

3.3 除尘装置的性能指标

第3.3节 除尘装置的性能指标

除尘装置的性能指标包括**技术指标**和**经济指标**两大类。

技术指标：

气体流量、除尘效率、压力损失(或称阻力)、漏风率等；

经济指标：

包括设备费、运行费、维修费、占地面积、占用空间体积、使用寿命等。

低阻（阻力低）、高效（除尘效率高）

3.3 除尘装置的性能指标

一、处理气体的流量

除尘装置在单位时间内所能处理的含尘气体的流量,一般用体积流量 Q (单位: m^3 / s)表示。

进口 Q_1 和出口 Q_2 平均值作为除尘装置的处理气体流量。即

$$Q = \frac{1}{2} (Q_1 + Q_2)$$

漏风率

$$\sigma = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \%$$

3.3 除尘装置的性能指标

二、 压力损失(或称阻力)

压力损失=能耗。其与下列因素有关：

- 净化装置的种类和结构型式；
- 处理气体通过时的流速。

即

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \varepsilon \cdot \frac{\rho u^2}{2}$$

ΔP : 压力损失, Pa

ε : 压力损失系数；

ρ : 含尘气体的密度 kg / m^3 ；

u : 装置进口的平均速度 m / s 。

3.3 除尘装置的性能指标

压力损失与通风机所耗功率成正比，所以净化装置的压力**损失越小越好**。多数除尘装置的压力损失在2000Pa以下

根据除尘装置的压力损失，防尘装置可分为：

- **低阻除尘器— $\Delta P < 500 \text{ Pa}$;**
- **中阻除尘器— $\Delta P = 500 \sim 2000 \text{ Pa}$;**
- **高阻除尘器— $\Delta P = 2000 \sim 20000 \text{ Pa}$;**

3.3 除尘装置的性能指标

三、除尘效率

1、总除尘效率 η

捕集的粉尘质量占进入除尘装置的粉尘质量的百分数。

除尘器进口：流量为 Q_1 ，质量流量为 S_1 ，粉尘的浓度为 C_1 ；

出口： Q_2 、 S_2 、 C_2

装置捕集的粉尘的质量为 S_3

$$S_1 = S_2 + S_3$$

$$S_1 = Q_1 * C_1, S_2 = Q_2 * C_2$$

除尘器的总效率为

$$\eta = \frac{S_3}{S_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) \times 100\% \quad (1)$$

3.3 除尘装置的性能指标

或：

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2 C_2}{Q_1 C_1}\right) \times 100\%$$

若除尘器不漏风

$$\eta = \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式（1）通过称重，称为**质量法**，比较准确，**主要用于实验室**。

在**现场测定除尘器的总除尘效率**时，通常先同时测出除尘器前后的空气含尘浓度、再利用式（2）求得总除尘效率，这种方法称为**浓度法**。

3.3 除尘装置的性能指标

两级或多级除尘器

$$\eta_{1-2} = \eta_1 + \eta_2(1 - \eta_1) = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)$$

n台除尘器串联时其总效率为：

$$\eta_{1-2} = \eta_1 + \eta_2(1 - \eta_1) = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots \dots (1 - \eta_n)$$

在实际应用中，多级除尘系统通常最多三级。

3.3 除尘装置的性能指标

2、除尘器的分级效率

除尘器名称	除尘效率/%			除尘器名称	除尘效率/%		
	50μm	5μm	1μm		50μm	5μm	1μm
惯性除尘器	95	26	3	干式电除尘	>99	97	85
中效旋风除尘器	94	27	8	湿式电除尘	>99	98	92
高效旋风除尘器	96	73	27	中能文管除尘器	100	>99	97
冲击式洗涤器	98	85	38	高能文式除尘器	>99	>99	99
自激式湿式除尘器	100	93	40	振打袋式除尘器	>99	>99	99
空心喷淋塔	99	94	55	逆喷袋式除尘器	100	>99	99

3.3 除尘装置的性能指标

分级效率：除尘装置对某一粒径或某一粒径范围的粉尘的除尘效率。

$$\eta_i = \frac{s_{3i}}{s_{1i}} \times 100\%$$

$$\eta_i = \frac{s_3 g_{3i}}{s_1 g_{1i}} = \eta \frac{g_{3i}}{g_{1i}} \times 100\%$$

s_{1i} s_{3i} ----除尘器进口和灰斗中某一粒径或粒径范围的粉尘质量流量

s_1 、 s_3 ----除尘器进口和灰斗中的粉尘质量流量；

g_{1i} g_{3i} ----分别为除尘器进口和除尘器灰斗中同一粒径或粒径范围的粉尘的质量分数。

除尘器

除尘器机理

粉尘从空气中分离的作用力主要有：

机械力：包括重力，离心力和惯性力；

阻留作用：包括介质的筛滤作用，尘气绕流的接触阻留作用；

凝聚作用：通过加湿，蒸汽凝结，超声波等作用，使细尘粒凝聚而从空气中分离；

静电力：利用静电力使带电尘粒从空气中分离。

除尘器

除尘器分类

➤ 根据除尘机理常将除尘器分为四大类：

机械除尘器, 过滤式除尘器, 湿式除尘器和电除尘器。

➤ 根据净化要求不同，分为：

粗净化：多为第一级净化

中净化：用于通风除尘系统

细净化：净化后浓度 $\leq 1 \sim 2 \text{mg/m}^3$

超净化：1微米以下

第3.4节 机械除尘器

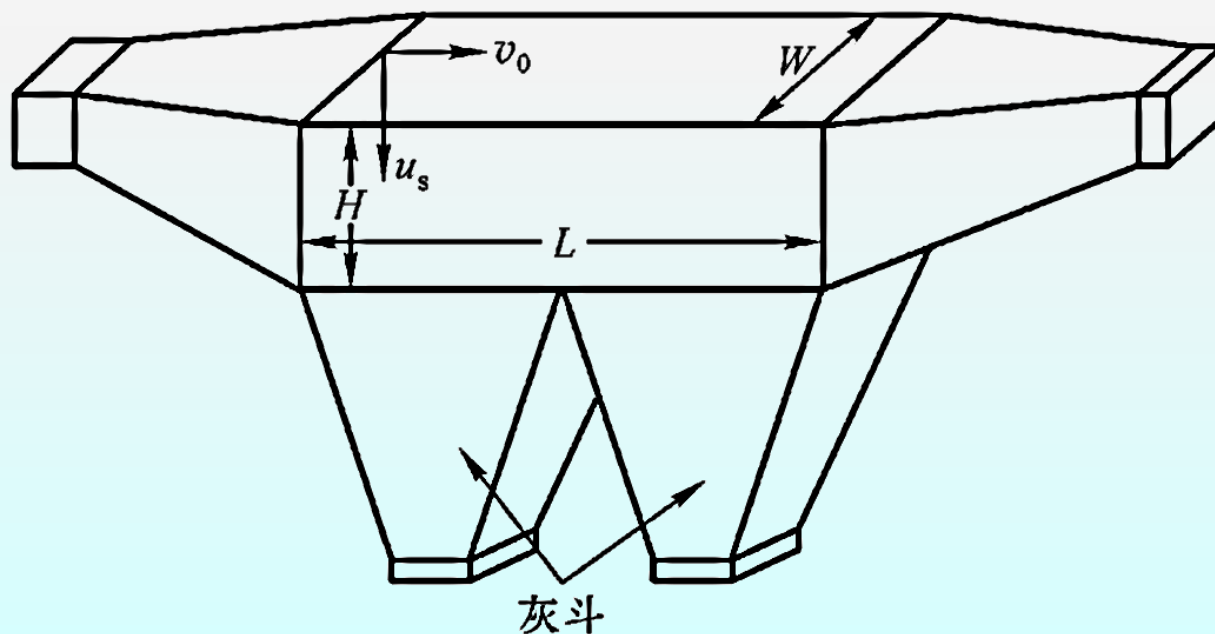
第 3.4 节 机械除尘器

- 重力沉降室
- 惯性除尘器
- 旋风除尘器

第3.4节 机械除尘器

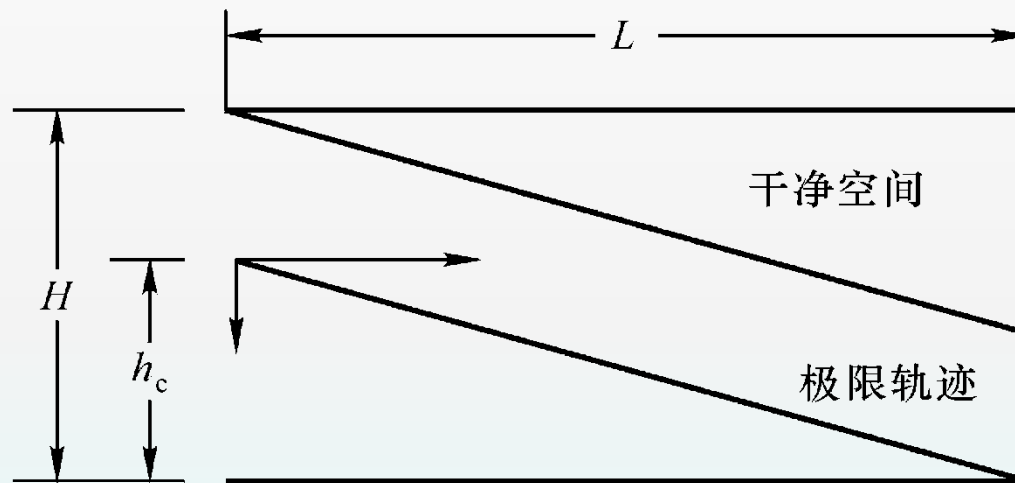
一 重力沉降室

- 通过重力作用使尘粒从气流中沉降分离的除尘装置；
- 气流进入重力沉降室后，流动截面积扩大，流速降低，较重颗粒在重力作用下缓慢向灰斗沉降。



第3.4节 机械除尘器

1、除尘机理



纵剖面示意图

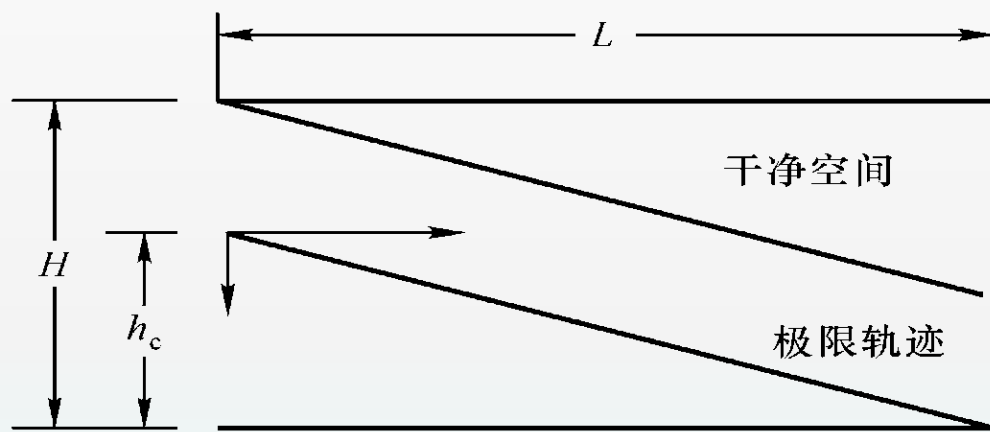
第3.4节 机械除尘器

- ✓ 沉降室的长宽高分别为 L 、 W 、 H ，处理烟气量为 Q
- ◇ 气流在沉降室内的停留时间

$$t = L / v_0 = \frac{LWH}{Q}$$

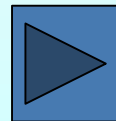
- ◇ 在 t 时间内粒子的沉降距离

$$h_c = u_t \cdot t = \frac{u_t L}{v_0} = \frac{u_t LWH}{Q}$$



- ◇ 该粒子的除尘效率

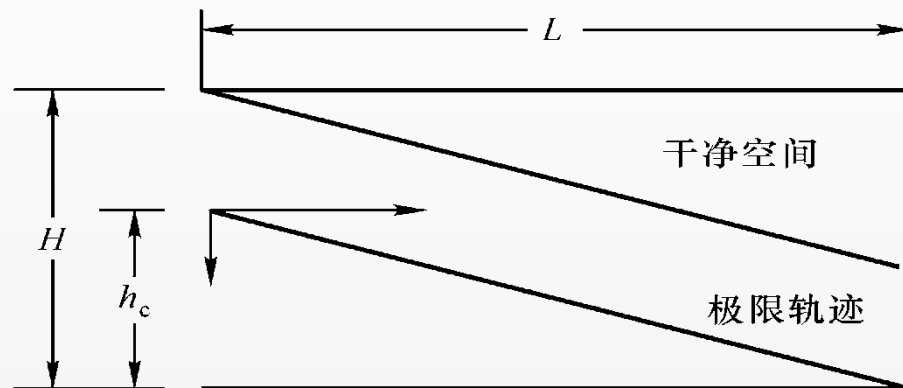
$$\eta_i = \frac{h_c}{H} = \frac{u_t L}{v_0 H} = \frac{u_t L W}{Q} \quad (h_c < H) \quad \eta_i = 1.0 \quad (h_c \geq H)$$



第3.4节 机械除尘器

- ✓ 即颗粒能被分离的条件为
- ◆ 气流在沉降室内的停留时间
大于沉降H所需的时间：

$$\frac{L}{V_o} \geq \frac{H}{u_t}$$



- ✓ 沉降室的工作能力（单位时间处理的混合物的量）：

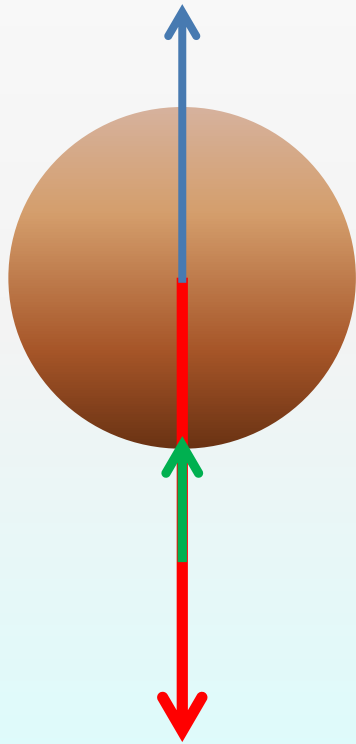
◆ 将 $V_o = \frac{Q_s}{WH}$ 代入 $\frac{L}{V_o} \geq \frac{H}{u_t}$ 得 $Q_s \leq WLu_t$

第3.4节 机械除尘器

- ✓ 即沉降室的工作能力与高度无关，只与底面积 WL 有关，所以沉降室设计成扁平状。气态非均相物系在沉降室中的流动以层流为好，高度不宜过低。
- ✓ 经验值：多数颗粒的分离可取 $u < 3\text{m/s}$ ，较易扬起的尘粒取 $u < 1\text{m/s}$ 。因沉降室体积庞大，分离效率低，一般用来进行预除尘，分离粒径大于 $75\mu\text{m}$ 的固体颗粒。

第3.4节 机械除尘器

(1) 沉降速度



重 力: $F_g = \frac{1}{6} \pi d_p^3 \rho_p g$

浮 力: $F_b = \frac{1}{6} \pi d_p^3 \rho g$

运动阻力: $F_d = \xi A_p \frac{1}{2} \rho u^2$

第3.4节 机械除尘器

流体阻力：

(1) 形状阻力：向前运动，前面受力比后面大

(2) 摩擦阻力：颗粒与流体之间

$$F_d = \xi A_p \frac{1}{2} \rho u^2$$

◇ 于球形Stokes粒子

$$F_d = \frac{1}{3} \pi \mu d_p u$$

第3.4节 机械除尘器

$$F = F_g - F_b - F_d = m \frac{du}{d\tau}$$

$$\frac{1}{6} d_p^3 \rho_p g - \frac{1}{6} d_p^3 \rho g - \xi A_p \frac{1}{2} \rho u^2 = \frac{1}{6} d_p^3 \rho_p \frac{du}{d\tau}$$

颗粒在流体内作重力沉降运动的过程将经历先加速后匀速的运动，其最终的速度称重力沉降速度，且颗粒的加速运动过程很短，一般情况不考虑。

第3.4节 机械除尘器

$$\frac{du}{d\tau} = 0 \quad \frac{1}{6} d_p^3 \rho_p g - \frac{1}{6} d_p^3 \rho g - \xi A_p \frac{1}{2} \rho u^2 = 0$$

$$u_t = \sqrt{\frac{4 g d_p (\rho_p - \rho)}{3 \rho \xi}}$$

球形颗粒的阻力系数 ξ 是颗粒雷诺数 $R_{et} = \frac{d_p u_t \rho}{\mu}$ 的

函数， ξ 与 Re 的关系曲线是由球形颗粒做实验得出的。

第3.4节 机械除尘器

(1) 层流区: $10^{-4} < Re < 1$

$$\xi = \frac{24}{R_e}$$

(2) 过渡区: $1 < Re < 10^3$

$$\xi = \frac{18.5}{R_e^{0.6}}$$

(3) 湍流区: $10^3 < Re < 2 \times 10^5$

$$\xi = 0.44$$

第3.4节 机械除尘器

将用沉降速度 u_t 表示的颗粒 Re 代入层流区沉降速度公式中：

$$R_{et} = \frac{d_p u_t \rho}{\mu}$$

$$\xi = \frac{24}{R_e}$$

$$u_t = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18 \mu}$$

即为层流区沉降速度计算式，也称**斯托克斯公式**，用于计算颗粒在流体中做**自由沉降运动的层流沉降速度**计算式。

第3.4节 机械除尘器

◆ 沉降速度计算方法：

试差法（先假设沉降类型，计算 u_t ，然后将 u_t 代入颗粒雷诺数验算是否与假设相符）

例：用试差法求直径为 $40\mu\text{m}$ 的球形颗粒在 30°C 大气中的自由沉降速度。已知固体颗粒密度为 2600 kg/m^3 ，大气压强为 0.1MPa 。

第3.4节 机械除尘器

解： 设该沉降属于层流，应用斯托克斯公式计算。30°C，0.1MPa下空气的密度为 $\rho=1.165 \text{ kg/m}^3$ ，空气的粘度 $\mu=1.86 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，则：

校核类型：

$$u_t = \frac{(40 \times 10^{-6})^2 \times 9.81 \times (2600 - 1.165)}{18 \times 1.86 \times 10^{-5}} \\ = 0.12 \text{ m/s}$$

沉降速度为0.12 m/s

$$R_{et} = \frac{\rho d_p u_t}{\mu} = \frac{40 \times 10^{-6} \times 0.12 \times 1.165}{1.86 \times 10^{-5}} = 0.3 < 1$$

假设正确

第3.4节 机械除尘器

◆ 提高沉降室效率的主要途径

➤ 降低沉降室内气流速度（一般为**0.3~2.0m/s**）

➤ 增加沉降室长度

➤ 降低沉降室高度

$$\eta_i = \frac{h_c}{H} = \frac{u_t L}{v_0 H} = \frac{u_t L W}{Q} \quad (h_c < H)$$

- 多层沉降室：使沉降高度减少为原来的 $1/(n+1)$ ，其中 n 为水平隔板层数

$$\eta_i = \frac{u_t L W (n+1)}{Q}$$



多层沉降室

- 考虑清灰的问题，一般隔板数在**3**以下

第3.4节 机械除尘器

例：采用沉降室去除矿石炉的炉气中的粉尘颗粒。操作条件为：炉气流量 $25000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，密度为 $0.6 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，粘度为 $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，其中氧化铁粉尘的密度为 $4500 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，要求全部去除直径大于 $100 \mu\text{m}$ 的粉尘，试计算：

- (1) 所需沉降室的尺寸；
- (2) 炉气中直径为 $60 \mu\text{m}$ 的尘粒能否除掉，并估算能被出去的百分率；
- (3) 用上述计算确定的沉降室，要求将炉气中直径为 $60 \mu\text{m}$ 的尘粒完全除掉，沉降室需要几层？

第3.4节 机械除尘器

解：（1）计算沉降室尺寸：

根据分离要求， u_{tc} 按全部除去的最小粒径（ $100\mu\text{m}$ ）的颗粒计算。

假设颗粒沉降在层流区：

$$u_{tc} = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18\mu} = \frac{(1 \times 10^{-4})^2 \times 4500 \times 9.81}{18 \times 2 \times 10^{-5}} = 1.23 \text{ m/s}$$

验算雷诺数：

$$\text{Re} = \frac{d_p u_t \rho}{\mu} = \frac{1 \times 10^{-4} \times 1.23 \times 0.6}{2 \times 10^{-5}} = 3.69$$

所得结果与假设不符

第3.4节 机械除尘器

假设颗粒沉降在过渡区，则：

$$u_{tc} = \frac{0.78(1 \times 10^{-4})^{1.143} \times (4500)^{0.714}}{(0.6)^{0.286} \times (2 \times 10^{-5})^{0.428}} = 1.02 m/s$$

验算雷诺数：

$$Re = \frac{d_p u_t \rho}{\mu} = \frac{1 \times 10^{-4} \times 1.02 \times 0.6}{2 \times 10^{-5}} = 3.06$$

所得结果与假设相符

第3.4节 机械除尘器

则沉降室面积为：

$$L \cdot W = \frac{25000}{3600 \times 1.02} = 6.8 m^2$$

取宽度 **$W=1.8m$** ，则长 **L** 为 **$L = \frac{6.8}{1.8} = 3.78m$** ，取气体在沉降室中

的流速为 **$2m/s$** ，则沉降室高度为 **$H = \frac{Q}{Wu} = \frac{25000}{3600 \times 1.8 \times 2} = 1.93m$** 。

第3.4节 机械除尘器

(2) 直径 $60\mu\text{m}$ 尘粒的除尘效果:

假设在入口端处于距室底高度为 h 的尘粒正好在出口处能沉降
则沉降时间恰好等于在沉降室中的停留时间:

$$\tau_t = \frac{h}{u_{tc}} = \frac{L}{u} = \frac{3.78}{2} = 1.89s$$

假设直径 $60\mu\text{m}$ 尘粒的沉降处于层流区（验算略），沉降速度为:

$$u_{tc} = \frac{(60 \times 10^{-6})^2 \times 9.81 \times 4500}{18 \times 2 \times 10^{-5}} = 0.44 \text{ m/s}$$
$$h = \tau_t u_{tc} = 1.89 \times 0.44 = 0.832 \text{ m}$$

第3.4节 机械除尘器

如假设颗粒在入口处均匀分布，则 h/H 约等于被分离下来的百分率（除尘效率），因此粒径为 $60\mu\text{m}$ 的颗粒的去除效率为：

$$\frac{h}{H} = \frac{0.832}{1.93} \times 100\% = 43.1\%$$

(3) 假设直径 $60\mu\text{m}$ 尘粒全被去除所需层数为 n ：

$$n = \frac{H}{h} = \frac{1.93}{0.832} = 2.32$$

取3层。

直径 $60\mu\text{m}$ 尘粒全被去除所需面积为

$$WL = \frac{Q}{u_{tc}} = \frac{25000}{3600 \times 0.44} = 15.78 \text{m}^2$$

第3.4节 机械除尘器

重力沉降室的实际性能

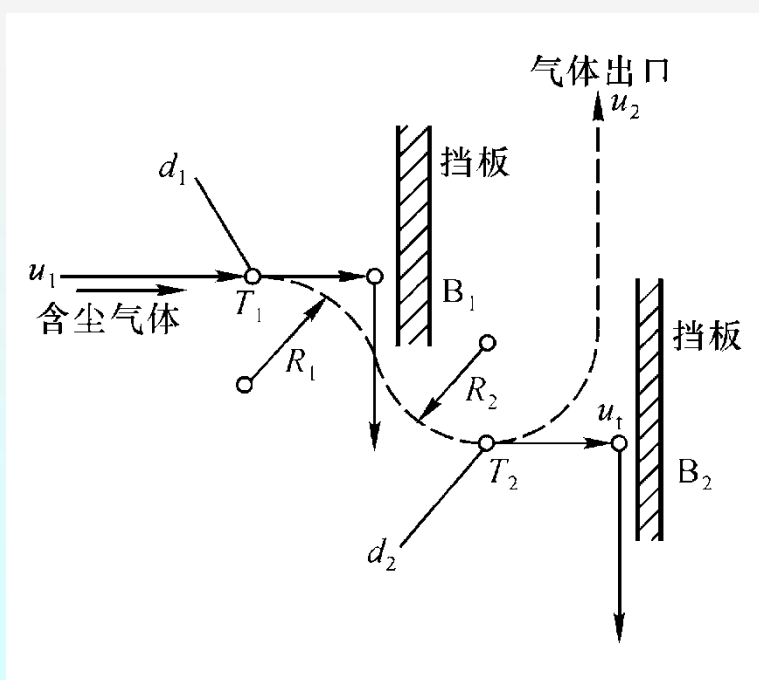
- 沉降室的实际性能几乎从不进行实验测量或测试，在最好的情况下，这种装置也只能作为气体的初级净化，除去最大和最重的颗粒。沉降室的除尘效率约为40—70%，仅用于分离 $d_p > 50\mu\text{m}$ 的尘粒。穿过沉降室的颗粒物必须用其它的装置继续捕集。
- **优点：**结构简单、投资少、易维护管理、压损小（50—130Pa）。
- **缺点：**占地面积大、除尘效率低（仅作为高效除尘器的预除尘装置，除去较大和较重的粒子）。

第3.4节 机械除尘器

二 惯性除尘器

1、机理

- 沉降室内设置各种形式的挡板，含尘气流冲击在挡板上，气流方向发生急剧转变，借助尘粒本身的惯性力作用（还利用了离心力和重力的作用），使其与气流分离。

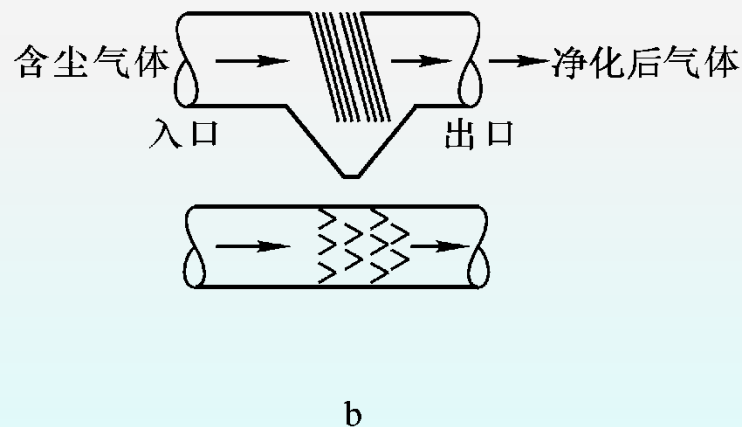
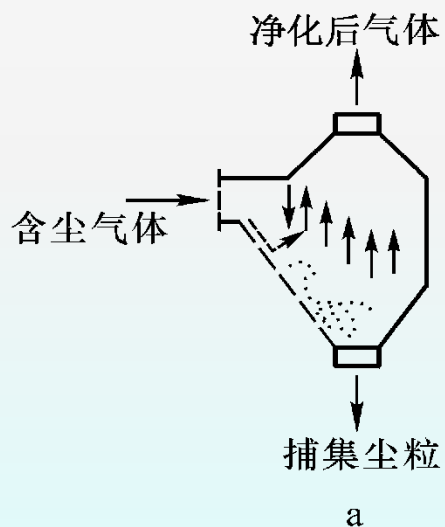


$$F_{\text{离心}} \propto d_2^3 \cdot \frac{u_t^2}{R_2}$$

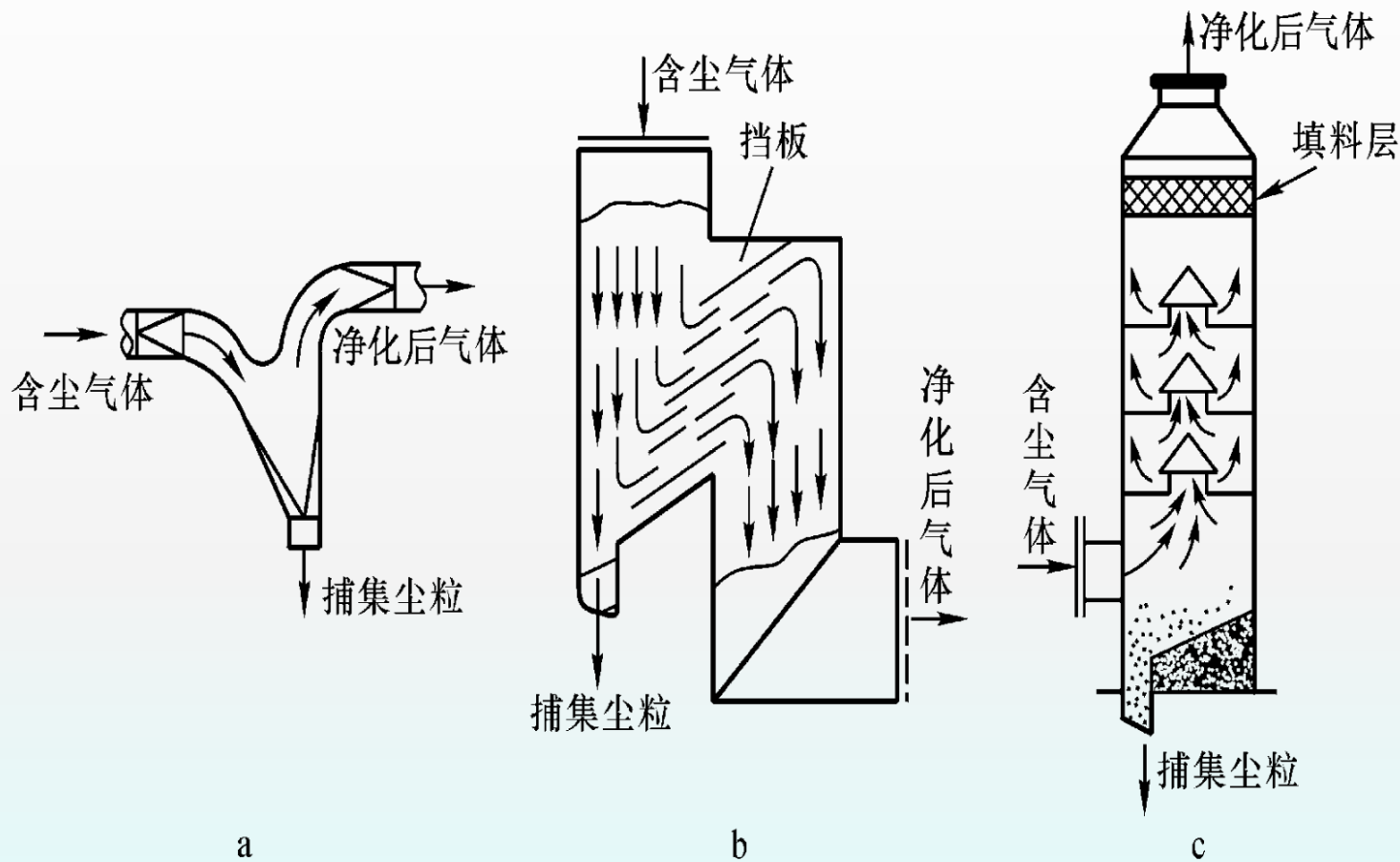
第3.4节 机械除尘器

2、结构形式

- ◇ 反转式—改变气流方向捕集较细粒子
- ◇ 冲击式—气流冲击挡板捕集较粗粒子



第3.4节 机械除尘器



a 弯管型 b 百叶窗型 c 多层隔板型

第3.4节 机械除尘器

3、应用

- ◆ 一般净化密度和粒径较大的金属或矿物性粉尘（粘结性和纤维性粉尘不宜）
 - 净化效率不高，一般只用于多级除尘中的一级除尘，捕集 $10\sim 20\mu\text{m}$ 以上的粗颗粒
 - 压力损失 $100\sim 1000\text{Pa}$

第3.4节 机械除尘器

三 旋风除尘器

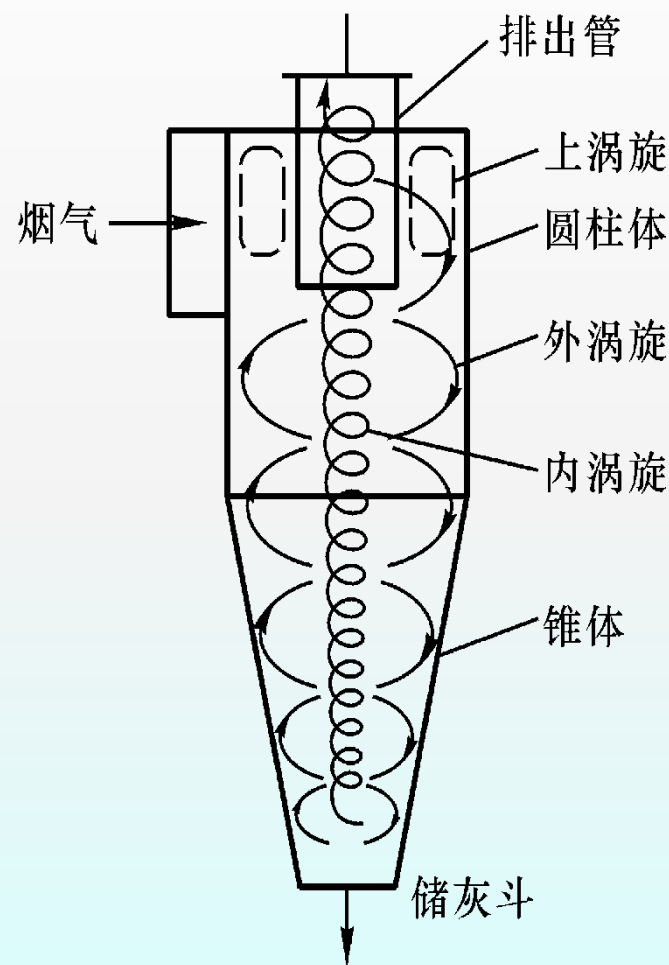


利用旋转气流产生的离心力使尘粒从气流中分离
进气管、筒体、锥体、排气管

第3.4节 机械除尘器

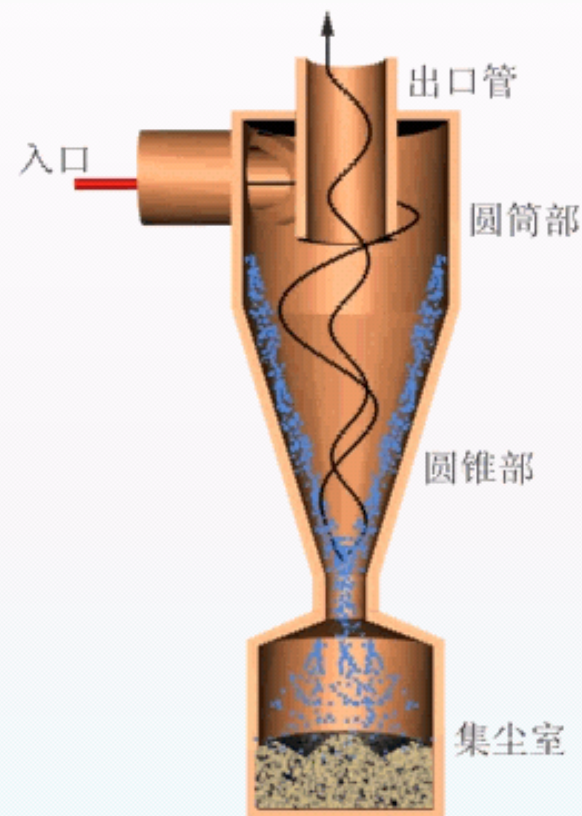
1、机理

- 气流沿外壁由上向下旋转运动：**外**涡旋；
- 旋转气流在锥体底部转而向上沿轴心旋转：**内**涡旋；
- 少量气体沿径向运动到中心区域；
- 气流运动包括切向、轴向和径向：
切向速度、轴向速度和径向速度。



第3.4节 机械除尘器

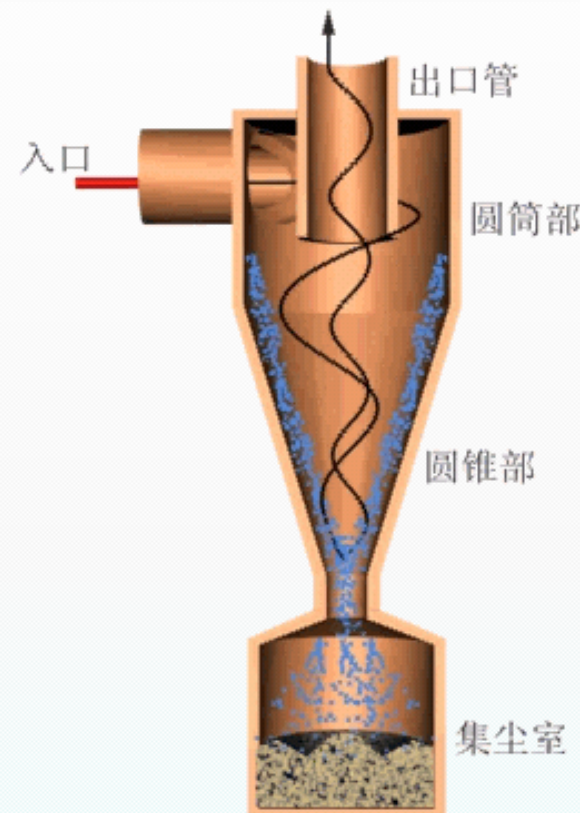
- 切向速度决定气流质点离心力大小，颗粒在离心力作用下逐渐移向外壁；
- 到达外壁的尘粒在气流和重力共同作用下沿壁面落入灰斗；



普通旋风除尘器

第3.4节 机械除尘器

- **下涡流：**外涡旋在运动到锥体下部向上折转时产生的局部涡流，下涡流一直延伸至灰斗，会把灰斗中的粉尘，特别是细粉尘搅起，被上升气流带走。
- **上涡旋：**气流从除尘器顶部向下高速旋转时，一部分气流带着细小的尘粒沿筒壁旋转向上，到达顶部后，再沿排出管外壁旋转向下，最后从排气管排出。



普通旋风除尘器

第3.4节 机械除尘器

◇ 切向速度

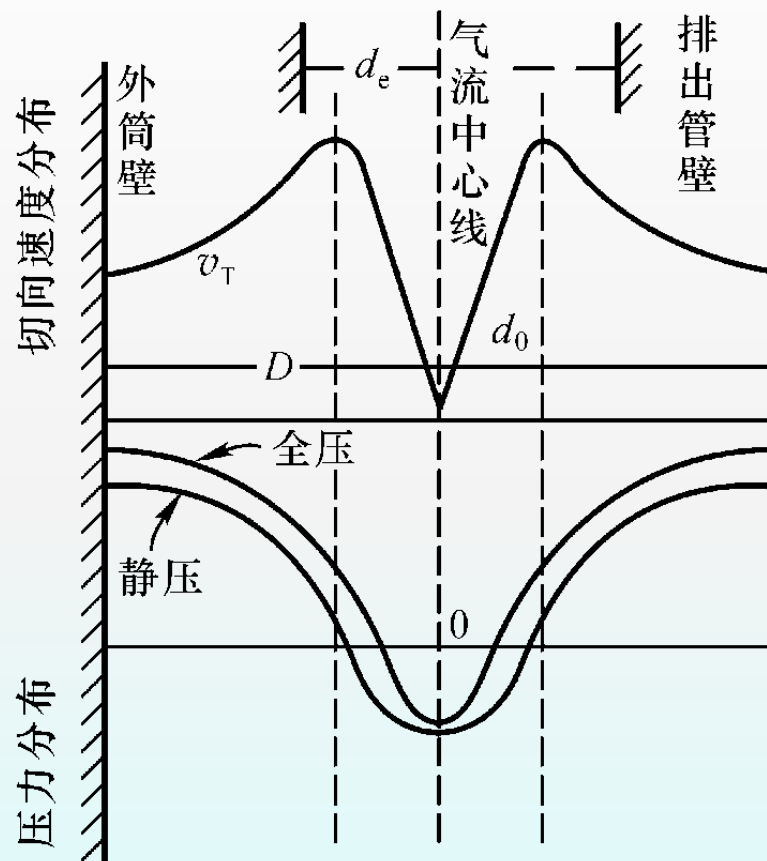
◇ 外涡旋的切向速度分布：

反比于旋转半径的 n 次方

$$V_T R^n = \text{const.}$$

◇ 此处 $n \leq 1$ ，称为涡流指数

$$n = 1 - \left[1 - 0.67 (D)^{0.14} \right] \left(\frac{T}{283} \right)^{0.3}$$



第3.4节 机械除尘器

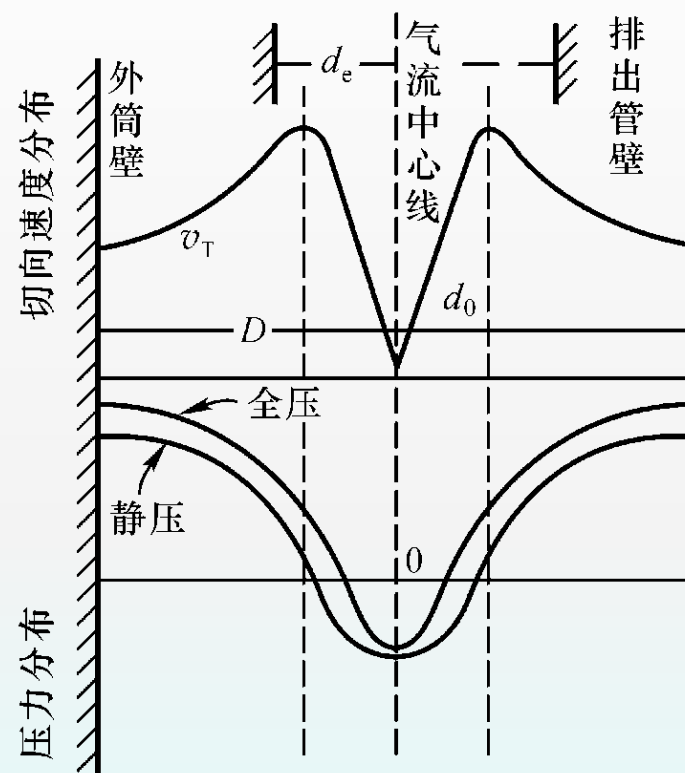
内涡旋的切向速度正比于半径

$$V_T / R = \omega \quad \text{—角速度}$$

◇ 内外涡旋的界面上气流切向速度最大

◇ 交界圆柱面直径 $d_0 = (0.6 \sim 1.0)$

d_e, d_e 为排气管直径



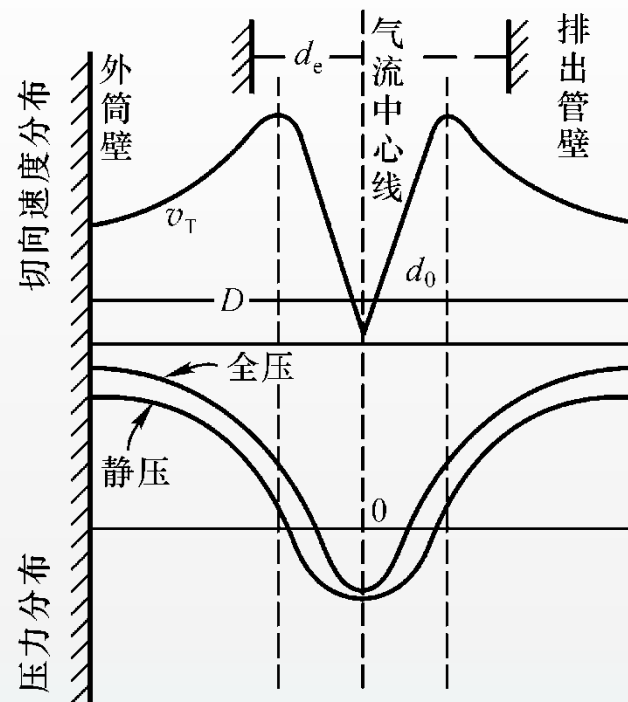
第3.4节 机械除尘器

◆ 径向速度

- 假定外涡旋气流均匀地经过交界圆柱面进入内涡旋
- 平均径向速度

$$V_r = \frac{Q}{2\pi r_0 h_0}$$

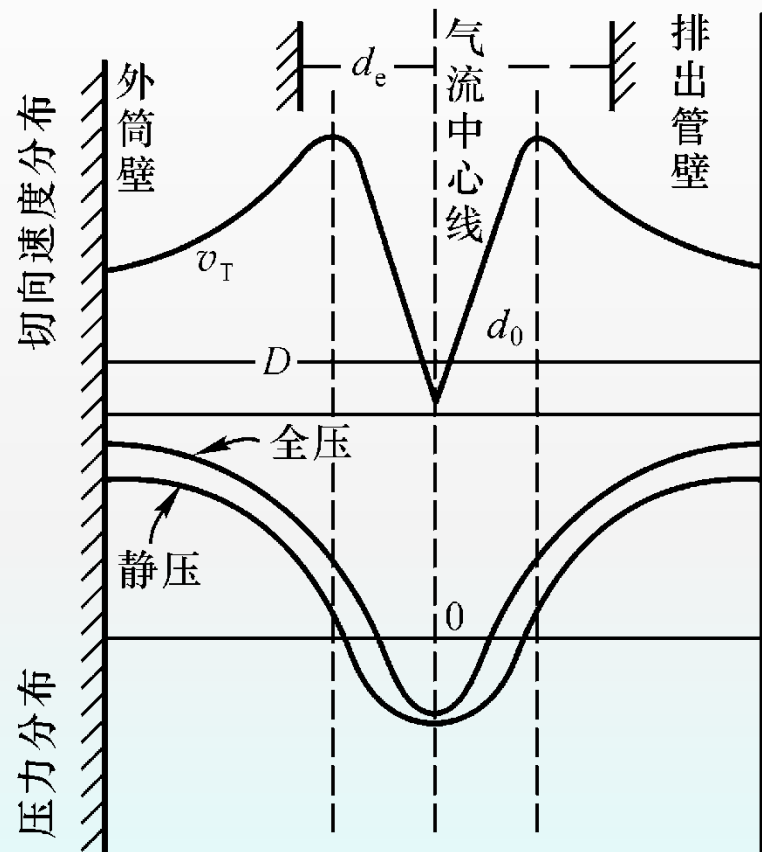
- r_0 和 h_0 分别为交界圆柱面的半径和高度，m



第3.4节 机械除尘器

◆ 轴向速度

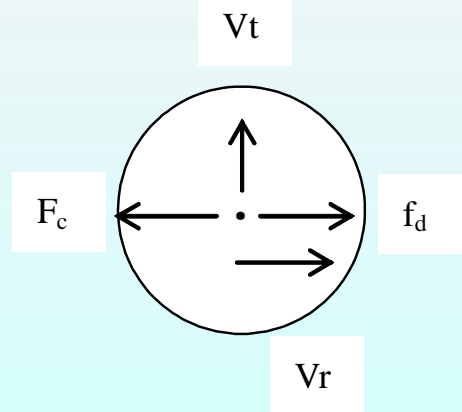
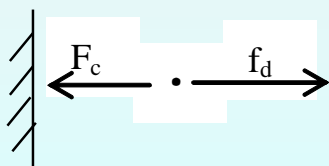
- 外涡旋的轴向速度向下
- 内涡旋的轴向速度向上
- 在内涡旋，轴向速度向上逐渐增大，在排出管底部达到最大值。



第3.4节 机械除尘器

2、旋风除尘器的除尘效率（很多种理论）

- 计算分割直径是确定除尘效率的基础
- 在交界面上粉尘的所受的作用力包括：离心力 F_C ，向心运动气流作用于尘粒上的阻力 F_D
 - ◆ 若 $F_C > F_D$ ，颗粒移向外壁
 - ◆ 若 $F_C < F_D$ ，颗粒进入内涡旋
 - ◆ 当 $F_C = F_D$ 时，有50%的可能进入外涡旋，即除尘效率为50%



第3.4节 机械除尘器

- 为什么忽略了粉尘的质量呢？因为重力等于 mg ，离心力

$$F_c = m \frac{V_t^2}{r}$$

- 设 $V_t=30\text{m/s}$ ， $r=0.1\text{m}$ ，

$$\frac{F_c}{\text{重力}} = \frac{\frac{V_t^2}{r}}{g} = \frac{900}{0.1 \times 9.8} \approx 900$$

- 离心力远远大于重力，故重力可忽略。

第3.4节 机械除尘器

◇ 对于球形Stokes粒子

$$\frac{\pi}{6} d_c^3 \rho_p \frac{V_{T0}^2}{r_0} = 3\pi\mu d_c V_r$$

◇ 分割粒径

$$d_c = \left(\frac{18\mu V_r r_0}{\rho_p V_{T0}^2} \right)^{1/2}$$

◇ d_c 确定后，雷思—利希特模式计算其它粒子的分级效率

$$\eta_i = 1 - \exp\left[-0.6931 \times \left(\frac{d_p}{d_c}\right)^{\frac{1}{n+1}}\right]$$

◇ 另一种经验公式

$$\eta_i = \frac{(d_{pi} / d_c)^2}{1 + (d_{pi} / d_c)^2}$$



第3.4节 机械除尘器

3、旋风除尘器的压力损失

$$\Delta P = \frac{1}{2} \xi \rho V_{\text{in}}^2$$

ξ : 局部阻力系数

A: 旋风除尘器进口面积

$$\xi = 16 \frac{A}{d_e^2}$$

局部阻力系数试验数据

旋风除尘器型式	XLT	XLT/A	XLP/A	XLP/B
ξ	5.3	6.5	8.0	5.8

第3.4节 机械除尘器

◇ 旋风除尘器的压力损失

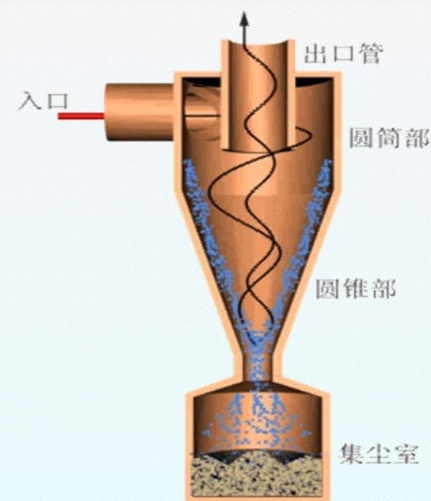
- ◇ 相对尺寸的不同对压力损失影响较大，除尘器结构型式相同时，几何相似放大或缩小，压力损失基本不变
- ◇ 操作运行中可以接受的压力损失一般低于2kPa

思考题：

一个进口面积为 0.36m^2 ，排气管直径 0.6m 的旋风除尘器，和另一个进口面积为 4m^2 ，排气管直径 2m 的旋风除尘器，在气体入口速度相同时，压力损失哪个大？为什么？

第3.4节 机械除尘器

■ 例题：已知旋风除尘器在选取入口速度 $V_1=13\text{m/s}$ 时，处理气体量 $Q=1.37\text{m}^3/\text{s}$ 。试确定净化工业锅炉烟气（温度为 423K ，烟尘真密度为 3.1g/cm^3 ）时的分割直径和压力损失。已知该除尘器筒体直径 0.9m ，排气管直径为 0.45m ，排气管下缘至锥顶的高度为 3.58m ， 423K 时烟气的粘度（近似取空气的值） $\mu=2.4\times 10^{-5}\text{pa}\cdot\text{s}$ 。



普通旋风除尘器

第3.4节 机械除尘器

◇ 分割粒径

$$d_c = \left(\frac{18\mu V_r r_0}{\rho_p V_{T0}^2} \right)^{1/2}$$

$$V_T R^n = \text{const.}$$

$$V_r = \frac{Q}{2\pi r_0 h_0}$$

压力损失

$$\Delta P = \frac{1}{2} \xi \rho V_{in}^2$$



第3.4节 机械除尘器

解：

$$V_T R^n = \text{const.}$$

$$\begin{aligned} n &= 1 - [1 - 0.67(D^{0.14})][\frac{T}{283}]^{0.3} \\ &= 1 - [1 - 0.67(0.9)^{0.14}][\frac{423}{283}]^{0.3} \\ &= 0.62 \end{aligned}$$

假设接近圆筒壁处的气流切向速度近似等于气流的入口速度，即

$V_t=13\text{m/s}$ ，取内、外涡旋交界圆柱的直径 $d_0=0.7 d_e$ ，根据式

气流在交界面上的切向速度

$$\begin{aligned} v_{T0} &= 13 \times (\frac{0.9}{0.7 \times 0.45})^{0.62} \\ &= 24.92\text{m/s} \end{aligned}$$

第3.4节 机械除尘器

径向速度计算

$$v_r = \frac{Q}{2\pi r_0 h_0} = \frac{1.37}{2\pi \times 0.7 \times 0.225 \times 2.58} = 0.54 \text{m/s}$$

$$d_c = \left[\frac{18\mu v_r r_0}{\rho_p v_{T0}^2} \right]^{1/2} = \left[\frac{18 \times 2.4 \times 10^{-5} \times 0.54 \times 0.7 \times 0.225}{2100 \times 24.92^2} \right]$$
$$= 5.31 \times 10^{-6} \text{m} = 5.31 \mu\text{m}$$

此时旋风除尘器的分割直径为**5.31μm**。

第3.4节 机械除尘器

例题（续）

计算旋风除尘器操作条件下的压力损失：423 K时烟

气密度可近似取为

$$\rho = 1.293 \times \frac{273}{423} = 0.834 \text{ kg/m}^3$$

$$\zeta = 16A / d_c^2 = 16 \times \frac{1.37}{13 \times (0.45)^2} = 8.33$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{1}{2} \zeta \rho v_{T1}^2 = \frac{1}{2} \times 8.33 \times 0.834 \times 13^2 \\ &= 547 \text{ Pa} \end{aligned}$$

第3.4节 机械除尘器

4、影响旋风除尘器效率的因素

(1) 二次效应

——所谓二次效应是指被捕集的粒子重新进入气流的运动。

- ◆ 在较小粒径区间内，理应逸出的粒子由于聚集或被较大尘粒撞向壁面而脱离气流获得捕集，实际效率高于理论效率
- ◆ 在较大粒径区间，粒子被反弹回气流或沉积的尘粒被重新吹起，实际效率低于理论效率
- ▣ 通过环状雾化器将水喷淋在旋风除尘器内壁上，能有效地控制二次效应

第3.4节 机械除尘器

(2) 比例尺寸

- 在相同的切向速度下，筒体直径愈小，离心力愈大，除尘效率愈高；筒体直径过小，粒子容易逃逸，效率下降。
- 锥体长度——适当加长，对提高除尘效率有利 $H = (1 \sim 3) D$
- 排出管直径愈小，分割直径愈小，即除尘效率愈高；直径太小，压力损失增加，一般取排出管直径 $d_e = (0.4 \sim 0.65) D$ 。

第3.4节 机械除尘器

- 旋风除尘器排出管以下部分的长度应当接近或等于 l ，筒体和锥体的总高度以不大于筒体直径的五倍为宜。

- ◆ 特征长度 (natural length) - 亚历山大公式

$$l = 2.3d_e \left(\frac{D^2}{A} \right)^{1/3}$$

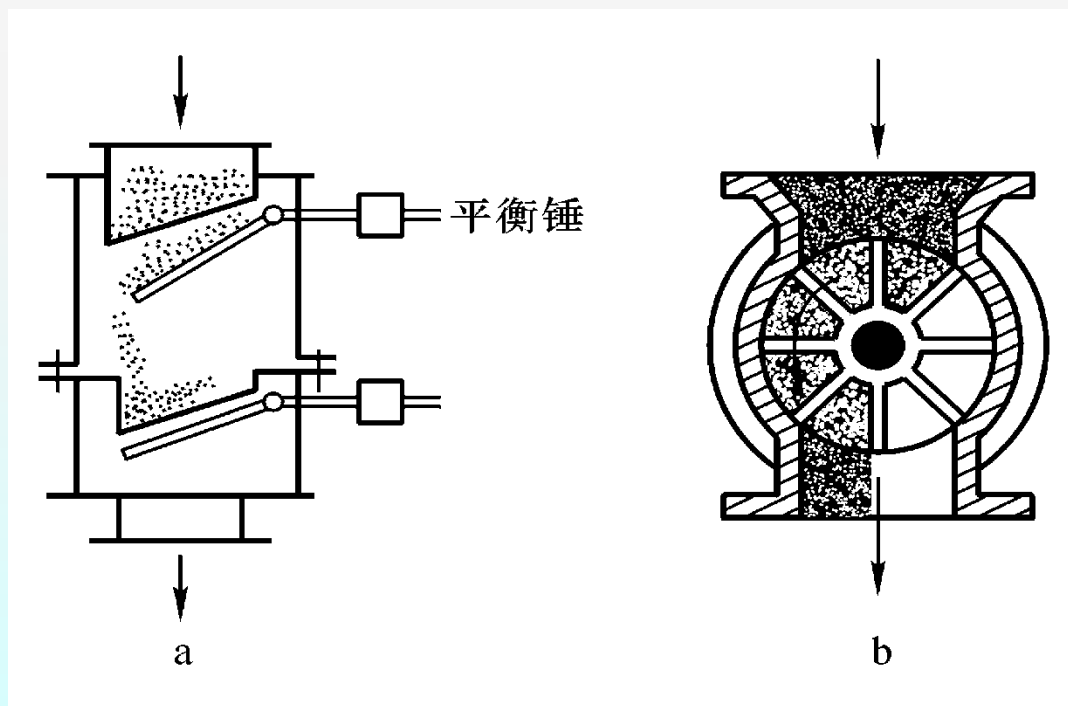
第3.4节 机械除尘器

(3) 除尘器下部的严密

应在不漏风的情况下进行正常排灰

漏风率： 0%、 5%、 15%

η : 90%、 50%、 0



锁气器 (a) 双翻板式 (b) 回转式

第3.4节 机械除尘器

(4) 烟尘的物理性质

- 气体粘度：对于气体而言， μ 增大对除尘不利， d_c 增大，效率减小。
- 温度增大，则 μ 增大，效率减小。
- 粉尘粒径与密度：离心力跟粒径的三次方成正比，流体阻力跟粒径的一次方成正比。综合来说， d_p 增大则效率增大，又因为

$$d_{c50} \propto \left(\frac{1}{\rho_p} \right)^{1/2}$$
$$d_c = \left(\frac{18\mu V_r r_0}{\rho_p V_{T0}^2} \right)^{1/2}$$

所以， ρ_p 小，难分离，影响捕集效率。

第3.4节 机械除尘器

(5) 操作变量

- ◆ 提高烟气入口流速，旋风除尘器分割直径变小，除尘器性能改善。

$$\frac{100 - \eta_a}{100 - \eta_b} = \left(\frac{Q_b}{Q_a} \right)^{0.5}$$

- ◆ 入口流速过大，已沉积的粒子有可能再次被吹起，重新卷入气流中，除尘效率下降。
- ◆ 效率最高时的入口速度

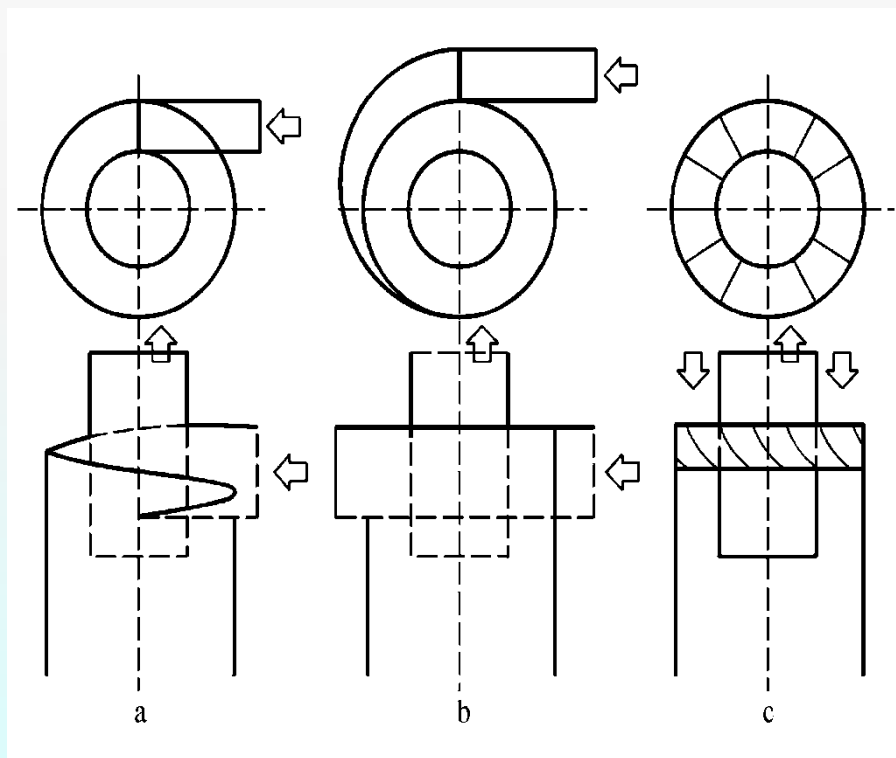
$$v_1 = 3030 \frac{\mu \rho_p}{\rho_g^2} \cdot \frac{(b/D)^{1.2}}{(1 - b/D)} D^{0.201} (\text{m/s})$$

第3.4节 机械除尘器

5、旋风除尘器结构形式

(1)、按进气方式分

- ◆ 切向进入式
- ◆ 轴向进入式

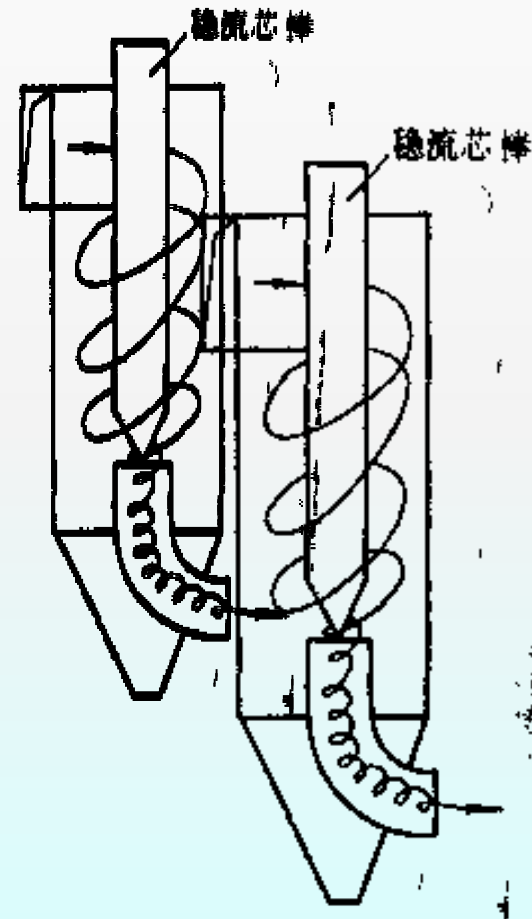
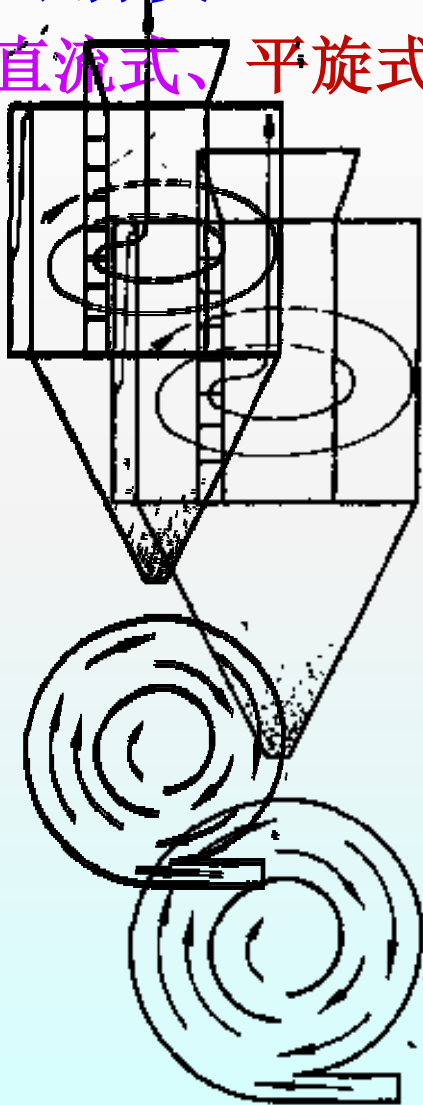


a. 直入切向进入式 b. 蜗壳切向进入式 c. 轴向进入式

第3.4节 机械除尘器

(2)、按气流组织分类

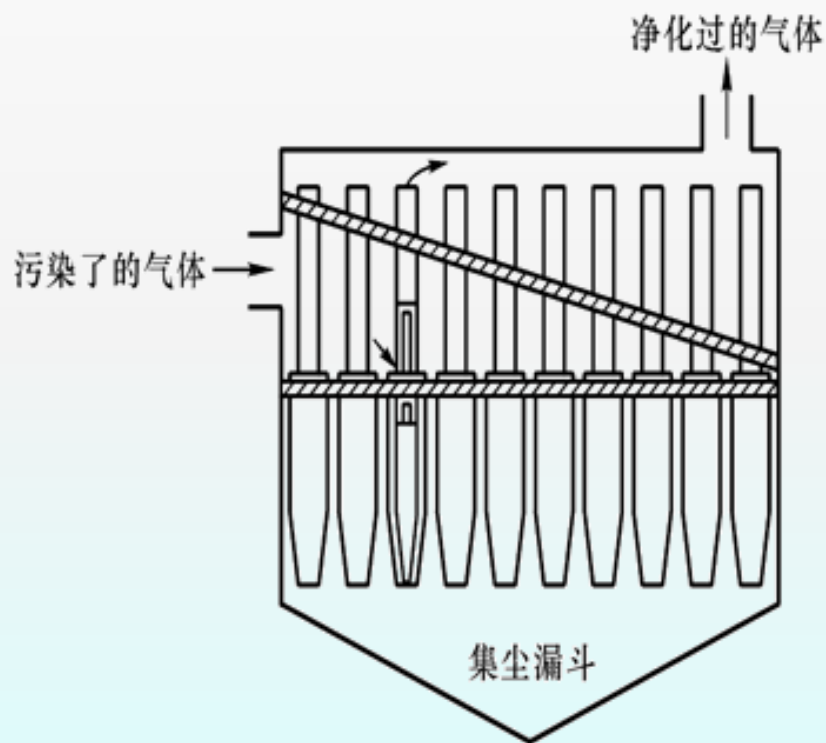
回流式、直流式、平旋式



第3.4节 机械除尘器

(3) 多管旋风除尘器

由多个相同构造形状和尺寸的小型旋风除尘器（又叫旋风子）组合在一个壳体内并联使用的除尘器组。



回流式多管旋风除尘器