

炼油装置技术手

# 催化重整装置 技术手册

主 编 王治卿  
副主编 王佩琳 马志军



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

常减压蒸馏装置技术手册

催化裂化装置技术手册

加氢裂化装置技术手册

加氢精制装置技术手册

催化重整装置技术手册

延迟焦化装置技术手册

润滑油基础油生产装置技术手册

润滑油脂装置技术手册

炼油催化剂生产装置技术手册

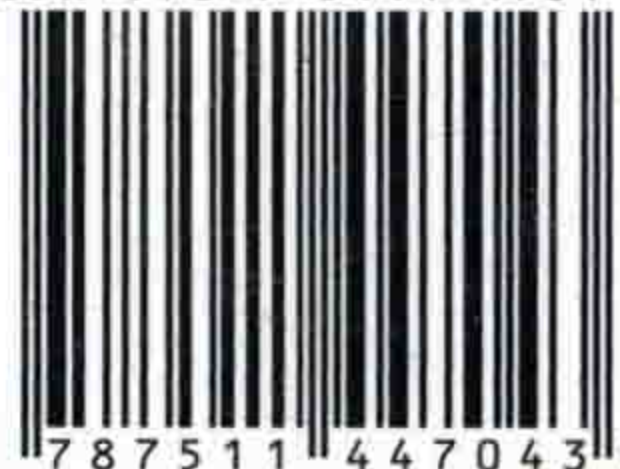
S Zorb催化汽油吸附脱硫装置技术手册

制氢装置技术手册

责任编辑：张国艳  
责任校对：李伟  
封面设计：七星博纳

上架建议：石油化工

ISBN 978-7-5114-4704-3



9 787511 447043 >

定价：160.00元



关注官方微博  
获取更多资讯

炼油装置技术手册丛书

# 催化重整装置技术手册

主 编 王治卿  
副主编 王佩琳 马志军

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书对催化重整装置的技术发展及工业应用情况进行了系统的总结。内容包括：催化重整的原料和生产方案、原料预处理、连续重整催化剂循环系统、反应系统的环境控制、催化重整催化剂的失活与再生、芳烃抽提与抽提精馏、过程自动控制及仪表、催化重整主要设备和催化重整的开停工及事故处理等。本书由长期从事催化重整生产的专家撰写，具有较强的实用性。

本书可供石化行业从事催化重整生产和技术管理的工作者及高等院校相关专业的师生阅读与参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

催化重整装置技术手册 / 王治卿主编. —北京:  
中国石化出版社, 2018. 1  
(炼油装置技术手册丛书)  
ISBN 978-7-5114-4704-3

I. ①催… II. ①王… III. ①催化重整-生产设备-  
技术手册 IV. ①TE624. 4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 301980 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](mailto: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 19.5 印张 474 千字  
2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷  
定价: 160.00 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

# 《催化重整装置技术手册》

## 编 委 会

主 编 王治卿

副主编 王佩琳 马志军

委 员 田华峰 董 蒙 刘 波 杨传根 王余东  
徐 超 王哲龙 张亚伟 腾伟峰 顾邦国  
甘德华 静国荣 裘来庆 徐 栋 李世伟

# 前 言

自1940年世界上第一套催化重整工业装置问世以来，至今已有70多年的发展历史，随着社会的不断发展进步，催化重整过程在工艺、催化剂和主要设备上取得了长足进步。

在这70多年的发展过程中，炼厂加工的原油不断劣质化，为此炼厂必然要大力发展各种加氢技术，氢的需求也因之大幅增加，目前炼厂中氢的用量已达原油加工量的0.8%~1.4%。在各种加氢技术中，氢的费用在加工成本中占有较大比重，重整副产氢与各种制氢方法所产氢相比，价格是最低的，其产量可满足全厂用氢的1/3左右，所以催化重整在炼厂的清洁生产起重要作用，其地位显得越来越重要，成为炼厂必不可少的工艺过程。

催化重整通过催化提升化学反应的特定基团，实现将低辛烷值的直馏石脑油提升为较高辛烷值的发动机燃料掺混组分。炼油加工过程中的反应过程(热裂解、焦化等)中产出的石脑油沸程的产物也被送至提高辛烷值催化重整装置进行处理。如今催化重整工艺已经应用拓展到芳烃生产领域。高纯苯、甲苯和混二甲苯都是可用于化工行业的石油馏分，它们是通过催化重整、芳烃抽提和分馏加工的制品。而且重整反应的“副产品”氢是炼厂重要的氢气来源，可支持重整装置的预加氢单元及其他加氢处理单元。重整裂解反应的轻烃气体和副产物都被添加到炼厂燃料气系统。丁烷馏分、其他裂解副产品，常用来调节各种汽油调和组分的蒸气压。因此，大多数炼油厂和石化生产厂家都认为，催化重整工艺已经是一种越来越有价值的生产方法。由于这种作用的改变，使催化重整在炼厂中的地位越来越重要，成为炼油厂中的重要生产过程之一，得到了快速发展。据统计，2012年全世界共有655个炼厂，其中469个炼厂拥有519套催化重整装置，总生产能力为4.94亿吨/年，占原油加工能力的11.1%。

随着人们对环境的要求也越来越高，我国的炼油行业将面临着油品质量不断升级，以满足车用汽油质量的升级换代。因此，在我国石油化工工业的发展转型之际，无论从自身原油劣质化的发展方向，还是承担的油品质量升级改善环境的社会责任来看，催化重整还将进一步发展。

为此，为帮助从事催化重整行业的人员提升技术水平，管理好重整装置稳定安全运行，发挥重整在国民经济中的作用，我们根据上海石化重整装置的特点，结合学习其他兄弟企业的先进经验，组织相关人员编写此书。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

# 目 录

第一章 绪论 .....	( 1 )
第一节 概况 .....	( 1 )
第二节 催化重整装置的构成与类型 .....	( 3 )
第三节 催化重整过程的发展沿革 .....	( 5 )
第四节 催化重整过程在炼油与石油化工工业中的地位与作用 .....	( 12 )
第五节 催化重整工艺的发展与展望 .....	( 13 )
第二章 原料与生产方案 .....	( 18 )
第一节 重整原料类型和性质 .....	( 18 )
第二节 重整原料馏分选取与产品的关系 .....	( 21 )
第三节 原料油中主要杂质类型及其分布 .....	( 26 )
第四节 重整催化剂对原料中杂质含量的要求 .....	( 29 )
第五节 重整产品 .....	( 31 )
第六节 生产方案 .....	( 34 )
第三章 原料预处理 .....	( 41 )
第一节 工艺流程 .....	( 41 )
第二节 原料的预加氢 .....	( 45 )
第三节 原料的脱砷 .....	( 49 )
第四节 原料的脱氯 .....	( 50 )
第四章 连续重整催化剂循环系统 .....	( 52 )
第一节 气力输送技术和物料性质 .....	( 52 )
第二节 气力输送基本原理 .....	( 58 )
第三节 发送装置 .....	( 64 )
第四节 输送气速上下限与循环量控制 .....	( 66 )
第五节 输送过程的压力损失 .....	( 68 )
第六节 锁气即锁压装置 .....	( 70 )
第五章 反应系统的环境控制 .....	( 75 )
第一节 重整催化剂的水氯平衡控制 .....	( 75 )
第二节 金属器壁的积炭问题 .....	( 90 )

第六章	催化重整催化剂的失活与再生	(101)
第一节	重整催化剂的积炭失活	(101)
第二节	重整催化剂中毒和烧结失活	(111)
第三节	重整催化剂的再生	(120)
第四节	重整催化剂的烧焦动力学	(124)
第五节	重整催化剂运行过程中典型事故分析	(125)
第七章	芳烃抽提与抽提精馏	(132)
第一节	液液抽提	(132)
第二节	抽提精馏	(139)
第三节	芳烃抽提	(140)
第八章	过程自动控制及仪表	(147)
第一节	过程自动控制	(147)
第二节	仪表选择和安装	(172)
第九章	催化重整主要设备	(179)
第一节	主要静设备	(179)
第二节	加热炉	(218)
第三节	主要转动设备	(245)
第十章	催化重整的开停工及事故处理	(278)
第一节	催化重整的开工	(278)
第二节	催化重整的停工	(288)
第三节	事故处理	(290)
参考文献		(301)

# 第一章 绪 论

催化重整(Catalytic Reforming)是石油炼制和石油化工主要过程之一。它是在一定温度、压力、临氢和催化剂存在的条件下,使石脑油转变成富含芳烃的重整生成油,并副产氢气的过程。

重整生成油具有辛烷值高并可调节、烯烃含量低、基本不含硫的特点,可直接用作车用汽油的调和组分,是炼油厂主要汽油调和组分之一。另外,重整生成油经芳烃抽提制取苯、甲苯和二甲苯,是石油化工工业的基本原料。重整装置副产的氢气是炼油厂加氢装置(加氢精制、加氢裂化等)用氢的重要来源之一。

一般催化重整装置加工能力约占原油一次加工能力的10%~30%(体积分数)。至今,世界上大部分炼油厂均有催化重整装置,主要用于生产高辛烷值汽油或芳烃,催化重整工艺目前乃至今后相当长一段时期仍是炼油工艺中主要加工工艺之一,尤其是当今随着全球运输燃料需求的增长和全球环境法规、条例趋于严格的条件下,催化重整工艺又成为当今炼油工业生产清洁燃料和石油化工基础原料必不可少的加工工艺之一。

催化重整过程的主要化学反应有:六元环烷烃脱氢生成芳烃的反应、五元环烷烃扩环成六元环烷烃的反应、正构烷烃的异构化、烷烃的脱氢环化反应、加氢裂化反应、脱甲基反应、芳烃脱烷基反应、积炭反应等。

重整催化剂主要由三大部分组成:金属组元、载体和酸性组元。重整催化剂按金属组元分为两大类:非贵金属催化剂和贵金属催化剂。重整催化剂是负载型催化剂,一般均以氧化铝为载体。重整催化剂上的酸性组元为卤素的氯(Cl)或氟(F)组元。由于催化剂对催化毒物(如:烯烃、水、砷、铅、铜、硫、氮)敏感,原料须经预处理除去这些杂质。

催化重整主要加工直馏石脑油、加氢裂化和加氢改质石脑油、也可加工热加工石脑油(经加氢处理后的焦化石脑油和减黏裂化石脑油)、乙烯裂解汽油的抽余油和加氢后的催化裂化重石脑油馏分。

催化重整过程的主要目的是生产高辛烷值汽油或芳烃。当生产高辛烷值汽油时,进料为宽馏分,沸点范围一般为60~180℃。当生产芳烃时,进料为窄馏分,沸点范围一般为60~145℃或60~165℃。

## 第一节 概 况

催化重整是炼油厂的主要生产过程之一。自1940年世界上第一套催化重整工业装置问世以来,至今已有70多年的发展历史,随着科研工作的不断深入和进步,70多年来催化重整过程在工艺、催化剂和主要设备上都取得了长足进步。回顾这段发展历史,也许会对今后工作会有所启迪。

在第二次世界大战期间,由于战争的需要,迫切要求炼油厂能生产更多的高品质航空汽油和甲苯(生产TNT炸药的原料)催化重整过程因此应运而生。

1940年美国在其德克萨斯州的泛美炼油厂建成了世界第一套固定床催化重整工业装置称为临氢重整。因其所用的催化剂为氧化钼或氧化铬/氧化铝，所以又称钼重整或铬重整。这种催化剂反应活性低，反应条件比较苛刻，反应温度为480~560℃，反应压力1.0~2.0MPa。催化剂的结焦速率快，反应周期只有4~16h，因此采用两组反应器切换操作，轮流烧焦。尽管这种催化重整装置操费用高，产品的辛烷值也只有80左右，但由于战争需要，美国在二战时期建了7套工业装置。

催化重整发展的三个里程碑：

- (1) 1949年UOP公司铂重整，采用铂催化剂，开始了催化重整工业化的进程；
- (2) 1967年CHEVRON公司铼重整，采用铂铼双金属催化剂，大大改善了催化剂的活性和稳定性，提高了半再生重整的技术水平；
- (3) 1971年UOP公司的连续重整，催化剂在反应器与再生器之间连续移动，连续进行再生，使催化剂长期保持高活性，将反应苛刻度提高到一个新的水平。

据美国《油气杂志》2012年12月的统计，全球共有炼油厂655座，原油蒸馏总加工能力44.48亿t/a，其中催化重整装置加工能力为4.94亿t/a，约占原油加工能力的11.10%。表1-1为2012年全世界重整能力排序前10名。

表 1-1 2012 年全世界重整能力排序前 10 名

国 家	重整能力/(Mt/a)	百分比/%
美 国	150.70	27.9
中 国	53.59	10
日 本	35.66	6.6
俄罗斯	32.20	6
德 国	17.41	3.2
韩 国	16.94	3.1
加拿大	15.24	2.8
英 国	14.52	2.7
墨西哥	12.01	2.2
意大利	11.31	2.1

我国催化重整的研究和设计工作，是从20世纪50年代开始的，60年代实现工业化，此后陆续建成不少各种类型的工业装置，90年代有了更大的发展，投产装置数急剧增加。21世纪进一步发展，装置规模越来越大。随着催化重整装置多年的生产实践和新装置的建设，催化重整技术不断完善和发展。如图1-1和图1-2所示。

我国重整大发展的条件：

原料方面：过去我国原油轻馏分少，与乙烯争料；现在进口原油增多，加氢裂化石脑油增多。

市场方面：过去汽油辛烷值要求不高，芳烃和氢气的需求少；现在要求生产清洁汽油，芳烃和氢气的需求大。

价格方面：过去优质不优价，“白重整”；现在高辛烷值汽油价格提高，芳烃也值钱，经济效益好。表1-2为我国目前的重整装置(截至2012年年底)。

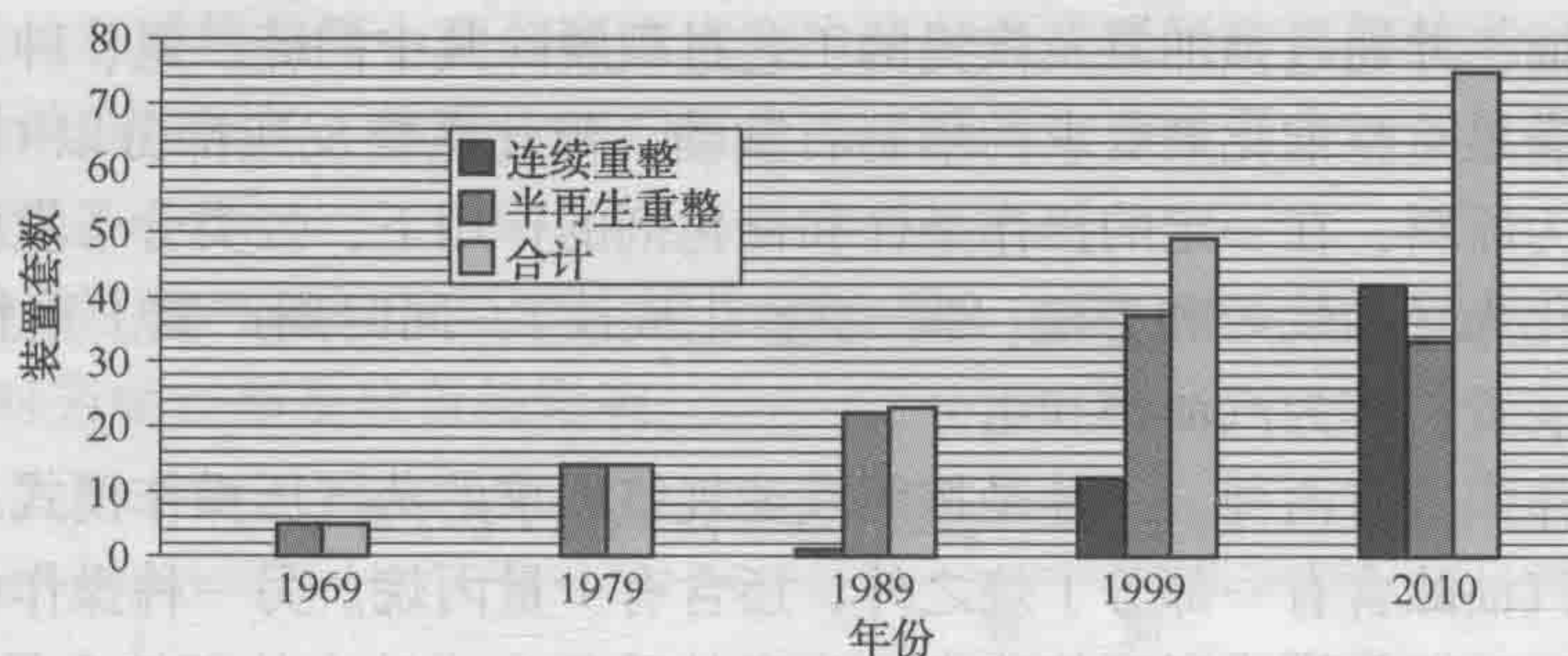


图 1-1 我国重整装置发展情况

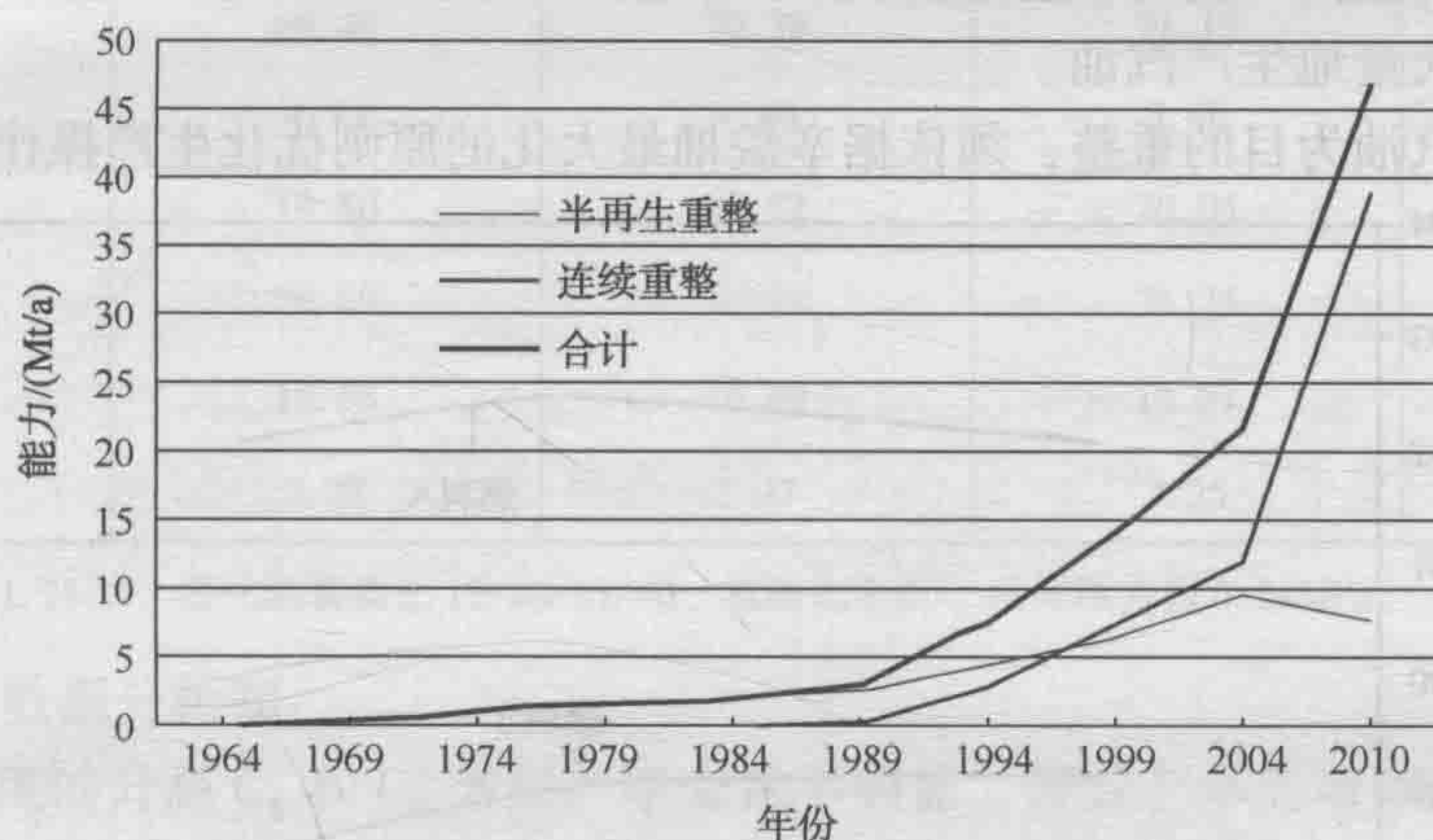


图 1-2 我国重整能力增长情况(统计至 2012 年)

表 1-2 我国目前的重整装置(截至 2012 年年底)

重整类型	套数	加工能力/(Mt/a)
半再生重整	31	7.42
连续重整	52	46.51
合计	83	53.59

## 第二节 催化重整装置的构成与类型

催化重整装置按产品用途分为两种：一种是汽油型重整，用于生产高辛烷值汽油调和组分；另一种是芳烃型重整，用于生产 BTX(苯、甲苯、二甲苯)，作为石油化工基本原料。全球约有 70% 的催化重整用于生产汽油，提高辛烷值，研究值辛烷值(RON)为 95~102；全球约有 30% 的催化重整装置用于生产 BTX 石化产品。

由于目的产品不同，装置构成也不同，用于生产高辛烷值汽油调和组分的催化重整装置包括：原料预处理部分、催化重整反应部分和产品稳定等部分。用于生产芳烃(BTX)的催化重整除上述以外，还包括芳烃抽提和芳烃精馏等部分。

### 一、生产汽油的催化重整装置

催化重整的原料油，在进入重整反应器系统之前要先进行预加氢预处理，其目的是进行

原料的精制和分馏，并通过预加氢及汽提的工艺过程脱除其中的硫、氮、砷、铅、铜等有害杂质，使之成为满足重整催化剂要求的精制石脑油。催化重整反应部分以  $C_6 \sim C_9$  或  $C_6 \sim C_{11}$  精制石脑油馏分为原料，在一定的操作条件和催化剂的作用下，烃类分子发生重新排列，使烷烃和环烷烃转化为异构烷烃和芳烃（即：重整生成油），同时副产氢。重整生成油经稳定塔脱除轻烃后出装置，作为汽油调和组分。

稳定塔的操作模式有两种：一种是按照汽油规格要求的蒸气压操作模式，生产出气压合格的汽油。这种汽油除含有一部分丁烷之外，还含有少量丙烷。另一种操作模式是按照脱丁烷要求操作，按这种操作模式则可使稳定塔出来的重整生成油中的丁烷含量不超过 1%，并且不含丙烷，汽油蒸汽压在出装置后再按照需要掺入丁烷的方法进行调整，这种脱丁烷的操作模式，可以最大量地生产汽油。

以生产调和汽油为目的重整，须依据辛烷桶最大化的原则优化生产操作。

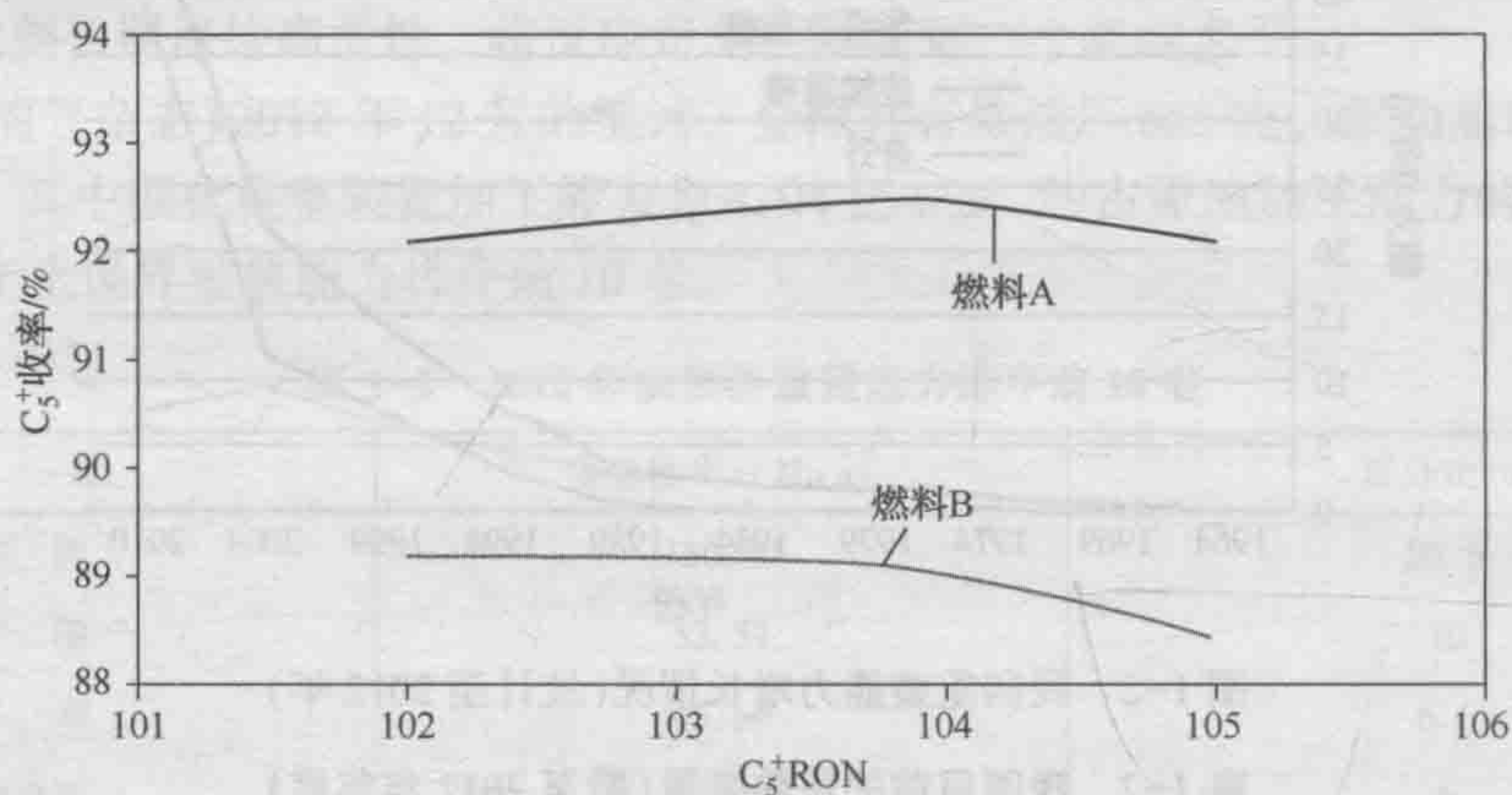


图 1-3  $C_5^+$  辛烷值产率与 RON 的关系

由图 1-3 分析可知：

(1) 随着  $C_5^+$ RON 的增加， $C_5^+$  收率存在着一个最大值；最大值的位置与原料组成密切相关。

(2) 随着  $C_5^+$ RON 增加，催化剂积炭增加十分显著：从 102 到 103：原料 A 积炭提高 19%、原料 B 积炭提高 13% 从 102 到 104：原料 A 积炭提高 44%、原料 B 积炭提高 33%；

(3) 随着  $C_5^+$ RON 增加，加热炉负荷增加：从 102 到 103：加热炉负荷提高 1% 从 102 到 104：加热炉负荷提高 2%。

由以上分析：生产高辛烷值汽油， $C_5^+$ RON 一般控制在 102。

## 二、生产芳烃的催化重整装置

催化重整装置生产的重整生成油，其典型组成为 65%~82% 的芳烃和 18%~35% 非芳烃。芳烃和非芳烃因会形成共沸物难以分离，生产芳烃时一般先脱除戊烷再用环丁砜抽提和精馏方法得到苯、甲苯和混合二甲苯。苯作为石油化工基本原料。甲苯可用作生产苯和其他化工产品的原料，也可用作汽油的调和组分。混合二甲苯中的邻二甲苯是苯酚原料，对二甲苯是聚酯纤维原料。邻二甲苯一般可用芳烃精馏直接从混合二甲苯中分离得到。如要最大量的从混合二甲苯中得到对二甲苯，则需要采用芳烃转化和分离技术。工业上采用的芳烃转化技术

有歧化、烷基转位和异构化等，而分离技术有冷冻分离或吸附分离等技术。这些转化技术和分离工艺都不是单独使用的，需要把它们组合在一起成为芳烃联合加工流程，以提高产品收率和降低加工能耗。

以生产芳烃为目的的产物的芳烃型连续重整装置，须以 BTX 最大化的原则来优化操作。表 1-3 为 RON 对芳烃产率及分布的影响。

表 1-3 RON 对芳烃产率及分布的影响

项 目	数 据			
C <sub>5</sub> <sup>+</sup> 产品研究法辛烷值	102	103	104	105
芳烃产率/%	69.48	70.38	71.18	71.90
C <sub>6</sub> A	4.33	4.86	5.46	6.21
C <sub>7</sub> A	19.50	19.82	20.05	20.19
C <sub>8</sub> A	26.69	26.74	26.75	26.73
C <sub>9</sub> A	16.68	16.69	16.67	16.57
C <sub>10</sub> <sup>+</sup> A	2.28	2.27	2.25	2.20

反应条件：LHSV 1.2h<sup>-1</sup>、催化剂装填比 15/20/25/40、氢油比 2.50、反应压力为 0.34MPa。

由表 1-3 中数据分析知：

随着反应温度的升高 C<sub>8</sub> 和 C<sub>9</sub><sup>+</sup> 芳烃产率变化不明显，芳烃产率的增加主要来源于 C<sub>6</sub> 和 C<sub>7</sub> 芳烃产率的增加，并且 C<sub>6</sub> 芳烃增加幅度大于 C<sub>7</sub> 芳烃。

另外，随着 RON 的升高，催化剂的积炭增加，设备投资和能耗增加。

综合以上考虑，对于以生产芳烃为主的连续重整装置，比较适宜的苛刻度为 C<sub>5</sub><sup>+</sup> 产品辛烷值为 104~105。

### 三、生产溶剂油的催化重整装置

重整抽余油因其辛烷值低，不宜做汽油调和组分，但因其含烯烃和杂质少，可以生产各种溶剂油。

#### 1. 加氢后再抽提流程

该工艺是在重整末反应器后加一台加氢反应器，这样可以脱除重整生成油中的烯烃，但是会损失芳烃，该工艺已经淘汰。现在也有在脱戊烷油经简易加氢后，再经芳烃抽提和分馏的工艺流程。

#### 2. 先抽提后加氢流程

先抽提再加氢流程。优点是加氢条件缓和，加氢反应器负荷大大降低，同时也避免了芳烃损失，设备可以采样碳钢。

## 第三节 催化重整过程的发展沿革

自 1940 年世界上第一套催化重整工业装置问世以来，至今已有 70 多年的发展历史，随着市场和人类生活对燃料和芳烃的需求，许多国家都对催化重整过程不断进行了开发和研究。

催化重整过程的发展主要是催化重整工艺的发展和催化重整催化剂的发展,二者相辅相成,缺一不可。

催化重整催化剂决定了催化重整反应过程的速率和深度,是决定催化重整工艺过程中最重要的因素,催化重整催化剂的发展又推动了催化重整工艺的发展。反之,催化重整工艺的发展,又支持催化重整催化剂的开发和研究。

## 一、催化重整催化剂的发展沿革

### 1. 催化重整催化剂

催化重整催化剂是一种能够在石脑油重整过程中加速烃类分子重新排列成新的分子结构的物质,从1949年含贵金属Pt的重整催化剂问世以来,至今已有半个多世纪。催化重整催化剂经历了非铂催化剂、单铂催化剂和双(多)金属催化剂的三大历程。含铂重整催化剂的发展主要在不断改进催化剂载体、催化剂性能和降低催化剂成本等方面。其表现概况为:

(1) 载体由 $\eta$ 氧化铝改为 $\gamma$ 氧化铝,且其性能不断改进,提高了催化剂的活性,选择性、稳定性及再生性能。据报道法国Axens公司的催化剂可以连续再生700次。

(2) 贵金属Pt含量从0.37%~0.60%下降到现在的0.15%~0.30%。

从最初的Pt-Re/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ 催化剂的铼铂比 $\leq 1.0$ ,提高到铼铂比等于2的R-62、E-803、CB-7和CB-8系列催化剂,还有铼铂比等于3的E-611催化剂。

(3) 酸性组元卤素的变化,由全氯型取代了氟氯型。

(4) 逐渐形成半再生重整催化剂以Pt-Re为主,连续再生催化剂以Pt-Sn为主的格局。

催化重整催化剂为负载型双功能催化剂,其金属功能由负载的活性金属提供,酸性功能由含卤素的载体提供。

### 2. 活性金属

活性金属的改进,催化重整催化剂负载的活性金属的变革大概可划分为三个阶段。

(1) 非铂催化剂阶段(1940~1949),以钼、铬的氧化物作为活性金属组份,这种催化剂因活性低,操作条件苛刻,操作周期短,反应4~16h后即要再生,所以很快被淘汰。

(2) 单铂催化剂阶段(1949~1967),1949年美国UOP公司首次成功开发了以Pt为活性金属的重整催化剂,这是重整催化剂一次划时代的飞跃。Pt催化剂的活性比钼、铬催化高10多倍,选择性和稳定性好,连续运转周期长,所以在20世纪50~60年代得到了很快发展,为半再生催化重整奠定了基础。

(3) 双(多)金属催化剂阶段(1967年至今),1967年美国Chevron公司成功开发了铂-铼双金属催化剂。铼的加入使催化剂的稳定性可提高数倍。使催化剂能在较低压力下长周期运转,催化剂的抗积炭能力显著提高。单铂催化剂当积炭量达到14%时,选择性已有很大的下降,而铂铼催化剂即使积炭量达到20%时,选择性仅有很小的降低,这些优点使铂铼催化剂得到很快推广应用,已成为半再生催化重整中应用的主流催化剂。铂铼催化剂在应用过程中还在不断进行改进,主要体现在:

① 降低铂含量以减少催化剂成本。目前铂铼催化剂的铂含量基本已降至0.2%~0.3%之间,但铂含量降低也有一定限度,过低的铂含量将使催化剂的稳定性变差和抗S、 $\text{H}_2\text{O}$ 等干扰的能力下降。

② 提高铼铂比,在降低催化剂铂含量的同时,催化剂的铼铂比由等铼铂比向高铼铂比

发展，铈铂比由 1.0 提高到 2.0 甚至更高。高铈铂比催化剂在反应中进一步降低了金属上的积焦沉积物，从而使催化剂的稳定性有了更大的提高。

③ 金属组元由双金属向多金属发展，UOP、Axen、RIPP 等公司在新开发的双金属催化剂中引入了第三金属组元，使催化剂的性能变得更好。

双金属催化剂除铂铈催化剂外，还有铂锡催化剂和铂铈催化剂。铂锡催化剂具有良好的低压、高温反应性能，适合于连续重整操作，已成为连续重整的主流催化剂。由于铈的资源更缺，价格又高于铈，而且铂铈催化剂的选择性和稳定性均不及铂铈催化剂，基本上被淘汰。

### 3. 载体

载体的改进，重整催化剂一般以活性氧化铝作为载体，载体在重整催化剂中的主要作用是：

- (1) 催化剂的酸性功能由含卤素的载体提供。
- (2) 分散贵金属，使贵金属的表面积大大增加，从而提高催化剂的活性和选择性。
- (3) 提高催化剂的容炭能力，研究发现重整催化剂的积炭，金属中心只占催化剂总积炭量的 2%~3%，绝大部分是在氧化铝载体上。
- (4) 好的重整催化剂载体应具有以下性能：
  - ① 合适而稳定的晶相结构。
  - ② 大的表面积和合适的孔结构。
  - ③ 低的杂质含量。
  - ④ 好的机械强度及热稳定性。
  - ⑤ 良好的传热传质性能。

载体性质的改进也主要是从以上几个方面进行。

氧化铝  $\text{Al}_2\text{O}_3$  有多种晶态，重整催化剂早期使用  $\eta$  氧化铝作为载体， $\eta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  虽然表面积大，但热稳定性较差，在使用过程中表面积下降很快，而且在孔结构中孔径小且无集中孔，另外其酸性较强，因此逐渐被  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  所取代。 $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  的比表面积较  $\eta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  稍小，但其热稳定性好，在使用过程中比表面积损失很小，而且其孔径大，孔径较集中，有良好的传质和传热性能，因此选用  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  作载体的重整催化剂具有良好性能。

在 20 世纪 80 年代，一些公司如美国的 Mobil 公司，日本的三菱公司和千代田公司，曾研制出含 ZSM-Y 沸石载体的重整催化剂，但应用面不广，只在个别装置上有使用。

## 二、催化重整工艺的沿革

### (一) 国外催化工艺的发展沿革

在第二次世界大战期间，由于战争的需要，迫切要求炼油厂能生产更多的高品质航空汽油和甲苯(生产 TNT 炸药的原料)催化重整过程因此应运而生。

1940 年美国在其德克萨斯州的泛美炼油厂建成了世界第一套固定床催化重整工业装置称为临氢重整。因其所用的催化剂为氧化钼或氧化铬/氧化铝，所以又称钼重整或铬重整。这种催化剂反应活性低，反应条件比较苛刻，反应温度为 480~560℃，反应压力 1.0~2.0MPa。催化剂的结焦速率快，反应周期只有 4~16h，因此采用两组反应器切换操作，轮流烧焦。尽管这种催化重整装置操费用高，产品的辛烷值也只有 80 左右，但由于战争需要，美国在二战时期建了 7 套工业装置。