



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 食品发酵

陈福生 主编

SHIPIN FAJIAO  
SHEBEI YU GONGYI

# 设备与工艺



化学工业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 食品发酵

陈福生 主编

SHIPIN FAJIAO

SHEBEI YU GONGYI

# 设备与工艺



化学工业出版社

·北京·

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，分食品发酵设备和食品发酵工艺两篇，内容包括固体物料的处理与输送设备、发酵基质的制备与灭菌设备、空气过滤除菌系统、液体发酵罐、固体发酵容器、食品发酵产物的分离纯化设备、酿造酒、蒸馏酒、发酵调味品、发酵肉制品、发酵乳制品、发酵果蔬制品、发酵食品添加剂。

在内容编排上，本书重点讲述了发酵设备的种类、结构、性能及其主要设计参数，并以代表性发酵食品为例讲述了发酵食品的生产工艺，意在培养学生根据要求选择适当的发酵设备，设计相应的发酵食品生产工艺的能力；书中融入了编者几十年来的科研成果和实践经验，内容丰富、实用。

本书适合高等院校食品科学与工程、食品质量与安全及相关专业的本科生和研究生使用，也可供食品行业的技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

食品发酵设备与工艺/陈福生主编. —北京: 化学工业出版社, 2011. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-122-10425-0

I. 食… II. 陈… III. ①食品-发酵-设备-高等学校-教材②-发酵食品-生产工艺-高等学校-教材 IV. TS201.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 009208 号

---

责任编辑: 郎红旗 梁静丽 孟 嘉

文字编辑: 周 侗

责任校对: 陈 静

装帧设计: 张 辉

---

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 25½ 字数 678 千字 2011 年 2 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: 48.00 元

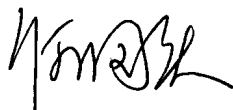
版权所有 违者必究

# 序

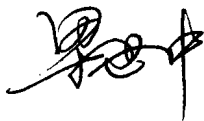
人们利用微生物进行食品发酵已有数千年的历史，随着人类文明与科学技术的进步，食品发酵技术也得到了迅速的发展。尤其是 20 世纪 70 年代基因工程技术的出现，迅速形成了以基因工程为核心内容，包括细胞工程、酶工程、发酵工程、蛋白质工程和分子进化工程等的生物工程技术，从而极大地推动了作为发酵工程重要组成部分的食品发酵技术的发展。目前，食品发酵已经发展成一个门类众多、规模宏大、与国民经济各部门密切相关，充满发展前途的产业。许多国家都将食品发酵技术作为农产品与食品加工的重要手段，并且认为它是食品领域中在 21 世纪最可能获得突破性进展的一个分支。在我国，很多高校也将食品发酵设备与工艺作为食品科学与工程以及食品质量与安全等专业的专业课之一。但是，由于食品发酵涉及的面广而杂，所以目前国内适合食品相关专业食品发酵设备与工艺课程的教材并不多，而且由于世界各国发酵食品的产品种类与研究的侧重点不同，目前也还没有发现可以适合各国学生使用的国际化教材。

本教材是在吸纳了前人编写的相关教材优点的基础上，结合参编人员长期的实践教学经验编撰而成的。与其他教材相比，编者在编写过程中注重教材的整体性和系统性，力求体现教材的实用性和针对性。在食品发酵设备方面，编者系统地对食品发酵相关设备进行了阐述，并通过大量的图表突出了对设备结构、功能与工作原理的介绍；在食品发酵工艺方面，编者对发酵食品进行了归类叙述，并突出了对各种发酵食品的种类、发酵原理、发酵工艺和操作要点等的描述。同时，教材还吸纳了国内外食品发酵研究的新知识、新成果、新技术和新概念。

总体上讲，教材内容符合我国专业人才培养目标及课程教学的要求，取材合适，深度适宜，知识系统完整，结构严谨，符合认知规律，富有启发性，有利于激发学生的学习兴趣，全面培养学生的知识、能力和素质。本教材既可以作为食品相关专业的本科生教材，也可供相关专业研究生、教师和科技工作者等参考，是一本值得推荐的教材。



浙江大学



华南理工大学

# 前 言

发酵在不同的领域有不同的含义，对微生物学家而言，发酵是指利用微生物的生理活动获得某种产品的过程，这是发酵广义的含意；而对生物化学家来说，发酵是指在厌氧条件下，对有机化合物进行不彻底分解，从而获得代谢所需中间产物和能量的过程，这是发酵狭义的含意。食品发酵是指利用有益微生物加工制造食品的过程。在中国与日本等东方国家，也常将成分复杂、风味要求较高、按照传统工艺生产某些发酵食品，例如，酱油、食醋、腐乳、白酒与黄酒等的过程称为食品酿造。在本书中，关于发酵的定义属于其广义的含意，食品发酵与食品酿造两个概念同时采用。

食品发酵是食品加工的一种重要方法，食品发酵工业是现代食品工业的重要组成部分，食品发酵技术也越来越受到人们的重视。关于食品发酵设备与工艺的课程，已经成为很多学校食品科学与工程和食品质量与安全等专业的专业课程，也出版了一些各具特色的教材。本教材是在吸纳了前人编写的相关教材优点的基础上，结合参编人员长期的实践教学经验编撰而成的。

与其他教材相比，编者认为本教材在内容编排上具有以下特点：首先为了控制篇幅，突出食品发酵，本书没有将维生素、抗生素、酶制剂、酒精与有机酸发酵等内容编入，关于这些产品的发酵工艺与技术已经出版了很多相关的专著与教材。其次，考虑到微生物菌种选育、发酵机理及其调控等内容，在先修课程——微生物学、食品微生物学和生物化学等课程中都已经进行了讲授，所以本书也没有涉及。最后，对食品发酵设备的内容，由于很多食品发酵设备是通用的，同一种设备（例如，离心机、发酵罐）在不同的发酵食品生产中都需要用到，所以为了避免不必要的重复，本教材将食品发酵设备的内容集中在一起，并作为第一篇编排在教材的前面，这样可能便于教学。另外，尽管有些食品发酵设备，例如，固体物料的处理与输送设备、发酵产品的分离与提取设备在食品工程原理等课程中已经讲授过，但是考虑到教材的完整性，还是将它们编入了本教材，在具体的教学中可以有选择性地采用。此外，在食品发酵设备的阐述方面，本教材尽量突出对设备结构、功能与工作原理的介绍，而对于发酵设备的相关计算，由于篇幅的限制本书没有涉及。

基于上述考虑，本教材包括两篇共十三章，第一篇食品发酵设备、第二篇食品发酵工艺。第一篇包括固体物料的处理与输送设备（由内蒙古农业大学杨晓清编写）、发酵基质的制备与灭菌设备（由华中农业大学张秀艳编写）、空气过滤除菌系统（由华中农业大学蔡皓编写）、液体发酵罐（由武汉工业学院陶兴无编写）、固体发酵容器（由华中农业大学陈涛、陈福生编写）、食品发酵产物的分离纯化设备（由广州大学桂林和华中农业大学张秀艳编写）；第二篇包括酿造酒（由吉林农业大学文连奎、王治同与韶关学院张俊艳编写）、蒸馏酒（由吉林农业大学文连奎、王治同与韶关学院张俊艳编写）、发酵调味品（由华南理工大学李国基与华中农业大学张秀艳、陈福生编写）、发酵肉制品（由湖北师范学院余翔编写）、发酵乳制品（由武汉工业学院陶兴无编写）、发酵果蔬制品（由华中农业大学陈涛、陈福生编写）、发酵食品添加剂（由江西农业大

学黄占旺编写)。

全书由陈福生与张秀艳负责统稿。在书稿的编撰过程中,甘淑珍与陈万平等同志做了大量的资料收集、图片处理与文字输入工作,在此对他们的辛勤付出表示感谢。在初稿完成后,浙江大学何国庆教授与华南理工大学梁世中教授在百忙中对整个书稿进行了认真审阅,提出了很多宝贵的修改建议,并欣然作序,在此对他们表示最诚挚的谢意。本教材在编写过程中参考并引用了相关教材、专著、研究与网站等的有关内容,在此对相关作者、出版社与网站管理人员等表示衷心的感谢。最后,全体编写人员还要特别感谢化学工业出版社为本教材出版所付出的心血与劳动。

由于编者的水平有限,加之食品发酵设备与工艺涉及的内容广泛而丰富,所以本书的不妥与疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

**编者**

**2011年1月**

# 目 录

## 第一篇 食品发酵设备

<b>第一章 固体物料的处理与输送设备</b> .....	1
第一节 固体物料的除杂、分选与清洗设备 .....	1
一、固体物料的除杂、分选设备 .....	1
二、固体物料的清洗设备 .....	5
第二节 固体物料的粉碎设备 .....	7
一、粉碎方法 .....	7
二、常用的粉碎设备 .....	9
三、粉碎机的选用原则 .....	17
第三节 固体物料的输送设备 .....	17
一、固体物料的输送特性 .....	17
二、机械输送设备 .....	18
三、气力输送 .....	25
思考题 .....	29
<b>第二章 发酵基质的制备与灭菌设备</b> .....	30
第一节 湿热灭菌的理论基础 .....	30
一、湿热灭菌的原理及常用术语 .....	30
二、微生物的热致死规律——对数残留定律 .....	31
三、灭菌温度的选择 .....	32
四、影响灭菌效果的因素 .....	33
第二节 液体发酵基质的制备与灭菌设备 .....	35
一、淀粉质原料的蒸煮糊化和糖化设备 .....	35
二、液体发酵基质的灭菌系统与设备 .....	42
第三节 固体发酵基质的制备与灭菌设备 .....	50
一、固体物料的润水设备 .....	51
二、固体物料的混合设备 .....	51
三、固体物料的蒸煮与灭菌设备 .....	56
思考题 .....	58
<b>第三章 空气过滤除菌系统</b> .....	59
第一节 空气除菌的方法、机理与过滤除菌介质 .....	59
一、发酵对无菌空气的要求 .....	59
二、空气除菌方法与机理 .....	60
三、常用的过滤除菌介质 .....	63
第二节 空气过滤除菌设备 .....	66
一、空气过滤器 .....	66

二、其他相关设备 .....	69
第三节 空气过滤除菌流程 .....	72
一、空气过滤除菌流程的要求 .....	72
二、常见的空气过滤除菌流程 .....	72
思考题 .....	77
<b>第四章 液体发酵罐</b> .....	<b>78</b>
第一节 发酵罐的设计基础 .....	78
一、发酵罐的基本结构 .....	78
二、压力容器设计的基础知识 .....	80
三、发酵罐的应力分析 .....	83
四、发酵罐的强度设计 .....	85
第二节 常见的液体发酵罐 .....	92
一、通风发酵罐 .....	92
二、厌氧发酵罐 .....	106
思考题 .....	113
<b>第五章 固体发酵容器</b> .....	<b>114</b>
第一节 固体发酵条件与发酵动力学 .....	115
一、固体发酵条件对发酵的影响 .....	115
二、固体发酵动力学 .....	116
第二节 固体发酵容器 .....	121
一、静态发酵容器 .....	122
二、动态发酵容器 .....	126
思考题 .....	131
<b>第六章 食品发酵产物的分离纯化设备</b> .....	<b>132</b>
第一节 固液分离设备 .....	132
一、离心机 .....	132
二、过滤设备 .....	135
三、膜分离技术 .....	141
第二节 提取、蒸馏设备 .....	145
一、发酵食品的提取设备 .....	145
二、发酵食品的蒸馏设备 .....	147
思考题 .....	153

## 第二篇 食品发酵工艺

<b>第七章 酿造酒</b> .....	<b>154</b>
第一节 啤酒酿造 .....	154
一、啤酒的分类 .....	155
二、啤酒酿造的主要原辅料 .....	156
三、啤酒发酵机理 .....	161
四、啤酒酿造工艺 .....	161
第二节 黄酒酿造 .....	174



一、黄酒的分类 .....	174
二、黄酒酿造的原辅料 .....	175
三、黄酒酿造的微生物与糖化发酵剂 .....	176
四、黄酒酿造工艺 .....	183
第三节 果酒酿造 .....	186
一、果酒的分类 .....	186
二、果酒发酵机理 .....	187
三、果酒酵母及酒母制备 .....	188
四、果酒酿造的一般工艺与操作要点 .....	189
五、葡萄酒酿造工艺 .....	193
第四节 清酒酿造 .....	197
一、清酒的分类 .....	197
二、清酒酿造的主要原料 .....	198
三、清酒发酵机理 .....	198
四、清酒酿造工艺 .....	199
思考题 .....	201
<b>第八章 蒸馏酒 .....</b>	<b>202</b>
第一节 蒸馏酒的分类 .....	202
第二节 白酒酿造的原辅料 .....	205
一、谷类原料 .....	205
二、谷类替代原料 .....	205
三、辅助原料 .....	206
第三节 大曲酒的生产工艺与特点 .....	206
一、大曲生产工艺 .....	206
二、大曲酒生产工艺 .....	210
三、大曲酒的特点 .....	215
第四节 小曲酒的生产工艺与特点 .....	215
一、小曲生产工艺 .....	215
二、小曲酒生产工艺 .....	217
三、小曲酒的特点 .....	219
第五节 白兰地与威士忌的生产工艺 .....	219
一、白兰地 .....	220
二、威士忌 .....	222
第六节 白酒酿造的新技术与新概念 .....	223
一、糖化酶和活性干酵母的特性及其在白酒酿造中的应用 .....	225
二、生态酿酒 .....	226
思考题 .....	228
<b>第九章 发酵调味品 .....</b>	<b>229</b>
第一节 食醋酿造 .....	229
一、谷物醋的酿造 .....	230
二、中国四大名醋与新型制醋工艺 .....	237
三、西洋醋的酿造 .....	243

第二节 酱油酿造 .....	246
一、主要原辅料 .....	247
二、主要微生物 .....	250
三、酱油的酿造工艺 .....	250
四、酿造酱油色、香、味、体的形成机理 .....	259
第三节 腐乳生产 .....	260
一、主要原辅料 .....	260
二、主要微生物 .....	261
三、工艺流程与操作要点 .....	262
第四节 酱品的酿造 .....	266
一、主要原辅料 .....	267
二、主要微生物 .....	267
三、工艺流程与操作要点 .....	267
第五节 豆豉、纳豆的生产 .....	270
一、豆豉酿制 .....	271
二、纳豆生产 .....	273
思考题 .....	275
<b>第十章 发酵肉制品 .....</b>	<b>276</b>
第一节 发酵肉制品的种类与特点 .....	277
一、发酵肉制品的种类 .....	277
二、肉类发酵过程中脂肪、蛋白质的变化与风味物质的形成 .....	279
三、发酵肉制品特点 .....	281
第二节 发酵肉制品的微生物发酵剂 .....	282
一、传统发酵肉制品常见的微生物 .....	282
二、微生物用作肉类发酵剂应具备的基本特征 .....	282
三、发酵菌剂常用的微生物及其作用 .....	283
四、肉类发酵剂制备 .....	285
第三节 发酵肉制品工艺 .....	286
一、发酵香肠的生产工艺 .....	286
二、发酵火腿 .....	290
第四节 发酵肉制品的安全性 .....	296
一、金黄色葡萄球菌与肠毒素 .....	296
二、其他病原细菌 .....	297
三、真菌毒素 .....	297
四、生物胺与亚硝胺 .....	298
五、病毒和寄生虫 .....	298
思考题 .....	299
<b>第十一章 发酵乳制品 .....</b>	<b>300</b>
第一节 发酵乳制品生产的原材料 .....	300
一、原料乳及乳制品 .....	300
二、发酵剂 .....	304
第二节 酸奶 .....	307

一、酸奶生产的基本原理 .....	308
二、酸奶的生产工艺 .....	309
三、酸奶的质量控制 .....	312
第三节 干酪 .....	313
一、干酪生产的基本工艺 .....	314
二、几种典型干酪的生产工艺 .....	316
第四节 奶酒 .....	318
一、牛奶酒和马奶酒 .....	318
二、乳清酒 .....	321
三、蒸馏型奶酒 .....	324
思考题 .....	326
<b>第十二章 发酵果蔬制品 .....</b>	<b>327</b>
第一节 蔬菜腌制与泡制工艺 .....	327
一、蔬菜腌制与泡制的基本工艺 .....	327
二、主要的微生物种类与作用 .....	331
三、色、香、味、脆的形成机理 .....	333
四、亚硝酸盐及亚硝基胺的产生和预防 .....	337
五、几种蔬菜发酵制品的生产工艺 .....	337
第二节 发酵果蔬汁饮料 .....	344
一、乳酸菌发酵果蔬汁饮料 .....	344
二、醋酸菌发酵果蔬汁饮料 .....	348
三、几种乳酸与醋酸发酵饮料的生产工艺 .....	350
思考题 .....	351
<b>第十三章 发酵食品添加剂 .....</b>	<b>353</b>
第一节 味精 .....	353
一、味精概述 .....	353
二、谷氨酸生产原料与处理方法 .....	354
三、谷氨酸生产菌种及其基本特征 .....	355
四、谷氨酸发酵机制 .....	356
五、谷氨酸发酵控制 .....	358
六、谷氨酸提取 .....	363
七、味精精制 .....	366
第二节 核苷酸 .....	366
一、核苷酸的化学结构与鲜味 .....	367
二、核苷酸的生物合成途径 .....	368
三、5'-IMP 发酵 .....	368
四、5'-GMP 发酵 .....	370
五、肌苷发酵 .....	373
六、鸟苷和肌苷的磷酸化 .....	374
第三节 红曲 .....	375
一、红曲的生产 .....	375
二、红曲的应用 .....	377

第四节 黄原胶	378
一、黄原胶产生菌	379
二、发酵培养基	379
三、发酵条件	379
四、黄原胶的分离提取	379
五、黄原胶在食品中的应用	380
第五节 生物防腐剂	380
一、乳酸链球菌素	381
二、纳他霉素	382
三、曲酸	382
第六节 益生菌剂	384
一、益生菌剂概述	384
二、乳酸菌	386
三、酪酸菌	387
四、纳豆芽孢杆菌	388
思考题	390
<b>参考文献</b>	<b>391</b>

# 第一篇 食品发酵设备

## 第一章 固体物料的处理与输送设备

食品发酵中常用的原料有淀粉质、蛋白质、果蔬类和糖类等原料。其中糖类原料（例如，蔗糖蜜与淀粉糖浆）通常为液体，关于液体原料的处理和输送设备主要是由泵提供动力，在容器与管道内进行，相关内容已在食品工程原理等课程中已讲述，本书不再赘述。而其他几类原料通常为固体，且种类繁多，情况也较复杂。

淀粉质原料是我国食品发酵中常采用的原料之一，主要包括玉米、高粱、大麦、大米（稻谷）、小麦、黍米、小米和甘薯等。例如，啤酒生产的主要原料为大麦，而辅料多为大米、玉米或玉米淀粉。黄酒生产的主要原料是大米（糯米、粳米或籼米），也有少数用黍米（大黄米）或玉米。在白酒生产中，大曲酒常用的原料是高粱，小曲酒常用的原料是稻谷，也可以用玉米和小麦等。

长期以来，发酵食品所采用的蛋白质原料以大豆为主。随着科学技术的发展，为了合理利用粮油资源，目前我国大都采用提取油脂后的大豆、花生，甚至油菜籽的饼粕。它们既是酿造酱油的原料，也是制酱的原料。

葡萄酒、白兰地以及其他果酒主要以葡萄、苹果和菠萝等为原料，而泡菜与腌菜等则几乎可以用各种蔬菜作为原料。

上述这些固体原料，在发酵前一般都需要采用除杂、分选、清洗、破碎、榨汁等设备进行处理，并经输送设备输送到相关的设备与容器。本章将就这些固体物料在除杂、分选、清洗、粉碎与输送等过程中所采用的主要设备进行叙述。

### 第一节 固体物料的除杂、分选与清洗设备

食品发酵中使用的淀粉质、蛋白质和果蔬类等固体物料在收获、贮存和运输时，往往会夹带有泥土、砂石、杂草以及金属等杂质，若不将这些杂质去除，就可能在加工过程中使机械设备受到磨损或导致阀门、管路及泵发生堵塞。此外，原料的大小规格和质量指标的不统一，还可以造成加工过程中原料的损耗率提高，生产成本上升。因此，固体物料在投入生产前必须先经过除杂、分选和清洗等预处理，这对降低生产成本、维护设备、提高物料利用率、提高劳动生产率等均有重要意义，并有利于生产过程的连续化和自动化。下面分别对除杂、分选、清洗等相关设备进行介绍。

#### 一、固体物料的除杂、分选设备

固体物料的除杂与分选设备主要包括气流清选设备（airflow selection equipment）、重力分选设备（gravity grading equipment）和磁力分选设备（magnetic force separating equipment）。其中，气流清选设备是根据物料的空气动力特性而设计的，重力分选设备是根据原料和杂质的密度不同进行除杂筛选的，而磁力分选机是根据物料中金属杂质能被磁性物质吸附进行设计的。此外，葡萄破碎除梗机也属于固体物料的除杂分选设备。

### (一) 气流清选设备

气流清选的实质是依据物料的空气动力特性的差异,除去稻谷、小麦、大麦等谷物原料中的杂草、茎叶、空壳、瘪粒的一种除杂分选方法。当空气自下而上流过物料颗粒时,使物料自由悬浮在气流中的气流速度称为物料的悬浮速度。不同大小、形状、密度物料的悬浮速度是不同的。在一定的气流作用下,物料的悬浮速度越小,获得气流方向加速度的能力越强,反之亦然。气流清选就是利用物料与杂质悬浮速度的不同,采用风机或其他气源在输送管道内形成具有一定速度的气流,从而将物料与杂质进行分离,并从一处输送至另一处的分选输送方法。

图 1-1 为几种气流清选设备的工作原理示意图。其中,图 1-1(a) 为垂直气流清选设备的工作原理示意图。谷物等物料从料斗喂入,落在筛板上,受由下而上气流的作用,密度较小的杂质,其悬浮速度小于气流速度而上升进入沉降室,饱满谷粒则因密度较大,其悬浮速度大于气流速度而从筛板尾端排出。图 1-1(b) 为倾斜气流清选设备的工作原理示意图。谷物等物料由料斗喂入后,由于混合物各组成组分的悬浮速度不同,获得气流方向加速度的能力也不同,密度较小杂质,其悬浮速度小,在气流方向获得较大的加速度而被气流吹得更远。

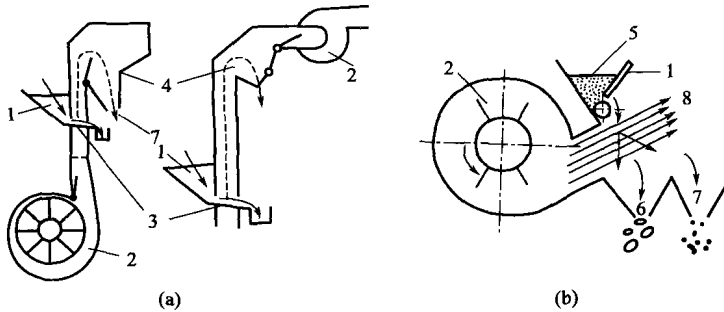


图 1-1 气流清选设备工作原理示意图

(引自:沈再春《农产品加工机械与设备》,1993)

(a) 垂直气流清选; (b) 倾斜气流清选

1—料斗; 2—风机; 3—筛板; 4—沉降室; 5—混合物; 6—重粒; 7—轻粒或杂质; 8—气流

### (二) 重力分选设备

重力分选设备包括干法重力分选设备 (dry gravity grading equipment) 及湿法重力分选设备 (wet gravity grading equipment)。

#### 1. 干法重力分选设备

干法重力分选是在振动和气流作用下,按物料组成成分的密度不同而进行分选的方法。重力分选往往在筛选之后进行,可分离依据尺寸大小不能分离的一些杂质。比重去石机 (specific gravity stone separator) 是干法重力分选的典型设备,常用于清除密度比谷物等原料大的并肩石 (大小与粮粒大小相近的石子) 等杂质。比重去石机的结构如图 1-2 所示,由进料装置、筛体、风机、传动装置等组成。进料装置由进料口、料斗、缓冲均流板、进料调节手轮等组成。筛体由薄钢板冲压而成的双面突起鱼鳞形筛孔的筛板,以及将其支承在机架上的吊杆组成。筛板向后逐渐变窄,并向前方略微倾斜,后部为聚石区,与其上部的圆弧罩构成精选室。筛板去石筛面 (与物料接触面) 与鱼鳞形筛孔的孔眼均指向石子运动方向 (后上方),具有导向气流和阻止石子下滑的作用,但不起筛选作用。筛体与风机外壳连接,风机外壳又与偏心传动装置相连,组成共振动体。

比重去石机的工作原理是物料由进料装置进入到去石筛面的中部，由于物料各组分的密度及空气动力特性不同，在适当的振动（由偏心传动装置提供）和气流（由风机提供）作用下，密度较小的谷粒浮在上层，密度较大的石子沉入底层与筛面接触，形成分层。经均风板自下而上穿过物料的气流，使物料处于流化状态，促进物料分层。因去石筛面前方略微向下倾斜，上层物料（谷粒）在重力、惯性力和连续进料推力的作用下，以下层物料为滑动面，相对于去石筛面下滑至筛板前方。与此同时，石子等杂物逐渐从粮粒中分出进入下层。下层石子及未悬浮的粮粒在振动及气流作用下沿筛面向筛板后方上滑，随着上层物料越来越薄，压力也逐渐减小，下层粮粒不断进入上层。这样，在筛板后方末端，下层物料中粮粒已经很少，并在反吹气流的作用下，少量粮粒又被吹至筛板前方，石子等重物则从出石口排出。比重去石机工作时，要求下层物料能沿倾斜筛面向后上方滑动而又不在于筛面上跳动，因此，应该控制偏心传动装置的转速和风机的风速。

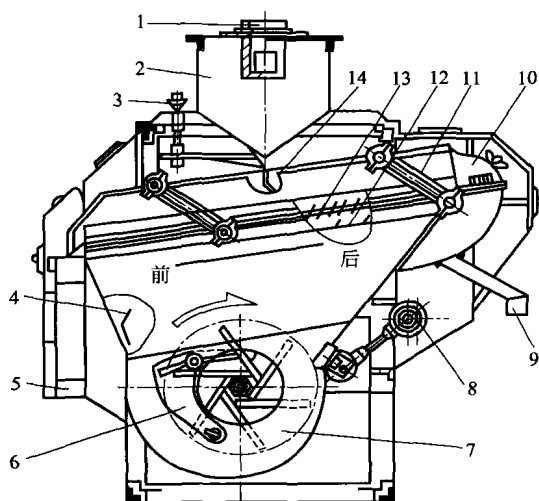


图 1-2 比重去石机结构图

（引自：张裕中《食品加工技术装备》，2000）

- 1—进料口；2—料斗；3—进料调节手轮；4—导风板；
- 5—出料口；6—进风调节装置；7—风机；8—偏心传动装置；9—出石口；10—精选室；11—吊杆；
- 12—均风板；13—筛板；14—缓冲均流板

## 2. 湿法重力分选设备

湿法重力分选的原理是不同密度的颗粒在重力与水中浮力的作用下，密度小于水的颗粒上浮而被分离，密度大于水的颗粒下沉，并根据沉降速度的不同可将不同密度的颗粒分开。由于水的密度和黏度比空气的大得多，体积相同而密度不同的颗粒，其密度比值在水中比在空气中差别更大。例如，在空气中，并肩石与小麦的相对密度分别为 2.6 和 1.3，它们的比值为 2；而在水中，由于浮力的作用，并肩石与小麦的相对密度分别为 1.6 和 0.3，这样它们的比值为 5.3。显然，分离小麦中的并肩石，用水选比用风选更为有效，而且小麦与并肩石在水中同时沉降时，其自由沉降速度分别约为 100mm/s 和 240mm/s，二者速度之差也比在空气中的大，同样有利于分选。

去石洗麦甩干机（removing stone and washing wheat centrifugal dry machine）是利用湿法重力分选原理进行麦粒等谷物除杂的一种设备，其结构如图 1-3 所示。它主要由进料口、洗涤槽、螺旋和甩干机等部分组成。进料口可沿洗涤槽左右移动，以调节麦粒在洗涤槽内的停留时间。洗涤槽内安装有洗麦螺旋和去石螺旋，它们分别位于洗涤槽的上部与下部，所以又称为上螺旋、下螺旋，但是它们不在同一垂直面上，以减小石子及麦粒下沉时的互相干扰。甩干机与洗涤槽相连，可以将去石后麦粒中的水分去除。

去石洗麦甩干机的工作原理是含杂质麦粒从进料口进入洗涤槽，受到上螺旋的搅动而不易下沉（与石子比），并在上螺旋推运作用下从左向右进入甩干机后，在离心力与气流的共同作用下去除水分，从出料口排出；而石子等杂质密度较大，可迅速下沉到下螺旋内，下螺旋转向与上螺旋相反，从而将石子等重杂物从右到左送到集石斗内排出。

## （三）磁力分选除铁机

磁力分选除铁机（magnetic separating and removing iron machine）是通过磁力作用，去

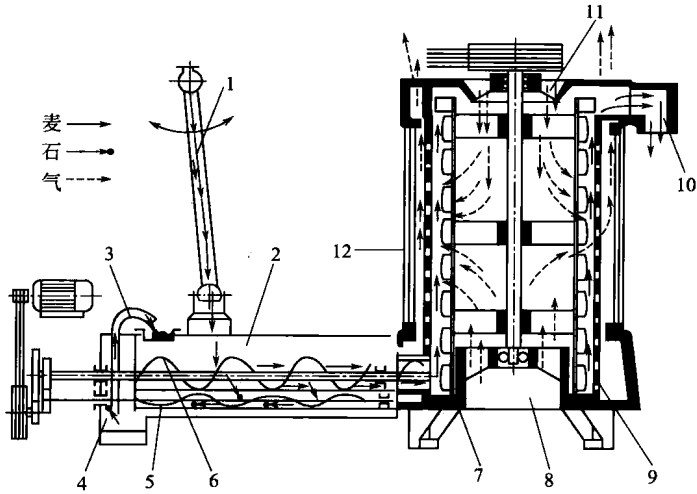


图 1-3 去石洗麦甩干机结构示意图

(引自: 崔建云《食品加工机械与设备》, 2004)

1—进料口; 2—洗涤槽; 3—喷砂管; 4—集石斗; 5—去石螺旋; 6—洗麦螺旋; 7—甩料叶板; 8—机座; 9—筛板圆筒; 10—出口口; 11—上帽; 12—甩干机

除谷物等原料中的金属杂物, 以保护加工机械和操作人员安全的设备, 简称为磁选设备。在粮食和饲料等的加工过程中, 凡是高速运转的机器的前部一般都有磁选设备。磁选设备的主要工作部件是磁体, 多采用有足够强度的永久磁铁。常用的磁选设备是永磁溜管 (permanent magnetic tube) 和永磁滚筒 (permanent magnetic cylinder)。

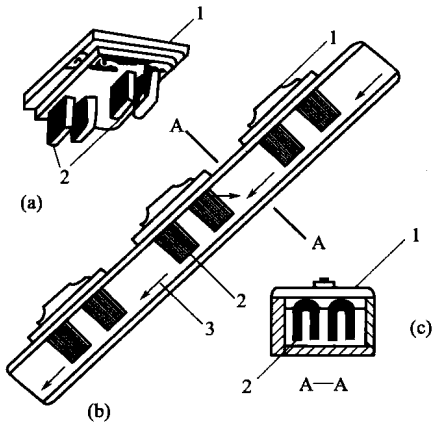


图 1-4 永磁溜管的结构示意图

(引自: 张裕中《食品加工技术装备》, 2000)

(a) 带有永久性磁铁的盖板; (b) 永磁溜管纵截面图; (c) 永磁溜管横截面图

1—盖板; 2—磁铁; 3—物料流动方向

### 1. 永磁溜管

永磁溜管是在溜管 (供物料溜滑通过的管道) 的上方安装 2~3 个带有永久性磁铁盖板的一种装置 (图 1-4)。每个盖板上装有两组前后错开的磁铁。工作时, 物料从溜管上端流下 (速度一般为 0.15~0.25m/s), 铁等磁性物体被磁铁吸住。工作一段时间后, 依次交替地取下盖板, 除去磁性杂质。永磁溜管可连续地进行磁选, 结构简单, 占地小。为了提高分离效率, 应保证流过溜管的物料层薄而均匀。

### 2. 永磁滚筒

永磁滚筒的结构比永磁溜管复杂, 主要由磁芯和滚筒等组成 (图 1-5)。磁芯由永久磁铁和隔板按一定顺序排列成 170° 的圆弧形, 安装在固定轴上, 固定不动。滚筒由非磁性材料制成, 重量轻, 转动惯性小, 通过蜗轮蜗杆传动机构带动旋转。磁芯圆弧表面与滚筒内表面有小 (一般为 2mm) 而均匀的间隙。工作时, 物料由料斗进入, 与滚筒接触, 铁等磁性物质被磁芯吸住, 并随滚筒运动 (圆周速度一般为 0.6m/s 左右) 而被排除至铁杂质收集盒。永磁滚筒能自动地排除磁性杂质, 除杂效率高达 98% 以上, 特别适合于除去粒状物料中的磁性杂质。

成, 重量轻, 转动惯性小, 通过蜗轮蜗杆传动机构带动旋转。磁芯圆弧表面与滚筒内表面有小 (一般为 2mm) 而均匀的间隙。工作时, 物料由料斗进入, 与滚筒接触, 铁等磁性物质被磁芯吸住, 并随滚筒运动 (圆周速度一般为 0.6m/s 左右) 而被排除至铁杂质收集盒。永磁滚筒能自动地排除磁性杂质, 除杂效率高达 98% 以上, 特别适合于除去粒状物料中的磁性杂质。



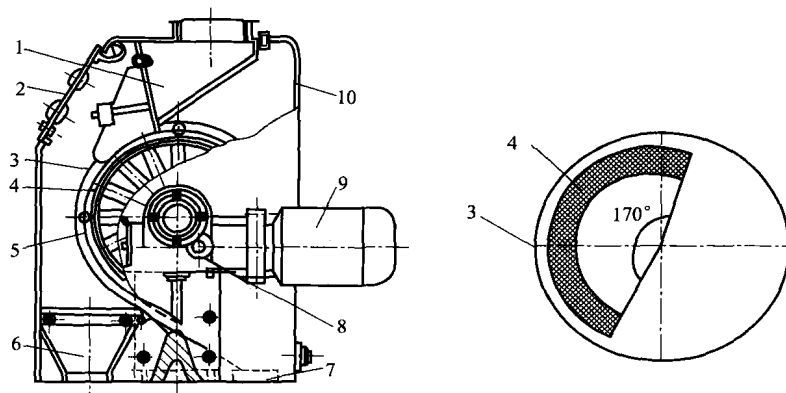


图 1-5 永磁滚筒结构示意图

(引自：马海乐《食品机械与设备》，2004)

- 1—料斗；2—观察窗；3—滚筒；4—磁芯；5—隔板；6—物料出口；  
7—铁杂质收集盒；8—变速机构；9—电机；10—机壳

#### (四) 葡萄破碎除梗机

葡萄破碎除梗机 (grape crushing and separating machine) 是将葡萄进行破碎并分离葡萄梗的设备。双辊压破机 (twin-roller fracture machine) 是葡萄破碎除梗机之一，主要由破碎辊筒和分离装置等组成 (图 1-6)。破碎辊筒为两个直径相同带齿相向回转的圆筒，其两端由轴承托承。辊筒分为主动辊筒与被动辊筒，前者的轴承是固定的，后者的轴承是可移动的，这样可调节辊筒的空隙距离 (即开度) 的大小，以使葡萄籽不被破碎。另外，在移动轴承上还装有弹簧，当葡萄中混有较大块或较硬的杂质时，被动辊筒可以自动拉开以避免机器受损。分离装置包括圆筒筛与中心轴，中心轴上安装有呈螺旋排列的叶片，以利于进一步将葡萄破碎。

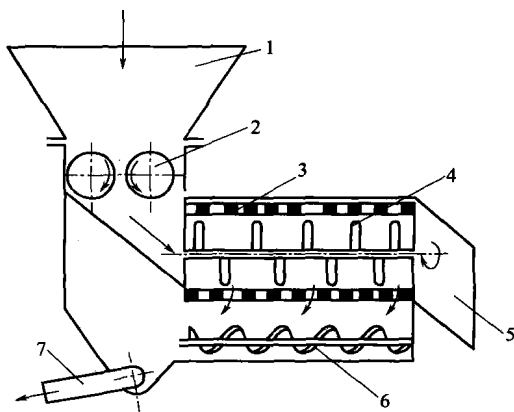


图 1-6 双辊压破机的结构示意图

(引自：邹东恢《生物加工设备选型与应用》，2009)

- 1—料斗；2—破碎辊筒；3—圆筒筛；4—中心轴与叶片；  
5—果梗出口；6—螺旋输送机；7—果汁、果肉出料口

双辊压破机的工作原理是带梗的葡萄果实从料斗落入破碎辊筒之间加以挤压破碎，破碎后的物料进入圆筒筛，在中心轴叶片的作用下进一步破碎，果汁、果肉等从圆筒筛的筛孔中排出，通过螺旋输送机，由右向左输送至出料口排出，果梗由于不能通过筛孔而从果梗出口卸出。

### 二、固体物料的清洗设备

固体物料清洗设备包括滚筒式清洗机 (cylinder cleaning machine)、鼓风式清洗机 (air-blowing cleaning machine) 和新型组合式清洗机 (new combined cleaning machine) 等。

#### (一) 滚筒式清洗机

滚筒式清洗机适合清洗柑橘、橙、马铃薯等质地较硬的物料，主要由清洗滚筒、喷水装置和传动装置等组成 (图 1-7)。清洗滚筒由钻有许多小孔的薄钢板卷制而成，或用钢条排列焊成筒形，滚筒与水平线有  $5^\circ$  的倾角，滚筒外周两端焊有两个金属圆环作为摩擦滚圈。喷水装