



规划精品教材

全国普通高等院校工科化学

现代工业化学

(第二版)

Modern Industrial Chemistry

● 李忠铭 贡长生 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

现代工业化学

(第二版)

主 编	李忠铭	贡长生	
副主编	邹洪涛	张 婕	熊碧权
参 编	陈卫航	刘学清	文 峰
	陈雪梅	张恭孝	蒋旭东



华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 提 要

本书依据现代化学工业的特点,从化工生产工艺的角度出发,结合化学反应原理和化学工程基础知识,较系统地阐述了当今重要的化学工业产品的制备原理、生产方法、工艺过程。全书共7章,包括绪论、化工基础知识、无机化工、石油炼制与石油化工、高分子化工、精细化工、化工生产与环境保护等。

本书可作为非化工类专业大学本科教材,也可作为化学化工专业师生的教学参考书。同时,还可供从事化工生产、科技开发和企业管理的科技人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代工业化学/李忠铭,贡长生主编. —2版. —武汉:华中科技大学出版社,2018.8
全国普通高等院校工科化学规划精品教材
ISBN 978-7-5680-4231-4

I. ①现… II. ①李… ②贡… III. ①工业化学-高等学校-教材 IV. ①TQ

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 176694 号

现代工业化学(第二版)

李忠铭 贡长生 主编

Xiandai Gongye Huaxue

策划编辑:王新华

责任编辑:李 佩 王新华

封面设计:原色设计

责任校对:曾 婷

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)
武汉市东湖新技术开发区华工科技园

电话:(027)81321913
邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.75

字 数:410千字

版 次:2018年8月第2版第1次印刷

定 价:38.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

第二版前言

现代工业化学是研究现代化学工业及其规律的科学,它是融化学、化学工艺学、化学工程学以及资源、能源、环境、信息与管理科学为一体的综合性的应用科学。《现代工业化学》第一版自 2008 年由华中科技大学出版社出版至今已有 10 年,其间重印多次,被许多院校认可、选用。为了适应不断发展的化学工业状况,满足不断提高教育教学水平的需要,借再版的机会对第一版的内容进行了修订。

本次修订中,对原有章节进行了调整,更正了第一版中的疏漏之处,删除了某些陈旧的内容,补充了一些化学工业发展中的新内容。

全书共 7 章,包括绪论、化工基础知识、无机化工、石油炼制与石油化工、高分子化工、精细化工、化工生产与环境保护等。

本书由李忠铭、贡长生主编,邹洪涛、张婕、熊碧权任副主编。参加本书编写的人员及编写分工如下:第 1 章(熊碧权,湖南理工学院),第 2 章(陈卫航,郑州大学),第 3 章(邹洪涛,黔南民族师范学院;张婕,郑州大学),第 4 章(李忠铭、蒋旭东,江汉大学),第 5 章(刘学清,江汉大学;文峰,海南大学),第 6 章(文峰,海南大学;陈雪梅,湖北理工学院),第 7 章(张恭孝,泰山医学院)。

在本书编写过程中,得到了江汉大学、武汉工程大学、郑州大学、海南大学、湖南理工学院、黔南民族师范学院、湖北理工学院、泰山医学院等单位的大力支持,得到了华中科技大学出版社的鼎力相助,在此一并表示衷心的感谢。本书是在第一版基础上完成的,在此向为第一版教材编写作出贡献的各位老师表示衷心的感谢。同时,对书中所引用文献资料的作者致以衷心的感谢!

由于编者的学识有限,书中内容涉及面广,不妥之处诚请广大读者批评指正。

编 者
2018 年 5 月

第一版前言

化学工业作为国民经济的支柱产业,是发展农业的支撑,高新技术的基础,生产和生活资料的源泉。世界各国都积极加快发展化学工业,新产品、新工艺、新技术和新设备不断涌现,不仅极大地丰富了人们的物质文化生活,也有力地促进了国民经济的发展和社会的文明与进步。进入 21 世纪以来,资源利用的多元化、产品结构的精细化、技术创新的现代化、发展方向的绿色化等已成为当代化学工业发展的新趋势和新特点。为适应现代化学工业发展的新形势和 21 世纪课程教学改革的需要,以加强理论基础,拓宽专业口径,强化实践能力,华中科技大学出版社组织有关高校的专家、教授编写《现代工业化学》。

现代工业化学是研究现代化学工业及其规律的科学,它是融化学、化学工艺学、化学工程学以及资源、能源、环境、信息与管理科学为一体的综合性的应用科学。本书在讲述现代化学工业的发展概貌的基础上,重点介绍现代化学工业的主要领域及其典型产品的制备原理、生产方法、工艺条件、关键设备及其材质的选用、安全技术和环境保护等,使读者了解现代化学工业的发展态势,熟悉化学工业生产中的工艺及其特点,认识资源、能源和环境与化学工业可持续发展的深刻内涵,优化自身知识结构,拓展专业知识视野,培养创新精神和综合素质,提高从事多种工作的适应能力。

全书共 12 章,取材新颖,着力体现时代特色。在介绍传统化学工业的基础上,突出石油化工和精细化工,重点论述现代化学工业的前沿领域和最新成果,例如绿色化学化工、清洁生产、新型工业催化剂、新型功能材料等,具有较强的前瞻性,以适应国情,跟踪时代,体现创新,注重发展。为了兼顾非化工专业类学生的特点,另辟一章介绍化学化工基础知识,循序渐进,深入浅出,联系实际,触类旁通。总之,本书力求达到纵观全局,与时俱进,开拓创新,学有所用。

本书由贡长生担任主编,李忠铭、陈卫航、陈雪梅担任副主编。参加编写的人员分工如下:第 1 章、第 5 章(贡长生,武汉工程大学),第 2 章(陈卫航,郑州大学),第 3 章(陈雪梅,黄石理工学院;鄢红艳、曹龙文,大冶有色金属公司),第 4 章(张婕,郑州大学),第 6 章(张婕,郑州大学),第 7 章、第 8 章、第 9 章(李忠铭、杜金萍、刘学清,江汉大学),第 10 章(陈雪梅,黄石理工学院),第 11 章(文峰,海南大学),第 12 章(李华、谷守玉,郑州大学)。全书由贡长生、李忠铭、陈卫航、陈雪梅共同定稿。

在本书编写过程中,得到了武汉工程大学、郑州大学、江汉大学、海南大学、黄石理工学院、大冶有色金属公司等单位的大力支持,并得到了华中科技大学出版社的鼎力相助,华中科技大学李德忠教授审阅了全书。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的学识有限,书中内容涉及面广,不妥之处诚请广大读者批评指正。同时,对书中所引用文献资料的中外作者致以衷心的感谢!

编 者
2007 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 化学工业	(1)
1.1.1 化学工业及其分类	(1)
1.1.2 化学工业的发展	(2)
1.1.3 现代化学工业的特点	(3)
1.2 化学工业在国民经济中的地位和作用	(4)
1.2.1 化工与农业	(4)
1.2.2 化工与医药	(5)
1.2.3 化工与能源	(5)
1.2.4 化工与国防	(6)
1.2.5 化工与人类生活	(7)
复习思考题	(7)
主要参考文献	(7)
第 2 章 化工基础知识	(8)
2.1 化工热力学基础	(8)
2.1.1 物质的状态	(8)
2.1.2 热力学第一定律	(10)
2.1.3 热效应	(12)
2.2 化学反应规律与化学反应器	(14)
2.2.1 化学平衡	(14)
2.2.2 化学反应动力学	(16)
2.2.3 化学反应器	(20)
2.3 工业化学过程计算基础	(24)
2.3.1 物料衡算	(25)
2.3.2 能量衡算	(27)
2.4 化工单元操作与设备	(28)
2.4.1 化工过程与单元操作	(28)
2.4.2 流体流动与流体输送设备	(30)
2.4.3 传热与换热器	(34)
2.4.4 气体吸收	(41)
2.4.5 液体精馏	(45)
2.4.6 气液传质设备	(52)
2.5 化学工艺	(59)
2.5.1 化工原料	(60)
2.5.2 化工产品	(61)
2.5.3 化工生产工艺过程	(62)

复习思考题	(62)
主要参考文献	(63)
第3章 无机化工	(64)
3.1 概述	(64)
3.1.1 无机化工的特点	(64)
3.1.2 无机化工原料	(64)
3.1.3 无机化工产品	(65)
3.1.4 无机化工的发展	(65)
3.2 硫酸工业	(66)
3.2.1 硫酸的性质和用途	(66)
3.2.2 硫酸的生产	(67)
3.3 合成氨工业	(74)
3.3.1 氨的性质和用途	(75)
3.3.2 合成氨生产	(75)
3.4 磷酸盐工业	(89)
3.4.1 磷酸	(89)
3.4.2 磷酸盐	(94)
3.5 制碱工业	(103)
3.5.1 碱的性质和用途	(103)
3.5.2 氨碱法制纯碱	(104)
3.5.3 联碱法制取纯碱与烧碱	(111)
3.5.4 联碱法与氨碱法的比较	(116)
3.5.5 电解法制烧碱	(116)
复习思考题	(120)
主要参考文献	(120)
第4章 石油炼制与石油化工	(122)
4.1 概述	(122)
4.1.1 我国石油工业的发展概况	(122)
4.1.2 原油及其化学组成	(122)
4.1.3 原油的分类及性质	(123)
4.1.4 石油产品分类及加工方案	(124)
4.2 常减压蒸馏	(126)
4.2.1 概述	(126)
4.2.2 常减压蒸馏工艺	(127)
4.3 催化裂化	(129)
4.3.1 概述	(129)
4.3.2 烃类的催化裂化反应	(129)
4.3.3 影响催化裂化的主要因素	(131)
4.3.4 催化裂化工艺流程	(133)
4.4 催化重整	(135)
4.4.1 概述	(135)

4.4.2 催化重整化学反应	(135)
4.4.3 催化重整原料	(136)
4.4.4 催化重整工艺流程	(139)
4.5 石油化工	(141)
4.5.1 烯烃的生产	(141)
4.5.2 烯烃的利用	(145)
4.5.3 芳烃的利用	(149)
复习思考题	(151)
主要参考文献	(151)
第5章 高分子化工	(152)
5.1 概述	(152)
5.1.1 高分子化工	(152)
5.1.2 高分子的基本概念	(152)
5.1.3 聚合物的分类和命名	(155)
5.1.4 高分子化合物的合成方法	(157)
5.1.5 高分子化合物的生产过程	(159)
5.2 合成塑料	(160)
5.2.1 塑料的基本概念	(160)
5.2.2 塑料助剂及其作用	(161)
5.2.3 塑料树脂的合成	(162)
5.3 合成纤维	(167)
5.3.1 概述	(167)
5.3.2 合成纤维	(167)
5.4 橡胶	(171)
5.4.1 概述	(171)
5.4.2 橡胶的分类	(172)
5.4.3 合成橡胶	(172)
5.5 高分子功能材料	(175)
5.5.1 生物医用高分子材料	(178)
5.5.2 分离和化学功能高分子材料	(183)
5.5.3 电磁功能高分子材料	(189)
5.5.4 光功能高分子材料	(191)
复习思考题	(192)
主要参考文献	(192)
第6章 精细化工	(194)
6.1 概述	(194)
6.1.1 精细化工的定义	(194)
6.1.2 精细化工的范畴和分类	(194)
6.1.3 精细化工的特点	(195)
6.1.4 精细化工发展的新动向	(196)
6.2 表面活性剂	(196)

6.2.1 表面活性剂的定义、分类与应用	(196)
6.2.2 阴离子表面活性剂	(197)
6.2.3 阳离子表面活性剂	(197)
6.2.4 两性离子表面活性剂	(198)
6.2.5 非离子表面活性剂	(199)
6.2.6 特种表面活性剂	(201)
6.3 合成材料助剂	(202)
6.3.1 助剂的定义和类别	(202)
6.3.2 增塑剂	(202)
6.3.3 阻燃剂	(205)
6.4 食品添加剂	(207)
6.4.1 食品添加剂的定义及分类	(207)
6.4.2 食品添加剂的特点	(207)
6.4.3 防腐剂	(207)
6.4.4 抗氧化剂	(209)
6.4.5 营养强化剂	(212)
6.5 日用化妆品	(214)
6.5.1 日用化妆品的定义与分类	(214)
6.5.2 日用化妆品的主要原料	(214)
6.5.3 特殊化妆品	(214)
6.5.4 中国化妆品工业发展趋势	(216)
复习思考题	(216)
主要参考文献	(217)
第7章 化工生产与环境保护	(218)
7.1 概述	(218)
7.1.1 化学污染与环境问题	(218)
7.1.2 环境污染物	(221)
7.1.3 大气污染的防治	(224)
7.1.4 水污染的防治	(228)
7.1.5 固体废弃物的处置	(233)
7.2 绿色化学	(235)
7.2.1 绿色化学的兴起和发展	(235)
7.2.2 绿色化学的含义和研究内容	(236)
7.2.3 绿色化学的原则和特点	(237)
7.3 清洁生产	(238)
7.3.1 清洁生产的提出与背景	(238)
7.3.2 清洁生产的含义	(240)
7.3.3 实施清洁生产的途径	(241)
复习思考题	(242)
主要参考文献	(242)

第 1 章 绪 论

1.1 化 学 工 业

化学工业(chemical industry)又称化学加工工业,泛指生产过程中化学方法占主要地位的过程工业。化学工业在各国的国民经济中占有重要地位,发展化学工业,对于改进工业生产工艺,发展农业生产,扩大工业原料来源,巩固国防,发展尖端科学技术,改善人民生活以及开展综合利用等都有很大的作用,它是许多国家的基础产业和支柱产业。

传统化学工业可分为无机化学工业和有机化学工业两大类,无机化学工业主要涵盖无机酸、无机碱、无机盐、稀有元素、电化学工业等领域;而有机化学工业则主要涉及合成纤维、塑料、合成橡胶、化肥、农药等行业。随着化学工业的发展,跨类的部门层出不穷,逐步形成以酸、碱、化肥、农药、有机原料、塑料、合成橡胶、合成纤维、染料、涂料、医药、感光材料、合成洗涤剂、炸药、橡胶等为门类的生物化工、高分子化工、精细化工。

1.1.1 化学工业及其分类

化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学。化学工业是依照化学原理和规律实现化学品生产的工业。

化学工业分类的方法很多,不同国家或不同部门,分类方法不尽相同。按产物的组成,可分为无机化学工业和有机化学工业;按原料资源,可分为煤炭化学工业、石油化学工业、农产化学工业等。由于化工产品种类繁多,性质和用途又各不相同,因此世界上大多数国家按产品的性质、用途及其加工过程相似的原则进行分类。总体上,化学工业可以分为以下 19 个分支。

- (1) 化学肥料工业:包括合成氨、氮肥、磷肥、钾肥、复合肥料、微量元素肥料等。
- (2) 硫酸工业:包括硫酸和 SO_2 的制造等。
- (3) 制碱工业:包括烧碱和纯碱等。
- (4) 无机盐工业:包括磷酸盐、铬盐、硼盐、钡盐等各种无机盐,除硫酸、烧碱、纯碱以外的无机酸、无机碱等。
- (5) 石油化学工业:石油炼制、烃类的裂解制取“三烯”(乙烯、丙烯、丁二烯)、“三苯”(苯、甲苯、二甲苯)等有机化工原料和产品。
- (6) 煤化学工业:煤的气化、干馏、液化及其副产品的加工等。
- (7) 有机原料工业:如有机酸、醇、醛、酮、醚、酯等。
- (8) 合成树脂和塑料工业:包括聚氯乙烯、聚乙烯、聚苯乙烯等各种高分子聚合物,各种日用和工程塑料制品,离子交换树脂等。
- (9) 合成纤维工业:包括聚酯类、聚酰胺类、聚丙烯腈等合成纤维。
- (10) 橡胶工业:包括天然橡胶的加工及产品的制造,合成橡胶的生产及产品的制造。
- (11) 国防化学工业:包括炸药、化学武器,以及与核工业和航天航空工业配套的化工产品,如高能燃料、密封材料、特种涂料、功能复合材料等的生产。

(12) 医药工业:包括各种天然药物和合成药物的生产。

(13) 农药工业:其产品包括杀虫剂、杀菌剂、杀螨剂、除草剂、植物生产调节剂以及杀鼠剂等。

(14) 涂料及颜料工业:包括颜料、油料、填充料、溶剂、油漆、建材涂料、特种涂料等。

(15) 染料工业:包括轻工、纺织、食品等多种用途的染料。

(16) 信息材料:包括半导体材料、磁记录材料、感光材料、成像材料、光导纤维材料等。

(17) 高纯物质和化学试剂工业:包括各种特定用途的高纯物质以及各种级别的化学试剂的生产。

(18) 专用化学品工业:包括催化剂、添加剂、工业助剂、表面活性剂、水处理剂、黏合剂、香料、皮革化学品、造纸化学品等。

(19) 化工新型材料:包括功能材料和复合材料等。

应该指出,冶金(包括钢铁、有色金属及稀有金属的冶炼)、硅酸盐(包括玻璃、陶瓷、水泥、耐火材料)、造纸及制糖等工业,其生产过程虽然与化学工业相似,但由于其工业本身的特点,产品产量大,产值比较高,习惯上已从化学工业中分离出来,分属于冶金工业和轻工业。

1.1.2 化学工业的发展

自有史以来,化学工业一直是同发展生产力、保障人类社会生活必需品和应付战争等过程密不可分的。为了满足这些方面的需要,它最初是对天然物质进行简单加工以生产化学品,后来是进行深度加工和仿制,以至创造出自然界原本没有的产品。它对于历史上的产业革命和当代的新技术革命等起着重要的作用。

1. 原始化学工艺的产生

火的利用是人类化学和化学工业生产发展史上第一个发现和发明。火的使用,使人们得以烧制陶器,形成了最早的硅酸盐化学工艺。随着人类生活水平的提高,人类需要更多的生活用具,陶器正是这样应运而生。随着焙烧工艺的提昇与原料的选择与精制,人们发明了釉,瓷器由此诞生。由陶器到瓷器,再到玻璃,都属于硅酸盐工业,这是最早的化学工业。后来,随着社会生产力的进步,又出现了金属冶炼工艺与酿造工艺,形成了中国古代最早的化学工艺。

2. 近代化学工业的产生

近代随着英国工业革命的兴起,纺织业的机械化使纺织品大幅度增加,漂白染色等工艺需要大量的酸、碱。肥皂、造纸等工业对于酸碱的需求也大大增加,这就促进了无机化学工业的发展。18世纪中叶,英国率先用铅室法以硫黄和硝石为原料生产硫酸。1783年,法国人卢布兰提出了以氯化钠、硫酸、煤为原料的制碱法。此法不仅能生产纯碱,许多化工产品如盐酸、漂白粉、烧碱等均围绕着这个方法展开。从此,以无机酸碱为核心的近代化学工业开始蓬勃发展。1965年,比利时人索尔维实现了氨碱法制碱的工业化,使用氨气、二氧化碳、氯化钠合成碱,克服了卢布兰法的缺点,从而取而代之,成为制碱法的主流。1890年,随着氯气使用量的增加,用电解法制取 Cl_2 和烧碱的方法诞生,电化学工业就此兴起;1942年,中国制碱专家侯德榜研究成功侯氏制碱法,此法联合生产纯碱和氯化铵,使原料得以综合利用,较氨碱法更为完善,成为纯碱工业的发展方向,是中国乃至全球无机化工史上的里程碑。工业革命同样带来了大量机器的制造,机器工业的发展增加了对金属材料的需求,特别是钢铁,推动了冶铁的发展。在冶铁中使用的焦炭由煤炼焦得到,促进了煤化工的兴起。煤焦化又称煤炭高温干馏。以煤为原料,在隔绝空气条件下,加热到 950°C 左右,经高温干馏生产焦炭,同时获得煤气、煤焦油

并回收其他化工产品的一种煤转化工艺。焦炭的主要用途是炼铁,少量用作化工原料制造电石、电极等。煤焦油是黑色黏稠性的油状液体,其中含有苯、酚、萘、蒽、菲等重要化工原料,它们是医药、农药、炸药、染料等行业的原料,经适当处理可以一一加以分离。后续又产生了煤的气化与液化工艺,使煤的利用更加高效与经济。

3. 近代化学工业的发展

随着社会的进步、工业生产的发展,煤化工逐渐被石油化工所取代。石油的炼制、裂化和重整为化学工业提供了大量原料,促进了合成塑料、人造纤维、人造橡胶等现代化学工业的发展。石油化工是20世纪20年代兴起的以石油为原料的化学工业,初期依附于石油炼制工业,后来逐步形成一个独立的工业体系。1917年美国C. 埃利斯用炼厂气中的丙烯合成了异丙醇,1920年美国新泽西标准油公司采用此法进行工业生产,这是第一个石油化学品,它标志着石油化工发展的开始。1936年催化裂化技术的开发,为石油化工提供了更多的低分子烯烃原料。第二次世界大战前夕至40年代末,美国石油化工在芳烃产品生产及合成橡胶等高分子材料方面取得了很大进展。战争对橡胶的需要,促使丁苯、丁腈等合成橡胶生产技术迅速发展。随着人口的增加,粮食的需求也日益增大,现代化肥、农药的生产迅猛发展。化肥工业的萌芽期从19世纪40年代起到第一次世界大战是化肥工业的萌芽时期。那时,人类企图用人工方法生产肥料,以补充或代替天然肥料。1840年,英国人J. B. 劳斯用硫酸分解磷矿制得一种固体产品,称为过磷酸钙,1842年他在英国建了工厂,这是第一个化肥厂。1861年,在德国施塔斯富特地方首次开采光卤石钾矿,在这之前不久,李比希宣布过它可作为钾肥使用。1913年,用氢气和氮气合成氨的哈伯法在德国第一次建厂,它为氮肥工业的发展开拓了道路,标志着合成氨工业的巨大进步。第二次世界大战期间,为了制造炸药,硝酸铵生产得到了发展。1922年,用氨和二氧化碳为原料合成尿素的第一个工厂在德国投入了生产。后来人们逐渐意识到植物在生长中同时需要多种元素,所以在施肥时就不应该只使用含有一种元素的肥料。1920年,美国氰氨公司的一个磷酸铵小生产装置投入运转,1933年,在加拿大联合采矿和冶炼公司也建成了一个生产磷酸铵的工厂。20世纪30年代初,用硝酸分解磷矿并用氨中和加工制造硝酸磷肥的奥达法首先在德国建厂。混合肥料逐渐代替了之前的单一成分肥料。现阶段,各种新型肥料如微量元素肥料的出现,使农业生产水平又达到了一个新的高度。

1.1.3 现代化学工业的特点

化学工业自18世纪中叶开始形成,已发展成为一个品种繁多、门类齐全的重要工业体系。尤其是近半个世纪以来,国内外化学工业发展很快,新工艺、新技术、新产品和新设备不断涌现,成为国民经济的重要支柱产业。从国内外化学工业的发展看,现代化学工业的特点主要表现为如下:

(1) 生产规模大型化。

对于现代化学工业,生产规模的大型化是一个重要的特点和发展趋势。因为生产规模是决定化工过程经济效益的一个重要影响因素,通常在某一极限的规模范围内,对于大部分化工厂,单位年生产能力的投资及生产成本随着生产规模的增加而减少。一般化工产品的生产过程要求有严格的比例性和连续性,从原材料到产品加工的各环节,都是通过管道输送,采取自动控制进行调节,形成一个首尾连贯、各环节紧密衔接的生产系统。

(2) 生产技术具有多样性、复杂性和综合性。

化工产品品种繁多,每一种产品的生产不仅需要一种至几种特定的技术,而且原料来源多

种多样,工艺流程也各不相同。同一种化工产品,也有多种原料来源和多种工艺流程。此外,化学工业生产的化学反应过程中,在大量生产一种产品的同时,往往会生产出许多联产品和副产品,而这些联产品和副产品大部分又是化学工业的重要原料,可以再加工和深加工,生产技术具有多样性、复杂性和综合性。

(3) 化工产品和技术的发展和更新速度快。

化学工业属于技术密集型工业,化工生产技术进步快,产品更新快,新产品、新工艺不断涌现,往往在市场上有某种化工产品时,就必须开始研究更新换代产品和技术,以应对不断发展的市场。近年来,由于市场、环境和资源的导向,各国都在进行化工产品结构和布局的调整,产品的精细化、功能化和专用化已成为化学发展的必由之路。

(4) 能量和物质消耗密集。

化工生产(尤其是基本原料化工生产),消耗较多的自然原料或经过初加工的原材料,生产中往往消耗较多的能量,因此,合理利用资源,节能、降耗是创造更大效益的重要环节。

(5) 与环境保护关系密切。

在化工生产中往往涉及有毒、有害、易燃易爆的物质,常常伴有废气、废水和废渣的产生。因此,必须重视环境保护,推行清洁生产,开发各种无公害生产工艺,减少有毒有害物质的使用,削减“废弃物”的排放,保护生态环境,造福人类。

1.2 化学工业在国民经济中的地位和作用

化学工业是多行业、多品种、多用途的工业部门,是国民经济的重要基础工业,关系到国计民生和高新科学技术的发展,对国民经济建设的发展和人民生活水平的提高起着十分重要的作用。

1.2.1 化工与农业

1. 化工对农业发展的影响

古语云,民以食为天,吃饭是最基本的民生问题。因此农业的发展也是人类赖以生存的重中之重。从原始农业开始逐步发展到传统农业,直至今日的现代农业,历史告诉我们每一次工业和科技上的重大突破和革命都将农业推上一个新的台阶。现代农业是工业化的农业时代,工业的发展使人们从人力畜力进行农作变为了机械的运作。20世纪合成氨、尿素、六六六、对硫磷等,化肥、农药工业有了长足发展。可以说没有化工就没有现代农业,化工的发展促进了农业的发展,化工也融入了农业的方方面面。

2. 现代农业离不开化工产品

1) 化肥——最重要的增产措施

通常增加粮食产量的途径是扩大耕地面积或提高单位面积产量。根据中国国情,继续扩大耕地面积的余地已不大,虽然中国尚有许多未开垦的土地,但大多存在投资多、难度大的问题。这就决定了中国粮食增产必须走提高单位面积产量的途径。施肥不仅能提高土壤肥力,而且也是提高作物单位面积产量的重要措施。化肥是农业生产最基础而且是最重要的物质投入。

2) 农药——最重要的稳产措施

有关调查资料表明,如果农业生产上不使用杀虫剂,而用非化学方法来替代,估计由害虫

引起的作物损失还要增加 5%；停止使用杀菌剂，作物的损失估计将增加 3%；如果限制使用除草剂，作物损失将增加 1%。事实证明，从不使用农药的自然农业发展到使用农药的现代农业，农药做出了积极的贡献。如不施用农药，因受病、虫、草、害的影响，人均粮食将损失 1/3。对于我国这样一个人口众多、耕地紧张的大国，农药在缓解人口与粮食的矛盾中发挥着极其重要的作用，为人类的生存做出了重大贡献。

3) 化工的发展对农业发展的展望

可持续发展的理念，世界经济一体化的市场需求，以生物技术与信息技术为主要代表的新的农业科技革命，将近代农业推进到现代农业，世界农业的潮流是建立“高效、低耗、持续”的农业发展模式，其中化工的调整与发展对农业的推进也起着举足轻重的作用。

化肥方面：大力发展、施用硝化抑制剂（又称氮肥增效剂），能够抑制土壤中铵态氮转化成亚硝态氮和硝态氮，提高化肥的肥效和减少土壤污染。由于硝化细菌的活性受到抑制，铵态氮的硝化变缓，使氮素较长时间以铵的形式存在，减少了对土壤的污染。

农药方面：重点发展高效低毒低残留农药，淘汰剧毒、高毒和稳定性农药，推广使用低毒杀菌剂。

化工还渗透到迅速发展的分子生物学、遗传工程学中，这些学科的研究对农作物病虫害的防治、植物激素跟农作物增产的关系、创造新的生物和新的品种等方面，开辟了广阔的应用前景。

化工在为现代农业做出了重大贡献的同时也造成了不小的污染与隐患，化工的发展刻不容缓，化工的发展对未来的农业发展也有着重大的影响。21 世纪，中国面临着粮食需求量不断增加的严峻形势，尽快探索开发新技术，以便能够使粮食增产，能够最大限度地提高肥料利用率，建立“高效、低耗、持续”的农业发展模式，这对于保障粮食安全、保护生态环境有着极其重要的意义。

1.2.2 化工与医药

医学和药理学一直是人类努力探求的领域，在中国最早的药学著作《神农本草经》（公元 1 世纪前后编著）中，就记载了 365 种药物的性能、制备和配方。明代李时珍的《本草纲目》中所载药物已达 1892 种。这些药采自天然矿物或动植物，多数须经泡制处理，突出药性或消除毒性后才能使用。19 世纪末至 20 世纪初，生产出解热镇痛药阿司匹林、抗梅毒药“606”（砷制剂）、抗疟药等，这些化学合成药成本低、纯度高、不受自然条件的影响，表现出明显的疗效。20 世纪 30 年代，人们用化学剖析的方法，鉴定了水果和米糠中维生素的结构，用人工合成的方法，生产出维生素 C 和维生素 B₁ 等，解决了从天然物质中提取维生素产量不高、质量不稳的问题。1935 年磺胺药投产以后，拯救了数以万计的产褥热患者。青霉素被发现和投产，在第二次世界大战中，用于救治伤病员，收到了惊人效果。链霉素以及对氨基水杨酸钠等战胜了结核菌，终止了长期以来这种蔓延性疾病对人类的威胁。天花、鼠疫、伤寒等，直到 19 世纪，还一直是人类无法控制的灾害之一，抗病毒疫苗投入工业生产以后，才基本上消灭了这些传染病。21 世纪疫苗仍是人类与病毒性疾病斗争的有力武器。还有各种临床化学试剂和各种新药物剂型不断涌现，使医疗事业大为改观，人类的健康得到了更好的保障。

1.2.3 化工与能源

能源是我们人类生存和发展的一种必不可少的物质，从最初的钻木取火获取能量到现在

形成以化石能源为主导的生产发展方式,能源已经和我们的生活息息相关。但随着经济的迅速发展,可供利用的化石能源越来越少,部分地区能源出现了危机。

化石能源是碳氢化合物或其衍生物,是指煤炭、石油、天然气等这些埋藏在地下和海洋下的不能再生的燃料资源。它由古代生物的化石沉积而来,是一次能源。它包含的天然资源有煤炭、石油和天然气。煤炭是埋藏在地下的植物受压力和地热的作用,经过几千万年乃至几亿年的炭化过程,释放出水分、二氧化碳、甲烷等气体后,含氧量减少而形成的。煤炭在地球上分布较为广泛,不集中于某一产地。石油是水中堆积的微生物残骸,在高压的作用下形成的碳氢化合物。石油经过精制后可得到汽油、煤油、柴油和重油。石油在地球上分布不均,中东占54%,北美占12%,南美占9%,几乎占了可确认埋藏量的3/4。天然气直接采掘于地下,以甲烷为主。在-162℃被冷却、液化后,作为液化天然气用大型专用海轮或油罐输送。天然气的分布也非常偏于中东、美洲和欧洲大陆。

化石能源是目前全球消耗的最主要能源,从世界范围看,今后相当长时期内,煤炭、石油等化石能源仍将是能源供应的主体,中国也不例外。但随着人类的不断开采,化石能源的枯竭是不可避免的,大部分化石能源21世纪将被开采殆尽。不仅如此,化石能源的开采和燃烧也给我们的家园带来了许多的环境污染。一方面,大量化石能源的燃烧产生了大量的二氧化碳气体,产生了温室效应,全球变暖,海平面上升,另外,化石燃料的不完全燃烧会产生有毒气体,如二氧化硫、一氧化碳,还带来了酸雨等不正常的天气变化。另一方面是热污染。火电站发电“余热”被排出到河流、湖泊、大气或海洋中,在多数情况下会引起热污染,以致明显改变其原有的生态环境。

由于全球化石能源是有限的,外加上它所带来的环境影响,现在人们正在积极地开发清洁能源,部分可再生能源利用技术已经取得了长足的发展,并在世界各地形成了一定的规模。目前太阳能、风能以及水力发电、地热能等的利用技术已经得到了应用。

1.2.4 化工与国防

我国化工科研人员研究开发了数以万计的化工新材料、新品种、新规格,满足了诸如“两弹一星”、“神舟”系列、“嫦娥”卫星等重大工程的需求,推动了导弹、火箭、舰艇等的发展,在航母、高铁、深海探测器等领域也发挥着重要作用。

1960年11月5日,我国自制的第一枚仿苏P-2型近程导弹发射成功,其中的国产高纯液氧推进剂让国人扬眉吐气;1964年10月16日,我国第一枚原子弹爆炸成功,从铀矿的勘探、开采,铀的提取,核燃料元件的制造,一直到核反应堆及辐照过的燃料后处理,都离不开离子交换树脂;1967年6月17日,我国第一颗氢弹成功爆炸,它所用的“炸药”是氢化锂和氘化锂,而氘和氘化锂则来自高纯度重水;1970年4月24日,中国发射的第一颗人造卫星“东方红”一号飞向太空,其中的关键材料固体润滑膜,保证了超短波天线在-100~100℃能正常工作;1984年4月8日,我国成功发射了第一颗通信卫星——“东方红”二号。它的能源系统使用了1万多个单晶硅片,保证了大量资料的即时接收、处理、发送。

我国国防尖端科学技术的研究开发、新武器的研制、武器装备的更新换代、军队装备的现代化等,都需要化工新材料的支撑。其中,特种橡胶、特种合成塑料、特种合成纤维、特种涂料等组成的“特种部队”功不可没。2003年10月15日,“神舟”五号载人飞船升空,杨利伟身穿的航天服,主体材料是高强度涤纶,气密层由十几种特种橡胶材料制成;2007年10月24日,我国首颗探月卫星“嫦娥”一号成功发射,卫星和火箭使用的高性能液氢、液氧推进剂,用先进

碳纤维材料技术研制的太阳能电池板支架等,都出自化工行业;2011年7月我国首台自主设计、集成的载人潜水器,顺利完成5000 m级海试,2011年8月中国首艘航母进行了首次海试,化工“特种部队”在航母建设过程中发挥了重要作用。

1.2.5 化工与人类生活

自从有了人类,化学便与人类结下了不解之缘。钻木取火、用火烧烤食物、烧制陶器、冶炼青铜器和铁器,都是化学技术的应用。正是化学技术的广泛应用,促进了社会生产力的发展和人类社会的进步。新能源、新材料、环境科学、信息科学、生命科学所取得的令人瞩目的成果改变了我们生存的世界,使我们在衣、食、住、行等方面的生活水平得到了极大的提高。

21世纪的生活对化学的利用会日益加大,人们对衣、食、住、行各个方面的更高需求都将由化学的方法来实现,如基因疗法、转基因食品、干细胞技术、生态环保服装、智能材料、洁净能源、纳米生物技术等。人们还会用化学的方法不断创造新药品来战胜癌症、艾滋病;战胜老年性痴呆、心脏病与脑卒中等影响健康长寿的疾病;通过促进高效农业的进一步发展,保证人类的食物安全和食物品质。化学将在创制高效肥料和高效农药,特别是与环境友善的生物肥料和生物农药,以及开发新型农业生产资料诸方面发挥巨大作用。化学家还将在克服和治理土地荒漠化、干旱及盐碱地等农业生态系统问题方面做出应有的贡献;通过创新药物研究和改变医疗方法,提高人们的生存质量,提高生活质量。很多非致命疾病是目前主要的研究对象,健康长寿是人们长期的愿望。21世纪化学将在控制人口数量、克服疾病和提高人的生存质量等方面进一步发挥重大作用;通过促进工程技术的发展,解决人类面临的能源问题。化学家从事的新燃料电池及催化剂的研究,将会使电动汽车向实用化迈出一大步,这将改变人类能源消费的方式,同时提高人类生存环境的质量。21世纪更是一个以信息和生命科学为代表的科技高速发展的世纪,化学和其他学科的更深层次的交叉、渗透、融合必将取得更为惊人的成果,也将对现代社会产生更加深远的影响。

复习思考题

1. 论述化学工业在国民经济建设中的地位和作用。
2. 简述当代化学工业的发展趋势。
3. 作为一名未来化工从业者,应该具有什么样的基本素质?

主要参考文献

- [1] 梁文平,唐晋.当代化学的一个重要前言——绿色化学[J].化学进展,2000,12(2):228-230.
- [2] 贡长生.绿色化学——我国化学工业可持续发展的必由之路[J].现代工业,2002,22(1):8-14.
- [3] 李晓,谢久凤,李海霞.绿色化学与农业可持续发展[J].科技创新导报,2017,10:124-125.
- [4] 董芳昱,仲伟娜,张明威.中国医药发展趋势[J].现代企业教育,2013,24:570.
- [5] 王广生.我国能源化工面临的挑战及发展方向[J].化工管理,2017,16:136.
- [6] 魏双峰,郭静.材料化学工程的应用及发展趋势研究[J].魅力中国,2017,47:230.
- [7] 杨莉慧.化学对现代生活的影响[J].科学与财富,2017,34:76.

第2章 化工基础知识

2.1 化工热力学基础

2.1.1 物质的状态

气体、液体和固体是物质的三种主要聚集状态。其中气体和液体统称为流体,液体和固体统称为凝聚相。所谓“相”,指的是系统中具有完全相同的物理性质和化学组成的均匀部分。当系统中只有一个相,如气相、液相或固相,即称为单相系统,如有两个以上的相共存,则称为多相系统。物质的各种状态都有其特征,而且在一定条件下可以互相转化。物质的主要宏观性质有压力 p (单位为 Pa)、体积 V (单位为 m^3)、温度 T (热力学温度,单位为 K) 或 t (摄氏温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$)、密度 ρ (单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) 等。

1. 气体

气体的基本特征是具有扩散性和压缩性。将气体引入任何容器,它的分子立即向各个方向扩散,均匀地充满整个容器。处于一定状态的气体,其 p 、 V 、 T 有一定的值和一定的关系,反映其间关系的方程称为状态方程。

1) 理想气体状态方程

分子之间无相互作用力、分子自身不占有体积的气体称为理想气体。理想气体的状态方程为

$$pV = nRT \quad (2.1)$$

式中: R 称为摩尔气体常数,其值为 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。 T 与 t 的关系为

$$T = t + 273.15$$

事实上真正的理想气体并不存在,只能看作是真实气体在压力趋近于零时的极限情况。通常,当压力不太大、温度不太低时,可将实际气体作为理想气体处理。

2) 理想气体混合物

(1) 混合物的组成。较常用的混合物组成的表示方法如下。

① 摩尔分数 x_i (或 y_i)。

$$x_i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_i}{\sum_i n_i} = \frac{n_i}{n} \quad (2.2)$$

② 质量分数 w_i 。

$$w_i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{m_i}{\sum_i m_i} = \frac{m_i}{m} \quad (2.3)$$

③ 体积分数 φ_i 。

$$\varphi_i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{V_i}{\sum_i V_i} = \frac{V_i}{V} \quad (2.4)$$