

**安全 · 轻质 · 高强 · 环保 · 舒适**

# 车用高分子材料的研究进展和思考

中科院大连化物所 · 周光远团队

姜国伟

中国汽车工程学会汽车非金属材料分会第九届年会

2021.10.14

# 目录/CONTENTS

PART 01

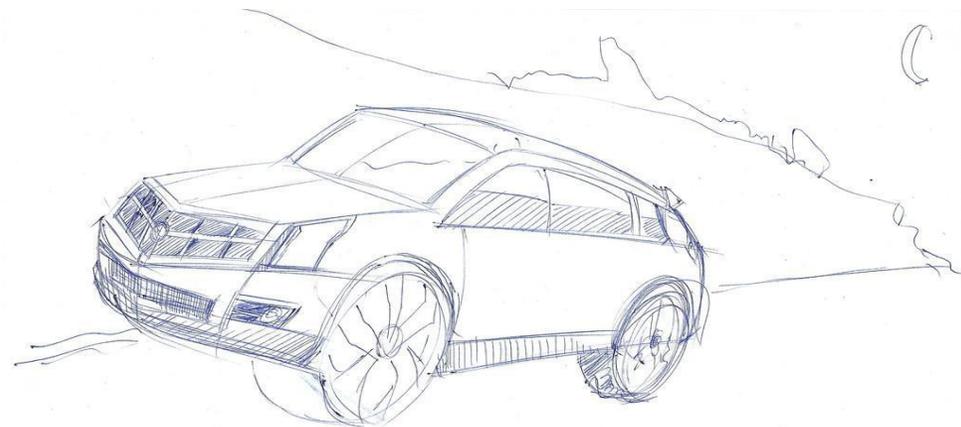
**发展趋势**

PART 02

**研究进展**

PART 03

**合作愿景**



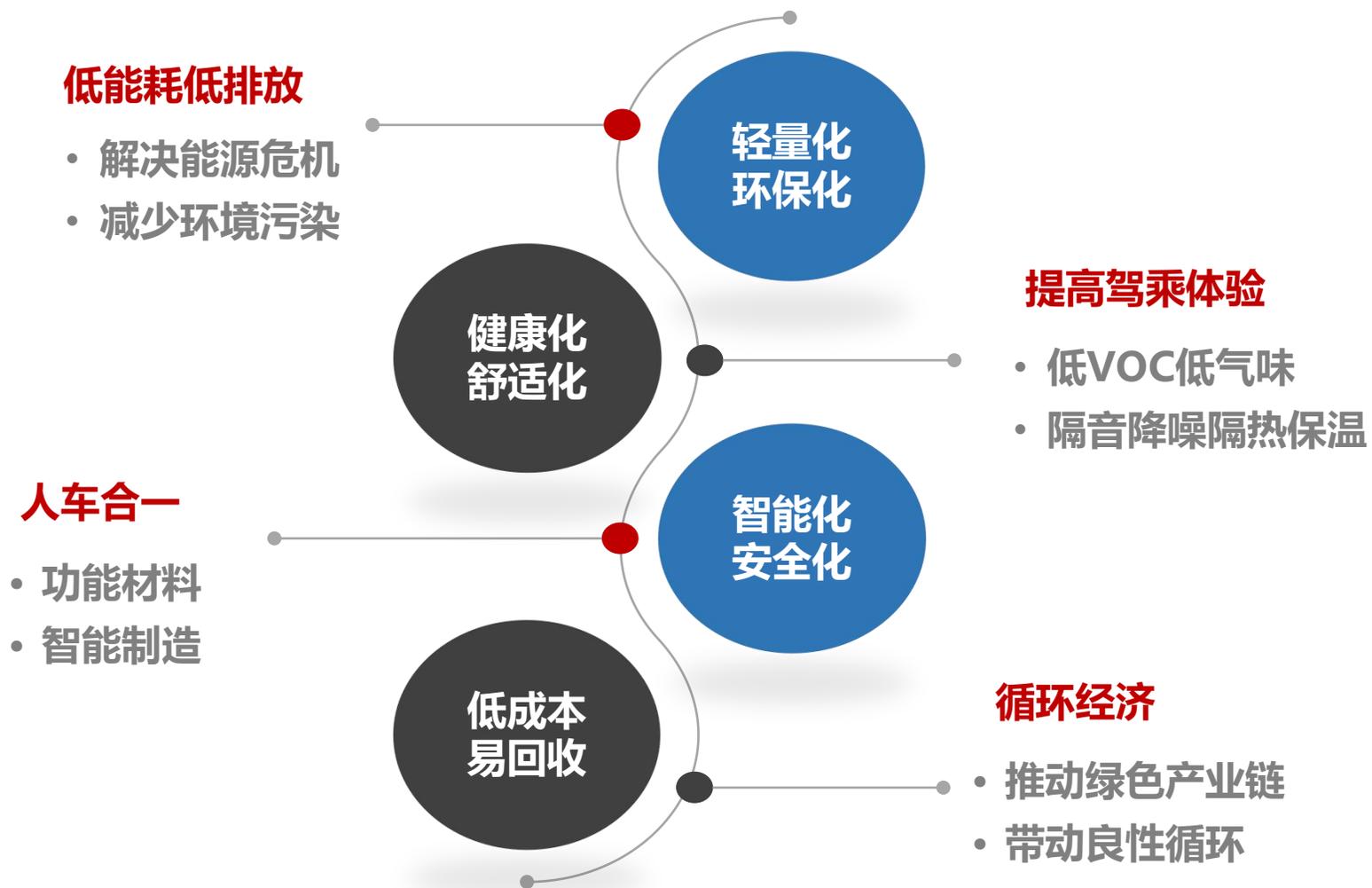
## 目标:

配合整体结构设计、  
完善原材料最佳配置，  
实现人车合一。

# 01

## 发展趋势

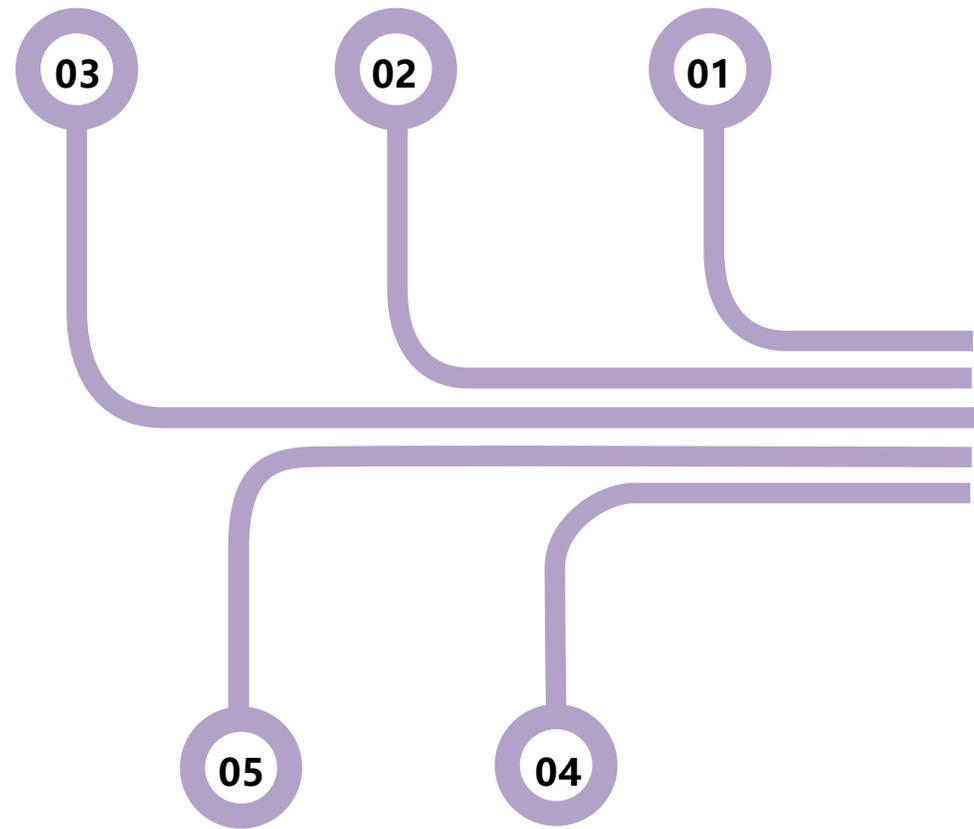
## 1.1 车用高分子材料研发方向



## 1.2 车用高分子材料发展趋势

低碳  
环保  
新智  
尚

- 01. 通用塑料使用比例增大**  
材料系统趋于单一化
- 02. 成型及加工工艺更加简化**  
免喷涂、原位装饰技术
- 03. 材料加工过程的环保化**  
材料集成化、生产自动化
- 04. LFT、LGF复材大量应用**  
结构件的以塑代钢
- 05. 微发泡及柔性材料使用增加**  
驾乘舒适性、亲和性
- 06. 智能化材料被关注**  
导电、阻燃、抑菌.....





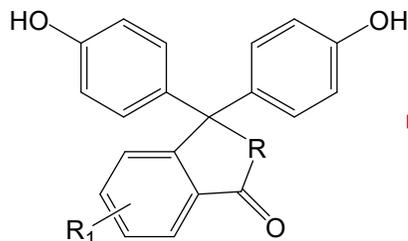
02

研究进展

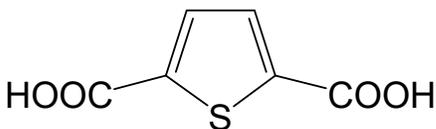
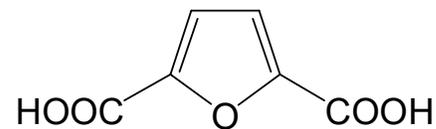
# 团队的研究方向概览

## 单体的设计与制备

特种工程塑料  
(民族品牌)



生物基工程塑料  
(面向未来)



及其衍生物

## 聚合物的合成与结构调控

二卤二苯酮



聚芳醚酮

二卤二苯砜



聚芳醚砜

芳基二酰氯



芳香聚酯

二卤芳香环



芳香聚醚

各种生物基二醇  
(传统催化剂)



生物基聚酯

生物基二醇  
(稀土催化)



聚醚酯

生物基二胺



芳香聚酰胺

低聚物  
二异氰酸酯



聚氨酯

催化剂、聚合方法, 结构与性能关系

## 材料的应用技术研究

- 专用料
- 高性能薄膜
- 热塑性复合材料
- 高性能泡沫
- 3D打印结构材料
- 涂料与粘合剂
- 高性能纤维

面向制造业的应用技术开发

# 团队的研究方向概览

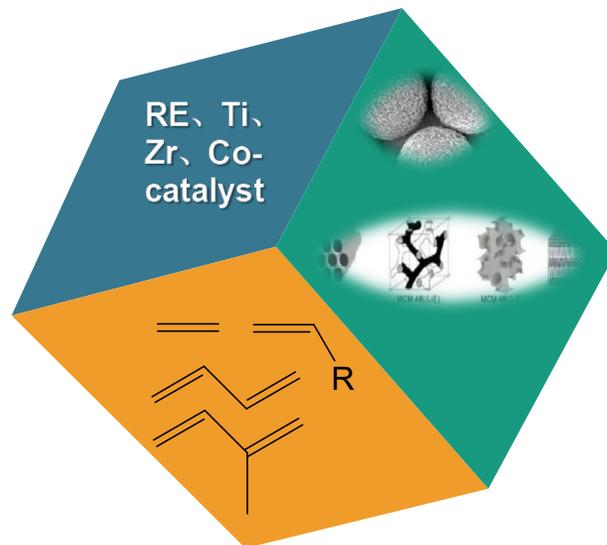
## 聚烯烃双烯烃 (高端牌号)

### ◆ 催化剂设计:

电子效应和位阻效应

### ◆ 分子链调控:

无规或嵌段共聚物,  
结构与性能关系



### ◆ 微环境影响:

多级微纳孔道对于聚合物一到四级  
结构影响

微纳载体负载催化烯烃聚合

极端使役环境高性能橡胶

高性能润滑油助剂开发

基于烯烃双烯烃聚合物开发

## 高分子材料加工技术 (面向制造业)

轻量化

纤维基复合材料; 高性能泡沫、高性能工程塑料专用料

热熔胶膜、自阻燃或无卤阻燃聚合物、生物基材料加工

环保化



## **成果1：热塑性纤维级复材开发**

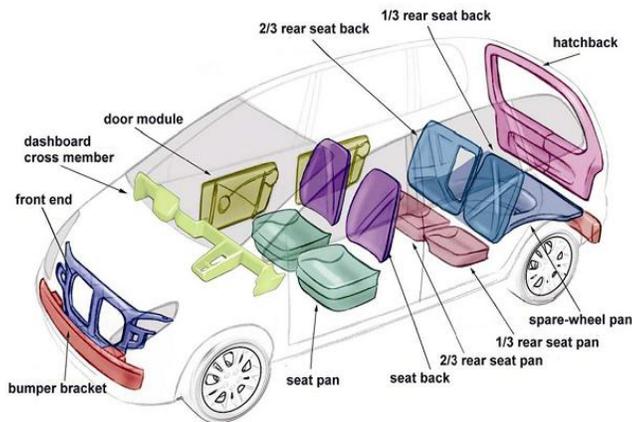
---

**关键技术：**

- 1. 基体树脂熔体粘度的可控调节**
  - 2. 纳米负载无卤阻燃复合助剂的开发**
  - 3. 浸润及剪切模头的设计**
-

# 1. LFT-PP复材的开发与应用

## LFT材料，结构材料的新宠！



- 比刚度、比强度超高，抗冲击性能好，是结构制件的理想材料；
- 耐蠕变性能好，尺寸稳定性优异，部件成型精度高；
- 耐疲劳性能优良，使用寿命长；
- 耐高温高湿，环境适应性强。

高性能 更高性能 特高性能

## 一代技术：LFT-D-PP、LFT-G-PP

**创新工作：**工艺设计集成化、配方性能一体化；

**目标产品：**新能源汽车电池上盖、发动机罩盖等；

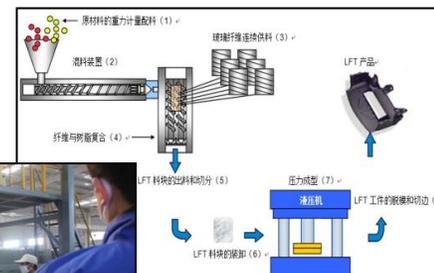
**成熟程度：**SGS、CCC认证通过，实现产业化配套；

**品种系列：**无卤阻燃型、高流动性、高刚性型；

**产品优势：**性价比可控、产品外观优异、比重小。

### LFT-D-PP 性能指标 (纤维含量35%)

| 测试项目                           | 指标      | CLFTPP 01 | 非LFT增强 PP | 国外某同类产品 |
|--------------------------------|---------|-----------|-----------|---------|
| 密度(g/cm <sup>3</sup> )         | 1.1-1.5 | 1.3       | 1.3       | 1.39    |
| 拉伸强度(MPa)                      | ≥90     | 129       | 78        | 103     |
| 伸长率(%)                         | ≥3      | 3.2       | 3.5       | 3.0     |
| 弯曲强度(MPa)                      | ≥150    | 168       | 105       | 130     |
| 弯曲模量(MPa)                      | ≥6000   | 7830      | 3890      | 6050    |
| 简支梁缺口冲击强度(KJ/m <sup>2</sup> )  | ≥60     | 69        | 36        | 53      |
| 简支梁无缺口冲击强度(KJ/m <sup>2</sup> ) | ≥120    | 123       | 75        | 98      |
| 热变形温度(°C)                      | ≥150    | 156       | 129       | 150     |
| 阻燃性 (UL-94)                    | V-0     | V-0       | V-0       | V-0     |
| VOC                            | /       | 合格        | /         | 合格      |
| 气味                             | /       | 2.5-3.0   | /         | 3.0     |



### 制品外观对比



国外原料生产制品

CLFTPP01制品

## 2. 高性能LFT复材的技术开发

### 二代技术：LFT-D-PA/PET、LFT-G-PA/PET

**创新工作：**基体树脂熔体粘度可控技术、进纤系统单丝分散技术；

**目标产品：**发动机电池周边耐热结构件等；

**成熟程度：**小试向中试转化阶段，中试线正在建立；

**品种系列：**无卤阻燃型、高耐热型、高模量型；

**产品优势：**高耐热、高模量、耐老化、耐疲劳、尺寸稳定性好、比重小。

#### LFT-D-PA 力学性能指标

熔融体积速率  $\geq 15\text{cm}^3/10\text{min}$

拉伸强度  $\geq 140\text{MPa}$

拉伸模量  $\geq 9500\text{MPa}$

断裂伸长率  $\geq 2.5\%$

热变形温度  $\geq 235^\circ\text{C}$

简支梁无缺口冲击强度  $\geq 60\text{KJ/m}^2$

简支梁缺口冲击强度  $\geq 10\text{KJ/m}^2$

阻燃性 (UL-94) V-0

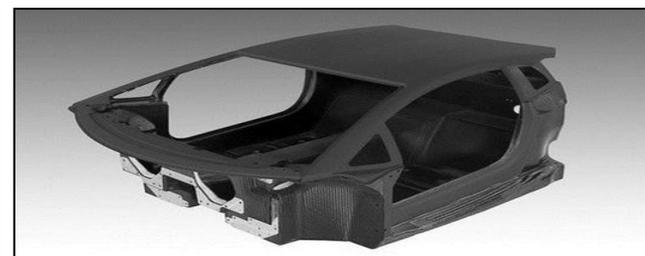


### 技术拓展1：功能型LFT-G长纤维增强复合材料

| 应用领域       | 部件  |
|------------|---|
| 5G         |  <p>5G基站天线罩</p> <p>制品要求：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1) 高电磁波穿透性</li> <li>2) 轻量化、环保</li> <li>3) 抗老化</li> <li>4) 结构稳定性强</li> <li>5) 耐化学性能好</li> <li>6) 物理强度高</li> </ul> |
| 机器人        |   |
| 无人机        |   |
| 新型城市微风发电装置 |   |

### 技术拓展2：低成本LCFT-PA的研制

大丝束碳纤维的国产化未来可期，成本的大幅度降低使得碳纤维复材在民用领域的推广成为可能。针对汽车领域，我们将 **LCFT-PA** 作为重要方向，目标瞄准车身骨架、座椅支架等承重部件，推动轻量化向更高层次发展。



### 3. 玻纤增强尼龙

#### ① 无卤阻燃玻纤增强PA6

通过在线反应共混方式，实现基体树脂、无卤阻燃复合助剂，以及玻纤的分散浸润复合，制备了高性能无卤阻燃玻纤增强PA6,并在装备机械结构件、电动工具壳体、装备制造、运动器材等领域得到了广泛的应用。

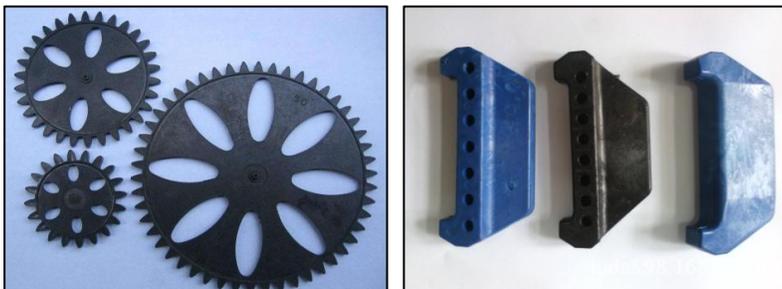


| 玻纤增强<br>无卤阻燃PA6 | 单位                | DICP<br>FR-GF20PA | 荷兰DSM<br>K222-KGV4 | 法国<br>Eurostar<br>PZ0042E | 浙江俊尔<br>PA-A6-2 |
|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-----------------|
| 密度              | g/cm <sup>3</sup> | 1.34              | 1.34               | 1.33                      | 1.33            |
| 拉伸强度            | MPa               | 119               | 108                | 112                       | 85              |
| 拉伸模量            | MPa               | 4480              | 4500               | 4500                      | 4300            |
| 弯曲强度            | MPa               | 150               | 143                | 150                       | 125             |
| 弯曲模量            | MPa               | 6250              | 5800               | 6150                      | 5790            |
| IZOD缺口冲击强度      | KJ/m <sup>2</sup> | 7.8               | 8.6                | 5.0                       | 7.5             |
| 收缩率             | %                 | 0.70              | 0.70               | 0.80                      | 0.80            |
| 热变形温度           | °C                | 185               | 185                | 185                       | 160             |
| 阻燃性能            | UL-94             | V-0               | V-0                | V-0                       | V-0             |

## 1.3 玻纤增强尼龙

### ② 无卤阻燃玻纤增强PA66

围绕机械及车辆领域，利用活化复合工艺，充分发挥了尼龙和玻纤的性能优势，开发了一系列玻纤增强尼龙系列复材，在汽车、轨道客车、纺织机械等领域得到了应用。



|      | 性能项目          | 试验条件[状态]      | 测试方法            | 测试数据                               | 数据单位                              |
|------|---------------|---------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 基本性能 | 吸湿性           | 23℃, 24hr     | ISO 62          | 0.75                               | %                                 |
|      | 比重            |               | ISO 1183        | 1.38                               | g/cm <sup>3</sup>                 |
| 物理性能 | 含氧指数          |               | ISO 4589        | 23                                 | %                                 |
|      | 阻燃性           |               | UL 94           | HB                                 |                                   |
| 机械性能 | IZOD缺口冲击强度    | RH0/RH50      | ISO 180/1A (93) | 10/12                              | KJ/m <sup>2</sup>                 |
|      | CHARPY缺口冲击强度  | RH0/RH50      | ISO 179/1eA     | 10/12                              | KJ/m <sup>2</sup>                 |
|      | 拉伸弹性模量        | RH0/RH50      | ISO 527-2       | 9500/7500                          | MPa                               |
|      | CHARPY无缺口冲击强度 |               | ISO 179/1eU     | 75/80                              | KJ/m <sup>2</sup>                 |
|      | 断裂强度/最大负荷     |               | ISO 527-2       | 180/125                            | MPa                               |
|      | 断裂伸长率         | RH0/RH50      | ISO 527-2       | 3/5                                | %                                 |
| 电气性能 | 介电损耗因数        | RH0/RH50,1MHz | IEC 250         | 0.01/0.11                          |                                   |
|      | 体积电阻          |               | IEC 93          | 10 <sup>13</sup> /10 <sup>12</sup> | Ω.cm                              |
|      | 抗电弧径迹性KC      | RH0/RH50      | IEC 112         | 600                                | V                                 |
|      | 相对介电常数        | RH0/RH50,1MHz | IEC 250         | 3.7/4                              |                                   |
|      | 介电强度          | RH0/RH50      | IEC 243         | 30/35                              | kv/mm                             |
| 热性能  | 热变形温度         | 1.80MPa       | ISO 75-2        | 255                                | ℃                                 |
|      | 熔点            |               | ISO 3146-C      | 260                                | ℃                                 |
|      | 线性膨胀系数        | 23-85℃        | ASTM E-831      | 3                                  | 10 <sup>-5</sup> ·K <sup>-1</sup> |

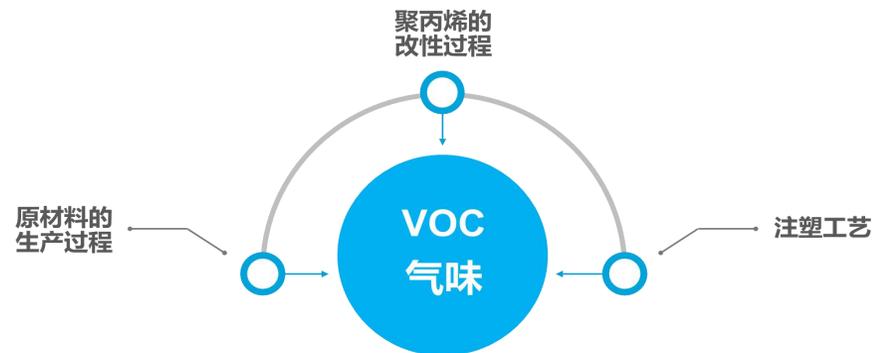
## **成果2：环保聚烯烃**

---

**关键创新：**

- 1. 纳米吸附及阻隔技术**
  - 2. 高效除味母粒的开发**
  - 3. 除VOC装备的设计与应用**
  - 4. 纳米效应光谱抑菌技术**
-

## 2.1 车用环保型改性聚丙烯



自主研发了PP专用除味母粒及改性料，并在装置上设计安装了负压除VOC装置，开发了多个车用环保PP牌号。

### 改性PP仪表盘、杂物箱专用料（高模量、高耐热）

| 仪表盘<br>PP专用料           | 单位                | DICP<br>GMPP(01-03) | 德国Tosaf<br>CT6499PP | 北欧化工<br>EE245AIC | 埃克森美孚<br>BMU130 |     |
|------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----|
| 熔体流动速率                 | g/10min           | 5-10                | 6.0                 | 11               | 10              |     |
| 密度                     | g/cm <sup>3</sup> | 1.00-1.15           | 1.12                | 1.05             | 1.04            |     |
| 拉伸强度                   | MPa               | 30-50               | 37                  | 17               | 18              |     |
| 断裂伸长率                  | %                 | 5-10                | 3.5                 | .0               | 11              |     |
| 拉伸模量                   | MPa               | 1500-1800           | 1690                | 2050             | 1700            |     |
| 弯曲模量                   | MPa               | 1800-2100           | 2000                | 2150             | 1900            |     |
| IZOD<br>缺口<br>冲击<br>强度 | 23°C              | KJ/m <sup>2</sup>   | 60-80               | 28               | 10              | 19  |
|                        | -20°C             |                     | 4-8                 | 4.9              | 3.0             | 5.1 |
| 洛氏硬度                   | R                 | 90-95               | 93                  | 94               | 93              |     |
| 热变形温度                  | °C                | 100-105             | 102                 | 100              | 100             |     |

## 2.2 低气味低VOC聚烯烃热熔胶

气味等级: 3.5 → 2.7

① 低VOC低气味热粘性薄膜

**一代产品: 低VOC耐高温聚烯烃热熔胶膜**

目标产品: 汽车顶棚、后备箱盖板等;

成熟程度: 已经实现产业化配套;

品种系列: 耐温110°C热熔胶膜;

工艺优势: 生产过程人性化、效率高;

产品优势: VOC及气味符合国家强制标准。

**二代产品: 低气味低VOC热熔胶膜的研制**

在低VOC基础上, 更加关注材料的气味等级, 进一步提高驾乘体验。

目前小试研究基本完成, 气味等级最低为2.7, 正在进行产品验证试用。

**性能**

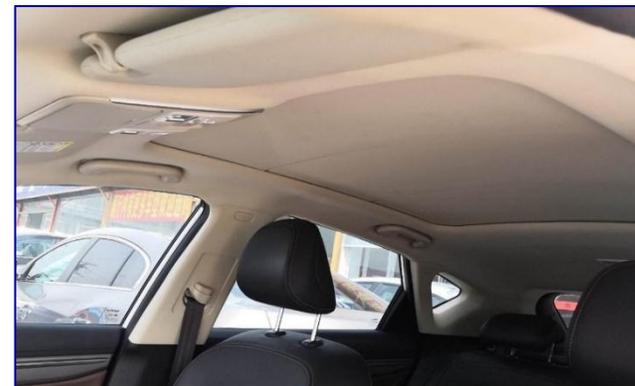
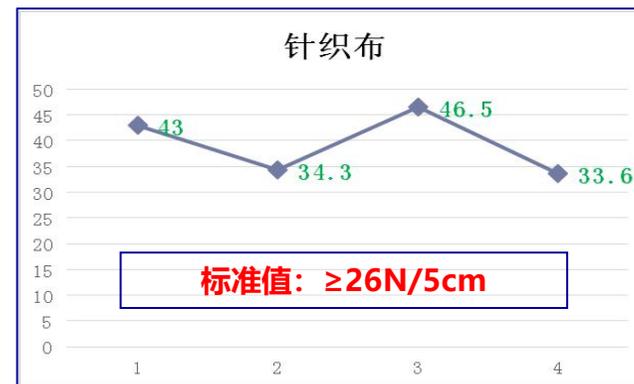
高粘性  
抗撕裂  
小收缩性  
耐高温性  
低气味低VOC

**工艺及成本**  
熔体稳定性  
成膜性  
低成本

**配方**

热塑性弹性体  
高温挠曲剂  
多组分助剂

研究思路



## 2.3 系列功能母粒的开发 (除味母粒、阻燃母粒、抗静电母粒)

### 重点推介：高效除味母粒

#### 传统技术：

制备低VOC含量塑料合金或复合材料，常用方法主要有：

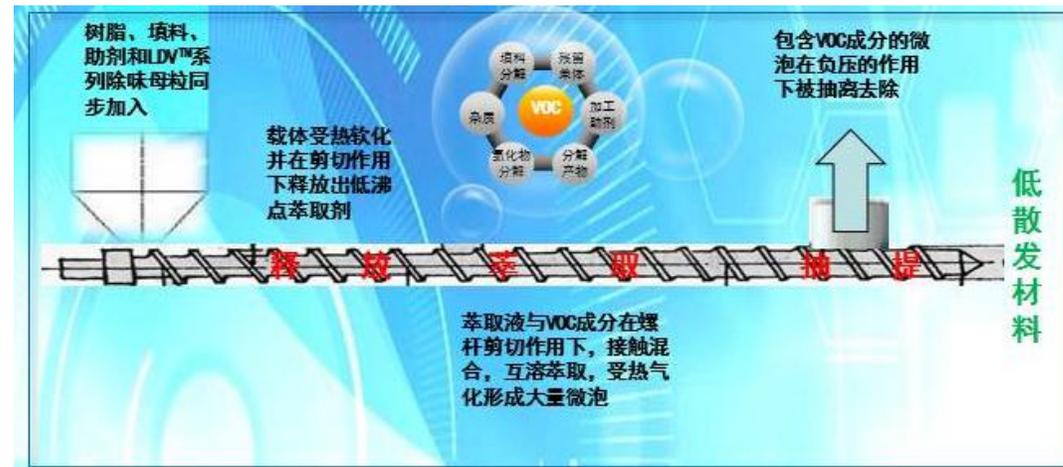
一是添加无机多孔吸附剂，在挤出过程中利用无机颗粒的多孔结构来捕捉并吸附一些低分子VOC，达到降低VOC含量的目的。但吸附-解吸附是一个动态平衡过程，受温度、压力影响较大，很难高效地改善材料的VOC含量。

二是在加工过程中通过多阶真空、烘料等强化脱挥方法，在一定程度上也可改善气味和降低VOC含量。但存在产品稳定性差、工艺路线复杂、能耗大、成本高、效率低等缺点，不适合工业化生产。

#### 创新理念——萃取脱挥

(1) 选择一种纳米多孔聚合物作为载体，负载高含量低沸点有机小分子萃取剂，然后与不同基体树脂制备系列浓缩除味降VOC母粒 (有效含量不低于60%) ；

(2) 使用时将上述母粒与相关树脂体系进行熔融共混，然后利用负压抽离去除VOC，从源头上降低气味及 VOC。 (如右图所示)



#### 开发品种：

| 牌号   | HW01             | HW02 | HW04 | HW05      | HW06 | HW07 |
|------|------------------|------|------|-----------|------|------|
| 载体   | PP               | PE   | PS   | EVA       | PA6  | PBT  |
| 适用体系 | 聚烯烃类             |      | ABS等 | 低熔点聚烯烃弹性体 | 尼龙   | 聚酯   |
| 外观   | 白色椭圆颗粒           |      |      |           |      |      |
| 安全认证 | 通过ROHS、REACH专业检测 |      |      |           |      |      |

**萃取剂无残留，载体与树脂相容性好，不影响材料其它性能。**

## **成果3：工程塑料合金化技术**

---

**关键创新：**

- 1. 釜内接枝改性技术的应用**
  - 2. 高性能低成本塑料合金的研制**
  - 3. 大型薄壁制件材料的开发与应用**
-

### 3.1 低VOC无卤阻燃PC/ABS合金

#### 该研究的创新性在于：

**首先**，通过釜内改性方法，将带有反应性官能团的无卤阻燃剂与基体树脂进行接枝反应，在不破坏力学性能的基础上赋予基体树脂一定的阻燃性和反应活性。

**其次**，在进行反应共混挤出前，对阻燃剂、填料、增容剂等进行分子表面活化，进一步增强相互之间的偶联作用。最后，采用高剪切挤出方式进行共混改性，制备出的无卤阻燃PC/ABS合金材料。

**第三**，阻燃剂主要使用环保型无卤反应型阻燃剂和无机添加型阻燃剂，其中反应型有机阻燃剂的磷含量不低于20%，氮含量不低于20%，水分含量低于0.25%。而无机添加型阻燃剂选择纳米负载型产品，即可实现协同阻燃，又可提高制品的刚性及尺寸稳定性。

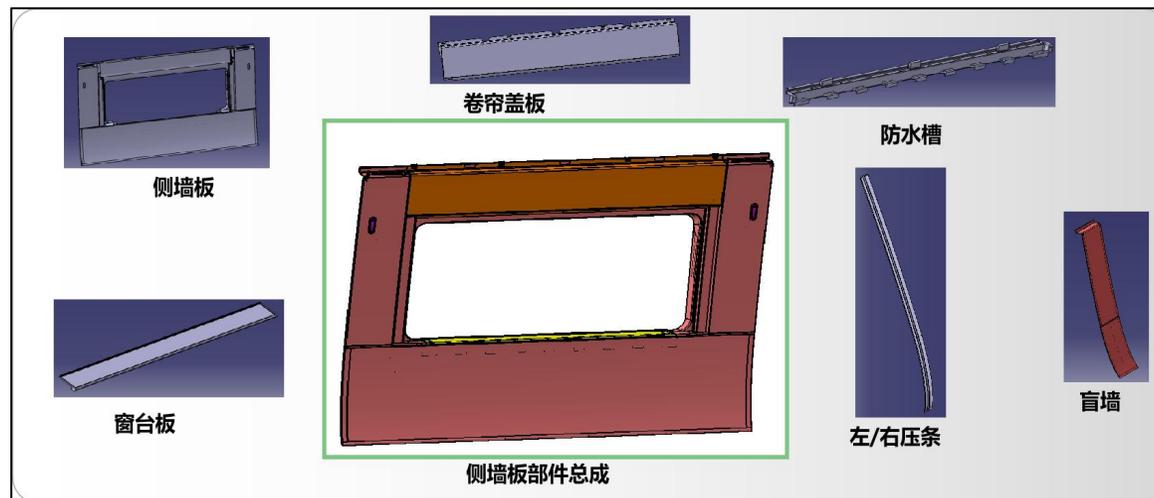
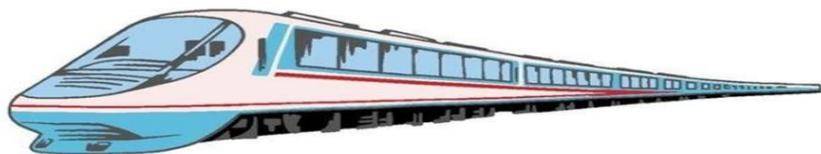
| 性能    | 测试标准<br>ASTM | 测试条件           | 国际单位              | 测试结果                 |
|-------|--------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 热性能   |              |                |                   |                      |
| 热变形温度 | D648         | 0.45MPa, 6.4mm | °C                | 114                  |
|       |              | 1.8MPa, 6.4mm  | °C                | 93                   |
| 电性能   |              |                |                   |                      |
| 表面电阻  | D257         | -              | Ω                 | 1.9*10 <sup>15</sup> |
| 介电强度  | D149         | 1.6mm          | KV/mm             | 19.2                 |
| 其他    |              |                |                   |                      |
| 熔体指数  | D1238        | 260°C, 2.16Kg  | g/10min           | 19.0                 |
| 比重    | D792         | 23°C           | g/cm <sup>3</sup> | 1.19                 |
| 收缩率   | D955         | 23°C           | %                 | 0.59                 |
| 阻燃性   | UL94         | 1.6mm          | Class             | V-0, 5VB             |
|       |              | 3.2mm          | Class             | V-0, 5VA             |

| 性能            | 测试标准<br>ASTM | 测试条件         | 国际单位 | 测试结果 |
|---------------|--------------|--------------|------|------|
| 机械性能          |              |              |      |      |
| 拉伸强度          | D638         | 50mm/min     | MPa  | 69   |
| 伸长率           | D638         | 50mm/min     | %    | 62   |
| 弯曲强度          | D790         | 2mm/min      | MPa  | 87   |
| 弯曲模量          | D790         | 2mm/min      | MPa  | 2710 |
| 悬臂梁缺口<br>冲击强度 | D256         | 3.2mm, 23°C  | J/m  | 479  |
|               |              | 3.2mm, -10°C | J/m  | 381  |
| 洛氏硬度          | D785         | R-Scale      | -    | 118  |
| 表面硬度          | D3363        |              | -    | HB-H |

### 3.1 低VOC无卤阻燃PC/ABS合金

#### 典型应用案例：400公里高铁侧墙板及侧顶板

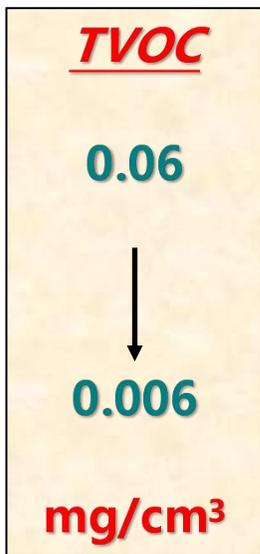
目标：替代传统玻璃钢制品，打造轻质、环保、安全、舒适的乘车环境。已经装车试运行。



| 序号 | 优势分析                             |
|----|----------------------------------|
| 1  | 冲击韧性高、回弹性好，承受外力撞击能力及自我修复能力强。     |
| 2  | 低VOC低气味，有助于大幅度提高了车内空气质量，提高乘坐安全性。 |
| 3  | 重量轻，密度仅为玻璃钢制品的60%，轻量化效果明显，节能效果好。 |
| 4  | 可回收再利用，符合可持续发展的循环经济理念。           |
| 5  | 注塑成型工艺简单，生产效率高，产品质量一致性好，稳定性高。    |



# 3.1 低VOC无卤阻燃PC/ABS合金



中车长春轨道客车股份有限公司  
CRRC CHANGCHUN RAILWAY VEHICLES CO., LTD.

国家轨道客车工程研究中心  
车体研发部

编号: CT-0080-2019

批示:  
同意. 若达到400公里级用图, 可先  
为实办理该项试验资质. 批准  
关于为吉林鸿源新材料科技发展有限公司 2019-2019  
办理试装资质的报告  
清源车部办理-一次性完成  
周文军 21/8

沙总:

为提升时速400公里高速动车组整车环保性能和轻量化水平, 技术团队与吉林鸿源新材料科技发展有限公司(以下简称鸿源公司)进行了技术交流, 该公司依托中国科学院长春应用化学研究所高分子材料技术, 提供的隔热材(聚酰亚胺泡沫)、间壁(无醛复合板材)、地板(无醛复合板材)、地板布(热塑性聚氨酯弹性体材料-TPU)、平顶板(碳纤维复合材料)、侧墙板(热塑性ABS/PC合金材料)、侧顶板(热塑性ABS/PC合金材料)技术方案环保性能优越、轻量化水平较高。

设计团队为鸿源公司办理试装资质过程中发现缺少ISO9001、DIN6701认证证书, 且无固定生产产地, 不符合我公

第1页共2页

中车长春轨道客车股份有限公司  
CRRC CHANGCHUN RAILWAY VEHICLES CO., LTD.

国家轨道客车工程研究中心  
车体研发部

司供应商准入资质条件。鉴于本项目为科技开发项目, 轻量化和环保为项目任务需求, 且本项目生产周期十分紧张, 建议质量保证部为鸿源公司先行办理试装资质, 待其满足我公司供应商准入条件后再为其办理正式资质。

车体研发部  
经办人: 刘先锋 王雷  
单位主管: 李博  
技术经理: 袁德强  
2019.8.20  
2019年8月20日

第2页共2页

## 3.2 高性能PC/ASA系列合金

### 耐候性PC/ASA合金的开发

针对户外用品，开发了高耐候性PC/ASA合金。采用自行制备的专用脆韧转变剂，通过传统的双螺杆挤出工艺，在喂料阶段即启用全自动精确计量控制系统，确保配方的精准；同时调整螺杆组合，增强剪切，同时增加了控温模块，及时反馈剪切热及反应热，避免降解现象发生，进一步提高产品的稳定性。

#### 解决的关键问题：

改变了传统PC/ASA材料冲击强度低的弊端；

解决了合金料表面光泽及颜色饱和度下降的缺点；

进一步提高了材料的耐候性。

#### 主要应用领域：

汽车外饰件、公用工程、户外运动装备等。



#### ① 超高韧性PC/PBT合金的开发

通过辐照方法引发乙烯-辛烯弹性体的接枝反应，制备POE-g-MAH增韧剂，对PC/PBT体系进行增韧改性，制备出冲击韧性超过800J/m的合金材料，同时具有高耐热、高尺寸稳定性、珠光外观、优异的加工性等优点，被广泛用于高端汽车的保险杠、拉手、电子元件等领域。

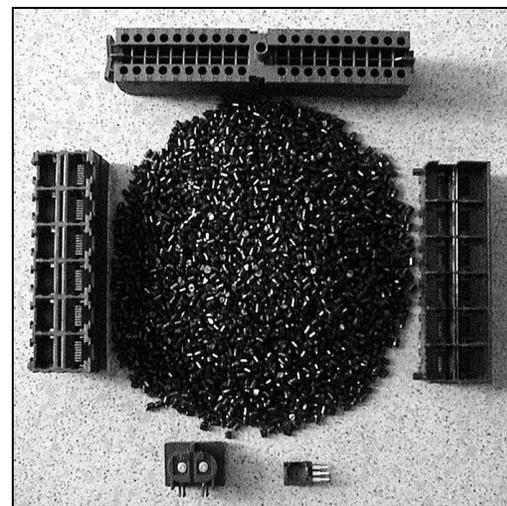


#### ② 无卤阻燃高CTI值高灼热丝温度PBT/PC合金的研究

多年来，在电子电器领域，阻燃PBT的应用领域最为广泛，但多为有卤体系，阻燃剂不仅易从制品表面析出腐蚀设备和模具，并容易产生大量导电离子和炭粒沉积物，大大降低材料的CTI值和耐灼热丝温度，极大限制了其在高端电子电气领域的应用。鉴于此，我们开发了高CTI值高灼热丝温度无卤阻燃PBT/PC合金。

##### 产品特点

- ▲ 耐灼热丝温度最高可达800°C，CTI值最高可达900V；
- ▲ 阻燃性能达到美国UL公司认证的V-0级要求；
- ▲ 阻燃剂符合欧美环保要求，适用于出口产品。
- ▲ 阻燃剂在制品中不析出，制品表面光泽度高；
- ▲ 制品经热处理后表面不喷霜，适用于有色产品；
- ▲ 耐热性好，机械强度高，磨擦系数低，耐磨擦；
- ▲ 有优良的电性能、耐候性和耐化学药品性；
- ▲ 易加工成型，成型周期短。



### 3.4 其它高性能系列合金的开发与应用

| 序号 | 合金种类        | 主要品种及特性            | 应用案例            |
|----|-------------|--------------------|-----------------|
| 1  | ABS/PA      | 高韧性、高耐热、高耐化学药品性    | 汽车内饰件、眼镜、文具等    |
| 2  | ABS/POM     | 高刚性、高尺寸稳定性、无卤阻燃    | 电子电器、仪器仪表等      |
| 3  | ABS/聚酯      | 高尺寸稳定好、高强度、外观好     | 电子电器、汽车轮罩、运动器械等 |
| 4  | POM/TPU     | 耐磨、耐油、高弹性、耐高低温、低翘曲 | 齿轮、密封圈等         |
| 5  | POM/PTFE    | 自润滑、高模量、高尺寸稳定性     | 齿轮、轴承等          |
| 6  | PA/PAEK     | 高耐热、高刚性、高绝缘        | 电子电器、轴承、GF等     |
| 7  | PA1010/PA11 | 高韧性, 耐磨、耐油         | 汽车及工程装备输油管、工程刷等 |
| 8  | .....       | .....              | .....           |



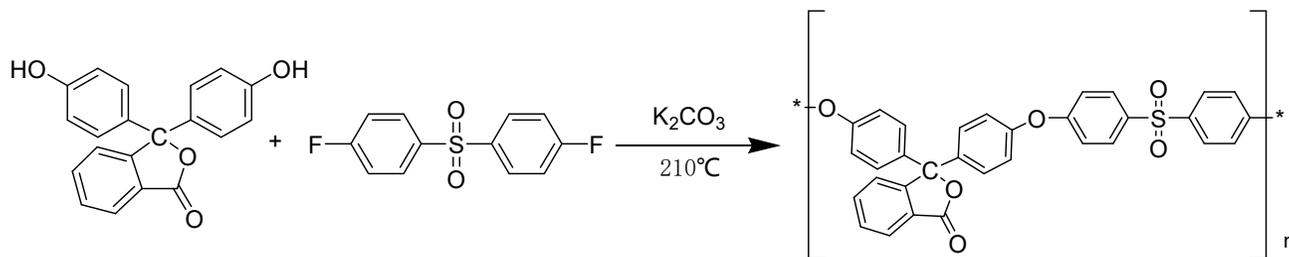
## **成果4：特种工程塑料技术开发**

---

**关键创新：**

- 1. 首创酚酞基无定型聚芳醚酮/砜**
  - 2. 低成本特种工程塑料合金开发**
-

# 4.1 酚酞基聚芳醚酮 (砜、腈、酯) 的产业化



| 公司            | 聚合技术                 | 后处理技术                                  | 溶剂回收             | 产业化进程             | 市场目标         |
|---------------|----------------------|--|------------------|-------------------|--------------|
| 浙江帕尔科新材料有限公司  | 以酚酞型聚芳醚酮为主, 包括特种聚芳醚酮 | 开创 <b>一次性粉体制备技术</b> ; 大幅度降低煮洗次数, 无研磨工序 | 同步制备与回收技术        | <b>500吨/年</b> 已建成 | 结构件、薄膜和增韧剂为主 |
| 吉林省中科聚合科技有限公司 | 以 <b>聚芳醚腈酮</b> 为主    | 以研磨粉碎清洗为主                              | 回收DMAC和环丁砜, 去除乙醇 | <b>500吨/年</b> 在建  | 结构件、涂料和复材为主  |



| Material Properties 材料性能                   | CONDITIONS 条件       | TEST METHOD 标准  | UNITS 单位 | TYPICAL VALUE 值 |
|--|---------------------|-----------------|----------|-----------------|
| Tensile Strength 拉伸强度                      | 屈服强度 23°C           | ISO 527         | Mpa      | 95              |
| Tensile Elongation 拉伸伸长率                   | Break 断裂 23°C       | ISO 527         | %        | 10              |
| Tensile Modulus 拉伸模量                       | 23°C                | ISO 527         | Gpa      | 3.4             |
| Flexural Strength 弯曲强度                     | 23°C                | ISO 178         | Mpa      | 150             |
| Charpy Impact Strength 夏比冲击强度              | Notched 缺口 23°C     | ISO 17816A      | kJ/m²    | 6.5             |
| Glass Transition (T <sub>g</sub> ) 玻璃化转变温度 | Onset 起点            | ISO 11357       | °C       | 346             |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 23°C Average 平均     | ISO 11359       | ppm/°C   | 62              |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 23°C Along flow 沿向  | ISO 11359       | ppm/°C   | 62              |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 150°C Average 平均    | ISO 11359       | ppm/°C   | 64              |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 150°C Along flow 沿向 | ISO 11359       | ppm/°C   | 65              |
| Thermal Conductivity 热导率                   | 23°C                | ISO/CID 22007-4 | W/m·°C   | 0.2             |
| Continuous Use Temperature 连续使用温度          | UL 74EB             |                 | °C       | 320             |
| Loss Tangent 介电损耗                          | 23°C, 1MHz          | IEC 60509       |          | 0.0048          |
| Dielectric Constant 介电常数                   | 23°C, 10/MHz        | IEC 60509       |          | 3.2             |
|  |                     |                 | mm       | 10/16           |
|  |                     |                 | g/cm³    | 1.3             |
|  |                     |                 | %        | 0.15            |
|  |                     |                 | %        | 0               |

**PAEK®PISP-HT01M**  
使用温度大于300°C

| Material Properties 材料性能                   | CONDITIONS 条件       | TEST METHOD 标准  | UNITS 单位 | TYPICAL VALUE 值 |
|--|---------------------|-----------------|----------|-----------------|
| Tensile Strength 拉伸强度                      | 屈服强度 23°C           | ISO 527         | Mpa      | 95              |
| Tensile Elongation 拉伸伸长率                   | Break 断裂 23°C       | ISO 527         | %        | 10              |
| Tensile Modulus 拉伸模量                       | 23°C                | ISO 527         | Gpa      | 3.4             |
| Flexural Strength 弯曲强度                     | 23°C                | ISO 178         | Mpa      | 150             |
| Charpy Impact Strength 夏比冲击强度              | Notched 缺口 23°C     | ISO 17816A      | kJ/m²    | 6.5             |
| Glass Transition (T <sub>g</sub> ) 玻璃化转变温度 | Onset 起点            | ISO 11357       | °C       | 346             |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 23°C Average 平均     | ISO 11359       | ppm/°C   | 62              |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 23°C Along flow 沿向  | ISO 11359       | ppm/°C   | 62              |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 150°C Average 平均    | ISO 11359       | ppm/°C   | 64              |
| Coefficient of Thermal Expansion 热膨胀系数     | 150°C Along flow 沿向 | ISO 11359       | ppm/°C   | 65              |
| Thermal Conductivity 热导率                   | 23°C                | ISO/CID 22007-4 | W/m·°C   | 0.2             |
| Continuous Use Temperature 连续使用温度          | UL 74EB             |                 | °C       | 320             |
| Loss Tangent 介电损耗                          | 23°C, 1MHz          | IEC 60509       |          | 0.0048          |
| Dielectric Constant 介电常数                   | 23°C, 10/MHz        | IEC 60509       |          | 3.2             |
|  |                     |                 | mm       | 10/16           |
|  |                     |                 | g/cm³    | 1.3             |
|  |                     |                 | %        | 0.15            |
|  |                     |                 | %        | 0               |

**PAEK® PAEK-HT01I、PAEK-CF01I**  
使用温度大于200°C可注塑, 高尺寸稳定性

## 4.2 酚酞基聚芳醚酮（砜、腈、酯）的应用案例——增韧及合金制品

### 解决热固性树脂韧性和粘度不够的问题

- ◆ **稳定供货产品：**用于环氧树脂的增韧，材料类型是环氧封端的聚芳醚酮（砜）。
- ◆ **新产品：**为满足热固性BMI树脂的复合需要，可溶于双马， $T_g$ 在300-330°C，超细粉和耐高温增韧、增粘剂。
- ◆ **已制定树脂规范标准2项，签订批量供货合同。**



聚芳醚酮超细粉



耐高温结构件（GF用途）



为某所提供的精密制件，材料具有良好的可加工性



#### 中航复合材料有限责任公司

##### 应用证明

我单位在某课题研究，选用了中国科学院长春应用化学研究所研制的无定型聚芳醚酮用于增韧双马来酰亚胺树脂预浸料。经研究表明，该聚芳醚酮在高温且可溶解，可显著改善预浸料的工艺性，复合材料高温性能高，满足课题指标要求，后续每年采购需求量为500公斤。

特此说明。

中航复合材料有限责任公司  
2017年9月12日



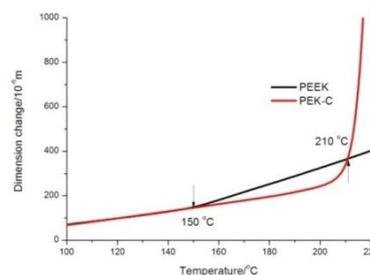
## 4.2 酚酞基聚芳醚酮（砜、腈、酯）的应用案例——功能膜

高透明、高强度，高尺寸稳定性，设备低成本，薄膜厚度 < 20微米

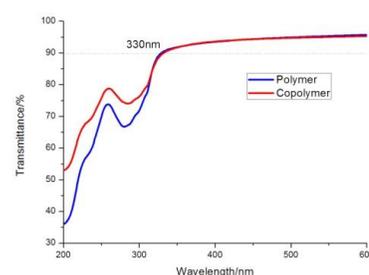
- ◆ 薄膜专用料制备技术：双氟单体调控反应，溶液分级法精制，弹性模量增加，断裂伸长率提高30倍；
- ◆ 尺寸稳定性调控技术：稀土纳米粒子调控尺寸稳定性；
- ◆ 自主产权成膜设备：自主开发适用于特种工程塑料的溶液成膜生产线。

国内外聚芳醚酮薄膜性能对比

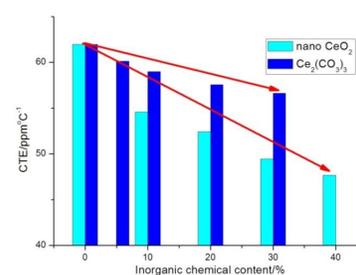
| 性能        | 单位                | 性能指标                       |                    |                    |
|-----------|-------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
|           |                   | 大连化物所                      | 国内PEEK             | 威格斯                |
| Tg        | °C                | <b>230-308</b>             | 143                | 143                |
| Tm        | °C                | <b>无</b>                   | 343                | 343                |
| 拉伸强度      | MPa               | <b>80-110</b>              | 77-108             | 100-120            |
| 拉伸模量      | GPa               | <b>1.8-3.2</b>             | 1.6-2.6            | 2.4                |
| 断裂伸长率     | %                 | <b>4.5-130</b>             | 150                | 150                |
| 薄膜密度      | g/cm <sup>3</sup> | <b>1.15-1.24</b>           | 1.25~1.35          | 1.26~1.45          |
| 介电常数      | 10MHz             | <b>3.0~3.5</b>             | 3.0~3.5            | 3.5                |
| 体积电阻      | Ω·cm              | <b>&gt;10<sup>16</sup></b> | 4×10 <sup>15</sup> | 4×10 <sup>16</sup> |
| 吸水率       | %                 | <b>0.40-0.63</b>           | ≤0.4               | 0.04               |
| CTE(Tg以下) | Ppm/°C            | <b>52-62</b>               | 55-67              | 35-60              |
| CTE(Tm以下) | ppm/°C            | -                          | 143.7              | 143.7              |



优异的尺寸稳定性



薄膜的透光性



稀土纳米粒子调控尺寸稳定性

## 4.2 酚酞基聚芳醚酮（砜、腈、酯）的应用案例——纤维级复材

### 高力学性能和使役性能、高层间剪切强度、低成本易成型

#### 热塑性复合材料

优势：高性能、可回收、易于加工，未来制造业的关键材料

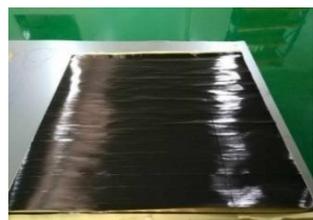
问题：耐高温高强树脂低成本制备技术、高粘度树脂浸润与流动、热塑性复合材料尺寸稳定性与耐候性能、成型设备和工艺

#### 基于溶液加工的特种工程塑料纤维基复合材料

**特点一：溶液加工。**采用可溶性树脂，解决其流动性和纤维浸润的问题和简化工艺；

**特点二：特种工程塑料，**保证材料使役性能不低于热固性树脂；

**特点三：自主开发的多官能团关键助剂体系。**



碳纤维预浸料



玄武岩纤维预浸料



排布机

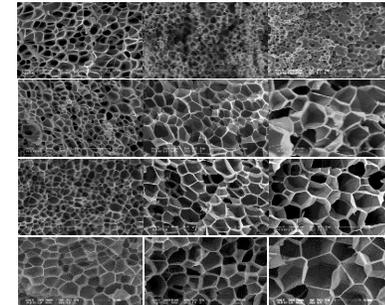
|               | BF/PEK-CN   | T700/PEK-CN  | T700/PEEK | APC-2/IM7 | 5228A/T700 | 5428/T700 |
|---------------|-------------|--------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 0°拉伸强度 (MPa)  | 1359.5±30.8 | 2286.8±116.8 | 2210      | 2900      | 2261       | 2870      |
| 0°拉伸模量 (GPa)  | 47.8±3.9    | 144.8±2.6    | 121       | 172       | 126        | 147       |
| 90°拉伸强度 (MPa) | 97.5±2.5    | 99.1±2.2     | --        | 60        | 54.8       | 58.2      |
| 90°拉伸模量 (GPa) | 4.7±0.2     | 7.7±0.2      | --        | 10        | 9.24       | 9.58      |
| 0°压缩强度 (MPa)  | 1723.3±55.7 | 1034.3±67.9  | 1381      | 1310      | 1272       | 1400      |
| 0°压缩模量 (GPa)  | 53.7±0.7    | 147.9±3.1    | 108       | 152       | 130        | 136       |
| 0°弯曲强度 (MPa)  | 1686.7±32.0 | 1528.5±57.8  | 1502      | 2170      | 1589       | 1800      |
| 0°弯曲模量 (GPa)  | 55.4±0.6    | 135.4±1.9    | 130       | 159       | 110        | 134       |
| 层间剪切强度 (MPa)  | 116.3±1.9   | 129.2±2.9    | 105       | 113       | 100        | 100       |

## 4.2 酚酞基聚芳醚酮（砜、腈、酯）的应用案例——高性能泡沫

### 热塑性、结构功能一体化泡沫材料

- ◆ **工艺优势**: 工艺过程环保, 发泡窗口宽, 发泡倍率8-30倍可控;
- ◆ **产品优势**: 自阻燃、低吸湿、热塑性可回收、泡孔尺寸小吸胶量低、180°C机械性能保持率高;
- ◆ **结构功能一体化**: 掺杂填充磁损和电损材料等吸波材料实现隐身功能, 不同频段吸波性能可调;
- ◆ **应用领域**: 船舶、风电、高铁、航空航天结构功能泡沫。

| 项目                       | 结果    |       |       |       | 标准             |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 泡沫密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.06  | 0.073 | 0.083 | 0.098 | GB/T 6343-2009 |
| 发泡倍率                     | 20.5  | 16.8  | 14.8  | 12.5  | --             |
| 室温压缩强度(MPa)              | 0.709 | 0.911 | 1.14  | 1.56  | GB/T 8813-2008 |
| 180 °C压缩强度(MPa)          | 0.355 | 0.437 | ---   | ----  | GB/T 8813-2008 |
| 室温压缩模量(MPa)              | 23.2  | 28.9  | 54.9  | 63.3  | GB/T 8813-2008 |
| 180°C压缩模量(MPa)           | 14.5  | 20.8  | ---   | ---   | GB/T 8813-2008 |
| 室温拉伸强度(MPa)              | 1.58  | 1.77  | 2.19  | 2.99  | GB/T 1040.2    |
| 室温拉伸模量(MPa)              | 36.9  | 42.4  | 56.6  | 103.1 | GB/T 1040.2    |
| 阻燃性                      | V-0   | V-0   | V-0   | V-0   | UL-94          |



PEK-C泡沫



阻燃性能

## 4.2 酚酞基聚芳醚酮（砜、腈、酯）的应用案例——耐高温绝缘涂料

### 优异的耐热性、耐腐蚀性、绝缘性能及抗冲击强度

- ◆ **工艺优势：**交联后涂层热稳定性及硬度提升，保持良好的柔韧性；可掺杂功能性材料制备耐高温功能涂料；
- ◆ **稳定性：**涂料漆膜在饱和 NaCl aq. 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aq. 20% NaOH aq. 75d涂层完好；
- ◆ **应用领域：**特殊装备、电厂防腐、电气产品、电子零件、各类电机外层防护涂料等。

聚芳醚酮耐高温绝缘涂料基本性能指标

| 项目                            | 指标                    | 试验方法           |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|
| 漆膜外观                          | 透明, 无机械杂质             | GB/T 1723-1993 |
| 铅笔硬度 (H)                      | 5                     | GB/T 6739-1996 |
| 柔韧度, mm                       | 1                     | GB/T 1731-1993 |
| 冲击强度, Kg·cm                   | > 100                 | GB/T1732-1993  |
| 附着力 (划格法)                     | 0级                    | GB/T 1720-1993 |
| 介电常数 (1~1×10 <sup>6</sup> Hz) | 2.5 ~ 3.2             | 宽频介电谱仪测定       |
| 耐热性, 300 ± 20°C, 30 h         | 不开裂, 不脱落              | GB/T1735-1993  |
| 表面电阻率 (250V电压), Ω             | 1.6×10 <sup>16</sup>  | GB/T1410-2006  |
| 体积电阻率, Ω·m                    | 1.47×10 <sup>14</sup> | GB/T1410-2006  |

防腐涂料

海水腐蚀

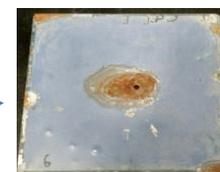
石墨烯  
聚苯胺



饱和氯化钠水溶液浸泡一年  
无破损

酸碱腐蚀

无机填料

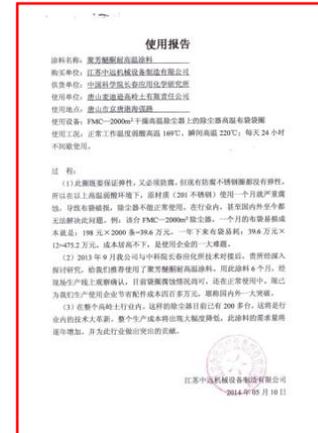
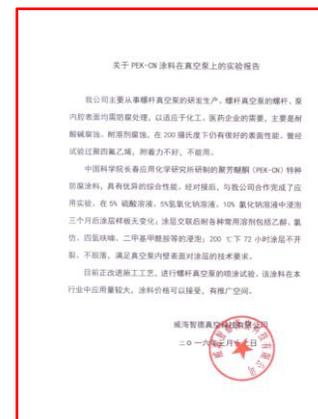


电厂实验一年  
无破损



模具表面喷涂

聚芳醚酮耐高温涂料喷涂的汽车制动钳



舒适化：隔音、降噪、隔热、保温

## 成果5：高性能泡沫

---

可降解膜的研制：

1. PI泡沫
  2. PP泡沫
  3. PET泡沫
-

## 5.1 聚酰亚胺 (PI) 泡沫

### 材料特点

- ◆ 短时耐温：300℃
- ◆ 长时间耐温200-250℃以上
- ◆ 阻燃，耐明火烧穿、降噪、环保
- ◆ 已试用于高铁、潜艇保温，正在尝试坦克保温

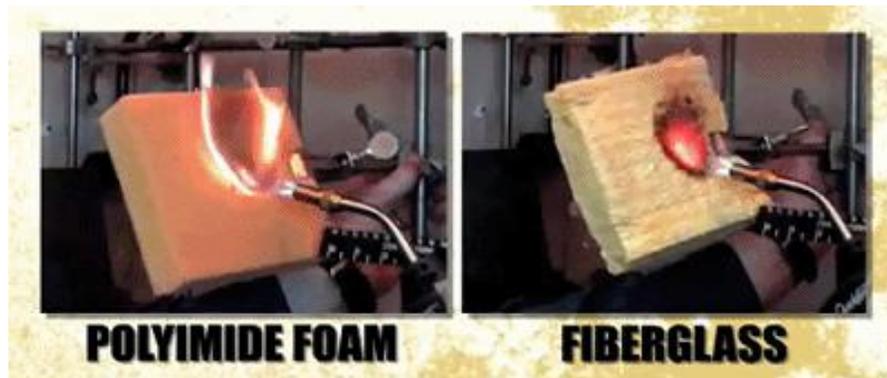
| 主要性能                 | 测试标准            | 聚酯纤维棉         | PI泡沫  |
|----------------------|-----------------|---------------|-------|
| 密度 kg/m <sup>3</sup> | GB/T 5480-2008  | 20 (+4/-5)    | 18    |
| 导热系数 W/(m.K)         | GB/T 10295-2008 | ≤0.026 (-40℃) | 0.025 |
|                      |                 | ≤0.028 (-25℃) | 0.028 |
|                      |                 | ≤0.032 (0℃)   | 0.031 |
|                      |                 | ≤0.035 (25℃)  | 0.034 |
| 降噪系数                 | GB/T 20247-2006 | ≥0.65 (25mm)  | 0.65  |
| 憎水率 %                | GB/T 10299-2011 | ≥98           | 99    |
| 热荷重收缩温度 °C           | GB/T 11835-2007 | ≥320          | 338   |
| 体积吸湿率                | GB/T 5480-2008  | ≤0.15         | 0.032 |
| 防火                   | EN45545         |               | 符合    |



批量生产PI原泡



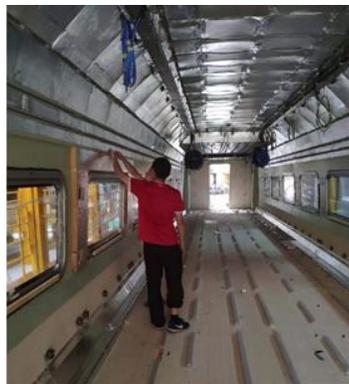
尺寸：2400×800×800mm



### 点缀“中国名片”

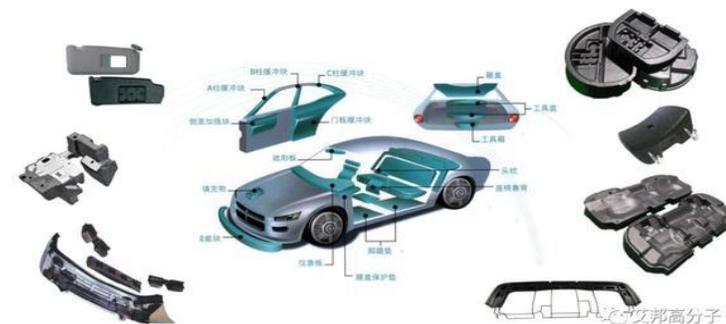
聚酰亚胺泡沫防寒材试装时速400公里高铁列

 中国中车  
CRRC

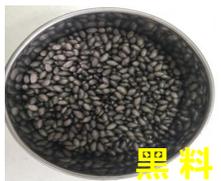


## 5.2 EPP珠粒

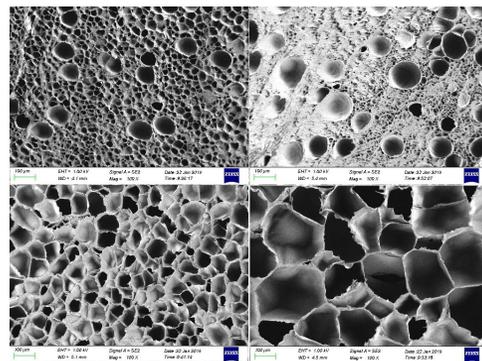
EPP材料比重轻，吸能和回复性能好，抗震抗压，无毒环保，因此EPP发泡材料便迅速在汽车制造领域得到了广泛应用，成为吸能和减震材料的新宠。据统计数据反映：目前每辆汽车平均用塑料100-130kg，其中应用EPP材料约4-10kg。



**开发产品特点：低成型压力 (< 0.25 MPa)**



| 发泡倍率 / 倍 | 堆密度 / kg/m <sup>3</sup> | 孔径 / μm | 压缩强度 / MPa | 拉伸强度 / MPa | 撕裂强度 / kN/m |
|----------|-------------------------|---------|------------|------------|-------------|
| 15       | 60                      | 30-50   | 0.39       | 0.62       | 3.2         |
| 20       | 45                      | 50-80   | 0.32       | 0.49       | 2.8         |
| 30       | 30                      | 80-110  | 0.16       | 0.38       | 2.1         |
| 40       | 25                      | 100-120 | 0.13       | 0.26       | 1.8         |



**“革命性”** 的发泡方式制备鞋材中底

## 5.3 MPP板材

| 原胚尺寸            | 泡沫板材尺寸            | 发泡倍率 | 密度                       | 厚度    |
|-----------------|-------------------|------|--------------------------|-------|
| 950×450×12~14mm | 2200×1200×35~50mm | 7~20 | 45~130 kg/m <sup>3</sup> | 30 mm |

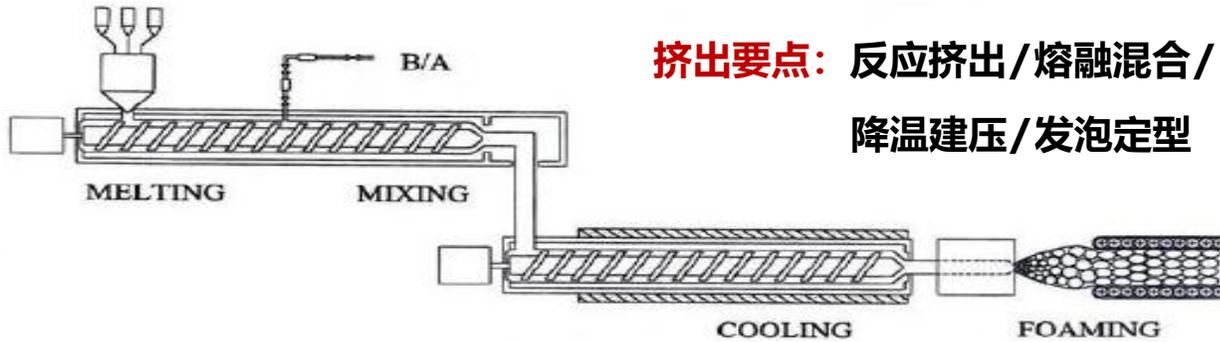


| MPP 的性能 |                | 单位                | 数值  | 30    | 40    | 50    | 60    | 80    |
|---------|----------------|-------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 密度      | ISO 845        | kg/m <sup>3</sup> | 平均值 | 30    | 40    | 50    | 60    | 80    |
| 硬度      | HG/T2489-2007  | °                 | 范围  | 55-62 | 63-69 | 70-75 | 76-78 | 76-82 |
| 拉伸强度    | GB/T 6344-2008 | MPa               | 平均值 | 1.0   | 1.2   | 2.4   | 2.6   | 3.6   |
| 撕裂强度    | QB/T 1130-91   | kN/m              | 平均值 | 4.0   | 4.9   | 7.7   | 8.2   | 11.7  |
| 拉伸断裂伸长率 | GB/T 6344-2008 | %                 | 平均值 | 16    | 20    | 32    | 32    | 31    |
| 压缩强度    | ISO844         | MPa               | 平均值 | 0.38  | 0.53  | 0.66  | 0.88  | 1.2   |
| 压缩模量    | ISO844         | MPa               | 平均值 | 18    | 28    | 40    | 45    | 57    |
| 剪切强度    | ASTM C273      | MPa               | 平均值 | 0.84  | 1.01  | 0.74  | 0.80  | 0.70  |
| 剪切模量    | ASTM C273      | MPa               | 平均值 | 7.6   | 7.7   | 15    | 19    | 24    |

MPP模压发泡：1500T-5压机+KSD-150单螺杆挤出机组

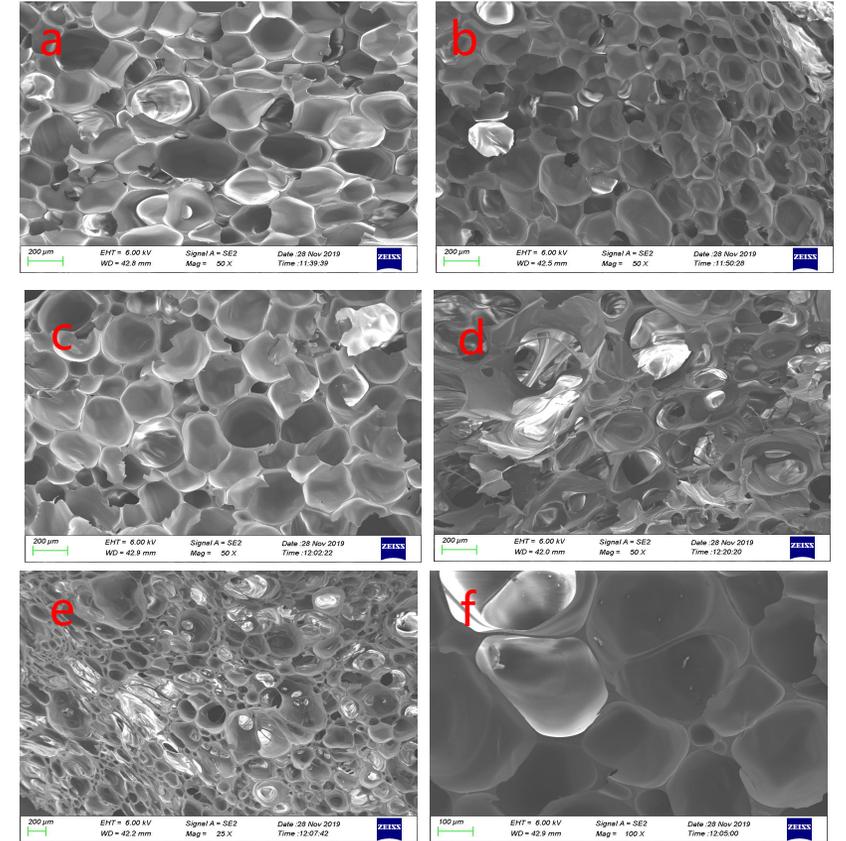
## 5.4 PET连续挤出发泡

超临界二氧化碳发泡：开发连续挤出阻燃级PET专用料，产品性能不低于国外产品。



挤出要点：反应挤出/熔融混合/  
降温建压/发泡定型

|      |              |                   | 3A      | ArmaFo<br>rm | DIAB | carbonfo<br>am | XX            | Strucel<br>I |
|------|--------------|-------------------|---------|--------------|------|----------------|---------------|--------------|
| 性能   | 测试标准         | 单位                | T90.150 | GR150        | P150 | PET150         | <b>PET150</b> | <b>T150F</b> |
| 名义密度 | ISO 845      | kg/m <sup>3</sup> | 145     | 150          | 150  | 150            | <b>155</b>    | <b>150</b>   |
| 压缩强度 | ISO 844      | MPa               | 2.2     | 2.6          | 2.1  | 2.68           | <b>2.46</b>   | <b>2.53</b>  |
| 压缩模量 | ISO 844      | MPa               | 105     | 120          | 100  | 99.38          | <b>86.9</b>   | <b>148</b>   |
| 拉伸强度 | ASTM<br>C297 | MPa               | 2.7     | 3.3          | 2.2  | 2.52           | <b>0.987*</b> | ----         |
| 拉伸模量 | ASTM<br>C297 | MPa               | 170     | 185          | ---- | 122            | ----          | ----         |
| 剪切强度 | ISO 1922     | MPa               | 1.2     | 1.35         | 1.25 | 1.36           | <b>0.703</b>  | <b>1.50</b>  |
| 剪切模量 | ISO 1922     | MPa               | 30      | 37           | 40   | 38.1           | <b>38.8</b>   | <b>44.4</b>  |
| 剪切应变 | ISO 1922     | %                 | 8       | 7            | 5.5  | ----           | ----          | ----         |
| 热传导率 | EN<br>12667  | w/mk              | 0.038   | 0.041        | ---- | 0.028          | ----          | ----         |



## 5.5 三明治结构夹心板材及制品

### “三明治”结构代替传统纸蜂窝

立足于高分子材料的应用开发，面向交通运输、军工、建筑家居、3C、新能源、等行业，为客户提供有关“轻量化、环保（减振降噪、节能保温、回收利用）、功能集成”的产品成套应用体系方案。

| 内容                                     |                  | 现行方案                                      | 推荐方案  |
|--|------------------|---|---|
| 材料组成                                   | 主要材质             | 芳纶纸蜂窝、纤维树脂预浸料                             | 热固性树脂、碳纤维、泡沫                                  |
|  | 结构               | 共固化而成的“三明治”夹芯结构：<br>面板：纤维树脂预浸料<br>芯材：芳纶蜂窝 | 共固化而成的“三明治”夹芯结构：<br>面板：纤维增强热固性树脂复合材料<br>芯材：泡沫 |
|  | 表面处理             | 两侧高压装饰层积板                                 | 油漆  |
|  | 厚度 (mm)          | 11  | 11  |
| 力学性能                                   | 抗变形*：3mm形变时力 (N) | 257                                       | 280   |
|  | 破坏载荷* (N)        | 412.5                                     | 563.2   |
|  | 破坏形变量* (mm)      | 8.3                                       | 9.5   |
| 环保                                     |                  | TB/T 3139、SJTY-ZT-003要求                   | 符合  |
| 防火                                     |                  | TB/T 3237要求                               | 符合  |
| *备注：主要通过外伸梁三点弯曲测试来用来评价材料的刚度性能，跨距200mm。 |                  |   |   |



军用包装箱

特点：质量轻、抗冲击性能好，尺寸稳定性好



汽车内饰部件

特点：环保，功能集成



特种车辆车体部件

特点：轻质高强，功能集成



## **成果6：高性能橡胶**

---

**可降解膜的研制：**

- 1. 丁二烯基耐低温橡胶**
  - 2. 高顺式稀土顺丁橡胶**
-

# 6.1 丁二烯基耐低温橡胶

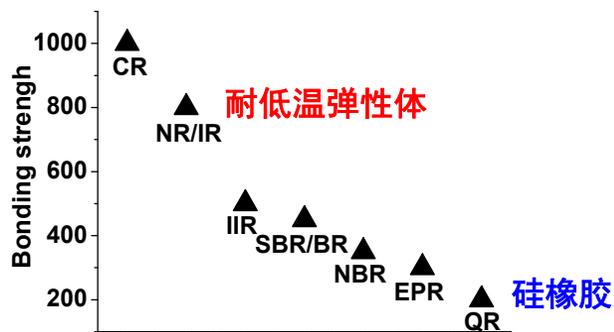
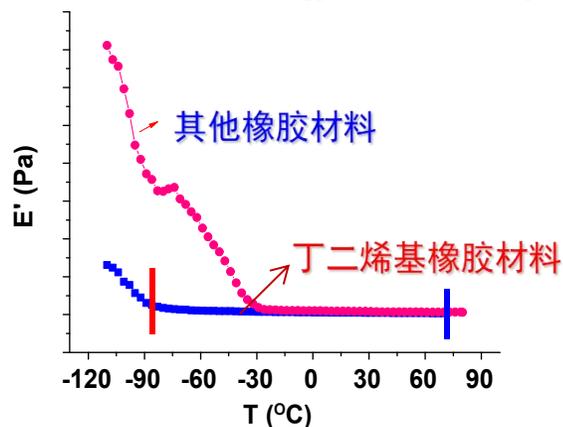
## 发动机柔性接头关键原材料

- ◆ 天然橡胶( $T_g \sim -70^\circ\text{C}$ )具有优异的粘接性能, 但使用温度范围窄;
- ◆ 硅橡胶( $T_g \sim -120^\circ\text{C}$ )具有优异的高低温性能, 但力学性能低、粘接性能差;
- ◆ 耐低温基胶需兼顾耐低温性能、力学性能和粘接性能。

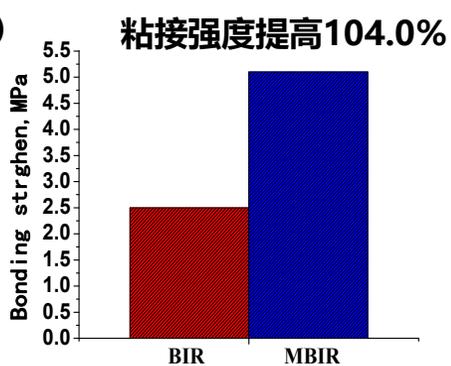
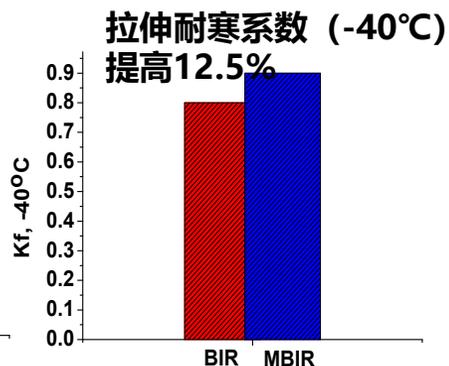
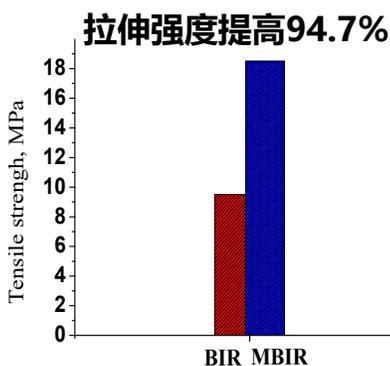
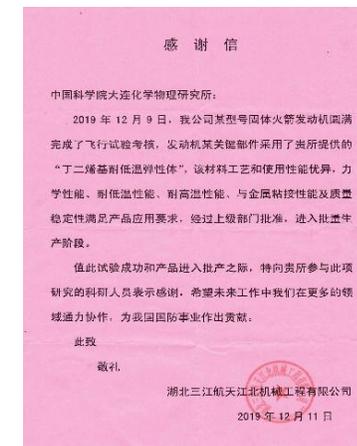


### 发动机柔性接头

- ◆ 柔性接头由多层弹性件和增强件粘结
- ◆ 低温性能差导致摆动失效
- ◆ 粘接性能差导致喷管漏气



完成某系列型号火箭地面试车试验



产品定型生产、批量供货

## 6.1 丁二烯基耐低温橡胶

### 耐低温弹性旁承体试制(中国中车)

轴箱弹簧、橡胶堆、弹性旁承等产品普遍存在低温下刚度变化率大、压缩高、减小幅度大等问题，尤其是-50~-60°C下，很难满足高寒地区的使用要求。



一系簧



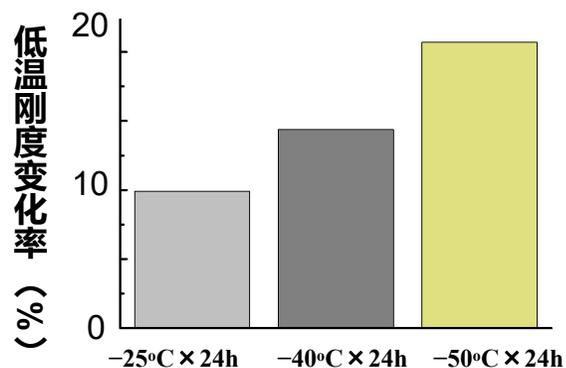
辅助簧



橡胶堆



试制产品

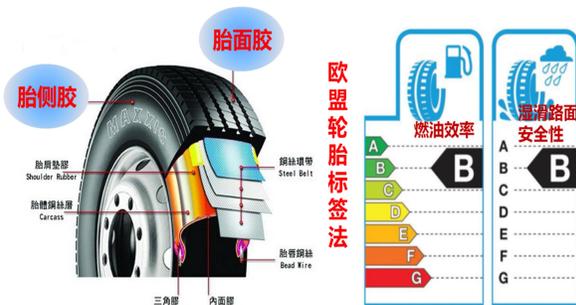


◆ 试制产品-40°C下低温刚度变化率满足低于30%要求，比采用NR（产品低温刚度40%以上）有很大改善。

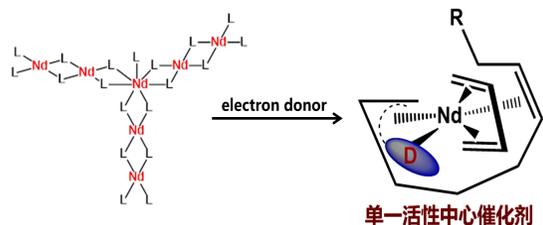
| 配方编号                                  | 1602      | 指标   | 检测指标          |               |
|---------------------------------------|-----------|------|---------------|---------------|
| 硬度, °                                 | 64        | 66±6 | GB/T531       |               |
| 拉伸强度, MPa                             | 18.2      | ≥15  | GB/T528       |               |
| 拉断伸长率, %                              | 444       | ≥400 | GB/T528       |               |
| 70°C*96h 热空气老化<br>拉伸强度变化率, %          | -2        | ≥-15 | GB/T3512      |               |
| 压缩永久变形, % (A, 型<br>70°C×24h, 25%压缩率)  | 12        | ≤20  | GB/T7759      |               |
| 压缩永久变形, % (A, 型<br>-50°C×24h, 25%压缩率) | 29        | 无    |               |               |
| 回弹, %                                 | 23°C      | 42   | 无             | ISO4662       |
|                                       | -50°C×24h | 8    | 无             |               |
| 玻璃化转变温度, °C                           | -74.7     | ≤-50 | ASTM / D 3418 |               |
| 低温结晶硬<br>度变化,<br>Shore A              | -50°C*24h | +8   | 无             | G B / T 12832 |
|                                       | -40°C*24h | +5   | 无             |               |
|                                       | -25°C*24h | +4   | 无             |               |
| -50°C的吉门扭转相对模量                        | 1.558     | 无    | GB/T 6036     |               |

# 6.2 高顺式稀土顺丁橡胶

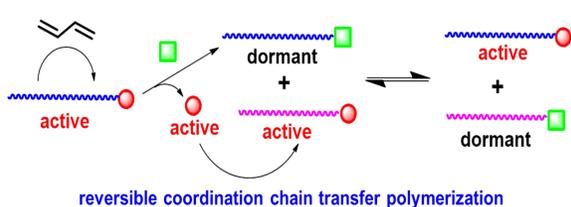
稀土顺丁橡胶具有高度顺式规整性和完美的线性结构，是高性能轮胎用重要基础胶种。用于轮胎的胎面和胎侧，提高轮胎耐屈挠性和耐磨性，降低滚动阻力，协助调控“魔三角”性能。稀土顺丁橡胶正逐步取代其他顺丁橡胶成为高性能轮胎的主要原材料。研究团队在构筑高活性、高定向性、均相稀土催化剂和发展可控/活性聚合方法取得了突破，已开展高端稀土顺丁橡胶工业化试生产，为我国轮胎橡胶更新换代的重大战略需求奠定基础。



## 均相高顺-1,4选择性羧酸、磷酸酯稀土催化剂

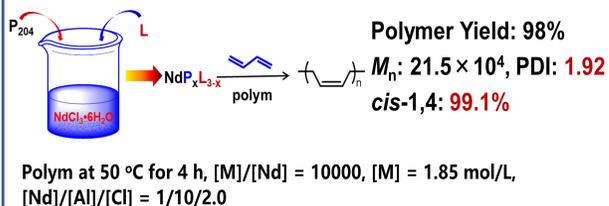


## 稀土催化共轭二烯烃可控聚合方法

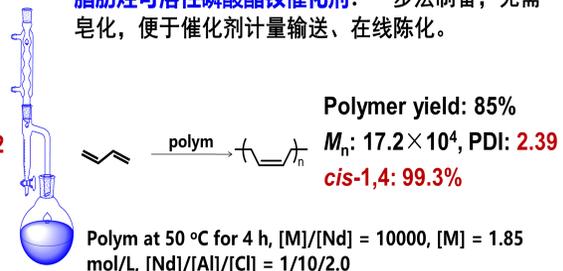


### 改性磷酸酯钕催化剂:

制备简便，实现对聚合物分子结构优化



脂肪烃可溶性磷酸酯钕催化剂：一步法制备，无需皂化，便于催化剂计量输送、在线陈化。



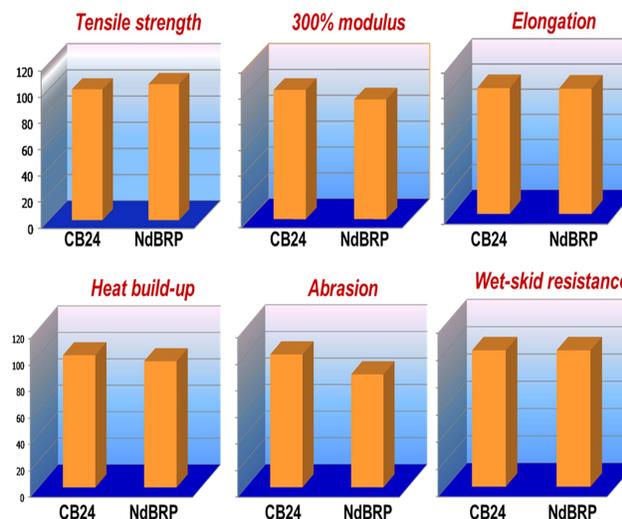
## 长周期连续模式聚合-运行平稳，解决了传统稀土催化合成橡胶高粘度体系传质困难问题



| [Bd]/[Nd]<br>(10 <sup>3</sup> ) | Yield<br>(%) | $M_n$<br>(10 <sup>4</sup> ) | $M_w/M_n$ | Chains/Nd atom | Activity<br>(kg/mol-Nd) |
|---------------------------------|--------------|-----------------------------|-----------|----------------|-------------------------|
| 50                              | 82.8         | 24.7                        | 2.42      | 10.9           | 2240                    |
| 25                              | 97.4         | 12.4                        | 2.25      | 10.9           | 1300                    |
| 20                              | 100          | 11.2                        | 2.30      | 9.6            | 1100                    |

对比数据: Nd(vers)<sub>3</sub>/AlR<sub>3</sub>/AlR<sub>2</sub>Cl: 430 kg/mol-Nd; NdCl<sub>3</sub>·2THF: 320 kg/mol-Nd

## 稀土顺丁橡胶中试产品性能



## 工业化成果

国家重点研发计划“高性能合成橡胶产业化关键技术”项目(2017YFB0307100)支持下，窄分布支化稀土顺丁橡胶在中国石油独山子石化公司成功完成工业试验，实现3万吨/年生产示范





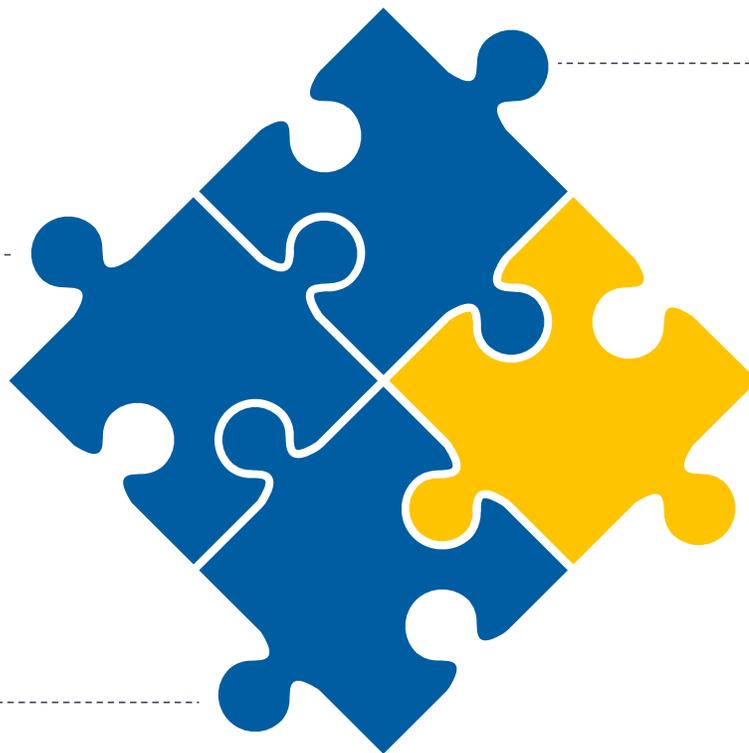
03

合作愿景



参与产品设计  
基于企业不确定需求基础上的长期合作

基于可转化的项目的一次性转让



基于共同关注的重要方向一事一议联合开发

基于企业需求基础上的多项服务，包括产品定制，整体解决方案，信息服务等



姜国伟 18946678256

gwjiang@dicp.ac.cn

**THANKS**