
第六章

空气除菌的工艺及设备

本章讲述的内容

- 空气中微生物的分布和发酵工业对空气无菌程度的要求
- 空气除菌的方法
- 介质过滤除菌的机理
- 介质过滤除菌的工艺
- 介质过滤除菌的设备及计算

第一节 空气中微生物的分布和发酵工业对空气无菌程度的要求

一、无菌空气的概念

- 发酵工业应用的“无菌空气”是指通过除菌处理使空气中含菌量降低在一个极低的百分数，从而能控制发酵污染至极小机会。此种空气称为“无菌空气”。

二、空气中微生物的分布

- 空气中的含菌量随环境不同而有很大差异：
 - 一般干燥寒冷的北方空气中的含菌量较少，而潮湿温暖的南方则含菌量较多；
 - 人口稠密的城市比人口少的农村含菌量多；
 - 地面又比高空的空气含菌量多。
- 各地空气中所悬浮的微生物种类及比例各不相同，数量也随条件的变化而异，一般设计时以含量为 $10^3 \sim 10^4$ 个 / m^3 进行计算。

三、发酵对空气无菌程度的要求

- 各种不同的发酵过程，对空气无菌程度的要求也不同。影响因素是比较复杂的，需要根据具体情况而订出具体的工艺要求。
- 一般按染菌机率为 10^{-3} 。来计算，即1000次发酵周期所用的无菌空气只允许1~2次染菌。

四、空气含菌量的测定

- 培养法：微生物学中已介绍过
- 光学法：用粒子计数器通过微粒对光线的散射作用来测量粒子的大小和含量。

第二节 空气除菌的方法

- 辐射灭菌
- 加热灭菌
- 静电除菌
- 介质过滤

一、辐射灭菌

1, 原理

- α 射线、X射线、 β 射线、 γ 射线、紫外线、超声波等从理论上讲都能破坏蛋白质，破坏生物活性物质，从而起到杀菌作用。

2, 应用范围

- 通常用于无菌室和医院手术室。

3, 缺点

- 杀菌效率较低，杀菌时间较长。一般要结合甲醛蒸汽等来保证无菌室的无菌程度。

二、加热灭菌

- 利用压缩热进行空气灭菌的流程图

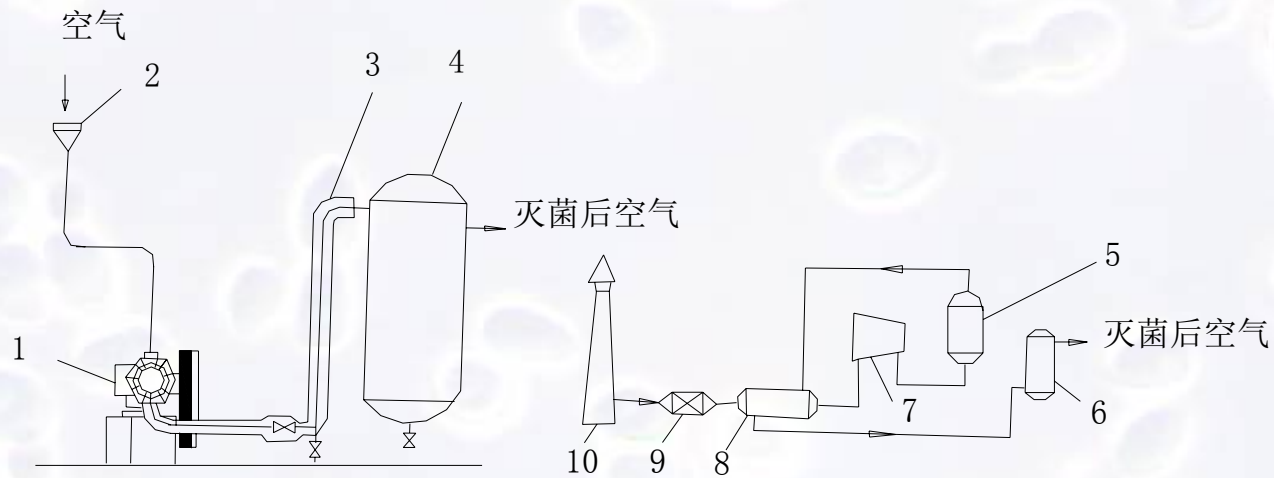


图4-1 空气热灭菌流程示意图

1-空压机 2-粗过滤器 3-保温层 4-贮气罐 5-保温罐 6-列管式冷却器
7-锅轮压缩机 8-预热器 9-粗过滤器 10-空气吸入塔

- 空气进口温度为 21°C ，出口温度为 $187\sim 198^{\circ}\text{C}$ ，压力为 0.7MPa 。

三、静电除菌

1, 原理

- 利用静电引力来吸附带电粒子而达到除尘、除菌的目的。

2, 优点

- 阻力小, 约 $1.01325 \times 10^4 \text{Pa}$
- 染菌率低, 平均低于10-15%
- 除水、除油的效果好
- 耗电少

3, 缺点

- 设备庞大、一次性投资较大、捕集率尚嫌不够, 需要采取其它措施。

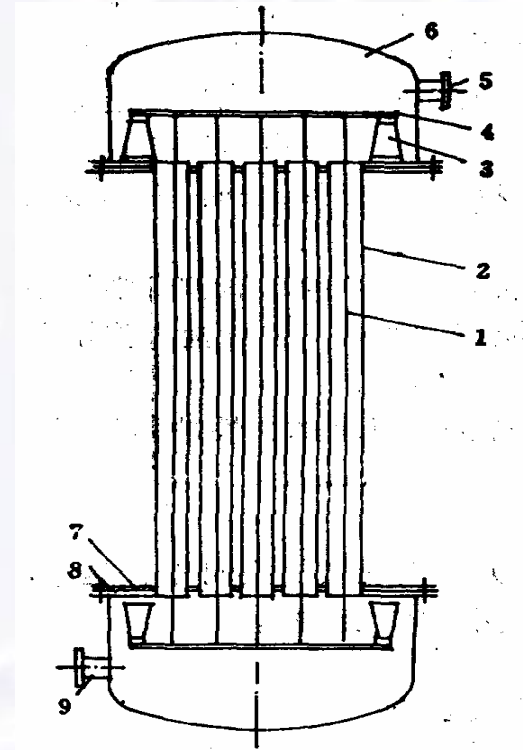


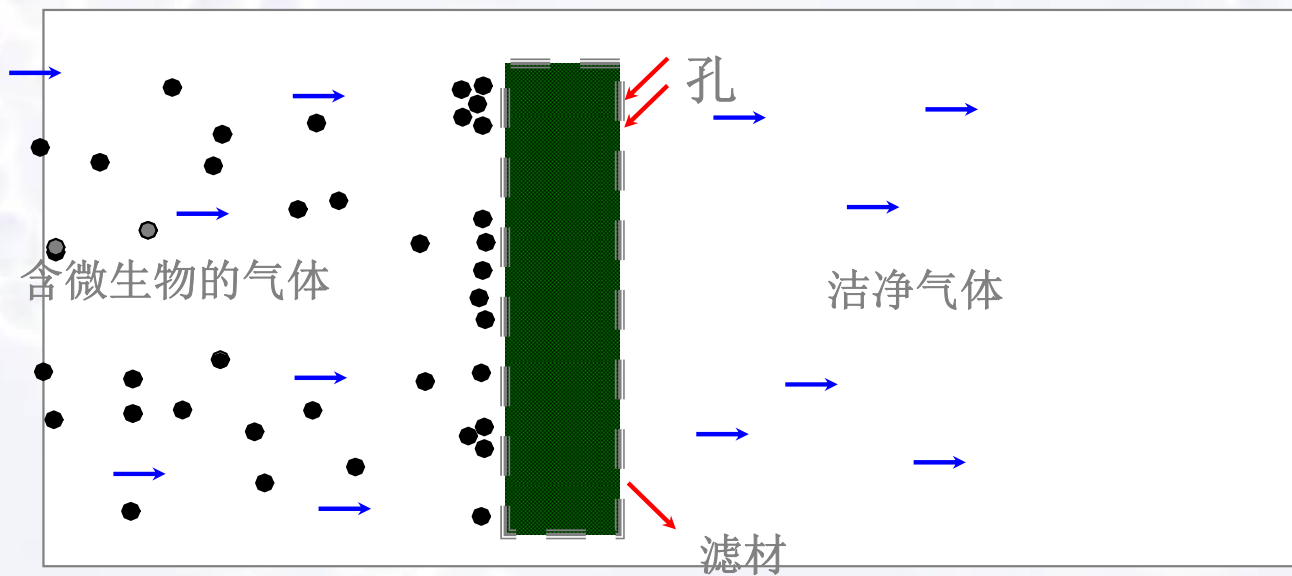
图 14-2 静电除尘器
1—钢丝(电晕电极); 2—钢管(沉淀电极);
3—高压绝缘瓷瓶; 4—钢板; 5—空气出口;
6—封头; 7—管板; 8—法兰; 9—空气进口

第三节 介质过滤除菌的机理

一、定义

过滤除菌

利用有孔介质从气体中除去微生物



定义


微米

1 微米 (μ) 等于:

- ▶ 10^{-6} 米 = 10^{-3} 毫米
- ▶ 3.9×10^{-5} 英寸
- ▶ 又称 "micron"

定义

小颗粒的相对尺寸

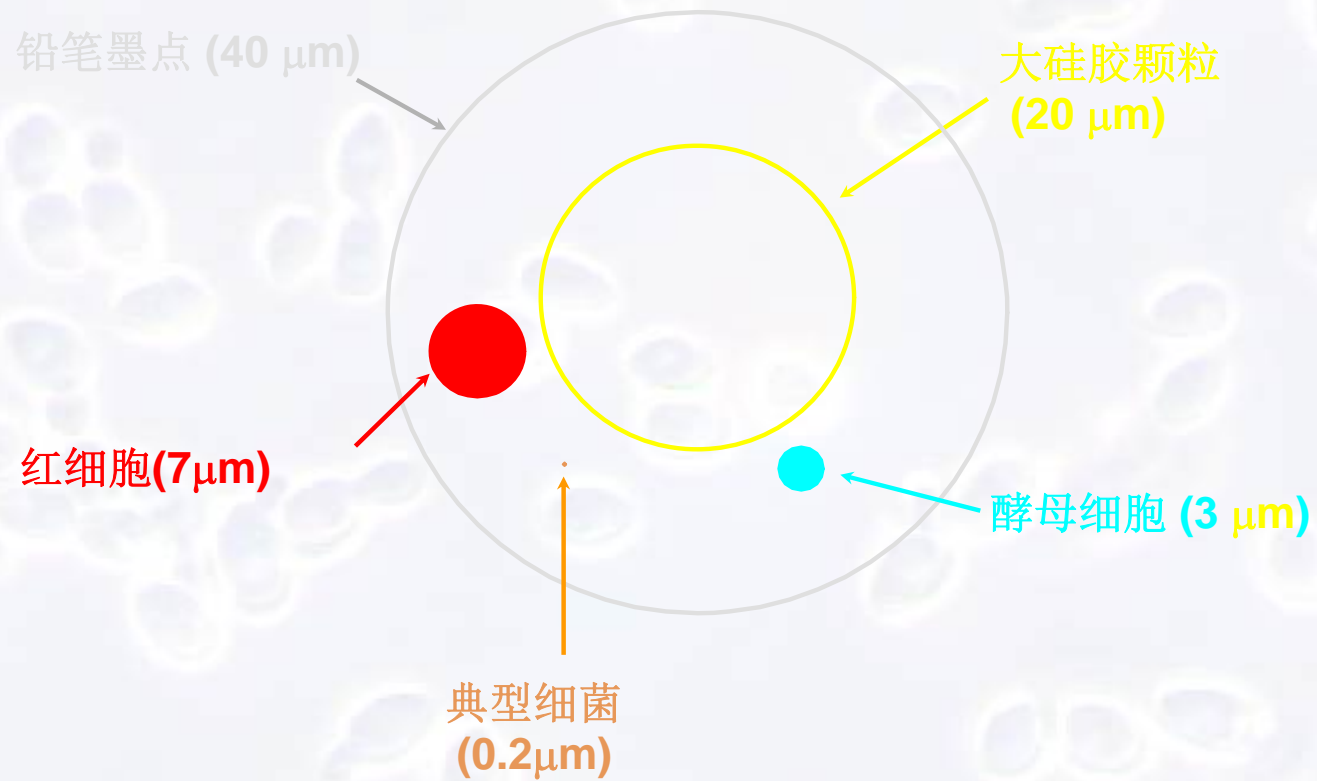


100 μm		4.0 μm
80	人发直径	3.0
60		2.0
40	肉眼可见最小颗粒	1.0
20		0.8
10	花粉	0.6
8.0	红细胞	0.5
6.0	酵母和真菌	0.4
5.0		0.3

沙雷氏菌

假单胞菌

小颗粒的相对尺寸

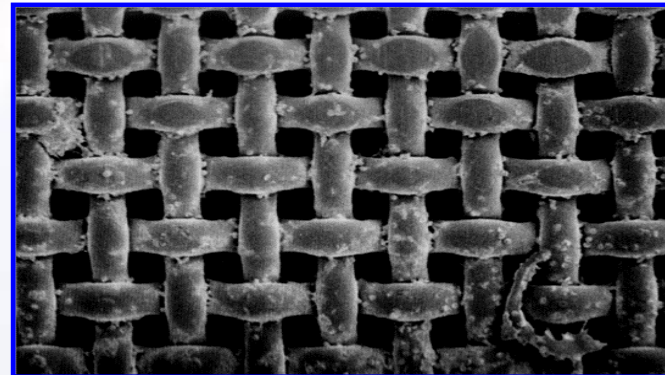
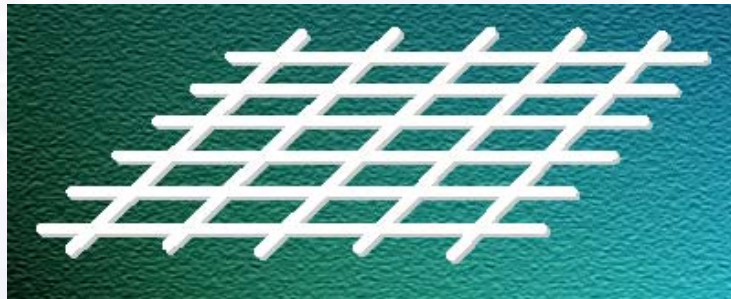


二、空气过滤器的功能

- 一个空气过滤器的功能是从气体中去除污染物（微生物）以使达到所需的 气体的无菌程度

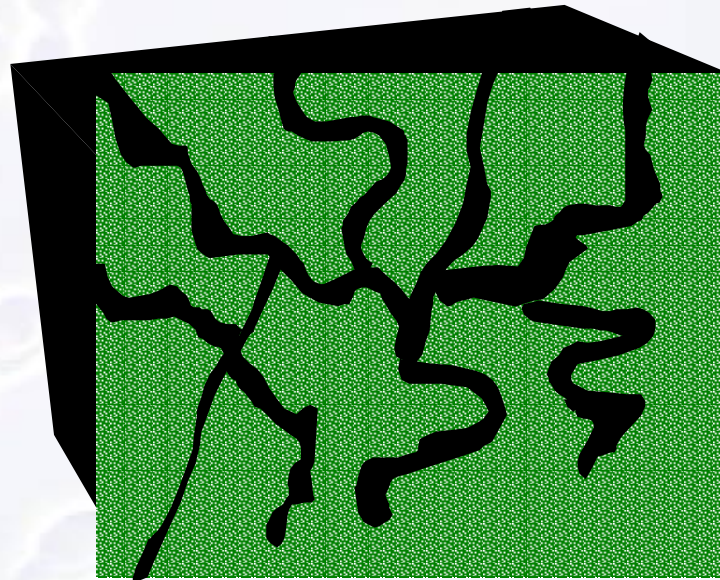
过滤器的功能

- 过滤器经常被认为是一种简单的网或筛子，过滤 / 分离是在一个平面上进行的。



过滤器的功能

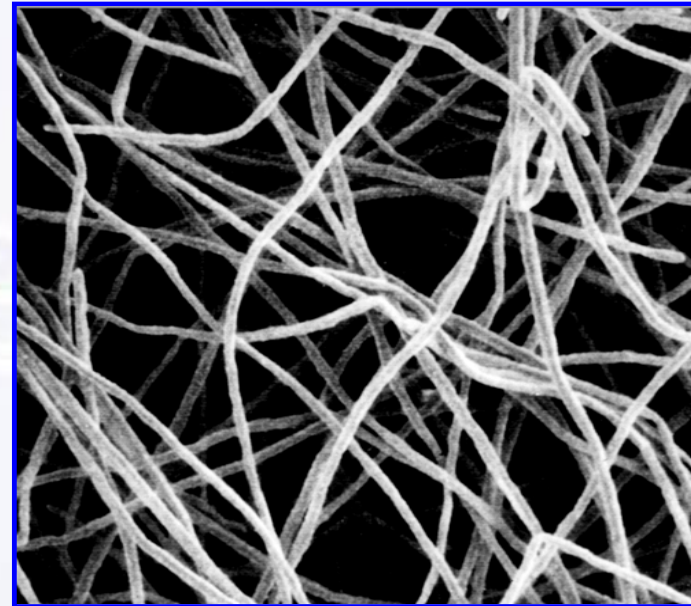
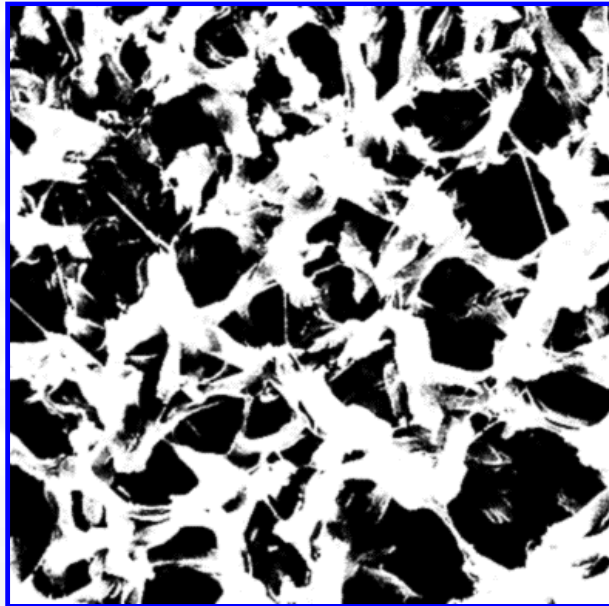
- 实际上，空气过滤器的滤材具有深度。“弯曲通道”的结果对于污染物的去除起到了辅助作用



过滤器的功能

- “弯曲通道”存在于：

渣



三、过滤机理

▶ 直接拦截

▶ 惯性撞击

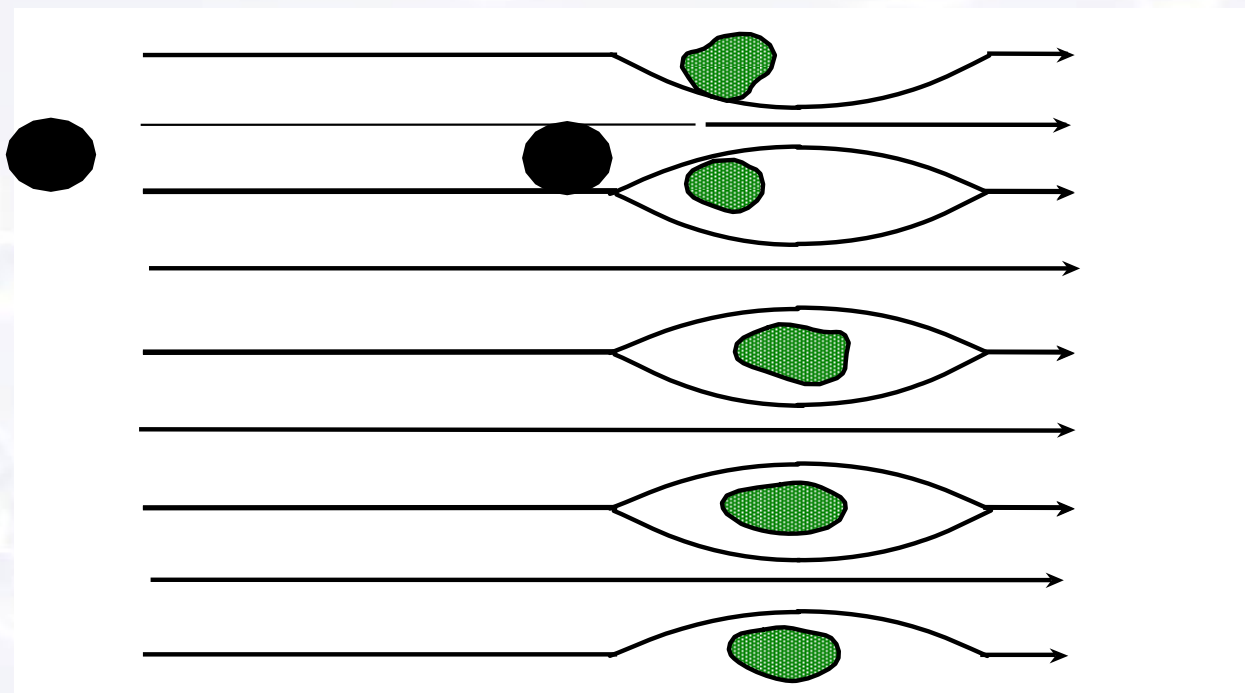
▶ 扩散拦截

1, 直接拦截

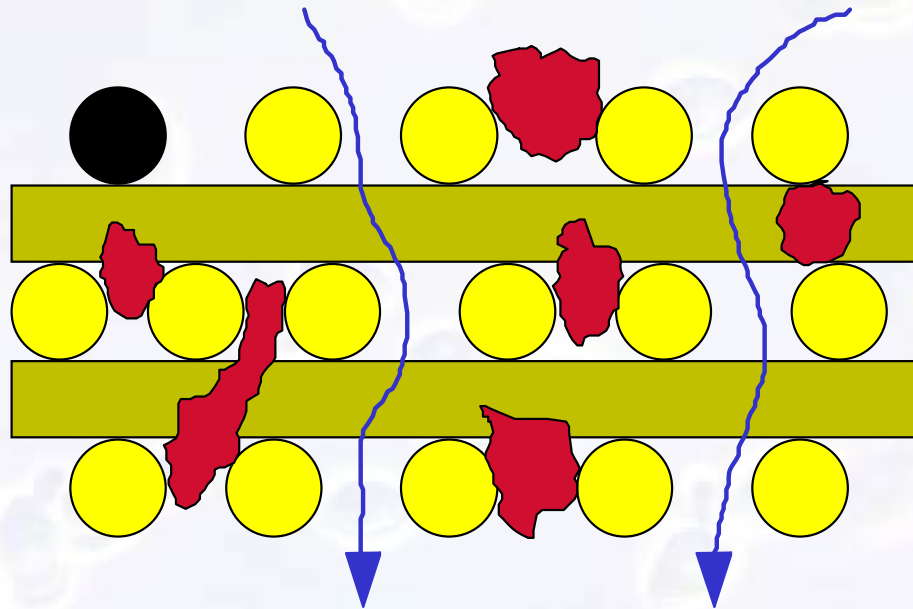
- ▶ 流体中的基本过滤机制
- ▶ 本质是一种筛分效应, 机械拦截颗粒
- ▶ 例如: 一种简单的筛网可以拦截尺寸大于其孔径的颗粒

直接拦截

颗粒大于孔径



直接拦截



绝对截留 - 颗粒被捕获在滤材纤维之间形成的孔中

直接拦截



直接拦截

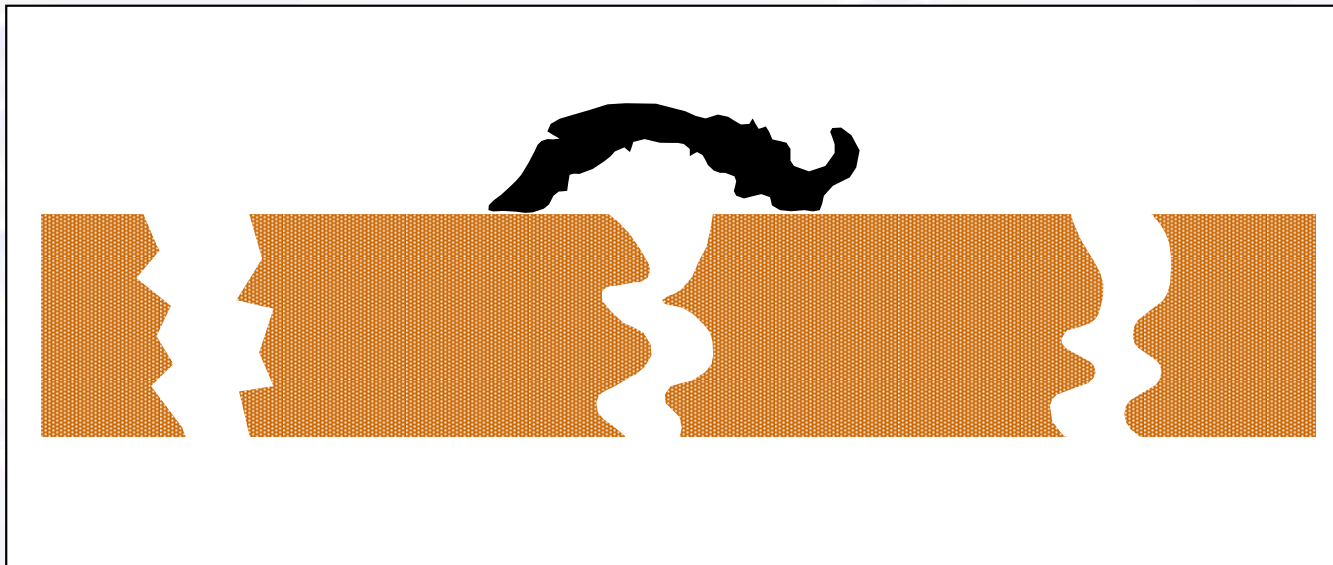
- ▶ 当颗粒大于流道孔径时即被该结构去除
- ▶ 容污能力可以用弯曲结构提高
筛网无此作用

直接拦截

- ▶ 通过搭桥作用，尺寸小于滤孔的颗粒也可被拦截
 - 不规则形状的颗粒 / 方向性
 - 多个颗粒同时撞击到同一个滤孔

直接拦截

不规则形状的搭桥



直接拦截

多个小颗粒的搭桥



定义

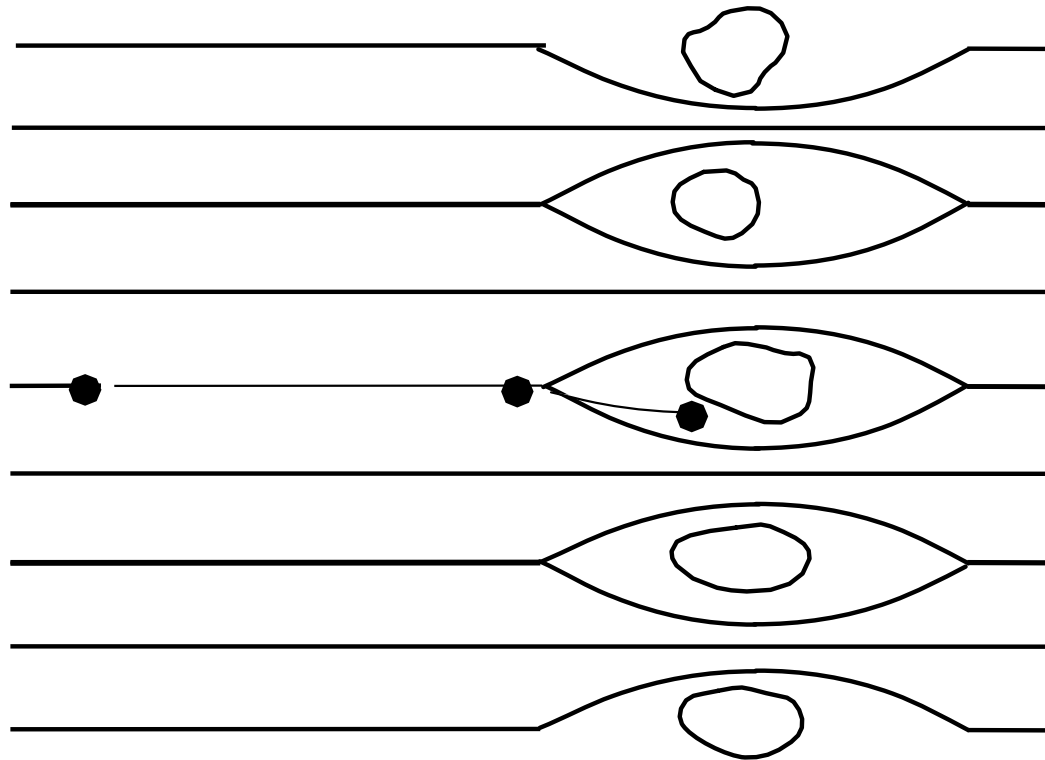
滤饼

- ▶ 拦截在过滤器表面的颗粒堆积成颗粒层
- ▶ 当过滤器表面完全被一个厚的颗粒层所覆盖时，所谓的“滤饼”即已形成了。
- ▶ 滤饼颗粒间的孔隙亦如同一种过滤器，对细颗粒的拦截效率通常由此而提高

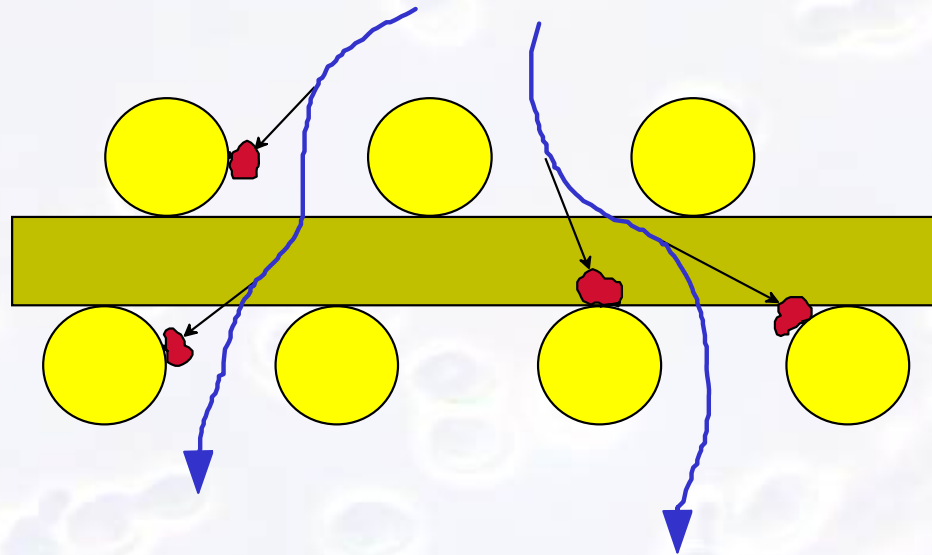
2, 惯性撞击

- ▶ 尺寸小于滤材孔径的颗粒的辅助拦截方式
- ▶ 流体携带的颗粒由于质量和线速度而具有直线运动的惯性
- ▶ 颗粒离开流体主流而撞击到滤材上

惯性撞击

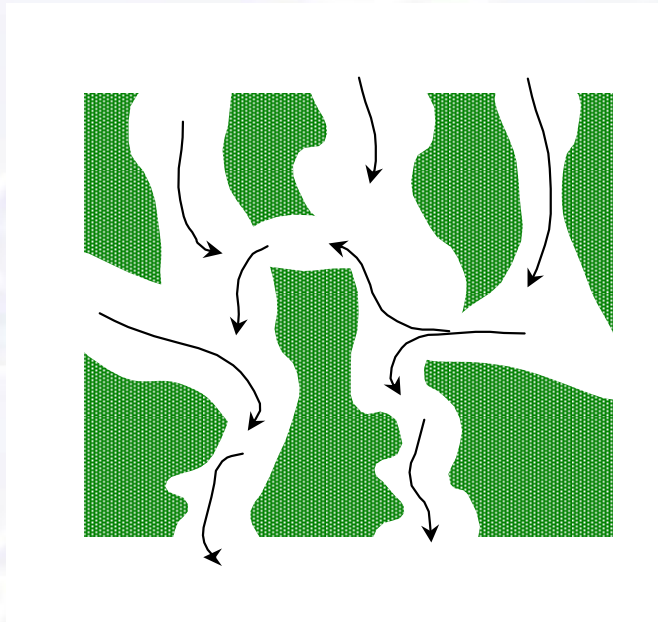


惯性撞击



当流体改变运动方向时，惯性使颗粒 撞击到滤材表面并由于吸附力而停留

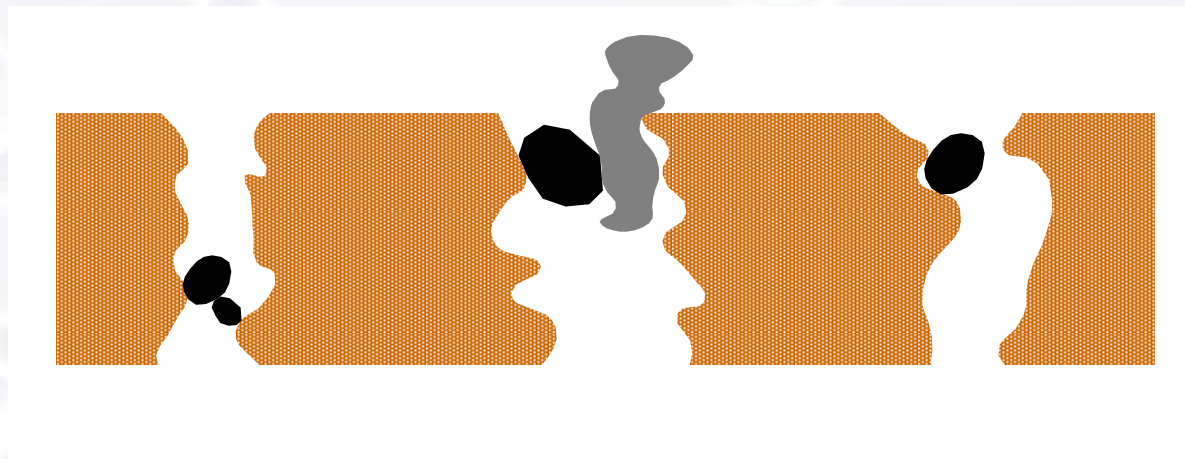
惯性撞击



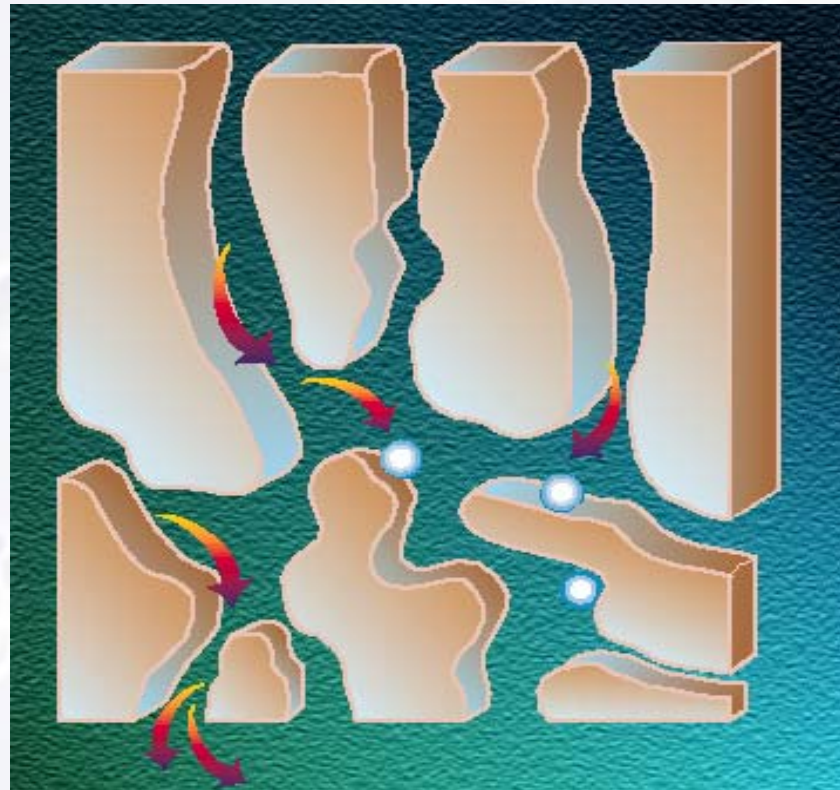
当流经过滤介质时流体必须沿弯曲通道行进。这将增加过滤机制的有效性。

惯性撞击

停留的颗粒减小了滤孔孔径



惯性撞击



惯性撞击

- ▶ 颗粒被机械拦截或被吸附拦截
- ▶ 在气体中比在液体中更有效.
- ▶ 对大于 0.5 - 1.0 微米的颗粒很有效.

吸附

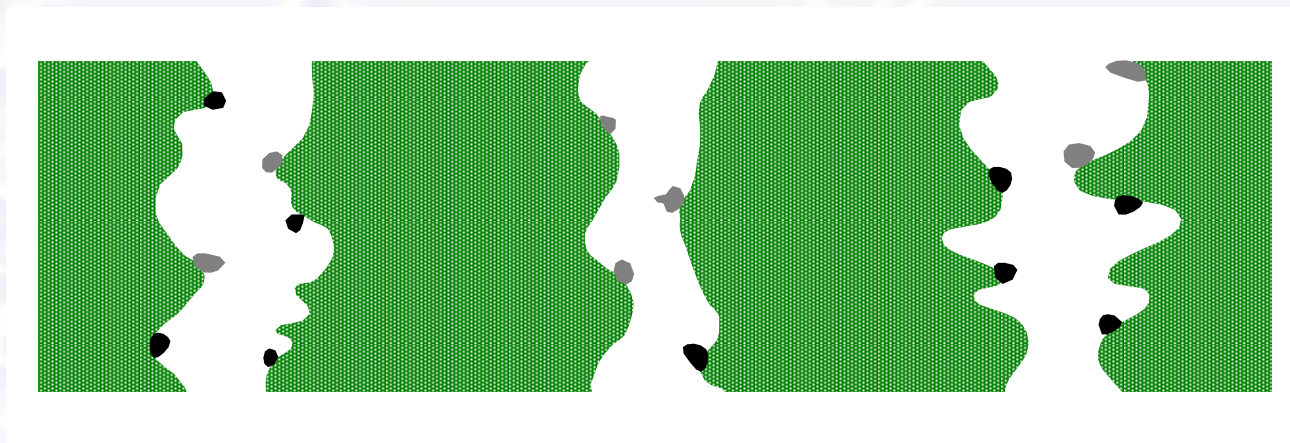
拦截尺寸小于滤孔的颗粒

由于:

- ▶ 表面相互作用
 - 电荷不同
- ▶ 范德华力(Van der Waals)

吸附

表面作用



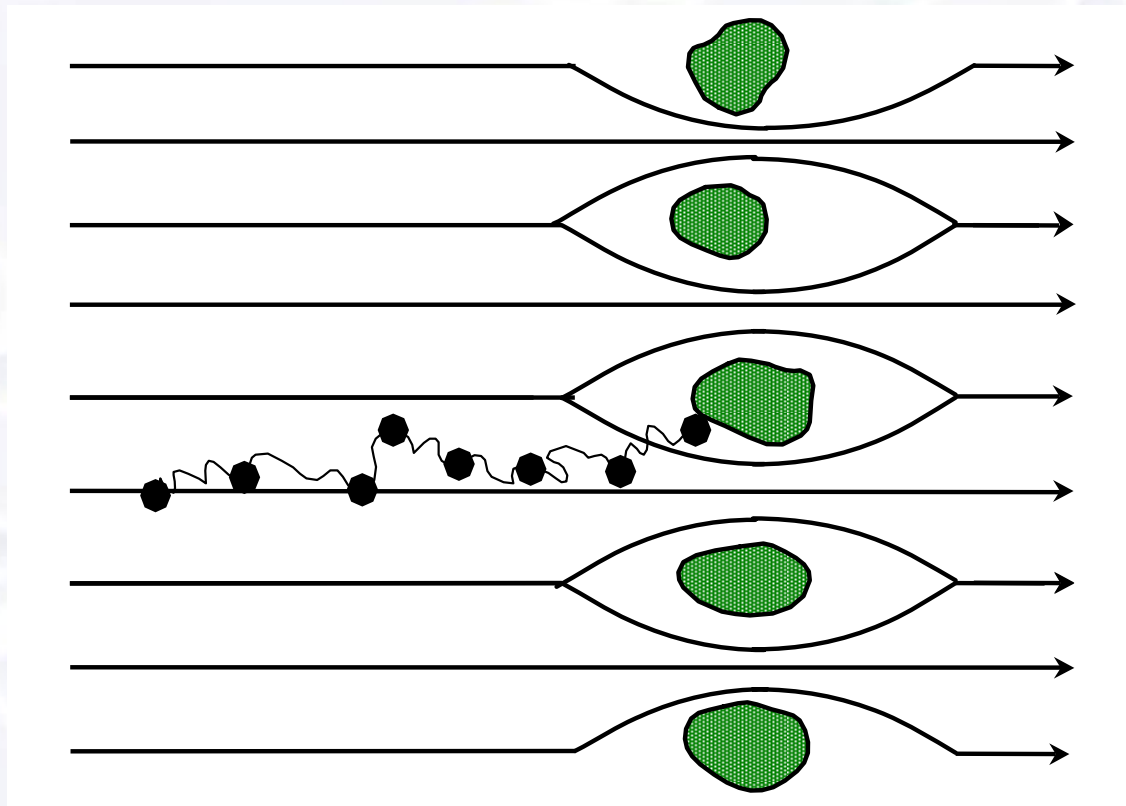
3，扩散拦截

- ▶ 气体分子 (作随机运动) 碰撞小颗粒或雾滴
- ▶ 布朗运动(Brownian motion)碰撞的结果，增加了颗粒碰撞过滤介质的机会
- ▶ 仅在气体中有效

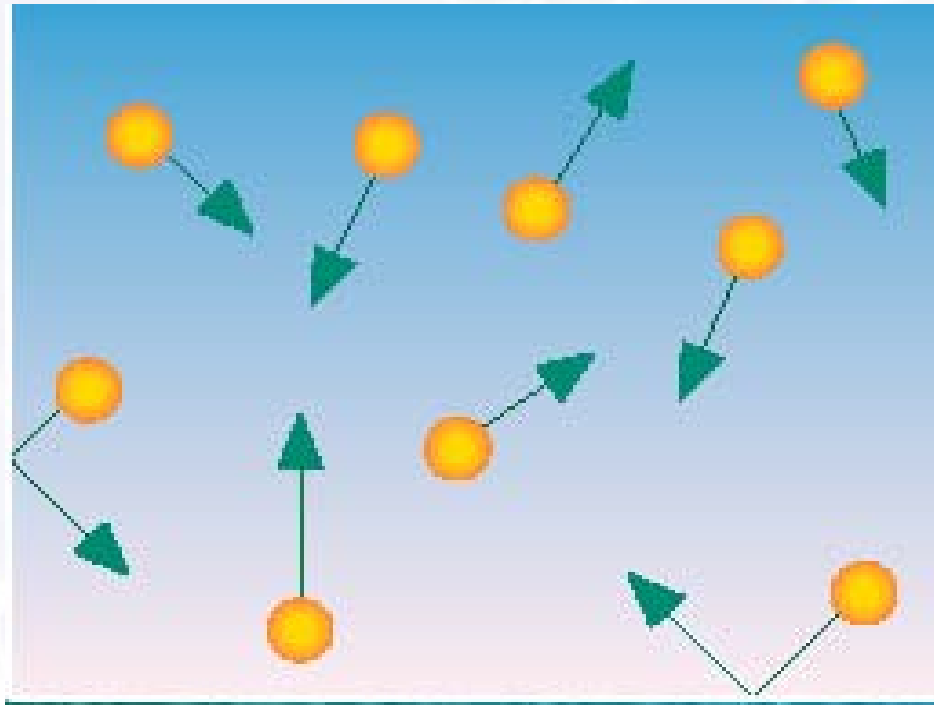
扩散拦截

- ▶ 气体过滤器能够去除尺寸远小于液体精度的污染物
- ▶ 对小-细颗粒 (0.1 - 0.3微米)非常有效
- ▶ 如果一个气体过滤器在湿润环境中运行， 它的去除能力即变为液体精度

扩散拦截

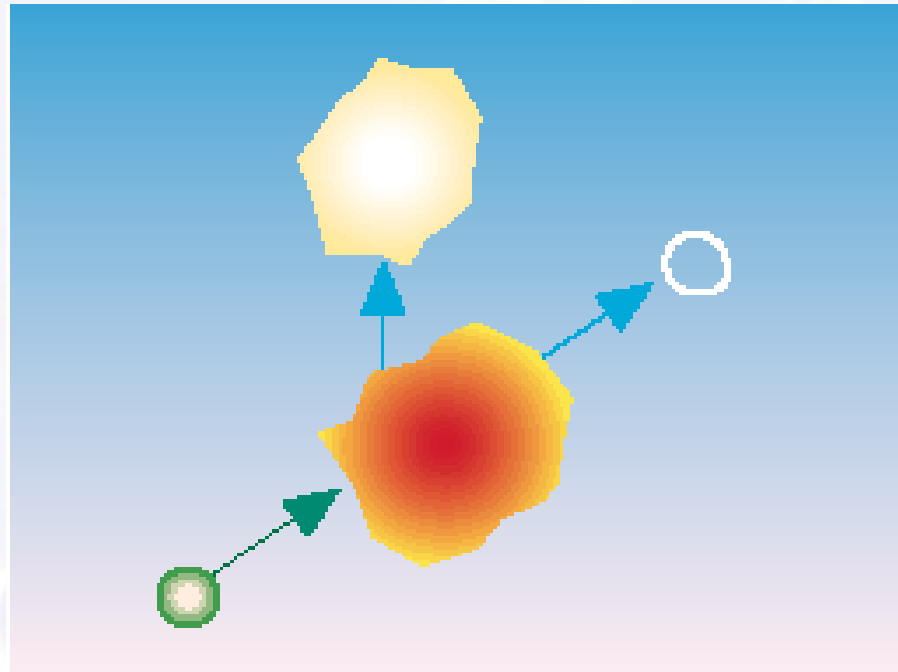


扩散拦截



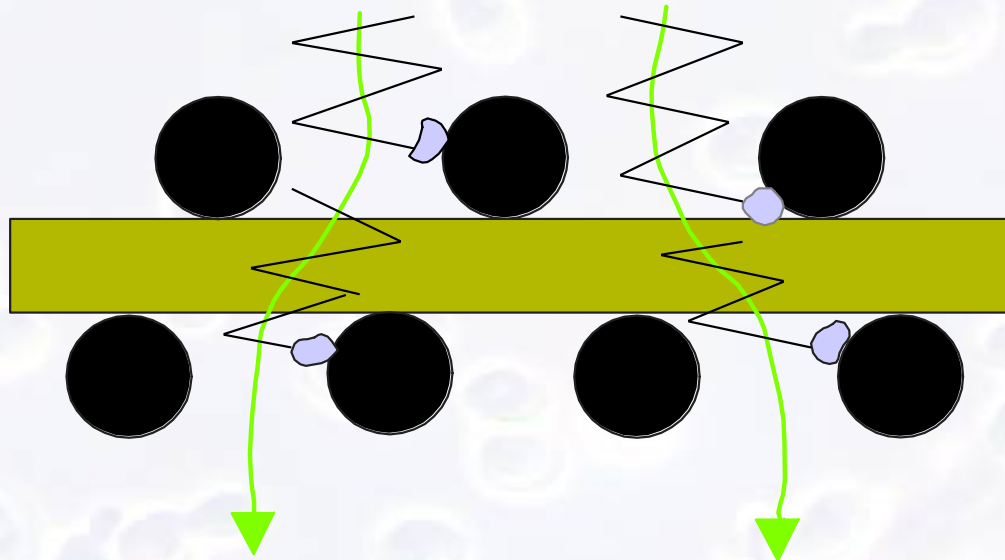
气体分子作布朗运动

扩散拦截



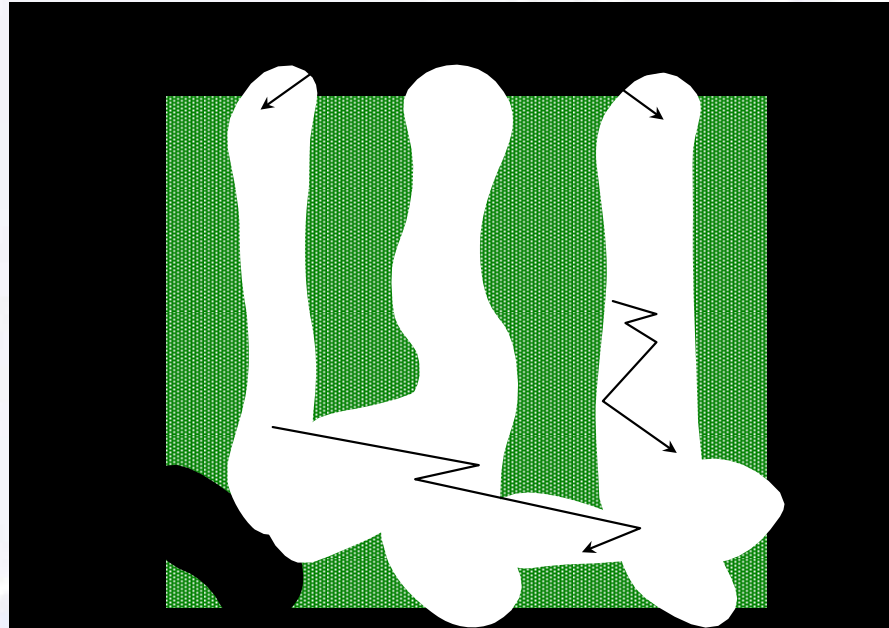
分散在气体分子中的小颗粒
或雾滴受到撞击发生位移

扩散拦截



被随机运动的气体分子碰撞的颗粒
撞击到过滤介质上并被吸附截留

扩散拦截



当流经过滤介质时流体必须沿弯曲通道行进。这将增加过滤机制的有效性。




4，小结

过滤介质的过滤 / 分离效率由于

直接拦截
惯性撞击
扩散拦截

的共同作用而增强

过滤机理总结

-  直接拦截
-  惯性撞击
-  扩散拦截



四、过滤介质的类型

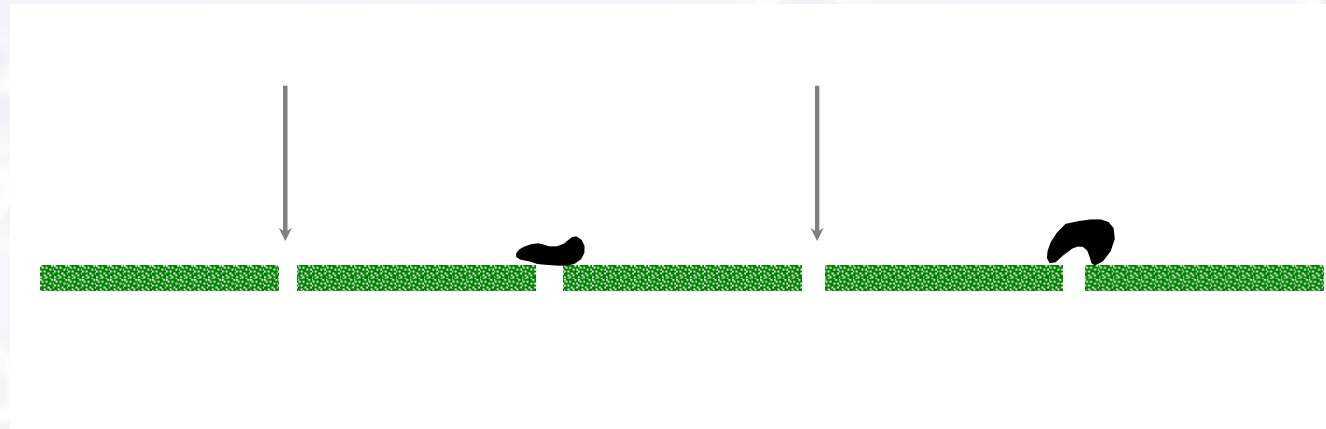
- 表面过滤介质：
 - 编织网粉末烧结
- 深度过滤介质：
 - 纤维材料结构
 - 棉花
 - 活性炭或玻璃纤维
 - 有机合成纤维
 - 浇铸膜结构

1, 表面过滤介质

最严格的定义:

- ▶ 所有滤孔在一个平面上
- ▶ 依靠直接拦截捕获颗粒

表面过滤



表面或筛网过滤的局限



- ▶ 主要依靠直接拦截。小于孔径的颗粒将穿过。
- ▶ 惯性撞击无效。
- ▶ 扩散拦截有微效。

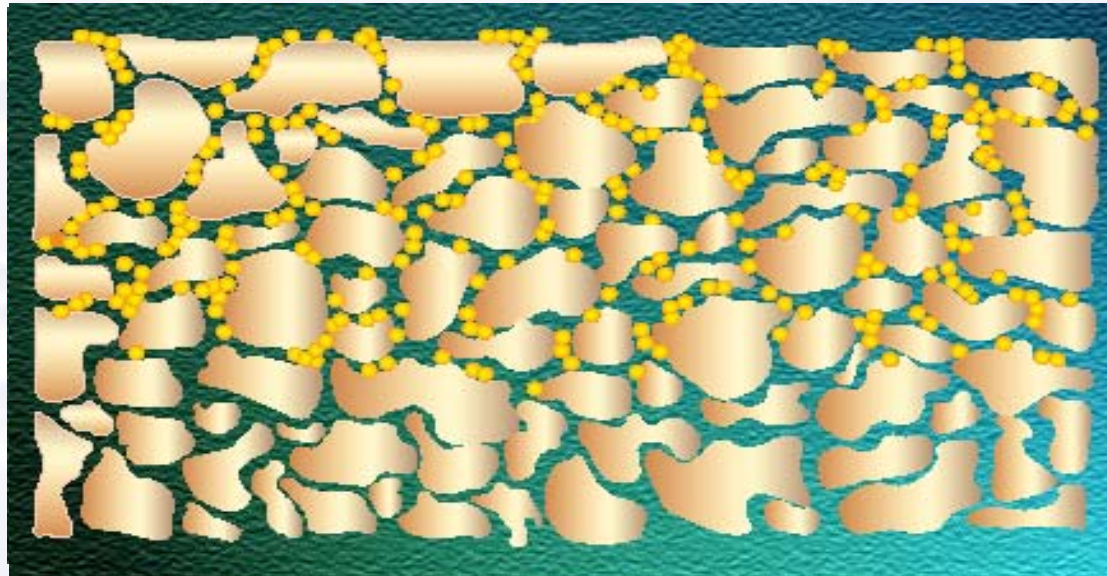
2, 深度过滤介质

最严格的定义:

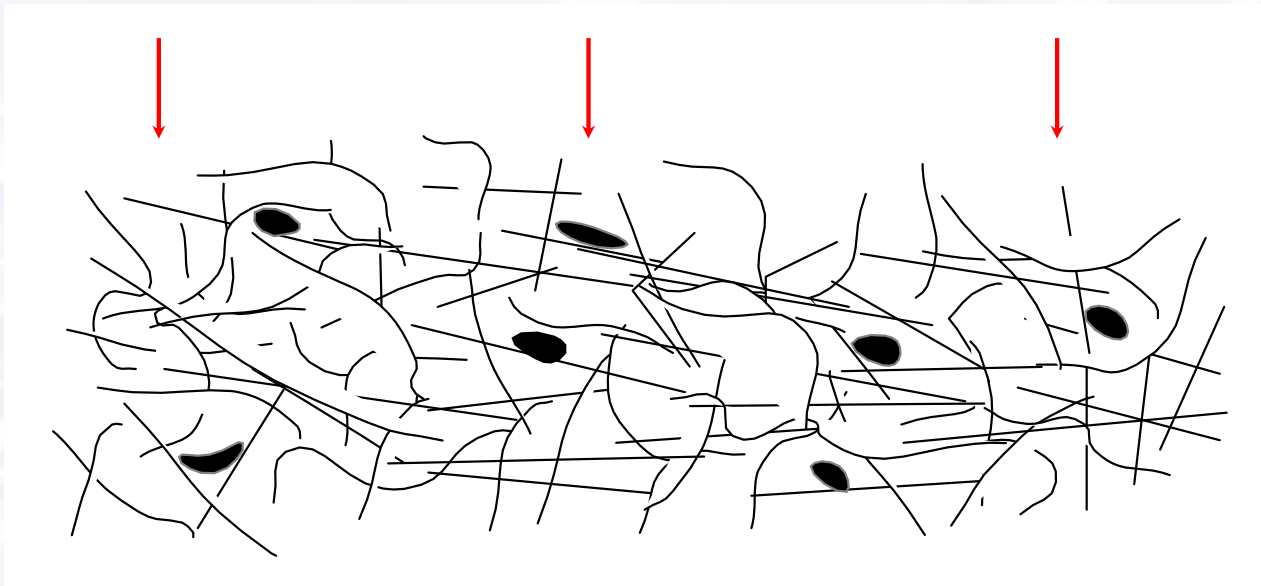
- ▶ 污染物被介质内部结构捕获的一种 过滤介质，滤孔贯穿于整个介质厚度。
- ▶ 调整流道可以获得高容污能力

深度过滤介质

- ▶ 颗粒可以在表面被捕集，
- ▶ 也可以在介质深度被捕集，
- ▶ 因此，提高了容污能力。



深度过滤介质



第四节 介质过滤除菌的工艺

- 空气过滤除菌流程是按生产对无菌空气要求具备的参数，根据空气的性质而制订的，同时还要结合吸气环境的空气条件和所用设备的特性进行考虑。
- 对于一般要求的低压无菌空气，可直接采用一般鼓风机增压后进入过滤器，经一、二次过滤除菌而制得。
- 而一般的深层通气发酵，除要求无菌空气具有必要的无菌程度外，还要具有一定的压力，这就需要比较复杂的空气除菌流程。

一、对空气除菌流程的要求

- 流程的设备：
 - 主设备：空气压缩机
 - 附属设备：要求尽量采用新技术，提高效率，减少设备，精简设备流程，降低设备投资、运转费用和动力消耗，简便操作。
- 流程的制订应考虑：
 - 地理、气候环境
 - 设备条件

二、空气过滤除菌流程的分析

- 发酵厂所使用的空气除菌流程，随各地的气候条件及设备条件不同而有很大的差别。
- 要保持过滤器有比较高的过滤效率，应维持一定的气流速度和不受油、水的干扰。气流速度可由操作来控制；要保持不受油、水干扰则要有一系列冷却、分离、加热的设备来保证空气的相对湿度在50~60%的条件下过滤。

1, 两级冷却、分离、加热的空气过滤除菌流程

- 流程的特点是：两次冷却，两次分离，适当加热。

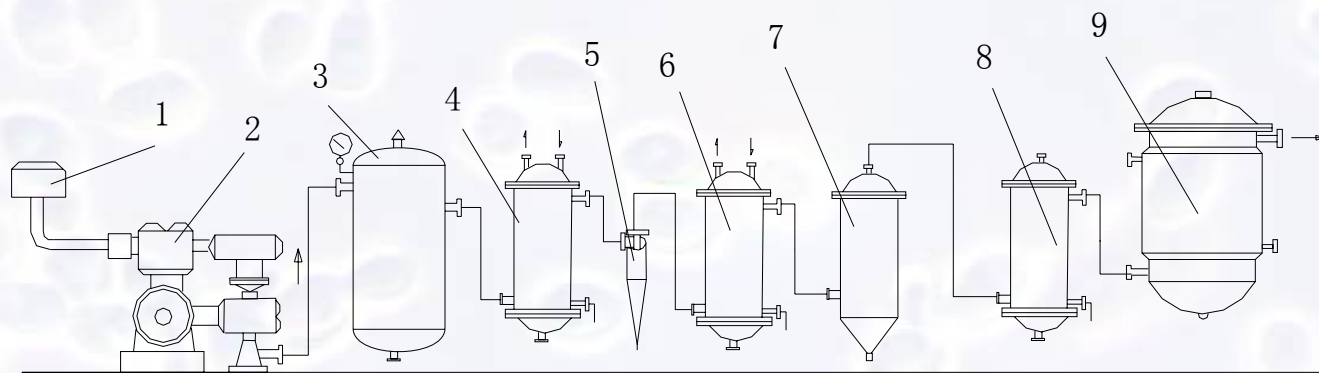


图4-3 两极冷却, 加热除菌流程

1-粗过滤器 2-压缩机 3-贮罐 4,6-冷却器 5-旋风分离器 7-丝网分离器 8-加热器 9-过滤器

- 某除菌流程，空气压力为4工程大气压，要求空气加热到35°C时相对湿度 $\phi = 60\%$ ，问第二级冷却器应至少把空气冷却到多少度(假定冷却后空气中水雾全部分离)?

$$x = 0.622 \frac{\phi \cdot P_b}{P - \phi \cdot P_b}$$

式中 x ——空气的湿含量(公斤水蒸气/公斤干空气)

ϕ ——空气的相对湿度(%)

P ——空气压力(帕)

P_b ——空气中的饱和水蒸汽分压(帕)

- 查表得知35°C时空气中的饱和水蒸汽分压是5619帕，加热前冷空气的相对湿度 $\phi = 100\%$ 。

$$\therefore 0.622 \frac{\phi_1 P_{s1}}{P_1 - \phi_1 P_{s1}} = 0.622 \frac{\phi_2 P_{s2}}{P_2 - \phi_2 P_{s2}}$$

简化得：

$$\phi_1 P_{s1} P_2 = \phi_2 P_{s2} P_1$$

$$P_1 = P_2$$

$$\phi_1 P_{s1} = \phi_2 P_{s2}$$

$$\therefore \phi_1 = 100\% \quad P_{s1} = \phi_2 P_{s2} = 0.6 \times 5619 (\text{帕}) = 3371 (\text{帕})$$

- 查水蒸汽分压表知26°C水的蒸汽压为3371帕，就是说第二级冷却器至少应把空气冷却到26°C。

- 对于气候很干燥的地方，或寒冷的冬天，可将流程简化，只用第一冷却器，将空气冷却到35 °C即可满足相对湿度 $\phi = 60\%$ 而进过滤器。它所要求的条件是：

按上面的条件，

$$\text{按 } \phi_1 P_{b1} P_2 = \phi_2 P_{b2} P_1$$

$$P_1 = 1(\text{公斤/厘米}^2) = 98070(\text{帕})$$

$$P_{b2} = 0.0573(\text{公斤/厘米}^2) = 5619(\text{帕})$$

$$\phi_2 = 0.6$$

$$P_2 = 4(\text{公斤/厘米}^2) = 392280(\text{帕})$$

$$\therefore \phi_1 P_{b1} = \frac{\phi_2 P_{b2} P_1}{P_2} = \frac{0.6 \times 5619 \times 98070}{392280} = 843.3(\text{帕})$$

- 查表得知当6 °C相对湿度是80%时，或12 °C相对湿度60%时，水蒸汽分压为843.4帕。

2, 冷热空气直接混合式空气过滤除菌流程

- 特点：可省第二冷却分离设备和空气再加热设备，流程比较简单，冷却水用量较少，利用压缩空气的热量来提高空气温度。此流程适用于中等混合量的地区。

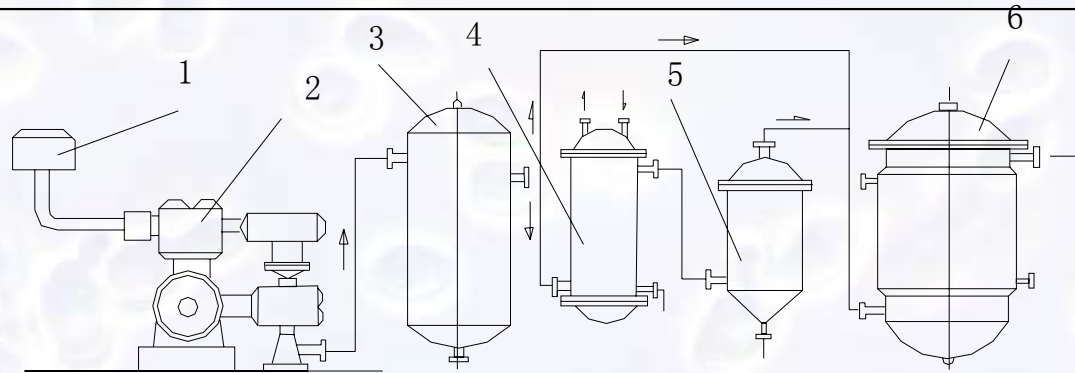


图4-4 冷热空气直接混合式空气除菌流程

1-粗过滤器 2-压缩机 3-贮罐 4-冷却器
5-丝网分离器 6-过滤器

流程的分析计算

设吸入空气的温度 $t_1=25^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\varphi_1=80\%$, 冷却分水后空气温度为 $t_2=25^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\varphi_2=100\%$, 混合后空气的温度是 $t_3=35^\circ\text{C}$, 相对湿度 $\varphi_3=60\%$, 则: 吸入空气的湿含量 x_1 , 冷却分水后空气湿含量 x_2 , 混合空气的湿含量 x_3 , 分别为:

$$x_1 = 0.622 \frac{0.8 \times 3197}{98070 - 0.8 \times 3197} = \frac{0.622 \times 0.006}{0.984} = 0.016 (\text{公斤水蒸汽/公斤干空气})$$

$$x_2 = 0.622 \frac{0.6 \times 5619}{392280 - 3197} = 0.622 \times 0.008 = 0.005 (\text{公斤水蒸汽/公斤干空气})$$

$$x_3 = 0.622 \frac{0.6 \times 5619}{392280 - 0.6 \times 5619} = 0.622 \times 0.88 = 0.0055 (\text{公斤水蒸汽/公斤干空气})$$

设未处理的空气量为 y

则:

$$x_1 y + x_2 (1 - y) = x_3$$

$$\therefore 0.016 y + 0.005 - 0.005 y = 0.0055$$

$$y = 0.045$$

即 冷却除水的空气量为 95.5%,

不处理的空气量为 4.5%。

3, 高效前置过滤除菌流程

- 特点：无菌程度高

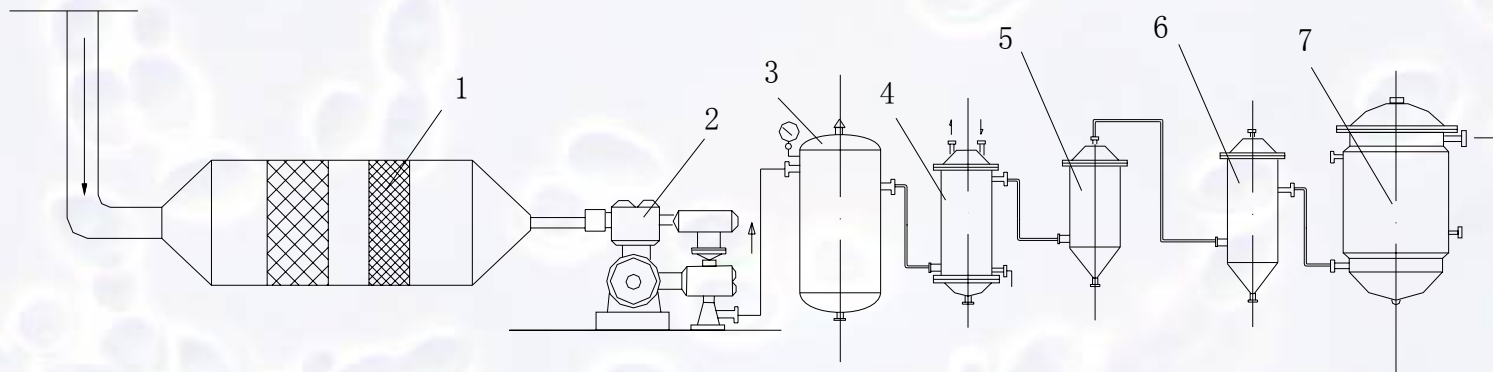


图4-5 高效前置过滤空气除菌流程

1-高效前置过滤器 2-压缩机 3-贮罐 4-冷却器 5-丝网分离器 6-加热器 7-过滤器

第五节 介质过滤除菌的设备及计算

一、深层过滤效率和过滤器的计算

- 过滤效率：就是滤层所滤去的微粒数与原来微粒数的比值，它是衡量过滤器过滤能力的指标。

$$\eta = \frac{N_1 - N_2}{N_1} = 1 - \frac{N_2}{N_1}$$

式中 N_1 ——过滤前空气中微粒含量

N_2 ——过滤后空气中微粒含量

$\frac{N_2}{N_1}$ ——是过滤前后空气中含有微粒数的比值，即穿透滤层的微粒数与原有微粒数的比值，称为穿透率

1, 对数穿透定律

- 研究过滤器的过滤规律时, 先排除一些复杂的因素, 假定:
 - 过滤器中过滤介质每一纤维的空气流态并不因其它邻近纤维的存在而受影响;
 - 空气中的微粒与纤维表面接触后即被吸附, 不再被气流带走;
 - 过滤器的过滤效率与空气中微粒的浓度无关;
 - 空气中的微粒在滤层中递减均匀, 即每一纤维薄层除去同样百分率的菌体。

- 空气通过单位滤层后，微粒浓度下降量与进入此介质的空气中的微粒浓度成正比，即：

(1)

$$-\frac{dN}{dL} = KN_1$$

式中 $\frac{dN}{dL}$ ——单位滤层所除去的微粒数，个/cm；

N_1 ——进入滤层时空气中的微粒浓度，个/m³；

K ——过滤常数（决定于过滤介质的性质和操作情况），1/cm。

- 将 (1) 整理, 积分

$$-\frac{dN}{N_1} = Kdl$$

$$-\int_{N_1}^{N_2} \frac{dN}{N_1} = K \int_0^L dl$$

- $\ln \frac{N_2}{N_1} = -KL \quad (2)$

- 或 $\log \frac{N_2}{N_1} = -K'L \quad (3)$

2, 介质层厚度的计算

- 由 (2) 或 (3) 得

- $$L = \frac{1}{K} \ln \frac{N_1}{N_2} \quad (4)$$

- 或
$$L = \frac{1}{K'} \log \frac{N_1}{N_2} \quad (5)$$

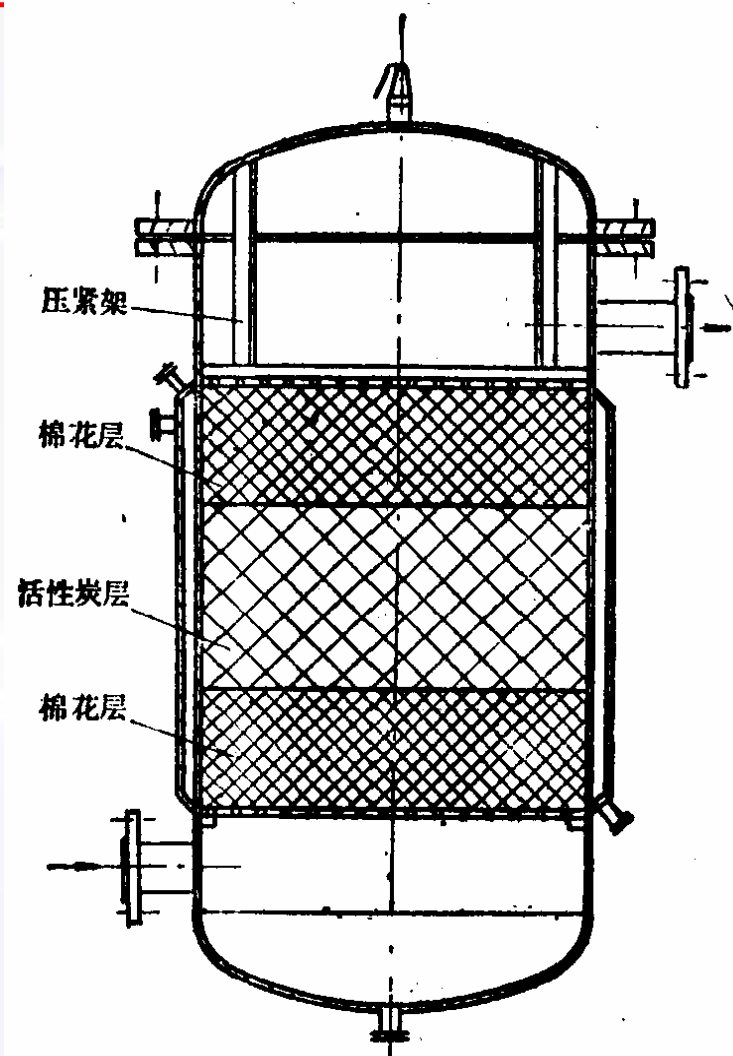
- 式中的 N_1 可根据进口空气的菌体浓度、空气流量及持续使用时间算出。如空气中的原始菌浓度为 10000 个 / m^3 , 空气流量为 $200m^3 / \text{min}$, 持续使用 2000h , 则 N_1 为 2.4×10^{11} 个菌, N_2 一般可假定为 10^{-3} 个菌。于是 $N_2 / N_1 = 2.4 \times 10^{14}$, 在设计空气过滤器时, 我们常把 $N_2 / N_1 = 10^{15}$ 作为设计指标。
- K 值与纤维介质的性质、直径、填充率、气流速度以及菌体大小有关。

- 对数穿透定律的校正
参见《发酵工程与设备》 p95
- 计算举例
参见《发酵工程与设备》 p98

二、过滤器的结构

1, 深层棉花、活性炭过滤器

立式圆筒形，内部填充过滤介质，以达到除菌的目的。



- 过滤器的尺寸主要是确定过滤器的内径D和有效过滤的高度，最后定出整个过滤器的高度尺寸。过滤器的内径D可以根据空气量及流速求出：

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi V_s}} \text{ (米)}$$

式中 V ——空气流过过滤器时的体积流量
(米³/秒)

V_s ——空容器截面的空气流速 (米/秒)

流速一般取 0.1~0.3 米/秒，按操作情况而定，尽量使过滤器在较高过滤效率的气流速度区运行。

填充物的装填顺序如下：

孔板→铁丝网→麻布→棉花→麻布→活性炭→麻布→棉花→麻布→铁丝网→孔板

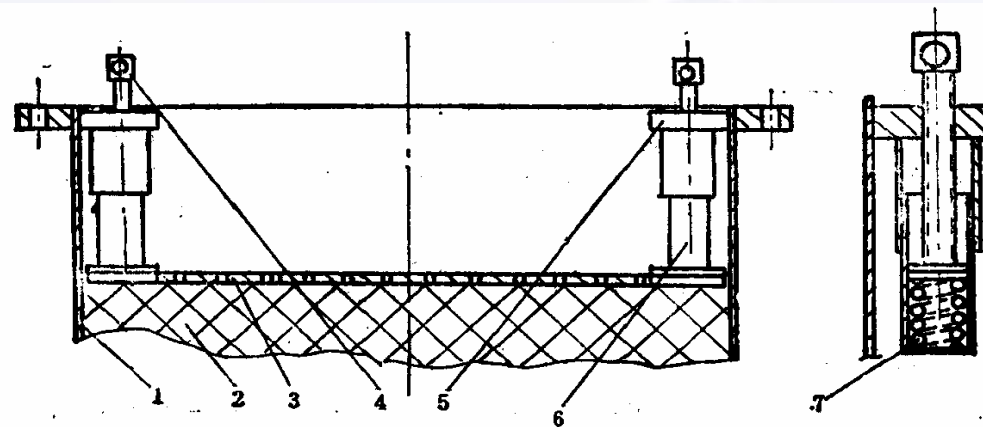


图 4-13 弹簧压紧装置

1—壳体 2—过滤介质 3—压紧花板 4—压紧螺杆 5—压紧支座 6—弹簧套 7—弹簧

2, 滤纸过滤器

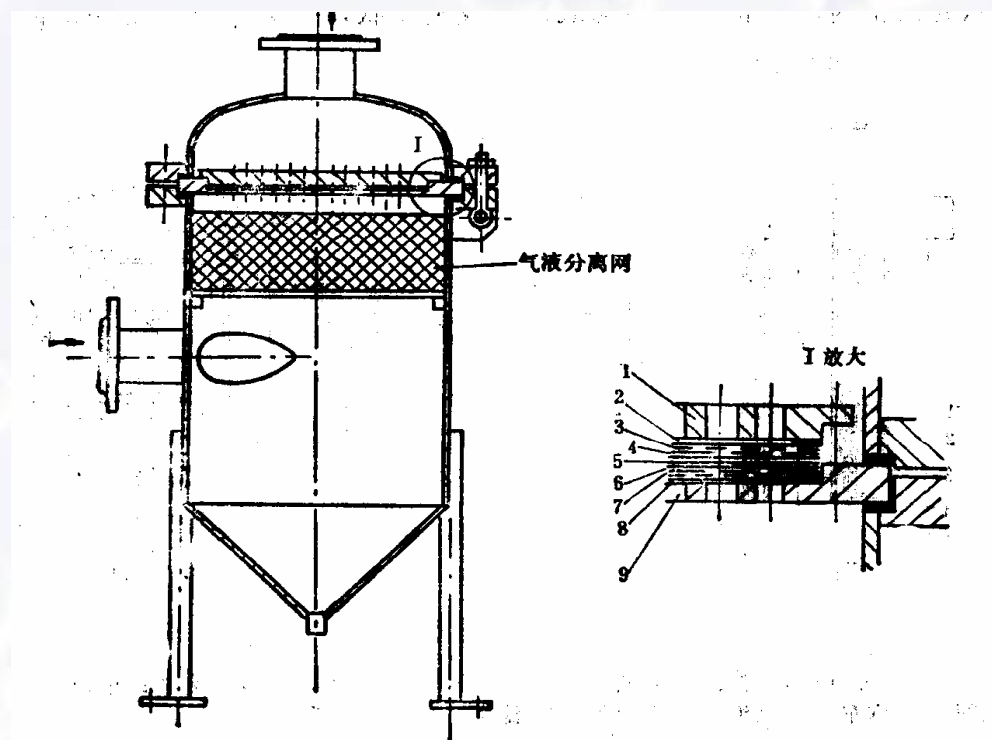


图 4-14 平板过滤器

1—上孔板 2—垫圈 3—铜丝网 4—麻布 5—滤纸 6—麻布 7—铜丝网 8—垫圈 9—下孔板

3, 金属过滤器

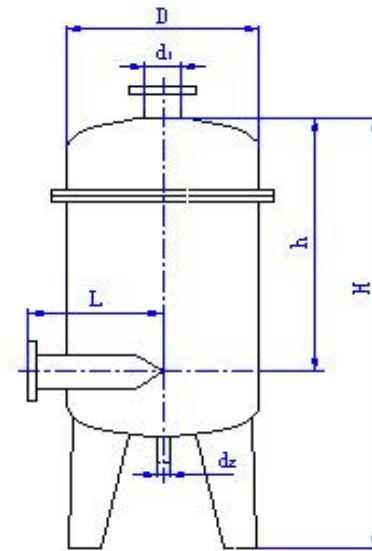
(1) 过滤器



外壳图



外壳滤芯
接口图

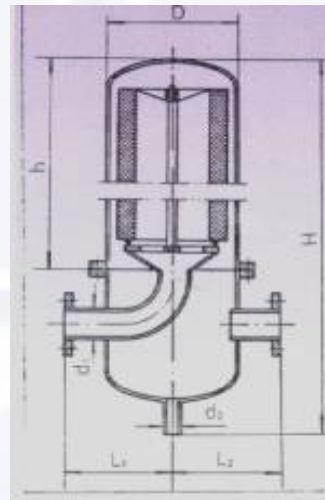


外壳示意图

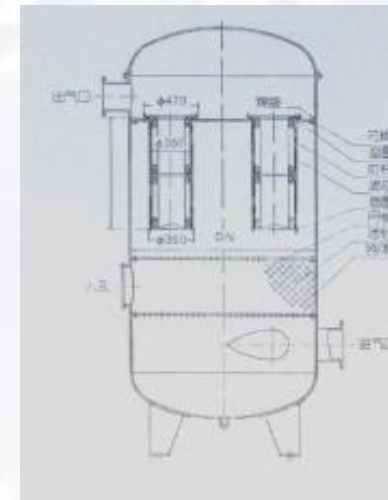
(2) 预过滤器



气体预过滤器外壳图



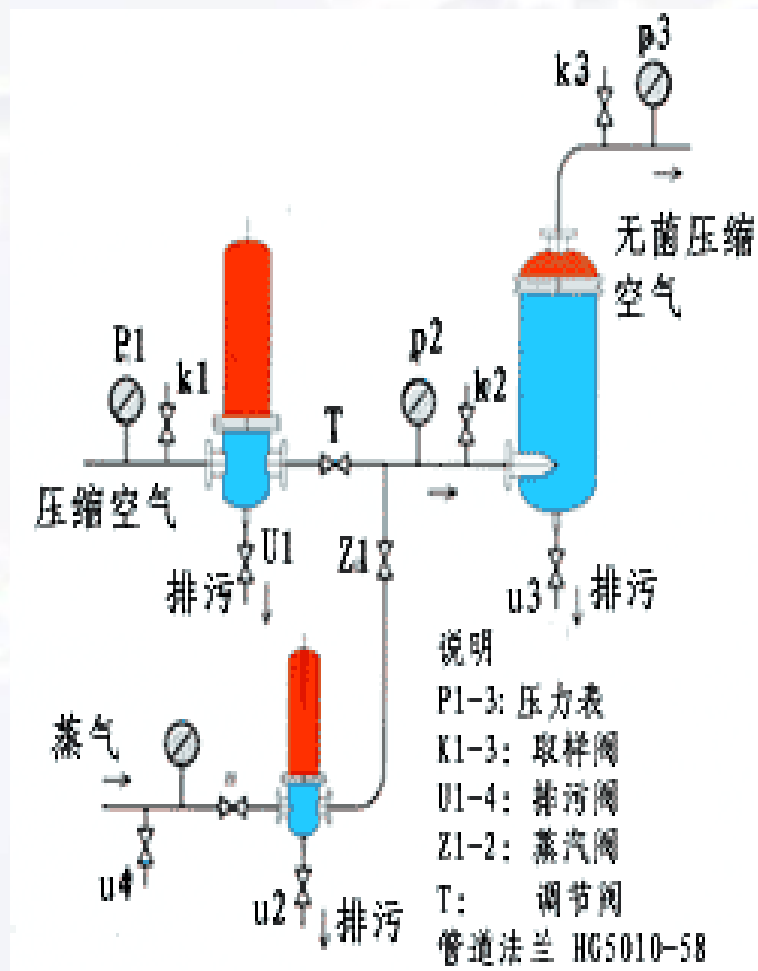
气体预过滤器结构图（单芯）



气体预过滤器结构图（多芯）

(3) 过滤系统

- 过滤系统由金属过滤器、预过滤器及蒸汽过滤器组成。预过滤器的作用是将空气前处理系统中的铁锈等杂物进行预滤。蒸汽过滤器则是阻挡蒸汽管路中的锈蚀物和锅炉污垢等杂质。上述二种过滤器的功能是保护金属过滤器，延长其使用寿命。

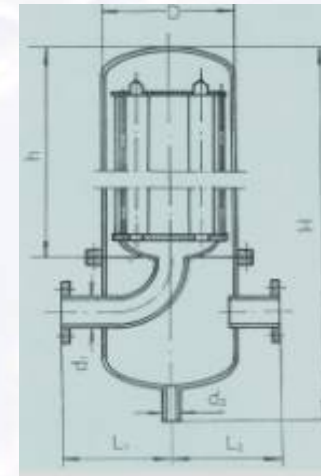
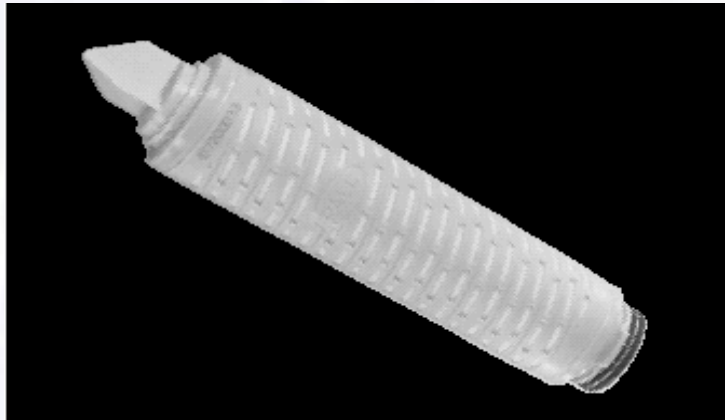


(4) 主要技术参数

- 过滤效率：99.9%
- 过滤微粒直径 $\geq 0.2 \mu\text{m}$
- 过滤介质：预过滤器为中空玻璃纤维或高效过滤纸，蒸汽过滤器为聚四氟乙烯，金属过滤器为金属粉末镍冶炼而成。
- 最大工作压力：0.8MPa
- 工作温度：预过滤器 $\leq 130^\circ\text{C}$ 蒸汽过滤器 $\leq 130^\circ\text{C}$ 金属过滤器 $\leq 130^\circ\text{C}$
- 气体阻力：在额定流量下，进口压力0.1MPa时，初始压降小于0.01MPa。

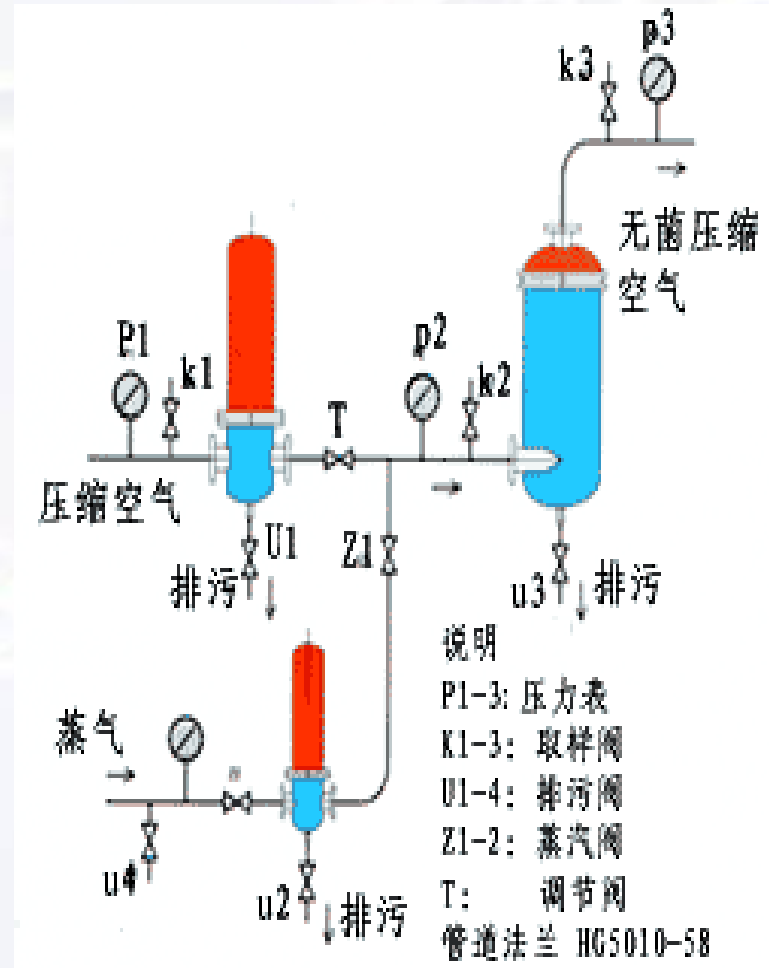
5, 膜过滤

(1) 示意图



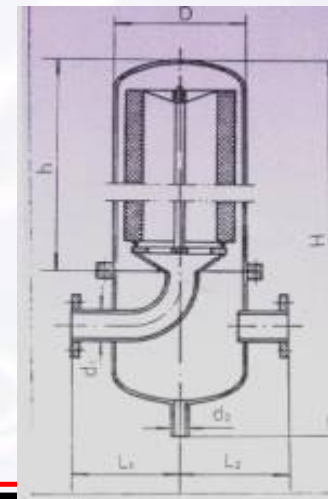
(2) 系统组成

- 蒸汽过滤器
- 预过滤器（粗）
- 除菌过滤器（精）



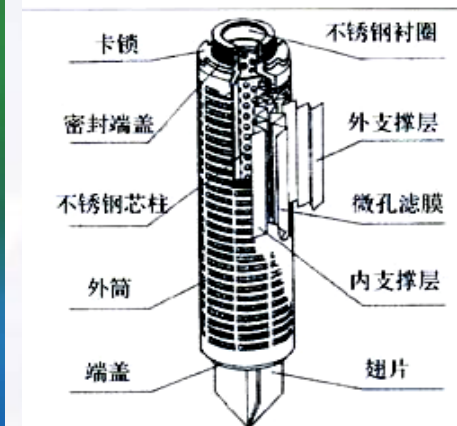
预过滤器

- 形式：以管式、袋式、折叠式为主，也可以是填充床式、浮动床式的过滤器，以及离心机、真空机等过滤器材。
- 预过滤器一般选用深层过滤器，在使用过程中要求有低的压降、高的容尘量和变动幅度小的过滤精度和效率。
- 过滤介质：玻璃纤维复合毡（聚丙烯纤维复合毡）。
- 技术参数：
 - 过滤精度: $0.3-0.5 \mu\text{m}$
 - 过滤效率: 95%-99.9%
 - 初始压差: $\leq 0.005\text{MP}$
 - 工作温度: $\leq 80^\circ\text{C}$
 - 可耐最大压差: 0.08MPa



除菌过滤器

- 形式以板框式、管式、折叠式为主
- 过滤介质：微过滤膜（聚偏氟乙烯膜、聚四氟乙烯膜、聚砜膜、聚酰胺膜等。）
- 除菌过滤应具备的特点：
 - ①高的过滤精度；
 - ②大的通过量；
 - ③能耐反复的消毒操作；
 - ④强的疏水性；
 - ⑤足够的使用强度。



- 技术参数

- 过滤精度：0.01 μm
- 过滤效率：99.9999%
- 工作温度： $<60^{\circ}\text{C}$
- 能耐最大压差：0.4MPa (25°C ，正向)
- 蒸汽灭菌： $125^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，每次30min，可达160次

- 各级过滤的配置

- 各级过滤的配置问题主要有通过量与精度两个方面，不同的物料处理流程是有区别的。例如：在无菌空气的处理中，压缩机的前置过滤器精度一般为 $>5\mu\text{m}$ ，压缩机后的除油过滤器，出气含油量要求 $\leq 3\times 10^{-6}\text{mg/ml}$ ，总过滤器的过滤精度一般为 $0.5\mu\text{m}$ ，过滤效率95%左右，预过滤器的过滤精度为 $0.3\mu\text{m}$ ，过滤效率约99%，除菌过滤器的精度为 $0.01\mu\text{m}$ ，过滤效率99.9999%以上。

- 消毒问题

- 滤芯（器）消毒是一个日常操作工序。滤芯常见的消毒方法有蒸汽、热水和化学试剂消毒三种。
- 蒸汽消毒要注意选择饱和蒸汽，一则是可以可靠杀死细菌，二则是可通过控制压力来调节温度。蒸汽消毒对于疏水滤芯来说相对是简单的，但对亲水滤芯特别是膜材料耐温度不高的滤芯来说，操作方法是至关重要的

空气过滤器的操作要点

- 为了使空气过滤器始终保持干燥状态，当过滤器用蒸气灭菌时，应事先将蒸汽管和过滤器内部的冷凝水放掉，灭菌蒸气的压力应保持在0.17~0.2MPa(表压)。开始时先将夹套预热(有的空气过滤器无夹套则不需预热)，然后将蒸汽直接冲入介质层中：小型过滤器的灭菌时间约为半小时，蒸汽从上向下冲；大型过滤器的灭菌时间约为1h，蒸汽一般先从下向上冲半小时，再从上向下冲半小时。过滤器灭菌后应立即引入空气，以便将介质层内部的水分吹出，但温度不宜过高，以免介质被烤焦或焚化。蒸汽压力和排气速度不宜过大，以避免过滤介质被冲翻而造成短路。
- 在使用过滤器时，如果发酵罐的压力大于过滤器的压力(这种情况主要发生在突然停止进空气或空气压力忽然下降)，则发酵液会倒流到过滤器中来。因此，在过滤器通往发酵罐的管道上应安装单向阀门，操作时必须予以注意。

三、附属设备

1, 粗过滤器

- ✓ 作用：是捕集较大的灰尘颗粒，防止压缩机受磨损，同时也可减轻总过滤器负荷。
- ✓ 要求：过滤效率要高，阻力要小；否则会增加压缩空气的吸入负荷和降低压缩空气机的排气量。
- ✓ 常用的粗过滤器有：
 - 布袋过滤
 - 填料过滤
 - 油浴洗涤
 - 水雾除尘

- (1) 布袋过滤装置
- (2) 油浴洗涤装置
- (3) 水雾除尘装置
- (4) 填料式过滤器

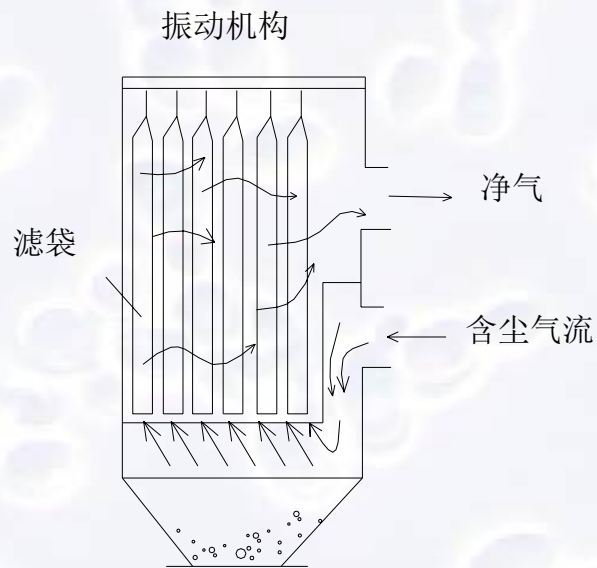


图4-7 机械振动袋式除尘器

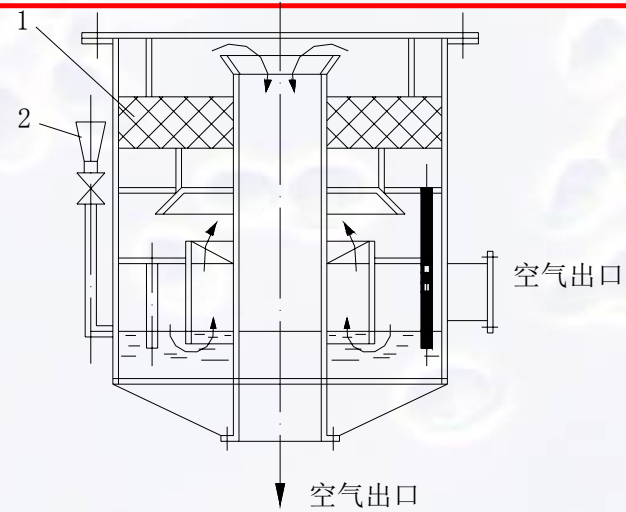


图4-8 油浴洗涤装置
1-滤网 2-加油斗 3-油镜 4-油层

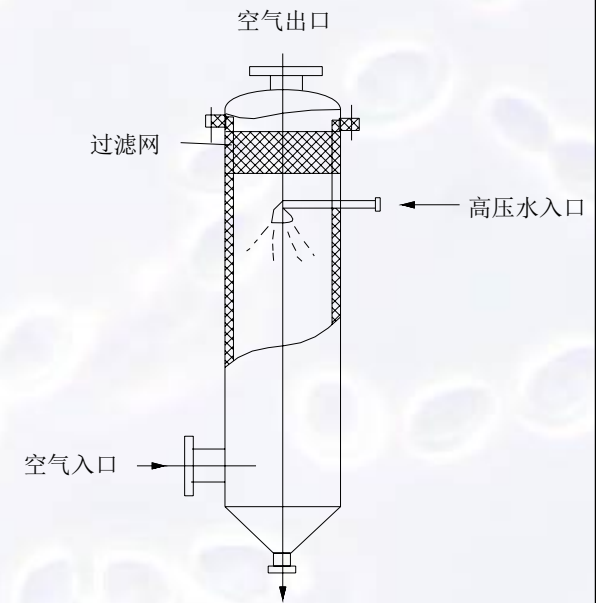


图4-9 水雾除尘装置

2, 空气贮罐

作用：是消除压缩机排出空气量的脉动，维持稳定的空气压力，同时也可以利用重力沉降作用分离部分油雾。

贮罐的大小可按下面的经验公式计算：

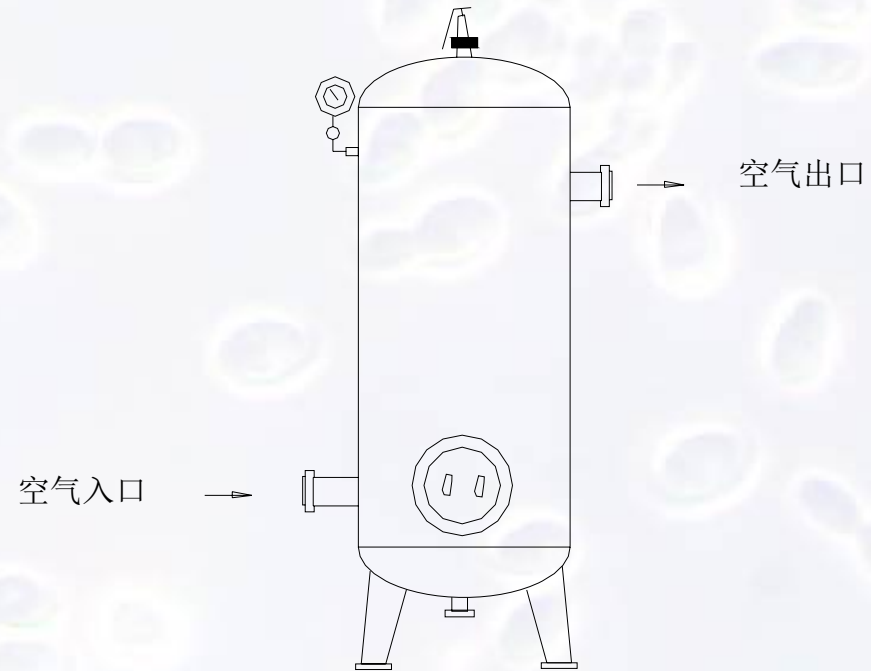


图4-10 空气贮罐示意图

$$V = 0.1 \sim 0.2 W$$

式中 V —— 贮罐容积(米³)

W —— 压缩机的排气量(米³/分)

3, 气液分离器

旋风式

填料式

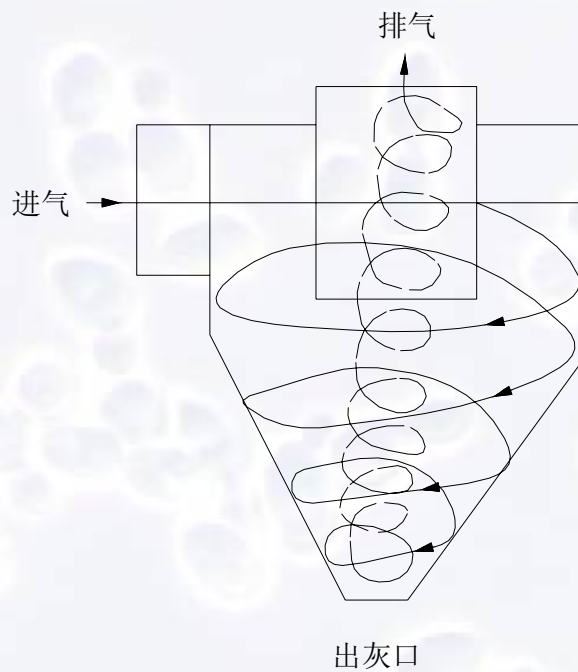


图4-11 旋风分离器

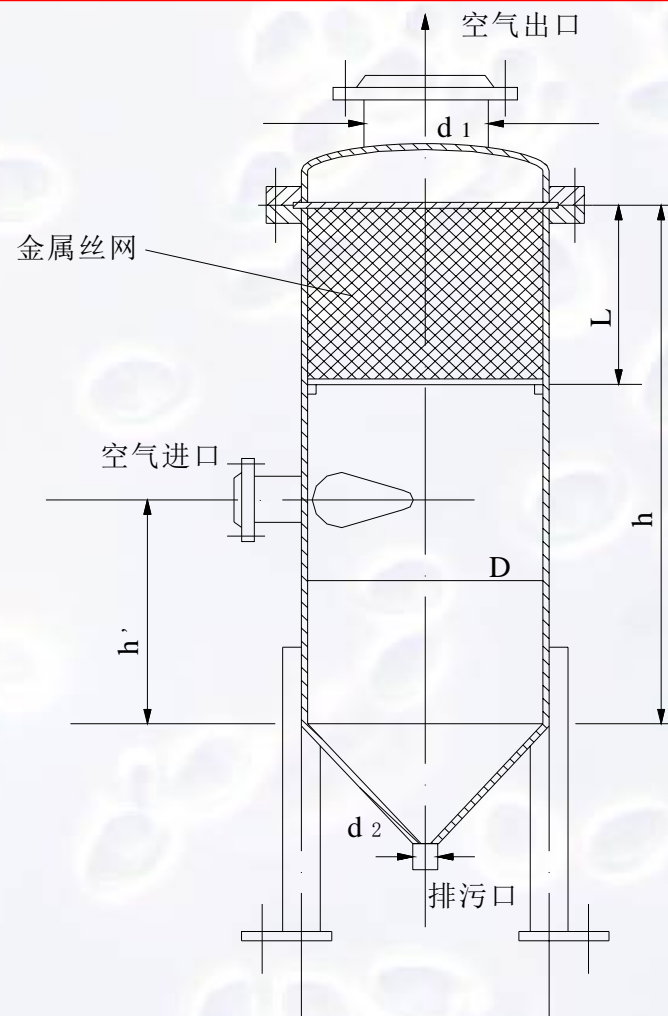


图4-13 丝网分离器示意图 89

4, 空气冷却器

列管式热交换器

沉浸式热交换器

喷淋式热交换器

