

新材料产业深度报告： 人形机器人带来新材料机遇 ——新材料产业框架之三

李永磊(证券分析师)

S0350521080004

liyl03@ghzq.com.cn

董伯骏(证券分析师)

S0350521080009

dongbj@ghzq.com.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

➤ 人形机器人空间巨大

根据KBV Research数据，2022年全球人形机器人市场规模为14亿美元，而到2030 年该市场规模预计达到 396亿美元，CAGR高达51.86%。人形机器人作为具身智能的载体，近年来快速迭代进化，特斯拉创始人马斯克预计，远期人形机器人需求或达到100亿台。

➤ 执行器、灵巧手为关键零部件

人形机器人的关键部件包括各执行器关节、灵巧手等，零部件可分为减速器（谐波减速器、行星减速器）、伺服电机（无框电机、空心杯电机）、丝杠（行星滚柱丝杠、滚珠丝杠）、传感器（六维力矩传感器、柔性触觉传感器）、肢体骨骼等。

➤ 特钢、永磁材料、聚醚醚酮PEEK是用量较大的原材料

构成人形机器人的材料种类丰富，据我们测算，其中特钢、永磁材料、PEEK在一台人形机器人上的用量分别为16.8kg、3.4kg、10.5kg，有望随着人形机器人市场的拓展迎来发展新机遇。

➤ 钕铁硼永磁材料是伺服电机的关键材料

高性能钕铁硼永磁材料作为驱动电机的核心材料，在同步电机体积小型化的过程中依然能够保持高磁性、磁一致性等性质。以特斯拉Optimus为例，一台人形机器人需要使用28个无框电机、12个空心杯电机，其中高性能钕铁硼用量可达到3.4kg，人形机器人的发展能有效拉动未来高性能钕铁硼的增长需求。我们预计，人形机器人1000万台的需求将拉动3.4万吨高性能钕铁硼材料增量，拓展170亿元的市场空间。

➤ 实现人形机器人轻量化目标，聚醚醚酮PEEK是优选材料

聚醚醚酮PEEK比强度大、密度低，是综合性能和产品附加值较高的特种工程塑料，可以应用于人形机器人肢体骨骼及各关节结构件，能显著降低机器人的自重。我们预计，在人形机器人1000万台的需求下，使用PEEK实现轻量化将拉动10.5万吨的PEEK增量，带来525亿元的PEEK市场规模。

➤ 特种钢材是人形机器人零部件的重要原材料

相比于普钢，特殊钢具有优异的物理化学性能，多应用于下游高端制造、汽车、机器人等领域。我们测算，一台人形机器人上50CrMo4合金钢、40Cr合金钢和GCr15轴承钢的用量分别为7.7kg、1.4kg、7.7kg，在远期1000万台的销量下，将拉动7.7万吨、1.4万吨、7.7万吨的市场空间，对应带来的市场规模分别为11.55亿元、0.728亿元、3.927亿元。

➤ 风险提示

人形机器人产量和需求增长不及预期、新材料技术开发和国产替代不及预期、原材料价格大幅波动、行业竞争加剧、重点关注公司项目推进及业绩不及预期

图表：人形机器人零部件市场空间敏感性分析

零部件	数量	价格（元）	总价（元）	价值量占比	不同人形机器人销量假设下的空间测算（亿元）		
					100万台	500万台	1000万台
FSD芯片及套件	1	84000	84000	27.68%	840	4200	8400
六维力矩传感器	30	2000	60000	19.77%	600	3000	6000
行星滚柱丝杠	14	3100	43400	14.30%	434	2170	4340
谐波减速器	14	2500	35000	11.53%	350	1750	3500
无框电机	28	1000	28000	9.23%	280	1400	2800
肢体骨骼	1	12000	12000	3.95%	120	600	1200
柔性触觉传感器	10	1136.8	11368	3.75%	113.68	568.4	1136.8
空心杯电机	12	460	5520	1.82%	55.2	276	552
轴承	28	150	4200	1.38%	42	210	420
其他	1	20000	20000	6.59%	200	1000	2000
总计			303488	100%	3034.88	15174.4	30348.8

资料来源：特斯拉官网，百度爱采购，我的钢铁，国海证券研究所；时间截止至2024年1月30日

图表：人形机器人产业重要原材料市场空间敏感性分析

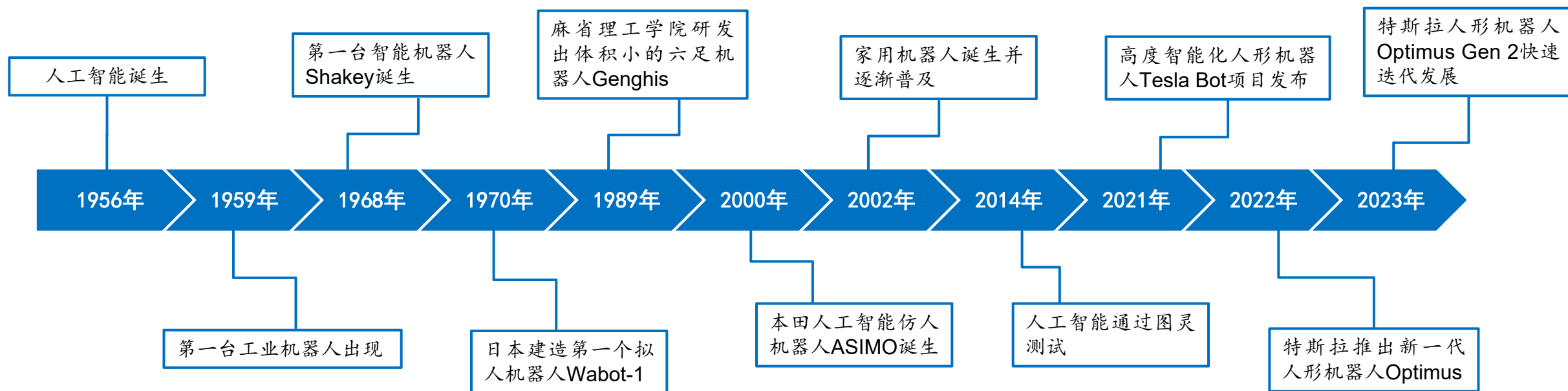
原材料	应用于何种零部件	单机用量 (kg)	不同人形机器人销量假设下的原材料市场增量空间测算（吨）			单价 (万元/吨)	不同人形机器人销量假设下的空间测算（亿元）		
			100万台	500万台	1000万台		100万台	500万台	1000万台
聚醚醚酮 PEEK	肢体骨骼-结构件	10.5	10500	52500	105000	50	52.5	262.5	525
钕铁硼 永磁材料	无框电机-转子 空心杯电机-转子	3.4	3400	17000	34000	50	17	85	170
铝合金	肢体骨骼-结构件	10.5	10500	52500	105000	1.95	2.05	10.24	20.48
50CrMo4 合金钢	行星滚柱丝杠-主丝杠 谐波减速器-刚轮	7.7	7700	38500	77000	1.5	1.155	5.775	11.55
GCr15 轴承钢	轴承 谐波减速器-波发生器 行星滚柱丝杠-螺母 行星滚柱丝杠-滚柱	7.7	7700	38500	77000	0.51	0.393	1.964	3.927
40Cr 合金钢	谐波减速器-柔轮	1.4	1400	7000	14000	0.52	0.073	0.364	0.728

资料来源：特斯拉官网，百度爱采购，我的钢铁，国海证券研究所；时间截止至2024年1月30日

- ◆ 人形机器人飞速迭代进化
- ◆ Optimus结构及原材料拆解
- ◆ 高性能钕铁硼供不应求
- ◆ PEEK是优选轻量化材料
- ◆ 特种钢材应用部位较多

- **智能机器人**，即具有主动性的第一人称智能，本质上是可以与环境交互感知，能自主规划、决策、行动，具有执行能力的机器人。智能机器人的核心目标是能够听到人类语言，然后分解任务，规划子任务，在移动中识别物体，与环境交互，最终完成相应任务。自1968年美国斯坦福研究所公布第一代智能机器人Shakey以来，智能机器人发展日益蓬勃、方兴未艾。

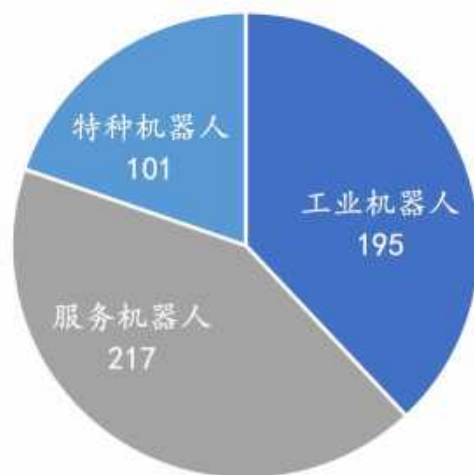
图表：智能机器人发展历程



资料来源：阜阳市机器人协会公众号，国家互联网信息办公室，爱范儿，坎德拉CANDELA，钛媒体APP，国海证券研究所

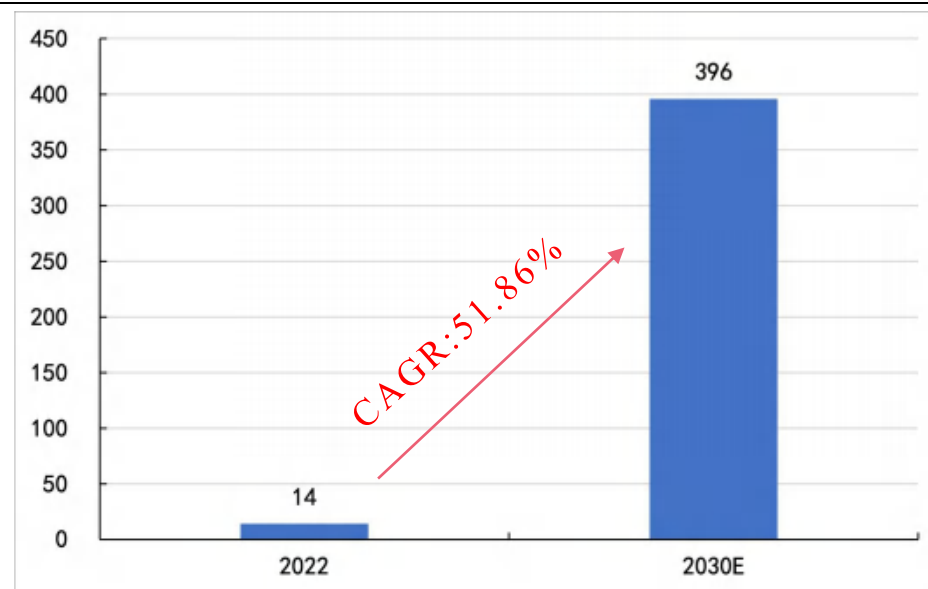
- **机器人市场规模庞大。**根据中国电子学会《中国机器人产业发展报告（2022年）》指引，预计2022年全球机器人市场规模将达到513亿美元，其中工业机器人市场规模将达到195亿美元，服务机器人达到217亿美元，特种机器人达到101亿美元。
- **全球人形机器人未来市场空间巨大。**根据KBV Research数据，2022年全球人形机器人市场规模为14亿美元，到2030年该市场规模预计达到396亿美元，CAGR高达51.86%。

图表：2022E全球机器人市场规模（单位：亿美元）



资料来源：中国电子学会，国海证券研究所

图表：全球人形机器人市场规模（单位：亿美元）



资料来源：KBV Research，国海证券研究所

- **具身智能被视作人工智能的最终形态。**具身智能是指一种基于物理身体进行感知和行动的智能系统，其通过智能体与环境的交互获取信息、理解问题、做出决策并实现行动，从而产生智能行为和适应性。
- **相比一般机器人，人形机器人具有更加复杂的结构、传感、驱动和控制系统。**人形机器人是指外观和功能与人相似的智能机器人，比一般机器人具有更加复杂的结构、传感、驱动和控制系统。
- **人形机器人是具身通用人工智能最理想的身体形式。**未来的机器人需要真正做到和人一样，通过实现规划决策（大脑）、运动控制（小脑）、主控系统、主干结构及零部件的组合（类似于人的一系列关节和肌肉）达成基于感知到的任务和环境进行自主规划-决策-行动-执行等一系列行为的目标。

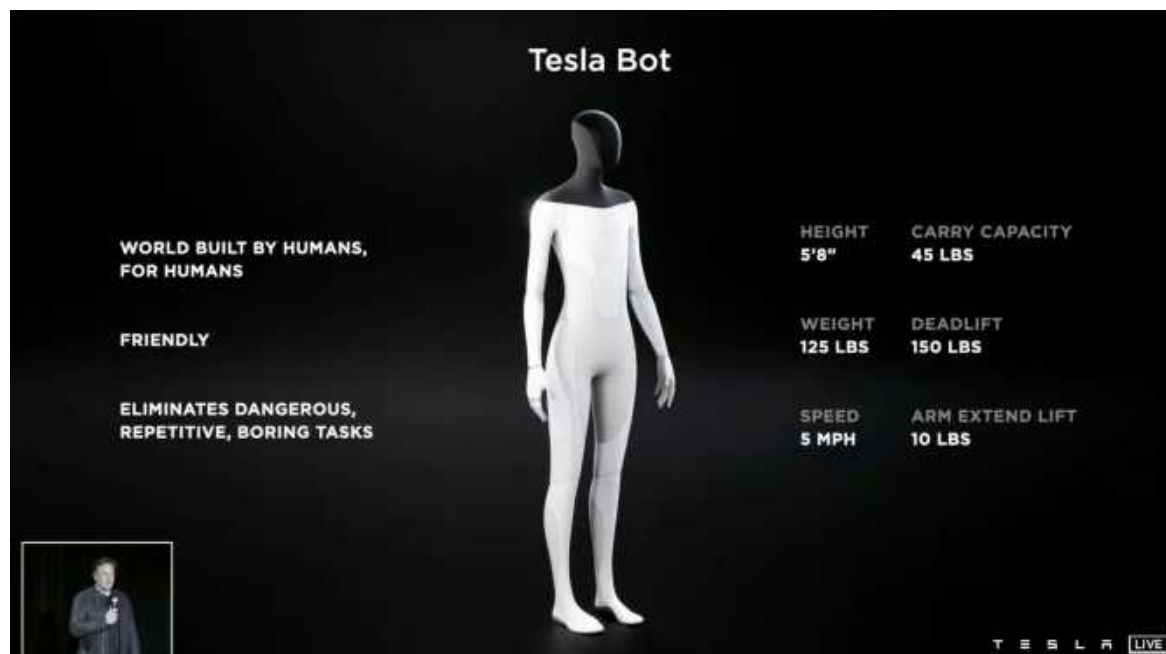
图表：构成具身智能的三大基础模块



资料来源：CAAI会员中心，国海证券研究所

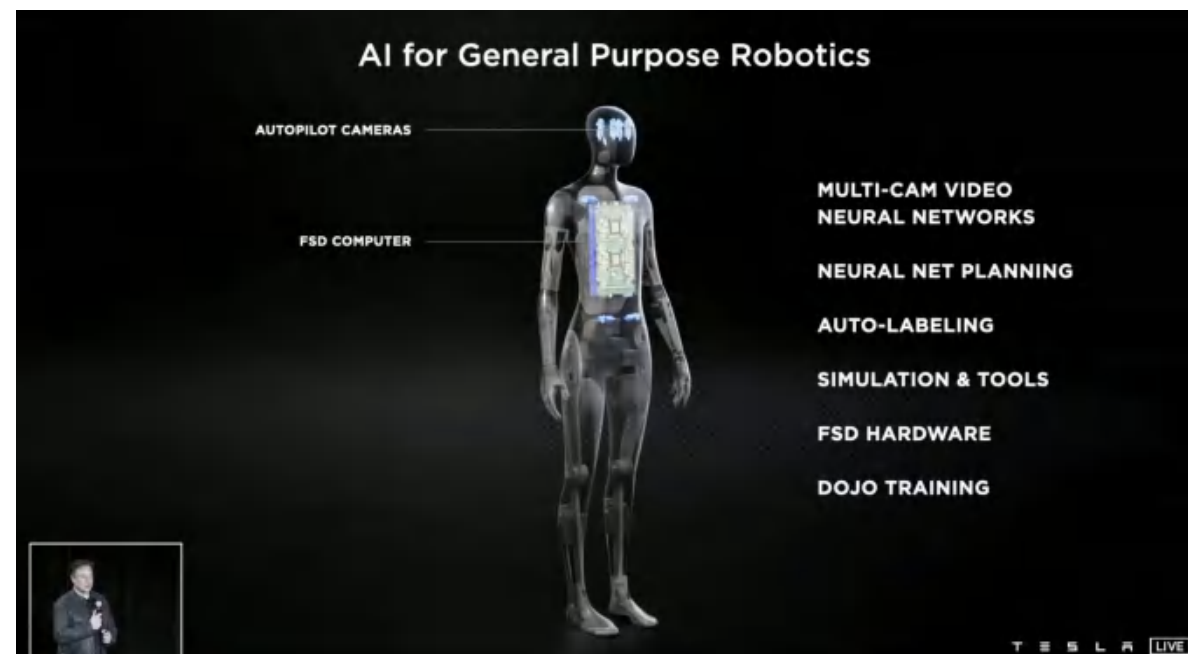
- **Tesla Bot横空出世，人形机器人快速更新。**2021年8月19日，在特斯拉首届AI Day活动中，马斯克亲自发布了概念机 Tesla Bot。按照马斯克的设想，Tesla Bot将由分布在机器人手臂、颈部、躯干、手掌、腿部的合计40个电机驱动，使用轻质材料构成主体，并拥有如人类一般灵活的双手。马斯克认为，Tesla Bot将会从处理无聊、重复和危险的事情开始，逐步去实现其他更复杂任务。

图表：Tesla Bot整体数据展示



资料来源：湃客：机器之心

图表：Tesla Bot具备高度具身智能特性



资料来源：湃客：机器之心

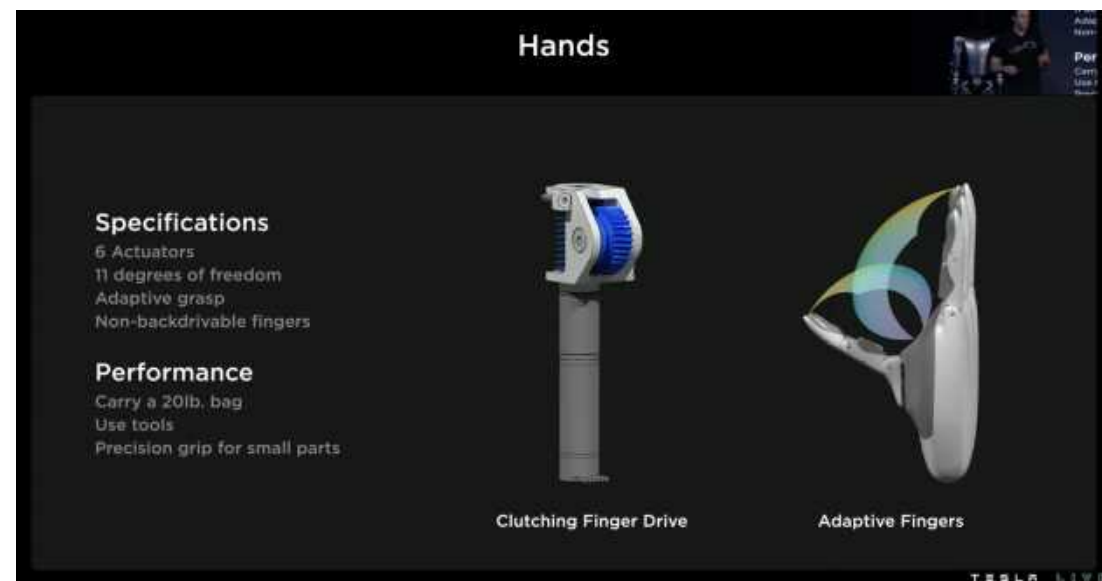
- **Optimus迭代进化，有望量产且大幅降低成本。**2022年9月30日，特斯拉在Tesla AI Day展示了人形机器人Optimus（擎天柱）的原型机版本，并在展示文档中分享了大量技术细节。马斯克认为Optimus有望在3-5年内实现量产，最终降本至2万美金一台，从而普通家庭亦可购买。
- **Optimus具有极高自由度。**Optimus全身共有40个关节，其中Optimus的四肢以及躯干部分合计有28个执行器关节，包括14个旋转执行器关节以及14个线性执行器关节。而Optimus的一双灵巧手则有12个执行器关节，每只手具备11个自由度，可以进行自适应抓取，且具备反向锁止功能。

图表：Optimus具有六种不同设计的执行器



资料来源：量子位公众号

图表：Optimus灵巧手执行关节示意



资料来源：国际船舶海工网

- **Optimus**力度控制能力，感知能力显著提升。2023年5月，特斯拉在其股东大会上发布了擎天柱Optimus 的演示视频，机器人的力度控制更加精准，可以接触但不击碎鸡蛋。机器人的感知能力亦显著提升，可以识别并记忆不同的路况。此外，Optimus 可以由人类输入动作范例，进行端到端的学习。
- 马斯克预计，Optimus的远期需求或达到100亿台。

图表：Optimus精准力度控制



资料来源：快科技

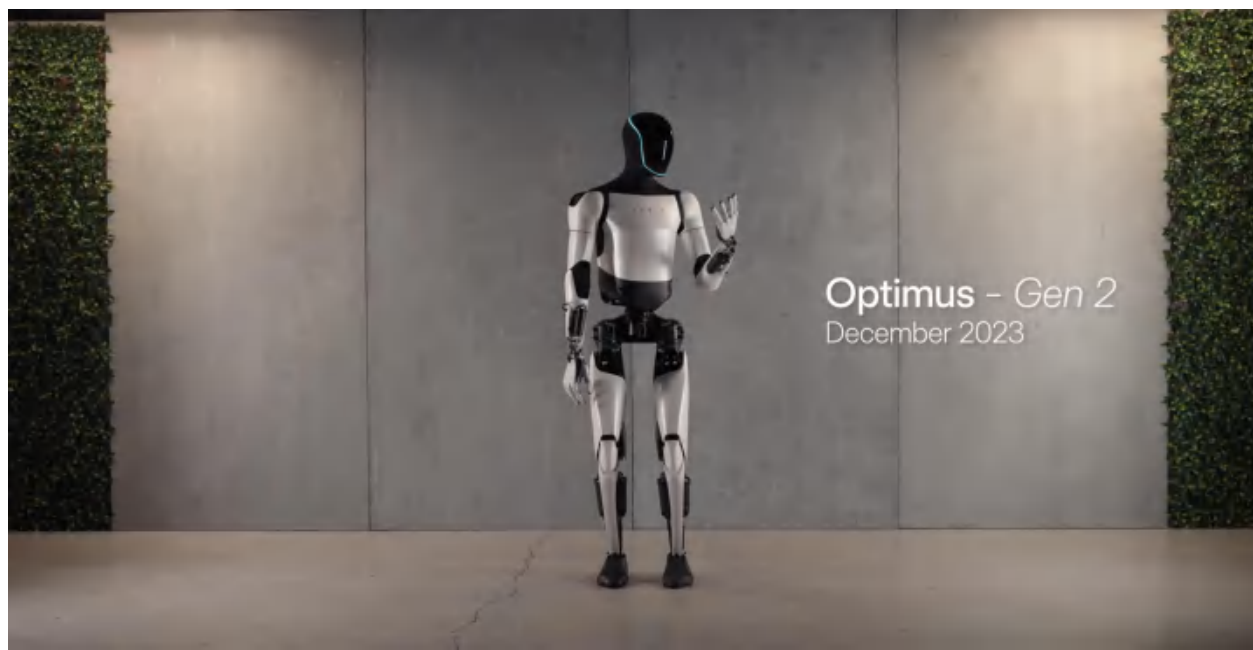
图表：Optimus学习人类动作范例



资料来源：快科技

- **Optimus Gen2智能机器人来袭，手部关节全新升级，力度控制进一步增强。**2023年12月，特斯拉发布Optimus Gen2的最新视频。视频显示，Optimus Gen2拥有 AI 大模型的加持，体重比一代减少10kg，步行速度加快30%，身体控制能力增强；手部关节全新升级，活动更加自然。手指部分均搭载触觉传感器，能更精准地抓握细小易碎物品。同时，Optimus Gen2还可以做多个深蹲动作，显示出其平衡能力有所增强。

图表：Optimus Gen2形态展示



资料来源：科创板日报

图表：Optimus Gen2高灵活度的双手

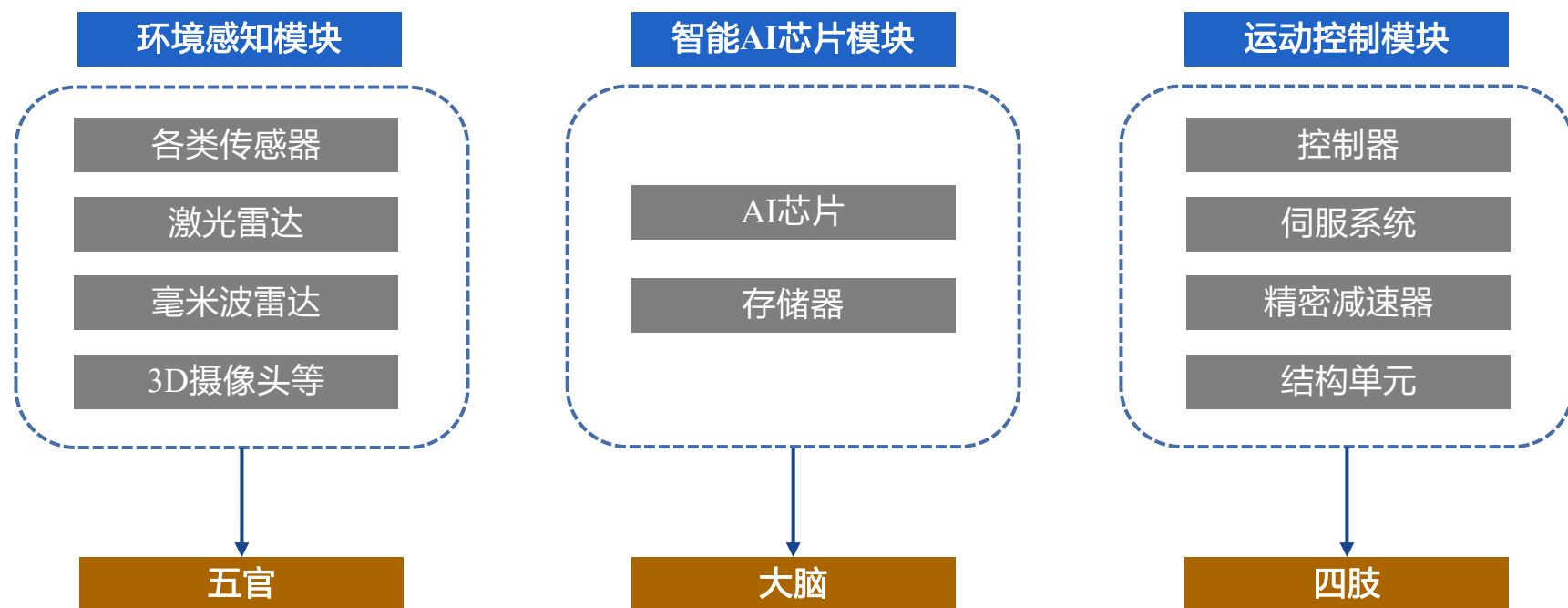


资料来源：华尔街见闻

- ◆ 人形机器人飞速迭代进化
- ◆ Optimus结构及原材料拆解
- ◆ 高性能钕铁硼供不应求
- ◆ PEEK是优选轻量化材料
- ◆ 特种钢材应用部位较多

- 人形机器人主要包含四大核心技术模块：环境感知模块、智能AI芯片模块、运动控制模块、操作系统模块，其中前三大技术模块与硬件有关。

图表：人形机器人三大硬件核心模块



资料来源：中国科学院自动化研究所，国海证券研究所

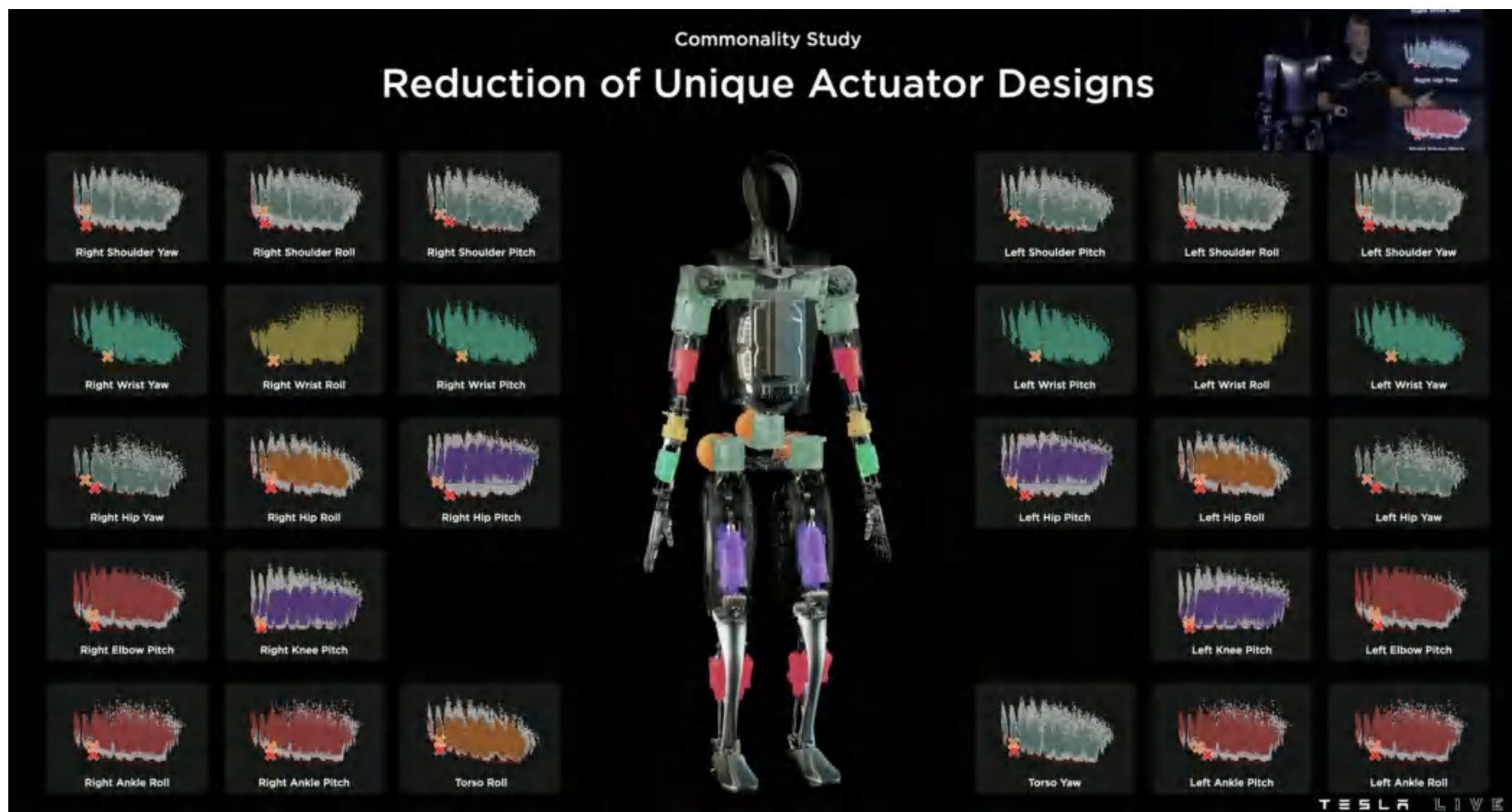
- Optimus全身有50个自由度，分布在各个身体部位。**人形机器人的自由度需要执行结构达成，组成Optimus的14个旋转执行器、14个线性执行器、灵巧手的多个空心杯关节为其带来了50个自由度，使其不同身体部位能够前摆(Pitch)、扭转(Yaw)、侧摆(Roll)运动，同时每只灵巧手的11个自由度让其能够执行更复杂的操作。

图表：Optimus自由度分布及对应执行结构的运动方式

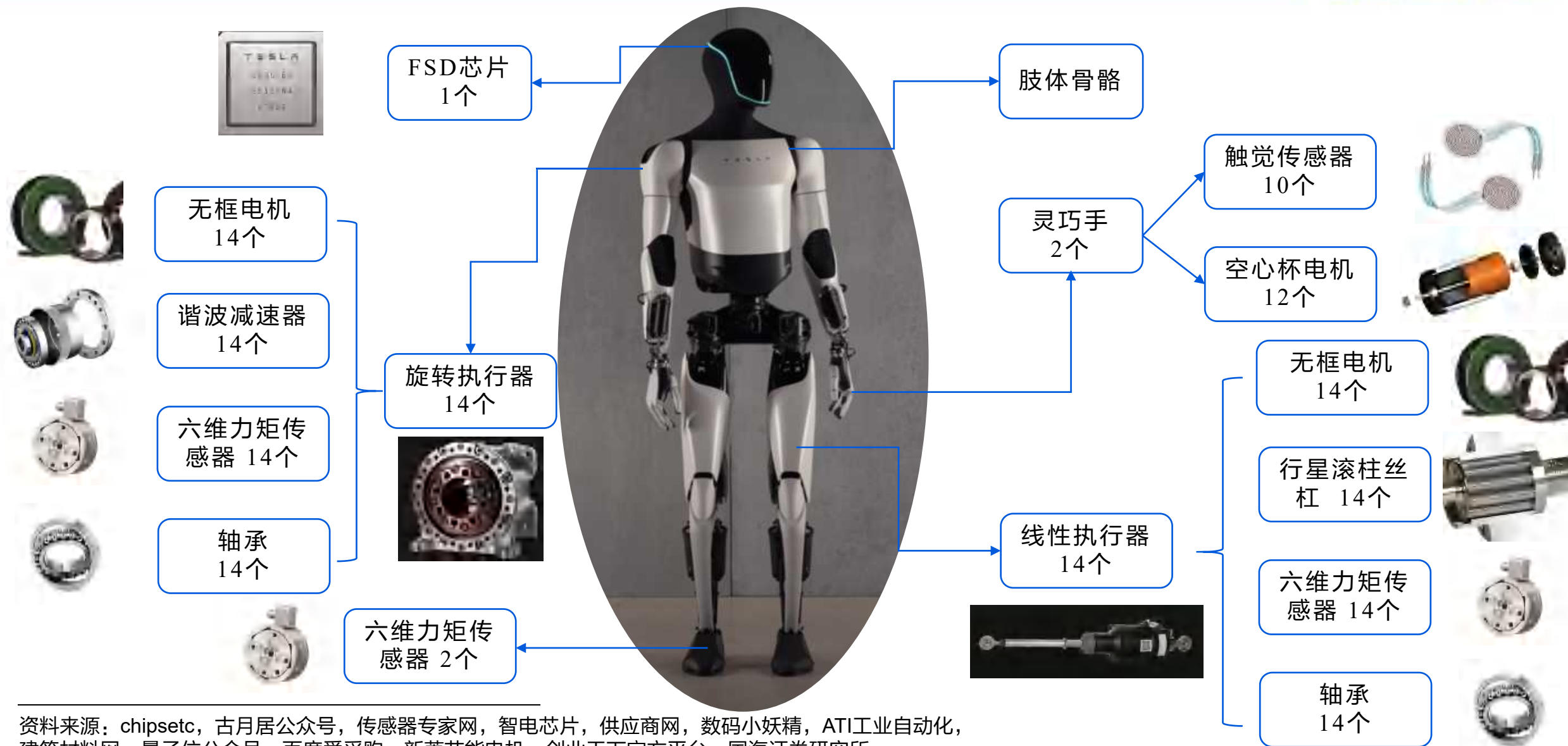
身体部位	自由度	旋转执行器	线性执行器	空心杯关节
肩部	3 (x2)	前摆 + 侧摆 + 扭转		
肘部	1 (x2)		前摆	
腕部	3 (x2)	扭转	前摆 + 扭转	
腰部	2	侧摆 + 扭转		
髋部	3 (x2)	侧摆 + 扭转	前摆	
膝盖	1 (x2)		前摆	
脚踝	2 (x2)		前摆 + 侧摆	
灵巧手	11 (x2)			自由运动
总计	50	14	14	22

资料来源：科创板日报，古月居公众号，国海证券研究所

图表：Optimus躯干上28个独特的执行器作用设计与位置分布



资料来源：智东西官方账号



资料来源: chipsetc, 古月居公众号, 传感器专家网, 智电芯片, 供应商网, 数码小妖精, ATI工业自动化, 建筑材料网, 量子位公众号, 百度爱采购, 新菱节能电机, 创业天下官方平台, 国海证券研究所

- 在Optimus整机的BOM中，FSD芯片及套件、六维力矩传感器、行星滚柱丝杠、谐波减速器、无框电机价值量位列前五，分别占整机价值的比重为27.68%、19.77%、14.30%、11.53%、9.23%。

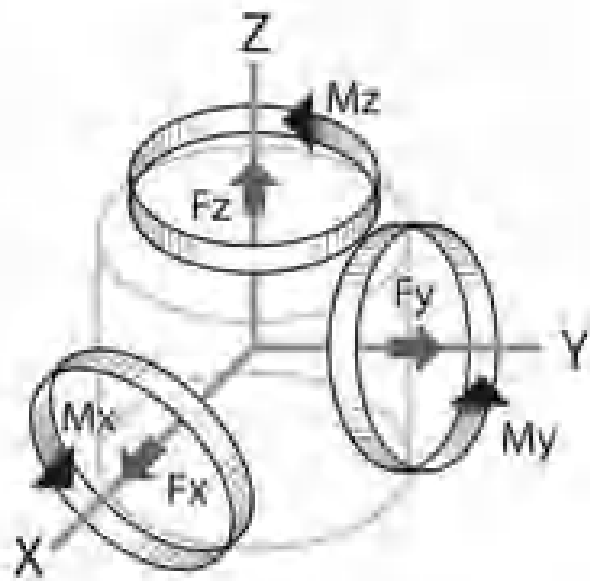
图表：Optimus成本拆分（单位：元）

零部件	数量	价格	总价	价值量占比
FSD芯片及套件	1	84000	84000	27.68%
六维力矩传感器	30	2000	60000	19.77%
行星滚柱丝杠	14	3100	43400	14.30%
谐波减速器	14	2500	35000	11.53%
无框电机	28	1000	28000	9.23%
肢体骨骼	1	12000	12000	3.95%
柔性触觉传感器	10	1136.8	11368	3.75%
空心杯电机	12	460	5520	1.82%
轴承	28	150	4200	1.38%
其他	1	20000	20000	6.59%
总计			303488	100%

资料来源：特斯拉官网，百度爱采购，阿里巴巴批发网，《A low-cost, human-like, high-resolution, tactile sensor based on optical fibers and an image sensor》，国海证券研究所；时间截止至2024年1月30日

- **六维力矩传感器**是性能最优、力觉信息最全面的力矩传感器，能够同时测量三个轴向力和三个轴向力矩，将力矩的物理变化转换成精确的电信号，满足任何方向上力的检测。
- 六维力矩传感器**技术壁垒较高**，需解决维间干扰、矢量解耦算法、动静态标定、对所测力分量敏感的单调性和统一性等问题。
- 六维力矩传感器应用于**每个线性执行器和旋转执行器上**，使Optimus结构更为简洁，对力的感知和控制效果更好。

图表：六维力矩传感器能满足任何方向上力的检测



资料来源：远瞻智库

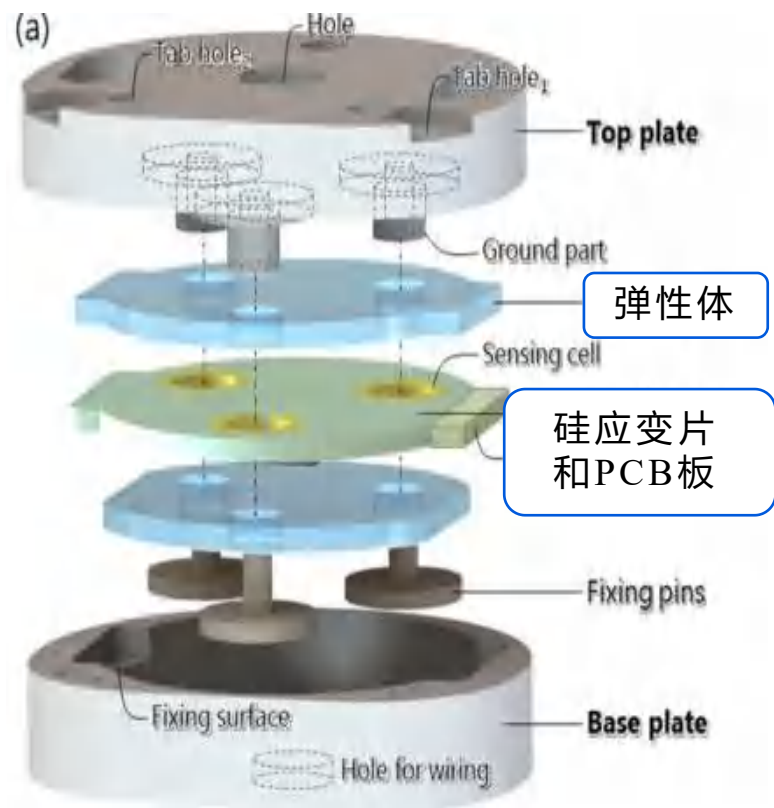
图表：六维力矩传感器应用于Optimus



资料来源：华尔街见闻，国海证券研究所

- 六维力矩传感器属于应变片式传感器，其主要组成部分包括弹性体(Elastomer)、硅应变片、PCB板等。弹性体材料包括铝合金、不锈钢等；PCB板的核心是覆铜板，是将电子玻纤布或其它增强材料浸以树脂，一面或双面覆以铜箔并经热压而制成的一种板状材料；这些部分价值较为便宜。
- 硅应变片是传感器的核心，也是其价值的主要组成部分。硅应变片是将单晶硅切片、研磨、腐蚀压焊引线，最后粘贴在聚酰亚胺的衬底上制成的，其关键是通过测量硅的体积变化带来电阻的变化，采集并计算以后得到力的大小。
- 硅应变片材料成本较低，但导致其价格高昂的原因是对应变精准测量采集的技术和加工工艺。截止2024年2月27日，硅应变片龙头KYOWA 的 KFWB 型号应变片的价格为445.2元/片，而标准130 μ m的N型单晶硅片仅需2.55元/片。

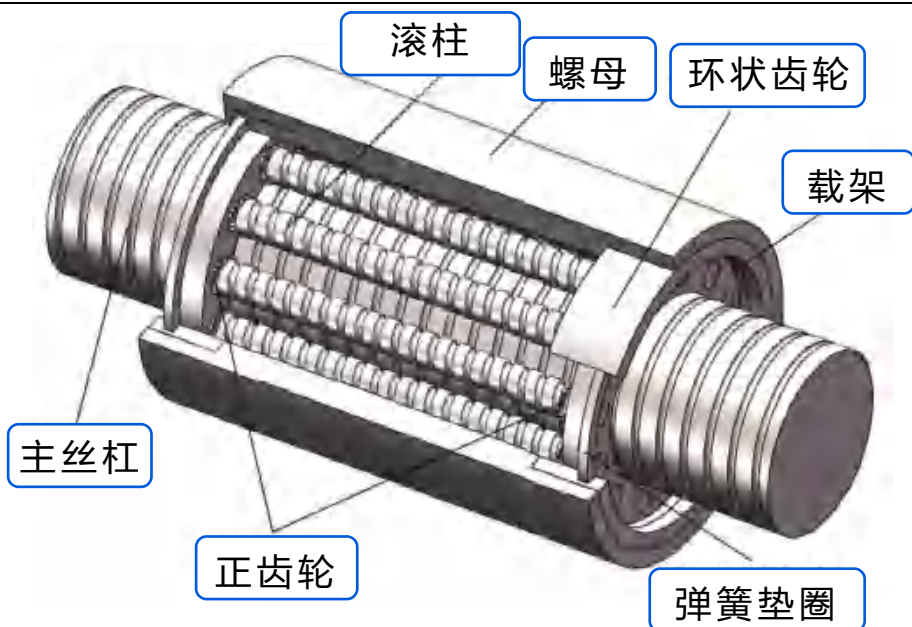
图表：一种六维力矩传感器的结构组成



资料来源：《Six-Axis Force/Torque Fingertip Sensor for an Anthropomorphic Robot Hand》，国海证券研究所

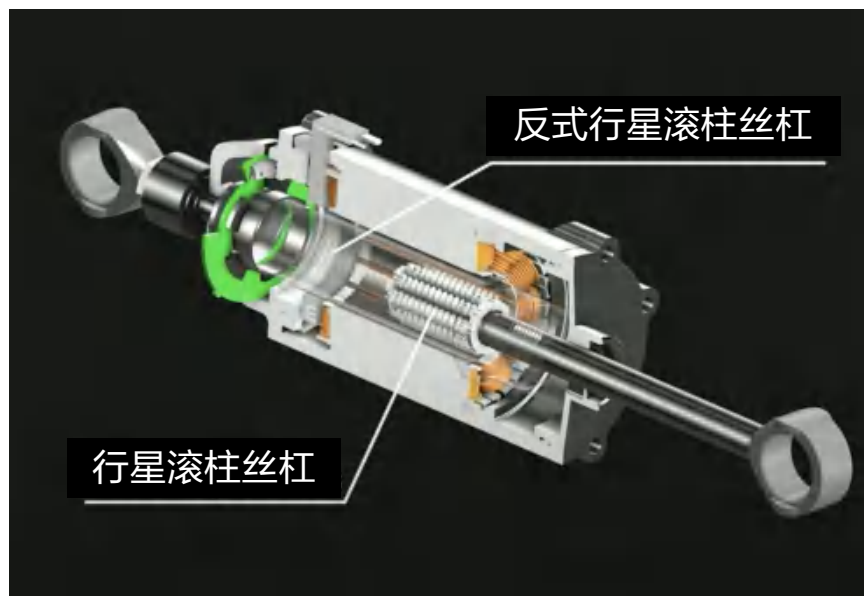
- **行星滚柱丝杠将电机的旋转运动转换为丝杠或螺母的直线运动。**行星滚柱丝杠的核心部件包括主丝杠，螺纹滚柱丝杠和螺母。主丝杠的周围，行星环绕般布置了6-12个螺纹滚柱丝杠，使行星滚柱丝杠具有运行速度高、承载能力强、使用寿命长等特性，作为液压系统的替代品更加适用于人形机器人。
- **行星滚柱丝杠具有高技术壁垒，售价高昂。**行星滚柱丝杠加工精度要求高，制作工艺繁琐复杂，可以为客户定制产品，选用高材质的钢材能为行星滚柱丝杠的加工精度提供保证，减小摩擦阻力，因此行星滚柱丝杠售价较为昂贵。

图表：行星滚柱丝杠结构拆解



资料来源：《Multi-objective optimization of planetary roller screw mechanism based on improved boundary condition》，国海证券研究所

图表：Optimus线性执行器中的行星滚柱丝杠



资料来源：砍柴网，国海证券研究所

- 行星滚柱丝杠的材料中，主丝杠选用的材料为50CrMo4或42CrMo4合金钢，螺母和滚柱选用的材料为GCr15轴承钢。50CrMo4合金钢具有高强度、高硬度和良好的抗疲劳性能，适用于制造需要承受高载荷的零部件；GCr15轴承钢耐磨性、抗接触疲劳强度高，热加工性好，适用于制造高耐磨性、高弹性极限和高接触疲劳强度的机械零件。

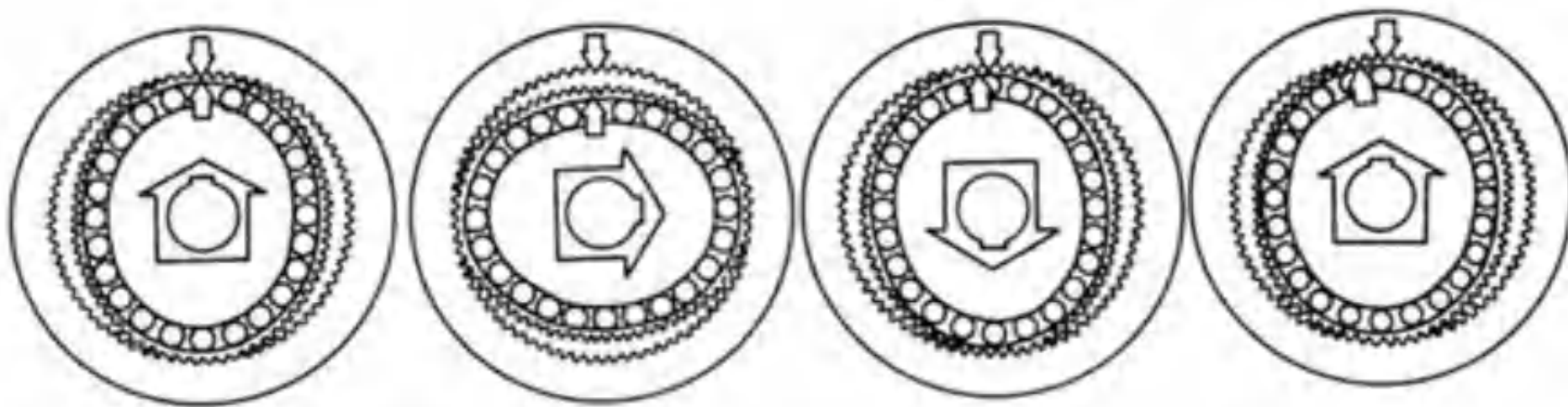
图表：行星滚柱丝杠标准钢材选择

零部件	钢	在标准回火温度下的 表面硬度	热处理	最大允许运行温度	性能
标准轴	50CrMo4 或 42CrMo4	58-60	感应淬火	110℃	良好的耐磨性 韧性
标准轴（按需求）	50CrMo4	58-60	感应淬火 高温回火	150℃	良好的耐磨性 中等温度下运行的韧性
特殊轴	GCr15	59-63	感应淬火	180℃	高耐磨性 适应于高的运行温度 更脆
螺母&滚柱	GCr15	58-62	淬透	180℃	良好的耐磨性 高温运行能力

资料来源：Ewellix官网，国海证券研究所

- **谐波减速器是旋转执行器的核心部件。**谐波减速器由波发生器、柔轮、刚轮组成，其工作原理是利用波发生器使柔轮产生可控弹性变形，并与刚轮相啮合来传递运动和动力的齿轮传动。
- 谐波减速器具有单级传动比大、体积小、质量小、运动精度高并能在密闭空间和介质辐射的工况下正常工作的优点，使其在机器人小臂、腕部、手部等部位具有较大优势，代表性厂商为日本哈默纳科、国内绿的谐波。

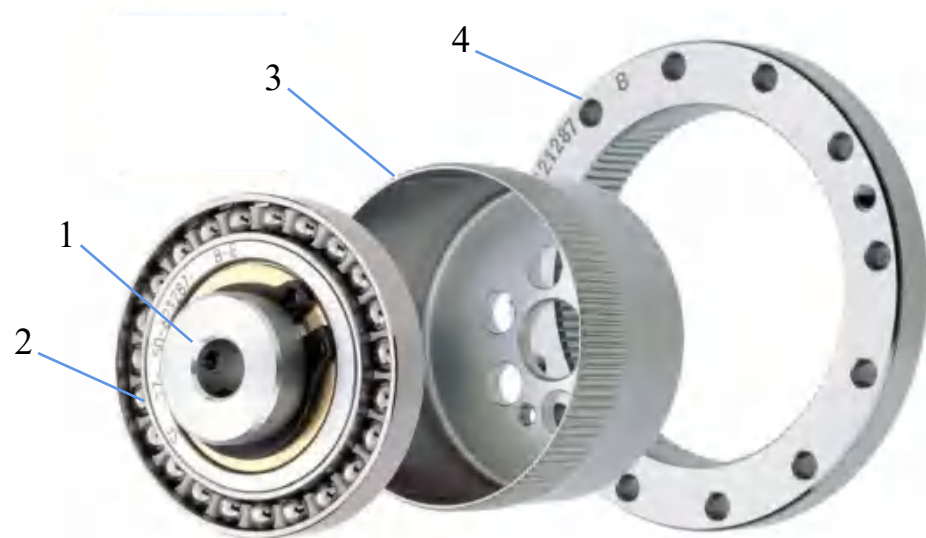
图表：谐波减速器工作原理示意图



资料来源：绿的谐波招股说明书

- **谐波减速器的核心技术**在于谐波齿形的设计、柔轮的设计和成型工艺、波发生器的加工工艺。这些设计工艺技术难点大，均属于企业的核心机密，而实现柔轮、刚轮、波发生器的优异性能还离不开对材料和材质的高要求，通过选择合适的材料能有效提高各零部件的抗疲劳性能，延长其使用寿命。
- **谐波减速器主要由钢材制成**。柔轮材料基本为40Cr合金钢，国外提纯技术较高。刚轮材料国内厂家一般使用工具钢或铸钢，而日本哈默纳科则采用球墨铸铁。波发生器由柔性轴承和凸轮组成，其材质采用工具钢或碳钢。

图表：谐波减速器主要结构示意图



1-凸轮，材料：工具钢或碳钢

2-柔性轴承，材料：工具钢或碳钢

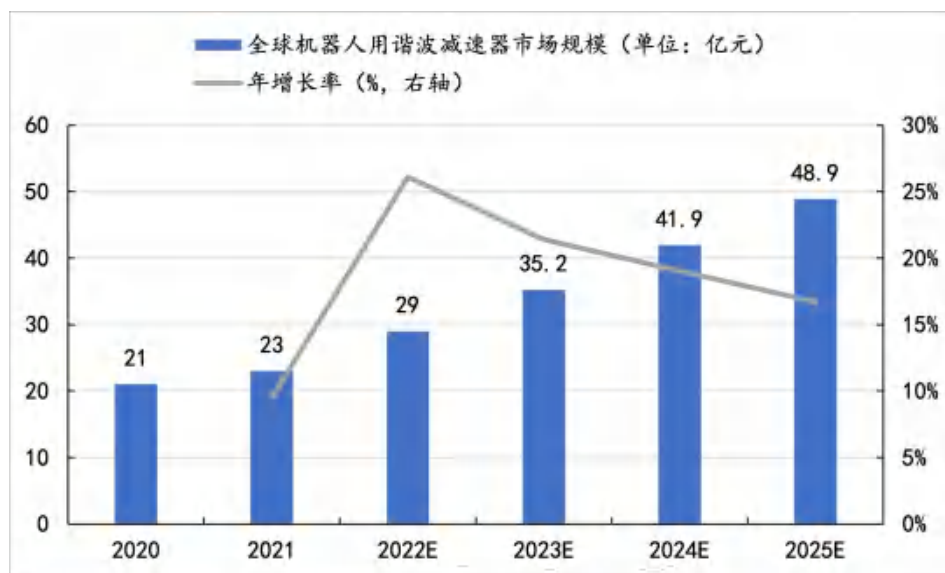
3-柔轮，材料：40Cr合金钢

4-刚轮，材料：工具钢或铸钢

资料来源：绿的谐波官网，国海证券研究所

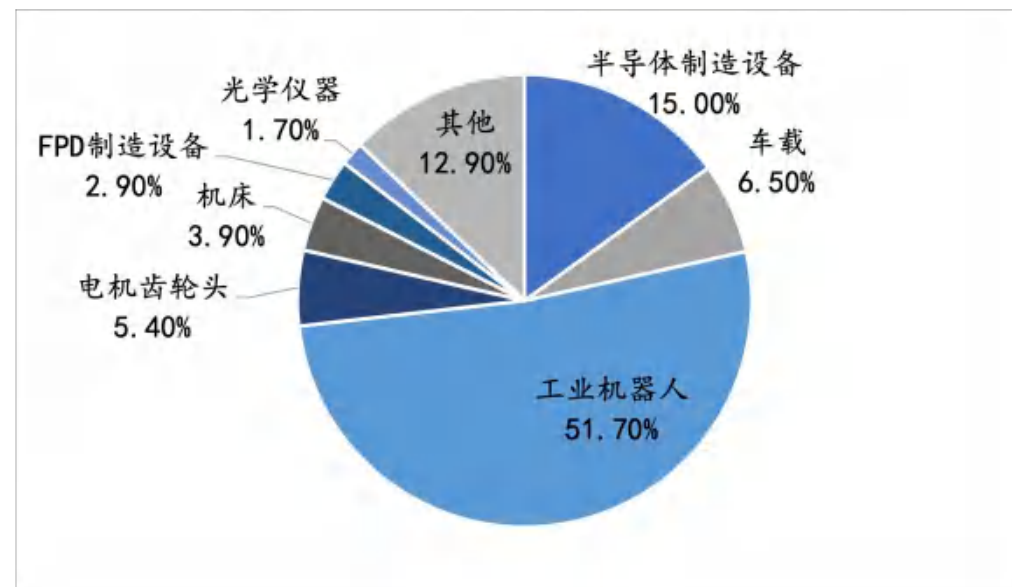
- **谐波减速器体积小，传动比高，精密度高**，适用于负载较轻的精密减速器领域，是人形机器人减速器的优选方案。资料显示，Optimus旋转执行器均采用谐波减速器，应用于肩关节、腕部、腰部、髋部等部位。
- **2025年全球机器人用谐波减速器市场预计达到48.9亿元**。近年来，全球机器人产业发展迅速，其产量持续增加；除工业机器人外，人形机器人也逐步进入谐波减速器的下游应用行业。据华经情报网数据，2020年全球机器人用谐波减速器市场规模21亿元，预计2025年市场扩容翻倍，达到48.9亿元。

图表：全球机器人用谐波减速器市场规模



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

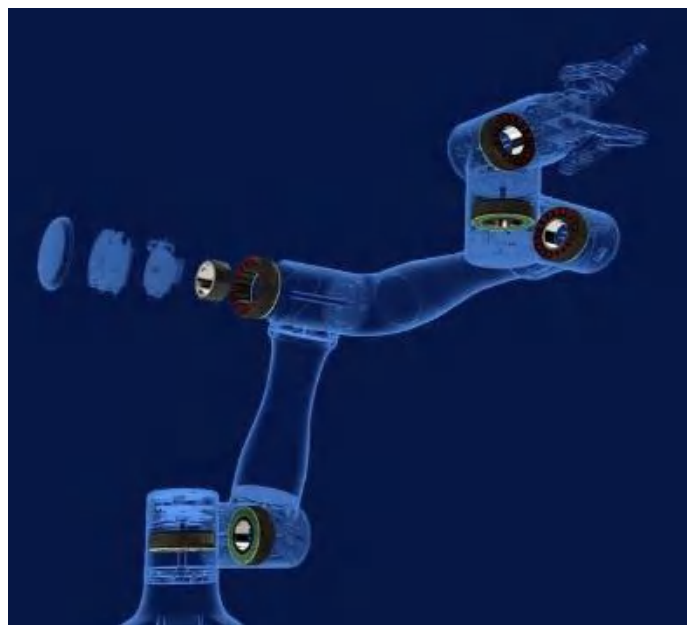
图表：2021年哈默纳科谐波减速器下游市场应用分布



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

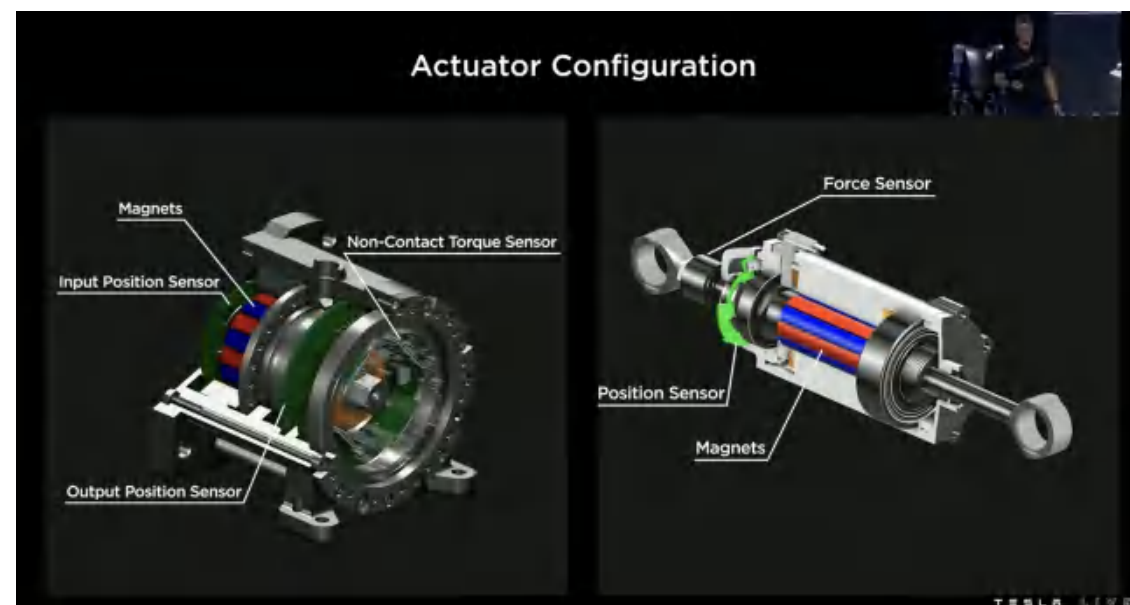
- 伺服电机可以控制速度，位置精度非常准确，可以将电压信号转化为转矩和转速以驱动控制对象。伺服电机接收到1个脉冲，就会旋转对应的角度，从而实现位移，能够很精确的控制电机的转动，实现精确的定位。
- 无框电机属于伺服电机的一种，是驱动人形机器人执行器工作的动力来源。无框电机消除了传统电机的铁芯，结构紧凑小巧，可实现更高的功率密度，具有低能耗和低摩擦的特点。

图表：无框电机应用于机器人关节



资料来源：科尔摩根官网，国海证券研究所

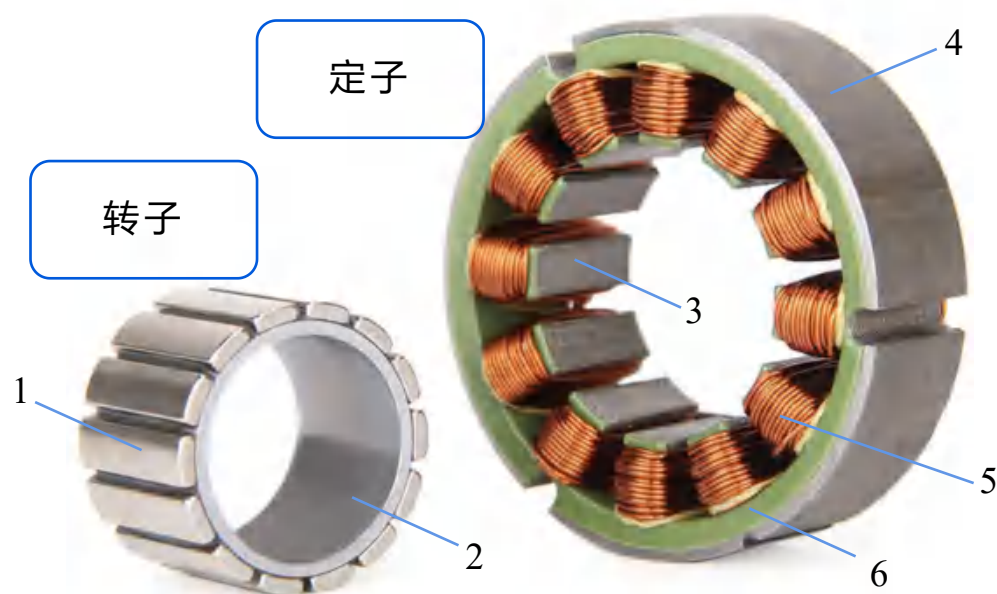
图表：Optimus执行器中电机结构拆解



资料来源：澎湃新闻客户端，国海证券研究所

- **无框电机仅由一组定子和转子组成。**转子由带永磁体的旋转钢圆环组件构成，直接安装在机器轴上；定子包含有高磁导率磁芯，外面包裹着能产生电磁力的铜绕组，紧凑地安装在机器外壳的主体内。据观研报告网，在上述材料中永磁材料价值量最高，占整体的35%。
- 根据尼得科为机器人关节设计的无框电机产品参数，其转子重量在0.027kg-0.336kg之间，我们估计中等型号的转子中使用钕铁硼永磁材料的量为0.1kg。

图表：无框力矩电机结构拆解



- 1-环形永磁铁，材料：钕铁硼/钕钴
- 2-轮毂，材料：SS400系列冷轧钢
- 3-高磁导率磁芯，材料：钴铁合金/镍铁合金/硅钢片
- 4-外壳，材料：铝合金
- 5-线圈，材料：铜、清漆涂层
- 6-绝缘涂层，材料：聚氨酯/聚合树脂

资料来源：科尔摩根官网，国海证券研究所

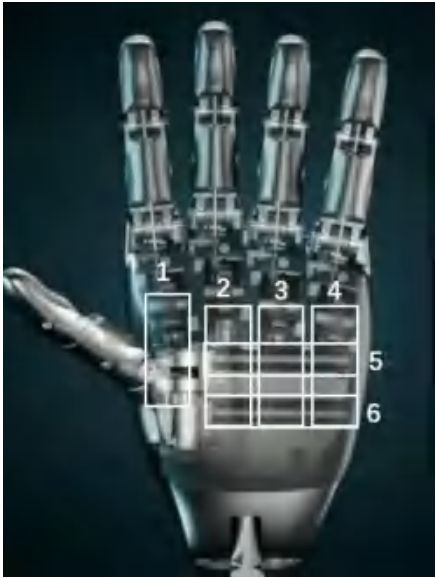
- **空心杯电机**属于直流永磁的伺服电机，是一种微特电机（尺寸不超过40mm）。空心杯电动机体积小、高效、低噪音，具有突出的节能特性、灵敏方便的控制特性和稳定的运行特性，技术先进性十分明显。
- **无刷空心杯电机**通过驱动器实现电子换向，相比于有刷空心杯电机，因其转速更高、寿命更长适合应用在人形机器人手部。Optimus每只灵巧手上均有6个空心杯电机驱动的空心杯关节，给予灵巧手11个自由度，从而实现更加灵活、精密的操作。

图表：空心杯电机的特性对比

有刷空心杯电机	无刷空心杯电机
工作寿命2000h	工作寿命长（20000h）
转速低	高转速
有火花	电磁干扰几乎为零
无铁损	有铁损

资料来源：观研报告网，国海证券研究所

图表：Optimus灵巧手的六处空心杯电机



资料来源：环球Tech，国海证券研究所

- **空心杯电机的核心技术壁垒在于定子/转子的自支撑绕组技术上。**实现自支撑绕组技术的关键点，在于绕组形式和绕组设备。目前空心杯电机的绕组类型包括直线型、斜绕型、同心式绕型等，德国Faulhaber、瑞士Maxon等海外厂商在绕组工艺和技术沉淀方面具有优势，使得其空心杯电机产品性能优异。
- **组成无刷空心杯电机的主要结构包括线圈、转子、外壳、霍尔传感器等。**线圈由漆包线绕制而成，而漆包线由铜和绝缘材料构成。转子由永磁材料和铁芯组成，其中永磁材料价值量最大。

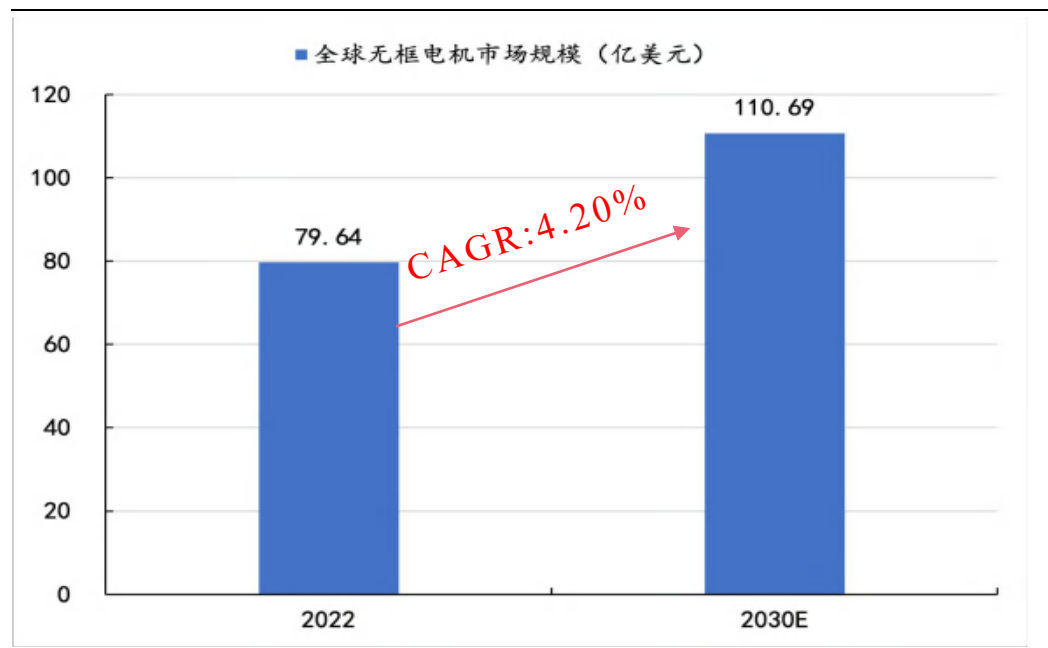
图表：无刷空心杯电机结构拆解



资料来源：丙通电子元件有限公司

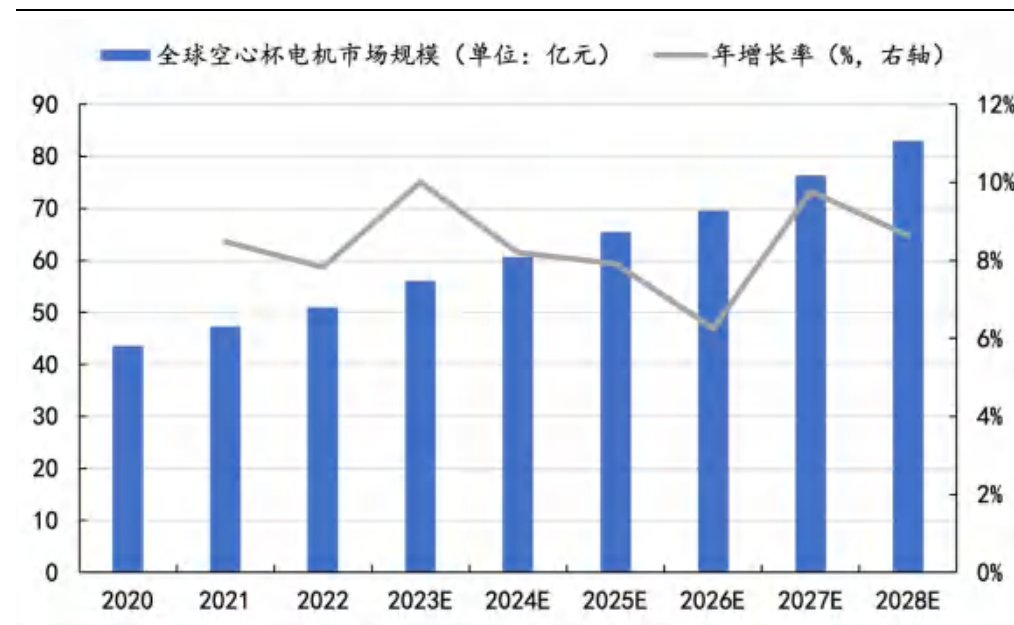
- 机器人关节要求电机体积小、扭矩大、响应快。无框力矩电机轻量化、功率高，低转速情况下能够输出更大扭矩，非常符合人形机器人的需求。空心杯电机体积小、性能优异，非常适用于灵巧手。
- 全球无框电机以及空心杯电机市场规模庞大。据Global Growth Insights，2022年全球无框电机销售规模为79.64亿美元。根据观研报告网的统计，2022年空心杯电机市场规模为51亿元，预计2028年市场规模将达到83亿元，2022-2028年CAGR为8.5%。
- 无框电机在Optimus上应用数量达到28个，空心杯电机的应用数量为12个，未来市场空间巨大。

图表：全球无框电机销售规模



资料来源：Global Growth Insights，国海证券研究所

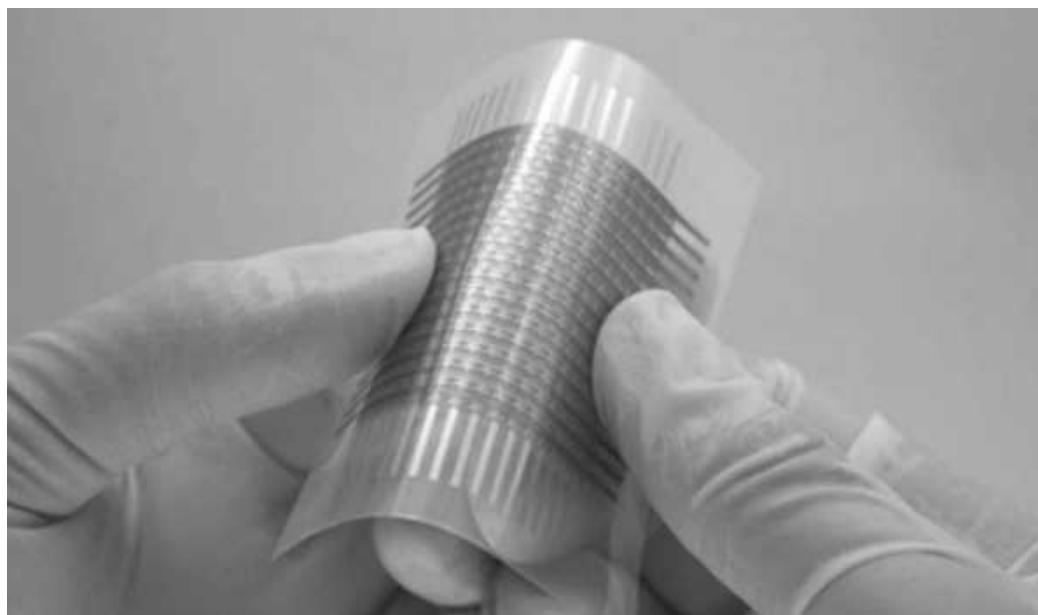
图表：2020-2028E全球空心杯电机市场规模



资料来源：观研报告网，国海证券研究所

- **触觉传感器**是机器人直接感知环境作用的重要传感器，能够实现与环境接触力、温度、湿度、震动、材质、软硬等特性的检测。触觉传感器的拟真体现在是否具有柔性。
- 触觉传感器接触面积越大，获得的信息量越大。在触觉传感阵列中单位面积内传感单元数量越多，即触觉传感阵列分辨率越高，获得的物体信息越准确。

图表：一款典型的阵列式触觉传感器



资料来源：《A large-area, flexible pressure sensor matrix with organic field-effect transistors for artificial skin applications》

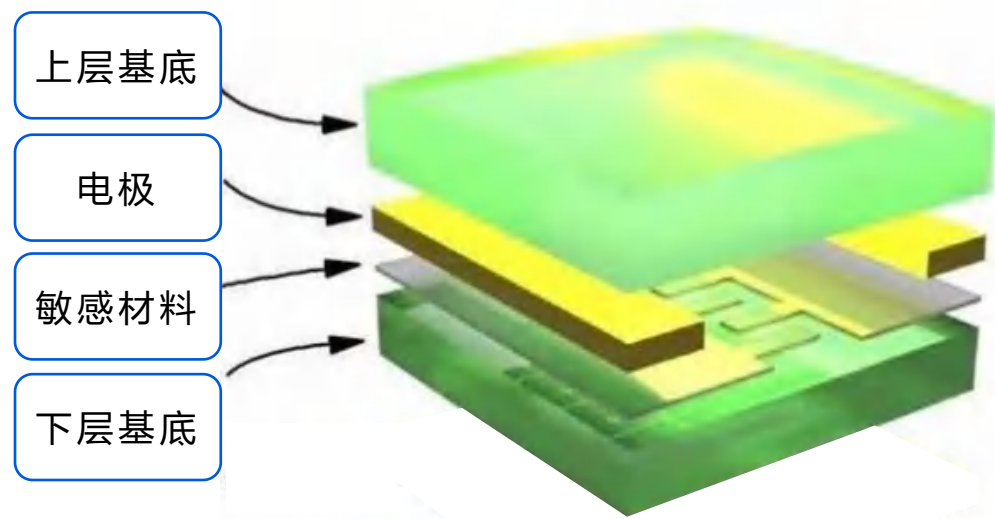
图表：Optimus的每只手指均配备柔性触觉传感器



资料来源：盖世汽车资讯

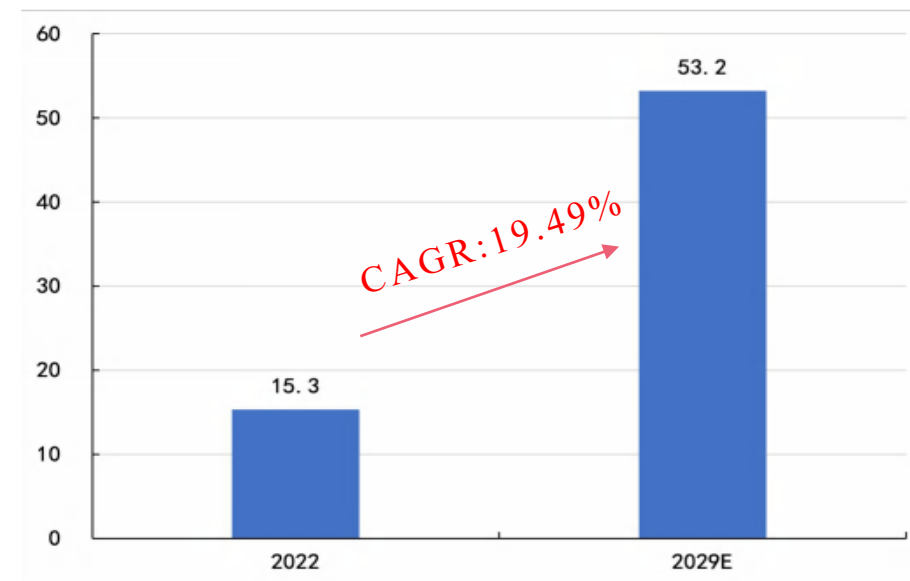
- **柔性触觉传感器材料选择**包括敏感材料(半导体、有机聚合物、碳纳米管、石墨烯等)和柔性基底材料。柔性基底材料需要具有轻薄、透明、柔性和拉伸性好、绝缘耐腐蚀等性质，材质一般为硅橡胶、聚二甲基硅氧烷（PDMS）等。日本公司XELA Robotics应用于机器人的产品uSkin采用的就是硅橡胶。
- **柔性触觉传感器的价值较高**。根据文献《A low-cost, human-like, high-resolution, tactile sensor based on optical fibers and an image sensor》，一只灵巧手的五只手指若全部配备以硅橡胶为基底的多阵列柔性触觉传感器，需要花费812美元。

图表：柔性触觉传感器结构拆解



资料来源：麦姆斯咨询，国海证券研究所

图表：全球柔性触觉传感器市场规模（单位：亿美元）



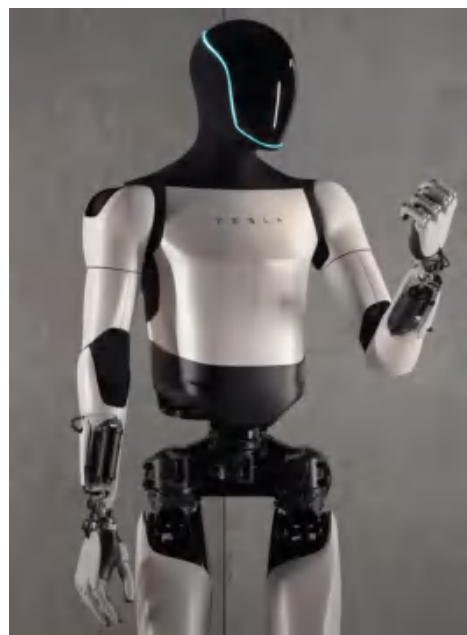
资料来源：QY Research，国海证券研究所

- **肢体骨骼是支撑人形机器人进行各种行动的基本框架**，其应用场景包括外壳材料、脊椎、大臂、小臂、大腿、小腿等结构件。目前人形机器人肢体骨骼的常用材料包括钢材、铝合金、镁合金、碳纤维等。
- 以Optimus为例，总重73kg中减去零部件重量30kg、电池组重量11.5kg，则结构件重量31.5kg。2022年发布的Optimus的肢体骨骼材料选用的是铝合金。假设肢体骨骼的2/3部分能由性能优异且更重量轻的PEEK替代，按照铝合金:PEEK密度比例2:1计算，则每台人形机器人PEEK的用量约为10.5kg。

图表：人形机器人腿部的肢体骨骼示意



图表：肢体骨骼主要为人形机器人外壳



资料来源：澎湃新闻客户端，锌财经

- 结合Optimus上应用的六种不同执行器重量和各零部件生产企业的产品信息，我们假设谐波减速器重量平均为0.5kg、行星滚柱丝杠重量平均为0.5kg、轴承平均重量为0.1kg，得到人形机器人原材料单机用量测算。
- 经测算，人形机器人单机原材料总价为7316.8元，占总成本的比重为2.41%。

图表：人形机器人重要原材料单机用量测算

原材料	应用于何种零部件	单量/kg	数量	单机用量/kg	单价(元/kg)	单机价格/元
聚醚醚酮PEEK	肢体骨骼-结构件	10.5	1	10.5	500	5250
钕铁硼永磁材料	无框电机-转子	0.1	28	3.4	500	1700
	空心杯电机-转子	0.05	12			
铝合金	肢体骨骼-结构件	10.5	1	10.5	19.5	204.75
50CrMo4合金钢	行星滚柱丝杠-主丝杠	0.3	14	7.7	15	115.5
	谐波减速器-刚轮	0.25	14			
GCr15轴承钢	轴承	0.1	28	7.7	5.1	39.27
	谐波减速器-波发生器	0.15	14			
	行星滚柱丝杠-螺母&滚柱	0.2	14			
40Cr合金钢	谐波减速器-柔轮	0.1	14	1.4	5.2	7.28

资料来源：有色宝，金力永磁公司公告，中研股份招股说明书，百度爱采购，我的钢铁，国海证券研究所；时间截止至2024年1月30日

- 对人性机器人产业的重要原材料进行市场空间敏感性分析，根据之前对Optimus原材料单机用量的测算，得到各原材料的未来市场增量空间。

图表：人形机器人产业重要原材料市场空间敏感性分析

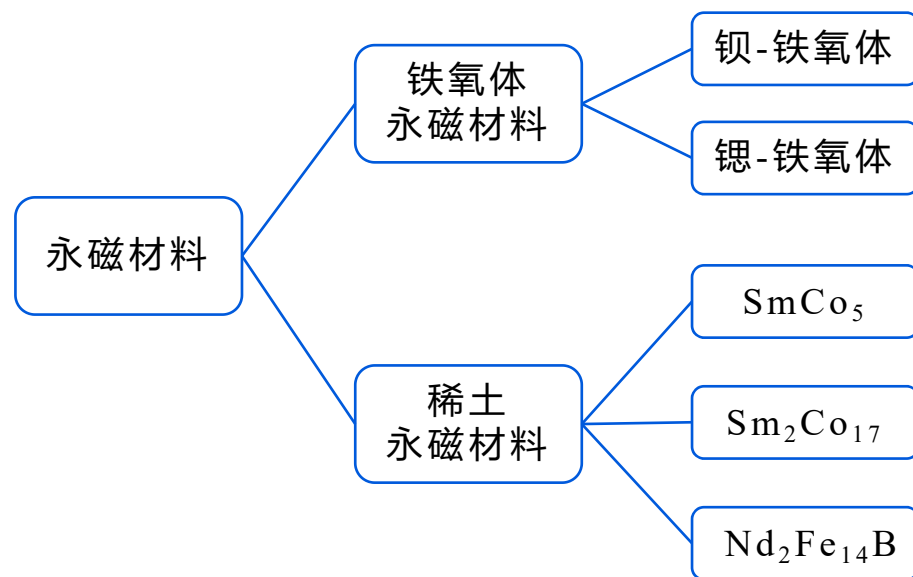
原材料	单机用量(kg)	不同人形机器人销量假设下的原材料市场增量空间测算（吨）			单价 (万元/吨)	不同人形机器人销量假设下的空间测算（亿元）		
		100万台	500万台	1000万台		100万台	500万台	1000万台
聚醚醚酮PEEK	10.5	10500	52500	105000	50	52.5	262.5	525
钕铁硼永磁材料	3.4	3400	17000	34000	50	17	85	170
铝合金	10.5	10500	52500	105000	1.95	2.05	10.24	20.48
50CrMo4合金钢	7.7	7700	38500	77000	1.5	1.155	5.775	11.550
GCr15轴承钢	7.7	7700	38500	77000	0.51	0.393	1.964	3.927
40Cr合金钢	1.4	1400	7000	14000	0.52	0.073	0.364	0.728

资料来源：有色宝，金力永磁公司公告，中研股份招股说明书，百度爱采购，我的钢铁，国海证券研究所；时间截止至2024年1月30日

- ◆ 人形机器人飞速迭代进化
- ◆ Optimus结构及原材料拆解
- ◆ 高性能钕铁硼供不应求
- ◆ PEEK是优选轻量化材料
- ◆ 特种钢材应用部位较多

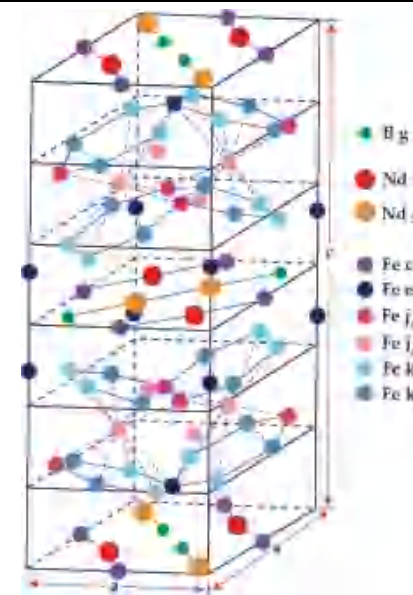
- **永磁材料**，又称“硬磁材料”，指的是一经磁化即能保持恒定磁性的材料，主要利用钕、钐等稀土元素与钴、铁等过渡金属组成合金，代表为稀土永磁材料、铁氧体永磁材料。自第一代稀土永磁材料问世以来，稀土永磁已经历第一代 SmCo_5 系材料，第二代沉淀硬化型 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 系磁体，发展到第三代钕铁硼（ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ）系永磁材料。
- **钕铁硼永磁材料**具有高磁能积、高矫顽力、体积小、质量轻、稳定性强的特性，是目前应用范围最广、性价比最高、综合性能最优的磁性材料。根据生产工艺的不同，钕铁硼永磁材料可分为烧结钕铁硼、粘结钕铁硼、热压钕铁硼。烧结钕铁硼产量占比最高，基本保持在85%以上，处于市场主导地位。

图表：永磁材料分类



资料来源：新材料在线，国海证券研究所

图表：钕铁硼是硼少量掺杂的四方晶系晶体



资料来源：《Relationships between crystal structure and magnetic properties in $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 》

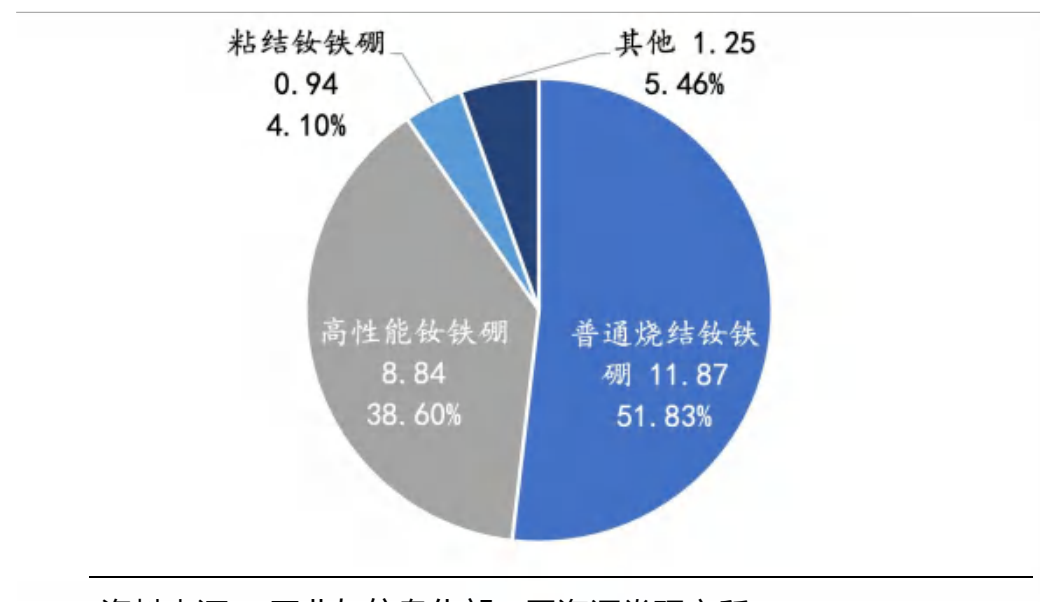
- **高性能钕铁硼**是内禀矫顽力和最大磁能积之和大于60的烧结钕铁硼磁材。相比于产品同质化严重、技术含量低的中低性能钕铁硼产品，高性能钕铁硼具有极高的尺寸精度，磁性均匀性和一致性好，易加工成各种形状尺寸，特别适用于高功率、高磁场领域以及小型化、轻量化的各种产品。
- **伺服电机是驱动人形机器人运行的无法取代的方式**。伺服电机在控制精度、过载能力、速度响应等方面均优于步进电机，更加适用于机器人领域。而永磁材料是伺服电机性能优劣的关键；在人形机器人轻量化、体积小要求下，高性能钕铁硼成为电机永磁材料的最优解。

图表：钕铁硼产品分类、制作工艺及性能特点介绍

种类	制作工艺	性能特点	量产情况
普通烧结钕铁硼	粉末冶金工艺	高磁性相含量	大量量产
高性能钕铁硼	晶界渗透技术等	高剩磁、高矫顽力 高磁能积、高性价比	部分量产
粘结钕铁硼	钕铁硼快淬磁粉 模压成型	体积小、精度高 磁场均匀稳定	少量量产
热压钕铁硼	热挤压、热变形工艺	致密度高、磁性能强 耐高温性好	难以量产

资料来源：头豹科技创新网，《新材料产业》，国海证券研究所

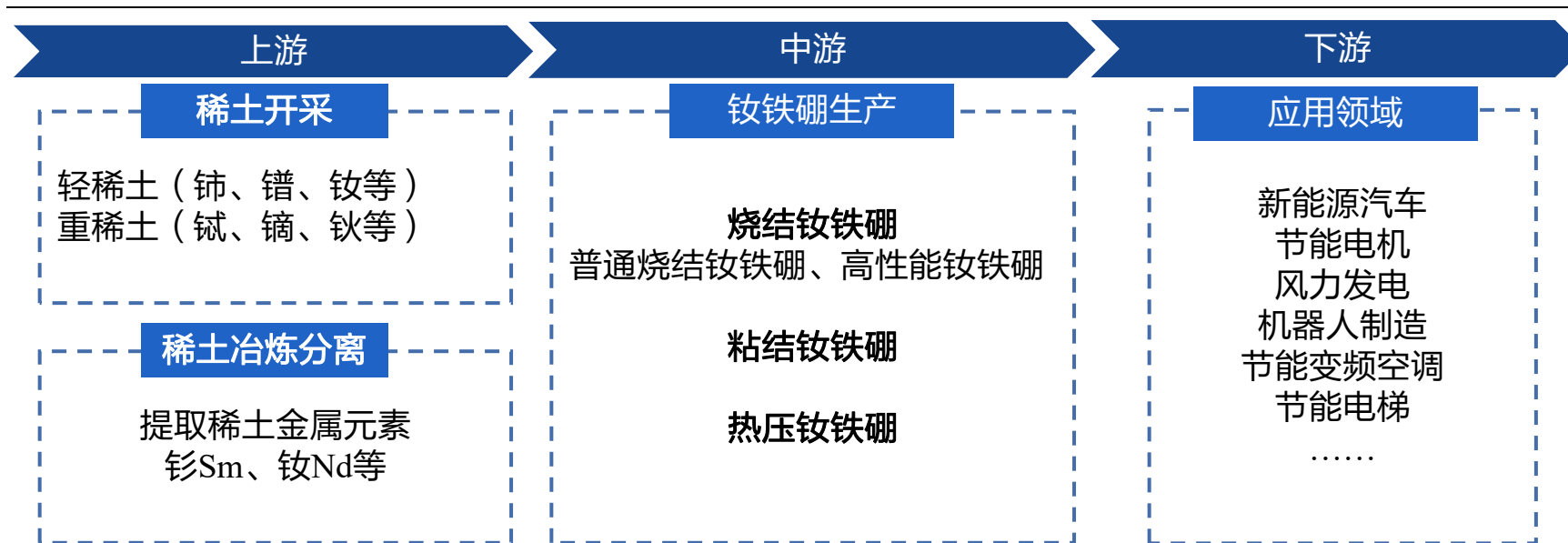
图表：2021年中国钕铁硼产品分布情况（单位：万吨）



资料来源：工业与信息化部，国海证券研究所

- **钕铁硼产业链**上游是稀土开采和冶炼分离行业；中游主要为钕铁硼生产制造行业，两极分化明显：低端市场门槛低，产能分散，产品同质化明显，市场竞争无序，而高端市场具有较高的技术、资金准入门槛，未来发展空间广阔；钕铁硼产业链下游应用包括新能源汽车、节能电机、风力发电、机器人制造等领域。

图表：钕铁硼产业链



资料来源：观研报告网，12306海关热线，国海证券研究所

- 钕铁硼产业链中端企业在国际上有日本日立金属、信越化工、德国VAC等企业，在中国有中科三环、金力永磁、正海磁材、宁波韵升、英洛华等企业。
- 高性能钕铁硼产品需求充足，但存在较高的专利壁垒，生产技术门槛较高。国际龙头凭借先发优势，通过专利封锁国际市场、强化其垄断地位，如日立金属拥有大部分关于烧结钕铁硼的专利等。国内企业只能通过专利使用许可生产并向海外销售相关材料。

图表：全球高性能钕铁硼主要生产企业概览

日立金属



信越化工



德国VAC



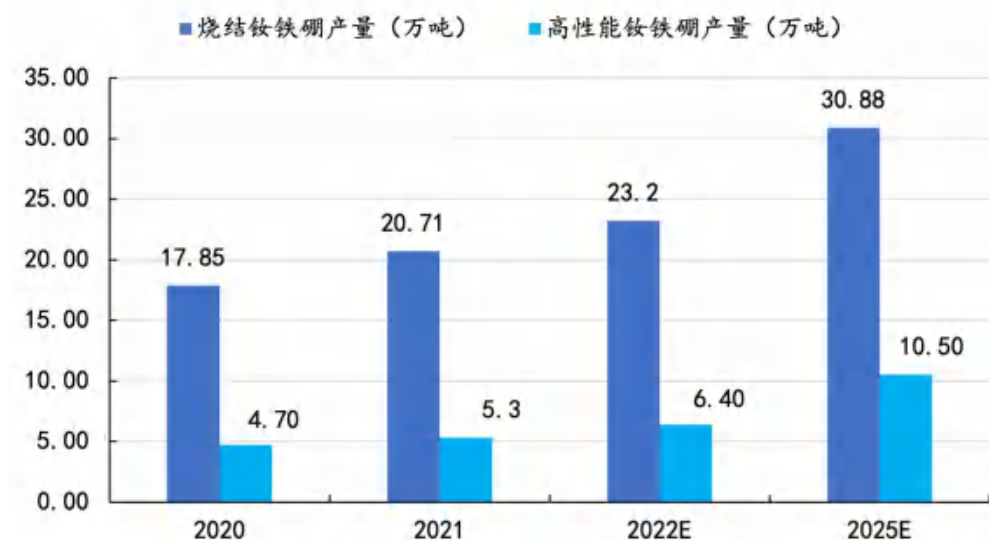
大地熊®



资料来源：各公司官网，凤凰网，排行榜网，国海证券研究所

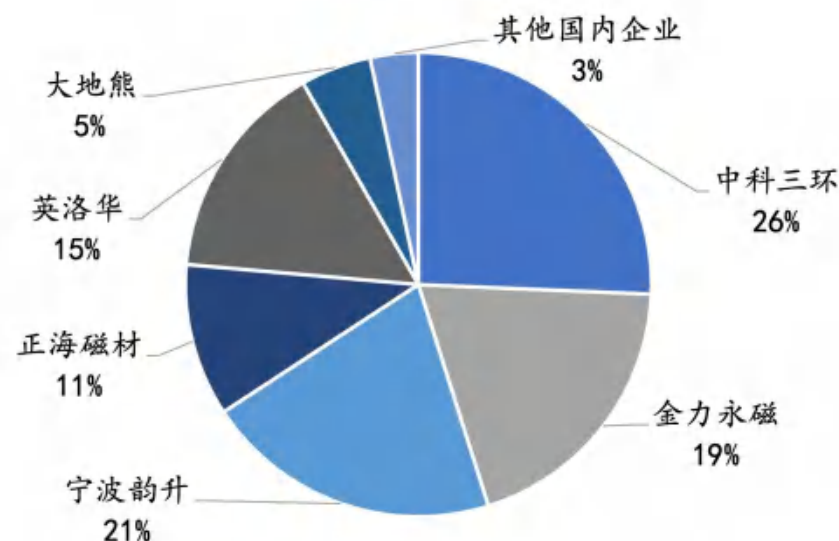
- **高端产能不足，规模两极分化。**据工信部数据，2022年中国烧结钕铁硼产量预计超过23万吨，但其中高性能钕铁硼产量预计仅有6.4万吨，占比不足30%。目前中国钕铁硼永磁材料生产企业普遍规模较小、技术工艺相对简单、产品性能及品质不高，而高端应用领域产能不足，目前只有少量上市企业能够从事相关研发和生产。
- **国产替代加速，有望突破专利封锁。**2021年中国高性能钕铁硼市场中，上市企业市占率超过95%；在未来随着各上市企业产能扩张，国产高性能钕铁硼产量将持续走高。同时，各上市企业研发持续攻关，在国内均有生产高性能钕铁硼材料的相关专利技术，待日立金属专利到期后将更易冲向海外市场。

图表：2020年-2025年中国钕铁硼永磁材料产量



资料来源：工信部，立鼎产业研究网，华经情报网，中研网，国海证券研究所

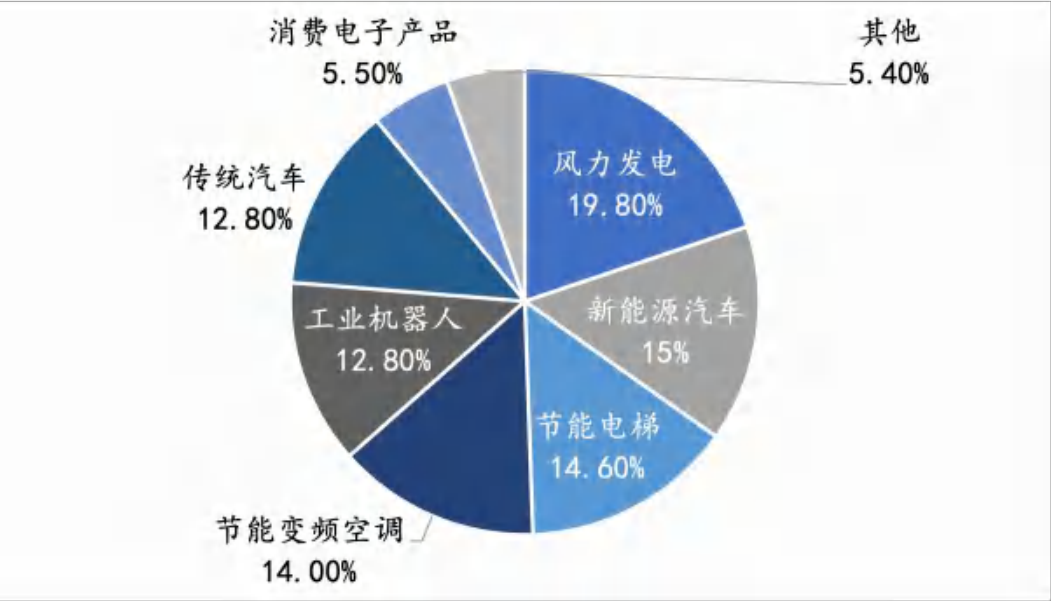
图表：2021年中国高性能钕铁硼市场企业市占率



资料来源：立鼎产业研究网，国海证券研究所

- 钕铁硼产业链下游应用包括新能源汽车、变频空调、风力发电、机器人制造等领域，**新能源车、机器人成为未来钕铁硼永磁材料的重要增长点**。一辆新能源汽车中需要使用到电机的部位达到30个，配备的电机数量可达50台。预计特斯拉每台人形机器人需要3.4kg高性能钕铁硼永磁材料。此外，每台高端变频空调的高性能钕铁硼用量达到0.28kg，每台工业机器人高性能钕铁硼用量范围约为0.3-30kg。
- 我们预测，一台人形机器人将消耗3.4kg的高性能钕铁硼产品，在未来全球人形机器人销量达到100万台、1000万台时，人形机器人将分别给高性能钕铁硼市场带来3400吨、3.4万吨的增量，未来增长空间庞大。

图表：2020年中国高性能钕铁硼产品下游消费分布



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

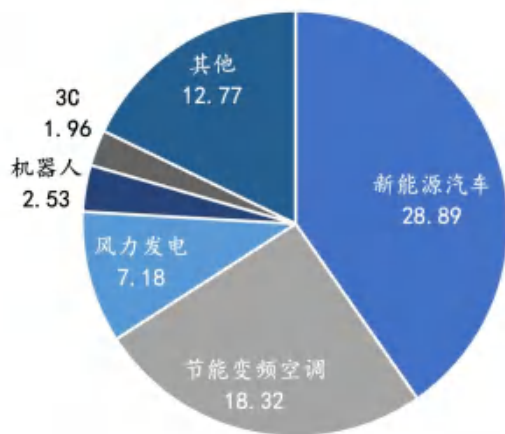
图表：人形机器人拉动高性能钕铁硼需求测算

全球人形机器人销量（万台）	100	1000
单台人形机器人钕铁硼用量（kg）	3.4	3.4
人形机器人拉动钕铁硼增量（吨）	3400	34000
高性能钕铁硼单价（万元/吨）	50	50
人形机器人拉动钕铁硼市场（亿元）	17	170

资料来源：金力永磁公司公告，微纳通科技，宇烁强力磁铁厂家，国海证券研究所；
时间截止至2024年1月30日

- **全球领先的高性能稀土永磁材料生产商。**2022年，公司的高性能稀土永磁材料产量为12786吨，其中使用晶界渗透技术生产高性能稀土永磁材料9965吨。根据金力永磁年报，截止2022年底，公司已经具备23000吨的高性能稀土永磁材料产能，预计2025年产能能够达到40000吨。
- **具有庞大的产能、卓越的研发能力、专有技术以及强大的产品交付能力。**在新能源汽车领域，公司产品被2022年全球前十大新能源汽车生产商用于生产驱动电机；在节能变频空调领域，全球变频空调压缩机前十大生产商中的八家均为公司的客户；在风电领域，全球前五大风电整机厂商中的四家均为公司客户；公司积极布局 3C、机器人及工业伺服电机等领域，并处于领先地位。

图表：金力永磁2022年销售收入结构（单位：亿元）



资料来源：金力永磁公司公告，国海证券研究所

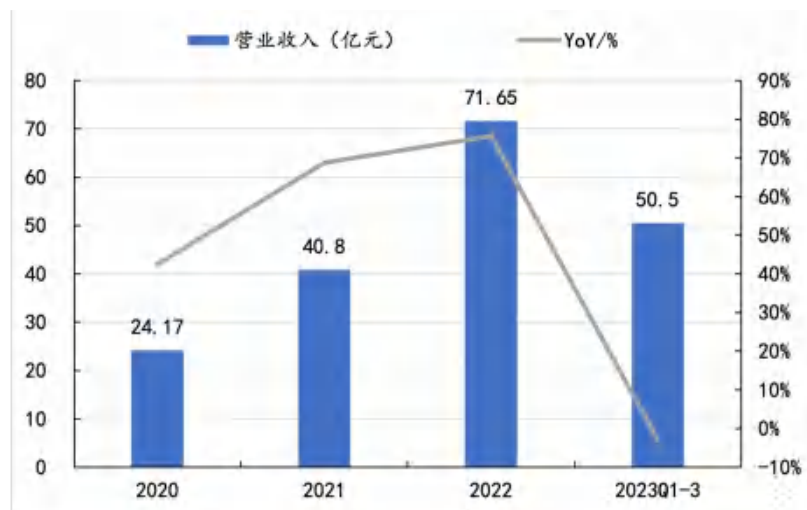
图表：金力永磁机器人领域相关产品



资料来源：金力永磁官网

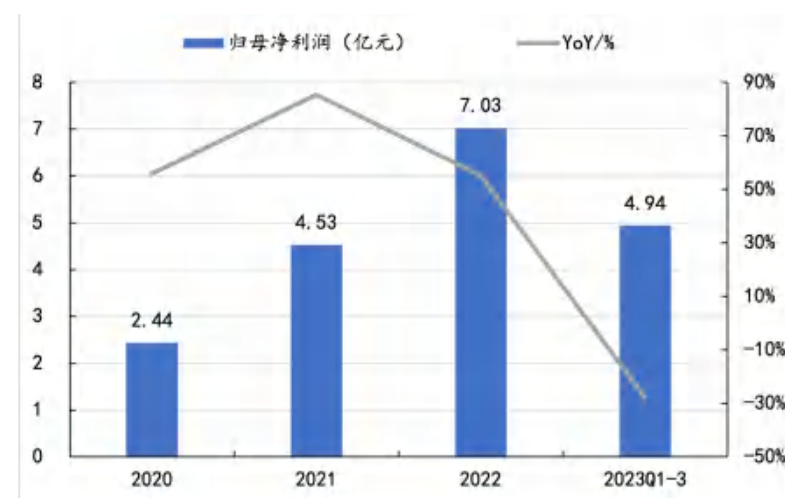
- 公司财务概览：**公司2020年度至2022年度的营业收入分别为24.17亿元、40.80亿元、71.65亿元，公司归母净利润分别为2.44亿元、4.53亿元、7.03亿元。公司2020年度至2022年度营业收入CAGR为72.17%，归母净利润CAGR为69.74%。公司技术储备深厚，多领域已切入下游头部客户，受益于新能源汽车及汽车零部件领域收入快速提升（同比增长174.97%），公司实现了较高速的利润增长。

图表：金力永磁营业收入及同比增速



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

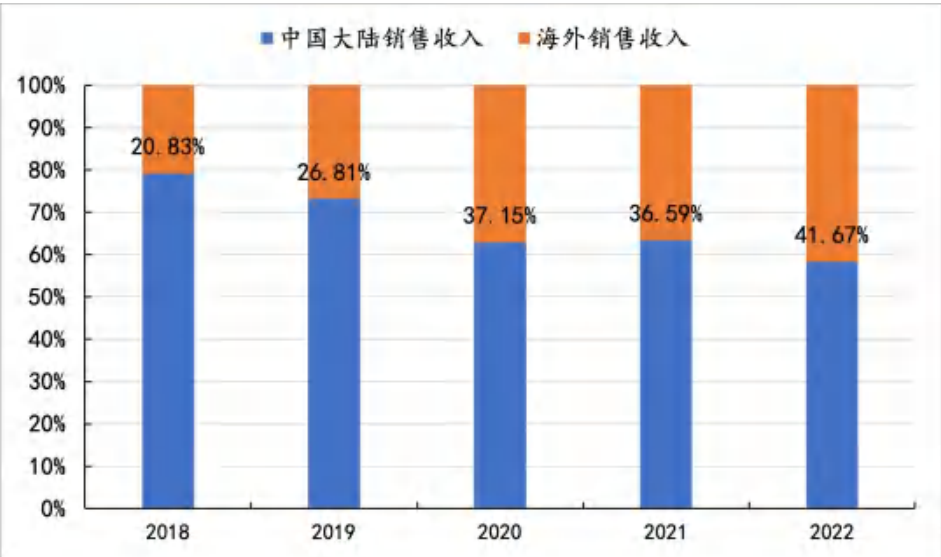
图表：金力永磁归母净利润及同比增速



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

- **深耕钕铁硼永磁材料领域。**自2000年公司成立以来，主营业务一直为高性能钕铁硼永磁材料和新能源汽车电机驱动系统的研发、生产、销售和服务。2011年，公司于深交所创业板上市，从此进入高速发展时期。
- **产能不断扩张，拓展海外市场。**截至2022年底，公司拥有烟台厂区和在建的江苏南通生产基地，现有钕铁硼产能规模为24000吨，未来南通基地产能全部建成后公司总产能有望达到36000吨。公司是取得日本日立金属钕铁硼相关专利授权的企业之一，积极拓展海外业务，先后在已在德国、日本、韩国、美国、马来西亚设立了营销服务基地。

图表：正海磁材海外市场销售收入比例不断增加



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

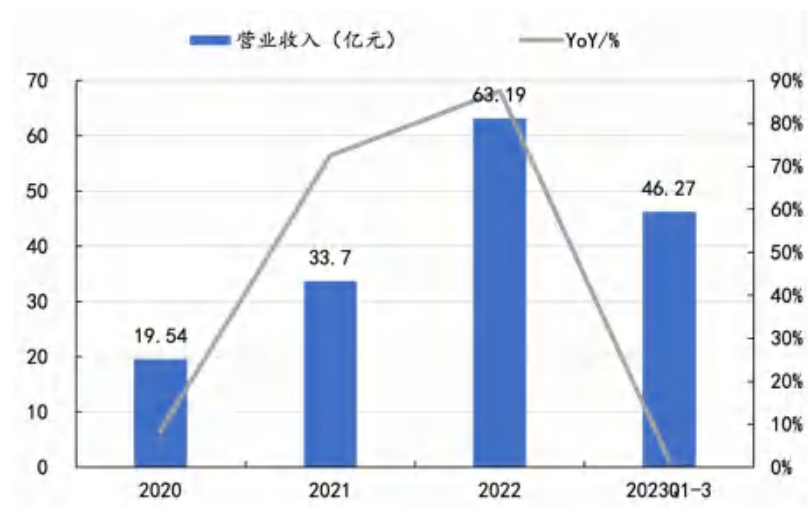
图表：正海磁材制备高性能钕铁硼的核心技术



资料来源：正海磁材官网

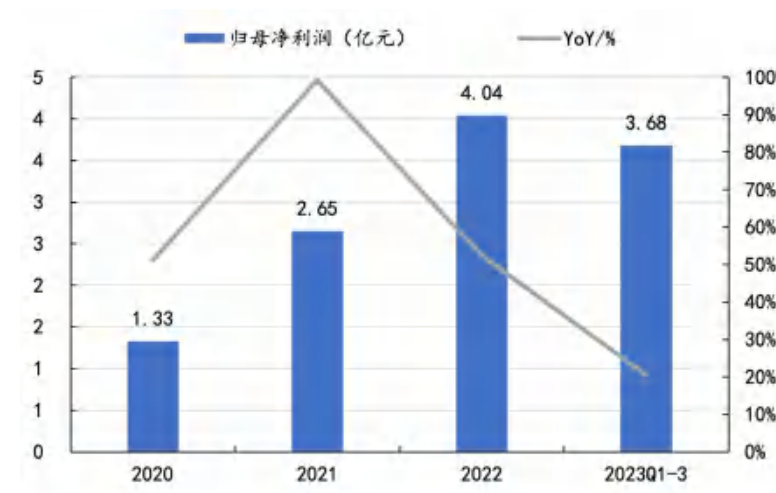
- **产品种类多元，下游应用不断拓展。**公司的高性能钕铁硼产品覆盖N至ZH八大类和多种牌号，应用于新能源汽车、节能家电、风力发电、智能消费电子等领域。目前公司的节能及新能源汽车产品在全球销量前十大汽车制造商中已有九家实现量产。
- **公司财务概览：**公司2020 年度至2022 年度的营业收入分别为19.54 亿元、33.7 亿元、63.19 亿元，公司归母净利润分别为1.33亿元、2.65亿元、4.04亿元。公司2020 年度至2022 年度营业收入CAGR 为79.83%，归母净利润CAGR 为74.29%，增速较快。

图表：正海磁材营业收入及同比增速



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

图表：正海磁材归母净利润及同比增速



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

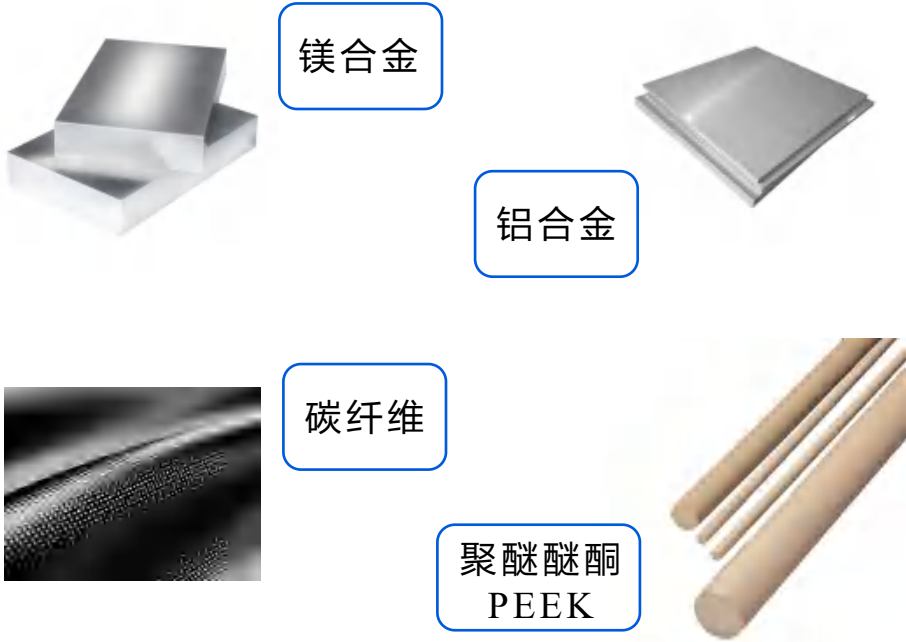
- ◆ 人形机器人飞速迭代进化
- ◆ Optimus结构及原材料拆解
- ◆ 高性能钕铁硼供不应求
- ◆ PEEK是优选轻量化材料
- ◆ 特种钢材应用部位较多

- 机器人本体轻量化技术能解决在紧密空间内的人与机器人的紧密协作、保证机器与人类一起协作工作时不会受到机器的伤害、提高机器人的机动灵活性等问题。
- 机器人轻量化的基本原则是在保证机器人功能的先进性、稳定性、使用的可靠性和服役的安全性的前提下，通过结构优化设计、轻量化材料选择、先进制造工艺，来达到机器人构件轻量化的目的。

图表：机器人轻量化材料要求及解释

轻量化材料要求	解释
高强度	保证在较高外力作用下不发生永久变形和断裂
较大的弹性模量和弹性极限	需要具有抵抗弹性变形的能力，同时要尽可能的避免服役过程中的塑性变形
质量轻	减少使用能耗，降低运动惯性，减少传动部件的负担
较大的震动阻尼	有助于吸收机器人瞬间终止运动产生的残余能量，以提高执行机构的定位精度和传动平稳性

图表：机器人轻量化结构材料选择



资料来源：《机器人轻量化材料应用的研究进展》于成涛等，《机器人产业及其关键材料的现状及趋势》化定奇，国海证券研究所

资料来源：《机器人轻量化材料应用的研究进展》于成涛等，国海证券研究所

- **PEEK是综合性能和产品附加值最高的特种工程塑料。**PEEK 性能全面，在刚性方面优于绝大多数特种工程塑料的同时，也兼具韧性，展现了全面的机械性能，此外也有优异的耐热、耐磨、耐腐蚀性能。
- **PEEK比强度大、密度低。**在满足强度要求的前提下，PEEK可以大幅度减小材料本身的自重，成为实现轻量化的解决方案，工业领域“以塑代钢”应用空间广阔。
- **PEEK可通过与碳纤维、玻纤等材料复合来提高材料的综合性能。**借助于碳纤维很高的拉伸强度和弹性模量，碳纤维复合PEEK材料展现出更高的韧性、抗冲击性、比强度、热稳定性，扩展了PEEK材料的应用场景。

图表：常用普通塑料、工程塑料及特种工程塑料示意图



资料来源：中研股份招股说明书

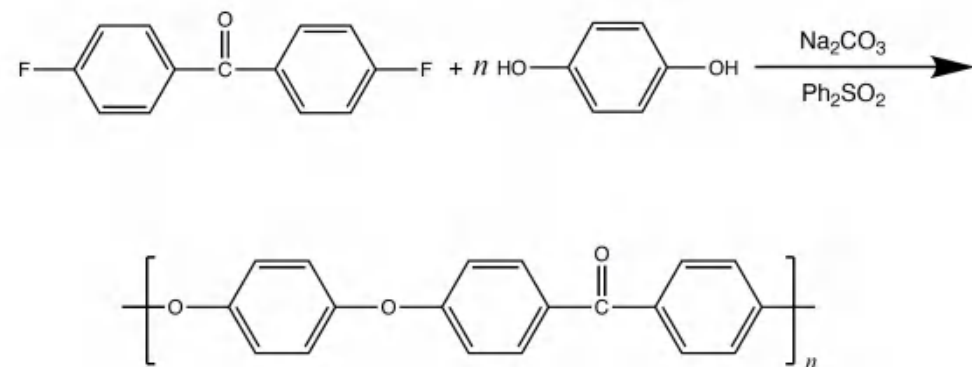
图表：PEEK在物理化学性能方面具有明显优势

材料	密度/(g · cm ⁻³)	耐化学性	比强度/(N · m · kg ⁻¹)
钢	7.8	良	70
铝合金	2.8	良	190
PEEK	1.29	优	1500

资料来源：中研股份招股说明书，《碳纤维复合材料在机械手臂中的应用》王娣等，国海证券研究所

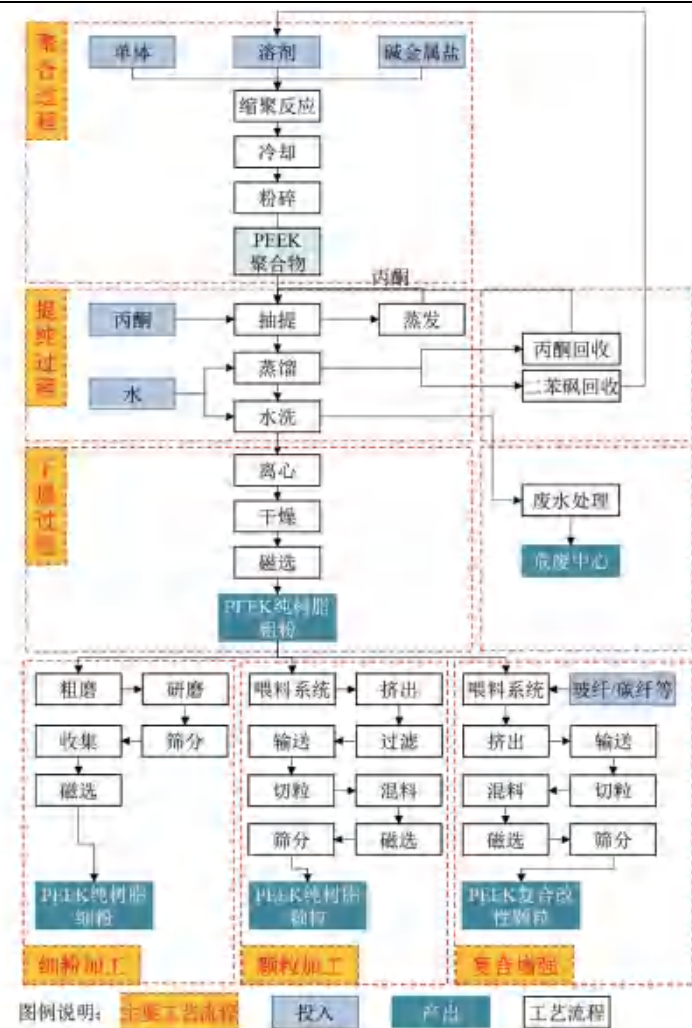
- PEEK的合成利用亲核取代，即氟酮和对苯二酚在碱金属盐存在的条件下，以二苯砜为溶剂，在280℃-340℃条件下进行缩聚反应，然后再通过丙酮和水去除残留的溶剂和盐，经过干燥工艺获得高分子量的PEEK树脂。
- PEEK上游原材料主要包括氟酮、对苯二酚、二苯砜、碳酸钾等。其中氟酮是合成PEEK最关键的原材料，其纯度、品质将直接影响PEEK的产品质量。

图表：合成PEEK的化学方程式



资料来源：搜料网，国海证券研究所

图表：PEEK复杂的制造工艺和技术

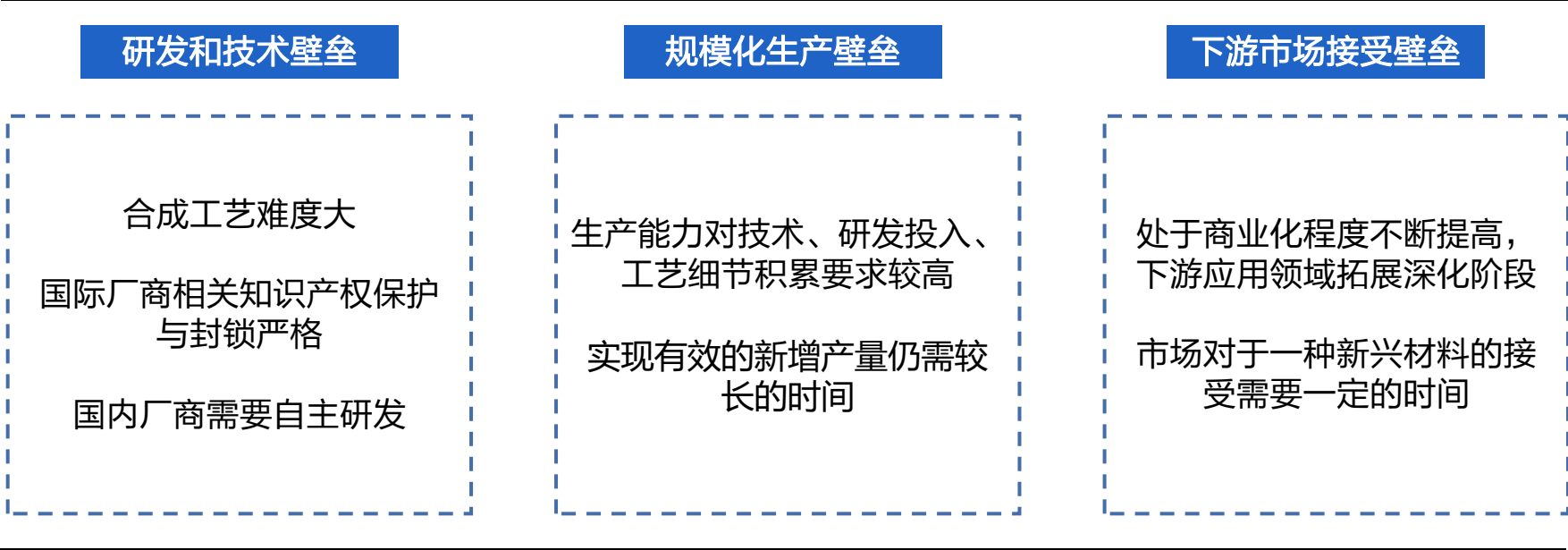


资料来源：中研股份招股说明书

PEEK市场进入壁垒较高，主要体现在：

- **研发和技术壁垒：**PEEK 树脂的合成工艺难度较大，国际厂商对该技术、配方、设备等相关知识产权和技术秘密的保护和封锁十分严格，国内厂商完全需要自主研发或与科研院所合作。
- **规模化生产壁垒：**由于形成高质量、批次稳定的PEEK 树脂生产能力对技术、研发投入、工艺细节积累要求较高，因此在实现了有效新增产能后，PEEK 材料厂商要实现有效的新增产量仍需较长的时间。全球范围内也仅有4家产能千吨级企业。
- **下游市场接受壁垒：**PEEK正处于商业化程度不断提高，下游应用领域不断拓展、深化的阶段。市场对于一种新兴材料的接受需要时间，对其特性、加工方式、应用方法的理解和认可需要逐步学习和接受。

图表：PEEK市场技术壁垒较高



资料来源：中研股份招股说明书，国海证券研究所

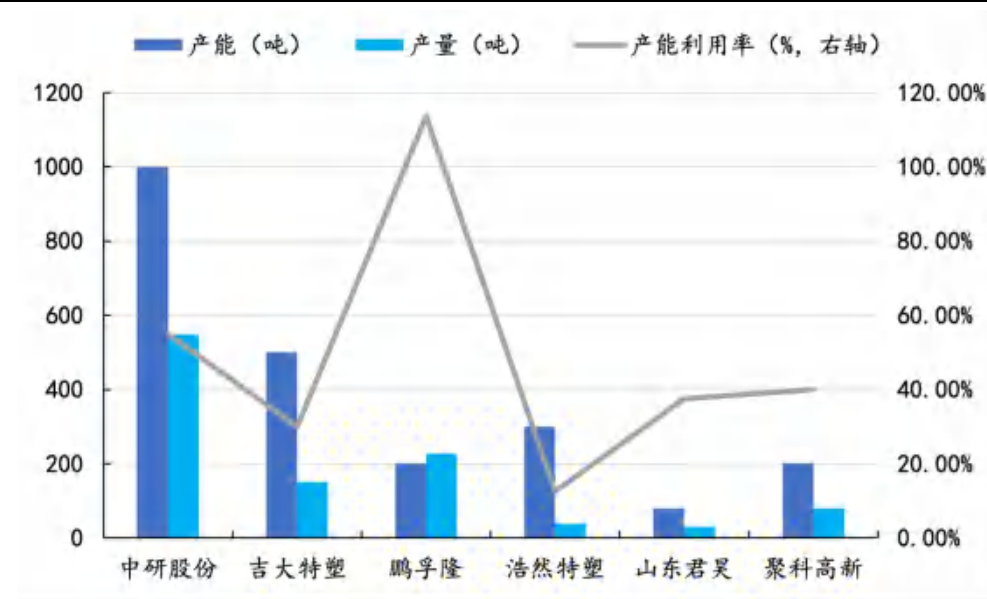
- **中国PEEK市场快速扩张。**PEEK材料行业正处于快速发展期，据思瀚产业研究院，预计2022年至2027年间，中国PEEK市场需求量将从2480吨增至5079吨，年复合增长率CAGR可达15.42%；市场规模从14.96亿元增至28.38亿元。
- **国内PEEK生产企业产能利用率仍有上升空间。**中国PEEK市场未达到饱和，需求大于供给。截至2021年底，除浙江鹏孚隆外，国内其余具有PEEK生产能力的企业产能利用率均不足60%，产能利用率提升有利于满足市场需求。

图表：中国PEEK市场消费量（2018-2027E）



资料来源：中研股份招股说明书，思瀚产业研究院，第21届亚太国际塑料橡胶工业展，国海证券研究所

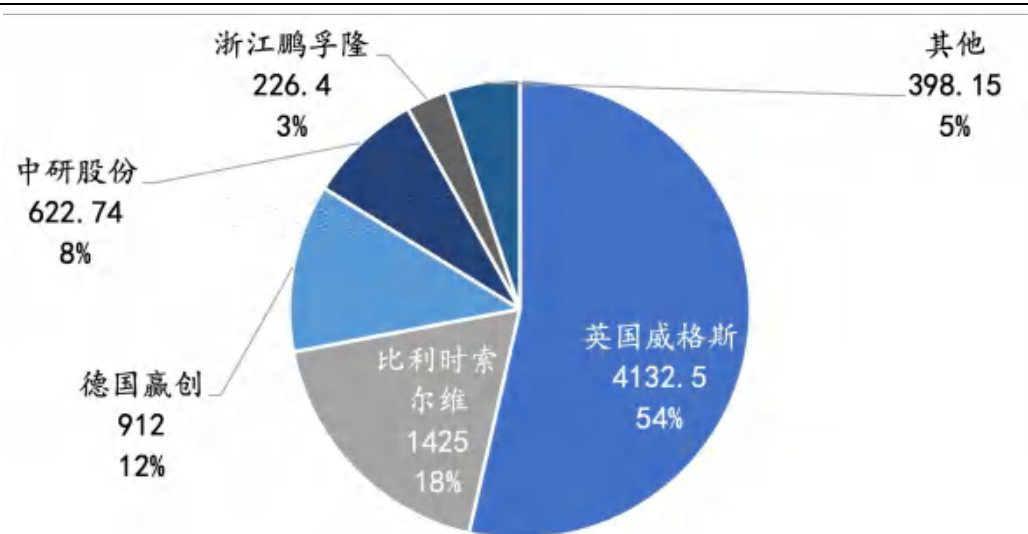
图表：2021年中国PEEK市场产能情况



资料来源：观研报告网，国海证券研究所

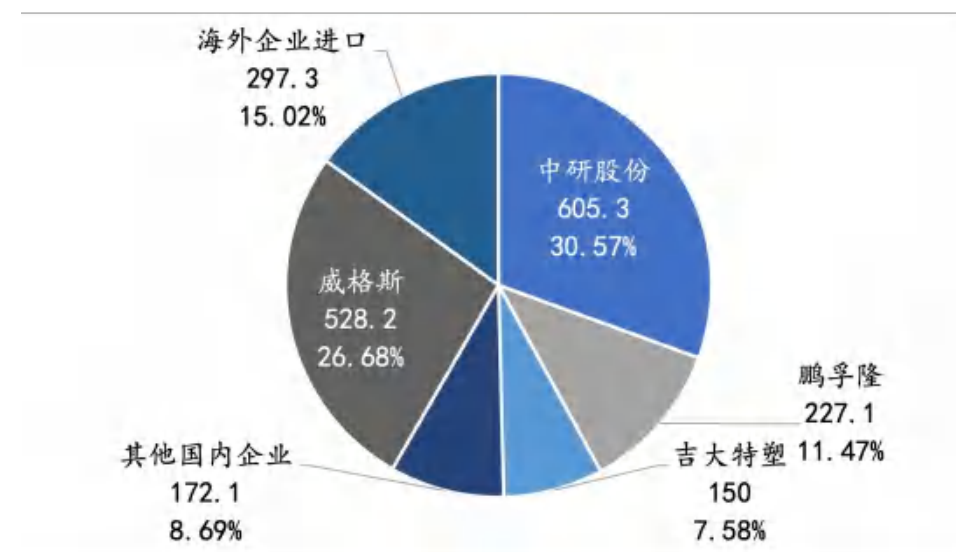
- **全球PEEK 生产厂商呈现“一超多强”的竞争格局。**英国威格斯是全球最大的PEEK生产商，其次是比利时索尔维和德国赢创，据中研股份招股说明书，截至2021年底，三家企业的产能占比超过全球总产能的80%。
- **国产PEEK产品逐渐得到认可。**2021年中国PEEK市场规模为1980吨，其中国产PEEK为1155吨，进口PEEK为825吨，分别占比58.3%、41.7%。中研股份销量超越英国威格斯，成为中国PEEK市场市占率最高的企业，达到30.57%。与国外产品相比，国内中研股份、鹏孚隆等企业在原料和设备方面立足于国内的同时不断提高产能，取得了成本优势，也能保证产品纯度高，批次稳定。

图表：2021 年全球企业PEEK销量分布（单位：吨）



资料来源：中研股份招股说明书，国海证券研究所

图表：2021 年中国PEEK市场销量分布（单位：吨）



资料来源：中研股份招股说明书，威格斯公告，国海证券研究所

- **上游：氟酮是合成PEEK的关键原材料。**氟酮合成工艺复杂，价格高昂，每生产1吨PEEK需要消耗约0.7-0.8吨氟酮单体。国内氟酮现有产能6200吨，在建产能7500吨，若全部投产可满足约1.8万吨PEEK产能需求。
- **中游：PEEK生产企业。**PEEK市场进入门槛高，生产工艺复杂，难以形成大批量、规模化生产。国际巨头包括英国威格斯、比利时索尔维、德国赢创，国内PEEK 产能主要集中在中研股份、浙江鹏孚隆、吉大特塑等企业。
- **下游：包括汽车、电子信息、高端制造、医疗健康等应用领域。**PEEK 在汽车、电子信息、工业及能源、医疗、航空航天等主要应用领域的关键部件、特殊工况中具有明显的性能优势，能逐步替代其他单一性材料。我们预测，一台人形机器人将消耗10.5kg的PEEK，在未来全球人形机器人销量达到100万台、1000万台时，人形机器人将分别给PEEK市场带来10500吨、10.5万吨的增量，分别拉动PEEK市场52.5亿元、525亿元的空间。

图表：2019年PEEK下游领域消费分布



资料来源：中研股份招股说明书，国海证券研究所

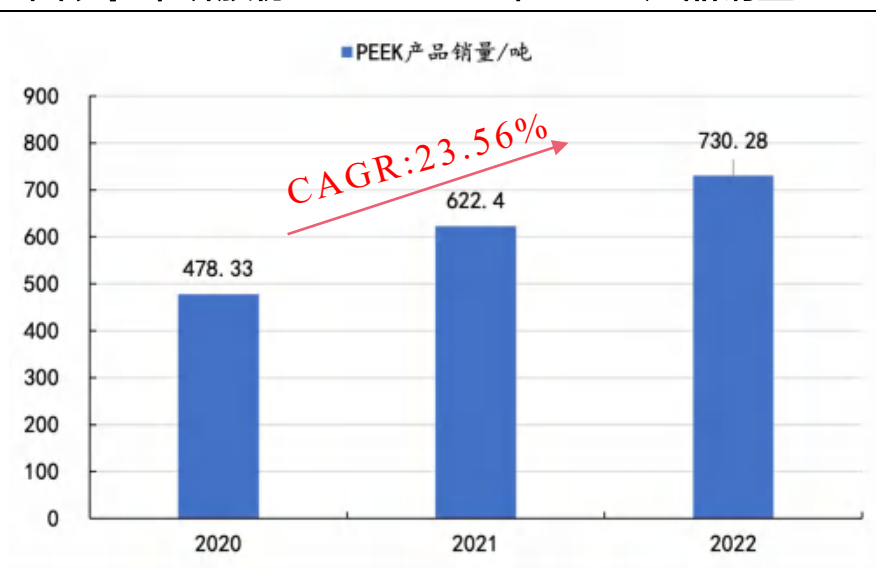
图表：PEEK在人形机器人上的空间测算

全球人形机器人销量（万台）	100	1000
单台人形机器人PEEK用量（kg）	10.5	10.5
人形机器人拉动PEEK增量（吨）	10500	105000
PEEK单价（万元/吨）	50	50
人形机器人拉动PEEK市场（亿元）	52.5	525

资料来源：中研股份招股说明书，镁客网，澎湃新闻客户端，量子位公众号，科学指南针，国海证券研究所；时间截止至2024年1月30日

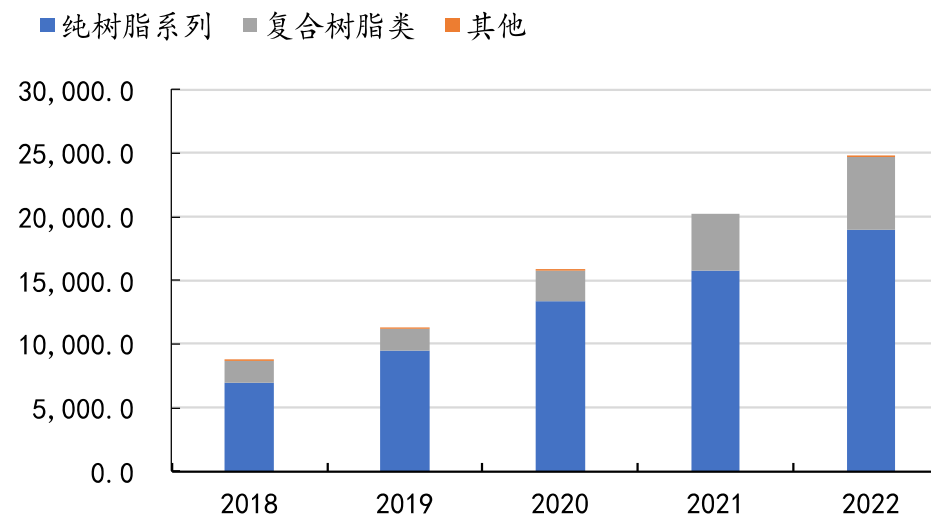
- **国内领先的PEEK行业龙头。**经过十余年的自主研发，公司拥有自主产权的PEEK生产工艺，填补了国内空白，在大规模工业生产领域，公司PEEK工业化生产技术处于国内领先水平，是全球唯四PEEK年产能达到千吨级的企业，也是全国销量最大的公司。
- **产能庞大、产品性能国际先进。**2022年公司核心技术产品销量为730.28吨，产能为1000吨，产能利用率达到73.03%，未来仍有上升空间。公司PEEK产品具有良好的熔体稳定性、合适的熔指和黏度平衡、良好的批次稳定性、优秀的结晶性能，凭借质量优势获得市场认可。

图表：中研股份2020-2022年PEEK产品销量



资料来源：中研股份招股说明书，国海证券研究所

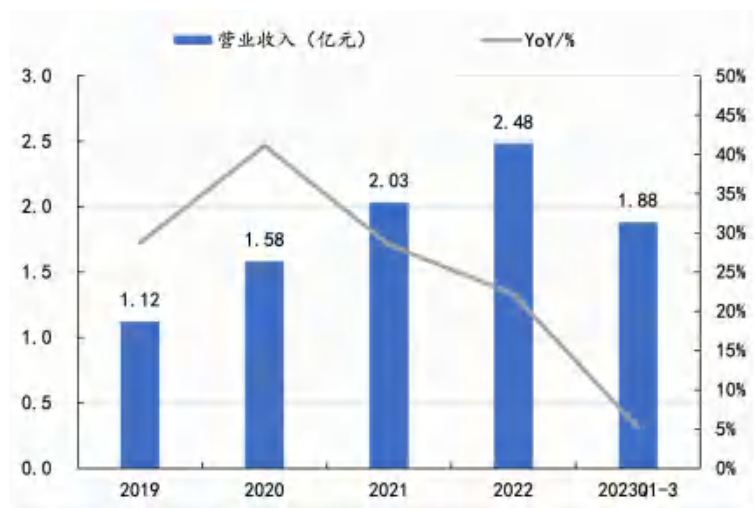
图表：中研股份2018-2022年PEEK产品收入分类（单位：万元）



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

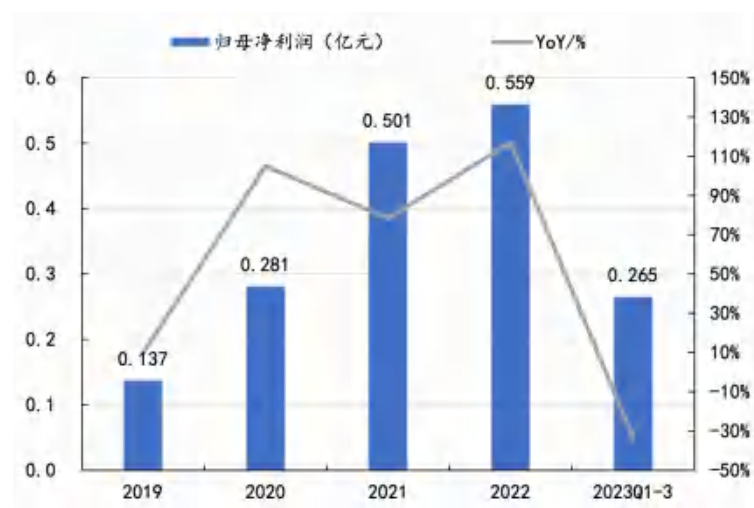
- **产品性价比高，下游领域参与广。**得益于先进的工艺技术，公司PEEK产品生产成本较低，在保证适当毛利率的情况下产品单价较低，相比进口产品具有性价比优势。公司PEEK产品下游应用广泛，已进入汽车、能源、电子信息、医疗、航空航天等领域，并和下游客户形成稳定合作，下游客户已有机器人相关的应用。
- **公司财务概览：**公司2020 年度至2022 年度的营业收入分别为1.58 亿元、2.03 亿元、2.48 亿元，公司归母净利润分别为0.28 亿元、0.50 亿元、0.56 亿元。公司2020 年度至2022 年度营业收入CAGR 为25.28%，归母净利润CAGR 为41.04%，保持较快增长。

图表：中研股份营业收入及同比增速



资料来源：中研股份招股说明书，同花顺iFinD，国海证券研究所

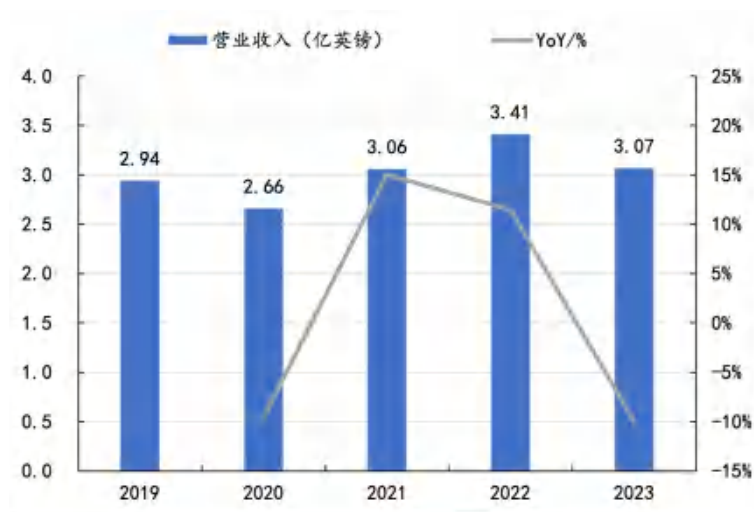
图表：中研股份归母净利润及同比增速



资料来源：中研股份招股说明书，同花顺iFinD，国海证券研究所

- **全球最大的PEEK生产企业，产品品种丰富，下游市场渗透面广。**英国威格斯的PEEK树脂研发起步最早、规模最大，全球销量市占率超60%，其VICTREX PEEK 系列树脂涵盖了纯树脂（粗粉、细粉、颗粒）、复合增强树脂（玻纤增强、碳纤增强、耐磨、超耐磨、抗静电）以及深度纯化粒料等品种。公司产品已进入汽车、能源、电子信息、医疗、航空航天等领域，2023年在航空航天领域表现强势、医疗领域销量同比上升12%。
- **公司财务概览：**公司2019年度至2023年度的营业收入（亿英镑）分别为2.94、2.66、3.06、3.41、3.07，除因2020年新冠病毒肆虐、2023年英国电子/能源/工业领域持续衰退的影响，威格斯营业收入和PEEK产品销量均呈现上升态势，预计未来将突破颓势，继续增长。

图表：威格斯营业收入及同比增速



资料来源：威格斯公司公告，国海证券研究所

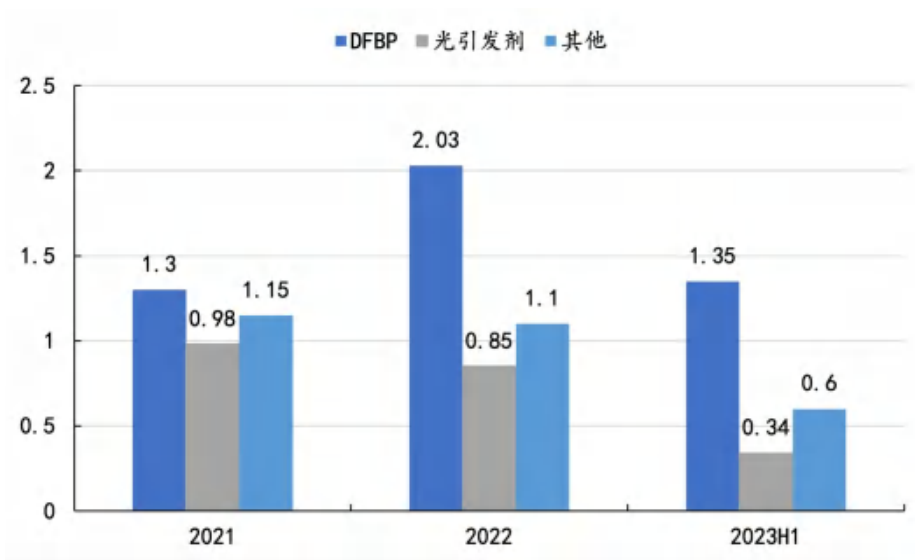
图表：威格斯PEEK产品销量及同比增速



资料来源：威格斯公司公告，国海证券研究所

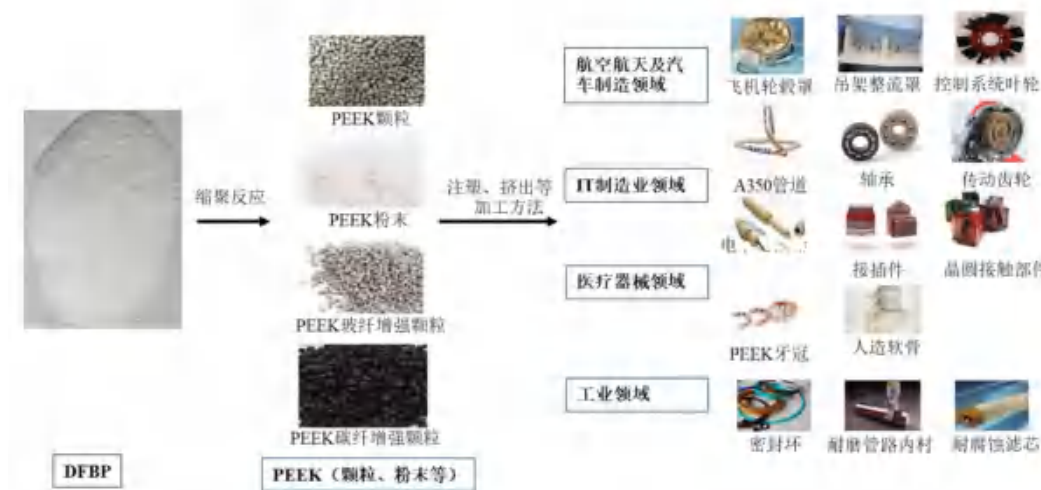
- **氟酮是PEEK的关键生产原料。**公司主要从事芳香族酮类产品的研发、生产和销售，主要产品包括PEEK的关键生产原材料氟酮DFBP。凭借较好的产品质量、稳定的供货能力等综合优势，公司现已成为全球主要PEEK生产厂商的核心供应商之一，主要客户包括英国威格斯、比利时索尔维、德国赢创等。
- **产能利用率高，未来产能不断扩张。**截至2022年底，公司香酮类产品生产线实际达产产能为4,200吨/年。近年来公司产能利用率维持在较高水平，2021产能利用率达105.10%，2022产能利用率97.32%。公司已募集资金投建“年产8,000吨芳香酮及其配套项目”，主要内容DFBP产能2500吨/年，未来产能不断扩张。

图表：DFBP占新瀚新材收入最高（单位：亿元）



资料来源：新瀚新材公司公告，国海证券研究所

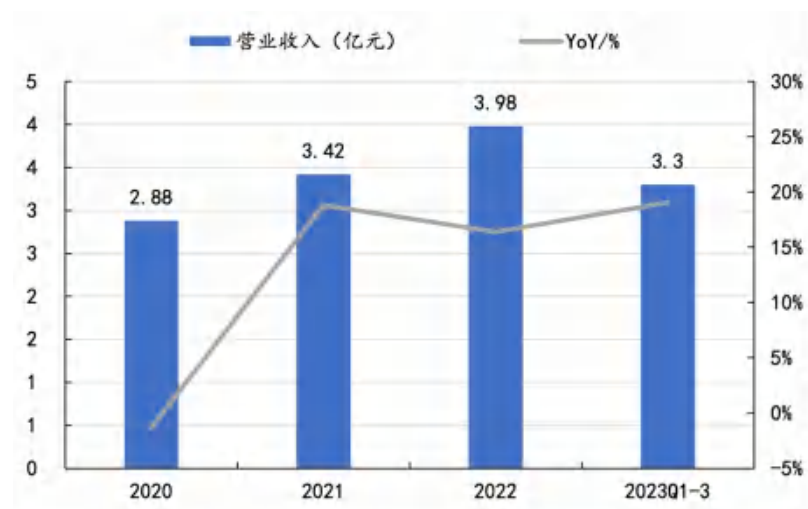
图表：DFBP应用于PEEK产业链



资料来源：新瀚新材招股说明书

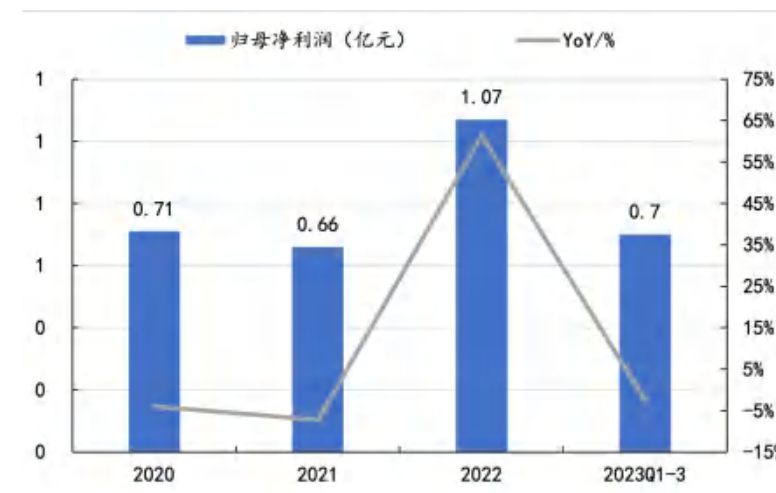
- **重视技术创新，专利种类繁多。**公司基于傅克反应等芳香酮传统制备技术，通过对催化剂、纯化技术等关键技术节点进行创新性改造或调整，形成了围绕“羰基化试剂的原子经济反应技术”、“傅克酰化反应定向催化技术”等7个创新方向的共计9项发明专利与10项非专利技术。
- **公司财务概览：**公司2020 度至2022 度的营业收入分别为2.88 亿元、3.42 亿元、3.98 亿元，公司归母净利润分别为0.71亿元、0.66亿元、1.07亿元。

图表：新瀚新材营业收入及同比增速



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

图表：新瀚新材归母净利润及同比增速

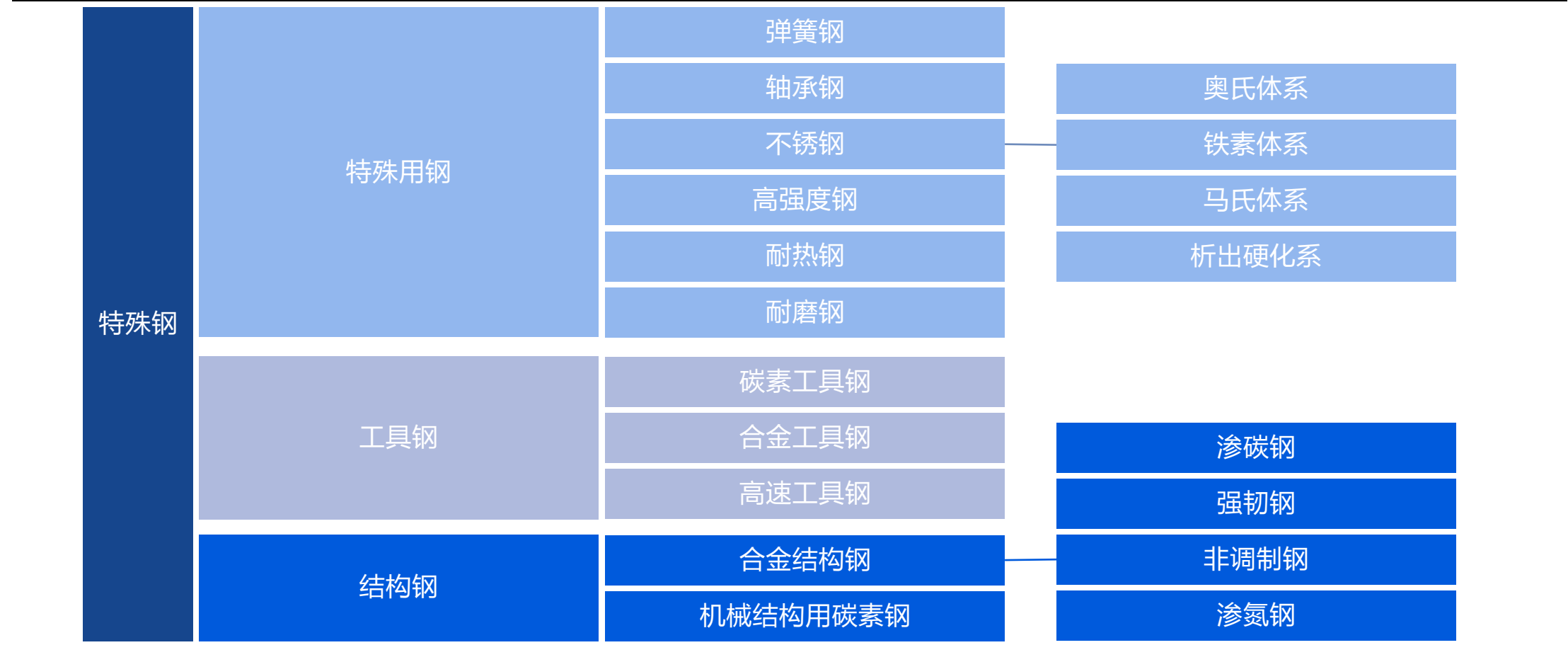


资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

- ◆ 人形机器人飞速迭代进化
- ◆ Optimus结构及原材料拆解
- ◆ 高性能钕铁硼供不应求
- ◆ PEEK是优选轻量化材料
- ◆ 特种钢材应用部位较多

- 特殊钢，是与普钢相对的概念，专指由于成分、结构、生产工艺特殊而具有特殊物理、化学性能或者特殊用途的钢铁产品。特殊钢产品种类丰富，按用途分为工具钢、结构钢与特殊用途钢三大类。

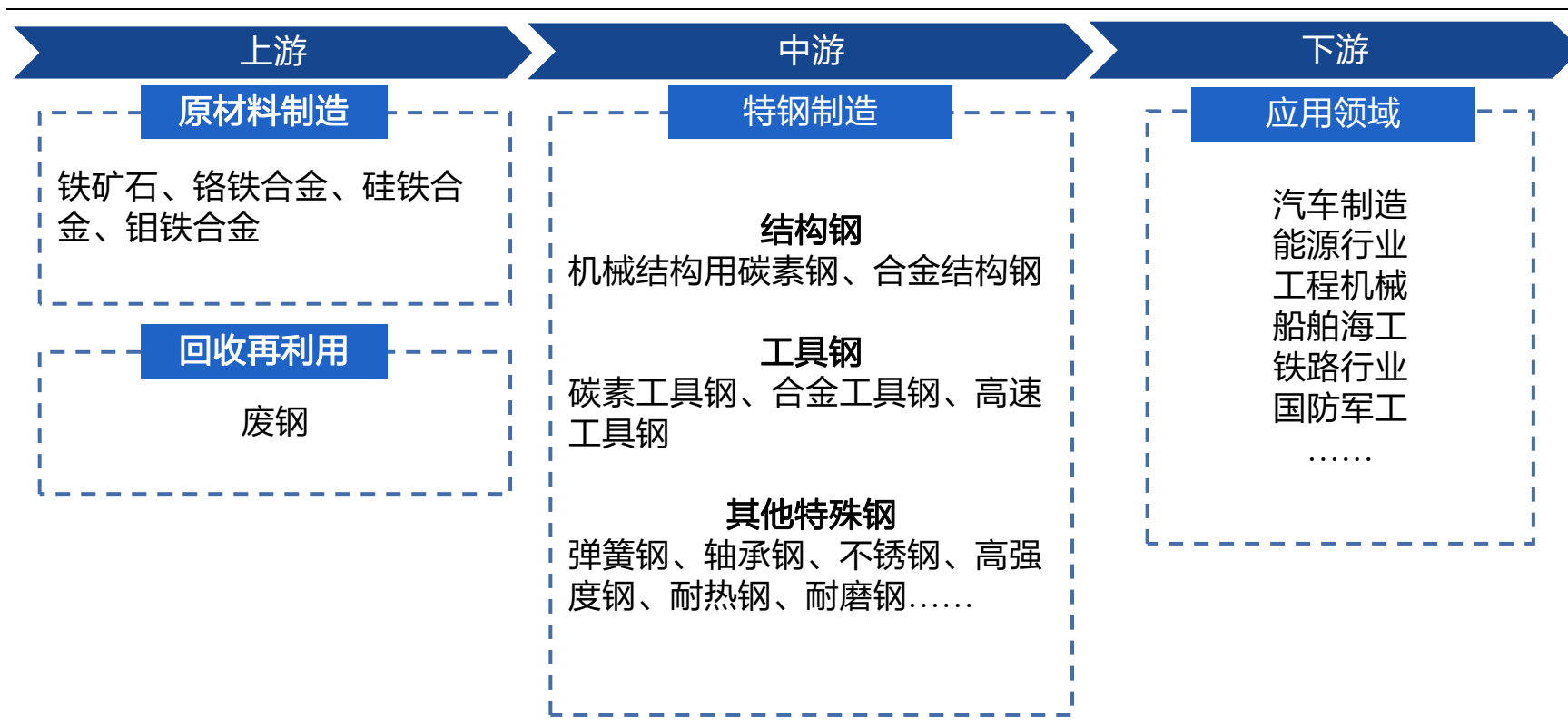
图表：特殊钢分类



资料来源： 华经情报网，国海证券研究所

- 特钢产业链上游包括铁矿石、合金等原材料制造以及废钢回收再利用环节；中游是指特钢制造，包括结构钢、工具钢以及其他特殊钢的生产制造；产业链下游应用包括汽车、工程机械、航空航天等主要工业制造领域。

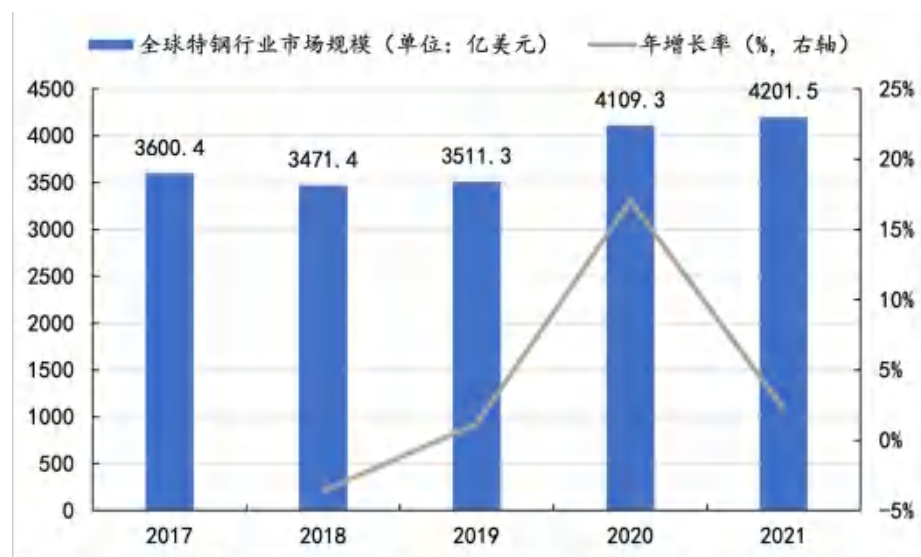
图表：特殊钢产业链



资料来源：华经情报网，中研网，国海证券研究所

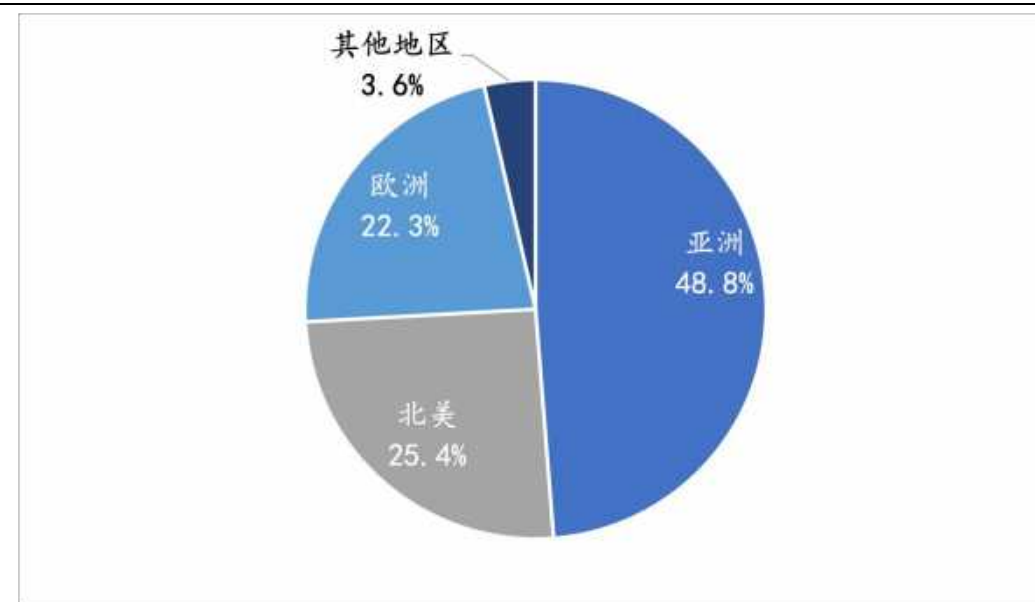
- **全球特钢行业市场增速趋缓。**据华经情报网报道，2021年全球特钢行业市场规模为4201.5亿美元，同比增长2.24%；2017-2021年CAGR为3.94%，市场增速放缓。
- **特钢市场规模与国家发达水平、工业化程度、技术进步水平和高端工业产品的出口量密切相关。**特钢消费量主要集中在工业化程度高和经济比较发达的国家和地区；其中,日本是特钢产业总体水平最高的国家，以高度专业化生产闻名于全球，2020年日本特钢产量占全部粗钢产量20.77%。

图表：2017-2021年全球特钢行业市场规模



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

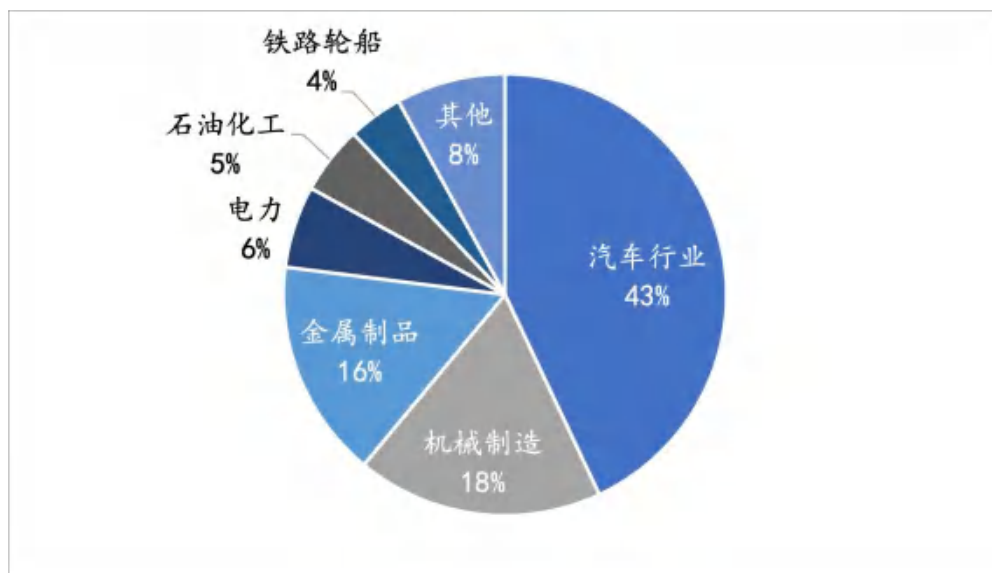
图表：2021 年全球特钢行业市场规模地区分布情况



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

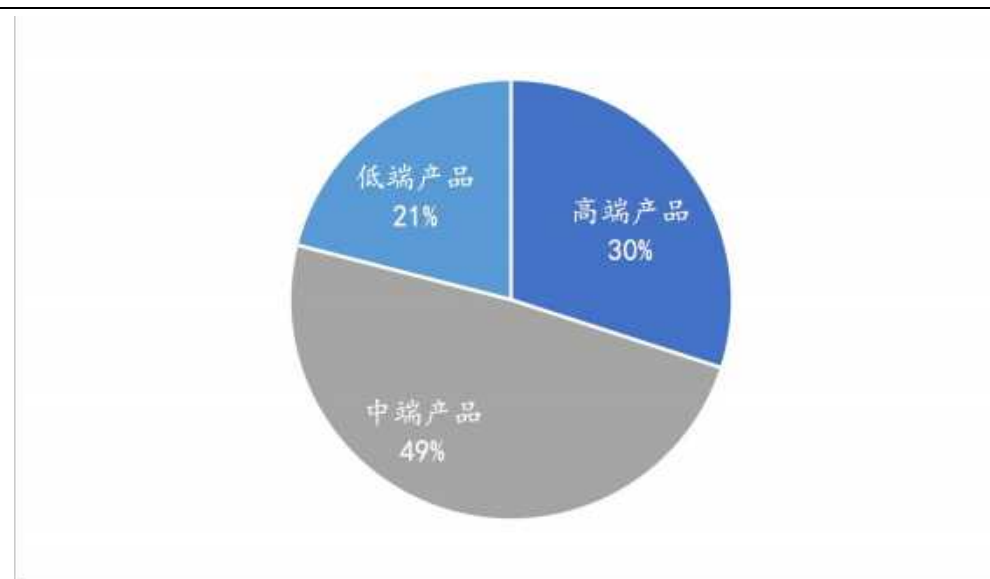
- **特钢多应用于下游高端领域。**从下游需求情况来看，特钢的应用领域较普钢更为高端，需求领域主要为汽车、飞机高铁、能源以及高端设备制造等领域。其中，汽车、机械制造在特钢消费结构中占比为43%、18%。
- **特钢高端产品产量和消费量仍有上升空间。**据前瞻网，以特钢行业最发达的日本为例，在2018年日本特钢产品结构中，高端产品占30%，中端产品占49%，低端产品占21%。日本高端特钢产品主要服务于下游高端工程机械及汽车领域，是其高附加值工业产品的重要原材料，未来仍有较大的产量和消费量上升空间。

图表：2021年中国特钢行业下游消费占比



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

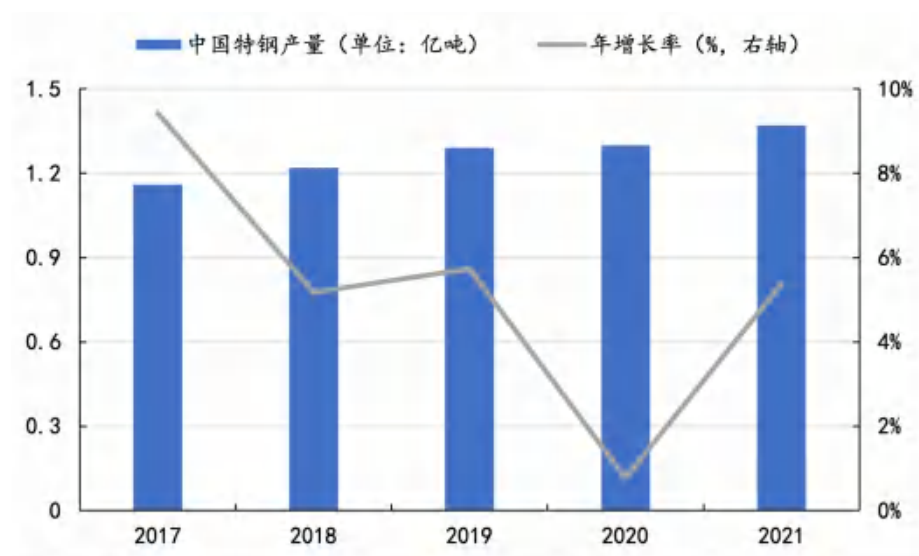
图表：2018年日本特钢产品结构



资料来源：前瞻网，国海证券研究所

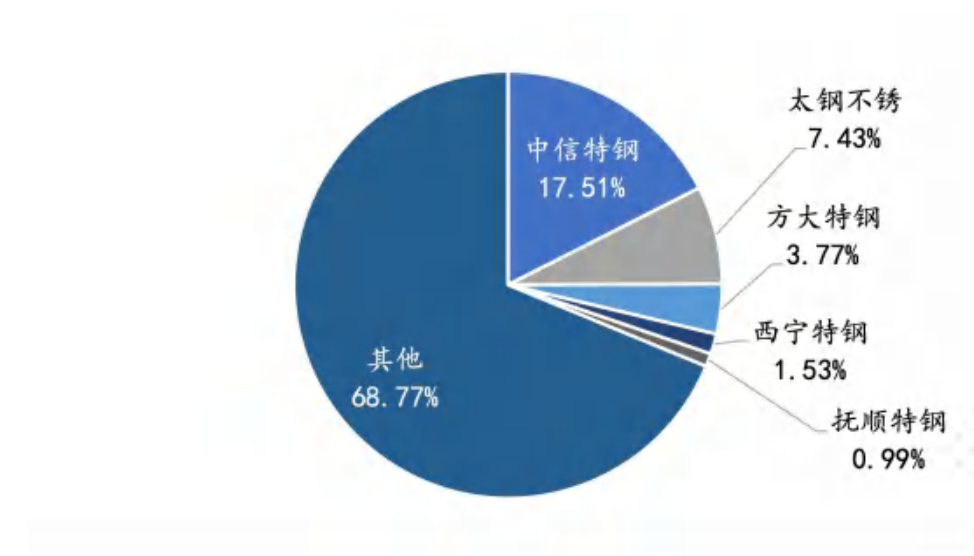
- **中国特钢产量稳定增长，以低端特钢产品为主。**据华经情报网，2021年中国特钢产量为1.37亿吨，但特钢产量多为碳素钢、低合金钢等偏低端特钢产品，我国优质合金钢占特钢总产量仅为4.96%（2020年）。
- **我国特钢行业市场集中度不高。**据华经情报网统计，2021年中国特钢行业CR5为31.23%，其中中信特钢、太钢不锈和方大特钢为行业前三，市场份额占比分别为17.51%、7.43%、3.77%。

图表：2017-2021年中国特钢产量及同比增速



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

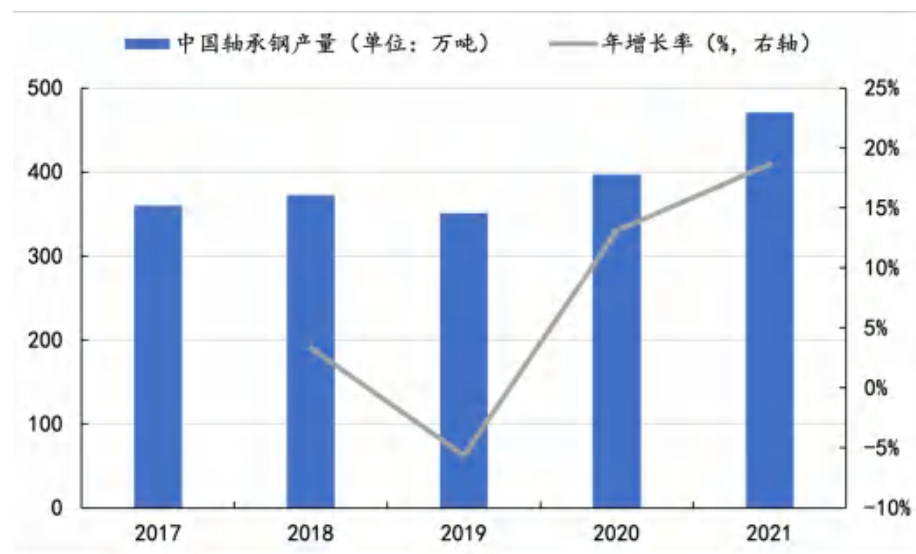
图表：2021年中国特钢行业市场竞争格局



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

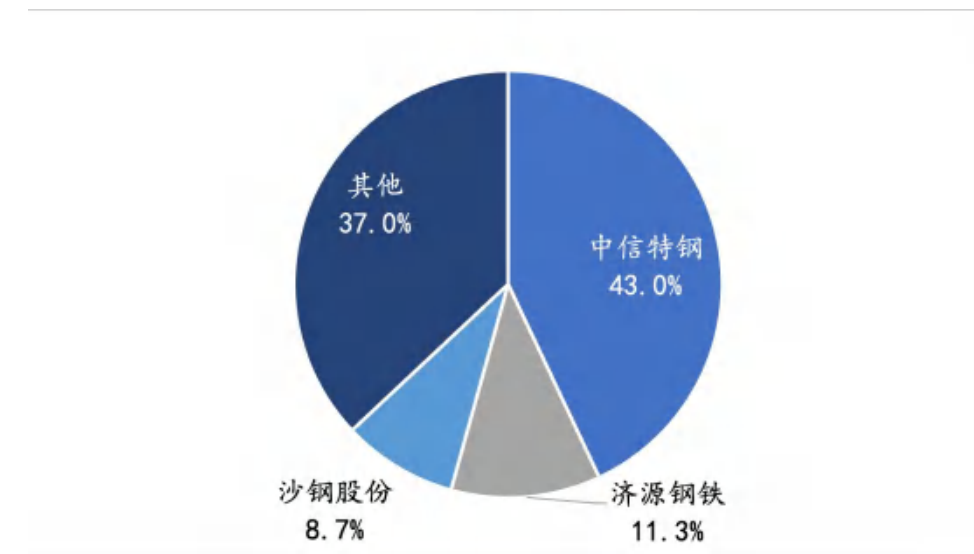
- **中国轴承产量不断增长，但整体产量偏低，未来仍有增长空间。**在行业下游汽车、机床、机械等领域快速发展的带动下，我国轴承钢需求和产量都保持增长态势。据前瞻网，2021年我国轴承钢产量突破470万吨，但整体产量仍偏低，仅占当年特钢总量的3.4%。轴承钢80%的产品都是高碳铬轴承钢。
- **我国特钢行业集中度较高。**从产量方面统计，2022年1-10月中国轴承钢行业CR3为63%，其中中信特钢、太钢不锈和方大特钢为行业前三。其他生产企业中，石钢、莱钢、建龙等钢厂产量较去年同期小幅增加。

图表：2017-2021年中国轴承钢产量及同比增速



资料来源：前瞻网，国海证券研究所

图表：2022年1-10月中国轴承钢行业市场竞争格局



资料来源：华经情报网，国海证券研究所

- 人形机器人使用的高质量特钢产品主要包括50CrMo4合金钢、40Cr合金钢和GCr15轴承钢。50CrMo4是一种高强度合金结构钢，具有高强度、高硬度和良好的耐磨性；40Cr是一种优质碳素结构钢，它具有较好的淬透性、回火稳定性和抗腐蚀能力；GCr15是具有高耐磨性、高强度和良好的耐腐蚀性的轴承钢。
- 人形机器人带来未来大量特钢需求。我们测算，一台人形机器人上50CrMo4合金钢、GCr15轴承钢和40Cr合金钢的用量分别为7.7kg、7.7kg、1.4kg，在远期1000万台的销量下，将分别拉动市场规模为11.55亿元、3.927亿元、0.728亿元。

图表： 特钢在人形机器人上的空间测算

特钢种类	单机用量（kg）	不同人形机器人销量假设下的特钢市场空间增量测算（吨）		单价（元/吨）	不同人形机器人销量假设下的空间测算（百万元）	
		100万台	1000万台		100万台	1000万台
50CrMo4合金钢	7.7	7700	77000	15000	115.5	1155
GCr15轴承钢	7.7	7700	77000	5100	39.27	392.7
40Cr合金钢	1.4	1400	14000	5200	7.28	72.8

资料来源：中国供应商网，马可波罗网，国海证券研究所；时间截至2024年1月30日

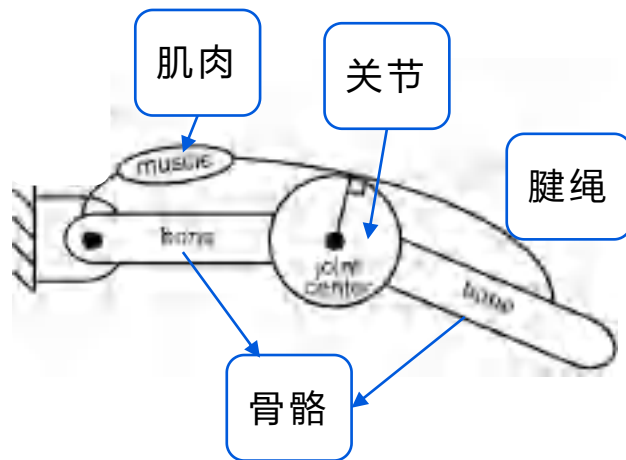
- **腱绳传动是最具潜力的传动方式。**灵巧手的常见传动方式有腱绳传动、连杆传动、齿轮传动、带传动等，腱绳在一定程度上模拟了人手的肌腱结构，使得大型的驱动器远离了执行机构，减轻末端的负载和惯量，提升了抓取的速度，灵活性大大提升。同时腱绳适用于空间狭小且需要驱动自由度数目较多的传动场合，较连杆等传动方式更节省空间。
- **钢丝绳是腱绳的较优选择。**一般而言，灵巧手腱绳需要高强度与耐久性、抗蠕变、较小的折弯半径、抗腐蚀、良好的柔韧性等，钢丝绳没有内摩擦，且与滑动表面的摩擦系数较小，同时强度高，可提供较大承载力，是腱绳材料较优选择。

图表：采用腱绳传动方式的一种灵巧手



资料来源：Shadow Robot官网，国海证券研究所

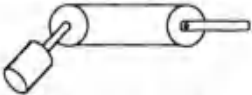
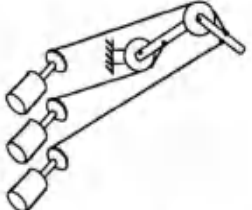
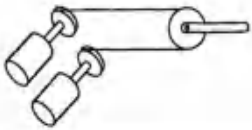
图表：腱绳传动灵巧手手指的结构示意图



资料来源：《Tendon-Driven Limbs》Francisco J. Valero-Cuevas，国海证券研究所

- **预计Optimus将应用12根腱绳。**目前主流的腱绳传动方案有三种： N型、N+1型、2N型，分别代表驱动N个独立自由度所需的驱动单元数目。其中， N+1型方案需要的腱绳和驱动器数量均较少，适用于人形机器人灵巧手。Optimus单只灵巧手具有11个自由度，6个由空心杯关节给予，则剩余5个自由度将通过腱绳传动方案得到；若采用N+1型方案，则一双灵巧手共需要12根腱绳以达到此要求。
- 我们预测，一台人形机器人将消耗12根钢丝绳，在未来全球人形机器人销量达到100万台、1000万台时，人形机器人将给钢丝绳市场带来1200万根、1.2亿根的增量，拉动钢丝绳市场4.56亿元、45.6亿元的空间。

图表：三种腱绳传动方案的对比

传动方案	原理简图	驱动器数目	腱绳数目	特点
N 型		N	2N	驱动器数目少； 需要预紧机构
N+1 型		N+1	N+1	腱绳数目少； 单根腱绳负载大
2N 型		2N	2N	承载能力强、 动态性能较好； 驱动器数目多

资料来源：《腱驱动灵巧手指结构设计及其运动分析与试验》孙成远

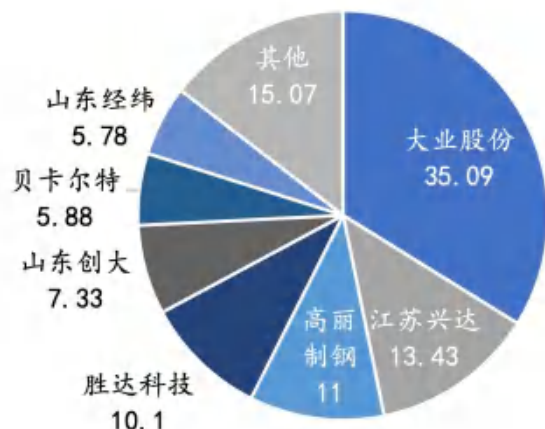
图表： 钢丝绳在人形机器人上的空间测算

全球人形机器人销量（万台）	100	1000
单台人形机器人钢丝绳数量（根）	12	12
人形机器人拉动钢丝绳增量（万根）	1200	12000
钢丝绳单价（元/根）	30	30
人形机器人拉动钢丝绳市场（亿元）	4.56	45.6

资料来源：《腱驱动灵巧手指结构设计及其运动分析与试验》孙成远，工标网，国海证券研究所；时间截止至2024年3月1日

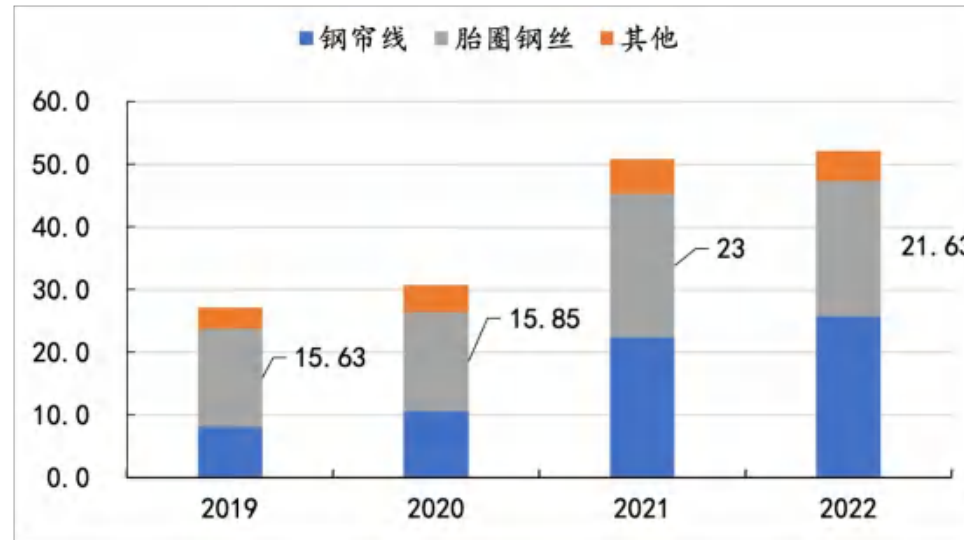
- **国内领先的胎圈钢丝行业龙头。**公司拥有较为突出的技术研发能力和制造工艺水平，在轮胎骨架材料行业内具有较强的竞争实力，是目前国内规模最大的胎圈钢丝制造企业。
- **市场份额高，下游客户广泛。**从近年市场占有率看，公司在国内的市场份额居首，公司拥有广泛的客户资源是持续稳定发展的可靠保障。公司现有主要国内客户有中策橡胶、玲珑轮胎、赛轮轮胎、风神股份、森麒麟、恒丰橡塑、华盛橡胶、昊华轮胎、佳通轮胎等规模较大、行业内知名度较高的轮胎制造商；主要国际客户有米其林、普利司通、固特异、德国大陆、住友橡胶、韩泰轮胎、倍耐力等国际知名轮胎生产商。

图表：2021年中国胎圈钢丝产量分布（单位：万吨）



资料来源：思瀚产业研究院，国海证券研究所

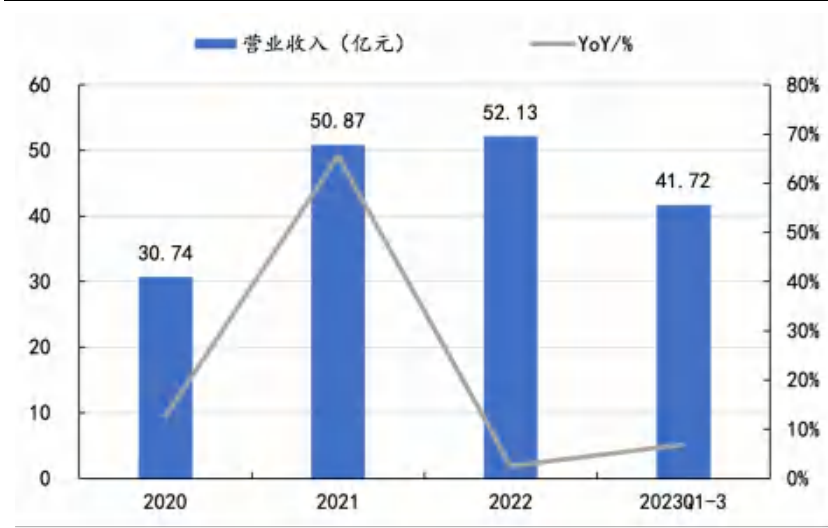
图表：大业股份2019-2022年产品收入分类（单位：亿元）



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

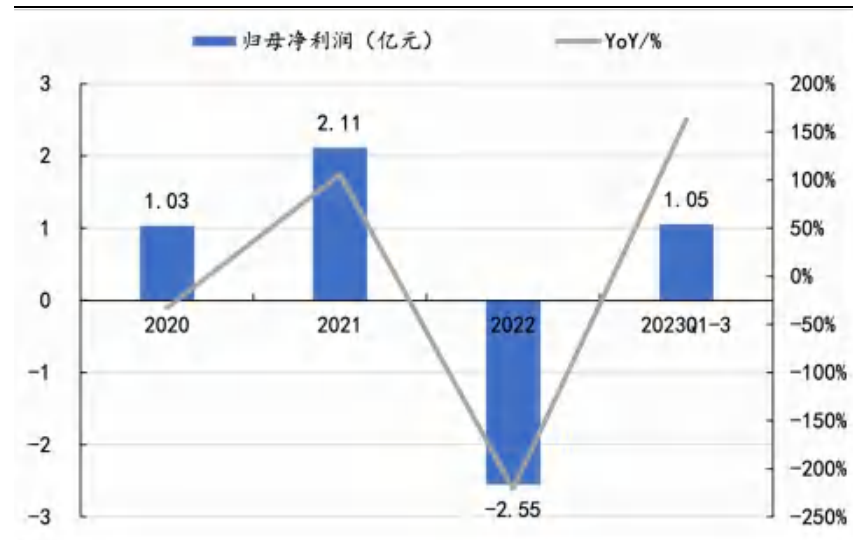
- **强化科技创新，专利技术不断突破。**2022年公司共有8个研发项目列入山东省科技创新项目；2022年新申报专利34项，其中发明专利25项，累计授权专利199项，其中国内发明专利53项，国外发明专利7项。
- **公司财务概览：**2022年橡胶骨架行业受经济下行等诸多不利因素冲击，市场需求疲弱，行业整体产能利用率不高；公司第一次实现归母净利润亏损。公司2020 年度至2022 年度的营业收入分别为30.74 亿元、50.87 亿元、52.13亿元，公司归母净利润分别为1.03亿元、2.11亿元、-2.55 亿元。公司董事会和经营层认真分析研判经济形势，拓宽发展思路，创新工作方法，提高产品竞争力，保证了企业的基本稳定和可持续发展。

图表：大业股份营业收入及同比增速



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

图表：大业股份归母净利润及同比增速



资料来源：同花顺iFinD，国海证券研究所

- ◆ **人形机器人产量和需求增长不及预期：**人形机器人制作工艺复杂，制造成本高，拥有众多技术难点，技术发展与开发进度、下游需求、资金投入、支持配套等多方面因素相关，离大规模降本量产仍有差距，存在产量和需求增长不及预期的风险。
- ◆ **新材料技术开发和国产替代不及预期：**本报告涉及的各类人形机器人相关新材料中，多种新材料我国与国外仍存在较大差距，国产替代需求旺盛，但新材料技术开发难度较大，周期较长，存在技术开发及国产替代不及预期的风险。
- ◆ **原材料价格大幅波动：**本报告各类新材料的上游材料包括稀土、氟酮等，其中稀土价格变化存在国家政策管制的影响，氟酮价格受大宗商品石油化工原材料的影响，价格存在波动性。
- ◆ **行业竞争加剧：**随着下游市场需求扩张及产业政策的支持，可能导致现有市场参与者扩大产能及新投资者的进入，存在市场竞争加剧的风险。
- ◆ **重点关注公司项目推进及业绩不及预期：**重点关注公司项目推进受多因素影响，可能存在不及预期的风险，同时公司业绩可能存在低于预期的风险。

化工小组介绍

李永磊，化工行业首席分析师，天津大学应用化学硕士。7年化工实业工作经验，8年化工行业研究经验。

董伯骏，化工联席首席分析师，清华大学化工系硕士、学士。2年上市公司资本运作经验，4年半化工行业研究经验。

贾冰，化工行业研究助理，浙江大学化学工程硕士，1年半化工实业工作经验。

陈雨，化工行业研究助理，天津大学材料学本硕，2年半化工央企实业工作经验。

陈云，化工行业研究助理，香港科技大学工程企业管理硕士，3年金融企业数据分析经验。

李娟廷，化工行业研究助理，对外经济贸易大学金融学硕士，北京理工大学应用化学本科。

杨丽蓉，化工行业研究助理，浙江大学金融硕士、化学工程与工艺本科。

仲逸涵，化工行业研究助理，南开大学金融学硕士，天津大学应用化学本科。

分析师承诺

李永磊, 董伯骏, 本报告中的分析师均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，以勤勉的职业态度，独立，客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，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取到任何形式的补偿。

国海证券投资评级标准

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300 指数涨幅20%以上；

增持：相对沪深300 指数涨幅介于10%~20%之间；

中性：相对沪深300 指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深300 指数跌幅10%以上。

免责声明

本报告的风险等级定级为R2，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，也不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，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。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

风险提示

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。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。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

郑重声明

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

国海证券 · 研究所 · 化工研究团队

心怀家国，洞悉四海



国海研究上海

上海市黄浦区绿地外滩中心C1栋
国海证券大厦

邮编：200023

电话：021-61981300

国海研究深圳

深圳市福田区竹子林四路光大银行大厦28F

邮编：518041

电话：0755-83706353

国海研究北京

北京市海淀区西直门外大街168号腾达大厦25F

邮编：100044

电话：010-88576597