

证券研究报告
交通运输行业/行业深度报告
2025年12月30日

低空+航天双重驱动，碳纤维复材顺势 “起飞”

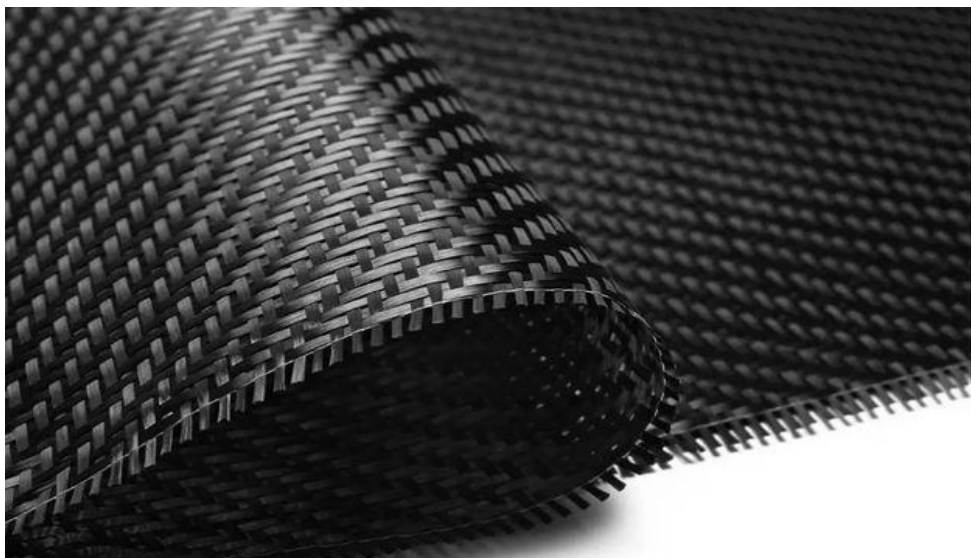
——eVTOL材料篇

证券分析师：李景星 S0370522090001

研究助理：孙嘉瑞

行业评级：增持

目录



一、碳纤维复合材料：eVTOL中的筋与骨

二、政策支持：碳纤材料与低空飞行，我国新质生产力典型代表

三、产业链与工艺流程：黑色黄金里的精益求精

四、量增价减结构分化，主要厂商积极布局高端产线

五、空天产业爆发，碳纤维顺势起飞

六、相关上市公司

风险提示：市场竞争与产能过剩风险，技术壁垒与研发投入风险，原材料价格波动风险，下游新兴应用市场商业化不及预期



www.jyzq.cn



全国统一客服电话：95372

此文件版权归金元证券股份有限公司所有，未经许可任何单位或个人不得复制、翻印。

资料来源：复材云集，峰飞航空，江苏博实碳纤维，金元证券研究所整理



金元证券股份有限公司
GOLDSTATE SECURITIES CO., LTD.

一、碳纤维复合材料：eVTOL中的筋与骨

1.1 eVTOL对于使用材料要求严格

eVTOL中使用材料应满足以下核心需求：

核心要求	意义	具体要求内容
极致轻量化	材料选择中的首要考量因素	由于 eVTOL 主要依赖电池供能，其整体性能受限于能源密度，所以结构材料的轻量化成为提升续航能力和运营效率的关键路径。使用碳纤维复合材料，可帮助整机减重约30% - 40%，带来约20% 的航程提升，同时有效降低能耗与单位飞行成本
高强度与高可靠性	安全飞行的基础保障	eVTOL 在起飞、巡航和降落等飞行阶段需承受复杂的气动载荷、振动载荷以及长期循环应力，这对材料的力学性能和结构可靠性提出了更高要求。因此机身材料不仅需要具备较高的比强度和比刚度，还需在高频次飞行条件下保持稳定的力学性能，以确保机体结构的安全性和服役可靠性
耐环境与耐服役性能	适应低空复杂飞行条件	eVTOL 因受温度波动、湿度变化以及潜在腐蚀因素的综合影响，因此结构材料需具备良好的耐腐蚀性、耐高低温性能以及抗疲劳和抗老化能力，能够在约 -70℃ 至 500℃ 的温度区间内保持性能稳定，从而满足多次循环服役的工程需求
结构设计性与制造产业化	规模化应用的前提条件	为实现城市空中交通的规模化应用，eVTOL 对材料的结构可设计性和工程可制造性提出了更高要求。材料不仅需要支持复杂几何结构和多功能一体化设计，还应具备成熟的成型工艺和量产潜力，以满足未来产业化和商业化运营对成本和一致性方面的要求

碳纤维复合材料涡扇



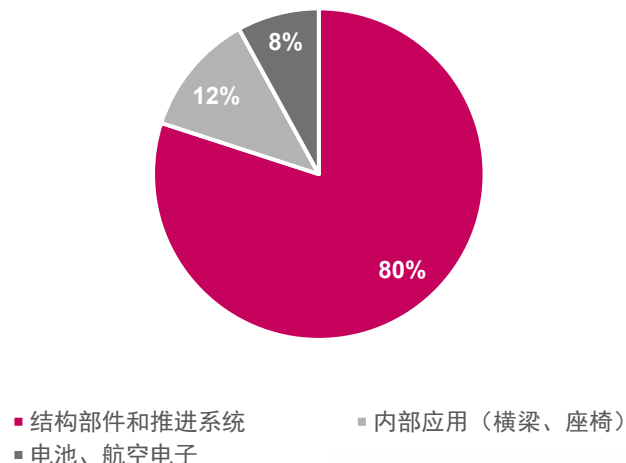
1.2 复合材料在eVTOL中得到大量应用

- 为满足飞行器对轻量化等一系列需求，eVTOL机身及结构件主要采用复合材料，尤其在推进系统及内饰和结构中使用；其中，大多eVTOL厂商采用碳纤维复合材料作为主要材料作用于机体结构（占比超90%）；另外采用玻璃纤维复合材料作用于保护膜（占比近10%）。
- 据Stratview研究报告显示，在飞行汽车项目中，复合材料的使用主要集中在结构部件和推进系统，占比约75%-80%，其次是内部应用，如横梁和座椅结构，占12%-14%，而电池系统、航空电子设备等占剩余的8-12%。
- 而根据Lilium披露，在eVTOL的成本组成中推进系统+结构和内饰在整体BOM中占比约65%，也是复合材料大量应用的地方，因此复材在eVTOL整体中的价值量较高。据我们推算，复合材料的整体成本（原料成本 + 加工/辅材/检测成本）占比在20%-30%，主要为碳纤维复合材料。

Vertical Aerospace VX4 机身大量采用轻量化复合材料



复合材料在eVTOL中的应用分布

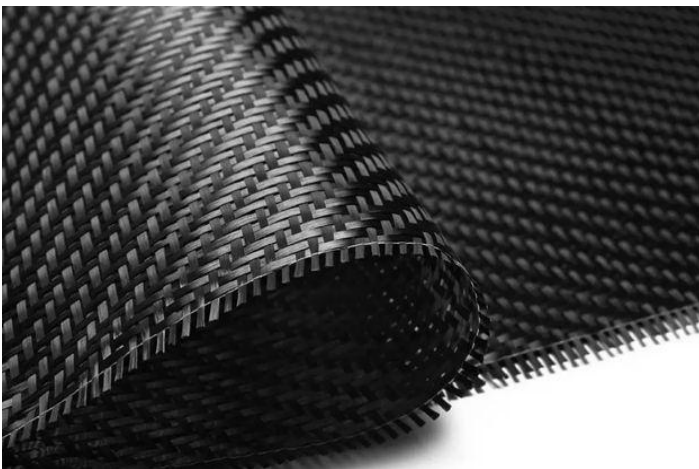


1.3 碳纤维复合材料 —— eVTOL的理想材料

碳纤维复合材料(Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP)：通常指以碳纤维作为增强体，以聚合物树脂作为基体，通过固化等工艺形成的纤维增强复合材料。它的强度主要来自碳纤维，而“韧性、成型、环境适应性”等更多由树脂体系与界面设计决定。

- **碳纤维复合材料高度适配eVTOL**：碳纤维复合材料可较好满足eVTOL对于轻量化、高强度与高可靠性、耐环境与耐服役性能以及结构设计性与制造产业化的要求，其具备“轻量、两高、两耐”的优良特性，可作为eVTOL机身结构的理想材料，被称为“黑色黄金”，材料使用价值较高。
- 例如，小鹏旅行者 X2 全机身采用兼顾安全性与轻量化的碳纤维材料打造，从而提升了结构刚度与轻量化水平；峰飞航空 V2000CG 也采用了高强度碳纤维复材核心技术，实现大型机身轻量化。另外，无人机的机身和桨叶中也经常使用碳纤维材料。

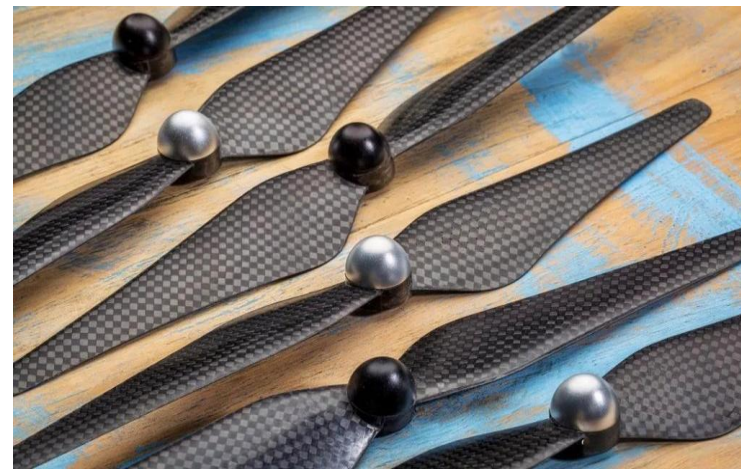
碳纤维材料产品



小鹏旅行者X2碳纤维机身



无人机碳纤维旋翼桨叶



1.4 “轻量、两高、两耐”，碳纤维复材诸多性能优势突出

相对其他常见材料而言，碳纤维材料具备轻量化、高强度、高模量的核心优势：

- 1. **轻量化**：在复合材料形态下，常见密度可在1.6 g/cm³量级，因树脂与孔隙率/纤维体积分数而变化；轻量化可使eVTOL在同等能量约束下实现更高有效载荷或更长续航。
- 2. **高拉伸强度**：以典型商用航空级碳纤维为例，Toray 的 T300、T700S 等纤维牌号在数据表中给出拉伸强度可达约 3.5 GPa（T300）到4.9 GPa（T700S）量级（纤维本体指标），从而形成“高比强度优势，适合应用于eVTOL中的重量敏感部件（如旋翼桨叶、机体主承力构件）。
- 3. **高弹性模量**：碳纤维纤维本体的拉伸模量常见可在 230 GPa量级，对应“高比模量”落到复合材料层面（碳纤维+环氧树脂体系），典型层合板的拉伸模量会随铺层与纤维体积分数变化，可用于支撑“形变控制”的现象。
- 4. **耐高温**：能够在-180° C至2000° C的温度范围内保持稳定的力学性能，物理变化小，不会产生蠕变或疲劳现象。这一特性确保了eVTOL在连续工作温度范围内保持性能稳定，确保外部结构的完整性和稳定性，显著延长设备使用寿命。耐受电机 / 电池舱的短时温升，极限工况（如电池热失控）下，阻燃型树脂基 CFRP 可延缓火势蔓延。
- 5. **耐腐蚀**：具备极高的化学稳定性，可有效抵御酸、碱等腐蚀性环境的侵蚀。在复杂环境中能保持稳定性和安全性，当eVTOL在各种腐蚀环境下仍能保持其稳定性和安全性，从而提高了eVTOL的使用寿命并减少了维护及更换成本。

碳纤维材料在轻量化、强度和模量上具备显著优势

材料类别	材料	密度 (g/cm³)	拉伸强度 (MPa)	比强度 (MPa/(g/cm³))	拉伸模量 (GPa)	比模量 (GPa/(g/cm³))
复合材料	碳纤维复材	1.6	3000~3500	1875~2188	230	144
	玻璃纤维/聚酯	1.9~2.0	1200~1700	600~850	70~90	35~45
金属	结构钢	7.85	400~600	50~75	210	27
	铝合金	2.70	300~550	110~200	70	26
	钛合金	4.43	900~1100	200~250	110	25



1.5（1）碳纤维材料分类：力学性能

按力学性能分类 —— 根据拉伸强度和拉伸模量的不同，碳纤维可分为以下几类：

- 1. 高强型（HS）：以较高拉伸强度为主要特征，兼顾一定模量，通常以T系列命名，以拉伸强度为主要指标，数字越大代表强度越高，广泛应用于航空航天、eVTOL 结构件及高端工业领域。
 - 2. 高模量型（HM）：以高弹性模量为主要特征，刚度突出，通常以M系列命名，以拉伸模量为主要指标，数字越大代表模量越高，常用于对结构变形控制要求极高的航空航天和精密结构部件。
 - 3. 高强高模型（HS-HM）：同时具备较高强度和模量，代表碳纤维技术的高端水平，主要应用于航空航天及高性能飞行器结构。
 - 4. 高强中模型（HS-IM）：在强度与模量之间实现平衡，是当前航空航天和高端复合材料应用中的主流类型之一。
- 在eVTOL领域，结构件通常更偏好高强型与高强中模型碳纤维，以在轻量化与结构安全之间取得平衡。

不同力学性能碳纤维材料的性能侧重不同

分类	代表牌号	纤维拉伸强度 (MPa)	纤维拉伸模量 (GPa)	复材拉伸强度 (MPa)	复材拉伸模量 (GPa)	主要应用领域
标准模量级	T300	3530	230	1820	140	航空航天二次结构、体育用品
	T700S	4900	230	2860	134	风电叶片、压力容器
高强中模级	T800H	5490	294	2920	168	飞机主承力结构、高端赛车
	T1100G	7000	324	3460	185	大飞机关键部件
高模量级	M40J	4400	377	2500	226	卫星结构、精密仪器
	M60J	3820	588	2010	360	空间望远镜、高精度平台

1.5（2）碳纤维的材料分类：原丝基体

按原丝基体分类 —— 从制造工艺和原料来源看，碳纤维主要可分为以下三类：

- 1. **PAN基碳纤维**：以聚丙烯腈（PAN）为前驱体，是当前全球碳纤维市场的绝对主流路线，占比约 90%。其特点是综合性能优异、工艺成熟、强度与模量区间覆盖广，广泛应用于航空航天、eVTOL、新能源及高端工业领域。
- 2. **沥青基碳纤维**：以石油沥青或煤沥青为前驱体，突出特点是超高模量与高导热性，但强度相对有限，主要用于航天、热管理和特殊功能材料领域。
- 3. **黏胶基碳纤维**：以黏胶纤维为前驱体，属于早期技术路线，当前应用规模较小，主要用于特定耐烧蚀和功能性场景。

➤ 目前 eVTOL 及航空结构复合材料基本采用 PAN 基碳纤维。

三种基体中主要以PAN基为主

分类	原料	全球产量占比	密度 (g/cm³)	拉伸强度 (MPa)	拉伸模量 (GPa)	主要特点	应用领域
PAN基	聚丙烯腈	90%以上	1.76-1.94	2500-3100	207-345	工艺成熟、性能优异、成本相对较低	航空航天、风电、汽车、体育休闲
沥青基	石油/煤沥青	约8%	1.7-1.8	1600	379	导热导电性好、热膨胀系数极低	军工航天、精密仪器
粘胶基	粘胶纤维	<1%	2	2100-2800	414-552	耐烧蚀、隔热性好、生物相容性好	耐烧蚀材料、医疗器械

1.5 (3) 碳纤维的材料分类：丝束规格

按丝束规格及应用领域分类 —— 根据单束碳纤维中单丝数量 (tow size) , 行业通常以 48K 作为重要分界点:

小丝束碳纤维: 单丝数量较少, 性能一致性高、力学性能优异, 主要应用于航空航天, 军用装备和 eVTOL 等高性能飞行器结构;

大丝束碳纤维: 单丝数量多, 生产效率高、成本优势明显, 主要应用于工业结构件, 风电叶片和汽车轻量化等对成本敏感领域。

➤ eVTOL 对结构安全和可靠性要求较高, 目前更偏向采用小丝束 PAN 基高强/中模碳纤维。

关键差异和应用总结

性能与成本权衡:

- 小丝束碳纤维 (如 T700、T800 等) 在力学性能上更具优势, 但由于对原丝纯度要求高、聚合和预氧化过程耗时长、以及产品认证复杂, 导致其制造成本显著高于大丝束。

制造工艺:

- 小丝束工艺复杂且精细, 常采用一步法聚合和湿纺/干喷湿纺工艺, 是衡量一个国家碳纤维工业技术的核心标准。
- 大丝束的难点则在于如何在大通量生产中保证纤维束内部的均匀性和浸润性。

市场定位:

- 大丝束碳纤维主要通过规模化生产实现低成本, 因此主要针对对成本敏感、但对绝对性能要求相对较低的工业和民用领域 (如风电叶片和汽车零部件)。
- 小丝束碳纤维则专注于高附加值、高性能的高端应用 (如军工和航空航天)。例如, 目前正在快速发展的eVTOL和商业航天领域, 主要使用的就是小丝束碳纤维。

类别	小丝束碳纤维 (Small Tow)	大丝束碳纤维 (Large Tow)
定义/型号	通常指24,000根细丝及以下 ($\leq 24K$) 的碳纤维 常见型号 1K、3K、6K、12K、24K 等	通常指48,000根细丝及以上 ($\geq 48K$) 的碳纤维 常见型号 48K、50K、60K、80K 等
主要特性	性能优异, 力学性能指标高。拉伸强度可达 3500-7000 MPa, 拉伸模量可达 230-680 GPa	制备成本较低, 性价比高。拉伸强度和模量等各项性能指标与小丝束相差无几, 但价格只有小丝束的一半左右
应用场景	高端领域: 国防军工和航空航天 (如飞机、导弹、火箭、卫星) 新兴应用: eVTOL、商业航天、储氢瓶、碳陶复合材料等	工业领域: 主要用于工业应用 (如纺织、机电、土木建筑、交通运输、能源), 如风电叶片、汽车、储氢瓶、建筑补强等
优势	满足最高强度和模量要求, 适用于对材料性能要求极高的结构件	可以在相同的生产条件下大幅提高单线产能, 生产成本可降低 30%以上
劣势	工艺难度高, 制造成本高昂。需对聚合组分纯度严格控制, 且产品认证周期长、费用昂贵	性能相对较低。大丝束碳纤维的离散系数通常较大, 且在凝固成型、牵伸、预氧化、碳化等多个环节对均匀性控制难度极大



二、政策支持：碳纤材料与低空飞行， 我国新质生产力典型代表

2.1 政策频出支持碳纤维材料发展

截至目前，中国在碳纤维材料领域已构建起较为系统的政策支持体系，已从“鼓励发展”走向“系统布局”，形成“国家战略—产业调控—技术攻关—市场应用—金融支持—地方布局”的全链条政策体系，实现碳纤维的自主可控与广泛应用。

碳纤维材料行业主要支持政策

发布时间	发布部门	政策名称	主要相关内容	政策意义
2025 年 9 月	工信部等部门	《建材行业稳增长工作方案（2025—2026 年）》	1. 将碳纤维、高性能纤维及复合材料列为先进无机非金属材料核心代表 2. 支持碳纤维复合材料在建材领域创新应用 3. 推动碳纤维复合材料绿色化、智能化发展	拓展碳纤维应用领域，促进建材行业转型升级，为行业开辟新的增长点
2025 年 7 月	中国人民银行、金融监管总局、中国证监会	《绿色金融支持项目目录（2025 年版）》	1. 明确将纤维增强复合材料（FRP）列为重点支持领域 2. 通过绿色金融工具降低碳纤维复合材料项目融资成本 3. 鼓励金融机构加大对碳纤维产业的信贷支持	为碳纤维复合材料产业提供多元化融资渠道，降低融资成本，推动产业绿色低碳发展
2024 年 7 月 2	工信部等部门	《精细化工产业创新发展实施方案（2024—2027 年）》	1. 通过“揭榜挂帅”机制锁定高端碳纤维供给 2. 量化指标要求碳纤维拉伸强度 $\geq 4200\text{MPa}$ 3. 支持碳纤维在航空航天、风光氢三大增量场景应用	聚焦高端碳纤维产品研发，推动技术突破，加速高端应用场景落地
2024 年 1 月	国家发改委	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	1. 将高性能碳纤维列为关键战略材料 2. 推动有色金属、化工等先进基础材料升级 3. 加快碳纤维复合材料在新一代信息技术领域应用	将碳纤维纳入未来产业发展规划，为行业长期发展提供战略支撑，拓展高端应用场景
2023 年 12 月	工信部	《重点新材料首批次应用示范指导目录（2024 年版）》	1. 新增船舶用碳纤维经编织物、航空内饰用碳纤维复合材料 2. 扩大 T1100 级及以上高性能碳纤维范围 3. 调整保险补偿标准，提高支持力度	进一步拓展应用领域，聚焦高端产品，为行业发展提供更精准的政策支持，推动碳纤维在船舶和航空领域应用
2021 年 12 月	工信部、科技部、自然资源部	《“十四五”原材料工业发展规划》	1. 将碳纤维复合材料列为重点突破的关键战略材料 2. 提出到 2025 年，碳纤维产能突破 10 万吨 / 年 3. 推动高性能碳纤维及其复合材料在高端装备领域应用	明确“十四五”期间行业发展目标和重点任务，为产业发展提供具体指导，推动产能和技术双提升
2025 年 3 月	广州市花都区人民政府	《花都区支持新材料产业发展的十条措施》	1. 将碳纤维复合材料列为汽车用材料重点发展方向	打造大湾区汽车轻量化材料产业高地，吸引碳纤维复合材料产业链企业集聚，



2.2 政策鼓励下eVTOL生产制造如火如荼

我国的eVTOL政策已从“试点运行”目标阶段进入“法规-空域-基建-金融”全链条支持阶段。形成了“中央顶层设计 + 行业专项方案 + 地方配套政策”三位一体的eVTOL政策体系，有力地拉动了对eVTOL整机的需求，而eVTOL对于轻量化和安全性的极致追求使得碳纤维复合材料成为生产制造过程中的关键材料。

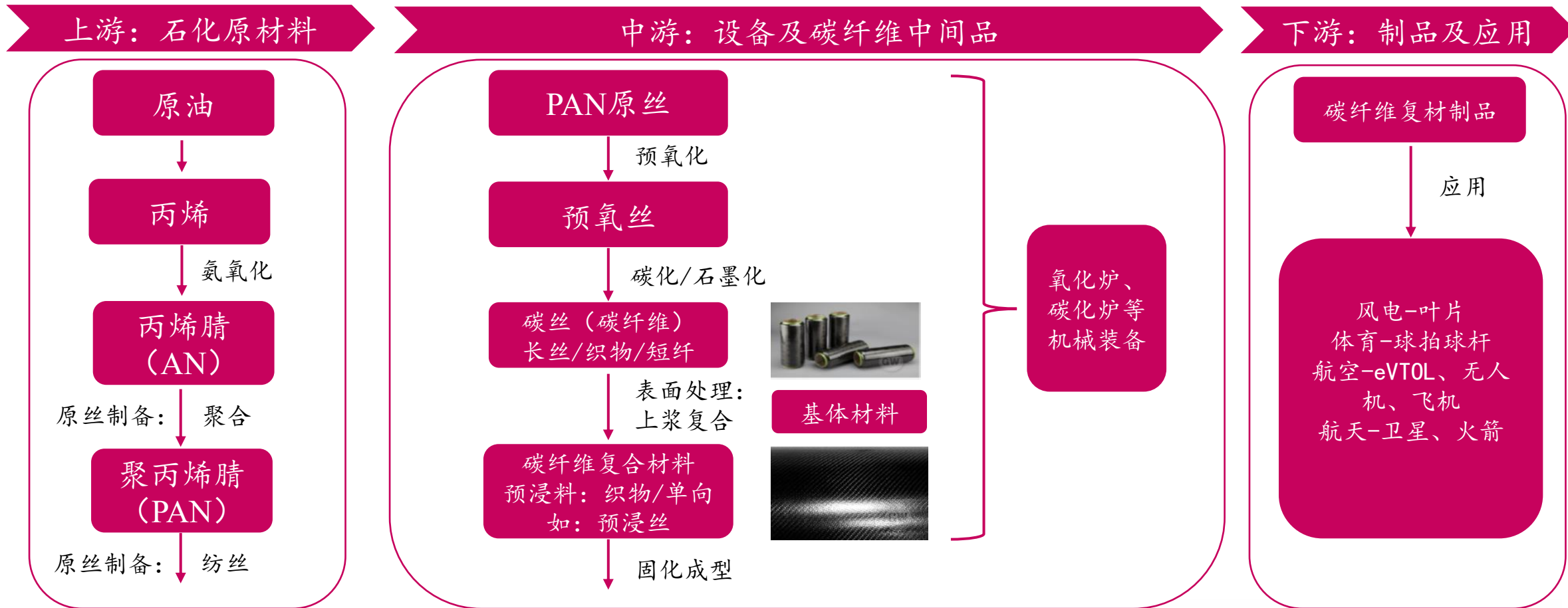
eVTOL生产制造主要支持政策

发布时间	发布部门	政策名称	主要相关内容	政策意义
2025 年 12 月	中国民航局航空器适航审定司	《关于征求咨询通告〈动力提升航空器适航标准（征求意见稿）〉意见的通知》	1. 明确“动力提升航空器”定义（最大起飞重量 5.7 吨以下有人驾驶 eVTOL） 2. 为 eVTOL 型号合格审定提供技术依据 3. 规范设计、制造、测试全流程要求	填补 eVTOL 适航标准空白，与国际标准接轨，加速国产 eVTOL 适航取证，推动商业化进程
2025 年 11 月	国务院办公厅	《关于加快场景培育和开放推动新场景大规模应用的实施意见》	1. 将低空经济列为新领域新赛道重点培育 2. 稳妥有序拓展 eVTOL 载人运输、应急救援应用场景 3. 建立低空经济场景开放共享机制	为 eVTOL 商业化应用提供场景支撑，加速“空中出行”从概念到现实的转变
2024 年 3 月	工信部、科技部、财政部、中国民航局	《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030 年）》（工信部联重装〔2024〕52 号）	1. 推进 eVTOL 适航取证和商业化应用 2. 鼓励飞行汽车技术研发和产品验证 3. 目标 2027 年实现城市空中交通商业运行 4. 形成 20 个以上可复制的应用示范场景	明确 eVTOL 发展时间表和路线图，建立产业生态，推动低空经济成为新增长引擎
2023 年 10 月	工信部、科技部、财政部、中国民航局	《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035 年）》	1. 明确 2025 年 eVTOL 实现试点运行 2. 2035 年实现无人化、电动化航空装备商业化 3. 支持 eVTOL 在城市空中交通、物流配送等场景应用 4. 鼓励产学研联合开展核心技术攻关	首个针对绿色航空的专项纲要，为 eVTOL 发展提供顶层设计，加速产业技术突破和场景落地
2021 年 3 月	全国人大	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》	1. 加强航空航天等战略性新兴产业发展 2. 支持低空经济和 eVTOL 等新型航空装备研发 3. 推动通用航空与低空经济融合发展	从国家战略层面确立 eVTOL 产业地位，为“十四五”期间发展指明方向，提升产业链整体水平
2025 年 12 月	重庆市人民政府	《重庆市推动低空经济高质量发展若干政策措施》	1. 支持 eVTOL 整机研发制造，对首台（套）重大技术装备按销售价格的 15% 给予奖励，最高 500 万元 2. 建设 eVTOL 试飞测试基地给予最高 2000 万元补贴 3. 对 eVTOL 载人运营企业给予运营补贴最高 300 万元	打造西部低空经济核心区，加速 eVTOL 技术研发和商业化运营，吸引产业链企业集聚

三、产业链与工艺流程：黑色黄金里的精益求精

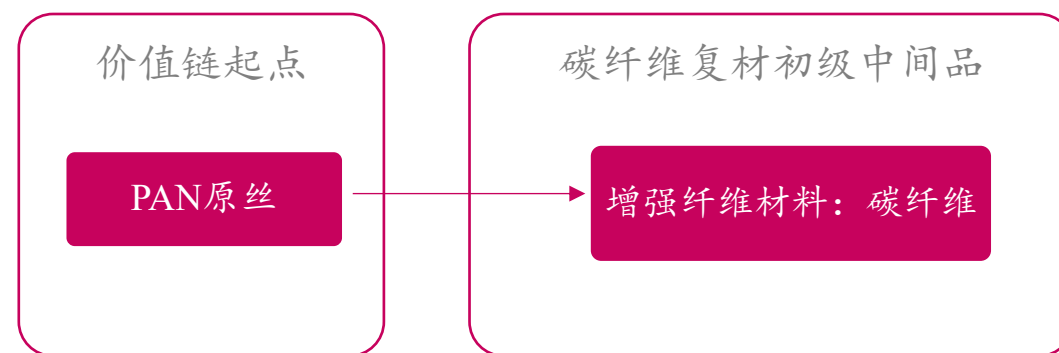
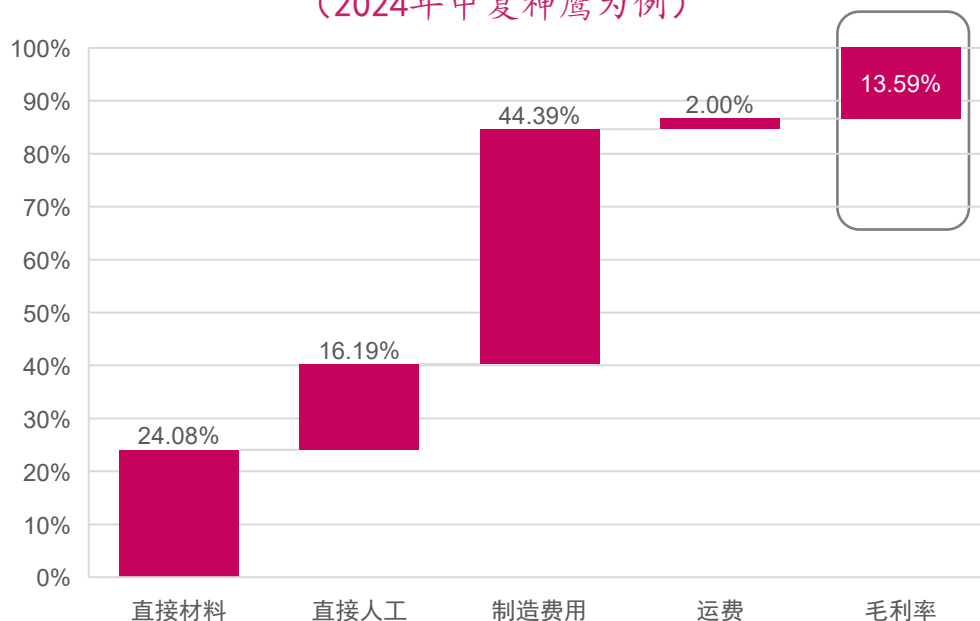
3.1 我国碳纤维复合材料产业链全景

工艺概览：碳纤维材料号称“黑色黄金”具备高价质量的同时也拥有非常高的技术门槛。首先由原油经过聚合、纺丝工艺制成聚丙烯腈（PAN）原丝→再通过预氧化、碳化、石墨化（可选，主要用于高模量产品）工艺制成碳纤维/碳丝→再经表面处理、上浆并经过涂膜、热压、冷却、覆膜、卷取等工艺与基体材料（如树脂）结合制成预浸料→最后通过固化成型工艺制成碳纤维复合材料成品。



3.1 (1) 中上游企业价值链：中复神鹰为代表

碳纤维复材生产环节成本及毛利构成
(2024年中复神鹰为例)

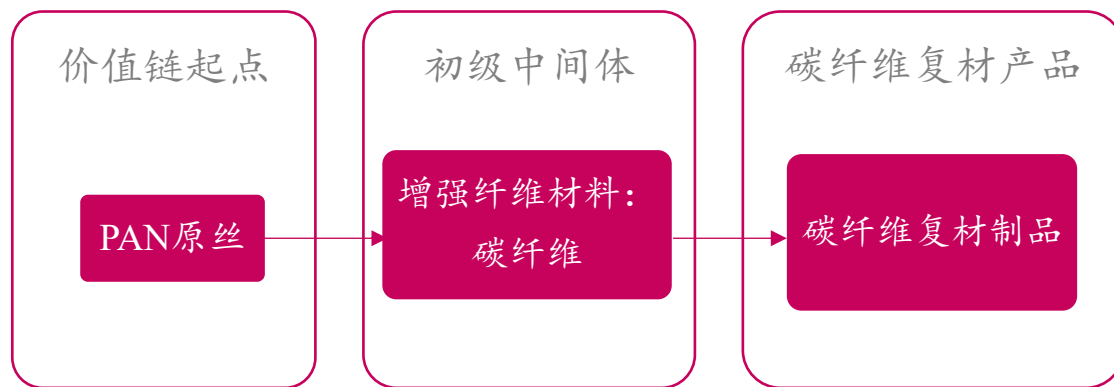
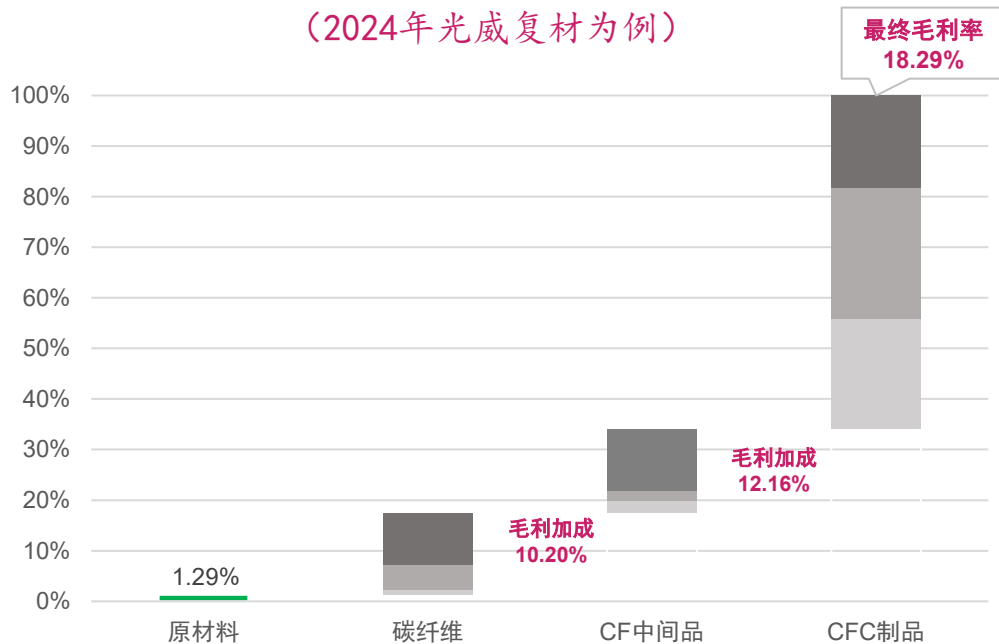


以中复神鹰为例，在生产碳纤维过程中，制造费用占到整个价值量的44%，是最大的成本环节，其次为原材料，占到价值量24%；二者对毛利空间受到压缩，导致毛利率仅为13.59%。



3.1（2）一体化企业价值链：光威复材为代表

碳纤维复材生产环节成本及毛利占成品比例
(2024年光威复材为例)



以光威复材为例，其采用产业链一体化模式——从聚丙烯腈(PAN)原丝等原材料经过预氧化、碳化等工艺制成碳纤维，再通过增强复合等工艺制成预浸料，并最后加工成型碳纤维复材制品。通过上下游延伸打通全产业链，企业能捕获碳纤维、中间体及产成品制作环节的全部毛利润，最后增厚整体毛利率。因此，产业一体化也是目前行业内打破内卷，在激烈竞争中破局的主要发展方向。



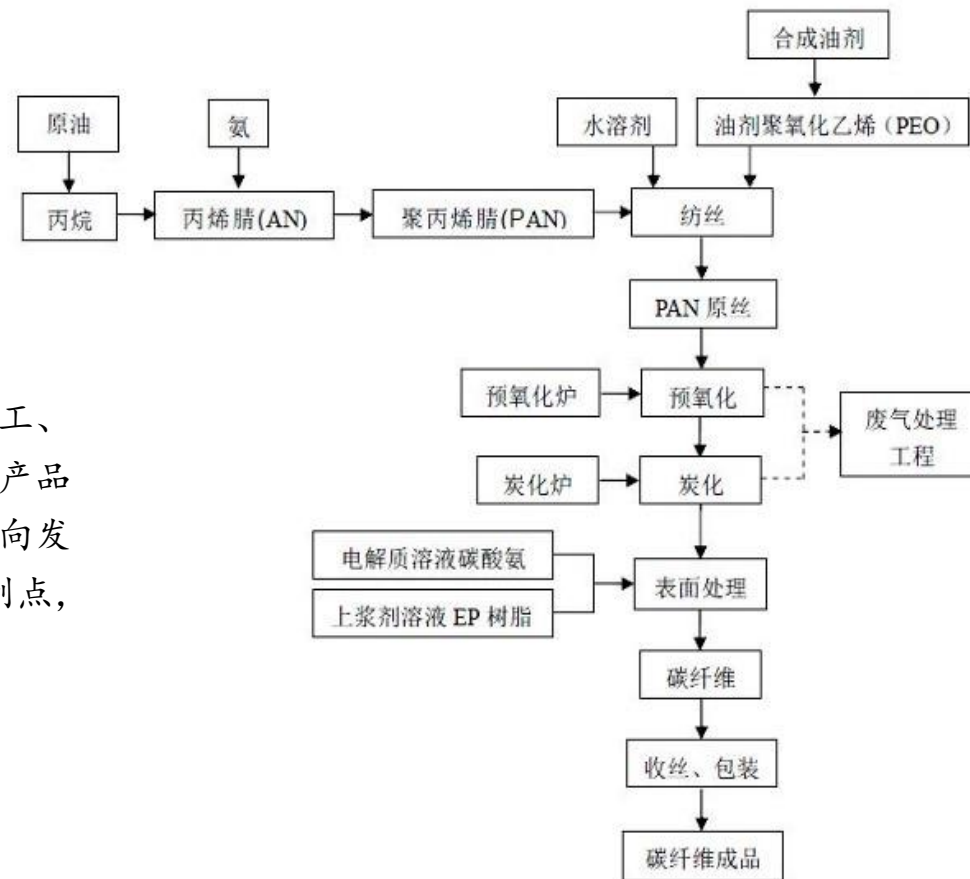
3.2 碳纤维复材制备工艺总览

流程总览

1. 原丝制备：聚合+纺丝
2. 碳丝制备：预氧化+碳化+石墨化（可选）+表面处理/上浆
3. 中间材料制备：预浸料
4. 复合材料成型加工阶段：热压罐成型，RTM成型，模压成型

碳纤维从原丝到复合材料的全工艺流程是一个集化学合成、高分子加工、高温热处理于一体的复杂过程，每个环节的工艺控制都直接影响最终产品的性能。随着技术进步，碳纤维生产工艺正向高效节能、低成本化方向发展，应用领域不断拓展。整个工艺流程涉及3000-5000个技术参数控制点，主要包括：

- 温度控制：预氧化、碳化、石墨化各阶段的温度梯度
- 张力控制：牵伸、预氧化、碳化过程中的纤维张力
- 气氛控制：惰性气体纯度、流量控制
- 时间控制：各工序的停留时间
- 树脂含量控制：预浸料中树脂与纤维的比例



PAN基碳纤维复合材料的全生产工艺流程



3.2 (1) 碳纤维复材生产工艺流程——原丝制备

1. 原丝制备

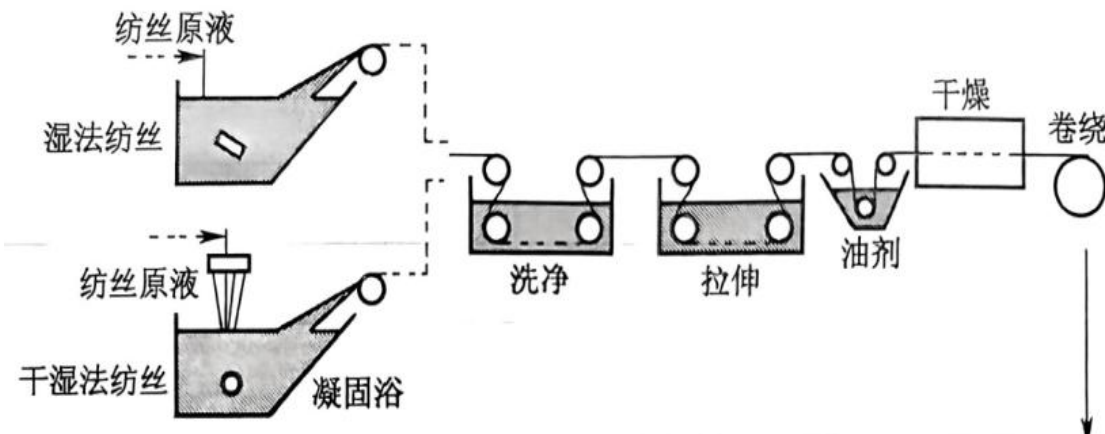
(1) 聚合工艺

- **关键工序和作用：**丙烯腈（AN）单体在引发剂的作用下，通过溶液聚合或悬浮聚合工艺进行自由基聚合反应，生成聚丙烯腈（PAN）高分子。该工序分为一步法（直接制备纺丝原液，适用于小丝束）和两步法（先制得固体粉料再溶解，适用于大丝束规模化生产）。
- **技术难点：**需精确控制反应温度（60-80℃）、引发剂用量及单体比例，以确保聚合物的分子量及其分布达到理想状态（聚合度通常控制在1000-1500）。

(2) 纺丝工艺

- **关键工序和作用：**将PAN树脂溶解形成纺丝液，通过计量泵从喷丝头挤出进入凝固浴。主流技术包括湿法纺丝（纺速较慢但成本低）和干喷湿纺（纺速快、纤维表面光滑致密，是制备高性能碳纤维的关键技术）。
- **技术难点：**均匀性控制，对于大丝束（如50K），要求喷丝板上数万个孔喷出的单丝均匀度完全一致，难度极高；干喷湿纺工艺虽纺速快但极难掌握，需精确控制纺丝液通过空气层时的状态，防止粘稠的原液在进入凝固浴前相互粘连。

PAN基碳纤维原丝制备过程



丙烯腈（AN）



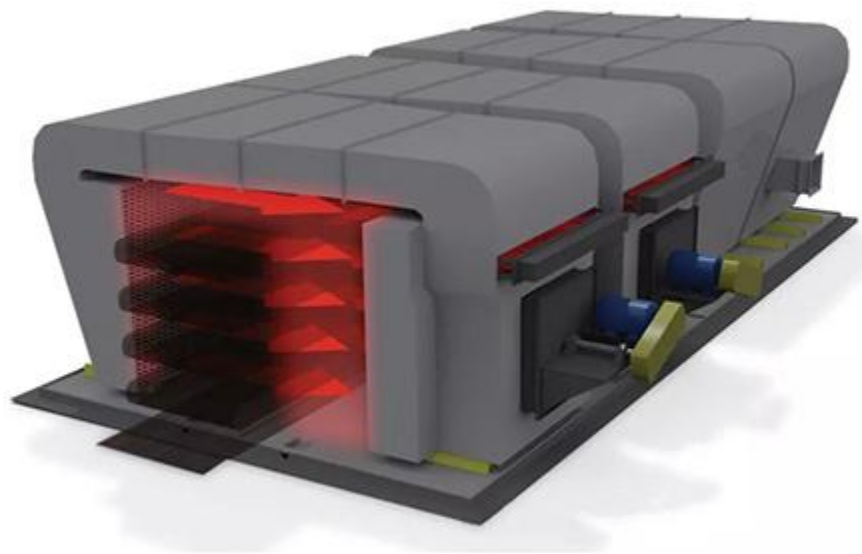
聚丙烯腈纤维(PAN纤维)



3.2 (2) 碳纤维复材生产工艺流程——预氧化

2. 预氧化 (Pre-oxidation/Stabilization)

- **关键工序和作用：**这是碳纤维制备过程中承上启下的关键一步。将 PAN 原丝在 200-300℃ 的空气气氛中进行热处理。此过程使线性的 PAN 大分子链转化为耐热的含氮梯形结构。这一结构可防止原丝在后续碳化中熔融或燃烧，并保持纤维形态，以获得高质量的碳纤维。
- **技术难点：**预氧化是碳纤维制备过程中能耗最高、耗时最长的关键工序，直接制约了 PAN 基碳纤维的生产效率。在处理过程中，必须对原丝施加一定的张力，以阻止大分子链段的解取向运动并减少纤维收缩。



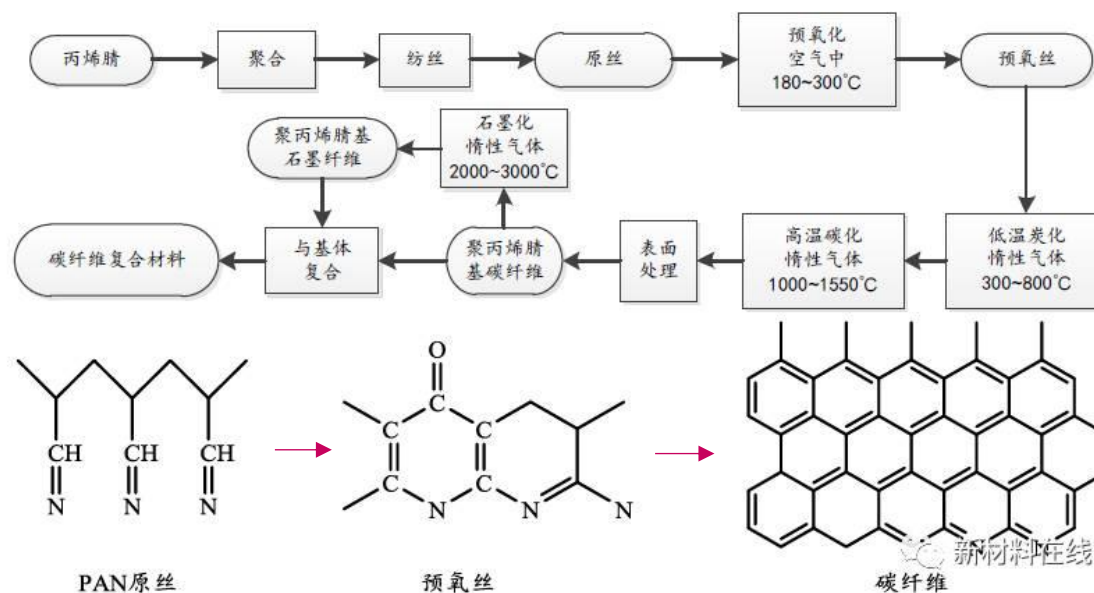
碳纤维预氧化过程中的预氧化炉



3.2 (3) 碳纤维复材生成工艺流程——碳化

3. 碳化 (Carbonization)

- 关键工序和作用：**将预氧丝在惰性气体（如氩气）保护下，通过低温碳化（300~800℃）和高温碳化（1000~1500℃）两个阶段进行热处理。在此过程中，发生热驱反应，脱除纤维中的氮、氢、氧等非碳元素，**碳含量不断增加，结构逐渐向乱层石墨结构转化，最终形成含碳量高于 90% 的碳纤维。**
- 技术难点：**碳化过程中的温度梯度、碳化时间、升温速率以及牵伸张力等多个因素都会显著影响碳纤维的质量和力学性能。随着非碳元素的逸出，纤维体积会急剧收缩，极易产生孔隙或裂纹。**核心难点在于控制最佳的碳化温度场和时间，以及有效排出焦油等挥发性物质，以避免结构缺陷，这直接决定了碳纤维的最终强度。**低温碳化炉需要实施正牵伸以抑制纤维乱向，而高温碳化炉需要采用低电压大电流来调控石墨发热体作为热源。



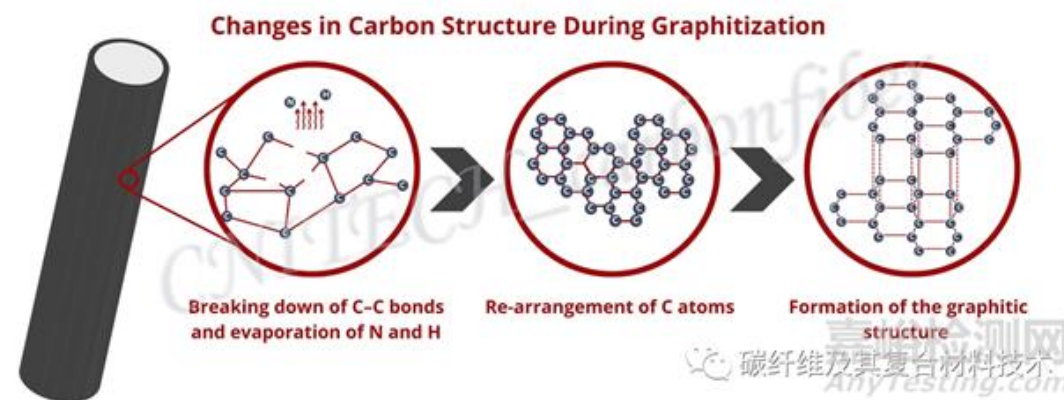
预氧丝经过碳化后得到碳纤维



3.2 (4) 碳纤维复材生产工艺流程——石墨化

4. 石墨化 (Graphitization) /可选流程

- **关键工序和作用：**石墨化”作为可选的额外流程，通常用于制备高模量碳纤维复材（但会以降低一定强度为代价）。在惰性气体保护下，将已碳化的碳纤维进一步加热到 2000—3000℃ 进行超高温处理，该过程促使碳原子层进一步重排和生长，使乱层结构转化为三维有序的石墨微晶结构，从而大幅提升材料的弹性模量。
- **技术难点：**实现并维持3000℃的超高温环境对炉体材料和密封技术提出了极高要求，且该过程能耗较大，生产成本高。



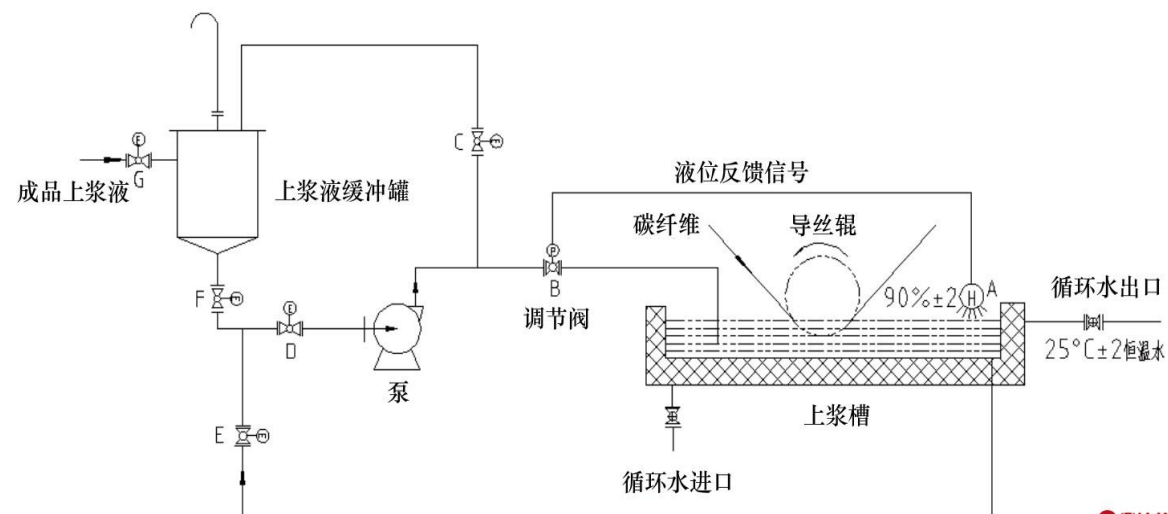
石墨化使碳纤维纸中的碳原子呈现出更像石墨的晶体结构



3.2 (5) 碳纤维复材生产工艺流程——表面处理/上浆

5. 表面处理/上浆 (Surface Treatment/Sizing)

- **关键工序和作用：** 这是碳纤维制成复合材料的关键步骤。碳纤维很少单独使用，通常作为增强体来制备复合材料。碳化后的纤维表面呈化学惰性，难以与基体树脂结合。表面处理（如电解氧化）旨在增加纤维表面的粗糙度和含氧官能团（活性）；上浆则是涂覆一层聚合物浆料，以保护纤维在后续加工中不被磨损，并增强其与树脂的浸润性。通过表面处理和上浆，可以提高碳纤维表面的极性，减小其与基体树脂间的表面能差异，从而增强纤维与树脂复合材料的界面粘接力。最后，将处理后的纤维烘干，卷绕到筒管上。
- **技术难点：** 浆料配方必须与下游应用的**树脂体系高度匹配**（如环氧树脂、聚氨酯等）。对于大丝束碳纤维，如何保证浆料均匀渗透至每一根单丝、**避免树脂富集或浸润不均**，是影响最终复合材料层间剪切强度的关键。



碳纤维上浆槽装置

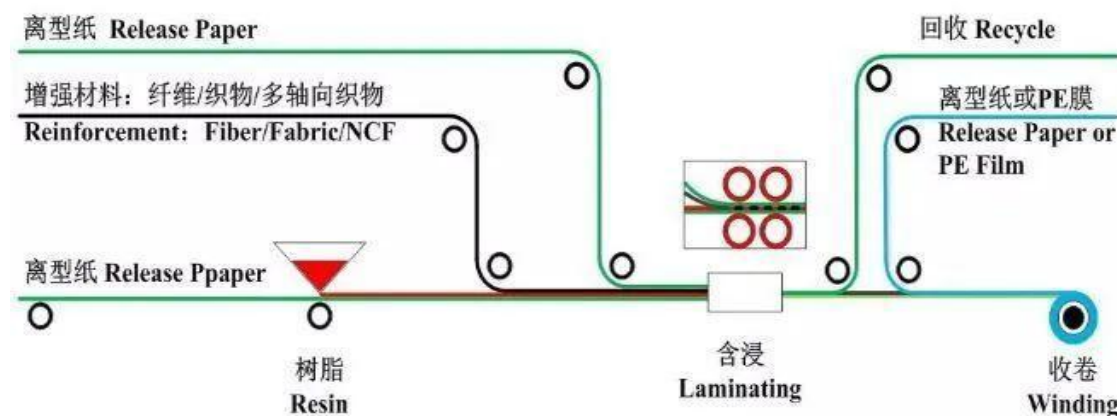


3.2（6）碳纤维复材生产工艺流程——预浸料制备

6. 中间材料（预浸料）制备

预浸料生产——碳纤维与树脂基体正式结合的环节

- **关键工序和作用：**碳纤维通过热熔法（主流工艺，无溶剂污染、控制精确）或溶液浸渍法浸渍树脂。在热熔法中，树脂加热熔融后涂布在离型纸上，再与纤维束通过滚轮压力复合、冷却、卷取，形成预浸料卷材。
- **技术难点：**展纱难点（尤其是大丝束），纤维束越大越容易集聚，将数万根细丝均匀展开成极薄平面而不产生断丝或毛丝，对工艺设备要求极高；浸润均匀性，需确保高粘度树脂完全渗透进纤维束内部。若浸润不良，会在材料内部产生孔隙，导致树脂相富集或分离，形成结构缺陷。



一步法热熔型预浸料制备工艺



3.2 (7) 碳纤维复材生产工艺流程——加工成型

7. 复合材料成型加工阶段

最后一步是通过不同的成型工艺将预浸料或干纤维与树脂固化，制成最终的复合材料部件

(1) 热压罐成型

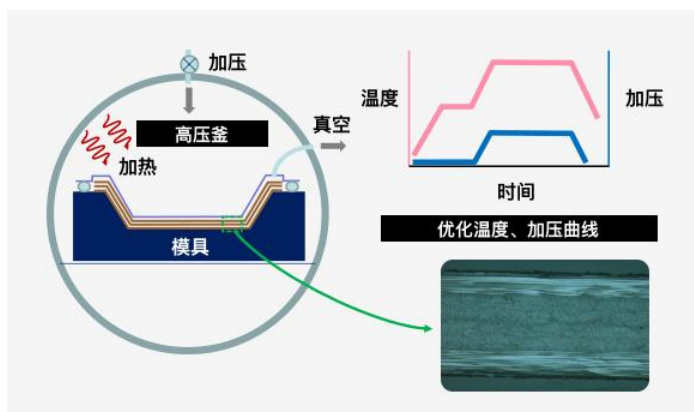
- **关键工序和作用：**将预浸料按设计要求铺层后，用真空袋密封并放入热压罐。在高温（180-250℃）和高压（0.5-1.5MPa）下固化。优点是产品密度均匀、力学性能极高，主要用于航空航天等高端领域。
- **技术难点：**虽性能最好，但成型周期极长（数小时），且设备投资和运行成本极其昂贵，难以实现大规模量产。

(2) RTM成型（树脂传递模塑）

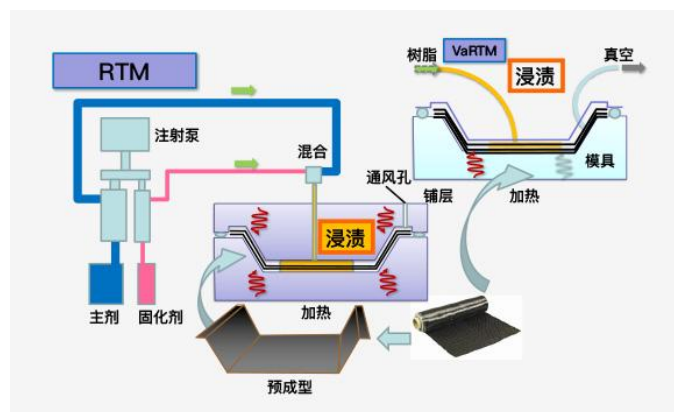
- **关键工序和作用：**将干纤维编织的预成型体放入闭合模具中，利用压力注入液态树脂使其渗透纤维。优点是适合制造形状复杂、尺寸精确的部件，且材料利用率高，广泛用于汽车和风电叶片。
- **技术难点：**模具设计极其复杂且成本高，核心难点在于液态树脂流动路径的精确控制，一旦流动不均就会导致制件内部出现干斑或气泡。

(3) 模压成型

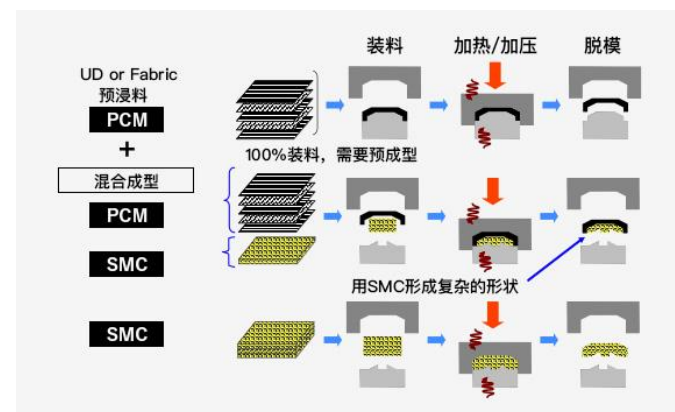
- **关键作用和工序：**将预浸料或片状模塑料放入金属模具中，通过压机施加高温和高压使其快速成型。优点是成型周期短、生产效率极高，适用于大规模工业化量产。
- **技术难点：**界面粘结难，必须通过复杂的表面处理（如电化学氧化和上浆）来增强纤维与树脂间的界面剪切强度，否则复合材料在受力时易发生分层失效。



热压罐成型



RTM成型



模压成型



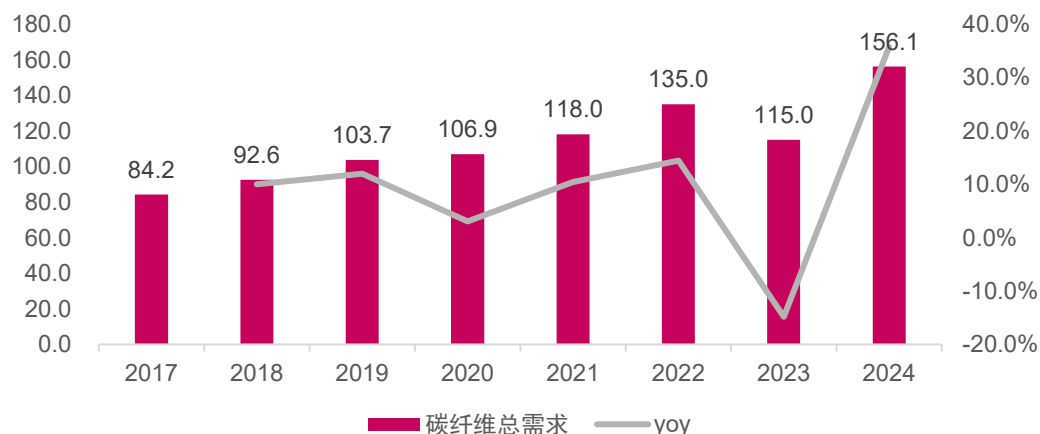
四、量增价减结构分化，主要厂商积极布局 高端产线

4.1 需求端：全球碳纤维用量保持稳定增长

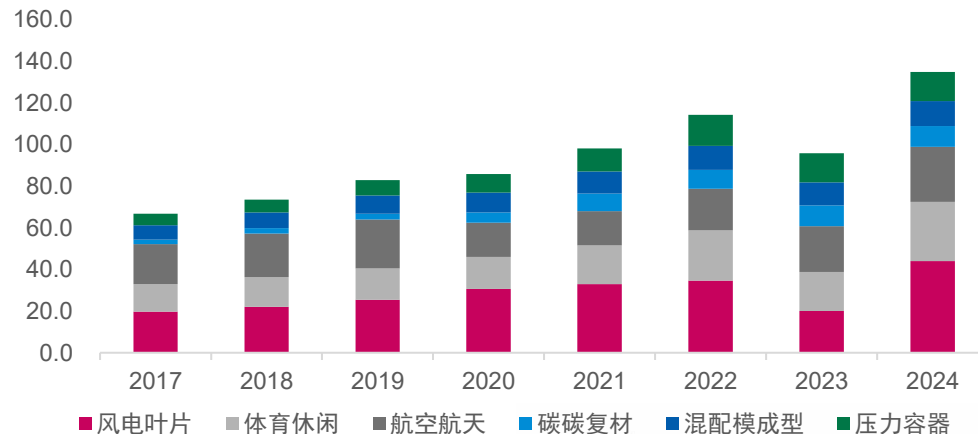
碳纤维凭借优异的高强度、高容量、耐腐蚀、耐高温等优异性能，全球需求保持高增。**2017-2024年需求总量由8.42万吨增长至15.61万吨，CAGR达到9.2%，2024年同比增长35.7%**；其中三大重要下游市场分别为风电叶片、体育休闲和航空航天，2024年全球需求量分别为4.40万吨（yoy+120%）、2.85万吨（yoy+51.6%）和2.64万吨（yoy+20.0%），占比分别为28.2%、18.3%和16.9%，合计占比超60%，近7年CAGR分别为12.1%、11.6%和4.7%，均保持较快速度增长。

- **风电叶片：碳纤维最大的应用领域之一**，随着风机大型化趋势，叶片长度不断增加，传统玻璃纤维材料已无法满足性能要求。碳纤维复合材料可使叶片减重30%以上，提高发电效率并降低建设成本。另外，海上风电盐雾、高湿环境下，碳纤维耐腐蚀性远超玻璃纤维，使用寿命延长至25-30年，契合海上风电长周期运营需求。
- **体育休闲：碳纤维最早实现商业化的领域**，体育用品（高尔夫球杆、钓鱼竿、自行车车架、滑雪板等）对轻量化、操控性、耐用性的需求极强，碳纤维的性能优势无可替代。中低端产品（如T300-T700）价格下沉至100元/kg以下有利于打开大众消费市场，进一步实现成本摊薄。通过以量换价，推动了碳纤维成本的下降和工艺的成熟，对行业早期发展起到重大推进作用。
- **航空航天：技术壁垒最高的高端标杆市场**，航空航天领域对材料的轻量化、高强度、耐高温、抗疲劳等性能要求极为严苛。碳纤维复合材料密度仅为钢的1/4，抗拉强度达3500MPa以上，比强度是钢的7-9倍，在同等强度下可减重20-30%，有利于减少航空航天的运营成本。

全球碳纤维总需求(千吨)



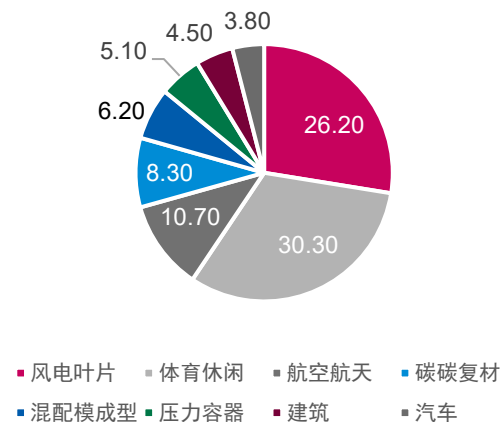
全球碳纤维各下游领域需求(千吨)



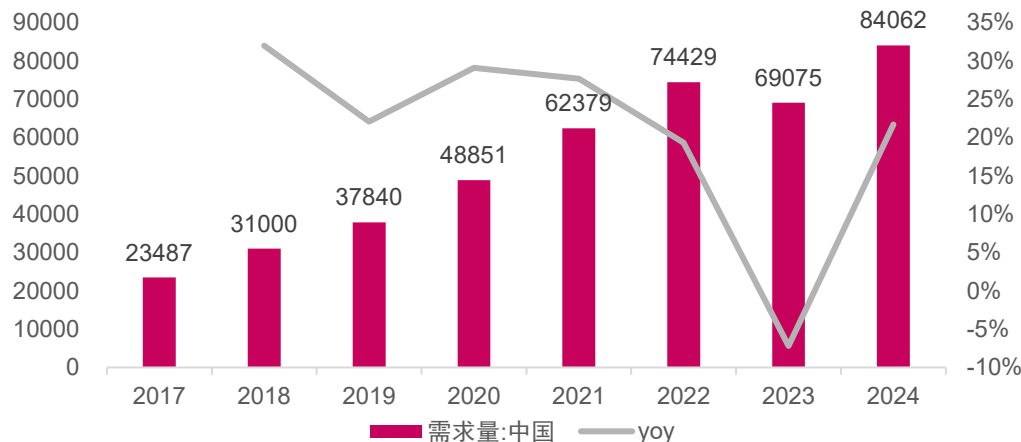
4.2 需求端：我国碳纤维细分领域维持高景气

- 我国对于碳纤维的需求保持快速增长，由2017年2.34万吨增长至2024年8.41万吨，2024年同比增长22%，7年CAGR近20%，复合增速基本为全球的2倍。细分市场来看，我国下游应用市场与全球结构相似，同样以风电叶片、体育休闲和航空航天作为三大主要市场，2024年需求量分别为2.20万吨（yoy+29.4%）、2.55万吨（yoy+41.7%）和9000吨（yoy+12.5%），占比分别为26.2%、30.3%和10.7%。
- 我国各细分市场增速远超全球，在过去7年中，我国航空航天市场需求增速最快，CAGR达到38.9%，风电叶片和碳碳复材紧随其后，CAGR分别为32.6%和34.0%，体育休闲则与全球增速相近，CAGR达到11.4%。
- 2023年在风电叶片市场萎缩的背景下，全球碳纤维整体市场规模同比下降15%，而我国市场韧性十足，同比仅下降7%。

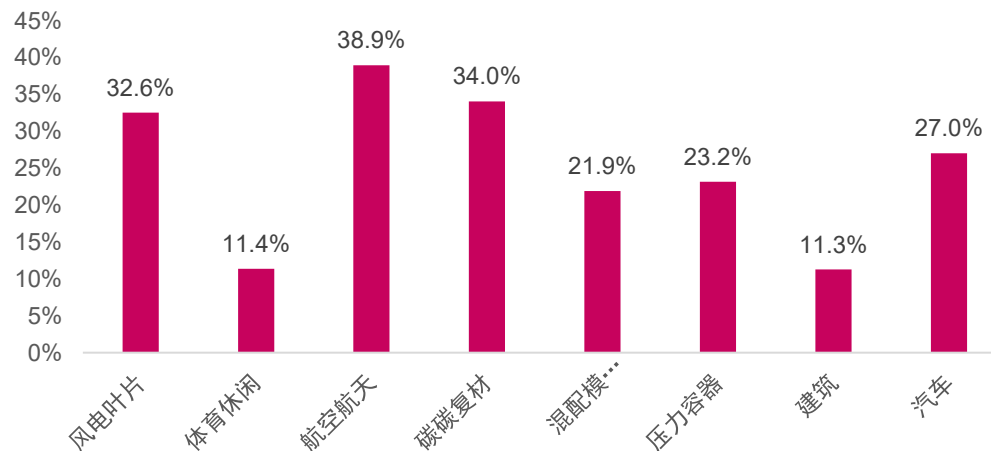
我国碳纤维各细分下游市场占比



我国碳纤维需求快速增长(吨)



我国各细分下游市场近7年CAGR普遍较高



www.jyzq.cn



全国统一客服电话：95372

此文件版权归金元证券股份有限公司所有，未经许可任何单位或个人不得复制、翻印。

资料来源：iFind，赛奥碳纤维，金元证券研究所整理



金元证券股份有限公司
GOLDSTATE SECURITIES CO., LTD.

4.3（1）树脂基复材：航空航天——高价值量成就主要下游市场

我国航空航天市场与全球市场同频，维持高景气度，是主要细分市场中唯一最近两年均保持需求量正增长的应用市场，2023/2024年我国市场分别同比增长2.56%、12.50%，全球市场分别同比增长9.45%、20.00%。

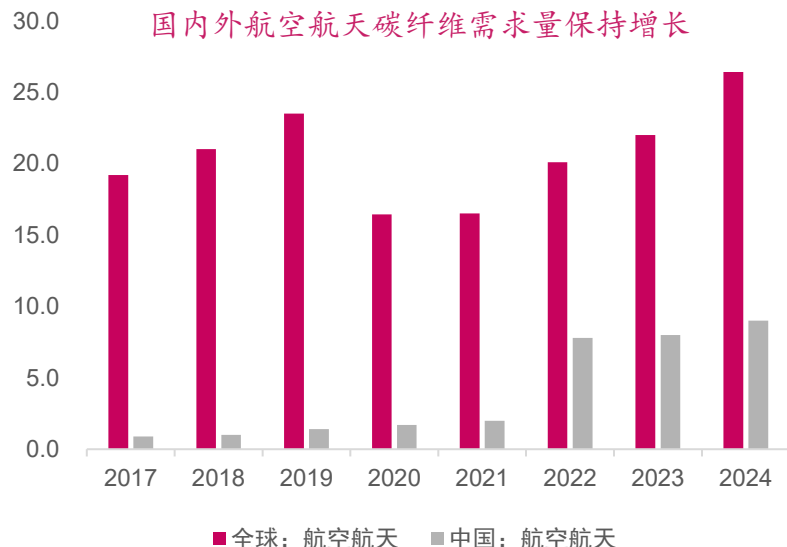
航空航天树脂基复材的市场规模高达505亿元，占我国市场50.9%，凭借极高的价值量成为第一下游应用市场。2024年，由于碳纤维复材单价下行导致市场规模出现下滑，主要由于：

（1）2023-2024年国内大丝束与中高端碳丝产能集中释放，行业开工率低、库存高企，碳丝与预浸料/复材价格持续回落；尽管航空航天用T700/T800级材料降幅小于通用级材料，但仍显著压低单价，且降幅覆盖销量增量，市场需求金额被拖累。

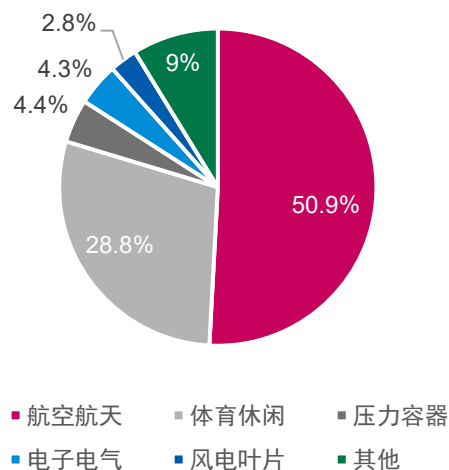
（2）国产T700/T800级逐步进入批产与验证，替代部分高价进口料；主机厂与院所推进降本，优先选用性价比更高的国产牌号或降级使用非承力件，高端高价料占比下降，整体采购均价下移。

（3）2022年高库存叠加2023年去化，2024年虽有回补，但采购更谨慎，多采用“小批量、多频次”，避免高价囤货；部分项目因预算与成本控制，将高价复材的采购与付款后置。

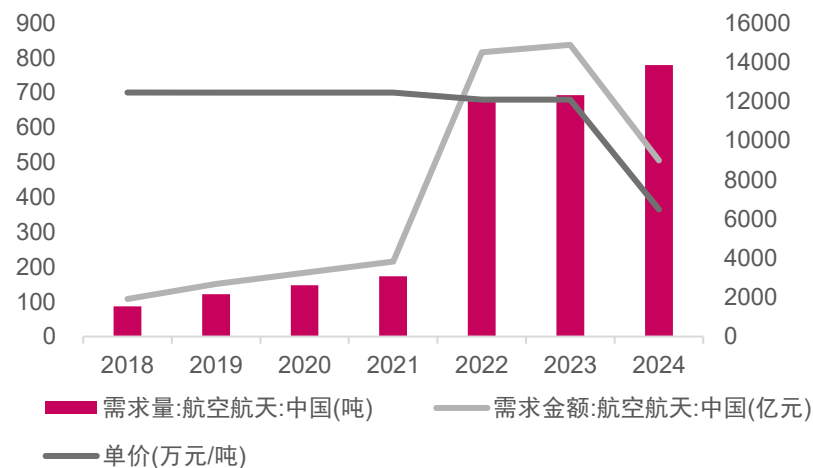
国内外航空航天碳纤维需求量保持增长



树脂基碳纤维复材-航空航天占半壁江山



我国树脂基碳纤维复合材料市场量增价减

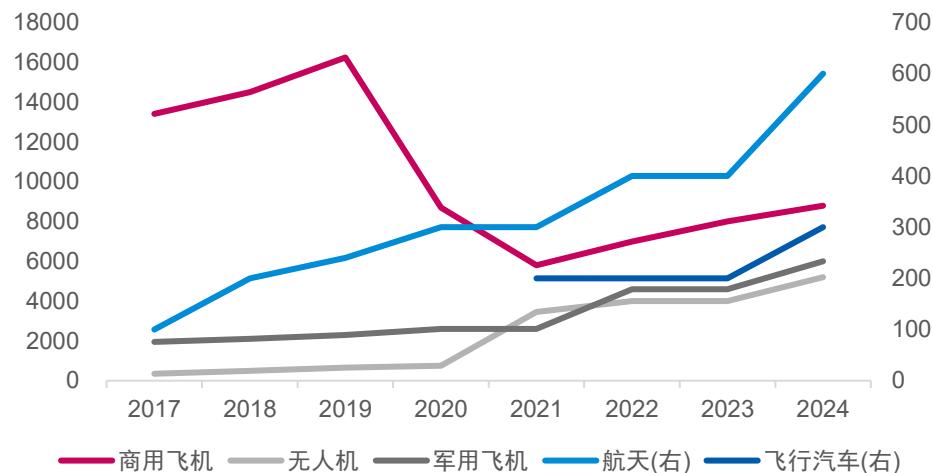


4.3 (1) 航空航天：军民机基本盘稳固，空天产业蓄势待发

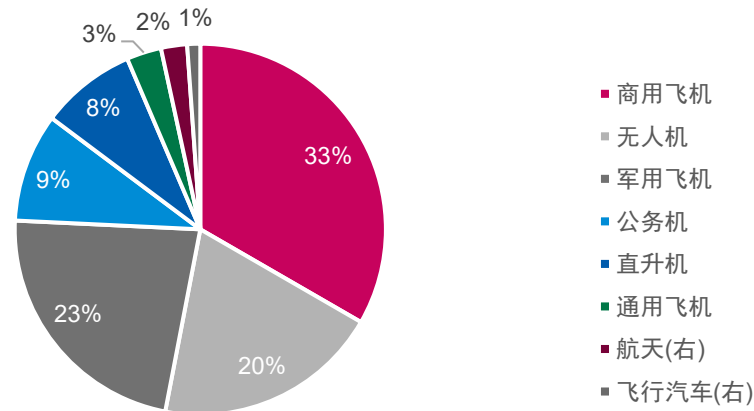
细分市场来看，民机和军机碳纤维市场作为基本盘自2021年起保持需求量上升趋势，无人机作自2021年迎来爆发并保持快速增长，飞行汽车和航天用碳纤维处于起步阶段，有望在2025年后快速增长，接力形成第三增长曲线。

- **民机生产与产品迭代：**自2021年进入新一轮交付周期后，全球商用飞机需求量持续攀升，近4年由5800吨增长至8800吨。海外方面，波音 787、空客 A350 等复材占比高的机型进入稳定交付期，同时窄体机 Neo 系列持续扩产；航司为提升燃油效率与减排，加速老旧机队退役，新订单向复材比例更高的机型倾斜，拉动 T800/T1100 等高性能牌号需求。国内方面，C919 进入批量交付与运营阶段，ARJ21 持续扩产，CRJ929 宽体机研发推进，带动机身、机翼等复材结构件需求。
- **军机特种装备列装提速：**军用飞机需求量长期保持稳健增长，由2017年1900吨持续攀升至2024年6000吨，成为第二大市场。海内外主要国家新一代战机、运输机、加油机与无人机批量列装，高超音速飞行器、导弹与热防护系统对耐高温、高模量碳纤维及碳碳复材的需求激增。
- **低空经济产业爆发（无人机+飞行汽车）：**低空经济催生大量无人机与eVTOL等新型航空器需求，碳纤维作为核心轻量化材料深度受益，带动碳纤维消费量增长。无人机碳纤维需求量自2021年迎来爆发，需求量由3450吨快速增长至2024年5200吨；飞行汽车则处于起步阶段，2024年需求量约为300吨。
- **商业航天加速发展：**低轨星座（星链、星网等）密集部署，可回收火箭与重复使用航天器推进结构减重与抗疲劳设计，卫星平台、箭体、整流罩、天线反射面等大量采用碳纤维复材，单星/单箭用量可观，2024年需求量达到600吨。

树脂基碳纤维-航空航天各细分领域碳纤维需求量



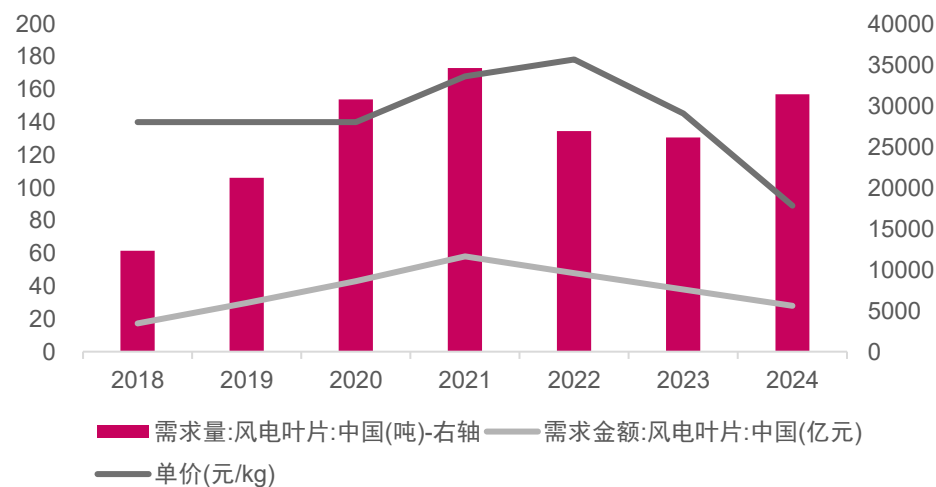
树脂基碳纤维-航空航天细分领域需求结构



4.3（2）树脂基复材：风电叶片——海风装机延续，价格持续承压

- 前期受全球风电装机节奏放缓、欧美项目延期/取消，以及我国前期风电抢装导致库存囤积的多重负面影响下，2022-2023年我国需求量低位运行，但随后受益于我国装机量持续高增和大丝束国产替代，以价换量，2024年在库存消化至合理水平后需求量回升至3.14万吨（yoy+20.2%）：一方面，我国双碳战略的大背景下，2024年风电新增装机约79.8GW，同比增长4.7%，带动碳纤维在主梁/碳梁的渗透率上行；另一方面，尽管主机厂降本策略下玻纤替代压制了碳纤维增量，但国产大丝束降价，对于高价进口产品形成国产替代，稳住用量。
- 然而，受到国产碳纤维大幅降本以及产能过剩下的激烈竞争影响，风电叶片的碳丝单价大幅降至89元/kg，同比下降39%。
- 未来，需求方面，海上风电大型化趋势延续，15MW+平台成为标配，叶片超120米，减重、抗疲劳与抗台风要求倒逼碳纤维主梁/蒙皮应用。产能方面，中复神鹰等头部厂商加速 48K/50K/60K 大丝束产线建设与量产，干喷湿纺工艺成熟，国产自给率快速提升，逐步替代进口；然而存在部分产能过剩、竞争加剧、规模化降本的情况，风电叶片的大丝束碳丝价格或继续下探，但考虑到目前行业厂商已出现跌破成本价的情况，下探空间较为有限。

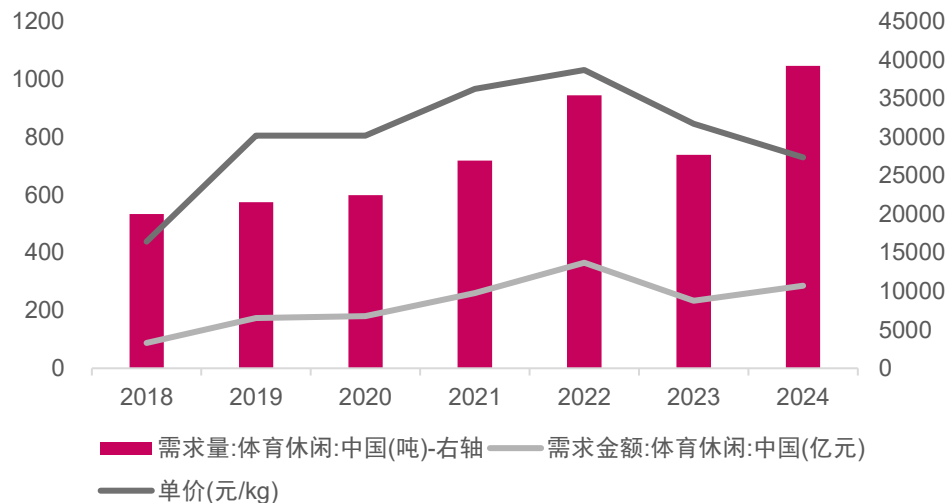
风电叶片市场碳纤维需求



4.3 (3) 树脂基复材：体育休闲——全民健身推动下市场稳步恢复

- 近两年海内外市场需求均呈现“V”型走势。2022 年疫情与海运拥堵导致欧美分销商与品牌商大规模囤货，形成高库存基数，2023 年全球供应链恢复，渠道集中去库存，订单延迟下单，直接压制碳纤维采购量；国内同样受海外订单疲软与库存高企影响，需求下滑明显。2023 年持续去库存后，渠道库存回归健康水平，2024 年品牌商重启正常采购与补货，另外全球体育赛事与户外活动复苏，进一步加速订单落地，带动碳纤维需求回升，由2.77万吨增长至3.92万吨，市场规模由234亿元增长至286亿元。
- 未来，全民健身国家战略推动高端器材下沉，国务院发布《释放体育消费潜力进一步推进体育产业高质量发展的意见》，鼓励体育消费促进内循环，碳纤维球拍、钓具、自行车等品类渗透率进一步提升，带动消费增长。另外，滑雪板、桨板、赛艇、匹克球拍等小众极限运动渗透率快速提升，有望成为新增长点。

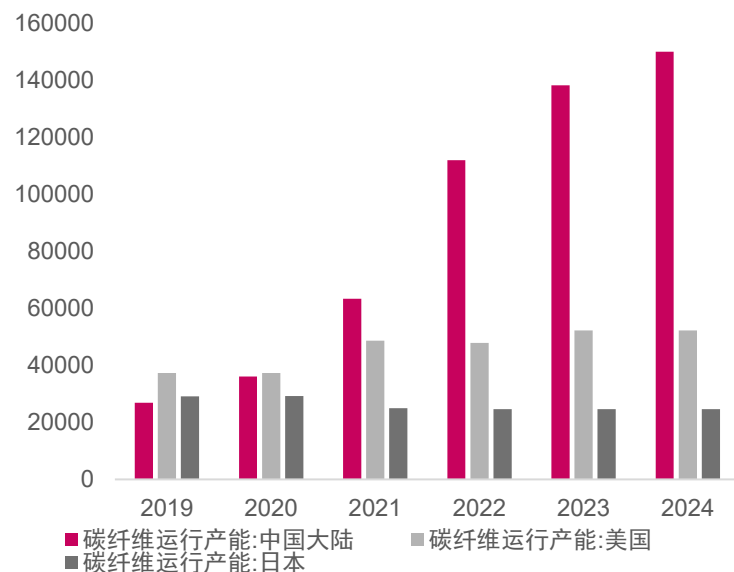
体育休闲市场碳纤维需求



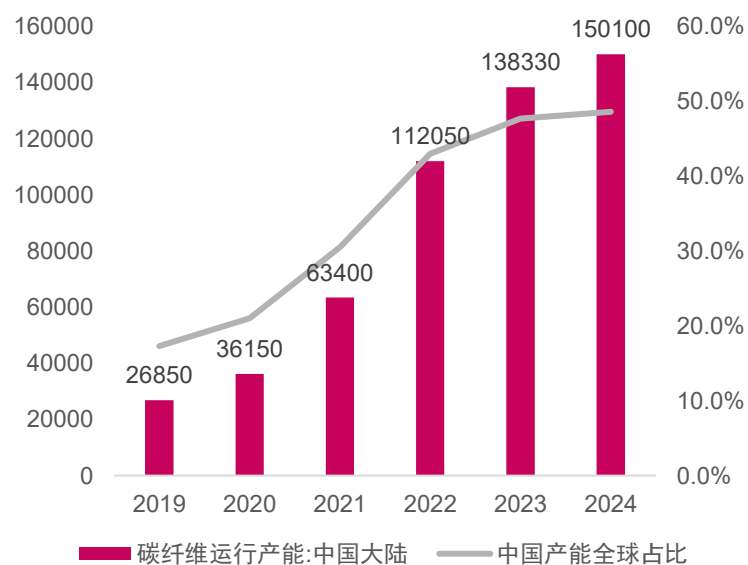
4.4 供给端：国产替代成为主旋律

- 根据赛奥数据，我国自2019年起进入扩产周期，新增产能远超美国、日本等主要产地，尤其在2022年新增产能达到顶峰。在风电叶片等下游需求爆发的背景下，倒逼国内厂商实现技术攻关，包括原丝制备、碳化等核心技术突破（如中复神鹰的干喷湿纺技术、光威复材的 T700/T800 量产），实现了从实验室样品到工业化量产的跨越。大丝束碳纤维（48K 以上）技术也逐渐成熟，降低了生产成本，适配风电等规模化需求，成为产能扩张的主力。截至2024年，中国大陆运行产能已经达到15.01万吨，占全球产能48.6%，成为全球最大的生产市场以及消费市场。
- 2019年至2024年，我国碳纤维供应量由1.20万吨增长至6.76万吨，在我国扩产浪潮之下，进口碳纤维数量逐渐收窄，碳纤维国产供货率由32%提升至80%，国产替代成绩斐然。

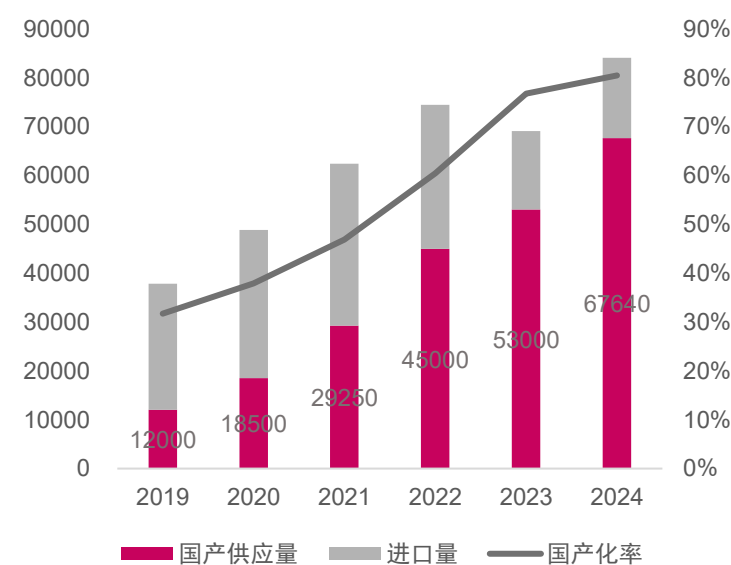
全球主要产地产能扩张情况对比(吨)



中国大陆产能攀升，已成为全球最大产地(吨)

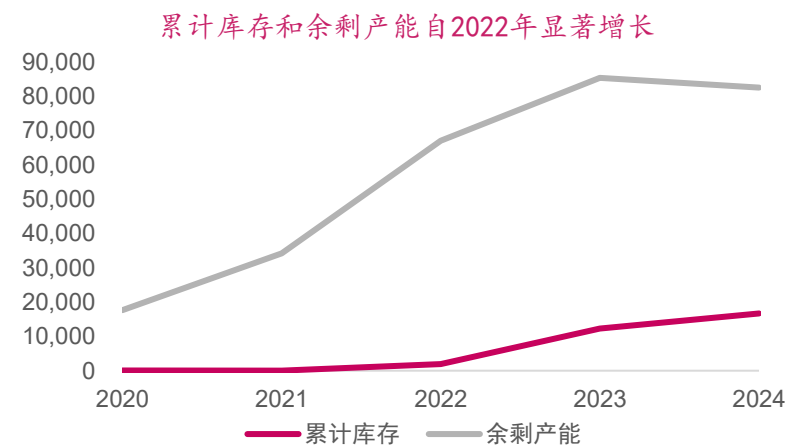
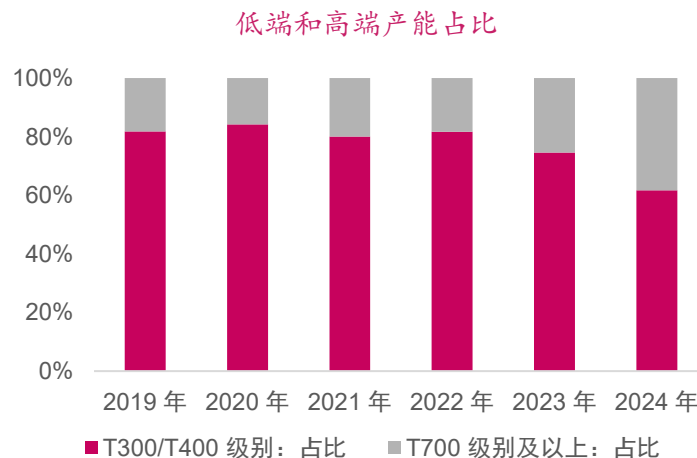
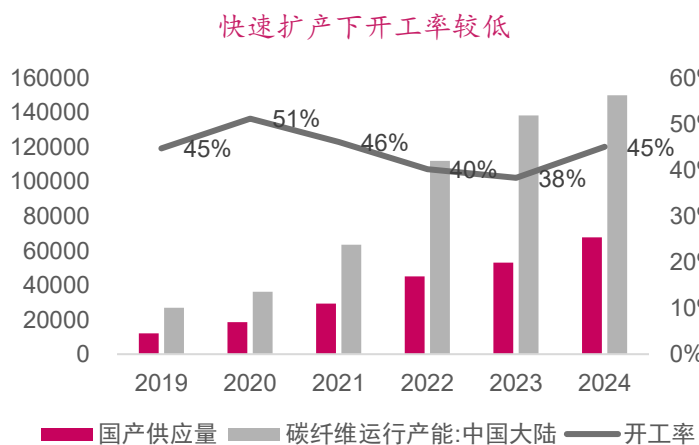
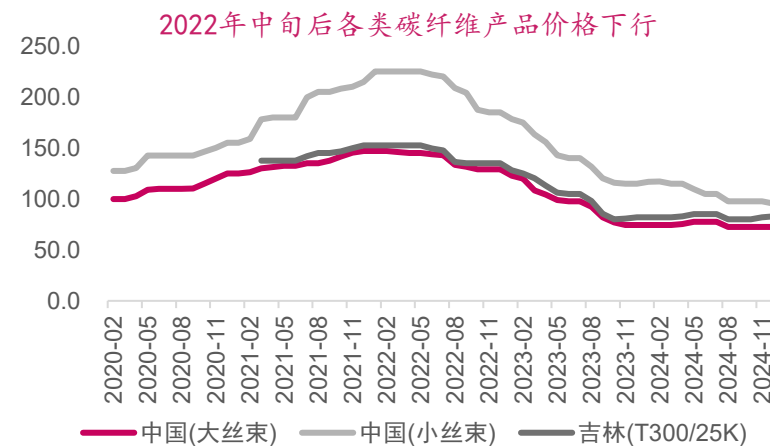


扩产浪潮下国产替代加速(吨)



4.4 供给端：产能结构不均，低端产能过剩，高端产能紧缺

- **产能快速扩张下开工率较低**：然而快速的扩产也导致一定产能过剩的问题，2019年-2024年中国大陆运行产能由2.68万吨增长至15.01万吨，同期国产供应产量由1.20万吨增长至6.76万吨，近6年开工率基本低于50%以下，尤其在2022年刚大幅扩产后的一年开工率仅有38%。
- **库存和余剩产能增加导致价格下行**：2022年开始我国碳纤维库存量开始攀升，随后由2022年1938吨增长至1.67万吨，且余剩产能也一路提升至8.25万吨；相应地，大丝束（尤其是中低端T300产品）和小丝束的市场价格也自2022年中旬开始进入下行通道，大丝束由高点147元/kg降至72元/kg，小丝束由高点225元/kg降至95元/kg。2024年，大丝束和小丝束市场价格分别同比下降22%和25%。
- **结构性过剩**：我国面临低端（T300）产能严重过剩，高端（T800/T1000）产能供给不足的问题，一方面，企业倾向扩产技术门槛低、投资回报快的大丝束和低端产品，但下游风电等领域的需求增速远低于产能增速；另一方面，高端需求（如航空航天）规模小、认证周期长，企业扩产意愿低，导致高端产能供给不足。2023年之前，我国高端产能占比不到20%，2023年后情况略有好转，2024年高端产能占比近40%。



4.5 国内主要厂商目前产能及扩产计划

国内主要厂商扩产产能更多集中于高端/中高端市场，以解决中低端过剩、高端不足的结构性矛盾，低空经济、商业航天、机器人等新质生产力产业爆发也为碳纤维高端产品带来需求和发展机会。

- 中复神鹰：现有产能2.85万吨，产品主打T700/T800/T1000及M系列高模，计划扩产3万吨中高端产品，主要应用于航空航天、风电叶片等领域。
- 光威复材：现有产能7685吨，产品以小丝束高强/高模系列为主，计划扩产2600吨原丝和6000吨碳纤维，主要应用于航空航天、国防军工等高端领域。
- 吉林化纤：现有产能超22万吨，产品以大丝束低成本工业料为核心，向上小丝束布局，计划扩产1.2万吨复材，主要应用于风电叶片、体育休闲等领域。
- 中简科技：现有产能2800吨，产品以ZT7/ZT9等高端宇航级小丝束产品为主，未来计划扩产2000吨，专注于军用高端市场。

国内主要厂商目前产能情况	公司	原丝	碳丝	碳纤维复材成品	产品类型及市场定位
	中复神鹰	-	28500吨（连云港大浦基地3500吨+神鹰西宁25000吨）		主打T700/T800/T1000及M系列高模，国内高性能产能居前
	光威复材	-	7685吨（威海3685吨+包头一期4000吨）	碳梁1938万米	威海基地：T300/M40J/M55J（高端军用）；内蒙基地：T700S/T800S（民用工业）
	吉林化纤/集团	160000吨	49000吨	12000吨	大丝束主打25K/35K/48K/50K；低成本工业级，风电领域市占率极高
	中简科技	-	2800吨		高端军用小丝束ZT7系列（高于T700级）；ZT9系列（新一代高强高模）

国内主要厂商扩产计划	公司	扩产项目名称	扩产规模	总投资	产品类型
	中复神鹰	年产3万吨高性能碳纤维建设项目（连云港）	30000吨	59.62亿元	中小丝束（T700/T800级），高强/中模，中高端，可用于航空航天、风电叶片、压力容器
	光威复材	威海拓展碳纤维原丝生产线；内蒙古光威碳纤维产业化项目	2600吨原丝（威海拓展）+6000吨碳丝（包头二期）	21亿元	中小丝束（T700S/T800S），高强/中模，工业级/民用，可用于风电、光伏、压力容器
	吉林化纤/集团	1.2万吨碳纤维复材项目	12,000吨	16亿元	大丝束（25K/35K/50K），低成本/工业级，中低端，主要用于风电叶片、体育休闲
	中简科技	高性能碳纤维产品项目（四期项目）	2,000吨	14.02亿元	小丝束（ZT7/ZT9H系列），高强/高模，高端，用于航空航天（高端军用为主）

五、空天产业爆发，碳纤维顺势起飞

5.1 低空经济：商业化落地元年，eVTOL+无人机推动碳纤复材需求

2025年，中国低空经济完成了从“政策赋能”到“市场驱动”的关键转折，政策体系从顶层设计走向精准落地，技术创新从单点突破迈向系统集成，应用场景从试点探索走向规模复制，资本投入从分散布局走向深度协同，迎来一系列喜人成果，为2026年及未来几年的规模化发展奠定了坚实基础。

1、顶层设计：《十五五规划纲要》发布，低空经济与人工智能、生物制造等一同被列为“加快培育壮大的战略性新兴产业集群”，标志着其从区域试点上升为国家层面长期重点发展方向。规划明确提出“完善低空空域管理体制、构建天地一体基础设施网络、拓展多元化应用场景”三大核心任务，为2026-2030年产业发展划定清晰路径。

2、统计标准建立：国家发改委低空司正式印发《低空经济及其核心产业统计分类（试行）》，是我国首部专门针对低空经济的统计标准。该分类体系以国民经济行业分类为基础，构建“4大类23中类65小类”的层级结构，涵盖低空制造业、运营业、基建与信息服务业、配套业四大领域，其中核心产业聚焦10个中类36个小类，精准界定了产业核心环节，首次从国家层面明确产业范畴与核算口径。

3、eVTOL适航取证获重大进展：2025年成为我国eVTOL适航审定的“破局之年”。9月，峰飞航空2吨级货运eVTOL“凯瑞鸥”率先集齐型号合格证（TC）、生产许可证（PC）、单机适航证（AC）“三证”，成功完成全球首次海上石油平台物资运输飞行，58分钟跨海域飞行150千米。11月，亿航智能EH216-S集齐“四证”（含运营合格证OC），成为国内首个具备商业化载人运营资质的eVTOL机型。

4、低空数字化监管体系完备：中央空管办正式发布《国家级和省、市级低空飞行综合监管服务平台功能要求（1.0版）》与《国家级和省、市级低空飞行综合监管服务平台信息交互规范（1.0版）》，构建起全国统一的低空管理技术标准体系。两项标准明确“国家—省—市”三级平台架构，统一空域管理、飞行申报、数据共享等核心模块接口，要求实现飞行计划“一键申请、一网通办”和智能备案秒级批复。

5、商业化应用场景落地：低空物流在山区配送、岛际运输、跨海峡物流等场景形成成熟商业模式，全年完成商业化飞行超12万架次。浙江舟山建成10条低空物流航线，本岛至东极、六横航线常态化飞行超763架次，配送速度较海运提升350%，企业配送成本降低70%以上；海南开通全国首条跨海峡低空无人机常态化物流航线，琼州海峡物流时效从“小时级”迈入“分钟级”，较传统运输节省时间近5小时。

6、低空基建网络密集铺设：2025年，低空基础设施建设进入“全域推进”阶段，围绕起降场、通信导航、能源补给的新型基础设施网络逐步完善，全年新建成各类起降场（点）830个，较上年增长210%。在通信导航方面，深圳、重庆等超十个城市推进低空智联网建设，融合5G-A、北斗、卫星互联网技术，实现低空飞行全程精准监控与导航。截至2025年底，全国已开通低空航线超1200条，形成“天空道路”初步网络。

7、资本热潮积极布局：2025年，低空经济成为资本市场最热门赛道之一，融资规模与参与主体实现双重突破，全年融资事件超148起，融资金额合计超190亿元，同比分别增长48.6%和112%。资本结构呈现“地方国资+产业资本”协同发力的新格局。产业基金规模持续扩大，全国新设立低空经济产业基金超14支，总金额超500亿元，重点支持eVTOL研发、基础设施建设和场景应用。头部企业融资进度加快，御风未来、时的科技等年内完成多轮融资，资金主要用于适航取证与商业化落地。资本市场退出通道逐步打通，3家产业链核心企业启动上市筹备，预计2026年将迎来首批低空经济上市热潮。



5.2 低空经济增量市场空间测算

eVTOL 市场

	总重量 (kg)	空机重量 (kg)	复合材料重量占比 (%)	单机碳纤维复材用量 (kg)	eVTOL 级别碳纤维复材价格 (元/kg)	单机碳纤维复材价值量 (万元)	估计整机成本占比
eVTOL-5座	2400	1100	70%	693	1800	124.74	31%
	eVTOL 需求量 (架)	eVTOL 碳纤维复材新增需求 (吨)	eVTOL 碳纤维复材新增市场规模 (亿元)				
2026	500	347	6.2				
2027	800	554	10.0				
2028	1200	832	15.0				
2029	1800	1247	22.5				
2030	2500	1733	31.2				
5年总计	6800	4712	85				

无人机市场

	无人机分类	空机重量 (kg)	复合材料重量占比 (%)	单机碳纤维复材用量 (kg)	eVTOL级别碳纤维价格(元 /kg)	单机价值量 (元)	估计整机成本占比	
	消费级	微型	0.25	50%	0.125	1500	187.5	12.5%
	工业级-小型	轻型	4	50%	2	1600	3200	11.9%
	工业级-中大型	中型	25	70%	17.5	1800	31500	15.8%
	消费级				工业级			
	无人机需求量 (万架)	无人机碳纤维复材新增需求(吨)	无人机碳纤维复材新增市场规模(亿元)	无人机需求量 (万架)	无人机碳纤维复材新增需求(吨)	无人机碳纤维复材新增市场规模(亿元)		
2026	160	200	3.0	10	510	8.86		
2027	165	206	3.1	20	1020	17.72		
2028	170	213	3.2	30	1530	26.58		
2029	175	219	3.3	40	2040	35.44		
2030	180	225	3.4	50	2550	44.3		
5年总计	850	1063	16	150	7650	133		

eVTOL 市场空间测算:

从目前各大厂商的产品设计来看, 为保证商业运营的经济效应, 未来预计以5-6人座eVTOL为主。假设复材占机身结构的70%, 且碳纤维复材占复材的90%, 则eVTOL单机碳纤维复材的用量在693kg左右, 单机价值量在125万元左右。假设十五五期间, eVTOL需求量由500架逐年增长至2500架, 则期间eVTOL碳纤维复材的新增需求在4712吨, 新增市场规模达到85亿元。

无人机市场空间测算:

民用无人机市场中, 主要以消费级和工业级无人机为主。假设消费级无人机空机重0.25kg, 由于2C产品价格较为敏感, 因此复材占比50%, 以碳纤维复材为主, 则单机用量为0.125kg, 单机价值量187.5元。工业级无人机作业载荷较大, 因此复材占比更高, 达到70%。假设十五五期间, 消费级无人机需求量由160万架逐年增长至180万架, 则期间碳纤维复材的新增需求在1063吨, 新增市场规模达到16亿元。假设十五五期间, 工业级无人机需求量由10万架逐年增长至50万架 (80%小型+20%中大型), 则期间碳纤维复材的新增需求在7650吨, 新增市场规模达到133亿元。



5.3 商业航天：迎来密集组网发射期，碳纤复材大有可为

我国商业航天当前进入“政策密集期”，迎来**技术突破**与**规模爆发**的拐点，商业通信、遥感卫星星座建设已进入实质实施阶段，卫星制造与火箭运载服务的竞争格局也初步成型。商业航天产业的高质量发展将为碳纤维带来巨大机遇，具体体现在解决如下行业痛点上：

- 1. 解决“不好用、不敢用”的难题：**政策推出致力于建立行业标准体系和供需对接机制，帮助碳纤维企业更精准地匹配航天领域对材料高性能、高可靠性的要求，加速国产高端碳纤维的应用验证和迭代。
- 2. 降低研发与制造成本：**国家重大设施的开放和“耐心资本”的引入，直接降低了商业航天公司的运营成本和时间成本，赋予更多资源去采购和试用性能优异但价格相对较高的碳纤维复合材料，从而为碳纤维企业创造了明确的市场需求。
- 3. 创造规模化应用场景：**政策支持的低轨卫星星座（如“鸿雁星座”）、可重复使用火箭等项目，对轻量化有极高要求。**碳纤维复合材料在航天器结构重量中占比可达80%-90%**，主要应用在：**卫星中的支撑设备、天线反射器、太阳能基板、散热器、母体结构中均需要大量碳纤维复材；以及火箭中的整流罩、低温储箱和高温组件，如发动机叶片、其他载荷等，是火箭箭体、卫星支架等关键部件的首选材料。**这些项目的推进将直接带动对高性能碳纤维的千吨级需求，推动其从“小众高端”走向“规模化应用”。

商业航天支持政策

政策举措	相关内容
2025年11月国家航天局公布《推进商业航天高质量发展安全发展行动计划（2025—2027年）》	明确提出到2027年实现商业航天产业生态高效协同、规模显著壮大的目标，是当前行动的纲领性文件。
2025年11月29日国家航天局设立商业航天司	标志着商业航天进入专业化监管新阶段，负责优化治理体系、搭建政企平台、释放市场潜力。明确到2027年产业生态高效协同、规模显著壮大等目标；提出5方面20余项举措。
2025年6月证监会发布《关于在科创板设置科创成长层 增强制度包容性适应性的意见》	科创板支持商业航天企业上市。提出“根据产业发展和市场需求，支持商业航天、低空经济等更多前沿科技领域企业适用科创板第五套上市标准，加大对新兴产业和未来产业的支持力度”。
2025年11月工业和信息化部正式印发《关于组织开展卫星物联网业务商用试验的通知》	在全国范围内启动卫星物联网商用试验工作。此举标志着我国卫星通信产业化迈出关键一步，将进一步激发商业航天、低空经济等新兴产业活力，助力新质生产力发展，形成可复制可推广的经验和模式。
各地出台相应举措，推动产业协同	- 广东省出台《广东省推动商业航天高质量发展若干政策措施（2025—2028年）》，明确提出打造商业航天应用“首场景”。 - 江苏省根据《江苏省航空航天产业发展三年行动计划（2023—2025年）》，形成了火箭研制、卫星制造、配套服务等全产业链集群，提供全方位政策赋能。江苏的“苏字号”航天力量崭露头角，正成为全国版图中的一个亮眼的增长极。

5.4 商业航天增量市场空间测算

商业航天（卫星）迎来密集组网发射的行业加速期

	每年发射小型卫星（颗）	单星碳纤维复材用量(kg)	航天级高模碳纤维复材市场价格（万元/kg）	航天级高模碳纤维复材新增需求(吨)	商业航天新增市场规模（亿元）
2026	1800	150	1.00	270	27.0
2027	1900	150	0.95	285	27.1
2028	2000	150	0.90	300	27.0
2029	2100	150	0.85	315	26.8
2030	2200	150	0.80	330	26.4
5年总计	10000	-	-	1500	134.3

商业航天（卫星）市场空间测算：

假设单星的碳纤维复材用量约为150kg，由于航天级碳纤维复材对于轻量化、高强高模、耐高温、耐高压、抗腐蚀、抗疲劳等要求极高，因此材料价格显著高于一般碳纤维复材，甚至为航空级的3倍以上，假设价格为1万元/kg，并随着规模化生产和工艺进步，价格小幅降低。

假设十五五期间每年小型低轨卫星的发射量由1800颗逐渐增加至2200颗，则期间航天级碳纤维复材的新增需求在1500吨，新增市场规模达到134亿元。

商业航天迎来密集组网发射的行业加速期

日期	事件	意义
10月17日	千帆星座以“一箭18星”方式完成第六批组网卫星发射	标志商业卫星星座建设进入实质实施阶段
11月25日	神舟二十二号飞船发射升空，实现3.5小时快速交会对接空间站	标志载人航天任务效率实现重要提升
11月4日	星河动力完成智神星一号可重复使用液体火箭一子级动力系统试车	地面试验全部完成，商业可重复使用火箭即将首飞
截至11月30日	年内商业航天领域共发生60起投融资事件、金额超95亿元	多家企业启动上市辅导，资本端热度持续攀升
12月9日	长征系列火箭实现“一日三连发”	成功将多组卫星送入轨道，体现航天发射进入高密度“常态化”阶段
12月3日	朱雀三号遥一运载火箭发射，完成全流程飞行验证（一级回收未实现）	获取关键数据，其终极目标是将发射成本降至每公斤2万元以下
12月23日	液氧甲烷运载火箭长征十二号甲成功发射（一级回收未达预期）	火箭二级精准入轨，为后续技术优化奠定基础，团队将复盘推进可重复使用验证



六、相关公司

相关公司布局情况

公司名称	低空经济布局	商业航天布局
光威复材 (300699. SZ, 未评级)	1、布局：公司具备从碳纤维、预浸料到复合材料制品的完整产业链布局，下游供应领域覆盖无人直升机、无人运输机、eVTOL等。 2、进展：公司已成功实现AR500无人直升机平台、TP500无人运输机平台等从材料到制件、整机装配的一体化交付。公司参与威海低空产业园，是国内首款取得型号合格证的四座电动飞机RX4E的碳纤维材料供应商。公司已与上工申贝成立合资公司，专注于轻型飞机碳纤维复合材料结构件的研发制造。	布局：卫星太阳翼骨架、火箭壳体/整流罩、卫星桁架；T300 - T1100 级系列化。 进展： 1. 鸿雁星座配套；蓝箭/星际荣耀等供应商；全产业链保障批产与交付。 2. 固体火箭发动机碳纤维壳体的主力供应商；M40J/M55J 等高模高强碳纤维已实现卫星应用的批量供货；2024 年航天业务收入 2.64 亿元，占公司业务收入 10.76% 3. 全产业链布局进入星网集团长征系列火箭、北斗卫星项目，2025 年航天业务营收同比 +120%，提供 T800 级卫星载荷结构
中简科技 (300777. SZ, 未评级)	1、布局：提供T700到T1100级碳纤维材料，可应用于eVTOL主承力结构、无人机飞控、机身。 2、进展：公司研制成功的第三代碳纤维ZT9H，是现阶段国内唯一一款已经工程化应用的第三代碳纤维产品，已经稳定批量用在了重点领域，公司正在积极开拓民用市场。针对无人机和eVTOL研发高性能低成本的碳纤维复合材料，ZT7系列高性能碳纤维已通过航空航天型号工程应用验证,ZT8系列(T800级)中模高强碳纤维已实现工程化稳定供货,ZT9系列(T1000/T1100级)高强高模碳纤维可以满足新一代飞行器轻量化需求，处于产业化应用验证阶段。	布局：卫星核心桁架、火箭发动机喷管 / 箭体主结构；ZT7/ZT9H 系列。 进展：航天收入占比 95%+，商业航天市占率 70%+；深度绑定蓝箭、星际荣耀等；鸿雁星座核心供应商；为鸿雁星座提供 800 吨供应协议。
精工科技 (002006. SZ, 未评级)	1、布局：自2024年起将“空天（低空）经济产业”纳入战略重点，目标是成为该领域碳纤维复合新材料技术创新引领者。 2、进展：公司已与亿维特（南京）航空科技有限公司正式达成合作，合作伙伴亿维特已完成五人四座eVTOL原型机总装下线及系统测试。公司亦与多家低空领域企业展开深度合作。	国产碳纤维设备龙头，市占率超 60%；研发“连续碳纤维 3D 打印”技术，用于制造无人机机架、机翼、机身等关键部件



相关公司布局情况

公司名称	低空经济布局	商业航天布局
中复神鹰 (688295. SH, 未评级)	1、布局：提供中温预浸料，实现高强型、高强中模型、高强高模型等类别碳纤维产品的全覆盖。 2、进展：系统掌握碳纤维T300、T700、T800、M30、M35级千吨级技术，M40、T1000级百吨级技术，T1100级已实现百吨级工程化量产，T1200级实验室开发完成，已与国内TOP10的低空领域企业建立了合作关系，并实现了SYT45-3K、SYT49S-12K、SYT49C-12K、SYT55-6K、SYT59G-12K、SYM40-12K等碳纤维产品在低空领域的产业化应用。公司针对性开发的6款中温预浸料产品（涵盖T300、T700、T800等级碳纤维织物、单向预浸料及E级玻纤织物预浸料），已在多款无人机与eVTOL机型上开展应用验证，并成功突破三款机型的材料应用验证，且公司产品在这三款机型中均作为主材料参与验证，其中两款机型的验证成果已转化为实际订单，累计完成三批次产品交付。已经与小鹏、亿航等国内数家知名飞行器的研制生产单位进行测试评价与试验。	布局：火箭箭体、卫星结构件；T800 级为主，向上突破。进展：2025 年 2.3 亿元商业火箭箭体碳纤维订单；航天级良品率超 92%；商业航天市占率超 30%；T800 级产能 1.2 万吨/年（2025.12）。 进展： 1. 干喷湿纺高性能碳纤维产能国内第一；T800/T1000 级量产；已完成实验室级 T1200 级超高强度碳纤维开发，拉伸强度达 8056MPa 2. T1000/M40X 级碳纤维已用于火箭发动机壳体（减重 40%）和卫星精密桁架（刚度↑25%），与航天六院 / 八院共建联合实验室，订单能见度到 2027 年
吉林化纤 (000420. SZ, 未评级)	1、布局：依托成熟的3K小丝束及T700/T800级碳纤维产品，已在国内无人机碳纤维结构件市场占据50%以上份额。同时，向eVTOL机身及结构件等高增长赛道进行战略拓展。 2、进展：拥有全球最大的碳纤维生产基地，与HRC恒瑞达成战略合作。亿航智能已有试用，双方未来将更深层次的进行合作。公司与国内知名的企业大疆无人机、腾盾无人机、青岛直升机航空、厦门汉飞鹰航空科技、四川垚磊科技都有合作。	布局：卫星 / 火箭非极致性能部件（整流罩、次级结构）；T700 级为主。 进展： 1. 全球碳纤维原丝产能第一、碳丝产能全国第一；年产 40 万吨碳纤维全产业链建设取得重大进展 2. 2025 年需求预计 3000 吨；规模化供应，成本可控；逐步切入星网等项目。 3. 原丝优势 + 低成本大丝束被多家商业火箭公司评估用于箭体复材舱段，2025 年处于样品认证阶段



风险提示

风险提示

- 市场竞争与产能过剩风险
- 技术壁垒与研发投入风险
- 原材料价格波动风险
- 下游新兴应用市场商业化不及预期



投资评级说明

金元证券行业投资评级标准：

增持：行业股票指数在未来6 个月内超越大盘；

中性：行业股票指数在未来6 个月内基本与大盘持平；

减持：行业股票指数在未来6 个月内明显弱于大盘。

金元证券股票投资评级标准：

买入：股票价格在未来6个月内超越大盘15%以上；

增持：股票价格在未来6个月内相对大盘变动幅度为5%~15%；

中性：股票价格在未来6个月内相对大盘变动幅度为-5%~+5%；

减持：股票价格在未来6 个月内相对大盘变动幅度为-5%~-15%； 。



免责声明

本报告由金元证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告所载资料的来源及观点的出处皆被金元证券认为可靠，但金元证券不保证其准确性或完整性。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业财务顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，金元证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。投资者需自主作出投资决策并自行承担投资风险，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。

本报告所载的信息、材料或分析工具仅提供给阁下作参考用，不是也不应被视为出售、购买或认购证券或其他金融工具的要约或要约邀请。该等信息、材料及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，金元证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

金元证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。金元证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。金元证券的自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

在法律许可的情况下，金元证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。因此，投资者应当考虑到金元证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。

本报告的版权仅为金元证券所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式转发、翻版、复制、刊登、发表或引用。

