

# 催化裂化在 21 世纪炼油工业中的地位和作用

周惠娟, 蔡继元, 潘元青

(中国石油兰州润滑油研究开发中心, 甘肃 兰州 730060)

**摘 要:** 论述了催化裂化在炼油工业中的重要性, 包括从原油资源中获取催化原料、催化产品在炼油中的结构变化以及催化裂化装置在加工流程中的配置变化。分析了随着世界原油的日益重质化/含硫化、环保法规的不断推进, 催化裂化所面临的挑战, 对国内外催化裂化技术水平差距进行了比较。

**关键词:** 催化裂化; 炼油工业; 21 世纪; 地位

**文章编号:** 1006-5539(2009)06-0030-03 **文献标识码:** A

## 1 催化裂化原料油的适用范围逐步拓宽

从 20 世纪 80 年代后期开始, 世界原油质量发生了较大的变化, 原油质量趋向于含硫化和重质化<sup>[1]</sup>。据埃尼集团的调查报告, 最近几年, 世界各国生产的常规原油中重质原油的比例在增加。截至 2007 年, 生产原油约 30% 为轻质原油 ( $API^\circ > 35$ )、56% 为中质原油 ( $API^\circ 26 \sim 35$ )、14% 为重质原油 ( $API^\circ 10 \sim 26$ ) 而 10 年前轻质原油占全部原油生产量 31%、中质原油占 58%、重质原油占 11%。除常规原油以外, 目前加拿大和委内瑞拉生产的非常规原油 (即比重大于 0.9966 的油砂沥青和超重质原油) 比例也在逐渐加大, 预计在今后 10 年, 非常规原油的总产量将达到  $450 \times 10^4$  bbl/d 占世界常规原油总产量的份额接近 5%。

催化裂化特别是重油催化裂化往往将密度、残炭、金属含量及氢含量作为原料的主要限制指标, 随着原油质量的恶化, 催化裂化的技术也在不断提高, 且已有一大批处理高残炭、高金属含量的原料的装置建成投产。Albemarle 公司以渣油中的残炭和镍、钒含量为主要限制指标, 估计了全世界可供催化裂化作为原料的潜在量 (见图 1), 该图可从一定程度上可以预见催化裂化工艺的发展前景。

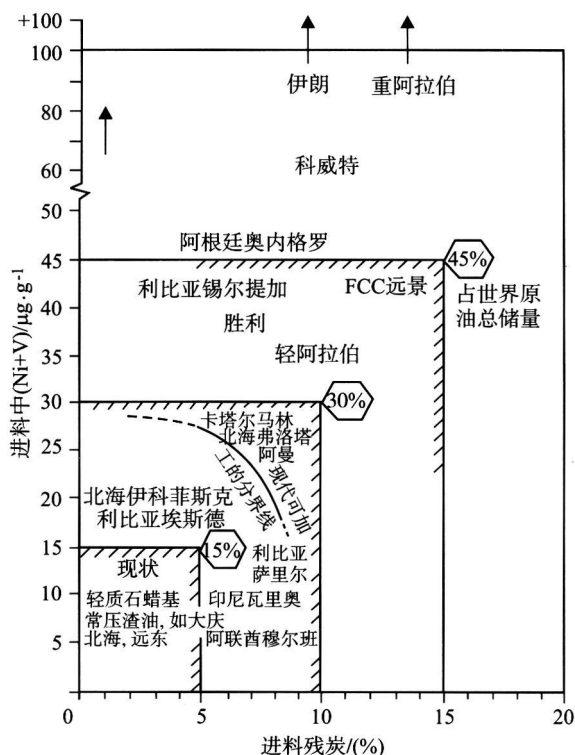


图 1 可供催化裂化作原料的潜在量<sup>[2]</sup>

## 2 催化裂化是最主要的运输燃料生产装置

催化裂化是生产汽、柴油组分最重要的炼油工

收稿日期: 2009-08-03

作者简介: 周惠娟 (1969-), 女, 上海宝山人, 高级工程师, 硕士, 主要从事石油化工技术经济信息研究工作。电话:

(0931) 7935432

艺。尽管世界各国由于油品市场情况不同,对催化裂化产品分布要求存在差异,但从数量上来看,催化汽、柴油组分是车用燃料的主要调合组分。

美国的催化裂化汽油约占汽油总量的 36%,加上催化裂化衍生汽油组分(烷基化油、MTBE等)则更高,甚至超过 50%。在欧洲,虽然催化裂化型炼油厂的数量只占总炼油厂数的约 60%,但这些炼油厂的加工能力一般高于炼油厂的平均加工能力,催化裂化汽油约占欧洲汽油总产量的 35%,西欧稍低约占 27%;日本的催化裂化型炼油厂约占总炼厂数的 71%,估计其催化裂化汽油占总汽油量的比例在 25%~30%之间;在我国,催化裂化一直是主要发展的炼油工艺,特别是 20 世纪 90 年代以来,催化裂化加工能力与中国经济一起快速增长,催化裂化汽油比例约在 80%左右<sup>[3~4]</sup>。美国的催化柴油占车用柴油的比例约小于 25%,西欧则小于 10%,而我国该比例仍在 30%左右。由于催化柴油的绝对量大,其对车用柴油的贡献也不容忽视。

### 3 催化裂化在炼油厂装置结构中的地位得以巩固和发展

催化裂化装置一直是炼油厂重油转化为轻质油的核心装置。进入 21 世纪后,虽然炼油厂数量减少(一些小炼油厂关闭),但世界催化裂化能力仍处于增长趋势。截至 2009 年 1 月 1 日,世界催化裂化总能力达到  $7.21 \times 10^8$  t/a<sup>9</sup>,居二次加工能力首位。美国仍是世界催化裂化最主要的国家,催化裂化能力接近  $2.87 \times 10^8$  t/a。目前催化裂化装置结构在世界各地炼油厂中差异较大,其中我国和美国比例最大,超过 30%。从整体情况来看,催化裂化装置结构比小于加氢处理装置结构比,但比加氢裂化、焦化、催化重整装置的结构比要高,与 10 年前相比,催化裂化结构比增加了约 1 个百分点,从而也反映出催化裂化装置的地位<sup>[9]</sup>。

中国是催化裂化能力增长最快的国家,催化裂化不仅是汽油的主要来源(提供 80%的汽油),也是柴油和低碳烯烃的主要来源(提供 30%~40%的柴油、40%的丙烯)。

1998~2005 年间,我国原油加工能力增长 27.92%,催化裂化能力提高 19.81%。我国绝大多数催化裂化属于重油催化裂化,2007 年中国石油和中国石化的催化裂化装置掺渣比例分别为 42.77%

和 34.16%,居世界第一位<sup>[7]</sup>。

从国内外催化裂化的发展情况来看,催化裂化装置加工能力占原油加工的比重仍然很大,尤其是我国,在新建炼油厂和扩建老炼油厂的加工流程中,该比例仍然高达 30%以上。尽管加氢裂化装置加工能力近年来有所上升,但一般在 10%左右,且新设计的大型全加氢炼油厂较少,可见催化裂化在 21 世纪仍将扮演重要的角色。

## 4 催化裂化发展面临的挑战

尽管催化裂化在炼油工业中的地位不可动摇,且技术已相对较成熟,但随着世界原油的日益重质化(含硫化、环保法规的不断推进,如何提高劣质原料油的转化、目的产物收率、汽柴油质量、多产丙烯和改善烟气排放等对催化裂化提出了更高的挑战。

### 4.1 原料劣质化

随着世界原油日趋重质化和劣质化,各国炼油厂大力发展掺炼或全炼重油和渣油的硫化催化裂化技术,以拓宽 FCC 原料油来源,满足全球市场对轻质油品的需求,最大限度地提高经济效益。我国 95%以上的催化裂化装置掺炼渣油,2007 年中国石油和中国石化两大公司共加工催化裂化原料约  $9.67202 \times 10^4$  t,其中常压渣油和减压渣油全部折成减压渣油,达到  $3.71131 \times 10^4$  t。RFCC 装置目前是我国重油轻质化最主要的生产装置,催化裂化(约 47%)与延迟焦化(约 31%)一起承担了我国约 80%的重油转化任务。我国催化裂化装置的高掺渣油量,为催化裂化的持续发展提出了挑战,必须开发相应的新技术解决催化裂化装置的结焦问题,保证装置的加工负荷和长周期运行。

### 4.2 产品清洁化

随着环保法规的强制推行,各国均加快了催化裂化产品清洁化的进程。北美和欧盟由于所加工原油和油品调合组分相对优化,催化裂化汽油烯烃含量相对不高,一般在其限值(不大于 18 V%)之内。今后最大的挑战在于汽油和柴油硫含量的进一步降低,在低硫燃料规格的基础上强制执行超低硫燃料规格。

我国约 80%的汽油和 30%的柴油来自催化裂化,催化裂化是我国运输燃料生产的主要装置。由

于我国汽车排放指标参照欧盟标准制定,因此汽油标准基本上也是参考欧盟标准。我国的油品需求是欧洲式的,但炼油厂加工流程却是美国式的,从而造成汽油过剩,柴油短缺。尽管汽油出口有政府补贴政策,但柴油价格却以市场为准。此外,我国的汽油组分分布不好,催化裂化汽油比例之大成为世界之最,从而造成汽油质量差,主要表现在辛烷值分布不均,使得汽车爬坡性能不高。

我国汽油烯烃含量、汽柴油硫含量、汽油辛烷值等均成为我国清洁燃料生产的难点,因此发展催化裂化汽柴油清洁化生产技术、提高汽柴油质量,为 FCC工艺和催化剂技术的发展带来了新的挑战。

#### 4.3 生产多产低碳烯烃

随着聚丙烯应用范围的不断扩大,特别是汽车等工业的发展要求聚丙烯替代非塑性材料和较为昂贵的合成树脂,推动了聚丙烯需求的增长。目前,美国约有 50%的丙烯来自催化裂化,我国约有 40%的丙烯也来自催化裂化。在我国,随着国民经济的快速增长,丙烯需求量进入了快速增长期,丙烯缺口很大。当前,催化裂化在化工方面的贡献主要是生产丙烯,可以预计,催化裂化将是炼油化工一体化的核心装置。

#### 4.4 生产过程清洁化

随着炼油厂空气质量法规日益严格,同时炼油厂趋于加工重油和含硫原油,使得 FCC装置排放控制不断受到关注。对许多炼油厂来说, FCC装置再生烟气是最大的气体排放源,包括颗粒物、 $SO_x$ 、 $NO_x$ 和 CO。目前,世界各国均有不同的 FCCU排放规定,其中对 FCC装置排放控制严格的国家和地区依次为欧洲、美国和日本。在我国,炼油厂对 FCC装置排放的控制大多不够重视。FCC装置焦炭颗粒允许排放量超过 10倍,  $NO_x$ 排放占到炼油厂排放的一半,  $SO_x$ 排放占炼油厂排放的 70%~80%。尽管在 2003年颁布的 HJ/T125-2003环境保护行业标准中制订了催化裂化装置烟气排放标准,但与发达国家排放要求相比,差距还很大。从长远来看,催化裂化生产清洁化是必然趋势。

### 5 国内外催化裂化技术水平差距比较

一,由于 FCC技术的快速发展和当地条件的多变,每套 FCC装置在硬件、进料、催化剂和加工目的产物方面有很大差别。FCC装置按不同的模式操作,最大量地获取不同的产品,如汽油、柴油和轻质烯烃,因而装置的转化率变化很大约 40%~90%。

FCC装置处理的原料范围很宽,从石蜡基轻瓦斯油到康氏残炭高达 10%的重质渣油<sup>[8]</sup>。FCC催化剂的活性组分也不同——不同类型的 Y型沸石和活性基质等,还使用大量的添加剂,使 FCC的操作范围更宽。在硬件方面,使用许多先进的附属系统,如高效进料喷嘴、提升管末端装置、汽提段内部构件、二段再生器、催化剂冷却器等。因此,虽然对 FCC操作和技术性能的评价方法很多,但要直接对两套不同的装置进行比较却是十分困难的。

在原料油方面,催化裂化原料质量除了反映原料分子结构固有的可裂化性这一根本特征外,还影响到热平衡和最终的裂化深度。表 1为世界 FCC进料性质,主要从以下几个方面考察,原料重量 (API重度、馏程分布)、烷烃含量 (特性因素  $K_{n-d-m}$ 分析)、金属含量 (Na, Ni, V, Fe)、杂原子 (S, N, 碱性 N)和康氏残炭。可以看出, FCC原料非常复杂,因此 FCC工艺和催化剂的选择、设备的可靠性等对 FCC产品都会产生很大的影响。在我国原油中,性质类似大庆原油的原油仍占很大比例,其特性为石蜡基低金属和低硫原油,适合作催化裂化原料。但随着我国新疆、西北油田的开采和加工进口原油,原油的复杂性正在提高,这就要求炼油厂要根据实际情况选择加工工艺和催化剂。国外高金属、高残炭含硫原油比例很大,由于产品要求,非常重质原油大多会经过加氢处理。

表 1 FCC进料性质<sup>[9]</sup>

	参数
硫含量 / (%)	0.006~4.73
总氮 / (%)	0.01~0.51
$N_i/\mu g \cdot g^{-1}$	0.1~19.2
$V_i/\mu g \cdot g^{-1}$	0.1~19.7
康氏残炭 / %	<0.1~12.6
馏程 / °C	
IBP	107~348
FBP	353~918
特性因素 $K_{n-d-m}$	10.98~12.64
CP	46.4~72.9
Cn	5.2~31.7
Ca	10.1~33.5

FCC工艺过程是炼油厂二次加工的主要工艺之

(下转第 63页)

(上接第 32 页)

在催化剂的使用理念方面,我国催化裂化装置一般采用较低的催化剂活性,属于比较典型的柴油或汽(或 LPG)柴油操作模式,平衡催化剂的活性范围主要集中在 60%~65%之间。国外催化裂化装置催化剂的使用理念是:追求整体效益而非单项效益。为了能够提高产物分布的选择性,一般不单独考虑剂耗带来的单项成本增加。通常采用高的催化剂活性(70%左右)、高的反应温度和单程操作,追求一次转化率,催化剂补充速率根据其活性需要来决定。我国催化裂化由于强调催化剂单耗(设为生产指标)即使在催化剂的活性远不能满足产物分布和产品性质需要的状况下,也不愿意增加催化剂的消耗来改善系统催化剂的品质。但却忽略了保持同样平衡活性下的催化剂单耗,国外一般不大于 60%,我国通常要达到 65%,这样会对产品分布产生一定的影响。

催化裂化的操作模式一般有回炼和单程两种操作模式。我国的催化裂化装置一般采用回炼操作模式,这种操作模式可以得到高的轻质油收率,但对装置的处理量有较大影响;而国外一般采用单程操作模式,以追求最大的处理量来获得最大的经济效益。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 钱伯章,朱建芳.世界原油质量趋势及我国面临的挑战[ J].天然气与石油,2006,24(4):61-65
- [ 2 ] 陈俊武,曹汉昌.催化裂化工艺与工程[ M].北京:中石化出版社,1995
- [ 3 ] Scott W. Shorey. Exploiting Synergy Between FCC and Feed Pretreating Units to Improve Refinery Margins and Produce Low-sulfur Fuels[ J]. NPRA AM-99-55, 1999
- [ 4 ] 陈俊武,卢捍卫.催化裂化在炼油厂中的地位和作用展望[ J].石油学报(石油加工),2003,19(1):1-11
- [ 5 ] Nakamura D. Refiners Add 2.7 million b/d Crude Refining Capacity in 2005[ J]. Oil & Gas Journal, 2005, 103(47):60-64
- [ 6 ] World Refining Capacity Creeps Ahead in 2004[ J]. Oil & Gas Journal, 2004, 102(12):20
- [ 7 ] 张德义.继续抓紧搞好我国炼油工业结构调整[ J].当代石油石化,2004,12(3):1-8
- [ 8 ] Singh S, Shan S K. Benchmarking FCC Units[ J]. Hydrocarbon Processing, 1998, 77(12):91-99
- [ 9 ] James R D Neff. Maximizing Refinery Profitability with Next Generation Alumina Sol FCC Catalyst Technologies MPACT™, LIBRA™, POLARIS™ and PNNACLE™ [ J]. NPRA AM-05-68, 2005