

关于颗粒物污染治理技术



除尘装置

内容提要

1. 湿式除尘器
2. 过滤式除尘器
3. 除尘器的选择与发展

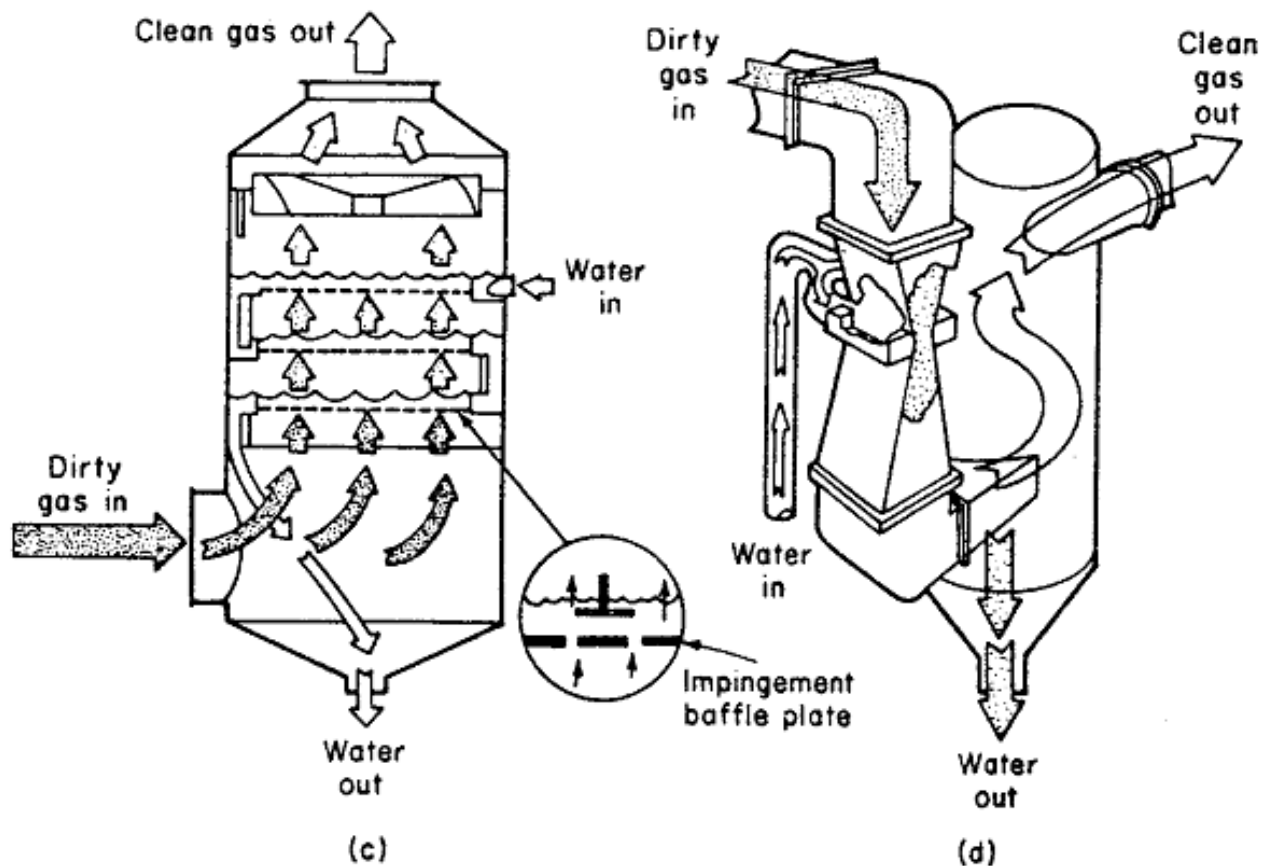
学习要求

- 掌握各类除尘器的工作原理、结构及性能
- 能够进行简单除尘器的选择和设计

第三节 湿式除尘器

- 使含尘气体与液体（一般为水）密切接触，利用水滴和尘粒的惯性碰撞及其它作用捕集尘粒或使粒径增大的装置
- 可以有效地除去直径为 $0.1-20\ \mu\text{m}$ 的液态或固态粒子，亦能脱除气态污染物
- 高能和低能湿式除尘器
 - 低能湿式除尘器的压力损失为 $0.2-1.5\text{kPa}$ ，对 $10\ \mu\text{m}$ 以上粉尘的净化效率可达 $90-95\%$
 - 高能湿式除尘器的压力损失为 $2.5-9.0\text{kPa}$ ，净化率可达 99.5% 以上

湿式除尘器



Wet collectors: (a) spray tower; (b) cyclone spray tower; (c) impingement scrubber; (d) venturi scrubber.



湿式除尘器

- 根据湿式除尘器的净化机理，大致分为
 - 重力喷雾洗涤器
 - 旋风洗涤器
 - 自激喷雾洗涤器
 - 板式洗涤器
 - 填料洗涤器
 - 文丘里洗涤器
 - 机械诱导喷雾洗涤器

湿式除尘器

■ 主要湿式除尘装置的性能和操作范围

装置名称	气体流速 (m/s)	液气比 (l/m ³)	压力损失 (Pa)	分割直径 (μm)
喷淋塔	0.1—2	2—3	100—500	3.0
填料塔	0.5—1	2—3	1000—2500	1.0
旋风洗涤器	15—45	0.5—1.5	1200—1500	1.0
转筒洗涤器	(300—750r/min)	0.7—2	500—1500	0.2
冲击式洗涤器	10—20	10—50	0—150	0.2
文丘里洗涤器	60—90	0.3—1.5	3000—8000	0.1



湿式除尘器的优点

- 在耗用相同能耗时， η 比干式机械除尘器高。高能耗湿式除尘器清除 $0.1\mu\text{m}$ 以下粉尘粒子，仍有很高效率
- η 可与静电除尘器和布袋除尘器相比，而且还可适用于它们不能胜任的条件，如能够处理高温，高湿气流，高比电阻粉尘，及易燃易爆的含尘气体
- 在去除粉尘粒子的同时，还可去除气体中的水蒸气及某些气态污染物。既起除尘作用，又起到冷却、净化的作用



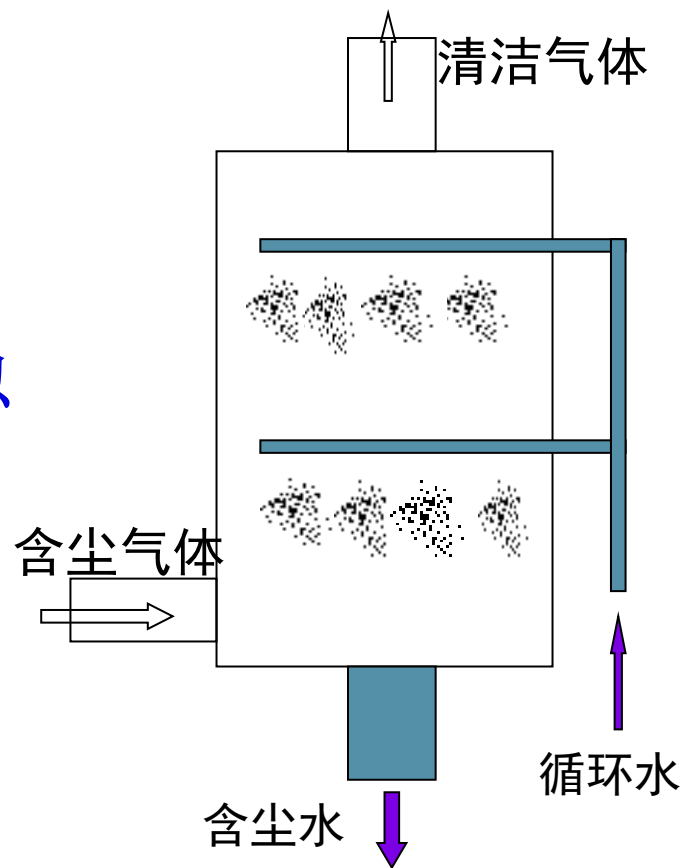
湿式除尘器的缺点

- 排出的污水污泥需要处理，澄清的洗涤水应重复回用
- 净化含有腐蚀性气态污染物时，洗涤水具有一定程度的腐蚀性，因此要特别注意设备和管道腐蚀问题
- 不适用于净化含有憎水性和水硬性粉尘的气体
- 寒冷地区使用湿式除尘器，容易结冻，应采取防冻措施

喷雾塔洗涤器

■ 假定

- 所有液滴具有相同直径
- 液滴进入洗涤器后立刻以终末速度沉降
- 液滴在断面上分布均匀、无聚结现象





喷雾塔洗涤器

- 喷雾塔结构简单、压力损失小，操作稳定，经常与高效洗涤器联用捕集粒径较大的粉尘
- 严格控制喷雾的组成，保证液滴大小均匀，对有效的操作是很有必要

旋风洗涤器

- 干式旋风分离器内部以环形方式安装一排喷嘴，就构成一种最简单的旋风洗涤器
- 喷雾作用发生在外涡旋区，并捕集尘粒，携带尘粒的液滴被甩向旋风洗涤器的湿壁上，然后沿壁面沉落到器底
- 在出口处通常需要安装除雾器

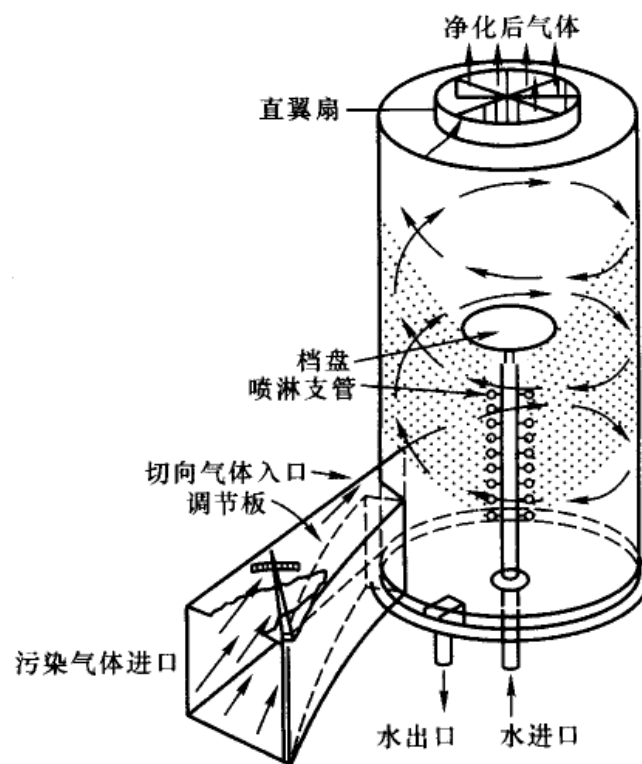
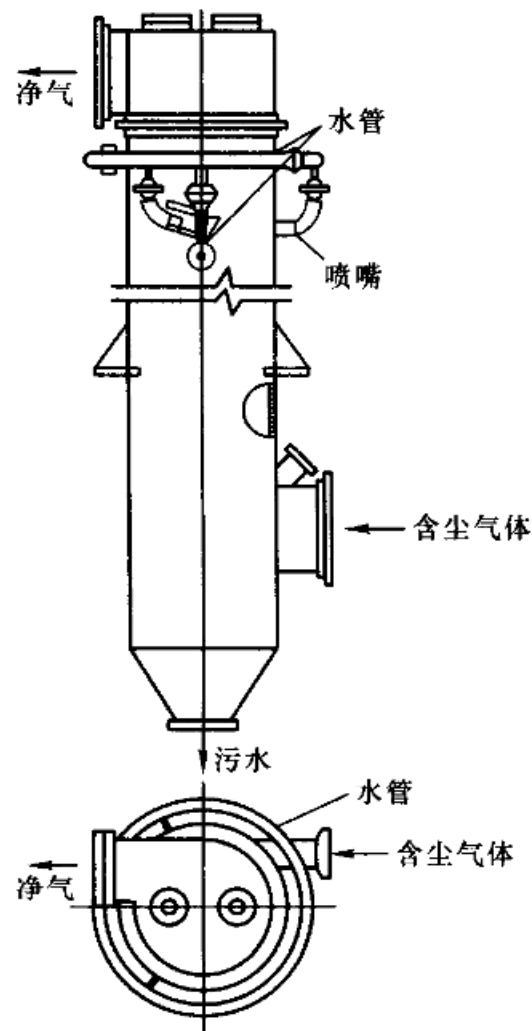


图 6-37 中心喷雾的旋风洗涤器

旋风水膜除尘器

- 喷雾沿切向喷向筒壁，使壁面形成一层很薄的不断下流的水膜
- 含尘气流由筒体下部导入，旋转上升，靠离心力甩向壁面的粉尘为水膜所粘附，沿壁面流下排走





旋风洗涤器

- 离心洗涤器净化 $d_p < 5 \mu\text{m}$ 的尘粒仍然有效
- 耗水量 $L/G=0.5-1.5\text{l/m}^3$
- 适用于处理烟气量大，含尘浓度高的场合
- 可单独使用，也可安装在文丘里洗涤器之后作除尘器
- 由于气流的旋转运动，使其带水现象减弱
- 可采用比喷雾塔更细的喷嘴



文丘里洗涤器

■ 除尘器系统的构成

- 文丘里洗涤器
- 除雾器
- 沉淀池
- 加压循环水泵

■ 除尘过程

- 文丘里除尘器： 收缩管， 喉管， 扩散管
- 就其断面形状
 - 圆形文丘里除尘器
 - 矩形文丘里除尘器

文丘里洗涤器

■ 除尘过程

- 含尘气体由进气管进入收缩管后，流速逐渐增大，气流的压力能逐渐转变为动能
- 在喉管入口处，风速达到最大，一般为50—180m/s
- 洗涤液（一般为水）通过沿喉管周边均匀分布的喷嘴进入，液滴被高速气流雾化和加速
- 充分的雾化是实现高效除尘的基本条件

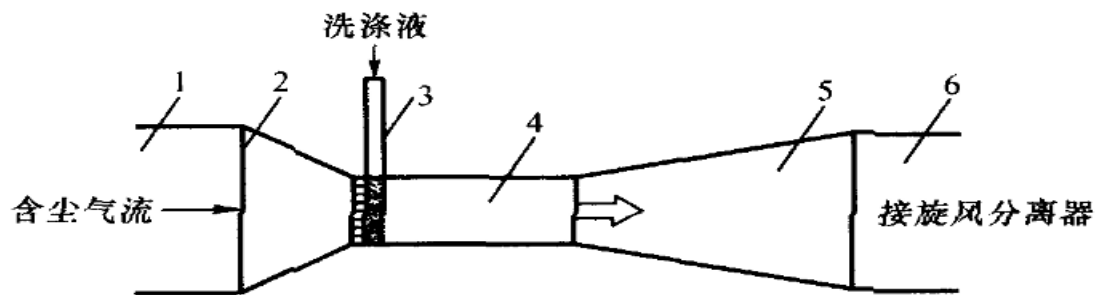
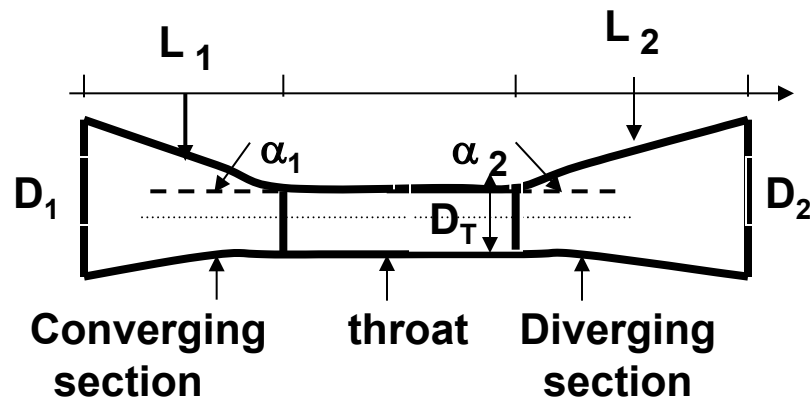


图 6-39 文丘里洗涤器示意图

1. 进气管; 2. 收缩管; 3. 喷嘴; 4. 喉管; 5. 扩散管; 6. 连接管

文丘里洗涤器



■ 几何尺寸

- 进气管直径 D_1 按与之相联管道直径确定
- 收缩管的收缩角 α_1 常取 $23^\circ - 25^\circ$
- 喉管直径 D_T 按喉管气速 v_T 确定，其截面积与进口管截面积之比的典型值为1:4
- v_T 的选择要考虑粉尘、气体和洗涤液的物理化学性质、对洗涤器效率和阻力的要求等因素

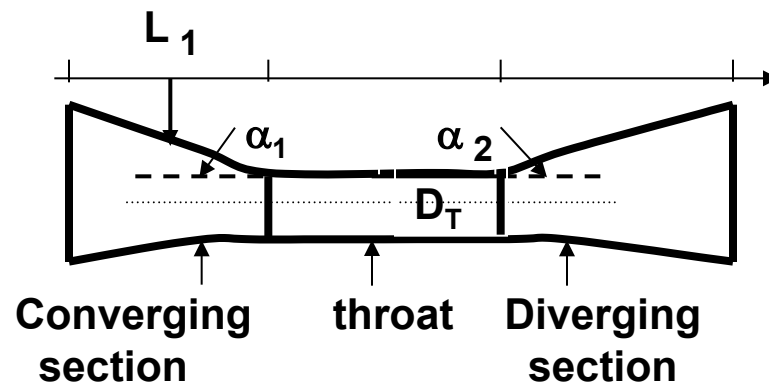
文丘里洗涤器

■ 几何尺寸（续）

- 扩散管的扩散角 α_2 一般为 5° — 7°
- 出口管的直径 D_z 按与其相联的除雾器要求的气速确定

$$L_1 = \frac{D_1 - D_T}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2}$$

$$L_2 = \frac{D_2 - D_T}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2}$$





文丘里洗涤器

■ 压力损失

- 高速气流的动能要用于雾化和加速液滴，因而压力损失大于其它湿式和干式除尘器
- 卡尔弗特等人基于气流损失的能量全部用于在喉管内加速液滴的假定，发展了计算文丘里洗涤器压力损失的数学模式

文丘里洗涤器

■ 除尘效率

- 卡尔弗特等人作了一系列简化后提出下式以计算文丘里洗涤器的通过率

$$P = \exp\left(\frac{-6.1 \times 10^{-9} \rho_L \rho_p C_C d_p^2 f^2 \Delta P}{\mu_g^2}\right)$$

ρ_L 和 ρ_p — 分别为洗涤液和粉尘的密度 g/cm^3 ;

μ_g — 气体粘度, $10^{-1} \text{Pa}\cdot\text{s}$;

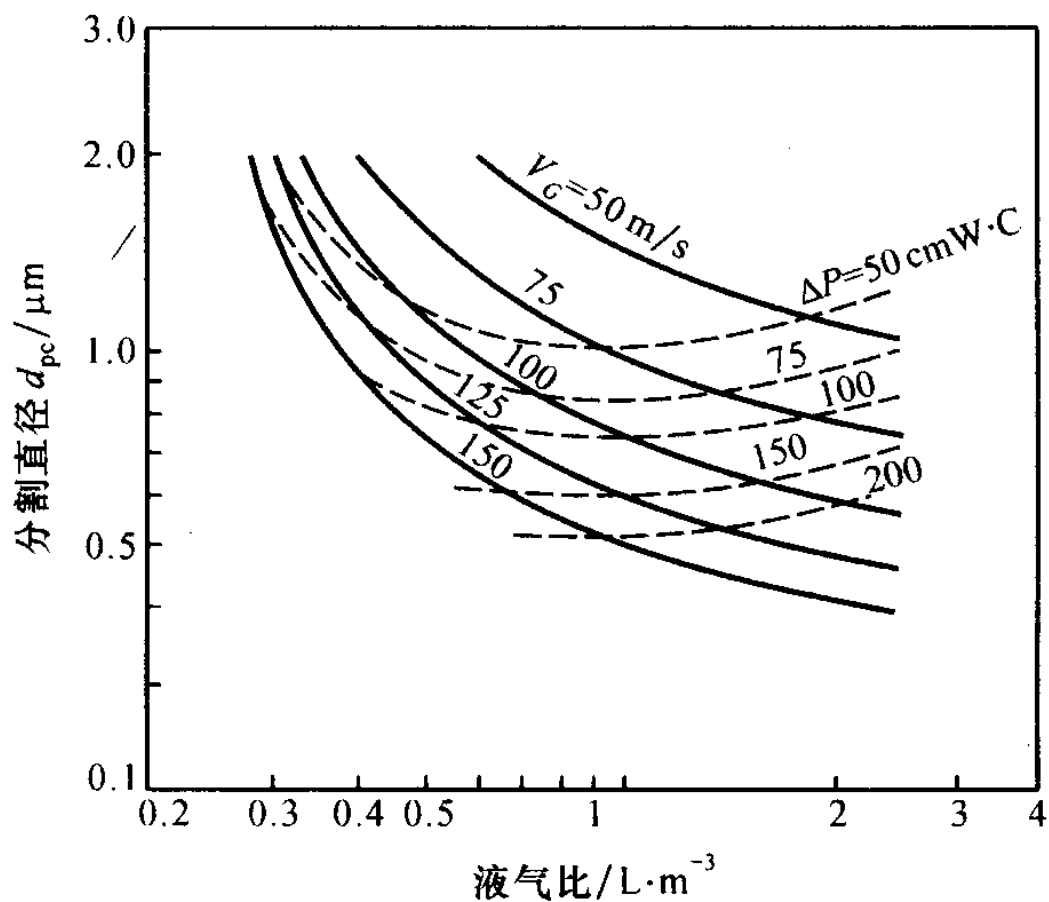
ΔP — 文丘里洗涤器压力损失, cmH_2O 。

d_p — 粉尘粒径, μm ;

f — 经验常数, 在该表达式中为 $0.1 - 0.4$ 。

文丘里洗涤器

- 文丘里洗涤器性能气流速度、液气比之间的关系



文丘里洗涤器

- 例题：以液气比为 1.0 l/m^3 的速率将水喷入文丘里洗涤器的喉部，气体流速为 122 m/s ，密度和粘度分别为 1.15 kg/m^3 和 $2.08 \times 10^{-5}\text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ ，喉管横断面积为 0.08 m^2 ，参数 f 取为 0.25 ，对于粒径为 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 、密度为 1.5 g/m^3 的粒子，试确定气流通过该洗涤器的压力损失和粒子的通过率

- 解：由式（6-53）

$$\begin{aligned}\Delta P &= -1.03 \times 10^{-3} (12200)^2 \left(\frac{1.0 \times 10^{-3}}{1} \right) \\ &= 153.3 (\text{cmH}_2\text{O})\end{aligned}$$

现在运用海斯凯茨提出的式（6-54），得

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.863 \times 1.15 \times (0.08)^{0.133} \times (122)^2 \left(\frac{1.0 \times 10^{-3}}{1} \right)^{0.78} \\ &= 12567 \text{ Pa}\end{aligned}$$

文丘里洗涤器

■ 例题（续）

利用式（6-55）估算粒子的通过率：

$$C_c = 1 + \frac{0.172}{d_p} = 1.172$$

$$\begin{aligned} P &= \exp\left[-\frac{6.1 \times 10^{-9} \times 1 \times 1.5 \times 1.172 \times 1^2 \times (0.25)^2 \times 153.3}{(2.08 \times 10^{-4})^2}\right] \\ &= \exp(-2.375) \\ &= 0.093 \end{aligned}$$

第四节 过滤式除尘器

- 使含尘气流通过过滤材料将粉尘分离捕集的装置
- 分类

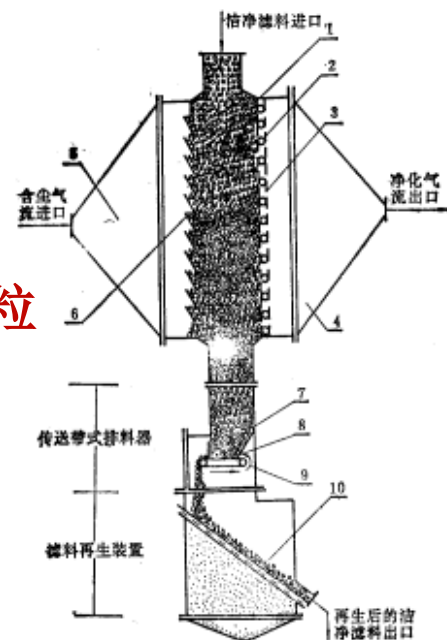
➤ 空气过滤器

- 滤纸或玻璃纤维



➤ 颗粒层除尘器

- 砂、砾、焦炭等颗粒物



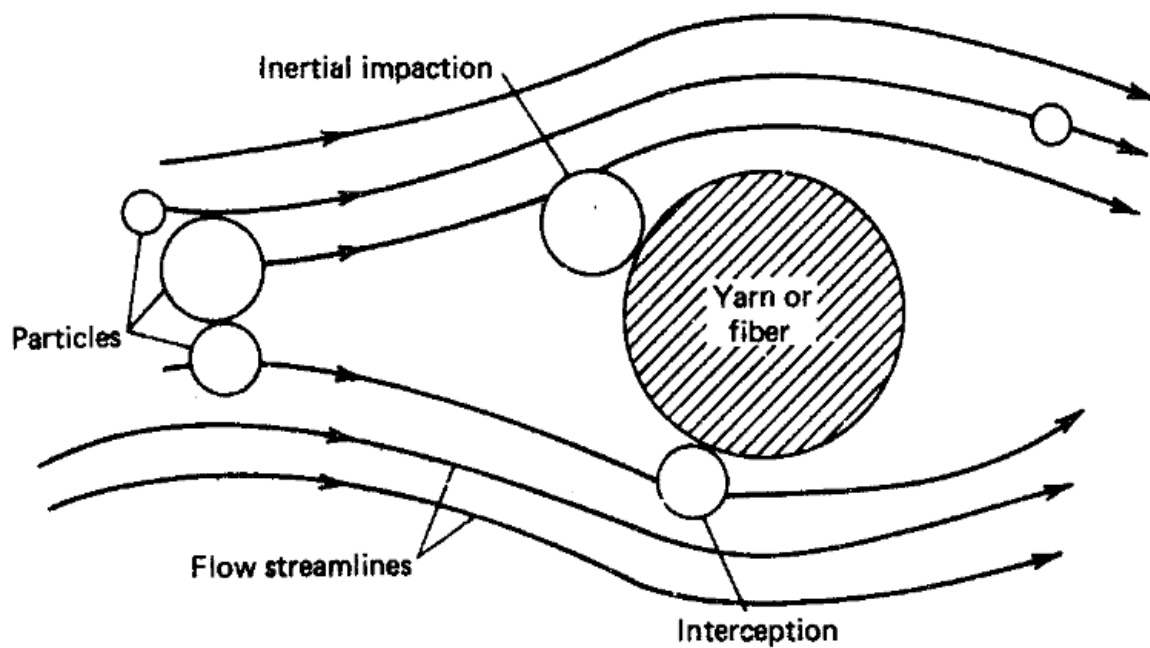
➤ 袋式除尘器

- 纤维织物

除尘器工作原理

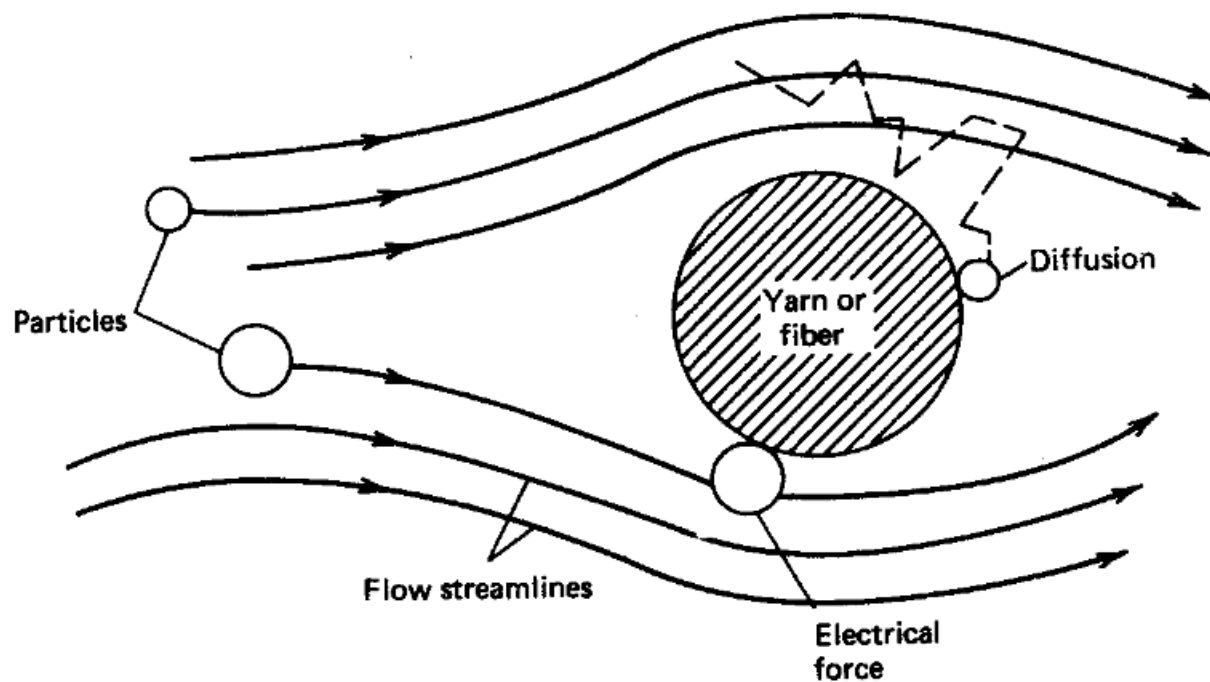
■ 工作原理

➤ 截留、惯性碰撞



除尘器工作原理

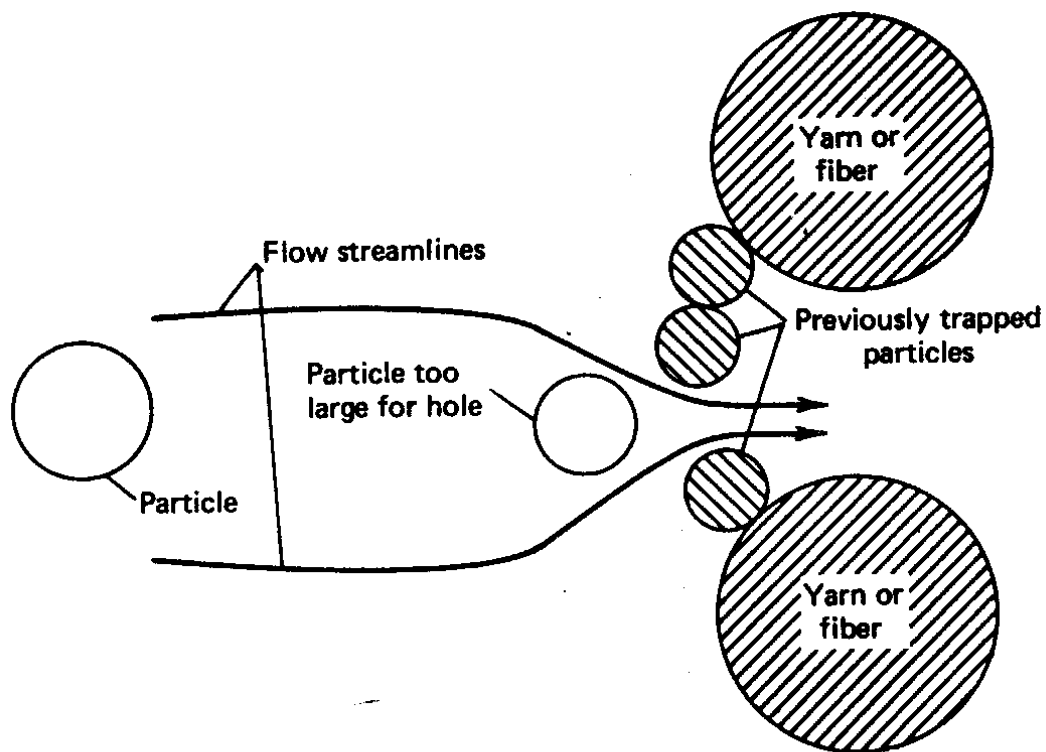
- 工作原理
 - 扩散、电沉积



除尘器工作原理

■ 工作原理

➤ 筛分



袋式除尘器

- 采用纤维织物作滤料的袋式除尘器（主要讨论），在工业尾气的除尘方面应用较广
- 除尘效率一般可达99%以上
- 效率高，性能稳定可靠、操作简单，因而获得越来越广泛的应用



袋式除尘器的工作原理

- 含尘气流从下部进入圆筒形滤袋，在通过滤料的孔隙时，粉尘被捕集于滤料上
- 沉积在滤料上的粉尘，可在机械振动的作用下从滤料表面脱落，落入灰斗中
- 粉尘因截留、惯性碰撞、静电和扩散等作用，在滤袋表面形成粉尘层，常称为粉层初层

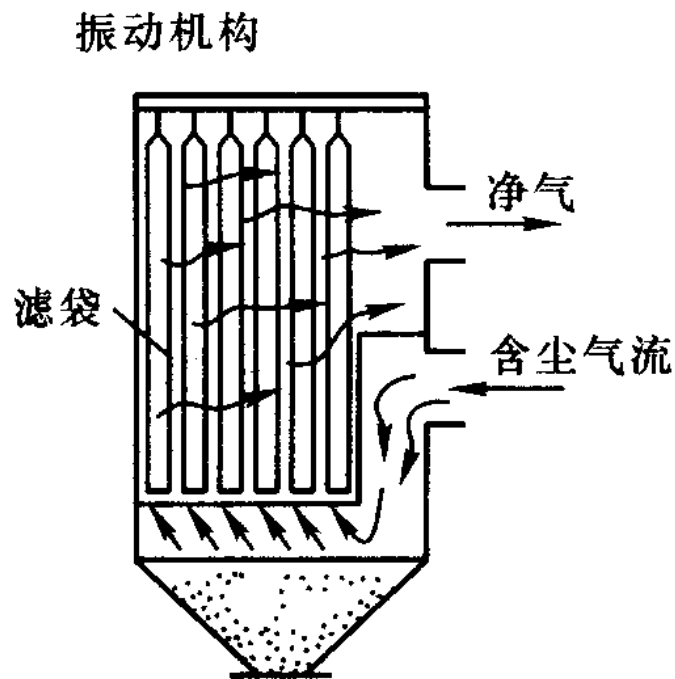
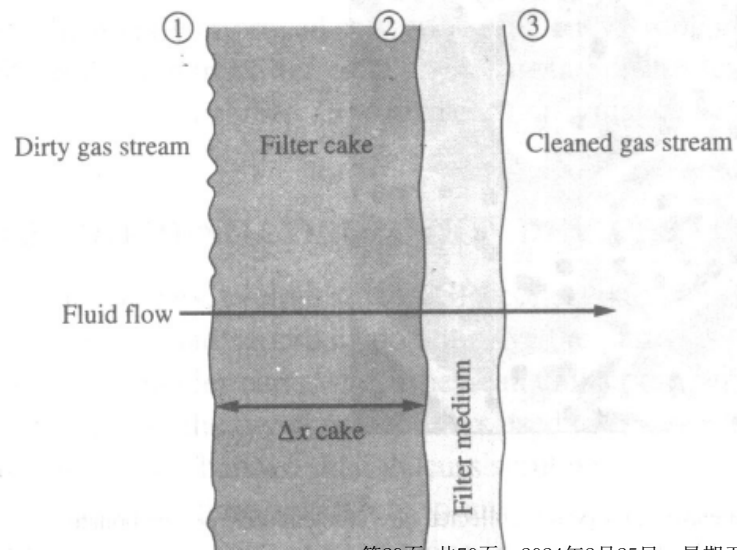


图 6-41 机械振动袋式除尘器

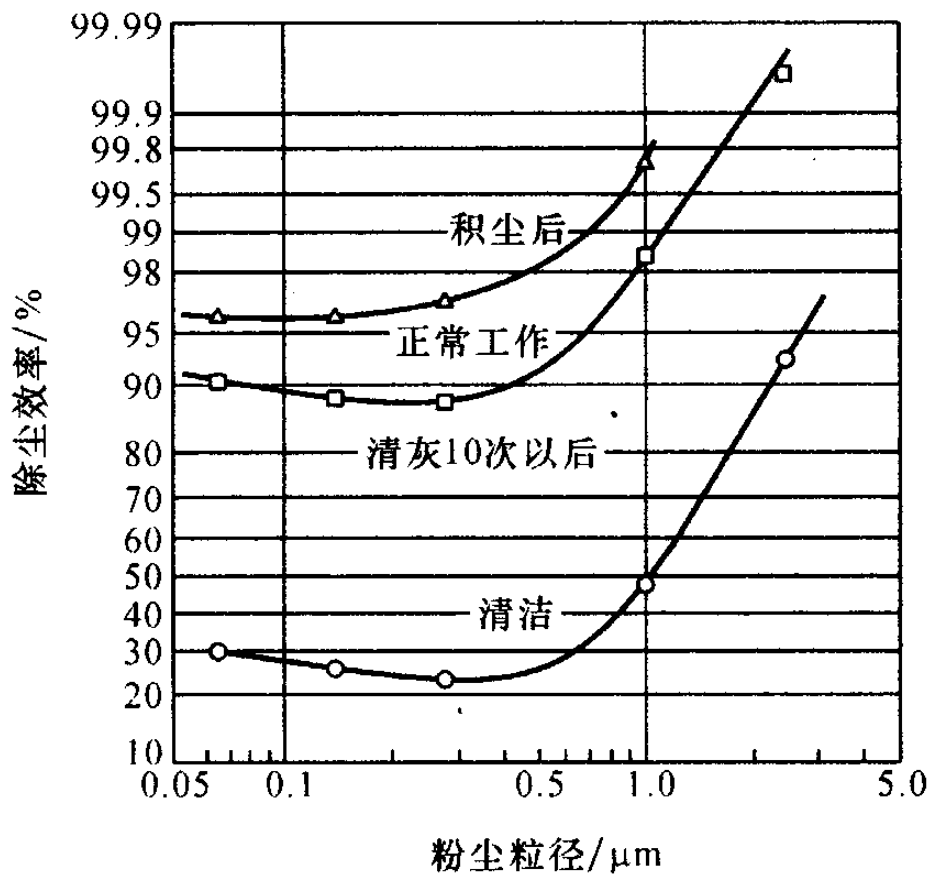
袋式除尘器的工作原理

- 新鲜滤料的除尘效率较低
- 粉尘初层形成后，成为袋式除尘器的主要过滤层，提高了除尘效率
- 随着粉尘在滤袋上积聚，滤袋两侧的压力差增大，会把已附在滤料上的细小粉尘挤压过去，使除尘效率下降
- 除尘器压力过高，还会使除尘系统的处理气体量显著下降，因此除尘器阻力达到一定数值后，要及时清灰
- 清灰不应破坏粉尘初层



袋式除尘器的工作原理

- 袋式除尘器的分级效率曲线





袋式除尘器除尘效率的影响因素

- 粉尘负荷
- 过滤速度
 - 烟气实际体积流量与滤布面积之比，也称气布比
 - 过滤速度是一个重要的技术经济指标。选用高的过滤速度，所需要的滤布面积小，除尘器体积、占地面积和一次投资等都会减小，但除尘器的压力损失却会加大。
 - 一般来讲，除尘效率随过滤速度增加而下降
 - 过滤速度的选取还与滤料种类和清灰方式有关

袋式除尘器的除尘效率

- 丹尼斯（Dennis）和克莱姆（Klemm）提出了一系列方程，以预测袋式除尘器的粉尘出口浓度和穿透率

$$C_2 = [P_{ns} + (0.1 - P_{ns})e^{-\alpha W}]C_1 + C_R$$

$$P_{ns} = 1.5 \times 10^{-7} \exp[12.7(1 - e^{1.03v})]$$

$$\alpha = 3.6 \times 10^{-3} v^{-4} + 0.094$$

C_2 — 粉尘出口浓度, g/m^3

P_{ns} — 无量纲常数

v — 表面过滤速度, m/s

C_1 — 粉尘入口浓度, g/m^3

C_R — 脱落浓度（常数）, g/m^3

W — 粉尘负荷, g/m^2

Dennis and Klemm 取 $C_R = 0.5$

袋式除尘器的压力损失

- 压力损失：重要的技术经济指标，不仅决定着能量消耗，而且决定着除尘效率和清灰间隔时间等

- ΔP_f — 通过洁净滤料的压力损失，100~130Pa；

- ΔP_p — 通过粉尘层（dust cake）的压力损失；

- 两者均可以达西定律表示

$$\frac{\Delta P}{x} = \frac{v\mu_g}{K}$$

K — 粉尘或滤料的渗透率（permeability），由实验测定

x — 粉尘或滤料的厚度

袋式除尘器的压力损失

- 渗透率K是沉积粉尘层性质，如孔隙率、比表面积、孔隙大小分布和粉尘粒径分布等的函数

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_p = \frac{x_f \mu_g v}{K_f} + \frac{x_p \mu_g v}{K_p}$$

- 对于给定的滤料和操作条件，滤料的压力损失 ΔP_f 基本上是一个常数
- 通过袋式除尘器的压力损失主要由 ΔP_p 决定

袋式除尘器的压力损失

- 在时间 t 内，沉积在滤袋上的粉尘质量 m 可以表示为

$$m = v \cdot A \cdot t \cdot C$$

A —滤袋的过滤面积

C —烟气中粉尘浓度

- 因此 $x = vCt / \rho_c$

- 粉尘层的压力损失

$$\Delta P_p = \frac{x_p \mu_g v}{K_p} = \frac{vCt}{\rho_c} \left(\frac{\mu_g v}{K_p} \right) = \frac{v^2 Ct \mu_g}{K_p \rho_c}$$

- 令 $R_p = \frac{\mu_g}{K_p \rho_c}$ ，定义为颗粒层的**比阻力系数**，因此

$$\Delta P_p = R_p v^2 Ct$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/528054050007006052>