

市场简报：机器人概念大爆，灵巧手腱绳材料打开市场

Briefing Report: Robot Concept Explodes, Dexterous Hand Tendon Rope Material Opens Up the Market

市場速報：機器人概念大爆，靈巧手腱繩材料打開市場

报告标签：人形机器人、腱绳材料、超高分子量聚乙烯纤维
2025年3月

Q1：机器人概念为何大爆？灵巧手腱绳材料为何广受关注？

■ 人形机器人“爆火”得益于政策利好、科技发展、市场需求和资本助推

2024年，中国人形机器人
市场规模

≈27.6亿元

2024年，中国人形机器人
行业投融资金额

≈51亿元

政策方面：世界各国积极出台机器人相关产业政策，支持人形机器人产业的发展。以欧美、日本等发达国家相关政策较多，中国近年来密集出台相关产业政策。例如《“十四五”机器人产业发展规划》、《“十四五”智能制造发展规划》、《“机器人+”应用行动实施方案》、《2023年未来产业创新任务揭榜挂帅工作》、《关于推动未来产业创新发展的实施意见》等政策。

专利技术方面：自2018年以来，全球人形机器人专利技术申请量维持高位增长。从全球来看，申请的人形机器人相关专利技术已突破1,5700多件。

市场需求方面：根据中国人形机器人产业大会披露的信息，2024年中国人形机器人市场规模约27.6亿元，预计2029年达到750亿元。人形机器人市场需求广泛，涵盖工业、服务业、医疗、特种任务和科研等领域。随着相关技术的发展与成熟，人形机器人开始进入商业化落地的初级阶段。

资本方面：2024年中国人形机器人领域共发生56起融资事件，投融资金额超过50亿元。近年来，人形机器人赛道热度持续升温，行业融资事件从2020年的6起，发展到2023年的30起，再到2024年的56起，投融资金额从2020年的1.4亿元，发展到2024年的51亿，资本的青睐是推动人形机器人行业持续“爆火”的重要驱动力。

■ 腱绳传动是人形机器人灵巧手的主流传动方式，特斯拉Opimus灵巧手创新性采用“行星齿轮箱+丝杠+腱绳”结构，奠定腱绳材料在灵巧手系统中的核心地位

腱绳传动对于空间狭小、传动精密的灵巧手空间设计较为友好，适用于高自由度灵巧手，是人形机器人灵巧手的主流传动方式。

图表1：灵巧手传动分类

	腱绳传动式	齿轮传动式	连杆传动式
传动机构	由腱（如钢丝绳）加上滑轮或者软管实现传动，通过电机带动腱拉动手指	通过齿轮或蜗轮蜗杆将旋转变成直线运动，拉动弹簧来驱动手指产生动作	采用平面连杆机构传动，构件之间的接触可以依靠几何封闭来实现
应用	 特斯拉灵巧手	 HIT/DLR II 灵巧手	 因时灵巧手
优点	控制灵活，结构简单，柔性高，节省空间和成本	各个手指动作相互独立，可实现精确的传动比，传动精度高，传动扭矩大	刚度好，负载能力强，加工制造容易，易获得较高的精度
缺点	腱本身的刚度有限从而影响位置精度，腱的布局容易产生力矩和运动的耦合	结构复杂，柔性不足，抗冲击性能较弱，对手内空间配置要求较高	柔性不足，抗冲击性能较弱，对手内空间配置要求较高

来源：人民网研究院、IT桔子、小米技术、头豹研究院

Q2：腱绳材料在灵巧手中扮演什么样的角色？

■ 腱绳材料是灵巧手的“肌腱”，牵引手指活动，完成各种动作

腱绳正在替代扭力弹簧，成为人形机器人灵巧手的关键材料，就好比人体的肌腱，牵引手指活动，完成各种动作。腱绳传动系统使用类似人类手指的腱和绳索结构，通过拉动或放松绳索来驱动手指的关节运动。一般电机通过齿轮箱驱动滚珠丝杠，通过滚珠丝杠上的螺母把旋转运动转换为直线运动，腱绳形成一个腱环套在螺母上，螺母拉动连接在灵巧手指指骨上的腱绳，实现手指绕关节轴的转动运动。其中为引导腱绳的走线，避免腱绳之间的干扰，采用腱绳外包裹导管的形式。

■ 模拟人手自由运动

人形机器人的灵巧手以人手的结构和功能为模仿对象，其研究的最终目标也是期望能够像人手那样对形态各异的物体进行稳定灵活的抓取操作。根据解剖学假定，在不计算手腕的前提下人手自由度是21个，大拇指有5个自由度，其余四指各有4个自由度。人形机器人灵巧手模仿人肌腱传动方式的腱绳传动方式是当前主流的传动结构，具有控制灵活、结构简单、柔性高等优点。如特斯拉Optimus新一代灵巧手具备22个自由度，主要集中于前臂和手指部分，能够较逼真地模拟人类手部动作。

■ 提升灵巧手的精细控制能力，灵巧手轻量化的重要材料

轻量化设计可以减轻人形机器人灵巧手的重量，提高操作的灵活性和精准度，提升其负载能力，减少灵巧手在运动时的能耗，延长电池的使用时间。此外，轻量化材料的使用可以减少人形机器人运动时的摩擦和阻力，从而降低能量消耗，使人形机器人能够适用复杂的环境。以超高分子量聚乙烯纤维为例，其密度在0.97-0.98克每立方厘米，可漂浮在水面上，对比钢丝密度约7.86克每立方厘米，超高分子量聚乙烯纤维密度约为钢丝的1/7，对于实现灵巧手的轻量化具有重要意义。

超高分子量聚乙烯纤维密度

$\approx 0.98 \text{ g/cm}^3$

图表2：灵巧手的作用



来源：韩如雪《腱驱动空间多指灵巧手感知与控制关键技术研究》、因时机器人、小米技术、头豹研究院

Q3：目前主流的人形机器人腱绳材料是什么？

图表3：腱绳驱动灵巧手所采用的腱绳材料

腱驱灵巧手	发布时间	腱绳类别	腱绳材料
Utah-MIT	1982	Dacron and Kevlar	聚酯纤维（涤纶）+ 芳纶纤维（凯夫拉）
DLR	1998	Spectra®	高强度聚乙烯纤维
Robonaut 2 Hand	2010	Teflon™ with Vectran™	特氟龙+芳纶纤维
SDM hand	2010	尼龙涂层不锈钢缆	不锈钢丝
David's Hand I	2010	钢丝	钢丝绳
Metamorphic hand	2011	Carl Stahl®不锈钢丝	不锈钢丝（直径0.5mm）
Dexhand	2012	Dyneema	超高分子量聚乙烯纤维
PISA/IIT	2012	Dyneema	超高分子量聚乙烯纤维
Yale	2013	Spectra®	高强度聚乙烯纤维
David's Hand II	2014	Dyneema	超高分子量聚乙烯纤维
Washington Hand	2016	Spectra®	高强度聚乙烯纤维
Spacehand	2019	ZYLON纤维	聚对苯撑苯并二噁唑
Shadow Dexterous Hand	2023	/	超高分子量聚乙烯纤维

■ 超高分子量聚乙烯纤维是目前主流的腱绳材料

早期使用的腱绳材料有特氟龙、芳纶纤维、涤纶等，目前，超高分子量聚乙烯纤维是主流的腱绳材料。海外灵巧手公司采用的腱绳材料以Dyneema和Spectra两种纤维为主流，分别为帝斯曼和霍尼韦尔生产的UHMWPE纤维材料，断裂强度可达到43cN/dtex。

超高分子量聚乙烯纤维，简称UHMWPE纤维，别名又叫做高模聚乙烯纤维，是分子量150万以上的无支链的线性聚乙烯。与碳纤维、芳纶合称为“世界三大高科技纤维”。具有超高强度、超高模量、低密度、耐磨损、耐低温、耐紫外线、抗屏蔽、柔韧性好、冲击能量吸收高及耐强酸、强碱、化学腐蚀等众多的优异性能。

中国工信部于2019年11月发布的《重点新材料首批次应用示范指导目录（2019年版）》指出符合相关性能要求的超高分子量聚乙烯纤维为高性能纤维及复合材料，属于关键战略材料。具体性能要求如下：

- ①符合超高强型：断裂强度≥36cN/dtex，初始模量1,300-1,800cN/dtex，断裂伸长率2-3%；
- ②耐热型：瞬间耐热温度≥180℃，强度≥30cN/dtex，初始模量≥1,100cN/dtex，断裂伸长率≤3%，CV值≤3%；
- ③抗蠕变型：在70℃、300MPa应力条件下蠕变断裂时间≥900小时，蠕变伸长率≤8%，强度≥30cN/dtex，初始模量≥1,100 cN/dtex，断裂伸长率≤3%，CV 值≤3%。

来源：孙成远《腱驱动灵巧手指结构设计及其运动分析与试验》、The International Journal of Robotics Research、ICRA、同益中、头豹研究院

Q4：中国哪些企业布局腱绳材料行业？谁家腱绳材料更胜一筹？

■ 九州星际、千禧龙纤、同益中、南山智尚、恒辉安防、湖南中泰、仪征化纤等企业布局超高分子量聚乙烯纤维

九州星际：公司是从事超高分子量聚乙烯纤维研发、生产和销售的专业生产企业，截止2024年，公司超高分子量聚乙烯纤维产能达3万吨/年，位居全球和中国第一。超高分子量聚乙烯纤维产品涵盖中强、中高强、高强、超高强等多个系列。

千禧龙纤：公司现有8,000吨超高分子量聚乙烯纤维产能，已成为中国超高分子量聚乙烯纤维行业中常规细丝生产规模有色丝品类、产品一致性等方面具有较强竞争力的企业之一，产品远销北美、欧洲、东南亚等众多国际市场。

同益中：中国首批掌握全套超高分子量聚乙烯纤维生产技术和较早实现超高分子量聚乙烯纤维产业化的龙头企业，拥有超高分子量聚乙烯纤维全产业链布局，已对接一些机器人腱绳需求，相关研发和送样工作正在积极推进。

南山智尚：公司现有3,600吨超高分子量聚乙烯纤维产能，产品强度覆盖26cN/dtex-42cN/dtex等全品类产品。其UHMWPE纤维凭借高强度、耐磨损特性能够满足机器人传动系统要求，目前正积极开拓机器人相关应用领域。

恒辉安防：公司主要产品为功能性安全防护手套及超高分子量聚乙烯纤维及其复合纤维。现有3,000吨超高分子量聚乙烯纤维产能，其超高模型超高分子量聚乙烯纤维断裂强度>35cn/dtex，初始模量>1,000cn/dtex，已送样特斯拉。

湖南中泰：湖南中泰超高分子量聚乙烯纤维系列产品在国内率先实现了产业化生产，现有3,000吨超高分子量聚乙烯纤维产能，产品分别经过国家纺织工业局、湖南省科委的鉴定，属于国内领先并达到国际同类产品的先进水平。

仪征化纤：公司是中国石化中高端聚脂生产基地和特种纤维生产基地，中国第一条干法纺丝UHMWPE纤维工业化生产线建成企业，现有3,300吨超高分子量聚乙烯纤维产能。

■ 从产能上看，九州星际、千禧龙纤、同益中超高分子量聚乙烯纤维产能领先

■ 从产品性能上看，超高分子量聚乙烯纤维产品的性能优劣主要在于其断裂强度、初始模量以及断裂伸长率这三个性能指标。九州星际、千禧龙纤、湖南中泰超高分子量聚乙烯纤维性能较好，拥有断裂强度≥43 cN/dtex的超高分子量聚乙烯纤维产品

图表4：中国超高分子量聚乙烯纤维企业产品产能和性能

企业	量产能力（吨/年）	最好断裂强度（cN/dtex）	最好初使模量（cN/dtex）	最好断裂伸长率（%）
九州星际	32,000	40 ~ 50	1,200~2,000	≤4
千禧龙纤	8,000	≥43	≥1,800	≤3.5
同益中	7,960	42	1,800	3
南山智尚	3,600	42	/	/
恒辉安防	3,000	> 35	> 1,000	/
湖南中泰	3,000	≥43	≥1,600	≤3.5
仪征化纤	3,300	/	/	/

来源：中国化工信息杂志、九州星际、千禧龙纤、南山智尚、恒辉安防、湖南中泰、头豹研究院

Q5：人形机器人腱绳材料产业化应用的必要条件是什么？缺乏哪些条件？

- 腱绳材料实现大规模落地的条件是技术问题的解决、商业闭环的形成，以及市场对人形机器人的需求的激发

从技术层面看，目前人形机器人腱绳材料还处于送样测试阶段，需要进一步的确认和验证，尽管以超高分子量聚乙烯纤维为例的腱绳材料具有灵活化、轻量化和结构简单化等优点，但仍需综合考量腱绳材料的耐用性、调节难度和力传递效率。

从商业角度看，商业闭环的形成是人形机器人腱绳材料大规模落地的关键因素。目前人形机器人和人形机器人灵巧手多处于工厂测试阶段，市场人形机器人的均价约60万元，价格和成本的下降是推动人形机器人量产落地的必然途径。

市场需求方面，根据中国人形机器人产业大会披露的信息，2024年中国人形机器人市场规模约27.6亿元，市场人形机器人的均价约60万元，可测算截止2024年，人形机器人市场需求不足5,000台，市场需求尚待充分激发。

2024年，人形机器人市场均价

≈ 60 万元

2024年，中国人形机器人市场销量

≈ 4,600 台

Q6：从产业链角度看，腱绳材料广受关注，产业链哪个环节终将受益？

- 腱绳材料在人形机器人的商业化应用利好下游核心零部件灵巧手制造商

腱绳材料产业链上游为原材料，超高分子量聚乙烯纤维主要原料为UHMWPE粉、乙烯以及其他溶剂、抗氧化剂。原料大多从原油上提炼而出，因此超高分子量聚乙烯纤维的成本与国际原油价格挂钩，当通过规模效率和生产技术改进带来的成本下降到一定边界，超高分子量聚乙烯纤维的市场价格、生产企业的利润将面临瓶颈。腱绳材料作为人形机器人的一种高性能纤维原材料，其本身的价值量有限。腱绳材料在人形机器人量产的关键还在于从技术层面建立腱绳的张力和路径调节机制，而这需要人形机器人灵巧手制造商进行技术研发和技术突破。其下游的人形机器人灵巧手制造商预计将占据议价的主导权。

此外，国内外市场超高分子量聚乙烯纤维的生产技术成熟，产量充足，腱绳材料的技术突破，将使灵巧手制造商获得更高性能、更稳定的材料供应，减少生产瓶颈，提高整机机器人企业的供应链稳定性。

目前，国内外主要的人形机器人灵巧手的制造商有：因时机器人、傲意机器人、强脑科技、帕西尼感知、灵心巧手、大寰机器人、兆威机电、淳栋触控、智元机器人、灵巧智能、戴盟机器人、忆海原识、思灵机器人、Shadow Robot、Festo、Clone Robotics、QB Robotics、SCHUNK、Mimic Robotics、OttoBock等；人形机器人灵巧手研究机构有：韩国科学技术研究院、西班牙国防科技大学、德国宇航局、斯坦福大学、日本岐阜大学、中国科学院自动化研究所、哈工大、清华大学等。

来源：专家访谈、头豹研究院

方法论

- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业的发展周期，伴随着行业中企业的创立，发展，扩张，到企业走向上市及上市后的成熟期，研究院的各行业研究员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，以专业的视野解读行业的沿革。
- ◆ 研究院融合传统与新型的研究方法，采用自主研发的算法，结合行业交叉的大数据，以多元化的调研方法，挖掘定量数据背后的逻辑，分析定性内容背后的观点，客观和真实地阐述行业的现状，前瞻性地预测行业未来的发展趋势，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。
- ◆ 研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，从战略的角度分析行业，从执行的层面阅读行业，为每一个行业的报告阅读者提供值得品鉴的研究报告。

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。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。本报告所指的公司或投资标的的价值、价格及投资收入可升可跌。
- ◆ 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。本文所载的资料、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，头豹可发出与本文所载资料、意见及推测不一致的报告和文章。头豹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。

头豹业务合作

数据库/会员账号

可阅读全部原创报告和
百万数据，提供数据库
API接口服务

定制报告

行企研究多模态索引
引擎及数据库，募投可研、
尽调、IRPR等研究咨询

定制白皮书

对产业及细分行业进行
现状梳理和趋势洞察，
输出全局观深度研究报
告

招股书引用

研究覆盖国民经济19+
核心产业，内容可授权
引用至上市文件、年报

市场地位确认

对客户竞争优势进行评
估和调研确认，助力企
业品牌影响力传播

行研训练营

依托完善行业研究体系，
帮助学生掌握行业研究
能力，丰富简历履历

报告作者



陈夏琳

首席分析师

sharlin.chen@leadleo.com



于利蓉

行业分析师

lirong.yu@leadleo.com

业务咨询

- 客服电话：400-072-5588
- 官方网站：www.leadleo.com

深圳办公室

广东省深圳市南山区粤海街
道华润置地大厦E座4105室

邮编：518057

上海办公室

上海市静安区南京西1717号
会德丰国际广场 2701室

邮编：200040

南京办公室

江苏省南京市栖霞区经济
开发区兴智科技园B栋401

邮编：210046