

《石油炼制与化工》丛书

加氢技术

《石油炼制与化工》编辑部 编

中国石化出版社

《石油炼制与化工》丛书

加 氢 技 术

《石油炼制与化工》编辑部 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书收录了近年来有关加氢技术的部分优秀文章,以专题的形式对催化加氢、加氢精制、加氢裂化、临氢降凝工艺技术及其催化剂进行了较为系统的论述,集中反映了我国近年来加氢技术的发展历程。书中每一篇文章都是由多年从事科研、设计、生产及教学的专家、学者和技术人员撰写而成,具有较高的理论和实践水平,对科研、设计、生产有一定的指导作用。本书可供从事加氢领域的科研、设计、生产及管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

加氢技术/石油炼制与化工编辑部编. —北京:中国石化出版社,2000
(石油炼制与化工丛书)

ISBN 7-80043-907-0

I. 加… II. 石… III. 加氢-技术 IV. TQ511

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第00591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)84271859

<http://press.sinopec.com.cn>

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

787×1092毫米 16开本 36.75印张 940千字 印1—2000

2000年3月第1版 2000年3月第1次印刷

定价:70.00元

目 录

第一章 催化加氢

加工工艺

中压加氢改质技术的工业应用·····	3
中压加氢改质对原料油适应性的研究·····	8
中压加氢改质工艺的技术开发·····	14
重油生产优质发动机燃料和轻烯烃的新工艺·····	21
VRDS-FCC 组合工艺的开发·····	28
南阳减三线脱蜡油加蜡下油中压加氢处理生产高粘度指数润滑油·····	35
液化气加氢生产乙烯裂解料工艺条件的研究·····	42
RT-1 催化剂中压加氢处理技术的工业实践·····	45
高硫柴油加氢处理生产低硫、低芳烃柴油的研究·····	49
催化裂化柴油中压加氢改质 (MHUG) 的工业应用·····	54
加氢精制反应器中烃类轻度加氢裂化反应的研究·····	59
RG-1/RJW-2 微晶蜡一段串联加氢工艺的工业应用·····	63
催化加氢制取链烷烃稀释剂·····	71
含硫原油加工与加氢技术的应用·····	76
催化裂化原料加氢预处理技术的应用·····	82
重整抽余油催化加氢制优质溶剂油·····	87
大庆乙烯装置 C ₂ 加氢系统改造·····	91
催化裂化 C ₄ 、C ₅ 馏分中双烯烃的选择加氢·····	93
焦化蜡油加氢处理-催化裂化联合技术的开发·····	98
渣油加氢工艺在我国的应用·····	104
加氢装置扩能改造的技术探讨·····	110
中压加氢改质装置的设计与工程开发·····	115
润滑油加氢处理装置的设计及工业生产·····	121
渣油加氢反应器顶部催化剂结垢原因及防止措施·····	126

催化剂

α -MS 加氢催化剂的开发与研究·····	129
碳三液相加氢催化剂失活原因的分析及对策·····	134
RT-5 加氢改质催化剂抗氮稳定性研究·····	138

加氢处理催化剂和工艺的研究	142
F ⁻ 对 Ni-W/Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 催化剂宏观结构的影响	149
RT-1 单段加氢处理催化剂的性能及工业应用	152
顺丁烯二酸酐加氢制备 1, 4-丁二醇的铜基催化剂的失活与再生研究	159
渣油加氢脱金属催化剂初期失活的研究	164
NaAlO ₂ -CO ₂ 法制备拟薄水铝石规律的研究	169

第二章 加氢精制

加工工艺

固定床式渣油加氢脱硫技术的简介	179
RN-1 催化剂的应用及延长使用周期的经验	184
高含硫高金属高残炭常压渣油加氢脱硫方案对比	189
沙特阿拉伯混合原油馏分油加氢精制工艺研究	196
含硫原油的渣油 ARDS 与 VRDS 不同加工方案的技术经济比较	201
延迟焦化馏出油加氢精制的研究	208
加氢法生产高质量润滑油基础油	214
DCC 与 MIO 汽油馏分的选择性加氢	218
劣质原料生产低硫低凝柴油的工艺研究	224
轻柴油加氢生产低硫低芳烃铝材冷轧润滑剂基础油工艺条件的研究	228
柴油加氢精制装置的技术改造	233

催化剂

RJW-1 石蜡加氢精制催化剂的工业应用	238
RJW-1 石蜡加氢精制催化剂的稳定性研究	242
裂解汽油第二段加氢脱硫催化剂 8602B 的性能及其工业应用	247
FR-1 催化剂在石蜡加氢精制工业装置上的应用	253
KG-1 吸铁催化剂在加氢裂化装置中的应用	259
加氢精制催化剂预硫化工艺的研究	262
481-3 催化剂在大庆焦化汽油加氢精制中的应用	270
3673 润滑油加氢补充精制催化剂器内再生	273
3936 馏分油加氢精制催化剂的开发与应用	278
石脑油高空速加氢精制 RS-1 催化剂的性能	283
RN-1 加氢催化剂器内再生	288
新一代馏分油加氢精制催化剂 RN-10 的研制与开发	293
裂解汽油选择性加氢催化剂的研究	299
RS-1 加氢精制催化剂的工业应用	304

重油加氢脱氮催化剂的研制——载体氧化铝的 pH 摆动法制备	310
重油加氢脱氮催化剂的研制——钨镍磷催化剂的制备与评价	315
RDD-1 选择性加氢催化剂的工业应用	320
加氢精制催化剂 RN-10 的性能考察	324
选择性加氢催化剂评价方法的建立	329

第三章 加氢裂化

加工工艺

单段一次通过加氢裂化生产蒸汽裂解制乙烯的原料	337
加氢裂化原料中铁离子来源探讨	341
国产化加氢裂化装置生产技术分析	347
加氢裂化紧急泄压系统的试验和泄压孔板内径的理论计算	353
用工业废渣临氢处理孤岛减压渣油	360
加氢装置换热器积垢原因分析及防垢措施	365
加氢尾油作裂解原料的工艺参数对产品收率的影响	369
氢分压和氢油比对加氢裂化装置操作的影响	377
加氢裂化工艺联产多种产品的流程	380
加氢催化剂器外再生技术的开发	387
加氢裂化防垢剂的开发	391
用油溶性双金属催化剂加氢裂化处理辽河减压渣油	396
防垢剂在加氢裂化工业装置上的应用	400
消除生产“瓶颈”加氢裂化装置达标	403
面向 21 世纪的加氢裂化技术	408
对我国加氢裂化装置消除“瓶颈”的技术路线的看法和建议	421
渣油加氢裂化反应机理的研究	426

催化剂

轻油型加氢裂化催化剂 (3825) 的研制与工业应用	433
石脑油型加氢裂化催化剂的研制	440
高活性中压加氢裂化催化剂 3905 的性能与工业制备	447
加氢脱铁系列催化剂 3921、3922 和 3923 的研制	455
高压加氢裂化精制催化剂的应用研究	461
加氢裂化催化剂的预处理及评价	466
生产中间馏分油的 3824 加氢裂化催化剂性能及工业应用	473
高抗氮多产中间馏分油型加氢裂化催化剂 3976 的研制	481
渣油悬浮床加氢裂化水溶性催化剂的研究	486

钨层柱粘土加氢裂化催化剂及其特性·····	491
-----------------------	-----

第四章 临氢降凝

临氢降凝工艺技术的发展及应用·····	499
馏分油降凝在增产柴油中的作用·····	507
RDW-1 临氢降凝催化剂及工艺的工业应用 ·····	512
临氢工艺生产 25 号超高压变压器油 ·····	520
临氢降凝工艺的技术特点及发展趋势·····	522
含镍 HZSM-5/ Al_2O_3 催化剂的水蒸气处理行为 ·····	526

第五章 计算机应用

重油加氢装置动态仿真系统的集成·····	530
中压加氢改质装置动态数学模型的开发·····	535
催化裂化柴油深度加氢脱硫反应动力学模型的研究·····	543
分散型铁催化剂存在下孤岛渣油加氢裂化的七集总动力学模型·····	549
加氢裂化反应动力学模型的建立及参数拟合方法·····	555
加氢裂化工艺辅助操作与管理专家系统的开发与应用·····	562
产品集总加氢裂化动力学模型的研究及其在加氢裂化中的应用·····	567
重油加氢反应系统动态仿真数学模型的建立·····	573

第一章 催化加氢

中压加氢

中压加氢改质技术的工业应用

于海龙 李华明 徐国臣 唐信龙

(大庆石油化工总厂炼油厂)

1 前言

大庆石化总厂的重油催化裂化装置(加工能力为1Mt/a)已建成投产,但生产所得的轻质油质量还不够合理,必须进一步加氢改质。通过中压加氢改质技术,既可提高催化裂化柴油的质量又可生产出寒冷地区需要的低凝柴油,有助于缓解供需矛盾。

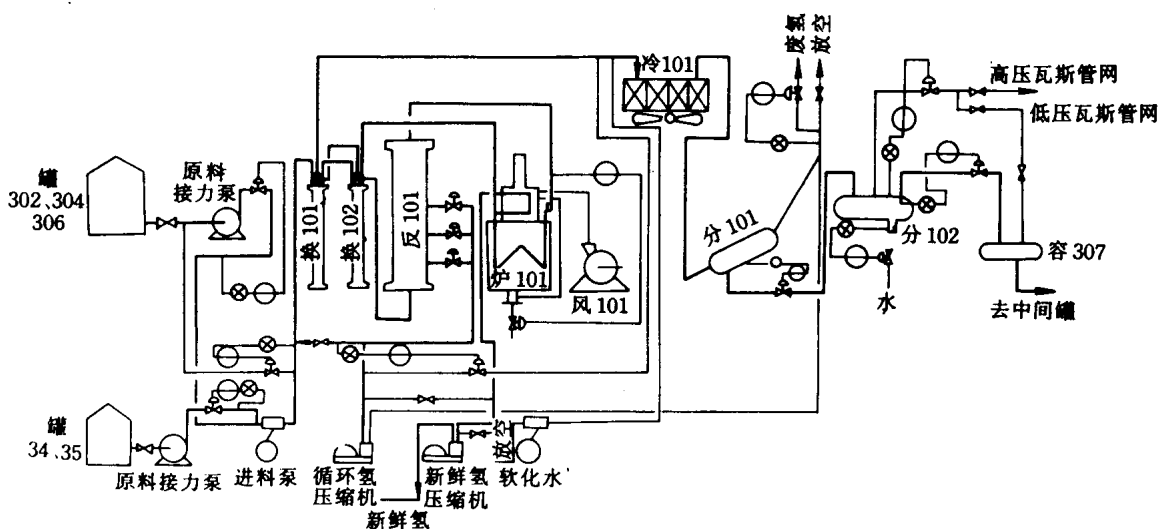


图1 大庆石化总厂MHUG工业应用装置的原则流程

石油化工科学研究院开发的RG-1/RN-1/RT-5一段串联一次通过的中压加氢改质技术(简称MHUG),通过由大庆石化总厂、洛阳石化工程公司和长岭炼油化工厂催化剂厂的共同努力,已在大庆石化总厂的120kt/a工业加氢装置上开车一次成功,运转良好。在此过程中,先后组织了3次标定,各项指标均达到了预期目标。在装置运转中充分体现产品结构方案的要求,使劣质原料油转化为优质产品。在生产低凝柴油的同时,还可得到优质的制乙烯原料和高芳烃含量的重石脑油。

2 工艺流程

大庆石化总厂120kt/a的加氢裂化装置(称I套装置)是60年代建设投产的,为适应

中压加氢改质工艺的需要,对冷氢系统及进料系统等进行了技术改造,原则流程见图1。工艺流程的特点是:

(1) 试验装置有1个内径为1.4m的冷壁反应器,加氢精制催化剂和加氢裂化催化剂分别装在同一反应器内, RG-1作为保护剂装在反应器顶部,装填比分别为:保护剂(RG-1)5.9%(体);加氢精制催化剂(RN-1)61.5%(体);加氢裂化催化剂(RT-5)32.6%(体)。实现了两剂串联一次通过的流程。

(2) 反应器有3个冷氢口,可以分别注入冷氢,以控制反应器内床层的温升。而且,与另一套加氢裂化装置(称Ⅱ套装置)共用1套分馏装置、1台新鲜氢压缩机和1台注水泵。

(3) 由于装置设备条件的限制,采用液相硫化及低氮油钝化的开工方案。

3 蜡油催化裂化柴油与直馏柴油混合原料油的MHUG工艺

大庆蜡油催化裂化柴油与常三、减一线油按1:1(质量比)混合作为原料油进行中压加氢改质,采用的工艺条件见表1。原料油和加氢生成油的性质见表2。加氢生成油分馏得到的各产品产率和理化性质见表3。

表1 蜡油催柴混合油的MHUG工艺条件

项 目	数 据
进料量/ $t \cdot h^{-1}$	11.28
$/m^3 \cdot h^{-1}$	13.3
催柴掺入量/%	52.8
反应器入口压力/MPa	8.5
反应器床层压差/MPa	0.10
精制段床层平均温度/ $^{\circ}C$	352
裂化段床层平均温度/ $^{\circ}C$	356.4
新鲜氢纯度/(%) (体)	94.4
循环氢纯度/(%) (体)	74.5
新鲜氢流量(标准状态)/ $m^3 \cdot h^{-1}$	2.512
循环氢流量(标准状态)/ $m^3 \cdot h^{-1}$	18480
冷氢流量/ m^3 (标准状态) $\cdot h^{-1}$	4723

表2 原料油和加氢生成油的性质

项 目	原料油	加氢生成油
密度($20^{\circ}C$)/ $g \cdot cm^{-3}$	0.8456	0.7787
硫含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	480	13
氮含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	127	<1
溴值/ $gBr \cdot (100g)^{-1}$	14.5	1.3
馏程/ $^{\circ}C$		
初馏点	198	54
50%	302	243
干点	>360	>360

表3 各产品的产率和理化性质

项 目	产率				项 目	理化性质			
	石脑油	-35号 低凝柴油	10号 柴油	尾油		石脑油	-35号 低凝柴油	10号 柴油	尾油
收率(对原料油)/%	20.57	42.78	20.48	13.33	馏程/ $^{\circ}C$				
密度($20^{\circ}C$)/ $g \cdot cm^{-3}$	0.6664	0.8039	0.8025	0.8057	初馏点	29	145	218	271
硫含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	6.9	8.2	4.0	5.7	50%	74	212	302	332
凝点/ $^{\circ}C$	—	-38	10	24	干点	171	302	348	>360
闪点(闭口)/ $^{\circ}C$	—	48	48	—	BMCI值	—	—	11.3	7.4
实际胶质/ $mg \cdot (100mL)^{-1}$	—	2.4	48.4	—	十六烷值	—	54	84	—

从表1~3可看出,对于蜡油催化裂化柴油混合油的中压加氢改质可以在较缓和的工艺条件下进行,并可得到-35号低凝柴油、制乙烯原料和高芳烃潜含量的重石脑油。

4 重油催化裂化柴油与直馏柴油混合原料的 MHUG 工艺

该装置还进行了重油催化裂化柴油混合油的标定。原料油为重油催化裂化柴油:常三、减一线油=1:1(质量比)。工艺条件见表4。原料油和加氢生成油的性质见表5。各产品的产率和主要理化性质见表6。从表4~6可看出,对于掺炼减压渣油的重油催化裂化柴油混合油通过中压加氢改质仍然可以得到收率为41.04%的-35号低凝柴油、收率为18.39%的高芳烃含量的重石脑油以及39.12%的制乙烯原料。

表4 重油催化裂化柴油混合油的 MHUG 工艺条件

项 目	数据
进料量/ $t \cdot h^{-1}$	13.80
$/m^3 \cdot h^{-1}$	16.2
反应器入口压力/MPa	8.67
反应器床层压差/MPa	0.23
精制段床层平均温度/ $^{\circ}C$	374.2
裂化段床层平均温度/ $^{\circ}C$	384.7
新鲜氢纯度/%(体)	92.4
循环氢纯度/%(体)	76.8
新鲜氢流量(标准状态)/ $m^3 \cdot h^{-1}$	3498
循环氢流量(标准状态)/ $m^3 \cdot h^{-1}$	22000
冷氢流量(标准状态)/ $m^3 \cdot h^{-1}$	4125

表5 原料油和加氢生成油的主要性质

项 目	原料油	加氢生成油
密度($20^{\circ}C$)/ $g \cdot cm^{-3}$	0.8520	0.7727
硫含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	773	4.1
氮含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	428	1.6
溴值/ $g Br \cdot (100g)^{-1}$	13.5	1.0
馏程/ $^{\circ}C$		
初馏点	190	31
50%	32.5	212
干点	416	354

表6 各产品的产率和主要物化性质

项 目	产率			项 目	性质		
	石脑油	-35号 低凝柴油	制乙烯料		石脑油	-35号 低凝柴油	制乙烯料
产率(对原料)/%	18.39	41.04	39.12	初馏点	38	147	261
产品性质				50%	100	216	320
密度($20^{\circ}C$)/ $g \cdot cm^{-3}$	0.7203	0.8169	0.8106	干点	175	286	>360
硫含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	1.6	<1.0	20	凝点/ $^{\circ}C$	—	-40	24
氮含量/ $\mu g \cdot g^{-1}$	<1		<1	闪点/ $^{\circ}C$	—	52	—
馏程/ $^{\circ}C$				实际胶质/ $mg \cdot (100mL)^{-1}$	—	1.2	—

5 催化剂工业运转的稳定性

该装置自开工以后,到1993年10月31日止,共运转8128h,累计加工原料油124.78kt(其中蜡油催化裂化柴油混合油42.665kt、重油催化裂化柴油14.83kt、常三线油+减一线油共67.285kt)。每吨加氢精制催化剂处理了原料油12.20kt,每吨加氢裂化催化剂处理了原料油25.21kt。

在重油催化裂化柴油混合油运转期间,反应转化率可维持在40%(体)左右,精制段床层平均温度为372~374 $^{\circ}C$,温升为0.028 $^{\circ}C/d$,裂化段床层平均温度为377~380 $^{\circ}C$,温升为0.037 $^{\circ}C/d$,液体收率大于98%,氢耗低于2.0%。

6 中试与工业应用结果的对比

在石油化工科学研究院的中试装置上进行了大庆重油催化裂化柴油混合油的MHUG工

艺研究,其中以性质相近的原料油生产低凝柴油和制乙烯原料的产品方案相同、转化率与工业应用试验相近的条件下,进行加氢改质试验的对比。工艺条件和加氢生成油组成变化的对比见表7。结果表明,中试与工业应用所得产品的分布及其组成变化均相近。

表7 中试与工业装置的工艺条件和加氢生成油组成的变化

项 目	中试	工业装置	项 目	中试	工业装置
工艺条件			氢油比	692	1242
高压分离器压力/MPa	6.20	6.30	加氢生成油		
精制段床层平均温度/℃	375.4	374.2	转化率/(%) (体)	41.2	40.1
裂化段床层平均温度/℃	383.1	384.7	总芳烃转化率/%	47.8	47.8
精制段体积空速/h ⁻¹	1.53	1.56	双环芳烃转化率/%	89.5	92.0
裂化段体积空速/h ⁻¹	2.88	2.95	三环芳烃转化率/%	100.0	100.0

7 经济效益

大庆石化总厂进行的MHUG工业试验表明,它既可解决重油催化裂化柴油的质量问题,生产出寒区所需的优质低凝柴油,提高了柴油的档次,又可提供优质的制乙烯原料和高芳烃潜含量的石脑油,改变了产品的结构,为“油化纤”综合利用提供了新的途径。中压加氢改质工艺具有较好的灵活性,随着工艺条件的改变,可以调整产品结构。该工艺要求的操作压力不高,为8MPa,操作方便,催化剂的活性和选择性均较好,并且节省能耗。

尽管目前工业试验装置的处理能力仅为120kt/a,但也取得了可观的经济效益。按中国石化总公司1993年3月21日发布的“国家统配油出厂价”计算,年创产值13312.8万元,扣除成本、操作费用等,该装置运转1年可获经济效益约2356万元。

8 结 论

8.1

MHUG工艺在大庆石化总厂实现了工业应用,获得装置开车一次成功。使用大庆蜡油催化裂化柴油与直馏馏分油混合油和掺炼渣油的催化裂化柴油与直馏馏分油混合油作为原料油,可生产得到产率约为40%的-35号低凝柴油、重石脑油(芳烃潜含量达54%),还可得到一定数量的制乙烯原料。通过工艺条件的改变,可调整产品结构方案,具有很好的灵活性。

8.2

RG-1/RN-1/RT-5催化剂的配伍使用,对催化裂化柴油与直馏馏分油的混合油进行中压加氢改质时可以在较低的反应温度下进行,催化剂的活性和选择性均较好。通过8000h以上的工业运转,精制段和裂化段的温升都较低,说明了MHUG工艺所使用的RG-1/RN-1/RT-5催化剂有很好的稳定性。

8.3

通过 1 年时间，在 120kt/a 工业装置上的运转，可年获经济效益约 2356 万元。如推广采用 MHUG 技术，则将产出更好的社会效益和经济效益。

中压加氢改质对原料油适应性的研究

张馨维 胡延秀 胡志海 孟宪评 石玉林

(石油化工科学研究院, 北京)

于海龙

(大庆石油化工总厂)

1 前言

随着重油催化裂化工艺的发展, 渣油掺入量的增加, 经济效益增长。但所生产得到的催化裂化柴油的芳烃含量增加, 十六烷值降低, 质量变劣。中间基油、环烷基油的催化裂化柴油(简称催柴)的芳烃含量也很高, 十六烷值很低和质量差。中压加氢改质开发, 首先是针对这些劣质催化裂化柴油的合理加工利用。

石油化工科学研究院对国内炼油厂的催化裂化柴油进行分析研究, 认为催化裂化柴油的十六烷值低主要是由于芳烃含量高。从表 1 数据看到, 随着芳烃含量增加, 双环芳烃的比例增加, 催化裂化柴油质量变劣。大港催化裂化柴油十六烷值小于 25, 双环芳烃与单环芳烃比例 1.46; 大庆渣油催化裂化柴油的双、单环芳烃比例达 2.50; 管输油随掺炼渣油的比例增加, 双单环芳烃比例也增加。加氢精制只能使大部分双环以上芳烃部分饱和或饱和为二环烷烃, 对催化裂化柴油的十六烷值不能有较大改进。

表 1 催化裂化柴油芳烃分析

项 目	辽河催化裂化柴油	大港催化裂化柴油	胜利催化裂化柴油	管输催化裂化柴油 (掺 12% 渣油)	管输催化裂化柴油 (掺 32% 渣油)	大庆渣油催化裂化柴油
总芳烃%	61.3	59.1	49.5	47.4	56.6	73.6
双单环芳烃比(质量比)	1.18	1.46	0.88	1.27	1.38	2.50

中压加氢改质技术使用加氢精制催化剂 RN-1 与加氢裂化催化剂 RT-5 相配伍, 使得劣质柴油中的双环以上芳烃充分地加氢饱和以及环烷烃开环裂化。由以上反应机理可以看到, 中压加氢改质技术不仅可以把劣质催化裂化柴油转化为优质柴油组分(包括低硫低芳烃柴油、低凝柴油等^[1]), 而且可以有多产高芳烃潜含量的重整原料方案, 多产乙烯原料及多产喷气燃料等各种产品方案。在考察 MHUG 技术对各种原料油的适应性的同时, 表明了 MHUG 技术的灵活性。

考虑到催化裂化柴油中烯烃含量较高, 为了在中压下有更长的运转周期, 在原料油中掺入一定量的常三、减一线直馏油的方法是很有好处的, 这种原料油称为催化裂化柴油混合油。对于直馏馏分油的掺入量以及馏程, 由各炼油厂的全厂物料平衡而定。

2 MHUG 工艺的原料油

为了说明 MHUG 工艺对各种催化裂化柴油混合油作为原料油方面的适应性, 表 2 中列

出了中试装置曾进行过的 28 种试验原料油中的部分原料油的性质。这些原料油从油种来源上包括国内所产的大庆、胜利、管输、辽河、中原、临盘、大港等几大主要原料油种类；从催化裂化柴油分类看，有蜡油催化裂化柴油、不同掺渣量的催化裂化柴油、掺丙烷脱沥青油及掺炼渣油的催化裂化柴油等；从直馏油看则馏程范围有轻有重，最高干点已达 500℃ 以上；催化裂化柴油混合油作为原料油的催化裂化柴油掺入量从 0~100%。催化裂化柴油混合油的质量变化范围是很大的，密度（20℃）从 0.84~0.93g/cm³，芳烃含量从 20%~70%，特别是干点从 340~510℃。这些数据都充分说明了 RN-1/RT-5 的 MHUG 工艺对各种原料油有很好的适应性，使用这些原料油进行 MHUG，均可以满足产品方案提出的要求。

表 2 MHUG 工艺试验用原料油主要理化性质

进料编号		B	C	D	E	F	I	J	K	O	P
混合比/%	催化裂化柴油	50	70	50	50	50	50	43.8	100	50	32.9
	直馏油	50	30	50	50	50	50	56.2	0	50	67.2
油品分析											
密度(20℃)/g·cm ⁻³		0.8705	0.8822	0.8750	0.8411	0.8853	0.8954	0.8903	0.9174	0.8922	0.8856
硫含量/μg·g ⁻¹		4018	4700	4600	2626	1300	1588	1550	2374	1640	1460
氮含量/μg·g ⁻¹		545	699	621	292	462	755	600	1450	894	727
溴值/gBr·(100g) ⁻¹		—	9.5	7.7	4.0	3.6	4.9	4.3	9.9	4.1	—
苯胺点/℃		54.7	52.0	60.4	79.8	68.0	54.6	49.2	32.3	49.3	55.6
馏程/℃											
初馏点		212	204	223	207	221	206	209	207	219	223
50%		285	296	320	341	344	313	287	298	288	291
干点(95%)		347	392	(408)	(441)	(350)	(453)	382	357	358	381
进料编号		Q	S	T	U	W	V	X	Y	Z	SS
混合比/%	催化裂化柴油	25	50	70	100	50	70	100	75	54.5 ^①	0
	直馏油	75	50	30	0	50	30	0	25	22.9	100
油品分析											
密度(20℃)/g·cm ⁻³		0.8849	0.8837	0.9002	0.9309	0.8448	0.8474	0.8811	0.8678	0.8879	0.8822
硫含量/μg·g ⁻¹		1448	3100	2162	2865	803	843	2800	2400	5817	1400
氮含量/μg·g ⁻¹		576	437	520	620	310	330	784	684	1042	215
溴值/gBr·(100g) ⁻¹		6.4	2.5	2.6	3.9	2.7	3.1	34.6	32.2	22.5	2.5
苯胺点/℃		53.0	71.9	56.2	<28	76.4	70.8	42.9	50.6	53.1	54.7
馏程/℃											
初馏点		222	205	209	212	223	221	205	203	193	178
50%		383	339	306	267	313	302	274	274	292	273
干点(95%)		457	(462)	(451)	(339)	391	386	336	342	(477)	349

① 剩余部分 22.6% 为焦化柴油。

3 以提高催化裂化柴油质量为主的产品方案

辽河催化裂化柴油、大港催化裂化柴油及各种掺渣量较多的催化裂化柴油的芳烃含量高，十六烷值低，用通常的加氢精制工艺，对催化裂化柴油十六烷值的提高有限，仍不能符

合柴油的规格标准。MHUG 技术是提高催化裂化柴油的有效途径，关于生产低凝柴油已做过报道^[2]，现列举辽河催化裂化柴油及临盘催化裂化柴油的中压加氢改质为例。

3.1 辽河催化裂化柴油混合油中压加氢改质

辽河油不仅催化裂化柴油质量不好，且直馏柴油的酸值高、安定性差。为此，辽河催化裂化柴油直柴混合油中压加氢改质对催化裂化柴油和直馏柴油质量改善都十分有利。催化裂化柴油混合油的性质见表 2 中原料 O，表 3 为加氢产品的主要理化性质。尽管辽河催化裂化柴油混合油的密度大，链烷烃含量仅 20.5%，芳烃、环烷烃含量高达 79.5%。但通过 MHUG，柴油的颜色得到很大改善，实际胶质为 58.0mg/100mL，十六烷值达到 49.1，与原料油相比较十六烷值提高 15 个单位。同时可以得到 20.62% 产率的重石脑油，其芳烃潜含量高达 68.8%。对于轻油拔出率很低的辽河原油来说，可取得高芳烃潜含量的重整原料。

表 3 辽河催化裂化柴油混合油 MHUG 工艺的主要产品性质

项 目	重石脑油 (65~175℃)	柴油 (>175℃)	项 目	重石脑油 (65~175℃)	柴油 (>175℃)
产率/%	20.62	74.61	十六烷值	—	49.1
密度(20℃)/g·cm ⁻³	0.7656	0.8444	芳烃潜含量/%	68.8	—
硫含量/μg·g ⁻¹	1.4	14	馏程/℃		
氮含量/μg·g ⁻¹	<1	5.4	初馏点	60	—
溴值/gBr·(100g) ⁻¹	0.51	0.38	50%	126	252
实际胶质/mg·(100mL) ⁻¹	—	58	干点	176	353

3.2 临商催化裂化柴油混合油中压加氢改质

临商催化裂化柴油也是一种低十六烷值的劣质柴油，通过 MHUG 工艺，取得很好的效果。原料油性质见表 2 中原料 X，中压加氢改质产品质量见表 4。

表 4 临商催化裂化柴油混合油 MHUG 工艺主要产品性质

项 目	重石脑油 (<180℃)	柴油 (>180℃)	项 目	重石脑油 (<180℃)	柴油 (>180℃)
收率/%	21.47	78.39	芳烃潜含量/%	63.0	—
硫含量/μg·g ⁻¹	12.3	5.5	十六烷值	—	53.9
氮含量/μg·g ⁻¹	<1	<1	馏程/℃		
溴值/gBr·(100g) ⁻¹	0.44	0.29	初馏点		196
实际胶质/mg·(100mL) ⁻¹	—	32	50%		246
苯胺点/℃	—	68.8	干点		339
芳烃/%	—	18.3			

从以上数据看到，劣质催化裂化柴油混合油通过中压加氢改质，十六烷值有很大提高，硫、氮含量大幅度地下降。可以得到低硫低芳烃优质柴油，同时还可以得到高芳烃潜含量的重整原料。

4 多产重整原料的产品方案

为了多产重整原料，必须提高反应转化率，提高加氢深度。由于加氢过程是在中等压力下进行，提高反应的苛刻度使得催化剂承受更大的负担。对中原催化裂化柴油混合油中压加氢改质多产重整原料的 3000h 寿命试验的良好结果充分说明了 RN-1/RT-5 催化剂的能力。