

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

化 学 工 艺

第 二 版

主 编 田铁牛
责任主审 戴猷元
审 稿 余立新 戴猷元



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书在介绍化工生产原料的基础上,按生产工艺过程的特点,选择典型产品,重点讨论了生产工艺中化学反应的工艺原理、工艺条件、生产方法、反应器的结构特点和工艺流程等,同时对物质和能量的回收及综合利用、环境保护也作了适当的叙述,并介绍了近年来的新工艺、新技术和新方法。

本教材坚持理论联系实际,突出基本理论的应用,减少理论推导及阐述。为便于教学,在各章设置了“学习导言”、“本章小结”、“思考题与习题”以及“阅读园地”等栏目。

本教材可供中等职业学校学生使用,也可供化工企业职工培训和化工操作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

化学工艺/田铁牛主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2007.7

中等职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-122-00327-0

I. 化… II. 田… III. 化工过程-工艺学-专业学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 060042 号

责任编辑: 何 丽
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 李姿娇
装帧设计: 潘 峰

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 插页 1 印张 13 字数 344 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 19.80 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《化学工艺》第一版自 2002 年 7 月出版以来，广为中职学校使用，四年来已印刷 7 次。

根据教育部面向 21 世纪中等职业教育教材建设的精神，以及培养高素质化工职业劳动者的要求，化学工艺课程立足化工工艺岗位操作工所需基本知识、基本原理和基本技术，在介绍化工生产原料、阐述化学工艺基本知识与原理的基础上，选择可体现化学工艺特点，具有代表性的化工产品，如硫酸、氯碱、合成氨、烃裂解、醋酸、苯酚与丙酮、邻苯二甲酸二辛酯、柠檬酸、聚醋酸乙烯酯、聚丙烯、聚氯乙烯等，讨论工艺原理、工艺条件及工艺流程，使学生学习掌握化工生产的基本知识、基本原理和技术，为走向生产岗位奠定化工职业基础。

本次教材的修订是在征求兄弟院校和一些企业意见基础上进行的。这次修订由河北化工医药职业技术学院田铁牛、李永真、庞秀等执笔，对本书第一版不妥、不完善的地方进行了修改和补充。对第 8 章醋酸的生产做了较大篇幅的补充；对聚丙烯一章增加了“聚丙烯改性与加工”一节；增加了聚氯乙烯的生产，作为第 14 章。

这次修订，根据企业对初进厂工艺操作工人的要求、学生定岗实习的需要，在“阅读园地”中增加了：安全生产、化工生产四大规程、导流程、岗位记录与交接班、装置的开停车、生产因素的分析、工艺管理和技术开发等阅读内容，力求给学生提供走上生产岗位的一种帮助。此外，增编了部分例题和习题。

本书第一版在使用中得到很多兄弟院校的宝贵建议；在修订中得到企业生产技术人员的大力支持；在编写和出版中得到了化学工业出版社编辑的大力相助，在此一并致谢。

由于编者水平所限，经此次修订，不妥之处仍在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2007 年 1 月于石家庄

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司
2001 年 10 月

第一版前言

本书根据教育部审定通过的中等职业学校化学工艺专业《化学工艺课程教学大纲（试行）》而编写。

教材努力贯彻教育部面向 21 世纪中等职业教育教材建设精神，根据中等职业教育培养目标，突出基本知识、基本理论和基本技能的介绍，注重科学态度、唯物辩证的思想方法和职业道德的培养，培养学生具备高素质劳动者和中、初级专门人才所必需的化学工艺基本知识和基本理论，能正确理解化学工艺流程及工艺条件，初步掌握化学工艺基本技能，能分析和处理一般化学工艺问题，具有现代化化工职业素质和从事化学工艺操作的基本能力，以适应现代化工业生产要求。

教材在阐述化学工艺的基本知识和原理基础上，按化学工艺过程的特点，选择具有代表性的化工产品，介绍其工艺原理、生产方法、主要工艺条件和典型反应器的基本结构与操作。教材坚持理论联系实际，突出基本理论的应用，减少理论推导及阐述，为便于自学，在各章设置“学习导言”、“本章小结”、“思考题与习题”及“阅读园地”。

本书由河北化工学校田铁牛主编。第 1、2、3 章及第 11 章田铁牛编写，第 4、5、6 章郑广俭编写，第 7、8、9 章朱宝轩编写，第 10、12、13 章由马长捷编写。全书由田铁牛统稿，陕西石油化工学校文建光审阅了全书，提出了宝贵的意见和建议；河北化工学校的肖志英老师为书中流程图的绘制做出了宝贵的贡献；化学工业出版社对该书的编写和出版提供了许多方便，在此，编者表示衷心的感谢。

编写本书参考了有关专著与文献（见参考文献），在此，谨向其作者致以崇高的敬意和诚挚的感谢。

由于编者水平所限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正，不吝赐教。

编 者

2002 年 5 月于石家庄

目 录

1 绪论	1	3.1.4 化工过程的参数	31
1.1.1 化学工业及其发展概况	1	3.1.5 化工过程的质量与能量守恒	33
1.1.2 化学工业在国民经济中的地位	2	3.2 化工过程的指标与影响因素	34
1.1.3 化工行业及其主要化工产品	2	3.2.1 生产能力与生产强度	34
1.1.4 环境保护与绿色化学工艺	3	3.2.2 转化率、选择性和收率	36
1.1.5 化学工业的发展趋势与重点	4	3.2.3 化学反应的限量物与过量物	38
1.1.6 本课程的性质、任务与内容	4	3.2.4 化学反应的工艺影响因素	38
思考题与习题	5	3.3 催化剂	39
阅读园地 “安全第一”——化工生产		3.3.1 催化反应的分类与催化剂的作用	40
活动的前提	5	3.3.2 固体催化剂的构成	40
2 化工生产原料	7	3.3.3 催化剂的特性	40
2.1 石油及其化工利用	7	3.3.4 工业生产对催化剂的要求	41
2.1.1 石油及其组成	7	3.3.5 催化剂的使用	43
2.1.2 石油的加工	7	3.4 化学反应器	45
2.1.3 石油化工产品	9	3.4.1 化学反应器及其类型	45
2.2 天然气及其化工利用	9	3.4.2 反应器的基本操作	46
2.2.1 天然气的组成	9	3.5 化工安全生产	48
2.2.2 天然气的化工利用	10	3.5.1 化工生产的特点	48
2.3 煤的化工利用	11	3.5.2 化工生产的安全技术	49
2.3.1 煤及其加工	11	本章小结	52
2.3.2 煤的化工产品	12	思考题与习题	52
2.4 农副产品的化工利用	12	阅读园地 催化反应技术	54
2.4.1 淀粉的化工利用	12	“导流程”——熟悉化工生产的	
2.4.2 纤维素的化工利用	13	重要方法	54
2.4.3 油脂的化工利用	14	4 硫酸的生产	56
2.5 矿物质的化工利用	15	4.1 概述	56
2.5.1 盐矿资源的化工利用	15	4.1.1 硫酸的性质与应用	56
2.5.2 磷矿及硫铁矿的化工利用	15	4.1.2 硫酸生产的原料	57
2.6 资源综合利用和“三废”治理	16	4.2 二氧化硫的生产	58
2.6.1 环境保护与资源综合利用	16	4.2.1 硫铁矿的焙烧原理	58
2.6.2 “三废”的处理	17	4.2.2 沸腾焙烧与沸腾焙烧炉	58
2.6.3 绿色化工技术	19	4.2.3 焙烧炉气的净化	59
本章小结	20	4.3 硫酸的生产	61
思考题与习题	20	4.3.1 二氧化硫催化氧化的基本原理	61
阅读园地 化工生产活动的“四大规程”	20	4.3.2 工艺影响因素及转化器	61
新能源简介	22	4.3.3 三氧化硫的吸收	63
3 化学工艺基础知识	23	4.3.4 接触法生产硫酸的工艺流程	64
3.1 化工生产过程	23	4.3.5 硫酸生产中的“三废”处理	65
3.1.1 化工生产的组成	23	本章小结	66
3.1.2 化工生产的操作方式	24	思考题与习题	67
3.1.3 化工生产工艺流程	25	阅读园地 固体流态化技术	67

5 氯碱的生产	68	思考题与习题	120
5.1 概述	68	阅读园地 乙烯与乙烯工业	121
5.1.1 氯碱工业及其产品	68	化工生产的岗位记录与交接班 ...	121
5.1.2 食盐水溶液电解的基本原理	69	8 醋酸的生产	123
5.1.3 氯碱生产技术及其发展	71	8.1 概述	123
5.2 氯碱的生产	71	8.1.1 醋酸的性质及用途	123
5.2.1 离子膜电解法的基本原理	71	8.1.2 醋酸的生产方法	123
5.2.2 离子膜电解槽及电解条件	72	8.1.3 醋酸生产原料	124
5.2.3 离子膜法生产工艺流程	74	8.2 乙醛氧化生产醋酸	125
5.2.4 碱液的蒸发浓缩	77	8.2.1 反应原理与工艺条件	125
5.3 盐酸的生产	78	8.2.2 鼓泡塔反应器	126
5.3.1 生产原理与工艺条件	78	8.2.3 工艺流程	126
5.3.2 合成炉与工艺流程	78	8.3 甲醇低压羰基化生产醋酸	128
5.3.3 吸收操作的基本要求	80	8.3.1 基本原理	128
5.3.4 腐蚀性物料的贮运与防护	80	8.3.2 工艺影响因素	129
本章小结	81	8.3.3 工艺流程	129
思考题与习题	81	本章小结	131
阅读园地 侯德榜与联合制碱法	82	思考题与习题	131
6 合成氨	83	阅读园地 化工生产装置的开停车	131
6.1 概述	83	9 苯酚和丙酮的生产	133
6.1.1 氨的性质和用途	83	9.1 概述	133
6.1.2 合成氨的原料	83	9.1.1 苯酚和丙酮的性质及用途	133
6.1.3 合成氨原料气的生产与净化	84	9.1.2 苯酚和丙酮的生产方法	134
6.2 氨的合成	88	9.1.3 苯酚和丙酮的生产原料	134
6.2.1 基本原理	88	9.2 异丙苯法生产苯酚和丙酮	135
6.2.2 工艺影响因素及条件	90	9.2.1 苯烷基化生产异丙苯	135
6.2.3 氨合成塔	92	9.2.2 异丙苯氧化生产过氧化 氢异丙苯	136
6.2.4 工艺流程	96	9.2.3 过氧化氢异丙苯分解生产 苯酚和丙酮	138
6.3 氨的加工	100	本章小结	139
6.3.1 尿素的生产	100	思考题与习题	140
6.3.2 硝酸的生产	101	阅读园地 反应-分离耦合技术	140
本章小结	102	化工工艺管理	141
思考题与习题	103	10 邻苯二甲酸二辛酯的生产	142
阅读园地 合成氨工业简介	103	10.1 概述	142
7 烃类热裂解	105	10.1.1 增塑剂的作用与分类	142
7.1 烃类热裂解的反应原理	105	10.1.2 邻苯二甲酸二辛酯的性质 及用途	143
7.1.1 烃类热裂解的化学反应	105	10.2 邻苯二甲酸二辛酯的生产	145
7.1.2 烃类热裂解反应的特点与规律	106	10.2.1 邻苯二甲酸二辛酯的生产原料	145
7.1.3 烃类热裂解的主要工艺因素	107	10.2.2 酯化反应原理	146
7.2 管式裂解炉与裂解工艺流程	108	10.2.3 酯化工艺条件与技术	146
7.2.1 管式裂解炉	108	10.2.4 酯化反应装置	147
7.2.2 烃类热裂解的工艺流程	109	10.2.5 邻苯二甲酸二辛酯生产 工艺流程	148
7.3 裂解气的净化与分离	112		
7.3.1 裂解气的净化工艺	112		
7.3.2 裂解气的分离工艺	113		
本章小结	119		

本章小结	150	阅读园地 高分子材料	175
思考题与习题	150	化工生产因素的分析	175
阅读园地 精细化学品与精细化工	151	13 聚丙烯的生产	178
11 柠檬酸的生产	152	13.1 概述	178
11.1 概述	152	13.1.1 聚丙烯的性质与用途	178
11.1.1 柠檬酸的性质和用途	152	13.1.2 聚丙烯的生产方法	178
11.1.2 发酵的基本知识	153	13.2 聚丙烯的生产工艺	179
11.2 柠檬酸的生产	154	13.2.1 基本原理	179
11.2.1 基本原理	154	13.2.2 工艺影响因素	180
11.2.2 工艺条件	155	13.2.3 工艺流程	182
11.2.3 工艺流程	156	13.3 聚丙烯的改性与加工	185
11.2.4 发酵设备	159	13.3.1 聚丙烯的改性方法	185
11.2.5 发酵的灭菌操作	159	13.3.2 聚丙烯的加工工艺	186
本章小结	160	本章小结	189
思考题与习题	161	思考题与习题	189
阅读园地 生物化工简介	161	阅读园地 废旧塑料的回收与再生	190
12 聚醋酸乙烯酯的生产	163	14 聚氯乙烯的生产	191
12.1 概述	163	14.1 概述	191
12.1.1 高聚物及其形成反应	163	14.1.1 聚氯乙烯的性质与用途	191
12.1.2 聚合反应的实施方法	164	14.1.2 聚氯乙烯的生产方法	192
12.1.3 聚醋酸乙烯酯的性质及用途	167	14.1.3 聚氯乙烯的生产原料	193
12.2 聚醋酸乙烯酯的生产	167	14.2 聚氯乙烯的生产	194
12.2.1 聚合原理	167	14.2.1 基本原理	194
12.2.2 工艺影响因素	169	14.2.2 工艺影响因素	194
12.2.3 聚合反应设备与工艺流程	170	14.2.3 工艺流程与聚合设备	196
12.3 聚合反应液的分离	172	本章小结	198
12.3.1 单体与溶剂的回收	172	思考题与习题	199
12.3.2 特殊精馏及应用	173	阅读园地 化工过程的开发	199
本章小结	174	参考文献	200
思考题与习题	174		

1 绪 论



学习导言

化学工业是国民经济的支柱性产业之一，化学工艺就是化工生产技术。通过本章的学习，可以了解化学工业的发展概况及其在国民经济中的地位、化学工业的主要产品与行业划分、化学工业的发展趋势与重点，并了解课程的主要内容和学习要求。

1.1.1 化学工业及其发展概况

化学工业是以化学方法为主的加工制造业。化学工艺是根据化学的原理与规律，采用化学和物理的措施，将原料转化为产品的方法和过程。即利用化学反应改变物质的组成和结构以生产化工产品的工业技术。

化学工业的发展，反映了人类逐步认识自然规律、不断利用自然资源的过程。

早在公元前 2000 年以前，人们就知道利用化学的方法加工制造简单的生活用品，如制陶、酿酒、冶炼等。早期的化学工艺技术简单、生产水平低下，属于作坊式生产。

18 世纪中叶，第一次工业革命之后，纺织工业兴起。纺织物的漂白和印染技术的改进，需要纯碱、无机酸等化工产品；农业需要化学肥料；采矿业需要大量的炸药；无机化学工业作为近代化学工业的先导开始形成。

19 世纪中叶，随着钢铁工业的发展，炼焦工业相应兴起。以炼焦副产品煤焦油及其提取物（苯、甲苯、二甲苯、萘、蒽、苯酚等）为原料的有机化学工业得到迅速发展。

自 20 世纪 50 年代，以石油和天然气为原料的石油化学工业迅猛发展。到 60 年代，已有 80%~90% 的有机化工产品是以石油、天然气为原料生产的，三大合成材料几乎全部来自石油化工。石油化工的发展，为现代化学工业的形成奠定了基础。

20 世纪 70 年代的石油危机，促使化学工业在节能、技改、降低成本的同时，调整行业结构和产品结构，大量采用高新技术，使产品向深加工、精细化、功能化、高附加值方向发展，高分子化工、精细化工蓬勃发展。

20 世纪 80 年代，科学技术的进步和社会发展对化学产品提出了更高的要求，化学工业的“精细化”成为发达国家科学技术和生产力发展的一个重要标志。精细化是指精细化工产品的总产值在化学工业产品总产值中所占的比重，也称精细化率。精细化率的高低，在一定程度上反映了一个国家的综合技术水平、发达水平和化学工业的集约化程度。

总之，化学工业的发展过程是由初步加工向深度加工发展；由一般加工向精细加工发展；由主要生产大批量、通用性基础材料，向既生产基础材料，又生产小批量、多品种的专用化学品方向发展。如今，现代化学工业呈现以下特点：

- ① 原料、产品和生产方法的多样性；
- ② 生产规模的大型化、综合化和产品的精细化；
- ③ 生产技术的密集化，广泛采用涉及多学科的高新技术；
- ④ 生产的清洁化，首要解决易燃、易爆、有毒、有腐蚀等环境不友好问题；
- ⑤ 节约能量以及能量的综合利用；
- ⑥ 生产资金的高投入、高利润和高回收速度。

1.1.2 化学工业在国民经济中的地位

化学工业是国民经济的支柱性产业。在国民经济中，化学工业与国民经济各行业国防科技各部门和人们衣、食、住、行及社会文化生活各方面息息相关，化学工业的产品渗透于现代社会生活的各个领域。

衣着 在棉、麻、毛、丝、人造纤维、合成纤维、皮革等材料的加工制造过程中，离不开化学工业提供的染料、软化剂、整理剂、漂白剂、洗涤剂、鞣剂、皮革加脂剂和光亮剂等化工产品。

饮食 在粮食、蔬菜、肉蛋鱼类、瓜果、酒和饮料等的种植、饲养、酿造、加工、贮运等过程中，离不开化学工业提供的化肥、农药、饲料添加剂、食品添加剂、保鲜剂等化工产品。

居住 在住宅的建设、装修以及家庭陈列品等材料生产中，大量使用化学工业提供的涂料、黏合剂等各类化工产品。

交通 汽车、火车、飞机、摩托车、自行车等各种交通工具所用的塑料、橡胶、合成纤维、皮革制品以及涂料等都是化学工业提供的产品。

文化生活 在纸张、印刷品、光盘、录音带与录像带、胶卷、唱片以及收音机、电视机、随身听等视听器材设备的生产制造过程中，都离不开化学工业提供的产品。

现代化学工业不仅使人民的生活丰富多彩，而且为其他产业的发展提供大量的原材料，是现代农业的物质基础。化学工业对科学技术的进步，具有不可忽视的推动作用；同样，科学技术的进步，也有力地促进了化学工业的发展。

1.1.3 化工行业及其主要化工产品

化学工业是一个多行业、多品种的产业。化学工业既是原材料生产工业，又是加工工业，不仅包括生产资料的生产，还包括生活资料的生产。化学工业按其生产原料划分，可分为煤化工、石油化工、生物化工；按其产品的类别及产量的大小划分，可分为基本有机化工、无机化工、高分子化工和精细化工；按产品用途分类，可分为医药、农药、肥料、染料、涂料等。

世界各国、不同时期对化学工业的分类是不尽相同的。中国对化学工业的分类按化工产品划分，分为 19 类产品；若按行政管理划分，分为 20 个行业。中国化学工业范围的划分见表 1-1。

表 1-1 中国化学工业范围的划分

按化工产品划分的产品		按行政管理划分的化工行业	
化学矿	合成药品	化学矿	橡胶制品
无机化工原料	食品和饲料添加剂	无机盐	催化剂、试剂和助剂
有机化工原料	信息用化学品	化学肥料	染料和中间体
化学肥料	橡胶和橡塑制品	酸、碱	化学农药
农药	催化剂和助剂	煤化工	化学医药
高分子聚合物	试剂	石油化工	涂料、颜料
涂料、颜料	化工产品	有机化工原料	感光 and 磁性中间体
染料	其他化学产品	合成纤维单体	化学试剂
日用化学品	化工机械	合成树脂与塑料	化工新型材料
胶黏剂		合成橡胶	化工机械

1.1.3.1 无机化工主要产品

(1) 无机酸、碱与化学肥料 无机酸主要有硫酸、硝酸、盐酸等；常用碱类主要有“两碱(纯碱、烧碱)”；化学肥料，主要有氮肥、磷肥、钾肥和复混肥等。即“三酸、两碱”与化学肥料。

(2) 无机盐 无机盐的种类很多，主要有碳酸钙、硫酸铝、硝酸锌、硅酸钠、高氯酸钾、重铬酸钾等。

(3) 工业气体 工业气体包括氧、氮、氢、氯、氨、氩、一氧化碳、二氧化碳、二氧化

硫等。

(4) 元素化合物和单质 元素化合物主要有氧化物、过氧化物、卤化物、硫化物、碳化物、氰化物等；单质主要有氧、硅、铝、铁、钾、钠、镁、磷、氟、溴、碘等。

1.1.3.2 基本有机化工主要产品

以碳氢化合物及其衍生物为主的通用型化工产品，如乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘（即“三烯、三苯、一炔、一萘”）、合成气等。这些产品是以石油、煤、天然气等为原料，经过初步化学加工制造的有机化工基础产品。由这些基本产品出发，经过进一步的化学加工，可生产出种类繁多、品种各异、用途广泛的有机化工产品。例如，醇、酚、醚、醛、酮、酸、酯、酐、酰胺、腈以及胺等重要的基本有机化工产品。

基本有机化工产品主要用于生产制造塑料、合成橡胶、合成纤维、涂料、黏合剂、精细化工产品及其中间体的原料，也可以直接作为溶剂、吸收剂、萃取剂、冷冻剂、麻醉剂、消毒剂等。基本有机化工产品的用量和生产能力都很大。

1.1.3.3 高分子化工主要产品

高分子化工产品是通过聚合反应获得的相对分子质量高达 $10^4 \sim 10^6$ 的高分子化合物。按用途分，高分子化工产品有塑料、合成橡胶以及橡胶制品、合成纤维、涂料和黏合剂等；按功能分，有通用、特种高分子化工产品。

通用高分子化工产品产量较大、应用广泛，如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯，涤纶、腈纶、锦纶，丁苯橡胶、顺丁橡胶、异戊橡胶、乙丙橡胶等。

特种高分子化工产品具有耐高温特性，如在苛刻条件下作为结构材料的聚碳酸酯、聚芳醚、聚砜、聚芳酰胺、有机硅树脂以及氟树脂等，或者是具有光电、磁等物理性能的功能高分子产品，如感光高分子材料、光导纤维以及光、电或热致变色的高分子材料、高分子分离膜、高分子液晶、仿生高分子、生物降解高分子材料、催化剂、试剂以及医用高分子化工产品等。

高分子化工产品是一类发展迅速、用途广泛的新型材料。

1.1.3.4 精细化工主要产品

精细化工产品是一类加工程度深、纯度高、生产批量小、附加值高，自身具有某种特定功能或能增进（赋予）产品特定功能的化学品，也称作精细化学品或专用化学品。

1986 年，我国暂定农药、染料、颜料、涂料（含油漆和油墨）、黏合剂、食品和饲料添加剂、催化剂和各种助剂、化学原药和日用化学品、试剂和高纯物、功能高分子材料（包括功能膜、偏光材料等）、信息用化学品（包括感光材料、磁性材料等能接收电磁波的化学品）等 11 类产品为精细化工产品。

香精和香料、精细陶瓷、医药制剂、酶制剂、功能高分子材料、电子信息材料、生物医药、生物农药等也属精细化学品的范畴。

1.1.3.5 生物化工主要产品

生物化工产品是指采用生物技术生产的化工产品。主要有乙醇、丁醇、丙酮、柠檬酸、乳酸、葡萄糖酸、L-赖氨酸、L-色氨酸、维生素、抗生素、生物农药、饲料蛋白、酶制剂等。

1.1.4 环境保护与绿色化学工艺

联合国环境规划署指出，当前对污染和环境恶化的控制已经从污染排放的总量控制和末端治理阶段进入实施清洁生产，从生产的源头控制污染物产生和预防阶段。清洁生产是实现持续发展的关键因素，它既能避免排放废物带来的风险和处置费用的增长，还会因提高资源利用率、降低产品成本而获得巨大的经济效益。

化工生产对生态环境的影响和危害是不容忽视的。树立生态化工的概念，实施清洁的生产技术，实现资源的综合利用，保护生态环境，是当代化学工业发展的需要。清洁技术、清洁工

艺也称为绿色化学工艺。

绿色化学工艺主要包括原料、化学反应、溶剂、产品的绿色化，如图 1-1 所示。

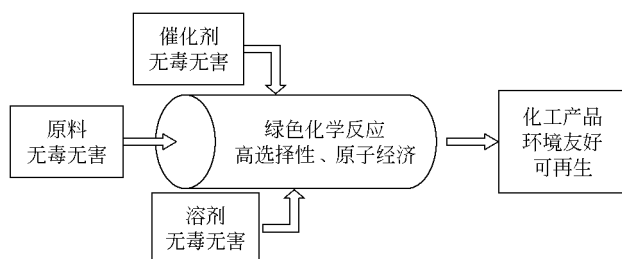


图 1-1 绿色化学工艺示意图

绿色化学工艺是利用化学的原理和工程技术，减少或消除化工生产中污染环境的有害原料、催化剂、溶剂、副产品以及部分产品，代之以无毒、无害的原料或生物废弃物进行无环境污染的化工生产技术。

1.1.5 化学工业的发展趋势与重点

进入 21 世纪，化学工业的发展面临能源和自然资源的减少、环境的恶化、市场竞争日趋激烈等问题。坚持可持续发展的战略，合理利用和保护自然资源及环境，大力发展精细化工，生产制造满足人们生活与生产需要的绿色化学产品成为化学工业发展的必然趋势。

(1) 积极利用和开发高新技术，加快产品的更新换代和化学工艺的技术进步。

(2) 努力实施绿色化学工艺，最大限度地利用原料资源，减少副产物和废弃物的生成，最大限度地减少废物的排放，力争实现零排放。

(3) 彻底淘汰污染环境、破坏生态平衡的产品，充分利用废弃物、开发生产对环境友好的绿色化学产品。

(4) 不断提高化学工业的信息化程度，实现化工过程的智能化，推动化学工艺向安全、高效和节能的方向发展。

科学技术的进步和高新产业（如信息技术、生物技术、航天技术、新材料、新能源以及海洋工程等）的兴起，为化学工业的发展带来了机遇和挑战。化学工业的发展将在以下几方面实现突破。

(1) 生物技术将对化学工业产生巨大的影响。生物技术可利用淀粉、纤维素等再生资源，具有特异的选择性、反应条件温和、低能耗、低污染、无公害、生产效率高等优点。化学工程与生物技术的结合，必将使化学工业实现战略性的转移。

(2) 信息技术将使化学工业从科研开发、工业设计，到生产过程控制和管理发生深刻的变化，加速化学工业的现代化。化工生产与管理的信息化和智能化的程度已成为化学工业现代化的重要标志。

(3) 材料是现代工业的物质基础。高新技术产业（航天、汽车、电子、信息、能源等）的快速发展需要各种新材料，大力开发生产各种新材料，成为化学工业的战略任务。

(4) 能源是人类从事物质生产的原动力。开发和利用新能源，如煤的气化、合成油以及高能燃料与高能电池的开发等，既是化学工业发展的需要，也是科技进步与社会发展的需要。

1.1.6 本课程的性质、任务与内容

《化学工艺》是化学工艺专业学生的必修课。

化学工艺的目标是实现生产的安全、经济、优质和高效。化学工艺过程包括原料的预处理、产品的合成以及分离与提纯等，内容涉及原料的获取、生产原理与方法、适宜的生产条

件、工艺流程、反应设备、物料及能量的综合利用、环境的保护等。因此,《化学工艺》是生产技术性较强的专业课程。

本书在介绍化学工业概貌的基础上,根据化工生产过程的内在关系、组织特点和工艺规律,阐述化学工艺的基本知识和基本原理;根据化学工艺过程的特点,选择具有代表性的化工产品,介绍其工艺原理、生产方法、主要工艺条件和典型反应器的基本结构与操作;重点学习讨论化学反应部分的工艺原理、工艺条件、反应器的结构特点以及工艺流程等;对于物质和能量的回收及综合利用、环境保护、新工艺、新技术和新方法等,予以适当介绍。

本书强调理论联系实际,重视化学工艺基本知识、基本原理和基本技能的培养;重视分析和解决实际问题能力的培养;注重安全生产意识、经济技术观点、环境生态意识和创新意识的培养;为学生从事化工生产,具备实事求是的科学态度、良好的化工职业素质奠定基础。

通过本课程的学习,了解化工生产原料及主要化工产品,了解不同类型的化学工艺的特点;熟悉典型化学品的特性、合成原理和生产方法,能正确理解化学工艺流程、工艺条件对生产的影响、典型化学反应器的基本结构和基本操作方法;掌握化学工艺的基本概念、基本原理和基本工艺计算,初步具有化工生产的基本技能、分析和处理一般化学工艺问题的基本能力。

学生需在修完《化学基础》、《化工单元过程与操作》等课程之后,学习《化学工艺》。



思考题与习题

- 1-1 化学工业在国民经济中的地位如何?
- 1-2 在化学工业的发展历史上,中国有哪些创造和贡献?
- 1-3 举例说明化学工业的产品及应用。
- 1-4 按生产原料及产品划分,化学工业分为哪些行业?
- 1-5 何谓精细化工?精细化学品与基本化学品有何区别?
- 1-6 进入 21 世纪化学工业的发展面临哪些机遇和挑战?
- 1-7 现代化学工业有何特点?
- 1-8 什么是化学工艺?本课程的主要内容与要求是什么?
- 1-9 何谓绿色化学工艺?清洁生产对化学工业有何意义?
- 1-10 怎样才能具备良好的化工职业素质?
- 1-11 生物技术、信息技术等高新技术的发展,对化学工业的发展有何促进?



阅读园地

“安全第一”——化工生产活动的前提

化工生产是危险性较高的工业生产过程,其原料、半成品及成品,绝大部分是易燃、易爆、有毒、有腐蚀的化学危险品;其生产工艺复杂、条件苛刻、操作要求严格;生产装置大型化、过程连续化和自动化。因此,安全生产十分重要。

安全生产是保护劳动者的生命与健康,避免国家财产遭受损失,保证和促进生产的必要措施。“安全第一,预防为主”是化工安全生产的原则和前提。我国政府十分重视安全生产,通过立法,颁布实施了一系列法律、法规和规章制度。例如,《工业企业设计卫生标准》、《工厂安全卫生规程》、《压力容器安全监察规程》、《化工生产安全技术规程》、《化肥生产安全技术规程》、《化工企业安全管理制度》、《职业病诊断管理办法》、《化学工业部安全生产禁令》等。作为化工生产者,必须熟悉和遵守各项安全生产规章制度,牢记“十四不准”、“六严格”、“六大

禁令”和“八个必须”等禁令。

(1) 生产区内的“十四不准”

- ① 加强明火管理，防火、防爆区内不准吸烟。
- ② 生产区内，不准未成年人进入。
- ③ 上班时间不准睡觉、干私活、离岗或干与生产无关的事。
- ④ 在班前、班上不准喝酒。
- ⑤ 不准使用汽油等易燃性液体擦洗设备、用具和衣物。
- ⑥ 不按规定穿戴劳动防护用品者，不准进入生产岗位。
- ⑦ 安全装置不齐全的设备不准使用。
- ⑧ 不是自己分管的设备、工具不准动用。
- ⑨ 检修设备时的安全措施不落实，不准开始检修。
- ⑩ 停机检修后的设备，未经彻底检查，不准启动。
- ⑪ 未办高处作业证，不带安全带，脚手架、跳板不牢，不准登高作业。
- ⑫ 石棉瓦上不固定好跳板，不准作业。
- ⑬ 未安装触电保护器的移动式电动工具，不准使用。
- ⑭ 未取得安全作业证的职工，不准独立作业；特殊工种职工，未经取证不准作业。

(2) 操作工的“六严格”

- ① 严格执行交接班制度。
- ② 严格进行巡回检查。
- ③ 严格控制工艺指标。
- ④ 严格执行操作法。
- ⑤ 严格遵守劳动纪律。
- ⑥ 严格执行安全规定。

(3) 防止违章动火的“六大禁令”

- ① 动火证未经批准，禁止动火。
- ② 不与生产系统可靠隔离，严格禁止动火。
- ③ 不清洗、置换不合格，禁止动火。
- ④ 不消除周围易燃物，禁止动火。
- ⑤ 不按时做动火分析，禁止动火。
- ⑥ 没有消防措施，禁止动火。

(4) 进入容器设备的“八个必须”

- ① 必须申请办理证，并得到批准。
- ② 必须进行安全隔离。
- ③ 必须切断动力电源，并使用安全灯具。
- ④ 必须进行置换、通风。
- ⑤ 必须按时间要求进行安全分析。
- ⑥ 必须佩戴规定的防护用具。
- ⑦ 必须有人在器外监护，并坚守岗位。
- ⑧ 必须有抢救后备措施。

安全生产规章制度是保证化工生产安全的科学总结；安全生产禁令是由鲜血和生命凝结的。自觉遵守和执行安全生产规章制度，是安全生产的必由之路。

2 化工生产原料



学习导言

原料是化工生产的物质基础，没有原料就不可能进行化工生产活动。自然界和其他生产领域，为化工生产提供了丰富的原料，如水、空气、石油、天然气、煤、生物质、矿物质及其简单加工产物。了解这些资源及其加工过程、加工产物的利用，对于充分认识利用资源、减少浪费是十分必要的。

通过本章的学习，可以了解石油、天然气、煤、有机物质（淀粉、油脂、纤维）、矿物质（食盐、硫、磷矿石等）等的化工利用，了解物料的综合利用和“三废”治理的途径。

用于制造化工产品的物质称为物料，原料是制造化工产品的起始物料，简称化工原料。化工原料是化学工业的物质基础。水、空气、煤、石油、天然气、矿物质以及生物质等天然资源及其加工产物是化工生产的基础原料。基础原料经过初步化学或物理加工的产品，称为基本化工原料。由基本化工原料出发，经过一系列的化学和物理加工，可以生产制造出各种各样的化学产品。化工生产原料的多样性，使化学工业与其他工业部门有着广泛而密切的联系。

2.1 石油及其化工利用

2.1.1 石油及其组成

石油是蕴藏于地球表面以下的可燃性液态矿物质。开采出来而未经加工的石油称为原油。原油是一种黄褐色至棕黑色的黏稠液体，具有特殊的气味，不溶于水，相对密度为0.75~1.0，其密度与组成有关。

石油的组成很复杂，主要是碳、氢元素组成的各种烃类的混合物，还有少量含氮、硫和氧的有机化合物以及微量的无机盐和水。各种元素的质量分数分别为：碳 83%~87%，氢 11%~14%，硫、氮、氧 1%。

石油中的化合物可大致分为烃类、非烃类、胶质以及沥青三类。其中绝大部分是烃类化合物，烷烃占 50%~70%（质量分数），其次是环烷烃和芳香烃。根据烃类的主要成分，石油分为直链烷烃为主的石蜡基石油、环烷烃为主的沥青基石油以及介于两者之间的中间基石油。我国所产石油多属低硫石蜡基石油，如大庆石油的蜡含量高达 22.8%~25.76%，硫含量在 0.1%左右。

石油中的非烃类化合物，主要是含硫、氮和氧等杂原子的有机化合物，如硫化氢、硫醇、硫醚、噻吩等，吡啶、喹啉、呋喃等，环烷酸、脂肪酸和酚类。胶质和沥青是由结构复杂、大分子量的环烷烃、稠环芳香烃、含杂原子的环状化合物等构成的混合物，存在于沸点高于 500℃的蒸馏加工渣油中。

2.1.2 石油的加工

原油一般不能直接使用，加工后可以提高其利用率。原油的加工分为一次加工和二次加工。一次加工主要是原油的脱盐、脱水等预处理和常、减压蒸馏等物理过程；二次加工主要为化学及物理过程，如催化裂化、催化重整、加氢裂化等。石油加工的各类产品及其沸点范围和主要用途见表 2-1。

表 2-1 石油加工的各类产品及其沸点范围和主要用途

产 品	沸点范围/℃	大 致 组 成	主 要 用 途
石油气	<40	C ₁ ~C ₄	燃料、化工原料
石油醚	40~60	C ₅ ~C ₆	溶剂
汽油	50~205	C ₇ ~C ₉	内燃机燃料
溶剂油	150~200	C ₉ ~C ₁₁	橡胶、油漆等用溶剂
航空煤油	145~245	C ₁₀ ~C ₁₅	航空燃料
煤油	160~310	C ₁₁ ~C ₁₆	燃料、工业洗涤油
柴油	180~350	C ₁₆ ~C ₁₈	柴油机燃料
机械油	>350	C ₁₆ ~C ₂₀	机械润滑
凡士林	>350	C ₁₈ ~C ₂₂	制药、防锈涂料
石蜡	>350	C ₂₀ ~C ₂₄	制皂、制蜡、脂肪酸、造型
燃料油	>350		船用燃料、锅炉燃料
沥青	>350		防腐绝缘、建筑及铺路材料
石油焦			用于制造电石、炭精棒

2.1.2.1 常、减压蒸馏

蒸馏是利用原油中各组分的沸点不同，按沸点范围（沸程）将其分割成不同的馏分（油品）的操作。常、减压蒸馏是先在常压下进行蒸馏操作，而后根据物质的沸点随外界压力降低而下降的规律，再在减压条件下进行蒸馏操作。

原油蒸馏前要经过脱盐、脱水处理，以减少设备腐蚀、降低能量消耗，要求原油含盐量不大于 0.05 kg/m³、含水量不超过 0.2%。

常压蒸馏在常压和 300~400℃条件下进行。在常压塔的不同高度分别采出汽油、煤油、柴油等，塔底采出的是常压重油，沸点高于 350℃的是常压渣油，其中含有重柴油、润滑油、沥青等。

将常压渣油加热至 380~400℃，送至减压蒸馏塔进行减压蒸馏，从而获得减压柴油、减压馏分油、减压渣油等。

2.1.2.2 催化裂化

催化裂化是石油二次加工的重要方法之一，其目的是提高汽油的质量和产量。

催化裂化以常、减压蒸馏的重质油（如直馏柴油、重柴油、减压柴油或润滑油，甚至渣油）为原料，在催化剂作用下使碳原子数在 18 个以上的大分子烃类裂化生成较小的烃分子。裂化反应很复杂，如直链烷烃碳链的断裂、脱氢、异构化、环烷化、芳构化等，反应生成分子量较小的烷烃、烯烃、环烷烃、芳烃、氢气以及较大分子量的缩合物和焦炭。

裂化反应的催化剂多为 X 型或 Y 型结晶硅酸铝盐，裂化反应设备为流化床反应器，催化裂化的条件一般为 450~530℃、0.1~0.3 MPa。催化裂化除获得高质量的汽油外，还可获得柴油、锅炉燃油、液化气等。

2.1.2.3 催化重整

催化重整是以低辛烷值的石脑油为原料，在铂、铂-铈、铂-铈等催化剂作用及氢气的存在下，转化为高辛烷值、较高芳烃含量的汽油或生产芳香烃的加工过程。重整反应主要是烷烃脱氢环化、环烷烃脱氢和异构化及脱氢芳构化、直链烷烃异构化和加氢裂化等，氢气的作用是抑制烃类的深度裂解。

催化重整的反应器是固定床、移动床，操作条件一般为 425~525℃、0.7~3.5 MPa。

2.1.2.4 催化加氢裂化

催化加氢裂化是生产航空汽油、汽油或重整原料油（石脑油）等产品的二次加工过程，加氢裂化原料为重柴油、减压柴油、减压渣油等重质油，特别适合含氮、硫和金属较高而不宜催化裂化或重整的重质油。重质油在催化剂作用和氢气存在下进行加氢裂化反应，大分子量的烷烃转化成小分子量烷烃，直链烷烃异构化，多环环烷烃开环裂化，多环芳香烃加氢和开环裂化。

催化加氢裂化的催化剂有 Ni、Mo、W、Co 等非贵金属的氧化物和 Pt、Pd 等贵金属的氧化物。根据操作压力的不同，催化加氢裂化分为高压法和中压法两种。高压法的压力为

10 MPa以上，温度为 370~450 ℃；中压法的压力为 5~10 MPa，温度为 370~380 ℃。加氢裂化是气-液-固相催化反应过程，反应设备是滴流床或膨胀流化床。

2.1.2.5 热裂解

热裂解是生产乙烯、丙烯等低级烯烃的加工过程。热裂解是较高级的烷烃在 750~900 ℃ 高温下发生裂解，反应生成乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯等，同时获得苯、甲苯、二甲苯和乙苯等化工原料。热裂解的原料可以是乙烷、丙烷、石脑油、煤油、柴油和常减压瓦斯油等。

2.1.3 石油化工产品

石油是现代化学工业的重要资源之一，大约 90% 的化工产品来自于石油和天然气。由石油加工制取燃料和化工原料的主要途径如图 2-1 所示。重要的有机化工生产原料如“三烯”（乙烯、丙烯、丁二烯）、“三苯”（苯、甲苯、二甲苯）、乙炔、萘等均为石油化工产品。

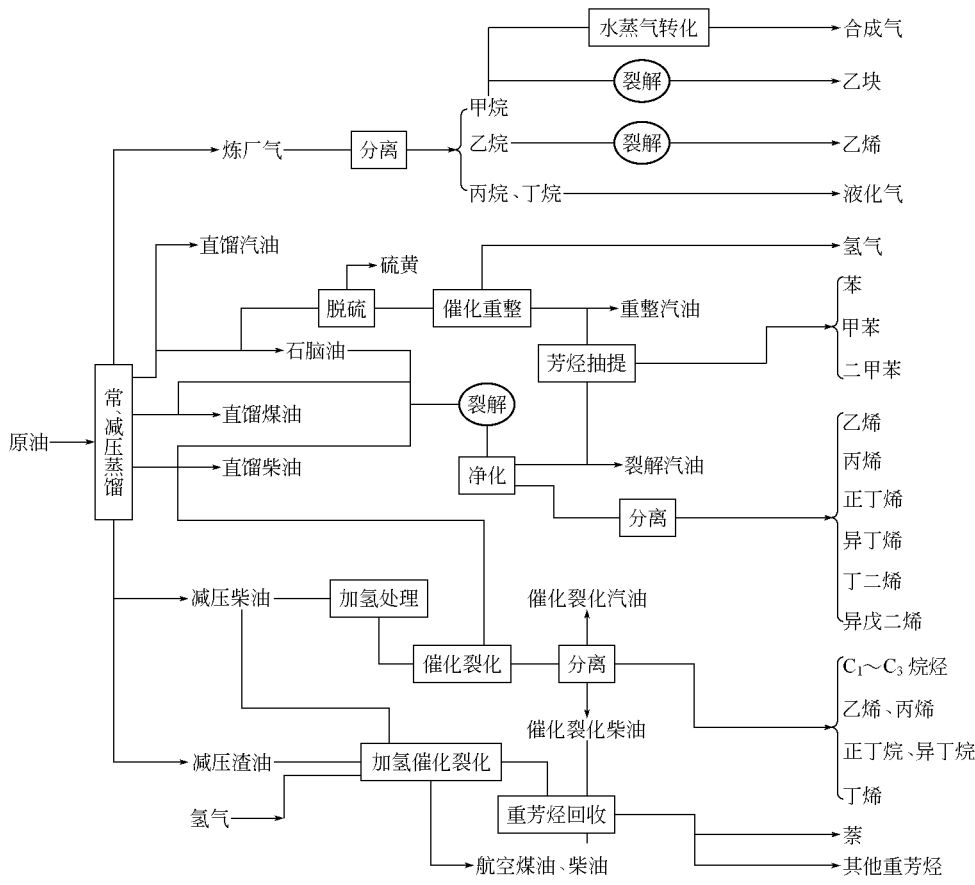


图 2-1 由石油加工制取燃料和化工原料的主要途径

2.2 天然气及其化工利用

天然气是化学工业的重要原料资源，也是一种高热值、低污染的清洁能源。随着我国“西气东输”工程的实现，天然气资源的开发利用前景更加广阔。

2.2.1 天然气的组成

天然气是蕴藏于地下的可燃性气体，主要成分是甲烷，同时含有 C₂~C₄ 的各种烷烃以及少量的硫化氢、二氧化碳等气体。甲烷含量高于 90% 的天然气称为干气；C₂~C₄ 烷烃的含量