

延迟焦化 工艺与工程

(第二版)

瞿国华 主 编
李 锐 李出和 李和杰 谢崇亮 副主编



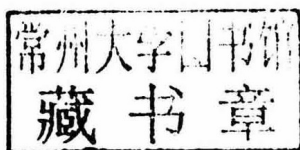
中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

延迟焦化工艺与工程

(第二版)

瞿国华 主 编
李 锐 李出和 副主编
李和杰 谢崇亮



中国石化出版社

内 容 提 要

本书论述了当代延迟焦化工艺和工程的理论与实践。内容包括焦化原料与产品、重质油热转化化学、焦化工艺流程与操作参数优化、焦化加热炉、焦炭塔和主分馏塔、焦化水力除焦、装置安全生产技术及QHSE、焦化环境保护工程和技术经济分析等,内容注重反映了十多年来焦化的技术进步。同时,本书对延迟焦化历史和未来发展趋势进行了阐述。

本书内容比较系统、完整,具有较高的理论水平和实际应用价值。可供炼油、石化行业从事生产、科研、设计和管理工作的广大工程技术人员及高等院校有关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

延迟焦化工艺与工程 / 瞿国华主编. —2版.
—北京:中国石化出版社,2017.12
ISBN 978-7-5114-4799-9

I. ①延… II. ①瞿… III. ①石油炼制-延迟焦化
IV. ①TE624.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第328364号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号

邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米 16开本 56印张 1421千字

2017年12月第2版 2017年12月第1次印刷

定价:320.00元

《延迟焦化工艺与工程》

(第二版)

主 编 瞿国华

副主编 李 锐 李出和 李和杰 谢崇亮

顾 问 黄大智 梁文杰

撰 稿 人

第一章 胡德铭 瞿国华

第二章 李 锐 刘自宾 申海平 赵锁奇

第三章 王宗贤 郭爱军 陈 坤 刘 贺

第四章 李 锐 范启明 申海平 付兴国 李斌红 瞿国华

第五章 李出和 李 锐 张东明 宋连军 李晋楼 李 卓

李 蕾 颜 峰 范海玲 黄新龙

第六章 李和杰 顾一天 罗 莹 杨成炯 杜 翔 郭永博

张 蕾 于凤昌 李小娜 车春梅 杨青云 韩艳萍

第七章 杨云峰 傅钢强 周雨泽 王大寿

第八章 赵景霞

第九章 谢崇亮 毕治国 邹大路

《延迟焦化工艺与工程》

(第一版)

主 编 瞿国华

副主编 黄大智 梁文杰

撰 稿 人

- 第一章 胡德铭 瞿国华
- 第二章 李 锐 王子军 黄大智 梁文杰
- 第三章 梁文杰 丁宗禹
- 第四章 刘志强 王玉章 黄大智
- 第五章 瞿国华 晁可绳 李春年 李和杰 胡德铭
李 锐 周文平 胡海波 宋连军
- 第六章 肖家治 魏学军 郑战利 晁可绳 梁文杰
- 第七章 顾一天 李出和
- 第八章 樊东升 晁可绳
- 第九章 顾一天 宋洪建 瞿国华
- 第十章 竺建敏 张 斌
- 第十一章 王介华 张连忠 李出和
- 第十二章 林 苹
- 第十三章 文 彬 李春年 胡德铭

第二版前言

《延迟焦化工艺和工程》一书自 2007 年出版至今已经十年，期间我国炼油工业尤其是重油加工业得到了突飞猛进的发展，延迟焦化不仅在产能的提升而且在技术进步方面都取得了很大的成绩。为反映我国炼油工业延迟焦化产业所取得的重大成就和达到的水平，在中国石化出版社的大力支持及行业中相关领导和科技人员的努力下，经过三年时间，几易其稿，《延迟焦化工艺和工程》第二版即将出版问世，这是我们从事炼油工业尤其是和焦化专业有关的管理人员、科技人员、生产人员非常欣慰的一件事。

本世纪内在重油加工领域中，一个重要的趋向就是脱碳和加氢路线两者将发挥各自的优势并驾齐驱协调发展，并形成以组合工艺为核心的互补平衡式重油加工流程，达到扬长避短、充分发挥各种重油加工工艺各自的优势。总体上讲，今后世界原油品质(包括非常规石油)将更为劣质化、重质化，以脱碳为主的焦化工艺仍将有着广阔的发展前景，但焦化产能提升将主要受控于炼油总产能的发展速度，焦化今后的主要发展方向和重点将是技术创新和在采用重油加工互补平衡式流程的炼厂中提升它的优化整合的效果，如包括加工原料高度优化整合(加工原油的多样性)、产品结构高度优化整合(主要是汽柴比)和加工工艺高度优化整合。

为反映近年来我国焦化所取得的丰富成就，撰写第二版的重点是技术进步，尤其是介绍了国内延迟焦化在科研和设计方面取得的技术进步和两套焦化引进装置工艺的先进性内容；介绍了在以焦化焦炭塔、加热炉和清、除焦设备等设备工程方面所取得的进步；介绍了有关焦化产品应用的新进展(如在日本近年来已产业化的油基针焦制备锂电池负极材料等)；介绍了通过全面推广加热炉的在线清焦延长焦化的运行周期；对于有关焦化的基础理论方面邀请中国石油大学

王宗贤教授和赵锁奇教授撰写了“供氢热裂化及供氢焦化的理论与实践”和“重质油组成结构表征方法新进展——‘石油组学’概念及其在重油加工过程中应用”等章节；对于焦化环境保护工程也给予了重点的关注等。

需要说明的是，与第一版相比，第二版章节有所减少，少了两章。其中有关焦化腐蚀和防腐的内容分散在相关章节中叙述，关于延迟焦化装置过程控制和先进过程控制课题这几年发展很快，也取得了很好的成绩（如惠州炼化焦化装置 APC 控制等），考虑到专业相差较远，这一章没有安排重写。

第二版我们邀请了黄大智教授、梁文杰教授二位老专家作为顾问对本书给予了重大指导和帮助；二版在邀请的作者数量和专业方面有较大的增加，邀请在这方面有造诣的学者、专家和年轻技术人员参加本书的编撰工作，其中包括有中国石化、中国石油、中海油和中国石油大学等单位；在编写过程中，戴宝华、陈勇、侯章贵等为本书提供了许多宝贵材料和帮助，在此谨向他们一并表示衷心的感谢！

第二版编写时间跨度较长，许多作者还身负现职，各类任务很重，都是挤出时间进行写作。同时受我们业务水平的限制，本书肯定存在许多不足和错误的地方，恳请读者多加批评、指正。

瞿国华

二〇一七年十二月谨识于上海

第一版序

21世纪世界石油资源供应将日趋紧张，从总体上讲，石油是一种紧缺的资源。从原油品质来讲，高含硫量、高密度和高金属含量原油生产的比例将越来越高，原油的品质将不断地重质化、劣质化，非常规石油利用将更加受到重视。这种趋势，我国也不例外。

延迟焦化炼油工艺作为一种重油热加工工艺，在加工重质、劣质原料方面有其独特的优势，同时，焦化工艺还具有技术成熟、适应性强、投资较低、能为乙烯工业提供原料以及提高炼厂柴汽比等一系列的优点，因此，无论是国外还是国内，近年来焦化扩建和新建产能增加很快。为了适应这种发展形势，我国急需有关焦化工艺方面的专著来推动焦化的技术进步和人才培养。

适逢其时，由瞿国华教授级高级工程师主编、国内有关石油炼制专家、教授精心编写的《延迟焦化工艺与工程》一书即将出版，这对于推动我国炼油焦化产业的发展是非常重要的。这是一本专著。

该书以国内外石油焦化技术的理论和实践为基础，系统地介绍了重油热化学加工理论和焦化科学技术的工艺和工程方面的问题，突出了实用性、系统性和先进性，具有较高的学术水平和实际参考价值，是一本关于石油炼制工业焦化技术方面不可多得的好书。相信该书的出版对我国石油焦化科学技术的发展和人才培养将会有很好的促进和推动作用。

中国工程院院士



二〇〇六年十一月

第一版前言

在中国石化出版社大力支持和领导下，由国内有关石油炼制专家、教授编写的《延迟焦化工艺与工程》一书即将出版，这对于推动我国炼油工业重油加工的发展是一件重要的事。

进入新世纪以来，世界石油资源供应日趋紧张，原油品质的重质化和劣质化趋势也越来越明显。延迟焦化作为一种重油热加工工艺，对于加工这一类原油有其独特的优势，它还具有技术成熟、投资较低、能提供乙烯裂解原料以及提高炼厂柴汽比等一系列的优点，因此国内外近年来焦化扩建和新建产能增加很快。目前我国已能自主承担设计、建设大型延迟焦化装置任务。从1995年至2005年期间，我国延迟焦化的加工能力已从13.28Mt/a增长至42.45Mt/a，10年间净增加产能29.17Mt/a。焦化加工能力占原油一次加工能力的比例也从1995年的6.64%增长到2005年的12.94%，10年间增长6.3个百分点。2005年我国延迟焦化加工能力占原油一次加工能力的比例远高于同年世界焦化加工能力占原油一次加工能力的平均比例(5.65%)，说明我国原油的加工深度已处于世界先进水平行列。为了适应这种发展形势，我国急需要有关焦化工艺和工程方面的专著来推动焦化的技术进步和人才培养。为此，在本书内容选择方面我们更强调突出理论与实践结合的要求，强调对发展我国炼油焦化工业技术能起到一定的推动作用。在本书章节内容安排方面受到由我的老师、原北京石油学院教授左鹿笙先生翻译W. L. Nelson所著的《石油炼制工程》一书影响比较多(W. L. Nelson: Petroleum Refinery Engineering, McGraw-Hill Book Company, Inc. 1958)，该书对于世界炼油工业技术的发展有极为重要的影响。

本书编写过程中，各撰稿人、审稿人和出版社的有关工作人员出于对读者高度负责的精神，勤勤恳恳、精益求精地工作，到2006年底全书六易其稿，个

别章节前后写了七至八稿。由于很多撰稿人担任十分繁忙的现职工作，为了完成写稿任务，大部分稿件他们是在业余时间内完成的，这样本书的编写时间就长了一些。好在我的老师梁文杰教授(中国石油大学)和我在兰州炼油厂工作时的老领导黄大智教授(原石油化工科学研究院常务副院长)给了我极大的帮助，他们不仅完成了一些主要章节的审稿任务，也亲自动手撰写了本书有关内容。

中国工程院院士、中国石油化工股份有限公司原总裁王基铭教授为本书写了序言，对于本书的顺利出版起到了很大的促进和鼓励作用。我还要由衷地感谢中国石化上海石化股份公司、中国石化石油化工科学研究院、中国石化工程建设公司、中国石化洛阳石化工程公司、中国石油大学、中国石油锦州石化公司和中国石化出版社等单位对于本书的编写和出版工作所给予的极大支持和帮助。

国内外有关延迟焦化的书籍很少，能参考到的文献资料，尤其是工业方面的资料也不多，加上编写时间跨度较长，编写任务重，同时受到我们业务水平的限制，本书肯定存在许多不足和错误的地方，请读者多加批评指正。

瞿国华

二〇〇七年九月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 概况	(3)
第二节 延迟焦化工艺的发展历程	(13)
第三节 延迟焦化工艺在炼油厂中的地位 and 作用	(26)
第四节 延迟焦化主要技术进展	(40)
第五节 延迟焦化工艺未来发展战略和前景	(49)
参考文献	(62)
第二章 延迟焦化原料	(67)
第一节 延迟焦化原料的来源和种类	(67)
第二节 焦化原料油的主要物理性质	(82)
第三节 焦化原料油的化学组成和结构	(94)
第四节 重质油的胶体结构	(138)
第五节 重质油化学组成结构表征方法新进展及其在重油加工过程中的应用	(150)
参考文献	(171)
第三章 重质油热转化化学	(191)
第一节 烃类和非烃类的热转化基本原理	(191)
第二节 重质油热转化反应原理	(198)
第三节 重质油热转化体系中的相分离及初始生焦历程	(207)
第四节 针状焦的原料及生成机理	(211)
第五节 弹丸焦的生成与控制	(222)
第六节 重质油的热转化反应动力学	(228)
第七节 供氢热裂化及供氢焦化的理论与实践	(238)
参考文献	(241)
第四章 延迟焦化产品及其应用	(246)
第一节 延迟焦化产品的特性	(246)
第二节 延迟焦化气体	(256)
第三节 延迟焦化液体产品	(262)
第四节 延迟焦化石油焦	(283)
参考文献	(341)
第五章 焦化工艺流程、操作参数及技术进步	(350)
第一节 延迟焦化工艺流程	(350)
第二节 延迟焦化工艺技术	(377)
第三节 延迟焦化操作参数	(420)
第四节 延迟焦化技术进步	(453)
第五节 针状焦生产和石油焦(针状焦)煅烧	(501)

第六节 流化焦化与灵活焦化	(529)
参考文献	(546)
第六章 延迟焦化设备工程	(552)
第一节 概述	(552)
第二节 焦化加热炉	(553)
第三节 焦炭塔	(609)
第四节 分馏系统工艺及设备	(637)
第五节 其他塔器及设备设计	(656)
第六节 水力除焦	(681)
第七节 分馏系统的腐蚀与防护	(739)
参考文献	(751)
第七章 延迟焦化装置安全生产技术及 QHSE	(754)
第一节 延迟焦化装置安全生产技术特点	(754)
第二节 延迟焦化装置开停工	(755)
第三节 延迟焦化装置专用操作法	(762)
第四节 延迟焦化装置不正常情况应急处理	(770)
第五节 国内外焦化事故案例分析	(774)
第六节 延迟焦化装置安全隐患管理	(784)
第七节 QHSE 管理	(787)
附录 我国某炼油厂延迟焦化装置在线清焦原理及操作(摘要)	(802)
参考文献	(803)
第八章 延迟焦化环境保护工程	(804)
第一节 延迟焦化环境保护工程	(804)
第二节 焦化装置主要污染物来源、分布及性质	(810)
第三节 焦化装置污染防治	(820)
第四节 国内外焦化装置环保技术的发展方向和趋势	(835)
参考文献	(839)
第九章 延迟焦化技术经济分析	(840)
第一节 延迟焦化装置的投资与加工费	(840)
第二节 渣油轻质化工艺的技术经济分析	(850)
参考文献	(882)

第一章 绪 论

石油焦化(Petroleum Coking)加工过程是重质油热转化过程之一,也是一种石油炼制主要加工过程。该过程是以贫氢的重质油(如减压渣油、裂化渣油等)为原料,在高温和长反应时间条件下,进行深度热裂化和缩合反应的热加工过程,原料转化为气体、石脑油、汽油、柴油、重质馏分油和石油焦。石油焦化与常规热裂化过程的主要区别是原料转化深度不同,石油焦化过程的原料几乎可以全部转化,且生成大量的石油焦。现代石油焦化过程包括延迟焦化、接触焦化、流化焦化和灵活焦化等工艺过程,但目前炼油厂主要应用的有延迟焦化、流化焦化和灵活焦化等工艺过程^[1-5]。

自20世纪初至今,世界上各国家采用的石油焦化过程主要有五种类型:①釜式焦化;②平炉焦化;③延迟焦化;④接触焦化;⑤流化焦化和灵活焦化。

世界上最早出现的是釜式焦化,其后是平炉焦化。随着管式热裂化发展,1930年出现了第一套延迟焦化装置。1949年试验成功了移动床接触焦化,1953年至1954年试验成功了流化焦化和灵活焦化,流化(灵活)焦化过程的出现,使得石油焦化工艺由固定床反应变化为流化床反应,操作得以连续化^[1]。

在这五种主要石油焦化过程中,以延迟焦化工艺发展最快,应用最广泛。

延迟焦化(Delayed Coking)过程是石油焦化中的一种主要加工过程。该过程采用加热炉将原料加热到反应温度,并在高流速、短停留时间的条件下,使原料基本不发生或只发生少量裂化反应就迅速离开加热炉而进入其后绝热的焦炭塔内,借助于自身的热量,原料在“延迟”状态下进行裂化和生焦缩合反应,顾名思义称之为“延迟焦化”过程^[1,2,5-8]。

包括延迟焦化和减黏裂化工艺在内的重质油热转化过程,是在没有催化剂的存在条件下,单纯靠加热提高温度促使重质油转化的加工过程。重质油的热反应主要是裂解和缩合反应,遵循自由基链式反应原理,其特点是液相反应。延迟焦化的转化深度很深,采用较高温度及较长的反应时间,其原料几乎完全转化,且生成大量的焦炭^[9]。

延迟焦化过程是炼油厂采用热裂化工艺改质和转化渣油(如常压渣油、减压渣油等)为气体、液体产品和浓缩碳物质的固体石油焦炭的工艺过程。根据炼油厂的原料性质和产品要求,通过改变操作条件可调节产品产率,如:多产汽油或柴油、多产裂化原料的蜡油(CGO)或多产焦炭。因此,延迟焦化过程已成为炼油厂提高轻质油收率和生产石油焦的主要加工工艺^[2,5-8]。

延迟焦化工艺过程目前已能处理约60种原料,包括直馏渣油、减黏裂化后渣油、加氢裂化后渣油、裂解焦油和循环油、油砂、沥青、脱沥青焦油、澄清油、溶剂精制后的煤以及煤的衍生物、催化裂化油浆、炼油厂污油和污泥等。处理的原料性质范围广,一般康氏残炭为3.8%~45%,API度为2~20^[10-12]。

延迟焦化工艺过程的产品有气体、汽油、柴油、蜡油和焦炭。该过程所产生的气体是炼油厂气体的主要来源之一,可用于燃料气,也可用作制氢原料;焦化石脑油经加氢处理后可作为催化重整过程的原料,也是良好的乙烯裂解原料;延迟焦化过程所产生的汽油和柴油很不稳定,其中烯烃、硫、氮含量都比较高,必须进一步进行精制后方可作为产品;焦化蜡油一般作为催化裂化、热裂化或加氢裂化的原料,也可作为调和燃料。固体石油焦炭按其物理结构一般分为弹丸焦

(Shot Coke)、海绵焦(Sponge Coke)和针状焦(Needle Coke)。针状焦作为一种特殊焦炭，由特定的芳烃原料油生产。海绵焦和弹丸焦为普通焦炭^[13]。石油焦炭一般用作燃料，并在炼铝、冶金、原子能和宇宙科学等方面得到广泛应用，石油焦炭经气化后可生产合成气、蒸汽和电力，合成气可用于制氢和石油化工原料，蒸汽和电力可供炼油厂自用或外输蒸汽及电力管网^[8]。

延迟焦化过程是现代化炼油厂中仅有的一种间歇-连续的加工工艺。原料连续流经加热炉，为缩短原料在其中的停留时间，避免炉管结焦，而将结焦过程延迟到焦炭塔中进行，原料在焦炭塔中停留时间较长，此过程是间歇操作。一般延迟焦化装置中至少有两个焦炭塔，待一个焦炭塔处于在线充焦时，则另一个焦炭塔进行蒸汽吹扫、冷却、除焦、升压和暖塔操作，此过程是间歇操作。焦炭塔顶的油气又连续进入焦化分馏塔^[6,7]。因此，整个延迟焦化装置仍具有连续操作的特点。

典型的延迟焦化装置由焦化部分、分馏部分、放空部分和焦炭处理设施组成^[13]。

图 1-0-1 表示延迟焦化工艺过程与炼油厂其他工艺过程的组合^[14]。

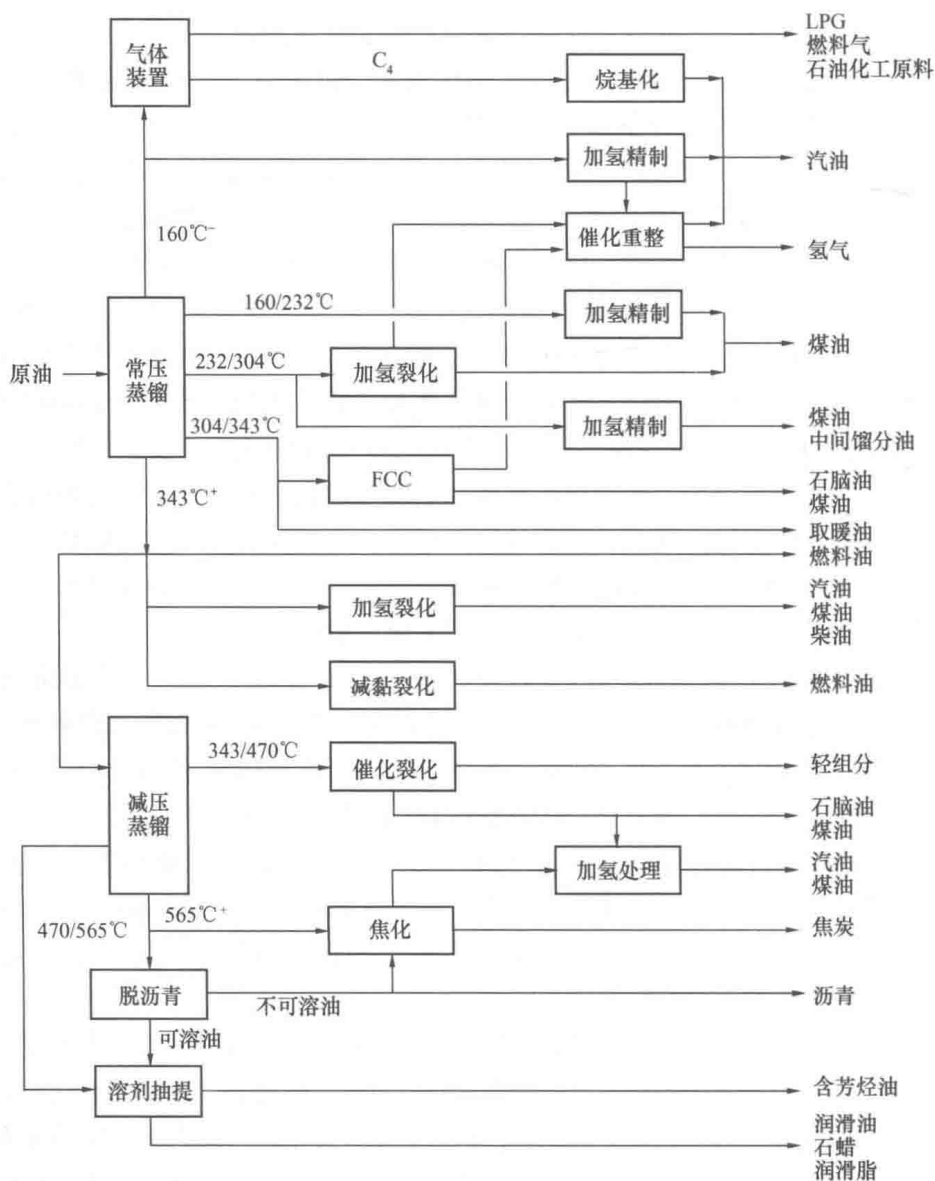


图 1-0-1 延迟焦化工艺过程与炼油厂其他工艺过程的组合

随着全球原油的劣(重)质化趋势和环境保护法规和条例对燃料质量和炼油厂排放都提出更严格要求,劣(重)质渣油的深度加工势在必行。美国《石油时代》评选渣油加工技术时指出“新一代炼油工艺有三个,即:渣油催化裂化、延迟焦化和灵活焦化及渣油加氢”。其中延迟焦化工艺过程因其技术成熟、原料适应性强、产品灵活性大、操作可靠性高以及投资和操作费用相对较低,目前已成为全球渣(重)油加工主要过程之一,未来也必将得到进一步的应用和发展^[15,16]。

第一节 概 况

一、延迟焦化装置概况

由于延迟焦化装置具有工艺成熟、原料灵活大和投资低等优点,对许多炼油厂来说是优选的渣油加工方案。据美国能源信息署(EIA——Energy Information Agency)2000年统计,延迟焦化在世界渣油改质工艺中约占1/3^[17,18]。

随着美国炼油厂加工原油质量逐渐变劣(重)趋势,1981年至2001年,美国加工的原油平均相对密度和硫含量分别从0.8517和0.88%提高到0.8684和1.41%,相应地原油加工装置构成也随之发生了变化。在这段时期内,美国焦化装置加工能力增加56%,加氢裂化装置和催化裂化装置加工能力分别增加37%和14%,而同期原油蒸馏装置加工能力仅增加8%^[10,19]。

在1990年至2000年的10年间,美国为延迟焦化加工工艺过程投资70亿美元,其中30亿美元用于增加生产能力,10亿美元用于维持生产能力,30亿美元用于该过程为满足政府空气清洁修正案的实施。2002年,美国空军又着手进行一项包括将煤浆液化进行延迟焦化工艺的项目,该项目是将煤浆液化后经延迟焦化工艺过程得到含有较多芳烃的焦化馏分油,再经加氢处理,生产热稳定性好的大比重喷气燃料^[20,21],可见从焦化装置生产的喷气燃料具有一定的特点。

由于焦化装置的液体产物含有较高的烯烃和芳烃,只有后配加氢精制(处理)装置,才能得优质的中间馏分油。因此配有焦化装置的炼油厂比一般炼油厂的复杂程度高,如2012年Solomon Associates LLC公司评定的世界最好的中、大型炼油厂,配有焦化装置的炼油厂其复杂系数分别为11和14^[12,22,23]。在配有焦化装置的炼油厂中,其中80%的炼油厂至少配有一套催化裂化装置,90%的炼油厂配有产品精制(处理)装置^[12,18]。在北美约有50%的该类型炼油厂配有加氢裂化装置和产品精制(处理)装置,用于加工焦化蜡油。一般有焦化装置的非北美炼油厂约有25%的炼油厂也配有加氢裂化和加氢精制(处理)装置,同样用于加工焦化蜡油和精制产品^[18]。

2000年,世界焦化加工能力中,按原料计55%的焦化加工能力在美国;按产量计70%的焦化加工能力在美国^[18]。2001年,美国共新建8套延迟焦化装置,加工能力增加14.85Mt/a,主要目的是加工更多的渣油和降低渣油燃料油量^[10,19]。

2003年,美国的141个炼油厂中有56个炼油厂共拥有58套焦化装置,其中52套是延迟焦化装置,4套流化焦化装置和2套灵活焦化装置。美国同时拥有延迟焦化和灵活焦化的炼油厂,包括ExxonMobil公司的贝汤(Baytown)炼油厂有2.20Mt/a的延迟焦化装置和2.31Mt/a的灵活焦化装置;美国Shell公司的马丁内兹(Martinez)炼油厂有1.43Mt/a的延迟焦化装置和1.24Mt/a的灵活焦化装置。2003年,美国10大炼油公司共拥有41套延迟焦化

装置, 占全美石油焦生产总量的 78%^[24]。

2010 年, 美国有 60 套延迟焦化装置, 欧洲 11 套, 中东 4 套, 远东 27 套, 显然美国延迟焦化装置是在加工重(中)质原油时的最佳选择方案。美国 60 套延迟焦化装置中, 55% 处理能力集中在墨西哥湾沿岸(PADD3), 13% 处理能力位于中西部地区(PADD2)^[25]。

到 2014 年, 美国有炼油厂 123 座, 原油加工能力为 901.24Mt/a, 其中 60 座炼油厂建有各类焦化装置(包括有 5 套流化焦化装置和 2 套灵活焦化装置等), 延迟焦化装置加工能力占全美原油加工能力的 16.43%^[26]。

2002 年后的 10 年内焦化工艺曾以 7% 的速度逐步增长。在世界上焦化装置生产能力仍超过渣油加氢转化工艺^[27]。

随着近年来美国致密油产量迅速增长, 其某些独特的内在性质(如: 低硫轻质、含有不常见/非常规杂质、高链烷烃含量、渣油收率低而石脑油和轻烃收率高)对美国现有(未来)炼油厂(装置)的投资、加工过程、装置配置和经济效益均将产生了一定的影响^[27]。图 1-1-1 为未来美国炼油厂的投资项目^[23], 从图中可以看出对炼油厂的投资类型发生了显著变化。由于高的轻、重质油比, 以往的炼油厂主要以消耗轻质原油的代价提高重质油的加工量。现在正在发生的变化是向提高转化能力的投资方向的转变, 提高蒸馏能力来加工更多的轻质原油, 提高加氢裂化能力以配合原油蒸馏产能的提高。至 2018 年蒸馏能力和加氢裂化能力分别以 17.50Mt/a 和 7.95Mt/a 的增量增长, 而同期美国焦化能力将不会再增加^[23]。图 1-1-2 为未来全球炼油二次加工能力的变化趋势^[38]。从图中可见, 在未来全球炼油厂二次加工能力中, 催化裂化能力仍然占据炼油厂总转化能力的最大比例, 而加氢裂化能力的增长是三者中最大的, 焦化能力的增长保持一定的比例。

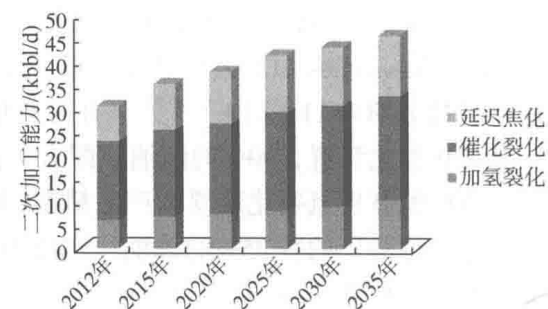
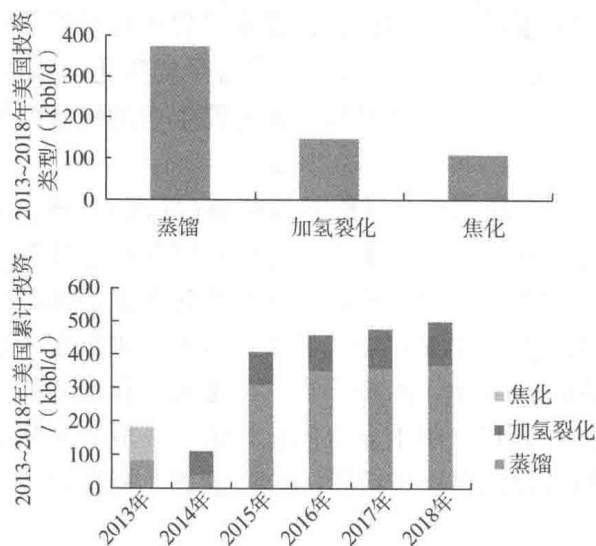


图 1-1-1 未来美国炼油厂的投资项目

图 1-1-2 未来全球炼油二次加工能力的变化趋势

(一) 世界焦化装置加工能力统计

自 1929 年世界上第一套延迟焦化装置在美国印第安纳(Indiana)州怀亭(Whiting)地区标准石油公司的印第安纳炼油厂投产以来, 延迟焦化工艺已有 80 多年的发展历史^[25]。据美国油气杂志 2015 年 1 月 1 日统计, 2014 年全世界共有 643 座炼油厂, 原油总加工能力为 4397.94Mt/a, 美国的原油加工能力为 901.24Mt/a, 占世界原油总加工能力的 20.49%, 位居世界第一。2014 年世界焦化装置总加工能力为 264.39Mt/a, 其中美国的焦化装置加工能

力为 148.09Mt/a, 占世界焦化装置总加工能力的 56.01%, 位居世界第一。其次分别为中国、墨西哥、印度和委内瑞拉, 其焦化装置加工能力分别为 13.20Mt/a、10.51Mt/a、9.33Mt/a 和 7.97Mt/a, 分别占世界焦化装置总加工能力的 4.99%、3.98%、3.53% 和 3.01%^[26]。

表 1-1-1 为 2014 年世界主要国家和地区炼油能力^[26], 表 1-1-2 为 2014 年世界各地一、二次加工能力的统计^[28], 表 1-1-3 为 2014 年世界焦化装置排名前十位的国家^[26]。

表 1-1-1 2014 年世界主要国家和地区炼油能力^①

Mt/a

名次	国家和地区	炼油厂数	原油蒸馏	焦化	热加工	催化裂化	催化重整	加氢裂化	加氢处理	润滑油
1	美国	123	901.24	148.09	1.84	278.47	149.90	95.25	681.84	11.81
2 ^②	中国	56	377.10	13.20	0	35.99	11.95	16.85	27.17	0.95
3	俄罗斯	40	275.00	5.19	21.04	16.54	32.20	6.11	102.04	4.39
4	印度	23	232.14	9.33	3.99	25.42	2.22	8.28	9.57	0.44
5	日本	28	223.33	6.79	1.10	47.31	32.82	9.08	218.42	1.80
6	韩国	6	148.43	1.05	0	18.35	16.94	16.95	72.54	3.78
7	沙特阿拉伯	8	124.80	0	10.51	5.18	10.34	6.75	23.19	0
8	德国	15	109.39	5.73	16.96	17.49	17.27	9.59	92.52	0.75
9	意大利	14	102.32	2.48	18.09	16.05	10.28	14.24	51.00	1.27
10	加拿大	17	100.38	3.31	6.71	24.57	15.24	11.72	65.63	0.16
11	巴西	13	95.87	6.34	0.54	25.26	1.05	0	13.37	1.06
12	墨西哥	6	77.00	10.51	0	19.03	12.01	0	43.52	0.88
13	西班牙	9	71.38	3.36	8.21	9.57	8.46	6.58	38.79	0.51
14	法国	9	70.30	0	6.10	12.27	8.38	3.84	51.95	1.57
15	英国	8	70.09	3.73	5.59	17.39	12.21	1.80	50.34	0.74
16	新加坡	3	67.23	0	7.99	4.00	6.13	7.38	34.87	2.78
17	中国台湾省	4	65.50	2.81	0	10.90	4.95	1.25	31.61	0.81
18	委内瑞拉	5	64.11	7.97	0	11.59	2.13	0	18.32	0.64
19	荷兰	6	59.73	2.28	5.03	5.19	6.39	9.90	38.44	0.61
20	伊朗	8	58.35	0	10.93	1.75	5.81	5.33	8.47	0.49
	合计	643	4397.94	264.39	191.85	716.91	482.39	297.14	2091.66	43.04

① 换算系数: 蒸馏、催化裂化、加氢裂化: 1bbl/cd = 50t/a; 焦化、热加工: 1bbl/cd = 55t/a; 加氢处理 1bbl/cd = 47t/a; 催化重整: 1bbl/cd = 43t/a。

② 此表中有关我国的数据与实际出入较大——编者注; 此表中我国数据不包括台湾省在内。

表 1-1-2 2014 年世界各地一、二次加工能力的统计

Mt/a

地区	炼油厂数	原油蒸馏	催化裂化	催化重整	加氢裂化	加氢处理	焦 化
非 洲	46	163.95	10.52	19.71	3.09	39.18	1.84
亚 太	163	1297.56	162.25	96.37	71.17	464.02	20.45
东欧及前苏联	89	530.60	44.76	63.07	19.78	202.49	12.95