

高等学校教材

# 化学工艺学

潘鸿章 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

潘鸿章 主编



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

## 内容提要

本书的编写基本参照教育部制订的化学工艺学教学大纲,凸显师范教育特色。全书共12章,分为两大部分。第一部分为化学工程基本原理,内容包括流体的流动与输送、传热过程、吸收、蒸馏、化学反应器;第二部分为化工生产工艺,内容包括硫酸工业、合成氨工业、氯碱工业、纯碱工业、石油化学工业、有机化工、高分子材料工业。

在化学工程基本原理部分,以阐述基本概念、基本理论及基本计算为主,适当拓宽了部分内容。各物理量的量纲采用国际单位制及并用的最新国家标准,采用最常见的通用公式和数据。在化工生产工艺部分,尽量介绍新产品、新技术、新工艺,落实节能减排、保护环境、提高经济效益的理念,凸显内容的时代性、新颖性。

本书可供高等师范院校化学类专业用作教材,也可供相关专业选用。

### 图书在版编目(CIP)数据

化学工艺学/潘鸿章 主编. —北京:高等教育出版社,2010.7

ISBN 978-7-04-028876-6

I. ①化… II. ①潘… III. ①化工过程-工艺学-师范大学-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 082527 号

策划编辑	殷 英	责任编辑	刘 佳	封面设计	张 志
责任绘图	尹文军	版式设计	张 岚	责任校对	刘 莉
责任印制	张泽业				

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a> <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a> <a href="http://wwwq.landaco.com.cn">http://wwwq.landaco.com.cn</a>
印 刷	北京市文林印务有限公司	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×960 1/16	版 次	2010年7月第1版
印 张	26.5	印 次	2010年7月第1次印刷
字 数	490 000	定 价	35.80 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 28876-00

# 前 言

20世纪70年代末,随着改革开放,基础教育迅速恢复与发展,全国各地新建一批高等师范专科学校。教育部为了规范此类学校的课程目标及教学内容,相继组织制订各学科的教学大纲。1982年12月,教育部在重庆江津召开了高等师范专科学校专业各学科教学大纲研讨会,河北师范大学崔恩选和当时在河北省高等教育局高等教育研究室任职的潘鸿章作为学科专家应邀到会参与化学工艺学教学大纲的起草和制订工作,并应高等教育出版社之邀,根据教学大纲,组织编写《化学工艺学》教材。第一版于1985年问世,1990年修订再版。该书从问世至今,已有20多年。在此期间,我国的化学工业迅速发展,新产品、新技术层出不穷。随着高等师范培养模式的改革,大部分高等师范专科学校已升格为四年制本科院校,教学内容也进行了相应的调整和充实。此外,由于基础教育课程的改革,新的中学化学教材增加了许多联系社会生活和生产实际的内容,高中还设置了与“化工”有密切联系的“化学与技术”、“化学与生活”选修课程。为了适应改革和发展的需要,根据高等教育出版社的建议,河北师范大学化学与材料科学学院组织编写了供高等师范院校本科及专科使用的这本《化学工艺学》新教材。

鉴于教育部制订的化学工艺学教学大纲,凸显师范教育特色,本次编写时基本参照大纲规定的内容结构体系。在化学工程基本原理部分,以阐述基本概念、基本理论及基本计算为主,适当拓宽了部分内容。各物理量的量纲采用国际单位制及并用的新国家标准,采用最常见的通用公式和数据。在化工生产工艺部分,尽量介绍新产品、新技术、新工艺,落实节能减排、保护环境、提高经济效益的理念,凸显内容的时代性、新颖性。

本书由河北师范大学潘鸿章任主编,并编写第九、十、十一、十二章,河北师范大学王瑞芝编写第三、四、五、七章,河北师范大学崔振水编写第一、二、六、八章。在编写过程中得到了河北师范大学有关部门及化学与材料科学学院孟令鹏教授、马子川教授等的大力支持,在此表示感谢。

本书由北京师范大学张文朴教授主审,提出了许多宝贵意见和建议。高等教育出版社殷英、刘佳同志为本书的出版付出了辛勤劳动。在此谨表示衷心感谢。

本书编写时参考了崔恩选教授主编的《化学工艺学》以及大量书刊文献资料，谨向各位作者表示敬意和感谢。

由于编者水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2009年9月

# 目 录

绪论 .....	1
§ 1 化学工业的分类 .....	1
1.1 按产品的类型划分 .....	1
1.2 按产品的用途划分 .....	2
1.3 按使用的原料划分 .....	2
§ 2 化工生产的单元过程 .....	2
§ 3 化学工艺学的课程内容 .....	3
§ 4 化学工艺学中的一些基本概念 .....	3
4.1 物料衡算 .....	3
4.2 能量衡算 .....	4
4.3 平衡关系 .....	4
4.4 过程速率 .....	5
4.5 经济核算 .....	5
第一章 流体的流动过程与输送机械 .....	6
§ 1 概述 .....	6
1.1 化工生产中流体的流动过程与输送机械 .....	6
1.2 理想流体与实际流体 .....	7
§ 2 流体静力学及其应用 .....	7
2.1 流体静力学中的重要物理量 .....	7
2.2 流体静力学基本方程 .....	9
2.3 流体静力学基本方程的应用 .....	10
§ 3 流体稳态流动时的物料衡算和能量衡算 .....	12
3.1 稳态流动和非稳态流动 .....	12
3.2 流体稳态流动时的流量与流速 .....	13
3.3 流体稳态流动时的物料衡算——连续性方程 .....	14
3.4 流体稳态流动时的能量衡算——伯努利方程 .....	15
§ 4 实际流体的流动过程与阻力计算 .....	19

4.1	流体的黏度	19
4.2	流体流动的型态	20
4.3	实际流体流动过程的阻力计算	23
§ 5	流体流量的测量	29
5.1	差压式流量计——孔板流量计	29
5.2	文丘里流量计	30
5.3	转子流量计	31
§ 6	流体输送机械	32
6.1	液体输送机械——泵	32
6.2	气体输送与压缩机械	39
	复习题	42
	习题	43

<b>第二章</b>	<b>传热过程</b>	45
§ 1	概述	45
1.1	化工生产中的传热过程	45
1.2	传热的基本方式	45
1.3	工业上的换热方法	46
1.4	稳态传热与非稳态传热	47
1.5	传热过程中的基本物理量	47
§ 2	传导传热基本定律	48
2.1	传导传热基本方程——傅里叶定律	48
2.2	物质的导热系数	48
2.3	傅里叶定律的应用	49
§ 3	对流传热基本定律	52
3.1	对流传热机理分析	52
3.2	对流给热方程——牛顿冷却定律	53
3.3	对流给热系数及其影响因素	54
§ 4	热交换的计算	57
4.1	总传热速率方程	58
4.2	热交换的计算	61
§ 5	强化传热过程的途径	67
5.1	增大传热面积	67
5.2	增大传热平均温度差	67
5.3	提高总传热系数	68

§ 6 换热器 .....	68
6.1 间壁式换热器的种类及主要类型 .....	68
6.2 列管式换热器 .....	71
复习题 .....	74
习题 .....	74
<b>第三章 吸收 .....</b>	<b>76</b>
§ 1 概述 .....	76
1.1 吸收及其在化工生产中的应用 .....	76
1.2 吸收操作的分类 .....	77
1.3 吸收剂的选择 .....	77
1.4 吸收流程简述 .....	78
§ 2 吸收的相平衡 .....	80
2.1 吸收的相平衡 .....	80
2.2 亨利定律 .....	81
2.3 相平衡与吸收过程的关系 .....	85
§ 3 吸收机理和吸收速率 .....	85
3.1 吸收过程的机理 .....	85
3.2 吸收速率方程 .....	88
§ 4 强化吸收的途径 .....	92
4.1 提高总吸收系数 .....	92
4.2 增大吸收推动力 .....	93
4.3 增大气液接触面积 .....	93
§ 5 填料吸收塔的计算 .....	94
5.1 吸收塔物料衡算 .....	94
5.2 吸收剂的用量 .....	95
5.3 填料塔直径的计算 .....	98
5.4 填料层高度的计算 .....	100
§ 6 典型吸收设备 .....	103
6.1 填料 .....	104
6.2 填料塔附件 .....	105
复习题 .....	107
习题 .....	107
<b>第四章 蒸馏 .....</b>	<b>109</b>
§ 1 概述 .....	109



§ 2 气液相平衡 .....	110
2.1 双组分理想物系的气液平衡关系 .....	110
2.2 双组分理想物系的气液平衡相图 .....	113
2.3 双组分非理想物系的气液平衡 .....	114
§ 3 蒸馏方式 .....	115
3.1 简单蒸馏 .....	115
3.2 平衡蒸馏 .....	116
3.3 精馏 .....	117
§ 4 双组分连续精馏的计算 .....	119
4.1 计算的基本假设 .....	119
4.2 全塔物料衡算 .....	120
4.3 操作线方程 .....	121
4.4 进料热状况及进料方程 .....	123
4.5 理论塔板数 .....	124
4.6 回流比对精馏的影响及选择 .....	127
4.7 塔高和塔径的计算 .....	131
§ 5 间歇精馏 .....	132
5.1 间歇精馏的流程 .....	132
5.2 间歇精馏的回流比控制 .....	133
§ 6 精馏塔 .....	134
6.1 板式塔的结构 .....	134
6.2 塔板的结构 .....	135
复习题 .....	138
习题 .....	138

## 第五章 化学反应工程——反应器基本原理 .....

§ 1 概述 .....	140
1.1 化学反应工程学 .....	140
1.2 化学反应器的分类 .....	141
1.3 流体在反应器内的流动模型 .....	144
1.4 反应器的物料衡算 .....	145
§ 2 间歇釜式反应器 .....	145
2.1 间歇釜式反应器的特点 .....	145
2.2 反应时间的计算 .....	146
2.3 反应器容积的计算 .....	149

§ 3 管式反应器 .....	150
3.1 管式反应器的特点 .....	150
3.2 反应器容积的计算 .....	150
3.3 空间时间与空间速率 .....	152
§ 4 连续釜式反应器 .....	154
4.1 连续釜式反应器的特点 .....	154
4.2 反应器容积的计算 .....	154
4.3 返混及其对化学反应的影响 .....	156
4.4 多釜串联反应器 .....	158
§ 5 均相反应器的性能比较与选择 .....	160
5.1 平行反应 .....	161
5.2 连串反应 .....	162
5.3 反应器型式的选择 .....	163
§ 6 气—固相催化反应器 .....	164
6.1 固体催化剂简介 .....	164
6.2 气—固相催化反应过程 .....	165
6.3 固定床催化反应器 .....	167
6.4 流化床催化反应器 .....	170
复习题 .....	173
习题 .....	173
<b>第六章 硫酸工业 .....</b>	<b>175</b>
§ 1 概述 .....	175
1.1 硫酸工业在国民经济中的重要地位 .....	175
1.2 硫酸工业的发展概况 .....	176
1.3 我国硫酸工业的发展及现状 .....	176
§ 2 生产硫酸的原料和原则流程 .....	179
2.1 硫黄 .....	179
2.2 硫铁矿 .....	179
2.3 含硫工业烟气 .....	181
2.4 硫酸盐 .....	181
§ 3 二氧化硫炉气的制备 .....	181
3.1 硫铁矿焙烧的反应原理和操作条件分析 .....	182
3.2 沸腾焙烧炉的构造和操作原理 .....	184
§ 4 炉气的净化与干燥 .....	186

4.1	炉气净化的目的和净化原理	186
4.2	炉气净化流程与主要设备	187
4.3	二氧化硫炉气的干燥	189
§ 5	二氧化硫的催化氧化	191
5.1	平衡常数和平衡转化率	191
5.2	催化剂和二氧化硫催化氧化反应动力学	193
5.3	生产控制因素讨论	195
5.4	二氧化硫催化氧化的工艺流程与转化器	197
§ 6	三氧化硫的吸收成酸	200
6.1	三氧化硫的吸收原理和操作条件	200
6.2	三氧化硫吸收工艺流程及设备	201
§ 7	接触法生产硫酸的全流程	202
7.1	典型硫铁矿制酸工艺流程	202
7.2	典型硫黄制酸工艺流程	203
§ 8	硫酸生产中能量回收利用和“三废”的综合治理	204
8.1	硫酸生产中热能的回收利用	204
8.2	硫酸生产中“三废”的综合治理	205
	复习题	208

## 第七章 合成氨工业 209

§ 1	概述	209
1.1	合成氨工业在国民经济中的作用及发展概况	209
1.2	生产方法简介	210
§ 2	氨合成反应的热力学基础	211
2.1	反应特点	211
2.2	化学平衡	211
2.3	平衡氨含量	213
2.4	平衡氨含量的影响因素	214
§ 3	氨合成反应的动力学基础	215
3.1	催化剂	215
3.2	反应机理和动力学方程	217
3.3	反应速率的影响因素	218
§ 4	原料气的生产	220
4.1	以固体燃料为原料生产原料气	220
4.2	以烃类为原料生产原料气	226

§ 5 原料气的净化 .....	229
5.1 脱硫 .....	229
5.2 一氧化碳变换 .....	231
5.3 二氧化碳的脱除 .....	236
5.4 原料气的精制 .....	237
§ 6 氨的合成 .....	238
6.1 工艺条件 .....	239
6.2 氨合成塔 .....	241
6.3 工艺流程 .....	242
复习题 .....	245

<b>第八章 氯碱工业 .....</b>	<b>246</b>
§ 1 氯碱工业发展概况 .....	246
§ 2 食盐水溶液电解的理论基础 .....	247
2.1 离子放电顺序 .....	247
2.2 法拉第电解定律 .....	247
2.3 理论分解电压和槽电压 .....	248
2.4 电流效率 .....	251
2.5 电能消耗 .....	251
2.6 食盐水溶液电解过程的电极反应和副反应 .....	252
§ 3 食盐水溶液电解工艺及其进展 .....	253
3.1 金属阳极隔膜法 .....	254
3.2 离子膜法 .....	257
§ 4 隔膜法电解食盐水溶液的工艺流程 .....	259
4.1 饱和食盐水的制备和精制 .....	260
4.2 食盐水溶液的电解 .....	262
§ 5 电解产物的后处理 .....	263
5.1 电解碱液的蒸发与固体烧碱的生产 .....	263
5.2 氯气后处理和液氯 .....	266
5.3 氢气后处理 .....	266
§ 6 合成盐酸 .....	266
6.1 盐酸的生产方法 .....	267
6.2 合成 HCl 的物理化学基础 .....	267
6.3 合成工艺条件的选择 .....	267
6.4 合成反应的设备和流程 .....	268

复习题 .....	269
<b>第九章 纯碱工业</b> .....	271
§ 1 纯碱工业概述 .....	271
§ 2 氨碱法生产纯碱 .....	272
2.1 石灰石煅烧与石灰乳制备 .....	273
2.2 盐水的制备与净化 .....	274
2.3 精盐水的氨化 .....	275
2.4 氨盐水的碳酸化 .....	277
2.5 碳酸氢钠的过滤与煅烧 .....	279
2.6 氨的回收 .....	282
2.7 氨碱法制纯碱的生产流程 .....	284
§ 3 联合法生产纯碱和氯化铵 .....	285
3.1 联碱法的主要生产过程 .....	286
3.2 联碱法制氯化铵的结晶原理 .....	286
3.3 联碱法生产的工艺流程 .....	288
复习题 .....	290
<b>第十章 石油化学工业</b> .....	291
§ 1 概述 .....	291
1.1 石油化工的发展 .....	291
1.2 石油的组成、分类及性质 .....	292
1.3 石油化工生产体系 .....	293
§ 2 石油炼制 .....	294
2.1 原油炼制方案 .....	294
2.2 常减压蒸馏 .....	296
2.3 催化裂化 .....	298
2.4 加氢裂化 .....	303
§ 3 裂解 .....	305
3.1 裂解反应 .....	305
3.2 裂解工艺条件 .....	307
3.3 裂解炉与裂解流程 .....	308
3.4 裂解气的净化 and 深冷分离 .....	309
§ 4 催化重整 .....	314
4.1 催化重整 .....	314

4.2	催化剂与工艺条件	316
4.3	重整流程	316
4.4	芳烃的分离	317
§ 5	石油的化工利用	319
5.1	天然气的化工利用	320
5.2	石油的化工利用	321
§ 6	石油化工生产中的环境保护	321
6.1	污染物的来源	322
6.2	污染的防治	322
	复习题	324
<b>第十一章</b>	<b>有机化工</b>	<b>325</b>
§ 1	概述	325
1.1	有机化工的发展	325
1.2	有机化工的种类	326
1.3	有机化工的生产特点	326
1.4	有机化工的发展方向	328
§ 2	甲醇的生产	330
2.1	低压法合成甲醇的反应原理	330
2.2	低压法合成甲醇的工艺条件	331
2.3	低压法合成甲醇的工艺流程	333
2.4	低压法合成甲醇的反应器	333
§ 3	丙烯腈的生产	336
3.1	丙烯腈的生产方法和反应原理	336
3.2	丙烯氨氧化法的工艺条件	338
3.3	丙烯氨氧化法的工艺流程	340
3.4	丙烯腈生产过程中的废物处理	342
3.5	丙烯氨氧化合成反应器	342
§ 4	苯乙烯的生产	344
4.1	乙苯脱氢制苯乙烯的反应原理	344
4.2	乙苯脱氢的生产工艺条件	345
4.3	乙苯脱氢的生产工艺流程	346
	复习题	351
<b>第十二章</b>	<b>高分子材料工业</b>	<b>352</b>
§ 1	塑料	352

1.1 塑料工业概述 .....	352
1.2 聚氯乙烯的生产 .....	359
1.3 酚醛树脂的生产 .....	363
1.4 塑料的加工成型 .....	365
§ 2 合成纤维 .....	367
2.1 合成纤维工业概述 .....	367
2.2 聚酰胺纤维 .....	370
2.3 聚酯纤维 .....	373
2.4 聚丙烯腈纤维 .....	374
2.5 合成纤维的新品种 .....	376
§ 3 合成橡胶 .....	377
3.1 橡胶工业的发展 .....	378
3.2 主要合成橡胶的性能和用途 .....	379
3.3 丁苯橡胶的生产 .....	380
3.4 顺丁橡胶的生产 .....	382
3.5 热塑性弹性体 .....	383
复习题 .....	387

<b>附录</b> .....	388
附录一 常用的量和单位 .....	388
附录二 化工生产常用的法定计量单位 .....	390
附录三 法定计量单位的使用规则 .....	391
附录四 常用单位的换算 .....	392
附录五 常用物质的黏度 .....	395
附录六 常用固体的导热系数 .....	396
附录七 某些液体的导热系数 .....	397
附录八 不同温度下某些气体的导热系数 .....	398
附录九 干空气的物理性质 .....	399
附录十 水的物理性质 .....	400
附录十一 饱和水蒸气表 .....	401
附录十二 饱和水蒸气表 .....	403
<b>主要参考文献</b> .....	405

# 绪 论

## § 1 化学工业的分类

化学工业是指生产过程中化学方法占主要地位的制造工业,是利用化工生产技术将原料转化为化学产品的工业。化学工业不仅为了满足人类需要提供生活资料,还为化工生产行业提供再加工的生产资料。因此说化学工业是一个多行业、多品种的产业。

化学工业可从不同角度进行分类。

### 1.1 按产品的类型划分

可分为:无机化学工业、有机化学工业、高分子化学工业和精细化学工业四大类。

#### 1.1.1 无机化学工业

① 基本无机化工。包括无机酸、碱、盐及化肥的生产。

② 电化学工业。包括电解食盐水制烧碱、氯气、盐酸;电解熔融盐制取钠、镁等金属。

③ 硅酸盐工业。包括玻璃、陶瓷、水泥、耐火材料的生产。

④ 冶金工业。包括钢铁、有色金属、稀有金属的冶炼。

⑤ 矿物性颜料工业。

#### 1.1.2 有机化学工业

① 石油炼制及化学加工工业。

② 煤的焦化及煤焦油加工工业。

③ 基本有机合成工业。以一氧化碳、甲烷、乙炔、乙烯、丁二烯以及芳烃等为基础原料,合成醇、醛、酸、酮、酯等。

④ 食品化学工业。包括制糖、淀粉、油脂、酒类等食品的生产。

⑤ 纤维素化学工业。以天然纤维素为原料的造纸、人造纤维、胶片等的生产。

#### 1.1.3 高分子化学工业

包括塑料、合成纤维、合成橡胶、黏合剂、功能高分子材料的生产。

#### 1.1.4 精细化学工业

包括生产电子及信息技术材料、催化剂、分子筛、化学试剂、染料、医药、农



药、助剂、洗涤剂、香料等。

## 1.2 按产品的用途划分

可分为：国防化工、材料化工、农用化工、日用化工、建筑化工、信息化工、能源化工、环境化工、食品化工、医药化工等。

## 1.3 按使用的原料划分

可分为：煤化工、石油和天然气化工、矿产化工、海洋化工、生物化工、林产化工等。

此外，还有一些其他划分方法。这些分类都是相对的，是可以随形势发展而改变的。如冶金工业，水泥等建材工业，化纤工业，造纸、医药和食品化学工业等，由于它们在国民经济中的重要性和生产的特殊性，为了便于管理而将它们从化学工业中分离出来。

## §2 化工生产的单元过程

化工生产的部门和产品种类繁多，生产过程更是千差万别。但是，统观这些过程，不难看出它们都是由粉碎、混合、加热、冷却、蒸发、干燥、蒸馏等单元操作，以及各种化学反应，以不同形式排列组合而成的。将不同化工生产部门中所共有的单元操作和化学反应过程集中起来进行研究，便逐渐形成了一种学科体系——化学工程。化学工程是研究各种化工生产过程的基本原理及内在规律，并根据原理提出并解决生产中设备机械的设计和选择等工程问题的技术科学。在化学工程中所讨论的具有共性的主要过程及单元操作，可以归纳为下列几种。

流体动力过程——流体流动及输送，流体中悬浮物的沉降、过滤，物料的搅拌等。

传热过程——加热、冷却、蒸发、冷凝、热交换等。

传质过程——溶解、结晶、萃取、蒸馏、吸收、吸附等。

化学反应过程——包括各种类型的化学变化过程。由于化学反应种类繁多，反应机理不同，各具特点，因而各类化学反应过程使用的反应器结构、功能均有很大的差别，常用的有釜式反应器、流化床反应器、固定床反应器、高压管式反应器等。

以上这些过程的基本理论可以概括起来称为“三传一反”，即动量传递、热量传递、质量传递和化学反应工程。