

# MCT超级悬浮床技术开发与工业实践

北京三聚环保新材料股份有限公司

北京华石联合能源科技发展有限公司

# 三聚环保概况

---

三聚环保是一家为能源清洁化及生产过程的环境友好提供产品、技术及服务的综合性能源服务公司。



海淀区属混合所有制企业，1997年诞生于中关村高新技术产业园



2010年4月在深圳证券交易所创业板上市，国家级高新技术企业



2015年获“十二五”石化行业最具创新力十佳企业称号



2016年获全国企业管理现代化创新优秀成果（国家级）一等奖

# 以技术创新、金融创新、模式创新引领快速发展



员工  
1500人

营业收入  
175亿元

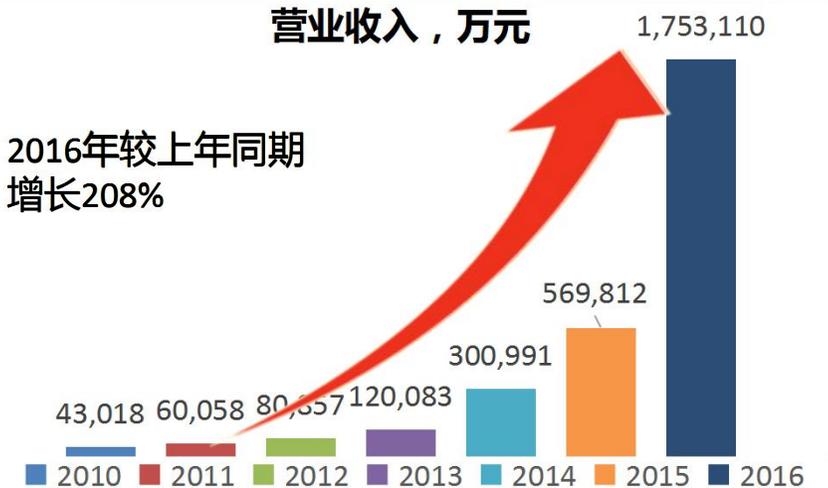
税后利润  
16亿元

总市值  
690亿

已成为市值最高的环保技术公司

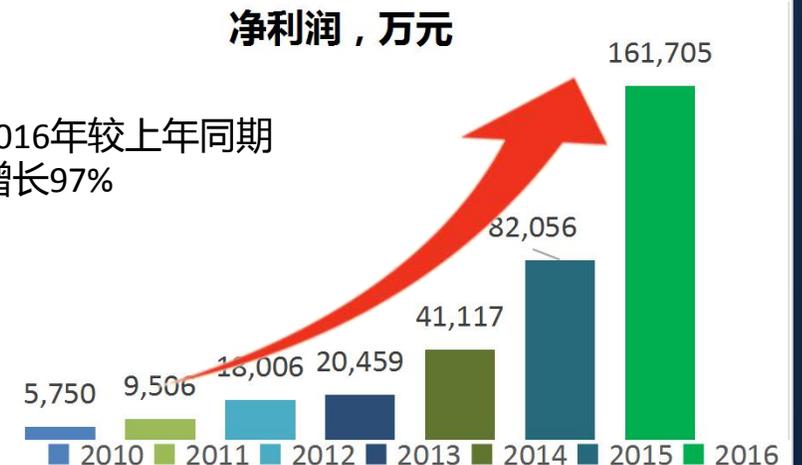
营业收入，万元

2016年较上年同期  
增长208%



净利润，万元

2016年较上年同期  
增长97%



# 三聚环保的未来定位



世界一流的服务于能源、石油化工、现代煤化工技术公司



世界领先的生物质利用和绿色能源与化学品技术公司

# MCT超级悬浮床技术开发与工业实践

一． MCT技术简介

二． 超级悬浮床技术的开发历程

三． 超级悬浮床技术的工业实践和成果

四． MCT的近期进展和未来发展

# 一、MCT技术简介

---

# MCT

Mixed Cracking Treatment

在悬浮床的反应条件下

全馏分高中低温煤焦油

重质劣质石油基渣油

煤及生物质



发生了：

高压临氢催化裂解

高压加氢裂化



以及：

脱硫、脱氮

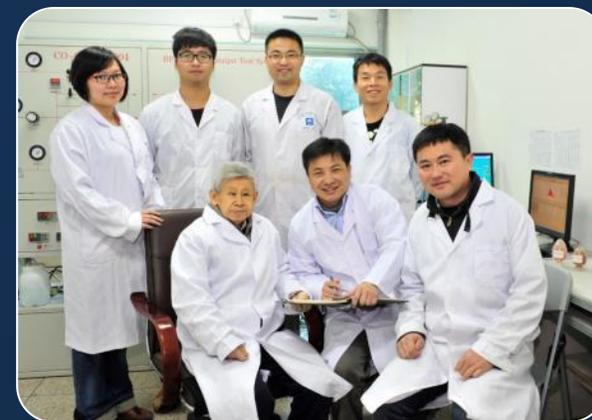
脱金属、脱残碳

## 二、MCT悬浮床技术的开发历程

---

# 研发新型悬浮床催化剂

- 2012年开展新型催化剂研发，并建立了基础研究、小试、中试、连续评价的研发体系；
- 2015年10月完成催化剂的工业放大及规模化工业生产。



# 强大的开发团队



化肥催化剂  
国家工程中心  
魏可镁院士



北京华石  
李林



三聚环保  
林科

联合研发

# 催化剂研发

## 建立适合悬浮床的催化剂体系

- 专用裂化催化剂
- 复合加氢催化剂
- 抗结焦辅助添加剂



# 催化剂研发

根据不同加工原料、不同反应条件和产品方案采用不同的催化剂配方。

根据悬浮床反应床层特性、悬浮床流态化形式研发不同的催化剂。



**小试：高中低温煤焦油、劣质原油、减渣、催化油浆、沥青**

**反应温度：440~470℃，反应压力：18~25MPa**



# 小试成果

---

- 1、探究了不同催化剂的催化性能，摸索出了加氢及裂化活性组元的关键性能，建立了一套微反应器的理论体系。
- 2、研究了悬浮床催化剂的吸附结焦的性能，通过改变催化剂的孔容、孔径等重要参数，开发了多种能有效避免胶质、沥青质等结焦前驱物缩合团聚的悬浮床催化剂。
- 3、通过分析不同条件下的产品收率数据，摸索出热裂化和催化加氢裂化的反应特征。

中试：高中低温煤焦油、劣质原油、减渣、催化油浆、沥青

反应温度：440~460℃，反应压力：20.5MPa

## 反应系统



浆态床反应器  
(32ml、1L)



固定床反应器  
(5ml、100ml、1L)

## 分离系统



蒸馏



过滤

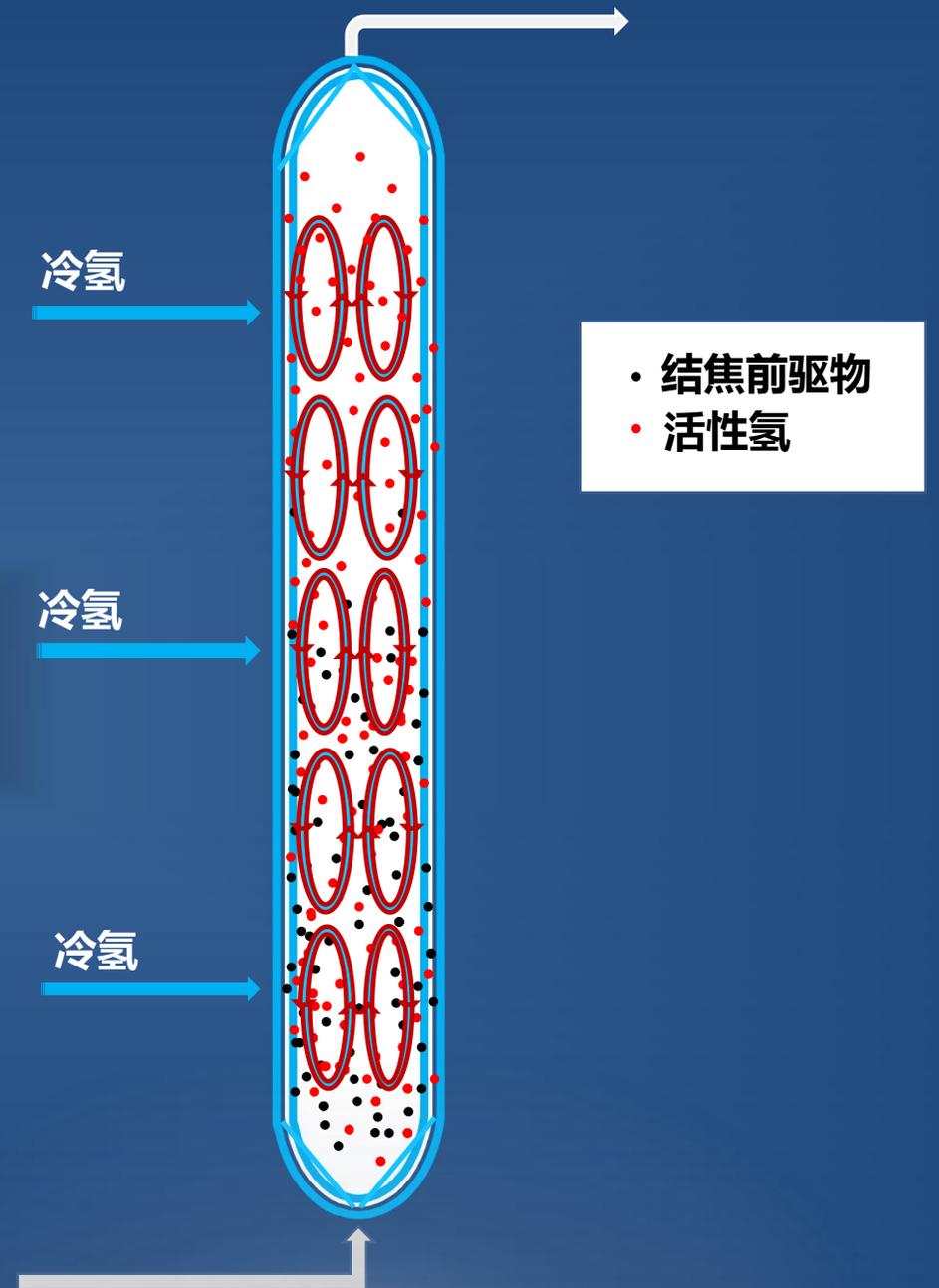
# 中试成果

---

- 1、反应器内气、液表观流速和固含率等参数对床层反应结果的影响规律，为反应器的尺寸和结构设计提供了重要依据。
- 2、开发出大比例自内循环的反应器（与反应器直径、结构紧密相关）。
- 3、测试“飞温”的演变过程，研究了悬浮床“飞温”的机理，开发了针对性的前馈控制方案，设计出了预防悬浮床“飞温”的措施。
- 4、通过中试得到了全流程的工艺操作参数和物性数据参数，为进一步的工艺包的开发、工艺流程的确定，提供了丰富的实验数据来源。

# 反应器的技术研发

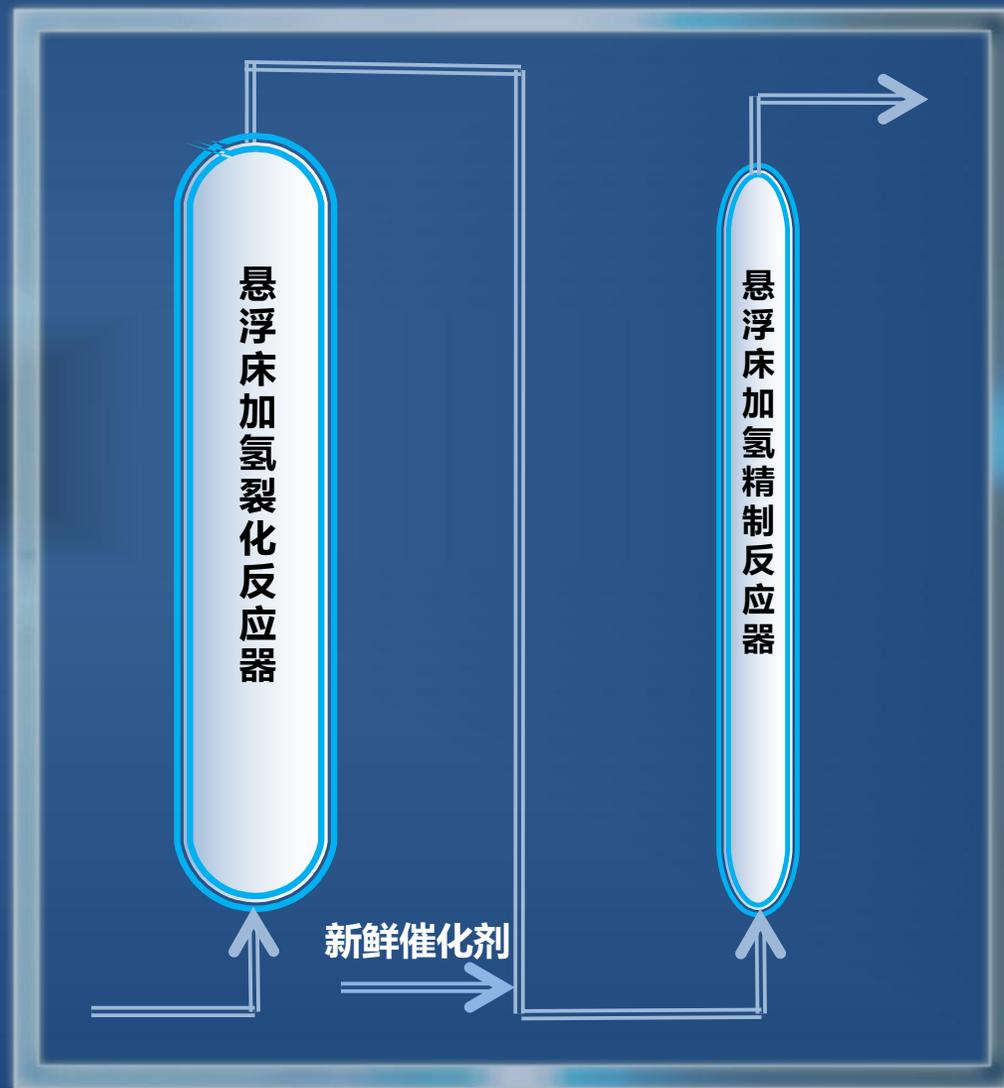
- ① 具有强大的三相流返混效果；
- ② 独特的自清洁功能；
- ③ 先进的控制系统，催化剂浓度在20~30%可灵活调整。
- ④ 开发了最大程度发挥催化剂特性的结构形式。



# 反应器的技术研发

研究开发了悬浮床加氢稳定反应器的理论和工艺。

在相对温和的条件下，对以热裂化为主的反应产物进行加氢饱和、加氢精制和加氢稳定的过程，可大幅降低悬浮床加氢工艺中硫、氮、氧和不饱和烃等杂质，以最小的代价提高油品的安定性，显著提升油品质量。



# 工艺包开发

从整个项目成功来讲，

工艺包设计开发是从实验室到工业应用实践的“**惊险一跳**”

## 必须做到

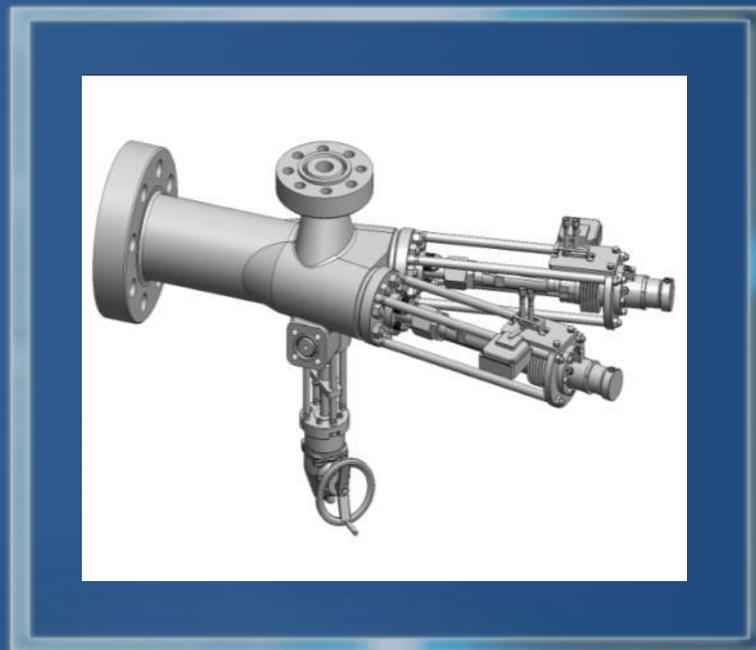
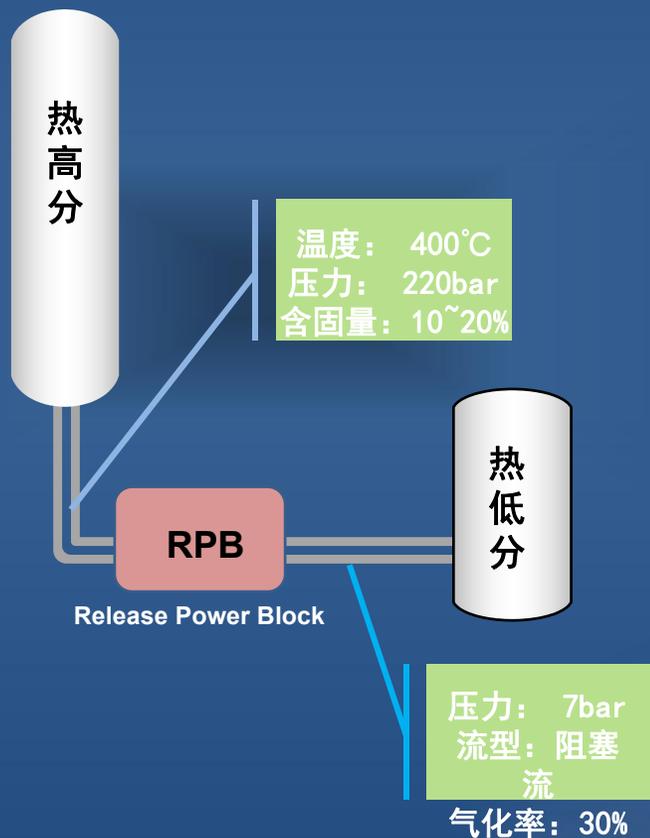
- 工程上可行
- 装备上可靠
- 运行上安全

对于悬浮床加氢系统，这个阶段的研究占了工业装置**80%**的权重，任何一个方面的不成熟都将导致整个工艺运营的失败。

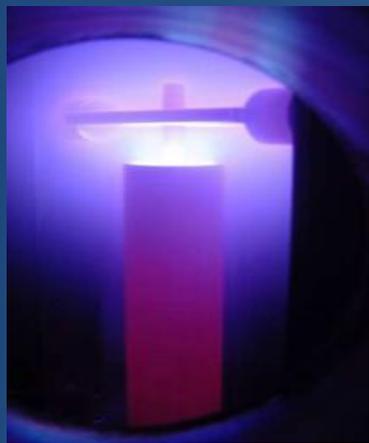
# 工艺包开发

除反应器这一最重要的开发之外，MCT工艺包开发还包括以下重要方面

高能含固液体大幅度  
降压防磨损工艺  
——RPB系统



# 优异的系统防磨损、防堵塞技术



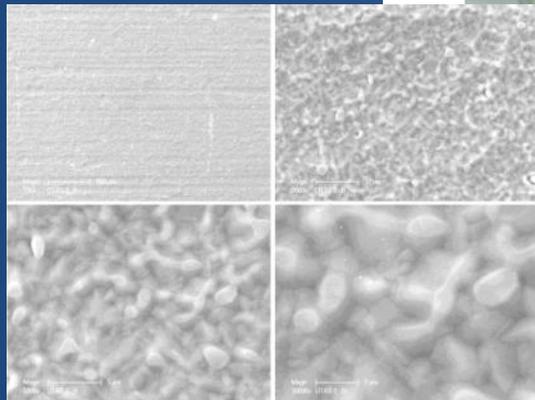
Valve stem (after coating)



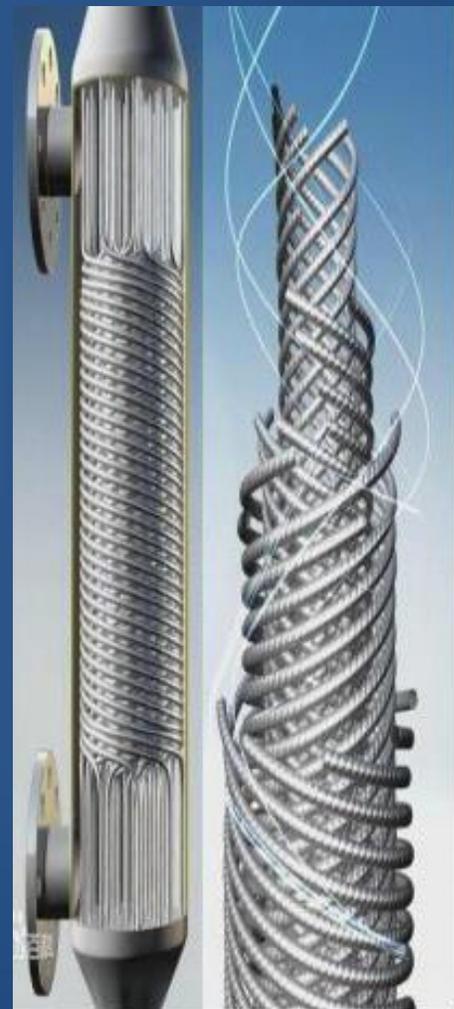
Tubes



Nozzles

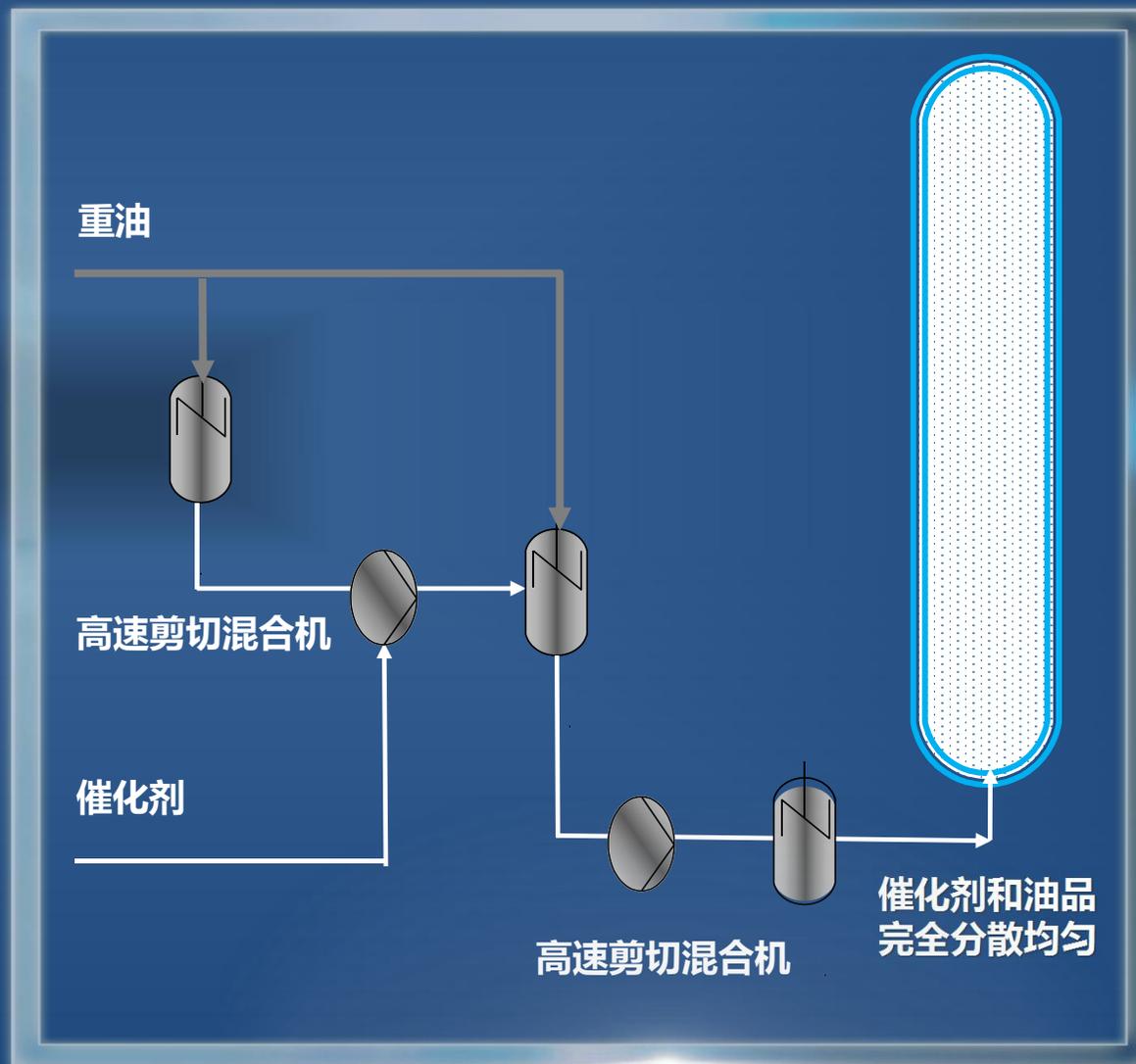


抗磨镀层电镜照片



# 工艺包开发

- 研发了催化剂与原料的高分散混合及加入系统，充分发挥催化剂的效能



# 工艺包开发

防磨损、  
防堵塞换热器

防磨损



防堵塞设备



# 工艺包开发

---

完成建立在反应工程基础上的全流程模拟。

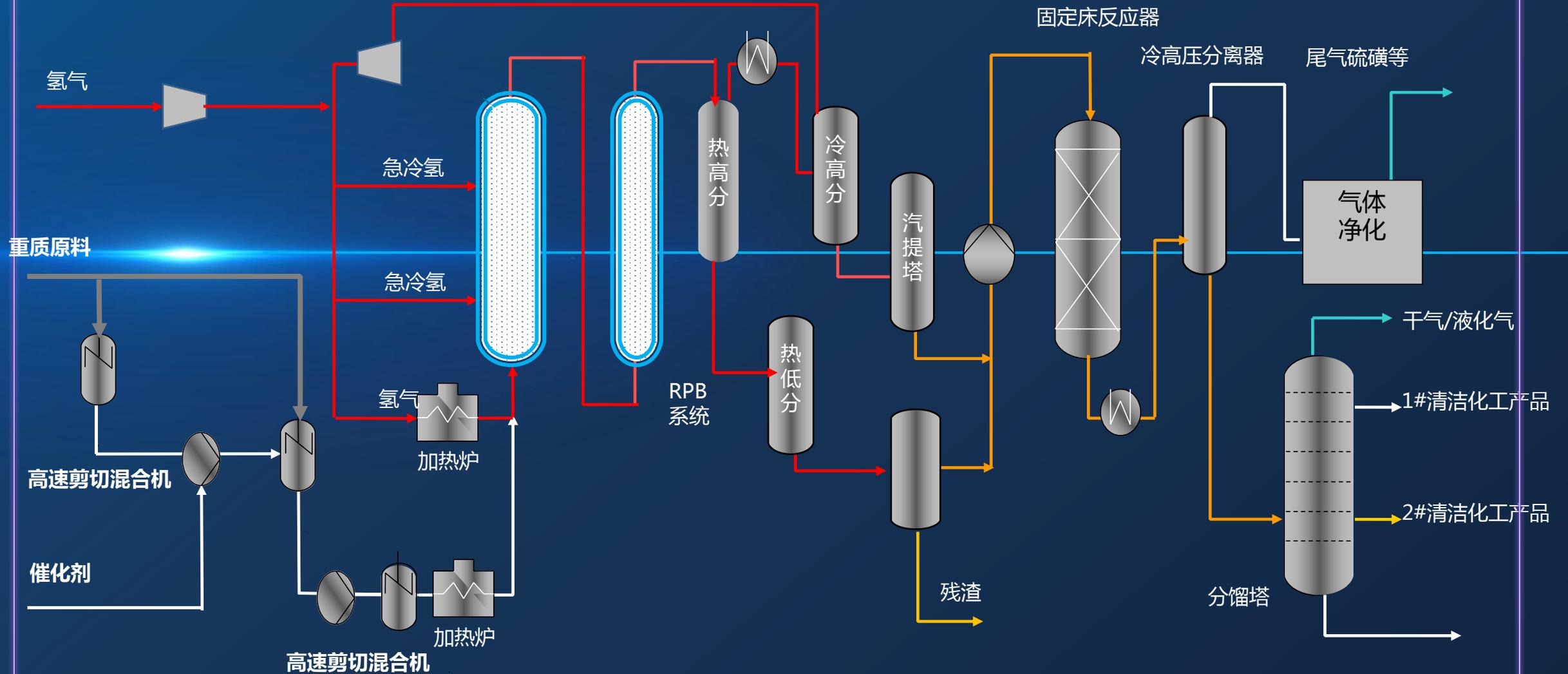
热高分的汽、液、固三相分离技术。

原料加热炉、减压加热炉炉管防结焦、防磨损技术。

高含固重油物系减压蒸馏分离技术。

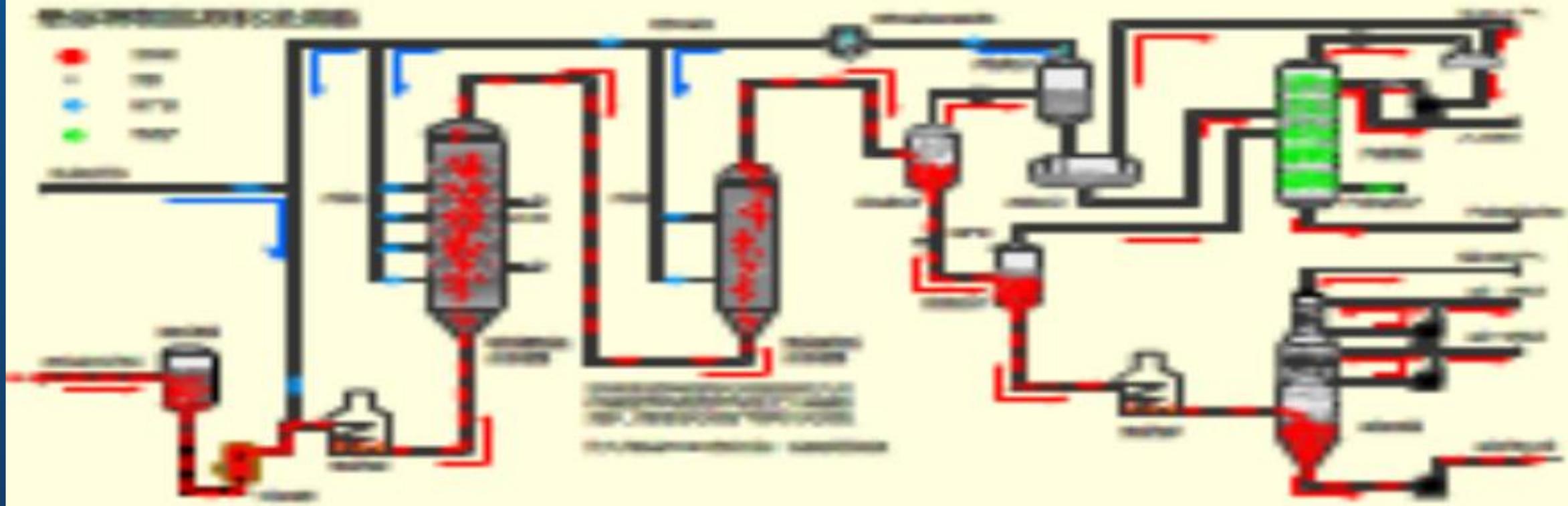
在紧急状态下反应系统安全联锁设置技术。

# MCT技术介绍



SCHEMATIC OF THE HYDROLYSIS SYSTEM

- Steam
- Cooling Water
- Feed Water



INDUSTRIAL HYDROLYSIS SYSTEM

# 开发了悬浮床脱硫新工艺

- ① 悬浮床工艺是一项平台技术，在鹤壁工厂实现移植创新应用；
- ② 含1万~10万ppmH<sub>2</sub>S的炼厂酸性气通过三聚的高效催化剂，利用悬浮床工艺，脱到小于10ppm，一步生产出固体硫磺。



# 三、MCT悬浮床技术的工业 实践和成果

---

# 1、15.8万吨工业装置建设

---

# 装置建设

2014年3月31日

• 15.8万吨项目在鹤壁奠基

2014年2月

• 武汉金中开展施工图设计

2014年10月

• 开始工程安装

2015年12月10日

• 中间交接

2015年10月2016年1月

• 装置吹扫、气密、轻油联运、催化剂硫化



2016年2月，中国首套自主研发的超级悬浮床工业装置全面建成



## 2、MCT一次性开车成功

2016年2月21日至2016年7月12日

# MCT工业装置运行情况

- 悬浮床第一周期生产主要加工全馏分高中低温煤焦油，并掺炼减压渣油及石油沥青等重质油品。固定床主要加工悬浮床生产的中间物料，产出国五柴油及石脑油产品。
- 第一周期安全平稳运行141天13小时。

运行温度430~460 °C

压力:20~21MPa

催化剂加入量: 0.2~1.5%

氢气消耗: 2~3% (MCT) +1.5~3% (固定床)

C1~C2气体收率: 1.8~2.5%

C3~C4液化气收率: 1.2~1.9%

石脑油收率: 20~30%

柴油收率: 60~70%

残渣: 2~3%

酸性气+生成水: 1.5~2.6%

转化率: 96~99wt%



煤焦油+沥青



MCT+固定床



石脑油

柴油

# 3、MCT首次计划停工检查

2016年7月12日至2016年12月1日

# 停车技术验证

- ① 悬浮床第一次按规程计划停车，验证停工技术；
- ② 系统性验证悬浮床高含固高压紧急排放系统的安全可靠性；
- ③ 检查反应器、高压分离器、减压系统、工艺管路等是否磨损、结焦及堵塞。

**装置关键设备：反应器、高分无结焦，无沉积**



# 装置关键设备-RPB阀门光亮如新



# 系统无磨损、无结焦、无堵塞



# 4、MCT首次加工高钙稠油

---

# 第一阶段：准备工作

1. 针对第一加工周期中轻油收率过高的特点，热低分后增加了轻油初拔系统；
2. 优化了反应后高钙残渣的分离系统。
3. 开展了高钙稠油催化剂调配研究及小试、中试评价。



# 克拉玛依高钙稠油原料性质

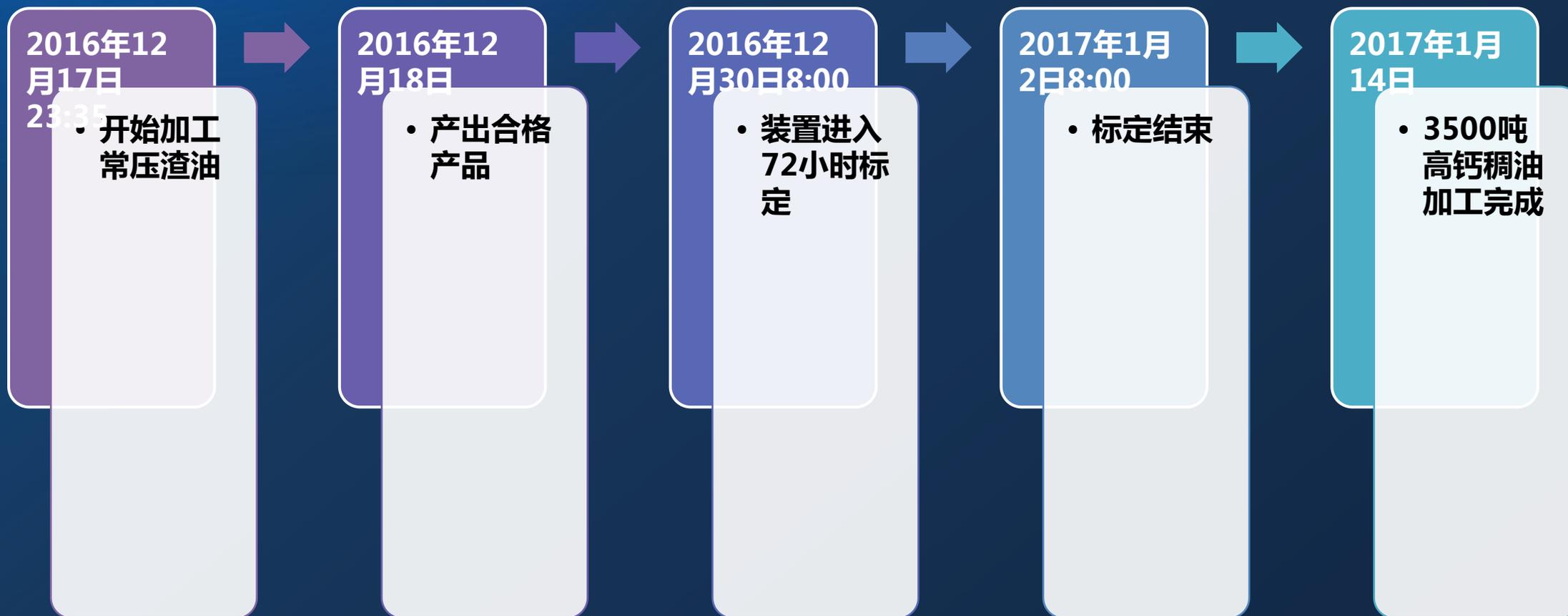
| 项目    | 单位    | 实测值    |
|-------|-------|--------|
| 密度20℃ | g/ml  | 0.9645 |
| 馏程    |       |        |
| 初馏点   | ℃     | 285    |
| 10%   | ℃     | 400    |
| 50%   | ℃     | 470    |
| 67%   | ℃     | 485    |
| 终馏点   | ℃     |        |
| 全馏量   | v/v   |        |
| 硫含量   | mg/kg | 1768   |
| 氮含量   | mg/kg | 2346   |

| 项目        | 单位           | 实测值        |
|-----------|--------------|------------|
| 黏度(80℃)   | %            | 5016 mPa.s |
| 残炭        | %            | 10.1       |
| 饱和烃       | %            | 64.68      |
| 芳香烃       | %            | 21.36      |
| 胶质        | %            | 12.55      |
| 沥青质       | %            | 1.41       |
| Fe        | mg/kg        | 14.7       |
| Ni        | mg/kg        | 12.4       |
| <b>Ca</b> | <b>mg/kg</b> | <b>516</b> |
| V         | mg/kg        | 0.2        |

# 第二阶段：成功加工高钙稠油

2016年12月17日——2017年1月14日

# 加工高钙稠油的生产运行情况



# 加工高钙稠油的生产运行情况

装置负荷6~8吨/小时，反应温度460℃，反应压力20MPa；

未出现结焦、磨损、堵塞等现象，各主要单元控制稳定；

金属钙脱除率大于99%，残渣中钙含量达12295PPm；

悬浮床单元装置转化率95%以上，轻油收率90%以上，远超传统焦化工艺路线。

# 72小时标定克拉玛依渣油物料平衡

## 悬浮床+固定床总物料平衡

| 项目   | 物料名称 | 加工量, 吨 | 占比, %   | 备注      |
|------|------|--------|---------|---------|
| 入方物料 | 常压渣油 | 455.84 | 90.59%  |         |
|      | 蜡油   | 27.33  | 5.43%   | (固定床补硫) |
|      | 催化剂  | 5.55   | 1.10%   |         |
|      | 氢气   | 14.47  | 2.88%   |         |
|      | 累计   | 503.19 | 100.00% |         |
| 出方物料 | 干气   | 25.29  | 5.03%   | (含酸性气体) |
|      | 液化气  | 21.43  | 4.26%   |         |
|      | 石脑油  | 96.37  | 19.15%  |         |
|      | 柴油   | 316.38 | 62.87%  |         |
|      | 外甩蜡油 | 17.35  | 3.45%   |         |
|      | 残渣   | 26.37  | 5.24%   |         |
|      | 累计   | 503.19 | 100.00% |         |
|      | 轻油收率 |        | 85.47%  |         |

## 悬浮床物料平衡

| 项目   | 物料名称   | 加工量, 吨 | 占比, %   | 备注        |
|------|--------|--------|---------|-----------|
| 入方物料 | 常压渣油   | 455.84 | 84.40%  |           |
|      | 配剂及冲洗油 | 71.27  | 13.20%  |           |
|      | 催化剂    | 5.55   | 1.00%   |           |
|      | 氢气     | 7.48   | 1.40%   |           |
|      | 累计     | 540.14 | 100.00% |           |
| 出方物料 | 干气     | 15.29  | 2.80%   | (含酸性气体)   |
|      | 液化气    | 7.29   | 1.35%   |           |
|      | 石脑油    | 55.06  | 10.15%  |           |
|      | 柴油     | 153.64 | 28.40%  |           |
|      | 蜡油     | 282.49 | 52.30%  |           |
|      | 残渣     | 26.37  | 4.90%   | 钙12295PPm |
|      | 累计     | 540.14 | 100.00% |           |
|      | 油收率    |        | 90.85%  |           |

# 悬浮床装置实现连续平稳运行

1. 目前MCT装置停工改造，准备加工生物质油；
2. 未来，将根据市场需要开展多种石油组分渣油的工业试验，为建设大规模工业装置提供工业数据。

# 建立了完整的知识产权体系

获授权专利23项

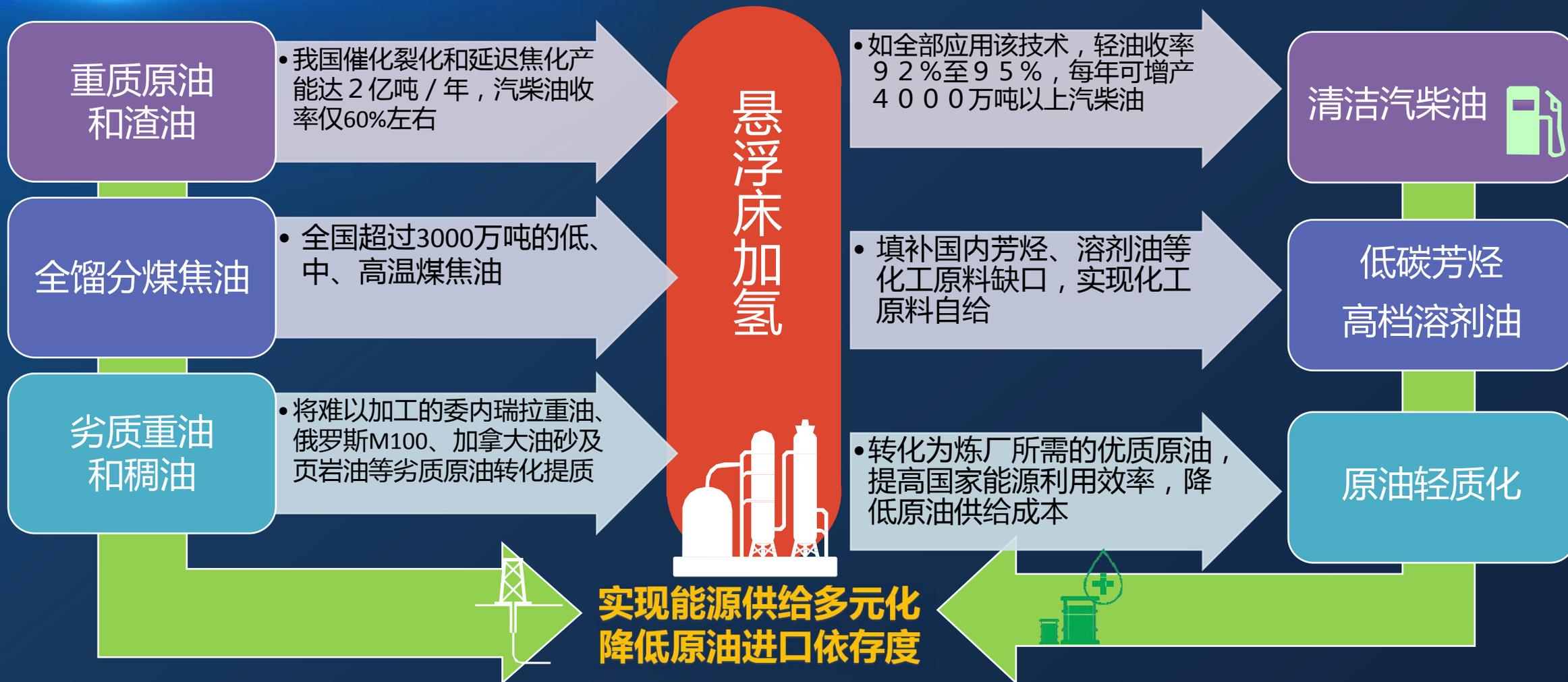
已申请或受理52项

创新成果  
知识产权

随着百万吨级悬浮床加氢项目的建设，将申请100多项专利

建立完整的知识产权体系和技术应用体系

# 超级悬浮床MCT技术的重大意义

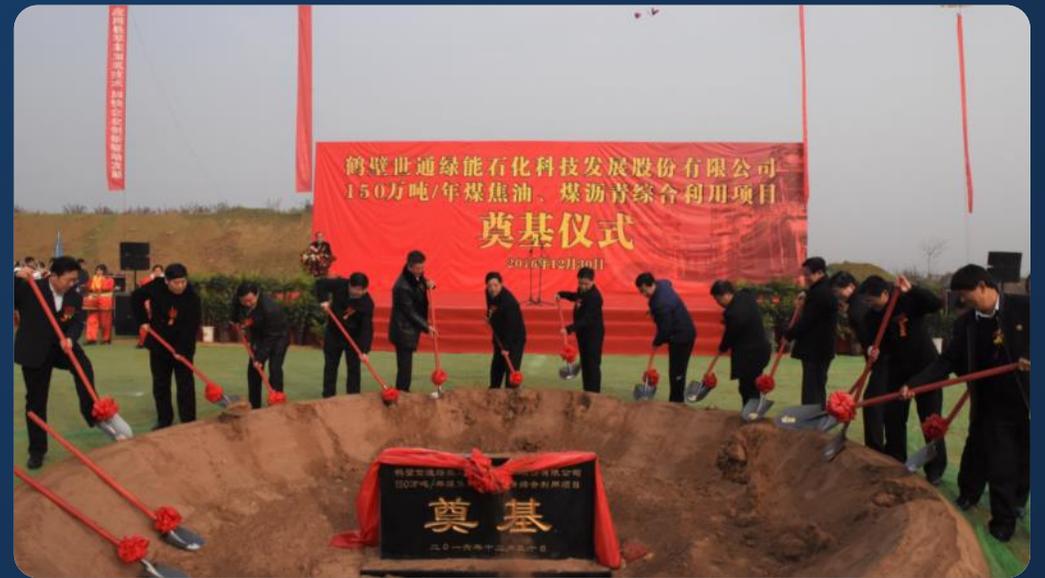


# 四、MCT悬浮床技术近期进展 和未来发展

---

# 与国内外开展广泛合作

- 与国内石油化工企业及俄罗斯、拉脱维亚、美国、印度等国开展广泛的商务合作交流，2017年将开工建设多套百万吨级MCT悬浮床装置。
- 对不同用户的特种原料进行工业运行测试，为大型工业装置建设提供可靠的工业化技术基础数据。



2016年12月30日，年加工150万吨煤焦油/沥青综合利用项目在河南省鹤壁市宝山工业园区开工奠基，这是目前世界上最大的单系列煤焦油/沥青悬浮床加氢项目。

# 未来发展目标

利用MCT先进平台技术，实现煤、石油、生物质共转化，发展绿色化学品、绿色清洁能源产品。

开发生物质能替代煤、石油等化石资源，提供世界上最环保产品的技术。



THANK YOU !

