

乙烯工艺与技术

王松汉 何细藕 主编



中国石化出版社

乙烯工艺与技术

王松汉 何细藕 主编

中国石化出版社

内 容 简 介

本书系统介绍了乙烯装置技术,内容包括制取乙烯和副产品的主要流程及方法,裂解原料及其特性,裂解和分离的基本原理和有关操作参数,裂解气的急冷、压缩,酸性气体的脱除,裂解气的干燥和分离,乙炔和丙炔加氢,乙烯和丙烯制冷,乙烯产品贮存,公用工程与自控,火炬系统和排放气的回收。本书不仅介绍了制取乙烯的不同工艺路线、新技术、节能增产措施、主要机械和设备的特性及其工艺参数,而且阐述了裂解炉的辐射段和对流段及其热效率,压缩机的压缩功,塔和火炬系统等的设计计算方法,并提供了塔逐板计算数据。

本书可供石油化工行业的工厂技术人员以及设计、科研、规划工作者使用,也可供有关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

乙烯工艺与技术/王松汉,何细藕主编.—北京:
中国石化出版社,2000
ISBN 7-80043-849-X

I. 乙… II. ①王… ②何… III. 乙烯-生产工艺
IV. TQ221.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 00592 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>

东远先行彩色图文中心印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 45.25 印张 1158 千字 印 1-3000

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

定价:85.00 元

序 言

我国乙烯工业从 60 年代起步，经过近 40 年的发展，取得了举世瞩目的成绩。到 1999 年，共建成生产装置 18 套，生产能力 428 万吨/年，当年产量 430 万吨，居世界第 6 位。目前，除已有的装置正在进行不同规模的扩能改造外，跨世纪的世界级乙烯工程也在紧张筹备之中。

乙烯技术是石油化工的龙头技术，乙烯技术水平被看作是衡量一个国家石油化工发展水平的重要标志。目前世界上只有几家公司拥有乙烯技术。国内对发展乙烯技术历来十分重视，早在 70 年代，即组织了对引进 30 万吨/年乙烯技术的消化吸收工作；80 年代，国内开发的 SH 型和 CBL 型裂解炉获得成功；90 年代，连续开发出不同规模的 CBL 型裂解炉，并在工业装置上推广应用，经济效益显著。

尽管我国的乙烯工业已取得了长足的进展，但目前的发展水平仍远不能适应国民经济和社会发展的需要。我国人口占世界人口的五分之一，而乙烯生产能力不到世界的 5%。1990~1998 年，我国乙烯产量每年以 11.6% 的速度递增，如果将每年进口的乙烯衍生产品折算成乙烯量，递增速率则高达 30%。进入 21 世纪，我国的乙烯工业将有一个新的发展。

为了适应国内乙烯技术发展的需要，由王松汉同志任主编，国内乙烯专家撰写了《乙烯工艺与技术》一书，现正式出版。该书在叙述乙烯技术的基本情况之后，从裂解参数与裂解炉的设计开始，依照乙烯生产的流程顺序，全面系统地介绍了乙烯工艺与相关的各项技术，并对当今世界主要的乙烯生产流程进行了深入的评论。全书取材广泛，内容翔实，图文并茂，反映了当今国内外乙烯技术的最新进展，具有很高的学术价值，对在乙烯及石油化工领域从事生产、设计和管理的人员具有很好的参考价值。我相信这本书的出版将对我国乙烯工业的规划、设计、科研、生产以及现有生产装置的技术改造工作将起到重要的指导作用。

中国工程院院士
中国石化集团公司总工程师

袁晴棠

2000 年 5 月

前 言

乙烯是石油化学工业的主要产品之一，乙烯装置生产的三烯（乙烯、丙烯、丁二烯）和三苯（苯、甲苯、二甲苯）是石油化学工业的基础原料。乙烯产量的高低是衡量一个国家石油化工发展水平的主要标志。

我国自 60 年代以来，一直注重乙烯工业的发展，乙烯生产已初具规模，并且培养出一批经验丰富的设计、科研和生产人员。为了总结、深化乙烯技术，由北京石油化工工程公司组织有关专家和技术人员，在 1994 年出版的《乙烯装置技术》一书的基础上编著了本书。本书不仅阐述了乙烯生产的基本原理和相关的理论，而且对乙烯生产的原料和各种工艺流程进行了全面的分析，介绍了与乙烯生产有关的技术，如自动控制、火炬系统、公用工程、乙烯的贮存和运输等，还给出了有关工艺设计的计算方法和典型工艺参数。此外，介绍了国外的一些最新成果，对最先进的裂解和分离技术进行了剖析，提供了有关数据，对我国乙烯科研设计人员的辛勤工作成果——国产化技术也作了论述。

参加本书编著的主要作者从事石油化工工作约 40 年了，他们在本书的编著中总结了自己多年来的设计、科研、生产经验，因而本书将对从事乙烯生产的科研、技术人员，乙烯装置的设计、规划工作者，以及大专院校相关专业师生等，具有很好的参考作用。

1994 年版《乙烯装置技术》一书由王松权主编，具体编写分工为第一章茅文星，第二章曾清泉，第三章王松汉、茅文星、王若超、龚长虹，第四章王松汉、杨春生、李广华、孙波涛，第五章王松汉、盛若瑜、赵炳义、王伟东、郑晓晶，第六章白文康、李生斌、王振维。

新版《乙烯工艺与技术》由王松汉、何细藕主编，各章节主要编写人员是：第一、二、三章何细藕、李莉、盛在行、张会军；第四、五章何细藕、李围潮、盛在行、李莉、张会军、郑晓波、季江宁；第六章雷正香；第七章林融、赵青松、于军；第八章盛在行、张智愚、朱显；第九章雷正香。全书由王松汉教授级高级工程师补充、完善、统稿和审定。在编写过程中李广华、王若超、王振维、李生斌、赖胜等提出了许多宝贵意见，在此一并致谢。

由于乙烯装置较为复杂、内容较多，书中难免有误，不妥之处，望指正。

编者

2000 年 1 月

目 录

第一章 概论	1	十一、裂解原料中的其它杂质	117
第一节 乙烯装置原料	5	十二、裂解工艺设计常用的基本参数	117
一、乙烯原料来源和种类	5	第二节 裂解产品分布估算	123
二、中国原油性质	8	一、用动力学深度函数 KSF 和族组成或	
三、中东原油性质	10	$PONA$ 值估算	123
四、油品性质与产品收率	16	二、用分子碰撞参数关联产率分布	123
五、世界乙烯原料发展趋势	21	三、用平均分子法估算产物分布	125
六、合理选择乙烯原料	24	四、裂解产率与裂解深度指数(CSI)关系	
七、扩大乙烯原料来源	27	125
八、原料的预处理	38	五、乙烯产率与碳氢比和 KSF 关系	126
第二节 乙烯装置的典型流程	39	六、特性因数(K)与乙烯、丙烯总产率	
一、顺序分离流程	39	的关系	126
二、前脱乙烷流程	46	七、裂解产率与关联指数 ($BMCI$) 关系	
三、前脱丙烷流程	48	126
四、低投资分离流程	50	第三节 馏分油裂解反应动力学模型	127
五、渐进分离流程	53	一、分子反应动力学模型	128
六、油吸收分离流程	54	二、半理论半经验模型	132
七、六种分离流程的比较	58	三、理论模型	133
第三节 制取乙烯的不同方法	65	第四节 裂解炉辐射段设计	138
一、管式炉裂解制乙烯	65	一、炉管构型的确定	138
二、甲醇制烯烃的研究	66	二、辐射段炉管的工艺计算	141
三、甲烷制乙烯	67	第五节 裂解炉对流段的设计	155
四、催化裂解	69	一、对流段发展回顾	155
五、由合成气制乙烯	70	二、对流段设计一般原则	160
六、其它裂解技术	70	三、对流段传热计算	164
第四节 装置能耗计算	78	四、对流段管内压力降计算	182
第二章 裂解参数与裂解炉的设计	83	五、烟气流速及压降	183
第一节 原料评价和裂解特性基本参数	83	六、对流段计算程序框图和实例	188
一、石油烃的化学组成	83	第三章 裂解与急冷	190
二、密度和相对密度	91	第一节 裂解条件、裂解选择性及裂解深度	
三、沸点、馏程及平均沸点	96	191
四、特性因数	101	一、温度、停留时间和烃分压	191
五、折光指数	104	二、裂解选择性	193
六、原料的氢含量、碳氢比的预测	105	三、裂解深度主要指标	196
七、平均分子量	108	第二节 裂解炉	198
八、关联指数 $BMCI$	112	一、概述	198
九、残炭值、沥青质和溴价	114	二、SRT 型裂解炉	204
十、硫化物	115	三、USC 型裂解炉	228

四、KTI GK 型裂解	241	二、四段压缩工艺流程	361
五、毫秒裂解炉	252	三、压缩工艺参数	364
六、Pyrocrack 型裂解炉	259	四、凝液汽提塔工艺参数及模拟计算	366
七、HSLR 型裂解炉	264	第四节 酸性气体的脱除和裂解气干燥	367
八、新型炉发展	266	一、酸性气体杂质的来源和危害	367
九、乙烯产量估算	268	二、碱洗法	369
第三节 共裂解	269	三、长尾曹达法	375
第四节 裂解炉热效率	273	四、废碱液处理	377
一、降低对流段末端物料入口温度	273	五、乙醇胺类脱除硫化氢与二氧化碳	383
二、改进对流段设计, 提高热强度	275	六、裂解气干燥	395
三、降低过剩空气率	276	第五节 裂解气压缩系统的节能措施	402
四、预热燃烧空气和燃料气	276	一、增加凝液分离罐和液相干燥器	402
五、加强绝热保温降低炉体热损失	276	二、压缩机五段凝液二次闪蒸	404
六、裂解炉热效率计算	277	三、选择最佳吸入压力	404
第五节 裂解炉结焦和结焦抑制剂	286	四、降低裂解气压缩机段间冷却压力降	405
一、烃类热裂解结焦机理研究	287	五、汽轮机采用两个转子和提高真空度	406
二、对流段结焦	287	六、压缩段数的合理选择	407
三、辐射段结焦	289	七、降低压缩机出口温度	407
四、结焦抑制剂	293	八、采用高效压缩机	408
五、在线烧焦和计算机自动清焦	295	九、改进干燥系统	408
第六节 裂解炉与燃气轮机联合	295	十、碱洗塔采用填料塔	408
一、概况	295	第六节 制冷系统	408
二、流程概述	297	一、混合冷剂制冷循环	409
三、燃气轮机简单循环系统	297	二、过冷冷剂节流	413
四、裂解炉和燃气轮机匹配的经济效益	299	三、热泵流程	417
第七节 裂解炉计算机控制	301	四、丙烯和乙烯制冷系统	422
第八节 裂解气急冷	303	第五章 分离系统	428
一、概述	303	第一节 蒸馏塔计算	429
二、裂解气体急冷	306	一、蒸馏塔的简化计算方法	429
三、裂解炉和急冷锅炉的清焦	325	二、蒸馏塔的电子计算机计算	445
四、急冷油和急冷水热量回收	327	三、烃类系统的汽-液相平衡及其应用	449
五、汽油分馏塔和急冷水塔的改造	330	第二节 脱甲烷塔系统	463
六、降粘塔	331	一、高压法脱甲烷	467
第四章 压缩系统	332	二、低压法脱甲烷	473
第一节 概述	332	三、中压法脱甲烷	478
第二节 压缩机的热力计算	336	四、脱甲烷塔前的预分馏塔	480
一、几种压缩过程	336	五、脱甲烷塔顶采用膨胀机	480
二、压缩机的排气温度、功率和中间冷却	341	六、甲烷制冷压缩机系统	482
三、真实气体压缩	347	七、脱甲烷塔由浮阀塔改造成填料塔	483
四、压缩功及温升的电子计算机计算	350	八、脱甲烷塔的模拟计算	484
五、压缩制冷	353	第三节 脱乙烷和脱丙烷系统	487
第三节 典型压缩工艺流程	356	一、脱乙烷塔及其模拟计算	487
一、五段压缩工艺流程	357	二、脱丙烷塔及其模拟计算	494
		三、多孔表面管换热器	500

第四节 乙炔、丙炔和丙二烯的脱除	501	四、水封罐	616
一、概述	501	五、点火设施	619
二、碳二加氢	511	六、泵	621
三、碳三加氢	534	第五节 火炬系统的自动控制和安全防护	621
四、催化精馏加氢技术	545	一、火炬系统的自动控制	621
第五节 甲烷化反应	547	二、安全防护	623
一、反应原理	547	第六节 火炬气回收	625
二、甲烷化催化剂	548	一、概述	625
第六节 乙烯和丙烯精馏	549	二、火炬气回收工艺技术	626
一、相对挥发度	549	三、火炬气回收装置的组成和布置	626
二、乙烯精馏	551	四、工艺流程说明	627
三、丙烯精馏	556	五、安全和环境保护	628
第七节 精馏塔的节能	560	第七章 自动控制	630
一、回流比最佳化	560	第一节 集散系统在乙烯装置中的应用	630
二、采用中间再沸器和中间冷凝器	561	第二节 裂解炉自动控制方案	632
三、多股进料和侧线出料	564	一、裂解反应的干扰因素分析	632
四、进料状态	565	二、裂解炉操作自动化	633
五、热分离器	566	三、裂解炉紧急降负荷控制	634
第八节 分凝分馏塔技术	568	四、裂解炉裂解深度和选择性控制	635
一、ARS 工艺	568	五、裂解炉在线清焦顺序控制	637
二、分凝分馏塔及其分离流程	572	六、裂解炉先进控制实例	638
第六章 火炬系统	576	第三节 压缩机自动控制方案	642
第一节 火炬概述	576	一、压缩机防喘振控制原理	642
一、作用	576	二、裂解气压缩机控制	644
二、火炬分类	576	三、丙烯制冷压缩机控制	645
三、火炬组成	577	四、三机控制实例	646
四、火炬形式的选择	579	第四节 分馏塔自动控制方案	655
五、设计范围	579	一、初分馏塔控制	655
六、设计基本原则	579	二、急冷水塔控制	655
第二节 乙烯装置内的排放系统	580	三、脱甲烷塔控制	655
一、排放系统的组成	580	四、乙烯精馏塔控制	656
二、设计依据及基础数据	581	五、乙烯精馏塔的控制实例	656
三、排放系统的设计	583	第五节 反应器自动控制方案	660
四、湿火炬罐、干火炬罐和液体蒸发器	586	一、碳二加氢反应器控制	660
第三节 火炬装置的流程及总图布置	587	二、碳三加氢反应器控制	661
一、火炬装置的典型流程	587	三、乙烯加氢反应器控制实例	661
二、火炬头火焰的燃烧特性	589	第八章 公用工程	664
三、高架火炬高度和火炬周围安全界限的 确定	592	第一节 水平衡	664
四、火炬的总图布置	600	一、生水系统	664
第四节 火炬装置的主要设备	600	二、生活用水系统	665
一、火炬头	600	三、杂用水系统	665
二、火炬筒体	608	四、冷却水系统	665
三、分液罐	612	五、工艺用水系统	668
		六、消防水系统	668

七、锅炉给水系统	668	二、燃料平衡	681
八、排污水	669	第九章 乙烯的贮存和运输	686
九、水平衡	670	第一节 概述	686
第二节 电气	671	第二节 乙烯的贮存	687
一、概述	671	一、加压法贮存	687
二、供电系统	672	二、低温法贮存	695
三、照明系统	676	三、地下盐洞贮存	702
第三节 蒸汽平衡	676	四、安全操作	702
一、概述	676	第三节 乙烯的运输	705
二、蒸汽系统的确定	677	一、管线输送	705
三、蒸汽平衡计算和蒸汽系统优化	678	二、槽车运输	706
第四节 燃料平衡	680	三、船舶运输	707
一、燃料消耗	680	参考文献	709

第一章 概 论

石油化学工业是一门新兴工业，石油化工的发展，促进了国民经济的巨大进步。乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯、乙炔、苯、甲苯、二甲苯等是石油化工最基本的原料，是生产各种重要的有机化工产品的基础。由于乙烯装置是石油化工生产有机原料的基础，是石油化学工业的龙头，所以它的生产规模、产量和技术标志着一个国家的石油化学工业的发展水平。

半个世纪以来，石油化学工业一直以高于国民经济生产总值的增长速度发展，许多国家还把它列为国家工业发展的重点。

1960年世界乙烯产量为2910kt，1970年为19760kt，1980年达到34020kt，1990年为56300kt。80年代末、90年代初，由于全球经济复苏，特别是亚洲发展中国家的经济迅速发展，对石化产品的需求大大增加，刺激了各国石油化工装置的增建和扩建。从1990年以来，一批新建和扩建的乙烯装置陆续投产，世界乙烯生产能力和产量均有较大的增长，到1992年世界乙烯生产能力已超过70000kt，1997年接近86900kt，产量达到78500kt。世界主要国家和地区近年乙烯生产能力和产量及其增长情况见表1-1，表1-2是世界十大乙烯公司生产能力，到2000年世界乙烯生产能力的增长和预测见表1-3。

表1-1 世界主要国家和地区的乙烯生产能力和产量

	1996年			1997年			1997/1996年	
	能力/Mt	产量/Mt	开工率/%	能力/Mt	产量/Mt	开工率/%	能力增加/Mt	产量增加/Mt
美国	23.7	22.7	94	24.4	23.2	95	0.7	0.9
加拿大	3.3	3.3	100	3.3	3.2	96	—	-0.1
墨西哥	1.4	1.3	96	1.4	1.4	98	—	0.1
北美计	28.4	26.9	95	29.1	27.8	95	0.7	0.9
巴西	2.3	1.9	83	2.4	2.0	83	0.1	0.1
其它	1.0	0.8	81	1.0	0.8	83	—	—
中南美计	3.3	2.7	82	3.4	2.8	83	0.1	0.1
西欧	19.7	17.8	90	20.2	18.2	90	0.5	0.4
东欧	6.3	3.4	55	6.3	3.6	57	—	0.2
日本	7.4	7.1	96	7.6	7.4	97	0.2	0.3
韩国	4.1	4.0	98	4.5	4.4	98	0.4	0.4
中国台湾	1.0	0.9	89	1.0	1.0	95	—	0.1
中国	3.7	3.0	90	3.9	3.6	92	0.2	0.6
东南亚	2.2	2.1	94	2.8	2.7	97	0.6	0.6
印度	0.6	0.5	95	1.2	1.1	95	0.6	0.6
亚洲计	18.6	17.6	95	21.0	20.2	96	2.4	2.6
中东	4.5	4.0	89	5.1	4.5	89	0.6	0.5
非洲	1.3	0.8	62	1.3	1.0	77	—	0.2
大洋洲	0.5	0.4	86	0.5	0.4	87	—	—
总计	83.0	73.6	89	86.9	78.5	90	3.9	4.9

资料来源：(日)化学经济1998年3月临时增刊号。

表 1-2 世界十大乙烯生产公司生产能力

公 司	国 家	生产能力/(kt)
Dow Chem	美国	4923
Roryl Dutch/Shell	荷兰、英国	3869
Exxon	美国	3641
EniChem Anic	意大利	2125
SABIC	沙特阿拉伯	2090
Novacor	加拿大	2087
UCC	美国	1676
Lyondell 石油化学	美国	1633
Occidental 石油化学	美国	1633
Phillips 石油化学	美国	1633
合计		25310

注：表中数据截至 1995 年 4 月。

表 1-3 世界乙烯生产能力的增长情况

kt

地 区	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年
北美	28200	29100	29500	29500	29500
南美	3100	3200	3300	3300	3300
西欧	19400	19400	19400	19400	19400
东欧	7000	7500	7700	8000	8000
非洲	1400	1400	1400	1400	1400
中东	4400	5500	6000	6600	7200
亚太地区	20100	22100	24300	26500	31300
合计	83600	88200	91600	94700	100100

据 1996 年 OGI (油气杂志) 统计, 目前国外乙烯生产能力超过 2000kt/a 的国家有 12 个, 见表 1-4。

表 1-4 乙烯生产能力超过 2000kt/a 的国家

国 家	生产能力/(kt/a)	国 家	生产能力/(kt/a)
美国	22230	加拿大	3290
日本	6890	沙特阿拉伯	2940
俄罗斯	4720	荷兰	2230
德国	4500	意大利	2100
中国	3710	英国	2070
韩国	3630	巴西	2060
法国	3440		

乙烯生产能力超过 1000kt/a 的公司有 19 家, 其中美国公司占 50% 以上。而生产能力最大的公司是加拿大 Novacor 化学公司, 其乙烯生产能力为 2213kt/a。生产能力最大的乙烯工厂是美国 Phillips 石油公司的 Sweeny 工厂, 规模为 1633kt/a, 其次是加拿大 Novacor 化学公司的 Joffre 工厂, 为 1542kt/a。

我国自 60 年代建设乙烯装置以来, 特别是 70 年代先后从国外引进一批技术先进、规模较大的乙烯装置, 分别建成了燕山、大庆、齐鲁、扬子和上海等年产 300kt 的乙烯装置。近几年来, 全国乙烯行业有飞跃性的发展, 原有老装置通过配套平衡、技术改造, 生产能力进一步发挥, 使全国乙烯生产能力有了大幅度提高。到 1999 年我国乙烯生产能力将

达 4418kt。

1999 年全国主要乙烯装置设计生产能力见表 1-5a。1980 年至 1998 年全国乙烯生产情况见表 1-5b。

表 1-5a 我国乙烯装置设计生产能力^①

厂名	原料(设计)	设计能力/(kt/a)
燕山石化化工一厂	轻柴油	300 + 150
上海石化烯烃厂	常压和减压轻柴油	300 + 100
齐鲁石化烯烃厂	常压和减压轻柴油	300 + 150
扬子石化烯烃厂	常压和减压轻柴油	300 + 100
大庆石化一厂	轻烃	300 + 180
上海石化一厂	煤柴油	115 + 35
吉林有机合成厂	煤柴油	115 + 35
辽化化工一厂	轻柴油和石脑油	72.8 + 15.2
兰化 303 厂	轻柴油和石脑油	80 + 80 + 40
盘锦天然气化工厂	轻烃和石脑油	130 + 30
抚顺乙烯化工厂	轻烃和石脑油	120 + 20
独山子乙烯工程	轻烃和石脑油	140
中原石化总厂	轻烃和石脑油	140
北京东方化工厂	石脑油和轻柴油	140
天津联合化学公司	石脑油和轻柴油	140
广州石油化工公司	石脑油和轻柴油	150
茂名石油化工公司	石脑油和轻柴油	300 + 80
吉林化学工业公司	石脑油和轻柴油	300
共计		4458

① “+”号后的数为改造后增加的设计能力；设计能力为 1999 年 12 月数据。

表 1-5b 1980 ~ 1998 年全国乙烯生产情况

	1980	1986	1988	1991	1994	1996	1997	1998
乙烯产量/kt	478.3	676.2	1210	1760.9	2124.2	3034.4	3579.2	3787
乙烯生产能力/(kt/a)	596	1012	1635		2328	3711	3977	4200
乙烯原料单耗/(t/t)	4.39	3.809		3.549	3.449	3.351	3.310	3.252

其中，扬子石化公司、上海石化烯烃厂经改扩建达到 400kt/a 乙烯规模，齐鲁经改扩建达到 450kt/a 乙烯规模，大庆正在改扩建为年产乙烯 480kt。而新開車的乙烯装置有茂名、吉化（年产乙烯 300kt）。

我国乙烯装置的能耗，于 80 年代以前投产的每吨乙烯在 33.5GJ 以上，于 90 年代初期投产的每吨乙烯在 33.5GJ 以下，以石脑油为原料的能耗是每吨乙烯 20.9GJ 左右。在国际上，近期投产的以石脑油为原料的装置，每吨乙烯能耗一般低于 20.9GJ，如表 1-6a 所示。

表 1-6a 乙烯装置设计吨乙烯能耗^①

原料	1970 年	1980 年	1989 ~ 1994 年	1999 年
乙烷	26.8	21.4	12.6	12.6
丙烷	28.5	23.4	15.9	15.9
石脑油	39.4	26.0	19.3	19.3
轻柴油	44.4	33.1	25.1	23.9

①没有采用燃气轮机的能耗。

乙烯是石油化工最重要的基础原料之一，从乙烯出发可以得到一系列产品。乙烯装置主要裂解产品及副产品的用途见图 1-1 至图 1-4。

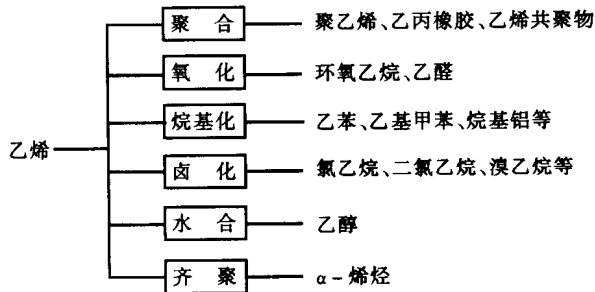


图 1-1 乙烯系列产品

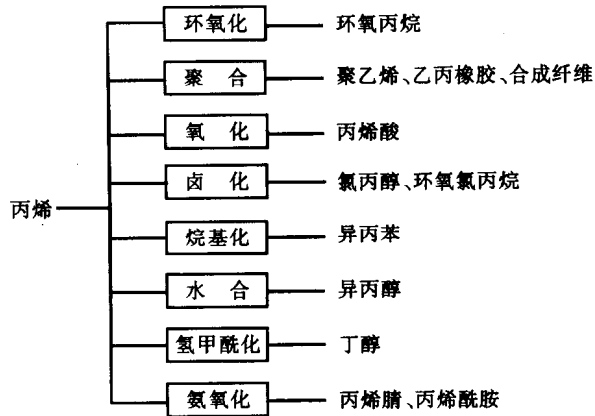


图 1-2 丙烯系列产品

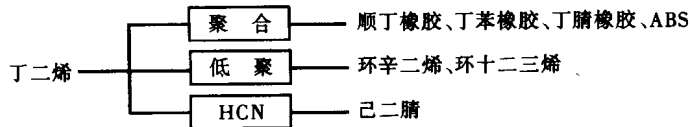


图 1-3 丁二烯系列产品

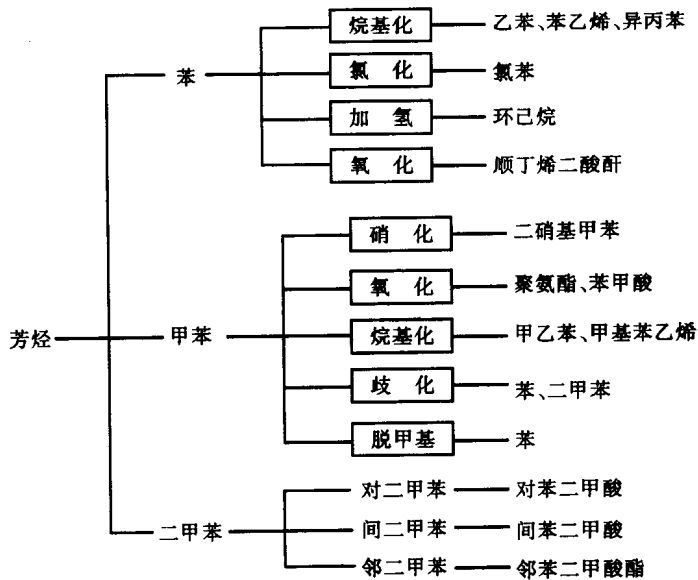


图 1-4 芳烃系列产品

1995年、1996年世界乙烯消费结构及2000年消费结构的预测，以及美国、西欧、日本的乙烯消费结构见表1-6b。

表1-6b 乙烯消费结构

	美国			西欧			日本	全球	
	1996	2005	2010	1995	2005	2010	1996	1995	2000
LDPE	15.9	10.3	8.0	28.4	22.7	19.8	-	22	19
LLDPE	11.6	15.6	18.6	7.1	11.0	13.9	-	10	13
LDPE/EVA	-	-	-	-	-	-	-	10	13
HDPE	25.2	30.1	32.6	21.3	24.2	24.9	19.5	23	24
EO	12.2	11.5	10.6	10.0	10.4	10.4	11.1	12	11
VCM	2.0	2.3	2.2	0.9	1.0	1.1	-	7	7
α -烯烃	5.2	6.3	6.5	2.4	3.1	3.5	-	-	-
EDC	16.1	13.9	12.7	-	-	-	14.4	-	-
EDC/VCM	-	-	-	15.8	14.3	13.7	-	-	-
乙苯/苯乙烯	7.3	6.6	6.1	6.6	6.3	6.3	13.7	16	15
乙丙橡胶	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-
其它	4.4	3.4	2.9	7.6	6.8	6.7	9.8	10	11
总量/(kt)	22000	30000	37000	17600	22000	25000	7138	-	-

资料来源：PERP, Ethylene/Propylene. 1996/1997, 6; 1997, 3。

第一节 乙烯装置原料

一、乙烯原料来源和种类

裂解原料的来源主要有两个方面，一是天然气加工厂的轻烃，如乙烷、丙烷、丁烷、天然气汽油等，二是炼油厂的加工产品，如炼厂气、汽油、煤油、柴油、重油、渣油等，以及炼油厂二次加工油，如焦化加氢油、加氢裂化油等。

(一) 天然气

蕴藏在地层内的可燃性气体称为天然气，它的组成主要是甲烷，还含有乙烷、丙烷等低相对分子质量（以下简称分子量）烷烃，和少量CO₂、N₂、H₂S等非烃成分。

依化学组成不同，天然气可分为干气和湿气两种，干气的主要成分是甲烷，含甲烷在90%（质）以上，我国三个气田的干气成分如表1-7。湿气含90%（质）以下的甲烷，其余的组分是乙烷、丙烷和丁烷等烷烃，之所以称为湿天然气，是因为C₂~C₅这部分可以经压缩冷却得到液态的凝缩汽油。

表1-7 我国天然气干气组成

相对密度	% (质)							
	甲烷	乙烷	丙烷	硫化氢	不饱和烃	CO ₂	H ₂	N ₂
0.6222	89.99	0.19	0.10	1.46	0.03	3.10	0.07	5.01
0.5783	97.55	0.54	0.15	0.50	-	1.0	0.04	1.33
0.5614	97.88	0.41	0.04	0.097	-	0.30	0.12	1.18

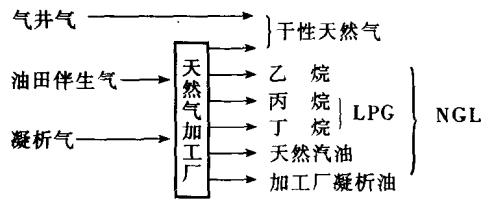
从矿藏不同分类，天然气可分为气井气、凝析井气、油田气三种。

1. 气井气 开采时只出气不出油的井称为气井，开采出来的气体称为气井气，其中甲烷含量较高，乙烷、丙烷含量较少。

2. 凝析井气 在开采气田凝析油的同时采出凝析井气。凝析油的组成相当于轻石脑油或全沸程石脑油和粗柴油的混合物。

3. 油田气 油田气是伴随开采石油从油井中开采出来的气体，是与石油伴生的天然气，故又称为油田伴生气。油田气除了含有相当数量甲烷外，尚含有一定的乙烷、丙烷、丁烷

等，经压缩分离出气体，得到的液体部分称之为液化石油气（LPG）。在开采油田中，油田气的数量很大，我国天然气量有45%左右为油田伴生气，气油比（米³气/吨原油）一般在20~500范围内。我国大庆、胜利油田的气油比约为40~60，大港约为150~200。油田气采出，其组成和气油比因地区和季节等条件而异，通常新油田的气油比较大，气体中低级烃



含量较高，开采到后期气量显著减少，组成中高级烃含量增多。表 1-4 列出了不同地区的伴生气组成。

天然气经分离加工装置分出的乙烷、LPG、天然汽油、加工厂凝析油，总称为天然气凝析液（NGL）。天然气的分离加工如图 1-5。

表 1-8 不同地区的伴生气组成

国家和地区	组成/% (体)							
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅ ^①	CO ₂	H ₂ S	N ₂
中国 (1)	79.75	1.90	7.60	5.62	3.31	0	0	0
(2)	76.29	11.00	6.00	4.00	0.71	1.36	0	0.64
(3)	81.50	8.50	5.00	3.00	1.00	0	0	1.00
(4)	76.83	9.69	5.70	3.84	2.95	0.34	0	0.65
利比亚	66.80	19.40	9.10	3.50	1.20	0	0	0
沙特阿拉伯	62.24	15.07	6.64	2.40	1.12	9.20	2.80	0
伊朗	74.90	13.00	7.20	3.10	1.50	0.30	0	0
北欧	85.90	8.10	2.70	0.90	0.30	1.60	0	0.50
委内瑞拉	85.00	8.00	4.40	2.00	0	0.40	0.20	0
尼日利亚	83.60	6.80	4.50	2.60	1.40	0.10	1.00	0

①系指≥C₅的组分，下同。

世界各主要产区天然气组成列于表 1-9。天然气经分离加工，分离得到乙烷、丙烷、丁烷和它们的各种混和物，称为气体原料。其蒸汽裂解产品分布数据列于表 1-10。

表 1-9 世界各主要产区天然气组成

产地	组成/% (体)									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆ [*]	CO	H ₂ S	N ₂	
美国 Louisiana	92.18	3.33	1.48	0.79	0.25	0.05	0.90	—	1.02	
Kuffalde	65.80	3.80	1.70	0.80	0.50		—	—	25.60	
加拿大 Alberta	87.02	9.15	2.78	0.35	—	—	0.24	—	0.46	
委内瑞拉 Son Joaqui	76.70	9.79	6.69	3.26	0.94	0.72	1.90	—	—	
荷兰 Goningen	81.40	2.90	0.37	0.14	0.04	0.05	0.80	—	14.26	
法国 Leaq	69.50	3.10	1.00	0.50	0.30	0.50	10.00	15.10	—	
英国 Leman Bank (北海)	95.00	2.76	0.49	0.20	0.06	0.15	0.04	—	1.30	
伴生气	83.70	8.70	4.20	1.30	0.30	0.10	1.00	—	0.70	
伊朗 波斯湾	76.12	11.11	6.11	2.16	0.73	0.39	3.10	0.28	—	
阿尔及利亚	83.44	7.00	2.10	0.87	0.24	0.12	0.21	—	5.83	
印度尼西亚 Jana 海上油田伴生气	52.25	11.00	19.80	9.25	3.14	2.15	1.02	—	1.39	
沙特阿拉伯	51.50	18.50	11.50	4.40	1.20	0.90	9.70	2.20	0.50	
科威特	78.20	12.60	5.10	0.60	0.60	0.20	1.60	0.10	—	
原苏联 秋明伴生气	86.90	2.60	3.50	2.70	1.20		0.80	—	—	
含别林斯克凝析气	93.60	4.00	0.60	0.70	0.40		0.10	—	0.60	
巴什基利亚伴生气	41.00	19.70	17.00	7.30	3.20		0.20	—	11.60	

表 1-10 气体原料蒸汽裂解单程产品收率

% (体)

原料	乙烷		丙烷		正丁烷		异丁烷		
单程转化率/%	60		92		96		51		
膨胀率	1.53		1.91		2.20		1.54		
组成	进 料	出 料	进 料	出 料	进 料	出 料	进 料	出 料	
H ₂		32.7		13.8		9.0		13.1	
CH ₄		6.3		36.3		37.2		21.6	
C ₂ H ₂		0.2		0.3		0.5		—	
C ₂ H ₄	2.0	33.8		30.0		28.5		2.7	
C ₂ H ₆	95.2	24.9	0.4	5.0		6.2		1.5	
C ₃ H ₆	2.2	1.0	—	7.6		10.8		12.8	
C ₃ H ₈	0.6	0.2	98.2	4.2		0.5		3.0	
i-C ₄ H ₁₀		} 0.4	—	} 1.2	0.9	—	95.0	30.2	
n-C ₄ H ₁₀			1.4			97.0	1.8		0.7
C ₄ H ₈							1.1		14.0
C ₄ H ₆						0.8		—	
C ₅		0.5		1.6		3.6		0.4	

(二) 炼油装置的裂解原料

1. 炼厂气 炼厂气是炼厂在石油加工过程中所得到的气体的总称。它主要包括催化裂化气、加氢裂化气、焦化气、重整气。这些气体经汽油吸收后可得干气、气态烃、液态烃。气态烃主要含有氢、甲烷、碳二等难凝气体，液态烃主要是碳三、碳四馏分，结果列于表 1-11、1-12。

表 1-11 炼厂主要装置的气体产率

% (质)

装 置	气态烃	液态烃	气液烃总产率
催化裂化	2~4.5	8~11.5	10~16
热裂化	6.5	2.5	9
延迟焦化	5~7	1.5~2	6.5~9
减粘裂化	1.3	—	1.3
铂重整	含氢气体 3	—	3

表 1-12 典型炼厂气组成

% (质)

项 目	常压蒸馏	催化裂化	催化重整	加氢裂化	加氢精制	延迟焦化	减粘裂化
H ₂	—	0.6	1.5	1.4	3.0	0.6	0.3
CH ₄	8.5	7.9	6.0	21.8	24.0	23.3	8.1
C ₂ H ₆	15.4	11.5	17.5	4.4	70.0	15.8	6.8
C ₂ H ₄	—	3.6	—	—	—	2.7	1.5
C ₃ H ₈	30.2	14.0	31.5	15.3	3.0	18.1	8.6
C ₃ H ₆	—	16.4	—	—	—	6.9	4.8
C ₄ H ₈	45.9	21.3	43.5	} 57.1	—	18.8	36.4
C ₄ H ₆	—	24.2	—		—	13.8	33.5
合计	100	100	100	100	100	100	100

2. 原油各馏分油 原油经过炼油装置得到的各种油品可作为乙烯的原料。图 1-6 为炼油厂流程示意图。

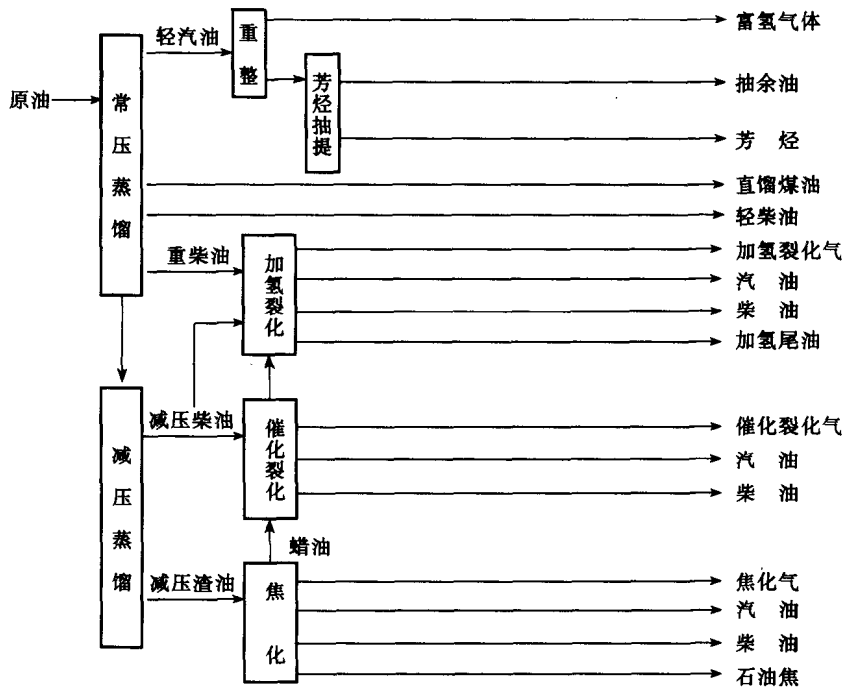


图 1-6 炼油厂流程示意图

(1) 轻油 轻油包括直馏汽油、抽余油、重整拔头油等含烷烃较多的低沸点馏分油，沸点范围从初馏点至 130℃或初馏点至 200℃的汽油馏分。

拔头油 将初馏点至 130℃的直馏汽油馏分进行拔顶，拔出初馏点至 60℃的轻馏分，这就是拔头油，主要是 C₃ ~ C₆ 的烃，其收率约为原油处理量的 0.4% ~ 0.6%。

抽余油 经过拔顶后的直馏汽油 60 ~ 130℃馏分进行重整，经过芳烃抽提，抽出芳烃以后剩下的馏分称之为抽余油，主要成分是 C₆ ~ C₈ 烷烃和环烷烃，组成见表 1-13。

表 1-13 重整汽油抽余油组成 % (质)

组 分	含 量
烷烃	61.6
环烷烃	36.8
芳烃	1.6

直馏汽油 又称为石脑油，原油经常压蒸馏分馏出初馏点至 200℃的馏分油称为全沸程石脑油，如果切取初馏点至 130℃或以前馏分称为轻石脑油。

(2) 煤油、轻柴油 煤油是 130 ~ 300℃之间的直馏馏分油，200 ~ 300℃的直馏馏分油为常压柴油 (AGO)。柴油可分为两种，200 ~ 350℃的馏分为轻柴油，250 ~ 400℃馏分为重柴油，现在将 145 ~ 360℃馏分油称为轻柴油。

(3) 减压柴油 经减压蒸馏得到的 350 ~ 500℃馏分称为减压柴油 (VGO)。

二、中国原油性质

原油是由分子量不同的各种烷烃、环烷烃和芳烃所组成的复杂混合物，还有含氮、含硫和含氧的有机化合物 (噻吩、硫醇、硫醚)，以及微量的无机盐和水份。

根据石油中各种烃族的相对含量的不同，可以将石油分为三大类，一类是石蜡基石油，其中烷烃含量较高，芳烃含量较低；一类是环烷基石油，其中环烷烃和芳烃含量较高，烷烃