

现代食品工业技术丛书

# 食品工业高新技术设备 和 工 艺

邓 立 朱 明 主编



化学工业出版社  
生物·医药出版分社

· 北 京 ·

本书是《现代食品工业技术丛书》中的一个分册。介绍了食品工业各类单项技术中的高新技术和设备,包括加工技术、分离技术、保鲜技术、灭菌技术和生物技术等,具体阐述了各类技术中涉及的新型设备、工艺,以及适用的范围,还特别详解了其在具体产品中的应用实例。设备-工艺-应用范围-实例的结构,帮助读者了解产品性能和特点,提供选择设备的思路和要点,是食品企业进行技术升级改造、提高生产效率和产品质量必不可少的参考书。同时也可以供食品工艺、食品机械专业的大专院校师生参考使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

食品工业高新技术设备和工艺/邓立,朱明主编.  
北京:化学工业出版社,2006.9  
(现代食品工业技术丛书)  
ISBN 978-7-5025-9419-0

I. 食… II. ①邓…②朱… III. ①食品加工设备  
②食品加工-工艺学 IV. TS20

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 119188 号

---

现代食品工业技术丛书  
**食品工业高新技术设备和工艺**

邓立 朱明 主编

责任编辑:孟嘉 周旭

文字编辑:朱恺

责任校对:王素芹

封面设计:潘峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
生物·医药出版社

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京云浩印刷有限责任公司印刷  
三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 16½ 字数 300 千字

2007年1月第1版 2007年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-5025-9419-0

定价:30.00元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换  
京化广临字 2006—46 号

# 《现代食品工业技术丛书》编委会

编委会主任 高福成

编委会副主任 (以姓氏汉语拼音为序)

江 波 王志伟 朱 明

编委会委员 (以姓氏汉语拼音为序)

戴 军 邓 立 高福成 江 波

刘长虹 钱 和 王志伟 邬敏辰

杨寿清 张燕萍 赵思明 朱 明

## 本册编写人员

主 编 邓 立 朱 明

编写人员 (以姓氏汉语拼音为序)

邓 立 丁 杰 钱 纯 朱 明

# 序

---

食品工业是人类的生命工业，也是永恒不衰的工业。食品工业的现代化程度是反映人民生活质量及国家文明程度的重要标志。食品工业是我国国民经济的重要支柱产业，在20世纪最后20年中，食品工业对中国人民的生活水平由温饱型向小康型过渡起到了举足轻重的作用。而今，时代进入了21世纪，中国已加入世界贸易组织，中国的食品工业开始深深地融入世界经济，面临激烈的国际竞争和全球化所带来的发展与机遇。

我国食品工业虽然已取得了很大成绩，但是，由于种种原因，我国食品工业现代化水平还比较低，特别是与发达国家相比，差距更大，主要存在以下问题：①食品企业总体规模偏小，研究开发力量薄弱；②食品工业的初级加工比重过大，而精、深加工产品较少；③食品机械技术含量低，更新速度慢；④食品加工综合利用程度低，与国际先进水平有较大差距；⑤食品企业管理水平比较落后，产品质量差，生产率低，能耗高，市场竞争能力低。

目前，发达国家的食品工业技术水平随科学技术的发展而不断提高，除了在20世纪已形成的并得到广泛应用的传统技术以外，最值得关注的是20世纪后期逐渐形成的、迄今还在不断发展的高新技术。高新技术在食品工业中的广泛应用，对食品工业的发展起了关键的作用。从某种程度上来说，现代食品工业的发展史，就是高新技术及设备在食品工业上的应用史。用高新技术装备的食品机械，提高了生产率，降低了能源消耗，增加了产品的得率，减少了废弃物，保持了食品营养成分和风味，提高了食品品质和安全。

食品工业高新技术的主要特点是高新技术实用化、节能化、机械化和自动化。一大批高新技术，如超微粉碎、挤压膨化、微胶囊化、超临界萃取、膜分离、冷冻干燥、食品辐照、冰温保鲜、无菌包装等，在食品行业得到了推广应用，有力地促进了食品工业生产水平的提高和产品的更新换代。不仅可保证食品营养、安全、卫生、方便、快捷、风味多样，而且可降低生产成本、节约资源和保护环境。与传统食品工业技术相比，食品工业高新技术无疑具有巨大的优势。食品工业高新技术的发展与应用也将给我国食品工业带来新的机遇。

由于目前市场上缺乏关于现代食品工业高新技术方面较为系统和全面的专著，以江南大学（原无锡轻工大学）和华中农业大学一批从事相关专业的中青年教师为主，编写了《现代食品工业技术丛书》。丛书立足于国内食品工业现状和基础，借鉴了国际食品工业中已成功应用的高新技术实例，力求简单明了地介绍

现代食品工业生产中能够应用的各种高新技术。

食品工业是一个庞大的工业体系，涉及领域众多，各种高新技术应用和渗透也很广泛，难以用一套丛书囊括这一庞大工业体系的所有领域。就本丛书而言，从原料特性出发，食品加工技术可以分为粮食加工工艺、乳品加工工艺、油脂加工工艺等。这样分类对行业分析可能是有利的，但对研究加工技术无多大用处。因此，从加工单元操作进行分类，即根据加工方式的特性进行分类可能是较好的方法。

为此，丛书按食品工业中高新技术的特性分为以下几个方面：①食品加工技术，主要包括粉碎、分散、成型、加热和低温等；②食品分离技术，主要包括膜分离、超临界萃取、分子蒸馏和冷冻干燥等；③食品杀菌技术，主要包括超高压杀菌、臭氧杀菌、静电杀菌、生物杀菌、容器杀菌等；④食品保鲜技术，主要包括辐照保鲜、冰温保鲜、气调保鲜等；⑤食品包装技术，主要包括新型包装材料、包装设备和包装工艺等；⑥食品生物技术，主要包括发酵工程、细胞工程、酶工程和基因工程等；⑦计算机技术，主要包括自动控制、软件开发、数据处理和辅助设计等。此外，为帮助读者更好地了解高新技术在食品工业中的应用，专门增加了目前食品工业中常用高新技术的典型设备与典型工艺以及现代食品工业中的仪器分析技术与安全控制技术。

考虑到丛书的学科跨度大，涉及领域广，加之读者的专业各有不同，书中尽量使用了通俗易懂的语言对目前食品工业常用的高新技术进行全面的介绍。书中简化了公式和理论推导过程，深入浅出地表述高新技术理论，尽量避免将高新技术神秘化；在叙述时重点突出一些实际的操作和应用，使其成为一本真正实用的参考书。

丛书根据相关生产技术分为9个分册，分别与其相应的新技术和应用相结合而独立成为丛书的一部分。丛书每个分册各有其独立的书名，以便读者各取所需，而整套丛书则保持了内在的系统性和完整性。

真诚希望本丛书能够为解决食品生产实践中的问题提供一些有益的启示。即便如此，相对于范围极为广泛的食品工业和快速发展的技术，书中的内容仍有可能无法满足读者的需求，望广大读者不吝赐教。

高福成

2005年3月

# 前 言

近年来，我国食品工业虽然取得了很大成绩，但是，由于种种原因，我国食品工业现代化水平还比较低，与国际先进水平相比还有较大差距。在食品机械设  
备方面，主要表现为：①产品品种和配套数量少，成套设备更少；②产品技术含量低，技术更新慢，开发能力弱；③产品质量差，能耗高，稳定性和可靠性差，外观粗糙，不易清洁，卫生标准低；④企业规模小，管理水平比较落后，市场竞争能力低。

随着经济的发展，世界各国对食品的安全问题越来越重视，各国在食品的生产、加工、销售以及进出口上采取了严格的管理措施，食品的安全、营养与卫生越来越被人们所关注，绿色食品、有机食品越来越受到消费者的青睐，各种功能性食品占据越来越大的市场份额。为适应人们工作、生活快节奏和高效率，方便食品日益走俏，保鲜食品、微波食品、速冻食品、休闲食品等应运而生。这一切对传统的食品工业而言，既是严峻的挑战，又是全新的机遇，我国食品工业必须加快对传统设备和生产工艺改革的步伐。

高新技术在食品工业中的广泛应用，对食品工业的发展起到了重要的作用。超临界萃取、膜分离、分子蒸馏、辐射杀菌、微胶囊包裹、冷冻干燥、气调保鲜、无菌包装及现代生物工程等高新技术的广泛运用，有力地促进了食品工业生产水平的提高和产品的更新换代，不仅可保证食品的安全、营养与卫生，而且可降低生产成本、节约资源和保护环境，与传统食品工业技术相比，无疑具有明显的优势。

本书共分6章，具体介绍各类技术中的高新技术和设备，包括现代食品工业加工技术、现代食品工业分离技术、现代食品工业保鲜技术、现代食品工业灭菌技术，以及现代食品工业生物工程和保健食品生产中常用的高新技术设备。并且提供了有关前述高新技术和设备的应用实例。

由于本丛书对食品加工技术、食品分离技术、食品杀菌技术、食品保鲜技术、食品包装技术和食品生物技术的基本原理和工艺均有单独介绍，因此本书重点介绍以上涉及的食品工业高新技术的主要设备和一些典型的工艺。本书的内容尽可能包括目前我国食品行业实际使用的各种高新技术装备，希望读者通过本书能对食品行业的高新技术装备情况有个大致和全面的了解。由于现代科学技术与食品工业发展迅速，本书尽量引用最新的参考文献，以方便读者了解食品工业技

术装备的最新动态。考虑到学科跨度大，涉及的领域广，加之读者专业各有不同，本书尽量用通俗易懂的语言对目前食品工业常用的工业技术装备进行全面的介绍。希望本书能够成为食品行业一本实用的参考书，同时也希望它能对我国食品工业在更多更好地应用现代高新技术方面有所帮助。

本书由江南大学、(中外合资)无锡仙德瑞食品科技有限公司等一批从事食品科学的研究人员和管理人员共同编写。本书的第一章由邓立编写；第二章由朱明、邓立编写；第三章~第五章由邓立、丁杰、钱纯编写；第六章由邓立、朱明编写。全书由朱明和邓立统编整理。高福成教授主审了本书并提出了许多宝贵建议，谨在此致以谢意。

由于编者学识有限，加上时间仓促，学科跨度又大，书中定有疏漏或不当之处，望广大读者不吝赐教。

邓立 朱明

2006年8月

# 目 录

第一章 现代食品工业加工技术中常用的高新技术设备 .....	1
第一节 超微粉碎设备 .....	1
一、辊式粉碎设备的原理及应用 .....	1
二、气流式粉碎设备的原理及应用 .....	5
三、振动式粉碎设备的原理及应用 .....	8
四、搅拌式粉碎设备的原理及应用 .....	10
五、球磨机 .....	15
六、其他类型的粉碎设备 .....	16
七、市场常见的几种定型微粉碎设备 .....	18
八、国外超微粉碎设备介绍 .....	24
九、常见的不同粉碎方式比较 .....	32
第二节 高压均质机 .....	33
一、高压均质机的工作原理和基本结构 .....	33
二、高压均质机的特点 .....	35
三、高压均质机的分类 .....	35
四、高压均质机的选用 .....	36
五、常见的高压均质机 .....	37
第三节 挤压设备 .....	42
一、食品的挤压加工 .....	43
二、食品挤压加工的特点 .....	46
三、挤压机的分类 .....	47
四、挤压膨化机的构造 .....	50
五、挤压机的使用和操作 .....	53
六、常见的挤压膨化设备 .....	56
第四节 超声乳化设备 .....	58
一、超声乳化的理论 .....	59
二、超声乳化的特点 .....	59
三、超声乳化的设备和乳化工艺 .....	60
第五节 低温粉碎设备 .....	62
一、低温粉碎的工作原理 .....	63
二、低温粉碎的分类 .....	63

三、低温粉碎方法和设备 .....	64
<b>第二章 现代食品工业分离技术中常用的高新技术设备 .....</b>	<b>67</b>
<b>第一节 超临界流体萃取设备 .....</b>	<b>67</b>
一、超临界流体萃取的基本原理 .....	67
二、二氧化碳超临界萃取技术的应用 .....	69
三、超临界流体萃取主要设备和基本工艺 .....	70
四、超临界流体萃取主要设备的关键结构 .....	71
五、食品工业生产超临界萃取成套装置 .....	71
<b>第二节 膜分离设备及在食品工业中的应用 .....</b>	<b>73</b>
一、膜分离的原理和膜的分类 .....	74
二、膜分离技术在食品工业上主要应用范围 .....	76
三、常见的膜分离设备 .....	76
四、膜分离设备选用时的注意事项 .....	78
五、膜设备日常使用中的注意事项 .....	80
六、连续电除盐 .....	81
<b>第三节 分子蒸馏设备 .....</b>	<b>82</b>
一、分子蒸馏的原理 .....	82
二、分子蒸馏技术的特点 .....	83
三、分子蒸馏技术在食品工业中的应用 .....	84
四、常见的分子蒸馏设备 .....	84
<b>第四节 色谱分离设备 .....</b>	<b>86</b>
一、离子交换色谱 .....	87
二、离子交换色谱柱 .....	91
三、色谱分离设备的一般生产操作过程 .....	92
<b>第五节 冷冻干燥设备 .....</b>	<b>93</b>
一、冷冻干燥的原理 .....	94
二、冷冻干燥食品的特点 .....	95
三、冷冻干燥机的组成和分类 .....	96
四、食品的冻结点和共熔点 .....	98
五、冷冻干燥工业生产操作过程及要点 .....	99
六、影响干燥过程的因素 .....	103
七、冻干操作过程（曲线时序的制定） .....	105
八、冻干的后处理 .....	108
九、常见的冻干设备 .....	109
<b>第三章 现代食品工业保鲜技术中常用的高新技术设备 .....</b>	<b>114</b>
<b>第一节 气调储藏保鲜设备和库房 .....</b>	<b>114</b>
一、果蔬气调储藏保鲜的原理 .....	114

二、气调储藏保鲜的优点 .....	115
三、气调储藏的方法 .....	115
四、气调储藏保鲜库的分类 .....	116
五、快速降氧法 (CA) 气调储藏的设备 .....	117
六、气调储藏保鲜对果蔬的质量要求 .....	119
七、常见果蔬气调保鲜储藏参数 .....	119
第二节 冰温保鲜技术设备 .....	120
一、冰温的发现 .....	120
二、冰温保鲜和冰温食品 .....	121
三、冰温保鲜设备 .....	121
第三节 纳米技术在食品保鲜上的应用 .....	123
一、纳米材料的特性 .....	123
二、纳米材料在食品工业上的应用 .....	124
三、纳米无机抗菌材料及其安全性 .....	125
第四节 气调保鲜包装及设备 .....	126
一、气调包装的原理和特点 .....	126
二、气调包装生产的设备分类 .....	127
三、国内生产的气调包装设备和材料 .....	128
<b>第四章 现代食品工业灭菌技术中常用的高新技术设备 .....</b>	<b>131</b>
第一节 超高温灭菌设备 .....	131
一、超高温瞬时灭菌的原理 .....	132
二、常见的超高温瞬时灭菌设备的分类 .....	132
三、板式超高温瞬时灭菌设备 .....	133
四、管式超高温瞬时 (UHT) 灭菌设备 .....	134
五、国产超高温瞬时灭菌设备 .....	135
第二节 超高压灭菌设备 .....	136
一、超高压杀菌的特点 .....	137
二、超高压杀菌的原理 .....	137
三、高压对食品中营养成分的影响 .....	138
四、超高压杀菌设备介绍 .....	139
五、超高压杀菌的应用举例 .....	141
第三节 辐照灭菌、保鲜设备 .....	142
一、食品的辐照保鲜技术 .....	142
二、食品辐照保鲜的剂量 .....	143
三、迷宫式辐照室 .....	143
四、肉制品厂的辐照生产 .....	144
五、国内部分 $\gamma$ 辐照加工装置 .....	145
第四节 除菌过滤设备 .....	147

一、液体食品的膜过滤除菌 .....	148
二、无菌板框过滤器 .....	149
三、空气的过滤除菌 .....	150
<b>第五章 现代食品工业生物工程和保健食品工厂中常用的高新技术设备 .....</b>	<b>151</b>
第一节 固定化酶反应设备 .....	151
一、酶的固定化方法 .....	152
二、固定化酶的特性 .....	155
三、固定化酶反应设备的形式 .....	156
第二节 自动控制发酵设备和细胞生物反应器 .....	157
一、自动控制发酵罐的主要组成 .....	157
二、自动控制发酵罐在使用时的注意事项 .....	158
三、自动发酵罐简单介绍 .....	161
四、细胞培养用生物反应器 .....	164
第三节 保健食品工厂的新技术装备 .....	166
一、保健食品主要产品形式的生产工艺流程 .....	166
二、制粒设备 .....	168
三、压片设备 .....	174
四、胶囊设备 .....	178
五、高效包衣设备 .....	187
六、泡罩包装机 .....	190
第四节 保健食品工厂的 GMP 洁净车间和设备选择 .....	193
一、厂房与设施 .....	193
二、保健食品生产设备的选择 .....	196
<b>第六章 现代食品工业高新技术应用案例 .....</b>	<b>202</b>
第一节 纯净水的生产制造 .....	202
一、现代纯水制造典型工艺 .....	202
二、常用的二级反渗透纯水制造过程及设备 .....	204
第二节 小麦胚芽油的萃取和精制 .....	205
一、超临界 CO <sub>2</sub> 萃取法 .....	206
二、浸出法 .....	206
三、压榨法 .....	207
四、分子蒸馏法 .....	207
五、精制小麦胚芽油的理化指标 .....	207
第三节 淀粉糖的色谱分离 .....	208
一、淀粉糖的色谱分离的一般过程 .....	208
二、淀粉糖色谱分离的树脂和设备 .....	209
三、淀粉糖色谱分离操作的要点 .....	209

第四节 羊胎盘的冷冻干燥和粉碎 .....	210
一、动物胎盘的功效成分 .....	210
二、动物胎盘的干燥加工方法 .....	211
三、羊胎盘冻干粉冷冻干燥法生产 .....	211
第五节 小包装食品的辐射灭菌保鲜 .....	212
一、可小包装辐射灭菌的食品和安全性 .....	212
二、小包装辐射灭菌辐照保鲜的剂量 .....	212
三、食品辐射灭菌保鲜的优点 .....	213
四、小包装食品的辐射处理 .....	213
第六节 固体粉末蔬菜的生产 .....	214
一、番茄粉的制造 .....	215
二、蘑菇、大蒜、胡萝卜粉末蔬菜的冷冻干燥法制造 .....	220
三、固体粉末蔬菜的生产设备 .....	223
四、蔬菜冷冻干燥的工艺条件 .....	224
五、冷冻干燥固体粉末蔬菜的特点 .....	225
六、固体粉末蔬菜食品的包装与储存 .....	227
第七节 荔枝等热带水果的常温保鲜 .....	228
一、荔枝等水果辐照杀虫保鲜 .....	229
二、辐照保鲜的剂量 .....	229
三、同位素 $Co^{60}$ 放射辐照保鲜的特点 .....	229
四、荔枝辐照保鲜的一般要求 .....	229
第八节 乳品生产的无菌包装 .....	230
一、乳品中微生物的耐热性 .....	230
二、乳品工业常用灭菌方式 .....	230
三、乳品的无菌包装工艺 .....	231
四、无菌包装装备的简单介绍 .....	233
第九节 粉末油脂的微胶囊包裹 .....	234
一、油脂微胶囊化的基本特点 .....	234
二、粉末油脂微胶囊的生产工艺 .....	235
三、粉末油脂喷雾干燥法微胶囊使用的设备 .....	238
第十节 单甘酯的分子蒸馏 .....	240
一、单甘酯的工业生产 .....	241
二、刮膜式分子蒸馏单甘酯的生产过程 .....	242
三、温度和压力对分馏操作的影响 .....	243
四、分子蒸馏工艺得到的产品的优点 .....	243
五、分子蒸馏单甘酯在食品加工中的应用及效果 .....	244
<b>参考文献</b> .....	246

# 第一章 现代食品工业加工技术中 常用的高新技术设备

## 第一节 超微粉碎设备

超微粉碎技术是近 20 年来发展起来的新技术。所谓超微粉碎，是指利用机械或流体动力的方法克服固体内部凝聚力使之破碎，将直径 3mm 以上的物料颗粒粉碎至 10~25 $\mu\text{m}$  的超微粉体的过程。由于颗粒的微细化导致表面积和孔隙率的增加，使其具有独特的物理化学性能，例如良好的分散性、吸附性、溶解性和化学活性等。

国内超微粉碎的概念很混乱，名词术语使用也不一，例如超微、超细、超细微等。国外一般定义较严格，即超微粉碎就是颗粒直径小于 3 $\mu\text{m}$  的粉碎。超微粉碎的名词一般都是从外文翻译过来的，由于翻译原因和其他一些原因，汉语中对应词意混乱，将对颗粒直径在 100 $\mu\text{m}$  以下的粉碎都称为超微粉碎。本书讨论食品工业最常见的，即颗粒直径在 30 $\mu\text{m}$  以下的粉碎。

粉碎操作可以分为干法和湿法两大类。干法粉碎时，对物料的水分含量有一定的要求，含水量高的物料必须经过干燥处理或者冷冻处理。湿法粉碎时，将物料悬浮于载体流体中进行研磨，其中水是常用的载体，可以有效降低物料的强度。湿法粉碎的能量消耗比干法大，设备磨损也比干法严重，但是湿法粉碎比干法容易得到更细的产品，所以一般食品的超微粉碎大多采用湿法粉碎。

食品工业常用的超微粉碎设备有辊式粉碎机、气流式粉碎机、振动式粉碎机、搅拌式粉碎机、辊碾磨等。

### 一、辊式粉碎设备的原理及应用

辊式粉碎设备是食品工业中使用最为广泛的粉碎设备，它能适应食品加工对物料粉碎操作的不同要求。辊式磨粉机广泛用于小麦制粉工业，也可用于酿酒的原料破碎等工序。辊式精磨机多用于巧克力的加工研磨。多辊式粉碎机用于啤酒厂各种麦芽的粉碎加工。油料的轧坯、糖粉的加工、麦片和米片的加工等也经常采用辊式粉碎设备。

磨辊是辊式磨粉机的主要工作零件。由于速比和辊面状态不同，粉碎物料的磨辊形式也不同。等速反向旋转的抛光磨辊是以挤压的方式粉碎物料或使物料变

形；差速反向旋转的齿磨辊是以剪切、挤压和研磨三种方式粉碎物料。辊式粉碎设备的种类和型号很多，主要有辊式磨粉机、精磨机。

### 1. 影响粉碎效果的主要原因

影响粉碎效果的主要因素有辊筒直径、辊筒线速度、两辊筒外表面线速度之比、辊筒光滑平整程度和表面形状、两辊面间的缝隙大小、两辊（或多辊）的平行度以及被粉碎物料的特性等。

(1) 辊筒直径的影响 研究及生产经验都表明两辊的直径对产品产量、粒度、粉碎比都有明显影响。通常在其他条件相同的情况下，辊筒直径增大，产量提高，粉碎比增大，产品粒度变细。

由表 1-1 可以看出粉碎比、产品粒度及产品产量都随着辊筒直径的增大而增大，随着粉碎次数的增加产品粒度变细，但粉碎比减小。也就是说对于这种情况再增加粉碎次数，粉碎效果变化并不明显。对于不合格的粗粒进行循环粉碎，可提高辊式粉碎机的生产效率。增大辊筒直径对提高粉碎综合效果极为有利。其中主要原因是当辊筒直径增大后，物料在两辊之间受挤压和摩擦剪切力的作用时间增长，因而物料的破碎和粉碎效果较好。

表 1-1 辊筒直径对粉碎效果的影响

辊筒直径 $D/\text{mm}$	粉 碎 比		产品粒度 $D_{50}/\mu\text{m}$			100mm 长度上的产量 (三次粉碎)/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$
	一次粉碎	二次粉碎	一次粉碎	二次粉碎	三次粉碎	
160	1 : 2.5	1 : 1.6	20	12.5	10.2	1.4
320	1 : 3.2	1 : 2.2	15.6	7.1	5.1	3.6
400	1 : 4.0	1 : 2.5	12.5	5	4.7	7.7

注：辊筒表面线速度相同，进料产品粒度都为  $50\mu\text{m}$ ，由于辊筒逐渐增大后长度也增长，因此计算产量时统一换算成 100mm 长度上产量，以便于对比。

(2) 辊筒表面线速度及线速度之差的影响 研究及生产实践经验表明，辊筒表面线速度大小的变化对产量及产品形状的影响很大。通常辊筒表面线速度越大产量越高，产品呈球状；线速度越低产量越低，产品呈多棱状。当然线速度并非越高越好。对于特定机型及特定的物料而言有一最佳线速度值。辊筒表面线速度太大，会导致物料喂入效果差，会使产量降低，粉碎效果变差，同时给操作带来诸多不便。

两辊筒表面线速度之差（以下简称“差速”）对粉碎效果及产品粒度影响很大，差速越大，被粉碎物料在两辊面间受到的摩擦剪切力就越大，物料越易被撕碎。并可使物料内部晶粒、晶格发生位移裂变，使物料结构变得疏松，进而使物料更易被粉碎。然而差速大小对于特定设备及产品存在一定的极限。差速太大会使两辊面间摩擦力增大、两辊间物料升温很快而且温度很高，导致粉碎时物料与辊面摩擦产生的噪声很大、辊面磨损严重。电动机负荷加大。这些变化不利于物

料的粉碎，因此差速应适当。

(3) 辊筒表面的光滑程度及形状的影响 首先，辊筒表面越光滑平整，粉碎出的产品粒度越细。这是因为，两辊筒表面光滑平整时，可通过调节止推螺杆（或液压系统）使两辊面尽可能靠紧，中间缝隙极小。但是，辊筒表面光滑平整度的提高，会降低辊式粉碎设备的生产能力。粉碎时物料通过两辊面间时易打滑，因而使生产能力降低。另外，两辊面间缝隙太小时，喂入量减少也会使生产能力降低，因此应对上述因素综合考虑。

辊筒表面形状对物料的粉碎影响很大。具有锐利刀刃形结构的辊筒可有效粉碎纤维结构及韧性强的物料，辊筒外表具有钝的凸起形结构时，可有效粉碎脆性强的物料。

(4) 辊筒数量的影响 在实际粉碎过程中只需 2 个辊筒就可使物料粉碎。有时采用 3 辊或 4 辊联用，其主要目的在于以较少的辊筒个数获得较高的产量，这种做法相当于将物料在 2 个辊筒之间重复粉碎，3 辊组合能起到 4 个辊筒或 6 个辊筒的作用。另外多辊联用可以使粉碎过程连续进行。在实际生产中究竟采用双辊还是多辊联用要根据具体情况而定。

(5) 被粉碎物料性质的影响 被粉碎物料的性质及进料粒度对粉碎效果有明显的影响。脆性物料较韧性物料易被粉碎。进料粒度太大，往往不易喂料，会导致生产能力下降；进料粒度太小，会导致粉碎比减小并使生产效率降低。因此，进料粒度要根据具体情况而决定。

## 2. 辊式磨粉机

MY 型磨粉机为磨辊倾斜排列的油压式自动磨粉机，由机身、磨辊及其附属的末了机构、轧距调节机构、液压自动调节机构、传动机构及清理装置 7 个主要部分组成。

MY 型磨粉机有两对磨辊，每对磨辊的轴心线与水平线夹角呈  $45^\circ$ ，中间有将整个磨身一分为二的隔板。一对磨辊中，上面一根是快辊，快辊位置固定，下面一根是慢辊，支承慢辊的轴承壳是可以移动的，其外侧伸出和轧距调节机构相连，通过轧距调节机构将慢辊放低或抬高，即可调整一对磨辊的间距。轧距调节机构既可调节两磨辊整个轴向长度间的轧距，又可仅调节两磨辊任何一端的轧距。两对磨辊是分别传动的，工作时可以停止其中的一对磨辊，而不影响另一对磨辊的运转。

MY 型磨粉机的传动方法是先用带传动快辊，然后通过链轮传动慢辊，保持快辊与慢辊的速比。

喂料机构包括一对喂料辊和可调节闸门等。在研磨散落性差的物料时，从料筒下落的物料经喂料蛟龙向辊整个轴向长度送入，由喂料辊经闸门定量后喂入磨辊；在研磨散落性好的物料时，物料落向喂料辊，沿辊轴向方向分布，经喂料闸

门定量，由下喂料辊连续而均匀地喂入磨辊。

MY 型磨粉机自动控制磨辊的松合闸、喂料闸门的启闭等。磨辊工作时，表面会粘有粉料，磨辊为齿辊，可用刷子清理磨辊表面，光辊则须用刮刀清理。MY 型磨粉机的吸风系统可使机内始终处于负压。空气由喂料闸门的缝隙进入，穿越磨辊后由吸风道吸出机外。

### 3. 精磨机

精磨机是一种湿法粉碎加工的辊式粉碎设备。用于超细物料的辊压粉碎机的精磨，可分为双辊、3 辊和 4 辊等类型。常见的有 3 辊和 5 辊式精磨机。辊筒通常有两种类型：一种为带夹套的辊筒，另一种为不带夹套的辊筒。前者可向辊筒夹套内送冷却水以及时冷却辊筒表面，消除粉碎过程中由于物料剧烈摩擦而升温的现象，也可向夹套内通入蒸汽或热水加热辊面和物料。辊筒在电动机的带动下运动，两辊筒表面线速度具有一定差异。粉碎过程中物料在两主动辊面的带动下进入两辊间受到极高的挤压而被压碎，同时由于两辊转速的差异物料在两辊之间受到强烈的摩擦剪切力和撕拉力作用而被分散开，因而物料可被有效粉碎。

精磨机与普通辊压设备相比，其特点在于其辊筒表面要求非常平整光滑，两辊筒间的平行度很高，部件装配非常精密，两辊筒表面间的缝隙极小。普通辊式粉碎机用于传统的破碎及粗粉碎时，要求设备能产生强大的挤压使物料破碎，为了减小辊面的磨损、提高其使用寿命，设计时应避免设备在工作过程中产生强大的摩擦剪切力。而微粉碎的精磨机，则与之相反，要求设备能产生强大的研磨剪切力。

物料从进料斗加入的浆料借助附着力由辊筒表面进入料缝，由于这道缝逐渐变窄，大部分浆料不能通过，就在进料斗中不断翻滚做循环运动，其中有一小部分浆料被拖带通过下辊、中辊间的缝隙被压碎，同时粉碎过程中由于二辊速度的差异，物料在二辊间受到强烈摩擦剪切力和拉力而被分散开，使物料被有效粉碎。浆料受到 2 个辊筒的速度差产生的较强的摩擦剪切力作用，大颗粒被粉碎成微粒，同时浆料得以均匀分散混合，碾出其中气泡。通过下辊筒和中辊筒的浆料，少部分被黏附在中辊筒的表面，被送到中辊筒和上辊筒之间的缝隙中，由于上辊筒的转速更快，中辊筒和上辊筒的缝隙更狭窄，故浆料受到更强烈的摩擦剪切力作用，于是浆料得到进一步的研磨，均匀混合并分散。粉碎过程中物料由于剧烈摩擦而升温，辊筒内可以通过送冷却水控制辊筒的温度。

精磨机的辊筒为光辊，表面要求高度光滑，其表面硬度是决定物料粒度和辊筒使用寿命的关键，通常以合金钢离心浇铸。物料通过辊筒间的摩擦间隙（轧距）是精磨速度和成品粒度的又一关键。因此轧辊缝隙应始终固定。各个轧辊应保持各自的指定工作温度，使通过这些辊筒的浆料能保持应有的温度和黏度。现代化的 5 辊精磨机具有自动调节和控制温度的系统。

精磨机各个辊筒的转速不等,其中进料辊转速最慢,出料辊转速最快。在出料辊处有一刮刀将精磨后的浆料刮下。刮刀与辊筒之间应保持一定的压力,可采用液压系统调节和控制。

精磨后的浆料的平均粒度不超过  $25\mu\text{m}$ ,其中大部分颗粒的粒径在  $15\sim 20\mu\text{m}$  之间。精磨机是生产巧克力类产品的关键设备。

#### 4. 辊压法的应用领域及产品粒度范围

在食品行业中,采用辊压法可生产极细的粉体。产品的粒度与设备的结构及特性有关。当其他条件相同时,产品的粒度与反复粉碎的次数有关。有时采用湿法粉碎可以获得更细的产品,如当其他条件选择适当时,采用这种方法可获得  $10\mu\text{m}$  以下的产品,但很难获得亚微米级的产品。辊压法特别适用于小批量间断干燥细样品试制以及浓度(黏度)较大的浆料生产。辊压的缺点是生产过程的连续性较差,生产能力较低。

## 二、气流式粉碎设备的原理及应用

气流式粉碎机(又称气流磨)与其他超细粉碎机不同,其是在高速气流作用下,物料通过本身颗粒之间的撞击,气流对物料的冲击剪切作用以及物料与其他部件的冲击、摩擦、剪切而使物料粉碎。气流磨自 20 世纪 30 年代问世以来,经历了若干发展阶段,其结构不断更新,类型不断增多。先后出现了扁平式(圆盘式)气流磨、循环式气流磨、对撞式气流磨、流化床气流磨、靶式气流磨、超音速气流磨等。其广泛应用于化工、材料、食品、生物工程、医药、军工、航空航天等领域。

### 1. 气流粉碎机的特点

球磨机、振动磨、锤式粉碎机等超微粉碎设备往往存在以下几个缺点:生产周期往往较长,从而使生产效率降低;物料粉碎时会产生大量的热,致使热敏性物料变质;设备的磨损会污染产品。气流磨由于在粉碎方式和原理上与上述粉碎机不同,因此具有下列特点。

① 粉碎后物料平均粒度细,一般小于  $5\mu\text{m}$ (粉碎比一般为  $1\sim 40$ )。

② 产品粒度均匀。因为对于扁平式、循环式及对撞气流磨,在粉碎过程中由于气流旋转离心力的作用能使粗细颗粒自动分级;对于其他类型的气流磨也可与分级机配合使用,因此能获得粒度均匀的产品。

③ 产品受污染少。因为气流磨是根据物料的自磨原理而对物料进行粉碎的,粉碎腔体对产品污染较少,因此特别适用于药品等不允许被金属和其他杂质污染的物料粉碎。

④ 可粉碎低熔点和热敏性材料及生物活性制品。因为气流磨以压缩空气为动力,压缩气体在喷嘴处的绝热膨胀会吸收热量可使系统温度降低,所以工作过