

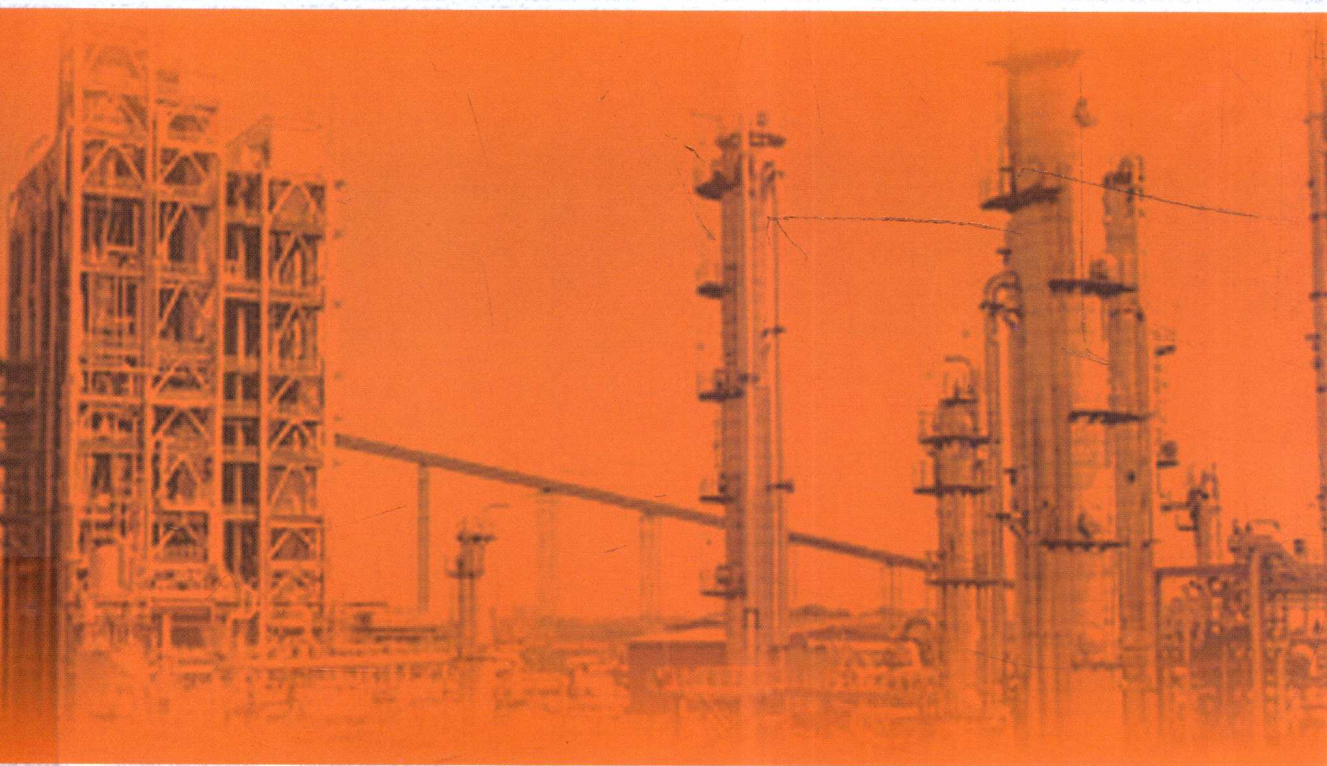
● 高等学校教材

化学工艺学

(精编版)

浙江大学 华东理工大学 编

黄仲九 房鼎业 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

化学工艺学

Huaxue Gongyixue

(精编版)

浙江大学 华东理工大学 编

黄仲九 房鼎业 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书保持了普通高等教育“十一五”国家级规划教材《化学工艺学》(第二版)以化学反应单元工艺为主线的编写理念和教学弹性大的特点,将化学工艺学教学内容做了精选和整合。同时,适当充实了近几年来化工科技进展和我国工业建设成就等方面的内容。

全书共分8章:第一章绪论,第二章化工资源及其初步加工,第三章通用反应单元工艺,第四章无机化工反应单元工艺,第五章有机化工反应单元工艺,第六章煤化工反应单元工艺,第七章精细化工反应单元工艺,第八章高分子化工反应单元工艺。

本书可作为化学工程与工艺专业本科生教材,也可供化学工程各学科研究生及从事化工设计和研究的科技人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

化学工艺学:精编版/黄仲九,房鼎业主编;浙江大学,华东理工大学编.--北京:高等教育出版社,2011.12

ISBN 978-7-04-033963-5

I. ①化… II. ①黄… ②房… ③浙… ④华… III. ①化工过程-工艺学-高等学校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第229696号

策划编辑 付春江 责任编辑 付春江 封面设计 于文燕 版式设计 余杨
插图绘制 尹莉 责任校对 刘莉 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 化学工业出版社印刷厂
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 28.25
字数 690千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
版次 2011年12月第1版
印次 2011年12月第1次印刷
定价 43.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。
版权所有 侵权必究
物料号 33963-00

前 言

化学工艺学课程是由教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”03-31 项目组为化学工程与工艺专业设置的专业基础课程。为了满足该课程的教学需要,浙江大学和华东理工大学共同编写了《化学工艺学》教材,于 2001 年由高等教育出版社出版,其修订后的《化学工艺学》(第二版)被教育部评为 2009 年度普通高等教育精品教材。该教材拟定的教学工作量为 85 学时(5 学分)。

考虑到目前在进行化学工艺学课程教学过程中,有些兄弟院校实施的是少学时(34 学时左右)的教学计划,为更好地为课程建设和兄弟院校的教学服务,经高等教育出版社提议,由《化学工艺学》教材编写组组织撰写了《化学工艺学》(精编版)教材。

本教材保持了《化学工艺学》(第二版)以化学反应单元工艺为主线的编写理念和教学弹性大的特点,将化学工艺学教学内容做了精选和整合。同时,适当充实了近几年来化工科技进步和我国工业建设成就等方面的内容。全书的篇幅约为《化学工艺学》(第二版)的一半,教学工作量拟定为 42 学时(2.5 学分)。

本书共分 8 章,由黄仲九、房鼎业担任主编。参加编写的有:浙江大学的黄仲九(第一、二、三、五章)、王晓钟(第七章)、李宝芳(第八章),华东理工大学的房鼎业(第四章)、张德祥(第六章)。浙江大学的单国荣负责全书的整理工作。

由于是第一次编写《化学工艺学》(精编版)教材,缺点和错误在所难免,教学效果也有待教学实践的检验,殷切期望兄弟院校师生和广大读者多提宝贵意见和建议,以便今后改进。

编者

2011 年 8 月

目 录

第一章 绪 论

一、化学工业的范围和分类	1
二、化学工业的现状和发展方向	3
三、化学工艺学与化学工业的关系	7

第二章 化工资源及其初步加工

2-1 化学矿	10
2-2 煤炭	11
一、煤的种类和特征	12
二、煤的化学组成和分子结构	13
三、选煤和煤的储存	14
四、煤炭的综合利用	16
2-3 石油	18
一、石油的性质、组成和分类	19
二、原油的预处理和常减压蒸馏	22
三、催化裂化和加氢裂化	27
四、催化重整和芳烃抽提	33
五、延迟焦化	39
2-4 天然气	41
一、天然气的分类和组成	42
二、天然气的初步加工	43
三、由天然气制液体燃料和燃料添加剂	44
四、天然气的化工利用	45
2-5 其他化工资源	45
一、农、林、牧、渔产品及其副产物	45
二、海洋化工资源	46
习题	47
参考文献	47

第三章 通用反应单元工艺

3-1 氧化	4
一、概述	4
二、二氧化硫催化氧化制硫酸	5
三、氨催化氧化制硝酸	6
四、乙烯环氧化制环氧乙烷	8
五、其他重要氧化工艺简介	9
讨论课一 工艺流程的组织	10
3-2 氢化和脱氢	10
一、概述	10
二、氢的来源	11
三、氮加氢制成合成氨	11
四、乙苯脱氢制苯乙烯	12
3-3 电解	14
一、分类和基本概念	14
二、食盐水电解制氯气和烧碱	14
三、有机电解合成	15
讨论课二 化工生产的三废治理	16
习题	16
参考文献	16

第四章 无机化工反应单元工艺

4-1 焙烧与煅烧	16
一、焙烧与工业应用	16
二、煅烧与工业应用	17
4-2 浸取	17
一、浸取工艺与设备	17
二、浸取的工业应用实例	18
4-3 复分解	19
习题	19
参考文献	19

第五章 有机化工反应单元工艺

5-1 烃类热裂解	19
一、概述	19
二、烃类热裂解原理	19
三、由烃类热裂解制低级烯烃和芳烃	20

四、乙烯工厂能量的合理利用	220
5-2 氯化	223
一、概述	224
二、乙烯氧氯化制氯乙烯	228
5-3 烷基化	237
一、概述	237
二、由异丁烷和烯烃合成烷基化汽油	237
5-4 水解和水合	243
一、概述	243
二、油脂水解制甘油和脂肪酸	245
三、环氧乙烷水合制乙二醇	248
5-5 羧基合成	255
一、概述	255
二、甲醇低压羧基化制醋酸	257
三、羧基化技术新进展	261
讨论课三 各类裂解炉	263
习题	263
参考文献	263

第六章 煤化工反应单元工艺

6-1 煤的干馏	265
一、煤炭热分解	265
二、煤炭低温干馏	268
三、煤炭高温干馏——炼焦	269
四、焦化产品的回收和加工	277
6-2 煤炭气化	288
一、煤炭气化原理	289
二、煤炭气化工艺	293
6-3 煤制油技术	305
一、煤炭直接加氢液化	306
二、煤炭间接液化	313
6-4 煤基化工产品	316
一、电石生产	316
二、煤基甲醇制烯烃技术	317
6-5 煤炭多联产技术	319
一、煤气化联合循环发电	320
二、煤气化—液体产品—制氢—发电	321
习题	322

参考文献..... 323

第七章 精细化工反应单元工艺

7-1 概述..... 324

- 一、精细化工的定义、特点和分类..... 324
- 二、国内外精细化工概况..... 326
- 三、精细化工的发展趋势..... 328

7-2 磺化..... 328

- 一、概述..... 328
- 二、磺化剂和主要磺化方法..... 329
- 三、磺化反应的影响因素..... 331
- 四、苯、萘及其衍生物的磺化..... 332
- 五、磺化反应器..... 334
- 六、磺化反应实例——十二烷基苯磺酸钠的生产..... 335

7-3 硝化..... 336

- 一、概述..... 336
- 二、硝化剂及主要硝化方法..... 337
- 三、芳烃硝化反应的影响因素..... 339
- 四、硝化反应器..... 341
- 五、硝化反应实例——硝基苯的生产..... 342

7-4 重氮化和偶合反应..... 344

- 一、重氮化反应..... 344
- 二、重氮化反应的应用..... 345
- 三、偶合反应..... 347
- 四、重氮化和偶合反应实例——永固黄 2G 的生产..... 349

7-5 酯化..... 350

- 一、酯化反应概述..... 350
- 二、几种主要的酯化反应..... 351
- 三、酯化反应工业实例——非酸性催化剂生产 DOP..... 359

习题..... 361

参考文献..... 361

第八章 高分子化工反应单元工艺

8-1 绪论..... 362

- 一、引言..... 362
- 二、高分子的基本概念..... 363
- 三、聚合物的命名与分类..... 364
- 四、高分子材料的制备..... 370

五、高分子材料的发展	371
8-2 聚合原理	372
一、连锁聚合	373
二、逐步聚合	393
8-3 聚合物的改性	402
一、聚合物的结构与性能	402
二、聚合物的改性	406
8-4 聚合反应实施方法	411
一、自由基聚合方法	411
二、缩聚方法	421
8-5 高分子合成工艺	424
一、聚乙烯	424
二、聚酯纤维	429
三、聚酰胺	434
四、丁苯橡胶	436
习题	438
参考文献	439

第一章

绪论

一、化学工业的范围和分类

化学工业是借助化学反应使原料的组成或结构发生变化,从而制得化工产品的工业。

用作化工生产的原料,称为化工原料,可以来自自然界,也可以人工合成。例如,由食盐生产纯碱、烧碱、氯气和盐酸;由硫黄和黄铁矿生产硫酸;由煤或焦炭生产合成氨、硝酸、乙炔和芳烃;由石油和天然气生产低级烯烃、芳烃、乙炔、甲醇和合成气($\text{CO}+\text{H}_2$);由淀粉或糖蜜生产酒精、丙酮和丁醇等。其中,硫酸、盐酸、硝酸、烧碱、纯碱和合成氨等无机物,合成气、乙炔、乙烯、丙烯、丁烯(丁二烯)、苯、甲苯、二甲苯、萘、苯酚和醋酸等有机物,经各种反应途径,可衍生出成千上万种无机或有机化工产品、高分子化工产品和精细化工产品,故又将它们称之为基础化工原料。

由基础化工原料制得的结构简单的小分子化工产品称为一般化工原料。例如,各种无机盐和无机化学肥料,各种有机酸及其盐类、醇、酮、醛和酯等。它们可直接作商品出售,例如,氧化铁红(Fe_2O_3)、锌钡白(俗称立德粉,是硫化锌和硫酸钡的混合物)等无机盐用作颜料和染料,氟里昂(freon,甲烷和乙烷的氟、氯或溴代化合物)用作制冷剂和气雾剂,丙烯酸酯用作建筑用涂料原料,氯化石蜡用作阻燃材料,丙酮用作工业溶剂等;也可作为原料继续参与化学反应制造大分子或高分子化合物。例如,各种有机染料和颜料、医药、农药、合成橡胶、塑料、化学纤维等。

由基础化工原料或(和)一般化工原料合成的大分子或高分子化合物,开始的目的产物是仿造天然产品。例如,由异戊二烯合成天然橡胶,由巨环化合物的酮类或内酯类合成人造麝香,由糠醛合成人造香精等。随着工农业生产的发展和人民生活水平的提高,仿制产品在数量、品种和质量上已经远远满足不了市场的需要。为此,现在的合成重点已放在制取自然界没有的,性能更为优异和奇特的新型合成产品上。例如,强度高、耐高温、防腐蚀的无机材料,新型工程塑料,合成橡胶,化学纤维,各种高效、无毒、无副作用的药物等。

除利用一般的无机和有机反应外,工业上还可以通过生化反应来生产化工产品。这一类产品统称生化制品。例如,利用微生物发酵和生物酶催化(又称酶促),可以制得乙醇、丙酮、丁醇、柠檬酸、谷氨酸、丙烯酰胺、各类抗生素药物、人造蛋白质、油脂、调味剂(如味精等)、食品添加剂

和加酶洗涤剂。随着科学技术的发展,利用生化反应制取的有机化工产品将越来越多。

到目前为止,已发现和人工合成的无机和有机化合物品种在 2 000 万种以上,被人们利用作为商品出售的有 8 万余种,而与工农业生产、国防建设和人们日常生活密切相关的产品仅 4 000 种左右,其中有的产品产量(吨位)极大,年产亿吨以上的就有硫酸、化肥和塑料等。有的则很小,每年仅需几吨甚至几千克,如染料,医药中的抗生素、干扰素等。

为了研究、开发和生产化工产品,管理好化工企业,常从学科(化学反应类型)和行业管理角度划分化学工业的范围。

按学科分类,在历史上曾将化学工业划分为无机和有机化学工业两个部门。随着科学技术的发展,近年来化学工业已细分为无机化工、有机化工、高分子化工、精细化工和生物化工等工业部门。

无机化工常指利用无机化学反应生产化工产品的工业。例如,各类无机酸、无机碱、无机盐、无机肥料、电化学产品和稀有元素等的制造。

有机化工常指生产有机小分子化合物的工业。进行的主要反应有裂解、氧化还原、加氢-脱氢、水解-水合和羰基化等,产品有低级烯烃、醇、酸、酯和芳烃等。

高分子化工是指利用聚合和缩聚反应,生产高分子化合物(相对分子质量从几千到几百万)的工业,其中常见的产品有合成橡胶、塑料、化学纤维和其他各类高分子树脂等。

精细化工产品常指具有特定功能和特定用途、生产数量小、生产技术较复杂和产品质量要求甚高的一类化工产品。由于产品附加值高,颇受人们青睐。利用的主要反应有硝化、磺化、酯化、缩合和重氮化等。产品种类有:医药、农药、染料、颜料、涂料、表面活性剂、添加剂、炸药、助剂和溶剂、催化剂等。

生物化工是指利用生物化学反应制取生化产品的工业。主要反应有微生物发酵和酶催化。产品类别有:医用和农用抗生素、有机溶剂、调味剂和食品添加剂等。

在这里要说明一点的是,精细化工与有机化工、高分子化工和生物化工之间,不存在明显的界限。例如,某些小分子有机物既可视作精细化工产品,又可视作有机化工产品;精细化工产品中的涂料和高分子化工产品一样,也是经聚合或缩聚反应制得,相对分子质量也十分巨大(从几千到几万);生物化工中的某些生化制品则常被列为精细化工产品。

在化学工业的发展史上,更重视按行业划分的方法。例如,根据化学工业的定义,曾将冶金、石油炼制、制酸和碱、制皂、制革、造纸、硅酸盐、酿造食品、塑料、橡胶、纺织、氯碱、炸药等行业划为化学工业范围。随着国民经济的发展,上述行业中的冶金、纺织由于其在国民经济中的重要性而曾经单独设部,成为原冶金部和纺织部。为了行业管理方便,将制革、制皂、酿造食品和造纸归入原轻工部,将硅酸盐归入建材部等。

现在,我国对化学工业的范围有广义和狭义两种划分方法。广义划分法不受现行管理体制的限制,将化工产品划分为 19 大类。狭义划分法参照历史状况和沿用习惯,按照现行管理体制,将化学工业划分为 20 个行业。具体划分内容见表 1-1。

世界各国对化学工业范围的划分不尽相同,例如美国按产品划分为 13 类,日本则按行业划分为 42 类。我国在 1998 年将原石油部、石油化工总公司和化学工业部合并,成立从属于国家经济贸易委员会的石油和化学工业局,从已发表的资料看,表 1-1 的名称应改为“中国石油和化学工业范围的划分”,按行业划分一栏中应增加“原油和天然气开采”和“原油加工和石油制品”两

个行业;在按产品划分一栏中,应增加“原油”、“天然气”、“成品油(包括汽油、煤油和柴油)”、“燃料油”和“润滑油”等5个产品。

表 1-1 中国化学工业范围的划分

序号	按产品划分	按行业划分
1	化学矿	化学肥料
2	无机化工原料	化学农药
3	有机化工原料	煤化工
4	化学肥料	石油化工
5	农药	化学矿
6	高分子聚合物	酸、碱
7	涂料和颜料	无机盐
8	染料	有机化工原料
9	信息用化学品*	合成树脂和塑料
10	试剂	合成橡胶
11	食品和饲料添加剂	合成纤维单体
12	合成产品	感光材料和磁性记录材料
13	日用化学品	染料和中间体
14	黏合剂	涂料和颜料
15	橡胶和橡塑制品	化工新型材料
16	催化剂和各种助剂	橡胶制品
17	火工产品	化学医药
18	其他化学产品(包括炼焦和林产化学品)	化学试剂
19	化工机械	催化剂、溶剂和助剂
20	—	化工机械

* 信息用化学品是指能接受电磁波信息的化学制品,如感光材料,紫外、红外、X光等射线材料和接受这类波的磁性材料、记录磁带、磁盘等。

二、化学工业的现状和发展方向

由上述对化学工业范围的划分中,不难看出,化学工业是一个多品种、多行业、服务面广、配套性强的工业。据统计,化学工业的产品有约60%用于基础工业和交通运输业,30%用于农业和轻工业,10%用于建筑材料等其他行业。由于产品的经济效益好,需求量大,世界各国都以较快的速率发展化学工业。在美、日、德、英、法、意及前苏联等化学工业发达的国家,化工生产总值一般占国民生产总值(GDP)的5%~7%;占工业总产值的7%~10%,在各工业部门列2~4位。进入21世纪,最初几年化学工业增长速率并不快,2007年爆发的全球金融危机使全球经济遭受重创,2008年大多数的发达国家的经济出现负增长,直到2009年第一季度后才呈现触底反弹迹象。在此期间,全球化学工业也经历了经济大萧条,需求大崩溃的阵痛。但中国的崛起和中东石油化工工业的蓬勃发展,给全球化学工业带来了新的发展机遇和增长动力。

始于20世纪90年代的世界经济全球化,促使世界化学工业进行了结构大调整,并通过并

购、重组和优化企业组织结构等措施,提高企业的竞争力和市场占有率,从而为企业获得长期、稳定的高额利润。这种企业结构大调整,即使在全球经济危机期间也未中止,那些财力较为雄厚、债务较少的大公司不畏金融危机带来的风险,趁市场萧条、价格暴跌、某些企业陷入倒闭困境之机,实现低成本并购,依此达到发展企业优良资产,优化资本结构,实现可持续发展的目的。例如,2008年1月2日荷兰阿克苏诺贝尔公司以162亿美元完成了对英国ICI公司的收购;2009年4月1日,陶氏化学公司以163亿美元收购罗门哈斯(Rohm&Haas)公司;此外,超过100亿美元收购交易的还有萨比克收购GE塑料,美国阿波罗管理公司收购亨斯曼公司,美国Access工业公司收购利安德巴塞尔公司等。

20世纪90年代以来,化工产品的生产能力和化工技术研究开发也取得了长足的进步。化工企业重视规模经营、集约化和综合利用以期取得最大利润;化工产品讲究多品种、高质量、功能化和差别化;化工新材料也不断研制出来,如各种高强度、低质量、耐高温,具有特殊光学或电学性能的塑料、陶瓷、纤维、由环氧树脂和金属组成的复合材料等,它们大多已能进行工业化生产;超细微技术在工业上已得到广泛应用;利用生物技术生产肥料、医药、农药、化工产品已实现工业化,生物酶催化聚合制造可生物降解塑料已进入试生产阶段;无铅汽油已在全世界得到广泛使用;洁净煤技术[例如煤气化联合循环发电(IGCC)技术]已进入工业实施阶段;高温超导材料已趋实用化;纳米材料(例如纳米陶瓷、纳米铜和纳米碳管等)不断发展;无机膜(如陶瓷膜等)有望用于天然气分离等。

新中国成立以来,我国的化学工业也取得了举世瞩目的成就。在20世纪80年代前化学工业的发展重点是基本无机化工原料、化肥和农药,在80年代后发展重点转向有机化工原料及合成材料。进入21世纪后,前6年的增长速率平均约为13.0%。2007—2008年受全球经济衰退的影响,我国的化学工业增速略有下降,2009年后得到恢复性增长。中国台湾近年来,化学工业的发展也相当迅速,其中尤以石油化工发展最快,已成为东南亚塑料、橡胶及其制品的重要供应基地。我国大陆现有化学品制造企业2.5万家,从业人员500多万人,能生产4.5万余种化工产品,已建成比较完整的化工生产体系。上海、南京、青岛、北京、天津、大连、沈阳、吉林和兰州等城市的化学工业比较发达,化学工业产值约占全国化学工业总产值的30%以上。自1961年在兰州建成第一套乙烯装置(生产能力为5000 t/a)以来,我国的石油化工工业得到了巨大的发展,2009年我国的乙烯产量已达 $1\ 072.2 \times 10^4$ t/a,居世界第二位。已建成的大型石油化工企业有:北京燕山石油化工公司、扬子石油化工公司、大庆石油化工总厂、齐鲁石油化工公司、上海石油化工股份有限公司、上海赛科石油化工公司、茂名石油化工公司、吉化集团公司、镇海炼油化工股份有限公司、中国海洋石油总公司等30余家,石油化学工业已成为我国世纪之交国民经济的四大支柱产业之一。1949年新中国建立初期,我国的化学工业总产值只有3.2亿元,2009年已达到64 833.99亿元,有多种大宗商品的生产能力位居世界前列,其中硫酸、合成氨、化肥、农药、电石、染料、磷矿、磷肥和胶鞋等居世界第1位,乙烯、烧碱、轮胎居世界第2位,涂料居世界第3位,我国的化学工业已成为世界化学工业的重要组成部分。为适应经济全球化的潮流,增强产品的竞争能力,我国正在积极组建以跨国经营为目标,具有国际竞争力的大型企业和企业集团,并积极参与海外矿产资源的并购,为我国化学工业的发展打下坚实基础。表1-2列出了2008年我国一些重要化工产品的产量。

表 1-2 2008 年我国重要化工产品的产量

产品名称	产量	产品名称	产量
石油	1.897 0 亿 t/a	尿素	5 630 万 t/a
天然气	761 亿 m ³ /a	钾肥	330 万 t/a
煤炭	27.16 亿 t/a	磷肥	1 285 万 t/a*
乙烯	1 025.6 万 t/a	硫酸	5 379 万 t/a
醋酸	171.8 万 t/a	烧碱	1 852.16 万 t/a
苯乙烯	283.6 万 t/a	浓硝酸	168.42 万 t/a
乙二醇	256.3 万 t/a	农药	190.2 万 t/a
合成树脂	3 129.6 万 t/a	磷矿(折 P ₂ O ₅ 30%)	6 000 万 t/a
合成橡胶	238.3 万 t/a	硫铁矿(折 S 35%)	1 600 万 t/a
合成纤维	2 241.3 万 t/a	钾矿(以 K ₂ O 计)	2 400 万 t/a

* 为 2007 年数据

我国的化学工业发展水平与发达国家相比,还存在不小的差距。具体表现在生产规模较小,大多低于国际公认的经济规模,因而生产成本较高;大型装置和大型工业生产设备主要依靠进口,自给率低;产品品种少、功能化和差别化率低;环境污染严重和能耗较高等。因此,我国的化工产品在国际市场上的竞争力不强。为追赶世界先进水平,我国已制订了化学工业近期和中长期的发展规划,要求新建项目的生产能力一定要在经济规模以上,对现有企业通过技改扩大生产规模,提高经济效益。在消化吸收国外引进装置的基础上,提高装置或设备的自给能力。重视节能和环保技术并在企业中积极组织实施等。继国家科委 863 计划后,超级 863(S-863)高技术研究发展计划也已启动,争取在 2050 年前将中国的化学工业主要技术经济指标达到中等发达国家水平。

21 世纪的化学工业前景一片光明。首先环保问题将受到普遍关注。总的奋斗目标是采用化学及化工的技术和方法,设计、研制、开发和生产对人类健康、社会安全、生态环境无害的化学品及其工艺,这就是现在普遍论述的绿色化学和绿色化工的基本概念。它们又被称为可持续发展化学和化工,主要特点是实现原子经济性,即要求投入的原料分子中每个原子都能转化为对人类有用的产物,即反应没有废物,做到“零排放”。这样既可节约资源,又从源头上解决环境污染这一难题。很显然,逐步实现绿色化学和化工生产是发展循环经济和可持续发展的基础和必要条件。20 世纪末提出的低碳经济理念是人类实现绿色化学和化工生产,实现可持续发展的第一步。低碳经济是指碳生产力(单位质量二氧化碳排放所产出的 GDP)和人文发展均达到一定水平的经济形态,其特点是对人文发展施加了碳排放的约束。近期要求在不改变其能源结构和产业结构的前提下提高能源利用效率和碳生产力,实现相对的低碳排放;中长期则要求借助清洁能源替代及低碳技术应用,实现碳排放总量的绝对下降。现在,低碳经济理念已深入人心,并已具体落实在世界各国制定的国策中。初见成效的例子有:发电厂的节能减排,高能耗的钢铁、建材、电解行业的兼并和落后产能的淘汰,对汽油、柴油质量的严格控制,洁净煤技术的全面实施等。与此同时,发展新能源产业也受到世界各国的重视,像美国、西欧、日本和我国等都已

制定出具体的发展规划,力图占领这一领域的科学技术制高点。在逐步实现低碳经济理念的同时,绿色化学和化工生产技术也在不断进步和提高,努力实现“零排放”设想的一个例子是环氧丙烷的生产。传统的生产方法有共氧化法和氯醇法,二者大约各占世界年生产能力的一半。前者虽然三废较少,但工艺流程长,基建投资大;后者有副产物以及大量废水和废渣产生,每生产 1 t 环氧丙烷需要消耗 1.35 ~ 1.85 t Cl_2 , 副产 50 ~ 150 kg 二氯丙烷,废渣 CaCl_2 约 2 t, 含有机物的废水 40 ~ 80 t。氯气不但腐蚀设备,也会污染环境。美国 DOW 化学公司将环氧丙烷装置与氯碱电解装置相结合,已建成年产 40 万 t 环氧丙烷的生产装置,采用烧碱作皂化剂,产生的 NaCl 送装置内设置的氯碱电解车间, NaCl 电解生成氯气和烧碱,将二者再送回环氧丙烷生产车间。这种生产方法环氧丙烷收率可提高 5%,节能 5%,没有废渣,产生的废水也大为减少。最近一项专利报道表明,环氧丙烷的绿色组装又可再进一步。该法不用氯气和烧碱,也不采用过氧化氢作氧化剂,在双极板框式电解槽中通入丙烯,在阳极上水电解产生的氧自由基与丙烯发生环氧化反应生成环氧丙烷。在阴极上,在阴极钛硅催化剂涂层的催化作用下将由阳极产生的氧分子和氢质子催化生成过氧化氢,丙烯再与后者反应生成环氧丙烷,即在阳极和阴极上都产生环氧丙烷。这种成对合成技术大幅度地节约了电能,也没有污染物产生。因此,这一技术若能在工业上获得应用,无疑是一种技术的升华。

粮食一直是困扰人类生存的一大难题,在 21 世纪将会获得彻底解决。总的目标是人类的食物将越来越多地通过化学合成来解决,而不仅仅是由土地种植得到。化学与生物学的结合及其界面学科的发展将使上述设想成为可能。21 世纪初期,化肥将由目前的低浓度、单质肥向高浓度、多元化、专用肥方向发展,由速效型、低利用率向省工、省力的缓效化、高利用率方向发展。在 2001 年召开的第 12 届世界肥料大会上提出了生产缓释/控释肥料的建议。因为这种肥料有出色的农化特性,在作物生长期内,养分释放曲线与作物需肥曲线保持基本一致,因此一次性全量施肥即可满足作物整个生长期的需要,而不必多次追肥,节省劳动力并减轻施放追肥时机械对作物的伤害。现在美国、日本和我国都已制造出包覆型或包裹型粒状化肥,氮肥的利用率可达 80% 以上,肥效期从 1 个月到 3 年可以任意调节。为了农业发展的可持续性,有机肥和生物肥,其中特别是生物肥料,将得到迅速发展,它对改良土壤和改善生态环境、提高农作物产量和质量大有好处,可以真正做到无公害。美国开发成功的一种“垦易活性生物肥”,其核心是一种活性微生物,能将空气中的氮固定,还能将土壤中的不溶性磷转化为水溶性磷,改善土壤的板结。今后,农药产量不会大幅度增加,逐渐向高效、无毒方向发展,利用生物农药和基因工程技术提高农作物抗病虫害能力,已受到人们的普遍重视,不久也将大量应用在农业生产中。

进入 21 世纪,能源的结构和组成也将有大的变化:包括风能、太阳能、水力能、生物质能、核能、潮汐能、地热以及煤炭的清洁高效利用、车用新型燃料等新能源将得到大力发展;以氢、甲烷和合成气为燃料的燃料电池将得到广泛应用;甲烷水合物(可燃冰)、非常规天然气(页岩气、致密岩气和煤层甲烷气)、油页岩和油砂等天然资源的勘探、开采技术将有突破性进展,它们将成为 21 世纪人类重要的能源来源之一。随着能源结构和组成的改变,它们和环境的关系也变得越来越友好。

化工新材料在 21 世纪也将得到蓬勃发展。原有的三大合成材料(塑料、橡胶和合成纤维),在品种、质量、性能和差别化方面都会得到很大发展。在 20 世纪末科学研究成果的基础上,纳米材料将在粉末冶金、石油化工、精细化工、电子工业等领域获得广泛应用,超导材料将被制成线

材、带材、薄膜广泛应用在电力、化工、机械、计算机等各个部门,在节约能源和节省金属材料上发挥巨大作用;以陶瓷、金属、聚合物为基础的复合材料,高强度、高模量的纤维,以及耐高温黏合剂和密封剂等新材料将陆续问世,并将广泛应用在航空航天、化工、冶金、交通运输等工业部门。

生物化工也将得到很大发展,不久的将来将广泛利用生物酶催化技术在比较缓和的反应条件下生产一般的化工产品;利用农副产品生产燃料乙醇、有机酸、抗生素、精细化学品的规模将越来越大,如上所述,生物农药也将获得大发展。

20世纪90年代后,发展循环经济和知识经济已成为国际社会的两大趋势。“循环经济”一词最早由美国经济学家波尔丁提出,主要指在人、自然资源和科学技术的大系统内,在资源投入、企业生产、产品消费及其废弃的全过程中,把传统的依赖资源消耗的线形增长经济,转变为依靠生态型资源循环来发展的经济。其特征是低开采、高利用、低排放、高回收,所有的物质和能源都要在这个不断进行的经济循环中得到合理和持久的利用,以把经济活动对自然环境的影响降低到尽可能小的程度。循环经济和国民经济可持续发展是紧密地联系在一起的,只有实施循环经济,才能促进国民经济可持续发展。中国经济近20年来发展迅速,但主要在资源和生态环境严重透支的条件下来实现的,以这种模式发展经济是难以为继的。为此,2005年11月国家正式启动循环经济试点工作,国家发改委提出化工发展循环经济的主要技术有:①资源节约和替代技术;②“三废”资源综合利用和再生资源回收利用技术;③有毒有害原材料的替代技术;④延长产业链和相关产业链技术;⑤清洁工艺生产技术和污染治理技术等。相信不久的将来,定会收到显著的效果。

发展知识经济也是推动全球经济发展的重要手段。过去发展经济主要靠资源、靠能源,称为“物质经济”,随着科学技术的发展,人类发展经济主要靠自己不断创新的知识与智慧,生产出的产品技术含量高,因此附加值也高。而本身消耗的原材料并不比普通产品多。

为了满足工业发展的需要,研究人员不仅应在学识上受过高层次培训,而且也应该是具有远见的科学家,并具备善于合作的能力。现在许多公司正在大力研究产业界与学术界之间的界面问题,要求大学多开设一些跨专业的课程,将科学与商业相结合,培养出的学生既具有学术水平,又具有商业头脑。

三、化学工艺学与化学工业的关系

化学工艺学是研究由化工原料加工成化工产品的化学生产过程的一门科学,内容包括生产方法的评估、过程原理的阐述、工艺流程的组织、设备的选用和设计,以及生产过程中的节能、环保和安全问题。根据化学反应类型和特点,或生产的产品不同,化学工艺学又可细分为各种工艺学。例如,无机化工工艺学、有机化工工艺学、高分子化工工艺学、酿造工艺学、水泥工艺学、精细化工工艺学和生物化工工艺学等。

化学工艺学与化学工业的发展紧密联系在一起,而且是相互依存,相互促进的。远在上古时代,人们对淀粉和糖蜜的发酵、天然药物的加工、造纸、制革、天然染料的提取等已积累了不少生产经验,冶铜、冶铁和火药制造技术的发明,有力地推动社会生产力的发展和人类文明建设,但在这段漫长的岁月里,不可能用理论来指导生产,化学工艺学处在感性认识阶段。

12 世纪中国的造纸和火药制造技术传入欧洲,推动了欧洲文化艺术和军事技术的发展。作坊式的生产方式逐渐被机械化生产所取代。随着人民物质生活水平的提高,对纺织、印染、医药、化妆品、农药和化学肥料等产品提出了愈来愈多和愈来愈高的要求,因而大大激发了人们对化学研究的热情。科学家们期盼通过科学研究解决出现在生产上和制成品上的种种问题。于是,各种化学现象被认识,各种化学定律被发现。例如,波义耳发现了气体定律,拉瓦锡发现了物质不灭定律,道尔顿提出了原子学说等。利用已获得的化学知识,人们开始阐述化学反应和化工生产过程原理,化学工艺学由此产生,化学工业已处于萌芽状态。

18 世纪后,化学工业进入成长和发展期。首先建立起来的是无机化学工业,1788 年路布兰提出了以芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、石灰石和煤为原料,经煅烧和浸取生产纯碱的方法;1859 年铅室法生产硫酸获得成功;1892 年电解食盐水生产氯气和烧碱的工业装置投入生产等。随着冶金和城市煤气工业的发展,在 18 世纪末建立了以煤焦油为原料的有机化学工业体系。利用由煤焦油中分离出来的苯、甲苯、二甲苯、苯酚、萘和蒽等有机物合成了一系列有机化工产品。例如,由苯经硝化制得硝基苯,继而合成苯胺和苯胺紫,后者是由人工合成的第一个天然染料;再如,以萘或蒽为原料制得蒽醌,继而开发成功了蒽醌系列染料。除染料外,药品、香料和炸药等多种有机化工产品也被大量生产出来。例如,由苯酚合成水杨酸,继而制得阿司匹林;由苯酚合成水杨醛继而制得多种香料;由甲苯合成 TNT 炸药等。1888 年用焦炭和生石灰制得电石,继而得到乙炔;用煤造气制 CO 和 H_2 获得成功。与此同时,各种反应单元开始从实验室进入中间试验车间或生产装置,并逐步建立了相应的反应单元工艺。热力学不断发展,相继发现了热力学第一、第二和第三定律,确定了化学平衡原理和化学结构概念,1869 年门捷列夫发表了元素周期律。

19 世纪末到 20 世纪 50 年代,是以煤为原料,经电石生产乙炔,继而生产出数以万计的有机化学品的时代。与此同时,各种性能优良的高分子化工产品得到开发和开始应用于工、农业生产和人民的日常生活。合成氨生产装置建成。由于战争需要,各种火工产品、人造汽油等被大量生产出来。在此期间,化学工艺学也得到了发展,建立了诸如缩合、聚合、酶反应和羰基合成等新的反应单元工艺,并对某些反应单元工艺可以作出半定量或定量的描述。热力学的发展日臻完善,化学反应动力学得到蓬勃发展,各种高效反应器相继开发出来,使各种反应单元工艺得到进一步的改良,提高了生产效率,改进了产品的质量,取得了明显的经济效益。所有这些成果都大大推动了化学工业的发展。

20 世纪 50 年代后期,开始了以石油和天然气为原料合成有机化学品的新时期。石油和天然气经热裂解可以生产出大量的低级烯烃、乙炔和芳烃,它们逐步取代了电石乙炔,成为有机合成的主要原料。目前,世界上有机化工产品的 80% ~ 90% 来自石油和天然气,石油化学工业已成为现代化学工业的重要组成部分。由于合成原料路线的改变,大大地促进了化学工艺学的发展,更新、更先进的反应单元相继建立。有机合成一改过去无休止试验的局面,应用了“分子设计”(合成物分子设计)理论,使合成产品快速、完美地得以实现。与此类似,催化剂的研制和开发采用了“催化剂分子设计”,使催化剂的研制和开发时间大为缩短,品质大为提高。现在,以 CH_4 , $\text{CO}(\text{CO}_2)$, CH_3OH 和 H_2 为原料的碳一化学工业正在兴起,生物化工已初具规模。

进入 21 世纪,随着化学工业的发展,化学工艺学将面临诸如由于化工产品的精细化和个性化、原料路线转变,以及发展绿色化工工艺等问题的挑战,化学工艺学又将迎来大发展的好机遇。人们已经清楚地认识到,在知识经济大潮下的化工产品,不论是大宗化学品还是精细化学品,都