

陕西省陶瓷基复合材料产业

专利导航报告

陕西省知识产权局

陕西省知识产权局

西安市阎良区市场监督管理局（印章）

二〇二三年六月

目 录

1 概述	1
1.1 陕西省陶瓷基复合材料产业项目背景	1
1.1.1 研究内容	1
1.1.2 研究目的	7
1.2 陶瓷基复合材料产业背景	11
1.2.1 陶瓷基复合材料	11
1.3 陶瓷基复合材料产业定义	14
1.3.1 陶瓷基复合材料产业现状及需求	14
1.3.2 陶瓷基复合材料研究边界	16
2 全球陶瓷基复合材料产业发展态势	21
2.1 全球陶瓷基复合材料产业现状	21
2.1.1 全球产业基础数据	23
2.2 陶瓷基复合材料产业链介绍	26
2.2.2 中游陶瓷基复合材料核心产品	28
2.2.3 下游陶瓷基复合材料应用	29
2.3 陶瓷基复合材料企业链介绍	30
2.3.1 陶瓷基复合材料外资跨国企业	32
2.3.2 陶瓷基复合材料国内大型企业	34
2.4 陶瓷基复合材料技术链介绍	37
2.4.1 核心产品发展趋势	37
2.4.2 制备工艺发展趋势	39
2.4.3 关键技术分解	40

2.5 中国陶瓷基复合材料产业现状	42
2.5.1 中国陶瓷基复合材料产业基础数据	45
2.5.2 中国陶瓷基复合材料相关产业政策	47
2.6 陕西省陶瓷基复合材料产业现状	49
2.6.1 陕西省陶瓷基复合材料产业基础数据	50
2.6.2 陕西省陶瓷基复合材料面临的问题	52
2.6.3 陕西省陶瓷基复合材料产业发展相关政策及环境	52
3 陶瓷基复合材料产业发展方向	71
3.1 产业创新发展与专利布局关系分析	71
3.1.1 技术发展与专利布局分析	71
3.1.2 产品供需与专利布局分析	75
3.1.3 相关企业与其专利实力	76
3.1.4 全球产业转移与专利申请趋势分析	79
3.1.5 发达国家或垄断企业对技术的控制力度	80
3.1.6 发达国家或垄断企业对产品链的控制力度	82
3.1.7 发达国家或垄断企业对市场的控制力度	84
3.2 专利布局揭示产业发展方向	84
3.2.1 全球产业结构调整方向	84
3.2.2 发达国家产业结构调整方向	84
3.2.3 龙头企业产业结构调整方向	86
3.2.4 技术研发热点方向	90
3.2.5 全球陶瓷基复合材料卡脖子关键技术分析	92
3.2.6 专利申请趋势热点方向	93

3.2.7 核心技术演进热点方向	93
3.2.8 龙头企业研发热点方向	94
3.2.9 协调创新热点方向	96
3.2.10 新进入者集中的热点方向	97
3.2.11 专利应用的热点方向	98
3.3 中国陶瓷基复合材料专利发展情况	99
3.3.1 中国陶瓷基专利申请趋势及技术领域	99
3.3.2 中国陶瓷基复合材料卡脖子关键技术分析	102
4 陕西省陶瓷基复合材料产业发展定位	103
4.1 陕西省产业结构定位	103
4.1.1 陕西省专利申请趋势	103
4.1.2 陕西省专利质量洞察	105
4.2 陕西省企业创新实力定位	106
4.2.1 企业专利布局的产业链优劣势环节分析	107
4.2.2 企业专利在全国/全球创新能力定位	111
4.3 陕西省创新人才储备定位	113
4.3.1 陕西省创新人才拥有量在全国/全球占比	113
4.3.3 陕西省产业领军人才的创新能力和竞争实力	118
4.4 陕西省技术创新能力定位	128
4.4.1 陕西省陶瓷基复合材料创新能力	128
4.4.2 陕西省陶瓷基复合材料技术竞争实力	129
4.5 陕西省专利运营实力定位	130
4.5.1 专利运营活跃度	130

4.5.2 专利运营主体情况	131
4.5.3 专利运营潜力	132
5 陕西省陶瓷基复合材料产业发展路径建议	133
5.1 产业布局结构优化定位	133
5.1.1 强化产业链优势	133
5.1.2 弥补产业链劣势	134
5.1.3 陕西省复合材料卡脖子关键技术分析	135
5.1.4 防范系统性专利风险	142
5.2 企业整合培育引进路径	144
5.2.1 企业整合与培育路径	144
5.2.2 企业整合与优化路径	147
5.3 创新人才培养引进路径	148
5.3.1 创新人才培养路径	149
5.3.2 创新人才引进路径	155
5.4 技术创新引进提升路径	156
5.4.1 陕西省领先产业环节的技术提升路径	156
5.4.2 陕西省重点产业环节的技术赶超路径	158
5.4.3 陕西省薄弱产业环节的技术加强路径	158
5.5 专利协同运用和市场运营路径	161
5.5.1 陕西省专利质押与许可情况	166
5.5.2 专利协同运用路径	167
5.5.3 专利市场运营路径	168
6 总结	170

参考文献174

陕西省知识产权局

导航图谱

一、全球陶瓷基复合材料产业全景图谱



二、中国陶瓷基复合材料产业全景图谱



三、陕西陶瓷基复合材料产业全景图谱



四、陕西陶瓷基复合材料产业链图谱



陕西省知识

1 概述

1.1 陕西省陶瓷基复合材料产业项目背景

1.1.1 研究内容

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。一方面,它克服了单一陶瓷材料脆性断裂的缺点,提高了材料的断裂韧性;另一方面,它保持了陶瓷基体耐高温、低膨胀、低密度、热稳定性好的优点。陶瓷基复合材料的最高使用温度可达 1650℃,而密度只有高温合金的 70%。因此,近几十年来陶瓷基复合材料的研究有了较快发展。目前陶瓷基复合材料的典型应用包括:新型飞行器热防护系统和动力系统的关键部件以及其他民用动力装置的关键部件;先进核能系统中作为燃料包壳和面向高温等离子体材料及高温热交换材料;高性能制动系统的关键部件材料等。

CMC 纤维形态包括:短切纤维、一维单向带、二维机织、三维机织或三维编织。纤维的编织形态对力学性能有较大影响,并且对成本及制造也有影响。由于纤维在不同的方向取向不同,因此了解纤维形态对面内及面外性能的影响至关重要。力学及热力性能的方向异性取决于各组分的体积比及纤维形态对性能的影响,包括纤维的取向、加工不均匀性如只有基体的区域、孔隙区域,其中孔隙结构通常与纤维织物本身及工艺方法对内部区域致密化程度有关。这些制约性因素通常使得陶瓷基复合材料中纤维体积分数低于聚合物基复合材料。

在陶瓷基复合材料中加入纤维的主要目的是为了提高韧性并降低材料对于缺陷的敏感性。纤维主要功能之间的区别使两种复合材料对于纤维的需求规格不同。CMC 部件的纤维类型选择过程与其他复合材料的该过程有相似性,需考虑纤维强度、纤维在使用环境中的反应性、可用性、成本、制造性及耐温能力等因素。

可能的陶瓷纤维包括碳纤维、氧化物纤维(如 Al_2O_3)及非氧化物纤维(Si_3N_4 、 SiC 及 SiNC)。

由于陶瓷纤维的市场较小,因此供应商也相对较少,特别是非氧化物纤维。尽管有不少牌号的纤维已经量产,仍有不少纤维处于研发或者是实验室生成阶段。选择在文献中公开性能的纤维时,须考虑该纤维是否可以获得及其是否会再次生成等。

为了使陶瓷基复合材料中基体裂纹沿纤维偏转,纤维与基体之间必须有弱界面存在。根据不同的复合材料体系,起到脱粘及滑移作用的界面可以通过在纤维表面沉积界面层或者通过某种反应在纤维表面形成一个界面层。

对于非氧化物体系而言,纤维表面通常沉积一层薄薄的热解碳或者 BN 涂层,采用化学气相沉积在纤维束表面沉积。热解碳或者 BN 形成的弱界面可以存在与纤维与界面相之间,或者某些情况下在界面相内部,或者基体致密化后在基体与界面相之间。涂层的厚度和均匀性取决于涂层制备工艺,通常 CVI 工艺由于沉积速率较慢因而制备的涂层均匀性较好。

对于氧化物复合材料而言,涂层可以通过气相或液相化学反应法制备。有多种不同的方法可以在纤维与氧化物基体之间形成弱界面层或弱界面相区域。涂层可以采用与纤维或基体相同的材料(氧化铝),并且基体本身就为强度较低的多孔材料。其他的可以产生脱粘或者滑移效果的材料也可以用作若界面相,如独居石。在一些情况下,如果基体孔隙足够多或者有足够多的预制裂纹,则不需要界面层。

目前,可应用的 CMC 体系主要有两种: SiC/SiC (非氧化物)体系和氧化物/氧化物体系。不同类型的熔渗工艺(MI)制备的 SiC 纤维增强 SiC 基体(SiC/SiC)陶瓷基复合材料,已在工作温度超过 2000°F (1093°C)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 $200\text{-}500^\circ\text{F}$ 。在高温有氧条件下, SiC/SiC CMC 将因发生被动氧化而在表面形成二氧化硅层,在发动机服役环境中,该层会与燃气流中存在的高压水蒸气反应而挥发掉。因此, SiC/SiC CMC 部件在使用时需要涂覆环境障涂层(EBC)以防止其性能退化, SiC/SiC (MI) CMC 涡轮外环成为第

一个在商用航空发动机上取得应用的部件,并将进一步拓展应用于未来航空发动机的燃烧室衬套、导向叶片、转子叶片等部件中。

氧化物/氧化物 CMC 将可用于工作温度为 1800°F (982°C) 或更低的发动机排气部件中,该 CMC 具有以下优点:①在排气环境中保持稳定,因而通常不需要保护涂层;②与 SiC 纤维相比,氧化物纤维价格相对便宜;③纤维表面不需要界面层(界面)。这些优点将有助于降低该体系的综合成本。但在某些应用场合下,氧化物/氧化物 CMC 的潜在不足是孔隙率太高(20%-25%),当然,也可以将涂层涂覆到该类材料表面,即可作为热障涂层(TBC)实现更高的工作温度,也可弥合表面孔隙。

由于 SiC/SiC (MI) CMC 的基体中存在自由硅,因此其长期使用温度上限约为 2400°F (1316°C)。耐 2700°F (1482°C) 的 SiC/SiC CMC 正在开发中,这些材料需要高抗蠕变的 SiC 纤维和基体,当该 CMC 与耐高温的 EBC/TBC 配合使用时,工作温度可高达 3000°F (1649°C),从而大幅提高发动机的工作效率。随着发动机工作温度的持续提高,将需要耐更高温度的排气部件,氧化物/氧化物 CMC 的承温上限也取决于所用的增强纤维和基本类型。

陶瓷基复合材料已逐步成为新材料的重要部分,成为许多高新技术领域发展的重要关键材料,备受各工业发达国家的关注,其发展很大程度上也影响着其他工业的发展和进步。其被广泛应用于诸多工业及航天航空领域(见表 1-1)。

表 1. 1CMC 潜在应用领域

产品领域	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

产品领域	示例
核工业	燃料包壳管
军用	防护装甲

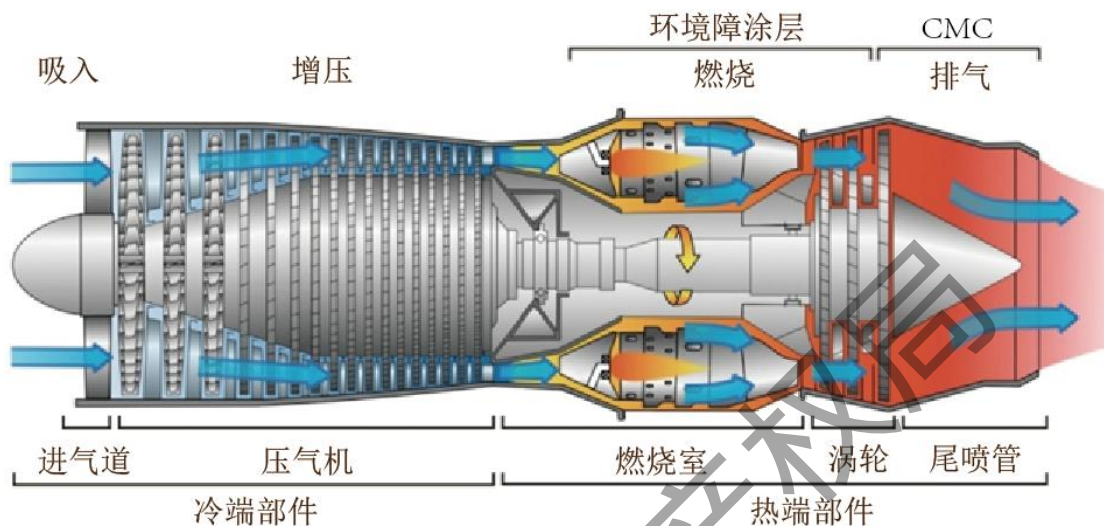


图 1.1 燃气涡轮发动机剖面示意图

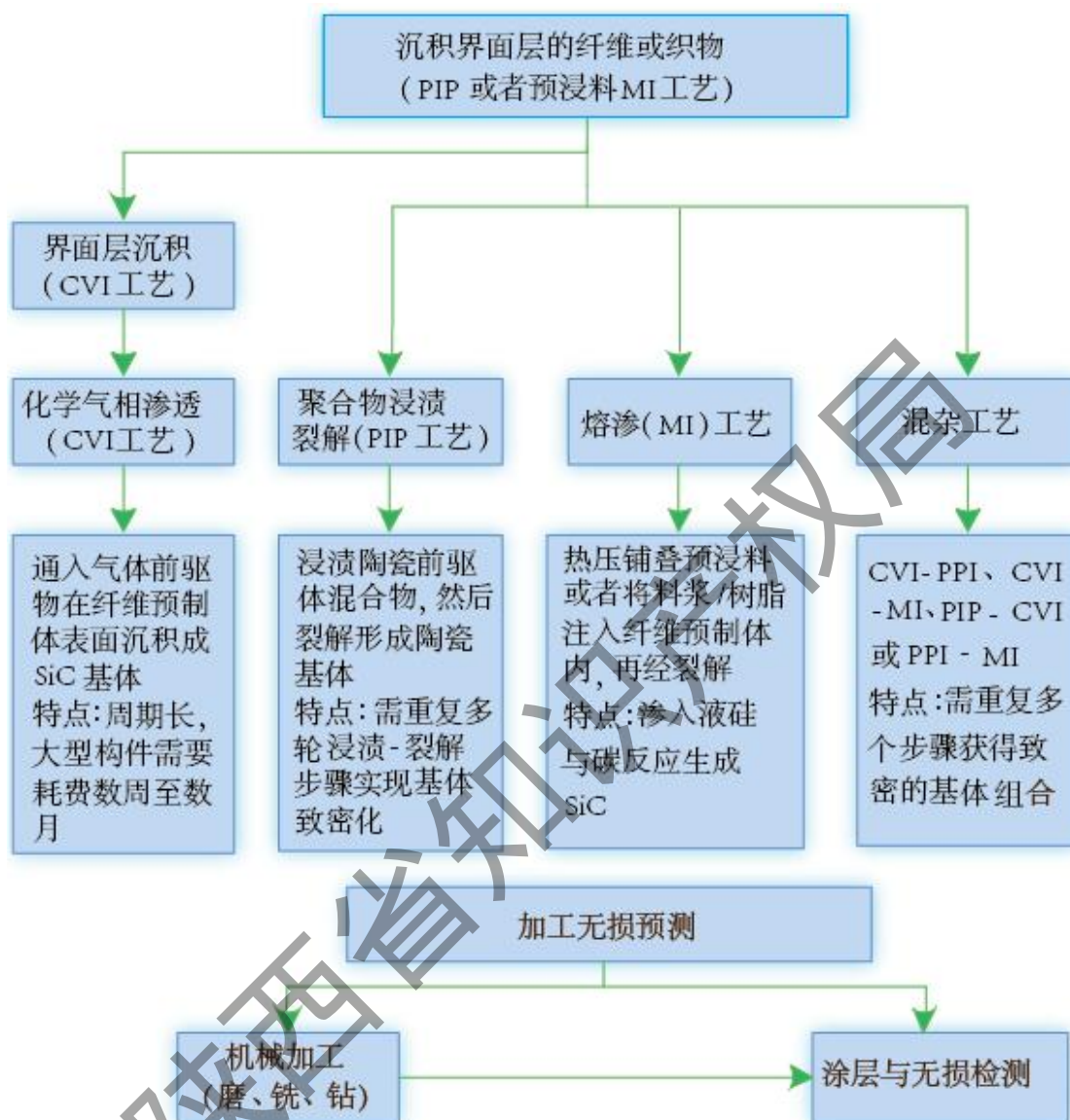
图 1.1 展示了 CMC 在亚声速喷气发动机部件上的应用，军用和商用发动机用 CMC 的研发已逾 40 年，其“节约燃料成本、降低污染物排放”成为持续开发各种新型 CMC 的巨大动力。经过 30 年的研究和数十亿美元的投入，CMC 有望应用于商用飞机发动机的热端部件上，CMC 的发展新纪元即将来临。由于 CMC 比金属更有优势因此已将其应用于亚声速商用发动机的热端和排气部件上并带来以下效果：①减轻了部件重量（密度约为合金的 1/3）②提高了承温能力③降低了冷气用量。

上述优点可让使用 CMC 热端部件和排气部件的发动机在更高的温度下服役并且有更高的燃油效率。此外，还可减少氮氧化物和二氧化碳的排放。

许多陶瓷基复合材料体系已经达到商业化开发阶段，其工艺性能已经确定，并达到了商用需求。同时，还有一些 CMC 朝着更耐高温的方向发展。

与涡轮发动机应用最相关的 SiC/SiC CMC 体系如图 1.2 所示：由于陶瓷基复合材料基于陶瓷组分，采用高强度、高弹性纤维与成分相同或相近的陶瓷基体相互复合而成。由连续纤维补强增强陶瓷基体复合成材的混搭组合，类似于“钢筋+混凝土”的优势互补，连续的陶瓷纤维根据需要，可编织成二维或三维的“钢筋”

骨架（即纤维预制体）、“混凝土”则为骨架周围紧密填充的陶瓷基体材料“水泥”，形成“1+1>2”的效果，具备高比模、耐高温、抗烧蚀、抗粒子冲蚀、抗氧化和低



密度的优势。

图 1.2 航空发动机用不同类型的 SiC/SiC CMC 制备工艺

它可以具有类似金属的断裂行为、对裂纹不敏感、没有灾难性损毁。连续纤维增强陶瓷基复合材料主要包括碳纤维增强碳化硅（C/SiC）和碳化硅纤维增强碳化硅（SiC/SiC）两种。由于 C/SiC 抗氧化性能较 SiC/SiC 差，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。

SiC/SiC 陶瓷基复合材料保留了 SiC 陶瓷耐高温、高强度、抗氧化、耐腐蚀、耐冲击的优点，同时兼具 SiC 纤维增强增韧作用，克服了 SiC 陶瓷断裂韧性低和抗外部冲击载荷性能差的先天缺陷。

这种材料可以在 1316℃ 的高温环境下保持其理化特性不退化。当 SiC/SiC 材料表面喷有热障涂层时，其最高工作温度可继续增加至 1480℃。尽管现代商用发动机涡轮前温度可达 1650℃，额外的 170℃ 温差仍需采用压气机引气冷却来弥补，但这一引气量相比使用传统高温合金材料的叶片已大为减少。据初步计算，采用耐温 1480℃ 的 CMC 材料高压涡轮叶片可使发动机燃油消耗率降低 6%。同时，采用 CMC 材料制成的燃烧室高温衬垫所需的冷却气量也大幅减少，进而降低冷却空气同燃油掺混后不完全燃烧生成氮氧化物的机会，其氮氧化物的减排潜力可达 33%。

目前，西安阎良国家航空高技术产业基地中陶瓷基复合材料产业在航空发动机、航天发动机、飞行器耐热结构、太空轻质结构、刹车制动、核能利用、光伏电子七大领域有力支撑着我国新一代武器装备和新型能源的发展。西安阎良国家航空高技术产业基地中陶瓷基复合材料产业主要的研究方向集中在以下几个方面：通过对陶瓷基复合材料的失效机理分析与修复技术分析，研究自愈合长寿命的陶瓷基复合材料及自愈合改性工程化制造工艺；通过对陶瓷基复合材料的失效机理分析及损伤度评价分析，研究超高温耐烧蚀陶瓷基复合材料及超高温改性工程化制造工艺技术；通过对陶瓷基复合材料的制造质量分析，在结合相关评价技术、修复技术，研究高性能摩擦陶瓷基复合材料及 C/C 坯体的大批量制备及控制技术、碳纤维树脂预浸料批量制备及控制技术、碳陶刹车盘的组成/结构与性能的协同设计以及高效率、低成本碳陶刹车盘涂层制备技术等。

随着知识经济的发展和经济全球化影响的加深，知识产权作为推动生产力发展的重要因素和市场竞争的重要战略资源，正以越来越高的频率出现在人类的现实生活中。专利是知识产权的重要组成部分，是运用法律保护手段独占或抢占市场的有力而合法的武器，是打开财富之门的金钥匙。随着中国科技创新能力的不断增强，专利的受理和授权都在逐年快速增长，专利资源信息越来越多。

陕西省蕴含着丰富的专利资源信息。但同时大量专利资源信息未经整合、数据分析，有存在大量专利资源信息被无视或浪费的问题。

党的十八大明确提出“科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置。”强调要坚持走中国特色自主创新道路、实施创新驱动发展战略。专利作为创新成果的重要产出，在衡量创新能力和经济发展水平方面意义匪浅。高校是专利的重要产出地。因此，校企合作是连通学术界和产业界的重要途径，在国家产学研政策的支持下，我国校企合作发展迅速，产生了大量专利技术，但只有将专利技术转化为现实，生产力才能起到助推经济发展的作用。

1.1.2 研究目的

知识产权是联结创新与市场之间的桥梁和纽带，是保障创新创业成功的重要制度，是激发创新创业热情、保护创新创业成果的有效支撑。专利导航^[1]是以专利信息资源利益和专利分析为基础，把专利运用嵌入产业技术创新、产品创新、组织创新和商业模式创新之中，是引导和支撑产业科学发展的一项探索性工作。专利导航的主要目的是探索建立专利信息分析与产业运行决策深度融合、专利创造与产业创新能力高度匹配、专利布局对产业竞争地位保障有力、专利价值实现对产业运行效益有效支撑的工作机制，推动产业的专利协同运用，培育形成专利导航产业发展新模式。

本项目旨为陕西省陶瓷基复合材料产业提供专利导航服务。陶瓷基复合材料是一种关键战略材料，是战略性热结构材料的典型代表，具有轻质、耐高温、抗氧化、耐磨损、类似金属的断裂行为对裂纹不敏感等优点，应用覆盖尖端军用和新兴民用等多个领域，军民融合特性显著。在新一代装备领域具有不可替代性，在民用领域具有广阔市场。业已广泛应用于高性能刹车系统、航空发动机和燃气轮机、航天发动机、轻质热防护结构、卫星光机、光伏电子、核能等七大领域，很好地满足了国家科技重大专项和国防科技工程的紧迫需求，实现了巨大的安全、经济和社会效益。

随着现代工业的发展，自然环境受到愈来愈严重的破坏，环境污染及资源缺乏使人类认识到节约自然资源的重要性。这种现状也迫切要求我们进行环境友好型材料的研发。陶瓷基复合材料的开发研制对于提高材料利用率、开拓产品的材料化技术及拓宽产品的材料化应用领域、以及在环境保护和“节约资源方面具有重要意义。十三五”时期，伴随着政策、技术的逐步成熟，陶瓷基复合材料产业将进入一个全新的发展高峰时期，因而看好整个行业的发展前景。

目前调研表明，园区内主营陶瓷基复合材料的相关企业在研发高机械性能材料、环保材料等领域具有坚实的研发基础和研发实力、且其所掌握的核心技术处于国际前列、国内领先的地位。本次导航项目将以此为契机，为园区中主营陶瓷基复合材料的企业在对核心技术进行专利保护时提供精准服务，为陶瓷基复合材料产业的知识产权运营提供科学可延续的发展策略，同时把专利运用嵌入产业技术创新、产品创新、组织创新和商业模式创新，引导和支撑陶瓷基复合材料产业科学发展的探索性工作。

陕西省陶瓷基复合材料进行专利导航目的：

一是对陶瓷基复合材料产业的专利资源信息进行融合分析，发挥专利信息资源对陶瓷基复合材料产业运行决策的引导力，为陶瓷基复合材料产业科学可持续发展提供决策依据。

本次专利导航项目将对陕西省存在的专利资源，尤其是陕西省陶瓷基复合材料产业的专利资源进行信息整合、分析。例如分析陶瓷基复合材料企业发展现状、环境和定位，诊断陶瓷基复合材料企业需求。通过加强专利信息资源利用和产业专利分析，把握产业链中关键领域的核心专利分布，以全球视野明晰产业竞争格局、确定产业发展定位。通过建立专利分析与产业运行决策深度融合、持续互动的产业决策机制，系统配置优势资源，提高产业创新能力、增强竞争优势，不断发挥专利在产业发展中的导航作用。

专利集中管理能够使技术相关联的企业成为一个基于专利利益分享的共同体，企业间交叉式专利许可价格较低，基于高效率管理的模式，形成专利资源信息体系。因此通过本次专利导航项目获得的具有一定深度和广泛适用度的专利资

源信息体系，发挥专利信息资源对陶瓷基复合材料产业运行决策的引导力，为陶瓷基复合材料产业科学可持续发展提供决策。

二是以市场需求为导向、以专利运用和技术创新为目的构建专利创造体系，推动专利质量的提升，提高企业知识产权及技术创新综合能力。

为了提高西安陕西省陶瓷基复合材料产业的技术创新水平，本次专利导航项目旨在以市场需求为导向、以专利运用和技术创新为目的构建专利创造体系，推动专利质量的提升，提高企业知识产权及技术创新综合能力。

三是发挥专利保护对产业竞争市场的控制力，培育产业竞争力发展新优势，使专利成为陶瓷基复合材料产业实体经济转型升级的助推器。

首先，推进陶瓷基复合材料实体企业从传统行业转型升级，应提高企业自主创新能力，重视科研和创新投入，努力掌握行业核心技术，

在政府协助下制定创新发展战略。实体企业之间要保持密切沟通合作，针对技术难点和重要技术环节，组成行业技术攻关联盟。在技术自主创新过程中，结合产业内专利资源信息整合创新资源、缩减开发成本和周期；实体企业间可共同建立核心技术开发中心，整合企业的人力、物力和财力资源，进行技术攻关和创新研究，研发成果或知识产权归属人则由实体企业合作联盟依据各企业的投入合理分配。

其次，将陶瓷基复合材料实体企业产品、金融、互联网和智能制造等结合起来，提升产品的科技含量和金融支持力度，借助“互联网+”发展模式，避免低端制造和无效供给，通过新技术、新模式和新视角创新传统生产、管理和营销模式，促进生产经营转型。

最后，提升陶瓷基复合材料实体企业的服务态度，树立品牌意识，打造特色品牌并提升企业核心竞争力，保障自身的长远发展。陶瓷基复合材料实体企业应当重视人力资源建设，摒弃传统的劳动密集型用人观念，重新树立“以人为本，人才强企”的发展理念，培养，加强企业人力资源建设，发掘具有知识产权意识及专利布局能力的综合型人才。

四是以陶瓷基复合材料领域的专利资源为纽带，构建企业主导，高校院所、金融机构、专利服务机构等多方参与的专利运用协同体。

2013年3月，经国家发改委批复，由西安鑫垚公司牵头组建了陶瓷基复合材料制造技术国家工程研究中心。公司同时承担了国家发改委、财政部和工信部三部委联合批复的国家战略性新兴产业新材料研发与产业化专项“高性能 SiC 陶瓷基复合材料在刹车和航空发动机领域的产业化及其技术研究”、国家工信部批复的工业转型升级强基工程“超高温陶瓷基复合材料在热防护领域的产业化”等项目。

西安鑫垚公司正为多个航空航天领域的企业或研究院所提供技术研发和试验检测服务，承担着我国多种武器装备用特种陶瓷基复合材料构件的研制任务，涵盖七大类产品：高性能刹车产品、卫星光机构件产品、航空发动机（燃气轮机）构件产品、航天发动机构件产品、轻质热防护构件产品、光伏\电子构件产品、核电设备构件产品。

通过本次专利导航项目将为诸如西安鑫垚公司与西北工业大学这样的校企合作共同体新增金融机构、专利服务机构等多方力量，在专利分析基础上，组织生产同类产品的企业与高等学校、科研机构围绕关键共性技术和配套装备技术进行协同攻关，共同突破核心技术，共享知识产权，并在各自差异化产品的生产中加以利用；组织行业大型企业集团与产业链上下游企业以及相关科研机构联合，围绕产业链中薄弱或缺位的关键共性技术进行集中突破，促进完整产业链的迅速形成，产业链上下游企业共享知识产权，最终构建企业主导，高校院所、金融机构、专利服务机构等多方参与的专利运用协同体。

五是研究制定有利于专利导航产业发展的各类政策；整合现有政策资源，利用财税、金融、科技、贸易等政策杠杆，促进专利运用和陶瓷基复合材料产业发展。

专利政策体系是构建创新型国家，提高企业自主创新能力的重要推动力，因此专利政策实施效果的评价和影响值得广泛深入研究。而企业作为创新活动的主体，其在专利政策的理解和运用中所表现出来的诉求，往往是政策发挥效力的前提。专利是技术创新的重要结果，是企业核心竞争力的重要源泉。对于企业而言，获得专利意味着具有专业技术实力，也意味着能够享受更多的税收优惠。例如，最近3年，长虹集团研发费用加计扣除累计实现所得税抵减税额超过2亿元，增

值税即征即退税款累计超过 3 亿元。可见专利带来的直接利好就是享受的税收优惠越来越多，进而又促进企业加大研发投入，不断申请新的专利，从而实现了良性循环。

综上所述，本项目通过对陶瓷基复合材料行业的重要专利进行深度剖析，找出最关键、最核心的技术部位所在，进而在核心技术部位建立稠密的专利网。并以该专利网、企业实际发展情况为依据，为陶瓷基复合材料企业做深度专利布局，以及根据对陶瓷基复合材料行业发展的调研情况以及陶瓷基复合材料领域的技术发展情况，为陶瓷基复合材料产业提出具有可行性和前瞻性的产业规划内容。总之，本项目旨在为陶瓷基复合材料行业实现专利导航，促进陶瓷基复合材料产业与专利的深度融合，推动陕西省重点产业的专利协同运用，培育形成专利导航产业发展新模式。

1.2 陶瓷基复合材料产业背景

1.2.1 陶瓷基复合材料

陶瓷材料是人类生活和现代化建设中不可缺少的一种材料，它是继金属材料之后人们所关注的无机非金属材料中最重要的材料之一。我国是陶瓷的故乡，陶瓷材料在我国具有十分悠久的历史，最早可追溯至新石器时代。我们的祖先曾用他们聪慧的头脑和勤劳的双手为人类文明作出过杰出的贡献，当代社会进入到信息时代的今天，陶瓷材料又以它崭新的姿态渗透到人们生活的每一个角落。

传统陶瓷主要是从原料、材料、工艺技术与装备、产品及其使用功能等方面来看都是“传统”的，并且具有悠久的历史背景和深远的文化渊源，一般用于日用、建筑、卫生等领域，如各种装饰性瓷器、瓷砖等，图 1.3 展示了传统陶瓷制品。

但是由于传统陶瓷韧性差，在传统工业上，传统陶瓷仅有切削工具等为数不多的应用，随着现代高新技术的发展，开发出了陶瓷基复合材料（CMC），其克服了传统陶瓷疲劳特性和韧性问题，同时具有高强度和高温特性。

陶瓷基复合材料是一个庞大的家族，按材料作用分类，可以分为用于制造各种受力零部件的结构陶瓷基复合材料。

目前,实现陶瓷基复合材料强韧化的途径有颗粒弥散、纤维增强等^[2],因此按照增强材料又有颗粒增强陶瓷复合材料、纤维(晶须)增强陶瓷基复合材料、片材增强陶瓷复合材料。一般情况下,用做瓷基复合材料的基体主要包括氧化物瓷、非氧化物瓷,微晶玻璃和碳。以此为分类标准,又能分出如氧化物陶瓷基复合材料、非氧化物陶瓷基复合材料、微晶玻璃基复合材料、碳/碳复合材料。



图 1.3 常见的传统陶瓷制品

陶瓷基复合材料是一种增强增韧的多相复合材料,或与各种纤维增强体复合的复合材料,陶瓷基复合材料具有优良的性能,如高强度、高硬度、高弹性模量、热稳定性等,是理想的耐高温结构材料,广泛应用于航空发动机/燃气轮机、航天发动机、轻质热防护结构、卫星光机结构、高性能刹车系统、光伏电子、核电等领域,满足了国家科技重大专项和国防科技工程的紧迫需求,实现了巨大的安全、经济和社会效益。

陶瓷基复合材料一直是材料领域研究和开发的热点，尽管如此，该材料在商业航空发动机上的应用却一直进展缓慢，原因如下：该材料的断裂行为与其它结构材料存在根本性差异，过去以及现有的基础设施仍然有限，需求不足导致材料成本较高，无法控制其在实际应用水平，工艺流程不完善，但令人欣喜的是，以上多种情况都得到了改善，许多 CMC 在航空发动机中的复杂应用已出现在商业航空公司的营运服务中，没有人预料到 SiC/SiC 涡轮部件和氧化物/氧化物排气系统部件会投入生产，因为在此之前，大多数美国联邦资助机构对该课题失去了兴趣，研究小组被解散或调整方向，学术研究热点大幅度下降，但是该项技术之所以还有进步，是因为有足够的来自美国国家航空航天局、通用电气公司及普惠公司的资金投入，例如启动推进材料计划、超高效率发动机技术以及美国空军研究实验室关于硅基 CMC 相关技术方面的补充资金，在氧化物/氧化物 CMC 开发方面，关于硅基 CMC 相关技术方面的补充资金，在氧化物/氧化物 CMC 开发方面，AFRL、通用电气公司、ONR、COI Ceramics 等机构也进行了投入，发动机公司及政府实验室与各 CMC 制造商和纤维供应商通力合作，在 CMC 部件可行性研究方面取得了缓慢但稳定的进展，这些部件的应用使得发动机可以在更高的温度下工作，提高燃油效率，同时减少氮氧化物的排放，美国能源部还资助了 CMC 的研发，提高了 CMC 制造商的开发能力，围绕 CMC 和 EBC 召开的技术会议定期将各 CMC 技术研究团队召集在一起，为信息共享、知识传播提供了便捷的途径，推动了该项技术的发展，此外，学术期刊和学术会议中技术论文的共享也对该项技术发展起到了推动作用。

为了寻求耐高温的燃烧室衬套、涡轮导向叶片、转子叶片部件，人们评估了 SiC/SiC（SiC 纤维增强的 SiC 基体）CMC 在不同环境下的耐久性，随着对材料进行更充分的表征，部件设计和寿命预测能力也随之提高，环境障涂层得到发展并且性能显著提升，抗蠕变纤维的研发使复合材料可在更高的温度下工作，同时，日本、法国、德国围绕先进燃气涡轮发动机燃烧室和排气喷嘴部件的应用研究也促进了材料及其部件的发展，然而，人们对该材料的基础认知还不充足，这是由于非均质复合材料结构及其防护 EBC 和发动机服役环境下对 CMC 部件进行大量测试，以验证其具有足够的耐久性，从而满足商用飞机对材料安全性可靠性及

长期使用上的需求，目前来看，得益于对 CMC 部件地面装机考核以及验证材料长时耐久性的模拟环境考核的大量投资，填补了人们在这方面的知识空白。

CMC 是一种全新的材料，它具有陶瓷（基体和纤维）耐高温的特性，同时通过纤维的增韧提高了材料的抗裂性，实现平稳失效，那些将 CMC 应用到发动机的组织机构所拥有的经验均是源自聚合物基复合材料，但 CMC 作为一种高温材料，其应用还是新领域，尽管陶瓷基复合材料展现出巨大的性能优势，但也带来了新的技术挑战，必须找出并解决所有潜在的技术问题，业界需要持续进行关于陶瓷基复合材料的研究。

1.3 陶瓷基复合材料产业定义

1.3.1 陶瓷基复合材料产业现状及需求

陶瓷基复合材料是一种在陶瓷基体中加入加强材料的复合材料，可以提高传统陶瓷材料的断裂韧性、冲击强度和强度。陶瓷基复合材料广泛应用于热恢复设备、热力发动机的支撑件和航天航空结构件，是重要的国防基础材料。然而陶瓷基复合材料所具备的优点和特性同时给制备加工带来了困难。

陶瓷基复合材料从结构上可以分为三相：基体相、增强相和界面相。其中界面相在复合材料中具有特别重要的作用，它不仅是复合材料中增强相和基体相连接的纽带，同时也是应力传递的桥梁。

因此，深入研究界面的形成过程、界面层性质、应力传递行为对宏观力学性能的影响规律，精确地表征增强相与基体之间界面结合的情况，进而有效的控制界面参数，是获得高性能复合材料的关键。对于陶瓷基复合材料而言，纤维与陶瓷基体之间的界面结合主要通过三种方式：机械结合、溶解与润湿结合和反应结合。研究界面结合方式对于控制复合材料的界面结合程度、抑制界面不稳定性的产生具有重要意义。

目前国内外在陶瓷基复合材料的研发、加工处理、应用等方面，仍存在许多亟待解决的难题，如何研发出高性能的陶瓷基复合材料并拓展其应用成为国内外陶瓷基复合材料产业面临的难题。

由于陶瓷材料具有耐磨、耐高温和抗化学侵蚀能力,近20年来世界各工业发达国家对陶瓷基复合材料的研究与开发十分重视,相继制定了各自国家发展计划,并投入了大量的人力、物力和财力,其研制目标是将用作发动机热端部件的陶瓷基复合材料使用温度提高到1650℃或更高,达到节能、减重、提高推重比和延长寿命的目的。我国陶瓷基复合材料的研究在军事和民用热机方面也取得了重大突破,陶瓷基复合材料最突出的优点是轻质、耐高温、抗氧化和抗腐蚀,用作高温结构材料有着不可替代的作用。其中碳纤维增韧碳化硅陶瓷基复合材料C/SiC是目前研究最多、应用最成功和最广泛的陶瓷基复合材料,是航空航天等国防装备发展不可缺少的新型战略性材料。



图 1.4 陶瓷基复合材料的应用领域

此外,陶瓷基复合材料有望应用于商用飞机发动机的热端部件上,由于其比金属更具有优势,将其应用于亚声速商用发动机的热端和排气部件上,可减少部件重量、提高部件承温能力,降低冷气用量,提高发动机燃油效率。

如图1.4所示,在航空发动机热端部件,如喷管、燃烧室、涡轮和叶片等,

以及高超声速飞行器热防护系统、飞机高档汽车刹车系统等方面具有重要的应用，产业需求潜力较大。

1.3.2 陶瓷基复合材料研究边界

1.3.2.1 陶瓷基复合材料的本征结构

陶瓷基复合材料是将陶瓷材料基体与纤维、晶须或颗粒等增强体复合而成的一类新型多相（至少两相）材料体系，是先进复合材料家族的重要成员。

通常来说，无论是树脂基、金属基，还是在陶瓷基复合材料中采用连续纤维增强补韧的效果都是最好的。但对高温的陶瓷基来说，用连续纤维作增强体最大的问题就是成型温度高、技术复杂，制造成本高，不易制造大尺寸和形状复杂的制件。尽管如此，国内外对连续纤维增韧陶瓷基复合材料的研究一直在继续，而且已经达到实用化。

材料的微观结构源自制备工艺，决定着材料的性能，构成了材料学研究中工艺-结构-性能三者重要的内在关联。气相沉积工艺制备的纤维增强陶瓷基复合材料一般由四大不同属性、特点的结构单元构成，包括连续纤维、陶瓷基体、界面及孔隙。纤维的分布状态、纤维的体积分数、陶瓷基体的致密性和均匀性、界面的结合特性、气孔的分布等，构成了 CFCC 的本征结构，决定了陶瓷基复合材料的各项性能，用与陶瓷基复合材料的陶瓷基体主要有：氧化物陶瓷和非氧化物陶瓷。氧化物陶瓷主要有氧化铝陶瓷和氧化锆陶瓷。非氧化物陶瓷是指不含氧的金属碳化物陶瓷、氮化物陶瓷、硼化物陶瓷和硅化物陶瓷。以陶瓷基复合材料 C/SiC 为例，其组成结构有以下特点：

基体：碳化硅陶瓷具有优良的力学性能、高的抗弯强度、优良的抗氧化性和耐腐蚀性、高抗磨损性能及低摩擦系数。高温力学性能优异，高温强度可一直维持到 1600℃，是陶瓷材料中高温强度最好的材料。SiC 陶瓷的缺点是脆性大，断裂韧性低。通过强化制成陶瓷基复合材料，可以提高韧性和强度。

纤维：增强纤维构成陶瓷基复合材料的骨架，是主要的承载单元。碳纤维的力学性能可以看成在断裂之前呈线性的应力-应变关系，表示它的强度与应变成

正比。但碳纤维断裂是瞬时的脆性断裂，这在碳纤维设计时必须考虑。碳纤维最突出的优点体现在它的超出其他工程材料许多的比强度和比刚度。

孔隙：纤维增韧陶瓷基复合材料的内部孔隙源自于预制体结构，不同的编织方式导致不同的孔隙形状。总体而言，CFCC 内存在两个尺度的孔隙，纤维束间孔隙和纤维束内孔隙（内一纤维束内单丝纤维之间的孔隙）。

界面：在陶瓷基复合材料中，除了增强纤维和陶瓷基体外，在纤维和基体间还存在一个与纤维增强体和陶瓷基体均存在明显差别的新相，即复合材料的界面。陶瓷基复合材料的界面结合区域虽然很小（几个纳米~几个微米之间），但它是复合材料极为重要的微结构，对复合材料的耐热、抗疲劳、纤维脱粘失效等有着重要的影响。

复合材料中纤维-基体界面的主要作用是：

（1）传递效应。纤维是主要的载荷承担着，因此界面必须有足够的结合强度来传递载荷，使纤维承受大部分外加载荷，界面在基体和纤维之起桥梁作用。

（2）阻断效应。当基体裂纹扩展到纤维和基体间的界面时，结合适当的界面能防止裂纹扩展或使裂纹发生偏转，从而调整界面应力，阻止裂纹向纤维内部扩展。界面结合控制着复合材料断裂时的能量吸收机制：界面脱粘、裂纹转向和分支、纤维断裂和纤维拔出。界面结合过强，材料易发生脆性断裂；界面结合过弱，载荷不能有效地从基体传递给纤维。两者均对材料的性能不利，合适的界面结合是制备高性能 C/SiC 复合材料的关键因素之一。

1.3.2.2 陶瓷基复合材料的制备工艺、加工工艺及应用领域

陶瓷基复合材料的常见制备工艺包括：化学气相渗透法、反应熔融渗透法、浆料浸渗法、溶体渗透法、原位反应法、热压烧结法等，陶瓷基复合材料部件通常需要一些精加工来达到最终部件特征，使其从粗糙的近净形状部件到满足最终装配要求的尺寸和公差，然而，陶瓷基复合材料具有耐磨性，为了达到最终的尺寸和表面光洁度要求且不损害部件，刀具通常磨损较快且材料去除率较低，当投入大量成本到加工中时，过程中陶瓷基复合材料出现损伤可能会导致报废，可见加工损伤是十分危险的，因此，选择一个能够满足成本、周期和质量要求的加工系统是十分重要的，陶瓷基复合材料中耐磨的纤维和硬质的基体相结合及其非均

质的成分使其难以加工，陶瓷基复合材料主要可以分为四大类，即氧化物/氧化物、C/SiC、SiC/SiC、熔体渗透 SiC/SiC，每一类纤维与基体的组合都有其独特的加工特点和难度，上述四类复合材料的加工难度依次增加，陶瓷基复合材料中高浓度的金属硅合金相会加速传统切削刀具的磨损，陶瓷基复合材料常规的加工工艺包括：磨削加工、激光加工、电火花加工、水射流加工、超声加工等。

陶瓷基复合材料是一种兼有金属材料、陶瓷材料和碳材料性能优点的热结构/功能一体化新型材料，克服了金属材料耐温低和密度大、陶瓷材料脆性大和可靠性差、碳材料抗氧化性差和强度低等缺点，具有耐高温、低密度、高比强、抗氧化、抗烧蚀、对裂纹不敏感，不发生灾难性损毁等特点。因此，陶瓷基复合材料使用温度和寿命范围宽，应用领域广。

(1) 在飞行器热防护系统上的应用

目前，欧洲、美国和日本研究的航天器重返大气层热保护材料主要是以 C/SiC 复合材料。利用 C/SiC 复合材料代替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、承载等结构功能一体化。美国的 X-33、X-37 和 X-38 的热防护系统使用的是 C/SiC 复合材料，如鼻锥、热防护面板、副翼等。X-38 采用隔热-结构一体化的全 C/SiC 复合材料组合襟翼，被认为是迄今为止最成功和最先进的应用，代表了热防护技术的发展方向。德国 DASA 公司制造的飞行器耐热构件（机翼前缘和耐热面板）测试发现在 1600℃ 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，在模拟考核中达到了优良的使用性能。

(2) 在航空航天发动机上的应用

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，可提高工作温度的潜力 400-500℃，结构减重 50%-70%，是发展高推重比航空发动机的关键热结构材料之一。目前，美国和法国以推重比 8-10 航空发动机为演示平台，对喷管、燃烧室和涡轮进行了大量应用验证。迄今为止陶瓷基复合材料的使用温度已可达到 1650℃ 或更高。如果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。

（3）在空间探测领域中的应用

在空间探测领域，往往需要轻质高强度材料。C/SiC 因其具有重量小、强度高、膨胀系数小和抗环境辐射等优点，可应用于超轻结构反射镜框架和镜面底衬。

从而，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。目前，C/SiC 大型超轻结构太空反射镜在国内外均处于研发阶段，主要集中于解决超轻结构设计和反射性能等。

（4）在刹车制动系统中的应用

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。可用于先进战斗机、赛车、跑车、高速列车的刹车系统上。近年来美国的四大刹车材料公司（Aircraft Braking Systems, Goodrich, Honeywell and Parker Hannifin）组成陶瓷基复合材料航空刹车协会（CCAB），开展了飞机刹车用陶瓷基复合材料的研究。此外，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。

（5）在能源领域中的应用

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

综上所述，CFCC-SiC 可接替树脂基复合材料作为长寿命的空间结构/功能材料，大幅度提高抗辐射性能和空间环境性能的稳定性和空间环境性能；接替高温合金作为长寿命高温热结构材料，可大幅度减少航空发动机重量，减少燃料和冷却空气量，提高推重比；接替难熔金属作为有限寿命高温抗冲蚀结构材料，可大幅度节约液体火箭发动机燃料和冷却剂，提高推力和阻尼性能；接替 C/C 复合材料作为有限寿命高温耐热结构材料，可大幅度提高超高声速飞行器的安全性和机动性。因此，陶瓷基复合材料被认为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。

综上，本文针对陶瓷基复合材料的本征结构、制备工艺、加工工艺、应用领域，结合产业现状和需求，确定了本课题的研究边界仅涉及与耐高温结构陶瓷相关的应用于航空航天发动机、刹车制动系统领域具体涉及陶瓷基复合材料本征结构、制备加工工艺的通用的专利技术。

陕西省知识产权局

2 全球陶瓷基复合材料产业发展态势

2.1 全球陶瓷基复合材料产业现状

目前，全球范围内陶瓷基复合材料（先进陶瓷）技术快速进步、应用领域拓宽及市场稳定增长的发展趋势明显。随着我国高推重比航空发动机的定型、空间飞行器技术的迫切需求和快速发展，CMC 作为新一代材料，已经在军用、民用领域展现出巨大的发展潜力。

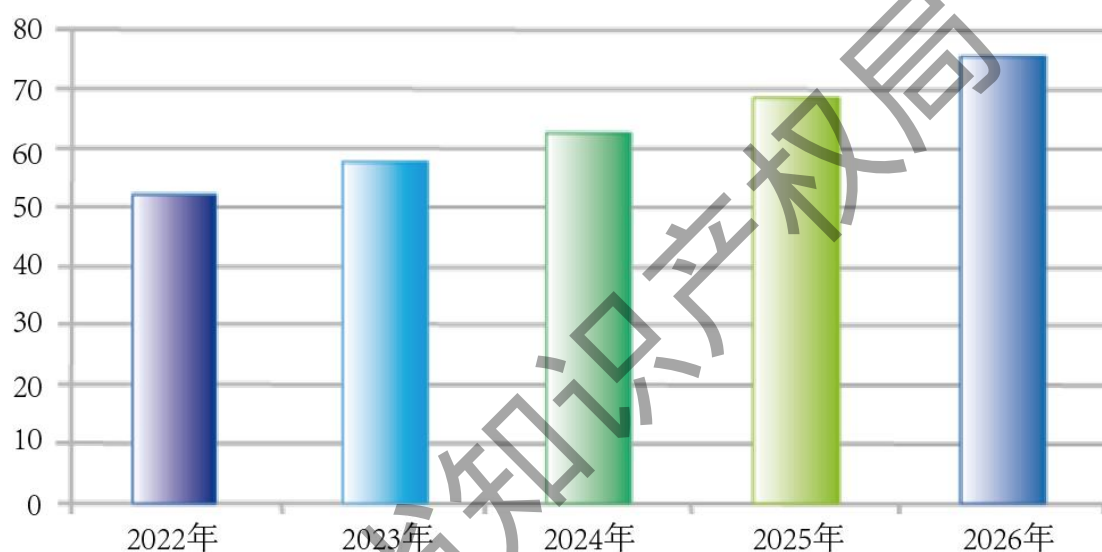


图 2.1 MarketsandMarkets 预测全球陶瓷基复合材料市场

如图 2.1 所示根据 MarketsandMarkets（国盛证券研究所）预测，2022-2026 年 5 年间，全球陶瓷基复合材料市场将以 9.65% 的 CAGR 迅速增长，在 2026 年前（十四五结束）将达到 75.1 亿美元。SiC/SiC 陶瓷基复合材料在航空领域的应用主要包括发动机燃烧室内衬、燃烧室筒、喷口导流叶片、机翼前缘、涡轮叶片和涡轮罩环等部位。

（1）通用电气公司

21 世纪初，通用电气公司引入 CMC 材料制造地面燃机的涡轮罩环，同时从静子部件、开始扩展 CMC 在喷气发动机上的应用范围。2016 年投入使用的 LEAP-1 发动机的涡轮罩环由 CMC 材料制造，将实现 CMC 在商用航空发动机上的首次应用。随后通用电气公司 9X 发动机在 2020 年之后投入使用，极大扩展了 CMC 在商用发动机上的应用范围。该发动机的燃烧室火焰筒、第一级高压涡

轮喷管和罩环以及第二级高压涡轮喷管都由 CMC 制造。2015 年初，通用电气公司 9X 发动机的首个全套 CMC 零部件在一台改造过的通用电气公司 nx-1B 发动机上开始试验。2014 年末，通用电气公司在一台 F414 涡扇发动机平台上验证了由 CMC 制成的低压涡轮叶片的耐温性和耐久性，这是 CMC 材料在旋转部件上的首次成功应用。

(2) 罗尔斯-罗伊斯 (ROLLS-ROYCE CORPORATION) 公司

罗尔斯-罗伊斯计划将 CMC 引入其军民用发动机产品线。其计划内容包括在 Advance 系列的较小型号发动机上使用带有 CMC 内衬的无罩环涡轮以及 urtraFan 概念里的 CMC 喷管。2015 年前后，罗·罗公司还与 Orbital-ATK 公司一道加入了波音公司的 787 环保演示验证机项目，在美国联邦航空管理局 (FAA) 的 Cleen 项目指导下利用一台 Trent1000 发动机测试陶瓷喷管。试验结果显示 CMC 材料系统的耐高温性能超过了超合金，重量比钛合金降低了 20%，有效降低了燃油消耗。

罗尔斯-罗伊斯公司 2015 年收购了位于美国加州的专业 CMC 生产商 Hyper-Therm 公司，该公司与 NASA 合作开发了首先用于液体火箭推进系统的主动冷却、连续纤维增强 SiC 基复合材料推力室。

(3) 普·惠公司

普·惠公司 (美国联合技术子公司) 十分注重耐高温陶瓷基复合材料在军民用发动机热端转子部件上的应用研究，而对 CMC 在热端静子部件上的应用效果却并不看好。一部分原因源于普·惠新发动机的低压涡轮级数配置，另一部分原因则是普·惠更加偏爱现金合金材料的热传导性能。与其他厂商 5-7 级的低压涡轮相比，普·惠发动机的低压涡轮只有 3 级，因此普惠主要关注能够承受 2700℃ 以上高温的 CMC 材料，并认为 CMC 应用于转子件上才能带来最大收益。普·惠还打算在未来高压涡轮转子叶片上使用耐高温能力更强的 CMC 材料，这也是 CMC 材料低密度特性的价值所在。

普·惠公司认为，除制造成本外，CMC 在静子件的应用还面临很多问题，其中一个问题就是热传导性。CMC 的传热性相对较弱，而静子部件的重量要求又

没有转子部件那么苛刻，因此具有更强传热能力的合金材料可能比 CMC 更适合制造静子部件。

2.1.1 全球产业基础数据

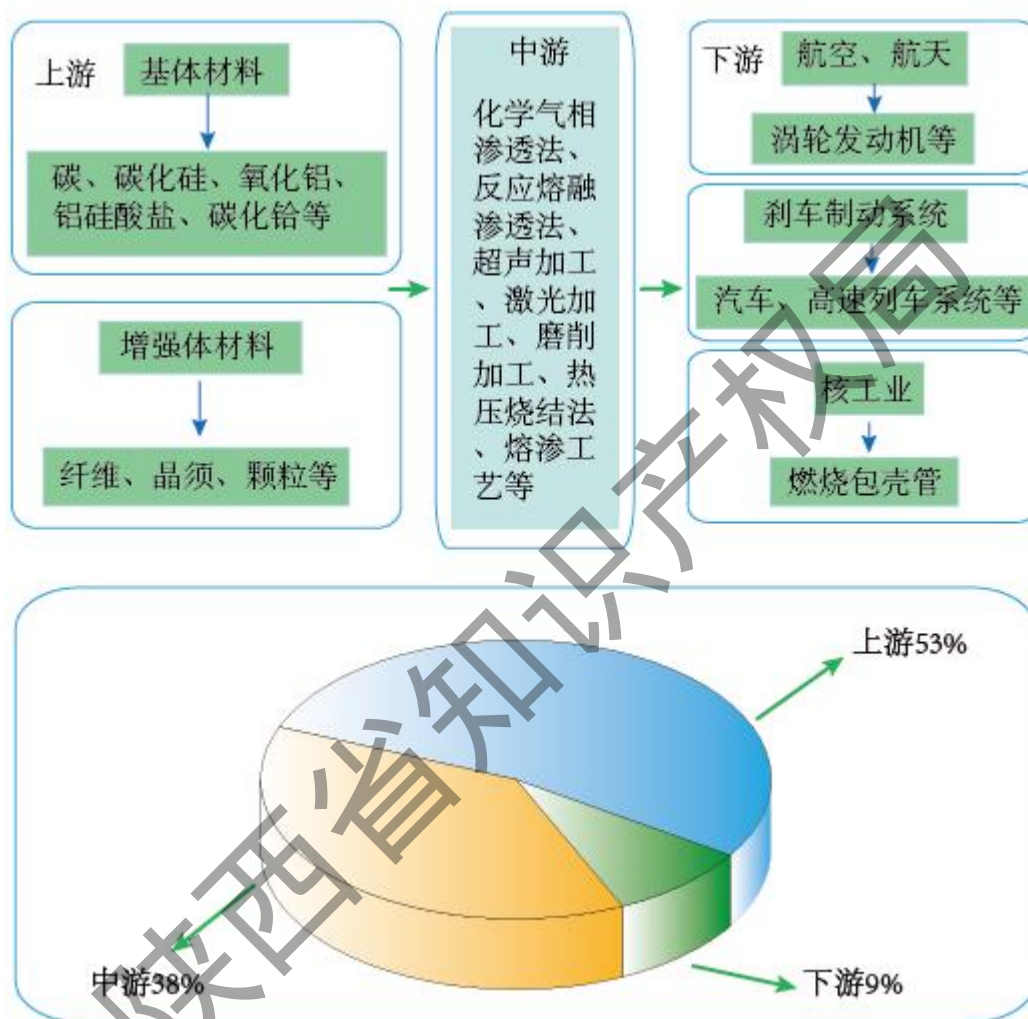


图 2.2 全球（包括院校研究所和企业）陶瓷基专利申请产业链分布情况

如图 2.2 可知，在全球产业链分布中，上游 53%，中游 38%，下游 9%。说明目前陶瓷基复合材料在全球范围内，上游居多、其次是中游、最次为下游。

见表 2.1，从四级分支可以发现，全球范围内各国家的陶瓷基复合材料产业结构和发展速度不同，相应陶瓷基复合材料产业呈现不同的产业特色。在陶瓷基复合材料上游产业链中，陶瓷基复合材料制备原料相关专利占主导作用，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（上游产业链）的研发热点问题，在陶瓷基复合材料中游产业链中，陶瓷

基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工艺中热点研发问题，在陶瓷基复合材料下游产业链中，涡轮发动机、热回收设备、宇航已逐渐成为陶瓷基复合材料的热门应用领域。因此，其重点研发方向集中于产业链上游及中游产业，下游应用领域研发实力较为薄弱。

表 2.1 全球（包括院校研究所和企业）陶瓷基专利申请产业链具体占比情况

	一级分支	二级分支	三级分支	四级分支
上游 53%	陶瓷基复合材料	材料53%	增强体24%	纤维10.5%、晶须7%、颗粒6.5%
			基体17%	碳2%、碳化硅7%、碳化钎0.6%、碳化钽0.4%、硼化钎0.5%、硼化钨0.6%、石英1.1%、氧化铝1.2%、铝硅酸盐1.5%、莫来石1.0%、氮化硼1.1%
			界面层12%	
中游 38%		工艺38%	磨削加工1.2%、激光加工1.0% 电火花加工0.8%、水射流加工0.7%、超声加工2.1%、化学气相渗透法14.6%、反应熔融渗透法11%、浆料浸渗法0.7%、熔体渗透1.6%、原位反应法1%、热压烧结法1.3%、熔渗工艺1.5%、聚合物浸渍裂解0.5%	
下游 9%	陶瓷基复合材料	应用领域 9%	涡轮发动机4%	燃烧室衬套1.2%、导向叶片0.8%、转子叶片1%、涡轮外环1%
			热回收设备1%	预热器0.3%、换热器0.7%
			热场部件0.1%	
			燃烧炉0.3%	辐射管0.2%、丝网燃烧管0.1%
			垃圾焚烧0.3%	炉壁0.1%、颗粒分离器0.2%
			核工业0.3%	燃烧包壳管0.3%
			分离/过滤0.4%	过滤器0.1%、基底0.15%、离心机0.15%
			结构件0.3%	梁0.05%、壁板0.15%、集管0.1%
			军用0.5%	防护装甲0.5%
			宇航1%	热保护0.3%、推进器喷嘴0.2%、涡轮泵部件0.3%、前缘0.2%
			刹车制动系统0.4%	碳陶刹车盘0.07%、高速列车0.08%、地铁0.03%、城轨刹车系统0.04%、重载卡车0.07%、货车、坦克等重列车系统0.05%、汽车高性能刹车系统0.06%
			加工设备0.4%	重整器0.1%、反应器0.1%、换热器0.2%

2.1.1.1 产业引领区域的发展政策

国外在碳化硅陶瓷基复合材料构件的研究与应用方面，基于先易后难（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还处于探索阶段。

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。

随后各个国家持续加大对 SiC/SiC 陶瓷基复合材料制造技术领域投入，如美国 NASA 的 HIPTET、HSR/EPM 和 UEET 计划，日本的 AMG 计划等，SiC/SiC 陶瓷基复合材料制造技术逐渐成熟，应用范围也日益广泛。据报道，SiC/SiC 陶瓷基复合材料目前已经成功应用于 F110-通用电气公司-129 发动机尾喷管、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。

CFM 是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，已向波音和空客提供了 2.5 万余台中型客机用喷气发动机。其经典之作 CFM-56 是全球装机最多的一款发动机产品，堪称传奇。

法国赛峰集团设计的陶瓷基复合材料（CMC）尾喷口在 2015 年 6 月 16 日搭载在 CFM56-5B 发动机上完成了首次商业飞行。赛峰通过旗下两家公司 Herakles 和 SNECMA 设计、制造了该尾喷口验证件并进行了地面试验。在 2012 年于 A320 上执行了初始试验后，CMC 尾喷口验证件于 2015 年 4 月 22 日通过欧洲航空安全局（EASA）商业飞行使用认证。赛峰认为这项认证确认了其开发先进 CMC 零件的能力，能够满足日益增长的航空要求。

CFM 公司针对单通道客机的新一代发动机 LEAP-X 已经于 2016 年投放市场，该发动机将配备由 CMC 材料制造而成的高压涡轮导向叶片。这被业内公认为商用发动机制造技术的又一次革新。

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。

如图 2.3 所示短期应用目标为: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;远期应用目标为: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。



图 2.3 国外 CMC 发展战略

2.2 陶瓷基复合材料产业链介绍

整体来看,陶瓷基复合材料产业链可分为上、中、下游产业,即上游产业主要为陶瓷基复合材料制备原料包括基体及增强体,中游为陶瓷基复合材料,下游为陶瓷基复合材料应用包括发动机、机体、火箭导弹等。

2.2.1 上游原材料

陶瓷基复合材料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。

陶瓷是一种包括范围很广的材料,属于无机化合物。现代陶瓷材料的研究,最早是从对硅酸盐材料的研究开始的,随后又逐步扩大到了其他的无机非金属材料,目前被人们研究最多的是碳化硅、氮化硅、氧化铝等,它们普遍具有耐高温、耐腐蚀、高强度、重量轻和价格低等优点。

陶瓷基体按照组成化合物的元素不同,又可以分为氧化物陶瓷基体、碳化物陶瓷基体、氮化物陶瓷基体。其中的氧化物陶瓷基体包括氧化铝陶瓷基体,是以氧化铝为主要成分的陶瓷称为氧化铝陶瓷,氧化铝仅有一种热动力学稳定的相态。

氧化铝陶瓷包括高纯氧化铝瓷，99 氧化铝陶瓷，95 氧化铝陶瓷，85 氧化铝陶瓷等。氧化物陶瓷基体还包括氧化锆陶瓷基体，是以氧化锆为主要成分的陶瓷，氧化锆密度 5.6-5.9g/cm³，熔点 2175℃，稳定的氧化锆陶瓷的比热容和导热系数小，韧性好，化学稳定性良好，高温时具有抗酸性和抗碱性。其中的氮化物陶瓷基体包括氮化硅陶瓷基体和氮化硼陶瓷基体。以氮化硅为主要成分的陶瓷称氮化硅陶瓷，氮化硅陶瓷有两种形态，氮化硅还具有热膨胀系数低，优异的抗冷热聚变能力，能耐除氢氟酸外的各种无机酸和碱溶液，还可耐熔融的铅、锡、镍、黄铜、铝等有色金属及合金的侵蚀且不粘留这些金属液。而以氮化硼为主要成分的陶瓷称为氮化硼陶瓷。氮化硼是共价键化合物。其中的碳化物陶瓷基体包括碳化硅陶瓷基体和碳化硼陶瓷基体。碳化硅陶瓷基体以碳化硅为主要成分，碳化硅是一种非常硬和抗磨蚀的材料，以热压法制造的碳化硅能够用来作为切割钻石的刀具同时其还具有优异的抗腐蚀性能、抗氧化性能。碳化硼陶瓷基体以碳化硼为主要成分，碳化硼是一种低密度、高熔点、高硬度陶瓷。碳化硼粉末可以通过无压烧结、热压等制备技术形成致密的材料。

按照陶瓷基体的材料对中国陶瓷基体的市场规模进行统计，氧化物陶瓷基体占 46%、碳化物陶瓷基体占 28%、氮化物陶瓷基体占 20%，其他类型陶瓷基体占 6%。

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。纤维类增强体有连续长纤维和短纤维。连续长纤维的连续长度均超过数百，纤维性能有方向性，一般沿轴向均有很高的强度和弹性模量。颗粒类增强体主要是一些具有高强度、高模量。耐热、耐磨。耐高温的陶瓷等无机非金属颗粒，主要有碳化硅、氧化铝、碳化钛、石墨。细金刚石、高岭土、滑石、碳酸钙等。主要还有一些金属和聚合物颗粒类增强体，后者主要有热塑性树脂粉末。晶须类增强体是在人工条件下制造出的细小单晶，一般呈棒状，其直径为 0.2-1 微米，长度为几十微米，由于其具有细小组织结构，缺陷少，具有很高的强度和模量。晶须类增强体与颗粒类增强体对陶瓷材料的增韧均有一定作用，且各有利弊。晶须类增强体的增强增韧效果好，但含量高时会致使致密度下降；颗粒类增强体可克服晶须的这一弱点，但其增强增韧效果却不如晶须。由此很容易想

到，若将晶须与颗粒共同使用，则可取长补短，达到更好的效果。目前，已有了这方面的研究工作，如使用 SiCw 与 ZrO₂ 来共同增韧，用 SiCw 与 SiCp 来共同增韧等。从整个先进陶瓷材料产业来看，北美地区发展较早，先进陶瓷材料产品的技术处于世界领先领域，同时也占据了国际市场绝大部分份额。我国先进陶瓷材料行业起步相对较晚，已初步形成一个产品比较齐全、配套比较完备，具备相当生产规模和科研实力的工业体系。在 2020 年我国碳纤维产能及产量分别达 3.62 万吨、1.85 万吨，预计 2021 年我国碳纤维产能及产量分别可达 3.94 万吨、2.04 万吨。碳纤维是陶瓷基复合材料的上游，随着未来碳纤维产量的不断上升，陶瓷基复合材料市场有望继续壮大。

2.2.2 中游陶瓷基复合材料核心产品

作为结构材料，陶瓷具有耐高温能力强、抗氧化能力强、硬度大、耐化学腐蚀等优点，然而呈现脆性，不能承受剧烈的机械冲击和热冲击等缺点，严重影响了它的实际应用。陶瓷基复合材料是在陶瓷基体中引入第二相材料，使之增强、增韧，又称为多相复合陶瓷或复相陶瓷。

陶瓷基复合材料因具有耐高温、耐磨、抗高温蠕变、热导率低、热膨胀系数低、耐化学腐蚀、强度高、硬度大及介电、透波等特点。

先进陶瓷基复合材料作为性能优异的新型材料，应用于高温热处理领域、耐磨领域、耐腐蚀领域等，随着航空航天、光伏、半导体、机械、汽车、化工等行业的持续发展，对陶瓷基复合材料的需求将会保持稳定增长。

据数据显示，全球陶瓷基复合材料市场预计将从 2021 年的 113.5 亿美元增长到 2022 年的 122.6 亿美元，复合年增长率为 8.05%。预计该市场将在 2026 年增长到 171.5 亿美元，复合年增长率为 8.75%。

从国际市场上来看，目前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 RMT 技术世界领先。同时，由于航空航天和国防领域不断增长的能源需求和技术发展正在加速对陶瓷基复合材料的需求，波音公司、庞巴迪公司、空客集团和洛克希德-马丁公司都在北美洲有主要业务，所以北美在陶瓷基复合材料市场中占有最大的市场份额。

我国在陶瓷基复合材料研究方面起步相对较晚。近年来通过国家的支持、以及国内具备充足的低成本原材料和劳动力，目前国内在陶瓷基复合材料的研究和生产取得了较大的突破。但是目前陶瓷基复合材料的应用还主要集中在军工、航天领域，在其他民用领域的应用规模还相对有限。接下来一段时期内，陶瓷基复合材料行业的发展方向将主要向军转民发展，军转民的过程是行业发展规模迅速膨胀的阶段，市场一旦打开，陶瓷基复合材料行业的发展也将进入新的阶段。因此，未来，随着中国科研能力的增加和陶瓷基复合材料行业的稳步发展，中国陶瓷基复合材料的产量将呈现出一个上升的态势，中国也将逐步摆脱对国外进口陶瓷基复合材料的依赖，在世界陶瓷基复合材料市场占据一定的市场份额。

2.2.3 下游陶瓷基复合材料应用

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，当前主要应用在航空航天领域，生产发动机燃烧室内衬、喷口导流叶片等产品。

航空发动机技术人员认为发动机涡轮前温度提高 100 度，发动机推力可以提高 20%左右，可以说效果显著。根据业内人士预测，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 2000 度，这样就对高温涡轮提出了更高的要求。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 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。

在航天工业中，陶瓷基复合材料可用于“烧蚀材料”。当宇宙航天器完成任务返回地球时，稠密的大气层是它的必经之地。高速的飞行速度使航天器和空气之间产生强烈的摩擦，由此而放出的热量瞬间可高达 8000~10000℃，“烧蚀材料”此时吸收大量的热烧掉自己的一部分，同时使周围的温度降低以保证航天器本体安然无恙。高性能的 CMC 逐渐被用于发动机的静止零件。如尾喷管、护罩等。

由于高昂的成本,CMC 零件首先被用于军用发动机。赛峰发动机(包括原 Snecma)在 80 年代就在 M88 发动机尾喷管上应用了 CMC。普惠的 F119 与 GE 航空的 F414 均使用了 CMC 做尾喷管等部位的零件。罗罗也有将 CMC 用于发动机零件的实验性尝试。另根据公开报道,我国的 WS-15 也使用了 CMC 材料的尾喷管调节片。

因此,航空航天和国防技术研发活动的增加以及军用飞机产量的增加导致对陶瓷基复合材料的需求增加,从而推动了陶瓷基复合材料市场的增长。

除了航空航天方面的应用之外,全球范围内对轻质汽车的高需求也促进了陶瓷基复合材料市场的增长。对轻质电动汽车的需求增加,使汽车制造商将注意力转向轻质复合材料,以替代车辆中较重的钢和铁。工业上使用的 CMC 大致分为非氧化物型和氧化物型。在非氧化型中,主要有用于高级跑车等的刹车、离合器等碳纤维增强 SiC 基复合材料(C/SiC)^[5]。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。

2.3 陶瓷基复合材料企业链介绍

据 Marketsand Markets 预计,全球陶瓷基复合材料市场规模预计将从 2021 年的 88 亿美元增长到 2031 年的 250 亿美元,年复合增长率为 11.0%。由于全球各行业对陶瓷基复合材料的需求上升,陶瓷基复合材料行业正在增长。目前,我国陶瓷基复合材料研发及制造行业内企业数量众多,企业之间竞争异常激烈。

中国陶瓷基复合材料企业可以分为四大阵营:第一阵营为跨国企业,例如西门子公司、罗·罗公司、普·惠公司等,这些企业在 21 世纪初对陶瓷基复合材料进行了深入的理论研究和应用研究,并将陶瓷基复合材料广泛应用于航空航天领域,以技术和资金优势形成第一阵营,市场份额有缩减的趋势。

火炬电子、苏州赛力菲、西安鑫垚、顶立科技等国内大型企业通过投入大量的研发成本和建设先进的生产链,形成第二阵营,同时也是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形成了第三阵营,占有 10%-15%的市场份额;不少民营企业由于经营机制灵活,能对市场需求和市场环境技术作出反应,因而更容易根据当

地的产业优势和劣势调整业务模式，抓住商机，也形成了一定的市场份额，形成第四阵营。

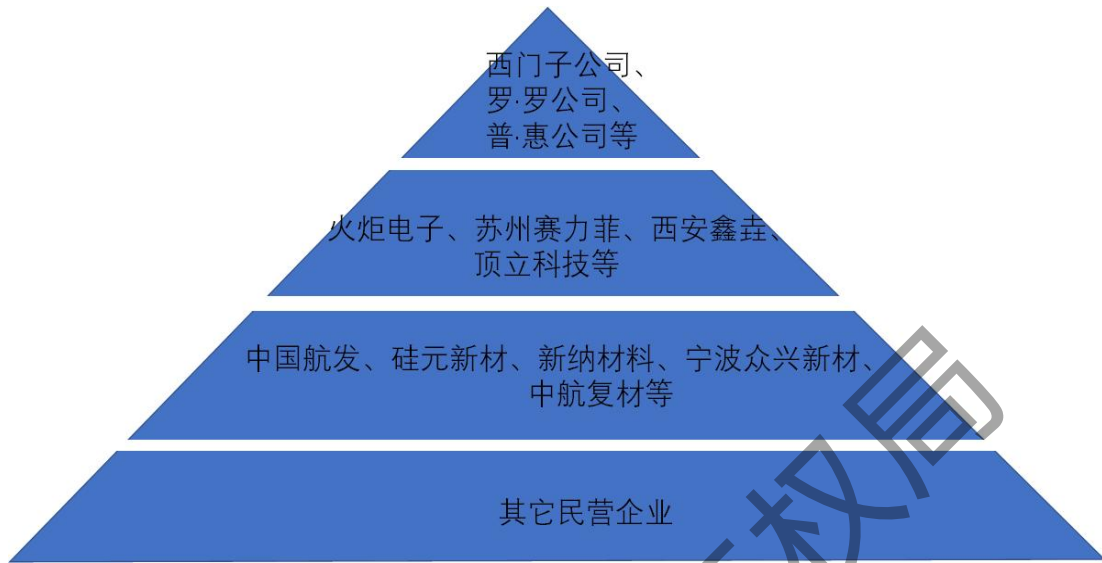


图 2.4 中国陶瓷基复合材料企业竞争层次

总体来说，外资在我国陶瓷基复合材料市场所占的比重已低于 10%，中资企业所占的市场份额已超过 90%。在陶瓷基复合材料市场中涌现出了一批主导国内市场的强势品牌。

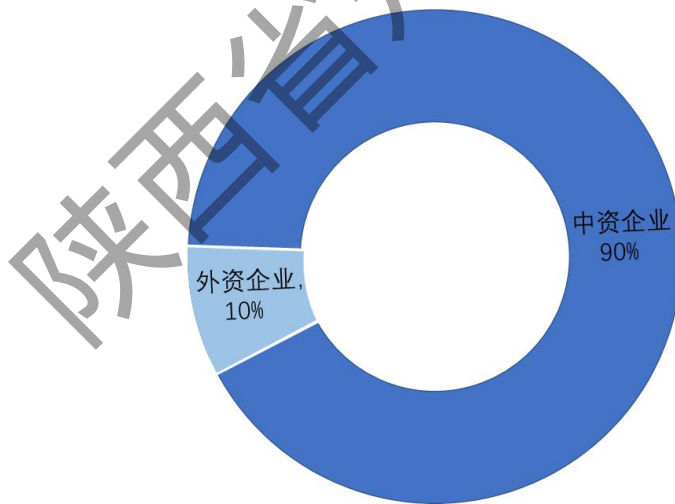


图 2.5 中国陶瓷基复合材料企业竞争格局 (单位: %)

我国陶瓷基复合材料行业企业数量众多，其中上市企业近百家，主要分布在江苏、山东、上海等华东地区、以及广东等华南地区。

表 2.2 陶瓷基复合材料上市企业在我国的分布情况

省市	陶瓷基复合材料上市企业
江苏	中航高科、长海股份、中简科技、正威新材、长海股份、航浦国创、海古德、特乃博、通乐电子、中材科技
山东	光威复材、国恩股份、双一科技、山东玻纤、硅元新材、核晶陶瓷、产研烯金、国瓷材料
广东	金发科技、沃特股份、生益科技、三环集团、爱尔创、陶陶科技、道氏技术
上海	普利特、卡贝尼、上陶科技、三责新材、均博科技、佳纳材料
浙江	锦盛新材、众芯坚亥、新纳材料、睿创新材料
北京	中复神鹰、天宜上佳、中材科技、中国巨石、中科三环、安泰科技
湖南	金博股份、世鑫新材、德智新材
安徽	楚江新材、赛创电气
四川	四川高瓷、天力新陶
陕西	西部材料、鑫垚陶瓷
福建	威尔陶瓷
河南	隆华科技
湖北	菲利华
黑龙江	广联航空
河北	中瓷电子

如表 2.2 可以看出，陶瓷基复合材料公司主要集中在华东地区，其次是华南、华中地区。随着我国高推重比航空发动机的定型、空间飞行器技术的迫切需求和快速发展，CMC 作为新一代材料，已经在航空航天领域展现出巨大的发展潜力。随着“一带一路”战略的深入推进，西北地区的航空基地产业得到发展迅速，因此，陶瓷基复合材料行业将向中西部地区发展。

2.3.1 陶瓷基复合材料外资跨国企业

（一）通用电气公司

通用电气公司（General Electric Company，简称 GE），是全球知名多元技术服务公司，其业务横跨航空发动机、发电设备、电视媒体、医疗器材、金融、运输、能源等领域。其业务遍及 100 多个国家，拥有员工超过 300000 人。通用电气能源集团总部设在美国佐治亚州亚特兰大市。20 世纪 70 年代就开始进行 CMC 应用的相关研究。到 1986 年，GE 获得了使用陶瓷基复材制造大型燃气轮机专利技术，并应用于发电厂。2000 以后，通过 10 年以上的努力，GE 建立了美国第一个完全集成的 CMC 供应链。

GE 航空公司的 XA100 自适应循环发动机计划用于升级 F-35 战斗机，同时为美国空军第六代战斗机计划——“下一代空中主宰”(NGAD)提供动力。XA100 发动机可在大推力和高效率模式之间切换，使其能够适应军用飞机在空中可能遇到的任何情况，其是所有商用或军用发动机中使用 CMC 最广泛的，CMC 的使用有助于减轻发动机重量、提高热效率。

GE 公司拥有业界第一个也是唯一一个集成的 CMC 供应链，已经生产了数十万个这样的部件。与传统的金属材料相比，CMC 在三个方面有利于发动机的性能：耐热性、重量和耐久性。2021 年，GE 公司配装在 CFMLEAP 发动机热端的 CMC 涡轮护罩的飞行时间超过了 1000 万小时，生产数量超过十万个。据悉，世界上最大的商用发动机 GE9X 热端配装了五个不同的 CMC 部件。

21 世纪初，GE 公司引入 CMC 材料制造地面燃机的涡轮罩环，同时从静子部件、开始扩展 CMC 在喷气发动机上的应用范围。2016 年投入使用的 LEAP-1 发动机的涡轮罩环由 CMC 材料制造，将实现 CMC 在商用航空发动机上的首次应用。一旦 GE9X 发动机在 2020 年之后投入使用，将极大扩展 CMC 在商用发动机上的应用范围。该发动机的燃烧室火焰筒、第一级高压涡轮喷管和罩环以及第二级高压涡轮喷管都由 CMC 制造。2015 年初，GE9X 发动机的首个全套 CMC 零部件在一台改造过的 GEnx-1B 发动机上开始试验。2014 年末，GE 在一台 F414 涡扇发动机平台上验证了由 CMC 制成的低压涡轮叶片的耐温性和耐久性，这是 CMC 材料在旋转部件上的首次成功应用。

（二）罗尔斯-罗伊斯（ROLLS-ROYCE CORPORATION）公司

罗尔斯-罗伊斯计划将 CMC 引入其军民用发动机产品线。其计划内容包括在 Advance 系列的较小型号发动机上使用带有 CMC 内衬的无罩环涡轮以及 urtraFan 概念里的 CMC 喷管。2015 年前后, 罗·罗公司还与 Orbital-ATK 公司一道加入了波音公司的 787 环保演示验证机项目, 在美国联邦航空管理局 (FAA) 的 Cleen 项目指导下利用一台 Trent1000 发动机测试陶瓷喷管。试验结果显示 CMC 材料系统的耐高温性能超过了超合金, 重量比钛合金降低了 20%, 有效降低了燃油消耗。

罗尔斯-罗伊斯公司 2015 年收购了位于美国加州的专业 CMC 生产商 Hyper-Therm 公司, 该公司与 NASA 合作开发了首先用于液体火箭推进系统的主动冷却、连续纤维增强 SiC 基复合材料推力室。

(三) 普·惠公司

普·惠公司 (美国联合技术子公司) 十分注重耐高温陶瓷基复合材料在军民用发动机热端转子部件上的应用研究, 而对 CMC 在热端静子部件上的应用效果却并不看好。一部分原因源于普·惠新发动机的低压涡轮级数配置, 另一部分原因则是普·惠更加偏爱现金合金材料的热传导性能。与其他厂商 5-7 级的低压涡轮相比, 普·惠发动机的低压涡轮只有 3 级, 因此普惠主要关注能够承受 2700°C 以上高温的 CMC 材料, 并认为 CMC 应用于转子件上才能带来最大收益。普·惠还打算在未来高压涡轮转子叶片上使用耐高温能力更强的 CMC 材料, 这也是 CMC 材料低密度特性的价值所在。

普·惠公司认为, 除制造成本外, CMC 在静子件的应用还面临很多问题, 其中一个问题就是热传导性。CMC 的传热性相对较弱, 而静子部件的重量要求又没有转子部件那么苛刻, 因此具有更强传热能力的合金材料可能比 CMC 更适合制造静子部件。

2.3.2 陶瓷基复合材料国内大型企业

(一) 顶立科技

顶立科技是一家专业从事军工新材料及高端热工装备研制、生产和销售, 以国家重大工程需求为牵引的军民深度融合的“国家重点高新技术企业”, 于 2021

年入选了国家工信部第三批专精特新“小巨人”企业。公司致力于超大型、超高温、全自动、智能化特种装备的研发制造，产品涵盖特种粉体材料，碳基、陶瓷基复合材料及其制造装备（碳陶热工装备、真空热处理热工装备、高端粉末冶金热工装备、新型环保热工装备等），为客户提供全方位的热处理技术解决方案。产品广泛应用于航空航天、国防军工、汽车制造、工业互联、高温合金、光伏能源等领域，畅销国内，远销欧美等先进国家和地区。

公司已成为国家航天航空、国防军工等领域特种大型热工装备的核心研制单位，以国家重大需求为牵引，解决了多项“卡脖子”难题，产品打破国外禁运、填补国内空白，为中国的大卫星、大飞机、高铁事业做出了重要贡献。2021年上半年，顶立科技营收近1.48亿，净利润7671.10万。

（二）火炬电子

火炬电子始创于1989年，2015年在上海证券交易所挂牌交易。公司是国内主要专业从事陶瓷电容器研发、生产、销售和技术支持的企业，也是国内首批通过“宇航级”多层陶瓷电容器产品认证的企业，并参与多个国家重大项目。公司深耕电容器领域三十余年，目前已经成为国内陶瓷电容器领军企业之一，形成从产品设计、材料开发到生产工艺的一系列陶瓷电容器制造的核心技术，产品广泛应用于航空、航天、船舶以及通讯、电力、轨道交通、新能源等领域。

公司业务结构主要分为“元器件、新材料、国际贸易”三大板块。自产元器件业务主要产品包括陶瓷电容器、钽电容器、超级电容器等被动元器件产品，主要由火炬电子、广州天极以及福建毫米承担生产制造任务，产品涉及到多个军用质量等级，应用领域以军用为主，民用为辅。陶瓷新材料业务由立亚系子公司实施。高性能特种陶瓷材料CASAS-300由立亚新材承担生产制造任务，可应用于航天、航空、核工业等领域的热端结构部件，立亚化学所生产的聚碳硅烷（PCS）可用作高性能特种陶瓷材料的先驱体及作为基体制造陶瓷基复合材料。贸易代理板块业务产品包括大容量陶瓷电容器、钽电解电容器、金属膜电容器等，主要通过买断式代理的方式销售AVX、KEMET和太阳诱电等品牌的铝电解电容器、金属膜电容器、钽电容和大容量陶瓷电容器等多种电子元器件。下游涉及领域广泛，主要集中于消费、工业类电子等领域。

自产业务为公司核心盈利业务，近年来营收毛利双双提速。

（三）西安鑫垚

西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司是以推进张立同院士主持的国家科技发明一等奖项目“耐高温长寿命抗氧化陶瓷基复合材料及其应用技术”产业化为目的的高新技术企业，于 2011 年 3 月依托西北工业大学陶瓷基复合材料工程中心而成立，主营碳陶复合材料及其衍生品的研发、制造、销售。

西安鑫垚在航空发动机、航天发动机、飞行器耐热结构、太空轻质结构、刹车制动、核能利用、光伏电子七大领域有力支撑着我国新一代武器装备和新型能源的发展，现拥有阎良基地（产业化基地）和高新基地（研发基地）两大基地。目前，国投控股的鑫垚，已成为保障国家产业安全、国防安全的重要力量之一。

西安鑫垚以“成为中国碳陶材料高端产品及规模化的首选供应商”、“成为中国乃至世界碳陶行业领导者”、“成为有社会责任感的中国高科技企业”为战略目标，把握强国建设之“2025 中国制造”、“重大装备制造”、“一带一路”、“工业 4.0 体系”等重要战略机遇、国家战略性新兴产业产业发展契机，深化公司改制，加快公司上市，坚持“技术规划、产品规划双引领”、“技术开发、市场开发两手抓”“技术创新、管理创新双驱动”、“产品研制、批产能力两提升”的发展战略。以面向市场和客户的快速反应为目标，通过新区建设打造了集研发设计、先进制造、智能决策于一体的信息化、智能化、自动化研究、试验、生产的智慧园区。

目前，西安鑫垚作为我国唯一的“耐高温长寿命抗氧化陶瓷基复合材料及其应用技术”企业，正为多个航空航天领域的企业、院所提供技术研发和试验检测服务，承担着我国多种特种陶瓷基复合材料构件的研制任务，其中一些已经形成小批量生产，并已装备应用。

（四）苏州赛力菲

苏州赛力菲陶纤有限公司是以研发、生产、销售陶瓷先驱体聚碳硅烷、陶瓷纤维及其编织物和陶瓷微粉为主的民营企业，拥有一支从事基础研究、应用技术开发科研团队，目前已建成一条包括先驱体合成、纺丝、纤维不熔化及高温烧成连续碳化硅纤维的生产线，是我国首家成功实现连续 SiC 纤维产业化生产的企业。

苏州赛力菲于 2005 年开始进行碳化硅材料研发，技术来源于国防科大。2011 年，苏州赛力菲成功实现连续 SiC 纤维的产业化，并开始向国内相关单位提供可用纤维，使我国成为继日本和美国后又一个能实现连续 SiC 纤维产业化的国家。目前苏州赛力菲已经实现连续第一代 SiC 纤维 SLF-I 纤维的工程化生产，基本突破第二代 SiC 纤维制备关键技术，2~3 年时间内可实现连续第二代 SiC 纤维工程化生产（年产能吨级）。

与国外产品相比，赛力菲 SLF-I 纤维的力学性能与编制性能接近或达到国外产品，但在综合性能和产能上仍有一定的差距。目前苏州赛力菲已经实现产能吨级连续 SiC 纤维，产能 10 吨/年的产业化基地正在建设中。其主要产品有耐高温连续碳化硅纤维，耐高温连续碳化硅纤维具有高强度、高模量、可以在 1300 度非氧化条件下使用，还具有高耐热性、耐盐雾海水、耐腐蚀性、半导体性、耐磨等优异特性，使苏州赛力菲成为航空航天兵器领域高温热结构陶瓷基复合材料的重要供应商之一。

2.4 陶瓷基复合材料技术链介绍

产业链中的每个环节乃至每个环节上的不同产品都要运用到不同技术，一般地，某种产品的生产往往是多种技术组合的结果，物化于不同产品中的技术依据产品的上下游关系链接成链。

2.4.1 核心产品发展趋势

（一）产品快速成型趋势

陶瓷拥有高强、高硬、耐腐蚀等优点，但同时其具有的硬和脆等特征，导致陶瓷成型速度慢、加工成本高、难度大，极大的妨碍了陶瓷材料的发展应用。而快速成型技术的出现，能大幅降低陶瓷产品的生产成本，提高生产效率。

快速成型技术（即 RP）是集 CAD 技术、数控技术、激光技术和材料技术等现代科技成果。先借助三维 CAD，或用实体反求工程采集得到有关原型或零件的几何形状、结构和材料的组合信息，从而获得目标的三维数据模型；然后将计

计算机内的三维数据模进行分层离散的得到各层截面的轮廓数据;之后将信息输出到计算机控制的机电集成制造系统。RP 技术的各种成型工艺根据各自具体的工艺要求,控制激光器(或喷嘴)有选择性地烧结薄层的陶瓷粉末,形成一系列具有微小厚度的片状实体,再采用熔结、聚合、粘结等手段使其逐层堆积成一体。

RP 技术采用逐层堆积制备零件,可以不受零件形状和结构复杂程度的限制。

RP 技术制备的部件需要的后期辅助加工量减小,避免了外协加工的数据泄露和时间跨度,尤其适合一些高保密性的行业。

RP 技术能使产品设计和模具生产并行,从而缩短产品设计开发的周期,加快产品更新换代的速度,特别适合小批量、复杂、异形产品的直接生产。随着互联网的发展,RP 技术也更加有利于远程设计和远程制造。

RP 技术制备的产品是自然无缝连接,结构之间的稳固性和连接强度要远高于传统方法,RP 技术不仅在制造的原型制造、产品造型与模型设计领域,在医学和建筑工程领域都有着广阔的应用前景。

(二) 产品品质稳定趋势

现今的陶瓷基复合材料制备技术可以做到成批地生产出性能很好的产品,但却不容易保证所有制品的品质一致,在实验室规模下能够稳定重复制造的材料,在扩大的生产规模下常常难于重现,在生产规模下可能重复再现的陶瓷基复合材料,常常在原材料波动和工艺装备有所变化的条件下难于实现,这是陶瓷基复合材料制备中的关键问题之一。

一般,陶瓷基复合材料的质量与其制备工艺有很大的关系,在实际生产中的情况是相当复杂的,陶瓷与金属的一个重要区别就在于它对制造工艺中的微小变化特别敏感,而正是这些细微的变化,分分钟给陶瓷基复合材料成品埋下“缺陷的地雷”,因此优秀的陶瓷基复合材料的顺利生产需得成熟的制备工艺和丰富的实际生产经验来辅助。

随着陶瓷基复合材料用量的不断增加,用户对陶瓷基复合材料的品质要求越来越高,研发和制造性能优异、品质稳定的陶瓷基复合材料已成为一种明显的趋势。

(三) 产品在新能源汽车领域广泛应用的趋势

长时间的疫情反复、俄乌战争带来的地缘政治危机、全球货币放水、能源需求增长、国际石油生产组织成员国的限产措施推行等一系列原因造就了如今使得老百姓对当今油价望而却步。面对仿佛转眼就能突破十元大关的油价，曾经多数对新能源汽车持怀疑态度的用户也不得不承认，现如今的油价让新能源汽车的优势较油车性价比提升了不少。

新能源汽车对汽车轴承提出了更多新要求，首先电机轴承相比传统轴承转速高，需要密度更低、相对更耐磨的材料；同时由于电机的交变电流引起周围电磁场变化，需要更好的绝缘性减小轴承放电产生的电腐蚀；以及要求轴承球表面更光滑，较少磨损。陶瓷球具有低密度、高硬度、耐摩擦等特点，适宜高速旋转工况，在高温强磁高真空等领域，陶瓷球具有不可替代性。

到 2020 年新能源汽车中 5% 的轴承已经被陶瓷轴承取代。例如，特斯拉采用的电机输出轴采用了陶瓷轴承以及采用 NSK 设计的混合陶瓷轴承，陶瓷轴承中的轴承滚珠也是由 50 个氮化硅球组成；奥迪 ATA250 电机位于内部的 2 个转子轴承采用陶瓷材质制成。另外，利用陶瓷基复合材料制备的陶瓷继电器和陶瓷覆铜基板也在新能源汽车中广泛应用。

在新能源汽车领域，应用以陶瓷基复合材料为主材的各种汽车零件已成为一种趋势。

2.4.2 制备工艺发展趋势

每个环节可选工艺有很多种，每种工艺也是各有优劣，最后组合的产品性能千差万别，因此要成熟掌握陶瓷基复合材料的生产，需要对每个环节都有深刻的理解，这就需要长时间的探索，掌握每个环节的 Know-How。

在粉体制备环节，粉体制备包括气相法、液相法、固相等，不同方法制备的粉体在活性、纯度和粒径等指标有不同的表现。而粉体的纯度和活性，会直接决定最终产品的性能，目前高纯、超细、高性能的陶瓷基复合材料制备主要掌握在日美企业。得到基础粉体后，还需要添加改性材料，主要是稀土类元素，用于性能改良，添加剂选择和掺入比例是关键。

在坯体成型环节，注射工艺和流延工艺是常用选择。插芯、套筒、基体等圆柱体外形元件一般采用注射工艺，基片、基座、隔膜板等片式元件采用流延工艺。

在坯体烧结环节，在烧结的初始阶段，相邻颗粒之间的接触区域会形成颈缩，因此颗粒之间的每个空隙都变成了一个孔。压块中的孔道尺寸增大，从而导致强度显著增加。随着烧结时间的增加，孔隙尺寸变小。烧结过程的驱动力是总颗粒表面积的减少，从而总表面能的减少。在烧结过程中，通过使用真空条件或惰性气体气氛来提供成分、杂质控制和氧化保护。同时烧结参数的控制是难点，对最终产品的良率和性能有重要影响。

在精密加工环节，由于陶瓷硬度高，加工难度相对较大。制造有利于对陶瓷基复合材料进行精密加工的设备也成是制备环节需要迫切解决的问题。

由此可见，陶瓷基复合材料的制造壁垒非常高，从粉体制备到成型、烧结、精密加工环节众多，添加剂配方、烧结温度控制等需要掌握的 Know-How 众多。现阶段，我国已经突破陶瓷基复合材料关键技术，具备量产能力，但产量与质量方面与欧美相比仍存在差距，通过设计智能自主的陶瓷基复合材料制备产业链以提高陶瓷基复合材料的产量和质量是推进陶瓷基复合材料智能制造技术快速发展的重要手段。

2.4.3 关键技术分解

在了解陶瓷基复合材料产业的产业链、企业链及技术链基础上，结合先进陶瓷技术的发展趋势和陕西陶瓷基复合材料核心业务为结构型陶瓷基复合材料的产业实际，本项目围绕产业链上、中游，将陶瓷基复合材料产业的关键技术分为粉体制备、坯体成型、坯体烧结、和精密加工共 4 大二级技术分支；进一步地，通过产业和技术的深入调研，确定各三级分支的技术分解，得到技术分解表如 2.3 所示。

表 2.3 陶瓷基复合材料产业技术分解表

一级分支	二级分支	三级分支	四级分支
陶瓷基复合材料	材料	增强体	纤维、晶须、颗粒
		基体	碳、碳化硅、碳化钎、碳化钽、硼化钎、硼化钎、石英、氧化铝、铝硅酸盐、莫来石、氮化硼
		界面层	
	工艺	磨削加工、激光加工、电火花加工、水射流加工、超声加工、化学气相渗透法、反应熔融渗透法、浆料浸渗法、熔体渗透、原位反应法、热压烧结法、熔渗工艺、聚合物浸渍裂解	
	应用领域	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
		热场部件	
		燃烧炉	辐射管、丝网燃烧管
		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	燃烧包壳管
		军用	防护装甲
		刹车制动系统	碳陶刹车盘、高速列车、地铁、城轨刹车系统、重载卡车、货车、坦克等重刹车系统、汽车高性能刹车系统

2.5 中国陶瓷基复合材料产业现状

我国陶瓷基复合材料研究和产业起步晚于国外，于上世纪 90 年代开始基础研究，2006 年开始工程化、2010 年开始产业化，逐渐形成了完整的产业体系。在纤维、纤维编制和预制体结构等上游环节高端部分，如高性能高规格高品级的纤维、在纤维、纤维编制和预制体结构等上游环节高端部分，如高性能高规格高品级的纤维、复杂预制体结构、高端纤维设备和预制体编织设备，多为国外厂家垄断并出口限制，国内厂家主要停留在主流规格和级别的纤维与纤维延伸产品（如预浸料）的生产上。

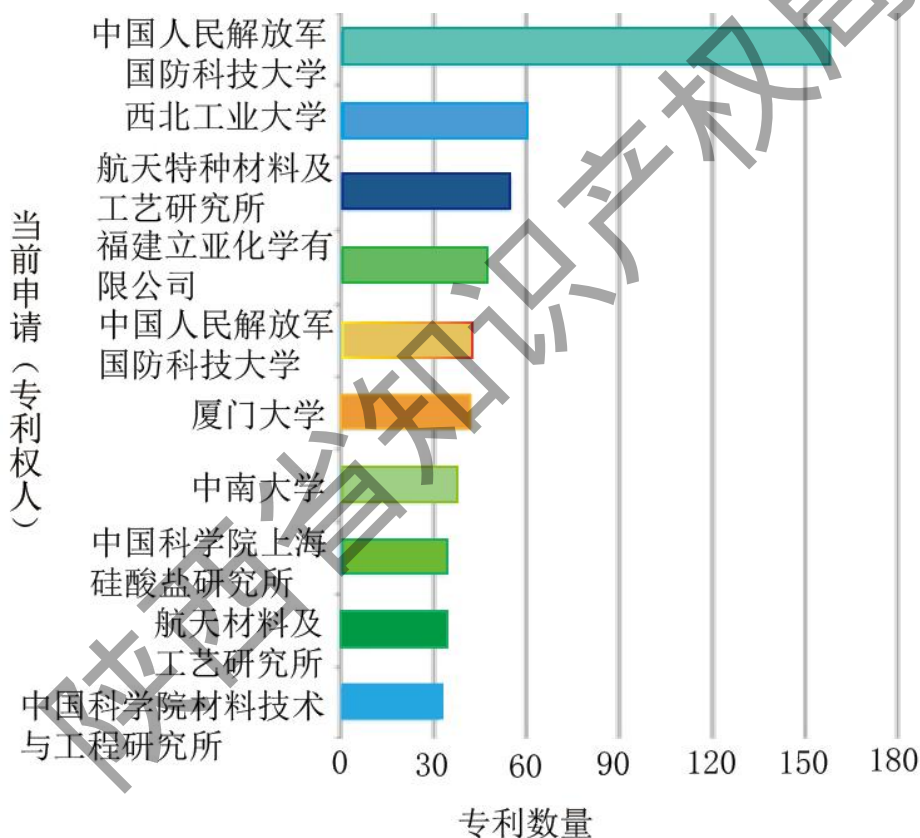


图 2.6 国内陶瓷基上游产业链专利权人申请排名

参见图2.6为上游产业链中当前专利权人排名；中游陶瓷基复合材料研发和制备，在全球居于前列，具有较大的影响力；下游终端应用方面，若干领域领先，若干领域齐平，若干领域追赶中。由图2.6可知，在上游领域目前居榜首的为中国人民解放军国防科技大学，其领先其他专利权人较多，另外西北工业大

学、航天特种材料研究所、福建立亚化学有限公司、厦门大学、中南大学和中科院上海硅酸盐研究所也都有涉及。

根据 2006 年 10 月西工大张立同院士及厦门大学陈立富教授联合署名发表的《高性能碳化硅陶瓷纤维现状、发展趋势与对策》，我国已打破国际封锁，自主攻克了碳化硅陶瓷基复合材料构件批量制造技术，但是由于缺少高性能 SiC 纤维，目前只能用碳纤维代替。但是碳纤维抗氧化性差，严重限制了 SiC/SiC 在高温长时热力氧化环境中应用，不能满足航空发动机热结构部件的要求。由此可见，十年前我国 SiC 纤维的研制工作尚无法满足下游结构件的发展需要。

SiC 纤维因其特殊性，一直被作为军事敏感材料，国外对我国实行技术封锁和产品垄断。国内必须独立自主的开发和研究 SiC 纤维，尤其是耐超高温的 SiC 纤维，才能促进国内先进复合材料的发展和武器装备的研制，提高我国军事实力和综合国力。我国研究 SiC 纤维的主要单位有国防科技大学、厦门大学等，并取得了卓有成效的成果；苏州赛力菲陶纤有限公司是我国首家成功实现 SiC 纤维产业化生产的企业。我国从 20 世纪 80 年代开始 SiC 纤维的研究，比日本晚 8 年左右，而与美国和德国几乎同步。

20 世纪 90 年代和 21 世纪初，国防科技大学和厦门大学分别开展了含铝 SiC 纤维和低氧 SiC 纤维、含杂 SiC 纤维的研究。在师昌绪、才鸿年、张立同和刘大响等一批院士的建议和支持下，这些研究获得国家有关科技计划的支持。

国防科技大学是我国最早开展先驱体法制备 SiC 纤维和含钛 SiC 纤维研究的单位，经历了实验室制得短纤维到制备连续纤维和工业化开发过程。以冯春祥教授为首的科研团队经过艰苦的探索，于 1991 年建成了国内第一条连续碳化硅纤维实验生产线。目前已建成了产能 500kg/年的 SiC 纤维中试生产线，制得了具有较好力学性能连续 SiC 纤维及含钛碳化硅纤维。

在中国工程院张立同院士的领导下，厦门大学特种先进材料实验通过自主开发以及与国际合作研制，形成了国际先进、国内唯一的高性能连续陶瓷纤维^[3]的制造平台。制得的 SiC 纤维性能接近日本同类产品水平，目前正在进行小批量生产技术的完善。厦门大学的特色在于通过电子束辐射和热化学交联的方式，实现了 SiC 原丝纤维的非氧气氛交联，制得低氧含量的交联纤维，再经过高温烧成

制得低氧含量的高耐温 SiC 纤维^[4]。苏州赛力菲陶纤有限公司（简称苏州赛力菲）2005 年开始进行碳化硅材料研发，技术来源于国防科大。2011 年，苏州赛力菲成功实现连续 SiC 纤维的产业化，并开始向国内相关单位提供可用纤维，使我国成为继日本和美国后又一个能实现连续 SiC 纤维产业化的国家。目前苏州赛力菲已经实现连续第一代 SiC 纤维 SLF-I 纤维的工程化生产，基本突破第二代 SiC 纤维制备关键技术，2-3 年时间内可实现连续第二代 SiC 纤维工程化生产（年产能吨级）。

与国外产品相比，赛力菲 SLF-I 纤维的力学性能与编制性能接近或达到国外产品，但在综合性能和产能上仍有一定的差距。目前苏州赛力菲陶纤有限公司已经实现产能吨级连续 SiC 纤维，产能 10 吨/年的产业化基地正在建设中。

我国从 20 世纪 80 年代开始，就有张立同院士领导的西北工业大学研发团队，以及中航工业复材中心、航天材料及工艺研究所、国防科大、中科院硅酸盐研究所等单位先后跟踪国际前沿启动研发工作。“硅陶瓷基复合材料”课题被列入总装“九五”预研计划，要求该课题在“九五”期间完成制备工艺研究，并对 CMC-SiC 的模拟件在发动机试验台上考核，结果仅用 5 年时间就实现了由制造工艺研究到构件考核的跨越。

目前国内已经突破第二代 SiC 纤维和 SiC/SiC 复合材料研制关键技术，具备了构件研制和小批量生产能力，但在工程产业化方面与西方发达国家尚存在明显差距。根据西北工业大学张立同院士 2003 年 1 月发表在《航空制造技术》上的《新型碳化硅陶瓷基复合材料的研究进展》^[5]，我国高推重比航空发动机的研制对陶瓷基复合材料也提出了需求，CMC-SiC 燃烧室浮壁模拟件和尾喷管调节片构件已分别在发动机试验台和发动机上成功地进行了初步验证；西北工业大学超高温复合材料实验室经过近 7 年的努力，自行研制成功拥有自主知识产权的 CVI 法制备 CMC-SiC 的工艺及其设备体系，CVI-CMC-SiC 的整体研究水平已跻身国际先进行列。目前已成功研制了 20 余种 160 余件 CVI-CMC-SiC 构件，其中液体火箭发动机全尺寸 C/SiC 喷管通过了高空台试车，CMC-SiC 浮壁瓦片模拟件和调节片分别通过了航空发动机环境的短时间考核，C/SiC 固体火箭发动机导流管通过了无控飞行考核。由此可见早在十余年前我国碳化硅陶瓷基复合材料的工

程化研制工作就已取得较大进展，近年来，陶瓷基复合材料在诸多工业及航空领域中得到广泛应用。

2.5.1 中国陶瓷基复合材料产业基础数据

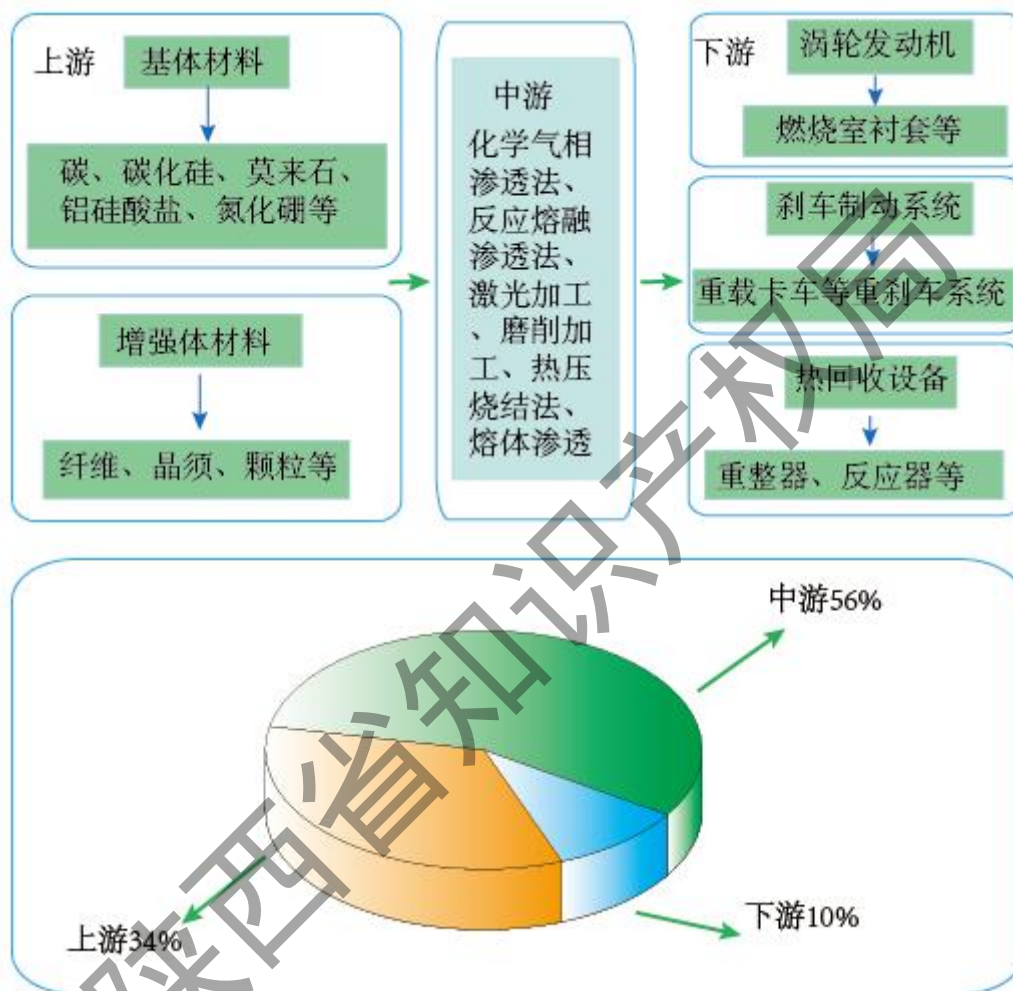


图 2.7 中国陶瓷基复合材料国内产业链专利分布

由图 2.7 可知，中国陶瓷基复合材料国内（包括院校研究所和企业）产业链专利分布：上游：34%，中游：56%，下游：10%；目前我国产业链主要集中在中游、上游次之、下游最为薄弱。

进一步地，见表 2.4，我们给出了中国陶瓷基专利申请产业链具体分布情况，具体到四级分支可以发现，中国范围内各企业及高校的陶瓷基复合材料产业结构

和发展速度不同，相应陶瓷基复合材料产业呈现不同的产业特色。在陶瓷基复合材料上游产业链中，陶瓷基复合材料制备原料相关专利占主导作用。

表 2.4 中国陶瓷基专利申请产业链具体占比情况

	一级分支	二级分支	三级分支	四级分支
上游 34%		材料34%	增强体14%	纤维7%、晶须5%、颗粒2%
			基体12%	碳2.5%、碳化硅5%、碳化钎0.4%、碳化钽0.2%、硼化锆0.1%、硼化钎0.3%、石英0.8%、氧化铝0.7%、铝硅酸盐1.0%、莫来石0.6%、氮化硼0.4%
			界面层8%	
中游 56%		工艺56%	磨削加工1%、激光加工0.8% 电火花加工1.2%、水射流加工0.5%、超声加工2.5%、化学气相渗透法21.6%、反应熔融渗透法15%、浆料浸渗法2.9%、熔体渗透1.2%、原位反应法1.3%、热压烧结法1.5%、熔渗工艺3%、聚合物浸渍裂解3.5%	
下游 10%		应用领域 10%	涡轮发动机3.8%	燃烧室衬套0.8%、导向叶片1%、转子叶片1.2%、涡轮外环0.8%
			热回收设备0.6%	预热器0.3%、换热器0.3%
			热场部件0.1%	
			燃烧炉1%	辐射管0.4%、丝网燃烧管0.6%
			垃圾焚烧0.3%	炉壁0.1%、颗粒分离器0.2%
			核工业0.3%	燃烧包壳管0.3%
			分离/过滤0.4%	过滤器0.1%、基底0.15%、离心机0.15%
			结构件0.3%	梁0.05%、壁板0.15%、集管0.1%
			军用0.7%	防护装甲0.7%
			宇航1.4%	热保护0.3%、推进器喷嘴0.4%、涡轮泵部件0.4%、前缘0.3%
			刹车制动系统0.6%	碳陶刹车盘0.2%、高速列车0.1%、地铁0.1%、城轨刹车系统0.06%、重载卡车0.03%、货车、坦克等重刹车系统0.07%、汽车高性能刹车系统0.04%
加工设备0.5%	重整器0.1%、反应器0.1%、换热器0.3%			

其中有关增强体中纤维及晶须和基体材料中的碳、碳化硅、铝硅酸盐是陶瓷基复合材料制备原料（上游产业链）的研发热点问题，在陶瓷基复合材料中游产业链中，陶瓷基制备工艺中的化学气相渗透法、反应熔融渗透法、聚合物浸渍裂解及熔渗工艺是陶瓷基复合材料加工工艺中热点研发问题，在陶瓷基复合材料下游产业链中，涡轮发动机、刹车制动系统、宇航已逐渐成为陶瓷基复合材料的热门应用领域。综合来看，中国陶瓷基复合材料的重点研发方向集中于产业链上游及中游产业，下游应用领域研发实力较为薄弱。

由于 CMC-SiC 复合材料各向异性显著、均匀性差、硬度高、加工难度大、加工成本高，目前国内虽然在其制备技术方面取得显著突破，并达到国际先进水平，但在 CMC-SiC 构件考核验证和工程化应用方面仍处于起步阶段。而在国外，以欧美北京航空材料研究院、航天材料及工艺研究所、西北工业大学、国防科学技术大学等有航空航天先进复合材料及结构件研发基础和技术经验积累的院所和高校是主要的参与单位，并构成我国 CMC-SiC 复合材料核心研发力量。

未来在国家“十四五”科技创新规划的推动下，预计会有更多科研院所和高等院校参与 CMC-SiC 复合材料相关的研究。CMC-SiC 复合材料质轻、耐高温、可提高航空构件强度和使用温度，可实现航空发动机热端部件结构减重、提高航空发动机推重比，同时，还具有材料结构一体化和多尺度特征，可优化航空发动机多个结构单元，属于重大关键技术领域，是国家政策重点支持和鼓励的行业之一，未来在航空航天产业基础高级化、产业链现代化发展的背景下，CMC-SiC 复合材料行业将迎来快速发展的良机。

2.5.2 中国陶瓷基复合材料相关产业政策

陶瓷基复合材料作为新材料，我国各地区出台多项政策积极推动陶瓷材料行业的持续发展。

近年来，国家有关部门陆续出台《中国制造 2025》、《关于加快新材料产业创新发展的指导意见》、《新材料产业发展指南》等政策文件，强调了新材料产业的战略地位，也为高性能纤维及其复合材料提供了重要的发展机遇。这一类材料，综合性能优异，是国防与国民经济建设不可或缺的战略关键材料。高性

能高分子复合材料作为高端装备的主要物质基础，在航天、航空等武器装备的轻质结构、烧蚀耐热部件上发挥着不可替代的作用，如应用于高超声速飞行器、临近空间飞行器以及深空探测飞行器等新一代武器装备和重大科技工程中。同时，高性能高分子复合材料在以高端工业制造、轨道交通、清洁能源等为代表的国民经济各重大领域也有着广泛应用。目前，国际上在高性能高分子复合材料领域已经形成了相对较为成熟的产业并持续稳定发展。

在增强体材料方面，碳纤维作为先进复合材料最重要的增强体，面向应用需求的特种化或高性能化技术以及大规模工业级低成本技术已成为研究热点。陶瓷基复合材料产业链建设越来越受到重视，技术一体化趋势愈发明显，新兴应用领域不断涌现。已形成从纤维、制品到复合材料的完整产业链。汽车领域的应用为碳纤维复合材料产业注入新的活力，近年来，随着航空、航天、汽车等产业对高性能高分子复合材料需求的进一步增长，我国高性能高分子复合材料产业已初具规模，应用领域和产能持续扩大，逐渐向低成本、高性能方向发展。与国外先进水平相比，我国高性能高分子复合材料产业发展仍存在不小的差距。

我国高性能高分子复合材料宏观需求分析高性能高分子复合材料是国防与国民经济建设不可或缺的关键基础材料，也是《中国制造 2025》中诸多重点领域发展的材料基础。随着我国国家战略的转型和国民经济发展新思路的提出，对高性能高分子复合材料的发展与应用提出了迫切需求。

(1) 高性能高分子复合材料是实现国家安全领域支撑保障需求的关键基础材料随着我国国家创新驱动发展战略的实施，以航天强国、航空强国、海洋强国为主要途径的强国策略成为国之根本。战略导弹、新型装甲及船舶、大型飞机、新一代战机以及卫星的研发对高性能、多功能、结构功能一体化的高性能先进复合材料的需求旺盛，关键复合材料和结构制件成为制约国家重大安全工程任务完成的瓶颈。例如，战略战术导弹、航空发动机热端部件、高超声速飞行器等对 T800 以上级碳纤维复合材料的需求迫切；国产大型飞机、先进卫星和探月工程项目的实施需要高强中模、超高强高模碳纤维及其复合材料进行保障。

(2) 高性能高分子复合材料是引领技术升级的关键材料，在航空和航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、新材

料产业、电力装备、新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人以及高性能医疗器械等多个重点领域中，高性能高分子复合材料是关键基础材料或是引领技术革命的升级换代材料。

(3) 高性能高分子复合材料是实现我国经济绿色发展的迫切需求在能源革新有限的情况下，节能减排是汽车产业的重要研究课题，

轻量化是解决问题的关键之一。先进高分子复合材料具有比模量和比强度高、减重潜力大、安全性好等优点，是汽车轻量化的最佳选择。随着复合材料技术的不断进步，碳纤维复合材料现已应用于汽车车身、尾翼、底盘、发动机罩、内饰等。未来汽车产业领域碳纤维需求量的增长速度将在一定时期内保持在 7% 左右。

我国高性能高分子复合材料的发展现状目前，我国高性能高分子复合材料的发展虽已取得实质性进展，但高性能纤维增强体、树脂基体以及复合材料制备的产业化进程相对缓慢，部分领域与世界材料强国相比尚有一定差距。

2.6 陕西省陶瓷基复合材料产业现状

陕西省陶瓷基复合材料产业起步较早，以西北工业大学张立同院士团队为代表，从上世纪 90 年代开始研究，经过 30 年的努力，形成以中游陶瓷基复合材料研发制备为核心，支撑国防军工尖端需求为主要方向，产业链上、中、下游皆有布局（但并不完整和全面）的产业体系，但还存在研发成果转化周期长、民用领域应用突破缓慢、产业体量较小等发展困境，产业链核心企业产值约为 5 亿元。

陕西在高性能刹车系统用陶瓷基复合材料、轻质热防护结构用陶瓷基复合材料、航天发动机用陶瓷基复合材料、卫星光机结构用陶瓷基复合材料这四个领域的研究上，处于国际领先水平，在国家重大先进装备应用上成效显著；在光伏用陶瓷基复合材料上与国际同步，潜能巨大，可通过自主创新实现突破，推动光伏太阳能产业的材料更新换代和技术水平提升；在核电用陶瓷基复合材料上与国际同步，都处于入堆考核前的制造阶段，有望在 2030 年快速实现商用化的目标，为我国核电产业的跨越式发展与安全做出巨大贡献；在航空发动机/燃气轮机用陶瓷基复合材料产业链上，中国虽整体落后美欧 20 多年，但在国内处于优势地

位，在国家大力实施两机专项，推动两机追赶跨越的战略决策与部署当中，可获得更多的发展机遇。

2.6.1 陕西省陶瓷基复合材料产业基础数据

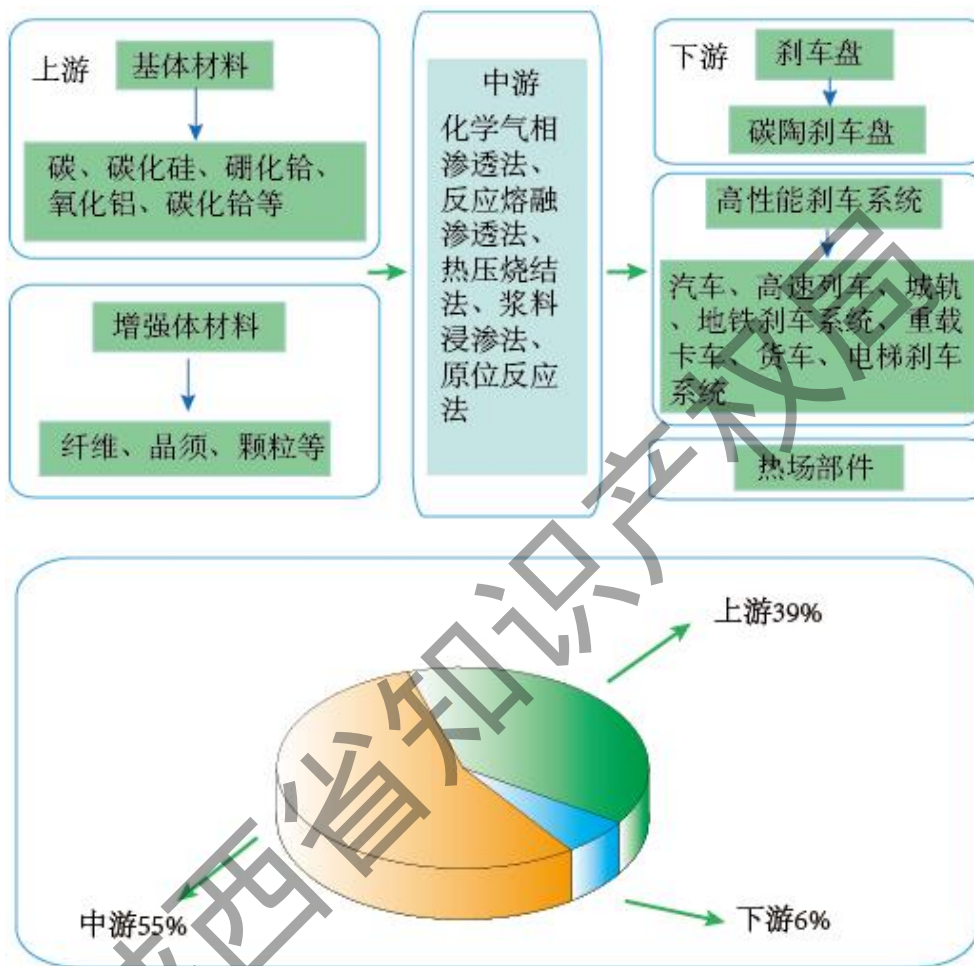


图 2.8 陕西省陶瓷基复合材料国内产业链专利分布

由图 2.8 可知，陕西省陶瓷基复合材料国内（包括院校研究所和企业）产业链专利分布：上游：39%，中游：55%，下游：6%；目前陕西省陶瓷基复合材料产业链主要集中在中游、上游次之、下游最为薄弱。进一步地见表 2.5，我们给出了陕西省陶瓷基专利申请产业链具体分布情况，具体到四级分支可以发现，陕西省内各企业及高校的陶瓷基复合材料产业结构和发展速度不同，相应陶瓷基复合材料产业呈现不同的产业特色。在陶瓷基复合材料上游产业链中，陶瓷基复合材料制备原料相关专利占主导作用，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、铝硅酸盐、氮化硼及莫来石是陶瓷基复合材料制备原料

(上游产业链)的研发热点问题,在陶瓷基复合材料中游产业链中,陶瓷基制备工艺中的化学气相渗透法、反应熔融渗透法是陶瓷基复合材料加工工艺中热点研发问题,在陶瓷基复合材料下游产业链中,涡轮发动机、刹车制动系统、燃烧炉及加工设备已逐渐成为陶瓷基复合材料的热门应用领域。

表 2.5 陕西省陶瓷基复合材料技术分布

	一级分支	二级分支	三级分支	四级分支
上游 39%		材料39%	增强体13%	纤维5.5%、晶须5%、颗粒2.5%
			基体18%	碳2%、碳化硅6.5%、碳化钨0.5%、碳化钼0.3%、硼化锆0.4%、硼化钨0.3%、石英1.5%、氧化铝2.2%、铝硅酸盐1.5%、莫来石1.3%、氮化硼1.5%
			界面层8%	
中游 55%		工艺55%	磨削加工0.6%、激光加工0%、电火花加工0.3%、水射流加工1.4%、超声加工3.7%、化学气相渗透法24.6%、反应熔融渗透法12%、浆料浸渗法3.7%、熔体渗透2.6%、原位反应法1.5%、热压烧结法2.5%、熔渗工艺2.1%、聚合物浸渍裂解0%	
下游 6%		应用领域 6%	涡轮发动机0.6%	燃烧室衬套0.4%、导向叶片0.05%、转子叶片0.05%、涡轮外环0.1%
			热回收设备0.3%	预热器0.1%、换热器0.2%
			热场部件0.4%	
			燃烧炉0.4%	辐射管0.2%、丝网燃烧管0.2%
			垃圾焚烧0%	炉壁0%、颗粒分离器0%
			核工业0%	燃烧包壳管0%
			分离/过滤0.4%	过滤器0.05%、基底0.15%、离心机0.2%
			结构件0.5%	梁0.2%、壁板0.1%、集管0.2%
			军用0%	防护装甲0%
			宇航0.6%	热保护0.2%、推进器喷嘴0.2%、涡轮泵部件0.1%、前缘0.1%
			刹车制动系统2%	碳陶刹车盘0.4%、高速列车0.45%、地铁0.2%、城轨刹车系统0.2%、重载卡车0.1%、货车、坦克等重刹车系统0.15%、汽车高性能刹车系统0.5%
			加工设备0.8%	重整器0.1%、反应器0.3%、换热器0.4%

综合来看，全球陶瓷基复合材料的重点研发方向集中于产业链上游及中游产业，下游应用领域研发实力较为薄弱。

2.6.2 陕西省陶瓷基复合材料面临的问题

陶瓷基复合材料可应用的七大领域，对于我国占领科技制高点，成为先进的制造强国至关重要，近年来国内陶瓷基复合材料取得了一定的成绩，在某些领域居于领先或前列，但总体来说，产业化方面与发达国家还有较大差距，其所涉及到的工业四基（核心基础零部件〈元器件〉、先进基础工艺、关键基础材料和产业技术基础）以及终端系统，研发、生产都存在投入大、难度高、成本高、周期长等困难，由图 2.6 可知，陕西省陶瓷基复合材料上游（陶瓷基复合材料制备原料）及下游产业链（陶瓷基复合材料应用领域）较中游产业链（陶瓷基复合材料应用领域）较中游产业链（陶瓷基复合材料制备工艺）相比，前二者较薄弱，针对较弱的产业链环节，需以强链补足弱链，加强产业链合作。

2.6.3 陕西省陶瓷基复合材料产业发展相关政策及环境

陶瓷基复合材料属于新材料，关于新材料在《陕西省“十四五”制造业高质量发展规划》中指出：“十四五”时期是我国开启全面建设社会主义现代化国家新征程的起步期，是谱写陕西高质量发展新篇章的关键期，具有鲜明的时代特征和里程碑意义。制造业是国民经济的主体，是支撑陕西经济高质量发展的主动力，赢得未来竞争新优势的主战场。

从全省看，共建“一带一路”、新时代推动西部大开发形成新格局、黄河流域生态保护和高质量发展等多个国家重大战略叠加，为全省制造业发展提供了新空间。陕西从内陆腹地迈向开放高地，为制造业进一步开放合作、深度融入国内国际双循环拓展了更大空间。全省要充分发挥区位和产业优势，加快对内改革和对外开放步伐，将制造业发展与国家重大战略全面链接、深度绑定，加快推动制造业企业“走出去”和“引进来”，积极推进国际产能合作，深化与全球产业链合作，

形成面向中亚南亚西亚国家的战略通道、商贸物流枢纽、重要产业基地，为促进经济高质量发展、构建新发展格局贡献陕西力量。

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中、六中全会精神，认真学习贯彻习近平总书记来陕考察重要讲话重要指示精神，贯通落实“五项要求”“五个扎实”，立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局，以推动高质量发展为主题，以深化供给侧结构性改革为主线，以打造全国重要先进制造业基地为目标，以创新、改革和开放为动力，以提升制造业发展质量和效益为着力点，着力提升产业链供应链现代化水平，着力构建“6+5+N”的现代制造业新体系，着力推动陕西制造业实现“三个转型两个升级”，进一步做实做强做优制造业，为奋力谱写陕西高质量发展新篇章提供坚实支撑。

把创新作为陕西制造业高质量发展的核心动力。按照习近平总书记提出的围绕产业链部署创新链、围绕创新链布局产业链的总要求，聚焦制造业这一创新主战场，充分挖掘和利用全省科教资源丰富优势，构建开放、协同、高效的创新生态体系，推动制造业发展实现动力变革。

创新能力不断增强：到2025年，规模以上制造业研发经费内部支出占营业收入的比重达到1.5%，规模以上制造业企业每亿元营业收入有效发明专利数达到1.3件，规模以上工业企业中有研发活动企业占比达到25%，建成国家级和省级制造业创新中心20个。立足高技术层次、高产品附加值、高配套能力、高市场竞争力发展目标，推动新材料（陶瓷基复合材料）产业高质量发展，为打造国家重要先进制造业基地提供有力支撑。

以航空航天装备、先进轨道交通装备、智能制造装备、节能环保装备，以及应急装备、电力装备、石油装备、工程机械等其他装备为重点，聚焦延链补链强链，着力培育一批优质产品，打造全国高端装备研发和制造中心。力争到2025年，高端装备产业总产值年均增长7%左右。

其中在航空航天新材料领域提及以下政策：以服务国家重大急需和省内工业转型升级需求为导向，聚焦金属材料、非金属材料 and 前沿新材料等优势领域，加快新品种研发、提高材料性能、推动创新成果产业化和生产推广应用。

其中无机非金属材料领域。聚焦陶瓷基复合材料产业链，以结构陶瓷、功能陶瓷和耐火陶瓷为方向发展壮大新型陶瓷材料产业，促进在电子信息、医疗、重大装备等领域的应用。利用优质石墨资源，培育发展石墨新材料产业。以传统建材产业高质量发展为契机，发展新型保温材料、防腐材料、防水材料、特种玻璃、功能陶瓷、特种橡胶与工程塑料等新型绿色建材。

前沿新材料领域。发挥技术研发优势，持续推动 3D 打印材料成果产业化，促进下游工业化规模化应用。以超导材料研发生产和超导磁体的应用为重点，以电力输送、医疗器械等领域的应用为主要方向，研发新型超导材料，提升生产装备与生产工艺，建立完善的超导材料研发生产和器件加工产业体系。不断提升复合材料工程化应用水平，保持和提升金属基复合材料领域生产与技术优势，推动陶瓷基复合材料、树脂基复合材料等技术产业化应用。

空间布局上，新材料产业重点推动西安、咸阳、宝鸡、渭南发展以碳纤维、超导、增材制造为主的前沿新材料，着力打造关中新材料产业核心区。推动延安、铜川、渭南、商洛、安康和杨凌示范区结合自身资源和市场优势，实现新材料产业差异化、特色化发展。

补齐弱项短板上，按照“缺什么招什么、什么弱补什么”的原则，聚焦产业链短板、弱项，紧盯目标企业，开展定向招商、填空招商和点对点招商。针对产业链“短链”、“细链”问题，鼓励企业通过投资（参股）、并购、重组、外包服务的方式获得先进适用技术。

维护产业链供应链安全稳定。构建全省产业链供应链安全预警指标体系，探索建设陕西供应链大数据监测平台，定期评估分析重点产业、重点企业、重点项目运营发展情况，强化产业链供应链风险点分析研判。支持重点企业建立关键零部件、重要生产资源供应链风险预警系统，预先研判断供风险隐患，做好供应链替代备选方案，支持创新型企业研发存在断供风险的国产替代产品。支持企业充分利用国内国际市场，完善采购、储备和替代机制，有效对冲和规避全球供应链风险。

壮大优质企业群体。引培一批龙头骨干企业。围绕全省优势产业领域，加快培育一批具有较强行业影响力的制造业单项冠军企业，以及一批主业突出、掌握关键核心技术、品牌优势明显的国家级或世界级 500 强制造业企业，引导大企业集团发展成为具有生态主导力、国际竞争力的领航企业。积极开展与省内外企业的战略合作和兼并重组，推动优势资源集聚，打造一批关联性大、主业突出、带动性强、掌握行业话语权、具有国内国际竞争力的“链主”企业。支持“链主”企业加强资源整合，完善产业链布局，提升供应链管理能力和能力。力争到 2025 年，全省千亿级制造业企业达到 8 户以上，百亿级制造业企业达到 30 户以上，十亿级以上制造业企业达到 500 户以上，国家级制造业单项冠军企业 10 户。

培育一批优质中小企业。实施科技企业培育计划，加快建立“科技型中小企业-高新技术企业（瞪羚企业）-上市企业（独角兽企业）”科技企业梯队。聚焦一批成长性好、创新意识强、发展潜力大、技术优势明显、市场占有率高、质量效益优的高成长企业，大力培育一批专精特新“小巨人”企业。引导在陕高校、科研院所加大技术成果转化，参与创办科技型中小企业。继续推进“双创”催生一批、招商引资落地一批、深化改革激活一批、加强配套带动一批、强力改造提升一批等“五个一批”工程，加快推动个转企、小升规工作，完善企业遴选与评价机制，着力培育优质中小企业。

推进大中小企业融通发展。发挥大企业大集团技术引领作用，推动产业链上中下游、大中小企业融通创新。鼓励大企业采取“服务平台+创新生态+专业服务”等形式向中小微企业开放资源，形成以龙头骨干企业为依托，带动中小企业创新发展的格局。鼓励大企业利用新一代信息技术搭建线上线下相结合的大中小企业创新协同、产能共享、供应链互通的新型产业生态。围绕 23 条重点产业链，引导大企业与中小企业建立紧密的协同创新和协同制造关系，鼓励大企业为中小企业开放科研基础设施、大型科研仪器等，支持中小企业围绕大企业的产业配套需求、供应链体系需求开展专项对接。

加快质量品牌建设。全面提升产品质量。深入贯彻质量强省战略，实施增品种、提品质、创品牌“三品”战略，全面提升制造业产品质量水平。继续实施质量提升专项行动，分行业分层次组织开展质量提升，支持企业加强质量管理体系建

设，推行企业全面质量管理，推广普及先进生产管理模式和方法。加强质量保障能力建设，提高标准、计量、专利、认证认可、检验检测等能力，开展质量基础设施“一站式”服务。认定一批陕西质量标杆，创建一批国家质量标杆，支持重点企业争创中国质量奖。引导企业积极采用国内外先进标准，支持企业参与制定国际标准、国家标准和行业标准。对标国内外先进水平，开展陕西制造业标准化试点示范，推动省级工业产品质量标准符合性认定。

着力打造陕西制造品牌。实施精品制造，开展百项“陕西工业精品”遴选，围绕高端装备自主突破、新材料首批次应用、消费品提质升级等，培育一批“技术领先、技能优良、品质卓越、效益良好”的陕西工业精品。加大品牌宣传力度，树立“造飞机、产汽车、强新材”的陕西制造新形象。

推动产业园区专业化发展。加强全省各类高新技术产业开发区、经济技术开发区以及县域工业集中区等产业园区标准化建设，支持符合条件的省级高新技术产业开发区、经济技术开发区创建为国家级开发区。继续开展“退城入园”行动，对省级以下各类“低、小、散”产业园区，加快优化整合或予以退出，鼓励园区特色化发展、集中发展。建立精简高效政府管理体系，推动园区市场化运营，提高园区管理运营效率。加强园区内外互通互联，运用新一代信息技术，打造多网融合的网络基础设施，搭建园区数字化云服务平台，提高园区数字化管理和服务水平，积极创建智慧园区。

推动县域经济高质量发展。大力实施产业强县工程，按照“一县一区，一区多园”的要求，充分利用各地特色产品、市场以及产业优势，紧紧围绕县域主导产业集中化、特色化发展，努力形成一批产值过 50 亿元的特色产业“区中园”并优先支持其升级为省级园区。以

县域工业集中区为载体，打造一批“龙头企业+孵化”的大中小企业融通型载体和“投资+孵化”的专业资本集聚型载体，促进“双创”基地和工业园区主导产业发展有机结合，促进县域经济创新发展。培育发展先进制造业集群。开展全省先进制造业集群建设行动，引导各市（区）围绕主导产业，聚焦细分领域，依托国家新型工业化产业示范基地、国家级开发等平台，加快培育形成具有较强竞争力的航空航天装备、现代化工、新材料、汽车等先进制造业集群。积极参加国家

先进制造业集群竞赛。依托集群内骨干企业、科研院所、行业协会、产业联盟等相关主体，加快建立一批新型的、第三方的集群发展促进机构，促进企业间分工协作、产业链高效协同和产学研用深度融合。

扩大制造业双向开放。推动市（区）间协同发展。围绕重点产业链，依托“链长制”引导各市（区）因地制宜、错位发展。用好全省招商引资工作联席会议机制，强化产业招商，谋划跨区域的重大项目落地、重大政策协同落地等事项，强化区域间产业链分工配套。引导市（区）间建立全省项目首报首谈和项目流转监督制度，确保重大项目有序布局和流转。探索全省跨区域互利互惠的项目招引及税收分成机制，在税收分成、招商指标考核、经济指标考核等方面双方协商确定分享比例。

深化区域间产业合作。紧抓新时代推进西部大开发形成新格局的机遇，深入对接京津冀、长三角、粤港澳大湾区等地区，加强项目招引、合作共建和资源共享。大力推动黄河流域生态保护和高质量发展国家战略落地落实，深化呼包鄂榆城市群协作，推动关中平原城市群建设，加强与成渝地区产业对接。积极组织开展“央企进陕、名企进陕”等产业对接活动，用好苏陕协作平台等省际合作平台和渠道，推动企业生产基地本地化发展，稳固省内外供应链体系，提高全省产业链发展韧性。

扩大制造业国际合作。以陕西自贸试验区建设为引领，不断营造法治化、国际化、便利化的营商环境，增强陕西对全球资金、技术、人才、信息等要素的吸引力。以建链、强链、延链为重点，聚焦产业链断点和薄弱环节，加大国际招商力度，创新引资方式，精准引进一批技术水平高、投资规模大、带动作用强的重大项目来陕，助推全省外向型产业集聚发展。加快推动西安加工贸易转移承接中心建设，扩大“保税+”改革试点，开展入境维修、再制造等业务，着力打造自贸试验区空港新城功能区飞机深度综合维修基地，发展“保税航材”产业。

以西安市为例，为紧抓国内民用飞机制造快速增长趋势，培育一批先进制造业企业挂牌上市，促进基地先进制造业企业转型升级，在 2021 年 3 月 3 日印发《西安航空基地先进制造业企业上市培育工程“银鹰工程”实施管理办法》其中涉及的培育政策包括：

(1) 实行委领导一对一包抓服务，由相关部分成立工作专班，解决先进企业的土地供给、项目建设、生产经营、人才培养、融资上市，以及“一企一策”的扶持问题，指导企业上市融资工作。

(2) 对境内外挂牌上市的企业给予一定的奖励。

(3) 先进企业享有股权投资优先权，可优先被管委会投资，针对优秀的企业，另外采取“一事一议”的方式单独决策。

(4) 奖励境外上市企业的实际控制人。

(5) 股东分红及减持所得税奖励。

(6) 国家省市政策优先向先进企业倾斜。

(7) 鼓励先进企业高管交流学习，并给予一定补贴。

(8) 鼓励先进企业参加国内外展会，并提供奖励资金。

(9) 高管人员及关键人才个人所得税奖励。

(10) 给高管及关键人才子女的入学提供一定保障。

这些扶持政策，都有利于陶瓷基复合材料的发展，使其在新材料领域高质高效发展，也为相关的航空航天领域提供极大的帮助。

3 陶瓷基复合材料产业发展方向

3.1 产业创新发展与专利布局关系分析

3.1.1 技术发展与专利布局分析

图 3.1 展示了陶瓷基复合材料全球专利申请态势，2003-2022 年，陶瓷基复合材料专利申请数量呈逐年上升趋势，2003-2022 年间全球范围内共申请与瓷基复合材料相关 47002 篇专利，以每组简单同族一个专利代表，共申请 17334 组简单同族文献，早在 19 世纪，就已经有了陶瓷基复合材料的专利申请，陶瓷基复合材料全球专利申请经历了从无到有，从个位数的年度申请量到每年涌现出上千篇的专利申请，随着陶瓷基复合材料技术的日益成熟，以及陶瓷基复合材料产业的逐步发展，在不同制度国家申请的陶瓷基复合材料专利为全球陶瓷基复合材料研发者的权益保驾护航，成为发明人的知识产权财富。

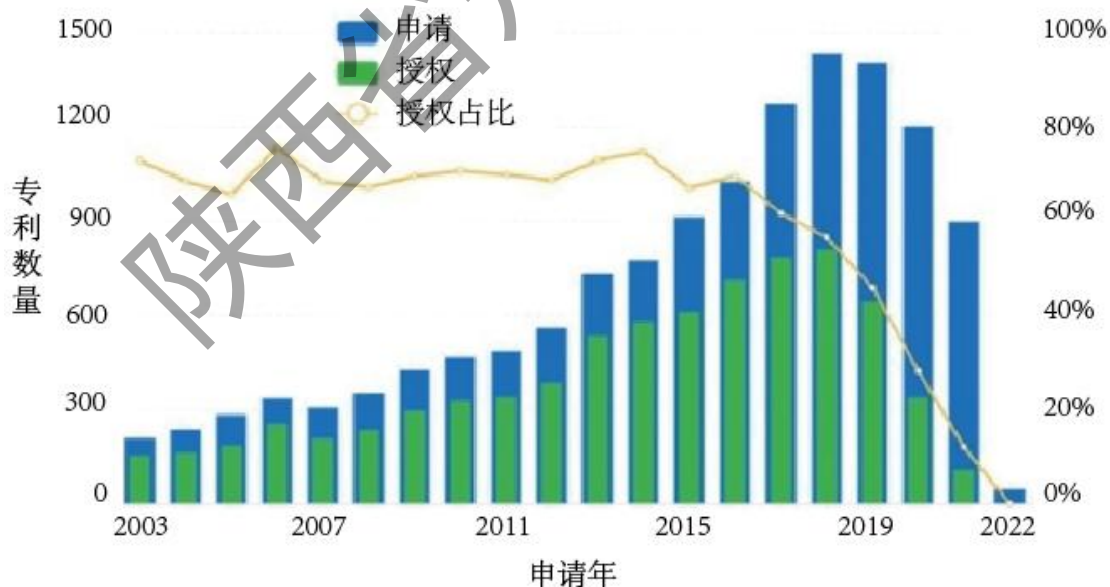


图 3.1 陶瓷基复合材料全球专利申请态势

2003-2011 年间，陶瓷基复合材料的专利申请年申请量处于缓慢增长趋势，在这种缓慢爬坡式的发展中，一直到 2012 年开始直至 2018 年，陶瓷基复合材料

的专利申请数量呈现快速增长的趋势，在 2018 年，专利申请量达到了顶峰，这表明进入 21 世纪以后，陶瓷基复合材料的技术发展完成了一定的积累，专利布局逐渐活跃，这段时间为陶瓷基复合材料的技术储备期，这段时间申请量激增与陶瓷基复合材料在产业中的需求推动密不可分，随着全球经济的快速发展，企业、科研院校、科研院所纷纷抓紧布局陶瓷基复合材料产业，进而推动陶瓷基复合材料技术的发展，这段时间可以看做是陶瓷基复合材料技术的快速发展期。

此后从 2019 至今，陶瓷基复合材料专利的申请数量呈现稳步下降趋势，这表明陶瓷基复合材料技术发展逐渐步入技术成熟期，技术方向逐渐转向高精技术领域，陶瓷基复合材料的发展覆盖了陶瓷基复合材料产业的上、中、下游产业，其中，上游产业覆盖了陶瓷基制备原料产业，中游产业为陶瓷基复合材料制备工艺，下游产业为陶瓷基复合材料应用领域。

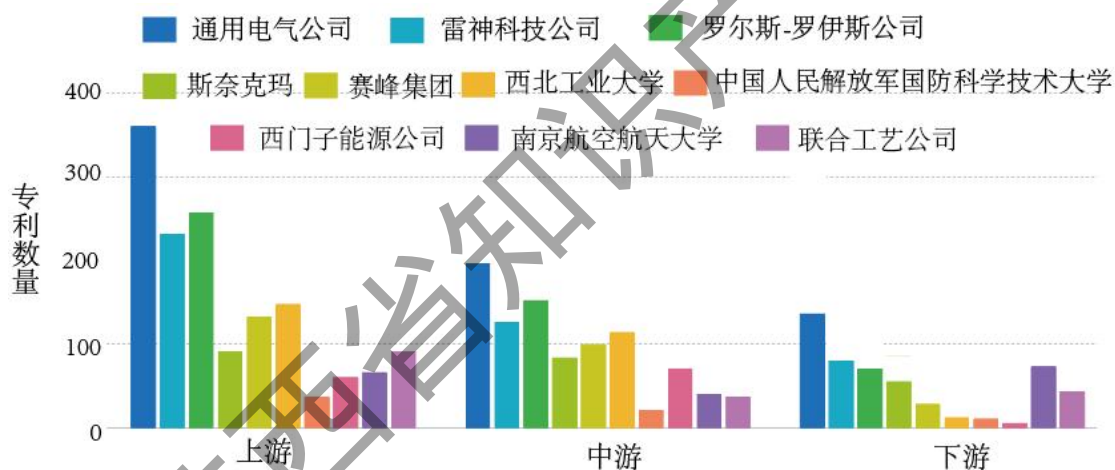


图 3.2 陶瓷基复合材料全球领军企业专利布局分布

进一步地，我们分析了全球范围内陶瓷基复合材料产业链上的领军企业 2003-2022 年间的专利申请情况，图 3.2 为陶瓷基复合材料全球专利布局分布图，可以看出，在全球范围内多家公司均对陶瓷基复合材料的上、中、下游涉及的具体产业均进行了完整的专利布局。

其中，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司、斯奈克玛、赛峰集团为全球范围内陶瓷基复合材料技术领域内的领军企业，在全球范围内布局

了较多的有关陶瓷基复合材料的专利，并且其专利布局完整覆盖陶瓷基复合材料上、中、下游产业链。

这表明在全球范围内，陶瓷基复合材料的技术发展已较为完备成熟，通过图 3.2 可以看出，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司、斯奈克玛、赛峰集团等全球陶瓷基复合材料领军企业有关陶瓷基复合材料制备原料（上游产业）、陶瓷基复合材料制备工艺（中游产业）较陶瓷基复合材料应用领域（下游产业）的专利产出数量高，其中，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司三者在市场中的份额占据前三位置，三者围绕陶瓷基复合材料领域开展了严密的专利布局。

进一步地，我们对全球范围内陶瓷基复合材料领域产业链上、中、下游的专利申请情况具体到三级技术分支进行进一步的分析，由图 3.1 可知，在全球范围内，在陶瓷基复合材料上游产业链中，各国围绕增强体、基体材料开展了较为完善的专利布局，专利申请数量在陶瓷基上游产业链中处于领先地位，对于陶瓷基复合材料中游产业链而言，全球范围内的企业及科研机构围绕化学气相渗透法、反应熔融渗透法等陶瓷基复合材料制备工艺申请了较多的专利，由于陶瓷基复合材料制备原料繁多，对工艺制备过程要求苛刻，这在一定程度上推动了各国企业及各科研机构对于陶瓷基复合材料制备工艺技术的研究，解决制备工艺过程中存在的技术难题，推动陶瓷基复合材料由上游产业链逐渐向下游产业链转变，使企业科研实力逐渐转变为实体经济效益极大程度激发企业活力及核心竞争力。对于陶瓷基复合材料下游产业链而言，各国研发热点仍集中于涡轮发动机领域。

表 3.1 全球陶瓷基复合材料三级分支专利申请占比

	技术分支	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022
上游 53%	增强体	2.2%	4.4%	11.6%	5.8%
	基体	1.3%	2.1%	8.6%	5%
	界面层	1.4%	1.8%	5.3%	3.5%
中游 38%	磨削加工	0.1%	0.3%	0.5%	0.3%
	激光加工	0.1%	0.3%	0.4%	0.2%
	电火花加工	0.1%	0.2%	0.4%	0.1%
	水射流加工	0.1%	0.2%	0.3%	0.1%
	超声加工	0.2%	0.6%	1.0%	0.3%
	化学气相渗透法	1.4%	4.0%	5.6%	3.6%
	反应熔融渗透法	1.3%	4.3%	4.5%	2.2%
	浆料浸渗法	0.1%	0.2%	0.3%	0.1%
	溶体渗透	0.1%	0.5%	0.6%	0.4%
	原位反应法	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%
	热压烧结法	0.2%	0.3%	0.5%	0.3%
	熔渗工艺	0.2%	0.3%	0.8%	0.2%
	聚合物浸渍裂解	0.05%	0.15%	0.2%	0.1%
	下游 9%	涡轮发动机	0.2%	0.5%	2.3%
热回收设备		0.1%	0.35%	0.4%	0.15%
热场部件		0.02%	0.03%	0.04%	0.01%
燃烧炉		0.05%	0.1%	0.1%	0.05%
垃圾焚烧		0.04%	0.06%	0.1%	0.1%
核工业		0.02%	0.08%	0.15%	0.05%
分离/过滤		0.03%	0.1%	0.2%	0.07%
结构件		0.02%	0.06%	0.12%	0.1%
军用		0.04%	0.06%	0.3%	0.1%
宇航		0.01%	0.05%	0.03%	0.01%
刹车制动系统		0.02%	0.03%	0.23%	0.12%
加工设备		0.06%	0.07%	0.18%	0.09%

3.1.2 产品供需与专利布局分析

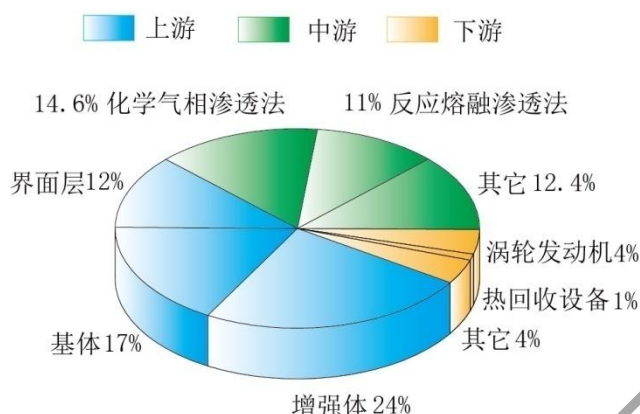


图 3.3 全球范围内三级分支陶瓷基复合材料专利申请分布

图 3.3 可知 2003-2018 年间在全球范围内，具体到三级技术分支，在陶瓷基复合材料上中下游产业链中，分别最具代表性的专利技术分别为增强体、化学气相渗透法、涡轮发动机，三者分别占据了陶瓷基复合材料上、中、下游产业链的主要市场，这表明在全球范围内，围绕陶瓷基复合材料市场对于陶瓷基复合材料上游产业链中增强体材料相关的陶瓷基复合材料产品的需求较大，围绕陶瓷基复合材料市场对于陶瓷基复合材料中游产业链中化学气相渗透法相关的陶瓷基复合材料制备工艺的研发投入需求较大，围绕陶瓷基复合材料市场对于陶瓷基复合材料下游产业链中涡轮发动机相关的陶瓷基复合材料应用的潜力需求较大。

因此，对于企业而言，相应专利布局也围绕以上应用领域，要满足陶瓷基复合材料产品供需，全球范围内企业应尽早围绕以上应用领域开展相关陶瓷基复合材料产品的技术研发工作，企业应针对以上陶瓷基应用领域开展相应专利布局工作，掌握核心专利意味着掌握行业的核心技术，企业要想发展，必须尽早进行专利布局。

进一步地，我们对陶瓷基复合材料专利当前申请（专利权）人申请趋势进行分析。由图 3.4 可知，全球范围内，陶瓷基复合材料领域的龙头企业包括通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司、斯奈克玛、赛峰集团，它们围绕陶瓷基复合材料领域开展了完善的专利布局，提高了企业在陶瓷基复合材料领域的核心竞争力，充分利用专利布局抢占技术制高点，控制高端制品及应用方面

的核心技术及高端产品市场，这些企业占据技术和产品的高端，在全球范围内进行了大量的专利布局，以技术创新和专利布局占据产业上游高附加值端，以专利保护和运营、标准制定、品牌塑造、消费引导占据产业下游高附加值端，其专利布局围绕全球陶瓷基复合材料产品供需要求，提高企业核心竞争力，因此，建议企业应围绕：陶瓷基复合材料上游产业链中增强体、中游产业链中化学气相渗透法、下游产业链中涡轮发动机，等领域开展专利布局，来满足陶瓷基复合材料产品供需要求，提高企业在陶瓷基复合材料核心竞争力，开拓陶瓷基复合材料市场。

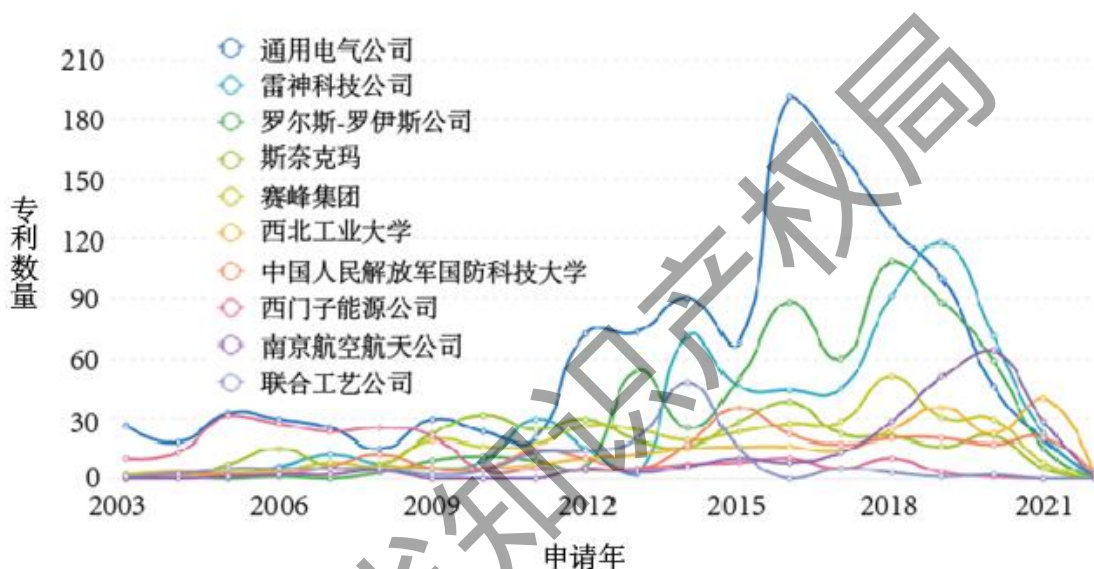


图 3.4 全球范围内陶瓷基复合材料专利申请人申请趋势

3.1.3 相关企业与其专利实力

通过分析技术领域的主要技术分支占比情况来了解各技术分支的创新热度，以及当前技术布局的空白点。

由表 3.2 可知，在全球范围内陶瓷基复合材料技术构成中，具体到三级技术分支。

表 3.2 全球陶瓷基复合材料产业分布

	三级分支
上游 53%	增强体 24%、基体 17%、界面层 12%

	三级分支
中游 38%	化学气相渗透法 14.6%、反应熔融渗透法 11%、超声加工 2.1%、熔体渗透 1.6%、熔渗工艺 1.5%、热压烧结法 1.3%、磨削加工 1.2%、激光加工 1.0%、原位反应法 1%、电火花加工 0.8%、水射流加工 0.7%、浆料浸渗法 0.7%、 聚合物浸渍裂解 0.5%
下游 9%	涡轮发动机 4%、热回收设备 1%、宇航 1%、军用 0.5%、分离/过滤 0.4%、 刹车制动系统 0.4%、加工设备 0.4%、燃烧炉 0.3%、垃圾焚烧 0.3%、核工 业 0.3%、结构件 0.3%、热场部件 0.1%

由表 3.2 可知，在全球陶瓷基复合材料领域，具体到三级技术分支，有关增强体、基体、化学气相渗透法、反应熔融渗透法、超声加工、涡轮发动机、热回收设备、宇航有关的技术主题的专利文件占据主要陶瓷基复合材料技术领域，主要涉及陶瓷基复合材料制备原料，工艺处理以及应用领域，其中增强体所具有的高强度、高弹性等优异性能，可提高陶瓷材料的韧性及可靠性，基体作为陶瓷基复合材料的主要制备原料，原料广泛，价格低廉，且具有较高硬度、耐高温、耐腐蚀、耐磨损等优异性能，在陶瓷基复合材料领域占据较为重要的地位，全球范围内陶瓷基复合材料企业针对以上陶瓷基复合材料制备原料申请了大量专利，这表明企业将大量研发精力投入到陶瓷基复合材料制备原料研发中，并取得了较好的研发成果，将其转化为专利技术，提高了企业在陶瓷基复合材料技术领域的核心竞争力。

而全球陶瓷基复合材料企业在陶瓷基复合材料中游及下游产业的研发实力较上游产业链较为薄弱，化学气相渗透法、反应熔融渗透法、超声加工、涡轮发动机、热回收设备、宇航作为全球陶瓷基复合材料中游及下游产业的热点研发问题，企业及科研机构应投入更多的研发精力，将上游产业链的科研研发成果更多的转化到下游产业应用领域，促进企业及科研院所的研发成果转化。

进一地，我们给出了全球范围内陶瓷基复合材料领域领军企业的专利申请人排名，图 3.5 分析了全球范围内陶瓷基复合材料申请人排名，结果表明，通用电

气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司、斯奈克玛、赛峰集团，在陶瓷基复合材料不同技术领域拥有绝对核心竞争力，其专利实力雄厚，企业围绕陶瓷基复合材料领域核心技术点，开展了完善的研究。

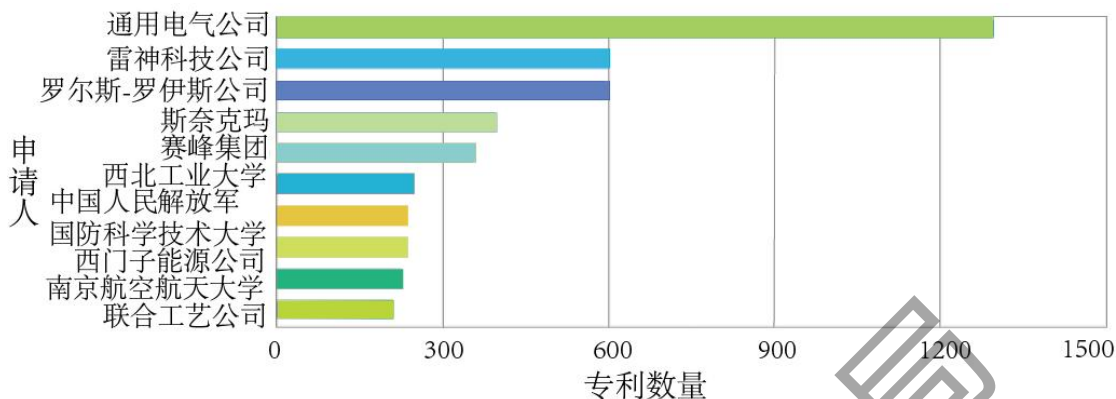


图 3.5 全球范围内申请人排名分析



图 3.6 全球范围陶瓷基复合专利研究热点

我们进一步对全球范围内陶瓷基复合材料领域领军企业的申请的专利技术分支进行了进一步分析，具体到三级分支。

由图 3.6 可知，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司、斯奈克玛、赛峰集团等公司围绕以上陶瓷基复合材料中的增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法、涡轮发动机、超声加工、熔体渗透、热回收设备、宇航等技术热点开展了完整全面的专利布局，具有较强的专利实力，陶瓷基复合材料的应用广泛，且被持续不断地开发应用于新的技术领域，因此涵盖了不同陶瓷基复合材料技术分支的专利申请量十分可观。

综上分析来看，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司、斯奈克玛、赛峰集团等企业的研发热点更多放在了上游陶瓷基复合材料制备原料领域，

涉及制备原料的专利申请量较多，对于陶瓷基复合材料制备原料例如：增强体、基体、界面层等均开展了完整的研究，并取得了显著的研究成果，将其转化为专利文件，保护了企业的核心研发技术，在中游陶瓷基复合材料工艺处理领域中，涉及了化学气相渗透法、反应熔融渗透法等技术热点领域，在下游陶瓷基复合材料应用领域，涉及了涡轮发动机、宇航、热回收设备等热点领域，以期将陶瓷基复合材料更好的应用于航空航天，发动机等热点领域，使陶瓷基复合材料能够持续良好地发展。

3.1.4 全球产业转移与专利申请趋势分析

图 3.7 中，受理局蓝色：中国，受理局绿色：美国，受理局黄色：日本由图 3.7 可知，在 2003-2022 年内，中国受理专利为增长趋势，已超越美国，表面在世界范围内，中国在陶瓷基复合材料领域的专利申请数量呈逐渐增加的趋势，对于陶瓷基复合材料的上中下游，中国的专利申请量明显增加，中国的专利研发水平相对较高，专利布防较为严密。

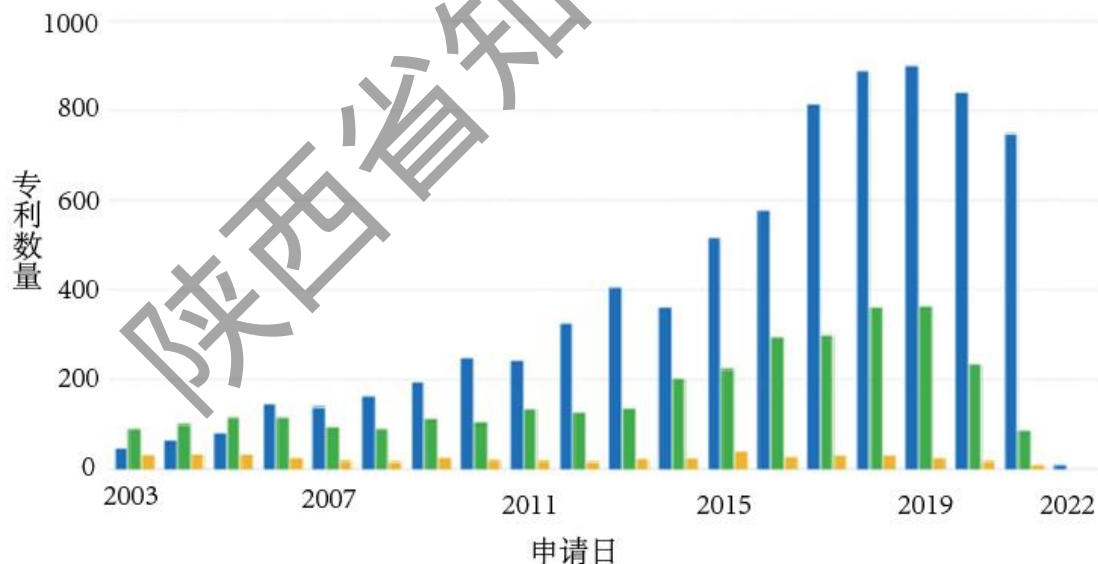


图 3.7 全球范围各国家陶瓷基复合材料专利申请趋势

由图 3.8 可知，全球陶瓷基复合材料专利布局涉及陶瓷基复合材料的制备原料、制备工艺、下游应用领域，专利布局完整涉及陶瓷基复合材料产业链，陶瓷基复合材料上游产业具体为陶瓷基复合材料制备原料，是陶瓷基复合材料发展的核心，中游是陶瓷基复合材料产业发展的关键，中游和上游可带动下游产业均衡

发展，上游在以基体材料、增强体材料为主的基础上，进一步重点发展碳化硅、氧化铝、铝硅酸盐、碳化钎等陶瓷基复合材料制备原料，下游产业主要以航空航天为主。

由图 3.8 可知，（图 3.8 中，上游 53%，中游 38%，下游 9%，陶瓷基复合材料下游产业专利布局较为薄弱，全球产业应将上游产业陶瓷基复合材料制备原料逐渐向下游应用领域转移，将高新科技技术研究成果逐渐向实体产业应用领域发展转移，将科技创新成果转移为实际生产应用，使科技成果逐渐转为实体经济效益，增加企业活力、核心竞争力、生存力。

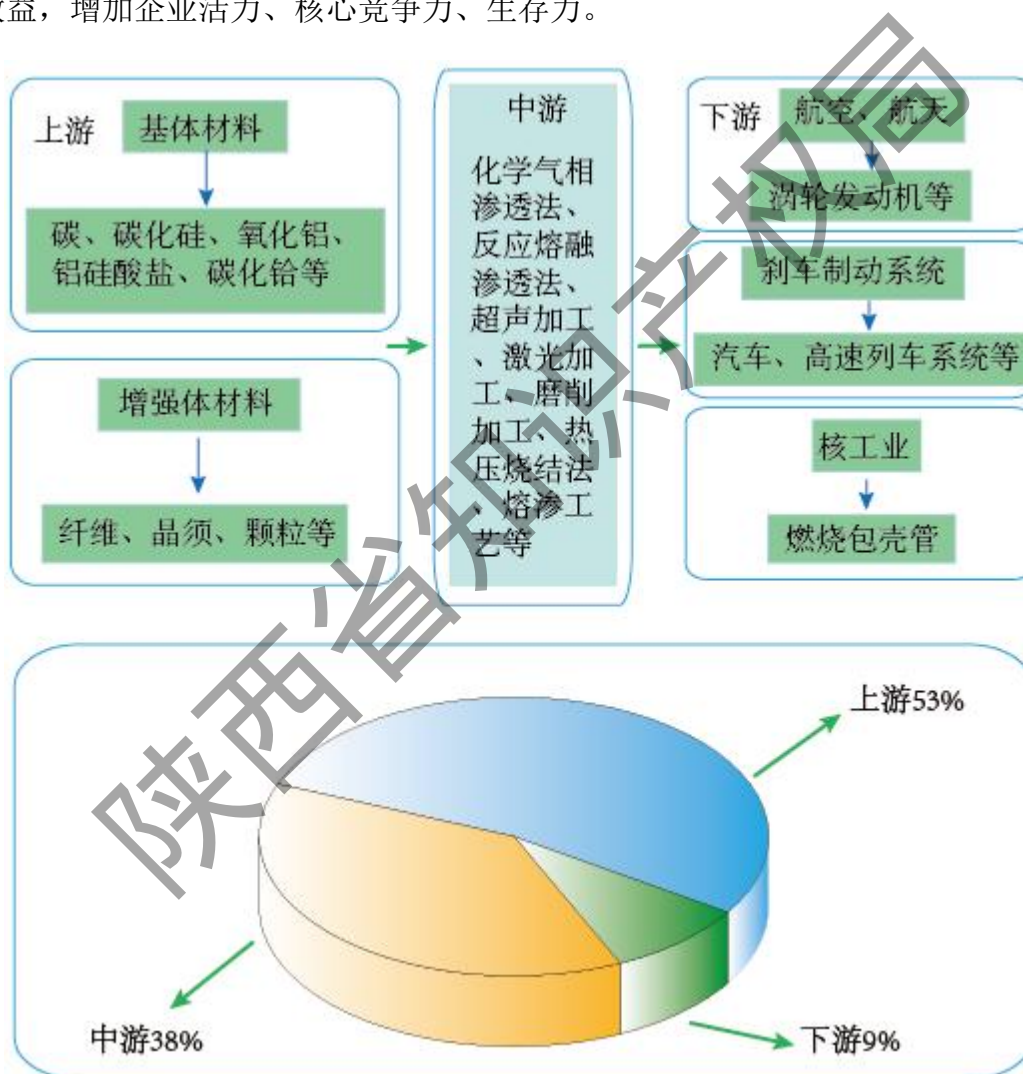


图 3.8 全球（包括院校研究所和企业）陶瓷基专利申请产业链分布情况

3.1.5 发达国家或垄断企业对技术的控制力度

由图 3.3 可知，具体到三级分支，在全球范围内，各个国家及企业针对陶瓷基复合材料各技术分支进行了完整的专利布局，在全球范围内陶瓷基复合材料技术构成中，对于陶瓷基复合材料上游产业链而言，增强体与基体是全球陶瓷基复合材料领域关注的热点问题，对于陶瓷基复合材料中游产业链而言，化学气相渗透法以及反应熔融渗透法是陶瓷基复合材料领域研发热点问题，对于陶瓷基复合材料下游产业链而言，涡轮发动机、热回收设备为陶瓷基复合材料领域研发热点问题。上述研发热点问题完整涉及陶瓷基复合材料上中下游产业链，对陶瓷基复合材料的技术控制力度较强。

进一步的，我们分析了全球陶瓷基复合材料热点专利申请趋势变化，由图 3.9 可知，在 2003-2022 年内，全球陶瓷基复合材料围绕上述不同技术热点，大力发展核心技术，布局了完整的专利核心技术文件，专利布防较为严密，2003-2018 年内呈逐年上升趋势，在 2018 年达到顶峰，这表明在此期间，世界范围内陶瓷基复合材料技术处于快速发展期，在此期间，世界各国针对陶瓷基复合材料原料研发、工艺制备进行了大量实质性的研究，并取得了较为显著的研究成果，在 2018-2022 年间达到技术成熟区，企业将研究成果更多的研究成果转化为实际应用，将高新科技技术研究逐渐向实体产业发展转移，将科技创新成果转移为实际生产应用，使科技创新成果逐渐转为实体经济效益。

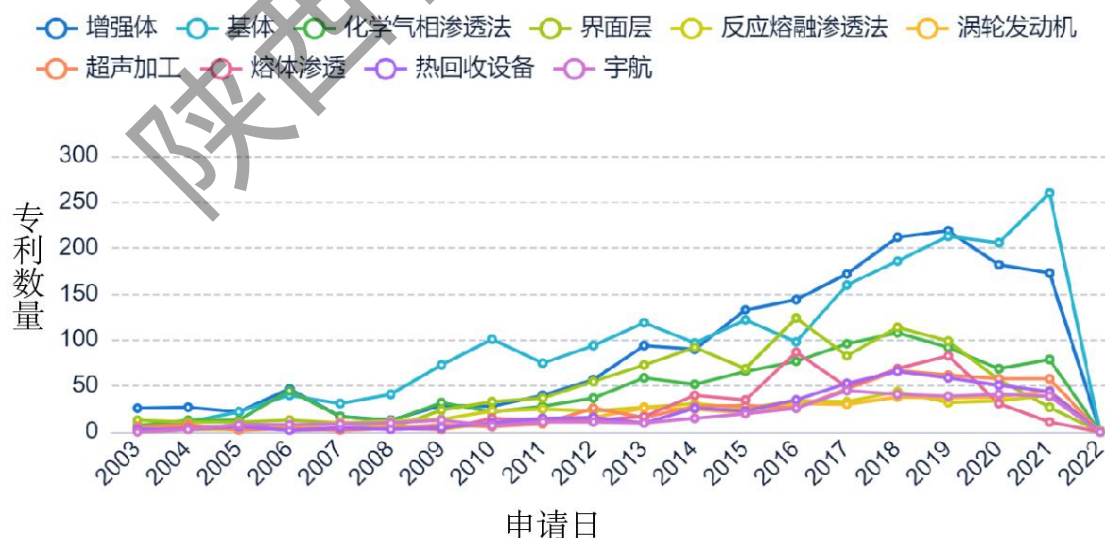


图 3.9 全球范围内陶瓷基复合材料技术热点专利申请趋势

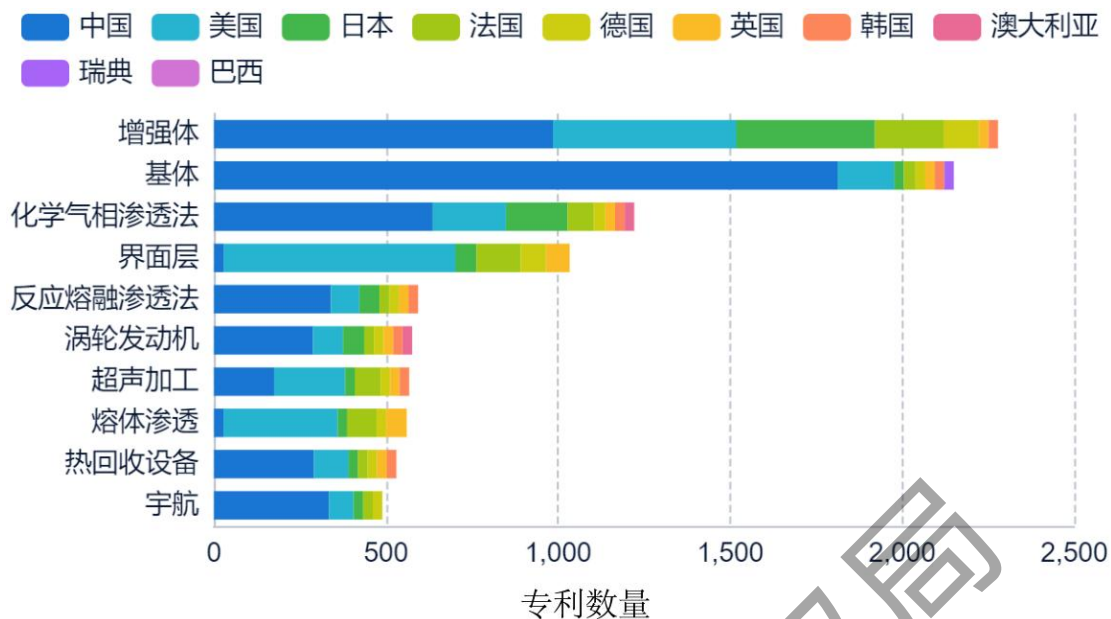


图 3.10 全球范围内陶瓷基复合材料重要技术分支地域分布

我们给出了全球陶瓷基复合材料中上游产业链对应的主要技术分支（具体到三级技术分支）区域专利申请情况，由图 3.10 全球范围内陶瓷基复合材料重要技术分支地域图可知，在世界范围内，中国、美国、日本围绕上述不同技术分支，大力发展核心技术，布局了完整的专利核心技术文件，对于陶瓷基复合材料具有领先的核心控制力度，结合图 3.11 可知，在世界范围内中国、美国、日本布局了较多数量的陶瓷基复合材料相关专利，专利布局防守较为严密，中国、美国、日本在陶瓷基复合材料领域发展强劲，掌握核心技术，具有核心竞争力。由图 3.12 可知，在全球范围内，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司作为陶瓷基复合材料领域的领军企业，掌握了陶瓷基复合材料领域的高端技术，是未来陶瓷基复合材料技术的领导者。

3.1.6 发达国家或垄断企业对产品链的控制力度

由图 3.11 全球范围内陶瓷基复合材料专利申请分布可知，中国、美国、日本拥有陶瓷基复合材料产业链的绝对控制力，三者占据了陶瓷基复合材料领域百分之八十的市场份额。具体的，综合图 3.10 可以看出中国、美国、日本对于陶瓷基复合材料上游产业链中的增强体、基体、界面层，陶瓷基复合材料中游产业

链中的化学气相渗透法、反应熔融渗透法、超声加工，以及陶瓷基复合材料下游产业链中的涡轮发动机、热回收设备、宇航等技术分支具有核心控制力。

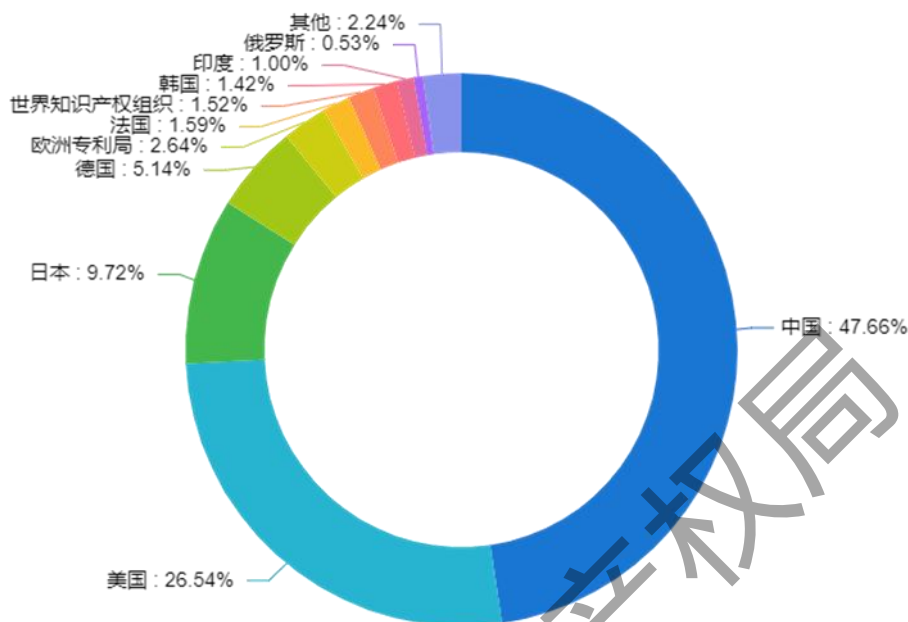


图 3.11 全球范围内陶瓷基复合材料专利申请分布

图 3.12 对陶瓷基复合材料上中游产业链（具体到三级分支）所涉及的热点专利技术进行分析，可以看出在世界范围内，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司针对陶瓷基复合材料不同技术热点方向申请了大量的专利文件，其技术热点对应所申请的专利文件覆盖了陶瓷基复合材料的制备原料、制备工艺、下游应用领域，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司掌握了陶瓷基复合材料的核心技术，对陶瓷基复合材料产业链具有核心控制力，企业具有较强的技术创新能力。



图 3.12 全球范围内陶瓷基复合材料重要技术热点申请人分布

3.1.7 发达国家或垄断企业对市场的控制力度

由图 3.11 全球范围内陶瓷基复合材料专利申请分布可知，中国、美国、日本拥有陶瓷基复合材料的绝对控制力，三者占据了陶瓷基复合材料领域百分之八十的市场份额，进一步的由图 3.12 可知，通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司围绕陶瓷基复合材料不同技术领域分支布局了大量专利，开展了完整的专利防守。

3.2 专利布局揭示产业发展方向

3.2.1 全球产业结构调整方向

由图 3.8 可知，全球范围内陶瓷基复合材料产业链包括上游（陶瓷基复合材料制备原料）、中游（陶瓷基复合材料制备工艺）、下游应用领域，由图 3.8 进一步分析可知，全球范围内陶瓷基复合材料产业主要集中在上游及中游产业，且由图 3.9 可知，在全球范围内，各个国家及企业针对陶瓷基复合材料各技术分支进行了完整的专利布局，涉及陶瓷基复合材料制备原料、制备工艺、下游应用领域等技术分支，综合来看，基于全球陶瓷基复合材料专利申请情况，建议全球产业结构向陶瓷基复合材料下游应用领域进行调整，逐渐完善充实陶瓷基复合材料产业链，使陶瓷基复合材料高新技术逐渐向实体经济转变，将科技创新成果转移为实际生产应用，使科技成果逐渐转为实体经济效益。

3.2.2 发达国家产业结构调整方向

由图 3.13-图 3.15 可知，全球范围内美、日、法、德、英在陶瓷基复合材料上中下游产业布局了较多的专利，日、法、德、英在 2003-2022 年间在陶瓷基复合材料上游布局了较多的专利，而美国在陶瓷基复合材料产业中下游布局了较多的专利，开展了严密的专利防御。

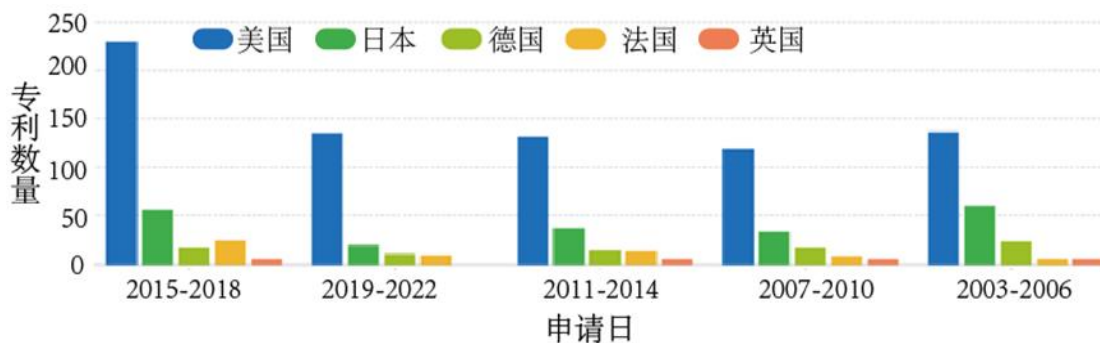


图 3.13 全球发达国家陶瓷基复合材料上游产业发展趋势



图 3.14 全球发达国家陶瓷基复合材料中游产业发展趋势



图 3.15 全球发达国家陶瓷基复合材料下游产业发展趋势

且美国相较其它发达国家而言，布局了较多数量的专利，其专利防守较为严密，这表明美国的陶瓷基复合材料研发技术已趋于成熟，将上中游陶瓷基复合材料研发技术更多的应用到下游应用中，获得了较为可观的经济效益。

对于美国而言，为使其陶瓷基复合材料中下游产业长期稳定发展，应向上游产业链投入更多研发精力，以维持其产业链稳定性，为中下游产业注入源源不断的生机与活力，对于日、法、德、英而言，则要在陶瓷基复合材料上游产业加大研发投入力度，激发产业创新研发潜力，稳固上游产业，再逐渐将产业结构方向

向中下游调整，使科技创新逐渐转变为经济效益，加大企业核心竞争力，促进企业发展。

3.2.3 龙头企业产业结构调整方向

由图 3.16 分析可以看出，全球范围内，通用电气公司处于陶瓷基复合材料产业领域的领先地位，陶瓷基复合材料由于其具有高性能系统所需的轻质和耐高温等特性，对于航空航天领域，特别是发动机的设计制造而言越来越重要。

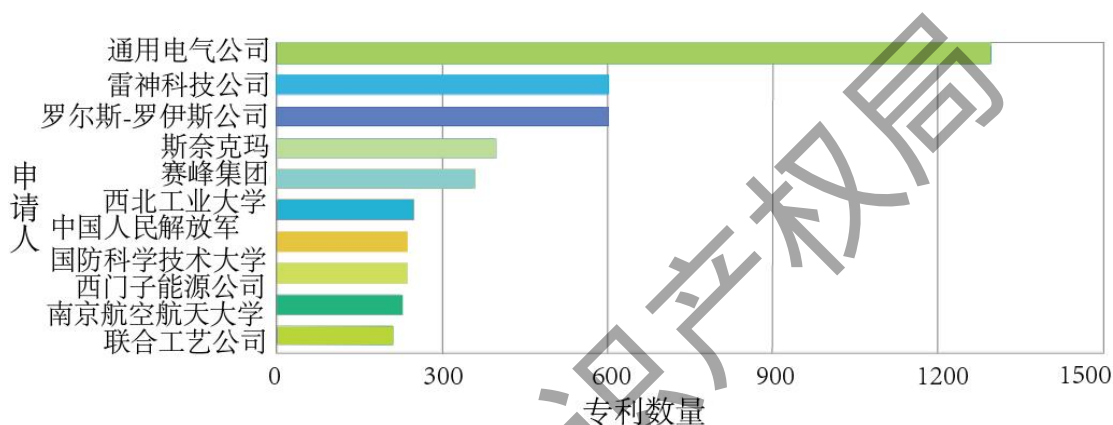


图 3.16 全球龙头企业陶瓷基复合材料专利申请趋势

21 世纪初，通用电气公司引入陶瓷基复合材料制造地面燃机的涡轮罩环，同时从静子部件、开始扩展陶瓷基复合材料在喷气发动机上的应用范围。2016 年通用电气公司投入使用的 LEAP-1 发动机的涡轮罩环由陶瓷基份材料制造，将实现陶瓷基复合材料在商用航空发动机上的首次应用，通用电气航空与世界领先的航空器发动机制造商 CFM 国际合作公司共同开发的 LEAP 涡轮扇发动机，已服务于空客 A32neo 和波音 737MAX 飞机，LEAP 发动机也是首个采用陶瓷基复合材料热端部件的商用喷气发动机，这极大扩展陶瓷基复合材料在商用发动机上的应用范围。该发动机的燃烧室火焰筒、第一级高压涡轮喷管和罩环以及第二级高压涡轮喷管都由陶瓷基复合材料制造。

与金属合金材料相比，由于陶瓷基复合材料具有更好的耐热性，因此在发动机高温区只需较少的冷却气体。而且，在发动机流道中使用空气代替，将意味着发动机运转效率更高，产生的热量更少，从而减少了对发动机的维护工作，并降低燃油消耗，通用电气公司早前已在新建了两个复合材料制造厂，用于碳化硅

(SiC) 和陶瓷基复合材料 (CMC) 的批量制造, 这两种复合材料都是制造喷气式发动机和陆基武器装备燃气涡轮发动机零部件的必备材料。

通用电气公司在 2003-2022 年间布局了较多数量的有关陶瓷基复合材料的专利, 其技术水平领先于陶瓷基复合材料领域的其它公司, 是陶瓷基复合材料领域的龙头企业, 这对于其下游产业飞机发动机的发展十分重要, 我们进一步对通用电气公司申请的专利按陶瓷基复合材料产业链进行了划分。

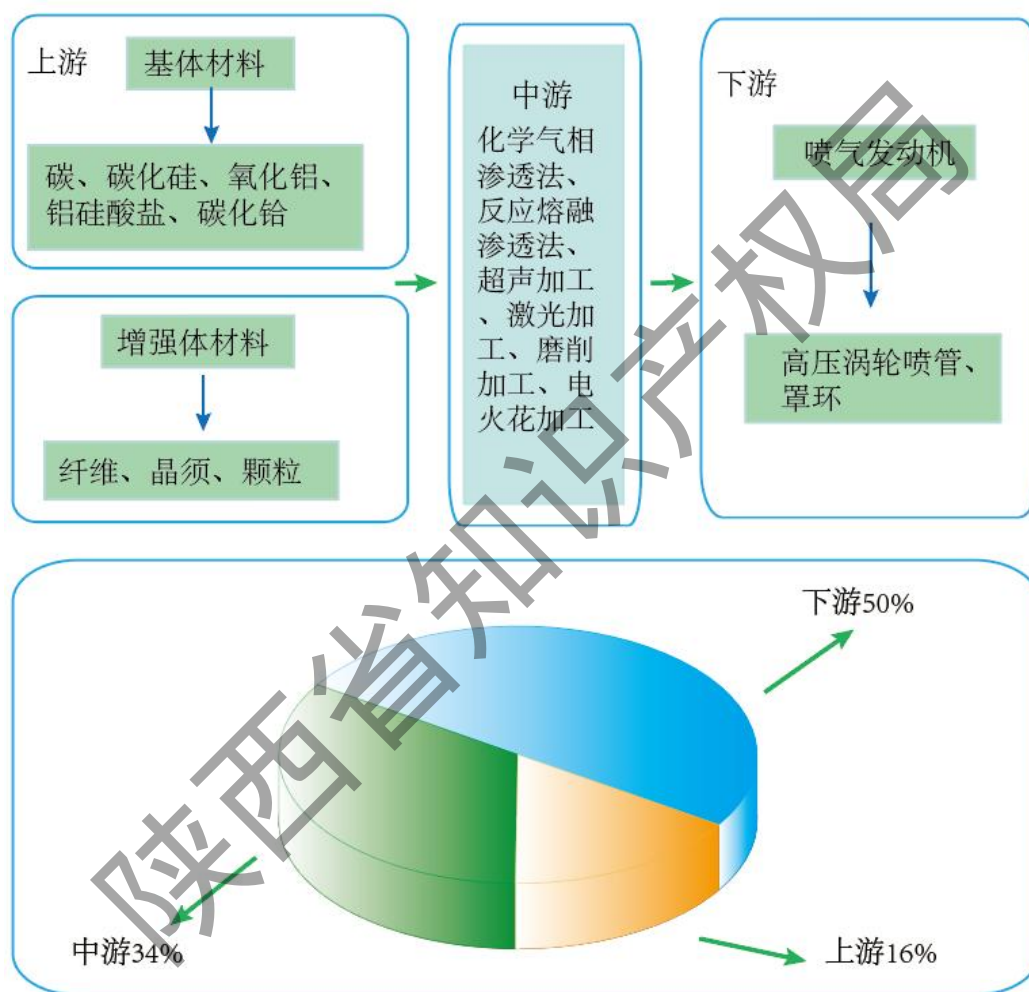


图 3.17 通用电气公司陶瓷基复合材料产业链分布

由图 3.17 可知, 通用电气公司将上中下游产业进行结合, 其产业结构逐渐向下游产业转移, 这表明通用电气公司技术已十分成熟, 将所研究成果更多的向实际产业应用转移, 获得了实际的经济效益, 因此针对通用电气公司, 建议其产业结构在陶瓷基复合材料产业链上游多做布局, 增加产业链活力, 使上游产业为中下游产业源源不断的注入活力, 提高企业活力。

罗尔斯-罗伊斯公司计划将 CMC 引入其军民用发动机产品线。其计划内容包括在 Advance 系列的较小型号发动机上使用带有 CMC 内衬的无罩环涡轮以及 urtraFan 概念里的 CMC 喷管。此外，罗罗公司还与 Orbital-ATK 公司一道加入了波音公司的 787 环保演示验证机项目，在美国联邦航空管理局（FAA）指导下，利用一台 Trent1000 发动机测试陶瓷喷管，随后，罗·罗公司在 2015 年收购了位于美国加州的专业 CMC 生产商 Hyper-Therm 公司，该公司与 NASA 合作开发了首先用于液体火箭推进系统的主动冷却、连续纤维增强 SiC 基复合材料推力室。在此之后罗尔斯-罗伊斯公司宣布 3D 打印正在引领下一代飞机发动机的发展，在 Advance 3 发动机中的 2 万多个组件中，其中的一部分是通过 3D 打印制造出来的，发动机中包括陶瓷基复合材料（CMC），通过使用陶瓷基复合材料（CMC）和应用 3D 打印技术，Advance3 与第一代遄达发动机相比，燃油效率将提高 25%，并且提高燃油效率也将降低排放，由此开始，罗尔斯-罗伊斯公司的 3D 打印技术开启了下一代航空领域的飞机发动机以及航天领域的火箭发动机性能竞争之路。

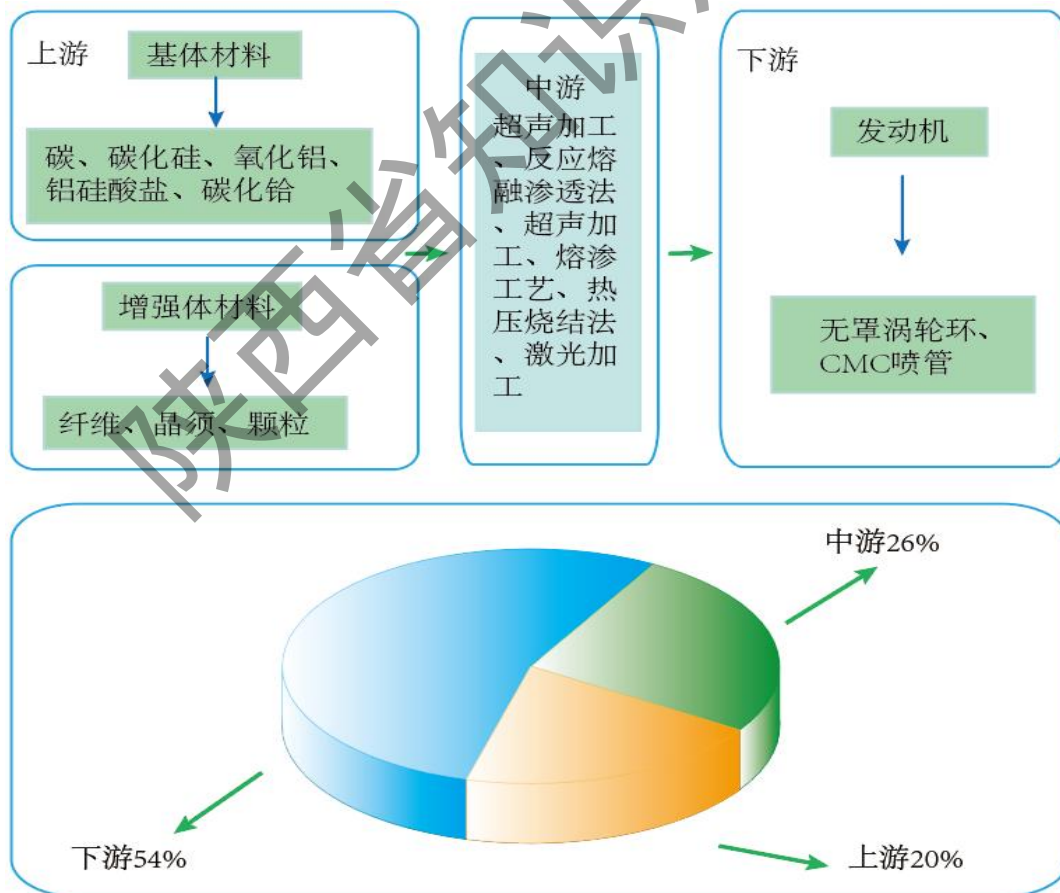


图 3.18 罗尔斯-罗伊斯公司陶瓷基复合材料产业链分布

由图 3.18 可以看出，罗尔斯-罗伊斯公司作为世界范围内陶瓷基复合材料领域领军企业，在 2003-2022 年间布局了较多的陶瓷基复合材料专利，在陶瓷基复合材料产业链中下游产业链进行了完善严密的专利布局，并且罗尔斯-罗伊斯公司更多的将陶瓷基复合材料研发技术应用到下游航空航天发动机领域中，占据了市场先机，这也反映出其陶瓷基复合材料相关研发技术已趋于成熟，企业将研发技术转变为经济效益，极大提升了企业活力与核心竞争力，对于罗尔斯-罗伊斯公司应向陶瓷基复合材料上游产业链投入更多研发精力，为上游产业链注入生机活力，使上中游陶瓷基复合材料产业链更好的衔接，为下游陶瓷基复合材料的应用提供核心研发技术，进一步促进下游产业链的发展。

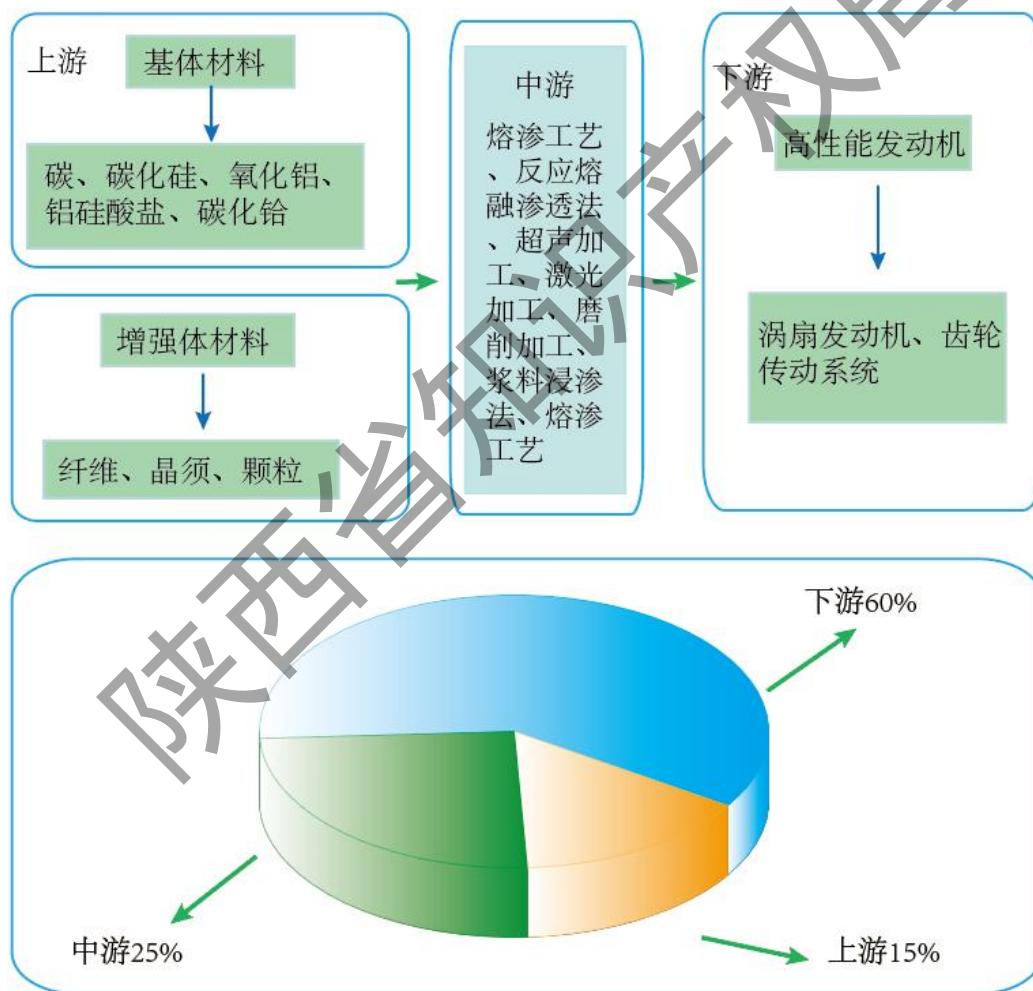


图 3.19 雷神技术公司陶瓷基复合材料产业链分布

雷神技术公司是一家航空航天国防公司，重点发展超音速、情报监察、商用航空领域的人工智能应用以及飞机网络安全，横跨商用航空、防务采购两大领域，每年研发经费达 80 亿美元、工程技术人员超 6 万人，有望加快新技术研发进度，

重塑竞争格局，其将陶瓷基复合材料研发技术应用到其核心领域-航空航天发动机领域，属于全球陶瓷基复合材料领军企业。

由图 3.19 可以看出，雷神技术公司在陶瓷基复合材料产业领域下游产业链布局了较多的专利，其次是中游产业，上游产业布局了较少的专利，建议其产业结构在陶瓷基复合材料产业链上游多做布局，增加产业链活力，使上游产业为中下游产业源源不断的注入活力，提高企业活力。

综合来看，陶瓷基复合材料相关技术，西方发达国家企业形成了一定的技术垄断，并且领军企业陶瓷基复合材料技术发展成熟，这归因于在航空发达国家在航空发动机的技术与产品研制过程中，国家持续出台具有指导意义的战略政策，并不惜巨资实施系列专项技术研究计划，如美国的综合高性能涡轮发动机（IHPTET）计划、极高效发动机技术（UEET）计划，环境负责航空（ERA）计划以及欧盟的系列框架计划。多种涡扇发动机牢牢占据了各级别发动机市场，同时不断开展包括齿轮传动、开式转子、混合电推进技术等新型动力技术的探索，呈现出多元化的发展趋势。

3.2.4 技术研发热点方向

图 3.20 为全球范围内陶瓷基复合材料专利研究热点，由图 3.20 可知，对全球范围内陶瓷基复合材料专利的技术分支（包括一级-四级技术分支）的技术关键词进行提取。

图 3.20 中由内圈至外圈依次对应技术分解表中一级分支-三级分支，分析结果表明在全球范围内，陶瓷基复合材料的研究热点主要集中于陶瓷基复合材料制备原料（增强体、基体、界面层）、制备工艺（化学气相渗透法、反应熔融渗透法、热压烧结法、磨削加工、激光加工、电火花加工、水射流加工等）、应用领域（涡轮发动机、刹车制动系统、热回收设备、宇航、核工业等）等领域，覆盖了陶瓷基复合材料上中下游产业链，综合来看，全球范围内对于陶瓷基复合材料的研究主要集中于制备原料（上游产业链）及陶瓷基复合材料（中游产业链），而对于其实际应用领域的研究关注较低。

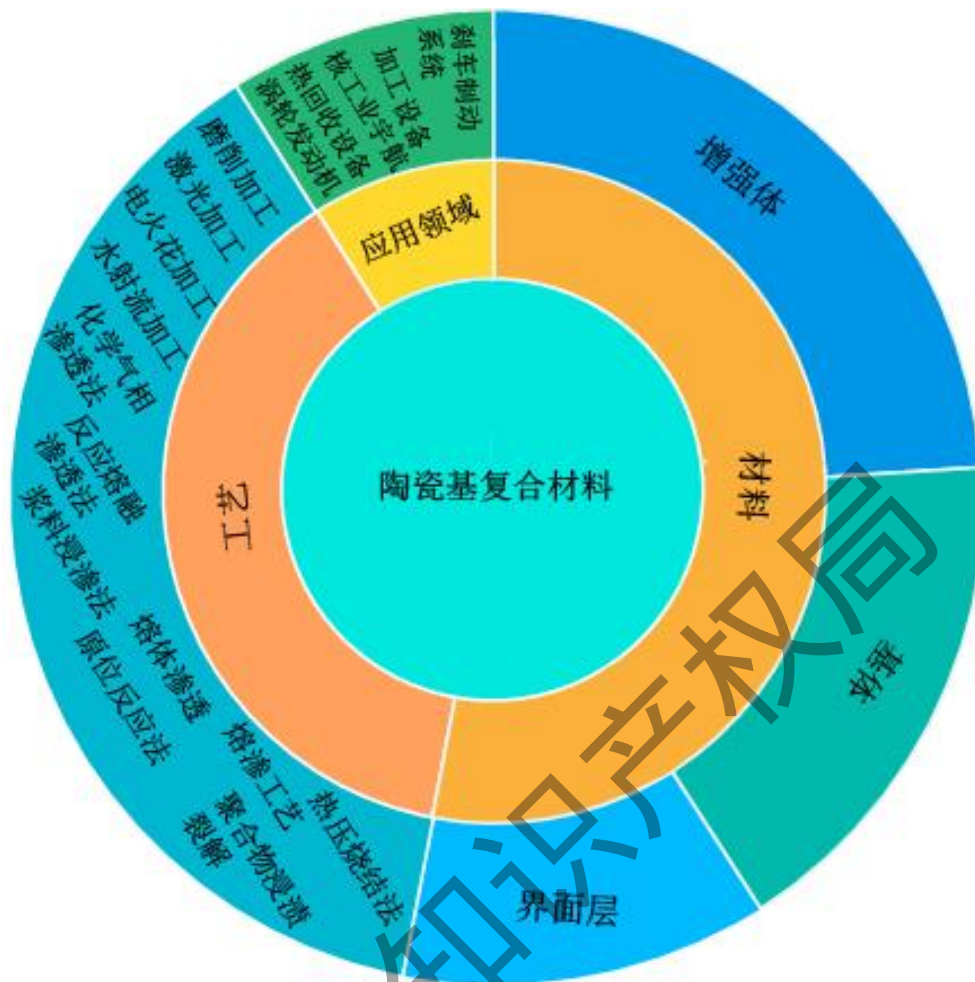


图 3.20 全球范围内陶瓷基复合材料专利研究热点

见表 3.3，我们再图 3.20 基础上进一步地给出了全球陶瓷基专利技术分支-产业链对应专利申请的具体分布情况，具体到四级分支。可以发现，全球范围内各国家的陶瓷基复合材料产业结构和发展速度不同，相应陶瓷基复合材料产业呈现不同的产业特色。在陶瓷基复合材料上游产业链中，陶瓷基复合材料制备原料相关专利占主导作用，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（上游产业链）的研发热点问题，在陶瓷基复合材料中游产业链中，陶瓷基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工艺中热点研发问题，在陶瓷基复合材料下游产业链中，涡轮发动机、热回收设备、宇航已逐渐成为陶瓷基复合材料

的热门应用领域。综合来看，全球陶瓷基复合材料的重点研发方向集中于产业链上游及中游产业，下游应用领域研发实力较为薄弱。

表 3.3 全球（包括院校研究所和企业）陶瓷基专利申请产业链具体占比情况

	一级分支	二级分支	三级分支	四级分支	
上游 53%	陶瓷基复合材料	材料53%	增强体24%	纤维10.5%、晶须7%、颗粒6.5%	
			基体17%	碳2%、碳化硅7%、碳化钎0.6%、碳化钽0.4%、硼化钆0.5%、硼化钪0.6%、石英1.1%、氧化铝1.2%、铝硅酸盐1.5%、莫来石1.0%、氮化硼1.1%	
			界面层12%		
中游 38%		工艺38%	磨削加工1.2%、激光加工1.0% 电火花加工0.8%、水射流加工0.7%、超声加工2.1%、化学气相渗透法14.6%、反应熔融渗透法11%、浆料浸渗法0.7%、熔体渗透1.6%、原位反应法1%、热压烧结法1.3%、熔渗工艺1.5%、聚合物浸渍裂解0.5%		
			涡轮发动机4%	燃烧室衬套1.2%、导向叶片0.8%、转子叶片1%、涡轮外环1%	
			热回收设备1%	预热器0.3%、换热器0.7%	
			热场部件0.1%		
			燃烧炉0.3%	辐射管0.2%、丝网燃烧管0.1%	
			垃圾焚烧0.3%	炉壁0.1%、颗粒分离器0.2%	
			核工业0.3%	燃烧包壳管0.3%	
	分离/过滤0.4%		过滤器0.1%、基底0.15%、离心机0.15%		
	结构件0.3%		梁0.05%、壁板0.15%、集管0.1%		
	军用0.5%		防护装甲0.5%		
下游 9%	应用领域 9%	宇航1%	热保护0.3%、推进器喷嘴0.2%、涡轮泵部件0.3%、前缘0.2%		
		刹车制动系统0.4%	碳陶刹车盘0.07%、高速列车0.08%、地铁0.03%、城轨刹车系统0.04%、重载卡车0.07%、货车、坦克等重刹车系统0.05%、汽车高性能刹车系统0.06%		
		加工设备0.4%	重整器0.1%、反应器0.1%、换热器0.2%		

3.2.5 全球陶瓷基复合材料卡脖子关键技术分析

由图 3.20 可知，在全球范围内对于陶瓷基复合材料的研究主要集中于制备原料（上游产业链）及陶瓷基复合材料制备工艺（中游产业链），而对于其实际应用领域的研究关注较低，这是因为在陶瓷基复合材料应用领域仍存在许多亟待攻克的难题，陶瓷基复合材料在航空领域有重要广泛应用，陶瓷基复合材料在亚声速喷气发动机部件、军用及商业发动机上应用的研发已逾 40 年，陶瓷基复合材料有望应用于商业飞机发动机的热端部件上，且陶瓷基复合材料比金属更具优势，可用于亚声速商用发动机的热端和排气部件上，一方面可减轻部件重量，其次提高部件承温能力，并降低冷气用量，上述优点可使陶瓷基复合材料热端部件和排气部件的发动机在更高的温度下服役并且提高其燃油效率，减少氮氧化物和二氧化碳的排放，由于陶瓷基复合材料应用于航空领域的制备研发工艺苛刻，陶瓷基复合材料应用于航空领域存在许多亟待攻克的难题，阻碍了陶瓷基复合材料下游应用的发展，针对上述问题，应从陶瓷基复合材料材料性能及加工工艺技术研发入手，拓展航空领域可用耐高温陶瓷基复合材料种类^[6]，优化陶瓷基复合材料加工制备工艺，由上图可以看出陶瓷基复合材料上游及中游产业技术发展已日益成熟，因此要想攻克陶瓷基复合材料应用难题，应提高陶瓷基复合材料上游及中游产业研发技术深度，将更高端的技术应用于陶瓷基复合材料下游产业，尤其是航天领域。

3.2.6 专利申请趋势热点方向

由图 3.9 及图 3.10 可知（具体到三级分支），全球范围内，2003-2022 年间，围绕陶瓷基复合材料主要技术热点增强体、基体、化学气相渗透法、反应熔融渗透法、涡轮发动机等申请了大量专利，覆盖了陶瓷基复合材料的上游、中游及下游产业技术链，此四个方向为 2003-2022 年间专利申请趋势热点方向。

3.2.7 核心技术演进热点方向

通过图 3.21 可以看出，以四年为周期，在全球范围内对陶瓷基复合材料的核心技术演变趋势进行分析(具体到三级分支)，分析可以看出在 2013-2017 年，全球范围内对陶瓷基复合材料技术的研究急剧增长，具体研究技术领域包括陶瓷基复合材料制备原料，制备工艺及应用领域，覆盖了陶瓷基复合材料整个上中下游产业链，在 2013-2017 年间，技术分支中增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法、涡轮发动机等，逐渐成为陶瓷基复合材料领域的研究热点，具体涉及了陶瓷基复合材料的制备原料及制备工艺，此外还涉及涡轮发动机等技术领域，这表明陶瓷基复合材料领域的研究热点逐渐由陶瓷基复合材料制备原料向陶瓷基复合材料应用方向发展演变，这表明企业已逐渐将科研成果转化为经济效益。

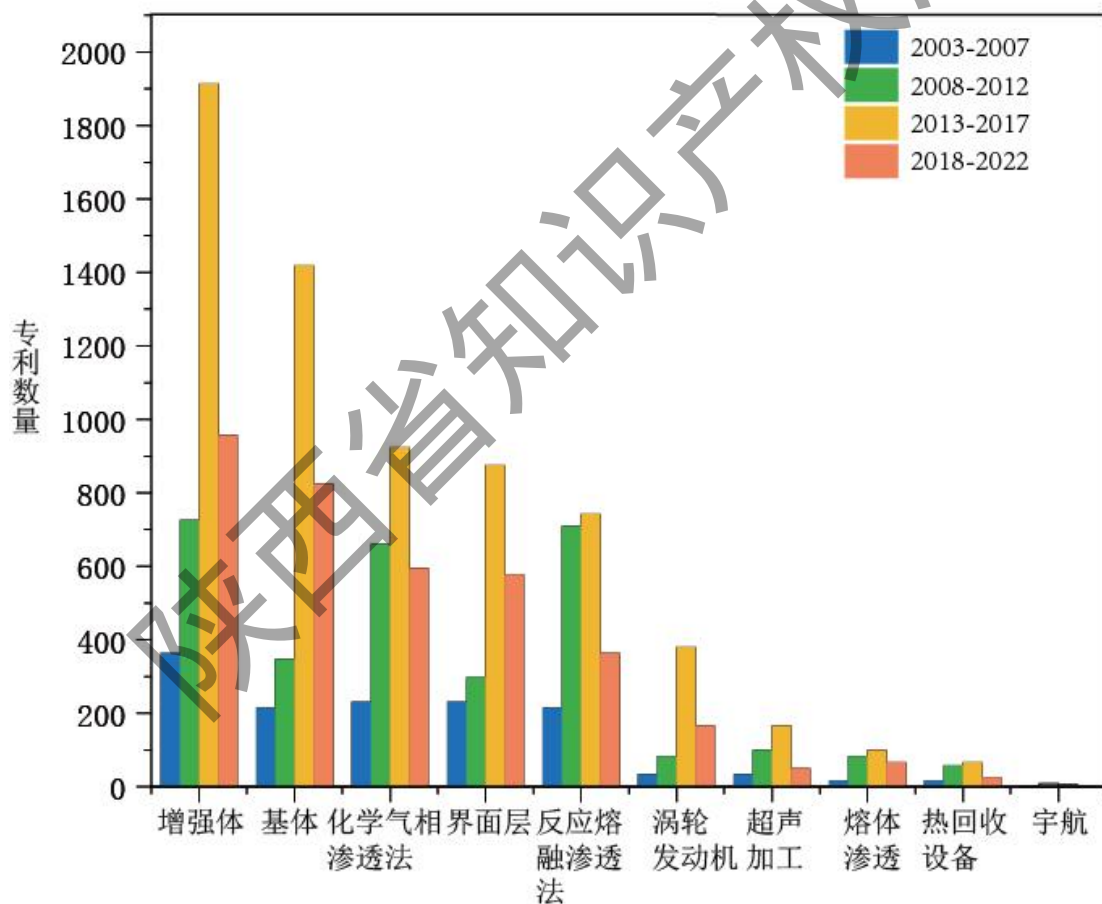


图 3.21 全球范围内陶瓷基复合材料核心技术演变趋势

3.2.8 龙头企业研发热点方向

图 3.22 可以看出，全球范围内企业及科研院所的研究热点领域为陶瓷基复

合材料制备原料中的增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法，以上技术研发热点相对应的具体技术领域为陶瓷基复合材料制备原料（产业链上游技术领域）、陶瓷基复合材料制备工艺（产业链中游技术领域），而研发热点涡轮发动机相较二者，研发实力较为薄弱。

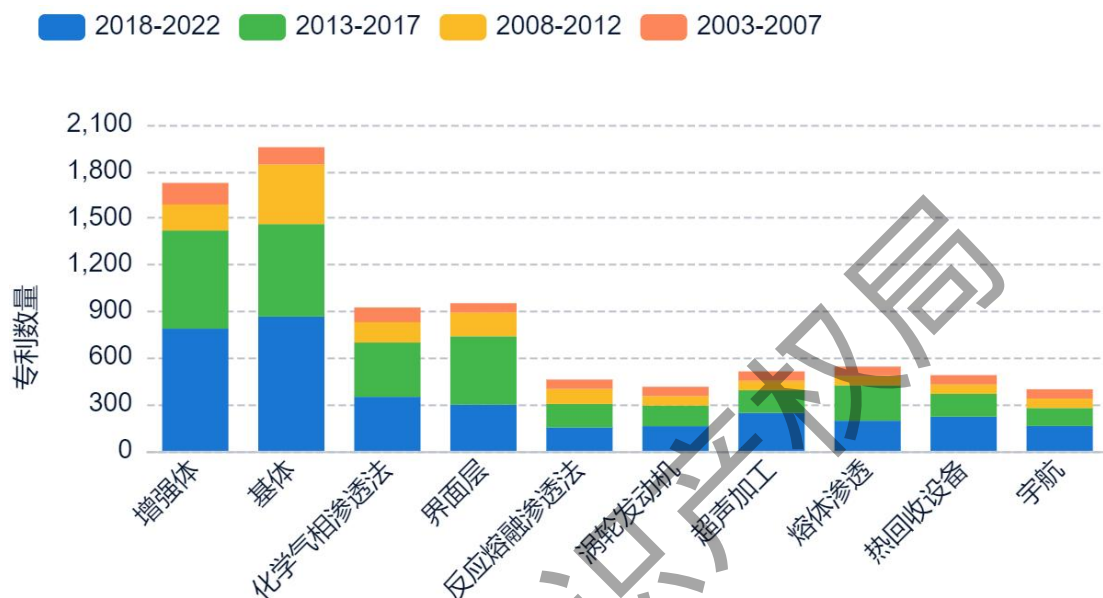


图 3.22 全球陶瓷基复合材料研究热点领域



图 3.23 全球范围内龙头企业研发热点

结合图 3.23 可以看出（具体到三级分支），全球龙头企业通用电气公司、雷神科技公司、罗尔斯-罗伊斯公司、斯奈克玛、赛峰集团的研究热点主要集中在增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法、涡轮发动机、超声加工等技术领域，以上技术分支相对应的具体技术领域为陶瓷基复合材料制备

原料(产业链上游技术领域)、陶瓷基复合材料制备工艺(产业链中游技术领域)、涡轮发动机即陶瓷基复合材料应用领域(产业链下游技术领域)。

涡轮发动机的研发关注度不及陶瓷基复合材料制备原料及制备工艺,这在侧面反映了在陶瓷基复合材料领域仍存在较多技术壁垒,使得陶瓷基复合材料研发成果向实际生产应用转化过程中仍存在较多难题。

因此,全球陶瓷基复合材料领军企业对于陶瓷基制备原料及其下游应用投入了较多的研发精力,这有利于企业将科技成果转变为实体经济效益。

3.2.9 协调创新热点方向

由图 3.21 可以看出,2003-2012 年,陶瓷基复合材料核心技术研究增长速度缓慢,在 2013-2017 年,全球范围内对陶瓷基复合材料技术的研究处于快速增长期,具体研究技术领域包括陶瓷基复合材料制备原料,器件及其应用,覆盖了陶瓷基复合材料整个上中下游产业链,其中,增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法、有关的陶瓷基复合材料技术研究逐渐成为陶瓷基复合材料领域的研究热点,对应陶瓷基复合材料上游及中游产业链。

2018-2022 年间,陶瓷基复合材料核心技术研究增长速度相较于 2013-2017 年增长趋于平缓,这表明陶瓷基复合材料技术已趋于成熟,结合相应具体研究领域可知,技术热点为超声加工、熔体渗透、热回收设备、宇航有关的,涉及陶瓷基制备工艺中游产业链及陶瓷基复合材料应用领域下游产业链有关的专利申请增长趋势较为缓慢,而与陶瓷基复合材料有关的制备原料(上游产业链)中的增强体、基体材料及陶瓷基复合材料中游产业链中的化学气相渗透法、反应熔融渗透法的专利申请数量较技术热点为超声加工、熔体渗透、热回收设备、宇航有关的陶瓷基复合材料专利申请数量相比,前者专利申请数量较多。虽然前者在 2018-2022 年间专利申请数量较 2013-2017 年专利申请数量数量少,但在 2018-2022 年间技术热点为增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法的专利申请数量较技术热点为涡轮发动机、超声加工、熔体渗透、热回收设备相比,前者数量较多。

因此，通过协调 2018-2022 年间上述两个区域的技术研究分支，将研究焦点聚焦于陶瓷基复合材料中游及下游领域，可以更好提升陶瓷基复合材料成品的附加价值。

3.2.10 新进入者集中的热点方向

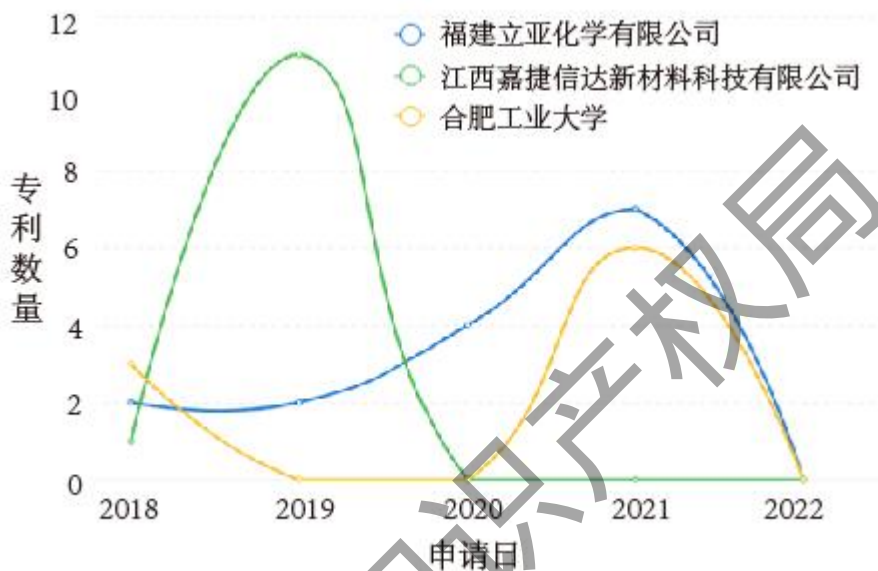


图 3.24 全球陶瓷基复合材料技术领域新进入者

由图 3.24 可以看出，在全球范围内，2018-2022 年，有三家公司或大学新进入了陶瓷基复合材料研究领域，分别为福建立亚化学有限公司、江西嘉捷信达新材料科技有限公司、合肥工业大学。

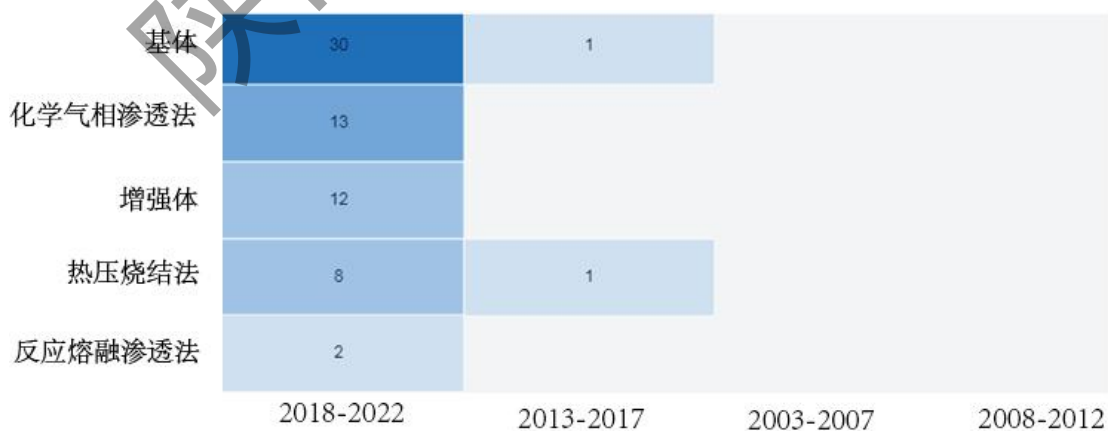


图 3.25 全球陶瓷基复合材料技术领域新进入者专利申请分布

由图 3.25 分析可知（具体到三级技术分支）：上述三家公司或大学的技术研究热点：基体材料、化学气相渗透法、增强体，这三个研究热点已成为陶瓷基复合材料领域新进入者集中研究的热点问题，覆盖了陶瓷基复合材料上游及中游产业链。

3.2.11 专利应用的热点方向

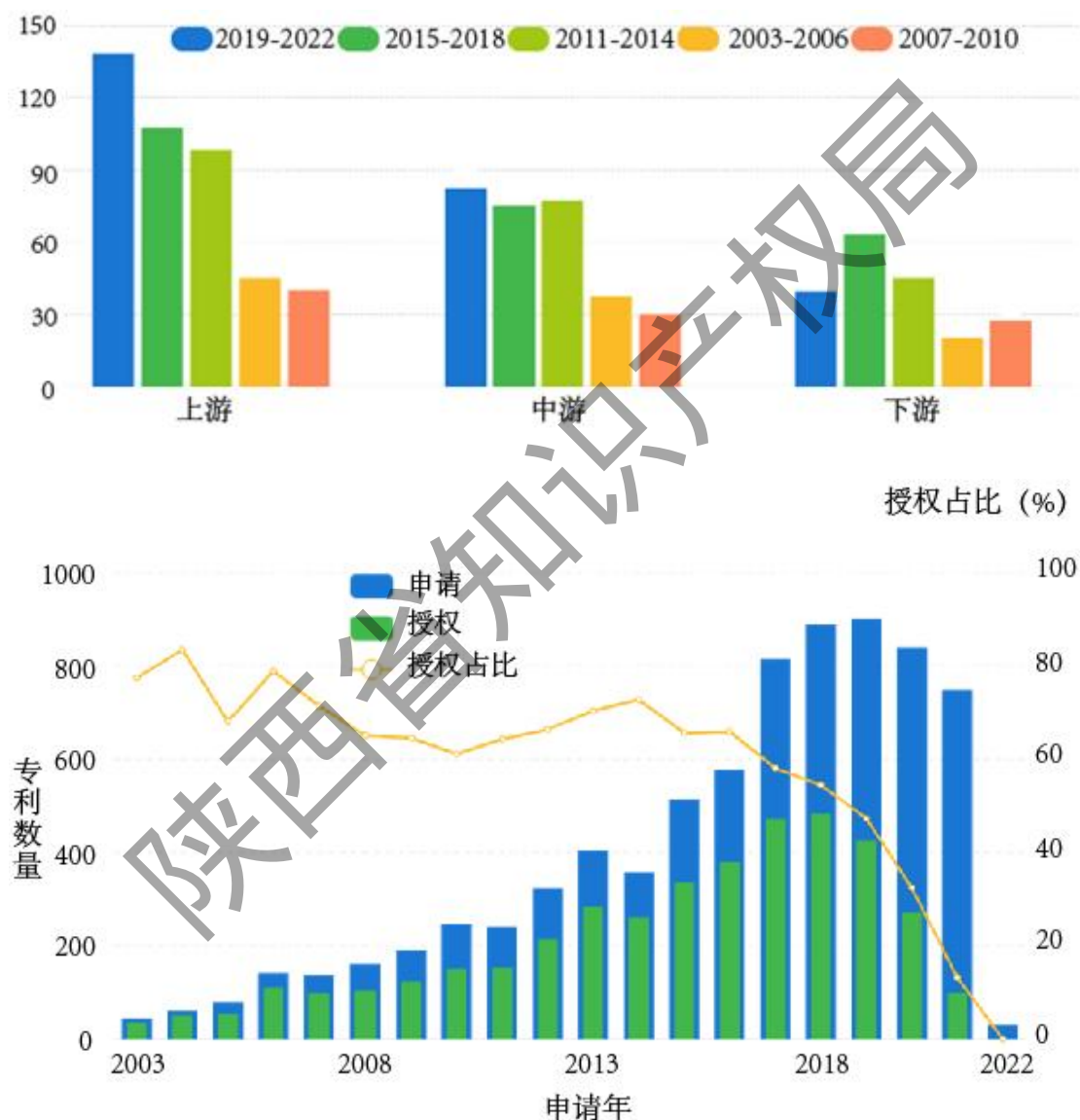


图 3.26 全球陶瓷基复合材料专利转让情况

申请专利的目的是要利用专利获得经济收益或保持市场竞争优势，通过专利运营谋求获取最佳经济效益，广义来说，专利诉讼、无效、许可、转让均是专利

运用的具体表现，通过统计全球专利的法律状态，获得了按陶瓷基复合材料上中下游产业链划分的在 2003-2011 年间，陶瓷基复合材料专利转让情况。

综合图 3.26 可以看出，陶瓷基复合材料上中游产业具体为：陶瓷基复合材料制备原料及陶瓷基复合材料与零部件的制造工艺，两类专利的转让次数较多，专利转让较为活跃，可见在全球范围内，陶瓷基复合材料的专利应用热点主要集中在陶瓷基复合材料的制备原料及陶瓷基复合材料与零部件制造及其工艺上。

3.3 中国陶瓷基复合材料专利发展情况

3.3.1 中国陶瓷基专利申请趋势及技术领域

图 3.26 展示了陶瓷基复合材料中国专利申请态势，2003-2022 年，中国陶瓷基复合材料专利申请数量呈逐年上升趋势，2003-2022 年间中国共申请 7857 组简单同族文献，陶瓷基复合材料中国专利申请经历了从无到有，从个位数的年度申请量到每年涌现出上千篇的专利申请，随着陶瓷基复合材料技术的日益成熟，以及陶瓷基复合材料产业的逐步发展，中国陶瓷基复合材料专利为国内陶瓷基复合材料研发者的权益保驾护航，成为发明人的知识产权财富。

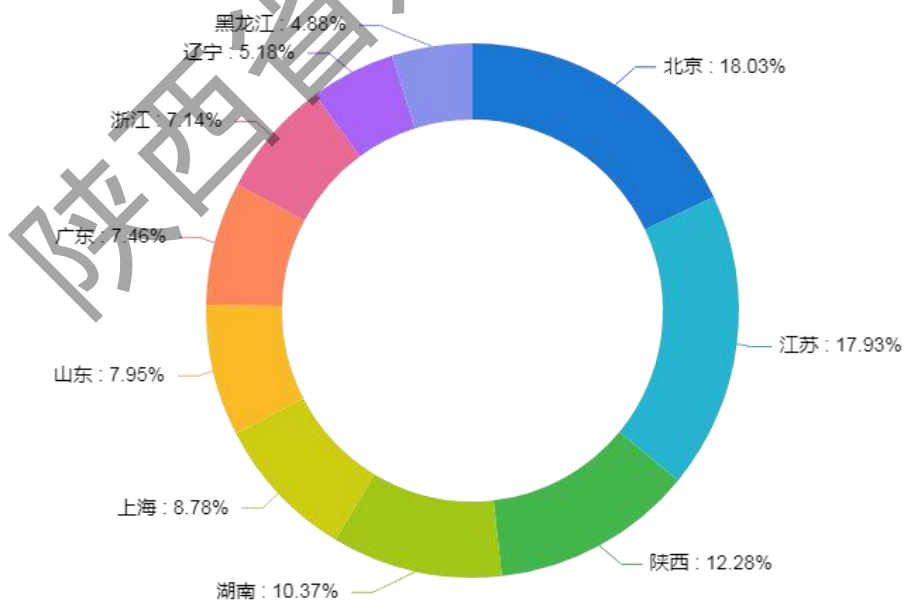


图 3.27 中国陶瓷基复合材料专利申请区域分布

由图 3.27 可知，在中国范围内，北京、江苏、陕西布局了较多数量的陶瓷基复合材料相关专利，专利布局防守较为严密，北京、江苏、陕西在中国陶瓷基复合材料领域发展势头强劲，北京、江苏、陕西掌握陶瓷基复合材料核心技术具有核心竞争力，具有较强的技术创新能力，技术活跃程度较高。进一步地，图 3.28 分析了中国范围内陶瓷基复合材料申请人排名，结果表明，通用电气公司、西北工业大学、中国人民解放军国防科技大学，在陶瓷基复合材料不同技术领域拥有核心竞争力，其专利实力雄厚，企业及科研院所围绕陶瓷基复合材料领域核心技术点，开展了完善的研究。而通用公司作为外企，其在中国布局了大量专利且远远超过中国其他企业，可见我国仍与美国有着较大差距，也说明中国缺乏这种垄断性的企业，目前处于百花齐放的状态。



图 3.28 受理局为中国的陶瓷基复合材料专利申请人分析

表 3.4 中国陶瓷基专利热点研究技术分布

三级分支	
上游 53%	增强体 14%、基体 12%、界面层 8%
中游 38%	化学气相渗透法 21.6%、反应熔融渗透法 15%、聚合物浸渍裂解 3.5%、熔渗工艺 3%、浆料浸渗法 2.9%、超声加工 2.5%、熔体渗透 1.2%、热压烧结法 1.5%、磨削加工 1%、激光加工 0.8%、原位反应法 1.3%、电火花加工 1.2%、水射流加工 0.5%

	三级分支
下游 9%	涡轮发动机 3.8%、宇航 1.4%、军用 0.7%、热回收设备 0.6%、分离/过滤 0.4%、刹车制动系统 0.6%、加工设备 0.5%、燃烧炉 1%、垃圾焚烧 0.3%、核工业 0.3%、结构件 0.3%、热场部件 0.1%

由表 3.4 可知（具体到三级分支），中国陶瓷基复合材料专利研究热点上游产业链中主要集中于增强体、基体材料，中游产业链主要集中于化学气相渗透法、反应熔融渗透法、聚合物浸渍裂解、熔渗工艺，下游产业链主要集中于涡轮发动机、宇航、军用、热回收设备等技术领域，具体的，我们对中国范围内陶瓷基复合材料领域领军企业的专利申请热点研究方向进行了分析，具体到三级分支，由图 3.33 可知，中国范围内陶瓷基复合材料产业领军企业/科研机构包括西北工业大学、中国人民解放军国防科技大学、南京航空航天大学、哈尔滨工业大学等，上述科研机构的研发热点主要集中于化学气相渗透法、增强体、反应熔融渗透法、基体材料、聚合物浸渍裂解等技术领域。

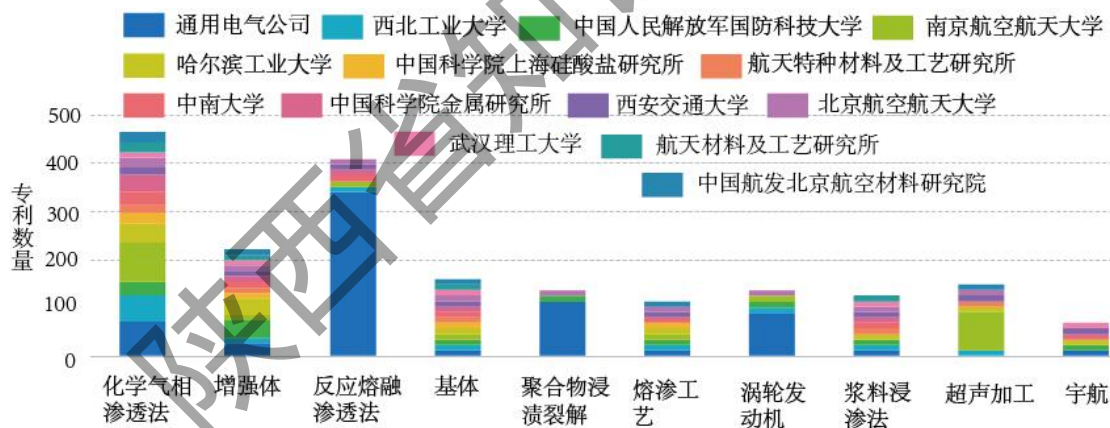


图 3.29 中国陶瓷基复合材料研究热点分布

因此，中国范围内龙头企业的研发热点主要集中于陶瓷基复合材料制备原料（上游技术领域）及制备工艺（中游技术领域）。从长远发展来看，中国陶瓷基复合材料研发企业应加强陶瓷基复合材料下游应用的研究，将陶瓷基复合材料更多地应用到当前热点研究技术领域例如航天及核领域，将研发成果转化为实际经济效益，提升企业核心竞争力。

3.3.2 中国陶瓷基复合材料卡脖子关键技术分析

结合表 3.4 及图 3.29 分析可知,中国范围内陶瓷基复合材料的技术研究主题主要集中于化学气相渗透法、增强体、反应熔融渗透法、基体材料、聚合物浸渍裂解等技术领域,以上技术分支相对应的具体技术领域为陶瓷基复合材料制备原料、制备工艺,集中于陶瓷基复合材料产业链的上游及中游产业,上游涉及陶瓷基复合材料制备原料主要为增强体材料例如:高性能碳纤维、晶须、颗粒,

综上分析可知,目前中国在陶瓷基复合材料产业链上游缺乏基体材料即陶瓷中氧化物、硼化物、氮化物、硅化物等,下游缺乏应用于宇航领域方面的陶瓷基复合材料,全球内领军企业例如通用电气公司、雷神科技公司在陶瓷基复合材料应用于航空航天领域仍处于垄断地位。

4 陕西省陶瓷基复合材料产业发展定位

4.1 陕西省产业结构定位

4.1.1 陕西省专利申请趋势

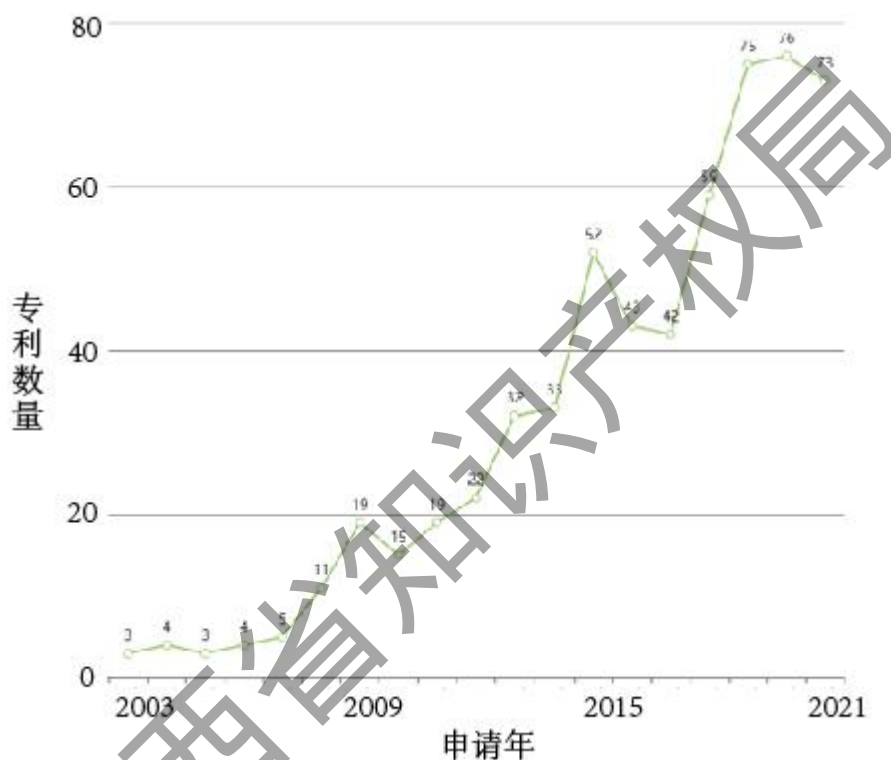


图 4.1 陕西省陶瓷基复合材料专利申请趋势图

由图 4.1 可知，2003-2007 年间，陕西省陶瓷基复合材料专利申请数量较少，其技术分支对应陶瓷基复合材料专利申请总量不足 30 件，2007 年之后开始起步，2007-2018 年开始起步，整体上发展十分迅速，期间经历了多次小量动荡，其中在 2009、2015 年前后均出现了起伏波动，但其起落幅度不大，整体上呈现增长的趋势，产生这种现象，与陕西省陶瓷基复合材料技术的发展在产业升级中的推动作用密不可分，与企业对国家政策及当地政府的引导存在一定联系，在此期间，各地政府在不同时间段内出台了相应的政策和激励机制，使得陕西省陶瓷基复合材料取得了较为显著的成绩。

表 4.1 陕西省陶瓷基专利申请产业链具体占比分布

	一级分支	二级分支	三级分支	四级分支
上游 39%		材料39%	增强体13%	纤维5.5%、晶须5%、颗粒2.5%
			基体18%	碳2%、碳化硅6.5%、碳化钎0.5%、碳化钽0.3%、硼化锆0.4%、硼化钎0.3%、石英1.5%、氧化铝2.2%、铝硅酸盐1.5%、莫来石1.3%、氮化硼1.5%
			界面层8%	
中游 55%		工艺55%	磨削加工0.6%、激光加工0% 电火花加工0.3%、水射流加工1.4%、超声加工3.7%、化学气相渗透法24.6%、反应熔融渗透法12%、浆料浸渗法3.7%、熔体渗透2.6%、原位反应法1.5%、热压烧结法2.5%、熔渗工艺2.1%、聚合物浸渍裂解0%	
下游 6%		应用领域 6%	涡轮发动机0.6%	燃烧室衬套0.4%、导向叶片0.05%、转子叶片0.05%、涡轮外环0.1%
			热回收设备0.3%	预热器0.1%、换热器0.2%
			热场部件0.4%	
			燃烧炉0.4%	辐射管0.2%、丝网燃烧管0.2%
			垃圾焚烧0%	炉壁0%、颗粒分离器0%
			核工业0%	燃烧包壳管0%
			分离/过滤0.4%	过滤器0.05%、基底0.15%、离心机0.2%
			结构件0.5%	梁0.2%、壁板0.1%、集管0.2%
			军用0%	防护装甲0%
			宇航0.6%	热保护0.2%、推进器喷嘴0.2%、涡轮泵部件0.1%、前缘0.1%
			刹车制动系统2%	碳陶刹车盘0.4%、高速列车0.45%、地铁0.2%、城轨刹车系统0.2%、重载卡车0.1%、货车、坦克等重刹车系统0.15%、汽车高性能刹车系统0.5%
加工设备0.8%	重整器0.1%、反应器0.3%、换热器0.4%			

由表 4.1 可知（具体到四级分支），陕西省陶瓷基复合材料产业链中，上游产业链（陶瓷基复合材料制备原料）以及中游产业链（陶瓷基复合材料制备工艺）占比较下游产业链（陶瓷基复合材料应用领域）相比，上游产业链及中游产业链

占据了陕西省陶瓷基复合材料专利产业链的主导地位，因此，陕西省陶瓷基复合材料产业结构以陶瓷基复合材料制备原料及制备工艺为主导，具体的，增强体及基体材料占据陶瓷基复合材料上游产业链的主导地位，其中纤维、晶须、碳化硅、石英、氧化铝等材料占比较大，在陶瓷基复合材料制备工艺即中游产业链中，化学气相渗透法及反应熔融渗透法在中游产业链中占据主导地位，相较于上中游产业链，陕西省下游产业链较为薄弱，在陕西省下游产业链分布中，刹车制动系统在下游产业链中占据主导地位。

4.1.2 陕西省专利质量洞察

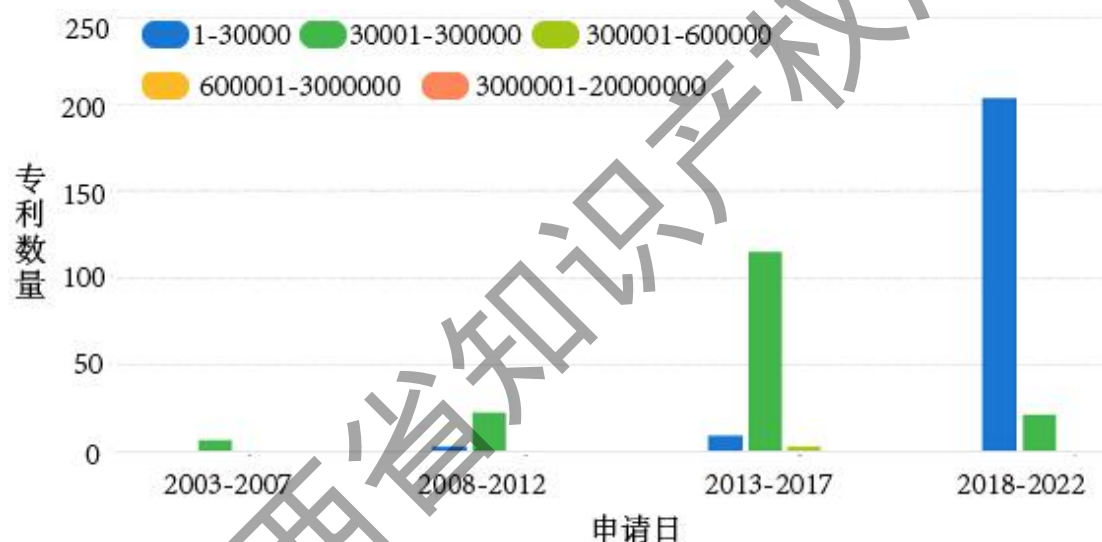


图 4.2 陕西省专利申请价值趋势变化

由图 4.2 可知，陕西省申请的相关陶瓷基复合材料专利的专利价值随着时间的变化而变化，（其中绿色为价值 30000-300000 美元的专利，蓝色为 0-30000 美元价值的专利），在 2003-2012 年间，陕西省申请了较少数量的低价值陶瓷基复合材料相关专利，2013-2022 年间，陕西省申请的低价值陶瓷基复合材料专利呈现逐年增长趋势，且出现中等价值专利，在 2018-2022 年间陕西省陶瓷基复合材料专利申请数量爆发式增长（仅代表公开的专利，不包括国防、保密等专利），达到顶峰，但是低价值专利占比太大，这表明陕西省陶瓷基复合材料技术逐渐走向成熟，这与国家政策政府引导息息相关，使得陕西省陶瓷基复合材料取得了数

量上的突破，但同时也应警醒，提高专利价值，争取有大的技术上突破才是长久之计。

4.2 陕西省企业创新实力定位

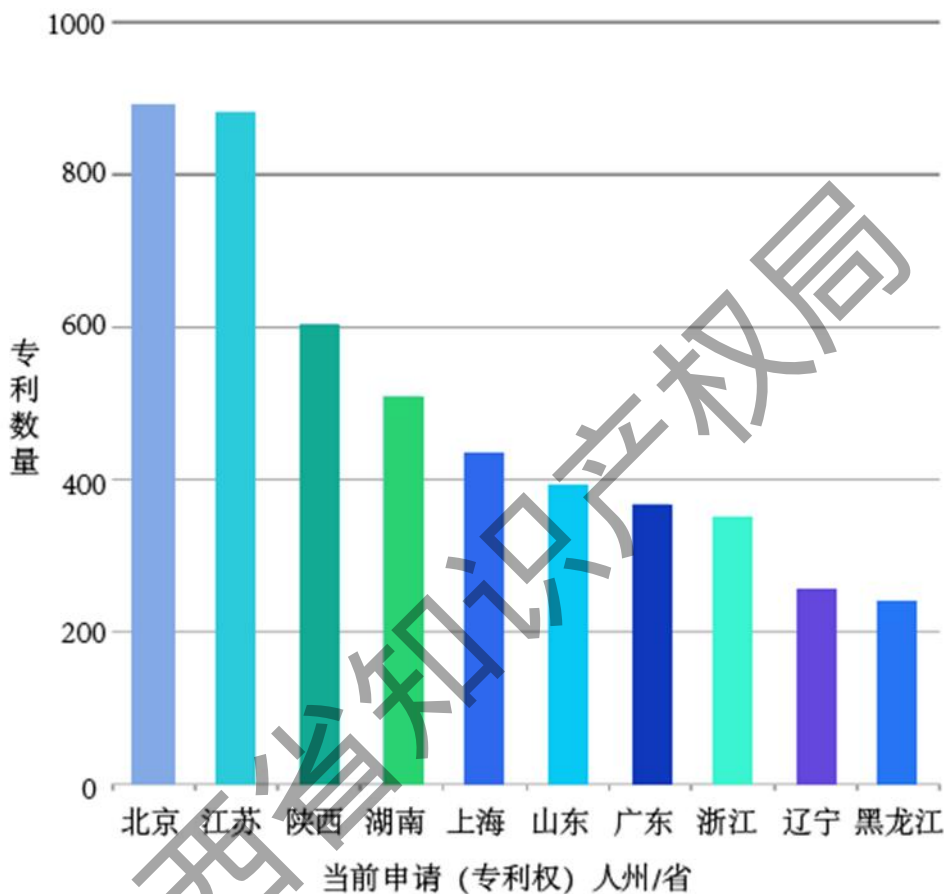


图 4.3 全国陶瓷基复合材料创新实力排名

由图 4.3 可知，陕西省陶瓷基复合材料专利申请数量处于全国领先地位，这代表陕西省的陶瓷基复合材料的专利水平领先于其它省份，具有较为雄厚的陶瓷基复合材料研发生产实力，陕西省陶瓷基复合材料在国内拥有一定的水平和地位。如图 4.4，按年份将图 4.3 中的各省份在 2003-2022 年间申请的陶瓷基金复合材料专利依据全国主要研究技术主题进行分类（具体到三级分支），给出各省专利主要研究技术热点对应专利数量，并进行对比分析。

从图 4.4 的状图纵坐标对应的专利申请数量分析可知，陕西省企业的陶瓷基复合材料产业研究技术热点中化学气相渗透法、基体材料、增强体材料、反应熔

融渗透法、刹车制动系统以及热场部件等技术研发热点与全国各省份相比，其技术研发实力与上海市、山东省、广东省、浙江省、辽宁省、黑龙江省相比均处于领先地位，陕西省相关企业及科研院校迸发出强劲的创新实力。上述陕西省技术研发热点与北京市、江苏省相比仍存在一定差距。

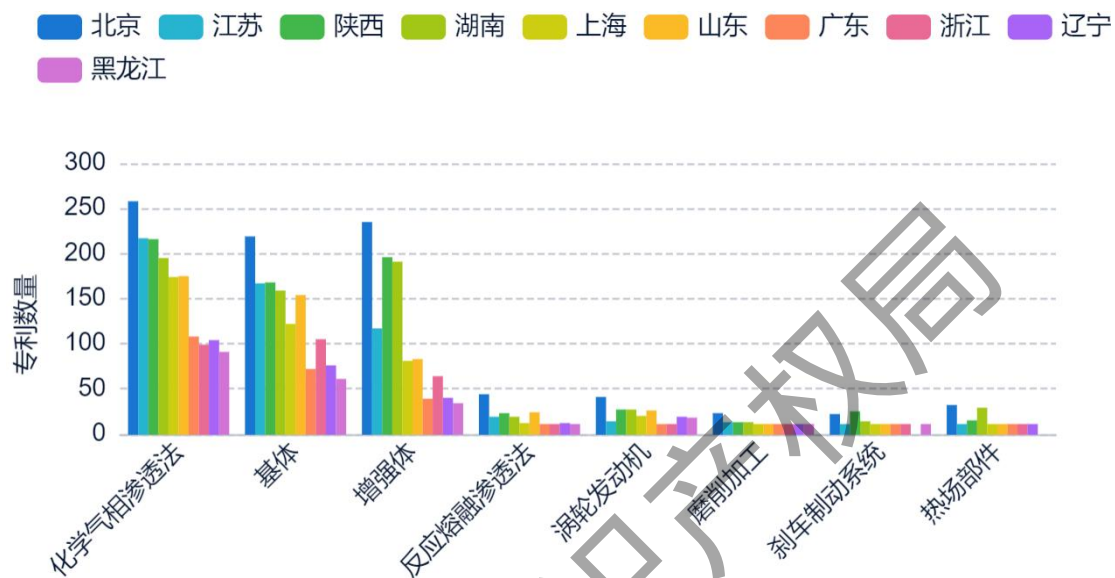


图 4.4 全国各省陶瓷基复合材料专利主要技术主题分布

4.2.1 企业专利布局的产业链优劣势环节分析

由图 4.5 可知，陕西省陶瓷基复合材料国内（包括院校研究所和企业）产业链专利分布：上游：39%，中游：55%，下游：6%；目前陕西省产业链主要集中在中游、上游次之、下游最为薄弱。

下游应用较少，产业多集中于上游及中游，应拓展下游应用，陶瓷基复合材料产业链中，上游产业主要为陶瓷基复合材料制备原料包括基体材料及增强体材料，中游为陶瓷基复合材料，下游为陶瓷基复合材料应用包括发动机、机体、火箭导弹等，因此，陕西省相关陶瓷基复合材料企业的优势产业为上游及中游产业，下游陶瓷基复合材料的应用仍为陕西省陶瓷基复合材料产业链的薄弱环节。

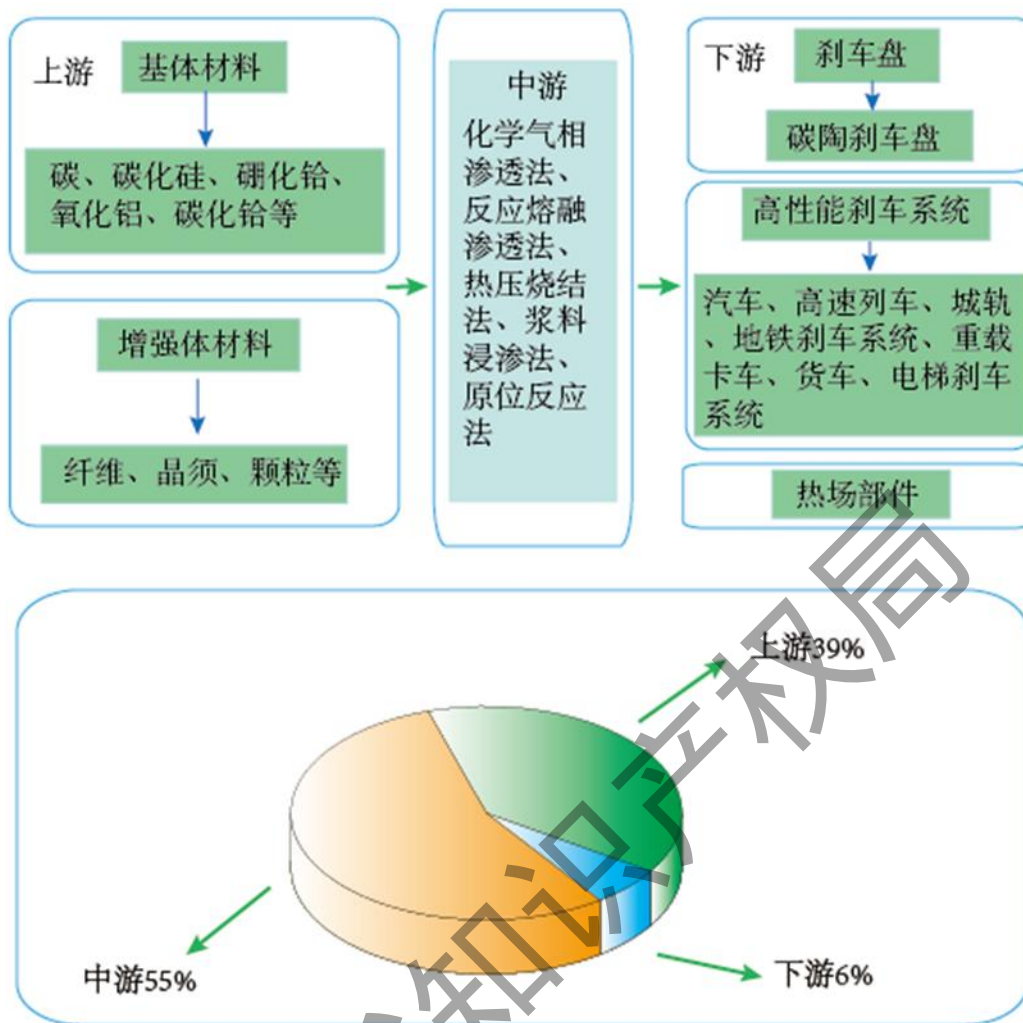


图 4.5 陕西省陶瓷基复合材料国内产业链专利分布

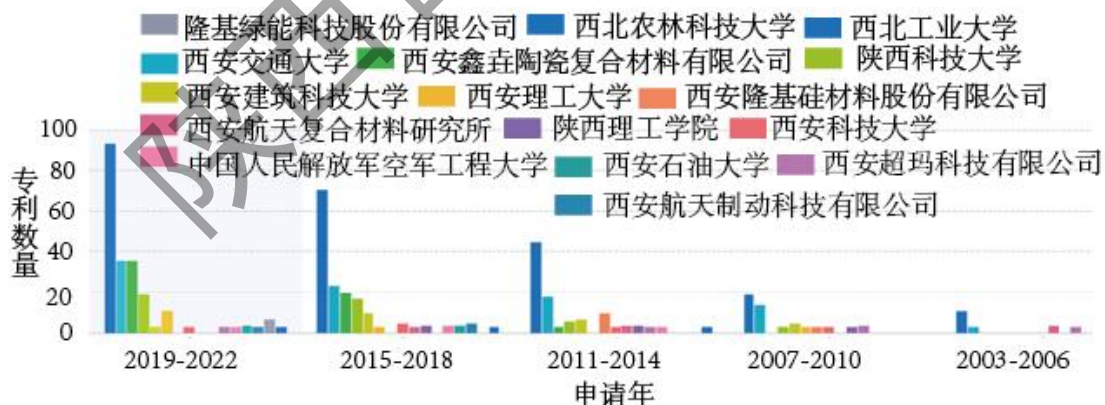


图 4.6 陕西省陶瓷基复合材料专利申请趋势

由图 4.6 可以看出，在陕西省内，西北工业大学、西安交通大学、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司，为陕西省内陶瓷基复合材料产业链领军科研院校及企业，具有雄厚的陶瓷基复合材料研究实力，围绕陶瓷基复合材料产业链申请了大量专

利，企业专利布局较为完善严密。结合以上分析并围绕产业链编制、产业链推进情况，解读最新产业政策，剖析存在问题，明确发展方向和重点，提出意见建议：实施链式创新上有新突破，全面激发企业创新活力、增强协同攻关合力、发挥智库专业能力、提升科技赋能效力，推动重点产业链不断向价值链高端迈进。要在打造链式服务上有新突破，用优质的营商环境招引“金凤凰”、吸引大企业、落地大项目、集聚大产业。要在构建链式机制上有新突破，建立健全领导带头机制，上下联动机制，联席调度机制、信息通报机制、考核评价机制，为“链长制”贯彻落实提供坚强保障。

陕西围绕产业链推动工业高质量发展，是推动产业转型升级，把实体经济特别是制造业做实做强做优，构建具有陕西特色现代产业体系的有效举措，相关部门、市区和企业要高度重视这项工作，切实把思想、行动统一到省委、省政府的决策部署上来。

目前陕西省陶瓷基复合材料产业结构的主要问题是产业集中度低。产业集中度低严重制约了陕西省陶瓷基复合材料产业的健康发展，提升陕西省陶瓷基复合材料产业集中度迫在眉睫。这不仅有利于淘汰落后产能、规范市场竞争、提升盈利和服务水平，也能进一步提高行业的创新能力和国际话语权。

建议通过收购兼并方式依托陕西省陶瓷基复合材料产业链领军企业建立陕西省陶瓷基复合材料产业化整合平台。西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司，为陕西省内陶瓷基复合材料产业链领军企业，具有雄厚的陶瓷基复合材料研究实力和生产实力，其在陶瓷基复合材料的制备领域深耕已久，能批量生产 CMC 及其零部件。但是对于西安鑫垚这样的大公司虽然有销售渠道和销售实力，但是存在产能不足难以满足庞大的市场需求的问题，而对于微小企业而言，具备生产能力，但是苦于没有稳定的销售渠道，比如西安法迪复合材料有限公司是铝碳化硅（ $AlSiC$ 、 Al/SiC ）、铝硅、飞酷、铝金刚石等陶瓷金属复合材料产品生产商，凭借其先进可靠的生产工艺、设备，快速反应的市场接口，良好的研发与转化能力，在产品的设计、交货品质和交货能力方面积累了良好的行业口碑。对于西安法迪复合材料有限公司来说，西安鑫垚能为其注入优质资产，提高公司营收水平和经营稳定性；对于西安鑫垚来说，西安法迪能够助其扩大企业规模和产能、缩短投资

回报周期；对陕西省陶瓷基复合材料产业来说，此举实现了优化资源配置达到资源共享，从而实现强强联合，充分利用社会社会上的存量资源，利用相关企业拥有的资源，提高资源的使用效率和产出效率，从而实现企业间的资源优化配置、达到资源共享，从而实现强强联合。

针对陕西省陶瓷基复合材料产业发展现状，要从稳定基本面，巩固中游优势地位；筛选适宜应用场景重点突破，拓展下游应用领域；针对链薄弱环节，招商引资补齐上游发展短板等三个方面开展工作，推动陶瓷基复合材料产业取得新进展。

目前，我国基本已具备陶瓷基复合材料 CMC 的完整产业链，包括上游的陶瓷基体、PCS（可作为陶瓷基体，也可作为制备增强纤维原材料）、增强纤维材料，中游的陶瓷基复合材料制备、下游的应用领域。其中具备一定产业化能力的上游企业主要有三家：火炬电子、苏州赛力菲、众兴新材，中游的陶瓷基复合材料制备主要有西安鑫垚、西安超码、中航复材等公司。

日本及美国基本上垄断全球的增强材料及陶瓷基复合材料的供应，其已形成高温稳定的三代产品。主要公司包括日本碳、宇部兴产、美国通用电气公司等。

当前日本碳公司和宇部公司的增强纤维年产量均达到 120 吨。由于高性能陶瓷材料主要用于航空发动机、火箭、导弹等领域，国内自主可控需求强烈。

我国在陶瓷基复合材料产业化方面尚属起步阶段，在工程产业化方面与日本等国家比尚存在明显差距，综合来看，目前国内已经突破第二代高性能陶瓷材料研制关键技术，具备了构件研制和小批量生产能力，三代材料产业化刚起步。我国 CMC 材料及制品尚处于起步期，目前只有部分企业能实现陶瓷基复合材料的小批量生产。依托于西北工业大学陶瓷基复合材料工程中心张立同院士团队的西安鑫垚能小批量生产 CMC 及其零部件，西安超码科技和中航复材能够生产部分 CMC 产品。中航复材在 CMC 材料制造技术方面开展了大量工程化应用研究，突破了大尺寸、耐高温、高韧性透波陶瓷材料成型等技术，其研制的 C/C 复合材料已应用于汽车结构件，高性能陶瓷基复合材料热结构件已通过某型号航空发动机模拟器考核及挂片考核。

我国 CMC 材料及制品尚处于起步期，厂商相对较少随着技术进步，我国也将不断实现 CMC 应用层面的发展，进而完成从低温向高温、从冷端向热端部件、从静子向转子的应用进步，国内航空发动机上 CMC 的应用前景广阔。

总体来看，我国陶瓷基复合材料与国外几乎处于并跑，在刹车、飞行器防热等领域我们是领跑的，但在航空发动机领域我国还较为落后。

由图 4.7 可知，我国陶瓷基复合材料产业要想获得发展，在产业结构上要立足陶瓷基复合材料的短期应用，稳定其中期应用，拓展其远期应用，延长陶瓷基复合材料产业链发展，给企业及科研院所注入源源不断的活力，增加企业核心竞争力，打破国外技术垄断市场，使国内陶瓷基复合材料产业更好的发展。



图 4.7 陶瓷基复合材料应用产业链

目前，西安鑫垚在碳陶刹车盘领域处于国际领先地位，这家企业正准备把陶瓷基复合材料的产业化扩大到高铁、特种车辆等领域。他认为陶瓷基复合材料未来在交通、轨道上面的应用，是一种必然趋势。

4.2.2 企业专利在全国/全球创新能力定位

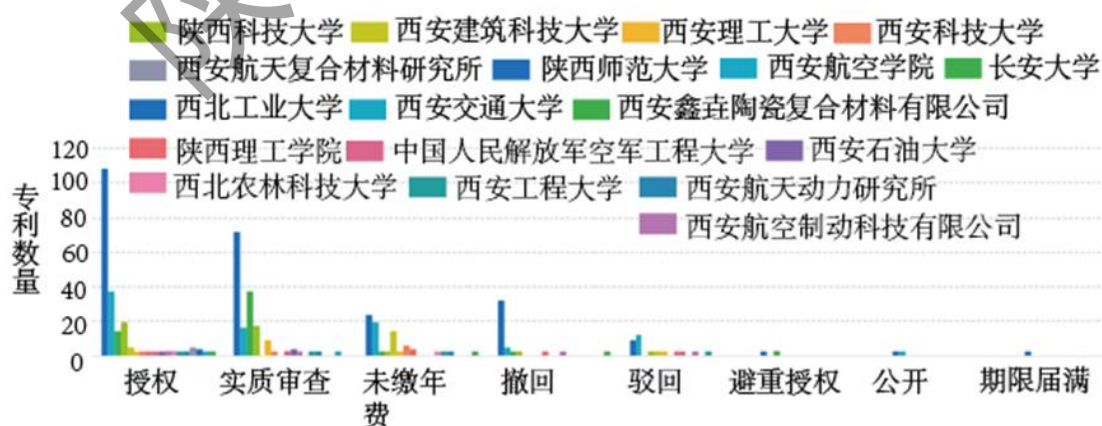


图 4.8 陕西省陶瓷基复合材料专利授权情况

专利申请数量能够反映出研发方向以及对于该领域的重视程度,只有专利的授权情况才能真正反映出要保护专利的有效性,图 4.8 给出了陕西省陶瓷基复合材料专利的授权量及授权率。

从图中可以看出,2003-2022 年间,陕西省内西北工业大学、西安交通大学、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司、陕西科技大学、西安建筑科技大学、西安理工大学、西安科技大学、陕西理工学院、中国人民解放军空军工程大学、西安石油大学、西安制动科技有限公司、西北农林科技大学、西安工程大学、西安航天动力研究所、西安航天复合材料研究所、陕西师范大学、西安航空学院、长安大学等均申请了较多有关陶瓷基复合材料专利,上述企业在陶瓷基复合材料领域具有较强的创新能力及核心竞争力,其中,西北工业大学、西安交通大学、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司在陶瓷基复合材料领域具有领先地位,创新研究实力较强。因此,综合来看陕西省内,高校在陶瓷基复合材料领域的研发实力远超企业,相关企业应加强与高校合作,提高陶瓷基复合材料科研创新成果转化。

4.2.3 龙头企业专利控制力

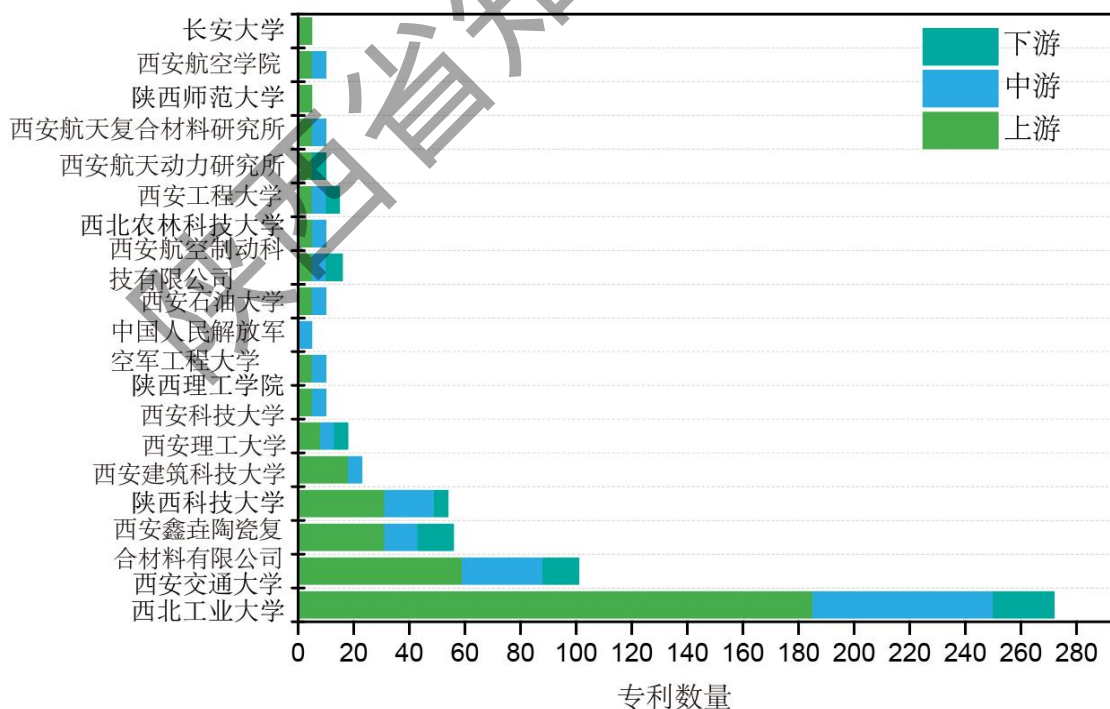


图 4.9 陕西省陶瓷基复合材料龙头企业分布

根据陕西省陶瓷基复合材料产业链划分，给出相应龙头企业的分布，由图 4.9 可以看出，除了西北工业大学、西安交通大学、陕西科技大学等院校，作为企业的西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司在陶瓷基复合材料上中下游产业均布局了较多的专利，对陶瓷基复合材料上中下游均具有较强的核心技术及专利控制力，而西安航空制动科技有限公司与西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司相比在陶瓷基复合材料上中下游产业均布局了较少的专利，其专利控制力较弱。

4.3 陕西省创新人才储备定位

总体来看，我国陶瓷基复合材料与国外几乎处于并跑，在刹车、飞行器防热等领域我们是领跑的，但在航空发动机领域我国还较为落后。

目前，西安鑫垚在碳陶刹车盘领域处于国际领先地位，这家企业正准备把陶瓷基复合材料的产业化扩大到高铁、特种车辆等领域。他认为陶瓷基复合材料未来在交通、轨道上面的应用，肯定是一种必然趋势。

4.3.1 陕西省创新人才拥有量在全国/全球占比

图 4.10 给出了中国陶瓷基复合材料专利申请人分布图，以产业链进行划分，覆盖了陶瓷基复合材料上游产业链（陶瓷基复合材料制备原料）、陶瓷基复合材料中游产业链（陶瓷基复合材料制备工艺）、陶瓷基复合材料下游产业链（陶瓷基复合材料应用领域），其中成来飞、刘俊鹏、于新民在陶瓷基复合材料上中下游产业链占据了主导地位。

由上图可以看出陕西省内拥有较多陶瓷基复合材料领域专业人才，其中前五名占有两个席位，其中包括：

成来飞，男，1962 年 4 月出生，1986 年 5 月获西北工业大学工学硕士，1998.05 西北工业大学工学博士，1992 年破格晋升为副教授，1996 年晋升为教授，1996 年被聘为博士生导师。国家杰出青年科学基金获得者，教育部超高温结构复合材料创新团队带头人，现任西北工业大学超高温结构复合材料国防科技重点实验室主任。

研究方向：碳基和陶瓷基复合材料是接替金属的新一代耐高温、低密度热结构材料；先进陶瓷基复合材料的环境模拟理论与方法和材料的优化设计；碳基陶瓷基复合材料抗氧化涂层及构件的制备技术与应用研究；陶瓷基复合材料的连接技术研究；无机非金属材料研究（高温结构陶瓷）。

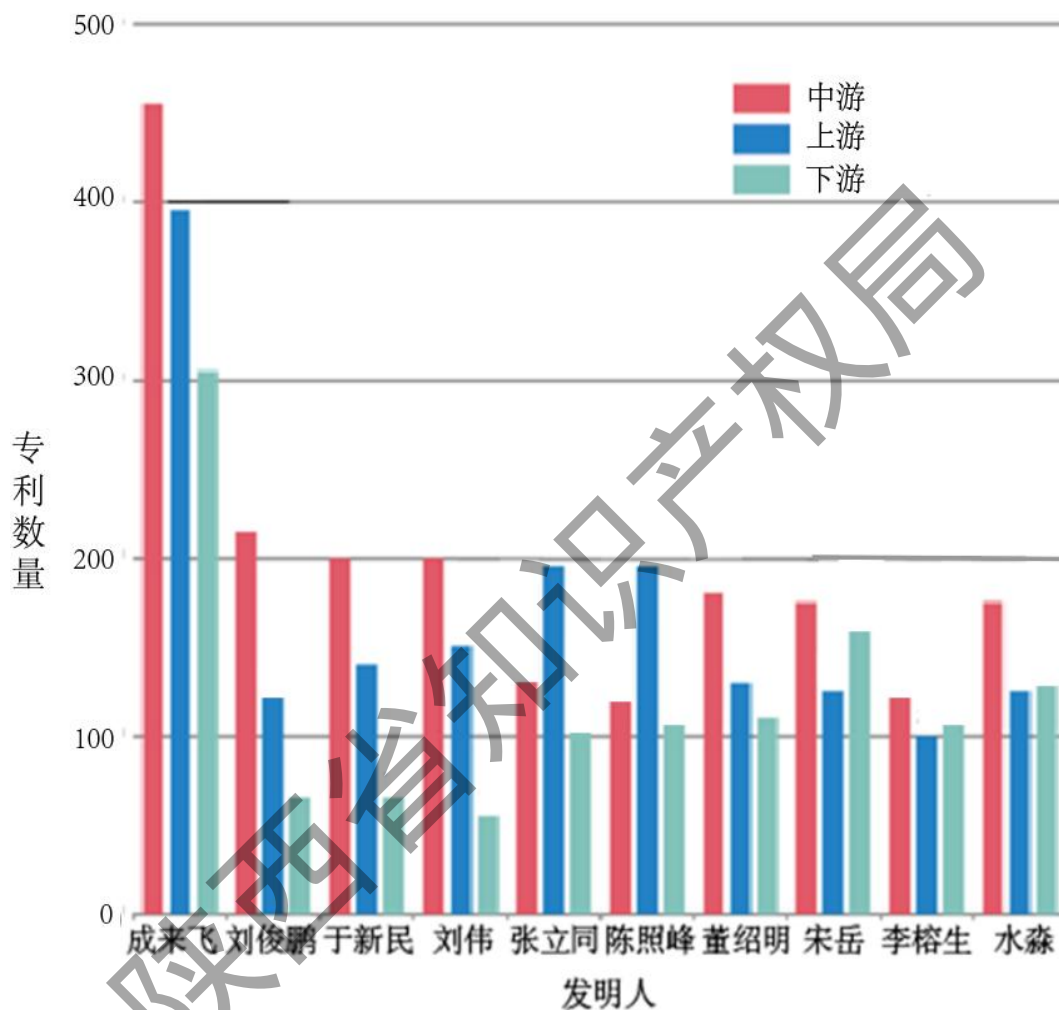


图 4.10 中国陶瓷基复合材料专利申请人分布

全国突出的创新人才有：刘俊鹏、于新民、刘伟，三人均为航天特种材料及工艺技术研究所研究人员。航天特种材料及工艺技术研究所 2002 年 6 月 7 日，航天特种材料及工艺技术研究所正式成立，代号中国航天科工集团三〇六研究所（简称 306 所），为国有事业单位，单位地址在北京市丰台区云岗北里 40 号院。2004 年被批复成为中国航天科工集团公司特种材料及工艺研究中心。承担特种金属材料、非金属材料、复合材料等新材料、新工艺产品的设计、生产、测试，具备完善的复合材料技术研发、设计制造及管理体系。先后获得国家科技进步特等奖一

项、国家科技进步三等奖一项、国家发明奖提名一项、国防科工委和航天部科技进步奖近四十项，申报发明、国防专利二十余项。三〇六所拥有各类试验室、微波暗室及生产厂房和热压罐、系列化热压机、系列化烘箱、旋压机、RTM 成形设备、电性能测试系统、无损探伤仪等生产、测试、检验设备和用于材料理化性能检测、力学性能测试等的仪器设备。

刘伟，副教授，广东工业大学广东省高技术陶瓷精密制造工程技术研究中心。广州市珠江科技新星，中国硅酸盐学会特种陶瓷分会理事、中国硅酸盐学会陶瓷分会理事会理事、陶瓷 3D 打印产业联盟理事。瑞典斯德哥尔摩大学、美国南加州大学、新加坡国立大学访问学者。长期从事高性能陶瓷 3D 打印、陶瓷材料涂层及切削刀具、陶瓷胶态成型技术、超浸润界面材料的制造技术等领域的研究工作。分别主持及参与国家自然科学基金、广东省科技计划、广州市珠江科技新计划等 10 余项课题。在国内外学术期刊上发表学术论文 70 余篇，其中包括以第一作者（通讯作者）在 SCI 期刊上发表 42 篇，JCR 一区刊物上发表 27 篇，其中影响因子大于 3 的论文 28 篇。授权中国发明专利 14 项、授权实用新型专利 1 项，3 项 PCT 专利三性良好、授权美国专利 1 项。

陈照峰，教授，是南京航空航天大学博士研究生导师，任绝热与节能材料国际联合实验室主任，南京航空航天大学宿迁新材料与装备制造研究院常务副院长。兼任中国绝热节能材料协会副会长，中国硅酸盐学会绝热材料分会副理事长、江苏省硅酸盐学会常务理事、国际真空绝热大会咨询委员会主席。曾任 IVIS2015 国际真空绝热材料大会主席、IFSIM 2018/2019/2020/2021 国际超级绝热材料及应用论坛主席、IVIS 2013—2021 学术委员会委员、NHICE 2018—2022 绿色建筑地平线学术委员会委员。曾获 2012 年江苏省首届航空航天学会先进科技工作者、2017 年中国硅酸盐学会绝热材料分会创新人物、2018 年中国绝热节能材料协会科技工作先进个人等荣誉。陈照峰教授长期从事超级绝热材料与技术研究，积极推广真空绝热板在冷链和建筑保温节能领域应用，教学科研成果丰硕。

董绍明，1962 年 10 月 29 日出生于山东莱州，陶瓷基复合材料专家，世界陶瓷科学院院士、中国工程院院士，中国科学院上海硅酸盐研究所研究员、博士生导师、结构陶瓷与复合材料工程中心主任。

董绍明于 1980 年考入华南理工大学无机非金属材料专业，先后获得学士、硕士学位；1987 年硕士毕业后进入济南大学工作；1996 年从中国科学院上海硅酸盐研究所博士毕业后留所工作；1998 年至 1999 年担任法国波尔多大学热结构复合材料实验室高级访问学者；1999 年至 2002 年担任日本京都大学先进能源研究所高级访问学者；2002 年回国后先后担任中国科学院上海硅酸盐研究所结构陶瓷工程研究中心副研究员、研究员、副主任、主任；2014 年当选世界陶瓷科学院院士；2019 年当选中国工程院院士；2020 年获得第二届全国创新争先奖。

董绍明长期从事陶瓷基复合材料基础与工程化研究，陶瓷基复合材料专家，山东莱州人。1996 年毕业于中国科学院上海硅酸盐研究所，获工学博士学位。现任中国科学院上海硅酸盐研究所研究员、结构陶瓷与复合材料工程中心主任，兼任空间科学委员会空间材料专业委员会主任委员等。长期从事陶瓷基复合材料基础与工程化研究。发明了高热稳定、高尺寸稳定、高热导和超高温等功能特异性陶瓷基复合材料；建立了大尺寸复杂结构陶瓷基复合材料整体部件制备技术，研制成空间热结构、空间遥感相机支撑结构等高应用可靠性陶瓷基复合材料部件；解决了陶瓷-金属异质材料连接、陶瓷基复合材料空间服役环境适应性等工程应用难题。为国家重要任务提供了关键基础材料和部件，率先实现了陶瓷基复合材料在空间动力、空间遥感、新型高速飞行器等领域中的应用，发表学术论文 180 余篇，获授权发明专利 40 余项，获国家技术发明二等奖 3 项(其中 2 项为第一完成人)、国家行业学会技术发明一等奖 1 项(第一完成人)。2019 年当选中国工程院院士。

由图 4.11 可以看出，陕西省专利原始申请人专利数量，随时间变化的趋势，在 2003-2007 年间只有西北工业大学、西安交通大学和西安理工大学有申请；在 2008-2012 期间陆续出现多所高校或企业申请，西北工业大学、西安交通大学、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司、陕西科技大学、西安建筑科技大学、西北有色金属研究院、西安科技大学、陕西理工学院、西安工程大学、西安航天动力研究所、西安航西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司、陕西科技大学、西安建筑科技大学、

西北有色金属研究院、西安科技大学、陕西理工学院、西安工程大学、中国人民解放军空军工程大学、西安航空制动科技有限公司、西北农林科技大学、西安工程大学、西安航天动力研究所、西安航天复合材料研究所、陕西师范大学、西安航空学院、长安大学；在 2018-2022 期间西北工业大学、西安交通大学、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司、陕西科技大学、西安建筑科技大学、西北有色金属研究院、陕西理工学院、中国人民解放军空军工程大学、西安石油大学、西安航空制动科技有限公司、西北农林科技大学、西安工程大学、西安航天动力研究所、西安航天复合材料研究所、西安航空学院、长安大学。



图 4.11 陕西省原始申请人变化趋势

以上变化表明，随时间增长，陕西省内涌现了越来越多的高校、企业相关人才，投身于陶瓷基复合材料产业研究中，其中以西北工业大学和西安交通大学最为突出。并且国内涌现了成来飞、刘俊鹏、于新民、刘伟、陈照峰、董绍明、宋岳、李榕生、水淼等陶瓷基复合材料领域新兴创新性人才。

4.3.2 陕西省创新人才在产业链各技术环节的分布情况

由图 4.12 可知，陕西省陶瓷基复合材料创新人才分布情况如下：成来飞：上游：38%，中游：47%，下游：15%；刘永胜：上游：36%，中游：46%，下游：18%；叶昉：上游：43%，中游：47%，下游：10%；李贺军：上游：41%，中游：59%，下游：0%；殷小伟：上游：44%，中游：46%，下游：10%；徐永

东：上游：37%，中游：49%，下游：14%；涂建勇：上游：27%，中游：53%，下游：20%；李建章：上游：27%，中游：51%，下游：22%；王一光：上游：36%，中游：45%，下游：19%，其中上游产业链为陶瓷基复合材料制备原料，中游产业为陶瓷基复合材料与零部件制造，下游产业为陶瓷基复合材料构件、终端装备与系统的制造，综合来看，陕西省陶瓷基复合材料创新人才主要分布在产业链的上游与中游，在陶瓷基复合材料研究上游中游产业，具有较强的研发实力。

4.3.3 陕西省产业领军人才的创新能力和竞争实力

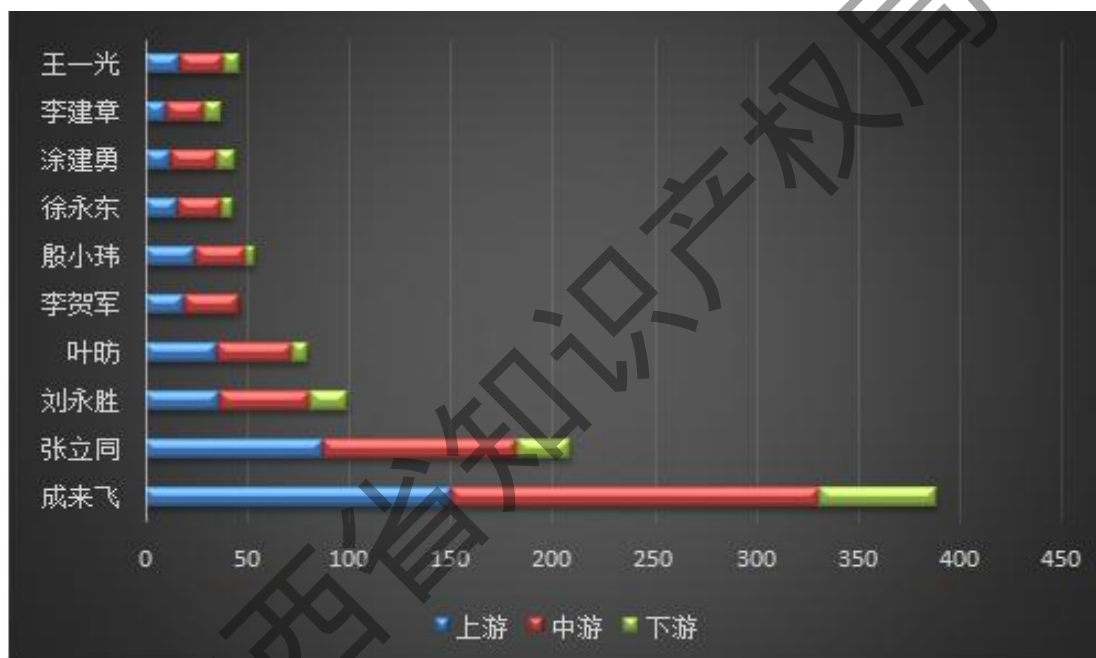


图 4.12 陕西省陶瓷基复合材料创新人才产业链分布

由图 4.12 可以看出，陕西省内陶瓷基复合材料领域在陶瓷基复合材料上中下游领域都具有优异创新能力及竞争实力的领军人才包括成来飞、刘永胜，他们的专利覆盖了陶瓷基复合材料上中下游产业链，相比其余专利权人而言，在陕西省内具有更强的创新能力及竞争实力。

4.3.4 陕西省创新研究团队

西安交通大学材料科学与工程学院-新材料研究室，主任：王红洁，副主任：王继平。

材料研究室近年来在各种新材料的制备技术与开发方面开展了大量研究工作，研究领域涉及先进陶瓷材料、国防军工材料、航空航天材料、新金属材料、机械合金等。新材料研究室重视材料基础研究和新材料应用开发的紧密结合，以国家目标和企业需求为导向，研究开发了一系列新材料，新技术和对传统材料进行改造的新工艺，服务于国民经济和国家安全。

本研究室承担的课题有：国家“九五”重点科技攻关项目，国家“863”高技术计划项目，国家自然科学基金重点项目，国家自然科学基金面上项目和青年项目，国防军工项目，省重大产业化示范项目，企业横向协作项目多项。近5年科研经费1300余万元。全室现有教师9人，其中教授4人，副教授5人，在读的博士和硕士研究生100余人。

研究成果显著，在 Acta Materialia、J Am Ceram Soc、Carbon 等本领域知名期刊发表 SCI 收录论文 300 余篇，SCI 他引 1000 次，授权专利近 70 项。2012 年度国家技术发明二等奖 1 项；2011 年教育部技术发明一等奖 1 项。

研究方向：先进陶瓷材料，军工用新材料，新金属材料，机械合金化等。

先进陶瓷材料的制备技术、严酷条件下的力学性能，结合产业化成套设备的研究，已形成具有特色，具有一定产业化规模的研究方向，包括碳化硅陶瓷、碳化硅纳米复相陶瓷、碳化硅多孔陶瓷、炭基复合材料（如炭/炭复合材料，碳纤维增强碳化硅复合材料，硅化石墨等）。通过承担国家自然科学基金、国家攻关项目、863 项目和产业化中间试验项目，形成了一条基础研究，技术开发和产业化紧密结合的路子，开发出了一系列高性能陶瓷、复合材料产品。

主要研究特种可加工陶瓷、碳/陶复合材料、陶瓷梯度材料、陶瓷/金属特种焊接、特种金属材料，为航天、核能、兵器等部门提供关键部件，承担完成了一系列国防预研，军品配套项目，为国防现代化做出了大量贡献。

王红洁：研究领域（方向）为先进陶瓷、多孔陶瓷（含功能陶瓷）、陶瓷基复合材料、碳陶梯度材料。

1991年四川大学本科毕业，1996年西安交通大学博士毕业，教授、博士生导师，材料学院材料学系副主任。2005年入选教育部“新世纪优秀人才培养计划”。2001.8-2001.11在日本大阪大学、2009-2010在美国密西根大学，国家公派访问学者。中国材料研究学会环境材料分会理事，陕西省机械工程学会粉末冶金分会理事。主要研究方向为先进陶瓷及其复合材料、碳/陶梯度材料等。

先后主持国家自然科学基金、国家“863”项目、教育部“新世纪优秀人才培养计划”项目、陕西省科技攻关计划等多项，先后参加多孔透波材料、陶瓷金属焊接军工预研项目、国家自然科学基金、“九五”国家重点攻关等项目。

已在国内外期刊上发表研究论文70余篇（SCI近50篇），申请发明专利8项，其中授权6项，鉴定成果五项，获得陕西高校科技二等奖一项，参编教材2项，2005年入选教育部“新世纪优秀人才培养计划”，2008年获“王宽诚育才奖、陕西省高教系统“五一巾帼标兵”称号。

王继平：研究领域（方向）为高性能炭/石墨材料、碳纤维增强炭或增强碳化硅复合材料和炭-碳化硅复相陶瓷。

目前主要从事炭材料，先进陶瓷材料及复合材料的设计，制备工艺及机理，性能表征与应用方面的研究。在复合材料结构的优化设计、制备工艺的发明与改进、微观分析和性能测试方面有扎实的理论基础和丰富的研究经验，获得陕西省高等学校科学技术奖一等奖（2009.6，第四完成人）“碳化硅陶瓷的有机模板原位转化法制备及其结构的遗传性研究”。

西安理工大学，复合材料及其产品智能制造技术国际联合研究中心，复合材料及其产品智能制造技术国际联合研究中心于2017年经陕西省科学技术厅批准正式成立。中心依托西安理工大学运行，是在西安理工大学复合材料智能制造技术研究团队与俄罗斯科学院西伯利亚分院、俄罗斯科学院乌法分院、韩国国立庆尚大学和美国佐治亚理工学院等多所国际科研院校长期合作的基础上成立的省级国际科技合作基地，旨在联合国际优质资源，汇聚国际一流人才，围绕国家和陕西省新材料产业与智能化装备发展的战略目标，提升新材料与智能化装备工程学科水平，形成具有国际影响力的材料科学学科高地以及具有国际视野的复合材料及其产品智能制造领军团队。

中心以航空航天、能源动力、机械仪表、矿山电力等领域应用广泛的结构与功能复合材料为研究对象,在复合材料的设计合理化与制造技术智能化方面起到引领和示范作用。

中心现有科研人员 14 名,固定人员 9 名。科研人员中具有正高级职称 5 名,副高级职称 5 名。中心固定科研人员中均拥有博士学位。获陕西省高等学校科学技术一等奖 1 项,发表论文、文章超过 200 篇,其中被三大检索收录的有 100 余篇。共申请发明专利 36 件,其中授权发明专利 28 件。承担科研项目 10 余项,包括国家国际科技合作专项 2 项,国家自然科学基金重点项目、国家 863 计划项目、国家自然科学基金面上和青年项目等其他国家级研究课题 20 余项。近三年,先后派出 13 人次出访开展交流合作,9 人次境外专家来校交流,聚集了国际科技资源,发挥了特色研究优势。

陕西科技大学,结构与功能复合材料研究团队

团队介绍:结构与功能复合材料研究团队。主要从事硅酸盐文物研究与保护、陶瓷绿色制造、结构复合材料、功能复合材料的设计制备与开发。目前团队有教授 2 名,副教授 6 名,讲师 7 名,博士、硕士研究生 30 余名。

团队负责人介绍:朱建锋,男,1973 年 12 月生,博士,教授,博士生导师,陕西科技大学材料科学与工程学院院长,“材料学”方向学术带头人,陕西省中青年科技创新领军人才。主要从事陶瓷材料绿色制备、新型储能与环境净化用功能复合材料等领域的教学与科研工作。近 5 年来,在国内外知名学术期刊发表论文 150 余篇,被 SCI 检索 120 余篇;获授权发明专利 100 余项,转化应用 25 项;主持包括国家自然科学基金、陕西省自然科学基金、陕西省重大科技统筹、广东省重点产学研开发、中石油等企业重点产业化等项目 10 余项;荣获省部级科学技术一等奖 1 项(2017)、二等奖 4 项(2017、2015、2013、2011),指导的学生荣获“互联网+”银奖等国家级奖励 7 项。

团队成员介绍:王芬,女,1959 年生,博士,教授,博士生导师,材料物理与化学方向学科带头人,中国科学院上海硅酸盐研究所特聘研究员,国家科研基地故宫博物院学术委员、客座研究员,国家自然科学基金评审者。中国硅酸盐学会陶瓷专业委员会常务理事,古陶瓷专业委员会副理事长。近年来主持和参加

了 5 项国家自然科学基金面上项目及重点项目，主持完成了三项陕西省科技攻关项目并获得科技进步奖励。发表学术论文 130 余篇，其中三大收录论文 100 余篇。获得国家发明专利 60 余项。独著和主编专著两部。获得国家旅游新产品开发金奖 2 项，省部级科学技术奖一等奖等省部级科学技术奖励 5 项，西南西北地区优秀科技图书一等奖 1 项。研究方向：陶瓷/金属复合材料、纳米粉体、陶瓷色釉料及古陶瓷科学等。

王莹，女，1973 年生，博士，讲师。2004 年 8 获得陕西科技大学硕士学位，2004 年 9 月-2005 年 9 月日本高知大学理学院附属水热化学研究所进修学习。2012 年获西安理工大学在职博士学位。发表学术论文 20 篇。授权国家发明专利 2 项、实用新型专利 5 项；承担省部级科研项目 10 项，主持横向科研项目 2 项；获得 2017 年轻工联合会技术发明二等奖 1 项、陕西省科学技术进步二等奖 1 项、中国建筑材料集团有限公司科学技术进步三等奖 1 项、咸阳市优秀科技论文一等奖 1 项、咸阳市第四届优秀学术论文一等奖 1 项。研究方向：功能粉体材料、纳米材料与技术、陶瓷色釉料及陶瓷机械。

秦毅，男，1983 年生，博士，副教授，硕士研究生导师。毕业于西安交通大学材料科学与工程专业，现为材料物理系主任。讲授《无机材料物理性能》、《电子材料与元器件测试技术》等专业基础课。近年来，主持国家自然科学基金 1 项，陕西省自然科学基金基础研究计划项目 1 项，陕西省科技厅一般工业项目 1 项，陕西省教育厅服务地方专项项目 1 项，陕西科技大学科研启动基金 1 项、长庆油田等企业横向课题 8 项，累积到位科研经费 300 余万元。近年来在《Journal of Materials Chemistry C》《Applied Physics Letter》，《CrystEngComm》，《Journal of Nanoscience and Nanotechnology》等国内外学术期刊上发表 SCI 收录论文 30 余篇。申请国家发明专利 5 项，授权 3 项。研究成果先后荣获教育部高等学校科学研究优秀成果（技术发明奖二等奖）1 项，陕西省科学技术奖二等奖 1 项，陕西省高校科技奖一等奖 1 项，咸阳市科学技术奖二等奖 1 项。指导“互联网+”、“挑战杯”等大学生科技创新、创业大赛多项，并先后获得省级、国家级金、银、铜奖 5 项。目前为“结构与功能复合材料研究团队”成员，主要从事光/热电功能陶瓷薄膜、微纳结构及器件；可溶解材料；纳米结构与电化学性能的研究，具体研

究方向为：（1）热电材料的研发设计；（2）光子晶体结构生色材料；（3）MAX相类石墨材料的改性与电化学性能；（4）可降解合金材料的设计开发；（4）PLD、CVD 的纳米结构制备。

武文玲，女，回族，1989年生，博士，副教授，硕士生导师。2011年获兰州大学化学化工学院化学专业学士学位，随后免试保送至兰州大学化学化工学院硕博连读，于2016年6月获得高分子化学与物理专业理学博士学位。承担国家自然科学基金、陕西省人才专项等项目。在国际材料科学领域权威杂志发表SCI学术论文22篇，包括Journal of Materials Chemistry A、Electrochimica Acta、Journal of The Electrochemical Society、New J. Chem、RSC Adv、Synthetic Metals等。获中国轻工业联合会科学技术发明奖一等奖1项、陕西省科学技术奖二等奖1项、陕西高等学校科学技术奖一等奖1项、咸阳市科学技术奖二等奖1项。研究方向：电聚合物基复合材料、纳米功能复合材料、新型二维MXenes基结构材料的构筑及储能应用、金属文物的电化学腐蚀防护。

武清，女，1987年生，博士，副教授，硕士生导师。2015年获北京航空航天大学材料学专业工学博士学位。2016年6月进入陕西科技大学材料科学与工程学院工作，现为材料化学系教师，主讲《材料试验设计方法》等课程。主持国家自然科学基金、陕西省自然科学基金基础计划、陕西科技大学自然科学基金、航天技术研究院技术开发、高性能纤维预研等项目；作为项目骨干参与国家973、国家自然科学基金、国防973、国防863、国防预研、军品配套、校企联合等项目。在Composites Science and Technology、Composites Part A: Applied Science and Manufacturing、Composite Structures、Applied Surface Science、Materials & Design、Advanced Materials Interfaces等国际知名期刊上发表高质量论文15余篇。授权国家发明专利2项。任Composites Part A、Composites Part B、Polymer等期刊审稿人。获得教育部高等学校技术发明类二等奖(第6完成人)、陕西省科学技术奖二等奖(第7完成人)和陕西高等学校科学技术奖一等奖(第7完成人)。指导学生获第三届、第五届“互联网+”大学生创新创业大赛国家级银奖、陕西省银奖及第十一届“挑战杯”陕西大学生课外学术科技作品竞赛陕西省二等奖。研究方向：高性能纤维增强树脂基复合材料、纳米复合材料、仿生材料、纤维类文物保护材料。

赵婷，女，1985年生，博士，副教授，硕士生导师。2014年12月获西安交通大学材料科学与工程专业工学博士学位，曾在韩国鲜文大学、日本长岗技术科学大学进行交流学习。现为材料科学与工程学院无机非金属材料工程专业讲师，讲授《材料科学基础》、《陶瓷工艺学》等专业基础课。主持国家自然科学基金1项，陕西省教育厅基金1项，陕西科技大学科研启动基金1项，大学生创新创业训练国家级项目1项，长庆油田等企业横向课题3项，累积到位科研经费150余万元。近年来在 *Materials Science and Engineering A*、*Ceramics International*、*Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 等学术期刊上发表SCI收录论文10余篇。申请国家发明专利2项，授权1项。研究成果荣获陕西省高校科技奖一等奖1项。指导“互联网+”、“挑战杯”等大学生科技创新、创业大赛多项，并先后获得国家级、省级金、银、铜奖5项。主要研究方向为：生物牙科玻璃陶瓷材料、陶瓷基复合材料的开发与强韧化研究、新型纳米（纳米粉体、纳米薄膜、低维纳米材料等）复合光催化材料、墓葬壁画的保护研究。

郭江，男，1988年生，博士，副教授，硕士生导师。2017年12月获美国田纳西大学诺克斯维尔分校化学工程专业博士学位。2018年9月进入陕西科技大学材料科学与工程学院工作，材料物理系教师，主讲《电子材料与元器件测试技术》等课程。作为项目负责人主持陕西科技大学科研启动基金1项；曾参与美国国家自然科学基金与美国德克萨斯州有害物质研究中心等多个项目。在 *Advanced Materials*, *Journal of Materials Chemistry C*, *Journal of Physical Chemistry C*, *RSC Advances*, *Journal of The Electrochemical Society*, *Journal of Membrane Science*, *Journal of Materials Chemistry A*, *ACS Applied Materials & Interfaces* 等刊物上发表多篇论文，其中数篇文章入选高被引论文、热点论文以及期刊封面。现主要研究方向是高分子纳米复合材料在磁阻传感器，电磁波吸收以及丝绸棉麻文物保护等方向的研究。

王甜，女，1988年生，博士，副教授，硕士生导师。2017年3月获得法国图卢兹应用科学学院（INSA-Toulouse）博士学位，博士培养单位为法国科学院-材料结构研究所（CEMES-CNRS），曾在欧洲同步辐射中心、美国通用电气公司tty博物馆、香港理工大学进行交流学习。现为材料科学与工程学院-材料物理

专业讲师，讲授《工厂设计概论》、《试验设计与数据处理》、《陶瓷装饰技术》等课程。主持陕西省自然科学基金 1 项、陕西科技大学启动基金 1 项，参与国家自然科学基金面上项目 2 项。研究方向：古陶瓷的近纳米尺度分析、古陶瓷的复仿制、陶瓷文物的劣化机理研究与保护技术开发、古陶瓷数据库构建与优化。

王雷，男，1982 年生，博士，讲师，硕士生导师。2014 年获西北工业大学材料学专业工学博士学位，2015 年 1 月进入陕西科技大学材料科学与工程学院工作，现为无机非金属材料工程系教师，主讲

《晶体学基础》、《无机合成原理及技术》等课程。毕业迄今为止在 Nanoscale、composite part B、composites science and technology、Materials Letters 等材料学权威杂志发表 SCI 论文 30 多篇，高被引论文 2 篇，封面文章 1 篇，H 因子 26。现主要研究方向为：二维石墨烯及 Ti_2C_3 多元复合材料的结构设计、制备及其在电磁屏蔽领域的应用、壁画固化防护。

张佩，男，1984 年生，博士，讲师，硕士生导师。2014 年 9 月毕业于西安交通大学材料科学与工程学院，获工学博士学位，现为陕西科技大学材料科学与工程学院讲师，讲授《陶瓷工艺学》、《玻璃工厂设计概论》等专业基础课。迄今为止已在 Journal of Non-Crystalline Solids、Materials Letters 等期刊上发表 SCI 收录论文 7 篇，申请专利 5 项，获授权 1 项。现主持国家自然科学基金 1 项，陕西科技大学博士科研启动基金 1 项，陕西省教育厅科研项目 1 项，陕西省科技厅科研项目 1 项，横向课题 2 项，参与陕西省科技统筹项目 1 项。目前为“结构与功能复合材料研究团队”成员，主要从事各类微晶玻璃材料及二维层状能源材料的研究，具体研究方向为：（1）高性能二硅酸锂玻璃牙科修复材料的制备与性能研究；（2）高性能 LTPS 平板玻璃；（3）平板玻璃强韧化；（4）古代文物类玻璃，琉璃器具病害防治、保护修复，古代工艺探索及现代复仿制；（5） $Mxenes$ 二维材料的制备与器件化。

方媛，女，1988 年生，博士，讲师，硕士生导师。2010 年获陕西师范大学化学专业理学学士学位，2015 年获中国科学院兰州化学物理研究所物理化学专业理学博士学位。2015 年 7 月进入陕西科技大学材料科学与工程学院，现为无机非金属材料工程专业教师，讲授《材料科学基础》、《特种陶瓷》等课程。近

年来在 *Wear*、*Materials & Design*、*Materials Science and Engineering: A* 等期刊发表学术论文及专著 10 余篇。主持国家自然科学基金 1 项、中国博士后科学基金面上项目 1 项、陕西省自然科学基金基础研究项目 1 项、陕西省教育厅专项科研项目 1 项、陕西科技大学科研启动基金 1 项；同时承担各类企业横向项目，累计金额 200 余万元。获中国轻工业联合会科学技术发明奖一等奖 1 项、陕西省科学技术奖二等奖 1 项、陕西高等学校科学技术奖一等奖 1 项、咸阳市科学技术奖二等奖 1 项。研究方向：MAX 相陶瓷材料的改性及摩擦学性能研究、陶瓷基复合材料的设计制备与性能研究、壁画文物的劣化机理研究及保护技术开发。

方园，女，1986 年生，博士，讲师，硕士生导师。2016 年 9 月获西安交通大学工学博士学位。2016 年 9 月进入陕西科技大学材料科学与工程学院，现为纳米材料与技术系教师，讲授《薄膜材料与技术》、《纳米复合材料》等课程。主持中国博士后面项目 1 项、陕西省自然科学基金 1 项、陕西省教育厅专项科研项目 1 项、陕西科技大学博士科研启动金 1 项和企业联合横向项目 2 项，累计到位科研经费 180 余万元。获陕西省科学技术奖二等奖 1 项、陕西高等学校科学技术奖一等奖 1 项、咸阳市科学技术奖二等奖 1 项。近年来在包括 *Journal of Materials Chemistry A*、*Applied Energy*、*Journal of Power Source*、*Applied Surface Science*、*Electrochimica Acta*、*CrystEngComm* 等国际权威期刊上发表 SCI 学术论文 10 余篇，申请国家发明专利 4 项。主要研究方向：纳米电催化材料的设计合成、氧还原催化剂的改性研究、低温液体燃料电池的设计与开发、金属类文物的腐蚀破坏机理分析及保护技术研究。

施佩，女，1990 年生，博士，讲师。2019 年 12 月获陕西科技大学材料物理与化学专业工学博士学位，2018 年 8 月-2019 年 8 月在日本名古屋大学进行联合培养，现为结构与功能复合材料研究团队成员，无机非金属材料工程专业讲师。近年来，在 *Journal of the European Ceramic Society*、*Ceramics International*、*硅酸盐学报* 等学术期刊上发表论文 10 余篇，申请国家发明专利 8 项，授权 5 项。主要研究方向为：传统陶瓷色釉料的制备与研究、古陶瓷的科学研究与保护、结构色材料的制备与应用研究。

张彪，男，1990年生，工学博士，讲师。2019年毕业于陕西科技大学，获材料物理与化学专业博士学位，博士期间，曾赴日本东北大学多元物质科学研究所联合培养1年。现为结构与功能复合材料研究团队成员，材料化学系教师。近年来，作为核心成员参与国家自然科学基金3项，在 *Journal of the European Ceramic Society*、*Ceramics International*、*无机材料学报* 等国内外高水平期刊发表学术论文10余篇，授权发明专利3项，现主要研究方向为：古玻璃表面化学及耐侵蚀研究、文物保护用环境屏蔽涂层的开发研究、MXenes 及其衍生物的储能与环境响应特性研究。

具体研究方向为：硅酸盐文物研究与保护（古陶瓷断源断代、文物基础研究、硅酸盐文物保护新材料、文物科技传承与创新）、陶瓷绿色制造（尾矿等劣质原料高质化利用、陶瓷节能减排制备技术、环境友好陶瓷产品研发）、结构复合材料（陶瓷基耐磨复合材料、树脂基高强复合材料、玻璃陶瓷材料）、功能复合材料（热电材料、新能源材料、油气田用功能复合材料）。

西安建筑科技大学-材料科学与工程学院-先进陶瓷材料制备理论与应用团队-培育团队，团队负责人：马爱琼，其研究方向：高温陶瓷的合成与制备，研究项目：以煤矸石为原料制备全莫来石晶须陶瓷蓄热体及性能研究，2万元，先进耐火材料国家重点实验室开放基金，省部级，2020-01至2021-12，在研，主持。TiSi₂提高TiB₂陶瓷的烧结性能与抗氧化性能的作用机理研究，4.0万，陕西省自然科学基金面上项目，省部级，2014.01-2015.12，已结题，主持。《碳热还原法合成硼化钛的反应机理与工艺研究》，2.0万，陕西省教育厅专项科研项目，厅局级，2009.07-2011.07，已结题，主持。碳热还原法合成硼化钛的基础研究，0.8万，西安建筑科技大学基础研究基金项目，校级，2008.07-2010.07，已结题，主持。

高温结构功能材料团队-培育团队介绍：团队负责人丁冬海。团队简介：高温结构功能材料团队负责人丁冬海副教授，现有固定成员7人，主要研究结构型高温电磁功能材料。承担国家自然科学基金等项目10余项，在 *Carbon* 等期刊发表学术论文30多篇，授权发明专利2项，获陕西高校科技二等奖2项。

丁冬海：博士，西安建筑科技大学材料科学与工程学院副教授、硕士生导师。
研究领域：有机先驱体转化功能陶瓷；高温陶瓷材料燃烧合成；含碳耐火材料结合剂。

西安航天动力研究所复合材料工程中心是超高温结构复合材料的专业研制机构，航空航天高温结构材料：承担了液体火箭发动机推力室及相应热结构件、亚燃/超燃冲压发动机使用的热结构薄壁构件、空天飞行器热结构部件的研制任务，拥有一支由博士、硕士组成的学术水平高、科研工程经验丰富的材料研发及工艺成型技术团队，研制的产品性能达到国内领先水平，多个型号产品顺利通过地面试车考核及飞行考核。

民用高温结构材料：中心致力于将军用高性能复合材料推广应用到民用领域，充分发掘复合材料独特的高耐温、抗氧化、摩擦磨损性能优异、抗辐照的特点，制备的民用产品包括石化特种烧嘴、热防护件、高性能刹车材料、制动材料，以及核反应堆包壳材料、热处理高温支持件等。

复合材料研发测试技术：中心致力于陶瓷基复合材料、碳基材料等先进超高温结构复合材料的研发、构件制备、性能检测等工作，具有丰富的研制经验，掌握先进陶瓷先驱体应用技术、化学气相渗透/沉积技术、低成本快速制备技术、高性能纤维成型技术、超高温氧化烧蚀环境试验技术、超硬材料精密加工技术、无损检测技术等。

4.4 陕西省技术创新能力定位

4.4.1 陕西省陶瓷基复合材料创新能力

技术的创新与发展能力对于维持企业的活力、生存能力至关重要，陕西省陶瓷基复合材料产业起步较早，以西北工业大学张立同院士团队为代表，从上世纪90年代开始研究，经过30年的努力，形成以中游陶瓷基复合材料研发制备为核心，支撑国防军工尖端需求为主要方向，产业链上、中、下游皆有布局（但并不完整和全面）的产业体系，但还存在研发成果转化周期长、民用领域应用突破缓慢、产业体量

较小等发展困境,明确陕西省技术创新能力定位对于发展陕西省陶瓷基复合材料产业至关重要。专利申请数量能够反映出研发方向以及对于该领域的重视程度,只有专利的授权情况才能真正反映出要保护的专利的有效性。

图 4.13 展示出陕西省陶瓷基复合材料的专利申请量及授权量,从图中可以看出在 2003-2014 年间,陕西省陶瓷基复合材料专利申请量逐渐增加,陕西省陶瓷基复合材料创新能力逐步提升,处于技术快速发展期,陕西省内相关陶瓷基复合材料相关研究企业高校展现出雄厚的科研创新能力,专利授权率处于一个变化较为平稳的阶段,2014-2022 年,陕西省陶瓷基复合材料专利申请呈现先增加后逐步减少的变化趋势,专利授权率也相应的同步变化(由于专利公开需 18 个月,故近一两年的公开较少,授权则占比更低,可以 2020 年为时间线),在此期间,陕西省陶瓷基复合材料的科研创新能力处于较为平缓的过渡期,这表明陕西省陶瓷基复合材料的技术研发创新处于成熟期。

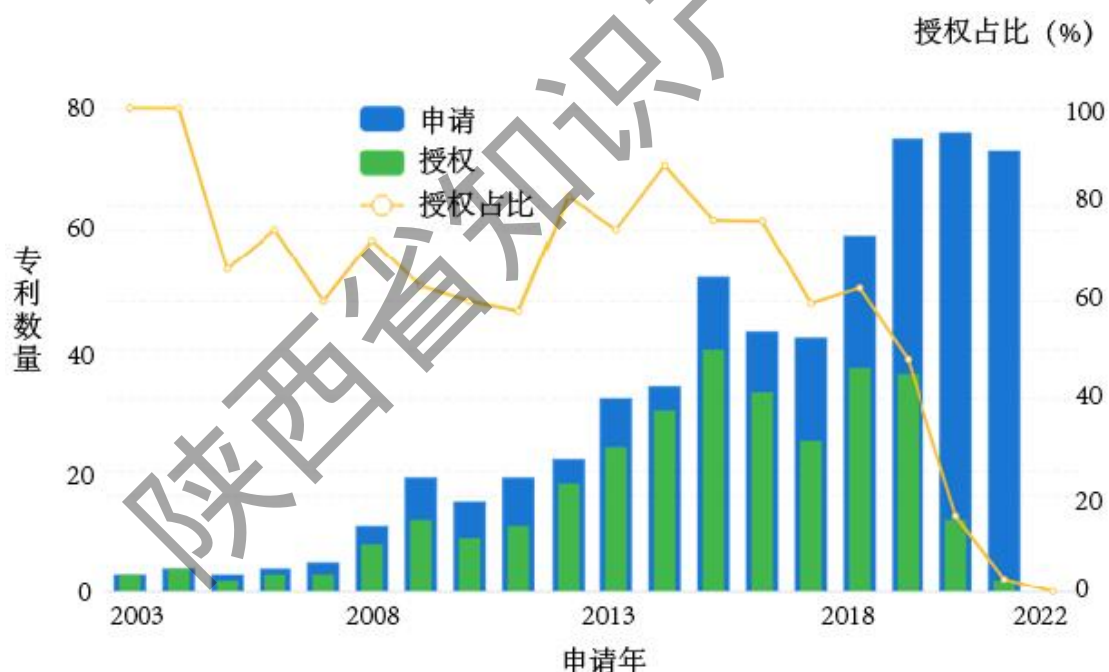


图 4.13 陕西省陶瓷基复合材料专利授权情况

4.4.2 陕西省陶瓷基复合材料技术竞争实力

由表 4.2 可知,我们对陕西省陶瓷基专利研究技术进行了分析(具体到三级技术分支),陕西省内陶瓷基复合材料的技术研究热点主要集中于上游产业链中

的增强体及基体材料，中游产业链中的化学气相渗透法及反应熔融渗透法，下游产业链中的刹车制动系统等技术领域，且上游及中游产业链占比较下游产业链占比高，这表明陕西省陶瓷基复合材料的上游及中游产业具有较强的竞争力和技术研发力。

表 4.2 陕西省陶瓷基专利热点研究技术分布

	三级分支
上游 53%	增强体 13%、基体 18%、界面层 8%
中游 38%	化学气相渗透法 24.6%、反应熔融渗透法 12%、聚合物浸渍裂解 0%、熔渗工艺 2.1%、浆料浸渗法 3.7%、超声加工 3.7%、熔体渗透 2.6%、热压烧结法 2.5%、磨削加工 0.6%、激光加工 0%、原位反应法 1.5%、电火花加工 0.3%、水射流加工 1.4%
下游 9%	刹车制动系统 2%、涡轮发动机 0.6%、宇航 0.6%、军用 0%、热回收设备 0.4%、分离/过滤 0.4%、加工设备 0.8%、燃烧炉 0.4%、垃圾焚烧 0%、核工业 0%、结构件 0.5%、热场部件 0.4%

4.5 陕西省专利运营实力定位

4.5.1 专利运营活跃度

申请专利的目的是要利用专利获得经济收益或保持市场竞争优势，通过专利运营谋求获取最佳经济效益，广义来说，专利诉讼、无效、许可、转让均是专利运用的具体表现，通过统计全球专利的法律状态，获得了按陶瓷基复合材料在 2003-2011 年间，陶瓷基复合材料专利转让情况，综合图 4.14 可以看出，陶瓷基复合材料专利在 2015-2022 年间转让情况较为活跃，专利运营活跃度较高，这在侧面反映了陶瓷基复合材料技术在此期间发展较为活跃成熟，陶瓷基复合材料研发技术已逐渐转为实际生产应用，并产生相应的经济效益。



图 4.14 陕西省陶瓷基复合材料专利转让变化

4.5.2 专利运营主体情况



图 4.15 陕西省陶瓷基复合材料专利状态分析

通过图 4.15 分析可知在 2003-2022 年间,陕西省陶瓷基复合材料专利产业链运营状态分析可知,陕西省陶瓷基复合材料上中游产业链对应的陶瓷基复合材料专利运营状态良好,具有较多的授权专利及正处于实质审查的陶瓷基复合材料相关专利,这表明在陕西省内,相关陶瓷基复合材料研发高校及企业在陶瓷基复合材料上中游产业链布局了较多的专利,而对于陶瓷基复合材料下游应用领域则布局了较少的专利,应将上中游有关陶瓷基复合材料相关研发成果向下游产业链转移,使科技创新成果向经济效益转移,使企业迸发出更强生机与活力。而在下游实质审查数量大于授权数量,这表明陕西省有将产业链慢慢转移至下游的趋势,只是可能现在技术上未能突破。

4.5.3 专利运营潜力



图 4.16 陕西省陶瓷基复合材料专利转让产业分析

通过图 4.16 分析可知，陕西省内陶瓷基复合材料产业链的上中下游均有专利转让情况，尤其在陶瓷基复合材料产业上游领域，出现了相对于中下游较多的专利转让情况，一方面表明陶瓷基复合材料上游产业技术缺乏，为了获取更高的效益，需要购入相关上游专利，以补充上游的短板，另一方面也显示出陕西省陶瓷基复合材料上游产业具有较强的专利运营潜力，另一方面陕西省陶瓷基复合材料产业链中下游也具有一定的专利运营潜力，陕西省可加强陶瓷基复合材料中下游产业链运营，充分激发产业链活力。

5 陕西省陶瓷基复合材料产业发展路径建议

5.1 产业布局结构优化定位

5.1.1 强化产业链优势

由上述分析可知，陕西省陶瓷基复合材料产业链优势为产业链中游，若发挥产业链优势，则需以产业链中游为纽带、以企业为主体的链网状产业经济关联体；并进一步锻造长板，让长板变得越来越长，增强产业发展主动权，继而打造全产业链，形成产业核心竞争力。

强化产业链优势具体需通过以下三步进行：

(1) 优化区域产业布局

首先要进一步优化区域的产业链布局，我国经济发展的区域特点非常突出，所以要根据区域发展特点和布局，发挥集群优势，增强产业链的根植性和竞争力。陕西省应当以西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司为纽带建立一定规模的产业集群。

错位发展、协同发展。立足资源禀赋、产业基础、人才支撑、交通区位、环境容量等条件，突出比较优势，坚持有所为有所不为，准确定位区域发展重点，强化产业链分工配套和区域协同，培育各具特色的优势产业和区域经济板块。优化存量、做大增量。加快传统产业转型升级，推进产品换代、生产换线、智能制造、绿色制造，激发传统产业活力。积极顺应科技革命和产业变革趋势，前瞻谋划布局新兴产业和未来产业，培育新优势新动能。

(2) 增强产业链控制力

增强产业链控制力，是强化产业链优势的重要手段。产业链控制力是产业链竞争力的核心表现，主要表现为由龙头企业、链主企业、隐形冠军等构成的产业组织形态。

培植具有“链主”地位的引领型企业、平台型企业。利用链主企业的渠道、品牌、数据、技术、系统集成等优势，构建“业务共生，生态共建，利益共享”的产业共同体，提高产业集群的根植性。培育隐形冠军和专业化集群，针对具有成长

潜力的专业集群，培育一批能够引领和支撑未来产业发展的“隐形冠军”，发挥技术创新迭代和工匠精神，通过持续精耕细作带动增强全产业链优势。

以链主企业为中心促进大中小协同、上下游协作，控制产业链上中下游的资源，进而打造区域产业链闭环，增强区域产业链控制力。

（3）提升产业链水平

提升产业链水平，一是要充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，加快建立统一开放、竞争有序的现代市场体系，加快建设和完善要素市场，推进要素市场化配置。二是要坚持改造升级传统技术和培育壮大新兴技术，不仅要通过引入新技术、新管理、新模式，深挖传统技术发展潜力和空间，使传统技术焕发生机和活力，还要加强对技术创新、市场培育等的支持，提高关键核心技术创新能力，促进新兴产业集群式发展，实现产业新旧动能接续转换。

5.1.2 弥补产业链劣势

由上述分析可知，陕西省陶瓷基复合材料产业链劣势为产业链上游和下游。

弥补产业链的劣势，应当保障产业链自主可控，关键是要在科技自立自强上迈出新的步伐，着力形成局部的科技优势和非对称的反制能力。

此外，要辩证地看待供应链安全与开放性之间的关系，不是说关起门来就安全，要创造你中有我、我中有你的供应链形态，使得对方不敢轻易断供个别战略高技术领域。考虑到国际政治经济环境的复杂变化，我们要以强大的国内市场为支撑，主要通过自身努力来保障供应链的安全。

因此对于陕西省发展较为弱势的上游及下游，可以通过兼并合作的方式，将上下游规模很小或经营不善濒临破产的企业实施收购兼并，产业链上游可以通过与国内外知名企业进行合作，吸引其设立分厂，比如苏州赛力菲、火炬电子、宁波众兴新材等都为上游纤维供应商，另外也可与厦门大学或国防科技大学进行合作，国防科大是国内最早研制 SiC 纤维的单位，已形成 SiC 纤维体系化的发展格局，综合性能达到或接近国外同类产品水平；厦门大学特种陶瓷先进材料实验室从 2002 年底开始研发 SiC 纤维，目前已经制得连续 SiC 纤维。另外需要注意的是处于上游的福建立亚化学公司（技术依托厦门大学），作为新进入者，其在成

立的五年不到时间，发展迅速，布局了大量专利，主要关于高性能先驱体材料和特种纤维，作为火炬电子全资的子公司，陕西省相关企业也可考虑与其进行合作。

5.1.3 陕西省复合材料卡脖子关键技术分析

结合第四章图 4.15 及 4.16 分析可知，陕西省内陶瓷基复合材料的技术研究主题主要集中于 C04B35 及 C04B41，具体为陶瓷基复合材料的制备原料及加工处理工艺，集中于陶瓷基复合材料产业链的上游及中游产业，上游涉及陶瓷基复合材料制备原料主要为基体材料即陶瓷中氧化物、硼化物、氮化物、硅化物等，综上分析可知，目前陕西在陶瓷基复合材料产业链上游缺乏高性能碳纤维，下游缺乏应用于航空发动机方面的陶瓷基复合材料。

要想填补产业链空白，要攻克陕西省陶瓷基复合材料在以下技术领域存在的关键卡脖子技术：

- (1) 高性能刹车系统用陶瓷基复合材料领域
- (2) 太阳能光伏用陶瓷基复合材料领域
- (3) 航天发动机用陶瓷基复合材料领域
- (4) 航空发动机/燃气轮机用陶瓷基复合材料领域
- (5) 高导热沥青基碳纤维领域

现如今，社会化协作程度很深，不管是世界 500 强企业还是中小微企业，都有自己的上下游和协作伙伴，只要有一个主导企业在当地稳定发展，势必会吸引其上下游企业前来发展，形成一定规模的产业集群，也就是说，产业链招商始终有用武之地。其次，产业链招商不仅是在解决政府招商难的问题，同时也能够帮助园区优化产业结构，为企业的发展降低生产成本，提高企业的核心竞争力。

以陶瓷基复合材料为联系，以资本为纽带，上下游连接，向下延伸，前后联系形成陶瓷基复合材料产业链条，这样，一个被引进企业的整体优势就转化为一个区域和产业的整体优势，从而形成这个区域和产业的核心竞争力。企业想要在不断变化的市场环境中求得稳定发展，必须要依靠上下关联的产业链。

苏州力致高性能纤维预制体产业研究院有限公司位于苏州市吴江区，成立于 2020 年 12 月，是一家研发与制造结合的高科技公司，经营范围包括：新材料技

术研发；纺织专用设备制造；纺织专用设备销售；增材制造装备制造；增材制造装备销售；通用设备制造(不含特种设备制造)；智能基础制造装备制造；专用设备制造(不含许可类专业设备制造)；增材制造；高性能纤维及复合材料制造；产业用纺织制成品销售；金属基复合材料和陶瓷基复合材料销售；特种陶瓷制品制造；新型陶瓷材料销售等，苏州力致高性能纤维预制体产业研究院有限公司是由吴江万工机电设备有限公司和苏州万工智能装备有限公司合资开办的，吴江万工机电设备有限公司是江苏万工科技集团的子公司，吴江万工机电设备有限公司拥有专利 333 件，其中授权的发明专利有 121 件，且苏州力致高性能纤维预制体产业研究院有限公司的专利发明人有 80%为吴江万工机电设备有限公司的发明人，新成立的苏州力致高性能纤维预制体产业研究院有限公司是一家以吴江万工机电设备有限公司深厚的科研资源和科研团队为依托的，专门进行高性能纤维的研发和制造的子公司，对于这样的子公司由于经营项目专一，承担的经营风险较小，能够满足企业引进的要求。

在上游高性能纤维方面可以引进苏州力致高性能纤维预制体产业研究院有限公司、阿科玛股份有限公司、上海美纤智能科技有限公司等本土高科技研发和制造结合的企业，在下游的航空发动机方面可以引进中国航发商用航空发动机有限责任公司、重庆宗申航空发动机制造有限公司、赛峰飞机发动机(贵阳)有限公司等企业，按照“缺什么招什么、什么弱补什么”的原则，补齐弱项短板，同时锻造优势长板，维护产业链供应链安全稳定，政府实施一定的优惠政策吸引这些优秀企业入驻。

另外也可通过并购企业的方式，从而获取该企业的核心技术，可根据实际情况，先收购体量较小的国外企业，逐步掌握上下游技术缺失的部分，紧盯国际市场形势，特别要关注那些拥有部分核心技术但是濒临破产的企业，通过并购实现关键技术的吸收，真正做到资本走出去。资本走出去的典型案列有吉利收购沃尔沃、中粮集团收购 Nidera 等。2010 年 8 月，吉利收购沃尔沃的最终交割仪式在伦敦举行，吉利完成了对福特汽车公司旗下沃尔沃轿车公司的全部股权收购。通过这一并购，吉利如愿以偿地获得了沃尔沃轿车公司 100%的股权和与沃尔沃相关的关键技术及知识产权的使用权，包括沃尔沃核心的安全及环保技术的知识产

权。2014年2月，中粮集团收购全球农产品及大宗商品贸易集团 Nidera 51% 的股权，大大加快了中粮集团从我国粮食央企发展为全球粮油市场骨干力量的步伐。2014年4月，中国五矿集团公司联合 MMG、国新国际投资有限公司和中信金属有限公司组成的联合体，以 58.5 亿美元收购嘉能可秘鲁邦巴斯项目，此收购成为中国金属矿业史上迄今实施的最大境外收购。

在高性能刹车系统用陶瓷基复合材料领域，借鉴西北工业大学超高温结构复合材料重点实验室、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司和西安航空制动科技有限公司在军用飞机碳陶刹车盘合作开发的成功经验，西安超码科技有限公司在民用飞机碳/碳刹车盘研发和工程化的经验，向民用高档轿车、重型汽车、坦克、重型机械和高速列车等领域做产业拓展，推动陶瓷基复合材料产业链和重卡产业链、汽车产业链的协调创新，实现应用验证的突破和产业化示范，形成产业优势。

在太阳能光伏用陶瓷基复合材料领域，生产工艺对耐高温、高强度、长寿命的陶瓷基复合材料及其制品需求强烈，借鉴西安超码科技有限公司和西安隆基绿能科技股份有限公司在单晶硅用碳陶热场材料合作开发的成功经验，加大向太阳能光伏领域下一代需求的延伸力度，从而在我市碳碳复合材料太阳能光伏产业链的基础上，进一步形成强大的陶瓷基复合材料太阳能光伏产业链。

在航天发动机用陶瓷基复合材料领域，依托西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司、西安航天复合材料研究所、西安航天动力研究所和西安超码科技有限公司在航天发动机用燃烧室、喷管、喉衬等构件成功应用的基础上，向快速低成本方向发展，继续保持国内垄断地位，并向航空发动机领域延伸。

在航空发动机/燃气轮机用陶瓷基复合材料领域，还处于基础研究与工程化阶段，技术水平落后于美国通用电气公司等公司，但在国内保持领先，发展潜力巨大，且拥有航空发动机生产企业中国航发动力股份有限公司，可需求牵引、协同创新。应充分发挥西北工业大学超高温结构复合材料国家级重点实验室、陶瓷基复合材料制造技术国家工程研究中心和高性能碳纤维及应用国家地方联合工程研究中心在陶瓷基复合材料产业链孵化上的支撑作用，推动与中国航发动力股份有限公司的战略合作，加大对基础研究、技术攻关、平台建设和工程化的支持

与投入，促进我市陶瓷基复合材料在两机应用中的瓶颈突破与技术飞跃，尽快跻身于世界前列，尽早打入市场应用领域。

在高导热沥青基碳纤维领域，目前国内仅一两家掌握高性能沥青基碳纤维的生产技术，其中陕西天策已突破高性能沥青基碳纤维的工程化制备技术，并获得了国家重大项目的支撑，上游是煤化、石油化工行业进行深度加工形成的中间相沥青，下游可将碳纤维加工成为复合材料应用于航空航天等先进制造业，可与西安鑫垚等下游单位紧密结合。大力发展高性能沥青基碳纤维产业链，在陶瓷基复合材料上游形成优势，补齐发展短板。

表 5.1 陕西省企业清单

企业级别	企业名称	技术分支
龙头企业	西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司	陶瓷基复合材料部件的制造，如热端部件的制造、轻质耐热构件的制造、卫星光机构件的制造、光伏用热场部件的制造、电子设备元器件的制造、碳碳/碳陶刹车盘片的制造、以及核包壳管的制造。
骨干企业	西安康本材料有限公司	高性能立体编制技术、低成本碳碳制造技术、高模量纤维编织/机织技术
	西安航天复合材料研究所（43所）	
	西安超码科技有限公司	
	陕西美兰德炭素有限责任公司	
	陕西天策新材料科技有限公司	
	陕西元丰纺织技术研究有限公司	
配套企业	西安华润燃气有限公司	半导体用设备、单晶炉/多晶炉、民用低成本刹车盒/片、两机、飞行器耐热系统、电子设备关键元器件
	咸阳秦虹气体制造有限公司	
	陕西丰源科技发展有限公司	
	陕西延长石油(集团)有限责任公司	

企业级别	企业名称	技术分支
配套企业	隆基绿能光伏有限公司	与系统集成、航空发动机用热端部件考核验证、光伏电子用陶瓷基复合材料
	陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司	
	中航工业西安航空制动科技有限公司	
	西安航天动力研究所	
	中国航发西安航空发动机有限公司	
	中国空间技术研究院西安分院	
	航天动力技术研究院	
	西安奕斯伟硅片技术有限公司	
	陕西汽车控股集团有限公司	
	陕西汉德车桥有限中航西安飞机工业集团股份有限公司	
	中航工业陕西飞机工业（集团）有限公司	

由表 5.1 可以看出，陕西省在纤维、基体和预制体生产环节较为薄弱，虽有部分企业生产纤维和预制体，但无法满足陶瓷基复合材料对性能的苛刻需求，对于复杂结构要求的碳纤维预制体、碳化硅纤维预制体更是无能为力。未来将借助推进先进制动系统用陶瓷基复合材料产业链和光伏电子用陶瓷基复合材料产业链为契机，吸引和促进国内纤维预制体厂家来西安等地投资，同时寻求国际纤维厂商来西安等地投资建厂的可能，加快推动陕西省碳纤维工程化、产业化发展步伐。

在陶瓷基复合材料加工工艺方面，国内从 20 世纪末开始开展 FRCMC-SiC 复合材料研究，经过近 30 年的发展，相关科研院所和工业部门在高性能连续纤维研发技术、复合材料制备工艺、界面设计与微结构控制、表面抗氧化技术等方面开展了大量研究工作。西北工业大学多年来一直从事陶瓷基复合材料化学气相浸渗工艺研究，解决了基于增强纤维、界面相、基体与涂层的微结构单元强韧化协同问题，在薄壁结构件的成型和致密化方面具有较为成熟的工艺技术。航天材料及工艺研究所、上海硅酸盐研究所、国防科技大学、沈阳金属研究所、中航复合材料有限公司、航天非金属材料研究所、中南大学等单位在陶瓷基复合材料前

驱体浸渍/裂解法（PIP 法）、化学气相浸渗法（CVI 法）、反应熔渗法（RMI 法）研究比较深入，基本形成了适用不同微观结构、不同性能水平、不同尺寸量级、不同使用需求条件的复合材料体系和制备工艺技术。

在常规机械加工技术中，磨削加工可获得较高的表面质量和加工精度，但是其材料去除效率普遍较低（ $<1 \text{ cm}^3/\text{min}$ ）。切削加工由于高切削力和高切削温度，同时切削过程不稳定，刀具寿命普遍较短，换刀频率高且刀具成本高；提高切削速度虽可降低切削力，但是进给速度和背吃刀量必须保持较低水平，限制了材料去除率的提升。通过前期调研分析，Cf/SiC 复合材料铣削加工的最高去除率为 $1.6 \text{ cm}^3/\text{min}$ ($n=8000 \text{ r/min}$, $f=200 \text{ mm/min}$, $a_p=0.8 \text{ mm}$, $\Phi 10$ 电镀金刚石刀具)。由此可见，加工效率依然是制约陶瓷基复合材料在航空航天高端装备关键结构中广泛应用的主要因素。

在特种加工技术中，激光加工的研究最多，工艺主要集中在激光制孔和激光加工表面微结构。激光能量作用集中，易于调控，尤其是脉冲激光的能量密度很高，可在极短时间内将作用区域材料熔融或气化，因此激光加工的材料去除率较高。但激光加工复合材料的表面质量和形状精度较差，飞溅出来的熔渣会附着在材料表面，降低了表面质量；激光加工存在热影响区，改变了材料的物理化学性能。激光束呈锥形结构，加工的结构形状也存在锥度，加工精度较低。

在复合加工技术中，超声振动辅助加工具有较低切削力和切削温度、较高加工质量，还可有效抑制毛刺、撕裂等加工缺陷，成为复合材料加工研究的热点。但是受到超声临界速度的限制，其提高加工效率的能力仍然有限。激光加热辅助加工虽可克服复合材料高硬度带来的高切削力难题，但是复合材料软化所需的激光能量很高，激光热影响区较大，工艺可控性差。同时，高温会降低刀具的切削性能，降低加工精度。

在高性能刹车系统用陶瓷基复合材料领域，借鉴西北工业大学超高温结构复合材料重点实验室、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司和西安航空制动科技有限公司在军用飞机碳陶刹车盘合作开发的成功经验，西安超码科技有限公司在民用飞机碳/碳刹车盘研发和工程化的经验，向民用高档轿车、重型汽车、坦克、重型

机械和高速列车等领域做产业拓展，推动陶瓷基复合材料产业链和重卡产业链、汽车产业链的协调创新，实现应用验证的突破和产业化示范，形成产业优势。

在太阳能光伏用陶瓷基复合材料领域，生产工艺对耐高温、高强度、长寿命的陶瓷基复合材料及其制品需求强烈，借鉴西安超码科技有限公司和西安隆基绿能科技股份有限公司在单晶硅用碳陶热场材料合作开发的成功经验，加大向太阳能光伏领域下一代需求的延伸力度，从而在我市碳碳复合材料太阳能光伏产业链的基础上，进一步形成强大的陶瓷基复合材料太阳能光伏产业链。

在航天发动机用陶瓷基复合材料领域，我市有国内领先、国际先进水平的优势地位，依托西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司、西安航天复合材料研究所、西安航天动力研究所和西安超码科技有限公司在航天发动机用燃烧室、喷管、喉衬等构件成功应用的基础上，向快速低成本方向发展，继续保持国内垄断地位，并向航空发动机领域延伸。

在航空发动机/燃气轮机用陶瓷基复合材料领域，我市还处于基础研究与工程化阶段，技术水平落后于美国 GE 等公司，但在国内保持领先，发展潜力巨大，且我市拥有航空发动机生产企业中国航发动力股份有限公司，可需求牵引、协同创新。应充分发挥西北工业大学超高温结构复合材料国家级重点实验室、陶瓷基复合材料制造技术国家工程研究中心和高性能碳纤维及应用国家地方联合工程研究中心在陶瓷基复合材料产业链孵化上的支撑作用，推动与中国航发动力股份有限公司的战略合作，加大对基础研究、技术攻关、平台建设和工程化的支持与投入，促进我市陶瓷基复合材料在两机应用中的瓶颈突破与技术飞跃，尽快跻身于世界前列，尽早打入市场应用领域。

在高导热沥青基碳纤维领域，我市已取得先机，具有得天独厚的优势。高导热沥青基碳纤维是热疏导型陶瓷基复合材料的优良增强材料，是高导热陶瓷基复合材料不可或缺的原料之一，目前国内仅一两家掌握高性能沥青基碳纤维的生产技术，其中陕西天策已突破高性能沥青基碳纤维的工程化制备技术，并获得了国家重大项目的支撑，上游是煤化、石油化工行业进行深度加工形成的中间相沥青，下游可将碳纤维加工成为复合材料应用于航空航天等先进制造业，可与西安

鑫垚等下游单位紧密结合。大力发展高性能沥青基碳纤维产业链，在陶瓷基复合材料上游形成优势，补齐发展短板。

因此，陕西省应在省、市重点产业链提升工作领导小组的领导下，协调市级各部门协同推进陶瓷基复合材料产业发展，攻克陕西省陶瓷基复合材料领域存在的卡脖子关键技术，在相关项目的核准备案、土地审批、环境评价、安全评价、招商引资等环节给予大力支持，建立绿色通道；在各部门专项资金支持上，给予重点倾斜，集中力量推动陶瓷基复合材料研发和应用，加速工程化、产业化发展进程。

5.1.4 防范系统性专利风险

专利风险一般是企业在研发、生产经营、使用过程中由于创新成果未被充分发掘、专利被无效、被非法占有、流失、遭受侵权纠纷等的风险，也就是企业经营过程中可能碰到的与专利相关的各种“隐患”。企业的专利风险无处不在，无论在研发阶段还是在生产销售阶段，都有可能面临专利风险，分为内忧型和外患型专利风险。

内忧型专利风险主要涉及研发活动期风险、生产活动期风险和贸易活动期风险。专利全是一种财产权，内忧型专利风险主要就是自身财产权受损风险或者侵犯他人专利权造成的风险。具体而言，内忧型风险即包括企业自身在专利挖掘、布局、保护、维护中存在的让自身的专利权益受损的风险，也包括自己企业研发、生产、贸易活动中侵犯他人专利权的风险。

外患型专利风险主要包括合作伙伴、竞争对手、NPE 以及法律法规和地区政策的变化产生的风险等。

竞争对手带来的常见专利风险涉及企业自身的专利被竞争对手无效、或者被规避。这种情况下对于提前对自身核心专利的稳定性进行分析以及专利布局就至关重要。尤其是面对竞争对手，如果专利权人想要提起侵权诉讼的情况下，相伴而生的就是被诉侵权方提起专利无效请求。如果不提前做好自身专利稳定性分析就贸然提起侵权之诉，有时会引火烧身，不但诉不成还导致自身的专利被无效。

NPE 一般是并不从事生产事业的研发单位，比如科研院校等。企业对于合作伙伴、竞争对手这类和企业有着紧密关系的风险来源通常会有警惕性，由于 NPE 存在生产专利散在不定期的特点，很容易被企业忽略，在制定风险防范时疏于考虑。对于这种情况，只有紧跟技术发展，进行相关专利信息定期调研、更新和跟踪才能避免误入雷区。

法律法规和地域差异和变化带来的专利风险可能会导致一个专利在不同国家可能面临能不能授权的风险，对于专业人士而言会对这种动态进行更早，同事也会形成一套应对体系。

专利风险控制介入时间：

（1）产品立项

专利检索在企业产品立项阶段就应该参与，当产品经理提出需求后，IPR 就应该根据需求检索竞争对手专利布局情况，是否有可借鉴的技术点，专利规避难度等一系列问题进行专利检索，当研发项目经理或者系统工程师对产品需求进行技术方案转化之后，IPR 应该对转化后的技术方案也进行一个初步的立项检索，大概了解业内专利情况，为后续设计提供初步预警。

（2）产品开发过程中

在产品开发过程中的概要设计和详细设计阶段，IPR 都要参与专利检索和专利规避工作，实时跟进项目组，了解其设计方向，对设计方案进行实时检索，及时发现风险规避风险，在设计变更的时候，应该对变更的方案进行重新的检索，并且对风险库进行更新。在开发过程中项目概要设计和详细设计等评审节点，IPR 都应该参与，了解设计动态的同时对知识产权风险进行评审。开发过程中的检索和及时预警非常重要。如果预警不及时，研发在原有的设计上可能已经投入了大量的人力成本和开模等其它研发成本，而且由于很多公司产品研发周期都很紧，风险预警太晚可能会严重影响开发进度，进而造成更大的损失。

（3）产品方案基本确定

等设计方案基本确定后，IPR 就可以做一个总的专利排查报告了，这个报告可以理解为上文所说的 FTO 报告。FTO 报告是针对整个产品进行一个系统的全

面的检索，可以视为对研发过程中的检索的总结和查缺补漏，形成一个整体的报告。

(4) 产品上市后

由于专利公开具有滞后性，所以即使在产品上市后，也要持续对相关技术方案和主要竞争对手进行持续检索监控。

随着越来越多的企业感受到了专利的价值，但是还有部分技术创新型企业也在为忽视专利风险管理而交学费。建议企业要想防范专利风险，首先要了解自身在哪些方面可能涉及专利，然后再根据具体情况进行风险预警，分门别类地进行防范，找专业的人来保护企业的合法权益。

5.2 企业整合培育引进路径

5.2.1 企业整合与培育路径

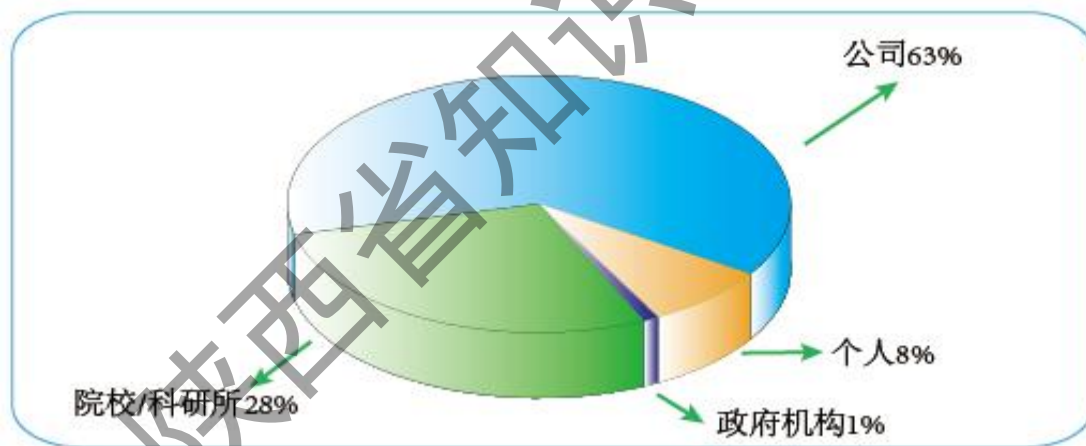


图 5.1 全球原始申请人类型占比

图 5.1 中，全球原始申请人类型：公司 63%，院校/研究所 28%，个人 8%，政府机构和其他仅占 1%。

由图 5.1 可知在全球范围内，陶瓷基复合材料企业申请数量占比较多，其次是院校研究所，这表明全球陶瓷基复合材料产业中，企业的研发实力较强，企业更多的将技术研发成果转为经济效益。

图 5.2 中，全国申请人中，院校/研究所占比 61%，公司 34%，个人 5%，政府机构及其它接近于零。由图 5.2 可知，在中国内，院校研究所的陶瓷基复合材

料研发实力较强，其次是企业，在中国范围内，应将科研成果更多的应用于企业生产中，提高企业的核心竞争力。

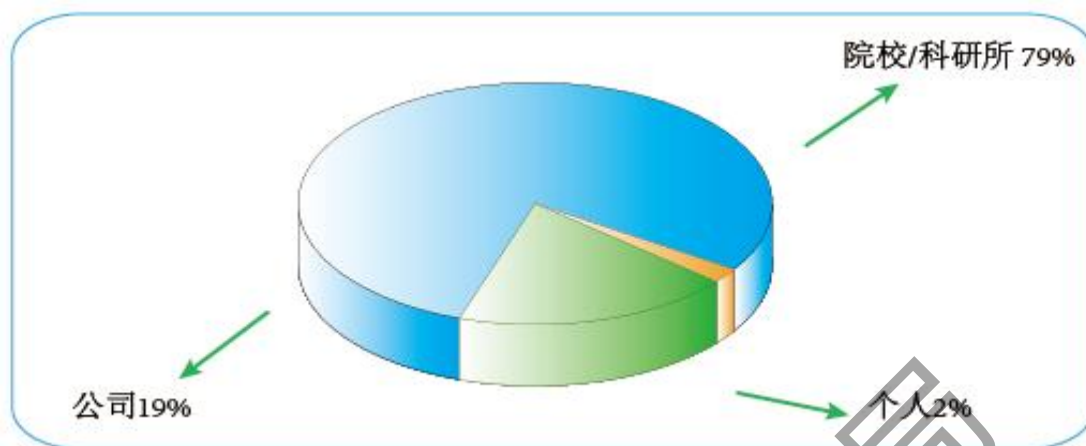


图 5.2 中国原始申请人类型占比

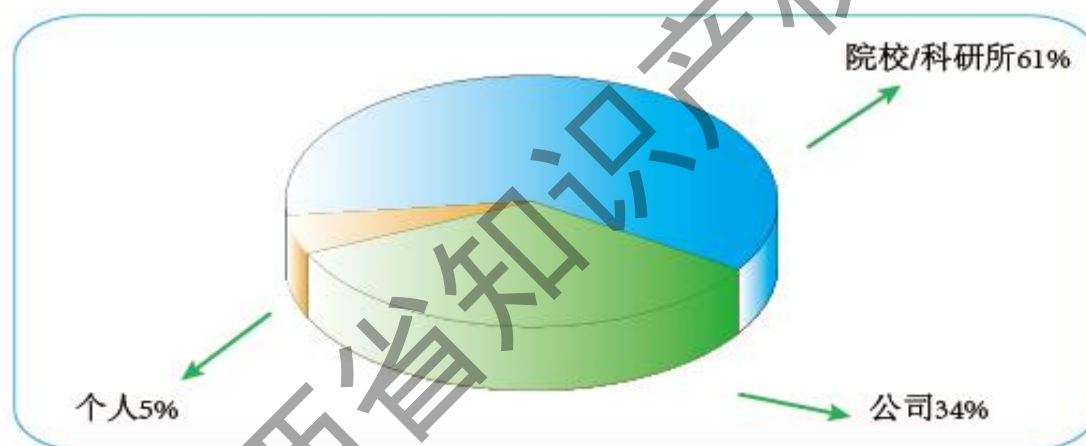


图 5.3 陕西省原始申请人类型占比

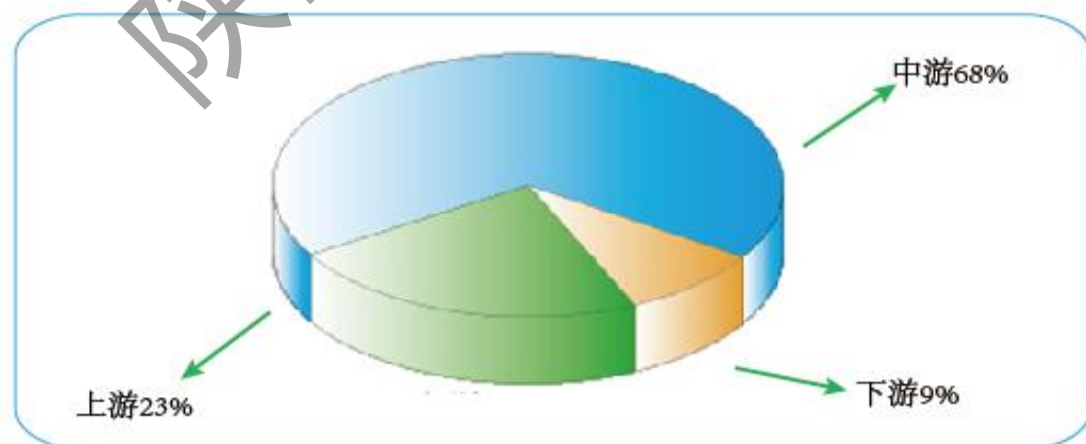


图 5.4 陕西省企业产业链分布

图 5.3 中，陕西省原始申请人类型：院校/研究所占比 79%，公司 19%，个人 2%。由图 5.3 可知，陕西省原始申请人中，院校占大多数，企业占比较少，应吸引更多企业入驻，整合企业资源，发展健康完善的产业链。

由图 5.4 可知陕西省企业（不包括院校/研究所）产业链多集中于中游，上游原材料的制备以及下游的应用方面较为薄弱。其中中游占比 68%，上游 23%，下游 9%。

发挥科研院校辐射效应整合相关企业，形成相互支撑，其次根据地域的资源特点，以政策为导向在国内形成多个发动机产业集群，突出集群效应。可通过以下路径实现：

路径一：院校辐射，区域资源互补

全球申请中企业申请占比高达 63%，反映陶瓷基复合材料产业具有很强的市场驱动力，但中国申请人中研究所与高校占比达到 61%，

高出企业 27 个百分点，陕西省申请人中，研究所与高校占比达到 68%，高出企业 45 个百分点。表明国内产业尚未形成规模，仍以科研院校基础研究为主。目前国内申请人中排名靠前的西北工业大学、中国人民解放军国防科学技术大学、南京航空航天大学、哈尔滨工业大学、中国科学院上海硅酸盐研究所、航天特种材料及工艺技术研究所和中南大学，集中了陶瓷基复合材料创新的主要核心力量，也是陶瓷基复合材料产业人力资源缺口的主要供给方，应当以上述科研院校所在区域为核心，发挥辐射效应，而陕西省应以西北工业大学和西安交通大学为核心与相关企业资源互补，形成陶瓷基复合材料企业的地区性聚集地。

路径二：政策扶持，国内资源整合

陶瓷基复合材料其技术突破还需要与配套产品的研制，以及合格认证、销售及售后服务等紧密关联，这都离不开国家在政策和资源上的扶持。陕西已建立了一些陶瓷基复合材料相关的企业，也形成了一些具有市场竞争力的企业。

分布于产业链的上、中、下游，可以将这些企业资源进行合理整合，根据地域的资源特点，从产业政策、金融配套、知识产权保护等方面构有特色的陕西省陶瓷基复合材料企业集群，突出集群效应。

在陶瓷基复合材料企业集群中，提升企业对技术情报信息的获取和研判能力，全面提升企业技术创新能力。大力推行企业知识产权管理标准实施，以创新型企业、领军型企业为重点对象，推动企业建立科学、规范的知识产权管理体系，提升中小企业的知识产权能力。通过以上陕西内外部资源整合，能够有效地提升陕西陶瓷基复合材料企业的整体竞争力。

路径三：专利引导，国际资源合作

陶瓷基复合材料目前在发动机应用方面处于通用电气、罗·罗和联合技术公司的技术垄断下，我国完全依靠自主创新进行关键技术突破必然是个漫长过程，可寻找合适切入点进行国际合作，有利于加快发动机产业发展。

一方面通过技术创新提升路径，在企业掌握优先布局及重点突破技术，实现关键点的弯道超车，甚至换道超车后，可以通过“技术换技术”的方式与发动机技术寡头开展合作（碳陶瓷刹车盘换发动机技术），现有的已参与国际产业链的生产外包商企业也可参考富士康模式，逐步掌握一些国际技术，开展集成创新；

另一方面，“市场换技术”也是重要战略路径。国外少部分企业技术储备在中国布局较少，且目前在国际市场竞争上处于劣势；比如某企业在中国进行了专利申请，但目前处于破产出售状态，可以分析其优势研发技术，通过专利转让、许可甚至并购等方式开展合作，从企业引入合适的创新技术。

5.2.2 企业整合与优化路径

产业结构调整优化路径

陶瓷基复合材料产业链长，技术难度大，投入经费多，必须培育产业集群。我国陶瓷基复合材料技术起步晚，产业链条上、下游业务分散，产业结构调整优化势在必行，从政策层面制定发展规划有助产业稳步发展。

（1）布局优化，形成国内产业链集群

通过前面的企业整合培育路径，形成一定企业集群基础上，应当进一步对国内陶瓷基复合材料产业布局进行优化。可以按照企业生产产品的类别和产品链，对企业进行重组，形成数量有限的几个陶瓷基复合材料产业集团，如参考美国西雅图、法国图卢兹等产业集聚区的发展模式，陶瓷基复合材料产业集群的形成，

能够使中小陶瓷基复合材料企业和配套企业也得到蓬勃发展，原材料采购和加工规模化，产生“邻近效应”，促进交流和竞争，充分发挥集群效应。

（2）参与合作，国际产业链融合

通过前面的企业整合培育路径，中国企业以积极姿态参与国际合作，在坚持自主创新研发原则基础上，吸收以美国为首的发达国家陶瓷基复合材料先进技术加以改造，逐步融入国际产业链，有利于我国陶瓷基复合材料产业结构优化。

（3）加强指导，形成陶瓷基复合材料产业规划

目前国家已出台《中国制造 2025》、《“十四五”国家战略性新兴产业发展规划》等政策文件，对陶瓷基复合材料的技术发展给予了支持，但在配套执行规划、人才与资金资源、基础设施支持等方面还缺少更具体的规划。产业规划应当紧密围绕技术创新突破路径，以五年作为时间节点，结合人才、企业发展路径，形成陶瓷基复合材料产业规划。

陶瓷基复合材料产业发展需要知识产权协同运用的同步发展。应当以陶瓷基复合材料专利导航信息为指引，以专利资源为纽带，构建企业主导，高校、科研院所、金融机构、专利服务机构等多方参与的专利运用协同体，实现资源共享、利益共享、风险共担和协同运行，营造良好的创新驱动发展基础环境。

5.3 创新人才培养引进路径

在全球化和信息化过程中，我国正从处于产业链低端的“世界工厂”向高附加值产品生产过渡，技能劳动者供求缺口日益扩大，高技能人才需求不断上升。据调查，技能劳动者占全国总就业人员人数的 19%左右，高技能人才仅占 5%，其根源是技能人才职后职业能力的提升没有跟上。当前，我国加速创新驱动战略，一支高素质的高技能人才队伍是建设创新型国家的重要支撑和保障。

高端、创新型人才的培养需要立足于本地，也要积极地从外部进行引进。接下来将从国内高校创新型人才引进和国内企业创新型人才引进进行分析，最后以示意性的方式分析重点人才，进而得出陕西省创新型人才培养/引进路径。

对可能引进的人才进行筛选时主要考虑的因素包括以下三点：

- (1) 创新人才在陶瓷基复合材料方面是否掌握了高新技术，是否有较强的研发实力；
- (2) 创新人才的研发是否与陕西省产业调整、发展方向相合；
- (3) 创新型人才是否具有与园区合作的意愿。

5.3.1 创新人才培养路径

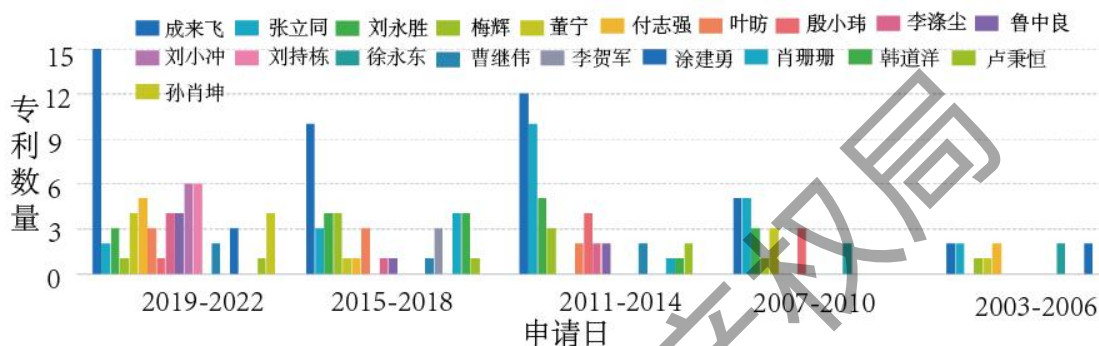


图 5.5 陕西省陶瓷基复合材料上游产业主要发明人分布

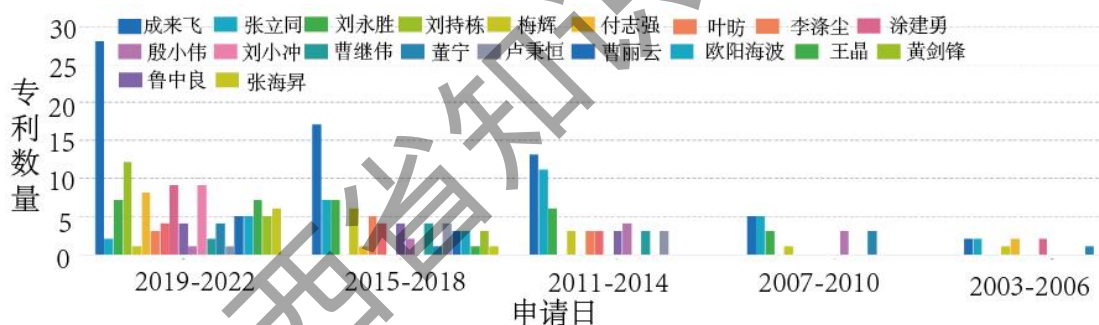


图 5.6 陕西省陶瓷基复合材料中游产业主要发明人分布

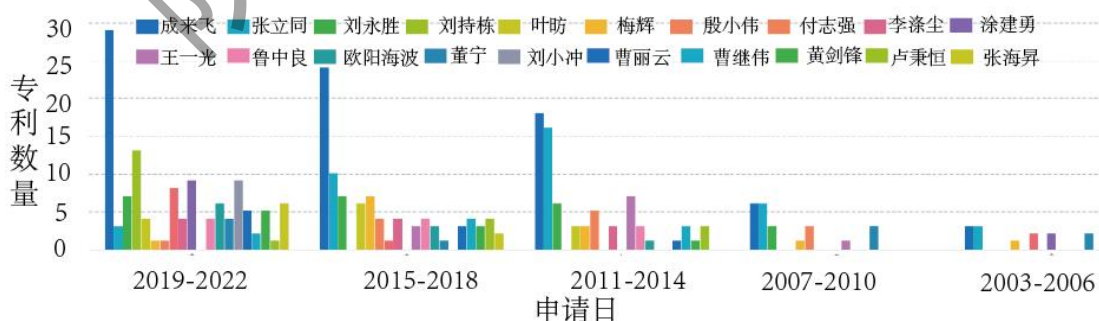


图 5.7 陕西省陶瓷基复合材料下游产业主要发明人分布

以专利申请量作为发明人创新型能力的指标，对陕西省内发明人创新能力进行分析，对陶瓷基复合材料上中下游产业链上发明人的创新能力进行评估，由图

5.5 可以看出，在陕西省内陶瓷基复合材料上游产业链中，成来飞、张立同、刘永胜申请了较多数量的专利，三人是陕西省内陶瓷基复合材料上游产业领域创新优势最为明显的发明人，除三人以外，也涌现了梅辉、董宁、付志强等创新型人才，陕西省内创新型人才储备丰富。由图 5.6 可以看出，在陕西省内陶瓷基复合材料中游产业链中，成来飞、张立同、刘永胜申请了较多数量的专利，三人是陕西省内陶瓷基复合材料中游领域创新优势最为明显的发明人。

进一步的，由图 5.7 可以看出，在陕西省内陶瓷基复合材料下游产业链中，成来飞、张立同、刘永胜也申请了较多数量的专利，三人是陕西省内陶瓷基复合材料下游领域创新优势最为明显的发明人，综合来看，成来飞、张立同、刘永胜等人在陕西省内陶瓷基复合材料上中下游产业链中具有突出的创新科研能力，其申请的陶瓷基复合材料专利完整的覆盖了陶瓷基复合材料的上中下游产业链，其研发的项目覆盖了陶瓷基复合材料的各个环节，陕西省可以根据自身发展重点，薄弱点选择性的依托本地重点企业、科研院校，对重点产业链上核心人才进行储备，培养，尤其是陶瓷基复合材料上中下游产业链上涌现出如刘持栋、梅辉、付志强、叶昉等人进行培养，做好创新人才储备工作。

具体做好本地区创新型人才培养需做到以下几个方面：

(1) 创建创新驱动战略下的高技能人才可持续发展观

高技能人才可持续发展是指对高技能人才的重视、尊重及全面发展，这不仅仅是要满足当前发展的实际需要，同时，还要满足未来发展的需要，对未来发展具有积极的推动作用。高技能人才可持续发展的内在要求，形成了高技能人才的可持续发展观。

(2) 尊重人才是人才可持续发展的关键。

科技创新活动是高技能人才在创新活动中运用自身专业知识、技能等并结合科技实践的创造性活动，高技能人才本身的主观能动性至为重要，科技创新活动的本质是人的社会活动，必须符合人的社会发展规律。因此，必须切实尊重高技能人才，营造良好的尊重高技能人才氛围，形成全社会鼓励创新、尊重人才的社会风气，使高技能人才积极主动参加到科技创新活动中来，贡献自己的聪明才智。

(3) 消除企业对高技能人才职业能力培养认识存在误区

创新驱动发展使企业充分认识到高技能人才的重要性，人才质量的优劣直接影响到企业未来的发展，加强企业自身人才的培养是企业创新驱动发展的重要工作。但是，在调查中我们发现：多数企业对人才的培养重点是放在高端研发队伍上，忽视了高技能人才对于企业创新发展的重要性和不可替代性。根据调查，企业获得高技能人才的主要来源有三个方面：一是市场招聘，二是企业培养，三是大学校招，市场招聘是企业获得高技能人才的首要来源，自行培养的方式极其稀少。企业虽然已经意识到高技能人才对企业技术革新的重要作用，但是，企业为了规避人才流失所带来的培训无效性和由于技能培训占用的工作时间所导致用工成本的增加，企业更多的是选择市场招聘，宁愿从市场高薪聘请高技能人才，也不愿意加强企业内部技能人才培养。直接导致恶性循环，“挖墙脚”不利于高技能人才的培养，使得整体的高技能人才质量发展缓慢。

（4）政府增加对高技能人才职后能力培养投入

在人才引进方面，政府更多关注的是高科技创新人才的引进。政府和企业给予高科技创新人才提供了户口、待遇、经济补贴等多方面优惠，而给予高技能人才的优惠政策有限，落户较为不易。高科技创新人才和高技能人才待遇的巨大区别，严重阻碍技能型人才继续学习技术、创新流程的积极性。另一方面政府对高技能人才职后能力培养缺乏有效激励。据调查，企业高技能人才的培养经费主要来自于单位自身，调查中仅有极少数企业的培训经费得到政府的部分资助，企业独自承担高技能人才的培养费用，严重影响了企业内部高技能人才职后能力培养的热情。

（5）增强企业对高技能人才职后能力培养的力度

首先要增加企业内部高技能人才培训费用：高技能人才技能的提升源自于先进技术理论知识的吸收和大量工作经验和技能的积累，技术设备的不断更新要求高技能人才必须在现有知识和技能的基础上不断学习。虽然，企业已经增加了内部技能培养的机会，但是很多培训内容都停留于表面，并没有多大的实质性改变，师傅带徒弟、经验交流等方式仍然是职业能力及技能培训的主流，虽然缩小了企业短期的生产成本，但是培训效果比较差。

其次要建立有效的高技能人才激励机制：企业作为用工主体，在高技能人才培养上其主导作用。但是当前很多企业只注重人才的使用，未建立合理的基于技能水平考核上的高技能人才激励机制。企业中工人和技术研发人员身份的区别，使得技术工人待遇和研发人员的相差甚远，职业晋升通道比较狭窄。在上市企业中，技术研发类、管理类的高端人才往往能获得公司股权作为奖励，但是高技能人才却很少获得此项嘉奖。激励机制的缺乏，个人价值的被否定必定影响高技能人才学习、创新的积极性。当技术工人努力工作却得不到企业的肯定和重视的情况下，技能人才会降低对先进技能学习的热情，而寄希望于成为“白领”，来摆脱社会地位低、待遇差的情况。

（6）创新驱动战略下高技能人才职后职业能力提升路径

首先要营造尊重技能人才良好氛围：营造崇尚社会技能，尊重高技能人才的良好氛围。人才观影响着各个国家的人才培养情况，也对我国现在和未来经济的发展至关重要。在我国普遍存在着重学历轻技能的传统观念，影响高技能人才成长。政府应该充分利用各种新闻等舆论宣传手段，宣传高技能人才在我国经济建设中的作用，树立人才多元论的思想，对于在一线操作的技术工人给予尊重和支持，大力表彰和嘉奖对企业、行业技术工艺革新做出突出贡献的高技能人才，使人们充分认识到高技能人才在未来经济发展中的重要营造社会重要和价值。

其次要开拓多种高技能人才职后能力培养模式：企业承担着高技能人才使用、培养、考核、评价的重要使命，是高技能人才成长和工作的地方，在高技能人才培养建设中处于主体地位。首先，企业内部可以实行“名师带徒制度”建立职业技能培训机制。企业中优秀的高素质技能人才往往掌握企业先进的操作技术，了解企业战略和产品，知晓行业所需的技能，通过多年的实战经验能很快的指导学员如何最快的掌握和使用企业的生产技术设备。而且师傅带徒弟的教学模式，可以直接在企业进行，减少了外出职业技能培训产生的误工时间所带来的生产成本增加。企业也可以选派部分高技能人才在日常的工作中对初中级技能人才工作进行指导，帮助解决生产中的问题。其次，企业可以设立专门的疑难课题攻关小组和技师协会，为他们提供技术交流的平台鼓励技能人才组成多个研发小组，解决新技术、新工艺、新设备引进和使用过程中遇到的问题，拨出部分资金用于奖励在

企业技术、工艺改进上有突出贡献的个人和团体。对于大型企业，拥有较雄厚的资金和培训管理队伍，可以兴办自己的企业大学，如我国海尔、联想集团以及国外的麦当劳、通用集团都有自己的企业大学，这既有利于培养一大批本行业、本领域的高素质技能人才队伍。

(7) 寻求和院校的合作共同培养高技能人才

高职院校专业的师资队伍、教学实验设施可以为企业所用，企业可以通过一定的程序选拔优秀的技能人才到高职院校深造，强化他们的知识和技能，这对于为企业快速培养高级技能人才是一条很好的途径。面对陕西省近几年出现大规模的产业集群，各区域同行业的企业大量聚集，加剧了企业之间的技术学习和交流，中小型企业可以协商共同建立研修班或派学院参加行业协会举办的技能研讨会和比赛，加强技术技能学习和探讨。

陈照峰、水淼、王军等人是陶瓷基复合材料上游产业领域重点研发人才，周延春等人是陶瓷基复合材料中游产业领域重点研发人才。

王军，1997年毕业于国防科技大学，获博士学位。现任国防科技大学航天科学与工程学院副院长，总装备先进材料技术专家组专家，863新材料领域主题专家组专家，主要研究领域为元素有机聚合物和高性能陶瓷纤维方向。连续碳化硅纤维作为一种高性能陶瓷纤维材料，具有高强度、高模量、以及优异的耐高温氧化特性和电性能可调等特性，在航空、航天、国防、核工业等领域占据着举足轻重的地位。国防科技大学作为国内最早从事连续碳化硅纤维研究的单位，从上世纪80年代开始在连续碳化硅纤维研究开发方面做了大量工作，取得了丰硕的研究成果。

陈照峰，男，南京航空航天大学材料科学与技术学院教授，主要研究方向为隔热防热材料，包括陶瓷基复合材料、超级绝热材料、人工智能材料、数据材料，发表学术论文300余篇，SCI收录100余篇，授权发明专利100余项，陈照峰教授带领课题组已与瑞士EMPA、英国Brunel University、加拿大NRC、美国OSU、德国ZAE、Va-q-tec和POREX THERM、法国REXOR、以色列HANITA、韩国LG和SAMSUNG、巴基斯坦Insitute of Space Technology等研究机构或国际知名企业的相关课题组建立了良好的合作关系，不断加强研究生和研究员的互访交

流，研究水平和进展与国际同步，促进我国超细玻璃纤维和超级绝热材料科学与工程快速发展。

水淼，宁波大学副教授，博士、硕士生导师，浙江大学理学院化学系博士。长期从事功能无机（复合）材料的制备、开发、应用研究。包括高性能陶瓷、化学电源、纳米复合材料，主持参加多项国家、省科学研究项目，在国内外核心期刊发表论文逾 30 篇，申请国家发明专利 20 余项，已授权 2 项。

周延春，航天材料及工艺研究所研究员，博导，先进功能复合材料技术重点实验室副主任。世界陶瓷科学院院士，美国陶瓷学会会士。1985 年毕业于清华大学，1988 和 1991 年在中科院金属所分别获得硕士和博士学位。1992-1994 年在美国密苏里大学做博士后。长期从事高温陶瓷及复合材料的多层次结构设计、制备和性能研究。在 *Annal Rev. Mater. Res.*, *Inter. Mater. Rev.*, *Acta Mater.*, *J. Am. Ceram. Soc.* 等期刊上发表 SCI 论文 350 多篇，被引用 8150 多频次，H-因子 47。

王军、陈照峰、水淼、成来飞等均为高校教授，他们作为陶瓷基复合材料领域的带头人，均组建有自己的研究室或课题组，每年大概能够培养共 500 名毕业生，企业可以考虑从他们的研究室或课题组中选择优秀的硕士研究生或博士研究生进行人才引进。通过产教融合让在校学生得到专业的定向培养，精准对接企业用工需求，学生入职后既能快速适应工作环境，又能极大减轻公司的培训成本。

要完善评价激励机制，鼓励企业高技能人才成长，大力支持和鼓励企业员工参加技能培训，对于主动学习新知识新技能的技术工人给予精神上 and 实物上的鼓励和支持，是他们能够积极参与企业技术革新、设备工艺改进活动。选拔优秀的高技能人才参加国内外举办的重大职业技能培训活动，对于参加培训的关键技术类岗位的技师和高级技师给予培训经费上的支持，并对通过培训取得相应资格证的人员给予经济上的补贴，激励员工学习新知识、新工艺，充实自我，寻求与企业共同发展的成长道路。

企业要建立公平的薪酬制度，将员工的薪资与其业绩贡献联系起来，确定合理的薪金待遇，鼓励技能型人才不断学习新的知识和技能，帮助企业解决生产性难题，发挥其创造性。逐步建立起职工凭借其职业技能资格、业绩确立薪资的薪酬分配方案和职位晋升考评机制，降低员工工龄、学历等因素在薪资结构上所占

的比例。并且企业应该平等对待技能型人才和技术性人才，制定合理的高技能人才带薪培训、出国进修、休假等方面的支队。

企业内部开展技术比武、技能竞赛、技能月等活动，鼓励企业员工参加技能评比活动，展示自己的技能劳动成果，在企业内部形成尊重技能人才、鼓励技能创新的文化氛围。同时，企业定期选拔优秀的技能型人才参加行业、市区国家举办的各类技能人才比赛。通过各种技能比赛，能调动员工学习技能的主动性、积极性，也有利于企业发现和使用高素质技能人才，有助于高级技能人才的培养。

5.3.2 创新人才引进路径

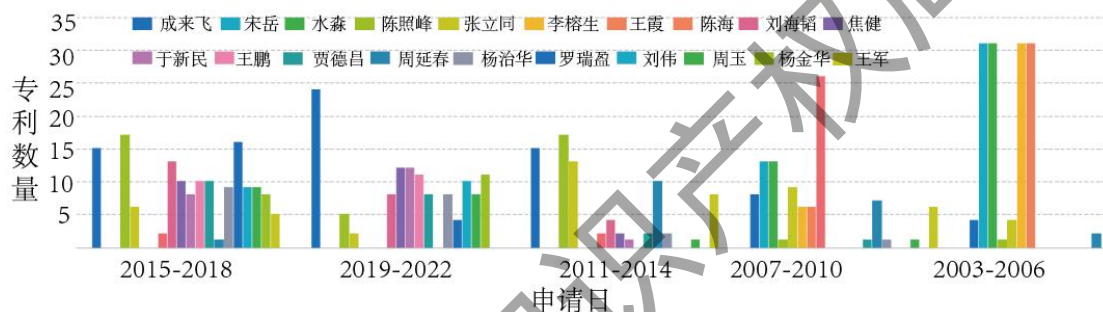


图 5.8 全国陶瓷基复合材料上游产业主要发明人分布



图 5.9 全国陶瓷基复合材料中游产业主要发明人分布

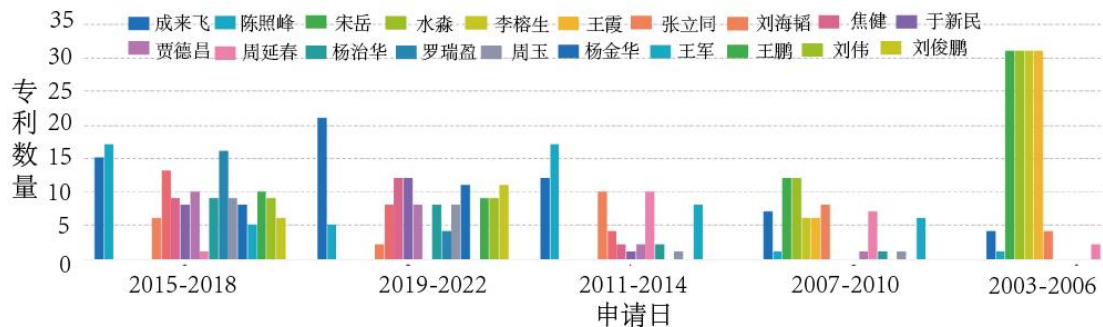


图 5.10 全国陶瓷基复合材料下游产业主要发明人分布

以专利申请量作为发明人创新型能力的指标,对全国发明人创新能力进行分析,对陶瓷基复合材料上中下游产业链上发明人的创新能力进行评估,除陕西省陶瓷基复合材料领域主要创新研发人才外,由图 5.8 可以看出,在陕西省内陶瓷基复合材料上游产业链中,陈照峰、陈海、宋岳、水淼、王军、于新民等人是陶瓷基复合材料上游产业领域重点研发人才,由图 5.9 可知,陈照峰、宋岳、水淼、李榕生、王霞、陈海、焦健、于新民等人是陶瓷基复合材料上游产业领域重点研发人才。

由图 5.10 可知,陈照峰、宋岳、水淼、李榕生、王霞、刘海韬、焦健、于新民、贾德昌、周延春是陶瓷基复合材料下游产业领域重点研发人才,获得了突破性创新性成果,从长远发展角度来看,陕西省内陶瓷基复合材料引进人才对象可包括以上陕西省外优势陶瓷基复合材料优势产业链上创新人才,建立长期的人才培养计划,来满足陕西省陶瓷基复合材料长期健康发展。

通过积极引进人才,深入实施创新驱动战略,以陕西省为核心建设陶瓷基复合材料自主创新研发基础设施、科技专项落户,与国内一流高校院所、企业合作共同打造重大创新平台,为陕西省陶瓷基复合材料项目发展提供坚实基础。

5.4 技术创新引进提升路径

5.4.1 陕西省领先产业环节的技术提升路径

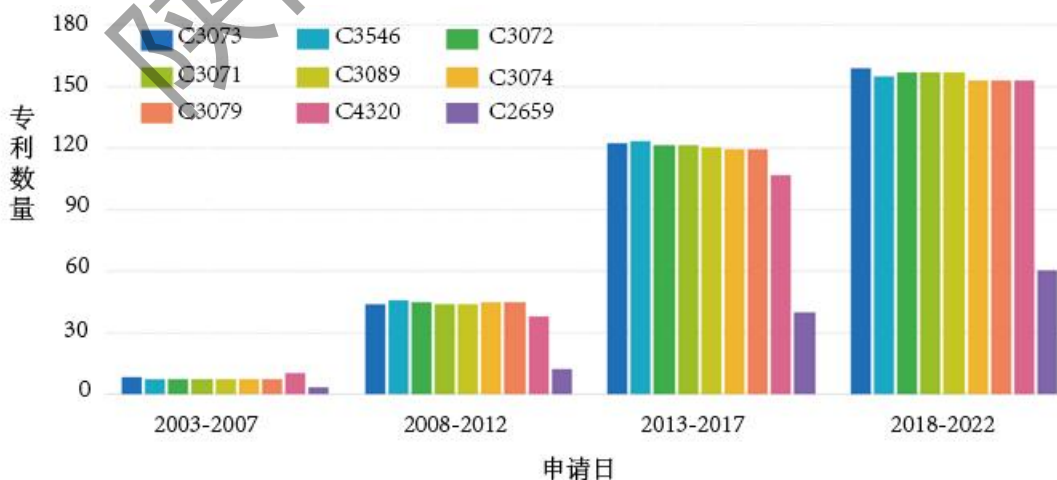


图 5.11 陕西省陶瓷基复合材料专利 GBC 分类号随时间变化的趋势

图 5.11 陕西省陶瓷基复合材料专利 GBC 分类号随时间变化的趋势，图 5.11 分析了陕西省 GBC（国民经济行业）分类号随时间变化的趋势，其中纵坐标，从左至右依次为：C3073 特种陶瓷制品制造，C3546 玻璃、陶瓷和搪瓷制品生产专用设备制造，C3072 卫生陶瓷制品制造，C3071 建筑陶瓷制品制造，C3089 耐火陶瓷制品及其他耐火材料制造，C3074 日用陶瓷制品制造，C3079 其他陶瓷制品制造，C4320 通用设备修理，C2659 其他合成材料制造。由图可知在 2003-2022 年期间，陶瓷基复合材料相关申请增长迅速，在后十年增长较前十年相对放缓。

陕西省陶瓷基复合材料产业链中领先环节主要是产业链中游，而要想使产业链中的领先环节进一步提升，就要提升创新能力，进一步的保持并提升中游技术，则需要做到以下几个方面：

产业链中游优势要与之匹配的产业配套规模，并且要努力做到自主可控。构建国内大循环的目标之一，就是要以更高的产业层级，更大的比较优势，更积极地参与甚至引领全球产业链的布局，实现产业链供应链的自主稳定、创新发展。

要加快构建先进制造业产业集群，巩固壮大实体经济根基。产业链中游的优势强化首先体现在产业配套规模上，只有具备较大的产业集群规模，才具备从大到强的产业基础。加快培育先进制造业集群，推动陕西省陶瓷基复合材料产业向全球价值链中高端迈进。一方面，要锻造产业链中游长板。产业链中游的成本优势正逐渐减弱，但其完整优势仍存在，可通过持续提升产业链中游制造的工艺、质量、设计与效率，来巩固既有竞争优势，使其成为先进产业链的重要组成部分。

要着力构建以企业为主体的创新体系，努力实现产业链自主可控。要加大力度培育具有全球竞争力的链主企业，注重引导骨干龙头企业（西安鑫垚）通过兼并、合资、合作的方式不断改进升级产业链中游的技术，关注核心技术的提升。此外，还要加大力度培育更多产业链中游的隐形冠军。隐形冠军代表着所在产业链细分领域的高度和水平，培育产业链中的隐形冠军，需要从培育一大批“专精特新”的中小企业做起，要积极鼓励中小企业通过联合创新，推动“专精特新”企业把基础产业创新能力和水平做上去。

当下，新冠肺炎疫情与不确定的经济全球化形势对全球市场产生深刻而持久的影响，而对于创新活动和产业发展而言，这既是挑战也是机遇。这要求已有的

产业链和创新链在应对错综复杂变局时，需要增强适应性和前瞻性，要具备极强的修复力和更好的循环韧性。产业链中游技术的提升，关乎着新发展格局的形成。

5.4.2 陕西省重点产业环节的技术赶超路径

目前陕西省重点产业环节需要实现技术赶超需遵照以下路径：

(1) 提升龙头引领作用。加强对企业的挂钩服务，切实帮助企业突破发展瓶颈；支持企业申报国家级、省级农业产业化重点龙头，推动企业做大做优做强；引导企业与院校/研究所建立稳定的合作关系，依托区域特色产业，围绕生产经营特点，因地制宜组建陶瓷基复合材料产业化联合体，建立完善利益联结机制，实现合作共赢。

(2) 延伸陶瓷基复合材料产业链条。支持企业通过以商招商方式，加强上中下游合作，实现各环节相链接。

(3) 强化金融信贷服务。进一步扩大“政府基础风险金”规模；减轻企业贷款利息负担；鼓励银行等金融机构针对陶瓷基复合材料企业特点，积极开展金融创新，加强对企业上市的辅导服务，支持企业到主板、科创板或赴境外上市，解决企业快速发展的资金瓶颈问题。

(4) 强化发展要素保障。加强人才支持，鼓励企业采取多种形式培养业务骨干，积极引进高层次人才，并享受我市人才引进待遇。

(5) 提升科技创新能力。支持企业加大科研投入，开展陶瓷基复合材料精深加工技术创新，引进国内外先进技术和设备，推进产品结构和产业结构升级；支持企业深化与高校、科研院所、行业技术开发基地合作，加快关键核心技术攻关；支持企业建设一批国家级、省级企业技术中心、研发中心、重点实验室等，打造发展新优势。

(6) 加强品牌培育推广。鼓励企业发展技术含量高与附加值高、有市场潜力的名牌陶瓷基复合材料相关产品；多渠道扩大品牌产品经营规模，提高产品市场占有率。

5.4.3 陕西省薄弱产业环节的技术加强路径

目前陕西省陶瓷基复合材料薄弱环节主要是上游缺乏高性能纤维以及下游的应用领域过窄。

可通过以下路径增强薄弱环节：

陕西要着力推动基础技术与共性技术的研发推广，帮助企业掌握成熟的先进适用生产工艺、自动化或柔性生产技术，加快核心技术国产替代进程，推动陶瓷基复合材料产业高端化、智能化、绿色化，发展服务型制造，健康产业集群形成行业规模。

产业发展的周期性、产业结构的变动性、全业态的整体性，要求陶瓷基复合材料产业形成前瞻性发展格局。纵观历史，进入现代化发展阶段的国家和地区，无一例外地把战略性新兴产业发展放在国家层面进行布局和推进。高水平的创新是推动战略性新兴产业发展的根本需要。

通过创新链重构、创新传导机制优化等方式，可解决在高质量发展中存在核心技术短板以及薄弱环节问题，从而形成高新技术、关键核心技术的产业化，培育出一批战略性新兴产业，最终增强全产业链的竞争实力。

新旧动能转化是提升产业发展水平的关键因素之一，而创新活动的重点之一就在于为新旧动能转化提供新选择，从而达成资源节约、效率提升、供求相适的良性循环。此外，随着供给侧结构性改革的不断深入，产业转型、新业态培育、新产品供给等产生了一系列新需求，对创新发展的模式产生了新的要求，所以高水平的创新还需要聚焦在供给侧结构性改革上，为战略性新兴产业发展提供其他相关产业的支撑和辅助。

增强薄弱环节还需要产业数字化与数字产业化，其可为产业链创造出新的赋能方式。与此同时，创新和产业链融合过程中将溢出大量数字技术问题和数字化需求，从而强化数字技术应用的传导功能，促进数字经济的扩展和深化。

增强薄弱环节还需要实现创新和产业链融合发展，需要在目标融合、价值融合、技术融合、组织融合、反馈融合等方面形成系统化的融合。本质上就是要解决创新需要和产业发展需要的有机融合问题，使融合成为共赢，这需要更具有指导性、协调性和优惠性的创新发展政策和产业发展政策的支持和匹配。

此外，陕西还要加强全要素创新模式构建工作。加快创新人才的引才和培养工作，聚集符合创新链和产业链的人才；打造高端创新要素聚集全球性平台，优化各种创新资源平台；加强政策引导，探索创新要素的市场交易、产业孵化、产品转化新机制。

5.4.4 陕西省空白产业环节的技术引进路径

在空白产业环节，不能仅靠引进和并购的方式，自主科技创新的方式更为重要，创新又分为激进式创新和渐进式创新；激进式创新，带来技术的突破性改变；另一类是渐进式创新，沿着现有技术轨道与路线改进。现实中两类创新是相互联系和交织在一起的。从宏观来看，从某项突破式的技术发明到技术应用的扩散，再到应用达到足够广度与深度从而改变经济运行模式，在这个过程中既有激进式也有渐进式的创新活动。

科技创新不是一般的经济活动，有其自身的特征。首先，从时间维度看，技术进步有累积效应和路径依赖，长期主义是创新的朋友，追求短期利益则欲速不达。传统的成本收益分析不利于创新，创新活动的成本比较容易量化，但未来的收益有很大的不确定性，如果按照成本收益比较对创新项目进行排序，投资期限短、风险小的项目将更受到重视。作为不确定环境中进行跨期资源配置的工具，金融和创新有天然联系。

就目前陕西省的实际情况，应该走渐进式创新为主激进式创新为辅的道路，稳中有进，上下游的创新能力呈波浪式上升趋势。

在自主创新中，研发投入只是一个方面，一个有效的创新体系需要在时间与空间两个维度形成正向的激励和扶持机制。创新是一种集体行为，有不同的参与者，有政府机构和私人机构，私人机构又包括大企业、中型企业、小企业，还有大学、公益机构等社会组织。创新能力培育是一个系统工程，需要处理好多方面的关系，首先是政府与市场的角色定位。

那么专利权是如何促进创新的？

一个是激励创新投入，还有一个作用更重要但不是那么显而易见。专利权可以卖给制造者，使得发明者和制造者分离，各自做擅长的事；专利权可以分割、

可以捆绑，也可以作为抵押品吸引投资。知识产权制度实际上创造了一个交易市场，促进了亚当·斯密所讲的“看不见的手”（分工和贸易）在资源配置中发挥作用。

在自主创新中还应该正确对待垄断，陕西甚至中国还在陶瓷基复合材料产业上还未形成像美国通用那样具有部分垄断技术的企业。理论上讲垄断对创新有正反两方面的作用。大型企业（有市场势力）更有能力进行长时间的研发投入和承受失败的风险，也更有意愿创新。有两个可能的情形：一是没有现实的竞争者模仿抄袭创新成果，垄断者不需要担心为他人做嫁衣裳，由此有动力通过创新降低成本，获得超额收益；二是创新有利于垄断企业维持市场势力，如果自己不进行创新就面临被潜在竞争者颠覆的危险，只要创新的成本低于维持垄断获得的利润，垄断企业就有创新动力。因此陕西省需要扶持一到两个在国际市场上有着自主独有技术的超大型企业，以此带动整个陕西省的陶瓷基复合材料产业的发展。

在此过程中政府也应当起到引导企业的作用，从美国的历史看，一些不受股东短期行为约束的大型企业如通用电气公司（通用电气公司）在鼎盛时期投资上游的基础性研究，因为它们错误地（事后看）认为自己可以长时间处于垄断地位，可以持续地享受和支配垄断租金。这些垄断在 20 世纪 80 年代被打破了，其基础性创新研发也因此大幅下降。美国的经验显示，政府的投入和干预既弥补了市场的不足，又避免了大型垄断企业可能的利益冲突。

5.5 专利协同运用和市场运营路径

专利作为一种法律制度，确认了创新主体对创新成果的所有权及相关使用权，这种专利可以转让、许可、质押、入股、储备和组合运用。以市场化机制对专利开展商业化运用就是专利运营。专利作为产品或服务可以实现创新结果的价值，不同的创新主体可以自身对其加以利用，进而盈利。专利的市场化也催生了专门投资专利运营的组织。

我国正在实施创新驱动发展战略，迫切需要加强知识产权创造和运用。2008 年国务院颁布实施的《国家知识产权战略纲要》明确提出要按照激励创造、有效

运用、依法保护、科学管理的方针，大幅度提升我国知识产权创造、运用、保护和管理能力，为建设创新型国家和全面建设小康社会提供强有力的支撑。

表 5.2 专利运营模式

比较项目	专利交易诉讼模式	专利掠夺诉讼模式	专利投资诉讼模式	专利防域诉讼模式
模式内涵	回收研发成本或扫清研发与生产障碍	形成掠夺效应；获取垄断优势	专利赔偿和机会主义许可	集中管理，提供诉讼防御服务
主要专利战略的应用	基本专利战略、专利网战略、专利转让许可战略、申请方位专利战略	专利组合战略、策略联盟战略、专利与标准结合战略	专利收购战略	收购战略、专利集中战略
诉讼资源的获取方式	内部开发为主	优势企业内部开发、联盟内合作创新、专利资源共享	外部购买为主	以外部购买为主；兼一部分合作开发
诉讼资源集中程度	较低	较高	高	高
评价优势	核心专利；互相套牢	组合规模效应；测略性联盟	无反讼顾虑；能预测诉讼损益	预先购买；集中防御管理

2012年国务院办公厅转发的《关于加强战略性新兴产业知识产权工作的若干意见》更加明确了知识产权创造和运用对于战略性新兴产业发展的作用与意义，强调积极创造知识产权，是抢占新一轮经济和科技发展制高点、化解战略性新兴产业发展风险的基础；有效运用知识产权，是培育战略性新兴产业创新链和产业链、推动创新成果产业化和市场化的重要途径；并明确提出支持战略性新兴产业企业开展知识产权运营。然而，由于我国开展专利运营起步的晚，基础薄弱，加

之国外专利运营公司不断加大在我国的专利运营力度，且有联合打压我国正在成长企业之势，有的已经直接影响到产业创新发展的生态链。因此，如何有效地利用手中专利和获取有效专利成为企业快速发展的必经之路。

由表 5.2 可以看出，专利运营主要包括专利诉讼、专利质押融资以及专利协同创新等。专利能够为企业带来丰厚的经济利润和社会效益，因此企业专利的保护是企业发展中极为重要的内容。专利侵权诉讼作为一种较为特别的社会行为，通常是多种原因综合影响的结果。在经济学理论中，人们在进行侵权诉讼的过程中，体现出来的选择行为是一种偏理性的行为，也就是说，以自身主观的预估进行成本和效益的核算，而人的预期具有一定的主观性，利用环境因素、心理变化、逻辑思维以及社会规则等都有可能对主观预期产生一定影响。同时，在实际生活中，由于事务的不稳定性和复杂性，以及信息获取和整合的能力有限，企业难以获取侵权相关的完整信息。专利战略和专利诉讼行为都具有攻击和防御的双重特性，如表所示。企业专利诉讼行为与专利战略的关联性如图所示。企业专利诉讼行为基本可分为专利交易诉讼、专利掠夺诉讼、专利投资诉讼和专利诉讼防御等四种主要模式。企业通过获取诉讼资源，运用不同的专利战略，实施不同的诉讼模式，从而达到维持和提升企业竞争优势、增强核心能力目标。

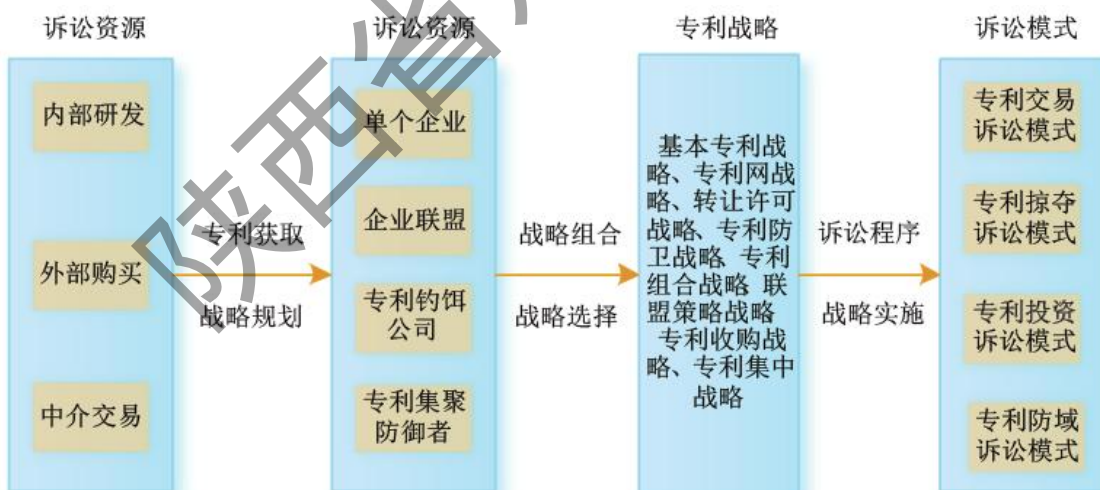


图 5.12 企业专利诉讼行为与专利战略的关联性

由图 5.12 可知，企业专利诉讼行为与专利战略息息相关在知识经济时代，小微企业之间的竞争已经从机器、厂房、设备等有形财产的竞争转变为无形产，尤其是知识产权的竞争。无论是在产品创新、产业转换还是在产业升级中，小微

企业赖以生存的往往是科技含量较高或者差异化程度比较明显的产品或服务，从而构成小微企业的竞争优势。若及时申请专利并获得专利授权，就可以强化小微企业的市场垄断地位。

专利与产品、服务的科技含量及其差异化组合，构成了小微企业的核心竞争力。鉴于有些小微企业转型升级为高科技型企业，其核心资产是专利(尤其是发明专利)、商标(尤其是驰名商标)，版权(尤其是核心版权)等无形资产，金融机构应针对小微企业进行知识产权无形资产融资产品创新。一方面可以打破传统的固定资产抵押贷款模式，为小微企业开辟新的融资渠道；另一方面可以协同配合国家知识产权战略的实施，推进专利转化及其产业化；再者，还可以在政府、银行和技术市场等相关主体之间树立一种全新的知识产权价值观，从而引导银行突破现有思维模式和融业发展定式，尽快实现由重视有形财产抵押向专利权质押的本性转变。

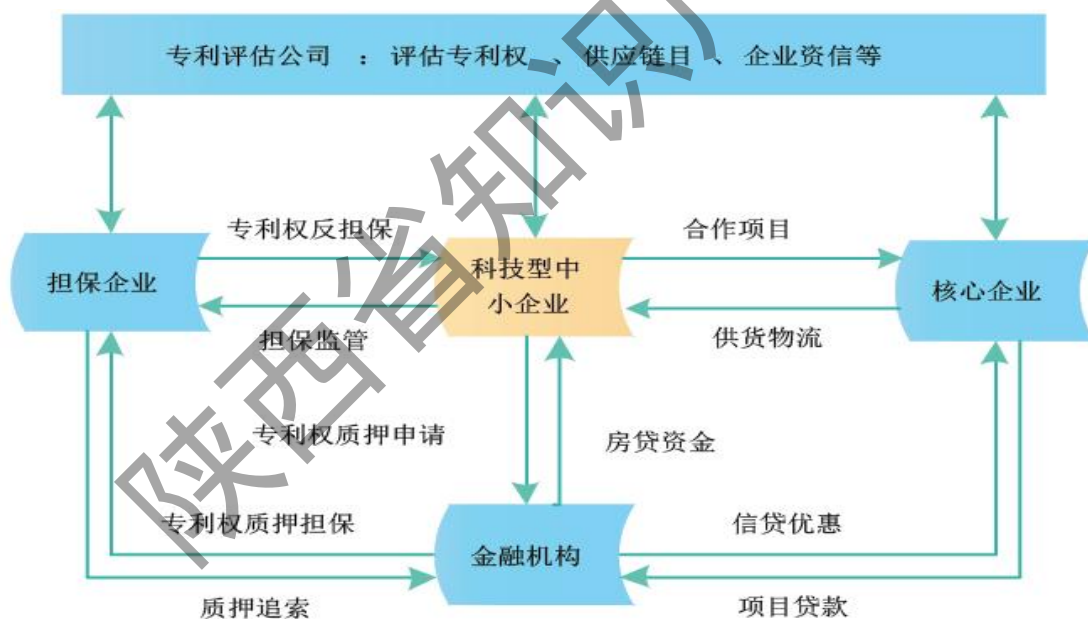


图 5.13 专利权质押融资的基本形式

图 5.13 展示出了使用专利质押融资的基本形式。通过专利权质押，一方面有助于小微企业将其专利等知识产权变现为急需的现实货币，满足小微企业的融资需求，解决小微企业资金缺乏的瓶颈性难题；另一方面有利于金融机构寻找优质客户，从产业链、价值链及市场地位等视角来判断融资客户知识产权的市场价值和潜在价值，为贷款提供可靠的决策依据。

随着知识产权战略在企业发展及经营中所体现出的越来越明显的竞争优势，国内企业知识产权意识也在逐步提高，然而，数量众多的中小型企业由于处于发展初期，研发实力相对薄弱，企业如何获取足够的用于运营的专利成为一个新的问题。

与此同时，随着近几年来为建设创新型国家，国家加大了对高校科研经费的投入。高校科研活动基本可以分为基础研究、应用研究及开发研究三类，就目前而言，部分高校的应用研究及开发研究由于缺乏市场调研，未与中小型企业技术需求和市场需求接轨，导致其技术研究成果产业化困难。解决这种资源不能合理匹配和整合的现象需要企业与高校、科研院所的协同创新。

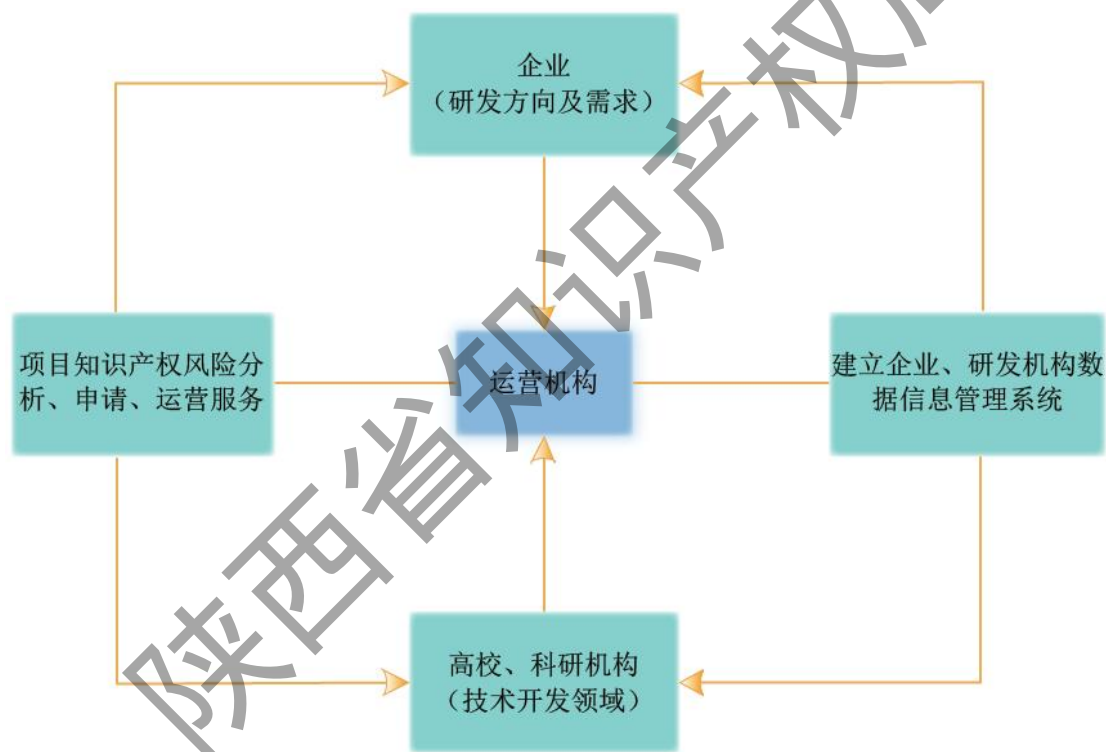


图 5.14 企业与高校或科研机构的协同创新路径模式

图 5.14 展示出了企业与高校或科研机构的协同创新路径模式。运营机构为企业和高校、科研机构提供专利运营的服务平台，根据企业提供的产品和技术研发方向，建立企业需求数据库；根据高校、科研机构提供的其擅长的技术开发领域，建立高校、科研机构数据库。通过运营机构荐或者企业与高校、科研机构之间自行就产品和技术开发达成合作；同时，运营机构为该技术开发项目进行前期知识产权风险分析；对于高风险项目进行风险规避设计；对于无风险或低风险项

目，高校、科研机构按照企业需求进行定制技术开发。技术开发完成后，通过运营机构对完成的技术开发项目进行知识产权确权，提供知识产权运营服务。

国内外的有效专利虽然数量较多，但是，他们基本掌握在国际巨头手中，例如通用、罗·罗、赛峰等大型跨国公司，这些公司基本已经完成专利布局。且具有巨大的市场份额，与他们的合作谈判目前来说较为困难。另外，国内高校和研究所具有较强的研发实力，其专利数量以及授权有效专利数量比较客观，这说明国内高校和研究所在陶瓷基复合材料领域已经具备了良好的技术沉淀，对于亟待发展陕西来说，与他们合作是较好的选择。

国内高校和研究所具有较强的研发实力，其专利数量以及授权有效专利数量比较客观，这说明国内高校和研究所在陶瓷基复合材料领域已经具备了良好的技术沉淀，对于亟待发展陕西来说，与他们合作是较好的选择。

5.5.1 陕西省专利质押与许可情况

表 5.3 陕西省专利质押情况

质押人	质押专利数量
西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司	1
陕西安康三航纳米科技股份有限公司	1

表 5.4 陕西省专利许可情况分析

专利许可公司	年份	数量
西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司	2013	1

表 5.3 及表 5.4 展示出了陕西省陶瓷基复合材料专利运营情况，可以看出在 2003-2022 年间，陕西省陶瓷基复合材料相关企业已经有了专利保护运营意识，且进行了相关专利的运营活动，其中专利质押较为活跃的企业有西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司及陕西安康三航纳米科技股份有限公司，陕西省内专利许可较为活跃的年份为 2013 年，这表面陕西省陶瓷基复合材料企业具有了一定的专利运营意识，但活跃程度还远远不够，数量太少，有待加强，陕西省应加强专利运营活跃度，提高企业竞争力，激发企业活力。

5.5.2 专利协同运用路径

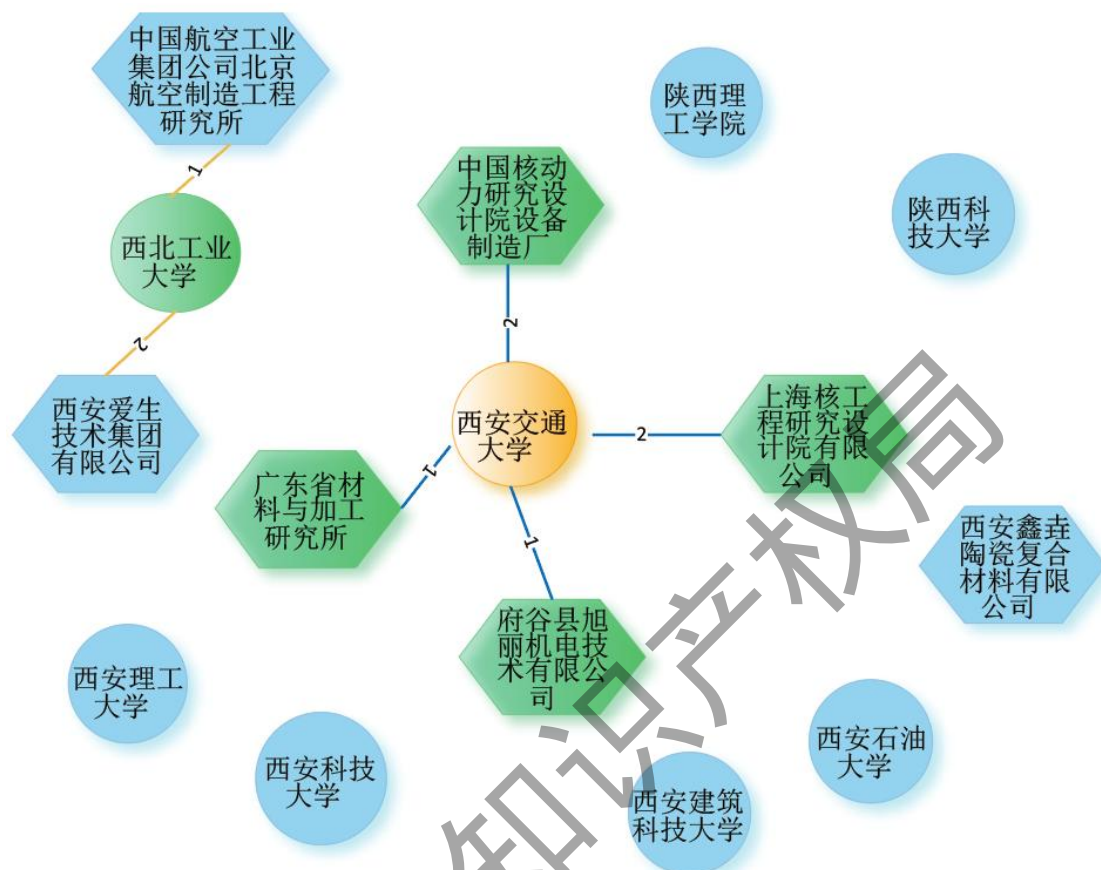


图 5.15 申请人的合作关系图

由图 5.15 可知在陶瓷基复合材料的整个产业链中，陕西省专利合作申请情况不多，其中进行合作申请的院校只有西北工业大学和西安交通大学，其中西安交通大学的合作对象较多，有中国核动力研究设计院设备制造厂、上海工程研究设计院有限公司。可见，陕西在专利协同运用方面存在较大弊端，其一为对外合作过少，不利于与优秀企业或科研院所共同创新，突破产业发展瓶颈；其二为产业链中下游的企业之间协作程度很低，各企业多以自身为中心开展经营活动，与其上下游关联企业之间缺乏良好的协同关系，产业协同度有待加强。陶瓷基复合材料产业作为一个新兴的融合型产业，势必需要将陶瓷基复合材料与航天航空领域的装备连接起来，而从陕西的合作对象来看，代表陕西陶瓷基复合材料产业的西安鑫垚陶瓷材料有限公司未与相关企业进行合作；未见企业与企业之间的

合作,可见目前陕西陶瓷基复合材料的企业间还并未建立起紧密联系,上中下游公司之间未进行协作,这对陕西陶瓷基复合材料产业的发展造成了一定的阻碍。

在条件允许的情况下,建议陕西政府相关部门可以提供资金支持,优先在省内筛选合适的陶瓷基复合材料企业,首先促成省内上中下游相关企业的合作,比如处于上游的陕西天策、西安康本,处于中游的西安鑫垚、西安超码科技,处于下游的西安航空制动有限公司;对于以上几家企业,应密切关注其合作情况,并鼓励其对项目成果进行专利挖掘与布局,为陕西陶瓷基复合材料产业提供竞争力。

5.5.3 专利市场运营路径

表 5.5 陕西省内企业间专利转让与许可

公开号	标题	当前专利权人	原始专利权人
CN108819369B	一种航空器用纤维增强树脂基复合材料层压板	西安拓邦航空科技有限公司	李石林
CN106927436B	一种氮化铬纳米粉的制备方法	陕西安康三航纳米科技股份有限公司	四平市高斯达纳米材料设备有限公司
CN105236363B	一种制备微米纳米级球形氮化硅粉的方法	陕西阳乐陶瓷材料科技有限公司	杨乐
CN1314626C	陶瓷基复合材料的连接方法	西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司	西北工业大学
CN1271008C	一种晶须和颗粒增韧陶瓷基复合材料制备方法	西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司	西北工业大学
CN102424597B	碳/碳-碳化硅陶瓷复合材料的制备方法	西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司	宁波伏尔肯科技股份有限公司

在专利运营方面,如表 5.5 所示陕西省内进行过企业间专利转让与许可的有:西安拓邦航空科技有限公司、陕西安康三航纳米科技股份有限公司、陕西阳乐陶瓷材料科技有限公司、西安鑫垚陶瓷复合材料有限公司,其中碳/碳-碳化硅陶瓷复合材料的制备(CN102424597B)已经许可,总体上看数量不是很多;可见陕西省产业专利的运营度较低。陕西省内有较多的高校与科研院所,其中西北工业大学与西安交通大学的科研实力很强,对陕西省企业提供了一定的支撑,但是其余院校/研究所并无专利方面的转移,可见陕西省对省内高校资源的利用与调动还是存在一定的不足。

综上所述,陕西省相关政府部门应鼓励企业积极进行对内高校/院所的合作,打破现有产业屏障,并鼓励其及时对合作成果进行专利挖掘与布局,在此过程中,提升企业的合作意识与专利产出意识,形成良性循环,同时合理调动周边资源与科研力量,为企业发展提供支持。如图 5.16 所示展示了陕西省陶瓷基复合材料专利运营路径。

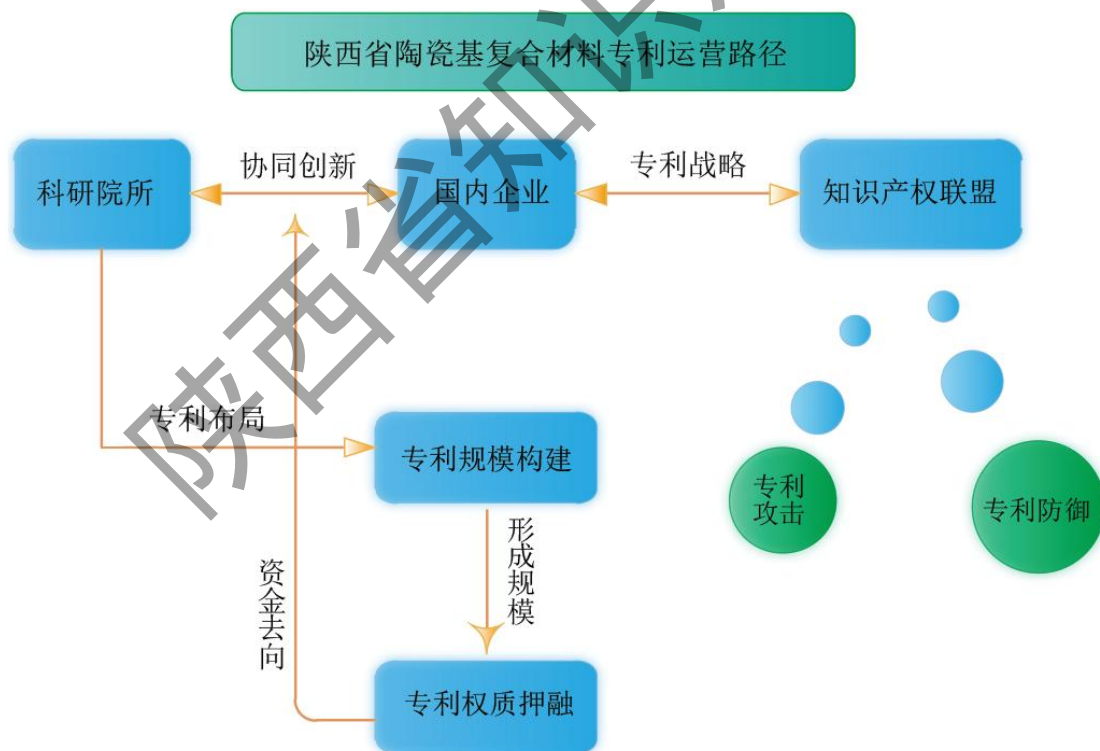


图 5.16 陕西省陶瓷基复合材料专利运营路径

6 总结

陶瓷基复合材料产业链可分为上、中、下游产业，即上游产业主要为陶瓷基复合材料制备原料包括基体及增强体，中游为陶瓷基复合材料，下游为陶瓷基复合材料应用包括发动机、机体、火箭导弹等。从技术研发上看，陕西省陶瓷基复合材料产业在产业链中游布局最多，上游次之，下游最少，建议其产业结构在陶瓷基复合材料产业链上游多做布局，增加产业链活力，使上游产业为中下游产业源源不断的注入活力，提高产业活力。

我国陶瓷基复合材料创新要素主要集聚在北京、江苏、浙江、安徽以及广东、山东。江苏省陶瓷基复合材料发明专利申请公开量、创新企业数量、创新人才数量均排名全国第一。陕西省发明专利、创新企业和创新人才整体数量规模在国内处于中游水平。

在研究热点上，陕西省陶瓷基复合材料产业的研究热点领域为陶瓷基复合材料制备原料中的增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法，以上技术研发热点相对应的具体技术领域为陶瓷基复合材料制备原料（产业链上游技术领域）、陶瓷基复合材料制备工艺（产业链中游技术领域），而研究热点涡轮发动机相较二者，研发实力较为薄弱。

在专利布局上，陕西省陶瓷基复合材料企业专利申请量明显低于院校/研究所，院校/研究所掌握了陶瓷基复合材料核心技术；通过国内外行业龙头企业在技术发展路线、专利领域布局、主要核心产品等方面的比较分析，可以看出，国内龙头企业与全球龙头企业在产品品类布局、专利绝对数量、专利在产业分支中布局范围、发明专利占比、全球专利布局程度等方面均存在较大差距，陕西本省龙头企业陕西鑫垚具有较强的专利实力，陶瓷基复合材料的应用广泛，且被持续不断地开发应用于新的技术领域，因此涵盖了不同陶瓷基复合材料技术分支的专利申请量十分可观，不过还需进一步创新研发，加强产业领域中的发明专利布局，使陶瓷基复合材料能够持续良好地发展。

在专利运营方面，专利转让数目较少，企业与企业之间、企业与院校/研究所之间、院校/研究所与院校/研究所之间合作较少，质押融资方面未做到位。陕

西省目前需要加强院校/研究所与企业之间的合作,将院校/研究所研究成果转化到实际生产当中;目前陶瓷基复合材料研究较为突出的院校有:西北工业大学、西安交通大学、陕西科技大学、西安建筑科技大学、西安航天动力研究所为主,陕西省企业应以这些院校为主与其建立专利转让关系,弥补企业的劣势链。依托科研院所、高校等单位,构建完善产学研用结合的产业发展创新体系,创建以行业为特色的技术中心或重点实验室,完善产业发展所需公共研发、技术转化等平台。推动企业与行业科研机构合作,加强核心技术自主创新和引进消化吸收再创新。

从专利活跃度来看,陕西省在陶瓷基复合材料制备原料中的增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法领域中的近三年发明专利活跃度较高,都在35%以上。从增长态势来看,陕西省在增强体、基体领域的发明公开量近五年复合增速、创新企业近五年复合增速和创新工程师近五年复合增速最快,增速都在32%左右。从陕西省各细分领域各自在全国的排名情况来看,发明数量方面,陶瓷基复合材料制备原料中的增强体、基体、化学气相渗透法领域的发明专利公开量均在全国中上游。企业方面,各领域的创新企业数量基本都排在国内中游,增强体、基体领域创新企业数量排在国内第十位。创新工程师方面在国内的排名要高于创新企业的水平,其中,增强体、基体、化学气相渗透法、界面层、反应熔融渗透法领域的研发工程师数量都排在国内上中游,具有相当的人才资源优势。

从产业经营上,西安鑫垚、中航工业西安航空制动、西安超码科技等企业在飞机碳陶刹车盘产业、光伏领域单晶硅制造用热场材料、高性能刹车系统等领域具有较强的技术优势,并集中于产业链中游,企业产业链结构较为单一,缺乏在全球陶瓷基复合材料领域的核心竞争力,应依托上述核心优势企业加大技术研发力度,支持优势骨干企业以技术、资本、资源、品牌等为纽带,实施跨地区、跨所有制联合充足,提高产业集中度和要素配置效率,促进企业掌握高价值具有核心竞争力的技术,拓展和延伸产业链条,促成产业链多元化发展,支持中小型企业发挥机制灵活、贴近市场、专精特新、吸纳就业能力强的优势,加快自主创新,形成个性化发展、大中小企业协调并进的发展格局。

从国家政策,《第十四个五年规划和2035年远景目标纲要(草案)》发布,有

两个重点：一个是军备列装换代加速，一个是关键技术的研发突破。军工新材料在近三年的业绩增速可以得出，新材料、信息化、航空三个细分领域增长最快。

军工新材料是新一代武器装备的物质基础，也是军用高技术的重要组成部分。军工材料种类较多，包括高强钢、钛合金、高温合金等金属材料以及碳纤维复合材料、石英纤维、无机碳材料等非金属材料，根据国家发改委印发的《增强制造业核心竞争力三年行动计划(2018-2020年)》显示，钛合金、碳纤维复合材料和高温合金三个品种入选军工新材料。

“十四五”期间，随着军费支出水平提升，以及国家对武器装备更新的重视度提升，武器装备升级将是大势所趋，军工新材料作为新一代武器装备的物质基础，其市场需求也将不断释放。现代航空发动机是集机械、材料、空气动力、电子等领域技术于一身的技术密集型产品，需要长期艰苦攻关。陶瓷基复合材料已经在现代航空发动机上得到运用，主要集中在密封和隔热领域，正在向核心机扩展。总体来看，我国陶瓷基复合材料产业化和应用方面较发达国家存在明显差距，未来国内陶瓷复合材料市场发展潜力巨大。

《陕西省“十四五”知识产权发展规划》中明确，要“依托秦创原创新驱动平台，重点围绕全省航空航天、能源化工、装备制造、电子信息、新材料、生物医药、现代农业等主导产业，集成电路、新能源汽车、输变电、数控机床、煤化工、无人机、工业机器人、3D打印等标志性产业链，大力培育高价值发明专利，加强关键领域自主知识产权创造和储备。政策的支持，能够加快打造具有鲜明特色和竞争力的高水平平台，让创新成为陕西高质量发展的强大引擎。”因此，建议陕西省陶瓷基复合材料产业以政策为引领，以人才为基础，以资金为保障，积极融合产学研协同发展，提升科技赋能效力，最大程度发挥秦创原最强大脑作用，推动输变电装备产业链不断向价值链高端迈进。

同时，紧跟《陕西省“十四五”制造业高质量发展规划》政策，以市场需求为导向，建立以政府为引导、企业为主体、平台为支撑的新兴产业发展机制，扩大新兴产业投资，推进产学研用协同创新；围绕产业链部署创新链、围绕创新链布局产业链，将创新作为陕西省陶瓷基复合材料发展的内在驱动力，把智能作为陕西制造业高质量发展的主攻方向，把绿色作为陕西制造业高质量发展的基本遵

循，把开放作为陕西制造业高质量发展的关键路径，把改革作为陕西制造业高质量发展的根本保障，构建起特色鲜明、创新力强、绿色安全的现代制造业新体系，质量变革、效率变革、动力变革加快推进，高端化、智能化、绿色化发展水平不断提高，制造业在国民经济中的地位更加巩固，建设国家重要先进制造业基地取得重大进展。

陕西省知识产权局

参考文献

- [1]王怀志等. 先进陶瓷材料产业专利导航[M]. 北京: 知识产权出版社, 2019:3-143.
- [2]美 CMH-17 协调委员会著, 焦健等译. 陶瓷基复合材料[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2021:5-425.
- [3]陈代荣, 韩伟健, 李思维, 卢振西, 邱海鹏, 邵长伟, 王重海, 王浩, 张铭霞, 周新贵, 朱陆益. 连续陶瓷纤维的制备、结构、性能和应用:研究现状及发展方向[J]. 现代技术陶瓷, 2018, 39(03):151-222.
- [4]邹豪, 王宇, 刘刚, 赵龙, 包建文. 碳化硅纤维增韧碳化硅陶瓷基复合材料的发展现状及其在航空发动机上的应用[J]. 航空制造技术, 2017(15):76-84+91.
- [5]王晶, 成来飞, 刘永胜, 刘小瀛, 张青. 碳化硅陶瓷基复合材料加工技术研究进展[J]. 航空制造技术, 2016(15):50-56.
- [6]石林, 闫联生, 张强, 孟祥利. 碳纤维增强超高温陶瓷基复合材料的研究进展[J]. 炭素, 2021(01):36-42+30.