

人形轻量化大势所趋，镁合金&“以塑代钢”是核心 ——人形机器人行业深度报告

证券分析师：黄细里

执业证书编号：S0600520010001

证券分析师：郭雨蒙

执业证书编号：S0600525030002

二零二五年七月九日

- **人形机器人轻量化大势所趋，原材料+工艺设计为核心。**轻量化可解决人形机器人续航不足、灵活度较低、散热能力差等多项问题，主要路径可分为结构优化、零部件性能提升、原材料替换三大类。其中，从特斯拉Optimus角度出发，原材料替换或为短期主流，其主要将传统铝合金、不锈钢等替换为镁合金、高性能工程塑料（PEEK、PPS）等。
- **镁合金电磁屏蔽&散热效率更高，降本增效明显。**镁合金优势明显：1) 镁合金减重效果优于铝合金，当前镁铝原材料价格比持续维持低位，镁合金成本优势凸显；2) 半固态工艺解决镁合金耐腐蚀性问题，且人形机器人零部件体积重量远低于汽车，设备壁垒更低；3) 工业机器人已有应用，产品&工艺具有一定可迁移性。
- **工程塑料密度极低，机械强度、韧性与稳定性优异，轻量化趋势下的塑料革命打开市场增量空间。我们重点关注了PEEK/PPS/PPA的应用，主要原因：**1) PEEK：可应用于关节轴承、减速器齿轮等，国产替代趋势明显，市场稳步增长，下游聚焦高价值应用；2) PPS：可应用与电机端盖、传感器外壳等，工业化技术成熟，产能自给率逐年提升；3) PPA：可应用于结构支架、连接器等，国内企业持续发力，逐步产业化。通过测算材料经济性，我们初步进行市场价值量排序：PEEK>PPA>PPS，人形机器人的落地有望为工程塑料将带来十亿量级市场空间。
- **投资建议：**关注镁合金压铸头部企业【**宝武镁业**】、【**星源卓镁**】，推荐人形机器人轻量化关节件企业【**旭升集团**】；关注工程塑料头部企业【**肇民科技**】、【**沃特股份**】、【**中研股份**】。
- **风险提示：**人形机器人产业化落地进程不及预期；人形机器人技术路线变更；原材料成本上涨超预期；新材料替代风险。



- 1.从下游整机看机器人轻量化趋势
- 2.成本下行&技术突破为镁合金输入新动力
- 3.高性能工程塑料掀起“以塑代钢”革命
- 4. 投资建议及风险提示

1. 从下游整机看机器人轻量化趋势

1.1. 人形机器人轻量化成为主要趋势

- 从下游主机厂角度出发，同系列产品轻量化趋势明显：1) 优必选Walker C在身高增加33cm的基础上将重量降低了20kg；2) 天工Ultra的整机重量为55kg，较天工1.2MAX降低5kg；3) 特斯拉Optimus从最初的Gen 1的73kg降低至Gen 2的63kg。

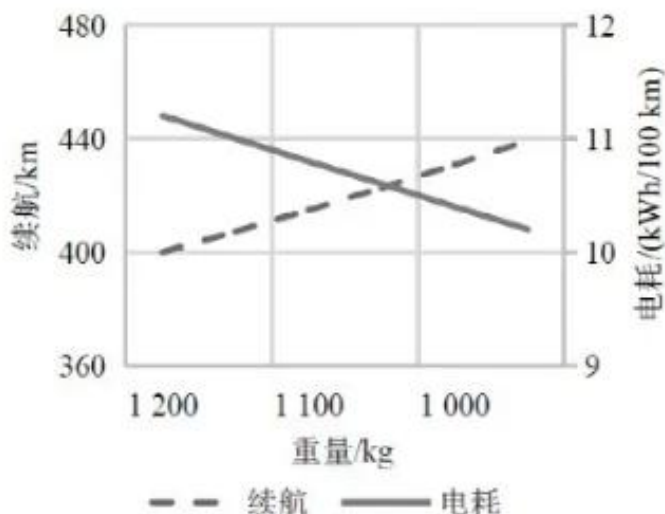
表：人形机器人部分产品的重量迭代

	优必选（Walker系列）		Tesla（Optimus系列）		天工机器人	
产品	Walker X	Walker C	Gen1	Gen2	天工1.2MAX	天工Ultra
产品图						
发布时间	2021年	2025年	2022年	2023年	2024年	2025年
重量	63kg	43kg	73kg	63kg	60kg	55kg
身高	130cm	163cm	173cm	/	173cm	180cm

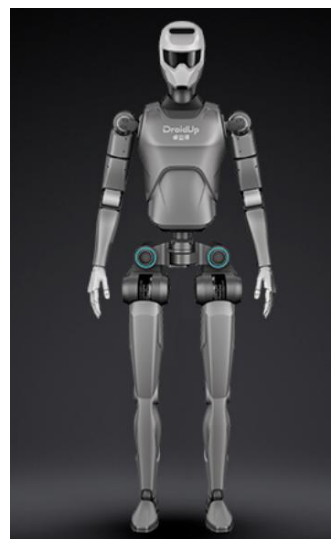
1.2. 轻量化可解决人形机器人“痛点”问题

- **从新能源汽车角度出发，整车重量与续航呈负相关，此现象依然适用于机器人。**与工业机器人不同，人形机器人体积更小，所搭载的电池包更小，而当前人形机器人的续航仅为2小时，无法适配大部分应用场景，因此对轻量化提出了更高的要求。卓益得人形机器人通过减重40%，将续航时间提高至6小时。
- **人形机器人自重与性能挂钩，轻量化势在必行：**1) 过高的自重会影响人形机器人的灵活度，使其无法满足精细化场景需求；2) 过高的自重会导致人形机器人关节处的电机及其余零部件的负载压力过大，使得电机发热现象严重及零部件磨损加大，进一步影响人形机器人的使用寿命。

图：新能源汽车重量与续航的关系



图：卓益得机器人



1.3. 人形机器人轻量化主要路径

- 人形机器人实现轻量化主要通过结构优化、零部件替换、原材料替换三个角度出发。
- 结构优化主要通过集成化设计、仿生结构设计、去冗余设计来降低所需零部件数量。其中，主流的方案为拓扑优化，如天工Ultra在腿部连杆等多处承力结构进行材料分布优化，在不影响整机性能的情况下大幅降低自重。
- 零部件替换主要通过采用更高性能的产品实现，如采用更高效率和功率密度的电机，使得其能够在较小的体积和重量下输出较大的功率，进而降低所需电机数量。
- 原材料替换主要通过采用质量更轻的材料来打造人形机器人，如铝合金、镁合金、高性能工程塑料等，主要替换部位为机器人外壳、精密零部件等。其中，精密零部件的原材料更换应用较多，如科盟创新采用PEEK材料打造谐波减速器，减重61%。

图：拓扑优化可大幅降低零部件重量



图：科盟创新基于PEEK材料的谐波减速器产品



1.4. 原材料替换大有可为

- **从特斯拉角度看，轻量化主要从原材料角度出发。**当前，人形机器人用量较多的轻量化材料为铝合金，但方案或将切换。Optimus Gen2手臂部位采用连续碳纤维增强 PEEK (CF/PEEK) 复合材料，相比传统铝合金和不锈钢，重量减轻70%，整机重量降低10kg。
- **原材料替换主要逻辑为采用更低密度的金属材料。**碳纤维、镁合金、高性能工程塑料的密度都显著低于不锈钢、高强度钢、铝合金等主流轻量化材料为基准。从性能角度看，高性能工程塑料、镁合金与铝合金的屈服强度和比强度相差无几，原材料替换时对结构强度的影响可以忽略不计；碳纤维材料的屈服强度和比强度远高于其他轻量化材料，但受限于成本无法大规模应用。**因此，镁合金及高性能工程塑料或为主流替换方案。**

表：各类轻量化材料参数对比

金属材料	产品	密度(g/cm ³)	屈服强度/拉伸强度(Mpa)	比强度(MPa/((g/cm ³))
不锈钢	304	8	215	26.9
高强度钢	-	7.8	800+	-
铝合金	6061-T6	2.7	276	102.2
钛合金	Ti-6Al-4V	4.43	840	187.4
碳纤维	-	1.5-1.8	1500-5000	830-3300
镁合金	AZ31B	1.78	220	123.6
高性能工程塑料	PEEK	1.3-1.5	200-300	130-230

2. 成本下行&技术突破为镁合金输入新动力

2.1. 为什么看好镁合金的应用？

- **过去牵制镁合金大规模应用的因素为工艺和经济性。**以汽车领域为例，大规模使用的轻量化材料以铝合金、高强度钢为主，镁合金用量较小，碳纤维材料主要用于高端车型（超跑等）。此外，镁合金电磁屏蔽效能较铝合金可提升约30%，可有效保护机器人内部电路免受干扰，叠加更高的散热效率，故而相较于汽车赛道，镁合金更适配人形机器人。
- **从轻量化角度看，铝合金的上位替代为镁合金、碳纤维材料等。**其中，镁合金密度为铝合金的2/3，过去原材料成本较高，且工艺复杂；碳纤维材料虽能大幅降低产品重量，但成本高昂使得终端产品的价格定位较高，无法大批量应用。而当前，镁合金原材料成本下行以及镁合金制造工艺的不断拓展和优化，使得镁合金性价比逐渐凸显，过去的牵制因素有望得到优化。

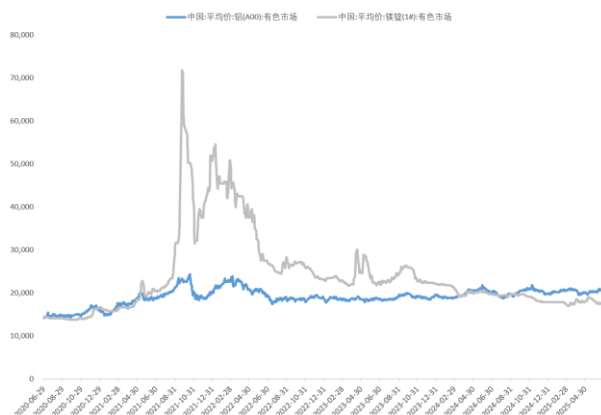
表：镁合金和其余轻量化材料对比

材料类型	减重比	原材料成本 (元/千克)	优势	劣势
镁合金	30%-70%	17.84	密度为铝合金的 2/3、不到钢材的 1/4，韧性好、阻尼衰减能力强、抗冲击性能好，热容量低、凝固速度快、压铸性好，适合大批量压铸制造，可循环回收	耐蚀性较差，材料制备、加工工艺复杂
铝合金	30%-60%	20.32	密度为钢材 1/3，性价比高、加工成型性好、可循环回收、力学性能好	减重效果弱于镁合金、碳纤维，在部分高强度要求的部件，力学表现不如高强度钢，价格远高于高强度钢
高强度钢 (马氏钢)	15%-25%	低于铝合金	新一代马氏钢抗拉强度是常用 6061 铝合金材料强度的 5 倍，价格不到铝合金的一半；钢材应用技术成熟	成型性差，减重效果不明显，加工难
改性塑料 (热塑性塑料)	10%-30%	低于铝合金	比重低于铝合金，纯电动车以塑代钢可减重 100 千克左右，外观装饰效果好，容易成型，具有高抗冲韧性、高刚性和抗冲击力，耐腐蚀性强，可回收	普通塑料的强度低、塑料感强、有异味；档次低，存在高温抗蠕变问题，回收处理存在污染问题
碳纤维复合材料	50%-70%	70-80	密度小，减重效果最好，相比钢材可减重 75% 以上；抗拉强度可以达到钢材的 7 倍以上；吸振能力强	材料成本高、工艺复杂，价格远远高于铝合金、镁合金（铝合金的 5 倍以上），抗穿刺性能差，回收利用较困难

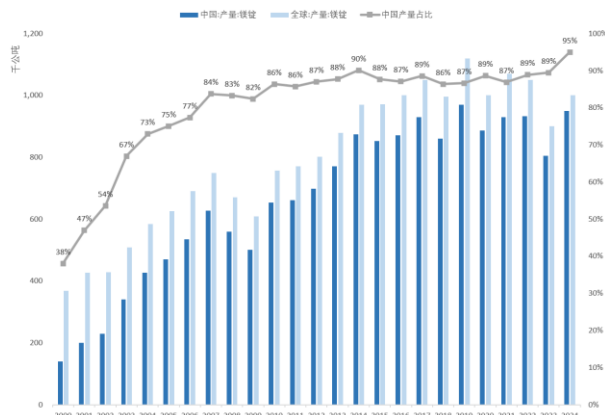
2.2. 原材料成本下行&供给充分解决经济性问题

- **镁锭价格自2022年起持续下行，当前原材料成本低于铝。**自2022年起，镁合金上游原材料镁锭的价格持续下跌，于2024年年初几乎与铝价持平。自2024年9月起至今，镁锭价格始终低于铝，2025H1铝价均价为2.03万元/吨，镁锭价格为1.78万元/吨。
- **从供给端看，中国为镁原材料供应大国，2024年产量占比全球的95%。**中国镁锭产量从2000年的140千公吨提升至2024年的950千公吨，占比从38%提升至95%。充沛产量从一定程度上可以保证后续镁锭价格的维稳。
- **原材料价格下行有望助推镁合金供需共振上行。**从镁合金产量来看，当前中国镁合金产量稳定在30-40万吨左右，继2021年镁原材料上涨后，镁合金产量同比走低，于2024年反弹。2024年镁合金产量为39.68万吨，同比+14.95%。随着原材料成本长期维持低位，镁合金产量有望进一步上行，或将助推镁合金采购成本下行&用量上行。

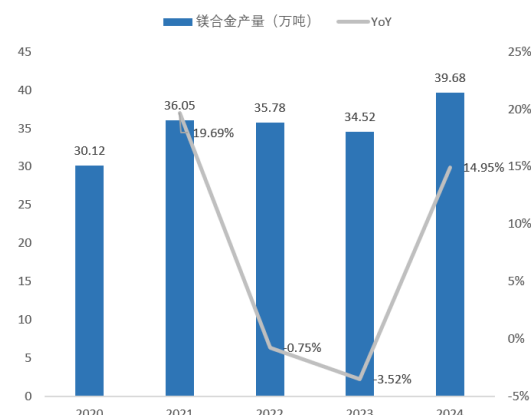
图：铝和镁锭价格对比（元/吨）



图：中国镁锭产量和全球镁锭产量



图：中国镁合金产量



2.2. 当前价格下，镁合金性价比更高

- 据星源卓镁招股说明书显示，当镁合金价格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时镁具有更高的性价比，足以取代铝合金并大规模用于工业生产。**
- **25H1镁铝平均价格比仅0.878**。以建筑行业2022年数据为例，每平方米镁模板压住/挤压产品成本分别为500.7元、664.0-714.0元，对应铝模板产品为655.4-660.4、740.4-752.9元，终端产品成本优势显著。加工后每千克镁合金产品成本在30.04-42.84元，铝合金为26.22-30.12元，但镁合金密度约为铝合金的2/3，**因此对于同一压铸产品，镁合金加工后成本约低31%左右。**

图：镁合金和铝合金经济性测算

	镁模板 (压铸)	镁模板 (挤压)	铝模板 (压铸)	铝模板 (挤压)
原锭材价格	17841元 / 吨		20308 元 / 吨	
加工费 (元 / 吨)	锭材加工费 2000	棒材加工费 4000	锭材加工费 300	棒材加工费 300
模板加工	压铸及人工费 170 元 /m ²	挤压费 9000-12000 元 / 吨 + 人半固态压铸及人工费 5600-5800 元 / 吨 工费 150 元 /m ²	挤压费 3000-3500 元 / 吨 + 人工费 150 元 /m ²	
每吨模板面积 (m ²)	60		40	
模板成本 (元 /m ²)	500.7	664.0-714.0	655.4-660.4	740.4-752.9
若镁铝价格持平				
	镁模板 (压铸)	镁模板 (挤压)	铝模板 (压铸)	铝模板 (挤压)
原锭材价格	20000 元 / 吨		20000 元 / 吨	
加工费 (元 / 吨)	锭材加工费 2000	棒材加工费 4000	锭材加工费 300	棒材加工费 300
模板加工	压铸及人工费 170 元 /m ²	挤压费 9000-12000 元 / 吨 + 人半固态压铸及人工费 5600-5800 元 / 吨 工费 150 元 /m ²	挤压费 3000-3500 元 / 吨 + 人工费 150 元 /m ²	
每吨模板面积 (m ²)	60		40	
模板成本 (元 /m ²)	536.7	700-750	647.5-652.5	732.5-745

2.3. 镁合金工艺较多，半固态是未来趋势

- **镁合金成型工艺可分为液态、半固态、塑性三大类。**其中，液态成型主要为压铸法；塑性成型主要为轧制、热挤压、冲压。以上四类方法广泛应用于汽车、航空航天等领域。当前镁合金成型工艺主要采用压铸法，工艺成熟且生产率高，但产品质量仍需要提高。
- **半固态成型技术为镁合金未来技术趋势，过去主要应用于消费电子领域和制造业薄壁件。**半固态成型技术主要利用金属从液态向固态转变（即液固共存）过程中所具有的特性进行成形。从工艺角度看，主要可分为触变、流变两种，可以解决压铸镁合金产品耐腐蚀性差这一重要缺陷，被认为是镁合金大规模发展的核心助推器。相较于液态压铸，其最主要的不同点在于金属材料的状态。

表：镁合金主要铸造工艺对比

类型	主要工艺	优点	缺点	使用场景
液态成型	压铸法	产品尺寸稳定、生产率高	夹杂和气孔多、成型后难热处理、尺寸净成型差，不适用薄壁壳体零件类加工	传统汽车零部件（方向盘/变速箱壳体）、大型镁合金压铸件（轮毂/支架）
半固态成型	触变、流变	铸造缺陷少，产品的力学性能、尺寸精度、表面和内在质量高	技术复杂、对设备要求高	消费电子（手机/笔记本外壳）、新能源汽车薄壁件（电池托盘/电机壳体）、高精度结构件
塑性成型	轧制、热挤压、冲压	变形镁合金的二次成型，对技术和设备的要求不高	无法进行镁合金的二次塑性深加工	导弹舱体、高载荷航空结构件、长尺寸导轨、汽车防撞梁、3C电子外壳（薄板）、飞机蒙皮（中厚板）

2.3. 半固态可解决镁合金产品性能问题

- 从性能角度看，由半固态技术生产的镁合金产品可实现对铝合金等材料替代。
- 镁合金耐腐蚀性不良问题可由高性能涂料（底漆），但成本高昂使得镁合金实际落地成本更高，与原材料经济性优势对冲。
- 半固态镁合金产品可达到压铸铝合金力学和腐蚀性能。相较于铝合金产品，镁的耐腐蚀性不良且，使得部分应用于水溶液或者腐蚀性液体的零部件无法以镁合金为原材料，故而限制了镁的规模化发展。半固态技术通过减低镁合金内部的孔隙率、提高成型件的致密度来改善镁合金产品的耐腐蚀性。**在中性盐雾下，新型半固态镁合金素材耐蚀性优于压铸ADC12铝合金，且抗拉强度与屈服强度与压铸锂合金产品相差无几。**

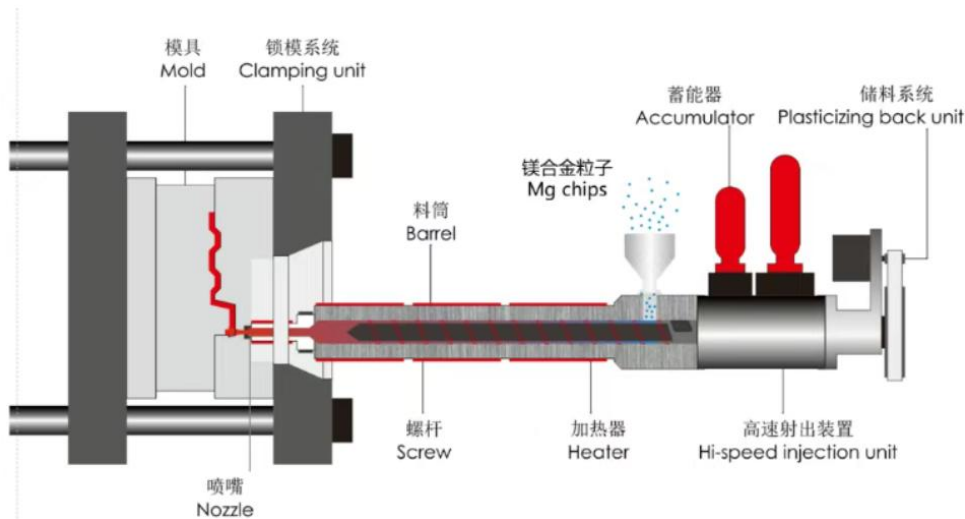
表：半固态镁合金产品性质

Material	牌号	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	腐蚀速率 (3.5wt.% NaCl 溶液) (mm/y)
压铸铝合金	ADC12	160 - 170	230 - 250	2~3	0.5 - 0.6
	Silafont - 36	130 - 140	280 - 300	10~12	0.1 - 0.2
新型半固态不锈镁合金 (原 SYM 系列)	KT1	130 - 140	260 - 280	12~16	0.1 - 0.2
	KT2	170 - 180	280 - 300	4~6	0.2 - 0.3
	KT6	180 - 190	260 - 280	3~5	0.4 - 0.6
	KT10	150 - 160	280 - 300	8~10	导热≥120W/m·K

2.3. 注射成型更为成熟，成型件尺寸与设备挂钩

- **注射成型是半固态触变成型技术的一种，技术较为成熟，其与压铸的主要区别在于原料的状态。**半固态注射成型技术的原理为镁粒子在重力或负压作用下进入料筒，经加热器作用，镁粒子在前进过程中既被加热又被剪切，并受螺杆的作用被挤压产生变形，使得其被转变为**半固态浆料**，并通过喷嘴高速注入模具中，在高速高压下快速冷却凝固，从而形成零件。
- **不同粒径对应不同压铸吨位的设备和应用场景。**镁粒子的粒径会影响浆料流变特性，因而需要适配不同压铸吨位的设备，从而来保证填充速度，实验表明，压铸吨位每增加1000T，可支持填充速度提升0.3m/s。一般情况下，粒径越小，流动性也就越好，故而对设备的压铸吨位要求较低，适用于精细的小薄件；粒径越大，要求的压铸吨位越高，适用于大尺寸件。

图：镁合金半固态成型工艺原理



表：不同粒径所对应的压铸吨位和应用场景

镁粒子 D50 (μm)	推荐压铸吨位 (T)	典型应用场景	技术参数特征
30 - 50	1500 - 2500	3C 电子超薄件 (0.6 - 1.2mm)	剪切速率 > 10 ⁴ s ⁻¹ , 表面粗糙度 Ra<0.8μm
50 - 80	2500 - 4000	汽车结构件	填充速度 0.8 - 1.2m/s, 抗拉强度 > 320MPa
80 - 100	4000 - 6000	航空航天大尺寸件	模温控制精度 ±2℃, 疲劳寿命 > 10 ⁷ 次
梯度分布	智能压铸系统	多材料复合件	实时调控注射曲线, 能耗降低 40%

2.3. 注射成型更为成熟，成型件尺寸与设备挂钩

- **设备压铸吨位提升打开镁合金应用的成长空间。**由半固态注射成型技术所生产的成型件尺寸与设备的压铸吨位（锁模力）挂钩，但传统1300t 级镁合金半固态注射成型设备的理论最大注射量不足5kg，生产出的成型件体积重量较低，适用场景较少，且设备主要由海外厂商垄断。当前，国内厂商如伊之密、伯乐智能等陆续研发出高吨位半固态注射成型机，不但打破了JSW在中国半固态市场的设备垄断，也使得半固态镁合金成型件由小件向大件突破。
- **国内头部压铸厂商纷纷布局镁合金半固态成型赛道：**星源卓镁配备伊之密3200T成型机、5000T成型机（未交付）；宝武镁业子公司博奥镁铝配备海天金属3600T成型机。

图：部分大型半固态注射成型机设备参数

生产厂家	设备吨位 (t)	螺杆直径 (mm)	最大理论注射量 (kg)
日本制钢所（JSW）	3000	130	5.3
海天金属	3600	180	19.2+
伯乐智能	4000	170	17
伊之密	3200	160	11

图：伊之密半固态注射成型设备示意图



2.4. 工业机器人已有应用，人形未来可期

- **机器人镁合金已有应用。**宝武镁业与埃斯顿机器人推出的“ER4-550-MI”机器人采用镁合金材料打造，较铝合金版本减重11%、节拍速度提高5%、能耗降低10%，且在减震、电磁屏蔽和散热方面表现卓越。本田ASIMO机器人采用镁合金外壳，自重降低使得步行速度由1.6km/h提升至2.5km/h。
- **我们认为，人形机器人镁合金上量速度将快于汽车**，理由为：1) ToB场景多为封闭式环境（工厂），耐腐蚀性要求较低，使得镁合金劣势被削弱，锻造件&半固态件均有应用空间；2) ToC场景下，人形机器人零部件更为精细，体积重量小于汽车件（机器人镁合金壳体VS汽车结构件），使得小吨位半固态成型机亦有应用空间；3) 镁合金减震、电磁屏蔽和散热更契合人形机器人，较铝合金和高强度高优势明显。

图：埃斯顿“ER4-550-MI”机器人



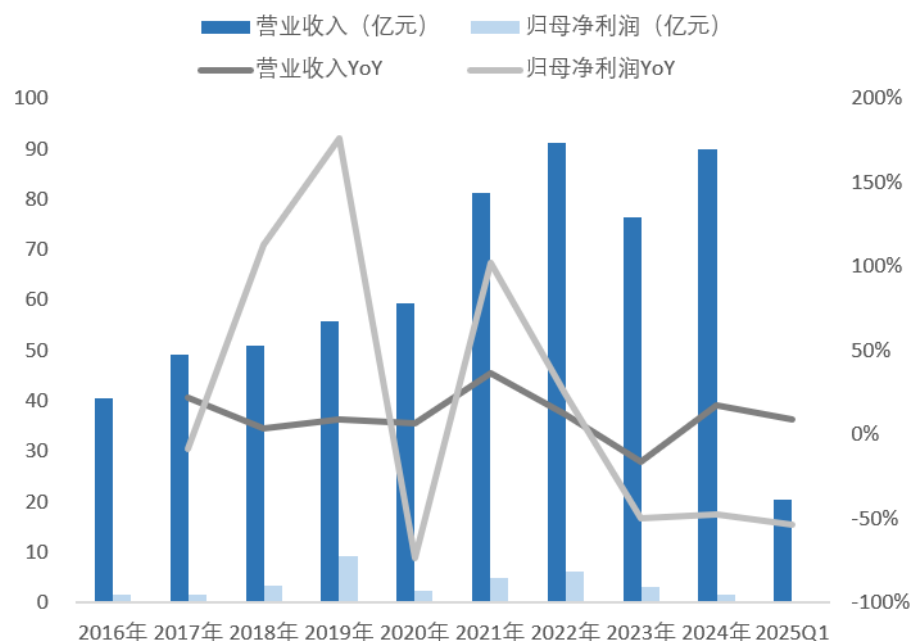
图：本田ASIMO机器人



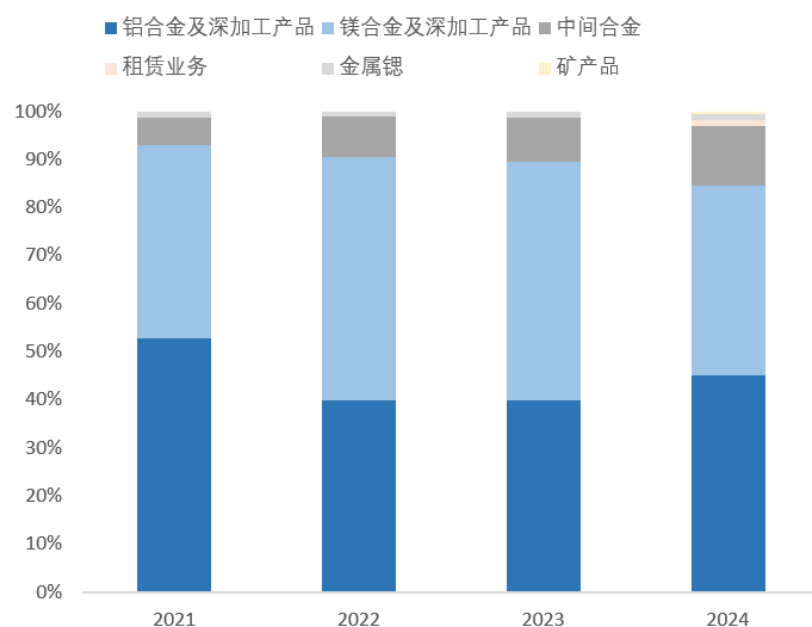
2.5. 宝武镁业：布局镁合金机器人赛道

- 宝武镁业前身为云海金属，集矿业开采、有色金属冶炼及加工为一体，拥有“白云石开采-原镁冶炼-镁合金熔炼-镁合金加工-镁合金回收”完整镁产业链。
- 营收稳健增长，镁合金及铝合金是主要产品。公司2024年营收达89.8亿元，25Q1为20.3亿元，同比分别+17.4%、+9.1%；归母净利润分别为1.60亿元、0.28亿元，同比分别-47.9%、-53.6%，主要由公司产品售价降低等多方面因素引起。
- 公司与埃斯顿联合推出基于镁合金打造的工业机器人，依赖于在镁合金机器人领域的积累以及完整镁产业链，公司有望切入人形机器人轻量化结构件赛道。

图：宝武镁业营收&归母净利及YoY



图：宝武镁业主营构成



2.5. 星源卓镁：半固态工艺前瞻布局

- 星源卓镁主要从事镁合金、铝合金压铸件的开发设计和生产，致力于镁合金压铸件在车身结构件，内饰件等方面的轻量化的应用和推广。
- 营收&利润稳健增长，收入来源主要为车身压铸件。公司2024年营收达4.09亿元，25Q1为0.88亿元，同比分别+16.0%、+7.3%；归母净利润分别为0.8亿元、0.17亿元，同比分别+0.3%、-4.1%。
- 公司于2023年、2024年先后从伊之密采购3200T、5000T半固态镁合金注射成型机，在汽车领域已有半固态镁合金落地产品。依赖于公司再半固态技术的工艺积累以及汽车半固态镁合金产品与人形机器人产品的协同性，公司半固态镁合金产品有望应用于人形机器人领域。

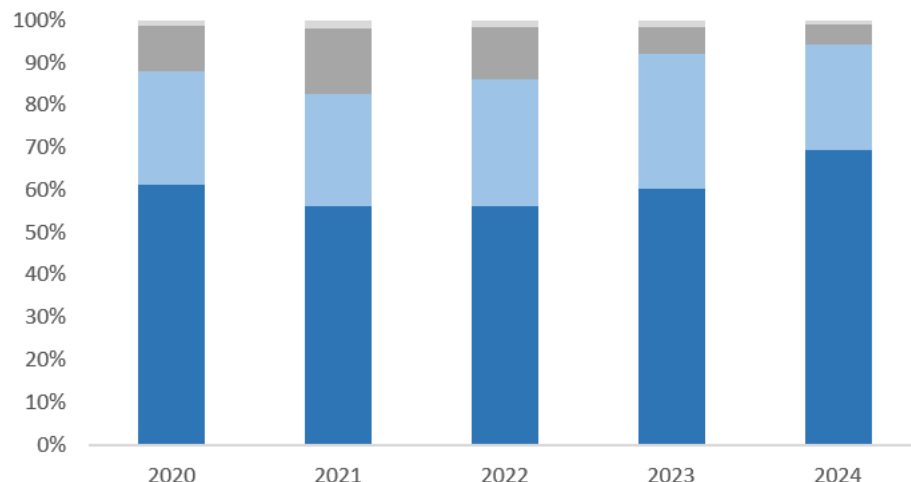
图：星源卓镁营收&归母净利及YoY

■ 营业收入（亿元） ■ 归母净利润（亿元） — 营业收入YoY — 归母净利润YoY



图：星源卓镁主营构成

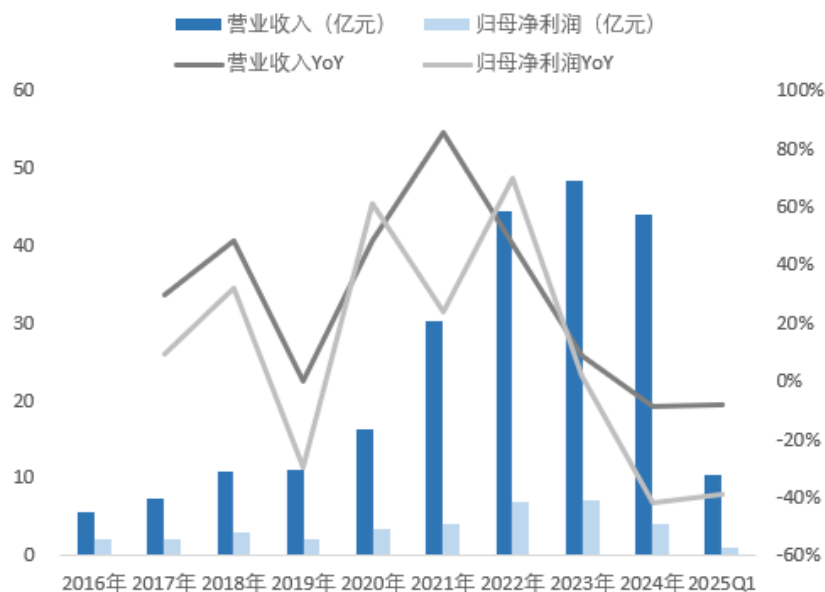
■ 铝合金、镁合金等轻合金精密压铸件 ■ 精密铝合金压铸件 ■ 模具 ■ 其他业务



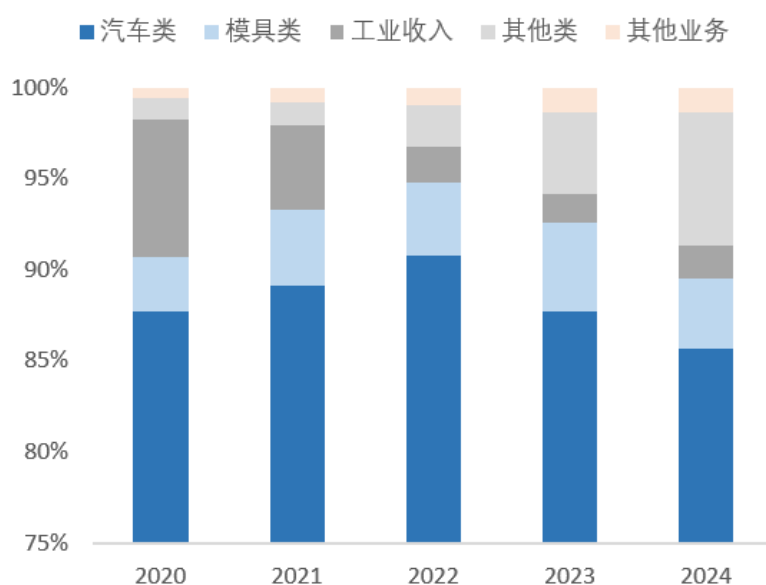
2.5. 旭升集团：人形机器人业务进展顺利

- 旭升集团主要从事精密铝镁合金汽车零部件、户用或商用储能系统的核心铝镁制部件的研发、生产和销售。
- 公司2024年营收达44.09亿元，25Q1为10.46亿元，同比分别-8.8%、-8.1%；归母净利润分别为4.16亿元、0.96亿元，同比分别-41.7%、-39.2%。
- **拓展人形机器人等新型赛道，半固态镁合金工艺迎来突破。**公司全力投入关节壳体、躯干结构件等关键产品研发，并斩获多家海内外客户项目定点；2024年成功研发半固态注射成型的电机壳体，实现镁合金产品的开拓。未来，公司将加速在客户端导入镁合金产品，有望成为人形机器人轻量化领域核心玩家。

图：旭升集团营收&归母净利及YoY



图：旭升集团主营构成



3. 高性能工程塑料掀起“以塑代钢”革命

3.1. 工程塑料性能优异，企业布局集中度高

- **工程塑料在塑料材料中具有差异化优势。**与通用塑料相比，工程特种塑料分子结构更加特殊，合成工艺更加复杂精密。通用塑料如常见的聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）在耐高温、机械强度和化学稳定性等方面存在明显的局限性。
- **特种工程塑料技术壁垒较高，每种产品的生产企业相对较少，集中度较高。**同时部分企业也可生产不同产品，布局较为广泛的有金发科技和沃特科技，另外新和成、德众泰在个别产品方面也处于领先地位，但在布局广度方面较国外企业仍有差距。产品消费结构方面，PPS以及PPA需求占比较大，2023年两者合计消费已超特种工程塑料全部消费量的50%，主要依靠新能源汽车以及电子电器下游应用领域拉动需求。

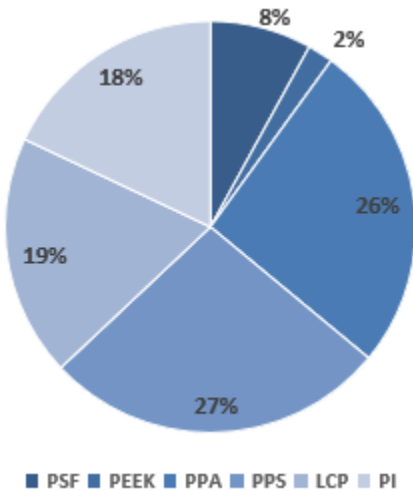
图：塑料示意图



表：2023年企业布局特种塑料情况

企业	PEEK	PPS	PPA
国外主要企业			
帝斯曼	✓	✓	
索尔维	✓	✓	✓
塞拉尼斯	✓	✓	
巴新夫		✓	✓
东丽	✓	✓	✓
国内主要企业			
沃特股份	✓		✓
金发科技	✓		✓
新和成		✓	✓
中研股份	✓		
德众泰			✓
鹏孚隆	✓		

图：2023年全国工程塑料消费情况



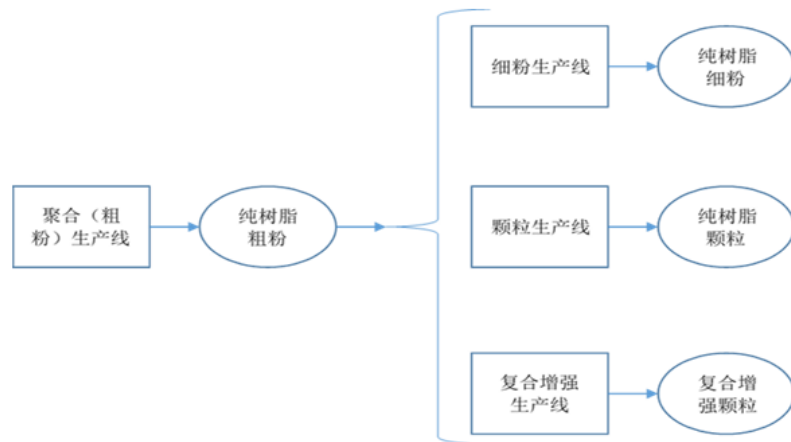
3.2. PEEK性能端：材料性能可与合金媲美

- **PEEK (poly-ether-ether-ketone, 聚苯硫醚)** 是一种特种工程塑料，其分子主链结构由包含一个酮键与两个醚键的重复单元构成，属于半结晶性高分子材料。
- **PEEK 的韧性、刚度和出色的抗疲劳性使其强度可与合金相媲美。** 该材料具备优异的耐腐蚀性能、耐高温性和抗磨损性。在长期抗机械应力应用中非常理想，能够长期承受高负荷而不产生残余损伤，从而保持结构的完整性；此外，PEEK还具有强大的拉伸强度，即使在高达299℃ 的高温下也能保持惊人的强度。PEEK 还具有良好的绝缘性能。这些绝缘性能在各种温度范围和环境条件下都稳定可靠。
- **PEEK生产工艺复杂，工业化验证周期长。** 在长时间高温下的聚合反应中，材料不能发生过度的降解和交联，需要一致性高、结晶性能高，并达到合适的熔指和黏度平衡。由于工艺难度较大，产能爬坡需要时间积累，下游客户认证开发周期长。

图：PEEK制成品



图：PEEK各类产成品的生产工序图



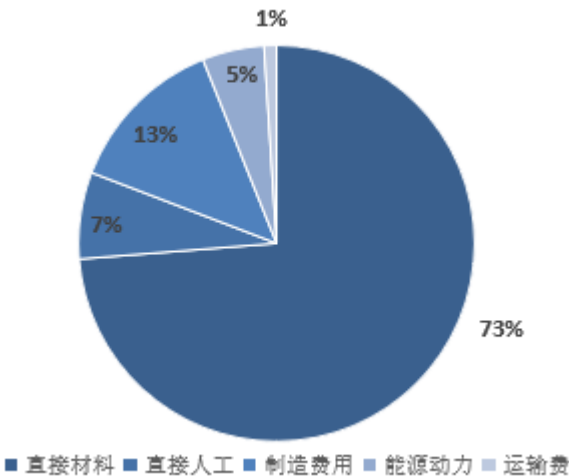
3.2. PEEK供给端：一超多强下国产追赶

- **全球PEEK生产厂商呈现“一超多强”的竞争格局，国产替代已有一定成效。**英国威格斯是目前全球最大的PEEK生产商，占据较大优势，截至2024年其本土产能达7150吨，约占全球60%。比利时索尔维和德国赢创居其后，分别有2500和1800吨产能（2023年数据），呈现一超多强格局。国内中研股份、鹏孚隆正快速追赶，国产替代已有一定成效。
- **工艺难度、扩产周期以及价格水平限制产能扩张。**PEEK生产工艺难度大，产能爬坡需要时间积累，下游客户认证开发周期长（约4~7年），全球有效产能有限，且扩产周期长、投资大。此外，PEEK成本73%由原材料构成，而其所需的原材料氟酮与对苯二酚降价空间有限，成本高昂。

表：24年PEEK产能情况（吨）

公司名称	现有PEEK产能（吨/年）	规划PEEK产能（吨/年）
英国威格斯	7150	-
比利时Syensqo	2500（2023年数据）	-
德国赢创	1800（2023年数据）	-
中研股份	1000	-
沃特股份	1000	-
吉林亿鸿	-	500（2025年2月13日环评公示）
山东君灵	1500	1000（在建）
山东浩然	300	-
浙江鹏孚隆	450	提升至1500吨（拟建）
吉大特塑	500	-
南京聚隆	900	-

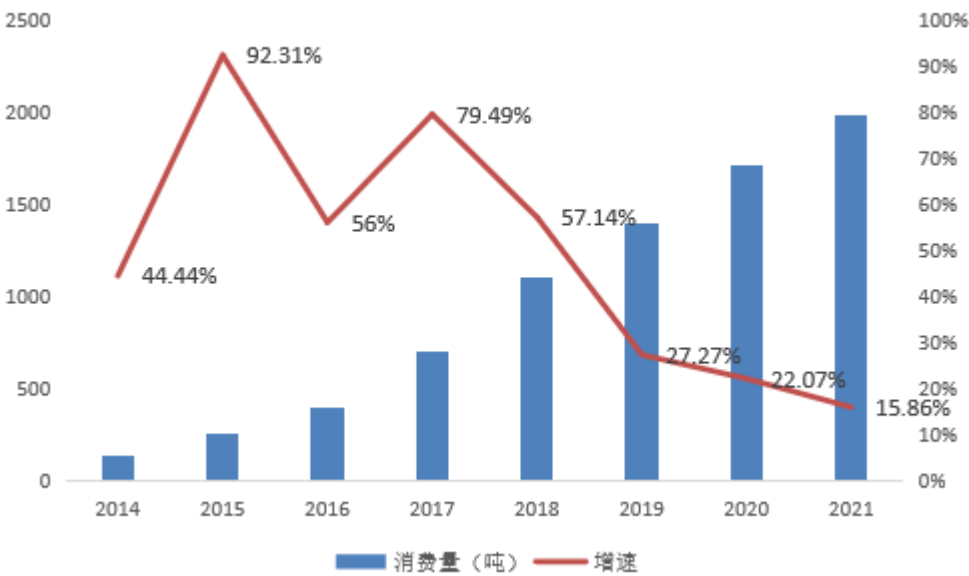
图：2024年中研股份PEEK成本构成



3.2. PEEK需求端：国内市场增速明显

- **PEEK全球市场稳步增长，国内市场高速扩张。** 受益于技术发展和产业升级，2019-2022年全球PEEK消费以年均9%速度增长至7556吨，国内PEEK需求量自2012年的80吨增长至2021年的1980吨，CAGR为42.84%，远高于全球平均。
- **下游聚焦高价值应用，落地场景广泛。** 随着轻量化刚需以及性能优化需求，机器人的商业落地将有力拉动PEEK需求市场。此外，PEEK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都得到广泛的应用。

图：2014--2021中国PEEK产品消费量



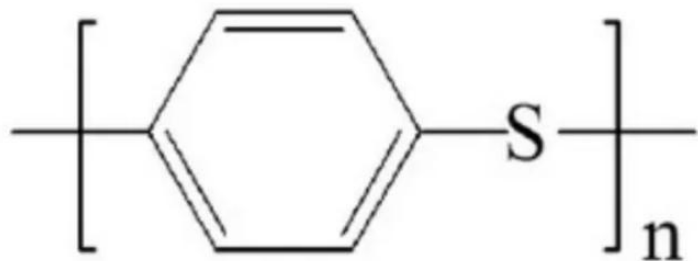
表：PEEK下游应用场景分析

应用领域	应用价值
航空航天	用于轮毂罩、整流罩、环境控制系统叶轮、连接器线缆管道等,可替代金属部件,降低航空器重量,提升经济性,具有阻燃性。
汽车制造	用作传动部件等,一次成型、密度低且较为轻质,可提升燃油经济性,适宜在汽车制造领域中替代传统塑料和金属部件。
IT制造	用作连接件、承接部件等,可通过一次成型制造合并零件并简化结构,低收缩率及低吸湿性有利于保障零件高精密度。
医疗	用于人造骨骼、填充物等,消毒性能优异、质轻、无毒、生物相容性高、可塑性强,并适用于3D打印等新型加工方式。
工业、消费	耐腐蚀性能优异、耐高温磨损性、易塑性强,适宜应用于化工行业领域生产各类部件, 以及作为不沾涂层,用在不粘锅等消费品

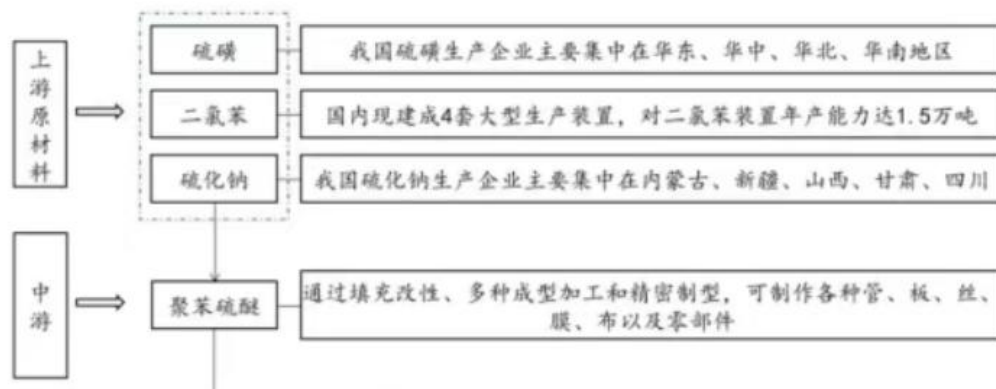
3.3. PPS性能端：被誉为“塑料黄金”

- **PPS (Polyphenylene Sulfide, 聚苯硫醚)**，是一种分子主链由硫原子与芳基结构单元交替连接构成的特种工程塑料。
- **PPS机械强度优异，具有出色的耐化学性和耐热性，相比金属材料具备更低的成本和更高的生产效率。**该材料因具备优异的电绝缘性能、高温耐受性能、阻燃特性、抗腐蚀能力及耐辐射稳定性等多重优良属性，被业界赋予“塑料黄金”的俗称。PPS是各种热塑性塑料中材料中，介电常数、介电强度较低的一种，而且对频率及温度也比较钝感。
- **硫化钠法是目前最主要的PPS工业化生产方法**，具有原料价廉易得、产率较高（一般在90%以上）、产品质量稳定等优点。随着多年来对硫化钠法合成工艺得不断改进，其工业化技术与生产水平也得到了较大程度的提高，目前可以合成高分子量线性和支化交联两种结构的树脂。国内部分企业可以规模生产通用型PPS树脂，但高性能PPS产品主要依赖进口，亟需技术突破。

图：PPS结构式



图：PPS产业链示意图

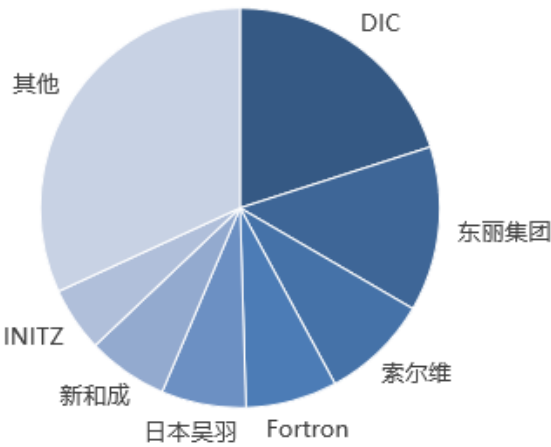


3.3. PPS供给端：市场格局集中，国产进程加速

- **PPS全球市场格局集中，行业技术壁垒高。**根据市场竞争格局来看，全球主要供应商包括DIC、东丽、索尔维、Fortron、日本吴羽化学、INITZ、浙江新和成等。根据QY Research数据，2024年全球前五大厂商共占有超80%的市场份额，中国市场占比超35%，日本和欧洲共占约40%市场份额。
- **产能与技术提振下国产化进程加速。**中国企业近年来在产能和技术上进步显著，国产化进程加速，但高端应用仍依赖进口或外资品牌。截至2024年，浙江新和成目前年产能22000吨，仅次于日本东丽和DIC，跻身前列。2020年-2023年，我国PPS表观消费量由38000吨上升至47000吨，国内产能自给率由45%上升至64%。

图：2024年PPS行业部分企业产能

图：2021年PPS市场竞争格局

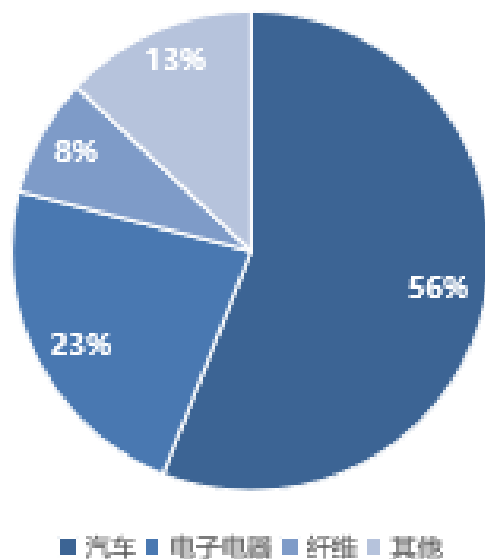


企业	产能（吨/年）	备注
日本东丽	32600	5000吨在建
日本DIC	23000	纯树脂产能23000吨，改性等一起有46000吨
浙江新和成	22000	三期7000吨已投产
索尔维	20000	收购菲利普斯
日本吴羽	15700	由塞拉尼斯和宝理销售
塞拉尼斯	15000	-
韩国HDC	12000	原SK化学
滨州滨阳燃化	10000	2021年3月投产
重庆聚狮	10000	一期投产
铜陵瑞嘉	10000	一期项目
新疆中泰新鑫	10000	一期2020年5月1日投产
长治霍家工业	10000	2022年5月投产，2024年1月停产
内蒙古磐讯	10000	2019年一期投产
山东明化	5000	2024年9月投产一期，二期代建25000吨
日本东曹	5000	-
珠海长先	2000	新增环保装置，从5000吨调整为2000吨
合计	212300	-

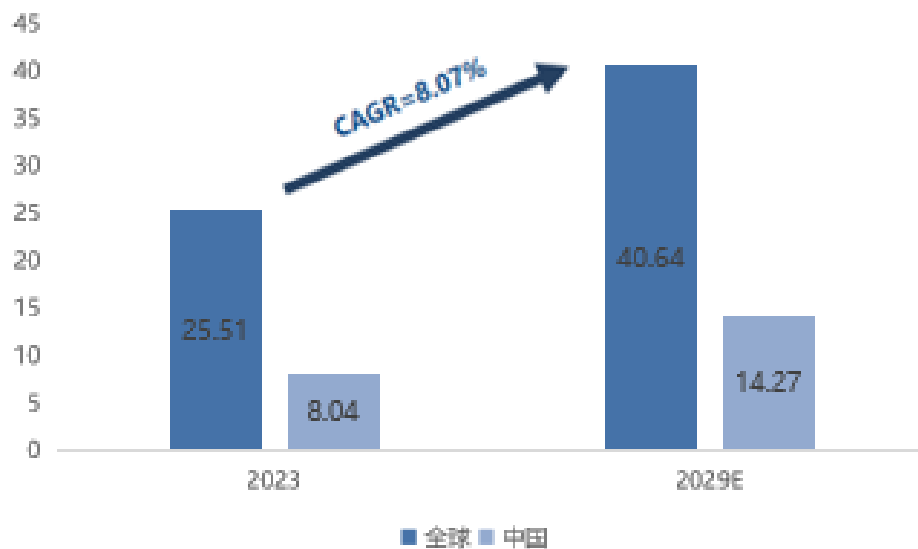
3.3. PPS需求端：应用需求明确，打开市场空间

- **新能源汽车与机器人产业轻量化趋势打开下游应用空间。**据统计，截至2024年汽车和电子电器在全球应用市场占比接近80%。而PPS在传统汽车上的使用量约为700克，而在新能源汽车上的使用量可达到2500克，此外PPS性能与机器人部件也具有高度适配性，随着应用市场的轻量化趋势，需求有望稳健增长。
- **PPS需求市场有望稳健增长。**据QY research数据，2023年全球PPS复合材料市场规模达到25.51亿美元，到2029年将达到40.64亿美元，2023-2029年预测期内复合年增长率为8.07%。其中中国市场2023年达到8.04亿美元，到2029年将达到14.27亿美元，预测期内复合年增长率为10.03%。

图：2024年PPS终端市场占比



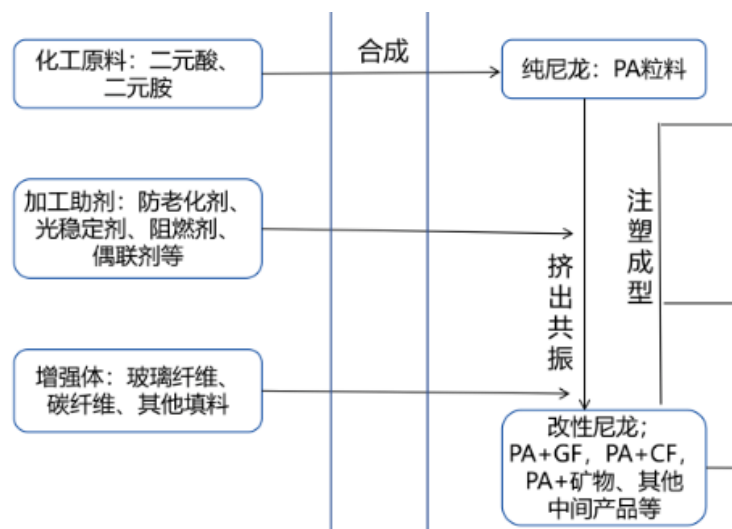
图：2023年全球及中国PPS市场规模预测（亿美元）



3.4. PPA性能端：硬度大、强度高

- **PPA (Polyphthalamide, 耐高温尼龙)** 是以对苯二甲酸或间苯二甲酸为主要原料的半芳香族聚酰胺。绝大多数PPA树脂主要通过传统注塑法加工，PPA上游产业主要包括对苯二甲酸或间苯二甲酸和胺类的生产，这些原料经过聚合反应生成PPA树脂。中游产业涉及PPA树脂的加工和制造，如注塑成型等工艺。
- **PPA具有硬度大、强度高的特点。** 其弯曲模量和抗拉强度均优于普通尼龙，能够抵抗长时间的拉伸蠕变。可以耐200℃的持续高温，同时保持良好的物理和机械性能。具有优良的耐化学腐蚀性，能够抵抗多种化学物质的侵蚀。

图：PPA合成工艺



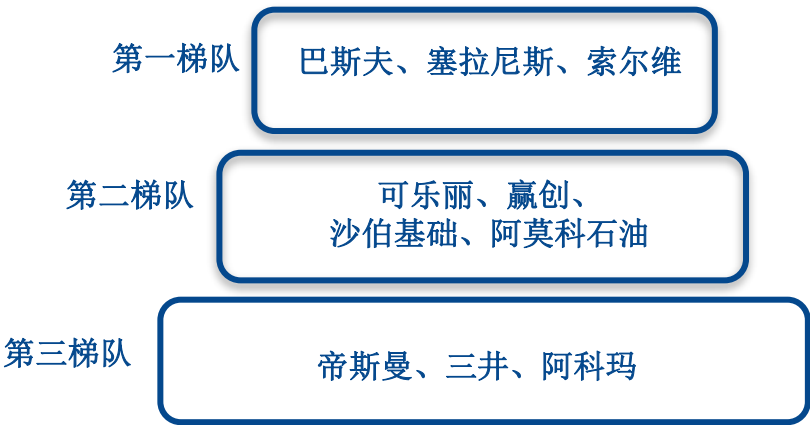
表：PPA性能指标对比

性能指标	PPA标准值	增强PPA (45%玻纤)	铝合金参考值
密度(g/cm³)	1.35	1.45	2.7
抗拉强度(MPa)	117	276	270
弯曲模量(MPa)	-	13,786	70,000
耐温峰值(°C)	220	280	250
吸水率(%)	0.3	0.25	0

3.4. PPA供给端：格局多元化，产品同质化严重

- **国际巨头主导下呈现多元化竞争格局，国内企业逐步产业化。** 目前国际化工巨头如巴斯夫、塞拉尼斯以及索尔维等凭借技术专利与产能规模占据主导地位，约占全球产能的85%，凭借其品牌优势和技术优势占据了一定的国内市场份额，国内PPA生产企业如金发科技等通过技术创新和产品质量提升持续发力，逐步实现产业化。
- **PPA产业目前面临的主要问题仍为产品同质化严重，仍需要大量进口弥补需求缺口。** 产品下游覆盖面较窄，均以PA6T以及PA10T为主。导致产品同质化严重的主要原因是原料二胺单体供应的问题，目前主要的PPA产品类型中，PA4T的原料为丁二胺，丁二胺的生产由帝斯曼垄断；PA6T的原料己二胺是天辰齐翔在2022年末刚刚突破瓶颈，从而补齐了产业链短板；PA9T的原料为壬二胺，其生产方法一直被可乐丽垄断。

图：PPA竞争梯队



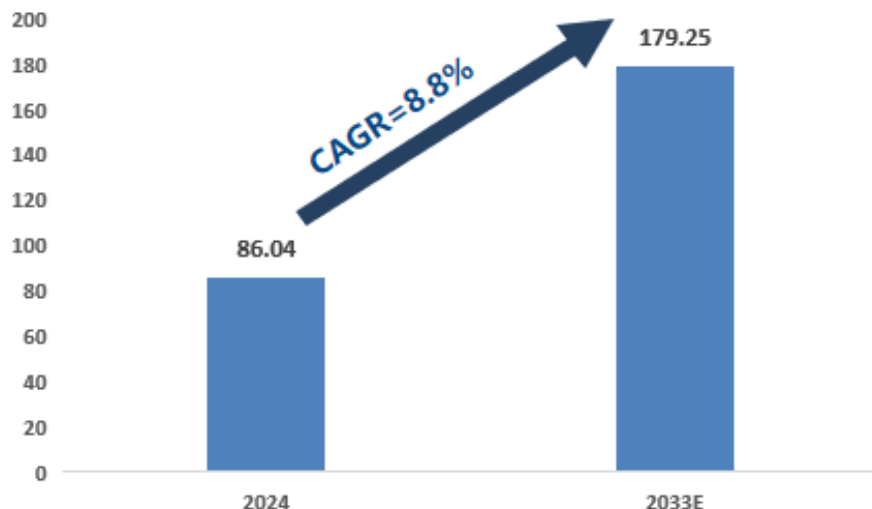
表：常见商品化的半芳香族聚酰胺的结构与性能

树脂成分	树脂类型	结晶状态	主要用途
PA4T	共聚	结晶	耐高温工程塑料
PA6T	共聚	结晶	耐高虹程塑料
PA9T	共聚	结晶	耐高温工程塑料
PA10T	均聚	结晶	耐高肛聾料
PA12T	均聚	结晶	耐高温工程塑料
PAMXD6	均聚	结晶	纤维制造、功能合金材料
PA6I	共聚	非晶	功能合金材料
PATMDT	共聚	非晶	透明材料

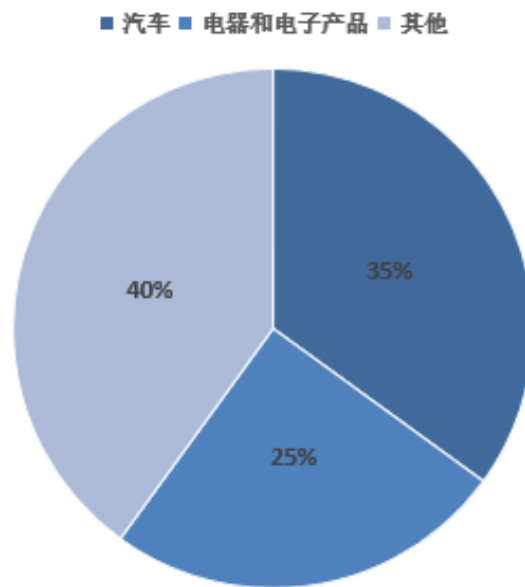
3.4. PPA需求端：汽车电子双驱动下稳健增长

- **PPA材料全球市场规模基数大，呈现稳健增长态势。** 2023年PPA全球市场规模达到86.04亿元，中国市场规模达到34.57亿元。据VerifiedMarket数据预测，2033年PPA全球市场规模将达到179.25亿元，并在2024~2033年期间全球PPA市场规模将以8.8%的年复合增长率变化。
- **汽车与电子领域需求深化，机器人布局推动市场向高附加值领域升级。** PPA材料在技术创新和可持续性需求驱动的汽车，电气和电子等先进行业中的应用不断增加，2023年汽车与电器电子占PPA终端市场的60%。此外，随着机器人产业的轻量化进一步拓展应用场景，推动PPA市场向高附加值领域升级。

图：2024年全球PPA市场规模预测（亿元）



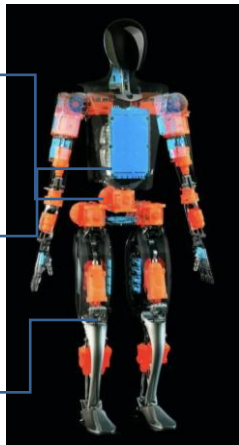
图：2023年PPA终端市场占比



3.5. 各类工程塑料性能对比与经济性测算

性能对比	性能指标	PEEK	PPS	PPA	钢材
	长期使用温度 (°C)	334	220°C	180°C	1500
	密度 (g/cm³)	1.3	1.35	1.45	7.8
	拉伸强度 (MPa)	> 150 (纯树脂)	> 170 (增强)	> 276 (45%玻纤增强)	930
	屈服强度 (MPa)	97	75	208	930

单台机器人材料经济性测算	材料	用量 (kg)	对应部件	成本 (元)	2035年预测市场规模 (亿元) *
	PEEK	5~10	关节轴承 减速器齿轮	2000~4000	30
	PPS	3~5	电机端盖 传感器外壳	360~600	4.8
	PPA	8~12	结构支架 连接器	960~1440	12



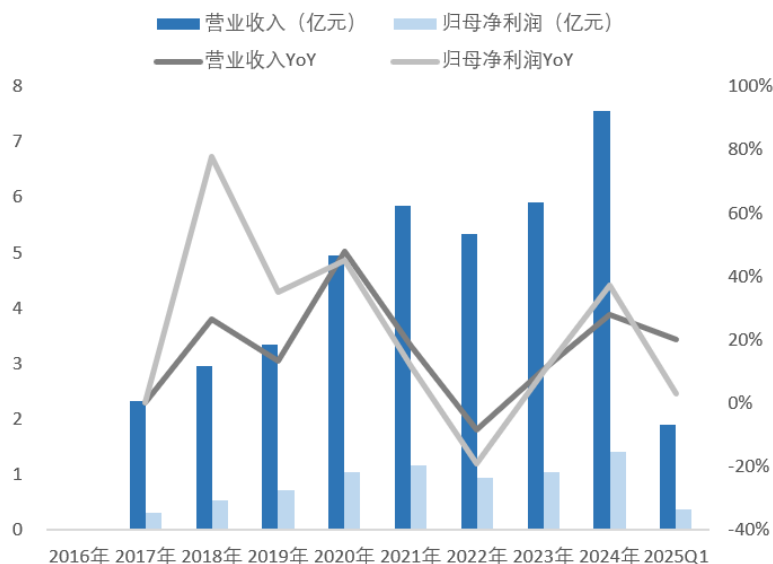
*注：预测假设2035年机器人市场规模达到百万台

数据来源：中研股份，塑料海洋网，东吴证券研究所

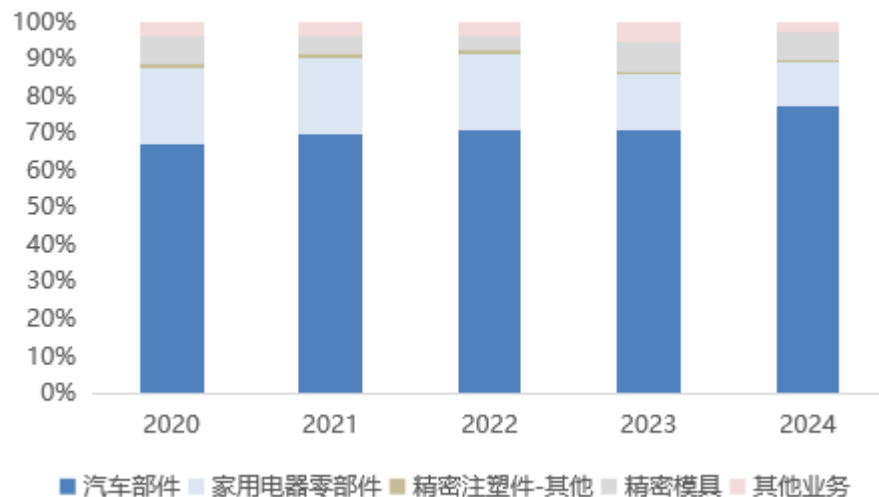
3.6. 肇民科技：PEEK材料突破，机器人业务放量

- **公司PEEK产品首次切入北美头部客户机器人丝杠供应链，成为国内首家实现该材料在机器人核心传动部件规模化应用的厂商。**公司拥有PEEK精密注塑相关专利23项，涵盖材料改性、模具设计和成型工艺，技术护城河显著。
- **公司业务增长。**公司2024年营收达7.56亿元，25Q1达1.90亿元，同比分别增长27.9%，20.2%；归母净利润分别为1.42亿元、0.36亿元，同比分别+37.7%、+2.8%。2024年公司毛利率提升至33.84%，PEEK相关业务占比突破30%。
- **公司机器人业务商业化提速，包塑铁心已实现小批量量产，特斯拉供应链有所突破，并于智元、宇树科技等国产机器人厂商均签署战略合作协议，潜在订单空间广阔。**

图：肇民科技营收&归母净利及YoY



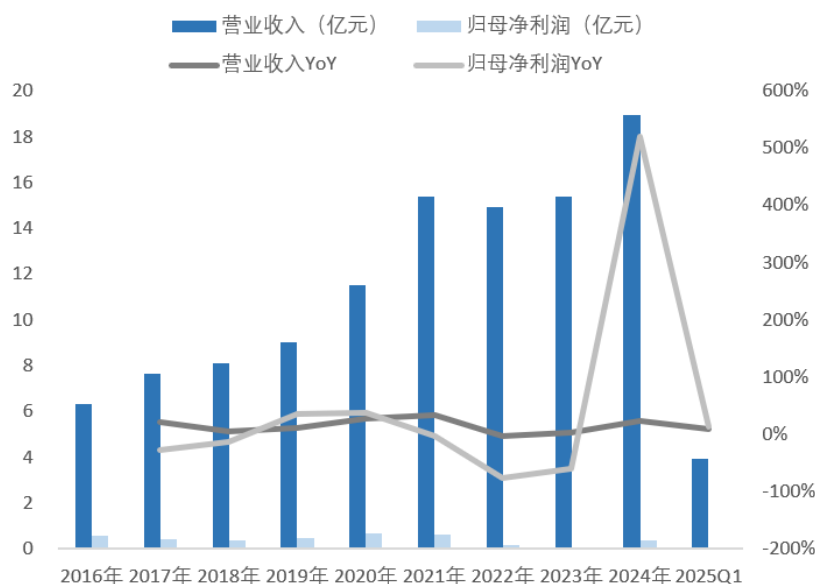
图：肇民科技主营构成



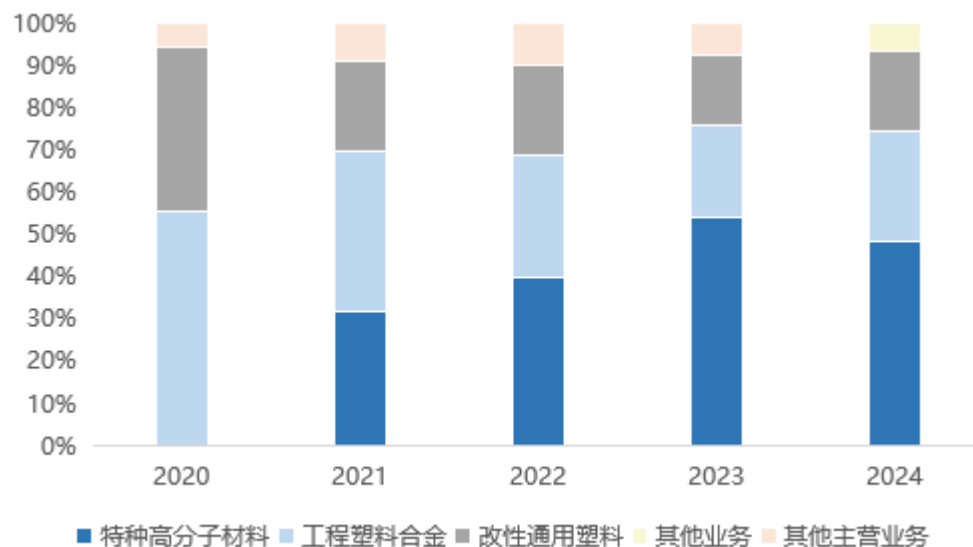
3.6. 沃特股份：特种材料业务持续发力

- **公司为特种高分子材料领军企业，公司目前拥有PEKK产能1000吨/年，同时可为客户提供PEEK改性、增强等业务。**产品主要包括特种及新型工程高分子材料等，应用于电子、家电、光伏、半导体、医疗汽车、储能等领域。
- **公司特种材料业务持续发力，营收与净利润实现双增。**公司2024年营收达18.97亿元，25Q1达3.95亿元，同比分别+23.5%，+8.5%；归母净利润分别为0.37亿元、0.06亿元，同比分别+520.7%、+12.3%。营收增长主要得益于特种高分子材料销量提升，尤其在高频通讯、新能源汽车、低空经济等领域的拓展。

图：沃特股份营收&归母净利及YoY



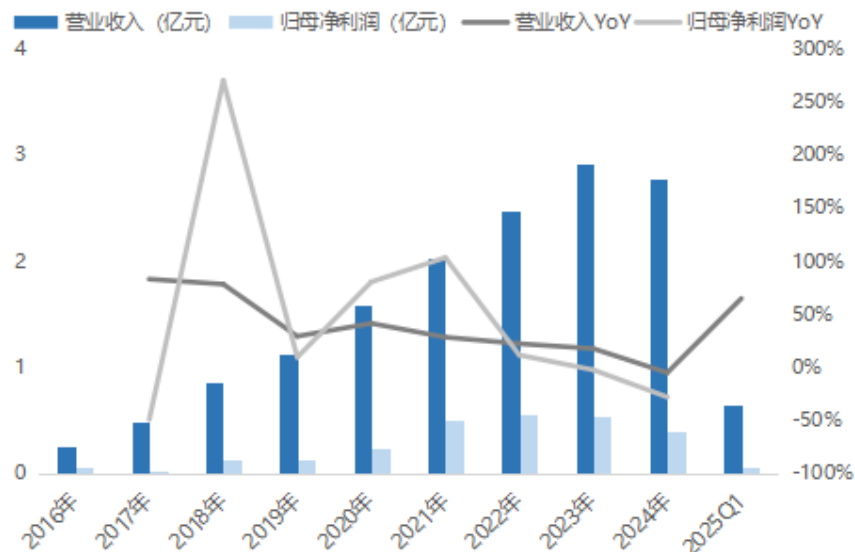
图：沃特股份主营构成



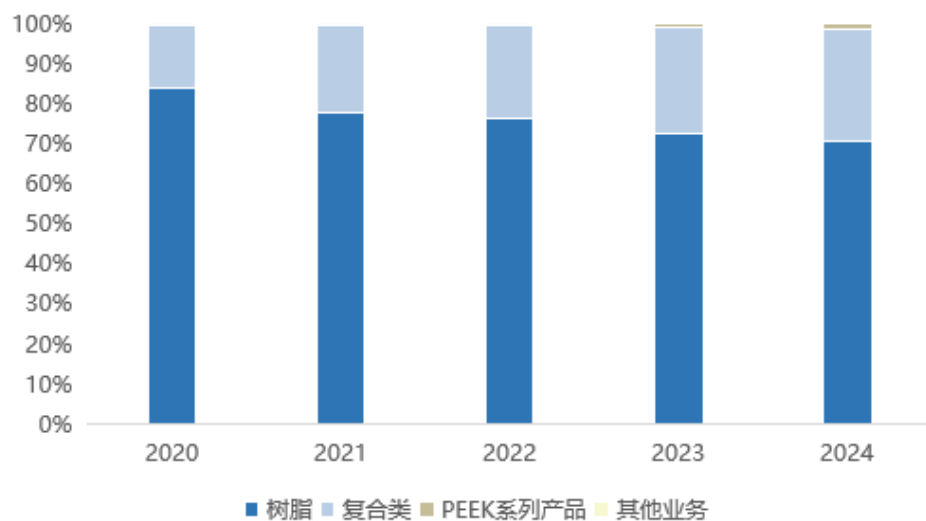
3.6. 中研股份：国内PEEK龙头，全球四大生产商

- **公司是全球第4家PEEK年产能达到千吨级的企业。**成立于2006年，是目前PEEK年产量最大的中国企业，现有PEEK生产能力为年产1000吨。公司在国内市场持续实现进口替代，目前已经成为中国市场销量最大的公司。
- 公司2024年营收达2.77亿元，25Q1达0.65亿元，同比分别-5.1%，+64.8%；2024年归母净利润分别为0.39亿元，同比-28.0%；公司2024年毛利率增至40.08%，略有回升。
- **公司致力提升产品批次稳定性，推动下游领域应用。**公司已完成主要生产线的自动化升级，有效降低了主要材料的单耗和能耗，显著提高了生产效率。同时，针对PEEK材料在不同领域的应用，公司加强了市场开拓，特别是在汽车、电子信息和医疗等行业取得了进展。

图：中研股份营收&归母净利及YoY



图：中研股份主营构成



第四章 投资建议及风险提示

■ **投资建议：**轻量化可提升人形机器人的续航、提高灵活度和散热效率，为人形机器人降本增效的必经之路。其中，原材料的替换是更为本质且落地更快的技术路径之一。铝合金及钢材应用广泛，后续替代主要朝镁合金及高性能工程塑料发展（PEEK、PPS等），为传统制造业行业带来新的成长空间。关注镁合金压铸头部企业【**宝武镁业**】、【**星源卓镁**】，推荐人形机器人轻量化关节件企业【**旭升集团**】；关注工程塑料头部企业【**肇民科技**】、【**沃特股份**】、【**中研股份**】。

表10：相关公司盈利预测及估值评级

公司	证券代码	股价（元）	总市值（亿元）	归母净利润（亿元）			PE			评级
				2025E	2026E	2027E	2025E	2026E	2027E	
旭升集团	603305.SH	13.20	125.84	5.54	6.83	8.03	22.70	18.42	15.68	买入
宝武镁业	002182.SZ	12.00	119.01	3.00	5.04	7.01	39.61	23.61	16.99	-
星源卓镁	301398.SZ	40.59	45.46	0.97	1.23	1.52	46.82	37.02	29.88	-
肇民科技	301000.SZ	44.02	106.70	1.86	2.31	2.78	57.30	46.22	38.31	-
中研股份	688716.SH	34.41	41.87	0.71	1.25	1.75	58.97	33.50	23.93	-
沃特股份	002886.SZ	16.06	67.55	0.80	1.27	1.87	84.44	53.19	36.13	-

- **人形机器人产业化落地进程不及预期。**若因制造成本过高、下游需求不明朗等因素导致人形机器人产业化落地进程不及预期，则将对供应链企业的发展造成不利影响。
- **人形机器人技术路线变更。**如果人形机器人轻量化的技术路线发生改变，则将对此前布局该方向的供应链企业造成不利影响。
- **原材料成本上涨超预期。**如果镁合金、PEEK等轻量化材料成本上涨，则将对供应链企业的利润率造成不利影响。
- **新型材料替代风险。**若新型特种材料或先进复合材料取得技术突破，其综合性能（性能、成熟度、应用性、成本）更优，则面临被替代风险。

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

投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