

催化裂化协作组第十一届年会

报告论文选集

BAOGAO LUNWEN XUANJI

(上)

催化裂化协作组

内部资料
注意保存

催化裂化协作组第十一届年会

报告论文选集

(上)

(九江)

催化裂化协作组
催化裂化情报站 编辑出版

催化裂化协作组第十一届年会

报告论文选集

出版：催化裂化协作组

编辑：中国石化集团公司催化裂化情报站

《炼油技术与工程》编辑部

订阅处：河南省洛阳市七里河 063 信箱 催化裂化情报站 (471003)

电话：0379-64887019 E-mail: wuhong@lpec.com.cn

开本：1/16

印张：38.7 印数：2500 册

前 言

我国流化催化裂化(FCC)自1965年诞生以来,就以其强大的生命力获得了突飞猛进的发展。至1975年,10年间装置加工能力就突破了1000万吨/年,达到1100万吨/年;至1985年达到2608.0万吨/年,20年间加工能力以年均130万吨的速度增长;1995年全国催化裂化装置已达到95套,总加工能力达到5594.5万吨/年,成为仅次于美国,居世界第二位的催化裂化装置大国;据国家统计局数据,2005年全国已有催化裂化装置131套,总加工能力达到10563.0万吨/年,占原油一次加工能力的比例为29.95%。中国石化和中国石油两大集团公司2005年催化裂化装置减压渣油平均掺炼比例达到34.75%,成为我国炼油企业重油深度加工的主要装置之一。所以,催化裂化无论是当前,还是今后相当时间内,依然是我国原油加工中最主要的二次加工装置,其重要性是其他工艺装置无法替代的。

中国石化中国石油催化裂化协作组第十一届年会于2006年9月13日至15日在江西九江市召开。参加本届年会的有75个单位的189位专家和代表。在会前与会议期间共收到论文和报告共265篇。从提交的论文与报告的数量和质量来看,是历届年会所不及的。根据本届年会的主题和会议纪要的精神,催化裂化情报站与部分作者进行了联系,对有关文章做了适当修改。由于绝大多数文章都很精彩,很难割舍,从修改后的文章中择选出180篇编辑出版了《催化裂化协作组第十一届年会报告论文选集》。本届年会报告论文选集分为六个栏目,即会议报告与综述(24篇)、生产工艺(73篇)、催化剂与助剂(24篇)、机械与设备(40篇)、研究与开发(11篇)、计算机应用与自动控制(8篇)。选集预计930页,约150万字,这是历届年会文章数量和篇幅最多的报告论文选集。

《催化裂化协作组第十一届年会报告论文选集》很快就要和大家见面了,由于内容非常丰富,相信本报告论文选集会受到广大工程技术人员的欢迎。

中国石化
中国石油 催化裂化协作组秘书长 张德义

二〇〇七年元月十五日

目次

会议报告与综述

面临新的形势 迎接新的挑战 进一步发挥催化裂化在原油加工中的作用	张德义(1)
加快技术进步 强化生产管理 全面提高催化裂化装置运行水平	戴 璠(15)
我国催化裂化技术发展展望	侯美生(21)
催化裂化协作组第十一届年会会议纪要	(26)
催化裂化协作组 2004 ~ 2006 年度工作报告	(30)
催化裂化技术进步的回顾与前瞻	陈俊武(32)
国内外催化裂化技术的现状与发展	谢朝钢(40)
催化裂化装置安全稳定长周期运行的技术保障与优化	吴 雷(49)
LPEC 的催化裂化工艺与工程技术	(54)
催化裂化催化剂的现状与发展	田辉平(68)
MIP-CGP 技术在九江的工业应用	杨 健 谢晓东 蔡 智(79)
FDFCC-III 工艺技术及其工业应用	(92)
催化裂化反应历程分析与两段提升管催化裂化/裂解技术	(102)
新技术在大型 RFCC 装置的应用	谢 恒 姜 鹏 张 晖(114)
对重油催化裂化反应历程的若干再认识	高金森 徐春明 卢春喜等(121)
重油催化裂化装置节能途径分析及应用	(131)
金陵两套催化裂化装置节能降耗总结	周建文 刘振宁 陈忠基(136)
走自主创新之路延长设备衬里寿命	顾一天 徐 清 焦选宁等(141)
催化裂化干气制乙烯技术的应用	夏荣安 王 建 许永莉(146)
催化裂化装置三旋和烟机结垢原因初析及应对措施	李 鹏(152)
中国未来清洁汽油生产技术的探讨	龙 军 许友好(158)
SHS 复合材料及其在 FCC 装置的应用前景	张荣克 闫 涛 王 芳(165)
原料加氢预处理对 FCC 产品的影响	张学萍(171)
催化裂化原料加氢预处理技术在清洁燃料生产中的重要作用	尹恩杰(179)

生产工艺

催化裂解新组合反应体系的创建和工业运行	罗 勇(185)
茂名 I 套催化裂化装置加工高含硫原油总结	邱伟标 许友文(193)
加工高含硫原料对装置的影响和对策	景录昌(195)
催化裂化装置再生器烧焦效果分析及改进措施	童山河(201)
MIP-CGP 技术在镇海重油催化裂化装置上工业试验	张 达 许友好 郝希仁等(210)
新工艺对汽油硫含量的影响	黄汝奎 韩文栋(216)

多产异构烷烃并增产丙烯技术(MIP-CGP)工业应用分析	王韶华 吴 雷(223)
石家庄 I 套 FCC 装置的 MIP-CGP 改造	安建平(228)
天津 FCC 装置的 MIP 技术改造	谭兴利(233)
FCC 汽油辅助反应器改质降烯烃技术的工业应用	郭洪明 张洪滨 李新春(237)
汽油辅助反应器改质降烯烃技术的工业应用	张 杨(243)
庆阳催化裂化装置扩能降烯烃改造	刘至祥 魏治中 赵秋燕等(248)
催化裂化装置安稳长优运行总结	杨 晨 王 楷 胡 明(253)
针对原料油性质优化催化裂化工艺操作	毛安国(260)
解决 ARGG 装置原料油重质化的措施	刘福安 聂白求 李 钦(266)
催化裂化装置掺渣比和长周期运行的对比分析	张 遥 陈 立(269)
济南 0.80Mt/a 重油催化裂化装置改造	林春阳 隋亭先 刘天波(275)
两段提升管催化裂化生产的优化调整	相养冬 张继林 姚 斌等(278)
不同焦化蜡油掺炼比对重油催化裂化装置的影响	花 飞(283)
哈萨克斯坦-俄罗斯混合原油减压馏分油对 FCC 裂化性能影响的研究	段永生 董元成 卫纲领等(286)
焦化凝缩油进 FCC 提升管回炼改质技术	孙 浩 祝明鹏 温鹏翔(291)
锦西 RFCC 装置 1.8Mt/a 扩能改造	花 飞 张 冬(294)
影响重油催化裂化装置掺渣率提高的因素分析	陈小南 施俊林(301)
玉门 0.8Mt/a FCC 装置扩能改造效果评价	杨永国 王兹尧(304)
燕山 III 套 FCC 装置 MIP 改造后汽油烯烃含量持续超高原因分析和对策	龚望欣(310)
RFCC 装置扩能及汽油降烯烃改造	张 峰 安明武 黄凤林(315)
改变操作思路 适应催化裂化装置大负荷运行	杨社明 黄 涛(321)
石家庄 0.8Mt/a 重油催化裂化装置再生系统改造	张志宏(323)
开工时沉降器大量跑损催化剂的对策	孙同根 刘振宁(326)
大连 0.9Mt/a RFCC 装置解决“跑剂”问题技术总结	石功军 卢永先 史运贞等(331)
荆门 DCC-II 装置烧焦罐再生器的改造	江军锋 朱亚东(334)
催化裂化装置设备散热损失计算及分析	余龙红(339)
延炼 450kt/a 催化裂化装置预提升介质分配器改造	刘洪波 王荣斌 张志棠等(341)
富氧再生技术在燕山 II 套催化裂化装置上的合理利用	王明哲(345)
燕山 III 套催化裂化装置流化问题的分析和解决	龚望欣 刘 珪 宫振宇等(357)
武汉第二套 FCC 装置流化问题分析	唐 泉(362)
再生滑阀阀杆断裂期间 FCC 装置的运行	赵 华 刘静翔(367)
燕山 II 套催化裂化装置第二十五次开工后油浆固含量高的原因分析	龚望欣(372)
工况对重油催化裂化装置反应系统结焦的影响及对策	费宏民 李锡均 刘国海等(380)
再生器稀相超温的控制措施	范威林 张 勇 侯志孝等(385)
催化裂化装置反再系统技术完善与总结	罗 伟 尹彦明 邹曙良(387)

催化裂化装置反应系统结焦原因分析	尹彦明 罗 伟(393)
多级组合式气液分离技术工业应用	高有飞 刘家海 俞晓梅等(399)
大连分馏塔顶部结盐的原因分析及对策	唐家俊(402)
灵活双效催化裂化装置主分馏塔的扩能改造	蔡 永(405)
事故状态下分馏塔底结焦原因分析与处理	赵宇鹏(408)
分馏塔顶回流量周期性波动原因及采取的措施	王志强 王明哲(412)
吸收-解吸系统“双塔流程”改进的分析	朱亚东(418)
催化裂化装置汽油分离塔的设置和设计	刘怀伟(423)
中间再沸器节能技术在 DCC 装置解吸塔中的应用	朱亚东 曹红斌 富清卫等(429)
用分馏塔顶循环油作再吸收塔的吸收剂	曹红斌 朱亚东(434)
独山子 FCC 吸收稳定系统改造	郑仁新 陈 强 卫纲领等(437)
催化裂化-气体分离低温热联合的改造	徐 康 刘振宁 包材保等(442)
反应再生方案对催化裂化装置能耗的影响	王 伟 郝希仁(447)
广州蜡油催化裂化装置的能耗分析与改进	陈喜亮(451)
提高烟气能量回收机组能量回收率的措施	张玉龙(454)
重油催化裂化装置能耗分析及节能措施	李 宁(457)
FDFCC 装置能耗分析及节能措施	王葆华(462)
LiBr 低温余热制冷技术的应用	于福东(466)
调整联合装置操作降低能耗增加高附加值产品	王 伟 张 芬 张 宏等(470)
外取热器产中压蒸汽盐含量高的问题及其对策	高 翔 柳 文(473)
FDFCC 装置高产气体汽油生产方案总结	王立新 付玉生(478)
优化催化裂化反应行为提高装置总液收	蔡仁杰 黄凤林 陈 龙(482)
催化裂化汽油降烯烃工艺和催化剂应用	谷城民 侯一波 黄 艳等(485)
影响 RFCC 汽油安定性因素及解决措施	王兹尧 旷军虎 杨永国(489)
解决五个问题 成功生产欧Ⅲ标准汽油	郭洪明 李新春(493)
汽油铜片腐蚀及博士试验不合格的影响因素及对策	郭海东(497)
降低 FCC 汽油硫含量的技术应用	黄 磊 蔡 智(502)
FCC 汽油无苛性碱精制组合工艺的应用	张洪滨 赵 国(506)
液膜技术在液化气脱硫装置中的工业应用	雷清卫 江军锋 曹红斌等(509)
汽油脱硫醇装置应用金属纤维膜脱硫技术	李军令 花小兵 卫纲领等(515)
纤维膜脱硫醇技术在玉门的应用	王兹尧 杨永国 旷军虎(521)
液化气脱硫新技术在 ARGG 装置的应用	廖永军 刘 庆 方 利(524)

催化剂与助剂

MIP-CGP 工艺催化剂 CGP-1 的研究开发与应用	邱中红 龙 军 陆友保等(528)
第二代提高 FCC 液化气丙烯浓度助剂 P-MAX 的开发	蒋文斌 田辉平 陈蓓艳等(532)
满足国际市场的 HGY 系列催化裂化催化剂	龙 军 张久顺 达志坚等(537)

第三代降烯烃催化剂 GOR-III 的研制开发和工业应用	许明德 田辉平 毛安国(543)
CGP-1Z 催化剂的工业应用	李成刚 施俊林(552)
ORBIT-3000(JM)重油裂化催化剂的反应性能改进	罗 勇 王立华 陆友保等(558)
降烯烃催化剂 CORV-CZ 的工业应用	蔺峰涛(565)
优化催化剂性能 提高装置效益	孙 浩 温鹏翔 祝明鹏(571)
CDC 催化剂的工业应用	赵振辉 刘静翔 徐武清等(575)
LHO-1 催化剂的工业应用	徐文长(583)
GRV-催化剂在九江的工业应用	黄 磊 童山和 黄志青(586)
催化剂磁分离技术在广州重催装置的应用	潘爱民 顾春来 张官云(590)
催化裂化催化剂磁分离技术应用问题分析	朱亚东(594)
LDS-SI 降硫助剂的性能评价及工业应用	焦 云 李 治 刘丹禾(599)
降低催化裂化汽油硫含量助剂 LDS-SI 的工业应用	宋 岩 周广文 李培鸿(604)
增产丙烯助剂 LOSA-1 的工业应用	罗 勇 黄道培(608)
LPI-1 多产丙烯助剂的应用	卫纲领 周志宏 李军令(611)
增产丙烯助剂在催化裂化装置的工业应用	吴隆庆 张忠凯(615)
增产丙烯助剂 LOSA 和 CGP 催化剂在 MIP 工艺中应用	高占峰 韩国诚(620)
脱硫醇活化剂 KTL-1 在武汉 I 套 RFCCU 的应用	李 群 赵晓明 沈喜洲等(623)
XDS-01 高效脱硫剂的工业应用	肖庆祥 梁先耀 林国伟等(626)
KHP 助剂在华北石化 III 套 FCC 装置上的应用	孙玉虎 周世岩 解中喜等(632)
抗氧防胶剂的筛选应用	茹 海 肖庆祥 郭胜军等(635)
HT-825A 胺液净化再生设备工业应用	赵 华(639)

机械与设备

多级组合式 FCC 汽提器的开发	张振千 田 耕(644)
FCC 装置下流式密相强化传热外取热器的研究和应用	张荣克 张蓉生(649)
新型防结焦旋风分离器在 FCC 沉降器的应用	魏耀东 卢春喜 孙国刚等(657)
CS 型原料雾化喷嘴的工业应用	郑忠强 赵权利 苑兆祯(660)
ADV 微分浮阀塔盘在玉门的应用	旷军虎 杨永国 王兹尧(663)
CTST 塔板在庆阳催化裂化装置改造中的应用	缪希平 兰创宏 魏治中(666)
陶瓷耐磨短管在重油催化裂化大孔分布板中的应用	傅向民 罗杰英 高 仲等(669)
前置烧焦罐前水平混合段磨穿问题及其改造	张会朴 窦如华(672)
催化裂化装置衬里技术和展望	房家贵 黄荣臻(675)
金陵 I 套催化裂化装置衬里运行及损伤诊断	戴 毅 刘振宁(678)
催化裂化装置耐磨衬里全过程质量控制	郭 祥(683)
RFCC 炼制高含硫油的设备防腐蚀	侍述然(690)
催化裂化装置气压机组的优化操作	孙同根(696)
汽轮机调速系统故障的分析及处理	张思阳(699)

重油催化裂化装置三级旋风分离器失效分析	袁超	丁杰	(702)
FCC装置弯锥四旋的研究和开发	闫涛	张荣克	王芳(709)
结垢对催化裂化装置机组运行的影响及对策	潘若非	王明海	(716)
烟气能量回收机组运行中出现的问题及对策	马文义	汤世华	(719)
金陵Ⅱ套催化裂化装置烟气轮机结垢分析		周建文	(723)
烟气轮机径向轴承的初步分析	丁勤	冀江	(729)
催化裂化装置三机组烟机更换改造	王楷	季明强	(735)
烟气轮机振动的状态监测与故障诊断		张思阳	(738)
FCC烟机的改造与调试		李辉	(742)
烟气轮机振动值过大的原因分析		邓克明	(748)
吉化YL-14000A烟机运行中的问题及处理	王天全	李泽	(751)
烟气能量回收系统的热补偿分析		杨锦明	(755)
FCC装置烟气轮机结垢的显微观察分析	舒胜	周复昌	刘家海(760)
重油催化裂化装置压力管道运行状况和改进措施		程鹏程	(765)
双端面干气密封在气体压缩机上的应用	丁银标	侍述然	(774)
催化裂化装置余热锅炉整体更新技术改造		靳首相	(780)
济南0.8Mt/a RFCC装置余热锅炉节能改造	刘天波	罗振东	敖建军(783)
纤维膜接触器在液化气脱硫醇中的应用		刘俊红	(787)
重油催化裂化装置余热锅炉的技术改造	肖庆祥	林国伟	郭胜军等(791)
HS型中频声波吹灰器在兰州CO余热锅炉的应用	宋玉龙	刘辉章	许世龙(795)
FCC装置设备表面涂层对散热性能的影响	张荣克	戴敏	(799)
新设备技术在催化裂化装置上的应用	房家贵	黄荣臻	闫涛(803)
催化裂化烟气管道膨胀节腐蚀原因及解决措施		于进波	(809)
重油催化裂化装置波形膨胀节腐蚀成因及对策	傅向民	罗杰英	高仲等(812)
重油催化裂化烟气轮机入口膨胀节变形分析及应力评定		傅向民	罗杰英
油浆蒸汽发生器管板及管接头开裂原因分析及预防		邓克明	(821)

研究与开发

ZRP-Y 型分子筛催化剂复配体系裂化性能研究	郭湘波	龙 军	侯拴弟等(825)
功能化改性氧化铝基质的研究	张蔚琳	田辉平	达志坚(829)
填料式汽提器性能冷态实验研究	张永民	侯拴弟	龙 军等(834)
多产异构烷烃催化裂化工艺提升管内流动与反应的数值模拟			
.....	程从礼	许友好	张久顺等(840)
催化裂化汽油吸附脱硫的研究	徐 莉	许友好	谢朝刚等(847)
催化裂化过程中操作参数对骨架异构反应影响的研究		高永灿	张久顺(851)
MIP 技术反应过程中异构化反应产物分布特点及解析	魏晓丽	龙 军	张久顺(857)

噻吩在钒氧化物上的反应机理研究	王 鹏 田辉平 龙 军(860)
后置烧焦管式组合催化裂化再生工艺	张国茹 刘显成 卢春喜等(866)
用于后置烧焦管出口的新型气固分离器	刘显成 卢春喜 时铭显(873)
催化裂化柴油色度安定性的试验研究	左理胜 邓剑如 凡美莲等(879)

计算机应用与自动控制

先进控制系统在催化裂化装置上的应用	陈 立 全丹丹(883)
先进控制技术在 RFCC 装置的工业应用	张 达 施俊林 刘炳杰等(891)
催化裂化装置优化操作的方向与潜力	王 伟(899)
独山子大型机组自保系统改造分析	王 楷(905)
在线状态监测技术在机组维护中的应用	李 辉(908)
催化裂化 14MW 三机组防喘振控制原理及技术	翟玉宏(913)
大方式软启动技术在主风机组中的应用	魏治中 李 庆 左文生等(917)
ESD 控制系统在催化裂化装置上的应用	刘至祥 李 玮 王学斌等(921)

面临新的形势 迎接新的挑战

进一步发挥催化裂化在原油加工中的作用

中国石化集团公司 张德义

自2004年8月3~5日在乌鲁木齐市召开催化裂化协作组第十届年会以来,已经过去两年了。两年来,我国国民经济有了新的发展,对能源的需求,特别是对石油产品的需求进一步增大,而对产品质量的要求进一步提高,环境保护的迫切性进一步加强,在这种形势下,我国的炼油工业和催化裂化工艺又有了新的发展和提高。催化裂化作为生产交通运输燃料和提供部分低碳烯烃的主要工艺装置,在原油加工中将继续发挥其不可替代的作用。

1 催化裂化仍是原油二次加工的主要手段

由于原油重质化和劣质化趋势明显,轻

质石油产品市场需求旺盛,清洁燃料生产和环境保护压力加大,炼油化工一体化的步伐加快,世界各国普遍加快了炼油企业工艺装置结构的调整,但催化裂化作为原油转化的主要工艺装置,其核心地位仍然没有改变。

1.1 世界主要国家催化裂化工艺仍在不断发展

在可预见的未来,石油产品作为交通运输燃料的主体地位还不会改变。因此,进入21世纪以来,在世界范围内作为生产交通运输燃料的主要工艺装置——催化裂化仍在发展,其加工能力变化见表1。

表1 21世纪以来全球催化裂化加工能力变化

日 期	原油一次加工能力		催化裂化加工能力		占原油加工能力
	万桶·日 ⁻¹	增长, %	万桶·日 ⁻¹	增长, %	比例, %
2001-01-01	8125.16		1370.02		16.86
2002-01-01	8116.63	-0.10	1386.58	1.20	17.08
2003-01-01	8187.76	0.87	1419.55	2.37	17.33
2004-01-01	8205.46	0.21	1432.86	0.93	17.46
2005-01-01	8240.89	0.43	1450.96	1.26	17.60
2006-01-01	8504.37	3.19	1575.74	8.60	18.53

注:数据取自美国《Oil & Gas Journal》2000~2005年最后一期刊登的统计数据。2005年末期登载的中国催化裂化加工能力仅为58.80万桶/日,与实际出入太大,根据中国石油化工股份有限公司《石化统计提要》更正为207.34万桶/日。因此,全世界催化裂化总加工能力亦由1427.20万桶/日改为1575.74万桶/日,而原油一次加工能力出入不大,这里未作更改。

由表1可以看出,21世纪以来,原油一次加工能力仅增加4.67%,而催化裂化加工能力却增加了15.02%,催化裂化占原油一次加工能力的比例也由2001年年初的16.86%提高到目前的18.52%。虽然近几年的发展速度略低于延迟焦化和加氢裂化,但其所占原油一次加工能力的比例,在原油

深度加工装置中仍居首位。这说明,现在乃至今后催化裂化作为原油转化的主要工艺装置仍是不可替代的。21世纪以来,催化裂化加工能力增长较快的国家有印度(增长约6.50Mt/a)、美国(约5.78Mt/a)、中国(约4.67Mt/a)、巴西(约4.06Mt/a)、日本(约4.04Mt/a)和加拿大(约4.00Mt/a)。总的

来看,亚太、北美以及中南美洲的催化裂化工艺都有所发展;而在汽油相对过剩、柴油相对紧张的西欧,催化裂化未见发展,有的国家加工能力还有所减少,如英国。

1.2 催化裂化仍是我国原油加工的核心工艺装置

随着我国国民经济的持续快速发展,我国石油消费已进入快速增长阶段,其中主要原因是交通运输燃料的增长。我国汽车产量已连续4年递增100万辆以上,2005年生产各类汽车570.77万辆,其中轿车276.77万辆,汽车销售量575.82万辆,基本上处于产销两旺态势。我国汽车产销量已居世界第三位。2005年全国汽车产能已达到800万辆,2006年汽车总产量预计超过650万辆。2005年全国民用汽车保有量约3210万辆,农用车保有量约2500万辆,摩托车保有量约7000万辆。加上社会其他方面用油,2005年我国消费汽油48.42Mt,柴油109.68Mt,煤油10.49Mt。

根据轿车先导国的发展经验,当车价与人均GDP之比(即R值)达到2~3时,轿车将开始大规模进入家庭,轿车普及率迅速提高,轿车市场开始进入成长期。我国深圳、北京、广州、上海的R值已接近3。根据我国居民收入分布结构预测,未来15年,在GDP翻两番的情况下,城镇居民家庭人均年收入增长约为2000年的3.58倍。因此,未来10年内我国R值将不断靠近3。

根据有关部门预测,2010年我国汽车产量可能达到1000万辆,保有量预计5500万辆,达到千人拥有40辆车;有人预测,2020年我国汽油车保有量将达到9200万辆以上,柴油车约3500万辆,摩托车约1.2亿辆。加上军用、农业、渔业、铁路、水路、民航、电力、工矿建筑施工企业及其他,在经济协调发展情况下,汽油消费量约118.40Mt,柴油消费量约219.41Mt,煤油消费量约27.69

万吨。这些预测数字远远超过了2004年中国工程院“中国可持续发展油气资源战略研究课题组”关于我国汽煤柴油需求的预测。

尽管当前新能源汽车研究开发很火热,如生物燃料(乙醇汽油、生物质合成油BTL、生物柴油)、压缩天然气(CNG)、液化天然气(LNG)、天然气合成油(GTL)以及混合动力汽车、纯电动汽车、燃料电池汽车等,但在未来的20年内,交通运输燃料仍将以石油产品为主,将是毫无疑问的。

我国成品汽油中催化裂化汽油约占三分之二;柴油组分中,催化裂化柴油约占1/5~1/4,这种情况今后也不会有根本性改变。据中国石化股份有限公司炼油事业部统计,2005年成品汽油中催化裂化汽油占74.74%,成品柴油中催化裂化柴油占21.08%~24.13%,详见表2、3。

表2 2005年中国石化生产的汽油各调合

组分所占比例		%
催化裂化汽油	74.74	直馏汽油 0.36
重整汽油	15.10	加氢组分 2.16
MTBE	2.85	烧碱化油 0.54
芳烃	0.73	其他 3.52

表3 2005年中国石化生产的柴油各调合

组分所占比例					%
催化裂化	加氢精制	直馏	加氢裂化	其他	
组分	组分	组分	组分	组分	
24.13	29.58	40.67	5.01	0.61	

催化裂化是我国汽柴油生产的主力工艺,或者叫核心工艺装置,其重要地位是不会动摇的。对于这一点我们必须有清醒的认识,这是我们考虑炼油工艺,特别是催化裂化工艺今后发展的基础。

1.3 我国催化裂化装置经济技术指标明显进步

我国催化裂化装置加工能力已由2001年的100.96Mt/a增加到2005年末的105.63Mt/a。中国石化装置负荷率已由80.39%提高到99.64%。部分经济技术指

标取得了明显的进步,装置能耗、液化石油气产率、焦炭和干气产率等均有所改进,见表 4。

表 4 催化裂化装置部分技术指标变化情况

项 目	能耗/ $\text{MJ} \cdot \text{t}^{-1}$	液化气收率, %	焦炭产率, %	干气产率, %	非计划停工时间/d
中国石化					
2001	3027.57	14.74	7.38	4.72	32
2005	2617.93	17.44	7.33	4.55	20
中国石油					
2001	2875.42	12.81		4.48	
2005	2682.31	14.81	7.55	3.77	

特别是装置平均能耗,本世纪以来逐年下降,4 年来中国石化下降了 409.64MJ/t,相当于累计节油 1.73Mt,见图 1。

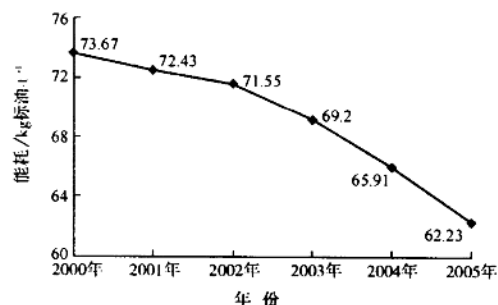


图 1 中国石化催化裂化装置能耗下降情况

2001 年中国石化催化裂化装置能耗低于 2508MJ/t 的仅有 6 套,低于 2090MJ/t 的装置没有,有 8 套装置能耗大于 4180MJ/t,最高达到 5810MJ/t;2005 年已有 19 套装置能耗低于 2508MJ/t,能耗大于 4180MJ/t 的装置仅剩 1 套。

在中国石化、中国石油两大公司统计的 89 套装置中,有 34 套能耗在 2508MJ/t 以下,其中中国石油大连石化分公司 3.50Mt/a 重油催化裂化、中国石化镇海炼化股份公司 3.00Mt/a 重油催化裂化、金陵分公司 1.20Mt/a 重油催化裂化装置能耗已达到 2090MJ/t 以下。据文献报道,世界能耗指标比较先进的催化裂化为美国空气产品公司重油催化裂化装置,能耗为 2223.76MJ/t,我国先进装置的能耗指标已基本达到了国际先进水平。

2 新工艺和新技术仍在不断发展

为了适应加工更多的重质原料,改进产品结构,进一步增产丙烯,改善产品质量,降低“三废”排放,延长装置运转周期,提高装置运行水平,催化裂化工艺技术仍在不断发展。

2005 年全球丙烯需求量达 67.00Mt 左右,预计 2005 ~ 2010 年间年均需求增长率将达到 4.8% ~ 5.0%,其需求增长率将超过乙烯。因此,世界许多石油公司都以催化裂化工艺为基础积极开发多产丙烯的新工艺。例如,美国《油气杂志》2005 年 9 月报道,沙特石油矿产大学、日本石油合作中心及 Saudi Aramco 合作开发的 HSFCC 技术,已在沙特建立了一套 30 桶/日工业试验装置,采用下流式反应系统,反应温度高达 550 ~ 650℃,接触时间小于 0.5s,剂油比为 15 ~ 25。丙烯收率可达常规催化裂化的 2 ~ 4 倍,达到 17% ~ 25%;汽油辛烷值(RON)达到 99,烯烃为 14w%,芳烃 71w%;对二甲苯收率比催化裂化高 1.8 ~ 2.8 倍。现在正准备建设一套 250kt/a 的工业装置。

至此,工业化和正在开发的多产丙烯的技术除了我国的 DCC, MGD, MIP, MIP-CGP, FDFCC 以及 TSRFCC 等技术外,国外已工业化和正在开发的技术有:UOP 公司开发的 PetroFCC™ 技术,采用 RxCat 设计,两个反应器,一个再生器,使用择形分子筛催化剂和助剂,优化反应条件,提高反应苛刻度,丙烯产率可达 22% ~ 25%;ABB Lummus 公司开

发的选择性裂化(SCC)工艺,通过在进料喷嘴上游向提升管中选择性地注入石脑油和轻质原料,在较高的反应温度和剂油比条件下,丙烯产率达16%~17%,最高可到24%;KBR与ExxonMobil公司合作开发的Maxofin工艺,将高含量的ZSM-5助剂与改进的FCC技术结合,丙烯收率可达18%;Indian Oil Co开发的Indmax工艺,在15~25高剂油比条件下,丙烯收率可达17%~25%等。

在催化裂化新工艺和新技术研究开发方面,我国是比较活跃的。石油化工科学研究院(RIPP)、洛阳石油化工工程公司(LPEC)以及中国石油大学一直在不断地研究改进和创新开发催化裂化工艺技术。RIPP开发的MIP技术自2002年2月首次在中国石化上海高桥分公司投用以来,已得到迅速推广。随后,在MIP技术的基础上,于2004年4月在中国石化镇海炼化股份公司投用了MIP-CGP技术。虽然MIP-CGP与MIP装置均采用了两个反应区的串联的变径提升管,但MIP-CGP与MIP两个反应区的作用存在着很大差异。MIP-CGP技术的第一反应区(一反)的作用是强化单分子裂化反应,目的是增加裂解深度,生产更多的液化石油气和丙烯;第二反应区(二反)的作用是双分子裂化和氢转移反应,双分子裂化反应有利于丙烯产率进一步增加,同时使汽油烯烃在双分子裂化反应和氢转移反应作用下大幅度降低。而MIP技术一反的作用是强化双分子裂化反应,目的是控制裂解深度,生成较多的汽油;二反的作用是氢转移,以降低汽油中的烯烃。MIP-CGP与MIP技术特点见表5。

可见在增产丙烯,进一步降低汽油烯烃,提高汽油辛烷值等方面,MIP-CGP比MIP技术更具有吸引力。截止到2006年4月,全国已有14套催化裂化装置(合计加工能力约16.30Mt/a)采用了MIP与MIP-CGP

技术。

表5 MIP-CGP与MIP技术比较

项 目	MIP	MIP-CGP
反应特征		
一反	强化双分子裂化	强化单分子裂化
二反	氢转移反应	双分子裂化和氢转移反应
工艺参数		
催化剂	常规FCC催化剂	专用催化剂
一反出口温度	低	高
二反温度	低	高
二反重时空速	30~40	~20
产品差异		
丙烯产率	与FCC相当	高出FCC一倍
汽油中烯烃	低于35v%	低于18v%
汽油辛烷值	与FCC相当	高1~2

LPEC在FDFCC-I技术基础上开发出FDFCC-III技术,于2006年4月在中国石化长岭分公司投用。该技术的特点是:将低温、较高活性的汽油提升管待生催化剂与再生催化剂混合引入重油提升管,降低重油提升管油剂混合温度,提高剂油比,改善产品分布,降低干气和焦炭产率;采用双提升管,增设辅助分馏塔,避免改质汽油与原料汽油混合,提高汽油改质效率,最大幅度降低汽油的烯烃和硫含量。经长岭分公司工业试验,与常规RFCC工艺比较,总液体收率基本相当,FDFCC-III干气和焦炭产率下降0.55个百分点,在使用增产丙烯助剂情况下,丙烯产率由3.35w%提高到10.25w%,汽油烯烃含量低于18%,汽油硫含量降低45%~55%;与FDFCC-I工艺相比,干气和焦炭产率下降1.6个百分点,丙烯产率提高2.8个百分点,技术进步是明显的。

2002年5月,中国石油大学开发的两段提升管催化裂化技术(TSRFCC)在中国石油大学(华东)胜华炼油厂100kt/a催化裂化装置上首次试验成功后,相继开发成功了提高汽柴油收率、提高液体收率、适度降低烯烃以及以降低汽油烯烃为主的TSRFCC等家族技术,这些技术已在中国石油辽河石化分公司、长庆石化分公司、锦西石化分公司、

长庆油田分公司马家滩炼油厂和前郭石化分公司等企业成功推广应用,均取得了较好的效果。

3 催化剂研制开发又有新的进展

催化剂对催化裂化装置运转有重大的影响,要使装置效益最大化,同时符合地方环境标准,如汽油硫和烯烃含量以及炼油厂排放标准,除了工艺技术进步外,还必须要有相应配套的和先进的催化剂技术。Grace Davison 公司推出了一整套先进的催化剂生产技术,包括含有 TRM (Tunable Reactive Matrices) 可调活性基的、具有优化焦炭选择性的重油裂化催化剂、提供更高液化石油气和丙烯收率的催化剂 (PMCTM)、降低汽油硫含量的催化剂,以及控制催化裂化装置 SO_x 与 NO_x 排放的添加剂。Grace Davison 公司发现,增加 10~60nm 孔的孔容并提高催化剂基质中的弱/强酸中心的比例,可以优化焦炭选择性和塔底油裂化。基于这种认识,通过假结晶 (Pseudo Crystalline) 活性铝和专有的化学工艺的联合,改良了催化剂孔结构,开发了可调孔结构和基质酸性的铝溶胶平台,在此基础上开发了 4 个新系列催化剂。IMPACT 催化剂系列是为高金属重油原料提供最大焦炭选择性和塔底油裂化而专门设计的,相当于第四代渣油裂化催化剂,选用专用的 TRM-100 可调活性基质并含有一种合成的钒捕集剂。该剂在焦炭产率一定时,转化率提高 2%,炭差减少 0.05%,干气减少 0.5%,塔底油减少 1.6%。该催化剂已在 9 套工业装置上使用;LIBRA 催化剂系列是为经加氢处理的原料实现塔底油最大转化而专门设计的,其含有可提供单位表面积最大活性的 Z-30 沸石,选用 TRM-200 可调活性基质,该催化剂在生焦和干气不变化的情况下,达到高的塔底油转化率;POLARIS 催化剂系列,是为 VGO 或 VGO/渣油原料实现塔底油最大转化而专门设计的,选

用高稳定性的 Z-32 沸石,掺和一种新的专用 TRM-300 可调活性基质,同时加有合成的钒捕集剂 (IVT-4),该催化剂优化了重质原料的裂化性能,提高了汽油产率,并使生焦和产气量最少;PINNACLE 催化剂系列,是为加工镍含量高的原料而专门设计的,选用 Z-28 或 Z-32 高稳定性沸石,添加了专用的 TRM-400 可调活性基质,确保了在高镍含量的条件下,生焦和产气量最少。Grace Davison 公司依托 Enbance 技术平台还开发了 NERTOR 催化剂,是专为在高金属环境时达到最低炭差而设计的,其焦炭选择性有明显改进,在原料相同时,转化率提高 2.5w%,目前已有 7 套催化裂化装置使用,装置效益明显提高。

Engelhard 公司 (现属 BASF 公司) 开发并工业化了一种新的称为 Flex-Tec 的渣油催化裂化催化剂,适用于较重的渣油催化裂化。该催化剂基于分散基质结构技术 (DMS) 和一种特殊的金属钝化技术 (Maxi-Met),经马拉松阿希兰公司卡特莱次堡炼油厂重油催化裂化装置试用,不仅能处理高含镍和钒原料,而且处理高含铁的原料也有较好的性能。在钒含量提高到 8mg/g 时,与原催化剂相比,催化剂平衡活性由 67 提高到 72,转化率提高了 2.3v%,汽油收率提高了 0.6%。Engelhard 公司开发的 NaphthaMax 催化剂,可以大幅度提高转化率和液体产品收率,并且不增加焦炭和干气产率,已有 25 套装置使用。NaphthaMax-LSG 催化剂是 NaphthaMax 技术的延伸,主要目的是降低催化裂化汽油硫含量,据介绍可降低 40% 以上。

此外,InterCat 公司、Albemarle 公司等通过开发专有基质材料和新的沸石,改进催化剂制备技术等,均有新催化剂问世。

RIPP 通过研制具有丰富中孔结构的新型基质材料 ASP、高氢转移活性和优良水热

稳定性的主活性组分与过渡金属元素改性的择形分子筛,开发成功了 GOR-Ⅲ降低催化裂化汽油烯烃的催化剂。经武汉分公司工业应用表明,在相似条件下,GOR-Ⅲ比 GOR-Ⅱ催化剂活性提高了 3~4,汽油烯烃含量多降低 3.5~4.3 个百分点,辛烷值(MON)提高 1,抗爆指数略有增加。针对中间基原料油难以裂化的特点,研制了新型专用降烯烃催化剂 GRV-C,经中国石化九江分公司 8 个月工业试用,渣油掺烯量提高了 2.47 个百分点,汽油烯烃降低了 5.7 个百分点,轻油收率提高 0.49 个百分点,焦炭收率降低 0.18 个百分点,取得了良好的经济效益。为提高重油转化能力,改善产品分布,RIPP 还开发了 CDC 重油深度转化降低汽油烯烃催化剂,经中国石化洛阳分公司工业应用结果表明,油浆产率降低了 1.36 个百分点,轻质油收率提高 1.45 个百分点。汽油烯烃降低幅度与对比剂相当,焦炭产率降低了 0.57 个百分点,CDC 催化剂同时还表现出较强的抗重金属污染能力。

中国石油兰州石化分公司研制生产的 LBO-16 在 LBO-12 基础上又有改进,经中国石油锦西石化分公司使用,重油催化裂化汽油烯烃可降低 10 个百分点,与 LV-33 相比,液化气和柴油选择性有所改善,提高了轻质油收率,增加了企业经济效益。此外,DOCO-1 和 CORV-CZ 等降烯烃催化剂分别在中国石油大庆石化分公司和中国石化沧州分公司试用,亦取得了较好的效果。

4 各种助剂开发异常活跃

InterCat 公司 DrMichael K Maholland 先生的文章介绍,在过去 30 多年时间里,催化助剂在催化裂化工艺发展中起到了非常重要的作用。现在大多数炼油厂都知道,通过使用催化助剂来补充主催化剂的功能是必要的。随着催化助剂在系统中浓度的不断增加,从过去的 1%~2% 增加到现在的

10%~30%,助剂与催化剂的界限已变得模糊了。有人预测,21 世纪第一个 10 年的剩余时间里,催化裂化助剂交易量将以 8%~10% 的速度增长。其中,增长最快的是增产丙烯的助剂,其次是降低烟气中 SO_x, NO_x 和 CO 排放的助剂。例如,Indian Oil Co 开发的 Indmax 工艺使用的催化剂,是由三种协同效应的多功能催化剂(助剂)成分构成的,每种助剂都分别单独加入装置中。经 Guwahati 炼油厂工业应用,丙烯收率可达 24%。该工艺就模糊了助剂和催化剂间的区别。

目前,降低催化裂化汽油硫含量的方法有:对催化裂化原料进行预处理;对催化裂化汽油进行加氢后处理;在催化裂化反应过程中使用降硫催化剂和添加剂;对催化裂化汽油进行生物脱硫或吸附脱硫等。有专家指出,在催化裂化反应过程中使用降硫助剂是当前达到汽油新标准最经济有效的方法。催化裂化汽油中的硫化物主要以噻吩和噻吩衍生物的形式存在,一般占硫化物总量的 70% 以上。针对汽油中硫化物的类型,科研单位通过增加改性硅铝基质材料的 L 酸含量,致使催化剂对具有 L 碱性的硫化物吸附能力增加,进而提高对噻吩硫的转化作用。结合模板技术的胶溶—凝胶法制备的硅铝材料比表面积大,孔分布集中,具有较好的噻吩裂化脱硫效果。

催化裂化汽油降硫助剂开发国外异常活跃,使用的也很广泛。近 10 年来,Grace Davison 公司开发和工业推广的除了降硫催化剂 SuRCA, SATURN 外,同时开发和推广了降硫助剂。其降硫助剂 D-PriSM 在添加 10% 左右的情况下,汽油硫含量可降低 10%~35%,目前已有 30 多个炼油厂的催化裂化装置使用了这种助剂。

Albemarle 催化剂公司最新推出的 Resolve 950 助剂,对于芳烃硫含量较低的原

料,在助剂含量 10% 时,汽油硫含量降低约 30%;在含量达到 35% 时,汽油硫含量可降低 70%。Resolve 950 是一个多功能助剂,它

同时还可以显著降低烟气中 SO_x 的排放。Resolve 950 降硫效果见图 2。

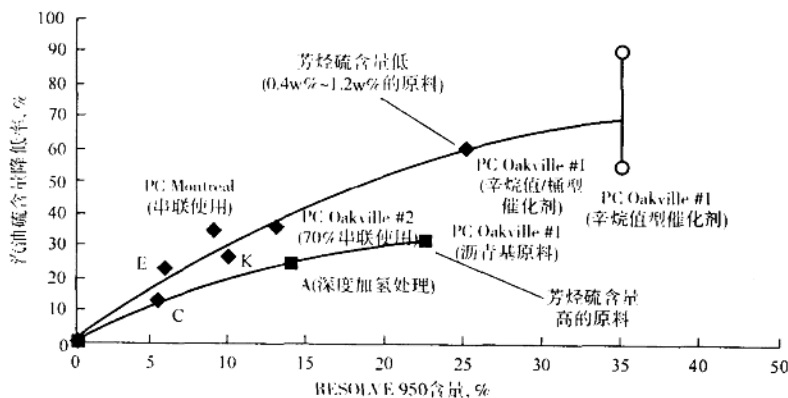


图 2 炼油厂使用 Resolve 950 助剂汽油降硫情况

InterCat 公司开发了系列降硫助剂 LGS。据介绍 LGS-300 和 LGS-500 可降低催化裂化汽油硫含量约 40%。Albemarle 公司推出的 Resolve 系列降硫助剂 Resolve-700, 750, 800, 850 和 950 等,当添加量达到 35% 时,催化裂化汽油硫含量可降低 50% ~ 90%,再生烟气排放的 SO_x 可降低 99% 以上。

我国近几年有关催化裂化各种助剂的开发成果也很多,如 LPEC 开发的 LDS-S1 催化裂化汽油脱硫助剂,由改性 REY 分子筛、改性载体和粘结剂三部分组成,经中国石化扬子石化股份公司和沧州分公司及中原油田分公司石化总厂应用,在其占藏量 10% 时,催化裂化汽油硫含量降低 25% ~ 35%。在此期间,中国石化长岭分公司还使用了 JSRS-1,中国石化九江分公司和石家庄炼化股份公司使用 TS-01,沧州分公司使用 KH-DSP,广州分公司使用 WSZ-2021 等降硫助剂也取得了一定效果。

多产丙烯的助剂也受到广泛重视。Grace Davison 公司为此开发了一种模型,可以算出使用其 Olefins Max 和 Olefins Ultra 助

剂的效益。Olefins Ultra 已在 19 套催化裂化装置上使用,丙烯产率达到 9% ~ 10%。如对湿气压缩机和产品回收系统作适当改造,丙烯产率可以达到 15% ~ 20%。Engelhard 公司在 DMS 技术平台上,开发了最大化生产丙烯的催化裂化成套技术,据讲已在 100 多套工业装置上应用。最近又开发了两个可获得更高丙烯产率的技术,即最大化生产丙烯的助剂 MDA 和最大化生产丙烯的解决方案 MPS。福建炼化有限公司曾采用 InterCat 公司推荐的 ZCAT-HP 增产丙烯助剂,当加入量占系统藏量 2.4% 时,丙烯收率提高了 0.83 个百分点,液化气收率提高 1.53 个百分点。

RIPP 在 MP031 第一代提高催化裂化液化气中丙烯浓度助剂的基础上,对活性组元 ZSP 沸石进行改性,并研制了新的改性基质材料,开发出第二代增产丙烯助剂 MP051。经石家庄炼化股份公司工业试用,与使用 CHO-3 辛烷值助剂相比,液化气中丙烯浓度提高了 5.89 个百分点,液化石油气产率增加 1.54 个百分点,丙烯产率增加 1.34 个百