



当代石油和石化工业技术普及读本

乙 烯

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

法琪瑛 黄伯琴 执笔



中國石化出版社

当代石油和石化工业技术普及读本

乙 烯

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

法琪璞 黄伯琴 执笔

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

乙烯/中国石油和石化工程研究会 组织编写.—2版.
—北京:中国石化出版社,2005
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 7-80043-956-9

I.乙… II.中… III.乙烯-普及读物
IV.TQ221.21-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 113773 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)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 3.25 印张 59 千字

2006 年 3 月第 2 版第 2 次印刷

定价:10.00 元

前 言

《当代石油和石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版于1999年组织编写,2000年完成全部出版工作。第一版《普及读本》共出版了11个分册,其中上游4个分册,包括勘探、钻井和完井、开采、油气集输与储运系统;下游7个分册,包括石油炼制——燃料油品、石油炼制——润滑油和石蜡、乙烯、合成树脂、合成橡胶、合成纤维、合成氨和尿素。

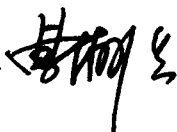
从一开始组织编写《普及读本》,我们就把这套书的读者对象定位在管理人员和非本专业技术人员,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业技术的概貌有一个整体了解。这套丛书列入了新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版规划;出版后在社会上,尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响;为了满足读者的需求,部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行,对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用,并荣获2000年度中国石化集团公司科技进步三等奖。

近年来,石油石化工业又有了快速发展,先进技术不断涌现;海洋石油勘探开发、天然气开发与利用在行业发展和国民经济中的地位越来越重要;随着时间推移,原有分册中的一些数据已经过时,需要更新;各方

面读者也反映，要求继续补充编写一些新的分册等。在征求各方面专家意见的基础上，我们决定对原先出版的11个分册进行修订，并补充编写9个新的分册，包括海洋石油勘探、海洋石油开发、天然气开采、天然气利用、石油沥青、炼油催化剂、炼油助剂、加油站、绿色石油化工。这9个分册分别邀请中海油、中石油、中石化以及中国石油和石化工程研究会相关领域的专家进行编写。原有分册的修订工作主要是补遗、更新、完善，不做大的结构性变动。

《普及读本》第二版修订、增补工作得到了中国石油化工股份有限公司的大力支持；参与丛书修订、编写工作的离退休专家、教授，勤勤恳恳、兢兢业业，其奉献和敬业精神令人感动。在此，谨向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢！

中国工程院院士



二〇〇五年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

第二版

编 委 会

主任：曹湘洪

编委：(按姓氏笔画为序)

王子康	王少春	王丙申	王协琴
王国良	王毓俊	尤德华	亢峻星
刘积文	刘镜远	孙梦兰	孙殿成
孙毓霜	陈宝万	陈宜焜	张广林
张玉贞	李润清	李维英	吴金林
吴明胜	法琪璞	庞名立	赵 怡
官 敬	贺 伟	郭其孝	贾映莹
徐嗶东	秦瑞岐	翁维琬	龚旭辉
黄伯琴	梁朝林	董恩环	程曾越
廖谟圣			

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 乙烯在石油化工中的地位和作用.....	(1)
第二节 国内外乙烯发展概况.....	(5)
第二章 裂解原料	(9)
第一节 裂解原料的来源和种类.....	(9)
第二节 裂解原料的性质对乙烯生产的 影响.....	(13)
第三节 裂解原料的选择.....	(20)
第三章 烃类的裂解	(25)
第一节 烃类裂解过程的主要工艺参数.....	(25)
第二节 管式炉裂解的工艺流程.....	(31)
第三节 典型管式裂解炉炉型和急冷锅炉.....	(44)
第四章 裂解气的分离	(57)
第一节 裂解气的预分馏.....	(57)
第二节 裂解气分离流程的分类.....	(59)
第三节 压缩和制冷.....	(64)
第四节 裂解气的精馏分离.....	(69)
第五章 丁二烯抽提、裂解汽油加氢、 芳烃抽提	(78)
第一节 丁二烯抽提.....	(78)

第二节	裂解汽油加氢	(80)
第三节	芳烃抽提	(83)
第六章	裂解产品的性质与用途	(86)
第一节	乙烯	(86)
第二节	丙烯	(88)
第三节	丁二烯	(90)
第四节	苯	(91)
第五节	甲苯	(92)
第六节	二甲苯	(92)
参考文献		(93)

第一章 概 述

第一节 乙烯在石油化工中的 地位和作用

石油化学工业中大多数中间产品(有机化工原料)和最终产品(三大合成材料)均以烯烃和芳烃为原料,除由重整生产芳烃以及由催化裂化副产物中回收丙烯、丁烯和丁二烯外,主要由乙烯装置生产各种烯烃和芳烃。乙烯装置在生产乙烯的同时,副产大量的丙烯、丁烯、丁二烯、苯、甲苯和二甲苯,成为石油化工基础原料的主要来源。除生产乙烯外,世界上约70%的丙烯、90%的丁二烯、30%的芳烃均来自乙烯的副产。以三烯(乙烯、丙烯、丁二烯)和三苯(苯、甲苯、二甲苯)总量计,约65%来自乙烯生产装置。正因为乙烯生产在石油化工基础原料生产中所占的主导地位,常常以乙烯生产作为衡量一个国家和地区石油化工生产水平的标志。

多数石油化工企业,是以乙烯生产为核心,配套各种加工装置的联合企业。乙烯生产的规模、成本、生产稳定性、产品质量等将直接影响企业的生产和效益。因此,乙烯装置在石化企业中成为关系全局的核心。

乙烯、丙烯、丁烯等烯烃分子中有双键存在,化学

性质活泼，能与许多物质发生加成反应生成一系列重要产物，并易氧化和聚合，生成各种有机化工产品和聚合物，这些产品对国民经济发展十分重要。由于在自然界没有烯烃的存在，因此早在 20 世纪 30 年代就有人开始对石油烃(碳二以上的饱和烃)高温裂解生产烯烃的技术进行研究，40 年代初建成了管式炉裂解生产烯烃的工业装置。经过 60 多年的发展，石油烷烃经管式炉裂解生产烯烃的方法至今仍在烯烃生产中占统治地位。

石油烃热裂解有多种方法，如蓄热炉裂解、流动床裂解、管式炉裂解等。前两种都因投资高、物耗能耗高、污染严重等被淘汰。管式炉裂解具有技术成熟、结构比较简单、运转稳定性好和烯烃收率高等优点，现在世界上约 99% 的乙烯是由管式炉裂解法生产的。

管式炉裂解制乙烯技术，开始于 20 世纪 20 ~ 30 年代。1941 年第一台管式炉的工业装置在美国的巴吞鲁日(Baton Rouge)投产。40 年代时，炉管是贴壁水平排列，后改为单组和多组置于炉中央，其支架位于炉膛内。由于支架不能经受高温，1964 年起改为垂直悬吊的立式管。其优点是吊架不在高温区，炉温可不受吊架材质的限制，立式管可自由收缩，减少管子所受热应力的影响。由于采用炉中心单排式立管，双面辐射结构，加大了热强度，加热均匀，管内不易结焦，有利于裂解反应的进行并可延长操作周期和炉管寿命。此后，管式炉裂解技术得到了极其迅速的发展，成为目前各国广泛采用的生产乙烯的方法。

烃类裂解得到的裂解产物是含有氢、甲烷、乙烷和乙烯、丙烷和丙烯、混合碳四、碳五、裂解汽油等的混合物。此外还含有少量二氧化碳、一氧化碳、硫化氢等气体，并含有微量炔烃等杂质，因此必须对其进行分离和精制才能得到合格的乙烯、丙烯和其他产品。

工业上采用的裂解气分离方法主要有油吸收分离法和深冷分离法。由于油吸收法的能耗高、烯烃损失大等缺点，在60年代几乎全部被深冷分离法取代。深冷分离利用裂解气中各组分沸点相差较大，各组分相对挥发度不同，在不同温度下用精馏方法进行分离。在一定的压力下，碳三以上的馏分可在常温下分离，碳二馏分则需在 $-30\sim-40^{\circ}\text{C}$ 条件下进行分离。而用精馏方法将裂解气中甲烷和氢气分离出来，则需在 -90°C 以下的低温进行分离。这种采用低温分离裂解气中甲烷和氢气的方法称为深冷分离法。深冷分离法能耗低、操作稳定，不仅能得到高质量的烯烃产品，并可获得高纯度的氢气和甲烷。因此，当今管式炉裂解的乙烯厂，几乎都采用深冷分离法进行裂解气的分离和精制。

我们通常说的乙烯装置，主要包括管式炉裂解和深冷分离。

一般石油烃通过乙烯生产获得三烯、三苯的过程如图1-1所示。

如图1-1所示，裂解混合碳四须经丁二烯抽提才能得到丁二烯；裂解汽油须经汽油加氢和芳烃抽提才能得到苯、甲苯和二甲苯。本书重点介绍管式炉裂解和深

冷分离，为使读者对三烯、三苯的生产有一个完整的概念，对丁二烯抽提、汽油加氢和芳烃抽提作一般介绍。

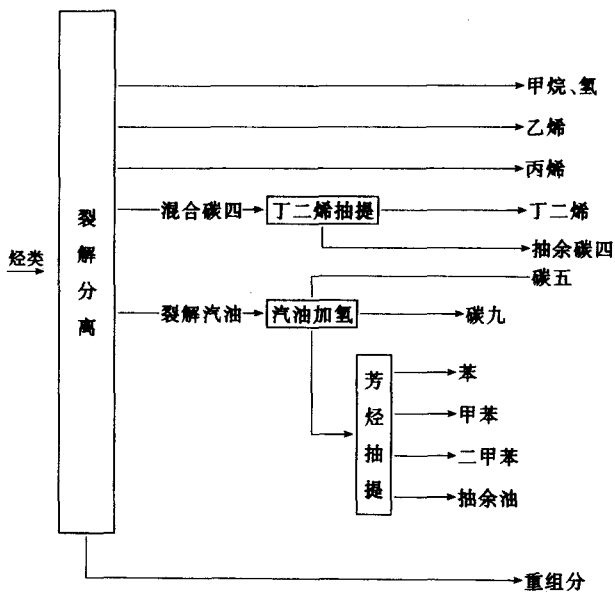


图 1-1 由烃类裂解得到三烯、三苯的过程示意图

除了烃类裂解生产乙烯外，由炼厂气回收乙烯、丙烯，也是工业上生产烯烃的主要来源之一。炼厂中的热裂化装置、催化裂化装置、延迟焦化装置副产的轻烃含有大量的烯烃，由这些炼厂气回收的烯烃在烯烃生产中占有相当重要的地位，尤其在丙烯和碳四烯烃生产中的地位不亚于烃类裂解法。

在石油化工发展的早期，用乙醇脱水制乙烯和焦炉气深冷分离回收乙烯，均为生产乙烯的工业生产途径，随着烃类裂解技术的发展，乙醇脱水制乙烯和焦炉气深

冷分离回收乙烯在乙烯生产中已极少采用。

第二节 国内外乙烯发展概况

一、国外乙烯发展概况

近半个世纪以来，世界乙烯工业迅速发展。2003年世界乙烯生产能力11175万吨/年，产量9809万吨。2003年乙烯生产能力前五位的国家为：美国2765.3万吨/年，日本757.6万吨/年，中国566.6万吨/年，沙特阿拉伯564万吨/年，韩国545万吨/年。

世界上最大的乙烯生产商是美国的道化学公司，2003年生产能力为1047万吨/年；位居第二的是美国的埃克森美孚公司，生产能力为837万吨/年；第三位是英荷壳牌公司，生产能力为661万吨/年。

世界乙烯生产和消费主要集中在北美、亚洲和西欧，2003年三个地区产量和消费量均占世界总量的81%。

预测2008年世界乙烯生产能力将达到13512万吨/年，消费量为12314万吨。

近年来，世界乙烯装置规模大型化趋势明显，目前商业化最大规模已达127万吨/年，即加拿大的诺瓦工厂，以轻烃为原料。目前正在建的乙烯装置生产能力多在80~100万吨/年之间，拟建的乙烯装置最大规模达到134~140万吨/年。

建设大型乙烯装置要求裂解炉的单炉生产能力不断

提高，诺瓦厂气体裂解炉单炉生产能力达到 21 万吨/年，液体裂解炉单炉生产能力达 17.5 万吨/年。据介绍，KBR 公司设计的单台裂解炉生产能力可以达到 28 万吨/年。

此外，由于国际原油价格不断攀升，一些国家正在考虑利用天然气制甲醇，进而生产烯烃(MTO)，并制订了实施计划，但是该技术至今没有真正实现工业化。

二、我国乙烯发展概况

我国乙烯工业起步于 20 世纪 60 年代，与一些先进工业国家相比，不算太晚，但发展缓慢。除了 1964 年当时的兰州化学工业公司从原联邦德国引进的 3.6 万吨/年装置(砂子炉裂解)外，都是一些规模小、技术落后的装置。直至 70 年代陆续引进了一批技术先进、规模较大的装置。从 1992 年开始，我国对引进的 30 万吨/年乙烯装置进行了大规模的改造和扩建，以较少的投入使这些装置的生产能力有了很大的提高。2003 年全国共有乙烯装置 18 套，其中 38~71 万吨/年乙烯装置 7 套，14~22 万吨/年乙烯装置 11 套。2003 年我国乙烯生产能力 566.6 万吨/年，仅次于美国和日本，居世界第三位。2004 年我国乙烯生产能力 600.5 万吨/年，产量 626.6 万吨。国内乙烯装置情况见表 1-1。

我国乙烯工业虽已有相当规模，但与世界先进水平相比，还有很大差距。主要表现在：

1. 乙烯装置规模较小

2003 年我国乙烯装置的平均规模为 31.5 万吨/年，

最小的仅 12 万吨/年，而目前世界级规模已达 80 ~ 100 万吨/年。据美国斯坦福研究所的研究表明：乙烯以 75 万吨/年规模的成本为 100% 计，规模下降到 50 万吨/年，成本上升 4% ~ 9%，规模下降到 20 ~ 25 万吨/年，成本上升 14% ~ 33%。

表 1-1 2003 年国内乙烯装置情况

企 业	生产能力/(万吨/年)	技术来源
北京燕山石化股份公司	71	鲁姆斯公司
北京燕山石化公司	15.1	KTI 公司
上海石化股份公司	70	鲁姆斯公司
	14.5	三菱油化公司
扬子石化股份公司	65	鲁姆斯公司
齐鲁石化股份公司	45	鲁姆斯公司
茂名石化公司	38	S.W 公司
广州石化分公司	21	S.W 公司
天津石化公司	20	鲁姆斯公司
中原石化公司	18	鲁姆斯公司
大庆石化分公司	48	S.W 公司
吉林石化分公司	38	林德公司
	15	国内技术
兰州石化分公司	24	凯洛格公司毫秒炉
独山子石化分公司	22	鲁姆斯公司
盘锦乙烯工业公司	16	鲁姆斯公司
抚顺石化分公司	14	鲁姆斯公司
辽阳石化分公司	12	IFP 及 KTI 公司

2. 乙烯原料偏重，能耗、物耗高

2003 年我国乙烯原料中石脑油占 58.3%，轻柴油占 11.7%，加氢尾气占 15.5%，轻烃占 5%，其他占 9.5%。由于乙烯原料偏重，因此物耗较高，2003 年全国平均每吨乙烯的原料消耗为 3.2 吨，乙烯装置平均能

耗约为 29.8 吉焦耳/吨，而国际先进水平为 17.3 吉焦耳/吨。

3. 国产化程度低，技术开发能力差

我国 40 余年乙烯工业的发展基本上是靠从国外引进技术和关键设备建设起来的，造成投资增加，加上装置规模小，物耗、能耗高，因此成本较高，竞争力较差。近年来中国石化与美国鲁姆斯合作开发了单炉能力为 10 万吨/年的裂解炉，已用于燕山、上海石化等乙烯装置的扩能改造中。

另外，中国石化北京石油化工科学研究院开发了以重质原料制轻质烯烃的技术，称为催化裂解工艺 (CPP)。该技术利用流化催化裂化工艺，处理石蜡基常压渣油，以生产乙烯、丙烯等轻质烯烃为主。目前沈阳石蜡化工公司正采用此技术建设工业装置，年处理 50 万吨大庆和沈北常压渣油，设计年产乙烯 13 万吨、丙烯 8.4 万吨。

第二章 裂解原料

第一节 裂解原料的来源和种类

用于管式炉裂解的原料来源很广，主要有两个方面：一是来自油田的伴生气和来自气田的天然气，两者都属于天然气范畴；二是来自炼厂的一次加工油品(如石脑油、煤油、柴油等)、二次加工油品(如焦化汽油、加氢裂化尾油等)以及副产的炼厂气。另外还有乙烯装置本身分离出来循环裂解的乙烷等。

一、天然气

天然气是埋藏在地下，自然喷出或人工开采出来的可燃性气体的总称。天然气的主要成分是甲烷，还含有乙烷、丙烷等轻质饱和烃及少量二氧化碳、氮、硫化氢等非烃成分。

从化学组分来分类，天然气可分为干气和湿气。

1. 干气

含甲烷在 90% 以上，由于在常温下加压也不能使之液化，故称为干气。此类天然气不适宜作裂解原料。

2. 湿气

含 90% 以下甲烷，还含有一定量的乙烷、丙烷、丁烷等烷烃。由于乙烷以上的烃在常温下，加压可以使