

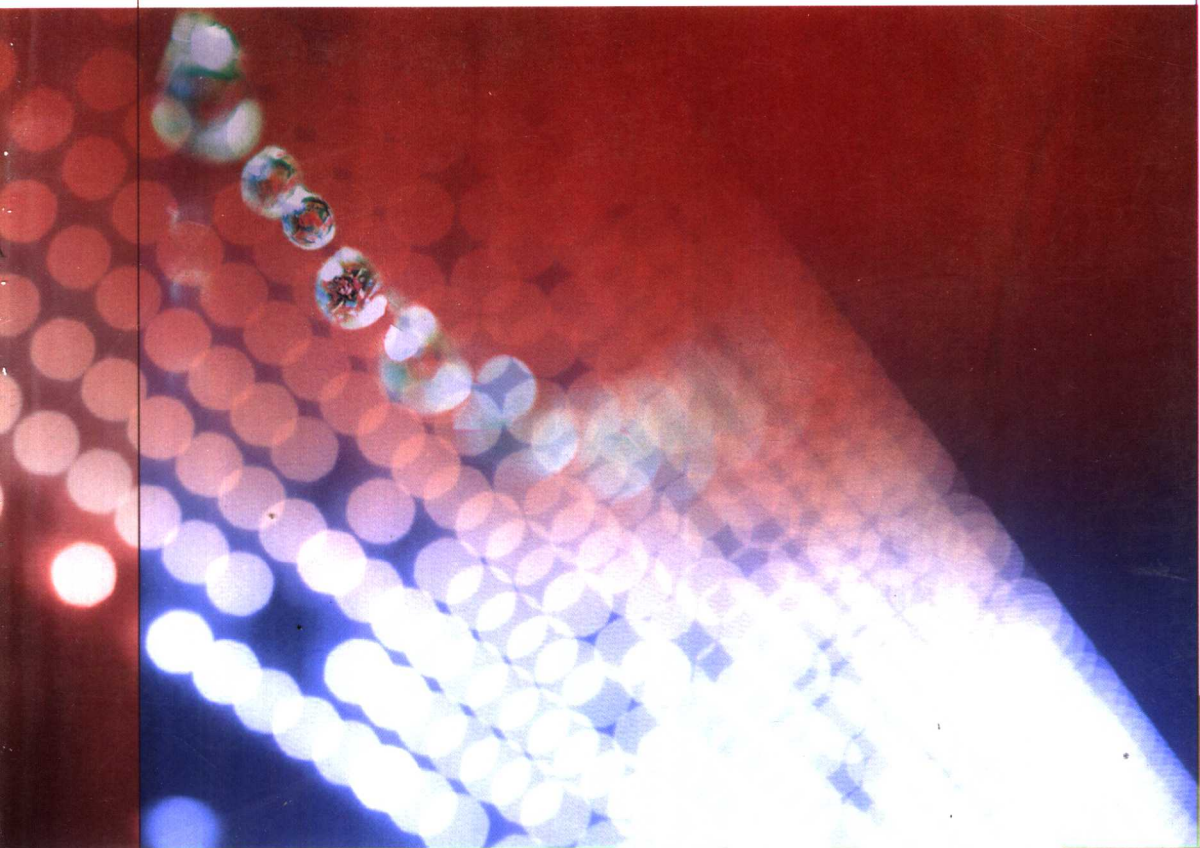


高等职业教育人才培养创新教材出版工程

高职高专生物技术类教材系列

# 生物工程设备

■ 主编 徐清华



 科学出版社  
www.sciencep.com

---

● 高等职业教育人才培养创新教材出版工程

---

高职高专生物技术类教材系列

# 生物工程设备

主 编 徐清华  
副主编 温守东  
主 审 蔡功禄

科学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

本书主要包括:生物反应器、生物反应物料处理及产物分离纯化设备、生化辅助系统设备的工作原理、结构、操作技能以及相关的计算。全书突出高等职业教育的思想,有机协调理论与技能的关系。在结构体系上突出理论知识、技能、示例和习题相结合。

本书可作为高职高专学院生物专业学生的入门课程和非生物工程专业学生的素质教育教材,同时可供相关专业的科技人员的参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

生物工程设备/徐清华主编. —北京:科学出版社,2004

高等职业教育人才培养创新教材出版工程·高职高专生物技术类教材系列

ISBN 7-03-013672-1

I. 生… II. 徐… III. 生物工程-设备-高等学校:技术学校-教材  
IV. Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 069320 号

责任编辑:沈力匀/责任校对:钟 洋

责任印制:安春生/封面设计:王凌波

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2004年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2004年8月第一次印刷 印张:21 1/2

印数:1—3 500 字数:405 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 《高职高专生物技术类教材系列》编委会

主 编 陆寿鹏

副主编 温守东 张安宁 翟 敏 逯家富  
孙俊良 廖湘萍 江建军

编 委 徐清华 赵金海 蔡功禄 赵 辉  
李宏高 杨天英 翁鸿珍 廖世荣  
武 运 何 惠 胡文浪 万 萍  
陆正清

# 《高等职业教育人才培养创新教材》 出版工程说明

## 一、特色与创新

随着高等教育改革的进一步深化，我国高等职业教育事业迅速发展，办学规模不断扩大，办学思路日益明确，办学形式日趋多样化，取得了显著的办学效益和社会效益。

毋庸置疑，目前已经出版的一批高等职业教育教材在主导教学方向、稳定教学秩序、提高教学质量方面起到了很好的作用。但是，有关专家也诚恳地指出，目前高等职业教育教材出版中还存在一些问题，主要是：教材建设仍然是以学校的选择为依据、以方便教师授课为标准、以理论知识为主体、以单一纸质材料为教学内容的承载方式，没有从根本上体现以应用性职业岗位需求为中心，以素质教育、创新教育为基础，以学生能力培养为本位的教育观念。

经过细致的调研，科学出版社和中国高等职业技术教育研究会共同启动了“高等职业教育人才培养创新教材出版工程”。在教材出版过程中，力求突出以下特色：

(1) 理念创新：秉承“教学改革与学科创新引路，科技进步与教材创新同步”的理念，根据新时代对高等职业教育人才的需求，策划出版一系列体现教学改革最新理念，内容领先、思路创新、突出实训、成系配套的高职高专教材。

(2) 方法创新：摒弃“借用教材、压缩内容”的滞后方法，专门开发符合高职特点的“对口教材”。在对职业岗位（群）所需的专业知识和专项能力进行科学分析的基础上，引进国外先进的课程开发方法，以确保符合职业教育的特色。

(3) 特色创新：加大实训教材的开发力度，填补空白，突出热点，积极开发紧缺专业、热门专业的教材。对于部分教材，提供“课件”、“教学资源支持库”等立体化的教学支持，方便教师教学与学生学习。对于部分专业，组织编写“双证教材”，注意将教材内容与职业资格、技能证书进行衔接。

(4) 内容创新：在教材的编写过程中，力求反映知识更新和科技发展的最新动态。将新知识、新技术、新内容、新工艺、新案例及时反映到教材中来，更能体现高职教育专业设置紧密联系生产、建设、服务、管理一线的实际要求。

## 二、精品与奉献

“高等职业教育人才培养创新教材出版工程”的启动，得到了教育部高等教育司高职高专处领导的认可，吸引了一批职业教育和高等教育领域的权威专家积极参与，共同打造精品教材。其实施的过程可以总结为：教育部门支持、权威专家指导、一流学校参与、学术研究推动。

国内的高等职业教育院校特别是北京联合大学、天津职业大学以及中国高等职业技术教育研究会的其他副会长、常务理事、理事单位等积极参加本教材出版工程，提供了先进的教学经验，在此基础上出版一大批特色教材。

在教材的编写过程中，得到了许多行业部委、行业协会的支持，对教材的推广起到促进作用。

先进的理念、科学的方法、有力的支持，必然导致精品的诞生。“高等职业教育人才培养创新教材出版工程”主要包括高职高专层次的基础课、公共课教材；各类紧缺专业、热门专业教材；实训教材、引进教材等特色教材；还包含部分应用型本科层次的教材。根据我们的规划，下列教材即将与读者见面：

### (一) 高职高专基础课、公共课教材

- (1) 基础课教材系列
- (2) 公共选修课教材系列

### (二) 高职高专专业课教材

- (1) 紧缺专业教材
  - 软件类专业系列教材
  - 数控技术专业教材
  - 汽车类专业教材
  - ……
- (2) 热门专业教材
  - 电子信息类专业教材
  - 交通运输类专业教材
  - 财经类专业教材
  - 旅游类专业教材
  - 生物技术类专业教材
  - 食品类专业教材
  - 精细化工类专业教材
  - 广告类专业教材
  - 艺术设计类专业教材

.....

(三) 高职高专特色教材

- 高职高专院校实训教材
- 国外职业教育优秀教材

.....

(四) 应用型本科教材系列

欢迎广大教师、学生在使用中提出宝贵意见，以便我们改进教材出版工作、提高质量。

中国高等职业技术教育研究会

科学出版社

# 前 言

生物技术是一门高科技学科，近年来发展迅猛，受到了世界各国的高度重视。我国教育、科研部门也给予极大的关注。许多高等院校都纷纷设立了“生物技术”专业。但各院校在教学过程中都缺乏生物工程设备的合适教材。为了使生物技术专业的师生有一本较系统的有关生物工程原理和典型设备的教材参考与教学，科学出版社决定组织相关院校编写此书。本教材也可供从事生物工程技术及相关领域的科技工作者和工程技术人员参考应用。

全书共 17 章，由广东轻工职业技术学院徐清华主编，承德石油高等专科学校温守东副主编。山西综合职业技术学院王以强编写第 1、2、8、9 章；承德石油高等专科学校温守东、姜美香编写第 10~14 章；广东轻工职业技术学院徐清华编写第 3~6 章；广东轻工职业技术学院徐清华、陈红杰编写第 7 章，陕西科技大学职业技术学院孙宏民编写第 15~17 章。由四川工商职业技术学院蔡功禄主审。

由于我们的水平和经验有限，可参考的国内外有关生物工程设备的资料较少，故书中错漏和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 培养基制备设备</b> .....	( 1 )
1.1 培养基的灭菌设备 .....	( 1 )
1.2 味精生产原料的处理与培养基制备设备 .....	(11)
1.3 酒精生产原料的处理与培养基制备设备 .....	(18)
1.4 啤酒生产原料的处理与麦汁制备设备 .....	(25)
<b>第 2 章 空气净化除菌设备</b> .....	(38)
2.1 空气净化除菌的方法与原理 .....	(38)
2.2 空气介质过滤除菌设备及计算 .....	(42)
<b>第 3 章 生物反应器设计和操作基础</b> .....	(57)
3.1 生物反应器 .....	(57)
3.2 生物反应动力学基础 .....	(60)
3.3 生物反应器的通风与溶氧传质 .....	(66)
<b>第 4 章 通风发酵设备</b> .....	(76)
4.1 机械搅拌通风发酵罐 .....	(76)
4.2 其他类型的通风发酵罐 .....	(93)
4.3 通风固相发酵设备 .....	(100)
<b>第 5 章 厌氧发酵设备</b> .....	(103)
5.1 酒精发酵罐 .....	(103)
5.2 啤酒发酵罐 .....	(109)
<b>第 6 章 动、植物细胞培养装置和酶反应器</b> .....	(123)
6.1 动、植物细胞培养装置 .....	(123)
6.2 酶反应器 .....	(132)
<b>第 7 章 生物反应器的检测及控制</b> .....	(138)
7.1 概述 .....	(138)
7.2 生物反应过程主要参数检测方法及仪器 .....	(142)
7.3 生物反应器的控制 .....	(151)
<b>第 8 章 生物反应器的比拟放大</b> .....	(157)
8.1 生物反应器的放大目的及方法 .....	(157)
8.2 通气发酵罐的放大设计概述 .....	(159)
<b>第 9 章 微生物细胞破碎</b> .....	(166)
9.1 细胞壁的组成与结构 .....	(166)

9.2	常用破碎方法 .....	(168)
<b>第 10 章</b>	<b>过滤、离心与膜分离设备 .....</b>	<b>(177)</b>
10.1	过滤速度的强化 .....	(177)
10.2	过滤设备 .....	(183)
10.3	离心分离设备 .....	(189)
10.4	膜分离设备 .....	(194)
<b>第 11 章</b>	<b>萃取与离子交换设备 .....</b>	<b>(199)</b>
11.1	萃取分离原理及设备 .....	(199)
11.2	浸取 .....	(207)
11.3	超临界萃取 .....	(210)
11.4	离子交换分离原理及设备 .....	(214)
<b>第 12 章</b>	<b>蒸发和结晶设备 .....</b>	<b>(221)</b>
12.1	蒸发设备 .....	(221)
12.2	结晶设备 .....	(230)
<b>第 13 章</b>	<b>干燥设备 .....</b>	<b>(239)</b>
13.1	固体物料干燥机理及生物工业产品干燥的特点 .....	(239)
13.2	非绝热干燥设备 .....	(242)
13.3	绝热干燥设备 .....	(244)
13.4	冷冻干燥及其他干燥设备 .....	(254)
<b>第 14 章</b>	<b>蒸馏设备 .....</b>	<b>(262)</b>
14.1	蒸馏分离提纯原理 .....	(262)
14.2	粗馏塔 .....	(267)
14.3	精馏塔 .....	(272)
<b>第 15 章</b>	<b>设备与管道的清洗与灭菌 .....</b>	<b>(279)</b>
15.1	常用清洗剂、清洗方法及设备 .....	(279)
15.2	设备及管路的灭菌 .....	(288)
<b>第 16 章</b>	<b>物料输送设备与产品包装设备简介 .....</b>	<b>(294)</b>
16.1	固体物料的输送设备 .....	(294)
16.2	液体物料的输送设备 .....	(301)
16.3	产品包装设备简介 .....	(304)
<b>第 17 章</b>	<b>生物工厂供水与制冷系统及设备 .....</b>	<b>(312)</b>
17.1	水处理系统及设备 .....	(312)
17.2	生物工厂制冷系统与设备 .....	(318)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(330)</b>

## 培养基制备设备

在生物工程中，如工业微生物发酵、细胞培养，都需制备培养基。要求培养基不仅含有一定浓度的营养成分，还要不含杂菌。所以在培养基的制备过程中必须首先对原料进行粉碎、稀释、蒸煮（糊化、糖化）和灭菌处理。培养基中的杂菌多来自于原料、水、空气和设备中。对于空气的除菌，在生物工程中一般单独进行。而原料、水和设备的灭菌，生物工程中有的是分别进行的，有的是共同进行的。灭菌方法虽然很多，但生产上多采用高压水蒸气灭菌法。这种方法既简便，又效果好。有些类型的发酵，要求原料的蒸煮温度高，时间长，在这种热处理过程中，原料既得到蒸煮，同时也得到彻底灭菌，所以蒸煮和灭菌同是一个热处理过程，不过各自的重点不同，要求不一。前者偏重于原料的蒸煮，后者偏重于培养基的灭菌。因此，蒸煮和灭菌的设备有很多相同之处，只是操作有所不同。下面我们先讨论灭菌设备，然后以味精、酒精、啤酒生产为例，介绍原料处理和培养基制备设备。

### 1.1 培养基的灭菌设备

#### 1.1.1 培养基热灭菌动力学

在生物工程中，不同的系统对培养基灭菌程度的要求不同。绝对的无菌是不可能的，也是不合理的。对于液体培养基的热灭菌，工程上要解决的问题是：将培养基的活菌总数  $N_0$  杀灭到可以接受的总数  $N$  时，需要多高的温度、多长的时间呢？这就与活菌孢子的热死灭动力学有着密切的关系。

##### 1. 对数残留公式与理论灭菌时间

实验证明，微生物细胞的均相热灭死动力学符合化学反应的一级反应动力学，即

$$-\frac{dN}{d\tau} = kN$$

式中  $k$ ——反应速度常数，1/s 或 1/min；

$N$ ——任一时刻的活菌浓度, 个/L;

$\tau$ ——时间, s 或 min。

在恒定温度下, 将上式积分, 取边界条件  $t_0 = 0, N = N_0$ ,

$$\text{得} \quad \ln \frac{N_s}{N_0} = -k \cdot \tau \quad (1-1)$$

$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{N_0}{N_s} \quad (1-2)$$

式中  $\tau$ ——灭菌时间, s 或 min;

$N_0$ ——灭菌开始时, 培养基中菌体浓度, 个/mL;

$N_s$ ——经灭菌时间  $\tau$  后, 培养基中残存活菌浓度, 个/mL。

若要求灭菌后绝对无菌, 即  $N_s = 0$ , 则从上面公式可以看出灭菌时间将等于无穷大, 这是不可能的, 所以培养液灭菌时间等都是以在培养液中还残留一定活菌数来进行计算的。工程上, 通常以  $N_s = 10^{-3}$  个/罐。

式 (1-2) 是理论灭菌时间的对数残存规律公式。但实际上蒸汽加热灭菌时间则以工厂的经验数据来确定, 通常高温灭菌时间为 15~30s, 然后根据发酵类型不同在维持罐维持 8~25min。对谷氨酸发酵, 培养基黏度低, 营养丰富, 维持时间可采用 8~10min。

当培养基中的活菌浓度为开始灭菌时的 1/10 时, 即  $N_s/N_0 = 1/10$ , 我们把这时培养基所需要的灭菌时间叫做 1/10 衰减时间, 也叫 90% 死灭时间, 用  $\tau_{0.9}$  表示。由式 (1-2) 得

$$\tau_{0.9} = \frac{1}{k} \ln \frac{10}{1} = \frac{1}{k} \ln 10 = \frac{2.303}{k} \quad (1-3)$$

反应物速度常数  $k$  是判断微生物受热死亡难易程度的基本依据。 $k$  值越小, 灭菌时间  $\tau$  值就越大, 则该微生物就越耐热。人们发现, 细菌孢子的  $k$  值要比营养细胞和霉菌孢子小得多, 因此湿热灭菌的程度要以杀死细菌的芽孢为准。

## 2. 灭菌温度与菌死亡反应速度常数的关系

如前所述, 微生物受热被杀死属单分子反应, 所以灭菌温度与菌死亡的反应速度常数关系可用阿伦尼乌斯 (Arrhenius) 方程式表示如下

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2} \quad (1-4)$$

式中  $k$ ——菌死亡的速度常数, 1/s;

$R$ ——气体常数, 其值为 8.320 J/(K·mol);

$T$ ——绝对温度, K;

$E$ ——细菌孢子的活化能, 其值为 4.187 J/mol。

当  $E$  为常数时积分此式，经转化得

$$k = e^{a - \frac{E}{RT}}$$

式中  $a$ ——积分常数。

取

$$e^a = A$$

则

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}} \quad (1-5)$$

式中  $A$ ——阿伦尼乌斯常数，1/s；

$e$ ——2.718。

温度与菌死亡速度常数的关系，可用图 1-1（细菌芽孢）作为例子说明。在图中  $k$  和  $1/T$  之间互呈直线关系。图 1-2 为不同灭菌温度  $T$  时的反应速度常数  $k$  的数值。

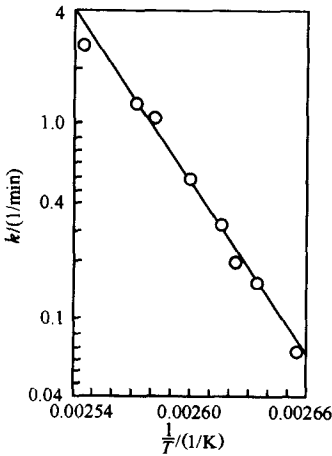


图 1-1 菌死亡速度常数  $k$  与温度  $T$  的关系

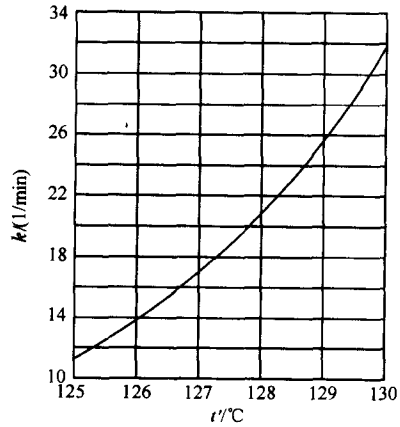


图 1-2 按计算示例求出的不同灭菌温度  $T$  时的反应速度常数  $k$  的数值

将  $k = Ae^{-\frac{E}{RT}}$  代入  $\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{N_0}{N_s}$  中

得

$$\tau = \frac{1}{A} e^{\frac{E}{RT}} \ln \frac{N_0}{N_s} \quad (1-6)$$

这就是加热灭菌的时间和温度之间的理论关系。实际上，湿热灭菌的时间和温度还受培养基的质量、活菌浓度、活菌种类、培养基的 pH 等因素的影响。从上式可知，灭菌时间  $\tau$  和灭菌温度  $T$  与活化能也有一定的关系。

### 3. 活化能

化学反应动力学指出：分子的碰撞，只有某些分子的碰撞才是有效的碰撞，

这些分子在碰撞时所具有的内能比在该温度下其他分子所具有的平均内能要大。正是这种过剩的能量，才是分子在所指定的条件下进行反应所必须具备的能量，这就是活化能（即阿伦尼乌斯方程式中的  $E$ ）。

由式 (1-5) 可导出

$$\ln k = \ln A e^{-\frac{E}{RT}}$$

得

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT} \quad (1-7)$$

由上式知，若能通过实验求得  $k$  的对数与  $1/T$  的关系图，就可由直线求出  $E$ 。

研究表明，营养细胞和孢子死灭的活化能，大致在 209.35~418.7kJ/mol 的范围内，它大大高于培养基中酶、蛋白质或维生素破坏的活化能（一般为 8.4~84kJ/mol），以及葡萄糖破坏的活化能 100.488 kJ/mol。由反应动力学知，在活化能大的反应中，反应速度常数及反应速度随温度的变化也大。反之，则相反。所以当提高反应温度时，活菌死亡速度的增加要比营养成分破坏速度的增加要大得多。图 1-3 表示了温度与细菌孢子死亡速度常数与酶或维生素破坏的速度常数之间的关系。所以培养基的灭菌应采用高温短时间的办法，以减少营养成分的破坏，这样我们既保护了培养基内的营养成分，又达到了灭菌的目的。表 1-1 中列出了达到完全灭菌的温度、时间时，营养成分（以维生素  $B_1$  为准）破坏量的比较，可以很清楚地说明这个问题。

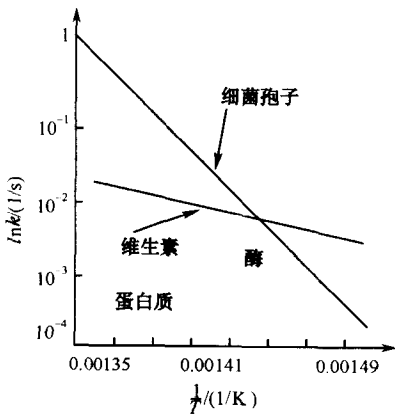


图 1-3 温度对细菌孢子、维生素或酶破坏速度常数的关系

表 1-1 培养基达到完全灭菌时，灭菌温度和灭菌时间对培养基营养成分破坏的比较（以维生素  $B_1$  为准）

灭菌温度/℃	灭菌时间/min	营养成分破坏率/%
100	400	99.3
110	36	67
115	15	50
120	4	27
130	0.5	8
145	0.08	2
150	0.01	<1

## 1.1.2 培养基制备中的常用灭菌设备

在培养基制备及灭菌中只有加压蒸汽灭菌的设备比较复杂，在其他方法中大部分设备都非常简单，有的甚至不用什么设备。所以这里只对间歇式常规加压蒸汽灭菌法和连续加压蒸汽灭菌法中的设备进行介绍。

### 1. 间歇式灭菌法中的常用杀菌设备

在间歇式灭菌法中，生物工程中最常用的是常规加压蒸汽灭菌法。该法中比较复杂的设备就是高压蒸汽灭菌锅（图 1-4）。它是一个密闭的系统，通常具有夹层，夹层和锅中可以充满饱和蒸汽，并可在一定时间内使之维持一定的温度和压力。使用时要完全排出锅内的空气而代之以饱和蒸汽。如有空气存在，则锅内温度将低于同样压力下由纯饱和蒸汽产生的温度。

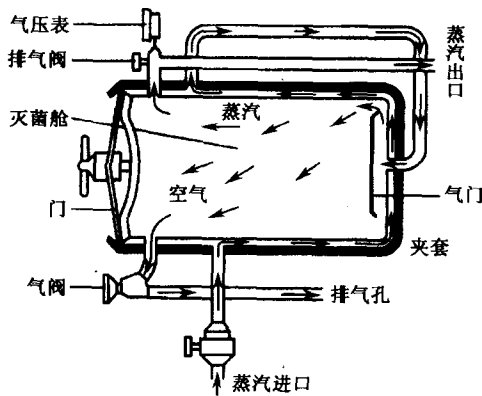


图 1-4 高压蒸汽灭菌装置

### 2. 连续灭菌法中的常用设备

#### 1) 连续灭菌流程

在大型生物工程中，常采用连续式灭菌设备，使用连续灭菌具有如下的优点：生产效率高，便于实行机械化和自动控制，便于质量控制，同时还节约了能源消耗、降低了工人的劳动强度。与分批灭菌相比还有培养基受热时间短，发酵罐的使用周期短和培养基成分破坏较少等特点。

培养液连续灭菌流程如图 1-5 所示，培养液由料液罐 1 放出，加入约 0.01% 消泡剂后，用连消泵 2 送入气液混合器或连消塔 3 底端，培养液流经这里时被直

接蒸汽加热到灭菌温度 110~130℃，由顶部流出。然后培养液进入维持罐 4，维持 8~25min，由维持罐上部侧面流出，维持罐内最后的培养液可从其底部排出，经喷淋冷却器 5 冷却到发酵温度，送去发酵罐。

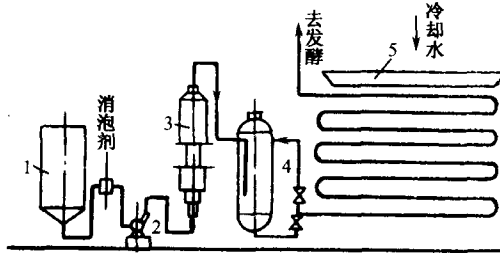


图 1-5 培养液连续灭菌流程

1. 料液罐；2. 连消泵；3. 连消塔；4. 维持罐；5. 喷淋冷却器

喷射加热连续灭菌流程如图 1-6 所示。在待灭菌的培样液中直接喷入蒸汽，使培养液温度急速上升到预定的灭菌温度。培养液在维持段管中流过的时间要大

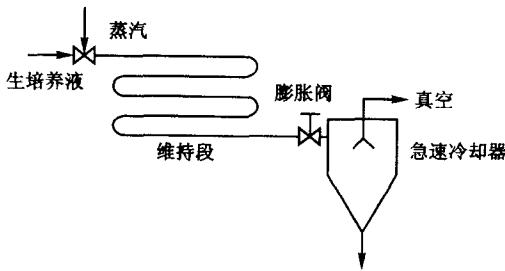


图 1-6 喷射加热连续灭菌流程

于等于培养液在该灭菌温度下要求的停留时间。灭过菌的培养液通过膨胀阀进入真空冷却器而急速冷却。此流程的优点是能保证培养液先进先出，避免了先进来的培养液与后进来的混合，而造成部分培养液过热或灭菌不透的现象；同时由于该法中培养液受热均一、受热时间短，因而灭菌温度可升高到 140℃ 而不引起培养

液中营养的严重破坏。操作时需要注意的是真空系统的密封问题，严防重新污染。

薄板换热器连续灭菌流程如图 1-7 所示。培养液在设备中可同时完成预热、灭菌及冷却过程。生培养液首先进入薄板换热器 2 处，被灭菌后的培养液预热。然后进入薄板换热器 3 处，被加热蒸汽加热到预定的灭菌温度。进入维持段后，在该温度下保持一段时间，然后依次进入薄板换热器 2 处和 1 处。在薄板换热器 2 处培养液被初步冷却，在薄板换热器 1 处被冷却水最后冷却到要求的温度。虽然利用板式热交换器进行连续灭菌时，加热和冷却培养液所需要的时间比采用喷射式连续灭菌稍长，但灭菌周期则较间歇灭菌小得多。由于待灭菌培养液的预热过程同时为灭菌培养液的冷却过程，所以节约了蒸汽及冷却水的用量。

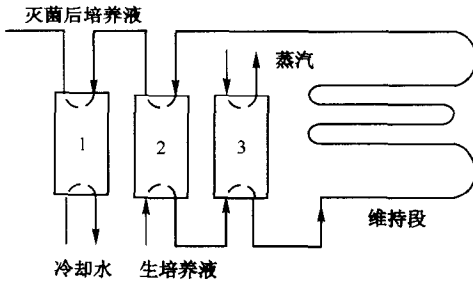


图 1-7 薄板换热器连续灭菌流程

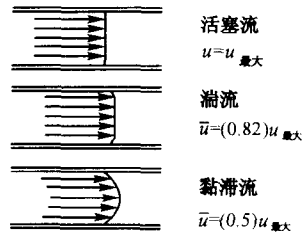


图 1-8 圆管内不同流动形式流体的速度分布情况

## 2) 常用连续灭菌设备介绍

在设计管式连续灭菌器时，要使料液在管道中的流动形式尽量接近活塞流，即培养液在管式灭菌器内停留时间恰好和培养液所有部分的受热时间相等；这样就比较容易计算出达到一定无菌度所需的维持段管道的长度。

图 1-8 是活塞流、湍流、黏滞流三种流体的示意图。

黏滞流体流过圆形管道做黏滞流（层流）流动时的平均速度为管道轴线处最高流速的 50%；湍流的平均速度则为其最高速度的 82%；活塞流的平均速度等于最高速度，即管内截面各点速度相等，因而培养液在维持段逗留时间恰好和培养液的所有部分的受热时间相等，故比较容易计算维持段管道的长度。活塞流是最理想的，它能防止培养液过热和加热不足，但实际上只能做到接近活塞流的流动形式。所以在设计发酵培养液的连续灭菌系统时，需采用停留时间分布的概念，而不能采用单纯的停留时间。

停留时间的分布事前难于预测，所以必须通过实验加以测定。这里我们将灭菌程度  $N_s/N_0$  对应于反应准数  $N_r = kL/\bar{u}$  并以波特里特数  $PeB = \bar{u}L/E_z$  为参数做图，见图 1-9。

式中  $k$ ——活菌死亡速率常数, 1/s;  
 $L$ ——反应器的长度, m;  
 $\bar{u}$ ——反应器中的平均流速, m/s;  
 $E_z$ ——轴线分布系数,  $m^2/s$ 。

由图 1-9 可以看出，当  $PeB = \infty$  时，即理想活塞流时，是设计连续灭菌设备的最有利条件，因为这时可以使一定量的培养液达到一定灭菌程度，其时间分布最短，所以需要的设备也最短。但是，实际上很少有理想活塞流情况，因此图 1-9 中的数据将有助于连续灭菌设备的设计和评估其效率。

下面我们就介绍一些连续灭菌设备。