

炼油装置技术手册丛书

催化裂化装置 技术手册

梁凤印 主编

中国石化出版社

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

炼油装置技术手册丛书

催化裂化装置技术手册

梁凤印 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

《催化裂化装置技术手册》在国内外大量科学探索和工程实践的基础上,系统全面地介绍了催化裂化装置工艺、设备、催化剂(助剂)、流态化、反应过程、操作控制、腐蚀防控、环境保护、事故处理等方面的理论研究、技术开发、应用成果和发展趋势,并列举了大量实例。

本书注重理论、贴近实际,有较强的技术性和实用性,可供从事炼油行业科学研究、技术开发、运行管理的科技工作者、装置操作技能人员 and 大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

催化裂化装置技术手册 / 梁凤印主编. —北京:
中国石化出版社, 2017. 3
(炼油装置技术手册丛书)
ISBN 978-7-5114-3627-6

I. ①催… II. ①梁… III. ①催化裂化-裂化装置-
技术手册 IV. ①TE966-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 040919 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
北京艾普海德印刷有限公司印刷
全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 28 印张 1 插页 683 千字
2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷
定价:188.00 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

《催化裂化装置技术手册》

编 委 会

主 任	焦 阳			
委 员	梁凤印	朱亚东	田辉平	卢春喜
	王明哲	宋以常		
主 编	梁凤印			
主要撰稿人	宋以常	朱亚东	田辉平	卢春喜
	宫振宇	刘文涛	朱华平	靳其兵
	刘 洁	孙 伟	王明哲	寇 亮
	刘建忠	贾玉良	牛 驰	倪前银
	单炳焜			

前 言

1942 年全球第一套 I 型流化催化裂化装置投产，随着技术的不断改进，相继开发了 II 型、III 型流化催化裂化装置，1952 年，ESSO 公司设计的第一套 IV 型流化催化裂化装置投产。20 世纪 50 年代中期 UOP 开发了反应器再生器并列式设计，1961 年 Kellogg 和 Phillips 公司开发了渣油催化裂化装置，第一套装置在美国得克萨斯 Borger 炼油厂开工。1981 年 TOTAL 为加工重油开发了两段再生技术。我国流化催化裂化的起步可追溯到 20 世纪 50 年代中期。1965 年 5 月 5 日，我国第一套 0.6Mt/a 等高并列式流化催化裂化装置在抚顺石油二厂建成投产，缩短了我国与西方发达国家在炼油领域的差距。为了满足原料重质化及汽油质量升级的要求，我国相继开发了 MIP、FDFCC 和 TSRFCC 等降低催化裂化汽油烯烃含量和硫含量的新技术。至今为止，全球已有上千套催化裂化装置运行，总加工能力超过 1Gt/a，催化裂化装置已成为炼化企业重油轻质化的重要的二次加工装置和提高经济效益的主要加工手段之一。

《催化裂化装置技术手册》汇集了催化裂化相关的研究和实践成果，系统介绍了国内外催化裂化的发展历程、催化裂化装置组成和作用、催化裂化原料性质对产品分布和产品质量的影响、裂化催化剂及助剂的研发与应用、流态化基本原理及工程实例、反应机理与参数调控、两器构型及工艺流程、关键设备工作原理及工艺计算、装置标定与优化、腐蚀防控与环境保护、运行管理经验和事故处理等方面的内容，还结合催化裂化发展趋势介绍了催化裂化新技术与衍生技术，力求本手册能成为一本适于从事催化裂化的科技人员、装置管理与操作人员阅读的催化裂化“小百科全书”。

本手册由中国石化高级专家梁凤印主编，参加编写的有中国石化北京燕山分公司、中国石化荆门分公司、中国石化石油化工科学研究院、中国石油大学（北京）、北京化工大学以及辽宁石油化工大学的专家学者。

中国石化高级专家、石油化工科学研究院副总工程师张久顺教授、原中国石化沧州分公司副总工程师冯文辉高级工程师和中国石化天津分公司钱广华

高级工程师等对书稿进行了审核，并提出宝贵的修改意见。此外，在手册编写过程中，得到了中国石化出版社等单位的大力支持。在此一并表示深切的谢意！

限于作者水平，书中疏漏在所难免，甚至谬误之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 流化催化裂化发展简述	(1)
一、国外发展简况	(1)
二、国内发展历程	(3)
第二节 催化裂化装置的组成	(5)
一、反应再生系统	(5)
二、分馏系统	(6)
三、吸收稳定系统	(7)
四、产品精制系统	(7)
五、主风及烟气能量回收系统	(7)
第三节 催化裂化装置在炼油工业中的地位和作用	(7)
一、催化裂化是炼油厂应用较为普遍的二次加工装置	(7)
二、催化裂化是重要的原油深度加工装置	(7)
三、催化裂化是生产运输燃料的重要装置	(9)
四、催化裂化气体产品是化工生产的重要原料	(10)
第四节 催化裂化技术新发展	(12)
一、工艺技术发展	(12)
二、催化剂技术发展	(18)
三、降低污染物排放	(28)
参考文献	(31)
第二章 催化裂化原料和产品	(35)
第一节 催化裂化原料	(35)
一、催化裂化工艺对原料的要求	(35)
二、催化裂化原料的来源	(35)
三、催化裂化原料的性质	(41)
第二节 原料性质对催化裂化的影响	(42)
一、特性因数	(42)
二、密度、分子量、平均沸点和馏程	(43)
三、族组成	(43)
四、原料残炭	(44)
五、硫含量	(44)
六、氮含量	(45)
七、氢含量	(46)

八、金属含量	(46)
第三节 催化裂化产品	(47)
一、汽油	(47)
二、轻柴油	(50)
三、气体	(50)
四、油浆	(51)
参考文献	(51)
第三章 催化裂化催化剂及助剂	(53)
第一节 催化裂化催化剂	(53)
一、概述	(53)
二、催化裂化催化剂组成	(55)
三、催化裂化催化剂使用性能	(62)
四、催化裂化催化剂品种和选用	(64)
五、催化裂化催化剂管理	(67)
第二节 催化裂化助剂	(68)
一、概述	(68)
二、一氧化碳助燃剂	(68)
三、金属钝化剂	(69)
四、油浆阻垢剂	(69)
五、汽油辛烷值助剂	(69)
六、增产丙烯助剂	(70)
七、降烯烃助剂	(70)
八、硫转移助剂	(70)
九、降硫助剂	(71)
十、CO 助燃-脱硝助剂	(71)
十一、降低 FCC 再生烟气 NO_x 排放助剂	(71)
十二、其他助剂	(72)
第三节 废催化剂的处理和再利用	(72)
一、概述	(72)
二、平衡催化剂的卸出	(72)
三、废催化剂的掩埋	(72)
四、废催化剂的利用	(72)
参考文献	(75)
第四章 流态化基本原理	(78)
第一节 流态化颗粒分类	(78)
一、颗粒的分类	(78)
二、有关颗粒的一些概念	(82)
第二节 流化床的形成与流化相图	(85)
一、概述	(85)

二、压降与流速的关系	(86)
三、实际流化床与理想状况的差异	(87)
四、流化相图	(90)
五、 u_{mf} 、 u_{mb} 、 u_t 、 u_c 、 u_{fp} 的确定	(92)
六、稀相输送的一般规律	(100)
第三节 催化裂化催化剂床膨胀	(109)
一、床膨胀历史回顾	(110)
二、密相床高的确定	(112)
第四节 夹带、扬析和 TDH	(113)
一、颗粒在自由空域内的夹带	(113)
二、夹带模型	(115)
三、夹带量计算公式	(118)
四、影响夹带的因素	(119)
五、中国石油大学(北京)的研究结果	(120)
六、扬析	(123)
七、输送分离高度	(129)
八、HTP 的概念	(133)
九、国内某研究所的实验研究	(133)
十、试验结果与前人研究结果的比较	(135)
十一、 TDH 的热态试验结果	(136)
十二、工业装置数据比较	(137)
参考文献	(139)
第五章 反应-再生系统	(141)
第一节 催化裂化反应	(141)
一、反应历程	(141)
二、反应类型	(142)
三、反应机理	(145)
四、反应热力学	(152)
五、裂化催化剂与催化裂化反应的关系	(155)
第二节 热裂化反应	(155)
一、反应机理	(155)
二、热裂化程度判据	(156)
三、热裂化主要影响因素	(157)
四、减少热裂化反应的措施	(158)
第三节 催化剂再生	(159)
一、焦炭的生成	(159)
二、焦炭燃烧的化学反应	(160)
三、烧碳强度(CBI)	(160)
四、催化剂再生的影响因素及简要分析	(161)

第四节 反应再生系统主要型式	(162)
一、同高并列式	(162)
二、高低并列式	(163)
三、同轴式	(164)
四、烧焦罐式	(165)
五、再生器串连两段式	(165)
六、ROCC-VA 型	(165)
七、MIP-CGP 装置	(166)
八、双提升管反应器型	(167)
第五节 工艺流程	(167)
一、新鲜原料预热流程	(167)
二、反应部分工艺流程	(170)
三、事故旁通与开工原料管线预热流程	(171)
四、再生部分和再生烟气的工艺流程	(171)
五、主风和增压风流程	(172)
六、催化剂装卸流程	(173)
第六节 主要工艺参数控制	(174)
一、反应温度	(174)
二、原料油预热温度	(175)
三、反应藏量	(175)
四、反应压力	(176)
五、沉降器汽提蒸汽	(176)
六、催化剂平衡活性	(176)
七、剂油比	(177)
八、回炼比	(177)
九、反应时间和空速	(178)
十、再生温度	(179)
十一、再生压力	(179)
十二、再生藏量	(180)
十三、再生剂碳含量	(181)
十四、再生器出口烟气氧含量	(181)
十五、反应转化率	(182)
第七节 主要工艺设备	(182)
一、反应器和沉降器	(182)
二、再生器	(185)
三、旋风分离器	(188)
四、进料喷嘴	(190)
五、第三级旋风分离器	(197)
六、外取热器	(199)

第八节 物料平衡	(207)
一、装置物料平衡	(207)
二、反应物料平衡及产品收率	(214)
三、主要元素平衡	(221)
第九节 热量平衡	(225)
一、概述	(225)
二、反应再生系统热量平衡的计算方法	(229)
三、影响热量平衡的因素分析	(235)
四、装置生产过程中热平衡的调节	(245)
第十节 压力平衡	(247)
一、压力平衡的内容	(247)
二、催化剂循环和压力平衡的计算	(248)
第十一节 仪表控制及联锁	(263)
一、控制系统简介	(263)
二、催化裂化装置控制回路和调节阀明细	(263)
三、复杂控制回路	(272)
四、联锁说明	(276)
五、外甩油浆过滤器顺序控制	(283)
第十二节 反应系统结焦与防治	(283)
一、结焦机理	(283)
二、提升管进料喷嘴处结焦及防焦措施	(285)
三、沉降器防焦措施	(286)
四、沉降器顶旋分器防焦	(287)
五、沉降器至分馏塔油气管线防焦措施	(288)
第十三节 常见事故与处理方法	(288)
参考文献	(292)
第六章 分馏系统	(294)
第一节 蒸馏过程原理	(294)
一、蒸馏过程基本概念	(294)
二、蒸馏基本原理	(295)
第二节 工艺流程	(297)
一、工艺流程	(297)
二、技术特点	(299)
三、分馏余热及其利用	(300)
第三节 主要设备	(301)
一、分馏塔	(301)
二、油气分离器	(303)
三、油浆蒸汽发生器	(303)
第四节 主要参数及产品质量控制	(304)

一、分馏塔主要参数控制	(304)
二、产品质量控制	(304)
第五节 常见事故与处理	(305)
一、分馏塔塔盘结盐	(305)
二、分馏塔塔底结焦	(306)
参考文献	(307)
第七章 吸收稳定及产品精制系统	(308)
第一节 基本原理	(308)
一、吸收解吸的基本原理	(308)
二、干气、液态烃脱硫基本原理	(309)
三、脱硫醇基本原理	(310)
第二节 工艺流程	(311)
一、吸收稳定系统工艺流程	(312)
二、产品精制系统工艺流程	(312)
第三节 主要工艺设备	(318)
一、吸收塔	(318)
二、解吸塔	(318)
三、再吸收塔	(320)
四、稳定塔	(320)
五、汽油分离塔	(320)
六、重沸器	(320)
七、干气脱硫塔	(323)
八、液态烃脱硫塔	(323)
九、汽油脱硫醇反应器	(323)
十、液态烃脱硫醇抽提塔	(323)
参考文献	(323)
第八章 大型机组	(324)
一、主风机	(324)
二、烟气轮机	(331)
三、富气压缩机	(338)
四、增压机	(343)
五、大型机组的状态监测(S8000 系统)	(343)
参考文献	(350)
第九章 关键机泵及特殊阀门	(351)
第一节 关键机泵	(351)
一、离心泵的工作原理	(351)
二、离心泵的主要组成部件	(351)
三、离心泵的流量调节	(352)
四、离心泵的工艺计算	(353)

五、离心泵常见故障及处理	(354)
六、油浆泵常见故障及处理	(355)
七、其他类型泵	(356)
第二节 特殊阀门	(356)
一、特种阀门概述	(356)
二、特种阀门的作用及流通能力的计算	(357)
三、常见故障及处理	(361)
参考文献	(364)
第十章 再生烟气余热回收系统	(365)
一、高温取热炉	(365)
二、余热锅炉	(370)
参考文献	(377)
第十一章 先进控制	(378)
第一节 先进控制技术原理	(378)
一、预测模型	(379)
二、滚动优化	(380)
三、反馈修正	(381)
第二节 先进控制技术实施	(382)
一、变量的定义和选择	(382)
二、控制自由度与经济目标优化	(383)
三、非常规变量的测量	(384)
四、反应-再生系统控制优化	(386)
五、分馏系统控制优化	(387)
六、吸收稳定系统控制优化	(387)
参考文献	(388)
第十二章 催化裂化装置标定	(389)
第一节 标定概述	(389)
一、标定的定义	(389)
二、标定的目的	(389)
第二节 标定的管理	(390)
一、标定的准备工作	(390)
二、标定的要求及注意事项	(391)
三、标定的操作条件和产品质量控制指标	(392)
四、标定中的物料样品和数据的采集	(392)
五、标定方案范例	(394)
第三节 标定报告	(396)
一、标定报告的内容	(396)
二、优化建议	(397)
参考文献	(397)

第十三章 腐蚀与防控	(398)
第一节 反应-再生系统	(398)
一、腐蚀机理及部位	(398)
二、腐蚀案例及分析	(400)
三、腐蚀防控措施	(405)
第二节 分馏系统	(407)
一、腐蚀机理及部位	(407)
二、腐蚀案例及分析	(409)
三、腐蚀防控措施	(412)
第三节 吸收稳定及产品精制系统	(415)
一、腐蚀机理及部位	(415)
二、腐蚀案例及分析	(417)
三、腐蚀防控措施	(422)
第四节 能量回收系统	(425)
一、腐蚀机理及部位	(425)
二、腐蚀案例及分析	(426)
三、腐蚀防控措施	(429)
参考文献	(430)
附录 催化裂化工艺计算常用数据及图表	(431)

第一章 绪 论

第一节 流化催化裂化发展简述

流化催化裂化在炼油厂中一直发挥着关键作用，是炼油工业中最重要的二次加工工艺之一，它能使重质原料转化为轻质目的产品和高辛烷值汽油组分，其运行状态决定着炼油企业的竞争实力。国内外炼油企业及相关科研院所都极为重视新技术的开发、应用和操作改进，以期发挥其最大效能。

一、国外发展简况

早在 19 世纪 90 年代，国外炼油界的先驱们就开始了催化裂化的研究工作。1936 年 4 月 6 日投产了第一套固定床催化裂化装置(加工能力 100kt/a)，位于美国 Vacuum 石油公司(即后来的 Mobil 石油公司)的 Paulsboro 炼油厂，到 1940 年已有 14 套装置建成，总加工能力达到 7.0Mt/a。最早的移动床催化裂化工业装置由 Socony Vacuum 石油公司建成，并定名为 Thermoform Catalytic Cracking(TCC)。1943 年 Magnolia 石油公司在 Texas 的 Beaumont 炼油厂投产了一套 TCC 装置(加工能力 500kt/a)。1948 年 HPC 公司(Houdry Process Co.)开发了 Houdriform 移动床催化裂化工艺，并于 1950 年投产了第一套工业装置(加工能力 350kt/a，位于 Sun 公司的 Toledo 炼油厂)。同时期，Socony Vacuum 石油公司也开发了空气提升管式 Thermoform 移动床催化裂化工艺，第一套工业装置于 1950 年在 Beaumont 炼油厂投产(加工能力 750kt/a)。到 20 世纪 50 年代中期，采用上述两种工艺建成的工业装置分别达到 21 套和 54 套^[1]。

第二次世界大战开始后，航空汽油和车用汽油严重短缺，加速了催化裂化技术的研究与发展，第一套 I 型流化催化裂化装置于 1942 年投产，加工能力为 0.63Mt/a。随着技术上的不断改进，相继开发了 II 型、III 型流化催化裂化装置。1952 年，ESSO 公司设计的第一套 IV 型流化催化裂化装置投产，其实现了催化剂用 U 型管密相输送，反应器和再生器之间的催化剂循环量可调，见图 1-1^[2]。

催化裂化催化剂的发展也经历了一个漫长的过程。最初人们用三氯化铝做催化剂，而后又采用酸性白土作催化剂以及小球合成硅铝催化剂。从粉末状催化剂的应用再到微球合成硅铝催化剂的出现，使得装置操作逐步灵活，流化状况逐渐趋稳，操作费用逐步下降。

20 世纪 60 年代，随着分子筛(晶体硅酸盐，又称沸石)催化剂的研究和工业应用，因其活性高、稳定性好，

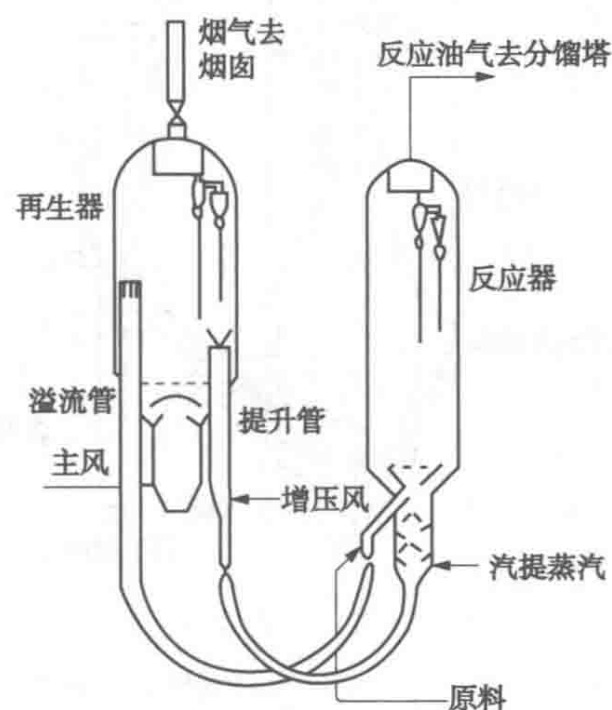


图 1-1 IV 型流化催化裂化装置

催生了催化裂化工艺的变革，全提升管催化裂化工艺问世，见图 1-2^[3]。后经各大石油公司的不懈努力，催化裂化工艺技术不断改进，分别推出了独具特点的装置构型，详见图 1-3~图 1-5^[4~6]。

国外催化裂化工艺和催化剂等方面主要发展过程见表 1-1^[7]。

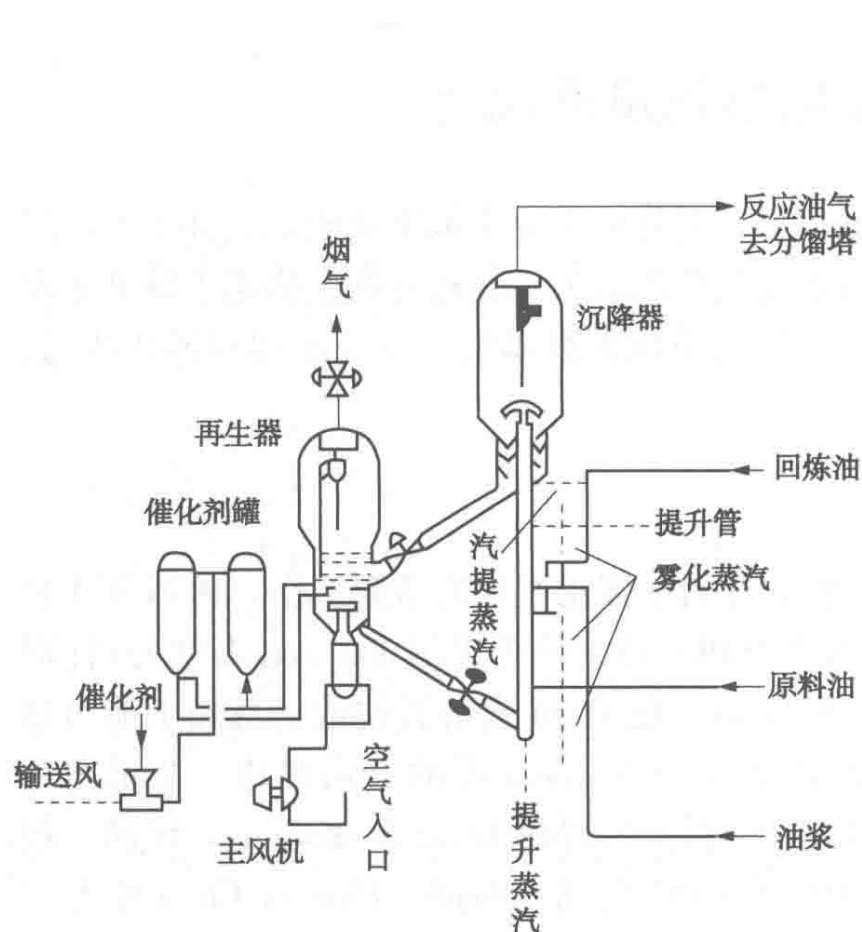


图 1-2 提升管催化裂化装置

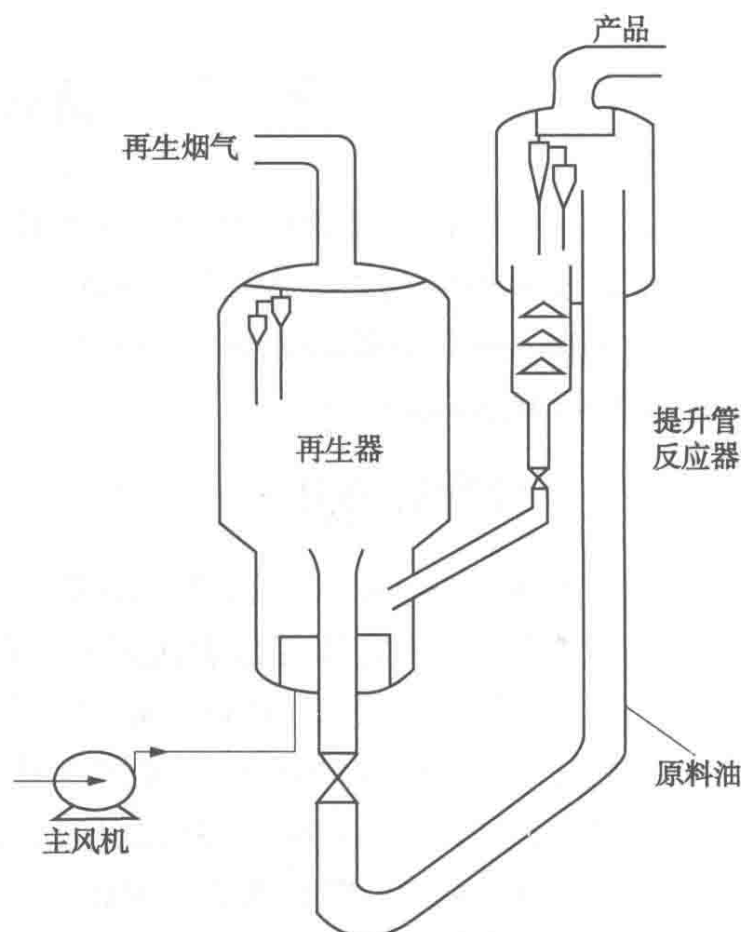


图 1-3 Exxon 公司灵活裂化装置示意图

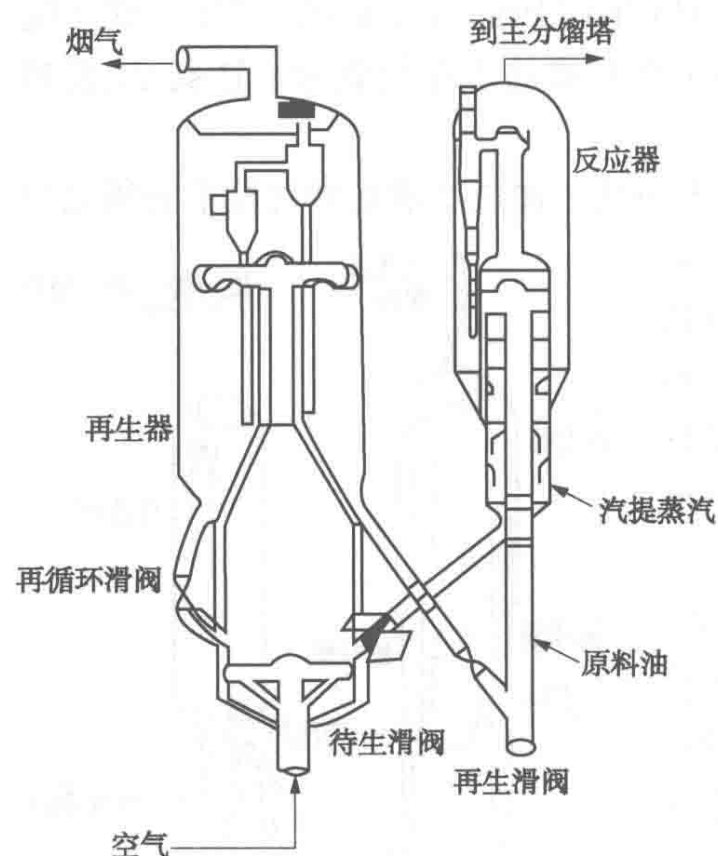


图 1-4 UOP 公司催化裂化装置
(由 UOP 公司提供)

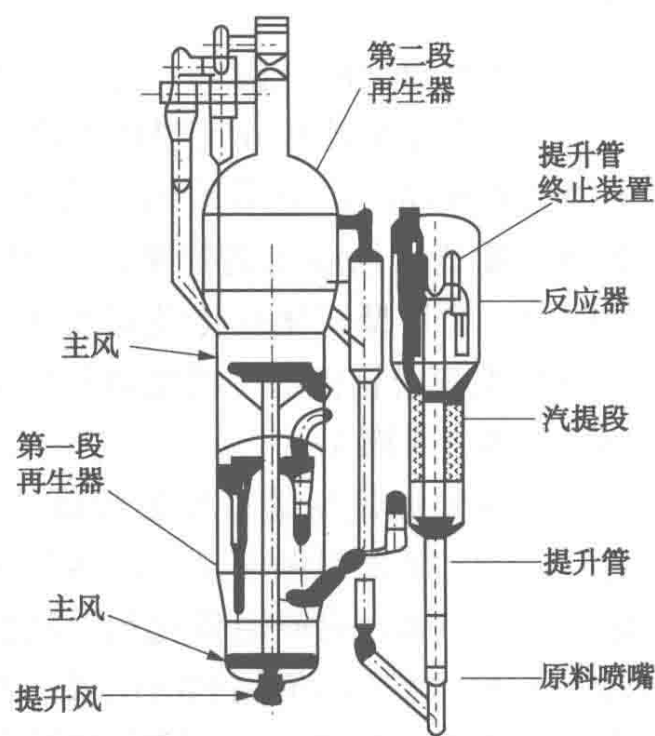


图 1-5 SWEC 公司同轴式催化裂化装置
(由 Stone and Webster 工程公司提供)