



GAODENG ZHIYE JIAOYU SHIPINLEI ZHUANYE XILIE JIAOCAI

• 高等职业教育食品类专业系列教材 •

食品工程原理

S H I P I N G O N G C H E N G Y U A N L I

张旭光 主编





中国轻工业出版社
CHINA LIGHT INDUSTRY PRESS

食品工程原理

傅强先 主编



高等职业教育食品类专业系列教材

食品工程原理

张旭光 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

食品工程原理/张旭光主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2006. 9

(高等职业教育食品类专业系列教材)

ISBN 7-5019-5493-3

I. 食... II. 张... III. 食品工程学-高等学校:
技术学校-教材 IV. TS201.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 073293 号

责任编辑: 白洁 责任终审: 滕炎福 封面设计: 宋琳媛
版式设计: 马金路 责任校对: 燕杰 责任监印: 胡兵 张可

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印刷: 利森达印务有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2006年9月第1版第1次印刷

开本: 720×1000 1/16 印张: 21

字数: 404千字

书号: ISBN 7-5019-5493-3/TS·3194

定价: 30.00元

读者服务部邮购热线电话: 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-85119817 65128898 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

51055J4X101ZBW

高等职业教育食品类专业系列教材 编审委员会成员名单

主 任 张安宁

副主任 朱 珠 莫慧平 刘 冬

委 员(按姓氏笔画排序)

马 越	王 锋	马兆瑞	孙连富	刘用成
李五聚	吴云辉	杜克生	杨 君	杨爱萍
杨登想	张旭光	张孔海	梁传伟	翟玮玮

前 言

目前,我国的职业教育正在迅速发展。为了能够适应社会对毕业生的需求,职业教育的教学改革已经成为重点课题。随着职业教育教学改革的不断深入,以往的教材已经跟不上形势的需要。根据教育部《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》的精神和高等职业教育食品类专业系列教材编审委员会深圳会议、天津会议的精神,十几所学校的高等职业教育食品类专业的骨干教师共同编写了一套适合目前高等职业教育食品类专业教学需要的统编教材,本教材是其中之一。

《食品工程原理》是食品类专业重要的专业基础课,它的学习对象是食品加工过程中各种典型的单元操作。从高等职业教育人才培养目标出发,本着“理论必需、够用为度、突出应用能力的培养原则”,本教材在编写中尽可能回避复杂的理论推导,理论方面以能使学生理解为度,加强应用方面知识的内容。

考虑到教学的学时有限,本教材在编写中以流体流动、流体输送设备、非均相物系的分离、传热、蒸发、干燥为主要内容,将混合、乳化、破碎、筛分、压榨、蒸馏、吸收、萃取、膜分离等作为简介内容。另外,由于企业中的空气调节系统、制冷系统一般是由专业人员操作和维护的,而且这部分内容学习难度较大,因此,在本教材的编写中未将这部分内容列入。

为了学习方便,在每章开始都明确“学习目标”和“考核标准”;在每一节后都附有“思考题”用于学生复习和巩固,还有适量“作业题”用于学生练习;根据需要部分章节还附有实验内容。

本书由江苏省徐州工业职业技术学院张旭光主编,参加编写工作的还有新疆农业大学食品科学学院孔令明、吉林粮食高等专科学校李凤祥、甘肃农业职业技术学院张怀珠。其中绪论、流体流动、萃取、膜分离、附录等内容由张旭光编写,传热、干燥等内容由孔令明编写,流体输送机械、蒸馏、吸收等内容由李凤祥编写,非均相物系的分离、蒸发、混合、乳化、破碎、筛分、压榨等内容由张怀珠编写。

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。

编者

目 录

第一章 绪论	1
一、食品工业的发展	1
二、单元操作的概念	1
三、食品工程的特点	2
四、本课程的性质、任务与内容	3
五、单位及单位换算	3
六、工程中的几个常用概念	4
七、学习建议	6
思考题	6
作业题	6
第二章 流体流动	7
第一节 概述	7
一、学习流体流动规律的意义	7
二、常见的流体输送方式	8
思考题	10
第二节 流体的密度	10
一、密度与相对密度的概念	10
二、流体密度的影响因素	11
三、流体密度的获得	11
思考题	13
作业题	13
第三节 流体内部的静压强	14
一、流体内部的静压强	14
二、压力的表示方法	15
思考题	16
作业题	16
第四节 流体流动基本知识	16
一、流速和流量	16
二、稳定流动与不稳定流动	18

三、稳定流动的物料衡算——连续性方程·····	18
四、稳定流动系统的能量衡算——柏努利方程·····	19
思考题·····	24
作业题·····	24
第五节 静止流体规律与应用·····	25
一、静力学基本方程讨论·····	25
二、液位测量·····	26
三、压力差与表压的测量·····	28
四、液封高度的计算·····	30
[实验一] 柏努利方程验证·····	32
思考题·····	34
作业题·····	34
第六节 流体在管道中流动时的能量损失·····	34
一、流体的黏度·····	34
二、流体阻力产生的原因·····	36
三、流体的流动形态·····	36
四、流体在管道中流动时的能量损失计算·····	38
五、减少流体阻力的措施·····	41
[实验二] 流动阻力系数的测定·····	41
思考题·····	44
作业题·····	44
第七节 流量的测量·····	44
一、孔板流量计·····	44
二、文氏管流量计·····	46
三、转子流量计·····	46
思考题·····	47
作业题·····	47
第三章 流体输送设备·····	49
第一节 流体输送管路·····	49
一、管路的基本组成·····	49
二、管子、管件、阀门的标准·····	55
三、管路联接·····	55
四、管路布置原则·····	56
思考题·····	57

作业题	57
第二节 液体输送机械	57
一、离心泵	58
二、其他类型的泵	66
[实验三] 离心泵特性曲线测定	72
思考题	74
作业题	74
第三节 气体输送与压缩机械	75
一、通风机	75
二、鼓风机	77
三、压缩机	77
四、真空泵	80
思考题	82
作业题	83
第四章 非均相物系的分离	85
第一节 沉降	86
一、重力沉降	86
二、离心沉降	89
三、沉降设备	91
思考题	100
作业题	101
第二节 过滤	101
一、过滤的基本概念和理论	101
二、过滤设备	106
[实验四] 板框式压滤机过滤常数的测定	109
思考题	111
作业题	112
第三节 离心分离	112
一、离心分离基本原理	113
二、离心机	115
思考题	117
作业题	117
第四节 气体的其他净制设备	117
一、重力沉降与惯性分离	118

二、旋风分离	118
三、过滤除尘	118
四、湿法净制	120
五、电除尘	122
思考题	122
第五章 传热	124
第一节 概述	124
一、传热基本方式	124
二、稳态传热和非稳态传热	125
三、工业换热方法	125
四、间壁式换热器传热过程	126
思考题	127
第二节 热传导	127
一、傅立叶定律和导热系数	127
二、通过平壁的稳态热传导	130
三、通过圆筒壁的稳态热传导	132
思考题	135
作业题	135
第三节 对流传热	135
一、对流传热基本方程及表面传热系数	135
二、表面传热系数的计算	137
思考题	149
作业题	149
第四节 传热计算	150
一、热量衡算	150
二、传热速率方程	151
三、传热平均温度差	151
四、传热系数获取方法	154
五、传热过程的强化	156
[实验五] 表面传热系数测定实验	157
思考题	161
作业题	161
第五节 热辐射	161
一、热辐射的基本规律	161

二、两固体间的热辐射	164
三、辐射对流联合传热	166
思考题	167
作业题	167
第六节 换热器	167
一、间壁式换热器的基本类型	168
二、列管式换热器选用原则	175
思考题	176
第六章 蒸发	178
第一节 概述	178
一、蒸发的基本概念	178
二、食品原料蒸发的特点	179
三、蒸发浓缩在食品工业中的应用	180
思考题	181
第二节 单效蒸发	181
一、单效真空蒸发装置	182
二、真空蒸发器装置内的传热	184
三、蒸发装置内的温差损失	184
四、蒸发过程中的传热及传热系数	187
思考题	190
作业题	190
第三节 多效蒸发	190
一、多效蒸发的原理和特点	190
二、多效蒸发装置的设备流程	191
三、多效蒸发的温差分配	193
四、多效蒸发效数的限度	195
五、多效蒸发的计算	195
六、多级闪急蒸发	197
思考题	199
作业题	200
第四节 蒸发设备	200
一、标准式蒸发器及其变型	200
二、加热室在外的蒸发器	202
三、长管式蒸发器	203

四、刮板薄膜蒸发器	205
五、板式(片式)蒸发器	206
六、其他新型蒸发器	207
七、蒸发器的选用	209
思考题	210
第七章 干燥	211
第一节 概述	211
一、物料去湿方法	211
二、干燥操作的分类	212
三、对流干燥过程简介	213
思考题	213
作业题	213
第二节 湿空气的性质与湿度图	213
一、湿空气的性质	213
二、湿空气的湿度图及其用法	219
思考题	224
作业题	225
第三节 干燥过程的物料衡算和热量衡算	225
一、湿物料的形态	225
二、湿物料含水量的表示方法	226
三、干燥过程的物料衡算	226
四、干燥系统的热量衡算	228
五、干燥空气状态的变化分析	230
思考题	232
作业题	232
第四节 干燥过程的平衡关系	232
一、水分的平衡关系	232
二、恒定干燥条件下的干燥过程	234
三、恒定干燥条件下干燥时间的计算	236
[实验六] 干燥速率曲线的测定	237
思考题	239
作业题	239
第五节 食品干燥设备	239
一、食品干燥设备的分类	239

二、对食品干燥设备的要求	241
三、常用干燥器简介	241
四、干燥器的选择	248
思考题	249
作业题	249
第八章 其他单元操作简介	251
第一节 混合、乳化	251
一、混合	251
二、乳化	259
思考题	268
第二节 破碎、筛分	268
一、破碎	269
二、筛分	273
思考题	276
第三节 压榨	277
一、压榨原理	277
二、压榨设备	280
思考题	282
第四节 蒸馏	282
一、挥发度与相对挥发度	283
二、简单蒸馏	283
三、精馏	284
四、板式塔	285
思考题	288
第五节 吸收	288
一、吸收的基本概念	288
二、溶剂的选择	288
三、吸收装置	289
思考题	291
第六节 萃取	292
一、萃取在工业生产中的应用	292
二、萃取剂的选择	292
三、萃取操作流程	294
四、萃取设备	295

五、萃取塔的操作	297
六、超临界流体萃取	299
思考题	301
第七节 膜分离技术	301
一、概述	301
二、分离用膜	304
三、膜分离设备的类型	305
四、超滤、反渗透的工艺流程	307
思考题	308
附录	309
一、常见的几个 SI 单位与非 SI 单位间的换算	309
二、空气的重要物理性质($p = 101.3\text{kPa}$)	309
三、水的重要物理性质	310
四、水的饱和蒸汽压($-20 \sim 100^\circ\text{C}$)	311
五、饱和水蒸气表(按温度排列)	312
六、水的黏度($0 \sim 100^\circ\text{C}$)	314
七、气体的比热容($p = 101.3\text{kPa}$)	315
八、离心泵规格	316
参考文献	319

第一章 绪 论

[教学目标]

1. 了解：食品工业的发展,本课程的来源、性质、主要学习内容。
2. 理解：单元操作、物料衡算、能量衡算、生产能力、生产强度的概念,食品工程的特点。
3. 掌握：SI 单位制的构成,单位的正确使用。

[考核标准]

1. 能说出 SI 单位制的构成,能够进行单位的换算。
2. 能回答出单元操作、物料衡算、能量衡算、生产能力、生产强度的概念和食品工程的特点。

一、食品工业的发展

人类的食品加工自古以来就存在,但是,食品加工长期处于家庭或个体小作坊的形式,向工业化发展的进程落后于化学工业。近代,随着科学技术的发展才形成真正意义上的食品工业,其标志是 100 多年前尼古拉·阿佩尔发明的罐头生产技术,它使食品能够长时间贮存和长距离运输。

虽然食品工业开始较晚,但是发展很快。目前,食品工业已经发展成国民经济的重要支柱产业,成为一个名副其实的“大工业”。食品工业产品种类繁多,可分为多个加工行业,包括:糖果、罐头、酿造、饮料、乳品、饼干、糕点等。食品工业的发展使人们在家庭食品加工上耗费的时间大幅度减少,适应了社会发展的需要。

“民以食为天”,食品工业是一个永远发展的产业。我国食品工业近年来虽然得到了迅速的发展,但是与世界发达国家相比,不论是生产技术水平、生产规模、产品品种等方面都有很大的差距。

二、单元操作的概念

单元操作的概念是在化学工业中提出的,化工产品的种类很多,一个化工产品的生产又要经过若干个物理过程与若干个化学反应过程。经过长期的实践与研究,人们发现,尽管化工产品千差万别,生产工艺多种多样,但生产这些产品的过程所包含的物理过程并不是很多的,而且是相似的。比如,流体输送不论用来输送何种物料,其目的都是输送流体;加热与冷却都是为了得到需要的温度;分离提纯都是为了得到指定浓度的混合物等。人们把这些包含在不同化工产品生

产过程中,发生同样的物理变化,遵循共同的规律,使用相似设备,具有相同作用的基本物理操作,称为单元操作。为人们所熟知的单元操作有流体流动与输送、传热、蒸发、结晶、蒸馏、吸收、萃取、干燥、沉降、过滤、离心分离、静电除尘、湿法除尘等,近年来,一些新的单元操作(如吸附、膜分离、超临界萃取、反应与分离偶合等)也得到了越来越广泛的应用。

同样,食品工业中也存在类似的情况,在各种食品产品的加工过程中,化工单元操作都有直接的应用。虽然食品种类很多,而且每一种食品的加工过程有着很大的区别,但是,它们同样都包括着各种各样的单元操作过程。可以说,一个食品产品的生产过程是若干个单元操作的组合,只不过不同的产品生产过程中,单元操作有其独特的条件与要求。显然,研究单元操作对于食品生产技术的发展是非常重要的。

三、食品工程的特点

食品工程与化学工程有许多相似之处,加工过程都可以分解成多个单元操作,化学工程中常用的理论和方法同样适用于食品工程。但是,食品工程也有自身的一些特点,食品工程所涉及的单元操作比化学工程广泛,其中一些单元操作(如破碎、压榨、混合、乳化等)还缺乏成熟的理论;而蒸馏、吸收这些在化学工程中应用较多、理论研究较为成熟的单元操作,反而在食品工业中应用较少。

另外,食品工业还具有以下特点:

(1) 原料成分和结构复杂 食品工业的原料主要是农、林、牧、渔业的动植物产品。大多数原料是活的生物体,其成分不仅随土壤、气候等变化,而且在成熟、输送和贮藏过程中也在不断变化。某些成分在加工时还会发生一些不利的化学变化,造成损失或影响到产品的品质,这给加工带来许多不便,这也是许多食品的加工过程长期以来固守传统方法的原因。

(2) 热敏性和易氧化变性是食品的共性 在加工中,为了避免食品被高温破坏和氧化变性,必须采用低温、低压的加工条件。因此,在食品工业中,真空操作、冷冻操作被广泛采用,而这两类操作在理论计算上目前还只有靠经验或半经验的方法或公式进行。

(3) 微生物对原料及产品的影晌大 容易腐烂变质是食品的共同特点,食品加工的主要目的就在于如何抑制微生物和酶的活动,以提高食品的保藏性。浓缩食品、干制食品和速冻食品等已经成为食品工业的重要产品,而作为其加工基础的干燥、浓缩等单元操作就必然在食品工程中占有重要地位,其技术的发展及应用比化学工业迅速。

(4) 食品工业涉及的物料主要是液体和固体,在化学工业中研究最多的气-液相操作过程在食品工业中难有用武之地。食品工程应用最多的是固-液

相过程,与气-液相过程相比,在分离、混合及相间传质方面都复杂和困难得多。

(5) 食品工程涉及到的液体常为非牛顿流体。

四、本课程的性质、任务与内容

《食品工程原理》是一门技术性、工程性及应用性都很强的专业课程,是构建从事食品加工生产操作的高素质劳动者和生产技术管理的初、中级专门人才知识结构、素质结构与能力结构的必修课,是培养学生工程技术观点与基本实践技能的重要课程。它以食品生产过程中的单元操作作为自己的主要内容,主要学习食品加工单元操作过程规律在生产中的应用,使学生熟练掌握常见的食品加工单元操作的基本知识与基本技能,初步形成用工程观点观察问题、分析问题、处理操作中遇到的问题的能力,树立良好的职业意识和职业道德观念,为学生学习后续专业课程和将来从事食品生产、技术、管理和服务工作做准备,为提高职业能力打下基础。

《食品工程原理》课程的任务是使学生获得常见食品加工单元操作过程及设备的基础知识、初步计算能力和基本操作技能,受到用工程技术观点观察问题、分析问题和解决常见操作问题的训练,初步树立创新意识、安全生产意识、质量意识和环境保护意识,并了解新型单元操作在食品生产中的应用。

《食品工程原理》的主要内容是流体流动与输送、传热、非均相物系分离、干燥等常见食品加工单元操作,也涉及到一些应用相对较少的单元操作及新型单元操作。

五、单位及单位换算

描述工业生产过程需使用大量物理量,物理量的正确表达应该是单位与数字统一的结果,比如,管径是 25mm、管长是 6m 等。因此,正确使用单位是正确表达物理量的前提。由于国际单位制(SI 制)单位的一贯性与通用性,世界各国都在积极推广 SI 制,我国于 1993 年颁布了以 SI 制为基础的有量度和单位的国家标准(GB 3100~3102)。SI 制是国际计量大会在 1960 年通过的,以长度的 m、质量的 kg、时间的 s、电流的 A、热力学温度的 K、物质的量 mol、发光强度的 cd 7 个单位为基本单位,以平面角的弧度、立体角的球面度 2 个单位作为辅助单位的一种单位制。我国的法定计量单位(简称法定单位)包括:①国际单位制的基本单位;②国际单位制的辅助单位;③国际单位制中具有专门名称的导出单位;④国家选定的非国际单位制单位;⑤由以上单位构成的组合形式的单位;⑥由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

但是,由于数据来源不同,常常会出现单位不统一或不一定符合公式需要的情况,这就必须进行单位换算。本课程涉及的公式有两种,一种是物理量方程,