

市场洞察：从实验室到深空，陶瓷基复合材料加速商业化落地

Briefing Report: Ceramic Matrix Composites Accelerate Commercialization —
From Lab to Deep Space

市場速報：研究室から深宇宙まで、セラミックベースの複合材料は商業化を加速させている

报告标签：陶瓷基复合材料、产业链、潜在应用领域、航空领域商业化进展
2025年6月

Q1：什么是陶瓷基复合材料，具有什么样的性能特征？

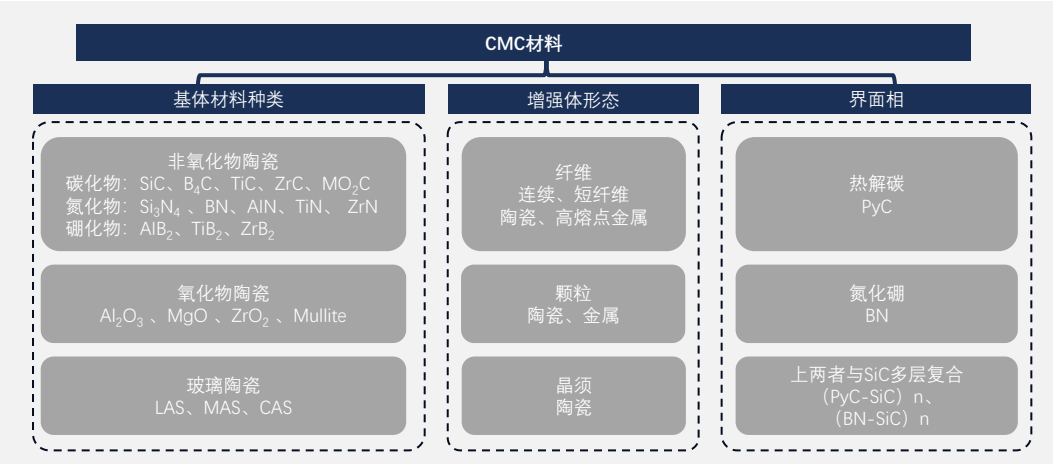
■ 陶瓷基复合材料(CMC)具有高强度、高硬度、高弹性模量、热化学稳定性等优异性能，是先进无机非金属材料

陶瓷基复合材料是先进无机非金属材料。陶瓷基复合材料（Ceramic Matrix Composites, CMC）是指在陶瓷基体中引入增强材料，形成以引入的增强材料为分散相，以陶瓷基体为连续相的复合材料。通常由增强纤维、界面层和陶瓷基体三部分组成。是继金属材料之后的无机非金属材料中最重要的材料之一。

陶瓷基复合材料具有高强度、高硬度、高耐磨性、耐高温、轻量化和抗氧化等特点。**高强度**：CMC的强度远高于一般的金属材料 and 塑料材料，具有较好的机械性能和热稳定性，能适应恶劣的工作环境。**高硬度**：CMC的硬度较高，比普通的金属材料和塑性材料具有更高的抗磨损性能，在摩擦副界面应用广泛。**高耐磨性**：CMC具有很好的耐磨性能，能够在恶劣的环境中保持较长时间寿命。**耐高温**：CMC在物理或化学性质方面相较于碳/碳材料和高温合金均有显著提升。与高温合金相比，其服役温度从600-1,300℃提升至1,150-2,000℃的区间。这一性能的突破为航空发动机和燃机效率的提升提供关键条件，使其在高温领域的应用前景广阔。**轻量化**：在轻量化方面，CMC表现出色。与高温合金材料相比，部分陶瓷基复合材料部件能够减重30%到50%。在航空航天领域，航空发动机和航天热防护部件的减重可以提供更好的推重比或增加有效载荷，从而直观地提升应用端性能。**抗氧化性**：与碳/碳材料相比，CMC在高温环境下具有更好的氧化稳定性。这使得其能够在高温氧化环境中长期使用，同时降低对热防护涂层研发和应用的成本要求，提高材料在高温环境下的可靠性和经济性。

陶瓷基复合材料主要由纤维增强体、陶瓷基体和界面三部分组成。增强体作为分散相，起到承载和增韧的作用，常见的陶瓷基纤维有碳纤维、碳化硅纤维、氮化硅纤维、氧化物纤维等，其中纤维增强陶瓷基复合材料被认为是陶瓷材料增韧的理想途径；陶瓷基体作为连续相，主要成分为陶瓷，起到保护纤维和传递载荷的双重作用；界面层位于纤维和陶瓷基体之间，起到传递载荷、阻止裂纹扩展和阻挡外部环境侵害的作用。对于非氧化物陶瓷基复合材料，常用的界面层体系有热解碳界面层、氮化硼界面层和复合界面层。

图表1：陶瓷基复合材料的构成



来源：《连续纤维增强陶瓷基复合材料新型界面相研究进展》张金等、《陶瓷基复合材料的特点和发展前景探讨》齐晶晶等、头豹研究院

Q2：从材料到应用，陶瓷基复合材料产业链如何构建全球竞争力？

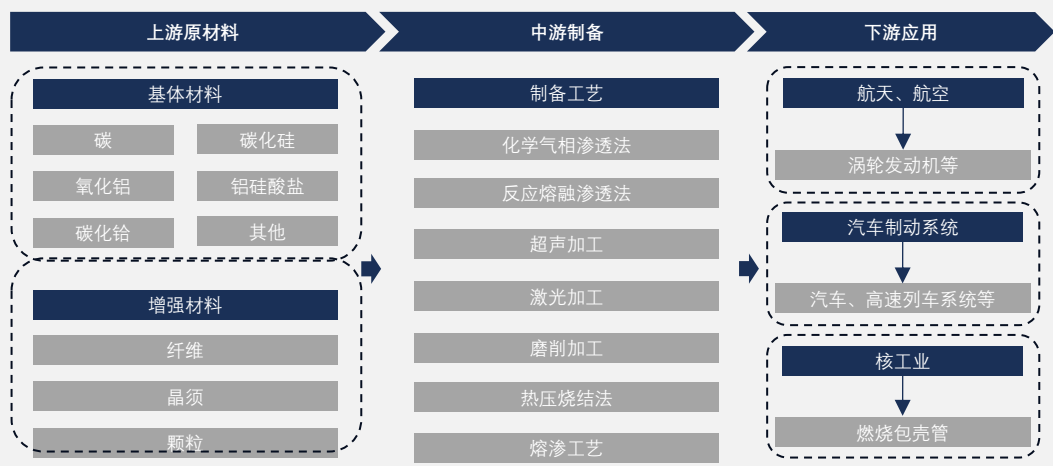
- CMC产业链上游主要为CMC制备原料，有关增强体中纤维及晶须和基体材料中的碳、碳化硅、氧化铝是陶瓷基复合材料制备原料热点研发问题；产业链中游为CMC生产环节，制备工艺中的化学气相渗透法、反应熔融渗透法、超声加工及磨削加工是陶瓷基复合材料加工环节中热点研发问题；产业链下游为CMC的应用领域，涡轮发动机、刹车制动系统、燃烧炉及加工设备逐渐成为陶瓷基复合材料的热门应用领域

CMC产业链上游，制备原料包括基体及增强体。陶瓷基复合材料的基体有氧化物陶瓷、非氧化物陶瓷、水泥、玻璃等陶瓷，具有耐高温、耐腐蚀、高强度、重量轻和价格低等优点。目前被人们研究最多的是碳化硅、氮化硅、氧化铝等。陶瓷基复合材料中的增强体通常也称为增韧体，从几何尺寸上可分为纤维、颗粒和晶须三类。从全球陶瓷基专利申请数量看，上游专利数量占比约53%，陶瓷基复合材料制备原料相关专利占主导地位，其中有关增强体中纤维及晶须和基体材料中的碳、碳化硅、氧化铝是陶瓷基复合材料制备原料热点研发问题。

CMC产业链中游，主要的制备工艺有聚合物浸渍裂解法（PIP）、化学气相渗透法（CVI）、反应熔渗法（RMI），对陶瓷基复合材料研究比较深入的国家主要有美国、日本、法国、德国等。其中美国对PIP、CVI和RMI工艺均有研究，且均有较高的研究水平；日本拥有聚碳硅烷（PCS）和连续SiC纤维制备技术，主要开展PIP工艺制备纤维增强SiC复合材料的研究，特别是在SiC/SiC复合材料制备上具有较高的研究水平；法国以CVI技术为主，且技术水平属国际领先；德国以RMI和PIP技术为主，特别是RMIT技术世界领先。中国在陶瓷基复合材料研究方面起步相对较晚，中国火炬电子、苏州赛力非、西安鑫森、顶立科技等大型企业通过投入大量的研发成本和建设先进的生产链成为国内陶瓷基复合材料领域的中流砥柱，中国航发、硅元新材、新纳材料、宁波众兴新材、中航复材等为代表的制造企业紧随其后。从全球陶瓷基专利申请数量看，中游专利数量占比约38%，制备工艺中的化学气相渗透法、反应熔融渗透法、超声加工及磨削加工是陶瓷基复合材料加工环节中热点研发问题。

CMC产业链下游，陶瓷基复合材料可应用在航空发动机、航天发动机、飞行器耐热结构、太空轻质结构、刹车制动、核能、光伏电子等多个领域。其中，涡轮发动机、刹车制动系统、燃烧炉及加工设备逐渐成为陶瓷基复合材料的热门应用领域。

图表2：CMC材料产业链



来源：《陕西省陶瓷基复合材料产业专利导航报告》、头豹研究院

Q3：工业强国争夺新赛道，陶瓷基复合材料为何广受工业发达国家的关注？

■ 陶瓷基复合材料的耐高温和轻量化使其在航空航天、能源、交通等领域具有广泛的应用前景

航天航空领域：陶瓷基复合材料是制造推重比10倍以上航空发动机的理想耐高温结构材料。陶瓷基复合材料(CMC)由于具有高强度、高硬度、高弹性模量、热化学稳定性等优异性能，是制造推重比10倍以上航空发动机的理想耐高温结构材料。陶瓷基复合材料的最高使用温度可达1,650℃，而密度只有高温合金的70%。

能源领域：可在核聚变反应中适应高温辐照环境，可作为石油化工领域重要结构件。在能源领域，C/SiC和SiC/SiC可用于核聚变反应堆第一壁构件，适应高温辐照环境。此外，由于陶瓷基复合材料优良的耐磨损和抗腐蚀性性能，在石油化工领域可作为重要的结构件。

交通领域：是新一代刹车材料，可用于先进战斗机、赛车、跑车、高速列车的刹车系统上。在刹车制动系统方面，C/SiC刹车盘与C/C刹车盘相比，具有生产周期短、成本低、强度高、静摩擦系数高、动摩擦系数稳定等显著特点，是新一代的刹车材料。C/SiC在布加迪（Bugatti Veyron）、奥迪A8、保时捷（Porsche 911）等高档轿车上已经成功应用。预计到2030年，汽车行业对轻质材料的使用将从30%增加到70%。因此，对轻质汽车的高需求将推动陶瓷基复合材料市场的发展。

总的来看，连续纤维增强碳化硅基复合材料可接替树脂基复合材料作为长寿命的空间结构/功能材料；接替高温合金作为长寿命高温热结构材料；接替难熔金属作为有限寿命高温抗冲蚀结构材料；接替C/C复合材料作为有限寿命高温防热结构材料。因此，陶瓷基复合材料是反映一个国家航空航天器制造能力，关系国家安全的新型战略性热结构材料。

图表3：陶瓷基复合材料潜在应用领域

产品领域	应用示例
涡轮发动机	燃烧室衬套、导向叶片、转子叶片、涡轮外环
热回收设备	预热器、换热器
燃烧炉	辐射管、丝网燃烧器
加工设备	重整器、反应器、换热器
垃圾焚烧	炉壁、颗粒分离器
分离/过滤	过滤器、基底、离心机
结构件	梁、壁板、集管
宇航	热保护、推进器喷嘴、涡轮泵部件、前缘
核工业	燃料包壳管
军用	防护装甲

来源：《陕西省陶瓷基复合材料产业专利导航报告》、新材料纵横、头豹研究院

Q4：陶瓷基复合材料在航天领域的应用优势如何？

- 陶瓷基复合材料在航天领域应用于飞行器热防护系统、发动机及空间探测的太空反射镜等，可有效解决轻量化、耐烧蚀、节能环保等问题

在航空发动机上，陶瓷基复合材料用于热端部件，可最高提高工作温度潜力

500℃

陶瓷基复合材料是高温涡轮关键材料。据航空发动机技术人员表示，发动机涡轮前温度提高100度，发动机推力可以提高20%左右，而第6代战斗机采用的高推重比发动机涡轮前温度将会突破2,000度，对高温涡轮提出更高要求。制造耐温度能力更强、重量更轻、使用寿命更高的高温涡轮就成为第6代战斗机发动机瓶颈，而陶瓷基复合材料就是制造这种高温涡轮的关键材料。

C/SiC复合材料代替飞行器热防护系统原有金属材料，能够降低50%的质量，提高系统安全性和可靠性。用C/SiC复合材料代替原有金属材料能够通过延长使用时间降低成本，同时实现耐烧蚀、隔热、承载等结构功能一体化。C/SiC复合材料是目前研究最多、应用最成功且最广泛的陶瓷基复合材料。

此外，SiC/SiC复合材料抗氧化性能较C/SiC复合材料较好，国内外普遍认为，航空发动机热端部件最终获得应用的是 SiC/SiC复合材料。

图表4：陶瓷基复合材料在航空领域的应用

产品领域	应用示例	应用优势
飞行器热防护系统	- 美国X-33、X-37和X-38热防护系统使用C/SiC复合材料，如鼻锥、热防护面板、副翼等 - 德国DASA公司制造的飞行器隔热构件（机翼前缘和隔热面板）测试发现在1,600℃空气中暴露30min后强度保留率仍达80% - 日本试验空间飞机 HOPE-X 的第二代热结构材料使用了C/SiC取代刚性陶瓷瓦作为热防护面板	利用C/SiC复合材料代替飞行器热防护系统原有金属材料能够降低50%的质量，提高系统安全性和可靠性，通过延长使用时间降低成本，同时实现耐烧蚀、隔热、承载等一体化结构功能
航空航天发动机	- 美国和法国以推重比8-10航空发动机为演示平台，对喷管、燃烧室和涡轮进行大量应用验证 - SiC/SiC CM已在 工作温度超过2,000°F (1093℃) 的燃气涡轮发动机热端部件上取得应用，其工作温度比金属高200-500°F	在航空发动机上，陶瓷基复合材料主要用于热端部件，如喷管、燃烧室、涡轮和叶片等，可提高工作温度潜力400-500℃，结构减重50%-70%。迄今为止陶瓷基复合材料的使用温度已可达到1,650℃或更高，用陶瓷发动机代替金属发动机，燃油消耗可降低10%-20%，功率提高30%以上，在节能环保上体现出巨大效益
空间探测领域	应用于超轻结构反射镜框架和镜面底衬	陶瓷基复合材料具有重量小、强度高、膨胀系数小和抗环境辐射等优点，有望解决大型太空反射镜结构轻量化和尺寸稳定性的难题

来源：《陕西省陶瓷基复合材料产业专利导航报告》、头豹研究院

Q5：陶瓷基复合材料在航天领域的商业化进度如何？

- 目前CMC在航空发动机的应用层面已逐渐打开，呈现出从低温向高温、从冷端向热端部件、从静子向转子的发展趋势

2026年，全球陶瓷基复合材料市场规模将达

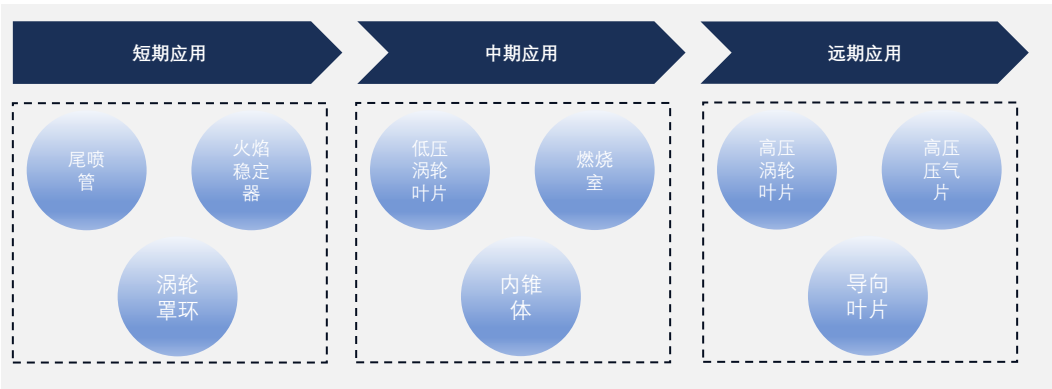
75.1 亿美元

结合海外各国在碳化硅陶瓷基复合材料构件研究与应用方面的发展趋势，陶瓷基复合材料在航空发动机应用层面呈现先易后难，先静止件后转动件，从低温到高温的发展思路。首先发展中温和中等载荷的静止件，例如尾喷管调节片/密封片和内锥体等；再发展高温、中等载荷静止件，例如火焰筒、火焰稳定器及涡轮外环、导向叶片。更高载荷的静止件或转动件，例如涡轮转子和涡轮叶片仍处于探索阶段。

具体看陶瓷基复合材料在航天发动机的应用轨迹。20世纪80年代，法国率先研制出牌号为CERASEPR系列的SiC/SiC陶瓷基复合材料，并成功应用于M88-2发动机（配套法国阵风战斗机）**喷管外调节片**和F100型发动机（配套美国F-15/F-16战斗机）调节片上。21世纪初，SiC/SiC陶瓷基复合材料成功应用于F110-通用电气公司-129发动机**机尾喷管**、F136发动机**涡轮叶片**、F414 发动机和 CFM LEAPX 发动机**涡轮罩环**等构件。2015年法国赛峰集团设计的陶瓷基复合材料（CMC）尾喷口在6月16日搭载在CFM56-5B发动机上完成首次商业飞行。2016年，CFM公司（通用电气公司和法国赛峰集团（SAFRAN）旗下斯奈克玛公司（SNECMA）对半合资成立的公司）针对单通道客机的新一代发动机 LEAP-X 投放市场，该发动机配备由CMC材料制造而成的高压**涡轮导向叶片**。

目前国外CMC在航空发动机的应用层面已逐渐打开，呈现出从低温向高温、从冷端向热端部件、从静子向转子的发展趋势。CMC在航空发动机的短期应用目标为尾喷管、火焰稳定器、涡轮罩环等；中期应用目标为低压涡轮叶片、燃烧室、内锥体等；近期应用目标为高压涡轮叶片、高压压气机和导向叶片等。CMC在国外已成功应用于多款发动机型号并实现工程化生产，将成为航空发动机制造的主流趋势，市场空间巨大。预计在2026年，全球陶瓷基复合材料市场将达到 75.1 亿美元。

图表5：CMC材料的应用趋势



来源：《陕西省陶瓷基复合材料产业专利导航报告》、头豹研究院

方法论

- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业的发展周期，伴随着行业中企业的创立，发展，扩张，到企业走向上市及上市后的成熟期，研究院的各行业研究员探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业的视野解读行业的沿革。
- ◆ 研究院融合传统与新型的研究方法，采用自主研发的算法，结合行业交叉的大数据，以多元化的调研方法，挖掘定量数据背后的逻辑，分析定性内容背后的观点，客观和真实地阐述行业的现状，前瞻性地预测行业未来的发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，从战略的角度分析行业，从执行的层面阅读行业，为每一个行业的报告阅读者提供值得品鉴的研究报告。

法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。本报告所指的公司或投资标的的价值、价格及投资收入可升可跌。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本文所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本文所载资料、意见及推测不一致的报告和文章。头豹不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

头豹业务合作

数据库/会员账号

可阅读全部原创报告和
百万数据，提供数据库
API接口服务

定制报告

行企研究多模态索引
引擎及数据库，募投可研、
尽调、IRPR等研究咨询

定制白皮书

对产业及细分行业进行
现状梳理和趋势洞察，
输出全局观深度研究报
告

招股书引用

研究覆盖国民经济19+
核心产业，内容可授权
引用至上市文件、年报

市场地位确认

对客户竞争优势进行评
估和调研确认，助力企
业品牌影响力传播

行研训练营

依托完善行业研究体系，
帮助学生掌握行业研究
能力，丰富简历履历

报告作者



陈夏琳
首席分析师
sharlin.chen@leadleo.com



于利蓉
行业分析师
lirong.yu@leadleo.com

业务咨询

- 客服电话：400-072-5588
- 官方网站：www.leadleo.com



商务咨询与深度合作

深圳办公室

广东省深圳市南山区粤海街
道华润置地大厦E座4105室

邮编：518057

上海办公室

上海市静安区南京西1717号
会德丰国际广场 2701室

邮编：200040

南京办公室

江苏省南京市栖霞区经济
开发区兴智科技园B栋401

邮编：210046



FROST & SULLIVAN

沙利文

诚邀

2025沙利文新投资大会

第十九届沙利文全球增长、科创与领导力峰会
暨第四届新投资大会

THE 19TH FROST & SULLIVAN GROWTH, INNOVATION AND
LEADERSHIP SUMMIT AND THE 4TH NEW INVESTMENT EVENT

2025年8月27日-28日 中国·上海
August 27th-28th, 2025, Shanghai · China

2025年9月2日 中国·成都
September 2nd, 2025, Chengdu · China

开幕倒计时

期待与您再度携手
共赴增长之旅、共创美好明天

大会咨询热线：021-3209-6800 转 8672
大会咨询邮箱：gil@frostchina.com