



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专食品类专业教材系列



食品工程技术装备 食品生产单元操作

总主编 胡继强
主 编 张旭光
黄亚东



科学出版社

www.sciencep.com

中国轻工业出版社 中国轻工业职业技能培训教材 食品生产操作



食品工程技术装备 食品生产单元操作

中国轻工业出版社
CHINA LIGHT INDUSTRY PRESS



中国轻工业出版社

CHINA LIGHT INDUSTRY PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专食品类专业教材系列

食品工程技术装备 食品生产单元操作

胡继强 总主编

张旭光 黄亚东 主编

刘 静 蔡 健 葛 亮 副主编

王仁雷 主审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书按食品工程单元操作种类编写,一个单元操作为一章,内容主要包括:各种单元操作的规律;操作方案的确定;操作过程的控制;主要设备类型及其构造。编入的单元操作的项目有:流体输送、沉降、过滤、膜分离、混合、乳化、热量交换、蒸发、结晶、干燥、冷冻、蒸馏、萃取、吸附等。

本书可作为高职高专院校食品类专业的教材,也可作为食品加工操作工的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

食品工程技术装备:食品生产单元操作/胡继强总主编,张旭光,黄亚东主编. —北京:科学出版社,2009

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高职高专食品类专业教材系列)

ISBN 978-7-03-023841-2

I. 食… II. ①胡…②张…③黄… III. 食品加工设备-高等学校:技术学校-教材 IV. TS203

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第212013号

责任编辑:沈力匀 / 责任校对:刘彦妮

责任印制:吕春珉 / 封面设计:李 亮

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年2月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年2月第一次印刷 印张:26

印数:1—4 000 字数:599 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026 (VP04)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
食品类专业教材系列
专家委员会

主 任

贡汉坤 江苏食品职业技术学院

副主任

逯家富 长春职业技术学院

毕 阳 甘肃农业大学

委 员

侯建平 包头轻工职业技术学院

江建军 四川工商职业技术学院

朱维军 河南农业大学

莫慧平 广东轻工职业技术学院

刘 冬 深圳职业技术学院

王尔茂 广东食品药品职业学院

郑桂富 蚌埠高等专科学校

于 雷 沈阳师范大学

徐忠传 常熟理工学院

林 洪 中国海洋大学

陈莎莎 中国轻工业职业技能鉴定指导中心

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
食品类专业教材系列
编写委员会

主 任

贡汉坤 王尔茂

副主任（按姓氏笔画排列）

于 雷 朱维军 江建军 侯建平 莫慧平

逯家富

委 员（按姓氏笔画排列）

丁立孝 万 萍 马兆瑞 王传荣 王林山

王俊山 付三桥 朱克永 刘长春 刘 靖

苏新国 杨天英 杨昌鹏 李惠东 吴晓彤

张邦建 陆 绮 陈月英 武建新 罗丽萍

赵金海 赵晨霞 赵 晴 胡继强 姜旭德

祝战斌 徐兆伯 徐清华 徐 静 黄卫萍

黄亚东 覃 文 蔡 健 廖湘萍 翟玮玮

序 言

食品工业是我国国民经济的支柱产业之一，其主要涉及领域包括农副食品加工业、食品制造业、饮料制造业等。统计数据显示，2008年1~11月，全国规模以上的食品企业有320 005家，其中大中型企业有2706家，从业人数达到546.35万人，同比增长6.83%；食品工业主营业务收入达到36 804.23亿元，实现利税总额为5659.58亿元。近10年来我国食品工业发展成效显著，年均增速达20%，但与世界先进水平以及广大人民群众日益增长的消费需求相比，还有不小的距离。目前，我国加工食品占消费食品30%的比重远低于发达国家60%~80%的水平，高附加值产品的比例偏低，工业布局、品种结构均不尽合理，食品工业发展和提升空间还很大。

要推动食品行业经济结构优化升级，就必须全面落实科学发展观，提高食品行业、企业的整体素质，提升企业在管理、信誉、品牌、服务、理念等方面的创新与完善。同时，还应打造品牌，培育名牌，建立产业基地，发挥集群效应，提高国际竞争力，注重人才培养，提高自主创新能力，建立诚信体系以及食品产业安全预警制度。

我国高等职业教育食品类专业设置院校现已达260多所，年招生规模33 000多人，专业点近410个。其中食品营养与检测专业点157个，食品加工技术专业点116个，食品生物技术专业点70个。基本形成了涵盖食品质量安全与检测、食品生产、食品生物、粮油加工、食品贮运与营销、食品机械装备、营养与食品卫生等技术领域的食品类专业群。

课程设置的实现教育目的和培养目标的重要手段，课程改革与建设是专业改革和建设的基础，是提高教学质量的核心，也是教学改革的重点和难点。加强课程建设必须明确课程的定位，以工作过程构建新的课程体系和教学内容，对传统的、学科型的专业基础课和专业课程进行整合、重组，开发设计出以职业素养与职业能力培养为重点，基于工作过程的食品类专业职业素质和职业技术类课程。

为适应高等职业教育迅猛发展的要求，我们组织了全国部分院校的食品专业教师与行业、企业合作，以社会需求和职业岗位调研为基础，根据食品专业技术领域和职业岗位的任职要求，参照相关的国家职业资格标准，基于食品产业链的生产、质量安全监管、检验检疫、物流等工作项目（产品、任务、技术单元或方法），开发、设计出系统的“工学结合”课程体系，并形成区别于传统高等工程教育的“高职高专食品类专业”系列教材。

本套教材遵循学生职业能力培养的基本规律，以食品产业链中实际的工作任务及其工作过程为模块（或单元），整合、序化教学内容。课程设计充分体现了职业性、实践性和开放性的要求，强调教、学、做结合，理论与实践一体化的教学活动模式。力求突出以下特色：

（1）理念创新：秉承“教学改革与学科创新引路，科技进步与教材创新同步”的理

念,根据新时代对高等职业教育人才的需求,体现教学改革的最新理念,形成内容领先、思路创新、突出实训、成系配套的特点。

(2) 方法创新:摒弃“借用教材、压缩内容”的滞后方法,专门开发符合高职特点的“对口教材”。在对职业岗位所需求的专业知识和专项能力进行科学分析的基础上,引进国外先进的课程开发方法,以确保符合职业教育的特色。

(3) 特色创新:加大实训教材的开发力度,填补空白,突出热点。对于部分教材,提供“课件”、“教学资源支持库”等立体化的教学支持,方便教师教学与学生学习。对于部分专业,组织编写“双证教材”,注意将教材内容与职业资格、技能证书进行衔接。

(4) 内容创新:在教材的编写过程中,力求反映知识更新和科技发展的最新动态。将新知识、新技术、新内容、新工艺、新案例及时反映到教材中来,力求体现高职教育专业设置紧密联系生产、建设、服务、管理一线的实际要求。

本套教材由2006~2010年教育部高等学校高职高专食品类专业教学指导委员会组织专家审定,基本涵盖了现行食品专业各类课程模块(群),可以满足不同食品专业课程教学的需要。

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

食品类专业教材系列编写委员会

2009年1月

前 言

本书是根据目前全国高职高专教学改革需要,在 2006~2010 年教育部高等学校高职高专食品类专业教学指导委员会的指导下编写的适用于高职高专食品类专业的教材。

食品工业的产品种类众多,而且每一种食品的加工过程有着很大的区别,但是,食品产品的生产过程都是由若干个单元操作来组合的,本书主要介绍了食品工程中常用的各种单元操作,包括其规律、流程、设备、操作方法以及常见问题的处理等内容。

本书从目前全国高职高专学校在校生的具体情况和企业对岗位技能的要求出发,本着理论必需、够用为度,突出应用能力的培养。理论知识方面以能使学生理解为度,同时,加强了应用知识的部分,力求简明易懂,尽可能回避复杂的理论推导和计算。在编写形式上结合目前高职高专院校“项目教学”、“任务驱动”等教学方法的改革,使其更能够适应当前教学的需要。

本书编写内容上几乎包括了食品工程中所有的单元操作,但是,考虑到各地区学校教学学时的不同,不同地区的院校可以根据自己的特点进行选择教学。

本书主要由江苏省徐州工业职业技术学院张旭光、江苏食品职业技术学院黄亚东、内蒙古商贸职业学院刘静、苏州农业职业技术学院蔡健、新疆轻工职业技术学院葛亮、江苏省徐州工业职业技术学院吴红、商丘职业技术学院张百胜、温州科技职业学院李群和共同编写。其中,张旭光编写绪论、第 1、2、3 章,黄亚东编写第 10、11 章,刘静编写第 7、8 章,蔡健编写第 4、14 章,葛亮编写第 5、6 章,吴红编写第 12 章,张百胜编写第 9 章,李群和编写第 13 章,全书由张旭光统稿。另外,在编写过程中引用了一些资料,在此对这些书的作者们表示感谢。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,敬请读者指正,以便于进一步修改完善。

目 录

前言

绪论	1
第 1 章 流体输送	6
1.1 概述	6
1.1.1 高位槽送料	6
1.1.2 真空抽料	7
1.1.3 压缩空气送料	7
1.1.4 流体输送机械送料	8
1.2 流体输送管路	8
1.2.1 流体输送管路的基本组成	8
1.2.2 管子的选择	8
1.2.3 管件的选择	11
1.2.4 阀门的选择	11
1.2.5 管径的确定	19
1.2.6 流体输送管路的工程安装	23
1.3 流体在管路中的流动规律	27
1.3.1 稳定流动与不稳定流动	27
1.3.2 流体在管道中稳定流动时流速的变化规律	27
1.3.3 流体在稳定流动系统中的能量变化规律	28
1.3.4 流体输送方式的选择	33
1.3.5 常见输送问题的处理	34
1.3.6 流体在管路中流动的能量损失	36
1.3.7 实验演示与分析	47
1.4 流体流动有关参数的测量	49
1.4.1 液面测定	49
1.4.2 压力测量	51
1.4.3 流量的测定	54
1.5 液体输送机械的选用、安装及操作	60
1.5.1 流体输送机械的分类	60
1.5.2 离心泵	60
1.5.3 其他类型泵	76
1.5.4 各类泵的性能特点比较	83
1.6 气体压送机械的选用、安装及操作	84
1.6.1 气体压送机械分类	84

1.6.2 通风机	84
1.6.3 离心式鼓风机和压缩机	86
1.6.4 旋转式鼓风机与压缩机	89
1.6.5 往复式压缩机	91
1.6.6 真空泵	94
思考题	96
练习题	98
第2章 沉降	101
2.1 概述	101
2.1.1 非均相物系及其分类	101
2.1.2 常见非均相物系的分离方法	101
2.2 重力沉降	102
2.2.1 重力沉降速度	102
2.2.2 实际重力沉降过程分析	106
2.2.3 固体颗粒的分选	107
2.2.4 重力沉降设备	108
2.3 离心沉降	112
2.3.1 离心沉降速度	112
2.3.2 离心沉降设备	113
2.4 气体的其他净制方法简介	123
2.4.1 惯性分离	123
2.4.2 静电分离	124
2.4.3 湿法分离	125
思考题	127
练习题	127
第3章 过滤	129
3.1 概述	129
3.1.1 过滤及其在食品工业中的应用	129
3.1.2 过滤分离操作的类型	130
3.1.3 过滤介质	131
3.1.4 助滤剂	131
3.2 过滤速率	132
3.2.1 颗粒床层的特性	132
3.2.2 过滤基本方程式	133
3.3 滤饼过滤操作条件的选择	134
3.3.1 滤饼过滤操作方式	134
3.3.2 提高过滤速率的途径	135
3.4 过滤设备及其选用	136
3.4.1 压滤式过滤设备	137

3.4.2 吸滤式过滤设备	139
3.4.3 离心过滤设备	142
3.4.4 过滤设备的选择	144
3.5 压榨	144
3.5.1 压榨操作及其应用	144
3.5.2 压榨操作工艺参数	145
3.5.3 压榨设备	146
思考题	150
第4章 膜分离技术	151
4.1 膜分离技术及其应用	151
4.1.1 膜分离技术	151
4.1.2 膜分离在食品工业中的应用实例	154
4.2 膜分离设备的选用	156
4.2.1 分离用膜	156
4.2.2 膜分离设备的选择	158
4.3 超滤与微滤	163
4.4 反渗透	166
4.4.1 反渗透在纯净水生产中的应用	166
4.4.2 反渗透的膜材料	167
4.4.3 反渗透设备	168
4.4.4 反渗透操作条件的选择	168
4.4.5 反渗透法纯净水生产装置的操作与维护	169
思考题	170
第5章 混合	171
5.1 混合操作及其应用	171
5.1.1 混合操作	171
5.1.2 混合操作的应用	171
5.2 物质的混合过程	172
5.2.1 混合机理	172
5.2.2 混合物的稳定性	172
5.3 混合程度的表示方法	173
5.3.1 混合均匀度	173
5.3.2 分离尺度和分离强度	173
5.3.3 混合指数	174
5.3.4 混合度	174
5.4 混合设备及其选用	175
5.4.1 液-液混合	175
5.4.2 捏合	180
5.4.3 固体混合	182

思考题	184
练习题	184
第6章 乳化	186
6.1 概述	186
6.1.1 乳化操作及其应用	186
6.1.2 乳化液的形成过程	186
6.1.3 乳化液的类型	187
6.1.4 乳化液的稳定性	187
6.2 乳化剂及其选用	188
6.2.1 乳化剂的作用	188
6.2.2 乳化剂的类型及其性能	188
6.2.3 乳化剂的选用	189
6.3 乳化方法及其选择	190
6.3.1 乳化的基本方法	190
6.3.2 确定乳化方法时应注意的几个问题	191
6.4 乳化设备及其安装、使用与维护	191
6.4.1 胶体磨	192
6.4.2 均质机	193
6.4.3 超声波乳化器	196
6.4.4 乳化设备的安装、使用与维护	197
6.5 常用乳化系统简介	199
6.5.1 间歇式乳化系统	199
6.5.2 连续式乳化系统	199
思考题	200
练习题	201
第7章 热量交换	202
7.1 概述	202
7.1.1 工业中的传热过程	202
7.1.2 工业中传热过程实例	203
7.1.3 传热的基本方式	203
7.1.4 工业上的换热方法	204
7.2 工业换热设备	205
7.2.1 换热器的种类	205
7.2.2 间壁式换热器的分类	205
7.2.3 间壁式换热器的结构与性能	206
7.3 间壁式换热过程及其计算	212
7.3.1 间壁式换热过程分析	212
7.3.2 间壁式换热过程计算	217
7.3.3 强化传热的途径	222

7.4 间壁式换热器的使用	223
思考题	225
练习题	225
第8章 蒸发浓缩	227
8.1 概述	227
8.1.1 物料的浓缩	227
8.1.2 蒸发操作基本过程	227
8.1.3 蒸发操作在食品工业中的应用	229
8.2 蒸发设备及其选用	230
8.2.1 蒸发器	230
8.2.2 蒸发的辅助设备	236
8.2.3 蒸发器的选用	237
8.3 蒸发工艺流程与操作条件的选择	238
8.3.1 单效蒸发流程	238
8.3.2 多效蒸发	239
8.3.3 蒸发操作条件的选择	240
8.4 蒸发过程计算	241
思考题	244
练习题	245
第9章 结晶	246
9.1 结晶操作及其应用	246
9.1.1 结晶操作	246
9.1.2 结晶操作的应用	246
9.2 晶体与结晶	247
9.2.1 晶体及其特征	247
9.2.2 晶体的分类与晶体的形状	247
9.2.3 结晶过程固-液相平衡	248
9.2.4 结晶过程	249
9.3 结晶方法与结晶工艺条件的选择	250
9.3.1 结晶方法	250
9.3.2 结晶操作条件的选择	251
9.4 结晶设备的选用与操作	252
9.4.1 结晶操作对设备的要求	252
9.4.2 结晶设备的分类	252
9.4.3 常见的结晶设备	253
思考题	258
第10章 干燥	259
10.1 概述	259
10.1.1 物料去湿方法	259

10.1.2	常用的干燥方式	260
10.1.3	对流干燥过程	260
10.2	湿空气状态的确定	261
10.2.1	湿空气的有关状态参数	261
10.2.2	湿空气的温度-湿度($T-r_H$)图	266
10.2.3	空气的湿度调节	270
10.3	对流干燥过程计算	271
10.3.1	湿物料中含水量的表示方法	271
10.3.2	对流干燥过程的物料衡算	272
10.3.3	对流干燥过程热量衡算	273
10.3.4	空气通过干燥器时的状态变化分析	276
10.3.5	干燥器的热效率和干燥效率	278
10.4	固体物料干燥过程分析	278
10.4.1	固体物料中的水分	279
10.4.2	固体物料的干燥机理	280
10.4.3	干燥速率及其影响因素	280
10.4.4	干燥曲线和干燥速率曲线	281
10.5	干燥设备及其选用	282
10.5.1	干燥设备的基本要求	282
10.5.2	干燥设备分类	283
10.5.3	常用的对流干燥设备	283
10.5.4	干燥器的选用	288
10.6	微波干燥简介	289
10.6.1	微波干燥原理	289
10.6.2	微波干燥特点	290
10.6.3	微波干燥设备	290
	思考题	291
	练习题	291
第11章	冷冻	293
11.1	制冷	293
11.1.1	制冷及其应用	293
11.1.2	蒸气压缩式制冷的基本原理	293
11.1.3	制冷过程的有关参数	295
11.1.4	制冷剂与载冷剂的选择	296
11.1.5	蒸气压缩式制冷循环	299
11.1.6	蒸气压缩式制冷系统简介	300
11.2	载冷剂的选择	306
11.2.1	冷却方式	306
11.2.2	载冷剂的选择	307

11.3 冷冻浓缩	308
11.3.1 冷冻浓缩及其应用	308
11.3.2 冷冻浓缩的基本原理	308
11.3.3 冷冻浓缩过程与控制	309
11.3.4 冷冻浓缩系统	310
11.4 冷冻干燥	313
11.4.1 冷冻干燥及其应用	313
11.4.2 冷冻干燥基本原理	314
11.4.3 冷冻干燥过程	315
11.4.4 冷冻干燥系统	315
思考题	319
第12章 蒸馏	320
12.1 蒸馏操作及其应用	320
12.1.1 蒸馏操作	320
12.1.2 蒸馏操作的应用	321
12.2 工业生产中的蒸馏及设备	322
12.2.1 精馏原理	322
12.2.2 精馏流程	323
12.2.3 蒸馏设备	324
12.2.4 其他蒸馏方式	329
12.3 精馏过程分析	331
12.3.1 产品组成及流量的计算	331
12.3.2 精馏加热蒸气消耗量计算	332
12.3.3 回流比的影响及适宜回流比的确定	334
12.3.4 进料组成和流量的影响	335
12.3.5 操作温度和操作压力的影响	335
12.4 精馏塔的操作	336
12.4.1 精馏塔的开车与停车操作	337
12.4.2 精馏塔的运行调节	338
12.4.3 精馏操作中不正常现象及处理方法	340
思考题	341
练习题	341
第13章 萃取	343
13.1 液-液萃取	343
13.1.1 液-液萃取及其应用	343
13.1.2 液-液萃取的基本过程	344
13.1.3 萃取剂的选择	347
13.1.4 液-液萃取设备的选用	348
13.1.5 萃取塔的操作	351

13.2 固-液萃取	352
13.2.1 固-液萃取及其应用	352
13.2.2 固-液萃取操作的基本原理	353
13.2.3 浸取溶剂的选择	354
13.2.4 浸取操作条件的选择	355
13.2.5 浸取操作方式	356
13.2.6 浸取设备	357
13.3 超临界流体萃取	361
13.3.1 超临界流体及其性质	361
13.3.2 超临界流体的选择	363
13.3.3 超临界 CO ₂ 的性质	364
13.3.4 萃取操作温度和压力的确定	364
13.3.5 超临界流体萃取的工艺流程	365
13.3.6 超临界流体在食品工业中的应用实例	368
思考题	369
第14章 吸附	370
14.1 吸附及其应用	370
14.1.1 吸附分离	370
14.1.2 吸附的应用	370
14.2 吸附与解吸	371
14.2.1 吸附	371
14.2.2 解吸	372
14.2.3 影响吸附与解吸的因素	373
14.3 吸附剂及其选用	373
14.3.1 吸附剂的基本特征	373
14.3.2 常用的吸附剂	375
14.4 吸附分离工艺流程	377
14.4.1 固定床吸附	377
14.4.2 移动床吸附	379
14.4.3 模拟移动床吸附	380
14.4.4 变压吸附	381
14.4.5 其他吸附分离方法	382
思考题	384
附录	385
主要参考文献	398