



国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会“十三五”规划教材

全国高等学校药学类专业第八轮规划教材
供药学类专业用

制药工程原理与设备

第 3 版

主 编 王志祥

副主编 杨 崧 肖学风

非外借



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





国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会“十三五”规划教材

全国高等学校药学类专业第八轮规划教材
供药学类专业用

制药工程原理与设备

第③版

主 编 王志祥

副主编 杨 崧 肖学风

编 者 (以姓氏笔画为序)

于智莘 (长春中医药大学)	杨绮云 (哈尔滨商业大学药学院)
王志祥 (中国药科大学)	肖学风 (天津中医药大学)
田青平 (山西医科大学)	武法文 (中国药科大学)
礼 彤 (沈阳药科大学)	岳春华 (广东药科大学)
吕惠卿 (浙江中医药大学)	周立娜 (中国医科大学)
江汉美 (湖北中医药大学)	赵玉佳 (牡丹江医学院)
李忠思 (承德医学院)	夏成才 (泰山医学院)
李春花 (河北中医学院)	董铁有 (河南科技大学化工与制药学院)
杨 崧 (湖南中医药大学)	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. —3 版. —北京:
人民卫生出版社, 2016

ISBN 978-7-117-22098-9

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(2016)第 032498 号

人卫社官网 www.pmph.com 出版物查询, 在线购书
人卫医学网 www.ipmph.com 医学考试辅导, 医学数
据库服务, 医学教育资
源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

制药工程原理与设备

第 3 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: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 850×1168 1/16 印张: 27

字 数: 743 千字

版 次: 2007 年 8 月第 1 版 2016 年 2 月第 3 版

2016 年 2 月第 3 版第 1 次印刷 (总第 4 次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-22098-9/R·22099

定 价: 59.00 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市场营销中心联系退换)

全国高等学校药学类专业本科国家卫生和计划生育委员会规划教材是我国最权威的药学类专业教材,于1979年出版第1版,1987~2011年间进行了6次修订,并于2011年出版了第七轮规划教材。第七轮规划教材主干教材31种,全部为原卫生部“十二五”规划教材,其中29种为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材;配套教材21种,全部为原卫生部“十二五”规划教材。本次修订出版的第八轮规划教材中主干教材共34种,其中修订第七轮规划教材31种;新编教材3种,《药学信息检索与利用》《药学服务概论》《医药市场营销学》;配套教材29种,其中修订24种,新编5种。同时,为满足院校双语教学的需求,本轮新编双语教材2种,《药理学》《药剂学》。全国高等学校药学类专业第八轮规划教材及其配套教材均为国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材、全国高等医药教材建设研究会“十三五”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较强的影响力,为我国高等教育培养大批的药学类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,随着药学行业相关法规政策、标准等的出台,以及2015年版《中华人民共和国药典》的颁布等,高等药学教育面临着新的要求和任务。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,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,全国高等学校药学类专业第五届教材评审委员会围绕药学类专业第七轮教材使用情况、药学教育现状、新时期药学人才培养模式等多个主题,进行了广泛、深入的调研,并对调研结果进行了反复、细致地分析论证。根据药学类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七轮教材进行修订,并根据教学需要组织编写了部分新教材。

药学类专业第八轮规划教材的修订编写,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,突出药学类专业特色,对接国家执业药师资格考试,按照国家卫生和计划生育委员会等相关部门及行业用人要求,在继承和巩固前七轮教材建设工作成果的基础上,提出了“继承创新”“医教协同”“教考融合”“理实结合”“纸数同步”的编写原则,使得本轮教材更加契合当前药学类专业人才培养的目标和需求,更加适应现阶段高等学校本科药学类人才的培养模式,从而进一步提升了教材的整体质量和水平。

为满足广大师生对教学内容数字化的需求,积极探索传统媒体与新媒体融合发展的新型整体

教学解决方案,本轮教材同步启动了网络增值服务和数字教材的编写工作。34种主干教材都将在纸质教材内容的基础上,集合视频、音频、动画、图片、拓展文本等多媒介、多形态、多用途、多层次的数字素材,完成教材数字化的转型升级。

需要特别说明的是,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四届教材评审委员会进行了改选换届,成立了第五届教材评审委员会。无论新老评审委员,都为本轮教材建设做出了重要贡献,在此向他们表示衷心的感谢!

众多学术水平一流和教学经验丰富的专家教授以高度负责的态度积极踊跃和严谨认真地参与了本套教材的编写工作,付出了诸多心血,从而使教材的质量得到不断完善和提高,在此我们对长期支持本套教材修订编写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(renweiyaoxue@163.com),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

2016年1月

国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材 全国高等学校药学类专业第八轮规划教材书目

序号	教材名称	主编	单位
1	药学导论(第4版)	毕开顺	沈阳药科大学
2	高等数学(第6版)	顾作林	河北医科大学
	高等数学学习指导与习题集(第3版)	顾作林	河北医科大学
3	医药数理统计方法(第6版)	高祖新	中国药科大学
	医药数理统计方法学习指导与习题集(第2版)	高祖新	中国药科大学
4	物理学(第7版)	武宏	山东大学物理学院
		章新友	江西中医药大学
	物理学学习指导与习题集(第3版)	武宏	山东大学物理学院
	物理学实验指导***	王晨光 武宏	哈尔滨医科大学 山东大学物理学院
5	物理化学(第8版)	李三鸣	沈阳药科大学
	物理化学学习指导与习题集(第4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7版)	张天蓝	北京大学药学院
		姜凤超	华中科技大学同济药学院
	无机化学学习指导与习题集(第4版)	姜凤超	华中科技大学同济药学院
7	分析化学(第8版)	柴逸峰	第二军医大学
		邸欣	沈阳药科大学
	分析化学学习指导与习题集(第4版)	柴逸峰	第二军医大学
	分析化学实验指导(第4版)	邸欣	沈阳药科大学
8	有机化学(第8版)	陆涛	中国药科大学
	有机化学学习指导与习题集(第4版)	陆涛	中国药科大学
9	人体解剖生理学(第7版)	周华	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8版)	沈关心	华中科技大学同济医学院
		徐威	沈阳药科大学
	微生物学与免疫学学习指导与习题集***	苏昕	沈阳药科大学
		尹丙姣	华中科技大学同济医学院
11	生物化学(第8版)	姚文兵	中国药科大学
	生物化学学习指导与习题集(第2版)	杨红	广东药科大学

续表

序号	教材名称	主编	单位
12	药理学(第8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(双语)**	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3版)	程能能	复旦大学药学院
13	药物分析(第8版)	杭太俊	中国药科大学
	药物分析学习指导与习题集(第2版)	于治国	沈阳药科大学
	药物分析实验指导(第2版)	范国荣	第二军医大学
14	药用植物学(第7版)	黄宝康	第二军医大学
	药用植物学实践与学习指导(第2版)	黄宝康	第二军医大学
15	生药学(第7版)	蔡少青	北京大学药学院
		秦路平	第二军医大学
	生药学学习指导与习题集***	姬生国	广东药科大学
	生药学实验指导(第3版)	陈随清	河南中医药大学
16	药物毒理学(第4版)	楼宜嘉	浙江大学药学院
17	临床药物治疗学(第4版)	姜远英	第二军医大学
		文爱东	第四军医大学
18	药物化学(第8版)	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8版)	方亮	沈阳药科大学
	药剂学(双语)**	毛世瑞	沈阳药科大学
	药剂学学习指导与习题集(第3版)	王东凯	沈阳药科大学
	药剂学实验指导(第4版)	杨丽	沈阳药科大学
20	天然药物化学(第7版)	裴月湖	沈阳药科大学
		娄红祥	山东大学药学院
	天然药物化学学习指导与习题集(第4版)	裴月湖	沈阳药科大学
	天然药物化学实验指导(第4版)	裴月湖	沈阳药科大学
21	中医学概论(第8版)	王建	成都中医药大学
22	药事管理学(第6版)	杨世民	西安交通大学药学院
	药事管理学学习指导与习题集(第3版)	杨世民	西安交通大学药学院
23	药学生物学(第5版)	张景海	沈阳药科大学
	药学生物学学习指导与习题集***	宋永波	沈阳药科大学
24	生物药剂学与药物动力学(第5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3版)	张娜	山东大学药学院

续表

序号	教材名称	主编	单位
25	药学英语(上册、下册)(第5版)	史志祥	中国药科大学
	药学英语学习指导(第3版)	史志祥	中国药科大学
26	药物设计学(第3版)	方浩	山东大学药学院
	药物设计学学习指导与习题集(第2版)	杨晓虹	吉林大学药学院
27	制药工程原理与设备(第3版)	王志祥	中国药科大学
28	生物制药工艺学(第2版)	夏焕章	沈阳药科大学
29	生物技术制药(第3版)	王凤山	山东大学药学院
		邹全明	第三军医大学
	生物技术制药实验指导***	邹全明	第三军医大学
30	临床医学概论(第2版)	于锋	中国药科大学
		闻德亮	中国医科大学
31	波谱解析(第2版)	孔令义	中国药科大学
32	药学信息检索与利用*	何华	中国药科大学
33	药学服务概论*	丁选胜	中国药科大学
34	医药市场营销学*	陈玉文	沈阳药科大学

注:*为第八轮新编主干教材;**为第八轮新编双语教材;***为第八轮新编配套教材。

全国高等学校药学类专业第五届教材评审委员会名单

顾 问 吴晓明 中国药科大学

周福成 国家食品药品监督管理局执业药师资格认证中心

主任委员 毕开顺 沈阳药科大学

副主任委员 姚文兵 中国药科大学

郭 姣 广东药科大学

张志荣 四川大学华西药学院

委 员 (以姓氏笔画为序)

王凤山 山东大学药学院

朱依淳 复旦大学药学院

朱 珠 中国药学会医院药学专业委员会

刘俊义 北京大学药学院

孙建平 哈尔滨医科大学

李晓波 上海交通大学药学院

李 高 华中科技大学同济药学院

杨世民 西安交通大学药学院

杨 波 浙江大学药学院

张振中 郑州大学药学院

张淑秋 山西医科大学

陆 涛 中国药科大学

周余来 吉林大学药学院

胡长平 中南大学药学院

胡 琴 南京医科大学

姜远英 第二军医大学

夏焕章 沈阳药科大学

黄 民 中山大学药学院

黄泽波 广东药科大学

曹德英 河北医科大学

彭代银 安徽中医药大学

董 志 重庆医科大学

本书第1版和第2版分别于2007年和2011年问世,两版教材先后受到许多兄弟院校及相关行业的同行、读者的支持和肯定。众多院校的使用实践证明,教材的章节体系、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,加之新版GMP等一系列标准和规范的实施,教材的某些内容已不能适应本课程的教学要求。根据2015年4月全国高等学校药学专业第八轮规划教材(国家卫生和计划生育委员会“十三五”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2版教材的经验与建议,在第2版教材基础上进行了修订。

修订总的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。

修订时仍保持本书的原有特点,对部分章节做了改动,特别是与新版GMP等现行标准或规范不相适应的部分,并丰富了“知识链接”的内容,提供了更多的实例(案例)。此次再版将进一步提升本书的适用性和可读性。

本书是国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材和全国高等医药教材建设研究会“十三五”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,也可供制药行业从事研究、设计和生产的工程技术人员参考。

本书由中国药科大学王志祥教授主编并统稿,湖南中医药大学杨崧教授和天津中医药大学肖学风教授担任副主编。参加本书编写工作的还有:于智莘、礼彤、田青平、江汉美、吕惠卿、李忠思、李春花、杨绮云、周立娜、武法文、岳春华、赵玉佳、夏成才、董铁有、臧恒昌等。在本书编写过程中得到了中国药科大学史益强、黄德春、崔志芹、杨照、戴琳等诸多同志的大力支持,在此一并表示感谢。

由于水平所限,错误和不当之处仍在所难免,恳请广大读者批评指正,以使本书更趋完善。

王志祥

2016年2月于中国药科大学

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	1
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	15
四、伯努利方程式	17
第三节 流体在管内的流动现象	22
一、牛顿黏性定律和流体的黏度	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	32
一、测速管	32
二、孔板流量计	33
三、文丘里流量计	34
四、转子流量计	34
第六节 管子、阀门、管件及管道连接	36
一、公称压力和公称直径	36
二、管子	36
三、阀门	36
四、管件	38
五、管道连接	38

习题	39
思考题	41
第二章 输送设备	43
第一节 液体输送设备	43
一、离心泵	43
二、其他类型泵	54
第二节 气体输送设备	60
一、离心式通风机	60
二、鼓风机	61
三、压缩机	61
四、真空泵	63
第三节 固体输送设备	65
一、带式输送机	65
二、链式输送机	65
三、斗式提升机	66
四、螺旋式输送机	67
五、气力输送装置	67
习题	69
思考题	69
第三章 液体搅拌	70
第一节 概述	70
第二节 搅拌器及其选型	72
一、常见搅拌器	72
二、搅拌过程的强化	74
三、搅拌器选型	76
第三节 搅拌功率	78
一、均相液体的搅拌功率	78
二、非均相液体的搅拌功率	81
习题	83
思考题	83
第四章 萃取	84
第一节 液液萃取	84
一、分配系数	85
二、萃取剂的选择	85
三、液液萃取流程	87
四、液液萃取设备	88
第二节 固液萃取	91
一、中药材中的成分	91
二、中药提取的类型	92
三、药材有效成分的提取过程及机理	92

四、常用提取剂和提取辅助剂	93
五、提取方法	94
六、提取过程的工艺计算	98
七、提取设备	102
第三节 超临界流体萃取	105
一、超临界流体	105
二、超临界流体萃取的基本原理	105
三、超临界萃取剂	106
四、超临界流体萃取药物成分的特点	107
五、超临界 CO ₂ 萃取装置	107
习题	108
思考题	109
第五章 沉降与过滤	110
第一节 重力沉降	110
一、重力沉降速度	110
二、沉降槽	113
第二节 离心沉降	115
一、惯性离心力作用下的离心沉降	115
二、离心分离设备	116
第三节 过滤	119
一、基本概念	119
二、恒压过滤	123
三、过滤设备	125
四、滤饼的洗涤	127
五、板框压滤机的生产能力	128
第四节 膜过滤	129
一、膜过滤原理与膜组件	129
二、微滤	131
三、超滤	132
四、纳滤	132
五、反渗透	133
六、电渗析	133
第五节 气体净化	135
一、机械除尘	135
二、过滤除尘	135
三、洗涤除尘	136
四、洁净空气净化流程及专用过滤器	137
习题	140
思考题	141
第六章 吸附与离子交换	142
第一节 吸附	142

一、基本原理	142
二、常用吸附剂	143
三、吸附平衡与吸附等温线	147
四、吸附传质机理与吸附速率	149
五、吸附过程	150
六、吸附剂的再生	152
第二节 离子交换	153
一、基本原理	153
二、离子交换树脂	154
三、离子交换树脂的应用领域	157
四、离子交换设备	158
思考题	159
第七章 传热	160
第一节 概述	160
一、传热基本方式	160
二、传热过程	161
三、换热器的主要性能指标	163
四、稳态传热和非稳态传热	163
第二节 热传导	163
一、导热系数	163
二、平壁的稳态热传导	165
三、圆筒壁的稳态热传导	168
第三节 对流传热	170
一、对流传热分析	170
二、对流传热速率方程	171
三、对流传热系数	171
第四节 传热计算	181
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	201
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	207
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	210
一、蒸发设备的结构	210
二、蒸发器的选型	215
习题	217
思考题	217
第九章 结晶	218
第一节 基本概念	218
一、溶解度	218
二、过饱和度	220
第二节 结晶操作与控制	221
一、结晶操作的性能指标	221
二、结晶方式	223
三、结晶操作方式	223
四、结晶操作控制	224
第三节 结晶设备	225
一、冷却式结晶器	225
二、蒸发式结晶器	226
三、真空式结晶器	227
思考题	228
第十章 蒸馏与吸收	229
第一节 蒸馏	229
一、概述	229
二、双组分溶液的气液平衡	230
三、蒸馏与精馏原理	237
四、双组分连续精馏塔的计算	241
五、间歇精馏	253
六、特殊蒸馏	255
七、其他蒸馏技术	257
第二节 吸收	261
一、吸收过程的基本概念	261
二、吸收的工业应用	261

103	三、吸收的分类	261
103	四、吸收与解吸	262
103	五、吸收剂的选择	262
	第三节 塔设备	262
203	一、板式塔	262
203	二、填料塔	264
203	习题	266
010	思考题	268
	第十一章 干燥	269
	第一节 概述	269
014	一、去湿方法	269
015	二、干燥的分类	270
015	三、对流干燥流程	271
015	四、对流干燥的基本原理	271
	第二节 湿空气的性质和湿度图	272
015	一、湿空气的性质	272
015	二、湿空气的湿度图	276
015	三、湿度图的应用	278
	第三节 湿物料的性质	280
015	一、物料含水量的表示方法	280
015	二、湿物料中水分的性质	281
	第四节 干燥过程的计算	282
015	一、干燥过程的物料衡算	282
015	二、干燥过程的热量衡算	284
015	三、干燥系统的热效率	286
	第五节 干燥速率与干燥时间	287
015	一、干燥速率	287
015	二、恒定干燥条件下的干燥曲线与干燥速率曲线	288
015	三、恒定干燥条件下的干燥时间	289
	第六节 干燥设备	291
015	一、常用干燥器	291
015	二、干燥器的选型	304
015	习题	305
015	思考题	306
	第十二章 药物粉体生产设备	307
	第一节 粉碎设备	307
015	一、粉碎方法与粉碎比	307
015	二、粉碎设备	309
	第二节 筛分设备	315
015	一、药筛标准	315
015	二、粉末等级	316

三、筛分设备	316
第三节 混合设备	318
一、混合机理	319
二、混合设备	319
思考题	321
第十三章 典型剂型生产设备	323
第一节 丸剂生产设备	323
一、丸剂的塑制设备	324
二、丸剂的泛制设备	325
三、丸剂的滴制设备	326
第二节 片剂生产设备	327
一、造粒设备	328
二、压片设备	330
三、包衣设备	332
第三节 胶囊剂生产设备	334
一、软胶囊剂生产设备	334
二、硬胶囊剂生产设备	336
第四节 注射剂生产设备	343
一、注射用水生产设备	343
二、安瓿洗涤设备	345
三、安瓿灌封设备	347
四、安瓿灭菌设备	350
五、澄明度检查设备	352
六、包装设备	352
第五节 口服液剂生产设备	355
一、旋转式口服液瓶轧盖机	355
二、口服液联动线	356
思考题	356
第十四章 制药工程设计	357
第一节 制药工程设计程序	357
一、项目建议书	358
二、可行性研究	358
三、设计任务书	358
四、初步设计	359
五、施工图设计	359
六、施工、试车、验收和交付生产	359
第二节 厂址选择和总平面设计	360
一、厂址选择	360
二、总平面设计	361
第三节 制药车间设计	363
一、车间组成及布置形式	363