



普通高等教育“十五”国家级规划教材

新世纪

全国高等中医药院校规划教材



中药制药工程 原理与设备

供中药类专业用

主编 刘落宪

中国中医药出版社



知识
共享
PDG



责任编辑 李占永
封面设计 谢璇

普通高等教育“十五”国家级规划教材

新世纪 全国高等中医药院校规划教材

中医学专业

中国医学史
医古文
中医各家学说
中医基础理论
中医诊断学
内经选读
伤寒学
金匱要略
温病学
中药学
方剂学
中医内科学
中医外科学
中医妇科学
中医儿科学
中医伤科学
针灸学
中医耳鼻咽喉科学

中医眼科学
中医急诊学
正常人体解剖学
组织学与胚胎学
生理学
病理学
药理学
生物化学
免疫学基础与病原生物学
诊断学基础
内科学
西医外科学

针灸推拿学专业

经络腧穴学
刺法灸法学

针灸治疗学
实验针灸学
推拿学
推拿手法学
针灸医籍选读

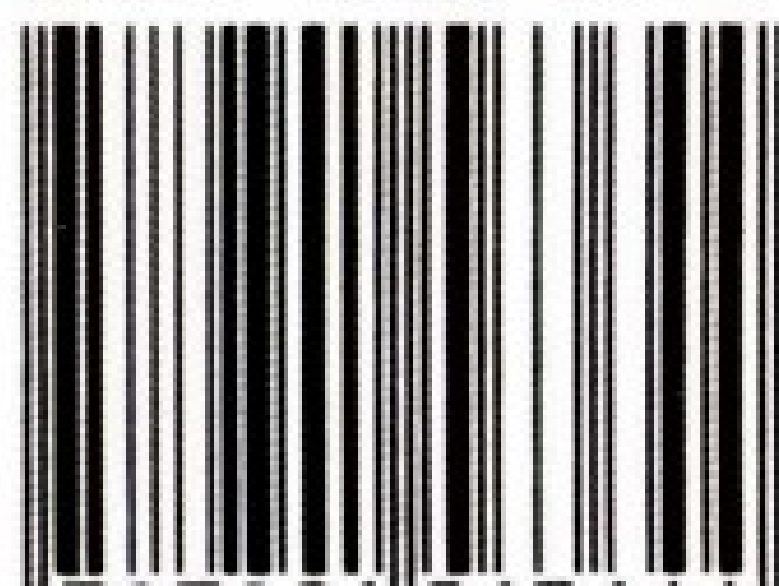
中药学专业

中医学基础
药用植物学
中药药理学
中药化学
中药炮制学
中药鉴定学
中药药剂学
中药制剂分析

● 中药制药工程原理与设备

中国中医药出版社 出版

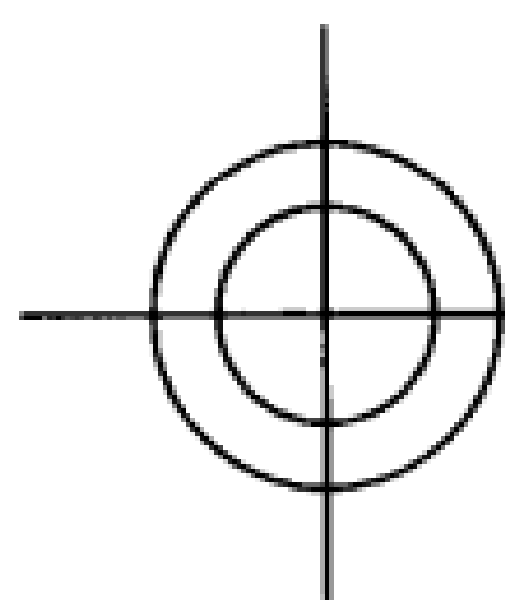
ISBN 7-80156-364-6



9 787801 563644 >

ISBN 7-80156-364-6/R·364

定价 40.00 元



普通高等教育“十五”国家级规划教材

新世纪全国高等中医药院校规划教材

中药制药工程原理与设备

(供中药类专业用)

主 编	刘落宪	(北京中医药大学)
副主编	黄耀洲	(南京中医药大学)
	杨 崧	(湖南中医学院)
	邢黎明	(陕西中医学院)
	李永吉	(黑龙江中医药大学)
主 审	王韵珊	(中国药科大学)
	张塾厚	(北京机械工程学院)

中国中医药出版社
·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

中药制药工程原理与设备/刘落宪主编. —北京:中国中医药出版社,
2003.7

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-80156-364-6

I. 中… II. 刘… III. ①中药加工—原理—中医学院—教材
②中草药加工设备—中医学院—教材

IV. ①R282.4②TH788

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 100972 号

中国中医药出版社出版

发行者:中国中医药出版社

(北京市朝阳区东兴路 7 号 电话:64151553 邮编:100027)

(邮购联系电话:64166060 64174307)

印刷者:天津市蓟县宏图印务有限公司

经销者:新华书店总店北京发行所

开 本:850×1168 毫米 16 开

字 数:780 千字

印 张:33

版 次:2003 年 7 月第 1 版

印 次:2003 年 7 月第 1 次印刷

册 数:5000

书 号:ISBN 7-80156-364-6/R·364

定 价:40.00 元

如有质量问题,请与出版社发行部调换。

新华书店
PDG

全国高等中医药专业教材建设

专家指导委员会

- 主任委员 李振吉 (国家中医药管理局副局长)
- 副主任委员 王永炎 (中国中医研究院名誉院长 中国工程院院士)
- 贺兴东 (国家中医药管理局科技教育司司长)
- 委员 (按姓氏笔画排列)
- 王绵之 (北京中医药大学 教授)
- 王明来 (国家中医药管理局科技教育司副司长)
- 王新陆 (山东中医药大学校长 教授)
- 邓铁涛 (广州中医药大学 教授)
- 石学敏 (天津中医学院教授 中国工程院院士)
- 龙致贤 (北京中医药大学 教授)
- 皮持衡 (江西中医学院 教授)
- 刘振民 (北京中医药大学 教授)
- 任继学 (长春中医学院 教授)
- 严世芸 (上海中医药大学校长 教授)
- 李任先 (广州中医药大学 教授)
- 李庆生 (云南中医学院院长 教授)
- 吴咸中 (天津中西医结合医院教授 中国工程院院士)
- 张士卿 (甘肃中医学院院长 教授)
- 肖培根 (中国医学科学院教授 中国工程院院士)
- 陈可冀 (中国中医研究院教授 中国科学院院士)
- 周仲瑛 (南京中医药大学 教授)
- 郑守曾 (北京中医药大学校长 教授)
- 胡之璧 (上海中医药大学教授 中国工程院院士)
- 项 平 (南京中医药大学校长 教授)
- 施 杞 (上海中医药大学 教授)
- 徐志伟 (广州中医药大学副校长 教授)

曹洪欣	(黑龙江中医药大学校长	教授)
梁繁荣	(成都中医药大学副校长	教授)
焦树德	(中日友好医院	教授)
路志正	(中国中医研究院	教授)
颜德馨	(上海铁路医院	教授)

前 言

“新世纪全国高等中医药院校规划教材”是依据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，在教育部、国家中医药管理局规划指导下，由全国中医药高等教育学会组织、全国高等中医药院校联合编写、中国中医药出版社出版的高等中医药院校本科系列教材。

本系列教材采用了“政府指导、学会主办、院校联办、出版社协办”的运作机制。为确保教材的质量，在教育部和国家中医药管理局指导下，建立了系统完善的教材管理体制，成立了全国高等中医药专业教材建设专家指导委员会、全国高等中医药教材建设研究会，对本系列教材进行了整体规划，在主编遴选、教学大纲和教材编写大纲、教材质量等方面进行了严格的审查、审定。

本系列教材立足改革，更新观念，以新的专业目录为依据，以国家规划教材为重点，按主干教材、配套教材、改革创新教材分类，以宽基础、重实践为原则，是一套以国家规划教材为重点，门类齐全，适应培养新世纪中医药高素质、创造性人才需要的系列教材。在教材组织编写的过程中引入了竞争机制，教材主编和参编人员全国招标，按照条件严格遴选，专家指导委员会审议，择优确定，形成了一支以一线专家为主体，以老带新的高水平的教材编写队伍，并实行主编负责制，以确保教材质量。

本系列教材编写实施“精品战略”，从教材规划到教材编写、专家审稿、编辑加工、出版，都有计划、有步骤实施，层层把关，步步强化，使“精品意识”、“质量意识”贯彻全过程。每种教材的教学大纲、编写大纲、样稿、全稿，都经过专家指导委员会审定，都经历了编写会、审稿会、定稿会的反复论证，不断完善，重点提高内在质量。尤其是根据中医药教材的特点，在继承与发扬、传统与现代、理论与实践、中医与西医等方面进行了重点论证，并在继承传统精髓的基础上择优吸收现代研究成果；在写作方法上，大胆创新，使教材内容更为系统化、科学化、合理化，更便于教学，更利于学生系统掌握基本理论、基本知识和基本技能；注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

在出版方面，出版社全面提高“精品意识”、“质量意识”，从编辑、设计、印刷、装帧质量，在各个环节都精心组织、精心施工，力争出版高水平的精品教材，使中医药教材的出版质量上一个新台阶。

本系列教材按照中医药专业培养目标和国家中医药执业医师资格考试要求，以国家规划教材为重点，门类齐全，适合全国各高等中医药院校中医学专业、针灸推拿学专业、中药学专业本科教学使用。是国家中医执业医师资格考试、国家中医药专业技术人员职称资格考试的参考书。

本系列教材于2002年年底出版的主要为中医专业、针灸推拿专业、中药专业教材，共计46门，其中34门被教育部评选为“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”。

值得提出的是，本系列教材在审定时，专家指导委员会王永炎院士、邓铁涛教授、任继学教授、肖培根院士、胡之璧院士等专家对教材书稿进行了严格把关，提出精辟的意见，对保证教材质量起了重要作用；本套教材的编写出版，得到中国中医药出版社和全国高等中医药院校在人力、物力上的大力支持，为教材的编写出版创造了有利条件。各高等中医药院校，既是教材的使用单位，又是教材编写任务的承担单位，在本套教材建设中起到了主体作用。在此一并致谢！

本系列教材在继承的基础上进行了一定力度的改革与创新，在探索的过程中难免有不足之处，甚或错漏之处，敬请各教学单位、各位教学人员在使用中发现问题，及时提出批评指正，以便我们重印或再版时予以修改，使教材质量不断提高，更好地适应新世纪中医药人才培养需要。

全国中医药高等教育学会
全国高等中医药教材建设研究会

2002年8月

普通高等教育“十五”国家级规划教材
新世纪全国高等中医药院校规划教材
《中药制药工程原理与设备》编委会

主 编 刘落宪 (北京中医药大学)
副主编 黄耀洲 (南京中医药大学)
杨 崧 (湖南中医学院)
邢黎明 (陕西中医学院)
李永吉 (黑龙江中医药大学)
编 委 (以下按姓氏笔画排序)
王志萍 (广西中医学院)
王 沛 (长春中医学院)
王宝华 (北京中医药大学)
刘先进 (安徽中医学院)
孙 铭 (首都医科大学中医药学院)
胡乃合 (山东中医药大学)
徐 晶 (辽宁中医学院)

主 审 王韵珊 (中国药科大学)
张塾厚 (北京机械工程学院)

编写说明

中药制药工程原理与设备课是中药类专业的主要专业课。中药制药工程是结合中药生产的特点,运用现代科学技术及装备,研究中药生产工艺的综合性应用技术。

近些年来,中药生产技术有了很大的发展。随着中药生产现代化及产业化步伐的加快,迫切需要对中药生产工艺技术进行深入的研究和大力发展。为适应这一需要,本教材特别注意突出以下几个方面:

1. 各单元编排顺序与药品制造工艺逻辑性、系统性结合。
2. 基础理论系统完整,重点突出;基础理论与生产应用结合。
3. 各类操作单元的综合应用。
4. 设备结构表达,工作原理分析以及先进设备的应用。
5. 车间工艺设计符合 GMP 的规定。

本教材编写过程中,不仅力求将各单元操作的基本理论介绍清楚,而且力求处理好各类单元操作的基本理论与各相关单元操作间综合应用的关系,处理好理论与实际生产应用及设备的关系。

本教材以基础理论为重心,各单元相对独立;以中药制造工艺为主线,准确反映中药制造工艺的逻辑性,提高知识的综合运用水平。使读者加深对制药工程理论的理解,让读者了解清楚药品制造工艺路线及各相关环节。

全书共 12 章,分别介绍了流体流动,液体搅拌,输送机械,粉碎、筛分与混合,固液萃取,过滤与沉降,传热与蒸发,蒸馏,干燥,成型设备与包装设备,工艺设计和中药制剂工艺工程化概论。

本教材可供高等医学院校中药类各专业本科教学使用。共 108 学时,其中课堂讲授、习题课和讨论课 72 学时,实验 36 学时。具体授课可按教学大纲安排。

本书在编写过程中,部分章节得到了清华大学朱克勤教授和北京中医药大学孙秀华教授的大力帮助,在此特意表示感谢。同时向对本书编写提出宝贵意见的姚淑娟、史新元等同志表示衷心的感谢。对本教材各编委所在的院校领导在编写的过程中给予的大力支持表示感谢。

由于时间仓促,又限于作者的水平,书中难免有欠妥、不当甚至错误之处,敬请广大读者和同仁批评指正。

刘落宪

2003 年 1 月于北京

目 录

绪论	(1)	(二) 湍流时圆形直管内速度分布	(24)
一、中药制药工程与设备研究的对象	(1)	八、流体绕物流动(边界层理论)	(27)
二、制药工程的内容	(1)	(一) 边界层基本概念	(27)
三、单元操作中常用基本概念	(2)	(二) 圆形直管进口段流体流动	(28)
(一) 物料衡算	(2)	(三) 圆形弯曲管内的流体流动	(29)
(二) 能量衡算	(2)	(四) 绕物流动时边界层的分离	(29)
(三) 过程速率	(2)	第三节 流体在管内的流动阻力与管路计算	(30)
第一章 流体流动	(4)	一、圆形直管阻力损失计算及摩擦因数	(30)
一、流体的密度与比体积	(4)	(一) 圆形直管阻力损失计算	(30)
二、流体的可压缩性与热膨胀性	(5)	(二) 圆形直管摩擦因数 λ 的确定	(31)
三、液体的表面张力	(6)	二、流体在非圆形直管内的阻力损失计算	(35)
四、流体的流动性	(7)	三、管路上的局部阻力计算	(37)
第一节 流体的平衡	(7)	四、管路计算	(39)
一、作用于流体上的力	(7)	第二章 液体搅拌	(47)
二、流体平衡的基本方程	(8)	第一节 混合机理	(47)
三、重力场中非均质流体的平衡	(11)	一、混合效果的度量	(47)
第二节 流体在管内的流动	(11)	二、液体混合机理	(48)
一、流量与流速	(11)	第二节 搅拌器	(50)
二、定态流动与非定态流动	(12)	一、搅拌器的类型及其性能	(50)
三、管内定态流动的质量守恒方程	(13)	(一) 搅拌器的类型	(50)
四、粘度	(13)	(二) 几种常用搅拌器的性能	(51)
五、流体定态流动时的机械能能量衡算	(16)	二、搅拌器的强化措施	(53)
六、流体流动的类型与雷诺数	(20)	(一) 提高搅拌器转速	(53)
(一) 流体流动的类型与雷诺数	(20)		
(二) 层流流动与湍流流动的基本特征	(21)		
七、圆形直管内完全发展管流流速的分布	(22)		
(一) 层流时圆形直管内速度分布	(23)		

(二) 抑制搅拌罐内的“打旋” 现象 (53)	(一) 离心式鼓风机 (95)
(三) 加设导流筒 (55)	(二) 罗茨鼓风机 (95)
三、搅拌器的选型 (55)	三、压缩机 (96)
(一) 以液体的粘度作为选型的 判定因素 (56)	(一) 往复压缩机 (96)
(二) 根据操作目的和主要影响 因素来选型 (56)	(二) 离心式压缩机 (97)
第三节 搅拌功率 (57)	四、真空泵 (97)
一、搅拌器混合效果与功率消耗 (57)	(一) 往复式真空泵 (98)
二、均相液体的搅拌功率 (57)	(二) 旋片式真空泵 (99)
三、非均相液体的搅拌功率 (62)	(三) 液环泵 (99)
(一) 液-液相的搅拌功率 (62)	(四) 滑阀泵 (100)
(二) 固-液相的搅拌功率 (63)	(五) 罗茨真空泵 (100)
四、非牛顿流体的搅拌功率 (63)	(六) 喷射泵 (101)
第四节 搅拌器的放大 (64)	(七) 油扩散泵 (102)
一、放大基础 (64)	第三节 固体输送机械 (103)
二、按功率数据放大 (65)	一、挠性牵引构件输送机械 (103)
三、按工艺结果放大 (66)	(一) 带式输送机 (103)
第五节 其他类型搅拌器 (68)	(二) 斗式升降输送机 (105)
一、磁力搅拌器 (68)	二、无挠性牵引构件输送机械 (105)
二、液流搅拌器 (69)	(一) 螺旋输送机 (105)
三、气流搅拌 (70)	(二) 振动输送机 (107)
第三章 输送机械 (72)	三、气力输送装置 (107)
第一节 液体输送机械 (72)	(一) 按输送方式分类 (107)
一、叶片泵 (72)	(二) 按颗粒在输送管内的密集 程度分类 (108)
(一) 离心泵 (72)	(三) 气力输送的优缺点 (109)
(二) 旋涡泵 (86)	四、固体加料器 (110)
二、容积式泵 (87)	(一) 重力加料器 (110)
(一) 往复泵 (87)	(二) 叶轮式加料器 (110)
(二) 旋转泵 (90)	(三) 螺旋式加料器 (110)
第二节 气体输送机械 (91)	(四) 吸嘴 (111)
一、通风机 (92)	(五) 喷嘴 (112)
(一) 轴流式通风机 (92)	第四章 粉碎筛分与混合 (115)
(二) 离心式通风机 (92)	第一节 粉碎 (115)
(三) 通风机的类型及选用 (94)	一、概述 (115)
二、鼓风机 (95)	(一) 固体物料的物理特性 (115)
	(二) 粉碎度 (116)

(三) 粉碎方式..... (117)	(一) 固定型混合机..... (135)
二、粉碎机理 (117)	(二) 回转型混合机..... (136)
三、粉碎的能量定律 (117)	四、影响混合的因素 (138)
四、粉碎方法 (118)	第五章 固-液萃取 (140)
(一) 开路粉碎和循环粉碎 (119)	第一节 提取 (140)
(二) 干法粉碎和湿法粉碎 (119)	一、提取时的扩散速率 (141)
(三) 单独粉碎和混合粉碎 (119)	二、提取方法 (142)
(四) 低温粉碎..... (120)	三、提取工艺流程 (142)
(五) 微粉粉碎..... (120)	第二节 浸出过程计算 (146)
(六) 纳米粉碎..... (120)	一、浸提量的计算 (146)
五、粉碎机械 (121)	二、浸提时间的计算 (151)
(一) 切药机..... (121)	三、提取工艺参数对提取过程的影 响 (152)
(二) 腭式破碎机..... (122)	第三节 提取设备 (152)
(三) 锤击式粉碎机..... (122)	一、间歇式提取设备 (153)
(四) 轴流撞击式粉碎机..... (123)	(一) 多能提取罐..... (153)
(五) 万能磨粉机..... (123)	(二) 动态提取罐..... (153)
(六) 球磨机..... (124)	(三) 翻斗提取罐..... (154)
(七) 流能磨..... (125)	二、连续提取设备 (154)
(八) 胶体磨..... (127)	(一) U形螺旋式提取器 ... (154)
(九) 超微粉碎机..... (127)	(二) 螺旋推进式提取器..... (155)
第二节 筛分 (128)	(三) 波尔曼式连续提取器 (156)
一、概述 (128)	(四) 履带式连续提取器..... (156)
二、药筛的类型及标准 (128)	第四节 超临界流体萃取 (158)
(一) 药筛的类型..... (128)	一、概述 (158)
(二) 药筛的标准..... (129)	(一) 基本概念..... (158)
(三) 粉末的分等..... (129)	(二) 相平衡..... (160)
三、分离效率 (129)	二、超临界萃取工艺流程及应用 (160)
(一) 分离的基本概念..... (129)	(一) 超临界萃取工艺流程 (160)
(二) 分离效率的计算..... (130)	(二) 超临界溶液快速膨胀技术 在超细微粒制备中的应用 (162)
四、筛分机械 (131)	(三) SCFE 对中草药萃取的应 用..... (163)
第三节 混合 (133)	
一、混合机理 (133)	
二、混合程度 (133)	
三、混合机械 (135)	

(四) 影响超临界流体萃取的几个主要因素·····	(163)	(一) 离心沉降速度·····	(191)
第六章 过滤与沉降 ·····	(165)	(二) 旋风分离器·····	(193)
第一节 过滤 ·····	(165)	(三) 旋液分离器·····	(198)
一、过滤操作的基本概念 ·····	(165)	第三节 离心分离 ·····	(198)
(一) 过滤及过滤推动力·····	(165)	一、离心分离的概念 ·····	(198)
(二) 过滤方式·····	(166)	二、离心机 ·····	(199)
(三) 常用过滤介质·····	(167)	(一) 三足式离心机·····	(199)
(四) 滤饼的压缩性和助滤剂·····	(168)	(二) 卧式刮刀卸料离心机·····	(200)
二、过滤机 ·····	(169)	(三) 卧式活塞推料离心机·····	(201)
(一) 板框压滤机·····	(169)	(四) 螺旋卸料离心机·····	(202)
(二) 全自动板式加压过滤机·····	(171)	(五) 管式高速离心机·····	(202)
(三) 高分子精密微孔过滤机·····	(172)	(六) 碟片式离心机·····	(204)
(四) 转筒真空过滤机·····	(172)	第四节 气体净制 ·····	(204)
三、过滤方程 ·····	(173)	一、过滤净制 ·····	(204)
(一) 过滤基本方程式·····	(173)	二、湿法净制 ·····	(205)
(二) 恒压过滤方程·····	(176)	(一) 文丘里洗涤器·····	(205)
(三) 恒速过滤与先恒速后恒压的过滤·····	(177)	(二) 湍球塔·····	(206)
(四) 过滤常数的测定·····	(178)	(三) 泡沫塔·····	(206)
四、过滤机的生产能力 ·····	(180)	三、气体的电净制 ·····	(207)
(一) 间歇过滤机的生产能力·····	(180)	四、洁净车间空气净化系统 ·····	(207)
(二) 连续过滤机的生产能力·····	(182)	第七章 传热与蒸发 ·····	(211)
五、超滤 ·····	(184)	第一节 概述 ·····	(211)
(一) 超滤原理及超滤技术的适用性·····	(184)	一、传热过程中热交换的方式 ···	(211)
(二) 超滤装置·····	(184)	二、传热基本概念 ·····	(212)
第二节 沉降 ·····	(186)	(一) 传热的基本方式·····	(212)
一、重力沉降 ·····	(186)	(二) 热流量和热流密度·····	(212)
(一) 重力沉降速度·····	(186)	(三) 定态温度场和非定态温度场·····	(213)
(二) 重力沉降设备·····	(189)	第二节 热传导 ·····	(213)
二、离心沉降 ·····	(191)	一、等温面与温度梯度 ·····	(213)
		二、傅立叶定律 ·····	(214)
		三、导热系数 ·····	(214)
		四、平壁的热传导 ·····	(214)
		(一) 单层平壁的热传导·····	(214)
		(二) 多层平壁的热传导·····	(215)

五、圆筒壁的热传导 (217)	第六节 热交换器 (235)
(一) 单层圆筒壁的热传导 (217)	一、管式热交换器 (235)
(二) 多层圆筒壁的热传导 (218)	(一) 蛇管式换热器..... (235)
第三节 对流传热 (218)	(二) 套管式换热器..... (237)
一、基本概念 (218)	(三) 列管式换热器..... (237)
(一) 流体无相变的对流传热 (218)	二、板式热交换器 (240)
(二) 流体有相变化的对流传热 (219)	(一) 夹套式换热器..... (240)
(三) 对流传热机理概述..... (219)	(二) 板式换热器..... (241)
二、对流热流量方程式 (220)	(三) 螺旋板式换热器..... (242)
三、对流传热系数及影响因素 ... (221)	(四) 板翅式换热器..... (242)
(一) 对流传热系数..... (221)	三、各种间壁式换热器的比较 ... (243)
(二) 影响对流传热系数的因素 (221)	四、强化传热过程的途径 (243)
第四节 辐射传热 (222)	(一) 提高总传热系数 K ... (244)
一、基本概念 (222)	(二) 增大传热面积 S (244)
二、物体间的辐射传热 (223)	(三) 增大平均温度差 Δt_m (244)
三、设备热损失的计算 (224)	五、换热器的使用 (244)
第五节 传热计算 (225)	第七节 蒸发设备 (246)
一、总热流量方程 (225)	一、蒸发器 (246)
(一) 能量衡算..... (225)	(一) 循环型 (非膜式) 蒸发器 (247)
(二) 总热流量微分方程..... (226)	(二) 单程型 (膜式) 蒸发器 (249)
(三) 总热流量积分方程..... (226)	二、蒸发器附属设备 (252)
二、总传热系数 (227)	(一) 除沫器..... (252)
(一) 选取经验数据..... (227)	(二) 蒸气冷凝器..... (253)
(二) 现场设备测定..... (227)	(三) 疏水器..... (255)
(三) 利用公式计算..... (228)	三、蒸发器的选型 (255)
三、平均温度差的计算 (229)	第八节 单效蒸发 (257)
(一) 恒温传热时的平均温度差 (229)	一、单效蒸发流程 (257)
(二) 变温传热时的平均温度差 (229)	二、单效蒸发计算 (257)
四、流体流向的选择 (234)	(一) 蒸发量..... (257)
五、壁温的计算 (234)	(二) 加热蒸气的消耗量..... (258)
	(三) 蒸发器的传热面积..... (260)
	三、蒸发器的生产强度 (262)
	(一) 蒸发器的生产能力..... (262)
	(二) 蒸发器的生产强度..... (262)

四、溶液的沸点与传热温度差损失		三、用相对挥发度表示的气液相平衡	
..... (263)		衡 (285)	
(一) 溶液的沸点..... (263)		四、两组分理想溶液的气液相平衡	
(二) 温度差损失..... (263)		图 (286)	
五、真空蒸发 (264)		五、双组分非理想物系的气液相平衡	
第九节 多效蒸发 (265)		衡图 (289)	
一、多效蒸发流程 (266)		第二节 平衡蒸馏和简单蒸馏 (291)	
(一) 并流加料蒸发流程		一、平衡蒸馏 (292)	
..... (266)		二、简单蒸馏 (292)	
(二) 逆流加料蒸发流程..... (266)		第三节 精馏原理、操作流程及计算	
(三) 平流加料蒸发流程..... (267)		 (293)	
二、多效蒸发计算 (268)		一、精馏原理、设备及操作流程	
(一) 总蒸发量..... (268)		 (293)	
(二) 各效溶液的沸点..... (269)		二、理想物系双组分连续精馏的计算	
(三) 各效蒸发量和热流量		算 (301)	
..... (269)		(一) 恒摩尔流假设..... (301)	
(四) 各效传热面积..... (269)		(二) 物料衡算与热量衡算	
三、多效蒸发与单效蒸发的比较		 (301)	
..... (275)		(三) 精馏塔操作线方程..... (303)	
(一) 溶液的温度差损失..... (275)		(四) 精馏塔加料热状态的影响	
(二) 经济效益..... (276)		 (305)	
(三) 蒸发器的生产能力和生产		(五) 理论板数的计算..... (307)	
强度..... (276)		(六) 回流比的选定与理论板数的	
四、蒸发过程的节能措施 (277)		简捷计算..... (311)	
(一) 原料液预热..... (277)		(七) 塔高与塔径的计算..... (316)	
(二) 额外蒸气的引出..... (277)		三、间歇精馏 (318)	
(三) 冷凝水自蒸发的利用		第四节 特殊蒸馏 (320)	
..... (279)		一、恒沸精馏 (320)	
(四) 热泵蒸发..... (279)		二、萃取精馏 (321)	
第八章 蒸馏 (282)		三、水蒸气蒸馏 (322)	
一、蒸馏过程的分类 (282)		第九章 干燥 (325)	
二、蒸馏过程的特点 (283)		一、干燥的分类 (325)	
三、蒸馏操作的应用 (283)		二、干燥的基本原理和干燥条件	
第一节 双组分溶液的气液相平衡		 (326)	
..... (283)		第一节 湿空气的性质和焓-湿度图	
一、相律 (283)		 (327)	
二、理想物系的气液相平衡 (284)		一、湿空气的性质 (327)	

(一) 湿空气的压力和温度 (327)	(四) 干燥器的热效率..... (344)
(二) 湿度..... (327)	第三节 干燥速率与干燥时间 (346)
(三) 相对湿度..... (328)	一、物料中所含水分的性质 (346)
(四) 湿空气的比体积..... (329)	(一) 结合水分与非结合水分 (346)
(五) 湿空气的比焓..... (329)	(二) 自由水分与平衡水分 (347)
(六) 湿球温度..... (330)	二、恒定干燥条件下的干燥特性 (348)
(七) 露点..... (331)	(一) 干燥特性曲线..... (348)
(八) 绝热饱和温度..... (331)	(二) 干燥过程..... (349)
二、湿空气的焓-湿度图 (333)	三、恒定操作条件下干燥时间的计 算 (350)
(一) 等湿度线 (等 H 线) (335)	(一) 恒速干燥阶段干燥时间 τ_1 的计算..... (350)
(二) 等比焓线 (等 h 线) (335)	(二) 降速干燥阶段干燥时间 τ_2 的计算 (351)
(三) 等温线 (等 t 线) ... (335)	第四节 干燥设备 (353)
(四) 等相对湿度线 (等 φ 线) (335)	一、厢式干燥器 (354)
(五) 水蒸气分压线 (p_v 线) (336)	(一) 水平气流厢式干燥器 (354)
三、焓-湿度图的应用 (336)	(二) 穿流气流厢式干燥器 (354)
(一) 确定湿空气的状态点 (336)	(三) 真空厢式干燥器..... (355)
(二) 查取湿空气的状态参数 (336)	二、隧道式干燥器 (355)
(三) 用焓-湿度图表示干燥 过程..... (338)	三、带式干燥机 (356)
第二节 干燥过程的物料衡算和热量衡 算 (339)	(一) 单级带式干燥器..... (356)
一、干燥过程的物料衡算 (339)	(二) 多级带式干燥器..... (357)
(一) 物料含水量的表示方法 (339)	四、流化床干燥器 (358)
(二) 物料衡量..... (340)	(一) 单层流化床干燥器..... (359)
二、干燥过程的热量衡算 (342)	(二) 卧式多室流化床干燥器 (360)
(一) 预热器的热量衡算..... (343)	(三) 塞流式流化床干燥器 (362)
(二) 干燥器的热量衡算..... (343)	(四) 改型流化床干燥器..... (362)
(三) 干燥器进出口的空气状态 (344)	五、转鼓干燥器 (363)
	六、喷雾干燥器 (364)