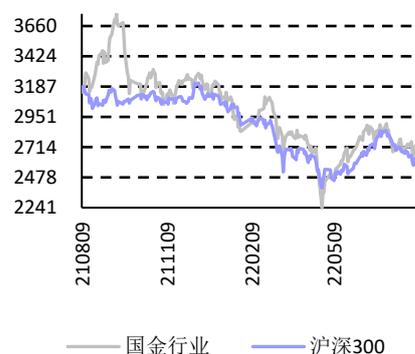


市场数据(人民币)

| | |
|-----------|-------|
| 市场优化平均市盈率 | 18.90 |
| 国金基础化工指数 | 2779 |
| 沪深 300 指数 | 4156 |
| 上证指数 | 3247 |
| 深证成指 | 12331 |
| 中小板综指 | 12855 |



相关报告

- 1.《己二腈及顺酐产业迎来拐点,看好其下游-【国金化工】行业研究周报...》,2022.8.7
- 2.《锂电材料坡长雪厚,关注格局较好的细分材料-【国金化工】锂电上...》,2022.8.3
- 3.《前期强势产品价格承压,建议继续防守-【国金化工】行业研究周报》,2022.7.30
- 4.《新能源化工材料仍受青睐,继续看好相关标的-【国金化工】202...》,2022.7.24
- 5.《景气赛道有所分化,攻守切换-【国金化工】行业研究周报》,2022.7.23

陈屹

分析师 SAC 执业编号: S1130521050001
chenyi3@gjzq.com.cn

王明辉

分析师 SAC 执业编号: S1130521080003
wangmh@gjzq.com.cn

杨翼荣

分析师 SAC 执业编号: S1130520090002
yangyiyong@gjzq.com.cn

产业化迎来拐点,下游应用全面开花

行业观点

- **碳纤维性能优异,拥有广泛的应用领域。**碳纤维在力学性能方面,具有高强度、高模量,兼有碳材料的强抗拉力和纤维的柔软可加工性;在物理性能方面,具有耐高低温、导热、导电、摩擦系数小和各向异性;在化学性能方面,具有耐腐蚀性,优异的性能使得碳纤维可广泛应用于航空航天、风电叶片、碳碳复材、压力容器、体育休闲、汽车工业等领域。
- **新能源推动碳纤维需求高增长,航空航天等领域空间广阔。**2021 年全球碳纤维需求量达 11.8 万吨,其中国内需求 6.24 万吨,近年来随着新能源行业的发展,碳纤维在风电叶片、碳碳复材、压力容器等领域的增长迅速。产业趋势方面,风电叶片逐步从内陆转向海上,大功率风电机组开始推广使用,推动叶片轻量化发展;光伏硅片大尺寸进程下,碳碳复材逐步取代传统石墨;氢燃料电池汽车在 2022 年步入爆发元年,压力容器需求跟随提升。2021 年风电、光伏、燃料电池领域的碳纤维国内需求增速分别为 13%、133%、50%,我们预计未来四年三大领域的 GAGR 也将分别达到 19%、18%、22%,2025 年需求量将达到 4.59 万吨、1.37 万吨、0.66 万吨。在附加值很高的航空航天领域,商用飞机、国产大飞机、无人机以及军机需求的提升,将为碳纤维提供广阔空间,此外,轨交渗透率的提升和汽车轻量化方向也有望成为未来碳纤维需求新的增长点。
- **中国碳纤维产能快速扩张,大丝束成为重要方向。**2021 年全球碳纤维运行产能达 20.76 万吨,其中中国大陆运行产能达 6.34 万吨,位居第一,较 2020 年增长 74%。今明两年国内碳纤维仍处于投产高峰期,我们统计 2022-2023 年国内待投项目的名义产能分别为 4.28 万吨和 3.55 万吨(不考虑投产节奏),产能的大幅投放将缓解去年由疫情和进口扰动带来的供需缺口,今年下半年以来,国内碳纤维价格也出现下滑趋势,预计未来国内供需矛盾将进一步缓解。在产业方向上,近年来我国逐步突破大丝束原丝和碳纤维制备技术,成功将低成本大丝束转入规模化量产,我们统计 2021 年-2023 年,国内大丝束的新增名义产能分别占国内当前新增名义产能的 58%、93%、61%,大丝束已成为我国碳纤维发展的重要方向,从而在与大丝束相关的风电叶片、压力容器、轨道交通、汽车轻量化等领域有望实现国产替代。

投资建议

- 随着产业结构的升级,新材料需求不断增加,为我国碳纤维行业提供了肥沃的土壤;大丝束技术的突破,为我国实现低成本碳纤维工业化提供了路径;行业将进一步集中,技术优势将带来规模优势和一体化优势。我们建议重点关注吉林化纤(供应链配套完善,大丝束产能快速扩张)、中复神鹰(高性能碳纤维龙头企业,布局航空航天与新能源领域)、光威复材(全产业链布局,军品民品双轮驱动)、中简科技(聚焦小丝束高端产品,供应航天军工)。

风险提示

- 市场竞争加剧风险;风电市场开拓不及预期;航空航天等高端领域发展不及预期;新技术开发冲击风险;原材料价格大幅上涨风险;成本下降不及预期风险。

内容目录

| | |
|---|----|
| 一、碳纤维的性能优异，下游应用广泛 | 5 |
| 1.1 碳纤维是一种性能优异的材料 | 5 |
| 1.2 碳纤维主要以聚丙烯腈基为主 | 6 |
| 1.3 碳纤维应用领域不断拓展 | 8 |
| 二、新能源推动碳纤维需求高速增长，航空航天等领域空间广阔 | 10 |
| 2.1 风电叶片：受益于叶片轻量化与海风发展，碳纤维需求有望高速增长 .. | 10 |
| 2.2 碳碳复材：光伏装机增长与单晶炉扩容助力碳纤维需求高速增长 | 14 |
| 2.3 压力容器：氢燃料电池车推广加快，储氢瓶用碳纤维需求高速增长 | 16 |
| 2.4 航空航天：碳纤维应用广泛，需求空间巨大 | 18 |
| 2.5 轨道交通：碳纤维推广障碍相对较小，未来潜力较大 | 23 |
| 2.6 汽车：空间广阔，成本问题制约其推广 | 24 |
| 三、我国碳纤维产能快速扩张，大丝束成为重要方向 | 25 |
| 3.1 中国碳纤维产能快速扩张，供需矛盾有望缓解 | 25 |
| 3.2 我国大丝束实现技术突破，成为未来重要发展方向 | 28 |
| 3.3 我国高性能碳纤维持续突破，政策支持为行业发展保驾护航 | 29 |
| 四、碳纤维的制备工艺：原丝和碳化 | 31 |
| 4.1 碳纤维原丝环节：聚合-纺丝 | 32 |
| 4.2 碳纤维碳化环节：预氧化-碳化-表面处理-上浆 | 34 |
| 五、投资建议 | 35 |
| 5.1 吉林化纤：供应链配套完善，大丝束产能快速扩张 | 35 |
| 5.2 中复神鹰：高性能碳纤维龙头企业，布局航空航天与新能源领域 | 36 |
| 5.3 光威复材：全产业链布局，军品民品双轮驱动 | 36 |
| 5.4 中简科技：聚焦小丝束高端产品，供应航天军工 | 37 |
| 六、风险提示 | 38 |

图表目录

| | |
|---------------------------------|---|
| 图表 1：碳纤维产业链 | 5 |
| 图表 2：碳纤维与其他材料力学性能对比 | 5 |
| 图表 3：树脂基复合材料是碳纤维复合材料的主要形式 | 6 |
| 图表 4：三种碳纤维分类（原丝分类）对比 | 6 |
| 图表 5：三种碳纤维分类（原丝分类）占比 | 6 |
| 图表 6：碳纤维力学性能划分与海内外牌号对比 | 7 |
| 图表 7：碳纤维主要应用领域性能要求 | 7 |
| 图表 8：按力学性能分全球碳纤维需求量（吨） | 8 |
| 图表 9：碳纤维及其复合材料应用领域不断拓展 | 8 |

| | |
|--|----|
| 图表 10: 2008-2021 年全球碳纤维运行产能、需求量及增速 | 9 |
| 图表 11: 2021 年全球碳纤维分行业需求量 (吨) | 9 |
| 图表 12: 2021 年全球碳纤维分行业市场规模 (亿美元) | 9 |
| 图表 13: 2021 年碳纤维下游应用领域价格 (美元/公斤) | 10 |
| 图表 14: 中国碳纤维分行业需求量近三年 CAGR | 10 |
| 图表 15: 2021 年中国和全球碳纤维下游应用领域对比 | 10 |
| 图表 16: 全球风电累计装机容量及增速 (GW) | 11 |
| 图表 17: 中国风电累计装机容量及增速 (GW) | 11 |
| 图表 18: 为实现 1.5°C 以内升温目标所需风电装机容量测算 (GW) | 11 |
| 图表 19: 全球风电叶片用碳纤维需求量 (吨) | 12 |
| 图表 20: 2010-2020 年中国新增装机风轮直径占比 | 12 |
| 图表 21: 全球与国内海上风电累计装机量 (GW) | 12 |
| 图表 22: “十四五”各省规划海上风电装机容量 (GW) | 12 |
| 图表 23: 中国风电叶片用碳纤维需求量 (吨) | 13 |
| 图表 24: 我国风电机组平均单机容量 (MW) | 13 |
| 图表 25: 中国风电市场碳纤维需求量测算 | 13 |
| 图表 26: 全球新增光伏装机量 (GW) | 14 |
| 图表 27: 中国新增光伏装机量 (GW) | 14 |
| 图表 28: 光伏单晶炉热场系统 | 14 |
| 图表 29: 碳碳复材用碳纤维预制体制作流程 | 14 |
| 图表 30: 单晶拉制炉热场产品替代率逐步提升 | 15 |
| 图表 31: 中国碳碳复材市场碳纤维需求量测算 | 15 |
| 图表 32: 中国氢燃料电池车销量 (辆) | 16 |
| 图表 33: “3+2”燃料电池车示范群车辆推广目标 | 16 |
| 图表 34: 中国氢燃料电池车销售结构 (辆) | 17 |
| 图表 35: 近年我国燃料电池专用车车型吨位结构走势 | 17 |
| 图表 36: 全球压力容器用碳纤维需求量 (吨) | 17 |
| 图表 37: 中国压力容器用碳纤维需求量 (吨) | 17 |
| 图表 38: 中国压力容器市场碳纤维需求量测算 | 18 |
| 图表 39: 2021 年碳纤维在航空航天细分领域占比 | 18 |
| 图表 40: 全球航天航空碳纤维需求量 (吨) | 18 |
| 图表 41: 全球航空航天用碳纤维分行业需求量 (吨) | 19 |
| 图表 42: 复合材料在民机结构中的应用增长趋势 | 19 |
| 图表 43: 波音 B787 复合材料占比 | 20 |
| 图表 44: 空客 A350 复合材料占比 | 20 |
| 图表 45: 波音商用飞机及 B787 历年交付量 (架) | 20 |
| 图表 46: 空客商用飞机及 A350 历年交付量 (架) | 20 |
| 图表 47: ARJ21 历年交付数量 (架) | 21 |
| 图表 48: C919 应用碳纤维复合材料图示 | 21 |

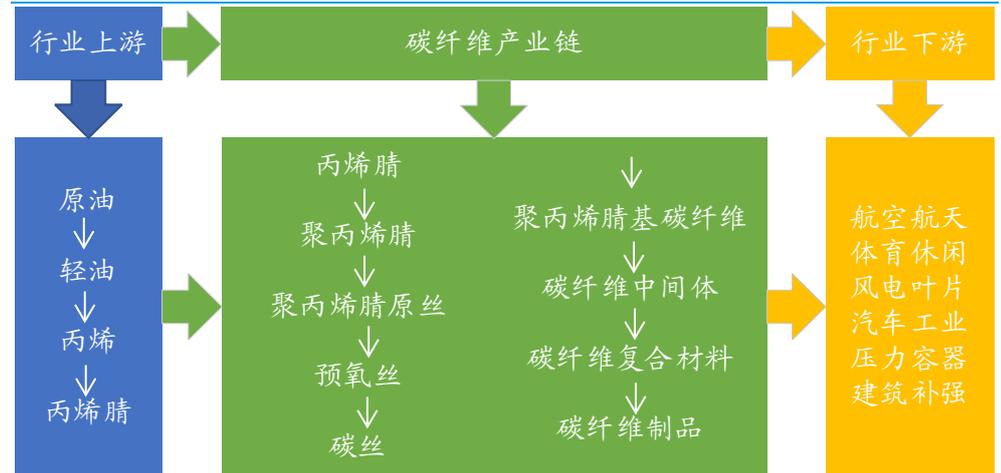
| | |
|------------------------------------|----|
| 图表 49: 中国民用无人机历年市场规模 (亿元) | 21 |
| 图表 50: 部分中、美无人机复合材料的使用情况 | 21 |
| 图表 51: 先进复合材料在军用飞机上的应用比例 | 22 |
| 图表 52: 中美机型碳纤维材料使用比例对比 | 22 |
| 图表 53: 2021 年中国战斗机数量占比 | 23 |
| 图表 54: 2021 年美国战斗机数量占比 | 23 |
| 图表 55: 我国航天发射次数 | 23 |
| 图表 56: 我国高铁密度及增速 | 24 |
| 图表 57: 我国动车组保有量基增速 | 24 |
| 图表 58: 中国城市轨道交通建设运营情况 | 24 |
| 图表 59: 下一代地铁列车碳纤维应用 | 24 |
| 图表 60: 全球汽车用碳纤维需求量 (吨) | 25 |
| 图表 61: 中国汽车用碳纤维需求量 (吨) | 25 |
| 图表 62: 各类汽车轻量化材料性能比较 | 25 |
| 图表 63: 2021 年全球产能分布 (企业, 吨) | 26 |
| 图表 64: 中国碳纤维自给率大幅提升 | 26 |
| 图表 65: 2021 年全球主要企业碳纤维产能及扩产计划 (吨) | 27 |
| 图表 66: 国内大、小丝束碳纤维价格 (元/千克) | 27 |
| 图表 67: 国内企业 2022-2023 年碳纤维扩产统计 (吨) | 28 |
| 图表 68: 小丝束碳纤维和大丝束碳纤维制备过程成本对比 | 28 |
| 图表 69: 吉林碳谷与卓尔泰克、西格里技术与关键业务对比 | 29 |
| 图表 70: 我国大丝束碳纤维项目部分统计 | 29 |
| 图表 71: 我国对碳纤维复合材料发展相关政策 | 30 |
| 图表 72: 碳纤维技术工艺路线 | 32 |
| 图表 73: 原丝制备过程 | 32 |
| 图表 74: 碳纤维聚合工艺比较 | 33 |
| 图表 75: PAN 原丝的纺丝工艺流程图 | 34 |
| 图表 76: 湿法纺丝和干湿法纺丝工艺对比 | 34 |
| 图表 77: 海内外主要碳纤维企业原丝制备工艺 | 34 |
| 图表 78: 碳丝制备过程 | 35 |
| 图表 79: 吉林化纤营业收入及增速 | 36 |
| 图表 80: 吉林化纤归母净利润及增速 | 36 |
| 图表 81: 中复神鹰营业收入及增速 | 36 |
| 图表 82: 中复神鹰归母净利润及增速 | 36 |
| 图表 83: 光威复材营业收入及增速 | 37 |
| 图表 84: 光威复材归母净利润及增速 | 37 |
| 图表 85: 中简科技营业收入及增速 | 38 |
| 图表 86: 中简科技归母净利润及增速 | 38 |

一、碳纤维的性能优异，下游应用广泛

1.1 碳纤维是一种性能优异的材料

- 碳纤维是由聚丙烯腈、黏胶纤维、沥青纤维等有机纤维在 1000℃ 以上裂解碳化形成的含碳量高于 90% 的无机纤维，碳纤维呈黑色，其质轻、强度高，密度仅是钢的四分之一，而强度却是钢的十倍，同时具有易于成型、耐腐蚀、耐高温等多种优良性质，广泛用于航空航天、风电叶片、汽车工业、体育休闲等领域。

图表 1：碳纤维产业链



来源：新材料在线，国金证券研究所

- 碳纤维在力学性能方面，兼有碳材料的强抗拉力和纤维的柔软可加工性，高强度、高模量；在物理性能方面，具有耐高低温、导热、导电、摩擦系数小和各向异性；在化学性能方面，具有耐腐蚀性。

图表 2：碳纤维与其他材料力学性能对比

| 材料 | 密度 (g/cm ³) | 拉伸强度 (Mpa) | 拉伸模量 (Gpa) |
|---------|-------------------------|------------|------------|
| 碳纤维 | 1.5-2 | 2000-7000 | 200-700 |
| 铝合金 | 2.8 | 470 | 75 |
| 钛合金 | 4.5 | 1000 | 110 |
| 钢 | 7.8 | 1080 | 210 |
| 玻璃纤维/聚酯 | 2 | 1500 | 42 |

来源：立鼎产业研究，国金证券研究所

- 碳纤维的应用通常呈现为碳纤维复合材料。碳纤维复合材料由基体材料和增强纤维材料组成，在性能上互相弥补，根据不同的基体材料可分为树脂基复合材料 (CFRP)、碳/碳复合材料 (C/C)、金属基复合材料 (CFRM)、陶瓷基复合材料 (CFRC) 和橡胶基复合材料 (CFRR)，目前主要以树脂基复合材料为主，约占全部碳纤维复合材料的 90% 以上。

图表 3: 树脂基复合材料是碳纤维复合材料的主要形式

| 分类 | 子分类 | 特点 | 应用领域 |
|----------------|------------------------|------------------------------|---|
| 树脂基复合材料 (CFRP) | 热固性树脂 (TS) | 强度、刚度高; 酚醛树脂基耐热性好 | 宇宙飞行器外表面防热层及火箭喷嘴 (酚醛树脂基)、航空航天结构材料 (环氧树脂基)、钓鱼竿、建筑补强等 |
| | 热塑性树脂 (TP) | 耐湿热、强韧、优良的成型加工性 | |
| 碳/碳复合材料 (C/C) | 由碳纤维及其制品 (碳布等) 增强的复合材料 | 低密度、耐烧蚀、抗热震、高导热、低膨胀、摩擦磨损性能优异 | 导弹弹头、固体火箭发动机喷管、航天飞机、飞机刹车盘、人工骨骼等 |
| 金属基复合材料 (CFRM) | 铜、铝、镍、铜 | 高比强度、高比模量、优异的疲劳强度 | 宇航结构材料、汽车、铁道、机械等 |
| 陶瓷基复合材料 (CFRC) | - | 改善韧性、提高机械冲击/热冲击性 | 发动机高温部件等 |
| 橡胶基复合材料 (CFRR) | - | 改善热疲劳性、提高使用寿命 | 管材、耐磨衬轮、特殊密封件等 |

来源: 光威复材招股说明书, 国金证券研究所

1.2 碳纤维主要以聚丙烯腈基为主

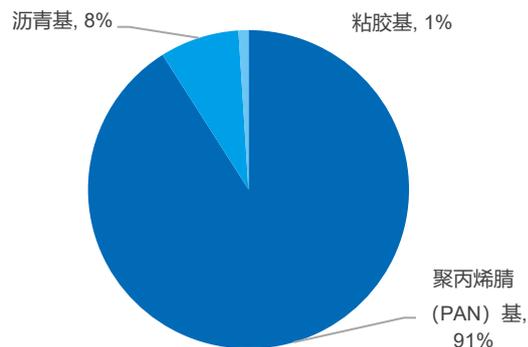
- 碳纤维按原丝类型可分为粘胶基、沥青基和聚丙烯腈 (PAN) 基。其中聚丙烯腈 (PAN) 基由于其工艺相对简单, 性能优良, 是目前主流产品, 产量约占全球碳纤维总量的 90% 以上, 而粘胶基和沥青基碳纤维仍然处于开发阶段, 只有小规模的生产。

图表 4: 三种碳纤维分类 (原丝分类) 对比

| 分类 | 优势 | 劣势 | 应用现状 |
|--------------|------------------------|-------------------------|----------------|
| 聚丙烯腈 (PAN) 基 | 成品品质优异, 工艺简单, 产品力学性能优良 | - | 已经成为碳纤维主流 |
| 沥青基 | 原料来源丰富, 碳化收率高 | 原料调制复杂, 产品性能较低 | 目前规模较小 |
| 粘胶基 | 高耐温性 | 碳化收率低, 技术难度大, 设备复杂, 成本高 | 主要用于耐烧蚀材料和隔热材料 |

来源: 光威复材招股说明书, 国金证券研究所

图表 5: 三种碳纤维分类 (原丝分类) 占比



来源: 新材料在线, 国金证券研究所

- 碳纤维按照力学性能可分位高强型、高强中模型、高模型和高强高模型, 划分的维度为碳纤维的拉伸强度和拉伸模量。上述标准是我国 2020 年发布的 GB/T 26752-2020 所规定的聚丙烯腈基碳纤维国家标准, 由于日本东丽在全球碳纤维行业中具有领先优势, 业内一般以日本东丽的产品牌号为基础, 将碳纤维产品划定为 T300、T700、T800 等不同级别, 国内大部分

碳纤维厂商在此基础上确定自身的产品牌号，根据吉林碳谷的年报，随着我国碳纤维技术的发展，行业整体达到了 T400 的技术能力，部分企业实现了 T700 碳纤维规模化生产，T800 及以上已经进入了小批量试验生产。例如中复神鹰相继开发出 T700、T800、T1000、M30、M35、M40 等级别的碳纤维，光威复材的产品涵盖 T300、T700、T1000、M40J、M55J 等。

图表 6：碳纤维力学性能划分与海内外牌号对比

| GB_T 26752-2020 | | 日本东丽 | | | | 国内企业对应牌号 | | | |
|-----------------|--------|--------|------------|------------|------------|----------|--------|-------|------------|
| 按力学性能分类 | 国家标准牌号 | 东丽牌号 | 丝束 | 拉伸强度 (MPa) | 拉伸模量 (Gpa) | 中复神鹰 | 光威复材 | 恒神股份 | 中简科技 |
| 高强度型 | GQ3522 | T300 | 1K/3K/6K | 3530 | 230 | SYT45 | TZ300 | HF10 | |
| | GQ4522 | T400 | 3K/6K | 4610 | 250 | | | | |
| | GQ4522 | T700S | 6K/12K/24K | 4900 | 230 | SYT45S | TZ700S | HF20 | |
| | GQ4523 | | | | | SYT49 | TZ700G | HF30 | |
| | GQ4524 | | | | | SYT49S | | | |
| 高强中模型 | QZ5526 | T800S | 12K/24K | 5880 | 294 | SYT55S | TZ800S | HF40 | ZT8 ZT9 |
| | QZ6026 | T1000G | 12K | 6370 | 294 | SYT65 | TZ800H | HF40T | |
| | QZ7026 | T1100G | 12K/24K | 7000 | 324 | | | | |
| | QZ5526 | M30S | 18K | 5690 | 294 | | | | |
| | QZ4526 | M35J | 6K | 4610 | 343 | SYM35 | | | |
| 高强高模型 | QM4035 | M40J | 6K/12K | 4400 | 377 | SYM40 | TZ40J | HM37 | ZM40J |
| | QM4040 | M46J | 6K/12K | 4200、4020 | 436 | | | | |
| | QM4045 | M50J | 6K | 4120 | 475 | | | | |
| | QM4050 | M55J | 6K | 4020 | 540 | | | | |
| | QM3555 | M60J | 3K/6K | 3820 | 588 | | | | |

来源：日本东丽官网，GB/T 26752-2020，中复神鹰招股书，国金证券研究所

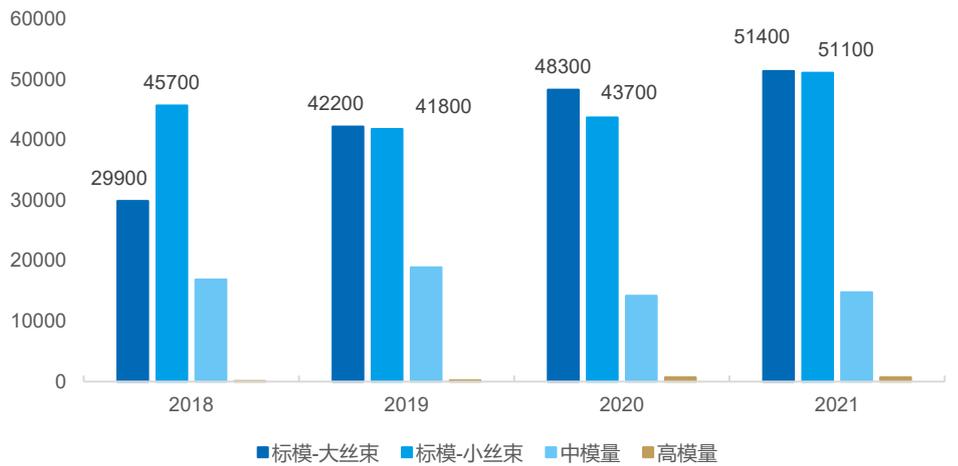
- 碳纤维按丝束大小可分为大丝束和小丝束。目前普遍把每条丝束含有 48000 根以上单丝的碳纤维划分为大丝束，反之为小丝束。小丝束产量低、成本高，常用于国防军工、航空航天、体育休闲等领域，被称为“宇航级材料”；大丝束成本低，但生产控制难度大，可广泛用于工业与民用领域，如风电叶片、压力容器、汽车、轨道交通、建筑补强、海洋工程等，被称为“工业级材料”。根据赛奥碳纤维的统计，2021 年全球大丝束需求量为 5.14 万吨，小丝束为 5.11 万吨。

图表 7：碳纤维主要应用领域性能要求

| 应用领域 | 强度 GPa | 丝束类型 | 类比等级 | 备注 |
|------|--------|----------|----------------|--------------------------|
| 飞机 | >3.5 | 小丝束/中小丝束 | T300\T700\T800 | 主要运用于机身、机翼、整流罩、地板、地板梁等 |
| 军工 | >3.5 | 小丝束/中小丝束 | T300 以上 | 运用于装备的不同部位 |
| 汽车 | >3.5 | 小丝束-大丝束 | T300—T700 | 主要运用于车身、底盘、保险杠、电池、氢气燃料罐等 |
| 风电 | >3.5 | 大丝束 | T300 以上 | 主要运用于叶片、梁 |
| 轨道交通 | >3.5 | 大丝束 | T300 以上 | 主要为车体 |
| 建筑 | >3.5 | 小丝束-大丝束 | T300 以上 | 应用于大型建筑物增加建筑物的强度、耐腐蚀性。 |
| 体育 | >3.5 | 小丝束-大丝束 | T300 以上 | 用于高档体育器材 |

来源：吉林碳谷公告，国金证券研究所

图表 8: 按力学性能分全球碳纤维需求量 (吨)

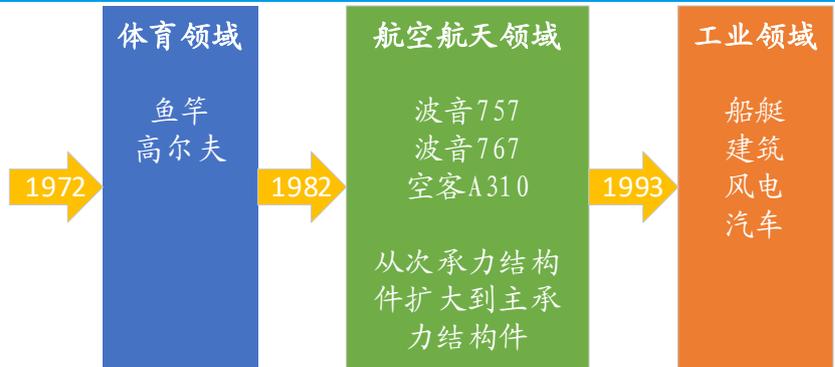


来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

1.3 碳纤维应用领域不断拓展

- 1959 年是碳纤维的元年, UCC 公司生产低模量粘胶基碳纤维, 进腾昭男发明 PAN 基碳纤维, 1965 年太谷杉郎发明沥青基碳纤维, 日本牢牢抓住了技术领先的地位; 1972 年, 碳纤维开始应用于体育领域, 鱼竿、高尔夫相继使用碳纤维; 1982 年, 随着石油危机引起的航空业降低油耗、追求结构轻量化需求, 碳纤维材料进入到航空航天领域, 波音 757、767 以及空客 A310 相继采用; 20 世纪 90 年代以后, 随着技术革新, 成本的下降, 碳纤维开始应用于船艇、建筑、风电叶片、新能源汽车等领域, 进入了全面扩张阶段。

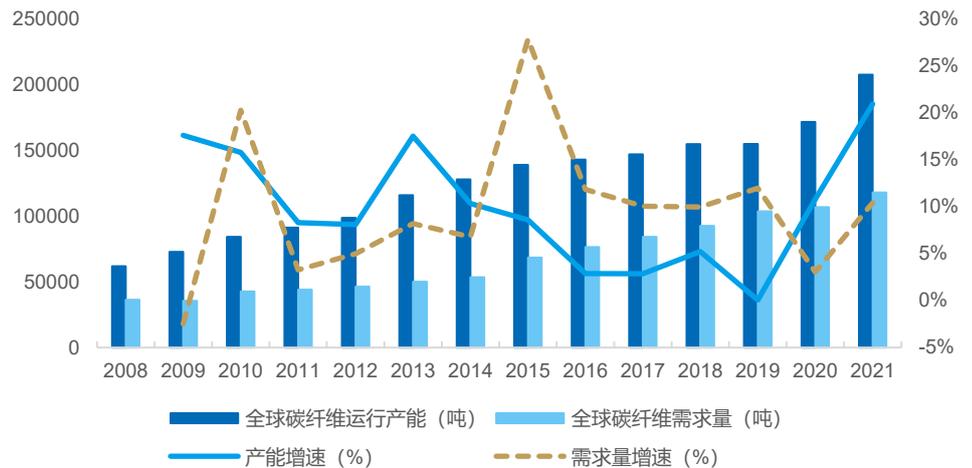
图表 9: 碳纤维及其复合材料应用领域不断拓展



来源: 高分子网, 国金证券研究所

- 2008-2021 年, 全球碳纤维需求量逐年增长, 2021 年达到 11.8 万吨, 年复合增长率为 9.5%。而在供给端, 由于中国产能在近两年大幅扩张, 全球碳纤维产能也水涨船高, 2021 年全球运行产能 20.76 万吨, 同比增长 20.9%, 其中中国产能 6.28 万吨, 同比增长 74%。

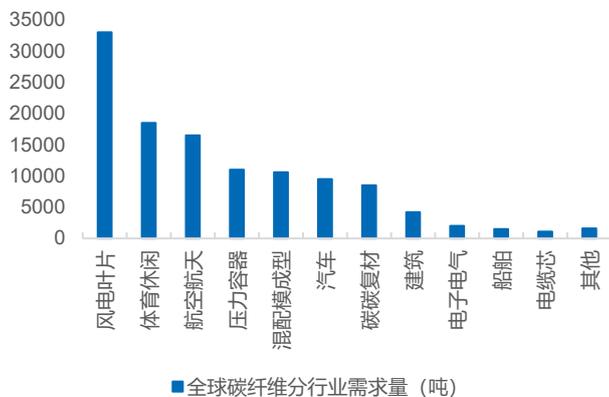
图表 10: 2008-2021 年全球碳纤维运行产能、需求量及增速



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

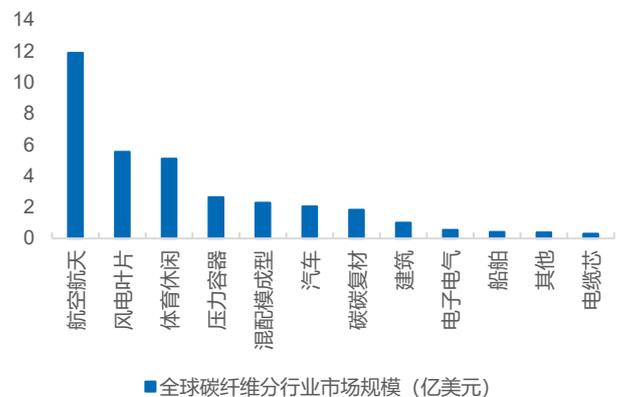
- **全球风电叶片对碳纤维需求量最大, 航空航天用碳纤维市场规模第一。**碳纤维下游应用领域广阔, 主要有风电叶片、航空航天、体育休闲、碳碳复材和压力容器等领域。从需求量角度看, 风电叶片的碳纤维需求最大, 2021 年全球风电叶片用碳纤维需求量为 3.3 万吨, 占比 28%, 其次为体育休闲和航空航天, 占比分别为 16%、14%。从市场规模来看, 航空航天领域的市场规模最大, 2021 年航空航天领域碳纤维市场规模达 11.88 亿美元, 占比 35%, 其次为风电叶片和体育休闲, 占比分别为 16%、15%。从单价角度看, 风电叶片用碳纤维价格最低, 2021 年约为 16.8 美元/公斤, 航空航天用碳纤维价格最高, 2021 年约为 72 美元/公斤。

图表 11: 2021 年全球碳纤维分行业需求量 (吨)



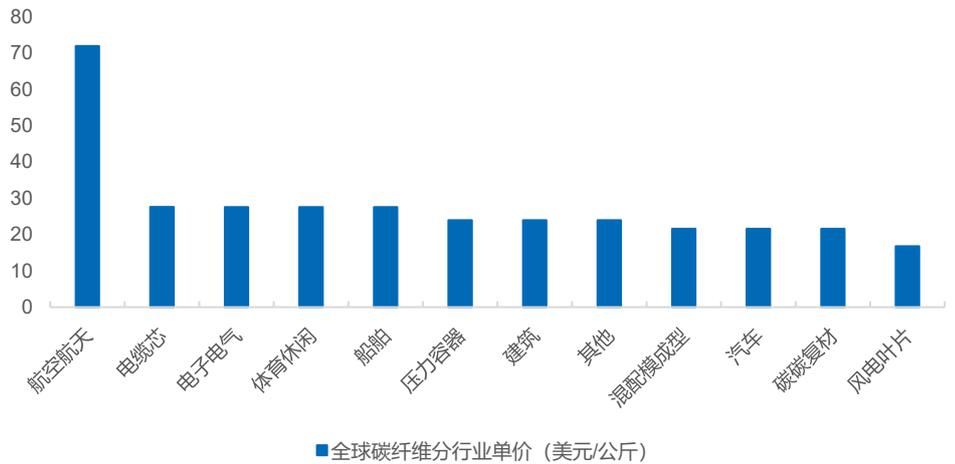
来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 12: 2021 年全球碳纤维分行业市场规模 (亿美元)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

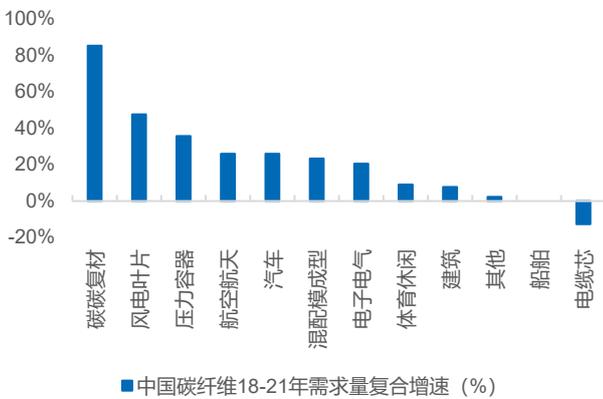
图表 13: 2021 年碳纤维下游应用领域价格 (美元/公斤)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

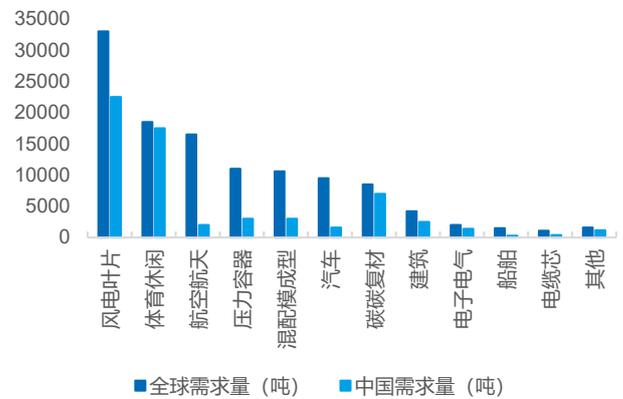
- 我国碳纤维需求结构中新能源占比高, 航空航天与海外差距较大。2021 年我国碳纤维需求量达到 6.24 万吨, 同比增长 27.7%, 需求结构中, 排名前四的行业分别是风电叶片、体育休闲、碳碳复材和压力容器, 需求量分别为 2.25 万吨、1.75 万吨、0.7 万吨和 0.3 万吨。近年来, 受新能源行业的拉动, 碳纤维在风电、碳碳复材和压力容器领域的需求高速增长, 三个行业需求量的三年 CAGR 分别为 48%、85%、36%, 远超其他行业。而在全球市场规模最大的航天航空领域, 我国目前需求量仅 2000 吨, 在全球 1.65 万吨的需求体量中占比很小, 未来有很大的提升空间。

图表 14: 中国碳纤维分行业需求量近三年 CAGR



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 15: 2021 年中国和全球碳纤维下游应用领域对比



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

二、新能源推动碳纤维需求高速增长, 航空航天等领域空间广阔

- 碳纤维因其优异的性能在许多行业皆有渗透, 近几年来以风电、光伏和氢燃料电池汽车为代表的新能源行业正在经历或具备爆发式增长的前景, 受益于风电叶片大型化、光伏硅片大尺寸和氢燃料电池车的大规模量产, 碳纤维在新能源领域的渗透率有望提升, 需求将迎来高速增长。在航空航天领域碳纤维也将受益于商用飞机的复苏、无人机的高增长以及军机换代带来的需求增长。在交通领域, 碳纤维在汽车和轨道交通中的渗透率还有很大提升空间, 尤其是轨道交通有望成为碳纤维未来新的增长点。

2.1 风电叶片: 受益于叶片轻量化与海风发展, 碳纤维需求有望高速增长

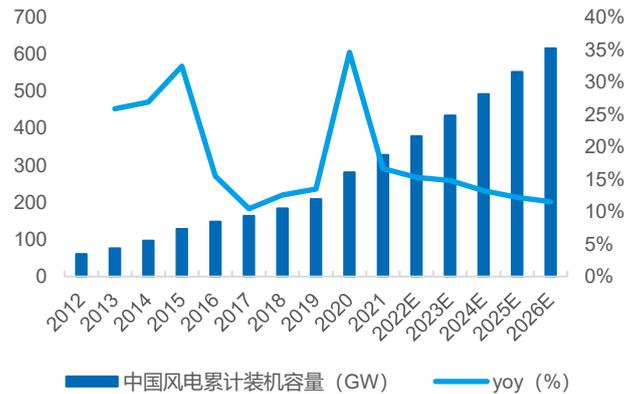
- 清洁能源政策推动, 风电未来发展空间巨大。全球多个国家和地区鼓励发展风电产业, 根据全球风能理事会 (GWEC) 统计数据, 全球风电累计装机容量从 2012 年的 283.2GW 增至截至 2021 年的 837.5GW, 年复合增

长率为 12.8%。我国风电累计装机容量从 2012 年的 60.6GW 增至 2021 年的 328.5GW，年复合增长率为 20.7%，增长率位居全球第一。GWEC 预计，到 2026 年，全球和中国风电累计装机量将分别达到 1394GW 和 617GW，近五年 CAGR 分别为 10.7%和 13.4%。尽管全球风电装机量快速上升，但 GWEC 预计，按当前的发展速度，到 2030 年，全球风电装机容量将不足《巴黎协定》设定的在本世纪将升温幅度限制在 1.5℃以内目标及净零排放路径所需容量的 2/3，无法实现气候目标。在全球环保政策推动下，风电未来发展空间巨大。

图表 16: 全球风电累计装机容量及增速 (GW)



图表 17: 中国风电累计装机容量及增速 (GW)

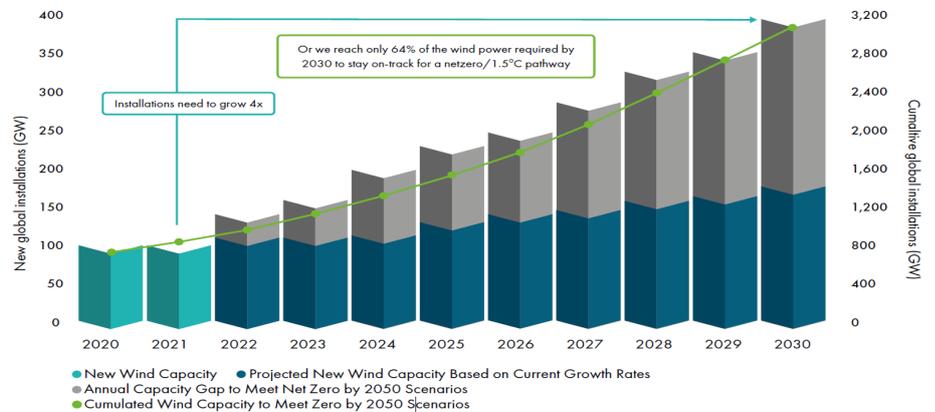


来源: GWEC, 国金证券研究所

来源: GWEC, Wind, 国金证券研究所

图表 18: 为实现 1.5℃以内升温目标所需风电装机容量测算 (GW)

Lagging growth in this decade leads to wind energy shortfalls by 2030



来源: GWEC, 国金证券研究所

- **风机降本需求推动叶片大型化，从而带动碳纤维需求增加。**降低风机成本是使风力发电成为有竞争力发电选择的必由之路，根据理论发电量的计算公式，风电机组产生的电能与叶片长度的平方成正比，增加叶片长度可以带来较为可观的发电量提升，而大容量机组搭配长叶片，能够减少同等装机规模项目所用的机组数量，相应降低机组及其施工安装等方面的投入。因此，风机叶片的大型化被视为增强风电机组捕风能力以及降低风电项目成本的主要途径之一。随着叶片长度的增加，对于材料强度及刚度性能要求具有更高的标准，研究表明，碳纤维的密度比玻璃纤维低 30%-35%，应用碳纤维可使叶片减重 20%以上，碳纤维的拉伸模量比玻璃纤维高 3-8 倍，因此未来大型叶片的碳纤维用量将进一步增长。根据赛奥碳纤维的统计，2021 年全球风电市场碳纤维用量在 3.3 万吨，预计到 2025 年将增长到 8.1 万吨，四年 GAGR 达 25%。

图表 19: 全球风电叶片用碳纤维需求量 (吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 20: 2010-2020 年中国新增装机风轮直径占比

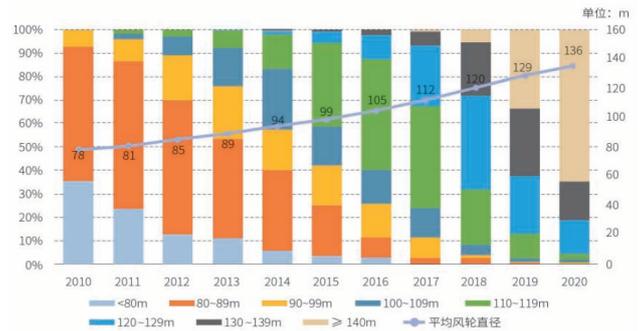
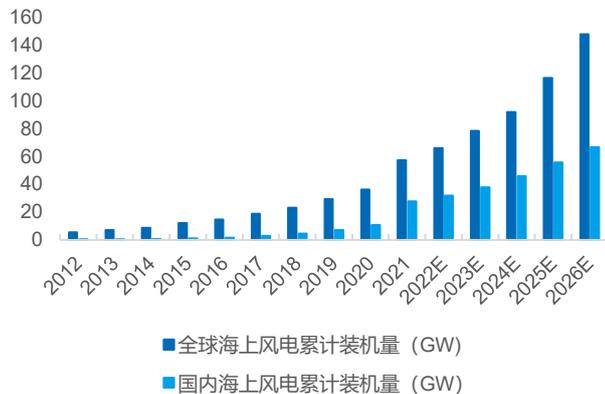


图1 2010—2020年中国新增风电机组不同风轮直径装机容量占比

来源: CWEA, 国金证券研究所

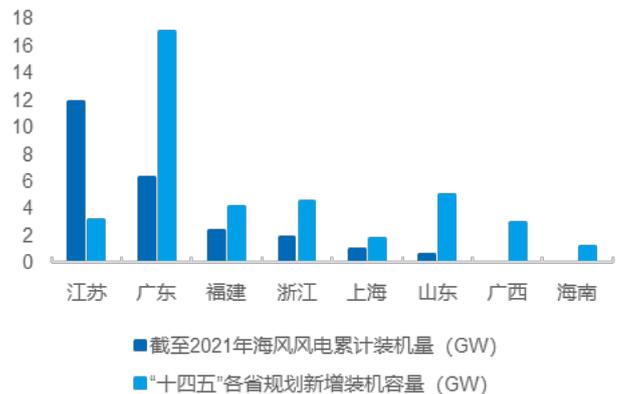
- **风电由内陆向海上转移, 碳纤维渗透率有望进一步提升。**海风相较于陆风, 具有发电量高、靠近负荷中心便于消纳、不占用土地等优势, 随着海风成本的快速下降, 未来海风在风力发电中的地位有望快速提升, GWEC 预计, 2026 年全球的海风累计装机量将达到 147.8GW, 五年 GAGR 达 20.9%, 海风在风电中的占比将由 2021 年的 6.8% 提升至 2026 年的 10.6%。在国内, 由于 2022 年起海风的国家补贴政策正式退出, 2021 年我国海风新增装机容量达到了创纪录的 16.9GW, 2022 年后预计每年的海风装机会有下滑, 但根据地方多个省份提出的“十四五”的海风装机规划以及部分省份的海风补贴计划, 预计 2022-2025 年我国海风装机仍会有较大增长, 根据 GWEC 预测, 到 2026 年我国海风装机量将达到 66.7GW, 五年 GAGR 达 19.2%。相对于陆风机组, 海风机组大型化的降本作用更加明显, 根据 Rystad Energy 的研究项目推算, 对于 1GW 的海上风电项目, 采用 14MW 的风电机组将比采用 10MW 风电机组节省 1 亿美元的投资。因此海风机组将更有动力使用大叶片, 从而进一步提升碳纤维的渗透率。

图表 21: 全球与国内海上风电累计装机量 (GW)



来源: GWEC, 国金证券研究所

图表 22: “十四五”各省规划海上风电装机容量 (GW)



来源: 各省政府公告, 北极星风力发电网, 国金证券研究所

- **VESTAS 拉挤梁工艺使得大丝束碳纤维广泛应用于风电叶片, 专利到期利好国内拉挤碳梁发展。**从经济的角度考虑, VESTAS 的拉挤碳梁工艺是碳纤维得以在风电叶片中大幅推广的重要工艺。2015 年以前, 碳纤维应用在风电叶片的工艺主要采用预浸料或织物的真空导入, 部分采用小丝束碳纤维, 导致成型叶片价格偏高, 2015 年以后由 VESTAS 发明的叶片拉挤梁工艺也使得成本更低的大丝束碳纤维广泛应用于风电叶片, 目前维斯塔斯兆瓦级以上风机叶片都使用碳纤维复合材料, 极大的推动了碳纤维在风电领域的应用。根据赛奥碳纤维的数据, 2022 年在风电领域, VESTAS 和 GE 的碳纤维板材用量预计维持在 3 万吨, 其他企业如 GAMESA、NorDex、明阳、三一、上海电气等的用量预计为 3500-4500 吨。在价格方面, 2015

年风电用碳纤维价格为 23 美元/公斤，到了 2016 年以后，价格就稳定在 14 美元/公斤左右。近两年中材科技、时代新材、中复连众、艾朗等叶片厂家以及主机厂三一重工、明阳电气、上海电气等都陆续发布了使用碳纤维或玻碳混合拉挤大梁叶片，2022 年 7 月 19 日，随着 VESTAS 拉挤梁专利保护到期，国内拉挤碳梁需求有望快速上升。

- 叶片大型化与海风的发展推动国内碳纤维需求增长，预计 2026 年国内风电叶片用碳纤维需求量达 5.7 万吨。根据赛奥碳纤维的统计，2021 年我国风电叶片碳纤维需求量为 2.25 万吨，同比增长 12.5%，占全球风电叶片用碳纤维需求的 68.2%。随着 2022 年以后我国风电上网全面取消中央补贴，风电产业将逐步步入平价上网时代，为了降低度电成本，我国风电机组将继续向大型化方向发展，同时各省对海风的补贴也在陆续跟进以实现海风平价上网的平稳过渡。根据 GWEC 的预测，到 2026 年我国陆风累计装机量将达到 550GW，海风累计装机量将达到 67GW，根据我们的测算，届时国内风电叶片用碳纤维需求量将从 2021 年的 2.25 万吨增至 2026 年的 5.69 万吨，五年 CAGR 达 20.4%。

图表 23: 中国风电叶片用碳纤维需求量 (吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 24: 我国风电机组平均单机容量 (MW)



来源: CWEA, 国金证券研究所

图表 25: 中国风电市场碳纤维需求量测算

| | 2020 | 2021 | 2022E | 2023E | 2024E | 2025E | 2026E |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 陆上风电 | | | | | | | |
| 新增装机容量 (GW) | 68.5 | 30.1 | 46.3 | 50.2 | 49.7 | 50.1 | 52.8 |
| 平均单机功率 (MW) | 2.6 | 3.1 | 3.6 | 4.1 | 4.6 | 5.1 | 5.6 |
| 叶片长度 (米) | 52.0 | 56.9 | 61.3 | 65.4 | 69.3 | 72.9 | 76.4 |
| 叶片重量 (吨) | 13.9 | 17.2 | 20.5 | 23.8 | 27.2 | 30.7 | 34.3 |
| 单叶片碳纤维重量 (吨) | 2.4 | 3.0 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 5.4 | 6.0 |
| 碳纤维渗透率 (%) | 8.0% | 7.0% | 9.0% | 12.0% | 15.0% | 18.0% | 21.0% |
| 碳纤维用量 (吨) | 15392 | 6092 | 12376 | 18296 | 23097 | 28480 | 35557 |
| 海上风电 | | | | | | | |
| 新增装机容量 (GW) | 3.8 | 16.9 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 11.0 |
| 平均单机功率 (MW) | 4.9 | 5.6 | 6.4 | 7.3 | 8.1 | 9.0 | 9.8 |
| 叶片长度 (米) | 71.4 | 76.0 | 81.6 | 86.9 | 91.8 | 96.5 | 101.0 |
| 叶片重量 (吨) | 29.2 | 33.9 | 40.1 | 46.4 | 52.8 | 59.3 | 66.0 |
| 单叶片碳纤维重量 (吨) | 5.1 | 5.9 | 7.0 | 8.1 | 9.2 | 10.4 | 11.5 |
| 碳纤维渗透率 (%) | 38.3% | 30.3% | 35.0% | 40.0% | 45.0% | 50.0% | 55.0% |
| 碳纤维用量 (吨) | 4608 | 16408 | 4593 | 8045 | 12301 | 17381 | 21362 |
| 合计 | | | | | | | |
| 碳纤维用量 (吨) | 20000 | 22500 | 16969 | 26342 | 35398 | 45860 | 56919 |

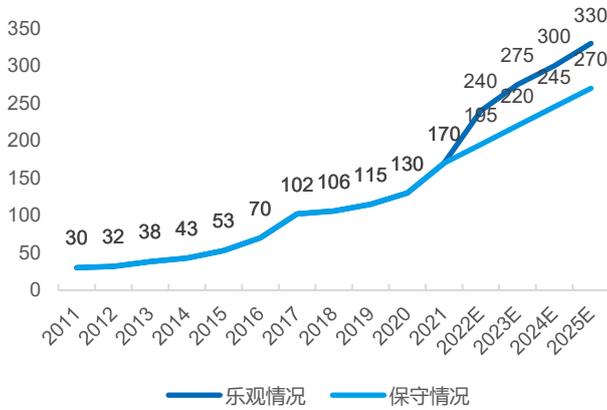
来源: 赛奥碳纤维, GWEC, CWEA, CNKI, WINDnovation, 国金证券研究所

注：电机功率与叶片长度换算公式： $P=C_p*0.5*\rho*\pi*r^2*V^3$ ，其中 ρ =空气密度=1.225kg/m³， C_p 假设取 $C_{p_max}=0.5$ ， $v=11m/s$ ；叶片长度与叶片重量换算公式： $m=1.3142*r^2*2.3454$ ；假设使用碳纤维使叶片减重 30%，主梁占叶片重量的 1/3，碳纤维主梁中碳纤维含量在 70%。

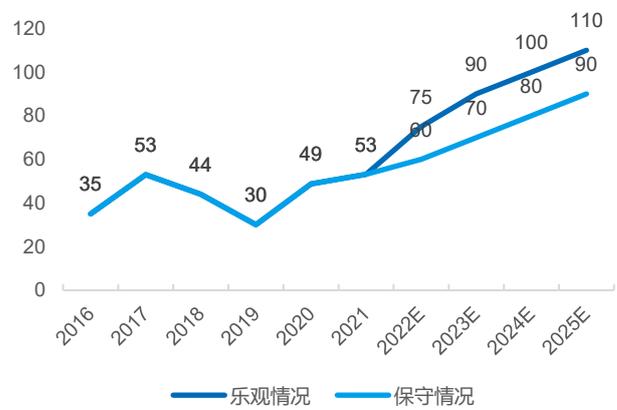
2.2 碳碳复材：光伏装机增长与单晶炉扩容助力碳纤维需求高速增长

- 光伏行业大规模步入平价上网时代，未来装机量将保持高速增长。近年来光伏行业技术不断提升，转换效率不断提高，光伏发电成本快速下降，2020 年以来，光伏行业进入快速发展的平价上网新时期。未来，在光伏发电成本持续下降和全球绿色复苏等有利因素的推动下，全球光伏新增装机仍将快速增长。CPIA 预计，“十四五”期间，全球光伏年均新增装机将超过 240GW，中国光伏年均新增装机将超过 70GW，我国发改委的《“十四五”可再生能源发展规划》也计划在“十四五”期间，实现风电、光伏发电量翻番，CPIA 预计，到 2025 年，在乐观和保守假设下，我国光伏累计装机量将分别达到 682GW 和 607GW，四年 CAGR 达 22.1% 和 18.6%。

图表 26：全球新增光伏装机量 (GW)



图表 27：中国新增光伏装机量 (GW)

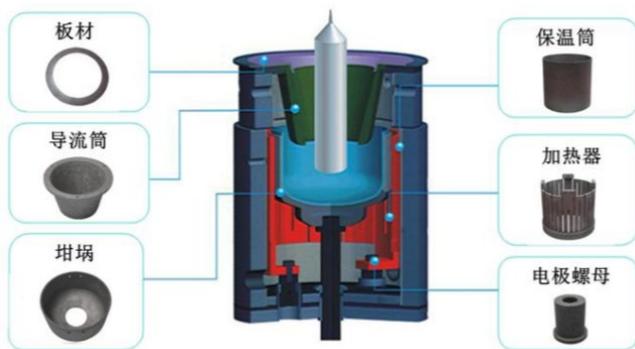


来源：CPIA，国金证券研究所

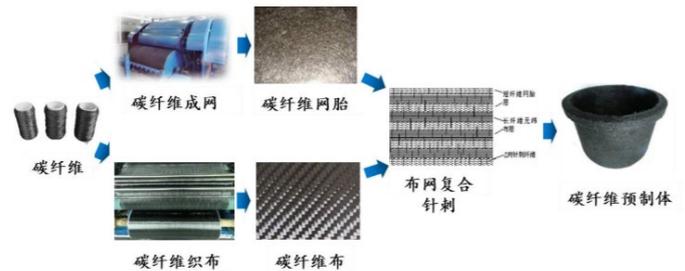
来源：CPIA，国金证券研究所

- 单晶炉扩容助碳碳复材渗透率提升，碳纤维需求有望迎来高增长。碳碳复材是由碳纤维及其织物增强碳基体所形成的高性能复合材料。该材料具有比重轻、热膨胀系数低、耐高温、耐腐蚀、摩擦系数稳定、导热导电性能好等优良性能，是制造高温热场部件和摩擦部件的最佳候选材料。在光伏领域，碳碳复材主要应用于光伏用单晶硅控制炉热场系统，主要产品包括坩埚、导流筒、保温筒、加热器等。随着光伏行业发展，单晶硅控制炉容量快速扩张，已从 2011 年左右的 16 英寸-20 英寸热场快速发展到现在的 32 英寸和 36 英寸，而传统的等静压石墨作为由石墨颗粒压制成型的脆性材料，已经在安全性方面不能适应大热场的使用要求，在经济性方面也已经落后于碳基复合材料，因此碳碳复材在单晶炉中的渗透率有望进一步提升。根据金博股份招股书，到 2020 年，碳基复材制成的坩埚、导流筒、保温筒、加热器的渗透率已分别处于 95%、60%、55%、5% 的水平。

图表 28：光伏单晶炉热场系统



图表 29：碳碳复材用碳纤维预制体制作流程



来源：金博股份招股书，国金证券研究所

来源：金博股份招股书，国金证券研究所

图表 30：单晶拉制炉热场产品替代率逐步提升

| 年份 产品 | 2010 年 | | 2016 年 | | 2020 年 | |
|----------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 碳基复合材料 | 等静压石墨 | 碳基复合材料 | 等静压石墨 | 碳基复合材料 | 等静压石墨 |
| 坩埚 | <10% | >90% | >50% | <50% | >95% | <5% |
| 导流筒 | <10% | >90% | <30% | >70% | >60% | <40% |
| 保温筒 | <10% | >90% | <30% | >70% | >55% | <45% |
| 加热器 | <1% | >99% | <3% | >97% | <5% | >95% |
| 其他 | <5% | >95% | <20% | >80% | >40% | <60% |

来源：金博股份公告，国金证券研究所

- 光伏装机增长与单晶炉扩容助力碳纤维需求高速增长，预计 2025 年我国碳碳复材市场碳纤维需求量达 13700 吨。未来光伏硅片行业将迎来装机高速增长与硅片大尺寸的双重趋势，大直径单晶硅棒的拉制需要具备更大尺寸的热场以及更大规格的装料系统，单晶炉热场部件的直径在未来将进一步增大，伴随碳碳复材在热场部件中的渗透率提升，碳纤维用量将高速增长。碳碳复材市场按照下游需求可分为刹车盘市场、航天部件市场和热场部件市场，赛奥碳纤维估计 2021 年我国碳碳复材市场对碳纤维的总需求为 7000 吨，根据本文测算，2021 年-2025 年，我国热场部件用碳纤维需求量有望从 3400 吨增长至 8400 吨，若假设期间刹车盘市场和航天部件市场的碳纤维需求以每年 10% 的增速稳步增长，则到 2025 年，我国碳碳复材用碳纤维需求有望达到 13700 吨，四年 CAGR 达 18%。

图表 31：中国碳碳复材市场碳纤维需求量测算

| | 2020 | 2021 | 2022E | 2023E | 2024E | 2025E |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 全球光伏新增装机量 (GW) | 130 | 170 | 240 | 275 | 300 | 330 |
| 容配比 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| 全球单晶硅片产能占比 (%) | 82% | 96% | 98% | 100% | 100% | 100% |
| 中国单晶硅产能 (GW) | 200 | 339 | 598 | 718 | 750 | 792 |
| 单晶硅片产量 (GW) | 130 | 203 | 287 | 330 | 360 | 396 |
| 中国单晶硅产能利用率 (%) | 65% | 60% | 48% | 46% | 48% | 50% |
| 中国单晶硅新增产能 (GW) | 82 | 139 | 259 | 120 | 33 | 42 |
| 单晶炉单位用量 (台/GW) | 80 | 77 | 74 | 71 | 68 | 65 |
| 单晶炉新增台数 (台/年) | 6592 | 10718 | 19129 | 8520 | 2210 | 2730 |
| 单晶炉存量台数 (台/年) | 19408 | 26000 | 36718 | 55847 | 64367 | 66577 |
| 存量单晶炉改造比例 (%) | 10% | 20% | 20% | 18% | 15% | 12% |
| 坩埚寿命 (年/台) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 导流筒寿命 (年/台) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 保温筒寿命 (年/台) | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 加热器寿命 (年/台) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 坩埚年消耗量 (件/年) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 导流筒年销量 (件/年) | 0.67 | 0.67 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 保温筒年消耗量 (件/年) | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| 加热器年消耗量 (件/年) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 坩埚重量 (千克/件) | 26 | 30 | 35 | 40 | 46 | 52 |
| 导流筒重量 (千克/件) | 15 | 17 | 20 | 22 | 26 | 30 |
| 保温筒重量 (千克/件) | 43 | 49 | 57 | 65 | 75 | 86 |
| 加热器重量 (千克/件) | 26 | 30 | 35 | 40 | 46 | 52 |
| 新增碳碳复材坩埚渗透率 (%) | 95% | 98% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 新增碳碳复材导流筒渗透率 (%) | 60% | 65% | 70% | 75% | 80% | 85% |
| 新增碳碳复材保温筒渗透率 (%) | 55% | 65% | 70% | 75% | 80% | 85% |
| 新增碳碳复材加热器渗透率 (%) | 5% | 6% | 7% | 8% | 9% | 10% |

| | | | | | | |
|-------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 单晶炉用碳碳复材新增需求(吨) | 523 | 1064 | 2292 | 1218 | 376 | 553 |
| 单晶炉用碳碳复材替换需求(吨) | 893 | 1745 | 2724 | 4776 | 5857 | 6188 |
| 单晶炉用碳碳复材改造需求(吨) | 294 | 906 | 1472 | 2317 | 2560 | 2436 |
| 单晶炉用碳碳复材需求量合计(吨) | 1711 | 3716 | 6488 | 8311 | 8793 | 9177 |
| 热场系统碳纤维需求量(吨) | 1574 | 3418 | 5969 | 7646 | 8089 | 8443 |
| 刹车盘&航天部件碳纤维需求量(吨) | 1426 | 3582 | 3940 | 4334 | 4767 | 5244 |
| 碳碳复材用碳纤维需求量合计 | 3000 | 7000 | 9909 | 11980 | 12856 | 13687 |

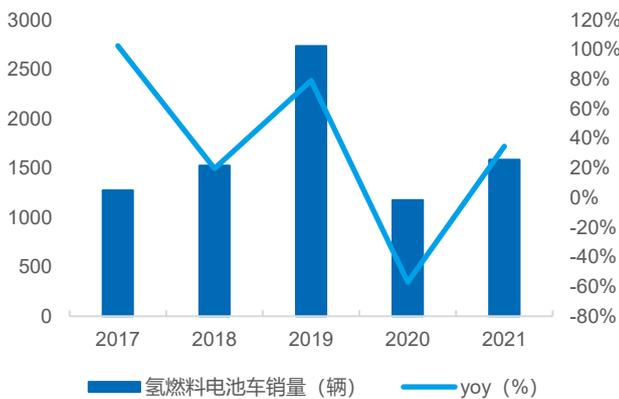
来源: CAPI, 硅业分会《多晶硅市场发展回顾与展望》, 光伏见闻, 金博股份公告, 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

注: 假设 2020 年、2024 年、2025 年中国单晶炉产能利用率分别为 65%、48%、50%; 假设 2021 年国内单晶炉存量规模为 2.6 万台; 假设国内存量单晶炉的碳碳复材改造比例从 21、22 年的 20% 逐年下滑至 25 年的 12%; 假设热场部件历年重量随着其直径增大而按一定比例增大; 假设单晶炉用碳碳复材中碳纤维的质量占比是 92%。

2.3 压力容器: 氢燃料电池车推广加快, 储氢瓶用碳纤维需求高速增长

- 政策推动下氢燃料电池车行业步入快车道, 2022 年将是氢能及燃料电池行业的爆发元年。氢燃料电池车具有零排放、销量高、运行平稳、耐低温、续航稳定等诸多优点, 是对电动汽车很好的补充, 并可有效促进我国电力行业清洁化转型, 更大程度助力碳中和目标。2021 年底, 随着河南、河北两大燃料电池汽车示范城市群的启动, 全球“3+2”燃料电池汽车示范格局形成, 按照规划, 在 4 年示范期内, 5 大示范区预计推广各类氢燃料电池汽车 3.3 万辆。今年三月, 发改委发布了《氢能产业发展中长期规划(2021-2035 年)》, 规划到 2025 年, 燃料电池车辆保有量约 5 万辆。根据中汽数据统计, 2021 年, 我国氢燃料电池车销量达到 1881 辆, 2022 年 1-6 月, 我国燃料电池车销量已超过 1400 辆, 根据国金证券新能源与汽车研究中心的预计, 下半年燃料电池单月装车量有望超千辆, 氢燃料电池汽车开始步入大规模量产时期。

图表 32: 中国氢燃料电池车销量(辆)



来源: 中汽协, 国金证券研究所

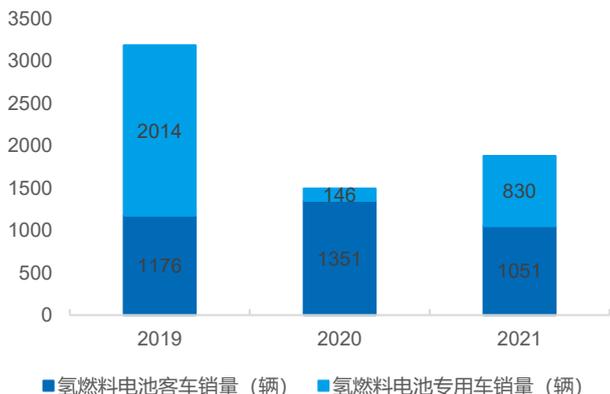
图表 33: “3+2” 燃料电池车示范城市群推广目标

| 示范城市群 | 车辆推广数量(辆) | 加氢站数量(座) |
|-------|-----------|----------|
| 京津冀 | 5300 | 49 |
| 上海 | 5000 | 73 |
| 广东 | 10000 | 200 |
| 河北 | 7710 | / |
| 河南 | 4295 | 76 |
| 合计 | 32305 | 398 |

来源: 高工锂电, 国金证券研究所

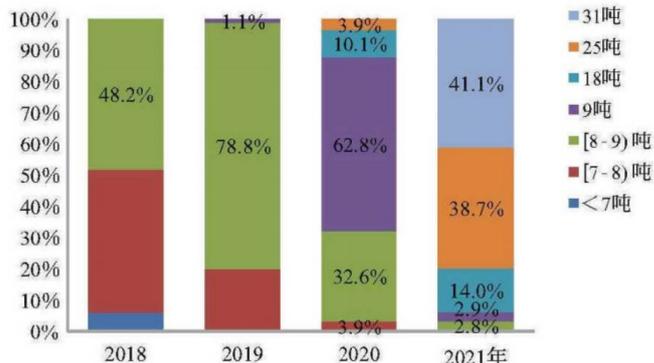
- 重卡是氢燃料电池推广的重要场景, 销量有望大幅增长。在重卡领域, 氢燃料电池具有长续航、低排放的优势, 长期而言相较于锂电池和柴油机具有明显优势, 被认为是最适合氢燃料电池车优势的应用场景。根据中汽数据和高工锂电的数据, 2021 年我国氢燃料电池重卡销量达到 779 辆, 在专用车中占比高达 94%, 较 2020 年的 20 辆有质的增长, 赛奥碳纤维预计 2022 年我国氢燃料电池重卡销量有望达到 6000 辆, 在未来会成为氢燃料电池汽车增长的重要动能。

图表 34: 中国氢燃料电池车销售结构 (辆)



来源: 中汽数据, 国金证券研究所

图表 35: 近年我国燃料电池专用车车型吨位结构走势



来源: 中汽数据, 国金证券研究所

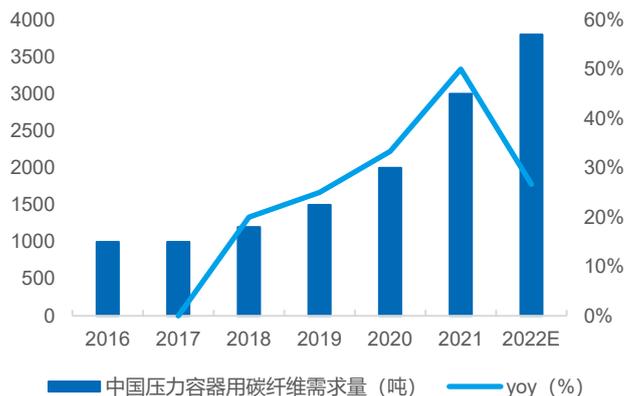
- 氢燃料电池汽车高速增长推动车载储氢瓶用碳纤维需求提升, 预计 2025 年我国压力容器用碳纤维需求量约 6600 吨。压力容器用碳纤维主要应用于呼吸气瓶、CNG 气瓶和储氢气瓶中。在储氢领域, 氢燃料电池汽车主要使用金属内胆碳纤维全缠绕气瓶 (III 型) 和塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶 (IV 型) 作为车载储氢瓶, 碳纤维缠绕在气瓶的内胆外围, 以增加内胆的结构强度。根据高工锂电的统计, 目前客车常配置单套 6-8 瓶组, 单瓶 140L 或 165L 的储氢系统; 轻、中卡多配置单套 2-4 瓶组, 单瓶 140L、165L 或 260L 的储氢系统; 12 吨-18 吨中、重卡多配置 6-8 支 165L/210L 储氢系统; 31 吨-49 吨重卡多配置 6-8 支 210L 车载储氢系统; 乘用车多配置 2-4 瓶组, 单瓶 65L 储氢系统。根据奥赛碳纤维的估算, 一辆重卡的碳纤维用量在 240-360 公斤, 其他类型商用车碳纤维单车用量在 150 公斤左右, 而根据乘用车用的气瓶体积, 我们估计乘用车的碳纤维单车用量约在 50 公斤左右。未来随着氢燃料电池汽车尤其是重卡的快速增长, 我们预计到 2025 年, 我国储氢气瓶用碳纤维需求量约为 4250 吨, 呼吸气瓶和 CNG 气瓶假设需求假设每年以 10% 的速度增长, 则到 2025 年, 我国压力容器用碳纤维需求量将达到 6590 吨, 四年 CAGR 达 21.7%。

图表 36: 全球压力容器用碳纤维需求量 (吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 37: 中国压力容器用碳纤维需求量 (吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 38: 中国压力容器市场碳纤维需求量测算

| | 2020 | 2021 | 2022E | 2023E | 2024E | 2025E |
|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 中国燃料电池汽车销量(辆) | 1497 | 1881 | 10050 | 12800 | 16300 | 21094 |
| 中国燃料电池重卡销量(辆) | 20 | 779 | 6000 | 7800 | 10140 | 13182 |
| 中国燃料电池其他商用车销量(辆) | 1477 | 1083 | 4000 | 4800 | 5760 | 6912 |
| 中国燃料电池乘用车产量(辆) | 0 | 19 | 50 | 200 | 400 | 1000 |
| 重卡储氢罐碳纤维单车用量(kg/辆) | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| 其他商用车储氢罐碳纤维单车用量(kg/辆) | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 乘用车储氢罐碳纤维单车用量(kg/辆) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 储氢气瓶用碳纤维需求量(吨) | 226 | 350 | 2043 | 2602 | 3318 | 4250 |
| 呼吸气瓶&CNG气瓶用碳纤维需求量(吨) | 1774 | 2650 | 1758 | 1933 | 2127 | 2339 |
| 压力容器用碳纤维需求量合计(吨) | 2000 | 3000 | 3800 | 4535 | 5444 | 6590 |

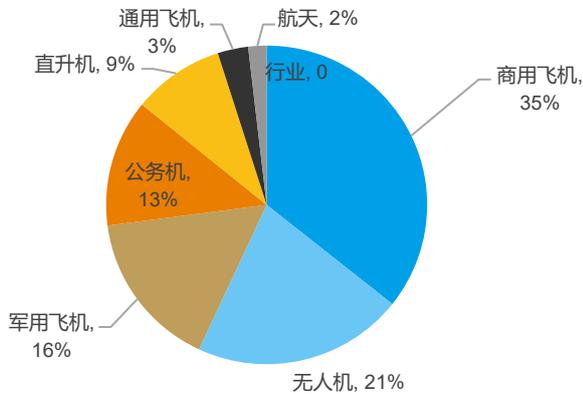
来源: 高工锂电, 中汽数据, 奥赛碳纤维, 德勤, 国金证券研究所

注: 假设 2022-2025 年中国燃料电池重卡销量年均增速为 30%, 其他类型商用车销量年均增速为 20%, 乘用车销量到 2025 年增至 1000 辆; 假设呼吸气瓶和 CNG 气瓶用碳纤维每年的需求增速为 10%。

2.4 航空航天: 碳纤维应用广泛, 需求空间巨大

- 碳纤维由于具有质轻、高强度、耐热耐疲劳的属性, 在航空航天领域有广泛应用。在航空领域, 碳纤维相对于钢或铝, 减重效果可以达到 20%至 40%, 主要应用于飞机的结构材料(占飞机重量的 30%左右), 能使飞机重量减轻 6%至 12%, 从而显著地降低飞机的燃油成本, 所以碳纤维在航空航天领域中, 商用飞机占比近 35%。此外, 随着无人机数量的快速增长, 碳纤维在无人机领域的需求占比也在 2021 年迅速提升至 21%。我国第五代战机的规划化列装也加速了国产碳纤维在军工飞机中的应用。在航天领域, 由于其耐热耐疲劳的特性, 碳纤维用于人造卫星的天线和卫星支架的制造, 以及固体火箭发动机壳体 and 喷管。

图表 39: 2021 年碳纤维在航空航天细分领域占比



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 40: 全球航空航天碳纤维需求量(吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

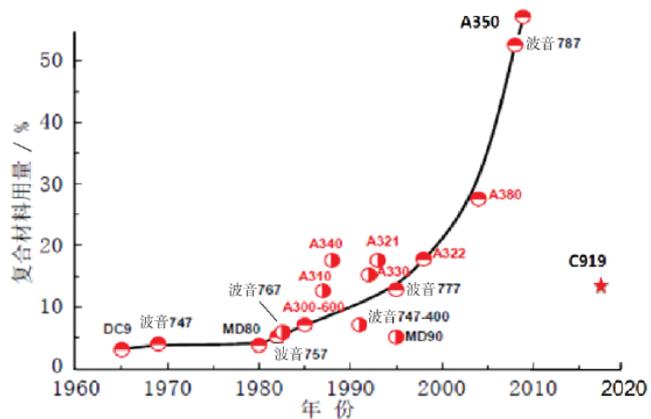
图表 41: 全球航空航天用碳纤维分行业需求量 (吨)

| 行业 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 商用飞机 | 14500 | 16240 | 8700 | 5800 |
| 无人机 | 500 | 650 | 750 | 3450 |
| 军用飞机 | 2100 | 2300 | 2600 | 2600 |
| 公务机 | 2200 | 2380 | 2100 | 2100 |
| 直升机 | 1100 | 1250 | 1500 | 1500 |
| 通用飞机 | 400 | 440 | 500 | 500 |
| 航天 | 200 | 240 | 300 | 300 |
| 飞行汽车 | | | | 200 |
| 合计 | 21000 | 23500 | 16450 | 16450 |

来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

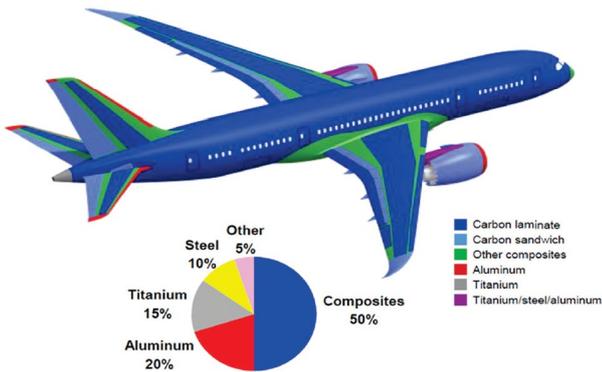
- **碳纤维在客机渗透率逐年提高, 客机订单疫情后有望逐步恢复。**碳纤维是飞机上最常用的复合材料, 20 世纪 80 年代, 碳纤维复合材料开始应用于客机的非承力构件, 早期如空客 A310、波音 B757 和波音 B767 的碳纤维渗透率仅为 5%-6%, 随着技术的不断进步, 碳纤维复合材料逐渐作为次承力构件和主承力构件应用在客机上, 空客 A380 的碳纤维渗透率达到 23%, 应用于主承力结构部件如主翼、尾翼、机体、中央翼盒、压力隔壁等, 次承力结构部件如辅助翼、方向舵及客机内饰材料等, 开创了先进复合材料在大型客机上大规模应用的先河。而波音 B787 和空客 A350 碳纤维渗透率达 50% 以上, 有更多部件使用碳纤维, 例如机头、尾翼、机翼蒙皮等, 使用量大大提升。近两年受疫情和 B787 因生产缺陷暂停交付的影响, 商用飞机用碳纤维需求量较以前年度大幅下滑, 根据赛奥碳纤维的数据, 2021 年全球商用飞机碳纤维需求量为 5800 吨, 同比下滑 33.3%。2022 年以后随着疫情的修复与 B787 的恢复供应, 商用飞机市场预计缓慢复苏。

图表 42: 复合材料在民机结构中的应用增长趋势



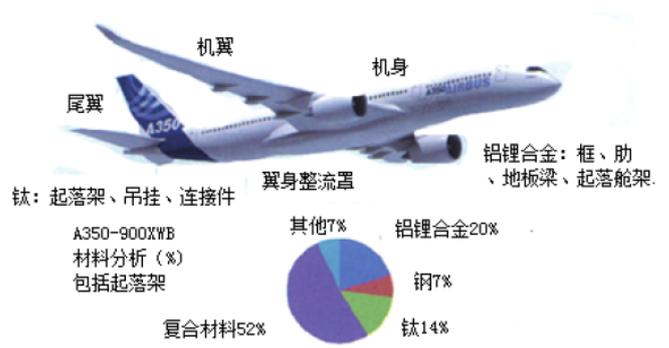
来源: 《先进复合材料制造及过程控制技术》, 国金证券研究所

图表 43: 波音 B787 复合材料占比



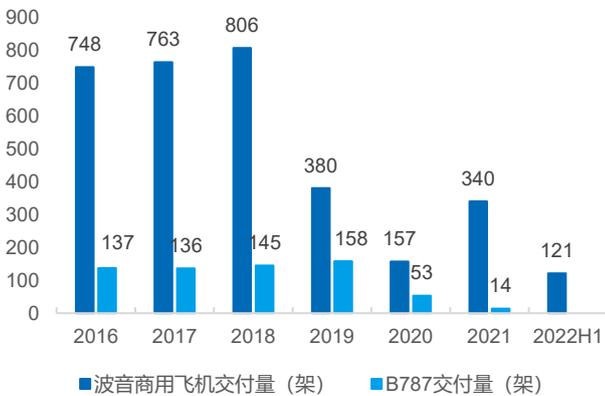
来源: DOCTORAL THESIS, 国金证券研究所

图表 44: 空客 A350 复合材料占比



来源: 《先进复合材料在航空领域的应用》, 国金证券研究所

图表 45: 波音商用飞机及 B787 历年交付量 (架)



来源: Boeing annual report, 国金证券研究所

图表 46: 空客商用飞机及 A350 历年交付量 (架)



来源: Airbus annual report, 国金证券研究所

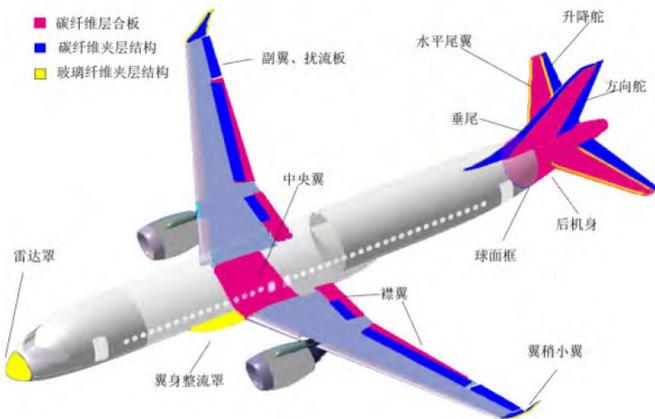
- ARJ21、C919、CR929, 国产商用飞机碳纤维渗透率逐级提升。**我国商用客机使用碳纤维经历了一个渐进的过程。ARJ21 是我国首款喷气支线客机, 其复合材料用量在 2% 左右, 主要应用于方向舵和翼梢小翼等部位。该机型于 2016 年实现商业运行, 至今已交付近 70 架。C919 作为我国首款大飞机, 其复合材料用量在 12% 左右, 应用部位包括了水平尾翼、垂直尾翼、翼梢小翼、后机身、雷达罩、副翼、扰流板和翼身整流罩等, 也是我国首款使用 T800 高强碳纤维增强复合材料的民用飞机。目前 C919 累计获得 28 家客户包含确认订单和意向订单在内的 815 架订单, 预计 2022 年进入商业化阶段。CR929 是中国商用飞机计划研制的首款大型远程宽体客机, 预计其复合材料占比将达到 50% 以上, 与 A350 和 B787 属于同一量级, 应用部位包括机身、机翼和尾翼。该机型预计 2023 年前完成首飞并在 2025 年前完成试航取证并交给首个用户。对于 C919, 我们假设它到 2025 年具备年产 50 架的能力, 单机的空机重量约为 42.1 吨, 碳纤维复合材料占比 12%, 则对应的碳纤维需求量约为 125-200 吨。根据中复神鹰的估计, C919 对国产 T800 级碳纤维需求量是 100 吨/年, 随着 CR929 的研发推进, CR929 对国产 T800/T1000 级碳纤维需求量将跨越式增长。

图表 47: ARJ21 历年交付数量 (架)



来源: 航空之家, 国金证券研究所

图表 48: C919 应用碳纤维复合材料图示



来源: 《国产大型客机 C919 复合材料发展侧记》, 国金证券研究所

- **无人机碳纤维使用率高, 未来需求高增长。** 无人机不论在军用领域, 还是空中摄影、气象观察等民用领域, 都越来越被广泛使用。根据 Preference Research 统计, 2021 全球无人机市场规模在 226.8 亿美元, 预计到 2030 年达到 1023.8 亿美元, 年复合增长 18.2%。根据观研报告的数据, 2021 年中国民用无人机市场规模达 869.12 亿元, 同比增长 45.1%, 预计到 2024 年我国民用无人机市场规模将达到 2075 亿元, 年复合增长 33.7%。无人机碳纤维使用率高, 根据《先进复合材料在无人机上的应用及关键技术》, 碳纤维复合材料在各国无人机的结构质量占比在 60%-80%, 使机体质量减轻 25% 以上, 美国全球鹰无人侦察机使用复合材料达 65%, X-45C、X-47B、“神经元”、“雷神”等达为 90%。我国“彩虹 4”无人机使用复合材料达到 80%。根据赛奥碳纤维的统计, 2021 年全球无人机用碳纤维需求量为 3450 吨, 较 2020 年的 750 吨大幅增长, 随着无人机的推广使用, 未来碳纤维在该领域的需求有望高增长。

图表 49: 中国民用无人机历年市场规模 (亿元)



来源: 观研天下网, 国金证券研究所

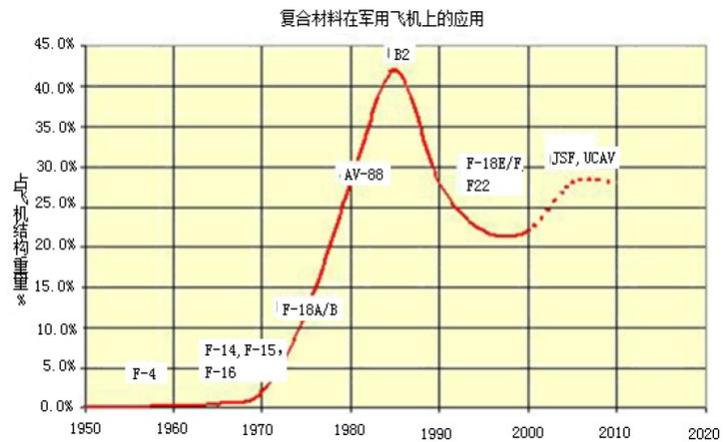
图表 50: 部分中、美无人机复合材料的使用情况

| 国家 | 机型 | 复合材料占比 |
|----|------|--------|
| 美国 | 全球鹰 | 65% |
| 美国 | 捕食者 | 92% |
| 美国 | 影子 | 95% |
| 美国 | X-45 | 90% |
| 中国 | 云影 | 60% |
| 中国 | 彩虹 4 | 80% |

来源: 《先进复合材料在无人机结构的应用》, 国金证券研究所

- **军用飞机高性能要求和高成本接受度, 推动碳纤维技术发展。** 军机上广泛使用碳纤维复合材料可以减轻重量, 从而显著高其作战能力。从 1969 年起, 美国 F14A 战机碳纤维复合材料用量仅为 1%, 如今美国 F-22 和 F35 为代表的第四代战斗机上碳纤维复合材料用量达到 24% 和 35%, B-2 隐身战略轰炸机更是超过了 40%。如今, 世界各国的军用飞机结构中都采用了以碳纤维为代表的复合材料, 其用量占整个军用飞机质量的 20%~50%。军用飞机对于飞机性能要求更高, 同时可以接受更高的成本和更漫长的研发制造, 在一定程度上, 军用飞机对于碳纤维复合材料的应用推动了整个碳纤维技术的发展, 以及在客机方面的使用。

图表 51: 先进复合材料在军用飞机上的应用比例



来源:《先进复合材料在航空领域的应用》, 国金证券研究所

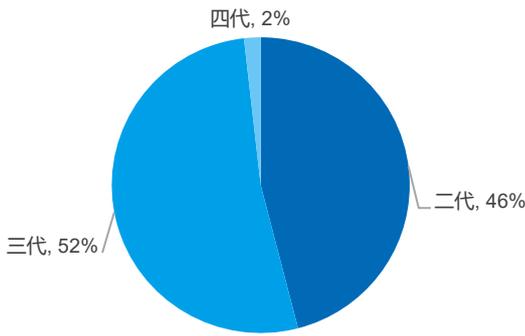
- 我国军用飞机与美国存在差距，更新换代加大碳纤维使用力度。我军战斗机以二代和三代机为主，老式战机占比较高，而武装直升机数量 912 架，仅为占美国武装直升机的 17% (5463 架)。我国三代机碳纤维占比约为 3%，四代战机歼-20 复合材料占比大幅提升至 27%，与美国第四代战机 30% 的平均碳纤维用量相接近。根据飞行国际的数据，我国约 60% 的军用飞机面临退役，这将在很大程度上推动军用飞机的需求，将拉动对高端碳纤维复合材料的需求。

图表 52: 中美机型碳纤维材料使用比例对比

| 国家 | 机型 | 碳纤维材料比例 (%) |
|----|--------|-------------|
| 美国 | F-14 | 1 |
| | F-15 | 2 |
| | F-16 | 2 |
| | F-18 | 10 |
| | AV-8B | 26 |
| | F-117A | 40 |
| | B-1 | 1 |
| | C-17 | 7 |
| | B-2 | 38 |
| | F-22 | 24 |
| 中国 | 歼 8 | 1 |
| | 歼 10 | 6 |
| | 歼 11 | 10 |
| | 歼 20 | 27 |

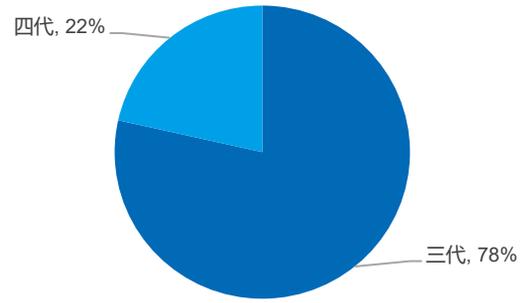
来源: 力鼎产业研究院, 国金证券研究所

图表 53: 2021 年中国战斗机数量占比



来源: World Air Forces 2022, 国金证券研究所

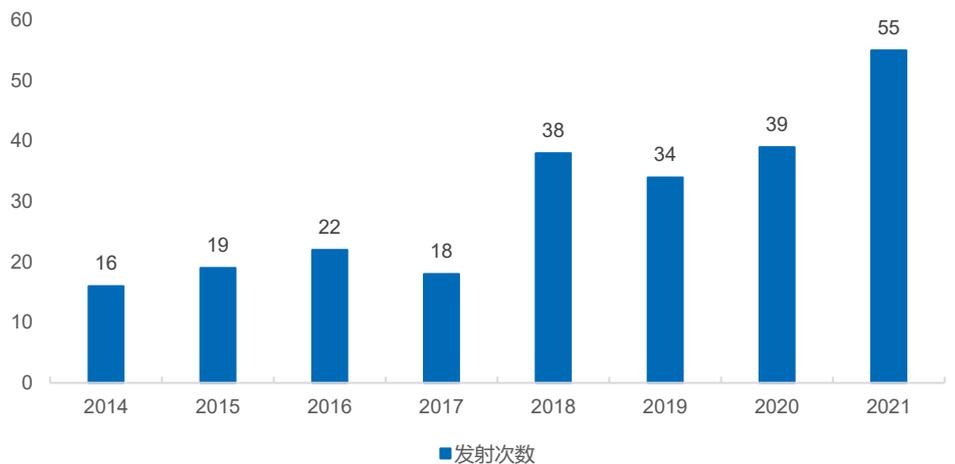
图表 54: 2021 年美国战斗机数量占比



来源: World Air Forces 2022, 国金证券研究所

- **我国航天实力强大, 未来发射计划带动碳纤维复合材料运用。** 航天飞行器的重量每减少 1 公斤, 就可使运载火箭减轻 500 公斤, 因此, 在航空航天工业中普遍采用先进的碳纤维复合材料。美国、欧洲的卫星结构质量不到总重量的 10%。近年来, 中国航天发射迈入高密度发射阶段, 2021 年我国共计完成航天发射任务 55 次, 据世界首位, 2022 年, 中国航天计划发射次数将达 60 次以上, 未来航天事业的发展, 势必带动碳纤维复合材料的进一步运用。

图表 55: 我国航天发射次数

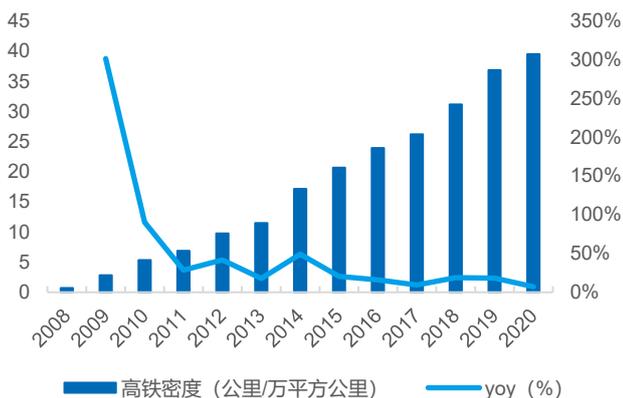


来源: 国家航天局, 国金证券研究所

2.5 轨道交通: 碳纤维推广障碍相对较小, 未来潜力较大

- **高速铁路迅猛发展, 贡献数亿市场空间。** 2021 年底, 我国铁路营业里程突破 15 万公里, 其中高铁超过 4 万公里, 具有世界上最现代化的铁路网和最发达的高铁网。国家《“十四五”铁路发展规划》指出: 到 2025 年, 铁路网规模达到 16.5 万公里左右, 其中高速铁路 5 万公里左右, 网络覆盖进一步扩大, 路网结构更加优化。

图表 56: 我国高铁密度及增速



来源: wind, 国金证券研究所

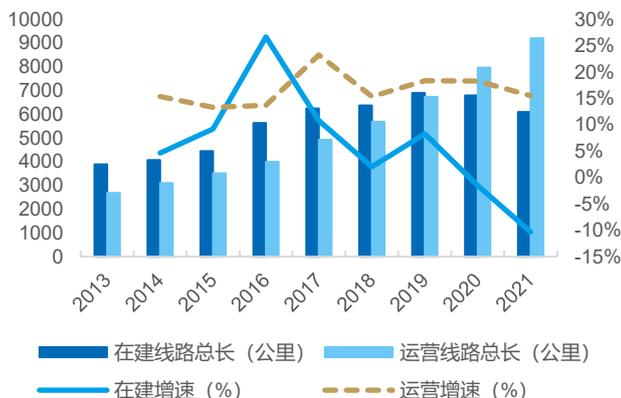
图表 57: 我国动车组保有量基增速



来源: 前瞻产业研究, 国金证券研究所

- **轨道交通领域碳纤维推广难度较低。**轨道交通成本敏感性相对较低, 碰撞可能性低, 也不存在维修和保险的问题, 而且标准化程度高, 对于个性化设计的要求低于汽车。随着关键技术的提升, 轨道交通行业平台化的发展, 碳纤维在轨道交通领域的应用前景广泛。
- **国内碳纤维复合材料在轨交领域应用起步较晚, 但研发进展迅速。**当前我国碳纤维复合材料已完成了次承载件和零部件的研制与应用, 诸如高速列车司机室头罩、裙板、受电弓导流罩、内饰板, 低地板车的侧墙和顶板, 城际车辆司机室头罩、司机台, 城际动车组裙板等。我国复兴号已经在车体局部结构件、车厢侧壁板等部位中使用碳纤维复合材料, 假设其单节车厢车身与饰品所需碳纤维为 2-3 吨, 每年新增 100 列、每列 8 节车厢, 碳纤维渗透率 30% 计算, 则未来每年复兴号所贡献的碳纤维需求量可达 480-720 吨。
- **城市轨道交通的碳纤维应用有望得到加强。**碳纤维复合材料能够适应轨道交通对制造材料隔声、隔热、防火、振动等的要求, 日本、德国已有不少将碳纤维材料应用于轨道交通车体。截至今年上半年, 我国已有累计 51 个城市投运城际轨道交通线路 9573 公里, 未来碳纤维的应用也将得到进一步加强。2021 年 1 月和 7 月, 中国中车研制的时速 200、600 公里的磁悬浮列车亮相, 车型广泛使用了碳纤维材质, 预计未来城际轨道领域将带动碳纤维应用的新爆发点。

图表 58: 中国城市轨道交通建设运营情况



来源: 中国城市轨道交通协会, 国金证券研究所

图表 59: 下一代地铁列车碳纤维应用



来源: 《中国高速列车研发与展望》, 国金证券研究所

2.6 汽车: 空间广阔, 成本问题制约其推广

- **汽车用碳纤维需求稳定增长, 13 停产对需求影响较大。**碳纤维增强复合材料可使汽车的总质量比使用钢结构作为主要制造材料减重 50% 以上, 比铝、镁合金结构减重 30% 以上, 有利于提升汽车的节能、加速以及制动等性能,

在汽车的车身、刹车片、轮毂、传动轴等部位均有应用。近年来，碳纤维在汽车中的应用增长较为平稳，2021年受全球唯一两款大面积采用碳纤维的宝马 i8 与 i3，分别在 2020 年底与 2021 年中停产的影响，全球汽车用碳纤维需求量下滑 3000 吨至 9500 吨。

图表 60: 全球汽车用碳纤维需求量 (吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 61: 中国汽车用碳纤维需求量 (吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

- **成本问题是制约碳纤维推广的主要因素。**汽车是在主体结构采用钢材的基础上进行轻量化，在碳纤维之外还有铝合金等成本更低材料可以选择。据测算，车用碳纤维的减重效果为 50%-70%，铝合金为 30%-60%；车用碳纤维的密度为 1.5g/cm³，铝合金密度为 2.7g/cm³。因此若分别使用碳纤维和铝合金材料来达到相似的减重效果，铝合金用料是碳纤维的两倍，而价格方面，车用碳纤维目前约为 140 元/kg，远高于铝合金的价格。未来随着技术的不断进步，在碳纤维成本下降至主流车企可接受区间时，碳纤维可能在汽车领域大规模推广。

图表 62: 各类汽车轻量化材料性能比较

| 材料种类 | 密度 / (g/cm ³) | 抗拉强度/Mpa | 弹性模量/Mpa | 比强度 | 比模量 | 耐腐蚀性 | |
|-------|---------------------------|----------|----------|--------|------|------|-----|
| 高强度钢 | 7.80 | 1000 | 214000 | 1.3 | 0.27 | 一般 | |
| 铝合金 | 2.80 | 420 | 71000 | 1.5 | 0.25 | 较强 | |
| 镁合金 | 1.79 | 280 | 45000 | 1.6 | 0.25 | 差 | |
| 钛合金 | 4.50 | 942 | 112000 | 2.1 | 0.25 | 强 | |
| 玻纤复材 | 2.00 | 1100 | 40000 | 5.5 | 0.2 | 强 | |
| 碳纤维复材 | 高强度型 | 1.50 | 1400 | 130000 | 9.3 | 0.87 | 非常强 |
| | 高模量型 | 1.60 | 1100 | 190000 | 6.2 | 1.2 | 非常强 |

来源: 《汽车轻量化的碳纤维复合材料应用分析》, 国金证券研究所

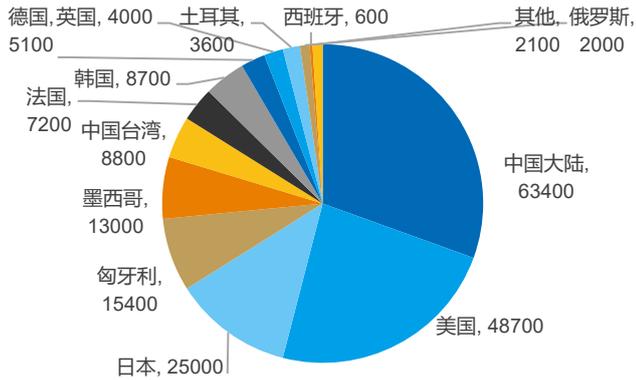
三、我国碳纤维产能快速扩张，大丝束成为重要方向

3.1 中国碳纤维产能快速扩张，供需矛盾有望缓解

- **全球碳纤维产能主要集中在中国、美国和日本，中国产能快速扩张。**2021 全球碳纤维产能约 20.76 万吨，其中中国大陆、美国和日本分列前三位，运行产能分别为 6.34 万吨、4.87 万吨和 2.5 万吨，三家合计占全球产能的 66%。2020-2021 年中国产能快速扩张，两年产能同比增速分别达到 36% 和 74%，我国碳纤维的自给率也从 2015 年的 14% 提升至 2021 年的 47%。国内龙头企业依托成熟的技术以及完备的产业链支持，不断向国际头部企业看齐。
- **日本、美国、欧洲碳纤维产业发展较为完善，日本东丽为全球龙头。**全球除中国大陆以外的 PAN 基碳纤维供应商主要有八家，其中日本三家，分别是东丽、三菱和东邦，美国两家，分别为赫氏和氰特，其他地区三家，分别为土耳其的阿克萨集团、德国的西格里碳素和中国台湾的台塑。日本碳

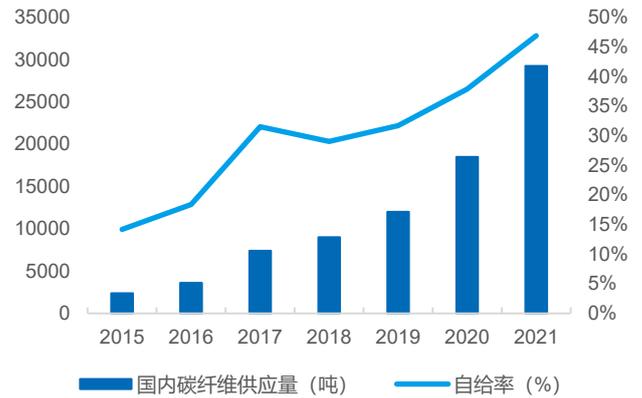
纤维在技术和产品品质方面居于领导地位，近些年通过超强的技术与融入全球产业生态的能力，在全球寻求综合优势的区域建厂，使其保持了全球领导地位；美国的综合投资环境较好，生产要素具有全球优势，产业链生态完备，航空航天、汽车、风电等方面的应用能力强；欧洲产业链生态完备，在风电、汽车领域的市场庞大，此外，处于匈牙利及土耳其的碳纤维企业具备腈纶工业基础，碳纤维产业发展较为完善。日本东丽是全球综合实力第一的碳纤维企业，早在上世纪 80 年代便有销售 T1000 级的高强碳纤维，在小丝束领域技术大幅领先，2014 年收购美国卓尔泰克后在大丝束领域也拥有了成熟产品，2021 年东丽的产能达 5.75 万吨，位居全球第一。

图表 63: 2021 年全球产能分布 (企业, 吨)



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

图表 64: 中国碳纤维自给率大幅提升



来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

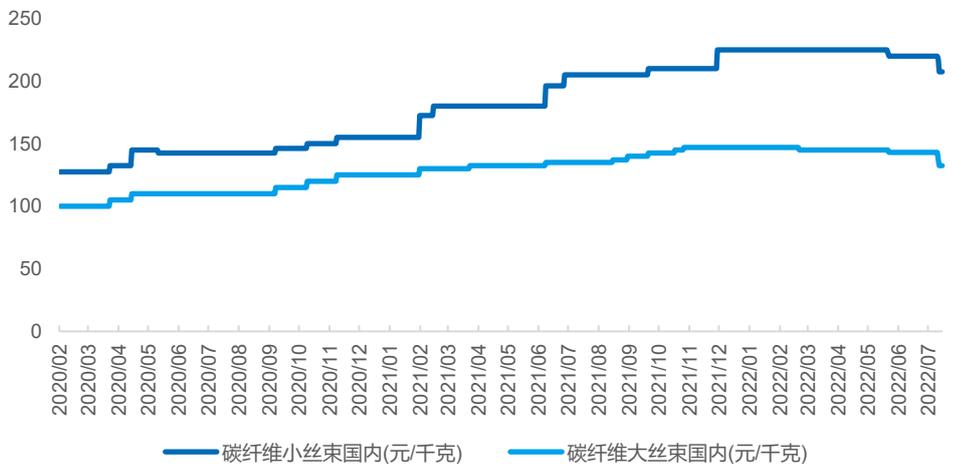
图表 65: 2021 年全球主要企业碳纤维产能及扩产计划 (吨)

| 企业 | 运行产能 | 并购产能 | 扩产计划 | 远期合计产能 |
|---------|--------|-------|--------|--------|
| 东丽+卓尔泰克 | 29100 | 28400 | 6000 | 63500 |
| 吉林化纤 | 16000 | 27000 | | 43000 |
| 赫氏 | 16000 | | | 16000 |
| 东邦/帝人 | 14500 | | | 14500 |
| 三菱 | 14300 | | | 14300 |
| 西格里 | 13000 | | | 13000 |
| 中复神鹰 | 11500 | | 14000 | 25500 |
| 宝旌 | 10500 | | 21000 | 31500 |
| 台塑 | 8800 | | | 8800 |
| 氰特/索尔维 | 7000 | | | 7000 |
| 新创碳谷 | 6000 | | 12000 | 18000 |
| 恒神股份 | 5500 | | 20000 | 25500 |
| 光威复材 | 5100 | | 10000 | 15100 |
| DowAksa | 3600 | | 10000 | 13600 |
| 韩国晓星 | 4000 | | 18000 | 22000 |
| 太钢钢科 | 2400 | | | 2400 |
| UMATEX | 2000 | | | 2000 |
| 蓝星 | 2000 | | | 2000 |
| 上海石化 | 1500 | | 12000 | 13500 |
| 中简科技 | 1300 | | 1000 | 2300 |
| 中国其他 | 1700 | | | 1700 |
| 世界其他 | 3500 | | | 3500 |
| 合计 | 179300 | 55400 | 124000 | 358700 |

来源: 赛奥碳纤维, 国金证券研究所

- 今明两年国内碳纤维进入投产高峰期, 供需矛盾有望缓解。2021 年中国大陆的碳纤维运行产能为 6.34 万吨, 占全球的 31%, 未来几年, 国内仍将有大规模的扩产计划, 其中规模较大的项目例如吉林化纤集团近两年先后开启的 20 万吨和 40 万吨的碳纤维全产业链项目 (其中碳纤维规划分别为 5 万吨和 6 万吨), 中复神鹰在西宁建设的 2.4 万吨碳纤维项目, 上海石化 1.2 万吨 48K 大丝束碳纤维项目等。赛奥碳纤维估计, 未来中国大陆仍将有 9 万吨的产能增量, 届时产能将占全球的 50% 以上, 根据我们的统计, 2022-2023 年国内待投项目的名义产能分别为 4.28 万吨和 3.55 万吨 (不考虑投产节奏), 今明两年即为投产高峰期, 产能的大幅投放也将缓解去年由疫情和进口扰动带来的供需缺口, 今年下半年以来, 国内碳纤维价格也出现下滑趋势, 预计未来国内供需矛盾将进一步缓解。

图表 66: 国内大、小丝束碳纤维价格 (元/千克)



来源：百川盈孚，国金证券研究所

图表 67：国内企业 2022-2023 年碳纤维扩产统计（吨）

| 企业 | 2021 | 2022E | 2023E |
|----------|-------|-------|-------|
| 中复神鹰 | 11000 | | 14000 |
| 光威复材 | | 4000 | |
| 中简科技 | 300 | | |
| 上海石化 | 1500 | 6000 | |
| 吉林化纤-凯美克 | 300 | 300 | |
| 吉林化纤 | | 12000 | |
| 吉林国兴 | 11500 | 11500 | 6000 |
| 吉林碳谷 | 300 | | |
| 吉林宝旌 | 2000 | | |
| 太钢钢科 | 1800 | | |
| 兰州蓝星 | | | 2500 |
| 创新碳谷 | 6000 | | 13000 |
| 国泰大成 | | 3000 | |
| 新疆隆炬 | | 6000 | |
| 合计 | 34700 | 42800 | 35500 |

来源：公司公告，公司官网，环评报告，赛奥碳纤维，国金证券研究所

注：假设吉林国兴 6 万吨碳纤维项目明年投产 6000 吨

3.2 我国大丝束实现技术突破，成为未来重要发展方向

- **大丝束的制备难度更高，但成本更低，适用于工业民用领域。**大丝束和小丝束碳纤维有不同的工艺难点和优势，小丝束的工艺难点在于它需要更精准的控制工艺来保证力学指标的稳定性，优势在于力学指标更高，可广泛应用于对于强度要求较高的高端领域，主要应用于军工、航空航天等领域。大丝束的制备难度整体高于小丝束，在原丝、聚合、预氧化、碳化等多个系统环节都存在制备难点，但因其生产效率高，生产成本比小丝束低 30% 以上，性能可满足工业民用需求，在风电叶片、压力容器、汽车、轨道交通等工业领域具备应用前景，并且随着其性价比的进一步提升，未来大丝束的工业应用方向也有望扩大。

图表 68：小丝束碳纤维和大丝束碳纤维制备过程成本对比

| 不同参数丝束规格 | 大丝束碳纤维 >48K | 小丝束碳纤维 1~24K | 小丝束成本高的原因 |
|----------|----------------------|-------------------------|-------------|
| 聚合组分 | 纯度要求一般，<92% AN, MA 等 | 纯度要求高，>92%AN, MA (IA 等) | 提纯成本增加 |
| 原丝纯度 | 允许一定杂质 | 严格控制杂质含量 | 纺丝速度慢 |
| 原丝性能 | 重均分子量适中 | 高重均分子量且分子量分布窄 | 聚合、纺丝成本增加 |
| 氧化过程 | AN 含量少使得氧化快，需要控制放热集中 | 高 AN 含量致使氧化慢 | 长时高耗能致使成本增加 |
| 碳化工艺 | 碳化温度相对较低 | 有时需要较高温度 | 能耗高 |
| 产品认证 | 相对简单 | 非常关键、过程复杂 | 周期长、认证昂贵 |

来源：《国产聚丙烯腈基大丝束碳纤维发展现状与分析》，国金证券研究所

- **大丝束碳纤维在海外集中度高，近几年国内实现重要技术突破。**大丝束碳纤维主要借鉴民用腈纶原丝技术并优化提升，上世纪 70 年代，英国考陶尔兹 (Courtaulds) 公司利用纺织用腈纶生产线研制 48K 以上聚丙烯腈大丝束原丝取得成功，大丝束碳纤维的技术在欧美得到推广，日本企业则通过对欧美企业收购的方式掌握了大丝束的技术。目前，海外大丝束碳纤维生产商主要有卓尔泰克 (2014 年被东丽收购)、德国西格里、英国考陶尔兹等企业，集中度很高。近几年，国内以上海石化和吉林化纤为代表的，具有腈纶生产经验的企业，逐步突破大丝束的原丝和碳丝的制备技术，2018

年3月，上海石化成功试制出了国内真正意义上的48K大丝束碳纤维，并于2021年1月开启“2.4万吨/年原丝、1.2万吨/年48K大丝束碳纤维”项目；吉林碳谷与2018年实现了24K、25K碳纤维原丝的规模化生产，于2019年实现了48K原丝的规模化生产，当前已投产万吨级50K的原丝产线；吉林宝旌于2016年开启“8000吨大丝束碳纤维项目”，2018年采用吉林碳谷48K的原丝成功实现2000吨产线的投产。

图表 69：吉林碳谷与卓尔泰克、西格里技术与关键业务对比

| 厂商 | 碳纤维产能 | 大丝束碳纤维价格 | 产品性能 | 技术特点 | 客户对象与应用 | 原丝产能来源 |
|--------|-----------|----------------------------|--|-----------------------|-----------------|--------------------|
| Zoltek | 2万吨/年 | \$14-16/kg | T400左右的水平 | 来自原腈纶经验，走工业化民用道路 | 主要是风电、土木工程等领域 | 自产自用 |
| SGL | 1.5万吨/年 | \$14.5-17/kg | T400，以及稍弱于T700水平，主要是配合汽车和风电的需求；T700水平为配合工业部件 | 来自原丝精细化原则，走高性能产品道路 | 主要是汽车（宝马）、工业设备等 | 自产自用一部分，剩余通过日本三菱采购 |
| 厂商 | 原丝产能 | 大丝束原丝价格 | 产品性能 | 技术特点 | 客户对象与应用 | 说明 |
| 吉林碳谷 | 原丝产能4.5万吨 | 24-29元/kg（碳纤维含税价格约105元/kg） | 大丝束碳化后达到T400水平 | 来自原腈纶大工业经验，自主创新后走民用道路 | 主要是风电领域 | 为国内碳纤维企业供应原料 |

来源：吉林碳谷公开发行说明书，国金证券研究所

- 大丝束成为我国未来碳纤维扩产的重要方向，风电等领域有望迎来国产替代。2021年以来，国内以大丝束为方向的产能规划进入了规模化释放阶段，根据我们对近几年已投、待投碳纤维项目的统计，2021年-2023年间，大丝束的新增名义产能分别占国内当前新增名义产能的58%、93%、61%，大丝束已成为我国碳纤维发展的重要方向，从而在与大丝束相关的风电叶片、压力容器、轨道交通、汽车轻量化等领域有望实现国产替代，例如吉林宝旌的8000吨大丝束项目便与Vestas签订了长期供货协议。

图表 70：我国大丝束碳纤维项目部分统计

| 企业 | 项目 | 丝束类型 | 产能（吨） |
|------|---------------------------------|-------------|-------|
| 吉林化纤 | 1.2万吨碳纤维复材项目 | | 12000 |
| 吉林国兴 | 1.5万吨碳纤维项目 | 25K以上 | 15000 |
| | 6万吨碳纤维项目 | 35K以上 | 60000 |
| 吉林宝旌 | 8000吨大丝束碳纤维项目 | 25~50K | 8000 |
| 上海石化 | 2.4万吨/年原丝、1.2万吨/年48K大丝束碳纤维项目 | 48K | 12000 |
| 兰州蓝星 | 5000吨原丝+2500吨碳丝项目 | | 2500 |
| 光威复材 | 内蒙古光威低成本碳纤维项目 | 24K、36K、48K | 20000 |
| 恒神股份 | 榆林2万吨高性能碳纤维项目 | | 20000 |
| 创新碳谷 | 3.8万吨原丝+1.9万吨大丝束+2.8万吨大丝束复合材料项目 | 25K | 19000 |
| 新疆隆炬 | 5万吨高性能碳纤维项目 | 24K、35K | 50000 |

来源：公司公告，公司官网，环评报告，赛奥碳纤维，国金证券研究所

3.3 我国高性能碳纤维持续突破，政策支持为行业发展保驾护航

- 我国高性能碳纤维持续突破。除了大丝束方向的发展，我国碳纤维在力学性能方面也在进步，国内涌现出如中复神鹰、光威复材、中简科技等在小丝束领域有技术积累的企业。例如中复神鹰在国内率先建成干喷湿纺T700级、T800级碳纤维千吨级生产线，相继开发出T700、T800、T1000、M30、M35、M40等级别的碳纤维，并规划了下一代T1100级碳纤维的研发；光威复材已开发出T300、T700、T800、M40J、M50J等型号的产品，其中去年投产的M40J、M55J产品实现了国产高强高模碳纤维的突破；中简科技于2020年投产的T700级碳纤维千吨线可批量稳定生产ZT7系列、

ZT8 系列、ZT9 系列高性能碳纤维，募投的 1500 吨 12K 产线还将探索、M40J、M40X 和 M55J 等新的型号。

- **我国加大对碳纤维产业的扶持力度。**随着我国产业结构升级，政府加大对新兴产业等尖端技术密集产业的扶持力度，碳纤维作为用途广泛的新材料，得到了众多政策支持，国内企业迎来机遇。

图表 71：我国对碳纤维复合材料发展相关政策

| 时间 | 部门 | 文件 | 内容 |
|------------------|--------------------------|-----------------------------------|---|
| 2015 年 5 月 8 日 | 国务院 | 《中国制造 2025》 | 以特种金属功能材料、高性能结构材料、功能性高分子材料、特种无机非金属材料 and 先进复合材料为发展重点；高度关注颠覆性新材料对传统材料的影响，做好超导材料、纳米材料、石墨烯、生物基材料等战略前沿材料提前布局和研制。加快基础材料升级换代。 |
| 2016 年 8 月 8 日 | 国务院 | 《“十三五”国家科技创新规划》 | 1) 重点研制碳纤维及其复合材料等，突破制备、评价、应用等核心关键技术。2) 以高性能纤维及复合材料等为重点，解决材料设计与结构调控的重大科学问题，突破结构与复合材料制备及应用的关键共性技术，提升先进结构材料的保障能力和国际竞争力。3) 以高端碳纤维为代表的先进碳材料等前沿新材料为突破口，抢占材料前沿制高点。 |
| 2016 年 11 月 29 日 | 国务院 | 《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》 | 面向航空航天、轨道交通、电力电子、新能源汽车等产业发展需求，扩大高强轻合金、高性能纤维、特种合金、先进无机非金属材料、高品质特殊钢、新型显示材料、动力电池材料、绿色印刷材料等规模化应用范围；加强新材料产业上下游协作配套，在碳纤维复合材料等领域开展协同应用试点示范，搭建协同应用平台。 |
| 2016 年 12 月 30 日 | 工业和信息化部、发展改革委、科技部、财政部四部委 | 《新材料产业发展指南》 | 1) 到 2020 年，在碳纤维复合材料等领域实现 70 种以上重点新材料产业化及应用；2) 突破高强高模碳纤维产业化技术、高性能芳纶工程化技术，开展大型复合材料结构件研究及应用测试；3) 加快碳纤维复合材料在高铁车头等领域的推广应用；4) 开展碳纤维等新材料应用示范。 |
| 2017 年 4 月 14 日 | 科技部 | 《“十三五”材料领域科技创新专项规划》 | 提出“加强我国材料体系的建设，大力发展高性能碳纤维与复合材料、军工新材料等，满足我国重大工程与国防建设的材料需求。” |
| 2016 年 3 月 16 日 | 十二届全国人大四次会议 | 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》 | 高性能碳纤维是我国战略性新兴产业发展行动重点领域之一。 |
| 2017 年 8 月 31 日 | 工信部、财政部和保监会 | 《关于开展重点新材料首批次应用保险机制补偿试点工作的通知》 | 明确指导保险公司提供定制化的新材料产品质量安全责任保险产品。从首批次承保新材料来看，碳纤维相关材料在总共 244 个项目中占到 11 项，而首批次保险机制的推广也将对新材料的应用风险作出分担，突破碳纤维应用的初期市场瓶颈，激活和释放下游行业对碳纤维相关材料的有效需求。 |
| 2017 年 10 月 18 日 | 工信部 | 《碳纤维及其复合材料全产业链发展指南（2017 年）》 | 1) 汽车低成本专用碳纤维开发关键技术，主要技术内容：优化聚合和纺丝及碳化、(预)氧化等关键生产工艺；原丝的纺丝速度及纺丝液的含固量控制技术；满足汽车典型零部件综合性能要求的汽车大丝束低成本专用碳纤维材料；碳纤维材料性能检测技术。2) 量化与复杂液压先进制造及表面处理技术，主要技术内容：增强型碳纤维或高分子材料等非金属材料液压元件的设计与制造工艺；分层制造工艺、金属熔融激光加工增材制造工艺等复杂液压阀块先进制造工艺；先进的液压缸活塞杆表面镀铬替代涂层工艺；密封的适应性；疲劳耐久性等等。 |
| 2017 年 11 月 20 日 | 国家发展改革委 | 《增强制造业核心竞争力三年行动计划（2018-2020 年）》 | 碳纤维被列入重点领域之一。 |
| 2017 年 12 月 26 日 | 国家发展改革委 | 《新材料关键技术产业化实施方案》 | 设定碳纤维方面的发展指标 |
| 2018 年 1 月 26 日 | 国家制造强国建设战略咨询委员会 | 《<中国制造 2025>重点领域技术创新路线图（2017 年版）》 | 2020 年国产高强碳纤维及其复合材料技术成熟度达到 9 级，实现在汽车、高技术轮船等领域的规模应用；2025 年，国产高强中模、高模高强碳纤维及其复合材料技术成熟度达到 9 级；力争在 2025 年前，结合国产大飞机的研发进程，航空用碳纤维复合材料部分关键部件取得 CAAC/FAA/EASA 等适航认证。碳纤维(T800 级)拉伸强度 $\geq 5.8\text{GPa}$ ，CV $\leq 4\%$ ，拉伸模量 294GPa，CV $\leq 4\%$ 。 |

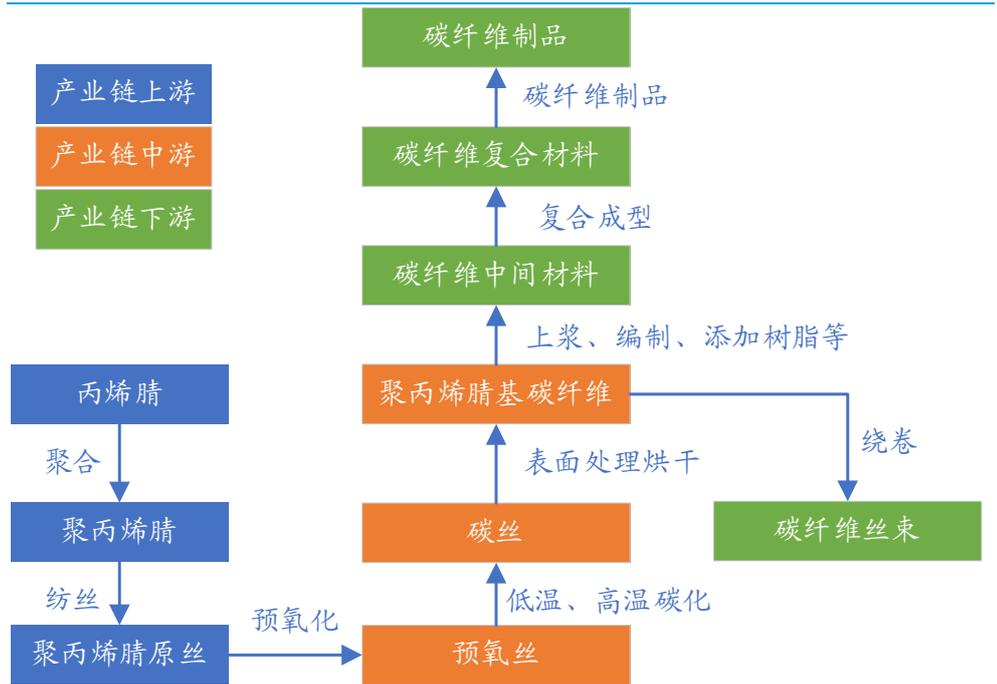
| | | | |
|------------|---------------|--|--|
| 2018年3月15日 | 工信部、国家发改委等九部委 | 《新材料标准领航行动计划(2018~2020年)》 | 完善碳纤维命名、分类等基础标准, 指导规范碳纤维产业健康发展。研制 T800 级和 M55J 级及以上工业级系列碳纤维制备相差技术标准, 促进国产碳纤维广泛应用。开展高强高模碳纤维检测方法研究, 为碳纤维应用选型定型提供标准依据。构建高强高模碳纤维标准体系, 支撑国产高强高模碳纤维在卫星和其他空间平台上应用, 达到“上星”标准。开展碳纤维复合材料与金属基结合件相关标准研究, 制定电化学腐蚀、断裂韧性、拉剪强度及擅劳等评价测试方法标准, 为碳纤维材料结构件提供稳定性、可靠性和服役寿命等评价依据, 支撑国产大型复合材料结构件性能表征和低成本制备技术应用, 满足大型客机适航要求, 达到“上机”标准。 |
| 2018年9月 | 工信部 | 《重点新材料首批次应用示范指导目录(2018版)》 | 将高性能纤维及复合材料列为关键战略材料, 重点开发高强型、高强中模型、高模型碳纤维及汽车用碳纤维复合材料 |
| 2019年2月 | 工信部 | 尽快推出《化工新材料补短板工程实施方案》 | 要推动碳纤维、电子化学品、膜材料、工程塑料在下游的应用。针对碳纤维方案包括两个方面, 一是指导碳纤维及复合材料产业发展联盟, 推动碳纤维在下游领域的应用推广; 二是推动成立汽车轻量化非金属材料产业联盟, 推动工程塑料、碳纤维复合材料在汽车行业的应用。 |
| 2019年11月 | 国家发展改革委 | 《产业结构调整指导目录(2019年本)》 | 将碳纤维等高性能纤维及制品的开发、应用和生产列为国家产业结构调整指导目录的鼓励类项目 |
| 2019年12月 | 工信部 | 《重点新材料首批次应用示范指导目录(2019年版)》 | 将应用于航空、航天、轨道交通、海工、风电装备、压力容器等领域的高强型、高强中模型、高模型等碳纤维列入关键战略材料 |
| 2020年9月 | 国家发展改革委 | 《关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见》 | 要求聚焦重点产业投资领域, 加快新材料产业强弱项。围绕保障大飞机、微电子制造、深海采矿等重点领域产业链供应链稳定, 加快在光刻胶、高纯靶材、高混合金、高性能纤维材料、高强高导耐热材料、耐腐蚀材料、大尺寸硅片、电子封装材料等领域实现突破。 |
| 2021年3月 | 十三届全国人大四次会议 | 《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》 | 提出要加强碳纤维等高性能纤维及其复合材料的研发应用, 为未来碳纤维行业的技术进步提供了良好的政策环境 |

来源: 政府官网, 国金证券研究所

四、碳纤维的制备工艺: 原丝和碳化

- **碳纤维的工艺路线主要分位上、中、下游三个阶段。**上游为原丝的制备: 通过对丙烯腈聚合, 后经纺丝形成碳纤维原丝; 中游为碳纤维的生产: 对原丝进行预氧化、碳化、表面处理等制备碳纤维; 下游为复合材料及制品的加工: 一种是绕卷形成碳纤维丝束直接使用, 另一种是上浆、编制后与基体材料复合成型, 得到碳纤维复合材料。
- **碳纤维生产技术上存在配方壁垒、工艺壁垒及工程壁垒, 难度依次增加。**根据光威复材的公告, 配方只要通过购买配方或者挖角技术人员等方式即可获得, 获取后可迅速消化吸收, 壁垒突破时间为 1-2 年; 工艺需要在拥有配方的基础上, 配合生产装备、技术人员进行不断的工艺调整和磨合, 最后才能工业化生产出合格的产品, 例如原丝生产过程中的蒸汽牵伸工艺, 工艺壁垒突破时间为 3-5 年; 多道生产工艺组成了全套工程体系, 工程体系需要每个生产工艺之间的协调配合, 并需要企业的装备设计、改造和调整能力, 对技术人员要求更高, 需要企业大量的资本投入。工程壁垒突破时间 5 年以上。

图表 72: 碳纤维技术工艺路线

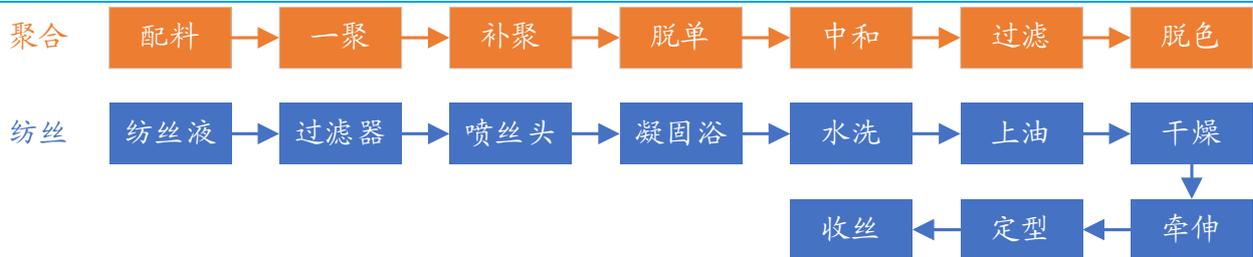


来源:《碳纤维低成本制备技术》, 国金证券研究所

4.1 碳纤维原丝环节: 聚合-纺丝

- 原丝制备是碳纤维制备中技术壁垒最高的环节, 直接决定碳纤维产品的质量和成本。原丝制备包括聚合和纺丝两个环节, 聚合是将丙烯腈单体聚合成纺丝液, 纺丝是将纺丝液经过喷丝、凝固、成型等工艺制成原丝, 纺丝决定了原丝的性能。

图表 73: 原丝制备过程



来源:《碳纤维生产原丝工艺研究》, 国金证券研究所

- 丙烯腈聚合: 按聚合工艺不同可分为一步法和二步法。聚丙烯腈 (PAN) 是由单体聚丙烯 (AN) 经过自由基聚合反应得到的高分子材料, 按照聚合方法不同可分为均相溶液聚合和水相沉淀聚合。均相溶液聚合的单体、引发剂以及聚合产物均溶于溶剂, 所获得的 PAN 纺丝原液经过脱单脱泡后, 可直接应用于纺丝, 故又称为“一步法”; 水相沉淀聚合属于非均相聚合工艺, 以水为反应介质, 反应单体可溶于水, 而反应所得的聚合物不溶于水, 沉淀后得到的 PAN 粉末在纺丝前需经溶剂再次溶解成纺丝原液, 故而称为“二步法”。一步法的聚合转化率高, 工艺流程短, 有利于提高原丝产品质量, 是小丝束主要采用的工艺, 二步法中聚合釜的生产能力较大, 且聚合热的移除效率也较高, 适合生产大丝束。

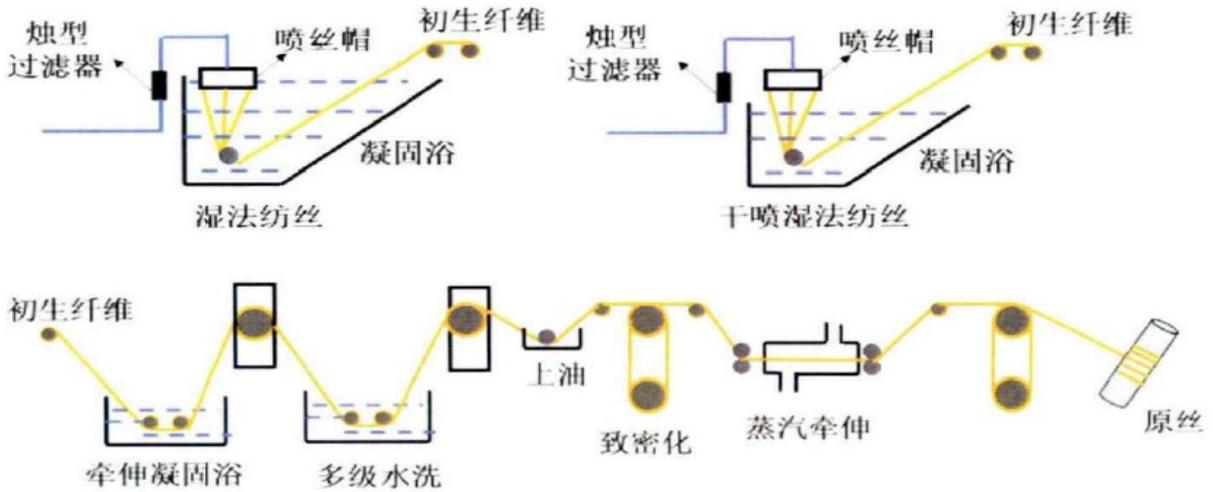
图表 74: 碳纤维聚合工艺比较

| 项目 | 一步法 | 二步法 |
|----------|--|--|
| 聚合 | 溶液 | 悬浮液 |
| 聚合介质 | 二甲基亚砷 (DMSO) N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 硫氰酸钠水溶液 (NaSCN) 氯化锌水溶液 (ZnCl ₂) | 水 |
| 聚合物是否纯化 | 否 | 是 |
| 聚合物分离/干燥 | 否 | 是 |
| 纺丝溶剂 | 与聚合溶液相同 | 二甲基乙酰胺 (DMAC) N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 硫氰酸钠水溶液 (NaSCN) 二甲基亚砷 (DMSO) |

来源:《聚丙烯腈基碳纤维先驱体生产新方法》, 国金证券研究所

- **纺丝: 目前主流的纺丝方法有湿法纺丝和干喷湿纺。**通过聚合工艺得到纺丝原液后, 纺丝原液进入纺丝工段, 包括纺丝 (纺丝原液通过喷丝帽进入凝固浴)、水洗与整理 (热水牵伸、上油、蒸汽牵伸) 和组件喷丝板准备 (清洗) 等过程形成 PAN 原丝。根据纺丝过程中喷丝帽与凝固浴液面之间是否存在空气层介质, 可将纺丝工艺分为湿法纺丝和干喷湿纺。湿法纺丝是原丝液从喷丝头喷出直接进入凝固浴, 干喷湿纺是原丝液从喷丝孔出来不直接进入凝固液, 而是先经过一段空气段。干喷湿纺的优点在于其喷丝时表层没有接触到水, 因此表层和芯部的收缩率一样, 产生的缺陷较少, 进而导致最终碳纤维强度更高, 此外, 干喷湿纺可以进行高倍速喷丝头拉伸, 纺丝速度是湿纺的 3-4 倍, 但是干喷湿纺的单锭线密度较低, 不能实现大产能, 同时也不适用于大丝束碳纤维原丝制备, 因此干喷湿纺主要适用于小丝束生产, 湿法纺丝则适用于大丝束生产。
- **油剂: 碳纤维原丝纺丝及后加工处理的重要助剂。**原丝在纺丝阶段需要上油, 主要作用是保护纤维表面不产生热粘连或热融并现象, 使原丝能顺利通过预氧化与低温碳化等过程。油剂是国产碳纤维向更高强及高模方向发展时必须解决的一项核心技术, 油剂质量不过关就在生产中造成原丝劈丝、粘连及表面损伤。高性能碳纤维油剂多为硅系油剂, 目前我国与海外差距较大, 且成本很高, 根据赛奥碳纤维的数据, 油剂的降本可以将原丝单吨成本从数千元降低到数百元。

图表 75: PAN 原丝的纺丝工艺流程图



来源:《干喷湿纺聚丙烯腈纤维微结构研究》, 国金证券研究所

图表 76: 湿法纺丝和干湿法纺丝工艺对比

| 项目 | 湿法纺丝 | 干湿法纺丝 |
|-------|-----------------------|-------------------------|
| 喷丝孔直径 | 小 0.05-0.075mm | 大 0.10-0.30mm |
| 纺丝液 | 中、低分子量和固含量 | 高分子量、高估含量、高粘度 |
| 牵伸率 | 喷丝后为负牵伸, 一般为负 20%-50% | 喷丝后为正牵伸, 一般正率 100%-400% |
| 纺速 | 纺丝速度慢, 一般 80m/min 左右 | 放肆速度快, 可在 300m/min 左右 |
| 纤维 | 纤维表面有沟槽, 体密度一般 | 纤维表面光亮平滑, 纤维致密, 密度较高 |
| 纺丝温度 | 纺丝温度较高, 一般为 50-50 度 | 纺丝温度较低, 一般为 40-45 度 |

来源: CNKI, 国金证券研究所

图表 77: 海内外主要碳纤维企业原丝制备工艺

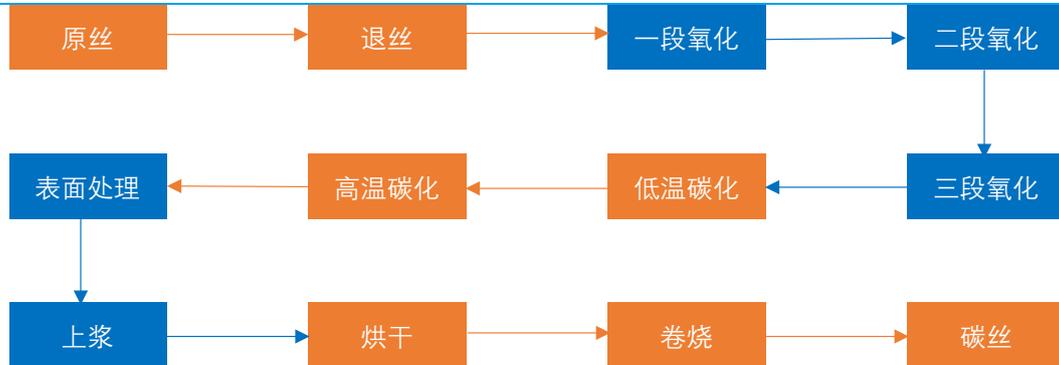
| 企业 | 主要应用领域 | 聚合工艺 | 聚合溶剂 | 纺丝工艺 |
|------|------------------------------|------------|-------------------|---------------------------------|
| 光威复材 | 主要是国防军工, 工业领域 (风电叶片) | 一步法 | DMSO | 湿法、干喷湿法 |
| 恒神股份 | 重大设备、体育休闲等领域 | 一步法 | DMSO | 湿法、干喷湿法 |
| 中简科技 | 航空航天 | 一步法 | DMSO | 湿法、干喷湿法 |
| 中复神鹰 | 航空航天、风电叶片、压力容器、轨道交通等领域 | 一步法 | DMSO | 干喷湿法 |
| 吉林碳谷 | 风电、军工等领域 | 二步法 | DMAC | 湿法 |
| 上海石化 | 风电、体育休闲、石油钻井等 | 二步法 | NaSCN | 湿法 |
| 兰州蓝星 | | 一步法 | NaSCN | |
| 日本东丽 | 航空领域比例最高, 其他工业领域也广泛应用 | 一步法 | DMSO | T700、T800 和 T1000 采用干喷湿法, 其他为湿法 |
| 日本东邦 | 优势在于机械臂、高速回转体、铁道车辆等 | 一步法 | ZnCl ₂ | 湿法 |
| 日本三菱 | 航空航天、工业领域、体育休闲 | 一步法 二步法 | DMF DMAC | 湿法 |
| 西格里 | 主要是汽车领域 | | | |
| 赫氏 | 主要是国防军工及航空航天领域, 风电叶片和汽车等工业领域 | 二步法 | NaSCN | |
| 陶氏 | 风电、轨道交通领域 | | | |

来源: 公司公告, 环评报告, 国金证券研究所

4.2 碳纤维碳化环节: 预氧化-碳化-表面处理-上浆

- 得到原丝后，需要对原丝进行碳化处理以去除材料中的非碳元素，使其含碳量超过 90%。主要流程包括将卷绕好的聚丙烯腈原丝进行退丝，以提高丝线的强力和耐磨性，然后通入氧气进行预氧化，原丝经预氧化处理后转化为耐热梯形结构的预氧丝（PANOF），再经低温碳化和高温碳化转化为具有乱层石墨结构的碳纤维（CF），随后经表面处理后进行上浆，最后经烘干得到碳纤维产品。

图表 78：碳丝制备过程



来源：中复神鹰招股说明书，国金证券研究所

- **预氧化：**预氧化是制备碳纤维非常重要的一个环节，是承接原丝与碳纤维之间的桥梁。原丝在大约 200-280℃ 范围内，经脱氢、环化等过程，使线型分子链转化为耐热的梯形结构，使其在碳化的高温下不熔不燃，能够保持纤维结构。
- **碳化：**碳化是乱层石墨结构形成、长大和有序化阶段，是碳纤维拉伸强度大幅提高的阶段。碳化过程分为低温碳化和高温碳化两个阶段，低温碳化的温度控制在 300-1000℃，预氧丝在热解作用下将 CO₂、H₂O、CO、HCN、NH₃ 等裂解出去，随后丝束进入高温碳化炉中，在 1000-1700℃ 的高温下，大分子进一步交联，使原来梯形分子结构转变为乱层石墨结构，非碳原子逐步排出，最后形成含碳量 90% 以上的碳纤维。
- **表面处理：**显著改善纤维和基体树脂之间的界面结合力，使负荷剪切强度 ILSS 提升到 90MPa 以上。碳纤维增强树脂（CFRP）作为工程结构材料使用时，要求层间剪切强度（ILSS）在 80MPa 以上，最好在 90MPa 以上，经过表面处理的碳纤维 ILSS 可提高到 80-120MPa，可满足使用要求。工业上常用的表面处理方法主要有阳极电解氧化法和气相氧化法等。
- **上浆：**经过上浆处理的碳纤维，其表面空隙减少，纹理沟槽变浅，可以减少碳纤维的损伤，力学性能有一定程度提高。在碳纤维表面直接涂覆一层高分子材料以改善碳纤维表面性质的工艺被称为上浆，对应的高分子材料被称为上浆剂。商业上常用的上浆剂为尼龙与环氧树脂等原料以一定比例配比而成。根据《大丝束碳纤维发展现状及我国技术瓶颈和发展建议》一文的介绍，上浆剂是我国碳纤维生产商的重要技术短板，各家的上浆剂配方实行严格保密和技术封锁。

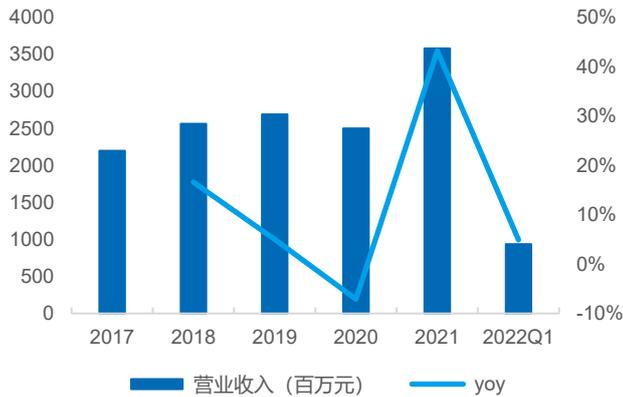
五、投资建议

5.1 吉林化纤：供应链配套完善，大丝束产能快速扩张

- **碳纤维产业链配套完善，布局小丝束与复合材料业务。**公司是吉林化纤集团旗下的上市公司，传统主业为粘胶长丝和粘胶短纤。2021 年 2 月公司的子公司吉林凯美克宣布将引进设备生产 600 吨 1K、3K 小丝束碳纤维产品，公司正式进军碳纤维领域，2022 年 6 月该项目已全部建成达产。2021 年 9 月，公司启动 1.2 万吨碳纤维复材项目，生产风电叶片拉挤板等材料，项目预计年内投产。由于吉林化工集团旗下的吉林碳谷是国内重要的原丝供应商，故而公司碳纤维产业链下游所需原材料均可通过吉林碳谷供应，产业链配套十分完善。

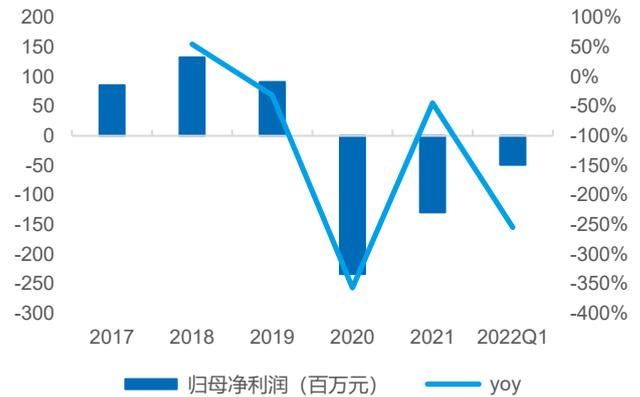
- **吉林国兴三年内有望装入上市公司，大丝束碳纤维产能快速扩张。**吉林国兴碳纤维成立于 2008 年，2020 年 5 月正式划归吉林化纤集团旗下，并成为集团实施大丝束碳纤维项目的主体。2020 年 8 月国兴碳纤维开始实施 1.5 万吨大丝束碳纤维项目，自 2021 年 7 月第一条大丝束产线投产以来，公司累计投产近 10 条大丝束产线，并于今年 7 月开启 6 万吨 35K 以上大丝束碳纤维项目，未来大丝束的名义产能有望达到 7.5 万吨。2022 年 3 月，集团承诺 3 年内将采取包括将国兴碳纤维股权注入上市公司在内的符合国有资产监管、证券监管的相关举措，未来优质资产有望注入。

图表 79：吉林化纤营业收入及增速



来源：Wind，国金证券研究所

图表 80：吉林化纤归母净利润及增速

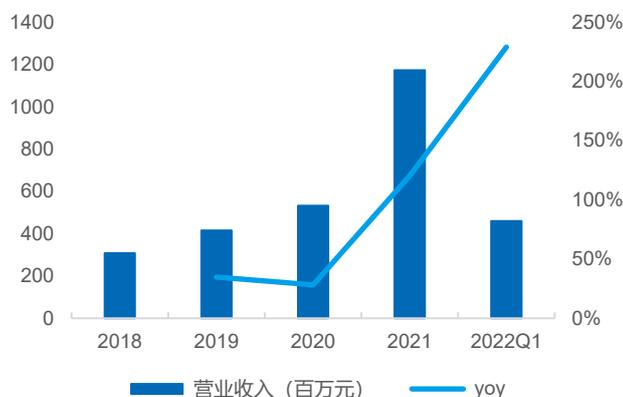


来源：Wind，国金证券研究所

5.2 中复神鹰：高性能碳纤维龙头企业，布局航空航天与新能源领域

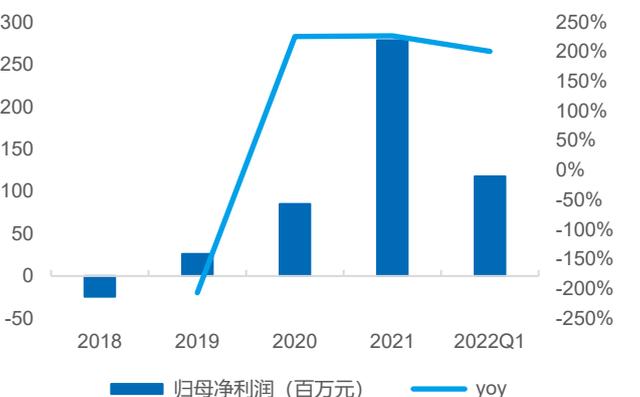
- **技术实力突出，产品偏高端化。**公司是国内第一家突破干喷湿纺技术的企业，产品应用于航空航天、风电叶片、压力容器、碳碳复材等领域，2021 年上半年公司在上述领域的收入占比分别为 14%、15%、11%、22%。公司目前具有一定规模的 T300、T700、T800 和 M30 的碳纤维生产和销售能力，具备了在航空航天及重点工业领域推广应用的条件，其中 T700 级和 T800 级高性能碳纤维产业化的千吨级碳纤维生产线已经投产，后续公司计划建设航空航天高性能碳纤维及原丝试验线项目，用于下一代 T1100 级碳纤维研发，进行航空航天用高性能碳纤维的应用技术开发、产品应用认证和生产。
- **西宁项目有序投产，产能逐步释放。**公司在西宁基地建设的一期万吨级碳纤维项目已于去年 9 月份投产，二期 1.4 万吨碳纤维项目预计将于 2023 年陆续投产，届时结合公司在连云港基地 3500 吨的原有产能，将有效满足航空航天、新能源、交通建设等下游应用领域对高性能碳纤维的需求。

图表 81：中复神鹰营业收入及增速



来源：Wind，国金证券研究所

图表 82：中复神鹰归母净利润及增速



来源：Wind，国金证券研究所

5.3 光威复材：全产业链布局，军品民品双轮驱动

- **公司布局全产业链，产品种类丰富。**公司业务涵盖碳纤维、经编织物和机织物、系列化的树脂体系、各种预浸料、复合材料构件件和产品的的设计开发、装备设计制造等上下游，依托在碳纤维领域的全产业链布局，成为复合材料业务的系统方案提供商。公司目前已形成高强、高强中模、高强高模系列化碳纤维产品体系，并建设了先进碳纤维复合材料研发中心碳纤维牌号涵盖 T300、T700、T800、M40J、M55J 等型号，并拥有自己的原丝产能。
- **航空航天领域持续突破，包头项目预计今年投产。**2021 年公司 IPO 募投的高强高模型碳纤维产业化项目正式批产，M40J、M55J 产品实现了国产高强高模碳纤维的突破；军民融合高强度碳纤维高效制备技术产业化项目年产 2000 吨 T700S/800S 级碳纤维也于去年二季度投产；T800H 级航空应用项目验证工作碳纤维研制环节的任务在去年基本完成，现有 105 吨产能的产线能够满足验证及小批量交付需求，同时开展产业化生产线等同性验证工作。为满足供应 Vestas 的碳梁的原材料自给，并在新能源等民品领域加大布局，公司在包头建设的万吨级大丝束产业化项目一期 4000 吨预计将于今年内投产。
- **后疫情时代业绩有望加速向上，股权激励显示长期成长信心。**根据公司发布的业绩预告，2022 年上半年公司实现归母净利润 5.06 亿元，同比增长 16%，二季度克服疫情影响，归母净利润环比增长 43%，随着国内疫情的逐步消退，公司中长期业绩有望加速向上。今年上半年公司实行新一轮股权激励计划，以 2021 年为基数，2022-2025 年的目标净利润同比增速分别为 15%、22%、21%、17%。

图表 83：光威复材营业收入及增速



来源：Wind，国金证券研究所

图表 84：光威复材归母净利润及增速

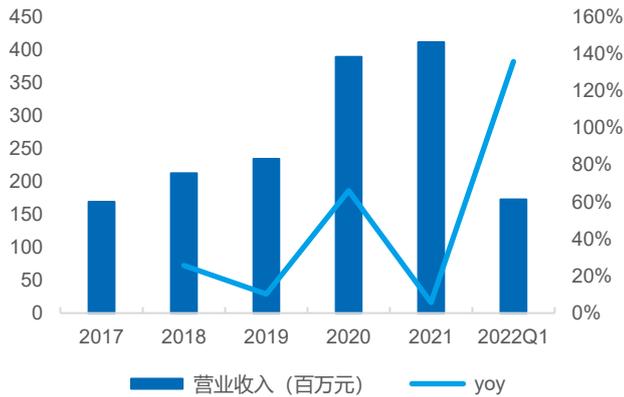


来源：Wind，国金证券研究所

5.4 中简科技：聚焦小丝束高端产品，供应航天军工

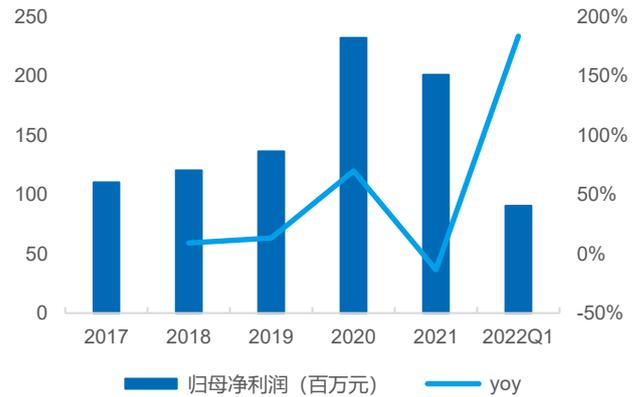
- **公司为国内高端碳纤维厂商，主要供应航空航天军工。**公司主要从事高性能碳纤维的研发和生产，产品主要供应于航空航天领域，其 ZT7 系列高性能碳纤维产品在国家航空航天关键装备的稳定批量应用。公司还拥有 ZT8 系列（T800 级）、ZT9 系列（T1000/T1100 级）和高模型 ZM40J（M40J 级）等产品。公司产品主要军用，用于高附加值的航空航天领域，所以毛利较高。
- **千吨线通过等同性验证评审，三期项目预计 2024 年投产。**公司 IPO 募投的 1000 吨/年国产 T700 级碳纤维扩建项目（简称“千吨线”）于 2021 年 9 月通过了客户及相关部门产品等同性验证程序，进一步提升了航空航天高性能碳纤维供给能力，另一方面，公司新增了碳纤维织物设备，2021 年碳纤维织物产能较 2020 年相比提升了 2 倍。今年 1 月，公司拟募集资金建设三期项目，建成后具有年产 1500 吨（12K）高性能碳纤维及织物产品的生产能力，项目包含 2 条碳化线，其中一条主要用于生产 ZT7 级碳纤维，另外一条生产线主要生产包括 ZT8、ZT9、M40J、M40X 和 M55J 等型号在内的新一代国产高性能碳纤维，项目建设期 4 年，预计于 2024 年投产。

图表 85: 中简科技营业收入及增速



来源: Wind, 国金证券研究所

图表 86: 中简科技归母净利润及增速



来源: Wind, 国金证券研究所

六、风险提示

- 市场竞争加剧风险: 目前国内碳纤维行业正处于加速扩产的阶段, 而且核心的技术只掌握在几家大型企业手中, 由于碳纤维的投资回报周期很长, 中小型企业缺乏持续研发的资金, 抗风险能力弱, 未来几年, 中国碳纤维行业还将持续洗牌。
- 风电市场开拓不及预期: 22年起, 我国海风市场也退出国家补贴, 正式步入平价上网时代, 预计当年海风装机量较 21 年会有所回落, 若后续国内海风与陆风装机增长持续不及预期, 且碳纤维价格始终无法达到下游愿意大规模应用的水准, 则对于碳纤维在风电市场的起量将产生不利影响。
- 航空航天等高端领域发展不及预期: 碳纤维下游应用广泛, 但品质、价格较高的产品主要应用在航空航天领域, 我国碳纤维目前在航空航天领域的应用处于拓展起步阶段, 受下游需求影响较大。
- 新技术开发冲击风险: 相比日本的碳纤维企业, 目前国内的碳纤维企业技术不够成熟, 导致生产成本较高且产品偏低端, 国内企业生产的碳纤维普遍在 T300 - T700 级别之间, 鲜少能够达到 T800 级别, 且 T800 级别的纤维绝大多数只能做到工程化, 真正大规模的产业化仍然有待突破。
- 原材料价格大幅上涨风险: 碳纤维的主要原料丙烯腈作为石油产业链下游产品, 与油价具备较高相关性, 未来石油价格大幅上行可能造成碳纤维成本承压, 此外, 碳纤维制备过程中需要消耗较多的电力与天然气, 能源价格的提高也会造成碳纤维成本上涨。
- 成本下降不及预期风险: 抛开原材料涨价的因素, 碳纤维自身的降本主要依靠工艺改进和规模效应, 当前碳纤维生产工艺中如油剂、上浆料等原料依然依赖进口, 若未来国产工艺技术进步不及预期将影响碳纤维降本速度; 而对于规模效应, 在未来国内碳纤维大幅扩产的背景下, 如果开工率未能较快提升, 降本速度也将受到影响。

公司投资评级的说明:

- 买入: 预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 15%以上;
- 增持: 预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 5%-15%;
- 中性: 预期未来 6-12 个月内变动幅度在 -5%-5%;
- 减持: 预期未来 6-12 个月内下跌幅度在 5%以上。

行业投资评级的说明:

- 买入: 预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上;
- 增持: 预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%-15%;
- 中性: 预期未来 3-6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%-5%;
- 减持: 预期未来 3-6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明:

国金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。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级（含C3级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

| 上海 | 北京 | 深圳 |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 电话：021-60753903 | 电话：010-66216979 | 电话：0755-83831378 |
| 传真：021-61038200 | 传真：010-66216793 | 传真：0755-83830558 |
| 邮箱：researchsh@gjzq.com.cn | 邮箱：researchbj@gjzq.com.cn | 邮箱：researchsz@gjzq.com.cn |
| 邮编：201204 | 邮编：100053 | 邮编：518000 |
| 地址：上海浦东新区芳甸路1088号 紫竹国际大厦7楼 | 地址：中国北京西城区长椿街3号4层 | 地址：中国深圳市福田区中心四路1-1号 嘉里建设广场T3-2402 |