

机械设备

机器人下一个重要方向：轻量化

机器人轻量化可以更持久、更灵活、更耐用，是未来迭代的大方向。特斯拉人形机器人始于2021年，三年来进步明显，呈现出轻量化趋势。2023年12月特斯拉发布Optimus Gen-2的视频，相比于第一代Optimus人形机器人，第二代Optimus进步明显，速度快30%、整体重量从73kg减少到63kg，**重量减轻10kg**。机器人轻量化有三大优势：第一，更持久；也就是节能，延长续航时间。第二，更灵活；轻量化可以降低运动惯性，对电机转矩密度要求也会降低，相同的电机，更轻的本体重量，也就更容易被驱动和控制，也能够发挥出更大的承载力，使机器人在执行复杂动作时更加流畅和精准。第三，更耐用；轻量化设计可以降低机器人部件之间的摩擦和磨损，从而延长机器人的整体寿命。

“以塑代钢”和铝镁合金是两种可行方案。

(1) 以塑代钢：“以塑代钢”的核心材料为PPS & PEEK。PPS较便宜、性价比高，机器人躯体的外壳面积大、材料耗量高、同时也有减重需求，因此适合选用更便宜、同时性能也够用的PPS作为轻量化材料。PEEK有自润滑性，但是成本较高，适合用于不能反复添加润滑油、但又需要润滑的地方，同时用量还不能太多，对于机器人而言，“关节、肌肉、骨骼”更适配，也就是执行器和传动件外壳的轻量化，PEEK材料有优势。

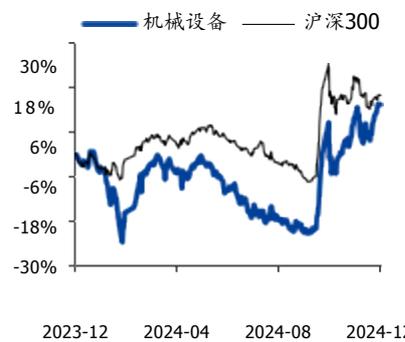
(2) 铝镁合金：铝镁合金是以铝为主要原材料，并掺入少量的镁以及其他金属制成的金属材料，具有密度小、强度高、抗震力强、散热性好、抗电磁干扰性好、绿色环保等特点。铝镁合金作为新材料领域的创新合金，被广泛应用于航空航天、汽车制造、电子设备等领域。因为其优异的性能和高性价比，铝镁合金是机器人轻量化的一种可行方案。

投资建议：机器人轻量化为大势所趋，而铝镁合金和“以塑代钢”是两种可行方案，因此，在“以塑代钢”方面，我们建议关注PPS优质供应商【普利特】、国内PEEK材料龙头企业【中研股份】、同时具备PEEK和PPS产能的【沃特股份】，以及PEEK上游关键原材料氟酮供应商【新翰新材】。在铝镁合金方面，我们建议关注【旭升集团】、【嵘泰股份】。

风险提示：机器人量产进度不及预期、新材料导入不达预期、被其他产品替代风险、数据滞后性风险。

增持（维持）

行业走势



作者

分析师 张一鸣

执业证书编号：S0680522070009

邮箱：zhangyiming@gszq.com

分析师 杨义韬

执业证书编号：S0680522080002

邮箱：yangyitao@gszq.com

分析师 邓宇亮

执业证书编号：S0680523090001

邮箱：dengyuliang@gszq.com

相关研究

- 《机械设备：华为、宁德、长安等巨头入局机器人，中美共振产业趋势加速》 2024-11-17
- 《机械设备：赛力斯&重庆加快布局机器人，产业中美共振有望开启》 2024-11-03
- 《工程机械：中报总结：国内下滑收窄，海外维持正增长，盈利能力提升明显》 2024-09-09

内容目录

1、机器人轻量化是大势所趋	3
2、“以塑代钢”和铝镁合金是两种可行方案	5
2.1、“以塑代钢”核心材料：PPS & PEEK	5
2.1.1、PEEK & PPS 材料的优势	8
2.1.2、PEEK & PPS 产业链拆分	11
2.1.3、PEEK & PPS 主要企业	14
2.2、铝镁合金性能优秀，也是一种轻量化的可行方案	17
3 投资建议	19
风险提示	21

图表目录

图表1：2021年8月特斯拉展示了人形机器人Tesla Bot概念	3
图表2：2022年9月-2023年9月特斯拉发布OptimusGen-1并相继发布相关视频	4
图表3：2023年12月特斯拉发布OptimusGen-2	4
图表4：聚苯硫醚（PPS）结构式	5
图表5：PEEK分子结构	5
图表6：常用普通塑料、工程塑料及特种工程塑料示意图	6
图表7：PEEK材料特性表	7
图表8：PEEK与主要工程塑料、特种工程塑料性能对比情况	8
图表9：PEEK与传统金属对比	9
图表10：特种工程塑料价格	9
图表11：PEEK生产流程	10
图表12：PEEK工艺流程以及对应核心技术	10
图表13：PPS产业链	11
图表14：PEEK产业链	12
图表15：PEEK应用领域及性能特点	13
图表16：PPS材料产业链企业	14
图表17：2021全球PPS行业市场份额	14
图表18：2022年PEEK全球竞争格局	15
图表19：英国威格斯在亚太地区的销量与中研股份销量对比及中国市场需求量	16
图表20：主要的铝镁合金铝板介绍	17
图表21：PEEK、铝镁合金、钕铁硼永磁材料应用、单机用量、价格	18
图表22：2021年主要铝镁合金细分类型产销状况	18

图表23: 2019-2021年铝镁合金铸件在汽车领域销量和市场规模.....	18
图表24: 人形机器人核心标的估值表(亿元)	20
图表25: PEEK与PPS材料应用于人形机器人的领域.....	20

1、机器人轻量化是大势所趋

特斯拉人形机器人始于 2021 年，三年来进步明显，呈现出轻量化趋势。

- ✓ 在 2021 年 8 月特斯拉 AI DAY，马斯克先是公布了 FSD 模型、D1 芯片、Dojo 超算中心，之后，马斯克展示了人形机器人 Tesla Bot 概念。
- ✓ 一年后，在 2022 年 9 月特斯拉 AI DAY，马斯克正式发布了人形机器人 Optimus Gen-1 的原型机（擎天柱），其重 73 公斤、身高 172cm，当时现场展示还电线外露、没有外壳、走路需要人扶；视频展示中呈现了行走、下蹲、抓取物体、浇花等动作。
- ✓ 2023 年 3 月-9 月，特斯拉相继发布了 Optimus Gen-1 的相关视频，其可以实现直立行走，手指关节抓取电动工具、螺丝，单腿站立做瑜伽，颜色分抹等任务。
- ✓ 2023 年 12 月特斯拉发布 Optimus Gen-2 的视频，相比于第一代 Optimus 人形机器人，第二代 Optimus 进步明显，速度快 30%、整体重量从 73kg 减少到 63kg，**重量减轻 10kg**。

机器人轻量化的三点优势：

- 1) **更持久**：轻量化设计可以减少人形机器人在运动过程中的能耗，提高能量利用效率。更轻的机器人需要更少的能量来移动，从而延长电池寿命，使机器人能够持续工作更长时间。
- 2) **更灵活**：机器人轻量化能够有效降低运动惯性，有助于提升人形机器人的灵活性。较轻的部件更容易被驱动和控制，轻量化后，电机转矩密度要求也会降低，相同的电机，更轻的本体重量，能够发挥出更大的承载力，使机器人在执行复杂动作时更加流畅和精准。
- 3) **更耐用**：轻量化设计可以降低机器人部件之间的摩擦和磨损，从而延长机器人的整体寿命。减少重量还可以降低对驱动系统和结构的压力，减少故障发生的可能性。

图表1：2021年8月特斯拉展示了人形机器人Tesla Bot概念



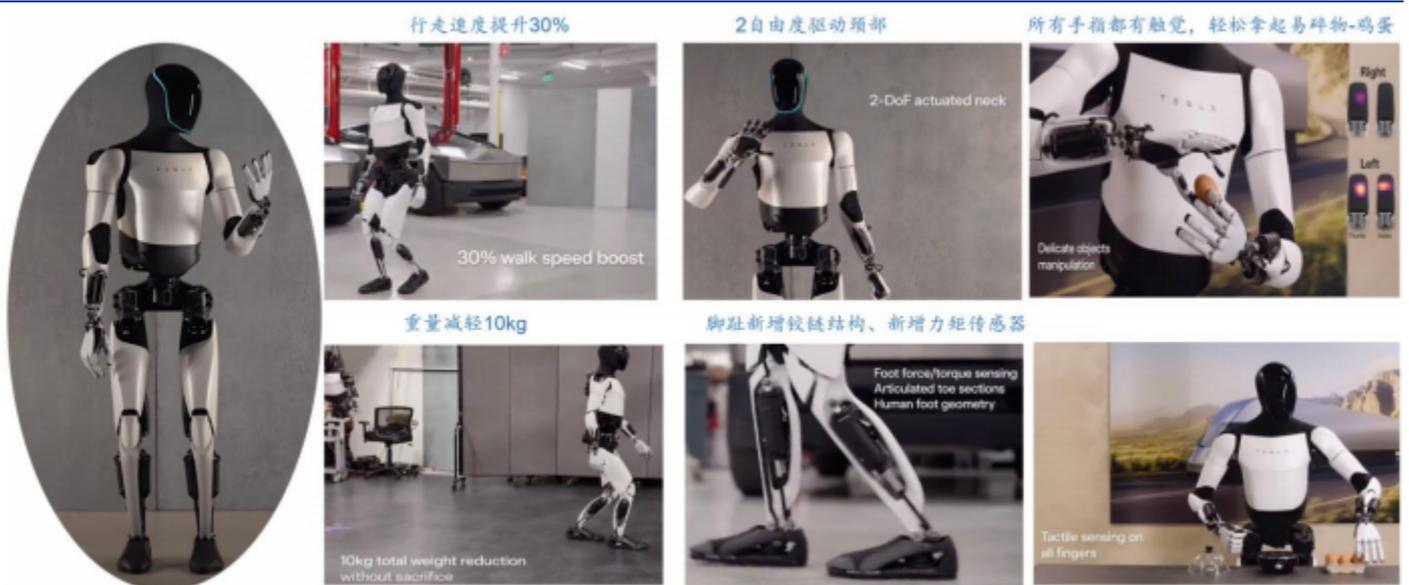
资料来源：特斯拉, youtube, 国盛证券研究所

图表2：2022年9月-2023年9月特斯拉发布Optimus Gen-1并相继发布相关视频



资料来源：特斯拉, youtube, 国盛证券研究所

图表3：2023年12月特斯拉发布Optimus Gen-2



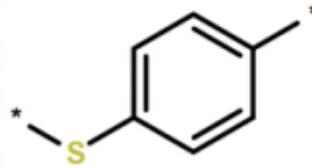
资料来源：特斯拉, youtube, 国盛证券研究所

2、“以塑代钢”和铝镁合金是两种可行方案

2.1、“以塑代钢”核心材料：PPS & PEEK

聚苯硫醚（Polyphenylene Sulfide，PPS）是一种具有优良的电绝缘性、耐热性、阻燃性、抗腐蚀性和耐辐射性等优异性能的高分子聚合物。聚苯硫醚属于聚芳硫醚的一种，分子主链由硫和芳基结构交替连接形成结构，全称为聚亚芳基硫醚（PPS），又称聚苯撑醚，是一种具有潜力和应用价值的特种工程塑料，俗称“塑料黄金”。

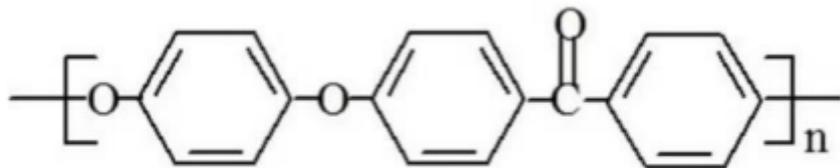
图表4：聚苯硫醚（PPS）结构式



资料来源：知网论文《激光表面改性惰性高分子材料聚苯硫醚的研究》、陈婷、国盛证券研究所

PEEK（poly-ether-ether-ketone，聚醚醚酮，简称 PEEK，是在主链结构中含有一个酮键和两个醚键的重复单元所构成的高聚物，属于半结晶的特种工程塑料）是一种特种工程塑料，具有耐腐蚀、机械特性好、耐热等级高等特点。最早于 1978 年由英国帝国化学公司（ICI）研发出来，在之后的很长一段时期内都被列为重要的战略国防军工材料。欧美各大公司先后投入了大量人力、物力、财力对其进行研发，在性能、商业价值上都处于工程塑料的顶端。为了满足我国国防和民用科技发展的要，我国将 PEEK 的研发列入“七五”、“八五”、“九五”、“十五”国家重点科技攻关计划“863”，开始自主研发 PEEK 材料。

图表5：PEEK分子结构



资料来源：聚泰新材料官网、国盛证券研究所

图表6：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、国盛证券研究所

图表7: PEEK材料特性表

主要特性	特性说明	代表性指标
机械特性	PEEK 兼具优异的刚性和较好的韧性，对交变应力下的抗疲劳性非常突出，可与合金材料相媲美。	1、拉伸模量 2、缺口冲击强度 3、比强度
耐热特性	PEEK 具有较高的玻璃化转变温度和熔点，其负载热变形温度和瞬时使用温度也较高。	1、长期使用温度 2、导热系数
阻燃性	PEEK 具有自身阻燃性，不加任何阻燃剂即可达到最高阻燃等级（UL94V-0）。	阻燃等级
耐磨性	PEEK 可在250°C的高温条件下保持较高的耐磨性。	摩擦系数
耐腐蚀性	PEEK 具有优异的耐化学药品性，在通常的化学药品中，能溶解或者破坏它的只有浓硫酸，其耐腐蚀性与镍钢相近。	耐化学性能
耐水解	PEEK 吸水率很小，23°C的饱和吸水率只有 0.4%，且耐热水性好，可在 200°C的高压热水和蒸汽中长期使用。	吸水率
耐剥离性	PEEK 与各种金属的粘附力与耐剥离性很好，因此可做成包覆很薄的电线、电缆和电磁线，并可在苛刻的条件下使用。	剥离强度
生物相容性	PEEK 具有优异的生物相容性，可作为医疗器械植入人体。此外，PEEK 可被 X 射线穿透，具有良好的可视性，能够避免在 X 光片上造成伪影，同时可以实现在 CT 扫描或核磁共振成像辅助下进行手术，帮助医生在手术过程中调整植入体的位置，术后轻松跟踪愈合过程，从而能对骨生长和愈合实现良好的监控。同时，PEEK 的弹性模量与骨骼更接近，可以有效缓解应力遮蔽效应，使骨骼更健康、更长久。	

资料来源：中研股份招股说明书、国盛证券研究所

2.1.1、PEEK & PPS 材料的优势

PPS 具有良好的尺寸稳定性和加工性能，是热塑性树脂中热稳定性较好的树脂。其热稳定性与聚酰亚胺（PI）和聚四氟乙烯（PTFE）相当，被广泛应用于纺织、电子和航空航天等行业。对于盐、碱和无机酸具有较好的抗性，200℃以下不溶于任何溶剂。PPS 树脂可以使用如挤出、压制等一般加工方式，同时使用熔融方法可以纺制高性能 PPS 纤维。基于这些优良性能，PPS 被应用于工程塑料、纤维、薄膜、涂料等。

PEEK 材料与主要工程塑料、特种工程塑料相比，性能更全面。在刚性方面要比绝大多数特种工程塑料表现更好，同时也能兼具韧性，体现出其机械性的全面发展，并且 PEEK 材料在耐热、耐磨、耐腐蚀等方面均表现优异。因此，PEEK 是公认的全球性能最好的热塑性材料之一。

PEEK 材料具有自润滑性，自润滑原理主要源于其分子结构和摩擦学特性。PEEK 材料的自润滑特性主要源自其独特的分子结构，该结构中富含羰基（C=O）官能团。这些羰基能够在分子链之间形成氢键，赋予 PEEK 一定的亲水能力。当 PEEK 材料在摩擦环境中使用时，它能够吸收环境中的水分，在表面形成一层保护性的水膜。这层水膜有效地降低了接触面之间的摩擦系数，并增强了材料的耐磨性和化学稳定性。因此，凭借这些优异的性能，PEEK 成为了制造需具备自润滑特性的机械组件和零件的理想选择。

图表8：PEEK与主要工程塑料、特种工程塑料性能对比情况

特性	性能指标	指标说明	单位	特种工程塑料				工程塑料			对比结果说明
				PEEK	PIFE	PI	PPSU	PPS	POM	PA66	
刚性	拉伸模量	拉伸模量数值越大，说明刚性越好	MPa	4300	1750	3700	2450	4000	2800	1700	刚性和韧性一般呈现反比例关系，PEEK 在刚性为最好的情况下韧性并非最低，展示了其全面的机械特性
韧性	缺口冲击强度	冲击强度数值越大，说明材料的韧性越好	KJ/m ²	3.5	4.5	4.5	12	2	8	4.5	
耐热	长期使用温度	值越高，通常代表该材料耐热性能越好	℃	250	260	240	180	220	115	95	除 PTFE 外，PEEK 为耐热性能最好的材料之一
耐磨	摩擦系数	摩擦系数越小，通常代表耐磨性越好	-	0.40	0.15	0.40	0.45	0.5	0.52	0.5	除 PTFE 外，PEEK 为耐磨性能最好的材料之一
耐腐蚀	耐化学性能	值越大，说明材料的耐化学性能越好	-	9.27	9.90	8.40	7.78	9.33	7.58	7.25	PEEK PTFE PPS 均为耐腐蚀性最好的材料
电性能	介电强度	值越大，说明材料的绝缘性能越好	KV/mm	24	11	28	26	18	20	27	PEEK 绝缘性能与其他工程塑料无明显差距

资料来源：中研股份招股说明书、国盛证券研究所

PEEK 与通用金属钢、铝合金性能指标相比，性能全面优于普通金属。PEEK 材料具有比强度大的特点，在满足强度要求的同时，大幅减轻材料自重，能够使产品实现“轻量化”转型。并且 PEEK 在绝缘性、耐化学性方面均优于普通金属。在“以塑代钢”、“轻量化”的大背景下，PEEK 在中高端领域以其自身的优势逐步替换金属材料。

图表9: PEEK与传统金属对比

性能指标	指标含义说明	单位	PEEK	钢	铝合金
比强度	拉伸强度与密度的比值，值越大说明材料在相同密度情况下强度越好	N m/kg	1500	70	190
介电常数	是反映绝缘能力特性的一个系数	-	优	差	差
耐化学性	是指物体对酸液、碱水、有机溶剂浸泡的耐力	-	优	良	良

资料来源：中研股份招股说明书、国盛证券研究所

PEEK 材料当前主要应用于对价格不敏感的领域，其高昂的价格限制了在更广泛市场中的应用。造成 PEEK 售价较高的主要原因包括：

(1) 核心原材料成本高：PEEK 的主要原料氟酮是一种小众化学产品，生产所需原材料成本和环保成本较高，直接推高了 PEEK 的成本。

(2) 制造成本高：PEEK 的生产和聚合过程需要高温和高粘度条件，这增加了生产设备折旧和能源消耗等制造成本。

(3) 行业定价策略：行业领导者英国威格斯公司采取高毛利定价策略，通过高价弥补前期开发成本，这种定价模式对整个市场的 PEEK 价格产生了示范效应。

(4) 验证周期长：作为基础通用材料，PEEK 在终端应用中的验证周期较长，短期内难以通过降价快速提升市场需求。

因此，尽管 PEEK 具有优异的性能，在对材料价格敏感的应用领域中，其高成本成为了一大障碍，限制了更广泛的应用和发展空间。

图表10: 特种工程塑料价格

特种工程塑料	2022 年国内市场价格 (万元/吨)
PTFE	4.7
PSU	9.11
PPS	4.3
PEEK	33.7

资料来源：中研股份招股说明书、国盛证券研究所

PEEK 材料生产工艺较为复杂，生产流程较为繁琐，需要使用多工艺复合加工。PEEK 树脂合成领域存在较高的技术壁垒，主要体现在以下几个方面：

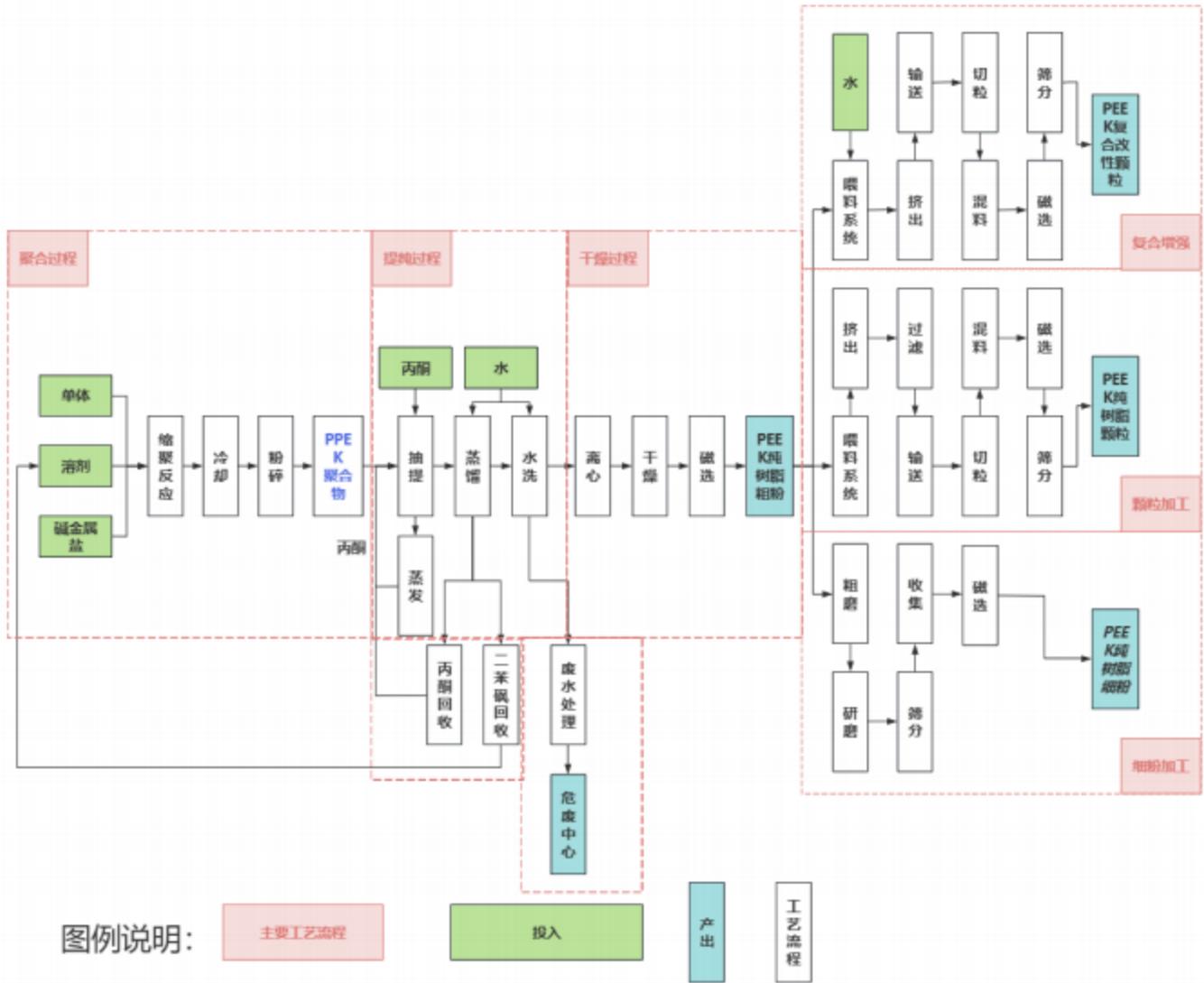
(1) 严格的知识产权和技术保护：作为高性能特种工程塑料，国际厂商对 PEEK 的技术、配方和设备等相关的知识产权和技术秘密实行严格保护和封锁，迫使国内厂商必须依靠自主研发。

(2) 大规模工业化生产的高要求：PEEK 的大规模生产需要长时间和大量资金的投入，以探索并掌握从实验室合成到最终产业化的全流程生产能力。这包括合成和提纯理论、制备技术、生产工艺及设备设计等方面。

(3) 复杂的工艺优化和技术诀窍：在精细化工领域，PEEK 的合成涉及复杂的参数优化和操作工艺，这些技术诀窍 (know-how) 需要持续投入和长期积累才能获得，增加了技术门槛。

(4) 快速变化的市场需求：由于 PEEK 下游应用广泛且市场需求更新迅速，企业需不断进行研发和技术创新，以适应市场变化。行业内的龙头企业凭借多年积累的技术和经验，能够更有效地应对市场挑战，使得新进入者难以在短时间内形成竞争力。

图表11: PEEK生产流程



资料来源：中研股份招股说明书、国盛证券研究所

图表12: PEEK工艺流程以及对应核心技术

工艺流程	对应核心技术	具体使用情况和效果
聚合过程 提纯过程 干燥过程	聚醚醚酮的合成技术 聚醚醚酮的提纯技术	中研股份是继英国威格斯后全球第2家能够使用5000L反应釜进行PEEK聚合生产的企业，可以合成品质优异的PEEK粗粉
颗粒加工	高纯聚醚醚酮的生产技术	中研股份可以生产高纯度的纯树脂颗粒
复合增强	聚醚醚酮复合改性技术	中研股份可以生产玻纤增强颗粒、碳纤增强颗粒、耐磨增强颗粒等一系列复合增强产品
细粉加工	聚醚醚酮超微精粉生产技术	中研股份可以生产高品质PEEK纯树脂细粉

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/478003052010007007>