

证券研究报告

2024年04月22日

行业报告：行业深度研究

国防军工

陶瓷基复合材料应用加速，军民需求共振空间广阔

作者：

分析师 王泽宇 SAC执业证书编号：S1110523070002

分析师 杨英杰 SAC执业证书编号：S1110523090001



天风证券
TF SECURITIES

行业评级：强于大市（维持评级）
上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

近年来，国家针对陶瓷基复合材料、高性能陶瓷/纤维材料等新材料出台多项措施，推动陶瓷基复合材料的研发生产，并对陶瓷基复合材料标准进行规范。陶瓷基复合材料持续出现在各版本的《产业结构调整指导目录》和《鼓励外商投资产业目录》鼓励类中，体现着国家对陶瓷基复合材料的持续大力支持。

需求侧：1. **航发性能要求超越耐温极限**，未来大推重比发动机涡轮进口温度远超高温合金耐温极限（推重比12~15涡轮进口平均温度超2000K，推重比15~20涡轮进口温度最高可达2450K；单晶耐温极限1350K），军用航发材料迭代需求迫切。2. **航空业减碳要求**：疫情前全球商业航空二氧化碳排放不断增加，航空业占全球二氧化碳排放量的2.5%。“双碳”背景下，航空业减碳迫在眉睫，CMC助力航空业实现净零碳排放。

发展趋势：1. **性能路线：碳化硅纤维增强陶瓷基复合材料**——耐高温性能较好，且相较于C_f/SiC，抗氧化性有大幅提升，目前技术成熟，应用范围广泛，可应用于高温高载部件。2. **成本路线：氧化物纤维增强氧化物复合材料**——Al₂O₃材料易获取，Al₂O₃/Al₂O₃ 生产成本仅为SiC_f/SiC 复合材料的 1/2；并且氧化物具有优秀的高温环境抗氧化性。

市场空间：总体上，2021年全球陶瓷基复合材料市场规模为30.6亿美元，Straits Research预计到2030年将达到90.4亿美元，**CAGR为12.79%**。行业上，CMC在航空航天应用发展较快，2022年全球航空航天领域在CMC市场占比达37%，Prescient&Strategic Intelligence预计未来几年也将处于主导地位。国内方面，华经情报网预测我国“十四五”期间内对陶瓷基复合材料的需求量将达100吨/年，**且未来10年仅航发市场对CMC的需求将递增10倍**。我们认为，伴随军用航空航天领域对超高音速、高推重比、耐高温防护等性能要求持续升温，以及国内国产商业航空航天领域对于高经济性、绿色化的推进，中国的CMC产业链有望进入高景气快速成长阶段。

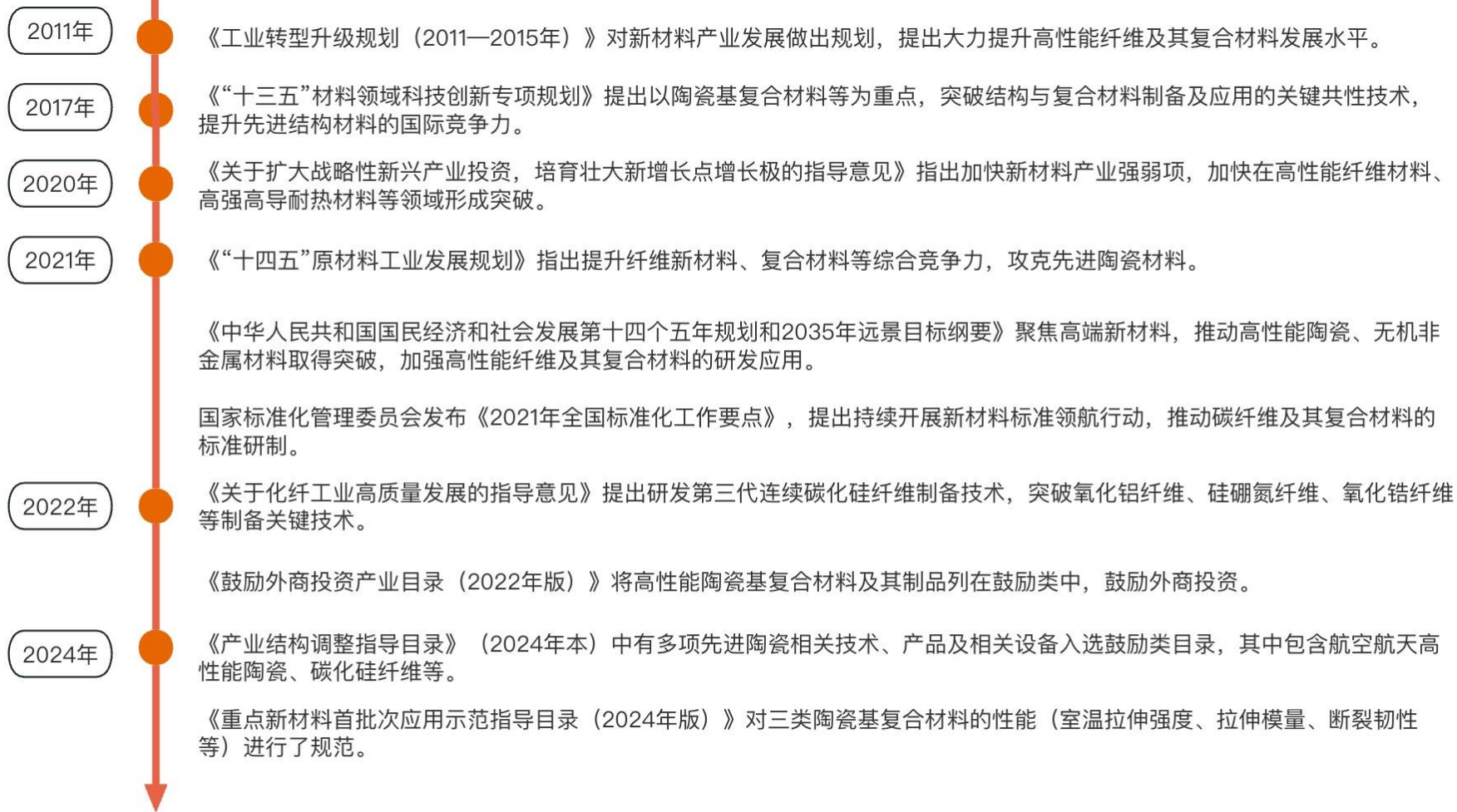
建议关注：火炬电子、华秦科技

风险提示：市场波动性风险、军品订单节奏风险、新装备研制列装不达预期、国际局势变化风险、民用市场开拓不达预期

1

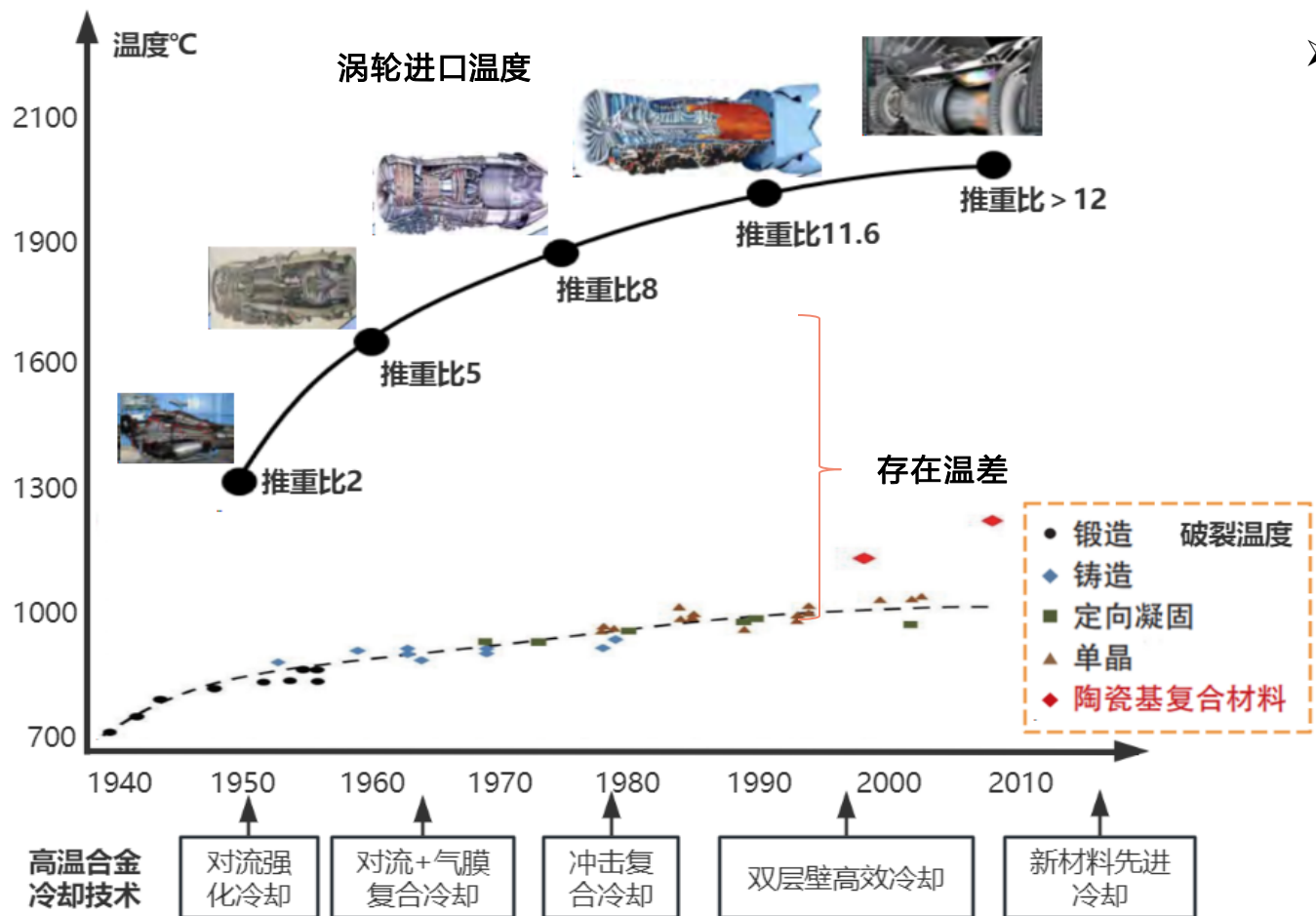
国内政策鼓励加速出台，军民需求旺盛前景广阔

1.1 国家级政策持续落地，大力支持陶瓷基复材发展



近年来国家针对陶瓷基复合材料、高性能陶瓷/纤维材料等新材料出台多项措施，推动陶瓷基复合材料的研发生产，并对陶瓷基复合材料标准进行规范。陶瓷基复合材料持续出现在各版本的《产业结构调整指导目录》和《鼓励外商投资产业目录》鼓励类中，体现着国家对陶瓷基复合材料的持续大力支持。

1.2 性能要求超越耐高温极限，军用航发材料迭代需求迫切



现实矛盾:

- 涡轮进口温度提高速度 > 冷却技术 + 高温合金耐高温极限提升速度。
- 未来大推重比发动机涡轮进口温度远超高温合金耐高温极限（推重比12~15涡轮进口平均温度超2000K，推重比15~20涡轮进口温度最高可达2450K；单晶耐高温极限1350K）。

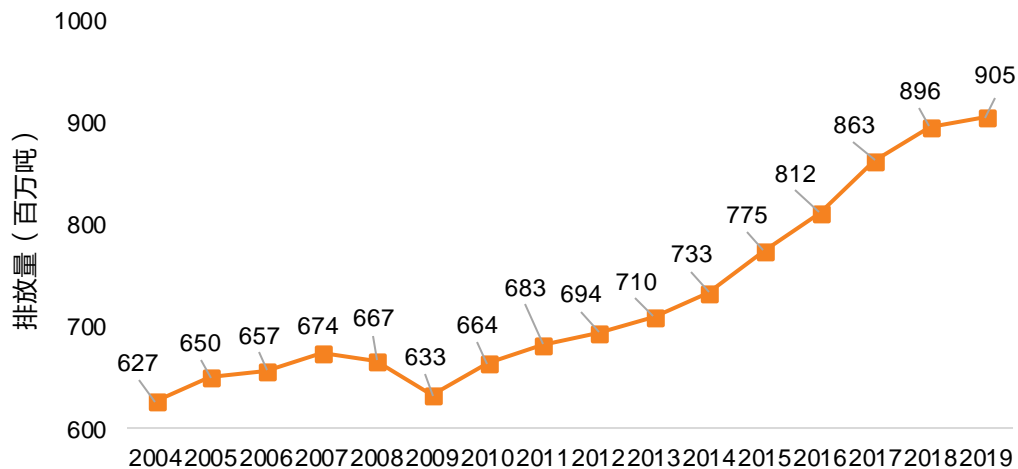
➢ 解决方法：冷却技术、热障涂层、更换新材料等弥补温差。

➢ 未来趋势：CMC因优异的高温力学性能、低密度等特点被视为下一代航发战略性热端新材料。

资料来源：航空动力、《陶瓷基复合材料在航空发动机热端部件应用及热分析研究进展》杜昆等、《火焰筒先进热防护技术发展及工程应用分析》林宏军等、《航空发动机涡轮叶片冷却技术综述》赖建和、《航空发动机热障涂层材料体系的研究》唐治虎、《连续纤维增强陶瓷基复合材料研究与应用进展》张俊敏等、《纤维增强陶瓷基复合材料研究进展》董绍明、《加力燃烧室纵向波纹隔热屏气膜冷却特性研究》傅松等，天风证券研究所

1.3 全球减碳在行动，CMC助力航空业实现净零排放

2004-2019全球商业航空二氧化碳排放量



全球各国都在为碳达峰和碳中和做出努力，中国力争于2030年前达到二氧化碳排放峰值、努力争取2060年前实现碳中和。“双碳”已不仅是环保口号，而成为世界主要经济体以及各行业的郑重宣示。

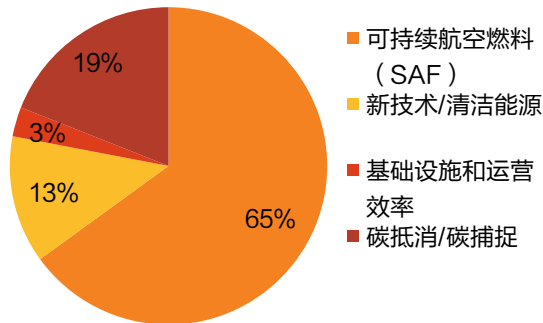
➤ 航空业减碳要求：疫情前全球商业航空二氧化碳排放**不断增加**，航空业占全球二氧化碳排放量的2.5%。“双碳”背景下，航空业减碳迫在眉睫。2022年国际民用航空组织（ICAO）通过决议于**2050年实现行业净零碳排放**。随后主要航空发展国家和地区也提出了一系列航空业零碳排放技术规划。

➤ CMC作为零碳排放方法中的**新技术**，对航空业减碳的促进作用：
 (1) 相对金属材料较轻，可以提高飞行器的**燃油效率**；
 (2) 可在较高温度下服役，在提高功率的同时还能使燃油燃烧充分，**减少CO排放量**。
 我们认为，CMC在商业航空领域有广阔的应用前景。

➤ CMC减碳应用实例：GE9X在风扇叶片和涡轮转子上使用了CMC材料，预计发动机推力将增加10%，燃油消耗将降低25%。

地区/国家	政策
欧洲	2050年目标——欧洲航空零排放路线图
美国	地平线2050：可持续航空未来的飞行规划
英国	ATI技术战略2022——零碳目标
中国	“十四五”民航绿色发展专项规划（2022年）
中国	绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）

零碳排放方法



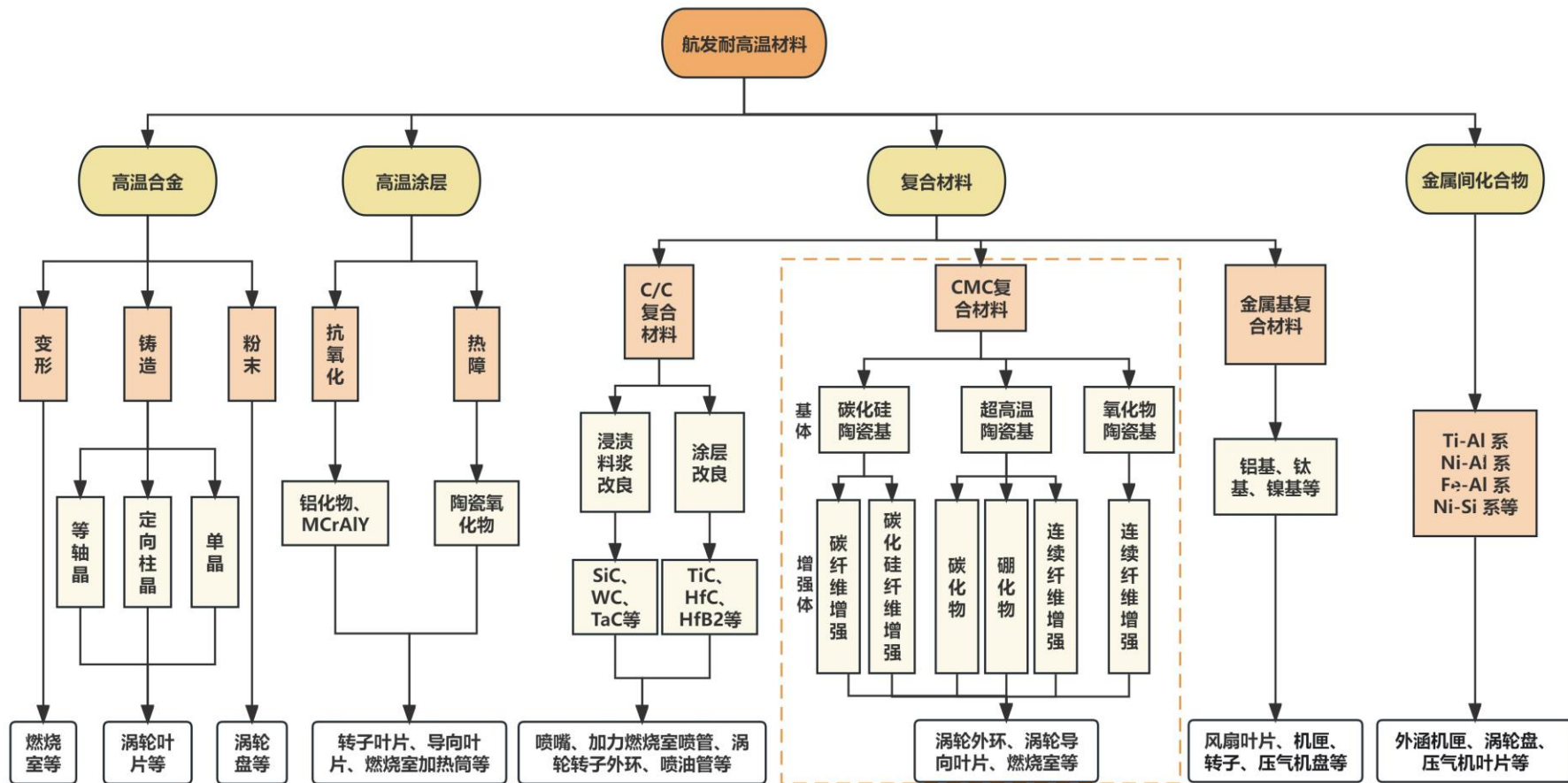
航空业为2050实现零碳排放预计各途径起到的作用占比。

资料来源：Statista, World economic forum, 中国工信部, 《连续纤维增强陶瓷基复合材料研究与应用进展》张俊敏等, 《连续纤维增强ZrO₂陶瓷基复合材料研究进展》张稳等, 《航空制造业绿色低碳化发展研究》吴光辉等, 中国科学院, 光明学术, 《航空发动机复合材料叶片先进制造技术研究进展》俞锐晨等, 天风证券研究所

2

陶瓷基复合材料主流技术路线双轮驱动

2.1 航空发动机高温材料体系CMC优势明显



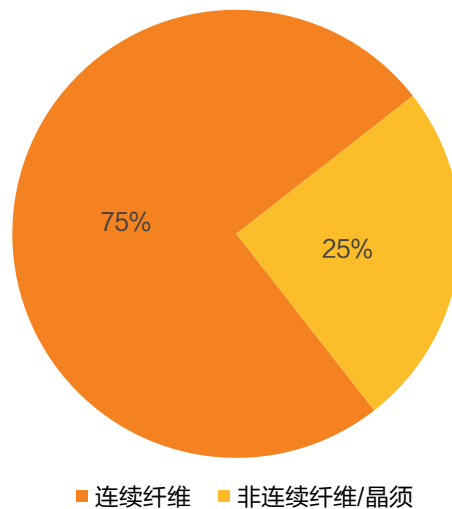
陶瓷基复合材料具有类金属断裂韧性，对裂纹不敏感、没有灾难性损毁，能够在保持传统陶瓷材料耐高温、高强度、低密度、耐腐蚀、性能可设计强等优良性能的同时，克服其脆性大的致命弱点。在一些极端服役环境下，CMC有着金属材料不可比拟的优势。

2.2 高温热结构材料选用结构陶瓷，连续纤维为主要应用类型

- CMC应用场景：CMC作为战略性尖端材料，在多领域实现应用，是最重要的**高温热结构材料**之一。它常被使用于高温环境，作为热防护、热端部件。
- 陶瓷类型选择：功能陶瓷主要利用非力学性能，具有电、磁、光等性能；结构陶瓷具有耐高温、耐腐蚀、高强度等优异的力学、热学性能，满足CMC的需求，故我们认为CMC的基体多选用**结构陶瓷**。
- 增强增韧方法：相变增韧、颗粒增强增韧、晶须增强增韧以及连续纤维补强增韧等。
- 方法选择：**连续纤维增韧效果最好，可靠性最高**，所以大多数陶瓷基复合材料选择**连续纤维**作为增强体。连续纤维增强陶瓷基复合材料具有优异的韧性，较高的抗热震性，较高的损伤容限及高温力学性能。

	结构陶瓷	功能陶瓷
特性	优异的力学性能及热学性能	具有一种或多种功能，如电、磁、光、热、生物等
分类	氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷等	电介质陶瓷、压电铁电陶瓷、半导体陶瓷、高温超导陶瓷等
应用领域	航空航天、医疗、发动机、电子器件等	电子信息、集成电路、移动通信、能源技术和国防军工等

2022年CMC市场各纤维类型市场收入份额



2.3 CMC技术路线展望：碳化硅纤维与氧化物纤维双驱动

CMC一般可分为四条技术路线：碳纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料、碳化硅纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料、超高温陶瓷基复合材料、氧化物纤维增强氧化物陶瓷基复合材料。我们认为以下两条技术路线将被广泛采用：

技术路线1（性能路线）：碳化硅纤维增强陶瓷基复合材料——耐高温性能较好，且相较于 C_f/SiC ，抗氧化性有大幅提升，目前技术成熟，应用范围广泛，可应用于高温高载部件。

技术路线2（成本路线）：氧化物纤维增强氧化物复合材料—— Al_2O_3 材料易获取，制成纤维生产成本低， Al_2O_3/Al_2O_3 生产成本仅为 SiC_f/SiC 复合材料的1/2；并且氧化物具有优秀的高温环境抗氧化性。

	碳纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料	碳化硅纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料	超高温陶瓷基复合材料	(氧化物)纤维增强氧化物陶瓷基复合材料
材料	C_f/SiC	SiC_f/SiC	$C_f/ZrB_2-SiC, C_f/HfB_2-SiC, C_f/ZrC, C_f/HfC$ 等	$Al_2O_{3f}/Al_2O_3, Al_2O_{3f}/mullite, mullite/mullite$ 等
特点	耐高温(<1800℃)	耐高温(<1650℃)、 抗氧化性好	耐超高温(>=2000℃)、 抗氧化性、良好抗震性、抗氧化、耐烧蚀	成本低、优异的高温抗氧化和抗水汽腐蚀性能
技术难点	氧化问题， 低温抗氧化能力弱 ；碳纤维预制体编织技术落后	SiC_f/SiC 在 水氧环境下不稳定 、氧化脆化现象明显； 连接技术限制	实现重复长时间使用，避免 ZrO_2 相变破坏结构稳定性	层间剪切强度弱；热导率偏低形成较大的热应力；受 氧化铝晶粒生长限制 ， 服役温度 受到很大限制
解决方法	热膨胀自愈合、玻璃相封填愈合	采用 环境障碍涂层(EBCs) 、新型的 $RE_3Si_2C_2$ 涂层；玻璃陶瓷连接、陶瓷先驱体连接、瞬态共晶相连接以及MAX相连接等	添加稀土元素	重点发展三维纤维织物增韧复合材料；研制更高耐温能力的纤维；采用FGI层能提升材料的服役温度；发展适用于 $P-Al_2O_3/Al_2O_3$ 的热障涂层提升部件的服役温度
应用部位	组合襟翼、尾喷管调节器、飞机面板、刹车材料	喷管调节器、密封片、燃烧室火焰筒/内衬、 涡轮转子叶片（高温高载部件） 、商用航空发动机热端部件		喷嘴及中心部件、燃烧室衬套排气部件、密封片、 发动机混合器、中心锥

2.3.1 不同技术路线各有优劣，CVI及RMI产业化可期

碳化硅纤维制备流程



材料力学性能

SiC_f/SiC制备工艺

➤ 先驱体转化法制备碳化硅纤维具有显著的优势：先驱体可设计性强，可引入Al、B、Zr等；先驱体转化法制造纤维直径细小，有利于后续复合材料预制件的编织。该方法成本相对较低，已经实现工业化生产。

➤ 发展现状：CVI工艺在大型薄壁复杂形状构件的制备上优势明显；NITE工艺在制备规则形状的叠层板材是优选方案；反应熔渗工艺是制备复杂形状构件常用的方法之一；电泳沉积法在不规则形状的构件制备上富有潜力。

➤ 目前，CVI、PIP、RMI应用较为广泛，CVI和RMI制备的SiC_f/SiC已有成熟应用。我们认为，CVI和RMI工艺在制备SiC_f/SiC将有广阔的应用空间。

SiC _f /SiC制备工艺	CVI/I	先驱体浸渍裂解工艺 (PIP)	反应熔渗工艺 (RMI)	纳米晶渗透瞬态共晶液相工艺 (NITE)	电泳沉积法 (EPD)
优点	制备温度低、晶型完整、结构可控性高	成本较低、制备温度低，对纤维损伤小	致密度高、结晶性好、制备周期短、成本低	致密度高、孔隙率低、不含残余Si或C、结晶性好、热导率高	可在低温下获得低孔隙率碳化硅陶瓷基复合材料
缺点	成本高、工艺复杂、沉积速率慢、易形成孔隙，不适合制备厚壁部件	基体富碳，结晶度差；高温裂解易产生裂纹与孔隙；制备周期较长	反应温度高，易损伤纤维；残余硅熔化影响性能	烧结温度较高导致纤维性能下降	-
适用	大型、薄壁、复杂结构的部件	大尺寸复杂形状的构件，可实现近净尺寸成型	可实现近净尺寸成型	难以制备形状复杂的器件	制备大尺寸异形件

2.3.2 氧化物纤维长期技术封锁，国产工艺道阻且长

自20世纪80年代开始，氧化物陶瓷基复合材料中的氧化物纤维增强氧化物陶瓷基复合材料因具有优异的高温抗氧化性、高硬度和高应力弹性而逐步在航空器涡轮、第五代超高速飞行器零部件等军工领域实现大规模应用，战略地位极高；同时，2020年氧化物纤维增强氧化物陶瓷基复合材料的国际市场份额更是高达1100多亿美元。**外国对我国长期实施技术封锁，目前国产氧化物纤维的制备工艺及产品种类单一。**

- 氧化物纤维：①Al₂O₃-SiO₂纤维②ZrO₂纤维③钇铝石榴石(Y₃Al₂(AlO₄)₃)纤维。

Al₂O₃-SiO₂纤维是目前使用**最广泛**的体系，多采用**溶胶凝胶法**，研发方向正由组分设计向**结构设计**转型。

ZrO₂纤维具有优异的热阻绝性能，兼具较好的拉伸强度和抗热震性能，最高承受温度达2100℃，是较为理想的航天隔热材料，我们认为，其有望成为**新一代氧化物纤维**。

- 基体：Al₂O₃是目前使用最为广泛的基体材料，由于地壳中Al₂O₃资源含量丰富，成本低。**多孔基体相**是OF/OCMS复合体系主相，占主导地位。

- 复合材料制备工艺：目前常见应用于规模化生产的有湿/干法混合和浆料浸渍热压(RI-HP)工艺。

- 我们认为，**Al₂O₃基体和Al₂O₃-SiO₂纤维**将保持高景气，ZrO₂纤维有望成为新热点。

- 国内产业链：

- 上海榕融新材料为世界第三家、中国第一家具有该类产品量产能力的企业，将填补国内高性能纤维材料的行业空白。采用“溶胶—凝胶”法，得到Al-Si氧化铝多晶纤维。

各商用纤维组分、性能与制备工艺

商用纤维名称	Al ₂ O ₃ 占比	SiO ₂ 占比	其他组分	拉伸强度/模量 (MPa/GPa)	制备工艺
3M Nextel-440	70%	28%	B ₂ O ₃	2000/190	溶胶凝胶法
3M Nextel-610	>99%	<0.3%	Fe ₂ O ₃	3100/380	溶胶凝胶法
3M Nextel-720	85	15	—	2100/260	溶胶凝胶法
Sumitomo Alex	85	15	—	1800/210	预聚合法
Nitivity ALF	72	28	—	2000/170	溶胶凝胶法
DuPont FP	99	—	—	1400-2100/350-390	淤浆法

各制备工艺优缺点

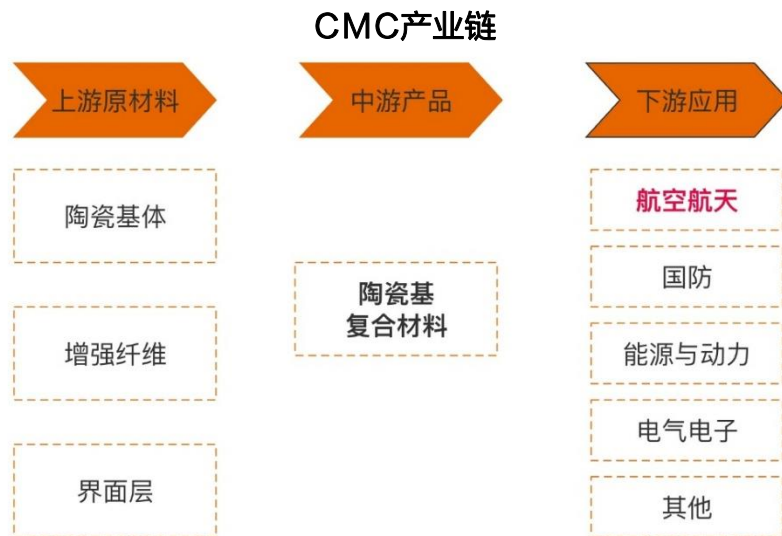
制备工艺	工艺优点	工艺缺点
化学气相沉积/渗透法 (CVD/PI)	沉积/渗透效率较高，可制备复杂杂质构件，双相选取受限度较小	沉积/渗透深度受限，制备周期长、成本较高
先驱体浸渍裂解法 (PIP)	可低温制备复杂杂质构件，双相分布均匀度高	单次浸渍效率较低，制备周期较长，产品孔隙率较高
溶胶/凝胶法 (Sol-Gel)	操作简单，制备温度低，双相分布均匀度高	制备周期长，产品体积收缩变化大，产品孔隙率较高
电泳沉积法 (EPD)	可制备复杂杂质构件，沉积效率较高，制备温度较低	对料浆性质要求高，产品尺寸及厚度受限，产品孔隙率高、制备成本高
闪烧法 (FS)	实现高度致密化，制备周期短、温度低	产品尺寸及厚度受限，较难实现产业化
浆料浸渍热压工艺 (RI-HP)	操作简单，制备周期短，可实现近净成型及量产	浆料渗透深度受限，产品尺寸单一、孔隙率高
湿/干法混合工艺	可制备复杂杂质构件，可实现高度致密化，制备周期短，成本较低	难以调控相界面反应，纤维相分散度受限，致密化温度较高

3

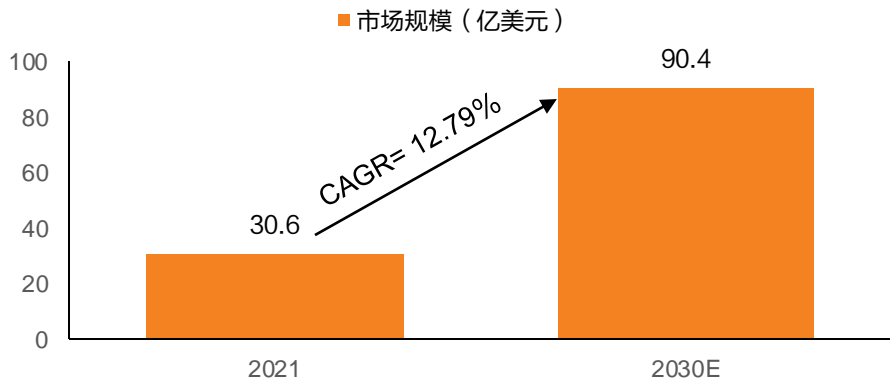
军民航空航天需求共振，多领域开启成长新篇章

3.1 全球CMC市场蓬勃发展，国内航空航天景气度上行牵引成长

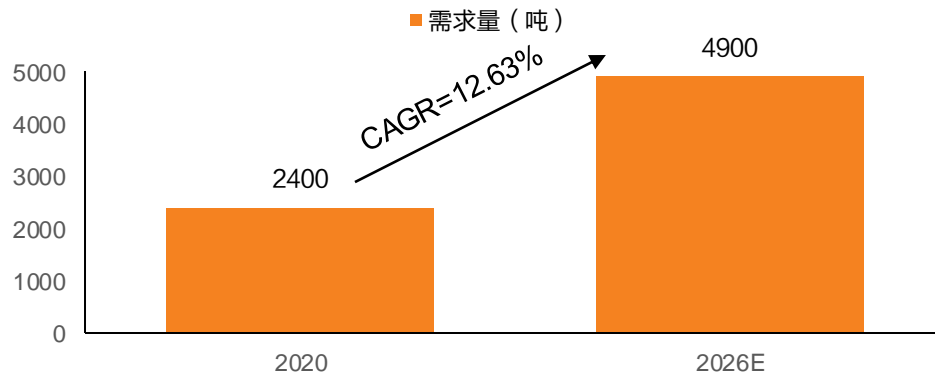
- 从总体来看，2021年全球陶瓷基复合材料市场规模为30.6亿美元，Straits Research预计到2030年将达到90.4亿美元，CAGR为12.79%
- 从行业来看，CMC在**航空航天领域**的应用发展较快，2022年全球航空航天领域在CMC市场占比达到37%，Prescient&Strategic Intelligence预计未来几年也将处于主导地位
- 从地区来看，2022年北美地区在全球CMC市场中占据最大份额，约46%；以**中国为首的亚太地区**也以较快速度发展。
- 从需求量来看，根据华经情报网，2020年CMC**全球市场需求**为2400吨，到2026年全球市场规模将达到4900吨，CAGR为12.63%；**国内市场**，我国“十四五”期间内对陶瓷基复合材料的需求量将达100吨/年，且未来10年仅航空市场对CMC的需求将**递增10倍**。
- 我们认为，伴随**军用航空航天领域**对超高音速、高推重比、耐高温防护等性能要求持续升温，以及国内**国产商业航空航天领域**对于高经济性、绿色化的推进，中国的CMC产业链有望进入高景气快速成长阶段。



全球CMC市场规模



全球CMC需求量情况



风险提示

风险提示

1. **市场波动性风险。**市场风险偏好对军工板块下游企业有一定影响，若风险偏好急剧下滑，对下游企业有一定影响。
2. **军品订单节奏风险。**部分产品订单下达和实际收入确认可能存在短期错位。
3. **新装备研制列装不达预期。**新装备研制进程存在一定不确定性，列装进度或受到一定影响。
4. **国际局势变化风险。**若国际局势紧张态势加剧，可能会对企业造成影响。
5. **民用市场开拓不达预期。**民用市场开拓存在不确定性，可能会对企业发展产生一定影响。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。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。客户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、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估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，天风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。

天风证券的销售人员、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。天风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。天风证券的资产管理部门、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。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/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一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS