

国家“九五”重点图书

食品工程全书

(第一卷)

食品工程
(Food Engineering)

中国食品发酵工业研究院

中国海诚工程科技股份有限公司

江南大学

主编



中国轻工业出版社

国家“九五”重点图书

食品工程全书

(第一卷)

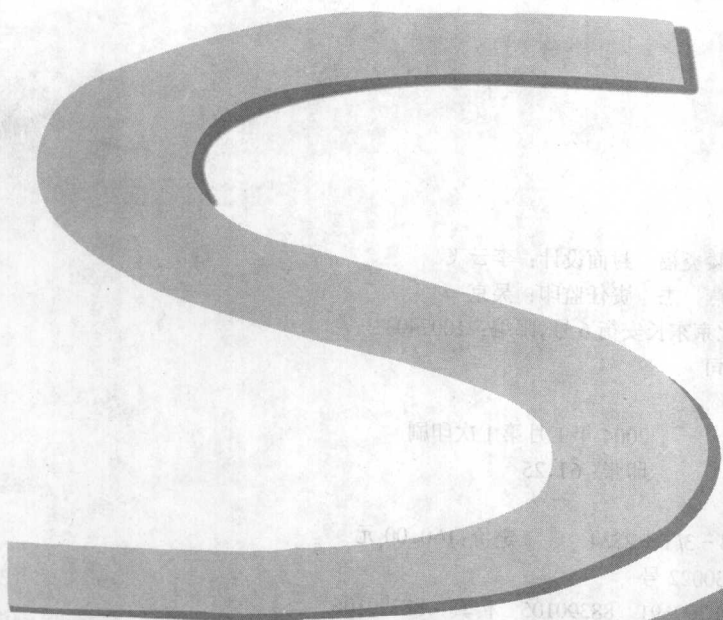
食品工程 (Food Engineering)

中国食品发酵工业研究院

中国海诚工程科技股份有限公司

江南大学

主编



 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

食品工程全书. 第一卷, 食品工程/中国食品发酵工业研究院,
中国海诚工程科技股份有限公司, 江南大学主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2004. 1
ISBN 7-5019-3923-3

I. 食… II. ①中… ②中… ③江… III. 食品工程学
IV. TS201.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 013811 号

责任编辑: 熊慧珊 李亦兵

策划编辑: 熊慧珊 责任终审: 滕炎福 封面设计: 李云飞

版式设计: 郭文慧 责任校对: 燕 杰 责任监印: 吴京一

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: 北京国彩印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 61.25

字 数: 1200 千字 插页: 2

书 号: ISBN 7-5019-3923-3/TS·2334 定价: 160.00 元

广告许可证: 京工商广临字 20030022 号

读者服务部电话(咨询): 010-88390691 88390105 传真: 88390106

(邮购): 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-65128898

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(邮购)联系调换

30081K1X 101ZBW

让世界尝尝中国的味道

从1984年第一罐健力宝诞生至今，19年来，令世人惊叹的“中国魔水”已成为一种“勇于挑战，不断超越”的民族精神，而健力宝企业也成为中国人心中民族企业的代表。

2002年，健力宝成功地进行了全面企业改制，优化企业架构，旗下饮料、包装、海外、综合四大事业部相对独立又可协调，形成了完整的产业链。

一个多元化大型健康产业王国正日趋成熟。

健力宝一贯支持国家的体育事业，为使中国足球可以与国际水平在交流中得到促进，健力宝倾情赞助了中国龙队，于2003年8月

2日与皇家马德里队举行了令世人瞩目的“中西足球对抗赛”。健力宝也将继续投入巨资打造健力宝足球队。目标是建设一支能与皇马相媲美的中国“皇家健力宝”！

**我运动
所以我健康**

健力宝是国内第一个定位于运动饮料的品牌，它是全国首创的碱性电解质运动饮品，具有补充体内能量、调节酸碱平衡、消除疲劳、恢复体力之功效。健力宝以年轻人为目标，有健康、好喝的口味；在品牌传播上，以“勇于挑战、不断超越”的体育精神为品牌夙求，目前更针对人们对健康的日益重视，提出“我运动，所以我健康”的宣传口号。



健力宝

现在流行第五季!

2003年聘请滨崎步为“第五季”形象代言人，并推出全新代言人包装，以突破常规的方式演绎流行文化，如今已成为新新人类的时尚饮品。

第5季
THE FIFTH SEASON



解身体之渴!

健力宝A8运动饮料含8种人体所需的维生素和矿物质，全面补充因出汗而流失的水分和养分，平衡体液，解身体的渴！特别适合于运动、劳动、工作、出行、蒸浴等流汗后畅饮。



健力宝 A8

四千年酒文化源头

4000年前，酒祖仪狄宝丰酿酒，成为中国白酒起源。4000年间，夏禹、曹操、李白……无数风流人物都曾醉倒在宝丰酒香之中。1948年，宝丰酒建厂；2002年，健力宝收购宝丰酒业后，又在2003年推出宝丰家族新品“大头酒”，并请中国足球名将李玮峰为其代言，让飘香四千年的清香国酒再续佳话。



**让你一次
“爆”个够!**

2003年3月，爆果汽劲爆登场。

“比汽水更健康，比果汁更刺激”的产品定位使爆果汽成功占领“加果果汁”市场；独有的黑色瓶与绚丽、张扬的包装设计融为一体，引领年轻一族健康时尚新主张。



Pal 爆果汽
果汁+汽儿

健力宝 | Jianlibao

地址：中国·广州东风中路410-412号健力宝大厦(集团)37楼/(销售公司)35楼
销售热线：020-8348-6333 网址：www.jianlibao.com.cn www.5j.com.cn

全自动杀菌釜设备领域专家!

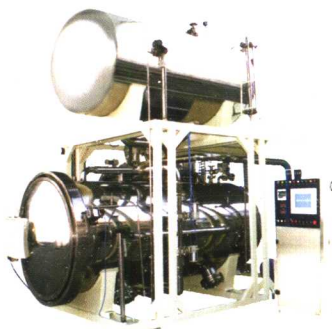
提供生产工艺过程所需的一切要素提供极佳的工程方案及实施效果

脉动侧喷式杀菌釜



1. 专门设计于软包装食品烹饪杀菌。
2. 多阶段升温冷却设计, 短时超高温灭菌和迅速冷却降温。
3. 超大流量喷水, 特殊设计的喷嘴, 热分布均匀杀菌无死角。
4. 可储存 10 种不同的杀菌参数。
5. 全自动高精度控制系统, 全面保证产品的内在和外观质量。
6. 全不锈钢结构, 既卫生又可 CIP 清洗。
7. 专门设计的人机界面, 使杀菌过程更直观。
8. 可配置符合各种要求的记录曲线和 F 值自动测定设备。

双锅全水式杀菌釜



1. 适用于各种能承受一定温差的外包装杀菌。
2. 升降温速度快, 迅速达到杀菌效果。
3. 多阶段升降温, 适合多种物料的杀菌工艺。
4. 大流量交替转换的水循环设计, 使锅内无死角, 热分布均匀。
5. 可选择静止式、迴转式的设备。
6. 全自动精度的控制系统, 全面保证产品的内在和外观质量。
7. 全不锈钢结构, 既卫生又可保证 CIP 清洗。
8. 专门设计的人机界面, 使杀菌过程更直观。
9. 可配置符合各种要求的记录曲线和 F 值自动测定设备。

顶侧喷淋水式杀菌



1. 专门设计于软包装和各种瓶装食品的烹饪杀菌。
2. 可选择静止和迴转式的设备。
3. 多阶段升温冷却设计, 短时超高温灭菌和迅速冷却降温。
4. 超大流量喷淋水, 无死角, 热分布均匀。
5. 可储存 10 种不同的杀菌参数。
6. 全自动高精度控制系统, 全面保证产品的内在和外观质量。
7. 专门设计的人机界面, 使杀菌过程更直观。
8. 可配置符合各种要求的记录曲线和 F 值自动测定设备。



通用热处理跟踪评估系统

安全: 确保消毒、杀菌可靠, 避免杀菌不足
 节能: 尽可能低温、短时, 避免能源浪费
 优质: 保留营养, 改善风味, 提高感官质量
 过程优化: 降低成本, 优化品质, 质量均匀
 生产评估和记录: 符合如 FDA/USDA 等权威的规范, 为出口所必须; ISO9000、HACCP 等的认证需要。

天宇企业是我国颇具实力的食品机械生产厂家之一, 公司经营乳品、果汁、茶饮料、制药和生化成套生产线(可实现整线自动化), 卫生级桶槽、奶站直冷罐、全自动杀菌釜系列, 服务项目有项目咨询、工程设计、设备配套、安装调试、人员培训。

天宇企业正向集团化发展, 现有温州上海江苏三个生产基地。温州天宇设有流体工程公司和机械工业研究所, 专业生产流体设备。上海天宇专业制造乳品果汁茶饮料生产线。江苏天宇专业制造杀菌釜系列和制药、生化设备, 在北京、上海、成都、

西安、新疆设有销售公司。

天宇有行业内优秀的人才、规模企业的实力和先进的生产装备, 已为汇源、蒙牛、三鹿、维维、娃哈哈、喜之郎、日本味之素等企业和欧盟援助项目提供了强有力的硬件保证。

部分客户名单

中国均瑶集团
 日本味之素
 上海梅林正广和
 上海粮食储运
 北京日东大
 丘比食品(中国)有限公司
 雀巢食品
 康师傅食品

生产基地: 上海 江苏 温州

销售公司: 北京 上海 成都 西安 新疆

销售热线: 021-59222555 59222666

服务热线: 021-59222221

www.tianyujiexie.com

热烈祝贺椰树椰汁、椰树矿泉水双双荣获「中国名牌产品」称号！

椰树[®]
COCONUT PALM[®]

**国宴精品
中国名牌**

世界小姐 吴英娜



- 椰树集团——饮料行业唯一两个产品同时荣获“中国名牌产品”称号的企业。
- 三大产品——天然椰子汁、天然矿泉水（火山岩珍贵天然矿泉水）、天然芒果汁荣登国宴。
- 产品远销世界五大洲35个国家和地区。
- 先后接待了100多位国家元首和政界要人。
- 天然椰子汁为植物蛋白饮料，不加防腐剂，不含农药、激素。
- 火山岩珍贵天然矿泉水取自火山岩深层泉水，绝非江水湖水。

每天一杯白白嫩嫩



海南水好人寿长

椰树集团有限公司
电话：(0898)66780371 <http://www.yeshu.com>

《食品工程全书》编辑委员会

顾问: 潘蓓蕾(中国轻工业联合会副会长、中国食品工业管理中心主任、中国食品科学技术学会理事长、国际食品科技联盟中国部主任、世界乳业联合会中国委员会主席)

张学元(中国食品科学技术学会原副理事长、中国食品与营养咨询委员会原副主任委员)

编委会主任: 赵济清(中国轻工业出版社社长)

副主任: 孙 颢(中国食品发酵工业研究所原所长)(现已改名为中国食品发酵工业研究院)

陶文沂(江南大学校长)

虞永宾(原中国轻工业上海设计院副院长、总工程师)

江兆基(广东健力宝集团有限公司原总工程师)

于新华(国家食品质量监督检验中心原主任)

主 编: 萧家捷(中国食品发酵工业研究所原总工程师)

尹宗伦(中国食品发酵工业研究所原所长)

副主编: 于新华(国家食品质量监督检验中心原主任)

高福成(江南大学教授)

徐学平(原中国轻工业上海设计院副总工程师)

理事长单位: 广东健力宝集团有限公司

理事单位: 椰树集团有限公司

天宇企业——上海昊宇机械有限公司

《食品工程全书》(第一卷)编辑委员会

主 编 高福成

编 委 (按笔画排序)

丁德轩 王海鸥 尹宗伦 冯 翥 许学勤 萧家捷 陈建元
郑建仙 庞金钊 张君海 胡凌飞 高福成 徐尧润 徐涵庆
陶 谦 黄福南 曾庆孝 裴疆森

编写分工

前言 萧家捷 尹宗伦

- | | |
|--------------|-----------------------------------|
| 1. 流体流动与输送 | 丁德轩 胡凌飞(中国食品发酵工业研究院)
徐涵庆(江南大学) |
| 2. 传热与传质 | 黄福南(中国食品发酵工业研究院)
庞金钊(天津科技大学) |
| 3. 浓缩 | 徐尧润(天津科技大学) |
| 4. 结晶 | 曾庆孝(华南理工大学) |
| 5. 干燥 | 陶 谦(江南大学) |
| 6. 蒸馏与精馏 | 许学勤(江南大学)
高福成(江南大学) |
| 7. 萃取 | 冯翥(江南大学) |
| 8. 液态非均一系的分离 | 张君海(中国食品发酵工业研究院) |
| 9. 吸附与离子交换 | 裴疆森(中国食品发酵工业研究院) |
| 10. 膜分离 | 王海鸥(江南大学) |
| 11. 粉碎与筛分 | 郑建仙(华南理工大学)
高福成(江南大学) |
| 12. 混合与乳化 | 许学勤(江南大学)
高福成(江南大学) |
| 13. 制冷 | 陈建元(中国食品发酵工业研究院) |

113688/01

序

民以食为天,食以民为本。食品工业是中国国民经济重要产业之一。在我国人民由“温饱”向“小康”过渡的历史时期,中国食品工业发挥了重要作用并有了长足进步。从1980年至2000年,全国食品工业年均增长速度达13%;2002年工业总产值和销售收入均比上年增长16.8%,实现了生产和销售同步增长;食品工业总产值已连续八年居国民经济各产业之首。

食品工业之所以能成为国民经济重要产业,主要得益于改革开放20多年来中国经济的稳定、高速、健康的发展;也是因为食品工业是产业关联度最强的产业之一,不仅与农业的依存度高,而且与人们的生活质量、健康水平休戚相关。

憧憬未来,令人鼓舞。今后10至20年是食品工业发展的重要时期。中国加入世贸组织,食品工业将不可逆转地、深深地融入到世界经济之中;党的十六大确定的全面建设小康社会的战略目标,给食品工业提出了新的任务,也为食品工业提供了新的发展契机。中国巨大的并呈现多样性的消费市场,使食品工业存在着极大的发展空间。可以预言,21世纪的中国食品工业,仍是一个蓬勃日上的朝阳产业。

食品工业的发展,无疑需要科学技术的推动。在食品工业面对着全球化市场的挑战和机遇之际,中国轻工业出版社出版的《食品工程全书》问世了,这令食品工业界感到欣慰。

这本列入“九五”国家重点的图书,集食品工业界专家之智慧,在萧家捷、尹宗伦二位食品科技界老前辈的主持下,历时四年多的编写,充分体现了全(全面)、新(新技术)、特(突出食品工程的特点和编辑特色)、实(实用)之特点,对于全面提升中国食品工业的技术水平有着积极的作用。

我在食品工业的科研和管理岗位上已工作半生,深深感到:发展现代食品工业,必须依靠先进的科学技术;而优秀的食品科技出版物,既是先进科学技术的结晶,同时对于食品科技的发展又可起到积极的推动作用。我相信,《食品工程全书》会使广大的食品工作者开卷有益;我期望,通过科技创新这条必经之路,中国食品工业的现代化将是指日可待。故乐于作序,并愿将此书推荐给全国食品工业界各位同仁。

潘裕馨

前 言

食品商品的生产和消费情况,往往代表着一个国家或一个地区的科学技术和人民生活水平的高低。回顾过去,在旧中国、旧社会,经济衰退,民生凋敝,工业落后,食品加工基本上停留在手工操作的生产方式。新中国建立以后,在中国共产党和人民政府的正确领导下,不断壮大的食品工业从业人员,依据食品科学的基础理论,应用食品工程技术,群策群力,在最近半个多世纪内,尤其是改革开放以来,推动了我国食品工业的现代化发展,表现在:技术装备不断更新,产品产量稳定增长,骨干企业和重点产区逐渐形成,国内外市场相应扩大,年产总值由 1952 年的 82.8 亿元人民币增长到 2001 年的 9600 亿元人民币,其年平均增长率为 10.2%。如此长期快速发展,和我国国民经济持续而又稳定增长一样,在全世界也是惊人的奇迹。我国食品工业的振兴,对于满足人民生活,改善食物营养,促进农业发展和繁荣国民经济,都产生了巨大作用。

展望未来,现在已进入 21 世纪,客观形势更好,2001 年 3 月 15 日,人大常委会批准了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年发展纲要》,2002 年 11 月 8 日江泽民总书记在中国共产党第十六次全国代表大会的开幕式上指出:我们要在本世纪头 20 年,集中力量,全面建设惠及十几亿人口的更高水平的小康社会。今后,在举国上下完成这一宏伟目标中,我国现代食品工业要承担更艰巨的任务,发挥更巨大的作用。

现代食品工业的工业化加工制造技术,虽然多数可以从漫长流传的传统食品加工技艺中找到渊源,但不同于以经验为基础而形成的加工技艺,它已和现代兴起的工业一样,随着食品科学、食品工程学科的形成和发展,有了自成体系的理论基础,并以科学技术为先导,加强和加速现代食品工业现代化的进程。因此,我国食品工业界和相关各界都需要一部先进、完整、实用、符合我国国情的,也可以说具有中国特色的《食品工程全书》。

中国轻工业出版社预见到新世纪的新形势,早年就提出了编写本书的倡议,承新闻出版总署列为重点书目后,立即组织有关单位的食物科技人员合作进行编写。参加单位有:中国食品发酵工业研究院、江南大学、中国海诚工程科技股份有限公司、华南理工大学、天津科技大学、中国农业大学、清华大学、南京农业大学、福州大学、南京师范大学、齐齐哈尔大学,执笔人是 40 多位从事科研、设计和教学的专家、高级工程师和教授。他们对各自所承担的章节,在专业方面都积累有多年实际经验,因此,在他们的写作中,也贯穿了过去的心得体会。

全书分《食品工程》、《食品过程工程》、《食品工业工程》三卷。分别由高福成、黄福南、徐学平主编。第一卷《食品工程》介绍单元操作中的流体流动、传热与传质、混合与乳化、结晶、制冷、吸附与离子交换等 13 章,包括冷冻浓缩、冷冻干燥、分子蒸馏、超临界萃取、膜分离和超微粉碎等新技术。第二卷《食品过程工程》分物料输送、冷加工与冷藏、食品杀菌、酶技术、发酵工程、焙烤、腌渍和熏制、蒸煮挤压、成型、食品包装等章,还有食品原料特性与储运、原料预处理、食品原料综合利用以及在线检查与自动控制,共 14 章。第三卷

《食品工业工程》共分 10 章,有食品工厂设计、食品工厂管理、食品营销、食品研究与开发,其余 6 章介绍控制产品质量的具体措施,即:法规及通用标准、食品产品标识、食品安全与卫生、良好生产操作规程(GMP)、危害分析关键控制点(HACCP),以及 ISO9000 质量管理体系。

本书的特点有五:(1)比较系统而全面地介绍了食品工程中的各个环节,从工厂设计、原料特性、单元操作、成品包装,到工厂管理、食品营销、安全卫生、法规及标准,一卷在手,可供多方面的参考。(2)本书除在编写过程中参阅了国内外最新资料外,特别重点介绍已在食品生产中应用的新技术,如超临界萃取、分子蒸馏、膜分离、超微粉碎等。(3)遵照理论联系实际的原则,本书的内容既有基础理论,又有实际应用。此外,在论述加工工艺的同时,也介绍所用设备的性能,使工艺与设备有机配合。(4)食品原料多来自农副产品,具有生物特性,而且成分十分复杂,在加工过程中往往发生多种生物化学变化。本书在有关章节中,介绍其变化规律。(5)食品安全卫生,是当前普遍重视的问题,本书除将食品安全作为一章外,又将食品工业的良好生产操作规程(GMP)和危害分析关键控制点(HACCP)一并编入此工具书,供从业人员随时参阅,这是一项保证食品安全的重要措施。

本书编写过程中,得到有关部门的领导,尤其是作者所在单位的领导的大力支持。现任中国轻工业联合会副会长、中国食品工业管理中心主任、中国食品科学技术学会理事长、国际食品科技联盟中国部主任、世界乳业联合会中国委员会主席潘蓓蕾教授作为本书编委会的首席顾问,始终关怀备至,并及时予以指导和帮助。本书终得出版,是和这种宝贵的支持、关怀、指导和帮助分不开的,特致感谢。

本书由十一个单位合作,参加编写的人员较多,分散在天南地北,影响联系,组织协调工作又欠周到,不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

潘蓓蕾 宗伦

目 录

第一卷 食品工程

1 流体流动与输送	2
1.1 流体的性质	2
1.1.1 流体的密度、相对密度和比体积	2
1.1.2 流体的黏度	3
1.2 流体静力学	6
1.2.1 流体的静压力及其特性	6
1.2.2 压力的表示方式	7
1.2.3 流体静力学基本方程式	7
1.2.4 压力的测量	8
1.3 管道内流体的流动	10
1.3.1 流体的流量和流速	10
1.3.2 流体的稳定和不稳定流动	12
1.3.3 流体流动的物料衡算和能量衡算	13
1.4 流体流动时的阻力	22
1.4.1 流体流动的类型	22
1.4.2 流动阻力产生的原因及其影响	25
1.4.3 流体在管内流动时的流速分布	49
1.5 非牛顿型流体的流动	51
1.5.1 非牛顿型流体的分类	51
1.5.2 流变指数和稠度指数	53
1.5.3 非牛顿流体的阻力损失、速度分布和流量	55
1.6 流体输送管路的计算	59
1.6.1 简单管路	59
1.6.2 串联管路	59
1.6.3 并联管路	60
1.6.4 分支管路	60
1.6.5 管路计算中需要解决的问题	61
1.7 流量的测量	66
1.7.1 毕托管(Pitot tube)	66
1.7.2 孔板流量计	69
1.7.3 文丘里(Venturi)流量计	71
1.7.4 转子流量计	72

1.8 液体输送机械	73
1.8.1 离心泵	73
1.8.2 其他类型泵	84
1.9 气体输送机械	90
1.9.1 通风机与鼓风机	90
1.9.2 通风机的性能和选择	92
1.10 压缩机	94
1.10.1 往复式压缩机	94
1.10.2 往复式压缩机的类型及其他型式压缩机	99
1.11 真空泵	103
1.11.1 有关真空泵和真空系统的基本概念	104
1.11.2 真空泵的分类、选择及型号	105
1.11.3 真空泵的工作原理	107
2 传热与传质	113
2.1 传热基本理论	113
2.1.1 传热基本方式	113
2.1.2 基本热流量方程式	114
2.2 导热	123
2.2.1 导热微分方程式	123
2.2.2 稳态导热	125
2.2.3 不稳态导热	132
2.2.4 一维和二维瞬态导热数值解	142
2.3 对流传热	142
2.3.1 对流传热的基本讨论	142
2.3.2 自然对流传热	147
2.3.3 流体强制对流传热	154
2.3.4 具有相变时的传热	161
2.3.5 流体的间歇式传热	165
2.4 辐射传热	165
2.4.1 辐射传热基本概念	166
2.4.2 理想(黑体)表面的辐射	167
2.4.3 非黑体表面的辐射	171
2.4.4 等温面之间的辐射传热	175
2.4.5 辐射传热系数	179
2.5 换热设备	179
2.5.1 液体食品换热设备	179
2.5.2 固体食品包装前的加热设备	192
2.6 传质导论	199

2.6.1 相组成表示法	199
2.6.2 扩散原理	202
2.6.3 分子扩散系数	206
2.6.4 湍流流体中的扩散	208
3 浓缩	210
3.1 概述	210
3.2 蒸发浓缩	212
3.2.1 概述	212
3.2.2 蒸发器的结构与选型	215
3.2.3 蒸发装置的设计	226
3.2.4 蒸发装置的特殊设计系统	271
3.2.5 蒸发装置辅助设备	283
3.3 冷冻浓缩	291
3.3.1 概述	291
3.3.2 冷冻浓缩原理	292
3.3.3 冷冻浓缩结晶过程	293
3.3.4 冰晶与浓缩液的分离过程	294
3.3.5 冷冻浓缩设备	295
3.3.6 冷冻浓缩的经济性与评述	300
4 结晶	303
4.1 结晶基本原理	303
4.1.1 晶体的特性	303
4.1.2 溶解度和溶液内的相平衡	304
4.1.3 晶核的形成	310
4.1.4 晶体的生长	312
4.2 结晶方法与设备	322
4.2.1 食品工业常用的结晶方法	322
4.2.2 结晶设备及其特点	323
4.2.3 结晶器的工艺设计	331
4.3 食品结晶过程的控制	334
4.3.1 加晶种的结晶控制	335
4.3.2 细晶的消除及晶垢的去除	336
4.3.3 结晶的分离、洗涤和干燥	337
5 干燥	340
5.1 去湿	340
5.1.1 湿空气的性质	341
5.2 干燥静力学	351
5.2.1 湿物料	351

5.2.2 干燥系统的物料衡算	352
5.2.3 干燥系统的热量衡算	354
5.2.4 空气通过干燥器的状态变化	355
5.3 干燥动力学	359
5.3.1 物料中的水分	359
5.3.2 干燥机理	361
5.3.3 干燥曲线	362
5.3.4 干燥速率与干燥速率曲线	363
5.3.5 恒定干燥条件下的干燥时间	366
5.4 干燥设备	369
5.4.1 干燥器的分类	369
5.4.2 对流型干燥器	370
5.4.3 传导型干燥器	382
5.4.4 辐射型干燥器	384
5.4.5 干燥器的选择和设计	389
5.5 喷雾干燥	394
5.5.1 喷雾器	395
5.5.2 喷雾干燥室和液滴在干燥室中的干燥	399
5.5.3 喷雾干燥装置系统	400
5.5.4 喷雾干燥器基本设计计算	404
5.6 冷冻干燥	410
5.6.1 冷冻干燥的理论基础	411
5.6.2 冷冻干燥工艺	417
5.6.3 冷冻干燥设备	418
5.7 空气调节	426
5.7.1 空气调节系统基本原理及类型	426
5.7.2 直流式空气调节系统	427
5.7.3 一次回风式空气调节系统	429
5.7.4 二次回风式空气调节系统	431
5.7.5 空气调节设备的计算	432
6 蒸馏与精馏	434
6.1 双组分系统的气、液平衡	434
6.1.1 相律和拉乌尔定律	434
6.1.2 两组分理想溶液的气、液平衡相图	436
6.1.3 两组分非理想系统的气、液平衡相图	437
6.1.4 相对挥发度	438
6.2 平衡蒸馏和简单蒸馏	438
6.2.1 平衡蒸馏	438

6.2.2 简单蒸馏	440
6.3 两组分连续精馏原理及计算	441
6.3.1 多次部分气化和多次部分冷凝	442
6.3.2 精馏塔和精馏操作流程	443
6.4 两组分连续精馏的计算	444
6.4.1 理论板的概念及恒摩尔流假定	445
6.4.2 物料衡算和操作线方程	445
6.4.3 加料板衡算与进料状态的影响	448
6.4.4 理论板数的求法	449
6.4.5 回流比的影响及其选择	451
6.5 蒸汽蒸馏、恒沸蒸馏与萃取蒸馏	455
6.5.1 蒸汽蒸馏	455
6.5.2 恒沸蒸馏与萃取蒸馏	458
6.6 分子蒸馏	460
6.6.1 分子蒸馏原理	460
6.6.2 分子蒸馏装置	463
6.6.3 分子蒸馏的应用	465
7 萃取	468
7.1 液-液萃取	468
7.1.1 萃取原理与相平衡	468
7.1.2 萃取计算	472
7.1.3 萃取动力学	479
7.1.4 萃取设备	481
7.1.5 液-液萃取在食品工业中的应用	485
7.2 固-液萃取(浸取)	493
7.2.1 浸取原理	493
7.2.2 浸取计算	495
7.2.3 浸取动力学	498
7.2.4 浸取设备	501
7.2.5 浸取在食品工业中的应用	505
7.3 超临界流体萃取	507
7.3.1 超临界流体萃取的原理	507
7.3.2 超临界流体萃取在食品工业中的应用	510
8 液态非均一系的分离	514
8.1 概述	514
8.1.1 食品生产中的液态非均一系特性	514
8.1.2 液态非均一系的分类	515
8.1.3 液态非均一系的分离方法	516

8.2 沉降	519
8.2.1 沉降理论	519
8.2.2 重力沉降设备	527
8.3 过滤	535
8.3.1 概述	535
8.3.2 过滤理论	537
8.3.3 过滤装置	553
8.3.4 过滤介质	574
8.3.5 助滤剂	588
8.4 压榨	600
8.4.1 压榨理论	600
8.4.2 压榨设备	605
8.5 离心分离	621
8.5.1 离心沉降	622
8.5.2 旋流器	640
8.5.3 回旋沉淀槽	649
8.5.4 离心过滤	651
8.6 浮选	663
8.6.1 浮选基本原理	663
8.6.2 食品工业用浮选设备	666
9 吸附与离子交换	678
9.1 吸附	678
9.1.1 吸附理论	678
9.1.2 吸附剂	690
9.1.3 吸附操作	695
9.1.4 吸附过程设计	700
9.1.5 吸附在食品工业中的应用	702
9.1.6 亲和色谱	704
9.2 离子交换	711
9.2.1 离子交换树脂	712
9.2.2 离子交换理论	719
9.2.3 离子交换操作	722
9.2.4 离子交换设备	726
9.2.5 离子交换在食品工业中的应用	730
10 膜分离	734
10.1 膜分离理论	735
10.1.1 反渗透基本原理	735
10.1.2 超滤的基本原理	738