



ELSEVIER
爱思唯尔



国外炼油化工新技术丛书

流化催化裂化手册

(第三版)

Fluid Catalytic Cracking Handbook (Third Edition)



[美] Reza Sadeghbeigi 著

王红霞 译
刘特林 审校

石油工业出版社

国外炼油化工新技术丛书

流化催化裂化手册 (第三版)

[美] Reza Sadeghbeigi 著

王红霞 译

刘特林 审校

常州大学图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书对流化催化裂化技术的工艺、反应及装置等进行了比较全面的论述,内容包括催化裂化工艺、工艺控制设施、原料及产品、催化剂及添加剂、化学反应、装置监控与故障排除、项目执行与管理、耐火衬里系统、设备工艺和机械设计、装置优化与消除瓶颈、污染物排放以及渣油和深度加氢处理原料的加工等。

本书可供从事石油化工生产、科研和设计的工程技术人员、管理人员及高校相关专业的师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

流化催化裂化手册:第三版/(美)雷扎·斯德博格(Reza Sadeghbeigi)著;王红霞译. — 北京:石油工业出版社,2018.1

(国外炼油化工新技术丛书)

书名原文:Fluid Catalytic Cracking Handbook

ISBN 978-7-5183-2067-7

I. ①流… II. ①雷… ②王… III. ①石油炼制-流化催化裂化-手册 IV. ①TE624.4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第250611号

Fluid Catalytic Cracking Handbook: An Expert Guide to the Practical Operation, Design, and Optimization of FCC Units, Third Edition

Reza Sadeghbeigi

ISBN: 9780123869654

Copyright ©2012 Elsevier Inc. All rights reserved.

Authorized Chinese translation published by Petroleum Industry Press.

《流化催化裂化手册》(第三版)(王红霞译)

ISBN: 9787518320677

Copyright © Elsevier Inc. and Petroleum Industry Press. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Details on how to seek permission, further information about the Elsevier's permissions policies and arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier Inc. and Petroleum Industry Press (other than as may be noted herein).

Online resources are not available with this reprint.

This edition of Fluid Catalytic Cracking Handbook: An Expert Guide to the Practical Operation, Design, and Optimization of FCC Units, Third Edition is published by Petroleum Industry Press under arrangement with ELSEVIER INC.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本版由 ELSEVIER INC. 授权石油工业出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门以及台湾地区)出版发行。

本版仅限在中国大陆地区(不包括香港、澳门以及台湾地区)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受民事及刑事法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

注意

本译本由 Elsevier Singapore Pte Ltd 和石油工业出版社合作完成。相关从业及研究人员必须凭其自身经验和知识对文中描述的信息数据、方法策略、搭配组合、实验操作进行评估和使用。在法律允许的最大范围内,爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对译文或因产品责任、疏忽或其他操作造成的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任,亦不对由于使用文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身及/或财产伤害及/或损失承担责任。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2016-4217

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

编辑部: (010) 64523546

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 15.75

字数: 400千字

定价: 128.00元

(如发现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

译者前言

自中国第一套流化催化裂化装置于 1965 年实现工业化以来，催化裂化工艺作为炼油行业的主要加工工艺，发展极为迅速。50 多年来，中国催化裂化装置从无到有，技术水平不断提高，装置规模和加工能力不断扩大，在流化催化裂化技术领域积累了丰富的经验，取得了巨大的成就，有些技术已达到国际先进水平。

《Fluid Catalytic Cracking Handbook (3rd Edition)》是由 Elsevier 出版集团于 2012 年出版的一本新书，该书在 2000 年出版的第二版基础上增加了一些新的章节，并对原有的章节也进行了全面更新。本书全面介绍了催化裂化工艺、工艺控制设施、原料及产品、催化剂及添加剂、化学反应、装置监控与故障排除、项目执行与管理、耐火衬里系统、设备工艺和机械设计、装置优化与消除瓶颈、污染物排放以及渣油和深度加氢处理原料的加工等方面的内容，是流化催化裂化技术领域非常实用的一本工具书。

由《石油炼制与化工》编辑部翻译、中国石化出版社 2002 年出版的《Fluid Catalytic Cracking Handbook (2nd Edition)》中文版，为本书一些章节的翻译提供了很好的借鉴，在此表示感谢。

在本书翻译过程中，得到了王莹、李濛、武烨、高凯然、李沁阳、王嘉辉、王洋、李振荣、刘雪梅、杨丽琴、王鸣东、袁兰、王昆仑、杜志芳等同志的大力支持与帮助，在此一并表示感谢！

由于译者水平有限，译文若有不妥之处望读者不吝指正，提出宝贵意见。

原书前言

来自伊朗的我能在美国接受教育和工作是非常幸运的。从 20 世纪 70 年代初海上钻井平台的码头工人和钻工，到近 40 年后的今天，我的目标始终是与他人分享我的丰富经验和知识。通过发表技术文章、出版书籍、举办研讨会以及提供定制培训等，我已经实现了这一目标。我写这本书的主要目的是对很多了不起的人在我的职业生涯中为我提供的帮助表达谢意。

美国的炼油工业已经缩减多年，成长为有经验的炼油技术专家的人才正在迅速消失，而且没有可取代他们的“人才培养体制”。以前，参加年会曾有利于提供这种技术传承。在过去 10 年里，这些会议变得受限于政治导向并被商业利益所左右。在很多情况下，报告人或主持人只有有限的知识来提供实用的可供现场学习的经验教训。此外，许多参会者不愿意在公共论坛来挑战现状或提出新的想法。

第三版真正提供了我在催化裂化工艺方面 35 年的经验传承。没有其他出版物可以无任何商业利益的干扰来进行催化裂化领域的综合讨论，同时还能提供有形和实用的信息以用于在一个不断挑战的行业做出“正确的”决定。这些决定的例子可以是加工合适的原料、购买恰当的新鲜催化剂和（或）添加剂、设计或确保流化催化裂化（FCC）设备的设计适当以及能够有效地排除装置操作的故障或优化装置操作等。

第三版在第二版的基础上增加了几个新章节，并对原有的章节也进行了全面更新。新章节中的耐火衬里部分包含大量实用信息，对于提高 FCC 组件的长期机械可靠性是必不可少的。新章节中的渣油裂化部分为装置实现最佳产率的同时维持长周期运行提供了参考。新章节中的烟气排放部分提供了各种有效的方法以较好地遵守排放要求而不要越界。

我为第三版感到自豪。我收到了来自我们公司尊贵的客户、工业“专家”以及 RMS 工程公司的同事的信息和反馈。为确保内容的准确性和完整性，每一章都进行了仔细审查。本书的重点是在无重大资本项目支出的情况下，提供使现有操作利润和可靠性最大化的工具。我希望这本书可作为与流化催化裂化工艺有关的任何人员的一个参考。

在未来几年，我计划继续分享我的专业技术知识和技术诀窍。

Reza Sadeghbeigi

目 录

第1章 工艺简述	(1)
1.1 原料预热	(6)
1.2 进料喷嘴—提升管	(7)
1.3 催化剂分离	(8)
1.4 汽提段	(9)
1.5 再生器——热量和催化剂回收	(11)
1.6 部分燃烧和完全燃烧	(12)
1.7 再生催化剂立管和滑阀	(12)
1.8 烟气余热余压回收措施	(13)
1.9 催化剂处理设施	(14)
1.10 主分馏塔	(15)
1.11 气体吸收装置	(16)
1.12 处理设施	(21)
1.13 小结	(23)
参考文献	(23)
第2章 工艺控制设施	(24)
2.1 操作参数	(24)
2.2 工艺控制设施	(25)
2.3 小结	(27)
第3章 催化裂化原料表征	(29)
3.1 烃的分类	(29)
3.2 进料的物理性质	(31)
3.3 杂质	(37)
3.4 经验关联式	(45)
3.5 加氢处理的优点	(54)
3.6 小结	(55)
参考文献	(55)
第4章 催化裂化催化剂	(57)
4.1 催化剂组分	(57)
4.2 催化剂制备技术	(63)
4.3 新鲜催化剂的性质	(64)
4.4 平衡催化剂分析	(66)
4.5 催化剂管理	(72)
4.6 催化剂评价	(74)

4.7 小结	(76)
参考文献	(76)
第5章 催化剂和原料添加剂	(78)
5.1 CO 助燃剂	(78)
5.2 SO _x 添加剂	(79)
5.3 NO _x 添加剂	(80)
5.4 ZSM-5 添加剂	(80)
5.5 金属钝化剂	(81)
5.6 渣油裂化添加剂	(82)
5.7 小结	(82)
参考文献	(82)
第6章 催化裂化的化学反应	(83)
6.1 热裂化	(84)
6.2 催化裂化	(85)
6.3 热力学	(89)
6.4 小结	(90)
参考文献	(90)
第7章 装置的监控	(91)
7.1 物料平衡	(91)
7.2 热平衡	(104)
7.3 压力平衡	(109)
7.4 小结	(114)
参考文献	(114)
第8章 产品与效益分析	(115)
8.1 FCC 产品	(115)
8.2 FCC 的经济效益	(127)
8.3 小结	(128)
参考文献	(128)
第9章 有效的项目执行和项目管理	(129)
9.1 FCC 改造的项目管理	(129)
9.2 项目后评价	(132)
9.3 成功执行项目的诀窍	(132)
第10章 耐火衬里系统	(134)
10.1 材料/制造	(134)
10.2 耐火材料中的不锈钢纤维	(135)
10.3 耐火材料的类型	(135)
10.4 浇注料——产品类别	(136)
10.5 物理性质	(137)
10.6 支座	(139)
10.7 耐火衬里系统的设计	(144)

10.8	应用技术	(145)
10.9	耐火衬里的干燥	(148)
10.10	耐火衬里的初始加热	(149)
10.11	设备开车期间耐火衬里的干燥	(149)
10.12	耐火衬里系统随后的加热	(149)
10.13	FCC 装置中耐火材料系统实例	(150)
10.14	小结	(151)
10.15	致谢	(151)
第 11 章	FCC 设备工艺和机械设计指南	(152)
11.1	FCC 催化剂质量	(152)
11.2	高温操作	(152)
11.3	耐火材料质量	(152)
11.4	更具竞争性的炼油工业	(152)
11.5	小结	(163)
第 12 章	故障排除	(164)
12.1	有效故障排除的一些一般准则	(164)
12.2	FCC 催化剂主要物理性质	(165)
12.3	催化剂循环基本原理	(166)
12.4	催化剂损失	(169)
12.5	结焦/结垢	(171)
12.6	尾燃增加	(172)
12.7	烟机	(173)
12.8	倒流	(174)
12.9	小结	(179)
第 13 章	优化与消除瓶颈	(180)
13.1	概述	(180)
13.2	优化的途径	(181)
13.3	采用成熟的技术提高 FCC 利润	(181)
13.4	表观操作约束条件	(181)
13.5	消除瓶颈	(182)
13.6	进料回路的水力学	(182)
13.7	反应器/再生器结构	(184)
13.8	空气和待生催化剂分配系统	(192)
13.9	消除催化剂循环的瓶颈	(193)
13.10	消除燃烧空气的瓶颈	(194)
13.11	再生	(194)
13.12	烟气系统	(194)
13.13	FCC 催化剂	(195)
13.14	消除主分馏塔和气体分馏装置的瓶颈	(195)
13.15	消除富气压缩机 (WGC) 的瓶颈	(197)

13.16	改善吸收塔和汽提塔的性能	(197)
13.17	消除脱丁烷塔操作的瓶颈	(199)
13.18	仪器	(199)
13.19	公用工程/厂区外设备	(200)
13.20	小结	(200)
第 14 章	排放	(202)
14.1	新能源性能标准 (NSPS)	(202)
14.2	最高可实现控制技术 (MACT II)	(202)
14.3	EPA 同意法令	(203)
14.4	控制方法	(203)
14.5	颗粒物	(206)
14.6	烧结金属脉冲喷气过滤	(208)
14.7	NO _x	(209)
14.8	LoTO _x TM 技术	(211)
14.9	小结	(212)
第 15 章	渣油和深度加氢处理原料的加工	(213)
15.1	渣油裂化	(213)
15.2	RFCC 技术供应商	(217)
15.3	操作及机械可靠性	(218)
15.4	渣油原料对操作的影响	(219)
15.5	加工“深度”加氢处理的原料	(219)
15.6	小结	(221)

附录

附录 1	液体黏温曲线	(222)
附录 2	体积平均沸点校正	(223)
附录 3	TOTAL 关联式	(223)
附录 4	$n-d-M$ 关联式	(224)
附录 5	由黏度测量值估算石油馏分的相对分子质量	(225)
附录 6	运动黏度与赛氏通用黏度	(226)
附录 7	API 关联式	(226)
附录 8	流态化术语的定义	(228)
附录 9	ASTM50%馏出点与 TBP50%馏出点的温度换算	(229)
附录 10	由 ASTM D86 法确定 TBP 切割点	(230)
附录 11	管材公称尺寸	(231)
附录 12	换算因子	(234)
附录 13	名词解释	(235)

第1章 工艺简述

全球以汽油和柴油作为主要运输燃料的需求将继续增长。在综合炼油厂，流化催化裂化（FCC）工艺一直发挥着关键作用，是从原油制取轻质产品的主要转化工艺。在未来 20 年内，FCC 工艺将有可能用于生物燃料及减少二氧化碳的排放等过程。对于很多炼油厂来说，催化裂化装置是取得经济效益的关键，它的成功与否决定了炼油厂在当前市场中能否保持竞争力。

自从 1942 年第一套 FCC 工业化装置开工以来，已经进行了很多改进，增强了装置的机械可靠性，提高了裂化更重、更廉价原料的能力。FCC 工艺有着为适应市场需求不断改进的非凡历史。表 1.1 和表 1.2 列出了 FCC 工艺的发展史。

表 1.1 FCC 工艺发明前催化裂化工艺的发展

年份	发 展 情 况
1915	Gulf 炼油公司的 Almer M. McAfee 发现三氯化铝弗里德尔—克拉夫茨催化剂可催化裂化重油，然而催化剂的高成本阻碍了 McAfee 工艺的推广使用
1922	法国机械工程师 Eugene Jules Houdry 和药剂师 E. A. Prodhomme 建立了一个实验室来开发将褐煤转化为汽油的催化过程。1929 年建成的示范工厂表明该过程是不经济的。Houdry 发现漂白土（一种含有 Al_2SiO_6 的黏土）可以将褐煤转变为汽油
1930	真空石油公司（Vacuum Oil Company）邀请 Houdry 将其实验室搬至美国新泽西州的保罗斯伯勒（Paulsboro, NJ）
1931	真空石油公司与纽约标准石油公司（纽约美孚石油公司）（Standard Oil of New York）（Socony）合并组建纽约美孚—真空石油公司（Socony-Vacuum Oil Company）
1933	由于 20 世纪 30 年代初的经济大萧条，小型 Houdry 装置接受了加工石油 200bbl/d（bpd）的委托，纽约美孚—真空石油公司不能继续支持 Houdry 的工作并授权他到其他公司寻求帮助。太阳石油公司（Sun Oil Company）加入开发 Houdry 工艺
1936	纽约美孚—真空石油公司将一套旧热裂解装置改造为采用 Houdry 工艺可催化裂化原油的装置，加工量可达 2000bbl/d
1936	采用天然黏土作为催化剂可极大地提高裂化效率
1937	太阳石油公司开始采用 Houdry 工艺，原油加工量可达 12000bbl/d。Houdry 工艺采用装有催化剂的固定床反应器，为半间歇操作，近 50% 的裂化产物为汽油
1938	随着 Houdry 工艺的商业化成功，作为协会成员之一的新泽西标准石油公司（Standard Oil of New Jersey）恢复了 FCC 工艺的研究，该协会成员包括 5 家石油公司：新泽西标准石油公司、印第安纳标准石油公司（Standard Oil of Indiana）、盎格鲁—伊朗石油公司（Anglo-Iranian Oil）、得克萨斯石油公司（Texas Oil）和荷兰壳牌公司（Dutch Shell）、两家工程建设公司——凯洛格公司（M. W. Kellogg）和环球油品公司（UOP），以及一家德国化工公司 I. G. Farben。该协会被称为催化剂研究协会（CRA, Catalyst Research Associates），其目标是开发一种新的催化裂化工艺，且不与 Houdry 的专利相冲突。麻省理工学院的两名教授 Warren K. Lewis 和 Edwin R. Gilliland 建议 CRA 研究人员使流低速通过粉末以使粉末像液体般流动。新泽西标准石油公司开发并获得第一件流化催化剂裂化工艺专利

续表

年份	发 展 情 况
1938—1940	1938 年，纽约美孚—真空石油公司另有 8 套在建 Houdry 装置，到 1940 年已有 14 套 Houdry 装置在运行，原油加工量达 140000bbl/d。下一步需要开发一个连续生产工艺来替代 Houdry 工艺的半间歇式操作。由此出现了催化热裂化（TCC）的移动床工艺，该工艺使用斗式提升输送机将催化剂从再生窑移动至反应器
1940	凯洛格公司在标准石油公司位于路易斯安那（Louisiana）的 Baton Rouge 炼油厂设计并建造了一个大型试验工厂
1941	一个小型 TCC 示范装置在纽约美孚—真空石油公司的 Paulsboro 炼油厂建成
1943	一个原油加工量达 10000bbl/d 的 TCC 装置在位于得克萨斯 Beaumont 的 Magnolia 石油公司（属纽约美孚—真空石油公司 Paulsboro 炼油厂子公司）开始运转
1945	第二次世界大战结束后，在运转的 TCC 装置石油加工能力约为 30×10^4 bbl/d

表 1.2 FCC 工艺的发展

年份	发 展 情 况
1942	第一套 FCC 工业装置（Ⅰ型上行式设计）在新泽西标准石油公司位于路易斯安那的 Baton Rouge 炼油厂开工，加工能力为 12000bbl/d
1943	第一套下行式 FCC 工业装置开始运转；第一套 TCC 装置开始运转
1947	UOP 第一套烟肉式 FCC 装置（stacked FCC unit）建成，凯洛格公司推出Ⅲ型 FCC 装置
1948	W. R. Grace & Co 公司的 Davison 分部开发出微球 FCC 催化剂
1950 年代	床层裂化工艺得到改进
1951	凯洛格公司推出正流式（Orthoflow）设计
1952	埃克森公司（Exxon）推出Ⅳ型催化裂化
1954	引入高铝（ Al_2O_3 ）催化剂
20 世纪 50 年代中期	UOP 推出并列式设计
1956	壳牌石油公司（Shell）发明了提升管裂化反应器
1961	凯洛格和菲利普斯公司（Phillips）开发出第一个渣油裂化装置并在得克萨斯 Borger 炼油厂开工
1963	第一套Ⅰ型 FCC 装置经过 22 年运转后关停
1964	美孚石油公司（Mobil Oil）开发出含有超稳 Y 型（USY）和稀土交换超稳 Y 型分子筛（ReY）的 FCC 催化剂；最后的 TCC 装置完成
1972	阿莫科石油公司（Amoco Oil）发明了高温再生方法
1974	美孚石油公司引入 CO 助燃剂
1975	菲利普斯石油公司（Phillips Petroleum）开发出铈助剂用于钝化镍
1981	道达尔发明了渣油加工的两段再生方法
1983	美孚报道了 ZSM-5 作为提高汽油辛烷值及烯烃产率的 FCC 添加剂的首次工业应用
1985	美孚在其 FCC 装置中开始使用封闭式旋风分离系统
1994	Coastal 公司进行了超短停留时间、选择性裂化（MSCC）工业试验
1996	ABB 鲁姆斯全球公司（ABB Lummus Global）取得 Texaco 公司的 FCC 技术

FCC 装置采用微球催化剂，在适当的流化状态下其形态似液体。FCC 装置的主要目的是使高沸点石油馏分（称为瓦斯油）转化为高价值的运输燃料（如汽油、喷气燃料和柴油）。FCC 原料所用瓦斯油通常是原油中馏程在 650~1050°F（330~550℃）的馏分。原料性质将在第 3 章讨论。

全球正在运行的催化裂化装置大约有 350 套（其中美国有 102 套），总加工能力超过 $1470 \times 10^4 \text{ bbl/d}^{[1]}$ 。现有的 FCC 装置主要由以下 6 个技术供应商设计或改造：

- (1) UOP（环球油品公司）（Universal Oil Products）；
- (2) Kellogg Brown & Root-KBR（原来的 Kellogg 公司）；
- (3) ExxonMobil 开发与工程公司（ExxonMobil Research and Engineering）（EMRE）；
- (4) Shaw 集团公司（The Shaw Group Inc.）；
- (5) CB&I 鲁姆斯（CB&I Lummus）；
- (6) 壳牌全球解决方案国际公司（Shell Global Solutions International）。

图 1.1 至图 1.9 列出了几家 FCC 技术供应商提供的典型装置草图。虽然每套 FCC 装置

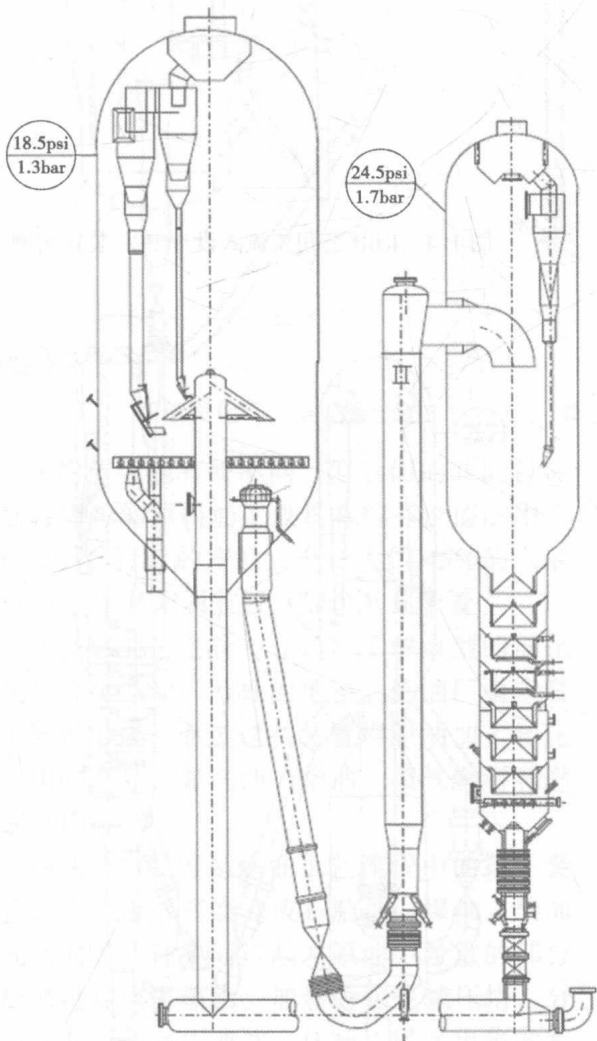


图 1.1 具有增强 RMS 设计内构件的Ⅱ型催化裂化反应器实例

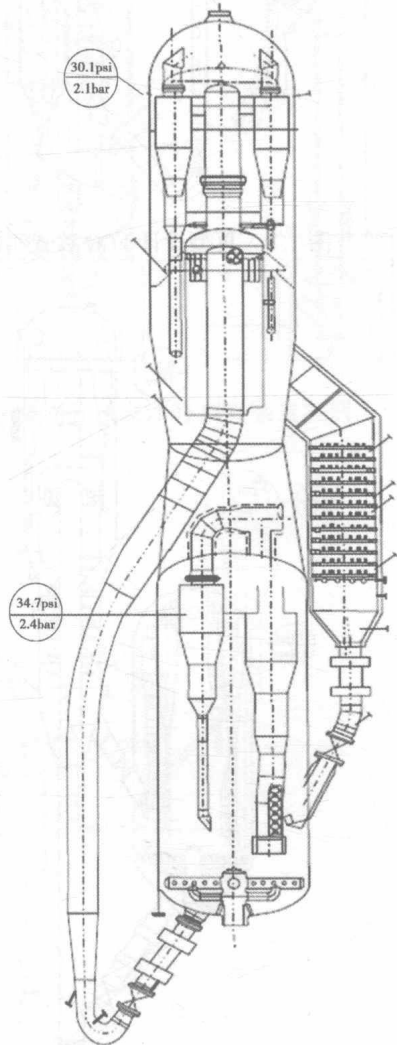


图 1.2 UOP 烟囱式设计 FCC 装置实例

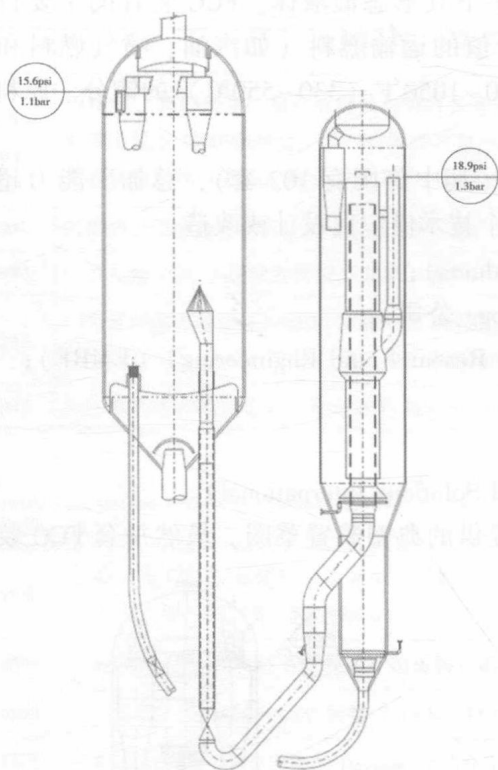


图 1.3 IV型设计 FCC 装置实例

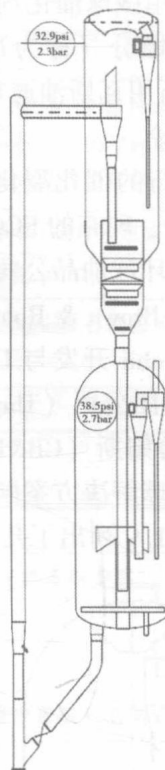


图 1.4 KBR 公司正流式设计 FCC 装置实例

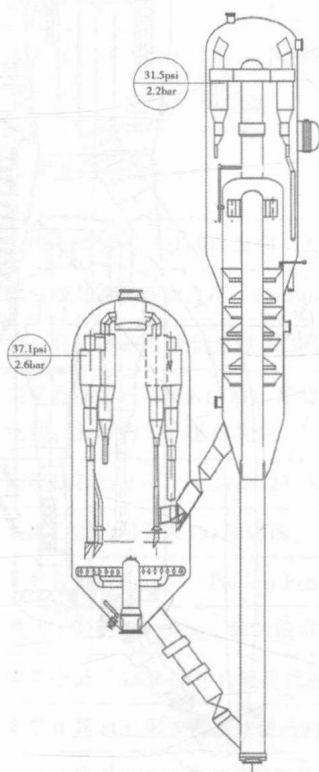


图 1.5 并列式设计 FCC 装置实例

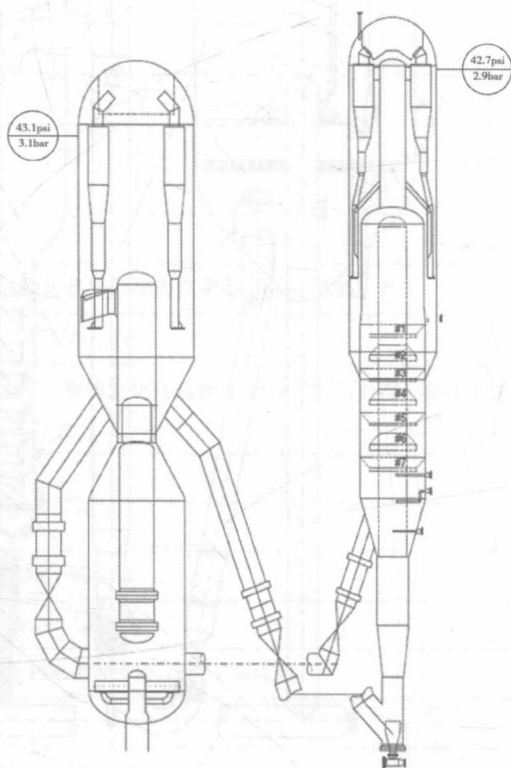


图 1.6 UOP 高效设计 FCC 装置实例

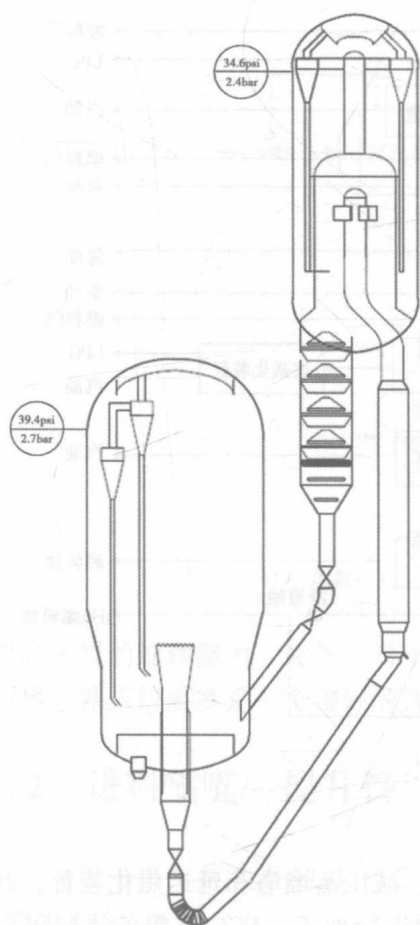


图 1.7 灵活裂化反应器实例

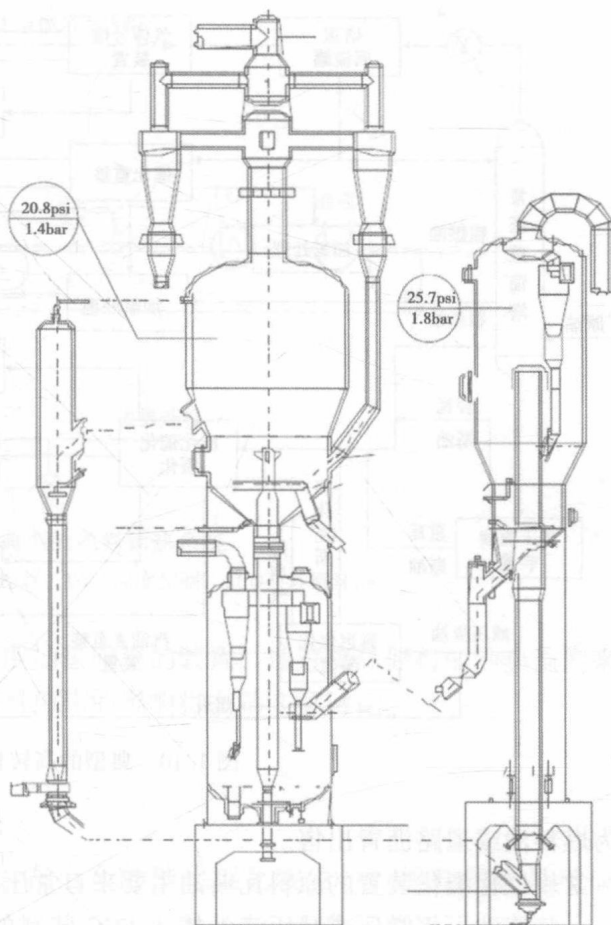


图 1.8 Shaw 集团公司设计的 FCC 装置实例

的机械构造可能有所不同，但它们的共同目标都是将廉价的原料加工成具有较高价值的用于运输及石化行业的产品。全球大约 45% 的汽油来自 FCC 及其附属装置，如烷基化装置。

在介绍工艺之前，有必要了解典型的催化裂化装置在炼油厂所处的地位。炼油厂由多套加工装置组成，通过这些装置将原油加工转化为有用的产品，如汽油、柴油、喷气燃料和燃料油（图 1.10）。

原油蒸馏装置是炼油工艺流程中的第一套装置，原油通过蒸馏分成石脑油、煤油、柴油和瓦斯油等几种中间产品。原油中最重的部分不能通过常压塔蒸出，加热后送往减压塔，分割成瓦斯油和减压渣油。从减压塔底出来的减压渣油被送往延迟焦化装置、脱沥青装置、减黏裂化装置或渣油裂化装置进一步加工，或者

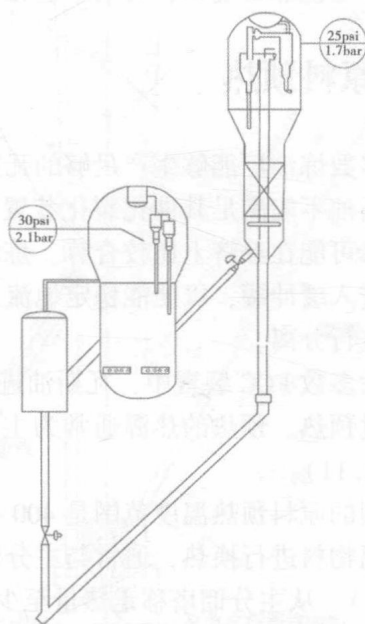


图 1.9 鲁姆斯技术公司 FCC 装置实例

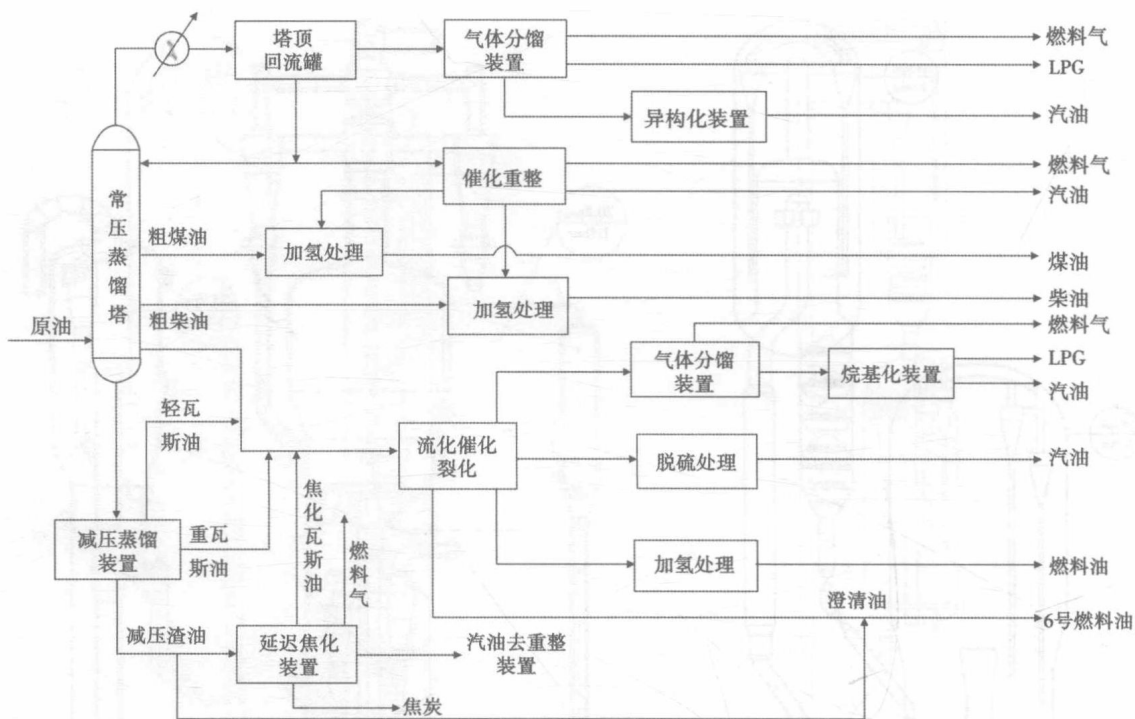


图 1.10 典型的高转化率炼油厂

作为燃料油或道路沥青出售。

常规催化裂化装置的原料瓦斯油主要来自常压蒸馏塔、减压蒸馏塔和延迟焦化装置。此外，一些炼油厂将常压或减压渣油掺入 FCC 装置的原料中进行加工。FCC 装置的进料可以是完全加氢处理的、部分加氢处理的或完全未加氢处理的。

FCC 工艺非常复杂，为简单起见，将此工艺分成 12 个部分进行描述。

1.1 原料预热

大多数炼油厂能够生产足够的瓦斯油以满足催化裂化装置的需要。但是，一些炼油厂生产的瓦斯油不能满足其催化裂化装置的加工能力，购买 FCC 原料或掺和一些渣油作为原料的补充，可能在经济上比较合算。炼油厂生产的瓦斯油和 FCC 的其他补充原料通常被混合在一起进入缓冲罐，以便能稳定地流入进料泵。利用缓冲罐也可以将原料中可能存在的水或水蒸气进行分离。

在大多数 FCC 装置中，瓦斯油进料在从存贮罐和（或）其他单元被送至提升管之前都要先经过预热。预热的热源通常为主分馏塔循环物料、主分馏塔产品和（或）专用的燃气炉（图 1.11）。

典型的原料预热温度范围是 $400 \sim 750^{\circ}\text{F}$ ($205 \sim 400^{\circ}\text{C}$)，原料首先经过换热器与主分馏塔的高温物料进行换热，通常与主分馏塔塔顶回流油、轻循环油（LCO）和塔底循环油换热（图 1.11）。从主分馏塔移走热量至少与原料预热同样重要。

大多数 FCC 装置使用加热炉来最大化 FCC 原料的预热温度。燃气原料预热炉具有多种操作优势。例如，当装置的主风机能力和（或）催化剂循环量不足时，提高预热温度可以

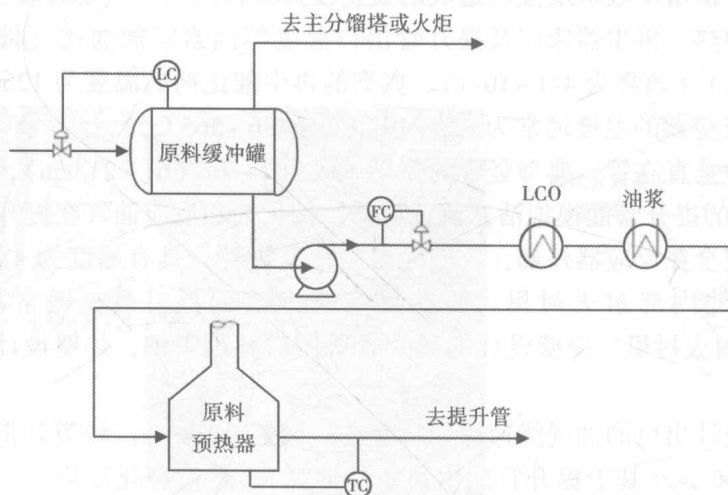


图 1.11 典型的原料预热系统

FC—流量控制；LC—液位控制；TC—温度控制；LCO—轻循环油

提高装置的处理能力。此外，对于加工深度加氢原料的装置，通过提高原料的预热温度来控制再生器床层温度是一个很好的选择。原料预热的影响将在第 8 章讨论。

1.2 进料喷嘴—提升管

反应—再生系统是 FCC 工艺的核心。在当今的催化裂化装置中，提升管就是反应器（图 1.12）。

原料与再生催化剂的有效接触对获得理想的裂化反应是很重要的。进料喷嘴借助分散或雾化水蒸气雾化原料，较小的油滴提高了原料与催化剂活性酸中心接触的可能性。实际上采用高活性的沸石催化剂，所有的裂化反应都发生在 3 秒或更短的时间内。

在大多数 FCC 装置中，进料喷嘴是“升高”型的，它们位于提升管底部之上大约 15~40ft（5~12m）的位置。根据 FCC 的原料流速和提升管直径的不同，进料喷嘴的数目可以是 1~15。

理想的裂化反应在气相中进行，原料一旦被热的再生催化剂气化，裂化反应就会开始，反应油气的体积膨胀是携带催化剂在提升管中上升的主要驱动力。

热的再生催化剂不仅要提供必要的热量以气化原料油和使其达到所需的裂

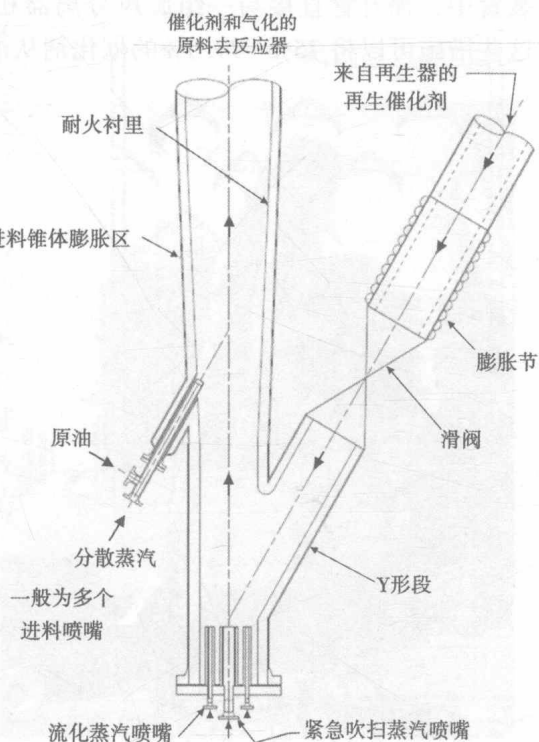


图 1.12 典型的 Y 形进料段提升管

化温度，而且要补偿由于吸热反应所造成的发生在提升管内的“内部冷却”现象。

取决于原料预热、再生器床层及提升管出口温度等因素，剂油比（催化剂的循环量与总进料量的质量比）（通常为 4:1~10:1）。典型的再生催化剂的温度为 1250~1350°F（677~732℃）。裂化或反应器的温度通常为 925~1050°F（496~565℃）。

提升管通常为垂直立管，典型竖管的直径一般为 2~7ft（61~213cm），高度为 75~120ft（23~37m）。理想的提升管能模拟活塞流反应器，催化剂和反应油气在提升管内返混最小。

一些提升管完全在反应器外部，它们大多是冷壁设计，具有厚度为 4~5in（10~13cm）的保温和抗磨损的内部耐火衬里。而在反应器内部的提升管，通常具有厚度为 1 in（2.5cm）的内部耐火衬里。冷壁设计的提升管所用材料是碳钢，热壁设计的提升管所用材料是低铬合金。

提升管通常设计出口的油气线速为 40~60ft/s（12~18m/s）。烃类和催化剂的平均停留时间分别约为 2s 和 3s（基于提升管的出口条件计算）。经过裂化反应，一种氢含量很低的物质，即焦炭沉积在催化剂上，降低了催化剂的活性。

1.3 催化剂分离

催化剂从提升管出来后，便进入了沉降器。在当今的 FCC 装置中，沉降器作为放置用于催化剂分离的旋风分离器和（或）其他分离装置的场所。在早期的 FCC 工艺中，沉降器可以作为床层反应器进一步进行裂化反应，同时用于催化剂的分离。

几乎每套 FCC 装置均采用某种类型的惯性分离装置，与提升管的出口相连，将大部分催化剂与反应油气分开。一些 FCC 装置采用导流设备使催化剂运动方向向下改变。在某些 FCC 装置中，提升管直接与一组旋风分离器相连，“粗旋”分离器通常即指这种类型的设计。这些措施可以将 75%~99.9% 的催化剂从油气产物中分离出去。

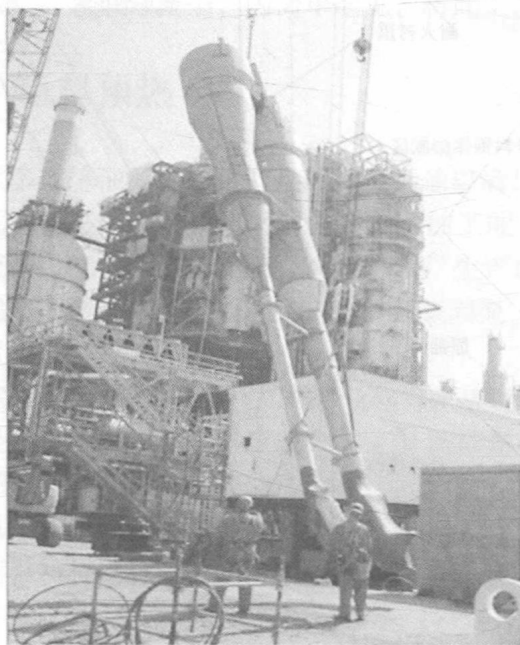


图 1.13 典型的两段旋风分离系统

大多数 FCC 装置使用单级或两级旋风分离器（图 1.13）以分离残留在裂化油气中的催化剂微粒。旋风分离器将催化剂收集并通过料腿和挡板/翼阀（图 1.14 和图 1.15）送往催化剂汽提段。产品油气从旋风分离器的上部流出后进入主分馏塔。典型的提升管末端设备和上部旋风分离系统的分离效率通常达 99.999% 以上。

催化剂与反应油气一旦进入沉降器，尽快将其分开是很重要的，尤其当裂化温度超过 950°F（510℃）时。否则就延长了催化剂与反应油气在沉降器内的接触时间，导致某些所需产品再进行非选择性催化裂化。停留时间延长也会促进所需产品再进行热裂化反应。当沉降器温度超过 950°F（510℃）时，