

发酵

生产设备

袁庆辉 刘雁然 编著

轻工业出版社

发 酵 生 产 设 备

袁庆辉 刘雁然 编著

轻工业出版社

内 容 提 要

本书根据发酵工业生产流程分原料输送、培养基的制备、发酵、通风发酵辅助设备、过滤与离心分离、离子交换与电渗析、蒸发、结晶、干燥、蒸馏十章。着重阐述了气力输送、密闭通风发酵、灭菌、干燥、蒸馏的基本理论与工程有关的基本知识，并结合生产实例进行设计计算的解说。

本书可供从事发酵工业生产、设计的技术人员参考，也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

发 酵 生 产 设 备

袁庆辉 刘雁然 编著

*

轻 工 业 出 版 社 出 版
(北京阜成路3号)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

*

787×1092毫米 $\frac{1}{32}$ 印张: 18 $\frac{24}{32}$ 插页: 2 字数: 414千字

1985年12月第一版第一次印刷

印数: 1—8,000 定价: 3.90元

统一书号: 15042·1975

FB 55/07

前 言

目前我国发酵工业和其他工业一样，正在努力向科学技术进军。为了适应我国发酵工业发展的需要和广大技术人员的要求，并配合教学的实践，我们编写了本书。本书力求理论联系实际，在阐明基本理论之后，介绍了国内外新型设备和基本设计方法，并以生产设计实例进行计算。本书可供从事发酵生产、设计的技术人员阅读参考，也可作为大专院校有关专业教学参考书。

本书酒精蒸馏一章采用了上海酒精一厂提供的浮阀塔在酒精工业上应用的有关资料。同时，我们在收集资料时得到广州、上海轻工业设计院、上海新型发酵厂、天津酒精厂、味精厂和酶制剂厂、华东化工学院等单位大力协助，在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中，通过教学实践和征求有关单位的意见，进行过反复修改。但由于我们水平有限，书中一定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

袁庆辉、刘愿然

目 录

第一章 原料输送及预处理设备	(1)
第一节 机械输送设备	(2)
一、带式输送机.....	(2)
二、斗式提升机.....	(4)
三、螺旋输送机.....	(10)
第二节 气力输送装置	(14)
一、气力输送流程.....	(14)
二、气力输送装置设计及计算.....	(16)
三、气力输送装置的辅助设备.....	(32)
第三节 原料粉碎机械	(43)
一、锤式粉碎机.....	(43)
二、辊式粉碎机.....	(46)
第二章 培养基制备的设备	(50)
第一节 淀粉质原料连续蒸煮及糖化设备	(50)
一、锅式连续蒸煮设备.....	(51)
二、柱式连续蒸煮设备.....	(68)
三、糖化及水解设备.....	(74)
第二节 加热灭菌设备	(90)
一、对数残留定律.....	(91)
二、温度对反应速度常数的影响.....	(94)
三、影响培养液灭菌的因素.....	(95)
四、连续灭菌(连消).....	(97)
五、分批灭菌(实消).....	(105)

第三节	固体培养基的灭菌设备	(110)
第三章	发酵设备	(112)
第一节	自然通风制固体曲的发酵设备	(112)
第二节	机械通风制固体曲的发酵设备	(113)
第三节	密闭不通风发酵罐	(115)
第四节	密闭通风发酵罐	(121)
一、	机械搅拌通风发酵罐的结构	(121)
二、	机械搅拌通风发酵罐的计算	(135)
三、	通风发酵罐的溶氧系数	(143)
四、	发酵罐的放大	(158)
五、	自吸式发酵罐	(167)
六、	连续发酵	(170)
第五节	气流搅拌发酵罐	(172)
一、	外循环气流搅拌发酵罐	(173)
二、	内循环气流搅拌发酵罐	(181)
第四章	通风发酵辅助设备	(182)
第一节	空气净化	(182)
一、	空气净化流程	(182)
二、	介质过滤机理和除菌效率	(183)
三、	空气净化设备的结构和计算	(193)
第二节	管道灭菌装置	(211)
一、	管道灭菌的一般装置	(211)
二、	几种管道灭菌装置	(212)
第五章	过滤与离心分离设备	(216)
第一节	过滤设备	(218)
一、	各种型式过滤设备的构造	(218)
二、	过滤计算与强化过滤的途径	(242)

第二节 离心分离设备	(254)
一、分离原理与离心分离因数	(254)
二、分类及选型	(257)
三、间歇离心机	(259)
四、连续离心机	(264)
五、高速离心机	(268)
第六章 离子交换与电渗析设备	(284)
第一节 离子交换设备	(284)
一、离子交换设备的分类及结构	(284)
二、离子交换设备的构造	(285)
三、离子交换设备的计算	(290)
第二节 电渗析设备	(296)
一、电渗析原理	(296)
二、电渗析设备	(298)
三、电渗析的电流强度和电流效率的计算	(300)
第七章 蒸发设备	(302)
一、蒸发的基本概念	(302)
二、蒸发设备的型式及其分类	(303)
三、蒸发器的选型	(315)
四、单效真空蒸发器的计算	(316)
五、各种长管薄膜式蒸发器的介绍	(323)
六、刮板式薄膜蒸发器	(335)
七、薄膜蒸发装置设计的几个问题	(339)
八、薄膜蒸发器的选型	(345)
九、蒸发器附属真空系统的设备选型及计算	(346)
第八章 结晶设备	(358)
一、结晶设备	(358)

二、结晶过程的物料与热量衡算	(353)
三、蒸发结晶器的容积及尺寸的确定	(367)
第九章 干燥设备	(369)
第一节 湿空气的性质与 $I-x$ 图	(370)
一、湿空气的性质	(370)
二、湿空气的 $I-x$ 图	(378)
第二节 干燥操作的物料衡算与热量衡算	(383)
一、湿物料中水分含量的表示法	(384)
二、物料衡算	(384)
三、热量衡算	(386)
四、理论干燥过程	(387)
五、实际干燥过程	(388)
六、理论干燥器与实际干燥器的图解法	(389)
第三节 固体物料的干燥机理	(393)
一、物料中所含水分的性质	(393)
二、干燥曲线与干燥速率曲线	(395)
三、强化干燥过程	(398)
第四节 发酵工厂干燥设备的概述	(400)
一、发酵产品干燥的特点	(400)
二、发酵产品干燥设备分类	(400)
第五节 麦芽干燥设备	(401)
一、麦芽干燥过程的两个阶段和要求	(401)
二、麦芽干燥塔的类型与构造	(402)
三、麦芽干燥塔的设计计算	(411)
四、其他麦芽干燥设备	(430)
第六节 沸腾干燥	(432)
一、沸腾干燥原理和特点	(432)

二、卧式多室的沸腾干燥器·····	(433)
三、沸腾造粒干燥·····	(435)
第七节 气流干燥 ·····	(442)
一、气流干燥原理和特点·····	(442)
二、气流干燥流程·····	(443)
三、气流干燥的计算实例·····	(444)
第八节 喷雾干燥 ·····	(451)
一、喷雾干燥原理和型式·····	(451)
二、气流式喷雾干燥设备·····	(452)
三、离心式喷雾干燥设备及计算·····	(454)
四、气流离心式喷雾干燥设备·····	(474)
五、喷雾和流化干燥相结合的二次干燥法·····	(476)
第九节 其他干燥设备 ·····	(477)
一、冷冻干燥·····	(477)
二、红外线干燥·····	(481)
三、微波干燥·····	(482)
第十章 蒸馏设备 ·····	(484)
第一节 基本概念 ·····	(484)
一、酒精-水混合液的相平衡·····	(484)
二、挥发度和相对挥发度·····	(488)
第二节 精馏原理及流程 ·····	(489)
一、精馏原理·····	(489)
二、精馏流程·····	(491)
第三节 酒精蒸馏塔设计基础 ·····	(494)
一、蒸馏塔设计的依据·····	(494)
二、精馏段操作线方程式·····	(495)
三、提馏段操作线方程式·····	(497)

四、进料情况对操作线的影响	(499)
五、操作线的应用——图解法求理论塔板数	(501)
六、最小回流比	(503)
第四节 粗馏塔的设计计算	(505)
一、进料层塔板上液体和蒸气的酒精浓度	(505)
二、物料和热量衡算	(507)
三、粗馏塔塔板层数的确定	(510)
四、塔板的结构和计算	(511)
第五节 精馏塔	(519)
一、回流比的确定	(519)
二、精馏塔的物料衡算及热量衡算	(520)
三、精馏塔塔板层数的确定	(523)
第六节 精馏塔塔板类型	(525)
一、浮阀塔	(526)
二、斜孔塔板	(545)
三、筛板塔板	(548)
四、筛板塔、浮阀塔、斜孔塔塔板的比较	(549)
第七节 塔板上的流体力学	(551)
一、塔板上气液接触状况和操作状态	(551)
二、塔板流体力学计算	(553)
三、塔板的操作范围	(558)
第八节 酒精蒸馏塔的辅助设备	(562)
一、成熟醪预热器	(562)
二、酒精分凝器及冷却器	(564)
三、酒糟、废液排出控制器	(566)
四、杂醇油分离器	(568)
附录	(570)

第一章 原料输送及预处理设备

概 述

发酵工业用的原料大多数是谷物，有的呈块状，有的呈粒状，都需预先粉碎到一定细度。在粉碎过程中，原料需要输送才能由仓库进到粉碎机，粉碎好的料也需要输送才能由料仓进到配料间，所以粉碎一定需要输送设备来和它配合，尤其是要实现四化，机械化输送问题更为突出。

为了提高劳动生产率、减轻劳动强度、节约原材料和缩短生产周期，除采用新工艺和设备外，还要生产过程连续化。因此，必须使输送设备能保证不间断的和及时的供应原材料和传递半成品及成品。

在工业生产中输送机械还有劳动保护的重要意义。例如酒精厂的原料粉碎工段采用机械输送代替人工搬运，改善了劳动条件，减轻了劳动强度。后来又用气力输送代替机械输送，减少了粉尘，进一步改善了劳动条件，保护了工人身体健康。

在工业生产中，输送系统的选择关系到工厂的总体布置和结构形式，而输送系统的合理选择又决定于生产工艺过程。所以在考虑生产工艺过程时，应当把工作机构和输送系统设备有机地结合起来。

在工业生产中，输送方式有两种：一是机械输送，利用机械运动输送物料；二是气力输送，借风力输送物料。这两种方式各有其特点，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。

本章将对上述两种方式分别介绍，并着重介绍气力输送。对于各种输送机械只讨论其类型、结构、工作原理和工艺设计计算，至于机械结构设计可参阅有关输送机械的机械设计书籍。

第一节 机械输送设备

机械输送设备种类繁多，发酵工业中用于输送固体原料的有带式输送机、斗式提升机、螺旋输送机等；用于包装设备的有板式输送机；用于白酒机械化方面的有带式输送机、斗式提升机、刮板输送机和抓斗输送机等。现就三个主要机械输送设备——带式输送机、斗式提升机和螺旋输送机进行讨论。

一、带式输送机

(一) 带式输送机的结构和应用

带式输送机的用途比较广泛。它可以按水平方向输送物料，也可按一定倾斜度(谷物一般不超过 18°)输送物料。它既能短途或长距离输送，也能中途卸载。

带式输送机的结构简单，它是由几个主要部件：带、鼓轮、张紧装置、支架和托辊所组成。有的还附有加料和中途卸载设备。带式输送机的示意图如图 1-1。

带式输送机的带有橡胶带、塑料带、钢带等几种，一般采用多层的橡胶带。它们都是联成环形，套在两个鼓轮上。卸料端的鼓轮由电动机传动，称主动轮，借摩擦力带动输送

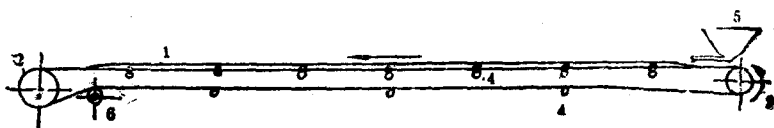


图 1-1 带式输送机示意图

1—带 2—鼓轮(主动轮) 3—鼓轮(从动轮) 4—托辊
5—加料斗 6—张紧装置

带，另一端的鼓轮则称从动轮。鼓轮可以铸造，也可以焊制成鼓形的空心轮，表面稍微凸起，使带运行时能对准中心。为了增加主动轮和带的摩擦，在鼓轮表面包以橡胶、皮革或木条。

谷物原料内有时夹杂铁器，为防止铁器打坏粉碎机，可在卸料端的鼓轮内装电磁除铁器，利用直流电通过绕在磁心上的线圈，产生磁场。带上的铁器随带运转时，当其达到磁力线所能吸引的范围，就被吸引在带上，直到离开鼓轮一定距离，超过磁力线吸引的范围才自动坠落，于是铁器被清除。这是当前清除谷物原料中铁器的一种措施。

鼓轮的宽度应比带宽 100~200 毫米。鼓轮直径根据橡胶带的层数确定。

$$D = ki \text{ (毫米)}$$

式中 i ——橡胶带的衬垫层数

k ——系数，主动轮 $k = 125 \sim 150$ ，从动轮 $k = 100 \sim 125$

鼓轮直径一般取用整数， $D = 400, 500, 650, 800, 1120, 1250, 1600$ 毫米。

由于环形带长又重，若只由两端鼓轮支承而中间悬空，则带必然下垂，所以必须在带的下面装置若干个托辊把带托起来，不使带下垂。托辊多用钢管，长度应比带宽 100~200

毫米，两端管口有盖板，板中镶以轴承。环形带回空部分，由于已经卸载，托辊个数可以减少。

确定带的宽度除从输送能力考虑外，还应考虑物料块粒大小等因素。

带的运转速度随物料的特性、带宽和带的倾斜度等因素而定。对于谷物的输送，带的运转速度可取 0.4~2 米/秒；对于成件物品，带的运转速度应根据物品的重量以及生产率来选择，通常取 0.4~0.7 米/秒或更小。如需在带上进行某项工艺过程操作，带的运转速度就必须与之相适应。

(二) 带式输送机的计算

粒状物料： $Q = 3600 F \gamma v \psi$ (吨/时)

成件物料： $Q = \frac{3600 G}{1000 a} v \psi$ (吨/时)

式中 Q ——生产能力(吨/时)

F ——物料在带上的横截面积(米²)

v ——带运转速度(米/秒)

γ ——物料重度(吨/米³)

ψ ——承载系数

G ——每件成件物品的重量(公斤)

a ——带上相邻两件物品之中心距离(米)

二、斗式提升机

(一) 斗式提升机的结构和应用

斗式提升机是沿垂直或倾斜(倾斜角大于 70°) 方向连续提升粒状或小块物料到一定高度的输送设备，广泛应用于发酵工业。

斗式提升机有一长条形支架，架上端装传动鼓轮(主动

轮)，架下端装张紧鼓轮(从动轮)，环形带或链(一般是左右两根)紧套在上下两鼓轮上，带或链上每隔一定距离装一个斗。全部运行部件均罩在机壳内，机壳顶罩和底盖都是活动的，可以拆卸。机壳上端联接卸料槽，下端开口联接喂料槽，并在机壳适当地方开小门作为观察口。

斗式提升机斗的盛料方式有掬料和撒料两种，实际两者不能分离，所以一般是物料从喂料槽直接加到斗内(干料喂料槽的倾斜角为 $30\sim 45^\circ$)，同时又有部分物料会从斗的四周落到机底，斗又把料掬起。

当带或链运转时，斗向上运行，至传动轮顶，斗的运动方向改变，物料被抛出，沿卸料槽下落。斗式提升机的卸载方法有离心式、重力式和重力-离心式三种形式，当提升速度较快时，卸载就属离心式；提升速度慢或较慢时，卸载就属后面两种方式。〔发酵工厂的谷物原料为粒状、小块或粉末，提升速度一般为 $1\sim 2$ 米/秒，卸载为离心式。

离心卸载是利用盛斗绕过鼓轮时产生的离心力的作用进行的，物料被抛入卸料槽。为了保证离心卸料的正确进行，避免物料撒落，必须充分考虑选择下列参数：(1) 盛斗的运行速度；(2) 鼓轮(主动轮)的直径；(3) 卸料槽的位置；(4) 盛斗的间距。

现就盛斗垂直上升和在顶部鼓轮上运行时，进行力的分析。盛斗在接近顶部鼓轮之前，作直线等速运动，这时斗中物料仅受重力 $P=mg$ 的作用，当盛斗绕鼓轮回转时，除受重力作用外，还有离心力的作用，其离心力为

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

式中 m ——物料的质量(公斤)

v —— 盛斗内物料重心的运动速度(米/秒)

r —— 回转半径, 从盛斗内物料重心 A 至鼓轮中心 O 的距离(米)

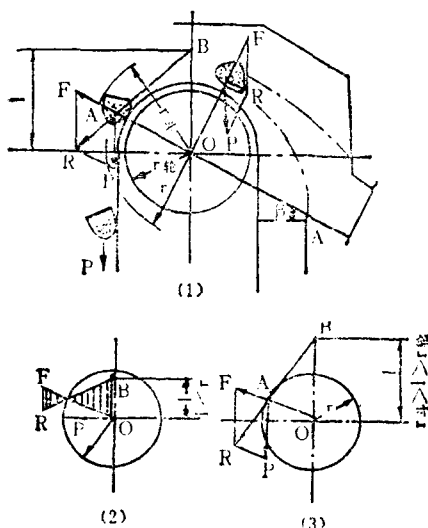


图 1-2 盛斗运动力的分析图

如图 1-2 所示, 这两个力的合力为 R , R 的大小和方向是随盛斗的回转进程而改变, 但在各个位置上, 合力 R 的向量将与鼓轮的中心线相交于一点 B , 这个交点称为极点。从极点 B 至鼓轮中心的距离称为极距 1。

从 $\triangle ABO$ 和 $\triangle AFR$ 的相似关系中, 可以看出

$$OB:OA = \overline{FR} : \overline{AF} = \overline{AP} : \overline{AF}$$

现 $OB=1$, $OA=r$, $\overline{AP}=P$, $\overline{AF}=F$

$$\text{则} \quad \frac{1}{r} = \frac{P}{F} = \frac{mg}{\frac{v^2}{m \frac{gr}{v^2}}} = \frac{gr}{v^2} \quad (1-1)$$

$$\text{从而极距 } l = \frac{gr^2}{v^2} \quad (1-2)$$

将 $v = \frac{\pi n}{60}$ 代入式 1-2

$$\text{则} \quad l = \frac{895}{n^2} (\text{米}) \quad (1-3)$$

式中 n —— 鼓轮转速 (转/分)

由式 1-2 可见：极距 l 的大小只与鼓轮的转速有关，极距将随鼓轮转速的增大而逐渐减小。并由式 1-1 看出：极距 l 减小， F/P 值将增大 (当 r 一定时)；反之， l 增大， F/P 就减小。于是，在盛斗卸载时，随着转速 n 的变化，可能出现以下三种情况：

(1) 当转速较高时， $l < r_{\text{轮}}$ ，即极点在鼓轮圆周以内。此时， $F > P$ ，则盛斗作离心式卸载 [图 1-2(2)]。

(2) 当转速低时， $l > r_{\text{斗}}$ ，即极点在盛斗外部边缘的圆周之外。此时， $F < P$ ，则盛斗作重力式卸载 [图 1-2(1)]。

(3) 当转速较低时，即 $r_{\text{轮}} < l < r_{\text{斗}}$ ，则盛斗作离心-重力式卸载 [图 1-2(3)]。

为了保证离心卸载正确进行，必须使物料的重力与离心力之间保持一定的比例。根据经验， $F = 2/3 P$ 较为适当。因此，盛斗中物料的离心力

$$F = \frac{Pv^2}{gr_{\text{轮}}} = \frac{2}{3} P$$

$$\text{解得} \quad r_{\text{轮}} = \frac{3}{2} \frac{v^2}{g}$$

由此可见：当鼓轮的转速选定后，即可由上式来确定鼓轮的直径。为了保证离心式卸载，则鼓轮的直径必须保证不小于极距 l 。