

先进材料  
ADVANCED MATERIALS



## 工业化应用

### 超高导热石墨材料

#### 技术背景

随着我国航天技术、高端电子工业、LED用芯片材料的快速发展，电子设备的元器件集成度越来越高，其热耗及热流密度也大幅度增加，由此引发的散热问题已经严重影响到高功率电子器件的稳定性和可靠性。传统的金属导热材料如铝、铜等，不仅导热系数有限，且密度大，热膨胀系数高，难以满足当前航天及电子工业对于散热的需求，因此，研究和开发导热率高、轻质和良好的热稳定新型高导热石墨材料具有重要的意义。

#### 技术优势

本技术原料来源广、价格便宜，制备工艺简单、周期短。所制高导热石墨材料除了具有高导热率外，通过了辐照、振动、湿热、热真空等航天环境试验验证，目前该材料已列入《航天型号非金属石墨材料选用目录》。另外，该材料附加值很高，每公斤售价达数千元，而普通石墨制品的售价仅为数十元每公斤。

本技术具有自主知识产权，授权专利2项，建立标准1项。

本技术已在诸多领域得到应用：高导热石墨薄膜和超高导热石墨

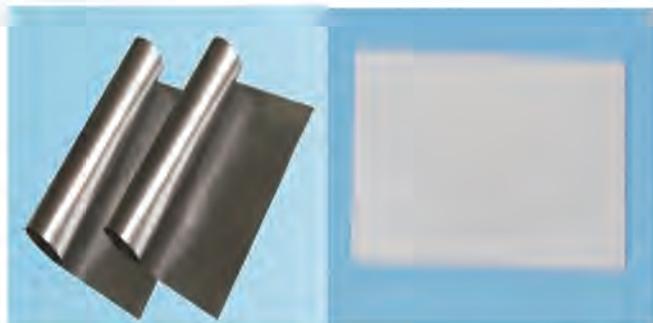
扩热板作为均热材料，成功应用于我国“资源三号”系列遥感卫星中，大大提高了相机镜头的径向温度均匀性和稳定性，改善了卫星的成像质量。开发的高导热石墨扩热板经表面金属封装，作为航天飞行器结构星扩热板，已成功应用于卫星高功率密度器件的热管理装置上，并批量供货给航天五院、国防科技大学和中国电子科技集团等用户，用于电子器件的散热。

#### 经济性评估

高导热石墨材料是通过在减轻器件重量的情况下提供更优异的导热散热性能，能有效的解决电子设备的热设计难题。目前开发了不同种类及规格的高导热石墨材料，在航空及国防军工领域得到了应用，而在石墨散热行业，高导热石墨材料尚属于引入期，即将进入成长期，在民用电子、通信、照明等领域的应用将会有更大的市场需求量。

#### 合作方式

技术许可、合作开发



不同厚度的超高导热石墨薄膜材料



超高导热石墨块体材料（毛坯、机加工后、表面封装后）

## 工业示范

# 桥隧、建筑加固用碳纤维复合材料

### 技术背景

多年来，基础设施的运营与安全状况一直是政府有关部门和公众特别关心的问题。以公路桥梁为例，由于历年的超负荷运营、施工质量、地震和其他意外损伤等原因，我国将迎来大范围的桥梁老化现象，亟需补强、加固以延长使用寿命。CFRP 片材具有质量轻、易施工、耐候性、寿命长等优势，有望逐步替代传统的钢板、钢筋混凝土加固技术。此外，CFRP 片材还可用于老旧建筑物的加固与补强。

### 技术优势

传统的钢板、钢筋混凝土加固技术存在加重桥隧、建筑物自重、施工复杂、不耐腐蚀等缺陷，CFRP 片材加固技术具有质量轻、易施工、耐候性、寿命长等优势。

因原材料碳纤维价格较高，导致目前 CFRP 片材的成本较高，但考虑到上述优势，就全成本核算来说，对传统加固技术仍然具有竞争力。特别是随着碳纤维低成本化的推进，CFRP 片材加固技术有望逐步替代传统加固技术。

本项目技术水平为国际先进。主要技术指标：CFRP 片材拉伸强度  $\geq 2.40$  GPa，拉伸模量  $\geq 150$  GPa。CFRP 专用预应力锚固系统锚固效率  $\geq 90\%$ 。达到或优于国标 GB/T 21490-2008《结构加固修复用碳纤维片材》要求。

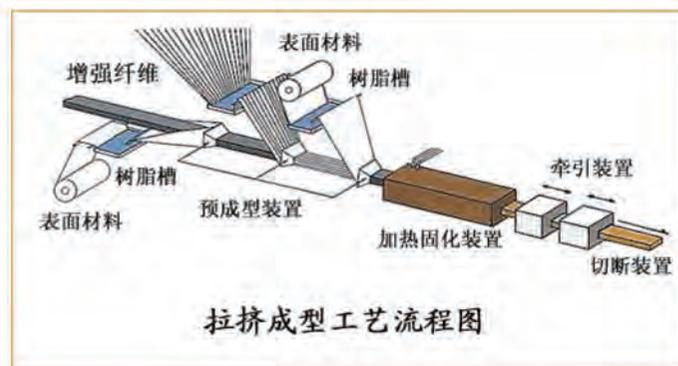
该材料已在山西交科桥梁隧道加固维护工程有限公司承担的河南南阳湍河大桥加固维修施工中得到应用，用户反馈加固效果良好。

### 经济性评估

截止 2014 年底，我国仅公路桥梁总数已达 75.71 万座，危桥数量达 7.96 万座。预计 10 年内桥梁加固维护市场规模将达到 1000 亿元以上。我国桥隧加固用 CFRP 片材年均进口量 100 余万平米，约合 1.2 亿美元。可见项目市场前景广阔。

### 合作方式

技术许可、技术服务



CFRP 片材制品



锚固系统



河南南阳湍河大桥加固

## 工业示范

### 超细颗粒等静压石墨的研制技术

#### 技术背景

随着科学技术的发展，普通炭/石墨的性能已不能到达特殊领域使用的指标要求，如电火花模具加工、手机热弯屏模具、核工业、航空航天领域用石墨材料。超细颗粒各向同性石墨具有更高的力学强度、低的孔隙率和孔径分布以及优异的表面加工性能，市场前景广阔。国产超细颗粒石墨的性能、尺寸及产量与国际先进水平存在较大差距，目前我国某些特殊领域用炭/石墨材料只能从国际市场购取，且价格昂贵，动辄数百甚至上千元每公斤。

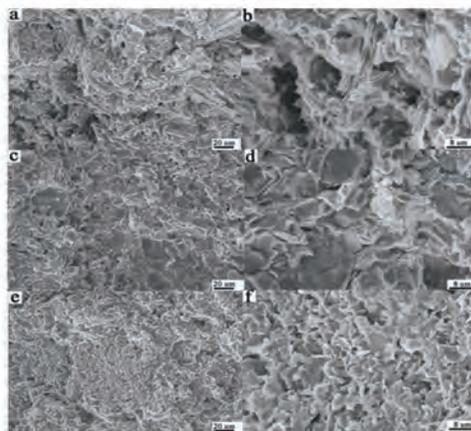
#### 技术优势

此工艺路线采用 2-5  $\mu\text{m}$  平均粒径骨料无需沥青浸渍增密处理，炭化后直接石墨化得到的 UGN 石墨体积密度达到 1.76-1.95  $\text{g}/\text{cm}^3$ ，抗弯强度为 60-105MPa，其孔隙直径集中分布在 200-400nm 之间，抗压强度达到 200-260MPa；UGG-2 石墨经过一次沥青浸渍处理最终制品的抗弯强度达到 81.02MPa 远高于日本东洋炭素的 IG110 石墨，孔径集中分布在 550nm 左右明显小于 IG110 石墨的 2  $\mu\text{m}$ 。

本技术目前已建成细颗粒各向同性石墨中试生产线，多批次向用户提供性能达标的石墨产品。利用该技术制备的超细颗粒等静压石墨，其生产周期较一般石墨缩短 2~3 个月，生产成本可降低 5000~10000 元/吨。

#### 合作方式

技术许可、合作开发



石墨 SEM 微观结构，a 和 b 为日本东洋炭素 IG110，c 和 d 为 UGG-1，e 和 f 为 UGG-2



超细颗粒等静压石墨

## 工业示范

# 高比表面积碳化硅连续化生产技术

### 技术背景

高比表面积碳化硅具有良好的化学稳定性和导热导电性能，可用于高温、强放热、强酸/强碱等苛刻条件下的催化剂载体；作为耐高温吸波材料的主要组分，碳化硅具有轻质、高强、宽频带和多频段吸收等特点。本技术采用溶胶凝胶结合碳热还原路线连续化生产立方型高比表面积碳化硅，产品可用于工业催化、航空航天等领域。

### 技术优势

目前国际上生产高比表面积碳化硅的公司只有两家，德国 SICAT 公司和美国 Pred Materials 公司，碳化硅比表面积均在  $35 \text{ m}^2/\text{g}$  左右。本技术采用溶胶凝胶-碳热还原方法，制备的碳化硅比表面可达  $100 \text{ m}^2/\text{g}$  以上，纯度  $> 98\%$ 。通过对凝胶组成和制备条件的调控，可实现对高比表面积碳化硅的结构和形貌的调控。

本技术完成连续化生产线设计，可以克服间歇式生产中存在的能耗高、周期长、原料损失大等缺点。已进行 50 公斤级放大试验，实验结果良好，为连续化生产提供了可靠的数据和经验。

该技术为自主知识产权，已获国家专利授权（ZL02130060）。

### 经济性评估

建一套 5 吨/年的高比表面积碳化硅连续化生产装置，包括生产车间建设，溶胶凝胶反应器、连续化传送设备、高温窑炉以及溶剂回收和尾气处理等生产装置的搭建，以及碳化硅的生产，预计投资 1000-2000 万。高比表面碳化硅生产成本约 2000 元/千克，价格预计为 2 万元/千克以上，年产 5000 千克的连续化生产设备，年产值可超过 10000 万元。

### 合作方式

技术许可、合作开发



高比表面碳化硅粉体样品



碳化硅基耐高温吸波材料样品



不同形貌碳化硅基催化剂样品



## 工业示范

### 石墨烯基超级电容器组装工业示范

#### 技术背景

超级电容器是介于传统电容器和充电电池之间的一种新型储能器件，具有工作温度范围宽、充放电速度快、循环寿命长、功率密度高、无污染、免维护和安全等特点，广泛用于电子产品、电动工具、电动汽车等电源；轨道车辆及工程机械能量回收以及大规模储能（如风力发电机组变桨、微网功率补偿能量缓冲、改善电能质量等领域）。

#### 技术优势

本技术具有充电速度快（ $\leq 30\text{ s}$ ），能量密度高（ $\geq 7\text{ Wh/kg}$ ），功率性能强（ $> 14\text{ kW/kg}$ ）循环寿命长（100万次）的优点，并已得到应用示范：圆柱型 100F 超级电容器在电动玩具、太阳能路灯以及电动自行车等开展了先期应用展示；叠片式 600F 动力型超级电容器在电动观光车上进行了应用示范。

本技术为与山西三维共同合作开发，申请专利 10 余项，涵盖整个工艺过程，同时针对关键过程形成了多项机密技术。

#### 经济性评估

2017 年全球超级电容器市场规模已达 20 亿美元，至 2020 年市场规模可望达到 35 亿美元。本项目以年产 100 万只 3000F 超级电容器工业示范生产线为例，总投资约 3 亿元人民币。按照 0.05 元/F 的售价计算，每年的产值为 1.5 亿元，项目回收期为 2 年。

#### 合作方式

技术许可



叠片式石墨烯基超级电容器



卷绕式石墨烯基超级电容器



石墨烯基超级电容器组装示范线

## 工业示范

# 低成本高品质镀金属碳（石墨）纤维的制备技术

### 技术背景

金属化碳纤维是一种新型碳纤维材料，不仅具有碳纤维优良的力学性能，还兼具了金属的优良的导电性，可广泛应用于电磁防护、抗雷击、防静电等领域。

### 技术优势

独特的电化学沉积工艺（获授权专利）和表面处理工艺，导电性良好、成本低，与同类产品相比较，成本不到同类产品的50%，具有显著的质量和成本优势。

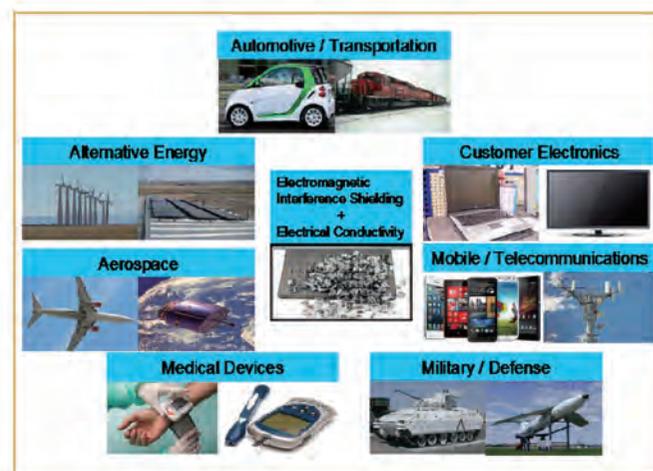
本技术已建设连续试验线，可批量制备镀镍碳纤维或镀镍石墨纤维样品。

### 经济性评估

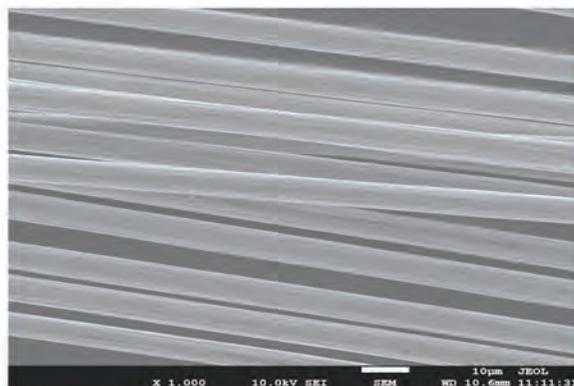
项目投资约500万元，基于独特的技术且有自主知识产权，在成本和质量上有明显优势。

### 合作方式

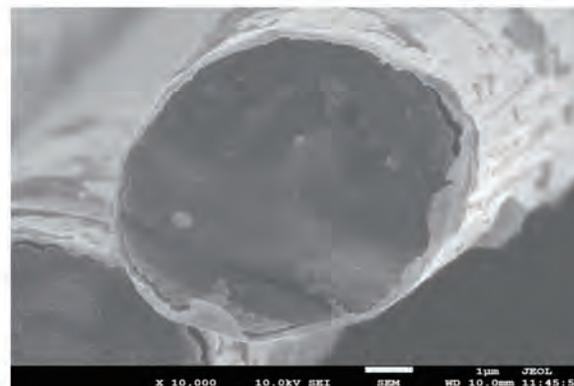
技术转让、技术许可、技术服务、合作开发



镀金属碳纤维的应用领域



镀镍碳纤维的表面形貌



镀镍碳纤维的截面形貌



## 工业示范

# 煤焦油沥青改性制备道路沥青技术

### 技术背景

煤焦油沥青是煤焦油的重质组分，产量约为高温煤焦油的 52%-60%，目前主要用于生产炭素粘结剂等。由于利用途径单一，因此出现大量滞销，严重拖累了焦化企业的整体效益。本技术为煤焦油沥青高附加值清洁利用提供了新路径，解决影响煤焦油深加工产业整体效益的瓶颈问题，将极大推动焦化和煤焦油加工行业实现转型升级。煤基道路沥青主要应用于高速公路和一级公路的沥青下面层及以下层次、二级及以下公路的各面层沥青混凝土结合料。

### 技术优势

煤焦油沥青具有石油沥青不可比拟的粘结性和渗透力，能够适用于各种集料。煤基道路沥青混合料具有突出的抗车辙和水稳定性能，远远超出交通部规范的要求。煤基道路沥青施工温度比道路石油沥青低 25-30℃，具有优良的温拌性能，低碳环保，节能 30%-50%，CO<sub>2</sub> 减排 40%-50%。煤基道路沥青成本始终低于道路石油沥青，具有可持续的成本优势。

2015 年已完成工业示范，一次投料试车成功，2016 年完成年产 10 万吨规模工艺设计和可行性研究。

### 经济性评估

“十二五”期间，我国公路建设突飞猛进，全国道路沥青消费量保持在 2000 万吨/年。根据《国家公路网规划（2013 年—2030 年）》，未来 10-15 年，普通国道将新建 8000 公里，升级改造 10 万公里；国家高速公路将新建 2.5-3 万公里。我国公路建设仍将处于快速发展阶段，因此未来新建道路里程的持续增加将有效支撑国内道路沥青需求保持较高水平。根据有关数据测算，预计“十三五”期间全国道路沥青消费量将保持在 2000 万吨以上。年产 10 万吨煤基道路沥青项目，总投资 2700 万元，按目前道路沥青 3000 元/吨市场价计算，每吨产品可获毛利润 480-1000 元，可获毛利 4800-10000 万元。

### 合作方式

技术许可、技术服务



山西省地方标准  
《道路用改性煤沥青》



CMB 改性剂



调和剂



煤基道路沥青



中试实验现场

## 中试放大

### 碳纤维复合材料压力容器 / 管道缠绕成型技术

#### 技术背景

碳纤维复合材料压力容器主要应用在航天、国防、海洋工程及交通等领域，民用工业领域发展较慢，近年来清洁能源天然气汽车的剧增，使得复合材料压力容器得到重视。

碳纤维复合气瓶，是由很薄的金属合金内衬或者非金属内衬，外面再缠绕纤维构成。增强纤维密度很小、强度很高（抗拉强度可达几千兆帕）大大减轻了容器质量。另外碳纤维缠绕机械化程度高，成本可控，设计灵活，寿命长。

#### 技术优势

山西煤化所具有理论计算、设计、试制、验证及批量生产能力，可根据实际需求进行新产品的研制及生产，满足用户的个性化需求。

该技术为山西煤化所自主知识产权，工作压力 40~70Mpa，使用寿命可达 15~20 年。

#### 经济性评估

2016 年碳纤维复合材料压力容器需求碳纤维总量 5.3kt，占碳纤维总需求量的 6.9%。每公斤复合材料压力容器价值 20 美元，全年复合材料压力容器需求量 1.06 亿美元。

#### 合作方式

技术许可、技术服务、合作开发



碳纤维压力容器封头



压力容器缠绕工艺过程



碳纤维复合材料压力容器



## 中试放大

### 碳纤维纸基复合材料的制备技术

#### 技术背景

碳纤维纸基复合材料是一种新型的复合材料，具有力学性能高、抗冲击性能强、各向同性、导电性强、易加工成型等优异性能，可用作材料表面增强、功能性赋予、快速成型复合材料等领域。通过功能性赋予，可制成优质电磁屏蔽、抗雷击、防除冰、抗静电等功能复合材料。

#### 技术优势

本技术突破了湿法制备碳纤维纸基预制复合材料的技术难关，可打破国外技术封锁，而且可根据需要选择不同的基体，成本低，性能优异。

#### 经济性评估

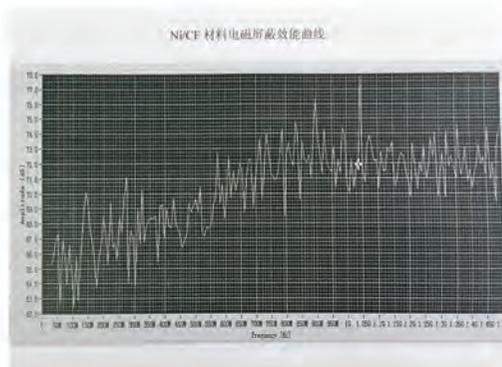
项目投资约 500 万元，由于有独特的技术且有自主知识产权，在成本和质量上有明显优势。在结构增强、电磁防护、抗雷击、防除冰和防静电等领域有广泛的市场前景。

#### 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务、合作开发



开发的镀镍碳纤维纸基复合材料



制备的镀镍碳纤维纸基复合材料的电磁屏蔽效能测试



碳纤维纸基复合材料可用于飞机的增强、防除冰、防雷击、电磁防护等

## 中试放大

## 高铁受电弓炭 / 金属滑板复合材料



高铁受电弓滑板运行、装置及受电弓滑板材料照片



受电弓滑板金相结构（左：国内某牌号；右：煤化所研制）

## 技术背景

近年来，我国高铁取得了举世瞩目的成就，已成为高铁技术出口大国。但作为高速列车获得动力的关键部件—受电弓滑板材料全部依靠进口，其质量直接影响着行车的安全性。炭 / 金属滑板是理想的受电弓滑板材料，其昂贵进口价格和巨大需求量不利于高速、重载列车的持续发展，因此，实现高性能炭 / 金属滑板的国产化已经成为亟需解决的问题。

## 技术优势

目前国内生产的 C26P、C203 和 SK2 型炭 / 金属滑板，仅可用于时速小于 200 公里的普通电车上。其工作时存在金属易发生粉化、粘连现象且金属在复合材料中的局部团聚导致局部摩擦系数过大、磨损高以及材料结构均匀性差等问题，无法满足高铁机车的安全运营。本技术攻克了上述制约炭 / 金属滑板高性能化的技术难题，所制炭 / 金属滑板材料结构致密、金属在炭质基体中高度填充且呈细网状均匀分散，具有优异的力学和摩擦学性能，达国际先进水平。已成功应用于导弹伺服机构柱塞泵的动密封，其服役环境要求远远高于受电弓滑板材料。

## 经济性评估

受电弓滑板材料是高铁机车导入电能的关键部件，市场需求巨大：预计 2017 年，我国受电弓滑板需求量将超过 90 万条，全球受电弓滑板的需求量将超过 200 万条。目前我国高铁所需受电弓滑板材料全部依靠进口，其昂贵（6000 元~10000 元 / 条）的进口价不利于我国高速、重载列车的持续发展。以 10 万条 / 年生产规模计算，项目投资需 0.8~1 亿元（包括厂房、制备装置、分析检测装置和水电、人员成本费等），所制高性能受电弓炭 / 金属滑板材料的成本为 1000~2000 元 / 条，为进口成本的 1/4 左右。

## 合作方式

合作开发

## 中试放大

### 电解制氟炭阳极板材料

#### 技术背景

炭阳极板是电解制备氟气的核心材料。随着我国生产核材料对氟气的需求，对炭阳极板的数量和性能要求也愈来愈高。目前国际上氟电解槽用炭阳极板的电流密度一般为  $0.15\text{--}0.21\text{A}/\text{cm}^2$ ，而国内生产的炭阳极板普遍只能达到  $0.08\text{--}0.10\text{A}/\text{cm}^2$ 。电流密度低的原因是炭阳极板品质较差，不能承受高的电流强度，材料易发生阳极极化、断裂等，导致电极更换频率大，生产效率低。

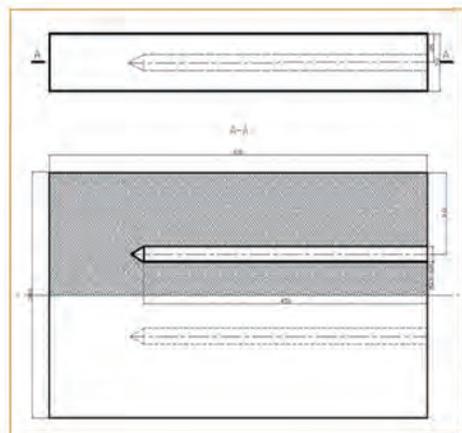
采用优质炭阳极板可以大幅减少制氟设备的维修成本，提高设备生产能力，从而显著降低氟气生产成本，这对于发展我国制氟工业具有非常重要的促进意义。

#### 技术优势

本技术攻克了上述高性能炭阳极板的技术难题，研制的炭阳极板具有高性能、长寿命的特点。炭阳极板材料的性能达国际先进水平，并已在中核 404 有限公司电解槽中运行寿命达到 8 个月。

#### 合作方式

技术转让、技术许可



炭阳极板转配图以及实物

## 中试放大

## 阻燃、隔热、耐高温酚醛纤维材料

## 技术背景

酚醛纤维是以酚醛树脂为原料经纺丝和固化交联而成，以碳元素为主，原子间键能高，分子链间内聚力大，具有较高的残炭率、尺寸稳定性、突出的隔热性能和瞬时耐高温等性能，是一种集阻燃、绝热、耐高温、耐腐蚀、隔音等多种功能为一体的特种纤维。

酚醛纤维可应用于宇宙航行、国防、航空工业中绝热、绝缘和耐腐蚀材料，也是生产碳纤维、活性炭纤维、离子交换纤维等特种纤维的初级原料；酚醛纤维织物也可应用于防火、防腐蚀服、耐酸耐腐蚀过滤材料以及阻燃装饰用材料等方面；酚醛纤维复合材料可用于航天飞行器的隔热防护层、高温密封以及各种的石棉制品替代等。在阻燃、隔热、耐腐蚀、耐高温等领域都有较好的市场前景。

## 技术优势

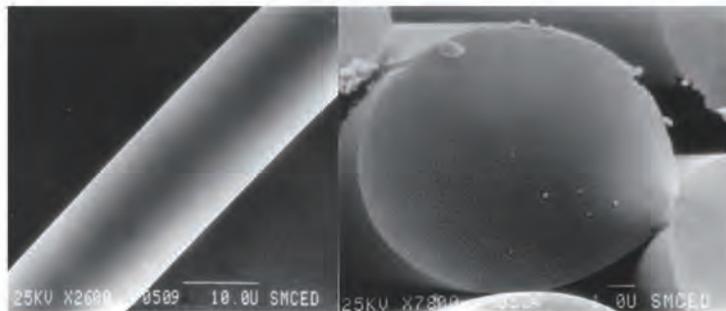
本技术解决了低分子量酚醛树脂在合成、纯化、成纤、固化交联和纺织加工方面一系列的技术难题，制备出了酚醛纤维及其各种织物，打破了国际上 Kynol 公司对酚醛纤维生产技术和产品的垄断，已完成中试放大试验，已成功应用在某型号火箭的隔热防护层，下一步可进行产品的工业化开发。

## 经济性评估

项目投资，按 20-50 吨 / 年规模设计，需设备投资 700-1000 万。经济评估，按 30 万元 / 吨的价格计算，年销售额 600-1500 万元，年利润 200-500 万元。

## 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务、合作开发



酚醛纤维 SEM 照片



酚醛纤维酚醛纤维纱线



酚醛纤维机织布



酚醛纤维毡



## 中试放大

### 沥青原料生产球状活性炭的规模化技术

#### 技术背景

中国是活性炭生产大国，但产品低端、竞争力弱，同时，我国还不得不大量进口高端活性炭，因此活性炭产品亟需高端化。球状活性炭的外形为典型的球形，赋予其极好的流动性、高的抗磨度和吸附性能，主要应用于普通活性炭无法使用的国防军工领域，如飞船、核潜艇等狭小密闭空间内，民用高科技领域如血液净化的核心吸附材料等。

#### 技术优势

以煤沥青为原料制备的球状活性炭属于高端活性炭，目前由于其制备涉及到多学科的交叉和复杂的工艺技术，仅有日本能够商业化生产。国内只有煤化所进行了中试放大，并成功制备出了产品性能与日本水平相当的规模化产品。

本技术的直接成球技术，具有萘损耗低且可控、沥青利用率高、工艺步骤短等优势；再者是沥青氧化不融化的促进技术，在加速沥青分子氧化交联反应的同时实现反应活性的控制，解决了产品的“皮芯”结构，显著提升了强度。经山西省科技厅鉴定，研究水平达到国外先进水平，授权专利 20 余项。

#### 经济性评估

项目投资与规模、工艺路线、公用工程有关。该产品主要用于国防军工和民用高科技领域。其中国防军工方面的市场由于保密原因无法得知，但随着我国国防战备情况，应该说市场巨大。民用方面，主要用于医学领域和环保领域，其中应用于慢性肾功能不全治疗药物，由日本吴羽化学公司制造，由日本三共医药公司经销的商品名为“kremezin”的价格一直稳定为 156 日元/克（约合 RMB 10 元/克），08 年仅在日本国内销售量已经达到 160 吨。

#### 合作方式

技术转让



球状活性炭



成球装置



氧化不融化和炭化活化装置

## 中试放大

## 高品质石墨烯规模化制备技术



石墨烯中试示范线



石墨烯系列产品



石墨烯扫描电镜照片

## 技术背景

石墨烯是单层碳原子构成的二维纳米晶体，具有优异的力、热、光和电性能。在电极材料、催化剂、功能浆料和复合材料等方面已呈现良好应用前景。目前，石墨烯材料的规模化制备已被列入我国新材料产业“十三五”规划，其规模化应用有望在信息、交通运输、航空航天和新能源等领域产生颠覆性变革。

## 技术优势

2007 年开展石墨烯研究，2013 年建成吨级石墨烯中试示范线，具备了石墨烯系列产品的稳定供应能力，开发了 10 吨级石墨烯制备工艺软件包，为石墨烯产业化奠定坚实基础。经第三方评测，产品指标在国内遥遥领先，比表面积 600-1000m<sup>2</sup>/g，灰分 <0.1 wt.%。2016 年，通过山西省科技厅组织的成果鉴定，达到国际先进水平。2009 年以来，炭美® 石墨烯已在国内外 300 余家企业与研究机构推广应用，依靠过硬的品质和稳定的质量获得用户的一致认可。

## 知识产权情况

在与晋能集团合作开发该技术过程中，申请专利 10 项，授权 6 项，覆盖了石墨烯工程化制备工艺、装备、二次加工技术等。

## 经济性评估

美国 BCC 预计石墨烯产品的全球市场容量将在 2018 年达到 1.95 亿美元，到 2023 年可达 20 亿美元。本项目 10 吨级工业示范线固定资产总投资约 1.0 亿元。项目建成后，石墨烯成本预期可降至 3000 元/kg，年利润可达 5000 万元，有望 3 年内收回投资。

## 合作方式

技术转让、技术许可

## 中试放大

### 小石墨烯的中试绿色制备与应用开发

#### 技术背景

石墨烯具有优异的导电、导热、吸附、抗菌、黑体红外辐射等性能，并耐酸碱、耐腐蚀，化学稳定性好，电化学性能好。中国具有储量丰富的微晶石墨（土状石墨），价格低廉，但缺乏微晶石墨到石墨烯的制备技术。

#### 技术优势

从石墨原矿直接高效制备石墨烯的新途径，技术原创。石墨烯质量高，分散性好，尺寸独特，全球唯一。工艺成本低，能耗较低，污染少。小石墨烯在锂电储能、电热节能环保、润滑和海洋防腐交通等领域应用前景大。

目前，10吨/年的小石墨烯中试示范线已经建成。小石墨烯分散性好，浓度达15%以上，可印刷性好，涂布膜质量高。目前产品有：石墨烯水系浆料、油系浆料、干粉、铝箔涂层和电热壁纸等。

#### 经济性评估

本技术实际投资已超过2000万，计划融资1000-3000万，出让股份10-30%，进行下一步扩大生产、应用研发和市场渠道的拓展。预计产出/投入的比值能超过10倍。

#### 合作方式

公司入股，合作开发



小石墨烯的 SEM 电镜照片，石墨烯中试平台，石墨烯锂电涂布

## 中试放大

### 淀粉基超级电容活性炭的中试技术开发

#### 技术背景

长期以来，我国超级电容器所用的核心炭材料基本依赖进口，很大程度上制约了国内超级电容器的生产成本和创新。为推进我国超级电容器关键材料 - 超级电容活性炭的发展，本技术开发了先进工艺路线和配套设备，通过中试技术实现了低成本、高品质超级电容活性炭的国产化。

#### 技术优势

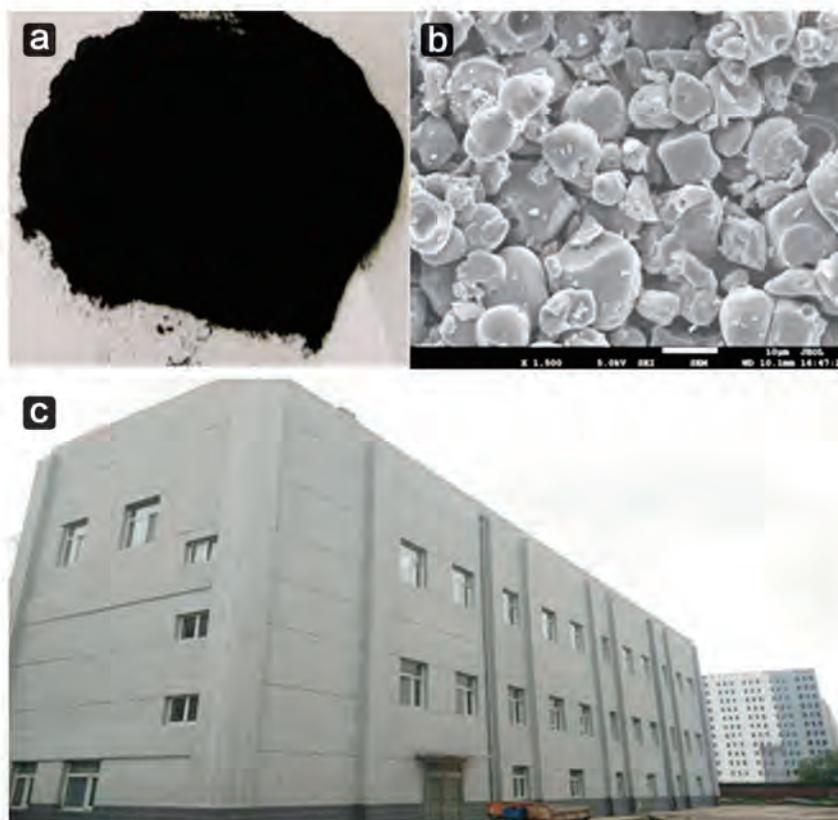
以淀粉为原料，能有效控制超级电容活性炭的形貌结构及物化参数；采用先进交联、炭化及活化工艺，可实现超级电容活性炭的批次稳定生产；生产过程中产生的废气和废液经后期工艺处理，可实现零污染排放。本技术处于国内领先水平。与山西美锦能源股份有限公司合作，年产 5 吨。

#### 经济性评估

国内超级电容器的年需求量预计为 21500 万只，约 12 亿瓦时，按照超级电容活性炭的平均能量密度为 5Wh/kg 来算，需求 10000 吨 / 年的电容炭，产值可达 60-80 亿元。

#### 合作方式

合作开发



超级电容活性炭的宏观形貌 (a)，微观形貌 (b) 和中试技术开发平台 (c)

## 实验室研发

# 凝胶纺丝制备新型高强高模高韧碳纤维

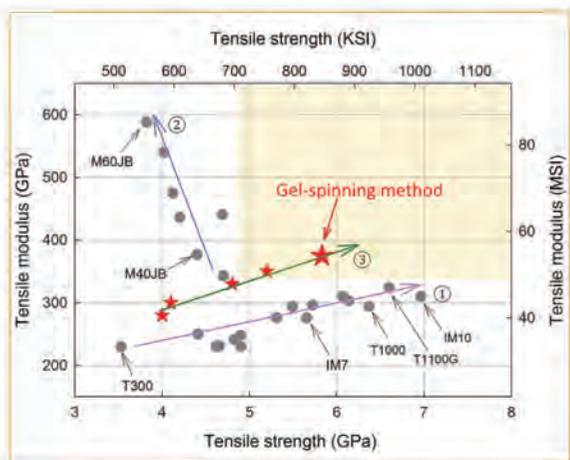
### 技术背景

高性能碳纤维复合材料主要应用于航空航天等对材料结构性能和轻质化要求极高的领域。T800 级碳纤维的制备准备向同性复合材料板的模量仅为 ~ 58GPa，如要进一步替代高性能合金钢（模量为 75GPa），必须显著提升。此外，从复合材料结构设计角度看，多数复合材料部件主要按照刚度设计，这就要求结构复合材料具有良好的模量特性。这些需要迫切要求发展下一代兼具高强高模高韧的新型碳纤维。

### 技术优势

#### a. 碳纤维产品力学性能优势

所制备碳纤维兼具高强高模高韧，其中强度 >5.8GPa，模量 >354GPa，断裂比 >1.6%。如下图中红色五角星所示吗，超出目前全部碳纤维产品，直径为 5 - 5.5 μm。



聚丙烯腈基碳纤维产品的模量和强度示意图  
(红色五角星代表凝胶纺丝制备的连续碳纤维丝束的力学性能)

#### b. 制备优势

碳纤维模量高于 354GPa，碳化温度低于 1400℃，表面易于化学官能化。

纺丝段收丝速度不低于干喷湿法纺丝，>300m/min。

如下图所示，所制备碳纤维表面沟槽结构可调（实验室验证阶段）。

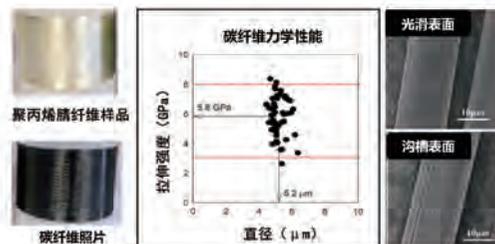


### 市场前景

本技术为下一代高性能碳纤维的自主规格和自主产权制备，主要针对第二代 T800 级碳纤维复合材料在航空航天领域代应用中模量和压缩强度的短板，研制下一代新型高强高模高韧碳纤维及其复合材料，即在不降低第二代复合材料拉伸强度的基础上，显著提高其模量和压缩强度。

### 合作方式

合作开发



## 实验室研发

### 碳纳米管 / 碳纤维复合纤维的制备技术

#### 技术背景

碳纳米管 / 碳纤维复合纤维是一种新型纤维材料，通过控制碳纳米管在碳纤维表面的定向自组装排列形成均匀的网笼结构，这种网笼结构可使碳纤维与基体间的界面粘合强度提高一倍以上，缺口冲击强度提高约 130%。该新型复合纤维有望在下一代高性能复合材料、防静电、耐摩擦、抗冲击等领域得到广泛应用。

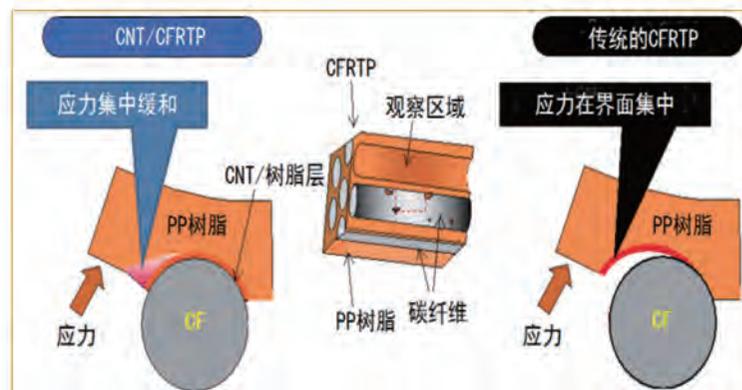
#### 技术优势

采用新型结构的表面活性剂，可使碳纳米管在碳纤维表面自组装排列成均匀的网笼结构，强度和抗冲击性能提高一倍以上。

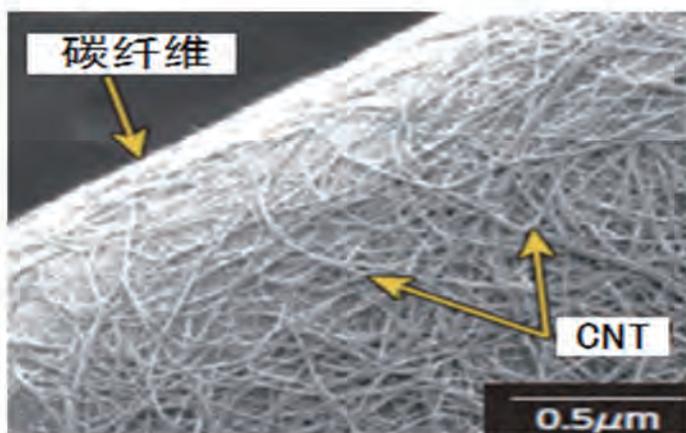
国内外碳纳米管 / 碳纤维复合纤维还未实用化，尚无相关产品问世。目前该技术涉及的特殊表面活性剂技术、分散 / 聚集控制技术和网笼粘合技术处于先进水平，具有广阔前景。

#### 合作方式

技术许可、技术服务、合作开发



碳纳米管 / 碳纤维复合纤维复合材料的界面韧性提高



碳纳米管在碳纤维表面自组装形成网笼结构



复合材料层间碳纳米管的存在使得综合力学性能显著提高

## 实验室研发

### 动力电池热管理用烯碳蓄热相变复合材料器件

#### 技术背景

新能源、电动汽车等是我国的战略新兴产业，二次电池（锂离子电池）作为动力源举足轻重，锂离子电池的充放电性能与其工作温度有直接关系，因此电池的热管理引起社会广泛重视。相变材料以相变潜热大且相变温度适宜被广泛应用于电池热管理领域，但由于其强度低且导热系数小等难以直接应用，因此，开发高性能的相变复合材料，应用于动力电池及电子器件的热管理领域具有重要意义。

#### 技术优势

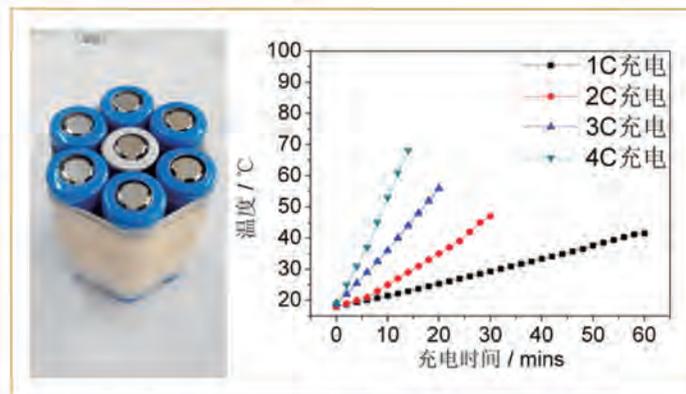
本方法制备的相变复合材料具有相变潜热大，热导率和强度极高，无毒、无污染的特点。绝缘化处理使得其应用于动力电池中更安全，防止因碳材料的导电特性致使短路等事故的发生。二次封装成型方法一方面降低了相变材料的泄漏率，另一方面增加其强度及绝缘性能，拓展了其应用范围。

#### 技术优势

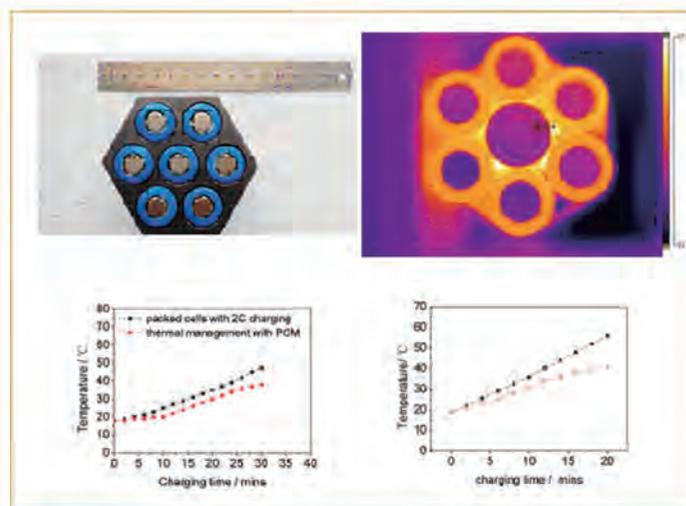
动力电池的热管理系统是纯电动汽车设计与生产过程中不可或缺的组成部分。截至 2016 年，我国已经形成年产销售纯电动汽车 50 万辆的市场规模，该数据仍在以每年 40% 以上的增幅逐年快速增长，因此动力电池的热管理材料市场需求巨大，本项目中采用的相变技术与其它方法相比具有温度变化小、吸热量大，不消耗额外能源的优势，对于提高动力电池组的安全性、可靠性、容量都有积极意义。预计市场规模将达 10 亿人民币以上。

#### 合作方式

技术许可、合作开发



锂离子电池快速充电中的温度变化曲线（无热管理系统）



锂离子电池快速充电中的温度变化曲线（有热管理系统）

## 实验室研发

### 高性能高铁制动摩擦材料

#### 技术背景

随着高速铁路运输速度的不断提高，制动系统作为安全运行最后保障，对其要求愈来愈高，制动闸片作为制动系统最关键部件，材料的性能和制动效果也需要逐步提高。本项目制备的材料能满足 CRCC 认证标准要求，可应用于 300Km/h 及以上速度，达到国际先进水平。

#### 技术优势

解决了摩擦 / 润滑组元与金属基体间的界面效应，全新的基体增强方法，进一步提高摩擦材料的综合性能。制备的材料达到德国 KNORR 公司产品水平，正在进行中铁路产品认证中心 (CRCC) 对 300-350Km/h 及 350Km/h 以上动车组制动闸片的产品认证工作。

#### 市场前景

中国的高速铁路运营的里程达 22000 公里，占世界高铁总里程的 60%，根据规划，到 2020 年达到 3 万公里，中长期将达到 4 万公里以上，是世界上高速铁路发展最快、运营里程最长、在建规模最大的国家。2011 年高铁刹车片市场 29 亿，2015 年达 75 亿，预计到 2020 年，将达到 120-180 亿，市场规模很大。由于研究基础和技术积累方面的差距，国内产品与国外产品在质量和性能上存在一定的距离，我国时速 300 公里以上高铁闸片 80% 的市场被克诺尔公司所垄断，高性能高铁制动闸片的国产化替代存在巨大的发展空间。

#### 合作方式

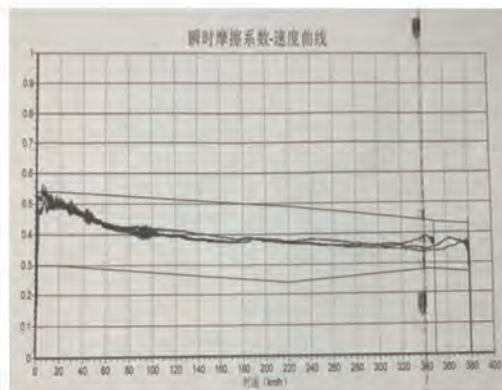
技术许可、合作开发



摩擦体样品



摩擦试验后的表面状态



摩擦试验曲线

## 实验室研发

### ● 高密高强石墨密封材料（HCG 石墨）

#### 技术背景

炭/石墨材料由于具有耐高低温、热导率高、热膨胀系数小、抗热震性能好、抗化学腐蚀以及独特的自润滑性能和良好的耐磨性等一系列其它材料不可比拟的优点，已成为高 PV 值、高低温、动密封的主要材料，广泛应用于航空、航天、化工、电力、冶金、船舶、原子能等工业制造领域。

#### 技术优势

HCG 石墨具有高强度、高致密度的特点，开孔率低于 0.5%，平均孔径仅有 69nm。HCG 石墨的抗



HCG 石墨实物样品

压强度大于 200MPa，抗折强度大于 90MPa，比常规的石墨高出 2~3 倍，孔径尺寸较一般石墨低 1~2 个数量级。这也是 HCG 石墨具有高强度、高韧性的原因。此外，该材料制备不需要浸渍沥青，经一次炭化和石墨化即可完成，生产周期短（较一般石墨生产周期缩短 2 个月以上）。

目前实验室已打通该产品的生产工艺流程，具备了小批量生产能力。已建立 HCG 石墨稳定的制备工艺，并发布企业标准，获得航天科技集团合格供应商资格。本材料已成功应用于我国航天发动机密封，服役环境工况极为苛刻，远高于常规的机械密封。

#### 经济性评估

高密高强石墨作为机械密封，广泛应用于工业领域，是一种易损件，市场需求巨大，年市场容量在 10 亿~50 亿人民币元，是高端装备不可或缺的重要组成部分。国内生产的高密高强石墨性能普遍较低，高端产品仍以进口为主，使我国高端装备石墨机械密封受到很大的限制，开展高性能石墨密封材料国产化是我国进行高端装备制造改革的必行之路。采用本技术，以 500 吨/年生产规模计算，项目投资需 3~5 千万元（包括厂房、设备、分析检测装置和水电、人员成本费等）。

#### 合作方式

技术许可、合作开发



HCG 石墨标准以及应用证明

## 实验室研发

### 抗氧化石墨材料

#### 技术背景

炭 / 石墨材料集耐热性、导电性、润滑性及耐腐蚀性于一身，广泛地应用在国防、电子、冶金诸多领域。但是，炭材料在高于 400 °C 的氧化性气氛中就开始发生氧化反应。由于氧化反应的发生，炭材料的诸多物理性能迅速劣化，如炭材料的机械性能下降，磨损增加，气孔率增加，电阻率升高，因此对炭材料进行氧化防护处理是使得炭材料能在高温和氧化性气氛中稳定、可靠工作的前提。

#### 技术优势

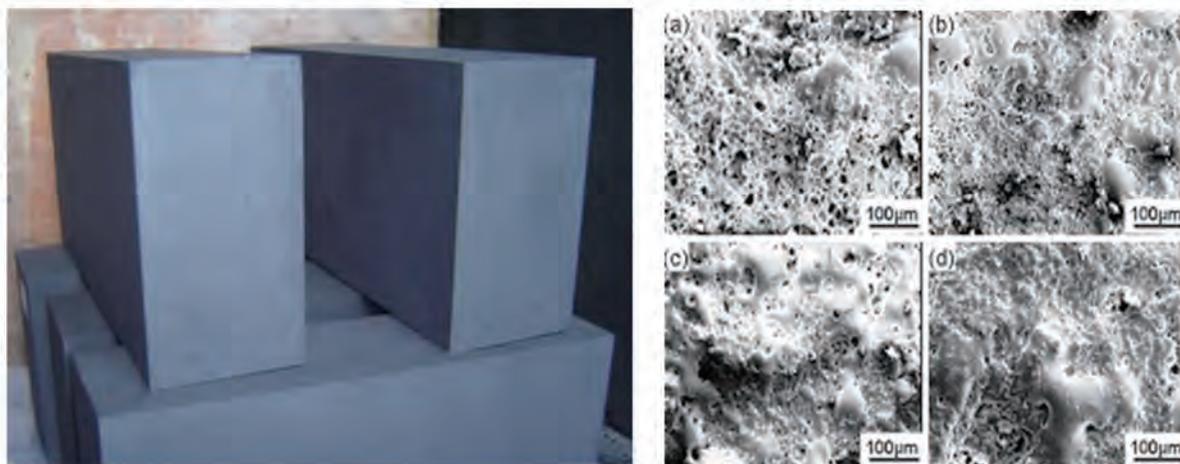
陶瓷粉末弥散均匀分布，使得炭材料基体具有抗氧化性能。相比于浸渍法，弥散法具有更宽的使用温度范围，而浸渍剂在高温下挥发速度较快，因此仅限于 800-900°C 以下的氧化防护。掺杂石墨相比于纯石墨材料，具有更高的机械性能以及热电性能。

#### 经济性评估

炭 / 石墨材料在高温领域应用广泛，解决炭材料高温氧化防护问题是充分利用炭材料潜力的前提，尤其作为冶炼电极、坩埚等，需要具备一定的高温抗氧化能力，因此，抗氧化石墨应用市场潜力极大。

#### 合作方式

技术转让、合作开发



抗氧化石墨材料以及氧化后表面电镜照片

## 实验室研发

### 界面填充烯碳导热材料

#### 技术背景

热量从功率器件向散热器传递的过程中，要跨越一系列固体/固体接触界面，界面导热材料填充在电子设备的固体界面之间，作用是最大限度的降低界面热阻。其作用机理是在一定的压力下，通过变形填充微观间隙，进而将热量从一端转移到另一端。界面导热材料需要兼具优异的压缩变形能力和较高的热导率。

#### 技术优势

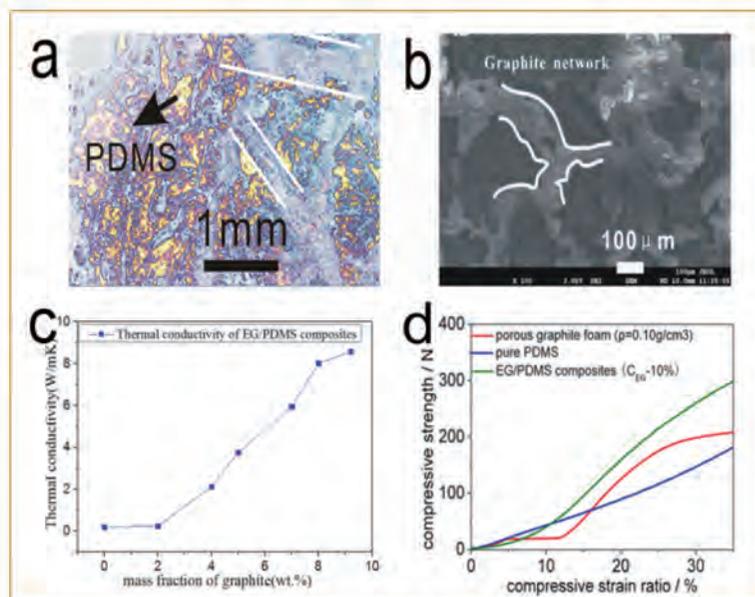
本技术制备的界面导热材料具有典型的网络互穿结构，兼具高导热能力、高变形能力的特点。这种材料可作为新一代的界面导热材料，在很多领域可以替代传统的界面导热材料，在电子设备散热设计过程中的界面填隙、通信模块的界面导热等领域具有广泛的应用前景，且其生产成本只有传统界面导热材料的 1/4，其吨级示范线生产投资成本规模约 500 万人民币。目前该技术已经基本定型，已经掌握实验室生产工艺。

#### 技术前景

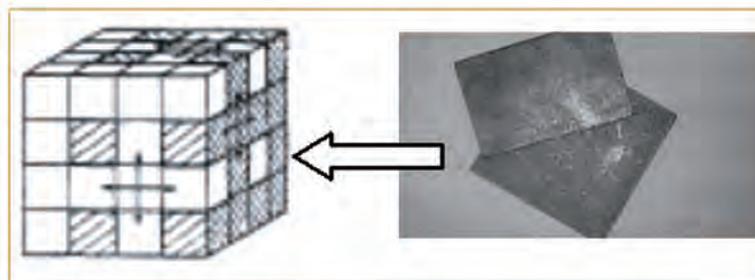
2016 年亚太地区的界面导热材料 (TIM) 市场规模约为 8.5 亿美元，这一数值将在 2020 年增加值 13 亿美元。目前 TIM 的主要市场被欧美国家掌握，国内生产商则以性价比优势获得较小的市场规模。

#### 合作方式

技术许可、合作开发



界面填充烯碳材料的结构特征 (a, b)，热导率 (c) 和压缩变形行为 (d)



具有互穿结构的界面导热材料

## 实验室研发

# 轻质高强纳米孔径树脂基泡沫炭材料的研制技术

### 技术背景

树脂基泡沫炭是一种具有三维网状孔结构的新一代功能结构材料，除具有炭材料的常规物理和化学性能外，还具有密度低、比强度高、结构性能可调性和独特的电学、热学、吸波及磁性能，可代替钢、铝、石墨、碳/碳复合材料、碳/碳化硅复合材料和高温陶瓷等材料，在热结构材料、过滤器、电容器、核防护、航空航天、燃料电池和催化剂载体等领域具有广阔的应用前景。

### 技术优势

本技术研发水平处于国际领先地位，制备的树脂基泡沫炭材料具有密度低、比强度高、隔热优异、热稳定性好、纳米孔径结构，且密度、性能和孔结构可调控的特点。

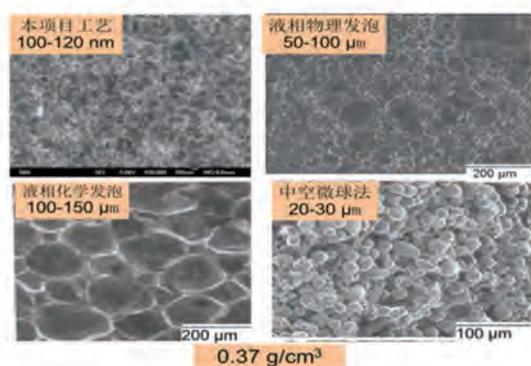
### 经济性评估

制备的轻质高强纳米孔径树脂基泡沫炭材料具有较大的比表面积，较高的孔隙率，高温热稳定性、抗热震性、化学惰性及易成型、较低的热膨胀系数及良好的抗压性等一系列独特的结构和性能，以其独特的微观结构，在能源、化工、航空航天等众多领域显示出其巨大的应用潜力，可用作航天、航空和国防军工领域的热防护结构材料，高温工业和民用建筑的防热材料，也可广泛用作尾气过滤器、电容器或燃料电池的电极材料、核防护的屏蔽材料、电磁吸波材料和催化剂载体等，具有广阔的应用前景。

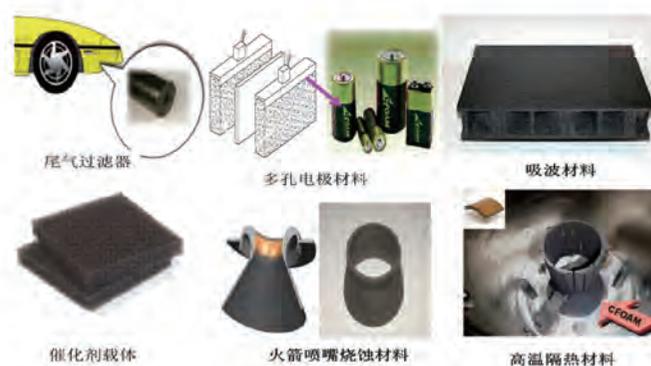
已完成大尺寸样品的放大和实验考核试验，可进行产品的批量化生产。以  $100\text{m}^3/\text{年}$  生产规模，项目投资约 2-3 千万元（包括厂房、制备装置、分析检测和水电、人员成本费等）。

### 合作方式

技术许可、合作开发



本项目制备的纳米孔径泡沫炭与目前传统工艺制备泡沫炭的电镜形貌对比



本项目制备的纳米孔径树脂基泡沫炭的具体应用



## 实验室研发

### 熔体剥离法制备导热塑料技术

#### 技术背景

电子设备的发展趋势是尺寸越来越紧凑，而功率密度则越来越高。因此电子设备的热管理成为诸多领域的共性问题。导热塑料是一类极具前景的散热材料。传统的导热塑料多是将导热填料（金属粉末、陶瓷颗粒等）与塑料基体熔融共混而成，其中导热填料的使用量往往高达 60% ~ 90%。由于导热填料的成本加高，使得导热塑料的制造成本一直居高不下。美国 Coolpolymer 公司将氮化铝陶瓷（AlN）粉末与 PPS 熔融共混，热导率可达  $5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，但售价高达每公斤数百元，高昂的制造成本制约了该类填充型导热塑料产品的推广价值。

#### 技术优势

本技术导热填充物用量较少（质量比  $\leq 20\%$ ），轻质、加工性能好、力学性能优异，热导率则可达  $6.5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  以上；根据实用要求调整导热填充物的含量，导热塑料的热导率最高可达到  $20 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  以上。原材料（天然石墨）廉价可得，具有明显的成本优势。

#### 市场前景

导热塑料是电子工业领域中快速发展的新型基础材料。目前已经应用的案例包括发光二极管（LED）灯杯、采暖装置中的换热管道、电子设备热沉等。2016 年，导热塑料的市场规模约为 10 亿人民币，其中 Coolpolymer（美国）和 DSM（荷兰）占据着明显的优势地位。在传统导热塑料中，导热填充物的用量很大（重量比  $\geq 60\%$ ），因此导热塑料的成本一直居高不下。本项目所研制的导热塑料，导热填充物廉价易得，且使用量明显减小（重量比  $\leq 20\%$ ），热导率可高达  $6.5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ，比纯塑料提高 30 倍以上。与此同时，本项目与现有塑料工业的生产工艺相容性高。综合上述因素，本项目研制的导热塑料成本比同等性能的填充型导热塑料导热降低 90%，具有较好的市场前景。

#### 合作方式

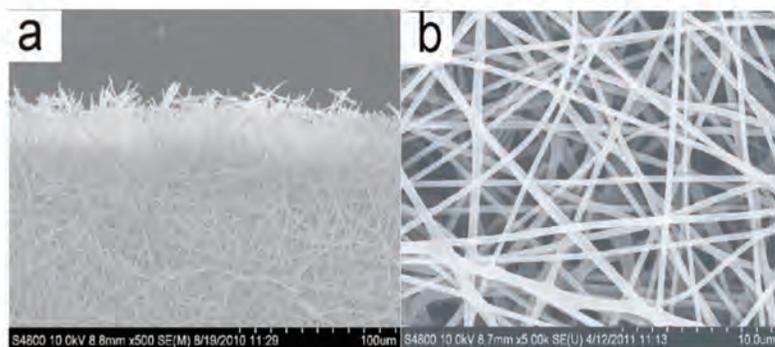
技术许可、合作开发



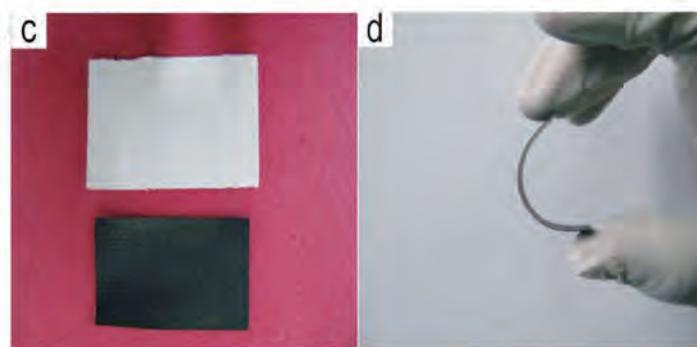
导热塑料母粒及制品

## 实验室研发

### 柔性纳米多孔碳纤维无纺布的研制技术



柔性多孔纳米碳纤维无纺布微观结构



柔性多孔纳米碳纤维无纺布实物样品

### 技术背景及前景

柔性纳米多孔碳纤维无纺布是将静电纺丝、固化、碳化、活化等工艺相结合制备得到的多孔炭材料，该材料由纳米尺度的碳纤维构建三维网络结构，纤维内部和纤维间具有丰富的孔隙。除具有常规炭材料固有的化学惰性、高电导率特性之外，还具有比表面积高、柔性好的特性，可应用于吸附分离、空气净化、水处理、能源转换与储存等领域。

### 技术优势

本技术制备的纳米碳纤维无纺布残炭率较高，以微孔为主，适合吸附储能，而且以水为溶剂，经济环保。

### 合作方式

技术许可、合作开发

## 实验室研发

# 炭 / 石墨材料梯度复合高温抗氧化涂层

### 技术背景

炭 / 石墨材料是航空、航天国防科工领域的关键性材料，但炭 / 石墨材料在高温下易氧化，若无抗氧化措施，长时间使用将引起灾难性后果。随着航空、航天及民用技术的发展，炭 / 石墨材料的使用温度愈来愈高，抗氧化处理更为重要和关键。为解决炭 / 石墨材料在高温有氧工况中的氧化问题，通过硅、钼、硼、钇及锆等纳米粒子的抗氧化梯度复合涂层，把功能不同的抗氧化涂层结合起来，形成致密的梯度复合高温抗氧化涂层结构，使炭 / 石墨基体材料与外界的氧化气氛完全隔离，从而实现高温下长时间防护炭 / 石墨材料的效果。

### 技术优势

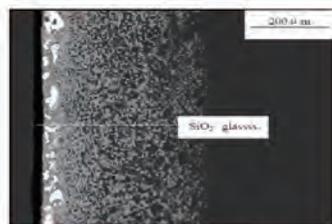
涂层具有较高的机械强度和良好的化学稳定性，耐老化，耐水，耐化学腐蚀；同时还具有耐机械冲击和热冲击性能。研发水平国内领先，高温抗氧化效果良好，同时具有成型烧结温度低、涂层工艺简单、制备设备简单、涂层致密，结合强度高的特点，特别适用于大尺寸样品及复杂样品的涂刷烧结制备。

### 经济性评估

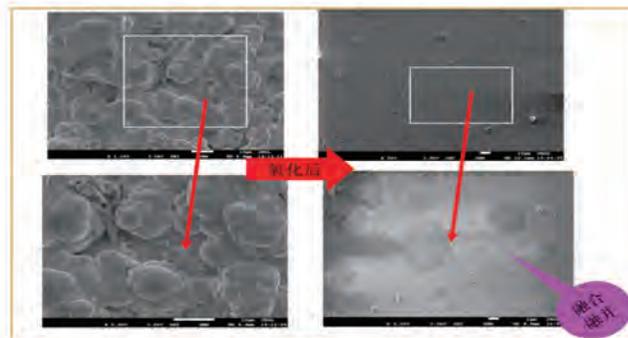
已完成 500-600mm 大尺寸炭 / 石墨样品的抗氧化涂层制备处理和相应的氧化实验考核试验，可进行炭 / 石墨产品的批量化处理。采用本项目技术，以 1000m<sup>2</sup>/年生产规模计算，项目投资大约需 2-3 千万元（包括厂房、制备装置、分析检测装置和水电、人员成本费等）。

### 合作方式

技术许可、合作开发



1600°C / 100h 氧化后样品的表面形貌电镜图



氧化前后样品的表面形貌电镜图



梯度复合抗氧化涂层体系示意图



抗氧化涂层后的样品

## 实验室研发

### 煤制炭黑新技术

#### 技术背景

炭黑,是一种无定形碳,轻、松而极细的黑色粉末,表面积非常大,范围从 $10\sim 3000\text{m}^2/\text{g}$ ,是含碳物质(煤、天然气、重油、燃料油等)在空气不足的条件下经不完全燃烧或受热分解而得的产物。比重 $1.8\sim 2.1$ ,主要用于做橡胶的补强剂,制造中国墨、油墨、油漆等。

目前的生产技术主要以重油(焦油),天然气为原料,其中卡博特,德固赛和哥伦比亚三家公司占据了市场47.3%的份额,由于炭黑的视比容大,不适合远程运输,因此这些公司主要靠采用在靠近用户的地区设厂或向周边国家出口的办法来占领市场。

#### 技术优势

本技术以煤为原料,燃烧法制备高性能的炭黑,原料成本低,易于储存运输,产品碳结构完整,性能优异,比常用的焦油与天然气生产安全性大大提高。

#### 市场前景

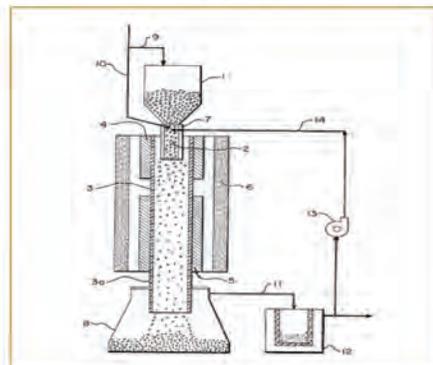
2015年我国炭黑年消费量为600万吨,橡胶用炭黑的消费量约占炭黑总量的89.5%,其中轮胎67.5%,汽车橡胶制品9.5%。非橡胶用炭黑约占10.5%,其中塑料占4.5%,油墨用占3.8%,涂料占0.9%。随着我国经济的快速发展,居民生活水平的提高,橡胶,塑料,油墨等炭黑产品有极大的发展空间,目前国产的炭黑产品尚不能满足国内生产的需要,尤其是性能优异的炭黑,十三五期间,国内炭黑的生产有较大的发展空间,特别是拥有丰富煤炭资源的省份,将煤炭转化为高附加值的产品有着特别的市场前景和经济意义。5吨原煤产1吨炭黑,每吨炭黑市场售价大于5000元。5吨原煤大约2000元,5吨大约人力成本500元,生产成本约500元。单炉年处理量20000吨的原煤,单炉需投资400万元。当年投产单炉利润800万元。

#### 合作方式

技术许可、技术服务、合作开发



煤炭原料



生产装置



炭黑产品

## 实验室研发

### 石墨烯基非对称超级电容器电极材料的开发

#### 技术背景及前景

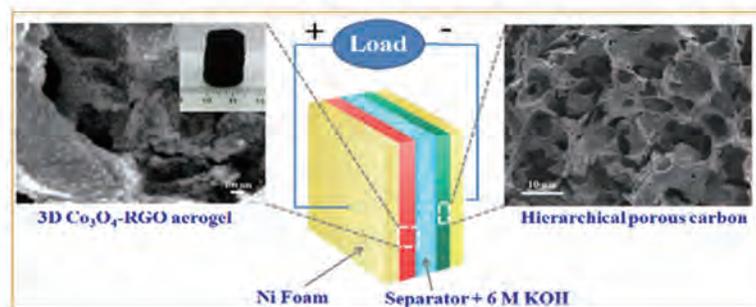
超级电容器是目前重要的“绿色”储能装置，广泛应用于能量存储与转换。然而，偏低的能量密度是制约其发展的主要瓶颈。为了适应未来的应用需求，在不损坏其功率密度和循环寿命的前提下，开发和研制具有宽操作电压范围与较高能量密度的超级电容器势在必行。制备高比表面积兼高导电性的活性炭/石墨烯复合材料以及高电容特性的氧化钴复合电极材料，并组装非对称超级电容器，突破了能量密度偏低的技术瓶颈。

#### 技术优势

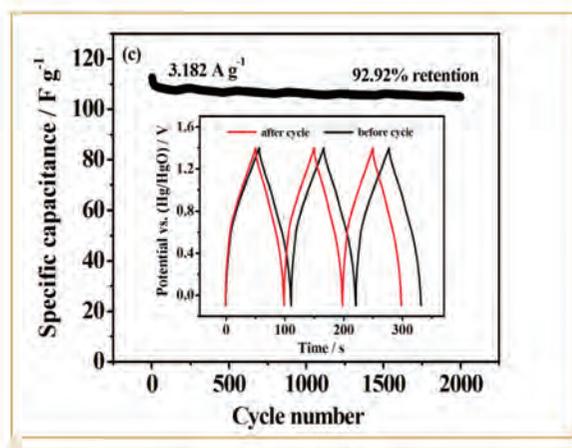
本技术实现了氧化钴在石墨烯片层上良好的分散以及高的负载量，有效增强了复合材料的电容特性。通过对非对称电容器正负极材料结构、质量、电压等匹配性能的优化，完成了高能量密度扣电和软包的开发。

#### 市场前景

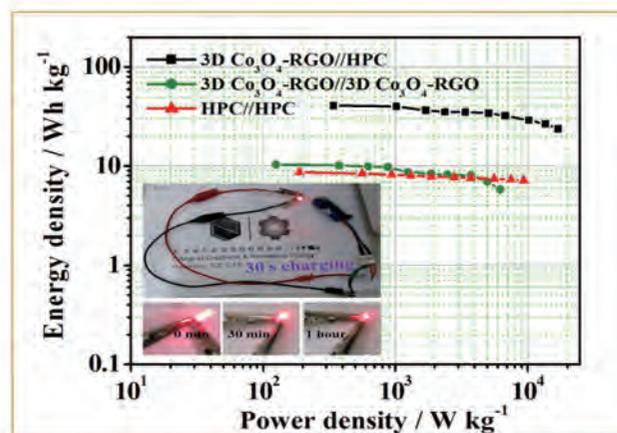
根据 IDTechEX 数据统计，2014 年超级电容器全球市场规模为 11 亿美元。预计到 2018 年，超级电容器全球市场规模将达到 32 亿美元，年复合增长率为 31%。未来的发展而言，超级电容器将会在混合动力汽车和新能源采集等领域发挥举足轻重的作用。



非对称电容器结构示意图



非对称电容器循环性能



所组装对称电容器与非对称电容器的 Ragone 图以及 LED 灯应用展示

## 实验室研发

# 石墨烯基导电油墨及柔性电子印刷技术

### 技术背景

随着工业 4.0 和中国制造 2025 的快速发展，全球电子行业急需新材料新技术促进变革。将导电油墨以印刷方式转移到特定的承印物上制备电子元件和线路等，为柔性电子产业提供了新的解决方案。与传统蚀刻法相比，柔性电子印刷技术具有成本低、设计性强及柔性化等特点。然而，高性能导电油墨欠缺是制约其发展的瓶颈。

### 技术优势

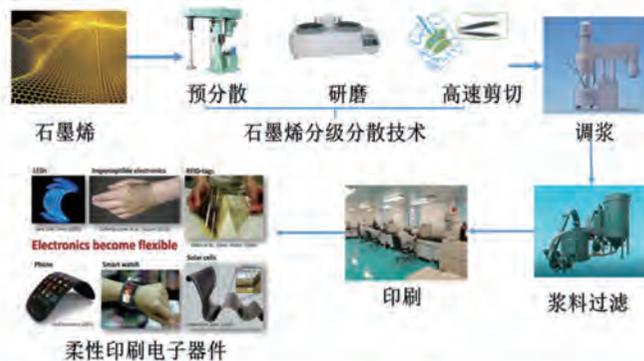
山西煤化所自 2007 年在国内较早启动石墨烯研发，2009 年成为国际首批科研级石墨烯供应商，注册商标炭美®。本技术依托高导电石墨烯制备技术，设计制成石墨烯基导电油墨。同时开发了配套的印刷工艺和装备，可实现石墨烯基电子线路的精细化设计和印刷。石墨烯基导电油墨具有电导率高、印刷适应性好、固化条件温和及成本低廉等优势，可通过网印、凸印、凹印、胶印和喷墨印刷等方式，广泛应用于印刷线路板、智能标签、显示器、电极传感器、红外取暖器等领域，潜在应用于有机太阳能电池、印刷电池和超级电容器等领域。

### 市场前景

根据 Ditches 公司的市场研究报告，2012 年用于印刷柔性电子产品上的导电油墨的市场份额达到 23 亿美元，接近市场总额的 25%，预测到 2018 年将达到 33.6 亿美元；2026 年，预计可达到 3000 亿美元，蕴藏着巨大的市场机遇。本项目 100t 石墨烯基导电油墨技术建设总投资约 6000 万元，项目建成后，可实现成本 70 万元/吨，可出售价格区间为 100 万元-500 万元/吨之间，预计年利润可超过 2000 万元，项目回收期为 2.3 年。

### 合作方式

合作开发、授权许可



石墨烯导电油墨宏观图



印制式柔性电路



石墨烯导电油墨印制加热壁画示范

## 实验室研发

### 结构 / 功能一体化石墨烯改性高分子材料

#### 技术背景及前景

社会快速发展对高分子材料的要求日益提高，仅由合成法制备新的聚合物已无法满足需求。高性能、多功能和智能化的高分子复合材料展现出巨大潜力。石墨烯改性高分子材料的研究代表了最尖端技术发展之一，在改善机械性能、热性能和电性能等方面呈现出良好应用前景，是提升国内石墨烯及高分子产业竞争力的必经之路。

#### 技术优势

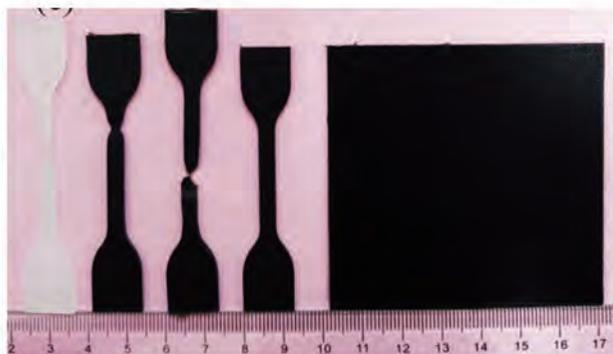
本技术关键材料 - 石墨烯的生产技术已完成中试，技术水平国际先进。石墨烯作为二维纳米材料，在聚合物基体中的均匀分散是性能发挥的前提。本技术配套开发了石墨烯专用分散技术，实现了石墨烯在基体中的均匀分散和界面优化，增强了石墨烯的易用性。

#### 合作方式

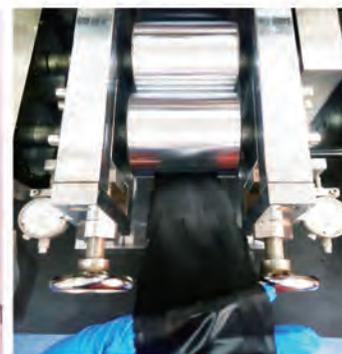
合作开发



石墨烯改性酚醛树脂用于超硬磨具制品



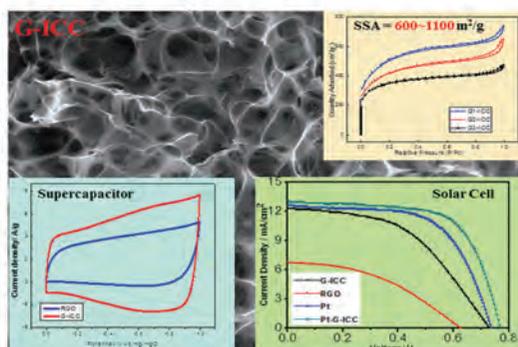
石墨烯改性聚乙烯



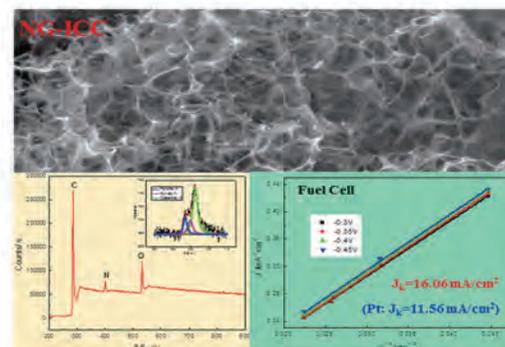
各向异性的石墨烯改性硅橡胶

## 实验室研发

### 低成本规模化合成三维网络石墨烯技术研发



自主合成的石墨烯在超级电容器和太阳能电池中的应用



自主合成的氮掺杂石墨烯在太阳能电池中的应用

### 技术背景

石墨烯因其自身的良好特质被誉为新世纪材料之王，有望在多领域革新和替代传统材料，极有可能掀起一场新技术产业革命。但是，目前石墨烯的生产技术、规模以及价格还远远不能满足未来应用需求。低成本规模化合成石墨烯面临巨大挑战，是国际纳米能源材料领域竞相争夺的制高点之一。

### 技术优势

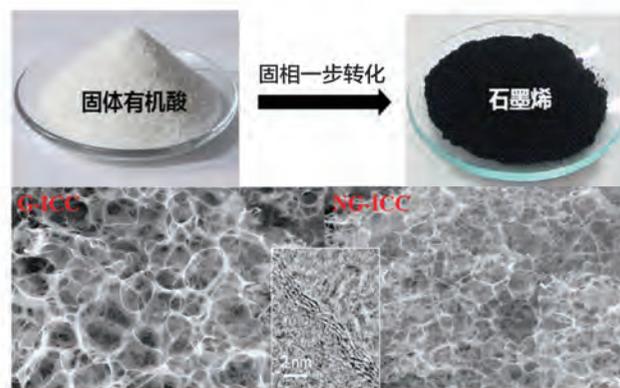
以产能过剩的化学品（煤基或石油化工产品）为原料，来源广，价格低廉。经过固相一步转化即可获得石墨烯，纯度大于 99%，碳收率大于 30%，制备成本相比于氧化剥离石墨技术可降低至少十倍以上。

该过程实现了低值过剩化学品向高附加值的先进碳材料的转化，碳的使用寿命大大延长，使用寿命终止后可方便的固态填埋，从而实现能源利用的近零排放，是煤以及石油等低碳利用的理想途径。

本技术是目前唯一可以实现万吨、百万吨甚至更大规模产能的制备技术，以满足未来能源领域对石墨烯的规模化需求。目前单管实验已经获得成功，尽快形成可推广的具有自主知识产权的新技术。

### 合作方式

合作开发



固体化学品合成三维网络石墨烯过程示意图

## 实验室研发

### 推进剂炭基燃速催化剂调节技术

#### 技术背景

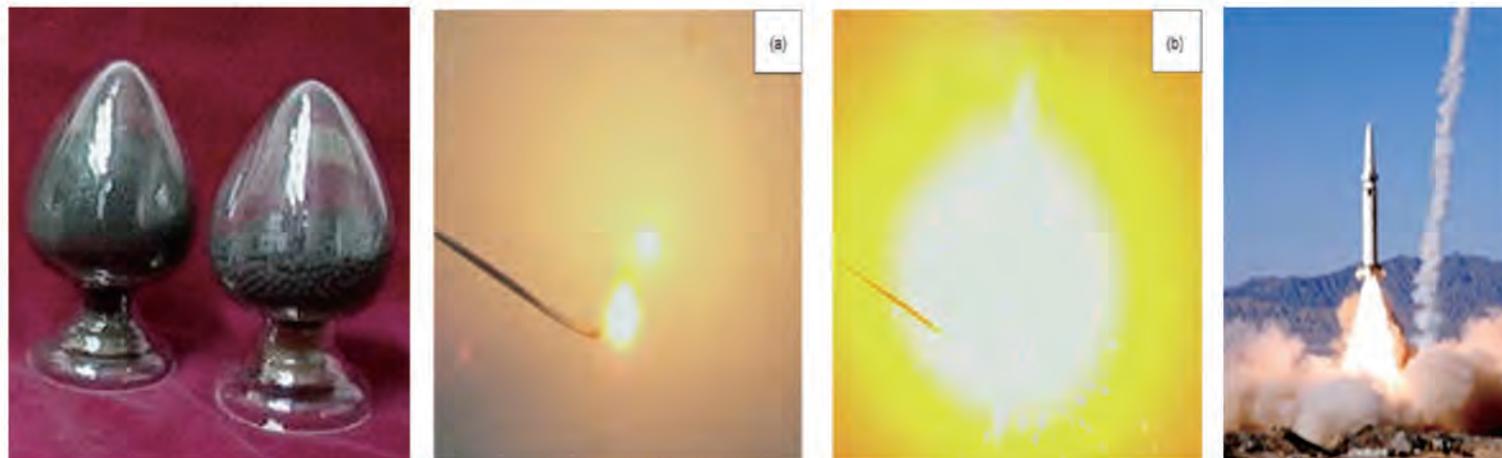
推进剂的燃速是影响火箭发动机弹道性能的重要因素，调节和控制推进剂的燃速至关重要，在推进剂中添加燃速催化剂是调节其燃速的最佳途径之一。当前传统燃速催化剂具有原材料选择范围小，燃速调节范围小的缺点，本技术可实现燃速催化剂炭基种类的突破，原材料取用更加宽泛，可调节范围更广，解决了复合燃速催化剂的选择范围窄、工艺条件苛刻的难题，使得催化剂燃速效果提高一倍，大幅度降低成本，并且满足无毒、无污染的低特征信号等优点，可满足不同型号火箭发动机对推进剂燃烧性能苛刻要求。

#### 技术优势

原材料取用更加宽泛，推进剂燃速可调节范围更广，可提供炭基燃速催化剂调节技术及样品。

#### 合作方式

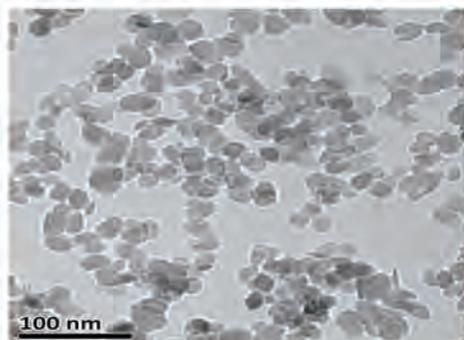
技术许可、技术服务、合作开发



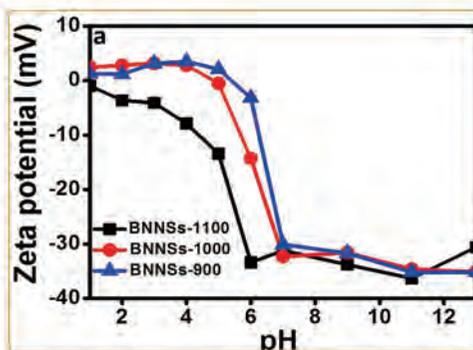
推进剂炭基燃速催化剂样品及点火效果

## 实验室研发

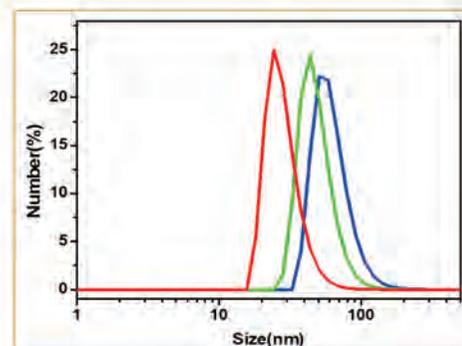
### 单分散氮化硼纳米晶胶体的宏量制备及其镀层应用



单分散胶体氮化硼纳米晶的透射照片



三种胶体氮化硼纳米晶在不同 PH 下的 Zeta 电势



三种尺寸单分散胶体氮化硼纳米晶的 DLS 数据

### 技术背景

氮化硼能够在空气中耐受 600℃ 的高温、惰性气氛下 3000℃ 稳定，因此氮化硼涂层往往被用作金属、碳纤维等材料的保护层。但目前氮化硼多通过高温手段获取，表面保护 / 防护层需要采用化学气相沉积等较为复杂的技术手段，限制了其在大尺寸、双面以及曲面等异形多种界面涂布或者保护层的应用。通过湿化学方法利用胶体镀制膜层是一种广泛使用但成本较低的手段，能够弥补上述缺憾，在防腐蚀、抗氧化等需求领域有着广泛的应用前景。

稳定、高浓度的氮化硼纳米晶胶体能够通过提拉、电沉积镀制获取氮化硼保护层。

### 技术优势

本技术获取的氮化硼纳米晶胶体是单分散高浓度的，这是实现湿化学方法镀制保护层的技术基础；目前报道的液相剪切手段获取的是多分散的，尺寸不可控且胶体浓度偏低。本技术采用的是湿化学手段，具有较大的成本优势。

### 合作方式

合作开发

## 实验室研发

### 高比表面积多孔氮化硼（孔径 20–40nm）的制备技术

#### 技术背景及前景

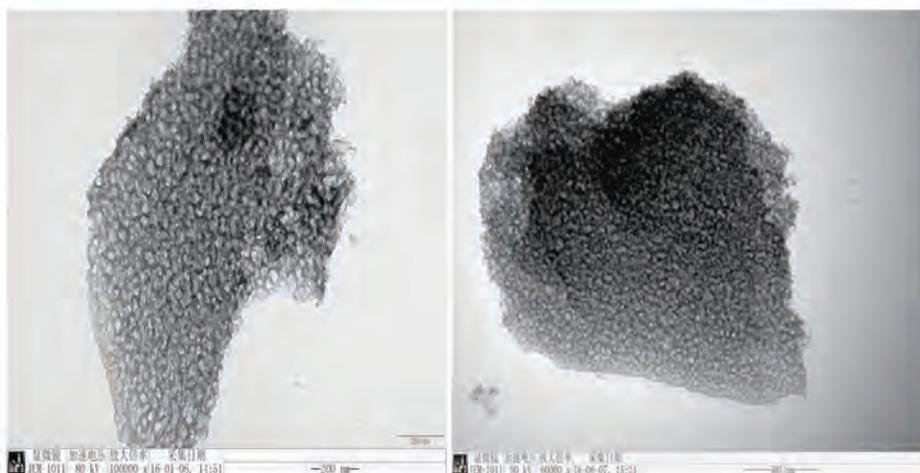
氮化硼具有良好的抗氧化性以及热稳定性，在很多方面都优于碳材料，比如高比表面积的多孔氮化硼材料能够用于原油泄漏造成的油污吸附并直接燃烧处理，它也能充当催化剂的载体，用于长寿命催化剂的制备。均匀孔结构的氮化硼目前主要通过硬模板等方法获取，其制备手段复杂、产率有限。

#### 技术优势

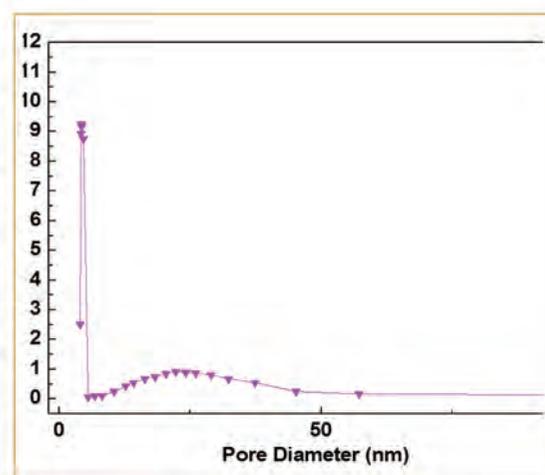
本技术采用了常见硼源和氮源，原料成本控制接近于市售商品化微米级粉体氮化硼材料，孔径 20 ~ 40 nm，比表面积 150 ~ 800 m<sup>2</sup>/g 可调，实现了百克级均匀孔氮化硼的制备。

#### 合作方式

技术许可、技术服务



典型的多孔氮化硼透射照片



典型的氮气吸脱附获取的 BJH 孔径分布

## 实验室研发

### 高性能聚酰亚胺薄膜

#### 技术背景

高性能聚酰亚胺薄膜，作为柔性封装基板、FPC 和人造石墨散热片的关键性基础材料，“没有聚酰亚胺就不会有今天的微电子技术，也就没有人造石墨散热片，没有 12.5 μm 聚酰亚胺薄膜，就没有最先进的微电子封装。”目前全球范围内，高性能双向拉伸聚酰亚胺薄膜市场主要厂商有杜邦（美国）、宇部兴产（日本）等国外公司垄断生产。在我国，国内企业技术能力薄弱，无法生产出高性能双向拉伸聚酰亚胺薄膜，急需打破国外垄断。

#### 技术优势

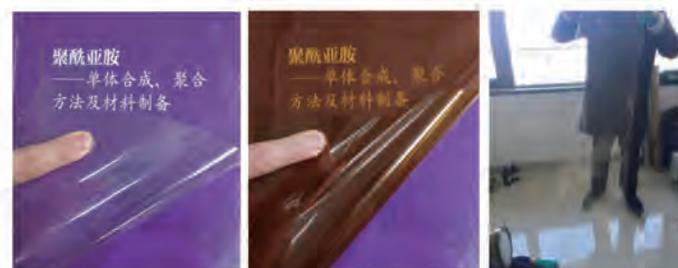
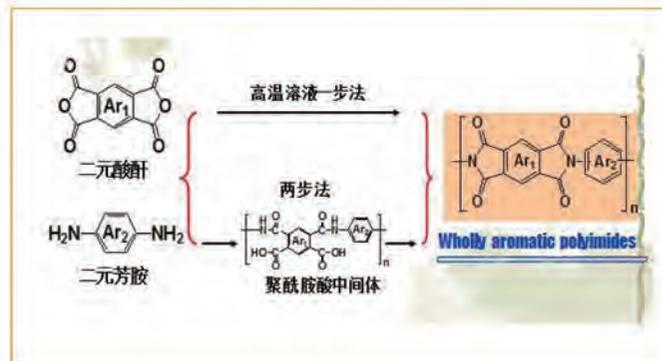
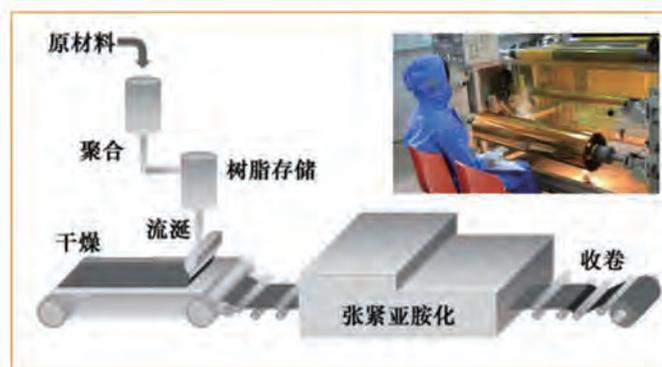
采用化学亚胺化法制备 PI 薄膜，结晶度跟高，结晶取向度也更高，膜具有更为优异的机械性能，保证人工导热石墨膜具有更为优异的导热性；采用特种自制廉价单体，破坏聚酰亚胺分子链 CTC 电子转移，膜具有更高的热稳定性、透明性。

#### 市场前景

2015 年国内 PI 薄膜需求量约为 8045 吨，但国内 PI 薄膜厂家产能仅为 3645 吨。我国的低端聚酰亚胺薄膜已经基本满足国内需求，而高端聚酰亚胺薄膜超过基本依赖进口。2017 年，全球大概有 2000 吨双向拉伸聚酰亚胺薄膜用于制作人造石墨市场。我国大概使用 600 吨左右的双向拉伸聚酰亚胺薄膜用于烧结人造石墨片，其中 95% 都是依赖进口。

#### 合作方式

技术许可、技术服务、合作开发



先进材料



中国科学院山西煤炭化学研究所  
INSTITUTE OF COAL CHEMISTRY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

能源环境

ENERGY & ENVIRONMENT



## 工业化应用

### 高温浆态床煤炭间接液化成套工业化技术

#### 技术背景

煤制油技术是实现煤炭清洁高效转化利用、缓解国家油品短缺状况、保障国家能源安全的重要技术途径。

#### 技术优势

该技术工艺是国际首创自主研发的，突破了传统低温浆态床费托合成的限制（温度可达 260-290℃），可提高整体能量利用效率，高选择性地生产无硫、无氮、低芳烃的清洁油品。

该技术从能效、催化剂活性、烃产物选择性、产油能力等指标上处于国际领先水平。过程能效可达 42% 以上（示范规模）和 45% 以上（百万吨级规模）。催化剂产油能力达到 1500-1800 吨油品 / 吨催化剂，费托合成中甲烷选择性小于 3.0%，C5+ 选择性为 90-94%。

该技术授权中国发明专利 100 多项，国际 PCT 专利 7 项（面向 6 个国家），制订国家技术标准 6 项，拥有工艺软件版权 1 项。

2009 年，在内蒙伊泰和山西潞安两个 16 万吨 / 年示范装置上得到长周期运行和技术验证（7 年以上）。2016 年在全球单套最大规模的中国神华宁煤 400 万吨 / 年商业装置上成功应用，2017 年又在内蒙伊泰和山西潞安百万吨级商业装置上成功应用。目前采用该技术正在实施的项目总规模为 1300 万吨 / 年。



神华宁煤年产 400 万吨煤制油商业厂

#### 经济性评估

目前该技术正在国内商业化推广应用，同时也向海外市场推广应用。在百万吨级煤制油商业规模装置上，当国际油价在 50 美元 / 桶以上时将产生明显的经济效益。中国目前石油大量进口，对外依存度在 60% 以上，而国际油价波动起伏，随时可能高涨，煤制油产业发展潜力较大，市场前景仍被看好。

#### 合作方式

技术转让



浆态床费托合成反应器



高清洁柴油、石脑油产品



## 工业化应用

### ICC 流化床煤气化技术

#### 技术背景

煤气化技术属于煤炭清洁高效利用的龙头技术，在能源和煤化工都占有重要的位置，主要用于生产工业燃料气和化工合成气，有着广阔的市场前景。ICC 煤气化技术具有自主知识产权并且适合我国煤炭特点，可满足我国不同领域对煤气化技术的需求。

#### 技术优势

以末煤为原料 (<10mm)，煤种适应性广，原料易本地化。

整个系统装置投资低，加压煤气适宜长距离运输。

可通过调节气化剂的富氧度 (21~99.6%) 生产满足不同企业需求热值的合成气 / 燃气 (1000~2200 kcal/Nm<sup>3</sup>)；

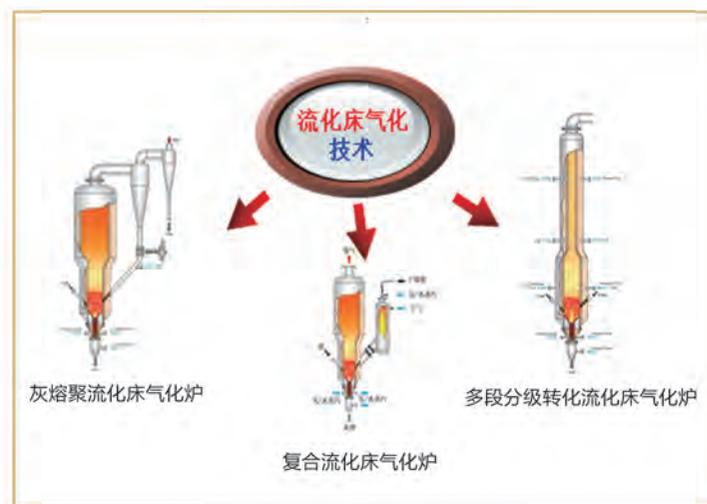
所有设备完全国产化，设备可就近加工，有利于降低投资。

系统不产生焦油、酚，废水处理简单，可回用。

中科院山西煤化所拥有雄厚研发能力和各种分析测试平台，以及大型加压中试装置，可为用户提供多样化技术服务。



ICC 流化床加压气化技术中试平台



ICC 流化床气化技术

### 知识产权情况

灰熔聚流化床气化技术和复合流化床气化技术：完全的知识产权。

多段分级转化流化床气化技术：与中国一重集团共同享有产权。

### 经济性评估

ICC 流化床煤气化技术对替代我国中小化肥和甲醇厂的固定床煤气化装置有实用价值，以年产 60 万吨甲醇合成气为例，气化系统的总投资（不含空分装置）约为 2 亿元，合成气成本约为 0.35~0.48 元 /Nm<sup>3</sup> (CO+H<sub>2</sub>)；在替代传统固定床气化技术制清洁工业燃料气方面，以年产 16 亿立方米工业燃料气（热值 1500kcal/Nm<sup>3</sup>）的总投资约为 1.5 亿元，工业燃料气的成本约为 0.25~0.35 元 /Nm<sup>3</sup>。

### 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务、合作开发、合作推广

项目	指标
操作压力 /MPa	燃料气：0.1-1.0 合成气：0.1-3.0
单炉日处理量 / 吨	100 ~ 2000
适用原料	无烟煤、烟煤、褐煤、 石油焦、生物质、垃圾
碳转化率 /%	85 ~ 90*
有效气 ** 含量 /%	68 ~ 74
煤气热值 /kcal/Nm <sup>3</sup>	1000 ~ 2200
冷煤气效率 /%	65 ~ 73
比氧耗 /O <sub>2</sub> Nm <sup>3</sup> /kNm <sup>3</sup> 有效气	290 ~ 340

\* 配备三废锅炉总碳利用率 98%；

\*\* 有效气—H<sub>2</sub>+CO+CH<sub>4</sub>，CH<sub>4</sub> 可达 8%



ICC 流化床气化技术工业装置图



## 工业化应用

### 钴基固定床费托合成技术

#### 技术背景

钴基费托合成是指将煤炭、天然气等含碳资源，经合成气，在钴基催化剂作用下转化为油、蜡化学品的过程。产物绝大部分为长链重质饱和烷烃，无硫、无氮、无芳烃，不含重金属，经精制后可得到高熔点蜡、全合成润滑油基础油、无芳溶剂油、单烷烃等系列高附加值化学品。

#### 技术优势

作为国家在煤碳高效清洁利用领域的战略布局，山西煤化所从上世纪九十年代开始钴基费托合成技术的相关研究。在国家/企业的持续支持下，逐渐形成了具有完全自主知识产权的钴基固定床费托合成技术，其中催化剂等关键技术经国际能源公司验证，处于国际领先水平。

2008年山西煤化所与山西潞安集团开始万吨级钴基费托合成油工业侧线试验，在国内产出第一桶“煤制油”。2014年11月国内首套钴基费托合成工业示范装置建成投产。示范装置以高附加值油蜡化学品为主，其中高端费托蜡产品不仅填补国内空白，还畅销海外市场。

#### 经济性评估

钴基费托合成产品绿色环保，市场接纳度高。通常情况，装置规模小于等于10万吨/年，建议以高端蜡、化工油品为主要产品。当规模超过30万吨/年，可配套建设润滑油基础油装置，以实现更高附加值。

以10万吨/年装置为例：利用洁净合成气生产高端蜡、化工油品等为终端产品，合成装置投资约2.0亿元，产品销售总额不低于7.0亿元，投资收益率大于17.0%。

#### 合作方式

技术许可



6万吨/年钴基费托合成示范装置



钴基费托合成高级蜡



钴基费托合成化工油品

## 工业化应用

### 甲醇转化制汽油 (MTG) 技术

#### 技术背景

甲醇制汽油技术 (MTG) 是以甲醇为原料, 在催化剂作用下, 经过一系列化学反应, 高选择的转化为无硫无氮、低苯低烯烃的高清洁汽油 (国五标准 92#)。该产品可直接加入汽车使用, 也可与石化行业生产的汽油调和进行销售。

#### 技术优势

国内在该领域进行技术推广的技术持有人主要有三家, 分别为美国的埃克森-美孚公司、丹麦的托普索公司和山西煤化所。该技术处于国内领先、国际先进的水平。该技术在云南先锋化工 20 万吨/年褐煤经甲醇制高清洁汽油项目一次投料试车成功, 随后又在河北、山东、内蒙、陕西等地进行了工业应用。

技术持有人	埃克森-美孚	托普索	山西煤化所
工艺类型	两步法	两步法	一步法
反应压力 (MPa)	1.8 ~ 2.0	1.8 ~ 2.0	1.8 ~ 2.0
反应温度 (°C)	335 ~ 400	335 ~ 400	310 ~ 420
甲醇质量空速 ( $h^{-1}$ )	1 ~ 1.6	1.3 ~ 2.3	0.8 ~ 1.25
汽油 + LPG 收率 (wt%)	40 ~ 41	40 ~ 41	40 ~ 41
粗汽油收率 (wt%)	36	37	37
单程寿命 (吨甲醇 / 吨催化剂)	500 ~ 800	500 ~ 700	500 ~ 800
总寿命 (吨甲醇 / 吨催化剂)	10000	8000	10000

#### 知识产权情况

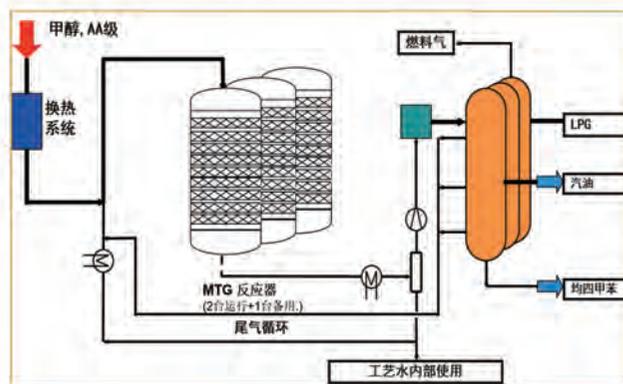
催化剂知识产权属于山西煤化所, 反应工艺知识产权属于山西煤化所、赛鼎工程公司和云南解化集团共有。

#### 经济性评估

一吨甲醇可生产汽油 (国五 92#) 333.3 公斤, 副产液化石油气 48.2 公斤, 重芳烃 (均四甲苯浓度为 50-75%) 37.5 公斤。10 万吨规模甲醇制汽油项目投资约为 3 亿元 (公用工程 1 亿元)。项目盈利性主要与煤价和石油价格有关。当煤价为 350 元/吨、油价为 50-60 美元/桶时, 该项目可以达到盈亏平衡 (或略有盈余)。当油价大于 60 美元/桶, 该项目盈利性较强。

#### 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务



技术路线图



云南先锋化工 20 万吨/年褐煤经甲醇制高清洁汽油项目甲醇制汽油单元



甲醇制汽油催化剂工程放大制备装置



## 工业化应用

### 甲醇裂解制高压合成气或氢气技术

#### 技术背景

在氢气或合成气使用量中小规模场合，甲醇裂解制合成气及氢气是一个常用的方法。目前市场上甲醇裂解装置，仅能在低于 3.0MPa 的压力使用，必须配备压缩机升压，才能输出高压合成气或氢气。本技术研制了高压甲醇裂解装置，直接获得高压（2.0~8.0MPa）的合成气或氢气，可作为费托合成、甲烷化反应、变换反应等实验的气源使用，省略了压缩机，节约了成本，可用于实验室制备合成气的场合。

#### 技术优势

本技术具有自主知识产权，可实施示范生产，无需压缩机，可直接获得高压合成气或氢气，所得合成气中 CO: 31~33%、H<sub>2</sub>: 65~66%、CO<sub>2</sub><2%。

#### 合作方式

技术转让、技术许可



甲醇高压裂解装置



催化剂样品

## 工业化应用

# 炭基催化剂干法一体化脱除烟气多种污染物技术

### 技术背景

当前我国大气环境污染严重，雾霾天气频繁发生，多种污染物严重威胁着人们健康和我国经济可持续发展。工业烟气是主要大气污染源，近年来针对燃煤电厂、工业锅炉、建材、冶金等行业制定了新的污染物排放标准，新的环保法也加大对违法行为的惩罚力度。本技术能够实现 SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>/重金属/VOCs 等污染物的干法一体化脱除，并可实现硫的资源化，在燃煤电厂、工业锅炉、建材、冶金、焦化等行业烟气治理中有广泛的应用前景。

### 技术优势

与日本同类技术相比，设备投资费用降低，炭基催化剂工作硫容比活性焦提高 2-3 倍，大幅降低运行过程中材料的磨损和热量消耗。

经第三方权威测试，脱硫率 >99%，脱硝率 >80%，脱汞率 >90%，VOCs 及铅等重金属排放符合国家标准，二噁英浓度远低于排放限值，并可对不同烟气进行针对性的工艺设计保证上述指标。

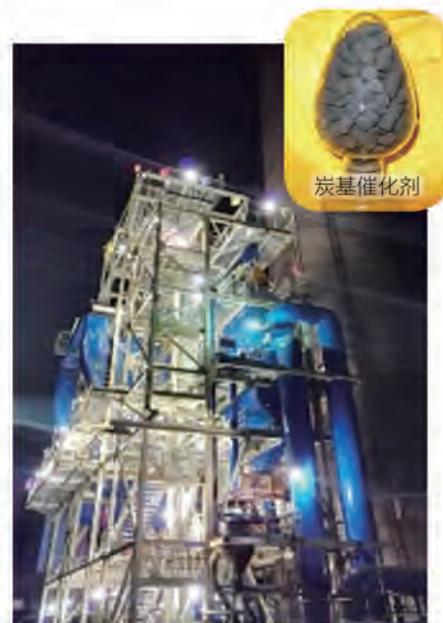
目前完成了济钢烧结烟气工业侧线的示范验证，正在山钢集团日照精品基地进行 508 万 m<sup>3</sup>/h 的烧结 / 球团烟气处理工程

### 经济性评估

以 420 万 Nm<sup>3</sup>/h 的烧结烟气为例，将烟气中 SO<sub>2</sub> 浓度降到 30mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub> 浓度降到 100mg/m<sup>3</sup>（烧结烟气超低排放限值）以下，并实现硫的资源化，静态投资需要 4.2 亿人民币左右，其运行费用相比同类技术每年降低 4000 万元（以年运行 8400h 计）。并且粉尘浓度降低到 10mg/m<sup>3</sup> 以下，可同时脱除 VOCs 及重金属，符合国家目前对烟气多种污染物超低排放的政策。

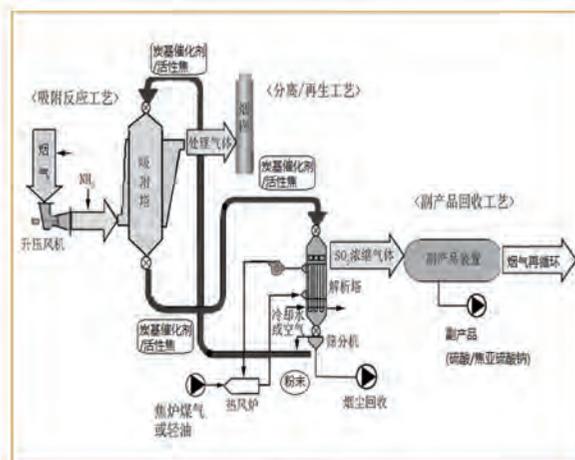
### 合作方式

火电 / 冶金 / 工业锅炉窑炉行业可共同推广，其他行业技术合作共同开发。



炭基催化剂

工业侧线装置



技术流程



## 工业化应用

### 粗苯加氢精制催化剂

#### 技术背景

粗苯是由多种芳烃和其他化合物组成的复杂混合物，无法直接利用，粗苯中苯、甲苯、二甲苯含量占90%左右，粗苯精制主要是提取粗苯中的苯、甲苯、二甲苯等产品。粗苯精制工艺由于具有投资低、生产成本低、污染低等优点而受到越来越多的关注。

#### 技术优势

经过多年的研究，已研制出性能良好的一段预加氢催化剂（Ni-Mo系）和二段主加氢催化剂（Co-Mo系），已实现工业化生产，并被全国焦化苯（产业链）行业协作组指定为粗苯加氢催化剂定点生产单位，催化剂连续运转时间超过1000小时，评价结果表明工业生产的催化剂性能指标均可达到实验室研制催化剂的水平。

催化剂已应用于30多套粗苯加氢装置上，总计生产400多吨粗苯加氢催化剂；年处理粗苯能力达到200万吨/年，占全国粗苯加氢精制能力的50%左右。

我方提供催化剂的使用工艺条件、催化剂的理化指标、催化剂的装填方法与催化剂的硫化工艺条件；在催化剂装填和工艺试车时，派出技术人员到现场提供技术指导，保证催化剂的正常使用和运行；正常开车后的一年内，在生产过程中催化剂出现异常情况，我方承诺尽快到达生产现场，协助解决；我方还可根据原料的不同，进行催化剂的研发、设计和生产。

#### 经济性评估

粗苯是炼焦煤气净化的副产品。一般粗苯的产量是装炉煤的1%左右。据不完全统计，我国焦炭产量在40000万t/a，粗苯的产量大约在400万t/a，粗苯加氢技术所需要的催化剂量为900多吨。按一套10万吨/年粗苯加氢装置计算，总计需要预加氢和主加氢催化剂二十多吨，国外的价格高出国内一半左右，使用我所催化剂能够节省一半左右费用；更主要的是能够提供全方面现场开车和后续技术服务，而采用国外的催化剂只提供催化剂产品不提供技术服务。

#### 合作方式

商业合作和技术服务



## 工业化应用

### 煤焦油加氢制清洁燃料油技术

#### 技术背景

煤焦油是焦化工业的重要产品之一，成分复杂。作为煤焦油清洁利用最有效的技术，同时作为可提供替补石油产品的清洁燃料的重要来源，催化加氢制燃料油是解决煤焦油有效利用的途径。

#### 技术优势

1、本技术具有完全自主知识产权，具有专业的研发队伍及完备的技术开发平台，可为用户提供“一揽子”技术服务。

2、拥有扎实可靠的数据积累，催化剂生产、调变经验及工艺包开发经验，可为用户提供效益最大化的工艺技术方案。

3、基于催化剂调变、工艺调整及二者的协同对产品组成进行调控，为用户提供最经济、合理的产品分布及产品指标；具有持续改进、优化技术的能力，为用户应对未来市场对技术的需求提供持续的技术支撑。

4、2016年，催化剂应用于赤峰博元公司15万吨/年（一期）煤焦油加氢装置；2017年，为枣庄振兴能源20万吨/年煤焦油馏分轻质化项目提供催化剂及工艺包。

#### 经济性评估

以10万吨/年为例，焦油馏分加氢装置年产值约6亿元。以一吨煤焦油为计算基准，煤焦油馏分按3000元/吨计，以焦炉煤气制氢，每吨油氢耗成本以500元计，加工费包括人员工资、水、电等的消耗以每吨油1000元计，则每吨油成本总计4500元。产品油收率98%，以售价6150元计算，10万吨/年装置年产值约6亿元，年利润1.5亿元。

#### 合作方式

技术服务



煤焦油加氢中试平台



燃料油产品



成品催化剂



15万吨/年煤焦油加氢制清洁燃料油项目



## 工业化应用

### 煤焦油制备轻质芳烃技术

#### 技术背景

轻质芳烃是有机化工重要基础原料。苯、二甲苯是制造多种合成树脂、合成橡胶、合成纤维的原料，甲苯可转化为二甲苯和苯。催化重整是生产轻质芳烃的重要途径，约有 90% 的芳烃来源于芳烃联合装置，一般重整原料为石油基石脑油。近年来，由于开采原油的重质化、劣质化趋势明显，用于生产芳烃的石脑油供应紧张，而世界上对芳烃的需求量则不断增长。在重整原料供应不足和重整产物需求不断增长的情况下，必须发展其它途径以获取重整原料。煤焦油有较高的潜芳值，是非常理想的重整制芳烃原料，因此，开发煤焦油制芳烃工艺有十分重要的意义。

#### 技术优势

本技术形成了煤焦油制芳烃核心的自主知识产权和自身特色，可根据市场情况及经济效益，通过调节固定床加氢裂化单元设计条件，可以调整石脑油、柴油产出比例；针对煤基石脑油自主开发了半再生重整催化剂。产品指标优异：芳烃收率可达 80% 左右。

#### 经济性评估

30 万吨 / 年煤焦油制轻质芳烃（其中重整装置为 10 万吨 / 年）总投资 11.67 亿元，原料 30 万吨煤焦油，2000 元 / 吨，小计 6 亿元；以焦炉煤气制氢，氢耗成本 400 元 / 吨，小计 1.2 亿元；运行成本 1500 元 / 吨，小计 4.5 亿元。产品柴油 18 万吨 / 年，4700 元 / 吨，小计 8.46 亿元；混合芳烃 7.5 万吨 / 年，5500 元 / 吨，小计 4.125 亿元；轻烃 1.5 万吨 / 年，4000 元 / 吨，小计 0.6 亿元。30 万吨 / 年煤焦油制轻质芳烃年收益大概为 1.625 亿元 / 年。

#### 合作方式

技术服务



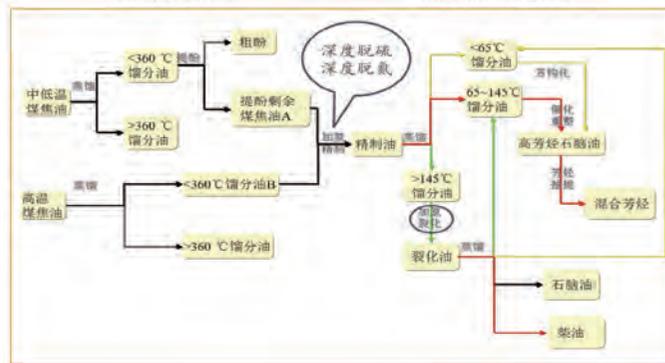
煤焦油综合利用中试平台



克级实验装置



公斤级实验装置



## 工业示范

# 合成气制低碳醇技术

### 技术背景

合成气制低碳醇技术是非石油路线由煤/天然气/生物质经合成气催化转化制备含氧液体燃料、油品添加剂及大宗化学品的重要途径之一。本项目定向开发了由合成气制高附加值化工醇和燃料添加剂的廉价催化剂及其配套工艺路线，对合成替代甲醇燃料及高附加值  $C_{2+}$  化工醇、减缓能源市场的石油依赖程度、实现煤基合成气高效转化及洁净利用煤炭资源等方面具有重要的现实意义和广阔的市场推广前景。

### 技术优势

本技术采用低温、低压和非贵金属催化剂的工艺，实现合成气的低碳高效转化，获得较高的醇收率和  $C_{2+}$  醇选择性，属非硫绿色环保型的低碳转化工艺过程，具有开发生产成本低廉，原子经济性和操作可行性强等特点，可逐步实施替代甲醇合成技术，生产高附加值的燃料醇或化工醇。

本技术已完成千吨级煤基合成气制低碳醇工业侧线示范运转考核验证，编制完成 15 万吨/年合成气制低碳混合醇产品成套技术工艺包，具备工业化推广应用的基础条件。



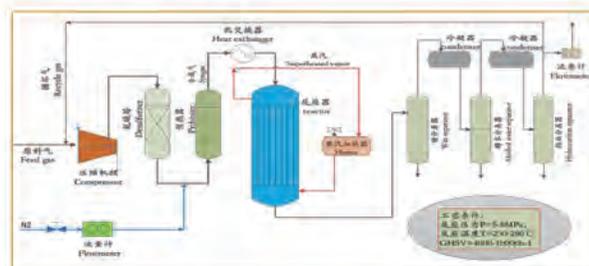
千吨级煤基合成气制低碳醇工业侧线示范装置

### 经济性评估

该技术主要产品是  $C_1-C_4$  低碳醇，可用做高辛烷值汽油添加剂和绿色环保型清洁燃料投放民用燃料市场，目前低碳混合醇在燃料和燃料添加剂的市场容量约为 1000 万吨/年左右，初步推算，按照本工艺过程生产的低碳醇平均吨价格 5500-6000 元，吨产品的毛利润 800-1200 元左右，上述市场容量将可以产生的毛利润为 80-120 亿元；此外，低碳混合醇经后续分离精制后可获得的主要产品为甲醇、乙醇、丙醇、丁醇等高附加值化工醇，广泛用于溶剂、医药、聚酯等大宗化学品生产领域。本技术初步经济评估在年产 30 万吨产品规模下，其综合经济性可超过目前的甲醇合成技术，装置建设投资约 7 亿元，实施后全投资内部收益率为税前 14.6%，具有较好的财务收益。

### 合作方式

技术转让、技术服务、合作开发



吨级放大制备催化剂



工业侧线装置催化剂及产品



## 工业示范

### 一种超级孔氧化铝载体

#### 技术背景

氧化铝是石油化工行业中常用的催化剂载体。在一些特别的反应中，需要富含孔的载体。但囿于传统的制备方法，氧化铝的大孔含量有限，成型氧化铝的堆密度通常大于 0.6g/mL。本技术开发了一条制备超级孔结构氧化铝载体的新型路线。

#### 技术优势

技术为自主知识产权，氧化铝孔体积指标优异（孔体积 1.4ml/g，堆密度 0.24g/ml），并可实施示范生产。

#### 合作方式

技术转让、技术许可



氧化铝产品



氧化铝载体生产车间

## 中试放大

## 煤燃烧—热解耦合的多联供技术

## 技术背景

煤是我国主要的一次能源，其中 80% 被用于直接燃烧，煤中具有较高经济价值的烃类组分（挥发分）未得到合理利用。此外，随着国家对环保要求的日趋严苛，直接燃烧过程中煤中硫、氮主要污染物的治理成本越来越高。利用分级转化的思想，将煤的燃烧和热解过程进行有机耦合是高效利用煤炭资源的有效方式之一。

## 技术优势

循环流化床煤燃烧热解多联供技术实现了煤的梯级转化，可以从燃烧用煤中提取高附加值的燃料油和化学品，比单纯发电系统总能效提高约 10%，烟气的脱硫负荷降低约 30%，脱硝负荷降低约 15%。

该技术已经在与 75t/h 锅炉匹配的多联供装置上完成了中试验证，系统运行稳定并顺利得到了目标产物煤气和焦油。以陕西府谷烟煤为原料，热解煤气的产率 8wt%，焦油产率 6wt%，焦油中的含尘量为 1.8wt%，干馏系统工艺简单，设备投资少，动力消耗低。

自主研发的“热态颗粒床除尘+间接冷却”煤气净化系统可以避免焦化废水的产生，不带来二次污染，大幅降低治污成本。

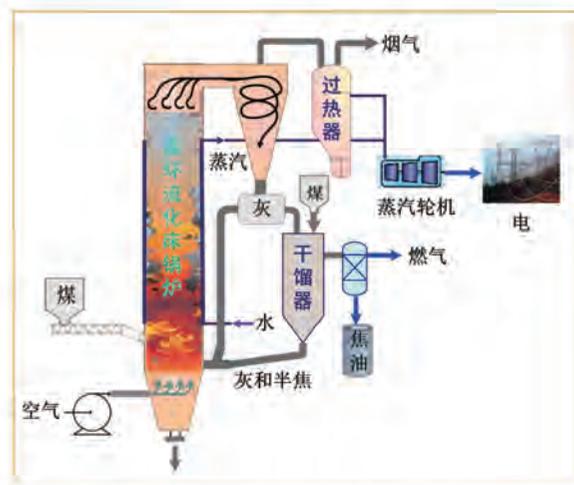
## 经济性评估

以一台 13.5 万 kW 循环流化床发电锅炉匹配处理煤量 60t/h 的干馏系统计算：总投资 7.15 亿元（其中锅炉发电系统的总投资 7 亿元，煤干馏系统的投资为 0.15 亿元），与单独发电相比，新增干馏系统的投资回收期为 2 年。

循环流化床煤燃烧热解多联供系统产出的是电、热、煤气和低温煤焦油，煤气富含氢气、甲烷和低碳烃（高热值燃气），可用作城市煤气或化学合成。低温煤焦油经加工可提取高附加值的汽柴油及化学品。可以通过市场需求来调节电、热、煤气和煤焦油四种产品的产出，以达到最高的经济效益。

## 合作方式

技术转让、合作开发



循环流化床煤燃烧热解工艺流程简图



与 75t/h 锅炉匹配中试平台的关键设备

## 中试放大

### 合成气制取 $\alpha$ -烯烃的铁基催化剂

#### 技术背景

长链  $\alpha$ -烯烃是指不饱和键位于链端位的碳五以上的烯烃，广泛用作烯烃共聚单体、表面活性剂、增塑剂等。从合成气出发获得  $\alpha$ -烯烃，具有工艺路线短，产品经济性好等优点。随着我国聚烯烃、润滑油及洗涤剂等行业对原料的要求逐渐提高，长链  $\alpha$ -烯烃的市场前景非常看好。

#### 技术优势

本技术开发了一种基于铁催化剂和结构反应器的合成工艺，提高了粗油中  $\alpha$ -烯烃的选择性，采用适宜的分离手段，降低了目标产物分离成本，并已形成完整的一套技术。

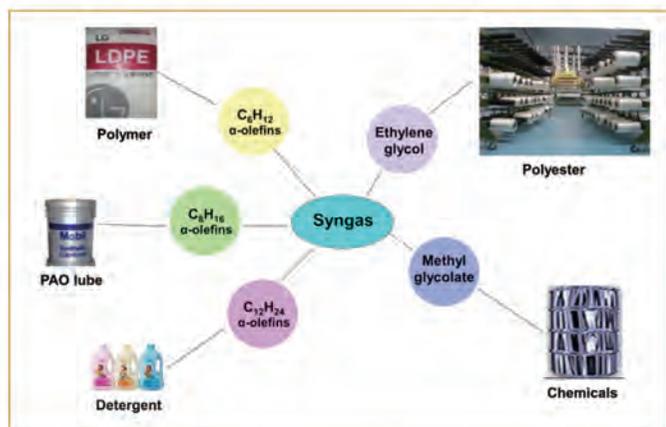
催化剂性能指标优异：甲烷选择性 <8%，烯烃与伯醇的含量超过了 65%。催化剂无需还原，可直接装填使用。采用固定床反应器，相关工程基础扎实，放大风险小。技术可实施示范生产或中试。

#### 知识产权情况

山西煤化所和武汉凯迪共同拥有知识产权。

#### 合作方式

合作开发



$\alpha$ -烯烃的用途



催化剂生产车间

## 中试放大

### 甲醇制高附加值芳烃关键技术

#### 技术背景

以苯(B)、甲苯(T)、二甲苯(X)为代表的芳烃产品是支撑国民经济健康发展的重要化工原料,其生产主要来自于石化路线。面对石油原料总量不足、主要芳烃产品依赖进口与日益增长的消费需求间的巨大反差与矛盾,开发高附加值芳烃产品(如对二甲苯)的煤基生产路线、实现增产成为当前行业发展的焦点。本技术可实现煤基路线芳烃的高选择性生产,是解决目前芳烃生产困境的有效途径。

#### 技术优势

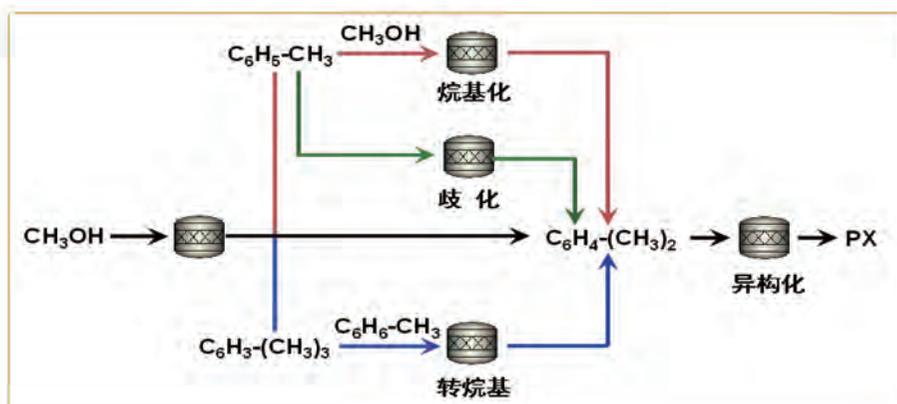
本技术集成具有自主知识产权的甲醇制芳烃及与之匹配的烷基化、烷基转移技术,具有催化剂稳定性长(>20天)、芳烃单程收率高(>30%),二甲苯选择性高(>60%),芳烃产品结构可灵活调节等优点。目前已完成了国内首套二段式百吨级甲醇制芳烃中试,各项技术指标达到国际先进水平。

#### 经济性评估

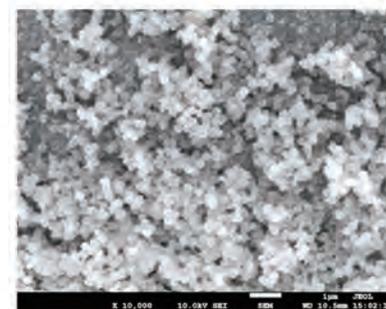
根据项目路线和相应技术指标,百万吨级甲醇制高附加值芳烃项目投资额度约为45亿元,产品年销售收入80亿元,内部收益率为15%。

#### 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务



百吨级甲醇制芳烃中试平台



甲醇制芳烃催化剂纳米晶粒扫描电子显微镜照片



甲醇制芳烃成型催化剂照片



## 中试放大

# 新一代甲醇制丙烯（MTP）催化剂技术

### 技术背景

煤制烯烃既是煤炭清洁高效利用的重要途径，又可弥补油气资源不足，促进石化行业原料多元化，是保障我国能源安全的迫切需要和现实选择。目前我国引入德国鲁奇MTP装置存在催化剂单程寿命较短，催化剂频繁再生导致装置生产效率较低、操作成本较高，同时由于反应诱导期过长、丙烯产率低，使得整套装置的经济效益受到很大影响，迫切需要发展具有自主知识产权的高性能甲醇制丙烯催化剂及工艺。

### 技术优势

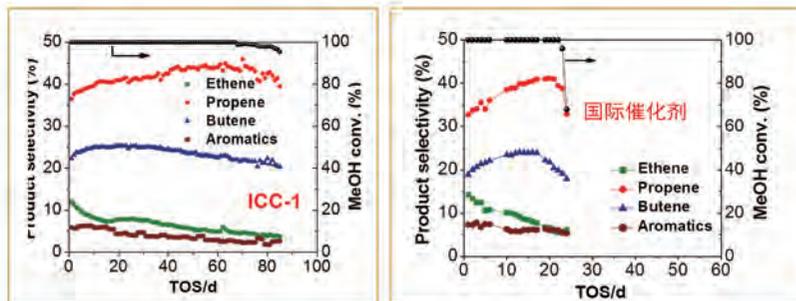
本技术开发了具有自主知识产权的新一代高性能MTP催化剂技术，具有单程寿命长（> 60天），诱导期短，丙烯选择性强（42%），丙烯/乙烯比达到7，芳烃选择性低于5%的优点。本技术可提供千吨级MTP催化剂生产技术工艺包，生产的催化剂可用于现有鲁奇MTP装置或类似甲醇制丙烯反应装置。

### 经济性评估

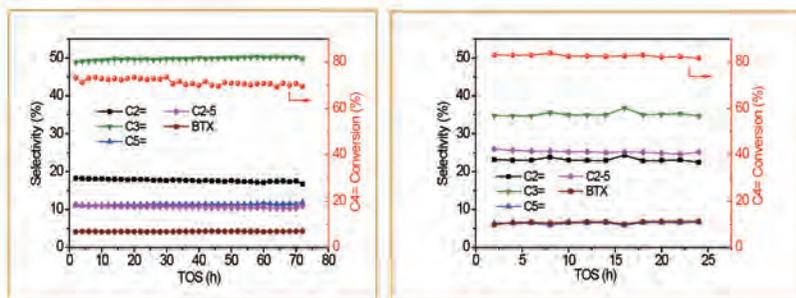
年产50万吨丙烯的MTP工厂，替换本技术生产的新一代催化剂，预计在现有鲁奇配套催化剂的基础上增产丙烯2-3%，加上装置操作费用的降低，年利润净增1.5-2亿元。

### 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务



ICC-1 催化剂（左）和某国际催化剂（右）的MTP反应结果  
(1g 催化剂, 470°C, MeOH WHSV = 1h<sup>-1</sup>, MeOH : H<sub>2</sub>O (mol/mol) = 1)



ICC-1 催化剂（左）和某国际催化剂（右）的丁烯裂化性能比较  
(470 °C, butene WHSV = 1.97 h<sup>-1</sup>, N<sub>2</sub> : C<sub>4</sub> = 3 : 1)



甲醇制丙烯（MTP）催化剂

## 中试放大

# 万吨级尿素甲醇间接制备碳酸二甲酯工业示范

### 技术背景

我国的尿素和甲醇产能严重过剩，由价格低廉的尿素和甲醇间接制备高附加值的碳酸二甲酯是化解这些过剩产能的有效途径之一。碳酸二甲酯是一种新型低毒的环境友好型的绿色基础化工原料，还可替代有毒溶剂用于油漆、涂料、胶黏剂、喷雾剂、皮革鞣制、油墨等行业；可作为医药、农药、聚碳酸酯等物质合成的原料；可作为汽/柴油添加剂，以及锂离子电池电解液等。

### 技术优势

本技术已完成 1000 吨 / 年的全流程中试，稳定运转结果显示：第一步反应尿素的转化率达 100%，碳酸丙烯酯（PC）的选择性达到了 95%；第二步反应碳酸丙烯酯的转化率达 100%，碳酸二甲酯的选择性  $\geq 99\%$ ；最终产品碳酸二甲酯纯度达到 99.9%。技术成熟，处于国际先进水平。

本技术为山西煤化所与大连市化工设计院有限公司共同开发，知识产权双方共享。已授权国家专利 4 项。

### 经济性评估

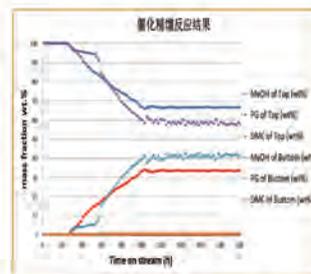
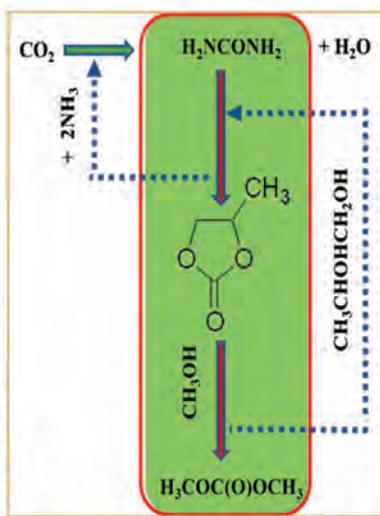
5 万吨 / 年的规模，投资 20200 万元人民币。如果原料、公用工程、产品的不含税价格为：尿素 1327 元 / 吨，甲醇 2436 元 / 吨，蒸汽 128 元 / 吨，电 0.45 元 / 度，液氨 1965 元 / 吨，碳酸二甲酯 5128 元 / 吨，则每吨碳酸二甲酯的制造成本为 3525 元，完全生产成本为 3760 元。5 万吨 / 年的规模年创产值 29998 万元人民币（含税），年利税 8001 万元人民币。新增就业岗位 50 人。具有良好的经济效益和社会效益。

### 合作方式

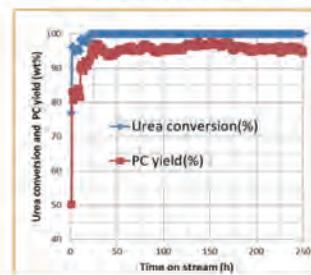
技术转让、技术许可、合作开发



1000 吨全流程中试装置



PC 与甲醇反应结果



尿素与丙二醇反应结果



## 中试放大

### 醋酸加氢合成乙醇技术



中试照片

#### 技术背景

乙醇为大宗化工原料和汽油添加剂，是重要的新型醋酸下游产品。2017年9月13日国家发展改革委、国家能源局、财政部等15部委印发《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》，到2020年实现燃料乙醇全国覆盖。目前全国年消费1.2亿吨成品油，2020年全部添加10%燃料乙醇，燃料乙醇添加量将达到1200万吨，具有1000万吨缺口，燃料乙醇市场潜力巨大。同时，我国已成为世界上最大的醋酸生产国，生产能力为932万吨/年，约占世界醋酸总产能的50%。目前我国醋酸装置开工率只有56%，产能严重过剩。醋酸加氢制乙醇技术逐渐成为企业关注的热点。

#### 技术优势

目前国内外公开报道的醋酸加氢制乙醇催化剂均为贵金属体系催化剂，副产物乙酸乙酯的选择性较高，因此需在工艺过程中增加乙酸乙酯的分离及其二次加氢得到乙醇，工艺过程复杂。610课题组成功开发了醋酸制乙醇非贵金属催化剂，并高选择性合成乙醇。依据催化剂特点形成了醋酸加氢一步制乙醇的简捷工艺，缩减了分离环节，可

大幅降低固定投资和操作成本。

醋酸加氢制乙醇技术是中科院山西煤化所610课题组开发的具有完全自主知识产权的新型乙醇合成技术，已在催化剂/合成工艺等方面获得授权专利5项。目前，该工作已完成50吨/年工业中试，具备工业示范条件。

在反应压力3.0-4.0 MPa，反应温度230-260℃条件下，醋酸转化率高于99%，液相产品中乙醇选择性高于99%。催化剂寿命大于10000小时。

#### 经济性评估

醋酸加氢制乙醇装置主要包括液体进料泵、预热器、固定床加氢反应器、气体循环压缩机、产品精馏塔等设备。10万吨/年装置投资约为1.7亿元，每吨乙醇产品消耗醋酸1.37吨，氢气1020 m<sup>3</sup>，全投资内部收益率为47%，市场收益良好。

#### 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务、合作开发

## 中试放大

### 醋酸加氢合成异丙醇联产丙酮技术

#### 技术背景

丙酮作为优良溶剂，需求量逐年增加，目前的石化法丙酮生产无法满足巨大的市场需求，需大量进口，丙酮价格逐年上涨。异丙醇是重要的化工产品和原料，广泛应用于制药、塑料、涂料等行业，近年来我国异丙醇的需求逐年增长，价格持续上涨。同时，我国已成为世界上最大的醋酸生产国，醋酸产能严重过剩，为下游产品开发提供了充足廉价的原料。

#### 技术优势

开发的醋酸加氢制异丙醇联产丙酮非贵金属催化剂和合成工艺是首创的非石油丙酮异丙醇合成路线。由于采用以醋酸为原料的新型技术路线，产品丙酮中不含芳烃，品质优于异丙苯法生产的丙酮。

催化剂性能优异，寿命大于 10000 小时。在 0.2-2.0 MPa，300-350℃ 下醋酸转化率高于 99%，液相产品中丙酮和异丙醇选择性高于 99%。

本技术是中科院山西煤化所 610 课题组首创的新型醋酸下游技术，已在催化剂 / 合成工艺等方面获得授权专利 3 项。目前，该工作已完成 5 万吨 / 年工艺包，具备工业示范条件。

#### 经济性评估

醋酸加氢合成异丙醇联产丙酮装置主要设备为液体进料泵、预热器、固定床反应器、产品精馏塔等。5 万吨 / 年醋酸加氢制异丙醇联产丙酮装置建设投资 9100 万元，全投资内部收益率 29%，经济效益可观。

#### 合作方式

技术转让、技术许可、技术服务、合作开发



中试装置



## 中试放大

### 常压烟气中 CO<sub>2</sub> 低成本吸附捕获关键示范技术

#### 技术背景

CO<sub>2</sub> 捕获、封存技术和资源化利用被认为是短期内实现 CO<sub>2</sub> 减排的重要手段之一，已经引起了广泛的关注。

#### 技术优势

该技术具有自主知识产权的吸附剂制备技术以及吸附工艺（授权专利 5 项），工艺条件温和。开发的 K 基吸附剂和有机胺类吸附剂的 CO<sub>2</sub> 吸附容量（K 基吸附剂：3.45mmol/g 吸附剂，PEHA 型吸附剂：4.5mmol/g 吸附剂）达到了国际同类吸附剂先进水平；

已建成国内首套 200 Nm<sup>3</sup>/h 循环流化移动床 CO<sub>2</sub> 吸附捕获示范装置，在 120 小时稳定运行中，CO<sub>2</sub> 平均捕获率达到 90% 以上，适合电厂烟道气中 CO<sub>2</sub> 捕获。

#### 经济性评估

固体吸附法电厂烟道气中 CO<sub>2</sub> 捕获技术的能耗较现有的乙醇胺吸收技术能耗降低 30% 左右，捕获分离成本降低 20% 以上。国家已于 2017 年开始碳交易，并且随着相应法律法规的出台，低成本的燃烧后 CO<sub>2</sub> 吸附捕获技术将会有巨大经济、社会效益和市场竞争能力。

#### 合作方式

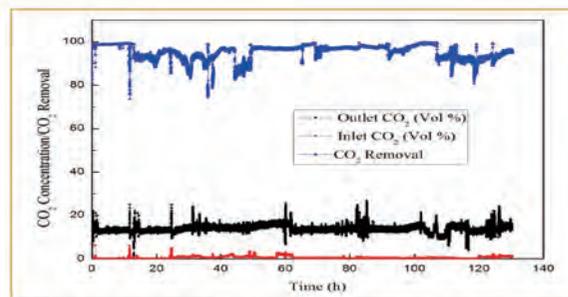
合作开发



实验中的 200Nm<sup>3</sup>/h 循环流化移动床连续捕获 CO<sub>2</sub> 装置



200Nm<sup>3</sup>/h 循环流化移动床连续捕获 CO<sub>2</sub> 装置外景图



120 h 内 CO<sub>2</sub> 进出口浓度及 CO<sub>2</sub> 脱附率



吨级放大制备的 K 基吸附剂

## 中试放大

## 二氧化碳加氢制甲醇技术

## 技术背景

人类活动消耗的化石能源造成二氧化碳等温室气体大量排放是造成气候变暖的主要原因。除了二氧化碳的捕获、封存技术外，实现二氧化碳的资源化利用也是解决二氧化碳排放问题的一个重要组成部分。甲醇是化学工业中最重要的基础原料之一，主要用于生产甲醛、二甲醚、醋酸等有机化工产品，也可用作生产烯烃（乙烯、丙烯），芳烃（苯、甲苯、二甲苯），汽油等化学品或燃料，从而部分缓解对于石油资源的依赖。此外，甲醇还是一种清洁能源，可以作为内燃机或燃料电池的燃料进行使用。

将二氧化碳中的碳、氧资源进行利用，通过加氢合成甲醇可以实现碳资源的循环利用，缓解对化石能源的依赖，减轻环境负担。另一方面，该技术可以与可再生能源电解水制氢、焦化工业或氯碱工业衔接，实现氢资源的储存，将为二氧化碳的资源化利用提供一条切实可行的解决途径。

## 技术优势

开发出了具有自主知识产权的高效催化剂，完成了实验室 4000 小时的催化剂寿命实验。同时解决了催化剂放大生产过程中的关键问题，实现了催化剂的公斤级制备放大实验，并完成了二氧化碳加氢制甲醇工业单管实验，实现了 700 小时的稳定运行， $\text{CO}_2$  转化率  $>60\%$ ，甲醇选择性  $>80\%$ ，催化剂的性能达到了国内先进水平。目前正在进行 10 万吨 / 年二氧化碳加氢制甲醇的工艺包开发。

## 经济性评估

生产 1 吨甲醇可以消耗约 1.375 吨二氧化碳。20 万吨 / 年焦炉气为原料二氧化碳加氢合成甲醇的初步经济性评估结果显示，甲醇生产成本约为 3800 元 / 吨。若可再生能源电解水制氢成本为 1.00 元 /  $\text{Nm}^3$ ，20 万吨 / 年二氧化碳加氢合成甲醇过程生产成本约为 3800 元 / 吨。我国碳交易的实施也将对二氧化碳加氢合成甲醇过程的经济性产生积极影响。

## 合作方式

技术转让、技术许可、合作开发



二氧化碳加氢制甲醇工业单管装置



二氧化碳加氢制甲醇催化剂



产品

## 中试放大

### 含氧煤层气流化床脱氧制 CNG/LNG

#### 技术背景

我国含氧煤层气资源丰富。开发利用含氧煤层气资源对于缓减天然气短缺、发展低碳经济具有重要的意义。要安全有效地回收利用含氧煤层气，必须解决煤层气脱氧这一关键核心技术难题。催化燃烧脱氧技术是解决这一核心问题的最直接有效的办法。

#### 技术优势

本技术在国内首先提出流化床脱氧工艺新思路，开发出了煤层气流化床催化燃烧脱氧新工艺，可用于煤矿地下、地面抽采甲烷浓度在 30-80 vol.% 的煤层气纯化处理，同时亦可用于垃圾填埋厂相应浓度的沼气纯化处理，具有处理量大（15000-25000 Nm<sup>3</sup>/day）、脱氧能力强（脱氧煤层气氧含量 < 0.3 vol.%）、效率高、催化剂使用寿命长（>1000 h）、热量可回收、工艺简单、占地面积小和价格低廉等优点。目前已完成 300-500 Nm<sup>3</sup>/h 中试试验，并连续稳定运行 80 小时，各项技术指标达到或优于当前工业技术。

#### 经济性评估

本技术在甲烷的纯化利用方面具有技术和经济优势：（1）产品气体可与常规天然气并网，同输同用，缓解天然气市场压力；（2）产品气体经过压缩或液化生产压缩天然气（CNG）或液化天然气（LNG），供应天然气站作为城市汽车燃料，以及应对季节性天然气供应不足等。

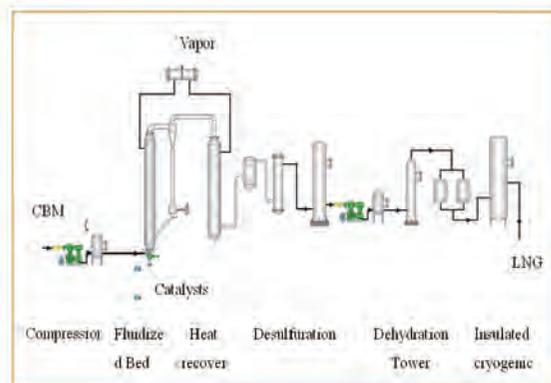
主要设备为流化床反应器和深冷分离装置。投资规模与甲烷浓度和处理规模相关。总体成本范围为每方天然气（折纯）0.4-1.0 元。

#### 合作方式

技术转让、技术许可、合作开发



煤层气催化燃烧脱氧中试平台



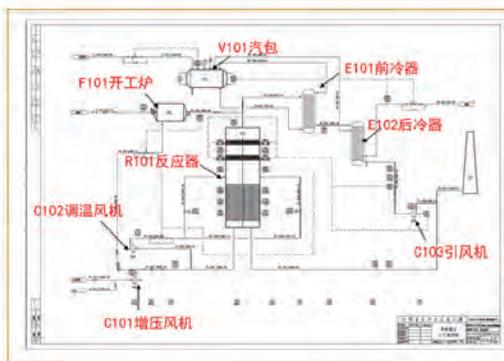
煤层气脱氧制 LNG 工艺流程图

## 中试放大

## 煤矿低浓度瓦斯催化逆流节能减排技术



乏风瓦斯催化逆流中试平台



反应工艺流程图



瓦斯催化燃烧催化剂

## 技术背景

煤矿瓦斯不经处理大规模直接排放不仅污染环境、而且造成能源的巨大浪费。随着公民环保意识的提高和国家环保政策的日趋严格，煤矿瓦斯的综合治理越来越受到国家及公众的关注。全国碳排放交易市场面临全面开放，煤矿乏风瓦斯综合治理将面临巨大的市场机遇。热逆流和催化逆流技术是目前处理煤矿瓦斯及热能回收利用的主要手段。

## 技术优势

本技术开发了一系列适合不同瓦斯浓度的整体催化剂，具有效率高、工艺简单、活性高、稳定性好、耐高温、价格便宜和易于放大生产等优点，可在 350–800 °C，甲烷浓度 0.1–1.5 vol.% 范围内，实现甲烷转化率大于 97%，催化剂整体寿命长达两年。目前已完成 1000 Nm<sup>3</sup>/h 中试放大，具有 30000–60000 Nm<sup>3</sup>/h 工艺包，处于示范化开发阶段。该技术可为瓦斯浓度 1.2% 以下低浓度瓦斯矿区的冬季巷道和园区取暖以及员工洗澡等热能利用提供新途径。

## 经济性评估

乏风瓦斯发生氧化反应产生的热量用于取暖或发电，将产生较好的经济效益。例如：假设矿井乏风甲烷浓度为 0.8%，流量为 80000 m<sup>3</sup>/h，投资约 1000 万，年处理矿井乏风 7000 万方，每年减排的温室气体折合 8 万吨当量的二氧化碳，余热可年发电约 1000 万度。

## 合作方式

技术转让、技术许可、合作开发

## 实验室研发

# 煤催化加氢气化联产甲烷和轻质芳烃技术

### 技术背景

煤制天然气是解决我国天然气资源短缺的有效途径。从煤制甲烷的角度考虑，碳和氢气反应直接生成甲烷是路线最短、效率最高的方式，由于碳氢反应速率较慢，导致过程的碳转化率较低。通过添加催化剂不仅可以加快碳氢反应速率，提高甲烷收率，同时可使重质焦油发生分解，获得轻质芳烃是最具发展潜力的煤制天然气路线。

### 技术优势

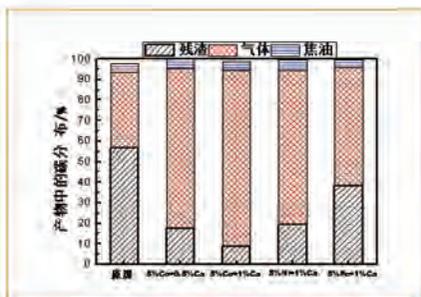
与现有技术相比，煤催化加氢气化过程不仅能实现煤中碳的高转化率，且能使碳高效地转移至甲烷和轻质焦油产品中；过程中  $\text{CO}_2$  的生成量较少。以次烟煤为原料，在  $850^\circ\text{C}$ 、 $3\text{MPa}$  的条件下使用 Co-Ca 催化剂，碳转化率可达 92%，同时催化剂的回收率可达 99.9%。

### 技术前景

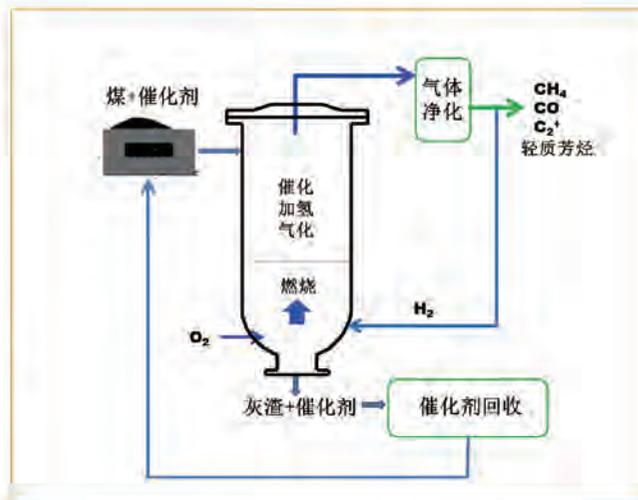
由于煤催化加氢气化过程具有较高的碳转化率（碳转化率  $>92\%$ ）、气化炉出口气中扣除未反应的氢气后甲烷含量  $>92\%$ ，以年产 20 亿  $\text{Nm}^3$  甲烷规模为例，1 台气化炉（5400 t/d）即可满足需求，投资成本大幅降低，初步估算采用该技术生产甲烷的成本在 1.0 元左右。

### 合作方式

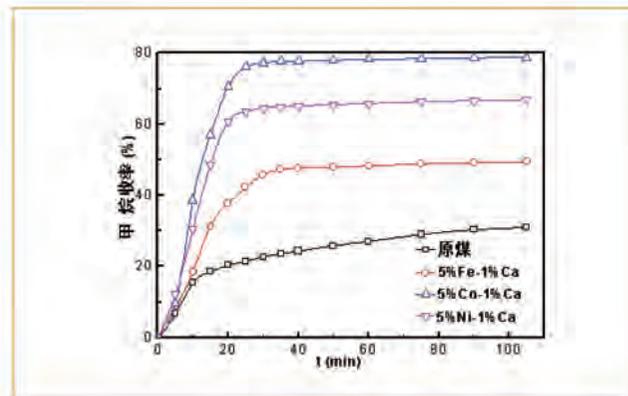
合作开发、技术转让



不同催化剂下产物中的碳分布（府谷烟煤，850°C，3MPa）



煤催化加氢气化制甲烷和轻质芳烃流程示意图



不同催化剂下甲烷产率随时间的变化（府谷烟煤，850°C，3MPa）

## 实验室研发

## 费托蜡制高端润滑油基础油技术

## 技术背景

中国是仅次于美国的全球第二大润滑油市场，但是国内生产的润滑油基础油约 80% 为低端石油基产品。2016 年我国润滑油基础油的进口量高达 238 万吨，其中多为 API II 类以上的高端产品。随着环保要求的不断提高，对润滑油产品提出了更加苛刻的要求，因而高品质润滑油基础油的需求量持续增长。荷兰 Shell 公司以钴基费托蜡为原料生产 API III+ 类高端润滑油基础油，其具有低成本、高粘度指数、高清洁性、低自挥发性等显著优势。此项技术为 Shell 公司带来了可观的经济效益。因此，费托蜡异构化制高端润滑油基础油技术的突破，可增强我国在基础油生产领域的技术竞争力；其产品也可弥补目前我国高端润滑油基础油市场的巨大缺口，具有显著经济效益。



费托蜡异构化制润滑油基础油产品



费托蜡异构化固定床模式反应器

## 技术优势

由于费托合成的复杂性及异构化技术的长期保密性，真正拥有两项技术的机构很少。在国外，此技术主要集中几家著名石油公司，如雪弗龙、壳牌、埃克森美孚等公司。然而，由于国际公司的技术垄断及高昂的技术转让费，我国需要开发具有自主知识产权的异构化技术。

在国内，石油基产品的异构脱蜡技术的发展已经比较成熟，成功应用于异构降凝制柴油、润滑油基础油等领域。然而，费托产品异构化制润滑油基础油技术还处于发展阶段。相对于石油基重油原料，费托蜡原料具有无硫、无氮、无芳烃、无重金属且长链正构烷烃含量高（碳链可达 C100 以上，含量 > 95%）等特点，导致润滑油基础油具有高清洁性及高粘度指数等优势，同时其对异构化催化剂的要求也显著不同。纵观国内，中科院山西煤化在此领域处于领先地位。目前，山西煤化所钴基费托合成技术已实现工业化应用，完成了第一个关键技术的突破。针对第二个关键技术，实现了在温和反应条件下，润滑油基础油收率为 52.1%，高品质白油收率为 21.5%，润滑油基础油各项指标达到 API III+ 类标准。

本技术包括：

- (1) 开发了高效、稳定的费托蜡裂化 - 异构化催化剂，并确定了催化剂制备工艺流程和操作参数。
- (2) 费托蜡裂化 - 异构化和深度异构化过程，可获得 SNG、LPG、馏分油、白油和润滑油基础油等产品。在温和反应条件下，主产品润滑油基础油收率达到 52.1%，高品质白油收率为 21.5%。润滑油基础油各项指标均达到 III+ 类高端润滑油基础油的标准。
- (3) 完成了催化剂及工艺模式（200ml 催化剂装填量）验证。

## 合作方式

合作开发

## 实验室研发

### 新型甲烷化催化剂及工艺技术

#### 技术背景

基于我国富煤缺气的能源结构和日趋严峻的环保问题，发展煤制天然气成为优化我国能源结构及缓解环保压力的有效途径。目前运行及在建煤制天然气装置均采用镍基催化剂，存在抗硫性、抗积炭能力差，氢碳配比严格等缺点，工艺流程复杂，设备规模庞大，运行成本高昂。开发耐硫催化剂及配套工艺，既可为现有煤制天然气升级改造提供技术替代，也可为焦炉气制 LNG 提供新型技术。

#### 技术优势

新型甲烷化技术与现有工艺相比，低温甲醇洗等高能耗单元负荷降低 40% 以上；反应温和，反应器温度平稳可控，循环比可大幅降低。因此减少了设备投资及运行成本，技术经济性大幅提升。

粗煤气或焦炉气经初步净化后直接进入合成单元，经串联反应器进行甲烷化、有机硫加氢及变换等反应后，进入低温甲醇洗进行脱硫、脱碳，最后经产品精制后甲烷含量可达 95%。

#### 市场前景

据《中国能源展望 2030》预测，2030 年天然气消费有望达到 4800 亿立方米，占一次能源消费总量的 12%，同时我国富煤缺气的能源结构和环保压力的日趋加剧，发展煤制天然气产业成为解决能源和环境问题的有效途径。采用该技术可降低固定资产投资及运行成本，大大降低技术及经济风险，既可为现有煤制天然气升级改造提供技术替代，也可用于焦炉气制 LNG 等小型液化天然气生产。

#### 合作方式

合作开发

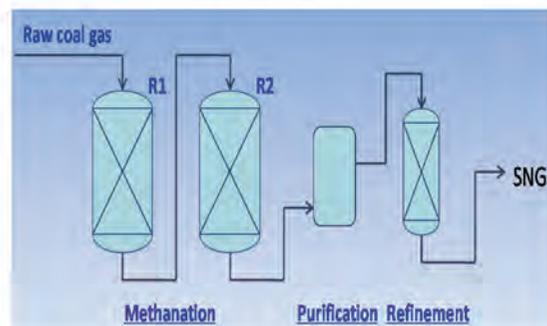
气头	工艺条件	技术指标
鲁奇炉、壳牌炉或 BGL 粗煤气、焦炉尾气等	操作压力：3.0-5.0MPa； 温度：500-600℃； 空速：3000-10000h <sup>-1</sup> ； H <sub>2</sub> S 含量：小于 2%。	CO 出口浓度 < 100 ppm， 产物中甲烷含量达到 90-95%， 催化剂寿命 1 年。



实验室小试评价装置图



耐硫甲烷化催化剂



技术工艺示意图

## 实验室研发

# 合成气定向合成异丁醇技术

### 技术背景

异丁醇是基本化工原料；可作为溶剂，用于锶、钡、锂等盐类的提纯；作为燃料添加剂提高汽油的辛烷值，降低柴油燃烧产生的 PM2.5 等。异丁醇主要来自丙烯羰基化生产丁 / 辛醇过程的副产品，不能满足市场需求，且是石油基产品。

### 技术优势

该技术目前国内外均处于实验室水平。本技术已确定  $\text{CuZrO}_2$  基和  $\text{ZnCr}$  基两个催化剂体系，完成催化剂公斤级放大，并成功应用于 100ml 固定床反应器，完成 1000 小时稳定性运转，各项指标稳定。醇中甲醇及异丁醇的选择性大于 95wt%，异丁醇选择性大于 25wt%。

本技术已申请国家发明专利 3 项，授权 2 项，并在 J. Mol. Catal. A: Chem 等国内外著名期刊发表高水平学术论文 10 余篇。

### 技术前景

合成气定向合成异丁醇是具有自主知识产权的、唯一一条从煤出发直接合成异丁醇的技术路线，是适合我国能源特色的煤基异丁醇合成路线，具有广阔的前景。该工艺操作条件与中压甲醇的工艺条件相当、工艺流程相似，合成过程可以在现有的中压甲醇装置上进行，可以根据甲醇市场的变化调变产品组成，对降低甲醇企业的风险、增强甲醇企业抗风险能力、延长煤化工产业链具有重要意义。

### 合作方式

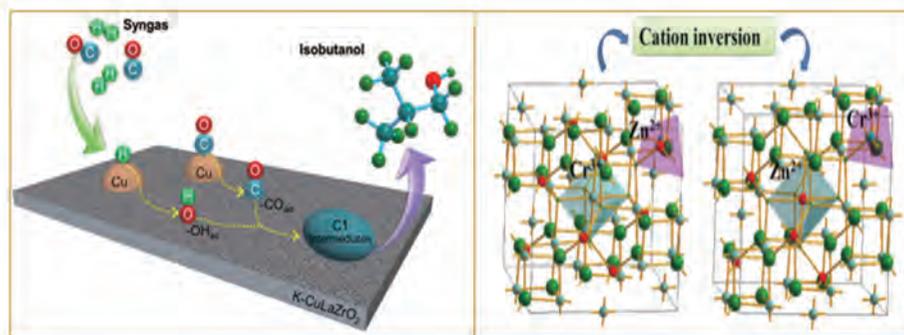
合作开发



100ml 反应装置



催化剂放大装置及放大催化剂



异丁醇合成机理



## 实验室研发

### 合成气经甲醇 / 二甲醚合成高辛烷值汽油技术

#### 技术背景

汽油是重要的石油产品之一，反映了一个国家炼油工业和汽车工业的技术水平和国民经济的发展水平。结合我国“富煤、贫油、少气”的能源特点，发展高效、洁净、先进、环保的煤制汽油路线，可有效解决我国石油供应不足和石油供应安全问题，有利于我国清洁能源的发展和长期的能源供应安全。

#### 技术优势

本项目是基于现代煤气化技术条件，实现从煤气化、合成气净化、一段含氧化合物合成、二段汽油合成的全过程等压操作。与国内外同类技术相比，处于领先地位。技术优势：(1) 全过程等压操作，减少了反应过程中变压所引起的能量消耗，整个运转过程中气体的转化率高，汽油产品性能稳定；(2) 合成气可以直接高效地合成高辛烷值汽油；(3) 反应器结构简单，经济性好；(4) 汽油产品中几乎不生成碳数为 11 以上的烃类；(5) 烃类中，异构烃类占多数，其油品不需改良辛烷值即可达 90 ~ 95；(6) 通过二段催化剂改良，可以高选择性地生成芳烃。

该技术已完成 1L 工业单管放大试验，性能指标优异，所得汽油辛烷值大于 93。

#### 技术前景

本项目可利用现有的甲醇装置，不需要改进就可以作为煤基合成气经二甲醚合成高辛烷值汽油的一段反应器，只需在其后续建一套二段反应器就可以在原有的甲醇生产企业进行高辛烷值汽油的生产。对于降低甲醇项目产品单一的市场风险，延长产品链，增强企业盈利能力具有重要的意义。

#### 合作方式

合作开发



1L 单管试验装置



控制室



催化剂放大装置

## 实验室研发

### 合成气直接制取低碳烯烃技术

#### 技术背景

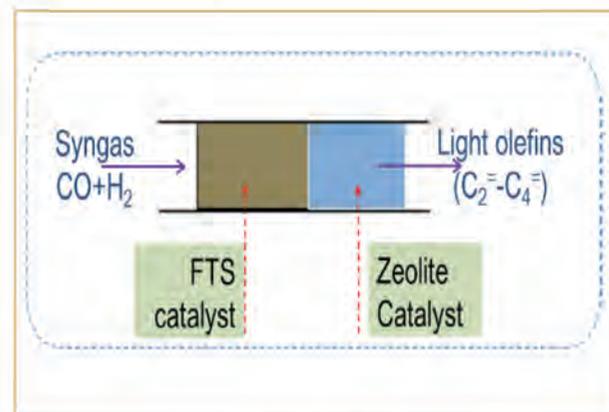
低碳烯烃 ( $C_2^- - C_4^-$ ) 是重要的基础化工原料, 其需求量的不断增加导致全球低碳烯烃产能提高了一倍。直接从合成气制取低碳烯烃是一条经济、快捷、有潜力的合成途径。该项目的研发, 不仅有利于摆脱对石油资源的过度依赖, 还可以开发一条适合我国资源特色的低碳烯烃合成路线, 具有重要的战略意义。

#### 技术优势

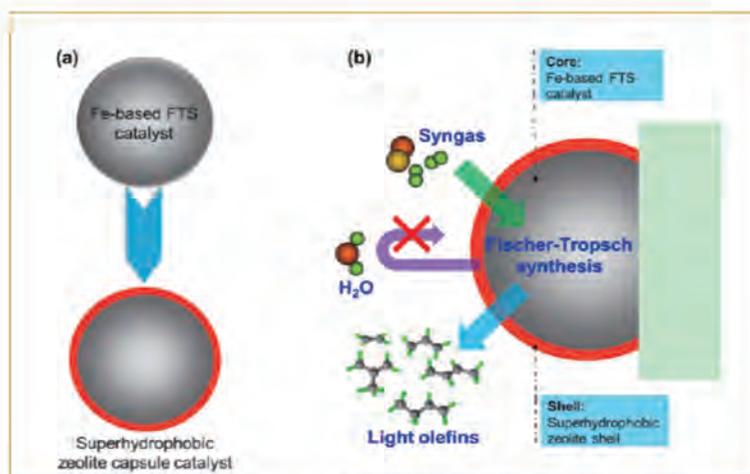
合成气经 F-T 过程制烯烃存在铁基催化剂积炭失活、 $CO_2$  含量高等问题。本技术将通过疏水胶囊催化剂的研发来抑制积炭以延长催化剂寿命, 抑制  $CO_2$  的生成以增加低碳烯烃的选择性 (70 ~ 80 wt.%) 和收率, 实现合成气直接定向高效合成低碳烯烃, 具有较高的碳资源利用率和生产能力。

#### 合作方式

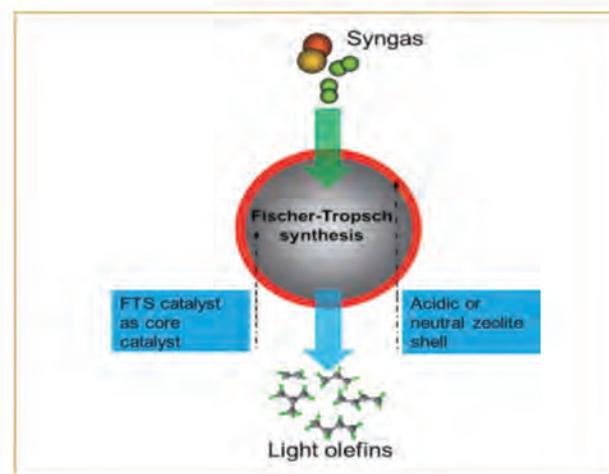
合作开发



反应示意图



胶囊催化剂设计



合成气定向合成烯烃

## 实验室研发

# 合成气制取万能溶剂的绿色路线

### 技术背景

乙酸甲酯或其它酯类作为一种优良的溶剂已经被广泛的应用。例如，在树脂、油墨、胶粘剂、涂料及皮革等生产过程中。目前，工业化生产乙酸甲酯主要通过醋酸和甲醇在硫酸催化剂上进行酯化反应所得，存在液体废酸排放问题，大规模生产受到限制，采用低毒、绿色溶剂是发展趋势。国内市场规模约 10 万吨 / 年。

本技术以草酸二甲酯、草酸二乙酯为原料，形成了制取乙酸甲酯、乙氧基乙醇酸乙酯的技术。通过全新的催化剂配方设计，技术取得了原始创新突破。形成了一条从合成气出发，草酸二甲酯加氢获得新型精细化学品的路线，可有效解决溶剂更新换代的需求。

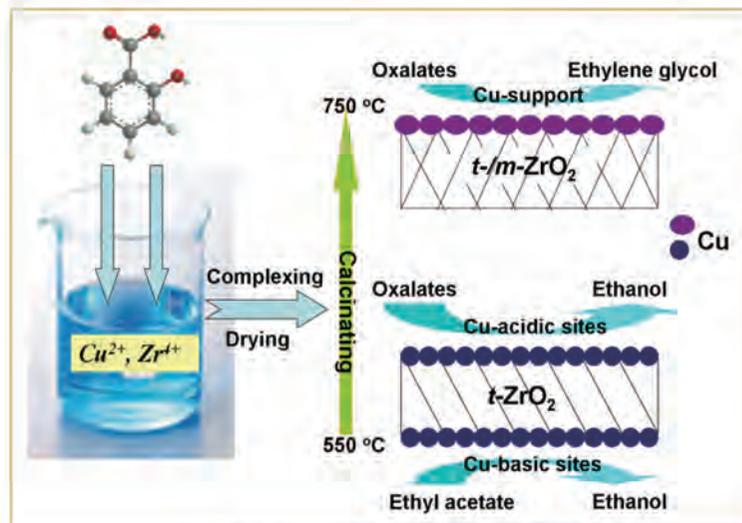
### 技术优势

本技术为原始创新技术路线，国内外没有同类技术。草酸酯的转化率达到 95%，乙酸甲酯的选择性达到 60%。

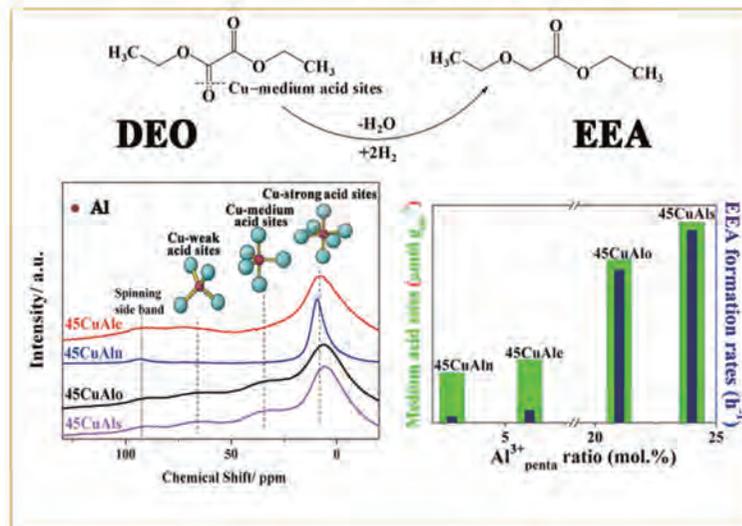
本技术围绕草酸酯加氢催化剂的研制，在 Chem. Commun 等著名期刊发表高水平论文 10 余篇，授权专利 1 项 (ZL 201410058672.8)。

### 合作方式

合作开发



草酸酯加氢催化剂制备原理示意图



草酸酯加氢制备万能溶剂的应用基础研究

## 实验室研发

## 合成气定向合成低碳烯烃技术

## 技术背景

低碳烯烃（乙烯、丙烯及丁烯）是非常重要的有机化工基础原料，如用于橡胶、纤维、塑料及相应醇、醛、酸等化学品合成，传统生产技术强烈地依赖于石油资源。本技术开发以合成气为原料直接合成低碳烯烃，可降低石油依赖程度、洁净利用煤炭资源，对我国经济长期稳定发展和能源安全有重要意义。

## 技术优势

由煤或天然气经合成气直接制烯烃技术（FTO）绕开甲醇，可大幅降低基本建设费用。与国内同类催化剂对比，利用具有知识产权的核壳结构催化剂可以有效提高反应及产物稳定性，单程转化率  $\text{CO}\% > 45\%$ ， $\text{C}_{2-4}\% > 65\%$ ，反应条件温和，可操作性强，适宜研究及推广。

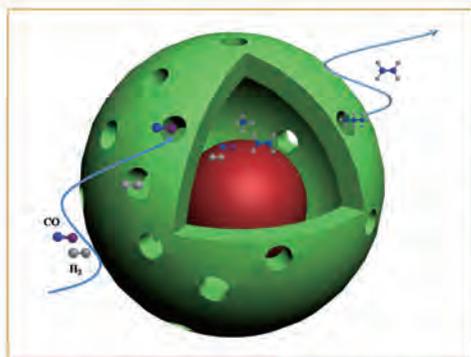
本技术已完成催化剂及工艺的实验室验证，各项指标居于国内同类技术水平前列，授权国家发明专利 1 项。

## 技术前景

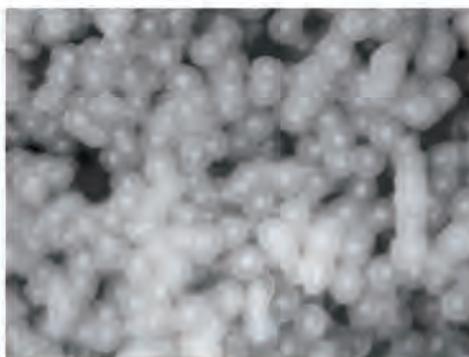
当前全世界乙烯、丙烯、丁烯的产量分别为 1.5 亿吨、1 亿吨、5 千万吨左右，每年的增长率约 4-5%。因此估算低碳烯烃年需求增长在 1200-1500 万吨左右。目前低碳烯烃的生成主要是通过轻饱和烃的蒸汽裂解，强烈地依赖于油气资源。油气资源路线大约提供了 97% 以上的低碳烯烃产量，而其它路线如甲醇制烯烃和合成气直接制烯烃（FTO）还不到 3% 的世界份额，因此 FTO 技术具有良好的市场空间和发展前景。

## 合作方式

合作开发



合成气定向制低碳烯烃合成反应示意图



催化剂微观形态图



合成气制低碳烯烃实验室装置

## 实验室研发

### 合成气制甲酸甲酯技术

#### 技术背景及前景

甲酸甲酯（MF）是一种重要的化工中间体、油品添加剂及农业抗菌防腐剂，在有机化工、能源及农业领域具有广泛的应用。目前，我国甲酸甲酯年生产能力约在 50 万吨，需求量约为 100 万吨，随着甲酸甲酯下游产品的不断发展，预计我国甲酸甲酯的需求量将以每年 10% 的速度递增，需求缺口将不断增大，市场前景十分广阔。

#### 技术优势

较传统的甲醇羰基化及酯化法相比，该技术产物与溶剂也易于分离并重复使用，工业“三废”排放量低，生产甲酸甲酯成本可望降低 30-60%，具有很强的技术经济竞争优势。

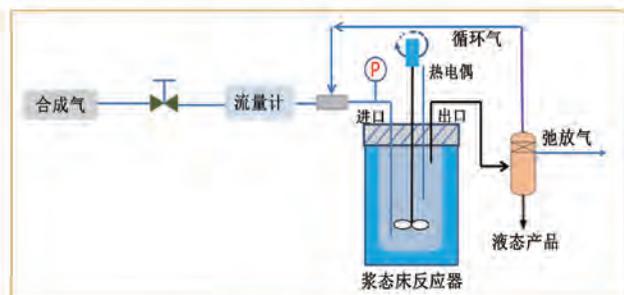
本技术已完成实验室规模的新型绿色合成工艺验证，各项性能指标居于国内同类技术水平前列，授权国家发明专利 2 项。

#### 技术前景

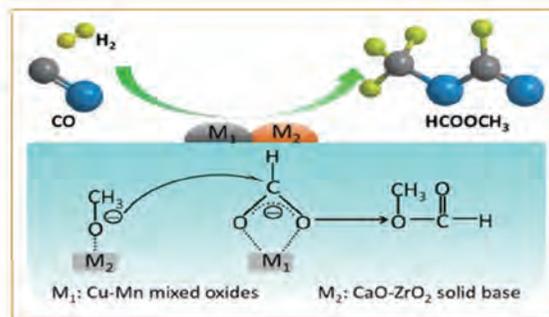
本技术开发以合成气为原料一步高效合成甲酸甲酯的新型固体碱催化剂及其配套工艺路线，过程原子经济、环境友好及能量利用率高，在非石油路线合成 C2 化工中间体及其下游高附加值产品领域具有重要的理论研究和市场应用价值。

#### 合作方式

合作开发



合成气制甲酸甲酯工艺流程示意



合成气制甲酸甲酯反应途径



合成气制甲酸甲酯实验室装置



实验室成型催化剂及反应产品

## 实验室研发

### 合成气制乙醇等 C<sub>2+</sub> 含氧化合物技术

#### 技术背景

以乙醇为主的 C<sub>2+</sub> 含氧化合物既是基本的大宗化工原料，也是清洁的燃料添加剂。目前，乙醇等主要来自粮食的发酵过程和石化工业中的烯烃水合过程。面对我国发展对乙醇日益增长的需求，以及我国富煤贫油的能源特点，由煤基合成气制乙醇为主 C<sub>2+</sub> 含氧化合物是符合我国能源特色的生产路线。该路线的开发将有效地缓解现有制备技术对于粮食和石油资源等的依赖，推动和促进我国的能源结构更趋多元化。

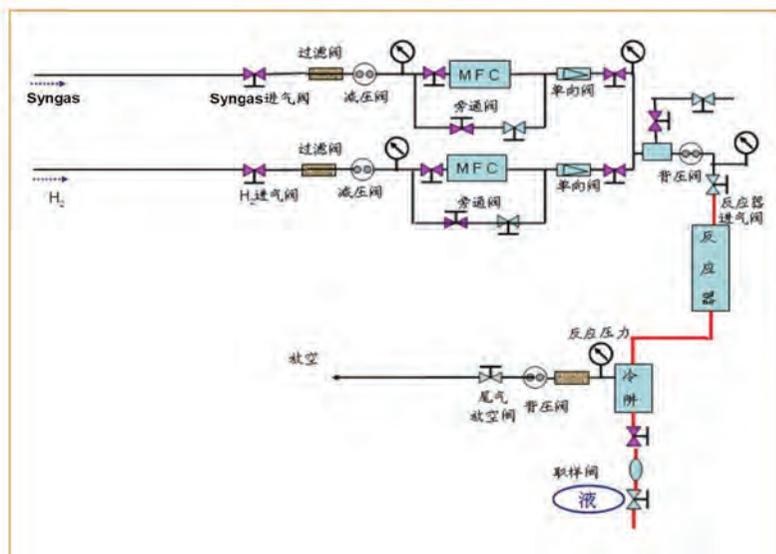
#### 技术优势

对于以 Rh 为主要组分的催化剂，金属的负载量较小，其使用效率较高，同时产物中乙醇等 C<sub>2+</sub> 含氧化合物选择性较高 (>70%)；

对于以 Cu-Co 为主要组分的催化剂，金属的负载量虽然较大，但整体的成本较低，同时与其它含 Cu 的催化剂相比，产物中甲醇选择性较低，乙醇等 C<sub>2+</sub> 含氧化合物选择性较高 (>60%)。

#### 合作方式

合作开发



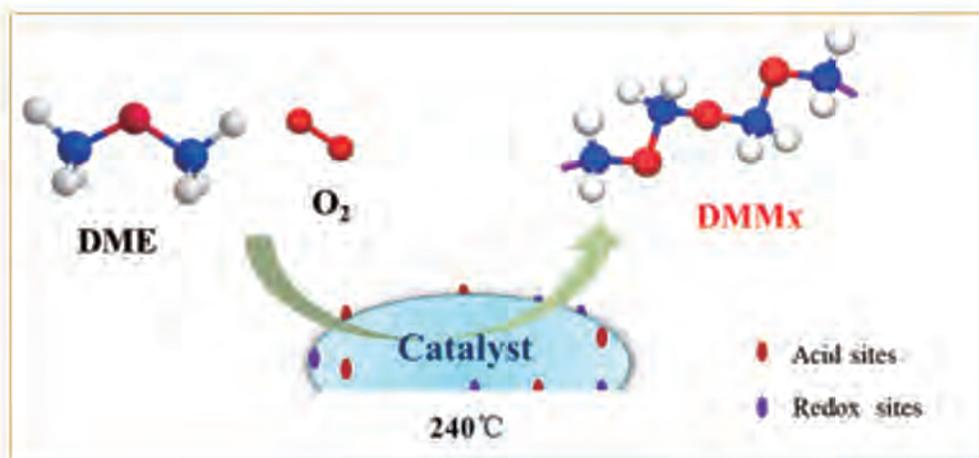
合成气制乙醇等 C<sub>2+</sub> 含氧化合物实验室装置



实验室制备催化剂和反应产物

## 实验室研发

### 二甲醚选择氧化制聚甲氧基二甲醚技术



#### 技术背景

聚甲氧基二甲醚 ( $\text{CH}_3\text{O}(\text{CH}_2\text{O})_x\text{CH}_3$ ,  $\text{DMM}_x$ ,  $x=1 \sim 8$ ) 具有高的含氧量和十六烷值, 是一种良好的具有广阔应用前景的柴油含氧添加剂。向现有的柴油中添加  $\text{DMM}_x$  可以改善燃烧性能, 减少固体颗粒物排放, 从而可有效缓解雾霾, 改善空气质量。

#### 技术优势

$\text{DMM}_x$  主要以甲醇、甲缩醛与甲醛、三聚甲醛、多聚甲醛等缩合制备, 以二甲醚为原料直接氧化制取  $\text{DMM}_x$  鲜有报道。该路线具有流程短、投资省、 $\text{CO}_2$  排放低的特点, 是一条绿色、环保、高效的  $\text{DMM}_x$  合成路线。目前该技术水平在国内外处于领先地位。

#### 技术前景

二甲醚选择氧化制取聚甲氧基二甲醚具有流程短、投资省、 $\text{CO}_2$  排放低的特点, 是一条非常有竞争力的煤基清洁燃料添加剂的合成路线, 对于发展新型低  $\text{CO}_2$  排放的煤化工产业具有重大的社会效益。该反应路径具有明显的创新性和探索性。

#### 合作方式

合作开发

## 实验室研发

### 甲醇氧化制甲醛技术

#### 技术背景

甲醛除可直接用作消毒、杀菌、防腐剂外，还是一种基本化工原料。铁钼法甲醛工艺具有反应温度低、催化剂活性好、寿命长、甲醇单耗低、适合大规模生产的特点。但铁钼法甲醛工艺存在催化剂依赖进口的问题。开发具有我国自主知识产权的铁钼催化剂，对实现催化剂的国产化替代具有重要意义。

#### 技术优势

国内在此方面研究均处于实验室小试水平。本技术工艺及催化剂具有自主知识产权，目前，已完成催化剂公斤级放大，放大制备催化剂成功应用于 5ml 固定床反应器，并完成 4000 小时稳定性运转，各项指标稳定，甲醇转化率均保持在 97% 以上，同时甲醛收率不低于 92%；发明的绝热床反应器有望替代现有的列管式反应器，降低反应器成本、减少操作费用。

#### 合作方式

合作开发



三叶草形

圆柱形

蝶形

催化剂成品



催化剂成型

## 实验室研发

### 低碳醇耦合制备高碳醇技术

#### 技术背景

高碳醇又称高级脂肪醇主要用来制备各种酯类产品、聚合物增塑剂、洗涤剂、合成润滑油、分散剂等。我国洗涤剂、化妆品、增塑剂、表面活性剂、合成润滑油以及各种添加剂需求巨大。本技术使用低碳醇（甲醇、乙醇、丙醇等）作为原料醇，通过 Guerbet 反应将其转化为高附加值的高级醇。

#### 技术优势

本技术克服传统方法投资大，开发时间长，短期难形成生产规模及依赖石油路线等问题，以低碳醇为原料，在常压下，一步法制备高碳醇，可以有效降低成本、简化工艺，具有经济优势。以丙醇原料为例，丙醇转化率 40%，己醇选择性 60-75 wt.%，壬醇选择性 15-23 wt.%。

已完成实验室规模的低碳醇耦合制备高级醇工艺验证，各项性能指标已达到国内同类技术水平前列。

#### 技术前景

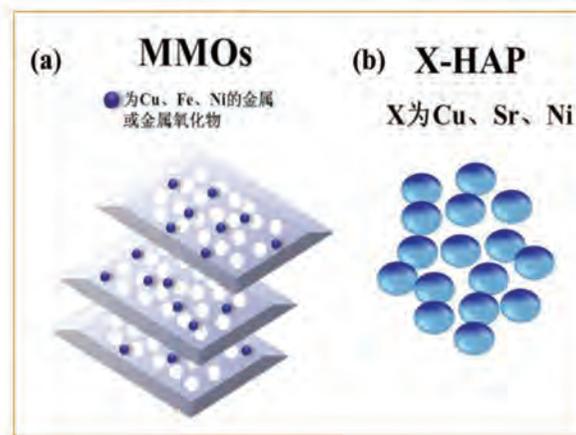
本技术经济性好，拓展了高级醇生产的非石油路线，具有广阔的市场前景和研究意义。

#### 合作方式

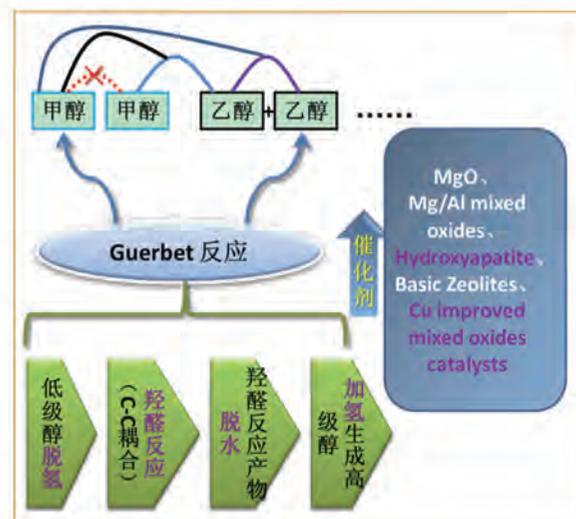
合作开发



低碳醇耦合制备高碳醇的固定床反应装置



低碳醇耦合制备高碳醇催化剂示意图



醇类 Guerbet 反应缩合制备高碳醇示意图

## 实验室研发

### 甲醇一步法选择氧化合成甲缩醛技术

#### 技术背景

甲缩醛 (DMM) 做为新型环保溶剂和低污染化学品, 广泛应用于化妆品, 制药, 汽车等领域, 此外甲缩醛具有较高的氧含量和十六烷值, 可作为柴油添加剂和柴油改性剂, 其廉价的规模化生产对于解决我国柴油的短缺和品质的提高会产生积极的影响。

#### 技术优势

本技术突破传统的甲醇-甲醛缩合工艺, 开发以廉价煤基甲醇为原料一步直接氧化合成甲缩醛的新型固定床工艺路线, 采用环境友好的 V/Ti 基催化剂, 氧气做为氧化剂直接将甲醇高选择性转化为甲缩醛, 对我国甲醇下游化学品产业链技术的拓展和柴油品质的提升具有重要的经济意义。催化剂性能优异, 甲醇单程转化率  $\geq 50\%$ , DMM 选择性  $\geq 99\%$ , 且催化剂性能可保持 1000h 以上。

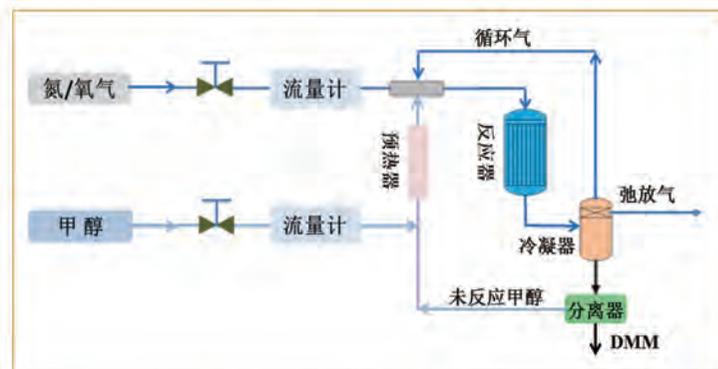
本技术已完成实验室规模的催化剂研制及其评价工艺, 形成涵盖催化剂制备及一步法工艺技术等方面的授权国家发明专利 2 项。

#### 技术前景

2015 年我国甲缩醛的市场需求量 70 万吨左右, 预计我国甲缩醛消费需求年增长率在 6% 左右。目前高纯度甲缩醛的市场销售价格 8000-9000 元/吨, 随着技术路线的创新和生产偿还成本的下降, 其市场容量将急剧扩大, 甲醇氧化一步合成甲缩醛技术将会以廉价的生产成本和环保优势迅速得到应用推广。

#### 合作方式

合作开发



甲醇选择氧化合成甲缩醛工艺流程



甲醇选择氧化合成甲缩醛实验室装置

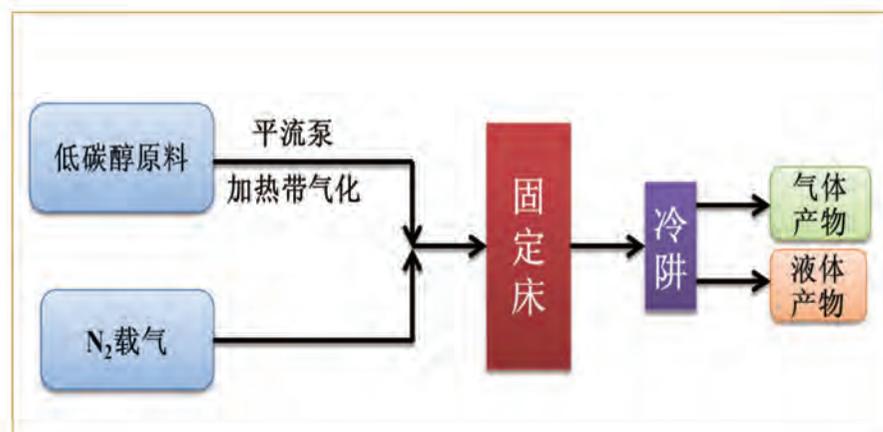


实验室成型催化剂

实验室 DMM 产品

## 实验室研发

### 乙醇缩合制备 1,3- 丁二烯技术



乙醇缩合制备 1,3- 丁二烯的工艺流程图



乙醇法制备 1,3- 丁二烯的固定床反应装置

#### 技术背景

1,3- 丁二烯是石油化工领域的重要基本原料，可以用来合成橡胶、树脂以及其它有机化工产品。目前，随着国防军事、汽车等行业的发展，国内外市场对丁二烯的需求持续稳定增长。本技术在乙醇法基础上，进一步改进催化剂和活性添加剂，高效制备 1,3- 丁二烯。该技术降低反应温度，优化工艺，便于工业放大；对缓解石油资源不断消耗带来的压力具有重要意义。

#### 技术优势

本技术克服现有方法反应条件苛刻，催化剂成本高的不足，采用多元金属组分改性的介孔混合金属氧化物为催化剂，在常压下，提高了原料的转化率（乙醇：40~93%）以及目标产物选择性（1,3- 丁二烯：46~73%），有效降低乙醇法的反应能耗。

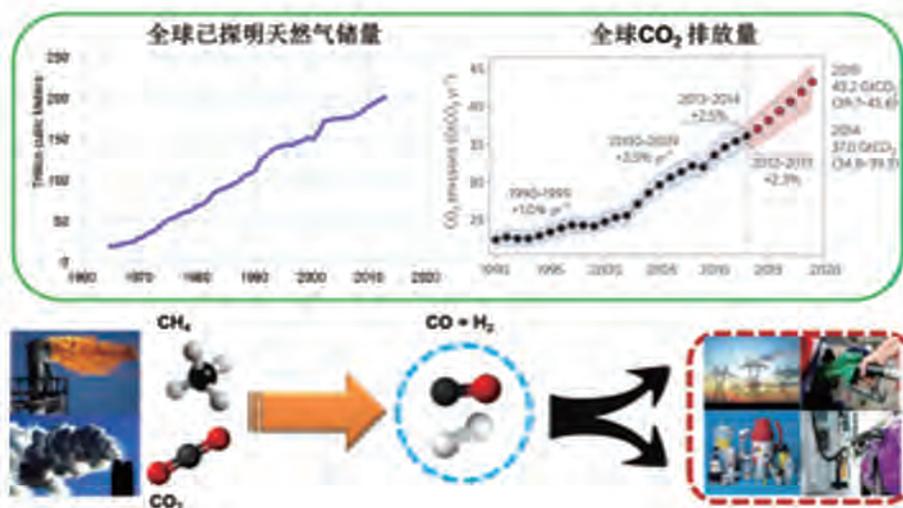
本技术已完成实验室规模工艺验证，各项性能指标已达到国内同类技术水平前列。

#### 合作方式

合作开发

## 实验室研发

## 甲烷二氧化碳部分氧化重整制合成气技术



## 技术背景

以甲烷为主要成分的煤层气开采难度大，我国每年有大量的煤层气作为矿井有害气体排入大气，既浪费资源又污染环境；随着现代煤化工的发展，大气中CO<sub>2</sub>含量越来越多，严重影响生态平衡。本技术把甲烷与CO<sub>2</sub>进行重整耦合制备合成气，可以将煤层气、瓦斯抽放气、焦炉煤气中的甲烷进行有效转化，提高资源的利用率，具有显著的经济效益，市场需求巨大。煤层气、焦炉气和CO<sub>2</sub>的利用可以降低温室气体的排放，是一项环境效益较好的项目。

## 技术优势

本项目所采用的煤层气与CO<sub>2</sub>重整耦合制合成气具有碳资源利用合理、能效高、投资节省等优点，特别适合气源比较分散、甲烷浓度变化较大的煤层气、瓦斯抽放气的转化利用。为储量丰富的煤层气和煤矿瓦斯抽放气的有效利用提供了一条切实可行的路线。与现行的天然气转化技术相比，具有较好的技术经济性，易于推广应用。

## 合作方式

合作开发

## 实验室研发

# 二氧化碳和硫化氢一步转化高选择性制取合成气技术

### 技术背景

随着工业发展，煤、石油、天然气等化石资源为现代工业和社会发展提供了廉价能源，但日益增长的二氧化碳排放已对人类和环境产生严重危害。此外，这类化石资源的加工利用过程会产生大量硫化氢（ $H_2S$ ）气体，而 $H_2S$ 是一种剧毒、恶臭并具有强腐蚀性的酸性气体，必须进行无害化处理。在工业生产中，上述两种气体也往往共存并腐蚀管线。

### 技术优势

本技术开辟了一条高选择性制备合成气以及转化利用 $CO_2$ 、 $H_2S$ 的新思路，采用等离子体与催化剂协同的方法实现了 $CO_2-H_2S$ 一步转化高选择性制合成气。在获得合成气的同时又可以实现对 $CO_2$ 、 $H_2S$ 两种酸性气体的无害化处理。本项技术在合成气的制备与 $CO_2$ 、 $H_2S$ 处理利用等方面有较强的前瞻创新性和广阔的市场应用前景。

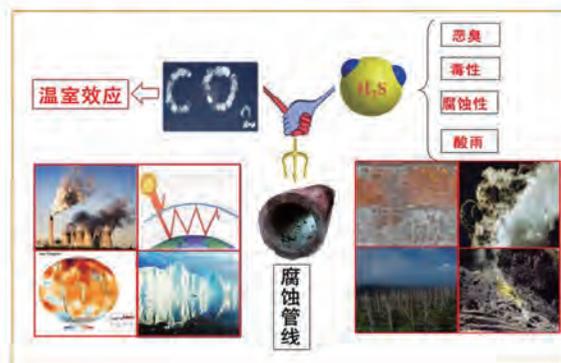
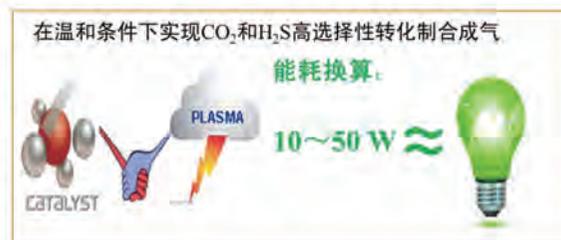
本技术针对工业应用中不同浓度的 $CO_2-H_2S$ 混合气，通过调变催化剂成分和等离子体放电条件成功实现了合成气的高选择性制备及氢碳比的指标调控。

本技术已完成新型低温环保工艺验证，现已申请发明专利2项，发表科技论文数篇。

### 合作方式

合作开发

CO <sub>2</sub> 浓度 (vol%)	H <sub>2</sub> S 浓度 (vol%)	输出功率 (W)	CO <sub>2</sub> 转化率 (%)	H <sub>2</sub> S 转化率 (%)	Selectivity(%)			
					H <sub>2</sub>	CO	other	H <sub>2</sub> /CO
85	15	9-62	16-44	89-100	12-25	53-82	5.5-10	0.2-0.5
70	30	10-75	15-47	97-100	25-41	50-72	1-6	0.4-0.8
55	45	7-64	7-38	45-100	50-70	25-52	0-5	1-3
44	56	8-55	13-43	62-92	60-74	19-43	0-6	1.4-4
30	70	4-57	12-31	43-70	77-80	17-25	0-5	3-4.5
15	85	6-45	9-30	36-68	87-92	7-10	0-4	9-13



## 实验室研发

# 高性能质子交换膜

### 技术背景

真正影响未来能源大格局的是储能技术，储能技术很可能就是下一个能源革命里面最重要的突破方向。储能电池、氢气将成为电能存储的理想载体。质子交换膜 (Proton Exchange Membrane, PEM) 是燃料电池、电解水制氢、全钒液流电池储能的核心部件，对器件性能起着关键作用。它不仅具有阻隔作用，还具有传导质子的作用。然而，当前商业化的全氟磺酸膜（如杜邦 Nafion）由于其燃料透过率高、无法高温使用等缺点，限制了其在工业实际中的应用。

### 技术优势

采用原位交联技术，增加薄膜致密度，降低钒离子及氢燃料渗透系数；引入离子对概念，提高质子交换膜使用温度；采用现有工艺路线，简化设备投资，降低成本。

### 市场背景

国际权威咨询机构麦肯锡将储能技术定位为影响未来世界发展的 12 项颠覆性技术之一，2025 年储能技术对全球经济价值贡献将超过 1 万亿美元。根据《中国制造 2025》对燃料电池汽车产业发展的规划，2020 年生产 1000 辆燃料电池汽车并示范运行。2025 年的目标是实现加氢站等配套基础设施的完善，有专家预计，到 2030 年国内燃料电池和氢能的大规模推广应用，届时氢燃料电池的年销量规模可达百万以上，相关设备投资规模达到 500 亿元，质子交换膜占据燃料电池 10% 左右成本，市场规模将达到 50 亿。

### 合作方式

技术服务、合作开发、技术转让

### 原理



### 研究方案

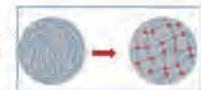
#### 1. 表面复合技术



#### 2. 共混技术



#### 3. 原位聚合技术



质子交换膜及 5KW 全钒液流电池电堆

## 实验室研发

### 聚酰亚胺中空纤维气体分离膜

#### 技术背景

膜分离技术是一种新型的气体分离技术，相比其他分离技术具有高效、节能、易于操作、维护方便、可靠性高、易于安装等优点，在氧气富集（ $O_2/N_2$ ）、 $CO_2$  脱除（ $CO_2/CH_4$ ）、氢气回收（ $H_2/CH_4$ 、 $H_2/N_2$ ）等领域已实现一定规模应用。然而，随着工业进步，膜材料及膜制备技术无法满足现代工业需求。因而，开发新型、高性能气体分离膜迫在眉睫。

#### 技术优势

采用含氟聚酰亚胺，气体渗透率更高；引入第三单体，在保持膜渗透通量的同时，提高膜渗透选择性。采用低温热交联技术，解决高压条件下因  $CO_2$  塑化膜材料而导致的性能下降关键科学问题，提高膜抗有机蒸汽腐蚀能力；中空纤维纺丝技术，填充密度更高、占地面积小、膜分离性能更为优异。

膜具有耐高压、抗  $CO_2$  塑化、高性能、长寿命等特点。

#### 市场前景

气体膜分离技术广泛应用于空气分离、 $H_2$  回收、天然气脱  $CO_2$  等领域。在环保和压力剧增的情况下，作为新型气体分离技术的气体膜分离技术面临着巨大的市场机遇。目前，国内气体分离膜应用市场规模合计约 10 亿 / 年，其中二氧化碳分离膜市场份额约 2 亿 / 年，但随着天然气广泛使用、沼气及富氧燃烧等技术的兴起，空气分离膜、脱  $CO_2$  分离膜的市场需求将急速提升。

#### 合作方式

技术许可、技术服务、合作开发、技术转让

