

人形机器人轻量化：产业化前夕的进修课，应用为重

——人形机器人深度研究系列九

证券分析师：曾朵红、谢哲栋；

研究助理：许钧赫

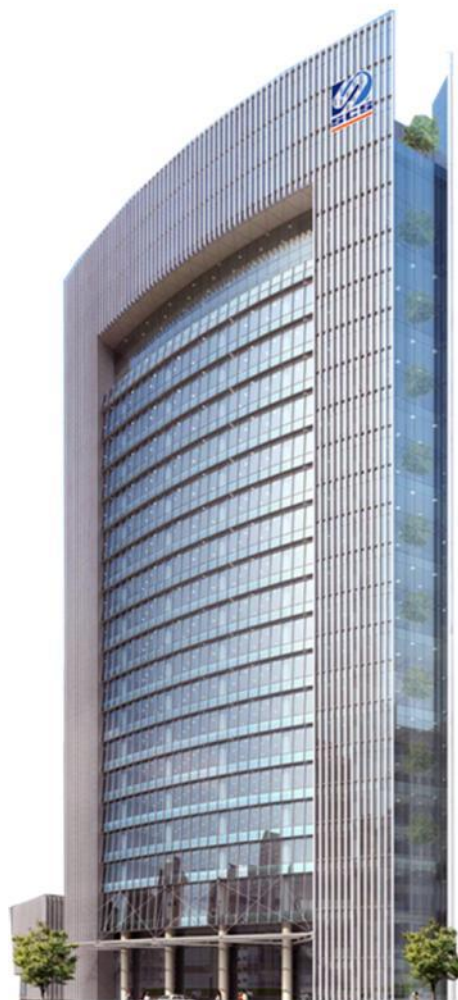
执业证书编号：S0600516080001、S0600523060001、S0600123070121

联系邮箱：zengdh@dwzq.com.cn

联系电话：021-60199798

2025年7月12日

- ◆ **轻量化是人形机器人商业化前夕的进修课。**轻量化可以解决当前人形机器人行业的几大痛点—续航、散热、零部件性能不达标、灵活性不足等，因此特斯拉、优必选等主流主机厂正在发力。从路径上看，主要分为结构轻量化（参数优化/拓扑优化/形态优化/集成化来实现“0成本”轻量化）及材料轻量化（轻金属、工程塑料等）。由于轻量化之路刚刚开始，基于材料本身设计结构仍处早期，结构轻量化受制于技术路径未收敛及企业跨界能力有待提升等因素进展较慢，材料轻量化是当前的主流路径。
- ◆ **工程塑料—PEEK：工程塑料金字塔的顶端。**PEEK材料位于工程塑料金字塔的顶端，性能优异，具有机械特性好、耐热等级高、耐腐蚀、加工特性优异等特点，主要应用于航空航天及汽车、电子电器等领域。24年PEEK价格高达约30万元/吨，原材料氟酮为主要来源（成本占比50%），价格达12万元/吨，主要系氟酮和PEEK工艺&产能为铸就较高壁垒，其中PEEK的熔指、黏度、结晶性等核心指标的平衡以及后期进一步改性优化性能，过程冗长，变量多且难以控制。需求端，24年全球/中国PEEK市场空间为61/19亿元，预计2027年将达到85/28亿元，CAGR分别为11%/13%。供给端，21年海外三大巨头（威格斯、索尔维、赢创）市占率合计达86%，中研股份仅8%。
- ◆ **金属材料—镁合金：成熟应用，经济性凸显。**镁合金是优质的轻质合金，具备比强度高、延展性好、抗电磁干扰能力强等有点，在汽车轻量化中已成熟应用。价格端，截至5月镁价处于低位，镁铝价格比仅0.87（价格比=1.29，镁铝成本基本一致），在轻量化的同时实现降本。应用端，宝武镁业和埃斯顿联合推出镁合金工业机器人“ER4-550-MI”，实现减重11%，能耗降低10%，节拍提升5%，同时在减震、电磁屏蔽和散热方面有所提升，而在人形机器人中镁合金能耗降幅有望更多，在髌、外壳等部件应用可期。
- ◆ **工程塑料—尼龙PA：柔韧性优异，应用成熟。**PA6和PA66是具有优异抗冲击性和柔韧性的工程塑料，需求成熟稳定，2018-2023CAGR不足5%，PA6格局分散，2022年产能CR4不足25%，PA66较为集中，CR3（神马股份、英威达、华峰集团）达75%。应用端，PA在汽车发动机、燃油供给系统、电气系统、底盘系统等已大量成熟应用，同时碳纤维增强后在工业机器人谐波减速器刚轮及第七轴驱动系统中的丝杠。
- ◆ **人形机器人轻量化：材料为辅，应用为重。**在整机重量分布中，关节模组占比较大（约40%），结构件次之（约30%），外壳占比仅10%，因此：1）谐波减速器：PEEK刚轮是减重首选，头部厂商已有专利布局，新进入者已发布相关产品（科达利子公司25年4月发布多款PEEK材料谐波减速器）；2）滚柱丝杠：采用PEEK减重效果突出，可通过碳纤/玻纤改性增强，在强度和刚性层面达到要求，但加工难度大，精度&效率均难以保证；3）无框电机：轻量化的路径包括材料选择/集成化/磁路优化/制造工艺，其中核心是磁材选择和磁路设计；4）壳体及结构件：需要刚性&韧性共同提供支撑及保护，但相对核心传动部件来说，性能要求较低，镁合金工艺成熟且性价比突出，短期推广可行性大，尼龙PA具备高强度&柔韧性&耐腐蚀性，长期2C端有望放量，当前1X Technologies即采用编制尼龙作为外壳。综合测算下，百万台人形机器人（旋转&线性关节）中，PPS/改性PEEK/镁合金/改性尼龙市场空间分别为1/20/3/3亿元。综合考虑市场空间、竞争格局、技术难度：PEEK>镁合金>尼龙。
- ◆ **投资建议：**轻量化是人形机器人商业化前夕的进修课，材料轻量化是当前的主流路径，轻量化应用推荐标的：科达利，建议关注：肇民科技、恒勃股份，PEEK建议关注：中研股份、新瀚新材、中欣氟材，PA尼龙建议关注：南山智尚，镁合金推荐标的：旭升集团，建议关注：宝武镁业。
- ◆ **风险提示：**人形机器人销量不及预期，竞争加剧，价格下降



- PART1 轻量化：人形机器人量产前夕的进修课
- PART2 结构轻量化：方案确定后的0成本优化
- PART3 材料轻量化-镁合金
- PART4 材料轻量化-PEEK
- PART5 材料轻量化-尼龙
- PART6 产业链标的梳理
- PART7 投资建议&风险提示

PART1 轻量化：人形机器人量产前夕的进修课

- ◆ **轻量化是人形机器人商业化前期前夕的进修课。**轻量化可以解决当前人形机器人行业的几大痛点—续航、散热、零部件性能不达标、灵活度不足等：
- ◆ **提高续航：**通过减少重力势能&转动惯性实现静态&动态功耗降低，进而提升续航；
- ◆ **零部件要求降低：**减重可以减少轴承、连接件的称重与摩擦，电机功率需求降低等；
- ◆ **提升灵活度：**降低零部件惯性，控制更加灵活，进而提升通用性；
- ◆ **易于搬运：**当前机器人需要两位成年男性搬运，减重后可单人搬运，易于推广。

图：轻量化优势

优势	原理
提高续航	重力势能减少，惯性减少-能耗降低
零部件要求降低	电机功率需求减少，驱动器算法难度降低，散热要求降低
提升灵活度	控制部件重量减轻，电机控制更加灵活
易于搬运	当前机器人需两位成年男性搬运，不利于推广

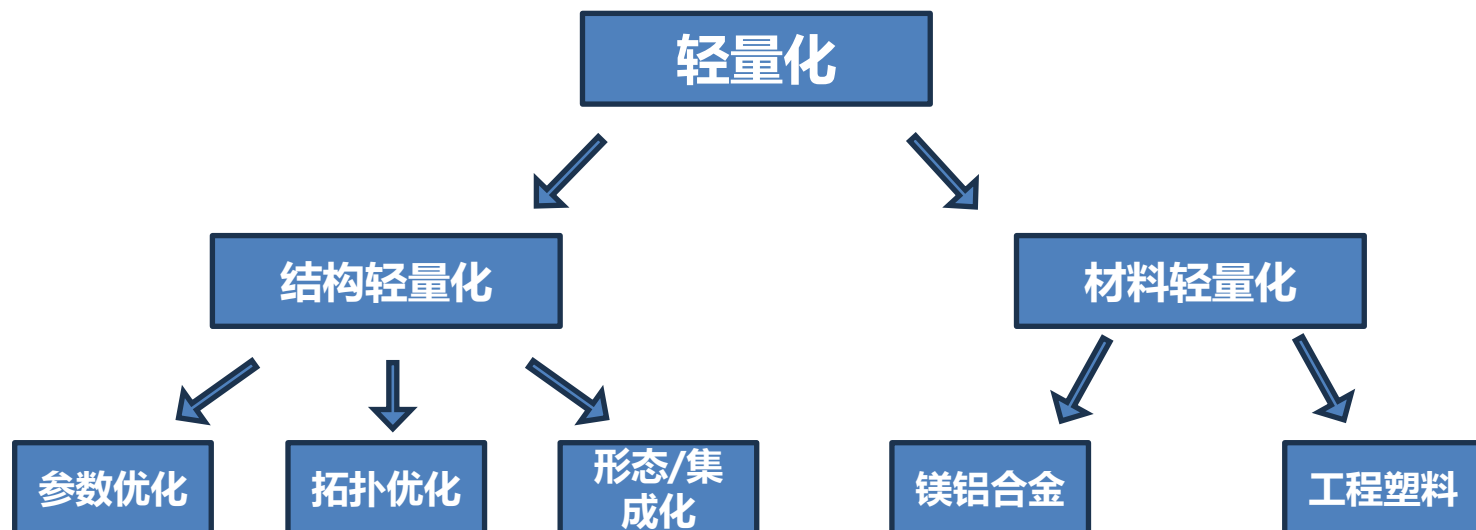
- ◆ **轻量化产业趋势确定，当前主流主机厂正在发力。** 特斯拉于AI Day 2022发布Optimus首个原型机，身高1.72米，体重73kg，而2023年12月特斯拉发布第二代人形机器人，在增加颈部两个自由度及迭代为11自由度灵巧手外，全身质量由73kg减少为63kg，实现行走速度提高30%。此外，在北京亦庄半程马拉松暨人形机器人半程马拉松赛事中，青心Orca I、行者二号、天工Ultra等均进行轻量化设计，减少跑步时冲击力并提升续航。

图：主流人形机器人历代产品性能对比

参数	特斯拉		优必选		宇树科技	
产品	Optimus Gen1	Optimus Gen2	Walker（第二代）	Walker X	H1	G1（入门版）
发布时间	2022年9月	2023年12月	2019年1月	2021年7月	2023年8月	2024年5月
身高（cm）	172	172	145	130	180	130
体重（kg）	73	63	77	63	47	35
自由度	40	40	32	37	19	32
最大行走速度（米/秒）		较上一代提升30%		0.83	3.3	2
续航（h）	2-4	8	2	2		2

- ◆ **轻量化的两种路径：**当前人形机器人轻量化的路径可以分为结构轻量化和材料轻量化——
- ◆ **结构轻量化：**通过参数优化/拓扑优化/形态优化/集成化来实现“0成本”轻量化；
- ◆ **材料轻量化：**当前主流的方式是采用镁铝合金或“以塑代钢”实现性能达标下的密度降低；
- ◆ ——由于轻量化之路刚刚开始，基于材料本身设计结构仍处早期，未来可期。

图：轻量化路径



PART2 结构轻量化：方案确定后的0成本优化

结构轻量化：参数优化—最简单、直接的轻量化方式

- ◆ **参数优化是最简单和直接的轻量化方式。**参数优化是通过改变人形机器人的尺寸、零部件的布局、零部件及材料的厚度等方式对结构的直接优化。例如通过加强某些连接件的刚性实现对“冗余”零部件的减少。同时，类似人的不同关节，针对所有关节，根据承力与运动性能的需求进行定制化选型，达到“最适配”状态。

图：国内外人形机器人外形参数对比

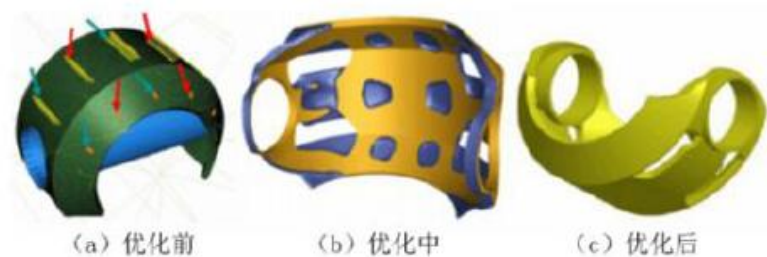


图：泰科机器人关节模组型号参数对比

			
MJB14T	MJB17T	MJB20T	MJB25T
直径：70mm	直径：80mm	直径：90mm	直径：110mm
重量：0.84kg	重量：1.2kg	重量：1.5kg	重量：2.3kg
平均负载转矩：13.5N·m	平均负载转矩：49N·m	平均负载转矩：80N·m	平均负载转矩：133N·m
额定转速：35rpm	额定转速：29rpm	额定转速：35rpm	额定转速：24.5rpm
抱闸：永磁式制动器	抱闸：永磁式制动器	抱闸：永磁式制动器	抱闸：永磁式制动器
传感器类型：单维力传感器	传感器类型：单维力传感器	传感器类型：单维力传感器	传感器类型：单维力传感器
			
HJL08	HJL12	HJL15	
最大推力：600N	最大推力：4000N	最大推力：8000N	
最大速度：300mm/s	最大速度：120mm/s、300mm/s	最大速度：120mm/s、400mm/s	
最大行程：38mm	最大行程：72mm	最大行程：96mm	
重量：0.5kg	重量：1.3kg	重量：2.8kg	
力传感器：拉压力传感器	力传感器：拉压力传感器	力传感器：拉压力传感器	

- ◆ **拓扑优化是对材料删减的进一步细化的举措。**拓扑优化是用于在给定的设计空间内，通过优化材料分布，以达到在满足特定性能要求的同时，最大化结构性能或最小化材料用量的目标，目前已广泛应用于工程机械、航空航天、汽车制造、建筑等领域。根据《短时高承载反向式行星滚柱丝杠副关键技术研究》，通过拓扑优化，航天伺服反向式行星滚柱丝杠副IPRSM中径减少25%，体积减小约44%，同时具有更高的传动效率和传动精度。
- ◆ 当前人形机器人轻量化仍处于早期阶段，同时大部分本体厂商均为初创公司，相关人才配置紧缺，我们预计随产业进步加速，更多拓扑优化后的人形机器人零部件将逐步涌现。

图：拓扑优化前后零部件形态对比

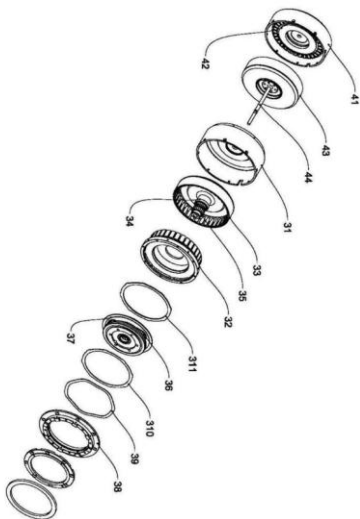


图：滚柱丝杠拓扑优化前后参数对比

优化前					
	数量	螺距 P/mm	螺纹长度mm	啮合点数	螺纹中径d/mm
滚柱	8	1.5	39	25	10
丝杆	1	1.5	39	25	30
螺母	1	1.5	220	25	50
优化后					
	数量	螺距 P/mm	螺纹长度mm	啮合点数	螺纹中径d/mm
滚柱	8	1.5	35	25	7.5
丝杆	1	1.5	36	25	22.5
螺母	1	1.5	220	25	37.5

- ◆ **参考新能源车，集成化趋势确定。**与新能源车类似，人形机器人可在关节模组、结构件等领域进行集成化设计，实现结构复用降本、小型化、轻量化。
- ◆ **关节模组集成化：**将伺服驱动器、电机、减速器、编码器等关键核心零部件集成为一体化关节模组，能够减少连接件的使用同时节省空间，并且在大规模应用下易于更换，但需要关节厂商具备整体研发能力，研发难度较大、周期较长。
- ◆ **结构件集成化&一体化：**主要涉及一体化压铸技术，在汽车领域已颇为成熟，通过减少零件数量、简化生产工序，实现车身减重与成本降低。人形机器人中结构件虽不及汽车复杂，但一体化压铸将部分零部件集成化&一体化可一定程度减重并提升结构强度。

图：一体化关节模组示意图

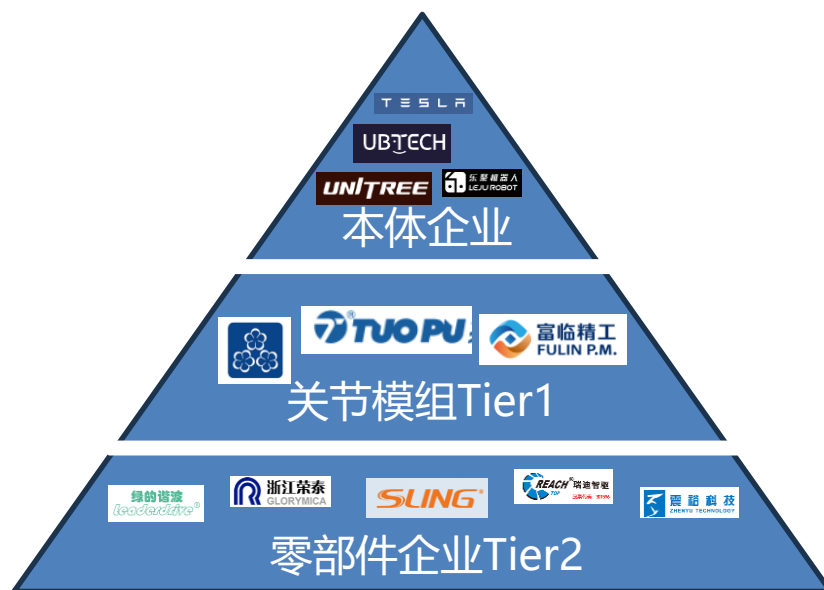


图：一体化压铸在汽车领域应用成熟



- ◆ **结构轻量化空间广阔，当前受制于技术路径未收敛及企业跨界能力有待提升。**
- ◆ **技术路径尚未收敛：**当前人形机器人整机及零部件方案百花齐放，且核心性能及功能实现尚未达到理想状态，技术路径日新月异，因此厂商暂未投入足够精力发力结构轻量化。
- ◆ **当前零部件企业跨界设计&整合能力有限：**人形机器人结构轻量化总体来说是“结构性工程”，需要从整机设计开始进行考虑，同时对于零部件性能、材料特性等具备深度了解，当前人形机器人本体厂商多为初创企业，相关人才、资源投入较少，而下游零部件厂商对整机设计涉足较少，跨界联合研发设计仍需加强。

图：谐波减速器 VS 行星减速器 VS RV减速器



PART3 材料轻量化-镁合金：

- ◆ **镁合金是优质的轻质合金。** 镁金属具备：1) 比铝高的比强度；2) 良好的延展性；3) 良好的热消散性、减震性及机械加工性；4) 振动阻尼特性好；5) 抗电磁干扰能力强；6) 完全可回收和充足的可用性。
- ◆ **镁铝合金已在汽车轻量化中成熟应用。** 以奥迪A8为例，自1993年应用全铝车身框架结构（ASF）技术，将铝、钢、镁和碳纤维增强复合材料结合，显著减轻车身重量，同时其减振器支座横撑采用镁制材料，完善了轻量化结构设计。

图：铝合金&镁合金&钢主要参数对比

材料	铝合金	镁合金	钢
密度g/cm ³	2.7-2.8	1.7-1.8	7.8-7.9
拉伸强度Mpa	170-472	160-370	276-1882
屈服强度Mpa	140-325	69-284	186-1793
硬度HV	15-120	10-60	100-700
熔点℃	660.3	650-660	1370-1510
导热率W/(m·K)	121-237	100-156	41.9-58.6

图：铝合金&镁合金已在汽车轻量化中成熟应用

奥迪A8全铝车架



镁合金三联屏



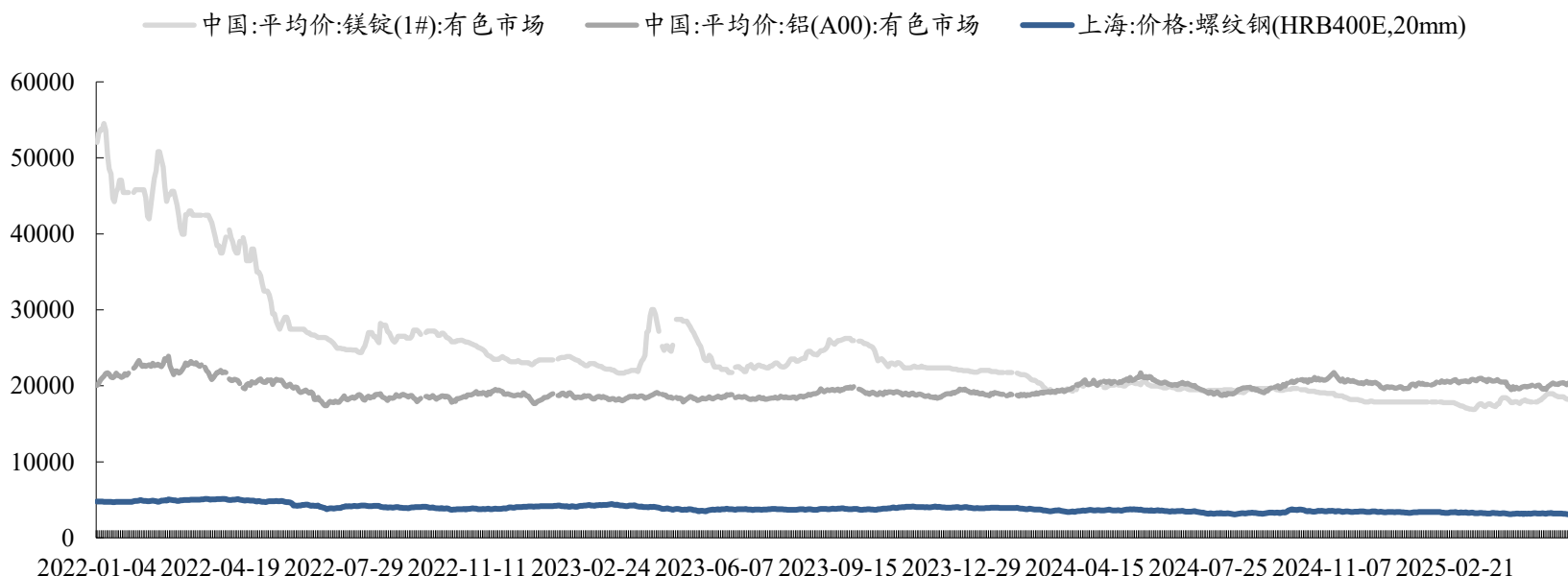
- ◆ 镁合金的主要缺点为抗腐蚀性低、易燃易爆，但当前已有成熟解决方案：
- ◆ 针对抗腐蚀性，目前解决方案包括表面钝化、电镀、烤漆、阳极氧化等；
- ◆ 针对易燃易爆，通过加入SF6保护气体形成致密保护膜，同时半固态技术能够有效增加镁合金的安全性和强度。半固态镁合金注射成型技术是压铸和注塑工艺的创新融合，能够有效减少表面缺陷明显提升产品质量

图：镁合金&铝合金对比

材料	材料特性	成型工艺	表面装饰
镁合金	密度更低，抗压强度高，电磁屏蔽性好，散热好，比强度高，良好的减振性能，受到冲击载荷时吸收的能量比铝高50%	塑性差，冲压难度大，主要成型工艺为液态压铸、高压压铸，但具有优异的切削加工特性，易加工，切削速度快且加工成本低，容易达到稳定的尺寸精度和较低的表面粗糙度	微弧氧化+喷涂、电泳涂漆、NIL工艺、喷砂等，不能阳极上色
铝合金	密度低，抗压强度更高，材料表面易于上色	加工性能好，适用于冲压、CNC等多种加工工艺，相对加工效率较高	喷涂、喷砂、拉丝、高光、阳极处理或NIL工艺等，也可微弧氧化

- ◆ **镁价处于低位，经济性凸显。**根据星源卓镁招股说明书，当镁合金与铝合金价格比等于1.29时，生产相同产品所耗用的原材料及加工成本基本一致，镁铝价格比在1.2-1.3时镁具备更高性价比，足以取代铝合金并大规模应用于工业生产，截至5月镁铝价格比仅0.87，性价比显著，镁合金的使用不仅能够实现轻量化，还可以实现降本。

图：镁&铝&钢价格对比（单位：元/吨）



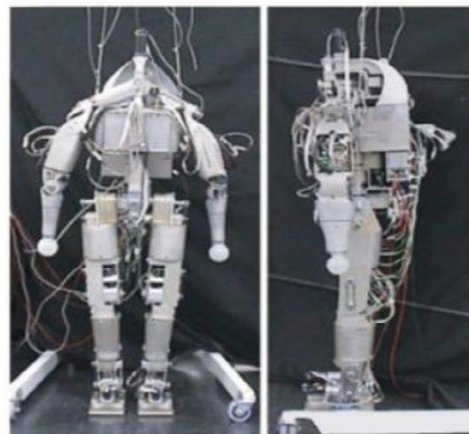
- ◆ **埃斯顿镁合金工业机器人亮相，人形机器人应用可期。** 宝武镁业和埃斯顿机器人联合推出镁合金工业机器人新品“ER4-550-MI”，其轻量化设计相较于铝合金版本减轻自重11%，因此该款机器人不仅提升了5%的节拍速度，还在减震、电磁屏蔽和散热方面有所提升，增强了机器人运行的稳定性。此外，在能耗方面，采用镁合金的机器人能耗降低了10%（仅通过盖板、底座、控制臂等壳体部件轻量化）。在人形机器人应用中，由于人形可移动性及结构部件数量较多，镁合金应用的能耗降幅有望更多，在骨骼、外壳等部件应用可期。

图：埃斯顿全新产品镁合金机器人ER4-550-MI



图：人形机器人UT-02主要结构材料采用镁合金（AZ91D牌号）

UT-02



Specification

Height	150[cm]
Weight	45[kg]
Num.of joints	20
	arm 4×2
	leg 6×2
Main structure	AZ91D (magnesium alloy)
Actuator	coreless DC motor
Gear	harmonic drive gear

PART4 材料轻量化-PEEK:

- ◆ **PEEK材料位于工程塑料金字塔的顶端，性能优异。** PEEK属于特种工程塑料的一种，最早由英国帝国化学公司于1978年开发，具有机械特性好、耐热等级高、耐腐蚀、同时具备注塑成型、挤出成型和切削加工等优异的加工特性等特点，在交通运输、航空航天、电子信息、能源及工业、医疗健康等多个领域得到广泛应用。
- ◆ **对比其他塑料材料，PEEK性能全面，刚性优于绝大多数特种工程塑料的同时兼具韧性，在耐热、耐腐蚀方面均表现优异，是全球性能最好的热塑性材料之一。**
- ◆ **对比金属，PEEK性能全面占优，比强度大，绝缘能力强，耐化学性优异，是“以塑代钢”的优选材料；**

图：常用普通塑料、工程塑料及特种工程塑料示意图

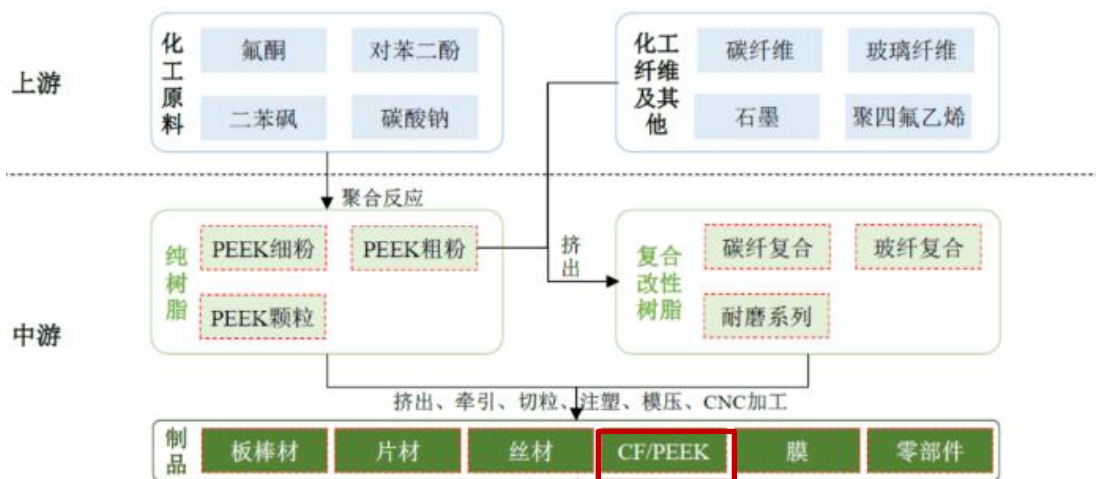


特性	性能指标	单位	特种工程塑料				工程塑料		
			PEEK	PTFE	PI	PPSU	PPS	POM	PA66
刚性	拉伸模量	Mpa	4300	1750	3700	2450	4000	2800	1700
韧性	缺口冲击强度	KJ/m ²	3.5	4.5	4.5	12	2	8	4.5
耐热	长期使用温度	℃	250	260	240	180	220	115	95
耐磨	摩擦系数	-	0.4	0.15	0.4	0.45	0.5	0.52	0.5
耐腐蚀	耐化学性能	-	9.27	9.9	8.4	7.78	9.33	7.58	7.25
电性能	介电强度	KV/m	24	11	28	26	18	20	27

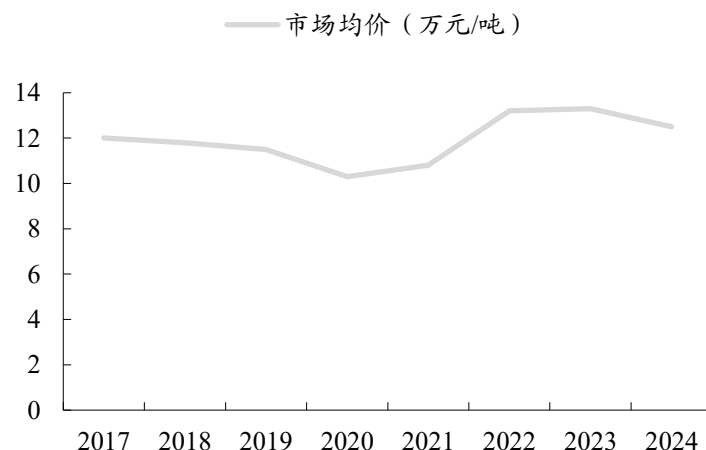
PEEK：原材料是成本的核心来源，核心是氟酮

- ◆ **PEEK的核心原材料为DFBP。**聚醚醚酮(PEEK)材料产业上游原材料主要为DFBP（二氟二苯甲酮，简称氟酮），DFBP作为聚醚醚酮(PEEK)材料的关键原材料，按照一般化学反应原理及行业生产经验计算，每生产1吨PEEK需要消耗0.8吨DFBP单体;中游包括PEEK颗粒、PEEK粉末、PEEK增强颗粒等PEEK材料制造。
- ◆ **当前PEEK生产中原材料占比高，其中氟酮为主要成本来源。**根据中研股份招股书，直接材料成本占比约70%，而氟酮约占PEEK粗粉成本的50%。2024年PEEK纯树脂价格约在30万元/吨，氟酮价格约12万元/吨，价格水平较高。

图：PEEK产业链示意图



图：BFBP（氟酮）价格



◆ **氟酮的主要应用于生产PEEK，原料易得，但工艺&产能为铸就较高壁垒。**氟酮最大的应用场景即生产PEEK，2024年占比超90%，上游产业链主要包括氟苯、对氟甲苯、苯胺、氢氟酸、氟化氢、四氯化碳、亚硝酸钠等化合物的原材料以及中间体，原材料易得性高且价格较低。而在合成氟酮的过程中，由于会产生大量中间产物且不稳定，对技术路线选择及工艺控制要求较高，同时关键步骤氟化反应需要在高温、高压或强酸性等苛刻的条件下进行，对生产设备要求较高且易燃易爆、产生大量废水废气，安全把控&准入条件苛刻。

图：氟酮的主要合成方法

二氟二苯甲酮主要合成方法	
傅克烷基化水解法	以氟苯与四氯化碳为原料，在无水三氯化铝催化下反应，经水解、蒸馏、重结晶得成品。优点是原料易得、反应条件温和、路线短、收率高、成本低；缺点是产品含大量同分异构体，同时四氯化碳破坏臭氧、产生大量含铝废水，已基本淘汰。
傅克酰基化法	该法是目前国内DFBP主流工业化路线。以氟苯和对氟苯甲酰氯为原料，在无水三氯化铝催化下反应。该法合成收率高、产品纯度好，但对氟苯甲酰氯价格高且供应紧张，反应中酮类产物与生成络合物产生大量含铝废水。研究方向包括开发高活性、易处理的固体酸催化剂，以及制备对氟苯甲酰氯的新工艺。
光气催化酰化法	以三氟化硼为催化剂，HF、氟苯和光气高温高压反应制得DFBP，同时有25%左右同分异构体。该法工艺简单，但光气剧毒，使用控制困难。也有用草酰氯代替光气的方法，操作简单、副产少，但金属氯化物催化剂会产生大量废水。
重氮化氧化法	该方法也是国内外主流的工业化路线之一。采用AHP法，二氨基二苯甲烷在无水HF中，低温下滴加亚硝酸钠反应生成重氮盐，热分解得到中间体二氟二苯甲烷，再用稀硝酸氧化生成DFBP。步骤简单、杂质少、收率高，但重氮盐有爆炸危险，但存在设备腐蚀严重、操作环境恶劣等缺点。
卤素置换法	通常用二氯二苯甲酮氯化得到DFBP。在强极性非质子性溶剂二氯亚砷中与无水KF反应，收率在65%以上。或在熔融状态下与KF以及相转移催化剂四苯基溴化磷混合反应，收率达到80%以上。

- ◆ **PEEK的生产壁垒较高：**1) 生产设备及工艺控制：PEEK生产所需要的反应釜为一系列装置，同时整个生产时间较长，温湿度的变化对最终产品性能指标影响较大；2) 一致性：不同反应釜之间产品的一致性受众多因素影响，因此较大的反应釜能够有效提高产品总体一致性，目前具备超过5000L反应釜制造能力的企业仅英国威格斯及中研股份；3) 熔指和黏度的平衡：两者成反向关系，但对材料性能及后续加工性能有较大影响；4) 结晶性：结晶效果越好，材料的机械性能、耐磨性等特性更佳。

图：PEEK材料核心壁垒

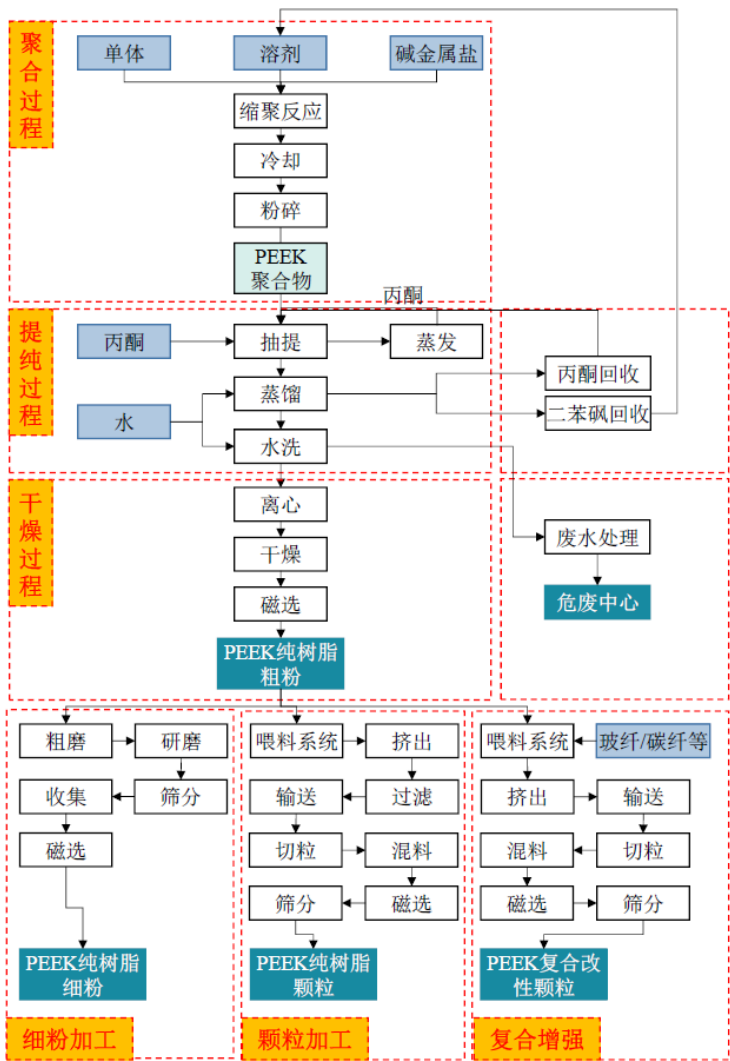
壁垒	内容
生产工艺	外资厂商对 PEEK 材料的技术、配方、设备等相关资料严格保护和封锁。同时，要达到 PEEK 材料所需要的性能，需要掌握全流程生产能力，并有深厚的技术积累去不断优化合成操作工艺。PEEK 材料的生产过程主要有聚合、提纯、干燥、加工等，其中聚合是核心工艺，需要厂商将原材料熔融混合后加入聚合釜，在 280°C-340°C 状态下进行 8-12 小时的聚合反应。在长时间的高温聚合反应中，PEEK 材料需要长时间保持在高温环境中不产生降解和交联，控制难度较高，否则将影响产成品的质量，需要厂商不断调整生产工艺，增加生产成本
一致性	PEEK 的聚合工艺意味着每一釜都是一个批次，但需要保持每釜都生产出相同且高质量的产成品。目前看，保持高稳定性可以采用使用大聚合釜生产+提升自动化程度来减少误差
熔指和黏度	PEEK 材料在熔融状态下是非牛顿流体，在高剪切速率下黏度会变小，黏度又和熔体强度正向相关。在某些场景下，如制作线缆、细丝等，PEEK 材料需要具备高流动性以挤出细薄制件，即剪切率高、黏度低、熔体强度低，但又同时要求材料具有较高的熔体强度，所以需要在熔指和黏度做出平衡
结晶性	在加工过程中，PEEK 材料需要在十几秒内从熔融状态下迅速降到凝固状态完成结晶，相同时间内结晶速率越高，结晶度越高(PEEK 材料结晶度一般约 30%)机械性能、耐磨性、耐腐蚀性能越好
产能爬坡	由于工艺难度较大，形成高质量、一致性高的 PEEK 树脂生产能力对技术、研发投入、工艺积累要求很高。所以在实现扩产后，PEEK 材料厂商要实现有效的产能投放仍需要较长的时间
客户验证	目前 PEEK 材料由于耐腐蚀、耐磨等性能优异，主要作为功能件、结构件应用于工作环境恶劣、性能要求苛刻的产品领域。这些产品领域对产品质量的稳定性、寿命要求较高，因此开发测试过程比较长

◆ PEEK的生产工艺流程中涉及聚合过程、提纯过程、干燥过程。PEEK树脂的生产属于复杂的化学合成过程，其合成反应是在一个带有搅拌器的反应釜内进行。常见的工艺路径为亲核取代，即氟酮和对苯二酚在碱金属盐催化下，以二苯砜为溶剂，在280℃~340℃条件下进行缩聚反应，然后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。而复合增强类树脂需要根据性能需要，将玻璃纤维、碳纤维、聚四氟乙烯、石墨等加入到挤出机中与粗粉共同进行挤出，得到改性产品。

图：PEEK生产工艺流程关键节点核心技术

工艺流程	对应核心技术	性能决定
聚合过程		熔指和黏度
提纯过程	聚醚醚酮的合成技术 聚醚醚酮的提纯技术	热稳定性
干燥过程		—
颗粒加工	高纯聚醚醚酮的生产技术	—
复合增强	聚醚醚酮复合改性技术	机械性能等
细粉加工	聚醚醚酮超微精粉生产技术	—

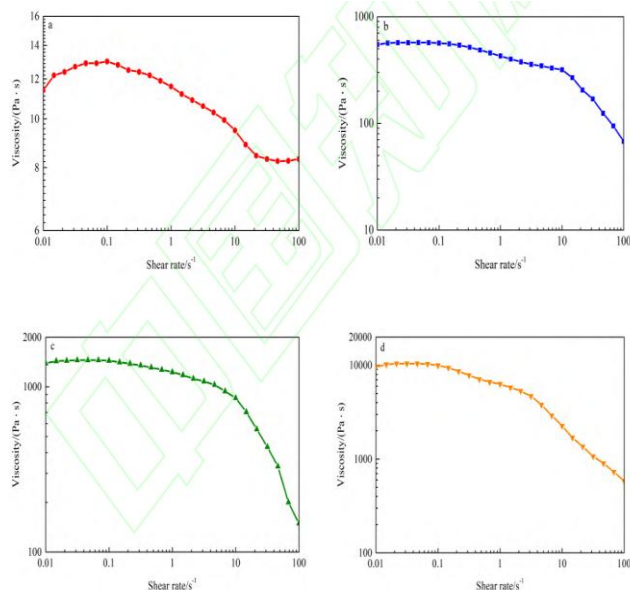
图：PEEK纯树脂粗粉生产流程



图例说明：主要工艺流程 投入 产出 工艺流程

- ◆ PEEK的核心指标包括熔指、黏度、结晶性等，也可通过改性进一步优化性能。
- ◆ 熔指和黏度成反向关系，平衡两个指标是关键。PEEK作为一种线性高分子材料，其熔融态是一种非牛顿流体，具有剪切变稀的特点，在高剪切速率下黏度会变小，而黏度又与熔体强度关联，低黏度表现为产品强度的降低。
- ◆ 机械性能&耐磨性&耐腐蚀性等性能核心来源于结晶性。PEEK作为一种半结晶型聚合物，其优异性能源于其中的结晶部分。在其加工过程需要在十几秒内从熔融态迅速降到凝固态完成结晶，在相同时间内结晶速率快可以得到更高的结晶度。
- ◆ 改性是进一步加强PEEK性能的方法，常见的方案有聚合物共混、填充、表面处理改性，约占PEEK应用的30%。

图：不同聚合时间PEEK的旋转流变曲线

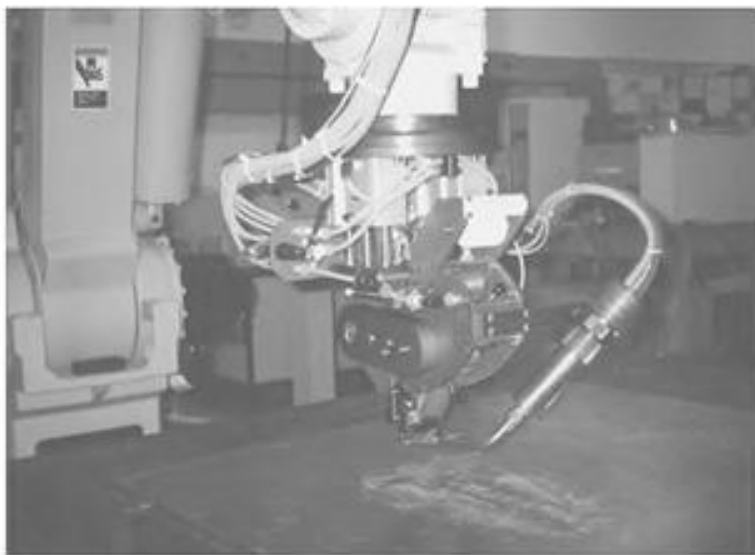


图：PEEK的改性方式及特点

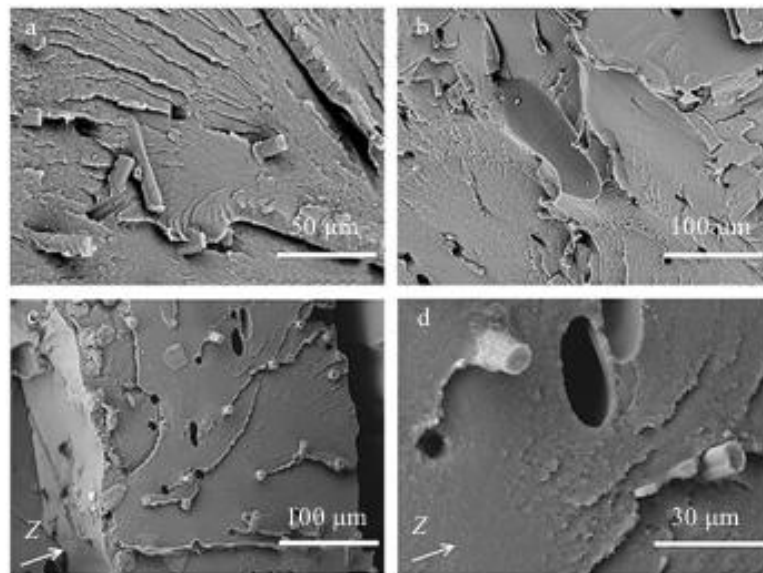
改性方式	针对缺点	具体方案	性能变化
聚合物共混改性	脆性大、剪切性能差、使用温度较低	与PPS混合	具有特点熔点和玻璃化温度，更优异的成型性能，良好的耐磨性
		与PES混合	具有良好的力学和热稳定性
		与PTFE混合	具有很高的强度、硬度和耐磨性
填充改性	改善树脂的刚性、耐热性、成型加工性、部件尺寸的稳定性	纤维增强-与碳纤维混合	高拉伸强度、较低的平均摩擦系数和磨损率，优异的导电性和导热性
		纤维增强-与玻璃纤维混合	优异的力学性能和耐摩擦性能，大幅提高层间剪切强度、抗拉强度和模量
		纳米粒子增强-与氧化镁混合	提高导热性、热稳定性、阻燃性
		纳米粒子增强-与HAP/二氧化锆混合	增强生物活性
		纳米粒子增强-与碳纳米管混合	增强导电性和电磁屏蔽效能
表面处理改性	保持材料或制品原性能下赋予其表面新的性能	壳聚糖生物活性表面涂层改性	增加表面粗糙度和湿润度
		硫酸磺化改性	改善导电、焊接等功能特性
		激光处理	改变粗糙度、亲水性

- ◆ **批次稳定性的把控是PEEK厂商的核心能力之一**，在聚合工艺中每一反应釜都是一个批次，每反应釜之间需要相同且精准的控制，才能保证材料的一致性。PEEK生产的反应釜是一系列设备，构成复杂，控制难度较高，且环境的微小变化（温度&湿度等）均会对产品性能造成影响，同时PEEK生产中仍有大量环节需要人工参与，因此较大的反应釜及更高的自动化水平可以最大限度的减少批次间的变化。当前，仅英国威格斯及中国中研股份具备5000L反应釜生产能力，随着行业需求发展及公司订单增加，其他企业也在逐步尝试更大容量反应釜进行生产。

图：机器人自动纤维铺设

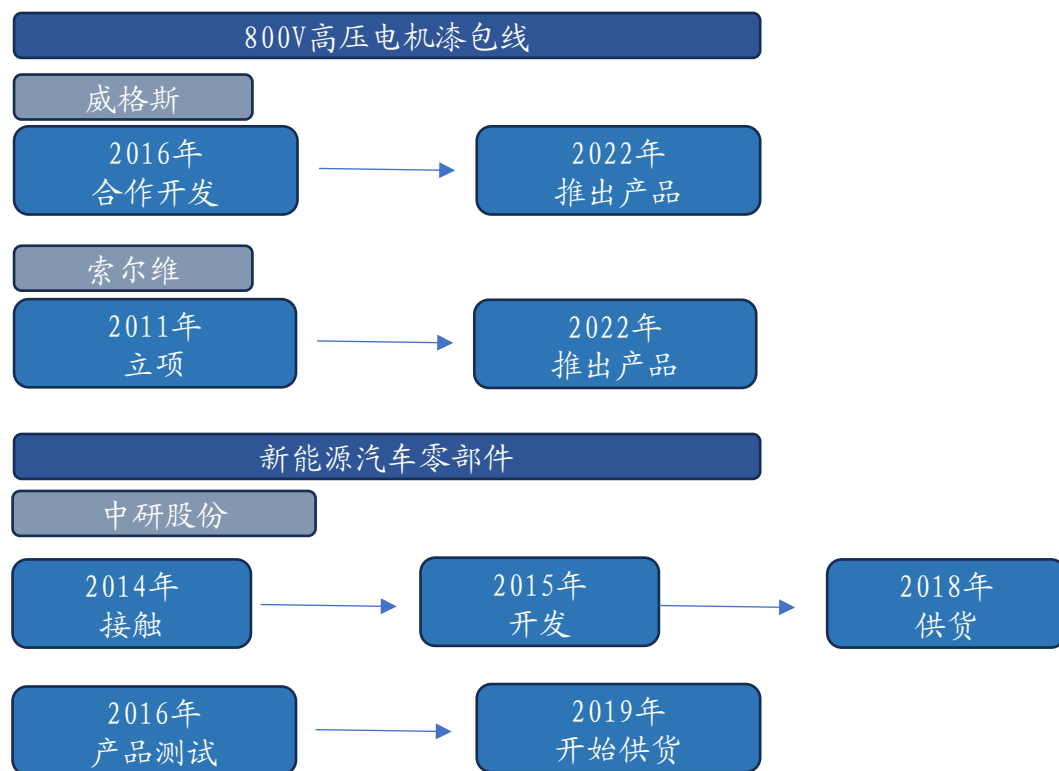


图：3D打印CF/PEEK复合材料的低温开裂



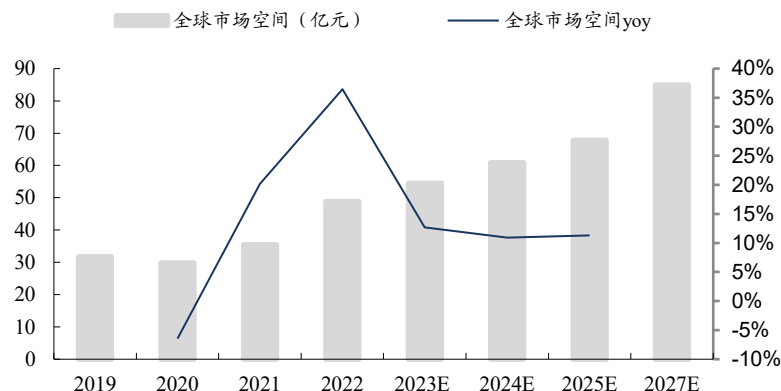
- ◆ **PEEK材料多数应用于工作环节恶劣、性能要求苛刻的产品领域，验证周期较长，当前各厂商积极与下游联合研发，加快应用拓展。**目前PEEK主要作为功能件、结构件应用于工作环境恶劣、性能要求苛刻的产品领域，相关领域对产品质量的可靠性、稳定性、耐用性要求较为苛刻，在应用开发过程中一般需要多个环节的测试，包括对PEEK材料测试、零部件产品以及终端产品的验证和测试，导致PEEK终端应用一般需要较长的验证周期。以800V高压电机漆包线为例，威格斯历史7年完成开发到推出产品，而国内企业因多为国产替代而非全新产品，验证周期较短，但仍需3-4年。未来，随着上下游企业联合研发深入，及机器人等新领域终端验证周期较短等因素，行业应用拓展有望加速。

图：PEEK材料验证周期较长

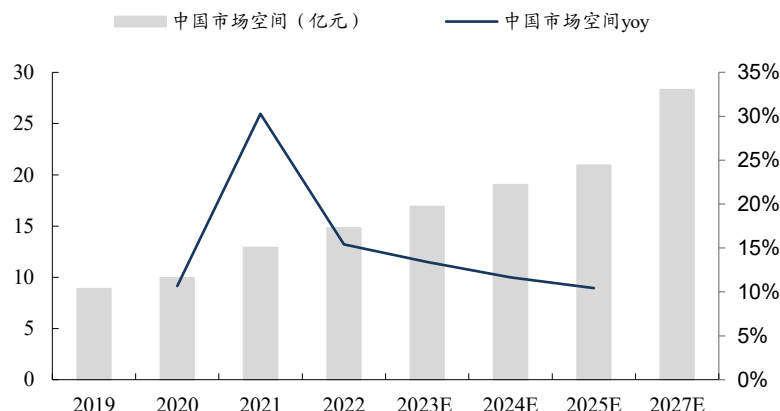


- ◆ **预计24年全球市场空间61亿元，中国市场空间19亿元。**据测算，全球PEEK市场规模由2018年的36亿人民币到2022年增长至49亿人民币，18-22年CAGR达8.01%；中国市场PEEK市场规模由2018年的8亿人民币增至2022年的15亿人民币，18-22年CAGR达17.01%。基于其出色的性能、符合严格的安全和环境要求，以及随着技术进步和成本降低而增强的竞争力，聚醚醚酮（PEEK）将满足不断扩大的高性能应用场景需求。全球PEEK市场规模在2027年预计将增至85亿元，24-27年CAGR为11.38%，中国PEEK市场规模在2027年预计将增至28亿元，24-27年CAGR达13.30%。

图：全球PEEK市场空间及增速（亿元，%）

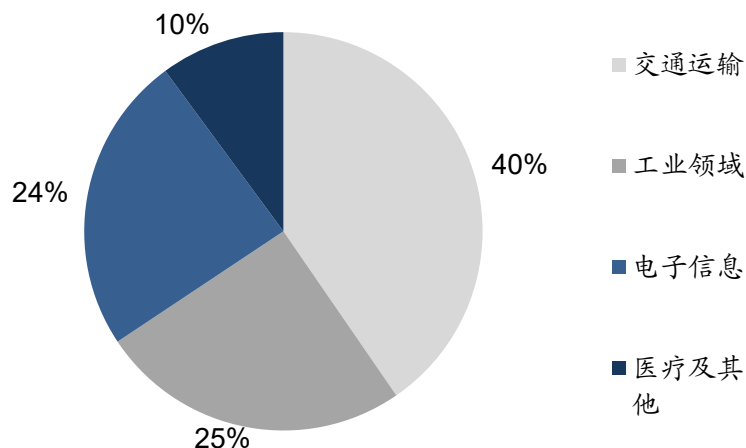


图：中国PEEK市场空间及增速（亿元，%）

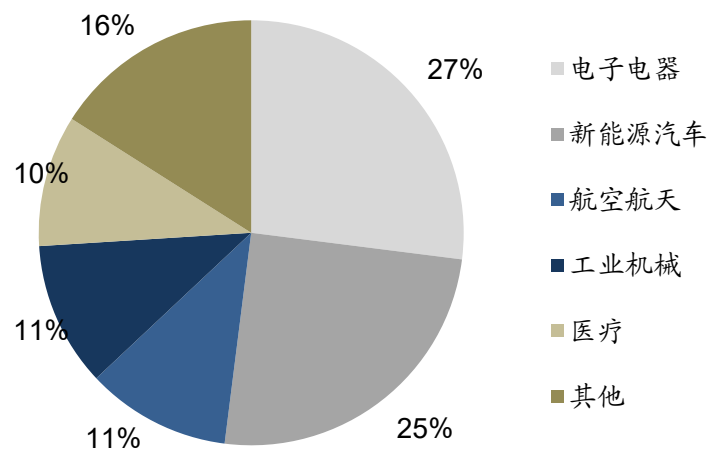


- ◆ **PEEK全球主要应用于航空航天及汽车，中国主要应用于电子电器。**从2024年我国PEEK行业下游消费结构来看，电子电器领域占比27%，主要应用于3C产品生产线用工装夹具等；新能源汽车消费占比25%，主要应用于动力电池包绝缘膜系统；航空航天领域消费占比11%，主要用于航空发动机耐温部件（工作温度 $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ）和C919机身复合材料（减重率15%~20%）；工业机械领域消费占比11%；医疗领域消费占比10%，主要应用于医疗植入级PEEK材料，其他领域包括氢能与半导体领域等，消费占比16%。

图：全球PEEK下游消费量（2024年）

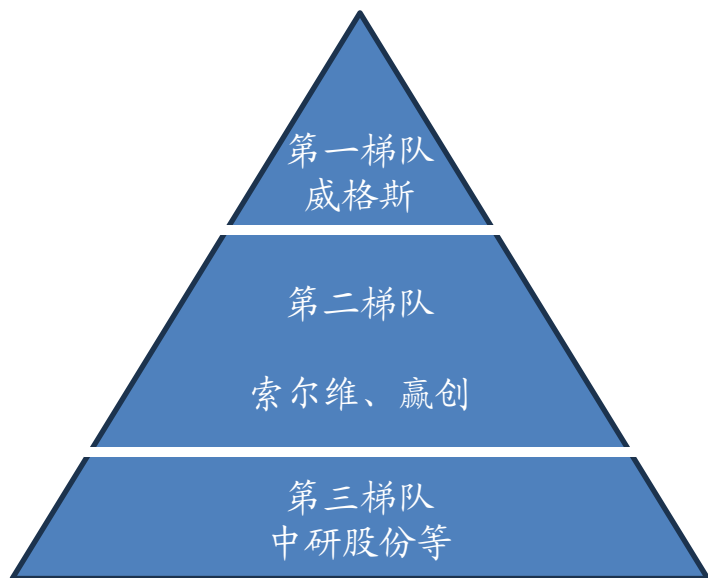


图：中国PEEK下游消费量（2024年）

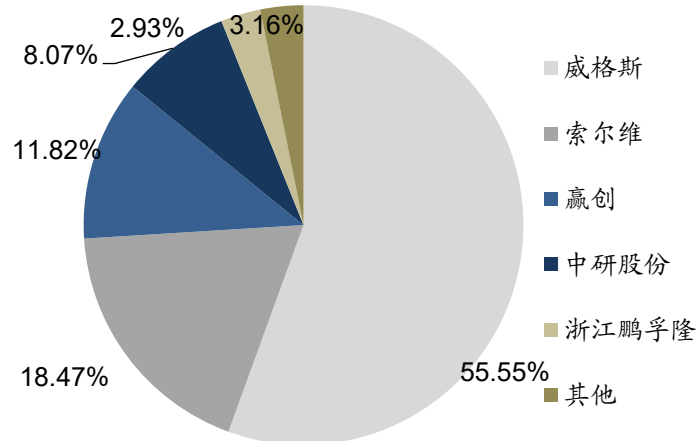


- ◆ **PEEK全球供给集中，目前仅少数国家掌握合成技术。** PEEK在1978年被发明后，迄今只有英国、德国、中国、比利时、印度等少数国家真正掌握PEEK合成、提纯和干燥技术。在PEEK树脂生产领域，公司的主要竞争对手包括英国威格斯、比利时索尔维、德国赢创、长春吉大特塑、浙江鹏孚隆、山东浩然等。根据2021年销量测算，威格斯全球市占率第一，达56%，海外三大巨头合计市占率达86%，格局集中。

图：全球PEEK竞争格局示意图



图：2021年全球PEEK主要生产商销量



- ◆ **全球各大厂家纷纷扩产，扩产周期&产能爬坡仍需时间，预计27年国内实际产能达5400吨。**2021年，中国PEEK消费量为1980吨，国内厂商实际产量约1154吨，部分需求通过进口满足。截至2021年，国内厂商在建产能包括浙江鹏孚隆、山东君昊、盘锦伟英兴、吉林聚科高新、沃特股份等，合计在建产能约6000吨，预计在2027年前正式投产运行。产能建设周期约2-3年，同时客户验证需1-2年，因此预计在2022年至2027年期间国内可实现有效新增产能约3000吨，即2027年国内实际PEEK产能约5400吨/年。

图：国内外PEEK厂商产能情况（截至2021年）

	现有产能 (吨)	在建产能 (吨)	合计产能 (吨)	公司所属地	主要生产基地
威格斯	7150	1500	8650	英国	英国
索尔维	2500		2500	比利时	印度
赢创	1800		1800	德国	中国
中研股份	1000	1000	2000	中国	中国
吉大特塑	500		500	中国	中国
浙江鹏孚隆	200	760	960	中国	中国
山东浩然特塑	300		300	中国	中国
山东君昊	80	1700	1780	中国	中国
聚科高新材料	200	1500	1700	中国	中国
盘锦伟英兴		1500	1500	中国	中国
沃特股份		1000	1000	中国	中国

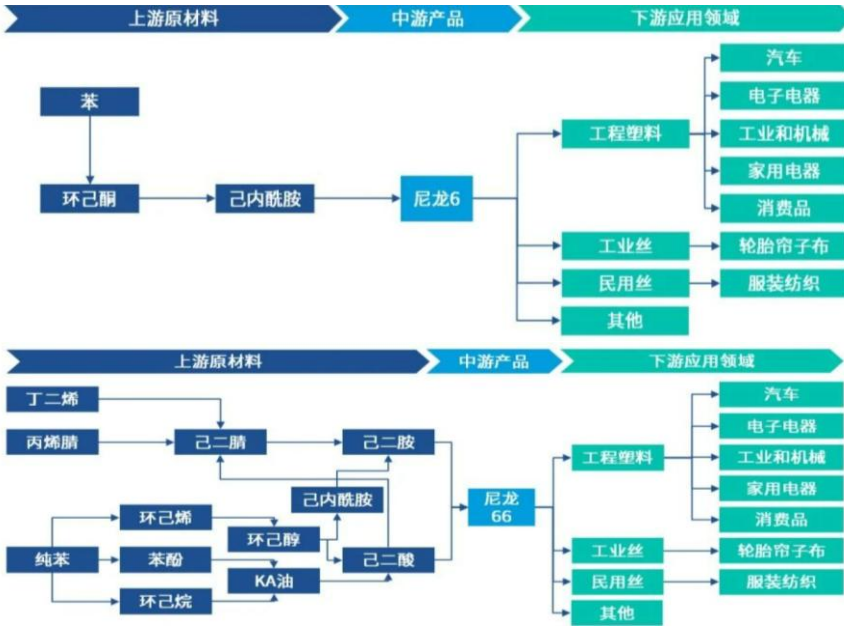
PART4 材料轻量化-尼龙:

- ◆ **PA6（尼龙6）** 具有优异的抗冲击性和柔韧性，适用于需要一定弹性的部件。PA6表面质量良好，加工性能优越，且在特定条件下展现出更佳尺寸稳定性。PA66具有更高的熔点，从而提供卓越的耐热性，这对于暴露在高温环境下的部件至关重要。其更高的刚性和强度使其更适用于对机械稳定性要求较高的结构性组件。
- ◆ **尼龙66** 作为性能更为优越的尼龙品种，虽然前期受制于己二腈的进口依赖，价格相对较高，但随着我国企业开始推进己二腈国产化，尼龙66的价格已经有所下行，下游应用也进一步扩展。

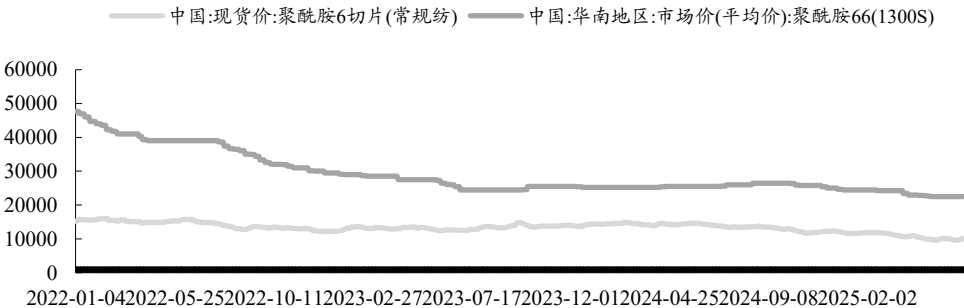
图：PA6与PA66比较

性能指标	尼龙PA6	尼龙PA66
机械强度	高	极高
刚度	高	极高
耐热性	中等到高	高
耐化学性	高	高
耐磨性	高	高
吸湿性	中等	中等到低
尺寸稳定性	中等到高	高
加工便利性	良好	中等
熔点	较低	较高
潮湿环境表现	中等	高

图：PA6&PA66产业链

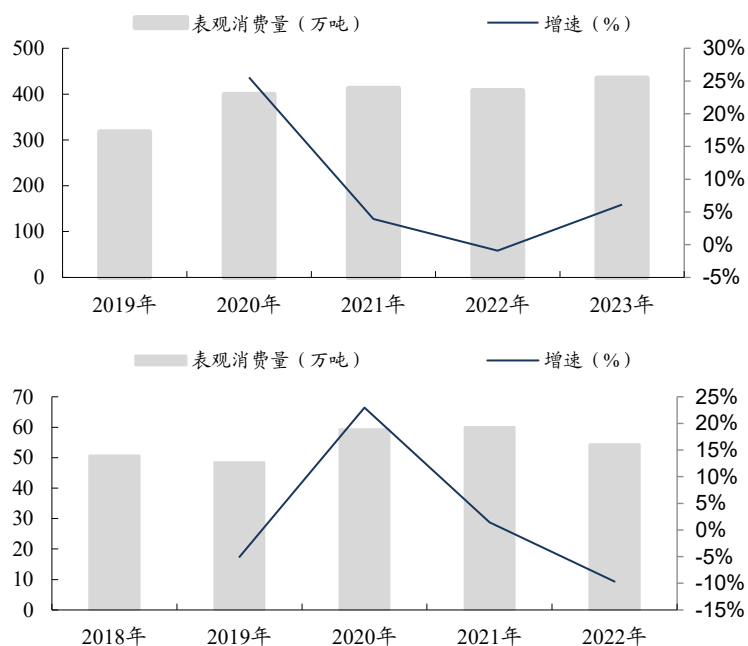


图：PA6&PA66价格（元/吨）

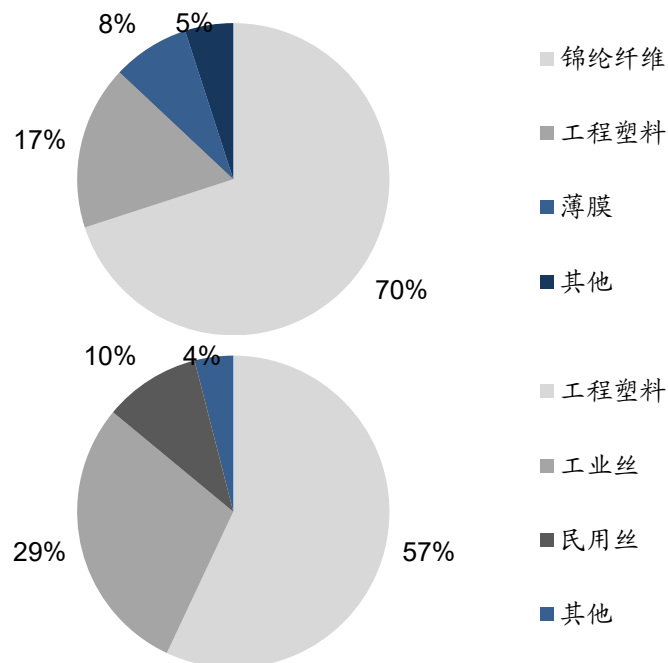


- ◆ **我国已成为尼龙6主要消费国，行业需求整体成熟稳定。**2019-2023年我国尼龙6表观消费量从317.66万吨增长至434.91万吨，CAGR达到8.17%。而2022年我国尼龙66表观消费量达到54.4万吨，2018-2022年CAGR为1.77%。
- ◆ **中国尼龙6主要应用于民用消费品领域，尼龙66主要应用于工业制造领域。**2022年尼龙6下游主要有锦纶纤维、工程塑料、薄膜等领域，分别占比70%、17%、8%，其中主要用于地毯制造，以及与其他材料混纺用于袜子、伞布生产等。PA66主要下游为汽车制造（汽车发动机、电器、车体，高铁车体，大型船舶的涡轮、螺旋桨轴、螺旋推进器、滑动轴承等部件）、电子电器等。民用领域因PA66相较于PA6价格较高、国内尼龙66行业供给有限而发展缓慢，仅应用于高端瑜伽服、速干服、弹力锦纶外衣、冲锋衣等。

图：PA6（上）与PA66（下）需求情况

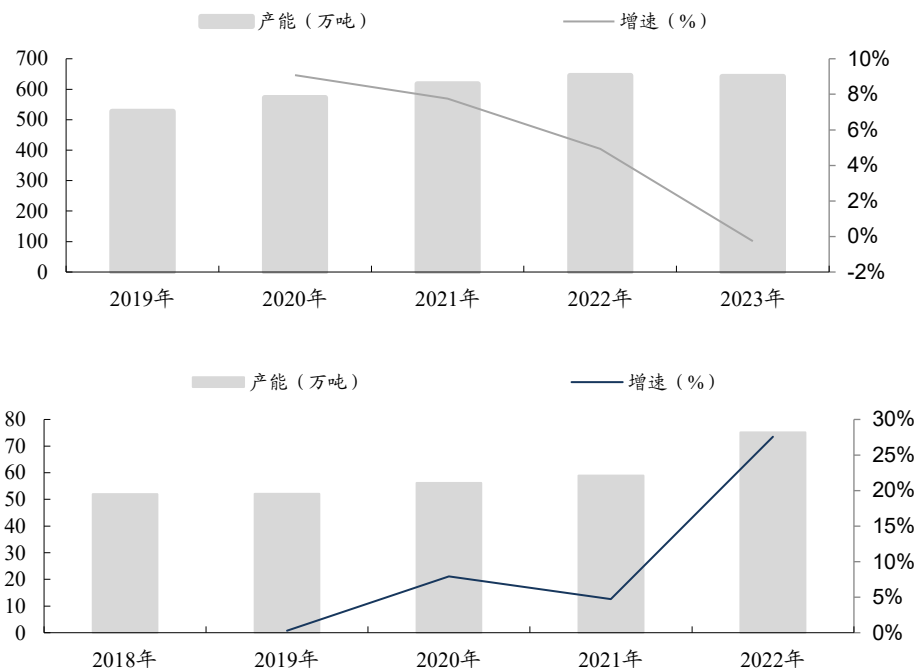


图：PA6（上）与PA66（下）下游应用情况（2022年）

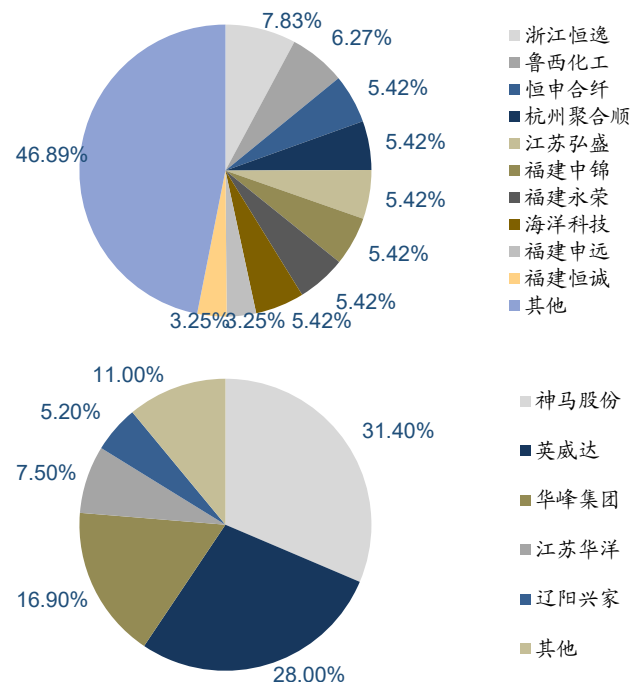


- ◆ **PA6供给稳定，PA66受益于降本&新应用，产能快速扩张。** 尼龙6扩产驱动力主要为下游纺织消费品需求增长，2019-2023年我国尼龙6总产能从527万吨扩张至642万吨，CAGR达7.29%；尼龙66产业过去较为成熟，2022年我国PA66产能为75.1万吨，行业开工率仅为65%，近年受益于原材料国产化降本及应用技术突破产能快速增长，2024年PA66产能达129万吨，同比+39%。
- ◆ **PA6格局分散，PA66格局集中，己二腈等关键原材料上的自给率不断提高。** 2022年我国PA6产能CR4不足25%，龙头企业市占率不足50%，格局分散。PA66全球生产集中于美国、意大利、德国、日本、中国等国家，主要生产商有英威达、杜邦、巴斯夫、神马股份、兰蒂奇、旭化成等，2022年我国PA66主要供应商为神马股份、英威达、华峰集团，CR3达75%。

图：PA6（上）与PA66（下）产能情况



图：PA6（上）与PA66（下）下游格局情况（2022年）



- 尼龙已在汽车领域成熟应用。**尼龙及其改性材料因其稳定性高、强度高、韧性好、耐压力等等特性，在汽车中的发动机、燃油供给系统、电气系统、底盘系统等已有大量成熟应用。同时，通过与玻璃纤维（GF）共混改性，大幅提升强度，应用于管件、壳体、齿轮等部件。
- 机器人领域“以塑代钢”优势显著，未来可期。**在工业&协作机器人传动部件中，谐波减速器刚轮可用碳纤维增强尼龙（PA12-CF30），凭借摩擦系数低&轻量化应用于协作机器人关节模组，行星滚柱丝杠可用玻璃纤维增强尼龙（PA66-GF50），减重60%基础上保持0.5μm/300mm运动精度，应用于工业机器人第七轴驱动系统。

图：尼龙在汽车方面的应用

系统	部件	材质	优点
发动机	机油集滤器	PA6+GF	空气混入率降低10%~30%，节约成本50%，减轻质量70%
	发动机罩盖	PA6+GF、PA66+GF	强度高，韧性好，低翘曲，隔音降噪，表面质量高，易于快速加工
	进排水口管件	PA6+GF、PA66+GF、PA46+GF	进水口管件耐温130℃，排水口管件耐温230℃
	气缸头盖	PA66+GF	有效降低发动机噪声
燃油供给系统	燃料盖	PA6、PA66、PA11、PA12	耐冲击性好，燃料挥发透过率低
	燃油管	PA11、PA12、PA1012、PA1010、PA612、PA1212	抗疲劳性，柔韧性和耐候性好
	快速接头	PA12	耐油性好，尺寸稳定性高
	燃油导轨	PA66+GF	耐油，耐热，隔温，耐压力，抗冲击，密封性好
	燃料喷射器	PA66+GF、PA6T、PA9T、PA46	耐热性好
汽车电气系统	配电装置（连接器、电线固定器等）传感器外壳	PA66、PA6、PA6T	耐湿、耐热、耐腐蚀、耐老化、重量轻、成本低
	开关外壳	PA6+GF、PA66+GF	
	安全气囊支架	PA66	
	电机外壳	PA6+GF	
	电机齿轮	PA6T+GF、PA66+GF	耐磨、耐腐蚀、韧性好、抗蠕变性能好、生产
底盘系统	变速控制杆罩	PA6+GF、PA66+GF	
	正时链条导轨	PA66、PA6	工艺成熟

图：1X Neo Gamma

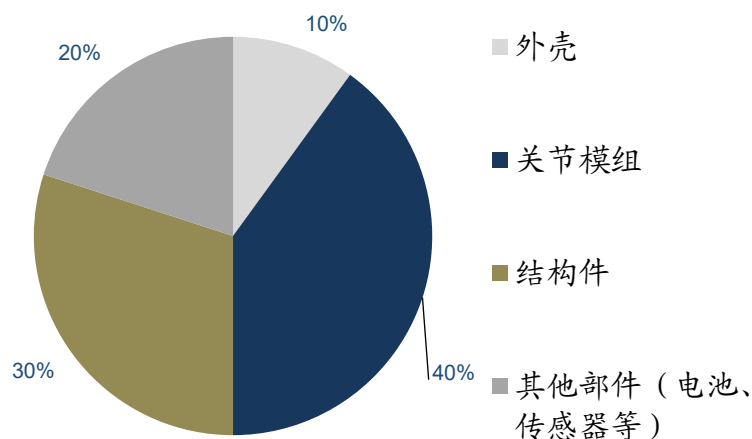


数据来源：艾邦咨询，东吴证券研究所

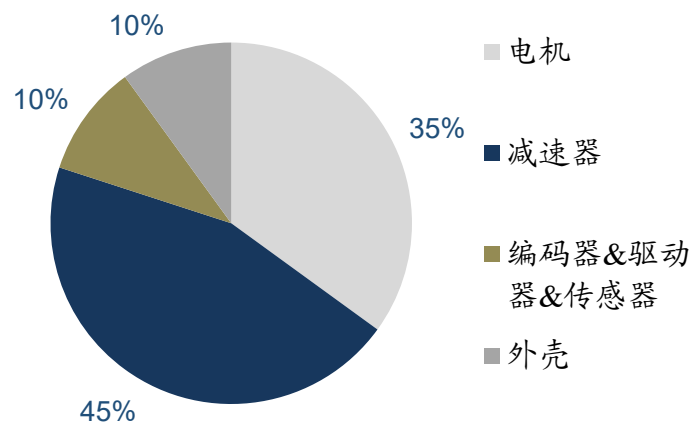
PART5 人形机器人轻量化：空间广阔，任重道远

- ◆ **人形机器人整机重量分布中，关节模组占比较大。**当前通用人形机器人关节模组（以旋转模组为例）约1~2kg，约占全身重量40%左右，结构件（如轴承、连杆等）约占全身重量30%，外壳占比约10%，其他（如电池、传感器、控制器等）占比20%。其中，关节模组中以减速器重量占比最大（600g左右，占比45%），电机其次（500g，占比35%左右），外壳仅约10%（用于关节模组尾部保护驱动器等）。

图：人形机器人各部位重量分布测算

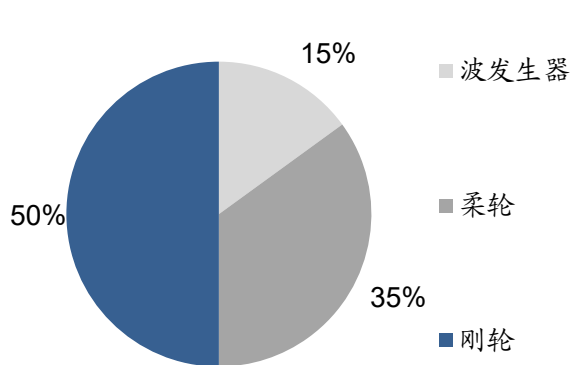


图：关节模组各组件重量分布测算

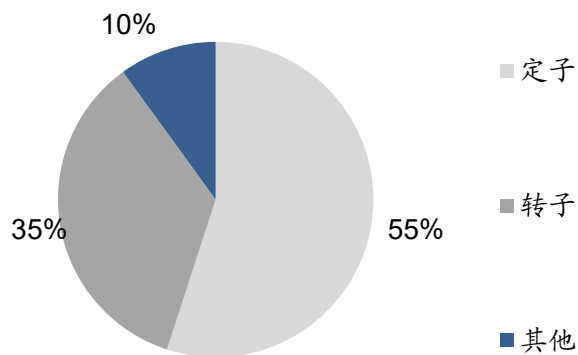


- ◆ **刚轮是谐波减速器减重的核心。**按照重量分布拆分，谐波的重量来源主要是刚轮和柔轮，其中柔轮需要同时具备高强度和良好的弹性（高弹性模量），PEEK等工程塑料难以胜任，仍需使用钢材，而刚轮对于刚性&强度&耐磨度&热稳定性要求较高，对于弹性要求较低，可通过使用PEEK等工程塑料进行减重并提升强度。
- ◆ **电机以塑代钢可一定程度减重，但主要为刚性&绝缘。**无框电机的主要重量来源是定子和转子，其中转子一般由永磁体、基座组成，定子一般由硅钢片、线圈、基座，其中除基座外均需要电磁性能，无法被塑料替代，而基座重量占比小，且主要作用为保持部件位置，强度需求一般，且目前使用PPS等工程塑料方案成熟，有一定减重效果，但主要为刚度&绝缘。

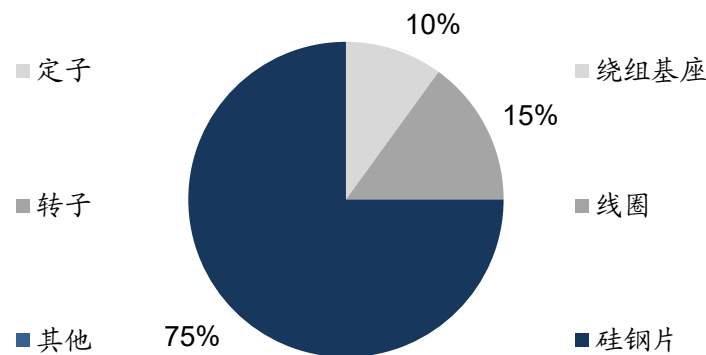
图：谐波减速器各零部件重量分布



图：无框电机各零部件重量分布



图：电机定子各零部件重量分布



- ◆ **PEEK材料在谐波减速器可大幅减重、降低温升，更适合用于人形：** PEEK材料在谐波减速器中主要用于替代钢轮/柔轮，其优势在于轻量化（可减重70%+）、自润滑（降低温升和噪音）以及耐腐蚀。然而，PEEK的刚性较低（需碳纤维增强）、长期高负载下可能蠕变（寿命下降20%），且材料成本高昂（约金属的5倍+）。
- ◆ **头部厂商已有专利布局，新进入者已发布相关产品：** 哈默纳科、绿的谐波等头部厂商已有相关专利和技术储备，科达利子公司25年4月发布多款Peek材料谐波减速器，钢轮和外壳采用Peek材料注塑，计划用于人形机器人上半身关节。Peek谐波与传统谐波工艺有所不同，PEEK部件依赖注塑或3D打印，降本还需大规模生产。

图：Peek谐波减速器特点

金属钢轮		Peek柔轮
重量	重 (密度 7.8g/cm³)	轻 (Peek密度 7.8g/cm³)
寿命	高 (1-2万次)	低20%
刚度	高	低21%
耐腐蚀性	需要表面处理	高
摩擦系数	高	低
温升	较高	低
温度稳定性	高	受限 (≤250°C)



PEEK复合材料
轻量化谐波减速机
PEEK Composite Materials
Light Weight Harmonic Reducer

71% Lighter 更轻

168% Torque/Weight Ratio 扭矩/重量比

极致轻巧
Extremely Lightweight

New

SKZOMO 科盟创新

金属钢轮		Peek柔轮
工艺	锻造/机加工	注塑成型
成本	合金钢价格0.5万/吨	Peek价格40万/吨, Peek谐波价格较普通预计高1倍

Peek谐波布局	
哈默纳克	专利JP2020185231A (Peek复合材料柔轮, 体积碳纤维增强方案) 专利 US20220178421A1 (明确采用Peek或PPSU制作钢轮, 搭配金属柔轮)
绿的谐波	专利CN114857194A (提到采用复合材料齿圈)
科达利	子公司已发布多款Peek材料减速器, 钢轮或外壳用Peek注塑成型
瑞迪智驱	2023年财报提及在研“非金属谐波减速器”

- ◆ **滚柱丝杠采用PEEK减重效果突出，但加工难度大，精度&效率均难以保证。**一般情况下，线性关节的重量大于旋转关节，因此以塑代钢减重效果更加突出。从性能角度看，PEEK材料可以通过碳纤/玻纤改性增强，在强度和刚性层面达到要求，同时凭借其自润滑性或进一步通过表面改性处理减少磨损与发热（在滚珠丝杠领域中已证明可以通过显著降低摩擦系数减少磨损）。但从加工难度看，PEEK在注塑过程中因其分子量越高，熔融粘度越大，需在380-400℃高温下加工，设备精度要求极高（如温度控制误差需 $< \pm 1^{\circ}\text{C}$ ），否则易出现熔体破裂、填充不均，在切削加工等过程中PEEK低导热率导致切削热集中在刀具刃口，易引发材料软化粘连（如切屑堆积导致表面粗糙度 $Ra > 1.6\mu\text{m}$ ），需使用金刚石或CBN刀具并配合高压冷却，因此精度和效率在丝杠加工中挑战较大。

图：PEEK材料丝杆



图：PEEK材料异形件加工



- ◆ **定子绕线基座等结构采用塑料因其良好的绝缘性，轻量化的核心在于磁材选择和磁路设计。**无框电机结构较为简单，转子上装有永磁体，直接安装在设备的负载轴上，与负载一起旋转。定子由绕组构成，固定在设备的机械结构中，不旋转。目前轻量化主要有几个方向：1) 材料的轻量化，主要为高性能的永磁材料；2) 集成化与模块；3) 磁路设计优化（通过分布式分数槽设计、碳纤维绑扎技术等创新工艺）；4) 制造工艺（高精度机加工、分瓣绕线设计、多线并绕工艺等）；其中，较为核心的是磁材选择和磁路设计。
- ◆ **“以塑代钢”可一定程度轻量化。**当前，一体化关节模组中“以塑代钢”达到轻量化效果的零部件主要为后罩壳，主要作用为保护内部的驱动器&编码器等零部件，重量占比相对较低。

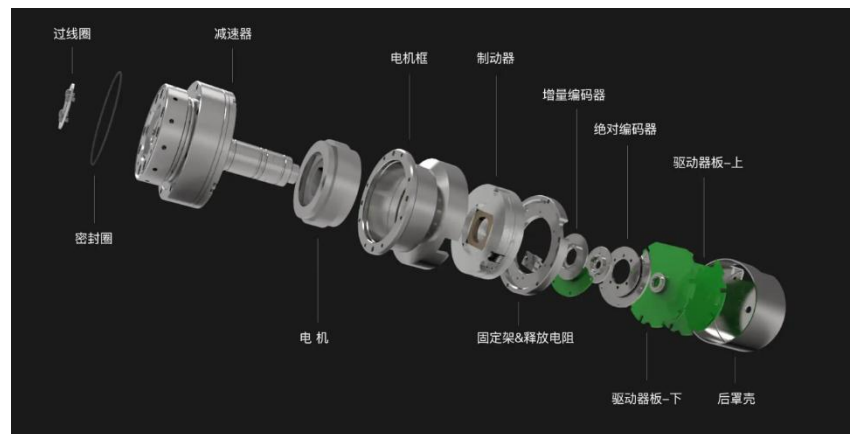
图：PPS材料定子绕线基座



图：PEEK转子护套



图：一体化关节模组结构图

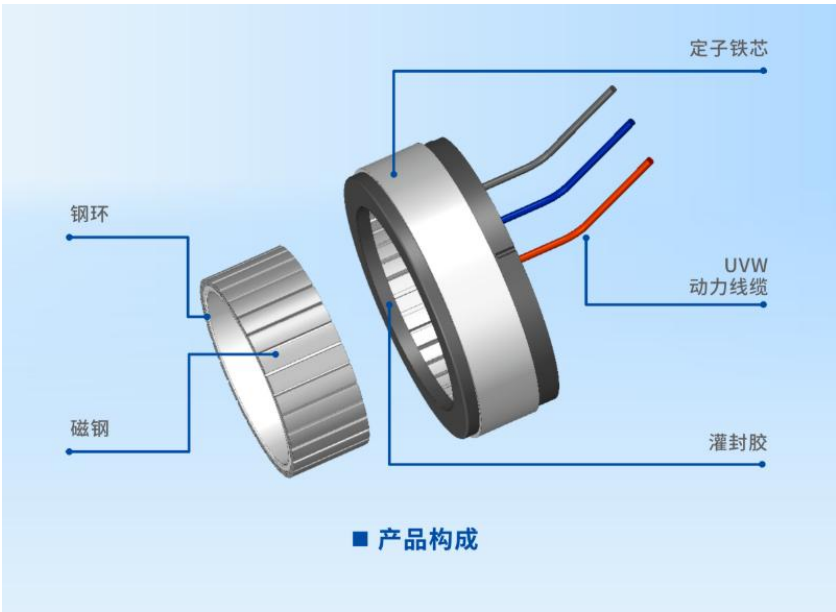


- ◆ 电机减重的核心仍需回到电磁设计，主要涉及磁材选择及磁路设计。
- ◆ 磁材选择：钕铁硼是第三代稀土永磁材料，被称为“永磁王”。晶体结构为四方对称由两个钕原子十四个铁原子和一个硼原子组成，将自然界中磁性最为充沛且自发磁化强度最高的铁元素，与能够锁定铁磁矩定向排列的稀土元素钕结合在一起，具备超强磁性——可吸附相当于自身重量千倍的铁质物体，同时还兼具成本低廉的优势。根据制备工艺的不同进行分类，稀土第三代永磁材料可分为：1) 烧结钕铁硼永磁体；2) 粘接钕铁硼永磁体；3) 热压钕铁硼永磁体，这三类在制造工艺、性能和应用领域方面存在显著差异。烧结钕铁硼与粘接钕铁硼已实现规模化生产及产业化，产业链完善。相比之下，热压钕铁硼目前产量较少,尚未形成完整的产业。
- ◆ 磁路设计：以雷赛智能为例，结合FEA优化磁路设计，通过有限元分析精细调整磁路与槽极布局，提高磁效率；减少无效磁通，进一步降低结构尺寸和部件重量。

图：钕铁硼分类

分类	工艺	优点	缺点	工作温度(°C)	应用领域
烧结钕铁硼	经磨制、混料、压型和烧结等工艺	高剩磁、高矫顽力、高磁能积、	加工过程中易出现碎裂、加工精密	200	风力发电机、工业电机、电动车、医疗设备
粘接钕铁硼	压延成型、注射成型、挤压成型和模压成型，其中压延和注射较为主流	生产工艺简单、成本低、尺寸精度高、形状复杂、无需后续加工及适于量产	磁性能不如烧结钕铁硼、工作温度低	160	IT及办公自动化、智能家电、汽车
热压钕铁硼	热挤压、热变形等成型工艺	密度高、耐腐蚀性好、矫顽力高、有较高的磁性能	制作工艺较复杂、生产成本较高	180	汽车电动助力转向(EPS)

图：雷赛智能FM2系列无框电机



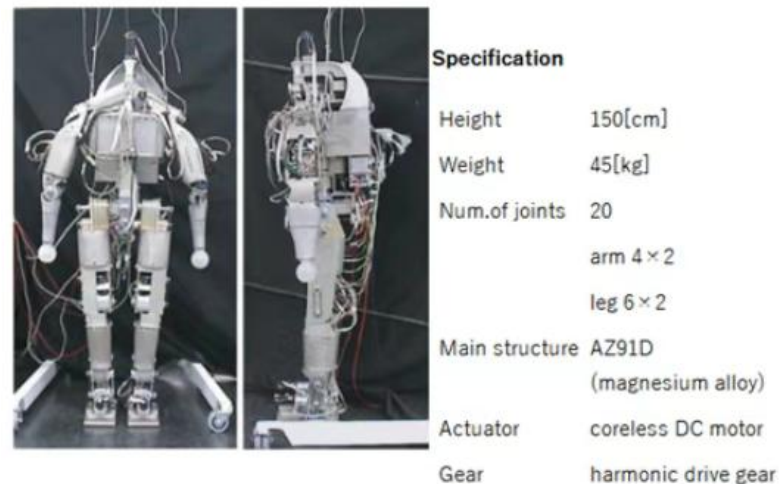
- ◆ **壳体及结构件需要刚性&韧性共同提供支撑及保护，但相对核心传动部件来说，性能要求较低。**外部壳体及结构件约占人形机器人总重量的10~20%，其性能要求主要为较高的强度与抗冲击性（保护内部元件而非壳体本身）、耐腐蚀性、电磁屏蔽性，目前主要应用铝合金。后续来看，如延续金属方案，镁合金性能更优且性价比突出、加工工艺成熟，短期内推广可行性大；若采用塑料方案，因其性能要求并不苛刻，尼龙（PA）以其低密度、高耐磨性及抗冲击性、柔韧性、耐腐蚀性、高强度（使用PA66或玻纤改性等）等性能能够较好胜任，目前1X Technologies的Neo Gamma即采用编织尼龙材质作为外壳，在减重的同时还可以降低与人接触时的伤害风险，在人形机器人打开2C端市场时有望大规模应用。

图：当前人形机器人外壳以铝合金为主



图：10UT-02采用轻量化镁合金铸造身体结构件

UT-02



- ◆ **综合测算下，PEEK材料市场空间较大。**综合考虑纯旋转关节方案及旋转&线性关节人形机器人重量分布及轻量化材料选择，我们进行了以下核心假设及测算：材料选择方面，PPS以其高刚性、绝缘性及性价比应用于电机定子绕组基座及转子护套，PEEK作为“工程塑料的皇冠”应用于对性能要求最高的减速器刚轮及滚柱丝杠的丝杠及滚柱，外壳&结构件可选用镁合金&改性尼龙（主要为PA6&PA66+GF）。全球百万台人形机器人（旋转&线性关节）测算下，人形机器人用PPS/改性PEEK/镁合金/改性尼龙市场空间分别为1/20/3/3亿元。

图：人形机器人轻量化材料市场空间测算（亿元）

	单位	旋转关节方案	旋转&线性关节方案
人形机器人重量（没有使用轻量化前）	KG/台	80	90
关节模组	KG/台	32	42
其中：旋转关节	KG/台	32	17
其中：线性关节	KG/台	—	25
关节模组：电机	KG/台	11	11
定子绕组基座	KG/台	0.6	0.6
转子护套	KG/台	0.4	0.4
基座使用PPS的量	KG/台	1.0	1.0
百万台下吨数	吨/百万台	1008	1008
单价	万元/吨	10	10
百万台出货-PPS市场空间（亿元）	亿元	1	1
旋转关节：减速器重量	KG/台	14	8
刚轮	KG/台	7.2	3.8
刚轮使用PEEK的量	KG/台	2.2	1.1
百万台下吨数	吨/百万台	2160	1134
线性关节：滚柱丝杠重量	KG/台	—	15
丝杆+滚柱	KG/台	—	12.1
丝杆+滚柱使用PEEK的量	KG/台	—	2.4
百万台下吨数	吨/百万台	—	2419
PEEK需求合计	吨/百万台	2160	3553
改性PEEK单价（万元/吨）	万元/吨	56	56
百万台出货-PEEK市场空间（亿元）	亿元	12	20
外壳&结构件	KG/台	24	27
镁合金方案	KG/台	15.6	17.6
百万台下吨数	吨/百万台	15600	17550
镁合金单价（万元/吨）	万元/吨	1.8	1.8
百万台出货-镁合金市场空间（亿元）	亿元	3	3
改性尼龙方案	KG/台	11.6	13.0
百万台下吨数	吨/百万台	11556	13000
改性尼龙单价（万元/吨）	万元/吨	2.5	2.5
百万台出货-尼龙市场空间（亿元）	亿元	3	3

- ◆ 对于轻量化部件，综合减重效果、技术难度、性价比：谐波刚轮>壳体>滚柱丝杠。
- ◆ 对于轻量化材料，综合市场空间、竞争格局、技术难度：PEEK>镁合金>尼龙。

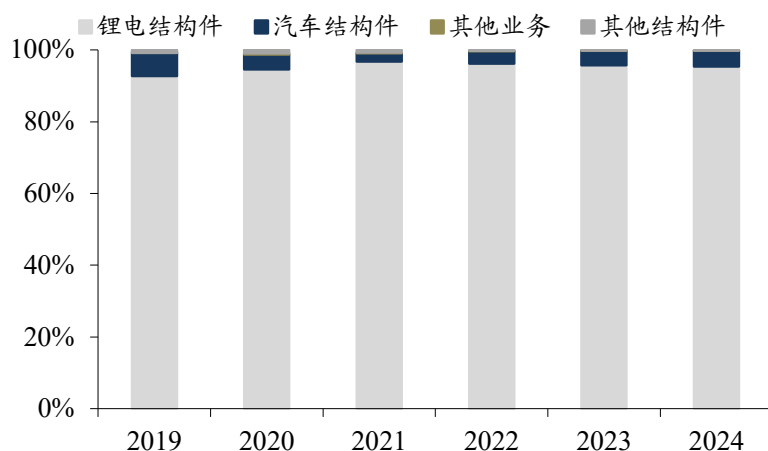
图：人形机器人各零部件轻量化材料选择及作用

人形机器人核心零部件		重量占比 (相对机器人整体)	使用部位	重量占比 (相对核心零部件)	轻量化材料	作用
外壳及结构件	壳体及结构件	☆☆	壳体及结构件	>90%	铝合金/镁合金/尼龙	保护其他零部件，轻量化
关节模组	谐波减速器	☆☆☆	刚轮	≈50%	PEEK	减重30%以上、降低摩擦延长寿命
	无框电机	☆	壳体	<15%	镁合金	轻量化
		☆	漆包线	<3%	PEEK	绝缘
		☆	转子套筒	<5%	碳纤维	提高强度、绝缘
	行星滚柱丝杠	☆☆☆	丝杆等	>60%	PEEK	轻量化、解决高速下的微动磨损
灵巧手	微型执行器	☆	壳体	<20%	PEEK	结构刚性、轻量化

PART6 产业链标的梳理

- ◆ **全球结构件龙头，盈利能力稳定表现亮眼，长期成长确定。**公司专注锂电结构件领域，通过绑定宁德时代及二线电池厂，2024年在国内结构件出货份额维持50%+，全球份额30%+，为行业内龙头。2024年起公司海外产能投产，海外客户明显起量，国内及海外市场全面开花，充分享受行业增长，2024年公司收入120亿元，同增14%，归母净利14.7亿元，同增23%，毛利率稳定20%+，净利率稳定10%+，不受行业价格波动影响，盈利能力稳定超预期，长期成长确定。
- ◆ **机器人卡位谐波减速器，定位轻量化产品，并拓展关节总成，2030年弹性可观。**2024年公司与盟立合资成立科盟，布局谐波减速器，公司持股比例40%。公司针对人形领域开发轻量化产品，全球首家发布PEEK材料谐波减速器，产品性能全行业领先，依托公司传统业务的客户渠道，及全球领先的精密制造能力，我们看好公司在谐波减速器行业突围。同时，公司与盟立、伟创成立合资公司，进军执行器总成，进一步开拓市场。我们测算2030年谐波减速器全球空间预计超370亿，旋转关节全球空间近600亿，公司有望实现10亿左右归母净利，弹性明显。

图：公司分产品收入(亿元)

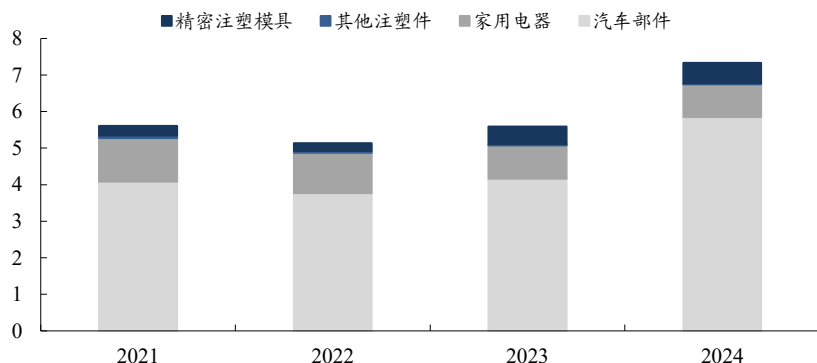


图：科盟在FAIR plus 2025展出7款创新新品



- ◆ **国内领先的精密注塑件生产企业，主要运用于汽车等领域。** 公司专注于高精度、复杂结构塑料精密件的研发与制造，核心产品应用于汽车领域及高端家电领域，下游主要应用于汽车&家电领域，并积极延展至人形机器人、低空经济等新应用领域。2024年，公司营收7.6亿元，同比增长27.9%；归母净利润1.4亿元，同比增长37.3%，主要受益于新能源汽车快速增长，以及补贴下家电市场复苏。
- ◆ **进军机器人产业，提供精密部件。** 公司在特种工程塑料领域拥有多年开发经验，在精密零部件领域拥有丰富的制造经验。人形机器人产业近年来不断取得突破，同时对零部件的性能和品质要求有所提高，公司与客户共同成功开发多个人形机器人精密零部件新品。公司未来发展战略提出将采取自研、合作、合资等多种举措，积极布局人形机器人市场。

图：公司分产品收入(亿元)

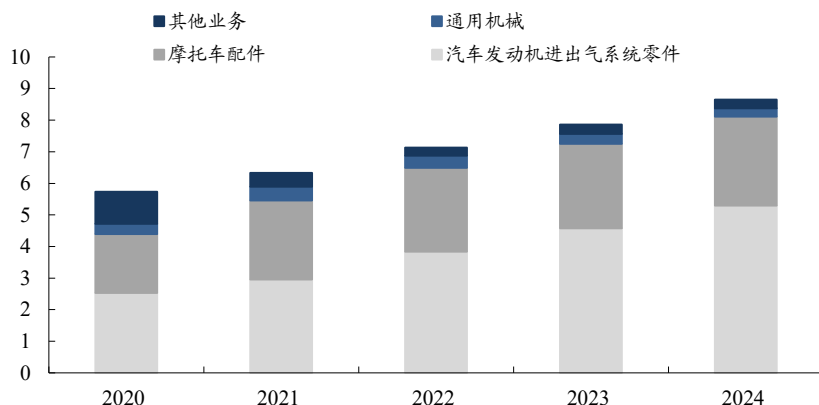


图：公司主要产品图片



- ◆ **专注车辆各系统配套，盈利能力随新产品稳步上升。**恒勃始创于1995年，恒勃股份成立于2005年，公司专业从事ICE&HEV进气系统、燃油蒸发系统、冷却系统、内外饰系统、新能源热管理系统、座舱空气管理系统等产品的研发、生产和销售。公司围绕车辆进气，冷却主业，多举措推进业务发展，持续提升同步开发能力，与主要客户（车企）保持稳定合作，2024年营收8.65亿元，同比增长10.65%，归母净利润1.31亿元，同比增长14.23%。
- ◆ **轻量化布局持续深化，国产替代加速推进核心零部件自主化。**公司在轻量化领域重点布局于汽车和摩托车进气系统等核心部件，采用新材料和集成设计大幅降低产品重量，提升能效与环保性能。公司在浙江、广东、重庆、江苏设有四大生产基地，年销量超5100万件，正建设全球最大滤清器生产基地。其轻量化产品已广泛应用于比亚迪、吉利、广汽、本田、雅马哈等主流品牌，助力核心零部件深度国产化进程。

图：2020-2024 公司营业收入（亿元）

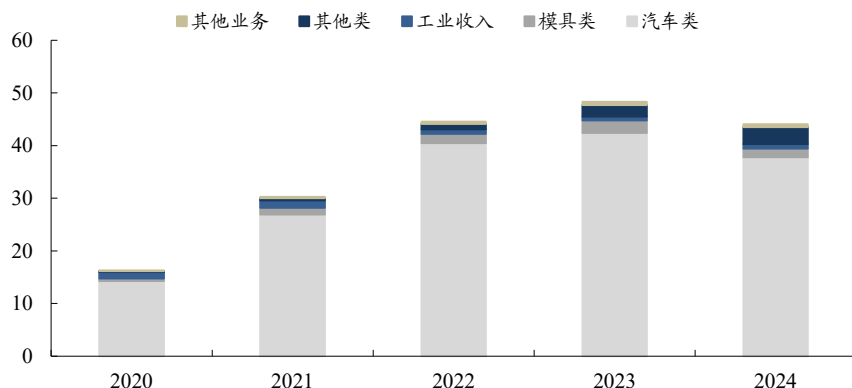


图：公司产品主要为汽车、摩托车进气&冷却系统部件

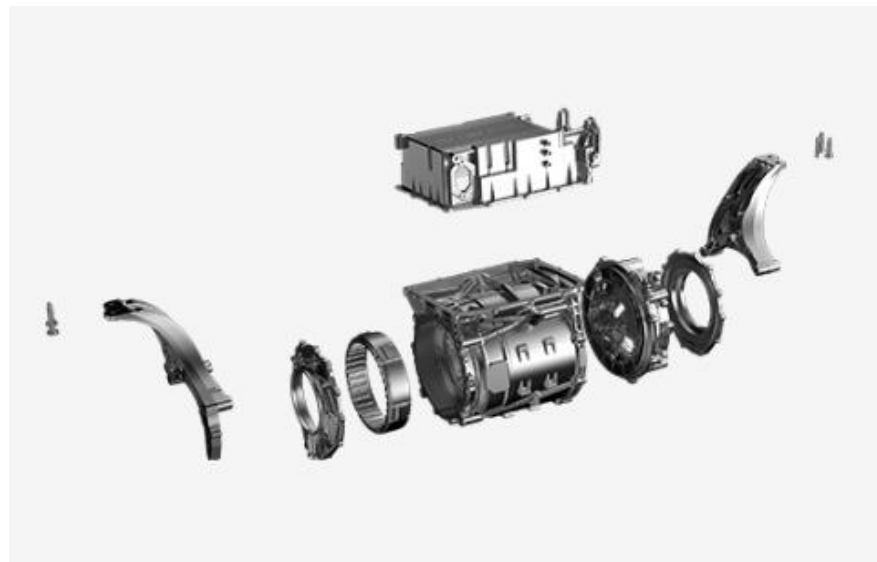


- ◆ **压铸老兵，“压铸&锻造&挤压”工艺全覆盖。**旭升集团成立于2003年，由模具加工起家，后延伸铝压铸业务，目前已全面覆盖“压铸、锻造、挤压”三大工艺。2013年与特斯拉开始接触合作，充分受益于新能源车行业增长及产品大件化，2020-2024年营收从16.3亿元增长至44.1亿元，CAGR达28%，归母净利润从3.3亿元增长至4.2亿元，CAGR为6%，利润率走低主要系生产成本提升等。
- ◆ **铝镁合金能力复用，拓展机器人市场。**公司深度挖掘自身铝合金精密加工专长，结合人形机器人独特的结构与性能需求，全力投入关节壳体、躯干结构件等关键产品研发，目前已与多家国内外头部人形机器人企业开展合作，通过合金材料和制造工艺的多元化，选择最优的材料和工艺匹配产品，通过精密机加工，帮助主机厂实现降本。

图：旭升集团收入拆分（亿元）

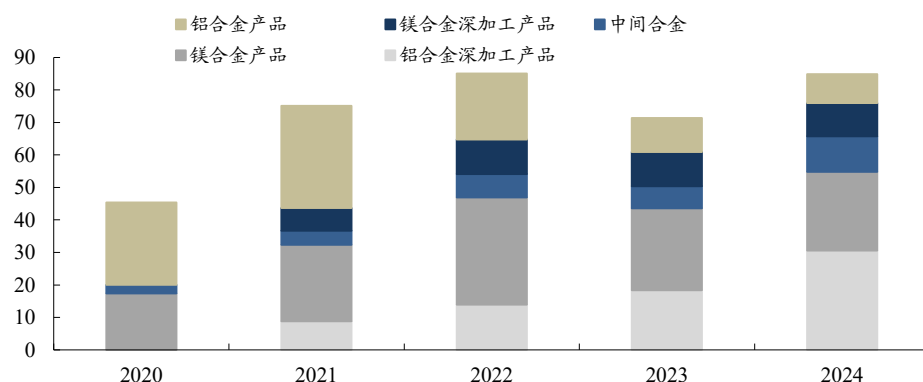


图：旭升集团电驱动壳体总成



- ◆ **国内最大专业化镁合金生产商，深耕镁、铝轻质合金材料。**公司拥有全球领先的镁产业链布局，形成了从白云石开采、原镁冶炼到镁合金加工及回收的完整产业体系，产品广泛应用于航空航天、新能源汽车等领域。2024年，公司营收89.38亿元，同比增长17.39%；归母净利润1.596亿元，同比下降47.91%，主要受镁价下行影响，镁材料及压铸产品毛利率下降。
- ◆ **公司与埃斯顿机器人合作，赋能机器人产业。**公司一直高度重视镁材料在机器人领域的推广应用。在2024年世界智能制造大会上，公司官宣进入机器人领域。与埃斯顿发布了镁合金机器人新品“ER4-550-MI”，镁合金凭借“轻、快、稳、省”四大优势，赋能机器人新品展现更强大的竞争力。公司目前主要涉足于工业机器人，相关镁合金部件主要为盖板，底座，控制臂等，未来将用于人形机器人。在埃斯顿之外，公司与宝武集团内公司联合开发镁合金在人形机器人的应用。

图：宝武镁业收入拆分（亿元）

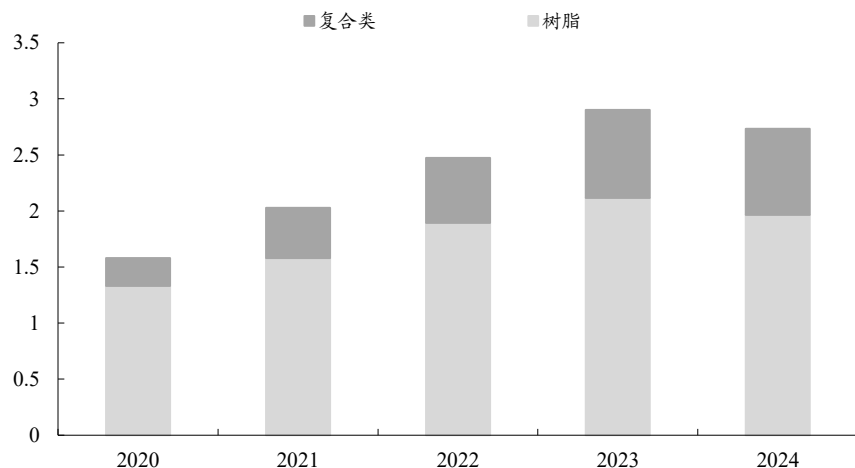


图：宝武镁业与埃斯顿机器人签约



- ◆ **公司集PEEK研发、生产、销售为一体，工业化生产技术国内领先。**公司是目前PEEK年产量最大的中国企业，掌握了包括关键原料选择、关键过程控制、关键设备设计、关键工艺优化、关键指标监测的全流程国产化PEEK生产能力，主要产品为树脂形态的PEEK，分为纯树脂和复合增强类树脂两大类。公司产品适用于注塑、挤出、模压、喷涂等加工方式，可满足下游客户对PEEK的多种应用场景需要。24年公司业绩表现受国内市场竞争加剧、国际政治经济形势变化、公司研发投入增加等多重因素影响，营业收入为2.77亿元，同降5.05%，归母净利润0.39亿元，同降27.99%。
- ◆ **PEEK年产能达到干吨级，多领域战略布局。**公司IPO规划二期5000吨产能扩张项目，其中包含纯树脂细粉300吨、纯树脂颗粒200吨、复合增强颗粒300吨。目前，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年产能达到干吨级的企业。此外，公司在新能源汽车领域进行了战略布局，如应用于新能源汽车电机中的漆包线材料、锂电池密封件、轴承保持架等，拓展公司PEEK在新能源汽车产业中的应用。

图：中研股份收入拆分（亿元）

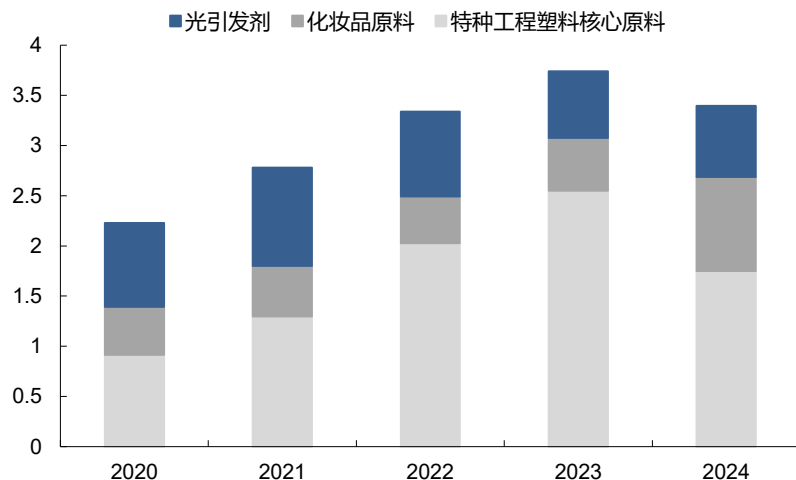


图：PF系列产品应用

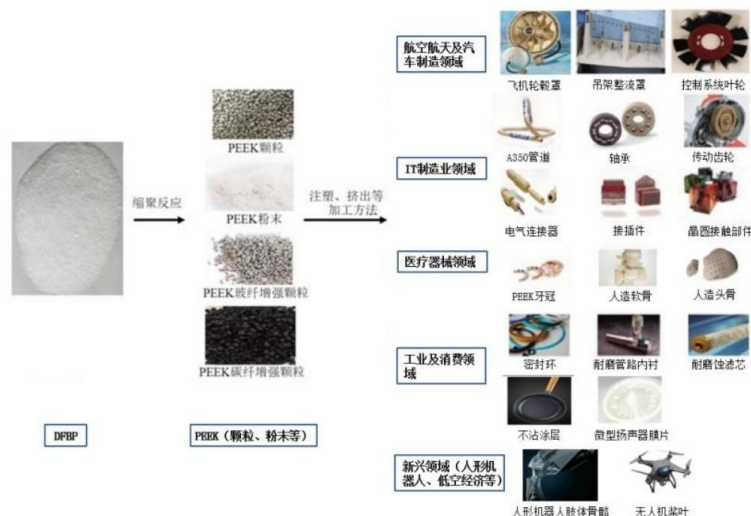


- ◆ **公司专注于特种工程塑料原料、业务拓展至海外。**公司创办于2008年7月，主要产品包括二苯甲酮系列、苯乙酮系列以及其他芳香族酮类产品数十种，应用于医药、农药、化妆品、特种工程塑等多领域，出口欧美日韩及东南亚地区，24年国外收入占比为30.75%。24年公司营收4.19亿元，同降3.66%，归母净利润为0.56亿元，同降40.04%，主要受原材料价格下跌及市场竞争加剧等因素影响。
- ◆ **DFBP新产能已稳定运行，供应能力&客户粘性显著增强。**公司目前香酮类产品（包括特种工程塑料核心原料、光引发剂、化妆品原料及其他类产品）的设计产能为每年9800吨，产能利用率为65%，目前正在建设中的年产8000吨芳香酮项目二期工程三车间（2400吨/年）预计将于2025年12月建成。公司年产2500吨的DFBP新产能已稳定运行，主要供应给世索科、威格斯、赢创、中研股份、鹏孚隆等企业为国内主要PEEK材料生产商。

图：新瀚新材收入拆分（亿元）

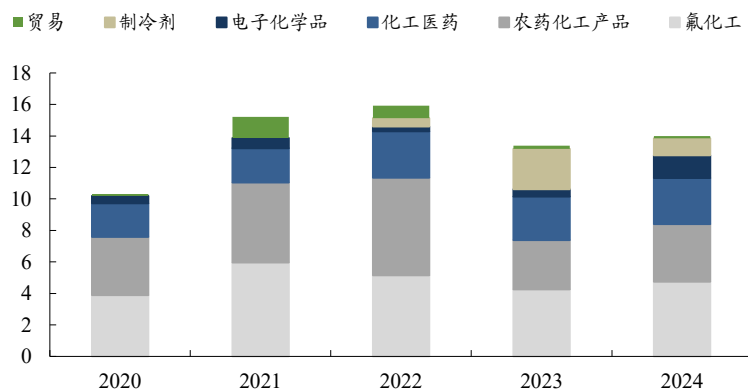


图：DFBP产业链

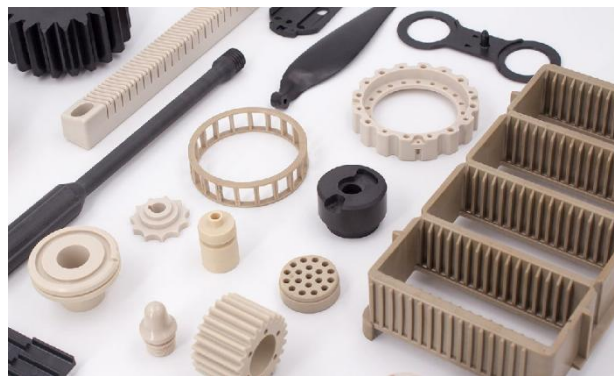


- ◆ **专注高端含氟材料，盈利能力阶段承压。**中欣氟材是一家专注于高端含氟聚合物及含氟精细化学品研发、生产和销售，拥有较为完整的氟化工产业链布局，产品广泛应用于新能源、电子信息、半导体、石化等高端制造领域。2022-2024年公司营业收入从16.02亿元减少至14.04亿元，归母净利润从1.85亿元减少至-1.86亿元。利润率方面，2024年公司毛利率达8.26%，同比-5.24%。其原因系公司生产氟化氢所需的关键原料萤石粉价格长期高位运行（数据显示，2024年萤石干粉（占原材料97%）均价同比上涨9.6%），和公司新增产品供过于求，导致价格下跌，新增产能利用率低。
- ◆ **完善产业链条，拓展新兴领域。**中欣氟材持续加码新材料领域布局，成立杭州子公司，重点转向高性能聚合物与光学功能材料，同时深化江西基地第四代制冷剂及三氟系列含氟精细化工项目，福建基地六氟磷酸钠等新能源材料项目也已重启。2024年公司新材料产品研发推进顺利，DMP、SBP等电子化学品实现销量增长，电子级氢氟酸与六氟磷酸钠进入客户认证与工艺优化阶段。浙江与福建基地全年产量同比实现两位数增长，5000吨/年六氟磷酸钠项目稳步推进，矿产板块完成阶段性地质勘查工作，进一步完善产业链。公司暂停部分传统项目，集中资源发展战略性新兴材料，在制冷剂、医药中间体等方面实现单位成本下降。深度布局人形机器人产业链上游，产品可广泛应用于其所需的电池、结构材料及高纯电子化学品等核心原材料环节，预计未来人形机器人规模化落地将带动核心原材料需求增长，公司相关产品销量有望实现快速增长。

图：中欣氟材收入拆分（亿元）

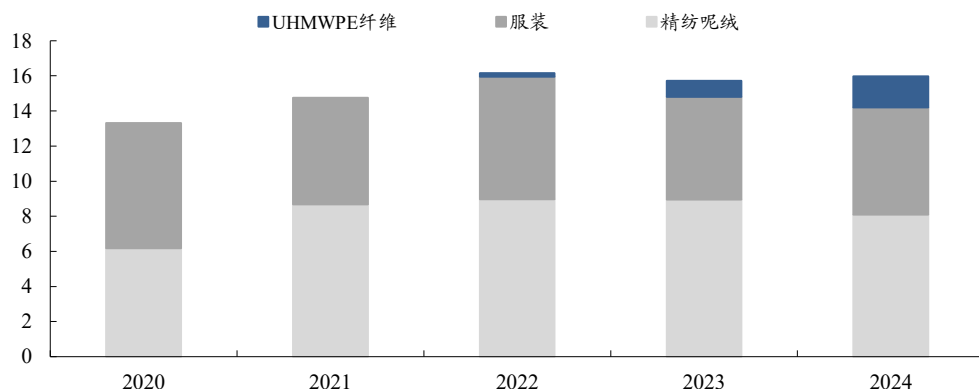


图：PEEK材料零部件

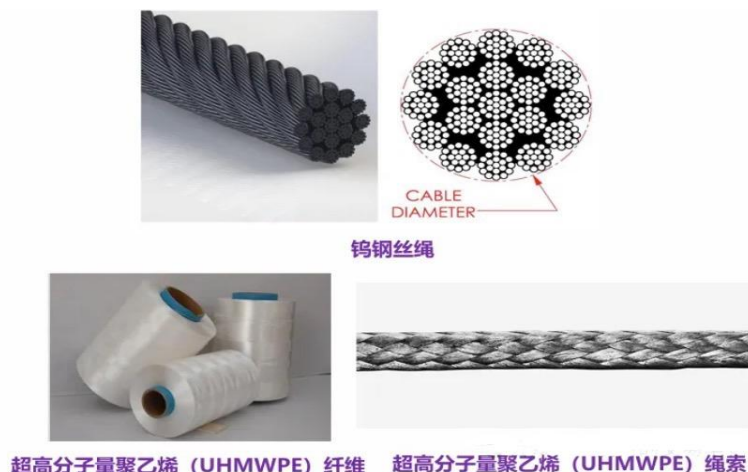


- ◆ **国内精纺呢绒龙头，积极进军新材料化纤。** 公司涵盖了集面料研发、纺织制造于一体的精纺呢绒业务体系，以及集成衣研发、设计、制造、品牌运营于一体的服装业务体系，为知名品牌供应精纺呢绒，并自营三个服装品牌、为其他一线品牌客户提供优质产品研发、生产服务；超高分子量聚乙烯纤维作为公司战略性切入新材料领域的关键支柱，已构建起企业转型升级的核心突破口。2024年收入16.16亿元，同比上升1.0%，2024年归母净利润1.91亿元，同比下降5.8%，2025Q1营收3.62亿元，同比增加0.7%，归母净利润 0.37 亿元，同比增加0.9%，营收占大头的主业仍显韧性，UHMWPE（超高分子量聚乙烯纤维）在机器人领域实现突破，锦纶产能也开始爬坡。
- ◆ **快速成长为国内领先的UHMWPE制造商，积极拓展机器人相关领域应用。** 截至 24 年7月，公司的超高总产能3600 吨已完成产能爬坡，产品在军品融合领域均有所应用：布局锦纶长丝项目,投资15 亿元用于建设8万吨锦纶长丝项目，用于特种功能性纺织品；自主研发的“抗蠕变”专利使纤维拉伸强度达 42cN/dtex，位于国内第一梯队；2025年3月与武汉大学研究院、武汉手智创新合作，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。目前产品强度覆盖不同规格的全品类产品，其中超高所具备的超高强度、超高模量、耐磨损、低密度、耐疲劳等性能，可应用于机器人灵巧手腕绳传动材料。

图：南山智尚收入拆分（亿元）



图：UHMWPE纤维&绳索



投资建议与风险提示

- 投资建议：轻量化是人形机器人商业化前夕的进修课，材料轻量化是当前的主流路径，轻量化应用推荐标的：科达利，建议关注：肇民科技、恒勃股份，镁合金推荐标的：旭升集团，建议关注：宝武镁业，PEEK建议关注：中研股份、新瀚新材、中欣氟材，PA尼龙建议关注：南山智尚。
- 风险提示：宏观经济景气度下滑，全球电网投资不及预期，原材料及运费涨价超预期，竞争加剧等。

图：人形机器人产业链估值表（截至2025年7月10日）

板块	证券代码	名称	总市值 (亿元)	股价	归母净利润（亿元）			PE			评级	来源
					2024A	2025E	2026E	2024A	2025E	2026E		
执行器	002050.SZ	三花智控	1,054	25.42	31.0	38.1	46.2	34	28	23	买入	东吴
	601689.SH	拓普集团	753	43.33	30.0	35.5	44.6	25	21	17	买入	东吴
	300432.SZ	富临精工	219	12.83	4.0	9.6	15.4	55	23	14	买入	东吴
减速器	002850.SZ	科达利	294	107.55	14.7	18.8	23.2	20	16	13	买入	东吴
	688017.SH	绿的谐波	218	118.86	0.6	1.0	1.4	388	210	152	买入	东吴
	301550.SZ	斯菱股份	131	82.07	1.9	2.2	2.6	69	59	51	买入	东吴
	603809.SH	豪能股份	119	13.80	3.2	4.3	5.4	37	28	22	未评级	Wind
	301596.SZ	瑞迪智驱	62	80.99	1.0	-	-	62	-	-	未评级	Wind
丝杠	603119.SH	浙江荣泰	149	40.89	2.3	3.3	4.7	65	46	31	买入	东吴
	603009.SH	北特科技	129	38.25	0.7	1.2	2.0	181	106	64	买入	东吴
	300953.SZ	震裕科技	158	91.30	2.5	4.1	5.8	62	38	28	买入	东吴
灵巧手	002979.SZ	雷赛智能	127	40.28	2.0	2.8	3.7	63	45	34	买入	东吴
	003021.SZ	兆威机电	249	103.48	2.3	2.7	3.3	110	92	75	买入	东吴
	688698.SH	伟创电气	94	44.69	2.5	3.1	3.8	39	31	25	买入	东吴
	688279.SH	峰岬科技	198	178.20	2.2	3.1	4.2	89	64	47	未评级	Wind
	301325.SZ	曼恩斯特	85	58.78	0.3	1.2	2.1	276	70	40	买入	东吴
整机	300124.SZ	汇川技术	1,686	62.56	42.9	56.3	70.8	39	30	24	买入	东吴
	9880.HK	优必选	335	75.90	-11.2	(10.3)	(7.5)	-30	-33	-45	买入	东吴
	002779.SZ	中坚科技	134	72.66	0.6	0.7	0.9	208	184	150	买入	东吴
传感器	688116.SH	天奈科技	159	43.30	2.5	4.5	6.5	63	35	24	买入	东吴
	688322.SH	奥比中光-UW	241	60.06	-0.6	2.1	4.2	-383	115	58	买入	东吴
	688279.SH	峰岬科技	198	178.20	2.2	3.1	4.2	89	64	47	未评级	Wind
	301413.SZ	安培龙	71	71.87	0.8	1.4	1.7	86	52	41	买入	东吴
	600480.SH	凌云股份	139	11.40	6.6	8.5	9.7	21	16	14	未评级	Wind
结构件	002965.SZ	祥鑫科技	94	35.30	3.6	4.6	5.7	26	21	17	买入	东吴

- ◆ **人形机器人推广不及预期风险。**人形机器人的推广受到现有技术、用户接受度、具体应用场景需求等多方面的影响，商业化进度具有不确定性，可能对产业链产生不利影响。
- ◆ **特斯拉人形机器人量产进展不及预期风险。**特斯拉人形机器人的量产对于行业具有引领作用，若其量产时间点继续推后，对于上游供应商将产生不利影响。
- ◆ **产业链降本不及预期风险。**目前人形机器人方案成本较高，各核心零部件均有较大降本空间，降本进度不及预期将影响下游大规模应用。
- ◆ **行业关键技术突破不及预期风险。**人形机器人软件、硬件相关关键技术尚在研发当中，需要实现技术突破才能使机器人性能、成本满足需求。
- ◆ **市场竞争加剧风险。**人形机器人未来商业价值显著，正处于持续投入、激烈竞争阶段，新进入者入局可能使公司面临竞争加剧的风险。

免责声明

东吴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。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴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。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证50指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街5号

邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园