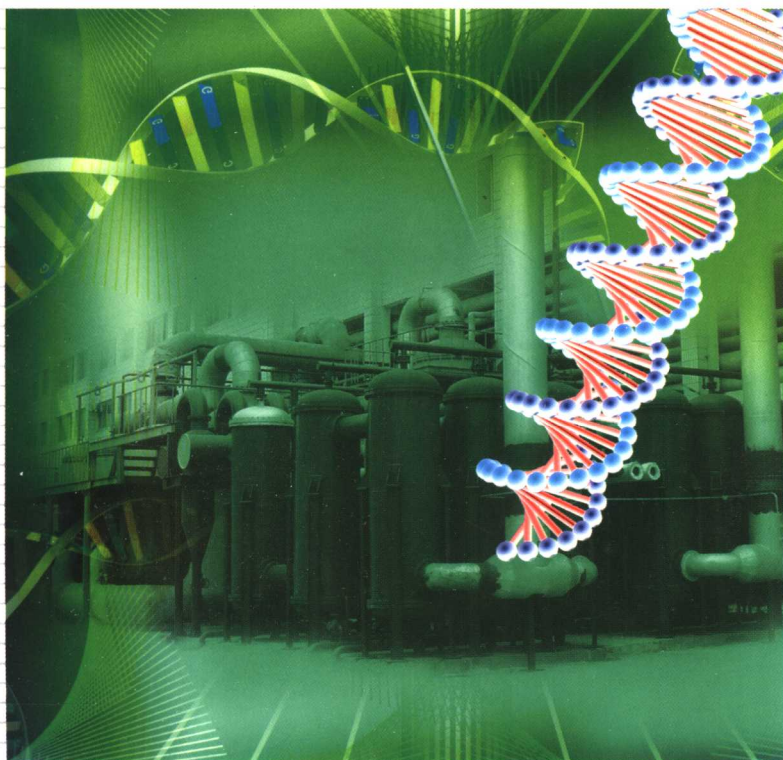



高等学校教材

生物工程 生物技术系列

# 现代发酵工艺原理 与技术

田洪涛 主编  
高年发 主审



 化学工业出版社

本书主要围绕现代发酵工程技术进行论述,前两章为通论部分,后七章则是发酵产品的生产工艺的各论。在各论中主要介绍了微生物菌体制品、酱油、醋、豆腐乳、豆豉、白酒、黄酒、啤酒、发酵肉制品、发酵豆制品、氨基酸、核苷酸、维生素、柠檬酸及其他有机酸、微生物性功能食品和食品添加剂等发酵制品,既有传统酿造产品,又有现代发酵新产品,以此来体现整体性和系统性。书中主要以发酵产品为主线,全面系统地介绍每种产品的发酵生产工艺及其技术控制,突出教材的实用性和针对性。同时力求把握本学科领域之前沿,并结合编者自身的科研方向和优势,强调“采用现代新技术生产传统产品、采用现代新技术生产新产品,”突出先进性和学术性。

本书适合于食品科学与工程、生物工程、发酵工程等专业的本专科生使用,也可作为相关专业的研究生及科研人员参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代发酵工艺原理与技术/田洪涛主编. —北京:化学工业出版社, 2007. 1  
ISBN 978-7-5025-9992-8

I. 现… II. 田… III. 发酵-工艺 IV. TQ920.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 020382 号

---

责任编辑: 赵玉清

文字编辑: 尤彩霞

责任校对: 顾淑云

装帧设计: 郑小红

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 387 千字 2007 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

## 编写人员名单

主 编：田洪涛

副主编：邱立友 陈义伦 桑亚新

编 者：（按姓氏笔画排序）

马晓燕 田洪涛 韩 军 桑亚新 （河北农业大学）

王 愈 孟雪雁 （山西农业大学）

王庆昭 （天津科技大学）

刘月英 李树立 （河北经贸大学）

刘绍军 （河北师范科技学院）

阮 南 （河北科技大学）

孙宝忠 （中国农业科学院）

邱立友 张世敏 （河南农业大学）

陈 伟 陈义伦 （山东农业大学）

周凤娟 （天津大学）

郝彦玲 梁志宏 （中国农业大学）

主 审：高年发 （天津科技大学）

# 前 言

随着生物工程技术研究的日趋深入和食品工业的迅猛发展,现代发酵工程技术不仅作为生物技术产业化的重要手段,同时也成为支撑食品工业的重要技术;它既是主导生物工程发展的前沿学科,也是开发食品新资源的一种重要手段,具有完善的工程体系和很强的应用性。现代发酵工程技术主要是利用微生物的代谢活动过程,经生物转化而大规模地制造各种工业发酵产品,现已形成一个品种繁多、门类齐全的独立工业体系,在国民经济中占有重要地位。其产品覆盖医药、轻工、化工、食品、农业、能源和环保等诸多行业,给人类带来巨大的经济效益和社会效益。然而,多年来,反映现代发酵工程技术的系统教材并不多见。有些教材尽管是新版,内容也较为丰富详尽,但不足之处是过多强调基础原理,实用性和针对性不强。

本书编写的指导思想在于:根据现代发酵工程技术的自身特点,强调理工结合,突出工程学,以体现其前沿性及应用性;强调理论与实践相结合,在系统阐述现代发酵工艺原理的基础上,又详尽介绍了现代发酵产品的具体生产工艺。

本教材力求突出以下特点。第一,整体性和系统性。本教材前二章主要围绕现代发酵工程技术的基本原理进行通论,后七章则对现代发酵产品的生产工艺进行各论;在各论中,既有传统酿造产品,又有现代发酵新产品。第二,实用性和针对性。本教材主要以现代发酵产品为主线,全面系统地介绍每种产品的酿造与发酵的生产工艺及其技术控制,突出教材的实用性和针对性。第三,先进性和学术性。本教材力求把握本学科领域之前沿,并结合编者自身的科研方向和优势,强调“采用现代新技术生产传统产品;采用现代新技术生产新产品”,突出教材的先进性和学术性。

本教材不仅适合食品科学与工程及生物工程专业的本专科生使用,也可作为相关专业的研究生参考教材使用,同时也可作为相关研究院所及生产厂家的科技人员、工程技术人员从事酿造和发酵行业的研发和工业生产的参考书。

本书的编写汇集了10所高等院校和中国农业科学院长期从事发酵工程和食品酿造与发酵工艺学教学和科研的中青年学术骨干,他们活跃在教学、科研及生产第一线,既有扎实的理论基础,又有丰富的实践经验,给本书增添了许多新鲜内容。本书由河北农业大学田洪涛教授担任主编,河南农业大学邱立友教授、山东农业大学陈义伦教授、河北农业大学桑亚新副教授担任副主编,特邀天津科技大学高年发教授作为主审,在此表示衷心的感谢和敬意!

由于编者编写任务繁重,时间紧迫,加之水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

田洪涛

2007年春于古城保定

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 发酵、发酵工程技术及其与现代生物技术的关系 .....	1
第二节 现代发酵工程技术的研宄内容及应用范围 .....	2
一、现代发酵工程技术的研宄内容 .....	2
二、现代发酵工程技术的开发应用范围 .....	2
第三节 现代发酵工程技术的历史和发展趋势 .....	3
一、发酵工程技术的历史 .....	3
二、现代发酵工程技术的发展趋势 .....	4
<b>第二章 现代发酵工程技术概论</b> .....	6
第一节 物料的输送与原料的前处理 .....	6
一、物料的输送及其主要设备 .....	6
二、物料的前处理及其主要设备 .....	10
第二节 发酵培养基的制备和灭菌 .....	14
一、发酵培养基的制备 .....	14
二、发酵培养基的灭菌 .....	16
第三节 发酵菌种及其扩大培养 .....	23
一、发酵工业对菌种的要求 .....	23
二、发酵菌种的选育、保藏和复壮 .....	23
三、发酵菌种的扩大培养 .....	24
第四节 发酵动力学 .....	30
一、发酵动力学概述 .....	30
二、分批式发酵动力学 .....	31
三、连续式发酵动力学 .....	33
四、分批补料式发酵动力学 .....	36
第五节 发酵生产设备 .....	37
一、厌氧固体发酵设备 .....	37
二、厌氧液体发酵设备 .....	37
三、好氧固体发酵设备 .....	39
四、好氧液体发酵设备 .....	39
第六节 发酵的过程控制 .....	45
一、温度对发酵过程的影响及控制 .....	45
二、pH 值对发酵过程的影响及控制 .....	47
三、溶解氧对发酵过程的影响及控制 .....	49
四、基质浓度对发酵过程的影响及补料的控制 .....	50
五、泡沫对发酵过程的影响及控制 .....	51
六、设备及管道清洗与消毒的控制 .....	53

七、杂菌与噬菌体污染的控制 .....	53
八、发酵终点的判断 .....	54
九、其他因子的在线控制 .....	54
十、发酵过程的计算机控制 .....	55
<b>第七节 重组细胞的培养与发酵 .....</b>	<b>55</b>
一、重组质粒的不稳定性及其对策 .....	56
二、高密度培养与发酵过程中代谢副产物对重组细胞生长和表达的影响及其对策 .....	58
三、重组细胞高密度培养与发酵过程中供氧的限制及其对策 .....	59
<b>第八节 发酵产物的分离、提取和精制 .....</b>	<b>61</b>
一、发酵醪与菌体分离的方法及设备 .....	61
二、发酵产物提取的方法及设备 .....	62
三、发酵产物精制的方法及设备 .....	67
<b>第九节 发酵辅助工程技术 .....</b>	<b>72</b>
一、空气净化除菌及空气调节系统 .....	72
二、水处理与供水系统 .....	76
三、加热与制冷系统 .....	79
<b>第三章 高效微生物发酵剂的开发及应用 .....</b>	<b>82</b>
<b>第一节 高活性干酵母的发酵生产及应用 .....</b>	<b>82</b>
一、概述 .....	82
二、菌种的选育 .....	83
三、发酵生产的工艺过程与技术控制 .....	85
四、不同类型高活性干酵母的应用 .....	90
<b>第二节 浓缩型直投式乳酸菌发酵剂的开发及应用 .....</b>	<b>92</b>
一、概述 .....	92
二、菌种的选择 .....	93
三、发酵生产的工艺过程与技术控制 .....	94
四、不同类型浓缩型直投式乳酸菌发酵剂的应用 .....	100
<b>第四章 调味品酿造 .....</b>	<b>101</b>
<b>第一节 酱油酿造 .....</b>	<b>101</b>
一、概述 .....	101
二、酱油酿造的菌种及参与发酵的微生物 .....	101
三、酱油酿造与发酵生产的一般工艺 .....	102
四、酱油酿造的新工艺新技术 .....	108
<b>第二节 食醋酿造 .....</b>	<b>108</b>
一、概述 .....	108
二、食醋酿造的微生物 .....	109
三、食醋酿造的一般生产工艺 .....	110
四、食醋酿造的新工艺、新技术 .....	115
<b>第三节 豆腐乳酿造 .....</b>	<b>116</b>
一、概述 .....	116
二、豆腐乳酿造的菌种及参与发酵的微生物 .....	117
三、豆腐乳酿造的生产工艺 .....	118

四、豆腐乳酿造的新工艺、新技术 .....	119
第四节 豆豉酿造 .....	119
一、概述 .....	119
二、豆豉酿造与发酵的菌种及参与发酵的微生物 .....	120
三、豆豉酿造与发酵的生产工艺 .....	121
四、豆豉酿造与发酵生产的新工艺、新技术 .....	122
<b>第五章 酿酒 .....</b>	<b>124</b>
第一节 白酒酿造 .....	124
一、概述 .....	124
二、白酒酿造中各种糖化发酵剂(酒曲)的制备 .....	125
三、白酒的传统酿造工艺 .....	129
四、白酒酿造的新工艺新技术简介 .....	134
第二节 黄酒酿造 .....	135
一、概述 .....	135
二、黄酒酿造中糖化发酵剂的制备 .....	136
三、黄酒酿造生产的一般工艺 .....	139
四、黄酒酿造的新工艺新技术 .....	142
第三节 啤酒酿造 .....	143
一、概述 .....	143
二、啤酒酿造中的微生物——啤酒酵母 .....	144
三、啤酒酿造的一般生产工艺 .....	145
四、啤酒酿造的新工艺新技术 .....	154
<b>第六章 发酵饮料与发酵食品 .....</b>	<b>156</b>
第一节 发酵肉制品 .....	156
一、概述 .....	156
二、发酵肉制品生产过程中的微生物 .....	157
三、发酵肉制品生产的一般工艺 .....	158
四、新工艺新技术在发酵肉制品中的应用 .....	164
第二节 发酵豆制品饮料 .....	165
一、概述 .....	165
二、发酵豆制品饮料的微生物 .....	166
三、发酵豆制品饮料的一般生产工艺 .....	166
四、新工艺新技术在发酵豆制品饮料中的应用 .....	170
<b>第七章 氨基酸、核苷酸及维生素的发酵生产 .....</b>	<b>173</b>
第一节 谷氨酸发酵与味精生产 .....	173
一、概述 .....	173
二、谷氨酸发酵与味精生产中的微生物 .....	174
三、谷氨酸发酵及味精生产的一般生产工艺 .....	175
四、新工艺新技术在谷氨酸发酵与味精生产中的应用 .....	180
第二节 其他氨基酸的发酵生产 .....	182
一、赖氨酸的发酵生产 .....	182
二、天冬氨酸的发酵生产 .....	184

三、苏氨酸的发酵生产 .....	184
四、缬氨酸的发酵生产 .....	185
第三节 核苷酸的发酵生产 .....	186
一、5'-肌苷酸的发酵生产 .....	186
二、5'-鸟苷酸的发酵生产 .....	187
第四节 维生素的发酵生产 .....	188
一、维生素 C 的发酵生产 .....	188
二、维生素 B <sub>2</sub> 的发酵生产 .....	190
三、维生素 B <sub>12</sub> 的发酵生产 .....	191
<b>第八章 有机酸的发酵生产 .....</b>	<b>194</b>
第一节 柠檬酸的发酵生产 .....	194
一、概述 .....	194
二、柠檬酸发酵的微生物 .....	195
三、柠檬酸发酵的一般生产工艺 .....	196
四、新工艺新技术在柠檬酸发酵生产中的应用 .....	201
第二节 其他有机酸的发酵生产 .....	202
一、乳酸的发酵生产 .....	202
二、衣康酸的发酵生产 .....	205
三、苹果酸的发酵生产 .....	206
四、葡萄糖酸的发酵生产 .....	209
五、琥珀酸的发酵生产 .....	210
<b>第九章 微生物性功能食品与食品添加剂的发酵生产 .....</b>	<b>212</b>
第一节 微生物性功能食品的发酵生产 .....	212
一、功能性低聚糖的发酵生产 .....	212
二、真菌多糖的发酵生产 .....	213
三、活性肽的发酵生产 .....	214
四、活性微量元素的发酵生产 .....	215
五、螺旋藻的发酵生产 .....	216
六、人用益生菌制品的发酵生产 .....	217
七、功能性多不饱和脂肪酸的生产 .....	219
第二节 微生物性食品添加剂的发酵生产 .....	220
一、黄原胶的发酵生产 .....	221
二、结冷胶的发酵生产 .....	222
三、茁霉多糖的发酵生产 .....	223
四、乳酸菌细菌素的发酵生产 .....	224
五、食用微生物色素的发酵生产 .....	225
六、海藻糖的发酵生产 .....	227
七、微生物性风味物质的发酵生产 .....	228
<b>参考文献 .....</b>	<b>230</b>



# 第一章 绪 论

## 第一节 发酵、发酵工程技术及其与现代生物技术的关系

发酵 (fermentation) 一词最初来源于拉丁语“发泡、沸涌” (*fervere*) 的派生词, 即指酵母菌在无氧条件下利用果汁或麦芽汁中的糖类物质进行酒精发酵产生  $\text{CO}_2$  的现象。近代生物化学家对发酵进行了狭义的定义, 认为发酵是微生物在无氧条件下, 通过分解代谢, 降解有机物, 同时积累简单的有机物并产生能量的生物氧化过程。而现代工业微生物学家对发酵进行了广义的定义, 认为发酵泛指微生物在无氧或有氧条件下, 通过分解代谢或合成代谢或次生代谢等微生物代谢活动, 大量积累人类所需的微生物体或微生物酶或微生物代谢产物的过程。本书所指发酵的含义均指发酵的广义定义。

发酵有时也称酿造。在我国, 人们习惯把通过微生物纯种或混种作用后, 不经过单一成分的分离提取和精制, 获得的成分复杂、有较高风味要求的食品生产称为酿造, 如啤酒、葡萄酒、黄酒、白酒等酒类发酵及酱油、食醋、酱品、豆豉、腐乳、盐渍菜、酸泡菜、酸奶等调味和发酵食品的生产, 均称为酿造; 而通常把经过微生物纯种作用后, 再经分离提取和精制, 获得的成分单纯、无风味要求的产品生产称为发酵, 如有机溶剂 (酒精、丙酮、丁醇等) 生产、抗生素 (青霉素、链霉素、庆大霉素等) 生产、有机酸 (柠檬酸、葡萄糖酸等) 生产、酶制剂 (淀粉酶、蛋白酶等) 生产、氨基酸 (谷氨酸、赖氨酸等) 生产、核苷酸 (鸟苷酸、肌苷酸等) 生产、维生素 (维生素  $\text{B}_2$ 、维生素  $\text{B}_{12}$  等) 生产、激素和生长素生产, 均称为发酵。

发酵工程技术 (fermentation engineering) 是指利用生物细胞 (或酶) 的某种特性, 通过现代化工程技术手段进行工业规模化生产的技术。因此, 它是一门多学科、综合性的科学技术; 它既是现代生物技术的重要分支学科, 又是食品工程的重要组成部分。

现代生物技术的定义是指以 DNA 重组技术为主要手段, 依靠清洁、经济的生物反应器 (bioreactor), 利用可再生资源加工人类所需产品的可持续发展的技术。现代生物技术包含基因工程技术、细胞工程技术、发酵工程技术、酶工程技术 (包括蛋白质工程技术)、生化工程技术五大主要工程技术体系。这五大工程技术体系的关系如图 1-1 所示。

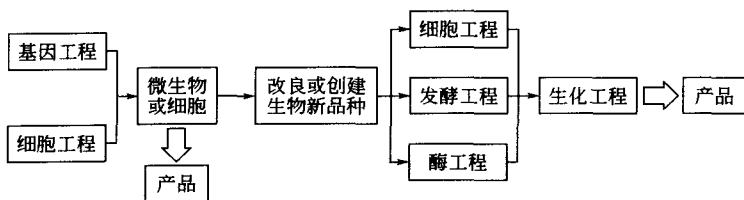


图 1-1 生物工程五大主要技术体系关系

从图 1-1 可以看出, 现代发酵工程技术和现代生物工程技术密切相关: 现代发酵工程技术需要基因工程技术和细胞工程技术提供优良的生物细胞 (或酶); 而基因工程技术和细胞

工程技术获得的优良的生物细胞（或酶）必须经过发酵工程技术、酶工程技术、生化工程技术，才能实现生物工程技术的产业化。

## 第二节 现代发酵工程技术的研究内容及应用范围

### 一、现代发酵工程技术的研究内容

现代发酵工程技术研究的内容可分为上游工程、下游工程和辅助工程三部分。其中，上游工程技术包括：①物料的输送和原料的预处理；②发酵培养基的选择、制备和灭菌；③菌种的选育、保藏、复壮和扩大培养；④发酵过程的动力学；⑤发酵酶的特性；⑥氧的传递、溶解和吸收；⑦发酵生产设备的设计、选型和计算；⑧发酵过程的工艺技术控制。下游工程技术包括：①发酵醪与菌体的分离；②发酵产物的提取；③发酵产物的精制。辅助工程技术包括：①空气净化除菌与调节系统；②水处理和供水系统；③加热和制冷系统。

在上述研究内容中，上游工程技术是发酵工程技术研究的主要内容。典型的微生物发酵工艺流程如图 1-2 所示。

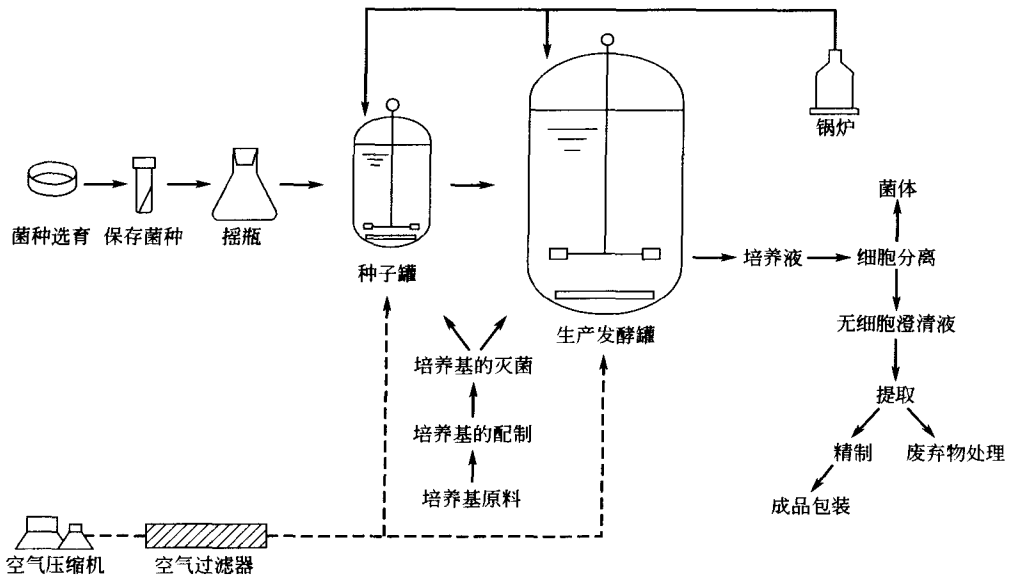


图 1-2 典型的微生物发酵工艺流程示意

### 二、现代发酵工程技术的开发应用范围

随着发酵工程技术研究的深入，发酵工业同国民经济发生着越来越密切的联系，涉及的范围十分广泛，前景极其广阔。根据划分的依据不同，发酵工程技术的研究、开发、应用范围主要有两类。

#### （一）根据产业部门划分

根据产业部门划分，发酵工程技术的研究、开发、应用范围包括：①酿酒工业（果酒、黄酒、白酒、啤酒等）；②食品酿造工业（酱、酱油、食醋、腐乳、豆豉、面包、酸乳等）；③有机酸发酵工业（柠檬酸、苹果酸、葡萄糖酸等）；④酶制剂发酵工业（淀粉酶、蛋白酶等）；⑤氨基酸发酵工业（谷氨酸、赖氨酸等）；⑥核苷酸发酵工业（鸟苷酸、肌苷酸等）；⑦维生素发酵工业（维生素 B<sub>2</sub>、维生素 B<sub>12</sub> 等）；⑧微生物菌体蛋白发酵工业（如酵

母菌单细胞蛋白等)；⑨微生物性功能食品发酵工业(低聚糖、真菌多糖、活性肽、活性微量元素、功能性不饱和脂肪酸等)；⑩食品添加剂发酵工业(黄原胶、海藻糖、食用色素、Nisin等)。

上述10大产业部门均为食品发酵产业部门。发酵工程技术涉及的其他产业部门还有有机溶剂发酵工业(酒精、丙酮、丁醇等)、抗生素发酵工业(青霉素、链霉素、庆大霉素等)；生理活性物质发酵工业(激素、生长素等)；环境净化发酵工业(废水和污水的生物处理等)；生物能发酵工业(利用沼气、纤维素发酵生产酒精、乙烯、甲烷等)；冶金发酵工业(微生物探矿、采油和石油发酵脱硫等)。

## (二) 根据产品类型划分

依据最终发酵产品的类型，发酵工程技术的研究、开发、应用范围包括以下内容。

① 微生物菌体的培养与发酵生产 属于食品发酵产品范围的有酵母菌、单细胞蛋白、螺旋藻、食用菌、活性乳酸菌和双歧杆菌等益生菌；涉及其他发酵产品范围的还有人畜用活菌疫苗、生物杀虫剂(杀鳞翅目、双翅目昆虫的苏云金芽孢杆菌、蜡样芽孢杆菌菌剂；防治松毛虫的白僵菌、绿僵菌菌剂)。

② 微生物酶的发酵生产 目前工业用酶大多来自微生物发酵产生的胞外酶或胞内酶，再经分离、提取、精制得到酶制剂(emzyme preparation)，酶制剂的种类主要有 $\alpha$ -淀粉酶、 $\beta$ -淀粉酶、葡萄糖苷酶、支链淀粉酶、蔗糖酶、乳糖酶、葡萄糖异构酶、纤维素酶、碱性蛋白酶、酸性蛋白酶、中性蛋白酶、果胶酶、脂肪酶、凝乳酶、过氧化氢酶；还有某些用于医药生产和医疗检测的药用酶，如青霉素酰化酶、胆固醇氧化酶、葡萄糖氧化酶、氨基酰化酶；用于传统酿酒工业的各种酒曲的生产可看成是复合酶制剂的生产。现在已有很多酶制剂加工成固定化酶，使发酵工业和酶制剂的应用范围发生重大变化。

③ 微生物代谢产物的发酵生产 微生物的代谢产物有初级代谢产物、中间代谢产物、次级代谢产物，为了提高代谢产物的产量，需要对发酵微生物进行遗传特性的改造和代谢调控的研究。利用发酵工程技术生产的微生物代谢产物主要有氨基酸、核苷酸、维生素、有机酸、脂类、功能性食品活性成分、食品添加剂、有机溶剂、抗生素、生物能源物质、激素、生长素等。

④ 生物转化发酵 利用生物细胞中的一种或多种酶作用于某一底物的特定部位(基团)，使其转化为结构类似并具有更大经济价值的化合物的生化反应。生物转化的最终产物不是生物细胞利用营养物质经过代谢而产生，而是生物细胞中的酶或酶系作用于某一底物的特定部位(基团)，进行化学反应而形成。生物转化包括脱氢、氧化、脱水、缩合、脱羧、羟化、氨化、脱氨、异构化等。其特点是特异性强(反应的特异性强、结构位置的特异性强、立体的特异性强)、工艺简单、操作方便、条件温和、环境污染小。发酵工业中最重要的生物转化是高附加值化合物的生产，如结构类似的同族抗生素、类固醇、前列腺素的生产。

## 第三节 现代发酵工程技术的历史和发展趋势

### 一、发酵工程技术的历史

发酵工程技术的历史大致可分为自然发酵阶段、纯培养发酵阶段、深层通气发酵阶段、代谢调控发酵阶段、全面发展阶段、基因工程阶段等六个阶段，其每个阶段的特点见表1-1。

表 1-1 发酵工程技术的历史阶段及其特点

阶段及年代	技术特点及发酵产品
自然发酵阶段(1900年以前)	利用自然发酵制曲酿酒、制醋、栽培食用菌、酿制酱油、酱品、泡菜、干酪、面包以及沤肥等
纯培养发酵阶段(1900~1940)	利用微生物纯培养技术发酵生产面包酵母、甘油、酒精、乳酸、丙酮、丁醇等厌氧发酵产品和柠檬酸、淀粉酶、蛋白酶等好氧发酵产品 该阶段的特点是:生产过程简单,对发酵设备要求不高,生产规模不大,发酵产品的结构比原料简单,属于初级代谢产物
深层通气发酵阶段(1940~1957)	利用液体深层通气培养技术大规模发酵生产抗生素以及各种有机酸、酶制剂、维生素、激素等产品 该阶段的特点是:微生物发酵的代谢从分解代谢转变为合成代谢;真正无杂菌发酵的机械搅拌液体深层发酵罐诞生;微生物学、生物化学、生物工程三大学科形成了完整的体系
代谢调控发酵阶段(1957~1960)	利用诱变育种和代谢调控技术发酵生产氨基酸、核苷酸等多种产品 该阶段的特点是:发酵罐达 500~2000m <sup>3</sup> ;发酵产品从初级代谢产物到次级代谢产物;发展了气升式发酵罐(可降低能耗、提高供氧);多种膜分离介质问世
全面发展阶段(1960~1979)	利用石油化工原料(碳氢化合物)发酵生产单细胞蛋白;发展了循环式、喷射式等多种发酵罐;利用生物合成与化学合成相结合的工程技术生产维生素、新型抗生素;发酵生产向大型化、多样化、连续化、自动化方向发展
基因工程阶段(1979~)	利用 DNA 重组技术构建的生物细胞发酵生产人们所希望的各种产品,如胰岛素、干扰素等基因工程产品 该阶段的特点是:按照人们的意愿改造物种、发酵生产人们所希望的各种产品;生物反应器也不再是传统意义上的钢铁设备,昆虫躯体、动物细胞乳腺、植物细胞的根茎果实都可以看作是一种生物反应器;基因工程技术使发酵工业发生了革命性变化

## 二、现代发酵工程技术的发展趋势

从现代生物技术发展趋势以及现代发酵工程技术与现代生物工程技术的关系来分析,现代发酵工程技术的发展趋势主要集中在以下几方面。

### 1. 利用基因工程技术,人工选育和改良发酵菌种

基因工程技术为发酵工程技术提供了无限的潜力,掌握了基因工程技术就可以按照人们的意志来创造新的物种,利用这些新的物种为人类做出不可估量的贡献。

### 2. 结合细胞工程技术,采用发酵工程技术进行动植物细胞培养

细胞融合技术使动植物细胞的人工培养进入了一个新的阶段,借助微生物细胞培养与发酵的先进技术,大量培养动植物细胞,能够产生许多微生物细胞不具备的特有的代谢产物。目前,该技术已日臻完善,已有许多进行大规模生产的成功事例。

### 3. 应用酶工程技术,将固定化(酶或细胞)技术广泛应用于发酵工业

利用固定化细胞或酶进行工业化发酵生产,可以简化分离提取和纯化工艺,固定化后的细胞或酶稳定性提高,可以反复使用,改善了生物反应的经济性。还可以将某些产物的发酵法改为固定化复合酶多级反应,将成为发酵工程技术的巨大革新。展望未来,酶工程技术在发酵工程技术中的应用必将不断扩大,特别是在解决未来世界环境和能源问题方面将起主导作用。

### 4. 重视生化工程技术在发酵工业中的应用

生化工程技术是指生化反应器、生物传感器、生化产品的分离提取和纯化等下游工程技术。自 1960 年以来,一直是生物工程技术中发展较快的工程技术体系。

生化反应器是生物化学反应的场所，其涉及流体力学、传质、传热和生化反应动力学等学科。现代生物工程技术从实验室成果转化为巨大的社会效益，都是通过各种类型和规模的生化反应器来实现的。现代发酵中绝大多数生化反应器属于非均相反应器，基本分为机械搅拌式、鼓泡式、环流式三大类。进行工艺设计时应考虑以下两点。第一，选择特异性高的酶或产物产量高的细胞，以减少发酵副产物，提高原料利用率；第二，尽量提高产物浓度，减少投资和产品回收支出。生化反应器设计亟待解决的问题是：生物工艺过程的程序控制、反应器的散热、提高反应效率等；对于非牛顿流体发酵醪（如丝状真菌发酵液）和高黏度多糖（如黄原胶）发酵液，缺乏流变特性数据，也是反应器设计和放大的困难所在。

生物传感器是发酵控制的关键，要实现生化反应器的自动化和连续化，其研究和设计是发酵工程技术发展的必然趋势。

产物的分离提取纯化技术是现代生物技术产业化的重要环节，其技术水平的高低对能否取得应有的经济效益起到至关重要的作用。因此，深入研究并开发适应现代发酵工程技术的生化工程技术，是今后的发展方向之所在。

#### 5. 发酵法生产单细胞蛋白

当今世界面临的三大问题是食物、能源和环境。目前生产的单细胞蛋白的主要用途是作为饲料，而食用的单细胞蛋白并不多见。因而，大力开发食用的单细胞蛋白是解决人类粮食问题的重要途径。

#### 6. 加强代谢调控研究，发酵生产更多代谢产品

由于生物代谢多样性的特点，至今研究透彻的生物代谢途径只是众多代谢途径中的一小部分。因此，加强代谢调控的研究，弄清更多生物的代谢调节机制，将会开发出更多有价值的生物代谢产品。

## 第二章 现代发酵工程技术概论

### 第一节 物料的输送与原料的前处理

发酵工业中的原料大多为谷物，由于谷物在收获时常常会混入许多杂质，因此原料在制成发酵培养基之前必须经过前处理。前处理包括粗选（磁吸除铁、滚打除芒、振筛除杂、风力吸尘）、精选（分离杂谷）、分级和粉碎。

在原料的前处理前后以及从半成品到成品的工艺环节中，都需要物料的输送。根据物料的状态可分为固体物料的输送和液体物料的输送两大类。固体物料常用的输送设备有机械输送设备（带式输送机、斗式提升机、螺旋输送机）和气流输送设备（吸引式输送系统、压送式输送系统、吸引压送混合式输送系统）。液体物料多采用泵（离心泵、往复泵、旋转泵）来输送。

#### 一、物料的输送及其主要设备

##### （一）固体物料的输送及其主要设备

##### 1. 机械输送及其主要设备

（1）带式输送机 带式输送机是一种广泛应用的连续输送机。既可输送块状和粒状物料（煤块、谷粒），又可输送整件物料（麻袋包、瓶、箱）；既可水平输送，又可倾斜输送（倾斜角一般不超过  $18^\circ$ ）；既可长途或短途输送，又可中途卸料。其优点是适应性广，结构简单，动力消耗低，输送能力大。缺点是造价高，若改变输送方向，需要多台机联合使用。

带式输送机的工作原理是：将卸料端的主动鼓轮和加料端的从动鼓轮分别固定在两端的支架上；环形输送带套在两鼓轮上运行；物料由从动轮一端加入，靠摩擦力随输送带到达另一端或中间规定位置，靠自重或卸料器卸下物料；为了防止输送带下垂，需要在输送带下面间隔一定距离安装托辊固定在支架上；同时，为了防止输送带在鼓轮上打滑，一般在从动轮一段安装张紧装置。

带式输送机按结构可分为固定式、运动式、搬移式 3 种，工厂中采用固定式的带式输送机较多。其结构部件包括：带（大多是橡胶带，少数是钢带）、鼓轮（主动鼓轮、从动鼓轮）、传动装置（电机和减速器，有闭式和开式）、支架和托辊（上托辊和下托辊）、张紧装置（重锤式、螺旋式）、加料装置（漏斗式加料器、螺旋式加料器）、中途卸料装置（刮板卸料器）。如图 2-1 所示。

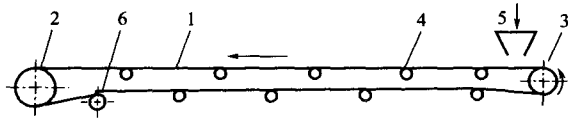


图 2-1 带式输送机结构示意图

1—带；2—主动轮；3—从动轮；4—托辊；  
5—加料斗；6—张紧装置

（2）斗式提升机 斗式提升机是一种垂直升送或倾斜升送（水平倾角大于  $70^\circ$ ）散状物料的连续输送机，广泛应用于发酵工业。其优点是横断面外形尺寸小，升送距离较大（可达  $30\sim 50\text{m}$ ），生产能力也很大（ $50\sim 160\text{m}^3/\text{h}$ ）；缺点是动力消耗较大。

斗式提升机的工作原理是：高形支架的上、下两端分别安装主动鼓轮（传动鼓轮）、从

动鼓轮（张紧鼓轮）；环形橡胶带或链条套在上、下两个鼓轮上运行；在环形橡胶带或链条上每隔一定距离安装并固定一个漏斗；全部运行部件均罩在机壳内；机壳下端开口连接装料槽，机壳上端开口连接卸料槽；物料从提升机下端装料槽加入料斗内，提升至顶部，料斗绕过鼓轮，从料斗卸入卸料槽。

斗式提升机结构部件包括高形支架、鼓轮（主动鼓轮、从动鼓轮）、带（大多橡胶带，少数链条）、传动装置（电机和减速器）、料斗（深斗、浅斗、尖角形斗）、张紧装置（重锤式、螺旋式）、装料槽、卸料槽。如图 2-2 所示。

斗式提升机的装料方法分掏取式和喂入式两种，如图 2-3 所示。掏取式装料是从提升机下部的加料口处，将物料加进底部机壳内，由运动着的料斗掏取提升。它适合磨损性小的干燥松散物料；料斗的速度较高，可与离心式卸料法或重力式卸料法相配合。喂入式装料法是把物料直接加入运动着的料斗中。它适合大块和磨损性大的物料；料斗速度较低，可与重力卸料法相配合。

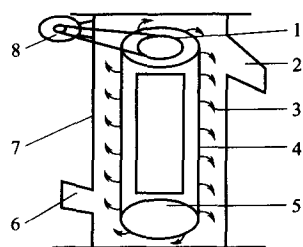
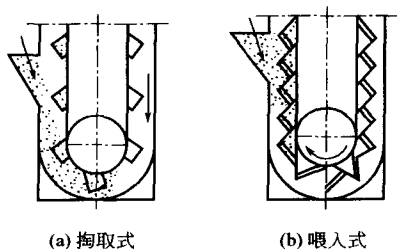


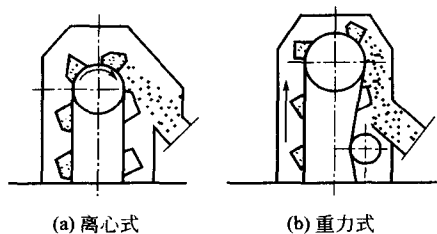
图 2-2 斗式提升机结构示意图

- 1—主动轮；2—卸料口；
- 3—料斗；4—输送带；
- 5—从动轮；6—进料口；
- 7—外壳；8—传动装置



(a) 掏取式 (b) 喂入式

图 2-3 斗式提升机的装料方法



(a) 离心式 (b) 重力式

图 2-4 斗式提升机的卸料方法

斗式提升机的卸料方法分离心式和重力式两种，如图 2-4 所示。离心式卸料法是指当提升速度较快时，料斗运行至转鼓处，料斗内物料受离心力（离心力大于重力）作用向料斗外壁甩出，实现离心式卸料。离心式卸料要求料斗的线速度达到  $1 \sim 2\text{m/s}$ ；斗与斗之间应有足够的距离，防止物料甩出时被前一料斗的背部遮挡。离心式卸料法适合磨损性小的干燥松散物料，一般与掏取式装料法相配合。重力式卸料法是指提升速度较慢且料斗运行至转鼓处完全翻转时，物料靠自身重力卸下。重力式卸料法要求料斗的线速度应控制在  $0.5 \sim 0.8\text{m/s}$ ；可在转鼓下安装导轮，防止物料卸在前一料斗的背部。它适合大块和磨损性大的物料。

(3) 螺旋输送机 螺旋输送机是一种应用较为广泛的松散物料的短途运输机（一般为  $30\text{m}$  左右）。它既可水平输送，又可倾斜输送（倾斜角一般小于  $20^\circ$ ）；既可输送物料，又可添加或混合物料。其优点是构造简单、紧凑、密封性能好；可在若干位置装载或卸载；操作方便。其缺点是由于物料与机壳和螺旋间存在摩擦力，因此动力消耗较大；同时物料、螺旋叶、料槽易受磨损。

螺旋输送机的工作原理是：在机槽（料槽）两端设置轴承；轴承之间安装连接转轴；由于转轴很长，所以在转轴中间安装吊装轴承——吊架，以加强对轴承的支撑作用；转轴一段（入料端）与传动装置相连；转轴与装在其上的叶片构成螺旋。散状物料从机槽（料槽）一端进入机槽，利用螺旋的旋转沿机槽向前运动；物料由于重力和与机槽的摩擦力的作用，在运动中不随螺旋一起旋转，而是以滑行方式沿机槽移动，到达机槽另一端卸料口而卸料。

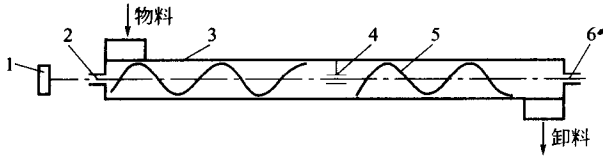


图 2-5 螺旋输送机结构示意图

1—皮带轮；2—轴承；3—机槽；4—吊架；5—螺旋；6—轴承

的一种运输方式。一般来说，物料量少、短距离、间歇式运输，多采用机械输送方式；而物料量大、长距离、连续式运输，往往采用气流输送方式。气流输送的优点是设备简单，操作方便，占地面积小，粉尘少，基建费用低，维持费用少，运输能力和运输距离便于调节，易于实现自动化。其缺点是动力消耗较大，噪音较大，物料颗粒尺寸限制在 50mm 以下，不适宜输送潮湿黏性物料。但是，从设备的合理性和技术的先进性来看，气流输送具有广阔的发展前景。

根据设备配置不同，气流输送系统可分为吸引式输送系统、压送式输送系统、吸引压送混合式输送系统。

(1) 吸引式输送系统 吸引式输送系统的工作原理是：将风机（真空泵）安装在系统的尾部，真空泵启动后，系统内的气流压力低于大气压而形成负压；空气和物料通过吸嘴被吸入物料管中；经物料分离器（旋风分离器或重力分离器）使物料从空气中分离出来；再经旋转加料器（也称闭风器，在吸引式输送系统中起闭风卸料作用）而卸入卸料斗中；与物料分离后的空气气流，通过空气管进入除尘器除尘，再经真空泵抽吸通过排风管排出。如图 2-6 所示。

吸引式输送系统的结构部件包括：吸嘴、输料软管、输料钢管、物料分离器（旋风分离器或重力分离器）、旋转加料器（也称闭风器）、排料斗、空气管、除尘器、真空泵、排风管。如图 2-6 所示。

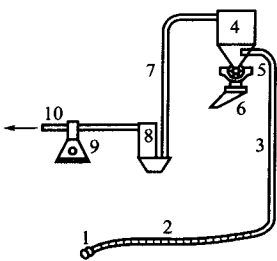


图 2-6 吸引式输送系统

1—吸嘴；2—软管；3—固定管；4—分离器；  
5—旋转加料器；6—排料斗；7—空气管；  
8—除尘器；9—真空泵；10—排风管

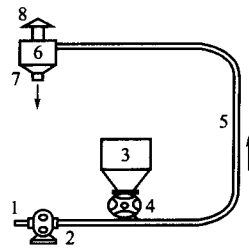


图 2-7 压送式输送系统

1—空气入口；2—鼓风机；3—加料斗；  
4—旋转加料器；5—输料管；6—分离器；  
7—排料口；8—空气出口

吸引式输送系统的特点是：当从几个不同的加料地点，向一个卸料地点送料时，采用吸引式（真空）气流输送系统最适合；不需要加料器，而在排料处装有封闭较好的排料器（旋转加料器），防止排料时发生物料反吹；短距离运输，采用低压真空泵；长距离运输，采用高压真空泵；功率消耗较压送式输送系统大。

(2) 压送式输送系统 压送式输送系统的工作原理是：将风机（鼓风机）安装在系统的前端，风机启动后，系统内的气流压力高于大气压而形成正压；物料通过加料斗并经旋转加料器（也称闭风器，在压送式输送系统中起闭风加料作用）后，进入输料管，再经物料分离



器（旋风分离器或重力分离器）使物料从空气中分离出来，通过排料口卸料；空气气流通过空气出口，再经除尘器除尘后排出。如图 2-7 所示。

压送式输送系统的结构部件包括鼓风机、输料钢管、加料斗、旋转加料器（也称闭风器）、物料分离器（旋风分离器或重力分离器）、排料斗、空气管、除尘器、排风管。如图 2-7 所示。

压送式输送系统的特点是：当从一个加料地点向几个不同卸料地点送料时，采用压送式气流输送系统最适合；需要装有封闭较好的加料器（旋转加料器），以防止在加料时发生物料反吹，而在排料处不需要排料器，可自动卸料；短距离运输，采用低压鼓风机；长距离运输，采用高压鼓风机；功率消耗较压送式输送系统小。

(3) 吸引压送混合式输送系统 吸引压送混合式输送系统是吸引式和压送式相结合的气流输送系统。其风机一般安装在整个系统的中间；风机前，物料靠管道内的负压来输送，即吸送段；而风机后，物料靠空气的正压来输送，即压送段。该系统可从数个加料地点吸入物料并压送至较远、较高的卸料地点。但由于在中途需将物料从压力较低的吸送段转入压力较高的压送段，所以该系统结构较为复杂，同时从分离器来的空气含尘较多，风机的工作条件较差。

## (二) 液体物料的输送及其主要设备

在发酵工业中，泵是为液体提供能量的输送设备。根据工作原理不同，泵可分为离心泵、往复泵和旋转泵。

### 1. 离心泵

离心泵的结构部件包括叶轮、泵壳、泵轴（紧固在泵壳内并与传动装置相连）、吸入口、吸入管、底阀和滤网、排出口、排出管、调节阀。如图 2-8 所示。其工作原理是：电机开动前，先用被输送液体将泵灌满；电机开动后，泵轴带动叶轮旋转，叶轮间的液体也随之旋转，产生离心力，从叶轮中心被甩向叶轮外围，以很高的流速流入泵壳，使动能转变为静压能，从排出口进入排出管；叶轮内的液体被甩出后，叶轮中心形成真空；泵的吸入管一端与叶轮中心相通，另一端浸没在被输送的液体中；这样，在液面大气压与叶轮中心真空度之间形成压差，液体便经吸入管进入泵的叶轮中心；因此，只要叶轮转动，离心泵便不断地吸入和排出液体。

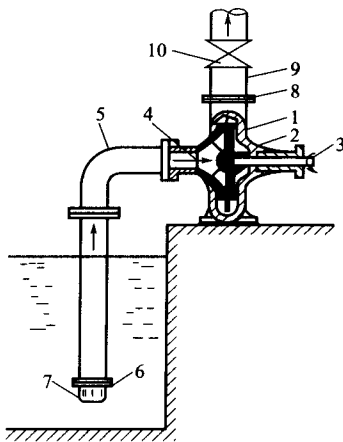


图 2-8 离心泵装置简图

- 1—叶轮；2—泵壳；3—泵轴；4—吸入口；  
5—吸入管；6—单向底阀；7—滤网；  
8—排出口；9—排出管；10—调节阀

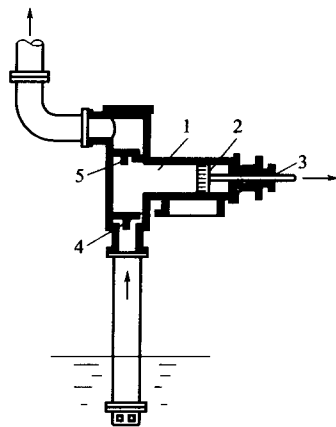


图 2-9 往复泵装置简图

- 1—泵缸；2—活塞；3—活塞杆；  
4—吸入阀；5—排出阀