



全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

供药物制剂、制药工程、生物制药专业用

化工原理

(第3版)

□ 主编 何志成



网络增值服务
textbook.cnstip.com

中国医药科技出版社

|全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

化 工 原 理

(供药物制剂、制药工程、生物制药专业用)

第 3 版

主 编 何志成

副主编 邵 伟 焦淑清 汪铁林

编 委 (按姓氏笔画排序)

王立红 (沈阳药科大学)

礼 彤 (沈阳药科大学)

何志成 (沈阳药科大学)

汪铁林 (武汉工程大学)

邵 伟 (山东大学医学院)

董登祥 (贵阳中医学院)

程岳山 (泰山医学院)

焦淑清 (佳木斯大学药学院)

中国医药科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理 / 何志成主编. —3 版. —北京: 中国医药科技出版社, 2015. 8

全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

ISBN 978-7-5067-7411-6

I. ①化… II. ①何… III. ①化工原理-医学院校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 164014 号

中国医药科技出版社官网 www.cmstp.com	医药类专业图书、考试用书及 健康类图书查询、在线购买
网络增值服务官网 textbook.cmstp.com	医药类教材数据资源服务

美术编辑 陈君杞

版式设计 郭小平

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲 22 号

邮编 100082

电话 发行: 010-62227427 邮购: 010-62236938

网址 www.cmstp.com

规格 787×1092mm $\frac{1}{16}$

印张 29 $\frac{3}{4}$

字数 609 千字

初版 2007 年 7 月第 1 版

版次 2015 年 8 月第 3 版

印次 2015 年 8 月第 1 次印刷

印刷 河北新华第一印刷有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978-7-5067-7411-6

定价 69.00 元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

常务编委会

名誉主任委员	邵明立 林蕙青
主任委员	吴晓明 (中国药科大学)
副主任委员	(以姓氏笔画为序)
	刘俊义 (北京大学药学院)
	匡海学 (黑龙江中医药大学)
	朱依谆 (复旦大学药学院)
	郭 姣 (广东药学院)
	毕开顺 (沈阳药科大学)
	吴少楦 (中国医药科技出版社)
	吴春福 (沈阳药科大学)
	张志荣 (四川大学华西药学院)
	姚文兵 (中国药科大学)
	彭 成 (成都中医药大学)
委 员	(以姓氏笔画为序)
	王应泉 (中国医药科技出版社)
	田景振 (山东中医药大学)
	李 高 (华中科技大学同济医学院药学院)
	李元建 (中南大学药学院)
	李青山 (山西医科大学药学院)
	杨 波 (浙江大学药学院)
	杨世民 (西安交通大学医学部)
	陈思东 (广东药学院)
	侯爱君 (复旦大学药学院)
	宫 平 (沈阳药科大学)
	祝晨蓀 (广州中医药大学)
	柴逸峰 (第二军医大学药学院)
	黄 园 (四川大学华西药学院)
	朱卫丰 (江西中医药大学)
秘 书	夏焕章 (沈阳药科大学)
	徐晓媛 (中国药科大学)
	黄泽波 (广东药学院)
	浩云涛 (中国医药科技出版社)
	赵燕宜 (中国医药科技出版社)

出版说明

全国高等医药院校药学类规划教材，于 20 世纪 90 年代启动建设，是在教育部、国家食品药品监督管理总局的领导和指导下，由中国医药科技出版社牵头中国药科大学、沈阳药科大学、北京大学药学院、复旦大学药学院、四川大学华西药学院、广东药学院、华东科技大学同济药学院、山西医科大学、浙江大学药学院、复旦大学药学院、北京中医药大学等 20 余所院校和医疗单位的领导和专家成立教材常务委员会共同组织规划，在广泛调研和充分论证基础上，于 2014 年 5 月组织全国 50 余所本科院校 400 余名教学经验丰富的专家教师历时一年余不辞辛劳、精心编撰而成。供全国药学类、中药学专业教学使用的本科规划教材。

本套教材坚持“紧密结合药学类专业培养目标以及行业对人才的需求，借鉴国内外药学教育、教学的经验和成果”的编写思路，20 余年来历经三轮编写修订，逐渐形成了一套行业特色鲜明、课程门类齐全、学科系统优化、内容衔接合理的高质量精品教材，深受广大师生的欢迎，其中多数教材入选普通高等教育“十一五”“十二五”国家级规划教材，为药学本科教育和药学人才培养，做出了积极贡献。

第四轮规划教材，是在深入贯彻落实教育部高等教育教学改革精神，依据高等药学教育培养目标及满足新时期医药行业高素质技术型、复合型、创新型人才需求，紧密结合《中国药典》、《药品生产质量管理规范》（GMP）、《药品非临床研究质量管理规范》（GLP）、《药品经营质量管理规范》（GSP）等新版国家药品标准、法律法规和 2015 年版《国家执业药师资格考试大纲》编写，体现医药行业最新要求，更好地服务于各院校药学教学与人才培养的需要。

本轮教材的特色：

1. 契合人才需求，体现行业要求 契合新时期药学人才需求的变化，以培养创新型、应用型人才并重为目标，适应医药行业要求，及时体现 2015 年版《中国药典》及新版 GMP、新版 GSP 等国家标准、法规和规范以及新版国家执业药师资格考试等行业最新要求。

2. 充实完善内容，打造教材精品 专家们在上一轮教材基础上进一步优化、

精炼和充实内容。坚持“三基、五性、三特定”，注重整套教材的系统科学性、学科的衔接性。进一步精简教材字数，突出重点，强调理论与实际需求相结合，进一步提高教材质量。

3. 创新编写形式，便于学生学习 本轮教材设有“学习目标”“知识拓展”“重点小结”“复习题”等模块，以增强学生学习的目的性和主动性及教材的可读性。

4. 丰富教学资源，配套增值服务 在编写纸质教材的同时，注重建设与其配套的网络教学资源，以满足立体化教学要求。

第四轮规划教材共涉及核心课程教材 53 门，供全国医药院校药学类、中药学类专业教学使用。本轮规划教材更名两种，即《药学文献检索与利用》更名为《药学信息检索与利用》，《药品经营管理 GSP》更名为《药品经营管理——GSP 实务》。

编写出版本套高质量的全国本科药学类专业规划教材，得到了药学专家的精心指导，以及全国各有关院校领导和编者的大力支持，在此一并表示衷心感谢。希望本套教材的出版，能受到全国本科药学专业广大师生的欢迎，对促进我国药学类专业教育教学改革和人才培养做出积极贡献。希望广大师生在教学中积极使用本套教材，并提出宝贵意见，以便修订完善，共同打造精品教材。

全国高等医药院校药学类规划教材编写委员会

中国医药科技出版社

2015 年 7 月

全国高等医药院校药学类第四轮规划教材书目

教材名称	主 编	教材名称	主 编
公共基础课		26. 医药商品学 (第3版)	刘 勇
1. 高等数学 (第3版)	刘艳杰	27. 药物经济学 (第3版)	孙利华
	黄榕波	28. 药用高分子材料学 (第4版)	方 亮
2. 基础物理学 (第3版)*	李 辛	29. 化工原理 (第3版)*	何志成
3. 大学计算机基础 (第3版)	于 静	30. 药物化学 (第3版)	尤启冬
4. 计算机程序设计 (第3版)	于 静	31. 化学制药工艺学 (第4版)*	赵临襄
5. 无机化学 (第3版)*	王国清	32. 药剂学 (第3版)	方 亮
6. 有机化学 (第2版)	胡 春	33. 工业药剂学 (第3版)*	潘卫三
7. 物理化学 (第3版)	徐开俊	34. 生物药剂学 (第4版)	程 刚
8. 生物化学 (药学类专业通用)		35. 药物分析 (第3版)	于治国
(第2版)*	余 蓉	36. 体内药物分析 (第3版)	于治国
9. 分析化学 (第3版)*	郭兴杰	37. 医药市场营销学 (第3版)	冯国忠
专业基础课和专业课		38. 医药电子商务 (第2版)	陈玉文
10. 人体解剖生理学 (第2版)	郭青龙	39. 国际医药贸易理论与实务	
	李卫东	(第2版)	马爱霞
11. 微生物学 (第3版)	周长林	40. GMP 教程 (第3版)*	梁 毅
12. 药学细胞生物学 (第2版)	徐 威	41. 药品经营质量管理——GSP 实务	梁 毅
13. 医药伦理学 (第4版)	赵迎欢	(第2版)*	陈玉文
14. 药学概论 (第4版)	吴春福	42. 生物化学 (供生物制药、生物技术、	
15. 药学信息检索与利用 (第3版)	毕玉侠	生物工程和海洋药学专业使用)	
16. 药理学 (第4版)	钱之玉	(第3版)	吴梧桐
17. 药物毒理学 (第3版)	向 明	43. 生物技术制药概论 (第3版)	姚文兵
	李 晖	44. 生物工程 (第3版)	王 旻
18. 临床药物治疗学 (第2版)	李明亚	45. 发酵工艺学 (第3版)	夏焕章
19. 药事管理学 (第5版)*	杨世民	46. 生物制药工艺学 (第4版)*	吴梧桐
20. 中国药事法理论与实务 (第2版)	邵 蓉	47. 生物药物分析 (第2版)	张怡轩
21. 药用拉丁语 (第2版)	孙启时	48. 中医药学概论 (第2版)	郭 姣
22. 生药学 (第3版)	李 萍	49. 中药分析学 (第2版)*	刘丽芳
23. 天然药物化学 (第2版)*	孔令义	50. 中药鉴定学 (第3版)	李 峰
24. 有机化合物波谱解析 (第4版)*	裴月湖	51. 中药炮制学 (第2版)	张春风
25. 中医药学基础 (第3版)	李 梅	52. 药用植物学 (第3版)	路金才
		53. 中药生物技术 (第2版)	刘吉华

“*” 示该教材有与其配套的网络增值服务。

前言

化工原理在医药工艺类高等院校中属于工程类专业基础课。

本教材针对工艺类专业工程课时数较少的教学特点而编写，在努力强化“三基五性”、确保课程理论系统和完整性的同时，尽量精炼语言、结合专业、突出重点。

为培养学生从工程的观点提出、分析和解决问题的能力，全书无论从理论阐述，还是在例题、习题的选取上，贯穿、强调理论联系实际；为方便自学，各章之后均附有适量习题及答案。

参编作者均为从教多年并有一定工程实践经验的教师，编写过程中参考了国内外的相关教材和专著，收集了大量的工程常用数据、图表和典型应用实例。本书除用于教学外，对从事科研、设计的一线工程技术人员也具有参考价值。

作为修订教材，本书传承了前版的精华，在兼顾现行教学大纲要求的同时，适度引入了时下化工、制药生产中的最新技术，提升了教材的实用性和新颖性，并在各章节新增了“学习目标”“习题”及“重点小结”，有助于学生学习得法、提高效率。

参加本书编写工作的有：沈阳药科大学何志成（绪论、第一章）、泰山医学院程岳山（第二章、第三章）、武汉工程大学汪铁林（第四章）、贵阳中医学院董登祥（第五章）、山东大学医学院邵伟（第六章）、佳木斯大学药学院焦淑清（第七章）、沈阳药科大学礼彤（第八章）、沈阳药科大学王立红（第九章）。

本书还配套有网络增值服务，方便老师教学和学生自主学习。网络增值服务内容
由本书编者提供，此外佳木斯大学药学院张杰对第七章网络增值服务内容做了大量工作，在此表示感谢。

成书过程中，得到了沈阳药科大学及各编委所属院校领导全方位的支持，得到了原教材编写成员的鼎力帮助，为此次编写工作提供了极大的便利，在此深表感谢。

受编者学识所限，书中不当之处在所难免，诚盼读者赐教，以利教材不断完善。

编者

2015年4月

目 录

绪 论 / 1

一、本课程的内容、性质和任务	1
二、本课程的学习方法	1
三、单位制和单位换算	2

第一章 流体力学基础 / 7

第一节 流体静力学基本方程	7
一、密度、比容和相对密度	7
二、流体的压强	9
三、流体静力学基本方程	10
四、流体静力学方程在实际生产中的应用	11
第二节 流体动力学基本方程	14
一、流量与流速	14
二、稳定流动与不稳定流动	15
三、流体稳定流动时的物料衡算——连续性方程	15
四、流体稳定流动时的机械能衡算——柏努利方程	17
第三节 流体在管内的流动阻力	24
一、流体阻力的表现形式——压降	24
二、流体的黏度	25
三、流体的流动型态	27
四、流体流动时的阻力计算	31
五、管路计算	43
第四节 流速与流量的测量	46
一、测速管（毕托管）	47
二、孔板流量计	48

三、转子流量计	49
---------------	----

第二章 流体输送机械 / 56

第一节 概述	56
第二节 离心泵	56
一、离心泵的结构和作用原理	56
二、离心泵的主要性能	58
三、离心泵的特性曲线	58
四、离心泵的安装高度	60
五、离心泵的流量调节及组合操作	62
六、离心泵的安装和运转	65
七、离心泵的类型	65
第三节 其他类型泵	67
一、正位移泵	67
二、旋涡泵	70
三、流体作用泵	71
第四节 气体输送与压缩机械	71
一、通风机	71
二、鼓风机	74
三、压缩机	74
四、真空泵	76

第三章 非均相物系的分离 / 82

第一节 概述	82
第二节 气态非均相物系的分离	83
一、重力沉降	83
二、离心沉降	87
三、其他气体净制设备	91
第三节 液态非均相物系的分离	93
一、过滤	93
二、离心分离设备——离心机	102

第四章 传 热 / 108

第一节 概述	108
一、传热在化工、制药生产中的应用	108
二、传热的基本方式	109
三、间壁式换热器传热过程与传热速率方程式	109
第二节 热传导	110
一、基本概念	110
二、傅立叶定律	111
三、导热系数	111
四、平壁的稳态热传导	114
五、圆筒壁的稳态热传导	117
第三节 对流传热	120
一、传热系数	121
二、热量衡算式与传热速率方程间的关系	126
三、传热平均温度差	127
四、壁温的计算	133
第四节 对流传热系数的计算	134
一、影响对流传热系数的因素	134
二、对流传热中的量纲分析	135
三、流体无相变时对流传热系数的关联式	136
四、流体有相变时的对流传热系数	144
五、选用对流传热系数关联式的注意事项	149
第五节 热辐射	149
一、基本概念	149
二、物体的辐射能力与斯蒂芬-波尔兹曼定律	150
三、克希霍夫定律	152
四、两固体间的相互辐射	153
五、设备热损失的计算	155
第六节 换热器	156
一、换热器的分类	156
二、间壁式换热器	157
三、列管式换热器的选用	163

四、系列标准换热器的选用步骤	165
五、加热介质与冷却介质	168
六、传热过程的强化	169

第五章 蒸发与结晶 / 176

第一节 蒸发	176
一、蒸发过程的基本概念	176
二、单效蒸发计算	178
三、多效蒸发简介	183
四、蒸发设备	185
第二节 结晶	191
一、结晶原理	191
二、结晶的工业方法及设备	194

第六章 气体吸收 / 199

第一节 概述	199
一、吸收操作的基本概念	199
二、吸收操作中的主要问题	200
三、吸收操作在工业生产中的应用	200
第二节 吸收的基本原理	201
一、气体在液体中的溶解度	201
二、亨利定律	202
三、吸收速率	204
四、双膜理论	207
五、吸收速率方程式	209
第三节 填料吸收塔及吸收工艺计算	216
一、填料吸收塔	216
二、吸收剂用量的计算	220
三、塔径及填料层压强降	225
四、填料层高度	229
五、填料塔的附属设备	244

第四节 其他吸收设备	248
一、工业用吸收罐	248
二、喷洒式吸收器	248
三、湍球塔	249

第七章 蒸 馏 / 255

第一节 概述	255
第二节 基本概念	256
一、完全互溶液体混合物的相平衡	256
二、相对挥发度	259
第三节 精馏过程	261
一、精馏原理	261
二、精馏塔和精馏操作流程	264
第四节 双组分溶液连续精馏的计算	265
一、全塔物料衡算	265
二、操作线方程	266
三、进料热状态的影响和 q 线方程	269
四、理论板数的求法	271
五、回流比的影响及其选择	276
六、简捷法求理论板数	280
七、实际板数与塔效率	282
八、塔径与塔高的计算	284
第五节 间歇蒸馏	287
一、简单蒸馏的原理与计算	287
二、间歇精馏	288
第六节 特殊蒸馏	291
一、恒沸蒸馏	292
二、萃取蒸馏	294
三、水蒸气蒸馏	295
四、分子蒸馏	297
第七节 塔设备	301
一、精馏操作对塔设备的要求	301

二、塔板结构	301
三、塔板的流体力学状况	302
四、塔板负荷性能图	305
五、常用塔板类型	306

第八章 萃 取 / 313

第一节 概述	313
一、萃取过程	313
二、萃取在工业生产中的应用	314
三、液-液萃取中常见的物系和萃取流程	315
第二节 液-液萃取的相平衡及萃取速度	318
一、液-液萃取的相平衡	318
二、液-液萃取过程的速度	324
三、萃取剂的选择原则	325
第三节 萃取过程的工艺计算	328
一、萃取剂与原溶剂部分互溶物系的萃取工艺计算	329
二、萃取剂与原溶剂不互溶物系的萃取工艺计算	339
第四节 液-液萃取设备	344
一、液-液萃取设备概述	344
二、萃取设备的主要类型	346
三、萃取设备的选择	351
第五节 固-液萃取	352
一、固-液萃取概述	352
二、影响固-液萃取的因素	353
三、固-液萃取的方法与设备	354
四、超声波与微波强化浸取	358
第六节 超临界流体萃取	361
一、超临界流体萃取的基本原理	361
二、影响超临界 CO_2 流体萃取的主要因素	362
三、超临界流体萃取的典型流程	363
四、超临界流体萃取的特点	364

第九章 固体干燥 / 369

第一节 概述	369
第二节 湿空气的性质	371
一、水蒸气分压	371
二、湿度 (湿含量)	371
三、相对湿度	372
四、湿空气的比容	372
五、湿空气的比热	373
六、湿空气的焓	374
七、干球温度与湿球温度	374
八、绝热饱和温度	376
九、露点	377
第三节 湿空气的焓湿图	379
一、焓湿图的绘制原理	379
二、焓湿图的使用	381
第四节 干燥计算	383
一、物料衡算	383
二、热量衡算	386
三、干燥器的热效率	390
四、干燥时间的计算	391
第五节 干燥器	399
一、厢式干燥器	399
二、气流干燥器	400
三、流化床干燥器	402
四、转筒干燥器	405
五、喷雾干燥器	406
六、滚筒干燥器	408
七、冷冻干燥器	409
八、红外线辐射干燥	409
九、微波干燥	410
十、干燥器的选型	411
第六节 干燥器设计举例	412
一、干燥操作条件的确定	412

二、气流干燥器的设计	414
------------------	-----

附 录 / 423

一、各种重要数据	423
二、管内各种流体常用流速	447
三、管子规格 (摘录)	447
四、壁面污垢的热阻 (污垢系数)	450
五、标准筛目	451
六、泵规格 (摘录)	452
七、4-72-11 型离心通风机规格 (摘录)	455
八、管板式热交换器系列标准 (摘录)	456

参考文献 / 458

绪 论

一、本课程的内容、性质和任务

化工原理是一门研究化工单元操作科学规律、指导化工生产实践的工程学科。

所谓单元操作是指化工生产过程中除化学反应外的基本物理过程（诸如流体输送、传热、蒸发、吸收、蒸馏、萃取、干燥等），是组成生产工艺的基本单位。

单元操作在化工、制药生产实际中占有重要地位。不同工艺中的相同单元操作、基本原理和典型设备都是一样的。例如，制碱工业中苛性钠溶液的浓缩与制药工业中葡萄糖溶液的浓缩，都是通过蒸发单元操作来实现的，它们共同遵循热交换原理并且都采用蒸发器。

化工单元操作所遵循的规律可归纳成以下几个基本过程。

1. **动量传递过程** 流动的基本规律以及相关的单元操作，如流体的输送与压缩、沉降、过滤等。

2. **热量传递过程** 研究传热过程的基本规律及相关的单元操作，如传热、蒸发、结晶等。热量传递过程又被称为传热过程。

3. **质量传递过程** 研究物质通过相界面迁移过程的基本规律及受这些规律支配的一些单元操作，如吸收、蒸馏、萃取、干燥等。质量传递过程又被称为传质过程。

4. **热力学过程** 研究热力学的基本规律及遵循这些规律的单元操作，如冷冻及深度冷冻等（由于篇幅所限，本书不介绍冷冻单元操作）。

对制药工艺类院校的学生来说，《化工原理》是一门基于高等数学、物理及物理化学等基础课程而开设的工程类专业基础课。

课程开设目的为：使学生掌握常见化工单元操作的基本原理、熟悉典型设备的构造及工艺参数确定（或选型）；培养学生从工程观点提出、分析和解决各种问题能力，帮助学生缩短日后步入制药生产一线必须经历的思维磨合期，早日成为被社会认可的人才。

二、本课程的学习方法

“理论推导加经验数据”是工程类课程从过程到结果的一般研习规律，本课程也是如此。在研究各种单元操作时，通常把物料衡算及能量衡算作为研究手段，并依此确定实际生产过程中各物料之间的数量及组成关系、吸收或释放的能量、实现过程所需的设备选型等，最终从工程的观点判断该过程的技术可行性和经济合理性。

本课程所涉及的基本原理如下。

1. **质量守恒** 质量守恒是宇宙间一切物质发生变化时恪守的必然规律。在化工及制药生产中，尽管物质状态随着过程的进行不断变化，但对某个指定系统或设备而言，始终符合