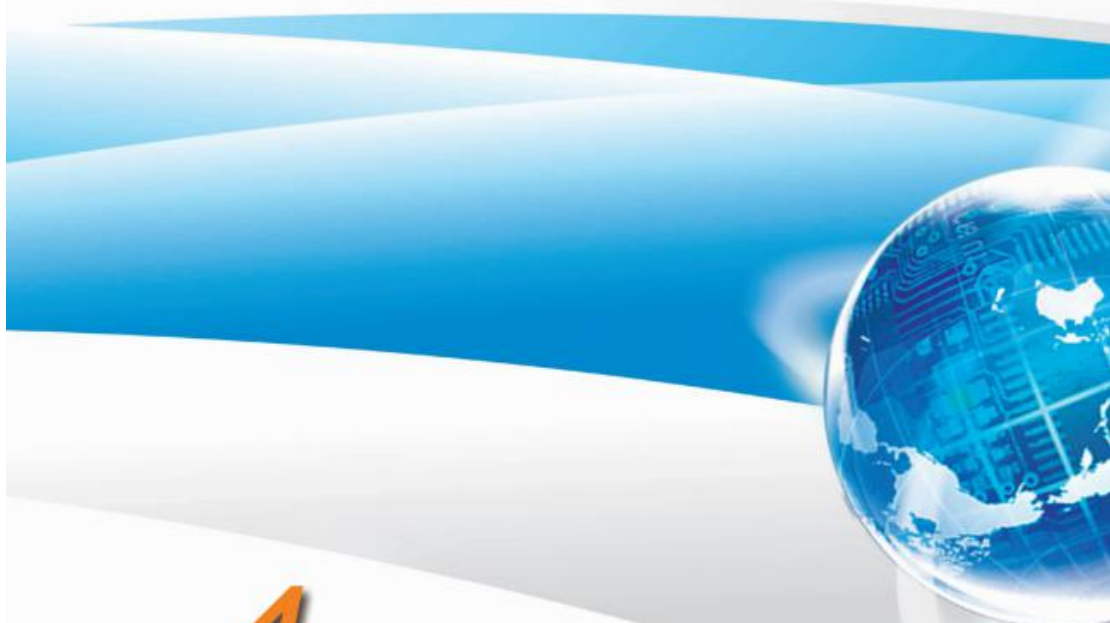




# 辽宁 新型原材料

LIAONINGXINXINGYUANCAILIAO



4  
2021

主办单位：辽宁省国家新型原材料基地建设工程中心  
辽宁省新型原材料产业孵化基地  
辽宁省新型原材料产业研究院

准印证号：（辽）097 内部资料 免费交流

# CONTENTS

## 辽宁新型原材料



主办单位：辽宁省国家新型原材料  
基地建设工程中心  
辽宁省新型原材料产业  
孵化基地  
辽宁省新型原材料产业  
研究院

地 址：辽宁省沈阳市皇姑区陵  
园街 17 号

邮 编：110032

电 话：024-86875834

传 真：024-86875834

Q Q：2361454867

邮 箱：2361454867@qq.com

准印证号：(辽)097

出版日期：2021 年 12 月 30 日

印刷期数：4/年

印刷数量：600本

发送对象：新材料相关企业

印刷单位：沈阳枫美印刷包装有限  
公司

### 技术应用

- 02 聚酰亚胺：高分子材料金字塔的顶端
- 07 一块“布”要价北京一套房，欧美扼中国航天重器，福建人自学攻克
- 09 石墨烯在氢能电池领域的应用

### 产业综述

- 12 碳纤维产业现状及趋势
- 17 辽宁菱镁产业发展现状及趋势
- 21 我国钢铁行业如何实现碳达峰碳中和（上）

### 政策解读

- 27 《5G应用“扬帆”行动计划（2021-2023年）》解读
- 30 搭建知识产权保护国际合作桥梁

### 行业动态

- 32 2021全球工业互联网大会在沈阳开幕
- 32 辽宁对外发布十一项数字化转型重大成果
- 34 智能制造推进转型振兴第二十届中国制博会在沈阳开幕
- 34 中科院驻辽研究所多项成果亮相国家“十三五”科技创新成就展

## 征稿启事

辽宁省国家新型原材料基地建设工程中心于2018年7月26日挂牌成立。承担为国家新型原材料基地建设提供服务、支撑、保障相关职能。近年来全国多个省市将新材料作为地区经济的重要增长点进行重点扶持，新材料产业得到了快速发展，其中以长三角地区最为突出，位居全国七个新材料产业国家高技术产业基地之首，新材料产业值突破数万亿元，无论是技术水平还是产业规模都值得辽宁学习。新材料产业是战略性、基础性产业，也是高技术竞争的关键领域，我们要奋起直追，迎头赶上。

由辽宁省国家新型原材料基地建设工程中心、辽宁省新型原材料产业孵化基地、辽宁省新型原材料产业研究院主办的《辽宁新型原材料》，致力于宣传国家和省关于新型原材料有关扶持政策措施、及时让我省新型原材料企业及从业人员了解国内外新型原材料相关信息、新型原材料专业知识，共同研讨我省新型原材料发展中技术难题、加快我省新材料产业发展，优化传统产业升级，推动辽宁新材料工业向高端化、绿色化、智能化的方向发展。

《辽宁新型原材料》拥有强大的专家队伍、最前沿的国内外资讯、行业标准和行业动态等，整合各方资源，百家争鸣，成为新型原材料行业重要的交流与互动平台，为推动行业技术进步和行业健康发展提供信息指导。

主要栏目：

“技术应用”、“产业综述”、“政策解读”、“行业动态”、“大视野”等

发行范围：

辽宁省新材料相关企业

期刊形式：

大16开 48页

征稿范围：

来稿可以发表与新型原材料有关联的观点、评论、技术分析和发展趋势等等；可图文并茂，字数不限。《辽宁新型原材料》原则上只收原创性稿件，已在国内外刊物上发表或准备发表的文章须如实相告，将酌情刊登。

- 35 大连化物所“纳米限域催化”成果荣获2020年度国家自然科学奖一等奖
- 36 在“四个聚焦”上重点发力鞍山钢铁前三季度实现经营利润92.36亿元
- 36 我国科学家突破CO<sub>2</sub>人工合成淀粉技术
- 37 长纤维高性能锂离子电池研究取得重要突破
- 37 首辆国产雪车将出征北京冬奥会 车体采用国产TG800宇航级碳纤维复合材料打造
- 38 吉林化纤凯美克公司六百吨高性能碳纤维项目一次试车成功
- 38 中科大合成铂金属间纳米颗粒催化剂推动氢燃料电池应用
- 39 铁电新材料或可大幅减少手机芯片能耗
- 40 科研人员研发镁合金抗腐蚀新工艺
- 40 美国加州理工学院等开发新型高强度纳米结构材料
- 40 科学家发现六方氮化硼拥有超强抗断裂能力 韧性是石墨烯的十倍

### 大视野

- 41 美国国家科学院发布：材料有哪些研究前沿
- 45 盘点！中国领先欧美的硬核科技（下）



(PEI)、聚酰胺-酰亚胺(PAI)等,在不同领域有着各自的用途。

PMMI在1.8MPa的负荷下热变形温度达360℃,电性能优良,可用于特种条件下的精密零件,耐高温自润滑轴承、密封圈、鼓风机叶轮等,还可用于与液氨接触的阀门零件,喷气发动机燃料供应系统零件。

PEI具有优良的机械性能、电绝缘性能、耐辐照性能、耐高温和耐磨性能,熔融流动性好,成型收缩率为0.5%~0.7%,可用注射和挤出成型,后处理较容易,还可用焊接法与其他材料结合,在电子电器、航空、汽车、医疗器械等产业得到广泛应用。

PAI的强度是当前非增强塑料中最高的,拉伸强度为190MPa,弯曲强度为250MPa,在1.8MPa负荷下热变形温度高达274℃。PAI具有良好的耐烧蚀性和高温、高频下的电磁性,对金属和其他材料有很好的粘接性能,主要用于齿轮、轴承和复印机分离爪等,还可用于飞行器的烧蚀材料、透磁材料和结构材料。



聚酰亚胺用于高性能零部件

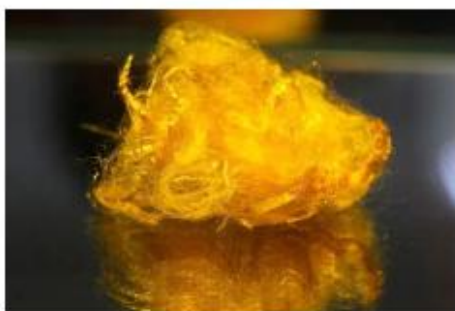
## 2. 聚酰亚胺纤维

聚酰亚胺纤维是一种重要的高性能纤维,其耐高温聚酰亚胺纤维是目前使用温度最高的有机合成纤维之一,可以在250~350℃使用,在耐光性、吸水性、耐热性等方面与芳纶和聚苯硫醚纤维相比都更为优越,高性能聚酰亚胺纤维的强度比芳纶高

出约1倍,是目前力学性能最好的有机合成纤维之一。

随着高新技术领域的不断发展,其对PI制品理化性能的要求也越来越高,传统PI材料在力学、热学及光、电、磁等方面的性能已经不能满足现代科技领域对材料的特殊要求,PI高性能纤维以其优越的力学性能、耐热稳定性、耐辐照等特性将成为下一代高性能纤维的典型代表。

目前国内从事PI纤维产业的主要有江苏奥神、长春高琦、科聚新材、江苏先诺等。其中,长春高琦已成为我国聚酰亚胺研究、开发、生产的重要基地,江苏先诺一款具有完全自主知识产权的高性能有机纤维于2016年通过了科技成果鉴定,同时于2020年牵头完成了《高强高模聚酰亚胺长丝》国家标准的制定。



聚酰亚胺纤维

## 3. 光敏性聚酰亚胺 (PSPI)

光敏聚酰亚胺(PSPI)是一类在分子链上兼有亚胺环以及光敏基因,集优异的热稳定性、良好的机械性能、化学和感光性能的有机材料。

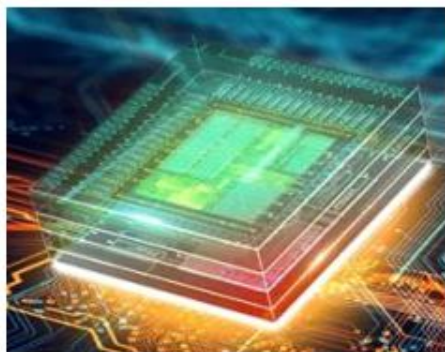
光敏聚酰亚胺在电子领域主要有光刻胶及电子封装两大作用,在光敏聚酰亚胺中添加上增感剂、稳定剂等就可以得到“聚酰亚胺光刻胶”。与传统光刻胶相比,由于聚酰亚胺本身有着很好的介电性能,因此在使用时无需涂覆起工作介质作用的光阻隔剂,可以大大缩短工序,提高生产效率。

光敏性聚酰亚胺(PSPI)的生产技术主要由美国及日本企业所掌控,其中日本东丽是全球中性

PSPI产品市场化最成功的企业之一，其正性产品被应用在微电子封装、光电子封装等多个领域。

受限于生产技术落后，我国聚酰亚胺产业仍旧以薄膜等低端产品为主，光敏聚酰亚胺产量较少，市场需求依赖进口。在《中国制造2025》政策支持下，我国工业、机械、电子等领域皆进入国产替代阶段，国内企业对于PSPI不断深入，部分企业已经掌握生产技术。

当前，布局PSPI研发、生产的本土企业有瑞华泰、明士新材料、国风塑业、鼎龙科技等，未来该领域国产替代空间较大。



聚酰亚胺用于光刻胶

#### 4. 聚酰亚胺泡沫塑料

聚酰亚胺泡沫是聚酰亚胺材料的一种类型，于上世纪70年代首先由NASA Langley研究中心与Unitika America合作开发出来，用于航天飞机上，现已广泛地应用于飞机、舰船、火车、汽车等领域，具有本质阻燃、耐热性强、重量轻、及环保无毒的特点，可以长期在超高温、超低温、高盐雾、强噪声、强腐蚀、强辐射等极端条件下服役。

聚酰亚胺泡沫可分为三类：

- (1) 与一般聚酰亚胺相同，将酰亚胺作为主链的泡沫材料，使用温度达到300℃以上（PI泡沫）；
- (2) 酰亚胺环以侧基方式存在的泡沫材料（PMI泡沫）；
- (3) 将热不稳定的脂肪链段引入聚酰亚胺中

在高温下裂解而得到的纳米泡沫材料。

聚酰亚胺泡沫材料属于先进功能材料，已越来越多地应用在航空航天、远洋运输、国防和微电子等高新技术领域中的隔热、减震降噪和绝缘等关键材料。

PI泡沫目前最为重要的应用为舰艇用隔热降噪材料，目前我国海军正处于第三次建船高潮，PI泡沫作为新型战舰中的首选隔热降噪材料，需求快速提升。

聚甲基丙烯酸酯泡沫（简称PMI），是目前综合性能最优的新型高分子结构泡沫材料，是一种高比强度、高比模量、高闭孔率、高耐热性的高性能复合材料泡沫芯材，具有轻质、高强、耐高/低温等特点。此外PMI泡沫作为最为优异的结构泡沫芯材，广泛用于风机叶片，直升机叶片，航空航天等领域中，其对于PET泡沫的替代趋势明确，市场空间广阔。

PI泡沫耐热性强、阻燃性好、不产生有害气体，易于安装，是应用广泛的隔热降噪材料。目前，美国海军已把PI泡沫用作所有水面舰艇和潜艇的隔热隔声材料，INSPEC公司生产的SOLIMIDE泡沫已被超过15个国家制定用于海军船舶的隔热隔声体系，此外，PI泡沫在民用船，如豪华游轮、快艇、液化天然气船上也有广泛应用。



聚酰亚胺泡沫

与PI泡沫相似，PMI泡沫的应用同样十分广泛。PMI泡沫的典型应用包括：

- (1) 结构泡沫芯材：优异的抗高温压缩性，使

其作为芯材广泛应用于风机叶片、航空、航天、舰船、运动器材、医疗器械等领域；

(2) 宽频透波材料：低介电常数及损耗使其广泛应用于雷达、天线等领域；

(3) 隔热隔音材料：高速机车、轮胎、音响等。

21世纪以来，我国参与聚酰亚胺泡沫研究的单位数量明显增长，行业技术取得了重大突破，目前国内的聚酰亚胺泡沫的主要生产企业有青岛海洋、康达新材、天晟新材、自贡中天胜和青岛海洋新材料等。其中，中科院宁波材料所已搭建了聚酰亚胺微发泡粒子中试设备，青岛海洋与康达新材聚酰亚胺产品通过了军方测试。

#### 5. 聚酰亚胺涂料

聚酰亚胺用于制备涂料是其最早的应用之一，该类物质在涂料中主要用作漆包线绝缘涂料。漆包线绝缘涂料主要浸涂圆线、扁线等各种类型线径裸体铜线、合金线及玻璃丝包线外层，提高和稳定漆包线的外层。

绝缘涂料的重要指标之一是耐热等级，依据1954年国际电工协会制定的ICE-85电机电器绝缘材料在使用中热稳定性分级标准，绝缘材料分成7个耐热等级。

满足工业技术发展要求的绝缘材料的特点是，绝缘系统应可以在180-200℃乃至更高温度下长期工作，但无显著的失重和电气强度降低，并且保持良好的弹性、耐潮、耐臭氧、耐电弧等性能。聚酰亚胺类材料可以很好地满足这一使用要求，来制备F级及以上耐热等级的绝缘涂料，聚酰亚胺可以作为绝缘漆用于电磁线，或作为耐高温涂料使用。

#### 6. 聚酰亚胺胶粘剂

PI(聚酰亚胺)胶粘剂是一类主链中含有酰亚胺环状结构的有机杂环胶粘剂，具有优异的高温力学性能、介电性能和耐辐射性能，缺点是在碱性条件下易水解，已广泛应用于航空航天、精密电子机械等高科技领域，并且解决了其他有机胶粘剂上限耐热温度较低等难题。

从20世纪70年代起，美国国家航空航天局(NASA) Langley研究中心、杜邦公司和休斯飞机公司等先

后开发出代号为LARC-TPI、NR-150R2PI-S02和LARC-13等一系列性能优异的耐高温PI胶粘剂，并已广泛应用于多种飞行器中。20世纪90年代，美国的Amoco和Cytec公司、日本的三井东压化学公司等都已成为世界上最著名的生产PI胶粘剂的公司。

#### 7. 聚酰亚胺薄膜

2018年12月8日凌晨，嫦娥四号探测器在西昌卫星发射中心发射升空，标志着我国首次月球背面软着陆、月球巡视探测和月夜生存等方面取得重大突破。此次嫦娥四号成功把国旗带向了月球背面，为太空打上了“中国标识”。

据悉，此次探测器的国旗不是由常见的化学纤维织物、丝绸、棉布等纺织品制成的。

众所周知太空环境十分特殊，月球表面不存在大气是真空状态，接受到阳光照射时，月球表面在白天的最高温度可达123℃，到了晚上，在登月舱外面，月球上的温度会骤降至零下233℃。

这样的温度差，普通材料是难以忍受的，而且太阳产生的紫外线非常强烈，还存在宇宙射线和高能粒子的辐射作用，对材料有很强的破坏作用。

被委以重任的国旗材料正是聚酰亚胺有机高分子薄膜，与地面上常见的国旗完全不同，它能够抵御恶劣的月表环境，不褪色、不变形。

聚酰亚胺薄膜除了作为航天器的“外衣”，以及在军事中的应用外，在微电子、纳米、液晶、分离膜、激光、新能源领域等领域都能见到它的身影。例如，透明聚酰亚胺薄膜可作为柔软的太阳能电池底板；PI可以作为下一代锂离子电池隔膜材料等等。

近年来，随着电子工业的发展，高性能聚酰亚胺薄膜又成为微电子制造与封装的关键材料，广泛应用于超大规模集成电路的制造、自动接合载带、柔性封装基板、柔性连接带等方面。

此外，聚酰亚胺因为高耐热性及良好的综合性能，是耐高温的气体分离膜理想的材料。目前，极少量的聚酰亚胺品种应用于耐高温气体分离膜材料，用于各种气体对(如氢/氮、氮/氧、二氧化碳/氮、二氧化碳/甲烷等)的分离，从空气、烃类原料气及醇类中脱除水分，也可作为渗透蒸发膜及超滤膜。但是，常规的聚酰亚胺树脂难溶解和难熔



聚酰亚胺薄膜

融，因而限制了其工业上广泛应用的可能性。

### 8. 聚酰亚胺气凝胶

聚酰亚胺气凝胶(PIA)是由聚合物分子链构成的相互交联的三维多孔材料,结合了聚酰亚胺和气凝胶的优异性能,其不但具有聚酰亚胺的优异特性,而且具有气凝胶的轻质超低密度、高比表面积、低导热系数、低声阻抗、环境耐久性以及低介电常数等突出特点,这些特殊的性能让聚酰亚胺气凝胶材料在热学、电学、力学、声学等领域均具有绝佳的应用前景。



聚酰亚胺气凝胶

美国国家航空航天局研究中心为了实现载人火星登陆计划在开发重载荷运输技术时,将聚酰亚胺气凝胶材料应用于超音速充气式气动减速器(HIAD)的研究,为研究航天器制动的有效载荷和体积效益提供了一条解决方案,并且由于聚酰亚胺气凝胶材料的耐久性,其在推进剂箱、探测器超轻多功能材料以及太空居所等领域也具有广泛的应用前景。

除了航空航天领域,聚酰亚胺气凝胶材料在电子通讯、隔热阻燃材料、吸附清洁、隔音吸声、催化载体、电线/缆绝缘层等领域都有着不错的应用

前景。

### 9. 聚酰亚胺基复合材料

纤维增强复合材料是镁铝合金之后的新一代轻量化材料,以聚酰亚胺作为树脂基的复合材料耐高温和拉伸性能出色,应用十分广泛。聚酰亚胺树脂基复合材料具备聚酰亚胺耐高温性、优异的力学性能、介电性能、耐溶剂性能等特点,是目前使用温度最高的树脂基复合材料,在航空(尤其是航空发动机)、航天等领域得到了广泛的应用。

经过近40年的发展,聚酰亚胺耐高温树脂基复合材料已经发展出了四代复合材料,使用温度不断得到提升,目前最先进的第四代聚酰亚胺树脂基复合材料能够在450℃下长时间使用。

目前我国聚酰亚胺复合材料应用和研发还在追赶中,中航工业复合材料公司等企业已经能够生产第三代树脂产品。

另外,随着碳纤维产业的逐渐成熟,碳纤维增强复合材料需求增长明显,聚酰亚胺+碳纤维的组合作为最为优异的复合材料组合之一,在抢占高端市场方面优势明显。

## 三、结语

聚酰亚胺几乎囊括了高分子材料的各个种类,包括高性能薄膜、工程塑料、泡沫塑料、化学纤维、胶黏剂、树脂基体、绝缘材料、功能材料、复合材料等。

聚酰亚胺的性能强烈依赖于其化学结构,可以依据用途选择或者合成不同结构的聚酰亚胺,也可以通过共聚、共混、填充、增强进行改性。新型聚酰亚胺的开发离不开新型单体的发展,特种结构的二胺和二酐单体是发展聚酰亚胺新品种的必要保证,降低单体成本是降低聚酰亚胺成本的关键。

由于聚酰亚胺相关材料在航空航天、军事、高端电子等敏感领域有着难以替代的作用,国外的大多数聚酰亚胺原材料、技术和产品对我国实行严格封锁。虽然国内企业已经在努力追赶中,但我们国产化并量产的高端产品与国外先进水平仍有不小差距。因此,大力发展聚酰亚胺相关产品十分迫切,任重道远!



## 一块“布”要价北京一套房， 欧美扼中国航天重器，福建人自学攻克

这些年，中国航空航天已经取得长足进步，神舟系列飞船、嫦娥探月工程、长征系列火箭、天问一号等都是世界瞩目的国之重器。

但你很有可能想不到，这些“大国重器”，曾经被一块“塑料布”卡住“咽喉”！

这得从航空航天离不开的关节轴承说起。

简单来说，关节轴承就像人体关节，由带有内、外球面摩擦副的外圈和内圈构成，可以在任意方向做摆动和旋转运动，具有高承载、抗冲击、耐磨损、自调心等特点，广泛用于航空航天、载重汽车、工程机械、高铁动车等诸多领域。

而自润滑关节轴承，就是这个核心零部件中的

“核心”。这是因为，自润滑关节轴承不需要加润滑油即可自行润滑，能应用于高端应用领域和极端环境。

如何实现自润滑？“机密”在于一块“塑料布”，即自润滑织物，将它粘贴在外圈的内球面，能形成固体自润滑的效果，不需要加注润滑油来维护，实现减摩又耐磨的优异性能。

如此重要的一个零部件，却被美国GGB、日本Oiles、日本DaidoMetal、法国Saint-Gobain、德国IGUS等西方巨头垄断。



垄断意味着定价权，在上世纪九十年代，一平米自润滑织物的售价就高达近10万元。那个时候，10万元能在北京或上海买套房子。

然而，在很长时间里，中国造不出高端的自润滑织物，只能硬生生“挨宰”。也有中企想从国外引进生产技术和设备，可当相关人员奔赴国外，不要说购买技术，就是生产现场都不让进去，瞄一眼都不可能。

全面、严密封锁，反而激发出中国人的斗志。

其中，来自福建的设计师何两加立志攻坚，他追问：“你不卖给我们，难道我们就做不出来？你老外能，我们中国人就差劲吗？不可能的事。”

开口立志易，实现志向难。

最初，何两加所在的龙溪轴承公司对自润滑织物的了解，仅限于“织物衬垫”四个字。开始攻坚后，他们大量查阅书籍，何两加还前往织布厂等地，自学织物结构设计、织造工艺、胶粘剂与粘接技术、表面改性处理技术、摩擦学等相关知识。

有了认知基础后，何两加带领团队做出一块自润滑织物，一试，四五天的时间就磨破了，而耐磨是自润滑织物的“生命线”之一。

何两加团队只能继续研究、调整，将耐磨时长提高到300多个小时，接着一点点向前进击。

通过潜心科研、埋头苦干，何两加团队掌握了从自润滑织物衬垫制备到关节轴承制造、性能试验全过程的技术，还形成批量生产能力，一举打破进口卡住“咽喉”的问题，航空航天关节轴承因自润滑织物被“敲竹杠”的痛苦也一去不返。

这之后，龙溪轴承不仅应用于上海磁悬浮工程、

新型飞机项目，更被应用于神舟系列飞船、嫦娥探月工程、长征系列火箭、天问一号等众多大国重器，还用14000多个关节轴承助力开“天眼”，得到“天眼之父”南仁东的肯定。

如今，据媒体报道，龙溪轴承在国内配套市场占有率超70%，并出口欧美亚等40多个工业发达国家和地区，国际市场占有率达12%。

即便如此，包括龙溪轴承在内的中企仍然需要大力研发，不断扩展市场。

在国际市场，西方巨头仍然牢牢占据垄断地位。



媒体称，全球自润滑轴承全球市场规模超300亿元，上述五大西方巨头2020年营收合计达到150亿元，远超中国国内100亿元的市场规模。

不过，当中企继续深耕，在国际市场上的占有率随之提升，自润滑轴承被西方垄断的市场格局也将慢慢松动，乃至被改写！

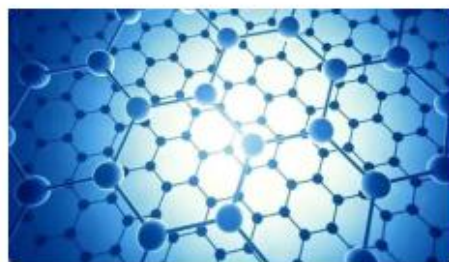


# 石墨烯 在氢能源电池领域的 应用

## 前言

作为目前已知的最清洁的能源之一，氢能正在全世界范围内受到越来越多的关注。在中国，氢能源发展十分迅速，根据中国电池协会数据统计，2019年1-7月，氢燃料电池装机容量同比猛增6倍以上，增速远超其他国家和地区。中国地方政府纷纷出台相关政策，对氢能源汽车产业发展加大扶持力度。

作为氢能源汽车核心系统的氢燃料电池，早在20世纪六七十年代便已开始航空和军工领域应用。后来，因技术不成熟等原因，氢燃料电池的规模化应用之路暂时中断。与纯电动汽车相比，氢燃料电池车具有加氢时间短、续航里程长的优点。有统计显示，城市物流车在加氢站加6~7kg氢平均耗时5min。丰田最新推出的全新一代Mirai续航里程可达644km。2019年6月发布的《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》认为，未来，氢能将在交通运输、工业等领域实现普及应用。作为目前发现的强度最高、导电性能最好、比表面积最大、韧性最好、质量最轻、透光率最高的材料，石墨烯被称为“黑金”和“新材料之王”。在氢燃料电池领域，石墨烯因其独特的性质，也得到了极大的应用和发挥。



## 01//氢燃料电池简介

氢燃料电池是将氢气和氧气的化学能直接转换成电能的发电装置。氢燃料电池的性能、环保优势突出，已达到产业化标准，在政策扶持下市场空间广阔。环保方面，氢燃料电池具备零排放、零污染的特性，有望掀起新一轮的能源革命。

图1为氢燃料电池的结构示意图。氢燃料电池的简单工作原理如下：将氢气送到燃料电池的阳极板（负极）表面，经过催化剂的催化作用，氢分解成氢离子和电子，氢离子（质子 $H^+$ ）通过质子交换膜（PEM），到达燃料电池阴极板（正极），而电子不能直接通过质子交换膜，电子只能通过外部电路而到达燃料电池阴极板，从而产生电路电流。电子

到达燃料电池阴极板后，与氧气和氢离子反应结合生成水。

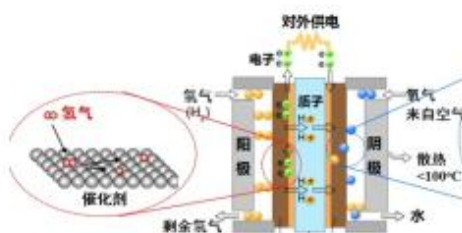


图1 氢燃料电池结构示意图

氢燃料电池的燃料为氢和氧，生成物只有水，氢燃料电池工作中不产生一氧化碳和二氧化碳等，也没有硫和微粒等污染物。因此，氢燃料电池汽车是真正意义上实现零排放、零污染的电动车，氢气将是完美的汽车能源燃料！

## 02//石墨烯氢燃料电池上的应用

### 2.1 石墨烯催化剂

由质子交换膜、催化剂、气体扩散层所构成的膜电极组件 (MEA)，是燃料电池电堆的“心脏” (图2)。

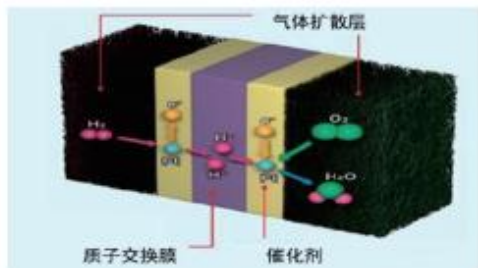


图2 氢能源电池中膜电极组件

其中催化剂决定了氢燃料电池的放电性能和寿命。铂是燃料电池最常用的催化剂之一，因为它能

有效地实现技术中心的氧化还原反应。然而，其高成本刺激了研究工作，以寻找在保持相同催化活性的同时使用更可能少量的方法，科学家几十年来寻找适当的替代品。丰田通过优化铂/钴合金比例，将Mirai的电堆铂金载量降低至0.17g/kW左右。本田Clarity的电堆由于使用氮原子层技术，铂金载量更是低至0.12g/kW。但铂催化剂同时存在活性不足、耐久性差，容易中毒等问题。因此开发新型的物美价廉的催化剂迫在眉睫。石墨烯因其极高的电导率、超大的比表面积、优良的化学稳定性，已经成为氢燃料电池催化剂研究的热点。石墨烯掺杂后增加表面催化位点，自身可以作为一种无金属催化剂；石墨烯表面修饰后可以增加负载金属纳米粒子的锚定位点，是一种良好的非铂系金属催化剂载体。

日本东北大学伊藤良一研究员所在的课题组，成功利用石墨烯作为替代铂催化剂。伊藤良一首先利用石墨烯制作出具有三维立体结构的石墨烯，然后用气相沉积法 (CVD) 在石墨烯立体结构上镀上氮和硫元素。实验结果表明，石墨烯表面镀上的氮和硫的量越多，对氢的催化效率越高，越能高效催化制造出更多的氢。在此研究的基础上发现，如果在石墨烯催化剂表面负载上镍纳米粒子，其制氢催化效率完全可以超越传统的铂系催化剂。将此技术进行工业放大生产和市场化，可以大幅降低氢燃料电池成本。

英国莱斯大学教授詹姆斯·罗伯特 (James Tour) 通过将钌纳米粒子附着到石墨烯表面上，为氢燃料电池制造出了高效耐用的催化剂。实验测试结果表明，钌-石墨烯催化剂的催化性能与传统的铂合金相当。

### 2.2 石墨烯气体扩散层

气体扩散层 (Gas Diffusion Layer) 是支撑催化剂层和收集电流的重要结构，同时为氢燃料电池电极反应提供气体、质子、电子和水等多个通道，它实现了氢气和产物水在流场和催化层之间的再分配，是影响氢燃料电池电极性能的关键部件之一。气体扩散层由基底层和微孔层2部分组成，其中基

底层材料大多是多孔炭纸或碳布，微孔层材料为导电炭黑和憎水剂。

理想的氢燃料电池气体扩散层应满足3个条件：流畅的排水性能、优异的透气性能和良好的导电性能。在已发现的材料里石墨烯导电性能最好，并且容易卷曲缠绕，表面易于被氧化和修饰，可以作为绝佳的扩散层添加材料。

英国Northumbria University的Terence (Xiaoteng) Liu博士课题组和浙江大学高超教授课题组合作，利用石墨烯气凝胶良好的导电性能、优异的机械性能、高催化剂负载性能和超轻的质量，用石墨烯气凝胶替代传统燃料电池中的电极板和气体扩散层，在大大减轻燃料电池质量的同时也将燃料电池的质量功率密度提升了3倍。

### 2.3 石墨烯双极板

双极板是氢能源电池的核心零部件之一，其主要作用是通过表面的流场运输气体，收集、传导反应生成的电流、热量和水。根据不同的材料类型，其质量约占电池电堆的60%~80%，成本占比20%~30%。根据双极板的功能需求，要求双极板对电导率、气密性、机械性能、耐腐蚀性等有较高的要求。

目前双极板种类可以分为石墨双极板和金属双极板。石墨双极板，导电性、导热性、稳定性和耐腐蚀性等性能较好，但机械性能相对较差、较脆、机加工困难导致成本较高等问题困扰着国内厂商。在石墨双极板中加入少量石墨烯，可以提高其导电性和导热性。石墨烯容易形成空间网状结构，可以进一步提高石墨双极板的耐腐蚀及机械性能，因此石墨烯可以作为优良的添加剂添加到石墨双极板内。

与石墨板不同的是，金属双极板具有高导电率、高热传导率、高机械性能、高阻气性、合金组分选择度广泛及便于大规模高效生产等优点，但金属双极板存在易腐蚀的缺点，需要在表面添加改性涂层进行保护。

澳大利亚莫纳什大学的研究人员针对质子交换膜燃料电池环境中金属双极板的表面腐蚀问题，做

了一系列的实验和尝试。

通过利用化学气相沉积技术将多层石墨烯沉积到镍合金金属双极板表面，然后在模拟氢燃料电池环境中进行长时间电化学性能测试，实验结果表明石墨烯涂层在模拟氢燃料电池环境中除了能够保证基本标准性能（如高导电性）外，还具有及其优异的耐腐蚀性，大幅提高双极板使用寿命。

德国亚琛工业大学塑料加工研究院采用石墨烯填充的聚丙烯复合物制备新型的燃料电池双极板，并对其进行一系列的研究。制备流程：第一步，聚丙烯和弹性体复合生成复合材料；第二步，在复合物中加入具有优异导电性能的石墨烯粉体，实验过程中需让复合材料保持导电性的同时，又将石墨烯的添加量维持在较低水平。与目前的常用双极板材料相比，实验结果表明该复合材料能帮助延长燃料电池的使用寿命，有效降低废品率，极大提高双极板的综合性能。

### 2.4 石墨烯质子交换膜

在氢燃料电池中，理想的质子交换膜（PEM）将填充氢气的腔体和填充氧气的燃烧室完全分隔开来，只允许质子单独通过。而目前常用氢燃料电池质子交换膜隔离性能不够好，会使氢燃料与氧化剂部分混合，从而损害了氢燃料电池的电化学性能。据英国曼彻斯特大学Geim教授介绍，石墨烯和六方氮化硼（hBN）膜可以减少几个数量级的上述化学交叉。根据某国际研究小组的研究，石墨烯薄片的质子传导能力远远高于预期，并可能从根本上增强氢燃料电池的性能。

## 03//结语

石墨烯在氢能源领域的应用潜力巨大，可用于降低制氢成本，优化氢燃料电池质子交换膜、双极板、催化剂等核心零部件的性能，加速燃料电池产业化。未来“石墨烯+氢能源”的前景令人期待，相信随着科技的进步，石墨烯制备和应用技术的提高，石墨烯在氢能源燃料电池中的应用前景将更加广阔。

## 碳纤维产业现状及趋势

丁怡 李军生 李玉华 戴光 柏秀纹

### 一、世界碳纤维产业发展现状及趋势

碳纤维是一种高强度、高模量的材料，碳纤维密度不到钢的1/4、强度是钢的5-7倍，广泛应用于航空航天、能源、体育休闲等领域，被称为21世纪的“黑色黄金”。根据前驱体原料的不同，碳纤维可分为聚丙烯腈基（PAN）、沥青基和粘胶基碳纤维等。由于粘胶基碳纤维在制备过程中会释放出毒性物质二氧化硫，且工艺流程长、生产成本低、整体性能不高，因此目前在国际碳纤维产业领域，前2种碳纤维获得了更大规模的生产和应用。其中，PAN基碳纤维因生产工艺简单、成本较低、力学性能优良等特点，已成为当今世界产量最高、应用最广的一种碳纤维，不论质量还是产量都占世界主导地位，国际市场占有率超过90%。

聚丙烯腈（PAN）基碳纤维的制备技术发源于日本，从20世纪60年代起步，经过70-80年代的稳定发展，90年代的飞速发展，到21世纪初，其生产工艺技术已经成熟，形成相对固定的技术与产业格局。日本和美国在该领域遥遥领先，实现了对碳纤维核心技术和产业的垄断，其中，日本东丽凭借其强大实力研制并形成了高强系列、高模系列和高模高强系列产品，一直占领着碳纤维技术的制高点。

目前，世界上PAN基碳纤维生产商主要有8家，其中日本三家：东丽工业株式会社（以下简称“东丽”）、日本三菱丽阳株式会社（以下简称“三菱丽阳”）和日本东邦化学工业株式会社（以下简称“东邦”），三家生产企业合计拥有全球PAN基碳纤维50%以上的市场份额；美国两家：美国赫氏有限公司（Hexcel）、美国凯特工业公司（Cytec），美国也是世界上少数掌握碳纤维生产技术的国家之一，同时又是世界上最大PAN基碳纤维消费国，其消费量约占世界消费总量的三分之一；其

他生产商为：台湾塑料工业股份有限公司（以下简称“台塑”）、土耳其阿克萨集团（AKSA）和德国西格里碳素集团（SGL）。沥青基碳纤维的生产和应用居其次，主要生产企业3家，分别是Cytec、三菱丽阳和东丽。

日本和美国不仅占据了世界主要的碳纤维产能，而且还不断加大研发投入，持续扩大产能，兼并收购其他生产企业。因此，碳纤维产业集成度较高，已形成了完整的产业链和产品差别定位。国外大型碳纤维企业都在聚合、纺丝、预氧化、碳化、表面处理和上浆剂等方面实现了流水作业，在满足现有市场需求的基础上，开始向下游延伸产业链，寻求更进一步的发展。经过多年的技术开发和市场培育，碳纤维及其复合材料的应用得到了极大拓展。日本的三家公司先后在波音B787梦和空中客车A380飞机大量投入碳纤维复合材料，使得碳纤维及其复合材料结构都超过了50%。宝马集团开发并推出的纯电动汽车用碳纤维复合材料，使整体车身的150个零部件融为一体，节约了制造成本，实现大幅减重。日本东丽公司开发了专门用于风力叶片的碳纤维及其碳纤维预浸料。在民用航空、交通运输、新能源等应用领域需求的牵引下，全球碳纤维总需求已从2013年5.01万吨，增长到了2019年的

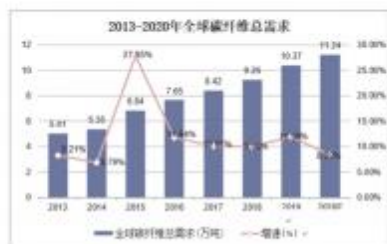


图1 2013-2020年全球碳纤维总需求

10.37万吨，复合增速为11.89%，预计2020年全球总需求将达到11.24万吨。见图1。

据统计，2019年全球碳纤维行业下游产业中，风电叶片、航空航天、体育休闲的碳纤维需求量分别为2.55万吨、2.35万吨、1.50万吨，占据需求构成的前三位，占比分别为24.59%、22.66%、14.46%。虽然航空航天产业对碳纤维需求量仅占总需求量的22.66%，但其销售金额价值却达到了14.1亿美元，占碳纤维总销售金额的49.13%，占比将近一半；体育休闲、风电叶片、汽车领域的碳纤维市场需求价值分别为3.45亿美元、3.57亿美元、2.12亿美元，除航天航空的其他领域市场需求合计占比50.87%。如图2。



图2 2019年全球碳纤维销售构成

目前，世界碳纤维产业工艺和制备技术已经基本成熟，国际上对碳纤维产业发展方向达成共识：一是高端化，重点发展高强度T800级以上，包括T1000，高模型M60、M70，高强高模型MJ系列等高端产品；二是低成本化，通过提高装置产能、产品稳定性和一致性，进一步降低成本；三是重点开发新的高端应用，进一步提高复合材料的力学性能和成型加工性，开拓新的应用领域，开发碳纤维回收及循环再利用技术等。为此，世界各国都制订了相关产业发展计划并加大投入，如日本启动了“2007技术路线图计划”，在25个领域提出了发展包括碳纤维在内的高新技术纤维目标；美国制订了“高性能纤维创新计划”，重点发展碳纤维等5种高性能纤维，目前世界主流碳纤维制造商都在积

极扩大产能，计划在未来3—5年内投资87.97万欧元（约合13亿美元），将碳纤维产能扩大近一倍。

未来伴随着碳纤维产业蓬勃发展，顺应时代潮流拥有创新技术和经济实力的新企业，纷纷孕育而生，并迈向快速发展的轨道。亚洲新兴国家的碳纤维发展迅猛，特别是我国在未来数年内有望成为世界碳纤维的最大生产国和消费国。在新市场方面，百年一遇的汽车和交通运输工具电动化和轻量化大趋势，构成了当前和今后全球的战略发展机遇期。

## 二、国内碳纤维产业发展现状及趋势

我国碳纤维研制起步于20世纪60年代，由于工艺基础薄弱、装备技术落后、西方国家技术封锁等原因，碳纤维国产化技术长期徘徊在较低水平。进入21世纪以来，碳纤维得到政府的高度重视，国家相继出台了《加快推进碳纤维行业发展行动计划》、《中国制造2025》、《“十三五”材料领域科技创新专项规划》等政策，大力支持碳纤维产业的发展，自此我国碳纤维步入快速发展期。目前，我国碳纤维产业在关键技术、装备、产业化生产及下游应用等方面均已取得重大进展，初步形成了产业化碳纤维的研发和生产平台，逐步打破了国外技术封锁和市场垄断局面，碳纤维及应用领域的技术水平和产业化程度出现了加速发展的势头。

截止2018年，从事碳纤维生产的企业已经注册30多家，有25家建成了碳纤维或原丝生产线，其中，产能千吨以上的企业有7家，分别是中复神鹰碳纤维有限公司、江苏恒神股份有限公司、精功集团有限公司、光威复合材料股份有限公司、中安信科技有限公司、兰州蓝星纤维有限公司、山西钢科碳材料有限公司，合计生产能力22.05kt/a，约占国内总产能的84%，具有较高的市场集中度。见表1。我国生产的碳纤维大部分为小丝束，其中12K占比超过90%，其他如1K、3K、6K等略有产量。

此外，我国在碳纤维复合材料的成型加工能力方面也有所突破，领头企业如中国航空工业集团公司、中航复合材料有限责任公司、中复神鹰碳纤维有限责任公司、江苏恒神股份有限公司等，并在航

空以及汽车领域均有扩展。

表 1 2018年我国碳纤维主要生产企业

企业名称	生产能力/(kt·a <sup>-1</sup> )
中复神鹰碳纤维有限公司	6.00
江苏恒神股份有限公司	4.65
精功集团有限公司	3.50
光威复合材料股份有限公司	3.10
中安信科技有限公司	1.80
兰州蓝星纤维有限公司	1.80
山西钢科碳材料有限公司	1.20
中国石油吉林石化公司	0.60
吉林方大江城碳纤维有限公司	0.55
中国石化上海石化分公司	0.50
河南永煤碳纤维有限公司	0.50
其他	1.90
合计	26.1

此外，我国在碳纤维复合材料的成型加工能力方面也有所突破，领头企业如中国航空工业集团公司、中航复合材料有限责任公司、中复神鹰碳纤维有限公司、江苏恒神股份有限公司等，并在航空以及汽车领域均有扩展。

目前已动工建设的大项目，有中复神鹰在西宁的2万吨/年小丝束碳纤维、威海拓展在包头的1万吨/年小丝束碳纤维、逐步要形成万吨/年规模的吉林精功硅谷大丝束碳纤维项目、新疆碳谷新材料有限公司的8000吨/年大丝束碳纤维、中科北方投资发展有限公司在沈阳约2万吨/年分步实施的碳纤维项目等。显然，到“十四五”末期，我国有望成为全球最大的碳纤维生产国和消费国。

我国碳纤维需求量一直维持稳步上升趋势，2019年中国碳纤维的总需求为37840吨，对比2018年的31000吨，同比增长了22%，其中，进口量为25840吨（进口量比2018年增长了17.5%），国产纤维供应量为12000吨（供应量比2018年增长了33%），2019年中国市场的总体情况是：供不应求，国产碳纤维占比较小，大部分依赖进口。对于国产的12000吨

销量，与2018年的9000吨相比，增长了33%，连续两年超过30%的高速增长，体现了国产碳纤维的巨大进步，预计在2025年前后，国产碳纤维有望超过进口。与2018年的特点类似，中国需求超高增长的主要驱动者是风电叶片市场：2019年风电消耗13800吨碳纤维，对比2018年的8000吨，增长率为72.5%，2019年用于风电的国产碳纤维大约有1000吨，而2018年是全部进口。显然，这几年跳跃式增长的风电叶片用量（2017：3060吨；2018：8000吨；2019：13800吨），给国内碳纤维企业带来了难得的发展机遇。2019年，中国碳纤维复合材料的总量为58215吨，体育器材依然保持着领导地位，但是风电复材增长迅速，超越体育器材仅仅是时间问题。2019年，我国碳纤维需求构成中，体育休闲和风电叶片占比基本一致，均为37%，远远高于其他下游应用领域，且对于在全球碳纤维需求占比极大的航空航天领域（2019年占比22.66%），我国却只有4%，市场潜力巨大。见图3。



图3 2019年中国碳纤维需求构成

虽然我国碳纤维产业化已初具规模，初步实现了国产T300级和T700级碳纤维规模化生产（产品性能达到国外同类碳纤维水平），T800级、M40J级碳纤维的工程化生产，但产业化工艺与装置核心技术仍未本质突破，碳纤维生产技术和装备水平低，产业化生产工艺不成熟，产品的稳定性有待提高，产品成本有待降低；低端碳纤维生产线重复建设率高，产品档次低，不能满足高端差异化需求；因



而，国产碳纤维仅能应用于体育休闲等低端领域，航空航天等高端领域则应用较少，国内碳纤维复合材料的设计、制造、评价水平较为薄弱，主要表现在：未真正掌握复合材料连接、疲劳耐久性、损伤容限、稳定性等具体设计技术和要领；设计的规范、手册，以及设计分析软件等缺乏；成型工艺、模具技术、无损检测、制造设备等制造技术发展落后；高端碳纤维预浸料主要依靠进口；碳纤维复合材料设备完全由美国公司垄断；整体上，尚处于起步阶段。

我国碳纤维产业经多年努力，已初步形成碳纤维生产、碳纤维复合材料成型、下游应用等完整产业链，基本满足体育休闲等民用领域的应用需求。但是高性能碳纤维及复合材料在高品质、高效率与低成本技术，产品设计与应用技术等方面相比国外还有较大差距，在国防军工、航空航天、汽车、轨道交通等领域，尚未形成成熟完善的整体应用技术方案和产业配套体系，碳纤维及复合材料的规模化应用仍任重道远。

未来，随着碳纤维在国家政策、产业化、应用开发方面的逐步完善，碳纤维需求量与日俱增。碳纤维市场需求的主要应用领域：航空航天、风电、汽车、新型建材和轨道交通，加上目前最大的体育休闲用品市场，将是推动我国碳纤维及其复合材料产业发展的推力。

### 三、辽宁省碳纤维产业发展现状及趋势

辽宁是我国石化产业发展大省，石化及下游精细化工原材料供给充足，自上世纪七十年代辽宁省就开始发展化工新材料产业，作为化工新材料的碳纤维也是我省重点发展的产业之一。我省碳纤维产业起步较早，20世纪90年代初，辽宁省鞍山东亚碳纤维有限公司从美国引进了熔喷法制备沥青基碳纤维的工艺方法，并于1995年投产。大连兴科碳纤维有限公司2001年利用自有专利技术，建成4条单线产能90吨/年的碳纤维生产线，在国内较早实现工业化的碳纤维生产。

进入21世纪以来，我省碳纤维产业发展取得了

长足进步，目前已拥有多个国家及省属研究机构、高等院校及骨干企业，基本形成了基础研究、应用研究以及产业化并进的格局。

大连理工大学、东北大学等高校、中国科学院金属研究所、航天材料及工艺研究所等科研单位在“产、学、研”活动中担任重要角色。其中：大连理工大学教授贾振元及其团队，研究的“高性能碳纤维复合材料构件高质高效加工技术与装备”获2018年国家技术发明一等奖，他们的研究解决了碳纤维增强树脂基复合材料高质高效加工的世界性难题；中国科学院金属研究所汤素芳及其团队，研究的“超高温碳纤维增强碳-陶瓷复合材料研究及其应用”获得2019年辽宁省自然科学二等奖，该成果为超高温碳纤维增强碳-陶瓷复合材料在航天航空领域中的应用奠定技术和理论基础；东北大学和抚顺抚运安仪救生装备有限公司联合研制的空气艇，获得2019年辽宁省科学技术进步三等奖，该产品是利用置于船体上部的大功率发动机带动碳纤维螺旋桨产生空气动力，驱动船体运动的多地形交通工具。强大的科技创新能力是支撑我省碳纤维产业发展的重要条件。

我省一些企业发挥自身优势，自主研发或和高校、科研单位联合开发碳纤维产品，并实现了产业化。大连富鼎碳素装备有限公司自主研发并生产了碳纤维耐腐蚀泵（国内首创）；国网辽宁省电力有限公司与哈尔滨玻璃钢研究院联合，成功研制了碳纤维等系列新材料复合导线；鞍山赛诺达碳纤维有限公司与大连理工大学共同开发了复合碳纤维导电母粒；大连沈特电缆有限公司自主研发了节能环保型碳纤维铜包铝自锁钢带铠装电力电缆；沈阳斯林达安科新技术有限公司研制成功了车用氢气铝合金内胆碳纤维全缠绕气瓶。通过多年来的努力，辽宁省碳纤维的研发和产业化工作取得了显著的成绩，为碳纤维产业的发展打下了一定的基础。

近年来，我省在抚顺高新区、沈阳经济技术开发区、辽宁兴城临海产业区新材料产业园、大连花园口经济区等地，建立了碳纤维产业园区，为碳纤维产业链的完善和延长发挥了极大的带动作用，碳纤维产业集群效应逐渐显现。

辽宁诺科碳材料有限公司位于抚顺高新区，利用自有技术，已建成年产60吨中间相沥青合成装置、年产40吨中间相沥青原丝纺丝装置以及年产1200吨工业化生产线一期工程20吨高模量（高导热）中间相沥青基碳纤维（石墨纤维）验证生产线。同时为了完善产品下游应用技术，辽宁诺科碳材料有限公司联手中科院宁波材料技术与工程研究所共同建立“沥青基碳纤维及其复合材料工程技术中心”。

中科北方投资发展有限公司，携手中科院山西煤炭化学研究所，共同建设SC35高性能碳纤维产业化示范项目。该项目于2018年10月20日在沈阳经济技术开发区奠基，项目总投资70亿元，SC35高性能碳纤维产业化示范项目在沈阳开始规模化投产后，将为沈阳本地高端制造业提供大量的先进基础材料，并对沈飞、华晨宝马、新松机器人等制造业企业的新材料升级起到支撑作用。

兴城市鲁宁碳纤维科技有限公司位于辽宁兴城临海产业区新材料产业园，主要经营碳纤维加固片、碳纤维编织布、碳纤维预浸布、碳纤维自行车配件、碳纤维板材、碳纤维管材、碳纤维异型件制造和销售。

大连富鼎碳素装备有限公司位于大连花园口经济区。是国内研发生产碳纤维复合材料工业装备技术的专业厂家。现已建成民用、军工两条碳纤维复合材料制品生产线。主要产品是，碳纤维复合材料耐腐蚀泵及化工领域中耐腐蚀装备。

辽宁金谷炭材料股份有限公司位于辽阳国家芳烃及精细化工高新技术产业化基地，生产各种真空炉加热室及生产真空炉用碳纤维制品等，公司致力于碳纤维隔热材料的研发制造。

鞍山赛诺达碳纤维有限公司是国内一家以生产沥青基碳纤维、活性碳纤维为主的高新技术企业。公司已从成立之初单一的碳纤维、活性碳纤维产品发展到拥有自主知识产权深加工系列产品：碳纤维和活性碳纤维针刺毡、磨碎、短切系列产品；高温保温材料——碳纤维刚性保温材料（RTI）；复合碳纤维导电母粒；电热产品等。其全资子公司辽宁奥亿达新材料有限公司从事先进碳素材料应用技术和产品的开发与制造，在国内率先实现了沥青碳纤

维高温隔热制品和C/C复合材料的工业化生产，产品应用领域涵盖真空热处理、半导体、太阳能电池、合金及稀土材料加工等产业。

据初步统计，目前我省与碳纤维产业相关企业大约有四十多家，分布在沈阳、抚顺、辽阳、鞍山、大连等地，多数为中小民营企业。大约75%企业的产品为碳纤维产业下游低端应用领域的电热产品。如：辽宁百盈碳纤维有限公司，其主要产品为电热膜、碳纤维发热电缆、碳纤维电暖气、电热画及其它系列产品等。

值得注意的是，具备碳纤维原丝、碳丝及其制品生产能力的沈阳中恒新材料有限公司由于资不抵债，于2018年5月宣告破产。国产碳纤维行业在经历了10多年的快速成长后，优胜劣汰的现象正在凸显。

虽然我省碳纤维产业发展取得了一些进步，但也要看到，我省碳纤维产业底子薄、总体发展慢，落后于江苏、山东、吉林等省，仍处于培育发展阶段；专、精、特、新的中小企业群发展滞后，没有形成完善的专业化分工协作体系，上下游之间的合作有待加强；大部分产业处于产业链下游的中低端，产品档次不高，国内外知名品牌少；科研院所的研究成果与企业融合的程度还不够，缺乏碳纤维产业链中上游企业，尤其缺乏针对尖端武器、航空航天、高速列车、汽车、风力发电、建筑、机器人等领域的高性能碳纤维的龙头企业，缺乏一些技术含量高、附加值高的高端产品等。

为此，辽宁省政府相继出台了《辽宁省工业八大门类产业科技攻关重点方向的通知》、《中国制造2025辽宁行动纲要》、《辽宁省工业发展“十三五”规划》等政策，鼓励支持我省碳纤维产业的发展。2020年6月3日，辽宁沈抚改革创新示范区正式挂牌成立，致力于发展六大主导产业，其中包括应用于高端制造领域的碳纤维、石墨烯等新材料产业，示范区将在“十四五”规划中加以固化，指导招商引资及相关政策制定。随着新一代航空航天装备、海洋工程和高技术船舶、节能环保、新能源等领域的发展，我省碳纤维产业将会有更广阔的市场空间。

## 辽宁菱镁产业发展现状及趋势

省新材料工程中心 新材料产业专利导航课题组

### 一、辽宁菱镁产业发展现状

辽宁菱镁资源得天独厚，是我国重要的优势矿产资源，也是中国菱镁矿储量最集中的地区，品位高、埋藏浅、易开采，矿床巨大，工业利用价值高，极适合露天大规模机械化开采。在已探明的总保有储量中，LM-46品级以上的菱镁矿占总储量的40%左右。目前已知地质勘查的保有储量32.52亿t，约占全国总储量的89.28%，约占世界总储量的25.76%。菱镁矿石的储量、产量及镁质耐火材料生产量、出口量均居世界首位。另外，矿带处于经济发达的辽南地区的丘陵地带，公路、铁路运输十分方便。这些有利条件使辽宁的菱镁矿采矿业迅速发展，并逐渐形成中国乃至世界的菱镁矿石生产、供应基地。

依托资源优势，辽宁菱镁产业整体发展态势良好，镁质耐火材料产业独占鳌头，已发展成为世界最大的镁质耐火材料生产基地，产量占全国90%，占世界60%，辽宁菱镁产业已形成勘查、开采、加工、销售为一体的产业体系，开发生产有菱镁矿产品、镁质耐火材料原料、碱性定型耐火材料、碱性不定形耐火材料、熔剂、镁质建筑材料、镁质化工材料等七大系列，几百种产品。

**(1) 菱镁矿：**目前辽宁共有菱镁矿矿业权114个，菱镁矿探矿权9个，矿山年生产规模2260万吨。全省菱镁产业现有规上企业400余户，年营业收入500余亿元；全省年均开采菱镁矿石1700万吨左右。辽宁菱镁矿资源主要分布在海城、大石桥、岫岩、凤城、宽甸、辽阳、东洲等县（市）。在已开采菱

镁矿的矿山中，大型菱镁矿山9座，中型菱镁矿山12座，其余全为小矿山。从分布情况看，海城地区40座、大石桥地区22座、岫岩地区23座、凤城地区5座、宽甸地区8座、抚顺地区4座、辽阳地区10座、铁岭地区2座。在矿山开采企业中，年开采量100万t以上的采矿企业有5家。

**(2) 镁质耐火材料：**以菱镁矿为原料，以方镁石为主品相、氧化镁含量在80%以上的耐火材料。其耐火度很高，对碱性渣有很好的抵抗性，是一种重要的高级耐火材料，现有规模以上企业350余户，年产值约500亿元。依上下游关系分为耐火原料（各类镁砂）和耐火制品（定型和不定形），耐火原料加工集中在海城、岫岩、大石桥等；耐火制品生产主要在大石桥。我省菱镁资源尤为适合生产耐火材料，产品几乎涵盖所有镁质耐火材料品种。主要包括轻烧氧化镁、烧结镁砂、电熔镁砂等镁质耐火原料，以及镁碳砖、镁钙砖、烧镁砖、镁铝尖晶石砖、镁质复合材料、不定形等镁质耐火制品，主要应用于钢铁、水泥、有色冶炼、玻璃等高温行业。行业重点企业有营口青花耐火材料股份有限公司、海城后英经贸集团有限公司、营口金龙集团有限公司、海城镁矿集团有限公司、营口和平三华矿产有限公司、海城中昊镁业有限公司等。

**(3) 镁质建筑材料：**指镁质胶凝材料（镁水泥）以及使用镁质胶凝材料与其他材料复合的建筑材料。现有规模以上企业约20户，年产值近10亿元。主要以镁质胶凝材料作为粘合剂，生产保温防火板、装饰板、防火门芯板、轻质隔墙板、保温砌块、木塑地板等产品，广泛应用于房屋建筑、装饰装修、市政工程等建筑领域。重点企业有辽宁精华