

生物工程  
生物技术  
系列

普通高等教育“十三五”规划教材



# 生物工程设备

陶兴无 | 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 生物工程设备

陶兴无 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

全书内容共分九章：原料的输送及前处理设备，培养基的灭菌和空气除菌设备，生物反应器设计基础，微生物反应器，动植物细胞培养反应器与酶反应器，生物反应器的设计、放大及参数检测，细胞破碎与固液分离设备，萃取与色谱设备，蒸发、结晶与干燥设备。全面介绍了生物工程设备的结构、工作原理及设计与选型原则。为方便教学，每章内容均配有思考题。

本书可作为生物工程、生物技术、生物制药以及食品科学与工程、化学工程等专业的教材或参考书，也适合相关科研设计院所和企业人员自学。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

生物工程设备/陶兴无主编. —北京：化学工业出版社，2017.1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-28639-0

I. ①生… II. ①陶… III. ①生物工程-设备-高等学校-教材 IV. ①Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 291386 号

---

责任编辑：魏 巍 赵玉清

文字编辑：周 侗

责任校对：吴 静

装帧设计：关 飞

---

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

印 装：三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 521 千字 2017 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

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

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：39.80 元

版权所有 违者必究

# 前 言

生物工程设备是生物工程、生物技术和生物制药等专业开设的专业必修课，是在学习了微生物学、生物化学、化工原理、生物工艺学、生物分离技术等课程的基础上，为培养生物技术产业化开发与生产所需工程技术人才而开设的一门理论与实践紧密结合的课程。本课程具有实践性强、应用面广、内容多、所关联课程多、更新快等特点。随着高等教育的快速发展，许多高校压缩专业课学时。在教学中存在着学生工程意识薄弱、教材内容更新相对较慢等问题。为了达到知识面宽、浅显易懂、突出新知识、实用以及教师易教、学生易学的目的，本书强调基本原理和关键设备，突出工程实践，内容体系完整，反映学科新成果，难度适中，篇幅较小，符合新形势下高校专业课的教学要求。本书以生物加工过程为主线，介绍生物工程设备的结构、工作原理及工艺设计计算与选型原则，力图反映该领域的最新应用成果。全书分为三部分：第一部分为原料的前处理设备及灭（除）菌设备，第二部分为生物反应器，第三部分为生物产品分离设备。使用本教材时，推荐教学时数为 32 至 48 学时。

本书力求突出以下特点：

1. 努力反映生物工程设备应用新成果。近年来，生物工程技术的发展日新月异，各种先进的生物工程设备层出不穷。本书对那些已显陈旧的内容进行了删减，增加了生物工程设备应用新成果的内容。

2. 重点突出，注重实用，力求反映基本概念和基本内容。在知识点方面，围绕设备设计及选型这一主题展开。在内容方面，重点介绍核心设备——生物反应器，适当介绍与其相关的设备。尽可能多地选择与生产实际紧密相连的工程实例，拉近“所学”与“所用”的距离，达到学以致用目的。

3. 叙述简洁，层次清晰，便于自学。生物工程设备的工作原理分析和设计需要深厚的理论基础，但对工程技术人员来说，更需要了解和掌握的是基本原理及应用特性。本书用较少的数学推导，简洁的文字，配以适量的插图来呈现生物工程设备基本内容和知识，通俗易懂。因此，本书也适合相关科研设计院所和生产企业技术人员以及相关领域的专业人员学习参考。

本书由武汉轻工大学陶兴无和江贤君编写。江贤君编写第四章第四、五节，第五章和第六章；陶兴无编写其余各章节并统稿。此外，研究生陈强、李政、李燕、樊永波、刘仁禄和许晓梅等也为本书的资料搜集整理做了大量工作。编写过程中参阅了大量同行的教材、资料与文献，谨此对这些作者表示诚挚的感谢！

限于编者水平，书中难免存在一些疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

陶兴无

2016 年 9 月于武汉

# 目 录

第一章 原料的输送及前处理设备 .....	1
第一节 物料的输送设备 .....	1
一、固体物料的输送设备 .....	1
二、液体物料的输送设备 .....	9
第二节 固体物料的分选(除杂)与分级设备 .....	13
一、分选(除杂)设备 .....	13
二、精选设备 .....	15
三、分级设备 .....	17
四、除铁、去石设备 .....	18
第三节 固体物料的粉碎设备 .....	21
一、粉碎原理和方法 .....	21
二、锤式粉碎机 .....	24
三、辊式粉碎机 .....	27
四、其它粉碎机 .....	28
第四节 淀粉质原料的水解设备 .....	30
一、传统的连续蒸煮糖化设备流程 .....	30
二、双酶法连续喷射液化及糖化设备流程 .....	31
三、传统的蒸煮加热设备 .....	32
四、连续液化喷射器(水热器) .....	33
五、水力喷射真空泵 .....	35
六、糖化罐 .....	37
第五节 麦芽汁制备和糖蜜原料稀释设备 .....	37
一、麦芽汁制备设备 .....	38
二、糖蜜原料的稀释设备 .....	41
复习思考题 .....	44
第二章 培养基的灭菌和空气除菌设备 .....	45
第一节 培养基灭菌设备 .....	45
一、湿热灭菌的原理 .....	45
二、培养基的分批灭菌 .....	46
三、培养基的连续灭菌设备流程 .....	47
四、加热设备 .....	49
五、维持(保温)设备 .....	52
六、冷却设备 .....	54
第二节 空气除菌设备 .....	57
一、生物反应器用无菌空气标准 .....	57
二、压缩空气的预处理流程 .....	58
三、压缩空气预处理设备 .....	60
四、空气过滤的常用介质及其除菌机制 .....	65
五、空气过滤器的结构和性能 .....	67
第三节 设备与管路的清洗与灭菌 .....	78
一、设备和管路的清洗 .....	78
二、CIP清洗系统简介 .....	80
三、设备及管路的灭菌 .....	81
复习思考题 .....	85
第三章 生物反应器设计基础 .....	86
第一节 生物反应器的分类 .....	86
一、根据生物催化剂分类 .....	86
二、根据底物加入方式分类 .....	87
三、根据反应器结构特征及动力输入方式 .....	

分类 .....	88	五、生物反应器的壁厚计算 .....	97
四、根据反应器通气情况分类 .....	89	六、生物反应器的压力试验 .....	101
第二节 生物反应器设计的机械基础 .....	89	第三节 生物反应器中的传递与混合 .....	103
一、压力容器设计的基本知识 .....	89	一、生物反应流体的流变特性 .....	103
二、无夹套生物反应器(内压薄壁容器) 的应力分析 .....	91	二、剪切力对生物反应的影响 .....	105
三、夹套生物反应器(外压容器)的 失稳 .....	93	三、生物反应器中氧的传递 .....	106
四、生物反应器强度设计参数的确定 .....	94	四、生物反应器中的热量传递 .....	111
		五、生物反应器中的流动和混合特征 .....	112
		复习思考题 .....	115
<b>第四章 微生物反应器 .....</b>	<b>116</b>		
第一节 机械搅拌通风发酵罐 .....	116	五、气升式环流式反应器的设计要点 .....	143
一、基本结构 .....	116	六、气升式环流式反应器的优缺点 .....	144
二、罐体和传热装置 .....	116	第三节 自吸式通风发酵罐 .....	145
三、通气和搅拌装置 .....	120	一、机械搅拌自吸式发酵罐 .....	145
四、轴封装置和传动装置 .....	125	二、喷射自吸式发酵罐 .....	149
五、消泡和尾气排放装置 .....	128	第四节 厌氧微生物反应器 .....	151
六、机械搅拌通风发酵罐的优缺点 .....	131	一、酒精发酵罐 .....	151
第二节 气升式通风发酵罐 .....	131	二、啤酒发酵罐 .....	156
一、鼓泡塔反应器简介 .....	131	三、废水厌氧处理反应器 .....	161
二、气升式环流式反应器的结构与 类型 .....	135	第五节 固态发酵生物反应器 .....	164
三、气升式环流式反应器的传递特性 参数 .....	139	一、固态发酵体系的传质和传热 .....	165
四、气升式环流式反应器的操作特性 .....	141	二、静态固态发酵生物反应器 .....	166
		三、动态发酵生物反应器 .....	169
		复习思考题 .....	178
<b>第五章 动植物细胞培养反应器与酶反应器 .....</b>	<b>180</b>		
第一节 动植物细胞大规模培养方法 .....	180	第三节 植物细胞培养反应器 .....	193
一、动植物细胞培养特性 .....	180	一、植物细胞悬浮培养反应器 .....	193
二、动植物细胞大规模培养方法和生产操 作方式 .....	182	二、植物细胞固定化培养反应器 .....	196
第二节 动物细胞培养反应器 .....	185	第四节 酶反应器 .....	198
一、动物细胞贴壁培养反应器 .....	185	一、游离酶反应器 .....	199
二、动物细胞悬浮培养反应器 .....	186	二、固定化酶反应器 .....	202
三、动物细胞微载体培养反应器 .....	191	三、酶反应器的选型 .....	209
四、大载体培养反应器 .....	192	四、酶反应器的操作 .....	212
		复习思考题 .....	214
<b>第六章 生物反应器的设计、放大及参数检测 .....</b>	<b>215</b>		
第一节 发酵罐的设计 .....	215	二、发酵罐的几何尺寸和壁厚设计 .....	216
一、发酵罐容积设计 .....	215	三、换热装置的冷却面积设计 .....	218

四、搅拌器的轴功率设计 .....	221	二、罐压 .....	234
五、发酵罐的附件设计 .....	223	三、搅拌转速和功率 .....	235
第二节 发酵罐的比拟放大 .....	223	四、空气和料液流量 .....	236
一、几何尺寸的放大 .....	224	五、液位和泡沫 .....	238
二、空气流量的放大 .....	224	六、pH 及溶解 CO <sub>2</sub> 浓度 .....	238
三、搅拌转速及功率的放大 .....	226	七、溶氧浓度及氧化还原电位 .....	239
四、放大方法的比较 .....	227	八、发酵罐排气(尾气)中 O <sub>2</sub> 分压和 CO <sub>2</sub> 分压 .....	240
第三节 酶反应器的设计 .....	227	复习思考题 .....	242
第四节 生物反应过程的参数检测 .....	234		
一、温度 .....	234		
<b>第七章 细胞破碎与固液分离设备 .....</b>	<b>243</b>		
第一节 细胞机械破碎设备 .....	243	一、三足式离心机 .....	251
一、高压匀浆器 .....	243	二、管式离心机 .....	251
二、高速珠磨机 .....	243	三、碟片式离心机 .....	253
三、喷雾撞击破碎器 .....	244	四、卧式螺旋卸料离心机 .....	255
四、超声波破碎器 .....	244	五、离心机的选用 .....	255
五、细胞破碎机械的选用 .....	244	第四节 膜分离设备 .....	256
第二节 过滤设备 .....	245	一、膜结构及其分离机理 .....	256
一、板框压滤机 .....	245	二、膜组件 .....	257
二、转鼓真空过滤机 .....	247	三、膜组件的选用 .....	259
三、过滤机的选用 .....	250	复习思考题 .....	260
第三节 离心设备 .....	250		
<b>第八章 萃取与色谱设备 .....</b>	<b>261</b>		
第一节 萃取设备 .....	261	三、离子交换设备的设计要点 .....	269
一、溶剂萃取流程 .....	261	第三节 色谱设备 .....	270
二、混合设备 .....	261	一、色谱分离的基本原理 .....	270
三、分离设备 .....	263	二、色谱系统的基本组成 .....	271
四、混合-分离萃取机 .....	264	三、色谱柱结构 .....	272
第二节 离子交换设备 .....	266	四、工业规模的色谱分离装置 .....	274
一、离子交换设备的分类 .....	266	五、径向色谱 .....	274
二、离子交换设备的结构 .....	267	复习思考题 .....	275
<b>第九章 蒸发、结晶与干燥设备 .....</b>	<b>276</b>		
第一节 蒸发设备 .....	276	四、蒸发设备的选用 .....	282
一、循环型蒸发器 .....	276	第二节 结晶设备 .....	282
二、单程型(膜式)蒸发器 .....	277	一、冷却结晶器 .....	282
三、蒸发器的辅助设备 .....	281	二、蒸发结晶器 .....	284

三、真空结晶器 .....	287	二、传导型（非绝热）干燥设备 .....	296
四、结晶设备的选用 .....	289	三、冷冻干燥机 .....	298
第三节 干燥设备 .....	289	四、干燥设备的选用 .....	301
一、对流型（绝热）干燥设备 .....	289	复习思考题 .....	302
参考文献 .....			
			303



# 第一章 原料的输送及前处理设备

生产培养基一般以谷物为主要原料，前处理设备包括分选（除杂）与分级、粉碎、淀粉质原料的水解等。原料前处理不仅影响微生物的生长和产物的形成，对下游产物提取工艺的选择及产品质量也有很大的影响。输送设备按生产工艺的要求将物料从一个工作单元传送到另一个工作单元，有时在传送过程中对物料进行工艺操作。

## 第一节 物料的输送设备

生物工厂中，存在着大量固体和流体物料的输送问题。为了提高劳动生产率和减轻劳动强度，需要采用各种各样的输送设备来完成物料的输送任务。

### 一、固体物料的输送设备

固体物料的输送方式主要有两种：一种是机械输送，利用机械运动输送物料；另一种是气力输送，借助风力输送物料。

#### 1. 机械输送设备

机械输送设备种类繁多。目前用于输送固体原料的主要有带式输送机、斗式提升机和螺旋输送机。

##### (1) 带式输送机

带式输送机是连续输送机中效率最高、使用最普遍的一种机型。可用来输送散粒物品，（谷物、麸曲和麦芽等）以及块状物品（薯类和酒饼等）。按结构不同，带式输送机可分为固定式和移动式两类。工厂中采用固定式带式输送机的较多。

带式输送机的主要构件包括输送带、鼓轮、张紧装置、支架和托辊等。有的还附有加料斗和中途卸载设备。带式输送机结构如图 1-1-1 所示。

在带式输送机中，输送带既是承载构件，又是牵引构件。输送带主要有橡胶带、塑料带和钢带等几种。将输送带连成环形，套在两个鼓轮上，卸料端的鼓轮由电动机传动，称主动轮，另一端的鼓轮为从动轮。由于环形带长又重，若只由两端鼓轮支撑而中间悬空，则带必然下垂，所以需在带的下面装若干个托辊。

带式输送机的输送能力可根据下式计算：

$$q_m = \frac{3600qv}{1000} = 3.6qv$$

式中  $q_m$ ——输送量，t/h；

$q$ ——带上单位长度的负荷，kg/m；

$v$ ——带的运行速度，m/s。

带式输送机的优点是输送平稳，噪声小，输送中不损伤物料；连续输送能力强，动力消

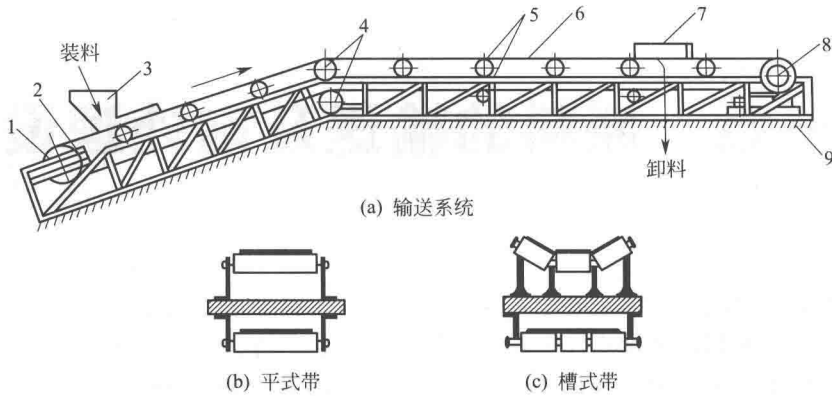


图 1-1-1 带式输送机结构

1—拉紧辊；2—拉紧装置；3—装料斗；4—改向辊；5—托辊；  
6—输送带；7—卸料装置；8—驱动辊；9—驱动装置

耗小，输送效率高；输送距离长（可达 5000~10000m），工作速度范围广（每秒钟 0.02~4m）；能倾斜和水平输送；结构简单，工作可靠，使用维修方便；能够向机身任何地方装、卸物料。带式输送机的缺点是输送不密封，输送轻质粉状物料时易飞扬；设备成本高，输送带易磨损；不适于倾角过大的场合。

## (2) 斗式提升机

斗式提升机是将物料连续地由低处提升到高处的运输机械。其所输送的物料为粉末状、颗粒状和块状，如大麦、大米、谷物、薯粉和瓜干等。斗式提升机的结构如图 1-1-2 所示。

斗式提升机主要由传动滚轮、张紧滚轮、环形牵引带或链、料斗、机壳和装卸料装置等几部分组成。物料放在斗式提升机的斗内，提升机运转时，料斗渐渐提升到上部，转过上端的滚轮时物料依靠离心力卸载。

牵引件可用胶带和链条两种，胶带和带式输送机的相同。料斗用特种头部的螺钉和弹性垫片固接在牵引带上，带宽比料斗的宽度大 30~40mm。料斗一般布置在背部（后壁）固接在牵引带式链条上。双链式斗式提升机的链条有时也可固接在料斗的侧壁上。料斗可以疏散或密接布置，密接料斗可以使进料连续和均匀（图 1-1-3）。

斗式提升机的装料方法分掏取式和喂入式两种，如图 1-1-4 所示。掏取式装料是从提升机下部的加料口处，将物料装进底部机壳里，由运动着的料斗掏取，适用于磨损性小的松散物料，料斗的速度较高。喂入式装料就是把物料直接加入到运动着的料斗中，料斗宜低速运行，适用于大块和磨损性大的物料。

根据斗的提升速度不同，斗式提升机有离心式、重力式和离心重力混合式三种卸料方式（图 1-1-5）。①离心式：要求提升速度快，料斗间距要大。适用于粒度小、流动性好的物料。②重力式：物料沿前一料斗背部落下，所以料斗要紧密相连，适用于大块、密度大、易碎物料。③离心重力混合式：依靠离心力和重力卸料，一般用于流动性差以及潮湿的物料。

图 1-1-2 斗式提升机结构

1—主动轮；2—卸料口；  
3—料斗；4—输料带；  
5—从动轮；6—进料口；  
7—外壳；8—电动机

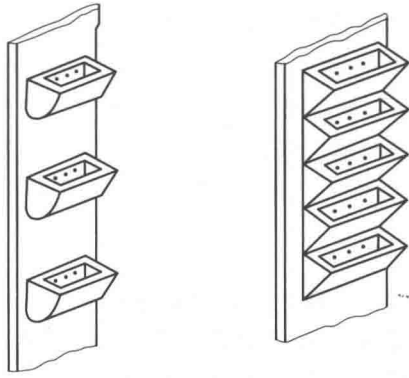


图 1-1-3 斗式提升机的料斗在牵引带上的布置简图

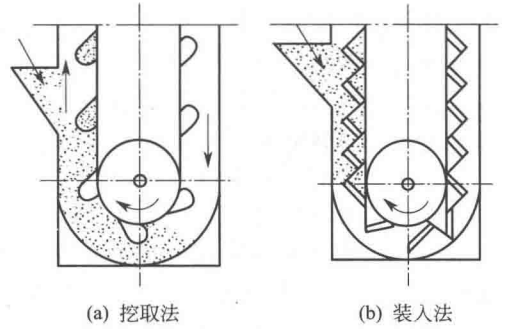


图 1-1-4 斗式提升机的装料方法

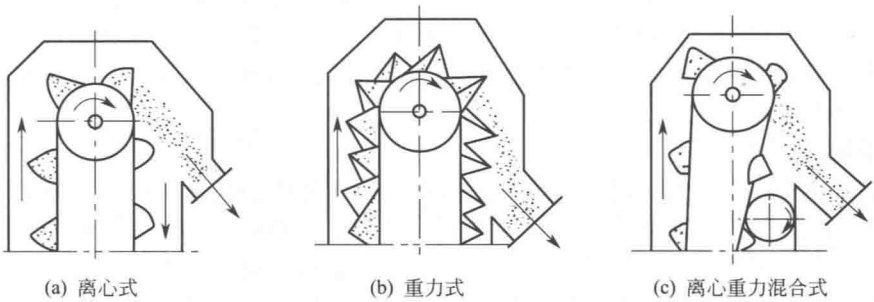


图 1-1-5 斗式提升机的卸料方法

$$q_m = 3.6 \frac{V}{a} v \rho \varphi$$

式中  $V$ ——料斗容积， $m^3$ ；

$a$ ——料斗间距， $m$ ；

$v$ ——料斗运行速度， $m/s$ ；

$\rho$ ——物料堆积密度， $kg/m^3$ ；

$\varphi$ ——料斗的充填系数，粉状及细粒干燥物料  $\varphi = 0.75 \sim 0.95$ ，谷物  $\varphi = 0.70 \sim 0.90$ 。

斗式提升机的提升高度可达  $30 \sim 50m$ ，生产能力的范围也很大，输送能力在  $3 \sim 160m^3/h$ 。斗式提升机的生产能力可由下式计算：

斗式提升机的优点是结构简单，工作安全可靠，可以垂直或接近垂直方向向上提升，提升高度大。横向尺寸小，节约占地面积，有良好的密封性，能减少灰尘污染。但过载能力差，必须均匀送料，不能水平输送。

### (3) 螺旋输送机

螺旋式输送机（俗称绞龙），是一种不带挠性牵引构件的连续输送机械。它是由一个旋转的螺旋和料槽以及传动装置构成的，如图 1-1-6 所示。带螺旋片的轴在封闭的料槽内旋转，使装入料槽的物料由于自重及其与料槽摩擦力的作用而不与螺旋一起旋转，只能沿料槽方向移动。

螺旋输送机的生产能力可由下式近似计算：

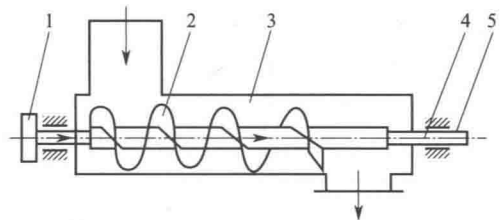


图 1-1-6 螺旋式输送机结构

1—皮带轮；2—螺旋；3—外壳；4—轴承；5—轴

$$q_m = 60 \times \frac{\pi}{4} D^2 s n \rho \varphi c = 47 D^2 s n \rho \varphi c$$

式中  $D$ ——螺旋的直径，m；  
 $s$ ——螺距，m；  
 $n$ ——螺旋的转数，r/min；  
 $\rho$ ——物料的密度，t/m<sup>3</sup>；  
 $\varphi$ ——槽的装满系数， $\varphi=0.125\sim0.4$ ；  
 $c$ ——倾斜系数。

由于螺旋输送机的输送的推力全靠摩擦，因而能量消耗较大。这种输送机常被用于短距离的水平输送，或是倾角不大于 20° 情况下的输送。它主要用于各种干燥松散的粉状、粒状、小块状物料的输送。通过螺距变化和配合适当的螺旋叶片还可对物料进行搅拌、混合、加热和冷却等工艺。生物加工厂常用它来输送麸曲、薯粉和麦芽等。还可用于固体发酵中培养基的混合等。

螺旋输送机结构简单、紧凑、外形小，制造成本低，密封性好，操作安全方便，而且便于改变加料和卸料位置，特别适用于输送有毒和粉尘物料。它的缺点是输送过程中物料易粉碎，输送机零部件磨损较重，动力消耗大，输送长度较小（小于 40m），输送能力较低，倾斜输送时倾角小于 20°。

## 2. 气流输送设备

气流输送，又称为风力输送，是借助空气在密闭管道内的高速流动，物料在气流中被悬浮输送到目的地的一种运输方式，一般为垂直或水平输送物料。其工作原理是利用空气的动压和静压，使物料颗粒悬浮于气流中或成集团沿管道输送。前者称为物料悬浮输送，后者称为物料集团输送。物料输送必须保证足够的气流速度，但是速度过大，会造成很大的输送阻力和较大的磨损。

### (1) 气流输送流程分类

按输送气流的压力和设备组合不同，气流输送流程可分为吸引式、压送式和混合式三种。

① 吸引式输送流程（又称吸入式、真空输送）是通过装在系统尾部的抽风机将管道内抽成负压，气流和物料从吸嘴被吸入输料管，经分离器后物料和空气分开，物料从分离器底部的卸料器卸出，含有细小物料和尘埃的空气再进入除尘器净化，然后排入大气（图 1-1-7）。低真空吸送式输送流程，工作压力 20kPa；高真空吸送式输送流程

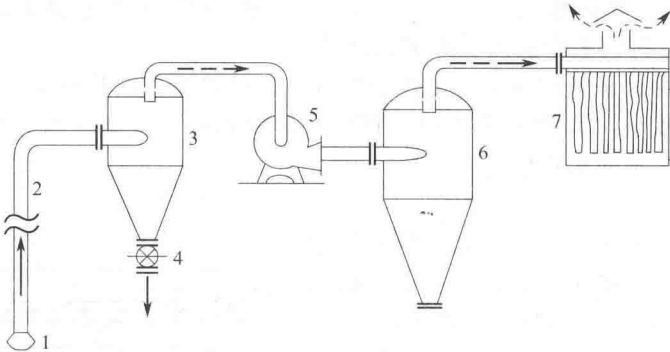


图 1-1-7 吸引式输送流程

1—物料；2—输料管；3—卸料器；4—闭风器；5—吸风机；  
6—旋风分离器（除尘器）；7—布袋除尘器

20~50kPa。其特点是整个系统处于负压状态；供料简单方便，能够从一堆物料中的数处同时吸取物料或将几处物料集中送往一处；不怕粉尘外漏，适于小流量、短距离输送。

② 压送式输送流程是在高于 0.1MPa 的条件下进行工作的，整个系统处于正压状态。鼓风机把一定表压力的空气压入导管，被运送物料由密闭的供料器输入输料管中，空气和物料混合后沿输料管运动送至分离器，被分离出的物料由卸料器的下方卸出，空气进入净化器后排入大气（图 1-1-8）。压送式气力输送装置的输送强度较大，还可输送潮湿物料。

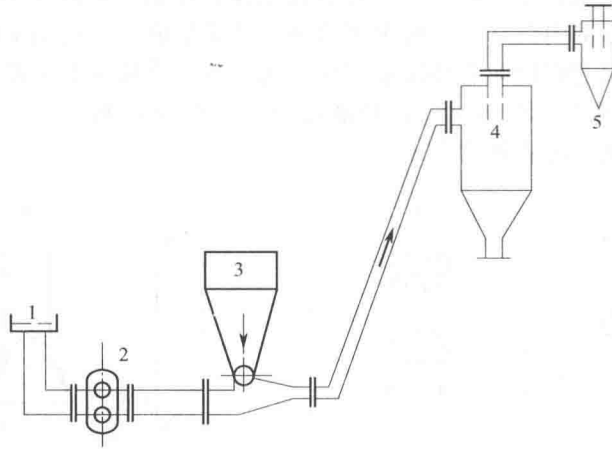


图 1-1-8 压送式输送流程

1—空气粗滤器；2—罗茨鼓风机；3—料斗；4—分离器；5—除尘器

③ 混合式输送流程是吸引式和压送式两种输送流程的结合。将风机装在系统中间，前段为吸入式，后段为压送式。在吸送部分，通过吸嘴将物料由料堆吸入输料管，送到分离器中，分离出来的物料又被送入压送部分的输料管继续输送（图 1-1-9）。混合式输送流程综合了吸送式、压送式的优点，可以从几处吸取物料，又可以把物料同时输送到几处较远，较高的地方。其缺点是携带灰尘的空气要通过风机使之工作条件变差，同时整个结构较复杂。

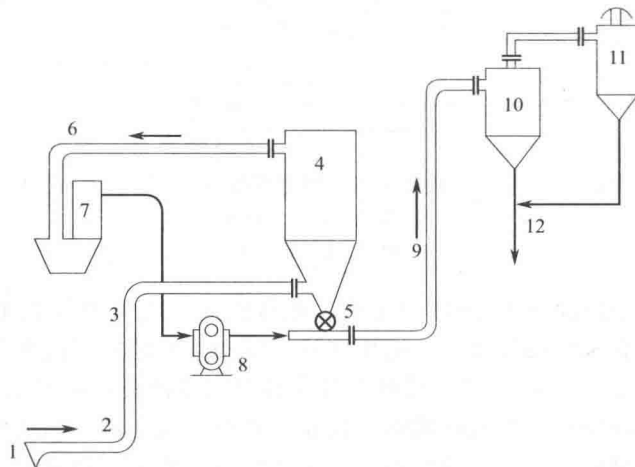


图 1-1-9 吸引、压送混合式输送流程

1—吸嘴；2—软管；3—吸入侧固定管；4—分离器；5—旋转卸（加）料器；6—吸出风管；7—过滤器；8—风机；9—压出侧固定管；10—压出侧分离器；11—二次分离器；12—排料口

## (2) 气流输送的主要配套设备

气流输送的主要配套设备有进料装置、输料管道、分离装置、闭风器、风机、除尘器和空气管道等。

① 吸送式气力输送装置通常采用吸嘴作为供料器。吸嘴有多种不同类型，主要有单筒型、双筒型和固定型三种。单筒型吸嘴如图 1-1-10 所示，输料管口就是单筒型吸嘴。它可以做成直口、喇叭口、斜口和扁口等多种类型。由于结构简单，应用较多。其缺点是当管口外侧被大量物料堆积封堵，空气不能进入管道而使操作中断。双筒型吸嘴如图 1-1-11 所示。它由一个与输料管相通的内筒和一个可上下移动的外筒组成。内筒用来吸取物料，其直径与输料管直径相同。外筒与内筒间的环隙是二次空气通道。外筒可上下调节，以获得最佳操作位置。固定型吸嘴如图 1-1-12 所示。物料通过料斗被吸至输料管中，由滑板调节进料量。空气进口应装有铁丝网，防止异物吸入。

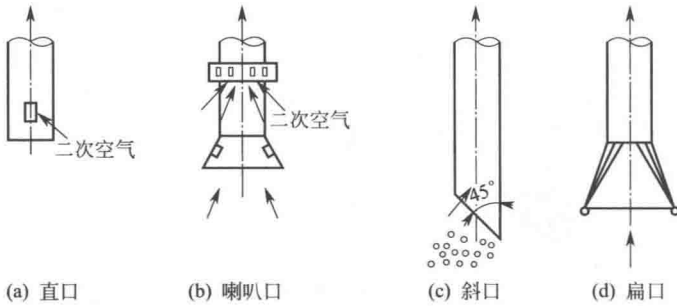


图 1-1-10 单筒型吸嘴的类型

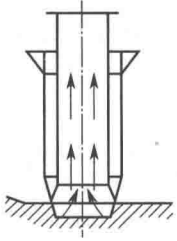


图 1-1-11 双筒型吸嘴

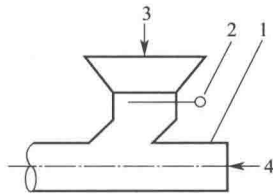


图 1-1-12 固定型吸嘴

1—输料管；2—滑板；  
3—料斗；4—空气进口

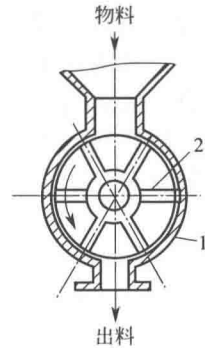


图 1-1-13 旋转加料器（闭风器）

1—外壳；2—叶片

② 旋转加料器（闭风器）广泛应用在中、低压的压送式气力装置中或在吸送式气力装置中做卸料用。它具有一定的气密性，适用于输送流动性好的粉状或小块状干燥物料。旋转加料器结构如图 1-1-13 所示，主要由圆柱形的壳体及壳体內的叶轮组成。叶轮由 6~8 片叶片组成，由电动机带动旋转。在低转速时，转速与排料量成正比。当达到最大排料量后，如继续提高转速，排料量反而降低。这是因为转速太快时，物料不能充分落入格腔里，已落入的又可能被甩出来。通常圆周速度在 0.3~0.6m/s 较合适。叶轮与外壳之间的间隙为 0.2~0.5m，间隙愈小，气密性愈好。也可在叶片端部装聚四氟乙烯或橡胶板，以提高其气密性。

③ 气固分离装置。物料沿输料管被送达目的地后，气固分离装置（分离器）将物料从

气流中分离而卸出。常用的分离器有旋风分离器和重力式分离器。旋风分离器是利用离心力来分离捕集粉粒体的装置，如图 1-1-14 所示。这种分离器结构简单，分离效率高。对于大麦和豆类等物料的分选效率可达 100%。气、固两相流经入口管，以切线方向进入圆筒体后，形成下降的空间螺旋线运动，较大粒子借离心惯性力被甩向器壁而分离下沉，经圆锥体由卸料口排出。而较细的粒子和大部分气体，则沿上升的反转螺旋线，经排气管排出。

重力式分离器，又称沉降器，有各种结构形式，如图 1-1-15 所示是其中的一种。带有悬浮物料的气流进入分离器后，流速大大降低，物料由于自身的重力而沉降，气体则由上部排出。这种分离器对大麦和玉米等能 100% 分离。

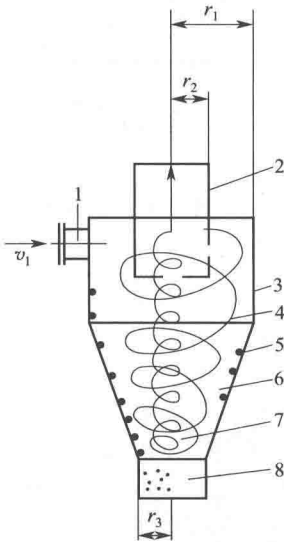


图 1-1-14 旋风分离器

- 1—入口管；2—排气管；3—圆筒体；4—空间螺旋线；  
5—较大粒子；6—圆锥体；7—反螺旋线；8—卸料口

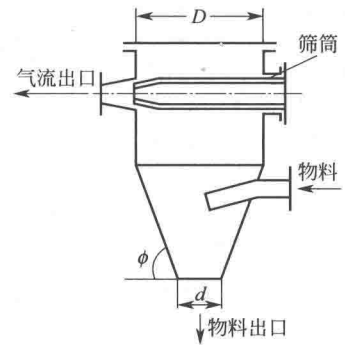


图 1-1-15 重力式分离器（沉降器）

④ 空气除尘器。空气除尘器的作用是回收粉状物料，减少损失；净化排放空气；防止尘粒损坏真空泵。一般在分离器后和风机入口前装设空气除尘器。除尘器的形式很多，常用的除尘器有离心式除尘器、袋式除尘器和湿式除尘器。离心除尘器又称旋风分离器，其构造与离心式分离器相似，含尘空气沿除尘器外壳的切线方向进入圆筒的上部，并在圆筒部分的环形空间做向下的螺旋运动。被分离的灰尘沉降到圆锥底部，除尘后的空气则从下部螺旋上升，并经排气管排出。常用的离心除尘器有旁路式和扩散式离心除尘器，分别如图 1-1-16 和图 1-1-17 所示。

袋式除尘器如图 1-1-18 所示。它是利用滤袋过滤气体中的粉尘的净化设备，含尘气流由进气口进入，穿过滤袋，粉尘留在滤袋内，洁净空气通过滤袋由排气管排出，袋内粉尘借振动器振落到下部排出。

⑤ 风机。风机用来压缩与输送气体，根据气体压缩后可达到的压力不同，可分为：通风机（1~15kPa）、鼓风机（0.1~0.3MPa）和压缩机（0.3MPa 以上）。

离心式通风机是由蜗形机壳和多叶片的叶轮组成，如图 1-1-19 所示。其气体流道成方形或圆形，叶轮直径大，叶片数目多。叶片有平直、前弯和后弯状。若要求风量大，可选用前弯片，但效率低。高效通风机的叶片通常是后弯片。离心通风机的的工作原理与离心泵相同，在叶轮中心区产生低压而吸入气体，气体质点在叶片上获得动能并转化成静压能而被

排出。

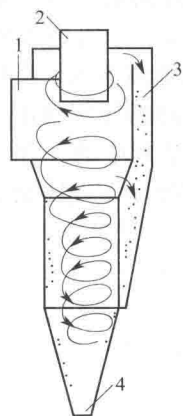


图 1-1-16 旁路式离心除尘器

1—切向进口；2—排气管；  
3—旁路分离室；4—卸灰口

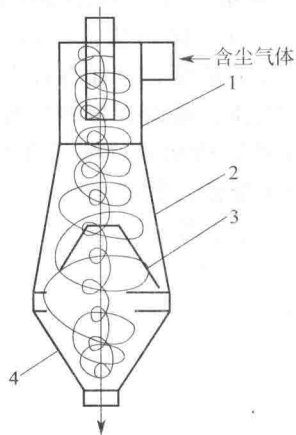


图 1-1-17 扩散式离心除尘器

1—圆柱筒体；2—倒锥筒体；  
3—反射屏；4—集灰斗

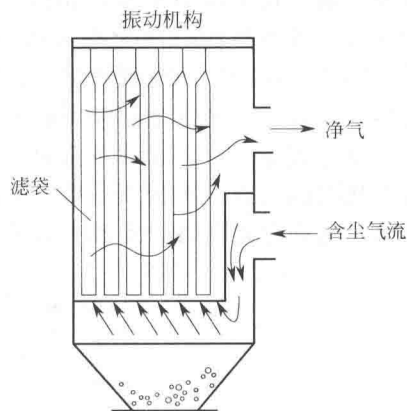


图 1-1-18 袋式除尘器

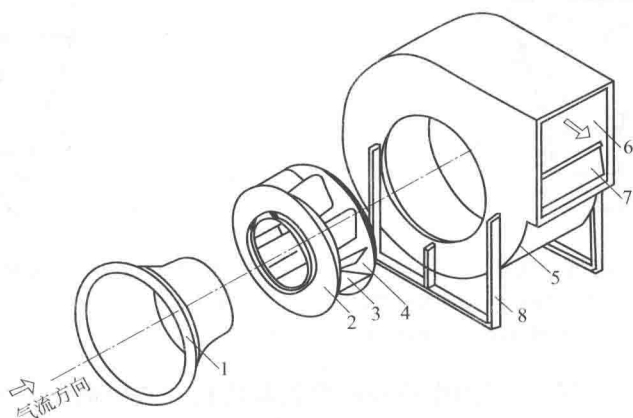


图 1-1-19 离心式通风机主要结构分解示意图

1—吸入口；2—叶轮前盘；3—叶片；4—后盘；5—机壳；  
6—出口；7—节流板，即风舌；8—支架

在生物工厂中，应用较广的是罗茨鼓风机。它主要由一个椭圆形机壳和一对转向相反的8字形转子所组成，如图 1-1-20 所示。其工作原理与齿轮泵相似，转子之间以及转子与机壳之间的缝隙很小，两个转子转动时，在机壳内形成一个低压区和一个高压区，气体从低压区吸入，从高压区排出。如果改变转子的旋转方向，则吸入口和排出口互换，所以在开机前要检查转子转动的方向。罗茨鼓风机结构简单，转子齿合间隙较大，工作腔无油润滑，强制性输气风量、风压比较稳定，对输送带液气体和含尘气体不敏感，排气量大。其缺点是转速低、噪声大、热效率低。罗茨鼓风机通常作输送气体和抽真空使用。

### (3) 气流输送方式的选择

选择气流输送方式时，要考虑以下不同气流输送流程的特点：

① 吸入式流程的加料处，需要吸料装置。而排料处则安装有封闭较好的排料器，以防止在排料时发生物料反吹。由于输送系统为真空，不易发生漏孔。



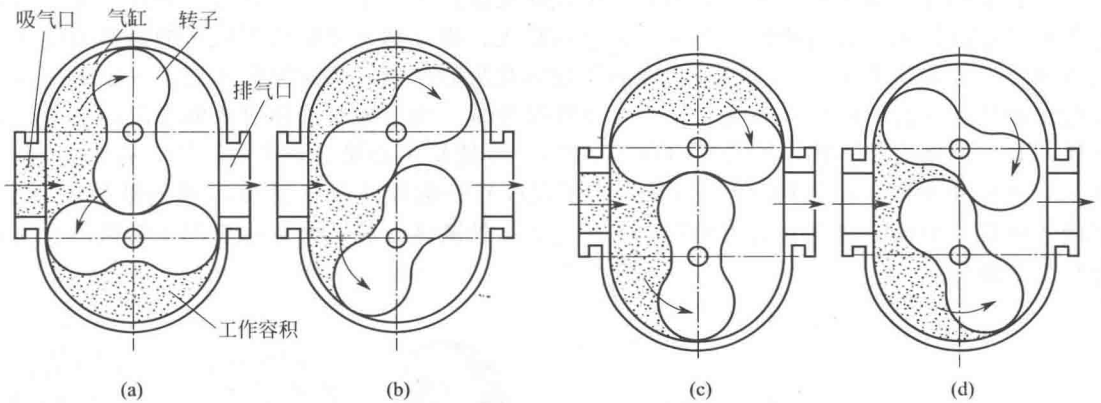


图 1-1-20 罗茨鼓风机结构

② 压送式流程在加料处，需要安装有封闭较好的加料器，以防止在加料处发生物料反吹，而在排料处就不需要排料器，可自动卸料。

③ 当输送量相同时，压送式流程较吸入式流程采用较细的管道，这是因为它的操作压强差较大，为吸入式的 1.5 倍左右。

④ 压力系统每 1kg 的空气大约输送 20kg 的物料，而负压系统每 1kg 的空气输送量约为压力系统的一半。

⑤ 当从几个不同的地方，向一个卸料点送料时，采用吸入式气流输送最合适。而从一个加料点向几个不同的地方送料时，采用压送式气流输送最好。

⑥ 对短距离输送，宜用低压压送；长距离输送，则以高压压送有利。

### 3. 固体物料输送设备的选用

机械输送和气力输送两种方式各有特点，设计时应根据地形、输送距离、输送高度、原材料形状和性质、输送量、输送要求以及操作人员的劳动条件来考虑。

一般来说，对于大麦、大米等松散的粒状物料，最适宜用气流输送；而较大的块状物料或过细的粉状物料，气流输送时困难较大，适宜用机械输送；输送量大且能连续运行的操作，宜用气流输送；输送量少且是间歇操作的，适宜用机械输送。

## 二、液体物料的输送设备

在生物加工厂，由于工艺上的要求，常需要把液体从一个设备通过管道输送到另一个设备中去，这就需要液体输送机械。泵是工厂里常见的输送液体并提高其压力的通用设备。使用较多的是离心泵、往复泵和螺杆泵等。

### 1. 离心泵

离心泵是应用最广泛的一种液体输送机械，不但可以输送简单的低、中黏度溶液，也可以输送含悬浮物或有腐蚀性的溶液。它由泵、吸入系统和排出系统三部分组成。吸入系统有吸入贮槽、吸入管、底阀、滤网。排出系统有排出贮槽、排出管、逆止阀、调节阀等（图 1-1-21）。

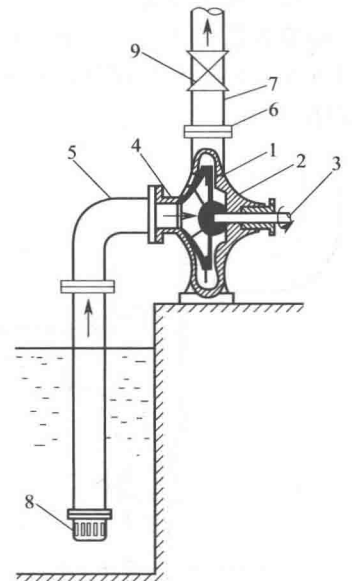


图 1-1-21 离心泵装置简图

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