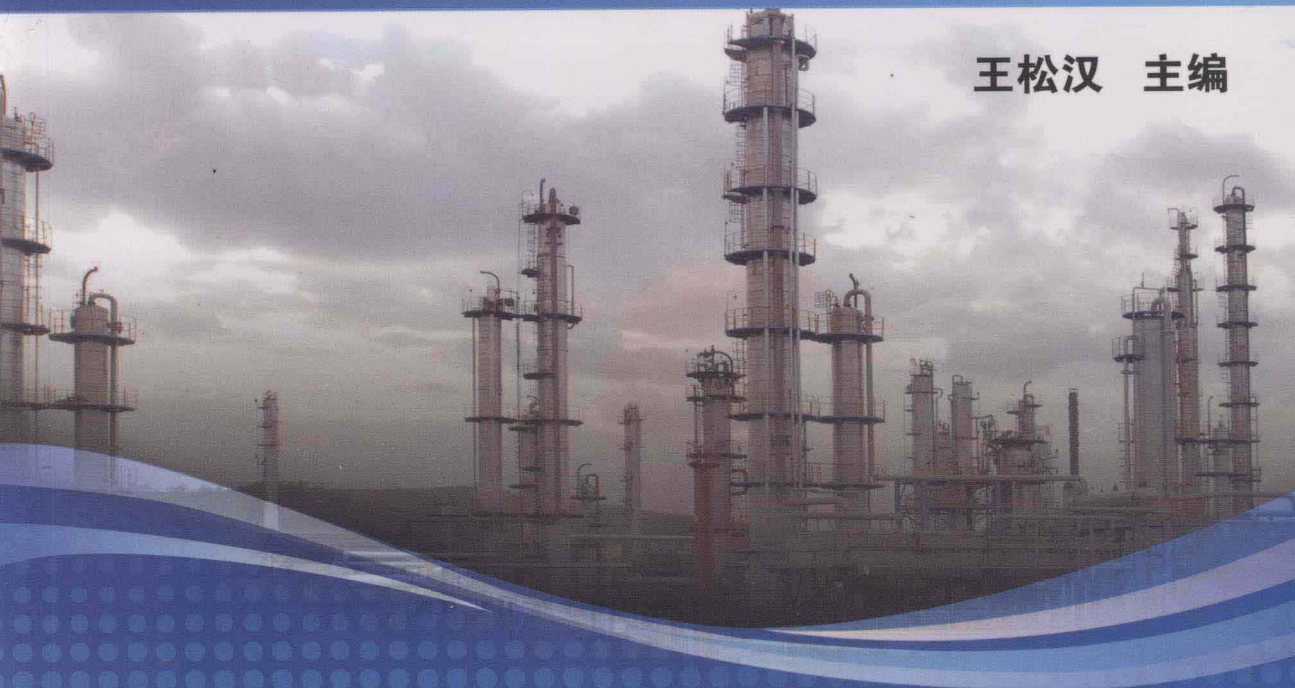


乙烯工艺与技术

(精华本)

王松汉 主编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

乙烯工艺与技术 (精华本)

王松汉 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书讨论了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、压缩和分离,酸性气体的脱除,乙炔和丙炔加氢,乙烯和丙烯制冷,公用工程,节能减排措施等。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分析,给出了有关工艺设计的计算方法和典型工艺参数,还特别介绍了与乙烯生产有关的新技术。

本书可供石油化工领域特别是与乙烯工业相关的科研、生产技术人员及设计、规划工作者使用,也可供高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

乙烯工艺与技术:精华本 / 王松汉主编. —北京:中国石化出版社, 2012. 9
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1765 - 7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 206034 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

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 27.75 印张 693 千字
2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷
定价:85.00 元

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 20 世纪 60 年代以来，一直注重乙烯工业的发展，乙烯生产已具有相当规模，产量现居世界第二位，并已有了一批经验丰富的设计、科研和生产人员。“十一五”期间，我国乙烯工业将迎来又好又快的发展机遇。根据规划，预计五年内，国内乙烯生产能力将达到 17~18Mt/a，主要技术经济指标达到国际平均水平，部分指标力争达到世界先进水平。为实现上述主要发展目标，中国石化工业将努力抓住重要战略发展机遇，在科学发展观的指导下，以全面提高国际竞争力、实现持续有效发展为目标，着力调整产业结构和转变增长方式，着力加强资源节约和环境保护，着力推进持续改革和自主创新，实现产业发展与社会、经济、环境的和谐发展。

在这种形势下，我们在 1994 年出版的《乙烯装置技术》和 2000 年出版的《乙烯工艺与技术》及 2009 年出版的《乙烯装置技术和运行》三本书的基础上，特别是在《乙烯装置技术和运行》的基础上，删减了裂解炉工艺设计、裂解和急冷、压缩系统和分离系统的部分内容，并删除了如下章节：火炬系统、自动控制、乙烯原料与产品的储存和运输、公用工程、乙烯装置的开停车及运行、装置安全、健康与环境、化学品、乙烯装置的分析化验。同时，更新了第一章概论中与乙烯技术相关的统计资料，增加了概算和经济分析、乙烯装置理论及操作方面的试卷、近期发展的甲醇制烯烃技术、裂解炉结焦抑制剂、黄油抑制、DJ 塔盘在脱甲烷塔的应用、裂解炉与燃气轮机相联合等新增内容。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分析，介绍了与乙烯生产有关的新技术，如甲醇制乙烯等。此外，介绍了国外的最新成果，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、设计和生产人员的辛勤工作成果——国产技术也做了论述。

1994 年版《乙烯装置技术》一书由王松汉主编，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。

2000 年版《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：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。全书由王松汉教授补充、完善、统稿和审定。

2009 年出版的《乙烯装置技术与运行》由王松汉教授担任主编，于 2007 年开始编写，主要由中国石化工程建设公司(SEI)组织人员编写，参加的单位还有中国石化北京化工研究院、中国石化上海工程有限公司、中国石化燕山石化公司、扬子石化-巴斯夫有限公司、上海赛科石化公司、南京工业炉设计研究所、中国石油新疆独山子石化公司、中国石油兰州石化公司、中国石油抚顺石化公司、中国石油吉林石化公司、中国石化天津石化公司、中国兵

器工业辽宁华锦化工集团乙烯公司、大连京华节能中心、霍尼韦尔(中国)有限公司等。参与的高校有华东理工大学、北京化工大学和浙江工业大学等。该书在编写过程中得到了中国石化上海工程公司董事长、总经理吴德荣，教授级高工、美籍华人及台塑石化股份公司乙烯事业部陈焕南、陈瑞士两任总经理的大力支持和帮助，并做了大量补充；中国石化出版社对本书的出版给予了大力支持和协助，赵以新编辑对大纲的拟定提出了建设性的意见，并在统稿方面协助主编做了很多艰苦细致的工作，付出了辛勤劳动，在此一并致谢。

参加本书编著的数十位专家、学者及高级工程师都具有较高学术理论水平和丰富的实践经验，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、技术人员及设计、规划工作者，以及大专院校相关专业师生等，具有很好的参考价值。

本书新增内容的编写，具体分工为：概论中的各种统计数据为曹杰、李莉、王广海；投资与经济分析为陈艳民、余兰兰、谭天舒；甲醇制烯烃分离流程为祝佳、李莉、裴雪梅；结焦抑制剂和黄油抑制为吴海燕、程文武、钱献华；脱甲烷塔采用DJ塔盘为姚克俭；乙烯装置职业技能竞赛试卷分别为：王松汉、盛在行、张会军、杨建平、朱连勋、钱献华、谢明、李莉、王广海、吴海燕、程文武、戴伟、王国清、周丛、茅文星、曾清泉、张利军(北京)、秦丽英、李慧、裴雪梅。本书由李莉高级工程师统一整理和补充有关内容。

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
2012年4月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 乙烯装置原料	(7)
一、乙烯原料来源和种类	(7)
二、中国原油性质	(13)
三、油品性质与产品收率	(15)
四、乙烯原料的选择和优化	(24)
第二节 乙烯装置的典型流程	(33)
一、顺序分离流程	(33)
二、前脱乙烷流程	(40)
三、前脱丙烷流程	(43)
四、低投资分离流程	(45)
第三节 甲醇制烯烃及其典型的分离工艺流程	(48)
一、甲醇制烯烃	(48)
二、甲醇制烯烃典型的分离工艺流程	(54)
第四节 投资与经济效益	(59)
一、概述	(59)
二、投资与效益测算的范围和基本原则	(59)
三、效益测算基本数据选取	(60)
四、投资估算及效益测算表格	(62)
五、乙烯产品链中一些下游工艺装置的工程费	(65)
参考文献	(65)
第二章 裂解和急冷	(68)
第一节 评价裂解原料特性的主要指标	(68)
一、石油烃的化学组成	(69)
二、密度和相对密度	(73)
三、沸点、馏程及平均沸点	(76)
四、特性因数 K	(80)
五、黏度	(83)
六、折射率	(83)
七、氢含量和碳氢比	(83)
八、平均分子量	(86)
九、关联指数 $BMC I$	(89)
十、硫化物	(92)
十一、其他杂质	(93)

第二节 裂解炉工艺设计常用的基本参数	(93)
一、裂解基本工艺参数	(93)
二、裂解深度参数	(99)
三、裂解炉的性能指标	(103)
四、裂解选择性指标	(107)
第三节 裂解炉	(111)
一、概述	(111)
二、CBL 裂解炉	(118)
三、SRT 型裂解炉	(119)
四、USC 型裂解炉	(127)
五、KTI GK 裂解炉	(135)
六、毫秒裂解炉	(143)
七、Pyrocrack 型裂解炉	(145)
八、新型炉的发展	(149)
第四节 裂解炉结焦和结焦抑制剂	(151)
一、急冷锅炉、对流段结焦	(152)
二、辐射段结焦	(153)
三、结焦抑制剂	(159)
第五节 裂解气急冷	(161)
一、概述	(161)
二、稀释蒸汽产生系统	(165)
三、减黏塔	(171)
第六节 裂解炉与燃气轮机联合	(171)
一、概述	(171)
二、流程概述	(172)
三、燃气轮机简单循环系统	(173)
四、裂解炉和燃气轮机匹配的经济效益	(174)
参考文献	(178)
第三章 压缩系统	(180)
第一节 典型压缩工艺流程	(180)
一、五段压缩工艺流程	(181)
二、四段压缩工艺流程	(185)
三、压缩工艺参数	(188)
四、凝液汽提塔工艺参数	(189)
第二节 酸性气体的脱除和裂解气干燥	(190)
一、酸性气体杂质的来源和危害	(190)
二、碱洗法	(191)
三、长尾曹达法	(197)
四、乙醇胺类脱除硫化氢与二氧化碳	(200)
五、黄油抑制	(212)

六、裂解气干燥	(2)
第三节 制冷系统	(2)
一、丙烯和乙烯制冷系统	(2)
二、甲烷制冷系统	(2)
三、多元制冷	(2)
参考文献	(2)
第四章 分离系统	(2)
第一节 脱甲烷塔系统	(2)
一、概述	(2)
二、高压法脱甲烷	(2)
三、低压法脱甲烷	(2)
四、中压法脱甲烷	(2)
五、脱甲烷塔前的预分馏塔	(2)
六、脱甲烷塔顶采用膨胀机	(2)
七、甲烷制冷压缩机系统	(2)
八、脱甲烷塔由浮阀塔改造成多降液管塔板	(2)
第二节 脱乙烷和脱丙烷系统	(2)
一、脱乙烷塔	(2)
二、脱丙烷塔	(2)
第三节 乙炔、丙炔和丙二烯的脱除	(2)
一、概述	(2)
二、乙炔、丙炔前加氢	(2)
三、乙炔后加氢	(2)
四、丙炔和丙二烯后加氢	(2)
五、丙炔和丙二烯的精馏脱除	(2)
六、绿油脱除	(2)
七、乙烯干燥	(2)
八、甲烷化反应	(2)
第四节 乙烯和丙烯精馏	(2)
一、乙烯精馏	(2)
二、丙烯精馏	(2)
第五节 分凝分馏塔技术	(2)
一、ARS 工艺与 HIRS 系统	(2)
二、分凝分馏塔及其分离流程	(2)
三、ARS、HIRS 与分凝分馏塔的比较	(2)
参考文献	(2)
第五章 乙烯装置的节能减排措施	(2)
第一节 装置能耗计算	(2)
一、能耗计算范围	(2)

二、能耗计算方法一	(296)
三、能耗计算方法二	(300)
第二节 提高裂解炉热效率	(302)
一、降低对流段末端物料入口温度	(302)
二、改进对流段设计, 提高热强度	(304)
三、降低过剩空气率	(305)
四、预热燃烧空气和燃料气	(305)
五、加强绝热保温降低炉体热损失	(305)
六、对流段吹灰和化学清洗除烟灰	(306)
七、辐射段强化传热	(311)
第三节 急冷系统节能措施	(315)
一、急冷油系统	(315)
二、急冷油塔增加中间回流	(318)
三、油洗塔塔釜温度和黏度控制	(322)
四、急冷水乳化的形成与控制	(325)
五、急冷油和急冷水热量回收的优化	(326)
第四节 裂解气压缩系统的节能措施	(328)
一、增加凝液分离罐和液相干燥器	(328)
二、压缩机五段凝液二次闪蒸	(330)
三、选择最佳吸入压力	(330)
四、降低裂解气压缩机段间冷却压力降	(331)
五、压缩机段间喷水	(332)
六、汽轮机采用两个转子和提高真空度	(336)
七、压缩段数的合理选择	(337)
八、降低压缩机出口温度	(337)
九、采用高效压缩机	(338)
十、改进干燥系统	(339)
十一、碱洗塔采用填料塔	(339)
十二、凝液直接去脱甲烷塔	(339)
第五节 精馏塔的节能	(339)
一、回流比最佳化	(340)
二、采用中间再沸器和中间冷凝器	(340)
三、多股进料和侧线出料	(344)
四、进料状态	(344)
五、热分离器	(345)
参考文献	(347)
第六章 公用工程	(348)
第一节 水系统及水平衡	(348)
一、原水系统	(348)
二、生活给水系统	(348)

三、生产给水系统	(348)
四、冷却水系统	(348)
五、工艺用水系统	(350)
六、消防水系统	(351)
七、锅炉给水系统	(351)
八、排污水	(352)
九、回用水系统	(353)
十、水平衡	(354)
第二节 电气	(356)
一、概述	(356)
二、电源和供配电系统	(356)
三、爆炸和火灾危险环境	(357)
四、变电所	(358)
五、继电保护及自动装置配置原则	(360)
六、供配电线路	(360)
七、配电	(361)
八、照明	(361)
九、防雷、接地	(362)
第三节 蒸汽平衡	(362)
一、概述	(362)
二、蒸汽系统的确定	(363)
三、蒸汽平衡计算和蒸汽系统优化	(364)
第四节 燃料平衡	(364)
一、燃料消耗	(364)
二、燃料平衡	(368)

附录

乙烯装置职业技能竞赛试卷一	(370)
乙烯装置职业技能竞赛试卷二	(375)
乙烯装置职业技能竞赛试卷三	(381)
乙烯装置职业技能竞赛试卷四	(388)
乙烯装置职业技能竞赛试卷五	(396)
乙烯装置职业技能竞赛试卷六	(401)
乙烯装置职业技能竞赛试卷七	(406)
乙烯装置职业技能竞赛试卷八	(411)
乙烯装置职业技能竞赛试卷九	(416)
乙烯装置职业技能竞赛试卷十	(421)
乙烯装置职业技能竞赛试卷十一	(428)

第一章 概 论

石油化学工业在国民经济和社会发展中具有举足轻重的地位，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、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年达到56300kt。20世纪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87000kt，产量达到78500kt。2010年，世界乙烯生产能力已达到141791kt。近年来全球乙烯需求量和生产能力见表1-1。

表1-1 全球乙烯需求量和生产能力

kt

年 份	乙烯需求量	乙烯生产能力	年 份	乙烯需求量	乙烯生产能力
1996	73000	82000	2004	105000	112000
1997	78000	87000	2005	107000	120000
1998	82000	90000	2006	115000	126000
1999	87000	95000	2007		123889
2000	90000	98000	2008	110344	125712
2001	90000	102000	2009	113637	130099
2002	95000	108000	2010	122901	141791
2003	100000	111000			

从2003年下半年起世界经济逐步好转，乙烯需求稳步增长；同时，自2003年以来世界乙烯产能增长减缓，导致世界乙烯供应趋紧，乙烯装置的开工率不断提高，2006年世界乙烯装置平均开工率达92%。

石油化工受世界经济全球化影响，各地区生产能力比例变化明显，美国、西欧、日本支配世界石化工业的格局已不复存在。从最近几年的总体情况看，欧洲和北美的乙烯产能所占比重有所下降，而亚洲、中东及拉丁美洲所占比重逐步上升。世界乙烯生产已形成北美、西欧、亚太三足鼎立的局面，发展重点向亚太和中东地区转移。2001年北美、亚洲和西欧占世界产能的比重分别为32.3%、25.8%和21.6%，2006年分别为29.2%、28.9%和20.1%，2010年则分别为24.9%、30.8%和18.0%；中东作为世界第四大乙烯产区，占世界产能的比重从2001年的8.2%一直增长到2010年的16.8%。

2002年至2010年世界乙烯产能前10位的国家见表1-2。

表 1-2 近年来世界乙烯生产能力最大的 10 个国家和地区的生产情况 kt/a

排名	2002 年		2004 年		2006 年		2009 年		2010 年	
	国家和地区	产能	国家和地区	产能	国家和地区	产能	国家和地区	产能	国家和地区	产能
1	美国	29296	美国	28323	美国	28773	美国	27554	美国	27593
2	日本	7058	日本	7507	中国	9840	中国	11778	中国	12978
3	沙特	5650	沙特	5845	日本	7265	沙特	10700	沙特	11955
4	加拿大	5352	德国	5516	沙特	6855	日本	7265	日本	7265
5	德国	5228	韩国	5450	德国	5557	德国	5757	德国	5743
6	中国	4988	加拿大	5407	加拿大	5531	韩国	5630	韩国	5630
7	韩国	4930	中国	5338	韩国	5440	加拿大	5531	加拿大	5531
8	荷兰	3900	荷兰	3915	荷兰	3950	伊朗	4734	伊朗	4734
9	法国	3353	俄罗斯	3670	俄罗斯	3670	中国台湾	4006	中国台湾	4006
10	俄罗斯	3300	法国	3373	巴西	3435	荷兰	3965	荷兰	3965
合计		73055		74344		80316		86920		89400

目前,美国是世界最大的乙烯生产国,2010年乙烯生产能力为27593kt/a,占世界的19.5%。中国的乙烯生产能力从2006年起已跃居世界第二位,排名仅次于美国,2006年占世界总产能的8.2%,2010年乙烯生产能力为12978kt/a,占世界总产能的9%。2010年世界十大乙烯生产国的产能总计为89400kt/a,占世界的63.1%。

2010年世界十大乙烯生产商的产能总计为82015kt/a,占世界总产能的57.8%。沙特基础工业、Dow化学和Exxonmobil公司分别位居前三位。中国石化集团公司以7575kt/a的乙烯产能居世界第五位(见表1-3)。

表 1-3 2010 年世界十大乙烯生产公司

排 名	公 司	生产能力/(kt/a)	排 名	公 司	生产能力/(kt/a)
1	沙特基础工业公司	13392	6	道达尔	5933
2	Dow 化学公司	13045	7	雪佛龙费利普化学公司	5607
3	ExxonMobil 公司	12515	8	利昂戴尔巴塞尔	5200
4	Royal Dutch Shell PLC	9358	9	伊朗 NPC	4734
5	中国石化集团	7575	10	英力士	4656

在全球乙烯生产企业中,从生产规模看,最大的是台湾石油化学公司,在中国台湾麦寮,生产能力是2935kt/a,其次是诺瓦化学公司在加拿大的焦弗雷乙烯厂,生产能力为2812kt/a,第三是沙特基础工业公司的朱拜勒乙烯厂,生产能力为2250kt/a。表1-4列出了2010年世界主要乙烯生产厂。

表 1-4 2010 年全球 10 大乙烯生产厂

序 号	公 司	位 置	生产能力/(kt/a)
1	台湾石油化学公司	台湾麦寮(中国)	2935
2	诺瓦化学公司	Joffre, Alta(加拿大)	2812
3	阿拉伯石油化学公司	朱拜勒(沙特阿拉伯)	2250
4	ExxonMobil 化学公司	Baytown(美国得州)	2197
5	雪佛龙费利普化学公司	Sweeny(美国得州)	1865
6	Dow 化学公司	Terneuzen(荷兰)	1800

续表

序 号	公 司	位 置	生产能力/(kt/a)
7	英力士烯烃和聚合物公司	Chocolate Bayou(美国得州)	1752
8	Equistar 化学公司(LP)	Channelview(美国得州)	1750
9	Yanbu 石油化学公司	Yanbu(沙特阿拉伯)	1705
10	Equate 石化公司	Shuaiba(科威特)	1650
合计			20716

全球十大乙烯生产厂，总生产能力为 20716kt/a，占世界总能力的 14.6%。

随着乙烯工业的发展，近年来，世界乙烯装置大型化的趋势进一步扩展，装置规模的扩大将显著降低单位投资成本及操作成本。20 世纪 60~70 年代，世界乙烯装置以 300kt/a 为主流规模；80~90 年代上升为 600kt/a；而目前在建和拟建的装置规模都在 800kt/a 以上。沙特阿拉伯的乙烯装置平均规模已经提高到 880kt/a，中东的在建装置规模基本上为 1000~1300kt/a。

目前，以石脑油为原料的裂解装置的世界级规模已经达到 1100kt/a，比 20 世纪 90 年代提高了近一倍。以乙烷为原料的裂解装置的世界级规模已经达到 1350kt/a，中东正在规划建设 1500kt/a 以上规模的超大型乙烯生产装置，一些公司还在研究 1800kt/a 乙烯装置的可能性。

在 20 世纪 80 年代，600kt/a 乙烯装置的单炉能力一般在 75~80kt/a，目前已达到 150~160kt/a。石韦公司的气体裂解炉能力已达 210kt/a，液体裂解炉的单炉能力达 175kt/a；凯洛格-勃朗洛特公司的裂解炉单炉能力已达 280kt/a；另外，鲁姆斯公司最近开发的 SRT-X 新型裂解炉，单炉能力超过 300kt/a。

在竞争日趋激烈的形势下，世界各大石油化工公司都在寻找提高盈利能力和竞争力的途径。因此，乙烯工业基地化建设趋强，炼化一体化进程加快。基地化和炼化一体化的结合可以在资源配置、优化互用各种物流、公用工程、环保系统以及节省储运投资等方面实现利益最大化。在一些石化工业发达的国家，目前已建立了大型炼化一体化基地，如美国墨西哥湾沿岸、比利时安特卫普、日本东京湾地区、韩国蔚山、新加坡裕廊岛等，中国则将逐渐形成环杭州湾、珠三角、渤海湾三大炼化企业群。

目前，世界上 98% 的乙烯来自烃类管式炉蒸汽裂解，估计在近一段时期内，蒸汽裂解技术仍然是生产乙烯的主要技术。但是，近些年来，由于采用了更苛刻的工艺条件以及工艺设备的改善，蒸汽管式热裂解制乙烯技术已日益完善，进一步改进越来越困难。

近 20 年来，学术界和工业技术界进一步开展制备乙烯技术的探索研究和工业试验。迄今为止，公认具有工业前景的技术是：天然气制乙烯（主要包括甲烷偶联制乙烯及由合成气转化成甲醇或二甲醚制乙烯）和催化裂解（包括重质油）制乙烯。

2003 年以来，国际油价一路上扬，与此同时，乙烯价格持续上涨。因此，非石油基乙烯生产工艺在经济上变得可行，合成气基石脑油生产乙烯以及生物乙烯技术也开始发展。

合成气基石脑油生产乙烯技术是利用费-托反应合成石脑油馏分裂解生产乙烯，因为该石脑油馏分中直链烷烃占绝大部分，因此会有很高的乙烯收率。

生物乙醇的技术开发已经成熟，大力发展生物燃料已成为各国发展替代能源战略的组成部分，这为生物乙烯技术的发展开辟了一条新路。

2007 年以来我国乙烯工业发展迅速，已成为中国乃至世界石油石化工业的热点和亮点

之一。

截止 2010 年底,我国大陆共拥有 24 家乙烯生产企业,29 套乙烯装置,乙烯生产能力为 14965kt/a,平均单套乙烯装置能力达到 516kt/a。中国石化拥有 14 家乙烯生产企业,共 15 套乙烯装置,总的乙烯生产能力为 9385kt/a;中国石油拥有 6 家乙烯生产企业,共 9 套乙烯装置,总的乙烯生产能力为 3710kt/a。2010 年我国乙烯生产企业级装置能力的详细情况见表 1-5。

表 1-5 2010 年我国乙烯生产企业及装置能力^①

生产企业	能力/(kt/a)	生产企业	能力/(kt/a)
中国石油集团		中国石化集团	
大庆乙烯	600	燕山乙烯	710
兰州石化 1#乙烯	240	齐鲁乙烯	800
兰化 2#乙烯	460	扬子乙烯	700
辽化乙烯	200	上海石化 1#乙烯	145
抚顺乙烯	140	上海石化 2#乙烯	700
独山子 1#乙烯	220	天津乙烯	200
独山子 2#乙烯	1000	茂名乙烯	1000
吉化 1#乙烯	150	中原乙烯	180
吉化 2#乙烯	700	广州乙烯	210
小计	3710	东方乙烯	150
华锦集团		上海赛科乙烯	1190
华锦乙烯	180	扬巴乙烯	600
华锦乙烯 2#	450	福建乙烯	800
小计	630	中沙(天津)乙烯	1000
沈阳化工集团	140	镇海乙烯	1000
神华集团	300	小计	9385
中国海洋石油总公司	800	合计	14965

① 未包括中国台湾的装置情况。

2005~2010 年我国各乙烯企业全年的乙烯产量见表 1-6。近年来随着乙烯工业的迅猛发展,我国乙烯产量 2007 年突破千万吨大关,2010 迅速增至 14220kt。

表 1-6 2005~2010 年我国各乙烯企业全年的乙烯产量^①

t

企业名称	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
中国石化集团	549432	6330962	6693954	6359354	6713271	9145880
燕山乙烯	811822	820014	748519	783964	841349	841581
齐鲁乙烯	825181	838800	846810	800378	760086	855670
扬子乙烯	775819	755044	801118	743608	796027	678473
上海石化	962367	960297	869441	885649	927726	972853
上海石化 1#乙烯	151028	168058	158394	119715	135203	160012
上海石化 2#乙烯	811339	792239	711047	765934	792523	812841
天津乙烯	207051	231688	225544	170150	189068	232789
茂名乙烯	348123	522115	962559	954816	1060606	981448

续表

企业名称	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
中原乙烯	191573	214466	211450	174767	205819	212019
广州乙烯	213626	195712	210677	219775	225045	224560
东方乙烯	177510	168216	160051	70156	0	130284
上海赛科乙烯	640000	977956	1002940	934647	875313	1294302
扬巴乙烯	341250	646654	654845	621444	622340	536214
福建乙烯					209892	843697
中沙(天津)乙烯						819500
镇海乙烯						522490
中国石油集团	1887405	2067873	2581976	2675346	2983444	3615142
大庆乙烯	555558	516698	536636	581537	583366	543568
兰州石化			681751	701460	693679	694827
兰化 1 [#] 乙烯	245716	240056	234248	223372	241053	212824
兰化 2 [#] 乙烯			447503	478088	452626	482003
辽化乙烯	146216	132427	74252	173848	199472	182437
抚顺乙烯	167688	179662	177006	165791	182305	167464
独山子					485712	1193260
独山子 1 [#] 乙烯	261418	247221	239229	258603	257112	254350
独山子 2 [#] 乙烯					228600	938910
吉林石化	510809	751809	873102	794107	838910	833586
吉化 1 [#] 乙烯	143737	142643	134345	109531	92910	124879
吉化 2 [#] 乙烯	367072	609166	738757	684576	746000	708707
华锦集团						517321
华锦乙烯	157425	180560	171829	122567	98010	151617
华锦乙烯 2 [#]						365704
沈阳化工集团						60000
神华集团						40000
中国海油总公司		645000	830700	841000	922174	844000
总计	7539152	9224395	10278459	9998267	10716899	14222343

① 未包括中国台湾的乙烯产量, 2008 年台湾省乙烯总产能约 4000kt。

我国乙烯装置的能耗于 20 世纪 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 1-7 所示。

表 1-7 乙烯装置设计吨乙烯能耗^①

GJ/t 乙烯

原 料	1970 年	1980 年	1989 ~ 1994 年	1999 年	2008 年
乙 烷	26.8	21.4	12.6	12.6	12.6
丙 烷	28.5	23.4	15.9	15.9	15.9
石脑油	39.4	26.0	19.3	19.3	19.3
轻柴油	44.4	33.1	25.1	23.9	23.9

① 没有采用燃气轮机的能耗。

近年来我国乙烯的供需情况见表 1-8。

表 1-8 近年来我国乙烯的供需情况

kt/a

年 份	产 量	进口量	出口量	表观消费量
2003	6118	466	32.1	6132.5
2004	6266	676	22.3	6310.3
2005	7539	111.4	82.1	7584.3
2006	9224	117.4	128.7	9215.7
2007	10278	510	50	10937
2008	9998	721	14	10705
2009	10716	975	15	11700
2010	14222	815	34	14971

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 ~ 图 1-4。

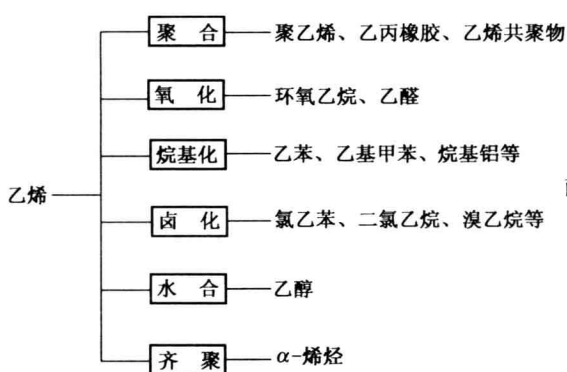


图 1-1 乙烯系列产品

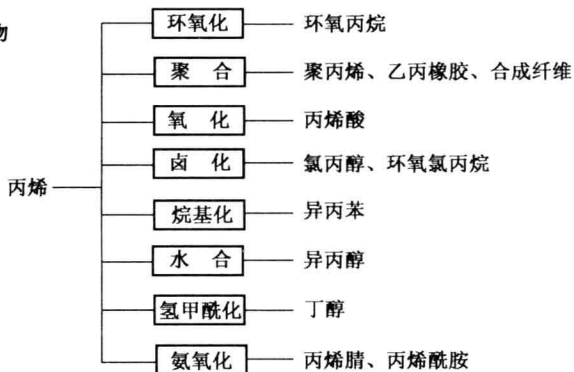


图 1-2 丙烯系列产品

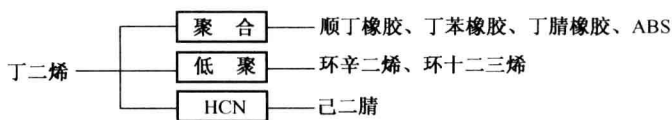


图 1-3 丁二烯系列产品

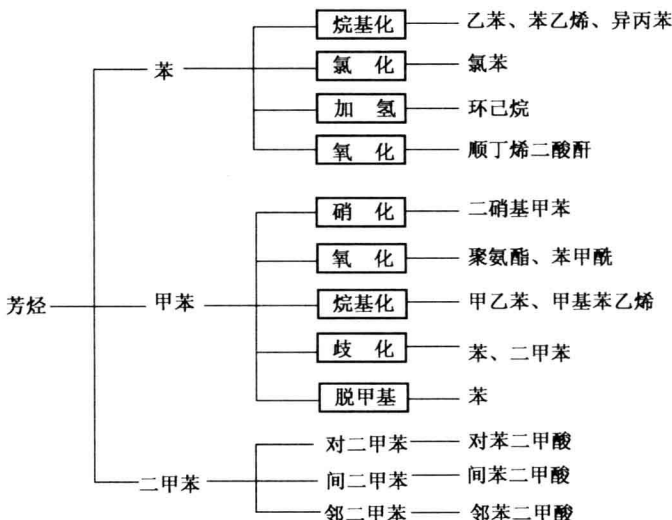


图 1-4 芳烃系列产品

聚乙烯是乙烯消费的绝对第一大用户, 约占乙烯消费总量的 58.2%; 环氧乙烷是消费乙烯的第二大用户, 约占消费总量的 14%。2003~2010 年世界乙烯消费结构见表 1-9。

表 1-9 2003~2010 年世界乙烯消费结构

kt

用 途	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2010 年
乙 苯	6990	7310	7320	7450	7750	7826
二氯乙烯	12480	13070	13180	13330	13520	13417
环氧乙烷	12840	13670	13890	14860	15620	18582
高密度聚乙烯	25730	27780	27910	29600	31100	32804
低密度聚乙烯	17160	17400	17390	17890	18890	18346
线型低密度聚乙烯	14700	15980	16080	17230	17940	21662
醋酸乙烯	1310	1440	1350	1420	1490	1528
其 他	7240	7500	7230	7250	7770	8735
合 计	98450	104150	104350	109030	114010	122900

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 CO_2 、 N_2 、 H_2S 等非烃成分。2011 年全国天然气产量快速攀升, 首次突破千亿立方米, 为 $1011.15 \times 10^8 \text{m}^3$ 。鄂尔多斯、塔里木、四川盆地仍是我国天然气主产区。

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% 以上, 我国三个气田的干气成分如表 1-10。湿气含 90% 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 $\text{C}_2 \sim \text{C}_5$ 这部分可以经压缩冷却得到液态的凝缩汽油。

表 1-10 我国天然气干气组成

%^①

相对密度	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

① 本书未特别注明的, 均为质量分数。

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。