

“十一五”国家重点图书出版项目

催化重整 工艺与工程

徐承恩 主编



中国石化出版社

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

“十一五”国家重点图书出版项目

催化重整工艺与工程

徐承恩 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书系统地总结了国内外催化重整工艺技术的发展、科研成果、设计经验和工业实践。内容包括:催化重整过程的原料和产品、原料预处理、催化重整化学、催化重整反应动力学、催化重整工艺过程和操作参数、催化重整催化剂和催化剂的失活与再生、连续重整催化剂循环系统、反应系统的环境控制、主要设备和过程控制、芳烃抽提与抽提精馏、催化重整工艺中的分析技术、催化重整技术经济分析、开(停)工及事故处理及安全健康和环境保护等,本书还对催化重整工艺未来的发展也进行了阐述。

本书具有科学性、系统性、新颖性、理论性和实用性,由多位长期从事催化重整科学研究和工程技术的专家撰写而成。

主要读者对象为石油和石油化工行业的广大科技工作者,包括:科研、设计、生产、管理和基本建设等方面的专业人员,也适用于大专院校的师生。

图书在版编目(CIP)数据

催化重整工艺与工程/徐承恩主编.

—北京:中国石化出版社,2006

ISBN 7-80164-946-X

I. 催… II. 徐… III. 催化重整—基本知识
IV. TE624.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第159614号



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.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

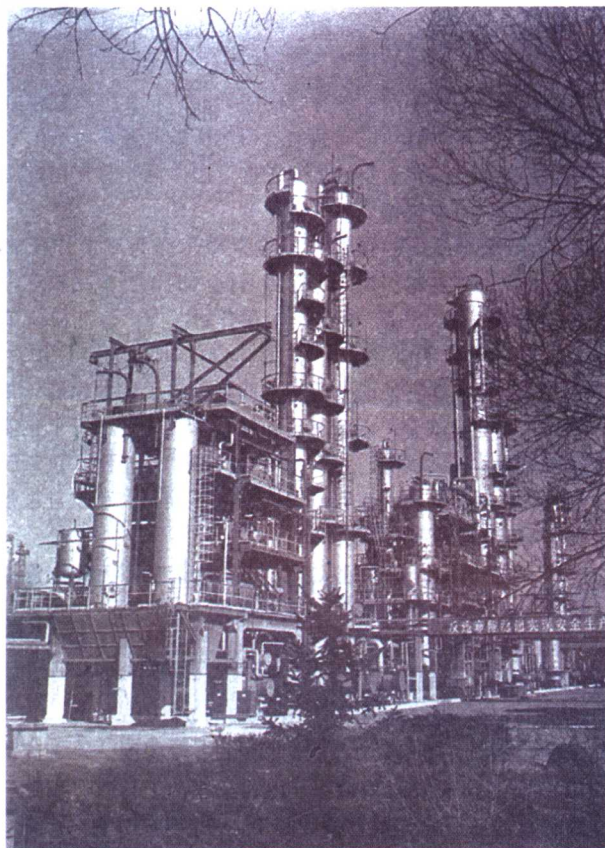
*

787×1092毫米16开本58.5印张4插页1353千字

2006年11月第1版 2006年11月第1次印刷

定价:248.00元

催化重整工艺与工程



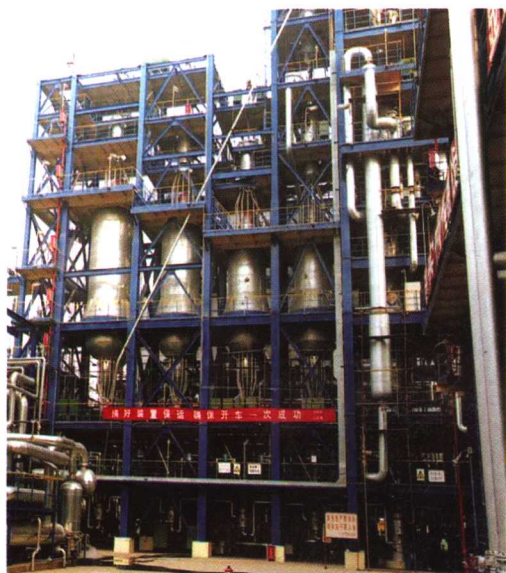
我国第一套催化重整和芳烃抽提装置（大庆炼油厂，1965年）



半再生催化重整装置（燕山石化公司，1971年）



多金属催化重整和芳烃抽提联合装置
（大连石油七厂，1977年）



并列式连续重整装置（齐鲁石化公司，2001年）



重疊式连续重整装置（锦西石化公司，2002年）

催化重整工艺与工程



长岭石化公司组合床催化重整装置



海南实华炼油化工有限公司连续重整装置



乌鲁木齐石化公司连续重整装置



催化重整装置加热炉



催化重整装置反应器

催化重整工艺与工程



上海赛科石油化工有限公司芳烃抽提蒸馏装置



扬子石化—巴斯夫有限责任公司芳烃抽提装置



辽阳石化公司芳烃联合装置中的
连续重整部分

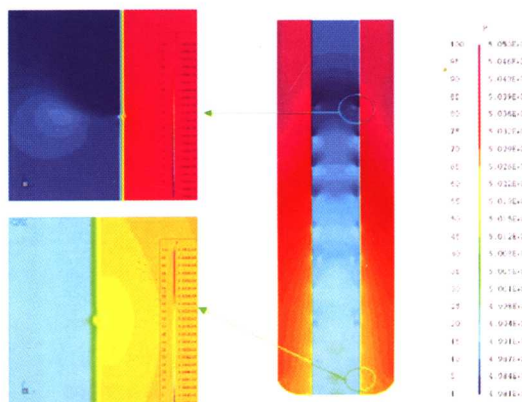


天津石化公司芳烃联合装置

催化重整工艺与工程

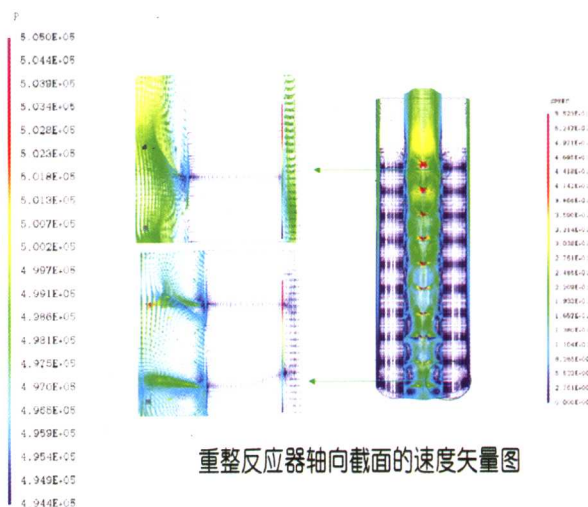
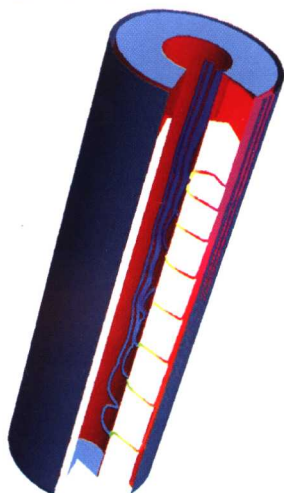


连续重整催化剂（左：氧化态，右：还原态）

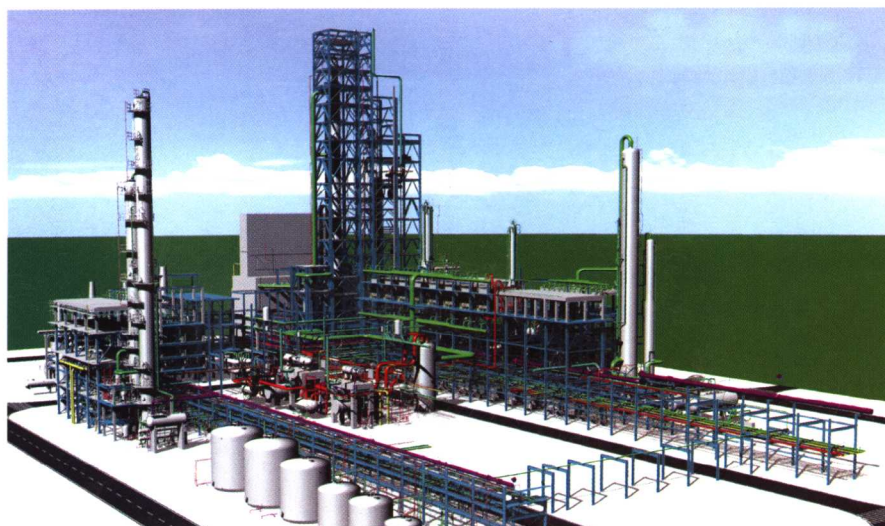


重整反应器轴向截面的压力云图

重整反应器流程图



重整反应器轴向截面的速度矢量图



连续重整装置 PDS 模型

《催化重整工艺与工程》

编 委 会

主 编 徐承恩

副主编 达志坚 罗家弼

委 员 (以下按姓氏笔画为序)

马爱增 王克琼 王金福 冯 敢

苟家福 杨森年 胡德铭 濮仲英

《催化重整工艺与工程》

编 辑 部

主 任 赵 怡

成 员 胡德铭 黄志华 马爱增 张国艳

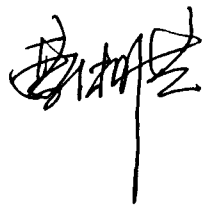
序

催化重整是石油加工中极为重要的工艺过程。生产高标号清洁汽油需要催化重整提供高辛烷值调合组分；生产苯、甲苯和对、间、邻位二甲苯需要催化重整提供原料；炼油过程还希望催化重整提供廉价的氢气。为了满足国内市场对高标号清洁汽油的迫切需求，为了改变我国对二甲苯大量依赖进口的局面，我国还需要建设一批催化重整装置，已经建成投入运行的催化重整装置也需要通过采用新的催化剂、工艺和技术进行技术改造，不断提高技术水平。更重要的是要培养和造就一支在催化重整领域具有较深技术造诣的专业技术人员队伍。

中国工程院徐承恩院士主编的《催化重整工艺与工程》，从原料到原料的预处理，从重整化学、反应动力学到数学模型，从催化剂、工艺到反应器，从正常操作控制、开停工到事故处理，从催化剂失活、再生到废催化剂中贵金属的回收，从过程控制到仪表、设备，从原料、中间产物到产品质量的分析，从技术经济分析到安全卫生、环境保护，对催化重整工艺与工程作了系统的论述，全面介绍了催化重整催化剂、工艺技术创新的进展与最新成果。坚持理论与实践并重，既有较强的理论性，又和装置的设计、操作紧密结合，有很强的可实践性，是一本系统性、新颖性、学术性、实用性得到充分反映的好书。该书的正式出版发行十分有助于我国石油化工领域的广大科技人员，也包括在校学习石油化工专业的学生更系统深入地了解催化重整工艺和过程。尤其对从事催化重整催化剂、工艺及工程研究、催化重整装置设计、催化重整生产运行、技术、设备管理的专业技术人员更是不可多得的有价值的学习材料。

当今世界，知识借助现代化的信息技术手段迅速传递，每个人获取新知识变得越来越容易，途径也越来越多元化。但是知识的传递速度快，获得知识的途径多，容易获得知识并不意味着个人知识会以同样的速度多起来。书刊、杂志、网络等各种传媒上的知识都必须经过个人的阅读、理解、消化、吸收，才能真正成为自己掌握的知识。就每个人而言，阅读、理解、消化吸收掌握知识和现代化的信息手段没有关系。要想成为知识丰富的人依然需要个人的刻苦和努力，舍此，必然是知识浅薄之人。我想我们应该以刻苦学习、在学习中增长知识共勉。在石油化工领域从业尤其是在催化重整领域从业的各类专业技术人员则要以强烈的求知欲，经常阅读《催化重整工艺与工程》，不仅要刻苦学习，而且要善于结合自己的实际工作去思考研究问题，运用学到的知识去解决问题，在实践中丰富自己的知识，努力使自己早日成为一个真正的“催化重整”专家。

衷心感谢徐承恩院士等一批专家为我们奉献了《催化重整工艺与工程》一书。



2006年9月

前 言

在现代化的炼油厂中，催化重整装置起着三个重要作用：生产优质清洁汽油组分；生产重要的石油化工原料——轻质芳烃和提供廉价氢气。因此，催化重整装置是现代化炼油厂中必不可少的重要生产装置。随着我国的环境保护要求日趋严格，对油品的质量要求愈来愈高，聚酯工业的快速发展，以及炼油厂对氢气需求的日益增大，使我国催化重整装置的生产能力，近十年来有了较大的增长。据统计，到 2004 年底，我国催化重整装置的生产能力为 21.79Mt/a，是 1995 年的 2.7 倍。

从 20 世纪 50 年代开始，我国就进行了催化重整的科研工作。经过半个多世纪的努力，在催化重整工艺、催化剂研究、工程设计与生产实践等方面都取得了不少成果，积累了丰富的知识和经验。为了适应我国石油、石化工业迅猛发展的形势，全面总结我国催化重整的成果和经验，并系统地介绍国外有关的新发展，以裨益于我国石油、石化工业的科技工作者和促进我国催化重整的发展显得十分必要。中国石化出版社及时组织编写本书是极具远见的。

参加本书编写的主要是中国石化石油化工科学研究院和中国石化工程建设公司多年来一直从事催化重整科研和设计工作的同志，另外还邀请了清华大学王金福教授参与有关章节的编写。这些同志都具有较高的理论水平和丰富的实践经验，为本书的质量提供了基本保证。

本书的编写力求做到理论与实践相结合，工艺与工程相结合、技术与经济相结合、国内与国外相结合，以使本书具有科学性、新颖性、系统性和实用性。但由于多数撰写者都有繁忙的本职工作，时间有限，虽经多次审查、讨论和修改，仍难免有不妥或不足之处，敬请广大读者批评指正。

中国工程院曹湘洪院士在百忙之中为本书写序，中国石化石油化工科学研究院、中国石化工程建设公司和中国石化出版社的领导在本书的编写过程中给予了大力支持，谨在此致谢。

徐承恩

2006 年 9 月

目 录

第一章 绪论	胡德铭
第一节 概况	(2)
第二节 催化重整装置的构成和类型	(6)
一、生产汽油的催化重整装置	(6)
二、生产芳烃的催化重整装置	(6)
三、生产溶剂油的催化重整装置	(12)
第三节 催化重整过程的发展沿革	(14)
一、催化重整催化剂的发展沿革	(14)
二、催化重整工艺的发展沿革	(26)
第四节 催化重整过程在炼油和石油化工工业中的地位和作用	(40)
一、催化重整过程在炼油厂的地位和作用	(41)
二、催化重整汽油在清洁汽油生产中的作用	(43)
三、催化重整过程在石油化工一体化中的地位和作用	(51)
四、催化重整过程的副产氢气是加氢过程的重要氢源	(58)
第五节 催化重整工艺的发展和展望	(60)
一、催化重整工艺的未来还有很大的发展空间	(60)
二、新建大型催化重整装置将以连续重整装置为主	(68)
三、半再生装置的改造和换用新型催化剂以使其继续保持活力	(70)
四、降低重整生成油中的苯含量将提到日程	(76)
五、催化重整催化剂的发展趋势	(81)
六、扩大和优化催化重整原料已成为发展催化重整装置的关键	(83)
参考文献	(85)
第二章 原料和产品	马爱增
第一节 重整原料类型和性质	(88)
一、直馏石脑油	(88)
二、加氢裂化重石脑油	(91)
三、焦化石脑油	(92)
四、催化裂化石脑油	(94)
五、乙烯裂解抽余油	(95)
第二节 重整原料馏分选取与产品的关系	(96)
一、原料的表征	(96)
二、芳烃和高辛烷值汽油调合组分生产的原料选取	(101)
三、原料组成与产物收率和产物分布	(104)
第三节 原料油中主要杂质类型及其分布	(107)
一、硫化物	(107)

二、氮化合物	(111)
三、氯化物	(114)
四、金属有机化合物	(114)
第四节 重整催化剂对原料中杂质含量的要求	(115)
一、金属氧化物催化剂	(115)
二、单铂催化剂	(115)
三、双(多)金属催化剂	(116)
第五节 重整产品	(116)
一、高辛烷值汽油组分	(116)
二、苯	(121)
三、甲苯	(121)
四、C ₈ 芳烃	(123)
五、溶剂油	(126)
六、氢气	(127)
参考文献	(127)
第三章 原料预处理	何宗付 石玉林
第一节 工艺流程	(131)
一、预分馏部分工艺流程	(131)
二、预加氢反应部分流程	(133)
三、汽提塔部分流程	(134)
第二节 原料的预加氢	(134)
一、预加氢的化学反应	(134)
二、加氢催化剂	(141)
三、加氢操作参数	(144)
四、预加氢装置的开工	(149)
五、加氢催化剂的再生	(155)
第三节 原料的脱砷	(159)
一、脱砷方法	(160)
二、脱砷机理	(161)
三、脱砷工艺条件	(161)
第四节 原料的脱氯	(163)
一、氯的来源	(163)
二、氯在加氢系统中的腐蚀	(164)
三、国内外脱氯剂的研究状况	(164)
四、氯的脱除	(165)
参考文献	(166)
第四章 催化重整化学	杨森年
第一节 重整反应热力学	(168)
一、六元环烷烃脱氢反应	(169)

二、五元环烷烃脱氢异构化反应	(170)
三、链烷烃异构化反应	(170)
四、链烷烃脱氢环化反应	(171)
五、烷烃的氢解和加氢裂化反应	(172)
第二节 催化重整反应动力学和反应机理	(173)
一、六元环烷烃类催化脱氢反应	(173)
二、五元环烷脱氢异构化反应	(176)
三、链烷烃异构化反应	(178)
四、链烷烃脱氢环化反应	(182)
五、氢解和加氢裂化反应	(186)
第三节 各类重整反应化学特性的比较	(188)
参考文献	(188)
第五章 催化重整反应动力学及其催化剂烧炭动力学数学模型	马燮琦
第一节 综述	(192)
一、催化重整反应动力学简介	(192)
二、本章所采用的集总组分符号	(195)
第二节 一些催化重整反应动力学数学模型简介	(196)
一、史密斯(Smith)的 4 集总组分石脑油催化重整反应动力学数学模型	(196)
二、柯然(Krane)等人的 20 集总组分石脑油催化重整反应动力学数学模型	(204)
三、柯马克(Kmak)的 22 集总组分强化重整反应动力学数学模型	(215)
四、佩斯(Pace)公司的 30 集总组分催化重整反应动力学数学模型	(216)
五、华尔夫(Wolff)的 4 集总组分石脑油催化重整反应动力学数学模型	(220)
六、马林(Marin)等人的 28 集总组分催化重整反应动力学数学模型	(223)
七、莫比尔(Mobil)公司的铂重整反应动力学数学模型	(225)
八、孙绍庄等人的 16 集总组分催化重整反应动力学数学模型	(270)
九、解新安等人的 28 集总组分催化重整反应动力学数学模型	(275)
第三节 一些催化重整催化剂烧炭动力学方程简介	(278)
一、刘耀芳等人的铂锡重整催化剂烧炭动力学方程	(278)
二、潘国庆等人的 R-32 铂锡催化剂烧炭动力学方程	(279)
参考文献	(280)
第六章 催化重整催化剂	陈志祥 杨森年
第一节 催化剂的组成、类型和性质	(282)
一、活性氧化铝载体	(282)
二、单金属催化剂的结构和性质	(295)
三、双(多)金属催化剂	(299)
第二节 催化重整催化剂的制备	(312)
一、氧化铝载体的制备	(312)
二、催化剂的制备	(317)

第三节 半再生重整催化剂的发展	(325)
一、半再生重整催化剂的发展概况	(325)
二、半再生重整催化剂发展的主要特征	(328)
三、我国半再生重整催化剂的现有水平	(332)
第四节 连续重整催化剂的发展	(339)
一、连续重整工艺对催化剂性能的特殊要求	(339)
二、国外连续重整催化剂的发展	(340)
三、我国连续重整催化剂的开发和工业应用	(346)
参考文献	(350)
第七章 催化重整工艺	罗家弼
第一节 催化重整工艺基本过程	(361)
一、工艺流程	(361)
二、工艺过程分析	(362)
第二节 半再生重整工艺	(375)
一、铂重整	(376)
二、胡德利重整	(376)
三、铈重整	(377)
四、IFP 重整	(378)
五、麦格纳重整	(378)
六、我国的半再生催化重整技术	(379)
第三节 循环再生重整工艺	(383)
一、超重整	(384)
二、强化重整	(384)
三、未反再生式重整	(385)
第四节 连续重整工艺	(386)
一、基本工艺过程	(387)
二、重叠式连续重整	(391)
三、并列式连续重整	(398)
四、组合床工艺	(404)
第五节 催化重整装置的扩能改造	(405)
一、重整装置的特点分析	(405)
二、设备利用和改造的基本思路	(406)
三、技术方案	(407)
四、装置改造实例	(407)
参考文献	(410)
第八章 催化重整径向反应器的物料流动及数学模型	王金福 高莉萍
第一节 气体流动流体力学模型	(411)
一、径向反应器轴向布气均匀度	(412)
二、主流道变质量流模型	(412)

三、床层压降及布气系统过孔压降模型	(413)
四、一维流体力学模型	(414)
五、二维流体力学模型	(417)
第二节 催化剂颗粒运动模型	(421)
一、空腔及贴壁效应	(421)
二、颗粒运动模型	(422)
三、临界气体流量及床层应力分布	(425)
第三节 径向反应器流体力学影响因素	(430)
一、影响轴向布气均匀度的主要因素	(430)
二、影响临界气体流量的主要因素	(430)
第四节 径向反应器优化设计	(432)
第五节 径向反应器软件在工业上的应用	(433)
一、径向反应器设计软件(FLOTU - Mbed1.0)	(433)
二、计算流体力学商业软件	(437)
三、结论	(439)
参考文献	(439)
第九章 连续重整催化剂循环系统	王金福
第一节 气力输送技术和物料性质	(442)
一、气力输送的优点	(443)
二、输送气体的性质	(443)
三、颗粒物料的性质	(446)
四、气固混合物的性质	(450)
第二节 气力输送基本原理	(452)
一、固体颗粒流态化现象	(452)
二、气固悬浮流动分析	(455)
三、气力输送状态相图	(459)
第三节 发送装置	(464)
一、发送装置的工艺要求	(464)
二、罐式发送装置	(464)
三、管式发送装置	(466)
第四节 输送气速上下限与循环量控制	(466)
一、噎塞速度	(466)
二、输送气速与催化剂磨损	(468)
三、催化剂循环量控制	(469)
第五节 输送过程的压力损失	(470)
一、沿程压力分布规律	(470)
二、垂直立管的压力损失	(471)
三、斜管压力损失	(473)
四、弯头局部压力损失	(473)

第六节 锁气及锁压装置	(474)
一、锁气罐	(474)
二、锁压装置	(476)
三、无阀锁压原理	(477)
四、闭锁料斗的锁压能力	(478)
参考文献	(480)
第十章 催化重整操作参数	罗家弼
第一节 反应压力	(482)
第二节 反应温度	(486)
第三节 空速	(489)
第四节 氢烃比	(491)
第五节 操作参数与原料性质的关系	(493)
第六节 操作参数与产品质量的关系	(495)
第七节 催化剂连续再生的操作参数	(504)
参考文献	(506)
第十一章 反应系统的环境控制	濮仲英
第一节 重整催化剂的水氯平衡控制	(507)
一、积炭重整催化剂的炭分布和催化剂酸性功能的关系	(507)
二、催化剂氯含量对重整反应的影响	(507)
三、重整催化剂水氯平衡的基本原理	(510)
四、影响水氯平衡的因素	(511)
五、重整催化剂水氯平衡计算方法	(515)
六、重整催化剂水氯平衡的判别和调整	(519)
第二节 金属器壁的积炭问题	(522)
一、概述	(522)
二、反应器壁积炭的工艺特征及危害	(523)
三、反应器壁积炭的原因	(526)
四、金属器壁积炭的抑制	(531)
五、重整装置出现反应器炭块后的处理	(532)
参考文献	(533)
第十二章 催化重整装置的开、停工及事故处理	冯 敢
第一节 重整装置的开工	(535)
一、开工准备	(535)
二、开工方式	(538)
三、催化剂装填	(539)
四、重整反应部分的开工	(542)
五、催化剂连续再生系统的开工	(560)
第二节 重整装置的停工	(562)
一、正常停工	(562)

二、紧急停工	(563)
第三节 事故处理	(566)
一、断电事故处理	(566)
二、爆炸、起火、管线破裂或严重泄漏事故处理	(566)
三、其他紧急事故的处理	(566)
参考文献	(567)
第十三章 催化重整催化剂的失活与再生	臧高山
第一节 重整催化剂的积炭失活	(570)
一、重整催化剂积炭的表征	(570)
二、催化剂上积炭对各类重整反应的影响	(573)
三、反应条件对积炭失活的影响	(575)
四、催化剂性质对积炭的影响	(579)
五、重整催化剂的积炭生成机理	(582)
第二节 重整催化剂中毒和烧结失活	(583)
一、重整催化剂中毒失活	(583)
二、重整催化剂烧结失活	(594)
三、重整催化剂的烧结-再分散机理	(598)
四、烧结对重整反应的影响	(599)
第三节 重整催化剂的再生	(600)
一、重整催化剂的正常再生	(600)
二、硫污染的重整催化剂再生	(603)
三、重整催化剂器外再生技术	(605)
第四节 重整催化剂的烧焦动力学	(608)
一、烧焦温度对烧焦速率的影响	(609)
二、氧分压对烧焦速率的影响	(609)
三、积炭量对烧焦速率的影响	(609)
第五节 催化剂典型事故分析	(610)
一、重整催化剂锌、铜中毒	(610)
二、重整催化剂硫中毒	(611)
三、重整催化剂烧结失活	(612)
参考文献	(614)
第十四章 废重整催化剂回收贵金属	张敏敏
第一节 废重整催化剂的主要杂质和前处理	(621)
一、废重整催化剂的主要杂质	(621)
二、废重整催化剂的前处理	(622)
第二节 废重整催化剂的回收贵金属的方法	(622)
一、湿法回收	(622)
二、气相法回收	(626)
三、火法回收	(627)