

催化裂化技术进展

潘元青 伏喜胜 主编

CUIHUA LIEHUA JISHU JINZHAN



石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了近 10 年来催化裂化工艺、催化剂及助剂、设备、清洁生产等方面的技术进展,分析了技术发展的突破所在和技术创新点,对发展趋势作了预测;对比了国内外催化裂化装置的经济技术指标,并给出了一些装置技术改造实例。可供炼油行业科研生产和教学培训人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

催化裂化技术进展/潘元青,伏喜胜主编.
北京:石油工业出版社,2010.12
ISBN 978-7-5021-8066-9

- I. 催…
- II. ①潘…②伏…
- III. 石油炼制-催化裂化
- IV. TE624.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 194561 号

出版发行:石油工业出版社
(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)
网 址:www.petropub.com.cn
编辑部:(010)64523585 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店
印 刷:石油工业出版社印刷厂

2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
787×1092 毫米 开本:1/16 印张:17
字数:429 千字

定价:60.00 元
(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)
版权所有,翻印必究

《催化裂化技术进展》

编 委 会

顾 问：陈俊武

主 编：潘元青 伏喜胜

副主编：王会东 周惠娟

编 委：行 程 党兰生 安军信 刘从华 庞新梅
刘宏海 申建华 李雪静 黄玉丽 赵渊杰

序

我国石油资源偏重和对外依存度不断增加(已超过 50%)的严峻局面,决定了炼油工业走深加工路线势在必行。与延迟焦化和加氢处理等典型重油加工工艺相比较,催化裂化有其独特的优势,因而在炼油工业过程中长期占有重要地位。近年来世界各地的催化裂化加工能力仍在不断增加。我国催化裂化技术的发展更鲜明的以重油催化裂化为特色,其加工能力目前已达 1.4 亿吨,占原油加工比重超过 35%,这一比例在世界各国中应属最高。我国催化裂化装置不仅是汽油的主要来源,也是柴油和低碳烯烃的主要来源,在今后相当长时间内仍将是重油加工的重要手段之一。

经过几代人不懈的探索与创新,国内 FCC 掺炼渣油量在不断上升,已居世界前列。催化剂的研发和生产技术也从无到有取得长足的进步。国产催化剂在渣油裂化能力和抗金属污染等许多方面已不在国外催化剂的水平之下。目前国产催化剂已占到国内市场的 95% 左右。我国自主开发了多种工艺技术,如深度裂化多产丙烯的 DCC 工艺、多产异构烷烃和清洁油品的 MIP 工艺、重油直接裂解制乙烯的 HCC 工艺以及两段提升管 TSRFCC 工艺等,在很大程度上满足了国内对重油高效转化、清洁汽油生产以及多产低碳烯烃的需求,部分成套工艺技术和催化剂产品已进入国际催化裂化技术市场。在重油低焦炭深度裂化的工艺与催化剂技术、汽油降硫与减少装置排放技术、节能降耗和改进装置各构成部分效率的设备技术等方面,则还需要持续的努力。因此,及时调查催化裂化国内外先进技术应用与开发现状,并对其发展动向进行评估研究,对我国炼油生产及科研开发具有重要意义。

中国石油天然气股份有限公司的炼化科技工作者编写的《催化裂化技术进展》,关注和跟踪了国内外催化裂化技术的发展历程和最新动向,是一本很好的学习材料。通过对国内外期刊、特种文献、主要专利商专利技术的检索,广泛采集催化裂化技术应用和开发方面的信息。重点针对国内外催化裂化工艺技术、催化剂及助剂、仪器设备、烟气排放、二氧化碳减排等方面技术的现状与发展历史进行研究,预测了国内外催化裂化催化剂与技术发展趋势。

此书较全面地论述了为应对当前形势催化裂化技术研发和生产应用所作的努力,其出版十分及时。内容具有以下特点:(1)对国内外催化裂化技术新进展作了较全面的总结,分析了技术发展的突破所在和技术创新点,尝试对国内催化裂化生产和技术开发的发展战略提出建议;(2)较系统地分析催化裂化工艺、催化剂、设备、改造以及节能环保等各个方面,以冀有助于技术人员综合把握催化裂化技术及其有效应用;(3)对比整理了国内外催化裂化装置有关收率、能耗以及成本构成等核心经济技术指标,为催化裂化技术科研开发和生产管理方面提供了较详细的基础数据。

此书作为当代催化裂化技术发展的及时而较深入的总结,可供科研生产和教学培训人员参考,或作为现代炼化技术知识而普及。希望这本书能为广大炼油化工科技工作者带来帮助和启迪。让我们为提高我国催化裂化技术水平,以满足我国经济的可持续发展而共同努力!

何鸣元

前言

自 1942 年 Exxon 公司第一套流化催化裂化(FCC)装置投产以来,催化裂化技术已有 60 余年的发展历程。催化裂化在炼油过程中始终占有举足轻重的地位,是最为重要的重油轻质化手段之一。进入 21 世纪,催化裂化工艺虽面临加氢裂化工艺的竞争和日益严格的环保法规的挑战,但在各工艺过程中仍保持领先地位,在重油高效转化、清洁燃料生产、多产低碳烯烃、增产柴油等方面,相继开发了多种催化裂化新工艺。与此同时,与之配套的技术,如功能化重油 FCC 催化剂系列产品、高效雾化喷嘴、提升管出口快分、再生器取热、沉降器汽提、烟气能量回收等技术的不断创新,也大大促进了 FCC 工艺的发展和经济技术水平的提高。未来 FCC 装置还有可能承担降低二氧化碳排放的责任,以缓解全球变暖的压力。

目前,全世界催化裂化能力已达 8 亿吨,我国催化裂化能力近 10 年间上升 100%,已达 1.4 亿吨,占原油加工能力的比重维持在 35% 左右,为世界上催化裂化比重最高的国家,提供了国内 75% 的汽油、35% 的柴油,40% 的丙烯。目前,世界加氢裂化能力虽然有所上升(10% 左右),新建加氢裂化能力与催化裂化能力的比例仍保持在 0.3 上下。在我国新建和扩建炼厂的加工流程中,催化裂化装置占原油加工能力比重虽较过去有所下降,但仍高达 30% 以上。因此,在世界范围内,即使在采用多产中间馏分油方案时,催化裂化还是重油加工中不可缺少的手段,催化裂化工艺在 21 世纪仍将扮演着重要角色。

我国催化裂化装置大都掺炼渣油,属重油催化裂化(RFCC)。催化裂化在我国炼油工业中始终占有不可替代的地位,成为重油轻质化和提高经济效益的重要手段。同时,国内催化汽油占成品汽油的比例较高,随着环保法规的日益苛刻,低烯烃和低硫清洁汽油的生产压力会不断增加;随着丙烯需求的增长,许多大型炼油企业正在转向与化工联合,而催化裂化装置增产低碳烯烃是炼油化工结合的有效途径;此外,柴油产品一直是国内油品市场关注的焦点,提高催化裂化装置的柴汽比已成为影响油品供需平衡的重要因素。以上生产与市场需求特点对催化裂化技术提出了更高要求。

基于我国原油资源的特点和 FCC 在二次加工能力中占绝对比重的现状,未来

FCC 仍然是我国重油轻质化和生产汽油的主要加工技术。满足环境保护日益严格的要求和不断提高炼厂的经济效益构成了推动催化裂化工艺及催化剂技术进步的基本动力。催化裂化面临进一步发展的迫切要求,这是挑战也是机遇。本书分为六章,分析研究了催化裂化国内外先进技术应用与开发现状,并对其发展动向进行预测研究。主要包括(1)催化裂化在炼油工业中的地位和作用;(2)催化裂化工艺技术现状与发展趋势;(3)催化裂化催化剂技术现状与发展趋势;(4)催化裂化助剂技术现状与发展趋势;(5)催化裂化设备技术现状与发展趋势;(6)催化裂化清洁生产技术现状与发展趋势。

本书在编写过程中,跟踪了国内外 10 年来催化裂化催化剂与工艺技术的发展轨迹和最新动向,通过对国内外期刊、特种文献、主要专利商专利技术的检索,全面采集催化裂化技术应用和开发方面的信息,并重点对国内外催化裂化工艺技术、催化剂及助剂、主要设备、烟气排放、二氧化碳减排等方面的技术(包括已工业化投用技术、新开发技术、专利研究动态)的现状与发展历史进行研究,预测了国内外催化裂化催化剂与技术发展趋势。当然,由于水平与能力有限,难免有不足之处,恳请广大读者谅解并指正。

在本书的编写过程中,得到了姚国欣、毛学文、高雄厚、徐小红、周亚斌等专家的许多指导和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

编者

2010 年 6 月

目 录

第一章 催化裂化在炼油工业中的地位和作用	(1)
第一节 催化裂化的发展变化	(1)
一、催化裂化原料变化及趋势	(1)
二、运输燃料需求及催化裂化组分的贡献	(6)
三、催化裂化在炼油厂装置结构中的地位	(9)
第二节 催化裂化发展面临的挑战	(12)
一、原料劣质化	(12)
二、产品清洁化	(14)
三、多产低碳烯烃	(16)
四、多产柴油	(17)
五、降低烟气排放	(17)
六、二氧化碳减排	(19)
第三节 催化裂化技术的发展方向	(20)
一、加工重质原油、根据产品方案调整工艺	(20)
二、利用催化剂改质油品和降低排放	(20)
三、通过 FCC 装置改造以提高炼油厂利润	(21)
第四节 国内外催化裂化技术经济水平对比	(23)
一、国内外催化裂化技术水平比较	(23)
二、国内外催化裂化装置经济水平比较	(28)
三、国内外催化裂化装置生产技术水平对比	(31)
参考文献	(32)
第二章 催化裂化工艺技术现状与发展趋势	(33)
第一节 催化裂化现有生产工艺	(33)
一、国外催化裂化主要生产工艺	(33)
二、国内催化裂化主要生产工艺	(41)
第二节 重油催化裂化工艺技术新进展	(46)
一、国外重油转化催化裂化技术	(46)
二、国内重油转化催化裂化技术	(52)
第三节 多产低碳烯烃催化裂化工艺技术新进展	(57)
一、国外多产低碳烯烃催化裂化技术	(57)
二、国内多产低碳烯烃催化裂化技术	(66)

第四节 降烯烃催化裂化工艺技术新进展	(73)
一、RIPP 的 MIP 工艺	(73)
二、LPEC 的 FDFCC 工艺	(75)
三、中国石油大学(华东)的 TSRFCC-LOG 工艺	(77)
四、中国石油大学(北京)的辅助提升管工艺	(79)
第五节 多产柴油催化裂化技术新进展	(81)
一、调整操作增产柴油	(81)
二、Shell 公司的 Milos 技术	(83)
三、RIPP 的 MDP 工艺	(84)
四、RIPP 的 MGD 工艺	(85)
第六节 组合工艺	(87)
一、催化裂化-延迟焦化组合工艺	(87)
二、催化裂化-溶剂脱沥青组合工艺	(88)
三、渣油热转化-溶剂脱沥青-催化裂化组合工艺	(92)
四、焦化-溶剂抽提-催化裂化组合工艺	(93)
五、催化裂化-芳烃抽提组合工艺	(94)
六、润滑油糠醛精制-催化裂化回炼油抽提组合工艺	(96)
七、渣油加氢处理-重油催化裂化双向组合工艺	(97)
参考文献	(99)
第三章 催化裂化催化剂技术现状与发展趋势	(101)
第一节 全球主要催化裂化催化剂公司及其技术特色	(101)
一、国外主要催化裂化催化剂公司技术特色	(101)
二、国内催化裂化催化剂研发机构技术特色	(112)
第二节 重油催化剂技术新进展	(113)
一、重油催化剂的性能	(113)
二、国外重油催化剂技术进展	(115)
三、国内重油催化剂技术进展	(122)
第三节 多产低碳烯烃催化剂技术新进展	(125)
一、国外多产低碳烯烃催化剂技术进展	(126)
二、国内多产低碳烯烃催化剂技术进展	(129)
第四节 降汽油烯烃催化剂技术新进展	(134)
一、国外降汽油烯烃催化剂技术进展	(135)
二、国内降汽油烯烃催化剂技术进展	(135)
第五节 降汽油硫催化剂技术新进展	(137)
一、降低汽油硫含量原理	(137)

二、国外降汽油硫催化剂技术进展	(139)
三、国内降汽油硫催化剂技术进展	(147)
第六节 提高轻循环油收率催化剂技术新进展	(148)
一、提高轻循环油收率的原理	(148)
二、国外提高轻循环油收率催化剂技术进展	(149)
参考文献	(150)
第四章 催化裂化助剂技术现状与发展趋势	(152)
第一节 金属钝化剂	(152)
一、钝镍剂	(153)
二、钝钒剂	(154)
三、多功能钝化剂	(157)
第二节 塔底油裂解助剂	(159)
一、塔底油裂解助剂作用机理	(159)
二、国外塔底油裂解助剂的研究和应用	(160)
三、国内塔底油裂解助剂的研究和应用	(164)
第三节 油浆阻垢剂	(165)
一、油浆结垢原因分析及阻垢机理	(165)
二、国外油浆阻垢剂的研究和应用	(166)
三、国内油浆阻垢剂的研究和应用	(166)
第四节 辛烷值助剂	(170)
一、国外催化裂化辛烷值助剂	(170)
二、国内催化裂化辛烷值助剂	(172)
参考文献	(173)
第五章 催化裂化设备技术现状与发展趋势	(174)
第一节 催化剂预提升段和进料系统技术	(174)
一、催化剂预提升段技术	(174)
二、喷嘴	(177)
第二节 FCC 反应终止与油剂分离技术	(189)
一、终止剂技术	(189)
二、反应器出口快分技术	(191)
三、汽提器技术	(201)
第三节 烟气回收系统技术	(208)
一、国外三级旋风分离器技术	(208)
二、国内三级旋风分离器技术	(211)

第四节 能量回收系统技术	(214)
一、烟气轮机同轴机组的配置	(215)
二、烟气轮机分轴机组的配置	(216)
第五节 典型 FCC 装置改造实例	(216)
一、FCC 装置改造技术汇总分析	(216)
二、国外装置采用国外技术改造实例	(219)
三、国内装置采用国内技术改造实例	(220)
参考文献	(223)
第六章 催化裂化清洁生产现状与发展趋势	(225)
第一节 催化裂化装置烟气 SO _x 排放的控制技术	(225)
一、控制催化裂化烟气中 SO _x 排放的“硬件”技术	(225)
二、控制催化裂化烟气中 SO _x 排放的助剂技术	(231)
第二节 催化裂化装置烟气 NO _x 排放的控制技术	(235)
一、控制烟气催化裂化 NO _x 排放的硬件技术	(235)
二、改进催化裂化再生系统控制 NO _x 排放	(238)
三、控制烟气催化裂化 NO _x 排放的助剂技术	(240)
第三节 催化裂化装置烟气 CO 排放的控制技术	(243)
一、贵金属 CO 助燃剂	(243)
二、非贵金属 CO 助燃剂	(244)
第四节 催化裂化装置烟气颗粒物排放的控制技术	(246)
一、烟气洗涤器	(247)
二、静电沉降器	(247)
三、烟气过滤器	(247)
第五节 催化裂化装置二氧化碳减排技术	(248)
一、优化工艺和提高设备能效	(248)
二、再生器催化剂结焦的气化技术	(253)
三、减排压力下催化裂化的发展	(255)
参考文献	(256)

第一章 催化裂化在炼油工业中的地位和作用

第一节 催化裂化的发展变化

催化裂化在炼油工业中的重要性可以通过从加工原料变化、产品结构变化以及炼油装置的构成变化来反映。

一、催化裂化原料变化及趋势

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。催化裂化所加工的原料性质随着世界原油产量和质量的变化及技术进步发生了较大的变化。

1. 世界原油产量和质量的变化

根据 BP 能源统计,2008 年世界原油总产量为 $39.29 \times 10^8 \text{t}$,各地区所占的份额依次为中东(31.9%)、欧洲及欧亚大陆(21.7%)、北美(15.8%)、非洲(12.4%)、亚太(9.7%)和中南美(8.5%)。由此可以看出,中东原油产量接近世界原油总产量的 1/3,亚太地区产量下降,其排名已位于非洲之后。从产油国来看,主要集中在沙特阿拉伯、俄罗斯和美国。表 1-1 列出了 2004—2008 年世界十大产油国原油产量(期间排名略有变化)。从表中可以看出,世界原油产量分布极不均匀,世界前十大原油生产国年产量占世界总产量的 60% 以上。

表 1-1 世界十大产油国原油产量一览 ×10⁶t

排名	国家	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
1	沙特阿拉伯	506	526.8	514.3	494.2	515.3
2	俄罗斯	458.8	470	480.5	491.3	488.5
3	美国	329.2	313.3	310.2	309.8	305.1
4	伊朗	207.9	206.2	208	209.7	209.8
5	中国	174.1	180.8	183.7	186.7	189.7
6	墨西哥	190.7	187.1	183.1	172.7	157.4
7	加拿大	147.6	144.9	153.4	159.5	156.7
8	阿联酋	124.7	129	139	136.4	139.5
9	科威特	122.3	129.3	132.7	129.9	137.3
10	委内瑞拉	150	151	144.2	133.9	131.6
合 计		3864.8	3891.6	3908.8	3902.3	3928.8
占世界总产量的比例,%		62.39	62.66	62.66	62.12	61.87

进入 21 世纪后,北美和俄罗斯等地的原油产量所占比例有所下降,中东地区原油比例增加,亚太地区由于自身探明储量的不足,原油产量几乎没有增长。美国能源情报署(EIA)在《国际能源展望》(2008 年版)中曾预测,未来世界原油产量增长主要来自欧佩克(OPEC)国家,且仍然集中在中东,到 2030 年中东原油所占比例为 32.76%(表 1-2)。

表 1-2 世界原油产量预测									× 10 ⁸ t
地 区	1990 年	2006 年	2007 年	2010 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2030 年占 总量/%
中东	17.4	25.1	24.5	25.3	26.9	27.8	28.9	30.5	32.76
非洲	6.6	10.2	10.5	11.4	12.4	12.4	12.7	13	13.96
北美	14.3	13.6	13.4	13	12.2	12.3	12.9	13.1	14.07
中南美	4.5	6.4	6.3	6.2	6.6	7.8	8.6	9.4	10.10
亚太地区	6.8	8.4	8.5	8.5	8.1	8	7.7	7.4	7.95
欧洲和欧亚大陆	16.1	17.8	18	16.8	17.2	18.3	18.9	19.7	21.16
世界合计	65.7	81.5	81.1	81.3	83.4	86.7	89.6	93.1	100
OPEC 份额	36%	42%	42%	43%	45%	45%	45%	45%	—

世界原油产量的发展具有以下特点:

(1)世界各地区原油产量的排名基本保持不变,依然是中东、欧洲和欧亚大陆、北美、非洲、亚太地区和中南美。但未来中东原油产量占世界总产量的比例会逐年提高,随着时间的推移,中东原油在世界上的地位将更加重要。

(2)2005—2020 年,世界原油年产量将保持上升趋势,增幅平均为每年 1 × 10⁸t。中东、俄罗斯、非洲是全球原油产量主要增长区,合计年均增长 0.7 × 10⁸t,占世界原油增长的 70% 以上。

(3)西欧和亚太地区产量呈下降趋势,北美地区原油产量增长缓慢。

据埃尼集团的调查报告,1997—2007 年,世界各国生产的常规原油中重质原油的比例在增加(表 1-3)。截至 2007 年,生产原油约 30% 为轻质原油(> 35° API)、56% 为中质原油(26 ~ 35° API)、14% 为重质原油(10 ~ 26° API),而 1997 年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%。

表 1-3 世界原油产量(按质量变化)的趋势										× 10 ³ bbl/d ^①		
项 目	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
世界	64252	66279	67313	65711	67931	67994	67497	70185	73028	73898	74213	73957
超轻质	1232	1310	1335	1404	1577	1617	1634	1740	1827	1938	2051	2148
轻质、低硫	12649	12861	12582	12418	12544	12296	11470	11660	12037	11992	12355	12432
轻质、含硫	2500	2513	2582	2515	2646	2698	2302	2582	2798	2941	3145	3310
轻质、高硫	1963	2250	2498	2346	2498	2390	2298	2351	2413	2448	2513	2423

① 1bbl = 159L。

续表

项 目	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
中质、低硫	6340	6471	6629	6851	7011	7119	7873	7936	7971	7937	7623	7671
中质、中等硫	1682	2180	1981	1897	1925	1919	1532	1558	1577	1712	1733	2440
中质、含硫	24625	25246	25701	24993	25801	25582	25797	27643	29286	29682	29556	28595
重质、低硫	1303	1053	1190	1094	1091	1158	1345	1342	1440	1440	1452	1708
重质、中等硫	977	985	1119	1226	1445	1527	1696	1663	1806	2066	2141	2029
重质、含硫	4854	5223	5579	5155	5596	5855	5739	5963	6315	6405	6285	5855
未定义	6126	6186	6116	5810	5797	5834	5810	5746	5558	5336	5358	5347
美国	5065	5153	5080	4827	4816	4844	4750	4706	4515	4313	4361	4377
其他	1061	1033	1036	983	981	990	1060	1040	1043	1023	997	970
未定义/世界/%	10	9	9	9	9	9	9	8	8	7	7	7

20 世纪 90 年代中期以后,美国炼油厂加工的原油中进口原油占 50%,主要来自加拿大、墨西哥、委内瑞拉、沙特阿拉伯和西非。其中,沙特阿拉伯原油约占进口总量的 20%,除西非是低硫轻质原油外,其他原油主要是中重质含硫和高硫原油,平均含硫量约为 2.1%。美国炼油厂加工重质含硫原油的比例约占 60%,但也加工 35% 左右的轻质低硫原油。欧洲炼油厂加工的原油除北海低硫原油外,还有进口的非洲低硫原油、俄罗斯和中东含硫原油,含硫原油的平均含硫量约为 1.8%。欧洲炼油厂加工重质含硫原油的比例约占 40%,轻质低硫原油的比例约占 45%。西北欧炼油厂一般加工低硫原油,中南欧一般加工含硫原油。日本消费的石油 99.7% 依靠进口,由于亚洲产油国原油出口量减少,日本不得不进口更多的中东含硫原油。其 1994 年进口中东原油的比例约占进口总量的 75%,2001 年已上升到近 90%。由于中东出口重质原油(相对密度 >0.8780)的数量占出口原油总量的比例由 16% 上升到 25%,因此日本炼油厂加工的原油变得越来越重,含硫量越来越高。

2. 我国原油产量和质量的变化

我国随着经济的发展,原油需求量已经超过日本,成为仅次于美国的世界第二大原油进口国。但我国油田复杂(尤其是新疆维吾尔自治区和其他西北地区油田),基础勘探工作不配套,新旧油田接替存在问题。到 2007 年年底,全国共有 23 个盆地发现了原油探明地质储量,累计探明原油地质储量为 $275.1 \times 10^8 \text{t}$,累计探明原油经济可采储量为 $68.79 \times 10^8 \text{t}$,另外在这些盆地中还拥有累计探明凝析油地质储量为 $2.23 \times 10^8 \text{t}$,累计探明凝析油经济可采储量为 $0.56 \times 10^8 \text{t}$ 。我国近年原油产量在 $1.6 \times 10^8 \text{t}$ 上下徘徊,增产能力有限(表 1-4)。预计 2010 年我国原油产量将增加 1% ~ 2%。

表 1-4 中国近年原油产量

$\times 10^8 \text{t}$

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
产量	1.69	1.70	1.75	1.81	1.84	1.86	1.90

近年来,我国的石油对外依存度不断增加(图 1-1),从 2001 年 30% 左右上升到 2007 年的 50% 以上,其间虽然出现过短暂下滑现象,但总体上仍然是呈逐步上升趋势。据能源专家预测,我国石油对外依存度 2020 年将达到 60%,从而超过美国。

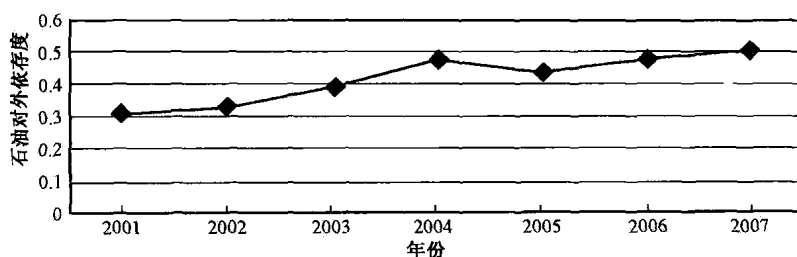


图 1-1 2001—2007 年我国对外石油依存度

资料来源:2001—2005 年数据来自《中国能源年鉴(2005/2006)》;

2006—2007 年数据来自《中国统计年鉴(2007)》和《中国统计年鉴(2008)》

在不计原油出口的情况下,预计 2010 年和 2015 年我国原油缺口将分别为 $1.37 \times 10^8 \text{t}$ 和 $1.94 \times 10^8 \text{t}$ 。根据国际能源机构(IEA)分析,2010 年我国原油需求将有 50% 依赖进口,2020 年将有 60% 依赖进口。表 1-5 为中国石化咨询公司对我国原油进口资源的预测。可以看出,我国原油进口主要还是依赖中东,其次为俄罗斯和非洲。但随着时间的推移,对中东原油的依赖程度还会提高。

表 1-5 我国原油进口资源预测

地 区	2010 年		2020 年	
	数量/ 10^8t	比例/%	数量/ 10^8t	比例/%
俄罗斯	0.3 ~ 0.4	17 ~ 22	0.4 ~ 0.5	15 ~ 19
非洲	0.40	22	0.59	22
中东	1.0 ~ 1.1	56 ~ 61	1.59 ~ 1.7	59 ~ 63
合计	1.7 ~ 1.9	100	2.58 ~ 2.79	100

注:1. 根据国内研究机构预测,2010 年进口原油 $1.7 \times 10^8 \text{t}$ 左右,2020 年为 $2.7 \times 10^8 \text{t}$ 左右;

2. 尽可能多地安排进口来源地,以分散进口风险;

3. 在 4 大原油净出口地区中:中东、非洲、俄罗斯和中南美洲,优先考虑进口俄罗斯的原油资源;

4. 2010 年、2020 年从非洲进口原油的份额保持在 20% ~ 25%;

5. 不足的部分,用中东原油补足,最大限度地降低中东原油的进口比例。

随着我国对进口原油依存度的增长,无疑对我国的炼油工业会带来一定影响。因为国外原油以高硫重质原油为主,如产量最大的中东原油(储量 $934 \times 10^8 \text{t}$ 、储采比 83.2 年)和南美地区原油(储量 $136 \times 10^8 \text{t}$ 、储采比 39.1 年)均以高硫重质原油为主,俄罗斯(储量 $90 \times 10^8 \text{t}$ 、储采比 23 年)除远东部分原油(如西伯利亚轻油和库页岛原油)是含硫或低硫油外,大部分也是高硫和重质原油。

在生产低硫原油的国家中,印度尼西亚(储采比 9.8 年)、越南(储采比 5.2 年)、挪威(储采比 7.7 年)和英国(储采比 5.3 年)的远景资源保障受到一定限制。中东的阿曼和非洲的安哥拉等国(储采比 15 ~ 20 年)不受限制。从产量来看,欧洲、非洲、亚太和部分俄罗斯的低硫(或含硫)原油产量在 $11 \times 10^8 \text{t}$ 以上,就目前来说,低硫原油资源显得并不十分短缺,但随着环保要求的提高,对低硫原油的需求将大幅度增长,加上可采储量逐年减少,中长期的稳定供应并不乐观。从资源分布情况来看,可获得的稳定远景资源应该还是中东和俄罗斯等高硫原油。

目前,我国加工的国产原油主要来自中国石油天然气股份有限公司(中国石油)、中国石油化工股份有限公司(中国石化)、中国海洋石油总公司(中国海油)三家大型国资企业。其

中,中国石油的产量约占国内石油总产量的 60%。进口原油目前主要来自中东和非洲,亚太地区、欧洲、北美洲、南美洲也有一定的进口量。我国原油进口量最大的 5 个国家是沙特阿拉伯、阿曼、伊朗、安哥拉、苏丹。随着与俄罗斯、哈萨克斯坦等国的石油贸易发展,中亚将有望成为我国又一个主要的石油资源地。表 1-6 列出了典型的我国原油与沙特阿拉伯原油的主要性质对比数据。

表 1-6 典型的原油主要性质

性 质	沙特阿拉伯轻质原油	沙特阿拉伯重质原油	大庆原油	胜利原油
相对密度(d_4^{20})	0.8576	0.8858	0.8555	0.9007
运动粘度(21℃)/ $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	62.5	194.0	20.19(50℃)	83.36(50℃)
倾点/℃	-29	-29	30(凝点)	28
残炭/%	4.10	7.67	2.9	6.4
硫含量/%	1.93	2.99	0.10	0.8
氮含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	931	1981	1600	4100
镍含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	6	20	3.1	26.0
钒含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	16	60	0.04	1.0
各段馏分/%				
$\text{C}_3 \sim \text{C}_4$	0.7	1.59		
$\text{C}_5 \sim 170^\circ\text{C}$	19.02	13.71	10.7(<200℃)	7.6(<200℃)
170 ~ 220℃	8.38	6.58	8.6(130 ~ 230℃)	6.9(130 ~ 230℃)
220 ~ 370℃	26.9	22.02	17.3(200 ~ 350℃)	15.2(200 ~ 350℃)
370 ~ 540℃	25.26	22.63	26 ~ 30(350 ~ 550℃)	27.0(350 ~ 550℃)
> 540℃	19.74	33.46	42.8(>500℃)	47.1(>500℃)
各馏分硫含量/%				
汽油	0.02	0.02	0.02	0.015
煤油	0.096	0.15	0.04	
柴油	1.202	1.461	0.005	
蜡油	2.541	3.207	0.045	
减压渣油	4.413	5.500	1.0	

3. 催化裂化原料质量及发展趋势

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主要限制指标,随着原油质量的劣质化,催化裂化的技术也在不断发展,一大批处理高残炭、高金属含量的原料装置相继建成投产。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 1-2),由此可见催化裂化工艺的发展前景。

表 1-7 为 2003 年世界 FCC 进料性质范围,它主要从以下几个方面对进料进行了考察:原料质量(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。从表中可以看出,由于 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 产品会产生很大的影响。

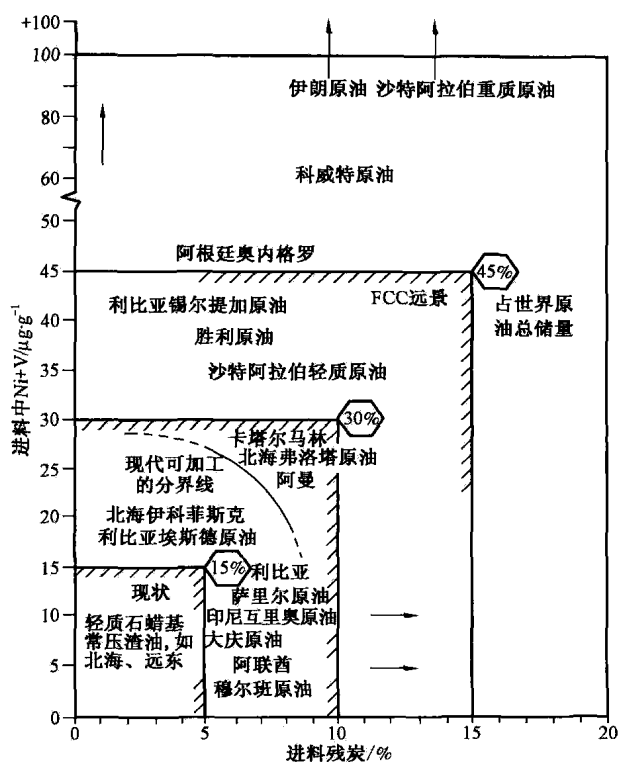


图 1-2 可供催化裂化作原料的潜在量

注:图中箭头表示原油中金属含量及残炭有不断增加的趋势。

表 1-7 FCC 进料性质(2003 年调查)

项 目	参 数
S/%	0.006 ~ 4.73
总 N/%	0.01 ~ 0.51
Ni/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	0.1 ~ 19.2
V/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	0.1 ~ 19.7
馏程/°F	
IBP	225 ~ 658
FBP	667 ~ 1685
康氏残炭/%	<0.1 ~ 12.6
特性因数(K)	10.98 ~ 12.64
族组成分析(n-d-M 法) ^①	
CP(石蜡烃)	46.4 ~ 72.9
CN(环烷烃)	5.2 ~ 31.7
CA(芳烃)	10.1 ~ 33.5

① n-d-M 法为“折射率-密度-相对分子量法”。

二、运输燃料需求及催化裂化组分的贡献

催化裂化提供的产品有汽油、柴油和液化石油气等。世界各国由于油品市场情况的不同,对催化裂化产品分布要求也存在着差异。