

高级技工学校教材

有机化工工艺

● 窦锦民 主编



化学工业出版社
教材出版中心

高级技工学校教材

有机化工工艺

窦锦民 主编



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

有机化工工艺/窦锦民主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 12

高级技工学校教材

ISBN 7-5025-8071-9

I. 有… II. 窦… III. 有机化工-工艺学-技工学校-教材 IV. TQ2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 157925 号

高级技工学校教材

有机化工工艺

窦锦民 主编

责任编辑: 于 卉 何 丽

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 吴 静

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市海波装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18¼ 字数 445 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8071-9

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书是根据劳动和社会保障部颁布的《高级技工学校化工工艺专业教学计划》由全国化工高级技工教育教学指导委员会组织编写的全国化工高级技工教材。

全书共分十一章，主要内容是有机化工原料及原料路线的选择方法，烃类裂解及裂解气的净化与分离，甲醇、甲醛、乙醛、乙酸、环氧乙烷、丙烯腈、乙苯、苯乙烯等产品的生产原理、工艺条件、工艺流程和部分典型设备，高聚物合成工艺过程原理及合成技术，生物化工的基本知识等。

为了体现高级工的培训特点，突出了操作技能训练。本书主要以常用有机产品的生产为体系进行编排，既对产品的性能和应用、工业生产方法、生产原理、工艺条件选择、工艺流程组织等进行详细阐述，又结合生产实际对化工生产中实用操作技术、安全技术、能量有效利用技术和环境保护等方面进行了综合分析或介绍，还对部分产品生产技术的发展前景进行了展望。为了便于学习，启发思考，每章内容均有学习目标、复习与思考题。

本书由窦锦民编写绪论、第三章烃类裂解、第四章裂解气的净化与分离、第八章乙苯及苯乙烯的生产及附录；李建法编写第一章基本有机化学工业的原料、第二章常用指标和工业催化剂、第六章乙醛与乙酸的生产。丁惠萍编写第五章甲醇与甲醛的生产、第十一章生物化工技术简介；朱德云编写第七章环氧乙烷和丙烯腈的生产、第九章化工工艺计算及反应器、第十章高聚物合成工艺。全书由窦锦民统稿，程家树主审。

本教材在编写过程中得到了中国化工教育协会、化学工业出版社、全国化工高级技工教育教学指导委员会及有关学校的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限，不妥之处在所难免，敬请各位老师和广大读者给予指正。

编 者

2005年10月

全国化工高级技工教材编审委员会

主 任 毛民海

副主任 孔广友 王黎明 刘 雄 张文兵 苏靖林 曾繁京
律国辉

委 员 (排名不分先后顺序)

毛民海	孔广友	王黎明	刘 雄	张文兵	苏靖林
曾繁京	律国辉	王跃武	王万侠	李文原	胡仲胜
雷 俊	林远昌	李晓阳	韩立君	武嘉陵	简 祁
周仕安	米俊峰	王春湘	黄益群	郑 骏	王 宁
程家树	金跃康	韩 谦	张 荣	马武飏	宋易骏
何迎健	董吉川	郭养安			

内 容 提 要

本书共分十一章，主要介绍了有机化工原料及原料路线的选择方法，烃类裂解及裂解气的净化与分离，甲醇、甲醛、乙醛、乙酸、环氧乙烷、丙烯腈、乙苯、苯乙烯等产品的生产原理、工艺条件、工艺流程和部分典型设备，高聚物合成工艺过程原理及合成技术，生物化工的基本知识等内容。既对产品的性能和应用、工业生产方法、生产原理、工艺条件选择、工艺流程组织等进行简明阐述，又结合生产实际对化工生产中实用操作技术、安全技术、能量有效利用技术和“三废”治理技术进行了综合分析和介绍，还对部分产品的国内外生产技术发展前景进行了展望。为了便于学习，启发思考，每章内容均有学习目标、复习与思考题。

本书为高级技工化工工艺专业的技能课教材，也可作为化工企业有机化工高级工培训教材。

目 录

绪论	1
一、有机化工及其在国民经济中的作用	1
二、有机化工的发展概况	1
三、有机化工的生产特点	3
四、有机化工的发展方向	5
五、有机化工工艺的性质、任务、特点和学习方法	6
第一章 基本有机化学工业的原料	8
第一节 煤及其化工利用	8
一、煤的干馏	9
二、煤的气化与液化	11
三、煤生产电石	11
第二节 天然气的化工利用	12
一、天然气的组成和分类	12
二、天然气的化工利用	12
第三节 石油及其化工利用	13
一、石油的组成和分类	13
二、石油的常减压蒸馏	14
三、催化裂化	15
四、催化加氢	16
五、催化重整	17
六、从石油获取基本有机产品的途径	18
第四节 生物质及其化工利用	19
一、生物质分类	19
二、生物质的化工利用	19
第五节 化工生产的主要产品	21
一、碳一系列产品	21
二、碳二系列产品	22
三、碳三系列产品	23
四、碳四系列产品	23
五、芳烃系列主要产品	23
六、合成高分子化工主要产品	24

七、功能高分子材料	25
八、精细化工主要产品	25
复习与思考题	25
第二章 常用指标和工业催化剂	27
第一节 常用指标	27
一、转化率、产率和收率	27
二、消耗定额	30
三、空间速率和接触时间	31
第二节 工业催化剂	32
一、催化剂的基本特征	32
二、催化剂的活性、选择性和作用	33
三、催化剂的组成	34
四、固体催化剂的物理性能	35
五、固体催化剂的制备方法	36
六、催化剂的活化、使用和再生	36
七、对工业催化剂的要求	39
复习与思考题	40
第三章 烃类裂解	41
第一节 裂解反应和反应机理	42
一、烃类裂解的一次反应	42
二、烃类裂解的二次反应	46
三、烃类裂解反应机理	47
第二节 乙烯生产原料和操作条件	49
一、乙烯生产原料的特性参数	50
二、表示裂解过程的几个常用指标	52
三、操作条件对裂解的影响	54
第三节 管式炉裂解工艺流程	58
一、管式炉裂解制乙烯	58
二、裂解气的急冷和急冷换热器	62
三、管式炉的结焦与清焦	65
四、USC 型炉裂解和急冷工艺	66
五、裂解系统不正常现象及处理方法	69
复习与思考题	70
第四章 裂解气的净化与分离	72
第一节 概述	72
一、裂解气的组成和分离要求	72
二、裂解气分离方法和深冷法流程	73
第二节 裂解气预处理	74
一、酸性气体脱除	75
二、裂解气脱水	77

三、炔烃脱除	80
第三节 压缩与制冷	84
一、裂解气压缩	84
二、裂解气分离系统能量利用	86
第四节 精馏分离	92
一、脱甲烷塔	92
二、乙烯回收率	93
三、乙烯塔和丙烯塔	96
第五节 裂解气深冷分离流程	98
一、三种流程工艺	98
二、三种流程比较	100
第六节 乙烯工业的发展趋势	102
一、管式炉裂解技术展望	102
二、生产乙烯的其他方法	102
复习与思考题	103
第五章 甲醇与甲醛的生产	105
第一节 一氧化碳加氢合成甲醇	105
一、甲醇的性质和用途	105
二、甲醇合成原理	108
三、催化剂和影响因素	109
四、工艺流程	112
五、合成甲醇的主要设备	115
六、粗甲醇的分离	120
第二节 甲醇生产操作与控制	127
一、甲醇合成工段（以低压法为例）	127
二、甲醇精馏工段（以双效三塔精馏为例）	130
第三节 甲醛的生产	134
一、甲醛的性质和用途	134
二、甲醛的生产方法简介	137
复习与思考题	142
第六章 乙醛与乙酸的生产	144
第一节 乙醛的生产	144
一、乙醛的性质和用途	144
二、乙醛的生产方法	145
三、乙炔液相水合法生产乙醛	145
四、乙烯液相氧化法生产乙醛	149
第二节 乙酸的生产	152
一、乙酸的性质和用途	152
二、乙酸的生产方法	153
三、乙醛氧化生产乙酸	156

第三节 甲醇低压碳化生产乙酸	162
一、反应原理	162
二、工艺条件	163
三、反应器	163
四、工艺流程	163
五、主要优缺点	164
复习与思考题	165
第七章 环氧乙烷和丙烯腈的生产	166
第一节 环氧乙烷的生产	166
一、环氧乙烷的性质和用途	167
二、乙烯直接氧化法制环氧乙烷的反应原理	168
三、乙烯环氧化的工艺条件	170
四、乙烯氧气氧化法生产环氧乙烷的工艺流程	171
五、主要设备——环氧乙烷反应器	172
六、环氧乙烷生产工艺技术的新进展	174
第二节 丙烯腈的生产	174
一、丙烯腈的性质与用途	174
二、工业生产方法	175
三、丙烯氨氧化法生产丙烯腈	176
四、丙烯腈生产的安全技术	181
五、丙烯腈生产的发展方向	182
复习与思考题	182
第八章 乙苯及苯乙烯的生产	183
第一节 乙苯的生产	183
一、乙苯的性质与用途	183
二、反应过程	184
三、催化剂	185
四、影响因素	185
五、工艺流程	186
第二节 苯乙烯的生产	189
一、苯乙烯的性质、用途及合成方法简介	189
二、乙苯催化脱氢生产苯乙烯	190
三、催化剂	192
四、影响因素	193
五、工艺流程	194
复习与思考题	198
第九章 化工工艺计算及反应器	199
第一节 物料衡算	199
一、物料衡算的目的和意义	199
二、反应过程物料衡算的步骤	199

三、一般反应过程的物料衡算	200
四、具有循环过程的物料衡算	206
第二节 热量衡算	208
一、热量衡算的目的和意义	208
二、热量衡算的步骤	209
三、热量衡算举例	210
第三节 反应器	214
一、反应器的分类	214
二、对反应器的要求	215
三、典型化学反应器	215
复习与思考题	222
习题	223
第十章 高聚物合成工艺	225
第一节 概述	225
一、高聚物的基本概念	225
二、聚合反应机理	227
三、聚合反应的实施方法	228
第二节 合成树脂与塑料	229
一、合成树脂与塑料	229
二、塑料的分类与组成	230
三、塑料的成型与加工	230
四、聚氯乙烯	230
五、聚乙烯	234
六、酚醛树脂	240
七、不饱和聚酯树脂与塑料	243
第三节 合成橡胶	245
一、丁苯橡胶	246
二、顺丁橡胶	247
三、异戊橡胶	250
四、氯丁橡胶	252
第四节 合成纤维	253
一、聚酰胺纤维	253
二、聚丙烯腈纤维	257
复习与思考题	260
第十一章 生物化工技术简介	262
第一节 概述	262
一、生物技术及其发展史	262
二、生物化工及其发展	263
第二节 生物发酵	265
一、发酵方法	265

二、发酵过程的主要控制参数.....	266
第三节 生物制药.....	267
一、生物药物的来源、特性、分类.....	268
二、生物药物的制备.....	269
第四节 生物材料.....	270
一、生物材料的分类.....	270
二、生物材料的发展与前景.....	271
复习与思考题.....	271
参考文献	272
附录	273
一、物理量的单位.....	273
二、水的物理性质.....	273
三、干空气的物理性质 ($p=101.3\text{kPa}$)	274
四、饱和水蒸气性质.....	275
五、某些液体的物理性质.....	277
六、某些气体的物理性质.....	278

绪 论

一、有机化工及其在国民经济中的作用

有机化学工业包括三大门类：即基本有机化学工业，有机精细化学工业和高分子化学工业。

基本有机化学工业是国民经济的重要基础产业，它的任务是利用自然界中大量存在的煤、石油、天然气及生物质资源，通过各种化学加工的方法，制成一系列重要的基本有机化工产品，如乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘、苯乙烯、醇、醛、酸、酮及其衍生物、卤代物、环氧化合物和有机含氮化合物等。某些产品具有独立用途，如溶剂、萃取剂、抗冻剂等，广泛应用于油漆工业、油脂工业、运输工业及其他工业。但是数量更多的产品，则是为生产其他有机化工产品提供基础原料。

有机精细化学工业是利用基本有机化工产品，经过深度精细加工，生产具有功能性和最终使用性的有机化合物产品的工业。有机精细化工包括：表面活性剂、水质稳定剂、塑料和橡胶助剂、黏合剂、合成染料、合成农药和医药、涂料、香料、添加剂、阻燃剂等行业。有机精细化工具有生产质量要求高、产量较少、合成过程复杂、产品分子结构较复杂、品种繁多等特点。

高分子化学工业是利用基本有机化工产品生产高相对分子质量的合成树脂及塑料、合成纤维、合成橡胶（简称三大合成材料）等高分子合成材料。

因此，基本有机化学工业是其他有机化学工业的基础，其发展水平是衡量一个国家经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

人们通常把有机化学工业比作一棵果树。煤、石油、天然气和农林副产品（生物质资源）是肥沃的土壤，它供给果树生长的各种营养；烃、醇、醚、醛、酮、羧酸、酯等基本有机化工产品，则是果树的树根、树干和枝叶；而有机精细化工和高分子化工的产品就是果实。根基牢固，主干茁壮，枝叶茂盛，才能收获丰盛的果实。没有强大的基本有机化学工业，有机化学工业则如无源之水、无本之木。

另外，生物化工技术是近几年发展迅速的化工领域，特别在生物制药、生物材料等方面取得了一系列技术突破。

二、有机化工的发展概况

有机化工的发展与原料的来源具有密切的关系。

利用农林副产品（生物质资源）获取有机化学工业的原料和产品，已具有悠久的历史，如用含淀粉较多的农副产品以发酵法生产酒精、乙酸等。另外，天然油脂可生产肥皂；农作物的皮、壳、秆可通过水解法生产糠醛。在 17 世纪人们发现将木材干馏可制取甲醇（联产乙酸和丙酮）。生物质是取之不尽、用之不竭的天然资源。随着技术水平的不

2 有机化工工艺

断提高, 利用生物质资源制取有机化工产品, 将逐渐显现出其在原料方面的强大优势。

19 世纪后半期, 随着钢铁工业的发展, 煤炭炼焦业兴起, 推动了煤化工的发展。从炼焦副产的煤焦油中可提取芳烃, 以芳烃为基础原料, 可生产出多种药物、染料等。随后, 加拿大 Thomas Lovel Willson 用焦炭和石灰石熔炼出电石 (CaC_2), 1895 年建成电石工厂, 由电石生产乙炔。乙炔最初用于金属切割和焊接, 1910 年开始将乙炔用于生产有机化学品, 如乙醛、乙酸、丙酮、氯乙烯等, 从而使电石工业迅速发展起来。此后, 由于高分子化工的发展, 使乙炔制丁二烯、氯乙烯、丙烯腈、丁二醇、丙烯酸等的生产技术和生产规模, 达到了一个新的水平。20 世纪 60 年代以前, 以煤为原料, 通过电石乙炔、煤焦油和合成气制取有机化工产品, 是有机化学工业的主导。由于这一时期的化学工业是以煤为原料发展起来的, 称之为煤化学工业, 又由于当时的基本有机化工产品基本上都由乙炔制取, 所以当时的基本有机化学工业又称为乙炔化学工业, 并以乙炔的产量作为有机化工发展水平的标志。

20 世纪 40 年代末期, 石油化学工业开始兴起, 煤在有机化工原料中的地位逐渐被石油和天然气所取代, 使煤在有机化工原料中的比重逐年下降。这主要是因为以石油和天然气为原料生产烯烃(乙烯、丙烯等)比以煤为原料生产电石乙炔成本要低, 而以乙烯、丙烯为原料, 可以合成出品种更多、更廉价的有机化学品和高分子材料。到 20 世纪 50~60 年代, 以石油、天然气为原料的基本有机化学工业迅速发展。以石油、天然气为原料的化学工业, 称为石油化学工业。到 20 世纪 80 年代, 在技术发达国家, 由石油和天然气的有机化工产品已占有有机产品总量的 90% 以上。乙烯是基本有机化工最重要的产品, 它的发展带动着整个有机化工的发展。因此, 乙烯产量往往作为一个国家基本有机化工发展水平的标志。

世界石油资源比煤资源少得多(表 0-1)。我国自然资源的基本特点是富煤、贫油、少气。与石油和天然气比较而言, 我国煤炭的储量相对比较丰富, 煤炭资源总量为 $1.5 \times 10^{12} \text{t}$, 占世界储量的 10.1% (表 0-2)。而石油仅占 3.7% (表 0-3), 天然气仅占 2% (表 0-4)。

表 0-1 世界矿物资源储量/亿吨标准煤^①

项 目	地质估计储量	探明储量	可采数量
石油	3600	1260	1270
天然气	2760	790	790
油页岩含油	7200	500	300
油砂中含油	3600	500	300
褐煤	77280	20000	4930
煤	23990	10000	1440
合计	118430	33050	9030

① 吨标准煤 (tec, tSKE), 1tec, tSKE=29.3076GJ。

表 0-2 煤炭资源及其生产、消费状况

项 目	全世界		中 国			
	总量	人均	总量	占世界比重	世界排名	人均
资源量	$1.481 \times 10^{13} \text{t}$	2786t	$1.5 \times 10^{12} \text{t}$	10.1%	3	1913t
探明可采储量	$1.03 \times 10^{12} \text{t}$	187.12t	$1.145 \times 10^{11} \text{t}$	11.12%	10	98.94t
年产量	$4.717 \times 10^9 \text{t}$	0.813t	$1.397 \times 10^9 \text{t}$	29.6%	1	1.141t
年消费量(1994)	$4.905 \times 10^9 \text{t}$	0.845t	$1.447 \times 10^9 \text{t}$	29.5%	1	1.182t

合成气由煤、石油、天然气均可制得。由于以煤气化生产合成气的能耗比从石油和天然气生产合成气高 30%~40%，但从长远考虑，如我国煤资源丰富的国家，应加速大型煤气化方法的开发和煤的液化转化为燃油的方法研究。这是一个与国家能源结构和国家能源安全相关的重大课题。

表 0-3 石油资源及生产、消费状况

项 目	全世界		中 国			
	总量	人均	总量	占世界比重	世界排名	人均
资源量	$2.49 \times 10^{12} \text{ t}$	437t	$9.3 \times 10^{10} \text{ t}$	3.7%	10	75.98t
剩余探明储量	$1.409 \times 10^{11} \text{ t}$	24.72t	$3.3 \times 10^9 \text{ t}$	2.3%	10	2.70t
储采比	42.2 年	—	20.7 年	—	10	—
产量	$3.361 \times 10^9 \text{ t}$	0.579t	$1.57 \times 10^8 \text{ t}$	4.7%	5	0.128t
消费量	$3.312 \times 10^9 \text{ t}$	0.571t	$1.72 \times 10^8 \text{ t}$	5.2%	4	0.142t

表 0-4 常规天然气资源及生产、消费状况

项 目	全世界		中 国			
	总量	人均	总量	占世界比重	世界排名	人均
资源量	$1.925 \times 10^{15} \text{ m}^3$	333817m ³	$3.8 \times 10^{13} \text{ m}^3$	2%	—	31045m ³
探明储量	$4.044 \times 10^{14} \text{ m}^3$	70110m ³	$1.64 \times 10^{12} \text{ m}^3$	0.4%	—	1327m ³
探明可采储量	$1.467 \times 10^{14} \text{ m}^3$	25433m ³	$9.5 \times 10^{11} \text{ m}^3$	0.6%	—	769m ³
储采比	65 年[1999]	—	58.8 年	—	—	—
年产量(1997)	$2.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$	—	$2.27 \times 10^{10} \text{ m}^3$	1%	21	18m ³
消费量(1997)	$2.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$	m ³	$2.12 \times 10^{10} \text{ m}^3$	0.92%	—	17m ³
年产油气能量比	1 : 0.7	—	1 : 0.14	—	—	—

注：1997 年中国人口 12.36 亿，1996 年世界人口 57.68 亿。

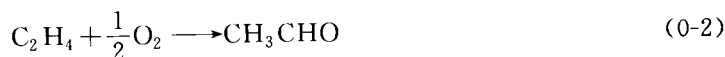
三、有机化工的生产特点

1. 生产规模大

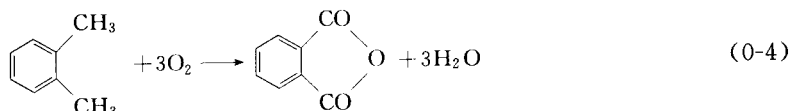
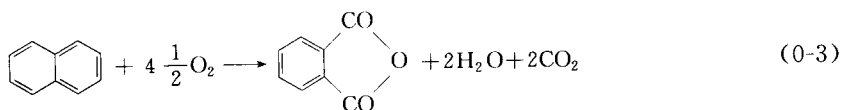
有机化工产品生产装置具有流程长、设备大的特点。大型化能量利用合理，如国内年产 45 万吨的乙烯装置。

2. 原料技术路线多

同一产品可以由几种不同原料生产。如乙醛可以由乙炔水合法生产，也可以由乙烯氧化法生产。

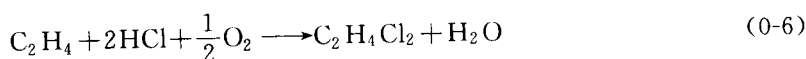


又如邻苯二甲酸酐可以由萘氧化生产，也可以由邻二甲苯氧化生产。

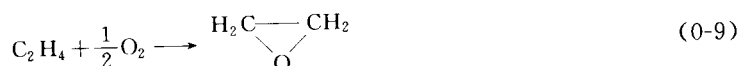
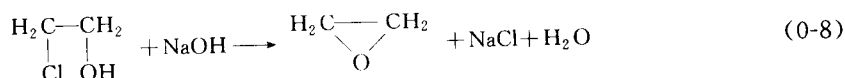


4 有机化工工艺

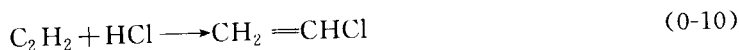
同一原料生产同一产品，可以有不同的生产路线，且由多步骤简化为直接合成。如乙烯氯化 and 氧氯化都可以生产二氯乙烷。



又如乙烯次氯酸化、皂化生产环氧乙烷，可简化为直接环氧化。



同一原料可以制取不同产品。如由乙炔可以生产氯乙烯、乙酸乙烯等。



3. 综合利用率高

生产过程中对于各种原料、中间产物、主要产物、副产物等，可尽量做到物尽其用，以提高经济效益。如石油裂解生成的裂解气，经分离后，可以得到乙烯、丙烯、甲烷、氢、丁二烯、苯、乙苯等多种基本有机化工产品。乙烯可以生产环氧乙烷、乙二醇、聚乙烯、苯乙烯。甲烷、氢可以生产甲醇、氨等；氨进而可以生产化肥。氨与丙烯可以合成丙烯腈；丙烯腈可以生产合成纤维。生产丙烯腈的副产物乙腈，可以作萃取剂，用于萃取蒸馏，分离丁二烯。丁二烯可以生产合成橡胶。苯乙烯可以生产合成树脂、塑料，也可以与丁二烯生产丁苯橡胶等。

4. 生产过程中广泛采用先进技术

生产过程中为了加快反应速率和提高反应的选择性，广泛采用高效催化剂；为了快速而准确地测定复杂物料的组成，广泛采用现代化分析方法；为了提高生产效率，降低成本，改进产品质量，采用了集散控制系统、智能仪表、自动化技术、高温高压和深冷技术。

5. 处理物料危险性大，安全技术要求高

有机化工生产过程中所用的原料和得到的产品、副产品绝大多数是易燃、易爆、有毒、有腐蚀性的。

一些气态原料和产品，特别是烃类气体，是燃烧和爆炸危险性很大的气体。这些气体与空气混合，能形成爆炸混合物。

可燃性气体或蒸气的浓度处于爆炸极限内时，遇到明火、电火花、撞击等外界因素，就会发生爆炸，造成重大事故。

随着压力和温度的增加，爆炸极限也将扩大。如甲烷在 4MPa 时，爆炸极限扩大为

5%~28% (常压时为 5.8%~14.9%)。

生产、储存、运输和使用有燃烧和爆炸危险的物质时,要测定该物质的浓度是否处于爆炸极限内,遵守安全操作规程;确保安全生产。

四、有机化工的发展方向

目前,我国化工行业新产品、新技术不足仍然是制约我国化工行业发展的最大瓶颈,因此大力促进自主创新高科技产业化,为传统化工产业提供技术支持。“十五”期间以及今后化工高新前沿技术的发展重点是以下几个方面。

1. 化学合成技术

为使化学合成选择性好、产率高、反应速率快、反应条件温和,目前已发展了一系列新的合成方法与技术。

(1) 新合成方法 声化学合成、微波电解质热效应合成、电化学合成、等离子体化学合成、力化学固相合成、冲击波化学合成、手性合成、利用太阳能进行化学合成、超临界状态下化学合成、室温和低热温度下化学合成及光化学合成等。

(2) 新的催化技术 配位催化、相转移催化、超强酸超强碱催化、杂多酸催化、胶束催化、氟离子催化、钛化合物催化、纳米粒子催化、光催化、晶格氧选择氧化及非晶态合金加氢催化等。

(3) 一锅合成法 传统的有机合成是一步一步地进行反应,步骤多,产率低,选择性差,且操作繁杂。一锅合成法可将多步反应或多次操作置于一锅内合成,不再分离许多中间产物,因而具有高效、高选择性、条件温和等特点,是一种绿色化学合成技术。

(4) 生物化工合成法 包括发酵工程、酶工程、基因工程及细胞工程等。

2. 高新分离技术

采用高新分离技术可以使产品质量(纯度)提高,其质量提高体现在使用价值增加和经济效益提高;分离越彻底,向环境排放物越少,副产物处理更方便;高新分离技术使产品收率提高,也提高了经济效益;有些分离技术(如膜分离)是在无相变情况下实现的,具有节能、减污特性。高新分离技术有如下几种。

(1) 膜分离技术 液膜分离、渗透汽化膜分离、反渗透膜分离、电渗、超滤、微滤、纳滤、气体膜分离等。

(2) 超临界流体(SCF, supercritical fluid)技术 SCF 萃取、SCF 重结晶、SCF 干燥、SCF 色谱。

(3) 新蒸馏技术 分离与反应耦合——反应蒸馏、分离与分离耦合——吸附蒸馏、分子蒸馏、膜蒸馏等。

(4) 新结晶技术 熔融结晶、加压结晶等。

(5) 其他 变压吸附、深冷分离与低温蒸馏、毛细管电泳等。

3. 制备、加工及其他技术

纳米技术可生产超强纳米碳管纤维,其重量仅为钢的 1/6,而强度比钢大 100 倍。复合材料技术可制备出智能材料、超导材料、隐身材料和耐高温、高强度、高硬度、抗腐蚀的材料。其他先进技术还有高聚物改性技术、复配技术、计算机化工应用技术、超高温低温技术和高真空超高压技术等。

4. 新型环保与能源技术