



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定



# 生物工程设备及 操作技术

(第二版)

黄亚东 齐保林 主编

“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

# 生物工程设备及操作技术

(第二版)

黄亚东 齐保林 主编



中国轻工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

生物工程设备及操作技术/黄亚东,齐保林主编.—2版.—北京:中国轻工业出版社,2014.9

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5019-9849-4

I. ①生… II. ①黄… ②齐… III. ①生物工程—设备—高等职业教育—教材 IV. ①Q81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 167223 号

责任编辑:江娟 王朗 策划编辑:江娟 责任终审:劳国强  
封面设计:锋尚设计 版式设计:王超男 责任监印:张可

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印刷:北京君升印刷有限公司

经销:各地新华书店

版次:2014年9月第2版第1次印刷

开本:720×1000 1/16 印张:26.25

字数:523千字

书号:ISBN 978-7-5019-9849-4 定价:49.00元

邮购电话:010-65241695 传真:65128352

发行电话:010-85119835 85119793 传真:85113293

网址:<http://www.chlip.com.cn>

Email:[club@chlip.com.cn](mailto:club@chlip.com.cn)

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

140531J2X201ZBW

## 本书编写人员名单

**主 编** 黄亚东(江苏食品药品职业技术学院)  
齐保林(郑州牧业经济学院)

**参 编** (按姓氏笔画排序)

丁 振(日照职业技术学院)  
刘连成(江苏食品药品职业技术学院)  
刘建成(湖北轻工职业技术学院)  
杨 猛(江苏食品药品职业技术学院)  
罗竹青(江苏食品药品职业技术学院)  
曾惠琴(徐州工业职业技术学院)  
韩 群(淮阴工学院)

**主 审** 吴建峰(江苏今世缘酒业股份有限公司)

## 前 言

生物工程设备及操作技术是高职高专院校生物技术及应用等专业开设的一门重要的专业核心课程,具有很强的职业性和实践性。本书为校企合作开发的高职教育教材,较为全面地阐述了生物工程设备操作原理及典型设备,旨在培养生物技术应用领域高素质的技能型专业人才。本书内容包括空气净化除菌设备;培养基制备设备;通风发酵设备;厌氧发酵设备;固态发酵生物反应器;动、植物细胞(组织)培养反应器;酶反应器与微藻培养生物反应器;细胞破碎与分离设备;沉降设备;过滤设备;离心分离设备;膜分离设备;萃取设备;液体吸附与浸出设备;离子交换设备;蒸发设备;结晶设备;干燥设备;蒸馏设备;设备与管道的清洗与灭菌。本书既可作为高职高专院校生物技术类专业教材,也可供生物技术应用领域工程技术人员参考。

通过本书的学习,可使学生了解生物工程操作的基本概念及基本原理,掌握典型设备的结构、工作原理、性能特点、操作要点、选用及保养方法,并能灵活运用所学知识和技能分析、解决生物工业生产中的一般性技术问题,同时可培养学生的工程意识、职业意识和责任意识。

本书内容涉及面较广,在使用过程中可根据培养目标及实习实训条件有针对性地进行教学。编写过程中注意深入浅出,注重应用,突出实践。为了便于教学,对每一章提出知识目标和能力目标,并结合实际布置了一定数量的作业供学生思考与练习。

本书第一章、第三章、第十一章、第十八章及全书的思考与练习及课件由郑州牧业经济学院齐保林编写;第二章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章、第九章、第十章、第十二章、第十三章、第十四章、第十五章、第十六章、第十七章、第十九章、第二十章由江苏食品药品职业技术学院黄亚东编写。参与编写的有江苏食品药品职业技术学院杨猛、刘连成、罗竹青,徐州工职业技术学院曾惠琴,淮阴工学院韩群,日照职业技术学院丁振,湖北轻工职业技术学院刘建成,及江苏今世缘酒业

股份有限公司、华润雪花啤酒有限公司、扬子江药业集团有限公司等企业有关技术人员。

本书由江苏食品药品职业技术学院黄亚东主编,江苏今世缘酒业股份有限公司副董事长吴建峰高级工程师主审。

本书的编写得到了参编者所在单位领导的大力支持和帮助,书中引用和借鉴了一些已发表的文献资料,在此向相关作者和提供过帮助的同志们表示感谢。

由于我们水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广读者批评指正。

编者

2014 年 8 月

# 目 录

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第一章 空气净化除菌设备 .....     | 1   |
| 第一节 无菌空气的质量指标 .....    | 1   |
| 第二节 空气净化设备 .....       | 5   |
| 第三节 空气介质过滤除菌流程 .....   | 19  |
| 第四节 净化空调系统 .....       | 20  |
| 第五节 净化空调系统的操作与维护 ..... | 23  |
| 第二章 培养基制备设备 .....      | 25  |
| 第一节 淀粉质原料蒸煮与糖化设备 ..... | 25  |
| 第二节 糖蜜稀释器 .....        | 35  |
| 第三节 液体培养基灭菌方法及设备 ..... | 39  |
| 第四节 啤酒生产中麦芽汁制备设备 ..... | 47  |
| 第三章 通风发酵设备 .....       | 61  |
| 第一节 机械搅拌式通风发酵罐 .....   | 61  |
| 第二节 自吸式发酵罐 .....       | 73  |
| 第三节 气升式发酵罐 .....       | 76  |
| 第四节 塔式发酵罐 .....        | 81  |
| 第五节 全自动发酵罐 .....       | 82  |
| 第四章 厌氧发酵设备 .....       | 94  |
| 第一节 酒精发酵设备 .....       | 94  |
| 第二节 啤酒发酵设备 .....       | 99  |
| 第三节 连续发酵设备 .....       | 109 |
| 第五章 固态发酵生物反应器 .....    | 118 |
| 第一节 概述 .....           | 118 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第二节 固态发酵生物反应器 .....       | 120 |
| 第六章 动、植物细胞(组织)培养反应器 ..... | 128 |
| 第一节 动物细胞培养反应器 .....       | 128 |
| 第二节 植物细胞(组织)培养反应器 .....   | 137 |
| 第七章 酶反应器与微藻培养生物反应器 .....  | 145 |
| 第一节 游离酶反应器 .....          | 146 |
| 第二节 固定化酶反应器 .....         | 147 |
| 第三节 微藻培养生物反应器 .....       | 150 |
| 第八章 细胞破碎与分离设备 .....       | 157 |
| 第一节 细胞破碎原理 .....          | 157 |
| 第二节 细胞破碎方法 .....          | 159 |
| 第三节 细胞破碎设备 .....          | 161 |
| 第九章 沉降设备 .....            | 165 |
| 第一节 颗粒的性质 .....           | 165 |
| 第二节 重力沉降 .....            | 166 |
| 第三节 离心沉降 .....            | 169 |
| 第十章 过滤设备 .....            | 173 |
| 第一节 过滤速度的强化 .....         | 173 |
| 第二节 主要过滤设备 .....          | 181 |
| 第十一章 离心分离设备 .....         | 198 |
| 第一节 离心分离的基本理论 .....       | 198 |
| 第二节 离心分离的设备 .....         | 199 |
| 第三节 离心机的运行与维护 .....       | 207 |
| 第十二章 膜分离设备 .....          | 211 |
| 第一节 概述 .....              | 211 |

|             |                        |            |
|-------------|------------------------|------------|
| 第二节         | 超滤 .....               | 219        |
| 第三节         | 反渗透 .....              | 229        |
| 第四节         | 电渗析 .....              | 234        |
| <b>第十三章</b> | <b>萃取设备 .....</b>      | <b>241</b> |
| 第一节         | 液-液萃取的基本概念 .....       | 241        |
| 第二节         | 液-液萃取流程 .....          | 244        |
| 第三节         | 液-液萃取设备 .....          | 246        |
| 第四节         | 超临界流体萃取设备 .....        | 255        |
| <b>第十四章</b> | <b>液体吸附与浸出设备 .....</b> | <b>259</b> |
| 第一节         | 液体吸附的基本概念 .....        | 259        |
| 第二节         | 吸附剂 .....              | 260        |
| 第三节         | 液体吸附方法 .....           | 262        |
| 第四节         | 常用吸附装置及操作 .....        | 263        |
| 第五节         | 浸出的基本概念 .....          | 265        |
| 第六节         | 浸出操作方式 .....           | 266        |
| 第七节         | 浸出设备 .....             | 268        |
| <b>第十五章</b> | <b>离子交换设备 .....</b>    | <b>272</b> |
| 第一节         | 离子交换的基本概念和原理 .....     | 272        |
| 第二节         | 离子交换剂的分类 .....         | 273        |
| 第三节         | 离子交换树脂的基本性能 .....      | 274        |
| 第四节         | 离子交换的操作循环过程 .....      | 275        |
| 第五节         | 离子交换装置 .....           | 277        |
| <b>第十六章</b> | <b>蒸发设备 .....</b>      | <b>283</b> |
| 第一节         | 蒸发的基本理论 .....          | 283        |
| 第二节         | 主要蒸发设备 .....           | 286        |
| 第三节         | 典型的蒸发设备流程 .....        | 303        |

|                   |                           |     |
|-------------------|---------------------------|-----|
| <b>第十七章</b>       | <b>结晶设备</b> .....         | 308 |
| 第一节               | 结晶原理和起晶方法 .....           | 308 |
| 第二节               | 结晶设备与操作 .....             | 314 |
| <b>第十八章</b>       | <b>干燥设备</b> .....         | 326 |
| 第一节               | 固体物料的干燥机理及生物产品的干燥特点 ..... | 326 |
| 第二节               | 气流干燥 .....                | 332 |
| 第三节               | 喷雾干燥 .....                | 339 |
| 第四节               | 沸腾干燥与沸腾造粒干燥 .....         | 353 |
| 第五节               | 真空干燥和真空冷冻干燥 .....         | 360 |
| 第六节               | 微波干燥设备 .....              | 370 |
| 第七节               | 干燥设备的选用 .....             | 372 |
| <b>第十九章</b>       | <b>蒸馏设备</b> .....         | 375 |
| 第一节               | 蒸馏操作的基本原理 .....           | 375 |
| 第二节               | 酒精连续精馏流程 .....            | 377 |
| 第三节               | 粗馏塔 .....                 | 379 |
| 第四节               | 精馏塔 .....                 | 384 |
| 第五节               | 蒸馏附属设备 .....              | 389 |
| <b>第二十章</b>       | <b>设备与管道的清洗与灭菌</b> .....  | 393 |
| 第一节               | 常用清洗剂、清洗方法及设备 .....       | 393 |
| 第二节               | 设备及管路的灭菌 .....            | 399 |
| <b>参考文献</b> ..... |                           | 405 |

# 第一章 空气净化除菌设备

## 【学习目标】

1. 知识目标 了解空气洁净度等级及要求,空气除菌方法,常用的过滤介质及特点;了解空气过滤除菌流程中各附属设备的作用;掌握生物工业生产的卫生要求和空气净化的流程方法,典型的空气过滤除菌设备流程。

2. 能力目标 能够根据具体需求制定合理的空气除菌流程;能够掌握空气净化除菌系统操作与维护要点。

## 第一节 无菌空气的质量指标

生物工业生产大多与食品、药品等领域密切相关,其反应过程大多是微生物发酵、动植物细胞培养、生物酶促反应及生化分离提取等。这些反应过程都需要有洁净的工作环境,对空气的质量要求很高,尤其是药品、食品的生产过程,从原材料、生产过程、设备,到人员操作都有明确的质量规范。这就要求对进入生产环境的空气进行净化,并有一定温度、湿度和压力的调节处理。

### 一、空气的组成

空气是由多种气体组成的混合物,其恒定的组成成分有氮、氧、氩、氦、氖等气体。空气中的不确定含量组成部分,在不同地区是不同的,常见的有二氧化碳、水蒸气、氢、臭氧、甲烷、二氧化硫等多种物质。空气中还存在各种污染物和微生物。空气净化的目的是除去空气中的尘埃和微生物。

#### 1. 空气中的颗粒物

人们生活的空气中浮游着大量颗粒物质,而且地表上的各种物体、自然现象无时无刻不在产生各种尘埃颗粒。检测发现,每 $1\text{m}^3$ 的空气中,含有 $5 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5$ 个尘埃粒子。

按照颗粒的机械性质,空气中的颗粒可分为刚性颗粒和非刚性颗粒。无机物颗粒属于刚性颗粒,变形系数很小。细胞是非刚性颗粒,其形状容易随外部空间条件而改变。因此,这两类颗粒的力学性质不同。所以,在生产实践中,采用不同的分离方法。

按形状划分,可分为球形颗粒和非球形颗粒。一般来说,空气中的尘埃颗粒多是非球形颗粒,形状多种多样。

空气中的颗粒直径大小不同,呈连续分布状态,共同组成空气中的颗粒群。按直径大小,空气中的颗粒可分为自然降尘和飘尘。自然降尘是指粒径大于  $10\mu\text{m}$  小于  $100\mu\text{m}$  在空气中经重力作用能沉降到地面上的灰尘,其来源以风沙扬尘为主。 $10\mu\text{m}$  以下的浮游状颗粒物,称为飘尘,去除飘尘的难度较大。

### 2. 空气中的微生物

空气中的微生物来自于多个渠道。室外空气比较干燥,无营养物质,且受紫外线照射,不适宜微生物生长。所以,室外空气中的大部分微生物只有短暂的存活时间。但是,部分微生物对外界环境的抵抗能力较强,如八叠球菌、细球菌、枯草芽孢杆菌以及霉菌、酵母菌的孢子等,它们在大气中停留时间较长,是造成大气污染的主要原因。

空气中的细菌个体直径一般为  $0.5 \sim 5\mu\text{m}$ ,多数为  $5\mu\text{m}$ ,少数病菌为  $0.03 \sim 0.5\mu\text{m}$ 。细菌常以群体存在,并大量附着在空气中的尘埃颗粒上,形成生物颗粒。空气中的微生物个数一般在  $1000 \sim 3000$  个/ $\text{m}^3$ 。有尘埃存在,就可能有微生物存在。除去尘埃,也就除掉了生物颗粒。因此,采用空气净化技术,即能除去尘埃,又能去掉微生物。

### 3. 空气中的液体

不含水分的空气,称为绝干空气。实际上,空气中不仅含水分,而且还含有各种油滴。空气中水分构成了空气湿度,不同地区的空气湿度不一样。油滴的组成非常复杂,分为植物油和矿物油两大类。人类生活的空气中要有一定水分,但水分和油滴都是空气污染源,常作为微生物载体而污染空气。

## 二、生物工业对空气卫生质量的要求

不同的生物产品制备过程需要不同的生物反应,对空气环境的要求尽管有所区别,但都有一个共同特点,即洁净无菌和一定的温度、湿度。以微生物发酵为例,不同菌种具有不同的生长能力,反应过程中生长速度的快慢、产物性质、发酵周期长短、培养物营养成分和 pH 差异,都对所用无菌空气洁净程度有不同要求。例如,酵母培养过程对空气的要求就不如氨基酸发酵、液体曲、抗生素发酵严格。

### 1. 空气的性质

(1)空气湿度 空气湿度,是空气中水蒸气含量的表示方法,分为绝对湿度和相对湿度。

①空气绝对湿度  $H$ :湿空气中,单位体积绝干空气所含水蒸气的量称为绝对湿度,实际上就是水汽密度,单位  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。在某温度下,如果空气中水蒸气含量达到最大值,此时的绝对湿度,称为饱和空气的绝对湿度。

$$H = \frac{\text{湿空气中水蒸气的质量}}{\text{湿空气中绝干空气的质量}}$$

②空气相对湿度  $RH$ :在一定总压下,湿空气中水蒸气分压  $p_w$  与同温度下饱和水蒸气气压  $p_s$  的比值,称为相对湿度。相对湿度,表明湿空气的不饱和程度,反映

湿空气吸收水汽的能力。

$$RH = \frac{p_w}{p_v}$$

(2)干球温度 用普通温度计测得的湿空气的温度,称为干球温度,用  $T$  表示,单位为℃或 K。干球温度,为湿空气的真实温度。

(3)湿球温度 如图 1-1 所示,用水润湿的纱布包裹温度计的感温球,湿纱布一端浸在水中,始终保持湿润,这就构成湿球温度计。将它置于一定温度和湿度的流动空气中,达到稳态时所测得的温度,称为空气的湿球温度,以  $T_w$  表示。

空气的湿度、干球温度、湿球温度三者之间的关系为:

$$H = H_d - \frac{1.09}{r_t}(T - T_w)$$

式中  $H_d$ ——湿球温度  $T_w$  下空气的饱和湿度  
 $r_t$ ——湿球温度  $T_w$  时水的汽化潜热, kJ/kg

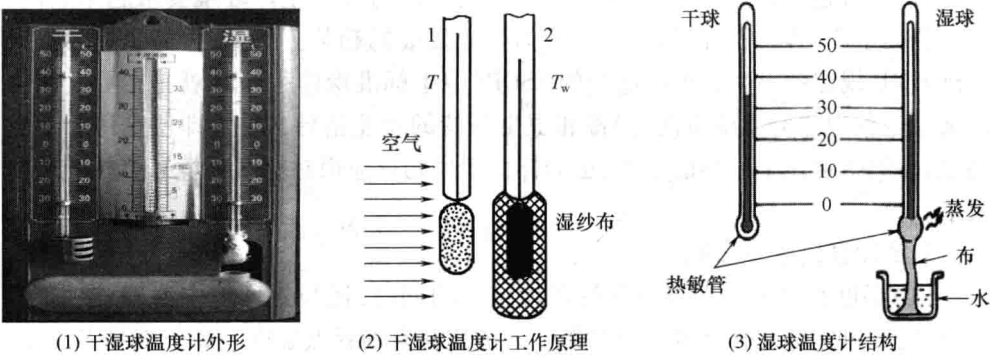


图 1-1 干湿球温度计  
1—干球温度计 2—湿球温度计

2. 洁净区的洁净等级

为确保药品生产的质量安全,国家发布了《药品生产质量管理规范》,简称 GMP,重点是防止药品污染问题。2013 年,颁发药品生产企业《洁净厂房设计规范》(GB 50073—2013),对医药工业洁净厂房的空气洁净度等级标准做了明确规定,见表 1-1。

表 1-1 洁净室及洁净区空气洁净度等级

| 空气洁净度等级/N | 大于或等于要求粒径的最大浓度限值/(pc/m³) |       |       |       |     |     |
|-----------|--------------------------|-------|-------|-------|-----|-----|
|           | 0.1μm                    | 0.2μm | 0.3μm | 0.5μm | 1μm | 5μm |
| 1         | 10                       | 2     | —     | —     | —   | —   |
| 2         | 100                      | 24    | 10    | 4     | —   | —   |

续表

| 空气洁净度等级/N | 大于或等于要求粒径的最大浓度限值/(pc/m <sup>3</sup> ) |        |        |          |         |        |
|-----------|---------------------------------------|--------|--------|----------|---------|--------|
|           | 0.1 μm                                | 0.2 μm | 0.3 μm | 0.5 μm   | 1 μm    | 5 μm   |
| 3         | 1000                                  | 237    | 102    | 35       | 8       | —      |
| 4(十级)     | 10000                                 | 2370   | 1020   | 352      | 83      | —      |
| 5(百级)     | 100000                                | 23700  | 10200  | 3520     | 832     | 29     |
| 6(千级)     | 1000000                               | 237000 | 102000 | 35200    | 8320    | 293    |
| 7(万级)     | —                                     | —      | —      | 352000   | 83200   | 2930   |
| 8(十万级)    | —                                     | —      | —      | 3520000  | 832000  | 29300  |
| 9(百万级)    | —                                     | —      | —      | 35200000 | 8320000 | 293000 |

注:按不同的测量方法,各等级水平的浓度数据的有效数字不应超过3位。

目前,日益严峻的食品安全问题,使得对生产监管与生产环境要求越来越高。参照药品生产 GMP 管理模式,已经成为行业发展的趋势。例如,食品企业为保证达到 GMP 规定的卫生要求而施行的 SSOP(卫生标准操作程序),就是指导食品生产加工过程中如何实施清洗、消毒和卫生保持的作业指导文件。即便是用于非食品、药品的生物化工产品的生产,也同样由于生物反应而对空气环境有严格的洁净要求。

3. 洁净区的主要参数

(1)湿度和温度 人体在保持环境统一的同时,还与外环境中温度、湿度、气压、风向和风速等综合因素保持平衡。人的皮肤有临界点温度。高于临界点温度,就感到热;低于则感到凉。当温度在 25℃、相对湿度 50% 时,人体处于正常的热平衡状态,感觉很舒适。为保证洁净区内温度和相对湿度与生产工艺要求相适应,又满足作业人员对工作环境的要求,不同洁净度区域的温度和相对湿度应控制在适宜的温度范围内。洁净车间的温度和湿度见表 1-2。

表 1-2 洁净车间的温度和湿度

| 序号 | 空气洁净度     | 适宜温度     | 相对湿度      |
|----|-----------|----------|-----------|
| 01 | 100 级     | 18 ~ 24℃ | 45% ~ 60% |
| 02 | 10 000 级  | 18 ~ 24℃ | 45% ~ 60% |
| 03 | 100 000 级 | 18 ~ 26℃ | 45% ~ 65% |
| 04 | 300 000 级 | 18 ~ 26℃ | 45% ~ 65% |

(2)压差 压差是指洁净区环境内的空气压强与洁净区外空气压强的差值。洁净区,包括生产车间、厂房、无菌室等需要洁净空气的环境区域。如果内部空气

压强大于外部空气压强,称为正压差;反之,称为负压差。

通常情况下气流是从高压区域向低压区域流动,为保证产品生产时环境空气的洁净度不被干扰、污染,洁净区内一般都保持正压状态。但在有些生物制品、生物技术的操作区域,为防止基因、病毒、致病菌流入洁净区外造成生物污染,要求洁净区内保持一定负压差。

洁净区室内外的正压差值受室外风速的影响,室内正压值要高于室外风速产生的风压。当室外风速大于  $3\text{m/s}$  时,产生的风压接近  $5\text{Pa}$ 。若洁净室内正压值为  $5\text{Pa}$  时,室外的空气污染就有可能渗漏入室内。据气象资料统计,我国大多数地区冬夏两季的平均风速大于  $3\text{m/s}$ 。因此,规定洁净区与非洁净区的室内最小正压差值应大于  $5\text{Pa}$ ,而洁净区与户外环境的最小正压差值为  $10\text{Pa}$ 。

(3) 新风量 在《工业企业设计卫生标准》(GBZ 1—2010)中规定:“工作场所的新风应来自室外,新风口应设置在空气清洁区,新风量应满足下列要求:非空调工作场所人均占用容积  $< 20\text{m}^3$  的车间,应保证人均新风量  $\geq 30\text{m}^3/\text{h}$ ;如所占容积  $> 20\text{m}^3$  时,应保证人均新风量  $\geq 20\text{m}^3/\text{h}$ 。采用空气调节的车间,应保证人均新风量  $\geq 30\text{m}^3/\text{h}$ 。洁净室的人均新风量应  $\geq 40\text{m}^3/\text{h}$ ”。在《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)中规定:“空气调节系统的新风量,应符合下列规定:①不小于人员所需新风量,以及补偿排风和保持室内正压所需风量两项中的较大值;②人员所需新风量应满足规范 3.1.9 条的要求,并根据人员的活动工作性质以及在室内的停留时间等因素确定”。规范 3.1.9 条内容为“建筑物室内人员所需最小新风量,应符合以下规定:①民用建筑人员所需最小新风量按国家现行有关卫生标准确定;②工业建筑应保证每人不小于  $30\text{m}^3/\text{h}$  的新风量。”因此,送至洁净区的新风,应占总风量的 75%,回风占总风量的 25%。

## 第二节 空气净化设备

空气净化的目的是除去空气中的尘埃、微生物等微粒,或杀灭空气中的微生物。除去方法有静电吸附、介质过滤。灭菌方法有辐射杀菌、热杀菌、化学药物杀菌。

(1) 热杀菌 利用空气压缩机排气时气体的高温来杀灭气流中的微生物。例如,在进行微生物有氧发酵时,通入发酵罐的无菌空气一般是用压缩机产生的,可适当提高压缩机排气压力,利用空气压缩时放出的热量保温灭菌。

(2) 辐射杀菌  $\alpha$  射线、X 射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线、紫外线、超声波等,都能破坏蛋白质等生物活性物质,起杀菌作用。但实际上,应用较广的是紫外线。波长在  $253.7 \sim 265\text{nm}$  的紫外线,杀菌效力最强,常用于洁净区、医院手术室等空气对流不大的环境下消毒杀菌,一般还要结合甲醛蒸气或苯酚喷雾等,保证无菌室高度无菌。

(3)静电吸附 利用静电引力吸附带电粒子而达到除尘灭菌的目的。悬浮于空气中的微生物,大多数带有不同电荷。没带电荷的微粒,进入高压静电场时,会被电离成带电微粒。对于一些直径小的微粒,所带电荷很小,当产生的引力等于或小于气流对微粒布朗扩散运动的动力时,微粒不能被吸附而沉降。因此,静电除尘对很小的微粒,除尘效率较低。

(4)过滤除菌法 利用多孔材料截留混合体系中固体颗粒的过程,称为过滤。过滤使用的多孔材料,称为过滤介质。过滤除菌,是使空气通过经高温灭菌的过滤介质层,将空气中的微生物等颗粒阻截在介质层中,达到除尘除菌的目的。它是生物工业生产中最常用、最适用的空气除菌方法。

(5)化学药物杀菌 大多数化学药剂在低浓度下具有抑菌作用,高浓度下起杀菌作用。常用的有5%石炭酸(又名苯酚、羟基苯)、75%乙醇和乙二醇等。该方法有很大局限性,如化学灭菌剂需有挥发性,以便清除灭菌后材料上残余药物。

## 一、空气过滤除菌法

### 1. 空气净化级别

按照过滤去除颗粒的大小、多少,将空气过滤净化分成4个级别。

(1)初效过滤 能过滤空气中自然降尘的颗粒,如 $5\mu\text{m}$ 以上尘埃粒子,用于空气净化的初级过滤。常用棉花、泡沫塑料、涤纶无纺布等过滤介质。无纺布具有容量大、阻力小、滤材均匀、不易老化等优点,且便于清洗,成本低廉,应用越来越多,有替代泡沫塑料的趋势。

(2)中效过滤 能过滤去除 $1\sim 10\mu\text{m}$ 的颗粒,相应级别的过滤器称为中效过滤器。使用的过滤介质,有细孔泡沫塑料、超细合成纤维或玻璃纤维、优质无纺布等。中效过滤,可去除空气中的飘尘和油滴,对高效过滤器起保护作用,延长高效过滤器的使用寿命。

(3)亚高效过滤 能过滤去除 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 的颗粒,相应级别的过滤器称为亚高效过滤器。多使用玻璃纤维滤纸、过氯乙烯纤维滤布、聚丙烯纤维滤布等过滤介质。在额定风量下,对不小于 $0.5\mu\text{m}$ 颗粒的去除率能达到95%~99.9%,可作为空气净化的末端过滤装置。

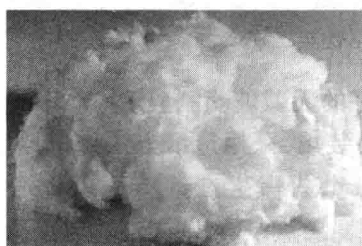
(4)高效过滤 能过滤去除直径为 $0.1\sim 1\mu\text{m}$ 的颗粒,相应级别的过滤器称为高效过滤器。常用的过滤介质有超细玻璃纤维、超细石棉纤维等。高效过滤,可完全滤除细菌等微细颗粒,多设置于洁净厂房、局部净化设备的最后一级。一般安装在通风系统的末端,作为洁净区的进风口使用。

### 2. 空气过滤介质

过滤介质是过滤除菌的关键。其好坏不仅影响介质的消耗量、动力消耗、操作劳动强度、维护管理等,还决定设备的结构、尺寸及运转过程的可靠性。过滤介质

应具有吸附性强、阻力小、空气流量大、化学惰性、能耐干热等特点。常用过滤介质有棉花、活性炭、玻璃纤维、超细纤维纸、化学纤维等。

(1) 棉花 是传统过滤介质,如图 1-2 所示。其质量随品种和种植条件不同差别较大,最好选用纤维细长疏松的新鲜产品。常用未脱脂棉,纤维长  $2 \sim 3\text{cm}$ ,直径  $16 \sim 21\mu\text{m}$ ,装填时分层均匀铺砌、压紧,装填密度为  $150 \sim 200\text{kg}/\text{m}^3$ 。如果压不紧或装填不均匀,会造成空气走短路,甚至介质翻动而丧失过滤效果。



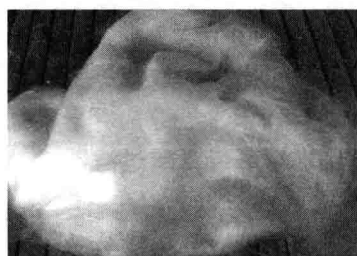
(1) 棉纤维



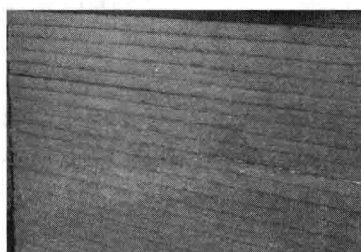
(2) 微观棉纤维

图 1-2 棉花过滤介质

(2) 玻璃纤维 玻璃纤维常用于散装充填,直径为  $8 \sim 19\mu\text{m}$ ,如图 1-3 所示。纤维直径越小,过滤效果越好。但纤维越小,强度越低,很容易断碎而造成堵塞,增大阻力。硅硼玻璃纤维可制成  $0.3 \sim 0.5\mu\text{m}$  较细直径的高强度纤维。 $2 \sim 3\text{mm}$  厚的过滤器可除去  $0.01\mu\text{m}$  的微粒,除去噬菌体和所有微生物。



(1) 玻璃纤维棉



(2) 玻璃纤维板

图 1-3 玻璃纤维

(3) 活性炭 如图 1-4 所示,活性炭有非常大的比表面积,通过表面吸附作用吸附截留微生物。常用的颗粒状活性炭为小圆柱体,大小为  $\varphi 3\text{mm} \times (10 \sim 15)\text{mm}$ 。活性炭粒子的间隙大,空气阻力小,为棉花的  $1/2$ ,但过滤效率比棉花低得多。颗粒活性炭常与纤维介质分层堆放成过滤床层。例如,将其夹在两层棉花介质中间使用,用量为总过滤层的  $1/3 \sim 1/2$ ,可降低过滤层的阻力。