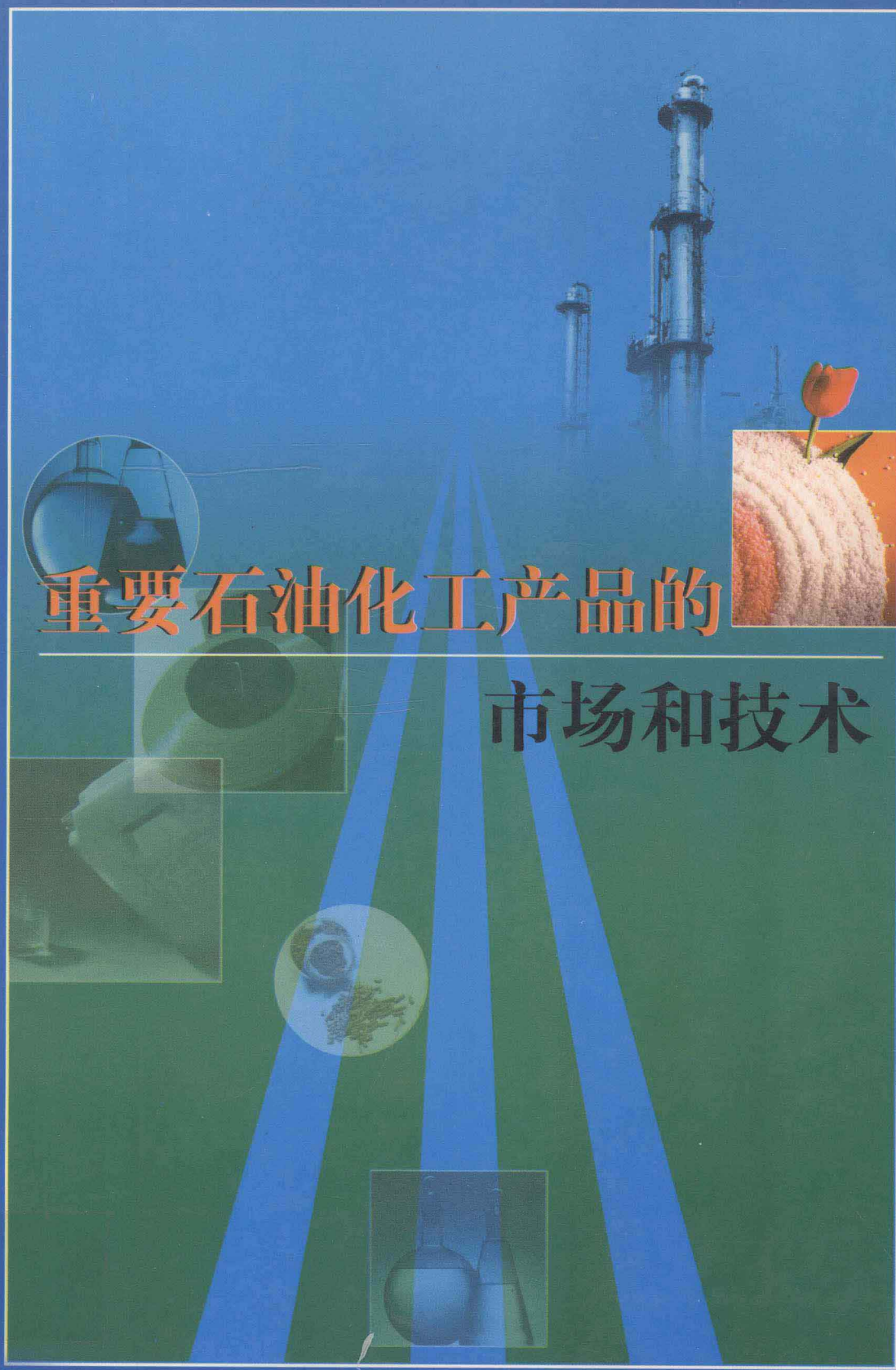


中国石油化工集团公司信息中心 编



重要石油化工产品的

市场和技术

★★★★★ 中国石化出版社

重要石油化工产品的 市场和技术

中国石油化工集团公司信息中心编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

重要石化化工产品的市场和技术/中国石油化工集团公司信息中心编. —北京:
中国石化出版社, 1999

ISBN 7-80043-827-9

I. 重… II. 中… III. ①石油化工—化工产品—市场②石油化工—化工产品—生产工艺 IV. TE662.8

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第60623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) 64271850

东远排版

北京医科大学印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 29.375印张 750千字 1—600

1999年12月第1版 1999年12月第1次印刷

定价: 100.00元

(内部发行)

前 言

世纪之交，世界石化工业面临市场供大于求，大型石化公司合并、重组浪潮迭起，环境压力加重，技术竞争加剧的严峻形势。下个世纪，发达国家的乙烯工业将逐渐进入成熟后的缓慢发展阶段，发展中国家，尤其是我国仍有较大的发展空间和巨大的市场潜力。随着我国国民经济的发展，预计我国对乙烯及乙烯装置重要下游产品的需求仍会高于国民经济的增长速率。到下个世纪初，我国将会完成对现有大中型乙烯装置的扩能改造，并将建设几个世界级的乙烯装置。在不断加快的石化工业全球化进程中，中国石化工业的发展离不开世界石化市场的大环境。知己知彼，百战不殆。为及时向从事石化工作的同仁提供全面、准确、实用的参考资料，受中国石油化工集团公司技术开发中心的委托，中国石油化工集团公司信息中心编写了这本《重要石油化工产品的市场和技术》。该书包括烯烃（乙烯、丙烯、丁二烯）、芳烃（苯、甲苯、二甲苯）及它们的重要下游产品（聚乙烯、聚丙烯等合成树脂；PTA、PET 及合成纤维；丁苯橡胶、聚丁二烯橡胶等合成橡胶；乙苯、苯乙烯、二氯乙烷、醋酸、顺酐、邻苯二甲酸酐等重要有机原料），合成氨、尿素等 38 种产品的国内外市场、应用、生产技术和进展。每篇文章都简要地概括了所述产品国内外生产能力、产量、需求及需求预测，世界主要生产公司生产能力，一般均列出世界上最主要的生产公司和最主要的技术持有者、应用分配、价格趋势、主要生产工艺和技术进展、主要参考资料等。本文尽可能采用最新资料，参考了国外许多特种文献和大量的网上资源。细心读者将不难发现，文章引用的参考文献大多是 1998 年和 1999 年的资料。预计本书对从事石油化工规划、计划、科研、生产、基建、决策的技术人员及大专院校学生快速了解国内外石化工业的全貌将有所帮助。

书中 29 篇文章由中国石油化工集团公司信息中心同志完成，其它 9 篇由中国石油化工咨询公司、燕山石油化工集团公司研究院和江苏省化工研究所同志完成。其中

乙烯、丙烯、聚乙烯、工程塑料由陈乐怡完成；

合成橡胶、乳聚丁苯橡胶、溶聚丁苯橡胶、聚丁二烯橡胶、乙丙橡胶和苯乙烯类热塑性弹性体由鲍爱华完成；

聚丙烯、聚苯乙烯由高秀英完成；

合成纤维由周溪华完成；

二氯乙烷和聚氯乙烯单体、聚氯乙烯和 ABS 树脂由雷燕湘完成；

丙烯腈、己内酰胺和 PET 聚酯由张从容完成；

乙苯和苯乙烯、顺酐、邻苯二甲酸酐由邹劲松完成；

芳烃、环氧丙烷由蒋文定完成；

丁二烯、对苯二甲酸、双酚 A、醋酸和丁腈橡胶由曹勇完成；

环氧乙烷/乙二醇、苯酚/丙酮、甲基叔丁基醚、甲乙酮和甲基丙烯酸甲酯由吕荣先完成；

异氰酸酯由刘益军完成；

聚氨酯泡沫塑料由张焱完成；

合成氨和尿素由骆岷完成。

朱百善、陈乐怡、武众和鲍爱华审阅了本文集的大部分稿件。

目 录

乙烯·····	1
丙烯·····	13
聚乙烯·····	21
聚丙烯·····	37
二氯乙烷和氯乙烯·····	47
聚氯乙烯树脂·····	55
乙苯和苯乙烯·····	67
聚苯乙烯·····	78
ABS 树脂·····	88
芳烃·····	100
环氧乙烷和乙二醇·····	120
对苯二甲酸·····	129
PET 聚酯·····	145
丙烯腈·····	153
己内酰胺·····	161
合成纤维·····	168
醋酸·····	184
顺丁烯二酸酐·····	200
邻苯二甲酸酐·····	210
环氧丙烷·····	221
甲基丙烯酸甲酯·····	232
甲乙酮·····	242
甲基叔丁基醚·····	250
苯酚、丙酮·····	260
双酚 A·····	270
工程塑料·····	283
异氰酸酯·····	305
聚氨酯泡沫塑料·····	312
丁二烯·····	320
合成橡胶·····	336
乳聚丁苯橡胶·····	351
溶聚丁苯橡胶·····	370
聚丁二烯橡胶·····	384
乙丙橡胶·····	402
丁腈橡胶·····	416
苯乙烯类热塑性弹性体·····	432
合成氨·····	449
尿素·····	458

乙 烯

据预测,亚洲金融危机后世界乙烯需求年增长速度为 3.4%,其生产能力年增长速度为 3.5%。到下个世纪初,中东、亚洲和中南美洲将有较高的增长速度。近年来,乙烯技术的进展主要表现在提高单台裂解炉的能力,提高裂解装置的灵活性,降低新建装置的投资,缩短施工期,减少裂解反应结焦及更多地利用信息化技术等方面。

1 供需现状和预测

1.1 生产能力

1999 年初世界乙烯生产能力为 9096.9 万吨^[1],比上一年增长 210 万吨,增长率为 2.5%。从地区看增长速度最快的仍是亚洲地区,1998~1999 年增长率为 3.5%。1998~1999 年的增长速度与前几年相比明显减慢。亚洲 1997~1998 年的增长率是 9.3%。进入 90 年代后,世界乙烯的年均增长率为 5.3%。增长的减慢明显受亚洲金融危机的影响,乙烯生产厂也意识到世界乙烯市场供过于求的形势。预计到 2000 年,世界乙烯生产能力不会有太大的增长。1998~1999 年主要新增的能力是:台塑在台湾梅寮的装置,能力 45 万吨/年;Dow 化学加拿大公司在 Fort Saskatchewan, Alta 的装置,能力 54.4 万吨/年;Mobil 化学公司在 Beaumont, Tex. 的装置,能力 25 万吨/年;DSM 公司在荷兰 Geleen 的装置,能力 10 万吨/年;Chevron 化学公司在 Cendar Bayou, Tex. 的装置,能力 9.07 万吨/年。亚洲金融危机使一些装置的建设推迟,印度尼西亚 PT 泛太平洋工业公司推迟了它建在东爪哇岛 Tuban 的 70 万吨/年的乙烯装置,该装置原定于 1998 年投产。

根据美国油气杂志的调查,1999 年世界大约只增加 300 万吨乙烯能力,到 2000 年大约另有 950 万吨能力建成。2000 年前新建成的两个最大的乙烯装置均在北美。诺瓦(Nova)化学公司建在 Joffre, Altar 的 130 万吨/年的乙烯装置,2000 年 5 月完工;巴斯夫和芬纳正在 Port Arthur, Tex. 建设单系列的蒸气裂解装置(86 万吨/年乙烯和 86 万吨/年丙烯),装置预计在 2000 年第四季度完工。表 1、表 2 分别列出世界各地区及世界各国和地区的乙烯生产能力。

表 1 世界各地区的乙烯生产能力

万吨

	1999 年	1998 年	增长率/%
亚洲/太平洋地区	2185.6	2111.9	3.5
东欧/前苏联	746.7	745.8	0.1
中东/非洲	632.7	632.2	0.1
北美	3112.6	3017.8	3.1
南美	345.2	345.3	0.0
西欧	2078.5	2026.4	2.6
世界总能力	9101.4	8879.3	2.5

表 2 1999 年 1 月世界各国和地区的乙烯生产能力

万吨

国家和地区	生产能力	国家和地区	生产能力
阿尔及利亚	1.328	科威特	65
阿根廷	30.7	利比亚	35
澳大利亚	50.17	马来西亚	63
奥地利	34.5	墨西哥	139.1
比利时	182	荷兰	295
巴西	238.5	朝鲜	6
保加利亚	40	挪威	41
加拿大	385	波兰	39.5
智利	6	葡萄牙	33
中国	392.3*	卡塔尔	54
中国台湾	146.5	罗马尼亚	74.4
哥伦比亚	10	沙特阿拉伯	335
克罗地亚	9	新加坡	96.5
捷克共和国	45	斯洛伐克	23
芬兰	29	南非	42.5
前苏联	486.8	韩国	477
法国	315.7	西班牙	127.26
德国	476.5	瑞典	40
希腊	1.5	瑞士	3
匈牙利	29	泰国	78.6
印度	129.5	土耳其	40
印度尼西亚	55	英国	250
伊朗	69.4	美国	2588.5
以色列	18.5	委内瑞拉	60
意大利	210	总能力	9096.9
日本	698.6		

*根据国内实际情况统计, 其它数字根据参考文献[1]

1.2 供求预测

1997 年世界乙烯需求为 7600 万吨, 亚洲金融危机前美国斯坦福公司预测的 2002 年世界乙烯的需求为 9400 万吨, 年增长率为 4.4%。危机后调整的 2002 年预测为 8900 万吨, 年增长率为 3.4% (表 3) [2]。亚洲经济危机后重新预测的世界乙烯生产能力的年增长率为 3.5%, 2002 年世界乙烯生产能力达 1.07 亿吨 (表 4)。根据美国化学系统公司统计和预测, 1998 年世界乙烯需求量为 8040 万吨, 2000 年为 8800 万吨, 2005 年为 1.14 亿吨, 2010 年为 1.4 亿吨。在预测的周期内, 世界乙烯装置的开工率仍维持在 90% 左右 (图 1) [3]。

1997 年我国乙烯产量 358 万吨, 需求量 629 万吨, 是世界乙烯产量 7600 万吨的 4.7%, 是世界乙烯需求量的 8.3%。这两个比例与 1983 年的 1.6% 和 2.4% 相比, 已有明显的增长。如果到 2002 年我国大中型乙烯的改造均能完成, 我国乙烯生产能力将达到 614 万吨, 按开工率 90% 计算, 产量增长到 552 万吨。根据我国乙烯需求历史状况, 结合产业发展规律和预测的国民经济增长状况, 我们预测, 到 2002 年我国乙烯需求将增长到 900 万吨 (图

2) ^[4], 届时我国乙烯产量和需求量占世界乙烯产量和需求量 (8900 万吨^[1]) 的比例将逐年提高, 分别达到 6.2% 和 11.1%。

表 3 世界乙烯需求预测

地 区	1997 年/ (万吨/年)	亚洲金融危机前的预测		亚洲金融危机后的预测	
		2002 年/ (万吨/年)	年均增长率/%	2002 年/ (万吨/年)	年均增长率/%
中东/非洲	590	870	8.1	800	6.3
亚太地区	1790	2580	7.6	2370	5.7
中南美洲	290	400	6.7	370	5.2
东欧	330	430	4.9	400	3.9
北美	2770	3140	2.6	3060	2.1
西欧	1790	1970	2	1930	1.6
总量	7600	9400	4.4	8900	3.4

表 4 亚洲金融危机后对世界乙烯能力的预测

地 区	计划建设的装置数	最可能建成的装置数	1997 年实际能力/万吨	增加的新能力/万吨	原有装置的扩能/万吨	2002 年生产能力/万吨	年均增长率/%
中东/非洲	9	4	730	200	10	930	5.1
亚太地区	39	8	2280	380	220	2880	4.8
北美	7	5	3010	420	60	3490	3.0
中南美洲	6	1	350	50	10	400	2.9
西欧	3	1	2010	60	240	2310	2.8
东欧	2	1	680	30	10	720	1.3
总量	66	20	9100	1100	500	10700	3.5

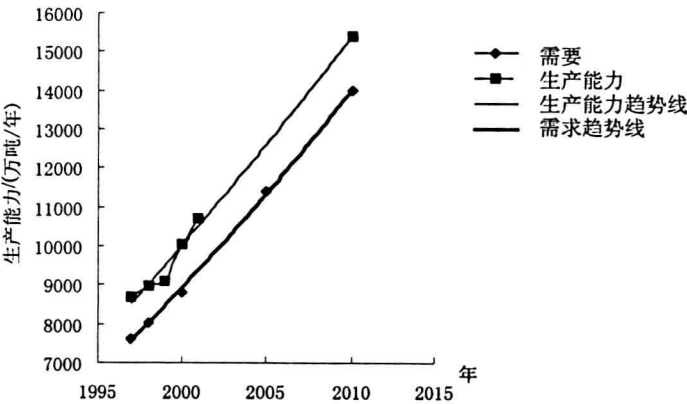


图 1 世界乙烯的生产能力和需求

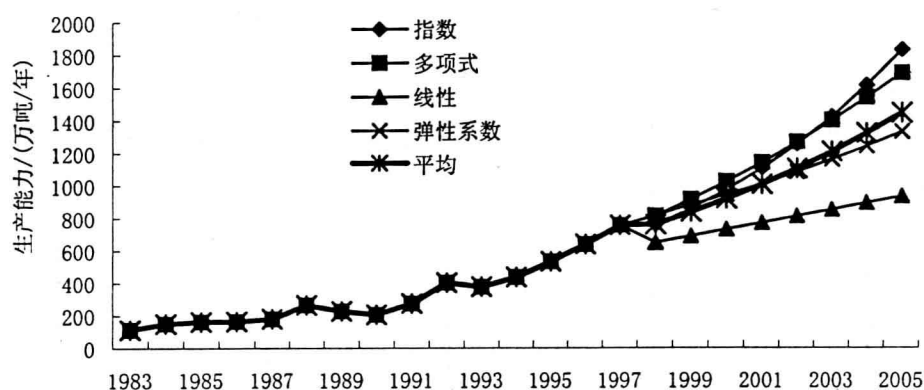


图 2 我国乙烯需求预测 (平均代表预测的基本情况)

2 主要生产公司

Dow 化学公司是世界最大的乙烯生产公司, 能力约 540 万吨/年, 第二大公司是 Equistar 化学公司, 它是美国最大的乙烯生产公司, 生产能力 520 万吨/年, 占美国乙烯总生产能力的 20%, 该公司是由 Lyondell 石化、Millennium 化学和 Occidental 石油公司组成的合资公司。表 5 列出世界最大的十家乙烯生产公司。世界最大的乙烯装置是 Phillips 石油公司在美国得克萨斯州 Sweeny 的装置, 能力 204 万吨/年。表 6 列出世界最大的 10 套乙烯装置。

表 5 世界最大的乙烯生产公司^[1]

排 序	公 司	生产能力/(万吨/年)
1	Dow Chemical Co.	542.7561
2	Equistar Chemical Lp	520.1816
3	Exxon Chemical Co.	369.2000
4	Shell Chemical Co.	335.1179
5	中国石化集团公司	243.0000*
6	Nova Chemical Co.	222.1950
7	BP/AMOCO	220.1247
8	Enichem	210.0000
9	Phillips Petroleum Co.	204.0816
10	Union Carbide Corp.	177.5510

注: 作者根据统计数据提供, 与参考文献[1]提供数据不同。

表 6 世界最大的乙烯装置^[1]

序 号	公 司	装置位置	生产能力/(万吨/年)
1	Phillips Petroleum Co.	Sweeny, Tex	204.1
2	Exxon Chemical Co.	Bayton, Tex	189.0
3	Equistar Chemical L D		172.3
4	Nova Chemical Co.	Joffre, Alta	154.2
5	BP AMOCO	Chocolate Bayou, Tex	145.1
6	Dow Chemical Co.	Freeport, Tex	122.5

续表

序 号	公 司	装置位置	生产能力/(万吨/年)
7	DSM, NV	荷兰, Geleen	120.0
8	Dow Chemical Co.	Plaquemine, La.	110.2
9	Saudi Petrochemical Co.	沙特阿拉伯, Al-Jubail	110.0
10	Dow Chemical Europe	荷兰, Terneuzen	110.0

3 原料状况

石脑油现在占世界乙烯原料的 51%，预计到 2005 年将增长到 54%（见图 3、图 4）^[1]。

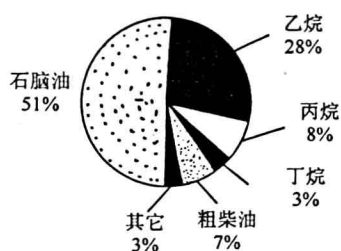


图 3 1997 年世界乙烯原料构成

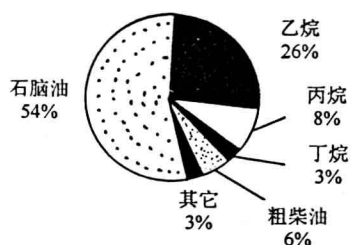


图 4 2005 年世界乙烯原料构成

我国乙烯原料构成较重，常压柴油占 44%，石脑油占 48%（见图 5）^[5]。

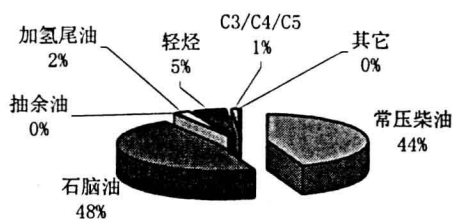
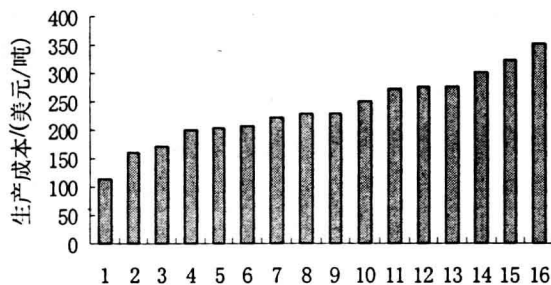


图 5 1996 年我国乙烯原料构成

4 成本状况

美国化学系统公司报告的世界各地乙烯生产成本状况见图 6^[3]。中东、西加拿大、马来西亚拥有比较便宜的天然气，乙烷原料较多，乙烯生产成本占优势。世界低成本乙烯约占乙烯总产量的 14%。另一方面，除马来西亚以外的亚洲国家乙烯生产成本都比较高。



1—中东乙烷；2—马来西亚乙烷；3—西加拿大乙烷；4—墨西哥乙烷；5—委内瑞拉乙烷丙烷
6—美国海湾石脑油；7—新加坡石脑油；8—欧洲石脑油；9—美国海湾乙烷；10—印度石脑油
11—泰国石脑油；12—阿根廷乙烷；13—印度尼西亚石脑油；14—韩国石脑油；15—巴西石脑油；16—日本石脑油

图 6 世界不同国家的乙烯生产成本

5 应用状况

一半以上的乙烯用于生产聚乙烯，其次消费量大的的是二氯乙烷和乙二醇，两者也都用

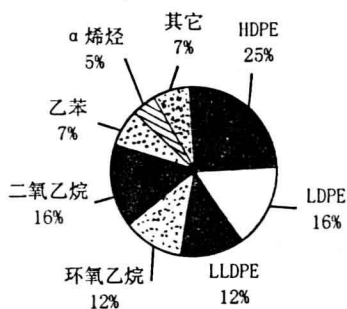


图 7 世界乙烯应用概况

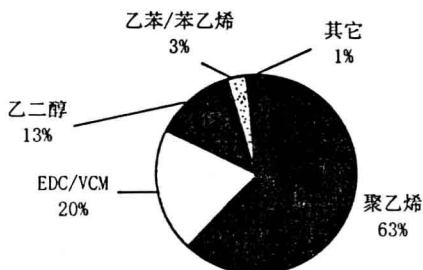


图 8 我国乙烯的应用分布

来生产合成材料。图 7 表明 1997 年世界乙烯的应用概况^[1]。1997 年我国聚乙烯占乙烯消费量的 63%，EDC/VCM 占 20%，乙二醇占 13%，乙苯/苯乙烯占 3%^[6]（见图 8）。

6 生产技术及进展

6.1 目前在世界范围内可出售成套乙烯专利技术的公司是 ABB Lummus Global、Kellogg Brow & Root, Inc、Linde AG 和 Stone & Webster Engineering Corp。根据他们在烃加工期刊 1999/3 上的自我介绍，将各公司的技术特点和工业化状况介绍如下。

6.1.1 ABB Lummus Global 技术

流程特点 采用 SRT（短停留时间）裂解炉，炉出口温度 815~870℃，最新设计的一代炉型是 SRT-VI 型炉。采用前脱甲烷的顺序分离流程。甲基乙炔和丙二烯在脱丙烷塔用 CdHydro 催化蒸馏技术加氢。各种原料的产品收率如表 7 所列：

表 7 使用 ABB Lummus 技术的乙烯装置的不同原料的产品收率

%

原料	乙烷	丙烷	正丁烷	全馏分石脑油	瓦斯油			
					常压轻油	重油	减压油	加氢裂化
乙烯	84.0	45.0	44.0	34.4	28.7	25.9	22.0	34.7
丙烯	1.4	14.0	17.3	14.4	14.8	13.6	12.1	14.2
丁二烯	1.4	2.0	3.0	4.9	4.8	4.9	5.0	5.2
芳烃	0.4	3.5	3.4	14.0	16.6	13.3	8.5	13.0

注：表中%全部为质量分数

装置能耗状况：乙烷 3300 kcal/kg；石脑油 5000 kcal/kg；石脑油 4000 kcal/kg；（用燃气轮机）。

（注：1 kcal=4.184 kJ）

工业化状况 世界约 40%的装置采用 Lummus 乙烯技术，许多现有装置采用 Lummus 的 MCET(最大扩能技术)扩能，能力可达到原有能力的 150%以上。

6.1.2 Kellogg Brow & Root, Inc 技术

流程特点 裂解炉停留时间短（0.1 秒左右），出口温度高（达 800℃）。根据不同情况，有前脱丙烷、前脱乙烷（采用气体原料时）和前脱甲烷分离流程。在其申请专利的先进的 C₂ 处理方案中，脱乙烷塔与低压 C₂ 分离器结合成一体，可进一步降低投资和能耗。各种不同原料的乙烯收率为：乙烷 58%；石脑油 35%；瓦斯油 30%。

工业化状况 世界有 90 个以上的装置采用 Kellogg Brow & Root, Inc. 乙烯技术，总能力 2000 万吨/年乙烯。采用该公司前脱丙烷或乙烷型技术刚投产的装置是位于科威特的 UCC/PIC(Equate) 的装置，采用该技术正在建设和改造的装置有中国在大庆的乙烯装置和 Dow 化学公司在荷兰 Teneuzen 的装置。采用该公司前脱甲烷型技术刚投产的装置有 Exxon 在美国得克萨斯州的装置和韩国现代公司的装置，正在建设中的装置有台塑在美国得克萨斯州的装置和 Exxon 在新加坡的装置。

6.1.3 Linde AG 技术

流程特点 裂解炉对于每种原料都可就停留时间、温度和压力分布进行优化，从而可得到最高的乙烯收率，分离采用前脱乙烷流程。不同原料的乙烯收率和能耗情况见表 8。

表 8 使用 Linde AG 技术的乙烯装置不同原料的乙烯收率

原 料	乙烯收率/%	能耗/ (kcal/kg)
乙烷	83	3000
LPG	45	4000
石脑油	35	5000
瓦斯油	25	6000

注：1kcal/kg=4.1868kJ/kg

大规模乙烯装置在美国海湾海岸地区的界区内的建设费用是：用气体作原料时为 500 美元/t 乙烯能力，用石脑油作原料时，为 750 美元/t 乙烯能力。

工业化状况 共有 35 套，总能力 1300 万吨/年的乙烯装置使用林德公司技术，2002 年总能力可扩大到 2000 万吨/年。目前许多使用该公司技术的装置能力已扩大了 50%。1998 年开始或准备开始建设的大型乙烯项目有 Borouge 在 Abu Dhabi 的装置和 Optimal 在马来西亚的装置等。

6.1.4 Stone & Webster Engineering Corp. 技术

流程特点 裂解炉用 USC（超选择性裂解炉），冷区分离部分采用 ARS（先进回收系统）。ARS 技术的特点是：(1)在分馏分凝器中可减少致冷量；(2)在分馏分凝器中模拟急冷和预分馏；(3)减少脱甲烷塔进料中的甲烷含量；(4)脱乙烷塔旁路；(5)乙烯塔双进料（低回流比）；(6)冷量减少近 75%。

经济性 乙烯的收率从 57%（乙烷原料，高收率模式）到 28%（重的加氢瓦斯油），相应的能耗为 3000 kcal/kg 到 6000 kcal/kg。

工业化状况 用斯通韦伯斯特公司技术已建成 100 套装置，利用 ARS 技术已可使老装置能力增加 70%。

6.2 主要技术进展

6.2.1 单台裂解炉能力增加

炉子是乙烯装置生产的核心，这是因为乙烯的收率是由炉子决定的，炉子的投资占乙烯装置投资的 1/3，能耗的大部分消耗在裂解炉上，而且炉子需要定期的维修及脱焦操作，因而裂解炉的改进对提高整个乙烯装置的效率至关重要。典型乙烯裂解炉的能力已由 60 年代初的 2 万吨/年增长到目前的 12 万吨/年以上（图 9、10）^[8、9]。在 80 年代，裂解炉开发的重点是减少辐射炉炉管的停留时间，裂解炉向小管径、高温、短停留时间方向发展，以最大限度地提高乙烯和丙烯的收率。图 11 代表从 50 年代到 90 年代蒸汽裂解管式炉设计的进展，表明了用不同合金制造的炉管的内径、停留时间和操作温度之间的关系^[10]。由图可见 90 年代应用 35/45Cr/Ni，添加 Nb、Ti、Si 的合金，炉管内径可达 1~1.5in，停留时间降到 0.1s 以下，炉管金属表面温度达到 1149℃，出口温度达到 1038℃。90 年代裂解炉技术基本已成熟，开发工作更加注重对炉子机械细节的改进，以最大限度地减少操作和投资费用。这些改进包括：

- 使用线型急冷冷却器，减少机械清洗的次数；
- 减少烧嘴数量，使用大功率的向上喷射型烧嘴；
- 应用高级辐射炉管材料，如 35Cr-45NiNb 和 28Cr-48NiW，提高操作温度和材料的耐蠕变性；
- 改进辐射炉管的支撑系统，例如用有一定负载的吊架，提高炉子的强度；
- 施行先进控制，以优化裂解深度、裂解炉负载、蒸汽稀释比、过程平衡和燃烧控制等参数。

上述改进的结果是提高了每一个裂解炉的能力，从而可降低每吨乙烯的投资费用，降低操作和维修成本，减少了占地（对原有装置的扩能是一个极其重要的因素）。然而受操作灵活性、机械问题和工艺性能的限制，炉子的能力也有一定的极限。

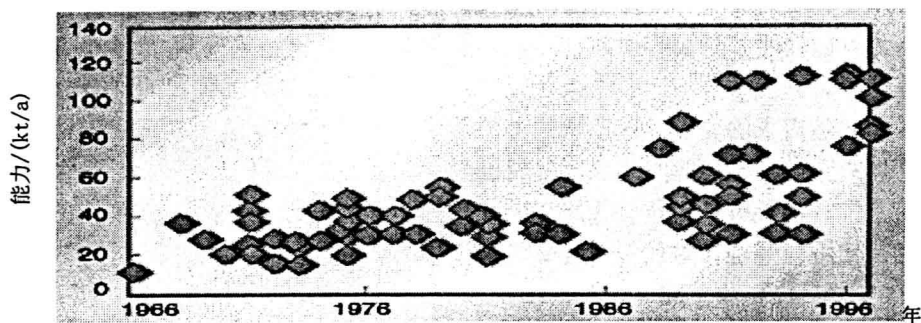


图9 裂解炉能力的增长

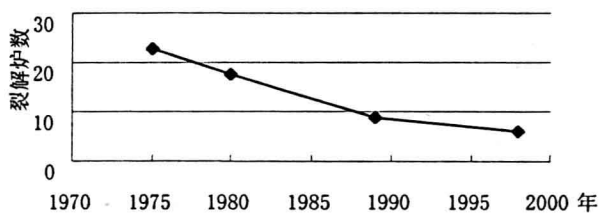


图10 60万吨/年乙烯装置裂解炉数的变化

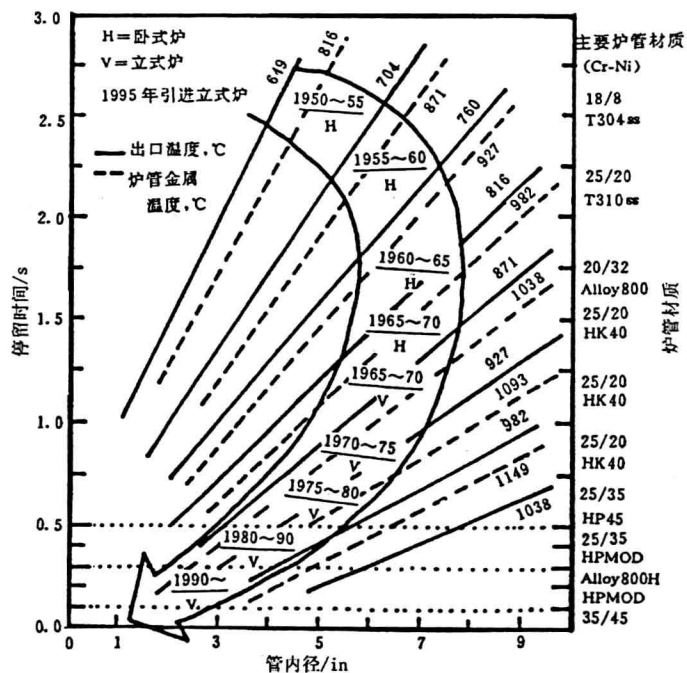


图11 不同合金的裂解炉炉管内径、停留时间和操作温度之间的关系

注: 1in=25.4cm

6.2.2 提高裂解装置的进料灵活性^[11]

经历了 70 和 80 年代世界石油涨价后, 美国许多原来以石脑油或柴油作原料的乙烯装置已将其改造为可以使用多种裂解原料。日本和欧洲的乙烯厂也在探索从北海油田和中东获取天然气液体等其它裂解原料, 其结果是许多乙烯生产厂都增加了装置的灵活性, 以适应原料价格和副产品需求的变化。在乙烯的市场需求量低时, 对于原来以石脑油为主要原料的装置, 增加装置处理轻烃等其它原料的灵活性, 尤其具有吸引力。一方面因为在低负荷条件下, 用乙烷、丙烷等轻烃作替代原料, 设备的不适应性较小; 另一方面, 在低开工率、高成本时, 使用轻烃等作替代原料也更具有吸引力。

6.2.3 降低投资, 缩短施工期

一个 45.4 万吨/年的石脑油裂解装置投资减少 10%, 内部收益率(IRR)就可以由 26.52% 提高到 29.02%, 在基本情况中, 方案执行要用 36 个月, 但如果能减少到 33~30 个月, 可使 IRR 由 26.52% 增加到 28.24%~28.78%。表 9 总结一个 45 万吨/年的乙烯装置降低能耗、提高收率、降低投资费用和缩短工期四个因素对 IRR 的影响。可见, 减少项目投资和缩短工期对一个新装置整体经济性的影响更大。据 Lumms 公司资料报道, 一套 35 万吨/年以石脑油为原料的乙烯装置, 若以 80 年代的高效率为目标进行设计, 需要 416 台设备, 而以 90 年代最佳投资为目标进行设计, 只需 247 台设备, 从而大大减少了装置投资^[13]。

表 9 内部收益率 (IRR) 的敏感性^[12]

	IRR	绝对变化	相对变化
基本情况	26.52		
在回收部分能耗降低 15%	26.6	+0.08	+0.3
用毫秒炉提高收率	27.57	+0.99	+3.7
投资降低 10%	29.02	+2.50	+9.4
工期减少 3 个月	28.24	+1.72	+6.5
工期减少 6 个月	28.78	+2.26	+8.5

Kellogg 公司应用了一些新颖的设计降低投资, 最初是把多套设备合并成一件设备。例如, 通常段间工艺气体压缩机排出的气体在换热器中冷却, 然后通过一个罐使气液分离, 气体进入下一段压缩机, 液体返回前一段或在汽提塔中汽提。结合这些设施, 管束可以直接放在分离容器内, 形成整体投资低的一台设备。配管、法兰、接头都可以减少, 占地空间也可减少, 总体布局比较简单。在乙烯装置中类似这样的应用机会很多, 特别是制冷设施区有可能将冷冻容器结合, 并使用罐内的板翅片热交换器。使用这些技术估计可省去 10% 以上的投资, 国外的乙烯装置建设正在扩大这样的应用。

6.2.4 增加装置运转的可靠性, 提高开工率

目前认为, 为了得到好的收益, 乙烯装置的能力利用率应超过 90%。对 Lummus 设计的乙烯装置的调查表明, 开工率普遍超过 95%, 有些已超过 99%。开车时间已连续下降到 50h, 最短的开车时间达 24h。装置运转周期超过 3 年。

6.2.5 采用膜分离技术

1994 年凯洛格公司提出将膜分离技术用于乙烯装置的扩建改造中, 基本构思是用中空纤维膜从被分离的裂解气中预先分离出部分氢, 从而使被分离气体中的乙烯及较重组分的

浓度明显提高,以减少装置的制冷负荷,提高原乙烯装置的分离处理能力。

膜技术研究公司在最近发表的专利^[14]提出,用膜分离乙烯装置气体中的氢和甲烷。发明工艺包括三部分,即凝聚、闪蒸和膜分离。三步结合为一体,不仅实现了组分的良好分离,而且可避免产生需要二次处理的物料。

6.2.6 减少裂解反应结焦

最近报道的减少裂解反应结焦的方法大体有如下途径:

- 注入化学品(如二甲硫醚、二甲基二硫醚、硫化氢及一些含磷化合物),终止焦炭形成反应。目前 Phillips、Amovo、Nalco、Tetra International 等公司均在研究这样的方法。

- 当焦炭一形成,就用化学品使之汽化,如俄罗斯技术。

- 改进炉管表面(如预氧化,预硫化,在表面与铝、铬或硅形成合金,或进行表面涂覆)。

近一两年公布的与乙烯技术有关的专利大多与防止裂解炉结焦的内容相关,但这些工作大多处于研究阶段。1998 年报道 Nalco/Exxon 已进行了裂解炉脱焦系统的工业化试验^[15],据悉是向裂解炉中注入有机氯化物,以减少参与结焦的催化形态镍的形成。

6.2.7 采用混合制冷

混合冷剂制冷循环以前主要用于天然气的液化。1976 年法国德希尼布公司首先提出将混合冷剂制冷循环用于乙烯装置,与常规装置相比,可节能 9%。1994 年法国德希尼布公司提出采用一种改进的混合冷剂制冷循环与分离分凝技术相结合的新的分离工艺。该混合制冷剂的代表性组成为:甲烷 22%;乙烯和乙烷 42%;丙烷 36%。

6.2.8 更多地利用信息化技术

例如韩国现代石化公司在大山的 35 万吨/年的乙烯装置应用了实时优化(RTO)和先进的工艺控制(APC)系统后,乙烯生产能力提高 4%,收益提高 12%,能耗、物耗降低 2.5%,而操作条件却无变化^[16]。RTO 系统的功能包括:数据采集和确认、稳定态鉴别、数据调整、工艺模型更新和优化。乙烯装置的模型包括 64000 个方程式、220 个模块、45 个独立的变量和 72 个设计案例。模型包括毫秒炉、裂解物分离系统、工艺气体压缩机、脱甲烷塔急冷系统、脱乙烷塔、C₂分离塔、C₃分离塔、脱丙烷塔、脱丁烷塔及乙烯、丙烯冷冻系统。此外乙炔、甲基乙炔/丙二烯(MAPD)转化反应器和蒸汽系统也用不大严格的方法作成模型。APC 和 RTO 系统使用后,由于实现了更稳定的操作、更好的质量控制,增加了产品的回收,提高了效益,因而越来越得到装置操作人员的认可。

荷兰动力技术国际公司从 60 年代中期开始对烃类裂解反应进行深入研究,开发了基于 300 多个同时发生的化学反应的动力学模型和计算程序,即“Spyro”。该程序可以预测不同进料的产品分布和操作条件,使炉子的设计具有灵活性,以免在改用不同于设计采用的原料时引起原料的额外消耗,或得不到预期产量。该程序还能准确预测炉子的运转周期。

7 结束语

(1) 到下个世纪初世界乙烯市场面临供大于求的形势,发展中国家有较高的需求和生产能力增长速度。