

国联期货研究所

研究所

交易咨询业务资格编号
证监许可[2011]1773号

分析师：

林菁

从业资格证号：F03109650
投资咨询号：Z0018461

联系人：丁家吉

从业资格证号：F03117223

相关研究报告：

《纯苯上市系列专题
(二) 纯苯的上、下游产
业链综述》

《纯苯上市系列专题
(三) 纯苯的供需平衡、
贸易流与成本估值》

《纯苯上市系列专题
(四) 纯苯的现货贸易模
式及期货期权合约介绍》

芳烃与纯苯的基础知识概述

➤ 芳烃的理化知识

苯环具有亲电取代的特性，亲电取代即指苯环上的氢原子被亲电试剂取代，常见的取代有硝化、卤化、磺化、烷基化和酰基化反应等。

单取代反应的衍生物主要有甲苯、硝基苯、异丙苯、氯苯、烷基苯和苯磺酸等，其中重要的工业原料甲苯由纯苯和一氯甲烷进行烷基化反应后生成，在实际生产中既可以用于调和汽油，又可用于化工生产，利用率较高。苯乙烯的原料乙苯，是通过纯苯和乙烯进行烷基化反应后生成。

二取代的衍生物主要有对二甲苯、邻二甲苯和间二甲苯等。对二甲苯是用于生产PTA的主要原料，同时二甲苯也是调油“工具”。

➤ 纯苯的生产工艺

纯苯的制取，按原料源可分为油制石油苯和煤制加氢苯。石油苯生产发生在炼厂的不同工序，工艺主要包括催化重整（37.02%）、乙烯裂解（20.07%）、甲苯歧化（23.99%）及多工艺路线（18.93%）。

其中，催化重整偏向于炼厂的前道工序，与汽油生产紧密相连。乙烯裂解与甲苯歧化属于后道工序，乙烯裂解工艺中纯苯属于副产品的地位，主产品为乙烯。因无法明析何种工艺来源，而归类为“多工艺路线”的产能，多为大炼化的芳烃联合装置，包括重整、裂解、混芳抽提、甲苯歧化、甲苯加氢脱甲基等。

“焦化苯”是炼煤焦化的副产物，根据卓创数据，通常1.33吨焦煤在炼焦过程中生成1吨焦炭及0.01吨粗苯，粗苯再通过加氢工序加入从焦炉煤气提取的高纯氢气，加压催化后产生高纯度纯苯（又称加氢苯）。

目录

一、芳烃理化知识概述：	- 4 -
1.1 芳烃的理化性质	- 4 -
1.2 按取代反应、不同催化方式对芳烃分类	- 5 -
1.3 傅-克烷基化反应&甲苯歧化反应	- 7 -
二、纯苯基础知识介绍：	- 7 -
2.1 定义	- 7 -
2.2 运输与贮运方式	- 8 -
2.3 纯苯的生产工艺	- 9 -

图表目录

图 1: 凯库勒式 (左)、鲍林式 (右)	- 5 -
图 2: 苯环的低共轭能实验	- 5 -
图 3: 单取代反应产物	- 6 -
图 4: 二取代反应产物	- 6 -
图 5: 三取代反应产物	- 6 -
图 6: 二联苯	- 6 -
图 7: 芳烃稠环	- 6 -
图 8: 苯与溴乙烷生成乙苯和溴化氢的方程式	- 7 -
图 9: 甲苯歧化反应方程式	- 7 -
图 10: 纯苯产品图示	- 8 -
图 11: 国内纯苯生产工艺示意图	- 9 -
图 12: 石脑油催化重整制取芳烃工艺流程图	- 10 -
图 13: 乙烯裂解工艺流程图	- 11 -
图 14: 甲苯歧化工艺流程图	- 12 -
图 15: 加氢苯生产工艺流程图	- 12 -
表 1: 芳烃系的物理属性表	- 5 -

一、芳烃理化知识概述：

1.1 芳烃的理化性质

芳烃一般指带有苯环结构的化合物，具有芳香性，芳烃系化合物又称“芳香族”。

苯环的结构表达式最早是由凯库勒在 1865 年提出的“凯库勒式”—— C_6H_6 ，由六个碳分子连接六个氢分子组成平面六边形结构。凯库勒认为苯环中存在三个双键交替排列，它们来回不停地移动，该观点无法证明苯分子的稳定性。凯库勒式也无法解释“苯环既然有双键，为什么无法发生加成反应？”的问题。

苯环另一种学术界常用的结构表达式是鲍林式。鲍林式由罗宾逊爵士提出，用内部带有一个圆圈的正六边形来表示苯，圆圈强调了 6 个 π 电子的离域作用和电子云的均匀分布，说明了碳碳双键键长的均等性和苯环的完全对称性。苯环的离域大 π 键（碳碳双键）键长约 0.139nm，长度处于单键和双键之间，说明苯环较为稳定。

此外，学术界通过共振论和分子轨道理论解释了苯环稳定的结构使其能量较低，难于氧化和加成，且易于发生亲电取代反应。苯环的碳碳双键是不饱和键，在六个碳氢分子上利于产生空位，方便取代基通过电子引力连接苯环。该特性使得苯化合物在原油炼化工程中能够通过取代基定位，生成甲苯、苯磺酸、硝基苯、氯苯等中间产品。

关于苯环的芳香性——原本芳香性是指苯类化合物具有一股香精的气味，这是由于早期芳烃的提取源自于天然香树脂和香精油。后来在共振论的出现后，苯环的芳香性有了新的定义，通俗地说——苯环具有稳定性，且无法发生亲电加成反应，只能发生亲电取代反应。

芳香性的科学定义须符合以下三个特点，电子应可以在整个环状体系中离域，并使体系的电子能大幅度降低，化合物明显变得比其它非环系、开链的共轭烯烃更加稳定。

(1) 含有共轭双键的环系结构。

(2) 在环上的每一个原子均有未杂化的 p 轨道。

(3) 这些未杂化的 p 轨道必须形成一个连续的、重叠的、平行轨道的环系。在多数情况下，其结构应该为平面的。

图 1：凯库勒式（左）、鲍林式（右）

图 2：苯环的低共轭能实验


来源：国联期货研究所，《基础有机化学》第四版

苯环芳烃的物理性质有：非极性、不溶于水，但溶于有机溶剂，如乙醚、四氯化碳、石油醚等非极性溶剂。一般芳烃均比水轻，沸点随相对分子质量升高而升高。熔点除与相对分子质量有关外，还与其结构有关，通常对位异构体由于分子对称，熔点较高。

表 1：芳烃系的物理属性表

化合物	熔点 (°C)	沸点 (°C)	相对密度 (g/cm ³)
苯	5.5	80	0.879
甲苯	-95	111	0.866
邻二甲苯	-25	144	0.881
间二甲苯	-48	139	0.864
对二甲苯	13	138	0.861
乙苯	-95	136	0.866
联苯	70	255	1.041
二苯甲烷	26	263	1.3421(d10)
三苯甲烷	93	360	1.014(d90)
苯乙烯	-31	145	0.9074
萘	80.2	218	0.9625(100°C)
蒽	218	342	1.283(25°C)

来源：国联期货研究所，《基础有机化学》第四版

1.2 按取代反应、不同催化方式对芳烃分类

苯环具有亲电取代的特性，亲电取代即指苯环上的氢原子被亲电试剂取代，常见的取代有硝化、卤化、磺化、烷基化和酰基化反应等。

利用苯环上的取代反应可以制备品种繁多的芳香衍生物，从我们日常使用的药物到各类日常生活用品，如阿司匹林、苯乙烯、环己酮、TDI、PTA 等化合物，其结构均含有单取代、双取代或多取代的苯环。

单取代反应的衍生物主要有甲苯、硝基苯、异丙苯、氯苯、烷基苯和苯磺酸等，其中重要的工业原料甲苯由纯苯和一氯甲烷进行烷基化反应后生成，在实际生产中既可用于调和汽油，又可用于化工生产，利用率较高。苯乙烯的原料乙苯，是通过纯苯和乙

烯进行烷基化反应后生成。

二取代的衍生物主要有对二甲苯、邻二甲苯和间二甲苯等。对二甲苯是用于生产 PTA 的主要原料，同时二甲苯也是调油“工具”。

三取代的衍生物主要有连三甲苯、均三甲苯和偏三甲苯等。一般三甲苯用作化学试剂、稳定剂等较多。

图 3：单取代反应产物

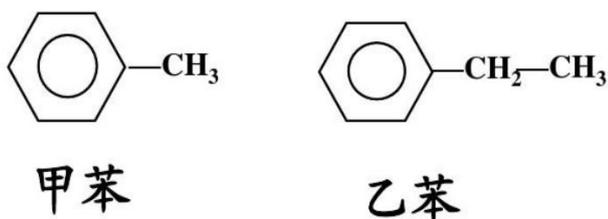
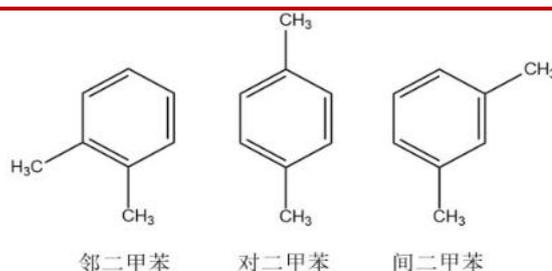
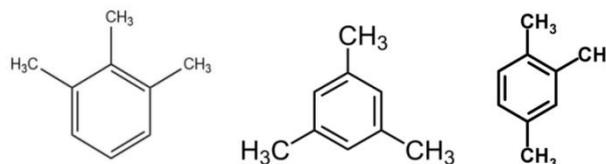


图 4：二取代反应产物



来源：国联期货研究所

图 5：三取代反应产物



来源：国联期货研究所

多环苯基化合物可以分为多苯代烷烃和联苯两类。联苯最简单的结构是二联苯，每个苯环都保持了苯的结构特性，邻位两个氢原子的相互作用，两个苯环不出现在同一平面上。

稠环芳烃是指由两个或多个苯环并接在一起的芳香化合物。在稠环芳烃结构中，多个苯环共享了两个或多个碳原子。这些化合物大多仍具有芳香性。多环芳烃中联苯用作化工过程的热载体。稠环芳烃中萘是制造染料和增塑剂的重要原料，其他稠环在工业上无生产和使用价值，一般是生产过程中形成的副产物随废气排放。21 世纪以来，有多达 16 种多环芳烃因其致癌性，被欧美禁止使用。

图 6：二联苯

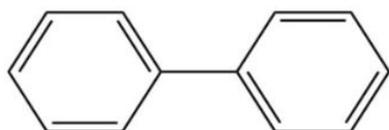
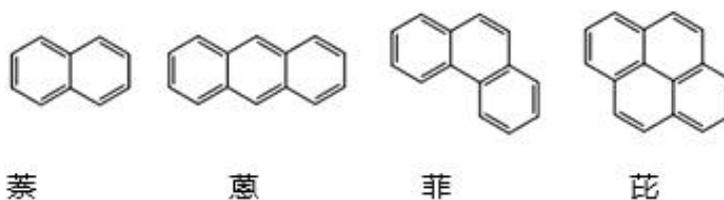


图 7：芳烃稠环



来源：国联期货研究所

1.3 傅-克烷基化反应&甲苯歧化反应

傅-克烷基化反应的机理是，在催化剂（常用 Lewis 酸）的作用下产生的烷基碳正离子作为亲电试剂被苯环进攻，形成新的碳正离子，然后失去一个质子生成烷基苯。以苯的乙基化为例，除乙苯外，还生成二乙苯和三乙苯等。因为傅-克烷基化反应是可逆反应，如果加入过量的苯，则可以提高乙苯的产率，抑制多乙苯的生成。

乙苯、异丙苯等重要工业中间体主要通过傅-克烷基化反应来制备。乙苯又是生产苯乙烯的核心原材料，异丙苯又是生产聚碳酸酯（PC 塑料）的核心原材料。

甲苯在催化剂（一般采用硅铝催化剂）作用下，使一个甲苯分子中的甲基转移到另一个甲苯分子上而生成一个苯分子和一个二甲苯分子，这种反应称作甲苯歧化反应（TDP）。

一般应用在化工企业重整石脑油后得到的甲苯进一步歧化反应制混合二甲苯和纯苯（副产品），传统 TDP 工艺生成的混合二甲苯中，对二甲苯（PX）占比约 25%。

图 8：苯与溴乙烷生成乙苯和溴化氢的方程式

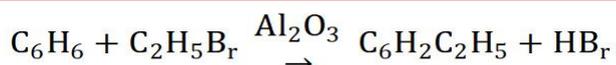
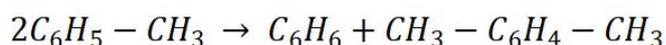


图 9：甲苯歧化反应方程式



来源：国联期货研究所

二、纯苯基础知识介绍：

2.1 定义

纯苯在常温下是一种无色、有甜味、有毒的透明液体，具有强烈的芳香气味。沸点为 80.1 °C，液体密度 (20 °C) 为 879.4 kg/m³，气体密度为 2.770 kg/m³，燃点为 562.2 °C，最大爆炸压力为 9 kg/cm²，最大爆炸压力的浓度为 3.9%，最易引燃浓度为 5%。纯苯不溶于水，溶于乙醇、乙醚等许多有机溶剂，水溶性约 0.18 g/100ml。

纯苯是染料、塑料、合成橡胶、合成树脂、合成纤维、合成药物和农药等的重要原料，也是涂料、橡胶、胶水等的溶剂，在炼油工业中用作提高汽油辛烷值的掺合剂，也可以作为燃料。纯苯的直接下游是苯乙烯、环己酮、己内酰胺、己二酸、苯酚、苯胺等化工原料。

图 10：纯苯产品图示



来源：国联期货研究所

2.2 运输与贮运方式

纯苯采用铁桶或者槽车运输，苯是一种易挥发、易燃、有毒的物质，在装运时要注意防护，储存环境应是阴凉、通风之处，要远离火种、热源，避免阳光直晒。包装、标识、运输、储存以及交货验收均按照国家关于《石油及相关产品包装、储运及交货验收规则》（NB/SH/T 0164-2019）的有关规定办理准运手续进行。

参考公开信息，一般石油苯的出厂方式如下：

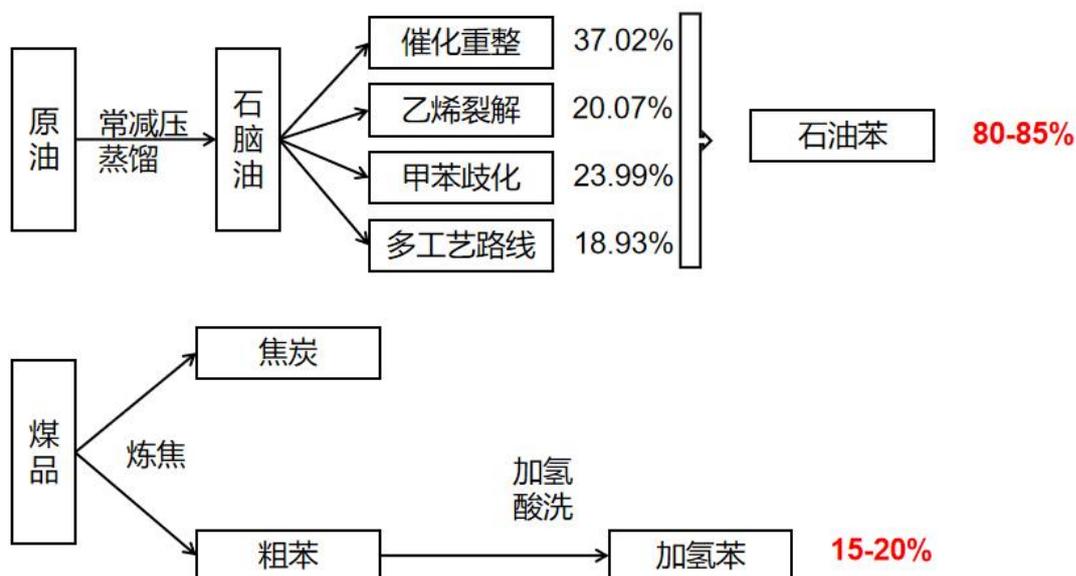
(1) 公路。运输时运输车辆应配备相应品种和数量的消防器材及泄漏应急处理设备，车辆排气管必须配备阻火装置，禁止使用易产生火花的机械设备和工具装卸，灌装时应注意流速（不超过 5m/s），勿在居民区和人口稠密区停留。石油苯装车位一般与石油混合二甲苯共用一座栈台双侧装车。公路装车相关参数如下：装车泵额定体积流量——120(m³/h)；装车泵额定质量流量——0.86×120=103.2(t/h)；石油苯公路汽车载重量规格——30 吨、24 吨。

(2) 铁路。铁路运输时要禁止溜放。铁路装车相关参数如下：装车泵额定体积流量——400(m³/h)；装车泵额定质量流量——0.86×400=344(t/h)；石油苯铁路罐车载重标准规格——53 吨、51 吨、52 吨。

(3) 船运。纯苯是防污公约附则 II 所确定的 Y 类污染物，装载纯苯的船舶舱型规定为整体液货舱，且液货舱顶部设计气体压力不大于 0.07 MPa。舱室的透气方式应采用控制式透气，而对其防火过程中需使用抗乙醇泡沫或多用途泡沫以及通泡沫。严禁用木船、水泥船散装运输。

2.3 纯苯的生产工艺

图 11：国内纯苯生产工艺示意图



来源：国联期货研究所，华瑞资讯，隆众资讯，卓创资讯

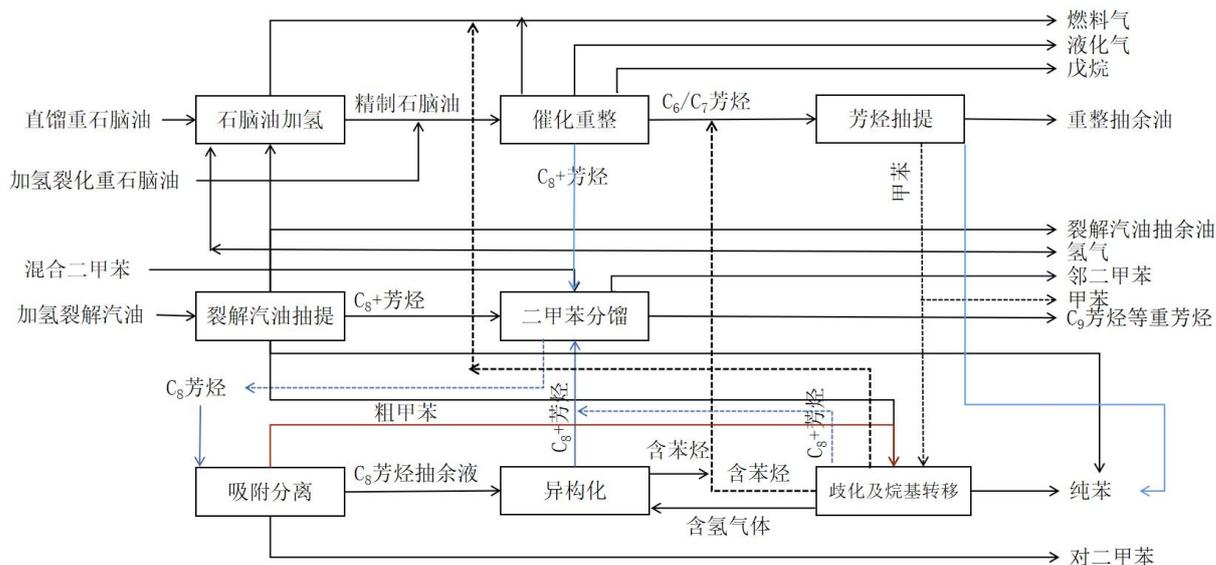
纯苯的制取，按原料源可分为油制石油苯和煤制加氢苯。综合市场多家机构的信息来看，截至 2025 年 4 月，我国石油苯和加氢苯年产能分别约 2570 万吨和 890 万吨。

石油苯的产出发生在炼厂的不同工序，工艺主要包括催化重整（37.02%）、乙烯裂解（20.07%）、甲苯歧化（23.99%）及多工艺路线（18.93%）。其中，催化重整偏向于炼厂的前道工序，与汽油生产紧密相连。乙烯裂解与甲苯歧化属于后道工序，乙烯裂解工艺中纯苯属于副产品的地位，主产品为乙烯。因无法明析何种工艺来源，而归类为“多工艺路线”的产能，多为大炼化的芳烃联合装置，包括重整、裂解、混芳抽提、甲苯歧化、甲苯加氢脱甲基等。

催化重整技术是将原油馏分的分子结构进行重新整理，它是在重整催化剂的作用下，使辛烷值低的烃类转化成辛烷值高的烃。催化重整原材料为石脑油或低质量汽油，主要用来生产高辛烷汽油调和组分，同时也可生产苯、甲苯、二甲苯。

根据卓创数据、隆众数据，通常 1 吨石脑油经过催化重整、芳烃抽提及后续甲苯歧化等反应，会产生 0.044 吨纯苯、0.071 吨甲苯、0.115 吨 PX、0.298 吨 92 号汽油、0.312 吨轻石脑油、0.089 吨丙烷和 0.071 吨高硫燃料油。在炼化一体项目应用芳烃联合装置后，PX 是芳烃联合的主产品，纯苯是副产品。通常 PX:纯苯的产量比为 2.6:1。

图 12：石脑油催化重整制取芳烃工艺流程图



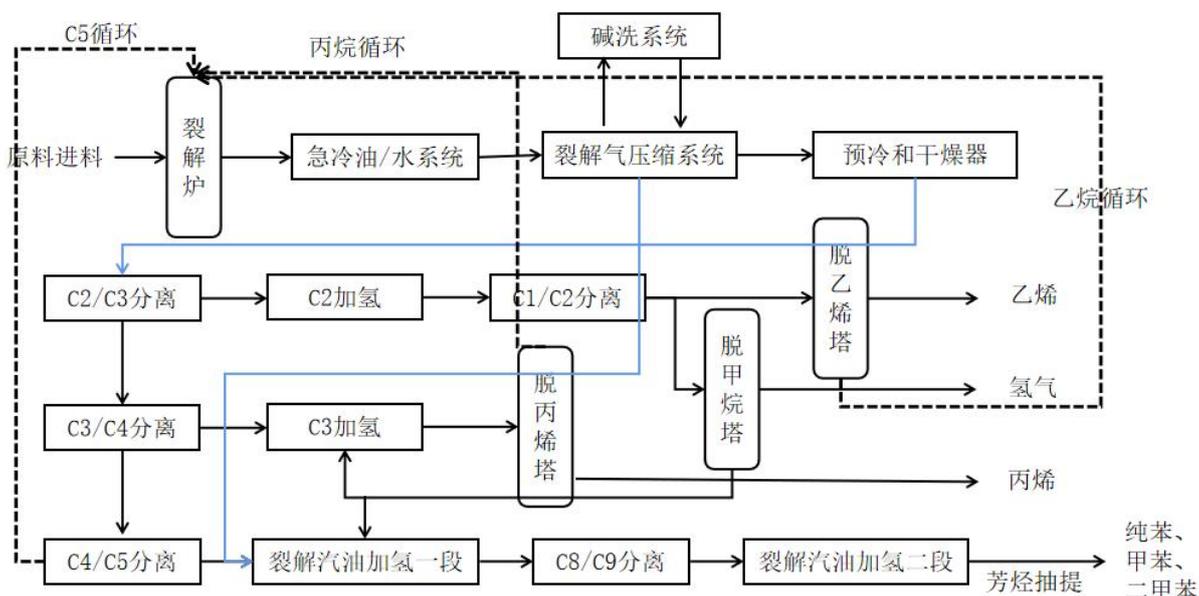
来源：国联期货研究所，《芳烃技术》

乙烯裂解法工艺是以石油烃类或石油馏分为原料，在高温及水蒸气存在的条件下，发生断链反应或脱氢反应生成小分子烯烃和其他产物的过程，生成氢气、甲烷、乙烷、乙烯、丙烷、丙烯、丁烷、丁烯等。裂解目的是以生产乙烯、丙烯为主，纯苯来自其副产的裂解汽油。

乙烯裂解的原料以石脑油和轻烃（乙烷、丙烷、丁烷和天然气油等）为主。烃族组成值（PONA 值）由裂解原料中烷烃、烯烃、环烷烃和芳香烃的百分含量组成，是表征裂解原料最重要的指标。一般来说，正构烷烃含量高的轻烃原料，裂解出的乙烯收率最高，烯烃和环烷烃居中，而芳香烃最低（纯苯收率低）。石脑油原料中因 PONA 不同，又可分为重石脑油（饱和芳烃）和轻石脑油。重石脑油多用于生产重整汽油，轻石脑油多用于乙烯裂解。

根据卓创数据，在乙烯裂解法下，生产 1 吨乙烯，大约需要 3.3 吨的石脑油，而同时副产近 0.5 吨丙烯、0.18 吨丁二烯、0.2 吨纯苯、以及其他芳烃混合物、异丁烯、丁烯、碳五、碳十、乙烯焦油等。

图 13：乙烯裂解工艺流程图



来源：国联期货研究所，《蒸汽裂解制乙烯工艺技术对比与分析》

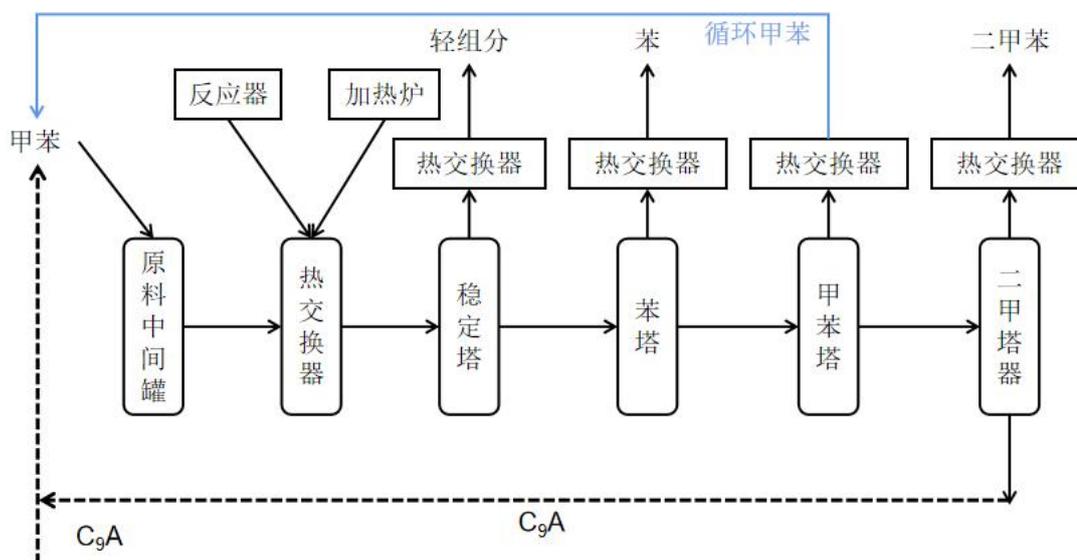
甲苯歧化法工艺的原材料为甲苯和 C9 芳烃，原材料中甲苯含量越高，纯苯产出比越大。甲苯歧化工艺大致可分为 TDP（传统甲苯歧化）和 STDP（选择性甲苯歧化）。

传统甲苯歧化技术 C9 芳烃可以和甲苯一起加工，得到二甲苯的平衡混合物（对二甲苯含量大约为 20%~25%），但苯副产物较少。传统甲苯歧化技术既应用了甲苯歧化反应，又利用了烷基转移反应。

STDP 工艺可用甲苯为原料生产高浓度的对二甲苯（大于 80%）和大量的纯苯，几乎不产生邻、间二甲苯。埃克森美孚的第一代甲苯歧化工艺是美孚的选择性甲苯歧化（MSTDP）工艺，该工艺生产的二甲苯一般含对二甲苯 90%左右。高选择性的关键是一种经结焦预处理的 ZSM-5 催化剂。

选择性甲苯歧化工艺的物料配比公式为：2*甲苯=1*二甲苯+1*纯苯。

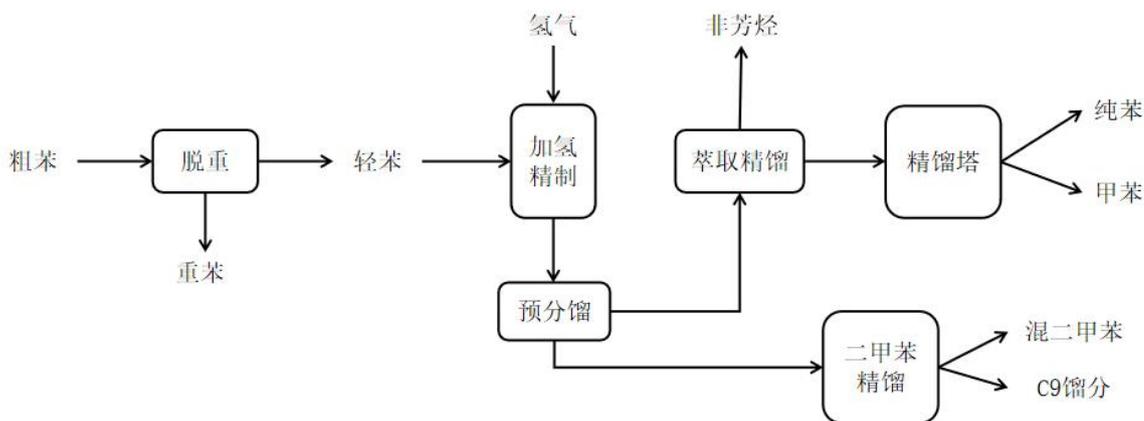
图 14：甲苯歧化工艺流程图



来源：国联期货研究所，《对二甲苯生产工艺研究进展》

“焦化苯”是炼煤焦化的副产物，根据卓创数据，通常 1.33 吨焦煤在炼焦过程中生成 1 吨焦炭及 0.01 吨粗苯，粗苯再通过加氢工序加入从焦炉煤气提取的高纯氢气，加压催化后产生高纯度纯苯（又称加氢苯）。

图 15：加氢苯生产工艺流程图



来源：国联期货研究所

联系方式

国联期货研究所无锡总部

地址：无锡市金融一街8号国联金融大厦6楼(214121)

电话：0510-82758631

传真：0510-82757630

国联期货研究所上海总部

地址：上海市浦东新区滨江大道999号高维大厦9楼（200135）

电话：021-60201600

传真：021-60201600

免责声明

本报告中信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。

报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述期货操作的依据。由于报告在撰写时融入了研究员个人的观点和见解以及分析方法，如与国联期货发布的其他信息有不一致及有不同的结论，未免发生疑问，本报告所载的观点并不代表国联期货公司的立场，所以请谨慎参考。我公司及其研究员对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。

本报告所提供资料、分析及预测只是反映国联期货公司在本报告所载明日期的判断，可随时修改，毋需提前通知。

本报告版权归国联期货所有。未经书面许可，任何机构和个人不得进行任何形式的复制和发布。如遵循原文本意的引用，需注明引自“国联期货公司”，并保留我公司的一切权利。

期市有风险 投资需谨慎