

中等职业学校教材

化学工艺学概论

第二版

▶ 曾繁芯 编

43
02



化学工业出版社
教材出版中心

中等职业学校教材

化学工艺学概论

第二版

曾繁芯 编



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

化学工艺学概论/曾繁芯编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2005.5
中等职业学校教材
ISBN 7-5025-5902-7

I. 化… II. 曾… 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 (2005) 第 048396 号

中等职业学校教材

化学工艺学概论

第二版

曾繁芯 编

责任编辑: 何丽于卉

责任校对: 洪雅姝

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)

发行电话: (010) 64982530

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

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9 插页 2 字数 238 千字

2005 年 6 月第 2 版 2005 年 6 月北京第 5 次印刷

ISBN 7-5025-5902-7

定 价: 15.00 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

第二版前言

本书是全国化工职业教育教学指导委员会“九五”规划教材之一，自1998年出版以来已四次重印。本书2000年获（省）部级第五届优秀教材一等奖。

第二版修订内容主要是：①删除了一些工业上已淘汰的生产工艺，按工业生产实际补充了有代表性的产品生产工艺；②增加了有实用价值的工艺实例分析，具有举一反三的参考价值。

根据本书着重于讨论化工生产工艺原理共性的特点，适用范围比较广，所以各种类型化工产品生产操作实践均可参考。该书不仅是全日制普通中等职业学校化学工艺专业教材，也可以作为化工厂技术工人的培训教材。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编者

2005年2月

前 言

本书按照全国化工中专教学指导委员会 1996 年制定的化学工艺专业教学计划对《化学工艺学概论》的设课要求和教学大纲编写而成。适合全日制普通中等专业学校化学工艺专业使用。

为了适应教学改革的需要和化学工艺专业面宽的实际情况，本教材以化工生产工艺过程为系统，以工艺原理为重点，编写时注意了几个问题：①对化工生产过程的工艺原理以讨论共性为主，并以实例分析加以说明；②注意运用物理化学的基本原理来分析专业问题，着重于结合工业生产实际问题进行讨论，以培养学生分析问题和解决实际问题的能力；③第七～十章是典型化工产品的生产工艺，有不同的特点，供各校结合选设课程的组合情况及实际需要选用。

本书由上海市化工学校瞿懋昌高级讲师主审，参加审稿的有：上海市化工学校李文原、扬州化工学校秦建华、徐州化工学校彭德厚、济南石化经济学校王松贤、北京市化工学校闫晔等，第八章氯碱生产由汪征涓高级工程师审阅，他们均提出了宝贵的修改意见。本书编写过程还得到全国化工中专教学指导委员会委员、北京市化工学校潘茂椿副校长及该校许多老师的大力支持，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编者

1997 年 7 月

目 录

绪论	1
一、化学工业在国民经济中的作用	1
二、化学工业的发展概况	3
三、化学工业的分类及特点	4
四、本课程的学习内容和任务	7
复习思考题	8
第一章 化工原料	9
第一节 概述	9
一、化学工业的原料与产品	9
二、化学工业的基础原料与基本原料	10
三、其他辅助材料	12
第二节 石油和天然气的化工利用	12
一、原油的开采、加工及其与化学工业的关系	12
二、烃类热裂解	19
三、天然气的化工利用	26
第三节 煤的化工利用	28
一、煤化工的加工途径	28
二、煤的干馏	29
三、煤的气化	30
四、电石及乙炔的生产	34
第四节 其他化工原料	35
一、生物质的化工利用	35
二、矿物质的化工利用	38
第五节 原料综合利用	40
复习思考题	43
第二章 化工主要产品	44
第一节 基本有机化学工业的主要产品	45

一、碳一系列主要化学产品	45
二、碳二系列主要化学产品	45
三、碳三系列主要化学产品	46
四、碳四系列主要化学产品	48
五、芳烃系列主要化学产品	49
第二节 无机化工主要产品	49
一、氨及氨加工产品	49
二、氯碱工业产品	50
三、无机酸和无机盐	50
四、化学肥料	51
第三节 合成高分子化工主要产品	51
一、塑料	51
二、合成纤维	52
三、合成橡胶	52
四、功能高分子材料	53
第四节 精细化工主要产品	54
复习思考题	54
第三章 工艺过程的管理与指标	55
第一节 工艺管理	55
一、化工生产过程的主要内容	55
二、化工生产管理与工艺管理	58
三、工艺管理的内容	59
四、化工企业质量管理与标准化	61
第二节 评价化工生产效果的常用指标	62
一、生产能力和生产强度	63
二、转化率	64
三、产率、选择性和收率	67
四、化学反应效果与化工生产效果	69
第三节 工艺技术经济指标	70
一、原料消耗定额	71
二、公用工程的消耗定额	73
复习思考题	75
第四章 工艺过程的深度与速度	77

第一节 化学反应的可能性分析	77
一、判断化学反应可能性的意义和方法	77
二、化学反应系统中反应难易程度的比较	79
三、烃类热裂解反应的热力学分析	80
四、化学平衡移动的工业意义	83
第二节 工艺过程速度的影响因素	84
一、影响生产能力的因素	84
二、影响反应速率的因素	85
三、温度对化学反应速率的影响规律	87
四、烃类热裂解反应的动力学分析	89
第三节 工业催化剂	91
一、催化剂的作用及工业意义	91
二、液体催化剂的应用	92
三、工业固体催化剂的组成及制备方法	93
四、工业固体催化剂成品的性能指标	96
五、工业固体催化剂的使用	100
复习思考题	106
第五章 工艺过程的分析与组织	107
第一节 工艺操作方式	107
一、化工过程的操作方式	107
二、间歇操作过程	107
三、连续操作过程	108
第二节 影响反应过程的基本因素	110
一、反应过程工艺条件优化的目标	111
二、影响反应过程的基本因素分析	112
三、烃类热裂解反应的影响因素	117
四、乙炔和醋酸气相合成醋酸乙烯反应的影响因素	126
五、醋酸乙烯聚合反应的影响因素	132
第三节 工艺流程	138
一、工艺流程的组织	138
二、主要设备的选择	140
三、工艺流程的组织原则与评价方法	142
四、工艺流程图	144

五、醋酸乙烯溶液聚合法生产聚醋酸乙烯工艺流程	147
复习思考题	155
第六章 化工过程技术开发	157
第一节 技术开发的基本过程	157
一、化工过程开发的目的和内容	157
二、化工过程开发的基本条件	159
三、化工过程开发的步骤	160
四、化工过程开发的评价	162
第二节 实验室研究与中间试验	163
一、实验室研究	163
二、中间试验	165
复习思考题	170
第七章 合成氨	171
第一节 概述	171
第二节 氨的合成	174
一、反应原理	174
二、工艺条件的选择	178
三、工艺流程	184
四、氨合成塔	189
复习思考题	197
第八章 氯碱生产	198
第一节 概述	198
一、氯碱工业产品及生产技术的发展	198
二、食盐水溶液电解的基本概念	202
第二节 隔膜法电解食盐水溶液	206
一、隔膜法电解原理	206
二、隔膜法电解生产工艺流程	208
三、隔膜电解槽的型式与结构	210
四、隔膜法电解的工艺操作条件	214
五、隔膜法电解的技术经济指标	216
第三节 离子交换膜法电解食盐水溶液	217
一、离子膜法电解原理	217
二、离子膜法电解生产工艺流程	218

三、离子膜电解槽	219
四、影响离子膜法电解生产的工艺因素	222
五、离子交换膜法电解的技术经济指标	225
复习思考题	226
第九章 氯乙烯及其聚合物	227
第一节 概述	227
一、氯乙烯及聚氯乙烯的性质和用途	227
二、氯乙烯的生产方法	228
三、聚氯乙烯的生产方法	231
第二节 乙烯氧氯化法生产氯乙烯	232
一、乙烯液相氯化制二氯乙烷	232
二、乙烯气相氯化法生产二氯乙烷	236
三、二氯乙烷高温裂解制氯乙烯	245
四、乙烯氧氯化法生产氯乙烯的技术经济指标	248
第三节 悬浮聚合法生产聚氯乙烯	249
一、反应原理	249
二、影响聚合反应的主要因素	251
三、工艺流程	258
复习思考题	259
第十章 苯乙烯生产	261
第一节 概述	261
第二节 乙苯脱氢生产苯乙烯	263
一、反应原理	263
二、工艺影响因素	266
三、工艺流程	267
复习思考题	273
参考文献	274

绪 论

化学工业是生产化学产品的工业，它是采用化学加工的方法，将天然资源通过一系列化学反应生产出自然界已有的或没有的新物质，或者说是将化学科技与工程技术应用于生产过程的一种制造工业。它是一个多行业、多品种、为国民经济各部门和人民生活各方面服务的工业部门。通常分为无机化工（包括酸、碱、盐、肥料、稀有元素、电化学等）、基本有机化工（以煤、石油、天然气、生物物质为基础原料生产各种有机原料的工业）、高分子化工（包括塑料、橡胶、化学纤维、涂料、胶黏剂等）以及精细化学品制造等。

一、化学工业在国民经济中的作用

化学工业的产品种类多、数量大、用途广，在国民经济中具有重要的地位，与国民经济各部门之间有着密切的联系。

1. 化学工业是农业现代化的物质基础之一

化学工业为农业发展提供了大量的化肥、农药、农用塑料薄膜、排灌胶管等。我国农业增产几乎 40% 以上是依靠化肥的作用。更重要的是随着化学工业的发展，生产了大量的合成纤维、合成橡胶，节省了大面积棉田和橡胶园所占的耕地，缓解了人多地少的矛盾。生产 1 万吨合成纤维，相当于 30 万亩棉田所产的棉花；生产 1 万吨合成橡胶，相当于 25 万亩橡胶园所产的天然橡胶。因此在世界面临人口增加、耕地减少的形势下，发展化学工业更具有重大现实意义。

2. 化学工业为其他工业的发展提供大量的原材料

化学工业为国民经济各工业部门服务，提供大量的酸、碱、盐和基本有机化工原料，以及各种新型的合成材料，各种助剂、涂料、胶黏剂等精细化学品，以满足各工业部门发展生产，开发新产

品的需要。仅以上海宝钢工程为例，其要求化学工业提供的配套化工原料有 5 大类 332 项，其中包括化工原料 103 项，化学试剂 73 项，水质稳定剂 36 项，橡胶制品 32 项，橡胶运输带 88 项等。又如，汽车工业是使用化工产品较多的行业，从一辆普通轿车使用材料的比例来看：钢铁 76%，有色金属 5.6%，合成树脂 5.7%，合成纤维 1.3%，涂料 1.7%，橡胶 3.5%，石棉、玻璃 3.3%，其他 2.9%，其中化工产品占轿车总质量的 12.2%。美国生产的轿车每辆车质量为 1300kg，而使用的化工产品中，仅塑料一项就达 90kg。由此可见，各工业部门的发展都离不开化学工业。

3. 化学工业的发展促进了科学技术的发展

科学技术的进步推动了化学工业日新月异的发展，反过来，化学工业的发展又促进了科学技术的进一步向前迈进。化学工业是技术密集型的工业，它对合成、分离、测定、控制等技术要求都比较高，由此也对冶金、电子、机械等部门相应地提出了一定的要求。而化学工业提供的各种产品，尤其是品种多样化、各种性能独特的精细化学品的开发，不仅可以替代天然物质和补充天然物质的不足，而且某些特种材料和高新技术产品，则更是满足了电子工业、航天工业和国防工业尖端技术发展的需要。

4. 化学工业的发展使人民生活更加丰富多彩

人们的衣、食、住、行，日常生活都离不开化工产品。色泽鲜艳、质地新颖的化纤服装，使人们的衣着打扮不断更新；各种食品添加剂、水果蔬菜保鲜剂、新型包装材料使人们的饮食起居更加方便快捷；从琳琅满目的家用电器到绚丽多彩的室内外装饰材料，以及美观、大方又耐用的家具和装饰品，使人们的生活舒适、美满；采用化学合成材料、精细化工产品装饰一新的交通工具和街道市容，使人们的耳目一新。总之，随着化学工业的发展，各种新产品、新工艺的出现，人们的日常生活不断地改进提高，更加丰富多彩。

化学工业在国民经济各部门中有着重要作用。据报道，化工产品中有 60% 用于重工业和运输业，30% 用于农业和轻工业。由于化学工业能综合利用资源和能源，生产过程容易实现连续化操作和

自动化，劳动生产率高，所以能获得较好的经济效益。世界各国都以很快的速度发展化学工业。

二、化学工业的发展概况

化学工业的发展与其他相关工业的发展有很大关系。数千年前，陶瓷、冶炼、酿造、染色等古老的化学工艺过程就已被人们掌握；但规模很小，技术落后，手工作业。中国早在春秋直至秦汉时期，就开始应用植物染料和矿物颜料，如青蓝染蓝，茜草染绛等。这在司马迁的《史记·货殖列传》曾有记载。漆器是古代中国的一项重要发明，中国生漆至少已有 6000 年使用历史。浙江省余姚河姆渡遗址出土的木胎碗外侧涂料就为中国生漆。

从 18 世纪末叶到 19 世纪中，欧洲这段时期主要发展无机化工产品——酸、碱、盐。它们是随着纺织工业漂白与染色技术改造的需要而出现的。18 世纪欧洲纺织、造纸、玻璃、肥皂、火药等行业的发展都大量需要碱。1788 年法国人路布兰以氧化钠为原料制碱取得了成功并得以推广；但因是固相反应，高温间歇生产的劳动强度大等原因，1862 年被比利时人苏维尔实现的连续化氨碱法制碱所取代。1892 年电解法烧碱和氯气正式投产。1903 年，俄国田贴列夫工厂生产了发烟硫酸，1905 年德国用接触法生产硫酸，年产量达 10 万吨。1913 年第一个合成氨的工厂在德国建成，日产量为 30 吨氨的水平。同时美国研究的合成氨生产方法也于 1921 年获得成功，此后，合成氨工业成为化学工业发展最快的门类。纵观上述，可以说近代化学工业开始于无机化学工业。

1942 年中国制碱专家侯德榜先生成功地研究开发了以制碱和合成氨联合（同时）生产纯碱和氯化铵的新工艺——侯氏制碱法。该方法不仅使盐利用率进一步提高，同时减少了环境污染。

现代有机化学工业开始时是以煤为主要原料发展起来的。19 世纪中期，炼钢工业的发展促进了炼焦工业的发展，人们发现从炼焦副产物煤焦油中可分离出苯、萘、苯酚等芳香族化合物，它们是发展染料工业的重要原料。于是从 19 世纪下半叶开始，形成了以

煤焦油化学为主体的有机合成工业。直到 1910 年以后,电石用于生产乙炔,并作为基本有机化工产品的原料以后,才真正有了基本有机化学工业。

1920 年起,美国开始采用石油为原料制取有机化工产品,尤其是自发现石油烃高温裂解技术,生产大量的基本有机化工原料,从而开辟了生产有机化工产品更多的新技术路线。到 50 年代初,以石油、天然气为原料的石油化学工业引起各国重视。由于原料乙烯生产比乙炔更价廉经济,目前,世界上 90% 以上的有机化工产品都来自于石油化学工业。

20 世纪 30 年代,建立了高分子化学体系,合成高分子材料得到迅速发展。30 年代在美国实现了氯丁橡胶生产,1938 年耐纶-66 实现工业生产;40 年代又实现了腈纶、涤纶纤维生产;以后是丁苯橡胶和丁腈橡胶相继问世;与此同时,聚氯乙烯、聚苯乙烯、高压聚乙烯等也都实现了工业化生产。目前,精细化学工业迅速地发展起来。

进入 21 世纪,随着科学技术的进步和高新产业的兴起,为化学工业的发展带来了新的机遇。例如:生物技术特殊的选择性使得反应条件容易实现,且具有低能耗、低污染、无公害、生产效率高优点,生物质是实现化工原料绿色化的重要资源,而生物催化剂——酶是一种理想的绿色催化剂,酶催化剂的开发、研究与应用将使化学工业成为“清洁”的产业;航天、汽车、电子、信息和能源等高新技术产业的迅猛发展都需要各种性能特异的新材料,开发、研究和生产各种新材料就成为化学工业的必然使命,煤炭的气化、液化以及高能燃料的开发也必将进一步促进化学工业的发展;信息技术和化工生产标准化更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更大的变化,加速了化学工业现代化的步伐。

三、化学工业的分类及特点

化学工业的范围,不同时代,不同国家,不尽相同。化学工业

既是原材料工业，又是加工工业；既有生产资料的生产，又有生活资料的生产。化学工业的分类比较复杂。按照习惯将化学工业分为无机化学工业和有机化学工业两大类。随着化学工业的发展，新的领域和行业、跨门类的部门越来越多，两大类的划分已不能适应化学工业发展的需要。若按产品应用来分，可分为化学肥料工业，染料工业，农药工业等；若从原料角度可分为天然气化学工业，石油化学工业、煤化学工业等；也有从产品的化学组成来分类，如低分子单体、高分子聚合物等；还有以加工过程的方法来分类，如食盐电解工业、农产品发酵工业等。往往某一种产品可以列在这一类，又可以列在另一类。

总的说来，化学工业包括石油化工、煤化工、盐化工、精细化工等，其中石油化工是国家的支柱产业之一。

化学工业按照 GB/T 4754—94《国民经济行业分类与代码》，按行业管理分工包括下列范围：

(1) 化学矿采选业 ①硫矿采选业；②磷矿采选业；③天然钾盐采选业；④硼矿采选业；⑤其他化学矿采选业。

(2) 基本化学原料制造业 ①无机酸制造业；②烧碱制造业；③纯碱制造业；④无机盐制造业；⑤其他基本化学原料制造业（包括氧化物单质、工业气体等的生产）。

(3) 化学肥料制造业 ①氮肥制造业；②磷肥制造业；③钾肥制造业；④复合肥料制造业；⑤微量元素制造业；⑥其他化学肥料制造业（包括腐殖酸肥、磷矿粉肥及混合肥料的生产）。

(4) 化学农药制造业（包括防治农作物病虫害的杀虫剂和清洁卫生用的杀虫剂、杀菌剂及除草剂、植物生长调节剂、微生物农药、杀鼠剂等的生产）①化学原药制造业；②农药制剂加工业。

(5) 有机化学产品制造业 ①有机化工原料制造业；②涂料制造业；③颜料制造业；④染料制造业；⑤其他有机化学产品制造业。

(6) 合成材料制造业 ①热固性树脂及塑料制造业；②工程塑料制造业；③功能高分子制造业；④有机硅氟材料制造业；⑤合成

橡胶制造业；⑥合成纤维单（聚合）体制造业；⑦其他合成材料制造业。

(7) 专用化学产品制造业 ①化学试剂、助剂制造业（包括试剂、催化剂、塑料助剂、印染助剂、炭黑及其他化学助剂的生产）；②专项化学用品制造业（黏合剂、水处理化学品、造纸化学品、皮革化学品、油田化学品、生物工程化工、表面活性剂、碳纤维、化学陶瓷纤维等特种纤维及高功能化工产品生产）；③信息化学品制造业（包括感光材料、磁记录材料、电子材料、光纤通讯用辅助材料等，如感光胶片、磁带、磁盘、荧光粉、液晶材料等的生产）；④添加剂（包括食品添加剂、饲料添加剂的生产）制造业。

(8) 橡胶制品业 ①轮胎制造业；②力胎制造业；③橡胶板、管、带制造业；④橡胶零件制造业；⑤再生橡胶制造业；⑥橡胶靴鞋制造业；⑦日用橡胶制品业；⑧橡胶制品翻修业；⑨其他橡胶制品业（如胶乳制品、橡胶密封制品、医用和食品用橡胶制品等）。

(9) 专用设备制造业 ①化学工业专用设备制造业；②橡胶工业专用设备制造业；③塑料工业专用设备制造业。

现代化学工业生产过程有很多区别于其他工业部门的特点，主要体现在以下几个方面。

(1) 投资较高、企业规模大型化 化学工业的发展在很大程度上要依靠科研和新技术开发的成果，而科研、开发的经费很高；引进技术和专利也需要资金；工艺流程长，生产设备多；使用昂贵的特殊材料和自动化程度很高的装置，所以投资较高。装置规模适当扩大，可开展综合利用，有利于降低产品成本。

(2) 高度机械化、自动化、连续化的生产装置要求高技术水平 现代化工企业生产过程高度连续性，要求有理想的自动控制系统来保证产品质量。因此不仅要有化工工艺的工程技术人员，而且还要有电气、仪表、电脑、机械设备、分析的工程技术人员，还要有众多具有一定文化技术素质、较强的现代化工艺操作能力、能熟练进行化工岗位操作的操作工人。

(3) 综合性强 化学工业是原料多种类、生产方法多样化和产

品种多的工业部门。许多化工生产过程之间存在着各种不同形式的纵向联系和横向联系。如炼焦工业生产出的副产焦油，可进一步加工生产其他化工产品；同样的生产线、同样的设备变换用不同的原料可生产出不同的产品。

(4) 能源消耗大，综合利用潜力大 化工产品的生产多以煤、石油为原料、燃料和动力，现代化工是燃料和电力的最大用户之一。化学反应过程也是能量转移的过程，反应过程中释放的热量是一种有价值的能源，综合利用化学反应热，是化工生产技术进步的一个重要内容。一般在化工生产过程中，参加化学反应的物质除了生成主产品外，还有一些副产物和废水、废气、废渣，造成能源和资源的很大浪费。化工生产过程中排放的“三废”种类繁多，排放量大，一般多是有害的、甚至是剧毒物质。因此，“三废”的形成不仅浪费原材料，而且污染环境，危及人类健康。所以化工企业加强“三废”综合治理十分重要，可以变废为宝，不仅节约资源和能源，而且对于保护环境、造福人类意义更大。

(5) 安全生产要求严格 化工生产具有易燃、易爆、易中毒，高温、高压、腐蚀性强等特点，工艺过程多变，因此不安全因素很多，不严格按照工艺规程和岗位操作法生产，就容易发生事故。但是只要化工生产过程严格执行安全生产规程，事故是可以避免的。尤其是连续性的大型化工生产装置，要想充分发挥现代化工业生产的优越性，保证高效、经济地生产，就必须高度重视安全，确保装置长期、连续地安全运转。

四、本课程的学习内容和任务

化学工艺学是根据技术上先进、经济上合理的原则来研究开发各种原材料、半成品、成品的加工方法及过程的科学。化学工艺学是研究综合利用天然原料和半成品，将其加工成生产资料和生活资料的一门学问，是化学工艺专业的一门专业课程，也是一门时代性很强的综合性学科。

《化学工艺学概论》既区别于本专业的各专业基础课和其他专