

# 对分子炼油技术的认识和实践

张海桐<sup>1</sup>, 王广炜<sup>2</sup>, 薛炳刚<sup>3</sup>

(1. 石油和化学工业规划院, 北京 100013; 2. 渤海装备辽河重工有限公司, 辽宁盘锦 124010;

3. 曹妃甸化学工业园区管理委员会, 河北唐山 063210)

**摘 要:** 阐述了“分子炼油”技术的内涵, 指出了分子炼油理念在当今炼油流程规划和现有炼油厂优化调整升级中的重要意义, 重点介绍了 5 种具有代表性的工业化的分子炼油技术, 回顾了分子炼油在国内外炼油厂中的发展历程和应用情况, 并以某炼油规划方案为例分析了在未来炼厂中通过引入分子炼油技术提升全厂资源利用率和项目竞争力的思路。

**关键词:** 炼油厂; 分子炼油; 流程设计; 竞争力; 规划

**文章编号:** 1673-9647 (2016) 04-0016-08

**中图分类号:** TE6

**文献标识码:** A

## 1 概述

所谓“分子炼油”, 就是从分子水平来认识石油加工过程, 准确预测产品性质, 优化工艺和加工流程, 提升每个分子的价值。“分子炼油”技术遵循“物尽其用、各尽其能”的理念, 按照“宜油则油、宜芳则芳、宜烯则烯、宜润则润、宜化则化”的原则, 做到“全处理、无浪费、吃干榨净”, 充分、有效利用石油资源。

传统炼油技术基于集总模型和虚拟组分模型, 只能得到各馏分的整体物理性质、平均结构参数和族组成, 制约了炼油技术的进步和石油资源更加合理的利用。而“分子炼油”技术可得到各馏分详细的化合物分子类型和碳分布以及关键单体化合物信息, 有助于深入理解石油分子在加工过程中的反应和转化规律, 促进炼油技术的进一步发展和石油资源更加合理的利用, 满足产品质量升级和进一步提升加工效益的需求。

“分子炼油”技术突破了传统炼油技术对原油馏分的粗放认知和加工, 从体现原油特征和价值的分子层次上深入认识和加工利用原油, 通过从分子水平分析原油组成, 精准预测产品性质, 精细设计加工过程, 合理配置加工流程, 优化工艺操作, 充分利用原料中每一种或者每一类分子的特点, 将其转化成所需要的产物分子, 并尽可能减少副产物的产生, 使每一个石油分子的价值最大化, 使炼厂真正实现“全处理、无残渣”的理想目标。

只有在分子水平上深入认识石油, 才能对加工过程中的化学问题进行细致的探究, 有针对性地设计一系列合理的反应路径和条件, 使每一个石油分子的价值最大化, 形成以分子水平炼油为目标的新增长点, 促进石油炼制技术的跨越式进步。

## 2 典型分子炼油工程技术

“分子炼油”包含的关键技术有分子指纹识别技术(含油品分析和分子表征)、分子组成层次的模拟技术以及基于前两者的过程优化技术等。国内外开发了多种分子炼油技术并实现工业化, 下文重点介绍具有代表性的清洁汽油生产技术、清洁柴油生产技术、分子化重油加工技术、石脑油正异构烃分离技术和炼厂干气加工利用技术。

### 2.1 清洁汽油生产技术

国 V 成品油质量标准实施计划提前后, 国 VI 标准的研究与制订也加快了步伐, 预计 2016 年底发布、2019 年实施<sup>[1]</sup>。国 VI 标准中汽油将进一步降低烯烃、芳烃、蒸汽压、馏程、苯等指标。

催化裂化是我国最主要的重油加工手段, 也是我国汽油调和组分的最主要来源。从表 1 可以看出, 催化裂化汽油中烯烃含量和硫含量相对较高。因此, 降低催化裂化汽油中硫含量和烯烃含量是实现汽油质量升级的关键。

收稿日期: 2016-05-04

作者简介: 张海桐 (1987-), 男, 山东省人, 工程师, 主要从事炼油和石化领域行业规划、工程咨询等工作。

表 1 不同汽油组分的芳烃和烯烃含量

组分	体积分数/%	
	芳烃	烯烃
未精制催化汽油	19	40
精制催化汽油	19	30
重整汽油	70	—
烷基化油	—	—
异构化油	0.1	0.1
重整抽余油	0.3	—
HC 轻石脑油	0.5	—
MTBE	—	1.5

根据分子水平的表征和催化裂化反应动力学研究发现，催化裂化轻汽油组分（<100 ℃馏分）富集了大部分烯烃（C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 为主），硫类型以易脱除的硫醇、硫醚为主；重汽油组分中烯烃含量低，但富集了大部分较难脱除的噻吩、苯并噻吩。

这一发现为根据轻、重催化裂化汽油的组分特点开发针对性的加工路线提供了重要依据，为实现催化裂化汽油脱硫降烯烃并尽可能减少辛烷值损失做出了重要贡献。

据此，国内外分别开发了多种催化裂化汽油精制技术，如 CDTECH 公司开发的催化裂化汽油脱硫降烯烃组合工艺技术。如图 1 所示，该技术首先将全馏分催化裂化汽油加氢精制脱除硫醇、硫醚、二烯烃等组分，并将催化裂化汽油按馏程切割为轻、重石脑油；轻石脑油富含烯烃，与甲醇或乙醇发生醚化反应，脱除烯烃并将其转化为辛烷值非常高的醚类，蒸馏得到的轻组分因富含正构烷烃而辛烷值较低，经异构化反应提高辛烷值后进入调和池；重石脑油经深度加氢脱硫后进入调和池。该技术得到的精制催化裂化汽油具有低硫、低烯烃、高辛烷值和高液收率的优点，整体思路的精心设计也是分子炼油理念在汽油精制中体现。

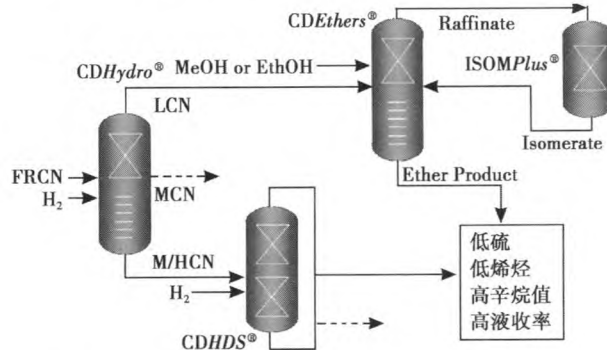


图 1 催化裂化汽油脱硫降烯烃组合工艺流程示意

2.2 清洁柴油生产技术

下一阶段柴油质量标准升级过程中，性能指标将朝着低密度、低多环芳烃含量的方向变化。而我国年产催化裂化柴油五千余万 t，其中部分催化裂化柴油的密度 0.90~0.95 g/cm<sup>3</sup>，十六烷值<25（国 V 标准：<51），是柴油质量升级任务中的重点和难点（经验公式<sup>[2]</sup>：十六烷值=442.8-462.9d<sub>4</sub><sup>20</sup>）。其中，萘系、蒽系等多环芳烃密度接近或大于 1.00 g/cm<sup>3</sup>，相对密度高，对十六烷值影响较大。

受柴油消费增长乏力、价格偏低、质量升级成本高等影响，借助分子化表征技术，国内外研发了多种催化裂化柴油加氢裂化技术，生产需求旺盛的低硫高辛烷值汽油组分或催化重整原料，同时生产低硫清洁柴油。我国汽柴油供需平衡统计数据见表 2。

表 2 2015 年我国汽柴油供需平衡统计数据

项目	汽油		柴油	
	数量/ 万 t	同比增长/ %	数量/ 万 t	同比增长/ %
产量	12 104	9.4	18 008	1.4
进口量	17	401.7	43	-9.7
出口量	590	18.4	716	79.2
表观消费量	11 531	9.1	17 335	-0.4

注：数据来源于中国国家统计局和国家海关总署。

UOP 公司开发了催化裂化柴油加氢转化-选择性烷基转移新工艺（LCO Unicracking 和 LCO-X），充分利用催化裂化柴油富含多环芳烃的特点，通过加氢处理、转化并选择性烷基转移生产富含芳烃的重石脑油，其收率可达 57%、研究法辛烷值 90~95。

美国雅保公司开发了催化裂化柴油加氢转化技术，采用部分循环流程，以催化裂化柴油（密度 0.935 g/cm<sup>3</sup>，十六烷值 24）为原料，产物中 65~165 ℃、165~205 ℃、>205 ℃收率分别约为 20.98%、16.97%和 49.55%。其中 65~165 ℃馏分研究法辛烷值 91、芳烃含量>50%，>205 ℃馏分十六烷值可达到 42。

北京安耐吉公司开发的催化裂化柴油低压加氢裂化技术采用两段加氢、部分循环流程，最大量生产高辛烷值汽油，同时生产低硫清洁柴油。加氢精制催化剂装填在第一反应器，主要进行加氢脱硫、加氢脱氮及芳烃饱和等反应；加氢-裂化双功能催化剂装填在第二反应器，主要进行选择

性开环、裂化等反应,同时尽可能保留柴油中的长链烷烃或带有长侧链的环烷烃等高十六烷值组分。汽油产品研究法辛烷值 93~95 左右,质量收率 40%~50%;柴油产品十六烷值 41 左右,比原料十六烷值高 15 左右;汽柴油硫含量均可满足国 V 标准要求。

国内类似技术还有中石化石科院开发的 RLG 技术等。

### 2.3 分子化重油加工技术

以催化裂化循环油加工工艺的研究与创新为例。传统分析方法对催化裂化循环油仅能得到以下认识:密度高, H/C 低, 芳烃和胶质含量高, 裂化性能较差, 难以合理轻质化生成汽柴油。见图 2。

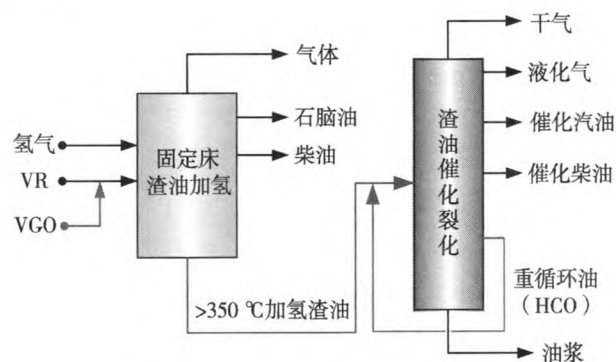


图 2 催化循环油传统加工工艺流程示意

利用分子化表征技术获得分子结构信息后发现:循环油中饱和烃以环烷烃为主,芳烃以三环及以上稠环芳烃为主,通过开发专用加氢-裂化双功能催化剂和优化的反应条件,饱和裂化部分芳环后做催化裂化原料,最终生产富含异构烷烃和单环芳烃等高辛烷值的汽油组分。见图 3。

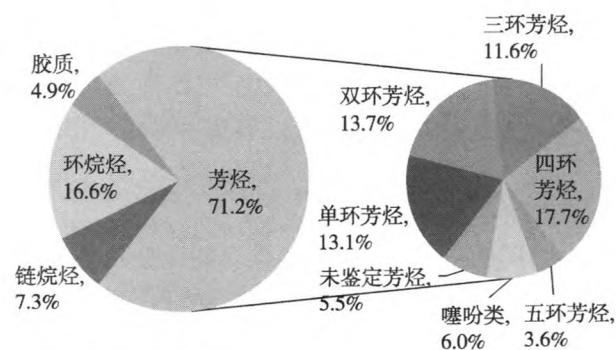


图 3 催化裂化重循环油（HCO）一般组成

基于上述技术思路开发的重油加氢处理-催化

裂化双向组合（RICP）工艺<sup>[3]</sup>,渣油经加氢处理后做催化裂化装置原料,催化裂化循环油返回至渣油加氢装置。见图 4。

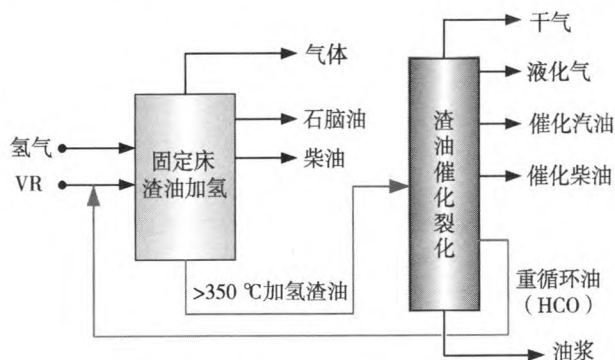


图 4 催化循环油创新加工工艺流程示意

该组合工艺具有诸多优点。循环油的掺入可以降低渣油加氢进料的粘度,提高渣油加氢脱硫、脱金属、脱残炭和脱沥青质反应的速率,改善生成油的性质。循环油经过加氢,增加了氢含量,催化裂化操作苛刻度有所降低,产物选择性变好,干气、油浆、焦炭产率下降,轻油收率和总液收提高;柴油组分终馏点降低,有利于后续的柴油改质。

### 2.4 润滑油基础油异构降凝技术

内燃机润滑油是各种润滑油中需求量最多的一类,使用过程中需要具有较高的粘度指数和较好的低温流动性。

内燃机润滑油粘度指数越高,其粘度随温度变化的变化幅度越小,而烃类的粘度性质取决于其分子结构。其中,正构烷烃的粘温性质最好,其次为带有少分支的长烷基侧链的少环烃类和分支程度不大的异构烷烃。

影响润滑油低温流动性的因素主要有两方面,一是在使用温度下因形成蜡结晶结构而丧失流动性;二是在使用温度下因粘度大、流动太慢而造成润滑油泵抽空或供油不足。从化学组成来看,正构烷烃的凝点最高,易于凝固,而多环烃类的低温粘度较大,异构烷烃相对较理想。

所以,润滑油基础油生产过程中,要尽量将原料中的大分子直链烷烃转化为性能较为理想的异构烷烃。目前,脱蜡降凝技术主要有溶剂脱蜡和加氢脱蜡,加氢脱蜡(临氢降凝)技术又包括择形裂化(催化脱蜡)技术和择形异构化(异构脱蜡)技术。

润滑油基础油异构脱蜡技术<sup>[4]</sup>不像溶剂脱蜡把蜡从油中简单脱除，也不像择形裂化把蜡裂化为气体和石脑油，而是通过采用高选择性的择形异构化催化剂，把油中的蜡转化为基础油最理想的组分——异构烷烃，产品收率高，基础油品质好。

润滑油择形异构脱蜡技术的核心是基于分子炼油理念开发的大分子直链烷烃异构催化剂，其开发过程与对大分子烃分子水平上的表征和反应动力学认识息息相关。

2.5 石脑油正异构烷烃吸附分离技术

我国炼厂所加工的原油普遍偏重、石脑油的收率较低，长期以来存在催化重整和乙烯裂解争原料的问题。同时，石脑油中烃碳数和链结构不同，其辛烷值（如表 3 所示）、裂解活性和芳构化活性相差甚大，进而最佳利用途径各异。对于石脑油，按照分子管理的思路，分离其中的正构烷烃作为优质乙烯裂解原料，非正构部分（主要是异构烷烃、环烷烃和芳烃）作为优质催化重整原料或高辛烷值汽油调合组分，从而提高石脑油的利用效率。

表 3 几种正构烷烃和异构烷烃的辛烷值

组分	辛烷值	
	RON	MON
正戊烷	62	62
正己烷	25	26
2,2-二甲基丁烷	92	93
环己烷	83	77
正庚烷	0	0
2,2,3-三甲基丁烷	>100	>100

目前，从石脑油中分离正构烷烃最经济有效的方法是利用 5A 分子筛的择形吸附原理进行吸附分离。根据原料馏程和组成不同，正/异构烷分离工艺大致可分为如下三种。

2.5.1 以 C<sub>10</sub><sup>+</sup>馏分油为原料的正构烷烃吸附分离工艺

工业上以 C<sub>10</sub><sup>+</sup>馏分油为原料的正构烷烃吸附分离装置基本上均采用 UOP 公司开发的基于 Sorbex 技术的液相模拟移动床工艺。该工艺具有能耗低、效率高、处理量大等优点，在工业上得到了广泛应用，目前全世界约有 21 套装置在运转。该工艺的正构烷烃收率在 95% 以上，而正构烷烃纯度在 98% 以上，抽余液中正构烷烃质量分数不大于 1.5%。

为进一步提高分子筛吸附剂的使用效率，20 世纪 90 年代美国 UOP 公司又在原有以 C<sub>10</sub><sup>+</sup>馏分油为原料的正构烷烃吸附分离基础上，开发了预脉冲技术。采用预脉冲技术后，正构烷烃单程吸附收率由未采用预脉冲技术的 39% 提高到 61%。

2.5.2 以 C<sub>5-6</sub> 馏分油为原料的正构烷烃吸附分离工艺

汽油，尤其直馏汽油中含有大量直链饱和烷烃，但直链饱和烷烃的辛烷值较低，而异构烷烃具有较高的辛烷值。20 世 80 年代中期，美国壳牌石油公司开发了以负载贵金属钨或铂的硅铝酸盐为催化剂的 C<sub>5-6</sub> 异构化与 C<sub>5-6</sub> 馏分正构烷烃吸附分离组合的 C<sub>5-6</sub> 馏分全异构化工艺，生产高辛烷值汽油调和组分，促进了正构烷烃吸附分离技术的发展。

南京炼油厂、华东理工大学、中石化北京设计院也共同开发了 C<sub>5-6</sub> 烷烃全异构化工艺，并于 1993 年在南京炼油厂成功地进行了千吨级规模的中试。该工艺的液体产品收率大于 94%，汽油辛烷值（RON）也由原来的 72 提高到 89.5~90.7，达到了国外同类工艺水平。

2.5.3 以石脑油为原料的正构烷烃吸附分离工艺

以轻石脑油馏分为原料的正构烷烃吸附分离的典型工艺是由美国 UCC 公司开发的 Isosiv。目前，该工艺已在全球建立了二十多套工业装置，总加工能力达到 5 632 kt/a（按正构烷烃计），生产的正构烷烃全部用作蒸汽裂解制乙烯的原料。Isosiv 工艺在等温（315~343 ℃）、等压（1.76 MPa）下气相吸附、吹扫和脱附，吹扫、脱附气体为氢气（也可以用氮气、甲烷等）。经过吸附分离后，所得到的正构烷烃质量分数为 95%~98%，吸余油中仅含 1%~2% 的正构烷烃。

目前，以全馏分石脑油为原料的正异构烷烃吸附分离工艺主要有液相模拟移动床工艺和固定床工艺。2001 年美国 UOP 公司开发了 MaxEne 工艺。该工艺以全馏分石脑油为原料，采用液相模拟移动床工艺，对全馏分石脑油进行正异构分离。华东理工大学提出了采用 5A 分子筛固定床四塔并联吸附工艺。该工艺仍处于实验室阶段，尚未工业化。

2.5.4 扬子石化石脑油吸附分离<sup>[5]</sup>

2005 年中国石化与美国 UOP 公司签署了石脑油吸附分离（MaxEne）的工业化协作开发协议，采用 UOP 的 MaxEne 专利技术，由 UOP 提供工艺包，SEI 负责工程化设计，在扬子建设第一套工

业化装置。

经过十余年的联合开发和应用, 2015 年中国石化与美国 UOP 在扬子石化建成全球首套 130 万 t/a 预加氢和 120 万 t/a 工业装置, 实现一次开车成功, 并保持平稳运行。

扬子石化全球首套石脑油吸附分离装置于 2015 年 3 月 30 日完成标定报告。此次标定成功测试了装置多种负荷下的吸附收率和抽余液纯度。结果显示, 主要指标达到设计目标。乙烯装置单独使用吸附石脑油原料, 乙烯收率高达 41% 左右, 高于一般石脑油料约 12 个百分点, 显示出良好的效果。

3 月 23 日, 通过 72 h 多种不同负荷装置下装置运行标定。标定显示, 抽出液中正构烷烃纯度大于 92%, 收率 84%~85%, 均达到技术目标值, 解决了装置瓶颈, 为今后装置稳定长周期运行创造了条件。同时, 对标定中暴露的问题, 正作为课题进行进一步研究和攻关。

## 2.6 炼厂干气加工技术

催化裂化干气和焦化干气中主要组分为氢气、甲烷、乙烷和乙烯等, 直接作炼厂燃料气使用热值较低, 也是对宝贵石油资源的浪费。为了提高炼厂干气价值, 国内外相继开发了催化裂化干气制乙苯技术、炼厂干气提浓技术、干气制氢技术和催化裂化干气制芳烃技术等, 使炼厂干气得到了更充分的利用。

### 2.6.1 催化裂化干气制乙苯技术

虽然催化裂化干气直接做燃料的做法在国内仍普遍存在, 但其中富乙烯的  $C_2$  组分的加工利用早已得到研究部门的重视。最具代表性的工程技术是中国寰球辽宁分公司和中科院大连化学物理研究所等单位联合开发的稀乙烯制乙苯第三代技术, 而且第四代配套催化剂也已得到工业化应用<sup>[6]</sup>。

由于采用催化裂化干气中的稀乙烯为原料, 其原料成本比纯乙烯法生产乙苯低 15%~20%; 产出乙苯纯度达到 99.8% 以上, 高于 SH/T1140 优等品标准; 无残渣和废气, 生产过程绿色清洁。

### 2.6.2 干气提浓技术

炼厂副产的催化裂化干气、焦化干气、加氢低分气、重整 PSA 解吸气和 PX 装置燃料气中含有大量的  $C_2$  组分和部分氢气, 是高质量的乙烯裂解原料和廉价氢源, 具有很高的回收价值。所以, 从分子管理水平上优化各物料加工途径的角度出发, 干气提浓技术的研发与应用得到越来越高的

重视。早在 2005 年和 2007 年, 干气提浓技术已在燕山石化、茂名石化等炼厂实现工业化, 并取得较好经济效益。

从投资、运营成本、原料质量要求、 $C_2$  和氢气的回收率和纯度、技术成熟度等方面比较, 目前最为成熟、经济的技术路线是吸附法, 即利用吸附剂在一定压力和温度下对  $C_2$  烃选择性吸附的特性实现气体的分离, 而深冷分离、膜分离和吸收法还有所欠缺。

## 3 分子炼油在炼油厂中的应用案例

“分子炼油”技术是近年来国际石油公司提出的一项突破传统意义上对石油馏分的粗放认知, 从体现原油特征和价值的分子层次上深入认识和加工利用石油的先进技术, 目前已经实现工业应用并取得了巨大的经济效益。

### 3.1 埃克森美孚公司

埃克森美孚公司在“分子炼油”研究和应用上处于领先地位, 得益于其在相关领域的一系列研究突破。埃克森美孚公司早在 2002 年就启动实施了“分子炼油”项目, 利用其专有的原油指纹技术, 分析不同原油的分子结构集总, 建立相应的反应动力学模型, 并进一步与计划优化系统和实时优化系统相结合, 准确选择原油、优化加工流程和产品调和, 最大化生产高价值产品, 从炼油过程整个供应链角度进行优化<sup>[7]</sup>。

具体来讲, 埃克森美孚公司提出了结构导向集总 (SOL) 方法用于油品分子表征技术, 估算其分子组成, 并利用该方法建立了催化裂化、催化裂化汽油加氢脱硫、润滑油基础油生产 (润滑油加氢裂化、再精制、溶剂抽提、溶剂脱蜡和催化脱蜡) 等过程的结构导向集总动力学模型。埃克森美孚公司将其成功应用于多个炼厂, 进行产品产率和性质预测、原料优化配置、加工方案调优等。在此基础上, 将油品分子表征技术、集总反应动力学模型与计划优化系统、生产调度及实时优化系统相结合构建炼厂整体优化模型, 对炼油过程进行整体优化。

分子炼油项目使埃克森美孚公司收益颇丰, 除尽可能攫取边际效益外, 该技术还帮助准确定位增值机会, 并通过低成本改造来脱瓶颈, 有效提高装置加工能力。埃克森美孚公司宣称, 通过分子炼油项目, 其下游业务获益超过 7.5 亿美元/年。

### 3.2 镇海炼化

国内, 中石化集团接受“分子炼油”理念较

早。2008年，镇海炼化应用自主开发的计划优化模型和带反应的流程模拟模型，导入“分子炼油”理念，通过优化原油资源，优化资源流向和能量配置，实现了炼油和乙烯整体效益最大化。2008年，镇海炼化刚引入“分子炼油”时，通过对碳五进行正/异构分离，将异构碳五作为汽油调和组分，每年就增效近亿元。建设炼油-乙烯一体化项目时，镇海炼化仅通过优化乙烯氢气、炼厂干气、LPG、碳五等物料流向，年增加乙烯裂解原料超过70万t，为炼油提供氢气（折合标准状态）超过30 000 m<sup>3</sup>/h。

### 3.3 茂名石化和石家庄炼化

茂名石化和石家庄炼化也分别于2011年和2013年提出要深入落实“分子炼油”理念，按照“细分物料，细分客户，贴近指标，精心调配”的优化思路，实施资源差异化战略，建立完善分段优化预测模型，优化原油资源，合理安排加工流程和优选加工方案，力争实现效益最大化。茂名石化通过干气提浓装置把炼油干气中的碳二、碳三组分分离出来，供给蒸汽裂解装置做乙烯原料，减少燃料中C<sub>2</sub>+组分的浪费；根据自建的分段优化预测模型，对减压渣油不同加工路线所产生的价值进行测算、排序，为渣油加氢-催化裂化、延迟焦化和沥青装置精心调配原料，最大化每一滴渣

油的价值。

综观国内外炼油技术研究进展，从技术水平来看，催化重整、催化裂化、加氢裂化、延迟焦化等主要石油加工过程的分子水平反应动力学研究均已有了较为令人满意的成果。随着分析技术、信息技术等相关领域研究的进一步深入，“分子炼油”技术将成为企业优化物料流程、提升副产品利用水平的重要手段，也将在我国石油加工行业得到更多推广和应用。

## 4 分子炼油在规划中的实践案例

面对原油资源的劣质化和日益严格的环保要求等多元化挑战，通过优化炼油生产，实现精细化加工，以最低的成本生产效益最好的产品，已成为全球炼油业的共识。炼油规划方案是新型炼油厂设计和建设的方向，代表着当今最新炼油理念和最高技术水平。所以炼油规划方案中应融入分子炼油理念，积极采用成熟、先进的分子炼油技术，优选原油品种和性质，优化加工装置配置和产品方案，提升项目盈利能力和竞争力。

本文作者在研究某大型石化基地炼油产业发展思路时，按照分子炼油理念，提出规划建设一套大型炼化一体化项目，包括2 000万t/a原油加工和250万t/a对二甲苯，并为100万t/a乙烯装置提供优质裂解原料，炼油部分流程示于图5。

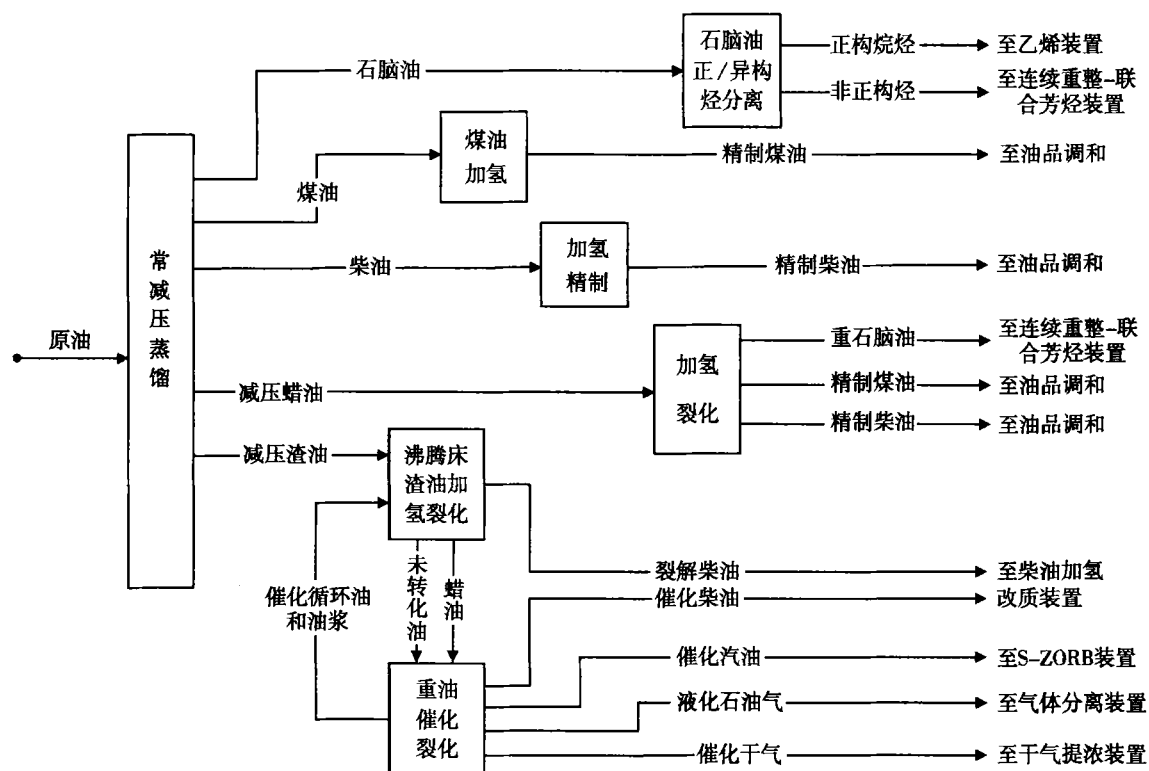


图5 某2 000万 t/a炼化项目原油加工流程



本方案采用“常减压蒸馏-沸腾床渣油加氢-重油催化裂化-蜡油加氢裂化”的总加工路线,设计采用全加氢型炼化一体化流程。方案中采用干气提浓、轻石脑油异构化、液化气分离、石脑油正/异构烃分离等技术,使各组分“物尽其用、各尽其能”,实现“分子化”加工利用。本方案具有如下优点。

(1) 渣油和蜡油分别加氢精制,分储分炼。

(2) 蜡油加氢裂化选择全循环流程,多产重整原料和市场增长较快的航煤产品,少量的尾油因良好的裂解性能而选择做催化裂化原料。

(3) 沸腾床渣油加氢工艺具有诸多优点,采用该工艺提高了全厂流程优化的灵活性。

沸腾床渣油加氢对原料油的适应性广,反应器内温度均匀,实现催化剂在线加入和排出,运转周期长,传质传热效果好,渣油转化率高,装置操作灵活。

(4) 沸腾床渣油加氢和催化裂化双向组合(RICP)工艺提高了目的产物选择性和油品质量。

采用沸腾床渣油加氢和催化裂化双向组合(RICP)工艺,渣油经加氢处理后成为催化裂化装置原料,催化循环油返回至渣油加氢装置。该组合工艺不仅可以加工催化循环油,还可以将催化油浆进一步加氢、裂化后转化为轻质产品,提高全厂轻油收率和资源利用率。

(5) 降低全厂柴/汽比,适应油品需求侧的市场趋势。

(6) 经过物料流向优化和精细调配,重整原料量得到最大化,着力生产国内市场前景较好的对二甲苯。

(7) 整合加工利用全厂轻烃和轻石脑油资源,配置优质乙烯原料,更加注重乙烯原料的竞争力。

如表4所示,本方案乙烯原料共计283.08万t/a,由C<sub>2</sub>轻烃、丙烷、丁烷、轻石脑油和正构烷烃组成,轻烃占比高,石脑油组分馏程低且正构烷烃含量高。其中C<sub>2-4</sub>轻烃所占比例高达35.14%,正构烷烃占36.34%,无重石脑油、加裂尾油等重组分。

与当前国内同类乙烯装置原料结构相比,本

表4 某大型炼化项目配套乙烯装置原料结构

乙烯装置原料	物料量/(万 t·a <sup>-1</sup> )	占比/%
C <sub>2</sub> 轻烃	5.64	1.99
丙烷	40.47	14.30
正丁烷	17.79	6.28
异丁烷	35.58	12.57
拔头油	4.97	1.76
抽余油	55.65	19.66
加氢石脑油	20.09	7.10
正构烷烃	102.89	36.34
合计	283.08	100.00

方案乙烯原料来源更加多样化、精细化,组成更加轻质化、优质化。

## 5 总结

分子炼油技术更加注重对炼厂原料进行分子化的精细利用和管理。石油工业的技术进步和对石油加工效益最大化的追求,已将炼油工业推进到分子炼油的新时代,许多成熟的分子炼油工程技术和系统优化模型在国内外炼油厂中得到重视和应用,并为其带来丰厚的经济效益。今后,无论是新建炼化项目还是现有炼油厂升级改造,分子炼油技术都有助于提高未来炼厂的资源利用率,优化加工流程和产品方案,提高竞争力。

## 参考文献:

- [1] 国家发展改革委, 财政部, 环境保护部. 关于印发《加快成品油质量升级工作方案》的通知(发改能源[2015] 974号), 2015-05-05.
- [2] 徐春明, 杨朝合, 林世雄. 石油炼制工程[M]. 北京: 石油工业出版社(第四版), 2009: 116.
- [3] 牛传峰, 张瑞弛, 戴立顺. 渣油加氢-催化裂化双向组合技术 RICP[J]. 石油炼制与化工, 2002, 33(1): 27-29.
- [4] 裴文军. 润滑油基础油生产工艺的选择[J]. 炼油技术与工程, 2012, 42(7): 25-29.
- [5] 蒋连家. 扬子石化全球首套石脑油吸附分离装置通过标定[N], 2015-04-03.
- [6] 陈福存, 朱向学, 谢素娟. 催化干气制乙苯技术工艺进展[J]. 催化学报, 2009, 30(8): 817-824.
- [7] 李雪静, 乔明. 从近两年欧美炼油专业会议看世界炼油技术新进展[J]. 国际石油经济, 2015(5): 34-41.

## Understanding and Practice of Molecular Oil Refining Technology

ZHANG Hai-tong<sup>1</sup>, WANG Guang-wei<sup>2</sup>, XUE Bing-gang<sup>3</sup>

(1. China National Petroleum & Chemical Planning Institute, Beijing 100013, China;

2. China Petroleum Liaohe Equipment Company, Panjin 124010, China;

3. Administration of Caofeidian Chemical Industry Park Management Committee, Tangshan 063210, China)

**Abstract:** This paper expounds the connotation of molecular oil refining technology, and points out the important significance of the concept of molecular oil refining in process planning and optimizing and upgrading of existing refineries. It mainly introduces 5 kinds of molecular oil refining technology, and reviews the development and application of molecular oil refining at home and abroad, and also analyzes how to enhance plant resource utilization rate and the competitiveness of the refinery project with molecular refining technology by taking a new refinery planning as an example.

**Keywords:** refinery; molecular oil refining; process design; competitiveness; planning

## 霍尼韦尔在华投资新建煤制烯烃催化剂生产线

近期，霍尼韦尔宣布在国内投资新建一条催化剂生产线，用于将煤或天然气转化为生产塑料所需的烯烃。这一关键性投资将有助于满足我国市场对塑料产品日益增长的需求。新建生产线的催化剂产品用于将煤或天然气提取的甲醇转化为生产塑料所需的烯烃。

该条全新的催化剂生产线位于江苏省张家港市的霍尼韦尔生产基地，预计将于 2017 年正式投产，生产霍尼韦尔 UOP 突破性甲醇制烯烃（MTO）工艺中所需的高性能催化剂。霍尼韦尔 UOP 的甲醇制烯烃工艺可以将从煤或天然气中提取的甲醇高效转化为塑料生产所需的关键化学原料乙烯和丙烯。这一工艺的核心便是将甲醇转化为烯烃所需的专利催化剂。

2011 年，惠生（南京）清洁能源股份有限公司成为了我国第一家霍尼韦尔 UOP 授权使用甲醇制烯烃工艺的公司，并已在 2013 年实现商业化生产。自此，陆续有七家公司与霍尼韦尔签署了甲醇制烯烃授权协议。其中，最近的一家是去年 12 月授权的鲁西化工集团。

如今，全球范围内对乙烯和丙烯的需求正以每年 4% 至 5% 的速度增长。预计到 2020 年，我国在煤化工技术领域的投资将超过 1 000 亿美元。这将降低我国对进口石油的依赖，转而采用更加丰富且经济的本土资源生产塑料树脂、薄膜、纤维等基础产品。

霍尼韦尔张家港生产基地于 2015 年正式投入运营，主要生产用于霍尼韦尔 UOP Oleflex™ 丙烷脱氢制丙烯工艺以及生产高辛烷值汽油的连续催化重整（CCR）Platforming™ 工艺所需的高性能催化剂产品。过去五年中，霍尼韦尔 UOP 在全球范围内已向 30 家生产商授权 Oleflex 工艺技术，其中有 23 家位于我国。

霍尼韦尔张家港生产基地位于距上海西北约 137 km 的一座现代化工业园内，除了 Oleflex 和 MTO 催化剂外，该生产基地还生产应用于炼油石化和天然气处理等领域的吸附剂产品。为了配合霍尼韦尔各项先进技术在我国的不断应用，公司还将在此规划更多的生产能力。