



过滤原理

Pall Life Sciences

SLS Biotech

Clarence Yu 俞爱敏

M: 18121292400

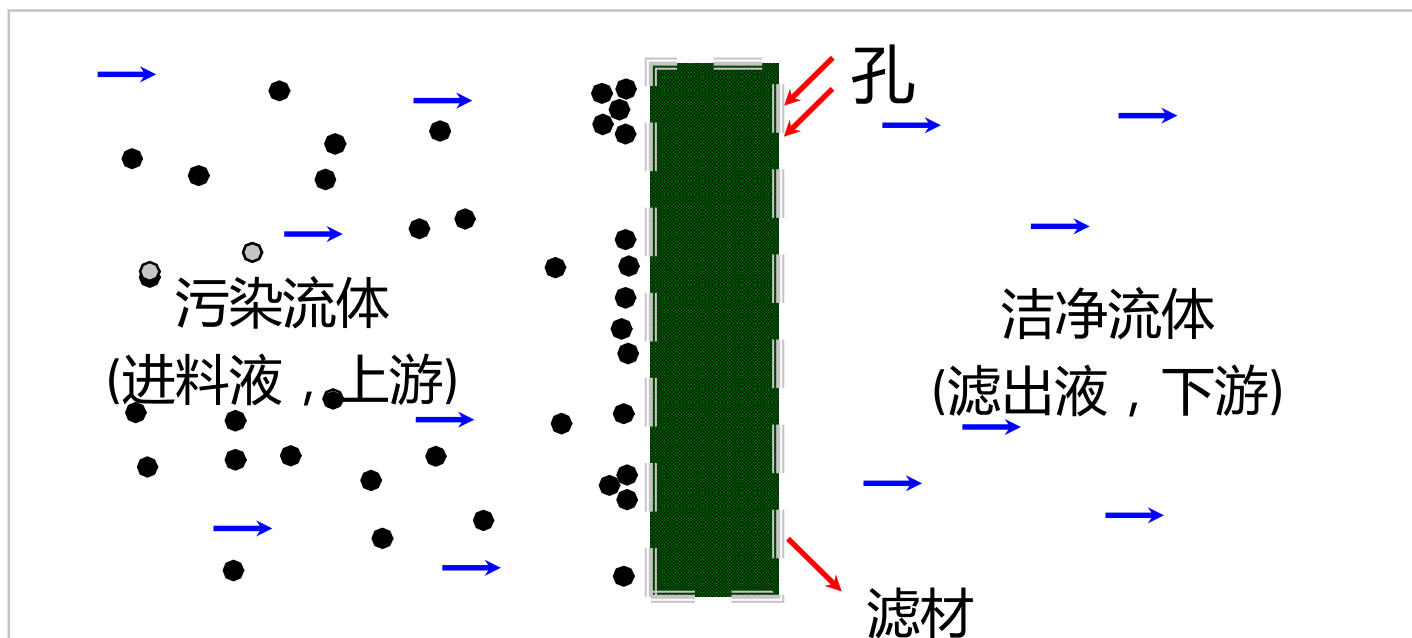
E : aimin_yu@pall.com

Continuously Improving Bioprocesses

This presentation is the work product of Pall Corporation and no portion of this presentation may be copied, published, performed, or redistributed without the express written authority of a Pall corporate officer. © 2018 Pall Corporation.

过滤

- 利用有孔介质从流体(液体或气体)中除去污染物



小颗粒的相对尺寸

100 μm

80 人发直径

60

40 裸眼可见最小颗粒

20

花粉

10

8.0 红细胞

6.0 酵母和真菌

5.0



沙雷氏菌

假单胞菌

4.0 μm

3.0

2.0

1.0

0.8

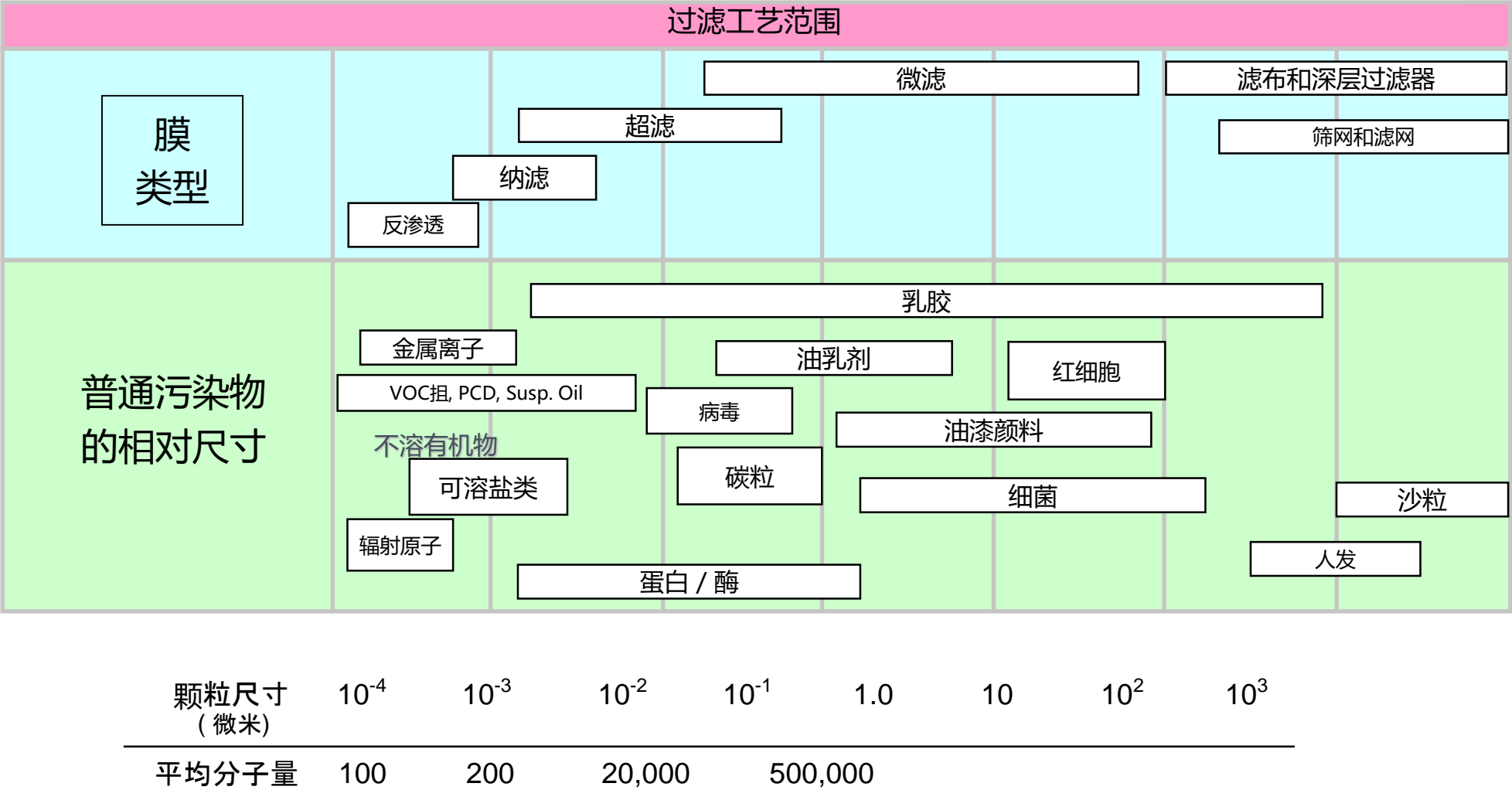
0.6

0.5

0.4

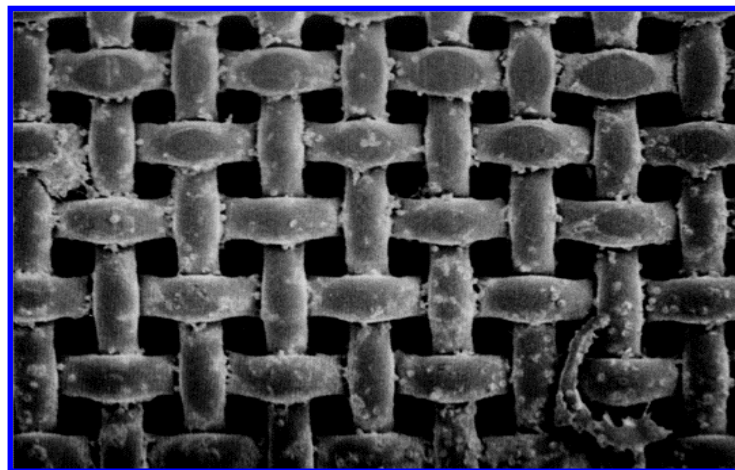
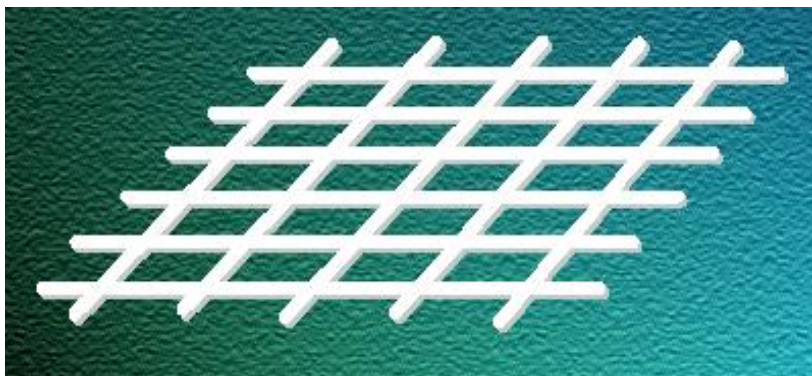
0.3

过滤/分离范围



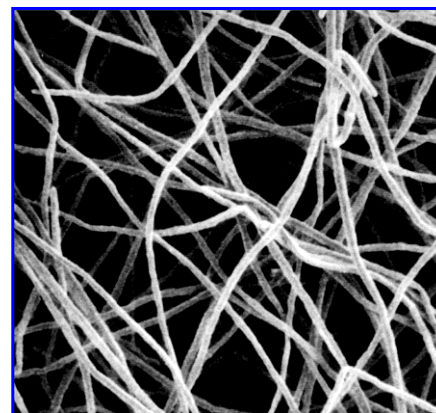
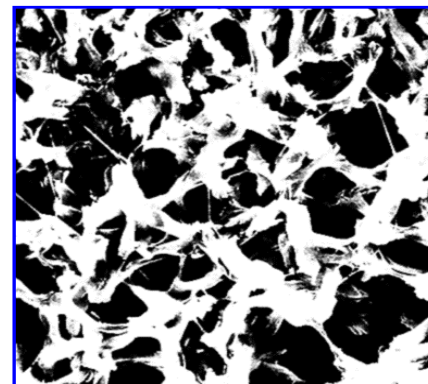
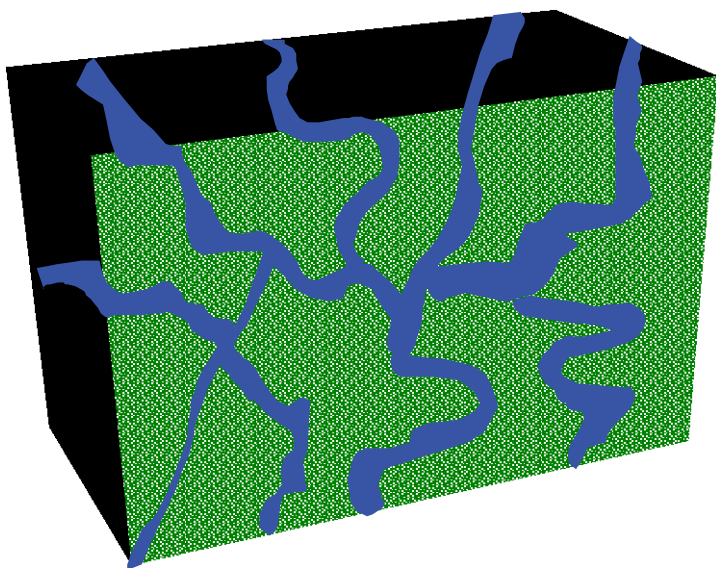
过滤器的功能

- 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，颇尔生产的过滤器滤材具有深度。“弯曲通道”的结果对于污染物的去除起到了辅助作用



三种过滤机制

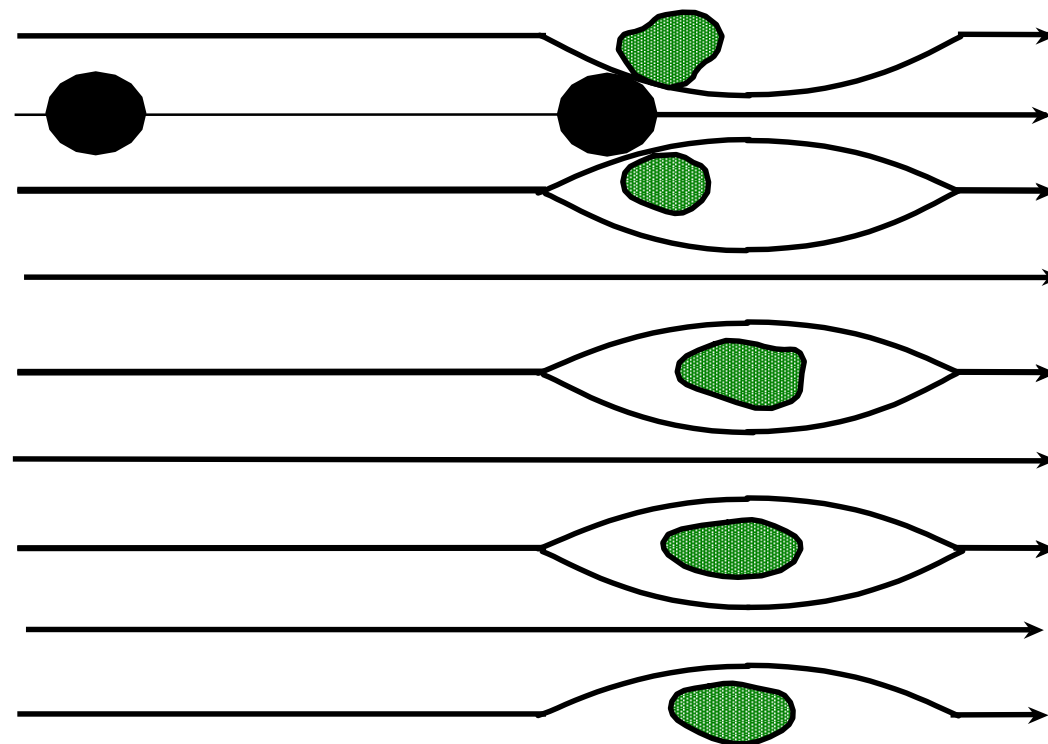
- ▶ 直接拦截
- ▶ 惯性撞击
- ▶ 扩散拦截

直接拦截

- ▶ 液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



- ▶ 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

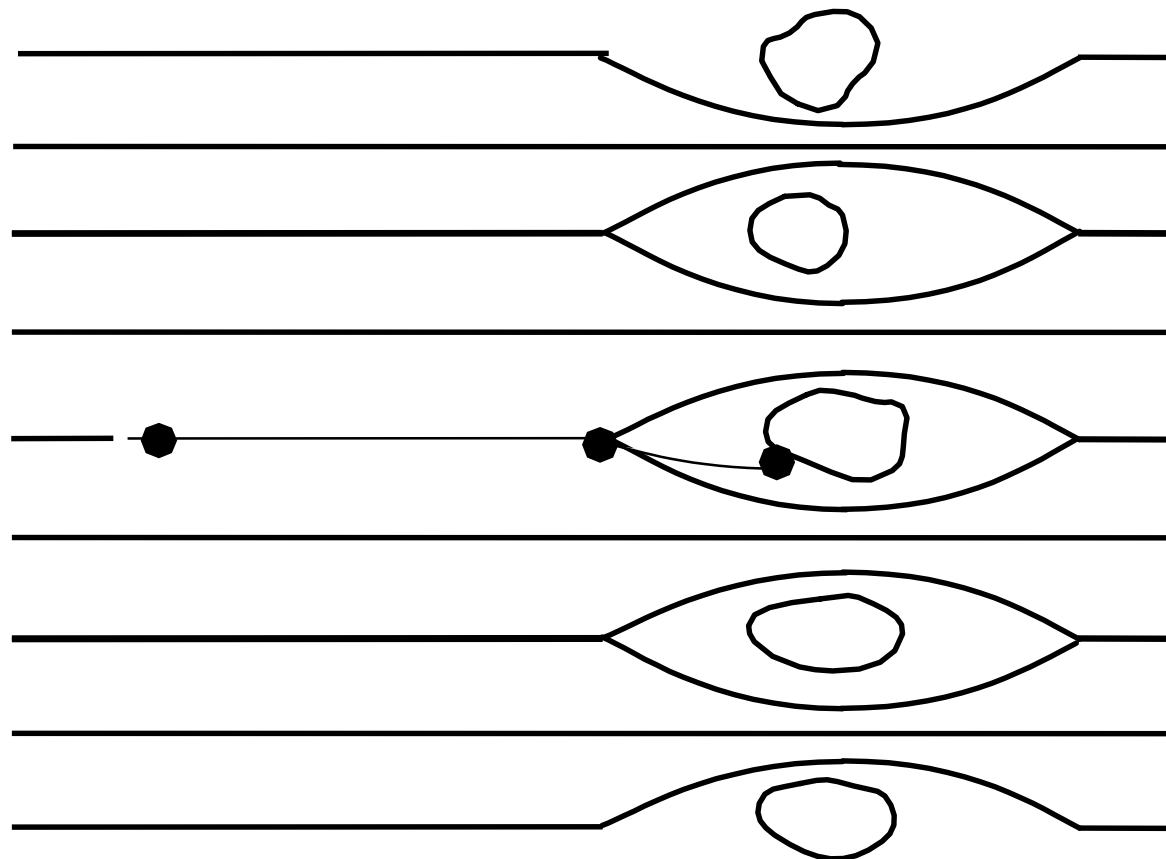
- ▶ 通过搭桥作用，尺寸小于滤孔的颗粒也可被拦截
 - 不规则形状的颗粒 / 方向性
 - 多个颗粒同时撞击到同一个滤孔



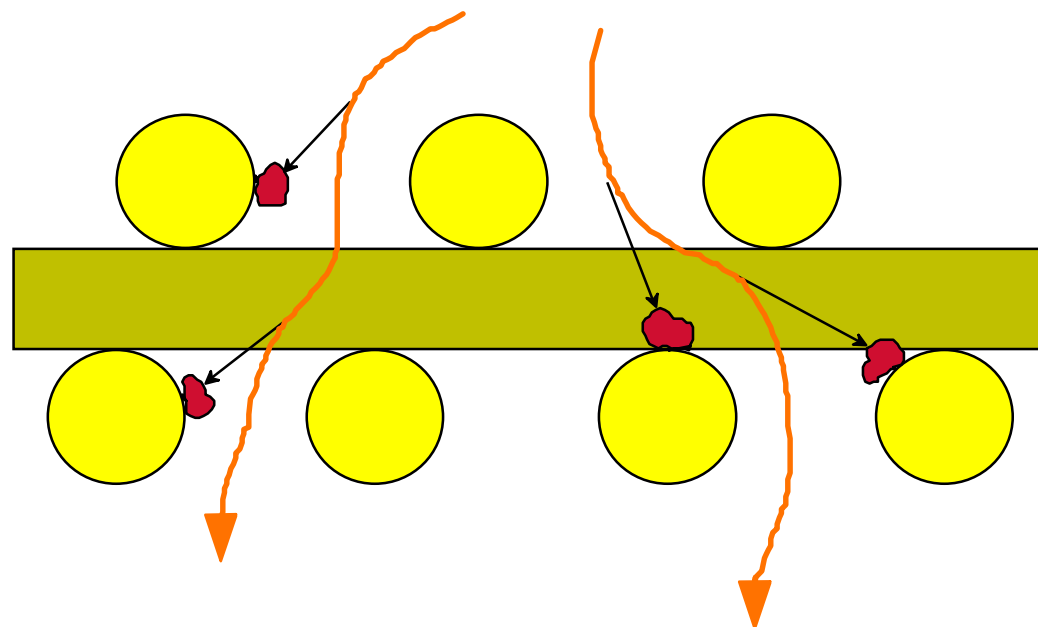
惯性撞击

- ▶ 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，因吸附力的存在颗粒便停留在撞击表面

惯性撞击

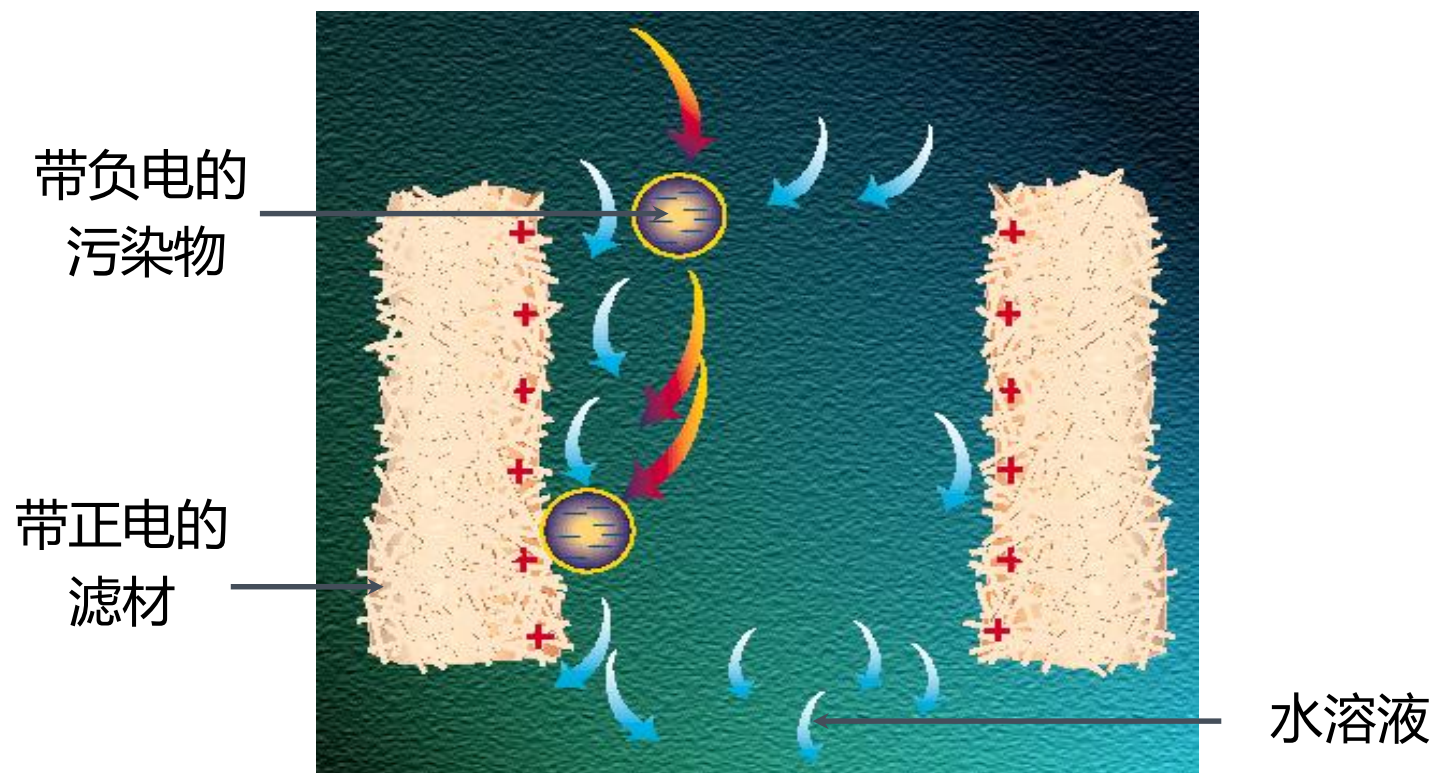
- ▶ 颗粒被机械拦截或被吸附拦截
- ▶ 在气体中比在液体中更有效.
- ▶ 对大于0.5 - 1.0微米的颗粒很有效.

液体过滤的辅助方式

- ▶ Zeta 正电势:
 - 滤材所带的正电荷捕捉带负电的污染物
- ▶ 絮凝:
 - 添加高分子电解质 (例如淀粉) 使细颗粒凝聚成较大的颗粒进而形成滤饼
- ▶ 助滤剂:
 - 添加助滤剂 (例如：硅藻土) 以形成滤饼

Zeta 正电势

- 带电的颗粒将被带相反电荷的滤材表面吸引并由于这些力而被牢固阻截



Zeta 正电势

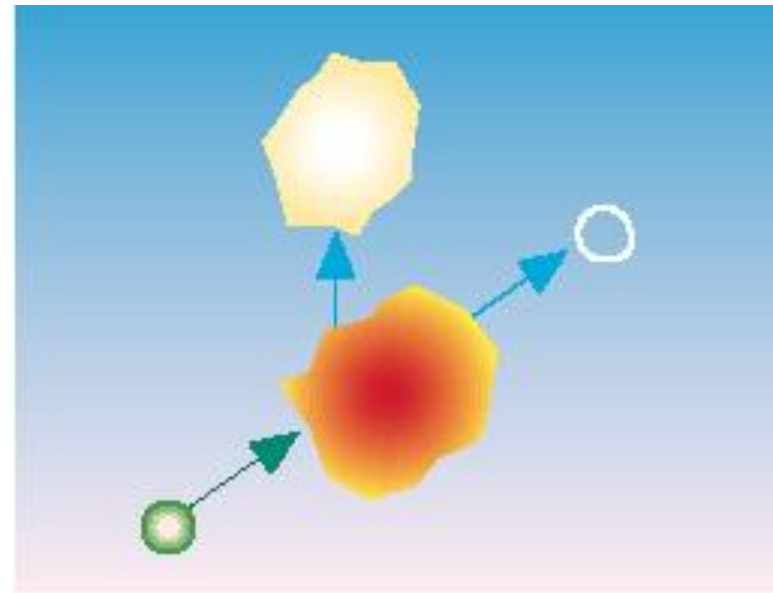
大多数需过滤的颗粒都带负电，例如：

- ▶ 细菌
- ▶ 支原体
- ▶ 病毒
- ▶ 酵母
- ▶ 硅颗粒
- ▶ 细菌内毒素 (热源)
- ▶ 蛋白分子

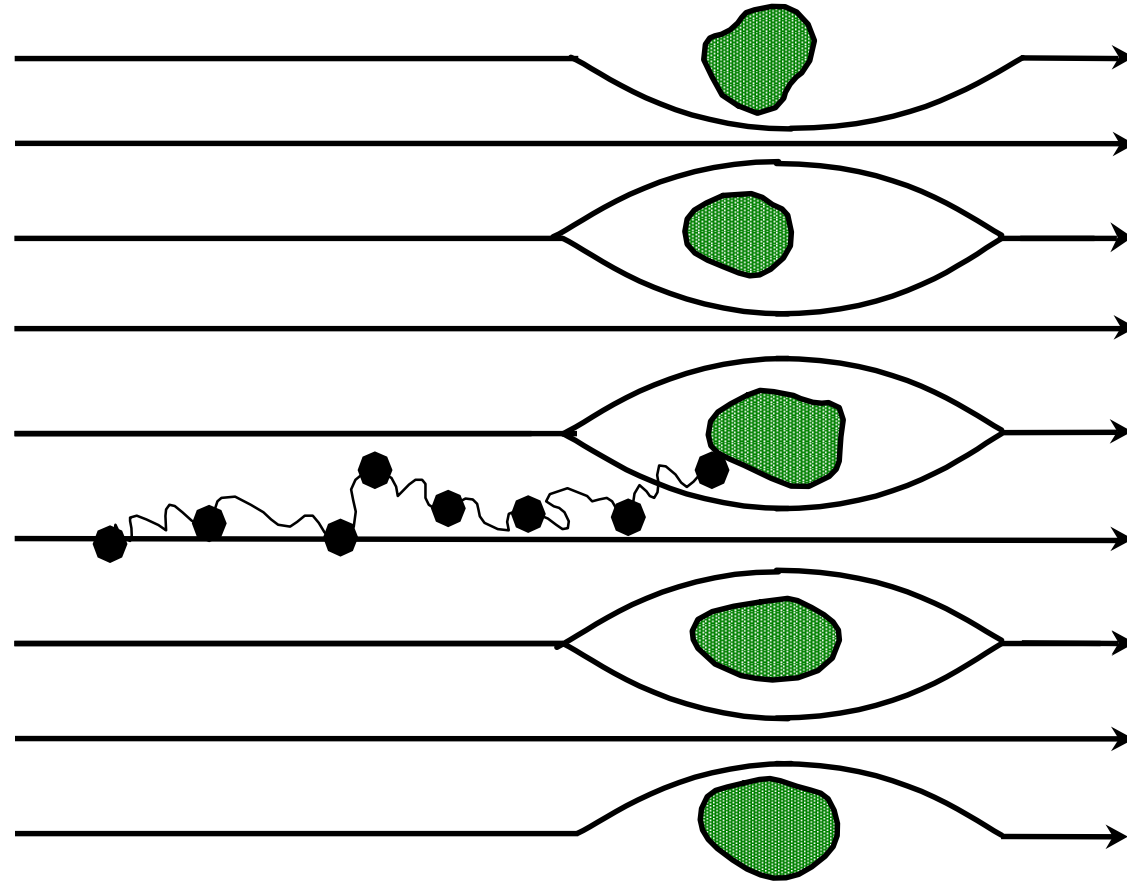
扩散拦截

- ▶ 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

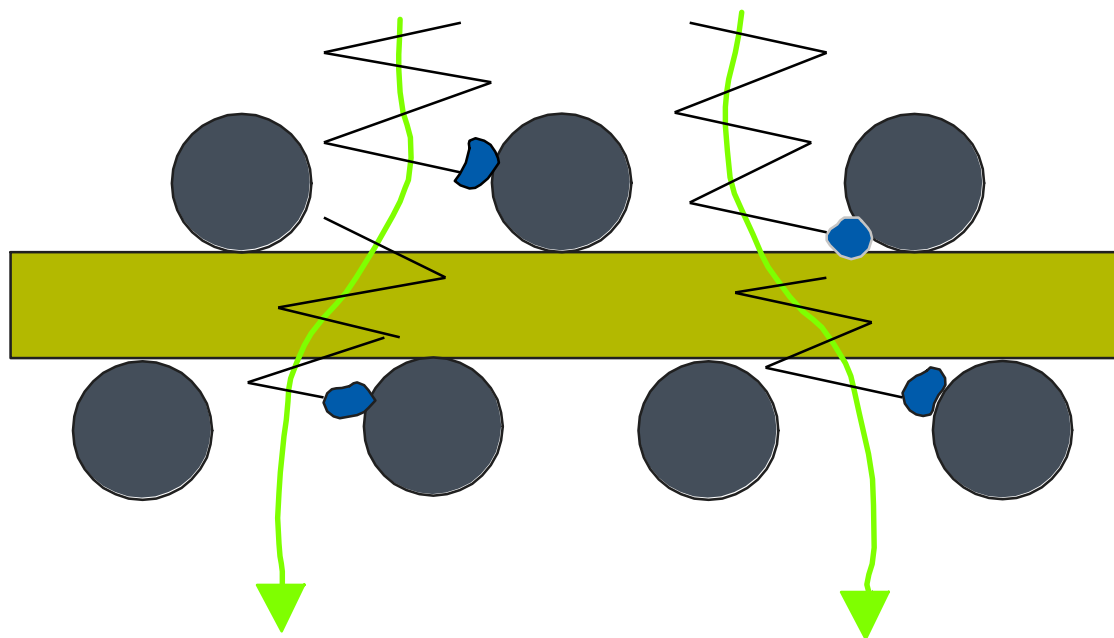
分散在气体分子中的小颗粒
或雾滴受到撞击发生位移



扩散拦截



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

弯曲通道增加过滤机制的有效性

扩散拦截

- ▶ 气体过滤器能够去除尺寸远小于其液体精度的污染物
- ▶ 对细小颗粒 (小于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

小结

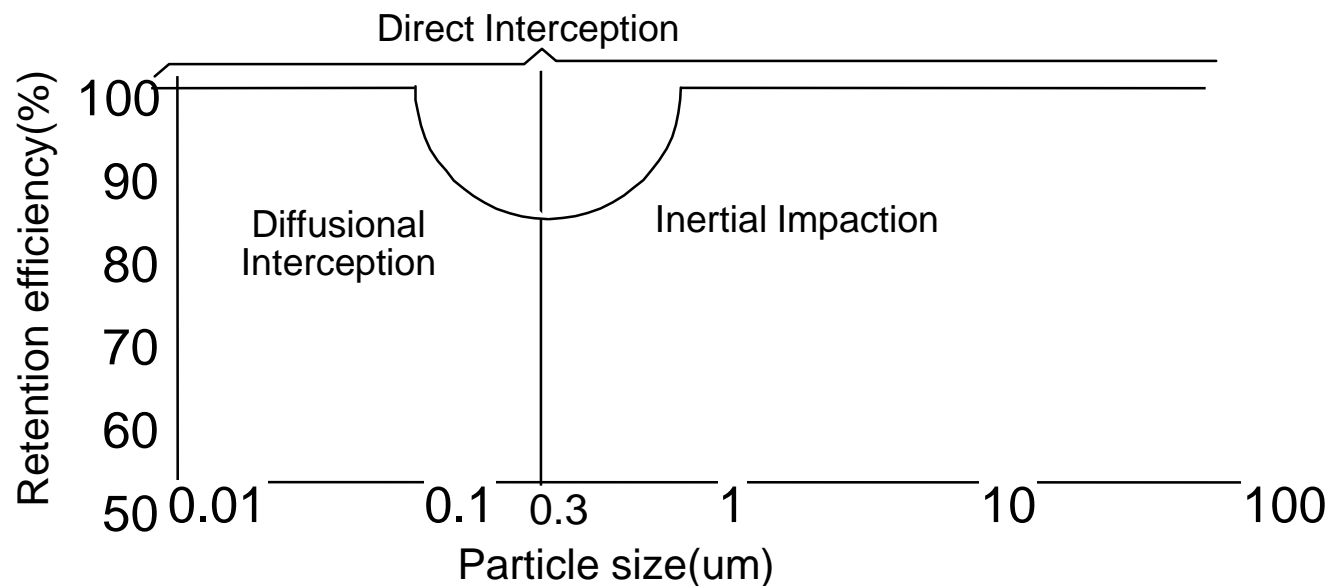
过滤介质的过滤 / 分离效率由于

直接拦截

惯性撞击

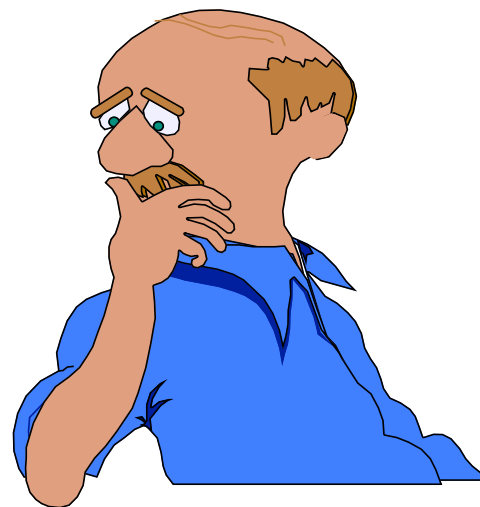
扩散拦截

共同作用而增强



如何确定过滤器的性能呢？

依据绝对精度或公称精度

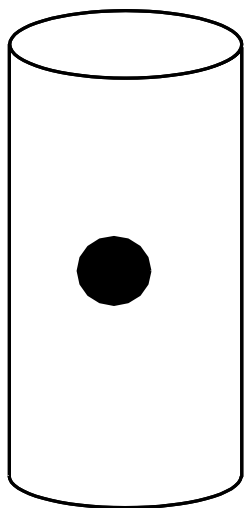


公称精度

- **公称精度的定义：基于大于或等于给定尺寸所有颗粒的某一去除重量百分数，由过滤器厂商指定的有争议的微米数值。它几乎没有好的详细说明，也无再现性。**

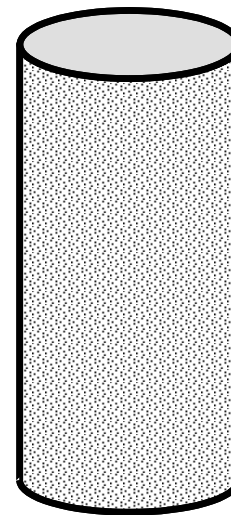
1. 有争议的微米精度
2. 由制造商自己指定
3. 去除重量百分比
4. 可变的、不可再现的下游流体质量
5. 非固定孔结构

重量与数量



One $\frac{1}{2}$ " marble
in a barrel.

$\approx 12.6 \text{ mg/l} \approx$



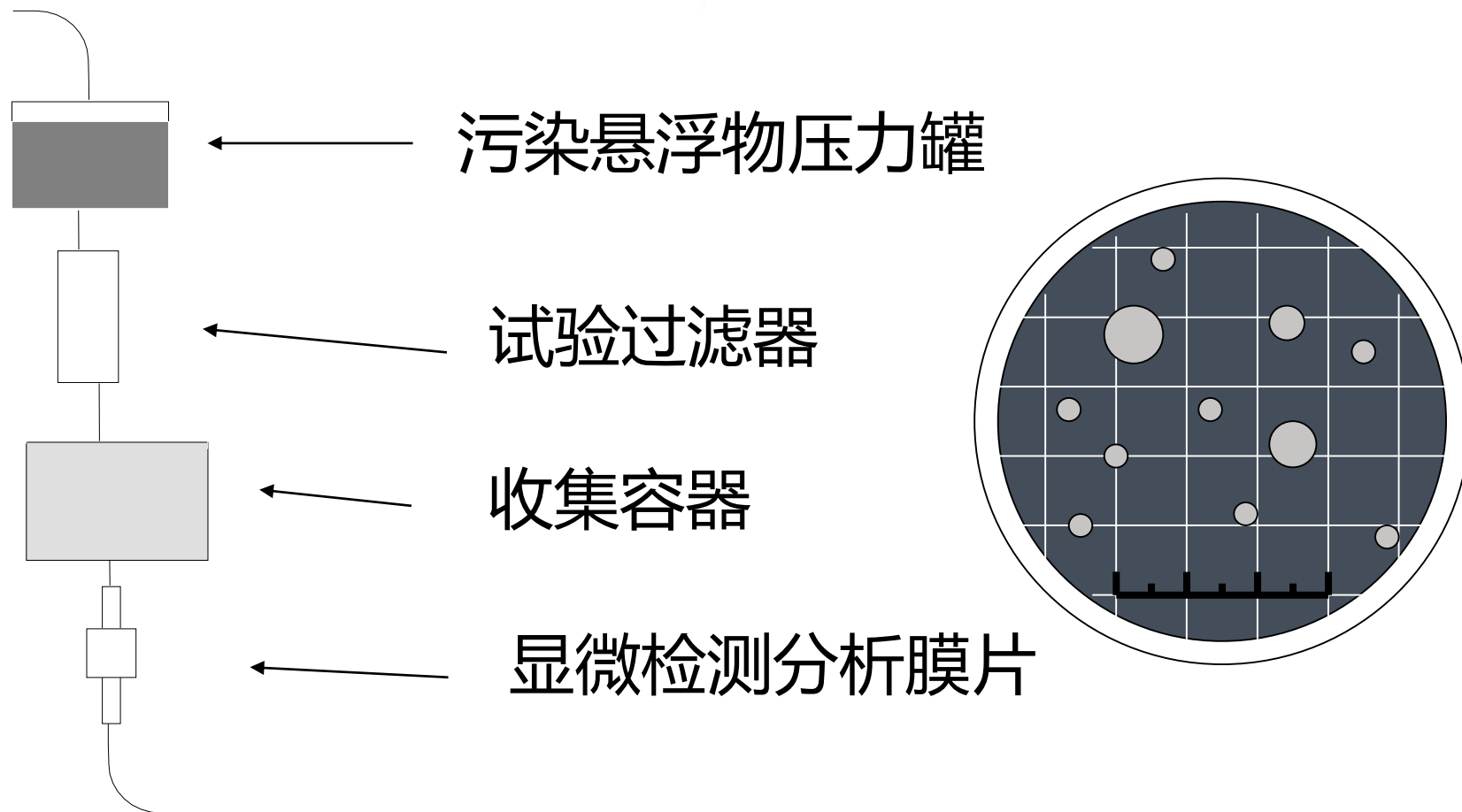
256 billion
 $2 \mu\text{m}$ particles

独创的绝对精度

定义

- 在指定试验条件下能够通过过滤器的最大刚性球形颗粒的直径。
- 它是过滤器元件中最大开孔的标志。

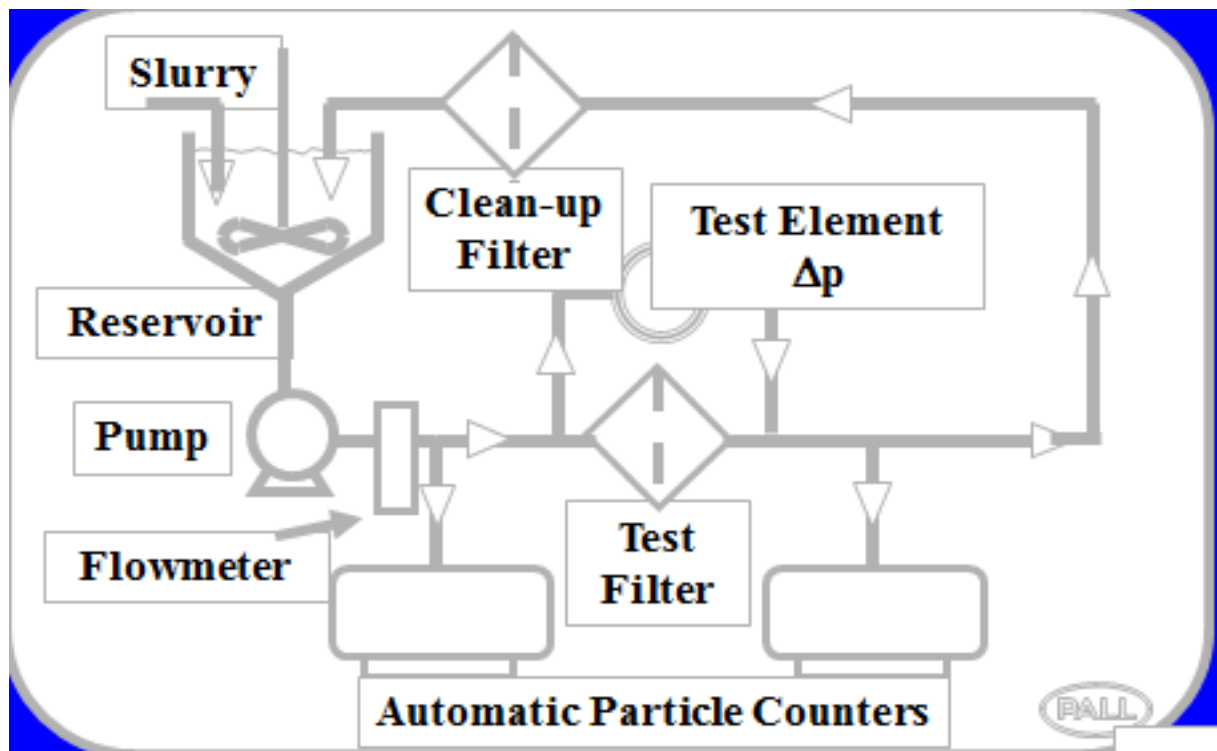
绝对精度试验程序



过滤精度挑战试验方法(> 1 μm)

微粒挑战

- 玻璃珠
- 中等硅土试验粉尘
- 粗硅土试验粉尘
- 乳胶球形颗粒
- 聚苯乙烯球形颗粒



结果表达

由计数器读数计算 “过滤比”
或称 “Beta 比” , 符号 β

$$\beta_x = \frac{\text{上游大于直径 } x \text{ 的微粒数}}{\text{下游大于直径 } x \text{ 的微粒数}}$$

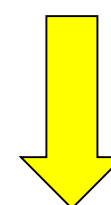
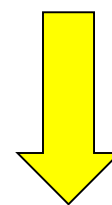
Beta 值

1,000,000
Particles $>X_{\mu\text{m}}$



下游微粒数

效率



$\beta_x=2$

500,000

50%

$\beta_x=20$

50,000

95%

$\beta_x=75$

13,000

98.7%

$\beta_x=200$

5,000

99.5%

$\beta_x=1000$

1,000

99.9%

$\beta_x=5000$

200

99.98%

| Liquids | | | | |
|---------|-----------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| Code | Absolute Retention Rates ⁽²⁾ | | | |
| | $\beta \geq 5000$ (> 99.98%) | $\beta = 1000$ (99.9%) | $\beta = 100$ (99%) | $\beta = 10$ (90%) |
| 003 | 0.3 $\mu\text{m}^{(3)}$ | < 0.3 ⁽³⁾ | < 0.3 ⁽³⁾ | < 0.3 ⁽³⁾ |
| 005 | 0.5 $\mu\text{m}^{(3)}$ | < 0.5 ⁽³⁾ | < 0.5 ⁽³⁾ | < 0.5 ⁽³⁾ |
| 010 | 1.0 μm | 0.5 ⁽³⁾ | < 0.5 ⁽³⁾ | < 0.5 ⁽³⁾ |
| 020 | 2.0 μm | 1.5 | 1.0 | < 1.0 ⁽³⁾ |
| 030 | 3.0 μm | 2.5 | 1.8 | < 1.0 ⁽³⁾ |
| 050 | 5.0 μm | 4.0 | 3.0 | 2.0 |
| 100 | 10.0 μm | 9.0 | 7.5 | 6.5 |
| 150 | 15.0 μm | 13.0 | 10.0 | 8.0 |
| 200 | 20.0 μm | 18.0 | 14.0 | 10.0 |
| 300 | 30.0 μm | 26.0 | 18.0 | 14.0 |
| 400 | 40.0 μm | 35.0 | 30.0 | 20.0 |

Beta标定过滤器的特征

- 截留微粒尺寸清楚
- 流体质量能够再现
- 固定孔结构
- 公认的精度标准

过滤精度挑战试验方法(< 1 µm)

生物学挑战

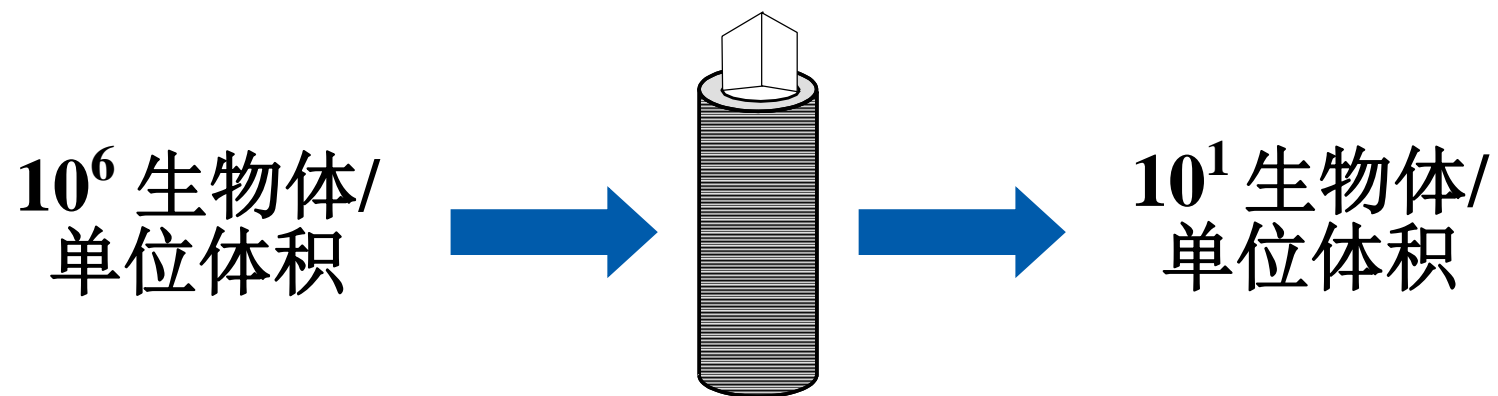
- 细菌
- 支原体
- 噬菌体
- 热原

对亚微米过滤器过滤效率用滴度降表示

T_R (Titre Reduction)

$$T_R = \frac{\text{滤前流体中生物体数量}}{\text{滤后流体中生物体数量}}$$

滴度降 (T_R)



$$T_R = \frac{10^6}{10^1} = 10^5 \quad \text{或 } 99.999\% \text{ 去除效率}$$

滴度降

▪ T_R （针对不同精度）：

| Rating | Challenge Organism | Typical TR | LTR, LRV |
|--------------------|---------------------------------|--------------------|------------|
| 0.8 μm | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | $>10^6$ | >6 |
| 0.65 μm | <i>Oenococcus oenos</i> | $>10^7$ | >7 |
| 0.45 μm | <i>Serratia marcescens</i> | $>10^4 - >10^{11}$ | $>4 - >11$ |
| 0.2 μm | <i>Brevundimonas diminuta</i> | $>10^4 - >10^{11}$ | $>4 - >11$ |
| 0.1 μm | <i>Acholeplasma laidlawii</i> | $>10^4 - >10^{11}$ | $>4 - >11$ |
| 50 nm | Bacteriophage PR772 | $>10^6$ | >6 |
| 20 nm | Bacteriophage PP7 | $>10^3$ | >3 |

滤材类型

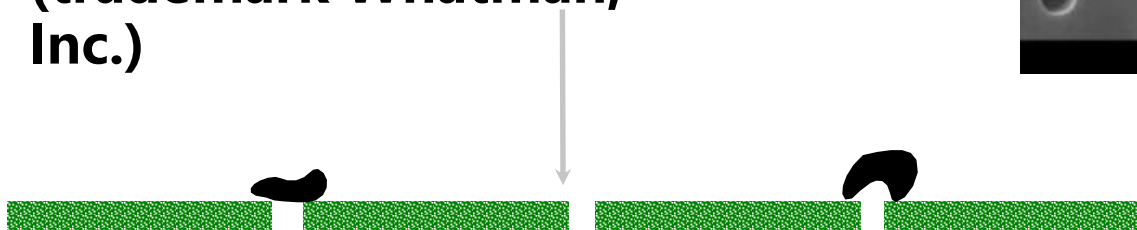
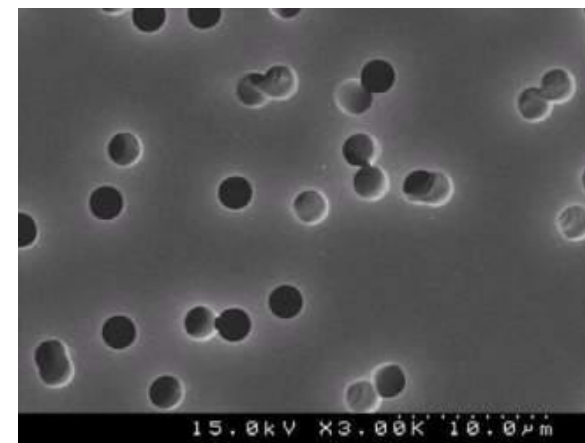
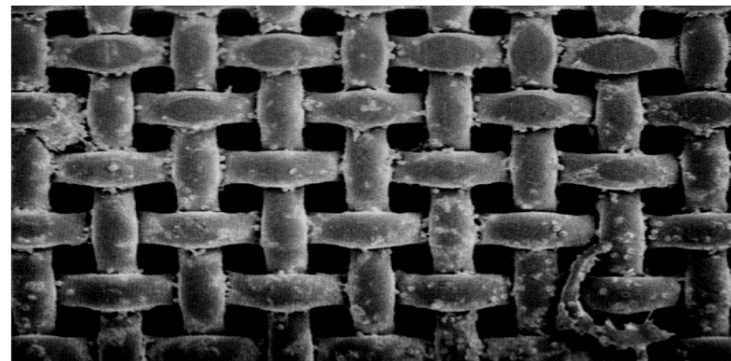
通常，过滤器滤材可分为两类：

- ▶ 表面过滤介质
- ▶ 深度过滤介质

* 过滤器制造商对这些术语的
正式定义还未达成一致

表面过滤介质

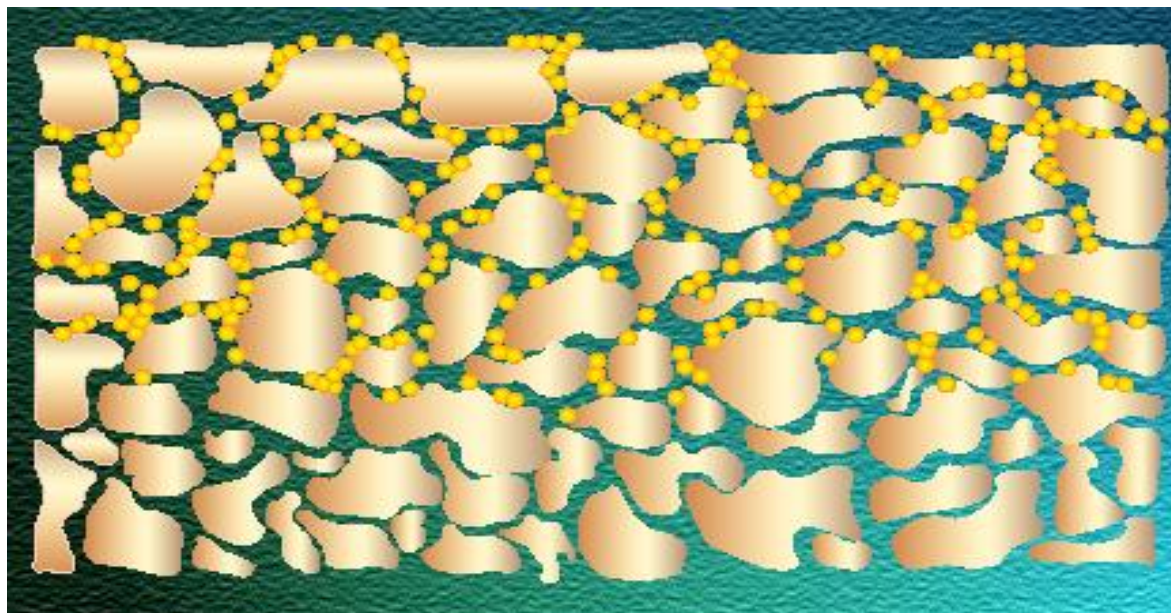
- 所有滤孔在同一个平面上
- 依靠直接拦截捕获颗粒
- 举例
 - 编织网状
 - 织物
 - 金属丝编织
 - Polycarbonate薄膜
 - e.g. “Nuclepore”
(trademark Whatman, Inc.)



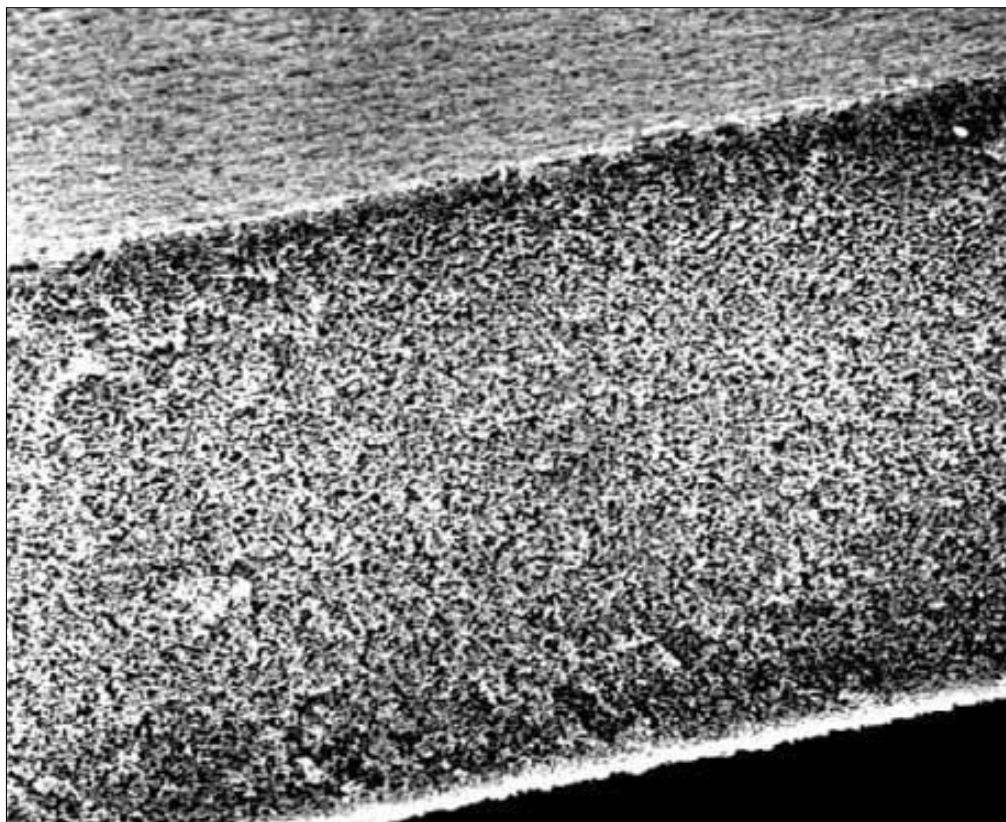
Source: <http://uts.cc.utexas.edu/~chkj033/Pictures/poresize.JPG>

深度过滤介质

- ▶ 污染物捕获于介质内部结构的一种过滤介质，其滤孔遍布整个介质厚度。
- ▶ 变化的流体通道可以获得更高容污能力



0.2 μm 精度多孔滤膜横截面电镜照片

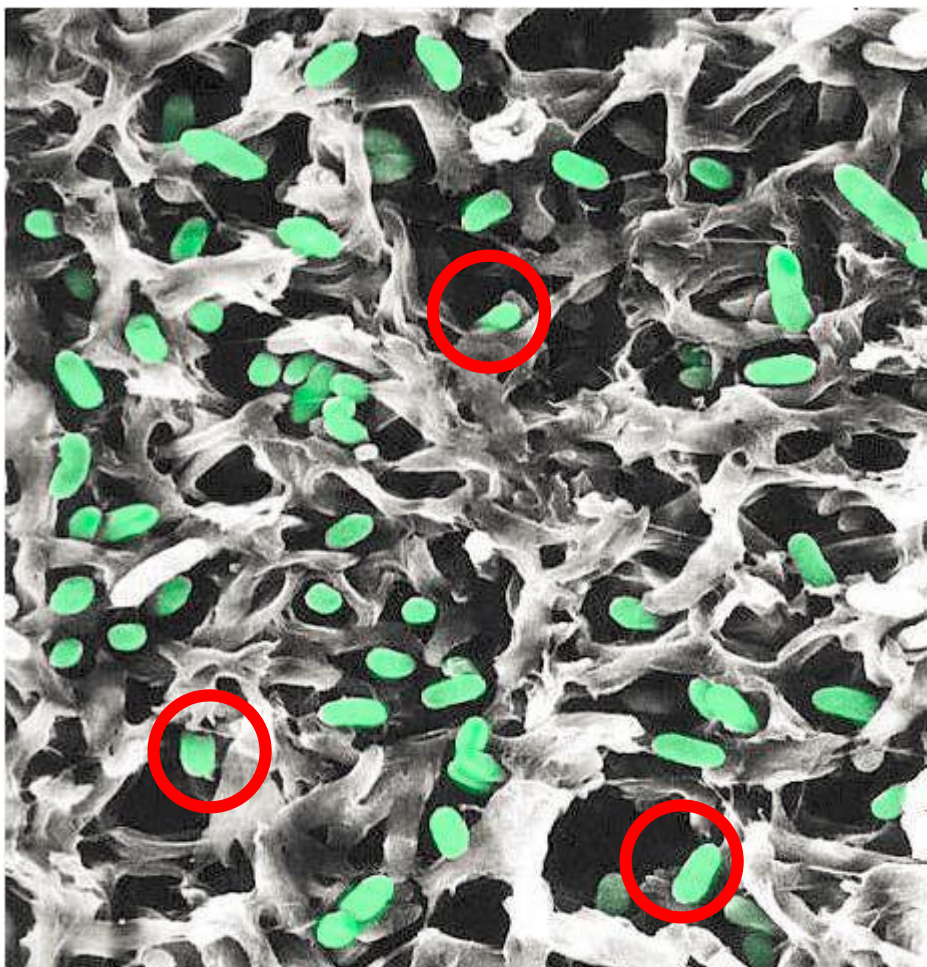


100 - 150 μm

通常厚度是孔径的 100 -1000 倍

电镜照片（1） - N66尼龙滤膜

表面电镜

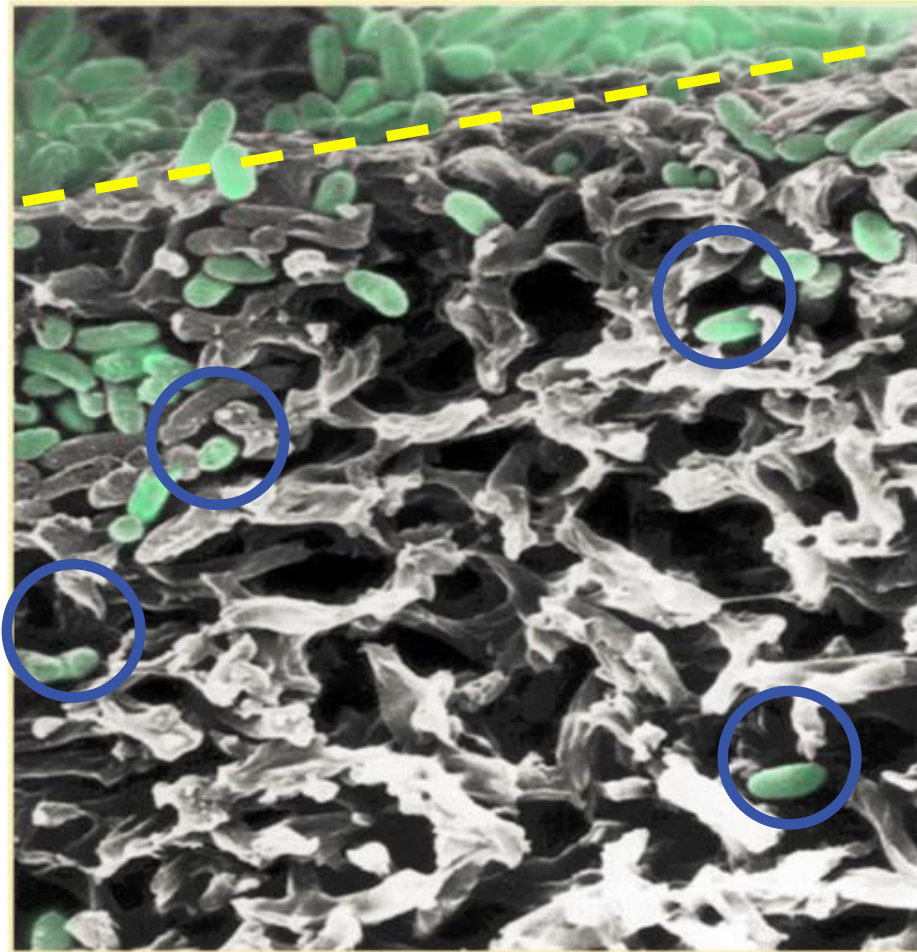


5×10^8 *B.diminuta* /cm²

细菌挑战量

电镜照片（2） - N66尼龙滤膜

切面电镜



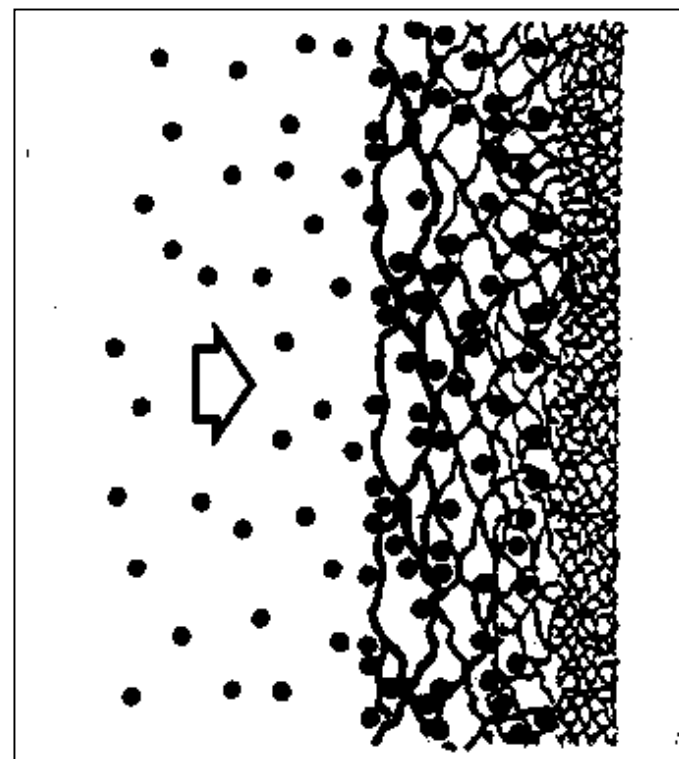
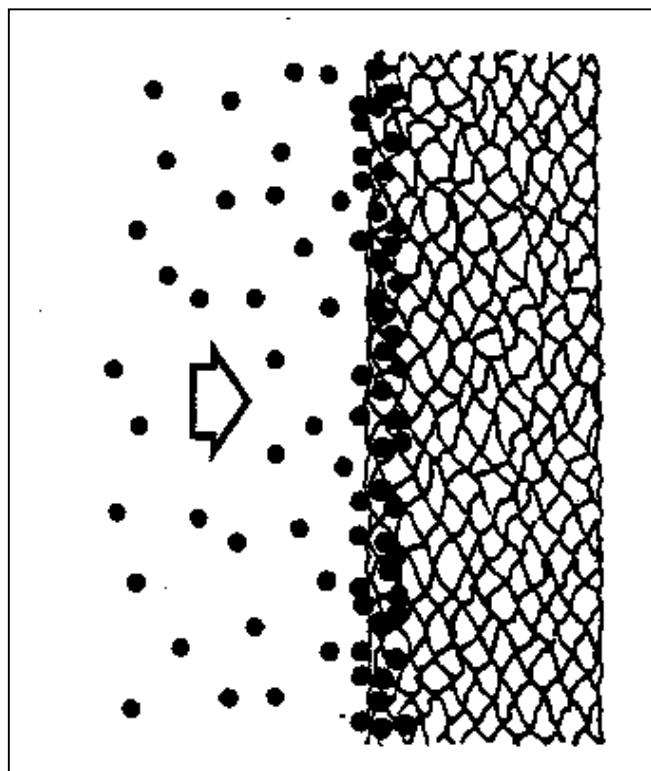
5×10^8 *B.diminuta* /cm²

细菌挑战量

过滤介质设计和特点

- ▶ 滤孔设计
 - 均一或不均一
 - 固定或非固定
- ▶ 过滤面积
- ▶ 压差
 - 孔隙率

均一 vs. 渐变孔结构 (对称 vs. 非对称)

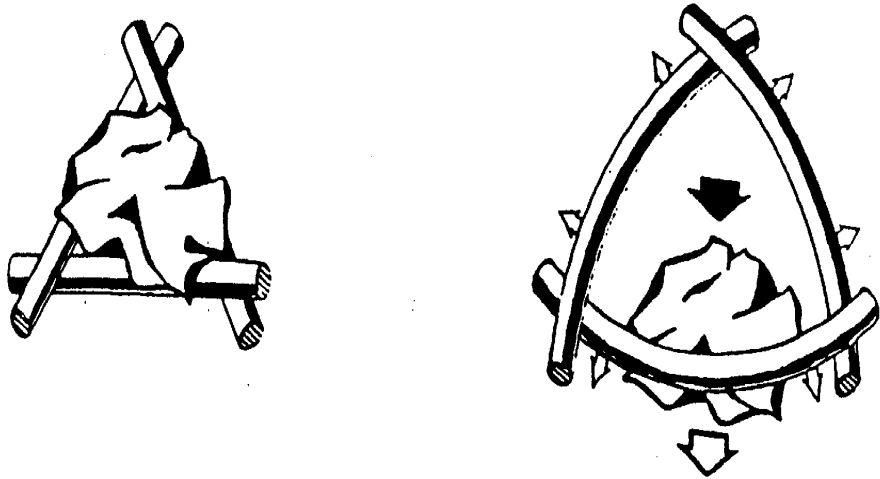


滤膜表面 60% 深度堆积污染物
达到 3x 容污能力

非固定滤孔介质

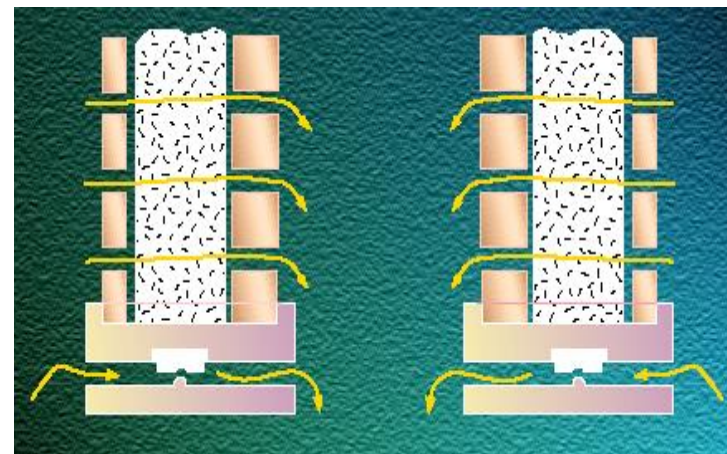
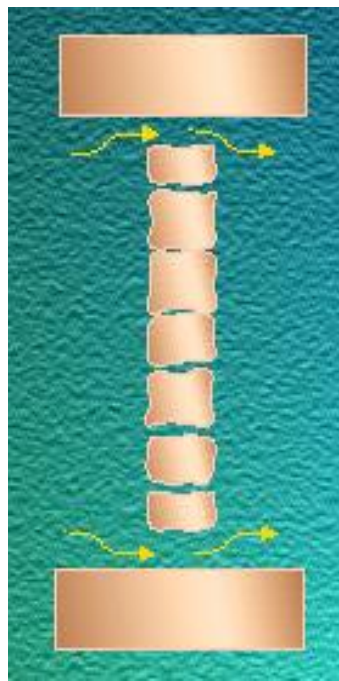
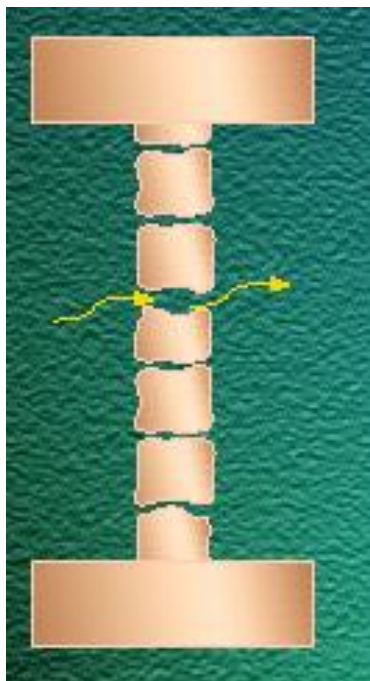
- ▶ 在使用过程中孔径发生变化(非设计的)
 - 例如：当压力升高时孔径变大
- ▶ 由于压力增加 / 波动导致卸载
- ▶ 由于滤材和支撑结构弯曲导致滤孔变大或变形
- ▶ 滤孔变大，先前捕获的污染物穿透到下游
导致：
 - 卸载
 - 介质迁移
 - 短路

卸载、介质迁移



旁通现象

- ▶ 过滤介质出现超标孔径或过宽的孔径分布
- ▶ 过滤介质和滤芯硬件连接问题
- ▶ 滤芯和滤壳密封问题

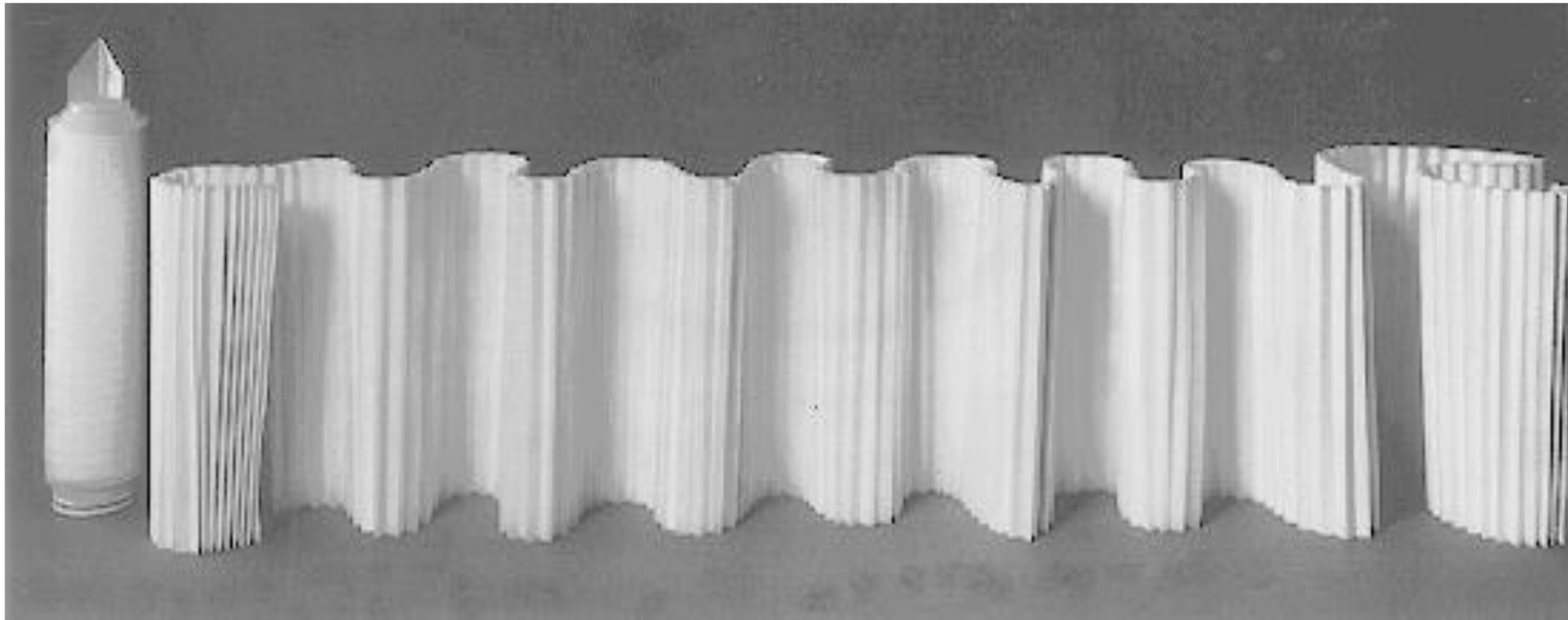


固定滤孔介质

- ▶ 在过滤器使用寿命内孔径不变
- ▶ 没有卸载、介质迁移或旁通现象

滤膜面积

滤膜需要打褶使单位体积能容纳更大的膜面积



- 典型面积 / 254mm 滤芯 (10 ") : 0.5 - 2.0m²
- 同种膜面积越大 , 流量越高 , 压差越低 , 寿命越长

压差

定义

压差(压力降 DP)

过滤器使用时上游和下游之间的压力差别

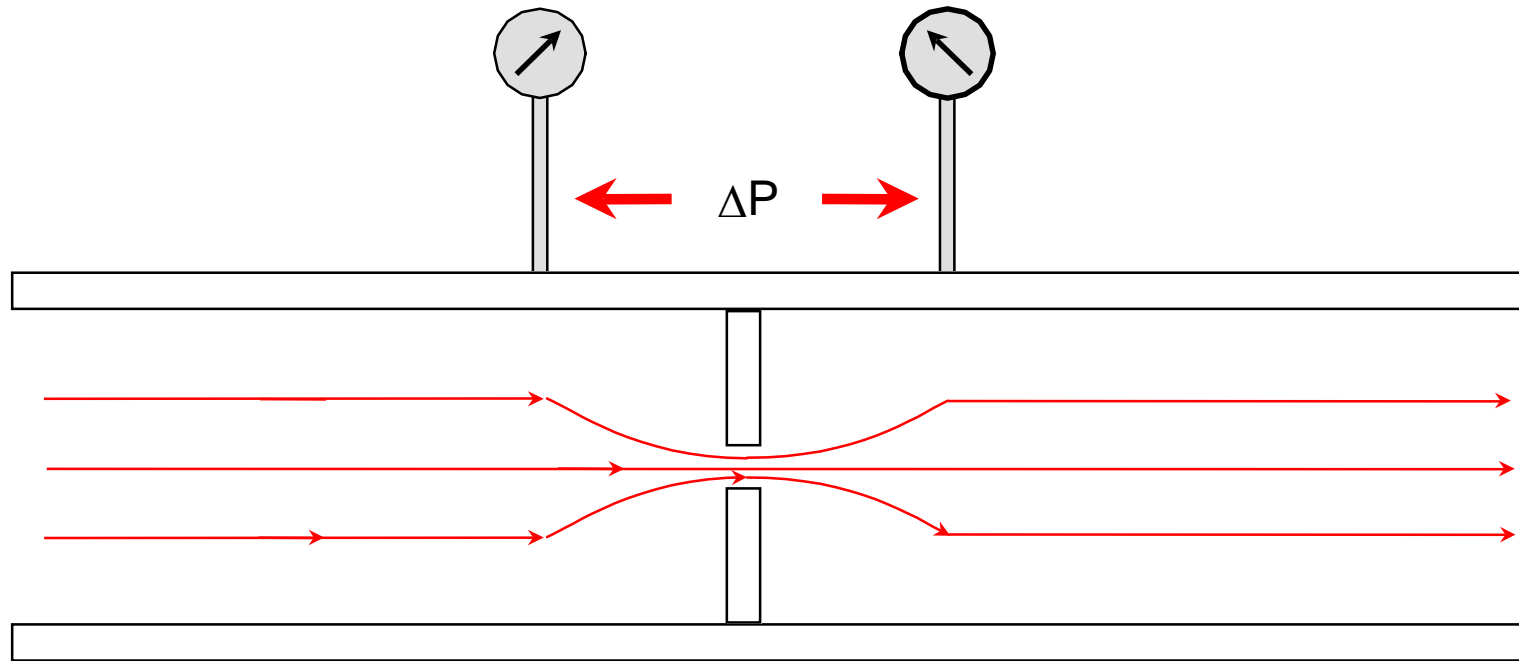
净压差

过滤器开始使用未捕集任何污染物之前时的压差

最大允许压差

过滤器结构不受破坏的最大压差极限值

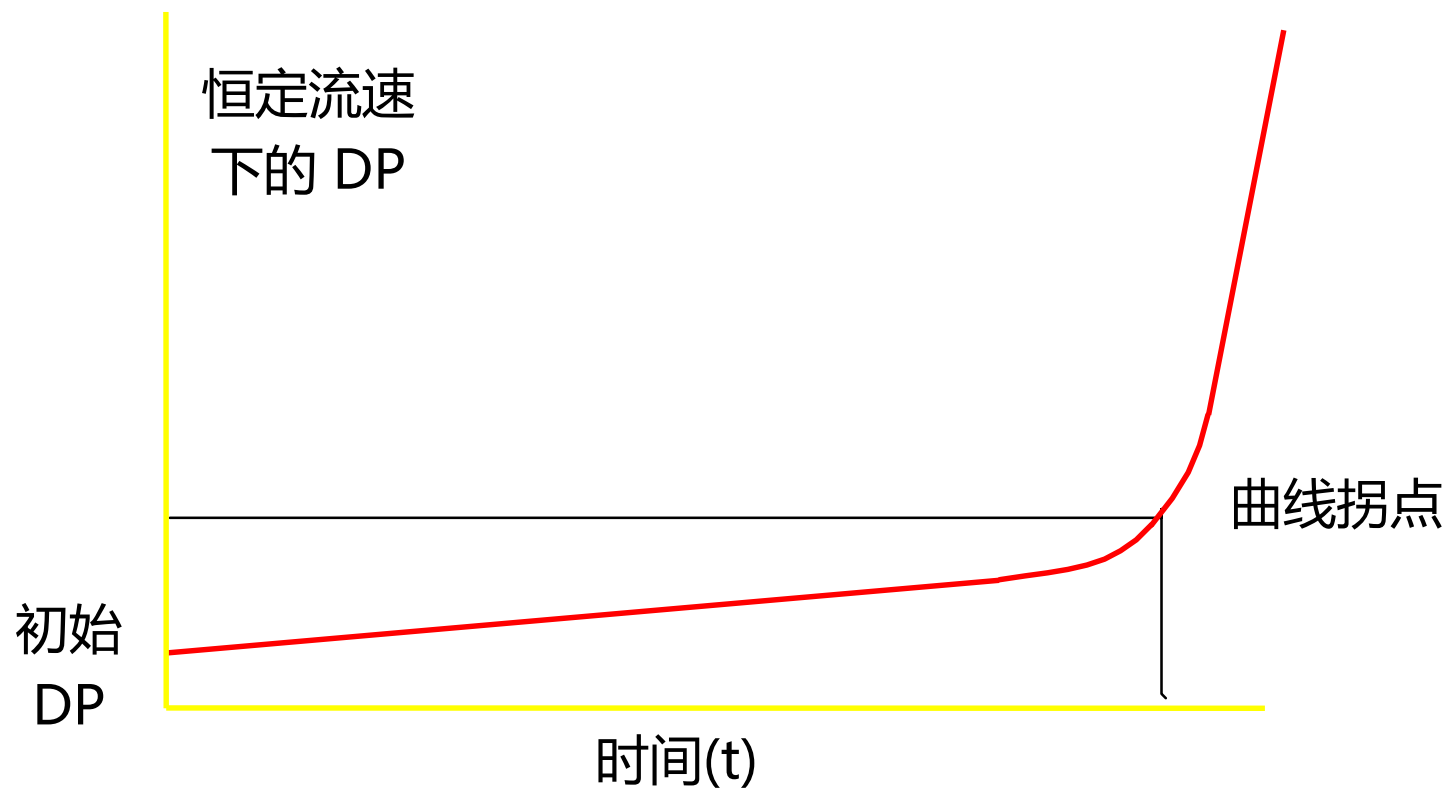
压差



1. 由流体阻力产生...
2. ...在干净的过滤器，由滤孔产生

过滤器寿命曲线

压差和使用时间的关系



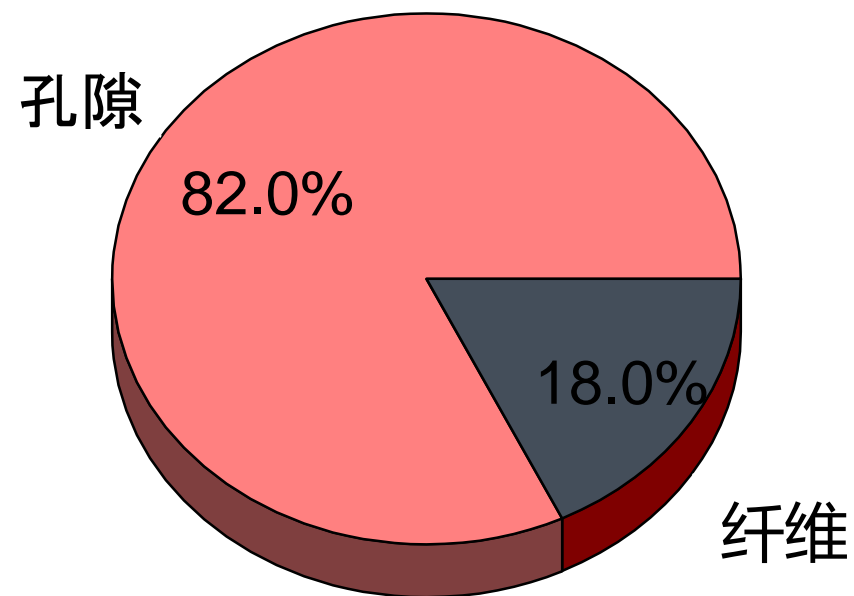
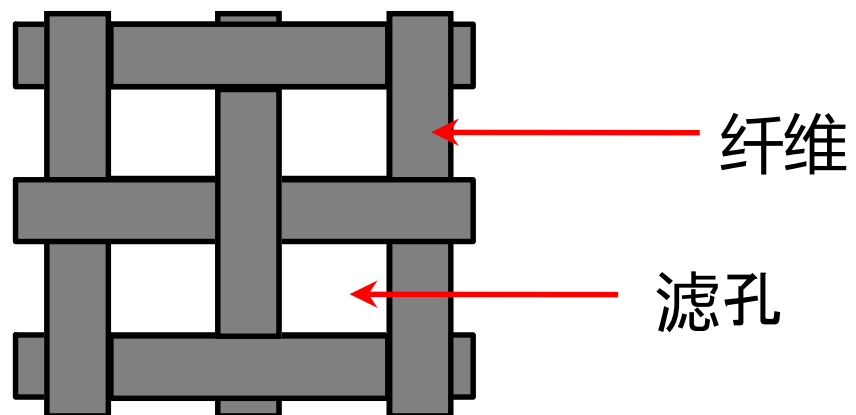
过滤时颗粒被过滤器滤孔截留压差上升

孔隙率

过滤器中的开孔体积 (孔隙率)

▶ 孔隙率增加将：

- 降低流体线速度
- 降低 DP
- 延长使用寿命





Thank You

Continuously Improving Bioprocesses