

现代食品工业技术丛书

食品加工技术

张燕萍摇谢摇良摇主编



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 0162 号

图书在版编目 (CIP) 数据

食品加工技术 / 张燕萍, 谢良主编. — 北京: 化学工业出版社, 2004

(现代食品工业技术丛书)

ISBN 7-122-02444-9

I. ①食... II. ①张... ②谢... III. ①食品加工—技术
IV. ①TS2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 0162 号

现代食品工业技术丛书

食品加工技术

张燕萍 谢良 主编

责任编辑: 孟嘉 周旭

责任校对: 陈静 宋玮

封面设计: 潘峰 摇摇摇

*

化学工业出版社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 5 号 邮编 100029)

购书咨询: (010) 64786000

摇摇摇摇 (010) 64786000

购书传真: (010) 64786000

网址: <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 787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 320 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-122-02444-9

定价: 24.00 元

版权所有 侵权必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

西主西主西主西主西主西主西主西主西主西主西主西主西主

我国食品工业虽然已取得了很大成绩,但是,由于种种原因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19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技术水平的提高和产品的更新换代。不仅可保证食品的营养、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，本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。

考虑到本丛书的学科跨度大，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

四四缘年猿月

最初，食品工业是在食品资源利用和保藏的要求下发展起来的，因此最初食品加工技术可以认为主要为原料处理和保藏技术。因此在食品保藏和原料加工领域的食品加工技术得到了较快的发展。随着农业的发展，食品原料日趋丰富，人们生活水平得到了很大的提高。现在讲究营养成了人们关注的焦点，吃对于广大消费者来讲，是享受生活的重要部分。这就对食品加工技术提出了新的要求。对食品加工业来讲，值得高兴的现象是随着人们生活水平的提高和生活节奏的加快，人们已不能像以前一样有较多的时间花在厨房中，人们希望尽可能地减少在厨房的工作。这使半成品的加工成为食品工业的增长点。另外，由于食品加工与人们的日常生活密切相关，其产品与人们的身体健康紧密相连，因此食品加工业与其他工业有所不同，有许多独特的要求。

就目前食品加工业的现状而言，食品加工技术可以说是传统与现代并存，手工与机械相辅。为满足人们对食品日益提高的要求，食品科学家开展了大量有价值的研究，大大促进了食品加工技术的发展，丰富了食品加工工艺，为提高产品质量和开发新产品提供了更多的手段，为适应食品的天然、高品位和高品质发展趋势打下了良好的基础。科学技术是生产力，跟踪和掌握食品加工新技术对于食品企业和食品工程人员来讲是十分重要的。

食品加工技术的分类

目前的食品加工技术分类方法很多，有根据所加工的原料分，有根据加工单元操作分，有根据包装特点分，还有根据加工技术的特点分。但没有一种分类具有权威性。在此讨论食品加工技术分类的目的并非在于提供一个权威性的分类，而是为介绍食品加工技术提供方便。通过分类可以对食品加工技术的概况有个较全面的了解。

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、发酵工艺、软饮料加工工艺等。每一类都是一个系统加工技术，是针对原料的特点而设定的。从分类上我们看不出具体的加工技术，同时不同的加工工艺中包含的加工技术是有交叉的。此分类对行业分析是有利的，但对研究加工技术无多大用处。

从加工单元操作进行分类的方法，不考虑所处理的原料而是根据加工方式的

特性进行分类，这类分法主要将食品加工技术分为研磨粉碎技术、加热技术、低温技术、分散技术、成型技术、生物技术、材料工艺以及特殊工艺技术等。

研磨粉碎技术主要是指利用各种物理、化学手段减小原料物理尺寸的技术，它可以进一步分为干法技术和湿法技术两小类。现在，人们往往根据粉碎的尺寸将其分为常规粉碎、微粉碎、超微粉碎及纳米技术。此项技术往往还与分级技术相连。

加热技术是指使体系温度升高的技术。根据传热方式的不同，可将其进一步分为常规加热技术（高温蒸煮、电加热等）、红外加热技术、微波加热技术等。根据使用的目的，加热技术分为蒸煮、灭菌、干燥三类。

分散技术主要是指悬浮与乳化。悬浮指将固体粒子悬浮于液体中，而乳化是指两互不相溶液体的混合与分散。食品作为一类商品，要求产品具有较均匀的外观，至少能保证使用时的均匀性，因此对分散技术的研究人们从来没有忽视过。

成型技术出现以后的很长时间，人们并未将其作为一项专项技术进行研究，但随着配方食品的发展，产品成型技术成为一个有趣的课题。目前成型技术如造粒技术已在食品加工业中广为使用，仿真食品也日益走俏。仿真食品的成型已不满足于原来的形似，现在更讲究的是质地上的相似。这对成型技术提出了更高的要求。

生物技术目前已成为一大领域，它已渗透到各个行业。

随着新技术的发展，有些技术很难归为前述的类别，它往往是几项传统技术的结合。如微胶囊技术，是集分散、成型和干燥技术于一体。挤压技术，是集加热、高压和成型技术于一身。有些技术虽然是传统技术，但因其工作的特殊性，更多地像一门技巧，如调香技术、调味技术等。

显然，从加工技术特点进行分类，从名称便可知道加工技术的研究内容，对于了解加工技术是十分有利的，但实际上离开原料谈这些技术意义并不大。因为食品原料是一个十分复杂的体系。任何一项技术的应用都与食品加工的特性相关。因此关于单项技术的研究都离不开具体的食品加工。因此本书在介绍食品加工新技术时应用大量的实例来进行说明。

食品加工技术的特点

食品加工行业的特殊性使相应的加工技术与其他行业有所不同，主要表现为如下。

安全性

食品产品与人们生活密切相关，它的安全性已成为全社会关注的重点，它使一些技术的使用受到了很大的限制，也使某些技术得以发展。

当初辐照技术应用于食品加工时引起了很大的争论，由于原子武器给人们留下的阴影，使人们谈到核辐射就有一种谈虎色变的恐惧心态。因此，最初不得不将辐照技术作为食品添加剂来处理，为此进行了大量的毒理试验，不仅花费了大

量的资金，亦使此技术的发展速度受到了很大的影响。相反，微胶囊化技术由于没有引入新的添加剂，而且此项技术的使用使许多天然的提取物和生物活性物质解决了稳定性问题而得以实现商品化，它符合人们目前追求天然的要求，因此得到了迅速的发展。

可靠性

食品加工的复杂决定了其第二个特点。由于食品体系是一个复杂体系，由多种成分组成，在加工过程中的物理化学变化尚有许多还不清楚。因此使用新技术必须谨慎，同时考虑到食品的安全性，要求食品加工技术具有高的可靠性。许多食品生产厂倾向于使用传统而可靠的技术，除非迫不得已，那些产量极大的生产厂家尤为如此。目前众多调味品厂还在使用传统的灭菌技术便是一例。因为新的灭菌工艺对于调味品厂的生产不仅影响产品的微生物问题，而且还影响产品的风味，而对调味品而言，风味是它生存的决定因素，因此在没有充分的试验之前是不可能采用新技术的。

灵活性

食品生产厂家规模大的不多，大多数生产厂单项产品和生产量不是很大，因此要求生产技术有很好的适应性，可适合于多种产品的生产。

易于接受性

由于一个食品厂往往要生产多种产品，操作人员流动性很大，因此食品加工技术应易于掌握，否则难于被生产厂所接受，因为食品厂不可能在员工的技术培训上花很多的时间。

食品加工技术的发展趋势

综观现在食品加工业对加工技术的要求，食品加工技术的发展趋势大致有如下几点。

第一，提高原料的利用率。由于食品生产企业利润较低，提高原料的利用率是企业降低生产成本的重要途径。生物技术正因为在此方面具有独到之处而成为研究的热点。

第二，提高工作效率，便于实现大规模生产。许多传统的工艺因受生产工艺的限制，产品生产的连续化水平较低，迫切需要发展相关的技术。

第三，营养性和稳定性高，现在人们对食品的要求越来越高，大家都很关注食品的营养功效。一方面人们希望产品中含有较高的营养因子，同时也希望原食物中所含的营养素尽可能多地保留下来，并在储存期间有较好的稳定性。因此各种新的灭菌技术和保藏技术得以受到关注。

第四，天然原料的保存。现在人们希望在产品中尽可能少地添加合成的添加剂，虽然这些添加剂经毒理试验证实是安全的，但人们还是希望用得越少越好。

食品生产企业不得不越来越多地使用天然提取物，而天然提取物的稳定性较差，因此相关的技术是研究的重点。

第五，特殊作用。能赋予食品特殊功效的技术会受到生产厂的欢迎。例如，微胶囊化技术的缓释作用使许多技术人员心动。

致 谢

在本书的写作过程中，得到朱明老师的大力帮助，高福成教授仔细校阅了书稿。在此表示深深的感谢。

本书没有包罗所有的食品加工新技术，仅是根据本人的经验和了解，选择部分食品加工新技术作一介绍。分别从粉碎技术、挤压技术、微胶囊化技术、加热技术、冷冻技术和造粒技术等 远个方面介绍了一些食品加工新技术。在本书中，着重介绍了一些食品加工的新技术及其实例。对于所介绍的内容尽可能从相关理论、主要设备和应用实例三个方面搜集最新的研究成果和应用实例，希望能有助于读者对此项技术的了解。

由于编者水平有限，书中难免存在不少错误和不足，敬请读者批评指正。

编 者

周 志 愿

目
录

第一章摇食品粉碎技术 员

摇第一节摇食品粉碎方式与理论 员

摇摇一、食品粉碎目的与方式 员

摇摇二、粉碎机工作原理 猿

摇摇三、粉碎能量消耗 猿

摇摇四、粉碎规则与粉碎操作 远

摇摇五、助磨剂 苑

摇第二节摇干法粉碎技术与设备 圆

摇摇一、锤式粉碎技术与设备 圆

摇摇二、辊式粉碎技术与设备 圆

摇摇三、气流粉碎技术与设备 圆

摇摇四、振动粉碎技术与设备 圆

摇第三节摇湿法粉碎技术与设备 猿

摇摇一、高压均质技术与设备 猿

摇摇二、胶体磨及其磨浆设备 源

摇摇三、搅拌磨与超声波均质机 源

摇第四节摇超微粉碎技术及其在食品加工中的应用 缘

摇摇一、概述 缘

摇摇二、食品超微粉碎技术及设备 缘

摇摇三、超微粉碎在食品加工中的应用 缘

摇参考文献 缘

第二章摇食品生产中的挤压技术 缘

摇第一节摇概述 缘

摇摇一、食品挤压加工的特点 缘

摇摇二、挤压加工在食品行业中的应用状况 缘

摇第二节摇挤压熟化的原理及技术装备 缘

摇摇一、挤压熟化的原理与特点 缘

摇摇二、挤压蒸煮加工系统与组成 远

摇摇三、选择挤压熟化设备要考虑的因素 远

摇摇四、国外挤压熟化设备简介 远

摇第三节摇挤出成型的原理及技术装备	苑园
摇摇一、软料挤出成型的原理与设备	苑园
摇摇二、夹馅成型的原理与设备	苑源
摇第四节摇挤压技术在食品中的应用	苑愿
摇摇一、小吃食品和休闲食品挤压生产工艺	苑愿
摇摇二、谷物类早餐食品的挤压生产工艺	愿缘
摇摇三、面类食品的挤压生产工艺	愿苑
摇摇四、速溶粉末类婴幼儿食品及组合食品的挤压生产工艺	愿园
摇摇五、变性淀粉和变性谷物粉的挤压生产工艺	愿缘
摇摇六、面包片的挤压生产工艺	愿苑
摇摇七、全脂大豆粉的挤压生产工艺	愿愿
摇摇八、用豆粕挤压生产大豆组织蛋白的工艺	苑园
摇摇九、工程肉食品双螺杆挤压生产工艺	苑猿
摇摇十、其他产品的挤压生产工艺	苑源
摇参考文献	苑苑
 第三章摇微胶囊化技术	苑怨
摇第一节摇概述	苑怨
摇摇一、微胶囊化的目的	苑怨
摇摇二、微胶囊化基本步骤及影响因素	苑员
摇摇三、微胶囊的命名	苑圆
摇摇四、微胶囊的物理性质	苑猿
摇第二节摇微胶囊化技术基础	苑缘
摇摇一、设计微胶囊时常需考虑的问题	苑缘
摇摇二、微胶囊化方法的分类	苑苑
摇摇三、微胶囊化工艺的选择	苑怨
摇摇四、微胶囊化产品	苑园
摇摇五、微胶囊材料	苑员
摇摇六、常用的微胶囊化的装置	苑苑
摇第三节摇食品工业用微胶囊化方法	苑缘
摇摇一、喷雾干燥微胶囊化	苑缘
摇摇二、相分离凝聚法	苑怨
摇摇三、挤压法	苑愿
摇摇四、分子微胶囊法（或络合包裹法）	苑怨
摇摇五、气体悬浮涂裹法	苑怨
摇摇六、多重乳液法	苑怨
摇摇七、吸附法	苑怨
摇摇八、胶体冷却凝固粉碎法	苑怨

摇摇九、其他方法	页四
摇摇十、食品微胶囊化常用的壁材	页四
摇第四节摇微胶囊化技术在食品工业中的应用及实例	页四
摇摇一、在香料中的应用	页四
摇摇二、在甜味剂中的应用	页源
摇摇三、在酶中的应用	页远
摇摇四、在蘑菇增长促进剂中的应用	页苑
摇摇五、在食品防腐剂中的应用	页四
摇摇六、在抗氧剂中的应用	页四
摇摇七、在膨松剂中的应用	页四
摇摇八、在烘烤食品中的应用	页猿
摇摇九、在乳品加工业中的应用	页源
摇摇十、在双歧杆菌中的应用	页缘
摇摇十一、在酵母中的应用	页远
摇参考文献	页惠
 第四章摇新型加热技术及应用	 页怨
摇第一节摇远红外加热技术及应用	页怨
摇摇一、远红外加热的原理	页怨
摇摇二、远红外加热设备	页四
摇摇三、远红外加热在食品工业中的应用	页愿
摇第二节摇微波技术及应用	页猿
摇摇一、微波加热的原理及加热设备	页源
摇摇二、食品微波干燥（干制）的基本原理及应用	页四
摇摇三、微波焙烤加工的基本原理及应用	页怨
摇摇四、食品的微波膨化加工	页远
摇摇五、食品的微波灭菌与保鲜加工	页远
摇摇六、微波技术在其他方面的应用	页怨
摇第三节摇过热蒸汽加热技术及应用	页缘
摇摇一、过热蒸汽的性质	页缘
摇摇二、过热水蒸气的产生与设备	页远
摇摇三、过热蒸汽在食品加工中的应用	页四
摇参考文献	页四
 第五章摇新型低温加工技术	 页四
摇第一节摇冷 冻 粉 碎	页四
摇摇一、冷冻粉碎原理	页四
摇摇二、冷冻粉碎设备	页缘

摇摇三、冷冻粉碎技术在食品和农产品加工中的应用	圆苑
摇摇第二节摇流态化速冻技术	圆圆
摇摇一、流态化速冻方法	圆圆
摇摇二、食品流态化速冻装置	圆缘
摇摇三、蔬菜、水果流态化冻结工艺	圆猿
摇摇参考文献	圆苑
 第六章摇食品造粒技术	 圆苑
摇摇第一节摇食品造粒的基本因素	圆苑
摇摇一、食品造粒的目的	圆苑
摇摇二、造粒机理	圆苑
摇摇第二节摇流化床造粒	猿圆
摇摇一、流化床造粒的方法	猿圆
摇摇二、流化床造粒的机理	猿员
摇摇三、流化床造粒的影响因素	猿圆
摇摇四、流化床造粒效率	猿圆
摇摇五、食品的沸腾制粒	猿猿
摇摇六、喷雾流化造粒	猿愿
摇摇第三节摇食品的挤压造粒	猿远
摇摇一、挤压造粒成型机理	猿远
摇摇二、挤压成型生产操作	猿苑
摇摇三、挤压造粒在食品微胶囊化中的应用	猿圆
摇摇第四节摇冷风造型制粒	猿圆
摇摇一、基本原理	猿员
摇摇二、主要设备	猿员
摇摇三、影响冷风造型制粒的因素	猿圆
摇摇四、冷风造型技术在蔗糖酯生产中的应用	猿猿
摇摇参考文献	猿源

第一章 食品粉碎技术

食品粉碎技术是食品加工的重要技术之一，简单而言它是一种将物料颗粒尺寸变小的加工技术。人们对这一加工技术并不陌生，如将大米粉碎成米粉等。在一定的粒度范围内，粉碎仅仅是改变物料的尺寸及与其他物料的混合性能，对食品物料的物理性质有影响但不是很大。但是当粒度尺寸减少到一定值之下时，物料的性质会发生显著的影响，如碳酸钙。一般性的粉碎对其在人体内的利用没有多少影响，但当将其粒度减小至 100 目以上时，其在人体内的吸收利用率会大大提高。因此现代食品粉碎技术的研究包括两个方面，一是改变物料尺寸以改变其加工性能，如形态变化、物料重组等；二是通过改变物料尺寸来改变物料的生物价，如易吸收钙剂等。因此了解粉碎技术和相关理论的进展对于食品技术人员来讲是很有用的。微粉碎和超微粉碎已成为研究的热点。

第一节 食品粉碎方式与理论

一、食品粉碎目的与方式

粉碎是利用机械的方法克服固体物料内部的凝聚力而将大尺寸的固体变为小尺寸的固体的一种操作，是食品加工、特别是在食品原料加工中的基本操作之一。

1. 食品粉碎目的

- ① 减小固体尺寸，可以加快溶解速度或提高混合均匀度，或是重新赋形以改进食品的口感，如盐、糖等的粉碎。
- ② 控制多种物料相近的粒度，防止各种粉料混合后再产生自动分级的离析现象如调味粉、代乳粉、饮乳料等。
- ③ 进行选择性的粉碎使原料颗粒内的成分进行分离，例如玉米脱胚、小麦制粉等。
- ④ 减小体型，加快干燥脱水速度。
- ⑤ 许多食品产品要求有一定的粒度，以保证粉料和粒料的容积质量，使之不影响包装容积、速溶度和调理性等。

2. 食品粉碎级别

根据粉碎的粒度大小，可以将粉碎分成以下几种级别：粗破碎，物料被破碎到 10~20 目的粒度；中破碎，物料被破碎到 20~40 目的粒度；细破碎，物料被破碎到 40~60 目的粒度；粗粉碎，将物料粉碎到 60~80 目的粒度；超细粉碎，

将物料粉碎到能通过圆筛标准筛网；微粉碎，将物料粉碎到能通过筛标准筛网；超微粉碎，将全部物料粉碎到微米级的粒度。

食品粉碎方式

食品粉碎方式很多，主要归纳为图 5-1 所示几种。

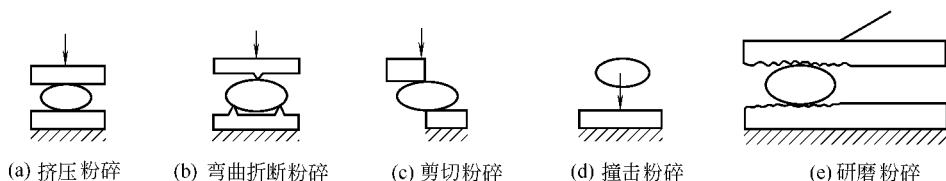


图 5-1 食品粉碎方式示意图

(员) 挤压粉碎 挤压粉碎是指物料置于两个工作构件之间，逐渐加压，使之由弹性变形或塑性变形而至破裂粉碎的食品粉碎方式。这种粉碎方式仅适用于脆性物料。食品加工中常用的挤压方式是对辊粉碎，当对辊的线速度相等时，则为纯粹的挤压方式。被处理物料若是具有一定的韧性或塑性，则处理后物料可呈片状。例如轧制麦片、米片以及油料轧片等处理方式均属于此类。

(圆) 弯曲折断粉碎 弯曲折断粉碎是指物料在工作构件间承受弯曲应力超过强度极限而折断的食品粉碎方式。一般用来处理较大块的长或薄的脆性物料，例如榨油残渣油饼、玉米穗等，粉碎的粒度较低。

(猿) 剪切粉碎 剪切粉碎是指物料在构件间承受切应力超过强度极限而折断的食品粉碎方式。这是一种粉碎韧性物料能耗较低的粉碎方式。新形成的表面比较规则易于控制处理后粒度的大小，一般果蔬和肉类的切块、切片、切丝、切丁都属于这一类。在小麦磨粉用的拉丝对辊磨粉机中，剪切也起着重要作用。

(源) 撞击粉碎 撞击粉碎是指当物料与工作构件以相对高速运动撞击时，受到时间极短的变载荷，物料被击碎的食品粉碎方式。这种粉碎方式适用于质量较大的脆性物料。撞击粉碎应用范围很广，从较大块的破碎到微粉碎均可以使用，而且可以粉碎多种物料。最典型的撞击粉碎机械是锤式粉碎机，它在食品工业中用得很多。也有利用物料自身高速运动而碰撞粉碎的机器，称为超音速喷射粉碎机，但是其能耗很大。

(缘) 研磨粉碎 研磨粉碎是指物料与粗糙工作面之间在一定压力下相对运动而摩擦，使物料受到破坏，表面剥落的食物粉碎方式。这是一种既有挤压又有剪切的复杂过程。对于某一种物料而言，当两个工作表面之间的压力不小于某一个最小的极值或两个工作表面之间的间隙不小于某一个最小的极值时，通过研磨粉碎可以得到所需要的粉碎效果。

在一般性粉碎或是选择性粉碎中，由于研磨工作表面的差异，可以产生形形色色的工艺效果。例如小麦粒在对辊磨粉机中，首先受到挤压和剪切作用而使麸

皮破裂展开（皮磨系统），胚乳（麦心）脱离麸皮，麸皮尽量保持完整（渣磨系统）；然后借挤压和剪切将分出的胚乳部分磨成细粉（心磨系统）。这个过程称为选择性粉碎。大豆和玉米的选择性粉碎过程又不一样。在胶体磨中，由于物料颗粒被粉碎到微米级，处理后物料的性质又与纯固体粉碎的不同。

二、粉碎机工作原理

粉碎是一种复杂的过程，粉碎机的种类十分繁多，如图 1-1 所示。在所有的粉碎机中，都存在着多种粉碎物料的方式，如在制米工艺过程中的脱壳和碾米机也可以看作是一种特殊的选择性粉碎机。对于各种不同物料的粉碎操作，应根据其物料的性质和粉碎要求采用不同的机械，才能得到较好的工艺效果。

就食品加工中的粉碎而言，除了研究将物料尺寸变小外，温度的控制也是非常重要的。因为对于大多数粉碎过程而言，大量的机械能由于摩擦等原因会转化成热能，这一热效应会引起热敏性物料的性质发生改变，轻则降低食品物料感官品质和营养价值，严重的会致使粉碎操作无法进行。这是食品粉碎技术不能忽视的方面。

三、粉碎能量消耗

粉碎能量消耗的机理

对物料进行粉碎而产生，主要的作用力为挤压力、剪切力、冲击力，其他如弯曲、扭转等则为附带的作用力。在实际粉碎操作中，作用力是上述几种力的综合。这些作用力由粉碎机的部件传给物料，物料受各种力作用后，首先产生各种应变并以各种形式的变形能积蓄于物料内部。当局部积蓄的变形能超过某临界值时（其值取决于物料的性质），裂解就发生在脆弱的断裂线上。

粉碎主要需要两方面的能量：一是裂解发生前的变形能（即使未发生裂解，也终将转化为热）。这部分能量与颗粒的力学性能（如硬度）和体积有关；二是裂解发生后出现新表面所需的表面能，这部分能量与新出现的表面积的大小有关。当然还有颗粒间摩擦所消耗的能量。

到达临界状态（裂解发生前）的变形能之所以与颗粒的体积有关，是因为体积越大，脆弱点存在的可能性愈大。故大颗粒所需的临界应力就比小颗粒小，因而消耗的变形能也就较少。这就是粉碎操作随着粒度减小而粉碎愈加困难的原因所在。

在颗粒粒度相同的情况下，由于物料的力学性质不同，所需的临界变形能也不相同。一般物料受应力作用时，在弹性极限应力以下，物料发生弹性变形；当作用的应力在弹性极限应力以上时，物料受到塑性变形直至应力达到屈服极限；在屈服极限以上物料开始流动，经历塑性变形区域，直至达到破坏应力而断裂。根据物料应变与应力的关系以及极限应力的不同，通常将物料的力学性质分成以下源种。

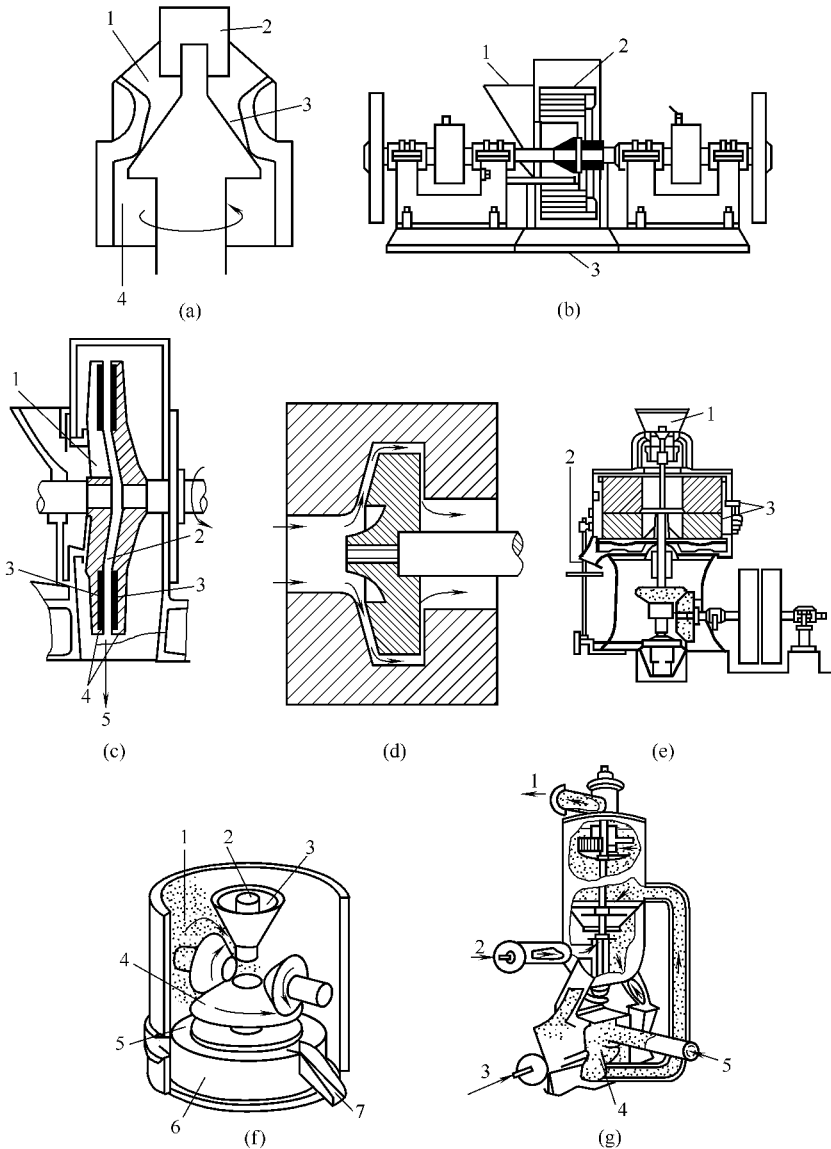


图 10-10 几种典型粉碎机

(葬) 用于大块物料粉碎的旋转粉碎机；(遭) 鼠笼式粉碎机；(槽) 圆盘型粉碎机，转速为 1500~2500 转/分，间隙调整为 0.5~1.5 毫米；(尚) 胶磨粉碎机，间隙调整范围为 0.1~0.5 毫米，圆周速度达 15 米/秒；(薄) 细砂质磨石粉碎机，用于面粉等的磨碎；(零) 碾辊型或锭子型粉碎机，粉碎后的物料被向外抛掷，通过空气流清除掉；(导) 配气流动能粉碎机，生产 100 目的产品，相对的空气喷嘴可使物料产生高的碰撞速度，从而使物料粉碎

(葬) 员—进料口；圆—轴承；猿—非对称性锥形罩；源—产品出口摇(遭) 员—进料口；圆—计量条；猿—产品出口摇(槽) 员—进料口；圆—平板间的进料入口；猿—粉碎板；源—粉碎圆盘；缘—产品出口摇(薄) 员—进料口；圆—产品出口；猿—粉碎磨石摇(零) 员—产品分级出口；圆—进料；猿—分级后的粗颗粒；源—转盘；缘—空气入口；远—驱动箱；苑—大颗粒出口摇(导) 员—产品出口；圆—风机吹风入口；猿—压缩空气、蒸汽或其他气体；源—相对喷嘴；缘—进料

$$W_{\text{粉碎}} \propto \left(\frac{V_{\text{原}}}{V_{\text{碎}}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (1-10)$$

朋特法则的理论依据介于表面积假设和体积假设之间，即

$$\left(\frac{S_{\text{碎}}}{S_{\text{原}}} \right)^{\frac{1}{2}} \propto \left(\frac{V_{\text{碎}}}{V_{\text{原}}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1-11)$$

故朋特法则实为粉碎能量消耗正比于颗粒表面积与体积之比的平方根的变化。

所有上述各种能量式中， $K_{\text{碎}}$ 、 $K_{\text{运}}$ 、 $K_{\text{月}}$ 等均称为粉碎效率系数， $K_{\text{碎}}$ 为雷廷格系数， $K_{\text{运}}$ 为基克系数， $K_{\text{月}}$ 为朋特系数。

四、粉碎规则与粉碎操作

1. 粉碎规则

粉碎物料的基本原则是只需将物料粉碎到所需的粉碎程度，而不作过度的粉碎。因此粉碎规则如下。

- ① 对被粉碎物料只需粉碎到需要的或适于下一工序加工的粉碎比，到达此程度后，应立即使物料离开粉碎机。
- ② 在粉碎操作的前后，都要过筛，凡能通过所需大小筛孔的物料，就不使它再经过粉碎机粉碎，以免引起过度粉碎，降低粉碎机的生产能力。
- ③ 当所需粉碎比较大时，应分成几个步骤进行粉碎，实验证明当粉碎比在 10 左右时，操作效率最高。
- ④ 粉碎过程尽可能单一，不应添加其他操作。

2. 粉碎操作

在粉碎操作中，首先要考虑的是采用何种粉碎方法或设备，这主要取决于被粉碎物料的大小和所要求的粉碎比及物料的物性，而其中物料的硬度和破裂性是最为重要的考虑因素。挤压和冲击力对于特别坚硬的物料很有效，剪切力（或

摩擦力）对于韧性物料有效。将大块固体物料粉碎为细粉，由于一次粉碎比很大，常分为若干级，使每级担负一定的粉碎比。典型的三级粉碎流程如图 1-10 所示。

通常干法粉碎操作有开路磨碎、自由压碎、滞塞进料和闭路磨碎几种方法。

开路磨碎是研磨操作的一种最简单的方法。这种方法不用振动筛等附属分粒设备，设备投资费用低。物料加入粉碎机中经过粉碎作用区后，即作为

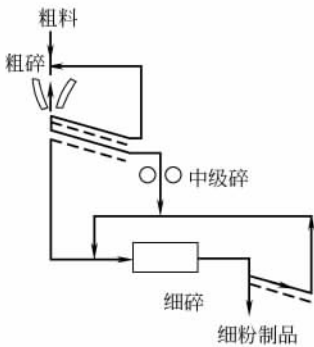


图 1-10 典型的粉碎流程

制品卸出，粗粒不再循环。由于有的粗粒可能会很快通过粉碎机，而有的细粒在机内停留时间很长，故制品粒度分布很宽，能量利用不充分。自由压碎可以保持物料在作用区的停留时间很短。当与开路磨碎结合时，让物料借重力落入作用区，限制了不必要细粒的粉碎，减少了过细的粉末形成。此法在功率消耗方面较经济，但由于有些大颗粒可能会迅速通过粉碎作用区，仍可能产生较宽的粒度分布。

滞塞进料是利用机器出口插入筛网，限制制品的卸出，对于给定的进料速度，制品滞塞于粉碎作用区，直至粉碎成能通过筛孔的大小为止。因物料在粉碎作用区中停留时间长，细粒会受到过度粉碎，功率消耗大。滞塞进料法常用于需要细破碎制品的场合，用一台机器操作可获得很大的粉碎比。

闭路磨碎（图 1-1-1）是从粉碎机出来的物料流先经分粒系统，分出过粗的物料粒，再重新回入粉碎机，粉碎机的工作只是针对较大的颗粒，物料在粉碎作用区中的停留时间短，动力消耗较为经济。所采用的分粒方法根据送料的形式而定，采用重力加料或机械螺旋送料时，常用振动筛作为分粒设备，当用水力或气力输送时则常用旋风分离器。

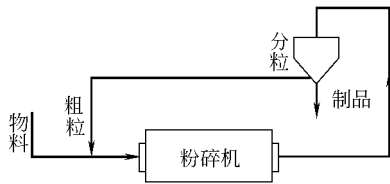


图 1-1-1 闭路磨碎流程

粉碎操作除了上述所谓干法粉碎外，还有湿法粉碎，即被处理的物料在悬浮于载体液流中进行粉碎。常用水作载体，其中水起着硬度降低剂的作用。亦可采用其他表面活性剂作硬度和黏度降低剂。实践证明，湿法粉碎操作一般能量消耗比干法粉碎大，同时设备的磨损也严重。但湿法粉碎比干法粉碎易获得更细的制品，在超微粉碎中应用广泛。

除上述干法粉碎和湿法粉碎操作外，还有低温粉碎操作等。低温粉碎是针对那些在常温下有热塑性或非常强韧、粉碎有困难的物料，当其冷却到低温时，物料成为脆性物料可进行相应的粉碎。

五、助磨剂

概述

在粉碎中，能够显著提高粉碎效率或降低能量消耗的化学物质（固态、液态或气态化学物质）称为助磨剂。由于粉碎作业，尤其是超微粉碎的能量消耗较高，能量利用率又很低，因此助磨剂的研究具有重要的理论意义和实际意义。

助磨剂的作用原理

为了解释助磨剂的作用原理，主要提出了两种学说。一是“吸附降低硬度”学说：助磨剂分子在颗粒上的吸附降低了颗粒的表面能或者引起近表面层晶格的位错迁移，产生点或线的缺陷，从而降低颗粒的强度和硬度，促进裂纹的产生和

扩展；二是“矿浆流变学调节”学说：助磨剂通过调节浆料（如矿浆）的流变学性质和颗粒的表面电性等，降低浆料（如矿浆）的黏度，促进颗粒的分散，从而提高浆料的可流动性，阻止颗粒在研磨介质及研磨机挡板上的黏附以及颗粒之间的团聚。前者首先由列宾捷尔（~~列宾捷尔~~）和威斯特沃德（~~威斯特沃德~~）提出，称之为“列宾捷尔效应”或“威斯特沃德效应”；后者是由克兰帕尔（~~克兰帕尔~~）等人提出来的。

在粉碎机中，研磨区内的颗粒通常受到不同种类应力的作用，导致形成裂纹并扩展，然后被粉碎。因此，物料的力学性质，如在拉伸应力、压缩应力或剪切应力作用下的强度性质将决定对物料施加的力的效果。显然，物料的强度越低、硬度越小，粉碎所需的能量也就越少。根据格里菲斯定律，脆性断裂所需的最小应力为

$$\sigma = \sqrt{\frac{E\gamma}{\pi l}}$$

式(15-10)

- 式中 σ ——拉伸强度；
- E ——杨氏弹性模量；
- γ ——新生表面的比表面能；
- l ——裂纹的长度。

式（15-10）说明脆性断裂所需的最小应力与物料新生表面的比表面能的二分之一方成正比。显然，降低颗粒的比表面能，可以减小使其断裂所需的应力。从颗粒断裂的过程来看，根据裂纹扩展的条件，助磨剂分子在新生表面的吸附可以减小裂纹扩展所需的外应力，促进裂纹的扩展。助磨剂分子在裂纹表面的吸附如图 15-10 所示。

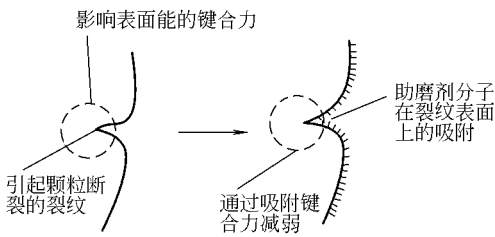


图 15-10 助磨剂分子在裂纹表面吸附的示意图

所以，能够降低固体表面能的化学物质，可以降低颗粒的强度，因而可以提高粉碎效率和降低粉碎能量消耗。

颗粒的强度还与物料本身的缺陷有关，如缺陷（如位错等）扩大无疑将降低颗粒的强度促进颗粒的粉碎。

列宾捷尔首先研究了在有无化学添加剂两种情况下液体对固体物料断裂的影响。他认为液体，尤其是水将在很大程度上影响断裂，添加表面活性剂可以扩大这一影响，原因是固体表面吸附表面活性剂分子后表面能降低了，从而导致键合力的减弱。

列宾捷尔等人提出的上述作用机理得到了一些实验结果的证实。例如 月 等人研究表明砂岩吸附油酸或油烯基胺等分子后强度下降。

西德阿多考察了水对几种岩石的抗压强度的影响，测定结果见表 1-1。结果表明，岩石湿抗压强度较干抗压强度低。磨物料实践也表明，湿式磨物料较干式磨物料更有效。

表 1-1 加水对岩石抗压强度的影响

岩石类型	抗压强度 /MPa		湿/干
	干	湿	
玄武岩	14.0	10.5	0.75
含砂岩玄武岩	12.0	9.0	0.75
白云石	11.5	8.5	0.74
花岗岩	11.0	8.0	0.73
石灰石	10.5	7.5	0.71
石类岩	10.0	7.0	0.70

此外，添加助磨剂后，由于提高了浆料的流动性和物料的分散度，还有助于后续的分级作业，对于闭路连续磨物料作业也有助于磨物料效率的提高。

以上介绍的两种观点分别从粉碎工艺的不同过程，即粉碎机内的应力施加过程和浆料（如矿浆）输送过程研究了助磨剂的作用原理。影响粉碎效率的因素是很复杂的，除了应力施加的方式外，还有物料的性质、表面性质、浆料的黏度、颗粒的絮凝状态和分散状态等。因此，上述两种作用原理是统一的，在一定条件下，可能其中一种作用机理是主要的，另一种是次要的。但从整个粉碎工艺过程来看，这两种作用机理是同时存在的。助磨剂的作用效果无疑是这些单个作用效果的累积。

以下再就助磨剂对磨物料速度的影响进行介绍。

批量磨物料的速度方程为

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{t} \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q} \cdot \frac{1}{f_i}} \right) \quad (1-1)$$

式中摇贼——磨物料时间；

憎(贼——贼时刻 蚤粒级的质量分数（最大粒级 蚤级）；

杂蚤——比破碎速度（蚤粒级的“选择函数”）；

憎(贼——贼时刻 躁粒级的质量分数；

遭蚤——一次破碎分布，即 蚤粒级粉碎后进入较 蚤粒级细的粒级中的分数，又称“破碎函数”。

从式（1-1）可见，提高比破碎速度（即选择函数）可以提高磨物料速度。比破碎速度（包括一次破碎分布参数）取决于浆料的流动性、物料的絮凝状态



和分散状态以及颗粒的强度和颗粒破碎的方式等。因此，能够提高浆料的流动性或降低颗粒强度的助磨剂可以提高比破碎速率（图 员圆和图 员圆）。

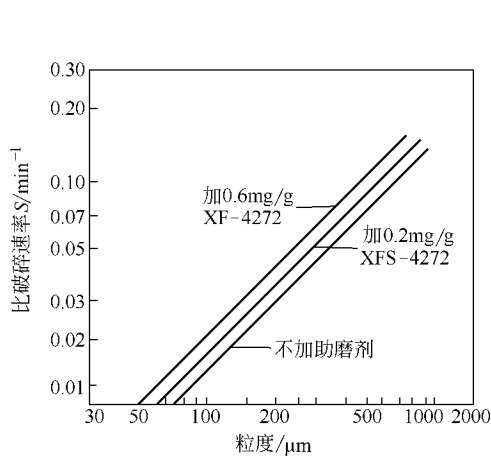


图 员圆摇助磨剂对铁燧岩比破碎速率的影响
（实验室球磨机、批量磨物料）

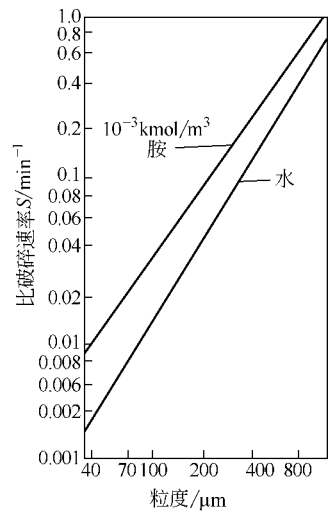


图 员圆摇胺对石英比破碎速率的影响

摇助磨剂的分类与应用

（员）助磨剂的种类摇按助磨剂添加时的物质状态可分为固体助磨剂、液体助磨剂和气体助磨剂；根据化学性质可分为有机助磨剂和无机助磨剂。

固体助磨剂：如硬脂酸盐类、胶体二氧化硅、炭黑、氧化镁粉、胶体石墨等。

液体助磨剂：包括各种表面活性剂、分散剂等。如用于水泥熟料、分解石、石灰石等粉碎的三乙醇胺；用于石英等粉碎的烷基油酸（钠）；用于滑石粉碎的聚羧酸盐；用于硅灰石粉碎的六偏磷酸钠等。

气体助磨剂：如蒸气状的极性物质（丙酮、硝基甲烷、甲醇、水蒸气）以及非极性物质（四氯化碳等）。据报道，极性物质蒸气对水泥熟料特别有效。表 员圆是一些实验室及工业中应用的各类助磨剂。

表 1-1 实验室及工业中应用的各类助磨剂

类型	助磨剂名称	应用	类型	助磨剂名称	应用
液体助磨剂	甲醇	石英、铁粉	液体助磨剂	云母粉、孕	铁燧岩、石英、石灰
	异戊醇	石英		羧基树脂	铁燧岩
	苯醇醛	石英		油酸(钠)	石灰石
液体助磨剂	乙二醇、丙二醇	水泥等	液体助磨剂	丁酸	石英
	甘油	铁粉		硬脂酸(钠)	浮石、白云石
	丙酮	水泥		葵酸	水泥、菱镁矿
液体助磨剂	有机硅	氧化铝、水泥等	液体助磨剂	羊毛脂	石灰石
液体助磨剂	羧基树脂	赤铁矿、石英、石英岩	液体助磨剂	环烷酸(钠)	水泥、石英岩



续表

类型	助磨剂名称	应用	类型	助磨剂名称	应用
液体助磨剂	环烷基磺酸(钠)	石英岩	液体助磨剂	水玻璃	铜矿石
	硅烷系	苏打,石灰		三乙醇胺	方解石,水泥锆英石等
	碳氢化合物	玻璃		聚羧酸盐	滑石等
	乙酸戊脂	石英	固体助磨剂	焦磷酸钠	黏土矿物
	硅酸钠	黏土等		炭黑	水泥,煤,石灰石
	氢氧化钠	石灰石等			
	碳酸钠	石灰石等			
	氯化钠	石英岩	气体助磨剂	二氧化碳	石灰石,水泥
	六偏磷酸钠	铅锌矿等		丙酮蒸气	石灰石,水泥
	六聚磷酸钠	硅灰石等		氢气	石英等
	三氧化铝	赤铁矿,石英		氮气,甲醇	石英,石墨等
	三聚磷酸钠	赤铁矿,石英			

从化学结构上来说，助磨剂应具有选择性的良好分散作用，能够调节浆料的黏度，具有较强的抗“~~块~~”、“~~硬~~”、“~~结~~”的能力，受“~~水~~”的影响较小等，也即助磨剂的分子结构要与磨物料系统复杂的物理化学环境相适应。在非金属矿的湿式超微粉碎中，常用的助磨剂通常是表面活性剂，根据其化学结构可以分为以下三种：

① 碱性聚合无机盐，在这类中，除了用于硅酸盐物料的磨物料外，多聚磷酸盐优于多聚硅酸盐；

② 碱性聚合有机盐，在这类中，最合适的是聚丙烯酸酯，它受“~~水~~”的影响最小；

③ 偶极-偶极有机化合物，如烷烃醇胺等。

（圆）助磨剂的应用摇虽然对粉碎中助磨剂的使用已进行了长期的研究，包括实验室试验、半工业性试验和工业性试验，但是，除了水泥以及部分工业物料（如云母、滑石、硅灰石、高岭土、碳酸钙、石墨等）、颜料物料以及金属粉末的细磨或超细磨外，助磨剂尚未在粉碎工业中推广使用。其原因除了经济因素（如成本等）和环保要求（如必须无毒、无污染等）外，还有以下原因：

① 只有在粉碎粒度细，研磨浓度高或浆料（如矿浆）黏度大大增加时，使用助磨剂才能取得显著的效果，在粉碎粒度较粗，研磨浓度不高或料浆不黏时，使用助磨剂没有显著的效果。

② 大多数助磨剂的用量要求较严，用量太小，助磨效果不明显；用量过大时，不仅不助磨，有的反而起阻磨作用。例如，当十二胺的浓度超过“~~远~~”后，助磨效果明显下降。

③ 由于粉碎是一个包括多种因素的物理化学相互交织的复杂过程，加上缺乏规范化的试验技术，试验时对许多重要的参数和界面性质，如浆料（如矿浆）“~~水~~”、离子浓度、吸附、表面张力、动电电位、絮凝和分散、浆料的流变学性质

等缺少统一的控制、检查和测定，试验结果有时出现相互矛盾的情况。

虽然存在上述问题，且还有许多问题有待于进一步研究，但由于助磨剂在提高粉碎效率、降低粉碎能量消耗方面的重要价值，随着超微粉碎技术的发展以及助磨剂研究的深入，助磨剂无疑将逐步应用于工业生产，这方面的前景是诱人的。

第二节 摇干法粉碎技术与设备

干法粉碎是食品粉碎的重要加工方式，传统的粉碎基于干法粉碎，现代的超微粉碎亦是基于干法粉碎操作。研究干法粉碎设备对于这一加工技术的掌握是很有意义的。

一、锤式粉碎技术与设备

锤式粉碎机是干法粉碎最重要的设备之一，亦是最常见的粉碎设备。它应用范围广，结构简单，易于掌握，大多食品加工技术人员对其都非常熟悉。但本章内容，注重介绍在选用设备时以前不太注意的问题，这对于选用合适的设备，提高加工效率是有益的。

对于锤式粉碎机的基本系统，食品加工技术人员并不陌生，但实际上，近年来有关此类设备的设计人员花了大量的精力，研究了众多影响粉碎效果的因素，在设备上进行了很多改进。这些技术变化体现在许多方面，如系统配置（增加冷却系统，配用合适的进料系统）改进、结构优化（粉碎室的结构设计，锤片的形状设计）及材料改进等。这些都给相应的加工提供了更多的选择。

锤式粉碎系统组成与粉碎机理

（员）系统组成摇锤式粉碎系统一般由供料装置、机体、转子、齿板、筛片（板）、排料装置以及控制系统等部分组成，如图 员-员所示，由锤架板和锤片组构成的转子由轴承立承在机体内，上机体内安有齿板，下机体内安有筛片包围整个转子，构成粉碎室。锤片用销钉销连在锤架板的四周，锤片之间安有隔套（或垫片），使锤片彼此错开，按一定规律均匀地沿轴向分布。

工作时，物料从喂料口进入粉碎室，受到高速回转锤片的打击而破裂，以较高的速度飞向齿板，与齿板撞击进一步破碎，如此反复打击、撞击，使物料粉碎成小碎粒。在打击、撞击的同时物料还受到锤片端部与筛片的摩擦、搓擦作用而进一步粉碎。在此期间较细颗粒由筛片的筛孔漏出，留在筛片上的较大颗粒再次受到粉碎直到从筛片的筛孔漏出。从筛孔漏出的物料细颗粒由风机吸出并送入集料筒。带物料细颗粒的气流在集料筒内高速旋转，物料细颗粒受离心力的作用被抛向筒的四周，速度降低而逐渐积到筒底，通过排料口流入袋内；气流则从顶部的排风管排出，并通过回料管使气流中极小的物料粉尘回流到粉碎室，也可以在排风管上接集尘布袋收集物料粉尘。

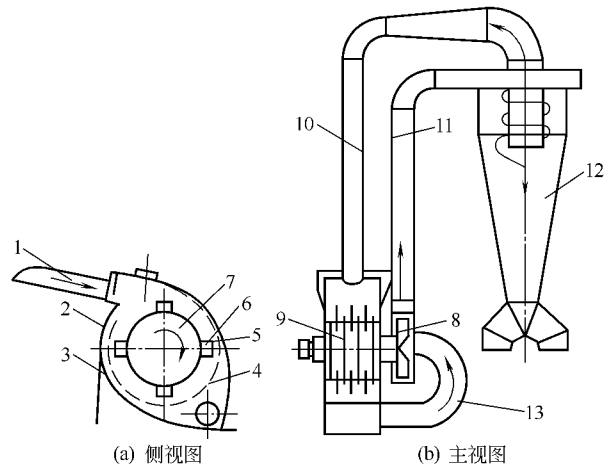


图 10-10 锤式粉碎系统

1—喂料口；2—上机体；3—下机体；4—筛片（板）；5—齿板；6—锤片；7—转子；
8—回料管；9—出料管；10—风机；11—锤架板；12—回料管；13—出料管；14—集料筒；15—吸料管

（图 10-10）粉碎机理摇研究人员用每秒 24 幅画面拍摄了玉米粒在粉碎机锤片（转速为 2800 转/分）打击下的碎裂过程，发现玉米粒喂入粉碎室后，首先被锤片旋转时产生的气流所带动，然后受到锤片的偏心冲击（多数情况），边缘处稍有破裂，玉米粒速度增到 100 转/分，碰到筛片未能破碎，再次受到锤片的打击相对冲击速度为 100 转/分，此时玉米粒碎成大小不等的许多碎渣。一般偏心冲击只能使玉米粒产生旋转运动而不破碎，冲击能量变成热能而散失。只有在冲击速度很大的情况下，才有可能使玉米粒受过大的弯矩而沿其长度中点断裂。故锤式粉碎机的能量消耗很大，要求的速度比支承粉碎高 10 倍。

粉碎过程与粉碎机的负荷有关。研究人员曾制作一台试验用粉碎机，其侧壁用透明玻璃板制成，筛片包角 180°，前齿板为光滑的，后齿板为波纹状的，高速摄影所得的谷物粉碎过程如图 10-11 所示。当喂入量不大时物料颗粒几乎不被击中，它被抛向前齿板 [图 10-11(a)]，被转子形成的气流移向粉碎室的工作面（筛面），新喂入的颗粒便与锤片带动的物料碎粒相混合。在筛子区段 [图 10-11(b)]，物料层以很大的速度（约为锤片端点速度的一半）移动，这将降低打击作用，增加摩擦功率消耗。在后齿板区段 [图 10-11(c)]，颗粒自锤片处抛开击向齿板，得到补充粉碎，而后又在锤片的打击下重新下落。

当喂入量正常时 [图 10-11(b)]，在筛子区由于离心力的关系，粗粒落在筛面上得不到很好的粉碎，细粒处在上层难以及时从筛孔排出，使粉末增多。在后齿板区，物料环流层的厚度为筛子区段物料层厚的 10 倍，其平均速度为锤片端点速度的 1/10 ~ 1/5。由于细粒不能及时排除，被锤片反弹出的颗粒达不到齿

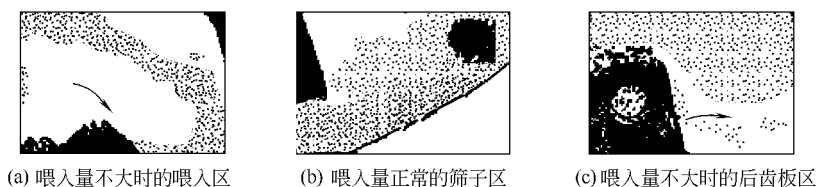


图 员-13 高速摄影所得的谷物粉碎过程

板的工作面而沉没于被粉碎的物料层内，要粉碎的物料层中的粗粒就需要消耗更多的能量。环流层中粉尘和粗粒的数量随喂入量的增加而增长，结果产品颗粒的均匀度降低。

总之，锤式粉碎机的工作过程主要由两方面构成：一是物料受锤片的冲击作用；二是锤片和物料、筛片（或齿板）和物料与物料相互间的摩擦作用。对于谷物等脆性物料，主要受冲击作用而粉碎；对于韧性大的物料主要受摩擦作用而粉碎。但是，无论何种物料的粉碎都是冲击、搓擦和摩擦等作用的综合结果。

提高锤式粉碎机的生产效能的关键之一，是提高筛子的筛落能力，以克服其排粉效率低于粉碎效率的缺点。其次，在结构设计上，要尽可能破坏物料的环流层，使细粒能及时地排出，避免重复而无效地过度粉碎。

图 员-14 锤式粉碎机的分类与应用

按粉碎机的进料方向，锤式粉碎机可分为切向喂入式粉碎机、轴向喂入式粉碎机和径向顶部喂入式粉碎机 猿种，如图 员-14 所示。按某些部件的变异分类又可分为两种形式：水滴形粉碎室式粉碎机和无筛粉碎机。

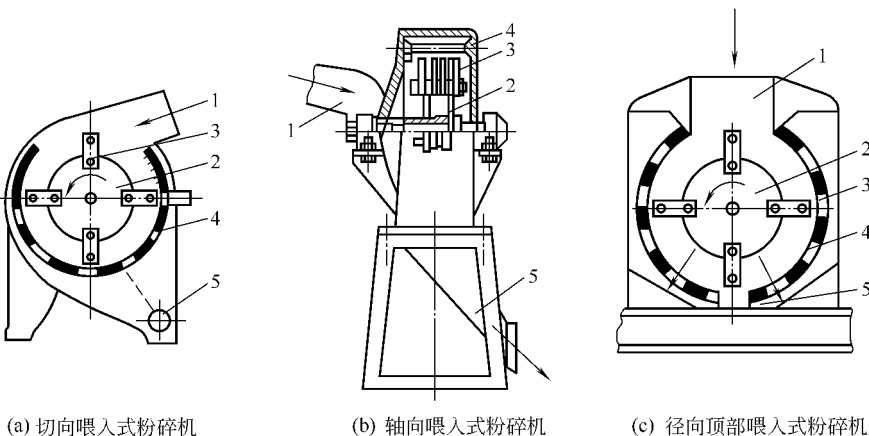


图 员-14 锤式粉碎机类型

员—进口口；圆—转子；猿—锤片；源—筛片；缘—出口口

(员) 切向喂入式粉碎机摇图 员圆(葬) 所示切向喂入式粉碎机由切线方向喂入物料，在上机体上安有齿板，故筛片包角一般为 员圆，它可以粉碎谷粒、油饼粕等各种物料，是一种通用型粉碎机，常附有卸料用的集料筒和风机，广泛用于小型加工企业。

(圆) 轴向喂入式粉碎机摇图 员圆(遭) 所示轴向喂入式粉碎机多为自吸喂入式，靠转子内安装的 源个叶片起风机作用，转子周围有包角为 猿圆的筛片（环筛或水滴形筛）。这类粉碎机可在进料口与机壳衔接处装有动刀和定刀，物料进入粉碎室时先被切成碎段，以利加工细长形物料。

(猿) 径向顶部喂入式粉碎机摇图 员圆(糟) 所示为径向顶部喂入式粉碎机，该机型的特点是整个机体左右对称，转子可正反转工作。当锤片一侧磨损后，可改变进料口的进料导向机构以改变物料喂料方向，同时改变转子旋转方向，不需停车来倒换锤片；筛片包角较大约 猿圆，有利于出料；进料口和出料口可与外界隔绝，便于自动控制生产过程，多用于大、中型工厂。该粉碎机缺点是只能用于粒料的粉碎。

(源) 水滴形粉碎室式粉碎机摇图 员圆所示为水滴形粉碎室式粉碎机，可以破坏影响筛理能力的环流层，从而提高粉碎效率，减低了能量消耗，其按结构不同又有全筛式和部分齿板式。部分齿板式的筛片包角为 圆圆，其余的上部直线部分为齿板。

(缘) 无筛粉碎机摇无筛粉碎机由机体、转子、控制室和风机等组成（图 员圆）。其工作时物料靠自重及负压从喂入口进入粉碎室，受到高速回转的转子的锤块和粉碎室上的齿板的作用，而被击碎、剪切碎和磨碎，粉粒在风机的负压作用下沿轴被吸出，当经过控制轮时被补充粉碎。成品的粒度通过调节控制轮与衬套的间隙控制。它主要用于经过预粉碎的较硬固体物料的粉碎。用该机粉碎可减少锤片的磨损，并可提高产量，减少电能消耗。

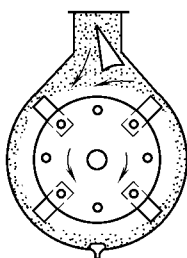


图 员圆 摇水滴形粉碎室式粉碎机

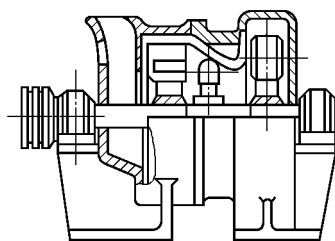


图 员圆 摇无筛粉碎机

猿 垂直式粉碎机的主要部件及应用特性

(员) 送料装置摇粉碎机对喂入量的要求是均匀连续地送料，以保证粉碎机

在额定负荷下稳定工作。大型粉碎机通常采用机械供料。常用的机械供料装置有螺旋供料器、电磁振动供料器、圆盘供料器、自动控制给料器等，前两种供料装置最为多见。

① 螺旋供料器有水平和倾斜两种形式（图 1-1-1），它将待粉碎料斗内的物料，按照额定的供料量输送进粉碎机的进料口。这两种供料方式均可调节供料量，使供料均匀、连续、可靠。当螺旋叶片因磨损与输送机机壳的间隙增大时，供料量的精确度随之降低，这时应注意调节螺旋片与壳体的间隙，或更换新的螺旋片以保证供料量的精确度。

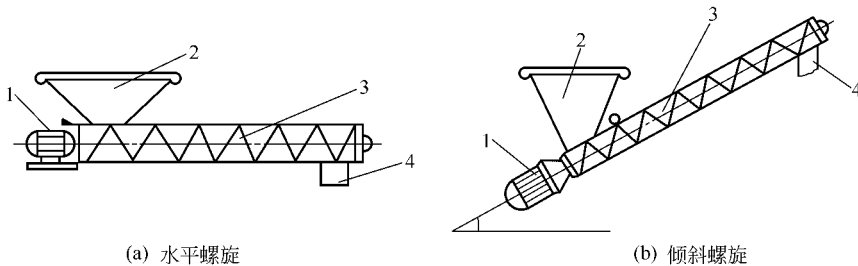


图 1-1-1 螺旋供料器

1—减速电动机；2—料斗；3—螺旋；4—下料口

② 电磁振动供料器（图 1-1-2）是由料槽和电磁振动头组成。它是一种在电磁力作用下的双质点定向受迫振动系统，在此系统内的物料也同样因受迫振动而不断定向跳动起到供料作用。这种供料器驱动功率小、振幅瞬时可达到稳定值，同时还可进行无级调速实现自动控制供料，其缺点是工作时噪声较大。

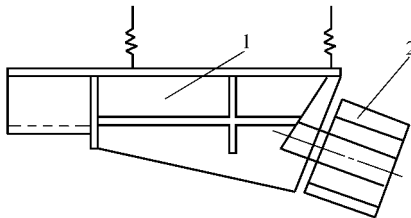


图 1-1-2 电磁振动供料器

1—料槽；2—电磁振动头

③ 自动控制给料器，现以意大利贝尔加（图 1-1-3）公司的 粤型自动控制给料器为例（图 1-1-3）加以介绍。该给料器主要由两部分构成：一是安装于粉碎机顶端进料口的给料器；二是安装在中央控制室模拟屏上的电子流量控制装置。电子流量控制装置可利用电子技术对物料流量进行闭环自动调节使之达到给定的数值。当粉碎机电动机负荷超过电动机额定容量时便发出信号，由电子流量控制装置接收，经调节器比例调节后，由伺服放大机构带动给料器减少进料量；反之则增加进料量。

粉碎机的吸风量，可借助安装在进气风门上的微型限位开关由给料器的电子流量控制装置进行自动监测。若空气吸入量减弱，这就意味着粉碎室内物料过多，接近阻塞状态，因而物料流便将自动减少或停止，即防止了粉碎机电动机过



载现象，确保电动机安全。

由于采用这种自动控制给料装置，使进料稳定，克服了电动机电流很大波动（在 10% 以上）的现象，可使产量提高 15% 以上。

（圆）机壳摇粉碎机机壳的作用是保证物料顺利喂入粉碎室，防止颗粒向进口飞溅的反料和物料喂入粉碎室的架空现象；同时将被粉碎直穿过筛孔的物料归集，使之从下部排料口顺利排出。目前我国使用的锤式粉碎机上机壳进口位置基本上有源种（图 1-1-1）： β 越 90 度 β 越 60 度 β 越 30 度及轴向进料。

粉碎机进口位置 β 越 90 度时喂料不反料、不架空，但仅适用于粒状物料。粉碎机进口位置 β 越 60 度 β 越 30 度时喂料不反料，但会有不同程度的架空。粉碎机进口位置 β 越 90 度时喂料无架空现象，粉碎物料时，每千瓦（度电）产量还略有提高，但反料现象相当严重。轴向进料多用于谷物料或切碎物料。

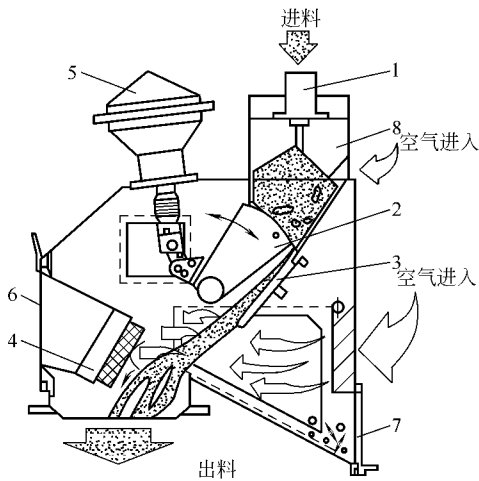


图 1-1-1 机壳摇自动给料器

员—电容式料位器；圆—圆弧形滑门；猿—输料斜导板；
源—永磁铁板；缘—膜片振动式气缸；远—取铁杂门；
苑—取石门；愿—可调进气门

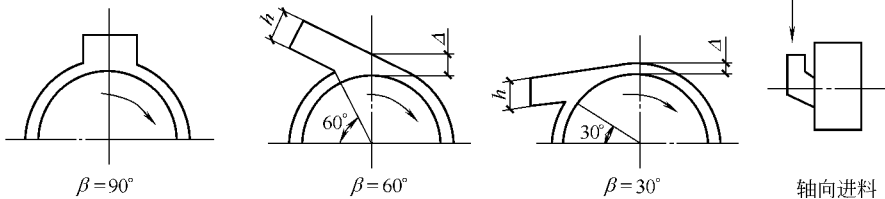


图 1-1-2 机壳摇粉碎机物料进口位置

一般对于粉碎粒状物料，以采用 β 越 90 度 即顶部进料为宜，兼用于粒料和潮湿物料的粉碎机，则以 β 越 60 度 为佳。以粉碎潮物料为主的粉碎机则多用轴向进料。

（獭）锤片摇锤片是粉碎机最主要、易损的工作部件，其形状、尺寸和工作密度、排列方法对粉碎效率和产品质量有一定的影响。

① 锤片的形状和尺寸。目前世界上有几十种形状的锤片，采用最广泛的是板条状矩形锤片〔图 1-1-3（獭）〕，它通用性好，形状简单，易制造。它有两个销连孔，其中一孔连在销轴上，可轮换使用 源个角来工作。图 1-1-3（獭）、（獭）为

在工作边角涂焊、堆焊碳化钨等合金的板条状矩形锤片。如图 1-10(a) 为焊上一块特殊的耐磨合金的板条状矩形锤片。这种处理可延长锤片的使用寿命，但制造成本较高。图 1-10(b) 为阶梯形锤片，工作棱角多，粉碎效果好，但耐磨性差些。图 1-10(c) 为尖角锤片，适于粉碎纤维质物料，但耐磨性差。图 1-10(d) 为环形锤片，只有一个销孔，工作中自动变换工作角，因此磨损均匀，使用寿命较长，但结构较复杂。图 1-10(e) 为复合钢矩形锤片，是由两层硬度大，中间韧性好的钢板制成。其制造简单，成本低，使用寿命长。

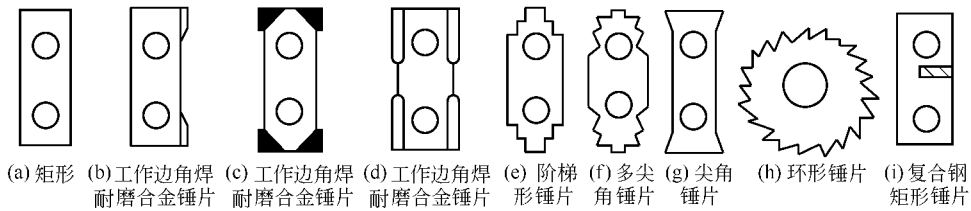


图 1-10 锤片的种类

试验表明长锤片的度电产量高，但锤片长度超过 400mm 时，度电产量反而下降。为减少金属消耗量，锤片长度一般不超过 400mm。锤片厚度试验表明，用 10mm 和 12mm 两种厚度锤片粉碎谷物（筛孔相同），前者比后者效率提高 15%~20%。

② 锤片材料与热处理。我国每年锤片耗用钢材数万吨，提高锤片的使用寿命具有重要意义。目前使用的锤片材料有如下几种。

① 低碳钢（Q235、Q275、Q345），可进行固体渗碳淬火，渗碳层厚度一般为 0.5~1.0mm（锤片厚度为 10mm 时为 0.5~1.0mm），表面硬度一般为 50~55HRC，距销孔周围 10mm 范围内硬度不超过 50HRC。低碳钢的特点是工艺简单，锤片表层硬、内层软，当渗碳磨损后，内层则磨损很快。

② 中碳钢（45、50、55、60），热处理后淬火区硬度为 50~55HRC，非淬火区硬度不超过 45HRC。一般使用 1~2 年后须换工作边角。若整体淬火，则易产生裂纹。

③ 特种铸铁，有激冷白口铸铁、白口铸铁等温淬火、中锰球墨铸铁和可锻铸铁等。铸铁锤片取材方便，经激冷后，耐磨性高、成本低；但须严格控制锤片生产工艺，确保质量，防止使用中发生断裂造成严重事故。

④ 表面硬化处理的材料，在锤片工作边角堆焊碳化钨合金，焊层厚 1~2mm。据试验结果，堆焊碳化钨合金锤片比整体淬火锤片的使用寿命提高 2~3 倍，但前者的成本比后者高 2 倍多。用于粉碎玉米试验时比通用锤片的使用寿命高 2~3 倍，耗用钢材仅为普通锤片的 1/3，成本仅高出 1/3，加工每吨物料的锤片费为普通锤片费的 1/3，经济效益显著。堆焊碳化钨锤片的焊接工艺要求高，而且粉碎机转子高速旋转的转子平衡要求高。

③ 锤片线速度。锤片的线速度是指转子运转时锤片末端的线速度，对粉碎性能影响很大。锤式粉碎机主要依靠锤片对物料打击进行粉碎，线速度越高，打击能力越强。因此，在一定范围内提高锤片线速度，可提高粉碎机的生产率、降低电能消耗、增加产品细度。但锤片线速度过高，机器的空载功率增加，振动和噪声也随之加大，粉碎效率反而降低。不同物料要求的锤片最佳线速度不同。据试验，当使用圆孔筛片时，最佳锤片速度为：高粱 $15 \sim 18 \text{ m/s}$ ，玉米 $12 \sim 15 \text{ m/s}$ ，小麦 $10 \sim 12 \text{ m/s}$ ，黑麦 $8 \sim 10 \text{ m/s}$ ，大麦 $6 \sim 8 \text{ m/s}$ ，燕麦 $4 \sim 6 \text{ m/s}$ 。目前国内锤片线速度一般用 $10 \sim 12 \text{ m/s}$ ，国外稍高，有的锤片线速度用到 $15 \sim 18 \text{ m/s}$ 。国内外粉碎机的锤片线速度在 $10 \sim 15 \text{ m/s}$ 之间。

锤式粉碎机主轴转速常取 $1500 \sim 2000 \text{ r/min}$ ，如转子直径过小，可以取高些，但不宜超过 $2500 \sim 3000 \text{ r/min}$ 。大型粉碎机为降低噪声，常采取增加转子直径，降低转速的设计。

（源） 齿板及筛片

① 齿板的作用是阻碍环流层的运动，降低物料在粉碎室内的运动速度，增强对物料的碰撞、搓擦和摩擦作用。它对粉碎效率有一定影响。如果物料易破碎，筛片孔径较小，成品物料的排出性能较好时，齿板的作用不显著；而对纤维多、韧性好、湿度高的物料，齿板的作用较明显。齿板一般用铸铁铸造，其表面激冷成白口，以增强其耐磨性。齿板的齿形有人字形、直齿形和高齿槽三种，如图 1-15 所示。

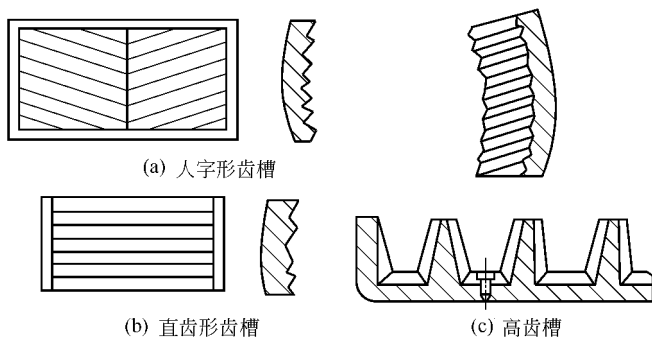


图 1-15 齿板的齿形

② 筛片是锤式粉碎机主要的易损部件之一，其形状和尺寸对粉碎效能有重大影响。锤式粉碎机所用的筛片有圆柱冲孔筛、圆锥孔筛和鱼鳞筛等数种。由于圆柱冲孔筛结构简单、制造方便，应用最广。按筛片配置的形式，又可将筛片分为底筛、环筛和侧筛。底筛和环筛安装于转子的四周，弯成圆弧状和圆圈状。侧筛安装于转子的侧面，呈平圆形。侧筛使用寿命长，适于加工坚硬的物料，缺点是换筛不方便。我国锤片粉碎机多采用底筛和环筛。按筛孔直径大小一般分为 8 种

级：小孔直径为 1.5mm，中孔直径为 2.5mm，粗孔直径为 3.5mm，大孔直径为 4.5mm 以上。

③ 锤筛间隙指转子运转时锤片顶端到筛片内表面的距离，是影响粉碎效率的重要因素之一。由于粉碎机工作时存在气流环流层，若锤筛间隙过大，外层粗粒受锤片打击机会减少，内层小粒受到重复打击，恶化产品质量，增加电能消耗；锤端间隙过小，使环流层速度增大，不仅降低锤片对物料的打击力而且还使物料粉碎后不易通过筛孔，电能消耗增加，效率降低，锤片磨损加快。

各种物料的最佳锤筛间隙 Δ 应通过试验求得。国外资料介绍，粉碎谷物时 Δ 应越大越好，粉碎纤维物料时 Δ 应越小越好。我国设计锤片粉碎机系列的正交试验结果推荐谷物锤片粉碎机 Δ 应越大越好，通用型锤片粉碎机 Δ 应越大越好。

(缘) 粉碎室摇要增强粉碎室的粉碎效果，则要有很好的粉碎室结构和气流状态，降低其环流速度和改善粉碎室内的气流状态。

① 粉碎室结构。近年国内诸多厂家改进了粉碎室的结构，如图 1-10 所示，

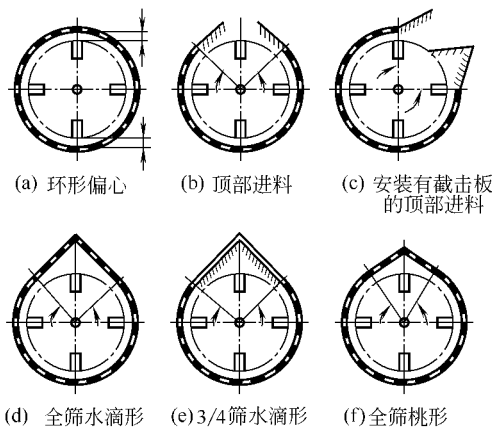


图 1-10 粉碎室结构形式

从原理和实际效果看，各种改进的结构均不同程度的提高粉碎效率的效果。其原理是增大筛片包角和筛理能力、安装截击板、改变顶部结构、环筛转子偏心以破坏环流层等。如全筛水滴形由于筛片包角和筛片总长度最大，其筛理面积最大，同时直线夹角处能起破坏环流层作用，可较大地提高粉碎效率，但直线段受物料正面冲击易损坏。猿筛水滴形为其改进型，但粉碎效率有所降低。

② 粉碎室内的气流状态。机体内的气流状态，对筛片的筛理能力和粉碎效率有重大影响。当粉碎机转子高速旋转时，转子中心形成负压区，靠近筛片表面为正压区，在气压差的作用下不断从喂料口吸入空气形成有规律的气流分布特性。

在筛片内外空气压差的作用下排粉，其压差越大，排粉效果越好。据测定，在筛片宽度方向筛孔内气流速度相同，但筛片长度方向上的气流速度则不同，其原因是由于风机吸风作用不同的缘故。

据资料介绍，对大多数物料，每平方厘米筛片面积选用 1.5~2.5m³/min 的风量为宜。空气通过粉碎机的静压损失与原料性质、筛孔大小及风量有关，一般可选取 1.5~2.5mm 根据静压损失和风量来选择和设计粉碎机相配套的吸风

系统。

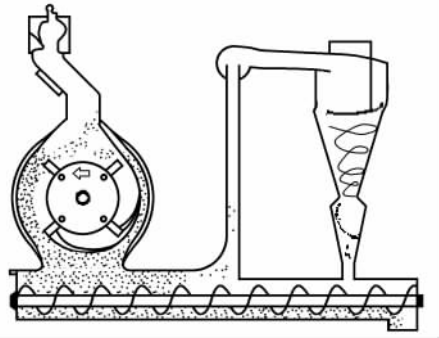
(远) 排料装置摇粉碎机排料方式对粉碎性能有很大影响。排料装置必须及时地把已粉碎的物料排出并输送走, 保证连续作业和高的工作效率。要求排料装置使粉碎室产生一定负压, 以利于改善粉碎机的工作性能。粉碎机的排料方式有猿种: 自重落料、气力输送(负压吸进)和机械输送加负压吸风。

① 自重落料, 该方式结构简单、造价低廉。但粉碎成品存在的消风、除尘、输送等问题, 多用于小型单机。

② 气力输送, 采用气力输送排出与输送粉碎成品有许多优点, 如吸走成品中的水分; 冷却成品和粉碎机本身, 使成品温升减低缘~员益, 利于储存; 提高筛片的筛落能力, 因而可提高粉碎机的生产能力(可提高生产率员缘~圆缘); 此外, 负压吸风还可减少粉尘的扬尘度。但其缺点是气力输送功率消耗大、设备昂贵。据资料, 气力输送风机的配套动力功率约为粉碎机的圆缘~猿缘, 约为机械输送的圆~猿倍。因此, 采用气力输送排料的粉碎机不多, 仅用于输送量小、距离短的场所。

③ 机械输送, 对于生产量大于圆缘猿的粉碎机, 应采用机械出料。常采用方式有:

葬) 螺旋或刮板输送机加负压吸风的出料装置如图员圆四所示。螺旋输送量比粉碎机产量应大员缘以上, 物料在螺旋壳体内的充满系数不得超过源缘。壳体的上半部最好设计成扩散形, 以便空气在静压损失小、风速低的情况通过螺旋输送机。此外, 吸风管道与螺旋壳体连接处要加工成喇叭口并在来料一侧倾斜处加工的更大, 喇叭口的截面积应比风管截面积大猿~缘倍, 使其风速降为员圆缘~员圆缘皂/泽。这样, 既可提高粉碎机的产量, 又可避免气流带走过多物料。



图员圆四螺旋或刮板输送机
加负压吸风的出料装置

遭) 料斗吸风螺旋出料装置如图员圆五所示。粉碎的物料先卸入料斗, 经吸风器和螺旋输送机输出, 在料斗上设置吸风系统, 其风力不能太大, 否则将带走大量粉料, 增加功率消耗、增大粉尘处理设备的负荷, 甚至可能导致粉碎机不能正常工作。据资料介绍, 苑缘宰、员圆宰功率的粉碎机相应的吸风量为猿皂³/泽和源皂³/泽。

二、辊式粉碎技术与设备

辊式粉碎机是在食品工业特别是在面粉制造工业中广泛使用的粉碎机械。其他如啤酒麦芽的粉碎、油料的轧坯、巧克力的研磨、糖粉的加工、麦片和米片的

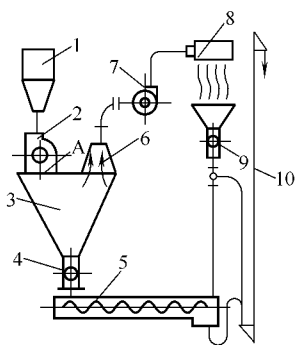


图 1-1-1 摇料斗吸风螺旋出料装置
1—料仓；2—粉碎机；3—筛网；4—螺旋输送机；5—吸风罩；6—风机；7—管道；8—斗式提升机；9—风罩；10—出料口

加工等均有采用。

辊式粉碎机基本结构

图 1-1-2 所示为配再型辊式磨粉机外形示意，它具有两对磨辊，每对磨辊可以各自成—独立系统，中间用隔板隔开，粉碎原料从上部进入、从下部排出，所以这种机器通常安装在楼板上使用。辊式磨粉机的机身采用大墙板拼装式结构，整个机身由愿块铸铁件构成，即左右侧墙板，磨顶、磨底和源块墙板撑挡，全部用螺栓及定位销连接固定。

磨辊由滑动轴承支承，有定位性能。上磨辊的转速较高，称为快辊。快辊的轴承座固定在墙板上，轴的一端由大带轮驱动，轴的另一端置入链轮传动箱，以驱动下磨辊。下磨辊的转速一般仅为快辊的 1/2。

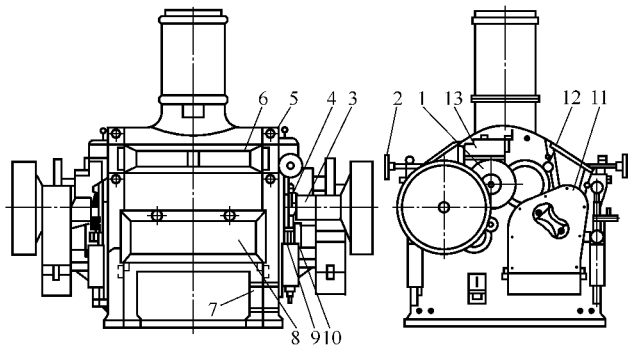


图 1-1-2 配再型辊式磨粉机外形示意图

1—喂料辊传动轮；2—轧距调节手轮；3—快辊轴承座；4—轧距单边调节机构；
5—指示灯；6—上磨门；7—机架；8—下磨门；9—慢辊轴承臂；10—慢
辊轴承座；11—链轮传动箱；12—油缸活塞杆端；13—自动控制装置

称慢辊。慢辊的轴承座安装在杠杆式轴承臂（俗称“牛腿”）内，轴承臂的上端空套在墙板的铰支轴上，另一端支承在轧距调节机构的拉杆上。改变拉杆的位置，可使慢辊轴承臂绕铰支轴旋转，借以改变快辊和慢辊之间的间隙，即调节轧距的大小。慢辊一侧的轴承臂的铰支轴上加一偏心套，用来调整轴承臂上慢辊轴承中心到铰支轴心的距离，以保证快辊和慢辊轴线可以调整到同一平面上。为补偿慢辊在轧距调节过程中可能产生的轴承偏斜，两端轴承臂的铰支轴均做成球形形状。轧距调节机构分总调和单调两个部分，总调是磨辊两端同时平行调节；单调则是调节磨辊一端的轧距，可用来调节磨辊的平行度。

主料辊和下料辊同方向旋转，其间有一光滑导料板，使物料稳定过渡，不产生冲击。扇形料门用圆个顶尖轴铰支在墙板上，其中一个顶尖轴有一可调偏心，用来调节料门与定量辊之间间隙的均匀度，保证在整个辊长方向的喂料量均匀一致，料门由螺杆控制。磨辊在研磨物料的过程中，辊面的黏附物由辊下的清理装置处理。齿辊的清理装置为硬毛刷，用弹簧压紧在辊面上。光辊的清理装置为刮刀，安装在铰支的杠杆上，靠在配重压的辊面上，当磨粉机停车时有一金属链将配重担起，刮刀离开光辊面，避免光辊面和刮刀接触处的腐蚀。粉碎机工作难免产生粉尘，常配以吸风系统使机腔内始终处于负压状态。风进入磨粉机，绕过磨辊，穿过磨下物料进入吸风道可以降低辊温和料温，兼具有排除湿气的作用。

配再型辊式磨粉机的喂料系统分为上下两辊和喂料门控制系统。对于不同散落性的物料采取不同的喂料方式。对于散落性差的物料如图 5-15 中左半边所示，从料筒下落的物料在喂料绞龙正中向整个辊长展开，然后由下侧喂料辊经闸门定量后喂入磨辊。对于散落性好的物料如图 5-15 中右半边所示，物料下落接触的第二个喂料辊就可将物料沿辊长展开，由喂料门 5 进行定量，然后由下喂料辊 6 进行均流送入磨辊轧区。

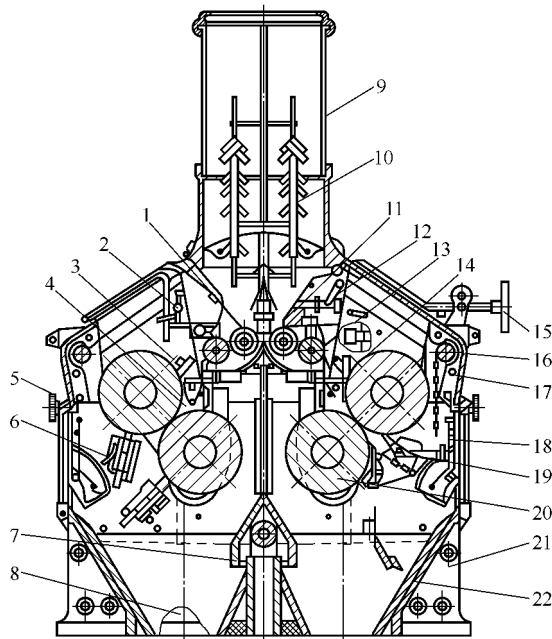


图 5-15 配再型辊式磨粉机纵剖面

- 1—喂料绞龙；2—料门限位间螺钉；3—栅条护栏；4—源—阻料板；5—缘—下磨门；6—远—弹簧毛刷；
 苑—吸风道；愿—机架墙板；怨—有机玻璃筒；员—枝形浮子；员—喂料门；员—料门调节螺杆；员—下喂料辊；员—挡板；员—缘—轧距总调手轮；员—远—偏心轴；员—苑—上横挡；
 员—愿—活动挡板；员—苑—光辊清理刮刀；员—苑—下磨辊；员—苑—下横挡；员—苑—排料斗

配再型辊式磨粉机的进料、合闸、松闸、停料程序等动作由液压控制系统完成。液压控制系统固定在墙板上，各种动作由进料管的枝形浮子传感器和杠杆系统完成。

图 1-1-1 辊式粉碎机工作原理

磨辊是粉碎机的主要工作构件。一对磨辊由于速度比和辊面状态不同，粉碎物料的过程也不同。等速反向旋转的光磨辊是以挤压的方式粉碎物料或使物料变形，如轧麦片机、轧米片机和油料轧片机等。差速反向旋转的光磨辊是以挤压和研磨两种方式粉碎物料，如面粉厂光辊磨粉机和辊式巧克力精磨机等。差速反向旋转的齿辊磨是以剪切、挤压和研磨三种方式粉碎物料，如面粉厂的皮磨磨粉机和啤酒厂的麦芽粉碎机等。

(5) 物料夹入条件和粉碎工作区 磨辊工作的前提是物料能够顺利进入粉碎工作区，即当物料和磨辊之间具有一定的几何关系和物理状态时，物料才得以通过轧区而被粉碎。为分析方便起见，将磨辊和物料几何关系简化为图 1-1-2。

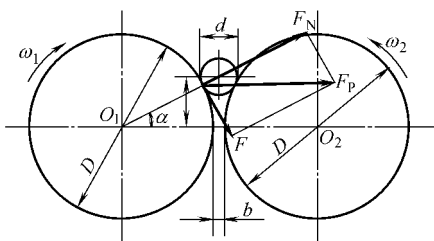


图 1-1-2 物料夹入条件

当磨辊直径为 D ，物料粒径为 d ，轧距为 L ，要使料粒进入轧区必须使磨辊对料粒的法向压力 F_N 及摩擦力 F_f 和合力 F 的方向向下指向轧区。这时应满足 $\alpha \leq \phi$ ， ϕ 为磨辊与料粒间的摩擦角。

从图 1-1-2 上的几何关系可得

从图 1-1-2 上的几何关系可得

$$\sin \alpha = \frac{d}{L} \quad (1-1)$$

当 α 越小时，可求得夹入料粒的最小允许辊径为

$$D_{\min} = \frac{d}{\sin \alpha} \quad (1-2)$$

显然，对光辊和各种不同的齿轮，摩擦角 ϕ 都不相同，同时料粒本身还有弹性变形和塑性变形，两辊的绝对速度和相对速度也有影响，在研究 $D_{\min}$ 时仅仅考虑最不容易夹入的条件。在一般粉碎机中，磨辊直径往往比 $D_{\min}$ 大许多，一方面是可以得到绝对可靠的夹入条件，另一方面也是机器本身的结构需要，直径太小的磨辊无论从强度或刚度的要求来看都是不合适的。如粉碎的料粒越大，轧距越小，则粉碎比越大，这对夹入条件不利，辊磨比较适宜于多次分级粉碎。在确定磨辊直径的时候还要考虑磨辊的磨耗，当辊齿磨损后需要将磨辊取下，用砂轮磨削光滑后重新拉丝（刻齿槽）。允许拉丝的范围不能超过磨辊冷硬层的深度。目前在制造磨辊时的冷硬层的深度可达 0.5mm。常用磨辊直径为 100-150mm。

(圆) 物料在工作区的受力情况在一对磨辊以不等速工作时, 受力情况较复杂。为清楚起见, 将圆个辊对物料的作用力分别简化表达如图 1-10 所示。

云和云是圆个辊表面对轧区中任意的物料粒子的法向压力, 云和云是圆个辊表面对物料粒子的摩擦力, $\phi_{\text{圆}}$ 和 $\phi_{\text{圆}}$ 为物料粒子对两辊的摩擦角, 由于圆个辊存在速度差, 云和云在 x 轴上的投影方向相反。当圆个辊轴心 O_1 和 O_2 的相对位置保持不变时, 合力云和云在 x 轴上的投影云和云应该相等而方向相反, 于是

$$\begin{aligned} & F_{N1} \cos \phi_{\text{圆}} = F_{N2} \cos \phi_{\text{圆}} \\ & F_{N1} \sin \phi_{\text{圆}} = F_{N2} \sin \phi_{\text{圆}} \end{aligned}$$

在一般情况下, 云跃云, 云跃云, 同时, 当圆个辊齿形相同时 (锋对锋或钝对钝), $\phi_{\text{圆}} > \phi_{\text{圆}}$, 物料沿快辊表面的滑动趋势比沿慢辊表面的滑动趋势大, 物料与慢辊表面基本上没有速度差, 实际上, 类似将慢辊作为“砧铁”, 而将快辊作为“击铁”, 对物料进行撞击或切削的情况。

圆对辊磨的磨齿排列与生产率

对辊磨的磨齿排列和长度与生产率有密切的关系。一般负责工艺的技术人员常常忽视这一因素。

合适的磨齿排列可以大大提高磨粉的效率, 从而提高生产率。磨粉工业中习惯将辊齿的前角称为锋角, 后角称为钝角。磨齿的排列和相对运动有 3 种方式, 如图 1-11 所示。快辊和慢辊之间有剪切和研磨两种作用。锋对锋时剪切作用强, 粉碎所耗功率较少, 得到粒度比较整齐的磨下物料。钝对钝时主要是挤压、研磨作用, 较粉碎所耗功率较大, 但在磨制面粉时, 麸皮破碎较少, 因此达到了选择性粉碎的目的。在制粉工艺中往往对每一道粉碎工序采用不同的齿形和锋钝组合, 以达到最为经济合理的工艺效果。

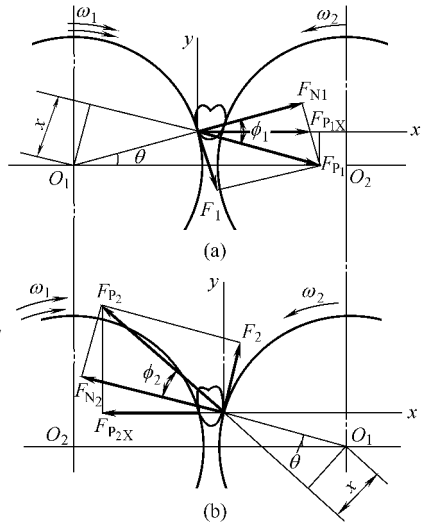


图 1-10 圆个辊物料在工作区的受力情况

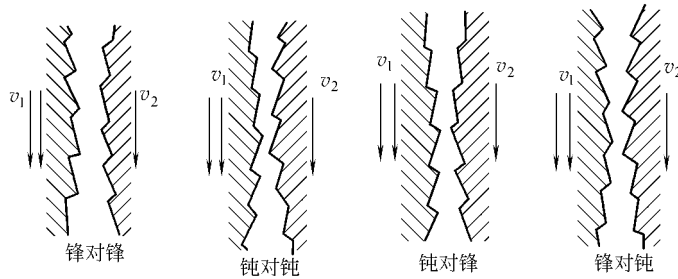


图 1-1-1 磨齿锋钝排列和相对运动示意图

影响对辊磨生产率的最主要因素是辊长、轧距和物料的通过速度。最理想状态是在慢辊面上完全布满一层物料。以小麦的选择性粉碎为例，理想的极限生产能力为在粉碎区的慢辊表面上全部布满被展开的小麦粒而不重叠。实际上由于物料入辊速度小，入磨颗粒之间有间隙，不可能铺满整个慢辊，实际生产率远小于理想值，超细粉碎生产率更小。

三、气流粉碎技术与设备

气流式粉碎机由于其处理量大，产品粒度细且均匀而在大型生产中较为常见。

（一）气流粉碎的原理与特点

（1）气流粉碎的原理 气流粉碎的基本原理是利用空气、水蒸气或其他气体通过一定压力的喷嘴喷射产生高度的湍流和能量转换流，物料颗粒在这高能气流作用下悬浮输送，相互发生剧烈的冲击、碰撞和摩擦，加上高速喷射气流对颗粒的剪切冲击作用，使得物料颗粒间得到充分的研磨而粉碎成细小粒子。

（2）气流粉碎的特点

- ① 粉碎比大，粉碎颗粒成品的平均直径在 $10\mu\text{m}$ 以下；
- ② 在粉碎过程中设备分级作用，粗粒由于受到离心力作用不会混到细粒成品中，保证了成品粒度的均匀一致；
- ③ 粉碎设备结构紧凑、磨损小且维修容易，但功率消耗大；
- ④ 易实现无菌操作，卫生条件好；

- ⑤ 压缩空气（或过热蒸汽）膨胀时会吸收很多能量产生制冷作用造成较低的温度，所以适合应用于对热敏性物料的超微粉碎的加工；
- ⑥ 易实现多单元联合操作，例如可利用热压缩气体同时进行粉碎和干燥处理，在粉碎同时还能对两种配合比例相差很远的物料进行很好的混合，此外在粉碎的同时可喷入所需的包裹溶液对粉碎颗粒进行包裹处理。

气流粉碎设备

（一）环形喷射式气流粉碎机 环形喷射式气流粉碎机的工作原理和结构如图 1-1-1 所示。待粉碎物料经由喂料装置输送到环形粉碎室底部喷嘴处，压缩空气从管道下方的一系列喷嘴中喷出形成了高速喷射气流（射流），夹带着物料颗粒运动。在管道内的射流大致可分为外层、中层和内层射流。各层射流的运动速度不相等，这迫使物料颗粒在粉碎室内相互冲击、碰撞、摩擦以及受射流的剪切作用达到粉碎。物料自右下方进入管道后，大致沿管道运动一圈后自右上方排出。由于外层射流的运动路程最长，该层的颗粒群受到的碰撞和研磨作用最强。经喷嘴射入的气流，也首先作用于外层的颗粒群。中层射流的颗粒群在旋转过程中产生一定的分级作用，较粗粒组在离心力作用下进入外层射流与新输入的物料一起重新粉碎，而细粒在射流的径向速度作用下向内层射流聚集并经排料口排出。

环形喷射式气流粉碎机可适用于加工粒度分布较宽的物料。

（二）叶轮式气流粉碎机 叶轮式气流粉碎机不是通过喷嘴形成的射流，而是通过叶轮形式的循环气流产生冲击和碰撞等作用力将物料进行粉碎的，该机带有两级粉碎、内分级叶轮、鼓风和排渣等机构，因此可认为是一个小型机组。

该粉碎机的结构和工作原理如图 1-1-2 和图 1-1-3 所示。将小于 100 μm 的物料颗粒，由加料器定量连续地加至第一粉碎室内，第一段粉碎叶轮的缘支叶片具有

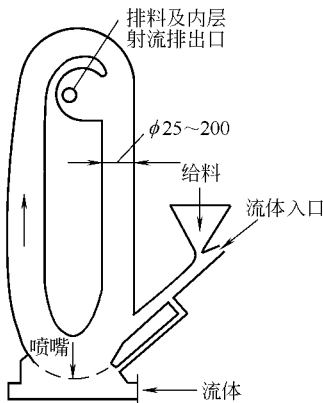


图 1-1-1 环形喷射式气流粉碎机结构示意图

较大的扭转角，它有助于形成旋转风压；第二段分级叶轮的缘支叶片不具有扭转角，所以形成气流阻力。第一段粉碎叶轮形成的风压在第一粉碎室内引起气流循环，随气流旋转的物料颗粒之间就会发生相互冲击、碰撞、摩擦和剪切，并且受离心力的作用冲向内壁受到撞击、摩擦、剪切等作用而被粉碎成细颗粒。第二段分级叶轮具有分级作用，细颗粒在分级叶轮端部斜面和衬套锥面之间的间隙中进行较有效的粉碎。而最有效粉碎作用发生在第一、二段叶轮之间的滞流区，这是因为

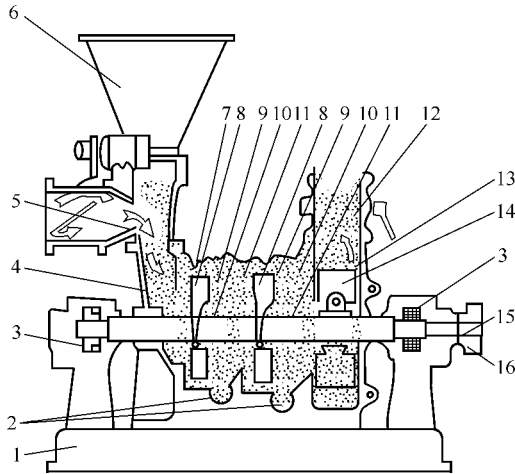


图 1-1 摇叶轮式气流粉碎机示意图

1—机座；2—排渣装置；3—轴承座；4—源—加料装置；5—缘—加料器；6—远—加料斗；7—苑—衬套；8—愿—叶轮；9—怨—撞击销；10—内—内分级叶轮；11—愿—隔环；12—愿—碟阀；13—机壳；14—愿—风机叶轮；15—缘—主轴；16—带轮

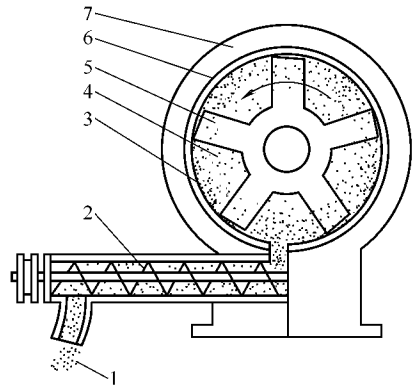


图 1-2 摇叶轮式气流粉碎机内排渣机构工作示意图

1—粗渣料；2—圆—螺旋排料器；3—猿—粗颗粒；4—源—细颗粒；5—缘—分级叶轮；6—远—衬套；7—苑—壳体

叶轮高速旋转时物料被急剧搅拌，导致物料因颗粒间的相互冲击、摩擦和剪切而被粉碎。由于上述作用，粉粒可被粉碎到数十微米至数百微米，细颗粒和较粗的颗粒同时旋转于第一粉碎室内，在离心力的作用下粗颗粒沿第一粉碎室内壁旋转，与新加入的物料一同继续被粉碎；而细颗粒则随气流趋向中心部分，随鼓风机产生的气流带入第二粉碎室内。分级是由第二段分级叶轮所产生的离心力和隔环内径之间所产生的气流吸力来决定，若颗粒受的离心力作用大于气流吸力则被滞留下来继续被粉碎，若颗粒所受的离心力作用小于气流吸力，则它被吸向中心随气流进入第二粉碎室。

进入第二粉碎室的细颗粒进行同样的粉碎和分级。由于第二粉碎室的粉碎叶轮和分级叶轮直径比第一粉碎室的大，因此旋转速度更高；又因第三段叶轮的叶片扭转角为 90° ，所以造成的风压更大，粉碎效果增强，通过该室内的风速因粉碎室直径增大而减缓，分级精度提高，这样可使细颗粒粉碎到几微米至数十微米的超细粒子，并将其通过气流吸出机外。

其内排渣装置的工作原理如图 1-2 所示。那些比被粉碎物料硬度大且相对密度也大的杂质，由于旋转时受到分级叶轮离心力的作用而被甩向衬套内壁上，最后降到粉碎室底部排渣孔，并由排渣装置的螺旋排料器不断地排出机外。当粉碎物料不含有杂质时该装置可将粗颗粒排出机外，这样不但保证成品粒度的大小均匀，而且可防止粉碎机因粗颗粒的积累以及新物料的不断加入而超载。

叶轮式气流粉碎机的特点为：①功率消耗降低；②设有内分级叶轮和排渣机构，极大地提高了粉碎成品的纯度；③整个系统可在负压下操作，减少了粉尘对环境的污染；④调节与操作简单方便。

但是，若要粉碎两种以上组分的混合物料时，如果相对密度相差较大，则不宜采用内排渣机构来排除杂质。

叶轮式气流粉碎机可获得比环形喷射式气流粉碎机更细的粉末。

提高粉碎机的效率

从理论上分析粉碎机粉碎能力与功率的关系为

即

(1)

式中 η ——粉碎能力， kg/s ；

P ——粉碎功率消耗， kW ；

σ ——粉碎功率指数；

K ——实验测得的系数。

可以通过一组数据来了解几种粉碎机的粉碎效率。

锤式粉碎机的粉碎功率指数为 0.5~0.6，气流粉碎机功率指数为 0.8~0.9。由此可见气流粉碎机的能量消耗大，提高粉碎效率十分重要。

要提高气流粉碎机的效率必须增加颗粒间的碰撞概率和颗粒的破碎率。此外还必须考虑被粉碎物料的物理化学性质和力学性质（受力时的塑性变形、高真空时产生的龟裂以及颗粒粒度等因素）。

通过增大给料量可提高气流粉碎机内的颗粒密度，增加颗粒的冲击与碰撞概率。但是机内颗粒密度如果太高，颗粒间的互相干扰也会增强，结果粉碎效率反而降低。要提高粒子的破碎率 σ 。一般可增加冲击速度，对于不同性质的物料、不同直径的颗粒应选择与之相应的最佳冲击速度。

在粉碎过程中，如果给料速度低则停留时间长，给料速度低，在单位容积内的颗粒个数就会减少，粒子间碰撞概率就会减低，粉碎粒度也降低。如果循环次数增加则粉碎粒度高。若给料速度过高，则停留时间太短对粉碎不利。如果粉碎压力增加，则增大冲击速度，这样粉碎的粒子破碎率亦增大，对粉碎过程有利。

根据上述关系，在粉碎时必须选用合理的粉碎压力和最佳气固比，以提高粉碎效率。粉碎效率 η 的计算方法为

$$\eta = \frac{W}{W_0} \quad (1)$$

(1)

式中 W ——粉碎每单位成品所需的理想能量；

W_0 ——粉碎每单位成品所需的实际能量；

w ——单位成品粒子的比表面能量。

四、振动粉碎技术与设备

振动粉碎是靠磨机系统的振动，使研磨体得到加速度运动而冲击和研磨物料的一种超细磨设备。其主要优点为：①破碎比高，粉碎时间很短；②在影响粉碎的主要因素中，如排出口径、排出面积、振动幅度、介质等均可任意地改变，因而不需分级器也可获得期望的粒度；③适应性强，可用于任何物料的超细磨，可以用于干磨或湿磨。其缺点是进料粒度不能过大。

1. 振动磨

振动磨按振动特点分为不平衡重的惯性振动磨和偏心振动的偏旋振动磨。下面对使用普遍的惯性振动磨作一介绍。惯性振动磨的结构如图 1-10 所示，其主要

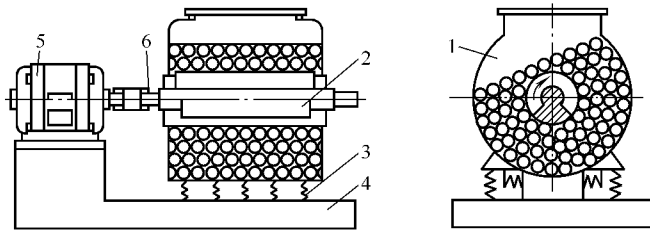


图 1-10 惯性振动磨示意图

员—筒体；圆—振动器；猿—弹簧；源—支承架；缘—电动机；远—弹性联轴器

要组成：研磨体（球或短柱体）筒体、振动器、弹簧及支承架、电动机及弹性联轴器等。

电动机通过联轴器带动振动器的轴旋转，振动器在不平衡旋转体的惯性力作用下振动。由于振动，引起了装有一定量研磨体和物料的筒体摇动运动。而筒体和振动器的这种摇动给研磨体以快速脉冲，使研磨体沿筒体壁滑动上抛，分布在研磨体孔隙间的物料受研磨体的打击和研磨作用而被粉碎。振动器由圆个彼此压紧并安装在不平衡轴承上的管子组成。在两管之间的空腔中通水，使与研磨体接触的振动器的轴承和外管得到冷却。支承装置可以装设弹簧或以橡胶垫的弹性支座代替。

2. 研磨体的运动

振动磨振动时，筒体内的研磨体不仅不断地沿与主轴转向相反的方向循环运动而且还有自转运动。在筒体径向或轴向截面上，研磨体的排列都很整齐。在振动频率低的情况下，球与球之间紧密接触，一层层地共同按一个方向运动各个研磨体仅在其中心位置附近作有限移动。随着频率的增加，达到临界范围时，研磨体运动剧烈，各层间隙扩大，研磨体几乎呈悬浮状态。靠近筒体壁的研磨体受到剧烈碰击和较强的研磨作用。

3. 振动参数的确定

(员) 研磨体的选择摇研磨体的选择主要考虑的是其材料、形状、大小等几个方面。

研磨体材料选择应满足：有大的相对密度，以实现有高的冲击力；应耐腐蚀和与物料起化学反应且表面不易剥落。

研磨体形状应以重心集中为好，一般是球状或长径比为 1.5~2 的短圆柱体。

研磨体大小应从装球数量和单个球的冲击力两方面综合考虑。装球量少，球的直径大，质量大冲击力度大。但球与球之间的空隙多，影响粉碎粒度。装球量多、球径小、质量小，冲击力就小。一般使用的球径为 15~25mm，球径与被磨物料的尺寸之比应不小于 1/3。

(圆) 研磨体的装载量摇振动磨的工作效率以筒体全部容积都处在研磨体作用范围之内为最大。被填入的研磨体和被磨物料的充填率，若以装填系数表示，有多种计算方法，如下

$$\psi = \frac{\text{填入研磨体的质量}}{\text{筒体填满研磨体的总质量}} = \frac{G}{\pi \cdot D^2 \cdot L \cdot \rho} \quad (1)$$

或

$$\psi = \frac{\text{筒体静止时研磨体的充填截面积}}{\text{筒体的有效截面积}} = \frac{A}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}} \quad (2)$$

或

$$\psi = \frac{\text{填入的研磨体的体积}}{\text{筒体的有效体积}} = \frac{V}{\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L} \quad (3)$$

球磨机装填系数的参考值：干式球磨机 $\psi = 0.25 \sim 0.35$ ；湿式球磨机 $\psi = 0.25 \sim 0.35$ 。而被加工物料与研磨体的装载量之比为 1:1~1:2。研磨体量和物料量在振动磨内的充填率为 40%~50%。

(猿) 振幅的改变摇当频率一定时，改变动力矩的大小就可以直接改变振动磨的振幅、调整振动磨的操作。

当振动器不平衡而动力矩一定时，若空车运转，振动部分质量减少，则振幅较大，可能导致弹簧的破坏，故应避免。

(源) 功率摇对于振动磨而言，其功率的计算如下

$$P = \frac{G \cdot \psi \cdot D}{1000} \quad (4)$$

式中 P ——振动磨功率，kW；

G ——筒内装载总质量，kg；

D ——振动磨筒体直径，m；

ψ ——功率计算系数，见表 1-1。

表 1-1 摇功率计算系数 C

球填入系数	圆圆	圆圆	圆圆	圆圆	圆圆
功率计算系数	圆圆	圆圆	圆圆	圆圆	圆圆

第三节摇湿法粉碎技术与设备

湿法粉碎亦是食品加工中重要粉碎手段，它不仅能将固体颗粒的尺寸减小，而且能使液体的液滴减少。在食品加工，常常遇到的是固液混合体系，如将其干燥后粉碎，一则增加了加工的能量消耗，另许多物料在液体体系中处于溶胀状态，质地很软，易于加工。因此湿法粉碎对食品加工意义重大。

湿法粉碎主要高压均质机、磨浆机（胶体磨胶磨和自分离磨浆）和破碎机（搅拌磨和超声均质机）。

高压均质主要应用多组分的液体体系，胶体磨胶磨适用于含一定量质地较软的固体体系，自分离磨浆适用于要求固液分离的加工，而搅拌磨和超声均质机主要是用于湿法超微粉碎加工。

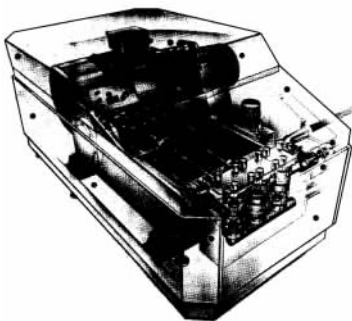


图 1-1 摇高压均质机结构图

一、高压均质技术与设备

高压均质是利用高压使得液料高速流过狭窄的缝隙而受到强大的剪切力、对金属部件高速冲击而产生强的撞击力以及因静压力突降与突升而产生的空穴爆炸力等综合力的作用，把原先颗粒比较粗大的乳浊液或悬浮液加工成颗粒非常细微的稳定的乳浊液或悬浮液的过程。通过高压均质可以将食品原料的浆、汁、液进行细化和混合，从而可以大大提高食品的匀细度，防止或减少液状食物物料的分层，改善外观、色泽及香度，提高食品质量，增加经济效益。高压均质机在乳品、果汁、豆浆等食品加工中有广泛应用。

图 1-1 所示为利乐公司生产的 摇高压均质机的结构图，其主要由 圆个部件构成。

摇高压均质机把电动机、曲轴和泵排成一行，降低了整台机器的重心，同时降低了高压均质机和其他相连设备的振动，减少了磨损。泵体结构具有新特点：泵体为实心不锈钢，坚固耐用；活塞筒用标准螺丝固定到泵体的后面，使活塞筒与活塞作为一个部件拆卸；菌形阀是对黏度不敏感的结构，改换产品时不必更换阀门。泵体均质头和液压系统都安装在不锈钢机身内。该设备把停机的次数和时间减少到绝对小的限度。摇高压均质机应用范围广，可以处理流动的产

品，并且在高黏度和低黏度产品之间转换时，无需更换工作部件，用于奶、稀奶油、酸奶冰淇淋及其他乳制品以及果汁、番茄制品、调味品、布丁等。

（一）高压均质过程和原料

液态食品长时间放置后就要产生互不相溶的组分，发生分层的现象。例如新鲜牛奶是一种均匀的乳油液，但在显微镜下可观察到牛奶中的脂肪球大小是不等的。当静置一段时间后，由于油脂与水的密度差，油脂会上浮，在牛奶的表面形成一层稀奶油层。

根据斯托克斯公式，液体中球形颗粒上浮或下沉的速度与液滴尺寸和两相密度差及液体黏度有关。

$$v = \frac{2}{9} \frac{r^2 (\rho_p - \rho_f) g}{\eta} \quad (1-1)$$

式中 v ——颗粒的沉降速度， m/s ；

r ——颗粒的直径， m ；

ρ_p ——颗粒的密度， kg/m^3 ；

ρ_f ——液体的密度， kg/m^3 ；

η ——液体的〔动力〕黏度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

g ——重力加速度， m/s^2 。

式（1-1）表明，在体系一定的情况下，两相密度和液体黏度就一定，要减小沉降速度，只能是减小颗粒的直径。

要注意的是当颗粒的直径小到接近于液体介质的分子时，斯托克斯公式就不适用了，因为此时在分子和微小颗粒之间形成了耦合力，使得分离很难发生。

高压均质正是通过剪切作用，通过把原先相对较大的颗粒粉碎成无数接近于液体分子大小的微粒，使微粒稳定、均匀地分散在液体介质中而不发生分离。

均质头的作用就是把高压静压能转变成液体的高流速动能从而完成均质。在高压泵的作用下，液体被强制通过阀座与阀杆间大小可以调节的缝隙（约为 $0.025 \sim 0.05 \text{ mm}$ ）时，其流动速度在瞬间被加速到 $100 \sim 200 \text{ m/s}$ ，在缝隙中产生巨大的压降，当压力降低到工作温度下液体的饱和蒸气压时，液体就开始“沸腾”迅速气化，内部产生大量微气泡。含有大量微气泡的液体从缝隙出口流出，流速逐渐降低，压力又随之提高，压力增加至一定值时，液体中的微气泡突然破灭而重新凝结，微气泡在瞬时大量生成和破灭就形成了“空穴”现象。空穴现象似无数的微型炸弹爆炸，能量强烈释放产生强烈的高频振动，同时伴随着强烈的湍流产生强烈的剪切力，液体中的软性颗粒和半软性颗粒就在空穴、湍流和

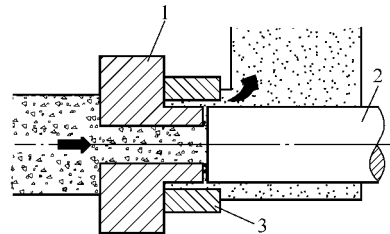


图 1-1 高压均质阀基本结构和均质过程示意图

1—阀座；2—阀杆；3—冲击环

剪切力的共同作用下被粉碎成微粒，其中空穴起了主要的作用。被粉碎了的微粒接着又强烈地冲击到冲击环上，被进一步分散和粉碎，最后以一定的压力流出，完成均质过程。均质在本质上类似于“汽蚀”现象，均质正是利用了这一原先有害的现象并有目的地加以控制，使之发生在特定的区域，而且更为强烈以至能产生强大的粉碎作用。均质过程如图 1-1-4 所示。

(二) 压力与温度变化对均质效果的影响

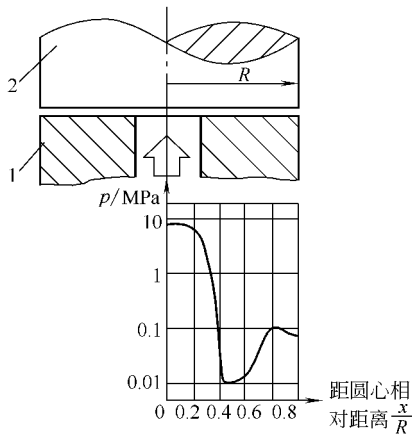
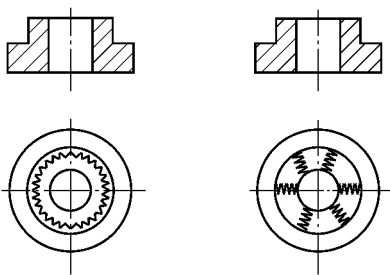


图 1-1-4 平面型均质阀内压力变化曲线
1—阀座；2—阀杆

压力与温度是影响均质效果的重要操作条件。

图 1-1-5 所示为平面型均质阀内的压力变化情况，图中横坐标以阀座半径（外径）为一个长度单位，纵坐标为液体的压力。当压力约为 10^5 Pa 的液体进入均质缝隙时，在极短的距离内压力就跌落至 10^3 Pa，此时液体内部气化而生成无数气泡，压力随后逐渐回升，当压力达到一定值时，从曲线看，压力又发生少许下降，这是由于液体中的气泡被压裂而形成了空穴。随着缝隙流通面积半径的增大空穴而逐渐增大，液体流速降低，压力再次回升，最后以一定的压力从缝隙中流出。空穴发生的区域取决于压力的大小



(a) 空穴的形成受控时 (b) 空穴的形成失控时

图 1-1-5 均质阀工作面的粗糙情况

（如图 1-1-6 所示，背压为 10^5 Pa~ 10^6 Pa）、阀的结构及液体介质黏度的大小。背压减小，空穴发生区域会移向缝隙出口处，并可能形成空穴失控；背压增大，空穴发生区会移向缝隙进口处；背压过高，还会引起空穴减少。在空穴发生的时候，由于会产生局部的高温和高压，可能引起金属空穴腐蚀，所以观察均质阀阀座、阀杆的工作端面的粗糙情况，就可以知道空穴的形成是受控的还是失控的。工作情况良好的均质阀，其空穴的形成应该是受控的，因受侵蚀而变得局部粗糙的端面上会出现一个封闭圆环如图 1-1-7 所示。如果所观察到工作上的局部粗糙情况呈放射线状，这意味着空穴的形成是失控的，此时的能量不可能被充分利用，如图 1-1-8 所示。

为了控制背压的大小，可以在均质阀后再串联一只均质阀，改变后一只均质

阀的缝隙大小就可以改变前一只均质阀的背压大小,同时也有利于减少已分散了的颗粒重新聚结的程度。最佳背压可以通过试验得到,例如牛奶均质时最佳背压约为均质压力的 $\frac{1}{10}$ 。如图 1-10 所示,图 1-10(a) 的背压是相当低的,而均质阀后的管路设备已形成相当大的背压,这样,就无法获得所需的较低的背压,甚至无法调低背压。许多均质机只采用一级均质阀,正是利用受控管路的水力特性形成一定的背压进行均质的。

均质温度对均质效果的影响是很大的,因为温度高,饱和蒸汽压也高,均质时空穴也容易形成,所以,为了提高均质效果,在保证液体物料不变性的前提下,均质温度高一些是可取的。牛奶的均质温度一般为 $50 \sim 60^\circ\text{C}$, 50°C 为牛奶有效均质的最低温度,超过 60°C 则会在设备中产生气窝。虽然均质温度高些可以促使脂肪球粉碎和进一步分散,但热稳定性会受到不利的影响,这是在确定均质温度时必须注意的。

(三) 均质阀结构设计

作为均质头心脏部件的均质阀主要是由阀座、阀杆和冲击环组成。在均质时,均质阀缝隙内液体的流速可以高达 $10 \sim 15 \text{ m/s}$,在形成空穴时,局部会产生高温、高压并有液压冲击和振动,液体物料中往往又含有圆形颗粒,所以在阀座、阀杆的工作端面极易因磨蚀而变得粗糙,严重时会影响均质进行。均质阀所选的材料必须十分坚硬,具有极强的耐磨蚀性,而且须有良好的抗锈蚀性。常用硬质合金来制造均质阀。制造均质阀的材料比较特殊,国外一般使用钨钴铬合金,用于牛奶均质时可保持良好的性能无须更换和修复,对于磨蚀性强的液体物料则使用硬质合金来制造。国内制造均质阀的材料一般为 Cr_2O_3 ,但其抗磨蚀性能和抗锈蚀性能都不太理想,所以使用周期和寿命都受到限制,目前已开始采用新材料、新工艺制造均质阀,均质阀的性能和寿命都有了较大的提高。均质阀的加工制造比较困难,成本较高。因此均质阀座、均质阀杆等零件的形状力求简单,以利加工,尤其要方便用户对其加以修正、修复,以便多次使用,均质阀的安装拆卸也应方便易行。

根据均质阀座、阀杆工作端面的形状特点,均质阀可分为平面型和非平面型两大类。平面型均质阀的阀座、阀杆工作端面均为平面,形状简单,加工、修复方便,均质效率高,使用最为普遍。几种常用的平面型均质阀如图 1-11 所示。图 1-11(a) 所示的均质阀最简单,常作为第一级均质阀用于中小流量的情况。图 1-11(b) 所示的与前一种基本相同但阀杆分为两部分制成,其工作端面部分采用碳化钨硬质合金制造,两部分采用锥面配合而形成一个整体,特别适用于具有强磨蚀性液体的均质。当阀杆磨蚀后,只需要更换被磨损的部分即可。图 1-11(c) 所示的均质阀常作为第一级均质阀用于流量较大的场合,或作为第二级均质阀使用。图 1-11(d) 所示的均质阀是在平面型均质阀座、阀杆端面各加上一

个多孔（图 1-1-10 孔均布）金属罩（由特殊材料的金属薄板冲压而制成）的均质阀，通过增加液体的湍流和冲击来加强均质效果，并且其阀座、阀杆可以翻转 180°，两面使用。由于这种金属罩（又称均质罩）选材和制造不方便，使用不太普遍。

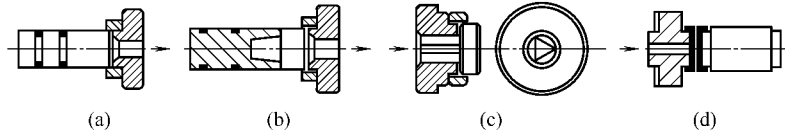


图 1-1-11 常用平面型均质阀

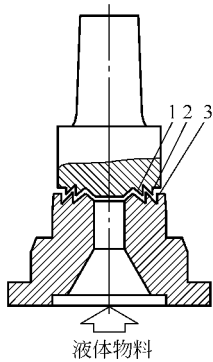


图 1-1-12 非平面型均质阀

非平面型均质阀，主要有 3 种均质阀，它是旋液均质阀的简称，如图 1-1-12 所示。其特点是阀座、阀杆工作端面开有两道同心环状齿形沟槽，且互相镶嵌，轴向截面呈锯齿形均质缝隙。3 种均质阀可以看作是一个串联的平面均质阀，如图 1-1-12 的 1、2、3 三个区域。液流在通过区域 1 的狭缝隙时流速最大，有利于液体空穴的形成；区域 2 由于直径增大，流道加大，流速稍有下降；区域 3 的直径更大，流道也更大，液体流速进一步降低。区域 1 内的均质压力取决于区域 2 均质缝隙的大小，而区域 2 内的均质压力也就形成区域 1 的均质背压。3 种均质阀以其独特的结构，使它相当于一个具有最佳背压的平面型均质阀。

3 种均质阀的均质效率比平面型均质阀高，可以在较低的均质压力下取得与平面型均质阀相同时的均质效果，能量消耗较低，但是流道曲折，工作上的锐棱极易磨损，不宜用于强腐蚀性液体物料的均质。由于结构复杂，阀座、阀杆相互镶嵌，配合精度要求高，加工、修整困难较大，一旦磨损，只能由专门厂进行维修。非平面型均质阀除 3 种均质阀外，还有锥面型均质阀，其阀座、阀杆端面呈圆锥面形，加工不太方便，工作原理与平面型相同，使用不普遍。

（四）均质压力调节装置

均质压力调节装置就是改变均质阀座、阀杆间缝隙大小来实现调节均质压力的。均质压力调节装置有液压和手动两种调节方法，如图 1-1-13 所示。液压控制必须配备液压系统，密封要求高，结构比较复杂，成本也较高，目前使用不普遍。手动控制结构，工作可靠，不会发生泄漏污染，工作时也无需反复调整，操作较方便，所以目前使用较普遍。手控压力调节装置一般由手柄、弹簧（圆柱螺旋弹簧或碟形弹簧）、调节杆、锁紧螺母等零件组成，转动手柄就可调节均质压力。当泵缸内液体压力过高时，通过弹簧的变形或液压系统活塞的位移，可使均质阀内缝隙增大卸压而起到安全保护作用。

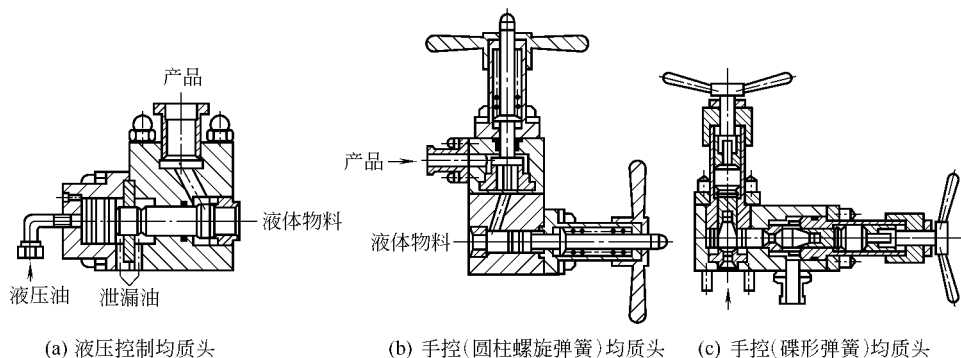


图 1-10 均质压力调节装置

(五) 均质泵流量与功率计算

1. 流量计算

在一般情况下，均质泵的工作是柱塞的往复运动，柱塞往复运动通过曲柄连杆机构实现，因此，柱塞的运动速度是不均匀的，均质泵的流量在整个行程中不断变化。曲柄连杆机构的运动规律如图 1-11 所示， r 为曲柄半径， L 为连杆长度， s 为曲柄转过 θ 角时的柱塞行程， ω 是曲柄旋转角速度。假设连杆为无限长，而 β 角为无限小，则连杆的斜度影响可以忽略不计，这在计算时误差

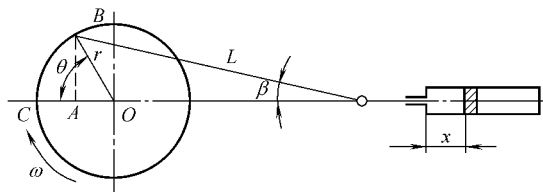


图 1-11 曲柄连杆示意图

不大，这时将 s 距离看作等于 $r \sin \theta$ ，即

$$s = r \sin \theta \quad (1-1)$$

柱塞运动速度为

$$v = \frac{ds}{dt} = r \omega \cos \theta \quad (1-2)$$

因为 ω 为常数，所以

$$v = r \omega \cos \theta \quad (1-3)$$

泵的瞬时流量为

$$Q = v \cdot A \quad (1-4)$$



柱塞泵的效率 η 用计算方法很难确定，只能用试验方法确定。在进行柱塞泵设计时，通常要根据柱塞泵的结构形式和参数以及加工质量等预先选取，一般 η 越 ~~大越好~~ ~~越好~~ 当流量较大、压力较低、制造质量高、介质含气量较少时，可选较大值，反之则取较小值。

(六) 柱塞泵泵阀结构

泵阀是指柱塞泵液力端上的吸入阀和排出阀，泵阀的作用是随着柱塞往复运动而周期的开启和关闭，完成吸入和排出过程，实现对物料的输送。泵阀的工作性能，如泵阀对流体的阻力及泵阀的使用寿命等直接影响柱塞泵的整体性能。

泵阀应具备以下一些基本要求：

- ① 工作平稳，开启及时，关闭速度和关阀滞后角均不应大于允许值，以减小关闭冲击和回流损失；
- ② 密封可靠，以避免或尽可能减少泄漏损失；
- ③ 水力损失小，否则会影响加工效率和其他水力特性；
- ④ 具有足够的强度、刚度，以确保在一定的工作压力下可靠工作，具有较长的使用寿命；
- ⑤ 结构简单，装拆、维修方便，互换性好。

泵阀通常是由阀座 ~~员~~ 阀板 ~~圆~~ 导向柱 ~~猿~~ 弹簧 ~~源~~ 和升程限制器 ~~缘~~ 等组成。泵阀结构，如图 ~~员~~ ~~猿~~ 所示。

根据泵阀的开闭方式，可以分为自动阀和强制阀 ~~圆~~ 类。柱塞泵的泵阀大多为自动开启及自动关闭，同时利用重力或弹簧力来加速关闭动作的完成，确保泵阀及时关闭。利用重力的自动阀又称为重量阀，利用弹簧力的自动阀又称为弹簧阀，如图 ~~员~~ ~~猿~~ 所示。过去重量阀应用较多，由于弹簧阀是利用弹力

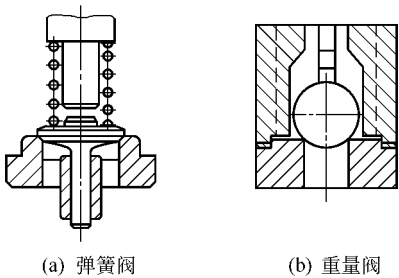


图 ~~员~~ ~~猿~~ 摇自动阀

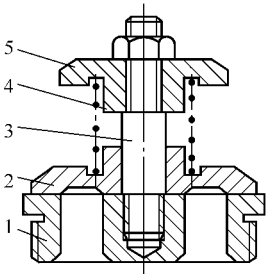


图 ~~员~~ ~~猿~~ 摇泵阀结构图

员—阀座；圆—阀板；猿—导向柱；
源—弹簧；缘—升程限制器

来代替重力 ~~圆~~ 板，使其质量减小，阀板运动时惯性力的影响减少，从而动作灵敏，即使在高速下工作也能保证及时的开启和关闭，而不至于引起大的冲击，所以弹簧阀现已得到广泛的应用。强制阀是一种采用机械控制启闭的泵阀，吸入阀、排出阀的开闭依靠机械控制并与柱塞的前、后死点位置相协调，结构复杂，只有当输送的介质黏度甚高时，自动阀不适用，才采用强制阀。

根据阀板的形状特点，泵阀又可分为盘形阀、球阀和环形阀等。

1.1.1 盘形阀

阀板形如盘状，靠阀板与阀座间金属与金属或金属与非金属的环形接触面实现密封，阀座在关阀时有一定的吸振缓冲作用。根据阀板与阀座密封接触面的特点，盘形阀又可分成平板阀和锥形阀。

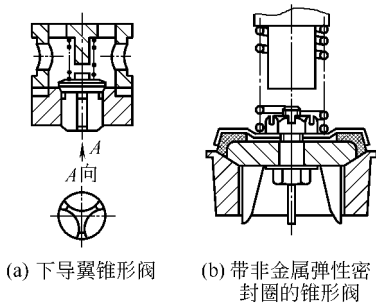


图 1-1-1 盘形阀

(1) 平板阀 平板阀的密封接触面为平面，广泛用于清水、低黏度油及类似介质的输送。其结构简单，制造方便，但密封性能不如锥形阀，多用于排压较低的泵。上部导向的平板阀的阀板运动较平稳，落座时偏斜较小，但若无导向，阀板落座时就易产生偏斜或密封不均匀而影响密封效果。

(2) 锥形阀 锥形阀的密封挡触面为锥面，

流道比平板阀平滑，水的阻力较小，流量系数大，过流能力强，密封性能好，适用于黏度较高的液体介质的输送。由于阀板刚度较大，锥形阀常为高压泵和超高压泵所采用。图 1-1-2 所示为一种下部翼形导向的锥形阀，导翼断面的半月形凸槽为液流通道，这种阀板的刚性好，但质量较大，多用于往复次数不高的高压均质机上。

在阀板上装有带非金属弹性密封圈的锥形阀如图 1-1-3 所示，常用于含有固体颗粒液体介质的输送，这时非金属密封圈通常比金属锥形面高出 0.5~1mm，当阀板落座时既可减缓冲击又可依靠橡胶等非金属材料变形来增加接触面积改善密封性能。

1.1.2 球阀

球阀的阀板为球形，不用弹簧，属于重量阀。由于阀板的惯性较大，所以只适用于往复次数较少（通常 20~50 次/min，大多数 20~30 次/min）且流量不大的柱塞泵。

球阀的阀隙流道平直，水力损失小，可以输送高黏度液体介质。由于球阀在运动时伴有旋转运动，故磨损均匀且易于清除球阀及密封接触表面黏附的杂质（即自洁作用）。流道上不存在死水区，悬浮液不易沉淀，适合于输送悬浮液。球阀的密封接触面较小，密封性能好，容积效率也较高，所以在柱塞式计量泵中也多采用球阀。

1.1.3 环形阀

环形阀的阀板形状为环形板，开启后，液流从环形框内、外两环面同时流出，故比相同平板阀的阀隙面积大 1 倍（单环阀）或 2 倍（多环阀），因此适用于大流量均质泵，但因阀板直径较大而刚性稍差，在高压下很少采用。环形阀一般为单环（图 1-1-4）或双环（图 1-1-5），也可制成三环，但较少使用。环形阀的



密封接触面主要是平面接触。

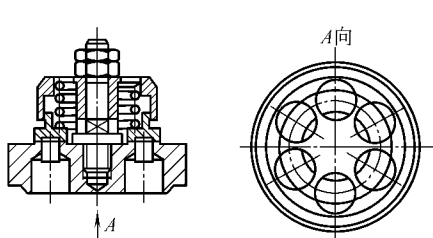


图 5-1-10 单环阀

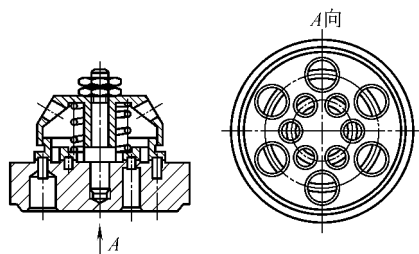


图 5-1-11 双环阀

(七) 柱塞泵液力端结构

液力端按照其吸入阀、排出阀的布置形式和液流通道特性，可分为直通式、直角式和阶梯式等不同形式，如图 5-1-12 所示。

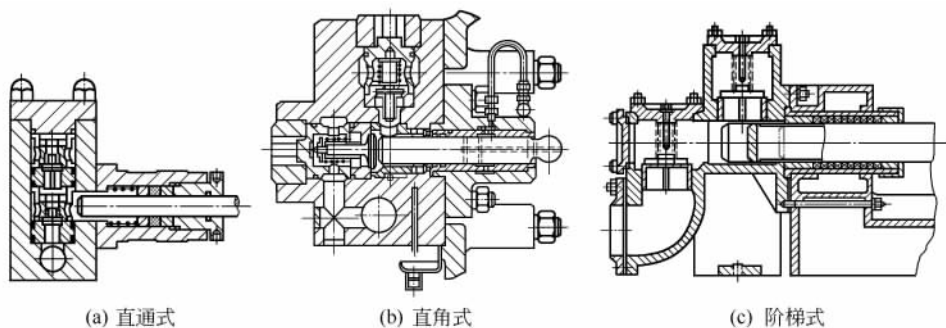


图 5-1-12 液力端的结构图

直通式液力端的每个缸体的吸入阀、排出阀中心轴线均为同一轴线；直角式液力端的吸入阀、排出阀中心轴线互相垂直；阶梯式液力端的吸入阀、排出阀中心轴线互相平行但不是同一轴线。直通式的过流性能好，余隙容积较小，结构紧凑，尺寸小，但通常吸入阀拆装不便。直通式又可分为四通体和三通体两种。四通体的柱塞可以从泵体前盖处装拆，比较方便，但内部为十字交孔，两垂直孔相交处应力集中大，可能导致泵体疲劳开裂；三通体内为 T 形交孔，应力集中情况有所改善且柱塞可不深入到吸入阀、排出阀之间，泵体高度尺寸和余隙容积能够得以减小，但柱塞不能从泵体前端拆装、更换，检修不太方便，如图 5-1-13 (a) 所示。

直角式液力端的吸入阀、排出阀可以分别装拆和更换，使用维修方便，阀的余隙容积小，结构紧凑。柱塞可以从吸入阀处装拆。但由于吸入阀呈水平布置，因此对阀板的导向要求较高，否则会引起阀的关闭不良，如图 5-1-13 (b) 所示。

阶梯式液力端吸入阀、排出阀可单独装拆和更换，因此常用于需经常更换泵

阀的场合。由于其余隙容积较大，当排出压力较高或输送含气量较高的介质时，泵的容积效率较低，如图 1-1-10 所示。

二、胶体磨及其磨浆设备

（一）胶体磨

胶体磨又称分散磨，工作构件由一个固定的磨体（定子）和一个高速旋转的磨体（转子）所组成，两磨体之间有一个可以调节的微小间隙。当物料通过这个间隙时，由于转子的高速旋转，使附着于转子面上的物料速度最大，而附着于定子面上的物料速度为零。这样产生了急剧的速度梯度，从而使物料受到强烈的剪切、摩擦和湍动，而产生了粉碎作用。

胶体磨的特点是：

- ① 可在极短时间内实现对悬浮液中的固体物进行超微粉碎作用，即微粒化，同时兼有混合、搅拌，分散和乳化的作用，成品粒径可达 $1\mu\text{m}$ ；
- ② 效率和产量高，大约是球磨机和辊磨机的效率的 10 倍以上；
- ③ 可通过调节两磨体间隙（最小可达到 $1\mu\text{m}$ 以下），达到控制成品粒径的目的；
- ④ 结构简单，操作方便，占地面积小；
- ⑤ 由于定子和转子间隙极微小，因此加工精度较高。

胶体磨的普通形式为卧式，外形如图 1-1-11 所示，其转子随水平轴旋转，定子与转子间的间隙通常为 $0.05\sim 0.1\text{mm}$ ，依靠转动件的水平位移来调节。物料在旋转中心处进入，通过间隙后从四周卸出。转子的转速范围为 $1000\sim 1500\text{r/min}$ 。这种胶体磨适用于黏性相对较低的物料，其结构如图 1-1-12 所示。对于黏度相对较高的物料，可采用立式胶体磨，外形如图 1-1-13 所示，转子的转速为 $1000\sim 1500\text{r/min}$ ，这种胶体磨卸料和清洗都很方便。其结构如图 1-1-14 所示。

常用的胶体磨主要有以下几部分：进料斗、外壳、定盘（定齿）、动盘（转齿）、电动机、调节装置和底座等。

1. 定盘与动盘

这是一对运动部件，工作时物料通过定盘与动盘之间的圆环间隙，在动盘的高速转动下物料受到剪切力、摩擦力、撞击力和高频振动等复合力的作用而被粉碎、分散、研磨、细化和均质。定盘与动盘均为不锈钢件，热处理后的硬度要求达到 $50\sim 60\text{HRC}$ 。动盘的外形和定盘的內腔均为截锥体，锥度为 1° 左右。定盘与动盘工作表面有齿，齿纹按物料流动方向由粗到密排列，并有一定的倾角。物料的细化程度取决于齿纹的倾角、齿宽、齿间间隙以及物料在空隙中的停留时间等因素。

2. 间隙调节装置

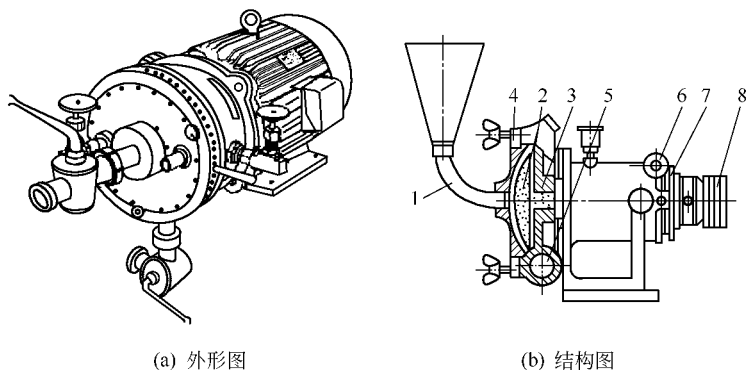


图 10-10 卧式胶体磨示意图

员—进料口；圆—转动件；猿—固定件；源—工作面；缘—卸料口；
远—锁紧装置；苑—调整环；愿—带轮

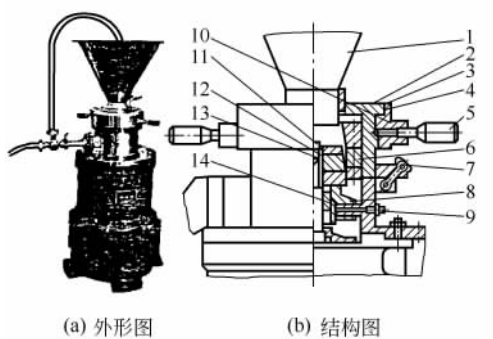


图 10-11 立式胶体磨示意图

员—进料斗；圆—刻度环；猿—固定环；源—紧定螺钉；缘—调
节手柄；远—定盘；苑—压紧螺帽；愿—离心盘；怨—溢
水嘴；员园—调节环；员员—中心螺钉；员圆—对称键；
员猿—动盘；员源—机械密封

胶体磨可根据物料的性质、需要细化的程度和出料等因素进行调节。调节时转动调节手柄，由调节环带动定盘作轴向位移而使空隙改变。若需要大的粒度时，可调节定盘往下移；定盘向上移则使成品粒度减小。一般调节范围在 0.1~0.5mm 之间。在调节环下方设有限位螺钉，当调节环顶到限位螺钉时便不能再进行调节，避免无限度调节而引起定盘与动盘相碰。

由于胶体磨转速很高，为达到理想的均质效果，物料一般要

磨几次，这就需要回流装置。胶体磨的回流装置将进料管改成出料管，在管上安装一碟阀，在碟阀的稍前一段管上另接一条管通向入料口。当需要多次循环研磨时，关闭碟阀，物料则会反复回流。当达到要求时，打开碟阀则可进行排料。对于热敏性材料或黏稠物料的均质、研磨，往往需要把研磨中产生的热量及时排走，以控制其温度升高，可在定盘外围开设的冷却液孔中通水冷却。

在食品工业中用胶体磨加工的品种有：红果酱、胡萝卜酱、橘皮酱、果汁、食用油、花生蛋白、巧克力、牛奶、豆奶、山楂糕、调味酱料、乳白鱼肝油等。

(二) 自分离式磨浆机

自分离式磨浆机是近年发展起来的，它是在立式磨浆机的基础上连接一台浆渣分离机或在立式磨浆机的动砂轮片组上装设离心筛而形成。自分离式磨浆机的结构如图 1-15 所示，它是由进料斗、外壳、定砂轮片（定片）、动砂轮片（动片）、调节砂轮间隙装置和电动机等组成。

1. 磨浆机的工作原理

物料进入两个相对高速转动的磨盘之间，便在磨盘的机械力的作用下，部分受到磨纹的辗磨，大部分由于物料本身的相互挤压、摩擦而破碎。浆料最后经精磨区流出，由于精磨区的间隙较小而使物料进一步被细化（磨碎）。

根据上述原理，良好的磨浆机在具体结构设计方面必须满足以下几点。

① 物料必须连续而均匀地供入磨浆机，一般可采用在高位供料或用强制的办法送进。

② 物料在磨碎过程中必须布满盘面空间，并连续运动。因此，要有良好的磨盘结构（磨纹形式）来实现这种运动。

③ 磨盘必须耐磨，以延长使用周期，一般定片使用砂轮片，动片采用 150 号粒度碳化硅或氧化镁金刚研砂轮。

④ 磨盘上的气孔座尽量少，最好无气孔，以方便清洗和防止细菌污染。

⑤ 磨浆机工作时，必须使磨盘面间的磨料压力相对稳定并保证磨盘面间有一个恒定均匀的间隙。

⑥ 在机械性能上，要求主轴和间磨室壳体有足够的刚度，磨盘要有足够的动平衡，机座要紧固，在运转中能把磨盘产生的振动通过机座被基本吸收。

⑦ 由于在磨浆中会产生大量的热，所以必须要有冷却措施并注意热胀冷缩对材料的影响。

2. 磨浆机的磨盘

磨盘是磨浆机的关键部件。过去大豆制品粉碎是用石磨或钢磨，20 世纪 80 年代国际上出现了砂轮磨浆机，其尤其在日本最普遍。砂轮磨比石磨和钢磨有明显的优越性。砂轮磨的出料粒度比石磨和钢磨的细，出品率比石磨磨两遍还要高，比钢磨高 15%~20%，且电能消耗低。

(1) 磨盘形式 为了磨出良好的浆料，磨盘应具有破碎区、中间区（磨浆区）和精磨区，这 3 个区的工作要求，一般以设计不同形式的磨纹来实现。

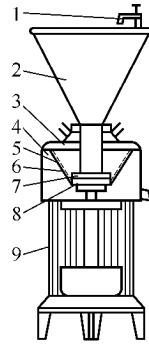


图 1-15 自分离式磨浆机
1—水龙头；2—进料斗；3—筒盖；4—磨盘；5—调节装置；6—筛网；7—筛网；8—上磨片；9—下磨片；10—防水罩

破碎区，将齿设计成较大的齿和放射状的形式，齿面较宽，长度不等，宽度由内向外逐渐缩小，使物料在此区受到挤压、摩擦而破碎。

磨浆区，将齿设计得比破碎区细，平行状，使物料在此区受剪切力而进一步破碎。

精磨区，将齿设计得更细且相互平行，使物料在此区磨细。

目前我国使用的砂轮磨是将齿设计成砂轮形状来实现破碎、粗磨和细磨的目的，例如把砂轮设计成上砂轮为碟形，下砂轮为圆台形，使上下砂轮片之间形成两个区域，中间为粗磨区，四周为精磨区；在定片上装有螺旋调节装置以控制两片砂轮的间隙，可以磨出较好的浆。

(圆) 磨盘的材料我国磨浆机的磨盘材料一般是使用 100 号粒度碳化硅，经过配料→压制→烧结→机械加工而成的。其优点是来源广泛，缺点是普通的砂轮以金属加工为对象，故约有 10% 的气孔率，一浇上水即瞬时渗入磨盘。因此，食品尤其是肉汁等蛋白质进入磨盘气孔内部时，就会成为数千亿巨量细菌的贮藏库，从而使食品遭受污染。

因此，开发新型的磨盘材料是磨浆机的重要课题。目前国外已研究出一种具有无气孔、无渗透的新型陶瓷磨具，这种磨具的粒度有在 100 号 ~ 150 号之间的一个类型，根据原料加以选择，以磨盘的形状和磨纹来实现上述三个区的作用。这种磨盘只要清洗表面就能洗净可以防止细菌污染。

豆奶磨浆机简介

下面介绍一种小型的自动豆奶磨浆机，其结构如图 1-10 所示。磨浆机的机体利用底板安装在机器上电动机，利用连接板及螺栓。螺钉安装在底板上，机体中部利用推力轴承及定位环、挡环、轴瓦安装在转轴上，带轮利用键、螺钉安装在转轴的下端，旋转盘的底部下面利用螺钉安装在转轴的上端，旋转盘的壁上均布通孔，内部衬一层滤网，使旋转盘内的浆料经通孔进入旋转盘下部与机体间形成的下腔内，使其中的豆渣滤出。在旋转盘的底部利用螺钉紧固圆盘形的布料器及下磨盘，机体上面安装机盖，中空的磨轮座利用螺母安装在机盖的中部，并在机盖与磨轮座间设置轴向的导向平键，在螺母上联接两个手柄，在磨轮座的下端，利用螺钉连接中部带弧形空腔的上磨盘，在磨轮座下端与机盖间的磨轮座外套有压缩弹簧，加料斗安装在磨轮座的上端，加料斗内的物料通过磨轮座的中部到达上磨盘的弧形空腔内，以便在上、下磨盘间磨成浆料。上磨盘在弹簧作用下，紧贴在下磨盘上，在机体与机盖之间的侧面利用螺钉连接与旋转斗上部空腔连通的出渣挡板，以便将旋转斗内的豆渣引至豆渣收集器内，在机壳的底部侧壁利用垫片、螺钉与机壳下腔连通的出料口，在电动机的转轴上利用键、螺钉紧固带轮，并利

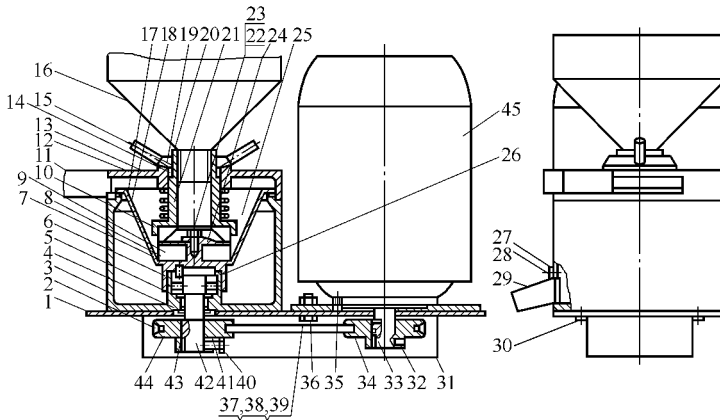


图 1-1 手动自动豆奶磨浆机结构图

1—底板；16—三角带；17—机体；18—挡环；19—轴瓦；20—推力轴承；21—密封圈；
 22—螺钉；23—下磨盘；24—上磨盘；
 25—出渣挡板；26—机盖；27—螺母；28—手柄；29—加料斗；
 30—旋转盘；31—滤网；32—压缩弹簧；33—导向平键；34—磨轮座；
 35—垫圈；36—布料器；37—定位环；38—垫片；39—出料口；40—带轮罩；
 41—键；42—带轮；43—连接板；44—螺栓；45—垫圈；46—弹性挡板；47—转轴；48—电动机

用三角带 16 将带轮 42 与带轮 40 相互连接，在两个带轮外，利用螺栓 44 连接带轮罩 41，在旋转斗的上缘与机体的接触处有迷宫式密封装置。在磨浆装置中，安装在底板上的桶形机壳的底部利用推力轴承连接转轴，转轴的上端紧固接壁上带有通孔的旋转斗，下端连接传动轮，在旋转斗内的底部安装下磨盘及布料器，在机壳上面的机盖中部对应于下磨盘的位置利用磨轮座连接内部带有空腔的上磨盘，在磨轮座外放置能使上磨盘的工作面紧贴在下磨盘工作面上的弹簧，中空磨轮座上面安装连通的加料斗，下面与上磨盘的空腔连通在机壳底部的侧面有出料口，该出料口利用通道与预热装置中的预热罐连通，传动轮利用传动带与安装在底板上的电动机传动轮连接，机壳上部设置有与旋转斗通道连接的出渣口。

三、搅拌磨与超声波均质机

1. 搅拌磨

搅拌磨是在球磨机基础上发展起来的。在球磨机内，一定范围内研磨介质尺寸越小则成品粒度也越细，但研磨介质尺寸减小到一定程度时，它与液体浆料的黏着力增大，会使研磨介质与浆料的翻动停止。为了解决这个问题可增添搅拌机构以产生翻动力，于是搅拌磨问世了。与球磨不同的是搅拌磨的筒体（容器）不转动，虽然也适用于干法处理，但大多用在湿法超微粉碎中。

搅拌磨的超微粉碎原理是：在分散器高速旋转产生的离心力作用下研磨介质和液体浆料颗粒冲向容器内壁，产生强烈的剪切、摩擦、冲击和挤压等作用力

(主要是剪切力)使浆料颗粒得到粉碎。搅拌磨能满足成品粒子的超微化、均匀化的要求。成品的平均粒度最小可达到数微米,已在食品工业众多领域中得到应用。

搅拌磨所用的研磨介质有玻璃珠、钢珠、氧化铝珠和氧化锆珠,还常用天然砂子,故又称为砂磨。研磨成品粒径与研磨介质粒径成正比,研磨介质粒径量愈大,研磨的成品粒径越大、产量越高;研磨介质粒径越小,研磨成品粒径越小,产量愈低;研磨介质大小通常视原浆料中固体颗粒大小和对成品粒径大小的要求来决定,研磨介质的粒径必须大于浆料原始平均颗粒粒径的 4 倍,如果对成品粒径要求不高时使用较大直径的研磨介质可以缩短研磨时间并提高成品产量。要求成品粒径为 $1\sim 5\mu\text{m}$ 时,研磨介质粒径常采用 $4\sim 20\mu\text{m}$;要求成品粒径在 $5\sim 10\mu\text{m}$ 时,研磨介质粒径采用 $10\sim 40\mu\text{m}$ 。

研磨介质充填率对搅拌磨的研磨效率有直接影响。充填率视研磨介质粒径大小而定。研磨介质粒径大,充填率也大;粒径小,则充填率也小。对于敞开型立式搅拌磨,充填率为研磨容器的有效容积的 $10\%\sim 20\%$;对于密闭型立式和卧式搅拌磨,充填率为研磨容器有效容积的 $20\%\sim 30\%$,通常取 $15\%\sim 25\%$ 。

研磨介质粒度分布愈均匀愈好,这不但可以获得均匀强度的剪切力、冲撞力、摩擦力,使研磨的成品粒径均匀,提高研磨效率和成品的产量与质量,而且研磨介质也不易破损。研磨介质的相对密度对研磨效率亦起着重要作用。研磨介质相对密度愈大,研磨时间愈短。在研磨高黏度、高浓度的浆料时,应选用相对密度大的研磨介质,但是为了防止分散器、容器内筒体的严重磨损,分散器和容器内筒体必须采用硬度高的材料制造。

搅拌磨的基本组成包括研磨容器、分散器、搅拌轴、分离器和输料泵等。研磨容器多采用不锈钢制成,带有冷却夹套以带走由分散器高速旋转和研磨冲击作用所产生的热量,分散器也多用不锈钢制成或用树脂橡胶和硬质合金材料等制成。常用的分散器有圆盘型、异型、环型和螺旋沟槽型等,如图 5-2-4 所示。搅拌轴是连接并带动分散器转动的轴,直接与电动机相连。在搅拌磨内,容器内壁与分散器外圆之间是强化的研磨区,浆料颗粒在该研磨区内被有效地研磨。而靠近搅拌轴的区域却是一个不活动的研磨区,

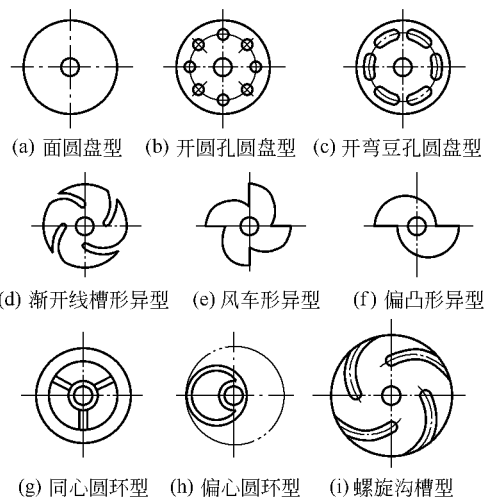


图 5-2-4 搅拌磨中常见的分散器类型

浆料颗粒可能没有研磨就在泵的推动下通过，所以将搅拌轴设计成带冷却的空心粗轴来保证搅拌磨周围研磨介质的撞击速度与容器内壁区域的研磨介质撞击速度相近，使研磨容器内各点都有比较一致的研磨分散作用。

分离器的作用是把研磨容器内的研磨介质与被研磨浆料分离开，介质留在容器内继续研磨新的浆料，被研磨的浆料成品在输料泵推动下通过分离器排出。分离器的种类很多，通常分为筛网型和无网型两类，最常用的有圆筒型筛网、伸入式圆筒型筛网、旋转圆筒筛网和振动缝隙分离器等。输送泵的选择需考虑液体物料的性质（如黏度和固形物含量），可选用齿轮泵、内齿轮输送泵、隔膜泵和螺杆泵等。

在搅拌磨内，研磨介质和浆料的运动是旋转、切向和纵向速度的总和。由研磨介质和浆料两者间的运动速度差产生的剪切力在分散圆盘的附近很大，所以分散圆盘与研磨容器直径之间存在一适宜的比例关系，一般取值范围在 $\frac{D}{d}=1.5 \sim 2.5$ 之间。分散圆盘的旋转速度是影响搅拌磨效率和成品粒度的重要因素之一。它与成品粒度大小成反比例关系，而与功率消耗、研磨温度和研磨介质损耗等成正比例关系。其常用的圆周速度取 $10 \sim 15 \text{ m/s}$ 。

搅拌磨分敞开型和密闭型两种，每种又有立式与卧式、单轴与双轴、间歇式与连续式之分，有的还配备有双冷型式。敞开式单轴立式是搅拌磨设备中最简单的一种，其研磨介质充填率为 $0.5 \sim 0.7$ ，研磨效率较低，不宜处理高黏度物料，因此常使用的是密闭型。

密闭型搅拌磨的特点是：

① 研磨介质的充填率为研磨容器容积的 $0.7 \sim 0.9$ ，研磨容器能充分利用，研磨介质密度大，在泵的推动下能产生较强的剪切力等，所以比敞开型立式砂磨机研磨效率高；

② 研磨容器密闭可以在 $0.1 \sim 0.2 \text{ MPa}$ 压力下工作，研磨 $1000 \sim 2000 \text{ Pa}$ 的高黏度浆料，对于高触变性或低流动性浆料也适应，这就提高了研磨效率，扩大研磨范围；

③ 外界空气不能进入容器内，在分散器高速搅拌下溶剂不易发泡且能避免溶剂挥发或气化的损失；

④ 适于研磨含有机溶剂的浆料，能改善工作环境；

⑤ 由于空气不能进入容器里，停止运转放置时筛网和容器内不易结皮，可减轻清理工作，即便使用圆筒式筛网分离器也不会结皮影响分离效果。但是，密闭型搅拌磨由于冷却面积较小，不宜研磨热敏性物料。

为了强化密闭型单轴立式搅拌磨内转动轴附近的研磨作用，消除或减少研磨容器底部的不活化现象，提高每相邻两片分散圆盘间研磨介质的均匀分布，最终达到提高研磨效率和降低能量消耗的目的，可在同一研磨容器内设置两根搅拌轴

及配备相应的分散器，这种形式即称为双轴立式搅拌磨。双轴磨的物料粉碎能力较单轴磨提高 1 倍，成品粒度均匀，能量消耗下降。

在搅拌磨内，靠近搅拌轴周围的研磨强度不高，故通常将轴设计成带冷却的空心粗轴，以确保轴周围研磨介质运动和物料的研磨。为进一步强化轴周围研磨介质的运动，使其随轴同步旋转，可在搅拌轴上和容器内壁分别交错地安装圆柱形的销柱。密闭型双冷搅拌磨，也有立式和卧式之区别。相比于普通密闭型搅拌磨，它的特点是研磨容器内各不同方位的研磨区粉碎强度均匀，使整个粉碎效率得到提高，粉碎成品的粒度降低且均匀性提高。

1. 超声波均质机

超声波均质是利用超声波在遇到物体时会迅速地交替压缩和膨胀的原理实现的。物料在超声波的作用下，当处在膨胀的半个周期内，料液受到拉力呈气泡膨胀；当处在压缩的半个周期内，气泡则收缩，当压力变化幅度很大且压力差低于气泡承受的最大压差时，被压缩的气泡会急剧崩溃，在料液中会出现空穴现象，这种现象又随着振幅的变化和外压的不平衡而消失，在空穴消失的瞬时，液体的周围引起非常大的压力和温度增高，起着非常复杂而强力的机械搅拌作用，以达到均质的目的。同时在空穴产生而有密度差的界面上，超声波亦会反射产生激烈的搅拌。根据以上原理，超声波均质机是通过将频率为 20 千赫~1 兆赫的超声波发生器放入料液中或使用使料液具有高速流动特性的装置，利用超声波在料液中的搅拌作用使料液实现均质的。

超声波均质机按超声波发生器的形式分为机械式、磁控振荡式和压电晶体振荡式等。

(1) 机械式超声波均质机 机械式超声波均质机主要由喷嘴和簧片组成，如图 1-10 所示。

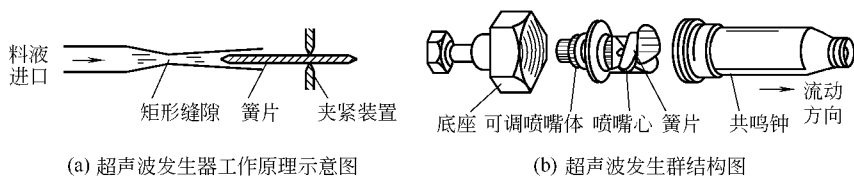


图 1-10 机械式超声波均质机原理及发生器图

簧片处于喷嘴的前方，它是一块边缘成楔形的金属片，被两个或两个以上的节点夹住。当料液在 20 千赫~1 兆赫的泵压下经喷嘴高速射到簧片上时，簧片便发生频率为 1 兆赫~1 兆赫的振动。这种超声波立即传给料液，使料液即呈现激烈的搅拌状态，料液中的大粒子便碎裂，料液被均质化，均质后的料液即从出口排出。机械式超声波均质机适用于牛奶、花生油、乳化油和冰淇淋等食品的加工。

超声波均质机对安装及使用有一定的要求，主要有：安装基础坚固平坦，其

纵向和横向的水平度允许误差为 0.05mm。超声波均质机冷却要求高，冷却措施要得当，密封要求高，且需经常检查，运动部件要保持润滑，要有检查油泵的制度。超声波均质机要注意灭菌，停机后应立即拆洗消毒。

(圆) 磁控振荡式超声波均质机摇磁控振荡器式超声波均质机的超声波发生器用镍铁粒等磁控振荡使频率达几十千赫，从而使料液在强烈的搅拌作用下达到均质。

(獭) 压电晶体振荡式超声波均质机摇压电晶体振荡器式超声波均质机用钛酸钡或水晶振荡子作超声波发生器，使振荡频率达几十千赫以上，对料液进行强烈振荡而达到均质。

獭高剪切均质机

下面介绍一种高剪切均质泵，其结构如图 1-10 所示，均质泵的电动机 1 的定子 2 紧固在电动机的壳体上，转子 3 利用螺母 4 和键 5 紧固在轴套 6 上的左端，轴套的右端利用键 7 和螺钉 8 紧固在电动机的转轴上，定子的外面利用螺栓

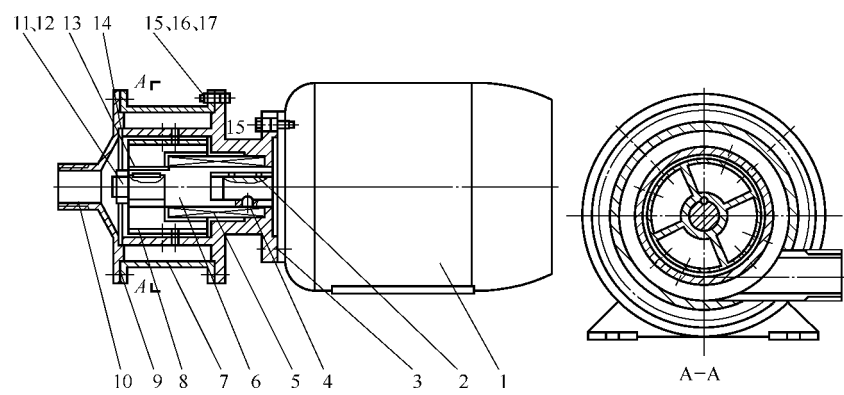


图 1-10 高剪切均质泵结构图

1—电动机；2—键；3—定子；4—螺母；5—机械密封；6—轴套；7—外套；
8—转子；9—密封圈；10—端盖；11—螺母；12—垫片；13—螺栓；14—垫片

联接外套 7，带有进口的端盖 10 联接在外套的左端，在端盖与定子的接触处设置密封圈 9，在定子与转子的壁上有通孔，物料经进口进入转子的内腔后经通孔至位于定子 2 与外套 7 间的外腔内，再经安装在外套上的出口排出，在轴套 6 与定子接触处设置机械密封 5，转子与定子间有很小的间隙，转子转动时，物料经过该间隙由内腔进入外腔的过程中被剪切而达到均质的目的。

第四节摇超微粉碎技术及其在食品加工中的应用



一、概述

超微粉碎技术是 20 世纪 80 年代随着现代化工、电子、材料及矿产等行业的不断发展而兴起的一门跨学科、跨行业的高新技术。经过几十年的研究开发,超微粉碎技术得到不断改进和发展。在超微粉碎过程中由于机械力和化学效应等作用,物料的物理形态、化学结构发生变化,进而引起物理化学性质的改变。和传统的粉碎技术相比,超微粉碎技术的主要特点是产品的粒度微小,比表面积剧增,物料分散性、吸附性、溶解性、化学活性、生物活性等有着很大的改善,从而使得物料的应用范围和使用效果有了极大的提高。

超微粉碎技术是国内外粉碎加工技术的高科技尖端技术。随着科学技术的发展和人民生活水平的提高,这一技术应用范围逐渐扩大,原国家发展计划委员会、原国家经济贸易委员会、农业部联合发布的《食品工业“十五”发展规划》,将超微粉碎技术定为今后提高农副产品加工水平的十项主要技术之首,可以预见超微粉碎技术在今后的工业生产中将起到越来越重要的作用。

超微粉碎技术是基于微米技术原理(微米技术是纳米技术的基础)。超微粉碎设备的工作原理是应用转子高速旋转所产生的湍流,将物料在气流中形成高频振荡,使物料的运动方向和速度在瞬间发生剧烈变化,物料颗粒间发生急速撞击、摩擦,经过很多次的反复碰撞而裂解成微细粉,同时,加以冷冻、冷风、热风、除湿、灭菌、微波脱毒、分级等过程,使物料达到加工要求。它绝不同于一般的机械粉碎。超微粉碎产品具有许多特点,超微粉碎技术在不破坏其组织结构的情况下,可以使粒度高达 1000 目,产品比表面积大、孔隙率高、包容性强,内在质量得到充分改善,原有的自然风味得以进一步发挥,物料的分散性、溶解性、吸附性也都得到根本的改善。

采用超微粉碎物料,由于颗粒的微细化导致表面积和孔隙率的增加,超微粉体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、化学活性等,因此在食品工业中的应用具有独特的作用。食品工业是超微粉碎应用的一大领域。作为一种新型的食品加工方法,超微粉碎技术可在许多食品加工中得到应用。许多可食动植物,包括微生物等原料都可用超微粉碎技术加工成超微粉,甚至动植物的不可食部分也可通过超微化加工而被人体吸收。超微化的食品具有很强的表面吸附力和亲和力。因此,超微化食品具有很好的固香性、分散性和溶解性,特别容易消化吸收。此外超微粉碎可以使有些食品加工过程或工艺产生革命性的变化。如速溶茶生产,传统的方法是通过萃取将茶叶中的有效成分提取出来,然后浓缩、干燥制成粉状速溶茶。现在采用超微粉碎,仅需一步工序便可得到粉茶产品,大大简化了生产工艺。

21 世纪食品工业的竞争愈发激烈,食品超微粉碎技术的应用是食品加工业的一种新尝试,不仅是对于传统工艺、配方的改进具有重要作用,还给新产品的

开发带来巨大的推动力。目前超微粉碎技术在食品加工中的应用已经崭露头角，它在保健食品的开发方面解决了其他技术所不能解决的问题。日本、美国市售的果味凉茶、冻干水果粉、超低温速冻龟鳖粉等都是应用超微粉碎技术加工而成的，国内 20 世纪 80 年代就将此技术应用于花粉破壁，一些口感好、营养配比合理、易消化吸收的功能性（花粉）食品便应运而生。

目前食品超微粉碎技术有化学合成法和机械粉碎法两种：化学合成法可制得微米级、亚微米级甚至纳米级的粉体，但产量低、加工成本高、应用范围窄。机械粉碎法成本低、产量大，是制备超微粉体的主要手段，现已应用于工业生产。根据粉碎过程中颗粒在受力情况以及机械的运动形式，机械粉碎法可分为气流粉碎、媒体搅拌粉碎和冲击粉碎等三种方法。已经开始应用超微粉碎加工的主要为农产食品、粮食制品、蔬菜、水果、中草药、调味品、动物食品等。

二、食品超微粉碎技术及设备

超微粉体是许多高技术工业的基础原料之一。近半个世纪以来，国内外对超微粉碎技术的理论、方法和设备进行了大量深入的研究。超微粉碎工艺依赖于超微粉碎设备，超微粉碎设备主要有：球磨机、胶磨机、气流粉碎机、振动磨机、冲击粉碎机、超声波粉碎机和均质乳化机。

在食品加工中的超微粉碎设备主要为气流粉碎机和胶磨机。气流粉碎机是目前较为先进的超微粉碎设备。气流粉碎机在加工过程中温升低，特别适合于热敏性食品的加工，但能量消耗大；胶磨机普通用于食品超微粉碎工序，是一种较为传统的设备。根据文献，机械粉碎有 20%~30% 的粉碎能变成热量，故物料温度升高不可避免。热敏食品易因此而发生变质、熔解、黏着，同时机器粉碎能力也会降低。为此，常在粉碎前或粉碎时进行适当的冷却处理。

三、超微粉碎在食品加工中的应用

（一）软饮料加工 目前利用气流超微粉碎技术开发出的软饮料有粉茶、豆类固体饮料、超细骨粉配制富钙饮料和速溶绿豆精等。

中国有着悠久的饮茶文化，传统的饮茶方法是用开水冲泡茶叶，但是人体并没有完全吸收茶叶的全部营养成分。一些不溶或难溶的成分，如维生素 C、维生素 E 及绝大部分蛋白质、碳水化合物、胡萝卜素以及部分物料等都大量留存于茶渣中，大大地影响了茶叶的营养及保健功能。如果将茶叶在常温、干燥状态下制成粉茶，使粉体的粒径小于 10 μm，则茶叶的全部营养成分易被人体肠胃直接吸收，可以即冲即饮。乌龙茶、红茶、绿茶的茶粉还可加入到各种食品中，从而加工出一种全新的茶制品。

超微粉碎技术在乳品加工中的应用为乳品的开发提供了新手段。在牛奶生产过程中，利用均质机能使脂肪球显著细化。当脂肪球直径减小到 1 μm 以下，则可达到优良的均质效果，产品口感好，易于消化。植物蛋白饮料是以富含蛋白质

的植物种子和各种果核为原料，经浸泡、磨浆、均质等操作单元制成的乳状制品。磨浆时用胶体磨将颗粒磨至粒径 $10\sim 20\mu\text{m}$ ，再均质至 $1\sim 2\mu\text{m}$ ，在这样的粒度下可使蛋白质固体颗粒的沉降和脂肪颗粒的上浮速度大大减慢，从而有效提高相关制品的稳定性。

(圆) 果蔬加工摇果皮、果核等可食性较差的原料经超微粉碎后可转变为可食性良好的食品。如高纤维粉等。蔬菜在低温下磨成微膏粉，既保存全部的营养素，纤维素又因微细化而增加了水溶性，口感更佳。

(猿) 粮油加工摇利用超微粉碎技术，可以使面粉、米粉或豆粉的物理化学性能有很大程度改善，制品的口感及人体吸收利用率显著提高，同时还有其他的积极作用。如将豌豆种子粉碎，根据粉的粒度大小可分出不同的组分，较粗粉中积累大部分种壳成分，较细粉中富积核和细胞中的成分，最细粉则主要为淀粉颗粒。小麦超微粉碎甚至可将其主要成分淀粉和蛋白质分开，从而生产出高蛋白质、中蛋白质、低蛋白质等各种专用面粉。

小麦麸皮、燕麦皮、玉米皮、玉米胚芽渣、豆皮、米糠等，含有丰富的膳食纤维、维生素、微量元素等，具有很好的营养价值。由于常规状态下纤维粒度大，严重影响食品的口感，使消费者难于接受，因而多数情况下仅作为动物的粗饲料使用，甚至作为废物抛弃，大大降低其应用价值。借助于现代超微粉碎技术，可使食物纤维微细化，能显著改善其口感，从而大大拓宽其应用范围，提高其应用价值。

此外，在油脂加工中超微粉碎技术也有其独特的应用价值。如花生仁粉的粒度为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 时，油脂提取率仅为 70% ，而粉碎到粒度为 $1\sim 2\mu\text{m}$ 时，油脂提取率可高达 90% 。

(源) 水产品加工摇螺旋藻、海带、珍珠、龟鳖、鲨鱼软骨等通过超微粉加工制成的超微粉具有一些独特优点。加工珍珠粉的传统方法是球磨十几个小时，产品的粒度为几百目；如果在 $0\sim 4\text{℃}$ 左右的低温和严格的净化气流条件下瞬时粉碎珍珠，可以得到平均粒径为 $1\sim 2\mu\text{m}$ 以下的超微珍珠粉，加上整个生产过程处于全封闭状态，可大大减少污染。与传统珍珠粉加工方法相比，超微粉碎的珍珠粉保留了有效成分，其钙含量高达 20% ，而且极易为人体所吸收，可作为药膳或食品添加剂，制成补钙营养食品。

(缘) 功能性食品加工摇关于功能性食品，目前的概念较为混乱。在本书中，功能性食品是指具有独特营养功能的食品，即指那些具有能提高人体防御能力、调节生理规律或促进康复等有关功能性成分的食品。超微粉碎技术在部分功能性食品配料（膳食纤维、脂肪替代品等）的制备上起重要作用。膳食纤维素被现代医学界称为“第七营养素”，是防治现代“文明病”和平衡膳食结构的重要功能性食品成分。虽然纤维素不能为人体直接消化，但它具有增加肠道蠕动的作用，

而且它具有作有毒物质的载体及作为无能量的填充剂等功能。但纤维素的可食性极差，直接补充很难为人们所接受。通过超粉碎将纤维素制成极细粉末后添加于食品中可有效地解决这一难题。以蔗渣为原料加工膳食纤维的生产工艺如图 1-1 所示。

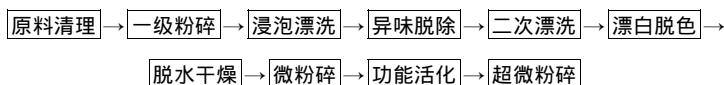


图 1-1 以蔗渣为原料加工膳食纤维的生产工艺

超微粉碎在食品加工中还有许多应用。如，在研制开发固体蜂蜜的工艺流程中，运用胶体磨将配料进行超微化处理，增加了口感的细腻度；各种畜、禽鲜骨中含有丰富的蛋白质和脂肪、磷脂质、酶蛋白，能促进儿童大脑神经的发育，有健脑增智之功效。鲜骨中含有骨胶原（氨基酸）、软骨素等，有滋润皮肤防衰老的作用。鲜骨中还含有维生素 A、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆ 等营养成分。钙、铁在鲜骨中的含量也极高。传统的食用方法中一般将鲜骨煮熬之后食用，实际上大部分的鲜骨的营养成分没有被人体吸收，造成资源浪费。利用气流超微粉碎技术将鲜骨经多级粉碎后加工成超微骨泥或再经脱水制成骨粉，既能保持 90% 以上的营养素，而且营养成分又易被人体吸收。骨粉（泥）可以作为功能性食品添加剂，制成高钙高铁的骨粉（泥）系列食品，具有独到的营养保健功能，因此被人们誉为“21 世纪的功能性食品”。

（2）巧克力加工摇巧克力细腻滑润的良好口感要求巧克力配料的固体粒度不大于 10 μm，当平均粒径大于 10 μm 时，巧克力的口感就明显粗糙。因此，只有超微粉碎加工后的巧克力配料才能保证巧克力的质量。瑞士、日本等国主要采用五辊精磨机和球磨精磨机进行相应的生产。

（3）调味品加工摇超微粉食品的巨大孔隙率造成集合孔隙，可吸收并容纳香气经久不散。这是重要的固香方法之一，因此作为调味品使用的超微粉，其香味和滋味更浓郁、突出。

（4）其他食品加工摇当超微粉孔隙中吸收容纳一定量的油脂和水分时保鲜期会大大延长。因此超微粉技术可用于食品保鲜。

参考文献

张裕中援食品加工技术装备北京：中国轻工业出版社，1998

郑水林援超细粉碎原理、工艺设备及应用北京：中国建材工业出版社，1998

高福成主编援现代食品工程高新技术北京：中国轻工业出版社，1998

袁惠新，俞建峰，崔政伟等援超微粉碎技术及其在食品加工中的应用援农机与食品机械，1998

丁金龙，孙远明，卢迪芬援超细粉碎技术在生物材料中的应用援食品工业科技，1998

第二章 食品生产中的挤压技术

第一节 概述

食品挤压加工的基本过程是食品原料按不同的配方混合，经过预处理后，进入螺杆挤压机中，在螺杆的综合作用下，转化成具有非牛顿流体特性的半固体，此物料连续受到剪切作用和加热作用，在模头处受到因挤压形成的较大的压力的作用。在此过程中，食品原料中的淀粉糊化、蛋白质变性同时发生。整个挤压过程在 1~2 秒内完成，所需的加热温度视不同的产品而定，一般在 150~250℃ 范围内。食品原料被挤出机头时，由于压力突然下降，水蒸气迅速蒸发，体系膨胀，从而使产品形成多孔结构。这种加工方法和传统的食品加工方法有很大不同，食品在螺杆挤压过程中的特殊加热、加压的方式，其作用结果是对食品的品质产生独特的作用，如使食品的消化性、速食性、杀菌性等趋于最大而对食品有害的影响如营养的破坏等趋于最小。

一、食品挤压加工的特点

食品挤压加工具有同时在高温、高压、短时的条件下，进行机械处理和热处理的特点。

在挤压过程中，剪切应力是引起生物聚合物在分子水平上发生化学变化的根本原因。利用挤压技术可以将几种食品加工操作单元连续、同时完成，为食品制品提供独特的风味和口感，并减小营养损失。食品挤压机主要完成的功能如图 2-1 所示。常用的挤压膨化食品加工工艺如图 2-2 所示。

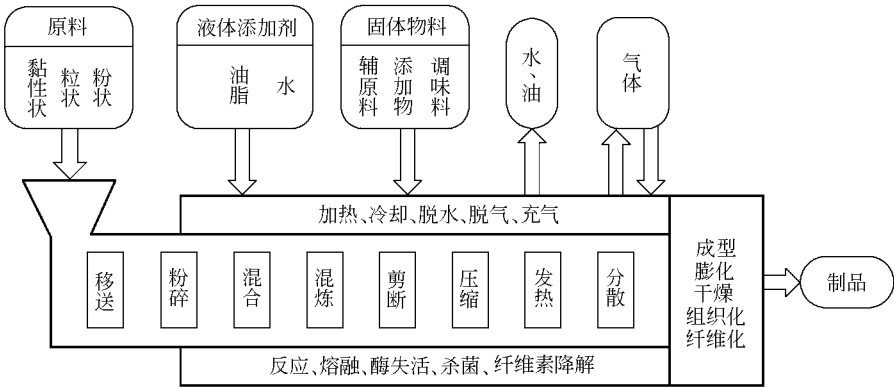


图 2-1 食品挤压机的功能

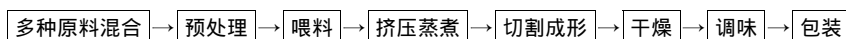


图 4-1-1 常用的挤压膨化食品加工工艺

食品挤压加工为高压加工，螺杆挤压机一般可以对食品原料产生 $10 \sim 20 \text{ MPa}$ 以上的压缩压力，在模头处对物料的压力可以达到 10 MPa 以上，可用于生产的纤维状多孔质植物蛋白食品以及高密度多层组织的新食品和膨化食品。

食品挤压加工是在密闭容器内进行的连续高温处理。传统的食品加工方法在超过 150°C 的高温时，需要先将物料填充于容器后密封，用蒸汽等升高到所需温度再进行分批处理，如需加热到 200°C 就需要 1 MPa 以上的蒸汽压，并因为要提高产量而不得不使用大型设备。双螺杆挤压机能在短时间内升高到所需的高温，并能进行连续加工，这样可使小型化、合理化的设备获得高的产量。

食品挤压加工捏合时间短、传热效率高。食品中的许多成分一般对热有复杂的反应，缩短加热时间可以防止营养受到损失。食品原料在挤压机内受到机筒的加热作用，又同时受到不同结构螺杆元件的剪切、捏合作用，这样物料在输送的同时，在短时间内处于理想的捏合状态，可以进行高效的热交换，从而实现高温短时的处理。

食品挤压加工混合均匀、卫生清洁，产品可以实现多样化。由于同向旋转相互啮合的双螺杆挤压机具有自清洁作用，未捏合的物料残留较少，物料混合均匀。螺杆元件和模头结构具有多种多样性，可以根据具体食品加工的要求自由组合，并且许多操作参数可调，因此可以生产出高质量和高附加值的产品，再加上利用多种食品组分、不同配方及加工条件，可生产出更加多样化的挤压食品。

与食品加工的其他方法相比。挤压机是连续的加工生产装置，它要比其他蒸煮成形装置的生产能力大，可以在较短时间内生产出高质量的产品。挤压加工热处理速度快，因此在淀粉降解和蛋白质变性的高温快速挤出过程中，提高了食品的可消化性并且营养成分损失少。高温短时处理也能破坏大豆中的抗营养因子，消除其他对人体不利的酶，此外还具有较高的杀菌效果。例如常用的黑胡椒粉、辣椒等调味品的杀菌方法使用的是环氧烷或射线照射的处理方法，如改用螺杆挤压机经过 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ 的加热杀菌，每克产品中的存活微生物（包括细菌孢子在内）大大低于常规处理，而且感官指标好、成本费用低。

挤压成形加工装置可以在较低的水分条件下，蒸煮各种食品原料。较低的原料水分质量分数可以减少后续加工过程以及后续干燥过程中所需的能量消耗并可延长食品的保存期。

食品的挤压工艺较复杂，分析食品的挤压加工过程、选择挤压加工原料、设计挤压食品的配方，是挤压食品加工工艺的重要内容。由于挤压加工作为一种高温、短时的食品加工方法，能连续将输送、压缩、混合蒸煮、变性、脱水、杀

菌、成形、膨化等多种操作单元同时完成，在挤压过程中一方面食品的营养成分损失较少，另一方面食品的风味和口感得到改善，因此，被列为未来食品加工新技术。自 20 世纪 70 年代起，螺杆挤压技术开始应用于食品加工领域，随后这一技术得到了飞速的发展。挤压加工可以代替许多传统的食品加工方法，能够进行早餐谷物、植物蛋白、水产品和畜产品的加工，用于发酵和榨油原料的前处理，用于杀菌处理及其他新型食品和饲料资源的开发。食品原料在挤压机内的蒸煮和膨化，是食品质构重组的重要方法之一。此外，挤压机作为一种生化反应器，其工艺是很有发展潜力的食品加工新技术。

二、挤压加工在食品行业中的应用状况

目前，世界上采用挤压法生产的食品的范围已经相当广泛，主要有面条（各种形状）、早餐谷物（玉米片、麦圈）、婴儿食品、休闲食品、糖果、香肠、组织化植物蛋白、变性淀粉、汤粉及蔬菜等。在我国，近年来膨化食品和休闲食品的发展也非常迅速，并且具有巨大的发展潜力。

在国外，于 20 世纪 70 年代中期，以大米、玉米、豆类、薯类、高粱、花生为原料，应用膨化技术生产出了快餐食品、焙烤食品、冲调食品、儿童食品、植物蛋白食品、保健医疗和强化营养食品等新型食品。与此同时，早餐类食品在挤压机内一步蒸煮挤压成形也得到了较迅速的发展。自 70 年代以来，在食品加工行业中，因为食品挤压机具有一机多能和高能效的特点得到食品生产商们的重视，从而得到更为迅速的发展。在美国，已有 20 种的大豆和 30 种的棉籽采用挤压机进行膨化预处理，其装备设计和工艺条件控制不断完善，产品花样不断翻新，并且还在向更深一步发展。在日本，有 10 家大、中型企业生产制造的各种类型的挤压机，应用范围涉及食品工业的各个角落，使挤压机在食品加工中的应用得到巨大发展。在日本，双螺杆挤压机因其操作的灵活性大而备受重视。日本建立了食品挤压蒸煮技术研究组织，有 10 个企业参加，其中心研究课题为“食品用双螺杆挤压机的开发和利用”。日本各公司通力合作，在商品化、实用化的指导思想下，研究开发了挤压谷物、植物蛋白、畜产品、水产品等的多项新技术。表 2-1 中列出的是日本参加挤压蒸煮技术研究的课题和企业。

表 2-1 日本研究食品挤压技术的公司及其研究课题

序号	实验研究课题	食品制造企业	机械制造企业
员	谷类、蛋白原料的新食品 鱼肉食品的制造技术 高度组织化食品的开发 肉食加工制造技术	昭和产业公司 大洋渔业公司 日清制油公司 日本火腿公司	神户制钢所
圆	蛋白质食品连续加工方法 甜点的新材料的开发 粮食作物新用途的开发 甜点的加工方法	堪噠食品公司 味全食品公司 日清制粉公司 里斯本食品公司	幸和工业



续表

序号	实验研究课题	食品制造企业	机械制造企业
猿	含油脂食品的开发 鱼类等饲料技术的开发 畜类等的组织化技术 乳蛋白等食品的制造方法	旭电化工业公司 东洋酵母工业公司 普力玛火腿公司 明治乳业公司	栗本铁工所
源	肉食品的制造法 食品的高附加值技术 鱼类新加工技术 谷粉等的加工技术	伊藤火腿公司 群马豆类食品公司 日本水产公司 富士食品工业公司	末广铁工所
缘	蛋白质的组织化技术 鸡蛋、蛋壳的高度利用 谷类、豆类新食品的开发 膨化食品开发 谷类原料加工法	味之素公司 小娃娃塑胶公司 日本制粉公司 明治制果公司 山崎面包公司	东芝机械公司

利用食品挤压机不同的功能，可以将其应用于食品加工的各个方面，生产出多种多样的挤压食品。

在植物油脂工业中，挤压技术已广泛应用于浸出前的大豆和棉籽等油料的预处理上。挤压膨化与传统的浸出制油相比，因豆粕溶剂吸附量低而易于脱溶，从而提高了浸出器的生产能力，可使同一设备的生产能力提高缘豫~五四豫。挤压技术还能在植物油脂工业中对脱脂大豆粉进行处理，生产组织化植物蛋白。

在发酵工业中，通过挤压加工使淀粉和蛋白质发生降解和变性，并使某些不溶物质变成了可溶性物质，这样促进了酵母的原料利用率和酶水解作用的效率。利用挤压膨化工艺进行酿酒原料的处理，可以提高粮食的出酒率，减少酿酒酵母用量，缩短发酵周期，减少能量消耗。

在饲料工业中，自圆四世纪缘四年代起，干法膨化饲料得到迅速发展。饲料生产的主要原料豆粕中，含有不利于家畜、家禽消化吸收的有害因子，这些有害因子影响家畜、家禽对饲料的利用，妨碍其生长发育。饲料经膨化加工后，其中的有害因子被破坏而且改变了蛋白质的结构，使其易被家畜、家禽吸收。此外，鱼用饵料通过挤压加工被膨化成大小不同的颗粒，使其能在不同深度水中悬浮，便于不同鱼种食用，提高了饵料的使用效率。

用膨化淀粉直接做医药工业中压片的辅料，具有填充剂和黏合剂的双重功效。膨化淀粉的可压性好，为冲压法一次制粒提供了新原料，简化了工艺。由于淀粉在膨化过程中因受高温、高压作用，杀菌较彻底，可满足片剂原料的半无菌或无菌生产制备的要求。而且膨化淀粉价格低、工艺简单、生产周期短，有利于大规模生产。

挤压技术为开发新型食品改善传统食品提供了一种新的手段。在小麦加工

中,可利用挤压机进行小麦粉的改性处理,改进小麦粉的二次加工性质。与传统的加工方法相比,挤压加工可以在低水分下加工膨化产品,由于挤压机的良好捏合作用,挤压加工中添加各种组分方便,产品的均匀性、稳定性和品质都较好。显然利用挤压加工改性谷物,一方面可利用改进产品的生产工艺来提高生产效率,另一方面可研制和开发新食品。此外采用挤压机可以省略蒸煮预处理工序,实现年糕类传统食品的连续生产,且不损坏原来的风味,物性也不会发生变化。采用挤压技术还可进行类似面包的新食品生产,这类产品的基本性质与面包相同,在挤压过程中食品发生膨化,产品具有较好的松软感觉。

利用挤压技术生产植物蛋白是以脱脂大豆、浓缩大豆蛋白、分离大豆蛋白为原料,制造出具有纤维多孔结构或高密度多层结构的新食品材料,此是仿真肉产品的重要技术。利用大豆分离蛋白、马铃薯淀粉和油脂或全脂大豆粉等原料,通过挤压加工赋予制品纤维状的结构,配合适当的调味,使其具有近似牛肉的味道和风味。挤压加工为大量的豆渣提供了新的出路,将预先完全灭菌的豆腐渣,使其挤压加工变成多孔结构,提高其可溶性,用作膳食纤维或食用菌类的培养材料。

挤压技术应用于生产类似方便面和面条的新食品,可以缩短面条泡在水里的复水时间。

利用挤压技术进行水产品的加工。将鱼糜和干燥鱼粉等鱼肉蛋白经过挤压加工使之再次组织化,用以生产模拟对虾、甲鱼、鸡肉风味的食品。高水分鱼肉(水分质量分数超过 70%)在加热、加压、捏合过程中不至于水分分离,可得到松软的产品。利用双螺杆挤压机磨碎剁肉,可实现全自动生产鱼糕和生产各类工程肉制品,如牛肉干、猪肉干、牛排状肉类制品以及水产类棒状仿蟹制品。

在食品挤压技术中,日本技术人员率先将其分为挤压成型与挤压蒸煮(或熟化)两大类,这一分类对生产和研究起到了很大的促进作用,因为这两类加工方式的设备和工艺有较大的不同。

第二节 挤压熟化的原理及技术装备

一、挤压熟化的原理与特点

1. 挤压熟化原理

由于单螺杆挤压机是应用最早也是最广的挤压熟化设备,以下就以此为例子介绍挤压熟化的原理。单螺杆挤压机主要由一个机筒和一个可在机筒内旋转部件组成。如图 2-1 所示,当疏松的食品物料从加料斗进入机筒内时,随着螺杆的转动,物料沿着螺槽方向向前输送,这称为加料输送段。此时,由于受到机头的阻力作用,固体物料逐渐压实,加上物料受到来自机筒的外部加热以及物料在螺杆的强烈搅拌、混合、剪切等作用,温度升高、开始融合,从而形成半流态或流态

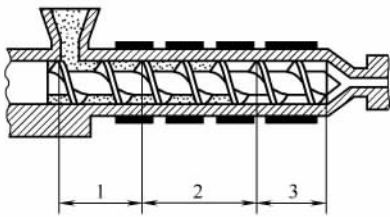


图 1-1-1 食品挤压加工过程示意图

1—加料输送段；2—压缩
熔融段；3—计量均化段

体系，这一过程称为压缩熔融段。由于螺槽逐渐变浅，继续升温升压，食品物料得到蒸煮，出现淀粉糊化、脂肪变性和蛋白质变性等一系列复杂的生化反应，产品组织进一步均化，最后定量、定压地由机头挤出，这一过程称为计量均化段。综上所述，食品挤压加工分为三个阶段。

一、挤压熟化的特点

食品挤压熟化加工有许多特点，现主要归纳为如下几个方面。

(一) 应用范围广 采用挤压技术可加工处理各种物料，并且经过简单地更换模具，就可改变产品形状，生产出不同外形和花样的产品，因而产品范围广、种类多、花色全，可形成系列化产品。

(二) 生产效率高 挤压加工集送料、输送、加热、成型为一体，又是连续生产，因此生产效率高。小型挤压机生产能力为每小时几十千克，大型挤压机生产能力可达到每小时十几吨以上，而且节约能源，能量消耗仅是传统生产方法的 1/10~1/5。

(三) 原料利用率高，无污染 挤压加工是在密闭容器内进行的，在生产过程中除了开机和停机时需投少许原料作头料和尾料，使设备操作过渡到稳定生产状态和顺利停机外，一般不产生原料浪费现象（头料和尾料亦可进行综合利用），也不会因排放废气和废水而造成环境污染。

(四) 营养损失小，有利于消化吸收 挤压加工属于高温短时的加工过程，食品中的营养成分几乎不被破坏。在挤压过程中，食品物料在外形发生变化的同时也改变了内部的分子结构和性质，其中一部分淀粉转化为糊精和麦芽糖，便于人体吸收。又因挤压膨化后食品的质构是多孔状，分子之间出现间隙有利于人体消化酶的进入。如未经膨化的粗大米，其蛋白质的消化率为 70%，而经膨化处理后其消化率可提高到 90%。

(五) 口感好，食用方便 许多食品原料，如谷物，含有较多的纤维素、维生素及钙、磷等，这些成分对人体极为有益，但口感较差。谷物经挤压膨化后，因在挤压机中受到高温、高压和剪切、摩擦作用并在挤压机挤出模具口的瞬间膨化，使得这些成分彻底地微粒化，并且产生了部分分子的降解和结构变化，使水溶性增强，改善了口感，产生了一系列的质构变化而使其体轻、松酥具有独特的焦香味道。例如粗大米膨化后制成的米粉，加入少量的小麦粉生产的“大米面包”具有独特的香味；大豆制品的豆腥味是由于大豆内部的脂肪氧化酶被催化产生氧化反应的结果，在挤压过程中的瞬间高温能将该酶破坏，从而避免了异味。

的产生；在挤压过程中，大豆中的胰蛋白酶抑制因子等有害物质，也同样遭到破坏。膨化后的制品是多孔的海绵状结构，吸水力强，容易复水，因此不管是直接食用还是冲调食用均较方便。

(远) 不易回生，便于储藏 通常主食加工的方法是采用蒸煮的办法。刚做好的米饭软而可口，但放置一段时间后会变硬而不好吃，即出现所谓“回生”(α-淀粉 β 化) 现象。利用挤压技术加工，高强度的挤压、剪切、摩擦、受热作用，淀粉颗粒在水分质量分数较低的情况下，充分溶胀、糊化和部分降解，再加上挤出模具后物料由高温、高压状态突变到常压状态，便发生瞬间的“闪蒸”，这就使糊化之后的 α-淀粉 不易恢复其 β-淀粉 的颗粒结构，而仍保持其 α-淀粉 分子结构，故不易产生“回生”现象。若将大米膨化后再制成各种食品即可避免“回生”现象的出现。挤压食品加热时间短，原料水分质量分数一般较低，不利于微生物生长繁殖。从原料到产品，生产工艺简单，流水线短，基本上无污染机会。挤压过程温度可高达 150℃ 左右，即使时间很短（通常在 1s 以下），也可以破坏原料中的微生物。膨化后的产品水分质量分数低，一般为 10%~15%，这种状态也不利于微生物的生产繁殖。因此只要保存方法得当，便可较长时间保存。

二、挤压煮蒸加工系统与组成

图 2-1 所示为一典型食品挤压加工系统示意图，该系统由 远 个部分组成。根据挤压机的工作特性挤压机应可分为喂料、预调质、传动、挤压、加热与冷却、成型、切割、控制 愿 个部分组成。

(员) 喂料装置 (图 2-1 中的 员 和 圆) 该装置把储存于料仓的各种易黏结、不能自由流动的混合配料均匀而连续地喂入机器中，确保挤压机稳定地操作。常用的喂料装置有：

- ① 振动喂料器，采用改变振动喂料斗频率或振幅的方法，以输送干制散状物料并控制喂料速率。
- ② 螺旋喂料器，具有一根或两根螺旋的螺旋喂料器可以用来输送流动性较好的物料，控制螺旋的转速可对物料进行容积计量。
- ③ 液体计量泵，该泵的转速或柱塞行程可调，用来输送和控制液体或水的输送量。

(圆) 预调质装置 (图 2-1 中的 猿) 该装置把各种配料在预调质装置（密封容器）中与水、蒸汽或其他液体组分混合，以提高物料的水分质量分数和温度。该装置有

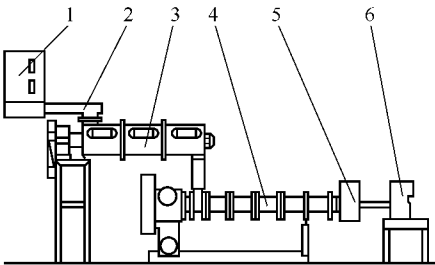


图 2-1 典型食品挤压加工系统示意图
员—混合料仓；圆—称重给料装置；猿—预调质装置；
源—挤压装置；缘—成型装置；远—切割装置

常压和加压之分,当在加压条件下操作时,必须要用旋转阀等来保持预调质装置内部与周围环境之间的压差。在预调质装置中心轴上装有螺旋带或扁平的搅拌桨,物料组分混合均匀,在受热均匀的同时,把物料输送到挤压进口处。

(獾) 传动装置摇传动装置的作用是驱动螺杆,保证螺杆在工作过程中所需要的扭矩和转速。电传动装置的动力源,其大小取决于挤压机的生产能力,成型挤压机的电动机功率可达 獾匹。可选用直流电动机、变频调速器控制的交流电动机、液压电动机、机械式变速器等方法来控制传动装置输出轴的转速,以达到控制螺杆转速的目的。

(源) 挤压装置(图 源源中的 源)摇挤压装置是由螺杆和机筒组成,它是整个挤压加工系统的核心。根据螺杆数目可分为单螺杆挤压机与双螺杆挤压机。根据机筒装置结构可分为整体式挤压机与可分式挤压机。

(缘) 加热与冷却装置摇加热与冷却是挤压加工过程顺利进行的必要条件。随着螺杆的转速、挤出压力、外加热功率以及挤压系统周围介质的温度变化,机筒中物料的温度也会相应地发生变化,通常采用电阻或电感应加热和水冷却装置来不断调节机筒的温度,以保证挤压工艺的温度范围。

(远) 成型装置(图 源源中的 缘)摇成型装置又称挤压成型模板,它具有一些使物料从挤压机流出时成型的模孔。模孔的形状最简单的是环形孔,十字孔、窄槽孔也经常使用,可根据产品形状要求而改变。为了改进所挤压产品的均匀性,常把该模板进料端做成流线形开口。

(苑) 切割装置(图 源源中的 远)摇挤压加工系统中常用的切割装置为端面切割器,切割刀具旋转平面与模板端面平行。通过调整切割刀具的旋转速度和挤压产品的线速度来获得所需挤压产品的长度。根据切割器驱动电动机位置和割刀长度的不同又分为飞速切割器和中心切割器两种。飞速切割器的电动机装在模板中心轴线外面,切割刀片较长,以很高的线速度旋转。中心切割器的刀片较短并绕模板装置的中心轴线旋转。

(愿) 控制装置摇挤压加工系统控制装置主要有微型计算机、电器、传感器、显示器、仪表和执行机构等组成,其主要作用是:控制电动机,使其满足工艺所要求的转速,并保证各部分协调地运行;控制温度、压力、位置 and 产品质量;实现整个挤压加工系统的自动控制。

三、选择挤压熟化设备要考虑的因素

(一) 螺杆与机筒

源 螺杆结构

螺杆的结构主要考虑 源个方面的因素。

(员) 生产能力摇生产能力是螺杆的主要指标之一。不同规格的螺杆生产能力是不同的,同一规格的螺杆,由于结构和几何尺寸的差异或由于螺杆转速的差

异加工同一物料的生产能力也各有不同。常用比流量作为生产能力的参数。比流量 Q 就是生产量 Q 与螺杆转速 n 之比，即在单位时间内螺杆每转一圈的挤出量。同规格的螺杆在加工同一种物料时的比流量，在一定程度上说明了螺杆的结构及其几何参数是否满足加工要求。

(圆) 功率消耗摇从挤压机的能量平衡来看，在挤压系统对物料所消耗的能量应等于对物料的加热能量和对螺杆输入功率的总和。但习惯上为了衡量螺杆加工不同物料所消耗的机械功率大小，假设机筒外加热功率相同时，以螺杆每单位生产能力所消耗的机械功率作为衡量的标准，称为螺杆的单耗 W 。螺杆的单耗愈大说明螺杆所做的机械功对物料进行剪切和摩擦作用而转换为热能愈多，物料得到的热量愈多。但是，在不同的温度下，不同的物料的焓是一个定值，机械功转换为热能过多，可能会引起局部过热甚至造成物料的热分解，影响产品质量；另一方面增加螺杆传动装置的负载或对螺杆和机筒进行局部冷却会造成能量浪费。因此，在保证物料胶体化的前提下，螺杆的单耗应以低值为好。

(獭) 螺杆直径摇螺杆直径 D 是螺杆主要参数之一，它直接影响到挤压机的生产能力，当然生产能力不但与螺杆直径有关，而且与螺杆转速、机头压力以及其他的几何参数有关。

(源) 长径比摇在其他条件一定时增大长径比，即等于增加螺杆的长度，可增加物料在螺杆中的停留时间，即保证了物料有充分的熔融时间。但对热敏性的物料，过大的长径比会使其易于造成停留时间过长而热分解。因此，长径比的选取要根据加工物料的物理性能和对产品质量的要求来考虑。一些难于加工的物料，就需要用较大长径比的螺杆加工。过大的长径比，螺杆所消耗的功率相应增大，给机械加工和装配增加了困难，还会由于螺杆一端固定，另一端悬伸而增加了自重的弯曲，容易造成螺杆在端部与机筒之间的间隙不均匀，甚至会使螺杆转动时与机筒磨刮，降低螺杆的使用寿命。

圆 机筒结构

机筒和螺杆共同组成了挤压机的挤压系统，完成对物料的固体输送、熔融和定压定量输送作用。机筒的结构形式关系到挤压操作中热量传递的稳定性和均匀性。对于一些新型的挤压系统来说，机筒在加料段上的结构形式会影响到固体输送效率。机筒的机械加工和使用寿命也影响到整个挤压系统的工作性能。因此，机筒在挤压系统中是仅次于螺杆的重要零部件。

对于机筒，要综合考虑机筒结构形式的选择、机筒上的加料口形式、机筒与机头的联接方式以及机筒机械加工制造的难易等问题。

(员) 整体式机筒摇图 圆 所示为整体

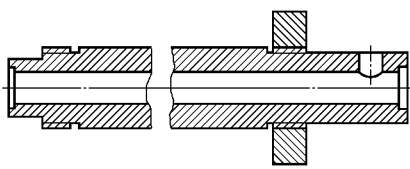


图 圆 整体式机筒

式机筒的结构。其特点是长度大，加工要求比较高，在加工精度和装配精度上容易得到保证（特别是螺杆和机筒的同轴度要求），简化了装配工作，在机筒上设置外加热器不易受到限制，机筒受热均匀，应用比较多。但是该类机筒的加工设备要求和加工技术要求都较高，若机筒内表面磨损后难以修复，因而设备成本会高一些。

（圆）分段式机筒摇如图 圆圆所示，分段式机筒是将机筒分成几段加工，然后各段用法兰或其他形式连接起来。这种机筒形式的机械加工比整体式机筒容易，便于改变长径比。多用于需要改变螺杆长径比或实验室用的机台以及在后面将要介绍的强制式轴向开槽进料套的机筒、排气式挤压机的机筒，可使机筒的结构更加合理。这种机筒的主要缺点是分段太多时难以保证各段的对中良好，并且法兰连接处会影响机筒的加热均匀性。

图 圆圆 摇分段式机筒

獭 獭 螺杆与机筒的配合问题

关于螺杆与机筒的配合问题，这里只着重介绍它们对整台挤压机的性能和加工制造等都有重要影响的配合间隙和对中问题。

（员）螺杆与机筒的配合间隙摇螺杆与机筒的配合间隙 δ 对挤压机的生产能力、功率消耗、使用寿命、机器的加工制造等都有很大的影响。 δ 大时，虽容易制造，但挤压机的生产能力却大大降低。且物料在机筒内的停留时间也难于控制。 δ 过小不仅会给机器的制造和装配带来一系列困难，同时还会使功率消耗剧增。 δ 的选择主要根据所加工物料的性能（如对高黏度物料，其 δ 可适当选大些）和机械制造厂的加工条件决定。圆世纪 苑年代初期我国结合了机械制造厂的加工条件，推荐如表 圆圆所示的 δ 范围。具体设计时应结合实际情况选用，如机械制造厂能达到较高的机械加工精度时，应该取偏小的 δ 为宜。

表 圆圆 摇螺杆与机筒之间的间隙值（ δ ）单位：皂皂

螺杆直径		猿园	源缘	远缘	怨园	员圆园	员缘园	圆园园
直径间隙	最大	垣圆缘缘	垣圆缘园	垣圆缘缘	垣圆缘园	垣圆缘缘	垣圆缘园	垣圆缘缘
	最小	垣圆缘园	垣圆缘缘	垣圆缘缘	垣圆缘园	垣圆缘缘	垣圆缘园	垣圆缘缘

（圆）螺杆与机筒的对中性摇螺杆与机筒的中心线必须重合。但是，由于制造和装配等原因，实际上却无法达到此要求。如图 圆圆所示的螺杆外圆偏差、沿螺杆全长上的径向圆跳动（弯曲度、偏心率、圆度和棱面度）、螺杆定位面獭对螺杆中心的同轴度、螺杆推力面源对螺杆中心线的垂直度，机筒的内孔偏差、法兰平面对机筒中心线的垂直度、内孔的径向圆跳动（包括锥度、圆度和弯曲度）、加料斗座处机筒外表面的同轴度，此外，料斗座圆 减速箱体苑 减速箱输

出轴愿止推轴套怨的加工误差等都会产生积累误差,都会影响螺杆与机筒的对中性。

（二）加热与冷却装置

由挤压过程可知，温度是挤压过程得以进行的必要条件之一，挤压机的加热与冷却装置就是为了保证这一必要条件而设置的。物料在挤压过程中的热量来源有两个：一个是料筒外部加热器供给的热量；另一个是物料与机筒内壁、物料与螺杆以及物料之间相对运动所产生的摩擦剪切热。前一部分热量由加热器的电能转化而来，后一部分热量由电动机输给螺杆的机械能转化而来。这两

部分热量所占有比例的大小与螺杆、机筒的结构形式、工艺条件、物料性质等有关，也与挤压过程的阶段如启动阶段、稳定运动阶段有关。这两部分热量所占比例在挤压过程的不同区段也是不同的：在加料输送段，由于螺槽较深，物料尚未压实，摩擦热是很少的，热量多来自加热器。在计量均化段，物料已熔融，温度较高螺槽较浅，摩擦剪切产生的热量较多，有时非但不需要加热器供热，还需冷却器进行冷却。在压缩熔融段物料受热是上述两种情况的过渡状态也就是由摩擦剪切产生的热量比加料输送段多，而比计量均化段少。摩擦剪切产生热量的速度会随着物料的向前移动而渐渐增快，因此挤压机的加热与冷却装置一般是分段设置的。

从能量的观点来分析，挤压过程有一个热平衡过程。加热器供给的热量和因摩擦剪切而产生的热量一部分用于使物料产生状态的变化，另一部分损失掉了。损失的这部分包括机筒机头和周围介质的热交换，冷却介质带走的热量以及加热元件本身的热损失和产品带走的热量。尽管影响的因素很多，但在稳定挤压的过程中，热平衡总是应当保持的。

(员) 电阻加热摇电阻加热是用得最广泛的加热方式, 其装置具有外形尺寸

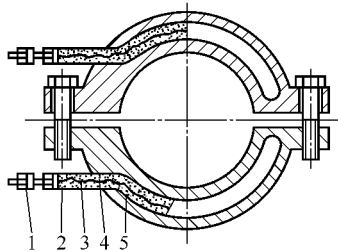


图 20 圆型压铸铝加热器

员—接线柱；圆—钢管；猿—电
阻丝；源—氧化镁粉；缘—铸铝

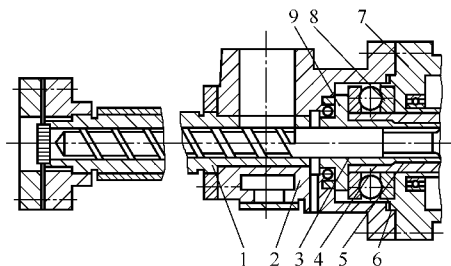


图 5 圆砾杂填土月挤压部分

员—法兰平面；圆—料斗座；猿—螺杆定位面；
源—螺杆推力面；缘—键；远—止口；苑—减速
箱体；愿—减速箱输出轴；怨—止推轴套

小、质量轻、装设方便等优点。由于电阻加热器是采用电阻丝加热机筒后再把热量传到物料上，机筒又是一个具有一定厚度的筒体，因此在机筒的径向方向上便形成较大的温度梯度，需要较长的加热时间。

近年来,在许多挤压机上采用了铸铝加热器,其结构如图 8-25 所示。

它是将电阻丝装于金属管中，并填进氧化镁粉之类的绝缘材料，然后将此金属管铸于铝合金中，实际上它是一种改进了的电阻加热器。它与旧式电阻加热器相比较，既保持了原来电阻加热器的体积小、装设方便及加热温度较高的优点，又由于省去了云母片，降低了加热器的成本。此外，由于电阻丝是装在加热金属管的密实的氧化镁粉中，使它具有防氧化、防潮、防震和防爆等性能。因而提高了加热器的使用寿命，传热效果也比旧式电阻加热器好。

铸铝加热器的加热温度一般为 300°C ~ 400°C ，如要求有更高的加热温度，则可采用铸铁加热器或铸铜加热器，以提高加热装置的耐久性。

(圆) 电感应加热 电感应加热是通过电磁感应在机筒内产生电的涡流而使机筒发热的一种加热方法。电感应加热器的原理结构如图 10-2 所示。

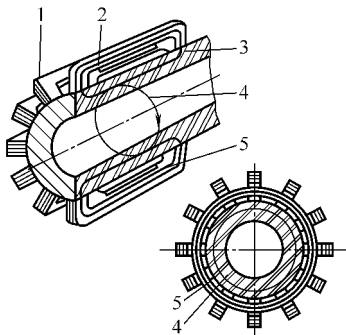


图 10-2 电感应加热器的原理结构图

1—硅钢片；2—冷却剂（水或空气）；
3—线圈；4—机筒；5—源—磁力线（机筒上）；缘—线圈

这种加热器是在机筒的外壁上隔一定的间距装上若干组外面包有主线圈的硅钢片。当将交流电源通入主线圈时，就产生了如图 10-2 中所示方向的磁力线，并且在硅钢片和机筒之间形成一个封闭的磁环。由于硅钢片具有很高的磁导率，因此磁力线能以最小的阻力通过。而作为封闭回路一部分的机筒其磁阻要大得多。磁力线在封闭回路中具有交流电源相同的频率，当磁通密度变化时，就会在封闭回路中产生感应电动势，从而引起二

次感应电压及感应电流，即图 10-2 中所示的环形电流，亦叫电的涡流。涡流在机筒中遇到阻力就产生热量。

电感应加热与电阻丝加热相比具有如下几个特点：

- ① 由于它是由机筒直接加热物料的，因此预热升温的时间较短（在 10°C ~ 20°C 左右），在机筒的径向方向上的温度梯度较小；
- ② 采用此加热器时对温度调节的反应较电阻加热灵敏，从而有较大的温度稳定性，对产品的质量很有利；
- ③ 由于感应线圈的温度不会超过机筒的温度，它比电阻加热器可节省电能 10% ~ 20% 左右；
- ④ 在正确的冷却和使用的情况下，电感应加热器的寿命比较长。

电感应加热器也有其不足之处，如加热温度会受感应线圈绝缘性能的限制，这对成型加工温度要求比较高的物料是不适合的；它的径向尺寸大，用在大型挤压机上必然会使机器的体积庞大，而且需要大量的硅钢片等材料；它在形状复杂的机头上安装也不方便。

(獭) 机筒的冷却摇挤压机的冷却往往是采用自来水冷却，因此它所用的附属装置较为简单。水冷却速度较快，但易造成急冷。因水一般未经过软化处理，水管易出现结垢和锈蚀现象而使水管出现冷却效果降低或被堵塞、损坏等现象。

通常采用的水冷却装置的结构有獭种。第一种形式是目前常用的结构，它是在机筒的表面车出螺旋沟。然后缠上冷却水管（一般是紫铜管）。其最大的缺点是冷却水管易被水垢堵塞；盘管较麻烦，拆卸亦不方便；冷却水管与机筒的接触不容易做到良好接触状态。第二种形式是将加热棒和冷却水管同时铸入同一块铸铝加热器中。这种结构的特点是冷却水管也制成为剖分式的，拆卸方便，冷冲击相对于第一种结构来说较小。但铸铝加热器的制造变得较为复杂，一旦冷却水管被堵死或出现损坏时，则整个加热器就得更更换。第三种形式是在感应加热器内侧设有水冷却套，这种装置装拆很不方便，冷冲击也较严重。

(源) 螺杆的冷却摇螺杆冷却的目的主要是为了有利于加料输送段物料的输送，同时也可防止物料过热，有利于物料中所含的气体能从加料输送段的冷混料中返回并从料斗中排出。当螺杆的计量均化段受到冷却时，在螺槽的底部可形成一层温度较低的料在其上面，在某种意义上来说，这就改浅了计量均化段的螺槽深度。

通入螺杆中的冷却介质可以是水，也可以是空气。

(三) 螺杆轴承装置

在分析螺杆轴承的布置形式时重点是了解其受力合理性，因为它影响螺杆的工作稳定性。其次还要考虑到轴承的安装、维修及润滑等因素。

为了承受轴向力和径向力，在螺杆尾部的传动部分一般都设置有 圆个向心轴承和 员个推力轴承。目前螺杆轴承的布置情况按推力轴承的布置方式的不同，一般有 源种形式如图 圆所示。

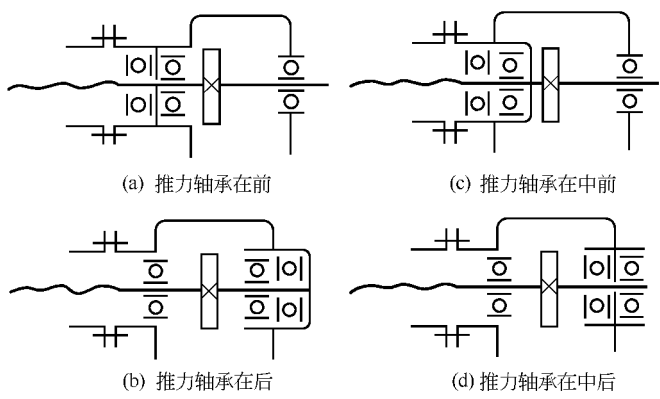


图 圆 螺杆轴承的布置形式



推力轴承位于两个向心轴承的前面，这种布置是属于图 10-10 (槽) 的形式。其结构如图 10-11 所示。物料给螺杆的轴向力一方面通过键套传给推力轴承，推

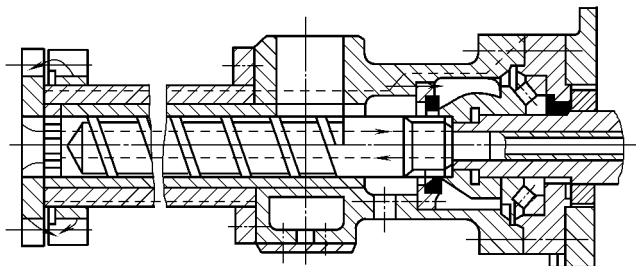


图 10-11 推力轴承位于两个向心轴承前面的结构图

力轴承再将力传给轴承座；另一方面，物料又作用在机头上一个推力（其大小等于轴向力），这个推力向左拉机筒，并通过料斗座而作用在推力轴承座上。这样便形成了一个封闭关系（如图 10-11 中虚线所示的“力流”情况），使减速箱体不受该轴向力的影响。由于推力轴承装于箱体外，其安装维修也较方便。这是一种较好的布置形式。

推力轴承位于两个向心轴承的后面，这种布置是属于图 10-12 (槽) 的形式。

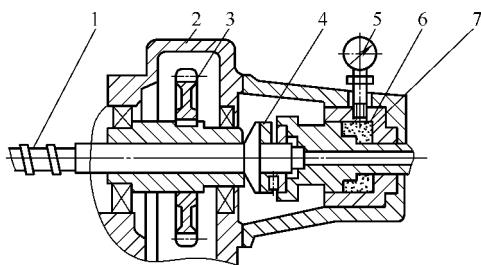


图 10-12 推力轴承位于两个向心轴承后面的结构图

1—螺杆；2—箱体；3—齿轮；4—推力轴承；

5—压力表；6—油液；7—测力油缸

其结构如图 10-12 所示。由于推力轴承装于箱体之后其安装维修方便，对轴向力的测量也较方便。但因为轴向力作用于整个箱体，故这种布置形式对于大规格的机型不合适。

推力轴承位于两个向心轴承之间，这种布置属于图 10-13 中的 (槽、(槽) 两种，其中 (槽) 的形式是推力轴承位于前一向心轴承的后面，其结构如图 10-14 所示。图 10-13 (槽) 的形式是推力轴承位于后一向心轴承的前面，其结构如图 10-15 所示。

这四种布置形式从受轴向力而引起箱体的受力情况来看，有所不同。图 10-13 (槽) 的形式只会引起箱体局部受力或不受影响；而图 10-13 (槽) 的形式则会引起整个箱体的受力，故此种形式也很少被采用。

以上的几种布置形式各有优缺点。如在安装维修上，推力轴承位于两个向心轴承前面和后面的比推力轴承位于两个向心轴承之间的好，但在轴承的润滑上却比不上后者。但因为挤压机的挤压过程中会产生很大的轴向力，特别是在挤压机向高速、高效、大型化方向发展的情况下，减速箱箱体的受力问题与其他问题

(如装配、维修等) 比较起来, 前者乃是一个主要矛盾。因此在设计时, 首先得考虑其受力问题, 在这一基础上, 也尽可能地兼顾其他问题, 以使整机设计能尽量合理。

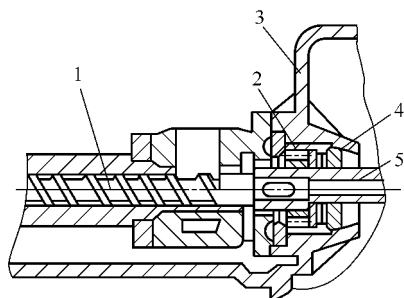


图 2-10 摇推轴承位于前一向心轴承后面的结构图
员—螺杆; 圆—向心轴承; 猿—箱体;
源—推力轴承; 缘—传动轴

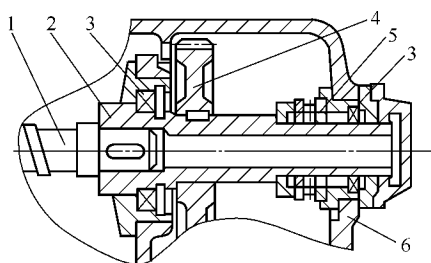


图 2-11 摇推轴承位于后一向心轴承前面的结构图
员—螺杆; 圆—传动轴; 猿—向心轴承; 源—齿轮; 缘—推力轴承; 远—箱体

四、国外挤压熟化设备简介

(员) 模头与产品外形的关系摇挤压机模头与膨化产品的形状有很大关系, 在实际生产中模头与产品外形的关系如图 2-12 所示。

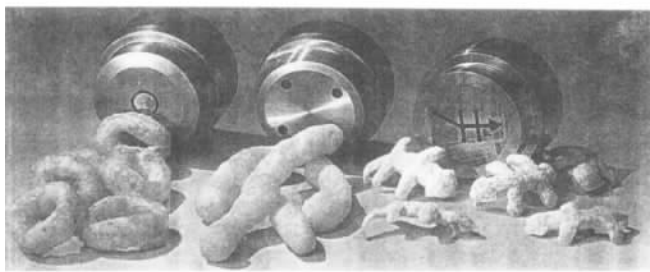


图 2-12 摇模头与产品外形关系图

(圆) 布勒挤压机系列摇瑞士布勒挤压机系列拥有的螺杆直径有: 源皂、远皂、忽皂、员缘皂、员缘皂, 驱动功率范围为 员缘~ 远皂, 拥有的模头系统, 能够生产各种不同的产品类型和质量, 能够控制温度以适应物料的化学特性和物理特性以及最终产品的要求。图 2-13 为布勒 月缘皂双螺杆挤压机。

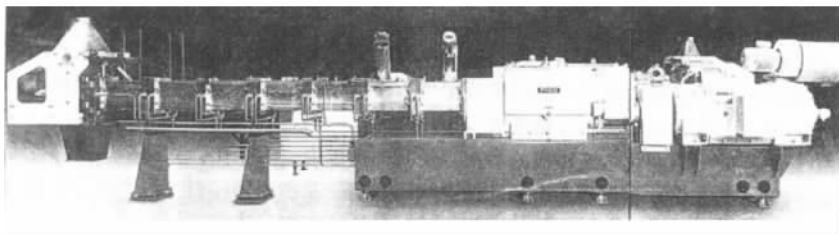


图 3-3-1 法国悦嘉牌双螺杆挤压机

（獭）法国悦嘉牌双螺杆挤压机摇法国悦嘉牌公司的月源型双螺杆挤压机具有如下特点：

- ① 能接受任何颗粒原料；
- ② 能接受高脂肪、高糖度原料；
- ③ 原料水分质量分数可调范围大；
- ④ 原料输送均匀；
- ⑤ 由于螺杆采用积木组合式结构，可根据需要将不同结构和功能的螺旋杆段加以组合，操作灵活性大，螺杆、机筒的寿命长，耐磨性好；
- ⑥ 操作条件可独立控制，具有不同的冷却与加热装置；
- ⑦ 采用了导轨打开腔体系统，便于更换螺杆元件和模具，并且清洗保养方便。

第三节 挤出成型的原理及技术装备

挤出成型是挤压技术在食品加工中的新应用，目前得到的迅速的发展。挤出成型在设备与工艺上与挤压蒸煮有较大的区别。挤出成型工艺可分为软料挤出成型和夹馅成型两大典型加工工艺。另也有人将馄饨成型和饺子成型作为典型的挤压成型工艺，这方面的争论较多，在本书中不介绍这两项操作。

一、软料挤出成型的原理与设备

1. 挤出成型原理与方法

软料糕点的面团稠度差别很大，其中最硬的软料面团稠度是桃酥面团，这种面团具有良好的塑性，但没有流动性而且黏滞性较强，很容易黏模。因为制品品种的需要，面团内常常含有颗粒较大的花生、核桃及果脯等配料，因此既不能模仿人工挤花（又称拉花）的方式成型，又不能采用辊印、辊切或冲印等方式成型。对于这种面团通常采用钢丝切割式成型，其产品类似桃酥，外形简单，表面无花纹。钢丝切割式成型机结构如图 3-3-2 所示。

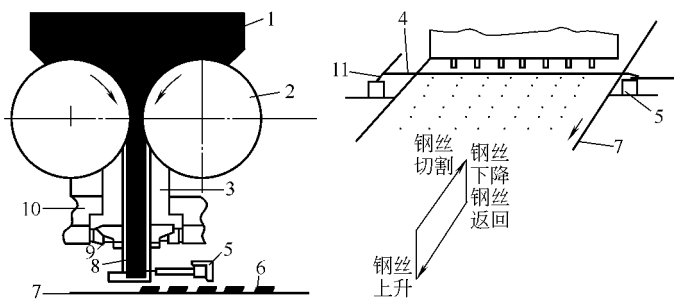


图 2-11 钢丝切割式成型机结构

员—进料斗；圆—进料辊；猿—填充块；源—钢丝；缘—钢丝支座；远—面板；苑—输送带；愿—模头；怨—模板；员园—模板与填充块夹紧装置；员员—机械手

稠度较低的面团既有良好的塑性，又能在外力条件下产生适当的流动，这种面团一般采用拉花成型，其产品的形状取决于成型嘴的形状及运动方式。通常成型嘴制成花瓣形，而且根据需要作一定角度的回转，使产品形成美丽的花纹，比如曲奇饼、奶油浪花酥等。

对于那些稠度很低，而且光滑、流动性较强的面料（称为面糊或浆）采用钢丝切割式成型与拉花成型显然都是不恰当的，可以采用浇注成型。用面浆浇注成型制作的糕点有蛋糕、杏元、长白糕等。这时横板应被一排成型嘴所代替，挤出嘴应该呈锥型，浇注成型时，烤盘上若带有型腔，产品的最终形状将与型腔一致。值得注意的是在浇注成型过程中，面浆挤出嘴的卸料、停止应与烤盘运动严格同步否则会造成大量废品。

软料糕点根据喂料形式的不同分为齿辊式与柱塞式，柱塞式在后面介绍。齿辊式喂料装置主要由面斗、圆个或猿个带齿形沟槽的喂料辊组成。喂料辊的作用是将面料挤向下面的压力平衡腔。喂料辊可能是连续运转，也可能是间歇运转，还可以进行瞬时反转，以造成进料口瞬时负压，引起面料被瞬时回收。这样面料就可以被连续地或间歇地挤出。

钢丝切割式成型机成型原理如图 2-12 所示。成型嘴距烤盘或传送带约 苑 mm，机器本身装有距离调节机构，

通过输送带或烤盘的上升或下降，以使该距离在一定范围内得到调节。成型嘴成排安装，它们可以是任何理想的形状或尺寸。切断产品用的拉紧钢丝，安装在框架上并以一定的频率作前后往复运动，在通过成型嘴下边缘时将挤出的面料切断，形成一片片的生坯，产品的厚度取决于钢丝往复运动时间间隔的长短。钢丝切割的方向可以与烤炉传送带的方向一致，但大多数情况是方向相反。不管是哪个方向，都是切割行程时钢丝靠近成型嘴，而在回程时钢丝下降。生坯可以直接落在烤盘或传送带上，也可以翻转后落

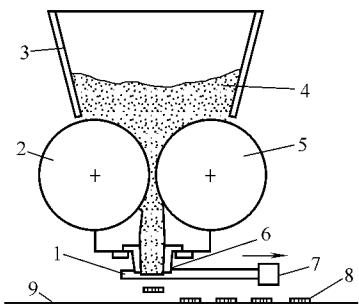


图 10-2-10 钢丝切割式成型机原理示意图
1—钢丝；2—喂料辊；3—料斗；4—面团；
5—喂料辊；6—成型嘴；7—钢丝架；
8—生坯；9—输送带

下。但不论落下形式如何所有生坯的运动必须同步。由于面团的黏滞性及其结构的粗糙，会给产品的质量带来一定影响。为此在面团制备时应保持其稠度、结构的均匀一致，以使每片产品质量及外观质量的统一。

有些成型机采用锐利光滑的片刀或锯齿形刀代替钢丝切割，同时为了解决面团的黏附问题。切割钢丝或刀具可在水平面内连续振动，以改善切割质量。

钢丝切割的速度通常不超过 100 次/分。成型嘴通常为单排安装，如果产品规格很小，也可安装双成型嘴，或安装圆个机头，使其同步隔行挤出成型。钢丝切割成型的产品往往由于面团内含有果仁、果脯等大颗粒的辅料，而造成产品表面粗糙或形状不规则等缺陷，因此在入炉前可安装一只塑料泡沫辊，使生坯形成平整的表面并具有一致的厚度以提高产品质量，便于机械包装。

当成型机生产连续的条状食品时，模板通常与软料挤出方向成一定角度安装，以保证条状产品尽可能平滑地落在传送带上。这时模板的开口应该左右对称，并使条状产品底部平整，表面有条纹（拉花），如图 10-2-11 所示为连续条状产品成型模板安装位置示意图。连续的条状产品通常在火炉前被切割成一定的长度，但有时切割操作在焙烤后实现。切口断面的粗糙或光滑程度取决于面团的特性，即面团的稠度和辅料颗粒的大小。

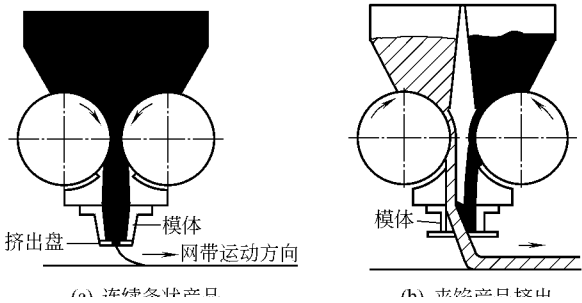


图 10-2-11 成型模板安装位置示意图

为了增加产品的花色品种，可以同时安装不同的成型嘴，以使每排同时挤出落下的生坯具有不同的外观形状，或整排地更换具有不同模口的挤出模板，还可以操作成型嘴旋转手柄使挤出的产品具有不同程度的螺旋花纹。当然，尽管外观形状不同但是它们都属于均质无馅糕点。为了生产夹馅软料糕点需要将面斗分隔开来，用以同时盛装不同的面料，如图 2-2-10 所示，面团和馅料在料斗中被隔开，在喂料辊的旋转作用下，分别进入下面的压力腔。压力腔同样被分为两部分，并保证馅料在中间，面料在周围，通过成型嘴被挤出。馅料可以是果酱或其他食品物料，但其稠度应与面团的稠度近似。

2-2-10 定量供料装置

软料糕点成型机的供料装置基本有两种形式：槽形辊定量供料装置和柱塞式定量供料装置。

(1) 槽形辊定量供料装置 软料糕点成型机的定量大都采用槽形辊定量供料装置。这种定量供料装置的优点是结构简单，便于制造。其缺点是根据面料的黏稠度不同，需及时更换定量供料装置。如图 2-2-11 所示，(a)、(b) 分别为生产曲奇饼类稠料及蛋糕类糕点料浆的槽形辊定量供料装置示意图。

面团的稠度不同，槽形辊的结构、安装方式和旋转方向亦不同。开机以后，相对（用于较稠的软料）或相背（用于面浆）旋转的槽形辊定量供料向下送料，面料经压力平衡腔进入下面的成型嘴，然后落在下面的烤盘上。生产曲奇饼类的软料糕点时，成型嘴需设计成不同的出口形式，而且还应具备一定角度的旋转能力，以满足生产不同花色品种软料糕点食品的需要。生产蛋糕时，成型嘴的作用是将面浇注到下面烤盘的模腔里，所以成型嘴的形状通常做成简单的圆形。排料的多少是靠槽形辊正向旋转的时间长短来控制的。等排出物料达到预计定量后，槽形辊立即进行迅速反转使排料口产生瞬间负压，面料上返，避免滴落。槽形辊的正、反转应与间歇运动的烤盘同步，保证产品外观质量与质量的稳定。

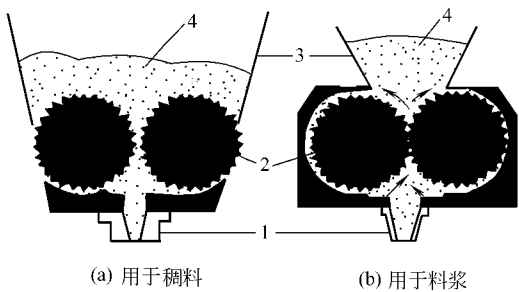


图 2-2-11 槽形辊定量供料装置示意图
1—填充块；2—槽形进料器；3—进料斗；4—面团

力，以满足生产不同花色品种软料糕点食品的需要。生产蛋糕时，成型嘴的作用是将面浇注到下面烤盘的模腔里，所以成型嘴的形状通常做成简单的圆形。排料的多少是靠槽形辊正向旋转的时间长短来控制的。等排出物料达到预计定量后，槽形辊立即进行迅速反转使排料口产生瞬间负压，面料上返，避免滴落。槽形辊的正、反转应与间歇运动的烤盘同步，保证产品外观质量与质量的稳定。

软料糕点挤出成型的定量精确问题比冲印、辊印及辊切成型生产饼干要困难得多。其定量的准确性主要取决于成型机，但调粉也是不可忽略的因素。在一定时间内，排出面料的多少主要取决于模板（或成型嘴）后面的压力，该压力靠槽形辊的速度控制。但是料斗内面团的高度对挤出重量也有一定影响，因此应保持料斗里的面料在一个相对稳定的水平上。实践证明面料高度较低时，比较容易

控制。面团的稠度或黏滞性不稳定也同样会影响挤出模板（成型嘴）后面压力的稳定性。因此最好使新调制的面团静置 $10\sim 15$ min 后再放入料斗中使用。

尽管采取了上述措施，但仍然经常发现成型机模向物料挤出率不一致，往往是两侧产品质量较小。这一点可以通过安装调节机构来解决，但其结果会使机器结构变得复杂，并给成型机的设计与制造带来很多不便。而柱塞式定量供料装置在定量供料方面相比之于显示了一定的优越性。

（圆）柱塞式定量供料装置摇目前在浇注成型机和挤出成型机中广泛采用柱塞式定量供料装置。它包括真空吸料和排料两部分，如图 圆所示。

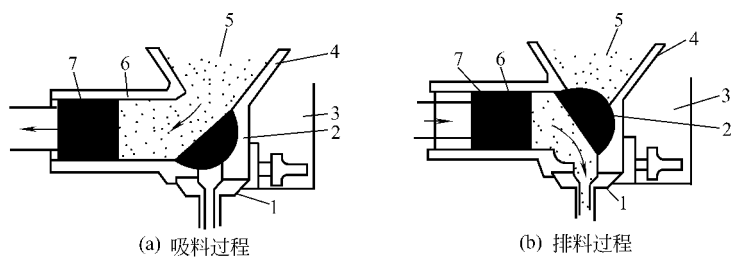


图 圆 柱塞式定量供料装置示意图

员—成型嘴；圆—半缺口轴；猿—成型头；源—料斗；缘—面料；远—柱塞缸筒；苑—柱塞

将软料投入料斗后，启动电动机。此时半缺口轴正好转至图 圆（苑）所示位置，使料斗与柱塞缸筒形成通路。柱塞向图 圆（苑）中箭头方向运动，造成真空，开始吸料。此时，机头向上运行，成型嘴 员离开烤盘。

吸料结束后，半缺口轴 圆通过内凸轮带动齿条，使半缺口轴 圆吸料口关闭，而排料口打开，此时柱塞 苑由后向前运行，把吸进柱塞缸筒 远内的面料推出。这时机头已下降到最低点，推出的面料通过成型嘴 员落在烤盘上。排料过程如图 圆（遭）所示。

为了满足不同规格产品的需要柱塞行程可调，一般为 $15\sim 25$ mm 左右。当杠杆支点向左移动时，杠杆的摆动半径增大，因而柱塞行程增大，吸料量与卸料量增加，产品规格随之增大。反之，柱塞行程减小，排料量减小，产品规格相应减小。柱塞式定量供料装置的优点是计量比较准确，对稠度较大的软料或稀薄的蛋糕、杏元面浆都有良好的适应性。

二、夹馅成型的原理与设备

生产带馅食品的设备称为夹馅机。夹馅食品一般由外皮与内馅组成。糕点中的夹馅制品（如月饼、京八件等）外皮通常是由面粉或米粉与水、油、糖及蛋液等组成的混合物；内馅的种类很多，如枣泥、果酱、豆沙、五仁等。

圆 夹馅机的分类

夹馅机的种类较多，按其成型方式的不同，大致可以分为：感应式、灌肠式、注入式、剪切式、折叠式等几种形式。

(员) 感应式摇感应式是首先将面坯制成凹形，将馅料放入其中，然后由一对半径逐渐增大的圆盘形状的回转成型器将其控制封口，如图 2-1-10(员) 所示。

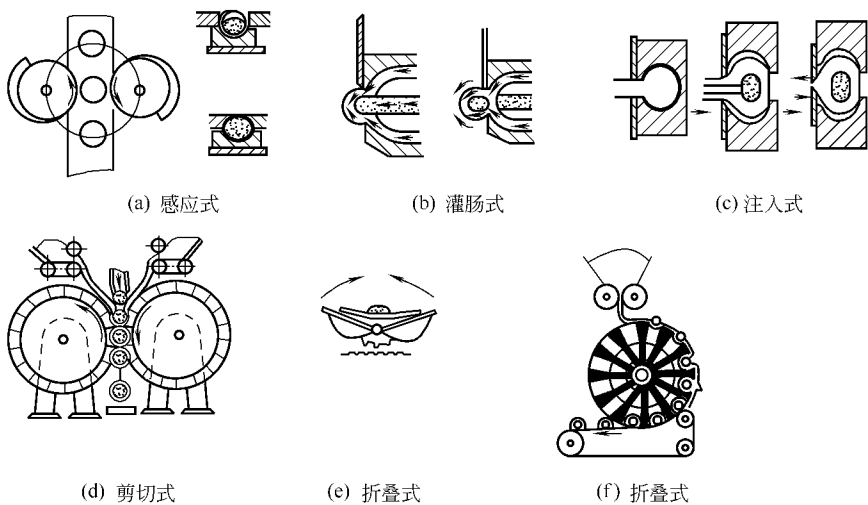


图 2-1-10 摇夹馅机成型方式

(圆) 灌肠式摇灌肠式是将面坯与馅料分别从双层筒中连续挤出然后切断成某种点心的形状如图 2-1-10(圆) 所示。

(猿) 注入式摇注入式是在模具中设计有注入馅团的喷管，将馅注入挤出的面坯中然后切断成型，如图 2-1-10(猿) 所示。

(源) 剪切式摇剪切式是将面坯从两侧连续供送，馅制成球状后由中间供送，然后利用一对表面上有凹心部分的辊子转动，进行剪切成形。剪切式成型又称为辊切成型，如图 2-1-10(源) 所示。

(缘) 折叠式摇折叠式如图 2-1-10(缘) 所示，为较早的折叠形式。这种方法是首先将压延后的面坯按规定的形状冲切，然后放入馅料，最后折叠成为所需要的形状。图 2-1-10(枣) 为利用真空泵吸气作用，将辊压后的面带在回转的辊上吸成凹形，随着辊的转动，将馅加入凹坑。封口操作是由金属板将凹坑周围的面坯刮起，封在开口处，使之成型，然后解除真空。成型产品由传送带送至下一工序。

在上述成型方法中，感应式与灌肠式为间歇式生产。日本雷昂 100 型夹馅机是将灌肠成型与感应成型组合在一台机器上，称为灌肠感应成型连续多功能夹馅食品机械。这种夹馅机运动平稳、生产能力高、噪声小、通用性强，是目前比较先进的夹馅糕点成型机。因此本节仅就这种夹馅机的结构、成型原理、传动原理等进行介绍。图 2-1-11 所示为其外形简图。

图 10-1-1 夹馅机主要结构

夹馅机主要由输面机构、输馅机构、成型机构、撒粉机构、传动系统、操作控制系统及机身等组成，如图 10-1-1 所示。

输面机构包括面斗、圆只水平输面绞龙及一只垂直输面绞龙（竖绞龙）。输馅机构包括馅斗、圆只水平输馅绞龙及叶片泵。撒粉机构由干面粉斗、粉刷、粉针及布粉盘组成。成型机构的主要部分是圆只回转成型盘、托盘及复合嘴。传动系统包括一台电动机、皮带无级变速器、双蜗轮箱及各种齿轮变速箱等。

在输送带齿轮箱上，设有二次加工附件的输出轴，以驱动换装在上面的各种加工附件。产品可在输出过程中进行二次加工，不必专设单独的传动系统与工作部件。这不仅缩短了机身的长度，而且扩大了该种机器的使用范围。

夹馅糕点食品的外皮料与内馅料是半流体状态。半流体的流变特性给输送与成型带来很多不便。通常半流体在食品成型机上用绞龙输送，但绞龙的输送能力并不总是随其转速的增加而增加的。当其速度达一定数值以后，其输送效率反而下降，而且速度过高，物料摩擦生热，特别是在出口处，压力升高，使面料和馅料升温，严重时会引起食物料的变性，影响食品的口感和风味。因此，单靠增加绞龙转速来提高半流体物料的输送量是不行的。为了解决这一问题，可采用两只直径较大且平行排列的绞龙来输面、输馅，从而在不提高绞龙转速的情况下，提高了面料和馅料的输送能力。此外，水平进给与竖直推进挤压两步操作分别由两个机构进行，中间断开，这不但降低了输送绞龙的出口压力，而且也缩短了挤压过程和路线。面料自水平输送绞龙出来后被切割成小块或小片，并被两只压面辊压入竖绞龙。面料向下移动，至出口前端再集结成一体。从而保证了面料均匀，降低了移动阻力，减缓了输送过程中内压上升的趋势。馅料则在被推出水平进给绞龙之后，进入叶片泵，由旋转叶片使馅料转向垂直并沿输馅管向下移动，在输送过程中馅料内的空气被排出，馅料被压实成为棒状，这样避免了供馅不准的现象，有利于准确定量。

半流体物料水分质量分数较多易于粘连。因此，成形过程中通常需要使用大量分离剂。在感应成型过程中；由于产品与成型盘的瞬时接触面较小，黏附的可

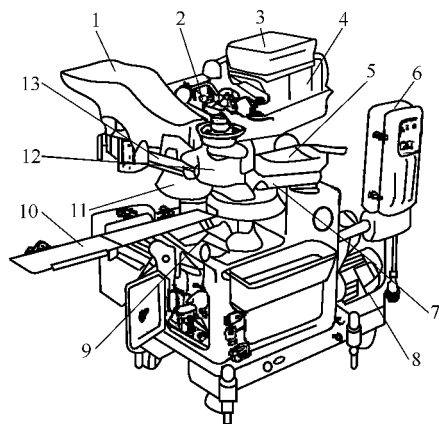


图 10-1-1 日本雷昂 100 型夹馅机外形简图
 1—面粉斗；2—叶片泵；3—馅料斗；4—源—输馅双绞龙；5—缘—干面粉斗；6—远—操作箱；7—苑—撒粉器；8—愿—电动机；9—怨—托盘；10—输—输送带；11—愿—成型盘；12—愿—输面竖绞龙；13—愿—输面双绞龙

能性减少。该机使用于面粉作为分离剂。如图 2-10 所示，面粉储存在干面粉斗 1 中，借助于粉刷、粉针、布粉盘的作用，将面粉撒在产品与成型盘 15 之间起到分离作用。分离剂的多少和撒粉的部位影响着传递的搓切力大小，所以，使用分离剂也可调节搓圆的效果以适应不同品种的操作。

夹馅机输馅双绞龙有 2 挡速度可调，输面双绞龙有 3 挡速度可调，在其他速度不变的情况下二者配合起来就可以有 6 种速度挡。另外，电动机输出端装有机械无级变速器，这样在不更换任何零部件的情况下，该机可以制造出 6 种面馅比例不同的食品。该机在制作球状产品时，棒状半成品的出口转速及搓球时下部托盘的升降速度均可通过更换部分零件得以调节，从而满足不同品种的成型条件，适应其成型时的形体变化。此外，对于韧性较大的面团，叶片数目可以多些，以减少纵向推进时的面料后退量；对于韧性较小的面团，叶片数目就应少些，否则面团被挤紧的时间太短，内部组织松散，影响成型时收口效果。

2.1 夹馅成型原理

(1) 棒状成型摇夹馅机成型原理如图 2-11 所示，面料在输面双绞龙 5 的推动下进入竖绞龙 10 的螺旋空间，并被继续推进，移向面馅复合嘴 19 的出口，面料被挤压成筒状面管。馅料经输馅双绞龙 14 输送至双叶片泵 11，叶片旋转，使馅料转向 12 并向下运动，进入输馅管 13。输馅管装在输面竖绞龙的内部，当馅料离开输馅管，在面馅复合嘴 19 出口处与面管汇合时，便形成里面是馅，外皮是面的棒状半成品。棒状半成品经压扁、印花及切断可制两端露馅的带馅食品。根据不同的品种要求，面馅复合嘴 19 及转嘴 12 可以更换。面馅复合嘴 19 断面形状、尺寸不同，则挤出的棒状产品规格不同。

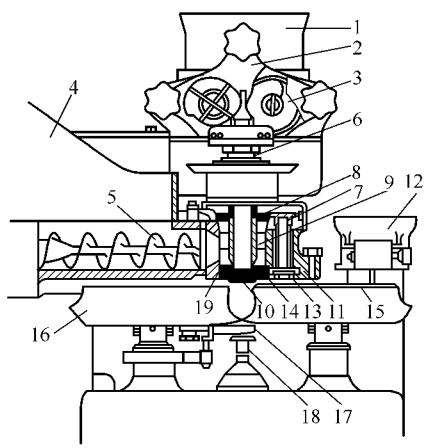


图 2-11 棒状成型摇夹馅机成型原理图

- 1—馅斗；2—输馅控制；3—双叶片泵；4—面团；
- 5—输面双绞龙；13—输馅管；14—复合嘴
- 10—竖绞龙；12—出面嘴；18—转嘴；
- 16—面粉斗；17—粉刷；
- 15—粉针；14—布粉盘；15—成型盘；
- 16—拨杆；17—托盘；18—止推垫圈

(2) 球状成型摇球状成型是由成型盘 15 的动作来完成的。由棒状成型后得到的半成品经过一对转向相同的回转成型盘的加工后。成为球状夹馅食品。成型盘表面呈螺旋状。成型盘除半径、螺旋状曲线的径向与轴向变化外，螺旋的倾角也是变化的。这就使成型盘的螺旋面随棒状产品的下降而下降，同时逐渐向中心收口。而且由于螺旋面倾

角的变化,使得与螺旋面接触的面料逐渐向中心推移,从而在切断的同时把切口封闭并搓圆,最后制成球状带馅食品生胚。

图 4-4-10 所示为夹馅机成型盘操作过程示意图。成型盘上的螺旋线有 1 条、2 条与 3 条之分。螺旋线的条数不同。制品的球状半成品大小也不相同。一般说来,螺旋线的条数越多,制出的球状半成品体积越小,单位时间生产的产品个数越多。

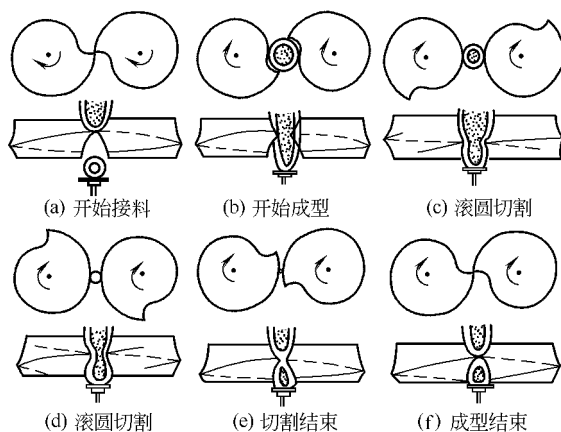


图 4-4-10 摇夹馅机成型盘操作过程示意图

第四节摇挤压技术在食品中的应用

一、小吃食品和休闲食品挤压生产工艺

小吃食品和休闲食品的挤压加工是挤压技术的重要应用实例。用挤压技术能够加工出多种多样的小吃食品和休闲食品,有油炸类的,有未油炸的;有低水分直接膨化的,有高水分成型的;有经过调色的,有未调色的;有夹心的,有未夹心的等。用挤压技术加工的小吃食品和休闲食品有 3 种,第一种是马铃薯片、锅巴等脆片小吃食品。第二种是常规的挤压膨化食品,即利用含一定水分的玉米粉、小麦粉、大米粉或其他谷物及淀粉,经挤压膨化后,干燥至水分质量分数约 10%,然后调味和涂油;对于高水分的淀粉基物料,在挤压后直接油炸,然后调味。第三种小吃食品主要指挤压加工为各种形状和组织结构的半成品和成品。将谷物粉的混合物、变性或未变性的淀粉、植物油、乳粉等在第一台挤压机内蒸煮,然后在第二台挤压机内成型和干燥,产品水分质量分数低于 10%。这种挤压食品的结构十分致密。经挤压成型后,形状有平面、立体、穿孔等多种多样。

1. 油炸玉米片

(1) 工艺流程和设备布置油炸玉米片是利用挤压蒸煮技术加工最多的小吃食品之一,我国的锅巴、油炸马铃薯片等油炸类食品都可以利用这一工艺生

产，生产的工艺流程如图 2-14 所示。所用的主要设备有混合预处理设备、挤压机、输送设备、油炸机、调味滚筒、包装设备等。这一工艺中，挤压的压力不是很大，挤出物的膨化度很小，挤压起到了蒸煮和再成型的作用。

(圆) 原料配方摇油炸玉米片挤压小吃食品的主要原料是玉米粉，玉米粉的

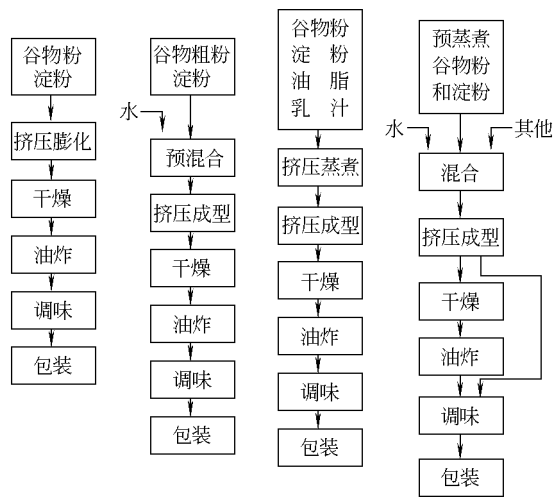


图 2-14 摇油炸玉米片的典型工艺

粒度一般为 20~40 目。辅助原料是小米粉、面粉等谷物粉和淀粉。所用的主要调味料是奶油、脱脂奶粉、维生素、矿物质、调味品等。表 2-15 中所示为玉米类挤压食品的主要原料配比。

表 2-15 摇玉米类挤压食品的主要原料配比（质量分数 %）

序摇摇号	玉米粉	小麦粉	大米粉	面粉	大豆粉	奶粉
员	80	20	20	20	20	20
圆	80	20	20	20	20	20
猿	80	20	20	20	20	20
源	80	20	20	20	20	20
缘	80	20	20	20	20	20

(猿) 操作要点摇首先玉米粉和其他原料通过装卸台进入调湿预处理设备，使玉米粉的水分质量分数达到 20%~30%。调湿后的玉米粉通过斗式提升机，被送入挤压机料斗，经挤压机挤压、蒸煮、成型、切割，挤出产品通过带式输送机进入连续油炸槽内进行深度油炸，在油炸过程中，湿物料中水分蒸发，最终油炸后产品的水分质量分数小于 10%，油脂含量达到 20%~30%。油炸后的产品被



送入调味转筒中进行调味，由于油炸产品表面有油并已发热，因而一些粉料调味品、盐乳汁等容易分布在产品上，利于调味。

压玉米片粥

国内生产有各种各样的谷物片粥，如玉米片、米片等，基本的生产工艺如图

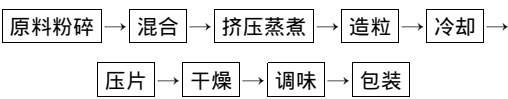


图 压玉米片粥的基本生产工艺

谷物片粥不同于油炸类食品之处在于它在挤压蒸煮后不经油炸，而只是进行干燥。

生产谷物片粥常用纯玉米粉，也可以用玉米粉、大米粉、小麦粉及其他谷物粉的混合物，调味料根据需要进行混配，有辣味、孜然味等。

进行挤压加工操作时，原料水分质量分数、挤出温度、螺杆转速和挤出产品干燥后的水分质量分数都是重要的操作参数，原料水分质量分数一般为 $15\% \sim 25\%$ ，挤出温度为 $150^{\circ}\text{C} \sim 180^{\circ}\text{C}$ ，螺杆转速根据挤压机类型，一般为 $100 \sim 300 \text{ r/min}$ ，成型、干燥后产品的水分质量分数一般为 10% 。这类产品的生产过程中挤压的压力较高，成品的膨化度亦较高。

压玉米果

玉米果是一种最普通的膨化食品，它以玉米为主要原料，经过挤压蒸煮后膨化成型，再进一步油炸或焙烤使之脱水，并在表面涂上一层美味可口的调味料。

(员) 工艺及设备摇玉米果加工主要设备包括搅拌器、斗式升降机、挤压机、清理滚筒、油煎锅或烤炉、覆层转筒、调料混合系统等。所用设备可根据产品的不同而加以选择。

用于生产膨化食品的挤压机通常长度较短（长径比 $2 \sim 3$ ），见表

表 生产玉米果的挤压机的主要参数

项摇项目	参数值	项摇项目	参数值
挤压机转速 r/min	$100 \sim 300$	加入的水量 kg/t	$10 \sim 20$
机筒温度 $^{\circ}\text{C}$	$150 \sim 180$	挤出产品的水分质量分数 $\%$	$10 \sim 15$
机筒压力 MPa	$2 \sim 3$	挤出产品的容积密度 kg/m^3	$100 \sim 150$
干成分进料速率 kg/h	$10 \sim 20$		

挤压机的进料过程必须连续、均匀、稳定，否则进料的波动会影响挤压过程并造成出料时流量和质量的不稳定。对于生产玉米果食品，采用最普遍的是小型振动进料系统。

玉米果的涂料方式有两种，一种是在膨化产品上喷淋植物油，再撒上各种不同的干调料；另一种是先将油、调料、香料等在混合缸内混合均匀，当膨化产品在一根涂料轴上滚动时涂上混合调料。两种方式的配套设备有所不同。

玉米粉的颗粒大小会对玉米果食品的质地和口感产生影响，表 2-10 为用于挤压生产的最常用的灭菌黄玉米粉的规格。

表 2-10 最常用的灭菌黄玉米粉的规格

分分析摇内摇容	标准	变化范围 转	
		最小	最大
水分	转转转	转转转	转转转
蛋白质	转转转	转转转	转转转
油	转转转	转转转	转转转
纤维	转转转	转转转	转转转
灰分	转转转	转转转	转转转
提取物中氮的质量分数 转	转转转	转转转	转转转
容积密度 转早 皂 转	转转转	转转转	转转转
美国筛分粒度比例 转			
转目	转	转	转转
转目	转转转	转	转
转目	转转转	转	转转
转目	转转转	转转	转转
转目	转转转	转转	转转
转目	转	转	转
透过 转	转	转	转

摇摇在挤压过程中，原料的粒度最好是均匀的，否则物料在喂料系统中和机筒内会发生分层现象，当水加入后，细粒会很快地吸收水分，从而使粗粒缺水。这种情况会使产品易碎裂且质量不稳定。这种现象在使用单螺杆挤压机时尤为突出。

(圆) 玉米果成分摇典型的涂有奶酪的玉米果成分见表 2-11

表 2-11 典型的涂有奶酪的玉米果成分

成分	配方 粤转	配方 月转	成分	配方 粤转	配方 月转
挤压成型的玉米果	转转转	转转转	奶酪调料	转转转	转转转
可可油	转转转	转转转	盐	转转转	—
黄色干酪粉	转转转	转转转	总和	转转转	转转转
酸性乳清粉	转转转	—			

2.2.2 挤压马铃薯脆片及薯条

(员) 挤压马铃薯脆片生产工艺摇挤压马铃薯脆片生产工艺类似油炸玉米片的工艺可以挤压生产马铃薯片小吃食品。生产时，将 转转转的马铃薯粉和 转转转的玉米粉，调水分（质量分数）至 转转转，利用挤压机在 转转转温度和 转转转压力下挤出，获得膨胀率达 转转转以上的挤压产品，然后在 转转转的热空气中干燥 转转转，再用盐和油进行调味，即获得马铃薯脆片。

(圆) 油炸薯条生产工艺摇油炸薯条生产工艺流程如图 2-11 所示。

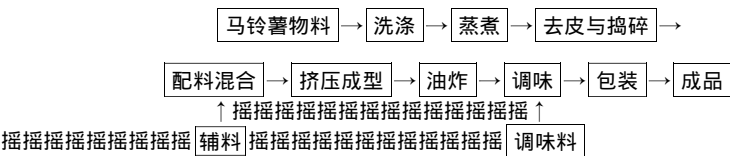


图 油炸薯条生产工艺流程图

其操作要点如下所述。

① 原料处理，选择品质好的马铃薯（无霉变、发芽、破损）洗涤后切成约 2mm 的薄片。

② 蒸煮，马铃薯经切片后应立即蒸煮，其目的在于：马铃薯经蒸煮后，易于去皮，能杀灭马铃薯内多酚氧化酶的活性，避免发生酶促褐变反应，达到控制成品颜色的作用。蒸煮时间应视所采用的设备及马铃薯片的厚度而定，一般控制在 10~15min，蒸煮后的马铃薯应能手捏成团，且具有一定的韧性，但不能过分蒸煮，否则淀粉分子过度松散，影响产品的赋形。

③ 去皮与捣碎，马铃薯的皮层为深土色，如果混入成品中会影响制品的色泽、口感等，所以必须去除。马铃薯的胚乳部分的主要化学成分为淀粉，经蒸煮后，易于破碎；而皮层中的主要化学成分为纤维素，它具有较强的韧性。在机械捣碎作用下，胚乳易于破碎成泥，而皮层能保持较完整的片状。根据这个特点，可以将皮层用筛落的方法将其从马铃薯泥中分离出去，筛子的孔径一般以 1mm 为宜。

④ 混合，将脱皮后的马铃薯泥按 40%~50% 与 10%~15% 的玉米粉相混合，添加玉米粉的目的有二：首先是能改善制品的风味与质构，使之更加松脆可口；其次是为了控制混合后物料的水分，以利于下个工序挤压成条。

其他添加剂，如调味剂、增色剂、乳化剂等配料也可以少量加入混合料中，其添加量取决于制品所要求的味道及色泽。典型的马铃薯面团的配方如表 1 所示。

表 1 典型的马铃薯面团的配方

成分	质量分数 / %	成分	质量分数 / %
脱皮马铃薯泥	40~50	乳化剂	0.5~1
玉米粉	10~15	调味料与着色料	0.5~1

乳化剂一般采用食品工业用分子蒸馏单甘酯与卵磷脂等，也可以适量加入部分食品用胶类物质，如瓜儿豆胶、黄原胶等。进一步改善马铃薯制品的品质，使制品的表面光滑平整，并具有较好的质构。

混合设备可选用一般单轴混合机，混合时间约为 10~15min。

⑤ 挤压成型，混合后的马铃薯面团，经螺杆挤压成型机挤压，制成条状的预作品。马铃薯条的粗细，可以通过调配挤压机模口孔径的方法，得到所需的尺寸。

寸, 而其长短, 则可通过调节切口刀的转速加以控制。一般薯条的直径控制在 8~10 mm, 长度为 10~15 cm 左右为宜。经过挤压机成型的薯条, 以松软适度、不相互粘连为佳。

影响挤压成型效果的主要因素有挤压机的转速、进入挤压机面团的水分质量分数等。转速过低, 会使薯条结构松软, 容易拆断, 且制品没有咀嚼性, 影响口感; 转速过快, 薯条表面粗糙, 制品粒度均匀性较差。具体情况应根据所选用模头尺寸及产品形状而定。进入挤压机的物料水分质量分数一般应控制在 18%~22% 范围, 过高或过低, 均会导致成品质量下降。

⑥ 油炸, 油炸的作用: 使产品进一步熟化, 提高其 α 度; 赋予产品最终的脆性、味道与色泽; 具有干燥物料的作用, 便于控制成品的水分质量分数, 达到安全储存的目的。

本工序中主要指标为油炸温度与油炸时间。油炸温度一般控制在 160~180℃, 油炸时间为 1~2 min 左右。经油炸的薯条水分质量分数应小于 18%, 油脂质量分数在 18% 左右, 以外观呈金黄色、色泽均匀、不焦不嫩、口感清脆为佳。

⑦ 调味与包装, 调味就是薯条经油炸后趁热立即拌入盐、味精等其他特色调味品, 使产品更加清香可口。调味设备一般选用滚筒连续式调味机, 它具有操作简单、自动连续、混合均匀等优点, 在国内外食品行业中广泛应用。

油炸食品的水分含量较低 ($\leq 18\%$), 在空气中存放时间过长, 容易吸潮变软, 使产品失去脆性, 并影响产品保存期, 所以调味后的成品应立即密封包装, 以防回潮。

3. 面包干

面包干与烤面包相似, 起源于欧洲。现在已在休闲食品中占有重要的地位, 成为一种全球性食品。传统的制作面包干的方法是将面团压片成型后进行焙烤获得。由于面团水分质量分数高, 需较长时间焙烤, 能量消耗亦随之增高。如今用挤压技术生产面包干, 则直接用干面粉进行挤压, 既经济又方便, 还能制成更多的形式和风味来满足不同消费者。用挤压方法生产的面包干与传统焙烤加工的面包干相比, 颜色较明亮, 质地较轻盈。由此可见, 挤压法可使高纤维的面包干变得更粗糙松脆, 能增加脂肪和糖的含量, 可生产出像饼干一样质地的产品。

(5) 工艺及设备 生产面包干的挤压装置是同向旋转型双螺杆蒸煮式挤压机。面粉、奶粉、植物油、糖和盐等干料混合物被定量送入挤压机内, 同时将糖浆、油等其他液体物料喷进机筒内, 以改变原料组成。混合物在低水分质量分数 (18%~22%) 和高温 (160~180℃) 条件下蒸煮、成型, 并通过模具形成一定形状, 由切刀切割成一定长度, 然后干燥或焙烤到最终水分质量分数为 18% 的成品。在焙烤过程中温度会上升至 200℃, 但时间非常短 (1~2 min)。焙烤完毕的面包干经冷却后被输送至包装设备进行包装。生产面包干的工艺流程如图 2-12 所示。

所示。

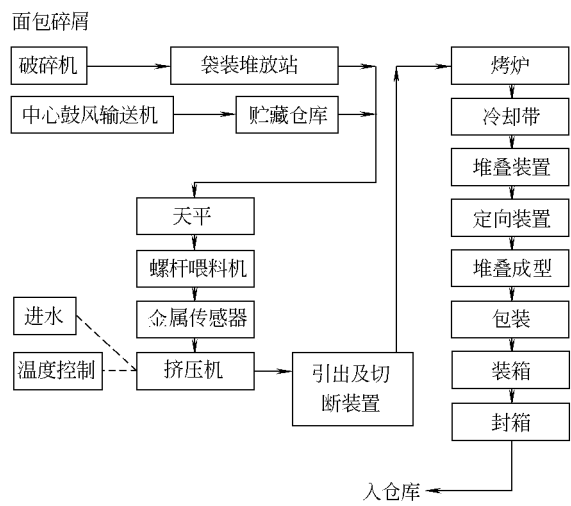


图 用挤压蒸煮生产面包干的典型流程图

利用这套生产线可以生产如松脆的椒盐饼干和条状面包等产品，仅需改变模具孔的形状以及挤压后的后道工序。松脆的椒盐饼干和条状面包在挤压过后应涂上一层稀碱性溶液，洒上盐、芝麻或其他调味料，然后再进行焙烤。

成分分析摇为了提高面包干的营养性，可在基本的成分中加入麸糠或纤维。在欧洲，规定各种类型的面包干纤维含量约为 15%。通过挤压蒸煮技术生产的两种典型面包干的主要成分如表 所示。

表 两种典型面包干的主要成分

配方 粤豫		配方 月豫	
谷类、面粉或淀粉	100	小麦粉	100
小麦麸糠	10	米粉	100
小麦面筋质	10	奶粉	源
		糖	缘
		盐	员
		植物油	圆

提高纤维、蛋白质、脂肪含量，将降低膨化度，产品质地较硬；而提高淀粉含量，将提高膨化程度并使产品的质地较软。

挤压全膨化类小吃食品

挤压全膨化类小吃食品的生产工艺与前面所述的生产工艺相比，较为简单，利用的原料主要是各类谷物粉及少量奶粉、糖等添加料和调味料。其生产方法分为两种，一种是将调味品和原料预先混合，然后挤压膨化；另一种是先将原料挤压、膨化、成型，然后再在调味转筒中调味。与前几种不同的是，这类产品的膨

化度很高。

表 2-2-1 所示是利用玉米和大米配以各种辅料加工出的不同成分、不同风味、不同形状的全膨化类食品的原料配方。

表 2-2-1 挤压全膨化类食品的原料配方（质量分数 %）

味型	大米	玉米	白糖	植物油	香精	奶粉	鸡蛋	盐	味精
甜味	源	源	缘	缘	源	园	园	园	园
香菇味	源	源	源	缘	源（香菇素）	园	苑	缘	缘
海鲜味	源	源	源	缘	源（海米）	园	园	缘	缘
蛋香味	源	源	源	缘	园	园	苑	缘	缘
奶香味	源	源	缘	缘	园	缘	园	园	园
咖喱味	源	源	源	缘	源（咖喱粉）	猿	园	缘	缘

2.2.2 夹心小吃食品

共挤压膨化可使物料在挤压过程中，形成中空的管形。管中可充填奶油、果酱等馅料。通过共挤模孔排出并经切断的各种夹心食品进入烤炉或连续油炸锅内，使其水分质量分数控制在 10%~15%，待冷却后包装。

这类夹心小吃食品中的水分和脂类物质易从夹心物中转移到外壳中去，会影响产品的货架寿命。随着挤压技术研究的不断进展，这个问题会得到解决。

夹心小吃食品可采用 员台双螺杆挤压机，员台夹心泵和 员套共挤模具来进行生产（如图 2-2-2 所示）。

在共挤压过程中，挤压蒸煮的物料从机筒轴线方向流向模具，而夹心料垂直于机筒轴线泵送到挤压物料的中心部位，然后转过 90°与挤压物料同轴且同时地从模具中挤出。

在生产夹心小吃食品时，应当考虑夹心物是否是热敏性或是高脂类含量的问题。因为在挤压高度膨化的食品时，温度有可能达到 150~160℃。在这个温度下注入的夹心物温度就可能会升高 10~20℃，会对某些夹心物的品质产生影响，应当考虑此种影响。另外，模具和挤压物中的热量也会传递到夹心物内。为此，可采用绝热性的材料制造模具并改变夹心物的成分来提高其热稳定性。

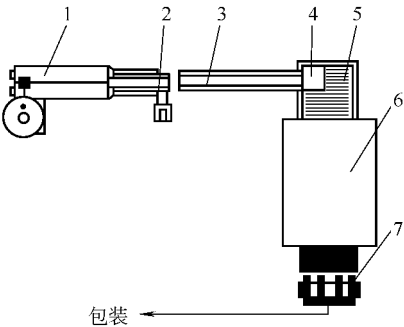


图 2-2-2 共挤压成型的管状夹心食品的生产平面图

员—挤压机；圆—夹心泵；猿—稳定带；
源—旋转切刀；缘—管状夹心食品；
远—干燥器或烤炉；苑—最终切刀

二、谷物类早餐食品的挤压生产工艺

(员) 生产工艺摇根据不同的挤压加工方法，可将谷物类早餐挤压食品分为膨化类、成型类、压片类、涂层类和夹馅类等。传统的谷物类早餐食品的加工主要利用的是焙烤和疏松剂膨化的方法，其生产工艺如图 圆豫圆。

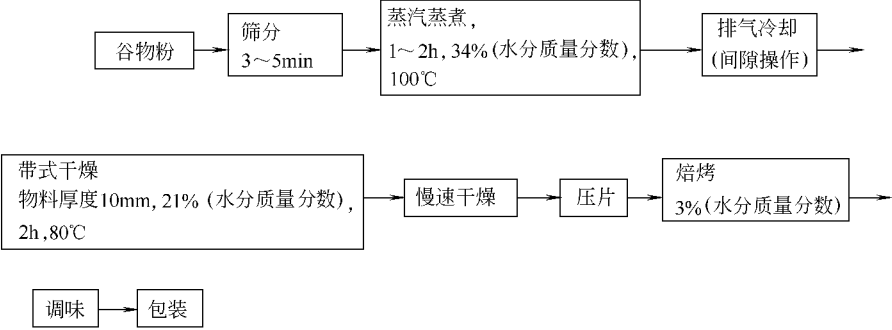


图 圆豫圆 典型的传统谷物类早餐食品的生产工艺

用传统的生产工艺生产量小、加工时间长、能量消耗较大。而用挤压加工技术生产谷物类早餐食品需要的时间短、能量消耗少，可以加工各种形状的产品。现在大有用挤压加工方法逐渐取代传统的焙烤和疏松剂膨化加工方法的趋势。挤压加工谷物类早餐食品的工艺路线如图 圆豫圆。

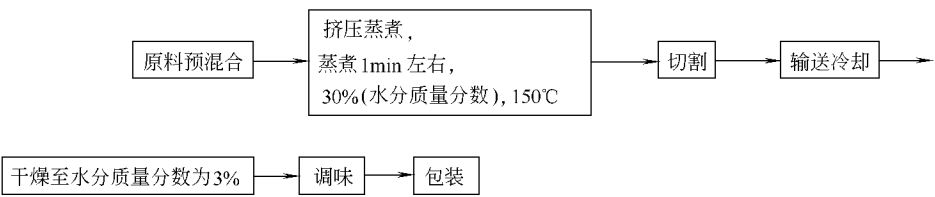


图 圆豫圆 挤压法生产谷物类早餐食品的生产工艺

通过对传统的加工方法与现代的挤压加工方法进行比较可以看出，挤压加工利用的原料范围广，几乎所有的谷物都可利用，并且可以方便进行各种原料的配制混合。挤压加工所需时间极短，大约在 员皂s 之内即可完成；而传统的蒸汽蒸煮工艺需要 员燥之多。传统的焙烤工艺配制的原料的水分质量分数为 猿豫 ~ 缘豫，而挤压蒸煮需要的水分质量分数低，一般在 员豫 ~ 猿豫 范围内，因此传统焙烤加工由于原料水分质量分数高因而能量消耗较挤压加工高许多。

(圆) 生产设备摇挤压加工谷物类早餐食品所用的设备有：液体输送泵、粉体输送装置、预混合设备、挤压蒸煮机、挤压成型机、压片机、调味冷却装置、筛分设备及储存和包装设备等。片状谷物类早餐挤压加工设备布置如图 圆豫圆所示。

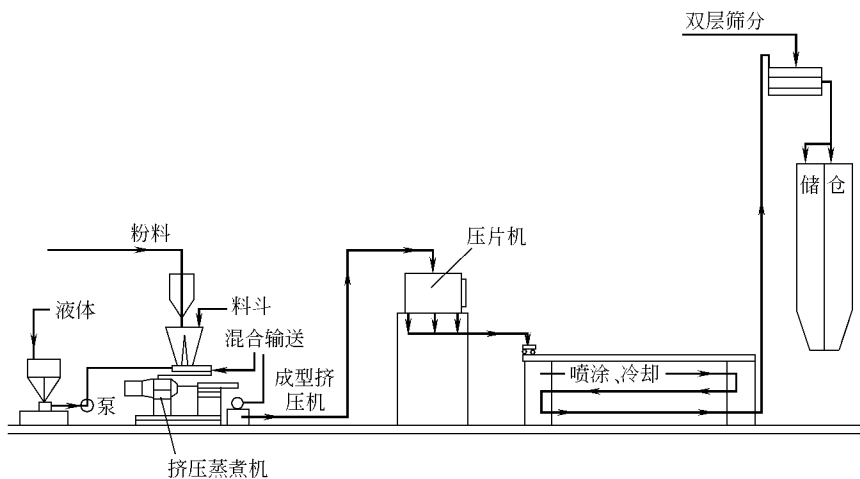


图 2-2-1 片状谷物类早餐挤压加工设备布置

(獭) 原料和配方摇挤压加工谷物类早餐食品所用的原料有：全颗粒谷物、谷物粗粒、谷物粉、淀粉、植物油、调味料、砂糖、麦芽糖和色素等。最常用的谷物原料是玉米、燕麦和小麦，常用的辅料有蔗糖、盐和玉米淀粉等，可以利用红糖和蜂蜜进行调味和调色，用脱脂大豆粉、浓缩大豆蛋白、维生素、矿物质强化其营养成分。用谷物和大豆的混合粉，使氨基酸互补，充分发挥原料的营养功效，可在不明显增加成本的基础上，大大改善产品的营养功效。常见的谷物类早餐食品的营养配方见表 2-2-2 所示。

表 2-2-2 摇谷物类早餐食品营养配方（质量分数獭獭）

序号	玉米	燕麦	小麦	脱脂大豆粉	蔗糖	麦芽糖	蜂蜜	盐	卵磷脂	维生素	矿物质
员	员	园	园	园	园	园	园	园	园	园	园
圆	园	员	园	园	缘	园	园	圆	园	园	园
猿	猿	猿	猿	员	员	园	圆	圆	员	缘	员
源	猿	园	苑	园	愿	园	圆	圆	缘	缘	员
缘	缘	园	猿	圆	缘	员	员	圆	员	缘	员
远	苑	园	员	圆	员	园	园	圆	园	缘	员

(源) 操作要点摇首先根据不同的需要和条件，选择原料组成，挤压加工谷物类早餐食品可以利用当地的任何谷物，其加工原理基本相同。原料选取需要根据营养平衡和调味的需要综合考虑。原料组成、原料水分质量分数和温度是谷物类早餐食品生产过程中的主要影响因素，不同的挤压产品和形状要采用不同的挤压操作参数。

三、面类食品的挤压生产工艺

1. 通心面类食品挤压生产工艺



通心面起源于中国，发展于意大利，现已成为西方国家中最为常见的面食。随着我国生活水平的提高，国内通心面销量日见增长。

(员) 生产工艺摇通心面具有较高的机械强度，不易断裂，久煮不粘连，口感格外滑爽而有咬劲。通心面一般以小麦面粉为原料，经和面、挤压和干燥而成。典型的通心面类食品的挤压生产工艺如图 圆所示。

(圆) 生产设备摇生产通心面类挤压食品的主要设备包括：原料喂料系统、预混合设备、面团揉制装置、挤压机、切割装置、干燥轱轳系统和包装设备。其中通心面类食品挤压机主要完成成型功能和蒸煮功能，其工艺要求比较特殊，螺杆对面团的作用介于前面所述的挤压蒸煮和挤压成型之间，剪切强度要求较小。

螺杆结构特殊，一般情况下螺杆的长径比较小，机筒温度较低。

(猿) 原料和配方摇意大利传统的通心面以杜伦小麦为原料，后来，逐步开始在小麦面粉中添加部分大豆蛋白粉、奶粉、鸡蛋、番茄酱和蔬菜粉等以提高其营养价值和风味。美国通用谷物公司利用猿的小麦粉、猿的玉米粉、猿的脱脂大豆粉组成的混合粉制成通心面，这种通心面的营养价值较高，但由于玉米粉的添加量大，产品质构较差。挤压加工通心面类食品的主要原料是粒度在员目以下的小麦面粉，常添加的辅助原料主要有如下几种：

- ① 全蛋粉、蛋黄粉；
- ② 大豆粉、豌豆粉、蚕豆粉、浓缩蛋白或分离蛋白，其中符合人类氨基酸互补要求的谷物粉和大豆分离蛋白的最佳组成比例（质量比）是玉米颐大豆分离蛋白为 愿员远，小麦颐大豆分离蛋白为 苑愿员，稻米颐大豆分高蛋白为 怨愿愿，燕麦颐大豆分离蛋白为 愿愿缘；
- ③ 动物蛋白类，如乳清蛋白、酪蛋白、奶粉、鱼蛋白、血蛋白、微生物蛋白等；
- ④ 改善通心面的蒸煮品质的添加剂，如卡拉胶、藻酸盐、植物胶、脂肪

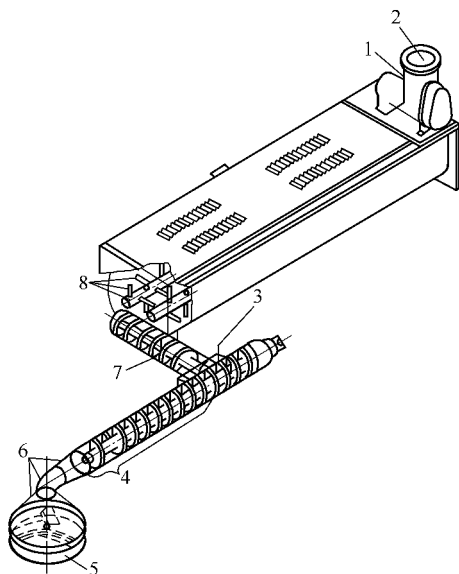


图 圆 单螺杆挤压机挤压加工通心面类食品工艺图
员—干粉和水的螺旋喂料器；圆—原料喂入口；猿—真空排气装置；源—挤压机输送成型螺旋；缘—挤压机机头和切割器；远—机头过渡段；苑—搅拌输送螺旋；愿—混合搅拌器

酸等；

⑤ 为改善产品的韧性和弹性，可添加单硬脂酸甘油酯（单甘酯）、卵磷脂、微晶体蛋白、纤维素和碳酸钠等。

另外，为补偿小麦面粉在混合过程和挤压蒸煮过程中维生素、矿物质等营养物质的损失，在原料中可以添加营养强化剂，例如维生素 月 维生素 阅 钙、氨基酸等。

（源）操作要点摇和面、挤压和干燥是通心面类食品挤压加工的关键。生产时，把面粉、水及其他辅助添加剂在定量之后进行预处理，调水分质量分数至猿豫，然后喂入单螺杆成型挤压机或双螺杆挤压机中挤压蒸煮成型。采用不同结构与形状的头，可以生产出空心类、圆柱状、片状、字母状的短面条或长面条。其挤压温度和螺杆转速都较加工膨化产品低，一般挤压温度在缘益左右，螺杆转速在愿~愿r/min。通心面类食品的干燥过程是消耗能量较大的操作单元，一般分为预干燥、主干燥和冷却猿个阶段，干燥的方法有低温干燥、高温干燥、微波干燥等。

圆鲜湿面挤压生产工艺

鲜湿面又称水煮面、软罐头方便面，在日本则称为长寿面。鲜湿面不经油炸，脂肪含量少，既可配以汤料，又可凉拌，具有新鲜水煮拉面的风味。鲜湿面可采用传统生产工艺生产，也可采用螺旋式挤压机生产。

（员）生产工艺流程摇鲜湿面挤压生产工艺流程如图 圆所示。

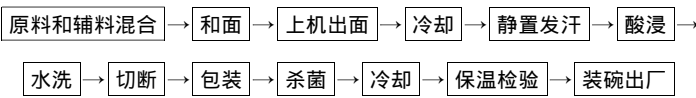


图 圆鲜湿面挤压工艺流程图

（圆）原料和辅料配比摇鲜湿面挤压生产的原料和辅料主要有：面粉、玉米淀粉、海藻酸钠、大豆色拉油、复合磷酸盐、酸、碱、乳化剂等，其配比如表 圆所示。

表 圆鲜湿面原料和辅料配比

原摇摇料	质量分数 豫	原摇摇料	质量分数 豫
面粉	怨	海藻酸钠	员
玉米淀粉	员	复合磷酸盐	圆缘
漂白剂	圆缘	大豆色拉油	员~圆
食盐	员	羹调整剂	圆缘酸液
碱	圆圆	单甘酯	圆圆

（猿）工艺要点

① 和面，先将玉米淀粉糊化处理，然后与面粉及其他辅料一起在常温下混

合。温度不宜过高，适当延长和面时间，一般在 10~15min，以增强面团筋力。另外，添加 0.5% 的活性面筋粉，或在保证和面充分的情况下减少和面用水量，可防止面条断条。

② 上机出面，面团上机之前，先清洗出机内脏物，在机腔内薄薄地刷一层色拉油，通电将机内的水加热烧开，然后从入口处加入面团。在螺旋杆（导料杆）的作用下，面团一边受到揉捏挤压，一边加热熟化，最后从出料口的出面孔挤压而成湿面条。出条中若发生出条少的现象，应检查出面孔是否阻塞。

③ 冷却，经过高速旋转（1500~2000r/min）和开水的漂烫，刚从出面孔挤出的湿面条温度比较高，必须将其冷却至室温。

④ 静置发汗，面条冷却后放置于收汗板上，盖上塑料薄膜，室温下放置 2~3h，使糊化后的淀粉分子有序化与面粉蛋白质一起形成稳定的面筋网络，提高面条的食用品质。

⑤ 酸浸、水洗，把湿面条放入 0.5% 的酸液中浸泡一段时间，使面条吸酸，调整 pH，同时起到增白的作用，而水洗则使面条收敛凝胶。

⑥ 包装，采用 0.025mm 材料或 0.035mm 材料包装，同时滴入 0.5 滴色拉油，防止面条粘连。

⑦ 杀菌，在 80~85℃ 热水中杀菌 10min

⑧ 冷却，杀菌后的面条采用风冷方式冷却至室温。

⑨ 保温检验，将杀菌冷却后密封完好的面条存放于 4℃ 环境下 24h，按标准检验其微生物指标。将检验合格的面条配以汤料包装碗，密封后即为鲜湿面成品。

鱼肉面条挤压成型生产工艺

鱼肉面条是我国沿海人民的传统食品，也适合各种消费人群，可兼作主副食品。鱼肉面条制作方法很多，如将鱼糜与淀粉、面粉混合敲制成熟后压面切条的方法；有将鱼糜糊通过长扁口喷嘴挤出在输送带上直接加热凝胶而成型的方法，并基于此原理，成功开发了鱼肉面条成型机；也有在鱼肉面条成型机上进行鱼肉面条挤压成型工艺的方法。

（一）鱼肉面条挤压生产工艺流程

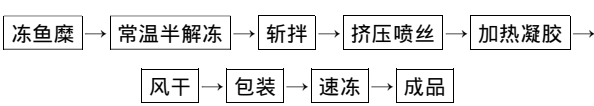


图 1 鱼肉面条挤压成型生产工艺图

（二）主要原辅料

鱼肉面条生产的原料和辅料主要有：鱼糜、玉米淀粉、食盐、味精、姜粉、黄酒、海藻酸钠、碳酸氢钠、鸡蛋清等。

（三）生产设备

生产鱼肉面条挤压食品的主要设备包括：鱼肉面条成型机、

斩拌机。鱼肉面条成型机由喂料、螺杆挤出、凝胶定型等装置及控制柜组成。喂料装置（由三相电动机驱动）通过螺旋加料器将鱼糜糊送入螺杆挤出装置，螺杆挤出装置（由电动机驱动）在等螺距、内径渐增的螺杆推动下，鱼糜糊从其出口端长条多孔（孔数，孔径）喷嘴挤出，凝胶定型装置为网带链式输送机（由电磁调速电动机驱动），将喷出的鱼肉面条在输送过程中加热凝胶而定型；其尾部为定长切断器，切断落料。

（源）操作要点 摇冻鱼糜解冻后，温度保持在以下，防止加工过程吸热升温鱼糜变性降低品质。淀粉添加量为。

鱼糜的斩拌，分空斩拌、加盐斩拌、加辅料斩拌个过程，各占时间。其中加盐斩拌，使其肌动球蛋白被盐溶液溶解，提高鱼糜制品的弹性，延长斩拌时间有助于肌动球蛋白从鱼糜中溶出。斩拌过程中高速旋转切刀与鱼糜激烈摩擦，使鱼糜温度升高，弹性下降，一般斩拌时间为。

鱼肉面条挤压过程中，喂料速度、螺杆转速会改变挤压力大小，从而引起鱼肉面条弹性、外观、产量的变化，一般螺杆转速控制在。

凝胶温度和凝胶时间对成品品质影响较大，尤其是凝胶温度。鱼肉面条升温时要快速通过劣质化温度，因此水温要较高，但不要超过，防止蒸汽大量逸出，一般控制凝胶温度为。

玉米面条挤压法生产工艺

近年来，随着经济的发展和水平的提高，人们越来越重视食品的营养和风味，过去不受欢迎的杂粮因在营养方面的优势转而受到青睐。于是，各种杂粮食品应运而生，玉米面条、荞麦面条便是其中的例子。玉米是一种营养价值较高的杂粮，但用一般方法加工成面条类食品，其风味和口感不一定能得到广泛的接受；同时，玉米不含面筋蛋白质，如果采用传统的辊切法生产，当用量在面粉中的比例较大时，会出现成型困难、断条率高等问题。采用挤压成型和保湿老化等技术，可获得营养高、风味好、品质良好的玉米面条。

（员）工艺流程 摇玉米面条挤压法生产工艺如图。

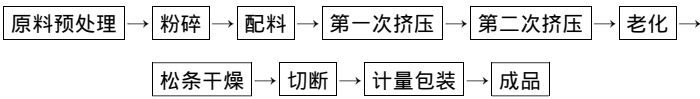


图 玉米面条挤压法生产工艺图

（圆）主要设备 摇生产玉米面条的主要设备包括：锤片式粉碎机、拌粉机、双筒自熟式挤压机、烘房等。

（猿）操作要点

① 原料选择及预处理，选择籽粒饱满、无发霉和无虫蛀的普通玉米（黄玉

米、白玉米均可),经除杂后进行水分调节,再用碾米机或卧式脱胚机将胚和皮脱除,以避免将皮和胚的不良风味带入产品中。

原料的直链淀粉与支链淀粉的比例会影响挤压操作和产品质构特性。直链淀粉含量高时,挤条速度快、挤出过程所需动力小、产品质地较硬;支链淀粉含量高时,糊化后黏性较大,流动性差,挤压面条速度较慢,动力消耗增加,但产品较软。

② 粉碎,采用锤片式粉碎机、爪式粉碎机或辊式粉碎机,粉碎后的玉米粉应能通过 20 目筛网。物料细度至少应达到 40 目,以 40~60 目较好。

③ 配料,在拌粉机内加入玉米粉和水,充分拌匀后,加水量为物料的 15%~20%,拌好的粉料以手握可成团,一碰即散为宜。

④ 挤压,挤压分两道进行。第一道采用变螺距单螺杆挤压机(熟化机),螺杆转速较高,目的是使物料在挤压过程中受到强烈的摩擦作用和剪切作用,发生淀粉糊化而熟化。要求挤出的面条结构较紧密,有较好的弹性、韧性、光泽和初步的透明感。第二道为等螺距单螺杆挤压机(挤丝机),螺杆转速较低,作用是对物料进行挤压、揉捏,以形成均匀、紧密的组织结构,并使淀粉进一步糊化。要求挤出的面条粗细均匀,无气泡,表面光滑透明,富有弹性、韧性。

螺杆转速与挤压产量有密切关系。提高转速,物料进入量多,产量高,但转速过快,压力增加,出机面条易弯曲、严重时还会导致出料孔板破裂。由于自熟式挤压机转速是固定的,操作中不能调节,所以在设计时应注意这一点。本工艺采用的挤压机转速分别为:熟化筒螺杆转速为 1500 r/min;挤丝筒螺杆转速为 1000 r/min(可作为实际应用的参考)。

挤压温度是影响淀粉糊化和产品膨化度的重要因素。对自熟式挤压机来说,由于挤压过程中所需的热量来自物料与螺杆、机筒之间的摩擦作用和剪切作用,挤压温度不易控制。因此,操作者必须摸索挤压湿度与进料量、物料性质、水分质量分数、螺杆转速、环境湿度、冷却水流量等之间的关系,才能使产品质量保持稳定。

⑤ 剪断、挂竿、梳理,面条挤出后,按每 10 cm 的长度剪断,挂在竹竿上,然后用钢梳把散乱的面条梳理整齐。

⑥ 老化,在密闭的老化室内,将面条逐竿挨紧挂在架上,保湿静置,使已糊化的淀粉发生老化(回生)作用,以增加面条的弹性、韧性,减少表面黏性。老化时间依环境温度和湿度不同而有很大差别,在自然老化的条件下,一般为 1~2 h,以面条不粘手、轻轻搓动能散开、柔韧有弹性为度。

⑦ 松条,一般先用手工搓散,再用钢梳梳理,使面条之间无粘连、无交叉。

⑧ 干燥,玉米面条的干燥技术与普通挂面类似,可采用单行移行式或多排隧道式烘房进行干燥,其条件如表 10-10。

表 10-10 玉米面条干燥技术参数

干燥阶段	温度 /℃	湿度 %	三阶段干燥时间所占比例 %
预干燥	40~50	80~85	10~15
主干燥	50~60	75~80	70~80
完成干燥	60~70	70~75	15~20

由于玉米面条结构紧实，脱水难度比普通挂面大，因此干燥时间应较长，通常为 12~18h，干燥后的面条水分质量分数应控制在 12%~15% 之间。

⑨ 切断、包装，多采用较薄的圆盘式锯刀将面条按规定长度切断，切下的面头可粉碎后再利用。玉米面条的档次比普通挂面高，采用印刷精美的塑料包装较好。

四、速溶粉末类婴幼儿食品及组合食品的挤压生产工艺

(一) 生产工艺 挤压技术能够有效地用于速溶粉末类婴幼儿食品、老年食品及组合食品的加工。挤压加工速溶粉末类食品的显著优点是工艺简单、多种食品原料可以自由组合加工。由于最终产品需要磨碎，因而对挤压机挤出产品的成型性要求不很严格。原料在喂入挤压机前根据营养平衡的需要进行合理的营养搭配，可以利用各种谷物、油料、豆类进行加工，加工后的产品易于储藏，食用方便。图 2-23 是较为典型的挤压加工速溶粉末类食品的加工工艺和设备路线图。从原料仓中按比例将所需原料输送到混合机内混合，送入喂料仓中，经预处理设

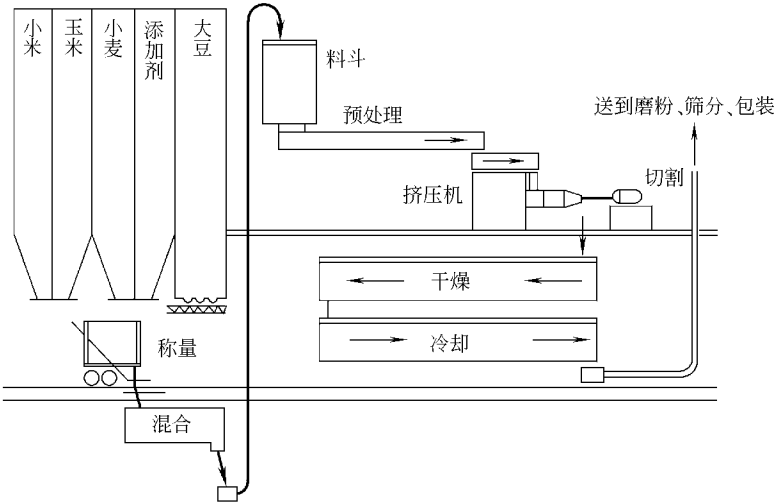


图 2-23 速溶粉末类食品挤压加工工艺和设备流程图

备处理后，喂入挤压机内进行挤压蒸煮，挤压的产品经切割后经干燥和冷却，送给磨粉机粉碎，分级包装。

(二) 原料和配方 速溶粉末类食品生产的原料配方是挤压加工中十分重要的内容。婴幼儿食品生产的必需条件是其须符合婴幼儿食品的营养及卫生标准，

此外须能很容易地被调制，可溶于奶或水，不会产生大量不溶物，易于婴儿消化吸收，并且营养丰富。

表 4-1 为婴儿食品的营养基本要求。在进行挤压加工婴儿食品的生产时，为使挤出的产品价廉物美，应选取营养丰富的去皮大豆、大米、米胚、玉米、奶粉、蛋黄粉、砂糖、芝麻、细骨粉等为原料，利用这些原料中的优质蛋白质、优良的不饱和脂肪酸以及丰富的维生素、矿物质元素。其中大米中的蛋白质具有较高的蛋白价。大豆和米胚不仅蛋白质含量高，而且含有较丰富的赖氨酸与苏氨酸，此外，它们都不同程度地含有多种维生素和矿物质及微量元素，从而保证了婴儿食品的营养基本要求。曾有学者以大米、大豆、米胚、玉米、奶粉、蛋黄粉、砂糖为原料，在保证婴儿对蛋白质、脂肪、热量以及赖氨酸、苏氨酸等必需氨基酸的需要量的前提下，以产品价格最低为目标，借助计算机分析进行配方优化，获得了最优膨化婴儿粉的配方：大米 35%、大豆 15%、米胚 15%、玉米 15%、奶粉 15%、蛋黄粉 10%、砂糖 10%。这一配方虽然未经过进一步的生产验证，但对膨化婴儿粉的配方设计有一定的指导作用。根据以往的众多试验发现，大豆的比例较高时，挤压生产的产品豆味较浓，因而添加部分分离蛋白或增加蛋黄粉来提高蛋白质含量是有必要的。此外，增加奶粉的含量不仅可以改善产品的营养特性，同时有助于提高挤压膨化婴儿食品的口感和风味。另外，考虑到婴儿对维生素和矿物质的需求，则按需要添加强化婴儿食品的营养素。表 4-2 介绍了一个挤压加工婴儿营养米粉的基本配方，可供挤压加工婴儿食品时参考。

表 4-1 挤压对以谷类为基础的婴儿食品的基本营养要求

项摇摇目	要摇摇求	项摇摇目	要摇摇求
热能(千焦/克)	1500~1800	维生素A(μg/克)	1000~1200
水分(%)	≤10	维生素B ₁ (mg/克)	10~15
蛋白质(%)	≥10	维生素C(%)	100~150
脂肪(%)	≤10	维生素E(μg/克)	100~150
总碳水化合物(%)	≥10	维生素K(μg/克)	10~15
粗纤维(%)	≤10	膳食纤维(%)	≥10
钙(%)	≥10	铁(%)	≥10
磷(%)	≥10	锌(%)	≥10
氯(%)	≥10	碘(%)	≥10
钠(%)	≥10	硒(%)	≥10
钾(%)	≥10	铜(%)	≥10
镁(%)	≥10	锰(%)	≥10
钴(%)	≥10	钼(%)	≥10
镍(%)	≥10	钨(%)	≥10
铋(%)	≥10	铀(%)	≥10
镉(%)	≥10	钚(%)	≥10
铊(%)	≥10	镭(%)	≥10
钋(%)	≥10	锕(%)	≥10
钍(%)	≥10	钷(%)	≥10
铀(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10
钷(%)	≥10	钷(%)	≥10

全脂奶粉	愿豫	维生素 悦	缘走早豫早
全蛋粉	园豫	碳酸钙	先昂豫早
麦胚粉	源豫	碳酸亚铁	员走早豫早
赖氨酸	园院愿豫	葡萄糖酸锌	猿园- 缘走早豫早
植物油	猿豫	磷酸钙或磷酸氢钙	员园园园科豫早
其他	园源愿豫		

组合食品的挤压加工是指在谷物基原料中，根据营养平衡的需要，添加油料、豆类以及氨基酸、维生素、矿物质等用来强化食品的物质，然后再进行挤压加工。从此定义可以发现婴儿食品是一种营养标准特殊的组合食品。

在加工组合食品时，蛋白质的来源主要是大豆、花生、芝麻等油料作物以及鱼粉和果仁粉等。通过食品的挤压组合加工，进行食品的质构重组，可以有效提高蛋白质的效率比值。对于营养供给不足的人来说，用大豆谷物组合制成的食品可以为人体有效提供营养物质，以提高营养水平。

猿种挤压组合食品的配方见表 园愿缘 表 园愿远和表 园愿苑 按表 园愿缘生产出的挤压食品的总蛋白质（干基）质量分数应大于 员豫，总脂肪（干基）质量分数应大于 远豫；按表 园愿远生产出的挤压食品的总蛋白质（干基）质量分数应大于 员远豫，总脂肪（干基）质量分数应大于 苑缘豫；按表 园愿苑生产出的挤压食品的总蛋白质（干基）质量分数应大于 园理园豫，总脂肪（干基）质量分数大于 远园豫。

表 园愿缘 摇玉米胚大豆粉组合挤压食品配方

成摇摇分	质量分数 豫	成摇摇分	质量分数 豫
预蒸煮玉米	远愿愿	精炼豆油	缘园
去脂大豆粉	缘园	预混合维生素与矿物质	园园
脱脂奶粉	缘园	水	员园园

表 园愿远 摇玉米胚大豆混合物挤压食品配方

成摇摇分	质量分数 豫	成摇摇分	质量分数 豫
预蒸煮玉米	远愿苑	预混合维生素与矿物质	园愿
脱脂大豆粉	园理园	水	苑园
精炼植物油	缘缘		

表 园愿苑 摇小麦胚大豆混合物挤压食品配方

成摇摇分	质量分数 豫	成摇摇分	质量分数 豫
预蒸煮玉米	苑愿源	精炼豆油	源园
脱脂大豆粉	园理园	预混合维生素与矿物质	园苑

挤压加工适合于加工多种原料的组合食品，表 园愿愿中所示是谷物与大豆按 苑愿猿比例混合时，挤压生产的组合食品的成分含量。

表 圆瑶瑶谷物与大豆按 苑颐猿比例混合挤出的组合食品成分近似分析

混合物	挤压温度 轳	水分质 量分数 轳	脂肪质 量分数 轳	晕质量 分数 轳	蛋白质 质量分数 轳	灰分质 量分数 轳	纤维素 质量分数 轳
苑缘玉米粉 猿缘去皮大豆	员圆	猿圆	源苑	圆苑圆	员圆圆	源缘	圆怨
苑缘全玉米 猿缘去皮大豆	员圆	猿愿	愿苑	圆愿苑	员圆怨	缘圆	圆圆
苑缘全玉米 猿缘去皮大豆	员圆	猿缘	源缘	圆愿圆	员圆缘	源缘	圆苑
苑缘全玉米 猿缘去皮大豆	员圆	缘圆	员缘猿	圆苑苑	员圆猿	源怨	圆源
苑缘全玉米 猿缘去皮大豆	员圆	猿源	员缘员	圆苑愿	员圆源	源怨	怨缘
苑缘全玉米 猿缘去皮大豆	员圆	圆怨	员缘源	圆怨猿	员圆猿	缘员	员苑
苑缘全玉米 猿缘去皮大豆	员圆	源源	员缘苑	圆愿愿	员圆圆	缘员	员苑

摇摇注：在这些混合物中均可添加 圆缘缘的维生素和 圆苑苑的矿物质以强化其维生素和矿物质水平。

五、变性淀粉和变性谷物粉的挤压生产工艺

蒸煮挤压技术是近年来在变性淀粉生产中的一种新技术，它是以集输送、混合、加热、加压和剪切等多项单元操作于一体的挤压膨化机作反应器，进行淀粉的热化学变性。该技术的优点有：

- ① 可以把几个化学过程操作放在单一的设备中进行，时空产量高；
- ② 化学反应在一个相对干的环境下，短时间内与淀粉的糊化同时发生；
- ③ 设备配套简单、占地小、操作方便、适应性强；
- ④ 可大量连续生产多种类型的变性淀粉；
- ⑤ 无污水产生。因此，用挤压机作反应器可生产氧化、酯化、交联和醚化等多种变性淀粉和淀粉聚合物，已逐渐引起人们的关注。

淀粉因其资源丰富而成为一种重要的原料，为拓宽淀粉的应用，许多技术用于淀粉的变性。目前变性淀粉品种极为繁多，在众多的变性淀粉中，预糊化淀粉是非常重要的。常用的生产预糊化复合变性淀粉的方法有两种，一种是滚筒干燥法，另一种是挤压蒸煮法，这两种方法的工艺路线如图 圆猿圆所示。

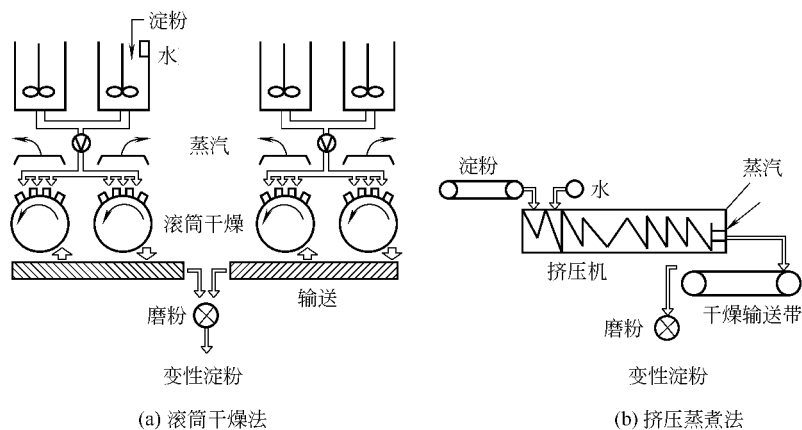


图 2-2-1 预糊化复合变性淀粉的加工工艺路线图

早期在生产预糊化复合变性淀粉时，主要利用的是搅拌反应釜和滚筒干燥机。生产时，将淀粉、水及其他添加原料加入到搅拌反应釜中，经过较长时间的加热反应，淀粉发生变性，然后排放（或洗涤）输送给滚筒干燥机进行干燥，淀粉同时预糊化和干燥；干燥后的薄片状变性淀粉被输送给磨粉机磨碎后获得粉末状的预糊化复合变性淀粉。利用挤压蒸煮工艺，将淀粉、水、添加剂直接喂入螺杆挤压机，经挤压加工后，淀粉同时完成化学变性、预糊化和干燥，然后冷却输送给磨研机粉碎。

据分析，利用挤压蒸煮法进行变性淀粉的生产比传统的滚筒干燥法生产，总成本可降低 20% 左右。例如，生产能力为 100 t/a 的传统变性淀粉生产线，需要 3 个容积为 10 m³ 的搅拌反应器和 1 台滚筒干燥机，而且每吨淀粉需要 1.5 t 水，将这些水蒸发干燥，能量消耗较大。用挤压蒸煮加工工艺，设备简单，可在原料水分质量分数较低的情况下，使淀粉预糊化。加工时间较短，生产量高且可以连续操作，能量消耗降低了，总成本当然可以显著降低。

挤压生产工艺

为了生产出高质量的变性淀粉、变性谷物粉，国外开发了双重挤压工艺，工艺流程如图 2-2-2 所示。

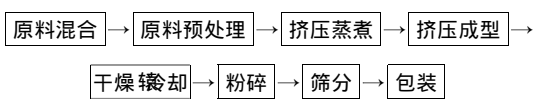


图 2-2-2 双重挤压变性淀粉生产工艺

首先，原料经过预处理后，在第一台挤压机内蒸煮变性。然后输送到第二台挤压机内挤压成型，切割为薄片状，进入干燥冷却系统进行干燥、冷却，为获得一定粒度的产品，最后还要进行粉碎和分级。

利用挤压技术可以生产预糊化淀粉、高黏度变性淀粉、酸变淀粉、双醛淀粉和交联淀粉等多种产品。类似此工艺,利用谷物粉(小麦粉、玉米粉、大米粉等)为原料,经挤压蒸煮可以生产各种变性谷物粉。这种变性的谷物粉,可以作为速溶饮料和其他食品的原料。

操作要点

在变性淀粉和变性谷物粉挤压加工中,选择的工艺参数主要有:原料种类、原料水分质量分数、喂料速率、加工温度、加工压力、机筒长度、螺杆结构和模头结构等。不同的设备和产品,要求的操作参数不同。一般挤压加工变性淀粉和变性谷物粉,原料的水分质量分数在 15%~25% 的范围内,挤压温度在 150~200℃ 之间。试验发现随着原料水分质量分数的减小,温度增加,物料受剪切程度增大,淀粉的变性和降解程度亦随之增加。挤压加工变性淀粉和变性谷物粉产品的主要指标有糊化度、水溶性指数、吸水指数、水溶性碳水化合物指数、淀粉降解程度和黏度等,通过这些指标的评估,可以了解挤压蒸煮变性淀粉和变性谷物粉的性能和质量。

六、面包片的挤压生产工艺

工艺流程

大型自动化面包片生产流程如图 6-1 所示,所用的设备主要有:原料称量系统、混合和喂料系统、挤压蒸煮主机、干燥和冷却系统、整形包装系统及控制系统等,各部分必须协调工作才能保证挤压过程的顺利稳定生产。

主要原料

面包片挤压加工的原料主要是小麦面粉,可添加少量辅料,如糖、油脂、奶粉、食用纤维等,允许添加 5% 的全脂奶粉,油脂的添加量一般不超过 1%。

操作要点

首先,原料从各储仓中按比例输送到预混合处理装置中进行预处理,再用螺旋喂料器喂入金属探测器以除去喂入原料中的金属杂质,然后喂入挤压机中进行挤压蒸煮,并按需要的长度进行切割。切割后的产品进行喷涂调味并干燥至水分质量分数为 10%~15%,此时,产品的温度达 100℃ 左右,将产品冷却到 40℃ 左右以后,进行收集与包装。面包片的挤压加工工艺比传统的焙烤脆面包总成本降低达 50%。原料中若添加全脂奶粉,则挤出的面包片更为可口,很像饼干。

七、全脂大豆粉的挤压生产工艺

大豆是我国七大粮食作物之一,也是四大油料作物之一。大豆含蛋白质 40% 左右,其蛋白质有较完全的氨基酸,是最好的非动物性高蛋白食品原料,通过常规工艺加工各种速溶豆奶粉、浓缩蛋白和分离蛋白时,都存在先将水加入到原料中,最终又将水利用喷雾干燥脱去的过程,这些加工过程所需设备庞大,能量消耗较高,成本较高。利用螺杆挤压机对大豆可生产出出发综合性能良好的全脂

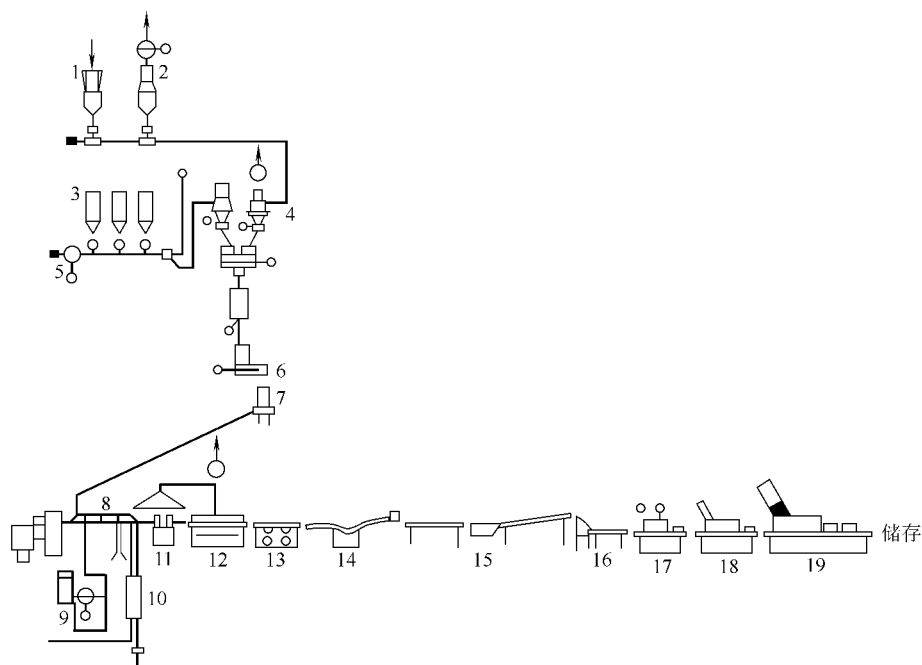


图 2-10 大型自动化面包片生产流程

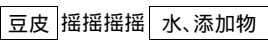
员—粉料仓；圆—装卸台；猿—储仓；源—称量；缘—原料分配自动控制；远—螺旋输送机；
苑—金属检测器；愿—挤压蒸煮机；怨—水喂入装置；员园—温度控制；员员—输送切
割装置；员圆—干燥机；员猿—冷却输送带；员源—成型机；员缘—输送
装置；员远—整形机；员苑—小包装；员愿—纸箱包装；员怨—大包装

大豆粉。使得这种大豆粉可以直接食用，也可以加入到面包、馒头、面条、米饭、蛋糕等主食中，充分有效地利用了大豆蛋白资源，对提高大豆的加工种类，具有十分重要的意义。

生产工艺

全脂大豆粉加工利用的原料是大豆，大豆加工中的关键技术是去除豆腥味。大豆中的豆腥味主要来源于大豆中的胰蛋白酶抑制素、脂肪氧化酶、脲素酶、血球凝集素等抗营养因子。去除豆腥味目前主要采用的是大豆水溶解加热（如各种速溶豆粉）焙炒、螺杆挤压蒸煮的方法。用挤压蒸煮方法去除大豆腥味对大豆进行深加工的特点是加热去腥的时间短，氨基酸、维生素等营养成分与其他加工方法相比损失较少，有利于提高大豆蛋白的消化吸收率，并且大豆在经过膨化后，体积膨大，成为酥松的网孔状，保留了大豆的特有香味，有利于进一步的调味。

较典型的双螺杆挤压机挤压加工全脂速溶大豆粉的工艺，如图 2-11



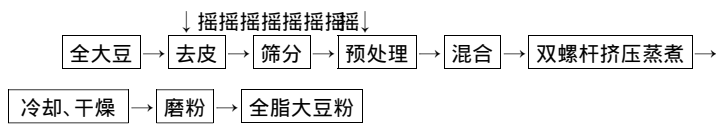


图 10-1-1 全脂速溶大豆粉双螺杆挤压工艺

图 10-1-1 是全脂大豆粉挤压加工的工艺设备流程图。研究表明，利用双螺杆挤压蒸煮加工处理全大豆生产全脂大豆粉，是十分有效的方法。双螺杆挤压处理大豆粉比单螺杆挤压加工的单位能量消耗更小，加工范围更为广泛。利用双螺杆挤压机生产全脂大豆粉，可以在单螺杆挤压工艺的基础上，进一步简化大豆粉的生产工艺。

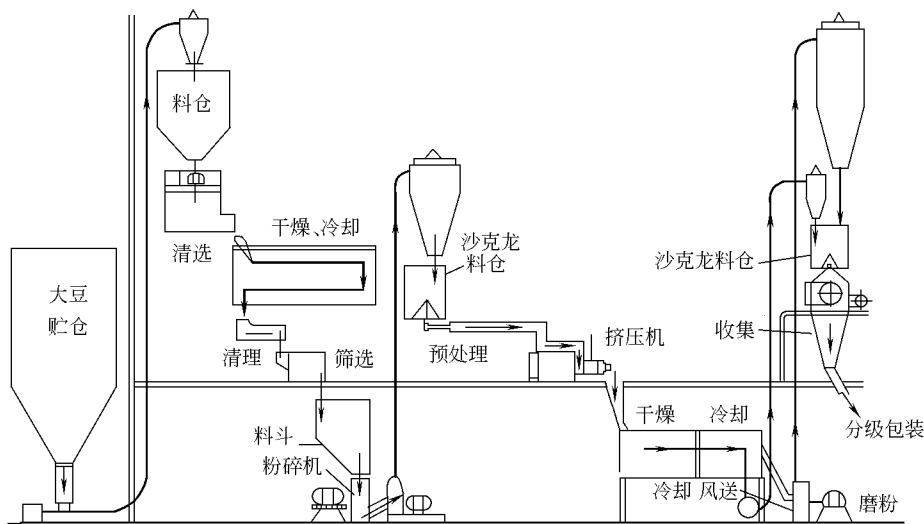


图 10-1-2 全脂大豆粉挤压加工的工艺设备流程图

10-1-2 双螺杆挤压生产全脂大豆粉的操作要点

利用挤压蒸煮法加工全脂大豆粉，原料在喂入挤压机前，需要进行预处理。设备不同，预处理的方法也不相同。整粒大豆经过冷水充分浸泡后，大豆颗粒吸水软化，再经双螺杆高温短时挤压后，大豆软化成黏稠状流体。大豆经双螺杆混炼、磨碎挤压后，豆腥味明显减弱。一般大豆加工常采用热蒸汽加热预处理脱皮大豆，一方面蒸汽可以调整原料的水分，另一方面热处理可以杀灭抗营养因子的活性。但预处理必然增加设备，尤其是蒸汽预处理需要供汽锅炉，这给某些无锅炉的生产厂家带来困难。由于挤压加工本身是一种高温、高压的处理方法，因此，采用双螺杆挤压加工，可以补充缺少预先热处理的不足，原料预处理工序可以由挤压机完成而无需增加设备。预处理输入物料的能量，在一定程度上可适当

补偿挤压机输入的能量，因此，经过预处理后，挤压过程中挤压机的单位能量消耗有所下降。

大豆在喂入挤压机前的颗粒及组成，对于挤压过程也有重要的影响。既可以采用全颗粒大豆直接喂入挤压机，进行挤压膨化，又可以采用去皮粗粉。根据双螺杆挤压加工的过程分析，整粒大豆首先经过粉碎处理，可以减少螺杆剪切粉碎物料消耗的能量，并且大豆经粉碎后，其混合均匀性、双螺杆输送性能变得良好。为此，选用粉碎的大豆粉，利用双螺杆挤压机挤压蒸煮，去除大豆中的抗营养因子，改善大豆的风味，是一种全脂大豆粉的有效加工方法。

粉碎的大豆粉经螺杆挤压后，通过机头成为颗粒状和棒状。将挤压产品和初始原料进行对比，可以发现挤压后的产品豆腥味明显减少，甚至几乎完全消除了豆腥味，并且产品有豆香风味，表面有油脂溢出，产品略呈淡黄色。从挤压产品的风味可以看出，利用螺杆挤压机加工全脂大豆粉的工艺是可行的。在大豆粉的挤压过程中，常发现机头模口处有油脂流出，挤压产品有油脂渗出，这种现象和结果对于挤压过程和产品有重要影响。由于大豆中含有约 15% 的油脂，在高温、高压作用下，油脂被榨出，一则有利于物料在螺杆和机头内部的流动和顺利挤出；二则也说明将大豆等榨油原料，用挤压机进行预处理，然后再提取油脂，可以在一定程度上提高出油率。因为挤压蒸煮的预处理作用，使物料内部的油脂浸出到表面，为其进一步提取创造了有利的条件。

八、用豆粕挤压生产大豆组织蛋白的工艺

1. 工艺流程

图 2-10 是利用单螺杆挤压机用豆粕加工具有膨松多孔结构的大豆组织蛋白的工艺流程图。

加工时，豆粕进入粉碎机中粉碎，经平筛除去豆皮等夹杂物，送入低温脱脂粉库中储存。粉料由低温脱脂粉库流入计量泵，送入搅拌器，同时磷脂罐将磷脂由计量泵注入搅拌器中搅拌均匀，搅拌后的混合物送入暂存斗中依次供应膨化机，在搅拌器中有时需再加入一些物料搅拌后落入膨化机上部的搅拌机中，该处为双搅拌翅式，在此加入 10%~15% 的水分同时进行加温。搅拌好的物料进入膨化机中，膨化机由主轴、机壳、孔板、割刀等几部分组成。壳体内可通入蒸汽加热，壳体内膛有不同形状的齿形槽，主轴呈螺旋齿状，旋转时将物料向前挤压推移。物料在机膛内逐步升温到 150℃，压力为 0.5~1.0 MPa，在此高温、高压下，蛋白质分子发生变性作用，同时由许多粒状蛋白粒子形成了分子排列整齐均匀的物体，并由于在出口处减压蒸汽蒸发形成的空腔体状，在此的高剪切作用下，粒状蛋白质变成纤维状、与肉具有相似质构的产品，因而此产品具有肉的咀嚼感。虽然加工温度较高，但时间极短，在 1~2 min 内即可完成。膨化后的粒状颗粒经脱臭器脱除大豆臭味，

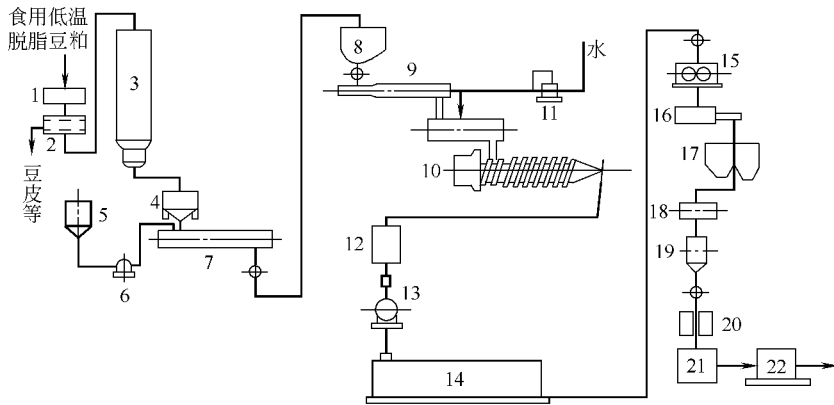


图 10-10 大豆组织蛋白生产流程

1—粉碎机；2—平筛；3—低温脱脂粉库；4—远—计量泵；5—磷脂储池；6—搅拌器；7—暂存斗；8—膨化机；9—泵；10—脱臭器；11—湿式粉碎机；12—干燥冷却机；13—干式粉碎机；14—分离平筛；15—成品暂存箱；16—分离筛；17—计量秤；18—金属探测器；19—装袋；20—金属探测器；21—装袋；22—金属探测器

再经湿式粉碎机 11 粉碎成粗粒，通过干燥冷却机 12 进行脱水冷却，冷却后的物料再经细粉碎，计量包装。

图 10-10 是利用双螺杆挤压机加工具有层状纤维组织大豆组织蛋白的工艺流程图及双螺杆挤压机加工大豆组织蛋白的工艺条件。双螺杆挤压机在加工大豆组织蛋白时，原料供给量、螺杆转速、捏合盘数目、添加水量等因素对产品性能影响较大。其中原料喂入量 and 水的添加量对产品的质量影响最大。添加水量对物料的滞留时间影响明显，添加水量越多，滞留时间越长。在机筒内大豆蛋白变成熔融状态，经过长嘴机头减压，冷却后成为条状产品。

10.1.2 操作要点

水分与原料之间的相互作用是大豆蛋白组织化的重要影响因素之一。在脱脂大豆组织化挤压过程中，原料中添加水一方面对物料的流变性能与输送性能有明显影响，此外，添加水对大豆蛋白的组织化过程也有明显影响。随着原料水分的增加，物料黏度明显下降，相应影响到物料在挤压机机头和挤压机内的流动与输送，同时影响到产品的成型与组织化。随着原料含水率的增加，主机功率消耗减小。

原料水分质量分数最大为 15%，最小为 5%。水分质量分数太小，物料堵塞片状机头，会引起主机超载。随着原料水分质量分数的增加，产品的纤维性组织减小。为满足脱脂大豆粉得到良好的组织化，有最佳纤维状结构和口感的要求，原料的水分质量分数在 10% 左右较为合适。

物料在挤压过程中所需热量主要来源于机筒加热和螺杆剪切产生的热量、物

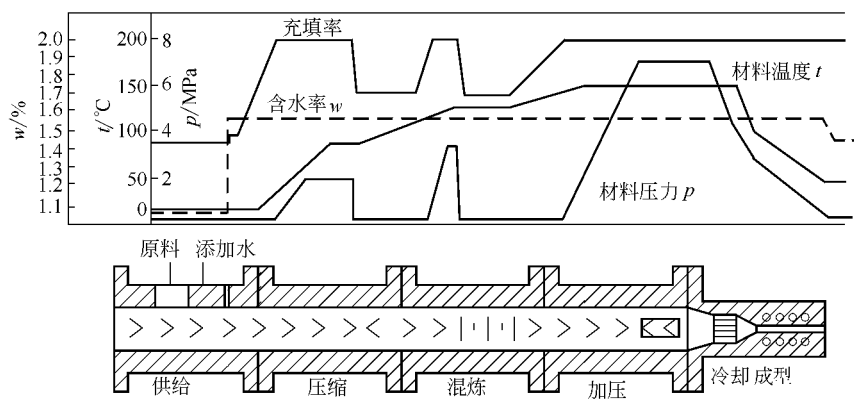


图 2-1 双螺杆挤压机加工大豆组织蛋白的工艺条件和流程图

>>>为输送螺纹元件；<<<为反向螺纹元件；|·|·|为捏合盘螺杆

(直径 ϕ 螺杆长径比 L/D ，主机功率 P ，喂料量 Q ，滞留时间 t)

料物理化学变化所吸收的热量，在挤压过程中，三者处于平衡。外界通过机筒传给物料热量，并通过加热器的加热时间调整热量；剪切产生的热量主要与螺杆转速与螺杆结构有关；原料吸收的热量与原料中的水分质量分数及原料组成关系密切。试验中，在喂料口的第一段、第二段，温度一般低于 100°C ，因为温度高于 100°C 时，产生的水蒸气容易从喂料口排出，从而影响喂料。在第四区至第六区，温度不能超过 150°C 。因为温度一旦超过 150°C ，物料易因过热而烧焦。在机头段为保证物料冷却凝固成型，可以使第六区的温度适当降低。

口感和风味是食品加工的重要参数、对于脱脂大豆蛋白组织化来说，很重要的指标是其内部是否形成纤维结构和挤压产品的豆腥味如何。因此，在挤压加工时，为了去除产品的豆腥味，消除大豆中的抗营养因子，改善大豆组织蛋白的口感，需要添加部分辅料，如食用碱、植物油、卵磷脂、盐、调味品等。

九、工程肉食品双螺杆挤压生产工艺

以动植物蛋白为原料加工工程肉制品，既可以改善食物结构，又能有效利用植物蛋白资源，达到营养平衡，缓解我国食物的供求矛盾、满足人们对食品品种和质量的要求的目的。国外一般采用价格低廉的原料，经加工处理，制成与天然食品的色、香、味、形和口感相似而营养素搭配更为合理的类似于肉的工程食品，有时人们又称这种食品为“模拟食品”、“人造食品”、“仿生食品”。由于人们生活水平的提高，对动物性食品的需求量日益增加，而天然动物食品远远满足不了人类对蛋白质等营养物质的需求。为了缓解这种局面，加强资源的综合利用，进行工程肉制品的开发具有重要的意义。另一方面，人们对“富裕病”的担忧亦促进了这方面的研究。

利用挤压机进行工程肉制品的开发，其主要特点是能利用许多价格低廉的原料，如脱脂豆粉、猪皮等肉制品厂和食品厂的下脚料，利用价格低廉的鱼糜等制造模拟蟹肉、海蜇皮等产品，其营养丰富，口感与真肉相似。由于这种产品使用的原料价格低，色、香、味、口感均与天然食品相似，可以作为天然动物食品的替代品，满足人们对天然动物食品的需求。

大豆蛋白是最为重要的工程肉原料，与其他原料相比，大豆蛋白的营养价值最为突出。用大豆蛋白代替部分动物蛋白可以降低食品的热能密度，提高营养素密度。用大豆制品可代替一部分热能过高的肉制品。

生产工艺

大豆蛋白经过组织化处理，无定形的球蛋白充分伸展并在强剪切、高热、高压作用下发生取向排列，形成了一种类似于动物肌蛋白（瘦肉）的特有的结构和纤维组织，复水后成为具有一定质构的新型大豆蛋白制品，它是工程肉的主要原料。

以畜肉、大豆分离蛋白粉和脱脂大豆粉为主要原料，利用双螺杆挤压机加工工程肉的设备流程和操作工艺如图 所示。

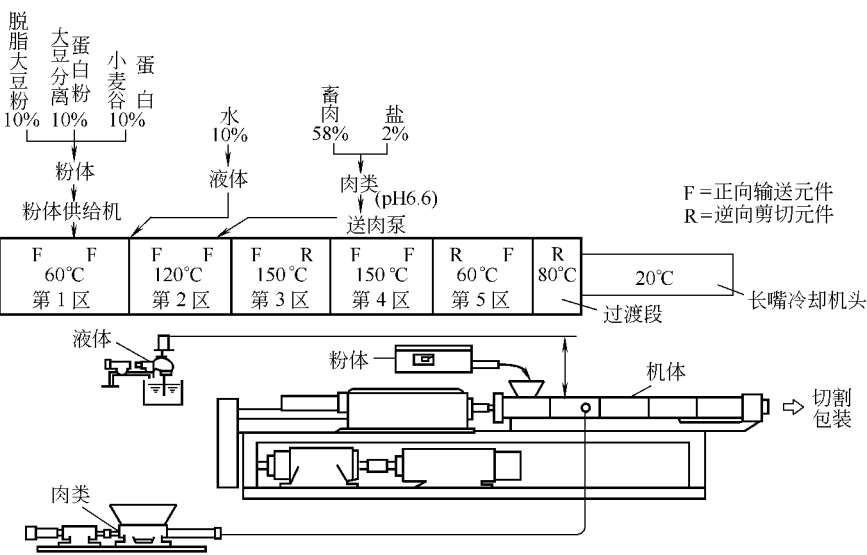


图 双螺杆挤压机加工生产工程肉工艺

原料和配方

用双螺杆挤压机生产的工程肉制品的加工常用配方如下：

- ① 大豆分离蛋白粉 玉米淀粉 畜肉 山梨醇 调味液
- ② 小麦面筋 小麦面粉 猪皮 单脂肪酸甘油酯

③ 大豆分离蛋白粉 猪肉 淀粉 小麦谷蛋白 酱油
食盐 香精 干燥鸡蛋蛋白;

④ 鸡肉 大豆分离蛋白粉 酪蛋白 脱脂大豆粉;

⑤ 大豆分离蛋白粉 鸡蛋蛋白清 小麦面筋 脱腥豆粉;

⑥ 鱼糜 大豆分离蛋白粉 鸡蛋蛋白清;

⑦ 鱼糜 大豆分离蛋白粉;

⑧ 鱼肉 脱脂大豆粉;

⑨ 鱼糜 脱脂大豆粉 小麦面粉 防腐剂

操作要点

蛋白质、淀粉、畜肉在双螺杆挤压机内相互作用,其质构重新组合,会使产品质构更合理。单一的大豆蛋白挤压组织化产品纤维化结构明显,但口感较硬,为改善其口感,降低成本,可以添加马铃薯淀粉、猪肉,比例为:猪肉/大豆蛋白/淀粉=1/1/1,这样可以连续、均匀地挤压出产品,并且产品的纤维比较好,口感也较好。

挤压条件为挤压温度 140℃,螺杆转速 1500r/min。

机头需要用循环水冷却。双螺杆挤压机螺杆螺纹元件组合对挤出产品质量和挤出过程的稳定性会产生显著影响,需要根据原料的组成情况具体确定合理的螺杆螺纹元件组合。

十、其他产品的挤压生产工艺

乳制品中的挤压生产工艺

挤压蒸煮加工在乳制品中的应用是近期发展起来的。在某些乳制品的传统加工中分段和批量进行的不同操作单元通过一台挤压机进行连续加工是可行的。挤压蒸煮加工在乳制品中的应用的主要目的是通过连续加工改善传统制品及其替代物的功能特性和开发具有新的组织特性的食品。

(1) 在干酪生产中的应用 传统的干酪生产工艺流程复杂,且连续化生产程度低,挤压蒸煮加工可以进行连续的加工,如干酪组分的混合、熔融、乳化、巴氏杀菌、冷却、凝胶化可以在一台挤压机内连续进行。

挤压加工干酪的硬度随着水分质量分数、脂肪含量和 pH 值的增加而降低。套筒温度和螺杆转速的增加导致较高的脂肪乳化程度,增加套筒温度和降低螺杆转速会增加酪蛋白的交联程度;提高酪蛋白试样在水中的均质程度,可得到可溶性乳化液,并且形成了酪蛋白聚合物。

挤压蒸煮加工的干酪条带与具有相同组成的传统的批量加工干酪具有相似的结构,但是具有较低的乳化和交联程度。加入乳化盐(如柠檬酸钠或磷酸氢二钠)可以改善挤压蒸煮加工干酪中的脂肪乳化程度和蛋白质融化特性,制得高品质的干酪。

例如，控制套筒温度为 100~120℃，螺杆转速为 150~200r/min，水分质量分数为 10%~15%，喂料速率为 1~2t/h，平均停留时间为 15min，进行连续的干酪组分的混合、熔融、乳化和巴氏杀菌、冷却和凝胶化处理，可制成片状和涂抹状干酪。

(圆) 在酪蛋白盐生产中的应用摇传统的酪蛋白盐的生产工艺是，将水分质量分数达 20% 的酪蛋白与食用碱在搅拌反应器中反应，同时加入凝乳剂，获得具有乳化和起泡特性的酪蛋白盐，然后将其通过滚筒干燥机干燥、磨碎成粉。利用传统的加工工艺生产酪蛋白盐，在搅拌反应釜中大约需要反应 1h 左右。例如，若每小时生产 1t 的酪蛋白盐，需要 1 个 1m³ 的快速搅拌反应器和 1 个滚筒干燥机，而这一生产工艺可以用一台单螺杆挤压机代替。单螺杆挤压机可在较低原料水分质量分数和极短的时间内，完成酪蛋白盐的转化反应过程，使得生产成本降低 10%。并且利用挤压加工可以有效避免苏打等原料的沉淀，从而得到质量更为精良的酪蛋白盐产品。这恰恰体现了挤压机作为加工黏稠物料反应器的优点。酪蛋白盐挤压加工工艺及设备流程如图 10-10 和图 10-11 所示。

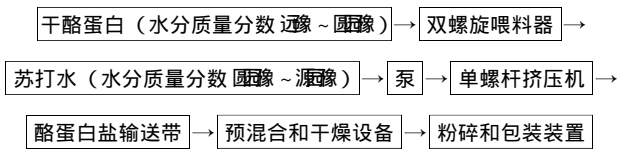


图 10-10 酪蛋白盐挤压加工工艺流程图

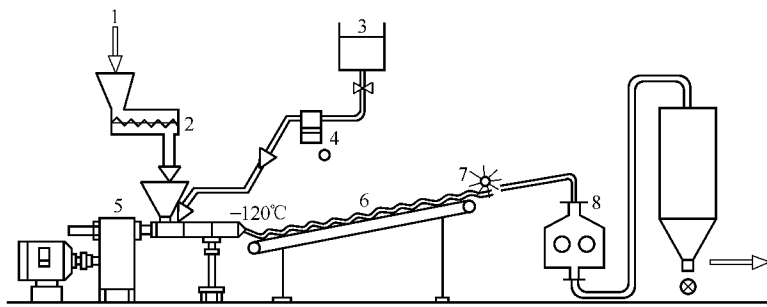


图 10-11 酪蛋白盐挤压加工设备流程图

1—干酪蛋白（水分质量分数 10%~15%）；2—双螺旋喂料器；3—苏打水（水分质量分数 10%~15%）；4—泵；5—挤压机；6—酪蛋白盐输送带；7—预混合和干燥设备；8—粉碎和包装装置

(猿) 用于从谷物蛋白及其与牛奶蛋白的混合物制取固态脂肪类似物摇挤压蒸煮加工允许对固态脂肪类似物进行直接加工。这些脂肪类似物在冷藏过程中比较稳定，在 10℃ 下储藏 1 周后没有发生组织结构和其他变化。这样的脂肪类似物可以用于含有水果或水果风味的有涂抹稠度的糊状乳制品的加工，也可用于减少

蛋黄酱、酸奶或其他酸性食品的脂肪含量。

在中性 pH 范围内, 那些具有反抗蛋白质聚集作用并加强微小凝块的食品配料存在时, 可以通过挤压蒸煮小麦分离蛋白和其他蛋白质制备脂肪类似物。蒸煮挤压机在一个较宽的水分质量分数、温度、剪切力和黏度范围内使蛋白质和其他组分相互作用, 形成微小凝块。制得的脂肪类似物具有光滑的组织结构和奶油的口感, 可用来降低许多食品的脂肪含量。

(源) 在乳清蛋白改性中的应用 摇乳清因其高营养价值和功能特性, 成为食物中的一项重要成分。在挤压的食物中添加乳清蛋白能强化其营养性, 改善其加工特性和功能特性, 具有很高的经济价值。

以前的研究主要集中在改善乳清蛋白及其产品质量等方面, 而对乳清蛋白膨化和组织化机理研究的少 (特别是高蛋白含量的情况下)。这可能是由于蛋白对挤压物的性质具有不利影响 (如非酶褐变和产品硬度的增加), 同时由于黏度高, 阻力大使得挤压操作困难等原因造成的。因此, 要对乳清蛋白进行改性处理以使其应用更广泛。通过挤压蒸煮加工, 可以对乳清蛋白进行改性, 主要是改善乳清蛋白的膨化率、剪切特性、吸水性、蛋白质的溶解性和组织化特性, 使其适用于各种特殊的需要。

(缘) 在乳糖水解和加糖牛奶小吃生产中的应用 研究表明, 挤压蒸煮可以用于乳糖水解也可以用于加糖牛奶小吃的生产中。使用质量分数为 忽豫的脱脂奶粉、冰糖、葡萄糖浆, 质量分数为 员豫的脂肪和质量分数为 园豫的卵磷脂, 可制备出一种充分褐变的, 且略带甜味挤压膨化物。使用浓缩甜牛奶代替脱脂奶粉也可以得到相似的制品。

牛奶蛋白质与其他不同的配料混合可生产出具有特殊功能特性的挤压膨化物。马建等 (员愿年) 对脱脂玉米胚、牛奶蛋白质和谷物淀粉的混合挤压膨化物的物理性质、化学性质和营养质量进行了研究, 并在挤压机套筒温度为 员园~ 员园益、混合物的水分质量分数为 员豫、牛奶蛋白质占整个蛋白质质量分数为 园豫的情况下, 制备出一种优质的膨化营养小吃。

圆 糖果类食品挤压生产工艺

(员) 生产工艺 摇利用双螺杆挤压机可以进行硬糖、软糖、口香糖等糖果的生产。

传统的硬糖生产工艺是用水在温度 员园益以上的条件下, 将糖溶解, 与液体葡萄糖等混合成无色、透明、非晶体状的溶液, 其干物质含量在 远豫~ 苑豫, 然后添加部分淀粉, 进行预热和熬糖, 利用真空干燥熬糖工艺干燥至水分质量分数为 猿豫, 冷却成型后即得产品。利用双螺杆挤压机可以一次性完成从溶糖到成型的全部过程, 即简化了工艺设备, 又降低了能量消耗。利用挤压加工工艺, 原料水分质量分数比传统加工方法的低 员豫~ 员豫, 总成本减少达 远豫。更换不

同的模具能加工出所需要的多种形状的糖果。利用双螺杆挤压机加工糖果的工艺
流程如图 2-10 所示。

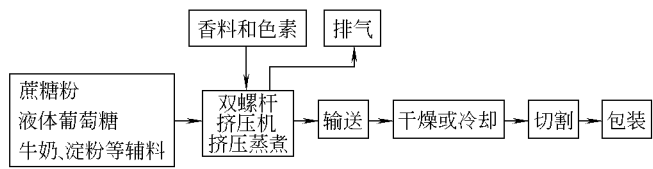


图 2-10 摇挤压法生产糖果的工艺

(圆) 原料摇利用双螺杆挤压机生产糖果时的主要原料有：蔗糖粉、液体葡萄糖、蜂蜜、淀粉、牛奶、调味品、香精和色素等。

(猿) 操作要点摇将原料喂入双螺杆挤压机后，原料在挤压机内混合成为黏稠状。喂料需要用浆料喂入装置。由于香料和色素在受热时易分解变性，因此它们须在挤压后期加入。为去除异味，需要在挤压过程中排气。双螺杆挤压机挤压加工糖果的设备流程，如图 2-11 所示。

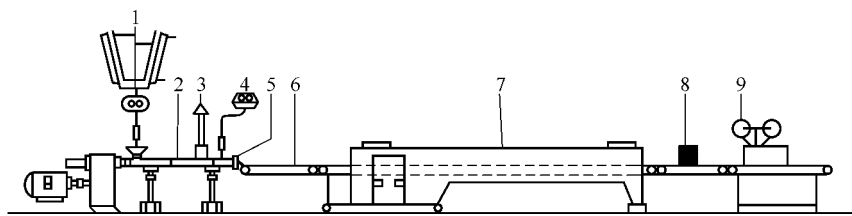


图 2-11 双螺杆挤压机挤压加工糖果的设备流程图

员—装料搅拌喂入装置；圆—双螺杆挤压机；猿—排气装置；源—调味品、色素喂入装置；缘—机头；远—输送带；苑—冷却槽；愿—切割装置；怨—包装装置

猿 巧克力食品的挤压生产工艺

用挤压法加工巧克力食品包含了传统加工中的可可豆的破碎、可可料的焙烤以及巧克力的精磨和精炼过程（图 2-12），并使得加工过程处于密闭条件下进行，避免了食品的污染。挤压法使得原先的间歇操作变为连续操作，缩短了加工时间，减少了设备的占地面积，降低了能量消耗，还可在仅仅 员缘~猿皂的
加工中形成独特的风味，并易于控制巧克力食品的香味和质地。

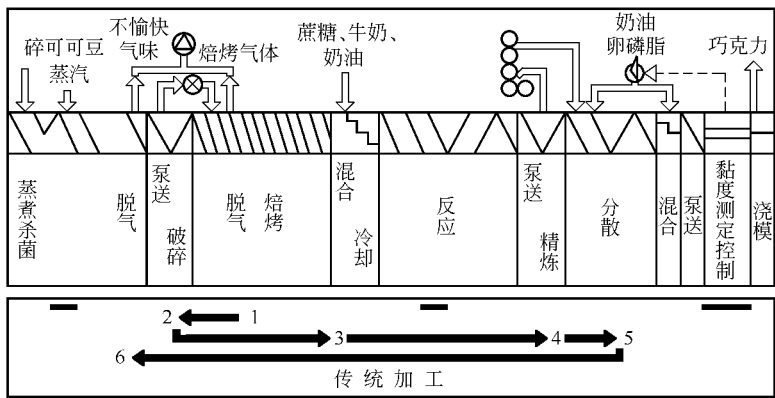


图 2-15 巧克力挤压加工过程
员 远代表工艺流程顺序

巧克力的挤压加工可通过 猿台同向旋转型双螺杆挤压机完成 猿步挤压操作来实现。

在第一台挤压机内完成可可豆的预焙烤、巴氏杀菌和不愉快气味的脱除。挤压机内有高速的同向旋转型捏合元件对物料进行剪切和揉捏，为增强剪切效果，可以将水喷入机筒内，由于所加入的水会蒸发掉，所以加水不会降低巧克力的稠度。挤压过程中温度和压力的升高，有助于进行巴氏杀菌和破坏脂肪皂化酶，并可通过早期的蒸馏除去酸性物、乙醛和其他一些异味，而保留其特有的风味。

在第二台挤压机内完成各种原料的混合。通过挤压使可可膏、糖粉和奶粉等成分完全混合均匀，并产生美拉德反应和焦香化，以提高其风味。接着巧克力连续进入精磨机内进行精磨。

在第三台挤压机内完成巧克力粉态料的液化和精炼（图 2-16）。由于已经很好地混合并形成一定的风味，所以此阶段的处理时间就可相应地减少。由于这个过程干料精炼段具有强烈的剪切效应，故可获得很好的传热效果和传质效果以及较低的黏度。接着乳化剂和可可脂加进物料中，进入湿料精炼段，此时温度应低于 40℃ 以防高温破坏相关的物料特性，香料应在最后区段中加入，以避免挥发。

图 2-16 是用于巧克力食品抽真空的单螺杆挤压机。通过在单螺杆挤压机进料斗下方设置一球形阀，在球形阀与进料口之间用连接管与真空泵（图 2-16 中未显示）连接，对流动压缩上游的高脂糖食料施加真空，从而使挤出的巧克力食品外表面或切面上没有发白的条纹或斑点，具有吸引人的外观。这可以认为是由于抽真空减少了产品内的密封气体空间而增进了产品的内聚性。另外挤压机还包括机筒，上面带有冷却夹套，冷却夹套上有冷却液进口和冷却液出口、原料的进料口、出口模具及螺杆，螺杆的齿根直径自上游端至下游端增大而螺距不变，

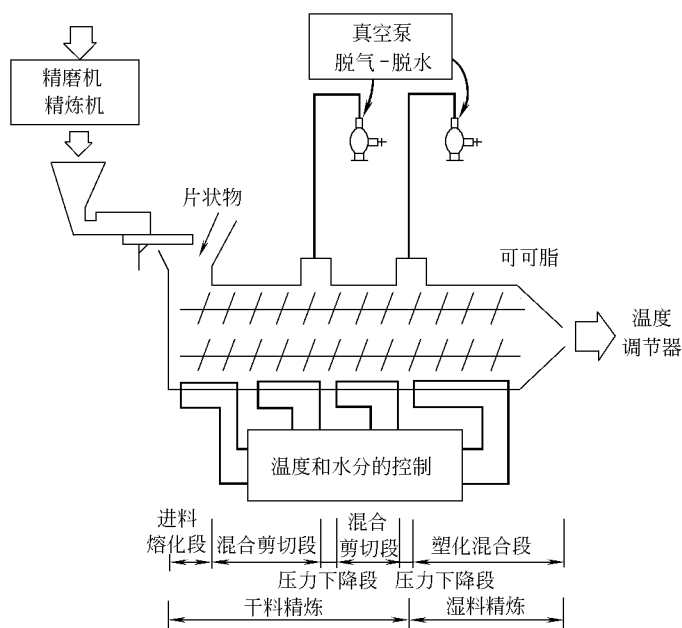


图 1-1-1 水平旋转型双螺杆挤压机内连续液化和精炼过程

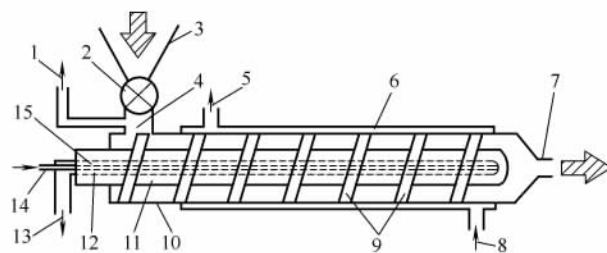


图 1-1-2 抽真空的巧克力连续挤压成型装置

员—连接管；圆—球形阀；猿—进料斗；源—进料口；缘—冷却液出口；
远—冷却夹套；苑—出口模具；愿—冷却液进口；怨—螺纹；
员—机筒；员—螺杆；员—同轴孔道；员—加热流
体出口；员—加热流体入口；员—液体孔道

上面有螺纹；螺杆上有 员个用于加热螺杆的液体孔道，还有 员个连着同轴孔道的加热流体入口，同轴孔道通向加热流体出口。

巧克力原料（黑巧克力、牛奶巧克力或白巧克力）或者高脂糖食料（包括不同比例的糖、取自牛奶的组分和脂肪以及来自蔬菜或可可豆的脂肪和固形物），其水分质量分数一般小于 缘豫，这些原料以固体或半固态的颗粒状或连续状送入挤压机的进料口，通过控制挤压机内的温度、压力、压缩比和挤出速度，使高脂糖食料在受挤压的同时基本保持固体或半固体不可浇注态，从而生产

出 员种轴向均匀、横截面与挤压机出口模具的轮廓基本相同的挤压产品，这种产品具有暂时的柔性或塑性，在其柔性或塑性失去之前能对其进行物理加工，将其干干净净地切割或塑性变形。

巧克力食品挤压成型过程的一个特点在于通过控制挤压机机筒和螺杆的温度使巧克力原料或高脂糖食料在螺杆的推送下一直保持固体或半固体不可浇注态通过挤压机的出口模具，从而形成质地均匀的、具有暂时柔性或塑性的和与出口模具形状基本一致的产品。挤压机内的温度控制很关键，根据原料中脂肪的类型来确定温度，若挤压含有较高熔点的脂肪的原料，则可选择较高一点的挤压温度。挤压机内的螺杆温度若太低，则巧克力会黏附在螺杆上而不向前流动，螺杆温度若太高，则巧克力熔融会产生堵机，通常螺杆温度控制在 $55^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$ 。而挤压机的机筒温度太高则会使巧克力熔融并在机筒壁上滑移而无法有效地向前流动，一般螺杆温度要比机筒温度高 $10^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$ 。所以通过控制挤压机螺杆和机筒的温度应使巧克力在机筒壁上有足够的黏性并能在螺杆表面充分地滑动从而产生一定的挤压压力，并且必须避免巧克力有明显的熔融使其保持不可浇注态向前流动。挤压温度和原料中脂肪的熔点高低会影响挤出产品的塑性程度和保持其暂时塑性的时间。巧克力食品挤压成型过程的另一个特点是当螺杆挤压机的模头结构和原料组成确定之后，实际生产中挤压机内的压力基本上不影响挤出速率。

通过挤压加工的高温短时过程，用蒸汽脱臭并且在焙烤之前将可可膏杀菌，这样做可使需保留的香气一直到不愉快气味脱去后才产生，接下来的机械混合和分散加工过程并不需要花费多少时间。挤压加工使得巧克力生产中反应和分散这两个过程分开来，而在传统的精磨机内这两个过程是一起发生的，这样通过挤压加工更容易控制巧克力产品的质量。采用挤压法加工巧克力与传统方法相比可节省 25% 的成本。

2.2.1 膳食纤维的挤压生产工艺

膳食纤维的组成成分主要包括纤维素、半纤维素、木质素、胶质以及它们在加工过程中形成的化合物。根据在水中的溶解特性不同，膳食纤维分为水溶性膳食纤维和非水溶性膳食纤维。膳食纤维不能被人体的消化酶在上消化道中分解成能吸收的寡糖、多糖以及其（亲水性的）衍生物，因此它不能为人体所吸收利用。但膳食纤维在人体内有独特的功效，它能促进肠蠕动，促进代谢产物的排泄，抑制有害物质在体内的作用等，它被称为人体的第七大营养素。但由于膳食纤维的特殊物理化学性质，致使其可食性较差。国内外许多学者在研究了挤压技术对膳食纤维的作用后发现，利用挤压技术可使膳食纤维的利用发生重大改变。一则可以在不改变其营养特性的基础上改善其可食性，二则可以利用挤压过程中的高剪切作用和高温作用，使膳食纤维发生降解生成可被人体所利用的单糖。下面介绍几种挤压加工膳食纤维的方法和相应的原料。有关膳食纤维挤压加工的工

业化、商品化生产，还需要进一步的研究开发。

膳食纤维挤压加工利用的主要原料有小麦麸皮、大豆渣、玉米渣、米糠、大麦渣、香菇柄和苹果渣等。下面推荐几种不同原料的加工参数。

① 主要原料：豆渣（水分质量分数 15%~25%）

挤压设备 摇摇摇摇摇摇单螺杆挤压机 摇摇摇摇摇摇双螺杆挤压机

挤压温度	160℃~180℃	160℃~180℃
螺杆转速	150~200 r/min	150~200 r/min
可溶性纤维素	0.5%~1.0%	0.5%~1.0%

② 主要原料：米糠

挤压设备	双螺杆挤压机
挤压温度	160℃~180℃
螺杆转速	150~200 r/min
可溶性纤维素	0.5%~1.0%

③ 主要原料：芦笋

挤压设备	双螺杆挤压机
挤压温度	160℃~180℃
螺杆转速	150~200 r/min
可溶性纤维素	0.5%~1.0%
喂料速率	0.5~1.0 kg/h

④ 主要原料：香菇（水分质量分数 60%左右）

挤压设备	双螺杆挤压机
挤压温度	160℃~180℃
螺杆转速	150~200 r/min

⑤ 主要原料：蔗渣

挤压设备	摇摇摇摇摇摇摇摇双螺杆挤压机
蔗渣粒度	20~40 μm 和 40~60 μm
螺杆转速	150~200 r/min
进水量（相对于固体物料进料量）	10%~15%
进料量速率	0.5~1.0 kg/h 和 1.5~2.0 kg/h
蔗渣纤维水溶性	0.5%~1.0%
可溶性纤维	0.5%~1.0%

⑥ 主要原料：燕麦纤维

挤压设备	摇摇摇摇摇摇摇摇单螺杆挤压机
转速	150~200 r/min
螺杆直径	10 mm

长径比	10~15
电动机功率	10~15 kW
挤压温度	150~180℃
柠檬酸添加量	0.5%
水分质量分数	15%~20%
可溶性燕麦纤维	10%

这些膳食纤维原料来源广泛，经深加工后，主要改变了它的物理化学性质而没有改变其生理功效，添加到面包、饮料中，可开发出高膳食纤维食品，其具有巨大的市场前景。

2.2.2 焦糖色素挤压生产工艺

焦糖色素又称酱色，是一种深褐色至黑色的液体，块状、粉末状或糊状物质，无臭或略带焦糖香味。我国焦糖色素主要用于酱油及其他调味品，其生产工艺为传统的铵（氨）法生产。其工艺为：将淀粉或淀粉质原料在食用酸或酶的作用下降解成较高还原值（葡萄糖值）的糖浆，然后加入氨基化合物，在一定温度下反应，制得焦糖色素。为了便于储藏运输，制得的黏稠性液体产品经冷冻干燥或稀释后喷雾干燥，可得到粉末状焦糖色素。冷冻干燥的设备投资大。用喷雾干燥时，焦糖色素易黏附在喷雾干燥器内壁，不利于生产。且它们的生产费用高，生产周期长。直接以预糊化淀粉、糊精或淀粉为原料、以挤压机为主要设备的挤压法能克服传统铵（氨）法生产的不足。

与传统的铵（氨）法生产相比，挤压法生产焦糖色素有以下优点：

- ① 一台挤压机可执行多种操作单元（如输送、混合、剪切、加热、加压等），可完成由原料、辅料到产品的一系列反应过程，省去了传统工艺的酶解、浓缩和干燥等操作，生产效率高，生产成本低。
- ② 预糊化淀粉、糊精或淀粉在挤压机机腔内的高温、高压、高剪切及酸作用下，降解成小分子糖，同时，氨基化合物与还原性糖发生美拉德反应或小分子糖自身发生焦糖化反应，从而得到焦糖色素。
- ③ 挤压法制备焦糖色素为干法反应，得到固体产品，减少了传统工艺中除去物料中水分的能量消耗，节约了能源。
- ④ 挤压法设备投资少，占地面积小，易投资运作。

下面推荐几种不同原料的加工参数。

（1）以预糊化淀粉、糊精为原料生产焦糖色素将还原值为 15~20 水分质量分数为 15% 的糊精，用 1% 的硫酸调至 pH 为 4，然后加入压缩比为 10:1 的月桂基硫酸钠挤压机，在螺杆转速为 1000 r/min、机内温度为 150~180℃、模内压力为 10~15 MPa 的条件下挤压，挤出的物料经冷却和粉碎得水分质量分数为 15%、还原值为 15 的粉末焦糖色素。

(圆) 以淀粉为原料生产焦糖色素摇以淀粉为原料，用硫酸调节 质，同时加入氨类化合物，采用长径比为 缘园猿 模孔直径为 猿皂的双螺杆挤压机，在机筒温度为 圆园益、螺杆转速为 员园园转/分的条件下，生产出色率为 圆园园% 的产品。

缘 方便米饭挤压生产工艺

方便米饭的一般生产工艺是先以加热介质（如热空气、蒸汽或沸水）对大米进行热处理，使淀粉完成糊化和水合，然后干燥得到方便米饭产品。虽然不同的产品在各自的加工工艺上存在差异，但这些工艺的基本原理是相似的，即在不同的温度下，以热处理等多重步骤来完成对含有过量水分的大米的加工。这些工艺都没有破坏大米的表面，因此也没有从根本上改变大米的质地。而采用挤压法生产可以改变米饭质地。

挤压方便米饭就是以挤压的方法生产的方便米饭，在热水中经短时间的复水和熟化即可食用。与一般的方便米饭相比，它具有如下特点：不易回生、复水性好、风味独特、易于储存。生产设备可以采用单螺杆挤压机或双螺杆挤压机，双螺杆挤压机性能较好，但成本较高。生产时，将以米粉为主的原料送入挤压机，在一定的温度和压强下进行挤压。通过高温、高压、剪切和摩擦作用，使原料中的淀粉糊化，蛋白质变性，并发生部分降解，从而使产品易于消化吸收，最后经干燥得挤压方便米饭产品。产品可在 缘s 内吸入同等体积的水，而且只要原料中米粉含量超过 怨豫，复水后的产品可以在 圆园~ 猿皂内维持形态的完整。

(员) 挤压方便米饭生产工艺制作工艺一般可分为 缘个步骤：进料、混合、蒸煮、成型和切割、干燥。前 源个步骤均在挤压机内完成。

(圆) 原料和辅料摇主要原料为米粉，可以是籼米、粳米、糯米。辅料可以是：①淀粉络合剂，如单硬脂酸甘油酯（单甘酯）、硬酯酰乳酸钠或其他单甘油二酸酯；②食用胶，如黄原胶、槐朔（羧甲基纤维素）、卡拉胶、海藻酸盐等。

(猿) 操作要点

① 进料与混合。将米粉和水加入挤压机的进料区，米粉按 员转/秒的速度加入，水注入的速率为 员园~ 员园园滴/秒，而 员园滴/秒最为适宜。在这一区域，温度低于原料的糊化温度，面团被揉和均匀，然后进入挤压机的蒸煮区。

② 蒸煮。在挤压机的蒸煮区，通过有效的挤压和一定的温度，充分使面团中淀粉糊化、蛋白质变性，并使二者部分降解。适当的挤压温度范围为 猿园~ 员园益，这主要取决于蒸煮区的机筒温度。在蒸煮区机筒可分为 缘段，各阶段的机筒温度如表 圆园所示。

表 圆园 摇机筒温度范围 单位：益

机筒的不同阶段	最高温度	最低温度	最佳温度	机筒的不同阶段	最高温度	最低温度	最佳温度
---------	------	------	------	---------	------	------	------

第一段	源	猿	源	第四段	猿	猿	猿
第二段	愿	远	猿	末端(冷却区)	源	猿	猿
第三段	愿	远	猿				

机筒温度对于产品的品质非常重要，任何变化都会对品质造成影响。挤压机机头的压强在 远~ 源 之间，源 较为适宜。在上述的温度和压强下，蛋白质会发生水合并变性，形成网状结构，淀粉则会发生糊化。

原料在挤压机中的停留时间取决于温度和压强等条件，一般控制在 缘~ 缘 之间。螺杆转速对物料停留时间也有影响，转速一般为 缘~ 缘。

③ 成型和切割。由于产品外形主要在干燥前形成，因此对米饭产品来说，所选择的模孔必须可以使原料在离开挤压机时形成适当大小和外形，再经安装在模板上的高速旋转的刀片切割为类似米饭的颗粒。模孔的形状可以是椭圆形或圆形的，而椭圆形的较好。模孔的尺寸及其所对应的产品的尺寸如表 缘 所示。

表 缘 摇模孔尺寸及产品尺寸 单位：皂

模孔形状	模孔尺寸 皂	产品颗粒大小 皂	模孔形状	模孔尺寸 皂	产品颗粒大小 皂
椭圆	长轴 猿~ 愿 短轴 缘~ 猿	长度 猿~ 愿 宽度 缘~ 猿	圆形	直径 员~ 圆	直径 圆~ 猿 长度 缘~ 愿

挤出物的温度范围在 缘~ 缘 之间较为适宜。被刀片切割后的产品颗粒的水分质量分数在 缘~ 猿 之间较好。

挤出物在离开挤压机时会发生膨化，膨化率一般在 员~ 缘 之间，最好为 缘 左右。

④ 干燥。挤压膨化的产品以常规方法进行干燥，即通过流化床干燥机进行空气对流干燥。对流空气的温度对干燥效果有较大的影响，一般选定在 缘~ 缘，干燥时间一般为 缘~ 猿。

(源) 应用实例，将 缘 米粉(粳米)、缘 黄原胶、缘 单甘油二酸酯在混合机中混匀后，以 缘 的速率从进料口喂入单螺杆式蒸煮挤压机。与此同时，以 缘 的速率注入水。原料与水混匀后，以面团的形式输送到蒸煮区，通过加热使其达到 缘 的温度和 缘 的压强。在蒸煮之后使面团挤出模孔，模板上均匀排布 愿 个模孔，模孔的尺寸为 ϕ 缘。挤压时螺杆的转速为 缘，挤出物离开挤压机时的温度为 缘。

挤出物被安装在模板表面的旋转切刀切下，成为“米粒”，尺寸为 缘 皂伊 远 皂。米粒落到传送带上，在室温下冷却并蒸发掉部分水分。这个过程大概在 缘 左右，使产品的水分质量分数降到 员~ 缘，温度降到 远~ 缘。随后将米粒产品在流化床干燥机中干燥 愿。物料层厚度为 缘~ 缘。干燥机第一段的温度设置在 缘。第二段为 缘。最终得到水分质量分数为 缘、密

度为 0.5~0.6 的成品。将产品与同等体积的沸水混合，缘缘后即可吸入所有的水，而且复水后的质地和食用品质与蒸煮的米饭类似，外形结构可维持 0.5~0.6。

油脂工业中的挤压生产工艺

油料经过挤压膨化处理将发生如下的变化。

① 对油料进行有效地湿热处理，有利于提高出油率。

其主要原因是：

油料胚经过高温（缘缘~缘缘益）挤压的作用，能迅速而彻底地破坏油料细胞，使油脂微滴均匀扩散并凝聚；

淀粉糊化，蛋白质结构化形成了多孔而结实的颗粒“熟胚”，从而提高了浸出的渗透性，也提高了浸出速度和处理量。

② 湿热处理能有效地降低或消除油料中多种酶的不良影响。

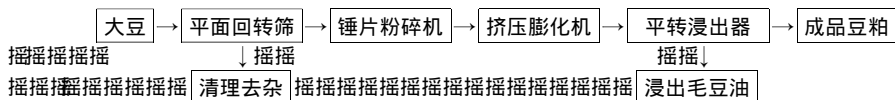
在缘缘益膨化处理油料猿~缘缘益，能有效地钝化解脂酶，从而使油和粕的酸价保持稳定（米糠膨化后水分质量分数为猿缘~缘缘，高温下可储存缘缘个月）。

大豆在水分质量分数为缘缘~缘缘，温度为缘缘~缘缘益条件下膨化处理，可使胰蛋白酶抑制剂（栽酶 几乎全被破坏，并使尿素酶（哉酶）达到缘缘~缘缘的要求。

加入少量石灰水（源缘）膨化处理可对蓖麻籽粕进行去毒。

③ 制备大豆组织蛋白。低变性大豆脱脂粕粉加水 and 配料搅拌后控制水分质量分数为缘缘左右，于挤压膨化机内温度为缘缘益，压力为缘~缘益条件下处理缘缘。从电子显微镜照片上可看见，低变性大豆脱脂粕粉中蛋白体的球状颗粒，已变成了有规律融合体，类似于肉制品的组织结构。氮溶解指数（晕酶 由原猿缘~缘缘下降达缘缘以下。但赖氨酸的破坏仅为缘缘~猿缘。有效地钝化胰蛋白酶抑制剂和尿素酶。大豆组织蛋白的蛋白质效率比 缘缘达到或接近缘缘产品具良好吸水性，吸水后呈海绵状，吸水量为自身质量的缘缘~缘缘倍。

（员）大豆挤压膨化浸出生产工艺摇其工艺流程如图缘缘所示。



图缘缘大豆挤压膨化浸出生产工艺流程图

原料大豆经平面运转筛，清理除杂后进入锤片粉碎机，粉碎至缘缘通过缘缘的筛，大豆水分质量分数为缘缘~缘缘，大豆的堆密度为缘缘~缘缘。将大豆进行挤压膨化，实测工艺参数如表缘缘。

在我国,这种新设备和新技术正处于起步阶段。由郑竞成等人研制的再鄭孕屏稼型高含油率油料挤压膨化机性能如表 9-1 所示。

工摇艺摇参摇数	参摇考摇值	工摇艺摇参摇数	参摇考摇值
处理量 轱 齿	猿	膨化料含油质量分数 轱	缘
主轴转速 轱 皂	源	膨化料水分质量分数 轱	愿
物料机腔停留时间 轱 皂	约 员	配备动力 轱 宰	源
出料温度 轱	苑		

对于棉籽的挤压膨化浸出, 为了降低棉籽粕的残油率, 应使脱壳及仁壳分离后, 仁中含壳率控制在 $2\% \sim 5\%$ 。棉仁在 $100 \sim 120^\circ\text{C}$ 下, 水分质量分数控制在 $25\% \sim 35\%$ 之间经软化后, 轧成 $4 \sim 6 \text{ mm}$ 厚的胚片。棉仁生胚经过中温蒸炒 ($120 \sim 140^\circ\text{C}$), 水分质量分数在 $25\% \sim 35\%$ 之间, 呈 $70\% \sim 80\%$ 成熟的料胚再进入挤压膨化机。该机模孔孔径 5 mm , 共 20 个孔, 挤压机机腔内料温为 $150 \sim 180^\circ\text{C}$, 由通入直接蒸汽量进行调节。膨化料出料温度为 $150 \sim 180^\circ\text{C}$, 水分质量分数为 $25\% \sim 35\%$, 经干燥后膨化料粒水分质量分数为 10% , 膨化系数 $1.5 \sim 2.0$, 含粉度小于 5% , 浸出后可使棉仁浸出粕残油率达 1% 以下。

表 圓 圓 以色列 勻云公司高含油率油料挤压膨化机主要性能

工摇艺摇参揺数	参揺考揺値	工摇艺揺参揺数	参揺考揺値
生产能力 轳 亩 ^{吨时}	圆园- 圆园	额定电流 轳	员圆
膨化料粒粒徑 轳皂	φ 员缘- 圆园 长度 远园- 愿园	膨化系数	员圆- 员圆
主机功能 轳空	殲緣		

员 张裕中援食品加工技术装备援北京：中国轻工业出版社，1999

圆瑶刘天印, 陈存社编著援挤压膨化食品生产工艺与配方援北京: 中国轻工业出版社, 员愿愿愿

[illegible]

源瑶杨永锡, 戴宁援挤压技术在休闲食品加工中的应用 (下)援粮食与食品工业, 员怨苑, 猿: 圆- 圆

缘瑶胡秋林援由炸薯条生产新工艺援适用技术市场, 灵怨愿, 缘: 圆-猿

远遥刘剑清, 刘永乐援鲜湿面生产新工艺援食品与机械, 1988, 10

苑瑶何阳春,洪咏平,陈芜荪等援鱼肉面条挤压成型工艺研究援中国粮油学报,1999,14(1):56~59

愿遥刘章武, 雪芳军, 武军援挤压法生产玉米面条的工艺探讨援粮食与饲料工业, 圆园园员, 员(园): 源源~源源

怨瑶戴宁,张裕中援挤压技术在巧克力食品中的应用援粮油加工与食品机械,圆园园员,缘:圆园~圆圆

员瑶宋贤良,温其标,陈玲援挤压蒸煮技术在变性淀粉生产中的应用援食品工业科技,圆园园圆,圆猿(远):愿袁~愿远

员瑶郑建仙,耿立萍,高孔荣援蔗渣膳食纤维挤压改性的研究援食品科学,员圆园苑,员苑(苑):员苑~圆员

员瑶王常青,朱志昂援挤压法生产可溶性燕麦纤维的研究援食品与发酵工业,圆园园圆,圆愿(圆):源缘~源愿

员瑶陈洪兴,顾正彪援挤压法生产焦糖色素的探讨援中国调味品,圆园园猿,圆:员缘~员愿

员瑶沈宇,金征宇援挤压方便米饭及其生产工艺援食品工业科技,圆园园圆,圆猿(员):缘~缘源

员瑶李宏军,张敏援挤压蒸煮在乳制品中的应用援乳品工业,圆园园圆,猿园(远):圆愿~猿园

员瑶刘大川援挤压膨化技术在油脂工业上的应用援黑龙江粮油科技,圆园园圆,源:缘~远

第三章摇微胶囊化技术

微胶囊化技术是当前食品加工新技术中的重要研究领域。所谓的微胶囊化是将一种物料包裹在另一种物料之中，被包裹的物料称为心材，而包裹心材的物料称为壁材。从理论上讲，大多数气体、液体、固体均可以被包裹。为达到不同的包裹效果，可以根据心材的物理性质和胶囊的应用要求来选择壁材。

一般而言，通过微胶囊化，可以改变和提高物质外观及其性质。

微胶囊化技术最早用于无碳复写纸。由于微胶囊化产品的独特性能，人们进行了大量的研究。通过对于微胶囊化技术的研究与开发，形成了许多微胶囊化的商业产品。到 20 世纪 70 年代中期，微胶囊化技术已经在医药、农业和化工等方面得到了广泛的应用。近 20 年来，国内外发表和出版了许多介绍微胶囊化产品性质、制备方法及其应用的综述性文章和书籍。目前，全球产量最大的微胶囊化产品是无碳复写纸和长效除草剂。食品行业中微胶囊化技术的研究虽起步较晚，但其在应用上并不落后。目前食品行业中，产量最大的微胶囊化产品是油脂。此外还有许多食品配料也是采用微胶囊技术生产的。例如，微胶囊化香精和在婴儿奶粉中添加的微胶囊化鱼油等。在食品微胶囊化制备工艺中，喷雾干燥法是最为常用的方法，其他还有挤压法、界面聚合法等。

鉴于微胶囊化带来的巨大优越性，目前越来越多的科学工作者正把微胶囊化技术应用于更为广泛的领域中，并不断开发其新的功效。本章将较全面地介绍这一特殊的体系。

第一节摇概摇摇述

一、微胶囊化的目的

通过对物质进行胶囊化可以实现许多目的：如改善被包裹物质的物理性质（颜色、外观、表观密度、溶解性）；提高物质的稳定性，使物质免受环境的影响，改善被包裹物质的反应活性、耐久性（延长挥发性物质的储存时间）、压敏性、热敏性和光敏性；减少有毒物质对环境造成的不利影响，使药物具有靶向功能；屏蔽气味降低物质毒性；根据需要持续释放物质进入外界环境；将不相容的化合物隔离等。这些功能使得微胶囊化成为许多工业领域中的一种有效的加工手段。详细分析，微胶囊化的目的主要有以下 3 点。

1. 改变物质的物理状态

（1）液态转变成固态摇液态物质通过微胶囊化后，可得到细粉状产物，称

之为拟固体（~~壳芯分离型~~）。这类产品在使用上具有固体特征，但其内部相仍然是液相，因而可良好地保持液相的反应性，该性质在某些场合中特别有用。例如，在制造压敏复写纸时用来包封无色染料；在彩色照相技术中用来包封显色药品；在使聚合物固化或交联过程中用来包封交联助剂。上述的这些液态物质（无色染料、显色药品、交联助剂）经微胶囊化后获得微胶囊，将这些微胶囊涂布于纸基上并干燥，最后可生产出表面摸起来感觉是干燥的纸。由此可见，微胶囊化可以使液态反应物变得易于使用并且可在特定的条件下使微胶囊破裂从而导致被包裹的液态心材发生相应的化学反应。

（圆）改变密度摇微胶囊化可改变物质的密度。其最典型的例子是空心的微胶囊，由于包裹了空气从而使物质的体积增加，因此密度大的固体经微胶囊化后可以转变成能漂浮在水面上的产品。一般而言，由于微胶囊化过程中形成的颗粒度的变化，使得体系的堆积密度发生了改变。

（猢）改产品的分散状态，微胶囊化的分散特性有利于它的各种应用。用于涂层工艺的微胶囊的优点之一是在相同浓度下，其黏度较低。在涂层工艺中微胶囊的另一优点是能以粉末状态使用。所用的微胶囊心内仅含有一种活性成分，其他的活性成分则被置于囊壁之外。非常细的粉末可降低絮集问题，当微胶囊与乳液相结合后其表观黏度比等量固体浓度的乳液的表观黏度大大降低。

圆实现有效成分的控制释放

在控制的条件下，微胶囊中活性组分的释放可以采用立即释放、延时定时释放或适当的长效释放等释放形式。这可以通过控制壁材的结构得以实现。心材的释放机制与具体的产品密切相关。

例如，当一种水溶性的心材用一种非水溶性的壁材微胶囊化后，微胶囊中心材向外部水相释放时，会受到渗透和溶解速率的控制。在此种情况下可通过选择合适的微胶囊壁材，也可通过调节囊壁的厚度、硬度和囊壁的层次结构以及胶囊的尺寸来调节心材的释放速率。由于此法较易实现，目前大多数控释型微胶囊药物来说，都采用这种释放机制。

猢保护心材免受环境影响

（员）提高抗氧化性摇高脂肪及富含维生素的材料经微胶囊化后，由于隔断了与环境中空气的接触，降低了其在储存过程中的氧化。例如，维生素 粤棕桐酸酯广泛用于动物饲料添加剂，经过用明胶微胶囊化可以提高该化合物抗湿和抗环境氧化的能力，提高其稳定性。

（圆）保护具有吸水性的心材物质摇磷酸铁和具有强吸水性的 月族维生素（维生素 月_β、盐酸盐、维生素 月_α和烟酸）的混合物通过微胶囊化可减少其吸收空气中水分的机会，保持其物理性状。经适当的涂层材料处理还可以提高由其包裹药物制备的片剂的性能。

(猿) 减少 赧的影响 摇该类目的的主要应用是控制无色染料免受 赧的影响，避免由于 赧的变化而产生无色染料颜色的变化。

(源) 降低挥发性 摇易挥发的物质经微胶囊化后，能够抑制挥发，因而能储存很久。一种用于胶黏剂的含甲苯微胶囊，其稳定性实验结果表明，在室温下被包裹的甲苯几乎不释放。

灏降低对健康的危害，减少毒副作用

此实属控释技术。硫酸亚铁、乙酰水杨酸（阿司匹林）等药物包裹后制成肠溶片，通过控制其破壁时机，使之在胃中不会大量释放而在肠中释放，从而减轻了它对胃的刺激。

此制备技术衍生出了靶向化药物。通过合适的包裹技术使制得的药物在定点部位释放，从而使药物作用于定点部位，对于毒副作用大的药物，此举可在发挥疗效的同时大大减少其对身体其他部位的副作用。

纒屏蔽味道和气味

微胶囊化可以用于掩饰某些化合物（如药物）的令人不愉快的味道或气味。

灏气味控制释放

气味控制释放是香料微胶囊化的典型用途，是制备“划擦产味”涂料的基础。很多香料或香精，可通过微胶囊化来防止挥发，例如水杨酸甲酯和薄荷油。

灏用于特殊目的的不相容物质的分离

由于微胶囊化后隔离了各成分，故能阻止两种活性成分之间的化学反应。两种能发生反应的活性成分若其中之一被微胶囊化再与另一种成分相混合时直到在要求它们发生反应之前它们是不发生反应的。但是，当微胶囊被损毁时，会促使两种活性成分相互接触，于是反应即可发生。例如，将自由基引发剂（如过氧化苯甲酰）微胶囊化以后，与可固化的聚酯树脂相混合，在一般条件下聚酯树脂不会固化，但是在特定条件下。例如当引发剂的微胶囊破裂时，会将聚酯树脂固化。

一般而言，具体的微胶囊化产品可能仅是利用了上述一部分微胶囊的功能。

二、微胶囊化基本步骤及影响因素

灏基本步骤

在微胶囊化工艺中，其基本步骤为：首先是将心材分散成细粒，然后再用微胶囊的壁材包裹。在细化被包封的心材时，若心材与壁材分散于两不相溶的液相时，可应用乳化方法，也可采用机械搅拌、超声振动或其他手段，总之最终要使心材分散成小球体。如果微胶囊化的心材为气体，则可应用喷雾法、离心力法、重力法或流化床法等方法细化心材。如若心材为固态，可将其研磨成细粉并过筛，亦可将其先制备成溶液，然后按照纯液态心材的情况，以同样的方式形成小液滴。微胶囊化的步骤可通过图 猿灏说明。（猿 将已细化的心材分散入微胶囊化

的介质中。(遭) 再将壁材加入该分散体系中。(糟) 通过某一种方法，将壁材聚集、沉积或包裹在已分散的心材周围。(茵) 在很多实例中，经(糟) 形成微胶囊的膜壁是不稳定的，尚需用化学方法或物理方法处理以使其达到一定的机械强度。

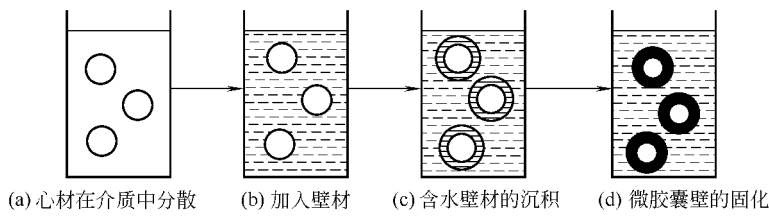


图 1-1-1 微胶囊化的基本步骤

微胶囊尺寸和质量的影响因素

很多因素影响微胶囊的尺寸和质量。微胶囊尺寸会影响药物和其他应用（杀虫剂和香料）中活性组分的控释性能。

在微胶囊制备过程中影响微胶囊质量的因素与所用的方法有关，一般为溶剂的选择与混合、心材在水中的溶解性、溶剂的回收速度、壁材聚合物的类型及相对分子质量、壁材聚合物的结晶度。

在微胶囊制备过程中影响微胶囊尺寸的因素同样与微胶囊化的方法和工艺有关，主要有乳化条件、反应原料的化学结构、有机相的含量、相关物质的黏度、表面活性剂的浓度和类型、容器及搅拌器的构造和聚合反应制备时的温度等。

心材包裹完全与否是微胶囊好坏的关键指标。

三、微胶囊的命名

微胶囊可以有如下 3 种命名方法。

① 在所用的主要心材后加“微胶囊”，即：心材名称 + 微胶囊，例如卡巴脲微胶囊。

② 如果对壁材的了解比对心材了解更多，那么则在壁材聚合物名称后加“微胶囊”，即：壁材聚合物缩写 + 微胶囊，例如明胶微胶囊。

③ 如果希望对壁材及心材都有所了解，那么在心材名称及壁材名称后加“微胶囊”，即：心材名称 + 壁材聚合物缩写 + 微胶囊，例如卡巴脲-明胶微胶囊。

随着壁材性质的不同以及制备微胶囊产品方法的不同，微胶囊的形状和结构变化较大，典型微胶囊如图 1-1-2 所示。对于图 1-1-2 中连续的心材被连续的涂层环绕的微胶囊称为单油滴或单心。对于具有心材被分成若干部分，嵌在壁材的连续相中结构的微胶囊称为絮集或模块形式，其中包括多核、多核无定形、微胶囊簇

等情况。连续心材被多层连续的涂层环绕的微胶囊称为多膜微胶囊，图 3-10 中还给出了双壁微胶囊的结构。对于包裹多个微胶囊的微胶囊称为复合微胶囊。

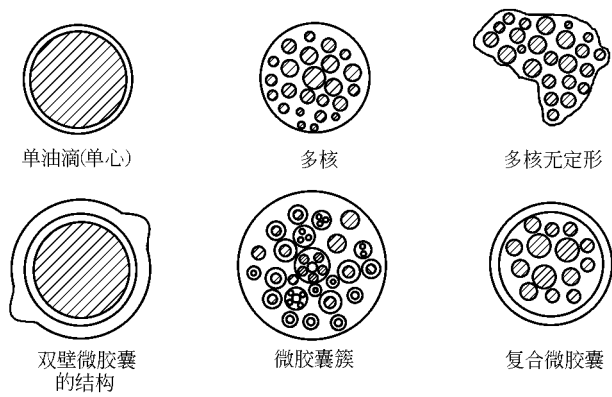


图 3-10 常见的微胶囊的形状和结构示意图

四、微胶囊的物理性质

微胶囊化指将团体颗粒、液体微滴或气体作为胶囊的心材并在其外形成一层连续而薄薄的包裹的过程。微胶囊化产品是指用涂层薄膜或壁材包裹微小的固体颗粒、液滴或气泡。含固体粒子的微胶囊的形状几乎与囊内固体形状一样，而含液体或气体的微胶囊的形状一般是球形的。

微胶囊的直径一般在微米至毫米范围内，一般直径为 $1\sim 100\mu\text{m}$ 的颗粒。直径 $1\mu\text{m}$ 左右的颗粒，称之为纳米颗粒或纳米胶囊，直径 $100\mu\text{m}$ 左右的颗粒称为微粒胶囊或大胶囊。微胶囊是由被壁材和壁材组成的，包裹于内部的材料一般称作活性物、活性剂、心材、内相、核、有效载荷或填充物，壁材通常称作壁、载体、壁、涂层或膜。它可以是有机聚合物、水溶胶、糖、蜡、脂肪、金属或无机氧化物等。本书将被壁材称为心材，形成胶囊的材料称为壁材。微胶囊的基本组成见图 3-11。

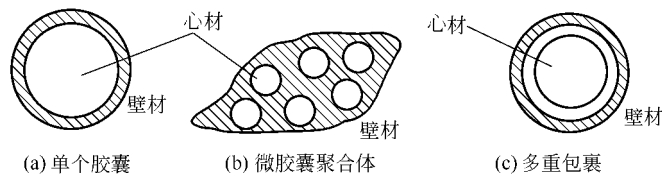


图 3-11 微胶囊的基本组成示意图

微胶囊有许多种外形与结构，微胶囊的特征参数包括粒径大小，粒度分布，外形，活性物的含量、组成及其分布，储存稳定性，心材释放速度和其他参数。

颗粒度分布

微胶囊的粒度总是不均匀的，而且变化范围相当宽。工艺条件对于最终产品的粒度分有很大影响。可以采用许多粒度测量技术来测定产品粒度分布，早先人们曾经用显微镜和计数器测量微胶囊的粒度分布。

在微胶囊化工艺中，一般首先是将心材分散成细粒，然后再用微胶囊的壁材包裹。对于固态心材的微胶囊化，微胶囊的粒径取决于的心材颗粒的粒径。对于液体心材的微胶囊化，微胶囊产品的粒度取决于初始液滴的形成情况和心材在介质中的分散情况。

通过研究发现影响微胶囊粒度分布的主要因素包括乳化条件、反应原料的化学结构、聚合反应温度、黏度、表面活性剂的浓度和类型、容器及搅拌器的构造、有机相和水相的量等。不同的微胶囊化方法影响因素有很大差别。因此须针对具体情况进行具体分析。

(员) 悬浮参数的影响摇在两液相形成的悬浮液体系中，液滴的形成是一个动力学不稳定过程，为实现微胶囊化需在几分钟或更长时间内液滴的粒度分布获得一定的稳定状态。在稳定状态下粒度分布的关键因素是悬浮混合物被搅拌或混合的均匀性，这种均匀性取决于容器和搅拌器的结构设计。搅拌或混合越均匀，液滴及最终微胶囊产品的粒度分布越狭窄。

(圆) 反应器设计的影响摇悬浮介质中粒度分布取决于容器和搅拌器的构造。一般而言，侧面有挡板的圆柱形容器和与之匹配的轴向搅拌叶片极适于实验室制备微胶囊。表猿源表明，带有侧面挡板容器所制备的微胶囊的粒度更小，且产率明显提高。其原因在于容器的侧挡板降低了液体的涡流程度，提高了液相的均匀性和悬浮液混合物的混合均匀性，最终使得微胶囊的粒度分布狭窄且产品收率高。悬浮容器的有效直径降低，可以使得颗粒的平均直径变小。另外侧挡板也可以改善微胶囊的粒度均匀性，使得粒度分布范围变得狭窄。反应器的影响使实验产品走向工业化的难度加大了。

表猿源摇反应器设计对于聚乳酸微胶囊质量及收率的影响

项目	无侧挡板反应器		有侧挡板反应器	
	PLGA ^①	PLGA ^②	PLGA ^①	PLGA ^②
收率/%	缘	源	怨	愿
粒度/μm	苑	员	愿	愿
药物质量分数/%	圆	圆	圆	圆

摇① 为低分子量聚乳酸。

摇② 为高分子量聚乳酸。

(猿) 乳化条件的影响摇人们研究了不同条件下含水微胶囊的粒度分布曲线。通过试验发现：没有乳化剂存在时机械搅拌强度对粒度分布曲线影响很大；当乳

化剂浓度超过一定范围时，机械搅拌的影响会降低。在固定的机械搅拌条件下，随着乳化剂（山梨醇三油酸酯）浓度增加初始粒度分布曲线会愈来愈窄，最后几乎保持不变。图 3-15 和图 3-16 为在水分散液中不同条件下聚邻苯二甲酸己二酰胺微胶囊的粒度分布曲线。由此说明在制备过程中，乳化阶段所用的机械搅拌情况和乳化剂浓度对于平均粒径影响很大。研究发现这与乳化体系的稳定性密切相关。

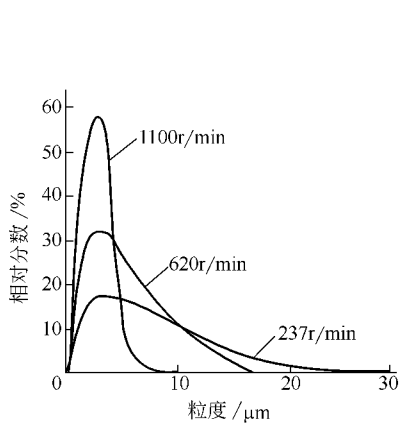


图 3-15 搅拌速度对于聚邻苯二甲酸己二酰胺微胶囊的粒度分布的影响

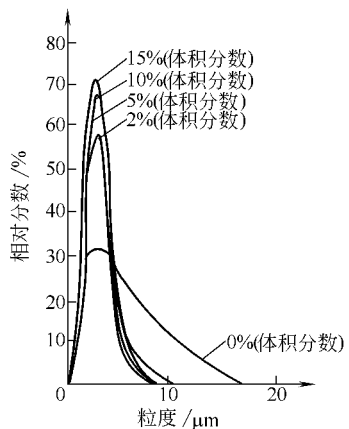


图 3-16 乳化剂浓度对于聚邻苯二甲酸己二酰胺微胶囊的粒度分布的影响

(源) 原料化学结构的影响摇对于聚合法微胶囊化而言，在聚合阶段改变反应中间体的化学结构也会对其粒度分布产生巨大影响，图 3-17 列出了相同条件下制备的不同聚酰胺材料包裹水的微胶囊的粒度分布曲线。

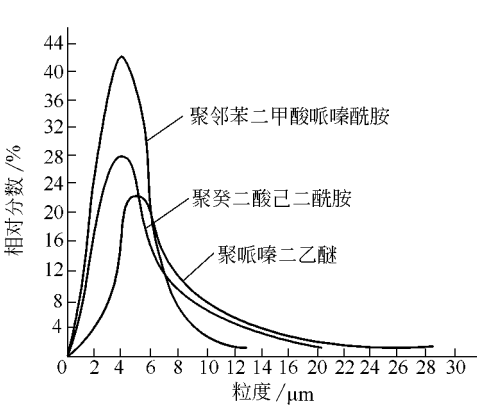


图 3-17 不同聚酰胺材料包裹水的微胶囊的粒度分布曲线

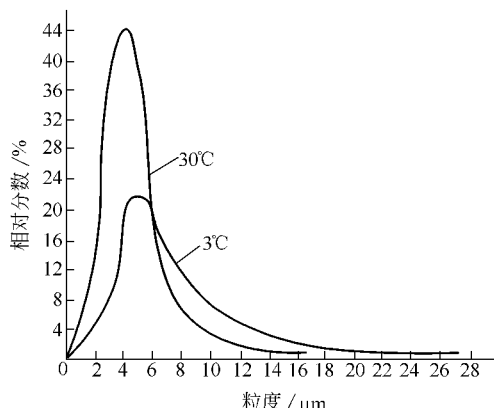


图 3-18 不同温度下制备的微胶囊的粒度分布曲线

(缘) 聚合反应温度的影响 摇在聚合反应法微胶囊化过程中，聚合温度升高也会对粒度分布产生显著影响，图 猿苑 表明了聚合反应温度对微胶囊粒度分布的影响。这是因为温度升高聚合速率加快，作为微胶囊壁材的聚合物的分子量也会提高。此外，微胶囊的粒度与微胶囊壁材的特性黏度具有密切关系。当特性黏度减小时，会导致微胶囊粒度的增大。通过降低反应物的浓度或在双官能团反应物溶液中加入单官能团反应物作链终止剂，可降低聚合物的特性黏度。

(远) 黏度的影响 摇黏度对于微胶囊产品粒径及其分布的影响主要包括 圆方面：被包裹液滴相的黏度影响以及分散、悬浮介质的黏度影响。

① 被包裹液滴相黏度的影响。在液滴相中液滴浓度越高，黏度越大，越容易形成大液滴，这是因为液体黏度越大越难以打碎成小液滴。表 猿愿 反映了在异戊烷中进行白蛋白悬浮交联时，液滴相黏度对于蛋白质微粒粒径的影响。

表 猿愿 摇液滴相黏度对于蛋白质微粒粒径的影响

白蛋白质量 分数 辕	相对黏度	平均粒径 辕皂	白蛋白质量 分数 辕	相对黏度	平均粒径 辕皂
园	员圆园	—	员园	圆园园	缘
缘	员圆猿	源	圆园	缘园	苑

② 悬浮介质黏度的影响。人们研究了在环己烷中乙基纤维素凝聚时，稳定剂聚异丁烯（孕用）的浓度对于液滴粒度的影响，结果见表 猿愿 这些数据表明凝聚介质的黏度对于液滴粒度的影响较大。

表 猿愿 摇稳定剂聚异丁烯的浓度对于液滴粒度的影响

孕用质量分数 辕	缘益时黏度 辕皂 泽	凝聚液滴的平均直径 辕皂	
		猿皂后	圆皂后
园	园	园	园
猿	员圆缘	员猿	员圆
缘	猿缘	—	员
远缘	远缘	—	员
苑	苑缘	员	员苑
愿	员猿	—	员猿
怨	员缘	—	愿
员园	圆缘	猿	猿

液滴稳定性的提高以及介质黏度的增加均会降低微胶囊产品粒度。但是数据表明，主要影响因素是悬浮介质的黏度，悬浮介质的黏度越高，液滴粒径越小。

③ 壁材的黏度。表 猿愿 中数据也表明聚合物分子量对微胶囊粒度的影响。这种影响与聚合物的黏度有关。聚合物分子量越高，其溶液黏度越高，液滴及微胶囊的尺寸越大。

表 猿数据表明，随着聚合物和心材浓度的增加，粒度也会增大。对于这两个因素来说，相对于心材的浓度变化而言，聚合物浓度变化对粒度的影响更显著。

表 猿摇聚合物及心材的浓度对于包含顺氯氨铂聚乳酸微胶囊粒度的影响

序号	聚合物质量分数 豫	心材质量分数 豫	粒度 豫皂
员	猿远	圆原	圆皂
圆	愿缘	圆原	圆皂
猿	员源	圆原	猿皂
源	愿缘	圆愿	员皂
缘	愿缘	圆原	圆皂
远	愿缘	缘皂	猿皂

圆微胶囊壁厚

微胶囊心材的含量变化范围很大，可从香精的 苑豫 ~ 愿豫变化至微胶囊维生素 悦的 怨豫。相应地微胶囊的壁厚度变化亦很大，为 圆皂 ~ 圆皂。微胶囊壁厚还与制法有关，一般来说相分离法制得的微胶囊壁厚为微米级，而用界面聚合法制得的微胶囊的壁厚则是纳米级。微胶囊壁厚除了与微胶囊的制法有关以外，还与微胶囊粒度、微胶囊壁材料含量和密度以及反应物的化学结构有关。

微胶囊壁厚随微胶囊尺寸的降低，或随着有效微胶囊数的增加而快速降低。直径小于 员皂的微胶囊膜厚度一般低于 员皂；对于直径为 员皂 ~ 猿皂的微胶囊，其壁的厚度也只有 圆 ~ 员皂。

微胶囊壁的厚度可以采用直接法或间接法测定。直接法是指用装有测微计和浸没物镜的光学显微镜对微胶囊直接测定；间接法是指将微胶囊产品包裹后切片或冻凝后切片，制成电子显微镜的试样进行间接测定。

（员）微胶囊壁厚与微胶囊粒度的关系摇一般而言，随微胶囊壁的厚度增加，微胶囊的粒度是增加的。

（圆）微胶囊壁厚与微胶囊壁材料含量和密度的关系摇微胶囊壁厚度除了与微胶囊粒度有关以外，还与微胶囊心材的含量和相对密度有关。但是由于微胶囊颗粒形状各不相同，上述参数间的关系很难定量。但如果假设所有颗粒的形状均为球状且胶囊膜厚度均匀，那么就可以定量分析这些关系。

$$\frac{\text{宰}_{\text{越}}}{\text{宰}_{\text{灶}}} = \frac{(\text{精}_{\text{原}} - \text{精}_{\text{皂}}) \text{ 凿}}{\text{精}_{\text{皂}} \text{ 凿}}$$

式中，宰为质量；凿为密度；下标 憎和 灶分别代表壁材和心材；皂为心材半径；皂为心材加壁材的半径。

如果已知壁材和心材的密度，可以推导出胶囊壁材厚度 皂原皂。

(2-1)
$$\Delta r = \left(\frac{\rho_p}{\rho_m} \right)^{\frac{1}{3}} r_p$$

从上式可以看出，当胶囊壁材与心材的比（ ρ_p/ρ_m ）为常数时，胶囊壁材的厚度与心材的半径 r_p 成线性关系，表明在心材颗粒度为常数的情况下，胶囊壁材厚度是胶囊成分质量比的立方根。

在壁材组成一定的情况下，微胶囊产品所需要的稳定性或释放性仅与微胶囊壁厚度有关。例如，假设任何扩散均经过微胶囊壁，则扩散与微胶囊壁厚度有函数关系。通过使胶囊心材含量变大，即微胶囊心材半径变大，比降低微胶囊含量更能有效地降低微胶囊扩散能力。

(3) 微胶囊壁厚与反应物的化学结构的关系 关于微胶囊壁厚与反应物化学结构的关系，最初此方面的研究借助于电子显微镜测定了通过界面聚合反应制备的包裹血红蛋白的聚癸二酸己二酰胺微胶囊的壁厚度约为 0.1 μm。后来人们采用类似的方法制备了一系列包裹水的聚酰胺微胶囊，通过实验测定了微胶囊壁厚（ Δr 、二元胺的反应比例（ ρ_p ）、微胶囊壁的密度（ ρ_m ）、单位体积水分散液中微胶囊的总表面积（ S ），得到了它们之间的经验关系，如式（2-2）所示。

(2-2)
$$\Delta r = \frac{\rho_p}{\rho_m} S^{\frac{1}{3}}$$

式中， ρ_p 为假设二元胺与二元酰氯完全反应的条件下，单位体积的水分散液中微胶囊壁的质量。

微胶囊壁的密度是采用传统方法测定的，即将所制备的微胶囊破碎后通过离心分离的方法收集、洗涤、减压干燥后测定其密度，结果见表 2-1。此结果显示微胶囊壁厚度与反应物的化学结构有关。

表 2-1 不同结构聚酰胺微胶囊的壁厚度

微胶囊	聚邻苯二甲酸 苯二酰胺	聚邻苯二甲 酸哌嗪酰胺	聚邻苯二甲酸 二甲基哌嗪酰胺	聚邻苯二甲酸 己二酰胺	聚癸二酸 己二酰胺
壁厚度 / μm	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

微胶囊壁的渗透性

(4) 微胶囊壁的渗透性的重要性 对于微胶囊的众多用途来说，微胶囊壁的渗透性能是微胶囊最重要的功能特性之一。根据不同微胶囊化产品的应用要求，一些微胶囊具较低的渗透性能，它可以防止心材流失或防止外界材料的侵袭；而另一些微胶囊化产品具有设定的渗透性能，从而使其具有缓释或控释功能。

当心材是液体时，降低心材在微胶囊壁中的渗透性对于保持心材是极其重要

的。以明胶为微胶囊壁，包裹挥发性液体的微胶囊的渗透性能数据列于表 3-10 中。

表 3-10 摇在明胶中微胶囊化溶剂的渗透性

被包裹的溶剂	微胶囊中溶剂量 (质量分数) %	微胶囊平均粒径 μm	实验时间 h	溶剂流失度 ^① %
苯	10	1.5	12	10
四氯化碳	10	1.5	12	10
氯仿	10	1.5	12	10
二溴乙烷	10	1.5	12	10
正己烷	10	1.5	12	10
甲苯	10	1.5	12	10
	10	1.5	12	10
	10	1.5	12	10
	10	1.5	12	10
	10	1.5	12	10
	10	1.5	12	10
三氯乙烯	10	1.5	12	10
全氯乙烯	10	1.5	12	10
二甲苯	10	1.5	12	10

摇① 测定条件为 25℃，相对湿度。

当心材是固体时，心材的扩散是可以忽略的，而防止或控制外界材料在胶囊壁中的渗透是十分重要的。通过微胶囊化可防止水对心材（例如维生素 C）的溶解。

在心材易受氧气、水蒸气或其他气体环境影响而导致降解的情况下，微胶囊壁材必须防止这些外在因素的渗透。虽然微胶囊化还不能完全屏蔽外界影响，使之在氧气或潮湿条件下完全避免降解，但可以部分屏蔽以降低降解速度从而可以提高产品性能。

（四）影响微胶囊壁渗透性的因素摇微胶囊的渗透性与囊壁厚度、微胶囊直径、囊壁渗透性能、壁材种类及心材分子量的大小等许多因素有关。本章总结了归纳了影响微胶囊聚合物膜的渗透性的主要因素，见表 3-11。

表 3-11 摇影响聚合物膜渗透性的因素

聚合物参数	对渗透性的影响效果	胶囊参数	对渗透性的影响效果
密度增加	降低	膜厚度增加	降低
结晶度增加	降低	粒度变大	降低
取向性提高	降低	高比例的球形物	降低
交联性提高	降低	固化等后处理	降低
切塑性提高	增加	形成多膜	降低
均填性提高	可能增加	粒度分布变大	随胶囊变化
使用适宜溶剂	降低		

由于微胶囊壁膜与聚合物膜之间在聚合物分子的排列方式方面没有原则性差

别, 因此关于聚合物壁材的研究结果可以应用于对微胶囊壁的通透性分析。一般, 在聚合物膜中以— SO_2 — NH —等极性基团的单体(如丙烯腈)聚合形成的膜氧气的透过系数小, 这是由于聚合物分子中氢键的作用使得膜的透过通道呈极性之故。高分子与有机溶剂的亲性能是反映高分子材料中通道极性的重要参数, 因此它也是反映膜渗透性的最重要因素。

(猢 微胶囊壁渗透性的计算 微胶囊渗透性对于需控制释放的微胶囊化产品来讲是非常重要的。关于渗透性的计算,人们提出了以下几种方法。

① 根据水渗透性系数可计算由一系列聚合物制得的微胶囊的半衰期。微胶囊的半衰期是指微胶囊心材含量损失一半所需时间。研究发现实验测得的聚合物壁渗透性质参数可用于特定微胶囊的聚合物壁的选择的指导原则。应当注意在使用此方法时,实验室所制得的微胶囊实际渗透性通常高于所用微胶囊壁聚合物的渗透性的实验值。

② 可原则上按不可逆热力学为基础推导出的渗透方程分析微胶囊壁渗透性数据。其中的一元体系中溶质透过微胶囊壁方程如式(7)所示。

员 粤 伊 越 垣 (员 垣) 悦 分 (猿 垣)

式中, $\frac{dN}{dt}$ 为单位时间内通过壁的溶质物质的量; A 为膜面积; R 为气体常数; Δc 和 c 分别代表壁两侧的溶质浓度差和平均浓度; J_v 为单位膜面积上的总体积流量; T 为绝对温度; ω 为溶质渗透性; σ 为反射系数 (对于非渗透性溶质 σ 为 1, 对于可渗透性溶质则 σ 约 0)。

可渗透性溶质的反射系数与膜的当量孔半径 r 之间关系见式 (7) (7)。

[illegible]

式中, r_1 为溶质分子的半径; r_2 为水分子半径。

影响微胶囊性质的其他性质

(员) 电位——膜的带电性质

对于用界面聚合法制备的并在水溶液中悬浮的微胶囊来说，只要水溶液含有高分子量的电解质，那么在电场中微胶囊就会迁移到阳极或阴极上。这些微胶囊的移动方向取决于组成囊膜的电解质的电导迁移率。在显微镜下观察可以得到的这些微胶囊的迁移率，并且会很容易将迁移率转化为 ξ 电位。

ξ 电位是一种剪切面上的动电电位，不等于表面电位。因此要测定微胶囊的表面电位，可采用电位滴定数据评价微胶囊粒子表面电位。

(圆) 离子交换性摇如果形成微胶囊的聚合物链上含有在水介质中可以电离的官能团,那么这种微胶囊即具有离子交换的性能。

(猿) 光学性能摇一些特殊的微胶囊,如磺化聚邻苯二甲酰哌嗪微胶囊,由于在聚合链中存在员圆苯乙烯骨架,因此在紫外光下会产生荧光现象。另外,有许多聚合物膜具有颜色,因此可以将对可见光或紫外光敏感的化合物用荧光性或有色聚合物胶囊化,以便提高其稳定性。但是在可逆热变色领域中为了保证变色的灵敏度、色彩的鲜艳度,要求作为微胶囊材料的聚合物能够不吸收光或吸光率低。

另外,在微胶囊壁中引入炭黑,可以使得微胶囊壁不透明,从而保护油相避免光照或隐藏油相。例如,可以选择两种能形成复凝聚的聚合物来包裹在体系中分散的油滴。所选择的负电荷聚合物具有高电荷密度,例如,乙烯酞来酸酐共聚物、炭黑是在负电荷聚合物溶液中分散。适宜的正电荷聚合物为明胶、聚乙烯亚胺、聚丙烯酸等,最好是明胶。

(源) 流动性摇为了模拟血管内血红细胞的流动,人们研究了明胶微胶囊水悬浮液的流动性质。研究发现明胶微胶囊由于具有比较坚硬的壁并缺少表面电荷,所以它们应该比红细胞的变形性小,因而更容易形成聚集体。所以在明胶微胶囊构成的体系中,微胶囊悬浮体的假塑性流动中的聚集作用比变形作用更重要。

目前对于微胶囊的流动性质的研究还不够深入,但利用显微镜观察流动中的微胶囊的流变性与迁移特性的研究方法是十分重要的。将可流变的液滴以及不变形的刚性球体在剪切流动中的颗粒特性进行对比,有助于更深刻地了解微胶囊的流动性质。

(缘) 心材装载量摇通过将微胶囊分离、溶解或粉碎微胶囊壁测量壁材和心材的量,可以直接测量微胶囊的聚合物涂层和心材的量。

(远) 微胶囊的机械性质摇关于微胶囊的机械性质报道很少,一般来说与通常的球体相似,在壁材确定的情况下,微胶囊的强度取决于胶囊的直径和囊壁的厚度,符合于球体强度理论公式。其机械性质随构成微胶囊壁材料的不同而不同。

微胶囊壁可以制成柔性壁、刚性壁、脆性壁或硬性壁。为了使壁强度在较大的范围内变化可以改变壁的厚度、使用助剂(例如填充剂或增塑剂)、采用化学方法或物理方法对壁进行后处理。这样微胶囊具有一定的脆性,既便于在中等力量下能够破裂,又能承受生产、包装和运输过程中的作用力。耐用性可以通过控制固化度或控制柔韧性来提高。微胶囊壁强度的选择可根据微胶囊破裂的条件或心材释放的条件来确定。

运策和月研究了微生物细胞的固定化、海藻酸钙胶体的亚细胞器和酶,研究了各种酶的固定化和酵母菌的包埋。他们对于酶微胶囊的研究表明:相

对分子质量在 10000~100000 的分子易于透过海藻酸胶壁。对海藻酸盐小球的研究也有助于对微胶囊机械稳定性的鉴定。

微胶囊心材的释放与控制

控释技术的应用首先起于制药工业，现在已逐渐被用于农药、肥料、兽药及食品工业。控释是指一种或多种活性物或成分以一定的速率在指定的时间和位置的释放。控释技术的出现使得一些对热、温度、 pH 等环境敏感的材料能更方便、更有针对性地用于各种工业领域中。例如用一些糖类对热敏感的物质制成特殊的微胶囊产品用于焙烤产品，它会在烘烤后期释放出来，这样就避免了烘烤过程中的焦糖化。另外在烘烤中，酸性试剂与碳酸钠混合会释放出二氧化碳。因此，可以根据活性物的物理或化学释放方法将控释系统加以分类，图 3-1 描绘了一些物理化学控释系统。

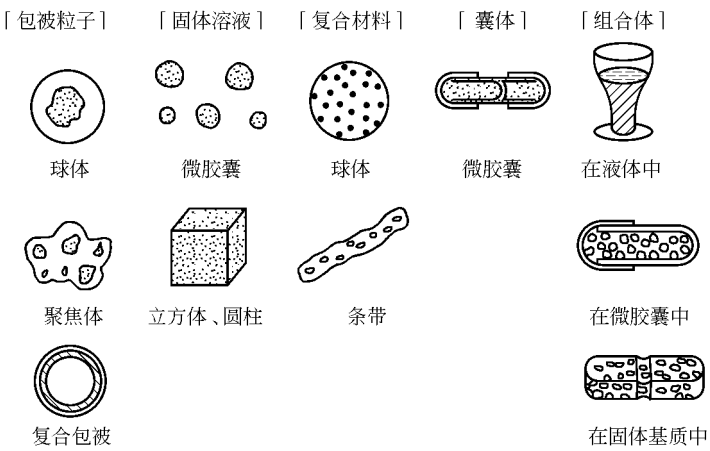


图 3-1 物理化学控释系统的物理化学类型

(员) 心材释放方法 心材的释放过程也就是微胶囊破裂的过程，微胶囊破裂的主要方法有：机械法，酶法，光、燃烧和加热的作用，以及水或溶剂的溶解。

当微胶囊处于一定的液体环境中时，通过萃取的作用可以使心材释放。例如，如果水溶性心材被水可渗透的壁材（例如乙基纤维素）包裹后，水可以萃取微胶囊中的心材。这种释放机理常用于控制释放或缓慢释放的情况。其过程为：在开始的时候水渗透到微胶囊壁中，开始溶解心材。这样所形成的心材的溶液会渗透到微胶囊以外，并进入连续的水相中。这种释放与微胶囊壁的水渗透性、壁材的溶解性以及微胶囊壁对于饱和溶液的渗透性有关。在微胶囊混合物中总释放速度是大量的单独的微胶囊释放速度的总和。

微胶囊壁材的性能和结构是影响心材释放速度的主要因素，主要包括微胶囊

壁材的类型、壁的厚度和微胶囊尺寸等。通过选择适宜的壁材并伴以合适的微胶囊化方法,控制壁材在一定时期不破裂,而是当向微胶囊施以一定的力或者胶囊处于一定的条件时,壁材才发生破裂或具有渗透性,这样便可实现控释。

在很多应用中,微胶囊是受压破裂的,例如无碳复写纸。模拟产品应用的条件,可以测定胶囊破裂所需的压力,从而设计出的产品在一般的压力下胶囊不会破裂,染料不会渗出,而只有在书写的压力作用下,微胶囊才破裂而释放出染料。这使得产品的使用和储存运输都很方便安全。

药物的控释更为复杂。一些微胶囊化药物心材的释放或溶质的吸附还与时间有关。通常的研究是在恒温的条件下,当微胶囊与固定量的液体接触,通过测定其溶解度随时间的变化,来确定心材释放的动力学。食品功能因子的控释与药物的控释相近,只是比药物的控释要求低。实际上许多功能食品的控释都是借鉴药物控释的研究成果。

众所周知,高强度超声波可用于破坏生物细胞膜。一般是将超声仪直接与组分接触,最好是浸入组分中,另外也可在超声仪内装入组分。超声时间及其输出功率根据所要求活性组分释放量决定。在美国专利 4,254,812 号中,首次介绍采用超声波能量活化微胶囊中活性成分并使微胶囊破裂。

(圆) 心材释放机理摇微胶囊控释传递系统的释放原理很多,其中主要包括扩散释放、膜控释、压力活化释放、撕裂蛻皮释放、溶剂活化释放、渗透压控释、酶敏感释放、温度敏感释放、熔融活化释放通过生物降解的释放和混合释放等。

① 扩散释放,扩散释放是通过控制活性物扩散到粒子表面来控制释放。不同的壁有不同的渗透性,前面已介绍了壁的通透性及影响壁通透性的因素。实际上有利用扩散原理设计控释型微胶囊时,手段还要丰富一些。根据心材在微胶囊中的分散状态可以将微胶囊分为两种形式,单胶囊型和多囊模块型(图 3-10)。

在单胶囊型中微胶囊壁可以制成微孔、大孔或无孔形式。最常用的微胶囊壁是无孔的均匀膜。活性物的释放

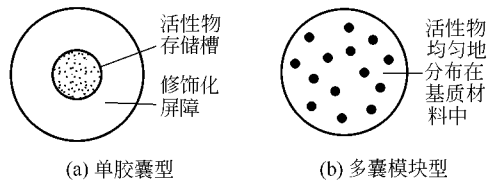


图 3-10 摇微胶囊的基本形态

速率取决于微胶囊壁的厚度、面积及渗透性。在多囊模块型中,活性物均匀地分散在聚合物基质中,大量的胶壁材料自身堆积状态就可以实现一定程度的控释。

心材扩散受模块成分溶解性及渗透性的控制。如果心材不溶于模块,也就不会扩散进入模块。如果膜两侧挥发物质的蒸气压作为扩散的驱动力调节着扩散能力,那么物质在模块中的溶解度大小将不再成为控释的主要因素。

对于芳香微胶囊来说,不同化合物的相对挥发性也是大不相同的。因此其扩

散的驱动力（蒸气压）及阻碍扩散力（包括溶解性、分子大小及形状）也不同。挥发性化合物的结构控制了其物理化学特性并且不可变，但是可以通过改变模块及芳香剂的形成来达到控释的目的。

膜的透过性受透过分子、膜化学性质及其物理状态（无定形性及玻璃化温度）的影响。处于玻璃态的模块不易扩散，而橡胶态的模块则易于心材的扩散。因此，模块材料的玻璃态和橡胶态转变温度（玻璃化温度）是评价控释特性的重要参数。模块材料中结晶比例也是一个相关因素。对于高分子材料体系，材料中的结晶区阻碍扩散而无定形区域则有利于扩散。在食品体系中情况可能复杂些，模块结晶可能是一个渐进的过程，最初阻碍扩散，随着结晶区的扩展又促进模块快速扩散。

其他影响食品芳香微胶囊扩散的因素是材料溶胀和交联的程度。从自由体积理论来看，水不仅存在增塑作用同时增加了分子内部的自由体积和分子间的空隙。溶胀取决于模块对水的吸收（水活化模块）或有其他模块溶剂的存在（例如丙醇、乙二醇、甘油）。模块溶胀程度越高，形成的孔越大，自由体积也越大，越促进扩散。因此增大溶胀作用或在微胶囊模块材料中加入增塑剂会提高心材的释放速率。

② 压力活化释放，凝聚法微胶囊的控释系统最初是基于压力释放活性心材机制。应用这种方法生产的最大量的产品是无碳复写纸。将油墨材料制成微胶囊，壁材为一层致密而易碎的材料，当用铅笔或钢笔这些书写工具按压时，壁材将会破碎。油墨材料由两种不同成分组成并且被分别制成微胶囊，混合在一起并均匀地覆盖在纸表面。独立的油墨材料是无色的，因此纸保持白色。当微胶囊破碎，油墨成分被混合在一起时即发生颜色反应而呈现黑色。

这一技术的另一应用是用于香水广告或传递香味样品的“刮涂产品”。不需要长时间的缓慢释放（例如汽车的空气清新剂或干燥产品的香味），但是需要完全不渗透的壁材，只在断裂时释放心材。

③ 撕裂蛻皮释放，这种控释方法应用于香料的传递及广告印刷品方面。壁材被夹在两层纸或高分子材料之间，当材料被撕开时，直接将微胶囊撕开释放心材。

④ 溶剂活化释放，这种方法或者将微胶囊完全溶解释放心材，或仅仅使其溶胀从而加快活性物的释放。后一种情况的典型例子是湿度活化除臭剂（防汗药），只有需要时活性心材才释放出来。由于溶剂（通常是水）可以使微胶囊外壁溶胀，从而引发释放（增加溶解）。因此，很难将溶剂活化释放与扩散释放完全区别开来。溶剂活化控释是目前为止在食品工业中应用最广泛的控释机制。

⑤ 渗透压控释，在这种释放方法中，微胶囊心材溶胀，直到微胶囊爆裂。如果微胶囊的活性物质对水有较高的亲和性，内部压力会很大。这种控释方法在

商业上应用的一个例子是洗衣漂白剂。缓慢增长的渗透压使漂白剂在洗衣循环的后期释放。

在渗透系统中，渗透压为驱动力，活性物以可控速率从微胶囊中释放出来（图 3-10）。

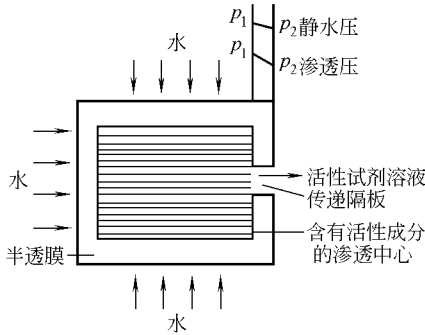


图 3-10 摇微胶囊的渗透压控释

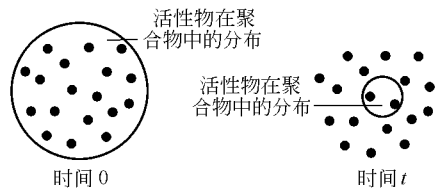


图 3-11 摇微胶囊的生物降解释放示意图

其过程为：活性物被包围在具有小孔的选择性渗透的高分子膜内，膜对活性物是不渗透的。在含吸收溶剂（通常是水）的环境中溶剂穿过膜进入核心，如果活性物在溶剂中有较高的溶解度，则在微胶囊内将形成高渗透压。当渗透压超过微胶囊壁所能承受的最大压力时，活性物将被释放出来。

⑥ 酶敏感释放，这种释放机制在化妆品领域应用得很多。微胶囊系统对交联酶变化作出反应，当酶变化时，微胶囊破裂释放出心材。

⑦ 温度敏感释放，这种技术特指一些物质在一定温度下会崩解或膨胀的独特性能。

⑧ 熔融活化释放，这种释放机制指微胶囊外壁熔融从而释放出活性材料。由于喷雾冷凝、双液柱挤压喷管及二次包裹技术的发展，这种释放机制已用于食品工业。许多熔融材料如脂、改性脂质体及蜡是可以用于食品方面的，因此熔融活化释放技术已用于食品工业。食品方面的应用包括盐、营养素、香料等微胶囊。

⑨ 通过生物降解的释放，生物降解系统可以是单胶囊型或多囊模块型的传递系统。在多囊模块型的传送系统中，活性物分散到聚合物中并随聚合物的降解或被侵蚀而释放出来（图 3-12）。聚合物降解必须形成无毒化合物。第一类生物降解聚合物其基质表面积随时间下降，从而使释放速率下降，这种系统可以设计成内部活性物浓度高于表面层。第二类生物降解聚合物在初始阶段，聚合物降解非常慢，但由于自催化作用，在后期降解速率迅速提高，并在短时间内使结构破坏。

第二节摇微胶囊化技术基础

一、设计微胶囊时常需考虑的问题

① 心材的性质。包括：心材是液体还是固体，是亲水性的还是疏水性的，密度、熔点、沸点等物理性质，对于化学环境或温度变化是否稳定等有关心材的化学稳定性及其反应性能。

② 壁材的来源和性质。壁材是选用天然的还是合成的，是已制备好的聚合物，还是通过单体聚合、固化等化学反应在心材的周围表面上形成聚合物（这取决于所设计的微胶囊的特性）。制造微胶囊的具体技术常常取决于所用高聚物壁材的性质。例如可以采用界面缩聚的方法制备以聚酰胺为壁的微胶囊；而聚丙烯酸酯作为壁材的微胶囊则通过乳液聚合制备；蛋白质微胶囊通常用悬浮交联的方法制备；多糖常用于喷雾干燥法和挤压法制备微胶囊化产品；明胶和相关产品则是通过凝聚法制备；聚乳酸盐微胶囊则是通过溶剂蒸发或溶剂萃取法制备。

③ 微胶囊化介质，微胶囊化的介质是气体、有机溶液或水。

④ 微胶囊的成型是通过一步还是多步方法完成的，如是否包括调整形状、溶剂化等。

⑤ 微胶囊的囊壁性能与结构，包括微胶囊囊壁表面性能（是否发黏、表面电荷性能等）、渗透性、密度、韧性、毒性安全性等。

⑥ 微胶囊的应用环境。

二、微胶囊化方法的分类

目前为止，所报道的用于制备微胶囊的方法很多，大约有 100 多种，这些方法在细节方面各不相同。微胶囊化方法的分类主要有 3 种分类方法，根据涂层方法进行分类、根据悬浮介质的性质进行分类和根据微胶囊壁材的原料类别进行分类。

1. 根据涂层方法进行分类

根据涂层方法分类法将微胶囊的制备方法大致分为 4 类，每类方法根据所用壁材、心材的不同，所得微胶囊性质的不同，可以应用于不同的工业生产领域。微胶囊粒径的大小与微胶囊制造方法有着十分密切的关系见表 2-1。

表 2-1 微胶囊制造方法及相应的粒径

微胶囊化工艺	心材	粒径范围 / μm	微胶囊化工艺	心材	粒径范围 / μm
相分离法	固体、液体	0.1~1.0	气体中悬浮包裹法	固体	1.0~10.0
界面聚合法	固体、液体	0.1~1.0	静电沉积法	固体、液体	1.0~10.0
喷雾干燥和冻结法	固体、液体	1.0~10.0	盘涂法	固体	1.0~10.0
离心挤压法	固体、液体	1.0~10.0			

另外，也可以根据涂层方法的不同将微胶囊制造方法分为化学法、物理法和物理化学法三大类。化学法主要包括界面聚合法、原位聚合法和锐孔法；物理法主要包括空气悬浮法、喷雾干燥法、真空蒸发沉积法、静电结合法、多孔离心

法；物理化学法主要包括水相相分离法、油相相分离法、干燥浴法、熔化分散法与冷凝法、粉末床法。

第 3.1 节 将已商业应用的微胶囊化方法分为以下几类。

喷雾涂层法：包括盘涂法、流化床法、宰割法和沉淀法（包括复凝聚法、有机相分离凝聚法、羟丙基纤维素包裹法和脲醛树脂包裹法）。

界面反应法：包括界面缩聚法、异氰酸酯工艺、帕里纶自由基缩聚法、海藻酸聚电解质膜法、直接烯烃聚合法、表面交联法和蛋白质交联法。

物理工艺：包括真空金属喷镀法、环喷聚合法、液体膜法、填充气体胶囊和快速接触工艺。

模块固化工艺：包括喷雾干燥法、喷雾冷却法、乳化液融合固化法、溶剂挥发法、淀粉工艺。

第 3.2 节 根据悬浮介质的性质进行分类

早期，人们将微胶囊化方法分类为化学法或物理法，这种分类方法与当时的技术发展水平是相适应的，但随技术的进步，这一分类方法就存在一定的局限。因为许多工艺中很难区分是化学法还是物理法，称做化学法的工艺中包括物理现象，而称做物理法的工艺也应用了化学现象。因此有人提出根据悬浮介质的性质将微胶囊化方法分类为 粤型工艺和 月型工艺。

(员) 液态悬浮介质 (粤型工艺) 摇如果液体作为悬浮介质，可以将两个或多个不相容的相，在搅拌釜中或管式反应器中进行乳化或分散来进行微胶囊化，这类工艺称为 粤型工艺。这些方法包括复凝聚法、聚合物-聚合物不相容法、液-液界面或固-液界面处的界面聚合法、原位聚合法、脱溶剂法、从乳液中挥发溶剂法、凝胶法、加压挤压法。在这些工艺中，两个或多个不相容相的乳液和分散液的稳定性是这类工艺成功与否的关键。

(圆) 气态悬浮介质 (月型工艺) 摇如果气体是悬浮介质，微胶囊可以通过液相雾化的方法来形成。也就是说在微胶囊形成的过程中，将涂层以某种形式喷涂或沉积到在气相或真空中分散的液态或固态心材的表面上，这类工艺称为 月型工艺。在这类工艺中，包括将含心材的液滴喷到气相中，然后固化形成微胶囊。在这些工艺中，微胶囊的形成及液相的雾化是关键步骤。另外，乳液和分散液的稳定性对 月型工艺的成功也起到关键作用。这些方法包括喷雾干燥法、流化床法、在固-液界面或液-液界面处界面聚合法、离心挤出法、真空涂层、挤出或喷雾到脱溶剂浴法（凝胶法）、旋转悬浮分离法、静电沉淀法。

很多 粤型工艺和 月型工艺是类似的。例如，溶剂的挥发是大多数喷雾干燥工艺（月型工艺）中的关键步骤，在 粤型工艺中也包括溶液中溶剂挥发。其不同之处在于：在 月型工艺中液体直接蒸发到气相；在 粤型工艺中易挥发液体从分散相先过渡到连续液相，然后再从连续液相挥发。另外一个例子是关于凝胶，

在 粤型工艺中液滴在液相中分散并在液相中凝胶；在 月型工艺中，通过向气相中喷雾或经挤出工艺形成液滴，然后将液滴在气相中或液态凝胶浴中凝胶。

大多数 粤型工艺可以归类为化学法，大多数 月型工艺可以归类为物理法或机械法。有些研究人员将液态悬浮介质包裹工艺称为化学工艺，将气态悬浮介质包裹工艺称为物理工艺或机械工艺，这种分类方法是不适宜的。因为根据这种分类，聚合物 聚合物不相容法、脱溶剂法、凝胶法等工艺尽管没有进行化学反应，但仍归类为化学工艺。

几种方法结合制备微胶囊化产品可使产品具有多种功能。

根据壁材的原料类别进行分类

很多单体和聚合物材料可以通过很多不同的聚合方法和微胶囊化工艺用于制备微胶囊。以单体为原料的主要微胶囊化技术包括悬浮聚合、乳液聚合、分散聚合、沉淀聚合、悬浮缩聚、分散缩聚、沉淀缩聚和界面缩聚。以聚合物为原料的主要微胶囊化技术包括悬浮交联、凝聚、相分离、溶剂蒸发萃取、聚合物沉淀、聚合物螯合、聚合物凝胶、聚合物熔融固化、盘涂和流化床法。

本文中仍然沿用传统的分类方法，即根据涂层方法进行分类，但略有调整，以此为类分别介绍相关的技术。

(员) 聚合反应法 根据微胶囊化时，制备壁所用材料的原料和聚合方式的不同，可以将聚合反应法制备微胶囊的工艺再分为界面聚合法、原位聚合法和悬浮交联法。界面聚合法和原位聚合法是以单体作为原料，利用合成高分子材料作壁材的方法，这两种方法具有工艺简单，壁材选择面广，可以获得具有多种不同性能的壁材的优点。

① 界面聚合法。在界面聚合法制备微胶囊的工艺中，微胶囊外壁是通过两类单体的聚合反应而形成的。参加聚合反应的单体至少有两种，其中必须存在两类单体，一类是油溶性的单体，另一类是水溶性的单体。它们分别位于心材液滴的内部和外部，并在心材液滴的表面进行反应，形成聚合物薄膜。

② 原位聚合法。在原位聚合法微胶囊化的过程中，并不是把反应性单体分别加到心材液滴和悬浮介质中，而是将单体与催化剂全部加入分散相或全部加入连续相中即单体成分及催化剂是全部位于心材液滴的内部或者外部。在微胶囊化体系中，单体在微胶囊体系的单一相中是可溶的，而聚合物在整个体系中是不可溶的，所以聚合反应在心材液滴的表面上发生。在液滴表面上聚合单体产生相对低分子量的预聚体，当这个预聚体尺寸逐步增大后，沉积在心材质的表面，由于交联及聚合不断进行，最终形成固体的微胶囊外壁，所生成的聚合物薄膜可覆盖心材液滴的全部表面。

③ 悬浮交联法。前文所述的界面聚合法及原位聚合法均是以单体为原料，并经聚合反应形成壁膜的。而悬浮交联法与上述两种方法不同，它是以聚合物为

原料即先将线型聚合物溶解形成溶液，然后，当线型聚合物进行悬浮交联固化时，聚合物迅速沉淀析出并形成微胶囊壁。

(圆) 相分离法摇相分离法制备微胶囊的基本原理是利用聚合物的物理化学性质，即相分离的性质，所以又称为物理化学法。根据制备介质的不同可以将相分离法分为：水相相分离法和油相相分离法。在水相相分离法中，根据被相分离出来的聚合物的数量，可以再分为复凝聚法和单凝聚法。

(獭) 物理法及机械法摇该微胶囊化方法主要是通过微胶囊壁材的物理变化，采用一定的机械加工手段进行微胶囊化。主要有溶剂蒸发或溶液萃取法、熔化分散冷凝法、喷雾干燥外、流化床法，以及其他一些机械方法。

三、微胶囊化工艺的选择

设计微胶囊化工艺必须要全面地考虑整个系统：微胶囊本身、释放机理以及各个组分的有效利用率。

圆基本原则

① 适宜的原料成本（壁材成本一般尽量不要超过心材的成本，而且在许可的条件下要尽可能低）。

② 原料的可用性，许多可用作壁材的原料在某些行业中是不可用的。例如，大部分的化学聚合物是不能用于食品原料、配料的微胶囊化的。

③ 良好生产的可行性，针对具体的产品，应从生产的可操作性角度来选择微胶囊化的方法。

④ 较低的综合制造成本。产品的制造工艺应该简单、方便且成本适宜、经济合理。除活性物的消耗以外，影响微胶囊化工艺经济性的主要因素包括：材料消耗（特别是壁材消耗）、生产规模和微胶囊有效尺度（如心壁比，由质量、体积、价值等来评价）。

在充分考虑以上这些因素的基础上应进一步考虑影响微胶囊体系的因素。例如，要选择有适当机械强度的聚合物降低壁的厚度，增大微胶囊粒度以提高“有效”性。每个活性物单元具有越小的表面积，则微胶囊的渗透消耗会降低。

圆微胶囊壁材的选择

微胶囊壁材的选择对于微胶囊产品性能影响起到决定性作用。针对不同的心材、应用要求和微胶囊化的方法，对于微胶囊壁材有不同的要求。

选择微胶囊壁材必须考虑如下因素。

(圆) 微胶囊壁材的机械性能摇一般来说，微胶囊壁材必须可以被固化。但对于很多应用来说，壁材的固化必须要考虑微胶囊具有的机械强度。

(圆) 微胶囊壁材的通透性摇这一性质影响产品的经济性和产品的储藏期。

(獭) 微胶囊壁材的可降解性摇对于某些用途来说，希望壁材具有可降解性，例如医药微胶囊、农药微胶囊等。但是对于另外一些用途，为了不影响产品的经

济性和产品的储藏期，则要求壁材必须具备不可降解性能。

(源) 微胶囊壁材的易加工性摇不同制备方法所用的壁材不同，所得到的微胶囊壁材的性能亦有所差别。一般来说，界面反应制得的以聚氨酯、聚酯、聚脲、聚酰胺、聚苯乙烯、聚丙烯酸酯、脲醛树脂作微胶囊壁材的微胶囊致密性好；采用流化床法、喷雾干燥法制得的微胶囊产品致密性差，且颗粒直径相对来说较大；而用水溶液相分离法制得的以明胶作微胶囊壁材的微胶囊机械强度差。

微胶囊化系统的设计必须立足于整个系统，包括微胶囊本身、释放机理和活性组分的最终用途。要得到满意的产品，工艺参数必须优化。微胶囊化方法在细节上各不相同。

四、微胶囊化产品

根据产品特性，微胶囊化产品可以分为如下几类。

(员) 缓释型微胶囊摇该微胶囊的壁相当于一个半透膜，在一定条件下允许心材透过，以延长心材的作用时间。根据壁材的来源不同，可分为天然高分子缓释材料（明胶和羧甲基纤维素）和合成高分子缓释材料。而对于合成高分子缓释材料，按其生物降解性能的不同，又可分为生物降解型和非生物降解型两大类。

(圆) 压敏型微胶囊摇此种微胶囊包裹了一些待反应的心材，当压力作用于微胶囊超过一定极限后，胶囊壁材破裂而流出心材，由于环境的变化，心材产生化学反应而显出颜色或是发生别的现象。

(猿) 热敏型微胶囊摇由于温度升高使壁材软化或破裂释放出心材，有时是心材由于温度的改变而发生分子重排或几何异物而产生颜色的变化。

(源) 光敏型微胶囊摇壁材破裂后，心材中的光敏物质选择性吸收特定波长的光，发生感光或分子能量跃迁而产生相应的反应或变化。

(缘) 膨胀型微胶囊摇壁材为热塑性的高气密性物质，而心材为易挥发的低沸点溶剂，当温度升高到高于溶剂的沸点后，溶剂蒸发而使微胶囊膨胀，冷却后微胶囊依旧维持膨胀前的状态。

(远) 多层微胶囊摇多层微胶囊是特殊的微胶囊化产品，主要特性是可提高微胶囊壁材的致密性，人们尝试并发明了制备多层微胶囊的方法。早期用于制微胶囊的多层敷涂工艺包括：

① 第一层膜是通过亲水胶体絮凝而形成，第二层膜是在此膜之上再通过亲水胶体絮凝形成；

② 通过单体与催化剂形成第一层自由基聚合膜，然后通过凝聚形成第二层膜；

③ 使用亲水膜絮凝形成第一层膜的几个微胶囊凝聚，然后通过凝聚法在原来的凝聚物上形成第二层膜；

④ 从非水介质中亲油高分子化合物相分离沉淀形成第一层膜，然后将第一层膜置于本介质中通过亲水高分子化合物相分离形成第二层膜。

用这些方法得到的多层敷涂微胶囊比用同样材料制得的单层敷涂微胶囊更具保护内部组分的作用。然而它们仍不能完全起作用，因为微胶囊涂膜非常薄（ $\sim 10^{-4}$ 厘米），且膜层有许多裂缝和毛细孔、结构粗糙，能够允许心材渗透、蒸发、吸湿、氧化或通过壁材缺陷部分内外传播，甚至能通过多层结构的壁。产生这些现象的原因在于：第二层膜、第三层膜和第一层膜有一样的缺陷，随涂层数量的增加，壁材的缺陷部分存在的概率在降低，但也不能防止心材通过，也不能稳定保护包裹物；另外，这些已知制法要使用亲水高分子物质（例如明胶和阿拉伯胶）通过水溶液相分离沉淀到细滴表面形成微胶囊膜，这样，微胶囊膜仅在微滴外表面形成，于是不可能形成均匀的微胶囊壁。

（**空**）空心微胶囊 摇空心微胶囊是另一类特殊的微胶囊化产品。空心微胶囊常通过聚合反应法制备，因此在许多文章中将其放在聚合反应法中。通过甲醛缩合物与可成膜的聚合物乳化剂之间的界面反应可以制备空心微胶囊。该微胶囊化工艺过程包括将水不溶性热固性缩合物在油性材料中溶解形成溶液；在水中溶解一种水溶性高分子材料，这种高分子材料既可以作为乳化剂，又可以与热固性缩合物在界面反应生成固态树脂材料；当上述油性材料在含反应性高分子乳化剂的水溶液中乳化分散后，在一定条件下两种聚合物会在界面反应并形成带有孔隙的微胶囊半成品；这种微胶囊半成品经过处理，可以除去油性心材，并用空气置换它。

五、微胶囊材料

（**心**）心材

无论是亲水性还是亲油性，大多数气体、液体、固体均可以被包裹，其中主要包括下列各类物质。

溶剂：苯、甲苯、环己烷、氯代联苯、氯代苯类、石蜡类、醚类、酯类、醇类、甘油和水等。

增塑剂：邻苯二甲酸酯类、己二酸酯类、磷酸酯类、硅烷类、氯代联苯和氯化石蜡等。

酸和碱：发烟硝酸、硼酸、苛性碱和胺类等。

助剂：固化剂类、氧化剂类、还原剂类、自由基引发剂类、阻燃剂、发泡剂等。

胶黏剂：多硫化物类、热敏胶黏剂的各种组分、胺类、环氧树脂类和异氰酸酯类。

色素：染料和颜料，特别是用于无碳复写纸的无色染料。

香料薄荷油、香精和其他专用组分等。

- 食品：油、脂肪、调味品类、香料和味素等。
- 药物：阿司匹林和维生素等。
- 农用化学品：杀虫剂、除草剂和肥料等。
- 记录材料：复印色粉、定影剂、墨水类、偶合剂、显色剂、卤化银、固化剂、黏结剂、磁性粉末、光变色物质和液晶等。
- 生物材料类：血红蛋白、动物胶、酶类、酵母类、细菌类和病毒类。
- 燃料类：核燃料、火箭燃料、汽油和照明油。
- 防锈剂：铬酸锌和其他物质。
- 其他：清洗剂、鞋油、黏土、银、纤维素、磷漂白剂和化学防火剂等。

微胶囊壁材

很多种无机材料和有机材料均可用作壁材，但高分子材料最为常用。表 2-2 中列举了用于制备比较重要的微胶囊的壁材。

表 2-2 比较重要的微胶囊壁材

微胶囊壁材料	食用性	化学类别	包裹工艺	应摇用
阿拉伯胶	可食	多糖	摇喷雾干燥法	食品香料
明胶	可食	蛋白质	摇喷雾干燥法	维生素
明胶阿拉伯胶 ^①	不可食	蛋白质多糖复合物	摇凝聚法	无碳复写纸
乙基纤维素	可食	纤维素酯	摇萃取或萃取工艺或聚合物不相容法	口服药物
聚脲或聚酰胺	不可食	交联聚合物	摇界面聚合法	农用化学品
氨基塑料	不可食	交联聚合物	摇原位聚合法	无碳复写纸、香料和胶黏剂
麦芽糖糊精	可食	低分子量碳水化合物	摇喷雾干燥法或脱溶剂法	香料
氢化植物油	可食	甘油酯	摇流化床法	食品组分

摇摇^① 用戊二醛处理。

目前，可以作为微胶囊壁材的物质有许多，主要分为天然高分子材料、半合成高分子材料和全合成高分子材料。要根据心材的物理性质来选择适宜的壁材，如果心材是亲油性的，则宜选用亲水性聚合物作壁材；当取水溶性的物质作心材时，则应选用非水溶性的合成高分子材料作壁材。

(5) 天然高分子材料摇摇可以用于微胶囊壁材的天然高分子材料主要是蛋白质类和植物胶类，其中主要包括：明胶、阿拉伯胶、琼脂、琼脂糖、麦芽糊精、脂肪类、脂肪酸类、十六醇、奶酪、紫胶、硬脂、麸质、骨胶原、黄耆胶、角叉胶、蜡（蜂蜡、石蜡和松香等）、海藻酸钠、海藻酸钙、虫胶、松脂、淀粉（玉米淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉、羟乙基淀粉、羧甲基淀粉及马来酸酯化淀粉聚丙烯酸共聚物等）、蛋白类（纤维蛋白原、血红蛋白、牛血清白蛋白、玉米蛋白、鸡蛋白、酪蛋白等）。这些天然高分子材料具有无毒、成膜性好等特点，是食品微胶囊的重要壁材。

(圆) 半合成高分子材料摇可以用于微胶囊壁材的半合成高分子材料主要是纤维素衍生物，例如羧甲基纤维素、羧甲基纤维素钠、邻苯二甲酸醋酸纤维素、邻苯二甲酸丁酸纤维素、硝酸纤维素、羟丙基纤维素、羟丙基甲基邻苯二甲酸纤维素、甲基纤维素、乙基纤维素、羟丙基甲基纤维素、丁酸醋酸纤维素、琥珀酸醋酸纤维素等。其特点是毒性小、黏度大、成盐后溶解度增大。另外还有氢化牛脂、氯化蓖麻油、十四醇、单棕榈酸甘油酯、双棕榈酸甘油酯、单硬脂酸甘油酯、双硬脂酸甘油酯、三硬脂酸甘油酯、羟基硬脂醇等油类。这一类亦为食品和医药产品微胶囊化时常用到的壁材。

(猿) 全合成高分子材料摇可以用于微胶囊壁材的全合成高分子材料分为可生物降解的和不可生物降解的两类，全合成高分子材料的特点是成膜性好、化学稳定性好。其中可生物降解并可生物吸收的全合成高分子材料受到普遍的重视并得到广泛的应用，如聚碳酸酯、聚氨基酸、聚乳酸(孕猿猿)、聚丙烯酸树脂、聚甲基丙烯酸甲酯、聚甲基丙烯酸羟乙酯、聚氰基丙烯酸烷酯、乙交酯丙交酯共聚物、聚乳酸聚乙二醇嵌段共聚物(孕猿猿)、β-内酯与丙交酯嵌段共聚物、聚合酸酐及聚甲基葡聚糖等。

遗憾的是大多数全合成高分子材料因受相关食品法规的限制而不能用于食品工业。

(源) 无机材料摇可以用于微胶囊壁材的无机材料包括硫酸钙、石墨、硅酸盐、铝、矾土、铜、银、玻璃和黏土类等。这类材料在食品微胶囊化中应用也很少。

愧孕猿猿归纳了用作微胶囊壁材的聚合物的食用价值、膜的形成能力、纤维形成能力和凝胶形成能力，列于表猿猿中，由表猿猿中可以选择出适宜的微胶囊壁材的聚合物。从统计结果看，成膜性能最好的聚合物是聚对苯二甲酸乙二醇酯，其次为明胶、醋酸纤维素、聚氨酯等。另有报道，聚对苯二甲酸乙二醇酯透明性差，明胶机械强度差，纤维素类化合物耐酸性差。

表 猿猿 摇可能用作微胶囊壁材的化合物的性质

微胶囊壁材聚合物	食用价值	微胶囊壁材的形成	纤维形成	凝胶形成
明胶	伊	伊伊	伊	伊伊伊
骨胶原	伊	伊	伊	
清蛋白	伊	伊	园	园
谷蛋白	伊			
阿拉伯胶	伊	伊		伊伊伊
黄蓍胶	伊			伊伊伊伊
琼脂	伊	伊		伊伊伊伊
海藻酸及其盐	伊	伊	伊	伊伊伊
角叉胶	伊	伊	园	伊伊伊

淀粉	伊	伊		伊
黄原酸	伊	伊		伊伊伊
甲基纤维素	伊	伊		伊伊
乙基纤维素	伊	伊		伊
醋酸纤维素	伊	伊伊	伊伊	
醋酸丁酸纤维素	伊	伊		
醋酸邻苯二甲酸纤维素	伊	伊		
硝酸纤维素	伊	伊伊	伊伊	

续表

微胶囊壁材聚合物	食用价值	微胶囊壁材的形成	纤维形成	凝胶形成
摇羟丙基纤维素	伊	伊		
摇羟丙基甲基纤维素	伊	伊		
摇羟丙基甲基邻苯二甲酸纤维素	伊	伊		
单硬脂酸铝	伊	伊		
摇单十六酸甘油酯、双十六酸甘油酯	伊	伊		
摇硬脂酸	伊	伊		
摇单硬脂酸甘油酯、双硬脂酸甘油酯、三硬脂酸甘油酯	伊	伊		
摇十六醇	伊	伊		
摇硬脂基十八醇	伊	伊		
摇氢化牛脂	伊	伊		
摇氢化蓖麻油	伊	伊		
摇十四醇	伊	伊		
摇石蜡	伊	伊		
摇木松香	伊			
摇紫胶	伊			
摇蜂蜡	伊	伊		
摇尼龙 远- 尼龙 远	伊	伊	伊	
摇聚赖氨酸 ^①	伊	伊		
摇聚谷氨酸 ^①	伊	伊		
摇聚乳酸 ^①	伊	伊		
摇聚甲基丙烯酸羟乙酯 ^①	伊	伊		伊
摇聚丙烯酰胺				伊
摇聚甲基丙烯酸甲酯		伊		
摇乙烯醇醋酸乙烯共聚物	伊	伊		
摇聚苯乙烯	伊	伊		
摇聚乙烯醇	伊	伊	伊伊	伊
摇甲基丙烯酸马来酸酐共聚物	伊	伊		
摇聚乙烯吡咯烷酮	伊	伊		
摇聚对苯二甲酸乙烯酯		伊伊伊	伊伊伊	
摇聚氨酯		伊伊	伊伊	
摇聚脲		伊		

摇氨基树脂	园	伊		
摇醇酸树脂	园	伊		
摇硅酮树脂		伊		
摇环氧树脂	园			
摇聚碳酸酯		伊		

摇摇① 包括其共聚物。

注：伊伊伊，伊伊伊伊，伊伊伊伊伊表示所列性质的性能近似度。

伊伊表示测定数据为 园

伊伊伊表示没有此测定数据。

摇摇重要壁材及性质

(员) 悬浮聚合法中常用的壁材摇悬浮聚合法采用的壁材为聚合物，而非单体。在悬浮交联制备微胶囊的工艺中可以采用的壁材及其固化交联剂有许多，见表 摇摇。

表 摇摇摇悬浮交联体系中已用的壁材及其固化交联剂组合

壁摇摇材	固 化 交 联 剂
海藻酸钠	氯化钙
聚乙烯醇	硼酸盐 , 甲醛 , 羧酸 , 异氰酸酯
明胶	硫酸氧锆 , 酸酐 , 异氰酸酯 , 多元醛
苯乙烯-异丁烯共聚物	硝酸
聚乙烯醇-硼酸酯络合物	硫酸钡
甲基乙烯醚-马来酸酐共聚物	明胶 , 黄耆胶 , 乙醇胺 , 乙二胺 , 聚乙烯醇
瓜树胶衍生物	硼酸盐 , 甲基纤维素
甲基纤维素	乙二胺 , 蜜胺甲醛缩合物
环氧树脂	三氟化硼
聚乙烯亚胺	甲醛

(圆) 相分离法中常用的壁材及性质摇在相分离法制备微胶囊的工艺中最重要、最经常使用的壁材为明胶、阿拉伯胶和纤维素衍生物。下面简要介绍一些在相分离法中常用的天然高分子材料。

① 明胶。明胶(摇摇)是胶原温和断裂的产物。它是天然多肽的聚合物。其相对分子质量一般在 伊伊伊伊伊~伊伊伊伊伊之间。明胶按照制备方法的不同可以分为酸法明胶和碱法明胶。市售明胶呈淡黄色，外形有薄片状、粒状，无味，无臭。酸法明胶密度为 伊伊伊伊伊，碱法明胶密度为 伊伊伊伊伊。明胶遇冷水会溶胀，投入水中 伊伊后可充分溶胀，一般可吸收自身质量 伊伊~伊伊倍的水。在加热至 伊伊益以上的热水中，明胶能够完全溶解成溶液。在明胶水溶液中明胶分子存在两种可逆变化的构型：溶胶形式和凝胶形式。溶胶形式存在于较高的温度(伊伊益)以上；在 伊伊益~伊伊益的范围内，两种形式的明胶分子平衡状态共存；在小于 伊伊益的情况下明胶以凝胶形式存在。明胶分子与其他蛋白质一样，在不同 伊伊溶液中可成为正离子、负离子或两性离子(等电点)。在等电点时溶胀吸水量最

小,加入脱水剂时,在 10°C 以上能出现单凝聚。明胶在所有 pH 范围内都易溶于水,如加入与明胶分子上电荷相反的聚合物,则能使明胶从溶液中析出。例如带负电荷的阿拉伯胶能和带正电荷的弱酸性明胶溶液反应,明胶的溶解度急剧下降,这种现象就是复凝聚。

明胶与有些有机溶剂有相容性,如甘油、丙二醇、山梨醇、甘露糖醇、二甲基亚砷、甲酰胺、冰醋酸、二甲基甲酰胺、乙酰胺和 γ -吡咯烷酮等。明胶不溶于一元醇、醚、丙酮、三氯甲烷、脂肪油和挥发油。

固体明胶通常含少量水分,其水分质量分数一般为 $15\% \sim 18\%$ 。实际上这部分水起着增塑剂的作用,水分质量分数太低(10% 以下)的明胶太脆,一般都需要加入甘油或其他多元醇作为增塑剂。

明胶溶液可因温度降低而形成具有一定硬度、不能流动的凝胶。明胶溶液形成凝胶的浓度最低极限值约为 1% ,凝胶存在的最高温度为 35°C 。凝胶形成后,明胶分子互相结合而成三维空间的网状结构,明胶分子的运动受到限制,但中间夹持的大量液体却有黏度,电解质离子在其中的扩散速度和电导率与在明胶溶液中相同。

凝胶强度是指胶体溶液冷却成凝胶后的强度,浓度愈大凝胶强度也愈高。美国以勃卢姆凝胶强度(月 Bloom 强度)来表示。它是在月 Bloom 凝胶计上用直径 10mm 的平底柱塞压入明胶凝胶表面 1cm 所需的质量。质量是以流出的铅丸计,称出来的铅丸总质量就是最相近的质量,用这个质量表示试样的“克勃卢姆”或“勃卢姆值”。商品明胶一般勃卢姆强度为 $80 \sim 120$ 。使用多大强度的明胶要权衡应用的要求及经济的原则而定。

明胶溶液黏度与分子量有关,分子量愈大,分子链愈长,则黏度也愈大。

明胶溶液在室温、干燥状态下比较稳定,可放置数年。在较高的温度($35^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$)和湿度下保存的明胶容易失去溶解性。在水溶液中,明胶能缓慢地水解转变成分子量较小的片断,黏度下降,失去凝胶能力。明胶在 70°C 以上解聚作用加快,在 100°C 加热 1h 后,凝胶冻力将减少 50% 。分子量越小的明胶分解速度越快。另外明胶对酶的作用很敏感。

② 阿拉伯胶。阿拉伯胶产于阿拉伯国家干旱高地,以苏丹及塞内加尔的产品质量最好。阿拉伯胶为糖及半纤维素的复杂的聚集体,其主要成分为阿拉伯酸的钙盐、镁盐、钾盐的混合物(约含 10%),阿拉伯胶的相对分子质量为 $10^5 \sim 10^6$ 。

固态阿拉伯胶为球颗粒状、片状或粉状产品,相对密度为 $1.25 \sim 1.35$,外表白色或黄白色,片状呈半透明、易碎,折断面有玻璃般光泽;有潮解性,在 25°C 相对湿度为 $75\% \sim 85\%$ 时,平衡含湿量为 $10\% \sim 15\%$;相对湿度高于 90% 时则吸收大量水分。阿拉伯胶与其他天然胶相比较,其水中溶解度最大,在 100°C

时浓度可达 10%。由于阿拉伯胶大分子化学结构上有较多的支链而形成粗短的螺旋结构，因此它的水溶液具有较强的黏着性。阿拉伯胶加酸可生成阿拉伯酸，后者水溶液的黏度为 10~100，比阿拉伯胶有更高的黏度，但乳化性能远不及阿拉伯胶。

阿拉伯胶溶液的黏度视材料来源、pH 和盐量的不同而异。一般，pH 7 时，0.5% 的水溶液黏度为 1000 泊。pH 及氯化钠的浓度对阿拉伯胶溶液的黏度有显著的影响。

阿拉伯胶具有表面活性，其 0.5% 的水溶液在 25℃ 时的表面张力为 28 达因/厘米。加入电解质可以增加其表面活性，使界面分子更为密集，并能增加阿拉伯胶分子的疏水性。因此阿拉伯胶是有效的乳化剂，其乳化作用主要在于它形成界面膜的內聚力很大且具有弹性。

阿拉伯胶不溶于乙醇，能溶解于甘油或丙二醇（50%）。在水中的溶解度为 5~10%，0.5% 水溶液的 pH 为 3.5~4.5，在 pH 7~9 时稳定性良好。阿拉伯胶的水溶液易霉变。

③ 纤维素衍生物。纤维素衍生物的结构一般是按照葡萄糖单体中 6 个羟基的化学反应性质（酯化、醚化、交联和接枝）来分类，常用的纤维素衍生物的结构见表 3-1。不同的纤维素衍生物在性质上有较大的差别。

表 3-1 常用纤维素衍生物的结构

序号	纤维素名称	结构	缩写
1	醋酸纤维素	$\text{—CH}_2\text{—CH(OCOR)—}$	醋酸纤维素
2	醋酸纤维素酞酸酯	$\text{—CH}_2\text{—CH(OCOR)—CH}_2\text{—CH(OCOR)—}$	醋酸纤维素酞酸酯
3	醋酸纤维素丁酸酯	$\text{—CH}_2\text{—CH(OCOR)—CH}_2\text{—CH(OCOR)—}$	醋酸纤维素丁酸酯
4	甲基纤维素	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	甲基纤维素
5	乙基纤维素	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	乙基纤维素
6	羟丙基纤维素	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	羟丙基纤维素
7	羟乙基纤维素	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	羟乙基纤维素
8	羟丙基甲基纤维素	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	羟丙基甲基纤维素
9	羧甲基纤维素钠	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	羧甲基纤维素钠
10	羟丙基甲基纤维素酞酸酯	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	羟丙基甲基纤维素酞酸酯
11	醋酸羟丙基甲基纤维素琥珀酸酯	$\text{—CH}_2\text{—CH(OMe)—CH}_2\text{—CH(OMe)—}$	醋酸羟丙基甲基纤维素琥珀酸酯

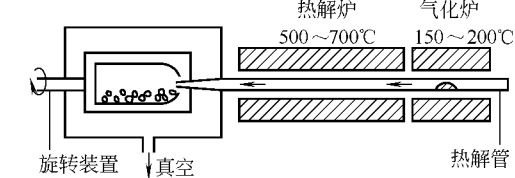
六、常用的微胶囊化的装置

(1) 喷雾干燥设备 喷雾干燥设备是喷雾干燥微胶囊化的主要设备，用于

微胶囊化目的的设备与常规的干燥设备没有显著的差别。这也是喷雾干燥微胶囊化方法的优点之一。有关的设备的资料极多。在微胶囊化时要注意的是考虑产品的均匀性和分散性能，喷雾干燥微胶囊化中常选用压力式喷雾干燥装置。

(圆) 哉悦装置摇哉悦装置是原位聚合微胶囊化时所用的典型装置，是美国卡尔丹联合有限公司（哉悦悦）在开发微胶囊化产品时提出的。

孕刺藻藻是由美国卡尔丹联合有限公司制备的一种聚合物。该聚合物主链上带有苯环，具有独特的物理性质。哉悦法为催化剂微胶囊化的一个实例，其所用微胶囊化的装置如图猿圆所示。该装置可制备出壁厚从几微米至圆皂的微胶囊。



图猿圆 哉悦法微胶囊化装置示意图

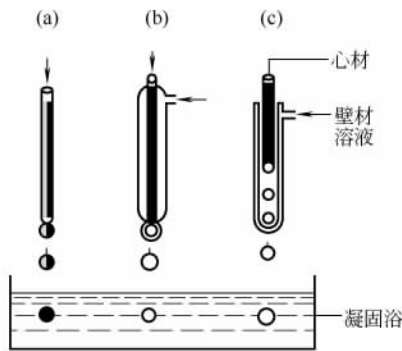
(猿) 锐孔装置摇锐孔装置是凝聚法中的重要装置，锐孔有猿种基本类型。第一种如图猿猿(葬)所示，其结构非常简单，仅由一个管子或喷嘴构成。操作时，首先将心材在壁材溶液中形成分散液或乳化液，将此分散液或乳化液自管子的末端滴落，在该乳化液或分散液穿过空气落下时，呈球形液滴，然后此小球滴在凝固浴中固化。在该法中，心材可以是液体或固体。

第二种如图猿猿(遭)所示。这是一个双层流动喷嘴，由带有同轴的内管、外管的双锐孔组成。液态心材自内管流出，壁材溶液同时自外管流出，中央的心材被壁材溶液包裹，自双层流动喷嘴中落下。此法适用于液体作心材的情况。如采用三重锐孔，则可以形成较复杂的双层微胶囊。

第三种如图猿猿(糟)所示，也是一个同轴的双锐孔，内管的末端放在外管的内部，内管不与外管接触。固态或液态心材的小滴自内管的末端降落冲击到外管末端形成的壁材薄膜之上，结果生成了微胶囊化的产物。

对第二种和第三种类型的锐孔，现已有了许多改进。例如，改变喷射角度，或变更结构，使得可以利用离心力。其中的一些改进如下：通过使用转动的齿轮，可将液滴形成在壁膜薄膜之上，结果生成了微胶囊化的产物。

(源) 猿运装置摇该装置是用来将各种液体包裹成球形微胶囊的装置，所形成球状微胶囊的直径为 员圆~ 源圆皂，一般为



图猿猿 锐孔法图解

图 3-1-1 该装置主要用于形成双液柱，其中心为被包裹的液体柱，外管为可固化的液态壁材。在外力驱动下以抛物线方式运动，双液柱在自然力作用下（例如表面张力等）首先形成微胶囊带，然后均匀分裂成均匀的液滴或微胶囊，心材被完全包裹，在微胶囊带均匀分裂成单个胶囊过程中，壁材凝固。见图 3-1-2 和图 3-1-3

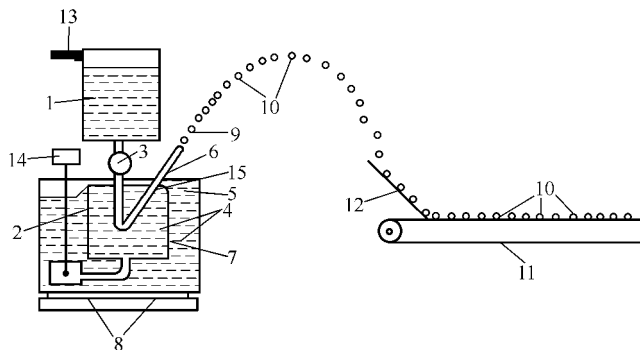


图 3-1-1 双液体锐孔装置（一）

1—储液罐；2—导管；3—针阀；4—源—壁材；5—缘—喷嘴；6—远—双液柱；7—苑—溢流储罐；8—愿—加热器；9—怨—微胶囊带；10—微胶囊；11—传送带；12—接收器；13—压缩空气入口；14—泵；15—尖端

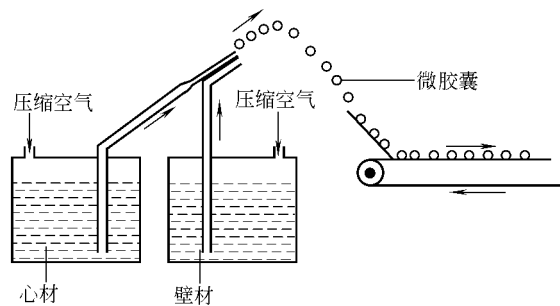


图 3-1-2 双液体锐孔装置（二）

（缘）“阅”装置摇该装置如图 3-1-3 所示。一个带有尖锥头的圆棒插入到锐孔的中心，当由心材和壁材组成的液体进入锐孔后，液体会沿着圆棒流动到锐孔处。来自锐孔外围的压缩空气使得液体被破碎成液滴。另外，也可以采用图 3-1-4 的装置，利用离心力的作用将液滴从锐孔中喷射出来。

（远）“阅”装置摇从 20 世纪 50 年代开始，位于美国得克萨斯州的西南研究院（杂）开发并改进了一系列基于锐孔喷嘴设备的微胶囊化工艺，该方法所使用的锐孔装置利用离心力使壁材沿水平方向喷射，如图 3-1-5 所示。

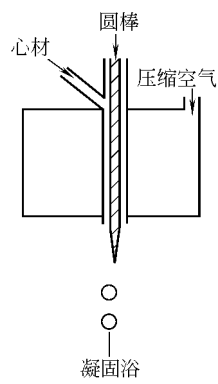


图 1 微胶囊化锐孔装置

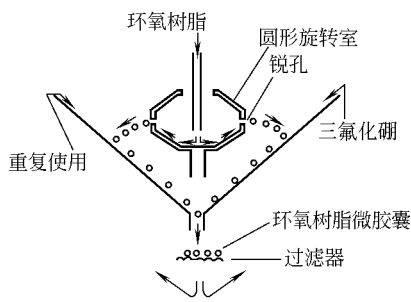


图 2 微胶囊化锐孔装置

图中所示。

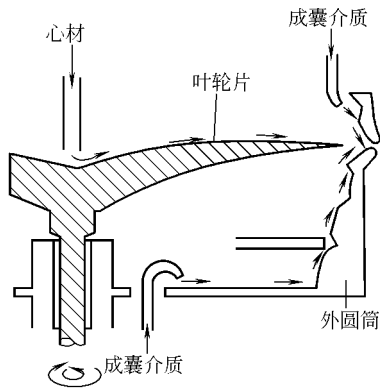


图 3 微胶囊化机械示意图

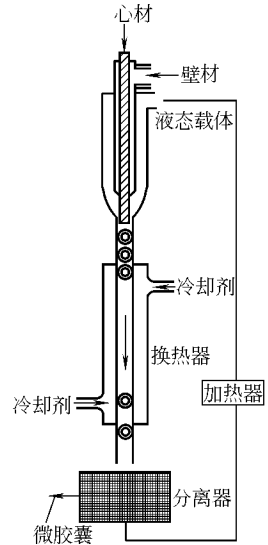


图 4 微胶囊化的环喷装置

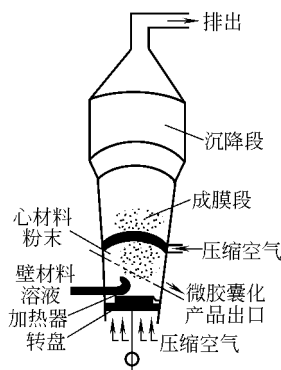
此外，他们还开发了在重力作用或压力作用下的垂直喷射心材的装置，即环喷装置，如图 5 所示。

在图 5 的装置中，心材被泵输入到内管中，另用泵将壁材输入到环绕内管的外管中。微胶囊壁在喷嘴末端的环形锐口处形成膜，心材从内管喷到膜中。液滴从锐孔处落下，经过热交换器进行固化。再用过滤等方法将固态微胶囊分离出来。通过改变心材和壁材的相对流速，可以控制微胶囊的粒径。

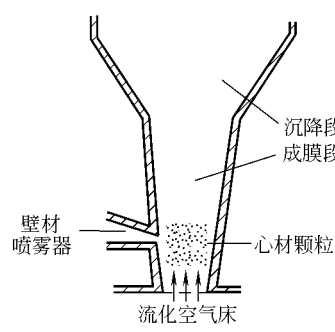
(苑) 流化涂层装置摇流化涂层装置主要是利用 宰忽瞬除层室，经过设备组合成不同的系统。设备可自动化操作，经设计可用于安全操作，要考虑由于使用低沸点易燃有机溶剂在涂层系统中产生的静电所可能导致的爆炸可能性。出于这种原因，减压设备经常用于这种设备中。空气控制和粉末涂层系统可使活性物具有更均匀的膜层。

(愿) 传统 宰忽瞬装置

① 侧喷装置，图猿圆是传统 宰忽瞬微胶囊化侧喷设备基本装置。



图猿圆摇传统 宰忽瞬微胶囊化侧喷设备基本装置



图猿圆摇传统 宰忽瞬微胶囊化侧喷设备剖面图

在该装置中，空气是沿柱壁吹动，因而可避免未干燥的壁材颗粒或液滴在柱壁上黏附。该装置中，可以安装两个或两个以上的喷雾管以适应各种成膜的喷雾。当微胶囊壁增达一定厚度时，由于重力的作用，气流将支撑不住微胶囊，微胶囊壁会降落到收集网筛中，于是可以从流化床的网筛中将微胶囊取出。

传统 宰忽瞬微胶囊化侧喷设备基本装置的主要组成部分有一个直立的柱、一个空气流化床及一个喷雾管。柱体由成膜段和沉降段组成，其直径自下向上增大（图猿圆）。

固体心材颗粒在由流化床产生的湍动空气中滚动、悬浮，然后喷射含壁材的液体，该液体会润湿心材的表面。在流化过程中，在湍动空气的作用下心材颗粒会上升，同时颗粒表面的成膜液逐渐干燥形成一定厚度的薄膜。当心材颗粒被吹到柱体顶部时，由于横截面积增大，顶部空气的流速减慢，结果导致空气流不能长期悬浮心材，使得心材向柱底部降落。在此升起、降落的循环往复期间，心材颗粒均被涂膜至规定厚度。至此，停止喷雾，回收所生成的微胶囊。

图猿圆，在传统 宰忽瞬微胶囊化侧喷设备流化床中，湍动气流是由置于设备底部的多孔旋转圆盘及空气喷嘴产生的（图猿圆），按图中箭头指示的方向通

风。当壁材溶液易挥发、固化时，采用加热空气可加快微胶囊壁材干燥的速度；当充填材料为可以冷却凝固的物质时，采用冷空气则可加快壁材的固化速度。

② 底喷装置，图 7-10 显示了另一种传统宰制微胶囊化底喷设备装置。该装置与图 7-9 装置的一个不同点是在流化床的成膜段和沉降段之间，安装一种外形类似风车的倒叶片装置。这种类似风车的倒叶片装置起到旋转提升气流的作用。另外，风车的叶片可使上升颗粒中的细粒自沉降段返回到成膜段。

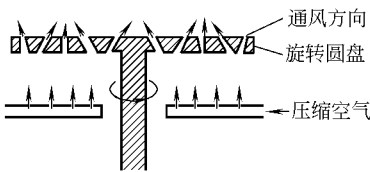


图 7-10 流化床中心的多孔旋转圆盘

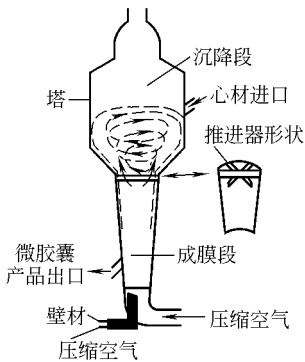


图 7-10 传统宰制微胶囊化底喷设备装置示意图

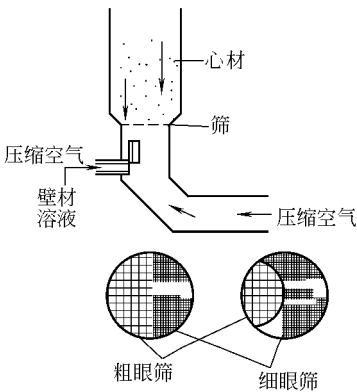


图 7-10 传统宰制微胶囊化底喷设备改良装置示意图

图 7-10 展示了底喷设备另一种改良形式。该装置为了调节气流的流动速度，在流化床的底部安装了两个具有不同筛眼数的筛子。当心材颗粒处于高流动速度区域时，颗粒向上运动；当颗粒处于低流动速度范围时，则向下运动。

③ 顶喷装置，~~杂云~~ 研究所开发了一种传统 ~~宰~~ 微胶囊化顶喷设备装置，见图 ~~猿缘~~。该装置可以将粒径为 ~~缘~~ 的对乙酰氨基酚

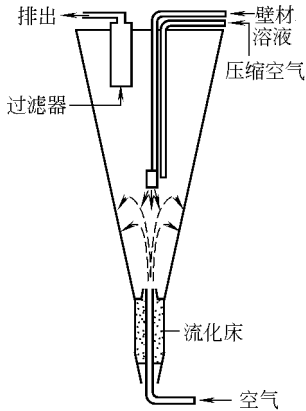


图 ~~猿缘~~ ~~杂云~~ 开发的传统 ~~宰~~ 微胶囊化顶喷设备装置示意图

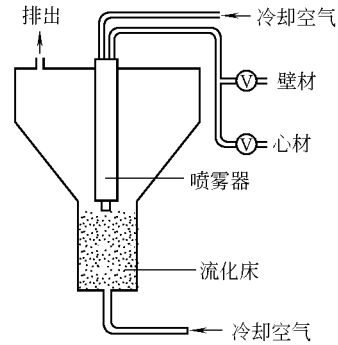


图 ~~猿缘~~ ~~杂云~~ 公司开发的传统 ~~宰~~ 微胶囊化顶喷设备装置示意图

球形颗粒用 ~~员~~ 十八烷二醇包裹。顶喷装置与底喷装置最大的不同点在于喷嘴喷出的壁材溶液与心材的运动方向相反。

~~杂云~~ 公司开发了另外一种传统 ~~宰~~ 微胶囊化顶喷设备，见图 ~~猿远~~。利用该装置可以包裹液滴。在该工艺过程中首先将心材溶液喷射并形成微小的液滴。经过冷却或被固态微小颗粒吸附而将液滴固化。然后再将所形成的粉末状材料经过流化床形成微胶囊。

(怨) 现代 ~~宰~~ 装置 ~~宰~~ 工艺开发改造了近 ~~猿~~ 年。经过改造后的现代装置自 ~~苑~~ 年起先后在美国、欧洲得以广泛应用。这是一个底喷装置见图 ~~猿~~。现代 ~~宰~~ 装置与传统 ~~宰~~ 装置最大的区别在于颗粒在涂装室顶部被强制循环。

该工艺利用简单的操作来均匀包裹固体颗粒，可用于药品（用于掩饰味道）、食品、动物饲料（提高稳定性并防止结块）、化学品（控制释放，改变表面性质和吸附性质）、农用品（将种子涂层以易于操作和机械播种）、杀虫剂、营养品和灭鼠药（掩饰气味并控制释放）的微胶囊化。~~宰~~ 工艺已经用于制造一些商品化的包裹产品，例如杀鼠灵、维生素等。在该工艺中，对于热敏性固体可以采用冷冻气流涂层。由于该工艺应用了大量空气，因此体系具有非常大的干燥能力。

图 ~~猿~~ 为 ~~宰~~ 涂装室示意图。被涂装的颗粒置于涂装室中，并已在气流中悬浮。颗粒的循环流动要经过涂装室底部的喷嘴。涂层材料以溶液形式喷到

流化颗粒柱的底部，喷嘴将涂料相喷到颗粒上。刚涂层的颗粒被气流吹离喷嘴，向上吹入涂装室。在那里由于溶剂挥发或熔融物的冷却，涂层固化。在喷管顶部颗粒离开并落回涂装室的底部，然后受来自喷嘴气流的作用重新上升到涂装室。这种循环一直重复进行直到涂层达到所需要的微胶囊厚度。

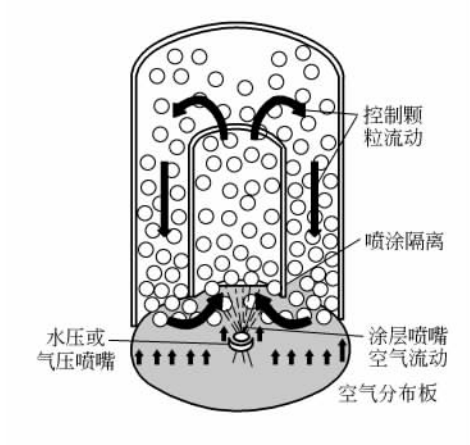


图 10-10 连续式真空喷涂装置

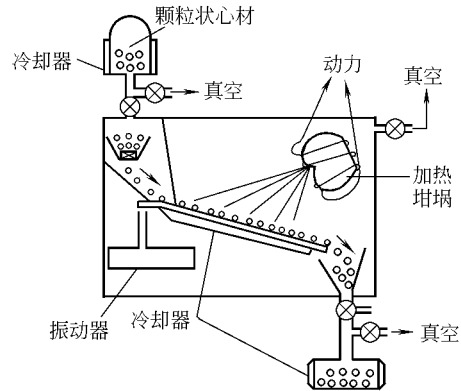


图 10-11 连续式真空喷涂装置

连续式真空喷涂工艺可重复使用并且易于控制，但它只适用于较大规模的生产不适用于小规模批量生产。对于低价值的产品大规模生产，这种采用方法是非常经济的。

(1) 连续式真空喷涂装置摇该真空喷涂装置如图 10-11 所示。

该装置的压力非常低，一般要求的压力为 10^{-3} Pa。在该装置中安装了可以蒸发金属的加热坩埚或者以电子束作为蒸发金属的热源。

冷却的心材从图 10-11 上部容器中落下，在振动器的作用下，心材在喷洒板上自左上方向右下方运动。在心材运动的同时，由加热坩埚或电子束蒸发产生的壁材蒸气会在心材颗粒的表面凝固。振动筛可以保证心材被均匀涂层。涂层后的微胶囊被收集在图中右下方的接受器中。

(2) 连续式真空喷涂装置摇日本的核材料与设备公司（NEC）改进了 NEC 公司的装置，使之能连续进行操作，其装置如图 10-12 所示。

该装置可以连续操作，也可以间歇分批操作。壁材被连续通入加热坩埚中，加热坩埚的开口向上，这样可以避免熔融态壁材落下。心材自装置的上口进入真空室中的旋转环流管中。通过旋转环流管给予心材以离心力，被涂层的心材自流中左侧的溢流管流出。质量达到要求的涂层颗粒被收集。质量未达到要求的涂层颗粒被循环进入环流管，进行进一步的真空蒸发喷涂。

(3) 静电结合微胶囊化装置摇静电结合法是根据这样一个原理：如果两种带有相反电荷的气溶胶相互碰撞，由于静电的吸引作用，会使它们结合在一起。

这与静电涂漆及静电复印类似。

该工艺所采用的装置见图 3-10。

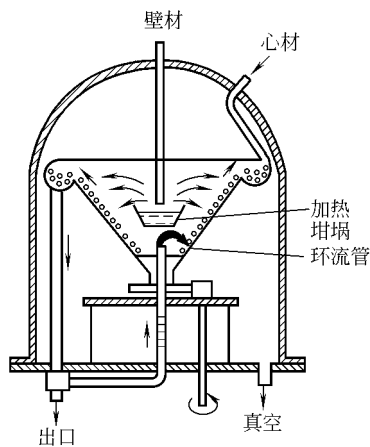


图 3-10 真空蒸发微胶囊化装置示意图

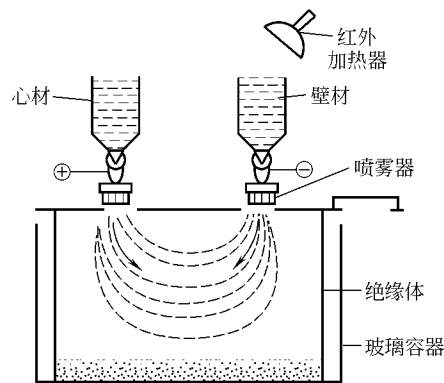


图 3-11 静电结合微胶囊化装置示意图

第三节摇食品工业用微胶囊化方法

微胶囊技术距今已经有 50 多年的历史，自从 1959 年第一个微胶囊化产品无碳复写纸被开发以来，微胶囊化技术作为一种具有优秀性能的商品化手段被广泛利用。尤其是在食品、染料和颜料、纺织染整、医药、生物医学、农药、日用化学品、高分子材料助剂、胶黏剂、纸制品等领域微胶囊化技术应用最广。

在食品工业中，微胶囊化技术主要应用于香精香料、油脂、维生素、矿物质、生物活性物质、焙烤工业、乳品工业等。那些原来由于许多技术障碍无法开发的产品和受某些条件限制不能扩大应用的品种，今天都可以通过微胶囊化技术得到实现。

关于食品包裹技术及包裹产品性能已经有许多综述性文献。微胶囊应用于食品工业的控释已有 20 多年的历史了。由于食品工业要求的原料必须为可食用的并且要低成本、低消耗工艺，相对于其他应用领域来说控释技术在食品工业上的应用发展仍较为缓慢。

在食品工业中，控释的优点主要包括微胶囊阻止了味道及有效成分的散失，应用一定的技术手段处理微胶囊，可使其达到缓慢释放或定点释放的效果，以延长释放时间；微胶囊可以阻止有效成分因光照、氧气等造成的分解作用及蒸发作用，减少或避免烹煮过程中维生素、矿物质等成分的损失；还可以用于分隔相互混合在一起的具有不同风味的物质。总而言之，任何需要保护、分隔、缓释的物质都可以被包裹。被包裹的物质包括香料（香料油、调味品、调料）、甜味剂、

颜料、营养品（维生素、氨基酸、矿物质）、精炼油、水、酶、发酵剂、酸剂、食用盐、食用碱、抗氧化剂、杀菌剂、防腐剂等。

在食品加工中，微胶囊化的主要方法包括喷雾干燥、喷雾冷却、空气悬浮、挤压包埋、离心挤出、旋转悬浮分离、凝聚及杂质络合等技术。

一、喷雾干燥微胶囊化

喷雾干燥法是目前国内外使用最普遍的微胶囊化方法。喷雾干燥法的优点：操作简单，生产成本较低；生产全过程是密闭式的，避免尘粉飞扬、外界污染；产品溶解性好，稳定性好；适用于工业化生产等。因此喷雾技术广泛应用于调味品工业。通常壁材与心材的比例为 1:1，但有时也可提高心材的比例。喷雾干燥法的主要缺点：喷雾干燥法形成的粉末过细，不利于溶解；香味成分有所散失。另外，对于热敏感的材料也不适于用喷雾干燥法。有人将阿拉伯胶与各类淀粉结合，形成的微胶囊具有较高的耐挥发性及壁寿命。研究显示一种特定结构的阿拉伯胶可提高橙油的耐挥发性，防止蛋白质氧化。

（一）典型工艺

该工艺是将心材和壁材的溶液合并在一起后通过喷雾干燥处理或喷雾冷却

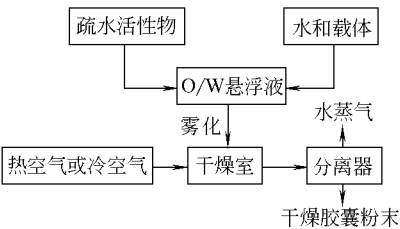


图 18-1 喷雾干燥法制备微胶囊的工艺流程

处理进行微胶囊化，雾化后的液滴在气流中干燥。在喷雾干燥技术中，水和其他溶剂被热气流加热、蒸发并脱除。如果壁材是熔融的脂肪或蜡，则液滴被冷气流固化，这种工艺称为喷雾冷冻或喷雾冷却。喷雾干燥法制备微胶囊的工艺流程如图 18-1 所示。

（二）基本原理

1. 喷雾干燥微胶囊化过程

在喷雾干燥法制备微胶囊的工艺中可以使用不同温度的干燥介质，既可以使用热空气又可以使用冷空气。因此可以将喷雾干燥微胶囊化技术分为狭义喷雾干燥包裹工艺和喷雾冷冻、冷却、冻结工艺。

喷雾干燥微胶囊化是将心材和壁材的混合物通入加热室或冷却室以便快速脱离溶剂或凝固以制成微胶囊。对于狭义喷雾干燥微胶囊化来说其基本工艺过程分为 3 步。

第一步是制备载体或壁材的浓溶液，即将壁材溶于溶剂中可使用有机溶剂，但最好用水。水通常是许多喷雾干燥微胶囊化的良好溶剂，若用其他溶剂则要注意溶剂的燃烧性和毒性，不符合规定的不能应用。

第二步将被包裹的心材在壁材的溶液中乳化。心材通常是疏水性或水不溶性油（香料、维生素等），另外，固体粉末也可以被包裹。当被包裹物是油性心材

时,可加入适当的乳化剂以形成初始的乳浊液或分散液将心材乳化直至形成较小的油滴(员~猿皂)。

第三步是喷雾干燥。当适宜的分散液或乳浊液被制好后,将分散好的乳浊液送入喷雾干燥器的加热室中。液滴被喷射到加热空中后或者在一个旋转的盘上被旋转所制成的小液滴具有高表面积,雾化所形成的液滴快速形成球状。在加热室中,球状液滴表面与热空气接触产品开始干燥。热空气将壁材干燥并包裹心材形成微胶囊。这些微胶囊落到喷雾干燥箱体的底部而被收集。物料在喷雾干燥室中的停留时间小于 猿s。

与喷雾干燥技术相关的喷雾冷冻、冷却、冻结工艺也是常用的喷雾干燥技术。通过喷雾后冷冻、冷却和冻结的方法改变了传统的喷雾干燥工艺。一些研究人员采用喷雾冷冻、冷却、冻结工艺,从非水介质中,制备了装载药物的生物可降解微胶囊。在这些情况下采用冷空气将熔融的微胶囊壁材固化。在这些包裹工艺中,心材是在熔融壁材中,在乳化剂作用下分散。这种乳浊液或悬浮液通过加热的喷嘴进入冰冻室中雾化。壁材被冷却到蜡或脂肪的熔点以下固化,固化后形成的颗粒被分离。

1. 喷雾冷却和喷雾冻凝法

类似于喷雾干燥,喷雾冷却和喷雾冻凝也常应用,因为其基本操作相近,不同的是通常后两者无水分的蒸发。该法的一般过程是:先将一些脂不溶性的物质微粉碎成细小颗粒,同时在壁材中加入一些辅助材料,并加热使其熔融,将微细心材颗粒加入熔融的壁材中,搅拌,最后喷雾冷却固化成微胶囊化粉末。

心材和壁材混合物在冷却的空气中由于壁材固化而雾化成粉。在喷雾冻凝中,壁材通常是分馏或氢化的植物油,熔点范围为 猿~ 源益;在喷雾冷却中壁材可以是植物油也可以是其他材料,通常熔点为 源~ 员益。这两种方法,只存在壁材物质的熔点差异,通常用于包裹维生素、矿物质及酸化剂等固体材料。由于壁材物质的熔点可以选择,这些包裹方法可以用于控释。该体系可用于包裹一些固体材料,例如柠檬酸、维生素 悦、氯化钾和硫酸亚铁。

2. 喷雾干燥微胶囊化中所常用的壁材

对于利用喷雾干燥装置进行的微胶囊化有两类方法,所用的壁材有所不同。

(员) 喷雾干燥工艺摇在该工艺中可使用任何水溶性或溶剂可溶的成膜壁材,经常使用的可溶性聚合物包括玉米蛋白、聚苯乙烯甲基丙烯酸丁酯乳胶、聚碳酸酯、聚丙烯酸、羟乙基纤维素、甲基纤维素、醋酸纤维素、阿拉伯胶、改性淀粉和羟基化明胶,或阿拉伯胶、改性淀粉与麦芽糊精、蔗糖或山梨醇的混合物等。

阿拉伯胶在应用时被分散在冷水中,为了使其完全溶解,有必要使用温水或热水。麦芽糊精、羟基化明胶可溶于冷水或热水中。这些壁材的溶液(固形物含量为 缘%)黏度低、容易雾化。使用这些材料的主要原因在于,在高浓度的

壁材喷雾干燥过程中这些材料不会形成高黏性的溶液。

此方法可以包裹的材料列于表 10-1。

表 10-1 喷雾干燥微胶囊化材料组合

心材	聚合物溶液	干燥温度 /℃	微胶囊粒度 /μm
疏水性聚合物			
液态石蜡 (100)	醋酸纤维素 (100) ,丙酮 (100)	100	100
燃料溶液 (100)	玉米蛋白 (100) ,甲醇 (100)	100	100~150
炭黑 (10)	聚苯乙烯甲基丙烯酸丁酯乳胶 (100) (100)	100~150	100~150
多聚甲醛 (10)	聚碳酸酯 (100) ,三氯甲烷 (100)	100~150 水汽)	100
亲水性聚合物			
液体石蜡 (100)	羟乙基纤维素 (100) ,水 (100)	100	100
精制 (100) 柠檬酸 (100)	聚丙烯酸 (100)	100~150	100
氯化胆碱 (100)	酸性陶土 (100) ,水 (100)	100~150	100
柠檬油 (100)	羧基化糊精 (100)	100~150	100~150
二甲基聚硅氧烷 (100)	甲基纤维素 (100) ,干酪 (100)	100~150	100

注：(100) 括号中数字是指质量份。100℃干燥温度包括初始和结束温度。

(100) 喷雾冷却工艺在采用喷雾冷却（冻结）技术制备微胶囊的工艺中，可使用的壁材包括各种脂肪、蜡、脂肪酸。

影响因素

在狭义喷雾干燥微胶囊化工艺中，可以改善心材性质的工艺参数包括心材与壁材的比例初始溶液的浓度、黏度和温度。初始溶液可以使用水溶液、有机溶液或浆状材料。喷雾干燥器的设计十分重要，例如干燥室的结构，气流的流动形式和流动速度干燥温度和收集器的形式。其中干燥器进出口温度是非常重要的工艺参数。大多数喷雾干燥器的性能与特点，实际上在制造者安装后就已确定了。因此，在购买之前，就要熟悉了解喷雾干燥器的特性。

对于喷雾冷冻法、冷却法、冻结法制备微胶囊的工艺来说，如果涂层材料的熔点为 100~150℃，则冷冻室温度可以是室温。如果涂层材料的熔点是 100~150℃，则冷冻室要冷却。采用这种方法所制备的颗粒具有水不溶性壁，心材的释放温度取决于涂层材料的熔点。

微胶囊产品性能

通过喷雾干燥制备的微胶囊粒径一般为 100~150μm。产品可能是单个颗粒或絮集物。在絮集的情况下微胶囊的外形是不规整的。在商业上在采用喷雾干燥制备的微胶囊中，心材的填充量可达到 100%（质量分数），但一般为 100%~150%。由亲水胶体载体（例如阿拉伯胶改性淀粉）制备的喷雾干燥微胶囊可以在冷水中分散，但是温水或热水会使这些材料完全溶解。由麦芽糊精和羟基化明胶制备的微胶囊可以在冷水和热水中溶解。

喷雾干燥包裹工艺成本较低，通常用于制备香料或香精油的微胶囊。评定包裹效果的主要技术参数是包裹效率，即包裹的心材占总量的比例。此数值越接近1.0，意味着被包裹的心材越多。

通常在喷雾干燥粉末中发现的少量游离心材的现象可归因于溶剂的快速挥发和在干燥器中的剧烈流动。这会导致少量微胶囊出现小孔或破裂通过这些小孔或裂痕，活性物会渗溢出来。虽然这些因素会降低壁材的形成率，但这些因素不能完全避免。另外一个问题是在雾化和干燥阶段存在易挥发物质的流失。低沸点极性物质，例如乙酸乙酯、乙醛很难包裹，不过通过工艺优化，例如采用较浓的乳浊液、适当的壁材，良好的乳化技术等，这些物质的喷雾干燥包裹也能进行。

喷雾干燥法生产的产品质量优劣关键在于喷雾前是否能形成良好的乳化体系。以粉末油脂生产为例，要得到溶解性、包裹率高的粉末油脂，必须在喷雾前制备良好的乳化液——即心材在壁材物质中分散成均匀的水包油型（ W/O ）小颗粒。常用于粉末油脂生产的壁材是麦芽糊精、生淀粉、变性淀粉、乳糖以及水解蛋白、浓缩蛋白、乳清蛋白等，对于壁材的选择有一个准则，即要求壁材易脱水、能成膜、有一定的乳化性、不能有异味且不能与心材作用，还要有良好的溶解性，价格不能过于昂贵。

用喷雾干燥法生产粉末油脂的工艺流程如图 3-10

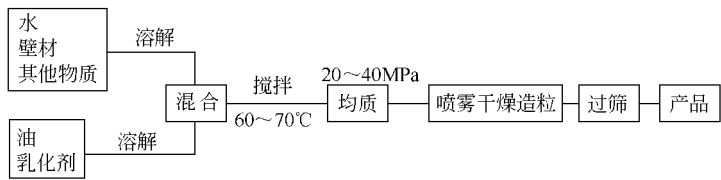


图 3-10 喷雾干燥法生产粉末油脂的工艺流程

典型方法

(员) 利用离心式喷雾器进行微胶囊化摇首先，将心材和壁材在至少一种具有挥发性溶剂中溶解形成溶液。将该溶液形成小的分散液滴，在每个液滴中蒸发部分溶剂后，所溶解的心材和壁材的浓度会增加。由此导致全部心材发生相分离，形成贫溶剂相。当再从每个液滴中回收一些溶剂后，壁材会在心材上沉淀并形成完全干燥的小球颗粒。

一种变化是采用单一溶剂体系，这种溶剂对心材和壁材均可溶解。不同的心材和壁材具有不同的溶解度和聚合物相溶性。当回收溶剂时，心材相分离的溶剂浓度比壁材相分离所需的溶剂浓度要高。在这种情况下，相分离是由聚合物的不相溶性引起的。

另一个变化中，选用两种溶剂的混合物，该混合物可以部分溶解心材和壁

材。这两种溶剂中的一种对心材为非溶剂，它在干燥过程中通过挥发而浓缩从而引发心材相分离，并导致壁材沉淀。在干燥过程中，该溶剂体系变成对心材的非溶剂，但保持对壁材的溶解。这种溶剂系统称为互溶剂-非溶剂系统。

在另一种实例中，选用两种溶剂的混合物，该混合物可以部分溶解心材和壁材。在干燥工艺中，溶剂混合物首先变为心材的非溶剂，然后变为壁材的非溶剂。这种溶剂系统称为互溶剂-非溶剂系统。在干燥工艺最后阶段心材形成相、壁材形成相和溶剂相共同存在。

(四) 利用压力式喷雾器进行微胶囊化 该工艺是将异氰酸酯在含有保护性物质的有机溶剂中良好分散。然后将分散液在压力作用下雾化，经干燥后得到微胶囊。压力式喷雾干燥法微胶囊化的基本原理与离心式没有显著的区别，其差别在于干燥的方式，采用压力式喷雾干燥法可以得到比离心式喷雾干燥法均匀且尺寸大的颗粒，产品的均匀性及复水性都较好，因此压力式喷雾干燥法制得的商品价值要高些。

二、相分离凝聚法

相分离凝聚法是利用具有相反电荷的高分子聚合物为壁材，将心材分散于壁材溶液中，通过改变溶液的 温度或离子强度等因素从而改变壁材物质的亲水性质、亲油性质，使其向心材表面附聚、交联形成复合物，从而引起相分离从溶液中凝聚析出形成微胶囊。

根据连续相的不同，相分离法又分为油相相分离法和水相相分离法。

相分离过程也称为凝聚过程。凝聚的概念是 1925年由荷兰科学家首先提出的。

聚合物的凝聚是指聚合物部分不溶解，而聚合物的沉淀是指聚合物完全不溶解。在凝聚混合物中，富聚合物相称为“凝聚相”，贫聚合物相称为“凝聚介质”。在相分离过程中，首先是将心材乳化或分散在溶有壁材的连续相中，然后采用几种不同的方法（例如加入聚合物的非溶剂，降低温度，或加入与心材相互溶解性好的第二种聚合物）使壁材溶解度降低而从连续相中分离出来，形成黏稠的液相（不是沉淀），包裹在心材上形成微胶囊。

明胶、阿拉伯胶和乙基纤维素是采用凝聚相分离技术制备微胶囊的最经常使用的聚合物材料，其他天然的、半合成的、合成的高分子应用较少。

（一）水相相分离法

在该法中，形成微胶囊壁的起始原料为水溶性的聚合物，当聚合物凝聚时从水溶液中分离出来，形成了微胶囊壁。水相相分离法不需特殊设备，以水为介质，是目前对油性固体或液体进行微胶囊化的一种常用方法。水相相分离法又分为复凝聚法和单凝聚法。复凝聚是由至少两种带相反电荷的胶体彼此中和而引起的相分离，单凝聚是由凝聚剂引起单一一种聚合物的相分离。

通过凝聚进行微胶囊化，有两种可能的机理：其一是，心材液滴或粒子逐步被新形成的凝聚核所覆盖；其二是，先形成相对较大的凝聚液滴或可见的凝聚物，然后再将心材液滴或颗粒包裹。见图 3-1-1。

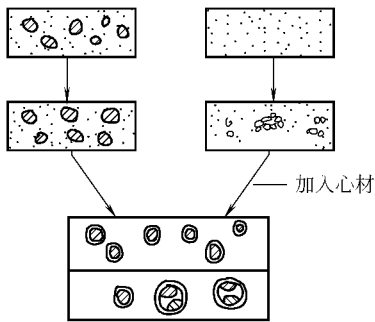


图 3-1-1 通过凝聚进行微胶囊化的可能机理

如果心材在凝聚开始时混合物中就已加入，并且体系被充分混合且很稳定，则逐步的表面沉积是主要的机理。相反如果心材是在凝聚过程完成之后加入，或者体系不够稳定，搅拌不够充分，则大块微胶囊化机理占主导地位。

通过相分离过程制备的微胶囊是形成单核还是多核，主要取决于心材与壁材的比率、心材液滴或粒子的尺寸、加入稳定剂的性质和浓度以及搅拌速度等。此外，凝聚相的黏度、温度对最终微胶囊的形态也有影响。胶囊厚度、粒子尺寸与分布以及壁材孔隙率是

该技术制备微胶囊的重要特征参数。

3.1.2 复凝聚法

此法中，由两种或多种带有相反电荷的线性无规则聚合物材料作壁材，将心材分散在壁材水溶液中，在适当条件下（例如 pH 的改变、温度的改变、稀释、无机盐电解质的加入），使得相反电荷的高分子材料间（例如带正电荷的明胶与带负电荷的阿拉伯胶）发生相互作用，形成溶解度降低的复合物产生相分离，分离出的两相分别为稀释胶体相（又称为稀相或贫相）和凝聚胶体相（又称为富相或浓相）。这种凝聚现象称为复凝聚。胶体自溶液中凝聚出来的过程中形成了微胶囊的壁。

采用复凝聚法可以制备水不相容或水不溶材料的微胶囊。一般来说微胶囊的粒度为 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ ，心材含量为 $10\% \sim 90\%$ 。心材的水溶性、表面活性或者对溶剂的稳定性均影响复凝聚工艺。干的复凝聚微胶囊的壁材受环境湿度影响大，如果在高湿度的条件下，微胶囊壁的可塑性会改变。

实现复凝聚的必要条件是：在一定条件下，两种相关的聚合物离子的电荷情况变成截然相反状态，它们的混合比可调至在电学上恰好相等。此外，调节体系的温度和盐含量，可以控制复凝聚产物的形成。无机盐的存在因其性质和用量在一定不同程度上起到抑制复凝聚的作用。因为盐离子的优先缔合减少了聚合物离子上的有效静电荷。

复凝聚法制备微胶囊中经常使用的两种带相反电荷的高分子材料的组合包括：明胶与阿拉伯胶（海藻酸盐、羧甲基纤维素、醋酸纤维素酞酸酯、邻苯二

甲酸化明胶、乙烯甲基醚酞来酸酐共聚物)、海藻酸盐与聚赖氨酸、海藻酸盐与脱乙酰壳聚糖、海藻酸与白蛋白、白蛋白与阿拉伯胶等。其中明胶与阿拉伯胶的组合最为常用。

复凝聚微胶囊化工艺(图 7-10)由下列三步组成:

- ① 被包裹物质在聚电解质水溶液中分散;
- ② 加入带相反电荷的另一种聚电解质水溶液,这样在心材周围能形成沉析;
- ③ 凝聚层的凝胶与固化。复凝聚微胶囊化工艺,见图 7-10

使用复凝聚法包裹咖啡香料的工艺流程见图 7-11 咖啡香料被乳化以制备微

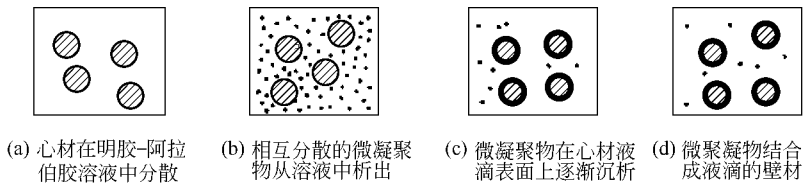


图 7-10 复凝聚微胶囊化工艺

胶囊,通过加入烃油和脱水剂使之稳定。

以下对复凝聚工艺进行详述。

(1) 心材的分散 该工艺中被包裹的心材是具有疏水性的物质,一般首先要将心材在能形成复凝聚的一种聚电解质水溶液中分散。对于以明胶为壁材的体系,分散时的体系温度要高于明胶水溶液的凝胶点。

(2) 复凝聚 复凝聚微胶囊化技术的典型应用是制备明胶、阿拉伯胶微胶囊。在复凝聚工艺中,在水相中一般会有增稠剂。增稠剂可以使凝聚物更好地沉淀,它在油相中不溶解,可以提高分散介质的黏度。常用的增稠剂包括已知的天然聚合物或合成聚合物及其衍生物,例如阿拉伯胶、黄蓍胶、甲基纤维素、羧甲基纤维素、硅酸铝镁、聚乙二醇等。

凝聚法制备明胶微胶囊时,一般是采用酸处理明胶(明胶 A),使用明胶 B 的情况相对较少。在中性条件下,明胶 A 具有高比例的正电荷,其等电点为 9.0~9.5,而明胶 B 在中性条件下,具有高比例的负电荷,其等电点为 4.0~4.5。

(3) 明胶的凝胶化 由明胶的性质可以知道对一种明胶水溶液来说,存在着溶胶与凝胶状态间的转换。明胶溶液可因温度降低而形成具有一定硬度、不能流动的凝胶。明胶溶液形成凝胶的浓度最低极限值约为 0.5%,凝胶存在的最高温度为 35℃。当高于明胶凝胶的温度时,明胶水溶液呈现为低黏度的溶胶状态;当温度远低于明胶凝胶的温度时,明胶呈现为高黏度的凝胶形态。然而当明胶水溶液浓度低于 0.5% 时甚至当温度远低于明胶凝胶的温度时也不会观察到凝胶化现

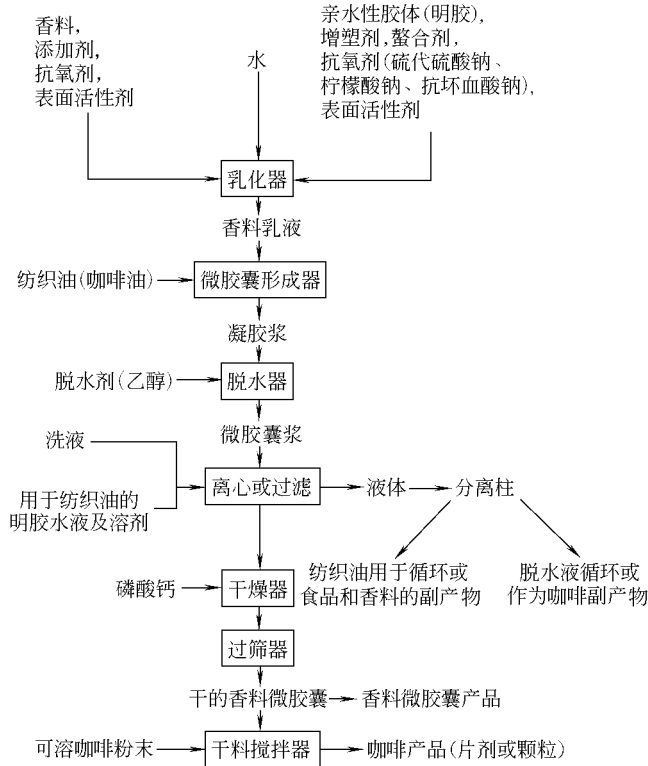


图 3-1 复凝聚法包裹咖啡香料流程图

象。明胶的这些性质可以解释为什么在复凝聚法制备微胶囊时，在凝聚相中冷却产生了凝胶化现象而在非凝聚相中不会发生凝胶化现象，液体仍然可以流动。

(源) 明胶的固化摇由于明胶与聚阴离子的凝聚过程是可逆的，因此对于复凝聚法制备的明胶聚阴离子微胶囊来说，凝胶结构须通过交联或固化明胶来进行稳定。由于明胶分子含有氨基和羧基，在明胶形成凝胶后，可以在体系 pH 高于明胶等电点的情况下用甲醛、戊二醛等活泼的多元醛将明胶交联固化，形成较坚固的醛化蛋白质。另外，也可以将明胶凝胶通过采用金属螯合盐（例如三氯化铝、硫酸铜、明矾）作为固化剂，将可溶于水的胶囊膜变成刚性、水不溶性的胶囊膜。也可以将明胶凝胶通过与单宁酸、五倍子酸及其铁盐的反应或与活性酚化合物的反应，或者热处理来使这些明胶包裹的微粒稳定。也可以采用氧化交联即采用 H_2O_2 和羧甲基纤维素钠处理凝胶物。

(缘) 后处理摇醛可将微胶囊的膜略微交联，但是壁仍然具有亲水性，会在水中溶胀，在不聚集的情况下很难干燥。要降低微胶囊的亲水性，必须要在低 pH 下（例如 $\text{pH} \approx 4$ ）用尿素和甲醛处理，通过聚合可以大大提高交联度，降低

微胶囊膜在水中的溶胀性。采用甲醛作交联固化剂时，必然有残余甲醛存在于微胶囊产品分散液中，影响产品的使用。以往有人用 鼻 吹去甲醛，也有介绍采用金属氢氧化物、金属磷酸盐、钙盐、镁盐作催化剂脱去甲醛。

单凝聚法

单凝聚是只有一种聚合物产生相分离的现象，该现象是通过能溶于水的聚合物非溶剂的作用，使水中的水溶性聚合物浓缩，浓缩的聚合物相以液滴的形式自体系中分离。单凝聚法制备微胶囊是以一种高分子材料为微胶囊壁材，将心材分散到囊壁材的水溶液中，然后加入凝聚剂（如乙醇、丙酮、盐等强亲水性非溶剂），由于大量的水与凝聚剂结合致使体系中微胶囊壁材的溶解度降低而凝聚出来形成微胶囊。适当地选择凝聚剂、温度、 pH 或溶剂，任何一种聚合物的水溶液都能发生单凝聚。这种方法可用于包裹水不溶性固体颗粒成液体。

由于在使用单凝聚法微胶囊化时控制微胶囊的大小较为困难，所以该法逊色于复凝聚法。

单凝聚作为一种包裹方法，其微胶囊化过程也可视为连续的 猿步：①壁材分散到壁材的水溶液中；②凝聚层沉析在心材周围；③凝聚层的胶凝与固化。它与复凝聚一样也适用于非水溶性物质的微胶囊化。

下面对单凝聚法作些分析。

（员）凝聚体系 这种包裹方法中，可以作为壁材的聚合物有明胶、琼脂、果胶、甲基纤维素、聚乙烯酸、纤维蛋白原或阴离子聚合物（加磺化苯乙烯、羟基苯乙烯 鸫来酸共聚物、淀粉或醋酸对苯二甲酸纤维素）等。凝聚体系中除聚合物外，应含有凝聚溶剂（非溶剂）和电解质。

① 非溶剂凝聚溶剂。对于明胶来说可以应用许多凝聚溶剂（也称为非溶剂），例如乙醇、丙酮、异丙醇、苯酚、二噁烷、硫酸钠和聚氧乙烯酸。大多数情况下用乙醇、丙酮、异丙醇、硫酸钠或硫酸铵作为明胶的凝聚剂。其典型的水溶性聚合物溶液及其相应的非溶剂体系见表 猿猿猿

表 猿猿猿 典型的水溶性聚合物溶液及其相应的非溶剂体系

聚合物	琼脂	胶质	果胶	甲基纤维素	聚乙烯醇	纤维蛋白质
非溶剂	丙酮	二噁烷 ,异丙醇	二噁烷 ,异丙醇	丙酮	正丙醇	正丙醇

人们发现以明胶为壁材用单凝聚法制备微胶囊有如下规律。

平均分子量低的明胶更容易从溶液中凝聚出来。当用硫酸钠作凝聚剂时，明胶溶液凝聚与 pH 无关；当用有机溶剂（醇类及二噁烷）作凝聚剂时，链愈长的溶剂愈易引起凝聚，心材愈易溶于凝聚剂时，微胶囊化愈困难；心材与明胶凝聚相具有相反电荷的易微胶囊化；对无电荷的或与明胶凝聚相有相同电荷的心材，其微胶囊化的难易取决于明胶同心材的亲合力，亲和力强的或在微胶囊化发生之

前心材已吸附大量明胶的，易被微胶囊化。

② 电解质。按不同的盐对于明胶的凝聚能力排序，就阳离子而言， $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ ；就阴离子来说，硫酸根 $>$ 柠檬酸根 $>$ 酒石酸根 $>$ 醋酸根 $>$ 氯离子。电解质一般常用硫酸钠和硫酸铵。浓度的变化会引起聚合物的不溶解和沉淀。

对于甲基纤维素和羧甲基纤维素混合物的体系，可以将加盐和加热的方法相结合来进行凝聚并微胶囊化。随着温度的提高，甲基纤维素的溶解度降低。

(四) 心材的影响人们研究了采用明胶单凝聚法对各种固态心材颗粒进行微胶囊化的工作。主要研究了不同心材、不同凝聚剂与不同制造参数的组合条件下，心材能否被包裹；研究了包裹能力与心材溶解度（杂、表面积、在电位（在）和明胶吸附能力（粤）的关系，见表 3-10。

表 3-10 数据表明，心材的表面积和明胶吸附能力对包裹的影响比在电位和溶解能力的影响要重要得多。

(二) 油相相分离法

为了满足亲水性材料微胶囊化的需要，人们开发了油相相分离法（也称为有机相分离法）。

表 3-11 摇心材被包裹能力与其溶解性(S)、表面积、Z 电位和明胶吸附能力(A)的关系

凝聚溶剂	活性炭(忽忽忽)				卡巴酞(忽忽忽)				核黄素(忽忽忽)			
	杂	在	粤	包裹	杂	在	粤	包裹	杂	在	粤	包裹
甲醇摇	园	原	忽	垣	忽	原	忽	垣	忽	原	忽	垣
乙醇摇	园	原	忽	垣	忽	原	忽	原	忽	原	忽	垣
异丙醇	园	原	忽	垣	忽	原	忽	原	忽	园	园	原
叔丁醇	园	原	忽	垣	忽	原	忽	原	忽	园	园	原
二噁烷	园	园	忽	垣	忽	原	忽	原	忽	园	园	原
硫酸钠	园	原	忽	垣	忽	原	忽	垣	忽	原	忽	垣

摇注：垣表示可以被包裹，原表示不能被包裹。

有机相分离法)。有机相体系中的相分离法主要应用于水溶性或亲水性固体及液体的微胶囊化。匀忽忽等在忽忽年首先提出采用乙基纤维素凝聚的方法制备微胶囊。继而，云忽忽等采用改变温度方法引发乙基纤维系凝聚的方法制备了很多微胶囊产品，并共同申请了专利。在油相相分离法制备微胶囊的工艺中用来作微胶囊化介质的是聚合物的有机溶液，通过一定的方法使聚合物作为凝聚的聚合物相而分离，凝聚的聚合物包围住心材形成了微胶囊壁。

凡能在有机溶剂中溶解的聚合物大多数可用来作为成膜的壁材。该法在医药领域里是特别有用的，目前已在该领域成功地实现了商品化。

典型工艺

实现油相相分离制备微胶囊的方法主要有猿种，即加入非溶剂法、加入能引

起相分离的聚合物法、改变温度法。

将欲包裹的水溶性有机化合物在乙酸丁酸纤维素的二氯甲烷溶剂中良好分散。将不溶解乙酸丁酸纤维素的甲苯缓慢加入，引发聚合物的凝聚，使聚合物从溶液中分离出来，围绕在乳液液滴周围。通过加入低溶解能力的脂肪烃溶剂，例如用正己烷来使胶囊固化。这样可以获得具有薄膜的球状微胶囊。

对于温度引发的凝聚来说，需将乙基纤维素和液滴稳定剂溶解在 丙酮 的环己烷中，然后将心材在该热溶液中分散，将混合物冷却到特定的条件下引发凝聚，于是会形成所需要的微胶囊。

加入能引起相分离的聚合物法的工艺流程如图 16-2-1 所示。

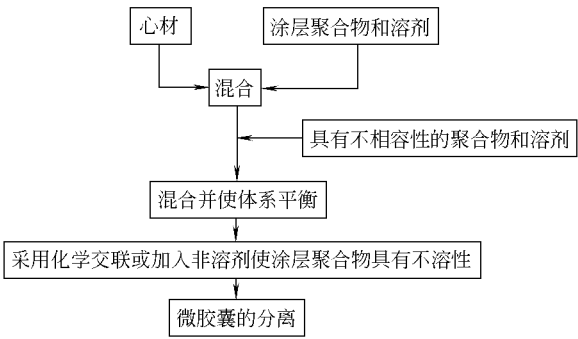


图 16-2-1 加入能引起相分离的聚合物法的工艺流程图

基本原理

油相相分离法制备微胶囊的原理是：向作为微胶囊壁材的聚合物有机溶剂的初始均匀相溶液中，加入一种对该聚合物为非溶剂的液体（沉淀溶剂成第二种聚合物组分），引发相分离而将心材包裹成微胶囊。

利用有机相中聚合物的相分离法制备水溶性物质或水溶液的微胶囊化过程包括如下两步：

- ① 将所要包裹的心材分散在聚合物溶液当中；
- ② 通过冷却或加入沉淀剂的方法，使得聚合物凝聚、层析在分散的被包裹颗粒的周围。在油相相分离制备微胶囊的过程中不需要进行固化。

（员）分散体系中心材颗粒在聚合物溶液中的良好分散对于最终产品的性能影响很大。心材颗粒应在聚合物、溶剂和非溶剂中不溶解。获得心材颗粒的良好分散效果的方法与其他制备微胶囊的工艺相同。需要注意的是通过加入非溶剂或降低温度使聚合物从其溶液中瞬间沉淀析出是难以实现微胶囊化的。微胶囊化的关键在于在体系中首先形成可充分流动的聚合物凝聚相，并能够使其稳定地环绕在心材微粒的周围。另外，细分的颗粒可再次累积，故存在着微胶囊体积增大的

倾向，所以通过在体系中加入硅石粉等保护性胶体，可以减少这种絮集现象。

另外，从 20 世纪 40 年代中期开始人们对乙基纤维素凝聚微胶囊化进行了系统的研究。法国和日本科学家出色地研究了在温度引发乙基纤维素凝聚微胶囊化中，聚合物稳定剂（性质相反的聚合物稳定剂）的浓度对于微胶囊涂层的厚度以及微胶囊产品的释放模型是重要的因素（表 3-1）。在假设心材颗粒是球形且均匀涂层的情况下，表中涂层厚度（ δ ）是根据式（3-1）计算而得到的。

$$\delta = r_p \left[\frac{C_p}{C_p - C_m} \left(\frac{C_p}{C_m} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (3-1)$$

式中， r_p 为心材颗粒的平均半径； C_p 和 C_m 分别为心材和乙基纤维素的密度。

表 3-1 乙基纤维素凝聚微胶囊的制备及性质的影响

聚异丁烯质量分数 w_p	凝聚相体积 V_p	心材质量分数 w_m	涂层厚度 δ	相对释放速度
0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

度； C_m 为心材在微胶囊中的质量分数。

另外，研究发现在凝聚混合物中如果存在聚异丁烯，会改善初始形成的凝聚物的稳定性。当聚异丁烯浓度较低时，会提高凝聚物的稳定性，防止这些物质絮集。于是最终会导致在心材颗粒的周围形成相对比较均匀的涂层。然而当聚异丁烯（聚合物稳定剂）浓度较高时，初始凝聚物会变得非常稳定，于是初始凝聚物会更趋向于在介质中形成分散液，而不是附着在心材颗粒的表面上。

（3）相分离摇影响油相相分离的因素主要包括：壁材聚合物及该聚合物溶解所用的溶剂、可以与聚合物的溶剂混溶但与壁材聚合物不溶的且能引起相分离的液态聚合物和凝聚反应温度区间。

在油相相分离时，从原始溶液中分离出来的聚合物的数量和状态取决于聚合物的浓度、沉淀剂用量及温度。

实现油相相分离制备微胶囊的方法主要有 3 种：加入非溶剂法、加入能引起相分离的聚合物法、改变温度法。通过加入非溶剂或降低温度，使聚合物从其溶液中瞬间沉淀析出以实现微胶囊化，所以微胶囊化的关键在于在体系中首先形成可充分流动的聚合物凝聚相，并能够使其稳定地环绕在心材微粒的周围。

① 加入非溶剂法。在该法中，可溶于有机溶剂的大多数合成聚合物可用来作壁材。聚合物的溶剂一般为有机溶剂，但是非溶剂可以由有机溶剂或水及水溶液组成。当心材为亲水性的材料，加纯水、水溶液、水的分散液或水溶性的粉末

时，则聚合物、溶剂与非溶剂基本为与水不可混溶或疏水性的。例如经常采用乙基纤维素、四氯化碳和石油醚的组合对水溶液微胶囊化。典型的聚合物以及相应的溶剂-非溶剂体系列于表 2-10 中。

表 2-10 摇油相相分离法制备微胶囊的聚合物-溶剂-非溶剂体系

聚合物	溶剂	非溶剂	聚合物	溶剂	非溶剂
乙基纤维素	四氯化碳	轻质烃	聚氯乙烯	四氢呋喃	水
苯基纤维素	三氯乙烯	正丙醇	聚偏氯乙烯	四氢呋喃	水
乙酸丁酸纤维素	丁酮	二异丙醚	酮树脂	乙醇	水
聚乙烯	二甲苯	氯代戊烷	环氧树脂	丁酮	甲醇
聚乙酸乙烯	三氯甲烷	乙醇	聚酰胺树脂	异丙醇	水
硝酸纤维素	丙酮	水	聚甲基丙烯酸异丁酯	丙酮	水
聚硬脂酸乙烯酯	三氯甲烷	丁酮	聚氯乙烯乙酸酯	丙酮	水
聚苯乙烯	二甲苯	轻质烃			

这种溶剂-非溶剂相分离制备微胶囊的方法主要取决于要使用适当的溶剂-非溶剂混合物。对于溶剂-非溶剂组分来说，这两种组分应具有不同的极性。一些简单的体系列于表 2-11 中。

表 2-11 摇油微胶囊制备体系中溶剂的相对极性

极强极性	强极性	中等极性	弱极性	非极性
摇水、甲醇、二甲基甲酰胺	摇丙酮和低级酮、异丙酮和低级醇	摇乙酸丁酯和低级酯、二异丁酮和高级酮	摇芳香烃、长链酯	摇脂肪烃

② 加入能引起相分离的聚合物法。该方法又称为聚合物-聚合物不相容法，该法利用聚合物-聚合物之间的不相容性来制备微胶囊。

在该微胶囊化工艺中，当在溶剂中不溶解的心材在体系中分散时，会立刻被含聚合物壁材的液相涂上一层薄膜。这种作为壁材的聚合物可以被心材吸附。然后采用化学交联或加入非溶剂物的方法，将这一涂层脱溶剂，从而形成微胶囊。在加入非溶剂物的情况下，通常是将聚合物微胶囊以浆料形式加入到非常大的非溶剂物当中，从而使得微胶囊在分离时不团聚。

聚合物-聚合物不相容包裹工艺可在水介质中或非水介质中进行，但迄今为止主要是在有机介质中进行。该法是由 拜耳公司提出的。被包裹的心材最好是有一定水溶性的极性固体或水溶液。乙基纤维素是使用得较早的聚合物，聚乳酸和乳酸-羟基乙酸共聚物等生物可降解壁材也可应用。这些生物可降解材料可用于包裹蛋白质或多肽，这些微胶囊的直径小于 10 μm，可用于口服或注射给药。对水敏感的材料，如硝酸银、重铬酸铵、金属卤化物、氟化亚锡、

糖类、乙二醇及甘油可用作心材。

③ 改变温度法。在某些聚合物溶剂体系中，由于温度的作用可使聚合物的溶解度有很大改变。在该体系中，在室温下基本不可溶的聚合物于高温下则溶解度变大。该聚合物的溶解度曲线的斜率是非常大的。因此，可以利用这些溶解度随温度变化很大的聚合物作为微胶囊的壁材。通过改变体系的温度引起有机溶剂的溶液体系中聚合物的相分离。

三、挤压法

挤压法最早是在 1952 年由 杂 提出的。它是目前被认为最适合于香精香料微胶囊化的方法。其原理是：将心材物质分散于熔化的糖类物质中，然后将其挤压通过一系列模具并进入脱水介质，这时糖类物质凝固变硬，同时将心材包

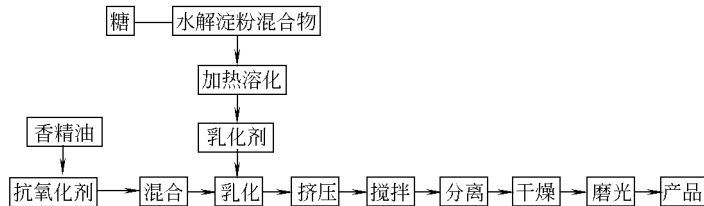


图 3-1 挤压法生产微胶囊化产品工艺流程

裹，得到一种硬糖状的微胶囊产品。其操作过程如图 3-1 所示。

挤压法具有微胶囊表面面积非常小、表面心材物质含量低、操作温度较低及外观诱人的特点，缺点是包裹率较低且堆密度很大。

四、分子微胶囊法（或络合包裹法）

该方法即利用某些大分子物质如 β -环糊精中的闭合筒状结构，来包裹与其大小相适应的客体物质，起到稳定、提高溶解度和变液态为固态的作用。该方法包括：水溶解法、研磨法、冷冻干燥法三类。

环糊精是几个 α -D-吡喃葡萄糖通过 α -1,4-糖苷键形成的、具有环状结构的物质。外部具亲水性，内部具疏水性，在溶液中，许多疏水性的物质如油脂、风味物质、色素能取代它中心的水分子聚集在环糊精中心，而和它强烈的结合，使络合物变得难溶从而沉淀出来。

五、气体悬浮涂裹法

该方法即将固态颗粒在流化床上通过空气鼓动使之悬浮于干燥室中，干燥室上方有一个喷头，从喷头中喷洒出壁材溶液，壁材溶液被多次反复地喷涂于心材颗粒表面；同时在热的作用下，水分蒸发逸去，壁材脱水在心材表面形成一层或多层膜，产生微胶囊效果。目前此法主要用于固体营养强化剂的微胶囊化，如钙剂。

六、多重乳液法

将壁材和心材的混合物乳化，再以液滴状分散到介质中，形成双重乳液。双重乳液即水包水（ W/W ）型乳液和油包水（ W/O ）型乳液，该法得到的是液体微胶囊。以水包水型乳液为例，已有用该法携带风味物质的专利报道，其制备的过程是，第一步制备水包水型乳液，水相中含有成胶物质，如海藻酸钠。油相就是风味物质油，并加入一定量的在亲水-亲油之间的亲油性乳化剂。油相和水相在高速搅拌时均匀混合。第二步是制备油包水型乳液，油相是第一步制备好的水包水乳液，水相中加入一定的胶体稳定剂，然后两者混合均质，这样就形成了油相是风味物质的水包水多重乳液。

还有用多重乳液制备固体微胶囊的方法，它是在液体微胶囊的基础上改进而成的，首先制备多重乳液，随后通过加热、减压、冷冻、干燥等手段将壁材中的溶剂去除，形成微胶囊壁，再与介质分离得到固体微胶囊化产品。

七、吸附法

吸附法是利用多孔性物质作为吸附剂吸附液体心材，使之成为粉末状的方法。此法多用于油脂的微胶囊化，该法工艺简单、工艺所需温度低，但其油脂吸附量低，且最终产品抗氧化性不佳。

八、胶体冷却凝固粉碎法

这种方法类似于制备生物培养基。如琼脂、明胶这些胶体物质，在一定的温度可以溶解于水中，并加入一些助固剂，然后加入心材物质并在一定温度下（不使胶液凝固为前提）搅拌使心材分散均匀，逐步降低体系温度，使之凝固，最后用研磨的方法将之粉碎、过筛之后得微胶囊产品。此法制备的微胶囊颗粒大小不均匀，但具有缓释功能。

九、其他方法

在食品工业中还用到其他微胶囊化技术。

流化床涂覆法被广泛用于固体颗粒的包裹。壁材的量可以通过颗粒在流化床内停留的时间长短来控制。

脂质体俘获技术最早用于制药工业，现在也应用于食品工业。含水物质被完全地包裹在磷脂膜内，当此复合体分散在含水介质中，就会形成脂质体。这种方法既可以形成亲水的又可以形成亲油的包裹着脂质体的胶壁材料。

旋转悬浮分离是将心材悬浮在一定的壁材中，将混合物引入到旋转盘上。包裹粒子转离旋转盘并被干燥或冷凝。

随着对微胶囊技术的认识和研究逐步深入，一些新的有潜力的微胶囊技术得以发展，其中包括共结晶技术和生物微胶囊技术等。以共结晶技术为例，该法虽尚处于实验室研究阶段，却已显示出它的优势和价值，该法的应用研究目前主要集中在风味物质的微胶囊化，并成功地对薄荷油和豌豆进行了微胶囊化。在共

结晶法生产风味物质的壁材只有一种，即蔗糖，蔗糖从单一的一个很完整的单斜晶体变成微小尺寸、无规则、聚集状、增加空隙和表面积有许多小晶体的聚集体，这一过程就是共结晶。图 3-1 是共结晶法生产微胶囊的工艺流程。

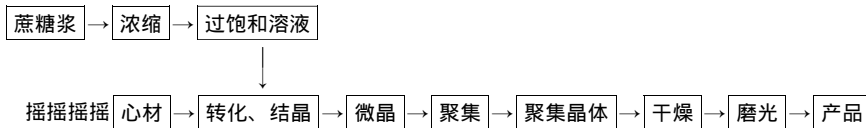


图 3-1 共结晶法生产微胶囊的工艺流程

共结晶法操作的关键是如何合理控制聚集和结晶速度以及各阶段的热平衡。

十、食品微胶囊化常用的壁材

食品微胶囊化下所用的壁材主要为：多糖、脂肪、蛋白质、纤维及衍生物系和淀粉衍生物。

（一）脂肪及乳化剂

同各种卵磷脂一样，磷脂可以自发地形成球形囊泡，称为脂质体。它是由脂质双层包围的体积构成，即包裹。脂质体不仅被广泛应用于医药研究和治疗中，而且也用于食品领域。

为了提高稳定性及控制其渗透性，近期有人将磷脂进行聚合反应。双乙炔的磷脂分子进行自组装的聚合反应，形成中空的管状微结构，所形成的管径为 0.5~1 μm，管长范围从几微米至几百微米。

（二）低分子量的糖类

以 β-糊精进行的包裹及用蔗糖进行的共结晶，其进程包括使蔗糖浆的浓度达到过饱和点，加入需要包裹的材料混合，引发成核和凝聚，最后用干燥步骤调节最终产品的水分质量分数。

（三）聚合物

用于包裹的亲水性胶体很多，可将其大致分为合成聚合物及天然聚合物。

（1）合成聚合物 丙交酯-乙交酯、聚 α-甲基丙烯酸酯及聚丙烯酸等被广泛应用于医药方面微胶囊的制备，主要用于可生物降解的注射用药物微胶囊的制备，但是由于价格的原因，这些聚合物不适用于食品工业。

（2）天然聚合物 可用于微胶囊的天然聚合物包括淀粉衍生物、麦芽糊精、阿拉伯胶、纤维素、角叉胶、海藻酸盐、壳聚糖、低甲氧基果胶、胶凝剂及明胶。各种各样的多糖在食品方面有着极为广泛的应用，目前可用生物技术手段对多糖加以修饰，得到最终所需的多糖。

第四节摇微胶囊化技术在食品工业中的应用及实例

一、在香料中的应用

在食品储存过程中,香味的丢失是一种普遍发生的现象。香料极易挥发,极易与其他物质反应并对热和潮湿敏感。香味是食品的一种理想特性,因此人们应用微胶囊化和控释技术使香味在食品中能长期保存。

1. 明胶或植物胶作为壁材

(1) 包裹咖啡香料摇将调料和香料在亲水胶体水溶液中形成乳液,将其加入旋转液中并形成乳液,脱水后形成稳定的微胶囊以保护心材,从而有利于心材的储存,并防止氧气的影响。

亲水胶体水溶液是蛋白质类材料,例如明胶和紫胶。另外也可使用非蛋白质类材料,例如植物胶。植物胶不会与调料和香料中所含的醛反应。而且使用植物胶时,包裹可以在较低温度下进行,会比使用蛋白质类材料的工艺减少香味的降解。由于降解也受氧气的影响所以包裹工艺要在惰性环境下进行,并且要使用抗氧化剂。当以明胶作壁材时,在加入之前,乳液温度要高于 T_g ,即高于明胶的凝胶点。当用植物胶(例如阿拉伯胶)时,乳液温度可保持在 T_g 以下。

旋转液的性能为:黏度大于水,在香料乳液中可以溶解,无毒、无味、无色,可以全部回收、可与脱水液体分离。其适宜组分为无水醇与多羧基酸酯,单甘油酯氧化油、双甘油酯氧化油和三甘油酯氧化油,最好采用蓖麻油和多元醇的混合物。脱水蓖麻油中存在醇,以防止凝聚,从而得到较大的微胶囊。所用醇为多元醇,最好是乙醇。

实例

在装有均匀混合器的不锈钢容器中加入蒸馏水,在 50°C 下搅拌下加入粒状明胶和乙二醇。将混合器的挡板降低到液面以下以防止在混合时形成气泡。升温到 70°C ,在 100r/min 下搅拌使明胶完全溶解。降温到 50°C ,用氮气置换容器中的空气,并加入亚硫酸钠和柠檬酸钠,使之溶解。加入真空蒸馏的咖啡香料,搅拌速度变为 200r/min ,挡板下降以防止向物料中夹带氮气。将混合物再搅拌,使得乳液粒径为 $1\mu\text{m}$ 。混合时,温度保持在 50°C 。向第二个混合器中加入咖啡油并升温至 70°C 。将均匀混合器搅拌速度升高到 1000r/min ,用氮气置换空气,将均匀混合器挡板升高到油的表面并形成旋涡。将上述香料乳液以均匀搅拌速度在 100r/min 内加入到旋涡中心。然后将均匀混合器的挡板降低到液面以下并搅料,使香料凝胶在油中的平均粒径达到 $1\mu\text{m}$ 。在进行混合操作时,物料温度为 70°C 。

装有螺旋桨型混合器的容器作为脱水容器。将多元醇乙醇加入脱水器中、使温度达到 70°C ,搅拌速度为 1000r/min 。将上述凝胶浆在 100r/min 内加入。混合并测定脱水率。将微胶囊从脱水液体中分离,并将大部分咖啡油离心分离。将微胶囊用正己烷洗涤后,再用多元醇乙醇洗涤,洗涤温

度为 0.5%。将脱水洗涤后的微胶囊放入浅盘中并加入 1% 磷酸三钙粉末。将微胶囊在 40℃ 湿度下干燥。

将微胶囊筛分除去磷酸三钙，将微胶囊与 1% 粉末状无香味烘焙咖啡水萃取物混合，用于造片或造粒。

(圆) 包裹蒜味香料组分摇该工艺将月桂基盐（杂烷基和 杂烷基硫代硫酸盐）与碱金属硫酸盐反应制备蒜味香料。在不同组成、不同原料、不同反应条件下，可以制备洋葱、葱、大蒜、青葱、细青葱等香料。将所制备的香料组分，通过复凝聚法，用明胶-阿拉伯胶制备成微胶囊并将其喷雾干燥后使用。

(猿) 包裹橙油 摇许多文献中提供了用干燥的非脆性膜包裹挥发性香料的方法。该工艺包括将被包裹物在黏性介质中分散成乳液，以固体吸附剂包裹并形成膜。适用的成膜剂为非蛋白质材料，例如阿拉伯胶、羧甲基纤维素和乙基纤维素。成膜剂的粒径为 100~200 μm。

(源) 包裹香料并用于口香糖摇传统上制备口香糖时为了获得所需要的香味浓度，需要高浓度的香料，一般香料需要达到的浓度为 10%~20%。口香糖在口腔中停留时间比较长，有时会长达 30 分钟，因此必须要含有适量的香料成分来满足时间的需要；在口香糖被咀嚼时，会比其他食品更容易刺激唾液的分泌，因此需要大量的香料成分，以满足这种唾液稀释的需要。因此，传统的口香糖要比其他食品需要更多的香料。

该工艺将香料微胶囊固体颗粒渗透或沉淀到口香糖胶的表面上，形成一个薄层，可以降低香料的用量。当口香糖被咀嚼时，会立刻释放出高浓度的香料。采用明胶、蜡、聚乙烯等物质作壁材，将香料微胶囊化并且将微胶囊以水溶液浆料形式喷到胶的表面上。包裹是采用常规的方法，将液态香料与浓的明胶水溶液在温度低于 0℃ 时，混合形成非常细的、稳定的乳液；将乳液通过喷雾干燥、冷却制成易流动的粉末，粉末中的每个颗粒均以干燥的明胶壁包裹香料心。

圆环糊精作为壁材

分子包裹是避免香味在储存过程中或暴露在阳光或氧气下而损失的办法之一。环糊精作为淀粉衍生物类似于中空的分子微胶囊，可以俘获具有特定外形的极性“分子”，使其在干燥状态下免于光照、加热及氧化的影响。而当其与水接触时则可以释放出来。以环糊精为材料进行分子包裹，提高了其储存稳定性、热稳定性及对紫外线的稳定性，减少了咖啡香味的丢失并且减少咖啡饮料的苦味。虽然环糊精对香料有较好的保护作用，但其价格较贵。

圆麦麸作为壁材

使用麦麸作为成膜的主要材料所得到的包裹产品溶解缓慢。将麦麸在醋酸中分散并将油或脂肪分散形成油-麦麸分散液。油或脂肪是被包裹的食品、药品或其

他材料的载体。油分散液在杀菌、均化后干燥，所得产品由于被麦麸膜包裹，而在中性水溶液中不溶解。

当包裹产品在人体的酸性条件下或烘烤条件下使用时，被包裹物会缓慢释放。麦麸可在酸性介质和碱性介质中分散，所以可用挥发性的碱，例如氨水，代替醋酸使麦麸形成胶体溶液。

油或脂肪可使用饱和或不饱和的植物油和动物脂肪，植物油和动物脂肪可以氢化或不氢化。

实例

物料组成为椰子油 缘份，薄荷油 缘份，甘油硬脂酸酯 缘份，优质麦麸 缘份，麦芽糊精 缘份，氨水（浓度为 缘缘）及水体系的固形物含量为 缘缘。将氨水和麦麸加入水中强力搅拌 缘缘~ 猿缘皂，再加入麦芽糊精。混合物加热到 远益，将甘油硬脂酸酯乳化剂和椰子油加入。将混合物在 远远~ 苑益杀菌 缘皂后，将混合物冷却到 缘益，然后加入薄荷油，将混合物在 缘皂皂皂均化并喷雾干燥。

氨水在干燥阶段完全除去，产品具有麦麸包裹膜，该膜在中性水溶液中不溶解。另外麦麸本身是食品，可以补充包裹产品的营养。要控制心材的释放度和速度，可以改变最后包裹产品中麦麸的量，也可使用其他碳水化合物，例如改性淀粉。

缘缘 复合材料作为壁材

该工艺可生产颗粒态固体复合微胶囊或粉末态固体复合微胶囊。每个复合微胶囊包含至少一个初级微胶囊。在初级微胶囊中活性组分是用水溶性壁材包裹的，然后将初级微胶囊再用水不溶性固体包裹。

初级微胶囊是将含活性组分和壁材的乳液通过喷雾干燥的方法脱水形成微胶囊。初级微胶囊的粒径为 员~ 猿皂，活性物为香精油、树脂油或其他香料组分或混合物。水不溶性固体壁材为氢化植物油、脂肪酸（例如硬脂酸）、高熔点脂肪或脂肪酸酯，其熔点低于水溶性壁材，但高于 缘益。通过壁材的选择可以使得活性组分在预定的加热工艺中全部释放，特别适用于食品。

实例

将 远缘份柠檬油、猿缘份改性明胶和 员缘份水组成的乳液通过喷雾干燥制成初级微胶囊。将 缘份初级微胶囊在 缘份熔融的非乳化剂甘油单硬酸酯（熔点 远益）中分散，所得分散液进行喷雾冷却形成复合微胶囊。

二、在甜味剂中的应用

食品工业中广泛应用了调味剂，例如甜味剂和各种调味品。在某些情况下如烹调 and 烘焙时有些调味品不稳定，易被破坏。微胶囊化是一种稳定食品添加剂的

方法。在大多数微胶囊中活性组分不仅在制备过程中被保护呈稳定，而且会在最终被消费者食用的食品中仍然被包裹。然后食品添加剂会在口腔或胃肠中通过扩散或涂层溶解而释放出来。

人工甜味剂广泛应用于口香糖、糖果、药物制剂、口腔卫生用品（例如牙膏、漱口水等）。阿斯巴甜作为一种甜味剂应用广泛，但是它对热和水组成的环境非常敏感。虽然阿斯巴甜在高温并非不稳定，但是在有水存在下，高温（例如在 140~150℃）烘焙的阿斯巴甜会失去二肽分子，从而导致丧失甜味。通常将其以微胶囊的形式包裹在脂肪、油、聚乙酸乙烯、淀粉、玉米蛋白、虫胶等材料中。

羟丙基甲基纤维素作为壁材

应用喷雾干燥或流化床技术进行微胶囊化不仅需要在复杂工艺设备上投资，而且需要一定的技术。在 1963 年采用了更经济的方法，将未包裹的阿斯巴甜与羟丙基甲基纤维素混合，加水浸润使之呈膏状，干燥后研磨成粒径为 10~20 μm 的粒子，其释放速率受粒子粒径大小的影响（表 3-3）。如果加入几种不同溶解

表 3-3 摇粒子粒径大小对甜味剂释放速率的影响

混合物中小于 10 μm 颗粒所占比例	20 μm 以内甜味剂释放量	混合物中小于 10 μm 颗粒所占比例	20 μm 以内甜味剂释放量
50%	100%	100%	100%
100%	100%	未胶囊化	100%

特性的聚集剂，即可获得具有逐步释放性能的甜味剂。

合成聚合物作为壁材

甜味剂、酸味剂、香料等也可以通过将其分散在纤维基质中进行微胶囊化。纤维基质可由聚乙烯、聚乙酸乙烯、聚酯或壁聚糖组成。纤维（纤维）具有开放终端，从而暴露了活性物。当纤维与溶剂接触后就逐步释放出活性物。纤维在溶液中溶解度低于活性物。开放终端的活性物溶解在溶液中，在纤维内部形成通道，溶液进入通道，溶解新暴露的活性物。因此，活性物的释放是基于传递系统的溶胀。

氢化蓖麻油作为壁材

在该工艺中，使用含熔点为 $40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的氢化蓖麻油的涂层材料包裹那些细小的香料颗粒，这些香料颗粒在热和水同时存在的条件下不稳定易发生变化。当面团或糊状物中水浓度相对较高时，涂层会在烘烤工艺初期保持稳定。烘焙几分钟后当面团或糊状物中大部分的水被挥发且温度升高至 100°C 时，涂层会被破坏，几分钟后活性组分会进入产品中。另外微胶囊中也可加入疏松剂，在预定的温度下，疏松剂会释放出气体，导致微胶囊破裂。疏松剂可以是 NaHCO_3 （小苏打），它们在受热时会释放出 CO_2 或 NH_3 。疏松剂可以与调味剂一起混合后被包裹，也可以加入到涂层材料中并喷到活性物颗粒上。

涂层材料的熔点为 $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，其中含有氢化蓖麻油。涂层材料可以只是氢化蓖麻油，但也可以是氢化蓖麻油与其他涂层材料（例如乙基纤维素）的混合物。这些可以共同使用的涂层材料与氢化蓖麻油混合物的熔点为 $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，而且要能用于食品中。这些辅助涂层材料包括乙基纤维素、甲基纤维素、硬脂酸钙、食品级硬脂酸等。实验表明，最好采用氢化蓖麻油。

该工艺可以用于各种调味品（例如调味剂、酸、甜味剂）、疏松剂、酵母菌、染料等，通过微胶囊化使其稳定。这种微胶囊可以用于各种产品，实际上主要用于烘焙食品，例如饼干、蛋糕、油煎饼、面包等。

实例

将粒度为 $100\mu\text{m}$ 的缘西阿司巴甜和与缘西聚乙烯吡咯烷酮混合后加入改进的缘西造粒粉末涂层机中。在缘西进口温度下流化，并在缘西内喷入缘西水。造粒后的材料在进口温度缘西干燥缘西。将所得颗粒过筛，其中缘西缘西的部分用于涂层。向所得到的缘西颗粒上喷涂缘西熔融的氢化蓖麻油（熔点缘西），进口温度为缘西，总的喷涂时间为缘西，在此过程中流化空气的流速要适当增加以保持材料良好流化。将所得材料过筛粒度小于缘西的颗粒可用于烘焙。

三、在酶中的应用

1. 脂质体作为壁材

将酶包裹在脂质体中是一种控释方法。脂质体是食品工业中所用的一种多载体，主要用于酶的微胶囊化。脂质体是人工制备的，具有一层或多层磷脂。脂质的构成及囊泡的大小影响了其渗透性、稳定性、亲和性及其表面活性。脂质含量越多，脂质体整合的溶液越多。脂质体微胶囊化的酶有两种不同用途，一方面可以作为酶控释的传递系统；另外还可作为固定化酶反应器，提高酶的稳定性，并使培养基和产物可以进入并排出。

与传统的催熟工艺相比，脂质体微胶囊化的酶可使赛达酪干酪催熟时间减少50%。微胶囊化的溶菌酶和胃蛋白酶可在以下几种条件或条件组合下释放：① pH从5.5改变为7.5；② 温度变化；③ 加入表面活性剂，例如吐温80；④ 食品添加剂，如糖。在55℃下吐温80对酶作用温和，而在70℃下则加快了其释放速率。加入0.5%吐温80就会在55℃内使溶菌酶和胃酶释放出50%~60%，温度升高不会使酶降解加速，微胶囊化不会对酶活力产生影响。

脂质体微胶囊化的酶反应器可用于从食品、饮用水、污水中除去酚类化合物。脂质体结构多变，具有生物降解性、储存稳定性、无毒并能包裹多种活性成分。

2. 明胶或海藻酸钙为壁材

美国的辉瑞公司开发了采用明胶或海藻酸钙为壁材，对二乙酰基还原酶、还原烟碱腺嘌呤二核苷酸或其他可与啤酒或面包酵母结合的酶进行包裹的工艺。这些酶可以除去啤酒或面包中的异味。在发酵前后、包装以前，向啤酒中加适量上述微胶囊可以降低啤酒中的二乙酰物含量，可通过过滤回收微胶囊化酶。

二乙酰基还原酶的制备如下所述。

气杆菌属的菌株在37℃的无菌培养液（由葡萄糖、酵母萃取物、蛋白胨和胰蛋白酶组成）中生长。随着细菌的生长，培养液连续流出，并在0.1M磷酸钾缓冲液（pH 7.0）中再悬浮。将细胞用缓冲液洗涤3次后，在缓冲液中悬浮。将二乙酰基还原酶的粗提物超声振荡10 min，离心回收碎片。将浮于上面的物质用玻璃纸袋收集，并在0.5M用蒸馏水透析3次，每次1 h。将玻璃纸袋中的材料放于4℃下储存备用。

实例

将冻干燥的二乙酰基还原酶和还原烟碱腺嘌呤二核苷酸以水浆形式在矿物油中，在37℃用推进型混合器分散。在连续快速搅拌下在37℃将明胶水溶液缓慢加入。将混合物冷却到10℃。加入正己烷乙醇，移入后过滤，用冷的正己烷洗涤。在4℃干燥后，固体

向含有二乙酰基物的啤酒中加入上述微胶囊化酶。在保存后，啤酒中的二乙酰基物含量降低为

将酶与含油材料，如牛乳脂，混合形成油包水的乳液，并将其分散在牛奶等液体中形成微胶囊。通过加入牛奶中提取的酶香料的微胶囊可以提高乳酪的风味。图 1-1-10 是乳脂微胶囊在水中的显微照片。

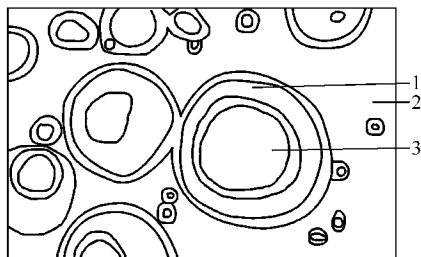


图 1 猿乳脂微胶囊在水中的显微照片
员—乳脂包裹层；圆—水相；猿—被包裹的液泡

水相的多相乳液是由两个连续步骤的乳化作用形成的。水相是包裹的第一步，在含油的流水乳化剂中稳定水油乳剂；再将其分散到第二个亲水相中，以稳定多相乳液微胶囊。微胶囊的大小由乳化剂浓度及搅拌、摇动、挤压的剧烈程度决定。

针对超氧化物歧化酶(*SOD*) 稳定性差, 易受温度和酸碱度的影响, 王政等将 β -环状糊精用高碘酸钠氧化成具有二醛结构的活性化合物, 在一定条件下与 *SOD* 分子赖氨酸残基上的 ϵ -氨基反应, 经硼氢化钠还原, 形成 β -环状糊精修饰的 *SOD*。修饰后的 *SOD* 与不经修饰的 *SOD* 比较, 不仅能保留 *SOD* 原有的天然酶活性, 而且在高热和酸碱状态下其稳定性均有明显的提高。

取 β -环状糊精溶解于双蒸水中，在冰浴及搅拌状态下滴加 5.0g 的高碘酸钠溶液，再用 0.5% 亚硫酸氢钠滴定未反应的高碘酸钠，以淀粉为指示剂，当溶液由无色变蓝色且震荡不退色时为滴定终点。用经 0.5% 亚硫酸氢钠处理的 702 阴离子交换树脂进行搅拌、吸附，再用经 0.5% 亚硫酸氢钠处理的 702 阳离子交换树脂搅拌、吸附，去除杂质冷冻，制成活化的 β -环状糊精。

四、在蘑菇增长促进剂中的应用

已有许多人研究用于蘑菇菌丝及其生长培养基的合成添加剂提高了蘑菇的产量，缩短了其生长时间。

食用淀粉固定活性颗粒

有专利发明了一种制备营养添加剂的工艺，可以使蘑菇的菌丝体长得更快。

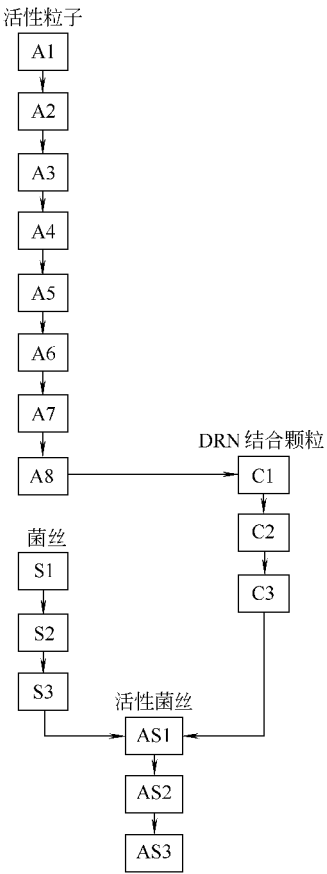


图 3-1 蘑菇菌丝添加剂制备工艺示意图

包括制备活性颗粒，将活性颗粒与延迟营养剂释放（~~阅读~~）颗粒共聚形成结合颗粒，在适宜的时候添加到蘑菇菌丝体中，使其加速生长（~~阅读~~）。

粤员, 用不饱和油脂，例如甘油三酯和磷脂（比例为 ~~猿圆~~）作为微胶囊的活性心材。甘油三酯可与许多脂肪混合，例如豆油、红花油、棉籽油，它们都具有高含量的不饱和脂肪酸。形成甘油三酯的脂肪酸有棕榈酸、油酸、亚油酸和亚麻酸。磷脂主要从天然卵磷脂中获得，大豆卵磷脂是其主要来源。

粤圆, 将磷脂和甘油三酯彻底混合，用传统的搅拌方法搅拌 ~~缘~~。

粤猿, 加入表面活性剂和维生素膜稳定材料，将维生素 ~~耘~~溶液加入到不饱和脂肪酸中，使其浓度大于 ~~圆~~。

粤源, 摇动 ~~缘~~，使维生素 ~~耘~~与不饱和脂肪酸充分混合。

粤缘, 加入活性蛋白质，蛋白质与不饱和脂肪酸的质量比为 ~~猿缘~~。将蛋白质制成水溶液，蛋白浓度至少为 ~~怨~~，且尽量少含盐。酪蛋白酸钙、乳清蛋白、大豆蛋白的浓度都较理想，酪蛋白酸钙对蘑菇菌丝的细胞膜有特殊影响，应予加入。

粤远, 将蛋白质加入以上混合物中，低速搅拌 ~~猿~~。

粤苑, 用均质泵处理使之不再分层，第一阶段泵压定在 ~~员~~（~~缘~~）；第二阶段泵压定在 ~~猿~~（~~缘~~）。

粤愿, 制备活性颗粒的最后步骤。在大约 ~~员~~下喷雾干燥将水分蒸发掉 ~~远~~，制成外包被蛋白质的微胶囊颗粒，不饱和脂肪酸包被在其中，维生素作为表面活性剂介于蛋白质层及油滴之间。球形颗粒直径大约为 ~~圆~~，比较稳定，易于储存。

悦员, 将上面制得的活性颗粒与 ~~阅~~颗粒凝聚在一起，~~阅~~颗粒直径通常比活性颗粒直径大 ~~员~~倍，其质量比为 ~~员~~。加入 ~~远~~的修饰化的食用淀粉，将两

种颗粒黏结在一起。结合颗粒含水 10%~15%，直径大小为 1~2 mm。

将结合颗粒干燥，结合颗粒蛋白质会有部分变性。第一个流化床干燥温度在 50℃ 左右，第二个流化床干燥温度在 70℃ 左右，干燥后的结合颗粒易于储存，可以直接施肥于蘑菇，也可以灭菌包装储存。

将结合颗粒灭菌包装，灭菌的高温干燥已是灭菌步骤，为了防止空气及环境中的细菌感染应立即将其放入密闭的塑料袋中保存。

为蘑菇准备合适的培养基。通常是黑麦、谷子的谷粒经高压灭菌处理，并加入 0.5% 的磷酸盐等盐，以适于蘑菇的孢子生长。

在谷粒上接种培养蘑菇孢子。

将接种菌丝的谷粒放到合适的环境中培养 1 周就可接受结合颗粒。

将菌丝与结合颗粒混合，由于菌丝谷粒比结合颗粒大得多，每个菌丝体周围都有大量颗粒包围着。

将其放在适宜环境中生长 1~2 周，菌丝体快速生长，直到可以种植。

将其冷冻，在低温下菌体维持基本的代谢，并且生长极慢。若将其重新栽种到适宜的环境中，它将重新快速生长。

结合固定强化因子微胶囊

该专利制备了一种可促进真菌特别是食用蘑菇生长的营养颗粒。模块材料由变性蛋白质制成，促进生长的液滴由脂肪油和磷脂材料包裹着真菌生长促进因子和活性蛋白的混合物。

图 1-1 是该专利的营养剂颗粒理想模型，它是一个无规型的复合物。由模块颗粒 1 和分散在其中的大量的强化因子液滴 2 组成。模块颗粒的外表面有大量凹穴状结合位点 3，为强化因子液滴 2 提供了位点，使其部分被包裹在模块颗粒中。

模块材料是变性的无水豆粉碾碎的产物。将豆子碾碎提取出植物油成分。然后将水溶液成分过滤出去，得到的主要是不溶于极性溶液的变性蛋白。其不规则

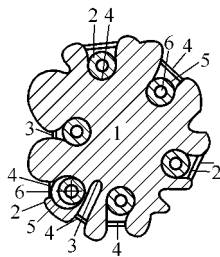


图 1-1 营养剂颗粒的理想模型

1—模块颗粒；2—强化因子液滴；3—结合位点；
4—甲酰桥；5—核心；6—蛋白质层

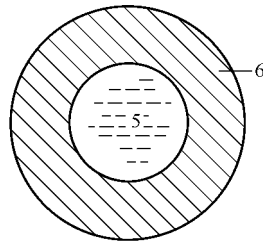


图 1-2 强化因子液滴的理想模型

4—甲酰桥；5—核心；6—蛋白质层

外边界即是水过滤的结果。由于豆粉相对其他蛋白成分更廉价而被广泛应用。构成模块颗粒的蛋白经变性已不能被菌丝体细胞吸收利用,强化因子液滴圆结合后,由于甲醛、热等作用使其进一步变性。包括化学交换过程,形成了大量甲酰桥源,进一步固定了强化因子液滴。

图 3-1 是理想的强化因子液滴圆的模型,呈球形有一个核心缘,并由蛋白质层远微胶囊化。核心主要由植物油(豆油、棉籽油)及卵磷脂等构成。脂肪油类材料是促进菌丝体生长的主要能量,磷脂则作为细胞酶的活性剂。蛋白质层主要由活性蛋白构成,主要是豆粉蛋白,可作为菌丝体的结构蛋白被利用。蛋白层含有乙酸钠,酪蛋白酸钙、水等成分。强化因子液滴的适宜材料干品组成为大豆蛋白源缘豫,酪蛋白酸钙缘缘豫,乙酸钠圆缘豫,大豆缘缘豫,棉籽油源缘豫,卵磷脂缘缘豫。

强化因子液滴的直径在 员园~ 员缘皂之间,而营养剂颗粒的直径在 圆园伊员园~ 苑园伊员园皂之间,模块颗粒与强化因子液滴的质量之比为 员圆伊员,营养剂颗粒的水分质量分数为 苑豫。

实例

该发明以缘种物质作为起始物,包括脂肪油(例如植物油)、蛋白质、磷脂(例如卵磷脂)、酶的激发剂(例如乙酸钠和酪蛋白酸钙)和水。这些物质构成强化因子液滴,其具体含量为:大豆或棉籽油源缘豫,大豆浓缩蛋白源缘豫,卵磷脂缘缘豫,酪蛋白酸钙缘缘豫,乙酸钠圆缘豫,水量可以变化。

将各种原料混合均化以形成微胶囊形式的强化因子液滴。均化过程在高压均化器中进行,均化过程使得非极性非相溶材料(脂肪油和磷脂)形成小液滴。这些小液滴被极性材料(例如蛋白质。水、酶激发剂)包裹,形成微胶囊。从均化阶段得到的强化因子液滴为球形,半径为 员园~ 员缘皂。

在螺旋混合器中将强化因子液滴与模块颗粒混合,模块颗粒由无水模块材料构成,最好是变性蛋白。在混合过程中,强化因子液滴会附着在每个模块颗粒上。模块材料与强化因子液滴的质量比为 员圆伊员 按照上述投料的配比,加入 员圆皂模块材料和 员圆皂水。

变性步骤是将甲醛(猿缘豫)加入混合器,使蛋白质变性不易吸收,反应时间为 圆缘 最后是产品的干燥,聚集颗粒在 远~ 苑益下的流化床干燥器上干燥,使最终聚集颗粒的水分质量分数从 员缘豫降到 苑豫,加热使模块颗粒的蛋白质进一步变性,以便强化因子液滴陷入其中。干燥后的营养剂颗粒即可使用了。

五、在食品防腐剂中的应用

在食品中加入大量防腐剂会影响其口味。过去,人们将防腐剂放在食品表面并用一层可食用的物质(例如玉米蛋白等)将其隔开,玉米蛋白厚约 圆缘~ 圆缘皂;它的存在降低了防腐剂向食品的扩散速度。

为了防止食品污染，可将柠檬酸、抗坏血酸、乳酸等微胶囊化，该微胶囊产品可以作为杀菌剂。可以通过含有聚乙酸乙烯的模块材料或乳化剂来微胶囊化。根据多种酸的水溶性大小来选择聚乙酸乙烯的相对分子质量（表 10-10）。卵磷脂、硬脂酸、软脂酸或硬脂酸酯等都可作为乳化剂。当微胶囊遇到水后，酸即释放出来。

表 10-10 食品用酸的溶解性和与其适应的聚乙酸乙烯

食品用酸的溶解性	聚乙酸乙烯相对分子质量	食品用酸的溶解性	聚乙酸乙烯相对分子质量
低	100000~150000	高	100000~150000
中	150000~200000		

六、在抗氧化剂中的应用

维生素 E 的微胶囊化

近年来人们食用的饱和脂肪酸逐渐被不饱和脂肪酸所取代，但不饱和脂肪酸容易被氧化。维生素 E 可以作为抗氧化剂，并在抗坏血酸作用下再生为未被氧化的形式。但在食品工业中，维生素 E 被溶解于脂相并不能与水溶性的抗坏血酸盐盐相互作用，因此需采用脂溶性的抗坏血酸盐衍生物。然而脂溶性的抗坏血酸盐衍生物需要在高温下才能发挥作用，这样增加了不饱和脂肪酸被氧化的危险。

抗坏血酸盐的溶解性问题及近年来对合成抗氧化剂的取缔，使人们想到应用脂质体对天然抗氧化剂（例如维生素 E）加以包裹化。为了增加其稳定性，用水包油的乳化系统对其加以乳化（图 10-11）。维生素 E 已经进入脂质体的屏壁内，而抗坏血酸进入了脂质体中水相内部。将微胶囊系统加入到水相中，可以看到它聚集在水相界面处。因此，可以保证抗氧化剂聚集在氧化反应通常的发生处，并且会避免抗坏血酸与其他食品成分的反应。

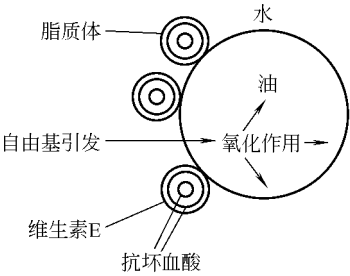


图 10-11 食品乳化作用对脂质体抗氧化剂系统的保护示意图

维生素 E 的微胶囊化采用喷雾干燥工艺，其工艺条件，壁材为阿拉伯胶、麦芽糊精和玉米糖浆，其组合为阿拉伯胶 10%、麦芽糊精 10%、玉米糖浆 10%；心材与壁材的适宜比例为 1:1；高压均质可有效地提高天然维生素 E 的微胶囊化效率和微胶囊化产率，其均质压力为 10~15 MPa。微胶囊化天然维生素 E 的喷雾干燥造粒工艺条件为：进料温度 120℃、进料流量 100 kg/h、进风温度 150℃、出风温度 100℃。

抗氧化剂 BHT 的微胶囊化

BHT（2,6-二叔丁基对甲酚）是广泛使用的食品抗氧化剂之一，但因其耐热

性较差，在高温时极易分解而酸败，给加工和保藏带来了困难，且 月栽的毒性问题也越来越引起人们的关注。将 月栽进行微胶囊化处理，可防止由于氧气、光照等造成的 月栽本身的氧化，便于食品加工和保藏，延长食品保存期。

利用 β 酞糊精作壁材对 月栽进行微胶囊化，可以得到较好的微胶囊化产品。其工艺条件：称取一定量的 β 酞糊精（心材与壁材比为 1:1），加入少量水使 β 酞糊精形成均匀的糊状物，然后将有机溶剂溶解的 月栽加入，进行超声波处理，时间为 10min，干燥得产品。因为阻止或减缓油脂的氧化，月栽微胶囊化产品的效果明显优于未微胶囊化的 月栽的效果，且 月栽用量明显降低。

七、在膨松剂中的应用

膨松剂的有效成分可分为两部分，一部分为小苏打，另一部分为膨松酸。利用微胶囊化对膨松剂进行包埋，可有效地控制产气速度。

膨松酸的微胶囊化

将固体奶油和单甘酯在 沸水浴中熔化（固体奶油作为第一乳化分散介质，单甘酯作为第一乳化剂），然后加入研磨成粉末的一水合磷酸二氢钙晶体，充分搅拌乳化，形成 宰轡型的第一乳液。然后将这种乳液混入经过不同方法处理的生淀粉溶液或糊化淀粉中，充分搅拌使之完全分散，从而获得复相〔宰轡〕轡型的第二乳液，这是 宰轡型的第一乳液在水相（淀粉液）中进一步分散的结果，第二乳液进行热风干燥后再粉碎即可得微胶囊产品。悦轡匀匀的·匀的微胶囊化工艺流程如图 猿源

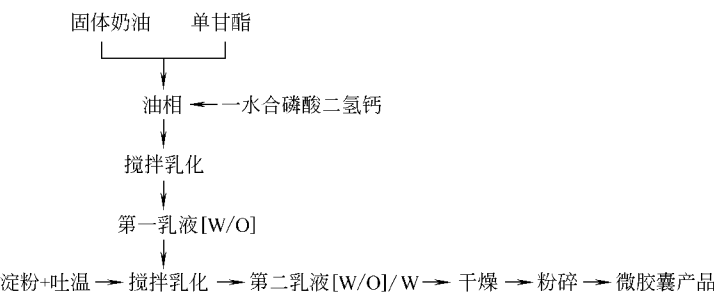


图 猿源 悦轡匀匀的·匀的微胶囊化工艺流程

其操作要点如下所述。

一次乳化：取固体奶油 10g，在 沸左右水浴中边熔化边加入单甘酯，搅拌均匀后再加入 悦轡匀匀的·匀的晶体粉末 10g，搅拌 10min，保持 沸水浴，完成第一次乳化。

二次乳化：生淀粉 10g，并加入 10g 吐温，在室温下搅拌 10min，完成二次乳化。可以达到较佳的微胶囊化效果。

热风干燥：将二次乳化液倒入不锈钢盘中，铺成薄薄的一层，在小于 沸

条件下通风干燥。干燥时间为 15~20 分钟。当样品干燥至 15 分钟时，从盘中刮出，另铺于二层纱布上，继续干燥。

粉碎：将干燥的产品磨成细粉，过筛后即为成品，密封保存。

小苏打的微胶囊化

微胶囊化技术包埋小苏打，使其在适当的温度下释放，与酸味剂作用达到更佳的膨松效果，延长有效期。

(5) 油脂作为壁材其工艺流程如图 1-15 所示。

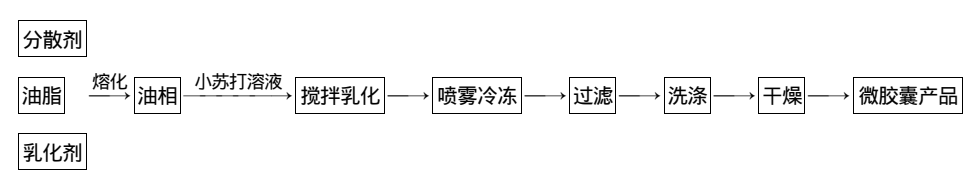


图 1-15 油脂作为壁材的小苏打喷雾冷冻微胶囊化工艺流程

采用油脂作壁材，以喷雾冷冻法包埋小苏打。物系质量比为油脂 10 份、分散剂 10 份、乳化剂 10 份、小苏打 1 份。其操作步骤为：选择熔点在 50~60℃ 范围的食用油脂作为壁材，将油脂熔化、冷却，加入分散剂和乳化剂保温搅拌。将小苏打液滴加入油相中乳化，形成油包水系乳浊液。将乳浊液在气流式高压喷雾装置中喷雾，用低温水浴作冷冻装置。过滤收集产品，洗涤至中性，低温真空干燥。

(6) 乙基纤维素作为壁材选用乙基纤维素为壁材包埋小苏打的工艺参数为：小苏打与乙基纤维素的比例为 1:10，喷雾干燥进风温度为 150~160℃，出风温度为 100℃，固形物含量为 10%，小苏打的颗粒大小在 10~100 μm 之间。

八、在烘烤食品中的应用

随着人们生活水平的提高，日常饮食向精、细、白发展，使城市中患高血压、冠心病、糖尿病等疾病的人数日趋增加。膳食纤维能预防便秘、憩室炎、大肠癌和高胆固醇，可防治高血压、肥胖、糖尿病，因此，研究和开发高膳食纤维食品就显得更为重要。但将膳食纤维直接添加至烘烤食品中，不仅影响食品外观，更主要的是影响食品的内在组织结构和口感，降低消费者的食欲，同时也影响食品的保质期。而膳食纤维经微胶囊化处理后用于烘烤食品可改善制品的品质。

甘薯纤维的混合胶的微胶囊化工艺如图 1-16 所示。

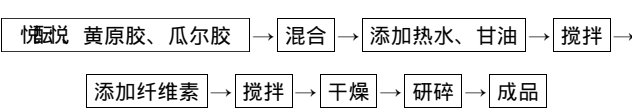


图 1-16 甘薯纤维的混合胶的微胶囊化工艺流程

其操作要点为：把适量水加热到 60℃ 左右，倒入容器，然后将混合胶加入，快速搅拌，在搅拌后期缓慢加入甘油。不停搅拌，最终使之成为混合的黏稠的凝胶状糊。随后将预处理后的甘薯纤维（去淀粉，过 40 目筛）粉末缓慢加入搅拌器中，并逐渐提高搅拌速度，以免物料在搅拌器的桨上聚集而影响搅拌效果。将物料混合至看不出原甘薯纤维末时，烘干，粉碎，得粉末产品。

此处理后的甘薯纤维在面包中添加 5%（如果增加谷朊粉的质量分数为 5%，纤维添加量可提高到 10%）或在蛋糕中添加 5%，产品质量基本无影响。

九、在乳品加工业中的应用

微胶囊化技术在乳品加工业中主要用于新型乳制品的开发和干酪生产所用微胶囊酶制剂的制取等。

（司）果味奶粉的生产摇把果汁等调味剂先包入微胶囊后再与奶粉等成分混合调配，可避免蛋白质与有机酸等物质的接触，从而也就克服了因为蛋白质的变性使奶粉结块等现象的发生，并且延长了果味奶粉的货架期。

（圆）姜汁奶粉的生产摇姜汁直接与奶粉混合，很容易造成姜汁中香辛成分的挥发或酸败，姜汁中的某些成分还极易造成奶粉结块，影响该产品的外观和销售。把姜汁先行微胶囊化处理后，再和其他辅料一起与奶粉混合，不但可以保持姜汁奶粉独特的辛辣口感，而且还能使奶粉在整个保质期内无结块现象发生。

（猿）发泡奶粉的生产摇把奶粉与柠檬酸及发泡剂碳酸氢钠等按常规方法直接混合，极易造成奶粉结块和产品冲调后缺乏泡沫等。若把柠檬酸先行微胶囊化后再与其他配料一起混合，则可免除奶粉的结块，并使产品在冲调后泡沫量充足持久，并使该产品在储存期内质量稳定。

（源）可乐奶粉的生产摇可乐饮料中的香精和可乐膏剂等成分极易挥发，且磷酸又属液体。若将可乐饮料中的香精、膏剂及磷酸等先进行微胶囊化处理，再与奶粉及碳酸氢钠等发泡剂混合生产，则可既保存可乐奶粉的风味，防止奶粉结块，同时又可使奶粉冲调后泡沫丰富、细腻、持久。

（缘）啤酒奶粉的生产摇将大麦芽和啤酒花、酸味剂和啤酒香精等进行微胶囊化处理，然后再将这种微胶囊与奶粉及碳酸氢钠等发泡剂按照设计好的配方，混合均匀后再干燥包装，可生产出具有啤酒风味、冲调性好、泡沫洁白细腻持久的奶粉。

（远）粉末乳酒的生产摇将白酒、酸味剂及食用香精与微胶囊材料等按照一定比例混合均匀后进行微胶囊化处理，即可得到微胶囊化的粉末酒。然后再将这种粉末酒与奶粉、蔗糖等调味剂按配方调配均匀，进行干燥包装，即可得到粉末乳酒。该产品既克服了液体酒不易保存运输的缺点，又具有冲调性好和口感宜人、活血化瘀等特点。

（苑）补血奶粉的生产摇将维生素 悦和亚铁盐等先进行微胶囊化处理，然后

再将所制得的微胶囊按照一定的比例混入到奶粉中制成维生素 悦亚铁补血奶粉。该产品的储存期长达 员年，在食用的过程中，维生素 悦可与亚铁离子形成可溶性的化合物，促进人体对铁的吸收。

(愿) 膨化乳制品的生产摇将白酒、酸味剂、香精及壁材按照一定的比例混合均匀后进行微胶囊化处理，再将这种微胶囊与蔗糖、奶粉和适量的水混合均匀后进行膨化处理，即可制得膨化乳制品；若直接进行压片成型处理，还可制得酒味奶片。

(怨) 促进干酪早熟摇用稳定的多相乳胶液，处理干酪生产中所用的微生物和酶制剂等具有生物活性的物质及其基料，并进行微胶囊化处理，制成微胶囊熟化剂。它可使干酪生产反应加速，从而促进了干酪的早熟，并合成风味化合物，还能使干酪中的硫化氢和甲硫醇等不需要的组分缓慢地释放出来。

(员园) 保护免疫球蛋白摇采用乳化凝聚法对免疫球蛋白进行微胶囊化处理，即可提高其在加工储存过程中的抗热稳定性，并显著提高它的耐酸性及对胃消化酶的抵抗能力。

微胶囊化技术在乳品加工业中除了上述的一些应用外，近年来又被广泛地用在 阅粤(二十二碳六烯酸)和益生菌等的包埋处理中。阅粤经过微胶囊化技术处理后，具有了鲜活、不易氧化、质量稳定等特点，添加到乳制品中后可大大减轻乳品的腥味，从而提高了产品的口感。乳酸菌和双歧杆菌等益生菌经过蛋白质双层微胶囊化包裹处理后，保证了其在胃酸中不被溶解，而在肠液的中性环境下经过 圆-猿皂的瞬时释放出来，保证了益生菌在肠道中的定值。经过微胶囊化处理后的益生菌可以帮助病人解除腹泻和便秘之苦。总之，微胶囊化技术正被广泛地应用于各种功能性乳制品的开发。

十、在双歧杆菌中的应用

双歧杆菌是人体肠道菌群中的有益细菌，但双歧杆菌制品在储存过程中存在着活菌含量下降和服用时受胃酸影响而导致活性损失的问题，通过微胶囊化处理可解决这个问题。

(员) 棕榈油作壁材摇双歧杆菌的微囊化技术中，菌体活性的保持具有较高的难度。采用双层包裹法，先用棕榈油把双歧杆菌包裹起来，然后再用大分子明胶溶液包裹制成双层微胶囊，避免了双歧杆菌与明胶水溶液的直接接触，因而制成的双歧微胶囊活菌数高，保存性好。国外有制作双层微胶囊的专用设备，制出的微胶囊不仅形状好，而且活菌数高。国内暂时还无这种专用设备，但只要投入一定的物力、人力，双歧杆菌等活菌制剂微胶囊产品的产业化很快即可实现。

称取 源缘皂明胶，加入 源皂皂蒸馏水，于电炉上加热溶解后冷却至 源益保温备用。另取棕榈油 员皂皂，加热熔化后冷却至 源益，迅速加入双歧杆菌冷冻粉 猿皂皂，中速搅拌，缓缓倒入 源益的 员皂皂明胶溶液中，搅拌 圆-猿皂，然后迅速将

其倒入 缘益 圆皂皂 蓝色拉油中，快速搅拌 员~圆皂皂，停止搅拌后入冰箱冷冻室中固化 圆皂皂，加丙酮稀释过滤，收集沉淀，用适量丙酮洗涤沉淀 圆次，再用 员皂皂 醛丙酮溶液 员皂皂 于冷冻室中固化 苑皂皂~员皂皂，过滤，用丙酮洗涤 圆次，滤去丙酮后于室温干燥。

(圆) 肠溶性丙烯酸树脂作为壁材摇粉末包衣属于薄膜包衣范畴，利用流化床

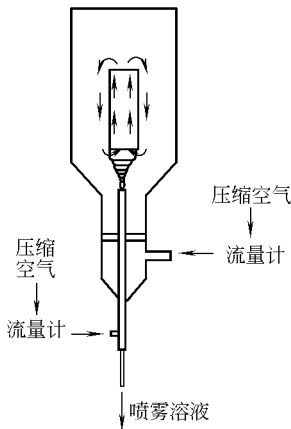


图 猿原 小型柱筒式流化喷雾装置示意图

技术，将粉末直接一步包衣，得到分散型的包衣制剂，称为空气悬浮法。选用底喷型流化床制备(如图 猿原)。底喷型流化床由柱筒、流化床和喷雾管组成。流化床气流速度为 圆皂皂~缘皂皂，进气温度为 猿皂皂~缘皂皂；喷嘴气流速度为 圆皂皂~缘皂皂。柱筒分为呈膜段和沉积段两部分，后者截面积大于前者，利于颗粒的沉降。喷雾管由内外套管组成，内管为喷液管(其顶端称为喷嘴)，气流从内外套管间的环隙冲出。喷嘴及气流环隙的大小、高度都影响喷雾效果。当喷嘴与气流环隙平齐时，囊液出来后立即被气流打散，呈雾效果较好，减少了囊液在喷嘴上的停留时间，不易堵塞。因此，选择喷嘴与气流环隙平齐有利于囊液较好地形成雾状。喷嘴孔径为 员皂皂，环隙宽度为 圆皂皂~缘皂皂左右为宜。

其工作原理为：流化床产生的气流将置于其中的双歧杆菌粉悬浮于包衣室内，并呈沸腾状。压缩空气通过喷嘴的气环隙时造成的真空将囊液压出喷嘴，雾化形成的微液滴使菌粉湿润，待溶剂挥发后聚合物在菌粉表面形成一层薄膜。被包裹的颗粒随气流在包衣室反复循环，同时完成包裹和固化的过程。制得的双歧杆菌微胶囊具有肠溶性，可免胃酸破坏，由于表面有一层薄膜衣，对其隔气、隔水存放有一定保护作用。

十一、在酵母中的应用

酵母微胶囊可以看作构成表层的细胞壁成为微小容器，内部可封入各种有用素材，这是一种新概念的酵母利用方法，应用十分广泛。

一般的微胶囊是直径为 员皂皂至数百微米的微粒子，内部封入固体、液体或气体。酵母的细胞构造特征之一是表层有坚固的细胞壁覆盖，酵母细胞壁由以葡聚糖为主的内层及以甘露聚糖为主的外层构成，以多糖为主的球状壳，可视为一种微小容器，内部封入各种有用物质，这些有用物质称为心材，酵母壳称为壁材。

酵母微胶囊的特征如下所述。

- ① 大小，以啤酒酵母(芽生酵母)为例，酵母微胶囊是直径 缘

~ 肥皂的极微小蛋形。

② 在水中有优良分散性。酵母微胶囊与水几乎相同比重，可保持长时间的悬浊稳定状态，而人工微粒子调整比重较困难。

③ 耐环境性强。酵母细胞壁为天然素材，兼备有很强的强韧度与柔软度，支持细胞壁物理强度的主体成分为β-葡聚糖，是难分解物质，即使经过高压锅中加压、加热处理或冻结、解冻处理，心材也不会泄漏，用显微镜观察细胞壁内部的心材没有变化，十分稳定。

④ 抑制氧化。心材是油脂时，要求微胶囊有抑制氧化的重要功能。将鱼油酵母微胶囊化，即使在高温条件下，酵母细胞壁内的油脂的过氧化价未升高，能抑制油脂氧化。

⑤ 与以往的微胶囊比较，酵母微胶囊的胶囊壁材为酵母细胞壁，柔软而强韧，封入的心材范围广，酵母微胶囊粒子小，离散小，耐热、耐压、耐冻等加工耐久性好，心材在水中的稳定性、心材保持性及微胶囊在水中分散性均好。而以蛋白质、蜡为微胶囊壁材的微胶囊脆弱，对心材的适应性少，微胶囊离散，不耐热，不耐压，加工耐久性差，在水中分散性不良，心材保持性低。

⑥ 消化吸收性。对鼠试验，摄取封入酵母细胞壁的油酸与未封入的油酸（对照）消化吸收率无差别（表 附录 1）。

表 附录 1 消化吸收用食饵组成及消化吸收率

组别	未封入油酸	封入油酸	组别	未封入油酸	封入油酸
酪蛋白	0.00	0.00	油酸	0.00	—
混合维生素	0.00	0.00	微胶囊	—	0.00
混合矿物元素	0.00	0.00	玉米油	0.00	0.00
氯化胆碱	0.00	0.00	砂糖	0.00	0.00
纤维素	0.00	0.00	合计	0.00	0.00
酵母细胞壁	0.00	—	消化吸收率	0.00	0.00

微胶囊酵母制备工艺如图 附录 2 所示。

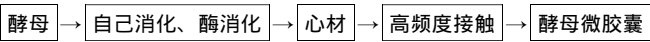


图 附录 2 微胶囊酵母制备工艺流程图

该工艺的原料不限于酵母，有细胞壁的微生物也可。从形状、大小、安全性、操作容易等考虑，最好是啤酒酵母与面包酵母。先作原料酵母细胞内成分可溶化除去，使细胞壁内部空洞化，必要时用酸作相应处理，再使心材在一定条件下和酵母细胞壁高频度接触，促进心材进入细胞壁内，最后用离心分离机等固液分离装置，除去未封入的心物质，必要时用水洗净，回收得到酵母微胶囊。

心材原则上需脂溶性，而脂溶性物质中进入酵母细胞壁内难易度不同。脂肪

酸类中，游离型、烷酯态、甘油酯态进入较易，生育酚、脂肪酸乙酯、卵磷脂、三酸甘油酯进入酵母细胞壁内较难。酵母细胞壁内封入心材效率因心材种类、制造条件而异。脂肪酸作心材在以基本法处理时，平均占酵母微胶囊总体含量的 1/3 左右。酵母细胞壁用酸处理，脂肪酸内包埋率高达 100%，三酸甘油酯用酸处理法封入酵母细胞壁内也可达到相当水平。

参考文献

1. 宋健, 陈磊, 李效军 微胶囊化技术及应用 北京: 化学工业出版社, 2005
2. 王政, 刘忠信, 汪晓青等 超氧化物歧化酶 (SOD) 的微胶囊化 中国食品添加剂, 2005, 15(1): 15-18
3. 周鹏, 郑为宪 食品中常用的微胶囊化技术方法及开发 食品研究与开发, 2005, 26(1): 15-18
4. 葛毅强, 孙爱东, 倪元颖 天然维生素 E 微胶囊化技术的研究 中国油脂, 2005, 30(1): 15-18
5. 陈梅香, 张子德, 马俊莲 抗氧化剂 丁苯的微胶囊化及其应用的研究 食品工业科技, 2005, 26(1): 15-18
6. 林家莲, 周凌霄, 蒋予箭 微胶囊工艺在膨松剂中的应用研究 郑州工程学院学报, 2005, 26(1): 15-18
7. 宋红, 张正香 微胶囊技术制作膨松剂 四川粮油科技, 2005, 15(1): 15-18
8. 郭颖, 许时婴 碳酸氢钠的微胶囊化 无锡轻工大学学报, 2005, 24(1): 15-18
9. 林家莲, 应向东, 李琳 微胶囊技术在烘烤食品中的应用 广州食品工业科技, 2005, 15(1): 15-18
10. 秦立虎, 宗青山 微胶囊技术在乳品加工业中的应用 农产品加工, 2005, 15(1): 15-18
11. 唐宝英, 朱晓慧, 刘佳 双歧杆菌干燥型微胶囊技术的研究 食品与发酵工业, 2005, 31(1): 15-18
12. 黄序, 戚薇, 王建玲等 肠溶性双歧杆菌微胶囊的初步研究 药物生物技术, 2005, 15(1): 15-18

第四章 新型加热技术及应用

加热是食品加工中极为重要的加工技术，几乎所有的食品加工都要涉及加热技术，它对食品加工的影响是很大的。因此在此方面的研究众多，新技术的不断运用为产品的升级起到了极为重要的作用。目前在食品加工中已开始得以应用的新型加热技术主要是流化加热技术、微波加热技术、远红外加热技术、电阻加热技术和过热蒸汽加热技术等。本文着重介绍远红外加热技术、微波加热技术和过热蒸汽加热技术。

第一节 远红外加热技术及应用

远红外加热是利用远红外线照射食品时，将热量通过热辐射传递给食品，同时引起食品内部水分及有机物质分子振动，导致体系温度上升。显然，它对于食品体系的作用分为两方面：一方面是在远红外线照射时的热辐射作用，通过热辐射作用将热量传给食品，起到对体系加热的作用；另一方面远红外线照射还会引起蛋白质、碳水化合物等物质的分子振动，从而使其性质发生变化，如变性等。单一认为远红外线处理仅在于加热是不全面的。

一、远红外加热的原理

物质吸收远红外辐射能的机制和条件

每一种物质都会吸收辐射能而自身温度升高。辐射率 ε 是反映物质吸收辐射能的主要参数，一般情况下， ε 值取决于物体的种类、表面特征和温度。要计算实际物体的辐射能，就必须知道物体的 ε 值， ε 值可由实验测定得到。

各种物质的辐射率与温度有关，凡是辐射吸收能力高的，其辐射能力也强。为保证加热器的效率，远红外加热元件应选用 ε 比较大的材料。

辐射能的传播

辐射能在空间成球状进行扩展，距离辐射源为 r 的球面上的辐射强度与 r^2 的平方成反比。

辐射能的这种随距离的平方而衰减的特性，在辐射加热的实际应用中是很不利的，再加上其他因素的影响，使这种关系更为复杂。在实际应用时，除了尽量缩短辐射加热器与被加热物之间的距离外，还配用适当的反射器汇聚发散的辐射能以提高加热效率。

远红外加热的特点

远红外加热具有以下优点。

- ① 热辐射率高，远红外线加热食品有着较高的热辐射率。
- ② 热损失小，远红外线在空气中传播时的损失很小，即传热损失小。
- ③ 容易进行操作控制，远红外线同其他光线一样，具有直线传播、漫反射和镜反射的性质，因此可以通过光的集散、遮断机构，更合理地控制辐射热，使之在加热器中更为有效地被利用，以提高加热效果，减少热损失。
- ④ 加热速度快，传热效率高，运用远红外线加热，热源与物料不直接接触，因此可以在保证物料不过热的情况下，提高发热体（辐射体，也即热源）的温度。由于远红外加热的速度与热源表面温度和物料温度的源方之差成正比，因此，远红外加热的速度可以比传导和对流传热快许多。这样，可保证食品如烧鸡和烤鸭的表面，很快形成皮膜，既可减少内部香味成分的损失，同时又可节约设备的费用。
- ⑤ 有一定的穿透能力，红外线的穿透能力没有微波强，但也具有一定的穿透能力，即有对物体内部直接加热的能力。表 2-1 是远红外线在一些食物中的穿透深度。尽管这一深度不大，但对于一些薄的材料，可显著提高加热的效率。另外，远红外线被物体吸收的程度与被加热物料（食品）的颜色无关，因此采用远红外加热时，加热不受食品的颜色影响，食品加热比较均匀，不会局部过热。

表 2-1 远红外线在一些食物中的穿透深度 单位：毫米

食品	远红外线发生装置			产品水分 质量分数 /%
	均匀辐射器			
	λ 为 0.5~1.5 μm	λ 为 1.5~10 μm	λ 为 10~100 μm	
糖衣面包	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
小麦面粉	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
土豆	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
胡萝卜	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
甜菜	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
茄子	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
南瓜	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
白面包	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
奶油	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
蛋白	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
蛋黄	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
猪糟肉	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
猪油	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
香肠	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
牛肉	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
水	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器
苹果	镍铬加热器	管状加热器	镍铬加热器	管状加热器

- ⑥ 产品质量好，远红外线的光子能量比紫外线、可见光线都要小，因此一

般只会产生热效果，不会引起食物成分的化学变化。另外，远红外加热的速度快，加热时间可大大缩短，因此食物成分受热分解的可能性也小。实验证明：一些含有叶绿素和维生素等易分解成分的果蔬，采用远红外加热干燥代替传统的干燥方法后，这些易分解成分的损失大大减少。

⑦ 热吸收率高，前面已经提到，大部分的食品材料的电磁波吸收峰多集中在 3~100 μm 的远红外线波长范围内，即大部分的食品材料对远红外线都有很高的吸收率。这就是食品加工中普遍应用远红外加热的原因之一。

二、远红外加热设备

1. 远红外加热设备的分类

远红外加热技术的适用范围很广，在食品工业中的应用有烘烤、干燥、杀菌和解冻等。食品物料的形态和形状各式各样，因此为了满足不同的加热要求，相应的远红外加热设备也有多种形式。总地来看，远红外加热系统大体可以分成两大类。

一类是只有一个出入炉门的密闭的箱式加热炉，称为烘箱或烤箱。在焙烤工业中常用的设备多属于这一类。这类设备系间歇操作。由于它只有在送料和取出产品时才开启关闭各一次，出入口散失的热量少。

另一类是用于生产线上连续加热物料或对物料进行干燥、杀菌等处理的远红外加热设备。这类设备内有输送物料装置，物料由输送装置从一端输入、经处理后从另一端输出；这类设备设计成通道形式，因此称为“烘道”，有时也称为隧道炉。烘道内部设计要根据物料的形状和加热要求来决定。食品中一般都会有大量的水分，因此无论是在烘烤、干燥或其他加热过程中都会有大量水分的蒸发，因此在加热设备中应设计通风装置，以排出蒸发出的大量水分。该类设备在整个加热期间，进口和出口基本是敞开的，加之通风装置的工作，因此有不同程度的热量散失。食品的干燥和杀菌多采用此类设备。

远红外加热设备或系统是由远红外加热元件、外壳和辅助装置如输送装置、控制装置等组成。远红外热加热设备与单纯加热设备的区别主要在加热元件的不同以及其附属设备的不同，其他装置如外壳，输送装置等差别不大。

图 4-1 和图 4-2 分别为典型的箱式加热炉和钢带隧道炉的外形结构图。

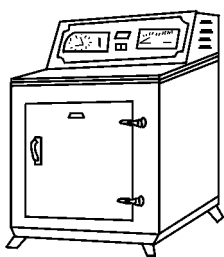


图 4-1 箱式加热炉外形

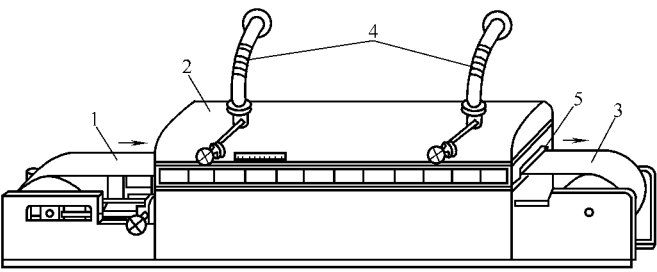


图 4-2 钢带隧道炉外形

1—钢带入炉端；2—炉顶；3—钢带出炉端；4—排气孔；5—炉门

食品工业用远红外加热元件

远红外加热元件是远红外加热设备中把电能或供气燃烧能量转变成远红外辐射能的关键部件，因此对它的合理选用具有重要的意义。

远红外加热元件加上定向辐射等装置称为远红外加热盘或远红外辐射器。其结构主要由发热元件（电热丝或热辐射本体）、热辐射体、紧固件或反射装置等构成。

发热元件一般是电阻发热体，依靠它把电能转变成热能。这类远红外辐射器称为电阻式远红外辐射器。是使用最广的远红外辐射器。此外热源还可以是蒸汽、燃煤的煤气、液化气或余热烟气等。前者使用不多，使用后者的远红外加热设备称为供气炉、煤炉等。这类炉的卫生条件难以保证，因此在食品加工中应用不多。

在选择远红外加热元件时，常用到单色辐射率的概念。所谓单色辐射率就是对应于单个波长上的辐射率。

在选择加热元件时，应使用在被加热物体的最大吸收波长的单色辐射率尽可能高的元件。

远红外辐射加热元件形状灵活多样，目前市售的标准件有灯状远红外辐射加热器、板状远红外辐射加热器和管状远红外辐射加热器，分别见图 1-1-1 图 1-1-2 图 1-1-3 和图 1-1-4

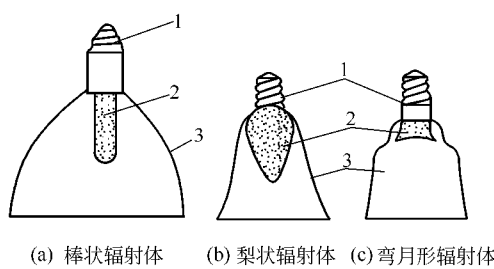


图 1-1-1 灯状远红外辐射加热器
1—灯头；2—辐射体；3—反射罩

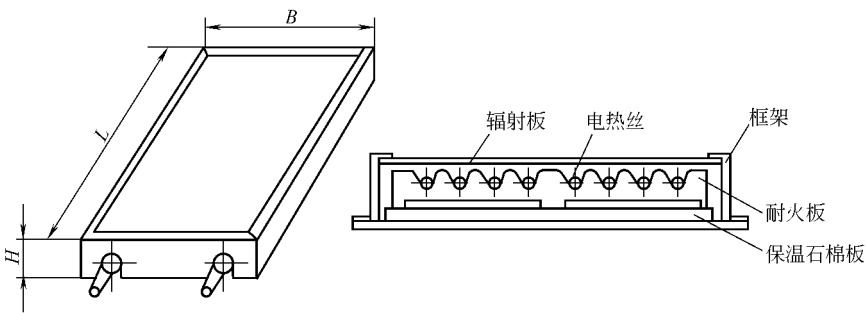


图 1-1-2 平板状远红外辐射加热器

除了结构型式可以有以上 3 种型式外，元件的材料更是多种多样，每一种材料的辐射光谱特性不同，从而制成适合不同光谱特性物料的加热元件。远红外加热的元件虽多，但在食品行业主要采用碳化硅和金属管元件以及 20 世纪 80 年代开发的

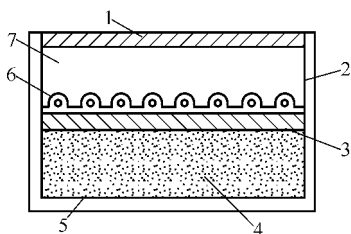


图 4-15 碳化硅板状远红外辐射加热器
1—高辐射材料；2—外壳；3—低辐射材料；
4—绝缘填充料；5—电阻丝；6—碳化硅板

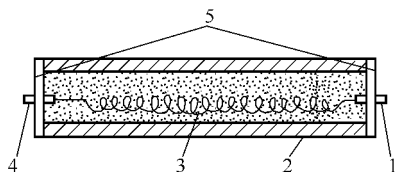


图 4-16 金属管状远红外辐射加热器
1—电极；2—金属管壳；
3—电阻丝；4—绝缘顶板

乳白石英远红外加热元件。

(1) 碳化硅远红外加热元件以碳化硅（ SiC ）为加热基体的元件是最先发展起来的红外加热元件。 SiC 在高温下有很好的热稳定性，工作温度可达 $1600\sim 1800^\circ\text{C}$ ，能承受较大的功率密度，有很高的电阻率，使用寿命长。它可以制成板状、管状及其他形状，以适应不同需要。 SiC 本身是有很高的辐射率，但一般商品生产厂家在烧结时都掺入了一定比例的泥土，辐射率有所下降，因此在它的表面又都涂了一层辐射率高的辐射涂料。

SiC 最大的不足之处是抗机械振动性能差。为了有足够的机械强度，必须使用较厚的 SiC 板，加上绝热层及底板等，总厚度达到 $10\sim 20\text{mm}$ 。其次 SiC 的热惯性大，蓄热损失也大。国家标准要求板状加热元件的升温时间小于 10min 。

为了克服一般 SiC 板状加热元件的缺点，人们对 SiC 板状加热器进行了改进，生产出了称为第二代的 SiC 板状远红外加热元件。这种元件采用优质原材料，把电热丝封闭在基体中，引出端为不锈钢。 SiC 板的厚度减小至 5mm 以下，因此升温时间缩短到 5min 。另外，第二代的 SiC 板状远红外加热元件还具有较高的结构强度，使用寿命较长，辐射率高。

(2) 金属管状远红外加热元件这种远红外加热元件的钢管为基体，管壁外涂覆一层远红外加热辐射涂料，如图 4-16。不同涂料辐射远红外的光谱不同，可以根据需要选择不同的涂料的管状元件。管子可以有不同的直径和长度，较小直径的管子可以弯曲成不同的形状。

管状元件大多选配截面为抛物线形的反射器，反射器把管子朝内一侧发射的远红外线汇聚成平行射线向外传播，从而大大提高管状辐射器的加热效率。图 4-17 是氧化镁管状远红外辐射器的结构图。该元件以氧化镁作填料，机械强度高、轻便、使用寿命长且密封性好，因此在食品行业得到了广泛的应用。

(3) 乳白石英远红外加热元件这种元件是锦州红外技术研究所

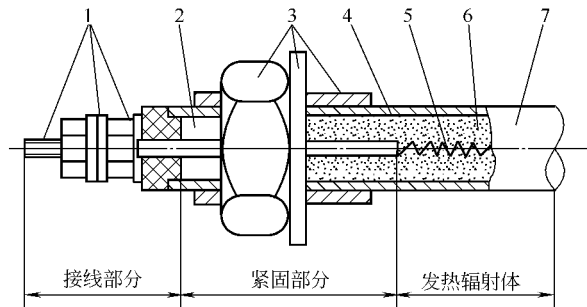


图 源缘 氧化镁管状远红外辐射器结构

员—接线装置；圆—导电杆；猿—紧固装置；源—金属管；缘—电热丝；
远—氧化粉；苑—辐射管表面涂层

年最早研究成功的。与碳化硅元件和金属管状元件相比，它具有升温快、不用涂料、对食品无污染和兼有灭菌作用等优点。因此，很适用于食品加热加工。碳化硅元件是目前惟一不用涂料的远红外加热元件。

乳白石英远红外元件一般制成管状，该种元件在高温下热稳定性和化学稳定性均很好，热容量也很小。可迅速提高其温度，即热惯性小。对于食品加工来说，温度的控制非常重要，因此特别需要热惯性小的加热元件以达到温度瞬时可调的目的。另外，热惯性小也蕴含节能的意义。

该元件可在 1000°C 以下长期使用，能满足 100°C ~ 500°C 的加热场合，因此可以用于焙烤、杀菌和干燥等食品加工作业。

辐射涂料与辐射涂料的选用

目前用于热辐射源的高辐射率远红外辐射涂料有：金属氧化物、碳化物、氯化物和硼化物等。不同的涂料的光谱不同，可根据物料的光谱特性和匹配原则选择它们中的一种或数种材料混合制成与被加热物料的远红外吸收特性有良好匹配的辐射涂料。

一般对于中低温区（ 200°C 以下）辐射加热干燥用的涂料，可根据表层吸收匹配与内部吸收匹配的原则，从已知辐射光谱特性的辐射材料中选择。即在表层吸收匹配时，长波吸收的物质选用长波辐射涂料，短波吸收的物质选用短波辐射涂料。内部吸收匹配时，则根据不同情况选择不同的涂料，如全波吸收的物质或短波吸收的物质可选用长波辐射涂料。

食品行业中使用较多，效果较好的两种涂料是：碳化硅涂料和氧化铁涂料，它们都是高辐射率涂料。

第二组涂料具有较高的辐射率，其辐射率值可达 0.85 ~ 0.95 ，比单一的氧化物高，干燥效果较好。

两种涂料用于食品的烘烤设备中，其效果均很好，可以达到加热快、质量好

和节约能源的目的。

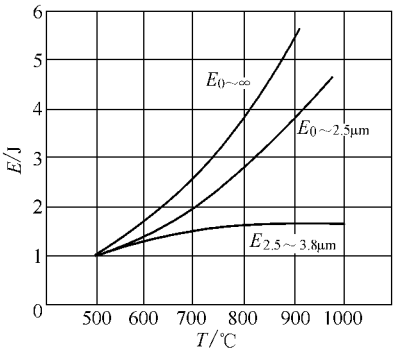
源远红外加热设备的有关重要参数选择时需考虑的问题

对于不同加热物体的性状和不同的加热要求，远红外加热系统可设计成不同的型式，亦可通过选用不同型式的加热系统来满足要求。如前面所述，远红外加热系统的型式一般分两大类：一类是箱式或炉式，通常为间歇操作，常见的有远红外食品烤箱、烤炉；另一类是烘道，即隧道炉，可连续操作，适用于物料的加热、干燥、杀菌、解冻，也可以用于食品的焙烤。

(员) 远红外加热元件及其工作温度的选定摇远红外加热元件的选择主要依据以下几个指标或要求来进行。

- ① 辐射率高。
- ② 电功率对辐射功率的转换效率高。
- ③ 对食品无污染，要符合加工的安全卫生要求。
- ④ 价格低廉和使用寿命长。

元件工作温度的选定主要根据被加热物料的光谱特性，选择适当的温度使得元件辐射的峰值波长与物料的吸收峰波长相一致，以实现良好的匹配。大多食品物料如玉米、小麦、面粉、稻米、食油、淀粉、糖和水等，对猿~ 源皂和缘缘~ 员皂皂的远红外线吸收特别强。水对缘缘~ 猿皂皂的远红外线吸收最强，因此在含水物料的焙烤、杀菌、干燥等应用中，元件的辐射峰值波长应在主吸收峰(缘缘~ 猿皂皂)或在它与次吸收峰之间。图源是各波段辐射强度随表面温度增长而变化的曲线，由图可见，在苑园益以上全辐射强度增长甚快，而且增长部分主要来自缘缘皂以下部分，缘缘~ 猿皂皂的辐射强度却增加不多。苑园益以上，温度越高，辐射强度越大，近红外辐射强度占的比例越大，水和食品中其他成分所能吸收的部分占的比例越小，即能源利用率越低。显然苑园益以上的温度是不可取的。



图源摇各波段能量随温度增长的趋势

(圆) 物料加工工艺的升温曲线和烘箱(或烘道)温度分布的设定摇食品加工温度控制相当严格，不同的加工阶段有不同的加热要求。不同的加热目的和要求决定了物料在加热器中的必要停留时间和升温曲线。如在解冻时，温度升高不能太快，并且要保持在某一较低的温度范围。

物料的升温曲线确定以后，就可决定烘箱(或烘道)温度分布的要求。为了使远红外加热设备内部(炉膛，也称炉腔或炉道)有合理的温度分布，就必

须选择合适的远红外加热元件（灯式、管式或板式），并拟定这些元件在设备内的合理配置。

① 元件与物料的距离。元件与物料间的距离直接影响远红外线对物料的辐射强度。一般，物料表面接受的辐射强度随着它与元件之间距离的增大而衰减。但在制作好的炉腔或炉道中，元件与物料间的热交换可视为封闭空间内两物体表面间的辐射热交换。由于这种热交换具有多次反射性和吸收性，故不适用距离平方反比规律，实际上一般与距离的 $1/3 \sim 1/2$ 次方成反比。

元件与物料的距离愈近，辐射强度愈大，加热效率也愈高，但辐射强度分布的不均匀性也愈显著，因此应从加热效率和温度分布的均匀性两方面来考虑距离。一般，加热元件与物料相对静止时，距离可在 $150 \sim 300 \text{ mm}$ 之间选取，只要加热元件布置合理，工作时不会产生过热和加热不均匀现象。合理缩短距离可大大提高加热效果。

② 加热元件的组合与布置。在烘箱（或烘道）内，一般要求凡有物料放置（或有物料通过）的地方，辐照强度应相等，并且有足够的辐射功率。要做到这一点，须靠多个远红外加热元件的并列，甚至多种形式远红外加热元件的合理配置来实现。灯式元件（图 1-10），因采用球面或旋转抛物面的反射器，因此在辐照范围内各个方向上的辐射强度基本上是相同的，所以配置比较容易。既可以装在同一平面上，又可以不在一个平面上而进行立体配置（取决于物料在炉内的排布）。采用管状元件组合时，一般采用长方向顺序排列，组合后的温度分布见图 1-11。当辐射加热器之间的距离变动时，其温度分布曲线亦有相应变动，如图 1-12 所示。对于组合式的管式元件，元件与元件间的距离一般为 $150 \sim 300 \text{ mm}$ 。板式元件发出的远红外线是从辐射表面层向外延射的。长宽尺寸相差不大的板式元件两个方向辐射强度的分布差别不大，温度分布比较均匀，组合起来很方便。根据不同需要，板间距一般不超过组合方向的元件尺寸，也可以为零。图 1-13 是板式辐射加热器不同组合间距时的温度分布。

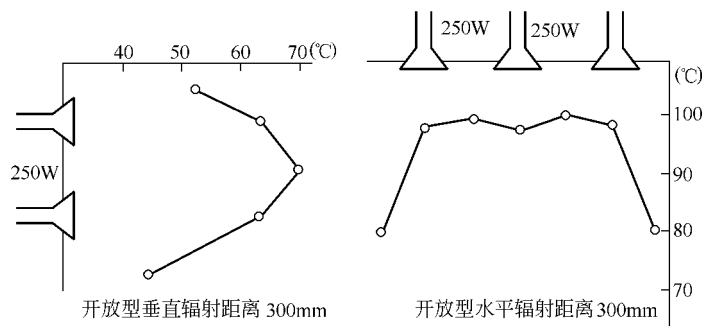


图 1-10 灯式辐射加热器的组合与温度分布

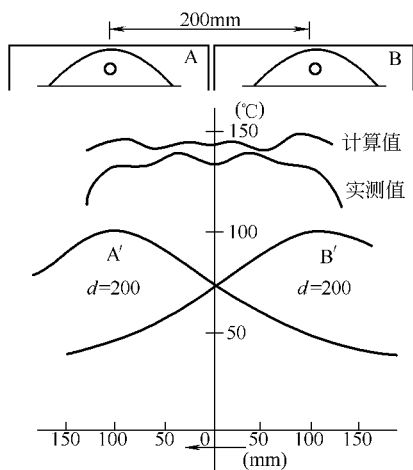


图 4-10 两个管式辐射加热器并列组合时的温度分布（照射距离 $\delta=200\text{mm}$ ）

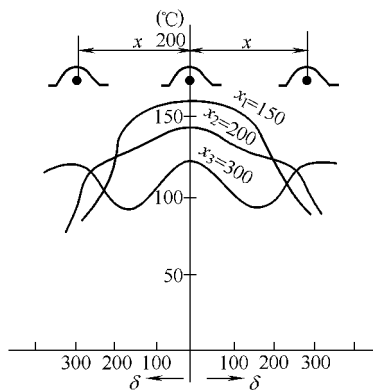


图 4-11 改变辐射加热器间距离时的温度分布（照射距离 $\delta=200\text{mm}$ ）

对箱式炉和连续操作的烘道，通过合理配置加热元件，可使物料表面的辐射强度分布均匀，得到满意的加热效果。但若过程中伴有大量挥发性物质（如水蒸气）从物料中逸出的连续操作的烘道，均匀配置元件则有其明显的弱点：一是元件数目过多；二是挥发物的排除受到障碍。对此，常采用脉冲法。所谓脉冲法是在元件配置上放弃均匀布局，元件与元件之间或一组元件与另一组元件之间留有较大的间距。这样物料在通过时，其全

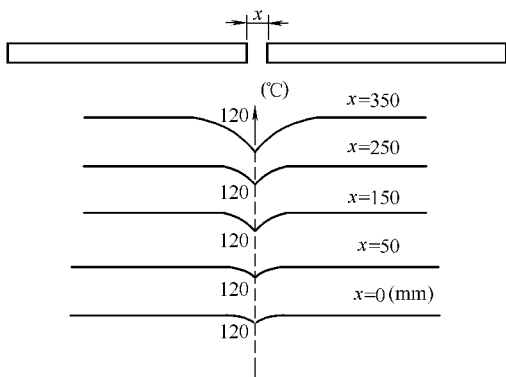


图 4-12 板式辐射加热器不同组合间距时的温度分布

过程温度变化曲线上包含着多个“升温降温”的脉冲小循环，这就是该名称的由来。这样元件的数目不仅大大减少，而且脉冲的降温区，也就成为有效排除挥发物的区域，加热效率较高。

（獐）设备的形状和外形尺寸摇箱式辐射加热器可以做成立方体形，也可制成圆筒形和球形。烘道式辐射加热器的断面也根据需要制成圆形、矩形或六边形等。烘道炉可以做成立式炉，也可以做成卧式炉；整个外形可制成直线形，也可以制成 戟形、杂形或立体多层 杂形，以减少占地面积。为了便于保温和烟气排

放,烘道也常制成拱形。

设备的外形尺寸,主要是根据加工量和加热要求来确定,另外还要留有一定的余量。

(源) 密封与保温 为了节约能源,提高加热效率和缩短加热时间,一般需要对设备进行密封和保温。

常用的保温材料有云母渣、蛭石、矿渣棉、玻璃纤维棉、膨胀珍珠岩等。保温层的厚度由设备的结构和保温材料决定;一般取 20~30 mm。理想的保温应使设备外壁温度小于 40℃。对于烘道,其进、出口的截面要缩小,并适当加大其周围的保温层厚度或加帘式保温装置。

(缘) 通风系统 加热过程(焙烤、干燥、杀菌)常伴有水蒸气的逸出。水蒸气对远红外线有强烈的吸收作用,会大幅度地降低加热效率,因此对产生的水蒸气要及时加以排除,为此应设计排风系统。

三、远红外加热在食品工业中的应用

远红外加热技术在食品工业中应用非常广泛,其应用范围还在不断扩大。食品工业应用远红外线主要是利用其放射特性及加热特性。具体应用领域有食品的干燥、焙烤、防腐杀菌、加快熟成、解冻、干燥烘烤、榨油和酿酒等。

1. 食品远红外干燥

20世纪 70年代我国就开始利用远红外加热技术干燥谷物等农作物和中草药,并取得了良好的干燥效果。

由于远红外加热具有加热迅速、吸收均一、加热效率高、化学分解作用小和食品原料不易变性等优点,特别适合于热敏性物质的干燥。远红外加热已用于蔬菜、水产品等的干燥。远红外加热干燥所得的产品的营养成分保存率比传统的干燥方法有显著的提高,并且时间大大缩短。另外,远红外干燥过程中还兼有杀菌作用,产品的货架寿命可以延长。

直径 1.5 cm 的菠菜在 100℃ 下,经 10~15 min 波长的远红外干燥,其产品的维生素 C 的残存量为每 100 g 样品 10 mg,是一般热风干燥产品的 1.5 倍。应用远红外干燥青葱,产品的透光度(透光度越高,说明叶绿素含量越低,新鲜青葱的透光度为 100%)为 100%,而热风干燥的制品超过 150%,即叶绿素的保存率以远红外干燥的为高。除此之外,远红外干燥的青葱 100℃ 热水湿热 10 min 的复水性要比热风干燥的好。日本的清水贤对马铃薯和胡萝卜进行远红外干燥的试验表明,其干制品的表面具有多孔特性,这无疑对产品的复水很有好处。

在水产品的远红外干燥方面,日本德永俊夫以整竹筴鱼进行干燥试验。干燥前鲜鱼肉的水分质量分数为 80%,每 100 g 肉含 1.5 g 肌苷酸,与 1.5 g 肌苷酸分解有关的酸性磷酸酶活性为 1.5 U/g。若在 100~150℃ 下经 10 min 晒干,水分质量分数为 10%,肌苷酸为 1.5 g,酸性磷酸酶活性为 1.5 U/g。用远红外

线照射在 原益下干燥 圆燥, 则水分质量分数为 源圆豫, 圆孕为 圆豫在早圆孕早, 酸性磷酸酶的活性为 圆圆圆豫, 呈味成分比晒干的约高 员倍, 而酸性磷酸酶活性只有晒干的一半。由此可见, 远红外干燥具有缩短干燥时间、提高营养成分的保有率和降低酶活性的效果。对于制品进行感观评定的结果是, 无论是生肉还是烹调好的熟肉均以远红外干燥的得分为高。

在面条的干燥中, 传统热风干燥的面条其表面较粗糙, 如若采用低温干燥, 则干燥时间长且所需设备较大。采用远红外干燥, 其产品的表面不再粗糙, 而且干燥时间大大缩短。另外, 干燥的面条的含菌率大大降低, 只有热风干燥的含菌量的 员圆圆圆圆~猿圆圆圆圆, 产品的保存期也可以延长。

圆圆食品远红外焙烤

远红外线具有表面加热的性能, 可用于烘烤食品。远红外烘烤食品的优点在于不会产生类似膨化造成内外表面水分分布不均匀、口感较差的现象, 能使食物内外表面水分一致, 口感好, 且具有加热时间短等优点。

远红外加热焙烤在国内外应用得相当普遍, 目前国内有许多厂家生产远红外烤箱和烤炉, 其中隧道炉可实现连续生产。

远红外加热技术也可与微波焙烤结合起来使用充分发挥出两种方式的优点。远红外线焙烤制作甘薯酥脆饼干的典型工艺流程如图 圆圆圆所示。

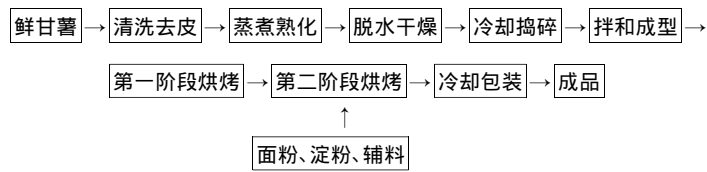


图 圆圆圆 远红外线焙烤制作甘薯酥脆饼干的工艺流程图

配方为: 水分质量分数为 缘圆豫的熟甘薯 员份, 小麦面粉 圆圆份, 马铃薯淀粉 圆圆份, 木薯淀粉 圆圆份, 玉米淀粉 圆圆份, 单硬脂酸的 圆圆份, 单硬脂酸的 圆圆份; 在配料中加入氢化油 圆圆份, 全脂奶粉 圆圆份, 人造奶油 圆圆份, 鸡蛋 圆圆份, 可强化甘薯酥脆饼干的酥松度和外观的质量。

远红外线焙烤参数为: 第一阶段烘烤温度 怨圆益、时间 苑圆秒; 第二阶段烘烤温度 员圆益、时间 缘圆秒。

圆圆食品远红外熟成

远红外熟成是利用远红外线照射食品时, 引起食品内部水分子及有机物质分子振动, 导致蛋白质、碳水化合物等物质发生变化, 因而达到熟成的效果。利用远红外对食品进行熟成处理可以缩短熟成时间。

对于腌渍食品, 远红外处理有促进发酵后熟的作用。在腌渍时, 只要远红外

线照射 1 分钟, 就可获得很好的效果。

对于酒类的快速陈酿, 远红外线照射也能起到很好的效果。一般酒类的陈酿过程需要数年完成, 而采用远红外线照射, 可使陈酿过程缩短至数小时, 甚至数分钟。

刚酿出的芦荟酒, 第二天经约 10 分钟的远红外照射, 其达到的陈酿效果与 1 年的自然陈酿效果几乎相当。

清酒是日本的传统酒。该酒一般在杀菌后, 须经 1 个月的自然后熟后方可出售。但经远红外照射 1 小时后熟过程即告完成。

烧酒采用远红外线照射的陈酿效果与清酒一样好。一般来说, 快速陈酿的酒, 往往会快速劣变, 但对清酒和烧酒则无此倾向, 快速熟成后相当稳定。

食品远红外杀菌

可用远红外线照射食品起到防腐杀菌的作用。例如, 用远红外线照射刚采摘的高水分新鲜柑橘、橘子、苹果等, 能降低其水分含量, 减少储存过程中因水分大而引起的腐烂现象。采用远红外线辐射加热, 还能杀死细菌与微生物, 可用于各种袋装食品的灭菌处理。

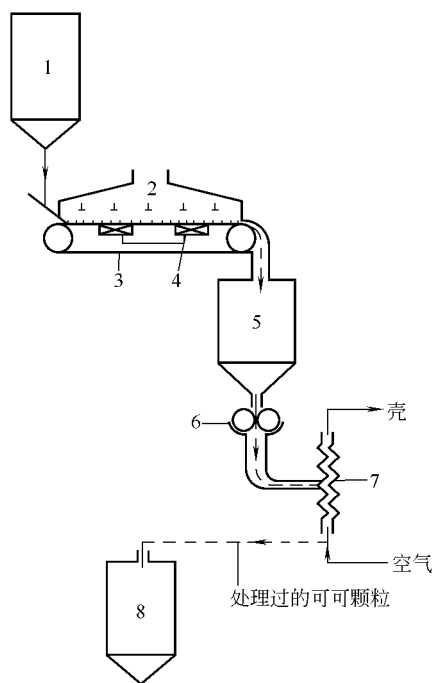


图 16-1 远红外处理谷物和果实表面的干燥流程图
1—储存箱; 2—远红外加热元件; 3—输送带; 4—振动器; 5—暂储箱; 6—粉碎机; 7—空气分选器; 8—储存器

远红外加热杀菌不需经过热媒, 远红外线照射到待杀菌的物品上, 热量直接由表面渗透到内部, 因此远红外线不仅可用于一般的粉状食品和块状食品的杀菌, 而且还可以用于坚果类食品如咖啡豆、花生和谷物的杀菌和灭霉以及袋装食品的直接杀菌。

远红外线的杀菌效果是明显的。日本的山野藤吾曾将细菌、酵母和霉菌悬浮液装入塑料袋中进行远红外线杀菌试验, 远红外照射的功率分别为 100W、200W、300W 和 400W。试验结果表明: 照射 1 分钟能使不耐热细菌全部杀死; 能使耐热细菌的数量降低 1~2 个数量级。照射强度越大, 残活菌数越少。对于酵母菌, 上述照射强度都可使它失活。即对酵母菌, 采用 100W 以上的功

率，就足以达到抑制的要求。对于霉菌，愿率以上的照射功率，先走至的照射时间即可将其活菌完全杀死。

远红外线用于杀菌和灭菌的成功例子很多，下面介绍一些国外已投入应用的远红外杀菌灭酶的工艺流程。

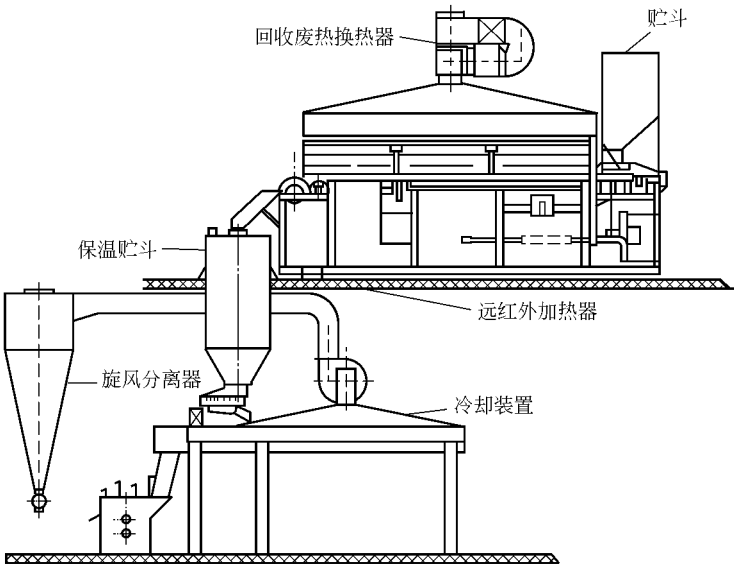
(员) 谷物和果实的表层杀菌处理摇图源源就是远红外处理谷物和果实表面的流程图。

使用该流程处理谷物和果实，不仅可以杀灭其表面的酵母菌和霉菌，在一定程度上降低其表面的微生物污染，而且还有助于脱壳。

类似的流程也用于处理粮谷类物质如玉米，以提高其消化性能。玉米经远红外加热处理后，进行粉碎或压片，这种产品消化利用率更高。

(圆) 谷物和果实的灭酶处理

① 大豆的灭酶处理。图源源是利用远红外线处理大豆使其脂肪氧合酶失活的流程图。大豆首先经远红外线照射，快速升温，然后在保温仓里保温一段时间。采用该流程处理大豆不仅可以很好地达到灭酶的工艺要求（图源源），而且能量消耗低。另外，采用该流程处理，大豆中的赖氨酸损失可以减少到最小程度。



图源源摇远红外线处理大豆工艺流程图

上述流程也适合于新鲜绿豌豆的灭酶处理。采用该流程处理，豌豆维生素悦的保存率高于传统的热水漂烫，风味也要比传统的热水漂烫处理好。

② 饲料用蚕豆的灭酶处理。蚕豆中含有一种称之为种子凝血蛋白的物质，

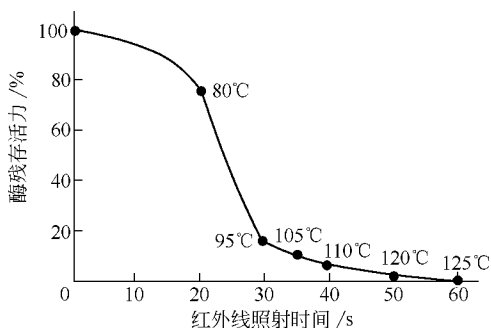


图 1-1-1 脂肪氧合酶残存活力与红外线照射时间的关系

该物质会引起动物血球凝聚，因此蚕豆在作饲料供动物食用前，应该使该物质失活。国外已成功研制开发了利用远红外线照射蚕豆以及其他饲用豆类，以使种子凝血蛋白失活的工艺过程，并已投入使用。

③ 饼用小麦面粉的处理。

饼用小麦面粉可采用一种新工艺来制造，即先用远红外线照射麦粒，然后再进行磨粉。该工艺制得的小麦面粉与传统的用氯气处理的面粉相比毫不逊色。

用远红外线处理过的小麦面粉制成的饼的结构和面团体积都很理想，口感也比氯气处理的面粉制得的产品好。

④ 油菜籽的处理。油菜籽中含有一种称为黑芥子酶的酶，该酶能使油菜籽中含有的硫代葡萄糖苷水解生成对人畜有害的化学物质，如异硫氰酸盐、腈和噁唑烷硅酮。这些物质的大部分将留在菜籽粕中，影响菜籽粕饲用价值。另外，这些含硫物质还会使菜籽油氢化过程中使用的镍催化剂中毒。因此，有必要对油菜籽中的黑芥子酶进行失活处理。

远红外加热灭酶技术已应用于油菜籽的灭酶处理。远红外线处理可使黑芥子酶活力丧失，处理时间只需约 10 分钟。

⑤ 谷物或果实的内外同时处理。有时需要对农作物的内外同时进行处理，即进行外部处理以提高储藏性能，进行内部处理以改善内部结构。远红外线处理技术已应用于罐头制造中新鲜和干燥豆类原料的处理，其工艺过程与远红外线处理新鲜绿豌豆的工艺过程相似。远红外线处理可加快干燥豆类原料的湿润过程，使浸泡时间从 2 小时降至 10 分钟。

食品远红外解冻

远红外线可应用于冷冻食品的快速解冻。图 1-1-2 是利用远红外线进行冷冻食品快速解冻的实验结果。试验结果表明：块状冷冻食品的中

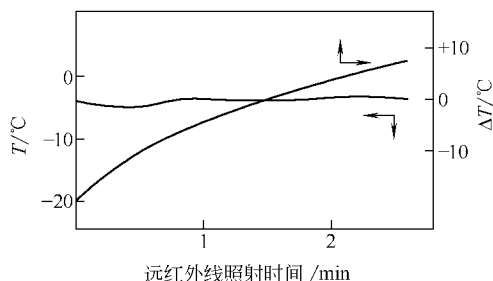


图 1-1-2 冷冻食品中心温度和表面温度与中心温度差与远红外线照射时间的关系
T—冷冻食品中心温度； ΔT —表面与中心温度之差

心温度快速上升,并且表面温度与中心温度能始终保持在大致相同的水平,即远红外照射用于冷冻食品的快速解冻是比较适宜的。

4.1.2 食品远红外脱水干燥处理

食品加工的脱水操作中,常用的干燥方法有:自然干燥法、热风干燥法、真空冷冻干燥法、微波干燥法、远红外干燥法以及在干燥中压缩成型的压缩法等。

远红外干燥法不论在干燥设备方面还是在运转费用方面均较为经济。食品应用远红外线加热进行脱水干燥,具有加热速度快、吸收热量均匀、传热效益高等优点。

日本开发出一种远红外线蔬菜干燥装置。根据蔬菜的不同种类和状态采取不同的措施,在短时间内将蔬菜烘干。这样不仅减少蔬菜营养成分的流失,且外形变化不大,复水性好。该装置能生产出与冷冻干燥食品相媲美的干燥蔬菜,且成本低。

远红外干燥的大葱干燥品以其色、香俱佳,而被广泛用于各类方便面。用于方便面的大葱制品的品质要求是色调鲜绿,香味强烈,复原率大。

4.1.3 远红外线在榨油业中的应用

远红外线在榨油业中应用效果颇佳。不仅加热的时间较常规加热缩短,而且可以防止食用油氧化。

4.1.4 远红外线在酿酒业中的应用

日本轻金属公司成功地开发出远红外线酿酒器,只需十几个小时便能酿出美味的果子酒。这种酿酒器是利用远红外线加热原理,接通电源,可以保持温度,促使果汁发酵,迅速酿出果酒。

4.1.5 远红外辐射剥皮

马铃薯远红外辐射剥皮,就是利用辐射波被马铃薯表皮的水分吸收、加热、蒸发,使入射辐射波刚进入受热体浅表层即引起强烈的共振吸收而转为热量,从而达到剥皮效果。

第二节 微波技术及应用

微波一般是指波长在 1m~1mm 范围(其相应频率为 300~300000GHz)的电磁波,在微波电磁场作用下,介质中的极性分子从原来的热运动状态转为跟随微波电磁场交变而排列取向。例如,采用的微波频率为 2450MHz,介质中的极性分子就会出现每秒 1.2 亿次交变,产生激烈的摩擦而生热。在这一微观过程中,微波能量转化为介质的热能,使介质呈现为宏观上的温度升高。微波技术是一项新的加工技术,随着技术的成熟,微波技术开始在食品加工中得到越来越多的应用。为了不至于对通讯等微波设施产生干扰,国际电气与电子工程师协会

(陈林云) 统一规定用于加热干燥及其他工农业生产和医疗等用途的微波频率为 915MHz 和 2450MHz 。微波加热的优点是：加热均匀，时间短，热效率高，没有环境温升，便于自动控制及连续生产等，同时还具有杀菌消毒功效等。因而微波技术在食品和医药加工等行业有着广阔的应用前景。目前在食品工业中的应用主要是利用其热效应和非热效应，根据其使用的目的分为微波干燥、微波杀菌、微波蒸煮和微波膨化等。

一、微波加热的原理及加热设备

微波加热的基本原理

被加热的介质是由许多一端带正电、另一端带负电的分子（称为偶极子）所组成。在没有电场的作用下，这些偶极子在介质中作杂乱无规则的运动，见图 1-1-1(a)。

当介质处于直流电场作用之下时，偶极子就重新进行排列。带正电的一端朝向负极，带负电的一端朝向正极，这样一来，杂乱无规则排列的偶极子，变成了有一定取向的有规则的偶极子，即外加电场给予介质中偶极子以一定的“位能”。介质中偶极子的极化越剧烈，介电系数越大，介质中储存的能量也就越多 [图 1-1-1(b)]。

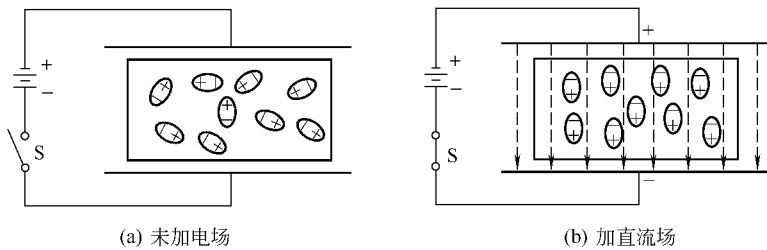


图 1-1-1 介质中偶极子的排列

若改变电场的方向，则偶极子的取向也随之改变。若电场迅速交替改变方向，则偶极子亦随之作迅速的摆动。由于偶极子的热运动和相邻分子间的相互作用，偶极子随外加电场方向改变而作的规则摆动便受到干扰和阻碍，即产生了类似摩擦的作用，使分子获得能量，并以热的形式表现出来，表现为介质温度的升高。

外加电场的变化频率越高，偶极子摆动就越快，产生的热量就越多。外加电场越强，偶极子的振幅就越大，由此产生的热量也就越大。缘此工业用电作为外加电场，其加热作用有限。微波就是通过电磁波向物质提供一个超高频交替变换的电场。常用的微波频率为 915MHz 和 2450MHz ，另有 13.56MHz 或 40.68MHz 的电场变化。偶极子有如此频繁的摆动，其摩擦所产生的热量可想而知，可以呈瞬间集中的热量，从而能迅速提高介质的温度，这也是微波加热的

独到之处。

除了交变电场的频率和电场强度外,介质在微波电场中所产生的热量的大小还与物质的种类及其特性有关。

影响微波加热的有关因素

(1) 频率摇微波加热时,频率越高,加热速度越快,但频率越高,波长 λ 便越短,其穿透深度便越小。

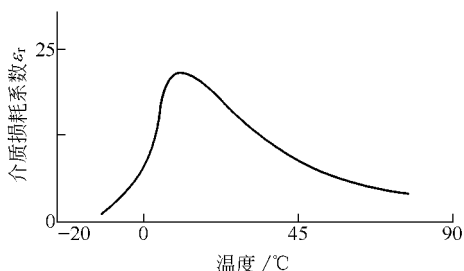
圆赫兹的微波的加热速度比忽赫兹的微波快,但忽赫兹的微波的穿透深度比圆赫兹的微波大,因此对较厚的物料,要达到均匀加热,应选用较小的频率;对较薄的物料,可选用较高频率以提高加热速度。

另外,频率还影响介质损耗系数,室温下纯水在圆赫兹时的介质损耗系数约为忽赫兹的猿倍。圆摩尔浓度的氯化钠溶液,在圆赫兹时的介质损耗系数大于忽赫兹时的圆倍。

(2) 电场强度摇电场强度与微波加热器功率相关联。功率大,电场强度大,加热速度快。

(3) 物料的介电性质摇不同的介质有着不同的介质相对介电系数 ϵ_r 和损耗角正切 $\tan\delta$ 。水的 ϵ_r 和 $\tan\delta$ 值比一般的介质大。因此,在一般情况下,加工物料的含水量愈大,其介质损耗也愈大。某些物料在温度上升时,其介质损耗系数降低,这时,就出现了所谓的自动平衡。微波加热的这种自动平衡作用使得物料的加热更均匀,同时也避免了出现过热的缺陷。但是,有些物料在加热时,温度上升,其介质损耗系数也升高,这时就会出现恶性循环。

在圆赫兹的微波下,冰的介电系数为猿圆,介质损耗系数为圆园,而水的介电系数为愿圆,介质损耗系数为圆园左右。所以在加热冰冻食品时,如果不把融化的水随时排走,则由于水的介电系数和介质损耗系数都比冰大得多,最后有可能能量主要为水所吸收,而冰得不到加热,从而影响解冻速度。图源是水和冰的介质损耗系数与温度的关系。



图源 食品解冻过程中,水和冰的介质损耗系数随温度变化曲线

表源是几种食品在忽赫兹和圆赫兹频率下的介电系数和介质损耗系数,表中的数据表明:介电系数与频率的关系不是很大,但在圆赫兹时的介质损耗系数要比在忽赫兹时的介质损耗系数小许多。

(4) 物料的密度摇物料的密度不仅影响微波对物体的加热,而且还影响物料的介电性质,从而间接影响微波的热效应。物料的密度大,其升温速度慢。

表 源圆瑶物料的介电性质随频率而变化的情况

食品	温度 轶	微波频率 轶	介电系数	介质损耗系数
牛肉	圆缘	忽缘伊元	远圆	圆苑
		圆缘伊元	远员	员苑
猪肉	圆缘	忽缘伊元	缘怨	圆苑
		圆缘伊元	缘愿	员苑
土豆	圆缘	忽缘伊元	远缘	员怨
		圆缘伊元	远源	员源
胡萝卜	圆缘	忽缘伊元	苑猿	圆园
		圆缘伊元	苑圆	员缘

空气是理想的微波透过体，即 源 很小。空气的介电系数也较小，约为 圆苑 因此，物料中含空气越多，物料的介电系数便越小，越难被加热。

密度高的物料如骨头对微波的吸收较差，且对微波有反射作用，因此带骨的家禽和牛排等在微波加热时在骨头的附近会出现一个冷带区域。冷带区域的食物比其他部位后熟。

（缘）物料的比热容摇食品往往是多种原材料组成的多组分混合体系。不同成分具有不同的比热容，从而会有不同的温升速度；不同的组分又呈现不同的介电特性（ $\epsilon_{\text{则}}$ 和 源），故有不同的吸收微波功率的能力，比热容小的物质温度升高的速度快。因此，在多组分食品的微波加热研究中，应该很好地对比热容加以控制，以使各组分的加热速度基本同步。

上述的这些因素有些是相互关联的，例如物料的介电性质（ $\epsilon_{\text{则}}$ 和 源）和比热容，不仅受温度的影响，而且也与食品中的盐浓度有关，盐含量增加，加热速度便加快，穿透深度便减小。因此，实际工作中应审慎考虑选择和掌握各项控制条件。

源圆 微波加热设备

（员）微波加热设备的类型摇微波加热设备主要由电源、微波管、连接波导、微波加热器及冷却系统等几部分组成，如图 源圆 所示。

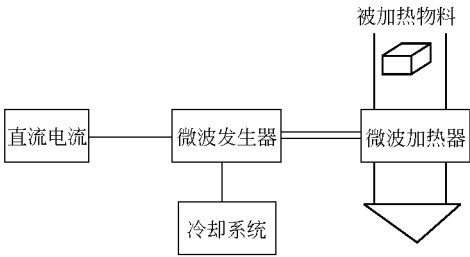


图 源圆 微波加热设备方块示意图

微波管由电源提供直流高压电流并使输入能量转换成微波能量。微波能量通过连接波导传输到微波加热器，对被加热物料进行加热。冷却系统用于对微波管的腔体及阴极部分进行冷却，冷却方式主要有风冷和水冷两种方式。

微波加热器按被加热物和微波场的作用形式，可分为驻波场谐振腔加热器、

行波场波导加热器、辐射型加热器和慢波型加热器等几大类；也可以根据其结构型式，分为箱式、隧道式、平板式、曲波导式和直波导式等几大类，其中箱式、隧道式和波导型最为常用。

① 箱式微波加热器。箱式微波加热器是在微波加热应用中较为普遍的一种加热器，属于驻波场谐振腔加热器。用于食品烹调的微波炉，就是典型的箱式微波加热器。

箱式微波加热器的结构如图 4-1-1 所示。它的结构由谐振腔、输入波导、反射板和搅拌器等组成。谐振腔为矩形空腔。若每边长度都大于 $(\frac{1}{2})\lambda$ 时，从不同的方向都有波的反射。因此，被加热物体（食品介质）在谐振腔内各个方面都受热。微波在箱壁上损失极小，未被物料吸收掉的能量在谐振腔内穿透介质到达壁后，由于反射而又重新回到介质中形成多次反复的加热过程。这样，微波就有可能全部用于物料的加热。由于谐振腔是密闭的，微波能量的泄漏很少，不会危及操作人员的安全。其工作原理图，如图 4-1-2

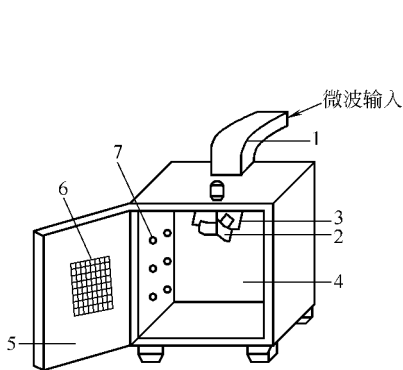


图 4-1-1 箱式微波加热器结构示意图
1—输入波导；2—搅拌器；3—反射板；4—谐振腔；5—门；6—观察窗；7—排湿孔

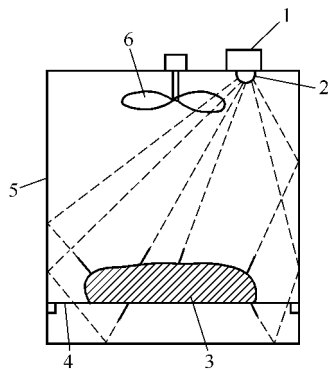


图 4-1-2 谐振腔微波加热器工作原理图
1—磁控管；2—微波辐射器；3—食品；4—塑料制台面；5—腔体；6—电场搅拌器

谐振腔的尺寸是由所需的场型分布决定的。

这种微波加热器对加工块状物体较适宜，宜用于食品的快速加热、快速烹调以及快速消毒等方面。

② 隧道式微波加热器。隧道式微波加热器也称连续式谐振腔加热器。这种加热器可以连续加热物料，结构如图 4-1-3 和图 4-1-4 所示。

被加热的物料通过输送带连续输入，经微波加热后连续输出。由于腔体的两侧有入口和出口，将造成微波能的泄漏。因此，在输送带上安装了金属挡板。也有在腔体两侧开口处的波导里安上了许多金属链条（图 4-1-4），形成局部短路，防止微波能的辐射。由于加热会有水分的蒸发，因此也安装了排湿装置。

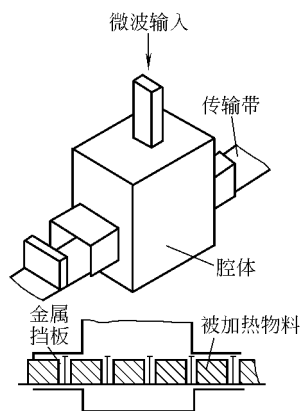


图 1-1-1 连续式谐振腔加热器之一

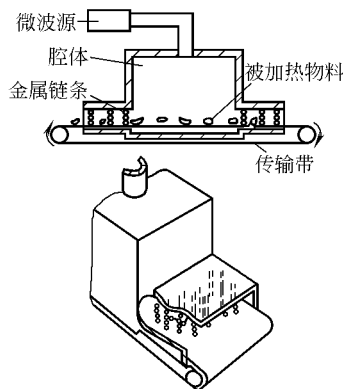


图 1-1-2 连续式谐振腔加热器之二

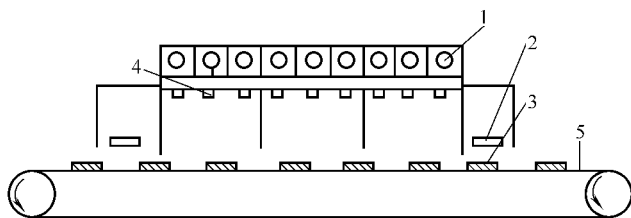


图 1-1-3 多管并联的谐振腔式加热器示意图

员—磁控管振荡源；圆—吸收水负载；猿—被加热物料；源—辐射器；缘—传送带

为了加强连续化的加热操作，人们设计了如图 1-1-3 所示的多管并联的谐振腔式连续加热器。这种加热器的功率容量较大，在工业生产上的应用比较普遍。为了防止微波能的辐射，在炉体出口及入口处加上了吸收功率的水负载。

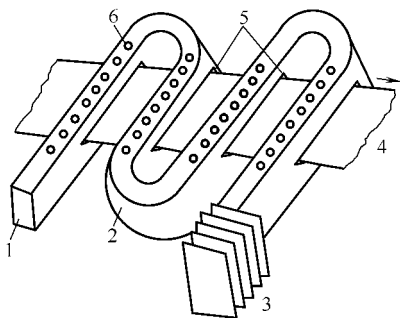


图 1-1-4 开槽波导微波加热器外形图
员—微波输入；圆—弯曲波导；猿—终端负载；源—传输带；缘—宽壁中心无辐射缝；远—排湿孔

这类加热器可应用于木材干燥、奶糕和茶叶加工等方面。

③ 波导型微波加热器。所谓波导型微波加热器即在波导的一端输入微波，在另一端有吸收剩余能量的水负载，这样使微波能在波导内无反射地传输，构成行波场。所以这类加热器又称为行波场波导加热器。这类加热器有以下几种形式。

开槽波导微波加热器（也称蛇形波导加热器和曲折波导加热器）。是一种弯曲成蛇形的波导，在波导宽边中间沿

传输方向开槽缝。由于槽缝处的场强最大，被加热物料从这里通过时吸收微波功率最多。一般在波导的槽缝中设置可穿过的输送带，将物料放在输送带上随带通过。输送带应采用低介质损耗的材料制成。图 4-15 是一种开槽波导微波加热器结构示意图。这种加热器适用于片状食品和颗粒状食品的干燥和加热。

图 4-16 灾形波导微波加热器结构如图 4-16 所示。它由 灾形波导、过渡接头、弯波导和抑制器等组成。灾形波导为加热区，其截面见图 4-17 月视图，输送带及物料在里面通过时达到均匀的加热。灾形波导到矩形波导之间有过渡接头。抑制器的作用为防止能量的泄漏。

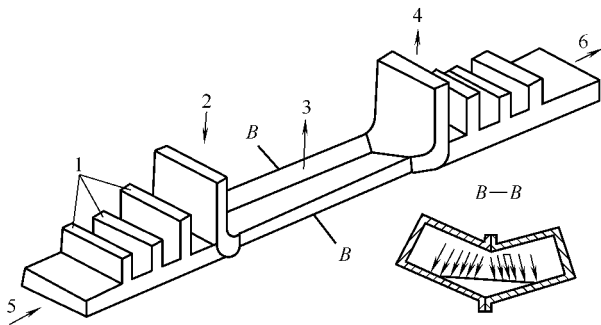


图 4-15 开槽波导微波加热器示意图

1—抑制器；2—微波输入；3—灾形波导；4—接水负载；
5—物料入口；6—物料出口

灾形波导微波加热器可改善电场分布，使物料加热均匀。

图 4-16 直波导微波加热器结构如图 4-16 所示，它由激励器、抑制器、主波导及输送带组成。微波管在激励器内建立起高频电场，电磁波由激励器分两路向主波导传输，物料在主波导内得到加热。当用几只微波管同时输入功率时，激励器与激励器之间应相隔适当的距离，以减少各电子管间的相互影响。在波导的两端分别加上由 圆只 λ 的短路器和 员只可调短路活塞组成的抑制器以控制功率的泄漏。输送带在主波导宽边底部穿过波导，其材料为低介质损耗材料。

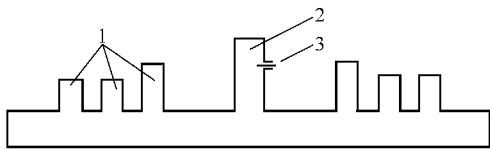


图 4-16 直波导微波加热器示意图

1—抑制器；2—激励器；3—微波输入

为了达到对各种不同物料的加工要求，常设计各种结构形式的行波型微波加热器。常见的行波型加热器还有脊弓波导微波加热器等。

这类微波加热器在合成皮革、纸制品加工中用得较多，在食品加工中也有应用。

④ 辐射型微波加热器。辐射型微波加热器是利用微波发生器产生的微波通过一定的转换装置，再经辐射器（又称照射器、天线）等向外辐射的一种加热器。

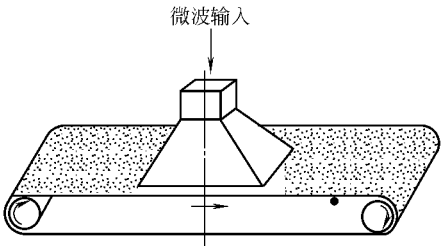


图 微波喇叭式辐射型微波加热器示意图

图 所示为喇叭式辐射型微波加热器，物料的加热和干燥直接采用喇叭式辐射型微波加热器（又称喇叭天线）照射，微波能量便穿透到物料的内部。

这种加热方法简单，容易实现连续加热，设计制造也比较方便。

⑤ 慢波型微波加热器（也称表面波加热器）。该加热器是一种微波沿着导体表面传输的加热器。由于它所传送的微波的速度比空间传送慢，因此称为慢波型微波加热器。这种微波加热器的特点就是能量集中在电路里很狭窄的区域传送，电场相对集中，加热效率较高。

图 所示为单脊梯形加热器的示意图。在矩形波导管中设置一个脊，在脊的正上面的波导壁上周期性地开了许多与波导管轴正交的槽。由于在梯形电路中微波功率集中在槽附近传播。所以在槽的位置可以获得很强的电场。因此当薄片状或线状物料通过槽附近时，可被高效率地加热。

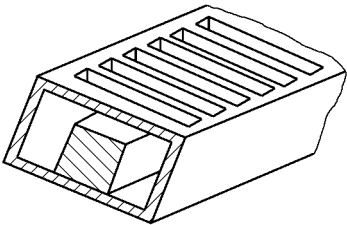


图 单脊梯形加热器

⑥ 微波真空干燥箱。微波加热和真空干燥相结合能加快干燥速度，这是食品工业中常采用的干燥方法。微波真空干燥箱一般为圆筒形，这样箱壁能承受较大的压力而不变形。圆筒形箱体相当于两头短路的圆形波导管，一般采用 的微波源。圆柱体的直径 高度 及耦合口与中心距 的选定，可见表 。

表 圆筒形干燥箱的尺寸选择 单位：mm

内径	高度	则
缘	缘	缘
远	远	缘
苑	苑	圆

（圆）微波加热器的选择

① 选择微波加热器频率时考虑的因素。食品的种类和形状各异，加工的规模和加工的要求也不同，因此在选择微波加热器时应全面考虑有关的因子。选择频率主要考虑以下几个方面。

加工食品的体积和厚度,选用圆管型磁控管可以获得较大的穿透厚度,也就是说适于加工厚度较大和体积较大的食品。

加工食品的含水量及介质损耗,一般加工食品的含水量越大,介质损耗也越大;而微波的频率越高,介质损耗也越大。因此,一般对于含水量高的食品,宜选用圆管型磁控管;对含水量低的食品,宜选用平面型磁控管。但有些食品,如牛肉等,当其中含盐水(浓度为1%~2%)时,采用圆管型磁控管,介质损耗反而比采用平面型磁控管时高1倍。因此,最好根据实验结果来选择微波的频率。

生产量及成本,圆管型磁控管可获得100W或200W的功率,而平面型磁控管的磁控单管只能获得10W左右的功率,而且圆管型磁控管的工作效率比平面型磁控管高10%~20%。因此,加工大批食品时,往往选用圆管型磁控管。也可设计为两段式,即先用圆管型磁控管烘去大量的水,在含水量降至10%左右时再用平面型磁控管。

设备体积,平面型磁控管的磁控管和波导均较圆管型磁控管的小。因此平面型磁控管加热器的尺寸比圆管型磁控管的小。

② 微波加热器型式的选定。微波加热器型式主要是根据加工食品的形状、数量及加工要求来选定。要求连续生产时,选用有输送带的微波加热器;小批量生产或实验室试验以及食堂、家庭烹调用场合,可选用箱式微波加热器。对薄片材料,一般可选用开槽波导或慢波结构的微波加热器。较大或形状复杂的物料,为了获得均匀加热,则往往选用隧道式微波加热器。

二、食品微波干燥(干制)的基本原理及应用

(一) 微波干燥(干制)加工的基本原理

1. 微波干燥的特点

微波干燥是微波技术在食品加工中的一项重要应用,其主要是利用微波的加热作用使体系温度升高,从而引起水分蒸发而实现干燥。微波干燥分为微波常压干燥和微波真空冷冻干燥两大类。

(1) 微波常压干燥 微波常压干燥就是在常压下通过微波加热而实现干燥的方法。

与其他干燥方法相比,微波干燥具有许多优点,主要优点如下所述。

① 干燥速度快、干燥时间短。由于微波能够深入到物料内部,使被加热物本身成为发热体,而不是依靠物料本身的热传导进行加热,因此,只需一般方法的1/10~1/5的时间就能完成整个加热和干燥过程。

② 干燥过程产品品质变化小。由于加热时间短,可以保持食品的色、香、味,营养素的损失也较少。

③ 加热变化快。利用微波加热时,通过调整微波输出功率,物料的加热情况可以瞬间立即改变,热惯性很小,从而实现自动化控制。

④ 加热均匀。微波加热是在物料的各个部位同时进行，避免了传统方法由外向内形成的温度梯度导致的物料表面的硬化或不均匀现象。

⑤ 加热过程具有自动平衡能力。当频率和电场强度一定时，物料在干燥过程中对微波功率的吸收主要决定于物料的介质损耗。不同物质的介质损耗不同，如水的介质损耗比干物质的大，故吸收能量多，水分蒸发快。因此微波不会集中在已干的物质部分，就避免了物质的过热现象，具有自动平衡的能力。

⑥ 热效率高，设备占地少。微波加热设备本身不耗热，对环境温度几乎没有影响。微波加热设备的体积比传统方法所用设备也小得多。

(四) 微波真空冷冻干燥 微波真空冷冻干燥是指物料水分在冻结状态下，从冰晶体直接升华成水蒸气，从而实现干燥。微波真空冷冻干燥是在真空冷冻干燥的基础上应用微波能加热技术进行干燥的方法。在微波真空冷冻干燥中，微波处理除了加热之外，主要的功能在于提供能量加快水分子运动，从而使水分子易于从体系中逸出。真空结合微波可以缩短干燥的时间。

而且利用微波穿透加热为冻结食品提供热能，不会出现制品内外温差大的负效应，内部冰层可以得以迅速升华。微波可以打破干燥层的传热壁垒。

在选择微波冷冻干燥条件时为避免电晕放电现象的发生，一般采用频率为 2450 MHz 的高频可使冻结制品的表面熔融。此外，干燥室内的压强必须控制在 133 Pa 以下。由于微波加热的特殊方式，微波冷冻干燥时物料的厚度对干燥所需的时间没有影响。

微波真空冷冻干燥所需的时间是普通冷冻干燥过程的 1/3~1/2，因此，综合加工成本要低得多。

微波真空冷冻干燥技术在食品加工中可用于制作冷冻干燥食品，如咖啡、海产品、水果、蔬菜、调味品等。

微波真空冷冻干燥工艺及微波真空冷冻系统

① 微波真空冷冻干燥工艺如图 1-10 所示。

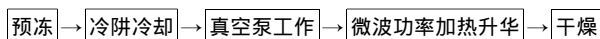


图 1-10 微波真空冷冻干燥工艺图

② 微波真空冷冻干燥系统主要由预冻室、微波发生器、干燥箱、真空系统等部分组成。

预冻室选用 10~20℃ 的冰柜，对物料进行预冻。

微波发生器产生 2450 MHz 的电磁波，输出微波功率为 1~10 kW（连续可调），微波功率由波导管输送至干燥箱内，功率输入口要求有可靠的真空密封。

干燥箱是一个严格密封的真空容器，常设计成矩形腔形式。为了保证产品的质量，要求能对物料进行均匀加热。为了保证这一点，微波发生器上输出功

率分两路从干燥箱的两个侧面输入。干燥箱的门设计要求很高，既要保持真空密封，又要防微波泄漏。

真空系统，干燥箱在工作时处于真空密封状态，真空系统不仅要抽出干燥箱内的空气，还要排出被干燥物质中所含的水分经升华后变成的水蒸气。真空系统一般用罗茨泵为主泵，油泵机械泵为辅泵。

当水升华时，如靠真空泵来抽出大量的水蒸气，真空泵的排气速率要很高，为减轻真空泵的工作负荷，常在主泵前面配置一个冷阱，水蒸气在冷阱重新凝结为冰，从而减轻对真空系统抽气量的负担。冷阱的结构常用蛇管形式。为保证冷阱的冷凝效果，一般采用一元单级制冷机组，蒸发温度在-100℃左右，制冷机组，可达-150℃。

微波真空冷冻干燥技术在国内还刚起步，还需要真空冷冻方面的专家与微波食品加工技术人员的共同努力。

食品常压微波干燥系统

图 4-10 是常压微波干燥设备示意图。从微波发生器产生的微波由两根同轴管的磁控管分配成两条平行的微波隧道，形成微波场干燥区。要干燥的物料由输送带送入微波场，同时加热至 100℃ 左右的热空气从载满物料的输送带（干燥区）的下部往上吹送，将干燥时蒸发出来的水分带走。两端的吸收装置防止微波外泄。

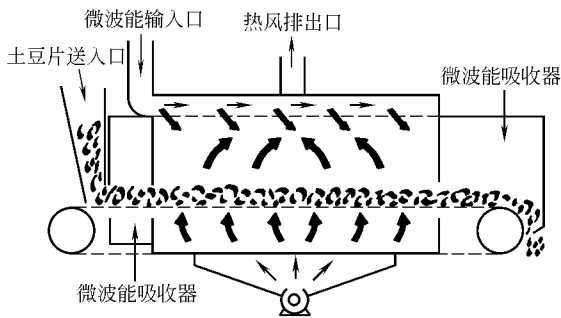


图 4-10 常压微波干燥设备示意图

该装置用于干燥土豆片，物料的停留时间为 10~20 min，产量可以达到 100 kg/h。

(二) 食品微波干燥（干制）加工实例

蘑菇干制

(1) 工艺流程摇蘑菇干制的工艺流程如图 4-11 所示。

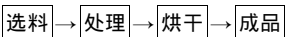


图 4-11 蘑菇干制的工艺流程图

(圆) 操作要点摇蘑菇干制的操作要点如下所述。

① 原料处理：鲜蘑菇采摘后立即用亚硫酸氢钠溶液护色，然后用清水洗净，用切片机纵切成 1mm 厚的薄片，然后摊到竹筛上沥干水分。

② 烘干：将沥干水分后的蘑菇放入微波真空干燥机中干燥。切片产品水分质量分数控制在 10% 以下。

马铃薯粉制备

(圆) 工艺流程摇马铃薯粉制备工艺流程如图 1-1 所示。

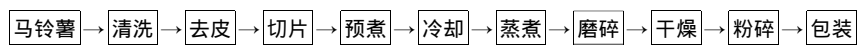


图 1-1 摇马铃薯粉制备工艺流程图

(圆) 操作要点摇马铃薯粉制备操作要点如下所述。

① 原料选择：马铃薯削去发芽、发绿的部分，剔除腐烂、病变薯块。

② 清洗：将马铃薯倒入水池中，搅拌、洗尽泥沙及表面污物。在输送带上拣去烂薯、石子、沙粒等，清理后再送入滚筒式洗涤机中清洗。

③ 去皮：可采用手工去皮、机械去皮、蒸汽去皮和化学去皮等方法。

④ 切片：一般把马铃薯切成 1mm 厚的薄片，切片后要将其浸入水中以避免其长时间接触空气而变色。

⑤ 预煮：马铃薯片一般在 100℃ 的水中加热 10min，预煮须使淀粉糊化彻底，这样冷却期间淀粉才会老化回生，减少马铃薯复水后的黏性。

⑥ 冷却：用冷水清洗蒸煮过的马铃薯片，除去游离的淀粉。避免其在脱水期间发生黏胶或烤焦，使马铃薯泥的黏度降到适宜的程度。

⑦ 蒸煮：将预煮、冷却处理后的马铃薯片在常压下用蒸汽煮 10min，使其充分 α 化。

⑧ 磨碎：马铃薯在蒸煮后立即磨碎。使用的机械一般是螺旋形粉碎机或带圆孔的盘碎机。

⑨ 干燥：将磨碎后的马铃薯泥放入微波真空干燥机中进行干燥。干燥后的产品水分质量分数控制在 10% 以下。

⑩ 粉碎：干燥后可用锤片式粉碎机将其粉碎成鳞片状。

蕨菜干

(圆) 工艺流程摇蕨菜干的制备工艺流程，如图 1-2 所示。

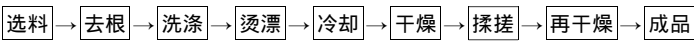


图 1-2 摇蕨菜干的制备工艺流程图

(圆) 操作要点摇蕨菜干制备的操作要点如下所述。

① 原料：蕨菜采收后立即进行加工。

- ② 去根：切去菜根及老硬部分，而后用清水洗去泥沙。
- ③ 烫漂：在 80℃~85℃ 水中烫漂 2~3 min，捞出后用冷水冷却。
- ④ 干燥、揉搓：将烫漂后蕨菜放入微波干燥机中干燥，表皮见干时揉搓数次。
- ⑤ 成品：色泽为金黄色，间或有微红色和微绿色。

蕨干金针菇

(一) 工艺流程摇干金针菇的制备工艺流程，如图 4-10 所示。

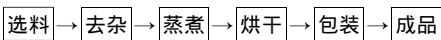


图 4-10 摇干金针菇的制备工艺流程图

(二) 操作要点摇干金针菇制备的操作要点如下所述。

- ① 选取柄长在 10 cm 左右、未开伞、色浅、质地嫩的金针菇。
- ② 去杂后整齐地排在蒸笼内，蒸 15 min 后小心地整丛取出，排放在竹筛内，送入微波干燥机中干燥。
- ③ 干燥后的金针菇用线扎成小把放入塑料袋内，严密封存。

蒜片干制

(一) 工艺流程摇蒜片干制的工艺流程，如图 4-11 所示。

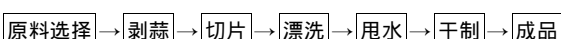


图 4-11 摇蒜片干制的工艺流程图

(二) 操作要点摇蒜片干制的操作要点如下所述。

- ① 原料：选择蒜瓣成熟、完整、清洁、无虫蛀、无霉烂，直径在 1.5~2.5 cm 的干燥蒜头作为加工原料。刚收获的湿蒜，应进行适当晾晒，以降低蒜头水分。
- ② 剥蒜：剥蒜之前应将蒜根部用小刀削平，以提高产品质量，否则烘出的蒜片靠蒜根处颜色发暗。同时，要把蒜瓣上的创伤变色处及斑点挖掉，并剔除糖化变质的蒜瓣。可以直接干剥，也可以用水浸泡后湿剥。湿剥时，用水浸泡时间在 1 h 左右。浸泡时间不能过长，否则会使大蒜营养成分损失，影响产品质量和色泽。浸泡后，用手把蒜瓣外鳞片剥掉，严禁放在洗衣板上搓皮。外部鳞片剥除后，还要把附在蒜瓣上的薄蒜衣剥净，然后用清水冲洗，使蒜瓣清净。
- ③ 切片：采用切片机将洗净的蒜瓣进行切片。切片时要注意给水下料以避免切出的蒜片长时间留在切片机上。切出鲜蒜片厚度要求在 0.5 mm 左右。切片要均匀、完整、无碎屑。蒜片偏薄或偏厚都会影响成品的质量。蒜片厚，烘干后产品颜色发黄；蒜片薄容易破碎，损耗大。
- ④ 漂洗：可在缸内或漂洗池中进行。漂洗池一般为连在一起的用砖和水泥筑成 3~4 个池子，蒜片从第一池放入，经过翻动，淘洗一定时间，用不锈钢筛

或塑料筛将蒜片捞起，放入第二池。如此依次向后移动，连续漂洗，直到蒜片洗净，池水变清为止。

⑤ 甩水：将漂洗净的蒜片置于离心机中进行甩水。如采用直径为 1.0m 的离心机（电动机功率为 0.5kW），转速为 1500r/min，每次放蒜片 10kg，甩水时间 15min 左右。甩水时间不能过长，否则蒜片容易发糠（空、软）、表面常产生小泡，影响成品产量和质量。

⑥ 干燥：蒜片放入微波干燥机内要摊匀，烘烤温度应控制在 50℃~60℃。烘干后的蒜片水分质量分数为 10%~15%。

3. 瑶珍味烤鱼片

（1）调味料配方（质量分数）瑶珍味烤鱼片调味料配方如下所述。

白砂糖：10%~15%

精盐：1%~2%

味精：1%~2%

（2）工艺流程瑶珍味烤鱼片制备的工艺流程，如图 3-10 所示。

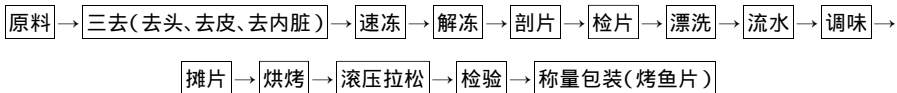


图 3-10 瑶珍味烤鱼片制备的工艺流程图

（3）操作要点瑶珍味烤鱼片制备的操作要点如下所述。

① 原料处理：将马面鱼以人工或机械进行去头、去皮、去内脏处理。然后将其速冻，温度为 -18℃，鱼块中心温度达 -10℃，在 -18℃ 冷藏库中保存。冷藏无皮的鱼肉需有冰衣，否则时间长了容易使鱼肉发生氧化变黄，直接影响产品质量。

② 解冻：可采用水中通气解冻法，先将冻鱼块放在灌满水的解冻槽中，再通入高压空气，使水激烈起泡翻滚。一般容积为 1m³ 的槽一次可解冻 100kg 的冻鱼块，解冻温度控制在 0℃~5℃，这样 1h 即可完全解冻。当天气寒冷时，可适当增热（可用空气泵通暖风或间接通热气、热水），但解冻温度一定要控制在 5℃ 以内。这样既可保证鱼品质量，又能缩短鱼品解冻周期，节约用水。

③ 剖片、检片：解冻后，将鱼体洗净剖片。剖片刀的形状为扁狭长的尖刀。由鱼尾端下刀剖至肩部，或是由肩部下刀割至鱼尾端，剖片时无声音，出肉率较高。将剖片时带有黏膜、大骨块、尾、腹、背鳍碎渣及根部红肉、杂质、瘀血肉等鱼片检出用刀割去，以免降低产品的品质。

④ 漂洗：漂洗是提高制品质量的关键。常用的漂洗法是将鱼片装入筐内，将筐置于漂洗架上用循环水漂洗，或直接倒入漂洗槽中，溶去水溶性蛋白和血

污、杂质等。或是将漂洗槽灌满自来水，倒入鱼片，然后开动高压空气泵，由于高压空气的激烈翻滚使在槽中水上下翻动。这种空气软性搅拌，既不伤鱼片，又可加速水蛋白的溶出和淤血的渗出，也降低了用水量。一般冷冻鱼片漂洗 10 分钟左右。经这样漂洗的鱼片色白，肉质较厚且松软。将漂洗好的鱼片，捞出放在竹篓或塑料篓中沥水。

⑤ 调味：按配方的要求进行调味配料将调味料翻拌均匀后，渗透 15~20 分钟（每隔 10 分钟翻拌一次，温度控制在 15℃ 左右为宜）。或是采用可倾式搅拌机，转速控制在 150 转/分，每次投料 10 分钟，加入调味料 10 分钟后即可搅拌均匀。

⑥ 摊片：调味渗透后鱼片，摊在烘帘上沥干。摆放时片与片间距紧密，片型要整齐抹平，两片搭接部分尽量紧密，使整片厚度一致，以防燥裂或成品水分不均，影响质量。相接的两鱼片大小要相当，鱼片过厚可采用 1/2 片相接，但鱼肉纤维纹要一致，干燥脱水后基本与两片式一样平整。

⑦ 烘干：调味后的鱼片采用微波干制，先高火后低火。

⑧ 滚压拉松：鱼片烤熟后趁热在滚压机中进行滚压拉松，温度在 100℃ 左右，滚压时鱼片的水分质量分数最好为 10%~15%。压辊的间距、压力要根据烘烤鱼片的厚度调整，两辊的转速差应适当，滚压后使制品肌肉纤维组织疏松均匀。检验合格后即为成品。

这类产品，采用不同原料或改变不同的调味料可以得到风味各异的产品，如五香烤鱼、鲢鱼片、鲨鱼脯和鲫鱼干等。

3. 鱼丝

鱼丝的加工与前不同的在于多了一个切丝工序。

(1) 工艺流程摇酥鱼丝制备的工艺流程，如图 4-10 所示。

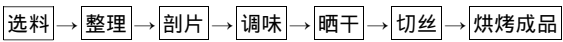


图 4-10 摇酥鱼丝制备的工艺流程图

(2) 操作要点摇酥鱼丝制备的操作要点如下所述。

① 原料整理：将原料鱼去头、去尾、去鳍、去内脏等，然后用清水清洗干净。

② 剖片：用剖刀剔除脊柱骨后切片，放入 15℃ 以下水中漂洗 10 分钟。

③ 调味：将精盐、味精、黄酒、胡椒粉、姜粉、酱油等制成调味料与鱼片拌匀，然后每隔 10 分钟搅拌 1 次，使调味料渗透均匀。

④ 晒干：将调味后的鱼片摊在网片上，在日光下或人工烘干至水分质量分数为 10%。

⑤ 切丝：将晒干后的鱼片切成 1/2 宽、10 厘米长的长条。

⑥ 烘烤：将鱼丝放入微波干燥器中，温度控制在 100℃ 左右烘熟。

⑦ 包装：产品采用真空包装。

五香牛肉干

(员) 工艺流程摇五香牛肉干制备的工艺流程，如图 源园所示。

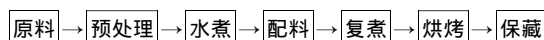


图 源园摇五香牛肉干制备的工艺流程图

(圆) 操作要点摇五香牛肉干制备的操作要点如下所述。

- ① 原料：选择牛肉，以新鲜的前后腿的瘦肉为最好。
- ② 处理：先将原料的脂肪及筋腱除去，然后用清水把纯瘦肉洗净沥干，切成 缘园 缘园 左右的肉块。
- ③ 水煮：将肉块放入锅中，用清水煮 猿园 分钟左右，当水刚烧开后，撇去肉汤上的泡沫。
- ④ 配料：按不同口味和风味进行配料。
- ⑤ 复煮：取出原汤一部分，加入配料，用大火煮开。当汤有香味时改用小火，并将已切成片（或丁）的肉放入锅内，用钢铲不断轻轻翻动，待汤汁快干时，即将肉片取出沥干。
- ⑥ 烘烤：将沥干后的肉片送入微波干燥器内，烘干即可。烘烤时，温度控制在 缘园~ 缘益。
- ⑦ 包装：先用纸袋包装，与纸袋一起再烘烤 员燥（可以防止生霉，延长保存期）。经包装后的肉干放在通风干燥处。

采用不同调味料可得到不同风味的牛肉干。如采用咖喱调料可制得咖喱牛肉干，添加辣椒和五香粉可制得五香辣味牛肉干。

鹌鹑肉干

(员) 原料摇鹌鹑肉干制备的原料有如下几种。

鹌鹑、精盐、白糖、酱油、料酒、味精、姜粉、甘草粉等。

(圆) 工艺流程摇鹌鹑肉干制备的工艺流程图如图 源员所示。

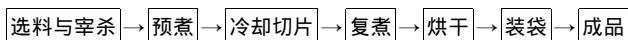


图 源员摇鹌鹑肉干制备的工艺流程图

(猿) 操作要点摇鹌鹑肉干制备的操作要点如下所述。

- ① 选料与宰杀：选用大小一致、健康、成熟的鹌鹑作为原料。首先将鹌鹑从颈部放血宰杀，将血放尽后进行剥皮，取其胸脯和大腿肌肉，放在冷水中浸泡 缘缘 员燥，浸出肌肉中的余血，沥干。
- ② 预煮：将沥干的肉块放入配有 员缘缘 精盐、桂皮、大料的沸水中煮制，水

温保持在 85°C 以上, 并随时清除汤中的油沫, 85°C 左右即可预煮完毕。

③ 冷却切片: 预煮后的肉块放在竹筐中冷却后, 将肉块切成 1cm 厚的片。

④ 复煮: 把切成片的肉片放入配制的汤料中再煮。将第一次预煮的肉汤按下面配料的比例放入辅料, 半成品肉片 100g 精盐 1g 白糖 1g 安息香酸钠 1g 味精 1g 甘草粉 1g 姜粉 1g 胡椒粉 1g 酱油 1g 料酒 1g 将枸杞 1g 远志肉 1g 益志仁 1g 熬煎成汤 10min 左右, 再将此清液放入肉汤中一起熬煮, 煮时应翻动。待汤快熟干时, 再倒入料酒。

⑤ 烘干: 将摊有肉片的烤筛, 放入微波干燥器内, 烘烤温度为 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$, 烘干。

⑥ 装袋: 将制成的肉干放入食品塑料袋中, 封口即成成品。

三、微波焙烤加工的基本原理及应用

(一) 微波焙烤加工的基本原理

微波焙烤是与微波干燥的原理相近, 其主要差别在于加热程度的不同。要注意的是, 对焙烤来说, 微波的内加热机制也带来了一些缺点: 一是食物表面的温度未能充分升高, 从而不能发生美拉德反应或焦糖化反应, 使食物一般不能像传统的烘焙食品那样呈现诱人的金黄色; 二是对食物加热时间的准确度要求高, 加热时间稍微延长, 就会产生过度加热的后果。此外, 微波加热的不均匀性也是应该高度重视的问题。因此微波焙烤要采用一些辅助手段。

(二) 微波焙烤的应用

1. 面包制品的微波焙烤

发酵面制品采用微波焙烤加工时可以降低对焙烤用面粉的品质要求。用微波焙烤可以改善高淀粉酶含量(活力)、低蛋白质含量的面粉的焙烤质量。高淀粉酶含量会使淀粉高度降解而使面包的体积小、弹性差、面包屑干硬等。采用微波加工可使面团迅速升温, 进而加快二氧化碳的产生和水汽的形成, 从而能得到较高的体积比。此外, 温度快速升高, 减少了酶作用的时间, 也避免了淀粉的过度降解。

由于微波焙烤没有焦糖化作用, 也不能使制品产生芳香化合物以及褐变。用微波作为焙烤主要手段时, 面团的配方需做适当的调整, 不能等同于传统的配方。

应用微波还可以开发出许多新的品种。如炸面圈, 原来的加工方法是油炸, 使用微波焙烤结合短时间的油炸表面上色, 然后再用微波烤熟, 这样的制品的油含量比传统的油炸法低。

2. 微波焙烤在其他方面的应用

(1) 烧炙和油炸 微波烧炙和油炸主要用于家禽、肉馅饼、腊肉、面食、方便食品、再加热制品等。一般情况下, 采用 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的微波加工设备。

若是一定规模化生产需要采用图 1-1-1 或图 1-1-2 的微波加工设备配合使用。

(四) 坚果类焙烤 近年来,微波应用技术开始应用于瓜子、花生、核桃、杏仁、板栗等坚果类的焙烤,以及花生、板栗的脱皮。用微波处理加工坚果类,除可以克服传统烘烤加热过度、坚果本身变脆的缺点外,还可以增加其香味,延长其货架期。既改善了工作环境,又提高了制品的质量。与传统制作方式相比,微波焙烤的坚果香脆可口、颗粒膨化饱满、色泽自然、外形美观。

(三) 食品微波焙烤加工实例

1. 微波面拖食品

传统的面拖是将鱼块或虾等在淀粉溶液中先浸一下,然后吹干,再裹上面拖料油炸,冷冻保存。利用微波加工面拖食品是近年来微波加工开发出的新工艺。一般来说,食品用微波加热后,由于内部水分的迁移,会使得制品外表松脆的壳变得潮湿和柔软,这是微波面拖加工中的一个主要问题。

在微波面拖加工中,采用图 1-1-3 的糯性玉米淀粉和图 1-1-4 的部分氢化大豆油配制的淀粉糊代替传统的淀粉溶液,将鱼块在淀粉糊中先浸一下,然后吹干,再裹上面拖料,油炸后冷冻,再用微波炉加热即可。糯性玉米淀粉和氢化大豆油能在鱼块周身形成一层淀粉膜,可以将加热过程中产生的水汽阻挡住,防止它进入外层拖料使面层变软。面拖食品可以直接从冷冻状态下取出放入微波炉中加热其外壳不会变软。

2. 微波焙炒无壳瓜子

(一) 工艺流程 微波焙炒无壳瓜子的工艺流程,如图 1-1-5 所示。

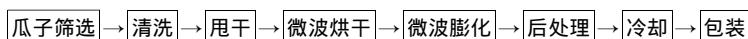


图 1-1-5 微波焙炒无壳瓜子的工艺流程图

(二) 设备主要参数

微波频率:图 1-1-6

微波功率:图 1-1-7 (W)

生产能力:图 1-1-8

(三) 操作要点 精选颗粒饱满的瓜子,清洗干净后沥干水分,放进微波炉内,先中火烘干,后高火膨化,然后再做调味等处理。

3. 微波烤制葵花籽

(一) 工艺流程 微波烤制葵花籽的工艺流程图,如图 1-1-6 所示。



图 1-1-6 微波烤制葵花籽的工艺流程图

(圆) 主要设备

摇缘云扎缘噪的微波加热机。

(猿) 操作要点

① 以粒大饱满、不瘪不空、无异味、干燥的籽粒作为原料。

② 将生葵花籽放在水里漂洗，除去空瘪籽粒和杂质。

③ 沥干后放入调味料中浸泡一段时间，使味浸入籽粒，然后沥干。

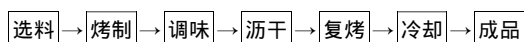
④ 将调味、沥干后的葵花籽放入微波加热机中烤制，待葵花籽外皮微有变色即熟。

⑤ 加工品要用塑料食品袋封装或用密闭容器储存，确保葵花籽香、松的风味。

此工艺也可用于南瓜子的加工，结合适当的调味可以得到不同风味的产品。

缘微波烤制松子

(员) 工艺流程摇微波烤制松子的工艺流程，如图缘所示。



图缘摇微波烤制松子的工艺流程图

(圆) 操作要点

① 选料：选择籽粒大、壳色新鲜、仁肉饱满的松子作原料，烤后仁肉肥香。

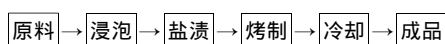
② 烤制：用摇缘云扎缘噪的微波炉进行烤制，待至松子发响，即可出炉。

③ 调味：把烤制后的松子倒入盐水里，浸泡片刻，取出沥干。

④ 复烤：把浸过盐水的松子重新放入微波炉中，待仁肉烤至微微变黄即可出炉，摊开放凉，用密闭容器收藏。

缘微波烤制花生仁

(员) 工艺流程摇微波烤制花生仁的工艺流程，如图缘所示。



图缘摇微波烤制花生仁的工艺流程图

(圆) 操作要点摇微波烤制花生仁的操作要点如下所述。

① 选料：选择仁肉饱满、大小均匀、皮色淡红的花生仁作为原料。

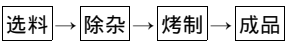
② 浸泡：将花生仁倒入热水（水温控制在摇缘左右）中，翻动圆猿次，捞出放于筐内沥水。

③ 盐渍：在花生仁洒上盐，搅拌均匀，盐渍远苑

④ 烤制：盐渍好的花生仁用摇缘云扎缘噪的微波炉进行烤制，先高火后低火。待去皮的果仁变成微黄，即可出炉，摊凉后即成品。

微波烤制糖栗子

(员) 工艺流程摇微波烤制糖栗子的工艺流程，如图源所示。



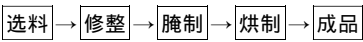
图源摇微波烤制糖栗子的工艺流程图

(圆) 操作要点

- ① 选料：一般选用肉质细密、水分较少、果体中等、大小均匀的栗子作为原料。
- ② 除杂：将原料中有蛀虫或腐烂的栗子拣除，果粒特小或特大的也要拣除集中另烤，防止成品生熟不匀。
- ③ 将饴糖和油茶喷在栗子上，然后翻匀，放入微波炉中加热烤制，在烤制过程中要不断搅拌，使加热均匀。
- ④ 待果肉熟透，变成沙质即可出炉。

微波烤制腊肉

(员) 工艺流程摇微波烤制腊肉的工艺流程，如图源所示。



图源摇微波烤制腊肉的工艺流程图

(圆) 原料与配方

配方一

猪肋条肉摇；白砂糖摇；大曲酒摇；上等酱油摇；精盐摇；硝石摇。

配方二

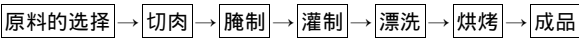
鲜猪肉摇；盐摇；土硝、五香粉、糖、酒等配料摇适量。

(猿) 操作要点摇微波烤制腊肉的操作要点如下所述。

- ① 选料、修整：猪肋条肉去骨后，切成长左右，宽猿~源皂的条状。修理后，用温水洗去表面的浮油，沥干水分。
- ② 腌制：按配方要求称取各种配料，混合后涂擦在肉条表面，腌制愿皂，使配料渗入肉条内。
- ③ 烘制：将腌制好的肉条放入微波炉中，用中火烤制。在烤制过程中同时起到杀菌作用。

微波烤制香肠

(员) 工艺流程摇微波烤制香肠的工艺流程，如图源所示。



图源摇微波烤制香肠的工艺流程图

(圆) 原料与配方

瘦肉摇缘郾郾郾郾；肥肉摇圆缘郾郾郾；砂糖摇远缘郾郾；硝石摇园郾郾郾；精盐摇员郾郾郾；白酒摇圆缘郾郾；酱油摇圆缘郾郾。

(猿) 操作要点

① 原料的选择：原料一般选用瘦肉多、结实、结缔组织少、颜色较好的大腿肉、肋肉和臀部肉，一般以新鲜猪肉为主。肌肉要采用硬度强的膘肉，肉越厚越好。

② 切肉：将皮、骨骼、腱、浮油、伤斑、淤血块等全部剔去，把肉切成大小为员郾郾的肉丁。

③ 腌制：将切好的肉丁与按配方要求调好调料均匀拌和，腌制圆~源

④ 肠衣：肠衣一般选用猪或羊的小肠，将肠衣的一头打成“愿”字结。干肠衣先用温水浸泡，回软后沥干水分备用。

⑤ 灌制：用漏斗或灌肠机将肉灌入肠内。每灌员圆~员缘时，用麻绳结扎。边灌边扎直至灌满全肠，然后用细针在每节上刺若干小孔，烘肠时便于空气和水分排出。

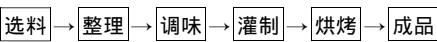
⑥ 漂洗：灌完结扎后的香肠，放到温水中漂洗，除去附着的杂物，然后分别挂起沥干水分。

⑦ 烘烤：用微波频率为圆缘~圆远郾郾的微波炉加热烘烤，待香肠质地结实，肠皱且皮有光泽即可。

怨郾郾微波烤制鸭肉肠

(员) 主要原料摇猪瘦肉、猪肥膘肉、鸭肉、食盐、酱油、白酒、白糖、亚硝酸钠。

(圆) 工艺流程摇微波烤制鸭肉肠的工艺流程，如图源缘所示。



图源缘摇微波烤制鸭肉肠的工艺流程图

(猿) 操作要点

① 选料：选用新鲜猪肉和新鲜鸭肉作为加工的原料。

② 整理：洗去原料肉上血污和杂质，然后分别把原料切成员郾郾肉丁。

③ 拌料：将各种辅料与原料肉丁搅拌均匀。

④ 灌制：用清水将猪肠衣浸泡发软，清洗干净后，灌入拌好的肉料，每圆缘为员节，节两头用细绳扎好，便于悬挂。灌制后用细针在肠体上扎孔排气。

⑤ 烘烤：将灌好的肠体放入微波炉中烤制，然后再转移到阴凉通风晾挂，干燥后即为成品。

微波烤制腊鸡

- (员) 原料摇鲜鸡坯肉、食盐、白糖、白酒、酱油、亚硝酸钠。
- (圆) 工艺流程摇微波烤制腊鸡的工艺流程图，如图 源-缘 所示。

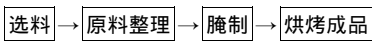


图 源-缘 微波烤制腊鸡的工艺流程图

(猿) 操作要点

- ① 选料：选用生长一年左右，经卫生检疫合格的活鸡作为加工的原料。
- ② 原料整理：鸡宰杀前停食 员-圆 天，宰杀放血完全，用 苑-愿 益热水淋烫，脱毛；切开鸡腹部，取出内脏，再斩去脚爪、翅膀即成鸡坯。
- ③ 腌制：将预先混合均匀的辅料擦抹在鸡坯上，涂擦均匀，将擦好食盐的鸡坯放大缸里腌制 猿-源 天，在此期间翻缸 圆 次。
- ④ 烘烤：腌制好的鸡坯晾干，然后放入微波炉中烘烤，待质地干硬后取出即为成品。

微波烤制烤鸡或烤鸭

- (员) 原料摇仔鸡（光鸭）、生姜、葱、八角、花椒、香菇、食盐、香油、鲜辣粉、味精、生姜、葱、水、饴糖。
- (圆) 工艺流程摇微波烤制烤鸡或烤鸭的工艺流程，如图 源-缘 所示。

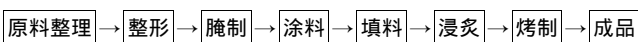


图 源-缘 微波烤制烤鸡或烤鸭的工艺流程图

(猿) 操作要点

- ① 原料整理：将原料鸡（鸭）放血、浸烫、褪毛，从腹下开膛取出全部内脏，冲洗干净，去脚爪。
- ② 整形：从放血处的颈部横切断，向下推脱颈皮，切断颈骨，去掉头颈，将两翅反转成“愿”字形。
- ③ 腌制：将整形后的光鸡（鸭）放入腌缸中，用压盖将鸡（鸭）压入液面以下，一般腌制 源-圆 天，腌好后捞出，晾干。腌制液固形物含量一般为 员-缘%。
- ④ 涂放腹腔涂料：把腌好的光鸡（鸭）放在台上，用带圆头的棒具挑缘-左右左右的涂料插入腹腔，向四壁涂抹均匀。

⑤ 填放腹腔填料：向鸡（鸭）腹腔内填入生姜圆、猿片、葱圆、猿根、松香菇圆块，然后用钢针绞缝腹下开口，不让腹内汁液外流。

⑥ 浸烫涂皮料：将填好料缝口的光鸡（鸭）逐只放入加热到员益的皮料液中，浸烫缘左右，然后取出挂起，晾干待烤。

⑦ 烤制：将晾干后的光鸡（鸭）放入微波炉中烘烤，先高火后低火。温度为圆益左右。当鸡（鸭）体全身上色均匀达到橘红或枣红色时即可出炉，然后擦上一层香油即为成品。

缘压玉米胚油营养饼干

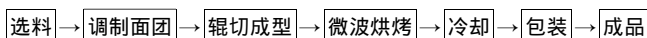
（员）概述摇玉米胚油中含豆蔻酸圆缘~圆苑、软脂酸缘缘~员缘、硬脂酸圆缘~缘缘、花生酸圆缘、油酸员怨~缘怨、亚油酸猿缘~远缘、亚麻酸圆缘、磷脂员缘~圆缘、胆固醇员缘、生育酚圆缘缘，还含有面粉中缺乏的微量元素镍、钴、硒、铜、碘等，是一种营养丰富的营养油。利用微波技术加工玉米胚油营养饼干可以最大限度的保持原有的各种营养。

（圆）原料配方

面粉摇员缘；糖摇源缘；小苏打摇圆缘缘；玉米胚油摇圆缘；奶粉摇员缘；蛋摇源缘；盐摇圆缘缘；香兰素摇猿缘；硫酸亚铁（药用补血剂）摇圆缘

（猿）生产设备摇和面机、辊切成型机、微波烘烤机、包装机等。

（源）工艺流程摇制备玉米胚油营养饼干的工艺流程，如图源缘所示。



图源缘摇制备玉米胚油营养饼干的工艺流程图

（缘）操作要点

① 调制面团：按配方的要求称取各种原料和辅料，将糖、小苏打、玉米胚油、奶粉、蛋、盐、硫酸亚铁、香兰素等充分混合、搅拌均匀。将混合后的辅料、适量的水（约为面粉量的员缘）以及面粉加到和面机中充分拌和。

② 辊切成型：将调制好的面团经过辊切成型机，根据需要采用不同的模具进行成型。

③ 微波烘烤：将成型后的坯料送入微波烘烤机中进行烘烤，温度控制在圆益左右，时间为员~圆缘（根据实验确定）。当饼干表面呈淡黄色、有光泽时即可出炉。

缘微波烤制面包

（员）原料摇面包专用粉、白砂糖、乳粉、盐、油脂、水等。

（圆）生产设备摇和面机、发酵箱、计量设备、微波炉等。

（猿）工艺流程摇微波烤制面包的工艺流程，如图源缘所示。

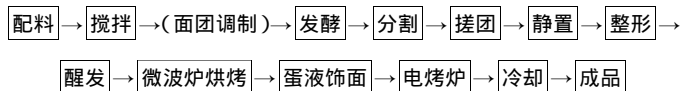


图 1-1 微波烤制面包的工艺流程图

（源）操作要点

① 面团调制。除食盐、油脂外，将所有物料投入调粉缸，先慢速搅拌 猿~ 猿s，加入食盐，中速搅拌 猿~ 猿s，待面筋基本形成时加入油脂，继续搅拌至面团表面光滑、柔软细腻、延伸性良好。面团温度为 圆~ 猿益。

② 发酵。面团的发酵是由酵母的生命活动来完成的。酵母利用面团中的营养物质，在 韵的参与下增殖，产生大量的 悦韵气体和其他物质。之后，在无氧的条件下发酵，使面团膨松富有弹性，并且具有良好的风味。

③ 分割、搓圆。

分割。把发酵成熟的面团放在操作台上，将其分割成一定质量的小面块。

搓圆与静置。将不规则的小面块搓成圆球状，使其心子结实、表面光滑、结构均匀。再经过 猿~ 猿s 的静止，使其轻微发酵，便可进行整形。

④ 整形。整形是一个技巧性很强的工序，也是决定面包成品形状的一次重要操作。不同的整形方法，可制成各种不同形状的面包。

⑤ 醒发。醒发的温度为 (猿~ 猿益)，相对湿度为 愿% ~ 怨%，时间为 圆~ 猿s，醒发程度达到 猿% 即可进行烘烤。

⑥ 微波烘烤。用微波的频率为 愿~ 圆Hz 的微波炉进行烘烤，根据面团大小来决定烘烤时间。

⑦ 电烘炉上色。为使产品表皮光亮、色泽良好，经微波烘烤后的面坯须送入电烤炉内上色，温度为 圆~ 猿益，时间为 源~ 猿s，可使面包有良好的外观。

⑧ 冷却包装。从烤炉中取出，采取自然冷却或通风冷却的方式，至面包中心温度达到室温，即可进行包装。

四、食品的微波膨化加工

（一）食品微波膨化加工的基本原理

利用微波加热速度快的特性，使物料内部气体（空气）温度急剧上升，由于传质速率慢，受热气体处于高度受压状态而产生膨胀趋势，当达到一定的压强时，物料就会发生膨化。这就是微波膨化加工。

影响物料膨化效果的因素很多，就物料本身而言，组织疏松、纤维含量高者不易膨化，而高蛋白、高淀粉、高胶原或高果胶的物料由于加热后这些化学组分“熟化”，有较好的成膜性，可以包裹气体，有利于发泡膨化。以支链淀粉为主要原料，再辅以蛋白质和电解质如食盐的基本食品配方，可以获得理想的膨化效

果。对于高水分的物料，水分在干燥初期因水分的大量蒸发，使制品表面温度下降，膨化效果不好。当水分低于 0.15 时。由于物料的黏稠性增加，致使物料内部空隙中水分和空气较难泄出而处于高度积聚待发状态，能产生好的膨化效果。

微波加热再辅以降低体系压强的办法，可有效地提高膨化效果。一般，首先用通常的方法进行加热干燥处理使物料水分质量分数达到 0.15 ~ 0.20，然后再用微波加热，同时快速降低系统的压强，使物料内包裹的气体急速膨胀，由此而形成制品体积较大。

(二) 食品微波膨化加工的应用

微波膨化可用于各类原料（淀粉质、蛋白质、肉品等）的膨化小吃食品的加工。

(1) 以淀粉为主的小食品摇具体工艺流程为：将豆、谷类和薯类等原料加水调浆，加热使其 α 化，再加入必要的食品添加剂，成型后进行预干燥，再用微波加热发泡膨胀，制成小食品和点心。

(2) 以蛋白质为主的食物摇具体工艺流程为：将鱼类、贝类、禽类等以蛋白质为主的原料加入淀粉、强化剂、食盐、调味品和膨松剂等，进行混合、搅拌、成型、预干燥，最后进行微波加热。被加热的食品在产生的二氧化碳和水蒸气的作用下，形成质地松软、独具风味的方便食品。

(3) 面和荞麦面摇荞麦面、挂面、凉面、粉丝、通心面等在制作过程中添加鱼肉、禽肉等动物性蛋白质，大豆蛋白、小麦谷朊粉等植物性蛋白质，膨化剂、发泡剂及其他佐料糅合成型后，再用微波加热膨化，就可制成成品。

(4) 蔬菜类摇茎叶菜类（竹笋、洋葱、包菜、白菜、菠菜）、根菜类（萝卜、胡萝卜、藕）、瓜菜类（南瓜、茄子）、薯类（甘薯、芋头、马铃薯）、食用菌类（香菇、蘑菇）、藻类（海带、裙带菜）等均可利用微波或与其他膨化工艺并用的方式加热膨化干燥制成方便食品。

(三) 食品微波膨化加工实例

1. 微波爆玉米花

(1) 主要原料摇玉米、椰子油、各种调味料等。

(2) 主要设备摇微波炉。

(3) 工艺流程摇微波爆玉米花的工艺流程，如图 4-1 所示。

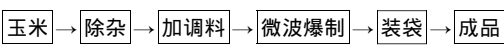


图 4-1 微波爆玉米花的工艺流程图

(4) 操作要点

由于微波使玉米花温度较高，调味料要耐高温，油脂也要经受高温。微波爆

玉米花中水分很低，所以如果时间掌握不好、加热时间长，袋中温度就会更高，油脂、玉米花都可能被烧焦，这是必须要小心的。一般一袋 100g 的玉米花在功率为 1000W 的微波炉中只需 1min 就可以爆开。

油脂通常使用氢化油，所以在制作时先要轻微加热使油脂溶化，增加其流动性。向油中加盐、调味料、糖浆和色素，轻轻搅拌混匀。

在室温下，袋中的内容物将重新凝结在一起。袋子顶部加热封口，在冷冻或室温下保存，一般保质期为 3 个月。

微波烤制甘薯（红薯）脆片

（一）原料配方摇薯泥 100g；芝麻 10g；鸡蛋 1 个；辣椒粉 10g；奶油 10g

（二）工艺流程摇微波烤制甘薯（红薯）的工艺流程，如图 1-1 所示。

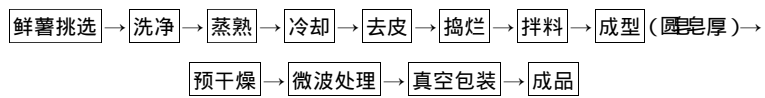


图 1-1 微波烤制甘薯（红薯）的工艺流程图

（三）操作要点

- ① 挑选新鲜的红薯，除去烂疤、虫眼等，然后用清水洗净后上锅蒸熟。
- ② 将蒸熟后的红薯冷却后去皮，捣烂，拌入其他原料，然后成型。
- ③ 将成型后的红薯泥进行微波处理，微波炉功率为 1000W，时间为 1min 左右。最后采用真空包装即为成品。

微波烤制营养马铃薯片

（一）原料及配方（质量分数）摇马铃薯 100g；食盐（一级）10g；明胶（食用级）10g。

（二）工艺流程摇微波烤制营养马铃薯片的工艺流程图，如图 1-2 所示。

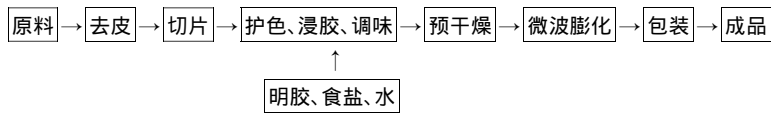


图 1-2 微波烤制营养马铃薯片的工艺流程图

（三）操作要点

- ① 原料选择无霉、无虫、不变质、无芽、无青色皮、储存期小于一年的马铃薯。
- ② 配制糖液：因为考虑原料的褐变、维生素的损失、口味调配，所以溶液要同时具有护色、调味等作用，且应掌握时间。量取一定量水（要求全部浸没原料），加入食盐、明胶，加热至 100℃ 全部溶解。制作同样的两份溶液，一份加热沸腾，一份冷却至室温。

- ③ 去皮：马铃薯去皮切片，深挖芽眼。去皮要厚于 0.5mm，切片厚 1~2mm，薄厚均匀一致。
- ④ 护色及调味：先将马铃薯片放入沸腾溶液中烫漂 1min，马上捞出放入冷溶液中，并在室温中浸泡 1h。
- ⑤ 微波膨化：捞出后马上放入微波炉内膨化。产品呈金黄色、无焦黄，内部产生细腻而均匀的气泡，口感酥脆。
- ⑥ 成品包装：采用真空包装或气体（ N_2 、 CO_2 ）包封，防虫防潮，低温低湿避光储藏。包装材料要求不透明、非金属、不透气。
- 微波膨化涂油马铃薯片
- (1) 原料配方摇以马铃薯（生净片为 100g）（质量分数）
- 大豆蛋白粉摇 1g；碳酸氢钠摇 0.5g；植物油摇 1g；调味品、香料摇适量。
- 偏重亚硫酸钠摇 0.1g；柠檬酸摇 0.1g；食盐摇 1g。
- (2) 工艺流程摇微波膨化涂油马铃薯片的工艺流程，如图 4-1 所示。

副产物回收利用

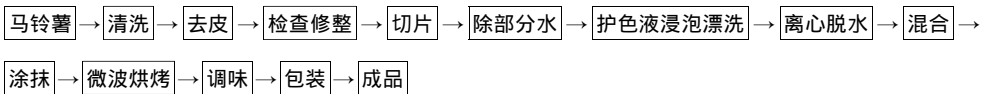


图 4-1 微波膨化涂油马铃薯片的工艺流程图

(3) 操作要点

- ① 选料、清洗、去皮：马铃薯要求皮薄、芽眼浅、表面光滑、大小如鸡蛋，其密度 1.05~1.07g/cm³，含糖量 15%~20%。洗掉马铃薯表面的污物、泥土，人工清洗或机械清洗均可。采用手工去皮，用市售的钢丝球网刷能干净地去除马铃薯皮；若直接用刀削，速度慢、损耗大、成本高。机械去皮，利用滚筒内钢丝刷或硬尼龙刷与马铃薯表面的摩擦，除去表皮。化学药品去皮，用酸、碱溶液将马铃薯皮的果胶层溶解而去掉表皮。如用 0.5% 氢氧化钠或氢氧化钾溶液，温度 80~90℃，浸泡时间 1~2h，见表皮开始裂痕，即可用水冲洗并洗至无明显碱味。此法常与机械去皮配合运用。
- ② 检查修整：马铃薯去皮后，要认真检查，如有腐烂、变质、黑斑或芽眼等，在切片前，要用不锈钢刀修整。过碎、过小的可另作他用；特别大的先切开，再进入切片机。
- ③ 切片：切片是比较关键的一道工序，要厚薄均匀才能保证烘烤的时间一

致、成熟度一致、颜色一致。马铃薯切片的厚度与成品的含油率、酥脆度有很大的关系。实验发现,切得很薄的马铃薯片经烘烤后(先涂油),含油高,呈油浸的透明状,不松脆,吃时顶割口腔。马铃薯片越薄含油率越高,当片厚为 0.5~1.0mm 时,烘烤出的马铃薯片松脆可口,且色泽均匀。

④ 除去部分水:新鲜马铃薯含水 75% 左右,在烘烤前若能先除去部分水就可以节约能源、缩短烘烤时间,提高生产率。方法是把切好的马铃薯片用 1% 的食盐溶液渍一下,时间为 1~2h,可除去 10% 的水分。在挤滤出的盐水中可以回收淀粉。

⑤ 护色液浸泡:马铃薯去皮切片后,细胞组织损坏并暴露于空气中,会很快发生褐变。用 0.5% 的偏重亚硫酸钠和 0.5% 的柠檬酸配成护色液浸泡马铃薯片,时间为 1~2h,可抑制酶褐变和非酶褐变。浸泡时间若长达 24h,可使马铃薯片漂白。

⑥ 漂洗、离心脱水:用清水冲洗浸泡后的马铃薯片,至马铃薯片口尝无咸味即可。冲洗后的马铃薯片附着有很多水,将此马铃薯片用纱布包住放在离心机内离心分离 1~2h,就可得到表面干洁的马铃薯片。

⑦ 混合涂抹:将马铃薯片置于一个便于拌和的容器内,按马铃薯片质量计,加入脱腥大豆蛋白粉 1%、碳酸氢钠 0.5%、植物油 0.5%,然后充分拌和,使其在马铃薯片表面涂抹均匀。静置 1h 就可烘烤。

⑧ 微波烘烤:用特制的烘盘事先单层摆满上述马铃薯片,再将烘盘整齐地放在传送带上进行微波烘烤,速度可任意调控,约受热 1~2h,再进入热风段,除去游离水分,约 1~2h。

⑨ 调味:对烘烤出来的马铃薯片要先选择一下,如有边角未干脆的,可选在一起另作烘烤处理;个别焦糊的应剔除。选好的酥脆马铃薯片调味时,可直接将调味品和香料细粉撒在马铃薯片上混匀;也可将食用香精喷涂在热的马铃薯片上。风味料有,椒盐味,花椒粉适量、食盐 1% 拌匀;奶油味,喷涂适量奶油香精;麻辣味,适量花椒和辣椒粉与 1% 的食盐拌匀;海鲜味,喷涂适量海鲜香料;孜然味,加适量孜然粉与食盐拌匀;咖喱味,加适量咖啡粉与食盐拌匀;原味,不加任何调味品与香料。

⑩ 包装:用铝塑复合袋,每袋装入成品马铃薯片 1kg,然后置充气包装机中,充氮后密封。每袋约充氮气 0.5~1.0L。

注意:烘烤、调味后的马铃薯片要及时包装,包装间应保持清洁、干燥,以防马铃薯片受潮或污染。

膨化南瓜片

(1) 原料摇南瓜、大豆蛋白粉、碳酸氢钠、植物油、柠檬酸、食盐、抗坏

血酸、调味料。

(圆) 主要设备摇微波炉(圆豫云)、充气包装机。

(猿) 工艺流程摇微波膨化南瓜片的工艺流程如图源豫云所示。



图源豫云摇微波膨化南瓜片的工艺流程图

(源) 操作要点

① 切片：南瓜片厚薄均匀才能使烘烤的时间一致，成熟度一致，颜色一致。南瓜片的厚度与含油率、酥脆度有很大的关系。切得过薄的南瓜片经涂油烘烤后，含油率高、呈油浸状，不酥脆。当片厚约圆皂时，成品含油率稳定。因此选择片厚圆皂的半成品来制作成品，产品酥脆可口，色泽一致。

② 除水：新鲜南瓜含水愿豫左右，在烘烤前先除去部分水，可以节约能源，缩短烘烤时间。首先将切好的南瓜片用员豫的食盐腌渍员皂，可去除员豫的水分，然后用清水漂洗至表面无盐。

③ 离心脱水：护色液浸泡后的南瓜片附着较多的水，将此南瓜片用滤布包好，置离心机中离心圆皂，即可。

④ 混合涂抹：将南瓜片放入带盖的容器内，加入脱腥大豆蛋白粉员豫、碳酸氢钠圆豫豫、植物油(花生油)圆豫，盖上盖子，剧烈振摇，使南瓜片涂抹均匀。静置片刻，即可烘烤。

⑤ 烘烤：将南瓜片均匀铺于烤盘上，调整功率为苑豫，圆皂后翻一下，再次烘烤圆皂，然后调整功率至苑豫，持续烘烤员皂，产品金黄色，无焦黄，口感酥脆。

⑥ 调味、包装：剔除不合格品后，将调味料撒在南瓜片上拌匀，然后进行包装。

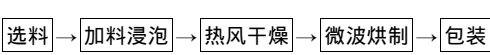
源豫云摇微波膨化花生仁

(员) 概述摇以花生仁为原料，经过微波膨化，生产出膨大、酥松的花生仁，突出了花生仁香、脆、酥、鲜的风味，并使其易于消化。

(圆) 原料摇花生仁(新鲜，无霉变、发芽，大小均匀)；食盐、葡萄糖、乙基麦芽酚、月弯(猿取丁基酞羟基甲氧苯)、乙醇(均为食品级)。

(猿) 主要设备摇浸泡锅、热风干燥机、微波干燥机、真空充氮包装机。

(源) 工艺流程摇微波膨化花生仁的工艺流程图，如图源豫云所示。



图源豫云摇微波膨化花生仁的工艺流程图

(缘) 操作要点

- ① 选料：去掉霉变、发芽及不完整颗粒和沙石、杂质，然后水洗备用。
- ② 加料浸泡：按原料每 100 kg 加食盐 5 kg、葡萄糖 5 kg、乙基麦芽酚 0.5 g、月桂醛 0.5 g (先用 50 mL 乙醇溶解)、热水 5 kg，浸泡 2 h。
- ③ 热风干燥：将浸泡后花生仁沥干，用热风干燥机干燥。温度为 60~70℃，时间为 2~3 h，控制烘干后水分质量分数为 8%~10%。
- ④ 微波烘制：200 W，控制水分质量分数为 8%~10%。
- ⑤ 包装：用包装袋分装，再抽真空、充氮、封口，然后检验合格即为成品。

(远) 质量标准

- ① 感官指标：淡黄色，外衣完整，颗粒饱满圆润，子叶膨化隆起，组织疏松，无肉眼可见杂质。
- ② 理化指标：水分 ≤ 8%，氯化钠含量 ≤ 0.5%，砷 (以 As 计) ≤ 0.5 mg/kg，铅 (以 Pb 计) ≤ 0.5 mg/kg，铜 (以 Cu 计) ≤ 0.5 mg/kg。
- ③ 微生物指标：细菌总数 ≤ 10⁵ 个/g，大肠杆菌 ≤ 10³ 个/g，致病菌不得检出。
- ④ 保质期：6 个月 (冷藏以下)。

远微波膨化南瓜籽仁

(员) 原料和辅料摇无壳南瓜籽，果蔬脱皮剂，羧甲基 食盐、柠檬酸、乙基麦芽酚、茶多酚 (均为食品级、市售)。

(圆) 主要设备摇夹层锅、搅拌机、清洗机、离心机、微波干燥机、真空充氮包装机。

(猿) 工艺流程摇微波膨化南瓜籽仁的工艺流程，如图 远所示。

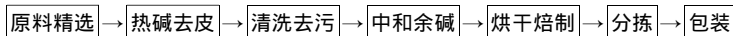


图 远微波膨化南瓜籽仁的工艺流程图

(源) 操作要点

- ① 原料精选：当年新产无壳南瓜籽，无虫蛀、霉变，千粒瓜籽重在 150 g 以上，经揉搓、风力吹选及过筛，去掉不饱满瓜籽、黏附残余瓜瓢、杂质、尘土，水洗后备用。
- ② 热碱去皮：夹层锅中按水质量的 0.5% 与 0.5% 分别加烧碱 (羧甲基) 与果蔬脱皮剂，加热至 80℃ 左右，将瓜籽放入浸煮，视皮变色时取出，沥干，水洗一遍。
- ③ 清洗去渣：经浸煮的瓜籽置搅拌机中搅动，使瓜籽皮破碎成渣，再用清

洗设备水洗去渣。脱皮净度 $\geq 95\%$ ，破损率低于 5% 。

④ 中和余碱：去皮后的瓜籽置中和液中浸泡 $2\sim 3\text{h}$ ，中和液含食盐 0.5% 、柠檬酸 0.05% 。中和后离心甩水，备用。

⑤ 烘干焙制：按每 100kg 原料加食盐 1kg 、乙基麦芽酚 0.05g ，抗氧化的食品添加剂适量，用微波干燥炉烘干焙制。

⑥ 分拣：用自制的分拣筛（筛孔扁平）分筛出未膨化、仍然扁平的瓜籽（可作次品出售）及碎片，人工分拣出过大、颜色过深的瓜籽，使产品的色、形趋于一致。

⑦ 包装：用 25kg 尼龙复合材料或尼龙 25kg 复合材料制成的包装袋分装，每袋净重 0.5kg ，再抽真空、充氮、封口、打印批号与生产日期，入库。

（缘）质量指标

① 感官指标：淡黄色，颗粒完整，子叶完整、膨化隆起，大小基本一致；扁平（未膨化）颗粒 $\leq 5\%$ ；无肉眼可见杂质。

② 物理化学指标：水分质量分数 $\leq 5\%$ ，氯化钠质量分数 $\leq 0.5\%$ ，砷（以 As 计） $\leq 0.1\text{mg/kg}$ ，铅（以 Pb 计） $\leq 0.1\text{mg/kg}$ 。

③ 微生物指标：细菌总数 $\leq 10^4$ 个 g^{-1} ，大肠菌群 ≤ 10 个 g^{-1} ，致病菌不得检出。

④ 保质期：远个月（ 12 个月以下）。

（源）微波膨化糯米片

（员）原料摇糯米粉；岩盐，粒度在 $100\sim 200$ 目，经酸碱处理后干燥备用。

（圆）主要设备

微波炉（频率 2450MHz ，功率可调）、干燥箱（功率 1000W ）、轧面机。

（猿）工艺流程摇微波膨化糯米片的工艺流程，如图 4-1 所示。

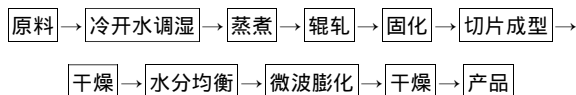


图 4-1 微波膨化糯米片的工艺流程图

（源）操作要点

① 调湿：加水使水分质量分数 $\geq 30\%$ ，保证蒸煮时充分糊化。

② 蒸煮：蒸气蒸煮 $10\sim 15\text{min}$ 使糊化充分。

③ 辊轧：将蒸煮好的物料冷却至 40°C 以下，然后用轧面机充分辊轧。

④ 固化： $4\sim 6^\circ\text{C}$ 冷藏 1h ，使其固化。

⑤ 预干燥：将成型的米坯于烘箱中干燥，至水分质量分数为 $10\%\sim 15\%$ 。

⑥ 均衡水分：将调好水分的米坯于密闭容器中放置 1h 左右使水分均匀。

分布。

⑦ 微波膨化：将水分均衡的米坯置于白瓷盘中均匀排列，放入微波炉中膨化。

微波膨化鱼片

鱼肉中含有丰富的蛋白质，将马哈鱼全鱼肉切片晒干后，采用微波处理，得到微波膨化鱼片，该鱼片蛋白质含量高，口感类似于淀粉膨化食品。

(员) 工艺流程摇微波膨化鱼片的工艺流程，如图 源-源所示。

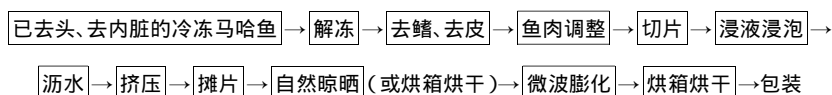


图 源-源 微波膨化鱼片的工艺流程图

(圆) 操作要点

① 原料的选择和处理：选用已去头、去内脏的冷冻马哈鱼，每条重 圆缘~猿缘g，用 苑园~愿益的热水喷洒鱼体表面使外层冰融化，以易于扒皮，同时也洗去鱼体表面的污物。待鱼体解冻到一定程度，用小尖刀把鱼皮整片剥下。

② 鱼肉的调整：鱼肉的调整关系到切片的厚薄、成型度。因在第二步解冻过程中，容易使先靠皮部的鱼肉解冻，这样不容易切片，或切出的片大、易断。应把鱼肉重新冷冻后，再自然解冻。如果冻得太实，切不动，或者切片的厚薄不均，应把鱼肉调整到恰当的程度，使切片容易，而且切片匀称。

③ 切片。

切片时刀的走向：切片时刀不宜与鱼骨垂直而应与鱼骨成 源缘°~远缘°角，而且刀向应顺着鱼头方向，这样切得的鱼片大，而且在浸泡、挤压、摊片过程中不易从鱼纤维处断开。如果垂直于鱼骨切，得到的片小，且易从中间纤维处断裂。如果刀向向着鱼尾，虽然得到的片大，但也易从纤维处裂开。

鱼片厚度：这是关系到膨化效果的一个重要因素。实验证明，鱼片厚度以 员缘~圆皂为最适宜。厚度小于 员缘皂时，鱼片在浸泡、挤压等处理过程中易断裂，成型性不好；厚度大于 圆皂时，虽然成型性好但影响膨化效果，表面气泡不匀，且内部膨化不明显。

④ 浸液浸泡

浸液的组成：通过调整浸液的组成，可以改变鱼片的风味，但一般浸液中都有 晕的浓度一般为 圆。其他调味辅料的用量和浓度根据口味而定。浸液的体积一般为鱼重的 猿~源倍。

浸泡时间：由于鱼片较薄，浸泡时间不宜过长，一般应少于 源皂，以

时间以 1~2 h 为宜。时间太长,鱼片迅速吸水,使鱼组织松散,易断裂、破碎;时间少于 1 h,浸味不充分,达不到要求。

④ 搅拌:为使鱼片浸泡均匀,应单向搅拌鱼片,切勿混搅,以免打烂鱼片。

⑤ 沥水、挤压:把鱼片从浸液中捞出,用双手稍挤压去水,这样节省晾晒时间,同时使组织避免过度松散,增加组织间的接合力。

⑥ 摊片:把鱼片单层摆放在纱网上晾晒,这样易于通风,且鱼片晒干后易拿下,不易黏结。

⑦ 自然晾晒:把鱼片放在通风处进行自然晾晒。晾晒时间依温度、风力而定。鱼片的干燥度(水分质量分数)是影响鱼片膨化效果的又一重要因素。实验证明。鱼片水分质量分数在 60%~70% 时均可以膨化,但以水分质量分数 65%~70% 时膨化为最好。这时的鱼片状态是,鱼片仍柔软,但已无明显质感,鱼片不黏手,透明。也可以用烘箱干燥;经自然通风烘 1~2 h,鱼片水分质量分数一般在 60%~65%。同样的水分,自然晾晒的膨化效果要比烘箱干燥好。

⑧ 微波膨化:一般膨化时间为 1~2 min。鱼片水分质量分数低于 70% 时,鱼片是在微波炉内先干燥再膨化的,由于其水分质量分数太高,形成较多的水蒸气,同时盘中有一层水出现,故膨化时间需加长,一般为 3~5 min,膨化效果不佳;水分质量分数低于 60% 时,鱼片基本不膨化,膨化前后外形没有明显的变化,只有颜色由浅棕红色变成淡黄色;水分质量分数在 65%~70% 时,膨化 1~2 min,鱼片组织间气泡大面多,组织相对疏松,透光性好,口感酥脆。

⑨ 烘箱烘干:由于鱼片从微波炉中取出时具有一定的湿度,需在烘箱中烘干。

⑩ 包装:烘干的鱼片在干燥器中冷却,用塑料袋包装、封口。

(狗) 几种风味膨化鱼片的浸液配方

所制取的膨化鱼片的风味主要取决于所采用的浸液的组成,由于采用了不同的浸液,因而膨化鱼片有原味、辣味、甜味之分。

① 原味鱼片浸液配方

将 10 g 食盐、10 g 味精、10 g 异抗坏血酸钠,加自来水至所需体积,待各物质全部溶解后,再放入鱼片浸泡 1~2 h。以后的操作遵循上述工艺程序进行。所得膨化鱼片保持海鱼原有风味。

② 辣味鱼片浸液配方

大料水的配制:10 g 八角茴香、10 g 橘皮、10 g 花椒、10 g 小茴香,加水至所需体积,煮沸 1 h,冷却、过滤。

辣椒水的配制：称 100g 的红辣椒，量取所需体积的自来水，第一次先加入 50g 的水，煮沸 15min，冷却、过滤，再将过滤的辣椒粉用剩余的 50g 体积的水煮沸 15min，过滤，将两次滤液混合。

浸液配方：10g 异抗坏血酸钠、10g 异抗坏血酸钠、10g 味精、10g（体积分数）大料水，10g 辣椒水，10g 异抗坏血酸钠，加自来水（室温）至所需体积。

③ 甜味膨化鱼片浸液配方

糖粉的制作：称量一定质量的砂糖，在 100℃ 烘箱内干燥 1h，烘干后的砂糖为淡黄色，用组织捣碎机打碎，经 100 目筛分筛过筛，得白色干燥糖粉。糖粉应注意不能受潮。

浸液配方：10g 异抗坏血酸钠、10g 异抗坏血酸钠、10g 味精、10g（体积分数）大料水，10g 辣椒水，10g 异抗坏血酸钠，加水至所需体积，溶解后备用。将切好的生鱼片在此浸液中浸味，干燥膨化后所得膨化鱼片按如下工艺流程进行挂糖处理，即可得到甜味膨化鱼片：鱼片膨化→鱼片上均匀喷洒一层水雾→撒糖粉→喷水使糖粉溶解→用烘箱烘干→冷却→包装。

注意：糖粉一定要撒得均匀，而且用量不要太多，否则溶解后的糖粉在烘干过程中形成白色糖结晶重新析出，影响鱼片外观。

此法也可用于其他鱼片的产品。

五、食品的微波灭菌与保鲜加工

目前各袋装的方便食品是食品市场的一个消费热点。但是这些食品在生产中，通常都采用高温干燥、烫漂、巴氏灭菌、冷冻以及防腐剂等技术来实现对食品的杀菌与保鲜，这些处理往往影响食品的原风味和营养成分。采用微波杀菌，食品中的微生物同时受到微波热效应与非热效应的共同作用，可在极短的作用时间内及相对较低的温度下实现较彻底灭菌，大大地提高了食品的质量。

（一）食品微波灭菌加工的基本原理

1. 微波杀菌保鲜的机理

微波具有热效应和非热效应双重杀菌作用。

（1）微波热效应杀菌机理 由水、蛋白质、核酸、碳水化合物、脂肪和无机物等复杂化合物构成的生物细胞是一种凝聚态介质，在微波加热下温度升高，使其空间结构发生变化或破坏，蛋白质变性，失去生物活性，从而使菌体死亡或受到严重干扰而无法繁殖。

（2）微波非热效应杀菌机理 微波作用能使微生物在其生命化学过程中所产生的大量电子、离子和其他带电粒子的生物性排列聚合状态及其运动规律性改变，而且微波场感应的离子流，会影响细胞膜附近的电荷分布，导致膜的屏障作用受到损伤，影响 ATP 泵的功能，产生膜功能障碍，从而干扰或破坏细胞的正

常新陈代谢功能，导致细菌生长抑制、停止或死亡。另外细胞中的核糖核酸（**RNA**）和脱氧核糖核酸（**DNA**）在微波场力作用下可导致氢键的松弛、断裂或重组，诱发基因突变或染色体畸变，从而影响其生物活性的改变、延缓或中断细胞的稳定遗传和增殖。

微波杀菌保鲜的特点

采用微波杀菌具有许多优点。①时间短、速度快；②温度低，有利于保持原料风味和营养；③节约能源；④加热均匀，消毒彻底；⑤便于控制，没有常规热力杀菌的热惯性，操作灵活方便；⑥设备简单，节省占地面积；⑦改善劳动条件。

微波杀虫

微波杀虫作为杀菌操作的一个重要领域而备受重视。因为此操作主要是针对农产品，社会意义重大。微波杀虫技术曾被用于谷物和谷粉中杀灭昆虫的研究，研究过的害虫有赤拟谷盗、谷象、锈色谷盗、米蛀虫、美洲山核桃谷虫等。研究表明，微波或者高频电磁波可成功地用来改善谷物及其制品的储藏条件。水分质量分数较低（小于**15%**），有利于增强杀虫效果。目前此项技术还没有实际应用。

（二）微波杀菌在食品工业中的应用

在食品工业中，对于粉状物品的消毒杀菌，一直是众厂家感到棘手的问题。微波杀菌法无疑为此类产品的杀菌提供了一个新的手段。

目前关于微波杀菌的研究很多，微波杀菌可起到传统杀菌手段所无法起到的作用。

早在**1954**年，微波杀菌在食品工业中开始得到应用，最早的是日本东芝公司的有关报道。从那时起，瑞典、德国、丹麦和意大利等国先后把微波杀菌用于包装切片面包的工业化生产中。

我国从**20**世纪**70**年代起就开始了微波对中药材、粮食等的杀菌保鲜研究，现已达到了实用阶段，并投入使用。微波杀菌技术用于食品杀菌保鲜处理，在改造传统食品加工工艺中展现十分诱人的前景。

（**四**）天然营养食品的微波杀菌在天然营养食品的加工过程中，为保持各种营养成分不受破坏，通常采用高温瞬时灭菌和**远红外**射线杀菌工艺，前者仅适用于液体产品，后者可能会产生辐射残留物。海南养生堂采用微波干燥杀菌机对龟鳖粉进行处理，取得了良好的效果。目前该设备还被用于人参的干燥杀菌生产工艺中。

营养麦片是营养方便食品，由麦片、奶粉等各种营养物配制而成，生产过程中可采用微波杀菌技术。经过微波杀菌技术处理的麦片产品以其优质、卫生、营养成分高而赢得广大消费者的欢迎。



(圆) 袋装食品的微波杀菌摇在袋装食品的杀菌保鲜问题上,微波的穿透性、不破坏营养成分和低温杀菌等特点,呈现出明显的优越性。

实践表明,微波杀菌可广泛用于各种熟食品(鱼、肉、豆制品、酱菜等)和饮料的加工过程中。

近年来干鱼片的市场需求不断增长,但长期以来因缺乏有效杀菌手段而使其产品易出现产品霉变现象。圆缘圆之孔元宰微波处理设备,不仅具有加热干燥功能,而且有杀菌灭酶效果,现已应用于鱼片烘干和熟化烘烤,不仅节能效果缘像以上,且鱼片酥软可口。

(獭) 豆制品的微波杀菌摇各种豆制品是营养丰富的植物蛋白食品,在常温条件下极易霉变。在豆腐皮生产中,先将豆腐皮经远宰电热辊压机将水分挤出使水分质量分数下降到源像左右后,进入圆缘圆之孔元宰平板型微波机,烘干到工艺要求后直接包装,全部过程只需圆-猿皂,生产能力为苑像皂,产品不仅香脆、复水性好,而且杀菌、灭酶效果好,大大延长了保存期。采用类似设备处理的卤豆腐干,用真空塑料袋包装后常温下可保存数十天不变质。

(源) 牛奶的微波杀菌摇牛奶生产过程中,消毒杀菌是最重要的处理工艺,传统方法是采用高温短时巴氏杀菌。其特点是需要庞大的锅炉和复杂的管道系统,而且耗费能源较大。如使用圆缘圆之孔元宰微波液体杀菌机,对牛奶进行杀菌消毒处理,加工能力为员像皂,鲜奶在愿皂左右处理数秒后,细菌和大肠杆菌完全达到相关卫生标准要求,不仅营养成分保持不变,而且经微波作用的脂肪球直径变小,增加了乳香味。

(缘) 肉制品的微波杀菌摇广东维嘉微波能应用设备有限公司与胜利油田肉食品加工厂联合对该厂生产的肉制品:层层脆、节节香、五香脚爪、方火腿、西式红肠等肉类熟食品进行微波杀菌保鲜的研究,可将其保鲜期由猿皂延长至圆个月。

微波杀菌设备还可应用于牛肉干、猪肉脯、鱼片、鸭肉、鸡肉等制品的热化、干燥和杀菌。

(远) 月饼微波杀菌保鲜摇广东维嘉微波能应用设备有限公司研制的微波月饼杀菌保鲜设备可使月饼保质期至少延长员皂

(苑) 苔菜的微波杀菌保鲜摇生长在苏皖两地的苔菜,是一种高品质菜品。以前按传统方式生产的苔菜只能在周边地区以半成品状态销售,制约了该品种扩大生产。采用高温、高压等传统巴氏灭菌方法,虽然能达到一定的灭菌效果,但苔菜的脆度受到破坏,严重影响产品质量。采用微波杀菌技术,细菌数几乎可达到商业无菌效果,保鲜期可长达怨个半月,而风味、脆度等各项感官指标均满足销售要求。

(愿) 液体食品(酱油)微波杀菌摇酱油在日常生活中是不可缺少的,常规

采用热力灭菌方法，消耗能量很大。

采用微波频率为 2450MHz 的微波杀菌机对酱油在 75°C 加热处理 10min ，可杀灭酱油中的肠道致病菌，如甲型副伤寒沙门菌等。

广东维嘉微波能应用设备有限公司研制的液体食品杀菌机可对酱油杀菌，经微波处理后存放半年其细菌含量为：大肠杆菌 10^4 个/瓶，细菌总数 10^6 个/瓶（未经微波杀菌处理的酱油细菌含量：大肠杆菌 10^7 个/瓶，细菌总数 10^8 个/瓶）。

(3) 营养口服液的微波杀菌摇散装营养口服液可用微波液体加热设备进行灭菌，但装瓶时存在二次污染，一般可对成品口服液在装瓶时再进行一次性灭菌。传统加热灭菌法，灭菌温度低时，达不到灭菌标准，灭菌温度高又会使口服液的药效、营养成分和色、香、味受到影响，而且容易造成瓶子爆裂，口服液流失。采用 2450MHz 的微波灭菌设备对口服液进行灭菌，作用时间 10min ，温度为 75°C ，每小时处理量为 100L （ 1m^3 瓶）。经微波灭菌后的口服液各项指标全部合格，在室温下放置 1 个月后仍全部符合国家卫生标准。此外采用微波杀菌还避免了使用常规热力杀菌造成口服液中沉淀现象发生。

(4) 食品包装用纸的微波杀菌摇食品包装纸在生产、运输和保存过程中，极易受到病原微生物的污染，常规的化学杀菌或物理杀菌方法都会损伤纸的品质，尤其是化学杀菌方法，甚至会因处理后的纸具有臭味而降低其使用价值。用紫外线灯对其进行灭菌，效果亦不理想。

采用微波消毒，于 75°C 经 10min 处理能杀灭试验的微生物，且具有经济、快速、便于自动化等优点。微波杀菌比常规加热消毒所需温度低。

要注意的是，食品包装用纸大都涂有一层石蜡，不宜采用高温消毒，用微波杀菌时，温度虽可控制在较低水平，但在具体应用时仍应控制好温度和时间，以免造成纸质损坏。

六、微波技术在其他方面的应用

1. 微波解冻

(1) 食品微波解冻过程及其特点摇冷冻是食品保藏的重要方法之一，很多食品原料常采用冷冻保藏以确保供应常年加工、销售，解冻也就自然地成为食品工业中的一个重要的操作单元。

冷冻食品的解冻工艺可以分为融化和调温两种。融化是将冻鱼、冻肉进行快速解冻。调温是根据下一工序的温度要求冷冻制品从冷冻条件下的某一温度升温到某一温度。

采用微波技术可以大大加快解冻过程。微波解冻具有解冻时间短，产量高，表里解冻均匀，可改善食品的质量，工作环境卫生、清洁，可节省工作场地等优点，已经开始被采用。

微波加热解冻的过程如下：细胞间的水分由于其吸收微波能快（介电系数大），首先升温并熔化，然后使细胞内冻结点低的冰晶熔化。由于细胞内的溶液浓度比细胞外的溶液浓度高，细胞内外存在着渗透压差，水分便向细胞内扩散和渗透，这样既提高了解冻速度又降低了失水率。此法解冻过程与一般的解冻过程正好相反，即细胞内冻结点较低冰晶首先熔化。另外，微波解冻作用是内外一起进行的，因此速度要比传统的由外向内进行的解冻过程快得多。

微波解冻是失水率最小的方法（失水率小，产品质量好）。表 2-1-1 是国内发表的有关微波解冻与自然解冻的比较数据。微波解冻比自然解冻快得多，而失水率则基本上处于同一水平。

表 2-1-1 微波解冻与自然解冻的比较

食品	解冻时间 / min		失水率 / %	
	微波解冻	自然解冻	微波解冻	自然解冻
猪大排	10	20	0.5	0.5
牛腿肉	15	30	0.5	0.5
鸡大腿	15	25	0.5	0.5
冻虾仁	10	15	0.5	0.5
鳊鱼片	10	20	0.5	0.5
猪小排	10	20	0.5	0.5
猪肉糜	10	15	0.5	0.5

微波解冻用得更多的是 2450 MHz 的微波源的磁控管，功率为 1000~2000 W，可调。2450 MHz 的微波源的微波解冻装置既可以进行批量处理冷冻食品，又可以连续处理冷冻食品。批量处理时采用单一的磁控管，功率为 1000~2000 W；连续处理时采用 1000~2000 W 的功率。

2450 MHz 的微波穿透力较强，适用于较厚的冻结制品的解冻；915 MHz 的微波穿透力较弱，在对较厚的冻结制品进行解冻时，必须同时使表面降温，才能保证对厚的冻结制品进行合适的深层加热。915 MHz 的微波解冻系统功率为 1000~2000 W。由于波频率较大的微波能的穿透能力较弱，必要时可配上空气制冷系统以防止制品表面融化。

冷冻食品经过微波解冻后，食品的营养价值和水分的变化等都比较小。虽然微波解冻具有上述的优点，但在采用微波加热解冻时应注意，微波在冰中的穿透深度比水大，但水的吸收速度比冰快，并且对于受热而言，吸收的影响大于穿透的影响，所以，已融解的区域吸收的能量多，容易在已融解的区域造成过热效应，出现表面部位先融化的水会迅速升温、导致过热，而冰的部分可能还未解冻。

近年来，冻肉的微波解冻技术普及得很快，美国和日本肉食加工协会采用的

微波发生器和解冻容器组合起来的微波解冻设备，用于快速解冻各种冻肉，取得了比较理想的效果。

冷冻食品中的饮食类产品如水饺、包子、馒头、锅贴、烧卖、云吞、贡丸、鱼丸等，都可以采用微波解冻。

食品微波解冻操作微波加热解冻有如下几个操作要点。

① 在解冻时，微波频率不宜选得太高，一般宜选用 915MHz 的频率，对于厚度较大的冷冻产品，有时甚至采用 300MHz 的频率。因为低频率（300MHz）和 915MHz 的微波其穿透深度可达 10cm，而 2450MHz 的微波穿透深度只有 5cm。

② 微波的穿透深度还与温度有关。图 4-1 是作用于水分质量分数超过 20% 的材料时，其穿透深度与温度的关系。随温度的升高，由于材料介电系数增加，微波穿透深度下降。

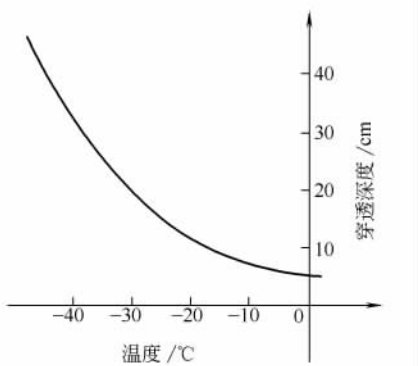


图 4-1 微波穿透深度与温度的关系

③ 不同的温度阶段，其升温所需的热量不同，特别是在 0℃ 的解冻区。因此，在 0℃ 附近升温应仔细操作，否则产品的质量会有所下降。

④ 准备采用微波解冻的块状食品应按大小和形状分类储存，形状和大小相同的食品应安排在同一批处理。

微波灭酶

在食品原料中存在很多酶系，有些酶会使制品的色泽变差，如果蔬中的过氧化氢酶能使制品发生褐变，有些水解酶类在制品长期存放过程中会使制品的干物质损失或产生不良异味。在食品加工中常常要进行灭酶处理，尽可能使酶失活。

影响酶活性的因素主要是体系的温度和 pH。钝化酶活性的常用办法是加热。

微波法加热时间短，升温速度快，对食品品质的影响较少。对平菇采用微波灭酶的研究说明，微波处理时制品终温只需达到 70℃ 就能达到灭酶效果；而传统的烫漂用 80℃ 的水，需 10min 才能灭菌。热水或蒸汽烫漂后平菇中的氨基酸和可溶性固形物都会大量损失，微波灭酶则不会出现此类不良后果。

微波灭酶在谷类制品及其再制品中的应用似乎要比在果蔬加工中的应用更加有意义。目前，国内还没有关于进行稻谷、小麦或面粉微波灭酶商业应用的报道。

谷类产品中主要的酶是淀粉酶，淀粉酶的存在会严重影响制品的品质。谷类种子采用微波灭酶时既可以用聚乙烯袋装又可以散装在传送带上送入微波场。微

波对不同酶的钝化作用是有差异的。

微波灭酶技术在应用时要考虑到制品的性质。根据微波加热的特点,制品内部的温度稍高于表面。当制品内部温度达到酶失活温度时,表面温度尚不足以杀灭所有的酶。在蔬菜杀青时,为了克服热水烫漂造成的营养损失的弊端。可将微波与蒸汽结合使用。要注意的是,两者结合使用时,蒸汽的冷凝水必须迅速排出,因为气态的水受微波作用几乎没有热效应。而液态水会因微波作用从而影响制品品质。

1. 白酒的微波老熟

(员) 概述摇各种酒在酿制过程中,必须在特定的条件下储存一段时间,时间越长,酒的口感越好。然而这一陈化操作需要大面积的酒库或酒窖,而且时间很长,并占用大量流动资金。目前有的厂家生产的新酒一般没有储存期。这虽节省资金,但酒质和风味不好。

为了解决以上问题,人们研究加速催陈技术。国内现已有人探索利用核辐射、远红外线、太阳能、高频电磁波、激光能、微波等新技术处理新酒,使之加速老熟陈化过程,取得不同程度的进展。目前效果最明显的是微波老熟催陈技术。

(圆) 微波老熟酒的机理摇微波老熟白酒的主要原理是利用微波能量被物质吸收后产生的热效应和化学效应。酒液是由水、乙醇和一些其他微量成分组成,一般认为,由于活度较大的自由乙醇分子的存在,使酒的辛辣味变大。用微波处理时,在微波场的作用下,酒中的水分子和乙醇分子重新排列,更趋整齐,乙醇分子受到水分子的束缚,活度有所减少,从而使酒的辛辣味和异味大大减轻。

此外,微波使白酒中各成分的分子位能升高,加快自然老熟过程中缓慢进行的氧化还原和脂化反应,使其甲醛含量降低、酯类增加。

2. 面包的微波醒发

面包生产过程中,面团经成型后需醒发,醒发的目的是使酵母产气和使面团持气,促使面团在焙烤中膨胀并产生香气成分。一般是在源~缘益温度条件下,醒发 圆缘~源缘皂。使用 圆缘益皂的微波处理可在 源皂之内完成面包圈的醒发,而且避免了按传统的面团醒发方法时出现生坯表面形成干皮而影响产品质量的现象。

微波醒发箱由微波源、微波醒发室、控制系统、水热交换器、分块器、传送带等组成。

3. 糕点微波油炸

用传统方法生产油炸糕点时,当面糊在热油中经 猿~缘益油炸后,首先会在其表面形成一个明显的未膨胀外壳。随着面糊内部温度的上升和化学膨松剂的作用

用,发生面筋蛋白质变性和淀粉糊化作用,同时,膨松剂释放气体产生内压,使其膨胀。糕点的内部结构是热的不良导体,常出现产品部分面团未熟和膨胀差的问题。因此,在炸制过程中要经常翻转糕点以使其各部分都能被炸透、炸熟。但是,即使翻转炸制,糕点往往也因迅速硬化而使其无法膨胀充分而在组织内部保留有一个硬心。这个硬心有时会占糕点全部体积的 $\frac{1}{4}$ 左右,它使产品质地变劣且易于老化。

将微波加热与特殊的油炉工艺相结合,利用微波加热的特性即可克服上述质量问题。将食品生坯放入热油中炸后,在其底部由热油加热,上部由微波加热,这就使生坯的内外、上下及四周被同时加热,避免传统加热方式的缺点。此法有良好的应用前景。

4.1.2 微波在粮食储藏中的应用

微波处理在粮食储藏中主要是用于粮食的干燥与杀虫。

粮食及粮食制品容易出现虫蛀、霉变。传统的杀虫、灭菌主要依靠加热与熏蒸,这种处理方法运行费用高,效率不高;且在处理过程中易使其营养成分损失;有时甚至会产生异常物质。

微波灭菌就是采用脉冲波处理粮食,用极强的电磁场作用起到灭菌效果。微波灭菌不单靠加热产生灭菌作用,而且微波场促使菌体体内的蛋白质生物活性物质起了变化,使有害生物迅速死亡。

微波灭菌具有独特的优点,它作为一种新的灭杀手段应该能在越来越多的领域中得到推广、应用。这种设备的效率高,能量消耗低。特别适合于入库前进行的大批量粮食的干燥、杀虫、灭菌处理。

用微波对小麦进行干燥,在小麦水分高的物料区域,被选择的倾向越大。这样,在水分最多的区域,能量转化率也最高,因此微波干燥效果均匀。

微波处理用于加工小麦和小麦粉时要注意控制温度,因为一般麦类作物的籽粒在受到 40°C 以上温度处理后,发芽率下降;当温度超过 50°C 时面筋会被破坏,这种不良影响还与微波加工小麦时原料的水分质量分数有关。在小麦水分质量分数为 $15\% \sim 18\%$ 时,影响发芽力的温度为 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$;水分质量分数为 $18\% \sim 20\%$ 时,影响发芽力的温度范围为 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。但无论水分如何,处理温度在 $40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围内,面筋都要受到破坏。因此微波处理时,温度应控制在 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的范围内。这与传统加热处理工艺的临界温度基本相同。

典型的粮食微波处理设备的主要技术指标如下。

- ① 微波源: 采用 2450MHz 连续波;
- ② 加热器: 采用传送带往复谐振箱式;
- ③ 小麦处理量: $100\text{kg} \sim 200\text{kg}/\text{h}$;
- ④ 泄漏: 离设备 1m 处小于 $0.01\text{W}/\text{cm}^2$;

- ⑤ 电源：民用电，粤，线孔，三相 线孔；
- ⑥ 体积：远伊宽伊高（长伊宽伊高）；
- ⑦ 备有四螺钉调配：热测驻波比小于 圆；
- ⑧ 质量：缘因得

微波在油提取中的应用

微波辅助提取油，主要是利用微波能加剧反应物分子运动及提高相互间的碰撞频率；分子的剧烈运动致使植物细胞内部结构的破坏，有助于有效成分的溶出，从而提高提取效率。韦小杰等报道利用微波辅助提取八角茴香油，结果如表 源缘 经过微波辐射预处理后，八角的出油率较常规提取有所增加，微波预处理 缘缘 出油率达到最高，比常规提取提高了 苑圆缘，但处理时间过长（大于 圆缘缘），由于温度高，精油会因挥发而导致造成出油率略微下降。原料液经微波辐射后，提取时间较常规提取缩短了将近 员缘，而且反式茴香脑含量变化不大。

表 源缘 微波提取与常规提取比较

序摇摇号	处理时间 缘缘	出油率 缘缘	反式茴香脑含量 缘缘
常规	园	猿缘缘	愿缘缘
微波提取 缘缘	缘	猿缘缘	愿缘缘
微波提取 圆缘	员缘	猿缘缘	愿缘缘
微波提取 猿缘	圆缘	猿缘缘	愿缘缘

微波在淀粉改性中的应用

淀粉在微波处理中的分解或合成反应是一个多个因素影响且相互作用极为复杂的过程。深入研究淀粉在微波场中的物理化学行为，可以为在一种新技术条件下生产变性淀粉提供可能。

（员）淀粉的介电性质摇前已述过物质对微波的吸收能力，主要是由介电系数和介质损耗正切来决定，同时也随其本身的含水量和温度的变化而变化。实验表明，不同种类的淀粉之间的介电系数虽有差别，但是差别不大，淀粉在糊化前后的介电系数也很相近，对淀粉介电系数影响最大的因素是淀粉的含水量。另外，淀粉颗粒的结晶结构是通过羟基之间的氢键形成的，部分水分子也参与这种氢键作用。同时，在晶体表面或是在分子链螺旋的凹陷处，也都有水分子的存在，正是这部分水使淀粉对微波吸收起决定性的作用。在微波场中，水分子和微波频率介电耦合，水分子需要一个合适的定位，在不同的原料中，由于原料的结构不同，自由水含量和结合水束缚的强弱不同，必然会影响水分子在定位过程中的难易程度，从而影响到微波场中淀粉改性的效果。

（圆）微波对原淀粉改性的作用摇根据上述内容可以知道，完全干燥的淀粉几乎是不吸收微波的。但是在正常的情况下，淀粉中都含有一定的平衡水分，

微波对淀粉是有一定作用的。微波对淀粉改性的效果，在一定程度上依赖淀粉中水分和金属盐的含量。

将质量分数为 10% 的淀粉浆加入 0.5% 的盐酸，放在微波炉（功率 1000W，频率 2450MHz）中，使用全功率的 1000W，在 100℃ 条件下进行水解。结果表明，在 10min 后，溶液变得清澈，没有淀粉的重结晶物 and 有色副产物生成。从结果分析中可知：淀粉的重结晶体在接受微波辐射过程中， β 构型被破坏而溶解，更利于水解。然而用传统的加热水解方法，这种重结晶体在同样的温度和淀粉浓度下，不能水解。显然，微波处理提高了水解效率。

还有实验表明，在淀粉中添加金属离子，可增强微波场中质子的活力，更加有效地促进淀粉在微波场中的改性，这一方法已经在高效、快速地生产高水解度葡萄糖浆中得到应用。在日本也有过关于微波在淀粉糖化中应用的报道。

第三节 过热蒸汽加热技术及应用

食品加工中加热的目的各式各样，热源和加热方法也多种多样。除了传统的直接火加热、油加热、饱和蒸汽加热、电加热、热空气加热及前面介绍的微波加热和远红外加热外，最近又发展起了一种新的加热方式，即过热蒸汽加热。过热蒸汽就是指具有过热度的蒸汽。过热蒸汽作为加热热源在食品加工中应用具有一些独到之处。与饱和蒸汽相比，过热蒸汽加热时失去一定的焓之后不会变成冷凝水，从而克服饱和蒸汽直接加热的稀释效应所带来的缺点。与热空气加热相比，它具有传热阻力小和加热效率高的优点。与其他许多热介质相比，过热蒸汽如同饱和蒸汽和沸水一样是对人体最安全的化学物质，最适宜于作为直接接触加热的理想介质。因此，在食品工业中，它的应用正在不断发展。已开发出来的应用领域有食品干燥、食品膨化、酿造材料热处理和对食品原料和产品进行瞬时杀菌等。

一、过热蒸汽的性质

1. 饱和蒸汽

当水达到饱和温度后，如果保持压力继续加热，则饱和水开始汽化，此时质量体积增大，而水温并不升高，保持在饱和温度，直至完全变为蒸汽，这时的蒸汽状态称作干饱和蒸汽状态。

在水没有完全汽化之前，饱和水和饱和蒸汽共存，通常把含有饱和水的蒸汽称作湿饱和蒸汽或简称湿蒸汽。为了表示在湿饱和蒸汽中饱和蒸汽所占的份额，采用干度 x 这一参数。干度 x 是指每千克湿饱和蒸汽中饱和蒸汽的质量。显然干饱和蒸汽的 x 为 1。

湿饱和蒸汽中饱和水的质量称作湿度，其数值为 $1-x$ 。

2. 过热蒸汽的性质

过热蒸汽的温度比相同压力下的干饱和蒸汽温度更高，质量体积更大。因此，过热蒸汽比干饱和蒸汽的水分子运动更剧烈；同一容积内的水分子的数量更少，可认为是干燥状态下的蒸汽。干燥状态下的蒸汽具有如同热空气一样可以使物质加热干燥，也可以在一定条件下如同饱和蒸汽一样，若接触到比其温度远低的物质时又能冷凝成水的两种性质，因此过热蒸汽可用于如蔬菜之类的快速干燥中的加热，还可用于低水分原料的瞬时杀菌，或热空气或饱和蒸汽所难以使用的各种加工工艺。

表 1-1 是饱和蒸汽和过热蒸汽的焓和质量体积的数据，从表中数据可知，过热蒸汽的焓比相同压力下的饱和蒸汽要高，过热度越高，高出的焓值就越大。作为传热介质，焓值大对加热是有利的。饱和蒸汽变成过热蒸汽后，质量体积也有相当程度的增大，过热度越大，质量体积的增大越大。

表 1-1 饱和蒸汽和过热蒸汽的性质

压力 /MPa	饱和蒸汽			过热蒸汽							
	温度 /℃	比焓 /kJ·kg ⁻¹	质量体积 /m ³ ·kg ⁻¹	150℃		200℃		250℃		300℃	
				比焓 /kJ·kg ⁻¹	质量体积 /m ³ ·kg ⁻¹	比焓 /kJ·kg ⁻¹	质量体积 /m ³ ·kg ⁻¹	比焓 /kJ·kg ⁻¹	质量体积 /m ³ ·kg ⁻¹	比焓 /kJ·kg ⁻¹	质量体积 /m ³ ·kg ⁻¹
0.1	105.06	2675.5	1.673	2709.1	1.696	2747.7	1.720	2786.2	1.744	2824.8	1.768
0.2	120.06	2706.3	1.548	2734.9	1.570	2773.5	1.594	2812.0	1.618	2850.6	1.642
0.3	127.07	2714.2	1.487	2740.0	1.513	2778.6	1.537	2817.1	1.561	2855.7	1.585
0.4	132.84	2718.1	1.441	2743.1	1.467	2781.7	1.491	2820.2	1.515	2858.8	1.539
0.5	137.75	2720.1	1.404	2745.1	1.430	2783.7	1.454	2822.2	1.479	2860.8	1.502
0.6	142.06	2721.4	1.374	2746.4	1.400	2785.0	1.424	2823.5	1.443	2862.1	1.466
0.7	145.94	2722.2	1.349	2747.2	1.375	2785.8	1.399	2824.3	1.417	2862.9	1.440
0.8	149.43	2722.8	1.326	2747.8	1.352	2786.4	1.376	2824.9	1.394	2863.5	1.417
0.9	152.64	2723.2	1.304	2748.2	1.330	2786.8	1.354	2825.3	1.372	2863.9	1.395
1.0	155.63	2723.5	1.283	2748.5	1.309	2787.1	1.333	2825.6	1.351	2864.2	1.374
1.2	160.06	2724.1	1.241	2749.1	1.267	2787.7	1.291	2826.2	1.309	2864.8	1.332
1.4	164.06	2724.6	1.200	2749.6	1.226	2788.2	1.250	2826.7	1.268	2865.3	1.291
1.6	167.64	2725.0	1.161	2750.0	1.187	2788.6	1.211	2827.1	1.229	2865.7	1.252
1.8	170.84	2725.3	1.124	2750.3	1.150	2788.9	1.174	2827.4	1.192	2866.0	1.215
2.0	173.64	2725.6	1.089	2750.6	1.115	2789.2	1.139	2827.7	1.157	2866.3	1.180
2.2	176.14	2725.8	1.056	2750.8	1.082	2789.4	1.106	2827.9	1.124	2866.5	1.147
2.4	178.34	2726.0	1.025	2751.0	1.051	2789.6	1.075	2828.1	1.093	2866.7	1.116
2.6	180.24	2726.2	0.996	2751.2	1.022	2789.8	1.046	2828.3	1.064	2866.9	1.087
2.8	181.84	2726.4	0.969	2751.4	0.995	2789.9	1.019	2828.4	1.037	2867.0	1.060
3.0	183.14	2726.5	0.944	2751.5	0.970	2790.0	0.994	2828.5	1.012	2867.1	1.035
3.2	184.24	2726.6	0.920	2751.6	0.946	2790.1	0.970	2828.6	0.988	2867.2	1.011
3.4	185.14	2726.7	0.897	2751.7	0.923	2790.2	0.947	2828.7	0.965	2867.3	0.988
3.6	185.84	2726.8	0.875	2751.8	0.901	2790.3	0.925	2828.8	0.943	2867.4	0.966
3.8	186.34	2726.9	0.854	2751.9	0.880	2790.4	0.904	2828.9	0.922	2867.5	0.945
4.0	186.74	2727.0	0.834	2752.0	0.860	2790.5	0.884	2829.0	0.902	2867.6	0.925
4.2	187.04	2727.1	0.815	2752.1	0.841	2790.6	0.865	2829.1	0.883	2867.7	0.906
4.4	187.24	2727.2	0.797	2752.2	0.823	2790.7	0.847	2829.2	0.865	2867.8	0.888
4.6	187.34	2727.3	0.780	2752.3	0.806	2790.8	0.830	2829.3	0.848	2867.9	0.871
4.8	187.44	2727.4	0.764	2752.4	0.790	2790.9	0.814	2829.4	0.832	2868.0	0.855
5.0	187.54	2727.5	0.749	2752.5	0.775	2791.0	0.799	2829.5	0.817	2868.1	0.840
5.2	187.64	2727.6	0.734	2752.6	0.760	2791.1	0.784	2829.6	0.802	2868.2	0.825
5.4	187.74	2727.7	0.720	2752.7	0.746	2791.2	0.770	2829.7	0.788	2868.3	0.811
5.6	187.84	2727.8	0.706	2752.8	0.732	2791.3	0.756	2829.8	0.774	2868.4	0.797
5.8	187.94	2727.9	0.693	2752.9	0.719	2791.4	0.743	2829.9	0.761	2868.5	0.784
6.0	188.04	2728.0	0.680	2753.0	0.706	2791.5	0.730	2830.0	0.748	2868.6	0.771
6.2	188.14	2728.1	0.668	2753.1	0.694	2791.6	0.718	2830.1	0.736	2868.7	0.759
6.4	188.24	2728.2	0.656	2753.2	0.682	2791.7	0.706	2830.2	0.724	2868.8	0.747
6.6	188.34	2728.3	0.645	2753.3	0.671	2791.8	0.695	2830.3	0.713	2868.9	0.736
6.8	188.44	2728.4	0.634	2753.4	0.660	2791.9	0.684	2830.4	0.702	2869.0	0.725
7.0	188.54	2728.5	0.624	2753.5	0.650	2792.0	0.674	2830.5	0.692	2869.1	0.715
7.2	188.64	2728.6	0.614	2753.6	0.640	2792.1	0.664	2830.6	0.682	2869.2	0.705
7.4	188.74	2728.7	0.604	2753.7	0.630	2792.2	0.654	2830.7	0.672	2869.3	0.695
7.6	188.84	2728.8	0.595	2753.8	0.621	2792.3	0.645	2830.8	0.663	2869.4	0.686
7.8	188.94	2728.9	0.586	2753.9	0.612	2792.4	0.636	2830.9	0.654	2869.5	0.677
8.0	189.04	2729.0	0.577	2754.0	0.603	2792.5	0.627	2831.0	0.645	2869.6	0.668
8.2	189.14	2729.1	0.569	2754.1	0.595	2792.6	0.619	2831.1	0.637	2869.7	0.659
8.4	189.24	2729.2	0.561	2754.2	0.587	2792.7	0.611	2831.2	0.629	2869.8	0.651
8.6	189.34	2729.3	0.553	2754.3	0.579	2792.8	0.603	2831.3	0.621	2869.9	0.643
8.8	189.44	2729.4	0.546	2754.4	0.572	2792.9	0.596	2831.4	0.614	2870.0	0.635
9.0	189.54	2729.5	0.539	2754.5	0.565	2793.0	0.589	2831.5	0.607	2870.1	0.628
9.2	189.64	2729.6	0.532	2754.6	0.558	2793.1	0.582	2831.6	0.600	2870.2	0.621
9.4	189.74	2729.7	0.525	2754.7	0.551	2793.2	0.575	2831.7	0.593	2870.3	0.614
9.6	189.84	2729.8	0.518	2754.8	0.544	2793.3	0.568	2831.8	0.586	2870.4	0.607
9.8	189.94	2729.9	0.512	2754.9	0.538	2793.4	0.562	2831.9	0.580	2870.5	0.601
10.0	190.04	2730.0	0.506	2755.0	0.532	2793.5	0.556	2832.0	0.574	2870.6	0.595

以 0.1MPa 下的饱和蒸汽和过热蒸汽为例：饱和蒸汽的温度为 105.06℃，其比容为 1.673m³·kg⁻¹，焓为 2675.5kJ·kg⁻¹，与之相对应，相同压力下温度为 150℃ 的过热蒸汽焓为 2709.1kJ·kg⁻¹，提高 33.6℃，质量体积为 1.696m³·kg⁻¹，提高 1.3%。过热蒸汽的温度进一步提高到 200℃，则焓提高到 2747.7kJ·kg⁻¹，提高 38.6℃，质量体积提高到 1.720m³·kg⁻¹，提高 1.4%。

随着压力的提高，过热蒸汽和相同压力下的饱和蒸汽的上述参数的差异变小。

二、过热水蒸气的产生与设备

根据前面的叙述，当水加热蒸发到干饱和蒸汽状态时。在压力保持不变的情况下继续加热，则蒸汽就变成过热蒸汽。因此要产生过热蒸汽，只需将干饱和蒸

汽在等压下加热到更高的温度即可。

将干饱和蒸汽加热成过热蒸汽的设备称为过热器。当需要产生过热蒸汽时，可以在锅炉内安装过热器，锅炉内置过热器的作用就是将锅炉蒸发受热面上产生的饱和蒸汽热到额定的过热温度供加工过程中使用。下面介绍的是过热器的结构和特征。

对流过热器

对流过热器布置在锅炉的对流烟道中，主要依靠对流传热从烟气中吸收热量。在中、小型的锅炉中，一般采用纯对流过热器；在高压大型锅炉中，采用复杂的过热器系统。在食品加工中一般不会用到高压大型锅炉，故过热器一般是普通简单的传热器。

按照对流过热器的布置方式，可分为垂直布置和水平布置两种方式。

图 4-1 是垂直布置的对流过热器结构示意图。它是由大量平行联接的垂直蛇形排管组成，进口常与联箱连接。在“门”形布置的锅炉中，过热器一般布置在水平的烟道中。蛇形排管总是平行于侧墙平面，这样可使各平行蛇形管沿烟道深度方向的吸热相同，并消除沿烟道高度方向的烟温偏差，但这样仍受沿烟气

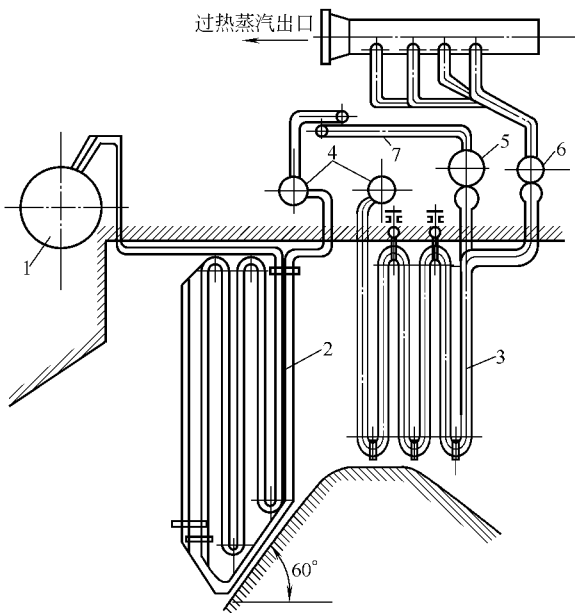


图 4-1 垂直布置的对流过热器结构示意图

1—汽包；2—对流过热器；3—中间联箱；4—表面式减温器；

5—过热蒸汽出联箱；6—交叉管
宽度方向的烟温偏差的影响。

为此可将过热器分成几组，在中间联箱里进行蒸汽混合，并将蒸汽左右交叉，以减少温度差的影响。

过热器蛇形管一般采用外径为 108~159mm 的无缝钢管，壁厚由强度计算确定，管子的材料决定于其工作条件，详见表 1-1。

表 1-1 锅筒锅炉常用钢材的允许温度

锅筒材料类别	受热面壁温 /℃	联箱、导管工作介质温度 /℃
10 钢	≤ 450	≤ 450
15 钢	≤ 450	≤ 450
20 钢	≤ 450	≤ 450
15 钢 (珠光体)	≤ 450	≤ 450
15 钢 (铁素体)	≤ 450	≤ 450
15 钢 (珠光体) (I, II)	≤ 450	—
15 钢 (珠光体) (III)	≤ 450	—

对流过热器布置按烟气与蒸汽相对流向，可分为顺流、双逆流、逆流及混流四种，如图 1-2 所示。

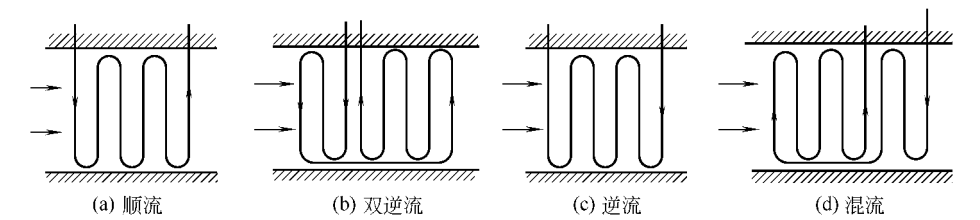


图 1-2 烟气与蒸汽的相对流向

顺流布置的过热器，蒸汽的高温段在烟气低温区，因而壁温较低，比较安全，但传热较差，需要受热面较大，不经济；逆流布置的过热器，蒸汽高温段正好在烟气的高温区，壁温高，安全性差，但是传热好，受热面可以小些，较经济。为了克服两者的矛盾，可以用混流过热器或双逆流过热器，其壁温虽高于顺流过热器但低于逆流过热器，经济性也在顺流过热器与逆流过热器之间。混流过热器布置比较合理，故广泛使用。

对流过热器的汽温变化特性是：过热蒸汽温度随锅炉负荷的增加而升高。另外，由于烟气温度增高，使传热温差增大，因而使对流过热器的吸热量增加的值超过负荷增加值，故使工质焓增量增加。

半辐射过热器

半辐射过热器都做成挂屏形式，所以也称做屏式过热器。

屏式过热器悬挂在炉膛上部，位于炉膛出口部分，既吸收烟气流过的对流热，又吸收炉膛中的辐射热及管间烟气的辐射热。

为了防止结渣，相邻两屏间应有较大的距离，一般为 $1.5 \sim 2.0$ 倍管径。

屏式过热器在炉膛中受炉膛火焰直接辐射，热负荷较大。为降低壁温，常用低温段过热器，这样管内蒸汽温度比较低，壁温不致过高。另外，还常用较高的蒸汽流速来控制壁温。管外烟气流速也不宜过高。

屏式过热器结构如图 4-15 所示。由图 4-15 可知，屏式过热器联箱布置于炉外。管子吊在联箱上。每片屏可以由 $1 \sim 4$ 根管子弯曲而成，一般管间节距 $s = 3d$ ，其中 d 为每组管的间隔， s 为管直径。为了固定屏间距离，可在相邻两屏中各抽出一根柱子弯曲至中间联结在一起。每片屏本身也用中间管子弯成扎紧管将下部管子扎紧，使管子不能从屏的平面上凸出，以免烧坏。屏式过热器下部做成三角形以配合折焰角的形状，如在折焰角外，可做成方形。

屏式过热器除做成 Δ 形结构外，还可做成 $\square$ 形结构。

有的锅炉有 2 组屏式过热器，通常是把靠近炉前的 1 组称为前屏过热器，把靠近炉膛出口的 1 组称为后屏过热器。前屏过热器主要吸收炉膛辐射热，烟气冲刷不充分。对流传热较少，属于辐射式过热器。

4.1.3 辐射过热器

辐射过热器除了布置作为前屏过热器的外，还可布置在炉膛四周及顶部，直接吸收炉膛火焰的辐射热。在参数高的锅炉中，将炉膛四壁的一部分水冷壁改造成过热器也是可行的。但这样做的问题是炉膛内受热面的热负荷很高，管壁温度较高，特别是升温过程中，没有蒸汽来冷却管壁，很容易使管壁过热，必须从外界引入冷却介质，因此一般情况下不这样做。

辐射过热器的蒸汽温度变化特性是：过热蒸汽温度随锅炉负荷的增加而降低。这是由于锅炉负荷增加时，炉膛火焰的平均温度变化不大，也就是辐射传热量增加不多，跟不上蒸汽流量的增加。因而工质的焓增量减少。若同时采用对流过热器和辐射过热器，且保持适当的比例，则可得到较平稳的蒸汽温度特性。

4.1.4 电加热蒸汽过热器

以上几种过热器是设置在锅炉内的过热器。它适合于过热蒸汽用量较大，经

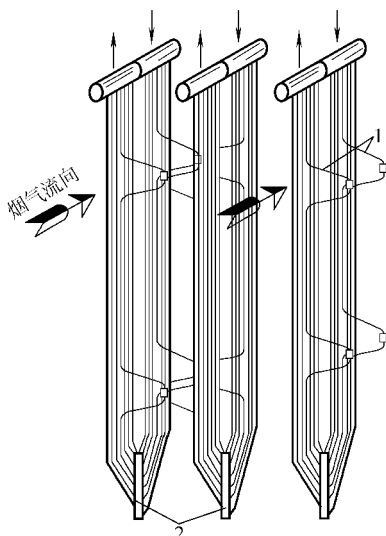


图 4-15 屏式过热器简图

1—联接管；2—扎紧管

常性使用过热蒸汽的场合。

在有的场合过热器也可作为一个单元设备组合在需用过热蒸汽的加工流程中。饱和蒸汽进入过热器加热后成为过热蒸汽，过热蒸汽在流程中使用后温度下降，再回到过热器继续加热成为过热蒸汽，而重新投入使用。因此，过热器相当于一台再热器在工作。根据这个流程设计除了使用后的蒸汽回到锅炉内的置于过

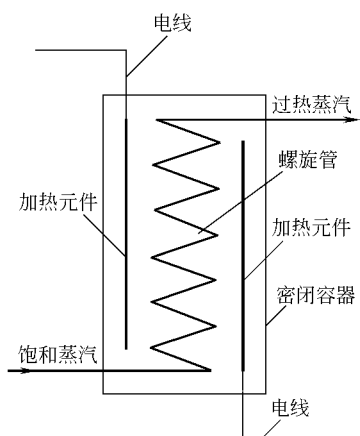


图 14-18 独立型蒸汽过热器工作原理图

热器中重新加热成过热蒸汽的方法外，还经常设计成独立的过热器单元服务于流程。

独立单元的蒸汽过热器一般为电加热，其简单的工作原理见图 14-18，即在一台设有加热元件的密闭容器中设置了许多蛇形管。加热元件对密闭容器加热，同时也对蛇形管加热。饱和蒸汽在蛇形管中通过，从而被加热成过热蒸汽。过热蒸汽压力由饱和蒸汽的压力来决定，而温度则由加热元件的加热功率和蒸汽在蛇形管中的停留时间来决定。因此可以通过调节加热元件的加热功率来调节

过热蒸汽的温度。设备所能产生的过热蒸汽的温度除了与加热元件的加热功率有关外，还决定于加热蛇形管的耐热程度。要获得较高温度的过热蒸汽，就要采用耐热性好的蛇形管材料和密闭容器内壁材料。日本已有某种独立型蒸汽过热器投入实际生产使用，用于杀菌、干燥和加湿等。该设备可连续操作，也可间歇操作。一种典型的独立蒸汽过热器的技术参数为，过热蒸汽生产能力为 $1000 \sim 2000 \text{ kg/h}$ ，温度范围为 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ ，压力为 $0.1 \sim 0.2 \text{ MPa}$ 。

三、过热蒸汽在食品加工中的应用

（一）过热蒸汽用于食品干燥

过热蒸汽干燥（ $\text{superheated steam drying}$ ）是指用过热蒸汽直接与被干燥物料接触而去除水分的干燥方式。用过热蒸汽进行食品干燥的研究和应用始于 20 世纪 40 年代初，在美国和日本都有工业规模的应用，我国目前在许多锅炉中应用了过热技术，但过热蒸汽应用于食品干燥的研究和应用均属空白。

1. 过热蒸汽干燥法的工艺流程

图 14-19 是用过热蒸汽干燥食品的典型工艺流程图。待干燥的食品物料从干燥器的上部加入，加入量由定量调节阀控制，干后物料由干燥器底部放出。过热蒸汽由干燥器的下部和不同高度处引入，与待干燥物料直接充分接触，将热传给物料，使其受热使所含水分汽化逸出。由于过热蒸汽释放出的一部分热量是湿

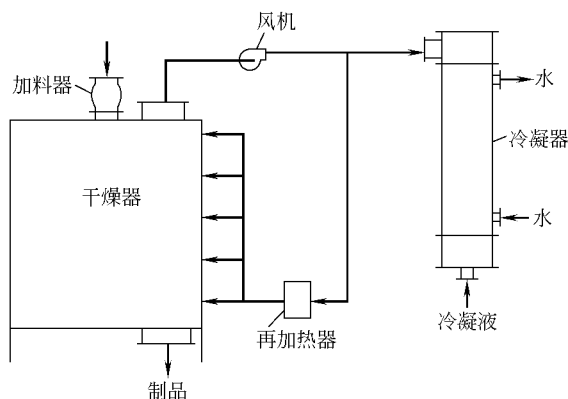


图 4-4-1 过热蒸汽干燥食品物料的工艺流程图

热，故从干燥器出来的一般处于过热或接近干饱和的蒸汽状态。排出的大部分蒸汽由循环风机抽送到再加热器（过热器）重新加热，提高其过热度而后送回干燥器。另外一部分（其量相当于物料干燥时蒸出的水量）则通入冷凝器冷凝。过热蒸汽在整个干燥过程中循环重复使用，无须补充新的蒸汽。

4.4.2 过热蒸汽干燥与热风干燥的比较

过热蒸汽干燥与热风干燥相比，过热蒸汽干燥以蒸汽作为干燥介质，干燥机排出的废气全部是蒸汽，利用冷凝的方法可以回收蒸汽的潜热再加以利用。被干燥物料的温度高，物料内部毛细管中水分的黏度变小，水分的迁移阻力小。另外，物料内部水分蒸发所产生的蒸汽的移动阻力也小于热风干燥时蒸汽的移动阻力。因此，与热风干燥相比过热蒸汽干燥具有以下优点：

- ① 无论是在恒率干燥阶段还是降率干燥阶段，其干燥速度均高于热风干燥的干燥速度，并且可使产品的含水率降得更低。
- ② 过热蒸汽的比热容大，蒸汽用量少；节能效果显著；可充分利用蒸汽的潜热，热效率高；干后产品品质好；无传质阻力；由于无空气存在，没有氧化和燃烧反应，无爆炸和失火危险；不污染环境；此外由于高温还具有杀菌消毒作用。
- ③ 过热蒸汽干燥对于要求低水分的产品的干燥很有利。但是，由于过热蒸汽干燥时物料温度高，传热温差小，因而要求比热风干燥更大的设备，设备的造价高。过热蒸汽干燥的设备费用介于热风干燥和冷冻干燥之间。

4.4.3 应用实例

已见报道的过热蒸汽干燥的产品有芹菜、菠菜、洋葱、方便面等。

（员） 过热蒸汽干燥面条 摇用过热蒸汽干燥面条的工艺主要有以下几种。

- ① 先用员圆~员圆缘℃的过热蒸汽蒸熟面条，然后用风冷却，冷却后的面条

再用太阳晒干。

② 用过热蒸汽先将面条的淀粉糊化并使面条部分干燥，然后再将此处理过的面料油炸制成方便面。

③ 先用热风预干燥，然后用过热蒸汽处理，最后油炸制成方便面。

④ 在生面中通入流速为 员~远皂转 温度为 愿园~员缘皂的过热蒸汽进行预干燥，预干燥后冷却，冷却后再用热风干燥。

用过热蒸汽制造方便面的技术已在工业生产上得到应用，使用这项技术，干燥时间大大缩短。

(圆) 过热蒸汽干燥甜菜糖厂废粕摇甜菜糖厂通常采用转鼓式干燥机进行废粕明火干燥，不但燃料浪费严重，而且造成严重的环境污染。如果用蒸汽进行废粕的干燥，并且在一个封闭的系统内进行，即可避免空气的污染，又可回收能量，节约能源。

甜菜糖厂废粕的过热蒸汽干燥采用图 源圆 的干燥机进行干燥。废粕在分成格室(图 源圆)的流化床中，用过热蒸汽在压力容器内通过上下循环流动进行干燥。废粕首先通过中心的换热器中的第一格。蒸汽通过叶轮带入机体内，使得废粕在机体内旋转运动。这样大的颗粒通过出孔 员达到下一个格室，小而轻的颗粒扬升到格室的上部。部分物料由导向板向开孔 源处运动，进入下一个格室，如此循环渐进，最终废粕由螺旋输送机输送到下一个工段。

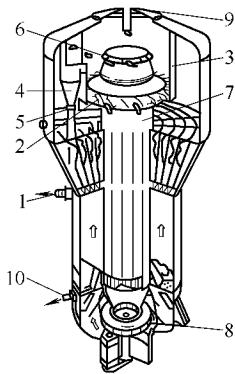


图 源圆 摇干燥机的剖视图

员—换热器；圆—叶轮；猿—挡板；源—旋流分离器；缘—排料管；远—叶轮；苑—轴；愿—叶轮；怨—出气孔；员园—螺旋输送机

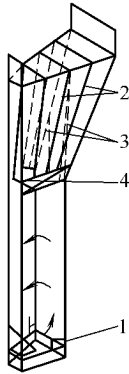


图 源圆 摇干燥机单格室图

员—出孔；圆—隔板；猿—导向板；源—开孔
摇

通过干燥机的蒸汽，到达干燥机的上部后，会含有一些灰尘颗粒(小于 员皂皂)。这种蒸汽在上部的特殊结构中产生涡流，灰尘收集到壁板上，进入侧面的旋流分离器，然后由排料管排到最后的格室中。

(二) 过热蒸汽用于食品的膨化加工

1. 食品的过热蒸汽法膨化的概念

膨化过程是在加压的情况下，将物料加热到 100℃ 以上，然后突然消除所加压力，让物料处于大气压力之下，这样，物料内部的水分急剧汽化成蒸汽，从物料内部猛烈冲出，使物料膨胀。简言之，膨化现象实质上就是利用物料的瞬间体积膨胀力使物料蓬松的现象。

膨化使用的热源可以是热空气、直接火、饱和蒸汽、过热蒸汽和电能。但不同食品原料的膨化难易程度不同，而且不同的加热条件也会得出不同的膨化效果。人们探索将过热蒸汽用于方便米饭的生产、脱脂大豆的热处理，以及马铃薯、苹果、杏子、胡萝卜和各种蔬菜类原料的膨化，可生产出复水性良好的方便食品。

试验表明大米、高粱等在 0.1~0.2 MPa 的压力下能很好膨化，玉米在 0.1~0.2 MPa 压力下能很好膨化，但小麦、燕麦要在更高的压力下才能有较好的膨化效果，而大豆、绿豆等豆类则几乎不膨化。另外，不同的原料，宜采用不同的加热方式。水分质量分数过低或内部水分质量分数低而表面润湿的材料均不能充分膨化。

对小麦等一些谷类原料，宜先用饱和蒸汽加热，而后再用过热蒸汽加热，这样可以在较低的工作压力下，取得较好的膨化效果。

2. 过热蒸汽加热膨化设备

图 4-1 是采用过热蒸汽加热的连续膨化机。该装置主要由耐压密闭外筒和内筒以及内外筒之间的加热元件和内筒的螺旋输送机构成。其工作过程为高压蒸汽导入内外筒之间的环形空间由加热元件加热并保持在过热状态，原料由进料间控制进入内筒，由螺旋输送机向前输送，原料在向前运动过程中受到内外筒之间的过热蒸汽的加热，再从内筒挤出进入外筒，最后从排料间排出。

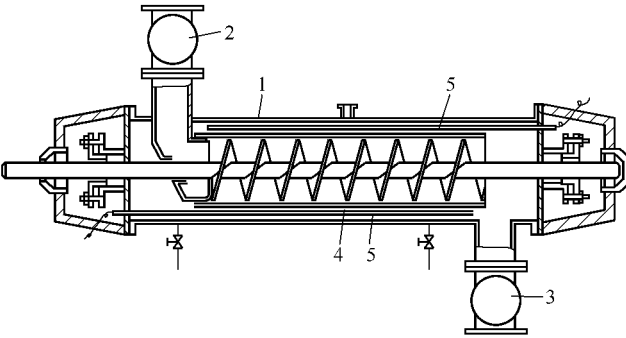


图 4-1 采用过热蒸汽连续膨化机

1—外筒（密闭容器）；2—旋转式进料间；3—旋转式排出阀；
4—内筒（固定）；5—加热器

该膨化机在原料出口端的导阀上装有消音装置，因此其噪声与间歇式的膨化机相比小得多。

此装置可以在最高压力为 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力下连续工作，膨化玉米或小麦的生产能力可达到 $1 \sim 10 \text{ t/h}$ 。

使用过热蒸汽的连续膨化机已用于方便米饭的生产和酱油生产原料——脱脂大豆的热处理。另外，该膨化机还可膨化马铃薯、苹果、杏子、胡萝卜和各种蔬菜类原料，生产出复水性良好的方便食品。

（三）过热蒸汽用于酿造用原料的预处理

将上述连续膨化机作进一步改进，便得到一种工作原理相同的专门用于处理酿造原料的膨化机。

该膨化机的工作过程为：过热蒸汽在管道中高速流动，并带着加入的原料（粒状或粉状）一起往前运动。原料在向前运动过程中受过热蒸汽加热到一定程度后，经释放装置突然排入大气而膨化。在该膨化机中，过热蒸汽既是传热介质又是依靠本身与外界的压差推动物料向前输送的载体。

这种预处理膨化机在酿造厂已有使用，处理的原料主要是大豆和脱脂大豆以及小麦等原料。

用过热蒸汽处理大豆等蛋白质原料时，要使蛋白质充分变性，原料就必须含有足够的水分。当原料水分质量分数为 $10\% \sim 15\%$ 时，缘 $10 \sim 15 \text{ min}$ 的处理时间就可使蛋白质变性。

另外，这种膨化机还用于酿酒用精白米、糙米和米糠等原料的膨化处理。

（四）过热蒸汽用于粉粒状原料的瞬间杀菌

为了防止低水分的香料、小麦粉等原料的品质劣化，进行有效的杀菌是必要的。但此类物质的杀菌是相当麻烦的，这是因为：

- ① 原料内部的热传导性能差，容易产生局部温度过高或过低；
- ② 原料的水分含量少，杀菌效果差；
- ③ 湿热杀菌效率较高，但原料易粘在装置内并结块；
- ④ 低水分原料在加热时品质易恶化，例如易于发生氧化变色和挥发性成分损失等；
- ⑤ 定量输送和在装置内的流动较困难。

由此可知，粉粒状原料的热力杀菌存在许多问题。采用非热致的方法对粉粒状原料进行杀菌，效果虽有可能满足要求，但非热致杀菌的一些方法（如射线照射或加入如环氧乙烷等的化学杀菌剂）的安全性令人怀疑。

人们发现采用过热蒸汽与粉粒状物料直接接触进行瞬时杀菌，不仅不会使原料水分增加，而且可以将品质的劣化控制在最低的程度。

目前使用过热蒸汽杀菌的装置有以下 3 种类型，它们均能充分保证粉粒体原

料的各粒子能在均一的状态下瞬间加热，并在加热后急剧冷却，可使品质的劣化控制在最小程度。

图 4-1-1 气流式过热蒸汽杀菌装置

图 4-1-1 是气流式过热蒸汽杀菌装置流程图，其工作过程如下。待杀菌的粉粒状原料在过热蒸汽管道中加入。过热蒸汽以约 100 m/s 的高速在管道中流动，并夹带加入的原料一起向前输送。原料在管道中其颗粒处于悬浮的状态，经狭缝处理，过热蒸汽和原料的气溶胶混合物进入旋风分离器进行第一次分离，分离出的蒸汽由风机送入过热器加热后重新使用，分离出的固体为杀菌后的产品。为了使产品的含菌率进一步降低，可对第一级分离出来的固体用饱和蒸汽替代过热蒸汽进行第二级杀菌处理，杀菌后再进行分离。

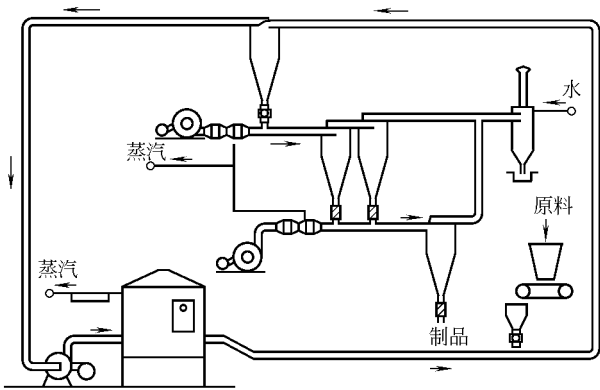


图 4-1-1 气流式过热蒸汽杀菌装置流程图

第一级分离出来的处于过热温度下的固体，为下一级使用饱和蒸汽进行杀菌提供了可能性。图 4-1-1 中的流程，为原料经第一次过热蒸汽和第二次饱和蒸汽杀菌的流程。过热蒸汽加热原料后再度加热成过热蒸汽重新使用，而饱和蒸汽加热物料后不再重新使用，而由冷却水冷凝。

该装置可用于香味料、荞麦粉、可可豆和谷类的杀菌。表 4-1-1 是采用该装置进行杀菌的结果。采用过热蒸汽杀菌不仅杀菌效果好，而且热敏性物质的保存率很高。

图 4-1-2 高速搅拌式过热蒸汽杀菌装置

气流式过热蒸汽杀菌装置适用于连续处理大量单一的原料，但对于品种多而数量少的原料如药品的杀菌显然是不适合的。为此开发了间歇操作的高速搅拌式的小型过热蒸汽杀菌装置。

图 4-1-2 是间歇操作的高速搅拌式过热蒸汽杀菌装置的流程图。其工作过程如下所述。

表 源愿摇气流式过热蒸汽杀菌装置的杀菌结果

原料	处理条件			水分质量 分数 缘	活菌数 个·早	大肠 杆菌	其他含量 (其他成分)	
	压力 缘	温度 缘	时间 缘					
黑胡椒	处理前			员愿苑	猿缘园伊员园 ^猿	(垣)		
	缘愿园	员愿园	苑	员愿苑	猿缘园伊员园 ^猿	(原)		
	缘愿猿	员愿园	苑	员愿园	猿园以下	(原)		
辣椒粉	处理前			员愿怨	猿苑园伊员园 ^猿	(原)	怨愿怨	(胡萝卜素 缘早 噪早)
	缘愿员	员缘	缘	员愿园	猿园以下	(原)	怨愿园	
姜黄	处理前			员愿员	愿员伊员园 ^猿	(垣)	猿猿员	(姜黄素 缘)
	缘愿缘	员愿园	缘	猿苑苑	猿缘园伊员园 ^猿	(原)	愿怨	
月桂叶	处理前			员愿源	愿愿伊员园 ^猿	(原)		
	缘愿圆	员愿园	猿缘	员愿源	猿园以下	(原)		
荞麦粉	处理前			员愿猿	猿猿园伊员园 ^猿	(垣)	猿	(叶黄素 缘早 噪早)
	缘愿员	员愿园	缘	员愿员	猿园以下	(原)	猿	
小麦粉	处理前			员愿愿	缘员伊员园 ^猿	(垣)	员愿圆	(糊化度 缘)
	缘愿员	员愿园	缘	猿缘	愿园	(原)	愿愿苑	
	缘愿圆	员愿园	缘	愿圆	圆以下	(原)	远猿猿	
大豆粉	处理前			远愿圆	怨愿伊员园 ^猿	(垣)	猿猿园	(皂甙)
	缘愿员	员愿园	缘	猿缘	愿苑伊员园 ^猿	(原)	猿猿圆	
	缘愿员	员愿园	缘	猿愿员	员园	(原)	员愿园	

注：(垣)表示阳性；(原)表示阴性。

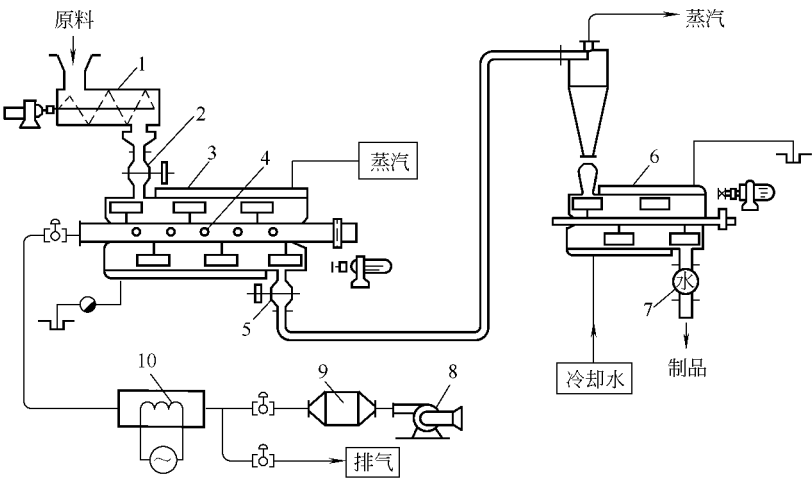


图 源愿摇高速搅拌式过热蒸汽杀菌装置

员—定量喂料器；圆—进料阀；猿—高速搅拌式过热蒸汽瞬时杀菌器；源—喷嘴；
缘—排料阀；远—愿—除菌器；愿—过热器

原料首先进入定量喂料器 员, 然后由进料阀 圆控制进入高速搅拌式过热蒸汽瞬时杀菌器 猿 原料在过热蒸汽瞬时杀菌器中与过热蒸汽混合, 过热蒸汽加热原料使其温度升高, 从而达到杀菌的目的。为了使过热蒸汽与原料很好地混合, 使物料的温度均一, 在杀菌器中设置了高速搅拌器以搅拌物料。原料在杀菌器中停留 缘~ 员缘 秒后由排料阀 缘排出, 排出的物料经旋风分离器分离出产品和蒸汽。冷却后经排料阀 苑排出的产品即为杀菌后的产品。过热蒸汽的循环流动过程如下。过程中被排出的高压蒸汽与由风机吸入经除菌器 怨除菌后的空气相混合, 然后进入过热器 员园 混合气流在过热器中加热后进入杀菌器内的搅拌器空心轴, 再由空心轴上的喷嘴 源喷出, 喷出的空气和过热蒸汽的混合物在杀菌器与原料混合, 使原料加热, 然后与原料一起从排料阀排出。

过热蒸汽瞬时杀菌器设有夹套, 在夹套中通入额外的高压蒸汽加热, 使杀菌器内的温度能更好地保持在较高的水平。冷却器也设有夹套, 在夹套中通入冷却水, 以冷却经旋风分离器分离的产品。由分离器上方排出的蒸汽, 其中大部分作为上述被重新引入再过热的蒸汽, 进行循环使用。

为了保证杀菌效果稳定可靠, 操作过程宜采用间歇式操作, 但整个过程设计成程序控制的全自动控制操作。

已采用该装置进行杀菌的原料有甘草、桂皮、卡拉胶和淀粉等, 表 源圆是采用该杀菌装置进行杀菌的结果, 可见杀菌效果是非常理想的。

表 源圆摇高速搅拌式过热蒸汽杀菌装置的杀菌结果

原料	处理条件			水分质量 分数 轳	总活菌数 轳 · 早	耐热性活菌数(愿益, 猿皂) 轳 · 早	大肠杆菌
	压力 轳	温度 轳	时间 轳				
甘草 (切成丝)	处理前			苑园	圆愿伊员	猿愿伊员	(垣)
	圆	员园	员园	愿愿	圆以下	圆以下	(原)
	圆	员园	员缘	愿愿	圆以下	圆以下	(原)
桂皮 (切成丝)	处理前			员愿	苑愿伊员	圆以下	(原)
	圆	员园	员园	愿愿	愿伊员	圆以下	(原)
	圆	员园	员缘	员愿	圆以下	圆以下	(原)
茴香	处理前			员愿	愿伊员	愿伊员	愿伊员
	圆	员园	员园	员愿	圆以下	圆以下	(原)
	圆	员园	员缘	员愿	圆以下	圆以下	(原)
卡拉胶 (粉末)	处理前			员愿	愿伊员	—	(原)
	圆	员园	员园	苑愿	愿伊员	—	(原)
	圆	员园	员园	愿愿	愿伊员	—	(原)



续表

原料	处理条件			水分质量 分数	总活菌数 个·g ⁻¹	耐热性活菌数(嗜热芽孢杆菌) 个·g ⁻¹	大肠杆菌
	压力 kPa	温度 ℃	时间 min				
玉米淀粉 (粉)	处理前			18.0~20.0	1.0×10 ⁶ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	(原)
	0.05	120	30	18.0~20.0	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	(原)
	0.05	120	60	18.0~20.0	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	(原)
面粉 (粉)	处理前			14.0~16.0	1.0×10 ⁶ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下
	0.05	120	30	14.0~16.0	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	(原)
	0.05	120	60	14.0~16.0	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	(原)
玉米粉 (粉)	处理前			14.0	1.0×10 ⁶ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下
	0.05	120	30	14.0	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	(原)
	0.05	120	60	14.0	1.0×10 ⁴ 以下	1.0×10 ⁴ 以下	(原)

注：(+)表示阳性；(-)表示阴性；—表示无数据。

塔式过热蒸汽杀菌装置

对于诸如面包屑、蔬菜等的原料，若采用气流式或高速搅拌式的杀菌装置杀菌。则容易破坏其形状，因此开发了这种对原料形状破坏程度很低的塔式过热蒸汽杀菌装置。

图 1-10 是用塔式过热蒸汽杀菌装置进行杀菌的工艺流程图。物料的流程如下所述。

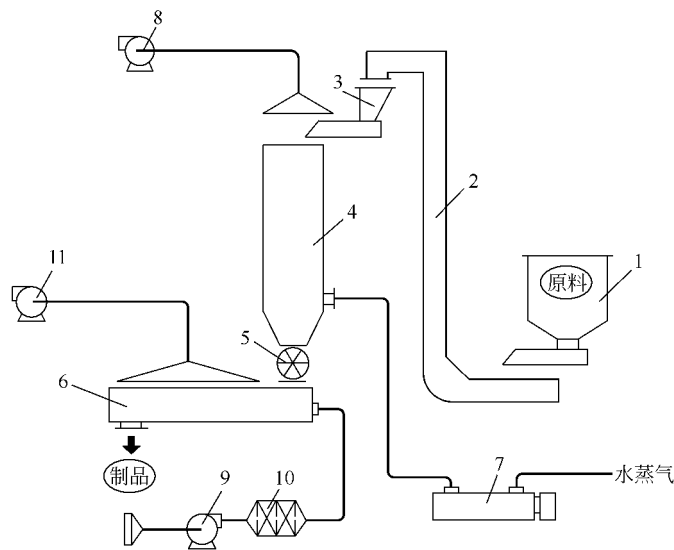


图 1-10 塔式过热蒸汽杀菌装置流程图

1—喂料器；2—斗式提升机；3—塔式过热蒸汽杀菌装置；4—旋转阀；
5—冷却器；6—过热器；7—排风机；8—鼓风机；9—除菌过滤器

原料的进入由定量喂料器控制，然后由斗式提升机运送至喂料器，再由它加入至塔式过热蒸汽杀菌装置。经过热蒸汽加热杀菌后的物料由旋转阀控制进入冷却器急速冷却，冷却后的物料即杀菌后的产品。蒸汽的流程如下。饱和蒸汽由过热器加热成过热蒸汽后送入杀菌装置以加热物料，然后上升至塔顶，由上部收集器收集，最后由排风机排出。冷却器中散发出来的蒸汽也由其上部收集器收集，再由排风机排出。冷却器采用空气冷却，空气经鼓风机送入除菌过滤器过滤，过滤后的无菌空气送入冷却器冷却由塔式过热蒸汽杀菌装置中放出物料。

塔式过热蒸汽杀菌装置的杀菌原理为：过热蒸汽在直径约为 1.5~2.0 m、高约 10 m 的塔式过热蒸汽杀菌器内呈螺旋上升，待杀菌的原料从塔上部落下与上升的过热蒸汽相遇。上升的过热蒸汽使下降的原料颗粒呈飞舞状态，因此颗粒原料与过热蒸汽的接触充分而温度均匀。

该装置的杀菌效果非常理想，可使原料的含活菌数下降 1~2 个数量级。该装置处理面包屑时，生产能力为 1000 kg/h，蒸汽用量仅为 1.5 t/h。

在处理冷冻干燥蔬菜制品时，由于原料柔软且容重小，若采用气流式或高速搅拌式过热蒸汽杀菌装置杀菌，由于入口处的旋转阀的输送容积有限，处理能力极小。但若采用塔式过热蒸汽杀菌装置，生产能力就可以提高。

（五）过热蒸汽用于油脂工业中的脱溶

蒸脱机是浸出油厂的重要设备，而蒸脱机工作时一刻也离不开蒸汽。蒸汽又有饱和蒸汽与过热蒸汽之分。

饱和蒸汽及过热蒸汽热交换时的特性

饱和蒸汽进行热交换时，稍遇冷气相的水就立即变成液相的水，同时释放出气化热，这种相转变时，温度维持不变。以 1.013 MPa 的绝对压力为例，热交换时，1 kg 的气变成 1 kg 的水，而释放出的热能为 2204 kJ/kg。这种热能的释放速度较快。由于有部分气相水转变成液相水，因而气相压力下降也就快，这就意味着饱和蒸汽向上的穿透能力也就随着较快地下降。

对于过热蒸汽来说，它进行热交换时，不会像饱和蒸汽那样立即发生相变，而是分两步释放热能。遇冷后，先释放出过热温度到饱和温度时温差所造成的热能，然后再发生相变。释放出气化热量。现以 1.013 MPa 的绝对压力、过热温度以 150℃ 为例：第一步放出的热能为 $(150 - 100) \times 1.013 = 50.65$ kJ/kg，第二步发生相变，释放出气化热：2204 kJ/kg。过热蒸汽热交换时以这种形式释放热量，表明它的放热速度较饱和蒸汽放热速度为小。同时也表明它的汽相压力降速度也较饱和蒸汽的汽相压力降速度为小。也可以说过热蒸汽在物料层中的穿透能力要较饱和蒸汽在物料中的穿透能力大。操作时，过热蒸汽易造成短路。我们可以预计，随着过热温度的提高，过热蒸汽热交换时，压降也就愈小，穿透能力也

就愈大。

1. 饱和蒸汽在颗粒固相层中进行蒸汽蒸馏的特性

在颗粒固相层中进行水蒸气蒸馏一般较为少见，可是在蒸脱机中进行的饼粕脱溶，其原理却是实实在在的蒸汽蒸馏。溶剂基本上都依附于饼粕上，对于这种状态下的蒸汽蒸馏，有它的特殊性：其一是固体颗粒不是连续相，这种连续相却又有别于料层上面的空间，它毕竟存在一定的阻力，但这阻力远小于溶液中，再加上机械搅拌，气体逸出料层的阻力就更小，因而，对于颗粒固体料层来说，蒸汽所需要的压力远比同样厚度的液层要小，因此蒸汽出口截面面积要比进汽的截面面积大；其二是进入蒸脱机的湿粕温度只有 $60\sim 70^\circ\text{C}$ ，远较蒸汽的温度低，蒸汽在蒸脱机内不仅要携带溶剂蒸汽一道逸出料层，同时还要进行热交换，使之升到 100°C 左右，可见在固相颗粒层中进行蒸汽蒸馏，所需蒸汽的量要较液相中大；其三，饼粕料层是松散的，如果料层较低，容易造成蒸汽短路，同时夹带粕末进入冷凝器、热交换不充分。为了防止短路，蒸汽的压力不能高，那就意味着出口面积必须进一步扩大。目前使用的蒸脱机有较大的进汽口，约 3 倍进汽口的出汽口、较高的料层、较高的空气室，因而目前的粕蒸脱机对于饱和蒸汽来说，设计是合理的、科学的、实用的。

2. 过热蒸汽在颗粒固相层中进行水蒸气蒸馏的特性

过热蒸汽在颗粒固相层中进行蒸汽蒸馏，其原理和特性基本上与饱和蒸汽相同，但由于其放热速度较慢、压力降小、穿透能力强，为保证热交换充分而不短路冲料，蒸汽出口截面面积必须进一步增大，以降低它的出口流速，或者再增高料层高度以增大其对汽流的阻力。由于它的焓大，就必须缩小它的进口截面面积或者降低操作压力以减少蒸汽的流量。

因此，过热蒸汽蒸脱粕中溶剂必须做到扩大原设备蒸汽的出口面积和降低操作压力。

3. 料粕的湿热处理条件

湿粕在蒸脱机内进行脱溶的同时也完成了对尿素酶等抗营养因子的破坏，在满足湿热条件下（水分质量分数 $15\sim 20\%$ ，温度 $100\sim 120^\circ\text{C}$ ），蒸脱过程中最佳控制尿素酶活性和蛋白质溶解性的时间为 $15\sim 20\text{min}$ 。

过热蒸汽用于蒸脱机脱溶时有着饱和蒸汽无法比拟的优点：如节约用汽量；降低成品粕的水分；脱溶更彻底；可有效防止粕在蒸脱机内结块；可使蒸脱机电流降低，节省动力；可使蒸脱机结构更加紧凑、合理，从而降低设备投资等。

（六）过热蒸汽的其他用途

酱油生产中产生的酱油粕含有大量的未被利用的大豆或小麦的蛋白质和淀粉，虽然可将它干燥用作饲料，但由于它有特殊的臭味，添加到饲料中的量不能很多。

为了提高酱油粕的利用率,可以用过热蒸汽进行脱臭和干燥,制成含有蛋白质和淀粉的饲料。这种处理技术已在实际中得以应用。

米糠已作为保健食品而有广泛的应用。但米糠的油脂含量很高,油脂分解酶也很活跃,因此它很容易酸败,因而它的利用受到限制。米糠中的油脂分解酶在低温下很易失活,但原料中的活菌多时很快又会产生大量的酶。用过热蒸汽处理米糠,不仅酶可失活,而且活菌也被杀死。因此,用过热蒸汽处理米糠,米糠的利用性得以提高。用过热蒸汽处理,米糠中的维生素等有效成分能被充分保存下来。

试验表明,缘下保藏的米糠与用过热蒸汽处理过后在猿盐下保藏的米糠相比,后者的抗氧化性更好。

参 考 文 献

- 员瑶高福成主编援现代食品工程高新技术援北京:中国轻工业出版社,员猿苑,缘
- 圆瑶武杰编援食品微波加工工艺与配方援北京:科学技术文献出版社,圆园园猿:缘愿~圆园圆
- 猿瑶吴正达援远红外干燥蔬菜生产技术援适用市场技术援员猿苑,缘:猿员~猿圆
- 源瑶李葆杰援马铃薯远红外辐射剥皮技术的实验研究援食品工业科技援员猿苑,缘:圆圆~圆猿
- 缘瑶卢晓黎,雷鸣,沈成初援远红外线烘烤制作甘薯酥脆饼干的工艺探讨援食品科学援圆园园圆,圆猿(愿):圆园圆~圆园猿
- 远瑶朱珠,武宝玉援微波面包制作工艺援吉林粮食高等专科学校学报援圆园园猿:员愿(员):员~猿
- 苑瑶张建龙,董铁有,朱文学援微波冷冻干燥技术的特点及发展前景援杂粮作物栽培与贮藏援员猿苑:猿苑~猿愿
- 愿瑶郭桦,李冰,郭祀远援微波在烘焙食品中的应用技术援食品科技援圆园园圆,员员:圆园~圆员,员苑
- 怨瑶韦小杰,陈小鹏,王琳琳援八角油提取新方法的研究援杂粮作物栽培与贮藏援员猿苑:猿苑~猿愿
- 圆原(猿):猿员~猿猿
- 员瑶张宏梅,陈玲,李琳援微波在淀粉改性中的应用援现代化工援圆园园员,圆员(缘):远园~远圆
- 员瑶梅国晖,任立义,任朝晖等援空气和过热蒸汽干燥特性的对比援东北大学学报(自然科学版)援圆园园员,圆圆(猿):圆猿~圆愿
- 员瑶廖志国,王宇,李大力援用过热蒸汽进行废粕干燥技术援中国甜菜糖业援员猿苑,员:猿愿~猿怨
- 员瑶范敖齐,杨丽云援过热蒸汽蒸脱粕中溶剂必须注意的问题援中国油脂援员猿苑,圆猿(缘):苑~愿
- 员瑶朱向臣援蒸脱机过热蒸汽脱溶时的结构探讨援西部粮油科技援圆园园猿,缘:圆元~圆愿

第五章 新型低温加工技术

随着生活水平的提高，人们越来越重视食品的风味和营养。低温加工因其对食品的营养和风味的影响小而备受关注。随着食品生产加工和运输过程中的冷链的形成，低温加工得到了广泛的应用。最早的食品低温加工主要为食品的低温储存，但在现代，低温加工技术早已不限于储存之需了。但多种技术的进步主要集中在冷冻技术的改进和低温粉碎技术的成熟。在本章主要讨论冷冻粉碎及流化床速冻这两项新型低温加工技术。

第一节 冷冻粉碎

食品冷冻粉碎技术是冷冻与粉碎两种技术相结合的产物，这是一项使食品原料在冻结状态下进行粉碎制成干粉的技术。冷冻粉碎技术突破了常规粉碎工艺的局限性。采用冷冻粉碎技术，不仅常规粉碎无法处理的物料可以得以粉碎，而且大大减少了粉碎过程中有效成分的损失，使得粉体加工食品的技术得到了重大改进。冷冻粉碎对含油脂、糖分和水分多的物料（如肉类、一些中草药、巧克力等）特别有效。因为这些性质的物料在常温粉碎时容易产生黏结、堵塞和性质变化等问题，并且效果和效率差。目前此项技术已在保健食品的生产中得到了广泛的应用。

本节主要介绍冷冻粉碎原理及冷冻粉碎技术在食品和农产品中的应用。

一、冷冻粉碎原理

常温固体的粉碎效果在很大程度上受到常温下物料性质及粉碎机类型的影响。例如：对于含油脂和水分较多的食品，粉碎后微粒易产生粉粒凝集，造成粉碎机的堵塞，生产能力下降。此外，粉碎中所投入能量的大部分因转化为热能，而以热的形式出现，这一点对于热敏性食品极为不利，常常造成食品的变质、熔解或黏着，导致生产能力下降。冷冻粉碎是利用物料在低温状态下的“低温脆性”，即物料随着温度的降低。其硬度和脆性增加，而塑性及韧性降低。在一定温度下，用一个很小的力就能将其粉碎。经冷冻粉碎的物料，其粒度可达到“超细微”的程度，因此可以生产“超细微食品”，从而避免了上述问题的发生。这就是冷冻粉碎的基本原理。

物料的“低温脆性”与玻璃化转变的现象密切相关。所谓玻璃化转变是指非晶态聚合物在温度变化时会出现力学性质的变化，形成橡胶态和玻璃态两种物理状态；而且温度变化过程可以产生由橡胶态向玻璃态的转变。在橡胶态

时，物料的韧性大，变形能力强；而在玻璃态时，物料硬度和脆性大，变形能力很小。其实玻璃化转变现象并非聚合物所特有，食品和农产品同样会出现玻璃化转变过程。因为食品和农产品的组成结构比较复杂，所以其玻璃化转变要复杂得多，可能存在多级玻璃化转变过程和反玻璃化转变现象。一般地，将物料由橡胶态向玻璃态转变时所要求的温度称为玻璃化转变温度。根据前面提到的橡胶态和玻璃态的性质，可以认为物料的玻璃化转变温度对应着物料的“脆化温度”。

❶ 冷冻粉碎的特点

冷冻粉碎与常温粉碎相比具有如下优点：

① 可以粉碎含脂肪多的肉类、含水分多的蔬菜、软化点低的巧克力及在常温下难以粉碎的食品原料；

② 可以制成比常温粉粒体流动性更好、黏度分布更理想的产品；

③ 不会发生常温粉碎时因发热、氧化等造成的变质现象；

④ 粉碎时不会发生气味逸出，粉尘爆炸、噪声等现象；

⑤ 利用物质的低温脆性进行粉碎，故可作微细的粉碎，颗粒直径小于 $10\mu\text{m}$ 。

这些优点使得该技术特别适用于由于油脂或水分含量高缘故很难在常温下粉碎的食品，或者在常温粉碎时很难保持香味成分的香辛料。

❷ 食品冷冻后性质的变化

食品原料经冷冻后会发生物理、化学、组织上的一系列变化，这是冷冻粉碎中独特的研究领域。这里仅讨论与粉碎有关的性质变化。

(员) 内压的产生摇水具有其独特的性质，与一般的物质不同，水的密度在 4°C 时达最大，升温或降温都会导致水体积的增大，因此在冻结过程中，由于水的体积膨胀，在体系中产生一定的内压。由于大多数物料在降温时体积是收缩的，因此内压的作用与其水分含量相关。另外物料在冷冻时，水分从表面向内部冻结，内部水分的冻结膨胀会受到外面冻结层的阻碍，于是产生内压，冻结速度愈快，内压愈大，当压力超过外层的承受能力时则会发生破裂。

(圆) 体液的流失摇当温度升高时，冷冻食品中的冰结晶溶化成水。由于周围细胞组织不能恢复到原样，而液化的水成液滴流出。食品的含水量越高，体系的物理性状变化越大，体液的流失就愈严重。由于冷冻粉碎所处理的食物通常含水率高，而且经过机械粉碎，组织破坏严重，因而粉碎刚结束时尚为低温的粉末，当温度上升后极易变成浆状，因此冷冻粉碎后应注意产品的保存方式，实际操作中常常在冷冻粉碎后接着进行冷冻干燥处理。

(猿) 浓缩与水分蒸发摇冷冻过程中，食品中水分的部分冻结会造成未冻结部分浓度增大，从而导致其冻结点下降，进一步的冷冻需要更多冷量。此外因冰

的升华作用致使表面水分蒸发，这可以减少冻结粉碎后的干燥处理的负担。

理想制冷剂

从食品行业的生产要求来看，理想的制冷剂应具备沸点低，单位容积制冷能力大，安全性强，不会燃烧、爆炸，无腐蚀性，无毒无刺激性气味，处理方便和价格低廉等特点。虽然制冷剂一般不会直接接触食品，但对其安全性要求还是很高的。用于冷冻粉碎的制冷剂，因为要求实现深度冷冻，所要求的冷冻温度低，因此所用的制冷剂须具有极低的沸点，所以常常采用低温液化气体。另外为达到物料微细粉碎的目的，对制冷剂有两个基本要求：一是要有足够低的沸点，使物料达到冷脆的程度；二是要能迅速除去物料在粉碎过程中由于动能转化产生的热能，避免物料由于温度的升高而恢复韧性和食品营养成分的变化，从而保证粉碎过程中的物料质量。表 2-1 列出了一些低温液化气体的物理性质。

表 2-1 常用低温液化气体的物理性质

气体	沸点 /℃	熔点 /℃	临界温度 /℃	临界压力 /MPa	液体相对密度
二氧化碳	-78.5	-56.6	31.1	7.38	—
一氧化碳	-191.5	-192.5	-133.0	34.5	—
甲烷	-161.5	-182.5	-162.0	4.82	—
乙烷	-88.6	-183.0	-88.6	4.82	—
丙烷	-42.1	-187.7	-42.1	13.7	—
氮	-195.8	-210.1	-146.9	3.39	—
氧	-183.0	-218.8	-118.8	5.04	—
氩	-185.9	-248.3	-151.9	4.83	—
氖	-246.1	-248.6	-246.1	2.76	—
氦	-268.9	-272.2	-268.9	0.1013	—
氢	-252.8	-259.1	-252.8	0.1295	—
氪	-153.3	-157.0	-153.3	5.59	—
氙	-107.1	-116.3	-107.1	8.15	—

这些气体中，二氧化碳和甲烷虽然是目前广泛使用的制冷剂，但制冷的温度尚不能满足冷冻粉碎的要求；一氧化碳还具有强烈的刺激性气味，不仅对人体有害，还对钢有强烈的腐蚀作用。甲烷的缺点是临界温度低而凝固温度较高。氩、氖、氦为稀有气体，来源受到限制。甲烷、乙烷或氢等使用安全性差，遇火易燃烧或发生爆炸。相比之下氮占空气组分的 78%，来源丰富，化学惰性，常压下液氮的冻结温度为 -195.8℃，无毒，因而成为超低温速度速冻的理想制冷剂。

但是，液氮作为制冷剂也存在一个大问题，就是成本较高，对于蟹类等高值产品的加工来讲，此成本尚可接受，而对藻类等低值产品就会影响到其推广应用了。因此，国内目前一些科研单位、高等院校等在开展研究气波制冷机。气波制冷机是一种新型的空气膨胀制冷机，能制取 -195.8℃ 的冷空气，目前此项技术在油田的轻烃回收装置中以及天然气脱水装置中都已得到应用。

二、冷冻粉碎设备

1. 冷冻粉碎设备流程

冷冻粉碎装置一般由制冷剂供给装置（液氮箱）、原料冷冻箱、供给箱、低温粉碎机、产品收集器和显热回收装置等组成（图 5-10）。

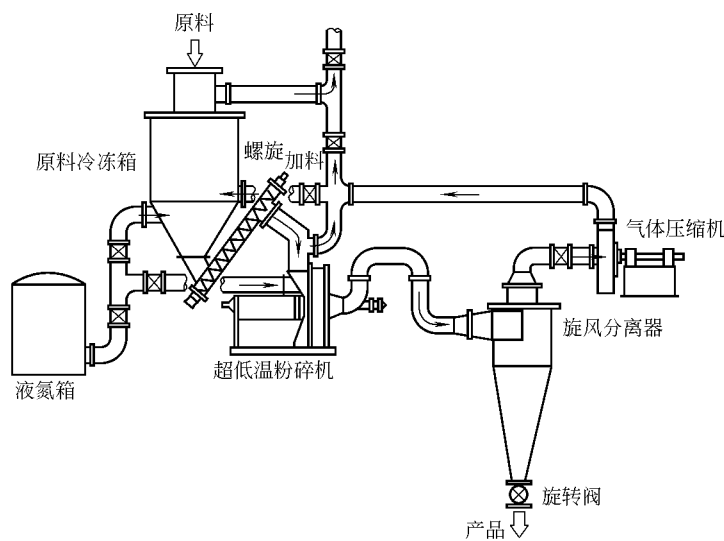


图 5-10 冷冻粉碎设备流程图

下面将介绍主体设备中的液氮箱、低温粉碎机和有关附属设备。

2. 主要设备

（1）液氮箱摇作为冷冻粉碎的制冷剂——液氮储存在液氮箱中，在操作过程中，一部分提供给原料冷冻箱使待粉碎原料充分冻结，另一部分提供给低温粉碎机，以维持低温粉碎机的设定温度（例如 原 5-11），使得冻结原料的粉碎始终在低温、惰性条件下进行。在上述过程中，液氮变成低温氮气先经旋风分离器与原料粉末分离，再经气体压缩机压缩后，分成 两部分，一部分进入粉碎机内循环使用；另一部分进入原料冷冻箱使原料预冷。这样做的目的是为了充分回收利用氮气的显热；还有一部分同原料冷冻箱放出的氮气一起排入大气。

（2）低温粉碎机摇冷冻粉碎中的低温粉碎机在粉碎作用方面的部分的结构与常温粉碎机没有什么不同，其特别之处在于多了一个制冷系统。与常温粉碎一样，低温粉碎机包括用作粗碎的颚式压碎机、回转压碎机；用于中、细碎的辊筒轧碎机、锤片式粉碎机、盘击式粉碎机；用作研磨的球磨机等。粉碎机的结构不同，其产生的主要粉碎力和用途就各不相同。

（3）典型的冷冻粉碎机摇对于低温粉碎而言，材料经冷冻脆化，粉碎一般采用产生冲击力的粉碎机（锤片式或盘击式）。图 5-11 为一种冷冻粉碎机的结构

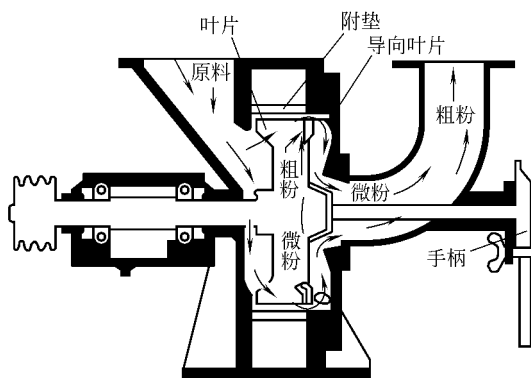


图 2-1-1 连续冷冻粉碎机结构示意图

示意图。机内的分级装置决定了产品的粒度。

(源) 涡旋式气流粉碎机摇
涡旋式气流粉碎机工作原理是：在超低温下，使用超声速涡旋气流冲击，使呈现冷脆性的物料互相之间和与粉碎室壁面之间发生碰撞，实现瞬间粉碎。高速涡旋气流瞬间粉碎的粉碎粒度，可达到缘~员缘μ皂之间。

猿附属设备

为了防止物料冷冻粉碎后因温度升高造成粉体的黏结、浆化，可以将冷冻粉碎机与冷冻干燥机联结起来连续制造干粉，图 2-1-2 为连续冷冻粉碎机流程图。

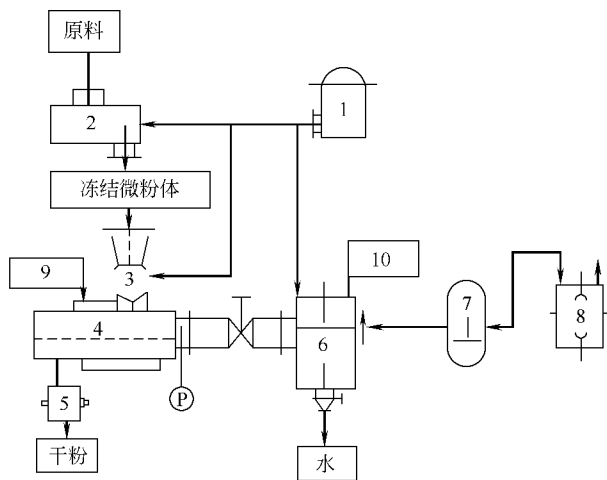


图 2-1-2 连续冷冻粉碎机流程图

员—液氮箱；圆—超低温粉碎机；猿—真空供给机；源—连续冷冻干燥机；缘—真空出粉机；远—冷凝槽；苑—机械增压机；愿—旋转式真空泵；怨—加热器（供给升华热）；员园—加热器（解冰）

三、冷冻粉碎技术在食品和农产品加工中的应用

利用食品原料在深低温状态下的冷脆特性，经粉碎处理予以粉碎，可粉碎成极细小的微粒，通过这种方法生产的食品称为超微细食品。它能最大程度地保存了原有物质的分子结构和营养成分，保全了食品的活性物质，使其易被人体吸收，大大提高各种营养成分及微量元素的吸收率，因此，超微细食品（包括制

品、添加物等), 因其符合“天然食品”、“绿色食品”的发展趋势已引起国内外科技界极大的兴趣和高度重视。

超微细食品得到营养学界的极力推崇, 被称为“21世纪食品”。日本在20世纪80年代应用超低温冷冻粉碎工艺, 使原来无法食用的鳖甲、蟹壳等动物骨骼微细化, 并首先应用于制药和食品行业。近年来, 日本、美国及西欧的一些国家在这方面的研究和开发有较大的发展, 现已有果蔬类、动物类、藻类和水产类的少量产品投入市场。

由于冷冻粉碎技术可以粉碎常温粉碎难以处理的物质, 如含水分或油脂多的食品, 而且在处理过程中原料处在低温状态和惰性介质中, 有效地抑制了芳香成分的挥发和物质的生化变化, 因而制得的粉体品质优良, 适用于配制工程食品和保健食品, 可满足各种高质量的营养强化剂、调味剂和增香剂等需要。

在研究食品和农畜产品冷冻粉碎干燥工艺时, 以下几点是要着重解决的问题。

① 研究被冷冻粉碎对象的玻璃化温度(或脆化温度)。研究并测量物料的玻璃化温度可采用 热流计(差示扫描量热计)、热天平(热机械法)。根据玻璃化转变理论的观点, 物料的玻璃化转变温度与其含水率之间是线性关系, 所以不同含水率的物料的脆化温度是不一样的。含水率高则玻璃化转变温度低, 即脆化温度低; 含水率低则玻璃化转变温度高, 即脆化温度高。此外, 在物料中添加其他化学成分可改变玻璃化转变温度。如在一些食品中加入一定量的糖类物质能提高其玻璃化温度。因此, 通过研究玻璃化转变温度的影响因素能找到提高脆化温度的方法, 这样能节省能量消耗。

② 研究真空干燥的最佳工艺参数。目前真空干燥设备已经比较成熟, 但物料在不同的真空干燥设备中干燥时的最佳工艺参数可能有所差别。

③ 研究高速粉碎工艺。高速粉碎不但提高加工效率, 还有助于改善颗粒的表面质量和粒度。目前应用研究的一个方向是涡旋式类型的强气流粉碎机。

④ 研究低温能源问题。利用液氮等形成达到物料脆化温度的低温状态需要很高的成本。目前成本高也是制约推广冷冻粉碎农畜产品的一个重要原因。此外, 不断研究开发附加值高的食品和农畜产品也不失为好的方法。

下面以谷类、水产和畜产品、水果蔬菜类、藻类及其他相关产品为例作具体说明。

5.1 冷冻粉碎技术在谷类食品加工中的应用

谷类食品随着粉碎温度的降低, 产品粒度更细, 呈干粉状态, 使用方便(见表5-1)。以米的粉碎为例, 米经低温粉碎得到的新型米粉, 与常温粉碎的产品相比, 粒度细, 吸水性强, 品质优良。在相同的粉碎温度下, 随单位动力的处理量增高, 筛下通过率降低, 粒度增大。筛下通过率与处理量之间的关系参见图5-1。

表 2-1-1 谷物类冷冻粉碎制品

原料	粉碎温度 ℃	处理能力 t/h	液氮量① kg/t	粒度(筛目) 质量分数 %	常温中状态
糙粳米	-10	1.5	15	80	干粉状
精粳米	-10	1.5	15	80	干粉状
精糯米	-10	1.5	15	80	干粉状
小麦	-10	1.5	15	80	干粉状

① 以单位质量原料计。

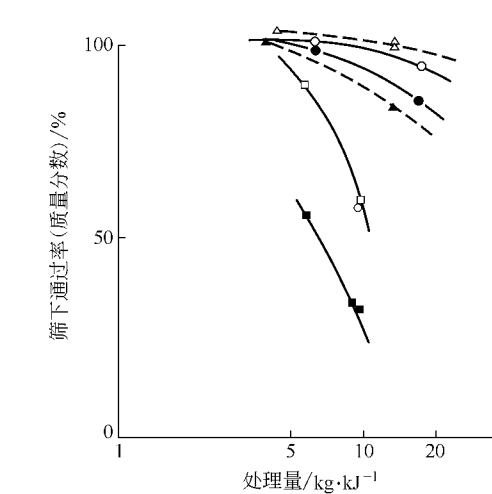


图 2-1-1 米的筛下通过率与处理量之间的关系图

○—糯米（原粒，100目下）；●—糯米（原粒，80目下）；□—糯米（常温，100目下）；■—糯米（常温，80目下）；△—糙糯米（原粒，100目下）；▲—糙糯米（常温，100目下）

冷冻粉碎技术在水产和畜产品加工中的应用

新鲜的水产品和畜产品水分含量极高，只能打成浆，很难打成粉，而水产品和畜肉的干制产品因其纤维结构的存在，常温下很难将其粉碎成粉。此外，水产品中一般含有较高的不饱和脂肪酸，常温粉碎时，因发热常常会使产品易于哈败而影响品质。采用冷冻粉碎可以有效地解决上述加工中的问题。一些水产品、畜产品经冷冻粉碎干燥后，可最大限度地保留原物料的风味和营养成分，从而制成营养价值高的功能性食品。此外采用冷冻粉碎可将一些加工下脚料回收利用。例如：将鳖、贝类、鱼类制成干粉出售；

将动物的皮、腱、蹄壳或内脏等制粉用作营养强化剂、增量剂等添加剂；用鱼、贝干粉与水果蔬菜和香料的粉末制成无腥鱼粉等。表 2-1-2 给出了肉类、鱼类的冷冻粉碎制品的实例。

表 2-1-2 肉类、鱼类的冷冻粉碎制品

原料	粉碎温度 ℃	处理能力 t/h	液氮量 kg/t	粒度(口感)	常温中状态
鸡骨(生)	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
鸡骨(熟)	-10	1.5	15	舌感不糙	粉状
牛骨(生)	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
牛骨(熟)	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
牛肉(生)	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
糠虾	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
金枪鱼(头)	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
鲭鱼(头)	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
鲑鱼(头)	-10	1.5	15	舌感不糙	膏状
明太鱼	-10	1.5	15	筛目全通	膏状

摇摇摇冷冻粉碎技术在果蔬加工中的应用

新鲜的叶菜和水果含有大量水分，无法粉碎，冷冻粉碎后的粉状产品如不进行冷冻干燥处理在常温中几乎绝大部分变成液体，一般在冷冻粉碎后直接冷冻干燥将其制成干粉，这种粉体与传统加热干燥法得到的产品相比，基本保持了新鲜蔬菜和水果的风味和营养成分，香味优美、营养丰富，见表 5-1。

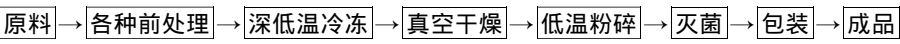
表 5-1 摇摇摇果蔬冷冻粉碎制品

原料	粉碎温度/℃	处理能力/t·h ⁻¹	液氮量/kg·t ⁻¹	粒度(口感)	常温中状态
绿茶(干燥)	-196	1.0	100	舌感不糙	干粉
海带	-196	0.5	200	舌感不糙	干粉
橘子	-196	1.0	100	舌感不糙	液态
草莓	-196	1.0	100	舌感不糙	液态
甘薯	-196	1.0	100	舌感不糙	膏状

摇摇摇冷冻粉碎技术在藻类加工中的应用

藻类营养丰富，富含人体自身不能合成的多种氨基酸和碘、钙、锌等多种微量元素。目前对藻类的加工，除了部分作为提取有效成分用于制药外，大部分采用粗加工，即高温高热加工方法，产品中的营养成分损失很大，失去了天然藻类食品的原有营养成分、风味和活性物质。这样加工出来的藻类，由于藻类的结构紧密，人体的吸收率很低，既影响到营养保健效果，又造成了资源的浪费。而采用在深低温下粉碎的超微细加工新技术，不仅能最大程度地保存藻类的分子结构、生理活性及营养成分，提高人体的吸收率，而且便于运输、储藏和食用，从而提高了藻类食用价值和应用价值。

藻类品种繁多（如海带、紫菜、马尾藻等），但其加工工艺是大致相同的。其基本流程为：



在藻类深低温冷冻粉碎加工中，主要的加工设备包括深低温冷源、真空干燥和粉碎，其中真空干燥技术和设备已比较成熟，关键是深低温冷源和粉碎设备。因此，开发深低温冷冻粉碎生产藻类超微细产品的基础条件之一，是研制新型低温粉碎设备（包括符合我国国情、成本较低的制冷源和粉碎粒度符合微细要求的粉碎机）。

（1）冷源 为达到物料微细粉碎的目的，对深低温冷源两个基本要求：一是要有足够低的沸点，使物料达到冷脆的程度；二是要能迅速除去物料在粉碎过程中由于动能转化产生的热能，避免物料由于温度的升高而恢复韧性和食品营养成分的变化，从而保证粉碎过程中的物料质量。目前国内外采用的深低温冷源基本是液氮或液化天然气，其中液氮无毒无臭和不可燃，其常压下的沸点达到 -196℃，足以使大多数物料呈现冷脆性，是目前应用的主要冷源。如在日本，

先用液氮冻结米、肉、蔬菜、调味品等食品原料，随后投入粉碎机粉碎，并用液氮保持固定的低温。粉碎粒度可利用粉碎机内槽板的开度予以调节。微细粒度可达到 100 目以下，既可以粉碎脂肪多的肉类、水分多的蔬菜以及软化点低的巧克力等在常温下难以粉碎的食品原料，又可以制造出新型的保健食品。

(圆) 粉碎机摇常规粉碎方法大多采用锤片式粉碎机，但粉碎粒度受到限制，如机械锤片式粉碎机的产品粒度一般不超过 80 目，并且还有粉碎过程产生大量热量、影响物料（尤其是食品）质量的问题。物料的粒度是重要的经济指标，以冷冻胶粉为例，80 目冷冻胶粉的市场价格仅是 40 目胶粉价格的一半，并且物料粒度越细，应用范围越广。

目前应用研究的方向之一是强气流粉碎法（如涡旋式气流粉碎机）：在深低温下，使用超声速涡旋气流冲击，使呈现冷脆性的物料互相之间和与粉碎室壁面之间发生碰撞，实现瞬间粉碎。

(獠) 正在研究开发中的新型低温粉碎系统采用气波制冷机替代液氮作为深低温冷源，如果成本和技术等条件允许，这是比较理想的，因为它能结合涡旋式气流粉碎机，组成一种新型高效的低温粉碎系统。

该系统的最大特色是，有机地将气波制冷机中具有一定背压的冷排气作为粉碎机的动力，既可通过喷嘴形成高速涡旋气流，又可发生卷吸作用使物料进入粉碎室，这样的设计，除节省了粉碎机动力源、减低了造价成本之外，还由于省去了机械转动部件，解决了多项零部件在高速冲击和深低温下机械性能和工作可靠性的问题。在粉碎过程中有冷效应现象，消除了粉碎过程产生热量的影响。综合国内外的研究实验情况，高速涡旋气流瞬间粉碎的粉碎粒度，可达到 100~150 目之间，这完全符合藻类超微细产品的生产要求。

该系统的基本流程如下所述。

藻类物料首先由普通压缩制冷机组提供的冷空气预冷，温度达到 0℃~ -10℃。由气波制冷机提供约 -100℃ 的低温空气冷冻达到玻璃化温度，温度控制在 -100℃ 左右。气波制冷机的冷排气（压力约 0.1~0.2 MPa 表压）可通过喷嘴形成高速涡旋气流，发生卷吸作用使藻类物料输入粉碎室，物料发生短时的剧烈碰撞而瞬间脆化粉碎，并随尾气流排出粉碎室。完成粉碎作用后的气体返回气波制冷机中重新降温，再进行下次循环。该系统的冷冻和粉碎运行操作属于间歇性。

冷冻粉碎技术在其他食品和农产品加工中的应用

近些年来，随着冷冻粉碎技术的不断发展，应用于食品领域的加工产品日益增多，除上述列举的 源类以外，其他方面还有诸如大豆、花生、可可豆、胡椒粉、杏仁等种子类材料的冷冻粉碎。

在大豆中添加芦荟、大蒜以及有药效的植物，一起进行冷冻粉碎干燥可制备具有保健功能的大豆粉。

将大蒜在低温下破碎成大蒜粉，然后进行冷冻干燥、碾磨、过筛处理制得优质大蒜粉，产品不仅外观洁白、细腻，而且大蒜的主要疗效成分大蒜素在储存过程中无明显变化，并显著提高了产品的储藏性。大蒜粉的生产工艺如图 5-15 所示。

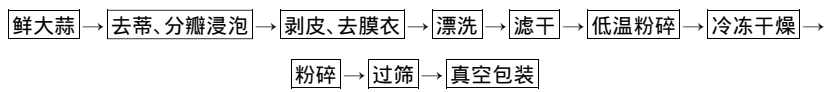


图 5-15 大蒜粉的生产工艺图

中草药低温粉碎工艺流程如图 5-16 所示。

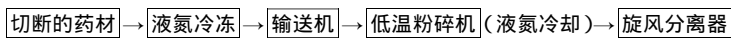


图 5-16 中草药低温粉碎工艺流程图

为了充分合理地开发利用玉米资源，提高玉米加工业的技术水平，增强我国玉米产品在国内外市场上的竞争能力，我国也在研究用冷冻粉碎的工艺来加工玉米产品。如做成速溶玉米糝，食用时用开水冲调，可迅速复水达到理想的黏度，具有传统玉米制品的风味和组织结构。

将冷冻粉碎技术应用于鸡骨的加工，可制成营养价值高、钙磷比合理的功能性补钙食品，以解决我国鸡骨资源的回收利用，提高整鸡的利用率。

蚕丝是一种特殊的生物蛋白质。在生丝中，纤维蛋白约占 70%，丝胶蛋白约占 30%。经低温冷冻粉碎后的蚕丝，得 90% 的丝素，具有良好的抗血栓作用，日本已应用于临床试验。我国是蚕茧生产大国，蚕丝的深度开发利用，必将带来显著经济效益。

用冷冻粉碎的加工方法能完整保留花粉中的活性物质，保证其保健功能的有效性和稳定性。目前，有人利用冷冻粉碎的方法，以花粉、蜂蜜、蜂胶为原料，做成活性花粉膏且申请了专利。

昆虫的繁殖率极高，资源十分丰富。昆虫体富含蛋白质、多种氨基酸和微量元素，开发昆虫食品具有广阔的前景。将拟黑多刺蚁清洗、消毒、冷冻、加压冷冻，粉碎成微粉，再按一定比例加入黑米、黑芝麻、黑豆的膨化微粉和枸杞粉，混合搅拌后，经灭菌、包装制取三黑糊。采用先进的超低温冷冻粉碎工艺，营养成分不受损失，制取的三黑糊为纯天然黑色食品，口感好，含有人体必需的多种营养成分和珍贵的草体蚁醛。该产品具有扶正固本、补肾壮骨、养肝强筋、健脾生肌、祛风除湿、活血化瘀功效，增强人体免疫力，防治各种炎症及并发症，对多种疑难顽症有特殊的治疗效果。

日本岩谷产业公司利用它在世界上有名的“液氮冻结粉碎设备”，成功地将甲鱼加工成 90% 保持原风味的超细粉末。该设备是利用液氮具有的超低温

(原形完整)、惰性(无氧化)、超干燥(露点原形)等三大特性,将食品在瞬间内加以冻结和微粉化,所以它是划时代的技术。由于这一设备的出现,使那些稍受一点热就会损失香味的香料和高油脂食品可以进行微粉碎处理。同时,由于整个工艺都是在低温液氮中进行的,因此食品一点也不会变质,十分卫生。此外,尽管进行微粉碎处理,该食品所具有的味、香、滋补成分等均无损失。该产品具有以下一些特点:①由于采用了独特的方法粉末化处理,可以防止有效成分的氧化,同时白明胶、脂质等亦无流失,保持了活甲鱼的价值;②由于将整只甲鱼进行粉末化,所以保持了与活甲鱼相同的营养价值;③对于原料的选择,精选了生长最佳并富含脂质的活甲鱼,因此粉末的质量极好;④粉末为粒度在 100 目以下的微粉末,可以方便地加工成粉状、粒状、固体状、液状等制品。

由上述介绍可知冷冻粉碎是食品和农产品加工中颇具前景的新技术,它不仅可使粉体加工食品的制造技术得到改善,而且可使新食品开发的手段不断增加。

第二节 流态化速冻技术

食品冻藏是利用低温保藏食品的过程。在此过程中,食品都要经过从非冻结态到冻结态转变的冻结过程。虽然这一转变过程与其后续的保持冻结状态的低温储藏、运输、销售过程比起来,只占了很短的时间,但对该冻制品品质的影响极为重要。长期的研究与实践证明,对于多数新鲜食品来说,快速结冻比缓慢结冻可以保证得到品质更为优良的制品。

随着销售冷链的完善、家用冰箱的普及和微波炉进入家庭等生活方式与水平变化而形成和发展起来的速冻食品市场在国外已有相当大的规模,并且还在逐年增大。市场上销售的许多速冻食品,往往可以在消费者的家用冰箱中保存相当长的一段时间,要用时,只要在微波炉中适当解冻就可以像鲜制品那样烹调食用,或者解冻后的产品就是一份佳肴。因此,速冻食品通常与方便食品、微波食品等相提并论。为了适应各种食品的速冻需要,在过去几十年间,速冻理论、技术和设备方面的研究十分活跃,并得到了很大的发展。其中,按食品单体速冻(即速冻)概念发展起来的速冻技术最为突出。

食品流态化速冻是一项新的速冻技术,是目前实现食品单体速冻的理想方法。其主要适用于快速冻结颗粒状、片状和块状等类食品。由于冻结速度快,得到的产品具有质量好、包装和食用方便等优点。

一、流态化速冻方法

流态化速冻是在一定流速的冷空气作用下,使食品在流态化操作条件下得到快速冻结的一种冻结方法。流态化是固体颗粒在流体的作用下,变成具有一定流动性的形态。由于食品处于流态化状态,因此,冻结过程中时,食品彼此间彼此在作相对运动。流态化冻结是一种实现食品单体速冻的理想方法。食品流态化速

冻的前提有两个：一是作为冷却介质的冷空气在流经被冻结食品时必须具有足够的流速，并且必须是自下而上通过食品；二是单个食品的体积不能太大。因此，食品流态化速冻装置中，进入食品层的冷空气流都是自下而上的，而单个体积较大的食品，在冻结前，要切成块或片。

(一) 固体颗粒的流态化原理

气体经固体颗粒床层流动的四种状态

固体力学将团体颗粒与气体介质并存的流动过程称为气固两相流体的流动过程。食品液化化冻结过程中，颗粒状、片状、块状等食品与冷气流间的流动过程表现出的正是气固两相流体的流动过程。根据流体的流动特点，气固两相流体的流动有以下四种运动状态：固定床阶段、流化床阶段和气流输送阶段（图 5-1）。气体通过床层的压力降 ΔP 与空塔空气流速有如图 5-2 所示的关系。

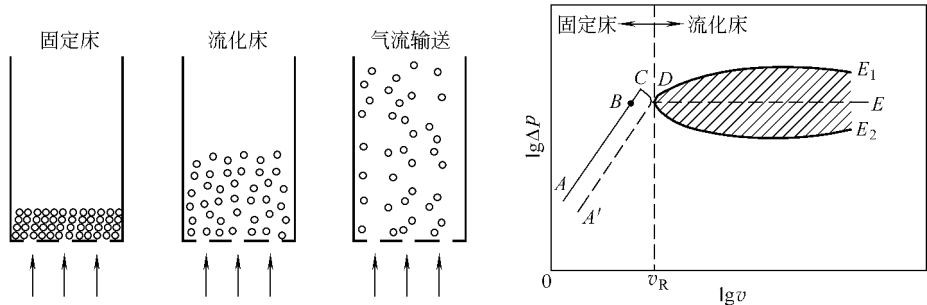


图 5-1 气体通过固体颗粒床层的四个变化阶段

图 5-2 固体颗粒流态化 ΔP 与 v 的关系

(1) 固定床阶段 当气流以较低的相对速度通过物料层时，固体颗粒的相对位置发生了变化。在这一阶段，气体通过床层所发生的压力降 ΔP 与空塔气体流速 v 在对数坐标上成线性关系，对应于图 5-2 的 AB 段。但在 B 点后面，即空气流速再增大，会使固体颗粒的位置略有调整，床层略有膨胀、变松，空隙率稍有增大，但固体颗粒仍保持紧密接触，这状态可以维持到图 5-2 中的 C 点。在 B 点到 C 点之间的 D 点，床层的压力降有一个最大值，这主要是气流速度和床层空隙率变化造成的。从开始操作至 C 点的阶段，称为固定床阶段。

(2) 流化床阶段 当气固间相对速度达到一定数值时床层不再维持固定状态，固体颗粒的相对位置发生明显变化。固体颗粒在床层中时上时下作不规则沸腾状运动，并且具有与流体同样的流动性，称为流态化状态。在颗粒特性、床层几何尺寸和气流速度一定时，流态化系统具有确定的性质，如密度、热传导系数、黏度等。这种流态化状态可以在一定的气体流速范围内维持，床层的高度和空隙率会随着气流速度的提高，而床层上下间的压力降基本维持不变，如图 5-2

中的 阅云段所示,此阶段称为流化床阶段。当流化床操作从 耘点开始,以降低流速作相反操作时,到达 阅点后即转入静止的固定床,将不回复到 月点的状态,而是沿 阅云线作固定床操作。原因是固定床层经历一次流态化过程后,获得至颗粒重新排列、空隙率稍为增大的固定床的不可逆性所致。与 阅点相应的气流速称为临界流态化速度,冷空气达到临界流态化速度是形成流态化的必要条件。

气 翻流化床系统大都表现出聚式流态化行为。随着流速增加超过临界速度,就出现很大的不稳定性。这时流化床没有一个稳定的界面,压力也随之波动,但固定在图 缘云中的 阅云和 阅云之间的范围内,阅云代表了这一范围的平均值。

(猿) 气流输送阶段摇在流化床流动的基础上,再进一步提高气流速度,则床层不能保持流态化状态,固体颗粒悬浮在气流中,随着气流运动,这种阶段称为气流输送阶段。对流态化操作来说,超过 耘点,正常操作就遭到破坏。与 耘点对应的流速称为最大流态化速度(或称固体颗粒的带出速度或悬浮速度)。

上述气固两相流体的 猿种运动形式,在食品流态化冻结过程中只存在固定床和流态化床阶段,不希望出现气流输送。固体颗粒受不同范围的气流速度的影响,存在着不同的流动状态,或者说,流态化状态的变化必须在气流速度超过某一临界数值后发生。

缘流态化速冻中流化床的流体力学原理

(员) 流化床压力降摇气流通过流化床层时,由于筛网、食品颗粒的阻力作用,使流化床两侧风压发生变化,产生一个压力差,这个压力差称为流化床压降,即

$$\Delta P_{\text{总}} = P_{\text{风}} - P_{\text{床}} \quad (\text{缘圆})$$

式中摇 $\Delta P_{\text{总}}$ ——流化床压降,晕;

$P_{\text{风}}$ ——风机出口风压,晕;

$P_{\text{床}}$ ——流化床食品层上部风压,晕。

流化床压降是影响流态化形成的重要参数,主要包括食品层阻力损失 $\Delta P_{\text{层}}$ 和筛网阻力损失 $\Delta P_{\text{网}}$, 即

$$\Delta P_{\text{总}} = \Delta P_{\text{层}} + \Delta P_{\text{网}} \quad (\text{缘圆})$$

食品层阻力造成的压力降为

$$\Delta P_{\text{层}} = \gamma_{\text{床}} (1 - \varepsilon_{\text{床}}) (\rho_{\text{气}} - \rho_{\text{床}}) h_{\text{床}} \quad (\text{缘圆})$$

式中摇 $\Delta P_{\text{层}}$ ——食品层阻力损失,晕;

$\gamma_{\text{床}}$ ——临界流态化状态时食品床层高度,皂;

$\varepsilon_{\text{床}}$ ——临界流态化状态时食品床层空隙率,对于果蔬, $\varepsilon_{\text{床}}$ 的范围在

图 5-1 筛网阻力损失与空气流速的关系

$\rho_{\text{固}}$ ——食品颗粒密度， kg/m^3 ；
 $\rho_{\text{空}}$ ——空气密度， kg/m^3 ；
 g ——重力加速度， m/s^2 。

筛网阻力 $\Delta P_{\text{筛}}$ 损失与空气流速和筛网的孔隙率有关，流速越大或孔隙率越小，阻力越大，反之亦然。实际操作经验证明，筛网阻力损失的范围相当于流化床食品层阻力损失的 1/3 ~ 1/2。

筛网孔隙率的选择必须从以下两个方面考虑：

- ① 筛网孔规格必须小于被冻结食品最小颗粒，以防止漏料。
- ② 筛网阻力 $\Delta P_{\text{筛}}$ 值必须满足流化床出现 1/3 左右的空床（即筛网表面部分裸露）时，床层其余部分的气流速度不低于临界速度 u_{crit} ，以保证正常流态化操作。

（图 5-2）临界流态化速度与操作速度 u 在流化床层中，决定固定床与流化床分界点的气流速度称为临界流态化速度。也就是说，当气流速度增加一定数值时，固定床层不再保持静止状态，部分颗粒悬浮向上，造成床层膨胀，空隙率增大，即开始进入流态化状态，如图 5-2 中的 a 点所示。具体的临界流态化速度可以通过实验测定或计算得到。

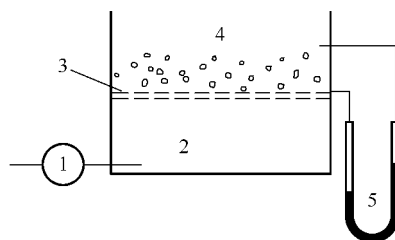


图 5-2 临界流态化速度与操作速度关系的测量装置

1—气体流量计；2—静压箱；3—筛网；
4—固体颗粒床层；5—压力计

① 临界流态化速度的实验测定。图 5-2 所示为固定临界流态化速度 u_{crit} 的小型流化床实验装置。具有一定压力的气体经流量计 1 进入静压箱 2，以均匀速度通过筛网 3，使筛网上的物料层开始松动；然后，逐渐加大气流速度，使床层由固定床转变为流化床，再逐渐减小气流速度，恢复到固定床。目测固定床转变为流化床状态，记录气流速度和压力差值，并用所获得的一系列气流速度 u 和对应的床层压降 $\Delta P_{\text{床}}$ 值描绘曲线图 5-3，即可测出临界流态化速度 u_{crit} 值。

② 临界流态化速度的计算。床前气流速度、风压、筛网孔隙率，食品颗粒的单个质量、大小，堆积密度、料层厚度以及传送方式等，是影响流态化速度的主要因素，其影响程度也很复杂。尽管用于计算化工工程流化床临界流态化速度的计算公式比较多，但由于食品流态化冻结不同于化工工程流化床，尤其是物料属性具有很大的区别，因而这些公式很难满足要求。国外学者根据自己的实验推导出很多计算临界流态化速度的公式。其中， $u_{\text{crit}} = 0.05 \sqrt{\frac{\rho_{\text{固}}}{\rho_{\text{空}}}}$ 推荐的比较接近实际的

计算公式

$$u_{\text{临界}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\rho_p} - \frac{1}{\rho_g}}} \sqrt{\frac{6W}{d_p}} \quad (10-1)$$

式中， W 为单个食品颗粒的质量， g ； d_p 为颗粒直径， mm ； ρ_p 为颗粒密度， g/cm^3 ； ρ_g 为气体密度， g/cm^3 。

例如，青刀豆的平均单个质量为 $0.1g$ ，用式(10-1)计算得的其临界流态化速度 $u_{\text{临界}} = 0.1m/s$ ，这个值能满足实际操作需要。

当气流速度高于临界流态化速度 $u_{\text{临界}}$ 值，且颗粒状食品床层处于正常流态化操作范围，这时的气流速度称为操作速度。不同产品，其操作速度也不相同。例如，满足青刀豆的，不可能满足黄瓜等片状食品。因为青刀豆操作速度已超过黄瓜片带出速度，可迫使质量较轻、表面积较大的瓜片飞出流化床，造成不良流态化现象。所以对于只适用一种操作速度的流化床装置，其应用范围便不可能满足不同食品的要求。为了解决这个问题，可以采用变速风机或节流控制，只是装置的成本会相应增加。

为了避免食品颗粒冻结黏成团或冻粘在筛网上，一些流态化速冻装置采取了两区段冻结。例如，在 $u_{\text{临界}}$ 型及在 $u_{\text{带出}}$ 型流态化冻结装置，其第一段（冷却区和表层冻结区）的操作速度（如青刀豆采用 $u_{\text{临界}}$ ）一般高于第二段（冻结区和深层冻结区）的操作速度（ $u_{\text{带出}}$ ）。

（二）流态化速冻中的流态化操作

根据食品层悬浮状态，可以将食品流态化速冻中的流态化操作分为半流态化操作与全流态化操作。

1. 半流态化操作

半流态化操作指置于传送带上的食品层被速度低于临界值的冷气吹成离网不高的悬浮状态。食品颗粒的运动形式随传送带的移动而移动。其流态化操作的范围在图10-1中的曲线 $u_{\text{临界}}$ 与 $u_{\text{带出}}$ 之间。这种操作方法特别适用于加工软嫩和易碎的食品，如草莓、黄瓜片、油炸茄块、芦笋等。食品层厚度根据不同品种，可控制在 $10 \sim 20mm$ 之间。传动装置采用无级变速，其运行速度可根据冻结产品情况进行调整。

半流态化操作的缺点是很容易出现黏结现象，不利于流态化正常操作，影响食品冻结质量。

2. 全流态化操作

全流态化操作范围在图10-1中曲线 $u_{\text{临界}}$ 与 $u_{\text{带出}}$ 之间，属于全流态化操作范围的有气力流态化和振动流态化操作。

（1）气力流态化 置于带孔的固定斜槽上的食品颗粒完全靠上吹的冷风克服自身的重力而成沸腾状态，并向前流动，这种操作方式称作气力流态化。

气力流态化操作特点是没有机械传送装置，食品颗粒的沸腾与运动完全靠空气动力和自身重力。在正常流态化操作过程中要求被冻结食品颗粒和作用食品各

点的气流速度、压力降必须十分均匀，固定斜槽阻力必须具有足够低，以保证气流速度不低于临界值。

气力流态化冻结方法只适用于加工颗粒均匀、较小的食品，如青豌豆等。而较大的食品颗粒所消耗功率也大。此外，食品层厚度必须按规定值操作。因为层厚增加，风机风量减少，蒸发器迎风面风速降低，传热系数下降，从而造成制冷机消耗功率增加。

(圆) 振动流态化摇利用机械振动原理使食品在带孔的槽体上按一定振幅和频率呈跳跃式抛物线型向前运动，并辅以自下而上的冷风，造成食品层沸腾而成流态化，从而实现单体快速冻结的方法称作振动流态化冻结方法。目前，应用于食品冻结加工的振动方法有两种：一种是往复式振动，即连杆式振动机械；另一种是直线振动，即双轴惯性振动机械。

① 连杆式振动机械的特点是振幅大、频率低，食品的传送方式为高抛物线向前运动。为了取得理想的流态化效果，一般采用脉动旁通机构使气流脉动。当食品颗粒被振动机械刚刚抛起的瞬间，脉动机构同时关闭，造成静压箱内压力升高，气速度相应增大，气流全部通过食品床层带动食品颗粒上升。这样整个床层的食品颗粒受振动机械和气流带动达到最佳流态化高度。此后，脉动旁通机构打开，一部分气流沿旁路流走，静压箱风压骤然降低，气流速度相应减小，食品颗粒靠自身重力下落，刚一落至网底面又被抛起，这样重复上述过程，有节奏地时起时落，使食品层像流体一样在振动槽内流动，形成全流态化操作。

② 双轴惯性振动机械摇应用直线振动原理实现食品颗粒的流态化冻结是一项新技术。其优点主要有以下几点：

藁阿可以实现食品颗粒的均匀冻结。食品颗粒按一定的振幅恒速均匀流动，在空间的滞留时间与冷风的接触时间是均一的，因此可以实现均匀冻结，不受食品颗粒大小和食品密度的限制。由于食品颗粒被抛起的高度很小，每次抛起在槽面上停留时间极短（可忽略不计），因此即使食品颗粒大小不同或食品密度不同，食品颗粒在槽体上仍呈现跃式抛物线型向前运动。

藁环不损伤食品。作用于食品颗粒上的力仅仅是槽面上下的振动力，并且由于自下而上的冷风吹过起到了缓冲的作用，因此不会使食品颗粒剧烈地撞击槽面而引起机械损伤。

藁阿可以自由调节食品层厚度。槽体上的食品层厚度可以通过调节振动输送机的振幅和频率来进行调整。同时可以根据冻结能力、食品含水量、耗冷量等因素调节至最佳食品层厚度。

藁传热效率高，冻结能力大。根据传热公式 $Q = \alpha A \Delta t$ 可知，由于食品颗粒是跳跃式抛物线型向前运动，冷风绕流食品颗粒的表面积 A 值和放热系数 α 值可提高，热交换程度增强，因此与半流态化方法比较，其冻结能力相应增大。



能耗能低。利用机械振动强化流态化，只需较小的风压和风量就可以使食品颗粒沸腾，达到正常流态化操作，因此风机功率可以相应减少，达到节能目的。

（三）不良流态化现象及改善措施

在食品流态化冻结过程中，正常的流态化操作取决于气流速度、压力降、气流分布的均匀性、食品层层厚、筛网孔隙率、食品颗粒的形状和质量及其潮湿程度等因素。而这些因素的不良状态极易造成不良流态化现象（即沟流现象、黏结现象、夹带现象等）影响食品的流态化冻结。

（一）沟流现象

气流速度、压力降、气流分配的均匀性、食品层层厚以及筛网孔隙率对实现正常流态化操作是非常重要的。在气流速度不低于临界速度的情况下，床层各点的气流速度趋于均等，作用于具有相同厚度的食品层各部位的压力降就较均匀，因而也就能保证流态化的平衡条件。相反，由于气流组织或食品层层厚不均匀，床层会出现沟道，气流不能均匀地通过床层而从沟道中流过，从而导致床层压力不断下降，作用于食品层各点的压力降发生变化，最终造成整个床“沸腾”的急剧恶化，破坏了正常流态化操作，这种现象称为沟流现象。

一般，通过下述方法可以防止沟流现象和改善气流分配的均匀性：①设置振动装置与脉动机构，强迫食品层运动并使气流脉动，造成良好流态化状态；②在风机与流化床之间设置蒸发器，既可以增加空气阻力，又可以防止气流速度明显波动，从而造成均匀的气流组织；③加大风机与流化床之间的距离，设置相应的导风机构，使气流在流动过程中趋于均衡；④均匀布料和保证规定的食品层厚度。

（二）黏结现象

黏结现象是食品流态化冻结过程中常见的一种现象。表面潮湿的食品颗粒在低温状态下相互冻粘或冻粘在筛网上，在采用非振动传送方式（半流态化操作）的微冻区域内（快速冷却和表层冻结）时，更易出现。这种黏结现象使食品层变成了固定冻结床层，从而不能形成流态化。不同食品颗粒黏结程度不同。片状类食品（如黄瓜片）比球状、圆柱状或块状食品（如豌豆、青刀豆或马铃薯）的黏结要严重得多。经验表明，采取以下措施可以有效防止黏结现象。

（一）滤去食品的表面水分 摇在冻结加工前，采用振动滤水机或离心甩干机除去食品颗粒表面的水分。但应注意，对不同品种的食品应选择不同滤水方法，如黄瓜适宜于采用振动滤水，而不适宜离心甩干，因为转速较高的离心甩干机会把黄瓜片组织内部的水分甩出，影响食品质量。

（二）设置微冻区 摇使食品经过快速冷却后能迅速冻结形成冰壳，避免黏结。微冻区的长度应尽量短。微冻区采用较高风压，迫使食品颗粒沸腾，例如对于青

刀豆采取约 200Pa 或更大的风压较为适宜。微冻区食品层不宜太厚，一般为 10~15mm。

(3) 采用机械振动摇这对防止黏结现象很有效。当食品进入微冻区时，被振动的筛网弹起呈跳跃式运动，造成食品颗粒相互撞击，再加上向上吹的冷风，足以使食品层处于良好流态化状态。

除了上述措施外，还可将传送带设计成驼峰状，或装设机械手、耙类、刮板等装置，使食品颗粒在冻结后迅速松散，也能防止黏结现象。

夹带现象

在流化床中，食品颗粒受自下而上冷气流的作用是向上运动状态。当气流速度等于食品颗粒降落速度时，食品颗粒悬浮在气流中。如果气流速度大于降落速度，则食品颗粒以净速度向上运动，被气流带走，飞出流化床，这种现象称为夹带现象。夹带现象在片状类食品（如黄瓜片、西葫芦片等）的流态化冻结过程中最容易出现。

一般认为，球状类食品（如豌豆、草莓等）容易实现流态化；而圆柱状、片状及不规则的块状食品（如青刀豆、茄块、黄瓜片、西葫芦片、土豆片等），由于气流作用于这些食品的流体阻力和带出速度不同，其流态化层很容易出现沟流现象、黏结现象和夹带现象，使沸腾大大减弱，造成流态化恶化。

表 5-1 为青豌豆和青刀豆两种食品在正常流态化操作范围内所必须的条件值。由表 5-1 可见，食品形状及质量也是流态化形成不可忽视的因素。

表 5-1 青豌豆和青刀豆流化床的各种参数

品名	青豌豆	青刀豆	品名	青豌豆	青刀豆
质量	1.5g	1.5g	质量	1.5g	1.5g
密度	1.0g/cm ³	1.0g/cm ³	密度	1.0g/cm ³	1.0g/cm ³
不动层高度	100mm	100mm	不动层高度	100mm	100mm
悬浮层高度	150mm	150mm	悬浮层高度	150mm	150mm
筛网孔隙率	0.5	0.5	筛网孔隙率	0.5	0.5
形状	球状	圆柱状	形状	球状	圆柱状

夹带现象可从三方面采取措施加以避免：①同一种食品颗粒必须均匀；严防太小颗粒进入流化床；②采用变速风机调整风速，以适应不同食品颗粒所必需的风速；③在流化床上面加设金属网罩，减轻夹带程度。

(四) 流态化速冻中的传热

流态化速冻传热的主要方面是冷空气与固体颗粒之间热交换，这是食品冻结过程中食品释放热量的主要途径。由于目前流化床中固体粒子与流体之间的传热问题研究得不够成形，再加上在低温状况下，温度、风速、食品颗粒的形状及大小等因素对于流态化速冻传热均有影响。因此，这里只介绍与实际操作比较接近的计算式。

流态化冻结过程中，冷气流与食品颗粒之间的交换热量用牛顿冷却公式表

示为

$$Q_{\text{总}} = \alpha_{\text{总}} A_{\text{总}} \Delta t_{\text{总}} \quad (16-1)$$

式中 $Q_{\text{总}}$ ——食品颗粒与冷空气之间的交换热量， J ；

$A_{\text{总}}$ ——食品层有效换热面积， m^2 ；

$\alpha_{\text{总}}$ ——放热系数， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ；

$\Delta t_{\text{总}}$ ——冷却介质与食品表面的平均温差， $^\circ\text{C}$ ；

从式 (16-1) 可以看出，增加上式三因素中的任何因素的值都可以达到增强交换热量的目的。但是从经济上考虑，一般不采用提高传热温差 $\Delta t_{\text{总}}$ 的方法，而是在适宜的冷媒温度（原煤- 原煤益）情况下，采取适当措施提高放热系数 α 值和有效换热面积 $A_{\text{总}}$ 。

16.1 放热系数 α

流态化冻结过程中，由于影响放热系数 α 的因素很多，诸如风速、食品颗粒潮湿程度、振动机械对食品颗粒搅拌或扰动程度、食品颗粒的形状及大小、温度等，因此想要建立一个普遍适用的 α 值的计算公式是比较困难的。目前，在研究工作中，一般是根据流化床各种条件，如食品颗粒直径与气流速度之间的变化关系等，采用实验的方法，再运用一些准数方程式求出 α 值，所得计算结果大多为近似值，然后再根据实际操作情况加以修正。

流态化冻结过程中的放热系数 α 是对流换热过程的对流放热系数 $\alpha_{\text{对}}$ 和蒸发过程的放热系数 $\alpha_{\text{蒸}}$ 之和，即

$$\alpha = \alpha_{\text{对}} + \alpha_{\text{蒸}} \quad (16-2)$$

(1) 对流放热系数 $\alpha_{\text{对}}$ 的确定如式 (16-3) 所示。

$$\alpha_{\text{对}} = \frac{k_{\text{对}}}{d_p} \quad (16-3)$$

式中 $k_{\text{对}}$ ——流化床层中心空气导热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ；

d_p ——努塞尔准数；

d_p ——食品的当量直径， m ；

式 (16-3) 中，空气的导热系数和食品的当量直径容易求取。对于努塞尔准数，一些学者提出了形式不同的计算式，见表 16-1 可根据实际试验情况选用适当的计算式计算。

表 16-1 不同形式的努塞尔准数计算式及适用范围

计算式	使用范围
格鲁达计算式 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	食品颗粒直径 $d_p > 0.1 \text{ mm}$ ， $Re > 1000$

费罗斯伦计算式 马克·阿唐计算式 最广泛使用摇筛	筛网孔径~筛网孔径~筛网孔径 筛网孔径~筛网孔径
续表	
计摇算摇式	使用范围
阿·瓦特科和斯·格勒博计算式 最广泛使用摇筛 最广泛使用摇筛 克·梅特·夏里克计算式 最广泛使用摇筛 最广泛使用摇筛 最广泛使用摇筛	流化床筛网孔径~筛网孔径 固定床筛网孔径~筛网孔径 筛网孔径~筛网孔径 筛网孔径~筛网孔径 筛网孔径~筛网孔径 筛网孔径~筛网孔径

表 续中：

① 阿基米德准数。

$$\frac{\rho_{\text{圆}}}{\mu_{\text{皂}}}$$

(续)

式中圆——食品当量直径，皂；
早——重力加速度，皂²/皂²；
 $\rho_{\text{圆}}$ ——食品密度，皂³/皂³；
 $\rho_{\text{皂}}$ ——空气密度，皂³/皂³；
 $\mu_{\text{皂}}$ ——空气动力黏度，皂²/皂² 泽

② 普兰特准数。

$$\frac{\mu_{\text{悦}}}{\lambda}$$

(续)

式中悦——空气定压比热容，皂²/皂² 运)；
 μ ——空气动力黏度，皂²/皂² 泽
 λ ——空气导热系数，皂²/皂² 运

③ 雷诺准数。

$$\frac{\rho_{\text{增}}}{\mu_{\text{皂}}}$$

(续)

式中怎——筛网下气流速度，皂²/皂²；
 $\rho_{\text{皂}}$ ——筛网气流通道当量直径，皂；
 $\mu_{\text{增}}$ ——空气运动黏度，皂²/皂² 泽

青刀豆的努塞尔准数可用式 (2-10) 和式 (2-11) 计算

当 $0.7 < Pr < 16$ 时 $Nu = 0.6 Re^{0.48} Pr^{0.42} \mu^{0.14} \mu_s^{-0.14}$ (2-10)

当 $Pr \geq 16$ 时 $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \mu^{0.14} \mu_s^{-0.14}$ (2-11)

对于小块或短条状 (圆柱形) 颗粒食品, 可以按近似于球体进行计算。

气流速度是影响对流传热系数的决定因素。对固定床而言, 床前气流速度越大, 对流传热系数越大。对于流化床, 当食品颗粒达到最佳流态化状态时, 对流传热系数值与床前气流速度关系很小, 即使继续提高气流速度, 对流传热系数也不会明显增加。这是由于颗粒之间的空隙逐渐增大, 随着筛下气流速度的增加, 颗粒间的气流速度 (也称缝隙速度) 无明显变化的缘故。

(3) 蒸发放热系数 冷却后的食品虽然滤去了大部分的水分, 但表面仍很潮湿, 进入流化床冻结时, 表面首先被冷却, 此时会有水分的蒸发, 一部分热量被带走, 继续冻结时, 已冻结的表层仍有蒸发现象。冻结深层冻结阶段食品蒸发热量极少, 因而蒸发放热可忽略不计。

快速冷却和表层冻结两阶段的蒸发放热系数分别为

$$\alpha_{\text{蒸发}} = \frac{h_{\text{蒸发}}}{\Delta T_{\text{蒸发}}} \quad (2-12)$$

和

$$\alpha_{\text{蒸发}} = \frac{h_{\text{蒸发}}}{\Delta T_{\text{蒸发}}} \quad (2-13)$$

式 (2-12)、式 (2-13) 中 $\alpha_{\text{蒸发}}$ ——对流传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

$\Delta T_{\text{蒸发}}$ ——食品颗粒表面与空气水蒸气分压差, $^\circ C$;

$\Delta T_{\text{蒸发}}$ ——食品颗粒表面与床层中冷空气间的平均温差, $^\circ C$;

(4) 有效换热面积 $A_{\text{有效}}$

从式 (2-1) 可知, 增加有效换热面积 $A_{\text{有效}}$ 可以使换热量大大增强。在冻结速度方面食品流态化冻结之所以优于一般冻结, 除了对流传热系数 α 值增大外, 有效换热面积 $A_{\text{有效}}$ 的增加也是一个重要因素。这与化工工业流化床冷却或流化床干燥过程是同一个道理。在其他冻结过程中, 如堆积冻结、盘装冻结和箱装冻结等, 其有效换热面积只相当于食品流态化冻结的 $1/10 \sim 1/5$ 。

造成食品流态化冻结有效换热面积增加的原因在于气流绕食品颗粒表面的机会增多, 加之颗粒本身上下运动和旋转运动, 使其各方面都可以受到气流的冲击, 从而实现均匀冻结。

一般认为, 气流速度、风压、食品颗粒的形状及大小等都直接影响有效换热面积的增加。也就是说, 流化床层中出现不良流态化现象时, 其有效换热面积都

会相应减少,从而使冻结时间延长,冻结质量降低。

实验表明,流化床层高一定的情况下,不同食品每 m^2 筛面积的有效换热面积不等,如青刀豆为 0.15 m^2 ,豌豆为 0.18 m^2 ,草莓(带梗)约为 0.25 m^2 ,李子(带梗)约为 0.35 m^2 。

平均温差 Δt_m

食品流态化速冻中,流化床层冷却介质与食品颗粒间的平均温差十分重要。由于食品颗粒连续地进入冻结室在流化床上被冷风吹成流动状态,并且气固两相流体基本属于稳定流动,在冷却区、表层冻结区和冻结区等不同位置上温度也不一样,因此这种传热可以称为稳定的变温传热,其流动方式,如图 5-1 所示。

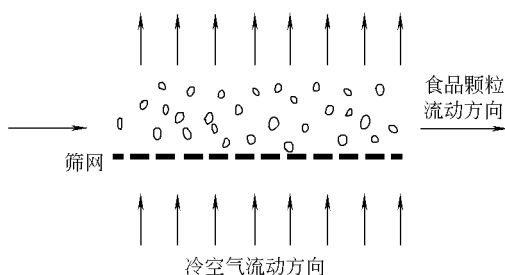


图 5-1 流态化速冻中气固两相流体流动方式

从传热温差公式可推导出冷却介质与食品颗粒间的平均温差:

① 当 $t_{\text{壁}} > t_{\text{原}}$ 时

$$\Delta t_m = \frac{t_{\text{壁}} - t_{\text{原}}}{\ln \frac{t_{\text{壁}} - t_{\text{表}}}{t_{\text{表}} - t_{\text{原}}}} \quad (5-1)$$

② 当床高均匀时

$$\Delta t_m = \frac{t_{\text{壁}} - t_{\text{原}}}{\ln \frac{t_{\text{壁}} - t_{\text{表}}}{t_{\text{表}} - t_{\text{原}}}} \quad (5-2)$$

式 (5-1)、式 (5-2) 中 Δt_m ——冷却介质与食品颗粒的平均温差, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{壁}}$ ——食品表面温度, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{原}}$ ——筛下空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{表}}$ ——悬浮层上部空气温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

(五) 流态化速冻的几个阶段

颗粒状(球状、圆柱状、片状、块状等)食品在任何一种流化床冻结装置中冻结都必须经过快速冷却、表层冻结及深层冻结三个阶段。例如,对于青豌豆,当冻结时间为 15 min 时,其中快速冷却大约为 $5 \sim 10 \text{ min}$,表层冻结大约为 $5 \sim 10 \text{ min}$,深层冻结大约为 $5 \sim 10 \text{ min}$ 。

快速冷却

快速冷却过程对食品流态化冻结具有十分重要的意义，冷却速度越快，冻结时间越短。冷却时间的计算还可以依据式（2-10）计算

$$t_{\text{冷}} = \frac{c_p}{\lambda} \left(\delta \frac{\rho}{\alpha} \right) \ln \frac{T_{\text{初}} - T_{\text{表}}}{T_{\text{表}} - T_{\text{空}}} \quad (2-10)$$

式中 $t_{\text{冷}}$ ——冷却时间，s；

c_p ——比热容，J/(kg·℃)；

ρ ——食品密度，kg/m³；

λ ——食品导热系数，W/(m·℃)；

δ ——食品厚度（对球状、圆柱状食品表示为直径），m；

α ——食品放热系数，W/(m²·℃)；

$T_{\text{初}}$ ——食品初始温度，℃；

$T_{\text{表}}$ ——冷却后食品表层温度，℃；

$T_{\text{空}}$ ——空气温度，℃；

ρ ——食品形状系数，圆柱体 $\rho = 0.75$ ，球状体 $\rho = 0.5$ ，块状或片状体 $\rho = 0.25$ ；

2.1.2 表层冻结

颗粒状食品在快速冷却后表层即被迅速冻结，其目的在于防止颗粒间或颗粒与筛网间的黏结，这是两区段冻结工艺中的重要一环。表层形成冻壳的食品颗粒由于相互碰撞时，彼此会脱离而呈散粒状，因此表层冻结速度越快，越有利于提高冻结质量。

表层冻结时间计算式，如式（2-11）和式（2-12）。

（1）对于球状颗粒食品

$$t_{\text{冷}} = \frac{c_p}{\lambda} \left(\frac{\rho}{\alpha} \right) \ln \left(\frac{T_{\text{初}} - T_{\text{表}}}{T_{\text{表}} - T_{\text{空}}} \right) \quad (2-11)$$

（2）对于柱状颗粒食品

$$t_{\text{冷}} = \frac{c_p}{\lambda} \left(\frac{\rho}{\alpha} \right) \ln \left(\frac{T_{\text{初}} - T_{\text{表}}}{T_{\text{表}} - T_{\text{空}}} \right) \quad (2-12)$$

式（2-11）、式（2-12）中 $t_{\text{冷}}$ ——表层冻结时间，s；

c_p ——食品冻结潜热，J/(kg·℃)；

ΔT ——食品与空气间的温差，℃， $\Delta T = T_{\text{初}} - T_{\text{表}}$ ；

$T_{\text{初}}$ ——食品冰点温度，℃；

$T_{\text{空}}$ ——空气温度，℃；

- α ——食品表面放热系数，宰轲皂·运；
- λ ——冻结表层的导热系数，宰轲皂·运；
- 则——球状或柱状食品的半径，皂；
- 则——球状或柱状食品未冻结部分的半径，皂，则越则原；
- δ ——表层冻结层厚度，皂，表层冻结层厚度一般按员~圆皂计算。

獭深层冻结

所谓深层冻结即从表层冻结后将食品进一步冻结到中心温度为储藏温度(原益)的冻结过程。此过程的冻结时间一般比快速冷却时间与表层冻结时间之和长圆~猿倍，其计算式为

在越 $\frac{\Delta蚤}{\Delta贼} \frac{孕越}{\alpha} \frac{砸越}{\lambda}$ (缘园)

- 式中在——食品深层冻结时间，泽
- $\Delta蚤$ ——食品初终温时的焓差，允·运；
 - ρ ——食品密度，噪·皂^猿；
 - $\Delta贼$ ——食品与空气间的温差，益， $\Delta贼$ 越贼原贼
 - 贼——食品冰点温度，益；
 - 贼——空气温度，益；
 - 载——块状或片状食品的厚度；球状或柱状食品的直径，皂；
 - α ——放热系数，宰轲皂·运；
 - λ ——冻结食品的导热系数，宰轲皂·运；
 - 孕，砸——形状系数，块状片状食品 孕越员圆，砸越员愿；圆柱状食品 孕越员源，砸越员远；球状食品 孕越员远，砸越员圆

二、食品流态化速冻装置

食品流态化速冻装置是近年来国内外研制的新型冻结装置，是实现食品单体快速冻结的一种理想设备。与其他隧道式冻结装置比较，这种装置具有冻结速度快、冻结产品质量好、消耗能量低，易于冻结球状、圆柱状、片状及块状颗粒食品等优点，尤其适宜果蔬类单体食品的冻结加工。

獭食品流态化冻结装置分类

食品流态化冻结装置属于强烈吹风快速冻结装置。一般流态化速冻装置可大致按机械传送方式、流态化程度和冻结区段来进行分类，见表 缘苑

表 缘苑 流态化速冻装置的分类

分类依据	形 式
物料传送形式	带式(单层、多层)、振动槽式(往复式、直线式)、斜槽式
流态化程度	半流式、全流式
冻结区段	一段、两段

图 8-1-2 流态化速冻装置的一般构成与工作原理

流态化速冻装置一般由物料传送系统、冷风系统、冲霜机构、围护结构、进料机构和控制系统等组成。物料传送系统构成了装置的流态化速冻床层区。冷风系统围绕物料传送系统安排,主要由风机、蒸发器和导风结构所组成。冲霜机构是为除去蒸发器表面的积霜而设置的。围护结构是流态化速冻装置的绝热外壳,由绝热材料和结构材料组成,围护结构的内壁往往也是装置内部导风结构的一部分。进料机构的形式通常是带孔的斗式提升机。

此外,常常在装置的进料口端还配有滤水器和布料器。滤水器是为了去除某些(通常是经过预处理的)原料表面所带的过多的水分;布料器可使原料均匀地布置在传送装置上,从而可以减少黏结现象和获得良好的流态化状态。

有些流态化速冻装置设计时考虑了速冻过程的各个阶段(即快速冷却、表面冻结和深层冻结)有不同传热和冻结时间要求,或者考虑到物料在冻结过程中由于物理状态变化而有不同的机械强度适应性要求,通常将装置内部分为前后两个区段,前段为快速冷却和表面冻结区,后段为深层冻结区。前后两个区段既可以采用相同又可以采用不同的物料传输形式,但一般前段都采用带式或振动槽式,而后段可以用带式、振动槽式或斜槽式。

为了提高装置的适用性,一些流态化速冻装置内部除了设置供流态化速冻用的传输系统以外,还留有供冻结架车通过的隧道,以使装置可以用来冻结那些不易进行流态化速冻的大体积物料。

经预处理的物料,由进料机送入流态化速冻装置后,会自动(或借助于布料机的作用)分布在移动(或固定)的传输面入口端处,并开始随着传输系统作由入口向出口方向的向前运动,同时随由下而上的冷气流作垂直于传输面的向上(或上下)运动。此外,物料自身还会发生转动。物料在向前运动的不同区段先后完成快速冷却、表面冻结和深层冻结过程,最后成为满足要求的速冻制品,由出料口排出。

图 8-1-3 不同传输形式的流态化速冻装置

流态化冻结装置按物料传输系统通常分为三种形式,即带式、振动槽式和斜槽式。三种形式的装置中,前两种传输系统是运动的,最后一种是固定的传输系统,决定了流态化速冻装置操作条件,并限定了物料在速冻时可采用的流态化程度。例如,斜槽式流态化速冻装置必须使物料处于全流态化状态,否则,速冻操作时,就不能使冻结物料由装置一端向另一端运动。

(员) 带式流态化速冻装置摇带式流态化速冻装置中传送带往往由不锈钢网带制成。按传送带的条数可以在冻结装置内安排为单流程和多流程形式，按冻结区分可分为一段和两段的带式速冻装置。

早期的流态化速冻装置的传输系统只用一条传送带，并且只有一个冻结区。这种单流程一段带式速冻装置的主要特点是结构简单，但装机功率大、能量消耗高、食品颗粒易黏结。此类装置适用于冻结软嫩或易碎的食品，如草莓、黄瓜片、青刀豆、芦笋、油炸茄块等。操作时应根据食品流态化程度确定物料层厚度，对易于实现流态化的食品如青豌豆、黄瓜片等，料层厚度控制在 源园~ 远皂皂，青刀豆料层厚度控制在 远园~ 愿皂皂；不易实现流态化的食品如油炸茄块、番茄（芽越源皂皂以下）等料层厚度为 愿园~ 员缘皂皂。

多流程一段带式流态化冻结装置也只有一个冻结区段，但有多条或两条以上的传送带，传送带摆放位置为上下串联式。图 缘圆所示为双流程和三流程带式流态化速冻装置传送带的排列形式。这种结构与单流程式的速冻装置相比，外形总长度缩短了，装机功率减小了，并且在防止物料间和物料与传送带黏结方面，也有改善。



图 缘圆摇多流程一段带式流态化速冻装置传送带的排列

两段带式流态化冻结装置是将食品分成两区段冻结，第一区段为表层冻结区；第二区段为深层冻结区。颗粒状食品流入冻结室后，首先进行快速冷却，即表层冷却至冰点温度，然后表面冻结，使颗粒间或颗粒与传送带不锈钢网间里散离状态，彼此互不黏结，最后进入第二区段深层冻结至中心温度为 原员益，冻结方告完成。

该装置适用范围广泛，可以用于青刀豆、豌豆、豇豆、嫩蚕豆、辣椒、黄瓜片、油炸茄块、芦笋、胡萝卜块、芋头、蘑菇、葡萄、李子、桃子、板栗等果蔬类食品的冻结加工。

传送带造成的黏结现象，可以通过在传送带上的附设“驼峰”得到改善。

国产 蕴阔型系列流化床速冻装置为两段式的带式速冻装置，主要技术参数（以青刀豆计）见表 缘愿

表 缘愿摇蕴阔型系列流化床速冻装置的技术性能参数

参数项目	型摇号		参数项目	型摇号	
	摇振型	摇振型		摇振型	摇振型
冻结能力 吨/时	1000	1000	耗冷量 千瓦	1000	1000
冻结时间 分钟	1000	1000	外形尺寸 毫米	1000	1000
冻结温度 摄氏度	1000	1000	摇长	1000	1000
食品初温 摄氏度	1000	1000	摇宽	1000	1000
食品终温 摄氏度	1000	1000	摇高	1000	1000
装机功率 千瓦	1000	1000	除霜方式	热氨加水 除霜	热氨加水或 空气除霜
冷却面积 平方米	1000	1000	传送带宽 毫米	1000	1000
制冷剂	1000	1000			

振动槽式流态化速冻装置以振动槽作为物料水平方向传输手段的流态化速冻装置称为振动槽式流态化速冻装置。物料在冻结区的行进是通过振动槽的作用实现的。由于物料在行进过程中受到振动作用，因此这类形式的速冻装置可显著地减少冻结过程中的黏结现象出现。

振动槽传输系统主要由两侧带有挡板的振动筛和传动机构构成。根据传动方式的不同，振动筛有两种运动形式：一种是

往复式振动筛；另一种是直线式振动筛。后者除了有使物料向前运动的作用以外，还具有使物料向上跳起的作用。

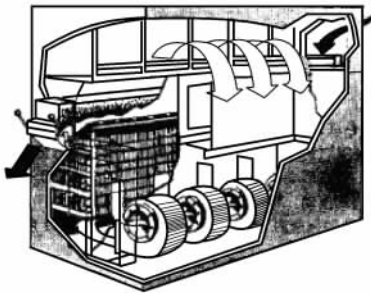


图 瑞典云里尔公司制造的配型系列流态化速冻装置

瑞典云里尔公司制造的配型系列产品属于往复式振动流态化速冻装置，如图 所示。这种装置的特点是结构紧凑、冻结能力大、消耗能量低，易于操作，并设有气流脉动旁通机构和空气除霜系统，是目前世界上比较先进的一种冻结装置。

国产在型和在型振动流态化速冻装置的振动系统是直线式的。在型速冻装置设有两段冻结区：第一段为快速冷却和表层冻结区，由传送带传输；第二段是深层冻结区，进入这一冻结区段的物料在振动槽的作用下作全流态化冻结操作。在型振动流态化食品速冻装置只有一个由振动槽传输的冻结区段，属于全流态化冻结装置。这种装置的机械传送系统是按直线振动原理设计的又一种双轴惯性振动槽，使物料借助于振动电动机偏心体相对同步回转运动产生的定向振动力，呈跳跃式抛物线型向前运动，并在上吹风的作用下形成全流态化。这样，既取代了强制通风流态化，节省能量消耗，又改善了气流组织的均匀性，提高了流态化效果。

表 列出了速冻青豌豆时型和速冻青刀豆时在型振动流态化食品速冻装置主要技术参数。

表 缘圆 摇振动流态化速冻装置的技术性能参数

参 数 项 目	型 号		
	远缘	在远缘	在远缘缘
冻结能力 吨/小时	远缘	远缘	远缘
冻结时间 分钟	远缘	远缘	远缘
冻结温度 益	远缘	远缘	远缘
食品初温 益	远缘	远缘	远缘
食品终温 益	远缘	远缘	远缘
装机功率 千瓦	远缘	远缘	远缘
制冷剂	远缘	远缘	远缘

续表

参 数 项 目	型 号		
	远缘	在远缘	在远缘缘
耗冷量 千瓦	远缘	远缘	远缘
冷却面积 平方米	远缘	远缘	远缘
外形尺寸 毫米	远缘	远缘	远缘
摇长	远缘	远缘	远缘
摇宽	远缘	远缘	远缘
摇高	远缘	远缘	远缘

(猿) 斜槽式流态化速冻装置摇这种形式的速冻装置对物料所进行的是全流态化(或纯流态化)速冻。食品颗粒完全依赖于上吹的高压冷气流形成如流体一样的流动状态,并借助于带有一定倾斜角的槽体(打孔底板)向出料端流动。料层厚度通过出料口导流板调整,以控制装置的冻结能力。瑞典 云鄂 早鄂公司制造的 宰型食品冻结装置(图 缘圆),属于斜槽式流态化冻结装置。

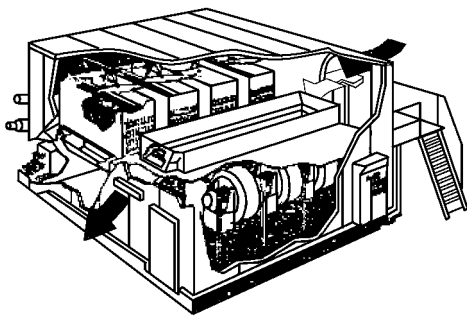


图 缘圆 宰型流态化速冻装置

斜槽式流态化速冻装置的主要特点是物料传输系统无运动机构,因而结构紧凑、简单、维修量小、易于操作。其特点是装机功率大(要求风机风压高,一般为 忽远~ 远缘千瓦)、单位耗电指标高,且只适宜冻结表面不太潮湿的球状或圆柱状等食品,因此适应范围较小。为了提高装置的适应性,这种装置也预留了隧道供隧道小车冻结较大体积食品用。表 缘圆为 宰型流态化冻结装置主要技术参数(以青豌豆计)。

表 缘圆 宰型流态化冻结装置主要技术参数(以青豌豆计)

参 数 项 目	型 摇 摇 号							
	远 碎	愿 碎	缘 碎	远 碎	愿 碎	愿 圆	愿 圆	愿 圆
冻结能力 吨/时	猿	源	缘	远	愿	愿	愿	愿
冻结时间 分钟	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿
冻结温度 益	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿
食品初温 益	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿
食品终温 益	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿
制冷剂	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿
外形尺寸 毫米								
摇长	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿
摇宽	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿
摇高	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿	愿

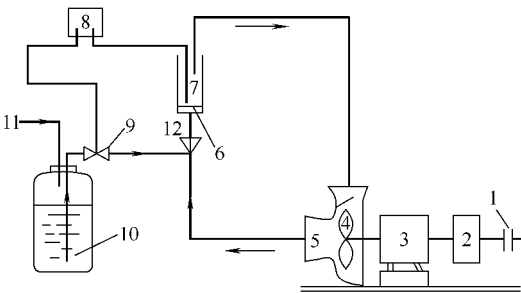


图 缘 新型流态化食品速冻装置示意图

员—电源；圆—变频调速器；猿—电动机；源—风机；缘—导流口；远—布风板；苑—流化床；愿—计算机；怨—电磁阀；愿—液氮；愿—压缩空气；愿—雾化喷嘴

摇摇(源) 一种新型的流态化速冻装置摇摇新型流态化食品速冻装置结构如图 缘所示，由电源员向变频调速器圆供电，变频器另一端与电动机猿相连，改变变频器上的输出频率，可对电动机进行无级调速，电动机带动风机源运转。风机吹出的风经导流口缘导流后进入流化床层下方，与雾化喷嘴愿喷出的雾状液氮混合后，通过布风板远的孔隙进入流化床苑，低温气体在与床层内的食品

充分接触过程中将食品快速冻结。床层内气体及食品中心的温度经一热电偶测量后，传递到计算机愿，计算机根据设定程序对电磁阀怨的开关作出反应，如果床层内气体温度高于预设值上限且食品中心温度未达到冻结温度要求，计算机发出指令，打开电磁阀怨的开关，液氮经雾化喷嘴愿喷淋雾化成低温气体，对床层内食品进行玻璃化速冻；如果流化床内气体温度低于预设值下限或食品中心温度已达到冻结温度要求，计算机发出指令，关闭电磁阀怨的开关，停止雾化液氮。另外，计算机还可根据不同的需要对数据进行采集、分析，可适时地对产品的冻结过程进行监控等。在反馈回路内使用计算机，可将冻结装置内的生产条件控制在最佳状况。这种控制系统，可以用来控制液氮的流量、冷风的温度。除了保证产品的最佳质量以外，也可达到节能的目的。另外，雾化喷嘴的位置及角度均可变换，以适应冻结过程不同阶段的需要。在预冷阶段，喷嘴离床层食品并逆风向喷雾；当食品冻结至一定程度时，喷嘴靠近床层直接喷到布风板及食品层。表 缘 为新型流态化速冻装置主要技术参数（以加工黄瓜片计）。

表 5-1 新型流态化速冻装置主要技术参数（以加工黄瓜片计）

食品冻前比热容 c_{p1}	食品堆密度 $\rho_{堆}$		
食品冻后比热容 c_{p2}	食品静态时的空隙率 $\varepsilon_{静}$		
食品冻前导热系数 λ_1	食品含水量 W		
食品冻后导热系数 λ_2	食品开始冻结温度 T_{f1}		
食品冻前密度 $\rho_{前}$	食品结束冻结温度 T_{f2}		
食品冻后密度 $\rho_{后}$	流化床网下空气温度 $T_{网下}$		
静态时的床高 $H_{静}$	几何特性尺寸 L		
流化床筛子网的孔隙率 $\varepsilon_{网}$	流化床网下气流速度 $u_{网下}$		
食品的初温 $T_{初}$			

新型流化床速冻装置由于较好地将传统的流态化速冻与液氮超速冻技术有效结合，使得该装置在速冻食品方面较传统装置显示出较大的优越性。在速冻食品方面，它的主要优点有：①将实现食品玻璃化转变为速冻食品的目标，使速冻食品的品质获得极大提高。同时，还可冻结传统冷冻设备冻结效果不好的食品。②速冻装置可提供范围更广、温度更低的冷风及更快的降温速率。③由于比液氮直接喷淋换热更均匀，降温速率更适中，食品虽在较低的温度下也不易引起表面龟裂。④因液氮得到充分蒸发利用，消耗量也有所下降，较液氮喷淋速冻，其成本有所降低。⑤以液氮喷淋雾化产生的冷风来取代传统流态化速冻装置中庞大的制冷系统实现降温，减少了系统设备，压缩了初始投资。同时，液氮速冻装置占地面积非常小，厂房面积的利用率大大提高。⑥在装置中引入液氮，使冻结的食品干耗小，而且还具有抗氧化、杂菌少的特点。⑦由于系统的简化，使系统稳定性增强，自动控制也更易于实现。⑧利用新型装置冻结食品，食品越过最大冰晶生成带的时间较一般流化床冻结有较明显缩短，越过该区域后的降温曲线也更陡，这有利于实现受冻食品的部分玻璃化。

冷风系统

所有的流态化速冻装置都要有一套冷风系统才能工作。风机、风道（包括冷风静压箱）和蒸发器构成了冷风系统，并且与物料传输器和上面的物料一起串联构成一个冷循环圈，并且风向总是自下而上通过物料层的。风机的类型可以用离心式的，也可是轴流式的。在循环中，冷风经过风机后，可以先进入蒸发器再通向物料层，也可以先经过物料层再经过蒸发器（图 5-1）。蒸发器在速冻装置截面中相对物料层的位置，可以有下面和侧面两种位置。

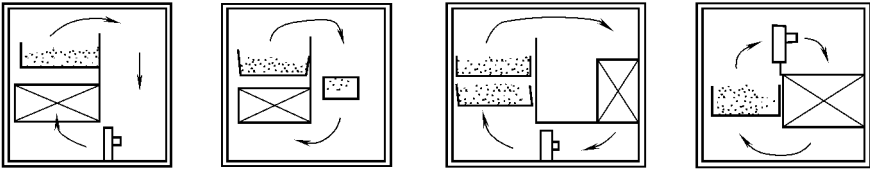


图 5-1 新型冷风循环圈中风机、蒸发器和流化床层的相对位置

通过对循环风道的设计,可以改善经过流态化层冷风流的分配。例如,瑞典云图公司(瑞典云图公司)的配型系列往复式振动流态化速冻装置,设置了该公司新设计的脉动旁通机构,如图 1-10 所示。其结构为电动机带动一旋转风门并按一定速度(可调)旋转,使通过流化床和蒸发器的气流量时增时减(约 10% ~

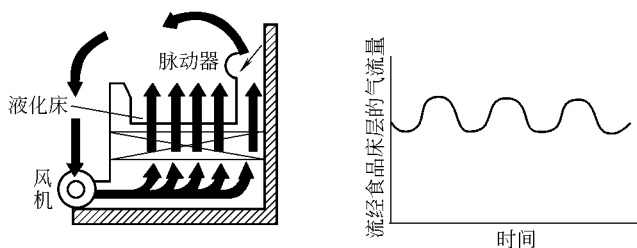


图 1-10 空气脉动旁通机构示意图

10%)，搅动食品层，并获得低温，从而更有效地冻结软嫩和易碎的食品。由于风门旋转速度是可调的，因而可以调节到适宜每种食品的脉动旁通气量，以实现最佳流态化。

3. 冲霜系统

对各种强烈通风冻结装置而言，蒸发器在工作中是翅片管表面处于负温结霜空气析湿降温的过程。在这种运行的状况下，翅片管表面的霜层厚度不断增大，最后导致堵塞翅片间的空气通道而减少传热面积，致使传热效率降低，空气循环恶化，冻结温度不断地持续上升，给正常运行和操作带来困难。此时，为了保证装置的连续生产，必须及时停产除去蒸发器翅片管表面的积霜。

冲霜方式有多种，如热气冲霜、淋水冲霜、淋水加蒸汽冲霜、电热冲霜、乙二醇连续喷淋冲霜和空气冲霜等。冲霜的方式决定了速冻装置操作的连续化程度。如果用热气冲霜、淋水冲霜、电热冲霜等除霜方式，则装置的冻结操作只能是间歇的。例如，宰型冻结装置的蒸发器设置在流化床旁侧。蒸发器上侧设有自动水冲霜系统。当霜层达到一定厚度时，装置和制冷系统自动停止工作，水系统开启，自动喷水融霜。

对于连续冻结装置，不能采用热气冲霜、淋水冲霜和电热冲霜等手段除霜，可以采用乙二醇连续喷淋冲霜和空气冲霜。早期使用的乙二醇连续喷淋冲霜方式具有系统复杂、投资及运转费用高等缺点，因而限制了其使用范围。空气冲霜，系统（空气冲霜系统）是 20 世纪 60 年代国外一项先进技术。空气冲霜是利用压缩机出来的压缩空气，经油水分离、过滤除杂质、干燥和冷却处理等系列处理后输送到冻结室分气缸，再经由喷嘴喷出高压气流，并利用空气射流的动能和升华原理来清除蒸发器翅片管表面积霜的一种冲霜工艺，如图 1-11 所示，在食品流态化冻结装置中采用空气冲霜，其目的在于使蒸发器在运行过程中处于

无霜状态，保证其高效率传热和良好的空气循环效果，从而实现装置较长周期连续运行，减少中间停产冲霜和重新降温等环节，提高装置的利用率。

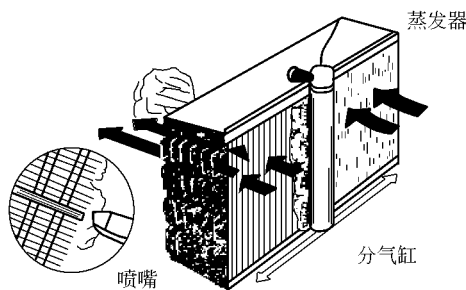


图 5-1-1 流体化空气冲霜示意图

三、蔬菜、水果流态化冻结工艺
流态化速冻工艺可以用来冻结各种食品，但应用得最多的还是果蔬类的产品，尤其是蔬菜类的产品，下面就常见适合于流态化速冻的果蔬品种和一般的流态化速冻工艺作简单介绍。

（一）适合流态化速冻的果蔬品种
适宜流态化单体快速冻结的蔬菜，一般有以下远类。

- ① 果菜类（可食部分是菜的果实和嫩种子）：青刀豆、豇豆、豌豆、嫩蚕豆、茄子、番茄、青椒、辣椒、黄瓜、西葫芦、丝瓜和南瓜等。
- ② 叶菜类（可食部分是菜叶和鲜嫩叶柄）：菠菜、芹菜、韭菜、蒜薹、小白菜、油菜和香菜等。
- ③ 茎菜类（可食部分是鲜嫩的茎和根茎）：马铃薯、芦笋、莴笋、芋头、冬笋和香椿等。
- ④ 根菜类（可食部分是根）：胡萝卜、山药等。
- ⑤ 花菜类（可食部分是花部器官）：菜花等。
- ⑥ 食用菌类（可食部分是无毒真菌的子实体）：鲜蘑菇、香菇和凤尾菇等。

适宜流态化单体快速冻结的水果通常有以下几类：葡萄、桃、李子、樱桃、荔枝、板栗、西瓜、梨和杏等。

（二）果蔬流态化速冻产品的工艺流程

蔬菜、水果流态化速冻产品的生产工艺流程基本上是相同的，差别比较大的部分是预处理。因此，将这两类产品的工艺流程放在一起介绍。由于果蔬速冻产品是由离开植株不久的生鲜原料加工成的，并且速冻的目的是为了最大限度地保留原有的质地。因此，速冻产品的品质不仅与速冻操作本身有关，而且与速冻前对原料的（包括采摘在内的）处理和速冻后产品的包装与成品的储藏等都有关系。

蔬菜、水果流态化速冻产品生产的一般工艺流程为如图 5-1-2 所示。

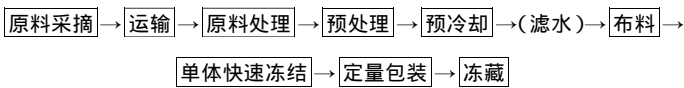


图 5-1-2 蔬菜、水果流态化速冻工艺流程图

（一）原料采摘 原料的质量是决定速冻产品质量的重要因素。一般要求原

料品种优良、成熟度适宜、鲜嫩、规格整齐、无病虫害、无农药和微生物污染、无斑疤、无采摘机械损伤，并要求不浸水、扎捆和重叠挤压等。采摘后应立即运往加工地点。

(圆) 运输摇鲜嫩的水果、蔬菜在运输中要避免剧烈颠簸，防止日光长时间暴晒。

(猿) 原料处理摇原料处理主要包括：①对原料进行挑选，除去畸形、带伤、有病虫害、成熟过度或不成熟的原料。如，对叶菜类应保持其鲜嫩，剔除老根、老叶、黄叶、病虫叶，不能食用的应整株剔除，对食用菌类应切除老根等。②某些品种要进行去皮、荚、筋、核等处理。③将原料按大小或成熟度等规格进行分级处理，如蔬菜、桃子要按大小分级。④原料清洗，前面三项处理并非所有的果蔬原料都必须经过，但清洗是必须的，而且清洗环节必须符合食品卫生要求。因为蔬菜、水果的速冻产品在食用时往往不需洗涤，解冻后直接下锅烹饪或不解冻直接食用。清洗时必须把蔬菜、水果表面的异物洗掉，必要时应逐个刷洗。清洗方式一般有手工和机械两种。有些品种如叶菜类，只适宜用手工清洗。另一些如根菜类、茎菜类和果菜类等可以采用适当形式的清洗机清洗。需要进行消毒处理的品种，消毒以后应用清水洗净。

(源) 预处理摇预处理的内容通常包括：切分、浸泡和热烫等。对果蔬进行切分减小了体积，有利于流态化操作。蔬菜和水果速冻制品往往是按照烹饪或食用等各种规格形状进行切分的，有时一种品种的原料可以根据需要切成多种形式规格。

蔬菜和水果一般都要进行浸泡处理。但蔬菜和水果所用的浸泡液是不同的，前者通常用盐水浸泡，主要是为了护色；后者一般用糖溶液进行浸泡处理，也有的直接将糖撒到水果上的。对水果加糖预处理的主要目的在于：①减轻冰结晶对水果内部组织的破坏作用；②护色，抑制酶的作用，使水果形成糖衣，控制氧化作用；③防止芳香成分的挥发；④防止干耗；⑤保持水果原有品质及风味。另外，在浸泡液中加入一定量的维生素悦可以防止某些速冻制品在储藏期间的褐变发生。

烫漂主要应用于速冻蔬菜，目的是为了灭酶。某些品种的蔬菜不经过烫漂直接进行冻结储藏一段时间后其风味、颜色等会发生变化。这是酶的活性所致。酶的种类很多，但是影响速冻蔬菜质量的酶有过氧化酶、氧化酶、过氧化氢酶和抗坏血酸氧化酶等。这些酶一般在 -20°C 或 -10°C 以下才失去活性。低温消除酶的活力具有一定的困难，所以要用热水或蒸汽对蔬菜进行漂处理。烫漂不仅可以消除全部和大部分酶的活性而且可以排除组织内的气体、部分水分，消灭黏附在蔬菜表面的虫卵和微生物。烫漂的方法有热水漂烫法、蒸汽漂烫法、微波漂烫法和红外线漂烫法等。

多数水果由于经过加糖处理，所以不用烫漂处理。但有的也要经烫漂处理。例如，速冻荔枝的工艺中要采用 95°C ~ 100°C 的温度对果实进行 $1\sim 2\text{min}$ 的烫漂处理。

(缘) 预冷却预冷却有两方面的原因：一是在烫漂处理中温度升高了的水果、蔬菜，会因余热的作用导致物料过热，改变颜色或使微生物重新污染，因此烫漂后要尽快对其进行冷却处理；二是，冷却将果蔬物料的温度降到较低的温度进料，可以减轻速冻设备的负荷。一般温度每降低 1°C ，冻结时间大约缩短 1% ，此外，将物料降低到统一的进料温度，也便于速冻装置操作控制。

冷却的方法有冷水浸泡、冲淋、喷雾冷却、冰水冷却、空气冷却、冷水喷淋和空气混合冷却等。其中冷水冷却或冰水冷却比空气冷却要快得多，采用冷水冷却至少要经过 3 次以上的冷却，特别是水温较高的地区。蔬菜烫漂后首先用自来水或符合卫生要求的地下水浸泡、喷淋等方式冷却。冷却槽内的水温一般应低于 10°C ，但不能达到结冰状态。这样蔬菜或水果温度经冷却后一般在 5°C 以下。

(远) 滤水用水冷却后的水果、蔬菜必须进行滤水，尤其是叶菜类，以避免残留水带进包装或流化床内，从而影响产品外观质量。

滤水的方式一般用机械滤水，晾干时间以 $1\sim 2\text{min}$ 为宜。机械滤水有离心式滤水机和振动式滤水机两种。采用离心式滤水机滤水不能选择转速过高的离心机，或滤水时间也不能过长，以避免将原料组织内的水分甩出。采用振动滤水机滤水时倒入的物料应均匀。

(苑) 布料滤水后的蔬菜、水果由提升机输送到振动布料机。布料机的布料质量对于实现流态化均匀冻结和提高蔬菜、水果的冻结质量具有很重要的作用。布料质量不好会造成物料堆积或空床，出现沟流现象，影响冻结能力和制品质量。

(愿) 单体快速冻结预经过前处理的蔬菜、水果应尽快地送入冻结室冻结，时间拖延越长其新鲜度下降越多，冻结产品的质量越差。

冻结过程分为快速冷却、表层冻结和深部冻结三个阶段。物料通过每一个区域必须保证相应的冻结温度、风速，以确保一定的冻结时间和冻品质量。

冻结时间与物料的初始温度、冻结温度以及物料的大小等因素有关，应根据不同对象加以严格控制。例如，对于青刀豆、豌豆和油炸茄块等当初始温度为 50°C ，平均冻结温度 -18°C 时，冻结时间大约 $1\sim 2\text{h}$ ，对于直径为 1cm 左右的芋奶、嫩小马铃薯冻结时间约 1h 。

(怨) 定量包装预为了加快冻结速度，提高冻结效率，一般都采用冻后包装，只有叶菜类如菠菜在冻结前包装。冻结后的冻菜比较脆，为了避免破碎，还应用纸箱进行外包装。

对于冻结后包装的蔬菜，在没有低温包装条件的情况下应先进行大包装，一般每一塑料袋 1kg ~ 2kg ，然后装入纸箱内，加底盘堆垛、储藏。直接销售的每

袋为 圆缘缘缘缘 具有低温包装条件的可以直接包装成小包装或真空包装。

速冻果蔬制品多用聚乙烯塑料薄膜、玻璃纸、铝箔等包装材料进行包装，它们具有透明、无毒、隔气性好、低温下耐冲击等特性，有利于防止干耗和氧化作用。

速冻蔬菜的包装颜色要协调、美观、实用、坚固、清洁、无异味、无破袋，要注明食用方法、保藏条件。总之，既要符合食品卫生要求，又要便于储藏、运输、销售。

(缘) 冻藏速冻制品包装后应立即进行冻藏。冻藏过程中应保持稳定的库房温度和湿度。较大的温度波动会使速冻制品组织内的冰晶重新排列，造成质量下降。储藏温度一般要在 原缘益 以下。

由于速冻制品的储藏时间较长，因此要注意堆放整齐，每 缘层加一个底盘，防止压坏纸箱，损伤速冻制品。无外包装的速冻制品应分层堆放，严禁码垛堆放，因为码垛堆放会使下部的速冻制品结坨，丧失单体速冻的特点。瓜片之类的速冻制品更不能散装码垛。

速冻果蔬制品应单独存放，不能与鱼、肉类食品混放，防止串味变质，更不允许漏氨污染。堆垛要整齐，通道宽度合理。严格执行库房内货位的间距要求。库房要清洁卫生，防止鼠害，库门不能频繁开启。

参 考 文 献

员瑶高福成主编援现代食品工程高新技术援北京：中国轻工业出版社，员缘苑，缘

圆瑶江水泉，刘木华，赵杰文等援食品及农畜产品的冷冻粉碎技术及其应用援粮油食品科技，圆缘缘，员

(缘)：源缘-源缘

猿瑶徐泽智，陈文聪援深低温冷冻粉碎藻类技术的研究援冷藏技术，员缘愿，员：员-源

源瑶张肇富援冷冻粉碎法制备甲鱼粉援广西轻工业，员缘愿，猿：怨

缘瑶刘宝林，郭勇建，屠建祥等援一种新型的流态化速冻装置援制冷学报，圆缘缘，源：源-缘

第六章摇食品造粒技术

所谓食品造粒就是将粉末状的原料制成颗粒状的加工过程。

通过造粒，主要可以改变产品的外观，使产品具有更好的商品价值。同时可以改变食品的堆密度、分散性质等物理化学性质。此外，通过造粒还可以实现包埋物质等特殊的作用。

食品造粒技术主要有湿法造粒、流化床造粒和挤压造粒三大类。湿法造粒是传统的造粒方法，目前已为广大食品加工业所熟知并得到了广泛的应用。鸡精是最为经典的湿法造粒产品。除湿法造粒之外，近年来人们开发了挤压造粒技术和流化床造粒技术，新的造粒技术因其独特的功能而在造粒技术中占有越来越重要的地位。

第一节摇食品造粒的基本因素

一、食品造粒的目的

通过食品造粒可以达到以下目的。

① 速溶性。用粉末直接溶解，往往会出现粉体相互粘连，粉体黏着在容器上等缺陷，影响了产品的溶解度，而造粒后的食品可以避免这些缺陷，并且不会像粉体那样易于飞扬。

② 外形美观。

③ 保存性好。粉末料因吸湿、褐变、结块等因素影响食品的保存性，尤以吸湿引起食品变性的情况更为多见，通过造粒可以减少食品表面积，降低吸湿速度，可以有效改善因吸湿而引起的食品变性。

④ 均一性好。在多成分粉末料混合食品如调味料中，造粒可避免在生产和流通过程中，因各种粉料的粒径、密度等差异而产生的配比不均，从而使食品的口味、风味、颜色及密度等均一。

⑤ 便于高速计量。粒状食品流动性好，不会飞扬，故在计量、包装上其速度可大大提高。

二、造粒机理

颗粒结机理

由于用于造粒的粉末的颗粒尺寸很小，其间的作用力很微弱，难以直接测量，微粒间的相互作用对造粒过程是十分重要的。相对黏结性决定了聚集团粒的成长机制、动力学性质，并对团粒的形状、机械强度有决定性的影响。



在研究团粒的强度时各种工业的具体加工有其本身的分类方法。如表 2-1-1 所示。人们在研究矿物粉末的造粒时提出了一些机理的基本的分类方法（如表 2-1-2），这对造粒技术的研究与开发是非常有意义的。

表 2-1-2 颗粒与颗粒间的黏结机理分类

类别	机摇机理	典型实例
固体桥连	摇烧结、热硬化	摇铁矿石团粒的硬结 摇粉末冶金过程中压坯烧结
	摇化学反应、硬化、黏结剂、“硬化处理”	摇烟灰粉末的胶泥黏结剂
	摇由于加压摩擦而产生初熔	摇压塑
	摇由于干燥而沉积	摇化肥造粒
高黏度液体	摇黏性黏结剂	摇造粒过程中，糖类、骨胶及胶类黏结剂
	摇吸附	摇用蒸汽凝结生产速溶食品颗粒 摇细粉流动过程中的增湿作用
低黏液体	摇液体桥连（摆动态）	摇悬浮液通过非混溶液体的润湿作用，将细颗粒凝聚 摇铁矿石烧结混合物的增湿或混合
	摇液体以悬索状或毛细管状充满或部分充满颗粒间的空隙中	摇矿物团球（湿法造球） 摇陶瓷粉末的软塑成型
分子间力与长程力	摇范德华作用力 摇静电作用力 摇磁性力	摇储存、流动和处理过程中细粉的黏结
机械联锁力	摇与形状有关的联锁力	摇在压力作用下，颗粒的断裂和变形 摇含纤维的颗粒

颗粒的拉伸强度——颗粒间的黏结力

由小颗粒团聚而成的团粒，其小颗粒间的黏结情况有两种类型，一种是颗粒间点接触黏结，称为局部黏结；另一种是颗粒间部分或全部充满能传递强度的物质（黏结剂）。

（一）局部黏结的团粒关于团粒局部黏结的物理模型的要点为：

- ① 在受力的横截面内有大量的黏结点；
- ② 在整个断裂面和空间范围内，黏结服从统计分布；
- ③ 团粒是由许多单一尺寸的小球粒组成，这些小球粒在团粒中服从统计分布；
- ④ 用体系中颗粒间平均强度来代表单个颗粒间的黏结强度。

（二）颗粒与颗粒间的黏结表 2-1-3 中所列的许多颗粒黏结机理中，单个黏结点的拉伸强度 匀值是无法从理论上计算得到的。一类较弱的黏结力，如范德华力、静电力和低黏度液体的桥连，匀值可以通过简单模型推算出来。但较强的一

类黏结力，如许多固体桥连与高黏度液体桥连，只有在非常简单的情况下才能计算得到。

从文献的介绍可以发现，颗粒间的黏结是十分复杂的。一般，颗粒间的黏结强度的描述至少有 3 个联结环节，这 3 个环节是：单颗粒的结合强度、黏结材料与颗粒界面的黏结强度、黏结材料本身的强度、黏结材料与第二个颗粒的黏合强度和第二个颗粒本身的强度。实际上，颗粒的黏结强度取决于其中最弱的黏结力。

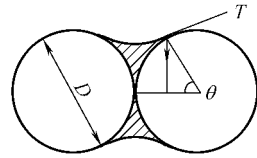


图 6-1-1 液体的粒子间结合力

(3) 颗粒与颗粒通过黏结剂黏结时的黏结力
从研究粉末被黏结剂润湿的角度亦可发现一些关于颗粒与颗粒通过黏结剂黏结时的黏结力的规律。

章基嘉(1956)认为，粉末被水或黏结剂溶液湿润后，其结合力可由式(6-1-2)决定(图 6-1-2)

$$F = \frac{\pi D \gamma \cos \theta}{2} \quad (6-1-2)$$

式中 D ——粒子直径；

γ ——表面张力；

θ ——润湿部分的中心角。

章基嘉(1956)对均一粒子湿润后的粒子间附着力 σ 的表述公式为

$$\sigma = \frac{(1-\epsilon) \kappa \gamma \cos \theta}{2} \quad (6-1-3)$$

式中 ϵ ——空隙率；

κ ——粒子间的配位数。

由式(6-1-3)可知粒子越小，凝聚力越大；中心角越小，凝聚力越大。

往粉体中缓缓加水，粒子填充状态如图 6-1-3 所示。

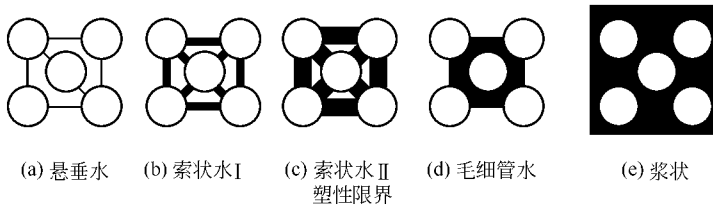


图 6-1-3 粒子填充构造

粉体中加水量少时，水被粒子一部分表面吸附，使粒子与粒子间相互之间并

不沟通。粒子之间的空气可相互流通，这时的状态称为悬垂水（~~悬垂水~~）状态。增加加水量，到达（~~漚~~）时，粒子之间相互粘连，水相互沟通，空气还可相互流通，这时状态称为索状水Ⅰ（~~索状水Ⅰ~~）状态。再增加加水量至（~~糟~~）时，粒子之间的空气无法流通。这种状态称为索状水Ⅱ状态。这时有一个塑性界限（~~塑性界限~~）。若再增加水，塑性便会消失。到达（~~溃~~）时，粒子间无空气存在，称为毛细管水状态；到达（~~藻~~）时，粒子在液体中呈浮游状态，物料就成为浆状。

一般在索状水区域，可采用挤出造粒、搅拌造粒等方式，塑性界限以后的区域宜采用喷雾造粒。

以下着重介绍几种新的造粒技术。

第二节 流化床造粒

一、流化床造粒的方法

流化床造粒是一类较新型的造粒方法，它与传统的湿法造粒不同，其产品形态均匀美观，在提高产品的商品价值方面起了很好的作用。随着工业化生产对产品要求的提高，流化床造粒的应用越来越多。肥料工业的发展对流化床造粒技术的开发应用起到很大的促进作用。在目前诸多的造粒方法中，流化床造粒的突出特点是集成粒、混合、干燥过程于一体，工业化应用已得到推广。属于流化床造粒的方法很多，流化床造粒主要可分为流化床喷雾造粒、喷雾流化床造粒、振动流化床造粒等几种。近几年，高速超临界流体（~~超临界~~）造粒也有所发展。

1. 流化床喷雾造粒

流化床喷雾造粒亦称沸腾制粒，一般以空气为流化气体，先进行预热后，通至带有分布板的流化床底部，使需造粒的固体粉末呈流化态。液体进料大多数是由双流喷嘴喷入流化床，要求喷嘴具有操作弹性且不易堵塞，如果是热气体，雾化结晶液时更要注意。为了使得涂在颗粒上的液体尽可能干燥，一般采用气体和固体颗粒逆流，以便使产品粒度分布更均匀。流化气体的速度要大到能使大颗粒强烈运动，以防止结块现象发生。20世纪70年代，为了提高药品的稳定性和美观度，~~美国~~最早把流化床喷雾造粒技术应用于医药。随后，流化床喷雾造粒应用于化肥工业也取得了巨大的成功，如日本三井东压化学公司开发的尿素造粒技术，所用设备体积小，水电消耗低。随着喷雾造粒技术的发展，生产成本的降低，为了得到功能性的成分和添加剂，人们应用喷雾造粒技术处理助剂、防腐剂、维生素、矿物质和调味剂等，获得了较好的效果。

2. 喷雾流化床造粒

喷雾流化床造粒和流化床喷雾造粒有相似之处，也是把可以泵送和雾化的料液喷成雾状，然后落在床层中热的种子颗粒上干燥，直接生成固体颗粒。喷雾流

化床固体颗粒的生成，不依靠床层的搅拌。喷雾流化床综合了流化床及标准喷雾流化床的优点，既适于处理大颗粒物料，又能提供像流化床一样良好的气固接触效果与混合，故可被用来作为生产大颗粒产品的造粒器。某公司开发成功了卧式多室喷雾流化床造粒器，应用于尿素、硝酸铵的生产。

振动流化床造粒

振动造粒可以在回转圆筒、回转圆盘或振动流化床中实现。当气体被用作热量和物质传递载体在造粒中应用时，该设备叫做气体振动流化床（图 6-2-1）。振动流化床的优点在于造粒的强度高，速度快，造粒产品质量的改善，使难以流化的细小粉末易于造粒，从消耗能量和物质观点来看，经济性高。气体振动流化床常用在食品和医药工业的造粒。目前，振动流化床的主要生产商有 某公司、某公司、某公司等。

高速超临界流体造粒

高速超临界流体（图 6-2-2）过程是超临界流体经过微细喷嘴的快速膨胀过程。在膨胀过程中，温度和压力的突然变化使溶质的过饱和度骤然升高，当溶液以单相喷出时，析出大量微核，微核在极短的时间内快速生长，形成粒度均匀的亚微米以至纳米级微细颗粒。从实验所拍摄的照片中可以观察到，颗粒的成长非常均匀，整个造粒涂布都是累积式一层一层长大的。高速超临界流体造粒的特点是能够控制颗粒的大小，但在实际工业生产中存在很多的不利因素，比如，流体要在高速下喷淋，动力消耗较大；在操作时，喷嘴的最低温度可达零下七八十摄氏度，因此对设备的材料要求较高。由于以上诸多不利因素的影响，有关超临界造粒的工业应用目前未见相关报道。

二、流化床造粒的机理

由团聚和涂布过程及模型的研究可知流化床造粒中颗粒的成长有两种机理。一种机理是由两个或两个以上的粒子通过黏结剂形成“液桥”，团聚在一起形成一个大粒子，被黏结剂浸润的粒子与其周围粒子发生碰撞，黏附在一起，颗粒间通过“固体架桥”连在一起形成大颗粒。按此机理成粒，生长速度快，比表面积大，溶解性好；但粒度不均匀，形状不规则，机械特性差。另一种机理是通过喷淋液在母粒周围反复涂层，以晶核为中心，干燥后颗粒增大。最终颗粒是以原始颗粒为基本粒子，形状与原始粒子相近。按此机理成粒，生长速度较慢，成长稳定均一，溶解速率慢，但机械性能好。两种造粒过程的模型见图 6-2-3。

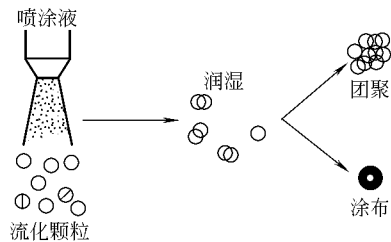


图 6-2-3 流化床造粒中的团聚机理和涂布机理

对于以上两种不同的造粒过程，某公司和

分别利用质量守恒的方法和离散化粒数平衡方法得出了团聚生长的模型；和吴洪等运用质量守恒的方法，得出了理想化颗粒层式成长的模型。在判断颗粒生长机理的准则方面，提出了用颗粒的黏性斯托克斯数判断颗粒生长机理的准则，从微观上分析了造粒过程中的力平衡。

三、流化床造粒的影响因素

流化床造粒的影响因素，见表 。

表 影响流化床造粒的因素

类别	影响造粒的具体因素
液体	表面张力、润湿特性、黏度
固体	颗粒大小、孔隙率、溶液性、渗透性质
过程	喷涂性质、气体温度、母液流率
设备	喷嘴位置、床体体积、流化性质

现对影响流化床造粒过程的几个主要因素总结如下。

流化气速的影响

流化气速的大小直接影响床层的流化状态。当流化气速过小，并且床温过高时，易造成“干式”失稳，此时流化气带来的热量不足以使溶剂及时蒸发，会造成床层“湿式”失稳；而过大的气速会增大磨损，使得造粒的效果下降。

流化床层温度的影响

当其他操作条件相同时，床层温度低则床内湿度高，雾化液滴易于在颗粒表面上铺展开而形成较大的固液接触面积，因而颗粒易于碰撞后团聚，所以颗粒生长速率快；但过低的床层温度易导致湿式死床。反之，床层温度高时则生产能力较高，设备利用率高，同时提高了流化床的传热温差和传热效率；但过高的床温会降低造粒的效率，这主要是因为雾化液滴在没有接触到流化颗粒之前就已经被干燥，干燥后的粉尘随高速流动的气体扬析出来。

料液流速对颗粒生长速率的影响

在保证充分的热量供给和流化情况较好时，料液流速越大，则颗粒生长越快，颗粒粒径增长速率随时间增大而减小。

初始粒径的影响

初始粒径越大，颗粒的相对生长速率减小，一般认为随着初始粒径的增大，由于碰撞磨损和自身重力等引起的分散力增大，使团聚成功率降低，层式机理成长所占比重大；当初始粒径小时，粒子更易团聚，所以颗粒生长速率较大。

黏结剂的影响

一般说来，黏结剂的黏度随浓度的增大而显著增大，颗粒更易于团聚，成长速度加快。

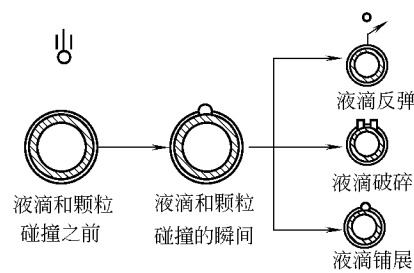


图 2-1-1 液滴和流化颗粒碰撞的可能结果

四、流化床造粒效率

流化床造粒的效率与颗粒碰撞的概率有关。结果对单颗粒的涂布过程做了研究，并分析了颗粒碰撞的可能结果，用图形描述如图 2-1-1

认为影响颗粒碰撞结果的因素如下。

液滴动量

增大液滴动量，开始时颗粒生长速率也随之增大，达到最大值后，颗粒生长速率减小，这主要是因为增大液滴动量开始会增大碰撞效率 ϵ ；但动量过大，液滴会反弹，反而降低碰撞效率。

干燥和润湿

湿度增加会增大粘接概率 通过降低空气温度来提高湿度会导致颗粒生长速率降低，主要是因为反弹和破坏过程作用在湿的表面而引起的。

母液浓度

由于浓度影响黏度，从而影响粘接概率 不断加大物料的量开始会使颗粒生长速率增大，但增大到一定量后，其生长速率则会基本不变，原因是每种物料都有其饱和溶解度。

实际上，对聚集效率 ϕ 的表达式不够完整，除了碰撞效率 ϵ 和粘接概率 外，还应该考虑磨损概率 α ；等的实验没有验证流化气速对聚集效率的影响，在较大的气速下，磨损概率较大，因此，将显著地影响聚集效率 ϕ 。

使用氯化钠溶液研究造粒过程，得出了涂布效率与比表面积的关系为

$$\eta = \frac{1}{1 + 0.0001 S} \quad (2-1-1)$$

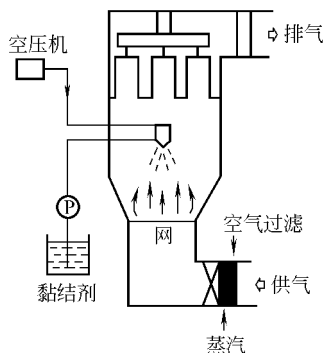
式中 η ——涂布效率；

S ——比表面积。

五、食品的沸腾制粒

沸腾制粒是一种典型的流化床喷雾造粒，也称一步制粒法，沸腾制粒设备由

鄂弗腾制粒机简介



(员) 设备原理摇典型沸腾制粒机如图 远缘所示。主要是由带筛孔的床体、沸腾室及引风机、引风通道、黏结剂储缸及喷枪、空气预热装置等部分组成。物料粉末粒子在床体(原料容器)内被一定流速的热空气流化呈环流化沸腾状态,经热空气预热并充分混合后,当喷入黏结剂液体时,粉末粒子之间产生附聚作用,若干粒子聚集成含有黏结剂的团粒。由于热空气对物料的不断干燥,使团粒中的黏结剂溶剂气化,从而干燥凝固。此过程不断重复进行,形成理想的、均匀的多孔球状干颗粒,这个过程在一个密闭室内完成,可防止与外界接触而引起的污染,确保了颗

(圆) 主要技术参数据目前生产沸腾制粒机的厂家众多, 以常州地区最为集中, 以常州市范群干燥设备厂制造的云鼎牌型沸腾制粒机为例, 其原料容器容量 源园吨, 直径 员. 圆米, 生产能力 愿~ 员. 四吨, 风机功率 员. 五千瓦, 风量 源. 五万立方米/小时, 蒸汽消耗量 园. 五吨/小时, 压缩空气耗量 园. 五立方米/小时, 将风机隔离安装经消声处理, 噪声约 愿. 五分贝, 物料得率 玖. 玖%。

沸腾制粒可分为沸腾、制粒和干燥三个关键操作过程，这三部分常分开进行研究。但实际上这三部分是不可分的，因为沸腾的状态影响造粒，造粒过程中粒子尺寸的变化又会改变沸腾的状态，而造粒与干燥又相关。

(5) 沸腾制粒的物料流化摇将需制粒的物料加入原料容器，做好有关准备工作之后，开启引风机，然后通过调节风门控制气流速度大小。当气流速度较低时，分布板上固体粒子的相对位置不发生变化的状态称固定态，当空气流经固体粉粒时产生摩擦力，其与粉粒的浮力之和等于粒子自身重力时，粉末开始流动，此状态称谓临界流化态，当空气流速增加到临界流化态之上时，粒子开始转入悬浮状态，固体粒子间出现显著的相对运动，并随着空气流速的增加，这种相对运动更加激烈，这时的固体粒子具有某些液体的性质，如流动性、传质和传热容易等，这种状态被称为固体流化态。这时的床层称为流化床，用做引起流化的流体称为流化介质，在此主要为空气。如果空气流速达到最大流速（即颗粒带出速

度时), 颗粒就要被气流带出, 床层上界面消失, 床层高度无限上升。稳定的流化状态被打破。能维持稳定流化状态的最大流化速度是流化床操作的上限。沸腾制粒操作的空气流速一般要求低于带出速度, 空气流速须控制在保证床层上有沸腾上界面, 且一般流化的颗粒高度要密集在喷嘴的高度, 只有部分细粒被带至顶部, 否则会导致造粒无法进行, 粉末损失大, 生产效率低且能量消耗大。

(圆) 沸腾制粒的成粒机理 摇制粒的过程主要是通过喷入黏结剂而使物料聚合形成适宜大小的颗粒。在这个过程中关键影响因素是喷入黏结剂的种类、浓度、喷入量及喷入速度。物料微粒借助黏结剂的作用而形成的聚合, 可以分成液体架桥聚合和固体架桥聚合两种情况。

当黏结剂与粉状物料具有亲和性时, 粉末借助黏结剂溶液形成的液体架桥而相互聚合, 在干燥作用下形成粒子。而另一部分在热的干燥介质作用下, 表面产生熔融现象相互汇聚, 当温度下降后形成固体架桥现象而成为粒子, 并且这种由于粉末相互间通过熔融汇聚的颗粒是一种较为坚固的颗粒。

当黏结剂与粉状物料亲和性较低时, 黏结剂溶液包围了各粉末粒子促使其黏结成较大的团粒, 而在黏结剂溶剂挥发后这些粉末粒子间形成固体架桥产生较大颗粒。

(猿) 沸腾制粒的干燥机理 干燥是指借助热能使物料中水分或其他溶剂气化的方法。所以干燥过程是物料与干燥介质的传热、传质过程。沸腾干燥充分改善了二相接触的条件。物料的流化减少了气膜阻力, 给传热、传质提供了有利条件。物料在干燥时表面的水分不断气化, 内部水分大于表面水分, 形成一个湿度梯度, 因此物料内部的水分通过向表面移动而在表面继续气化, 从而达到干燥的目的。在这个过程中存在两个速度, 一个为表面气化速度(增), 另一个为内部扩散速度(增), 增和增一般是不相等的。

如果增约增, 这时物料表面总是保持一定的湿度, 因此增就直接影响到干燥的效率和能力。在这种情况下进行干燥, 并且物料及黏结剂的性质又比较稳定, 同时物料要求的最终湿度高于临界湿度时干燥处于等速干燥阶段, 此时提高干燥介质的温度或降低干燥介质的湿度可大大提高干燥效率。

如果增跃增, 此时增是影响干燥速度大小的关键, 此时单纯改变干燥介质的温度和湿度, 对干燥速度没有明显的影响, 特别是物料的最终湿度大大低于临界湿度, 物料处于降速干燥阶段。此时若一再提高干燥介质的温度, 不但不能提高干燥速度, 相反会影响干燥的效果并且造成能量损耗过大。在这种情况下尽量采用较低的干燥温度或降低干燥介质的湿度。

必须注意在沸腾制粒的过程中, 如果在温度较低的情况下, 干燥能力不够, 物料湿度不断增加, 可能引起物料流动效果不佳而结块, 甚至破坏整个流化床层, 使制粒失败。

食品沸腾制粒的工艺操作要点

通过对沸腾制粒理论的探讨, 可以看到影响颗粒成长的因素是多方面的, 同时由于整个制粒过程中设备操作的复杂性, 操作人员的技术水平和实际经验以及涉及生产工艺的黏结剂选择的品种、用量、浓度, 喷液时黏结剂的温度、流速、喷液时物料的温度、进风温度、控制物料沸腾程度的风挡的大小等都会对制粒过程包括造粒的成败产生极大的影响。为保证造粒的成功, 关键在于促进颗粒成长的同时保持物料处于良好的沸腾状态。为此, 在操作中应注意控制好以下几个因素。

(员) 控制好沸腾程度保持物料在整个制粒过程中处于良好沸腾状态是沸腾制粒工艺中的首要因素, 也是保证制粒进程的前提条件。

在上述的讨论中可以看到沸腾制粒首先要将物料流化使其处于环流化沸腾状态, 在操作中应注意调控沸腾程度的大小, 主要通过调节控制引风通道开闭程度的风挡来进行, 通常以物料沸腾上界面刚达喷枪嘴部位为最佳。

通过引风机的作用, 室内产生负压, 此时物料的流化受源个因素的影响:

① 风挡大小。风挡越大, 引风通道开启程度越大, 物料沸腾程度越大, 反之物料沸腾程度越小。

② 物料的湿度。湿度的高低主要影响物料的流动性, 湿度越大物料的流化性越差, 湿度变小, 物料的流化性得到改善。

③ 物料的温度。物料温度的高低取决于进风温度的高低, 外来热量的多少影响着物料干燥的速度, 从而影响整个制粒过程中物料的流化性。

④ 物料的粒度。很显然随着物料颗粒在制粒过程中的加大, 在流化床中越来越不易流化, 只有适当地加大引风速度, 才能保证物料始终处于良好的环流化沸腾状态。

在操作中要密切注意物料的沸腾状态, 可以观察以下几个方面的情況。

① 通过沸腾室观察窗观察物料沸腾的剧烈程度, 以及沸腾上界面的高低。

② 通过原料容器观察窗以观察到物料沸腾的程度, 并且可通过观察是否有良好的物料环流化沸腾产生的向下部依次层移的现象, 判断物料是否处于规则性运动。

③ 注意观察抖袋前后的沸腾变化, 因为抖袋时停止引风, 物料没有被流化, 这样可以根据恢复引风时颗粒沸腾的均匀程度, 判断物料流化是否正常。

④ 通过触摸原料容器外壁, 注意各部位手感温度是否一致, 此项观察可作为判断容器底部风孔是否通畅, 是否有粉粒黏结阻塞现象的依据。因为随着黏结剂的喷入, 湿颗粒容易在容器底部淤积成团, 从而阻塞气孔, 常常造成造粒过程的失败。

(圆) 选择好黏结剂的种类、浓度、用量摇黏结剂的选择是整个沸腾造粒工

艺的关键,理想黏结剂应与原料粉末表面有较好的亲和性,以便于润湿相互黏结成粒,在选择黏结剂之前,一般通过小试充分研究原料粉末和可供选择的黏结剂的相互特征、造粒的目的和要求,为工艺规程的制订提供依据。经研究人们发现高分子黏结剂可能由于有利于固体架桥的形成进而促进微粒的聚合,从成粒的速度和颗粒粒度等质量指标来看都优于小分子黏结剂。例如中药冲剂主要是由原料药提取得到的稠膏填加蔗糖、糊精或淀粉而制成,处方中通常包含大部分蔗糖粉,但即使采用高浓度的蔗糖浆作黏结剂,其沸腾造粒效果明显低于 α -淀粉糊。摇摇

资料报道食品的沸腾制粒中可供选择的黏结剂主要有 羟丙基纤维素、羟丙基甲基纤维素、羧甲基纤维素、阿拉伯胶、桃胶、淀粉等,并且也可以将它们配合使用以获取最佳的效果。

对于一些对产品粒度要求不是很高的情况,常可用造粒粉料的良溶剂。利用粉料在其中的溶解性能来黏合粉料,因此粉料的良溶剂亦是一种重要的黏结剂。

食品的沸腾造粒中常用水作黏结剂,一则成本低,二则对物料的化学性质影响极小。

确定好黏结剂的种类之后,要配制成适宜的浓度。沸腾制粒使用黏结剂的浓度比传统湿法制粒时要小,一般相对密度为 1.05~1.10,用量为物料质量的 1%~2%。当浓度过低时,会使成粒速度减慢;而浓度过高时,又会因喷雾困难,雾化效果不佳,使成粒不均匀,造粒困难。促使黏结剂雾化的气压,不应小于 0.1MPa。

在黏结剂的用量上,一般根据所要求颗粒粒度确定。若采用黏稠的提取液或其浓缩液作黏结剂制粒时,当全部提取液喷完后,颗粒粒度仍达不到要求,一般可再添加其他黏结剂,继续造粒过程直至达到预定要求的尺寸为止。但用其他黏结剂时会因性质上的差异对粒度的均匀性有一些影响。

(3) 调整好喷液的温度、速度 要得到良好的颗粒须控制好喷液的温度和速度。只有当物料经预热达到一定温度时才进行喷液,一般喷液时应控制物料温度在 60~70℃ 的范围内,所用黏结剂液体也应预热至 60℃ 左右较好。在实践中,人们发现喷液的速度要与物料的温度和颗粒成长的程度相适应。

通常物料温度较低时,因黏结剂的溶剂挥发较慢,为防止物料黏合成团,进液速度不宜过快。温度较高时则应适当提高进液速度。但是不可盲目升高物料温度,因为沸腾制粒所得颗粒未经机械挤压,颗粒较为松脆,很容易因为相互碰撞而重新破碎成为细粉,从而降低造粒的效率和进程。

因此,通常在整个造粒过程中,喷液速度以“慢、快、慢”三段调控较好,尤其重要的是当颗粒粒度较大且细粉所占比例很小时,更应控制较慢的喷液速度,以防止颗粒相互黏结成团,造成整个造粒过程失败。另外实践还发现采用间

歇性喷液的方法，是提高成粒速度比较经济可靠的方法。即当物料达到预热温度时，采用快速喷液。随着进液的增加，若物料温度降至控制温度的下限，就停止进液，以促使物料温度上升。当物料温度上升到控制温度的上限时，再恢复进液。如此反复进行直至造粒过程结束，这样不仅克服低温喷液造粒太慢的缺点，而且也防止了温度较高的条件下，干燥过快使颗粒因相互碰撞重新破碎的缺陷。同时还可以降低操作难度，节省能源。

操作中必须注意喷液速度与物料的温度、湿度、细粉比例之间的对应关系。盲目提高喷液速度加速成粒，只能使整个造粒过程失败。

由于沸腾制粒技术是一种新型的造粒，目前对该项技术的研究报道比较少，但有关的设备加工厂家已不少。此项造粒技术目前在制药行业已有不少应用，但在食品行业的实际应用才刚开始。人们通过实践，研究了影响制粒质量的多种因素，发现采用沸腾制粒法所制颗粒形态和均匀性明显好于传统湿法制粒，并且可以采用一套设备自动化连续密闭生产，减少了生产污染，达到《食品良好生产规范》（GMP）的要求。但由于此法所得颗粒较松，在运输过程中易破碎，虽可通过改变黏结剂改善，但同时在一定程度上限制了其推广应用。

六、喷雾流化造粒

在食品的造粒技术中，喷雾流化造粒技术是专门针对高蛋白的食品而开发应用的，因此一般讨论这一技术的要点时常以高蛋白粉末为例。食品中高蛋白食品占有非常重要的地位，因为它在营养方面的功效是很吸引消费者的，但高蛋白粉末食品存在许多问题，特别是它的溶解性问题。如不加糖的豆奶粉其溶解速率成为限制其在市场上发展的重要因素。通过新的造粒技术的引入可以有效地改善这一问题，从而大大提高该类产品在国内外市场上的竞争力。

喷雾流化床造粒制取低糖速溶豆粉的新工艺是喷雾流化床造粒在食品加工中的典型应用。

喷雾流化床造粒时，加入合适的晶种是非常重要的。研究料液在晶种上蒸发干燥、涂层和颗粒聚集的规律和机理是很重要的；同时，加入适量的添加剂可以增加产品冲调时的溶解性和分散性。典型的方法是以玻璃珠作为晶种或以砂糖颗粒为晶种，通过比较不同品种类别对流化造粒的影响的研究，为进一步研究合适的晶种、开发适于市场生产需要的工艺打下基础。

喷雾流化床造粒过程中的颗粒生长机理

颗粒在流化床内生长机理有两种：

① 团聚生长，即多个颗粒被黏结在一起，形成疏松多孔的颗粒，这种颗粒比表面积大，溶解性好。

② 分层生长，即以晶种为核心，料液不断地沉积到晶种的表面并干燥长大；其溶解速率较慢，但机械性能好。

图 6-10 提出了用颗粒的斯托克斯数 St 判断颗粒生长机理的准则，从微观水平上分析了造粒过程中力的平衡。图 6-11(a) 是圆个颗粒接触的内部的简图， u 为颗粒的运动速度， a 为颗粒的半径， μ 为液体架桥的黏度， h_0 为内部接触区颗粒间距离的一半， ε ($\varepsilon = h_0/a$) 为颗粒间无量纲距离。

图 6-11(b) 是相对运动的圆个等质量和大小的颗粒，半径为 a ，相对运动速度为 u_0 ，黏结剂涂层厚度为 δ ，圆个颗粒碰在一起时就形成颗粒间的动态振动液桥，相距为 $2r$ 。当黏结剂黏性很大，足以阻止颗粒间的反弹力时，圆个颗粒的运动动能就耗散在振动液桥中。当颗粒间无量纲距离 $\varepsilon \ll 1$ 时，振动液桥的黏性力比表面张力大一个数量级。

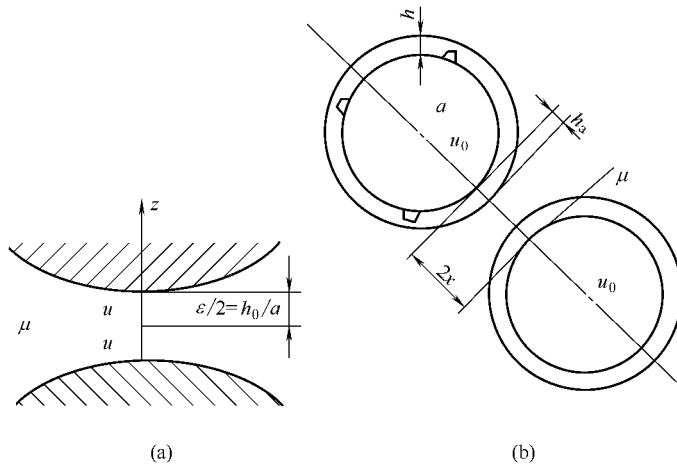


图 6-11 造粒过程中力的平衡

(a) 振动液体架桥内部接触区， ε 为指向到中心的距离 (ε)；(b) 圆个涂层厚度为 δ 的颗粒相互碰撞的简图

造粒过程区域的划分如图 6-12 所示，可以分为三个区域。

① 图 6-12(a)，黏性 St 远小于临界 St_c 为造粒非惯性区，这种情况一般发生在晶种直径 d_p 数量级或更小，颗粒碰撞即聚并在一起。团聚生长速率由黏结剂的存在和分布状况决定，可以利用雾滴大小和分布来控制造粒过程。

② 图 6-12(b)，当颗粒不断长大，其最大 St 与临界 St_c 相等， St 趋于 St_c ，为造粒惯性区。颗粒的动能和黏结剂的黏性都影响颗粒团聚的速率。

③ 当颗粒继续长大，使平均 St 与 St_c 相等时， St 趋于 St_c ，为造粒的涂层区，见图 6-12(c)。对于 $St \approx St_c$ 的局部区域内，颗粒团聚生长， St 约

的局部区域内，团聚颗粒被破碎，两者达到一稳定的动态平衡，存在颗粒生长极限，颗粒只有分层生长。

1. 喷雾流化床造粒工艺对颗粒生长的影响

喷雾流化工艺对颗粒的生长的影响是很大的，在实际操作中应谨慎地选择工艺参数。

(1) 过剩流化气速对颗粒生长速率的影响 根据两相流化床理论，床层内颗粒的运动是由于上升气泡的尾涡挟带固体颗粒到床层上方引起的，超过临界流化气量 U_{mf} 的气体将以气泡的形式通过床层。气体表观速度 U 和气泡体积流率 Q_b 的关系可用式 (2-10) 表示

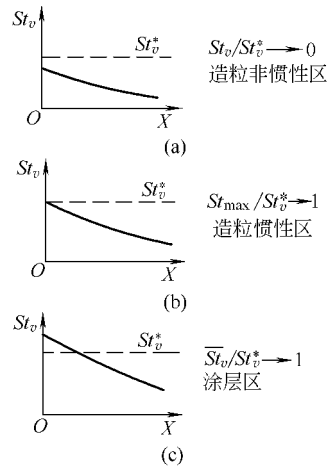


图 2-10 造粒区的划分

(2) 颗粒生长速率

图 2-10 造粒区的划分

式中， A 为流化床上截面积。

以低糖豆粉为例，图 2-11 是玻璃珠为晶种，在不同过剩流化气速下，豆粉颗粒的生长速率曲线。流化速度低，颗粒的生长速率较快，但是影响并不大。以玻璃珠为晶种时，豆粉造粒以团聚生长为主。筛分时发现，总有一些玻璃珠没团聚，其表面有一层大豆蛋白膜，说明有分层生长存在。

由图 2-11 可知，操作时间 t 越长，颗粒生长速率快，颗粒生长后，生长速率减慢，并趋于极大值。其原因主要是，由于颗粒直径不断长大，其黏性系数也不断增大，当平均黏性系数大于或等于颗粒的临界黏性系数时，即 $\eta_{avg} \geq \eta_{crit}$ ，则局部区域颗粒团聚生长和局部区域团聚颗粒破碎达到稳态平衡，颗粒生长速率存在一极限值。

(3) 流化床层温度的影响 流化床层温度是流化床操作的又一重要参数，要根据干燥物料的性质和颗粒生长的动力学特性来选取，同时兼顾流化床的热效率。仍以低糖大豆粉的生产为例，由于大豆蛋白质是球形蛋白，具有热敏性，温度高于 120°C ，大豆蛋白质会变性不溶解。由于间歇操作过程中，大豆粉在造粒机中停留时间长，因此，床层温度要低于 120°C 。

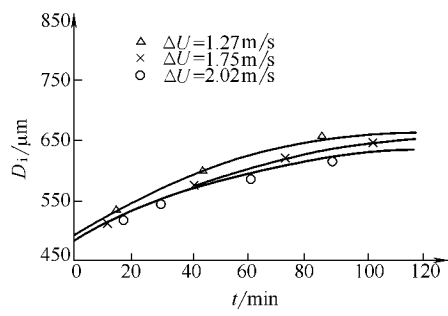


图 6-2-1 超流化气速对颗粒生长速率的影响

料液流量 率越加高；料液黏度 μ 越加高，泽
床层温度 栽越益；喷嘴高度 匀越皂；阅
为颗粒直径；玻璃珠为晶种，阅越皂

图 6-2-2 是床层温度分别为栽越益和栽越皂时颗粒的生长曲线。床层温度栽越益，颗粒生长速率大。床层温度对颗粒生长速率的影响表现为猿个方面。

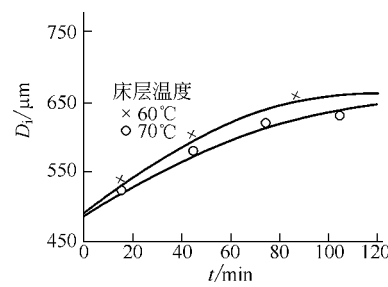
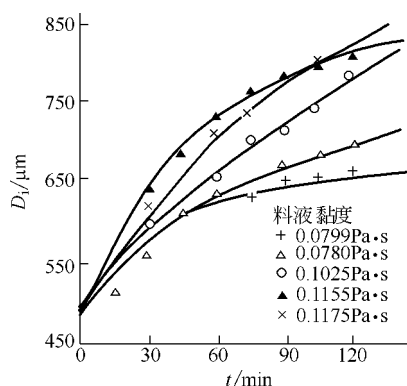


图 6-2-2 床层温度对颗粒生长速率的影响

料液流量 率越加高；料液黏度 μ 越加高，泽
喷嘴高度 匀越皂；过剩流化气速 ΔU 越加高，泽
玻璃珠为晶种，阅越皂

- ① 对床层内颗粒表面温度的影响。当其他操作条件相同时，床层温度低则床层内湿度高，雾化液滴易于在颗粒表面铺展开而形成较大的固液接触面积，因而颗粒易于碰撞后团聚，生长速率快。
- ② 对雾化液的影响。较高的床层温度，其出口温度也高，会使一部分雾滴未到达床层就已经干燥，减少了喷射到床层的实际料液量，因此，降低了颗粒的生长速率。



料液流量 宰越圆是皂藻; 床层温度 栽越圆益;
过剩流化气速 Δ 栽越元藻; 喷嘴高度
匀越皂皂皂; 玻璃珠为晶种 阅越皂皂皂皂

(猿) 料液黏度对颗粒生长速率的影响摇图 远是不同雾化料液黏度下颗粒的生长曲线。表 远是豆浆溶液在不同糖含量下的黏度值。

含糖量	缘	缘	缘	缘	缘
黏度	缘	缘	缘	缘	缘

对于一定的流化床造粒系统, 临界黏结剂涂层厚度变化的, 在典型造粒过程中, $\Delta\delta$ (Δ为颗粒涂层厚度; δ为颗粒粗糙度) 近似为一常数, 故造粒过程操作区划分主要由 $\Delta\delta$ 决定。涂有一层大豆蛋白质的玻璃珠, 其恢复系数 $\Delta\delta$ 取 $0.005 \sim 0.01$ 厘米, Δ越大, Δ越大, 表 1 是不同的料液黏度和不同颗粒粒度下的 $\Delta\delta$, $\Delta\delta$ 和 $\Delta\delta$ 是分别利用颗粒的平均速度和最大速度计算得到的斯

托克斯数。

表 远源瑶不同料液黏度和颗粒粒度下的斯托克斯数

阅越皂	μ 转泽									
	圆园怨		圆园圆		圆园缘		圆园缘		圆园缘	
	云越	云越	云越	云越	云越	云越	云越	云越	云越	云越
阅越缘	源越	员越	源越	员越	猿越	员越	猿越	员越	猿越	员越
阅越圆	愿越	猿越								
阅越云愿			怨越	猿越						
阅越猿					怨越	猿越				
阅越越							愿越	猿越	愿越	猿越

摇摇注：阅越为晶种平均直径；阅越为颗粒造粒区转变平均直径；云越为平均斯托克斯数；云越为最大斯托克斯数。

由表 远源可以看出，缘种料液黏度下，初始造粒时的颗粒平均云越在 猿越~愿越之间，都小于 云越，即造粒过程处于惯性区和涂层区之间，生长速率快。当粒度逐渐长大，超过转变直径 阅越时，云越将大于 云越，造粒过程进入分层生长区，生长速率缓慢。虽然，利用颗粒的黏性 云越可以方便地估计造粒区和各区之间的转化直径，但是，由于涂覆到颗粒上形成液桥的料液黏度和涂层区厚度很难测定，再加上流化床造粒过程的复杂性，准确计算黏性 云越难度很大，因而实验值和估计值有较大的误差。这一理论对流化床造粒实际操作有一定的指导意义，但还需要进一步完善和发展。

(源) 料液流量对颗粒生长速度的影响摇在豆浆的喷雾造粒时，图 远源是不

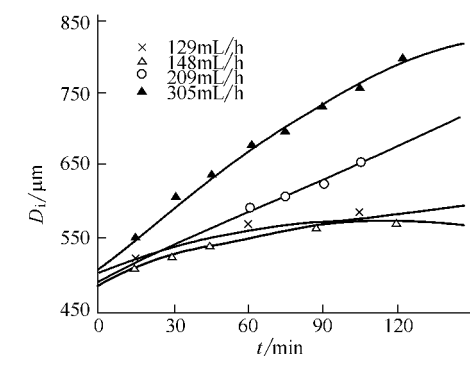


图 远源瑶料液流量对颗粒生长速率的影响
床层温度 栽越云越益；喷嘴高度 匀越云越皂；
过剩流化气速 Δ 越云越云越皂；玻璃珠为晶种
阅越云越皂

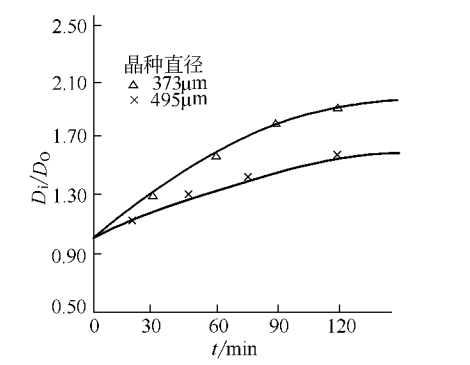


图 远源瑶晶种粒度对颗粒生长速率的影响
料液流量 宰越云越皂； μ 越云越皂
过剩流化气速 Δ 越云越皂；喷嘴高度 匀越云越皂；
床层温度 栽越云越益

同料液流量下颗粒的生长速度曲线,可见料液流量对生长速率影响也很大。由计算可知,料液流量 4.93×10^6 和 8.86×10^6 相比,流量仅增加一倍,颗粒生长速率则增大 1 倍以上。 4.93×10^6 和 6.61×10^6 相比,流量增加 1.3 倍,生长速率增加 1.5 倍以上。在较大流量下,颗粒生长到达平衡直径的时间比流率小时要长很多。由实验可知,料液流量取 4.93×10^6 为宜。

(缘) 晶种尺寸对造粒的影响 在上述的例子中,图 10-10 反映了在过剩流化气速 Δ 载下,晶种平均粒径分别为 $100\mu\text{m}$ 和 $150\mu\text{m}$ 时,颗粒的生长曲线,纵坐标是任一时刻的颗粒平均直径和晶种平均直径的比值。可以看出,当晶种粒径小时,生长速率快。晶种粒度对造粒的影响表现为以下两方面。

① 对颗粒黏性 λ 的影响。计算可知,阅 4.93×10^6 皂时,分别用颗粒的最大速度和平均速度计算得到的最大黏性 λ 和平均黏性 λ 分别为 0.001 和 0.0005 ,而阅 8.86×10^6 皂时,最大黏性 λ 和平均黏性 λ 分别为 0.001 和 0.0005 ,颗粒的临界黏性斯托克斯数 λ 分别为 0.001 和 0.0005 。

根据图 10-10 造粒区域划分可知,阅 4.93×10^6 皂时,造粒过程处于非惰性区和惰性区之间,因而,生长速率大;阅 8.86×10^6 皂时,造粒区为惯性区和涂层区之间,团聚生长速率相对小些,但两者都是以团聚生长为主。

② 粒度不同,形成的团聚颗粒受床层内的剪切力也不同。分开两颗粒之间固体桥的剪切力等于两颗粒中心距和其质量的比值,正比于颗粒直径的 $1/3$ 次幂 ($\propto d^{1/3}$)。因此,晶种粒度小,则团聚颗粒受到床层内的剪切力小,颗粒不易破碎;相反,晶种粒度大时,则颗粒的破碎率高。实验宜选取 $100\mu\text{m}$ ~ $150\mu\text{m}$ 的颗粒为晶种,晶种过细易于被扬析出流化床,过粗则影响颗粒生长速率,降低产品的空隙率。

(远) 不同晶种量对造粒的影响 图 10-11 是豆浆造粒中不同晶种量下颗粒的生长曲线。料液黏度为 0.01 泊,含糖量为 10% ,晶种的体积分别为 10mL 、 20mL 和 30mL ,相应的固定床高度分别为 100cm 、 200cm 和 300cm ,对应的颗粒数目分别为 10^6 、 2×10^6 和 3×10^6 。由图 10-11 可知,在间歇造粒过程中,晶种量越多,颗粒生长速率越慢。这与造粒的物理过程有关,流化床内的颗粒被气泡尾涡由筛板处带到床层上面,经过雾化区与雾滴碰撞后又落入床层,沿锥式流化床壁面以 v (颗粒向下速度) 向下

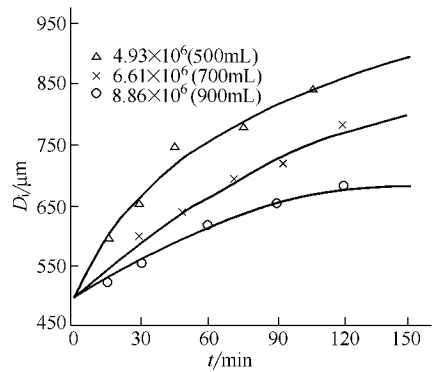


图 10-11 晶种量对颗粒生长速率的影响
料液流量 4.93×10^6 和 8.86×10^6 ; 料液黏度 μ 越
大,造粒速率越慢;床层温度 T 越高;喷嘴
高度 H 越高;过剩流化气速 Δ 载越
大,造粒速率越快;玻璃珠为晶种 阅 4.93×10^6 皂

运动,再到达筛板处,形成一个循环。当其他操作条件相同时,单位时间内,晶种量少时颗粒循环次数多,颗粒接受料液量也多。因此,生长速率快。在实验中发现,晶种量为 $400\text{g}/\text{m}^3$ 时,操作稳定性差,产品粒度不均匀,易引起干式死床。经实验确定,晶种用量最好选取 $200\text{g}/\text{m}^3$ 左右。

(苑) 砂糖为晶种的造粒实验摇前面讨论了以玻璃珠为晶种时操作条件对颗粒生长速率的影响,对研究豆粉造粒的机理和规律有一定的意义,但它没有实际意义。

由于砂糖具有良好的溶解性、润湿性和速溶性,粉碎后的砂糖经筛分得到 $100\sim 150\mu\text{m}$ 的颗粒可以在流化床中形成良好的流化状态,因此,砂糖颗粒很适宜作为豆粉造粒的晶种。它是一种实用的晶种。不足之处是砂糖为晶种制取低糖豆粉时,要向其表面上喷涂大量的大豆蛋白质,需要操作较长时间。

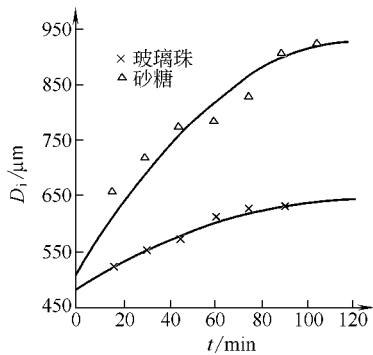


图 6-10 不同物质的晶种对颗粒生长速率的影响

料液流量 Q 越大,颗粒生长速率越快;料液黏度 μ 越大,颗粒生长速率越慢;
床层温度 T 越高,颗粒生长速率越快;喷嘴高度 H 越高,颗粒生长速率越慢;
过剩流化气速 Δu 越大,颗粒生长速率越快

图 6-10 原是豆浆喷雾造粒时分别以砂糖和玻璃珠为晶种时的颗粒生长曲线。可以看出,料液和晶种物系是影响颗粒生长的重要因素之一,决定颗粒生长机理,相同操作条件下,砂糖颗粒生长速率比玻璃珠为晶种时颗粒的生长速率要大得多。其主要原因是,虽然砂糖和玻璃珠都具有较好的润湿性,但是,砂糖还具有表面溶解性,且溶解度很大,增加了砂糖的表面黏度 μ ,使颗粒的黏性 μ 减小;又由于砂糖的碰撞恢复系数 e 比玻璃珠小,由 $e = \frac{v_2}{v_1}$ 可知

(e 为颗粒碰撞的恢复系数),其临界斯托克斯数 St_{cr} 较大,两者都是促使 St_{cr} 值减少,最终导致砂糖颗粒更趋于团聚生长。另一方面,由于砂糖的表面溶解,增加了颗粒间架桥的强度,团聚颗粒抗破碎力增强。结果是砂糖颗粒团聚生长速率快得多。

应用实例——低糖速溶豆粉的喷雾造粒工艺

实际上在介绍有关的工艺条件已经引用了许多这方面研究的数据。在此具体研究一下有关的工艺。

(员) 工艺流程摇工艺流程如图 6-11 所示,流化空气由离心风机 员输送,经转子流量计 猿计量,再经加热器 源加热后进入床。风量由阀门 圆控制,废气经旋风分离器 忽除尘后排空,豆浆料液由 月型蠕动计量泵 员送入二流式喷嘴 员,空气

压缩机 15 提供的压缩空气经过滤干燥罐 10 干燥, 转子流量计 13 计量后, 送入二流式喷嘴 14。载形压差计 16 测定流化床压降, 17 为取样孔, 18 为返样孔。测温铂电阻 19、20 分别测定流化空气入口和床层温度, 用 21 型多用仪表显示器 22 显示温度值。23、24 分别为干球温度计和湿球温度计, 用来测量排出气体的温度。

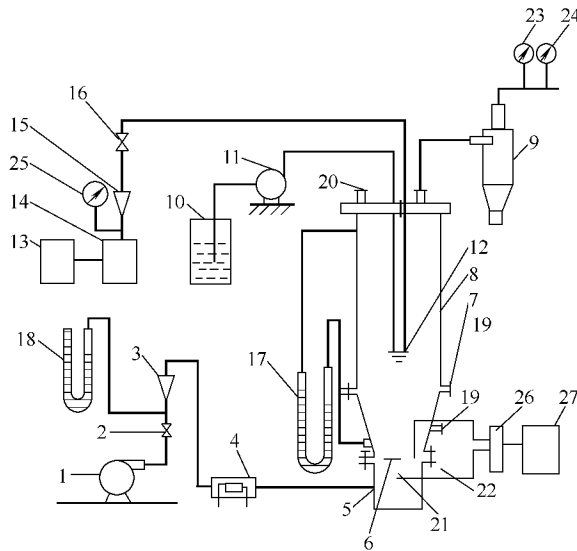


图 2-2-2 摇筛实验设备流程图

1—离心风机; 2—阀门; 3—转子流量计; 4—加热器; 5—进风室; 6—远—气体分布板; 7—锥形流化床; 8—玻璃筒体; 9—旋风分离器; 10—料液储罐; 11—蠕动计量泵; 12—二流式喷嘴; 13—空气压缩机; 14—过滤干燥罐; 15—载形压差计; 16—取样孔; 17—返样孔; 18—测温铂电阻; 19—干球温度计; 20—湿球温度计; 21—压力表; 22—多点开关; 23—仪表显示器

锥形流化床下端直径为 150 mm, 上端直径为 200 mm, 高度为 100 mm, 锥度 1:2。二流式喷嘴的液体内径为 1 mm, 外径为 2 mm, 气体孔内径为 1 mm, 雾化角 45°。喷嘴高度可调。气体分布板厚度为 5 mm, 筛孔直径为 1 mm, 孔间距为 5 mm, 呈三角形排列。

(3) 操作条件摇筛首先按全脂豆粉颐去离子水 1:1 比例称取物料, 将水加热至 100℃, 豆粉中加入少量的水调成糊状, 再将剩余水加入, 在 100℃的水浴中加热并搅拌 10 min, 这样可使大部分的脂肪氧化酶和胰蛋白酶抑制素失活。过滤豆浆, 用阿贝折光仪测定豆浆的固含量。按添加剂卵磷脂和磷酸钠的不同配比分别加入到豆浆中搅拌加热 10 min, 添加剂混合均匀后即得到实验用豆浆。

把一定量的晶种 10 g (相当于固定床高度 100 mm) 加入到流化床中, 开启风机和加热器, 预热晶种温度到高于要求床层温度 10℃时, 开启蠕动泵向流化床内加料, 开始计时。调节加热器 4 的调压器, 保持床层温度恒定。定时从取样孔

中取样，范围在筛网筛分其粒度后，再从返样孔中加到床层中。定时测定颗粒的临界流化气速，此时不加料液。相应调节流化空气量，使过剩流化气速 Δu 恒定。

豆粉造粒过程以团聚生长为主，床层温度和过剩流化气速对颗粒的生长速率影响不大。料液流量和黏度，晶种的粒度和数量，晶种液物系的性质，是影响颗粒生长速率的重要因素。

可以利用颗粒的黏性，估计流化床造粒的区域和区域间的转化直径，解释实验现象，对造粒操作有一定的指导意义。

操作条件的选取应优先考虑使颗粒生长速率最快的操作参数，同时兼顾产品的粒度分布和均匀性，使更大比例的颗粒在产品要求的粒度范围内。要考虑设备的利用率和热效率。避免采用易于导致死床的操作参数。

在本实例中，豆粉造粒时颗粒生长的较好的工艺条件为：

过剩流化气速 Δu 恒定；

床层温度 恒定；

料液流量 恒定；

晶种量 恒定；

喷嘴高度 恒定。

第三节 食品的挤压造粒

挤压造粒或称为压力造粒是另一种新型造粒法，目前在食用香精方面，挤压造粒因其独特的性质而备受重视。

一、挤压造粒成型机理

1. 挤压造粒成型

在用挤压进行造粒的过程中，粉末是在限定的空间中通过施加外力而压紧成为密实状态，再经适当的碎粒化处理得到具有一定粒度的颗粒。产生稳定团聚的力的有絮团的桥连力、低黏度液黏结力、表面力和互聚力。团聚操作的成功与否取决于施加的外力是否有效利用和传递。另一方面亦取决于颗粒物料的物理性质。

根据外力的物理系统的不同，挤压法大致分为两大类：一类是模压，物料放在封闭的模槽中，通过往复运动的冲头进行模塑，由于只受单向压缩力，压实固体时，几乎不发生颗粒内部运动和剪切作用；另一类是挤压系统，在此系统中，物料承受一定的剪切作用，在螺旋或辊子的推动下，通过一开口模或锐孔而固结成型。

2. 挤压成型机理

对于大多数物料来说，使粉末成为一定形状尺寸的块状物是成型的基本要求，而要使粉料变成大尺寸的块料的途径是粉末颗粒之桥连力的形成。粉末颗粒之间的桥连力有多种，这些力都与其物理状态和作用距离有关。挤压成型的基本

操作就是通过施加的外力，迫使粉末的颗粒相互接近，从而为粉末颗粒之间发生力的作用创造条件，加上物料在受力过程中物理性状的变化，从而可形成粉末颗粒的桥连力作用，从而形成较大尺寸的块型。从此介绍可以发现挤压成型与颗粒间的距离和物理状态密切相关。

(员) 颗粒压实 对于大多数物料来说，生产压实品的必要条件是将孔隙率降低到最低程度，将密度增加到最高程度。减少孔隙的过程可分为两个相当独立的随机过程。

第一种，用与原颗粒尺寸相当的颗粒去填满空穴。此时，颗粒相互滑移而出现弹性变形，甚至出现物料的轻微破裂或挤压流动。这一步的特点是颗粒间的空穴是由于破裂或塑性变形而使尺寸稍微有些变化的原始颗粒来填满的。

第二种，用比原始颗粒小得多的颗粒去填满空穴，这一过程只有靠挤压流动或破碎才能充满，挤压流动更为有效，因为物料是被迫进入空穴中的。

在具有高生产能力的回转型设备中，情况受到诸如设备尺寸、压实表面结构等因素的影响。

(圆) 挤压成型助剂 摇压制时为了均匀传递压力及减少不希望的摩擦效应，常常需要用润滑剂。润滑剂分为内润滑剂和外润滑剂两类。

内润滑剂加到颗粒的原材料中，不仅可以改善其流动性（流动模腔中和压实成型时颗粒间的重排流动），同时也有助于团块成品的脱模。内润滑剂的用量一般为 0.5% ~ 1.0%。内润滑剂用量过多时可能妨碍压制表面的清洁度，并降低压制品的强度。

外润滑剂是直接加在模具表面上的，主要用于防止模具表面的摩擦与磨损。在某种情况下，只需微量的外润滑剂便很有效。模具表面的摩擦不利于所施加的压力的传递，使压制品压力分布不均而造成团块内部密度和强度的不均匀分布。

食品加工中常用的压制润滑剂为淀粉、水、甘油、植物油、乙二醇、润滑油、聚硅氧烷、石蜡和硬脂酸。

(猿) 物理性质变化 摇在外力迫使粒子互相接近的过程中，由于粒子间的摩擦力存在，从而产生大量的热量，使物料的温度升高。温度的变化使物料的物理性状发生改变，如熔融等，大大改变了体系的状态，成为液态，当挤压完成，温度下降，体系随温度下降而重新成为固态时，粉末便形成块状物。

显然，易于熔融的成分含量高对于挤压成型是有利的。对于食品物料而言，人们研究其玻璃化性质及玻璃化转变为研究挤压成型提供了重要参数。

二、挤压成型生产操作

1. 生产方法的特点及描述

挤压造粒是一种较新的干法造粒生产的工艺。近年来，挤压造粒在国外得到了较快的发展。

挤压造粒的形式可以有对辊式和轮碾式两种，对辊式挤压是先压成大块，再破碎成颗粒，这样装置的能力大、颗粒强度高、能量消耗低，对辊式挤压在国外使用广泛。而轮碾式挤压是将物料在压模盘中直接挤压成圆柱条形，再切断成柱形颗粒，国内目前采用的挤压造粒方法多是轮碾式挤压造粒法，由于其生产规模小，单台机器最大只能达 10t/h，且造粒强度有限、模具易损坏，生产的是圆柱形颗粒，流动性差。在国外已淘汰了轮碾式挤压造粒工艺。这里所论述的挤压造粒指对辊式挤压造粒。

对辊式挤压造粒的工艺原理是：干物料在压力作用下团聚成致密坚硬的大块（饼料），称为挤压过程；饼料再被破碎筛分后成为颗粒料称为造粒过程。挤压的作用一是将颗粒间的空气挤掉，另外是使颗粒间距达到足够近，以产生如范德华力、吸附力、晶桥及内嵌连接等吸引力。挤压造粒的颗粒主要是靠分子之间的作用力形成颗粒强度。

挤压造粒主要有以下工艺特点。

（一）低能量消耗 挤压造粒是物料在常温下进行造粒，与其他方法相比，不需要燃油、燃气等干燥措施。生产仅需电能和极少量的冷却水（用于辊轴冷却），每吨产品仅耗电约 10kWh。

（二）无需另外添加黏结剂 国内常用的复合肥生产方法是蒸汽造粒。蒸汽在物料分子间凝结、结晶后，在造粒过程中起黏结剂的作用。但在干燥过程中又必须将颗粒内部和表面的水赶出来，否则化肥在储存过程中易黏结、结块。而干法造粒不需另外的添加剂，只需利用物料本身的分子间力，简化了流程、降低了能量消耗。

（三）投资较低 由于省去了干燥过程，同时返料比低（占挤压机总进料量的 10% 左右），工艺流程简单，投资较低。据 国际肥料发展中心 在 1985 年进行的详细研究证明，在发展中国家对一套新建复合肥料装置来说，挤压造粒在经济上要优于蒸汽造粒和化学造粒或料浆造粒。对于一个年产 10 万吨的复合肥装置，蒸汽造粒的投资高出挤压造粒 15%，而化学造粒或料浆造粒的投资则高出 30%，而在生产成本上，蒸汽造粒高出挤压造粒 10%，而化学造粒或料浆造粒则高出 20%。

（四）原料组成灵活 挤压造粒生产的原料较广泛，目前已经成功地用于挤压造粒的物料有 100 多种：淀粉类物质，如麦芽糊精、麦芽糖和众多的单糖；盐类，如氯化钠、氯化钾等；大豆蛋白等蛋白类原料；油脂类原料。

此外，采用挤压造粒工艺可在极短的时间内灵活实现产品配方的更换，在国外，用一套挤压造粉装置可生产 100 多种配方的产品。

（五）适用的原料颗粒尺寸范围大 挤压造粒对原料的粒度无特殊的要求，无论是颗粒状物料和细粉状物料都可用，粒度不合格粉状物料和粉状产品更好

用，用粉状物料可以降低成本。

(远) 适用的能力范围宽摇对于挤压造粒装置，经济规模的效应不明显，装置能力为 员~ 猿吨(澡 台)，可以进行较经济的设计，因此适用的能力范围广。

(苑) 产品灵活，操作变化的范围广摇挤压造粒一套装置可以生产多到几十种产品，小批量的生产也可行。根据切换时需清除原料总量的要求和原有物料对新配方的影响程度，最大可达每班(愿) 生产 猿批产品。因此，挤压造粒生产可适应小批量、多品种复合肥料的需要。

(愿) 产品颗粒的强度较高，不易破碎摇先进挤压设备的挤压压力更高，因此可获得更大的强度，产品性能较好。

(怨) 控制有效成分的储存与释放摇通过挤压过程中，空隙率大大下降，这在颗粒中的液体或气体的扩散是有很大影响，从而影响环境对颗粒内部物质的影响和颗粒内部物质向外的迁移。

挤压造粒缺点是产品的形状是不规则的颗粒、产品的密度大。

生产流程

挤压系统共有 源个部分组成，叙述如下。

(员) 储存、计量、混合摇原料如麦芽糊精、糖和氯化钾等由斗式提升机及皮带输送到储料仓中。储料仓的数量、计量与混合技术的复杂程度，与产品配方中组分的数目有关。

小批量挤压制粒时，一般用间歇式混合操作，配方中的各组分原料在称重仓内称重，达到配方要求后，全部加入间歇式混合机中混合，在系统中安装有平衡仓，平衡仓后的其他设备则连续操作。在混合机中还可加入微量元素。为了保障微量元素的颗粒分布均匀，可选用高强度的混合机。

混合后的物料和返料经斗式提升机提升后，在双轴桨式混合机中与返料混合，返料是经破碎和筛分后的不合格颗粒，循环物料与新料比约 猿: 员(生产粒径为 员~ 猿皂皂的产品时)。

(圆) 挤压摇混合后的混合物经辊轴式挤压机挤压(图 远圆)，其原理是通过挤压使物料成型。

混合物料通过一个垂直螺旋加料机加入两个反方向旋转的辊轴间的缝隙中，在挤压过程中，物料的受压逐渐增大，当两轴之间的缝隙最小位置时，物料受压最大，然后又逐渐减少。在挤压过程中，由于物料空体积的减少，混合物的表现密度能增大

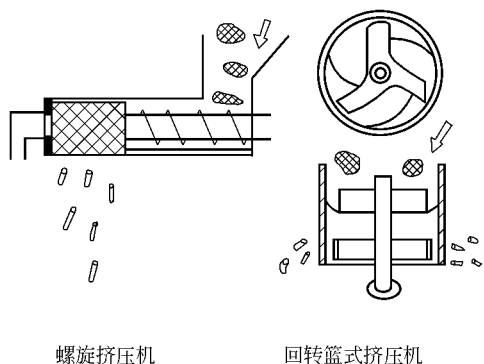


图 远圆 摇辊轴式挤压机

猩猩~猿倍。

挤压后的产物一般是一块厚缘肥皂的平板（大块）。辊轴式挤压机的结构和尺寸是由于许多参数来确定的，这些参数一般根据物料性质和实验来确定。

(7) 破碎、分级摇在辊轴式挤压机中形成的板块要进一步破碎，并通过分级才能得到需要的颗粒尺寸。在辊轴式挤压机下有一台经特殊设计的板块破碎机，在此，板块被预破碎成若干小的碎片（薄片）。薄片比较容易运输，且易被后续的破碎机进一步破碎。

破碎后的原料在多级筛上被分成超大颗粒、产品颗粒和细小颗粒。在最低级筛上的细小颗粒，经循环回收到混合机中，再挤压成型。而在多级筛上层被滞留的超大颗粒需进一步破碎。破碎后再进行筛分。

在高强度的破碎机中，薄片中的较软部分被破碎成高强度而且耐磨的颗粒，这些产品在运输和使用不会被磨细。

正确选择破碎和筛分设备对于挤压造粒系统的经济性至关重要。颗粒的形状（一般为立方体）、颗粒的尺寸范围（长皂或圆皂）以及破碎和筛分后的循环量决定了一套装置的产量和能力。

(源) 抛光修整摇在通常情况下, 最终产品需经过一步或两步的抛光修整。不规则形状的颗粒经磨圆辊筒将边角等处磨圆。在抛光过程中产生的细粉通过筛分(一层筛网)后循环。修整时, 一般还要加入防结块剂。

装置的最终产品是在一定粒度范围内的颗粒状产品 (员~源皂)。

三、挤压造粒在食品微胶囊化中的应用

挤压造粒技术在食品造粒中应用并不多，主要原因在于其较大的密度致使产品密度太大。此项技术在食品加工有重要的意义，因为它是挤压微胶囊化的基础，挤压法微胶囊化目前已成为食品微胶囊化技术的新的研究热点。特别在开发微胶囊化香精时具有重要意义，它解决了喷雾干燥微胶囊化产品对终产品浊度的影响，又克服了其他微胶囊技术要用到许多合成材料的缺陷。

第四节摇冷风造型制粒

目前国际上食品添加剂固体产品日渐趋向颗粒化,因此在提高产品质量的同时,产品外形上的改进亦越来越重视。关于粉末产品的颗粒化技术很多不适用于油脂含量高的产品,因大多造粒工艺中都有加热干燥操作,而对于以油脂为主的产品,由于产品熔点低、黏度大且易吸潮,流品的流动性差,因此使用不方便,外形不佳。此类产品显然更需造粒处理以优化其商品价值。

对于以油脂为主要成分的原料的造粒，人们利用喷雾干燥的有关理论开发了冷风造型的造粒技术，取得了较好的效果。虽然此项技术的应用还要受原料性质的影响，适用范围还有限，但无疑是开发了一种新型的造粒技术。

本节中仅通过蔗糖酯体系介绍一下冷风造型技术的具体实施的要点。

一、基本原理

冷风造型技术是喷雾干燥技术的延伸。人们在研究喷雾干燥时发现,对于在常温下为固体的物料,可以利用喷雾干燥的熔化装置与雾化装置,使其在一定条件下形成液滴,结合适当的风冷,确保此液滴迅速冷却固化,从而可得到固体颗粒。这一技术的形成对固体脂的颗粒化具有重要意义。

由于此项技术源于喷雾干燥,其成型机理与喷雾干燥的雾化机理是一致的,因此很少有人作专项研究,相关的资料可参考喷雾干燥关于雾化的机制和设备的研究结果。关于冷风造型技术,许多研究都是针对具体体系的熔化特性而设计符合要求的冷风系统。

二、主要设备

1. 物料熔化罐

该设备为不锈钢材质制成的压力容器。试验时采用的熔化罐为 $\phi 1000$ 带搅拌器、内装有虹吸管,外采用夹套蒸汽保温。虹吸管顶点应高出熔化后的物料搅拌时的液面,以防止物料虹吸自流,失去控制,虹吸管下接雾化压力喷嘴。

与常用的熔化设备不同的是,由于冷风造型的物料大都是脂类物质,油脂在高温下的氧化会显著影响产品的质量,因此除了有关的加热、搅拌和输送装置外,此熔化罐应能密封,可能的话配有排气或充氮装置更为理想。

2. 冷风造型设备

冷风造型设备主要的结构与喷雾干燥的雾化与干燥相似,分为雾化与成型两大部分。

(1) 雾化喷嘴在喷雾干燥时,雾化有离心式、压力式和气流式三类,这三类各有优缺点。离心式具有操作压力低、不易因物料堵塞而影响雾化,且设备的操作高度低,对厂房的要求低等优点。但离心式雾化要求物料黏度不能太大,若物料黏度大,则要求设备有很大的直径,其设备方面的优点便不复存在。因操作浓度低,离心式雾化不易得到大尺寸的液滴,故而产品的粒度较小。且离心式离心转速对液滴的尺寸影响大,而转速在一定条件下与进料速率和电压的稳定性有关,因此液滴的均匀性较差。气流式是利用气流对液体的雾化作用来实现雾化的,操作压力低,不要求高速离心盘,因此雾化简单易行,但液体受气流影响大,由于在实际生产不易获得流量极为稳定的高速气流,因此产品的颗粒尺寸很不均匀且较小,因此仅适用于对颗粒尺寸要求不高的情况。压力式雾化相对于离心式雾化而言可以得到较大的产品粒度,且粒度的均匀性较好,缺点是操作高度大,需要有很高的冷却塔,且操作压力高,要配有高压输送系统。因此,目前不论是喷雾干燥造粒还是冷风造型,在对颗粒度要求高的情况下,一般都采用压力

式雾化装置。

喷嘴及喷嘴芯用不锈钢制作，喷嘴与熔化罐以螺纹联接，目的是便于更换，喷嘴芯有螺纹导流槽，其槽深、槽数和槽宽需与喷孔孔径相匹配。

喷嘴的孔径是影响产品得率和粒度的又一大因素。产品的粒度随孔径的增大而增大，随压力的增大而减小。为增大喷雾量，需增大喷嘴孔径；为使细度增加，需减小喷嘴孔径，这是一对矛盾，通过试验选择较佳的孔径和压力是必要的。选择喷嘴的孔径为 1.5mm ，压力为 $0.1\sim 0.2\text{MPa}$ ，产量可达到 $100\sim 150\text{kg/h}$ ，颗粒细度在 $100\mu\text{m}$ 左右，平均粒径为 $150\sim 200\mu\text{m}$ 。

(圆) 冷却干燥塔摇用于冷风造型的成型塔与喷雾干燥的干燥塔结构基本相同，只是在计算塔高的尺寸时以冷却成型所需的时间为准。

该塔主体为 $\phi 1000\text{mm}$ 的圆柱筒。筒体上接顶锥主体，顶锥角 60° ，顶部与熔化罐底部相连。筒体下接底锥体，锥角 60° ，底锥角接一小型鼓风机，用于送风至旋风分离器，在旋风分离器下部设收料桶，用于收集喷雾造粒后的产品，旋风分离器设备为 $\phi 600\text{mm}$ 。

(猿) 旋风分离与布袋除尘器摇此装置与喷雾干燥中的装置相同。布袋除尘器选用不锈钢材制造，尺寸为 $\phi 1000\text{mm}$ ，用于收集从旋风分离器中没有收集到的细小颗粒产品，以防止产品随风排出，为此在该设备底部也设有收料桶，用于收集产品，以提高产品得率，减少粉尘排放。

(源) 引风机与进风系统摇这是喷雾造粒的特殊设备。为使液滴在控制的条件下冷却成型，进风系统须配有冷却系统，确保将进风冷却到一定温度，较低的温度还有利于保持产品的原色泽。引风机是将废气排出到大气中，并通过排气来实现进风量。

三、影响冷风造型制粒的因素

产品制粒的主要技术指标为粒度和色泽，影响产品雾化造粒的主要因素是物料（主要为酯）熔融体的熔点与黏度及雾化、冷却条件。对于熔点低、黏度高的物料，成型难、流动性较差。同时雾化和冷却是保证产品成型的重要操作。为使产品具有较好的颗粒完整性和流动性，可采取以下措施：

① 选择熔点适当的物料（ $120\sim 150^\circ\text{C}$ ）。熔点高对于冷风造型的操作是有利的，但原料的适用范围较小。

② 保留少量的溶剂（约 10% ）。

③ 保持较高的料温并用氮气保护。实际料温与物料的熔点有关。

④ 压力喷雾，采用较高的喷雾压力（ $0.1\sim 0.2\text{MPa}$ ）。

⑤ 喷嘴采用预热装置，使产物保持一定的温度，这样才能保证产品流动性和喷雾不带丝，使雾滴保持颗粒。

⑥ 控制适当的雾化冷却条件。在喷雾进入冷却干燥塔的冷却温度，直接决

定产品造粒的质量。若温度选择不佳,产品易黏结在一起,呈丝状等情况。一般进风温度在 15℃ 左右,过高对成型不利,过低则对配套设备要求高,生产成本会大大增加。出口温度在 10℃~15℃。风量为 1500 m³/h,引风机的引风量为 1500 m³/h。

人们在大量试验的基础上,对冷风造型设备提出了许多改进意见,这对该技术的发展有很大益处。

脱溶采用薄膜蒸发,可提高产品色泽,更适宜喷雾造粒的生产工艺。薄膜蒸发脱溶和压力喷雾造粒相结合的工艺是一个较为合理的工艺路线。冷却干燥塔宜采用直径小、桶体长的形状,这样更有利于产品的成型。在设备尺寸上还可通过试验方法,选择最佳设备尺寸。这都有待业内相关科技人员的共同探讨。

四、冷风造型技术在蔗糖酯生产中的应用

蔗糖酯喷雾造粒的技术研究在国内是首次进行研究,是国内首创。它适用于熔点较低的食品添加剂和油脂类产品的制粒。

工艺流程

(1) 蔗糖酯的熔化摇蔗糖酯压力喷雾造粒须在熔融状态下进行,也就是在蔗糖酯脱溶剂后,进入到熔化罐中能保持一定的熔化温度,同时在搅拌下,用惰性气体保护,以确保产品不产生局部过热,以利于对产品色泽的保护。

(2) 蔗糖酯的压力喷雾摇从熔化罐到喷嘴应保证物料具有较好的流动性,进入喷嘴后应保证液态分散呈符合一定颗粒度分布的雾滴。在喷嘴应使物料呈现一定温度的恒温状态,这样才能使产品在喷出后不呈现丝状,而是呈雾滴状。喷雾时采用氮气对熔化罐内物料加压,物料通过压力从虹吸管吸入,进入喷嘴,然后从喷嘴喷出,进入冷却干燥塔内。

(3) 雾滴冷却摇雾化后的蔗糖酯液滴在冷却干燥塔中下落,靠自身的表面张力收缩呈球形,而后冷却,固化,落入塔底。冷却介质选用过滤除湿、除杂质及经过冷却的空气,通过鼓风机送气和引风机将产品带入成品塔中进行收集。

(4) 供气摇供气源包括:熔化罐内的雾化加压采用氮气供给;喷雾冷却塔和气流干燥内的送风采用冷却空气,吸风采用空气,由鼓风机通过冷冻机及引风机提供。

操作要点

试验按上述步骤顺序进行,主要操作如下。

① 熔化罐采用蒸汽加热保温,用恒温仪表控制、氮气保护、机械搅拌,内安装虹吸管,熔化物料装料量控制不超过虹吸管顶端。保证物料呈熔化状态,有较好的流动性。考虑到产品黏度大,流动性差,可使物料中保留少量溶剂,以提高产品物料的流动性。在物料熔化恒温达到喷雾要求后,同时启动喷嘴加热,使喷嘴温度达到 15℃。

② 开动鼓风机和冷却机使空气通过过滤、冷却、除湿进入喷雾冷却干燥塔，使塔内温度达到预定温度，并启动送风机和引风机。

③ 关闭熔化罐氮气出口阀门，使熔化罐达到预定压力（ $0.05 \sim 0.1 \text{ MPa}$ ），物料从熔化罐进入喷嘴喷雾，料液在冷却干燥塔内固化为细小颗粒状，落入塔底经过气流干燥成为产品。冷却废气经引风机出口排出进入大气中。

④ 料液喷毕，关闭喷嘴加热，停蒸汽和氮气、鼓风机、冷却机、引风机，关闭电源。取样进行产品的细度测定（用标准筛筛分）。

蔗糖酯适宜的操作条件是：熔化温度 $140 \sim 150^\circ\text{C}$ 、喷嘴孔径 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 、操作压力 $0.05 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 、喷嘴出口温度 $140 \sim 150^\circ\text{C}$ 、冷风进口温度 10°C 、出口温度 $30 \sim 40^\circ\text{C}$ 、进风量为 $10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

经压力喷雾造粒的蔗糖酯，细度在 80 目左右，粒径为 $10 \sim 150 \mu\text{m}$ ，色泽能保证产品原有色泽，无大的变化。基本符合产品的要求。

在设备方面，该设备简单、易操作、易检修、控制方便。在不同亲水亲油平衡（ HL ）的产品中，对高 HL 值产品更适合喷雾处理，产品基本满足要求。

参考文献

- 钱树德, 顾芳珍. 食品造粒技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- 齐涛, 于才渊, 王喜忠等. 流化喷雾造粒法制取低糖速溶豆粉——流化喷雾造粒机理的实验研究. 食品科学, 2008, 29(10): 1000-1004.
- 褚振辉, 周碧武, 潘玮琪等. 沸腾制粒的理论和工艺探讨. 山东医药工业, 2008, 29(10): 1000-1004.
- 陶民强. 食品造粒. 食品工业·软饮料特辑·固体饮料. 2008, 29(10): 1000-1004.
- 王可, 程榕, 杨阿三. 流化床造粒的研究进展. 河南化工, 2008, 29(10): 1000-1004.
- 齐涛, 于才渊, 王喜忠等. 流化喷雾造粒法制取低糖速溶豆粉——流化喷雾造粒机理的实验研究. 食品科学, 2008, 29(10): 1000-1004.
- 李建成, 蒋雪红, 邓林伟等. 蔗糖酯造粒技术的研究. 食品科学, 2008, 29(10): 1000-1004.

内摇容摇提摇要

随着营养性、安全性逐渐成为消费者对于食品的更高要求之后，对于食品品质有着重要影响的食物加工技术也日益受到食物生产、研发技术人员的广泛关注。

食物加工技术的分类方法有很多，本书采用的是以加工单元操作为原则的分类方法，选择了六大类加工技术，包括粉碎技术、挤压技术、微胶囊化技术、新型加热技术、低温加工技术和造粒技术，进行了详细的阐述。上述六大技术，在各种原料和工艺中应用较为广泛，还有一些是当前国际最流行的加工技术，而且对于食物企业所关注的食物安全性、可靠性、变更灵活性、易于接受性四个方面都具有优势，非常适合企业选择。

为了保障本书的实用性和指导性，各大技术都详解了该类技术的分类、发展趋势、原理、工艺、设备选择和操作，并且提供了丰富的应用实例。

本书可供食物生产企业和食物技术研发机构的相关技术人员使用，也可作为食物科学、食物工程、农产品加工等专业的师生教学时的参考书。