

国家“十二五”重点图书出版规划项目

重质油

裂解制轻烯烃

汪燮卿 舒兴田 主编



中國石化出版社

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

国家“十二五”重点图书出版规划项目

重质油裂解制轻烯烃

汪燮卿 舒兴田 主 编

中国石化出版社

内 容 提 要

由重质原料生产轻烯烃技术是我国独立开发的国际首创、拥有自主知识产权的炼油化工成套技术,因产品目的和工艺条件的不同,该系列技术包括催化裂解(DCC)、催化热裂解(CPP)、最大量生产汽油和液化气(MGC、ARGG)、最大量生产异构烯烃(MIO)、增产液化气和柴油(MGD)等催化裂化家族工艺。本书主要介绍国内外重质原料制取低碳烯烃的研究进展,已经实现工业化的DCC、CPP、MGC、ARGG、MIO、MGD等技术在工艺开发、工程设计、产品应用方面进行的探索和研究,上述工艺的工业应用结果、技术经济评价,相应的催化材料的探索、开发和应用,以及在工艺开发过程中进行的有关化学反应机理的研究。旨在介绍上述工艺及新催化材料的开发理念、理论基础、目标要求、发展脉络及前景。

图书在版编目(CIP)数据

重质油裂解制轻烯烃 / 汪燮卿, 舒兴田主编.
—北京: 中国石化出版社, 2014. 11
国家“十二五”重点图书出版规划项目
ISBN 978-7-5114-3107-3

I. ①重… II. ①汪…②舒… III. ①烯烃-重油催化裂化-化工生产 IV. ①TQ221. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 257868 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

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 33.75 印张 845 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价: 218.00 元

编委会及撰稿人

主 编：汪燮卿 舒兴田

编 委：(按姓氏笔画)

王亚民	李再婷	吴 雷	余本德	汪燮卿
张久顺	陈祖庇	钟乐燊	施文元	蒋福康
舒兴田	霍永清			

编辑部：

主 任：黄志华

副主任：刘鸿洲 刘跃文

主要撰稿人：(按姓氏笔画)

毛安国	朱根权	许友好	李广华	李明昱
余龙红	杨 旭	杨轶男	吴 雷	汪燮卿
张凤美	欧阳颖	罗一斌	赵文忠	盛在行
崔 琰	蒋福康	舒兴田	鲁维民	谢朝钢
慕旭宏	魏晓丽			

前言

PREFACE

重质油裂解制轻烯烃技术艰难地走过了 60 年！

早在 20 世纪 50 年代，在石油化工开始发展的初期，人们就注意到能否用重质石油组分作原料，以生产乙烯、丙烯等轻质烯烃。最有代表性的是德国鲁奇公司开发的砂子炉裂解技术。1964 年 7 月中国技术进出口公司与联邦德国鲁奇矿物技术有限公司签订合同，引进年产乙烯 36kt/a 的砂子炉石油裂解装置，建在兰州石化公司。1965 年 3 月签署砂子炉初步设计协议书，1970 年 4 月 5 日砂子炉建成投产，在国内首次实现重质油裂解制烯烃的工业化生产。砂子炉裂解的主要优点是可以避免使用昂贵的耐热合金钢，能够采用重质原料油、甚至原油作为裂解原料。但缺点是在相同原料下裂解主要产品的产率比管式炉裂解低，设备繁多，操作复杂，能耗高，并且不断外排含油废砂，污染环境。该技术在国际上先后已被淘汰。

在以后石油化工大发展的年代里，以石脑油为原料的蒸汽裂解技术得到飞速发展，成为生产轻烯烃的主宰技术。但对重质油制轻烯烃的研究还在继续，最有代表性的是原民主德国科学院有机化工研究所的热催化蒸汽裂解过程 (Thermocatalytic Steam Cracking Process, 简称 TCSC) 的研究，其构想的新颖性在于将多相催化剂用于蒸汽裂解过程，以促进原料的裂化深度。与常规蒸汽裂解相比，TCSC 过程的优点是：对较重质的进料无需经过临氢催化的预处理，可以直接转化为低碳烯烃；加工未处理的常压蜡油 (AGO) 和减压蜡油 (VGO) 所得到的烯烃产率，大致相当于常规蒸汽裂解加工石脑油、加氢 AGO 或加氢裂化 VGO 所得的烯烃产率；重质烃馏分直接转化需要的投资和操作费用都较低；新发展的催化剂具有使沉积在其表面的炭气化的能力，因而催化剂能维持较好的长期活性。但总体低碳烯烃产率低，分离难度大，未能实现工业化。

从技术层面分析，无论是重质油的热裂解或催化热裂解，到 20 世纪 60 年代，在工艺、工程和催化材料的发展水平方面，都不够成熟。20 世纪 60 年代炼油技术中流化催化裂化工艺中采用了具有规则孔道的分子筛作为催化材料，是

世界炼油技术的重大突破。这一突破形成了一个连锁反应，也给石油化工界以启发，特别是 Mobil 公司研发成功的择形催化材料 ZSM-5，其结构已在 1978 年由 Mobil 公司科学家作了报道。由于它的特殊孔结构，使烃类在催化裂化过程中高选择性地多产丙烯，与流化催化裂化采用 Y 型分子筛作催化剂相结合，为重质油裂解生产轻烯烃，特别是丙烯，开启了新篇章。

催化裂解 DCC 技术开发的动力，源于我国原油轻馏分含量普遍较低，适合轻油蒸汽裂解的原料少，成为石油化工发展的瓶颈。另一方面，我们在流化催化裂化的工艺、催化材料和催化剂以及工程研究等方面基础较强，在 20 世纪 80 年代初，就开始对用择形分子筛多产丙烯方面开展探索，形成了具有自主知识产权的新技术，从而在资源、技术到石化产品需求之间形成了很好的开发环境。

一项新技术的开发成功，从构思到实验室探索、中间试验直到工业化试验，从工艺、催化材料到工程开发，是一个系统工程。在开发过程中，科技人员是战斗在第一线的有生力量，但领导层的决策在某种意义上可以说是决定性的。在开发 DCC 技术的过程中，从课题的选择、人员的组织、研究工作每一阶段的评估、工业化试点的确定直到试验成功后的推广应用都是在上级领导和专家的关怀和指导下进行的。在 DCC 工业化试验中，原中国石化总公司副总经理闫三忠亲自到济南炼油厂拍板定案，原总经理盛华仁在工业试验过程中亲自前往视察。在课题的确定和研究工作进展的重要阶段，中国石化顾问委员会委员包括原部长李人俊、侯祥麟院士、闵恩泽院士以及原北京石油学院副院长张定一等都听取汇报、参与讨论并提出指导意见，没有领导的支持和指导，很难想象 DCC 技术能开发成功并有今天的局面。在兰州炼油厂 MGG 工业化试验过程中，江泽民和朱镕基等也曾亲临参观指导。

在以 DCC 为代表的重质油制轻烯烃技术开发过程中，中国石化总公司发展部(现科技部)在中国石化石油化工科学研究院(RIPP)的配合下，形成了一套行之有效的工作方法和线路图。这里要重点介绍一下矩阵组和“十条龙”攻关。在开发 DCC 技术的大局确定以后，石科院原院长卢成铨同志提出在院内成立矩阵组：把催化裂化工艺、催化材料和催化剂、分析测试和评定等有关研究室的有关课题组实行横向联合组织，由主管科研的副院长协调组织，安排计划进度，处理好各种关系，充分发挥每个人的聪明才智。院内还对该矩阵组在后勤条件上给予优先支持。与此同时，中国石化发展部在总公司范围内成立“十条龙”攻关组。DCC 是总公司“十条龙”攻关的第一条龙，顺利按时入关和出关，并最终实现工业化和推广应用。DCC 攻关组由工艺和催化剂开发——RIPP、工程开发——北京设计院[现中国石化工程建设公司(SEI)]和工业化试验——中国石化济南炼油厂为主体，周村催化剂厂及时提供催化剂，统一安排计划、协调进度，

并给予经费支持。到现在来看，也是符合当前中央提出来的协同创新精神的。

在济南炼油厂工业化试验成功以后，我们除了瞄准国内市场外，同时也重视国际市场的开发。为此，首先要获取国外专利，到目前为止，共获得了 101 项国际专利授权。在得到知识产权保护的前提下，从 1990 年起，不失时机地在我国召开了 4 次国际论坛，邀请美国、日本、印度、泰国等有关专家来华作学术研讨，同行专家们对 DCC 和 MGG 等技术给予很好的评价。同时还积极参加国际学术会议，包括第十五届和第十六届世界石油大会、美国 ACS 年会、美国 AIChE 年会、中-日石油学会交流会、亚太地区炼油会议和欧洲炼油大会等国际会议，并被邀请作报告，受到业界人士的高度重视。经过多方努力，中国石化发展部代表中国石化与美国石伟工程公司 (Stone & Webster) 于 1993 年签订了技术转让协定，由该公司代理在国外转让 DCC 技术，并于 1995 年将 DCC 整套技术出口给泰国石油化学工业有限公司 (TPI)，实现了我国首次整套炼油技术出口。此后由于国际市场上生产轻质烯烃路线的变化，以乙烷为原料能得到高的乙烯产率，但丙烯和芳烃产率很低，为了满足市场上丙烯和芳烃的需求，利用重质油为原料生产丙烯和芳烃成为最佳选择。到 2012 年，以 DCC 为代表的重质油生产轻烯烃技术全球处理能力已达到 18Mt/a。

重质油裂解制轻烯烃技术，人们通常称为催化裂化家族技术，因为它是在流化催化裂化技术为基础发展起来的。而之所以称为“家族”技术，是因为它们都有一个共同点，就是这些技术都以生产轻烯烃，即乙烯、丙烯和丁烯为主要目标之一，同时根据炼油产品的需要，实行油化结合，即油化一体化的概念，根据市场的需求进行灵活调节。最先开发的 DCC 技术是以生产丙烯为主，DCC-I 则是兼顾丙烯和汽油。CPP 技术是以生产乙烯和丙烯为主，同时可根据市场的需求，灵活调节乙烯和丙烯的产率。MGG 技术是兼顾丙烯和汽油，但更侧重高辛烷值汽油的生产，ARGG 技术是以常压渣油为原料的 MGG 技术。MGD 技术是在多产丙烯的前提下，最大量生产催化裂化轻循环油，作为柴油的调合组分，提高柴油的产量，以满足市场的需求。MIO 技术是最大量生产异构烯烃，主要是异丁烯和异戊烯作为醚化或其他化工原料，也可经过烷基化生产汽油高辛烷值组分。

重质油制轻烯烃技术的发展前途是与下列几个主要因素密切相关的。①无论从世界范围和我国资源情况，原油的重质化和劣质化是必然趋势，应该把重点转移到以乙烷为原料生产乙烯和以重质油为原料生产丙烯和芳烃上来，而把石油的轻馏分作为交通运输燃料。②全球天然气 (包括非常规天然气如页岩气和煤层气) 从资源、技术和产量将成为化石能源新一轮的高潮，相应的轻烃和凝析油储量和产量也将增加，这些轻烃将是生产乙烯的最合理的原料，但它主要生

产乙烯而丙烯产率很低，造成乙烯与丙烯供应比例和芳烃产量过低的不平衡，而用重质油多生产丙烯正好使资源利用合理化以满足烯烃和芳烃产品的市场需求。③发展新型煤化工甲醇制烯烃(MTO)和甲醇制丙烯(MTP)是生产乙烯和丙烯的重要途径，但在某种程度上受到水资源和二氧化碳排放的制约。④发展生物质化工理论上也可生产轻烯烃，但生物质作为原料是一种低密度能源，在规模化方面尚无法与高密度化石能源相比拟，因而在生产成本上尚无竞争优势。从实际出发，以生物质为原料的可再生能源作为运输用的替代燃料，并联产生生物质精细化工产品较合适。因此，作者认为，未来的轻烯烃生产的技术路线，重点应该以天然气伴生的凝析油和轻烃生产乙烯、以重质石油组分催化裂解生产丙烯和芳烃为主的技术路线，发展炼油化工一体化技术。在石油资源有限、环境容量有限和市场竞争优胜劣汰的规则条件下，重质油制轻烯烃将会迎来新的机遇和挑战。

本书所有的撰写者和编委，都在不同阶段参与了有关技术的研发工作，从20世纪80年代至今，它体现了两代科技人员辛勤劳动的结晶。在开发过程中，还有很多同志默默无闻作出了贡献。我们相信，在能源供应多样化的趋势下，石油化工新技术也将更迅速地发展，充分合理利用资源和保护生态环境是我国全面进入小康社会的必要条件。重质原料生产轻质烯烃技术，在可以预见的未来，在工艺、催化材料和工程的开发方面，将会打开新局面，谱写新篇章。

由于水平和时间条件的局限，错误之处敬请读者不吝指正。

汪燮卿 舒兴田
2014年10月

目 录

CONTENTS

第一章 绪论	汪燮卿, 蒋福康(1)
一、概况	(1)
二、历史回顾	(3)
三、工艺技术特点	(6)
四、工业化的历程	(8)
五、经验和启迪	(14)
参考文献	(15)
第二章 工艺过程反应化学	许友好, 谢朝钢, 魏晓丽(17)
第一节 正碳离子化学	(19)
一、正碳离子的类型及形成	(19)
二、正碳离子稳定性	(23)
三、正碳离子主要反应机理	(23)
第二节 催化裂化反应机理	(31)
一、双分子裂化反应机理	(31)
二、单分子裂化反应机理	(32)
三、链反应机理	(33)
四、质子化环丙烷裂化反应机理	(34)
第三节 FCC 工艺过程反应化学类型	(35)
一、裂化反应	(36)
二、异构化反应	(39)
三、氢转移反应	(42)
四、缩合反应	(45)
五、脱氢反应	(49)
六、热裂化与质子化裂化的差异	(49)
七、其他几种次要反应类型	(50)
八、芳构化反应	(53)

第四节 催化裂解反应化学	(54)
一、化学热力学特征	(54)
二、化学动力学特征	(57)
第五节 烃类催化裂解的化学	(62)
一、单体烃的催化裂解	(62)
二、馏分油的催化裂解	(80)
三、重质油的催化裂解	(88)
四、择形催化与催化裂解化学	(99)
第六节 催化裂解反应中丙烯转化反应化学	(104)
一、丙烯催化转化规律	(105)
二、丙烯转化的反应路径	(107)
三、抑制丙烯转化反应的方法探讨	(110)
第七节 工艺参数与催化裂解反应的关系	(110)
一、反应温度	(110)
二、剂油比	(113)
三、反应时间	(114)
四、反应压力	(115)
五、水蒸气用量	(116)
第八节 生焦与热平衡	(117)
一、生焦与原料组成关系	(117)
二、影响热平衡的化学反应	(119)
参考文献	(122)
第三章 沸石分子筛催化材料	
舒兴田, 罗一斌, 欧阳颖, 李明罡, 张凤美, 慕旭宏	(131)
第一节 沸石分子筛	(131)
一、沸石分子筛及其发展历程	(131)
二、国际分子筛协会认可的分子筛结构	(132)
三、分子筛特点	(133)
四、分子筛在工业催化领域的应用	(134)
第二节 催化裂解催化材料	(135)
一、分子筛孔道尺寸对烃催化裂解性能的影响	(136)
二、水热活性稳定性及其调变方法	(154)
三、提高轻烯烃选择性的改性途径	(178)
参考文献	(195)
第四章 DCC 工艺	谢朝钢, 朱根权 (200)
第一节 引言	(200)
一、丙烯生产技术的进展	(200)

二、催化裂化过程中丙烯的生成机理	(203)
三、DCC 工艺开发背景	(205)
四、DCC 工艺的创新点	(208)
第二节 原料和催化剂	(211)
一、DCC 原料性质	(211)
二、DCC 催化剂	(214)
第三节 中型试验研究	(218)
一、中型试验的设计	(219)
二、中型试验结果及解决的问题	(220)
第四节 工艺开发	(230)
一、工艺技术	(230)
二、工艺流程	(230)
三、DCC 工艺操作参数	(232)
第五节 工业试验	(237)
一、I 型催化裂解工业试验	(237)
二、II 型催化裂解工业试验	(250)
第六节 工业应用示例	(259)
一、装置简介	(259)
二、工业装置开工、运转与标定	(260)
三、标定结果	(260)
第七节 催化裂解国外应用情况	(268)
参考文献	(273)
第五章 CPP 工艺	谢朝钢, 朱根权(278)
第一节 引言	(278)
一、CPP 工艺开发背景	(278)
二、CPP 工艺的创新点	(282)
三、CPP 工艺的发展方向	(285)
第二节 原料和催化剂	(287)
一、CPP 原料性质	(287)
二、CPP 催化剂	(287)
第三节 中型试验研究	(290)
一、中型试验的设计	(290)
二、中型试验结果及解决的问题	(291)
第四节 工艺及工程开发	(301)
一、反应部分工艺技术	(301)
二、工艺流程	(301)
三、专有技术	(303)

四、工业试验	(306)
第五节 工业应用	(310)
一、工业应用标定情况	(312)
二、标定结果	(318)
三、考核结果分析	(319)
四、精制与分离系统考核结果分析	(319)
参考文献	(321)
第六章 MGG 和 ARGG 工艺技术	毛安国, 杨轶男 (324)
第一节 引言	(324)
一、工艺开发背景	(325)
二、工艺特点	(333)
三、工艺的作用和地位	(336)
第二节 原料和催化剂	(337)
一、原料类型和主要性质	(337)
二、催化剂	(338)
第三节 工艺试验研究	(346)
一、MGG、ARGG 工艺技术条件的研究	(347)
二、兰州 MGG 中型试验	(358)
三、ARGG 中型试验研究	(364)
第四节 工艺和工程开发	(373)
一、工艺的用途、适用范围	(373)
二、工艺过程描述	(373)
三、主要工艺条件研发	(373)
四、MGG 工艺、FCC 工艺和“FCC+助辛烷值剂”工艺的比较	(376)
五、MGG 工程技术开发	(377)
第五节 工业试验和工业应用	(380)
一、MGG 和 ARGG 工艺技术主要应用技术路线	(381)
二、兰炼 400kt/a MGG 装置工业应用	(384)
三、扬州石油化工厂 70kt/a ARGG 装置工业应用	(389)
四、岳化烯烃厂 800kt/a ARGG 装置工业应用	(399)
五、其他 ARGG 装置工业应用简介	(405)
参考文献	(406)
第七章 MIO 工艺	毛安国, 崔琰 (409)
第一节 引言	(409)
一、MIO 工艺开发背景	(410)
二、MIO 工艺的创新点	(411)
三、MIO 工艺的作用和地位	(412)

四、异构烯烃生成机理	(413)
第二节 多产异构烯烃催化剂的研制	(414)
一、催化剂研究开发概况	(414)
二、RFC 催化剂的工业制备	(416)
三、催化剂的裂化性能评价	(417)
第三节 原料与异构烯烃产率的相关性研究	(417)
一、蜡油原料异构烯烃产率相关因素	(418)
二、掺渣油及常压渣油原料异构烯烃产率的相关因素	(418)
第四节 MIO 工艺试验研究	(419)
一、试验装置	(419)
二、原料油性质	(420)
三、催化剂性质	(421)
四、工艺试验研究结果	(421)
五、异构烯烃产率影响因素小结	(426)
第五节 工业试验和工业应用	(426)
一、工业试验准备	(426)
二、工业试验结果	(427)
三、工业试验总结	(432)
参考文献	(433)
第八章 MGD 工艺	鲁维民(434)
第一节 引言	(434)
第二节 MGD 工艺技术构思	(435)
一、催化裂化的基本反应机理	(435)
二、MGD 工艺原理	(437)
三、MGD 工艺特点	(439)
第三节 中小型试验研究	(439)
一、小型试验	(439)
二、中型试验	(442)
第四节 MGD 专用催化剂	(448)
一、开发思路	(448)
二、性能评价	(448)
第五节 工艺工程开发	(450)
一、MGD 工艺与双提升管工艺的比较	(450)
二、MGD 工艺与单独应用催化剂或助剂的比较	(451)
三、MGD 工艺工程技术开发要点	(451)
四、MGD 工业应用注意事项	(452)
五、MGD 改造内容	(452)

第六节 工业试验和工业应用	(453)
一、广州石化工业试验	(453)
二、福建炼化工业试验	(457)
三、工业推广应用	(462)
参考文献	(463)
第九章 多产烯烃催化裂解的工程技术	吴雷, 余龙红, 杨旭, 盛在行, 李广华(465)
第一节 多产烯烃催化裂解工艺的工程特点	(465)
一、多产烯烃催化裂解工艺的工程发展	(466)
二、DCC、ARGG 工程技术特点	(467)
三、CPP 工程技术特点	(468)
第二节 反应-再生系统工艺与工程	(468)
一、反应系统	(469)
二、再生系统	(473)
三、取热系统	(476)
四、反应-再生系统控制	(477)
第三节 急冷与分馏系统工艺与工程	(477)
一、原料预热与反应油气急冷	(478)
二、分馏塔顶分段冷凝与油气直冷	(478)
三、DCC 工艺吸收稳定流程分析	(480)
第四节 CPP 产品气精制与分离工程	(482)
一、CPP 产品气的组成特点及分离流程	(482)
二、产品气压缩和精制	(483)
三、冷分离系统	(487)
四、热分离系统	(489)
五、制冷系统	(489)
第五节 重质油裂解制轻烯烃工艺干气中碳二回收与利用	(489)
第六节 能量利用优化	(491)
一、压力能的充分利用	(491)
二、各温位热能的回收利用与节水减排	(494)
三、多产烯烃催化裂解工艺的能耗分析	(494)
参考文献	(498)
第十章 技术经济分析	赵文忠(499)
第一节 评价方案选择	(499)
第二节 评价基本原则、参数及假设	(501)
一、评价基本原则	(501)
二、主要评价参数及假设	(502)
三、采用的评估价格	(502)

四、计算指标说明 (503)

第三节 财务评价 (504)

一、220 万吨/年催化裂解 DCC-I 装置(大庆减压蜡油掺 25%常压重油) (504)

二、220 万吨/年催化裂解 DCC-I 装置(管输原油减压蜡油) (507)

三、220 万吨/年催化裂解 DCC-I 装置(沙轻加氢减压蜡油) (510)

四、190 万吨/年 ARGG 装置(大庆常压重油) (513)

五、190 万吨/年 ARGG 装置(新疆青海混合原油减压蜡油掺炼 33%减压渣油) (515)

六、160 万吨/年 CPP 装置(大庆常压重油) (518)

第四节 综合分析 (520)

一、评价结果汇总 (520)

二、综合分析 (521)

三、需要说明的问题 (522)

参考文献 (523)



第一章 绪论

一、概况

乙烯、丙烯、丁烯和丁二烯等轻烯烃是非常重要的基本有机化工原料，特别是乙烯的生产能力常常被视为一个国家和地区石油化工发展水平的标志。一段时间以来，随着石化工业的快速发展，世界范围内对低碳烯烃，特别是乙烯、丙烯的市场需求持续快速增长^[1]。

据美国《油气杂志》2012年7月初发布的全球乙烯产能报告，截至2011年年底，全球乙烯生产能力达到近141Mt/a^[2]，2012年全球乙烯产能将达到162Mt/a的新纪录。截至2012年年底我国乙烯产能已增至17.10Mt/a，在美国之后居世界第二位^[3]。据预测，2015年和2020年我国乙烯产能将分别达到21.62Mt/a和28.42Mt/a，产量将分别达到21.19Mt/a和27.85Mt/a，表观消费量将分别达到22.00Mt/a和26.00Mt/a，当量消费量将分别达到36.89Mt/a和49.36Mt/a^[4]。随着中东和我国大量乙烯产能建成，未来全球乙烯供需格局将发生大的改变。未来数年在中东和我国新增乙烯产能增加，将使发达地区（北美和欧洲）在全球乙烯所占产能份额大幅降低。

丙烯则是规模仅次于乙烯的最重要的基本有机原料之一，2010年世界丙烯表观消费量达到104.90Mt/a。2011~2016年全球将新增3Mt/a丙烯产能。截至2010年，我国丙烯产能达到13.29Mt/a，表观消费量达到10.49Mt/a，丙烯当量需求的年均增长率达到7.6%，超过丙烯生产能力的增长速度。从需求来看，丙烯供需矛盾十分突出。特别是近几年，丙烯需求增长已超过乙烯。2005~2011年，我国丙烯产能年均增长率为12.3%，高于全球年均4.1%增长率；但丙烯市场缺口量较大，2006年以来丙烯进口量逐年增大。2011年我国丙烯生产能力约为16.22Mt/a，产量14.68Mt/a，进口量1.76Mt/a，包括下游产品需求缺口超过5.00Mt/a，自给率不足7成^[5]。传统的方法生产丙烯产品已远远满足不了市场需求，提高自给率仍为我国发展丙烯产业的主要目标。

我国乙烯、丙烯产业进一步发展的关键之一是原料问题，其次是竞争能力，包括投资、能效、成本、二氧化碳排放量等问题。解决原料短缺和提高竞争力的关键是要加快技术进步，增强自主开发和创新的能力，将石化工业立足在自主开发和创新技术的基点上。鉴于我国乙烯、丙烯产业发展和原料短缺矛盾将持续，开辟轻烯烃规模化生产的新原料和新工艺路线意义重大。重质油裂解制轻烯烃工艺路线将为乙烯、丙烯等基础化工原料的生产，拓展原料来源；对平衡化工轻油原料紧缺，推动石油资源的深加工和合理有效利用，加快调整我国石化产业结构，积极加大自主研发的创新技术成果推广力度，加快推进我国石化工业发展方式转变，均有重要意义。

乙烯、丙烯的生产在世界范围受到广泛的重视，起因于20世纪50年代合成橡胶、合成

塑料、合成纤维等材料的迅速发展。20 世纪 60 年代, 石油化工新工艺技术的不断开发成功, 特别是合成材料方面的成就, 对原料的需求量猛增, 推动了烃类裂解和裂解气分离技术的迅速发展。在此期间, 围绕各种类型的裂解方法开展了广泛的探索工作, 开发了多种管式裂解炉和多种裂解气分离流程, 使产品乙烯收率大大提高、能耗下降。以此为基础, 建立了大型乙烯生产装置, 大踏步地走上发展石油化工的道路。20 世纪 70 年代, 国际石油价格发生了两次大幅度上涨, 乙烯原料价格骤升, 产品生产成本增加, 石油化工曾面临巨大冲击。美国、日本和西欧地区主要乙烯生产国, 纷纷加强了替代原有原料路线的研究。到了 80 年代, 全世界大约有 1000 个石油化工联合企业, 所用原油约占原油总产量的 8.4%, 用气约占天然气总量的 10%。20 世纪 90 年代以后, 新工艺开发趋缓, 1996 年, 全世界原油加工能力为 3800Mt, 生产化工产品用油约占总量的 10%。多年来, 我国乙烯都以馏分油为原料, 每年生产乙烯消耗的馏分油超过 30Mt, 预计到 2015 年会超过 45Mt/a。

乙烯、丙烯产业高速发展的原因: 一是有大量廉价的原料供应(20 世纪 50~60 年代, 原油每吨约 15 美元); 二是有可靠的、有发展潜力的生产技术; 三是产品有广阔市场, 不断开拓了产品新的应用领域。原料、技术、市场三个因素的综合, 实现了化学工业发展史上的一次飞跃。

但以乙烯为龙头的石化工业发展, 在我国始终难以摆脱乙烯原料短缺的制约。化工轻油是我国乙烯生产主要原料。而化工轻油与汽油的需求量矛盾十分突出, 作为乙烯原料的石脑油从价格和数量上供需矛盾一直十分尖锐。

近来美国乙烯生产, 约 75% 采用天然气和凝析油为原料, 其中约 50% 使用乙烷、15%~20% 使用丙烷、3%~4% 使用丁烷, 仅约 25% 采用石脑油和瓦斯油为原料。我国乙烯裂解原料, 据 2006 年资料报导, 轻烃(包括 $C_2 \sim C_5$) 占 8%、石脑油占 69%、轻柴油 9%、加氢裂化尾油 10%。不同原料生产乙烯, 原料单耗不同(大致 2.2~4.4t 原料/t 乙烯), 每产 1t 乙烯联产丙烯量也不同(大致 0.35~0.62t 丙烯/t 乙烯)。每生产 1t 乙烯, 我国裂解原料的平均消耗: 2003 年为 3.2t、2005 年为 3.1t, 预计 2020 年为 3.04t。据此, 2020 年我国对蒸汽裂解原料的需求将达到 84.66Mt。平均 1t 蒸汽裂解原料需加工原油量, 预计 2020 年为 6.1t。只为满足乙烯生产需求, 2020 年将达 516Mt^[6]。

由此可见, 我国乙烯工业的发展对原油需求量巨大。预计 2015 年和 2020 年以后, 我国原油进口依存度将大于 60%。从国家能源安全角度考虑, 高于 60% 的原油进口依存度对国民经济的发展存在风险。原油供给紧张必将制约我国乙烯工业的发展, 而近期原油价格的高企使得这种紧张程度进一步加剧。

乙烯最初是由乙醇脱水制取的。当时由于乙醇由粮食生产, 工艺路线不合理, 产品产量受到限制, 因此阻碍了乙烯生产的发展。自从 1919 年联合碳化物公司研究了乙烷、丙烷裂解制乙烯的方法, 随后林德空气产品公司实现了从裂解气中分离乙烯, 实现了石油烃裂解制乙烯技术工业化, 乙烯生产与石油化工才得到了飞速发展。

至今, 乙烯的生产主要采用蒸汽裂解法。目前, 全世界大约 95% 的乙烯和大约 70% 的丙烯是采用管式炉蒸汽热裂解工艺来生产的。但蒸汽裂解法反应温度高、需用昂贵的耐高温合金材料, 对原料要求苛刻, 一般只适宜采用轻烃、石脑油、轻柴油或加氢裂化尾油等轻油作原料油。尽管技术已日臻完善, 可改进的余地已不大, 人们也曾对管式炉裂解法的原料重质化问题进行了研究, 使管式裂解炉对原料的适应性不断提高, 由于重油管式炉高温裂解结