

# SHIPIN GONGCHENG YUANLI

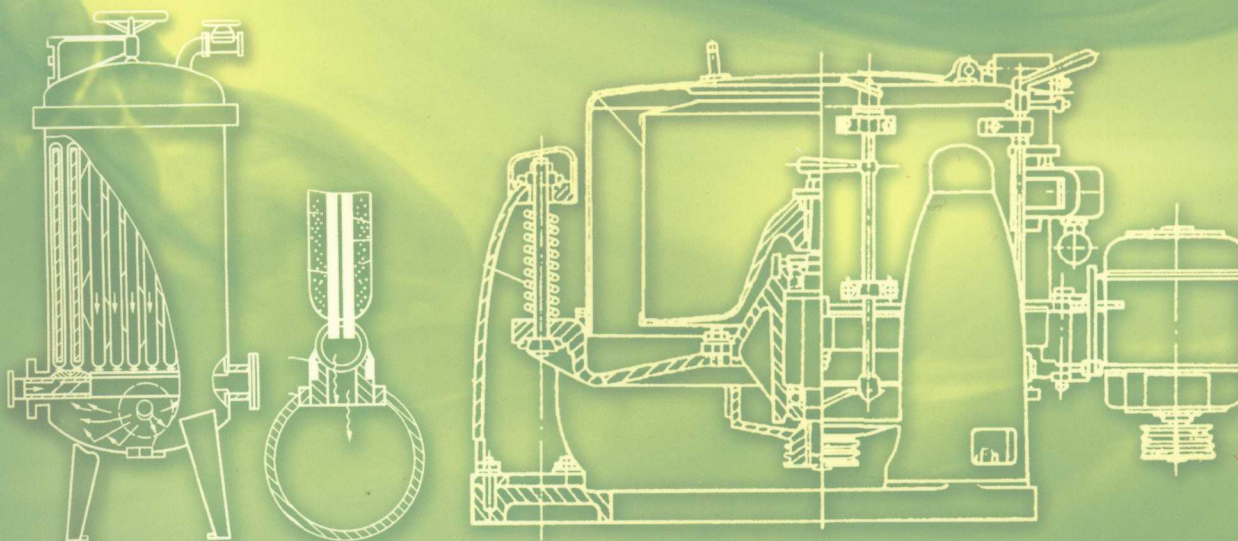


高职高专“十一五”规划教材

★ 食品类系列

## 食品工程原理

袁仲 主编



化学工业出版社

要 索 容 内

“十一五”期间，我国经济社会发展取得巨大成就，人民生活水平显著提高，综合国力不断增强。在这一过程中，我国食品工业也取得了长足进步，为国民经济和社会稳定做出了重要贡献。本书作为“十一五”期间出版的重点教材，旨在系统介绍食品工程的基本原理、基本知识和基本技能，为食品工程专业的学生提供必要的理论基础和实践指导。本书共分八章，主要内容包括：绪论、食品原料的组成与性质、食品微生物学、食品化学、食品工程原理、食品机械与设备、食品包装与贮藏、食品质量安全与检测。本书可作为食品工程及相关专业的教材，也可供从事食品工作的工程技术人员参考。

# SHIPIN

## GONGCHENG YUANLI



高职高专“十一·五”规划教材

★ 食品类系列

# 食品工程原理

袁 仲 主编

本书由袁仲主编，化学工业出版社出版。

本书可作为食品工程及相关专业的教材，也可供从事食品工作的工程技术人员参考。



化学工业出版社

北京·中国图书网·中国图书网·中国图书网

## 内 容 提 要

本书结合食品生产实际,注重加强学生运用理论知识解决食品生产实际问题能力的培养,理论“必需够用”,内容组织体现“工学结合”,突出职业教育特色。

本书在介绍食品工程有关单元操作的基本概念、基本原理的基础上,主要讲述了典型设备的构造、原理、性能及在食品工业中的应用。内容包括流体流动与输送、非均相体系分离、粉碎与混合、传热、制冷与冷冻、浓缩与结晶、干燥、蒸馏与萃取、吸附、浸出与离子交换和食品工程新技术。在食品工程新技术部分,较全面地介绍了超高温杀菌、高压杀菌和无菌包装技术、微胶囊技术、膜分离技术等。内容实用,体现行业生产现状。

本书可作为高职高专院校食品类各专业及相关专业教材,也可供从事食品科研和食品行业企业的工程技术和生产人员参考。

“十一五”规划教材

食品类系列★

# 食品工程原理

### 图书在版编目(CIP)数据

食品工程原理/袁仲主编. —北京:化学工业出版社, 2008.8

高职高专“十一五”规划教材★食品类系列

ISBN 978-7-122-02575-3

I. 食… II. 袁… III. 食品工程-高等学校; 技术学院-教材 IV. TS201.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115512 号

责任编辑:梁静丽 李植峰 郎红旗  
责任校对:蒋 宇

文字编辑:焦欣渝  
装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数536千字 2008年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 29.80 元

版权所有 违者必究

## 高职高专食品类“十一五”规划教材 建设委员会成员名单

主任委员	贡汉坤	逯家富					
副主任委员	杨宝进	朱维军	于雷	刘冬	徐忠传	朱国辉	丁立孝
委员	(按姓名汉语拼音排列)						
	李靖靖	程云燕	杨昌鹏				
	边静玮	蔡晓雯	常锋	程云燕	丁立孝	贡汉坤	顾鹏程
	郝亚菊	郝育忠	贾怀峰	李崇高	李春迎	李慧东	李靖靖
	李伟华	李五聚	李霞	李正英	刘冬	刘靖	娄金华
	陆旋	逯家富	秦玉丽	沈泽智	石晓	王百木	王德静
	王方林	王文煊	王宇鸿	魏庆葆	翁连海	吴晓彤	徐忠传
	杨宝进	杨昌鹏	杨登想	于雷	臧凤军	张百胜	张海
	张奇志	张胜	赵金海	郑显义	朱国辉	朱维军	祝战斌

## 高职高专食品类“十一五”规划教材 编审委员会成员名单

主任委员	莫慧平						
副主任委员	魏振枢	魏明奎	夏红	翟玮玮	赵晨霞	蔡健	
委员	(按姓名汉语拼音排列)						
	蔡花真	徐亚杰					
	艾苏龙	蔡花真	蔡健	陈红霞	陈月英	陈忠军	初峰
	崔俊林	符明淳	顾宗珠	郭晓昭	郭永	胡斌杰	胡永源
	黄卫萍	黄贤刚	金明琴	李春光	李翠华	李东风	李福泉
	李秀娟	李云捷	廖威	刘红梅	刘静	刘志丽	陆霞
	孟宏昌	莫慧平	农志荣	庞彩霞	邵伯进	宋卫江	隋继学
	陶令霞	汪玉光	王立新	王丽琼	王卫红	王学民	王雪莲
	魏明奎	魏振枢	吴秋波	夏红	熊万斌	徐亚杰	严佩峰
	杨国伟	杨芝萍	余奇飞	袁仲	岳春	翟玮玮	詹忠根
	张德广	张海芳	张红润	赵晨霞	赵晓华	周晓莉	朱成庆

# 高职高专食品类“十一五”规划教材建设单位

(按汉语拼音排列)

- |              |               |
|--------------|---------------|
| 宝鸡职业技术学院     | 江西工业贸易职业技术学院  |
| 北京电子科技职业学院   | 焦作大学          |
| 北京农业职业学院     | 荆楚理工学院        |
| 滨州市技术学院      | 景德镇高等专科学校     |
| 滨州职业学院       | 开封大学          |
| 长春职业技术学院     | 漯河医学高等专科学校    |
| 常熟理工学院       | 漯河职业技术学院      |
| 重庆工贸职业技术学院   | 南阳理工学院        |
| 重庆三峡职业学院     | 内江职业技术学院      |
| 东营职业学院       | 内蒙古大学         |
| 福建华南女子职业学院   | 内蒙古化工职业学院     |
| 广东农工商职业技术学院  | 内蒙古农业大学职业技术学院 |
| 广东轻工职业技术学院   | 内蒙古商贸职业学院     |
| 广西农业职业技术学院   | 宁德职业技术学院      |
| 广西职业技术学院     | 平顶山工业职业技术学院   |
| 广州城市职业学院     | 濮阳职业技术学院      |
| 海南职业技术学院     | 日照职业技术学院      |
| 河北交通职业技术学院   | 山东商务职业学院      |
| 河南工业贸易职业学院   | 商丘职业技术学院      |
| 河南农业职业学院     | 深圳职业技术学院      |
| 河南商业高等专科学校   | 沈阳师范大学        |
| 河南质量工程职业学院   | 双汇实业集团有限责任公司  |
| 黑龙江农业职业技术学院  | 苏州农业职业技术学院    |
| 黑龙江畜牧兽医职业学院  | 天津职业大学        |
| 呼和浩特职业学院     | 武汉生物工程学院      |
| 湖北大学知行学院     | 襄樊职业技术学院      |
| 湖北轻工职业技术学院   | 信阳农业高等专科学校    |
| 湖州职业技术学院     | 杨凌职业技术学院      |
| 黄河水利职业技术学院   | 永城职业学院        |
| 济宁职业技术学院     | 漳州职业技术学院      |
| 嘉兴职业技术学院     | 浙江经贸职业技术学院    |
| 江苏财经职业技术学院   | 郑州牧业工程高等专科学校  |
| 江苏农林职业技术学院   | 郑州轻工职业学院      |
| 江苏食品职业技术学院   | 中国神马集团        |
| 江苏畜牧兽医职业技术学院 | 中州大学          |

## 《食品工程原理》编写人员名单

**主 编** 袁 仲 商丘职业技术学院

**副主编** 李春光 郑州轻工职业学院

**编写人员** (按姓名汉语拼音排列)

陈思顺 漯河职业技术学院

贺晓营 郑州牧业工程高等专科学校

李春光 郑州轻工职业学院

刘 静 内蒙古商贸职业学院

王 斌 郑州牧业工程高等专科学校

王寿东 内蒙古农业大学职业技术学院

王振强 黄河水利职业技术学院

魏超峰 河南工业贸易职业技术学院

徐 君 江苏财经职业技术学院

尹显锋 内江职业技术学院

袁 仲 商丘职业技术学院

郑淑红 商丘职业技术学院

## 单各员人己能序要职器工品食》

作为高等教育发展中的一个类型,近年来我国的高职高专教育蓬勃发展,“十五”期间是其跨越式发展阶段,高职高专教育的规模空前壮大,专业建设、改革和发展思路进一步明晰,教育研究和教学实践都取得了丰硕成果。各级教育主管部门、高职高专院校以及各类出版社对高职高专教材建设给予了较大的支持和投入,出版了一些特色教材,但由于整个高职高专教育改革尚处于探索阶段,故而“十五”期间出版的一些教材难免存在一定程度的不足。课程改革和教材建设的相对滞后也导致目前的人才培养效果与市场需求之间还存在着一定的偏差。为适应高职高专教学的发展,在总结“十五”期间高职高专教学改革成果的基础上,组织编写一批突出高职高专教育特色,以培养适应行业需要的高级技能型人才为目标的高质量教材不仅十分必要,而且十分迫切。

教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)中提出将重点建设好3000种左右国家规划教材,号召教师与行业企业共同开发紧密结合生产实际的实训教材。“十一五”期间,教育部将深化教学内容和课程体系改革、全面提高高等职业教育教学质量作为工作重点,从培养目标、专业改革与建设、人才培养模式、实训基地建设、教学团队建设、教学质量保障体系、领导管理规范化等多方面对高等职业教育提出新的要求。这对于教材建设既是机遇,又是挑战,每一个与高职高专教育相关的部门和个人都有责任、有义务为高职高专教材建设做出贡献。

化学工业出版社为中央级综合科技出版社,是国家规划教材的重要出版基地,为我国高等教育的发展做出了积极贡献,被新闻出版总署领导评价为“导向正确、管理规范、特色鲜明、效益良好的模范出版社”,最近荣获中国出版政府奖——先进出版单位奖。依照教育部的部署和要求,2006年化学工业出版社在“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,邀请开设食品类专业的60余家高职高专骨干院校和食品相关企业作为教材建设单位,共同研讨开发食品类高职高专“十一五”规划教材,成立了“高职高专食品类‘十一五’规划教材建设委员会”和“高职高专食品类‘十一五’规划教材编审委员会”,拟在“十一五”期间组织相关院校的一线教师和相关企业的技术人员,在深入调研、整体规划的基础上,编写出版一套食品类相关专业基础课、专业课及专业相关外延课程教材——“高职高专‘十一五’规划教材★食品类系列”。该批教材将涵盖各类高职高专院校的食品加工、食品营养与检测和食品生物技术等专业开设的课程,从而形成优化配套的高职高专教材体系。目前,该套教材的首批编写计划已顺利实施,首批60余本教材将于2008年陆续出版。

该套教材的建设贯彻了以应用性职业岗位需求为中心,以素质教育、创新教育为基础,以学生能力培养为本位的教育理念;教材编写中突出了理论知识“必需”、“够用”、“管用”的原则;体现了以职业需求为导向的原则;坚持了以职业能力培养为主线的原则;体现了

以常规技术为基础、关键技术为重点、先进技术为导向的与时俱进的原则。整套教材具有较好的系统性和规划性。此套教材汇集众多食品类高职高专院校教师的教学经验和教改成果，又得到了相关行业企业专家的指导和积极参与，相信它的出版不仅能较好地满足高职高专食品类专业的教学需求，而且对促进高职高专课程建设与改革、提高教学质量也将起到积极的推动作用。

希望每一位与高职高专食品类专业教育相关的教师和行业技术人员，都能关注、参与此套教材的建设，并提出宝贵的意见和建议。毕竟，为高职高专食品类专业教育服务，共同开发、建设出一套优质教材是我们应尽的责任和义务。

贡汉坤



## 前 言

依据高职高专课程改革的指导思想,培养“高素质、高技能”型专门人才已成为高职高专院校专业课程设置与建设、教学内容与方法改革的指南,本书是《食品工程原理》课程改革的一种尝试。本书力求体现高等职业教育规律和特征,体现对高等职业教育的培养规格、层次及教育对象的特点的把握,紧密围绕高等职业教育的培养目标和食品行业的职业需求,内容上以“必需、够用”为度,并做到繁简适度、深入浅出,突出高等职业教育特色。

食品工程原理是食品类专业的一门重要专业基础课。作为高职高专食品类专业学生,了解和掌握现代食品生产过程的单元操作是一项必备的技能。本书的主要内容包括食品工程单元操作的基本原理、典型设备的结构、原理、操作等。本书在选材上注重从食品生产实际出发,训练和培养分析解决食品工程和生产操作中各种实际问题的能力。

全书除绪论外共分10章,内容包括流体流动与输送、非均相物系分离、粉碎与混合、传热、制冷与冷冻、浓缩与结晶、干燥、蒸馏与萃取、吸附、浸出、离子交换以及食品工程新技术等内容。在食品工程新技术部分,较全面地介绍了食品杀菌与无菌包装技术、微胶囊技术、膜分离技术等。教材每章开始提供了学习目标和重点难点,能够使学习者明确学习目的,把握学习重点;章后配有实训内容和复习题,以培养学生的操作技能,还有助于学生复习提高。本书可作为高职高专院校食品类专业教学参考书,建议80~100学时,各院校可根据实际需要增减教学内容;本书也可作为食品生产企业及相关行业工程技术人员和生产人员的学习参考书。

本书编写分工如下:绪论由袁仲编写,第一章由李春光、袁仲编写,第二章由魏超锋、李春光编写,第三章由王振强编写,第四章由王寿东编写,第五章由王斌、贺晓营编写,第六章由刘静编写,第七章由陈思顺编写,第八章由徐君编写,第九章由尹显锋编写,第十章由袁仲编写,附录由郑淑红编写。全书由袁仲统稿。

本书在编写过程中,得到了高职高专食品类“十一五”规划教材编审委员会的悉心指导、化学工业出版社和商丘职业技术学院等10所参编院校领导的大力支持和热情帮助,在此表示衷心的感谢!

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请各位同仁和读者批评指正。

编者

2008年7月

# 目 录

绪论	1	二、食品工程原理的研究内容	1
【学习目标】	1	【复习题】	5
【重点难点】	1		
一、食品工程原理的性质与任务	1		
第一章 流体的流动与输送	6	第三节 液体输送机械	33
【学习目标】	6	一、叶片式泵	33
【重点难点】	6	二、正位移泵	39
第一节 流体力学基础	6	三、泵的选用	42
一、流体的主要物理量与作用力	6	第四节 气体输送机械	44
二、流体静力学方程	8	一、通风机与鼓风机	44
三、稳定流动的连续性方程	10	二、压缩机	46
四、柏努利方程及其应用	12	三、真空泵	48
第二节 流体管内流动	17	【复习题】	50
一、流体流动的类型与雷诺数	17	【实训一】 管材、管件和阀门的认识及管路 拆装	50
二、流体流动的速度分布	18	【实训二】 离心泵的操作	51
三、流体流动的阻力	19		
四、输送管路的布置与安装	26		
五、流量测定	29		
第二章 非均相物系的分离	53	一、沉降的基本概念和理论	66
【学习目标】	53	二、沉降设备实例	69
【重点难点】	53	第四节 离心分离	71
第一节 过滤	53	一、离心分离的基本概念和理论	71
一、过滤的基本概念和理论	53	二、离心分离设备实例	72
二、过滤操作的基本工艺计算	55	【复习题】	76
三、过滤设备实例	58	【实训三】 恒压过滤操作	77
第二节 压榨	63	【实训四】 板框式硅藻土过滤机的安装及 操作	77
一、压榨的基本概念和理论	63		
二、压榨设备实例	64		
第三节 沉降	66		
一、沉降的基本概念和理论	66		
二、沉降设备实例	69		
第三章 粉碎与混合	79	第三节 混合	82
【学习目标】	79	一、混合的基本概念和理论	82
【重点难点】	79	二、液体介质中的搅拌混合	83
第一节 粉碎	79	三、高黏度浆体、塑性固体的混合	83
一、粉碎的基本概念和原理	79	四、固体混合	84
二、粉碎设备实例	80	第四节 乳化	85
第二节 筛分	80	一、乳化的基本概念和理论	85
一、筛分操作原理	80	二、乳化设备实例	86
二、筛分设备实例	81		

复习题 .....	87	【实训五】 胶体磨操作 .....	88
<b>第四章 传热</b> .....	89		
【学习目标】 .....	89	二、对流传热系数 .....	97
【重点难点】 .....	89	三、无相变对流传热 .....	99
第一节 传热的基本概念和理论 .....	89	四、有相变对流传热 .....	102
一、传热基本方式 .....	89	第四节 稳态传热 .....	104
二、工业上的换热方法 .....	90	一、稳态传热计算 .....	104
三、稳态传热和非稳态传热 .....	91	二、换热器 .....	108
第二节 热传导 .....	91	三、传热的强化 .....	112
一、傅里叶定律 .....	91	第五节 辐射传热 .....	113
二、热导率 .....	92	一、热辐射的基本概念与基本定律 .....	113
三、通过平壁的稳态导热 .....	93	二、辐射加热方法 .....	116
四、通过圆筒壁的稳态导热 .....	94	【复习题】 .....	117
第三节 对流传热 .....	96	【实训六】 对流传热系数的测定 .....	118
一、对流传热方程式 .....	97		
<b>第五章 制冷与冷冻</b> .....	121		
【学习目标】 .....	121	第二节 食品冷冻 .....	131
【重点难点】 .....	121	一、食品冷冻理论基础 .....	132
第一节 制冷技术 .....	121	二、食品冷冻设备及其应用 .....	133
一、制冷原理 .....	121	【复习题】 .....	135
二、食品制冷设备及其应用 .....	124	【实训七】 活塞式制冷压缩机的拆装 .....	135
<b>第六章 浓缩与结晶</b> .....	139		
【学习目标】 .....	139	第二节 结晶 .....	152
【重点难点】 .....	139	一、结晶的基本概念与理论 .....	152
第一节 蒸发 .....	139	二、结晶方法与设备 .....	154
一、蒸发的基本概念与特点 .....	139	三、结晶操作 .....	156
二、单效蒸发 .....	141	【复习题】 .....	157
三、多效蒸发 .....	144	【实训八】 真空浓缩罐操作 .....	158
四、蒸发器及其选用 .....	145		
<b>第七章 干燥</b> .....	159		
【学习目标】 .....	159	三、干燥静力学 .....	168
【重点难点】 .....	159	四、干燥动力学 .....	172
第一节 湿空气的性质与湿度图 .....	159	第三节 干燥设备 .....	175
一、湿空气的性质 .....	159	一、干燥设备的种类 .....	175
二、湿空气的湿度图 .....	164	二、干燥设备实例 .....	176
第二节 干燥的基本原理 .....	166	三、干燥器的选择 .....	180
一、干燥的目的与方法 .....	166	【复习题】 .....	181
二、湿物料和湿物料中的水分 .....	167	【实训九】 物料干燥操作 .....	181
<b>第八章 蒸馏与萃取</b> .....	184		
【学习目标】 .....	184	第二节 萃取 .....	196
【重点难点】 .....	184	一、萃取的基本概念与理论 .....	196
第一节 蒸馏 .....	184	二、萃取设备及其应用 .....	201
一、蒸馏的基本概念和理论 .....	185	第三节 超临界流体萃取技术 .....	205
二、蒸馏设备及其应用 .....	192	一、超临界流体萃取的基本原理 .....	205

二、超临界流体萃取的特点 .....	206	【实训十】 板式精馏塔操作 .....	207
三、超临界流体萃取的应用 .....	206	【实训十一】 液-液萃取操作 .....	208
复习题 .....	207		
<b>第九章 吸附、浸出、离子交换 .....</b>	<b>209</b>		
【学习目标】 .....	209	一、浸出的基本概念和理论 .....	215
【重点难点】 .....	209	二、浸出设备及其应用 .....	217
第一节 吸附 .....	209	第三节 离子交换 .....	220
一、吸附的基本概念与理论 .....	209	一、离子交换的基本概念与理论 .....	220
二、吸附方法与设备 .....	213	二、离子交换装置及其应用 .....	224
第二节 浸出 .....	214	【复习题】 .....	226
<b>第十章 食品工程新技术 .....</b>	<b>227</b>		
【学习目标】 .....	227	三、微胶囊技术在食品工业中的应用 .....	243
【重点难点】 .....	227	第三节 膜分离技术 .....	246
第一节 食品杀菌与无菌包装技术 .....	227	一、膜分离技术基本原理 .....	246
一、超高温杀菌技术 .....	227	二、分离膜的结构和材料 .....	249
二、超高压杀菌技术 .....	231	三、膜分离装置和流程 .....	251
三、无菌包装技术 .....	233	四、膜分离技术在食品工业中的应用 .....	257
第二节 微胶囊技术 .....	236	【复习题】 .....	259
一、微胶囊技术基本原理 .....	236	【实训十二】 食品工厂参观 .....	260
二、微胶囊的制备方法 .....	239		
<b>附录一 单位换算 .....</b>	<b>261</b>		
<b>附录二 物理性质 .....</b>	<b>263</b>		
<b>附录三 管子、泵的型号与规格 .....</b>	<b>268</b>		
<b>参考文献 .....</b>	<b>271</b>		

## 绪 论

### 学习目标

1. 了解：食品工程原理的性质与任务；常用单位制。
2. 掌握：单元操作的概念；物料衡算的方法；单位换算的方法。
3. 理解：三传理论；能量衡算；平衡关系；传递速率。

### 重点难点

1. 重点：单元操作；物料衡算；单位换算。
2. 难点：三传理论；能量衡算；传递速率。

### 一、食品工程原理的性质与任务

食品工程原理是食品加工技术专业、食品生物技术专业、食品营养与检测专业等专业的一门重要的专业基础课程。它不同于自然科学中的基础课程，又区别于具体的食品工艺学等专业课程，它是将基础学科中的一些基本原理应用到研究食品工业生产过程中内在的、系统的一门综合性的工程技术课程。它主要阐述食品加工过程中有关单元操作的基本理论及设备的结构和基本原理，为食品工艺学等专业课程的学习打下良好的基础。

食品工程原理作为食品类专业的一门专业基础课程，它以高等数学、物理学、机械基础等课程为基础。食品工程原理是由化工原理发展而来，人们从长期化工实践中，把不同化学生产工艺过程所共有的基本操作步骤抽提出来，研究其各自的内在规律性，在理论上加以总结，再到生产实践中应用和验证，不断提高，就产生了单元操作的概念。食品加工科学化的一个重要方面就是化工单元操作的引入和运用。人们发现，食品工业中许多基本操作步骤在原理上与化工是相似的，将化工原理中的现成的单元操作研究成果应用于食品工程，就产生了食品工程的基础理论——食品工程原理。由于食品加工的原料是农、林、牧、副、渔业的动植物产品。这些原料的结构和成分非常复杂，具有易腐性、热敏性和易氧化变质等特点，作为食品，又不得不考虑在加工时色、香、味、营养成分的变化问题。食品加工的目的就在于如何抑制有害微生物和酶的活性，以提高制品的保藏性，为避免食品加工过程中的高温破坏和氧化变质，加工条件就不得不采用低温、低压，特别是低压。由于上述食品加工对低温和低压的要求，近年来又逐渐开发了新型的冷冻浓缩、膜浓缩、辐射干燥、冷冻干燥、低温冷冻、速冻等食品工程单元操作。新的提取和分离技术，如膜分离、酶萃取等在食品研究和应用领域发展很快。由于食品加工物料的特殊性，食品工程单元操作与化工单元操作既有彼此关联之处，而又有其本身的特殊性，食品工程原理在发展中形成了自己的特色。

学习本课程的主要任务是掌握食品加工过程中的基本理论、各单元操作的基本规律，熟悉常用食品加工设备的结构、原理、操作与注意事项，并把这些知识应用于食品加工的研究、设计和生产中，培养学生分析和解决食品工程单元操作中各种工程实际问题的能力；同时，还应掌握查取各类图表和工程设计手册中数据的方法，逐渐建立和养成严谨科学的工作态度，为今后走上工作岗位打下良好基础。

### 二、食品工程原理的研究内容

#### (一) 单元操作与三种传递

##### 1. 单元操作

各种现代食品的工业生产，都有其独特的加工工艺。每种工艺都是由一系列基本步骤构成的。

例如,由甜菜制糖要经过30多个步骤。其中主要步骤为:甜菜经过清洗,用切丝机切丝;以一定温度的水进行浸取,使糖溶解;再经一系列步骤将杂质分离出去;糖溶液打入蒸发罐蒸发得糖制品。其中浸取、蒸发浓缩、结晶、离心分离、干燥等都是主要的基本操作步骤。再如,大豆以萃取法制油,先经过大豆筛选、粉碎、去皮、压片,然后以正己烷浸取,浸取液经过滤、蒸发脱溶剂、离心脱胶等步骤,得豆油产品。可见,虽然甜菜制糖和大豆制油的生产工艺不同,但是两者的有些操作步骤是类似的。例如,以水浸甜菜丝和以正己烷浸豆片,都是用溶剂把固体中的一些成分萃取出来,二者遵循相同的传质规律。这种基本生产步骤称作浸取。浸取就是一些食品加工工艺共有的一种基本步骤,称作一种单元操作。再如,制糖中结晶前的糖液浓缩和制油中油浸取液脱除正己烷,都采用蒸发单元操作,通过间壁加热使溶液中易挥发的溶剂气化分出,二者遵循相同的传热规律。

同一种单元操作具有共同的理论基础,它遵循相同的平衡和动力学等规律,通过一些典型设备予以实现,有相同的工程计算方法。归纳出单元操作的特点是:

- ① 若干个单元操作串联起来组成一个食品工艺过程;
- ② 单元操作均为物理性操作,只改变物料的状态或其物理性质,不改变其化学性质;
- ③ 同一食品生产过程中可能会包含多个相同的单元操作;
- ④ 单元操作用于不同的生产过程,其基本原理相同,进行该操作的设备也可以通用。

食品工程原理讨论近20种单元操作。将这些单元操作的基本原理、典型设备和工程计算方法搞清,对数以千计的具体食品加工工艺就不难掌握。有人把单元操作比喻成英文字母,26个字母可组合成各种词汇和优美的文句。掌握了单元操作,各种食品生产过程不过是单元操作的连接和组合,只是不同食品工艺,这些单元操作的具体条件有异而已。单元操作的规律性是共同的。对这些单元操作本身进行深入的理论探讨,透彻理解其一般性和本质性规律,对了解和设计各种食品加工工艺是很有意义的。例如,分析由牛奶生产奶粉的工艺流程,可知它主要由流体输送—离心沉降(净乳)—混合(成分标准化)—热交换(杀菌等)—蒸发(浓缩)—喷雾干燥等单元操作构成。其中的蒸发操作,在操作温度、压力等条件上可能与制糖、制油等工艺中的蒸发不同,但其操作原理和规律性却是共通的。

### 2. 三传理论

食品工程原理是以三大传递过程原理作为理论基础的,三大传递为动量传递、热量传递、质量传递,其对应的传递过程如下。

(1) 流体流动过程 食品工程中存在运动的流体发生的动量由一处向另一处传递的过程,这就是工程流体力学研究的内容。影响流体流动最重要的一种流体性质是它的黏度,从微观角度看,流体分子由于热运动不断进行动量传递和交换,是产生黏度的主要原因。以流体动量传递原理为理论基础的单元操作有:流体流动与输送、混合、沉降、过滤、离心分离等。

(2) 传热过程 因存在温度差而使能量由一处传到另一处的过程即为热量传递。以热量传递理论为基础的单元操作有:加热、冷却、冷冻、蒸发、干燥等。

(3) 传质过程 因浓度差而产生的扩散作用形成内相和相间的物质传递过程,称为质量传递。以质量传递理论为基础的单元操作有:蒸馏、萃取、吸附、结晶、干燥、膜分离等。

现代食品工业常常涉及复杂的分离过程,以制造高价值的食品配料,去除天然食品原料中无益或有害的成分,或者回收食品加工副产物中有用的成分。一种单元操作往往涉及不止一种传递过程,例如蒸馏操作既涉及质量传递,也离不开热量传递。

本书依次介绍流体流动、传热和传质三大传递的基本原理,在此基础上讨论相关的单元操作。从理论上分析和阐明各单元操作基本原理,前面列出的各单元操作,大部分是物质分离过程,因此,要掌握现代食品工程技术,必须学好作为各单元操作理论基础的三大传递过程原理。

### (二) 几个基本概念

#### 1. 物料衡算

物料衡算包括对原料、产品及进出系统的水、电、汽等进行平衡计算。物料衡算依据质量守恒定律,进入与离开某一食品加工过程的物料质量之差,等于该过程中累积的物料质量。即:

输入量 - 输出量 = 累积量

对于连续操作的过程，若各物理量不随时间改变，即处于稳定操作状态时，过程中不应有物料的积累，则物料衡算关系为：

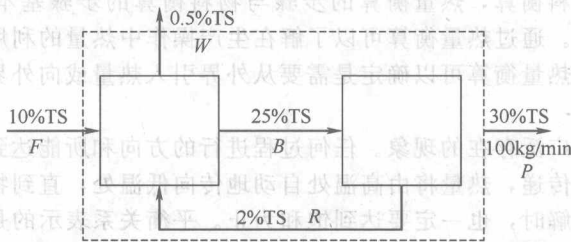
输入量 = 输出量

用物料衡算式可由过程的已知量求出未知量。上述物料衡算式，可在整个过程范围内使用，也可在一个或几个设备范围内使用。它既可针对全部物料运用，在没有发生化学反应时，还可针对混合物中任一组分运用。它是工艺过程计算的重要内容之一，对于设备尺寸的设计和正常生产过程具有重要意义。物料衡算的方法和步骤如下：

- ① 根据题意画出各物流的流程示意图，物料的流向用箭头表示，并标上已知数据与待求量；
- ② 划定物料衡算范围，其边界要与物流流相交，这样所列出的衡算式才能包含需要算出的未知数；
- ③ 规定衡算基准，一般选用单位进料量或排料量、时间及设备的单位体积等作为计算的基准；
- ④ 列出衡算式，求解未知量。

**【例 0-1】** 用一薄膜分离系统来浓缩一种液体食品中的总固形物 (TS)，从 10% (质量分数，下同) 浓缩至 30%。该浓缩过程分两个阶段完成：第一阶段先得到一种固形物含量较低的液体流；第二阶段再从该液体流中分离得出最后的浓缩产品。在第二阶段分离中使排除的固形物含量低的液体流返回到第一阶段。试求：当回流液中含 2% TS，第一阶段排出的废液中含 0.5% TS 和第一与第二阶段间的液体流含 25% TS 时，回流液的质量流量 (P) 为多少 (单位：kg/min)？假设该过程应产生 100kg/min 的含 30% TS 的液体流。

**解** 根据题意画出各物流的流程示意图如下：



- 已知：原料液的总固形物含量  $x_F = 10\%$   
 产品液的总固形物含量  $x_P = 30\%$   
 回流液的固形物含量  $x_R = 2\%$   
 第一阶段排出的废液中固形物含量  $x_W = 0.5\%$   
 第一与第二阶段间的液体流固形物含量  $x_B = 25\%$   
 产品的质量流量  $P = 100\text{kg/min}$

求解：

(1) 以每分钟质量流量作为计算基准

(2) 对于整个系统进行物料衡算

$$F = P + W$$

$$F \cdot x_F = P \cdot x_P + W \cdot x_W$$

$$F = 100 + W$$

$$F \times 0.1 = 100 \times 0.3 + W \times 0.005$$

(3) 对于第一阶段进行物料衡算

$$F + R = W + B$$

$$F \cdot x_F + R \cdot x_R = W \cdot x_W + B \cdot x_B$$

$$F \times 0.1 + R \times 0.02 = W \times 0.005 + B \times 0.25$$

(4) 由步骤 (2) 品气... (text is partially obscured)

$$(100+W) \times 0.1 = 30 + 0.005W$$

$$0.1W - 0.005W = 30 - 10$$

$$0.095W = 20$$

$$W = 210.5 \text{ (kg/min)}$$

$$F = 310.5 \text{ (kg/min)}$$

(5) 由步骤(3)

$$310.5 + R = 210.5 + B$$

$$B = 100 + R$$

$$310.5 \times 0.1 + 0.02R = 210.5 \times 0.005 + 0.25B$$

$$31.05 + 0.02R = 1.0525 + 25 + 0.25R$$

$$4.9975 = 0.23R$$

$$R = 21.73 \text{ (kg/min)}$$

即, 第二阶段回流到第一阶段回流液的质量流量为 21.73kg/min。

## 2. 能量衡算

能量包括物料自身的能量(内能、动能、位能等)、系统与外界交换的能量(功、热等)等, 因此, 能量的形式是多种多样的。与物料衡算相比, 能量衡算要复杂得多。食品工程单元操作中, 能量衡算主要有机械能衡算和热能衡算。能量衡算的依据是能量守恒定律, 向一个过程输入的能量必等于从该过程输出的能量。若该过程有几种能量相互转化, 则其间的关系可通过能量衡算确定; 若只涉及热能, 则能量衡算就简化为热量衡算, 这是食品工程中最常见的能量衡算形式。对于稳定过程, 同样有“输入量=输出量”的关系, 对一般过程产生的热损失, 可归入输出量中考虑。

热量衡算的基础是物料衡算, 热量衡算的步骤与物料衡算的步骤基本相同, 可参考传热、蒸发、干燥等单元操作例题。通过热量衡算可以了解在生产操作中热量的利用和损失情况; 而在生产过程与设备设计时, 运用热量衡算可以确定是需要从外界引入热量或向外界输出热量的问题。

## 3. 平衡关系

平衡状态是自然界中广泛存在的现象。任何过程进行的方向和所能达到的限度都是由物系的平衡关系决定的。如热量的传递, 热量将由高温处自动地传向低温处, 直到物系中各部分的温度相等为止。又如食盐在水中溶解时, 也一定要达到饱和为止。平衡关系表示的是各种自然发生的过程可能达到的极限程度, 除非影响物系的环境有变化, 否则其平衡关系是不会改变的。必须指出, 任何平衡状态都是在一定条件下, 过程的各种因素暂时、相对的统一现象, 如果条件变化了, 原来的平衡状态就要破坏, 直到建立起新的平衡状态。

可用平衡关系来判断过程能否进行以及进行的方向和能达到的限度。食品生产中可以用来推知生产过程能否进行及进行到何种程度, 也为设备的尺寸设计提供了理论依据。

## 4. 过程速率

物系处于平衡时, 称之为平衡状态, 当实际状态偏离平衡状态时, 就会发生从实际状态向平衡状态转化的过程, 此过程进行的快慢, 称为过程传递速率。过程传递速率受很多因素的影响, 各种不同过程的传递速率有其不同的数学计算式。但任何过程的传递速率都遵循这样的规律, 即过程的传递速率与过程的推动力成正比, 与过程的阻力成反比。通常将其表示为:

$$\text{过程传递速率} = \frac{\text{过程的推动力}}{\text{过程的阻力}}$$

这个关系类似于电学中的欧姆定律。过程推动力可依据过程不同而有所不同, 对于传热来说, 就是温度差; 对于传质来说, 就是浓度差等。显然, 在其他条件相同的情况下, 推动力越大, 过程速率越大。过程阻力是阻碍过程进行的一切因素的总和, 与过程机理有关, 过程阻力较复杂, 要做具体分析。过程阻力越大, 过程速率越小。过程的传递速率是决定食品加工设备的重要因素, 传递速率增大时, 设备尺寸可以变小。

## 5. 经济核算

效益是企业的命脉, 经济核算是企业的核心工作。为生产定量的某种产品所需要的设备, 根据



设备的类型和材料不同，可以有若干设计方案。对同一台设备，所选用的操作参数不同，会影响到设备费用与操作费用。在设计或选择设备时，力争做到技术上先进，经济上合理。例如，在选择分离方法和设备时，通过综合比较估算设备费用和操作费用的大小。使用标准设备比非标设备投入少，使用结构简单的设备比使用结构复杂的设备投入少等；在操作费用方面，原材料与动力消耗是主要的，应该消耗越少越好，需要的人员越少越经济；完成同样的分离任务，投入费用越少越经济。

【复习题】

1. 湿物料原含水量 20% (质量分数)，在干燥器内干燥至含水量 2%，试求每吨湿物料除去的水量。
2. 采用蒸发器浓缩溶液，每小时有 5t 12% (质量分数) 的溶液进入蒸发器，浓缩到 50% 后排出。试求每小时蒸发的水量及浓缩后溶液的量。

... 复习题 ... 湿物料原含水量 20% ... 干燥器内干燥至含水量 2% ... 试求每吨湿物料除去的水量 ... 采用蒸发器浓缩溶液 ... 每小时有 5t 12% ... 浓缩到 50% 后排出 ... 试求每小时蒸发的水量及浓缩后溶液的量 ...

... 复习题 ... 湿物料原含水量 20% ... 干燥器内干燥至含水量 2% ... 试求每吨湿物料除去的水量 ... 采用蒸发器浓缩溶液 ... 每小时有 5t 12% ... 浓缩到 50% 后排出 ... 试求每小时蒸发的水量及浓缩后溶液的量 ...

... 复习题 ... 湿物料原含水量 20% ... 干燥器内干燥至含水量 2% ... 试求每吨湿物料除去的水量 ... 采用蒸发器浓缩溶液 ... 每小时有 5t 12% ... 浓缩到 50% 后排出 ... 试求每小时蒸发的水量及浓缩后溶液的量 ...

基础学代林新 讲一第

代用并己... 量照... 要... 1