牌迪卡侬、ZARA、C&A 等建立紧密合作关系，产品品类逐渐从服装家纺衍生进入手机、汽车供应体系中，主营业务稳固成长。公司设立子公司苏州肌动科技有限公司，与中国科学院苏州纳米所共建了联合实验室，共同研究驱动纤维作为人工肌肉纤维在仿生机器人等方面的应用，在仿生机器人、医疗器械等方面针对性布局。

（4）天奈科技

公司从事纳米级碳材料的研发、生产和销售，主要产品包括碳纳米管粉体、碳纳米管导电浆料以及碳纳米管导电母粒，广泛应用于锂电池、导电塑料等领域，下游客户涵盖比亚迪、ATL、CATL、天津力神、孚能科技、欣旺达、珠海光宇、亿纬锂能、卡耐新能源、中航锂电、万向等一流锂电池生产企业，行业地位稳固。在电子皮肤领域，由于碳纳米管具有纳米尺度和高导电特性，电子皮肤嵌入可有效提升传感器灵敏度及响应速度且不影响材料柔韧性及耐疲劳性；人工肌肉领域碳纳米管在电热驱动及电化学驱动方案中均有研究先例，公司已同头部院校展开合作，研发碳纳米管经纺纱、加捻工艺制成类似肌纤维结构的人工肌肉。

（5）福莱蒽特

公司深耕分散染料及滤饼行业，优势集中在高水洗牢度、高日晒牢度、环保型分散染料等中高端细分领域，共有分散染料年产能 24,000 吨。2026 年 6 月，公司正式聘任在离电传感、智能触觉等领域成果丰硕的潘挺睿教授担任首席科学家，并通过控股子公司双曲线智能机器人跨界布局柔性传感器领域，产品针对机器人、健康监测、消费电子、汽车智能座舱等核心场景进行优化设计，具备精度高、响应快、成本低、适配性强的差异化优势，有望打造第二增长曲线。

6.5 围绕机器人与灵巧手整机布局相关公司：

（1）上纬新材

上纬新材料科技股份公司成立于 2000 年，是国内领先的高性能树脂材料企业，深耕环保高性能耐腐蚀材料、风电叶片用材料及新型复合材料领域，产品涵盖乙烯基酯树脂、特种不饱和聚酯树脂、手糊树脂、胶粘剂、HYVER 树脂及环保友好型树脂等系列，广泛应用于轨道交通、电力、石化、风电、新能源汽车等下游场景，主营业务稳固。2025 年公司控股股东由 SWANCOR 萨摩亚变更为智元恒岳，邓泰华先生成为上市公司实际控制人。智元机器人竞争实力雄厚，覆盖多种应用落地场景，具备机器人全栈技术，入主后公司将加速拓展消费级具身智能机器人业务，夯实未来成长动能。

（2）万凯新材

公司是国内四大瓶片生产商之一，目前拥有瓶片产能 300 万吨。公司具有海宁和重庆双基地分别覆盖华东及西部市场，并于海外投资建设尼日利亚 30 万吨瓶级 PET 生产基地前瞻布局非洲市场。公司多区域布局具备错位竞争优势，其中重庆基地 180 万吨产能为西南地区稀缺产能，有效满足西部地区的瓶片需求，且区位优势加持下产品生产及销售运输成本较华东沿海产能优势显著。2025 年 4 月，公司作为领投人之一参与了灵心巧手（北京）科技有限公司的 PRE-A 轮融资，投后股权占比 8.2%，并拥有一名董事席位。同时，公司还与灵心巧手签署合作协议，一方面拟共同谋求和推进在杭州或周边落地新产能，另一方面，双方将协同测试和研发公司聚酯新材料产品在人形机器人各应用场景应用的可能性。

图表 76 相关公司市值及估值

公司	总市值-亿元	净利润（亿元）			PE		
		2025A	2026E	2027E	2025A	2026E	2027E
中研股份	30.30	0.12	0.21	0.30	255.32	144.28	100.99
凯盛新材	80.53	1.28	1.72	2.18	62.73	46.82	36.94
南京聚隆	21.27	1.32	-	-	16.06	-	-
光威复材	177.24	6.03	6.43	7.76	29.37	27.58	22.85
中简科技	84.51	3.15	2.07	2.94	26.86	40.83	28.75
同益中	33.35	1.09	0.00	0.00	30.46	0.00	0.00
南山智尚	60.13	1.28	1.44	1.93	46.94	41.74	31.15
泰和新材	84.56	0.41	1.43	2.28	203.92	59.07	37.16

鼎龙科技	40.60	1.49	2.29	2.79	27.22	17.73	14.55
普利特	103.11	3.67	3.01	5.37	28.06	34.26	19.20
金发科技	338.07	11.50	14.72	21.17	29.40	22.96	15.97
沃特股份	58.69	0.64	0.94	1.56	91.14	62.25	37.68
汉威科技	141.55	1.59	1.51	1.80	89.13	93.98	78.60
福莱新材	189.08	0.77	1.13	1.73	244.67	167.58	109.30
上纬新材	969.32	0.41	-0.13	-0.92	2,359.27	-	-
福莱蒽特	37.72	0.45	-	-	84.09	-	-
万凯新材	95.85	1.69	11.53	12.80	56.68	8.31	7.49

资料来源：iFind，华安证券研究所整理

注：市值与估值数据截至 2026/11/11；盈利预测为 iFind 一致预期

7 风险提示：

环保及安全督察力度不及预期，
海外经济复苏不及预期，
材料需求不及预期，
产业化进展不及预期，
原材料价格大幅波动，
企业安全生产风险等。

分析师与研究助理简介

分析师：王强峰，华安证券化工首席分析师，浙江大学化工硕士，2 年大型能源化工央企工作经验，7 年化工行业研究经验，所在团队连续多年获 Wind 基础化工金牌分析师、Choice 石油化工最佳分析师，负责能源、化工及新材料领域的研究。

联系人：韩浩然，华东理工大学工学学士、金融学硕士，两年大型能源化工国企产业投资及投后管理经验，2026 年加入华安证券研究所。

重要声明

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。本报告由华安证券股份有限公司在中华人民共和国（不包括香港、澳门、台湾）提供。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，本研究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。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，A 股以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普 500 指数为基准。定义如下：

行业评级体系

增持—未来 6 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%以上；

中性—未来 6 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；

减持—未来 6 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

公司评级体系

买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；

增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；

中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；

减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；

卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；

无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。