

高等学校教材

化工概论

► 李健秀 王文涛 文福姬 编著



化学工业出版社

教材出版中心

高等学校教材

化工概论

李健秀 王文涛 文福姬 编著



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工概论/李健秀, 王文涛, 文福姬编著. —北京:
化学工业出版社, 2005. 7
高等学校教材
ISBN 7-5025-7445-X

I. 化… II. ①李…②王…③文… III. 化学工
程-高等学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 076578 号

高等学校教材

化 工 概 论

李健秀 王文涛 文福姬 编著

责任编辑: 程树珍

文字编辑: 林 丹

责任校对: 王素芹

封面设计: 潘 峰

*

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

北京市兴顺印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 314 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7445-X

定 价: 21.00 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

化学工业是国民经济的支柱产业之一。化学工业为工农业、现代交通运输业、国防军事、尖端科技等领域提供了各类基础材料,新结构、新功能材料,能源和必需化学品,保证并促进了这些部门的发展和技术进步。化学工业与人类生活更是息息相关,在现代人类生活中,从衣、食、住、行和战胜疾病等物质生活到文化艺术、娱乐消遣等精神生活都离不开化工产品。有些化工产品的开发、生产和应用对工业革命、农业发展和人类生活起到划时代的作用。

在加强跨学科素质教育的今天,化工教育应该考虑向其他相关学科门类渗透并给相关的学生开设相关课程,这对化工的发展和提高人们对化工的认知是非常有益的。本书在章节、内容的安排上赋有创意和特色,教材内容涵盖化学工程与技术学科和化学工业的基本知识,以讲知识的广度为主,兼顾知识的一定深度;以讲新知识为主,兼顾知识的系统性;以讲定性知识(结论、结果)为主,避免或减少定量计算、公式推导等内容。

本书共分6章,1绪论,主要介绍化学工程与技术学科及其五个二级学科的研究内容与特点,化学工业的分类、特点、发展历史及其在人类社会中的作用,化学工程学科的研究内容及常用的基本概念;2化工单元操作,简要介绍流体输送与计量、传热和传质过程中的蒸馏与吸收单元操作;3化学反应过程,简要介绍化学反应过程的分类、理论、主要技术指标,催化剂的性能及作用,反应器的基本类型,作为化学反应过程举例,详细介绍氮加氢制合成氨和乙苯脱氢制苯乙烯的生产工艺过程;4化工原料资源及加工利用,主要介绍化学矿、煤、石油、天然气的加工利用,简要介绍生物质、海洋资源以及再生资源的开发利用;5典型化工产品,介绍各类化工产品中典型的1~3个产品;6清洁与安全生产,介绍清洁生产的定义、意义、主要内容,绿色化学,化学工业可持续发展,化工生产中应注意的安全问题。

本书由李健秀、王文涛、文福姬、罗传毅编著。分工如下:第1章、第2章由李健秀编著;第3章、第4章由文福姬编写;第5章、第6章6.2节由王文涛编写;第4章4.5节、第6章6.1节由罗传毅编写。全书由李健秀统稿。

本教材由吉林化工学院“教材出版基金”赞助出版。

本书可作为高等学校文史、经济、法律、管理、外语等非化工类专业的教材,也可作为化工企业、政府行政部门从事管理工作人员的参考书。

由于我们水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者给予指正。

编著者
2005年5月

内 容 提 要

21 世纪高等教育要求学生知识面宽、素质高,不仅要掌握本学科的知识,还要了解相关学科的知识。化工高等教育应该考虑向其他相关学科门类渗透并给相关的学生开设化工基础知识方面的课程,这对化工的发展和提高人们对化工的认知是有益的。

本书共分 6 章,主要介绍了化学工程与技术学科的研究内容与特点,化学工业的分类、特点、发展历史及其在人类社会中的作用;流体输送与计量、传热和传质过程中的蒸馏与吸收单元操作;化学反应过程的分类、理论、主要技术指标,催化剂的性能及作用,反应器的基本类型;化学矿、煤、石油、天然气的加工利用;几种典型化工产品;清洁与安全生产的定义、意义、主要内容,绿色化学,化学工业可持续发展,化工生产中应注意的安全问题。

本书可作为高等学校文史、经济、法律、管理、外语等非化工类专业的教材,也可作为化工企业、政府行政部门从事管理工作人员的参考书。

目 录

1 绪论	1	2.5.3 气体吸收的分类	59
1.1 “化学工程与技术”学科简介	1	2.5.4 吸收操作的流程	59
1.1.1 化学工程	1	2.5.5 吸收设备	60
1.1.2 化学工艺	2	2.5.6 吸收剂的选择	60
1.1.3 生物化工	2	3 化学反应过程	61
1.1.4 应用化学	2	3.1 化学反应过程的分类	61
1.1.5 工业催化	2	3.2 有关化学反应过程的理论	62
1.2 化学工业	3	3.3 化学反应过程的主要技术指标	63
1.2.1 化学工业的发展历史及其在人类社会中的作用	3	3.4 催化剂的性能及使用	66
1.2.2 化学工业的分类	4	3.4.1 催化剂在化学工业中的作用	66
1.2.3 化学工业的原料	7	3.4.2 催化剂的基本特征	67
1.2.4 现代化学工业的特点	7	3.4.3 催化剂的分类	68
1.3 化学工程学	9	3.4.4 工业催化剂的性能指标	69
1.3.1 常用的基本概念	9	3.4.5 工业催化剂的使用	69
1.3.2 研究的内容	10	3.5 反应器的基本类型	70
1.3.3 化工计算与设计的基本原理	11	3.5.1 均相与非均相反应器	71
2 化工单元操作	13	3.5.2 管式、槽式和塔式反应器	72
2.1 概述	13	3.5.3 间歇式与连续式反应器	74
2.1.1 化工单元操作及其分类	13	3.5.4 直接换热式、间接换热式和绝热式反应器	75
2.1.2 单位及单位换算	13	3.6 工业化学反应举例——氮加氢制合成氨	78
2.2 流体的输送	15	3.6.1 反应原理	79
2.2.1 概述	15	3.6.2 合成氨催化剂	83
2.2.2 液体的输送	23	3.6.3 合成氨催化剂的研制与展望	85
2.2.3 气体的输送	30	3.6.4 合成氨工艺条件的选择	85
2.3 传热	35	3.6.5 合成氨工艺流程	86
2.3.1 概述	35	3.6.6 排放气中氢的回收	90
2.3.2 热传导	39	3.6.7 氨合成塔	90
2.3.3 对流传热	42	4 化工原料资源及加工利用	94
2.3.4 传热过程计算	43	4.1 化学矿及其加工利用	94
2.4 蒸馏	50	4.1.1 主要无机化学矿	94
2.4.1 概述	50	4.1.2 中国化学矿资源特点和分布状况	94
2.4.2 平衡蒸馏和简单蒸馏	54	4.1.3 磷矿和硫铁矿的加工利用	95
2.4.3 精馏原理和流程	55	4.2 煤及其加工利用	96
2.4.4 双组分精馏塔的物料衡算	57	4.2.1 煤的种类与特征	97
2.5 气体吸收简介	58	4.2.2 煤的化学组成和分子结构	98
2.5.1 基本概念	58		
2.5.2 气体吸收操作的应用	59		

4.2.3 煤的加工利用	99	5.3.3 三废治理及技术进步	147
4.3 石油及其加工利用	101	5.4 α -戊基桂醛	147
4.3.1 石油的性质、组成和分类	102	5.4.1 概述	147
4.3.2 石油的一次加工——常 减压蒸馏	104	5.4.2 生产工艺	149
4.3.3 石油的二次加工—— 馏分油的化学加工	107	5.4.3 三废治理和其他	150
4.4 天然气及其加工利用	117	5.5 青霉素	151
4.4.1 天然气的分类和组成	118	5.5.1 概述	151
4.4.2 天然气的初步加工	119	5.5.2 原料	154
4.4.3 天然气的化工利用	120	5.5.3 发酵工艺	155
4.5 其他化工资源	121	5.5.4 青霉素的提取和精制	156
4.5.1 生物质的化工利用	121	5.5.5 三废治理原则和方案	159
4.5.2 海洋资源的化工利用	123	5.5.6 产品的检定和包装	160
4.5.3 再生资源的开发利用	123	5.6 苏云金杆菌杀虫农药	160
4.5.4 空气和水	124	5.6.1 产品概述	160
5 典型化工产品	126	5.6.2 流程框图和流程简述	162
5.1 丙烯腈	126	5.6.3 反应条件和反应器	163
5.1.1 产品概述	126	5.6.4 主要碳源、氮源原料	165
5.1.2 工艺流程	127	5.6.5 产物分离和提取	166
5.1.3 原料预处理	128	6 清洁与安全生产	168
5.1.4 反应过程和反应工艺	129	6.1 清洁生产	168
5.1.5 产物的分离过程	132	6.1.1 清洁生产工艺的提出	168
5.1.6 三废治理	134	6.1.2 清洁生产的定义	168
5.1.7 安全卫生防护	135	6.1.3 清洁生产的主要内容	169
5.1.8 技术进步与能量的综合利用	137	6.1.4 清洁生产的意义	170
5.2 聚氯乙烯	137	6.1.5 绿色化学	172
5.2.1 概述	137	6.1.6 化学工业可持续发展	173
5.2.2 产品工艺过程	138	6.2 安全生产	174
5.2.3 原料	139	6.2.1 概述	174
5.2.4 反应机理及反应工艺	140	6.2.2 火灾和爆炸	176
5.2.5 产品的后处理	143	6.2.3 中毒与预防	184
5.3 十二烷基苯磺酸钠	143	6.2.4 烧伤、烫伤、冻伤和化学灼伤	189
5.3.1 概述	143	6.2.5 其他不安全因素	191
5.3.2 生产工艺过程	145	参考文献	195

1 绪 论

1.1 “化学工程与技术”学科简介

“化学工程与技术”(chemical engineering and technology)是一门研究以化学工业为代表的各类过程工业中有关化学过程与物理过程的基本规律和应用技术的工程技术学科,是工科学门类中的一级学科^[1]。该学科以过程工业为背景和研究对象,学科内容体现基础与应用并重,包括基础理论、基本方法和基本实验技术,产品研制、工艺开发、过程设计、系统模拟与优化和操作控制等。

本学科共设五个二级学科:化学工程、化学工艺、生物化工、应用化学和工业催化。这五个二级学科以实验为基石,以计算机为重要研究手段,重视实验室结果的工业转化。它们各有侧重,互有交叉,共同形成了相互依赖、相互支持的学科体系。除作为主要基础的数学、物理学、化学、生物学和计算机科学外,近年来本学科还与控制工程等学科有着越来越密切的联系。

本学科是从19世纪末由于化学品大规模生产的需要而形成和发展的。当时,为了化工生产的高效和大型化,根据典型的化学工艺和设备中出现的一些具有共同属性的工程问题,形成了单元操作的概念,这是化学工程学科的早期标志。化学反应理论和单元操作原理共同促进了应用化学和化学工艺学科的迅速发展,工业催化学科应运而生。第二次世界大战时期,以抗生素的发酵和大规模生产技术开发为标志的生物化工学科也开始形成。20世纪50年代后发展的传递过程原理和化学反应工程使化学工程学科上升到了新的阶段。迅速发展的计算机科学使化学工程从早期的以经验归纳法为主的研究方法,逐步进展到以数学模型为主。化学工程为化学工艺、生物化工、应用化学和工业催化等学科提供了解决工程问题的基础。化学工艺、生物化工、应用化学和工业催化等在自身发展的同时,特别表现出与化学工程的交叉和融合,既利用化学工程的理论和方法发展和充实各种技术,又从工艺创新和技术进步方面丰富和完善化学工程学科。

下面简述五个二级学科概况。

1.1.1 化学工程

化学工程(chemical engineering)研究以化学工业为代表的过程工业中有关的化学过程和物理过程的一般原理和共性规律,解决过程及装置的开发、设计、操作及优化的理论和方法问题。其研究内容与方向包括化工热力学、传递过程原理、分离工程、化学反应工程、过程系统工程及其他学科分支。

19世纪末,单元操作(unit operation)概念的提出标志着化学工程学科的建立。20世纪中期,传递过程原理和反应工程的形成深化了学科内容,使化学工程的研究方法从早期的以经验归纳为主逐步发展到以数学模型为主。20世纪后期,化学工程学科呈现出一些新的特征:研究内容从宏观到微观,从单元到系统,从定常态到非定态,从单一功能过程到多功

能过程；应用计算机辅助与分析不断地深入和发展；应用范围从传统产业逐步过渡到诸多新兴领域。化学工程与生命科学、材料科学、环境科学、信息科学等学科相互渗透融合，形成了许多交叉学科，展现出新的研究方向和前沿领域。

1.1.2 化学工艺

化学工艺 (chemical technology) 研究化学品的合成机理、生产原理、产品开发、工艺实施过程及装置的设计及优化。

本学科涉及的工业领域主要是以石油、煤、天然气和其他矿物质为原料，采用化学加工过程，生产石油及石油化工、煤化工、基本有机化工、无机化工、化工冶金和高分子化工产品的工业部门。上述产品的生产企业大都是中国的大型骨干企业，在国民经济中具有极重要地位，如中国石油天然气总公司、中国石油化工总公司等。

化学工艺长期与化学 (chemistry) 和化学工程与技术 (technique) 有关分支学科紧密地相互融合、交叉和渗透，通过理论分析、实验研究和工程应用，不断地进行新工艺、新过程、新技术、新产品和新设备的研究、开发、放大、设计和优化，使化学工艺学科持续地深化、创新，并向前发展。

1.1.3 生物化工

生物化工 (biological engineering) 是生物学 (biology)、化学、工程学 (ENG, engineering) 等多学科组成的交叉学科，研究有生物体或生物活性物质参与的过程中的基本理论和工程技术。它是一级学科“化学工程与技术”中的一个重要分支和重点发展的二级学科，在生物技术的产业化过程中起着关键性的作用。

生物化工以实验研究为基础、理论和工程并重，综合遗传工程 (genetic engineering)、细胞工程、酶工程与工程技术理论，通过工程研究、过程设计操作的优化与控制，实现生物过程的目标产物。因此，它在生物技术中有着重要地位。本学科也是生物技术的重要组成部分，将为解决人类所面临的资源、能源、食品、健康和环境等重大问题起到积极的作用。

生物化工学科起始于第二次世界大战期间，以抗生素的深层发酵和大规模生产技术的研究为标志。20 世纪 60~80 年代中期，基因技术、生物催化与转化技术、动植物细胞培养技术、新型生物反应器和新型生物分离技术等研究和开发的成功，使本学科进入了新的发展时期，学科体系逐步完善。20 世纪后期，以基因工程为代表的高新技术的迅速崛起，为本学科的进一步发展开辟了新的领域。

1.1.4 应用化学

应用化学 (applied chemistry) 是研究精细化学品、专用化学品、功能材料及器件等的制备原理和工艺技术的二级学科。应用化学研究内容包括化工产品制备、分离与精制、产品复配及商品化，以及精细化学品、专用化学品、功能材料及器件研制过程中的合成化学、物理化学、化工单元反应及工艺、生物技术的应用等。它与化工、电子、能源、材料、航天、兵器、环境工程技术有紧密联系，并与化学工程、化学工艺、工业催化等学科相互渗透。

1.1.5 工业催化

催化反应 (catalytic reaction) 技术是化学品、燃料、材料、医药、食品等生产和环境

保护的支柱科学技术之一。20 世纪以来,催化技术的进步成为化工过程开发的动力和工业技术进步的标志,对人类文明进步和生活质量提高作出了巨大贡献。如 20 世纪初的合成氨,中期的石油炼制、烯烃聚合、石油加工,后期的医药和精细化学品合成及汽车尾气净化等,均形成巨大产业。近年来结合酶工程和基因工程技术,具有新功能特征的生物酶催化剂不断出现,推动了生物工程的发展。在化学工业和能源工业中,催化技术支持的产值已经占 80% 以上,表明工业催化已成为社会生产力发展不可缺少的科学技术。工业催化是以近代化学和物理为基础,过程工业及材料、能源、环境、食品、生物等领域密切联系的理工相结合的学科,主要研究方向包括表面催化、分子催化、生物催化、催化剂制造科学与工程、催化反应工程、新催化材料与新催化过程开发、环境催化、能源与资源精化过程中的催化、化学工业与石油炼制催化等。

1.2 化学工业

化学工业 (chemical industry) 又称化学加工工业,指利用化学反应改变物质结构、成分、形态而生产化学产品的制造工业。化学工艺 (chemical technology) 即化工生产技术,系指将原料物质主要经过化学反应转变为产品的方法和过程,包括实现这种转变的全部化学的和物理的措施^[2]。

1.2.1 化学工业的发展历史及其在人类社会中的作用

化学工业是应人类生活和生产的需要而发展起来的,化工生产的发展也推动了人类社会的发展。

18 世纪以前,化工生产均为作坊式手工工艺,像早期的制陶、酿造、冶炼等。18 世纪初建成了第一个化工厂,即以含硫矿石和硝石为原料的铅室法硫酸厂。1791 年路布兰法制碱工艺出现,满足了纺织、玻璃、肥皂等工业对碱的需求,有力地推动了当时在英国开始的产业革命。该法对化工的发展有很大贡献,其中的洗涤、结晶、过滤、干燥、煅烧等单元过程的原理一直沿用至今。从 18 世纪到 20 世纪初期,接触法制硫酸取代了铅室法,索尔维法(氯碱法)制碱取代了路布兰法,以酸、碱为基础的无机化工初具规模。同期,随着钢铁工业的发展,炼焦过程产生的大量焦炉气、粗苯和煤焦油得到重视和应用。在德国首创了肥料工业和煤化学工业后,人类进入了化学合成的时代,染料、农药、香料、医药等有机化工迅速发展,化肥和农药在农作物增产中起了重要作用。20 世纪初,化学家 F. 哈伯发明了合成氨技术,并于 1913 年在化学工程师 C. 博施的协助下建成世界第一个合成氨厂,促使氮肥和炸药等工业迅速发展。合成氨工艺是工业上实现高压催化反应的第一个里程碑,在原料气制造及其精制方法、催化剂研制和开发、高压设备设计、耐高温高强度材料的制造、能量合理利用、工艺流程组织等方面均创造了新的技术,积累了丰富的资料和经验,有利地促进了无机和有机化工的发展。

自 20 世纪初期以来,石油 (petroleum) 和天然气 (natural gas) 得到大量开采和利用,向人类提供了各种燃料和丰富的化工原料。1920 年,美国新泽西标准公司采用了 C. 埃利斯发明的丙烯(来自炼厂气)水合制异丙醇工艺进行生产,标志着石油化工 (petrochemical processing) 的兴起。在 20 世纪 40 年代,管式炉裂解烃类工艺和加氢重整工艺开发成功,使有机化工原料如乙烯等低碳烯烃和苯等芳烃有了丰富、廉价的来源。因而,石油化工突飞

猛进地发展起来，很快便取代了煤（coal）在有机化工中的统治地位。

高分子化工经历了天然高分子加工、改性，以煤焦油（coal tar）和乙炔（acetylene）为原料的合成，直到以石油化工为基础的单体原料聚合等几个阶段。在 1931 年氯丁橡胶（chloroprene rubber）实现工业化和 1937 年聚己二酰基己二胺（尼龙 66，nylon66）合成以后，高分子化工蓬勃发展起来，到 20 世纪 50 年代初期形成了大规模生产三大合成材料（塑料，plastic；合成橡胶，synthetic rubber；合成纤维，synthetic fiber）的工业，人类进入了合成材料的时代，更进一步推动了工农业生产水平和科学技术的发展，人类生活水平得到了显著的提高。

与石油化工和高分子化工发展的同时，为满足人们生活更高的需求，产品批量小、品种多、功能优良、附加值高的精细化工也很快发展起来。当今，化学工业的发展重点之一是提高化工生产的精细化率。

近年来，世界各国都高度重视发展高新技术。新材料的开发与生产成为推动科技进步、培植经济增长点的一个重要基础。重点发展了复合材料（composite material，例如航天、汽车、电子、能源等领域所需的高性能碳纤维复合材料、陶瓷复合材料和金属基树脂复合材料）、信息材料（例如磁盘、磁带的基膜和磁性介质，光盘，光导纤维及其涂膜材料，硅系高分子功能材料等）、纳米材料（由粒度 1~100nm 的颗粒构成的固体聚集体，具有优于普通材料对光、电、磁的反应和机械、催化性能，例如，碳纳米管的强度比钢铁高 5 倍）以及高温超导材料等。以上这些材料的设计和制备技术有许多必须运用化工技术和工艺。不断创新的化工技术在新材料的制备中发挥了关键作用。

化学工程与生物技术相结合，引起了世界各国的广泛高度重视，已经或正在形成具有宽广发展前景的生物化工产业，给化学工业增添了新的活力。

化学工业为工农业、现代交通运输业、国防军事、尖端科技等领域提供了各类基础材料，新结构、新功能材料，能源（包括一般动力燃料、航空航天高能燃料和燃料电池等）和必需化学品，保证并促进了这些部门的发展和技术进步。化学工业与人类生活更是息息相关，在现代人类生活中，从衣、食、住、行和战胜疾病等物质生活到文化艺术、娱乐消遣等精神生活都离不开化工产品为之服务。有些化工产品的开发、生产和应用对工业革命、农业发展和人类生活起到划时代的作用。

化学工业发展迅速，经济效益显著，是国民经济的支柱产业之一。在 20 世纪 60~70 年代，发达国家的化学工业发展迅猛，到 90 年代与其他工业一样放慢了速度，但德国、法国、日本等国的化学工业增长速度仍高于其他工业的增长。近年来，中国化学工业发展速度大大超过了发达国家，例如，1997 年比 1996 年的化学工业增长率是：美国 4.3%，德国 6.1%，法国 5.2%，日本 3.2%，中国 10.71%^[3]。在中国国民经济和社会发展的“九五”、“十五”计划期间，石油化工是优先发展的支柱产业之一，精细化工和农用化学品（agrochemicals）也是化工发展重点，在今后一段较长时期内，石油化工、新型合成材料、精细化工、橡胶产品加工业和化工环保产业将是中国化学工业的主要增长点。中国化学工业的发展潜力是巨大的，重点是发展新技术、开发新产品、增加高附加值的产品的品种和数量，赶超世界先进水平。

1.2.2 化学工业的分类

化学工业的部门广泛，相互关系密切，产品种类繁多。按学科类型分，化学工业包括无

机化工、基本有机化工、高分子化工、精细化工和生物化工等分支。

1.2.2.1 无机化工

大宗的无机化工产品有硫酸、硝酸、盐酸、纯碱、烧碱、合成氨和氮、磷、钾等化学肥料，其中化肥产量在化工产品中位居首位，又以氮肥产量最高。

无机化工产品（inorganic chemical product）中还有应用面广、加工方法多样、生产规模小、品种为数众多的无机盐，即由金属离子或铵离子与酸根阴离子组成的物质，例如硫酸铝、硝酸锌、硅酸钠、高氯酸钾、重铬酸钾、钼酸铵等，约有 1300 多种。

除盐类产品外，无机化工产品还有无机酸，包括磷酸、硼酸、铬酸、砷酸、氢溴酸、氢氟酸等；氢氧化物，包括钾、钙、镁、铝、铜、钡、锂等的氢氧化物；元素化合物，包括氧化物、过氧化物、碳化物、氮化物、硫化物、氟化物、氯化物、溴化物、碘化物、氢化物、氰化物等；单质，包括钾、钠、磷、氟、溴、碘等。工业气体，包括氧、氮、氢、氯、氨、氩、一氧化碳、二氧化碳等。

1.2.2.2 基本有机化工

碳氢化合物（hydrocarbon）及其衍生物（derivative）定义为有机化合物（organic compound）。虽然组成有机化合物的元素品种并不多，但有机化合物的数量却十分庞大。1989 年有机化合物已达到 1000 万种，到 2000 年有机化合物增至 2000 万种，但目前无机化合物只有几十万种^[4]。

从石油、天然气、煤等天然资源出发，经过化学加工可得到乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘、合成气（一氧化碳和氢气）等产品，此类产品产量很大，因为其他有机化工产品几乎都是由这些产品为原料合成得到的，所以把它们称为基本有机化工原料。基本有机化工原料经过各种化学加工，可以制成品种相当繁多、用途非常广泛的有机化工产品。基本有机化工原料的用途主要有以下三个方面：

① 作为单体生产塑料、合成橡胶、合成纤维和其他高分子化合物，合成用的单体用量大；

② 作为原料（中间体）合成精细化工的产品；

③ 直接作为消费品，例如做溶剂、萃取剂、气体吸收剂、冷冻剂、防冻剂、载热体、医疗用麻醉剂、消毒剂等。

目前，乙烯（ethane）产量是衡量一个国家或一个企业化工发展水平的主要指标。2000 年世界乙烯产品的需求量为 8800 万吨^[5]。2000 年世界排名前十名国家及乙烯产量见表 1-1。

表 1-1 2000 年世界排名前十名国家及乙烯产量^[6]

万吨

国别	美国	日本	加拿大	德国	韩国
产量	2718	705	517	513	491
国别	沙特	中国	独联体	法国	荷兰
产量	485	446	444	322	309

2001 年中国乙烯产量为 481 万吨，但是，中国乙烯产量仍满足不了飞涨的需求，由于乙烯运输成本较高，只有大量进口下游产品来满足各行各业的需求。2000 年进口的乙烯下游产品折合乙烯达 600 多万吨，2001 年进口的乙烯下游产品折合乙烯达 850 多万吨。中国石油化工工业“十五”规划乙烯生产能力达到 900 万吨，建成上海、扬子两个百万吨级乙烯

基地，乙烯的国内市场满足率达到 60% 左右。2001 年中国乙烯产量前 7 名企业见表 1-2。

表 1-2 2001 年中国乙烯产量前 7 名企业^[7]

万吨

序 号	企业名称	2000 年	2001 年	2000/2001 增长/%
1	上海石化	59.0	63.1	6.9
2	齐鲁石化	50.0	55.5	11.0
3	大庆石化	48.0	50.4	5.0
4	吉林石化	43.3	47.4	9.5
5	扬子石化	43.4	40.6	-6.5
6	茂名石化	39.5	39.2	-0.8
7	燕山石化	48.7	39.0	-10.9

乙烯产品分配到各种用途的比例如下：

聚乙烯	环氧乙烷	二氯乙烷	苯乙烯	其他
40%~50%	11%~19%	14%~15%	8%~8.5%	13%~18%

丙烯产品分配到各种用途的比例如下：

聚丙烯	丙烯腈	环氧丙烷	异丙苯	异丙醇	其他
27%~33%	14%~17%	13%~14.5%	9%~11%	7%~14%	20%~24%

1.2.2.3 高分子化工

高分子 (macromolecule) 是指相对分子质量高达几千到几百万的分子，由千百个原子以共价键相互连接而成。由这类分子构成的化合物称为高分子化合物 (macromolecule compound)，又称高聚物 (high polymer)。

高分子化工的产品为高分子化合物以及以高分子化合物为基础的复合或共混材料制品，品种非常多，作为用途广泛的材料，新产品层出不穷，更新换代迅速。按材料和产品的用途分为：塑料、合成橡胶、合成纤维、橡胶制品、涂料和胶黏剂等。按功能分为以下两大类。

① 通用高分子 (commodity polymer) 化工产品 此类产品产量大，应用面广。例如，塑料，包括聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚氯乙烯 (PVC)、聚苯乙烯 (PS)；合成纤维，包括涤纶、腈纶、尼龙；合成橡胶，包括丁苯橡胶、顺丁橡胶、异戊橡胶、乙丙橡胶等。

② 特种高分子 (special macromolecule) 化工产品 此类产品包括能耐高温、能在苛刻条件环境中作为结构材料使用的工程塑料：聚碳酸酯、聚甲醛 (POM)、聚芳醚、聚砜 (PSF)、聚芳酰胺 (PAA)、有机硅树脂和氟树脂等；具有光电导、压电、热电、磁性等物理性能的功能高分子产品；高分子分离膜；高分子试剂；高分子医药、医用高分子等。

近年来很重视高分子共混物、高分子复合材料等高性能产品的研究、开发和生产，诸如高分子感光材料；光致或热致变色高分子材料；光电纤维；高分子液晶；具有电、磁性能的功能高分子；仿生高分子等。为了保护环境，生物降解高分子产品的研制也受到高度重视。

1.2.2.4 精细化工

精细化工 (fine chemical engineering) 的产品多数为各工业部门广泛应用的辅助材料、农林业用品和人们生活的直接消费品。相对于大宗化工产品 (如三大无机酸、化肥、基本有机化工原料等) 而言，品种多、产量小，多数产品纯度高、附加值高、价格贵。精细化工产品大多数为有机化工产品，无机化工产品相对较少。

由于世界各国对化工产品的分类方法不同，精细化工产品的范围也不同。欧美国家把精

细化工产品分为精细化学品和专用化学品，前者例如染料、农药、涂料、表面活性剂、医药等；后者例如农用化学品、油田化学品、电子工业用试剂、清洁剂、特殊聚合物、食品添加剂、黏合剂和密封剂、催化剂等。

根据 1986 年中华人民共和国化学工业部提出的分类方法，精细化工产品分为 11 类：农药、染料、涂料（包括油漆及油墨）、颜料、试剂和高纯物、信息化学品（包括感光材料、磁性材料等能接受电磁波的化学品）、食品和饲料添加剂、黏合剂、催化剂和各种助剂、化工系统生产的药品（原药）和日用化学品、功能高分子材料（包括功能膜、感光材料等）。日本把香料、表面活性剂、合成洗涤剂及肥皂、化妆品、生命化学品和生物酶等也归类为精细化工产品^[8]。

1.2.2.5 生物化工

用生物技术（biotechnology）[即通过生物催化剂（活细胞催化剂或酶催化剂）催化的发酵过程、酶反应过程（enzyme reaction）或动植物细胞大量培养过程] 来获得的化工产品称为生物化工产品。生物化工产品中有的是大宗化工产品，例如乙醇、丙酮、丁醇、甘油、柠檬酸、乳酸、葡萄糖酸等；有的是精细化工产品，例如各种氨基酸、酶制剂、核酸、生物农药、饲料蛋白等；还有许多医药产品必须用生物化工方法来生产，如各种抗生素、维生素、甾体激素、疫苗等。

1.2.3 化学工业的原料

自然界中包括地壳表层、大陆架、水圈、大气层和生物圈等，其内蕴藏着的各类资源都是可供化学加工的初始原料。自然资源有矿物、植物和动物，还包括空气和水。

矿物（mineral）原料包括金属矿、非金属矿和化石燃料矿。金属矿（metallic ore）多以金属氧化物、硫化物、无机盐类或复盐形式存在；非金属矿（non-metallic mineral）以各种各样化合物形态存在，其中含硫、磷、硼、硅的矿物储量比较丰富；化石燃料（fossil fuel）包括煤、石油、天然气、油页岩和油砂等，它们主要由碳和氢元素组成。虽然化石燃料中的碳只占地壳中总碳质量的 0.02%，却是最重要的能源，也是最重要的化工原料，目前世界上 85% 左右的能源与化学工业均建立在石油、天然气和煤炭资源的基础上。石油炼制、石油化工、煤化工等在国民经济中占有极为重要的地位。矿物是不可再生的，要节约利用。

生物资源（biotic resources）是来自农、林、牧、副、渔的植物体和动物体，它们提供了诸如淀粉、蛋白质、油料、脂肪、糖类、木质素和纤维素等食品和化工原料。天然的颜料、染料、油漆、丝、毛、棉、麻、皮革和天然橡胶等产品也都取自植物或动物。它们的繁殖性显示了这些资源的优越性，开发以生物质为原料生产化工产品的新工艺、新技术是重要的课题之一。重要的是必须注意保护生态平衡，合理利用，让这些资源获得适合于它们繁衍和恢复的环境。

“原料”（raw material）的概念不仅限于自然资源（natural resource），经过某种化学加工得到的产品，往往是其他化学加工部门的原料；工业废渣、废液、废气以及人类用过的物质和材料，排放和废弃会造成环境污染。然而，它们可作为再生资源，经过物理和化学的再加工，成为有价值的产品和能源。

1.2.4 现代化学工业的特点

i. 原料、生产方法和产品的多样性与复杂性。用同一种原料可以生产多种不同的化工

产品；同一种产品可采用不同原料、不同方法和工艺路线生产；一个产品可以有不同用途，而不同产品可能会有相同用途。由于这些多样性，化学工业能够为人类提供越来越多的新物质、新材料和新能源。同时，多数化工产品的生产过程是多步骤的，有的生产步骤影响因素多而复杂，操作条件苛刻。

ii. 向大型化、综合化发展，精细化率不断提高。装置规模越来越大，其单位容积单位时间的产出率随之显著增大。例如近 50 年来合成氨反应器的尺寸扩大 3 倍，其产出率增加了 9 倍以上。而且设备尺寸增大并不需要增加太多的投资，更不需要增加生产人员和管理人员，故单位成本明显降低。一套日产 1360t 合成氨的设备与日产 600t 的设备相比，每个劳动力生产的产品量增加 70%，而成本降低了 36%。再以乙烯装置为例，在 20 世纪 50 年代中期，生产规模只有年产乙烯 5 万吨，成本很高；到 70 年代初扩大为年产 20 万吨，成本降低了 40%，成为盈利的装置；自 70 年代以后，工业发达国家新建的乙烯装置均为 50 万吨至 100 万吨乙烯的大型厂。

生产的综合化可以使资源和能源得到充分、合理的利用，可以就地利用副产物和“废料”，将它们转化成有用产品，做到没有废物排放或排放最少。综合化不仅局限于不同化工厂的联合体，也应该是与其他工厂联合的综合性企业。例如火力发电厂与化工厂联合，可以利用煤的热能发电，同时又可利用生成的煤气生产化工产品；在核电站建化工厂，可以利用反应堆的尾热使煤转变成合成气 ($\text{CO} + \text{H}_2$)，用于生产汽油、柴油、甲醇以及许多 C_1 化工产品。

精细化率即精细化工产值率，指的是在化工产品总产值中精细化工产品产值所占的百分率^[9]。精细化不仅指生产小批量的化工产品，更主要的是指生产技术含量高、附加值（指在产品产值中扣除原材料、税金、设备和厂房的折旧费后剩余部分的价值。它包括利润、人工劳动、动力消耗以及技术开发等费用）高的具有优异性能或功能的产品。精细化工是当今世界化学工业的发展重点，也是国家综合国力和技术水平的重要标志之一。目前，发达国家，如德国、美国、日本等国家均把发展精细化工作为石油化工发展的基本战略之一，在这些国家内石化工业产品的精细化率已达到相当高的水平，20 世纪 90 年代中期美国的精细化率达到 53%，西德 56%，日本 57%，而中国精细化率为 32%。

iii. 现代化学工业是多学科合作，生产技术密集型的生产部门。现代化学工业是高度自动化和机械化的生产部门，进一步朝着智能化发展。当今化学工业的可持续发展越来越多地依靠采用高新技术和迅速将科研成果转化为生产力。如生物与化学工程、微电子与化学、材料与化工等不同学科的结合，可创造出更多优良的新物质和新材料；计算机技术的高水平发展，已经使化工生产实现了远程自动化控制，也将给化学品的合成提供强有力的智能化工具；将组合化学、计算化学与计算机方法结合，可以准确地进行新分子、新材料的设计与合成，节省大量实验时间和人力。因此化学工业需要高水平、有创造性和开拓能力的多种学科、不同专业的技术专家，以及受过良好教育及训练的、懂得生产技术操作和管理的人员。

iv. 重视能量合理利用，积极采用节能技术和方法。化工生产是由原料物质主要经化学变化转化为产品物质的过程，同时伴随有能量的传递和转换，必须消耗能量。化工生产部门是耗能大户，合理用能和节能极为重要，生产过程的先进性体现在是否采用了低能耗工艺或节能技术。例如以天然气为原料的合成氨生产过程，在近年来出现低能耗工艺、设备和流程，也开发出节能型催化剂，已将每生产 1t 液氨的能耗由 $35.87 \times 10^6 \text{ kJ}$ 降低至 $28.04 \times$

10^6 kJ 。那些能耗大的生产工艺或技术已经或即将淘汰。例如氯乙烯的生产方法，过去用乙炔与氯化氢合成，而乙炔由电石法制造，该工艺消耗大量的电能，产生大量废渣，现已逐渐淘汰，由低能耗、低成本的乙烯氧氯化法所取代。又如食盐溶液电解制烧碱和氯气的石棉隔膜法也是能耗大而生产效率低的工艺，已被先进的离子膜法取代。一些具有高效率 and 节能前景的新方法、新技术的开发和应用受到高度重视，例如膜分离、膜反应、等离子体化学、生物催化、光催化和电化学合成等。

v. 资金密集，投资回收期短，利润高。现代化学工业装备复杂，技术程度高，基建投资大，产品更新迅速，需要大量的资金。然而化工产品产值高、成本低、利润高，一旦工厂建成投产，可很快收回投资并赢利。化学工业的产值是国民经济总产值指标的重要组成部分。

vi. 化工生产中易燃、易爆、有毒和环境污染仍然是现代化工企业首要解决的问题。要采用安全的生产工艺，要有可靠的安全技术保障、严格的规章制度及其监督机构；大力发展绿色化工，采用清洁生产工艺，采用无毒、无害的原料、溶剂和催化剂，应用反应选择性高的工艺和催化剂，将副产物或废物转化为有用的物质；采用原子经济性反应^[7]，提高原料中原子的利用率，实现零排放，淘汰污染环境和破坏生态平衡的产品，开发和生产环境友好产品。

1.3 化学工程学

1.3.1 常用的基本概念

① 机械或机器^[10] (machine) 机械是其一部分或全部靠运动才能进行作业，如泵、电动机等。

② 设备 (equipment) 设备以给出温度、压力或其他物理条件为目的，即使自身不运动也能进行作业，如锅炉、换热器、塔等。在锅炉中，水被加热，自身成为具有一定温度、压力的蒸汽，锅炉没有必要运动。

③ 仪器 (instrument) 仪器用来测定各种参数的量，如温度计、压力计、流量计等。

④ (加工) 过程 (process) 为了从原料得到目的产品，把数段的操作组合起来的体系称为过程。

⑤ 工艺 (technology) 是指利用生产工具对各种原材料、半成品进行加工处理，使之成为产品的方法。工艺除指技术之外，还应包括过程的理论、系统、各环节的安排，所以工艺是工程和技术、艺术的结合^[12]。

⑥ 装置或车间 (plant) 把多种设备、机器和仪器适当组合起来的加工过程称为生产装置。例如乙酸裂解法制醋酐装置由加热炉 (裂解炉)、吸收塔、精馏塔、萃取塔、热交换器、储槽等设备，鼓风机、离心泵等机器，热电偶、孔板流量计、压力计等仪器和自控器适当组合起来的。

⑦ 工厂或公司 (factory or company) 工厂指的是经营某种工业的单位，一般具有数个生产装置。工厂与装置有区别，不要混同。

⑧ 公用设施 (utility) 在工厂中除了生产装置外，还需要水、电、气和燃料等，它们和其设施统称为公用设施或动力设施。

⑨ 化工单元过程 (unit process) 由各种化工生产过程中以化学为主的处理方法, 概括为具有共同化学反应特点的基本过程^[11]。

⑩ 化工单元操作 (unit operate) 由各种化工生产过程中以物理为主的处理方法, 概括为具有共同物理变化特点的基本过程。

⑪ 附加值 (additional value) 指在产品产值中扣除原材料、税金、设备和厂房的折旧费后剩余部分的价值。它包括利润、人工劳动、动力消耗以及技术开发等费用。

⑫ 清洁生产^[13] (clean produce) 清洁生产是一项实现与环境协调发展的环境策略, 其定义为“清洁生产是一种新的创造性的思想”。该思想将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中, 以增加生态效率和减少人类及环境的风险。

i. 对生产过程, 要求节约原材料和能源, 淘汰有毒原材料, 减降所有废弃物的数量和毒性。

ii. 对产品, 要求减少从原材料提炼到产品最终处置的全生命周期的不利影响。

iii. 对服务, 要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

⑬ 绿色化学 (green chemistry) 利用一套原理在化学产品的设计、开发和加工过程中减少或消除对人类健康和环境有害的物质。它的目的在于不再使用有毒、有害的物质, 不再产生或处理废物。它合理利用资源和能源, 降低生产成本, 符合经济可持续发展的要求。它是化学工业中清洁生产的根本源泉。

1.3.2 研究的内容

化学工程的研究内容可概括为“三传一反”, 即动量传递 (momentum transfer)、热量传递 (heat transfer)、质量传递 (mass transfer)、化学反应 (chemical reaction)。具体内容有以下几方面。

i. 物体的输送及计量, 包括流体 (fluid) 即气体和液体的输送及计量, 固体的输送及计量。

ii. 热的发生与传热, 包括燃烧与炉, 蒸汽与锅炉, 传热与其装置。

iii. 化工单元操作 (chemical engineering unit operation), 主要内容如下。

① 机械的操作, 如粉碎、混合、搅拌等。

② 机械分离过程, 如过滤、离心分离、沉降、旋风分离、筛分、淘洗、静电除尘等, 其分离对象是由两相以上所组成的混合物, 其目的只是简单地将各相加以分离。

③ 传质分离过程^[14], 包括平衡分离过程和速率分离过程, 其处理对象是双或多组分均相混合物, 特点是发生质量传递现象。

平衡分离过程 (equilibrium separation process) 借助于分离媒介 (如热能、第三组分) 使原料均相混合物物系变成两相系统, 再以原料中的各组分在处于相平衡的两相中的分配不同而实现分离。分离媒介可以是能量媒介 (ESA) 或物质媒介 (MSA), 有时也可以两种同时使用。ESA 是指传入或传出系统的热或功。MSA 是指加入的另外一种物质, 此物质使混合物变成两相。

借助 ESA 的平衡分离过程有蒸发、精馏、干燥、结晶、冷凝等。借助 MSA 的平衡分离过程有吸收、吸附、萃取、离子交换等。同时使用 ESA 和 MSA 的平衡分离过程有萃取精馏、共沸精馏等。

速率分离过程是靠原料中的不同组分在某种推动力 (压力差、温度差、浓度差、电位差