



卫生部“十二五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材

全国高等学校药学专业第七轮规划教材

供药学类专业用

制药工程原理与设备

第2版

主 编 王志祥

副主编 杜 薇



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

卫生部“十二五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材
全国高等学校药学专业第七轮规划教材
供药学类专业用

制药工程原理与设备

第2版

主 编 王志祥

副主编 杜 薇

编 者 (以姓氏笔画为序)

王志祥 (中国药科大学)

叶代堃 (湖北中医学院)

田青平 (山西医科大学)

吕惠卿 (浙江中医药大学)

杜 薇 (贵阳中医学院)

杨绮云 (哈尔滨商业大学药学院)

李忠思 (承德医学院)

肖学风 (天津中医药大学)

张红刚 (湖南中医药大学)

武法文 (中国药科大学)

殷鹏辉 (河南中医学院)

董铁有 (河南科技大学化工与制药学院)

臧恒昌 (山东大学药学院)

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制药工程原理与设备/王志祥主编. —2 版. —北京:
人民卫生出版社, 2011. 7

ISBN 978-7-117-14313-4

I. ①制… II. ①王… III. ①制药工业-化工原理-高等学校-教材 ②制药工业-化工设备-高等学校-教材 IV. ①TQ460

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 068484 号

门户网: www.pmph.com 出版物查询、网上书店
卫人网: www.ipmph.com 护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

制药工程原理与设备 第 2 版

主 编: 王志祥

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

010-59787586 010-59787592

印 刷: 潮河印业有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 27

字 数: 656 千字

版 次: 2007 年 8 月第 1 版 2011 年 7 月第 2 版第 2 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-14313-4/R · 14314

定 价: 40.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

卫生部“十二五”规划教材 全国高等学校药学类专业第七轮规划教材

出版说明

全国高等学校药学类专业本科卫生部规划教材是我国最权威的药学类专业教材,于1979年出版第一版,1987年、1993年、1998年、2003年、2007年进行了5次修订,并于2007年出版了第六轮规划教材。第六轮规划教材主干教材29种,全部为卫生部“十一五”规划教材,其中22种为教育部规划的普通高等教育“十一五”国家级规划教材;配套教材25种,全部为卫生部“十一五”规划教材,其中3种为教育部规划的普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本次修订编写出版的第七轮规划教材中主干教材共30种,其中修订第六轮规划教材28种。《生物制药工艺学》未修订,沿用第六轮规划教材;新编教材2种,《临床医学概论》、《波谱解析》;配套教材21种,其中修订第六轮配套教材18种,新编3种。全国高等学校药学专业第七轮规划教材及其配套教材均为卫生部“十二五”规划教材、全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材,具体品种详见出版说明所附书目。

该套教材曾为全国高等学校药学类专业唯一一套统编教材,后更名为规划教材,具有较高的权威性和一流水平,为我国高等教育培养大批的药学专业人才发挥了重要作用。随着我国高等教育体制改革的不断深入发展,药学类专业办学规模不断扩大,办学形式、专业种类、教学方式亦呈多样化发展,我国高等药学教育进入了一个新的时期。同时,随着国家基本药物制度建设的不断完善及相关法规政策、标准等的出台,以及《中国药典》(2010年版)的颁布等,对高等药学教育也提出了新的要求和任务。此外,我国新近出台的《医药卫生中长期人才发展规划(2011—2020年)》对我国高等药学教育和药学专门人才的培养提出了更高的目标和要求。为跟上时代发展的步伐,适应新时期我国高等药学教育改革和发展的要求,培养合格的药学专门人才,以满足我国医药卫生事业发展的需要,从而进一步做好药学类专业本科教材的组织规划和质量保障工作,全国高等学校药学专业教材第三、第四届评审委员会围绕药学专业第六轮教材使用情况、药学教育现状、新时期药学领域人才结构等多个主题,进行了广泛、深入地调研,并对调研结果进行了反复、细致地分析论证。根据药学专业教材评审委员会的意见和调研、论证的结果,全国高等医药教材建设研究会、人民卫生出版社决定组织全国专家对第六轮教材进行修订,并根据教学需要组织编写了部分新教材。

药学类专业第七轮规划教材的编写修订,坚持紧紧围绕全国高等学校药学类专业(本科)教育和人才培养目标要求,突出药学专业特色,以教育部新的药学教育纲要为基础,以国家执业药师资格准入标准为指导,按照卫生部等相关部门及行业用人要求,强调培养目标与用人要求相结合,在继承和巩固前六轮教材建设工作成果的基础上,不断创新

和发展,进一步提高教材的水平和质量。同时还特别注重学生的创新意识和实践能力培养,注重教材整体优化,提高教材的适应性和可读性,更好地满足教学的需要。

为了便于学生学习、教师授课,在做好传承的基础上,本轮教材在编写形式上有所创新,采用了“模块化编写”。教材各章开篇,以普通高等学校药学本科教学要求为标准编写“学习要求”,正文中根据课程、教材特点有选择性地增加“知识链接”“实例解析”“知识拓展”“小结”。为给希望进一步学习的学生提供阅读建议,部分教材在“小结”后增加了“选读材料”。

需要特别说明的是,全国高等学校药学专业第三届教材评审委员会成立于2001年,至今已10年,随着教育教学改革的发展和专家队伍的发展变化,根据教材建设工作的需要,在修订编写本轮规划教材之初,全国高等医药教材建设研究会、人民卫生出版社对第三届教材评审委员会进行了改选换届,成立了第四届教材评审委员会。无论新老评审委员,都为本轮教材工作做出了重要贡献,在此向他们表示衷心的感谢!

由于众多学术水平一流和教学经验丰富的专家教授都积极踊跃和严谨认真地参与本套教材的编写,从而使教材的质量得到不断完善和提高,并被广大师生所认同。在此我们对长期支持本套教材编写修订的专家和教师及同学们表示诚挚的感谢!

本轮教材出版后,各位教师、学生在使用过程中,如发现问题请反馈给我们,以便及时更正和修订完善。

全国高等医药教材建设研究会
人民卫生出版社
2011年5月

卫生部“十二五”规划教材 全国高等学校药学类专业 第七轮规划教材书目

序号	教材名称	主编	单位
1	药学导论(第3版)	毕开顺	沈阳药科大学
2	高等数学(第5版)	顾作林	河北医科大学
	高等数学学习指导与习题集(第2版)	王敏彦	河北医科大学
3	医药数理统计方法(第5版)	高祖新	中国药科大学
4	物理学(第6版)(配光盘)	武 宏	山东大学物理学院
	物理学学习指导与习题集(第2版)	武 宏	山东大学物理学院
5	物理化学(第7版)(配光盘)	李三鸣	沈阳药科大学
	物理化学学习指导与习题集(第3版)	李三鸣	沈阳药科大学
	物理化学实验指导(第2版)(双语)	崔黎丽	第二军医大学
6	无机化学(第6版)	张天蓝	北京大学药学院
	无机化学学习指导与习题集(第3版)	姜凤超	华中科技大学同济药学院
7	分析化学(第7版)(配光盘)	李发美	沈阳药科大学
	分析化学学习指导与习题集(第3版)	赵怀清	沈阳药科大学
	分析化学实验指导(第3版)	赵怀清	沈阳药科大学
8	有机化学(第7版)	陆 涛	中国药科大学
	有机化学学习指导与习题集(第3版)	陆 涛	中国药科大学
9	人体解剖生理学(第6版)	岳利民	四川大学华西基础医学与法医学院
		崔慧先	河北医科大学
10	微生物学与免疫学(第7版)	沈关心	华中科技大学同济医学院
11	生物化学(第7版)	姚文兵	中国药科大学
12	药理学(第7版)	朱依淳	复旦大学药学院
		殷 明	上海交通大学药学院
	药理学学习指导与习题集(第2版)	程能能	复旦大学药学院
13	药物分析(第7版)	杭太俊	中国药科大学
	药物分析学习指导与习题集***	于治国	沈阳药科大学
	药物分析实验指导***	范国荣	第二军医大学
14	药用植物学(第6版)	张 浩	四川大学华西药学院
	药用植物学实践与学习指导***	黄宝康	第二军医大学

续表

序号	教材名称	主编	单位
15	生药学(第6版)	蔡少青	北京大学药学院
	生药学实验指导(第2版)	刘塔斯	湖南中医药大学
16	药物毒理学(第3版)	楼宜嘉	浙江大学药学院
17	临床药物治疗学(第3版)	姜远英	第二军医大学
18	药物化学(第7版)(配光盘)	尤启冬	中国药科大学
	药物化学学习指导与习题集(第3版)	孙铁民	沈阳药科大学
19	药剂学(第7版)	崔福德	沈阳药科大学
	药剂学学习指导与习题集(第2版)	王东凯	沈阳药科大学
	药剂学实验指导(第3版)	崔福德	沈阳药科大学
20	天然药物化学(第6版)	吴立军	沈阳药科大学
	天然药物化学习题集(第3版)	吴立军	沈阳药科大学
	天然药物化学实验指导(第3版)	吴立军	沈阳药科大学
21	中医药学概论(第7版)	王建	成都中医药大学
22	药事管理学(第5版)(配光盘)	杨世民	西安交通大学医学院
	药事管理学学习指导与习题集(第2版)	杨世民	西安交通大学医学院
23	药学生物学(第4版)	张景海	沈阳药科大学
24	生物药剂学与药物动力学(第4版)	刘建平	中国药科大学
	生物药剂学与药物动力学学习指导与习题集(第2版)	李高	华中科技大学同济药学院
25	药学英语(上、下册)(第4版)(配光盘)	史志祥	中国药科大学
	药学英语学习指导(第2版)	史志祥	中国药科大学
26	药物设计学(第2版)	徐文方	山东大学药学院
27	制药工程原理与设备(第2版)	王志祥	中国药科大学
28	生物技术制药(第2版)	王凤山	山东大学药学院
29	生物制药工艺学*	何建勇	沈阳药科大学
30	临床医学概论**	于锋	中国药科大学
31	波谱解析**	孔令义	中国药科大学

*为第七轮未修订,直接沿用第六轮规划教材;**为第七轮新编教材,***为第七轮新编配套教材。

全国高等学校药学专业第四届 教材评审委员会名单

顾 问

郑 虎 四川大学华西药学院

主任委员

毕开顺

副主任委员

姚文兵 朱家勇 张志荣

委 员 (以姓氏笔画为序)

王凤山 山东大学药学院
刘俊义 北京大学药学院
朱依淳 复旦大学药学院
朱家勇 广东药学院
毕开顺 沈阳药科大学
张志荣 四川大学华西药学院
张淑芳 中国执业药师协会
李 高 华中科技大学同济药学院
李元建 中南大学药学院
李勤耕 重庆医科大学
杨世民 西安交通大学医学院
杨晓红 吉林大学药学院
陆 涛 中国药科大学
陈 忠 浙江大学药学院
罗光明 江西中医学院
姚文兵 中国药科大学
姜远英 第二军医大学
曹德英 河北医科大学
黄 民 中山大学药学院
彭代银 安徽中医学院
潘卫三 沈阳药科大学

前 言

本书第1版自2007年出版以来,已受到许多兄弟院校及相关行业的同行、读者的支持和肯定。使用实践证明,本书的章节体系、内容深浅等尚能满足教学需要。但由于制药工业的飞速发展,新技术、新工艺和新设备层出不穷,对人才素质和教材质量也提出了更高要求。根据2010年7月全国高等学校药学专业第七轮卫生部规划教材编写工作会议的精神,并吸取几年来各院校使用第1版教材的经验与建议,对第1版教材进行了修订。

修订的总指导思想是充分考虑药学类专业的特点,进一步精选内容,强调“三基”(基本理论、基本知识和基本技能)和“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性和适用性),注重理论与实践以及药学与工程学的结合。

为便于学生更好地掌握教学内容,新版教材各章前均增加了学习要求,包括掌握、熟悉和了解三个层次,并更新了部分习题和思考题。新版教材还通过穿插较多的知识拓展、相关知识介绍以及较多的工程实例(案例),使其趣味性、实用性和可读性得到显著提高。在介绍理论知识特别是理论公式时,尽可能删繁就简,力求通俗易懂,着重强调理论知识在工程实践中的应用。此外,新版教材删去了与相关课程重复的内容,如第1版教材中的第十四章(典型剂型的生产工艺)等。

新版教材是卫生部规划教材和全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材,主要供全国高等学校药学专业、制药工程专业、药物制剂专业及相关专业教学使用,也可供从事制药行业研究、设计和生产的工程技术人员参考。

新版教材由中国药科大学王志祥教授主编并统稿,贵阳中医学院杜薇教授任副主编。参加本书编写工作的人员还有叶代望、田青平、吕惠卿、杨绮云、李忠思、肖学凤、张红刚、武法文、殷鹏辉、董铁有、臧恒昌。在编写过程中还得到湖南中医药大学杨崧教授以及中国药科大学史益强、黄德春、崔志芹、戴琳等诸多同志的大力支持,在此一并表示感谢。

虽然在编写和修改过程中已作了很大努力,但由于水平所限,错误和不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以利于该书的进一步修改和完善。

王志祥

2011年5月于中国药科大学

目 录

绪论	1
一、制药工业与单元操作	1
二、课程性质和任务	1
三、单位换算	2
习题	4
第一章 流体流动	5
第一节 流体静力学	5
一、流体的密度	5
二、流体的压强	8
三、流体静力学基本方程式	9
四、流体静力学基本方程式的应用	11
第二节 流体在管内的流动	14
一、流量与流速	14
二、稳态流动与非稳态流动	15
三、连续性方程式	16
四、伯努利方程式	17
第三节 流体在管内的流动现象	22
一、流体的黏度	22
二、流动类型与雷诺准数	23
三、流体在圆管内的速度分布	25
四、层流内层	25
第四节 流体在管内的流动阻力	26
一、直管阻力	26
二、局部阻力	29
三、管路系统的总能量损失	30
四、降低管路系统流动阻力的途径	32
第五节 流速与流量的测量	33
一、测速管	33
二、孔板流量计	34
三、文丘里流量计	34
四、转子流量计	35
第六节 管子、管件、阀门及管道	36
一、公称压力和公称直径	36

二、管子	37
三、阀门	37
四、管件	39
五、管道连接与布置	39
习题	41
思考题	43
第二章 输送设备	44
第一节 液体输送设备	44
一、离心泵	44
二、其他类型泵	56
第二节 气体输送设备	61
一、离心式通风机	61
二、鼓风机	62
三、压缩机	62
四、真空泵	64
第三节 固体输送设备	66
一、带式输送机	66
二、链式输送机	67
三、斗式提升机	67
四、螺旋式输送机	68
五、气力输送装置	69
习题	70
思考题	71
第三章 液体搅拌	72
第一节 概述	72
第二节 搅拌器及其选型	74
一、常见搅拌器	74
二、搅拌过程的强化	77
三、搅拌器选型	78
第三节 搅拌功率	80
一、均相液体的搅拌功率	81
二、非均相液体的搅拌功率	84
习题	86
思考题	86
第四章 萃取	88
第一节 液液萃取	88
一、分配系数	89
二、萃取剂的选择	89
三、液液萃取流程	90
四、液液萃取设备	92

第二节 固液萃取	95
一、中药材中的成分	96
二、中药提取的类型	96
三、药材有效成分的提取过程及机制	97
四、常用提取剂和提取辅助剂	97
五、提取方法	99
六、提取设备	102
第三节 超临界流体萃取	107
一、超临界流体	107
二、超临界流体萃取的基本原理	107
三、超临界萃取剂	108
四、超临界流体萃取药物成分的特点	109
五、超临界 CO ₂ 萃取装置	110
思考题	111
第五章 沉降与过滤	112
第一节 重力沉降	112
一、重力沉降速度	112
二、沉降槽	115
第二节 离心沉降	117
一、惯性离心力作用下的离心沉降	117
二、离心分离设备	118
第三节 过滤	121
一、基本概念	121
二、恒压过滤	125
三、过滤设备	127
四、滤饼的洗涤	129
五、板框压滤机的生产能力	130
第四节 膜过滤	131
一、膜过滤原理与膜组件	131
二、微滤	133
三、超滤	134
四、纳滤	134
五、反渗透	135
六、电渗析	135
第五节 气体净化	136
一、机械除尘	137
二、过滤除尘	137
三、洗涤除尘	138
四、洁净空气净化流程及专用过滤器	139
习题	142
思考题	143

第六章 吸附与离子交换	144
第一节 吸附	144
一、基本原理	144
二、常用吸附剂	145
三、吸附平衡与吸附等温线	146
四、吸附传质机制与吸附速率	149
五、吸附过程	150
六、吸附剂的再生	153
第二节 离子交换	154
一、基本原理	154
二、离子交换树脂	154
三、离子交换设备	157
思考题	158
第七章 传热	159
第一节 概述	159
一、传热基本方式	159
二、传热过程	160
三、换热器的主要性能指标	162
四、稳态传热和非稳态传热	162
第二节 热传导	163
一、导热系数	163
二、平壁的稳态热传导	164
三、圆筒壁的稳态热传导	167
第三节 对流传热	169
一、对流传热分析	169
二、对流传热速率方程	170
三、对流传热系数	171
第四节 传热计算	182
一、能量衡算	182
二、总传热速率方程	183
三、总传热系数	183
四、平均温度差	186
五、设备热损失的计算	189
第五节 换热器	190
一、间壁式换热器	190
二、传热过程的强化	197
习题	198
思考题	199
第八章 蒸发	200
第一节 概述	200

一、蒸发过程及其特点	200
二、蒸发的分类	201
第二节 单效蒸发	201
一、单效蒸发流程	201
二、单效蒸发的计算	202
第三节 多效蒸发与蒸发节能	205
一、多效蒸发原理	205
二、多效蒸发流程	205
三、蒸发过程的节能措施	208
第四节 蒸发器的生产能力、生产强度及效数的限制	210
一、生产能力和生产强度	210
二、多效蒸发效数的限制	210
第五节 蒸发设备	211
一、蒸发设备的结构	211
二、蒸发器的选型	217
习题	218
思考题	218
第九章 结晶	219
第一节 基本概念	219
一、溶解度	219
二、过饱和度	221
第二节 结晶操作与控制	222
一、结晶操作的性能指标	222
二、结晶方式	224
三、结晶操作方式	225
四、结晶操作控制	225
第三节 结晶设备	226
一、冷却式结晶器	226
二、蒸发式结晶器	228
三、真空式结晶器	228
思考题	230
第十章 蒸馏与吸收	231
第一节 蒸馏	231
一、概述	231
二、双组分溶液的气液平衡	232
三、蒸馏与精馏原理	239
四、双组分连续精馏塔的计算	242
五、间歇精馏	255
六、特殊蒸馏	257
第二节 吸收	263
一、吸收过程的基本概念	263

二、吸收的工业应用	263
三、吸收的分类	264
四、吸收与解吸	264
五、吸收剂的选择	264
第三节 塔设备	265
一、板式塔	265
二、填料塔	266
习题	269
思考题	271
第十一章 干燥	272
第一节 概述	272
一、去湿方法	272
二、干燥的分类	273
三、对流干燥流程	274
四、对流干燥的基本原理	274
第二节 湿空气的性质和湿度图	275
一、湿空气的性质	275
二、湿空气的湿度图	279
三、湿度图的应用	282
第三节 湿物料的性质	284
一、物料含水量的表示方法	284
二、湿物料中水分的性质	285
第四节 干燥过程的计算	287
一、干燥过程的物料衡算	287
二、干燥过程的热量衡算	289
三、干燥系统的热效率	290
第五节 干燥速率与干燥时间	292
一、干燥速率	292
二、恒定干燥条件下的干燥曲线与干燥速率曲线	293
三、恒定干燥条件下的干燥时间	294
第六节 干燥设备	296
一、常用干燥器	297
二、干燥器的选型	311
习题	312
思考题	313
第十二章 药物粉体生产设备	314
第一节 粉碎设备	314
一、粉碎方法与粉碎比	315
二、粉碎设备	316
第二节 筛分设备	324
一、药筛标准	324

二、粉末等级	324
三、筛分设备	325
第三节 混合设备	327
一、混合机制	327
二、混合设备的类型	328
三、混合设备	328
思考题	331
第十三章 典型剂型生产设备	332
第一节 丸剂生产设备	332
一、丸剂的塑制设备	332
二、丸剂的泛制设备	335
三、丸剂的滴制设备	335
第二节 片剂生产设备	337
一、造粒设备	337
二、压片设备	339
三、包衣设备	341
第三节 胶囊剂生产设备	343
一、软胶囊剂生产设备	343
二、硬胶囊剂生产设备	346
第四节 注射剂生产设备	352
一、注射用水生产设备	353
二、安瓿洗涤设备	355
三、安瓿灌封设备	356
四、安瓿灭菌设备	360
五、澄明度检查设备	362
六、包装设备	362
第五节 口服液剂生产设备	365
一、旋转式口服液瓶轧盖机	365
二、口服液联动线	366
思考题	366
第十四章 制药工程设计	367
第一节 制药工程设计程序	367
一、项目建议书	367
二、可行性研究	368
三、设计任务书	368
四、初步设计	368
五、施工图设计	369
六、施工、试车、验收和交付生产	369
第二节 厂址选择和总平面设计	369
一、厂址选择	369
二、总平面设计	370

第三节 制药车间设计	372
一、车间组成及布置形式	372
二、工艺流程设计	373
三、物料衡算	375
四、能量衡算	375
五、设备选型与非标设备的设计	375
六、车间布置设计	376
七、管道设计	377
八、制药非工艺设计	378
第四节 洁净厂房	379
一、GMP 对厂房洁净等级的要求	379
二、制药洁净车间布置的一般要求	380
三、制药洁净车间的布置设计	381
思考题	384
附录	385
附录 1 单位换算因数	385
附录 2 饱和水的物理性质	386
附录 3 某些有机液体的相对密度(液体密度与 4℃ 时水的密度之比)	387
附录 4 某些液体的物理性质	389
附录 5 饱和水蒸气表(按温度排列)	390
附录 6 饱和水蒸气表(按压力排列)	391
附录 7 干空气的热物理性质($1.013 \times 10^5 \text{Pa}$)	392
附录 8 液体的黏度	393
附录 9 气体的黏度(101.3kPa)	395
附录 10 固体材料的导热系数	397
附录 11 液体的导热系数	398
附录 12 气体的导热系数(101.3kPa)	399
附录 13 液体的比热	401
附录 14 气体的比热(101.3kPa)	403
附录 15 液体的汽化潜热(蒸发潜热)	405
附录 16 管子规格	406
附录 17 常用流速范围	409
附录 18 IS 型单级单吸离心泵规格(摘录)	410
附录 19 错流和折流时的对数平均温度差校正系数	412
附录 20 换热器系列标准(摘录)	413
附录 21 壁面污垢热阻	415
主要参考文献	416