

第五章 环保设备设计和选型

第一节 常用除尘设备设计及选型

机械除尘器

电除尘器

文丘里除尘器

袋式除尘器

除尘器的选择与发展

除尘装置

从气体中除去或收集固态或液态微粒子的设备称为除尘装置

按分离原理分类：

重力除尘装置（机械式除尘装置）

惯性力除尘装置（机械式除尘装置）

离心力除尘装置（机械式除尘装置）

洗涤式除尘装置

过滤式除尘装置

电除尘装置

声波除尘装置

一 机械除尘器

机械除尘器通常指利用质量力(重力、惯性力和离心力)的作用使颗粒物与气体分离的装置，常用的有：

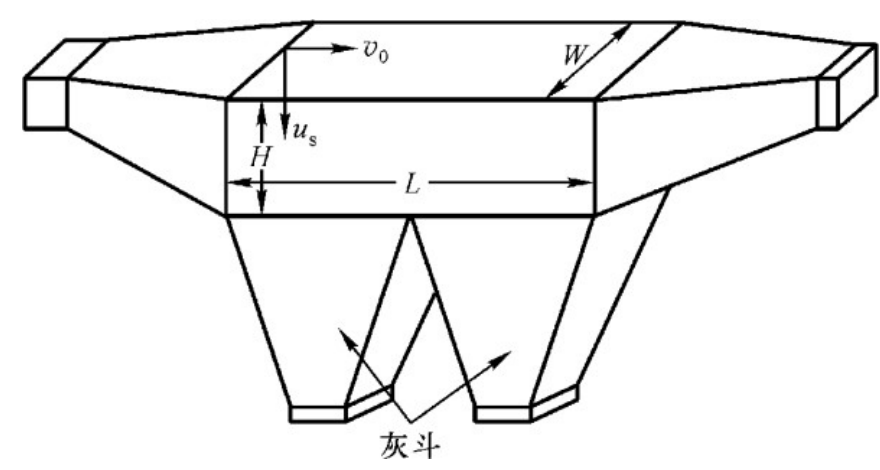
重力沉降室

惯性除尘器

旋风除尘器

重力沉降室

重力沉降室是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

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

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

该粒子的除尘效率

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

$$\eta_i = 1.0 \quad (h_c \geq H)$$

对于 Stokes 粒子，代入

$$u_s = \frac{d_p^2 \rho_p g}{18 \mu} \quad \eta_i = \frac{\rho_p g L}{18 \mu v_0 H} d_p^2 = a d_p^2$$

$$a = \frac{\rho_p g L}{18 \mu v_0 H}$$

对于 Stokes 粒子，重力沉降室能 100%捕集的最小粒子的 dmin = ?

$$h_c = H \quad u_s = \frac{d_p^2 \rho_p g}{18 \mu}$$

$$\text{即 } \frac{d_p^2 \rho_p g LWH}{18 \mu Q} = H$$

$$\Rightarrow d_{\min} = \sqrt{\frac{18 \mu Q}{\rho_p g W L}}$$

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

由于沉降室内的气流扰动和返混的影响，工程上一般用分级效率公式的一半作为实际分级效率

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{36 \mu Q}{\rho_p g W L}}$$

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

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

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

考虑清灰的问题，一般隔板数在 3 以下

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）。

旋风除尘器



进气管、筒体、锥体、排气管

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的装置
- 旋风除尘器内气流与尘粒的运动

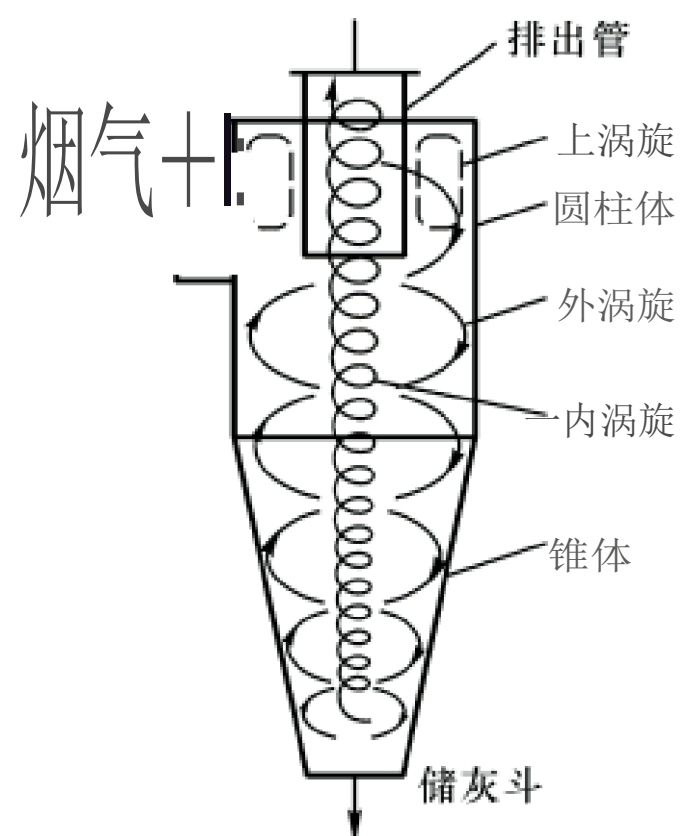
► 气流沿外壁由上向下旋转运动：

外涡旋

► 少量气体沿径向运动到中心区域

► 旋转气流在锥体底部转而向上沿轴心旋转：内涡旋

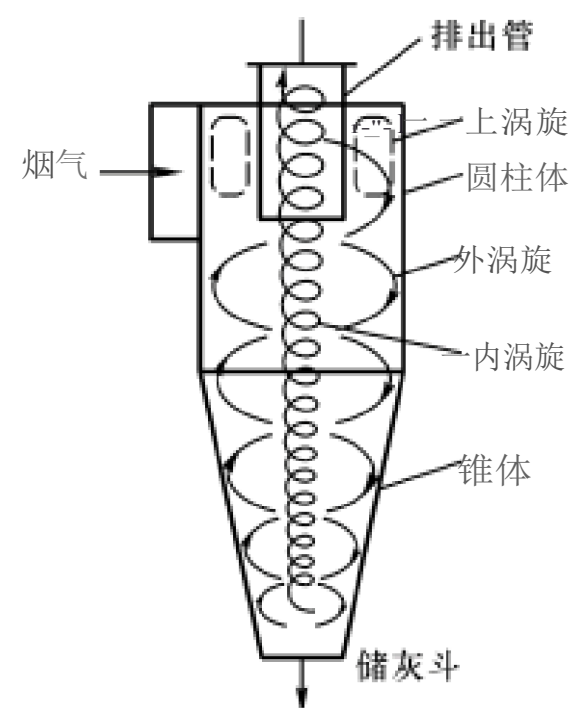
► 气流运动包括切向、轴向和径向：
切向速度、轴向速度和径向速度



旋风除尘器气流与尘粒的运动

· 旋风除尘器内气流与尘粒的运动（续）

- ▶ 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
- ▶ 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



旋风除尘器

· 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 $E = \frac{Q}{2\pi r h}$

r 和 h 分别为交界圆柱面的半径和高度， m

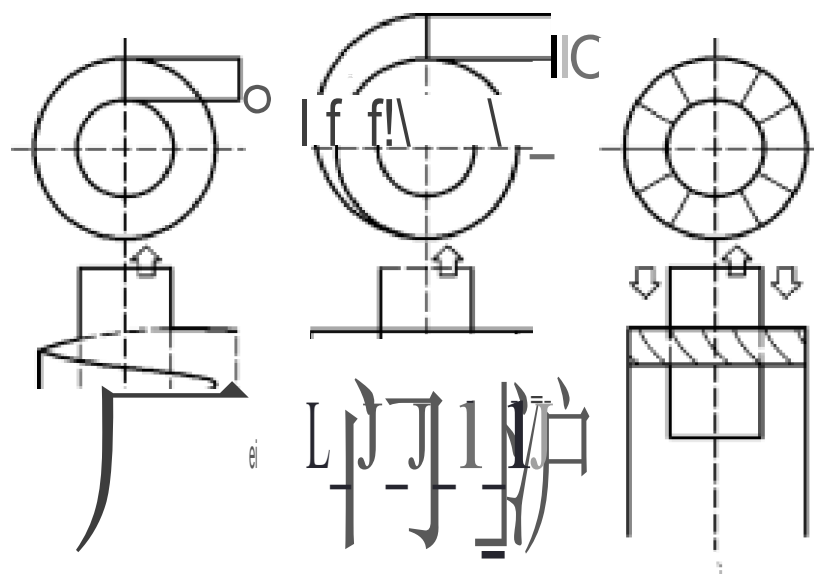
· 轴向速度

- ▶ 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

· 结构形式

▶ 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

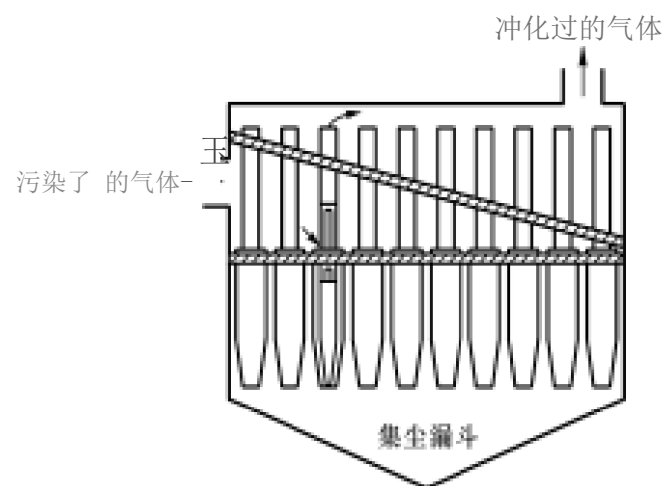
· 结构形式（续）

▶ 按 气 流组织分类

- 回流式、直流式、平旋式和旋流式

▶ 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
- 常见的多管除尘器有回流式和直流式两种



回流式多管旋风除尘器

旋风除尘器的设计选型

计算法和经验法

• 一般使用经验法

1、选择除尘器的型式

- 根据含尘浓度、粒度分布、密度等烟气特征，及除尘要求、允许的阻力和制造条件等因素进行确定

2、根据允许的压力降确定进口风速，或取为 12~25 m/s

• 由 $AP = \xi \frac{\rho v^2}{2}$ 可得 $v = \sqrt{\frac{2AP}{\rho \xi}}$

3、确定入口截面A，入口宽度b和高度h

$$A = bh = \frac{Q}{v}$$

• 确定各部分几何尺寸

• 旋风除尘器的比例尺寸

尺寸名称		XLP/A	XLP/B	XLTIA	XLT
入口宽度，b		πD	πD	拉 / 2 π	.../All π
入口高度，h		5D	4D	...E	...11_75A
筒体直径，D		上3.85 下0.1D	3.33 b (0.3D)	3.85b	4.9 b
排出筒直径，de		上0.6D 下0.6D	0.6D	0.6D	0.58 D
筒体长度，L		上13.5D 下1.0D	1-7D	2-16D	1_6D
锥体长度，H		上0.50D 下1.00D	2.3 D	2.0D	1.3 D
灰口直径，d1		0.2 D	0.43 D	0.3 D	0.145D
进口速度为右值时的压力损失	12m/s	700 (0.00)	500 (斗加)	861D (770)	440 (4'90)
	15m/s	1100 (940)	890 (700)	1350 (1210)	670 (770)
	18m/s	14100 (1260Q)	1.450 (1150)	1950 (1740)	990 (1.1.1.0)

旋风除尘器的设计

- 也可选择其它的结构，但应遵循以下原则

①为防止粒子短路漏到出口管， $h > s$ ，其中 s 为排气管插入深度；

②为避免过高的压力损失， $b = (D - d_e) / 12$ ；

③为保持涡流的终端在锥体内部， $(H + L) > 3D$ ；

④为利于粉尘易于滑动，锥角 $=70^\circ \sim 80^\circ$ ；

⑤为获得最大的除尘效率， $d / D \sim 0.4 \sim 0.5$ ， $(H - tL) / d \sim 8 \sim 10$ ； $s / d \sim 1$ ；

旋风除尘器的特点

优点：结构简单、占地面积小，投资少，操作维修方便，压力损失中等，动力消耗不大。

缺点：除尘效率平均80%左右，捕集 $<5 \mu m$ 颗粒的效率不高，一般用作多级除尘的预除尘。磨损严重，旋风子易堵。

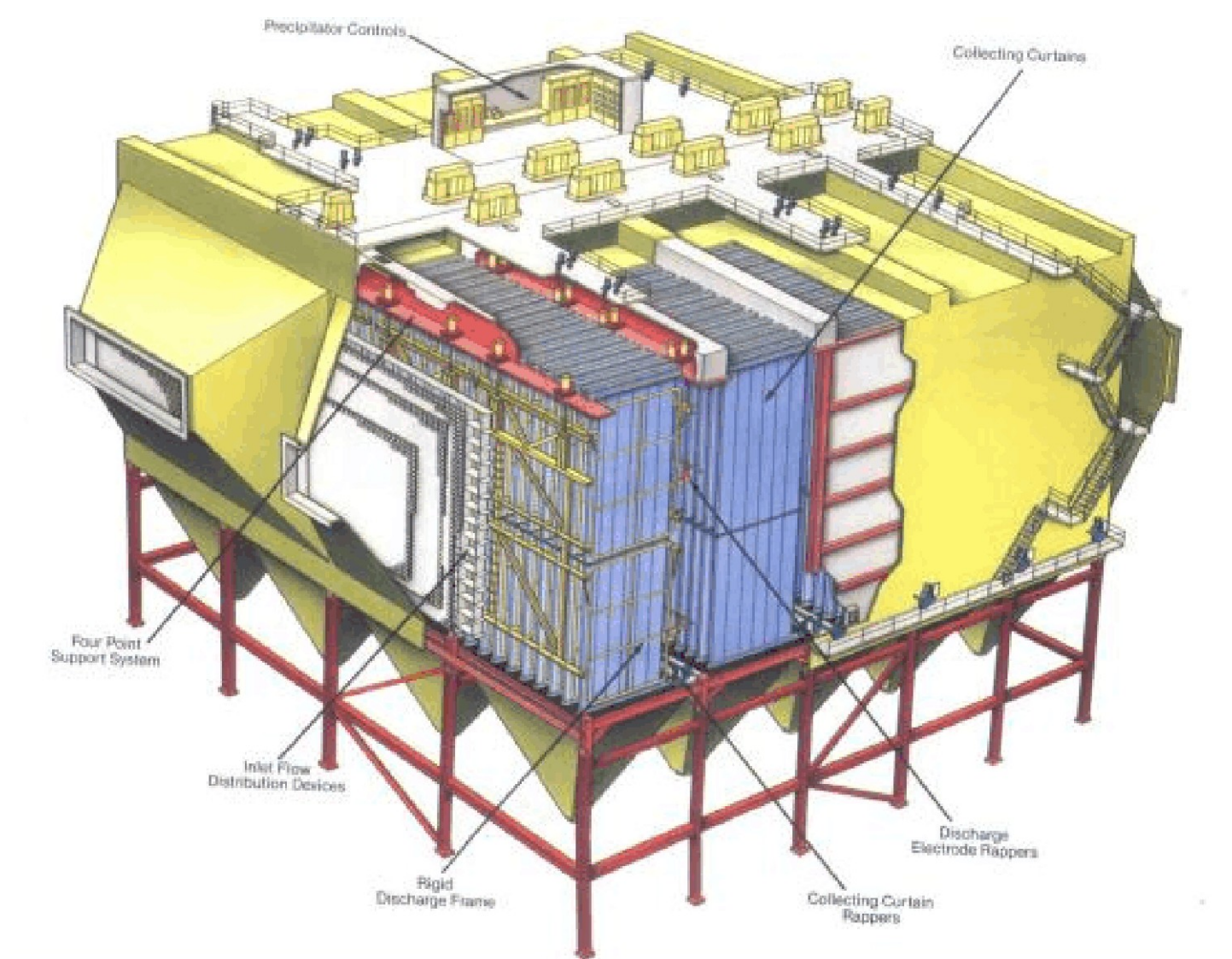
电除尘器

- 电除尘是利用高压电场使气体发生电离，再使气体中的粉尘荷电，并在电场力的作用下，使气体中的悬浮粒子分离出来的装置。

特点：

- 1 分离的作用力直接施之于粒子本身，而机械方法大多把作用力作用在整个气体。
2. 气流阻力小。耗电少：0.2 ~ 0.4 度/1000m³，压损小：一般为200~ 500Pa。
3. 捕集细小颗粒（1 μm左右）的效率。
4. 除尘效率高，一般在95-99%(最高可达99.9 %).
- 5 处理气量大，可达105 1 06m³/h
- 6 可在高温或强腐蚀性气体下操作。
7. 主要缺点是设备庞大，消耗钢材多，初投资大，要求安装和运行管理技术较高。

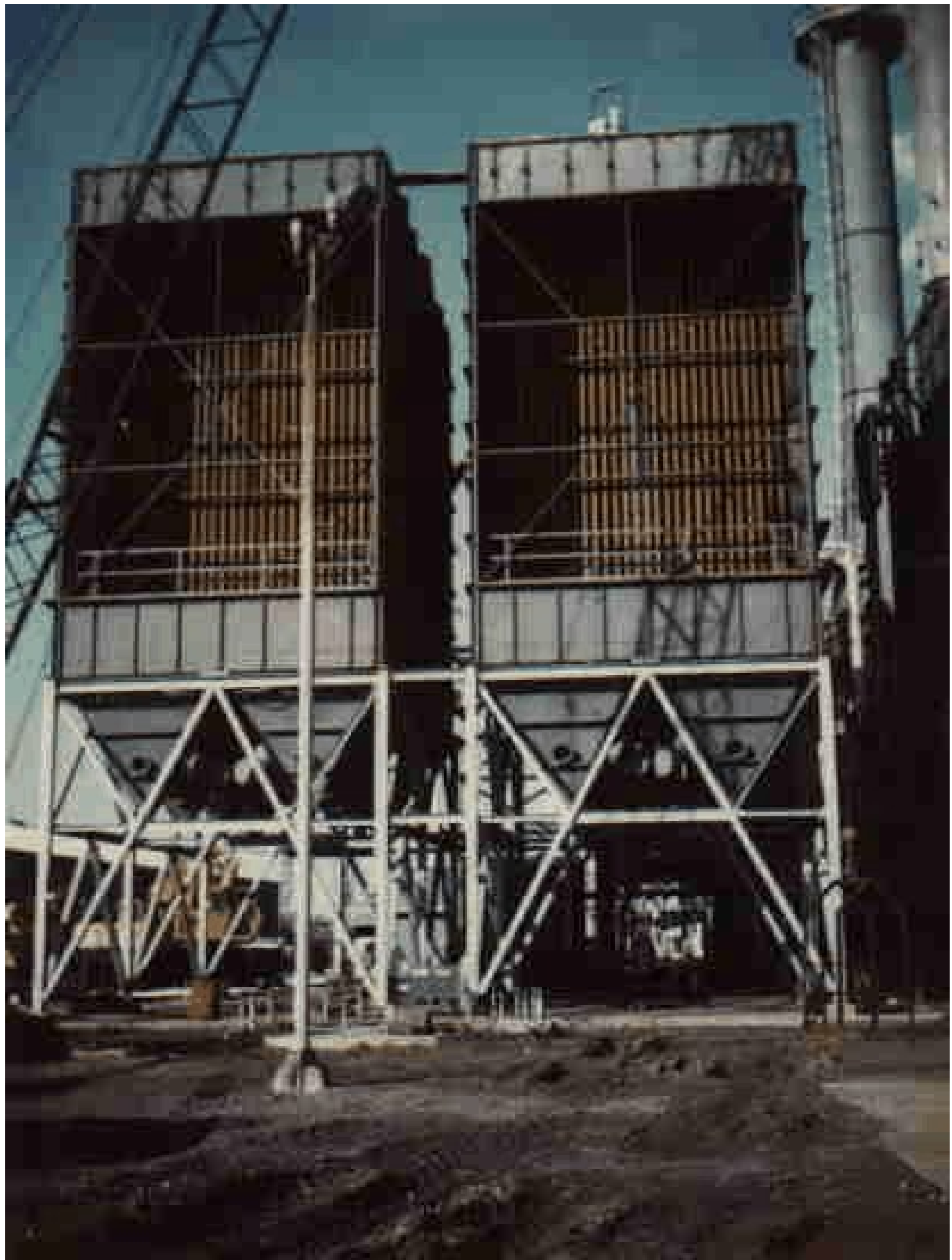
电除尘器





宁被北仑电厂 60 万千瓦机组配套电除尘器





电除尘器的的工作原理

三个步骤

粉尘荷电

放电极与集尘极间施加高压
放电极附近发生电晕放电
气体电离
产生正离子
移向电晕极
{ 自由电子和部分随即形成的负离子
与粉尘碰撞并附着其上，实现粉尘荷电

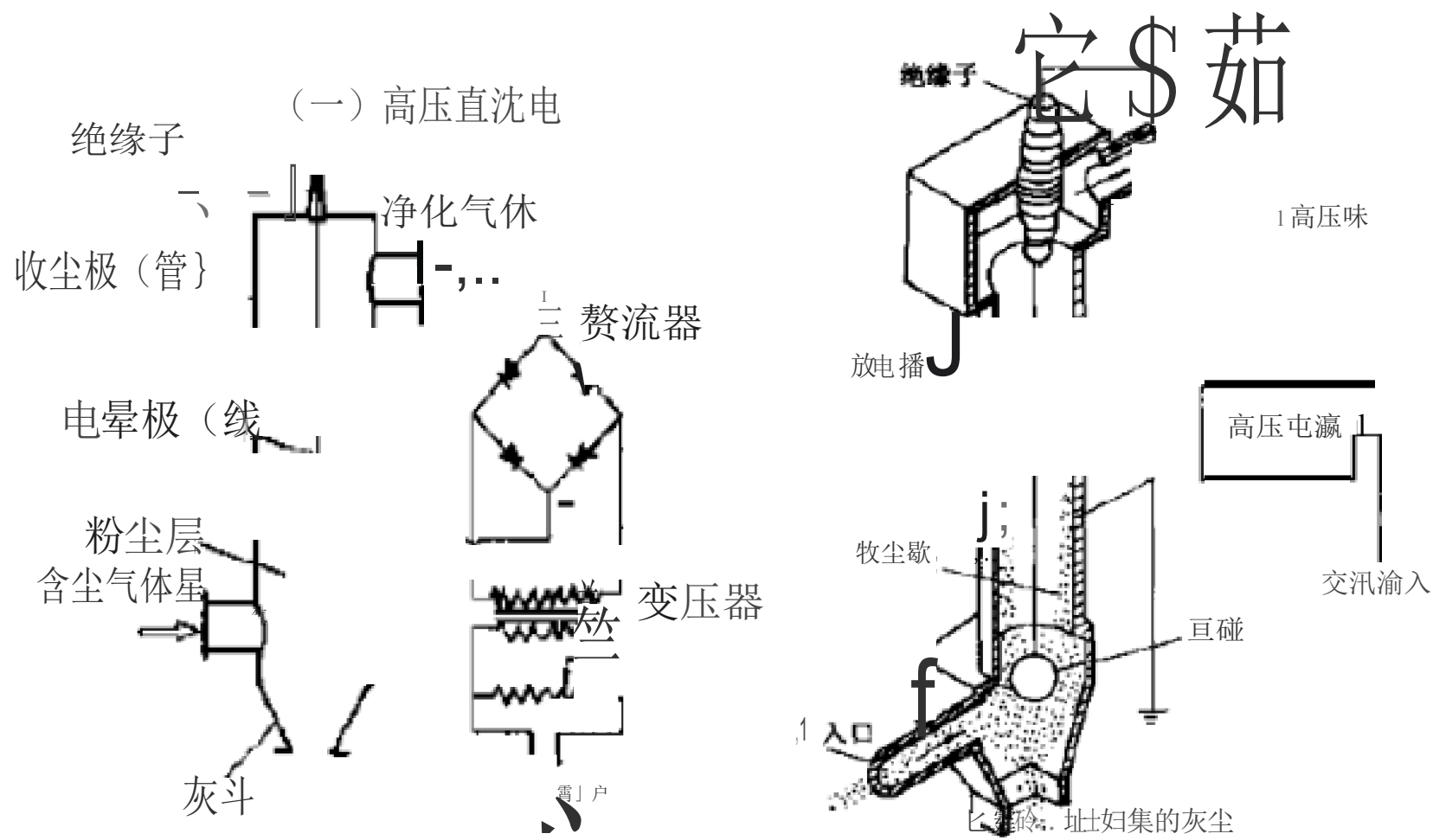
粉尘沉积 到达其表面并放出电荷面沉积其上

消灰

静电除尘器构造

主要构件:

- 电晕极 集尘极 清灰装置



氏 K-1 静式电除尘器示意图

被捕集粉尘的清除

- 电晕极和集尘极上都会有粉尘沉积
- 粉尘沉积在电晕极上会影响电晕电流的大小和均匀性，一般方法采取振打清灰方式清除
- 从集尘极清除已沉积的粉尘的主要目的是防止粉尘重新进入气流
 - ▶ 在湿式电除尘器中，用水冲洗集尘极板。无二次扬尘，效率高。主要问题是清灰水的处理及设备腐蚀。
 - ▶ 在干式电除尘器中，一般用机械撞击或电极振动产生的振动力清灰。有利于回收有经济价值的粉尘，但易产生二次扬尘。

现代的电除尘器大都采用电磁振打或锤式振打清灰口振打系统要求既能产生高强度的振打力，又能调节振打强度和频率常用的振打器有电磁型和挠臂锤型

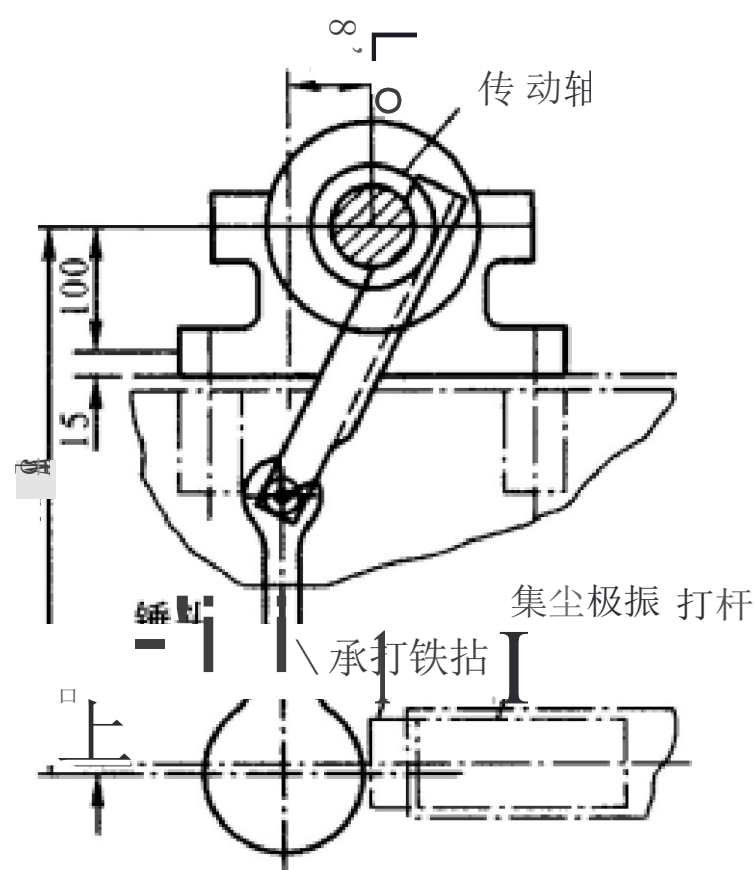


图0 - 22 挠臂锤型振打装置

电除尘器的选择和设计

- 电除尘器的选择和设计仍然主要采用经验公式类比方法

表 捕集飞灰的电除尘器的主要设计参数

参数	符号	取值范围
板间距	S	23~ 28C111.
驱进速度	μ	3.--J 18 cm/ s
比集尘极表面积	AIQ	300...24 00m2 (100 Om3/m.in)
气流速度	U'	1,...2m/s
长高比	L/H	0.5 ~ 1.5
比电晕功率	$P_j Q$	1800,... 18000O\V/(1 00Om3/ min)
电晕电流密度	IC''	0. 05,...,1 0A /m 2
平均气流速度		
烟煤锅炉	η	1_ _..._ _6mls
褐煤锅炉	η	1.8....2.6m/.s.

电除尘器的选择和设计

- 比集尘表面积确定
 - 根据运行和设计经验， 确定有效驱进速度 μ_e 按德意希方程求得比集尘表面积 $4/Q$
$$A I Q = \frac{1}{\mu_e} \ln(\frac{1}{1 - \eta}) = \frac{1}{\mu_e} \ln(\frac{1}{p})$$
- 长高比的确定
 - 集尘板有效长度与高度之比， 直接影响振打清灰时二次扬尘的多少
 - 要求除尘效率大千99% 时， 除尘器的长高比至少要1.0,...,1.5。

- 气流速度的确定
 - ▶ 通常由处理烟气量和电除尘器过气断面积，计算烟气的平均流速
 - ▶ 平均流速高于某一临界速度时，作用在粒子上的空气动力学阻力会迅速增加，粉尘的重新进入量亦迅速增加
- 气体的含尘浓度
 - ▶ 如果气体含尘浓度很高，电场内尘粒的空间电荷很高，易发生电晕闭塞
 - ▶ 应对措施— 提高工作电压，采用放电强烈的芒刺型电晕极，电除尘器前增设预净化设备等

三湿式除尘器

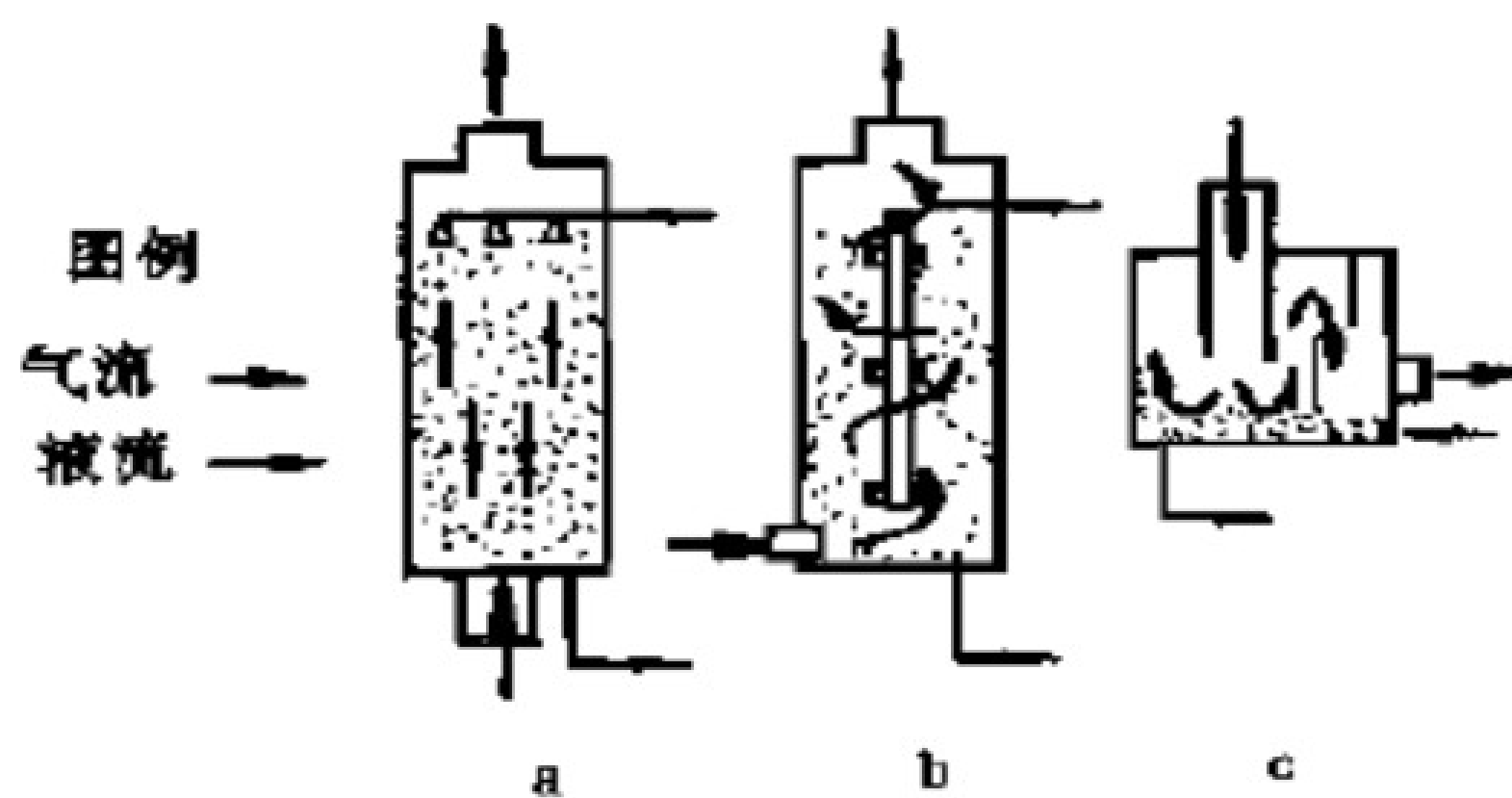
使含尘气体与液体（一般为水）密切接触，利用水滴和尘粒的惯性碰撞及其它作用捕集尘粒或使粒径增大的装置

除尘机理： 液体介质与尘粒间的惯性碰撞和拦截； @ 微细尘粒与液滴间的扩散接触； @ 加湿的尘粒相互凝并； @ 饱和态高温烟气降温时，以尘粒为凝结核凝结

按能耗分为： 高能和低能湿式除尘器

- ▶ 低能湿式除尘器的压力损失为 $0.2 \sim 1.5 \text{ kPa}$ ，对 $10 \mu\text{m}$ 以上粉尘的净化效率可达 $90\% \sim 95\%$
- ▶ 高能湿式除尘器的压力损失为 $2.5 \sim 9.0 \text{ kPa}$ ，净化效率可达 99.5% 以上

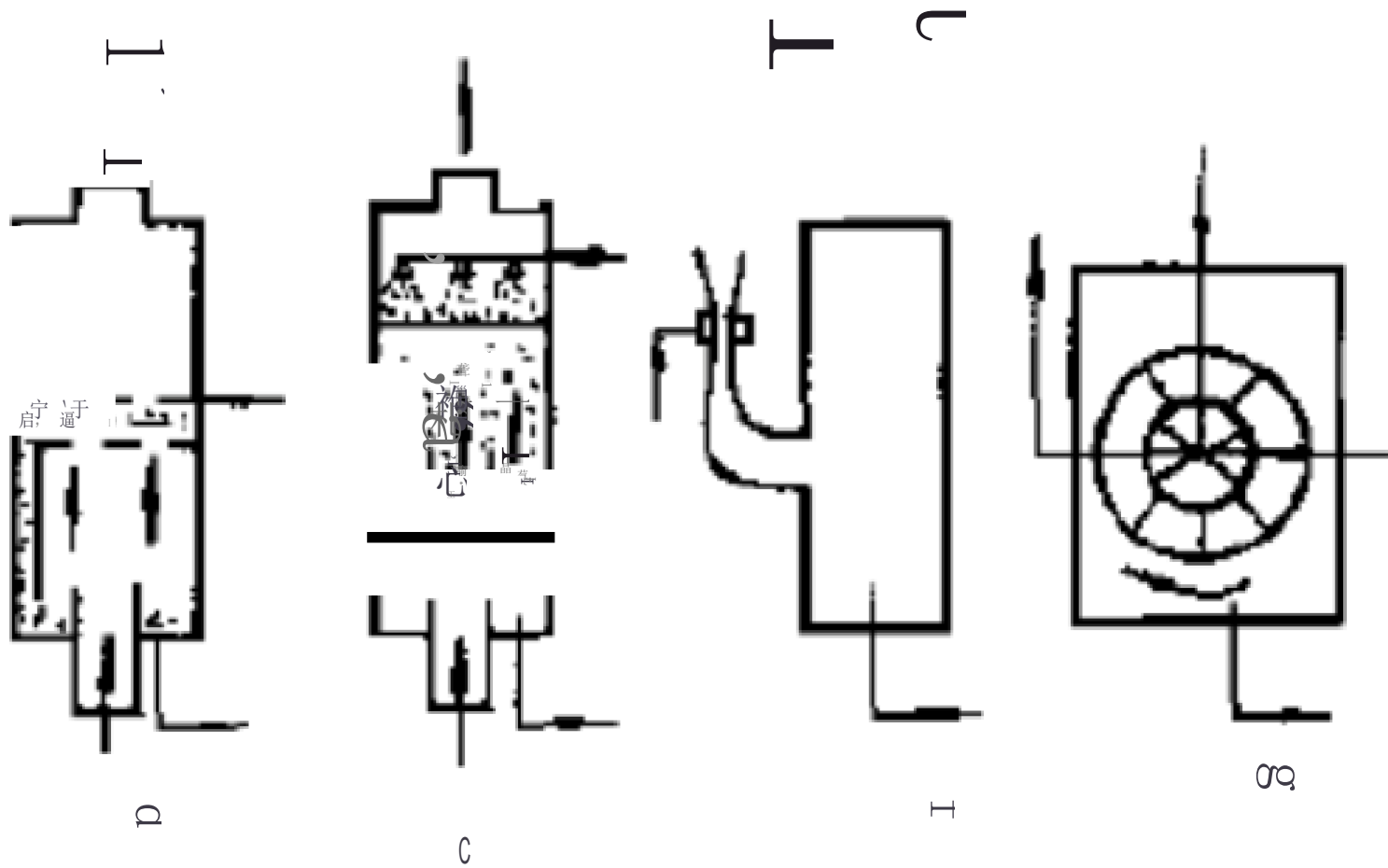
按净化机理：大致分为七类：



a、重力喷雾洗涤器

b、旋风洗涤器

c、自激喷雾洗涤器



- d、板式洗涤器
- e、填料洗涤器
- f 文丘里洗涤器
- g、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-1	液气比 /l·m-3	压力损失/Pa	分割直径/μ m
喷淋塔	0.1~ 2	2~ 3	100~ 500	3.0
填料塔	0.5 ~ 1	2~ 3	1000,---, 2500	LO
旋风洗涤器	15,---,45	0.5 ~ 1.5	1200~ 1500	LO
转筒洗涤器	(300,---,了500/min)	0.7~ 2	500~ 1500	0.2
冲击式洗涤器	10,---,20	10,---,50	如 150	0.2
文丘里洗涤器	60 ~ 90	0.3 ~ 1.5	3000----- 8000	0.1

湿式除尘器的特点

• ,优点:

- CD 不仅可以除去粉尘，还可净化气体；
- @ 效率较高（高于干式机械除尘器），可去除的粉尘粒径较小；
- @ 体积小，占地面积小，；
- @ 能处理高温、高湿的气流。

• 缺点:

- (i) 有涩渣；
- @ 需防冻（冬天）；
- @ 惕席挽设备；
- @ 动力消耗大。

文丘里洗涤器

文丘里洗涤器由文丘里管（简称文氏管）和脱水器两部分组成

► 文丘里管：包括收缩管、喉管、扩散管。

除尘过程

► 分为雾化、凝聚和脱水三个过程

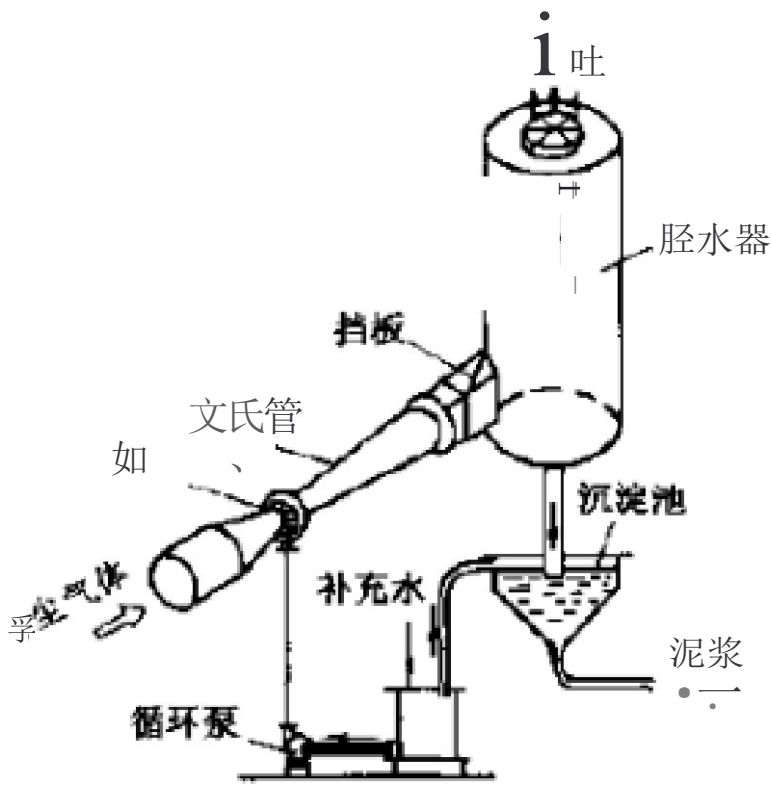


图6—11 PA 81J文丘里电洗涤器

除尘过程

- 含尘气体进入收缩管后，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，气流达到最大，一般为 $50\sim 180\text{m/s}$
- 水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。在液滴加速过程中，由于液滴与粒子之间惯性碰撞，实现微细尘粒的捕集。
- 充分的雾化是实现高效除尘的基本条件

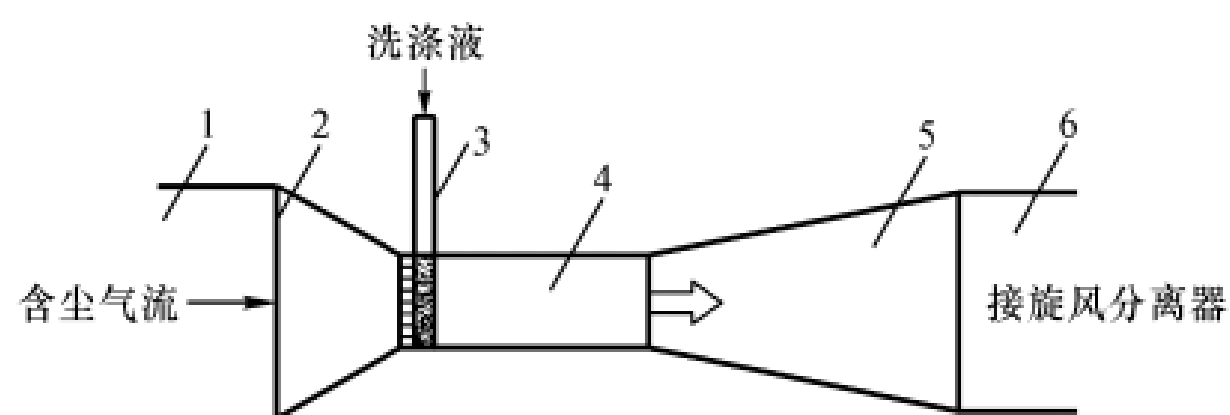
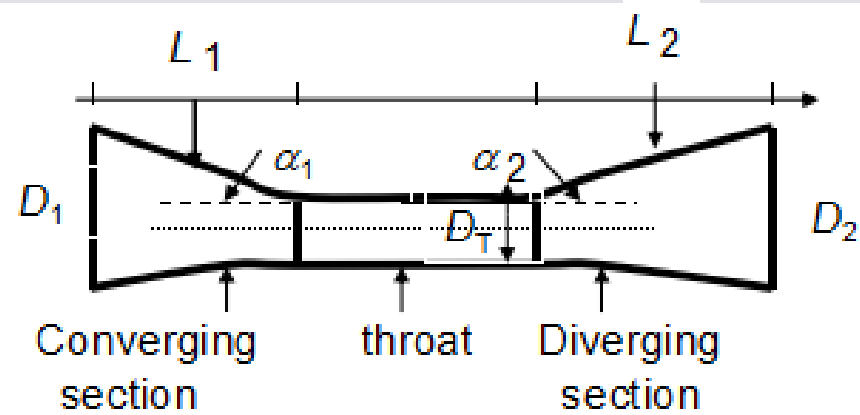


图 6-39 文丘里洗涤器示意图

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



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 $23^\circ \sim 25^\circ$
- 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
- 扩散管的扩散角 α_2 一般为 $5^\circ \sim 7^\circ$
- 出口管的直径 D_2 按与其相联的除雾器要求的气速确定

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

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

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/507003166013006136>