



《炼油技术与工程》

催化裂化专辑

2006~2010年

主编：朱华兴 张立新

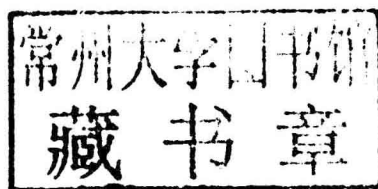
中国石化出版社

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

《炼油技术与工程》 催化裂化专辑

2006 ~ 2010 年

主编：朱华兴 张立新



中国石化出版社

内 容 提 要

本专辑汇集了2006~2010年《炼油技术与工程》杂志刊出的国内催化裂化装置采用的新工艺、新技术、新催化剂、新助剂、新设备等方面的文章。内容包括催化裂化的综述、加工工艺、机械设备、自动控制、配管技术、催化剂与助剂、能量利用、安全卫生等新技术。本专辑涉及内容广泛,实用性强,可供从事炼油工作的科技人员、管理人员及相关院校专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

炼油技术与工程·催化裂化专辑/朱华兴,张立新主编.
—北京:中国石化出版社,2011.8
ISBN 978-7-5114-1085-6

I. ①炼… II. ①朱… ②张… III. ①石油炼制-催化裂化 IV. ①TT62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第148935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41.5印张972千字

2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

定价:106.00元

序

《炼油技术与工程》期刊是国家炼油和石油化工行业的专业性核心期刊，从创办她的前身《炼油设计》算起，至今已有40年历史，进入了不惑之年。她的出生、成长和壮大处在与我国炼油事业发展同步的时机，客观上存在有利的因素；但不容忽视的是当时起步条件十分艰苦，位于河南省洛阳市西80公里的宜阳县的竹园沟是她的诞生地，依靠少数编辑人员的艰苦奋斗，靠手写笔录、油墨印刷、赠阅刊物、运输大型展板去外地办展览等手段给炼油界打造初始的印象，终于在1979年被石油工业部批准为国内公开发行的科技刊物。然后经历了10年的成长阶段，建立了较完善的编委会、通讯员和特邀作者队伍以及专门的编辑部，确立了“侧重工程，突出应用”的办刊方针，采用先进的书写、编辑、排版、印刷工具，大大提高了刊物出版质量，1988年被批准向国外公开发行。此后直到现在的20多年来处在持续发展阶段，跟踪国内外炼油工业形势和炼油技术水平，在栏目设置、专题报道、内容和形式等方面均有所创新。1999年开始由双月刊改为月刊。

《炼油设计》和《炼油技术与工程》期刊办刊40年来，先后在中国石油工业部、中国石化总公司和中国石油化工集团公司的领导下，在其他国家石油集团公司的关心和全国石油化工企业、设计科研部门与高校的支持下，在主办单位洛阳石油化工工程公司的具体帮助指导下，得到广大读者、作者、历届编委和通讯员的通力合作，已经跻身于国内一流刊物之列，多次获得国家级、省部级优秀期刊和科技进步奖励，取得了令人满意的成就。我们一方面为身居这个奋进的时代而自豪，为得到上级和兄弟部门的支持而鼓舞，但在欢庆之余，我们也深深怀念和感谢那些为这一刊物的创建和发展而默默奉献毕生精力的几代人物，其中不少炼油界前辈已经离开了我们。

为了纪念创刊40周年，《炼油技术与工程》编辑部将5年来刊登的有关常减压蒸馏、催化重整、催化裂化、加氢和延迟焦化五类炼油主要技术共409篇文章分别汇集成专辑，期望对本刊读者提供查阅的便利条件，同时作为向创刊40

周年的献礼。

当然在时代发展和进步的潮流中，我们也看到刊物面临的挑战。作为传播炼油技术进步的前沿阵地，《炼油技术与工程》任重而道远。一方面要继续体现特色，与其他炼油技术刊物在共同中有所区别，在“侧重工程，突出应用，兼顾学术性”的方针指引下阔步前进。结合国家的第十二个“五年计划”和“十年规划”对能源产业的要求，在降低能源消耗、生产清洁运输燃料和改善环境等方面做文章，进行较深入的技术经济分析和论述。不仅结合某一企业的具体情况，还提倡进行企业间的相互比较。希望各位读者及时提供有影响力的文章，让我们一起为《炼油技术与工程》的持续发展和进步，同时也为国家炼油工业的发展和进步继续作出贡献。

陈俊武

序 言

流化催化裂化(以下简称为催化裂化)是炼油工艺中非常重要的二次加工工艺,全世界 2009 年的催化裂化总加工能力已达 0.721Gt/a,居炼油行业二次加工能力之首,我国的催化裂化加工能力目前已经达到 0.12Gt/a,仅次于美国,居世界第二位,也居炼油行业二次加工能力之首。国内催化裂化生产的汽油组分占汽油总量的 75%。催化裂化技术集成了分子筛合成和催化剂的制造、流态化工艺和工程、设备和机械的大型化、仪表的连锁和控制等一系列复杂技术,在炼油工业中居有重要的地位。

自 1965 年我们的前辈成功投产抚顺石油二厂第一套流化催化裂化装置至今,催化裂化已经经历了 56 年的发展历程,越过了若干具有历史意义的里程碑,装置规模已经从当年的 0.60Mt/a 发展到当今的近 4Mt/a;生产产物由单一的燃料型向石油化工型转变,甚至向煤化工延伸;生产流程也由当年两器密相输送方式发展到当今为适合不同提升管型式、不同再生型式、不同产品路线的多种方式,积累了一套比较完整的技术和比较成熟的经验,并且仍在继续向新的高度发展。

进入 21 世纪以来,为了满足日益严格的环保要求和市场对烯烃(特别是丙烯)日益增长的需求,催化裂化技术又有了进一步发展和改进。面对越来越严格环境保护要求,催化裂化汽油组分和柴油组分的质量需要大幅度降低烯烃和杂质硫含量,以满足清洁燃料的标准。国内外科研工作者及时研究开发了多种前加工、在线加工和产品后加工工艺,有的可降低催化裂化的硫含量、烯烃含量,保持了汽油的辛烷值;有的可降低催化裂化柴油的芳烃含量,提高十六烷值,涌现了一大批新催化剂和新加工工艺。近 10 年来,催化裂化技术成功应对了挑战,保持住原先在石油加工工艺中的地位,一系列由催化裂化派生的旨在多产丙烯等低碳烯烃的催化裂化技术相继开发,使炼油厂不仅能够提供更多的石油化工产品,还使催化裂化成为“油化结合”的二次加工装置,扮演了十分重要的角色。

本书汇集了2006~2010年《炼油技术与工程》杂志刊出的国内催化裂化装置采用的新工艺、新技术、新催化剂、新设备等方面的文章。该专辑汇集了各类文章143篇。其中,综述文章12篇,对催化裂化新技术、反应机理、催化剂助剂以及改善催化裂化产品性质等方面进行了阐述;加工工艺方面文章40篇,内容涵盖了近年来催化裂化采用的主要工艺技术的发展和应用情况、催化裂化的组合工艺、催化裂化装置优化节能技术、单项技术的改进等方面的内容;机械设备方面的文章59篇,汇集了催化裂化的主要单体设备——旋风分离器、三旋、外取热器、喷嘴、主风分布管、再生器格栅、汽提段、预提升段以及烟机、分馏塔等设备的技术改进和应用情况;催化剂和助剂方面文章19篇;同时还收集了催化裂化自动控制方面文章3篇,配管技术2篇,节能降耗、能量综合利用文章6篇以及安全卫生文章2篇。涉及内容广泛,是广大从事催化裂化研究、设计、生产等各领域人员的经验总结,是催化裂化科技工作者智慧的结晶。

在广大科研、设计、生产、制造领域科技工作者的共同努力下,催化裂化技术取得了有目共睹、值得庆贺的成绩。由于本文集收集的催化裂化文章并非国内所有相关论文,是这几十年来在《炼油技术与工程》(以前为《炼油设计》)所发表的论文,因此工艺、工程和生产总结的论文较多,基础研究方面的论文较少;国内的文章较多,国外的相关文章较少,只能是世界催化裂化技术论文浩瀚大海中国内的一角,期望本文集能对从事催化裂化工作的各位同仁起到穿针引线的作用,能对大家的工作有所借鉴和帮助。

刘 昱

2011年8月

编 委 会

主编：朱华兴 张立新

编委：陈香生 黎国磊 胡 敏 师敬伟 赵予川

李淑红 尹 静 漆 萍 苏德中 陈凤娥

董海青

前 言

随着炼油工业的不断发展,催化裂化已成为炼油工业中最重要的二次加工工艺,在炼油工业生产中占有重要的地位。据2009年1月1日的油气杂志统计,世界催化裂化总加工能力已达0.721Gt/a,居二次加工能力之首。国内的催化裂化加工能力也达到了0.12Gt/a,约占原油总加工能力的1/3。近年来,为了满足日益严格的环保要求和市场对烯烃(特别是丙烯)日益增长的需求,催化裂化技术也在进一步发展和改进。

本书2006~2010年《炼油技术与工程》杂志刊出的近年国内催化裂化装置采用的新工艺、新技术、新催化剂、新助剂、新设备等方面的文章。尽管编者在论文选题、组织、编辑等方面付出了一定的努力,但由于论文涉及面广,加上编者的水平有限,不妥之处,敬请广大读者批评指正。

《炼油技术与工程》编委会主任陈俊武院士高度重视本专辑的出版,亲自撰写了序言。

在本专辑编辑、出版过程中,编者有幸请到中国石化集团洛阳石油化工有限公司副总工程师刘昱为本专辑做序。刘昱副总工程师主管催化裂化(FCC)和甲醇制低碳烯烃(MTO)的工程技术开发和工艺设计工作,在催化裂化装置大型化、成套化以及催化裂化新技术开发等方面做了大量卓有成效的工作,主持开发的世界第一套百万吨级DMTO商业化装置投料试车的一次成功,开辟了煤基能源化工产业新途径,奠定了我国在世界煤制烯烃工业化产业中的国际领先地位,是资深的炼油技术专家。

由于时间和精力有限,不妥之处,恳请各位作者和读者批评指正。借本专辑出版之际,向本专辑所有作者为我国炼油工业发展做出的贡献表示由衷的敬意,感谢作者,同时感谢相关单位领导对我们工作的关心和支持。

目 录

综述

重油催化裂化反应历程研究进展	付国庆 郑俊生 钮根林 杜 峰 杨朝合	(1)
国内外催化裂化降硫助剂研究现状及展望	杜 伟 李晓刚 吴俊升 李 磊	(7)
国内外催化裂化技术的新进展	谢朝钢	(13)
催化裂化催化剂及助剂的现状和发展	田辉平	(19)
对重油催化裂化反应历程的若干再认识——“新型多区协控重油催化裂化 技术 MZCC”的提出	高金森 徐春明 卢春喜 毛 羽	(26)
植物油催化裂化生成烃的研究进展	何 蕾 杨朝合	(33)
浅议重油催化裂化技术的进步	陈祖庇	(38)
催化裂化柴油安定性研究进展	李会鹏 沈 健 赵 华 亓玉台	(43)
催化裂化汽油脱硫降烯烃技术进展	王 鸥	(50)
催化裂化催化剂的配方设计及研究进展	陆红军	(56)
降低催化裂化再生烟气中污染物助剂的研究进展	齐文义 丁全福 郝代军	(62)
催化裂化复杂反应体系动力学模型研究进展	欧阳福生 宁 汇	(67)

加工工艺

焦化蜡油脱氮精制 - 催化裂化组合工艺研究	夏明桂 沈喜洲 黄蛟菊 沈红军 赵 勇	(74)
催化裂化装置吸收稳定系统和气体分馏装置的联合优化	陆恩锡 潘 琪 潘爱民	(81)
MCD 和不完全再生技术的组合工艺在 ARGG 装置上的工业应用	颜 刚 刘福安 李 钦	(87)
乳化重油催化裂化反应的考察	杨基和 徐 鸽 纪祥东 周庆舟 王继虎	(94)
TSRFCC - I 型两段提升管催化裂化掺炼焦化蜡油研究	杜 峰 张新功 张建芳 何长征	(97)
吸收稳定系统双塔流程分析及改进	朱亚东	(103)

评价催化裂化再生器床层烧焦的一种方法	董肖昱	郝希仁	(109)
干气用作 FCC 原料雾化介质对反应的影响	张晓松	曹东学	高金森 徐春明(113)
多产清洁汽油和丙烯的 FCC 新工艺 MIP - CGP 的应用	韩文栋	黄汝奎	龚剑洪(119)
催化裂化或延迟焦化分馏塔富吸收油返塔温度优化	罗伟平	陈清林	陈晓晖 华 贵(124)
渣油加氢处理 - 催化裂化组合工艺动力学模型	王志合	王建平	许先焜 翁惠新(128)
催化裂化条件下甲醇和异辛烷相互作用的研究	肖志梅	潘澎宇	江洪波 翁惠新(134)
焦化蜡油在 ZSM - 5 和 USY 催化剂上的裂化性能研究	袁起民	张兆涛	李春义 张连翠 杨朝合 山红红(140)
工业重油催化裂化沉降器在线取样研究	蓝兴英	高金森	于国庆 徐春明(146)
催化裂化柴油轻重馏分的裂化性能研究	徐先荣	毛安国	(150)
优化催化裂化装置吸收稳定系统回收干气中的丙烯	宫 超	(156)	
不同 FCC 催化剂上甲醇制烯烃反应规律的研究	李 森	江洪波	翁惠新(163)
催化裂化装置增效措施	魏 强	(169)	
某公司加工高硫原油改造方案的选择	万 云	(175)	
线性规划在优化催化裂化装置产品分布上的应用	王 伟	(180)	
无沉降器催化裂化装置的设想	魏耀东	宋健斐	陈建义 时铭显(186)
大差异双组分颗粒体系最小流化速度的研究	孔行健	孙国刚	王茂辉 高金森(190)
管式沉降器催化裂化装置的设想	魏耀东	宋健斐	陈建义 时铭显(195)
重油催化裂化装置分馏塔顶循环回流脱水新技术	张华东	高永地	张玉勤 刘建新(197)
吸收稳定系统稳定塔侧线汽油作补充吸收剂	黄明富	李国庆	李亚军 高国正(200)
重油催化裂化 MZCC 技术的工艺基础研究	王 刚	蓝兴英	张国磊 徐春明 高金森(205)
辽河劣质焦化蜡油溶剂精制-催化裂化组合工艺研究	王 刚	黄 鹤	徐春明 高金森(210)
重油催化裂化催化剂上吸附物的汽提过程分析	戴 鑑	杨光福	王 刚 徐春明 高金森(215)
油剂混合状态对焦化蜡油催化裂化反应的影响	刘银东	王 刚	李泽坤 徐春明 高金森(220)
FDFCC-Ⅲ灵活多效催化裂化工艺的工业应用	盖金祥	林春阳	刘天波 谢晨亮(224)
催化裂化提升管结焦原因及对策	李双平	(229)	
全减压渣油催化裂化分馏塔油浆系统结焦控制对策	袁晓云	韦 勇	赵 飞(232)
加拿大合成原油减压馏分油催化裂化反应性能的研究	李小娜	王 刚	高金森 王家喜 张惠欣(236)

催化裂化装置采用 MGD 工艺的扩能改造	李 波 柴中良 董国森(240)
催化裂化反应多区协控技术的工业应用	刘洪安 王 刚 王宗贤 谷家庆 仇 玄 高金森(245)
催化裂化装置分馏塔顶结盐问题解决 ...	罗杰英 张国静 韩凤仪 陈志勇 单宝虎(249)
重油催化裂化装置加工加氢精制蜡油的技术分析	刘静翔 侯玉宝 赵 华 赵新强(252)
FDFCC-Ⅲ工艺降低 SO_x 排放量的机理分析	闫鸿飞 孟凡东 王龙延 齐文义(257)
加拿大合成原油常压重油催化裂化反应性能的研究	李小娜 王 刚 高金森 王家喜 周宏勇(260)
催化裂化装置长周期运行技术分析	郭洪明(263)

机械设各

FCC 装置主风分布管喷嘴磨损的气相流场分析	李晓曼 万古军 魏耀东(268)
催化裂化再生器树枝状主风分布管磨损的气相流场分析 ...	万古军 魏耀东 时铭显(272)
PX 型高效旋风分离器的研究开发	孙国刚 李双权 时铭显(276)
FCC 待生催化剂多级组合式汽提器的开发	张振千 田 耕(281)
FCC 装置三旋效率低的原因及对策	金聚慧 张 扬 郑大志(287)
逆流两段再生 FCC 装置烟气分布板喷嘴缩径改造	李 宁(291)
PX 型高效旋风分离器的冷模放大试验	孙国刚 李双权 时铭显 戴 敏 宣兴南(294)
FCC 装置采用两段提升管技术及扩能的改造设计	丛培鑫 卢慧杰 丁洪春(298)
重油催化裂化进料雾化喷嘴研究	蒋协治(303)
催化裂化装置旋风分离器设计的有关问题	刘宗良(308)
催化裂化装置反应系统磨损问题及对策	党飞鹏 袁晓云 王 锋 韦 勇(314)
烟气轮机入口烟气管道裂纹分析及改造	潘罗其(317)
催化裂化装置烟气轮机做功不足原因分析及对策	陈永健(322)
催化裂化装置烟气轮机入口管道直径的选择	郭 莉 李文杰 郭强国(325)
催化裂化火炬系统的一些改进措施	党飞鹏(327)
两再生器同轴布置 FCC 装置再生器料位控制难的原因	唐 泉(330)
FCC 提升管反应器新型预提升结构开发 ...	刘翠云 冯 伟 张玉清 张建成 刘献玲(336)
再生斜管衬里大面积脱落原因分析及改造对策	张可伟 刘振宁(340)
YL-14000A 烟气轮机运行中的问题及处理	钟 山 王天全 李玉英(344)
催化裂化烟气管道的有限元分析及优化设计	郑 斌 陆晓峰 张国栋 周昌玉(348)
旋风分离器升气筒穿孔与 FCC 油浆固含量超标	赵继昌 史运贞 唐亚勇 石功军 卢永先(354)

重油催化裂化装置汽提段改造与应用分析	于海明	尤克伟	(357)
催化裂化装置中一氧化碳燃烧炉设计探讨	钱 敏		(362)
重油催化裂化装置分馏塔塔顶塔盘堵塞原因及处理	刘向普 谢 刚 张周明 杨金平 程 刚		(367)
新的操作控制方法在催化裂化装置烟气轮机中的应用	刘建新 张华东 张玉勤 艾里江 路军平		(371)
卧式三旋内多管间窜流返混的数值模拟	王江云 毛 羽 王 娟		(374)
浅谈设计中预防再生系统应力腐蚀开裂的措施	黄 峥 郝希仁		(379)
催化裂化装置沉降器粗旋结构设计探讨	刘书贤 孙国刚 时铭显		(382)
KH 型喷嘴的研制及技术发展	陈志坚 唐泽眉 李永安 王根兴 于建忠		(389)
催化裂化装置外取热器运行分析	郭凤凤 刘建新 李凤新 杨启宁		(395)
安装及开车环节对烟气轮机运行的影响	谢新春 刘振宁 曹 丰		(399)
多管式三旋旋风管堵塞和磨蚀原因分析和对策	钱成伟 董雅娟 刘宗良		(403)
LPH - I 型重油进料雾化喷嘴的工业应用	孙民利 叶安道		(406)
格栅填料式催化裂化高效汽提段技术的应用	刘 琤		(410)
CS - II 型重油催化裂化进料喷嘴的工业应用	郑洪文 闫 涛		(413)
预提升管内部流动的数值计算及磨损分析	路军平 刘建新 齐宏伟 李海龙		(416)
FCC 提升管快分器结构形式对油气在沉降器内停留时间的影响	郭 涛 宋健斐 陈建义 魏耀东		(420)
外取热器翅片管热应力分析及结构优化	顾月章 李群生 李 丽		(425)
燃料型减压塔汽提段内件型式对拔出率的影响	吴少敏 唐忠利 何 洪 杜 翔		(432)
螺旋板式换热器在减黏裂化和 FCC 装置上的应用	杨雨松 官木松		(438)
催化裂化装置主分馏塔的改造	张 锋 侯玉宝 赵 华		(441)
PV 型旋风分离器的分离性能改进实验和分析(I)——环形空间	徐 俊 秦新潮 万古军 魏耀东		(444)
PV 型旋风分离器的性能改进实验和分析(II)——进口结构	徐 俊 秦新潮 万古军 魏耀东		(449)
PV 型旋风分离器的性能改进实验和分析(III)——灰斗结构	徐 俊 宋健斐 王姗姗 魏耀东		(452)
催化裂化装置烟气轮机轮盘应力与寿命分析	金聚慧 潘若非 宋 辉 詹天屹		(456)
催化裂化装置汽提段穿孔现象及对策	王明东 赵 华 程淑琴		(460)
催化裂化装置轴流风机叶片断裂原因分析及防范措施	张可伟 刘振宁 张宗义 毛文华		(464)
烟气冲转启动三机组要点分析及改进建议	谢新春 刘振宁 张宗义 曹 丰 毛文华		(469)

BSX 新型三级旋风分离器在催化裂化装置上的应用 谢凯云 阎 涛(473)

对湍流床再生器内设置格栅的探讨 江 波(477)

关于催化裂化装置中烟气能量回收机组配置形式的探讨 徐平义 杨石里(481)

金属波纹管机械密封的国产化改造 杨雨松 尤景红 张铁新(484)

确保烟气轮机长周期运行的措施 嵇岳明(487)

催化裂化装置分液罐应力腐蚀及应对措施 丁振君(491)

单、双入口旋风分离器环形空间流场的数值模拟
..... 付 烜 孙国刚 刘书贤 马小静 **时铭显**(494)

烟气脱硫洗涤塔大开孔应力分析及评定
..... 王 正 郑 静 王 璐 张义飞 姚元勋 聂士新(500)

旋风分离器翼阀磨损的气相流场分析 徐 国 陈 勇 陈建义 魏耀东(505)

一氧化碳焚烧炉设计注意事项 王春峰 姜继伟 万德斌 孙惠山 李 研(508)

低压力降辅助燃烧室的理论研究与工程应用 吕 凤 王 伟 蔡劲松 励国辉(512)

自动控制

先进控制在重油催化裂化装置上的应用 张 达 施俊林 刘炳杰 金晓明(517)

蜡油反冲洗过滤器自控改造 王少勇(524)

基于 Browser/Server 模式的烟气轮机远程诊断系统 于晓红 张来斌 王朝晖(527)

配管技术

低压大口径管道的稳定性设计 刘 建 田 慧 张敬敏(530)

催化裂化装置烟气轮机出入口管道设计 马和明(534)

催化剂与助剂

LBO - A 高辛烷值型降烯烃助剂的开发及应用 陈爱忠 李学平(538)

利用显微分析技术优化催化裂化装置操作 张学军 徐亚荣 周复昌 张崇祥(541)

催化裂化抗碱氮剂的研究 陈国强 刘少兵 产 圣(545)

两段提升管催化裂化多产丙烯催化剂 LTB - 2 的应用
..... 孙 武 李晓红 常增明 李春义(550)

催化裂化催化剂热崩跑损现象的研究 ... 陈冬冬 郝希仁 陈曼桥 王文柯 王龙廷(554)

催化裂化装置催化剂跑损量大的原因及解决措施 石功军(558)

表面修饰对 Y 型分子筛氢转移反应的影响 黄凤林 杨伯伦 王立功(561)

催化裂化废平衡催化剂活性改善技术与应用	李玉生	张新功	索树城(567)
Converte 重油催化裂化助剂的工业应用试验			姚昱晖(570)
重油催化裂化抗焦活化剂工业应用试验	赵继昌	石功军	卢永先(576)
催化裂化催化剂粉体连续混合实验研究	贺旺军	田志鸿	周 健(580)
磷铝铁改性 HZSM-5 分子筛用于增产丙烯助剂的试验	于冀勇	陆善祥	陈 辉(585)
降低烟气污染物三效助剂 LTA-1 的开发与应用	齐文义	郝代军	袁 强 刘淑芳(589)
FDFCC-Ⅲ专用催化剂研究	刘雪芬	焦 云	李 治 经 铁 刘振军(594)
催化裂化跑损催化剂的激光粒度及 SEM 分析	罗 辉	常增明	陈文龙 朱 伟 贾少磊(599)
LV-23BC 催化剂在重油催化裂化装置的应用	王巍慈	刘永朝	李晓光 张威毅 江 勇(603)
催化裂化装置催化剂跑损问题及应对措施		王明东	方亚洲(608)
催化裂化汽油铜片腐蚀不合格原因及解决措施		涂怡然	刘家海(612)
催化裂化汽油铜片腐蚀影响因素的研究	梁永辉	刘先彬	陈艳春 韩崇文(617)

能量利用

催化裂化装置再生烟气管道设计的节能分析	杨宏伟	张政学(621)
1.2M ₁ /a 重油催化裂化装置节能潜力分析及对策	宋自力	王子君 朱天榆 肖 松(624)
重油催化裂化装置吸收稳定系统的节能可行性分析	张 达	叶宗君(627)
重油催化裂化装置节能措施与效果分析	刘家海	陈清林 王 伟 张冰剑(631)
重油催化裂化装置低温热水的综合利用	王伟华	任丽萍(638)
催化裂化装置节能降耗改造措施		张二学(641)

安全卫生

催化裂化装置柴油系统安全改造	王明东	方亚洲(644)
FCC 装置开工新方法及仪表反吹风安全性探讨		魏家禄(648)

重油催化裂化反应历程研究进展

付国庆¹ 郑俊生^{2,3} 钮根林³ 杜 峰³ 杨朝合³

1. 中国石油化工股份有限公司生产经营管理部(北京市 100029)

2. 华东理工大学化学工程国家重点实验室(上海市 200237)

3. 中国石油大学重质油加工国家重点实验室(山东省东营市 257061)

摘要 介绍了国内外一些学者对蜡油催化裂化过程的产物分布和反应规律的研究结果;国内莫伟坚等研究得到的重油催化裂化过程的物理-化学模型;中国石油大学对工业重油催化裂化提升管中重油反应历程的研究结果,包括产物分布、结焦、催化剂性能等变化规律。讨论了传统提升管反应器的弊端,同时提出了现有研究的不足和一些有待继续研究的问题。

关键词: 流化催化裂化 重油 反应历程 产物分布 结焦 催化剂 活性

近年来国内外围绕重油催化裂化提升管反应器做了很多研究工作,开发了许多新技术,如重油进料喷嘴技术^[1]、分段进料技术^[2]、提升管反应终止技术^[3]、提升管末端气固快速分离技术^[4,5]、待生催化剂高效汽提技术^[5]、高效再生技术等。从本质上说,这些技术的成功实施都必须基于对重油催化裂化提升管反应器反应机理有准确和充分的认识。然而提升管反应器内的油剂接触状况,反应物料沿提升管高度的转化率及产物分布变化,催化剂活性及其焦炭含量在提升管反应器内的变化规律等问题的认识一直处于黑箱状态。下面介绍国内外对这些问题的研究进展。

1 蜡油催化裂化的产物分布与反应规律

人们对于蜡油提升管中催化裂化过程的反应规律进行了很多的研究。对于温度、浓度等参数沿提升管的变化规律,大家的观点趋于一致。Hany 等^[6]利用工业提升管的数据结合数学模型对提升管中的产物分布进行

了分析。Shah 等^[7]在工业提升管反应装置上进行取样研究,结合动力学模型得出了焦炭含量随提升管高度的变化规律:随着提升管高度的增加,提升管内的温度和原料浓度降低,汽油、柴油的产率和催化剂上焦炭的含量增加;同时,在提升管的前 20m 处,增加的幅度非常明显,20m 之后虽然还是增加,但幅度已经明显变缓。而反应温度和原料浓度,在提升管反应器前半部分减少较快,在后半部分减少较慢。

虽然对蜡油催化裂化过程中汽油、柴油等产物沿提升管高度的分布、收率变化等的认识都趋于一致,但是对于焦炭的沉积和分布以及催化剂的失活过程的认识却很不一致。

一般认为,在提升管的中下部由于高温

炼油技术与工程, 2006, 36(1)

作者简介: 付国庆, 工程师, 2001 年毕业于中国石油大学(华东)化学工程专业, 毕业后曾在中国石化集团青岛石油化工厂常减压蒸馏和催化裂化车间工作, 现在在中国石油化工股份有限公司生产经营管理部工作。

催化剂有较高的活性,原料的浓度也较高,因此,催化裂化的反应较快,反应器的温度、原料的浓度和产物的浓度变化都较快。而在提升管反应器的中上部,由于催化剂的失活较严重,活性已经很低,同时原料的浓度也大大降低了,因而变化较为缓慢。

有人观察到原料生焦率与转化率之间有较好的关联。虽然,焦炭产率与催化剂的类型、原料的组成以及操作条件相关,但沉积在催化剂上的焦炭产率和反应时间的关系大致是相同的。根据以上的发现,他认为,催化剂上结焦的质量分数正比于催化剂停留时间的对数值。

Oguz Bayraktar 等^[8]用程序升温技术对工业催化裂化结焦剂上的结焦物种进行了区分和表征。他们把工业催化裂化催化剂上的结焦物种分为四种:由吸附物种形成的附加焦,由污染金属产生的污染焦,由催化反应生成的催化焦,以及与原料及催化剂性质关系密切的类石墨焦。

陈俊武等^[9]认为,在工业提升管催化裂化反应过程中,随着反应的进行,不断有焦炭沉积在催化剂表面上,使催化剂的活性及选择性急剧下降,反应进行 1s 左右后,催化剂的活性下降 50% 左右。在通常的提升管出口处(油气停留时间 3~4s),待生催化剂的相对活性仅为入口处初始活性的 1/3 左右,也可以说在起始的 0.1s 内,催化剂的活性贡献为最后 0.1s 的 3 倍。

Michalalakos 等^[10]利用 MAT-MCT (microactivity test - multiple cold trap) 技术在反应温度为 510℃;循环时间为 3min 的条件下,对十六烷和工业催化裂化进料的结焦历程进行了考察。结果表明,大约 50% 的焦炭在反应的前 20s 内生成,反应 50s 后,结焦速率下降很快。根据催化剂活性和碳含量的相互关系把结焦的过程分为三步:第一,在开始阶段,催化剂裂化和结焦速率都很快;第二,在中间阶段,相对于工业催化裂

化进料,十六烷的裂化速率下降得更快,其中的原因是裂化烷烃需要较多的强酸性中心,这些酸性中心已经被焦炭所覆盖,而催化裂化进料则可以在较宽的酸性范围内裂化;第三,在最后阶段,催化剂的裂化和生焦活性都降到了最低点,但还是比热裂化活性要高。

Marion A den Hollander 等^[11]以加氢尾油为原料在实验室的模拟提升管反应装置上,对结焦催化剂、再生催化剂以及两者以 1:1 比例混合的混合催化剂的裂化性能及产物选择性进行了考察。研究表明,催化剂的结焦主要发生在反应开始后的前 50ms 内,50ms 之后,催化剂上的焦炭增加不多。结焦催化剂的活性虽然比较低,但还是有一定的裂化性能。同时,三种催化剂对目的产物的选择性没有明显的不同。

2 重油催化裂化过程的物理 - 化学模型^[12-16]

由于重油催化裂化反应过程极为复杂,很多研究者尝试通过理论分析再结合一些实验室工作来建立重油催化裂化的物理 - 化学模型。莫伟坚在自行设计的下行式催化裂化中型试验装置中,对大庆常压渣油的催化裂化过程进行了详尽考察,得出如图 1 所示重油催化裂化物理 - 化学模型。重油进料有较大比例重组分存在,在喷嘴出口处不可能全部汽化,因此有一定比例的未汽化组分存在。已汽化部分进行常规的催化裂化,未汽化部分分为两部分,如果在混合区内吸收周围的热量而发生汽化,则进行常规的催化裂化,仍不能汽化的部分则进入催化剂的内部,然后发生热裂化或催化裂化。从该模型来看,他们把重油的催化裂化过程分为常规催化裂化过程和重油中重组分的热裂化或催化裂化两部分。这样的区分自然有它的道理,比如说模型较为简单、易懂,但对于催化裂化特别是极为复杂的重油催