



Technical Progress in  
**Refining and  
Petrochemical Industry**

■ 洪定一 主编

# 炼油与石化 工业技术进展

(2011)

中国石化出版社

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

# 炼油与石化工业技术进展 (2011)

洪定一 主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书以专题形式,按当前的热点问题分为综述、炼油工艺与产品、化工工艺与产品、三剂、装备技术、装置运行与管理、安全与环保、节能减排等八个栏目。全书收录有代表性的文章 100 多篇,由中国石化、中国石油、中国海油等公司所属炼化企业、研究院所和国内其他石油化工相关企业事业单位的 200 多位专家和工程技术人员撰写。

这些文章具有紧密联系企业生产实际,涉及众多当前炼化行业所关注的热点、难点问题的特点,对炼化企业从事生产经营和管理,以及科学研究的技术人员和管理人员有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

炼油与石化工业技术进展. 2011 / 洪定一主编.  
—北京:中国石化出版社, 2011. 4  
ISBN 978-7-5114-0838-9

I. ①炼… II. ①洪… III. ①石油炼制-文集②石油  
化学工业-技术革新-中国-文集 IV. ①TE62-53  
②F426.22-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 042070 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

\*

889 × 1194 毫米 16 开本 39.75 印张 20 彩插 1134 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定价:130.00 元

# 《炼油与石化工业技术进展》

## 编 委 会

### 技术顾问:

徐承恩 中国工程院院士

胡永康 中国工程院院士

### 主 编:

洪定一 中国化工学会秘书长、原中国石化股份公司科技开发部主任

### 编 委: (排名不分先后)

周世民 中国石油炼油与化工分公司副总经理

胡 杰 中国石油炼油与化工分公司总工程师

王玉庆 中国石化科技开发部副主任

陈尧焕 中国石化炼油事业部副主任

项汉银 中国石化化工事业部副主任

李 宁 中海石油气电集团常务副总经理

李志国 中国化工集团油气总公司总工程师

龙 军 中国石化石油化工科学研究院院长

方向晨 中国石化抚顺石油化工研究院院长

顾松园 中国石化上海石油化工研究院院长

张海峰 中国石化安全工程研究院院长

胡徐腾 中国石油石油化工研究院副院长

赵 江 中国石化润滑油分公司副总经理

韩剑敏 中国石化海南炼化分公司副总经理

覃伟中 中国石化九江分公司总经理

梁永超 中国石化广州分公司副总工程师

朱喜龙 中国石油黑龙江石油公司党委书记

吴 青 中海石油惠州炼化公司总工程师

山红红 中国石油大学(华东)校长

王子康 中国石化出版社社长

## 编者的话

2010年,我国经济成功摆脱了国际金融危机的后续影响,实现了“平稳较快发展”的预期目标,全年GDP同比增长10.3%;宏观经济的恢复性增长也促进了我国炼油与石化工业的增速加快,全国炼油和石化工业规模排位稳居全球第二,化工产值甚至直逼美国。

石油炼制方面,2010年我国原油加工总能力达到5.04亿吨/年,新增炼油能力约3000万吨;原油加工量全年实现4.23亿吨,同比增长13.4%,其中加工国产原油2亿吨,加工进口原油2.39亿吨;净进口原油同比增长17.4%,原油进口依存度达到53.4%;全年生产成品油2.53亿吨,增长10%,其中汽油、喷气燃料和柴油产量分别为7675万吨、1706万吨和1.59亿吨,成品油清洁化程度进一步提高,满足了全国范围强制实行的国Ⅲ汽油标准;生产燃料油2115.4万吨,同比增长11.6%;石脑油产量2527.3万吨,同比大幅增长44.3%;全国炼油装置平均开工率为83%,较2009年提高4.6个百分点,其中两大集团开工率相对较高,平均为92%~95%,地方炼油企业开工率不足40%。中国石化2010年加工原油2.11亿吨,同比增长13.2%;生产成品油1.24亿吨,同比增长9.4%;在世界财富企业500强排名中首次进入第5位,并获第24届美国哈特能源颁发的“国际炼油公司卓越奖”。

石油化工方面,首先是2010年我国乙烯总产能创历史新高,达到了1512.5万吨/年,产量为1418.8万吨,增长31.7%;当量消费量约2600万吨,国内自给率有较大提高,达到54%~55%。中国石化生产乙烯905.9万吨,同比增长34.9%;新建的天津、镇海两套100万吨/年大型乙烯装置当年先后投产并成功转入商业运行。

其次是2010年我国芳烃生产能力也有明显增长,截至2010年底,纯苯产能为1029万吨/年,其中石油苯795万吨/年、焦油苯250~300万吨;纯苯产量达到553.1万吨,增长18.7%;甲苯产能为467万吨/年(石油甲苯约387万吨/年);对二甲苯产能802.6万吨/年,产量为532万吨,国内PX的自给率不高,为61.6%。

再次是2010年我国三大合成材料产量大幅增长。一是合成树脂产量达到4361万吨,同比增长18.3%;表观消费量达到7136万吨,自给率从“十五”末的50.2%提高到61.1%;合成树脂中的五大通用合成树脂产量达到3652万吨,自给率已达到71%,其中聚乙烯和聚丙烯产量分别为1033万吨和921万吨,同比分别增长27.1%和12.2%;PVC树脂产量1130.1万吨,同比增长23.4%;ABS树脂产量约188万吨,同比增长约5.4%;PS树脂产量380万吨,同比增长14.6%。2010年中国石化的合成树脂产量为1294.9万吨。二是我国合成橡胶产能达到246.9万吨/年,产量230万吨,表观消费量349万吨,进口量138.2万吨;中国石化生产合成橡胶96.7万吨。三是我

国合成纤维单体产量达到 1373.8 万吨，增长 17.3%；中国石化生产合成纤维单体及聚合物 886.4 万吨。

此外，全国煤化工发展迅速，甲醇产量达到 1574.3 万吨，增长 26.2%；现代煤化工示范项目取得重要进展，世界首套神华 108 万吨/年煤直接制油工业示范装置和神华 60 万吨/年煤制烯烃(DMTO)工业示范装置均建成并投入稳定示范运行。

我国石油内需消费和石油化工生产能力的增长继续引领着全球石化产业的繁荣，据 2010 年底发布的《BP 世界能源统计》数据，2010 年全球石油消费量达到 40.28 亿吨，同比增长 3.1%；据美国《油气杂志》2010 年底发布的炼油厂调查报告，2010 年全球拥有炼油厂 661 座，总加工能力从 2009 年的 43.6 亿吨/年增长到 44.1 亿吨/年，增加了 5000 万吨/年；据美国《油气杂志》2011 年 7 月统计，2010 年世界乙烯生产能力达到 1.3846 亿吨/年，比上年增加了 678 万吨/年；其中中国增加 244.5 万吨/年的乙烯产能。

2010 年，我国石油化工产业集中度进一步提高，千万吨以上炼化基地已达 19 个，约占总能力的 46%；全国 29 套乙烯装置平均规模提高至 54 万吨/年，已接近世界乙烯装置平均规模水平(55 万吨/年)。

在炼油与石化工业技术开发方面，一批新型催化剂、清洁汽油柴油生产技术、大型催化重整成套技术及大芳烃技术、沸腾床加氢处理技术、设备大型化、分子炼油、炼化一体化方面炼厂副产干气提浓化工利用技术、橡胶用环保填充油、炼厂型 IGCC、大型乙烯裂解炉、大型环管聚丙烯装置、大型气相聚乙烯装置等一批新技术开发取得重要进展，不少已成功投入工业运行。2010 年，我国炼油和石化工业践行“低碳经济”理念，装置节能技术推广应用力度达到加大。以中国石化为例，2010 年炼油板块万元产值综合能耗为 0.34 吨标煤，比上年下降 5.86%；炼油综合能耗 58.25 千克标油/吨，比上年降低 5.04%；化工板块万元产值综合能耗为 1.62 吨标煤，比上年下降 3.33%；乙烯装置燃动能耗 609.28 千克标油/吨，比上年下降 2.14%；镇海炼化、茂名石化的大型炼厂燃动能耗保持了 53 千克标油/吨原油的亚洲先进水平；大型乙烯装置燃动能耗又有进步，茂名石化等几套百万吨级乙烯装置燃动能耗均低于 600 千克标油/吨。此外，FCC 装置和自备电厂锅炉烟气脱硫进入实施阶段，尤其是对那些地处大城市周边的炼化企业，因事关企业生存大计，纷纷先行一步加以实施。

为了及时反映我国炼油与石化工业最新技术进展，集中展现我国炼油与石化行业近年来的技术进步成果，进一步加快我国炼化技术可持续发展步伐，同时为炼化企业科技和管理人员提供一个技术与管理经验交流平台，我社在已成功出版发行《炼油与石化工业技术进展》(2009、2010)的基础上，汇编出版了《炼油与石化工业技术进展》(2011)一书。

本书以专题形式，按当前的热点问题分为综述、炼油工艺与产品、化工工艺与产品、三剂、装备技术、装置运行与管理、安全与环保、节能减排等八个栏目。全书收录有代表性的文章 100 多篇，由中国石化、中国石油、中国海油等公司所属炼化企业、科研院所和国内其他石油化工相关企业事业单位的 200 多位专家和工程技术人员撰写。

这些文章具有紧密联系企业生产实际，涉及众多当前炼化行业所关注的热点、难点问题特点，对炼化企业从事生产经营和管理，以及科学研究的技术人员和管理人员有重要的参考价值。

为了加强对本书编写组织工作的领导，提高本书收录论文的水平，我们邀请了徐承恩、胡永康两位院士担任技术顾问，由中国化工学会秘书长、原中国石化股份公司科技开发部主任洪定一担任主编，中国石化、中国石油、中国海油等单位技术部门的有关负责人担任编委，同时特邀部分炼化企业和相关单位的技术负责人担任特邀编委。在此，谨向他们以及众多关心支持本书出版的各级领导和同志们表示衷心感谢！

按照本书的编制原则，我们将在2012年继续组织本书新版的编写出版工作。主要收录三方面的文章：一是围绕炼油化工企业关心的热点问题，如高硫、含酸原油加工、劣质重油轻质化、清洁油品生产、炼化一体化、煤油化一体化、大型化装置运行、节能减排、炼厂供氢与热电联产、分子炼油理念与实践以及石油化工型企业向国际一流能源化工型企业转变等；二是芳烃技术(含重整、抽提、歧化、异构化、吸附分离等单元)进展；三是石化补充资源新技术进展，如煤气化制氢、煤制油、煤制天然气、甲醇制烯烃、生物柴油、煤制芳烃及煤制乙醇等。

欢迎广大炼化企业、科研院所以及相关单位的科技人员、管理人员积极关注和支持，同时我们也会逐步扩大征稿范围，吸收更多炼油和化工企业的从业人员和相关大专院校专家、学者的优秀论文和科研成果，并注意适当引入国外先进技术和成果。我们真诚地期望，本书能够起到有利于为国内炼油和石油化工企业、科研设计单位搭起一座互相沟通交流的桥梁，为推进我国炼油与石化工业行业的技术发展和迈向国际一流起到积极的作用。

洪定一

二〇一一年八月十九日

## 综 述

我国加氢裂化技术的现状与发展 .....	胡永康( 3 )	
石化行业节能减排分析与展望 .....	边钢月 张福琴( 13 )	
惠州炼油项目——世界级炼厂的典范 .....	侯凯锋 袁忠勋 陈 淳( 18 )	
国内外污水排放标准综述 .....	梁 洁( 24 )	

## 炼油工艺与产品

SRCA 生物柴油新工艺的研究与开发 .....	杜泽学 王海京 闵恩泽( 37 )	
柴油加氢装置 MCI 技术工业实验总结 .....	姚立松( 46 )	
加氢技术在专用柴油生产上的工业应用 .....	周洪波 彭 斌( 52 )	
多周期 PIMS 在炼油厂开工方案模拟中的应用探讨 .....	解增忠 魏 杰( 55 )	
炼油企业级 PIMS 模型应用研究 .....	杨明诗( 60 )	
超低硫汽油生产——S-Zorb 技术的新进展 .....	王明哲 梁凤印( 67 )	
S-Zorb 装置与 MTBE 装置热联合节能分析及 Aspen 模拟优化效果 .....	胡 伟 刘加伟( 74 )	
催化汽油选择性加氢技术综述 .....	张志雄( 78 )	
FDFCC - III 工艺技术在荆门的工业应用 .....	王继平( 85 )	
在线清焦技术的应用与发展 .....	王义锋 寇 亮( 93 )	
延迟焦化装置主分馏塔工艺模拟 .....	党建军( 99 )	
加工焦化蜡油对催化带来的影响及对策 .....	蔡开鹏( 104 )	
浅析反应温度对催化裂化的影响 .....	罗 鹏( 112 )	
原油脱盐脱水及原油破乳剂进展 .....	康伟清( 115 )	
减压深拔与炼厂重油平衡 .....	钟湘生 雷 平 郭守学( 120 )	
催化重油抽提装置设备结焦成因及对策 .....	王 琤 史献章( 125 )	
渣油加氢单系列硫化换热工艺计算与改进 .....	姚立松 焦庆立 李玉州( 130 )	
汽油脱硫醇装置尾气排放膜法回收工艺 .....	谢炳军 韩洪亮 侯志孝 张敦荣 聂普选( 134 )	
柴油碱渣液脱油方式探讨 .....	顾秀红 谷冬梅 潘 卫( 138 )	
溶剂脱沥青装置脱油沥青提黏技术方案的选择 .....	罗勤高( 141 )	
一种适用于炼化一体化企业的原油分类方法 .....	唐未庆( 147 )	
论述气相色谱分析催化裂化烟气的缺陷及优化 .....	王岐智( 154 )	
二维色谱法测定石脑油中 MTBE 含量 .....	程业华 于 林( 157 )	
天津炼油厂催化裂化装置生产清洁汽油的十年历程 .....	谭兴利 白云波 周晓龙( 162 )	



加权分析在原油计量分析的应用 ..... 燕 琳(167)

## 化工工艺与产品

聚醚多元醇和聚合物多元醇生产技术进展 .....	尹 枫 丁炳海 李茂元(173)
加氢尾油作为乙烯裂解原料的运行分析 .....	罗艺锋 王 锋(181)
橡胶对本体法 ABS 产品性能的影响 .....	张 源(188)
氨汽提塔的控制及对系统的影响 .....	李中杰(192)
尿素中压尾气放空 NH <sub>3</sub> 含量高的问题剖析 .....	万朝阳(196)
壳牌粉煤气化高浓度 CO 变换技术进展 .....	许仁春(201)
二氧化碳汽提法和氨汽提法尿素深度水解工艺比较 .....	万朝阳(205)
尿素装置高压甲铵泵停运系统安全运行分析 .....	史长友(210)
由乙烯装置副产物生产石油树脂的分析与探讨 .....	王 玺(214)

## 三 剂

Y 型沸石分子筛研究进展 .....	张杰潇(223)
高轻油收率重油裂化催化剂的开发与应用 .....	周灵萍 田辉平 高永灿 杨轶男 陈蓓艳 许明德 张蔚琳(228)
PS - VII 型连续重整催化剂的开发与工业应用 .....	马爱增 潘锦程 杨森年(234)
超低硫柴油润滑添加剂的应用研究 .....	蔺建民 黄燕民(242)
LSH - O <sub>2</sub> 低温硫磺尾气加氢催化剂及工业应用 .....	刘爱华 刘剑利 陶卫东(250)
不同加工过程的新型脱硫剂的开发研究 .....	周忠国 许晓斌 许金山 林 健(256)
加氢处理催化剂失活模型的建立与研究 .....	姚立松 穆海涛 王焕礼(261)
重整 PRT - C/D 催化剂的器外再生 .....	周洪波(267)
金的添加对 Pd/C 催化剂及其对醛基苯甲酸加氢性能的影响 .....	肖忠斌 朱小丽 孙广斌 畅延青(272)
脱乙基型 C <sub>8</sub> 芳烃异构化催化剂研发及工业应用 .....	刘中勋 周震寰 赵 斌 阮 迟 梁战桥 顾昊辉 吴 巍(276)
CN - DTS 馏分油多功能脱硫剂研制及性能评价 .....	姜立辉 夏长斌 洪 华 官海清 陶文良 张 锋(287)

## 装备技术

无级气量调节技术在连续重整氢增压机中的应用 .....	施瑞丰(293)
激波吹灰器在催化装置余热锅炉上的应用及维护 .....	潘先锋(300)
磁力泵在石油化工行业的应用 .....	孙泰然(306)
脉冲电脱盐技术在荆门分公司 2# 常减压装置的应用 .....	沈 伟(311)
硫磺装置电子秤技术问题和改造措施 .....	巫建东(319)
制氢装置换热器膨胀节开裂原因分析 .....	方 友 刘建华 赵 地(325)

无副线调节阀定位器在线维修更换 .....	王少勇	藏宝良	田振松(329)
进线母联加装防止非同期并网装置 .....	张存寿	杜静萍	(332)
应用流程模拟技术提高常减压蒸馏拔出率 .....	赵刚云		(335)
催化主风机-烟机能量回收机组工况分析 .....	方立定	易拥军	(340)
水煤浆叶轮给煤机电气控制改进 .....	周政		(348)
WOODWARD505 控制器和 DCS 结合控制在催化主风机组的应用 .....	袁国利		(352)
油浆拔头减压塔底泵故障分析及处理 .....	徐懿仁		(356)
蒸汽动力系统操作优化及应用 .....	徐燕平		(360)
焦炭塔 $\gamma$ 射线料位计移位改造与模拟焦高技术应用 .....	陈微	邹圣武	(365)
红外成像诊断技术在电气设备故障检测中的应用 .....	徐皓		(370)
供暖热水系统改造及泵振动故障处理 .....	朱斌		(374)
气相色谱法测定炼油大气中总烃 .....	肖慧鹰		(379)
利用 APC 先进控制, 优化装置生产运行, 提高经济技术指标 .....	李保军		(382)
MES 在石油化工企业中的应用 .....	罗小菁		(391)
NEUMAG(BALTIC520) 卷曲机传动系统设计缺陷原因分析及改进 .....	彭乾冰	蓝庆友	梁春喜(396)
PET 终聚釜减速机轴角位移异常分析及处理 .....	江广军		(400)
短丝装置控制桶底丝的工艺探讨 .....	郎坤		(403)
石化装置离心式压缩机反转的分析及对策 .....	董玉波		(408)
工业管线保温效果检测与评价方法的优化 .....	孙全胜		(415)

## 装置运行与管理

沿海炼油厂原油调度优化 PPIMS 模型应用探讨 .....	王发亮	解增忠	(421)
催化重整装置催化剂再生单元跑剂的处理及改进措施 .....	梁江华		(427)
减压渣油性质变化对延迟焦化装置的影响及解决措施 .....	张国相		(432)
中海油惠炼 1 万吨/a 废酸再生装置介绍 .....	王永娟	魏松源	(437)
泉州石化 1200 万吨/a 常减压蒸馏装置减顶抽真空系统分析 .....	谢辉	崔笑	牟银慧(441)
气量无级调节在柴油加氢新氢压缩机的应用 .....	杨铁铸		(447)
自产及外购蒸汽的小型常减压装置换热流程分析与改进 .....	陈新国	陈清林	张冰剑(451)
非制硫尾气进入焚烧炉时存在的问题及措施 .....	兰敏		(457)
制氢装置紧急停工和迅速恢复遇到的问题及解决方案 .....	方友	张兆天	(462)
顺序输送工艺在西部原油管道上的应用 .....	张勇		(466)
油雾润滑系统在机泵润滑上的应用 .....	刘世超		(472)
乙烯裂解炉翅片管腐蚀穿孔失效原因分析 .....	位卫卫		(476)
循环水系统物料泄漏分析与处理措施 .....	张文生	李全国	(480)
统计分析在催化烧焦中的应用 .....	袁祎		(484)
焦化装置冷切焦水系统运行分析及优化改造 .....	李平阳	邹圣武	(488)
一个设计周期的石化企业反应炉管状态分析 .....	张锦红	丁晓非	展益彬(495)

## 安全环保

强化源头管理, 改善污水水质 .....	吕三雕(501)
液氨罐泄漏事故环境风险分析 .....	吴任宇(505)
RFCC 烟气脱硫除尘装置运行效果分析 .....	潘全旺 全明 陈昕(513)
A/O(缺氧/好氧)工艺在氧化曝气池上的应用 .....	吕三雕(520)
陶瓷膜除油除铁技术在炼厂凝结水回用中的工业应用 .....	王瑞群(525)
紫外线杀菌技术在石油化工工业水中的应用探讨 .....	王玉祥(531)
环保监测分析仪的水干扰与补偿研究 .....	袁俊 方培基 马安希 刘剑(535)
关于沉淀池加盖系统的探讨 .....	顾建 刘琴琴(539)
浅谈炼化企业防火安全管理 .....	方莹 陈硕(544)

## 节能减排

浅析石化企业电气节能技术 .....	张建民 刘园(549)
超声波防除垢技术在催化装置换热器的节能应用 .....	张蔚 印子浩 付春辉 程钰 杨永杰 姚磊 陈灵(555)
连续重整装置流程模拟及优化 .....	袁淑华(561)
金陵 185 万吨/a 延迟焦化扩容及节能技术改造运行总结 .....	徐宝平(568)
低温低压操作在 55 万吨/a 气分装置的实施 .....	徐福滨 张晓辉(574)
烷基苯联合装置节能改造产品能耗大幅下降 .....	王丽 孙国兰(584)
185 万吨/a 延迟焦化扩产与用能优化改进 .....	孙柏军(589)
微油点火技术在煤粉锅炉的应用及节能效果分析 .....	孔祥思(595)
火炬系统的优化操作 .....	钟湘生 陈文武(600)
溴化锂制冷技术在低温热回收利用中的应用 .....	李平阳(606)
统计分析方法在炼油企业节能管理中的应用 .....	李利(611)
抓技术进步促节水减排 .....	王丽(618)
蒸汽冷凝水回收利用分析与实践 .....	范雨强(622)

# 综 述



# 我国加氢裂化技术的现状与发展

胡永康

(中国石化抚顺石油化工研究院, 辽宁抚顺 113001)

**摘要:** 本文重点阐述我国加氢裂化技术的现状与发展情况。

**关键词:** 加氢裂化 现状 发展

## 1 加氢裂化技术

加氢裂化技术是原料油在较高氢压及催化剂存在下进行加氢、脱硫、脱氮、分子骨架结构重排和裂解等反应的一种催化转化过程。它具有原料适应性强, 生产方案灵活性大、产品质量好等特点, 因而已成为高硫重油轻质化, 清洁化深度加工的重要工艺技术之一。

2008 年全球加氢裂化装置能力占原油加工能力的 6.0%, 较 1992 年提高了 2.3 个百分点。截至 2009 年底, 我国已建成高中压加氢裂化装置共 30 余套, 总加工能力近 4600 万吨/a, 约占原油加工能力的 9.4%, 较 2003 年提高了 2.2 个百分点。

## 2 加氢裂化工艺

### 2.1 单段加氢裂化

单段串联加氢裂化工艺流程至少需要采用两个反应器, 第一个反应器装填加氢精制催化剂, 反应物料首先在该反应器内进行加氢脱硫、脱氮、烯烃饱和及芳烃部分饱和等反应; 第二个反应器装填含沸石分子筛的加氢裂化催化剂, 对在第一个反应器中已将氮含量脱除到一定范围的物料进行加氢裂化反应。反应器间无冷却, 汽提和再加热等中间段, 而且所有反应器均采用通用的循环氢系统, 如图 1 所示。

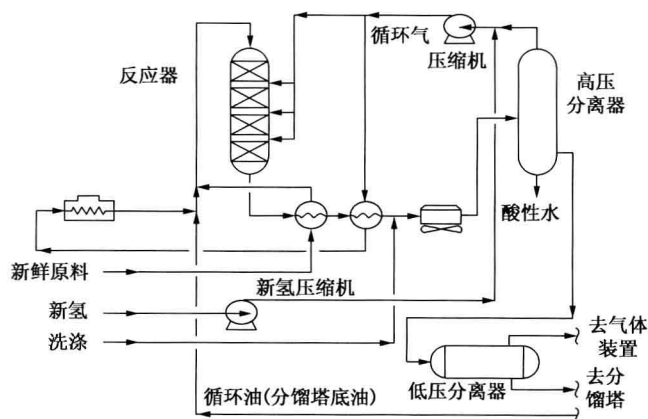


图 1 单段加氢裂化示意图

### 2.2 单段串联加氢裂化

单段串联加氢裂化工艺流程至少需要采用两个反应器。第一个反应器装填加氢精制催化剂, 反应物料首先在该反应器内进行加氢脱硫、脱氮、烯烃饱和及芳烃部分饱和等反应; 第二个反应器装填含沸石分子筛的加氢裂化催化剂, 对在第一个反应器中已将氮含量脱除到一定范围的物料进行加

氢裂化反应。反应器间无冷却、汽提和再加热等中间段，而且所有反应器均采用通用的循环氢系统，如图 2 所示。

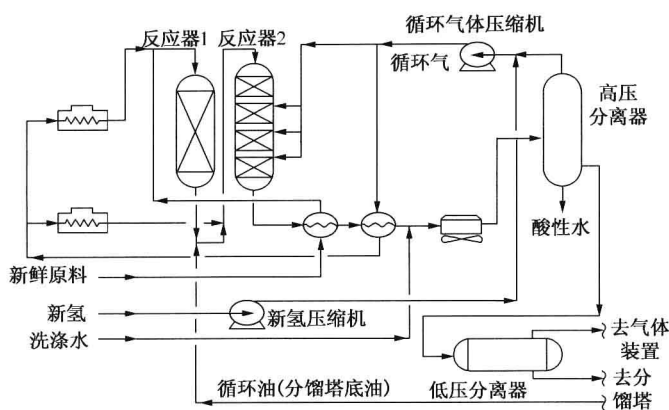


图 2 单段串联加氢裂化示意图

### 2.3 两段加氢裂化

两段加氢裂化流程包括两个独立的裂化反应段，第一段可以采用单段流程也可以采用单段串联流程。第一段和第二段裂化反应器既可以装填含分子筛催化剂，也可以装填无定型催化剂；既可以装填相同催化剂，也可以装填不同催化剂。两段采用共同的分馏系统，从分馏塔来的循环油直接进入第二段裂化反应器，如图 3 所示。

### 2.4 单段反序加氢裂化

近年来，CLG 公司在其原有的单段一次通过 (SSOT)、单段循环 (SSREC) 和两段 (TSR) 加氢裂化工艺技术的基础上，又推出了优化部分转化 (Optimized Partial Conversion)、分步进料 (Split - Feed Injection)、单段反序串联全转化 (Single - Stage Reaction Sequenced, SSRS)、ISOFLEX 等加氢裂化新工艺。其中，单段反序串联全转化加氢裂化工艺技术 (SSRS) 已首次在我国大连西太平洋石油化工有限公司工业应用成功。

单段反序串联全转化 (SSRS) 加氢裂化工艺如图 4 所示，它与两段加氢裂化工艺的比较见表 1。

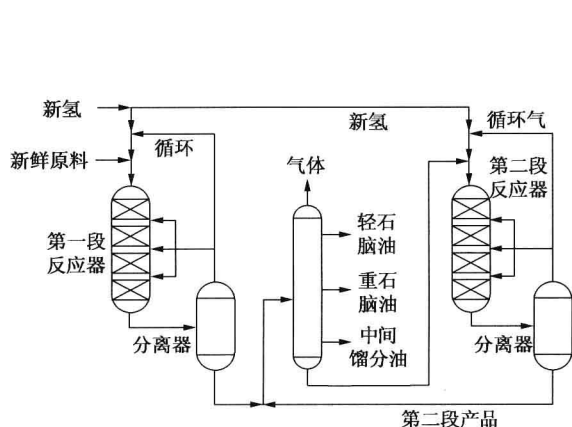


图 3 两段加氢裂化

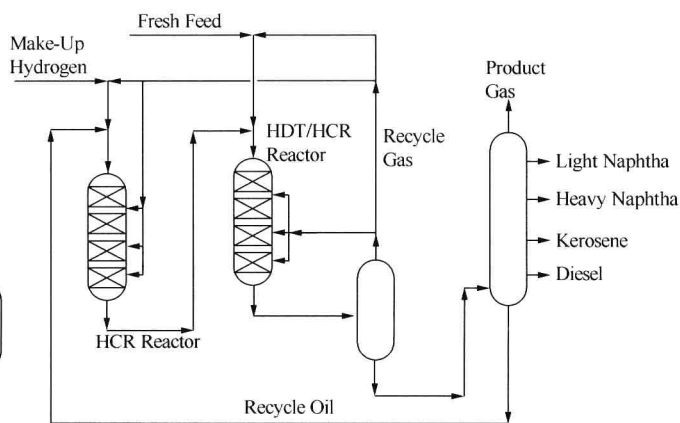


图 4 单段反序串联全转化 (SSRS) 加氢裂化工艺

该工艺特点是将第二段反应器置于第一段反应器的上游，由于把裂化反应器中未被利用的氢气做为补充氢在精制反应器中二次利用，可降低循环氢总量；同时，由于裂化反应流出物全部进入精

制反应器中降低了急冷氢的需求量，显著降低了循环氢压缩机负荷和高压换热器的换热面积，从而降低投资。

表 1 SSRS 和 TSR 的比较

工艺类型	TSR	SSRS
一段冷氢需要量	基准	基准 × 40%
循环氢压缩机排气量	基准	基准 × 70%
高压加热炉的数量	两台	一台
总投资	基准	低于基准

### 3 加氢裂化预处理催化剂

加氢裂化技术的核心是催化剂，包括预处理催化剂和裂化催化剂。其中加氢裂化预处理催化剂的主要作用是：加氢脱除原料中的硫、氮、氧和重金属等杂质以及烯烃的加氢饱和和多环芳烃的部分饱和。因为原料油中的氮化物尤其是碱性氮化物可以毒害裂化催化剂的酸中心，因此，加氢脱氮性能是衡量加氢裂化预处理催化剂的重要指标。

随着加氢裂化所加工原料范围拓宽、质量劣质程度增加，加氢裂化预精制催化剂更新换代的速度已明显加快。国外石油公司先后推出了一系列加氢裂化原料预处理催化剂。如 UOP 公司的 HC - P、HC - T 和 UF 系列催化剂，Criterion Catalysts & Technologies 公司的 DN - 200、DN - 3100、DN - 3120、DN - 3330 和 DN - 3551 系列 HDN 催化剂，和 Albemarle 公司(该公司兼并了荷兰 AKZO 公司的催化剂业务)的 KF - 846 和 KF - 848 催化剂。UF 系列，DN - 200，DN - 3551，DN - 3100，KF - 848 加氢裂化原料预处理催化剂已分别在中国石油大连石化分公司、独山子石化分公司、辽阳石化分公司和中海石油炼化有限责任公司惠州炼油分公司等企业施行工业应用。

#### 3.1 FRIPP 加氢裂化预处理催化剂的发展

抚顺石油化工研究院(FRIPP)加氢裂化预处理催化剂的主要物化性质如表 2 所示。

表 2 加氢裂化预处理催化剂的主要物化性质

催化剂牌号	形状	加氢组分	首次工业应用时间/a
3926	三叶草	W - Mo - Ni	1993
3936	三叶草	Mo - Ni	1995
CH - 20	三叶草	No - Ni	1997
3996	三叶草	Mo - Ni	2000
FF - 16	三叶草	Mo - Ni	2003
FF - 26	三叶草	Mo - Ni	2003
FF - 36	三叶草	Mo - Ni	2007
FF - 46	三叶草	Mo - Ni	2010
FH - FS	三叶草	W - Mo - Ni	2007

表 3 三种催化剂反应温度比较

催化剂	国外剂 - 48	FF - 36	FF - 46
反应温度 / °C	基准	基准 - 4°C 以上	基准 - 7°C 以上

注：\* 产品氮含量 5 ~ 10 μg/g。

如表 3 所示，FRIPP 近期研制的 FF - 46 催化剂，以伊朗 VGO 为原料油，在反应压力 14.7 MPa、氢油体积比 1000:1、体积空速 1.0 h<sup>-1</sup> 等条件下，FF - 46 催化剂的反应温度比 FF - 36 催化剂低 3°C，生成油氮含量(6.5 μg/g)远低于后者(12.0 μg/g)，表明 FF - 46 催化剂的脱氮活性好于国外剂 - 48 7°C 以上。

#### 3.2 RIPP 加氢裂化预处理催化剂的发展

中国石化石油化工科学研究院(RIPP)完成了精制段催化剂升级换代，开发出了新型蜡油加氢



处理催化剂 RN-32, 相对加氢脱氮性能较 RN-2 催化剂提高 20%~38%, 且芳烃加氢能力有明显提高, 达到相同的脱氮率时, RN-32 催化剂平均反应温度较 RN-2 催化剂降低 8~10℃。

## 4 加氢裂化催化剂

Criterion( Zeolyst) 催化剂公司生产的 Z 系列加氢裂化催化剂有用于精制段反应器底部的脱氮-缓和裂化型催化剂 Z-503 和 Z-513, 最大量生产馏分油型催化剂有 Z-603、Z-623 和 Z-673, 灵活生产石脑油-馏分油型催化剂有 Z-723、Z-3723、Z-5723、Z-733 和 Z-803, 选择性生产石脑油型催化剂有 Z-753、Z-853 和 Z-863。Criterion 催化剂公司生产的加氢裂化催化剂已先后在中国石油锦西石化分公司、独山子石化分公司和中海石油炼化有限责任公司惠州炼油分公司等企业工业应用。

### 4.1 UOP 公司开发的加氢裂化催化剂

UOP 公司推出的加氢裂化催化剂新产品主要包括石脑油型、灵活型、馏分油型和最大量生产柴油型四大类。其中 HC-115 和 DHC-32 馏分油型催化剂已在中国石油大连石化公司、钦州石化公司、辽阳石化分公司, 大港石化分公司、和长庆石化公司工业应用。

#### 4.1.1 最大量生产石脑油的轻油型催化剂

最大量生产石脑油的轻油型催化剂主要有: 20 世纪 70 年代的 HC-14; 80 年代的 HC-24; 新开发的 HC-170; 最新开发 HC-190。其中, 与 HC-14 相比, HC-24 采用全循环生产石脑油方案时, 反应温度降低 5.6~6.1℃, 液体收率和气体产率相当; 与 HC-24 相比, HC-170 采用 216℃ 全循环方案时, 反应温度高 1℃,  $C_5^+$  液体收率增加 1.6%,  $C_1 \sim C_5$  气体产率降低 1.6%, 氢耗降低 0.1%; 与 HC-24 相比, HC-190 采用 193℃ 全循环方案时, 反应温度降低 8℃,  $C_5^+$  液体收率增加 1.2%,  $C_1 \sim C_4$  气体产率降低 1.2%, 氢耗相当。采用轻油型 HC-190 催化剂和 LCO-Unicracking(催化柴油加氢改质联产清洁汽油) 工艺, 还可以在较常规加氢裂化低的压力下操作, 将低价值的催化循环油组分转化为高辛烷值汽油组分和超低硫高十六烷值清洁柴油调合组分。

#### 4.1.2 灵活型催化剂

20 世纪 90 年代开发的 HC-43 催化剂应用于原使用轻油型催化剂的加氢裂化装置以兼产中间馏分油。

最新开发的 HC-150 催化剂和 HC-43 相比, 反应温度降低 5℃, 氢耗、 $C_1 \sim C_4$  气体产率、 $C_5 \sim 85^\circ\text{C}$  轻石脑油和 85~130℃ 重石脑油产率分别降低 0.2%、0.2%、0.1% 和 0.8%, 而 130~288℃ 喷气燃料收率增加 1%。

#### 4.1.3 中油型催化剂

无定型催化剂: 20 世纪 80 年代的 DHC-8 催化剂是最大量生产柴油的中油型催化剂, 中油选择性好, 但起始反应温度较高。

分子筛催化剂: 用于最大量生产喷气燃料和柴油。它又包括: 20 世纪 90 年代 DHC-32、90 年代 DHC-39、近期开发 HC-115、近期开发 HC-215。与 DHC-8 相比, DHC-32 虽然中油收率(体积分数)低 3%, 但反应温度可降低 19.4℃; 与 DHC-32 使用性能相同, DHC-39 的价格较低; 和 DHC-8 相比, HC-115 反应温度降低 10℃, 中馏分收率相同, 柴油十六烷值增加 3 个单位, 未转化油 BNCI 值低 1 个单位, 是优质的乙烯原料和润滑油原料; 和 DHC-8 相比, HC-215 反应温度降低 8℃, 中馏分油收率增加 1.5%~2.5%。

50 多年来, 国内加氢裂化催化剂开发取得了飞跃进步, 已达到了可以根据特定用户的需要对催化剂进行“量体裁衣”的水平。

### 4.2 国内加氢裂化催化剂主要品种

国内加氢裂化催化剂主要品种见表 4。