

炼油装置技术手册丛书

# 延迟焦化装置 技术手册

胡尧良 主编

中國石化出版社

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

炼油装置技术手册丛书

# 延迟焦化装置技术手册

胡尧良 主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书介绍了延迟焦化工艺的基本知识和国内外最新的技术进展。在结合生产实际分析延迟焦化装置原料构成及性质和操作条件对产品分布和产品性质影响的同时,对装置的加热炉、焦炭塔、分馏塔和压缩机等主体设备以及吸收稳定系统与脱硫系统的结构和运行,也作了详细的介绍和分析。本书不但分析了装置加工含硫含酸原料引起的腐蚀机理和应采取的防腐措施,还包含了延迟焦化装置的技术管理方面的内容,如装置日常技术管理、装置技术标定和班组经济核算等。在本书最后,还列举了国内外焦化装置发生过的一些典型事故,并进行了原因分析。

本书对从事延迟焦化装置的生产技术管理人员有很强的指导意义,对延迟焦化装置的操作人员也有很好的实用价值,对从事与延迟焦化相关的科研设计人员和院校师生也是很有用的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

延迟焦化装置技术手册/胡尧良主编. —北京:  
中国石化出版社,2013.3  
(炼油装置技术手册丛书)  
ISBN 978-7-5114-1968-2

I. ①延… II. ①胡… III. ①石油炼制-延迟焦化-  
化工设备-技术手册 IV. ①TE624.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 027525 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:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<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 20.75 印张 499 千字

2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

定价:120.00 元

# 《炼油装置技术手册丛书》

## 编 委 会

主 任 刘根元

委 员	凌逸群	俞仁明	王 强	罗 强
	常振勇	王治卿	张 涌	赵日峰
	余夕志	江正洪	宋云昌	谈文芳
	周志明	王子康		

# 《延迟焦化装置技术手册》

## 编 委 会

主 编 胡尧良

副 主 编 李出和 李和杰 谢崇亮

编写人员 中国石化工程建设有限公司：

李出和 罗 莹 李 蕾 顾一天 李 卓  
蔡建光 孙 毅 张伟乾 胡 刚 冯永生

中国石化洛阳石化工程有限公司：

李和杰 徐江华 王辰涯 郭永博 杜 翔  
方长生 王 红 张晓玲

中国石油工程公司华东设计分公司：

谢崇亮 李胜山 范海玲 李小娜 颜 峰  
林 健 毕治国 张成金 谭晓飞 邱明涛  
韩玉梅 董 罡 何红梅 迟志明 岳 昭

中国石油大学(华东)：

肖家治 王兰娟

中国石化镇海分公司：

杨云峰 傅钢强 胡建凯

中国石化金陵分公司：

胡尧良 宋洪建 徐宝平 顾承瑜

# 前 言

2005年,中国石化系统有25套延迟焦化装置,总加工能力为2364万t/a,当时全国的焦化加工能力约3000万t/a。到2010年,中国石化的延迟焦化装置数量已达到36套,总加工能力达到4440万t/a,全国的延迟焦化装置数量已达到113套,总加工能力超过11000万t/a,居世界第二,仅次于美国的13600万t/a。

原油的重质化和劣质化,使延迟焦化装置原料的性质越来越差;产品的轻质化和清洁化,使延迟焦化装置的操作变得越来越苛刻;炼厂追求效益的最大化,使延迟焦化装置的作用显得越来越重要。正是这些因素,促进了我国延迟焦化装置数量和能力的迅速增加,推动了我国延迟焦化技术的全面发展,大大提高了我国延迟焦化装置的科学管理水平。与此同时,炼油厂对焦化装置安全生产管理的要求日益严格,业内人士对延迟焦化的技术和科学操作方法,更是求知若渴。正是在这样的背景下,我们组织编写了这本《延迟焦化装置技术手册》。

本书由国内延迟焦化业界的一批知名设计(大)师、教授、专家和(高级)工程师们共同编写。他们历时两年,三次讨论,数易其稿,以科学性和实用性为原则,将他们的理论知识、实践经验和操作技巧与前贤们的文献论述、生产总结和科研成果融于一书。为从事延迟焦化装置的管理和操作人员,全面了解国内外延迟焦化最新的技术进展,综合提高装置的科学管理水平,提供了一本实用性很强的技术手册。

本书的编写分工如下:

第一章绪论,由中国石化工程建设有限公司的李出和同志编写。

第二章原料与生产方案,由谢崇亮同志组织中国石油工程建设公司华东设计分公司的人员编写并审核。

第三章原料加热过程,由中国石化工程建设有限公司的罗莹同志组织编写,中国石油大学(华东)的王兰娟同志参与了编写。

第四章生焦与除焦,由李和杰同志组织中国石化洛阳石化工程有限公司的人员编写。其中第三节由中国石化工程建设有限公司的顾一天同志编写,第九节由中国石化金陵石化分公司的徐宝平同志编写。

第五章产品分离，由谢崇亮同志组织中国石油工程建设公司华东设计分公司的人员编写并审核。

第六章干气、液化气脱硫化氢及液化气脱硫醇，由中国石化工程建设有限公司的李蕾等同志编写。

第七章设备防腐蚀，由中国石化金陵分公司的宋洪建同志编写。

第八章技术管理，由杨云峰同志组织中国石化镇海分公司的人员编写。

第九章典型事故案例分析与处理，由中国石化金陵分公司的顾承瑜同志负责编写。

全书编写的组织协调工作，由中国石化金陵分公司的胡尧良同志负责，并对全书各章进行了最后的串接、修改和终稿审定。

中国石化出版社的领导黄志华同志和编辑张正威同志对本书的编写和出版给予了强有力的支持和指导。

由于我们大多数编者参与编书的经验不足，使本书在内容和形式上，与已经出版的有关延迟焦化技术书籍相比，还存在许多不足之处，敬请读者见谅。

胡尧良 执笔

二〇一二年十二月

# 目 录

第一章 绪 论 .....	( 1 )
第一节 延迟焦化在炼油厂的重要地位和作用 .....	( 1 )
一、延迟焦化的定义 .....	( 1 )
二、延迟焦化的主要作用 .....	( 1 )
三、延迟焦化装置的地位 .....	( 2 )
四、延迟焦化和其他工艺的组合 .....	( 3 )
五、延迟焦化装置加工能力现状 .....	( 4 )
第二节 延迟焦化装置的构成及特点 .....	( 5 )
一、延迟焦化装置的构成 .....	( 5 )
二、延迟焦化装置的特点 .....	( 7 )
三、延迟焦化装置的主要操作参数 .....	( 10 )
第三节 延迟焦化技术的历史沿革 .....	( 11 )
一、延迟焦化技术的起源 .....	( 11 )
二、国外延迟焦化技术的发展 .....	( 12 )
三、国内延迟焦化技术的发展 .....	( 14 )
第四节 国内延迟焦化技术状况 .....	( 15 )
一、大型化技术 .....	( 15 )
二、提高液体收率技术 .....	( 16 )
三、延长装置运行周期技术 .....	( 16 )
四、提高装置加工能力技术 .....	( 18 )
五、提高装置的可靠性和操作灵活性技术 .....	( 19 )
六、节能减排技术 .....	( 19 )
七、安全环保技术 .....	( 20 )
八、回炼外来物料技术 .....	( 21 )
第五节 延迟焦化技术的发展与展望 .....	( 22 )
第二章 原料与生产方案 .....	( 25 )
第一节 原料种类与产品分布 .....	( 25 )
一、原料种类及性质 .....	( 25 )
二、产品分布及性质 .....	( 35 )
第二节 生产方案 .....	( 45 )
一、国内外主要工艺流程简介 .....	( 45 )
二、影响生产方案的主要因素 .....	( 60 )
第三章 原料加热过程 .....	( 77 )



第一节 焦化炉炉型及特点	(77)
一、单面辐射卧管立式炉	(77)
二、双面辐射卧管立式炉	(77)
第二节 燃料燃烧计算	(79)
一、燃料的种类、组成及发热量	(79)
二、理论空气量与过剩空气系数	(81)
三、燃料用量	(83)
四、烟气量及烟气组成	(83)
第三节 加热炉管内外计算	(84)
一、传热计算	(84)
二、炉管结焦机理	(87)
三、注水、汽流量作用及其影响	(88)
第四节 加热炉构造	(89)
一、炉管选材及规格	(89)
二、管架设计	(90)
三、燃烧器	(91)
四、衬里结构	(92)
第五节 余热回收系统	(93)
一、空气预热器	(94)
二、提高预热器使用寿命的主要措施	(96)
三、空气通风机的设置	(98)
第六节 加热炉热效率	(99)
一、热效率及计算方法	(99)
二、提高热效率的措施	(100)
第七节 加热炉的自动控制和联锁	(101)
一、温度监控与控制	(101)
二、压力监控	(103)
三、炉进料量控制	(103)
四、烟气氧含量监测控制	(103)
五、报警联锁	(103)
第八节 清焦技术	(104)
一、烧焦技术	(104)
二、在线清焦	(105)
三、机械清焦	(106)
第九节 关键操作参数	(107)
一、工艺参数	(107)
二、管壁温度参数	(109)
三、烟气温度参数	(109)
四、炉膛压力参数	(110)

五、炉膛氧含量参数 .....	(110)
六、烟气余热回收系统中的温度和压力参数 .....	(111)
第十节 焦化炉系统酸露点腐蚀 .....	(111)
一、酸露点腐蚀的机理及影响因素 .....	(111)
二、酸露点腐蚀速率 .....	(113)
三、酸露点温度计算 .....	(113)
四、延迟焦化装置酸露点腐蚀防护 .....	(115)
<b>第四章 生焦与除焦 .....</b>	<b>(118)</b>
第一节 焦炭塔生焦过程 .....	(118)
一、焦化反应泡沫的形成与夹带 .....	(118)
二、弹丸焦成因与利弊 .....	(119)
三、软焦、硬焦生成原因 .....	(119)
四、原料性质、操作条件对焦炭塔操作的影响 .....	(119)
第二节 焦炭塔工艺技术 .....	(120)
一、焦炭塔预热 .....	(120)
二、污油回炼 .....	(121)
三、三泥处理工艺 .....	(121)
四、消泡剂注入 .....	(122)
五、生焦时间 .....	(122)
六、急冷油注入方式 .....	(123)
七、焦炭处理系统流程 .....	(124)
八、焦炭塔工艺计算 .....	(127)
第三节 焦炭塔、特殊设备与管道 .....	(128)
一、焦炭塔 .....	(128)
二、特殊阀门 .....	(139)
三、高温管道 .....	(142)
第四节 水力除焦 .....	(144)
一、喷嘴的基本概念和类型 .....	(144)
二、水力除焦的方法和机械设备 .....	(145)
三、水力除焦系统的操作 .....	(153)
第五节 吹汽放空 .....	(156)
一、工艺流程 .....	(157)
二、设备选择 .....	(159)
三、气体回收 .....	(160)
四、污油处理 .....	(161)
第六节 冷焦水处理 .....	(161)
一、焦化装置冷焦水的产生 .....	(161)
二、焦化装置冷焦水流程的设置 .....	(161)
第七节 切焦水处理 .....	(163)

一、焦化装置切焦水处理 .....	(163)
二、其他冷焦水切焦水处理流程 .....	(164)
第八节 焦炭塔料位测量 .....	(164)
一、中子料位计 .....	(165)
二、 $\gamma$ 射线料位计和 $\gamma$ 射线料位开关 .....	(167)
第九节 消泡剂 .....	(169)
一、泡沫层的影响因素 .....	(169)
二、消泡剂的种类 .....	(169)
三、延迟焦化消泡剂的使用 .....	(171)
<b>第五章 产品分离 .....</b>	<b>(175)</b>
第一节 分馏系统 .....	(175)
一、工艺流程 .....	(175)
二、工艺计算 .....	(179)
三、产品质量控制 .....	(189)
四、分馏系统长周期运行技术 .....	(190)
第二节 吸收稳定系统 .....	(194)
一、工艺流程 .....	(194)
二、新的节能流程和技术 .....	(198)
三、产品质量控制 .....	(200)
第三节 焦化分馏塔 .....	(201)
一、精馏段 .....	(201)
二、洗涤脱过热段 .....	(203)
第四节 主要参数控制方案 .....	(206)
一、循环比控制 .....	(206)
二、分馏塔蜡油馏出段控制 .....	(207)
三、分馏塔中段回流控制 .....	(208)
四、分馏塔柴油馏出段控制 .....	(209)
五、分馏塔塔顶控制 .....	(209)
六、稳定塔顶部分压力控制 .....	(210)
第五节 分馏系统节能技术 .....	(213)
一、换热流程优化 .....	(213)
二、变频技术 .....	(214)
三、高效设备技术 .....	(214)
四、先进控制技术 .....	(219)
第六节 压缩机组 .....	(220)
一、压缩机的选择 .....	(220)
二、驱动机的选择 .....	(224)
三、压缩机流量调节方式的选择 .....	(225)
四、压缩机的典型工艺流程 .....	(226)

五、压缩机的控制要求 .....	(230)
<b>第六章 干气、液化气脱硫化氢及液化气脱硫醇 .....</b>	<b>(234)</b>
第一节 脱硫化氢和脱硫醇工艺的基本原理 .....	(234)
一、干气和液化气脱除硫化氢 .....	(234)
二、液化气脱除硫醇 .....	(235)
第二节 几种典型工艺流程介绍 .....	(235)
一、焦化干气及液化气脱硫化氢的典型流程 .....	(235)
二、焦化液化气脱硫醇典型流程 .....	(237)
第三节 溶剂及催化剂的选择 .....	(239)
一、胺法脱硫溶剂 .....	(239)
二、脱硫醇溶剂及催化剂 .....	(241)
第四节 工艺参数的选择 .....	(241)
一、干气脱硫工艺参数 .....	(241)
二、液化气脱硫工艺参数 .....	(243)
三、液化气脱硫醇工艺参数 .....	(243)
第五节 主要设备选材及防腐 .....	(243)
一、脱硫系统的腐蚀和材料选择 .....	(243)
二、脱硫醇系统的腐蚀和材料选择 .....	(244)
第六节 操作及问题处理 .....	(245)
一、干气、液化气脱硫操作存在问题及分析 .....	(245)
二、液化气脱硫醇操作存在问题及分析 .....	(246)
<b>第七章 设备防腐蚀 .....</b>	<b>(248)</b>
第一节 延迟焦化装置的腐蚀特征及其影响因素 .....	(248)
一、高温 $S-H_2S-RSH$ 型腐蚀 .....	(249)
二、高温 $S-H_2S-RSH-RCOOH$ 型腐蚀 .....	(251)
三、低温 $H_2S-HCl-NH_3-H_2O$ 型腐蚀 .....	(252)
四、低温 $H_2S-HCN-H_2O$ (湿 $H_2S$ ) 型腐蚀 .....	(253)
五、辐射炉管的高温氧化和硫化腐蚀 .....	(253)
六、露点腐蚀 .....	(254)
第二节 延迟焦化装置防腐措施 .....	(255)
一、技术措施 .....	(256)
二、管理措施 .....	(258)
<b>第八章 技术管理 .....</b>	<b>(270)</b>
第一节 日常技术管理 .....	(270)
一、工艺操作的记录、检查、分析和控制 .....	(270)
二、设备检修作业管理 .....	(274)
三、装置开停工 .....	(275)
四、停工检修期的安全环保管理 .....	(276)
第二节 技术标定 .....	(278)

一、标定的目的 .....	(278)
二、标定方案的制定 .....	(279)
三、标定期间各部门的职责分工 .....	(279)
四、标定的准备 .....	(279)
五、标定方案的实施 .....	(280)
六、标定报告的编写 .....	(280)
七、标定案例 .....	(281)
第三节 班组经济核算 .....	(290)
一、班组经济核算要求 .....	(290)
二、班组经济核算指标 .....	(290)
三、班组经济核算组织建设 .....	(291)
<b>第九章 典型事故案例分析与处理 .....</b>	<b>(293)</b>
第一节 生产操作事故案例及分析 .....	(293)
一、焦化装置流程缺陷,导致事故的发生 .....	(293)
二、开停工中的典型事故 .....	(294)
三、分馏塔顶部、空冷结盐 .....	(296)
四、焦炭塔生产弹丸焦,影响正常生产 .....	(298)
五、焦炭塔冲塔 .....	(299)
六、操作失误引起的事故 .....	(301)
第二节 设备事故案例及分析 .....	(302)
一、焦炭塔裙座裂纹案例分析 .....	(302)
二、除焦设备事故分析 .....	(303)
三、加热炉炉管结焦、烧穿事故案例 .....	(306)
四、设备腐蚀事故案例分析 .....	(308)
五、设备超压事故案例分析 .....	(309)
第三节 连锁失效或误动作事故案例及分析 .....	(310)
一、加热炉连锁 .....	(310)
二、压缩机系统的安全连锁 .....	(310)
三、除焦及高压水泵连锁 .....	(311)
第四节 硫化氢中毒事故案例及分析 .....	(312)
一、硫化氢的理化特性 .....	(312)
二、硫化氢的毒害特点 .....	(312)
三、应急处理处置方法 .....	(313)
四、延迟焦化装置应对硫化氢的措施 .....	(313)
第五节 硫化亚铁自燃事故案例及分析 .....	(314)

# 第一章 绪 论

## 第一节 延迟焦化在炼油厂的重要地位和作用

### 一、延迟焦化的定义

延迟焦化装置是炼油厂提高轻质油收率和生产石油焦的主要加工装置。它将减压渣油、常压渣油、减黏渣油、重质原油、重质燃料油和煤焦油等重质低价值油品，经深度热裂化反应转化为高价值的液体和气体产品，同时生成石油焦。在延迟焦化过程中，通常使用水平管式加热炉在高流速、短停留时间的条件下将物料加热至 490 ~ 510℃ 的反应温度后进入焦炭塔，在焦炭塔内的一定的温度、停留时间和压力条件下，物料发生裂解和缩合反应生成气体、汽油、柴油、蜡油和焦炭。由于物料在加热炉管中停留时间很短，仅发生浅度热裂化反应，物料在快速通过加热炉炉管并获得反应所需要的能量后，它的裂化和缩合生焦反应被“延迟”到加热炉下游的焦炭塔内发生，故该过程被称为“延迟焦化”。

延迟焦化过程是炼油厂中的一种间歇 - 连续的加工工艺，通常采用一个加热炉对应两个焦炭塔，加热炉连续进料，两个焦炭塔并联间歇切换操作，一个在生焦，另一个则在冷焦和切焦，通过焦炭塔底进料四通阀来回切换，一般 18 ~ 24h 切换一次。当一个焦炭塔内的焦炭达到一定的高度后，需要把进料切换到另一个焦炭塔，这个焦炭塔则进行冷焦和切焦操作。冷焦的过程通常采用小吹汽、大吹汽、小给水、大给水的冷焦方式，小吹汽是把油气吹到分馏塔，大吹汽和给水使产生的油气和蒸汽到放空塔。大给水时的塔顶的溢流水和冷焦结束时的塔底排放水进到冷焦水处理部分。焦炭塔内的水排放完之后，用人工或自动顶盖机和底盖机分别打开塔顶和塔底法兰盖，然后采用高压水进行除焦。除焦完成后封闭塔顶、底法兰盖，采用蒸汽驱赶塔内空气并进行密封性试验，然后引正在生焦塔的高温油气对该塔进行预热，油气自上而下通过焦炭塔进入甩油罐或放空塔，甩油罐分离出的气体进入分馏塔或放空塔，凝缩油用泵抽送到分馏塔、原料罐或急冷管线回炼，也可以经冷却后送出装置。待焦炭塔预热达到一定的温度后，切换四通阀引渣油进入该焦炭塔进行裂解和缩合反应，另一个焦炭塔进入上述冷焦和切焦操作程序，两个焦炭塔如此循环交替运行，整个装置的生产运行则始终处于连续运行状态。

### 二、延迟焦化的主要作用

#### (一) 处理重质渣油

劣质原油的加工导致渣油产量快速增加。为合理加工炼油厂过剩的渣油以提高经济效益，大部分炼油厂都选择了工艺成熟、投资较低、操作费用较少和对原料适应性强的延迟焦

化工艺技术。目前焦化装置的原料呈现多样化，已处理的原料多达 60 种<sup>[1]</sup>，有减压渣油、常压渣油、超稠原油、减黏渣油、重质燃料油、煤焦油等。

### (二) 生产优质乙烯裂解原料——焦化汽油

焦化汽油馏分的收率一般为 11% ~ 18%，加氢精制后，安定性得到改善，但辛烷值更低，通常作为重整原料。由于焦化汽油馏分中正构烃含量较高并富含烷烃，经过加氢精制饱和烯烃及除去一些有害杂质后，氢含量高，PONA 值显示链烷烃含量高，是优质的乙烯裂解原料。干点为 200 ~ 230℃ 的焦化汽油经加氢精制后作为乙烯裂解原料，乙烯收率可达到 28% 左右，高于对应原油的直馏汽油作为乙烯裂解原料的乙烯收率。

### (三) 增产高十六烷值柴油

焦化柴油馏分的收率一般为 25% ~ 35%，经加氢精制后其十六烷指数、BMCI 值、溴值、硫含量、氮含量、储存安定性等均显著改善，可以作为高质量柴油产品的调和组分。

### (四) 增加中间馏分焦化蜡油，为催化裂化及加氢裂化提供原料

焦化蜡油馏分的收率一般为 15% ~ 25%，通常经过加氢处理后作为催化裂化或加氢裂化装置的原料，可以进一步提高炼油厂的轻质油收率。

### (五) 提供冶金行业使用的石油焦

石油焦的收率一般为 20% ~ 35%，适用于作冶金工业和化学工业的原材料。随原料、生产工艺和加工深度的不同，延迟焦化生产的石油焦按照物理结构又分为海绵焦、针状焦和弹丸焦。国内焦化装置主要生产海绵焦。

### (六) 增产干气和液化气

焦化干气的收率一般为 4% ~ 5%，焦化液化气的收率一般为 3% ~ 5%。干气经过脱硫后可以作为加热炉用燃料气或制氢装置的原料，也可以进一步回收 C<sub>2</sub> 作为乙烯装置原料。液化气通常是经过脱硫脱醇后作为民用液化气，也可以经过气体分馏装置分馏出丙烯和丙烷，丙烯送至聚丙烯装置，丙烷送至乙烯裂解装置，进一步提高炼油厂的经济效益。

### (七) 加工装置外的其他物料

延迟焦化装置除加工渣油外还经常担负着加工装置外的其他物料，主要是在原料中掺炼沥青、催化油浆和污油等，解决炼厂的沥青、催化油浆和污油的出路问题；利用焦炭塔换塔后的焦炭塔内的热量，处理炼油厂的污泥、浮渣和废胺液，解决炼油厂的“三废”排放问题；利用压缩和吸收稳定系统，加工加氢装置的硫化氢汽提塔顶气、常减压装置减顶气和催化重整装置汽提塔顶气等，解决炼油厂的低压气体回收问题。

## 三、延迟焦化装置的地位

目前炼油厂加工渣油的主要工业化装置有：延迟焦化、灵活焦化、减黏裂化、渣油加氢处理 - 催化裂化、渣油加氢裂化和溶剂脱沥青等装置。采用哪一种渣油加工工艺主要取决于原料性质、产品要求、产品收率、产品市场、建设投资、操作费用、安全环保要求等，每一种加工工艺，都有其特点和适用范围。溶剂脱沥青是一个物理萃取过程，可加工不同性质的原料，但是原料性质对脱沥青油的收率、沥青质量和装置的技术经济指标影响较大，并且脱油沥青的出路受到市场限制。渣油催化裂化的液化气和汽油收率高，但由于烧焦量大、能耗高，对原料的重金属含量有要求。减黏裂化属于渣油浅度热裂化，主要目的是利用渣油生产重质燃料油的同时减少轻质油的混兑比例。由于热裂化深度浅，装置的轻油收率低，在中国

和美国采用减黏裂化工艺加工渣油的装置不多，但在欧洲的大部分炼油厂减黏裂化是渣油加工的主要手段。灵活焦化与延迟焦化相比生焦率低得多，连续性强，环境污染小，对原料的适应性强，且约4%的硫和99%的金属富集到焦炭中，但是投资较大，操作复杂，石油焦和蒸汽、空气反应生成的水煤气的热值低，在炼油厂利用较为困难，目前国内还没有灵活焦化装置。延迟焦化装置可加工高硫、高残炭和高重金属含量的减压渣油，是深度热裂化装置，轻油收率较高，投资和操作费用相对较低，是目前中国和美国等国家普遍采用的主要渣油加工装置之一。

尤其是在全球的原油资源日益重质化和劣质化的趋势下，含硫含酸原油和非常规原油越来越多地被开采和加工。它们的减压渣油的特点是：硫含量(酸值)高、密度大、黏度大、残炭高、沥青质含量高和重金属含量高等。由于焦化工艺与渣油加氢工艺相比，首先，它对原料的重金属含量和残炭没有严格的限制；其次，它的投资成本和操作费用相对较低；第三，它的工艺比较成熟，操作相对简单；第四，它可与炼油厂的其他工艺优化组合提高渣油的资源利用率，进而提高全厂的轻质油收率；第五，即使是过去被认为是低值的高硫焦炭，近年来也随着循环流化床锅炉(CFB)和IGCC等技术和设备的普遍应用，而有了新的用途，从而提升了它本身的使用价值。因此，焦化工艺已成为当今世界上加工高硫(高酸)原油、重质渣油，以及非常规原油的主要工艺。尤其是近几年来，随着国际上对非常规原油如委内瑞拉的超重原油和加拿大油砂沥青资源利用，焦化装置已成为加工这类非常规原油的炼油厂的核心装置。据文献介绍<sup>[2]</sup>，目前世界上已建成的4座加工委内瑞拉奥里诺科超重原油的炼厂，都是以延迟焦化装置为核心装置。在加拿大有6座油砂沥青改质工厂在运行，其中有2座工厂以延迟焦化装置为核心装置，还有2座工厂以沸腾床加氢裂化-延迟焦化的组合为核心装置，另有一座以沸腾床加氢裂化-流化焦化为核心装置，只有一座炼厂以溶剂脱沥青-热裂化为主体装置。资料还介绍，目前世界上在建的4座加工委内瑞拉奥里诺科超重原油的炼厂中，有2座以延迟焦化装置为核心装置，其中有一座在中国广东省揭阳市。加拿大的阿尔伯达省将有9座炼厂新建或扩建油砂沥青改质工厂以生产合成原油，焦化装置或焦化-加氢联合装置将仍然是这些炼厂的主体装置。总之，随着世界上的原油资源越来越少、越来越差，而非常规原油越来越被利用的趋势下，延迟焦化装置在炼油厂的地位将会越来越重要。

#### 四、延迟焦化和其他工艺的组合

延迟焦化工艺和其他工艺有效组合可以进一步提高炼厂的综合效益。目前和延迟焦化相关的组合工艺有：减黏裂化-延迟焦化组合工艺，该工艺是减压渣油经减黏裂化后直接进延迟焦化装置，其优点是可降低减压渣油的焦炭收率。催化裂化-延迟焦化组合工艺，该工艺是减压渣油经延迟焦化脱硫、脱氮、脱碳和脱金属后生成的焦化蜡油直接进催化裂化装置，催化裂化装置生成的油浆经过滤后进入延迟焦化装置。该组合工艺不但解决了催化油浆的出路，提高了催化装置的加工能力和产品质量，而且催化油浆在焦化装置进一步裂化，提高轻油收率。催化油浆经过预处理后采用延迟焦化工艺，再配合适当的操作条件还可以生产高附加值的针状焦。减压深拔-延迟焦化组合工艺，该工艺充分发挥延迟焦化可以加工劣质原料的优势，通过减压深拔提高直馏瓦斯油的收率；而延迟焦化装置生产的重蜡油则进减压塔拔出部分轻瓦斯油。该组合工艺可从总体上降低全厂的焦炭收率。加氢处理-延迟焦化组合工



艺, 该工艺是减压渣油经加氢处理脱硫、脱氮、脱残炭后作为延迟焦化装置的原料。延迟焦化装置不但大大降低了焦炭产率, 而且可以生产冶金工业用的低硫焦炭。针对劣质渣油的加工可采用延迟焦化-加氢处理-催化裂化组合工艺, 延迟焦化使渣油中硫、氮、碳和金属浓缩到焦炭中, 所得的焦化蜡油经加氢处理进一步脱除硫、氮、碳和金属后进催化裂化加工。该工艺优化了加氢处理和催化裂化的原料, 降低了操作费用, 不但生产高质量汽油, 而且生产了高质量的柴油。

### 五、延迟焦化装置加工能力现状

2010 年底, 我国以减压渣油、减压渣油掺合沥青或催化油浆、重质原油、重质燃料油或煤焦油为原料的延迟焦化装置共计 110 余套, 其总加工能力约 1.1 亿 t/a<sup>[3]</sup>。2010 年国内延迟焦化装置的加工能力统计见表 1-1-1。

表 1-1-1 2010 年我国延迟焦化装置的加工能力统计

单位或公司名称	装置套数/套	加工能力/(万 t/a)	实际加工量/(万 t/a)
中国石化	36	4630	4309
中国石油	22	2430	2308
中海石油	5	810	590
中国化工	3	360	200
中国兵器工业集团	1	100	100
地方企业 <sup>①</sup>	45	2700	1700
合计	112	11030	9207

①由于地方企业的装置比较分散, 装置套数、加工能力和实际加工量仅供参考。

自 1998 年以来, 焦化替代减黏裂化/热裂化已成为重质渣油改质的最流行的方法。目前世界延迟焦化装置的加工能力已超过 2.2 亿 t/a(不含中国大陆)。按照地区分, 美国的焦化能力最大, 约 54 套装置, 加工能力超过 1.36 亿 t/a, 其次是拉丁美洲, 亚太地区位居第三。自 2003 年以来, 各地区的焦化能力都有很大增加。目前已建成和计划建设的焦化项目表明, 焦化装置的加工能力还将继续增加。2010 年世界部分国家炼油能力和焦化能力统计见表 1-1-2<sup>[4]</sup>。

表 1-1-2 2010 年世界部分国家和地区炼油能力和焦化加工能力统计

国家和地区	炼厂数/座	常压蒸馏/(万 t/a)	焦化能力/(万 t/a)	焦化占原油加工量的比例/%
美国	129	89346	13608	15.2
俄罗斯	40	27155	467	1.72
日本	30	23649	679	2.87
印度	21	20002	933	4.66
韩国	6	13608	105	0.77
德国	15	12088	582	4.81
意大利	17	11686	248	2.12
巴西	13	9541	634	6.65