



# 工业锅炉设备

Copyright © 2013 DGUT. Permission required for reproduction or display.

任课教师：张彦佐

Email: zhangyz@dgut.edu.cn

化学工程与能源技术学院  
School of Chemical and Engineering and Energy Technology  
东莞理工学院  
DongGuan University of Technology



2015年5月



## 作业:

1. 热有效系数? 污染系数? 系数M? 火焰黑度? 三原子气体?



## 作业:

2. 为什么炉膛出口烟气温度不能太高，也不能太低而要保持在一个合理的取值范围内？



作业：

3. 简述受热面热力计算的目的。



# 第九章 锅炉大气污染物的排放与控制

- 9.1 锅炉大气污染物
- 9.2 工业锅炉除尘技术
- 9.3 锅炉烟气脱硫技术
- 9.4 锅炉烟气脱氮技术



# 第九章 锅炉大气污染物的排放与控制

## 9.1 锅炉大气污染物

## 9.2 工业锅炉除尘技术

## 9.3 锅炉烟气脱硫技术

## 9.4 锅炉烟气脱氮技术



## § 9.1 锅炉大气污染物

### 一、大气污染物的种类

烟尘  
气态的硫化物  
氮化物  
碳氧化物  
碳氢化物  
卤素化合物



根据国家统计资料，大气污染物中70%来自燃料的燃烧，在直接燃烧的燃料中，各类锅炉所用燃料约占燃料总量的2/3左右。



# 烟尘

分类：

➤ **降尘**：粒径在 $10\ \mu\text{m}$ 以上的较大的微粒沉降速度快，经过一定时间后会沉降到地面或其他物体上，称为“降尘”或“落尘”。

➤ **浮尘**：粒径在 $10\ \mu\text{m}$ 以下的会悬浮在空气中称为“浮尘”或“飘尘”。大气中浮游数量最多的微粒粒径为 $0.1\sim 10\ \mu\text{m}$ 。飘尘对人体的危害极为严重。其中 $0.05\sim 1\ \mu\text{m}$ 的极细的细粉尘根本就不沉降，成为大气的组成成分。

**危害：**

- 危害人体健康，诱发呼吸道疾病、心脏病、儿童软骨病；
- 影响工业产品的质量；
- 影响儿童发育成长；
- 影响交通运输和动植物生长。

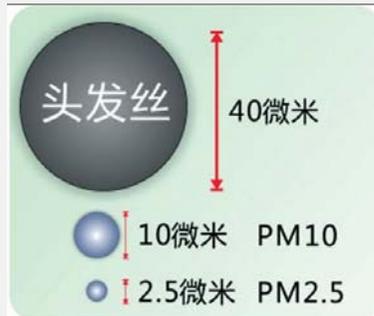


## PM2.5

- **PM2.5** 即 细颗粒物。
- 细颗粒物又称细粒、细颗粒、**PM2.5**。细颗粒物指环境空气中空气动力学当量直径小于等于 **2.5** 微米的颗粒物。它能较长时间悬浮于空气中，其在空气中含量浓度越高，就代表空气污染越严重。虽然**PM2.5**只是地球大气成分中含量很少的组分，但它对空气质量和能见度等有重要的影响。与较粗的大气颗粒物相比，**PM2.5**粒径小，面积大，活性强，易附带有毒、有害物质（例如，重金属、微生物等），且在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境质量的影响更大。



# PM2.5





## 二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)

- 二氧化硫是一种无色有臭味的强烈的刺激性气体；
- 当大气中的二氧化硫日平均浓度达到**3.5mg/m<sup>3</sup>**时，对人会诱发气喘、肺病、呼吸道感染、心血管病；
- 当空气中的二氧化硫达到一定浓度是，在时度较大的空气中生成硫酸烟雾，其毒性是二氧化硫的**10**倍；
- **1952**年的伦敦烟雾事件；酸雨。



# 二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)

## 危害:

- 诱发气喘、肺病、呼吸道感染、心血管病。
- 生成硫酸烟雾，其毒性是SO<sub>2</sub>的10倍。（[伦敦烟雾事件](#)）
- 形成[酸雨](#)、[酸雪](#)。



### 二氧化硫中毒

二氧化硫又名亚硫酸酐，无色、有强烈辛辣刺激味。是常见工业废气及大气污染的成分。当空气中二氧化硫浓度达到一定浓度时即出现以下反应。

胸部有被压迫的不适感

呼吸困难

喉头急性水肿

10PPM

8PPM

1PPM

\*1PPM即一百万分之一

**急性症状**  
头痛、头晕

流泪、畏光、视物不清

鼻、咽、喉部烧灼感及疼痛

**重度症状**  
喉水肿、声带水肿

肺水肿

Egraphic365



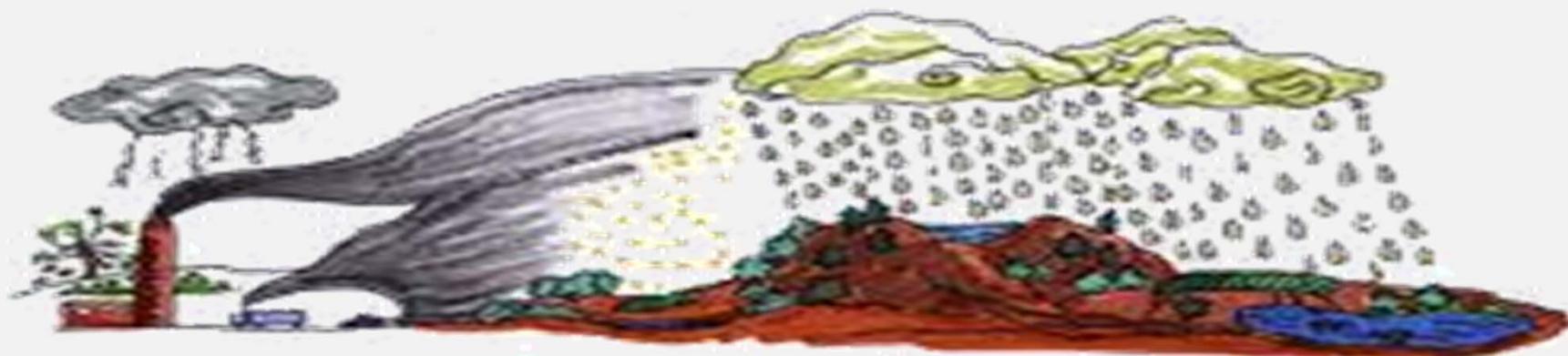
# 二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)

## 英国伦敦烟雾事件

1952年12月5日至8日，英国首都伦敦市上空烟雾弥漫，煤烟粉尘积蓄不散，造成了震惊一时的烟雾事件。这起事件使4000名健康市民死亡，8000名患肺部疾病的人也因吸入过多的有毒物质而停止呼吸。







## 酸雨、酸雪





## 氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ )

燃料燃烧过程生成的 $\text{NO}_x$ 有两种类型:

- (1) “热力型”  $\text{NO}_x$
- (2) “燃料型”  $\text{NO}_x$

**危害:**

$\text{NO}$ 使人因缺氧而麻痹和痉挛。

$\text{NO}_2$ 破坏人体内脏和造血组织;

$\text{NO}_2$ 形成光化学烟雾 ([20世纪40年代美国洛杉矶烟雾](#))。

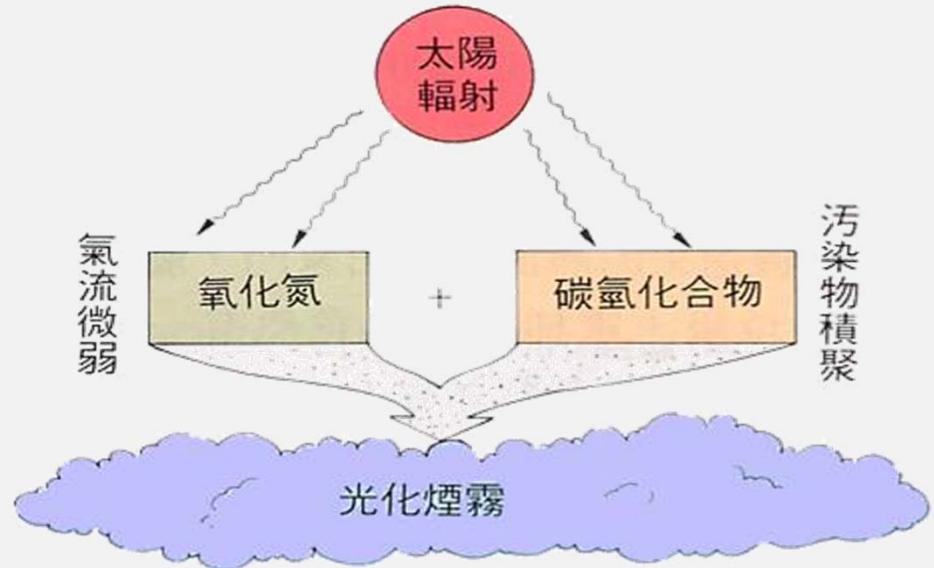


## 美国洛杉矶光化学烟雾事件

美国洛杉矶光化学烟雾事件是世界有名的公害事件之一，40年代初期发生在美国洛杉矶市。光化学烟雾是大量碳氢化合物在阳光作用下，与空气中其他成份起化学作用而产生的。这种烟雾中含有臭氧、二氧化氮、乙醛和其他氧化剂，滞留市区久久不散。在1952年12月的一次光化学烟雾事件中，洛杉矶市65岁以上的老人死亡400多人。1955年9月，由于大气污染和高温，短短两天之内，65岁以上的老人又死亡400余人，许多人出现眼睛痛、头痛、呼吸困难等症状。直到20世纪70年代，洛杉矶市还被称为“美国的烟雾城”。



洛杉磯烟霧

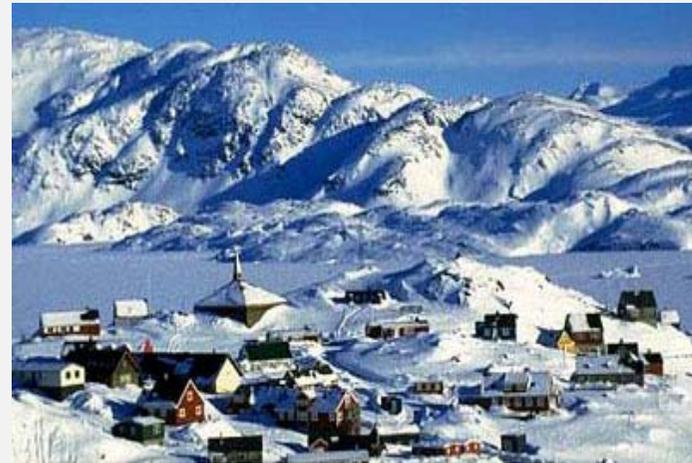




# 二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)

危害 — “温室效应”

气候变暖了？  
看来咱北极居民  
也要准备装空调了！





## 地球为什么会变暖？

-----是由于人类大量使用能源而放出的热量使地球变暖的吗？



## 但是.....

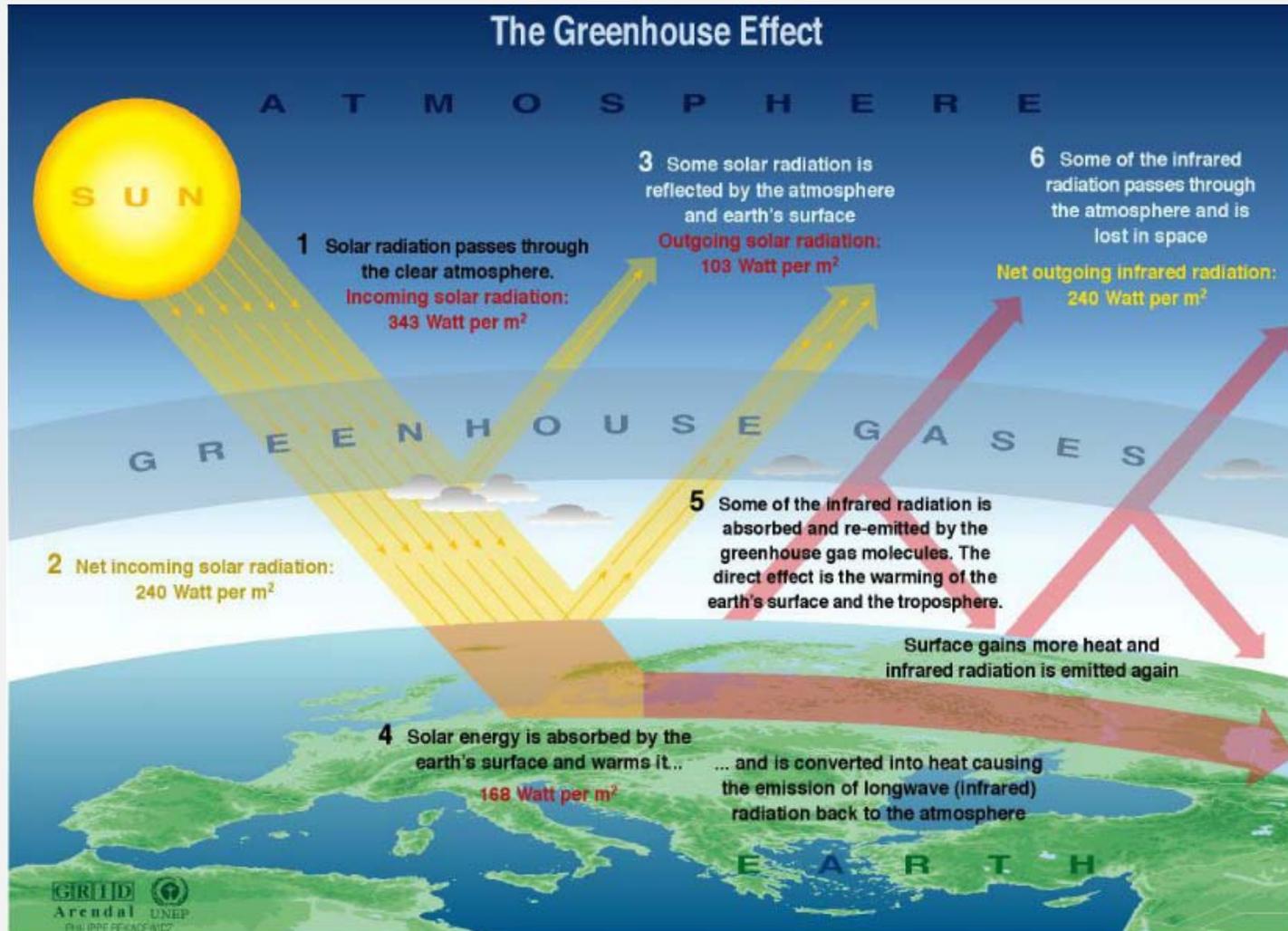
- 人类一年使用的全部能源为80亿吨石油，相当于 $33 \times 10^{16}$  kJ的热量；
- 如果把这些热量全部用于加热海洋，仅仅可以使海水温度上升 $6 \times 10^{-5} \text{°C}$ ，即加热1万年，海水温度也只上升到 $1 \text{°C}$ 。
- 人类使用能源一天所放出的热量 =  $0.1 \times 10^{16}$  kJ；
- 地球一天从太阳获得的热量 =  $1500 \times 10^{16}$  kJ。



# 地球变暖的原因到底是什么？

- 太阳射向地球的光约1/3被云层、冰粒和空气分子反射回去；
- 约25%穿过大气层时暂时被大气吸收起到增温作用，但以后又返回到太空；
- 其余的大约37%则被地球表面吸收。这些被吸收的太阳辐射能大部分在晚间又重新发射到天空。

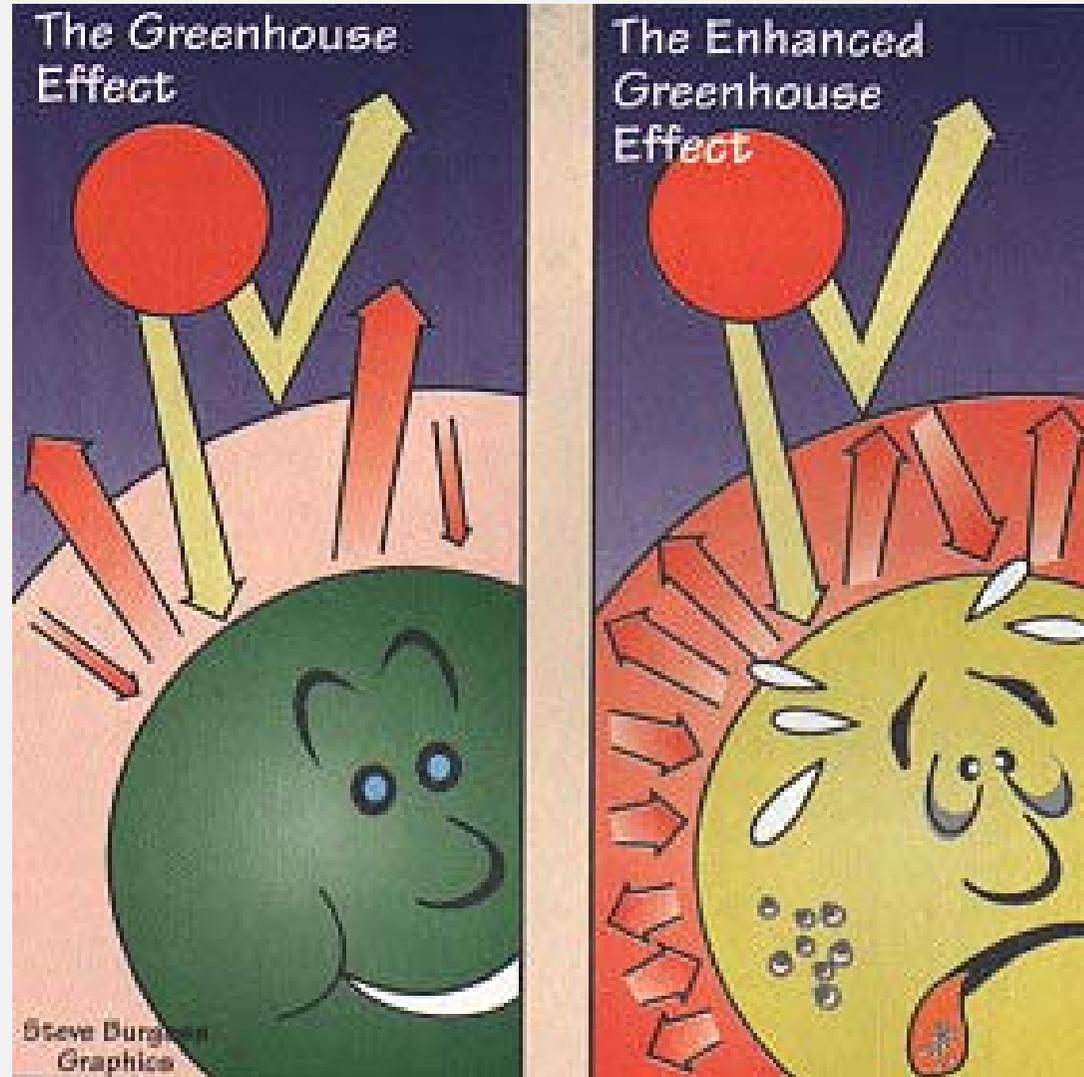
**如果这部分热量遇到了阻碍，不能全部被反射出去，地球表面的温度就会升高。**



Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography; United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1996.



# 温室效应





## 二、大气环境标准

- 环境空气质量标准：《环境空气质量标准》  
(GB3095-1999)
- 大气污染物排放标准：《锅炉大气污染物排放标准》  
(GB13271-2001)
- 大气污染控制技术标准
- 警报标准



## 第九章 锅炉大气污染物的排放与控制

9.1 锅炉大气污染物

**9.2 工业锅炉除尘技术**

9.3 锅炉烟气脱硫技术

9.4 锅炉烟气脱氮技术



## § 9.2 工业锅炉除尘技术

根据目前国内外科技水平，控制锅炉烟尘污染的措施有：

- 改进锅炉的燃烧方式和进行合理的燃烧调节，以减少烟尘中的可燃物、降低烟尘的初始含尘浓度；
- 采用一定高度的烟囱，提高烟囱的烟气速度，通过高空扩散，稀释烟尘浓度；
- 加装高效除尘装置，降低烟尘排放浓度。



## 一、工业锅炉初始排尘浓度和烟尘分散度

标准状态下每 $\text{m}^3$ 烟气体积中含有烟尘的质量，称为锅炉烟气含尘浓度，单位为 $\text{mg}/\text{Nm}^3$ （或 $\text{g}/\text{Nm}^3$ ）。

## 二、除尘器的分类及性能

### 1.分类:

根据捕尘的作用力或作用机理，目前国内常用的除尘器有重力沉降室、惯性除尘器、旋风除尘器、湿式除尘器、过滤式除尘器、电除尘器等。

### 2.除尘器的性能

- 处理烟气量
- 除尘器阻力
- 除尘器的经济性
- 除尘效率

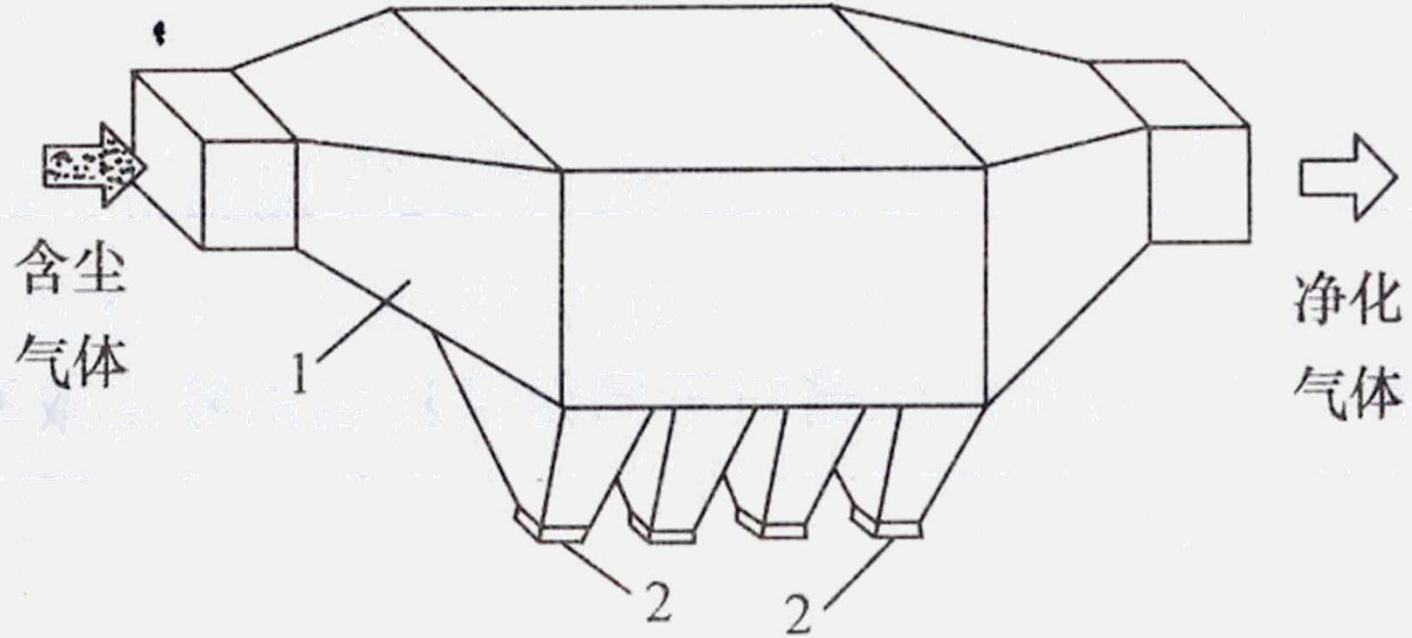


## 1. 重力沉降室

- 1) 原理：依靠重力的作用使尘粒从气流中分离出来。沉降室是一个断面较大的空室，含尘气体由断面较小的风管进入沉降室后，气流速度大大降低，尘粒便在重力作用下缓慢向灰斗沉降。
- 2) 优点：结构简单、造价低、施工容易、维护管理方便、阻力小。
- 3) 缺点：占地面积大，除尘效率低（50%~80%）。仅适用于捕集密度大，颗粒粗（粒径大于 $50\mu\text{m}$ ）的粉尘，对 $30\mu\text{m}$ 以下的灰尘，几乎无捕集能力。只作为初级除尘。



# 重力除尘器



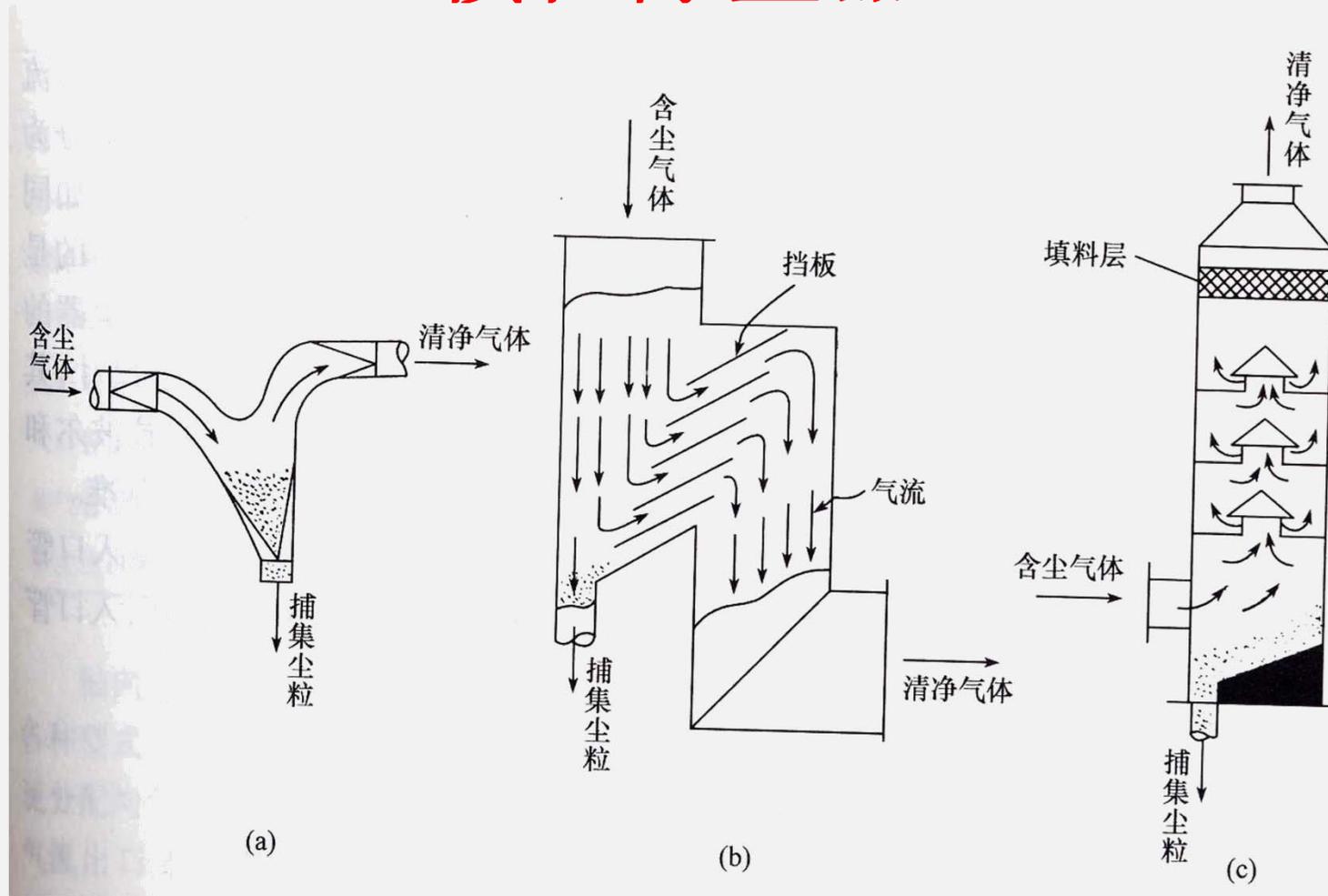


## 2. 惯性除尘器

- 1) **除尘机理：** 利用尘粒在运动气流中具有惯性力，通过突然改变含尘气流的流动方向，或使其与某种障碍物碰撞，使尘粒的运动轨迹偏离气体流线而达到分离的目的。
- 2) **优点：** 惯性除尘器用于净化密度和粒径较大的金属或矿物性粉尘具有较高除尘效率。
- 3) **缺点：** 对粘结性和纤维性粉尘，则因易堵塞而不宜采用。由于净化效率低，常用作多级除尘中的初级除尘。



# 惯性除尘器





### 3. 旋风除尘器

- 1) 原理：旋风除尘器是利用气流旋转过程中作用在尘粒上的离心力，使粉尘从含尘气流中分离出来的。
- 2) 结构：进气口、筒体、锥体、排出管（内筒）
- 3) 外旋涡：含尘气体由除尘器进气口沿切线方向进入后，沿外壁由上向下作旋转运动，这股向下旋转的气流称为外旋涡。
- 4) 内旋涡：外旋涡到达锥体底部后，转而向上，沿轴心向上旋转，最后从排出管排出。这股向上旋转的气流称为内旋涡。

**普通旋风除尘器**

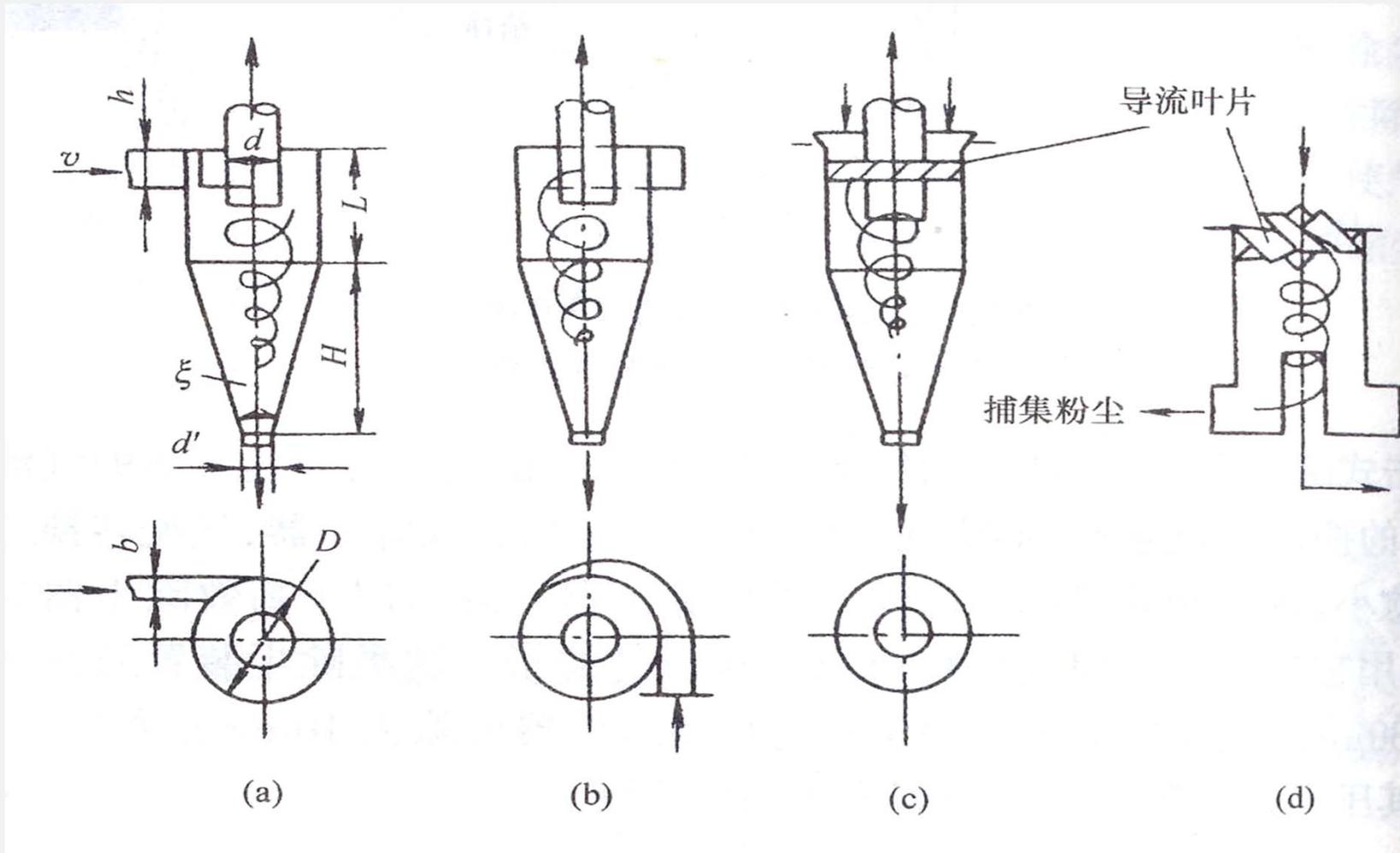
**XLT型旋风除尘器**

**XLK型旋风除尘器**

**XND-G型卧式旋风除尘器**



# 旋风除尘器





## 4.湿式除尘器

### 1) 原理:

- 微细尘粒通过扩散与液滴接触;
- 通过惯性碰撞和截留, 尘粒与液滴或液膜发生接触;
- 加湿的尘粒相互凝并;
- 饱和状态的高温烟气在湿式除尘器内凝结时, 要以尘粒为凝结核, 可以促进尘粒的凝并。

2) 优点: 设备简单; 效率高; 可捕集小粒径的尘粒; 操作时灰尘不易飞扬。

3) 缺点: 未经很好处理的废水, 排入河流或城市排水系统, 将形成“三废”搬家; 含酸废水对设备和土建基础有腐蚀作用。

**冲击贮水式除尘器**

**立式旋风水膜除尘器**

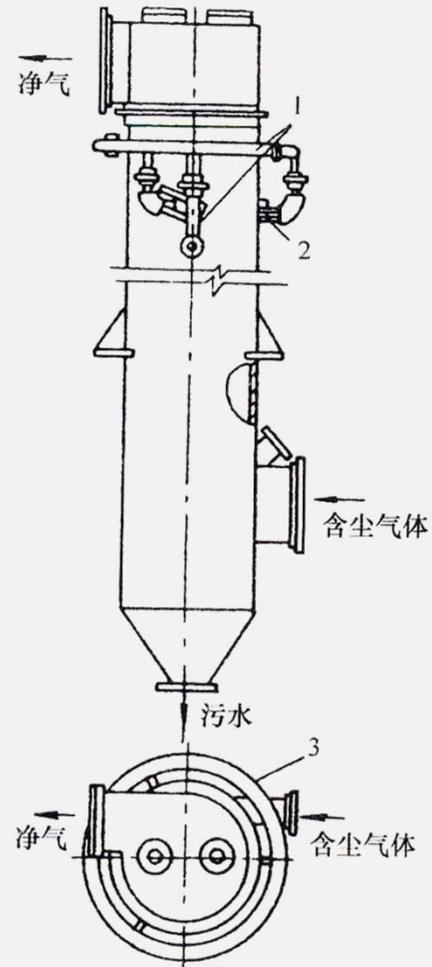
**文丘里除尘器**

**卧式旋风水膜除尘器**

**自激式除尘器**

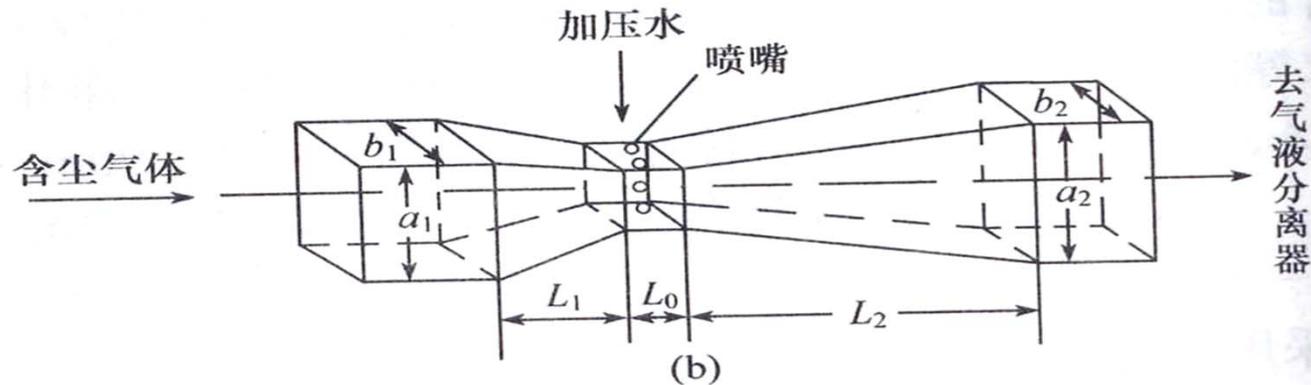
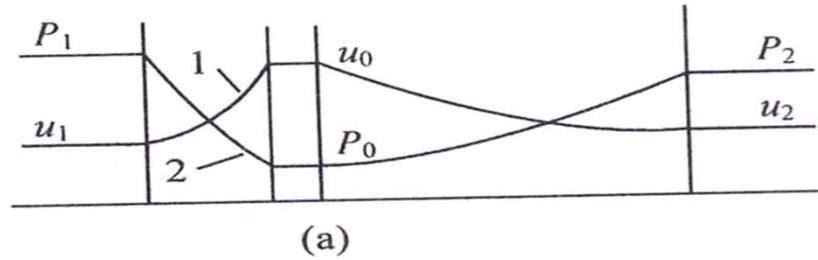
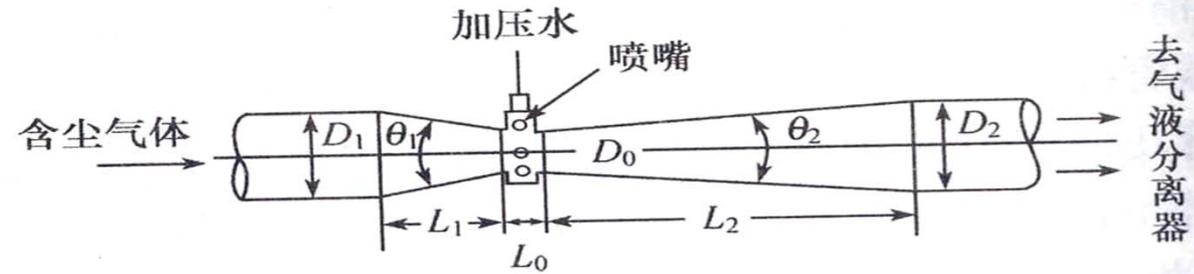


# 水膜除尘器





# 文丘里除尘器



(b)



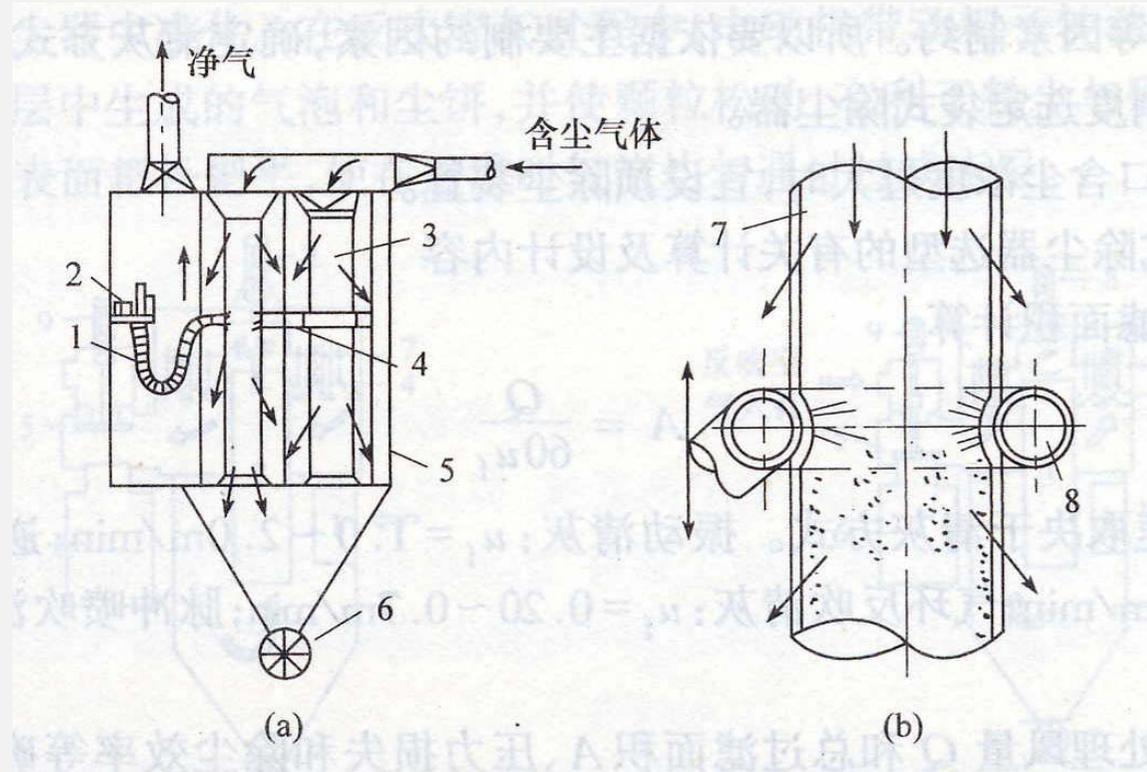
## 5. 袋式除尘器

1) 袋式除尘器的工作原理：利用纤维织物的过滤作用将含尘气体中的粉尘阻留在滤袋上的，这种过滤作用通常是通过筛滤效应、惯性碰撞效应、钩住效应、扩散效应、静电效应除尘机理的综合作用而实现的。

2) 清灰：1) 机械清灰；2) 反吹清灰；3) 反吹-振动联合清灰；4) 脉冲喷吹清灰；5) 声波清灰



# 袋式除尘器



(a) 除尘器结构图; (b) 反吹清灰过程

1-软管; 2-反吹风机; 3-滤袋; 4-气环箱; 5-外壳体;

6-卸灰阀; 7-滤袋; 8-气环



### 3) 优点:

- 具有很高的净化效率，除尘效率高达99%以上。
- 可捕集粒径 $0.3\mu\text{m}$ 的细微尘粒。
- 与电除尘器相比，袋式除尘器结构简单、投资少。
- 操作简便，运行稳定可靠。
- 可以过滤高比电阻灰尘，这是电除尘器难以净化的含尘气流。
- 大型袋式除尘器每小时能处理几十万到几百万 $\text{m}^3$ 的烟气量，可以满足大型电站锅炉的除尘要求。

### 4) 缺点:

- 袋式除尘器阻力大，约 $1000\sim 1500\text{Pa}$ ，电能消耗大，运行费用高。
- 滤袋寿命不够长，需经常更换，使运行费用增加。
- 使用温度不宜超过 $250^\circ\text{C}$ ，限制了其应用范围。
- 不宜过滤灰粒粘性大或纤维状含尘气体。



## 6.电除尘器

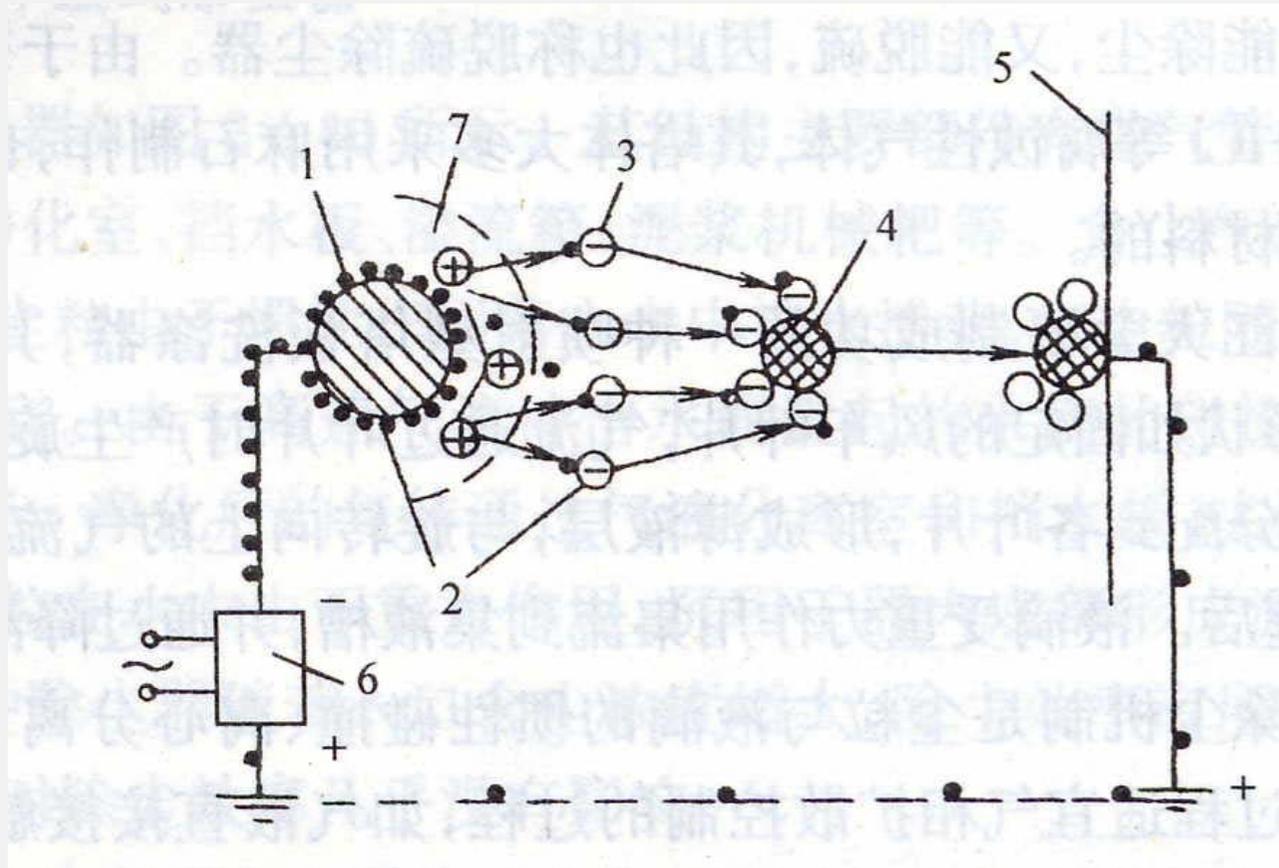
电除尘器是含尘烟气在通过高压电场进行电离的过程中，使尘粒荷电，并在电场静电力的驱动下作定向运动，使尘粒沉积在集尘极上，从而将尘粒从烟气中分离出来的一种除尘设备。

### 电除尘器除尘过程

- 1) 电除尘器的工作原理：包含悬浮粒子荷电、带电粒子在电场内迁移和捕集、将沉积物从集尘极表面上清除等三个过程。
- 2) 电除尘器结构：管式电除尘器（单管、多管）和板式电除尘器。



# 电除尘器



电除尘器示意图



### 3) 优点:

- 除尘性能优异，捕集粒径范围为 $0.01\sim 100\mu\text{m}$ ，当灰尘粒径 $>0.1\mu\text{m}$ 时，除尘效率可达99%以上。
- 烟气流动阻力很小，约 $100\sim 300\text{Pa}$ ，降低了引风机的耗电量。
- 电耗功率低，净化 $1000\text{m}^3/\text{h}$ 烟气约耗电 $0.2\sim 0.6$ 度。
- 可净化高压和负压烟气。
- 能耐高温，最高可达 $500^\circ\text{C}$ 。

### 4) 缺点:

- 设备造价高，安装、运行要求严格。
- 对烟气的波动（如流量、温度、烟气成分、含尘浓度等）很敏感。
- 对灰尘的比电阻有严格要求。
- 维修技术要求高。
- 占地面积大。



### 三、除尘器选用原则和应注意的几个问题

#### 选用原则：

在全面考虑满足环境保护要求的条件下，力求除尘器效率高，阻力小，金属耗量低，占地面积（空间）小，设备投资、运行费用少，使用寿命长。

#### 选用中应注意的问题：

- (1) 烟尘的分散度
- (2) 排烟的含尘浓度
- (3) 烟气量

此外，还应考虑锅炉烟气的高温、腐蚀性、尘的粘结性、烟气露点、尘粒比重等对除尘器性能的影响。



# 第九章 锅炉大气污染物的排放与控制

9.1 锅炉大气污染物

9.2 工业锅炉除尘技术

**9.3 锅炉烟气脱硫技术**

9.4 锅炉烟气脱氮技术



## § 9.3 锅炉烟气脱硫技术

烟气脱硫 (Flue gas desulfurization, 简称FGD), 指通过化学方法除去烟气中的 $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ 遇到氧化钙 ( $\text{CaO}$ )、氧化镁 ( $\text{MgO}$ ) 等时会反应生成硫酸钙 ( $\text{CaSO}_4$ )、硫酸镁 ( $\text{MgSO}_4$ ) 的而被脱除。

最经济的脱硫方法就是采用石灰石和生石灰。

按脱硫产物是否回收可分为:

- 抛弃法脱硫
- 回收法脱硫

按脱硫过程是否加水和脱硫产物的干湿状态可分为:

- 湿法脱硫
- 半干法脱硫
- 干法脱硫



## 目前国外工业化的主要烟气脱硫技术有：

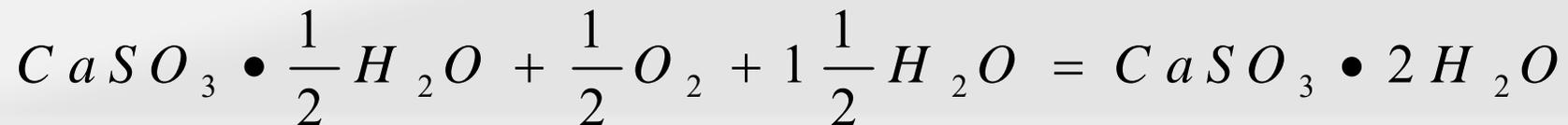
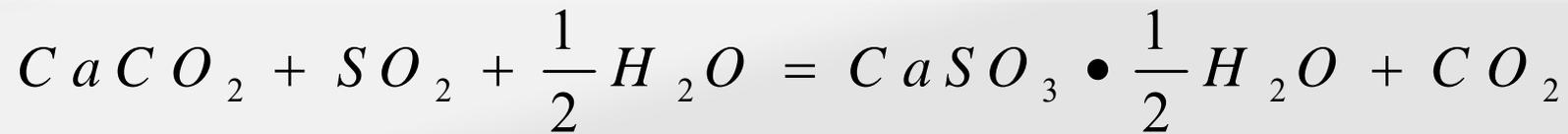
- ◇ **普通湿式石灰石-石膏法** 该法用石灰或石灰石的浆液吸收烟气中的硫，生成半水亚硫酸钙或石膏。其技术成熟程度高，脱硫效率稳定，可达90%以上。目前是国外工业化烟气脱硫的主要方法。
- ◇ **喷雾干燥法** 该法是采用石灰乳为吸收剂的烟气脱硫法，属半干法脱硫，脱硫效率80%-90%，投资比湿式石灰石-石膏法低。目前在德国、奥地利、意大利、丹麦、瑞典等国应用较多。
- ◇ **吸收再生法** 主要有氧化镁法、双碱法、W-L法、炉内喷钙-增湿活化脱硫法。脱硫效率可达95%左右，技术较成熟。
- ◇ **其它方法** 包括活性炭吸附法、氧化镁法等技术较成熟，脱硫效率变化较大。



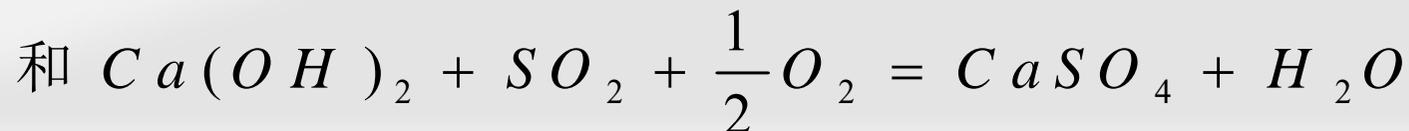
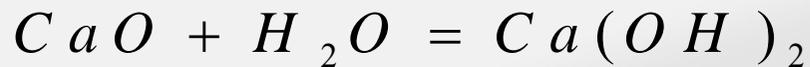
# 湿法烟气脱硫技术

## 1. 湿法烟气脱硫机理

在湿法烟气脱硫工艺中，采用石灰石浆洗涤烟气的脱硫反应



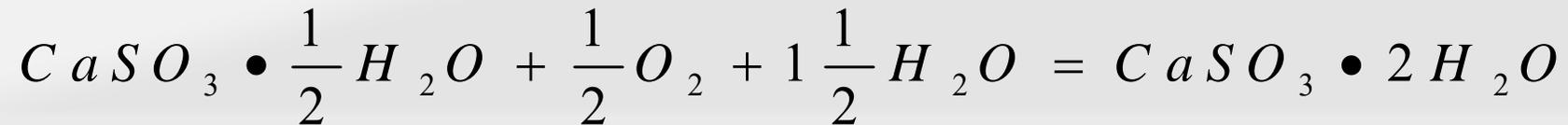
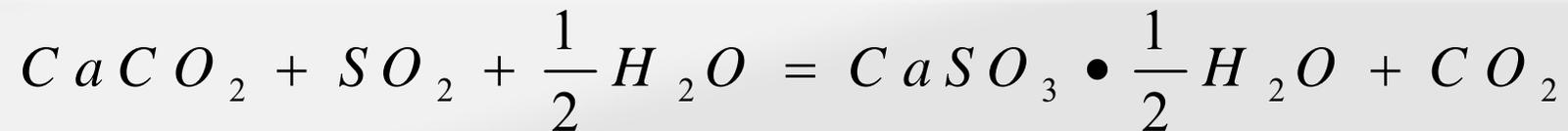
如果采用石灰作为脱硫剂，将石灰浆喷入烟气中脱硫，其化学反应



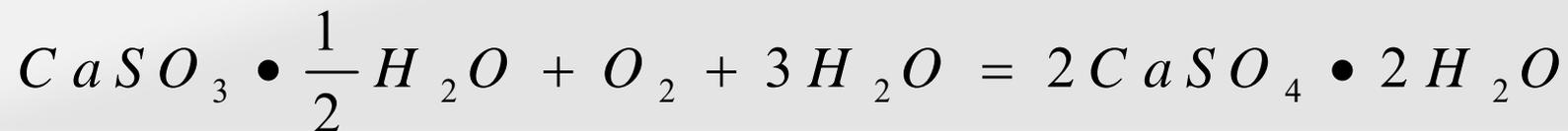


## 1. 湿法烟气脱硫机理

在湿法烟气脱硫工艺中，采用石灰石浆洗涤烟气的脱硫反应



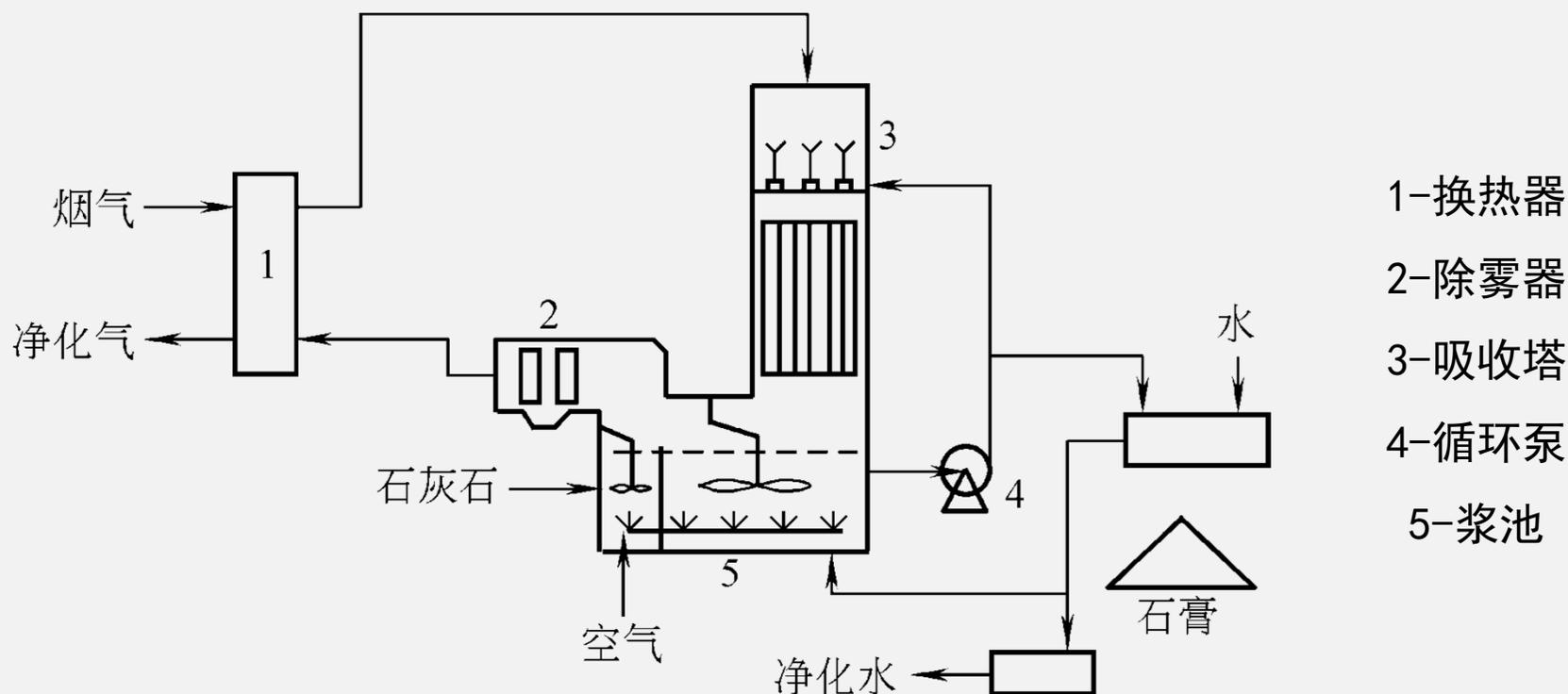
或在湿法脱硫中用石灰浆洗涤烟气脱硫，其化学反应





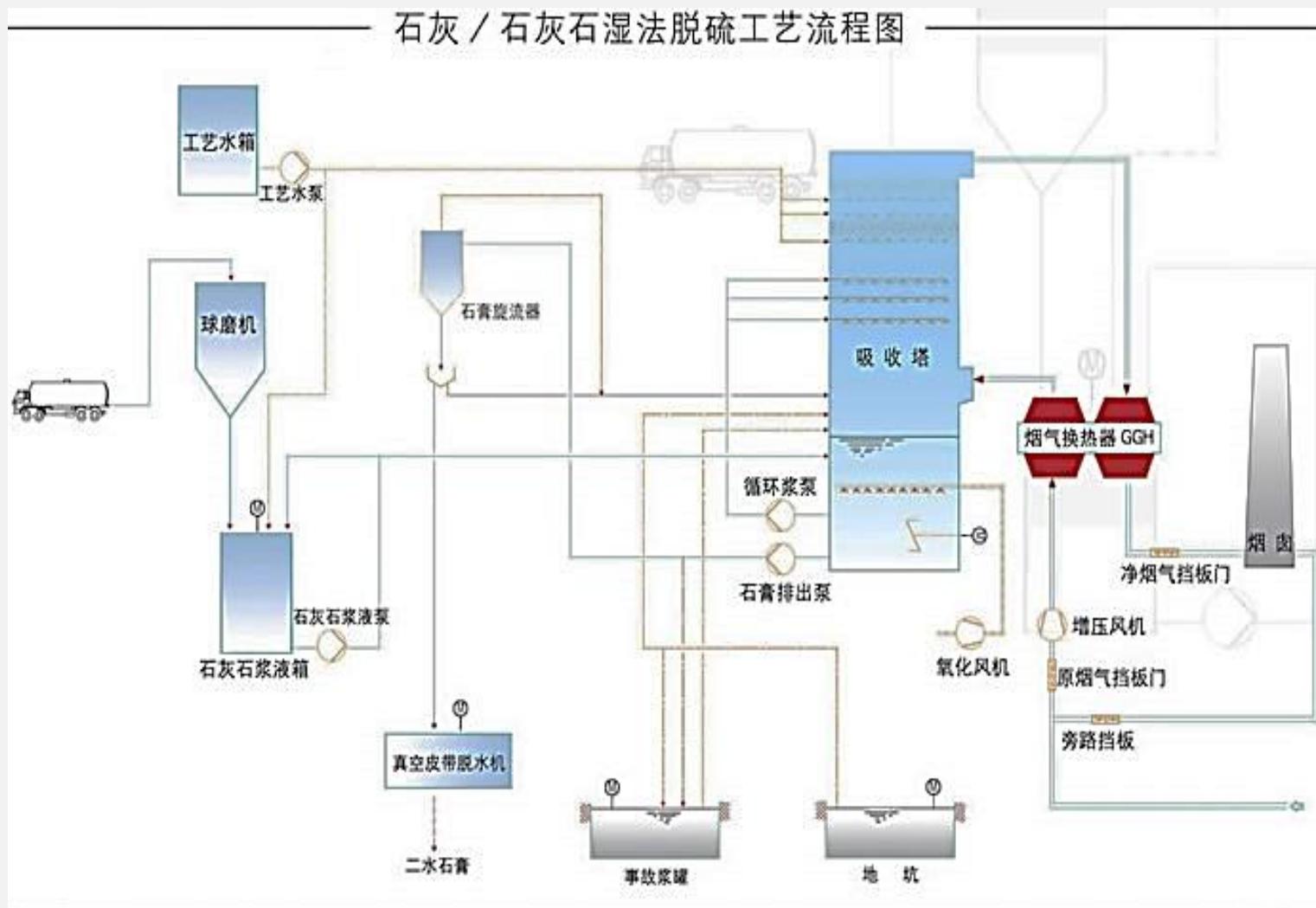
## 2. 石灰石/石膏湿法烟气脱硫技术

这种方法主要是将石灰石粉与水制成浆液，在位于除尘器和烟囱之间的反应塔中，对烟气进行喷淋洗涤和脱硫，如图所示。并利用鼓风机向浆池中鼓入空气，以强制使 $\text{CaSO}_3$ 全部氧化成 $\text{CaSO}_4$ （石膏），从浆池中取出，脱水和进一步处理，得到成品——石膏。



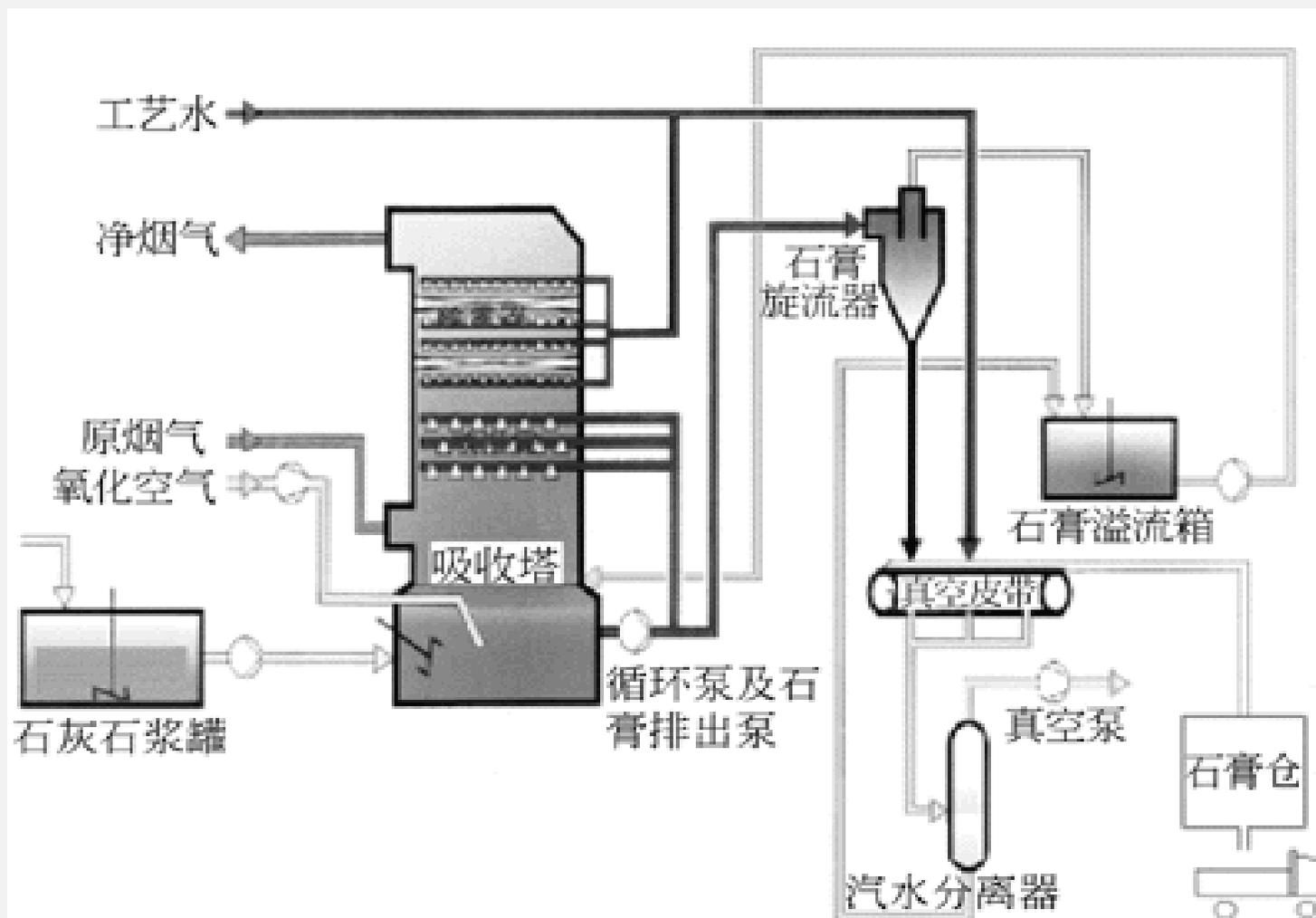


## 石灰石/石膏湿法烟气脱硫技术的其他工艺流程图



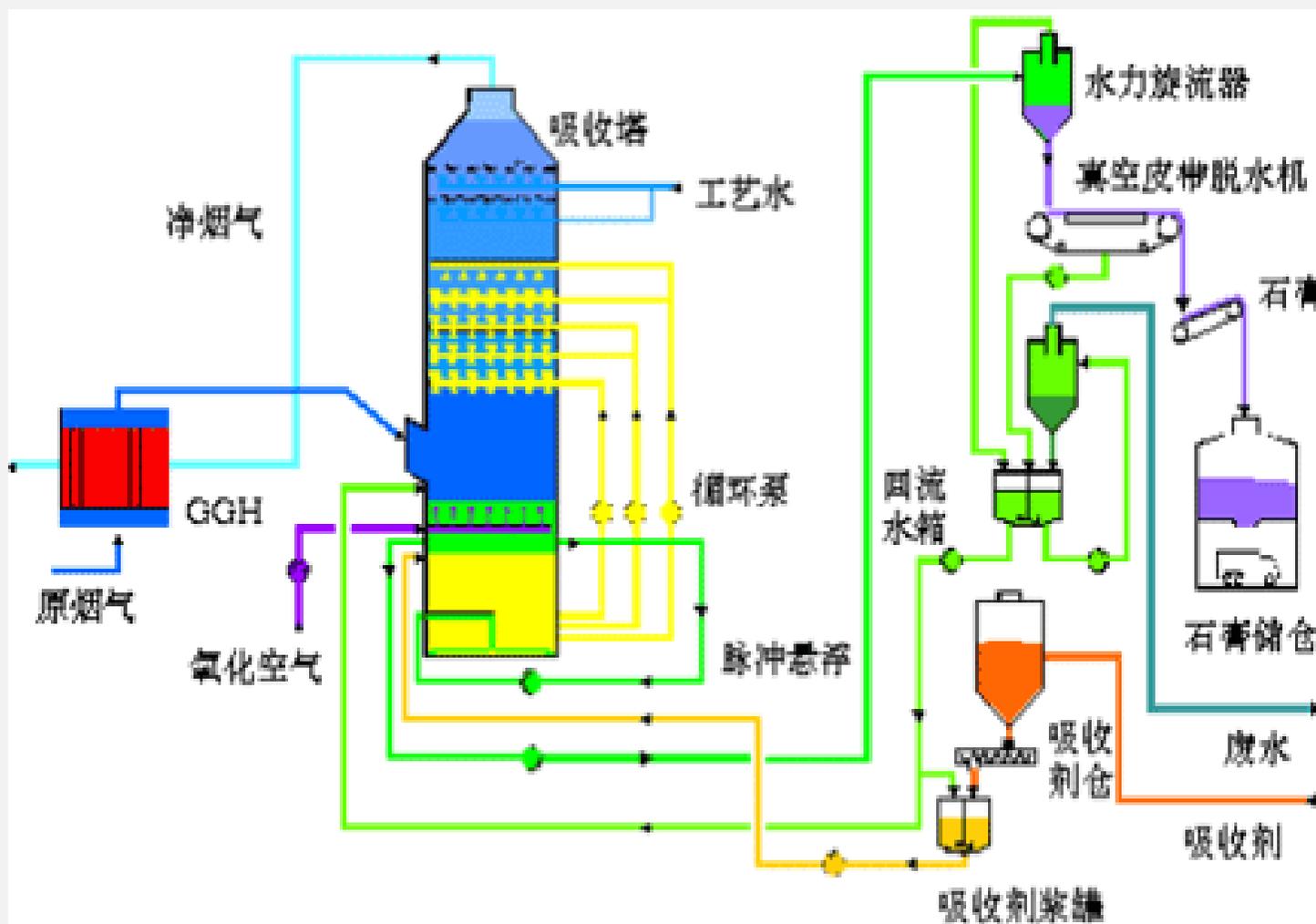


## 石灰石/石膏湿法烟气脱硫技术的其他工艺流程图





## 石灰石/石膏湿法烟气脱硫技术的其他工艺流程图



Chinese version



## 石灰石-石膏湿法脱硫的优点：

- 工艺成熟，最大单机容量超过1000MW；
- 脱硫效率高 $\geq 95\%$ ， $\text{Ca}/\text{S} \leq 1.03$ ；
- 系统运行稳定，可用率 $\geq 95\%$ ；
- 脱硫剂—石灰石，价廉易得；
- 脱硫副产品—石膏，可综合利用；
- 建设期间无需停机。

## 缺点：

- 系统复杂，占地面积大；
- 造价高，一次性投资大；
- 运行较多、运行费用高，副产品处理问题。



### 3. 水膜除尘 - 脱硫集成技术

这是根据我国国情自主开发的简易的湿法烟气脱硫技术，形式繁多，但实际上可归结为两大类：喷雾式和塔板式。

### 4. 湿法烟气脱硫特点

#### 优点：

- 脱硫反应速度快；
- 脱硫效率高；
- 钙的利用率高。

#### 问题：

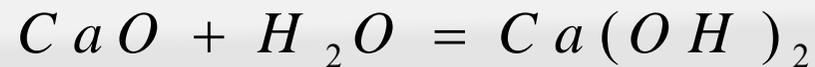
- 设备的结垢堵塞；
- 设备、系统的腐蚀；



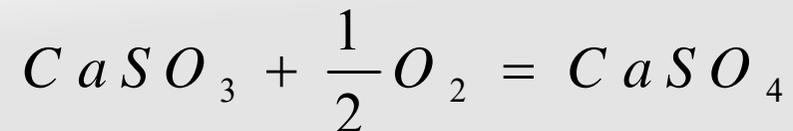
# 半干法烟气脱硫

半干法烟气脱硫是采用湿态吸收剂，在吸收装置中吸收剂被烟气的热量所干燥，并在干燥过程中与SO<sub>2</sub>反应生成干粉状脱硫产物。

## 1. 脱硫剂的制备的化学反应：



## 2. 脱硫流程的化学反应：



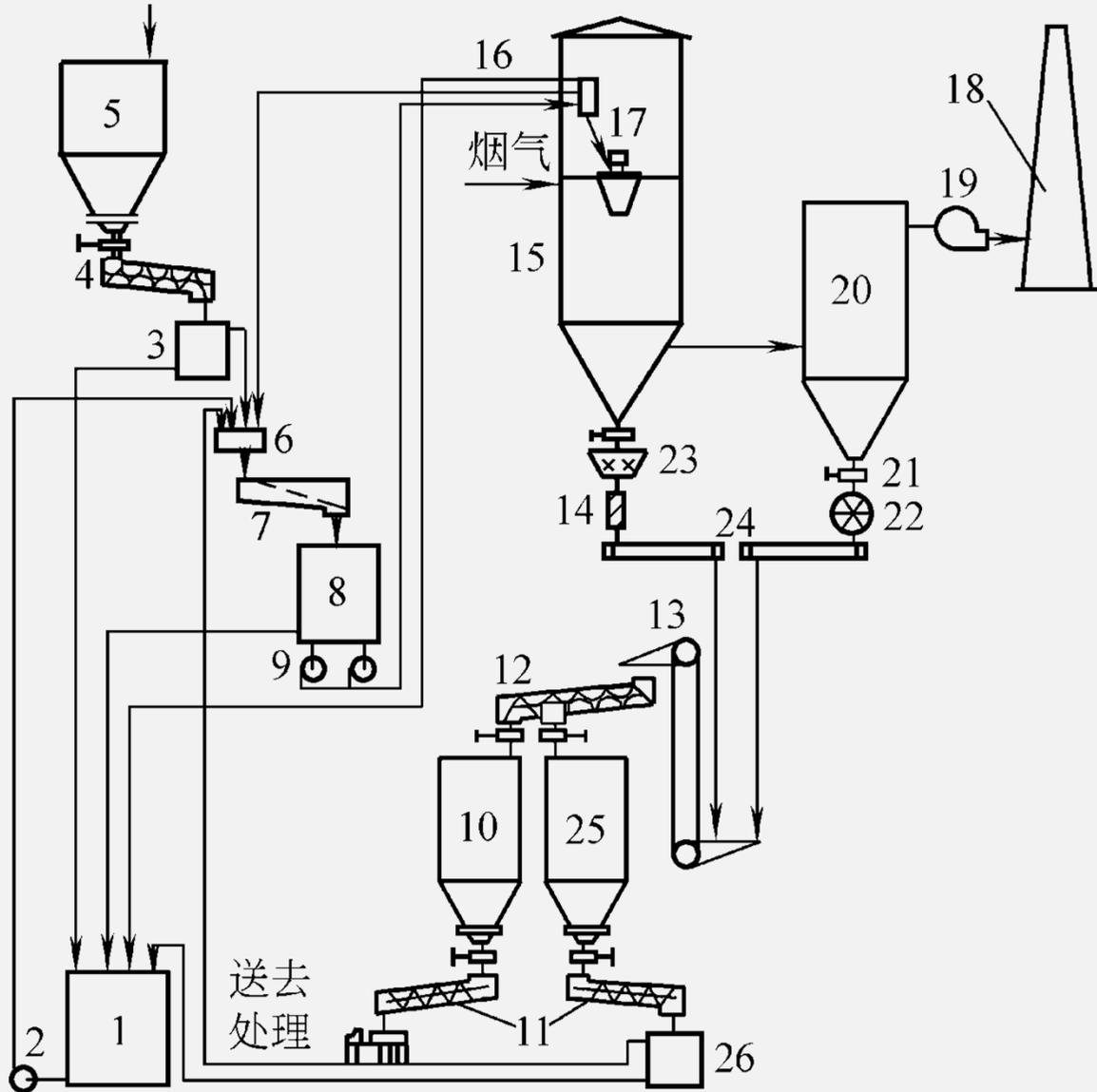


### 3. 灰渣再循环流程：

从喷雾干燥吸收塔和除尘器底部收集的灰渣中含有相当量的氧化钙，因此将一部分氧化钙含量高的脱硫灰渣返回到配浆槽，这样可以提高脱硫剂的利用率。

### 4. 半干法烟气脱硫特点：

- ✓ 半干法脱硫工艺较简单，投资低于湿法；
- ✓ 技术比较成熟，运行安全可靠；
- ✓ 干态产物易于处理，无废水产生；
- ✓ 可以避免设备的结垢、堵塞和腐蚀。
- ✗ 脱硫效率和脱硫剂的利用率低。



## 喷雾干燥法烟气脱硫

- 1-配浆槽 2-泵 3-消化槽
- 4、11、12、24-螺旋运送机
- 5-石灰仓 6-延时箱
- 7-筛 8-吸收剂 9-供液泵
- 10-终产物仓 II
- 13-斗式提升机 14- 双片阀
- 15-吸收塔 16-高位槽
- 17-离心雾化机 18-烟囱
- 19-引风机 20-除尘器
- 21-阀 22-调节阀
- 23-产物调节器
- 25-终产物仓 I
- 26-再循环浆池



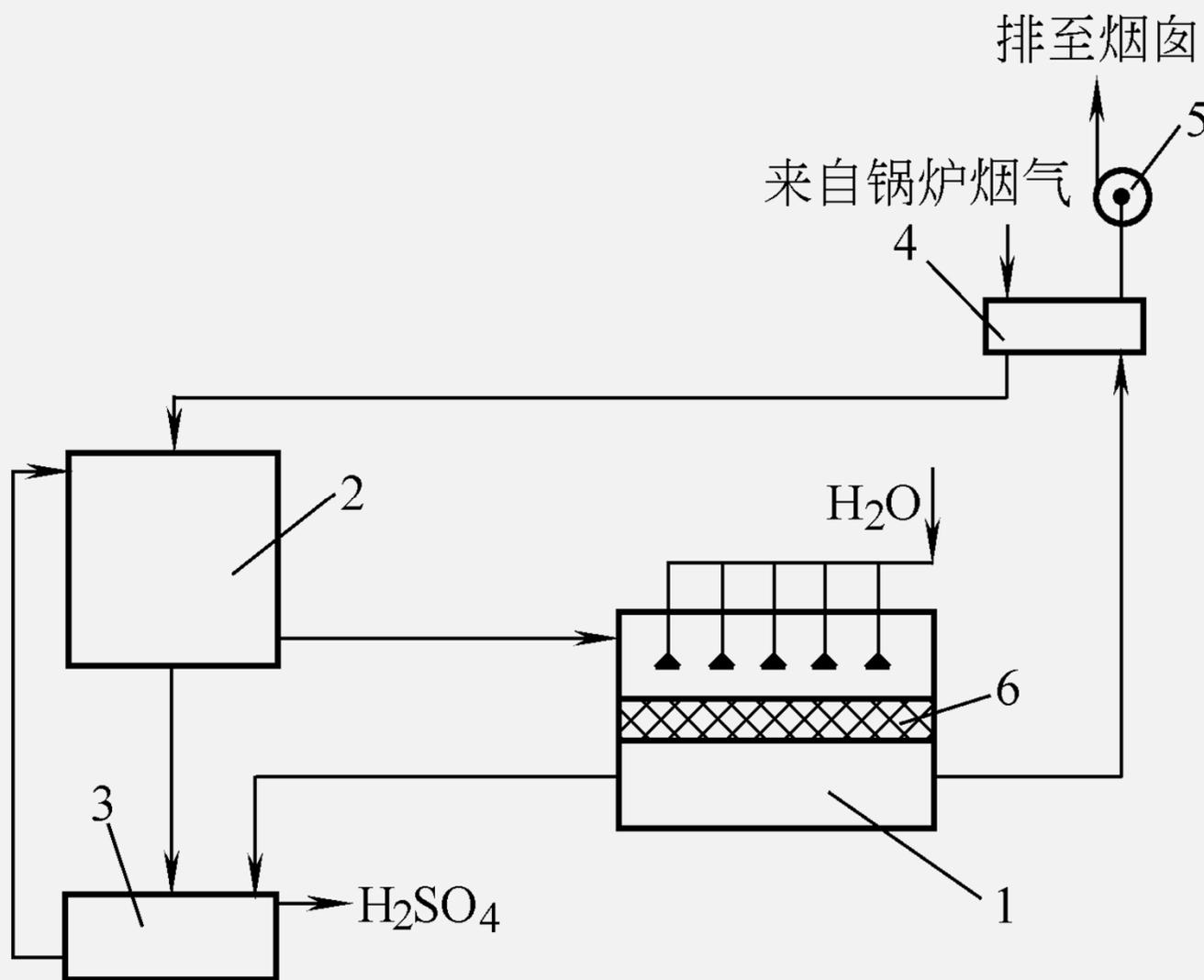
# 干法烟气脱硫技术

干法烟气脱硫是用多孔性固体处理流体混合物，使其中所含的一种或几种组分浓集在固体表面，而与其它组分分开的过程称为吸附，被吸附到固体表面上的物质称为吸附质，吸附吸附质的固体物质称为吸附剂。

SO<sub>2</sub>是一种易被吸附的气体，常用的吸附剂是活性炭。活性炭对SO<sub>2</sub>的吸附包括物理吸附和化学吸附，因为烟气中含有足够量的水蒸气和氧气，伴随着物理吸附，还会发生一系列的化学反应，其化学总反应式可表示为：



生成的硫酸覆盖在吸附层的活性表面，降低了活性炭的吸附能力，当达到饱和状态时，活性炭将完全丧失其吸附作用，为了使活性炭再生，必须进行**解析**。一般采用洗涤方法脱附，既可以使活性炭再生，还可以回收硫酸。



左图为德国鲁奇公司锅炉烟气脱硫的活性炭吸附-水洗再生流程示意图。该装置是一台吸附与脱附同时进行的固定床活性炭吸附器。

- 1 - 吸附器
- 2 - 文丘里水膜除尘器
- 3 - 在循环槽
- 4 - 气-气换热器
- 5 - 引风机
- 6 - 活性炭床



## 干法烟气脱硫技术的特点：

- ✓干法烟气脱硫设备、系统较简单，初投资不大；
- ✓吸附剂再生复用，再生液为水，运行费用低；
- ✓属于回收式脱硫，废水排放少，二次污染低，可回收硫酸；
- ✗防腐要求高；
- ✗难以保证排烟温度一定在露点温度以上。



## 第九章 锅炉大气污染物的排放与控制

- 9.1 锅炉大气污染物
- 9.2 工业锅炉除尘技术
- 9.3 锅炉烟气脱硫技术
- 9.4 锅炉烟气脱氮技术**



## § 9.4 锅炉烟气脱氮技术

氮氧化物 ( $\text{NO}_x$ ) 是指  $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ ，它们是燃料燃烧过程中产生的主要气态污染物之一。

烟气脱氮是用反应剂与烟气接触，以除去或减少烟气中  $\text{NO}_x$  含量的工艺过程，也称为烟气脱硝。

烟气脱硝分干法脱氮和湿法脱氮两类



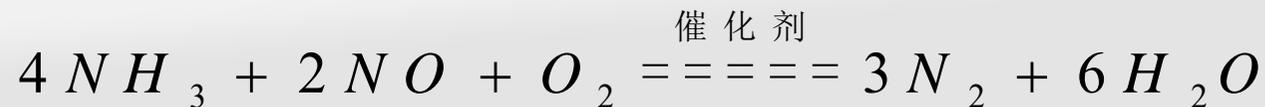
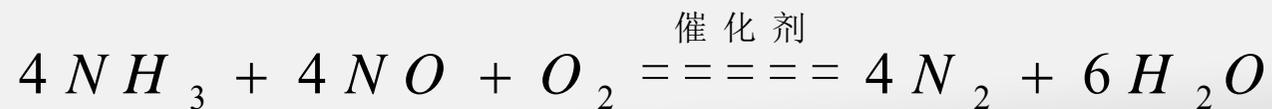
# 干法脱氮

干法脱氮是用气态反应剂使烟气中NO<sub>x</sub>还原为N<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O，这是目前应用最为广泛的一种脱氮方法。

## 1. 选择性催化还原法

化学反应机理：选择性催化还原法用氨气（NH<sub>3</sub>）作还原剂，在烟温250–420℃和催化剂的作用下，有选择性地将烟气中的NO<sub>x</sub>还原还原成N<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O。

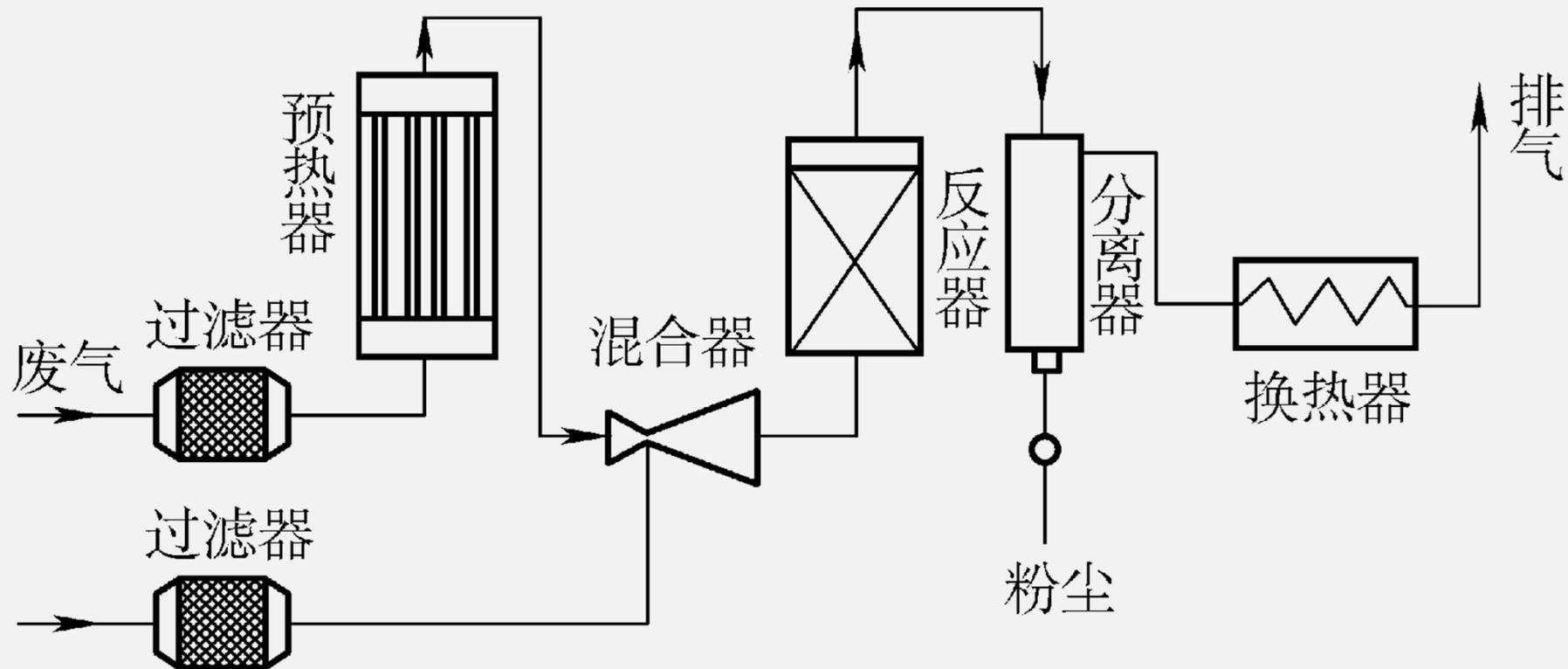
其化学反应式为



最常用催化剂：含有氧化钒、氧化钴的金属基。

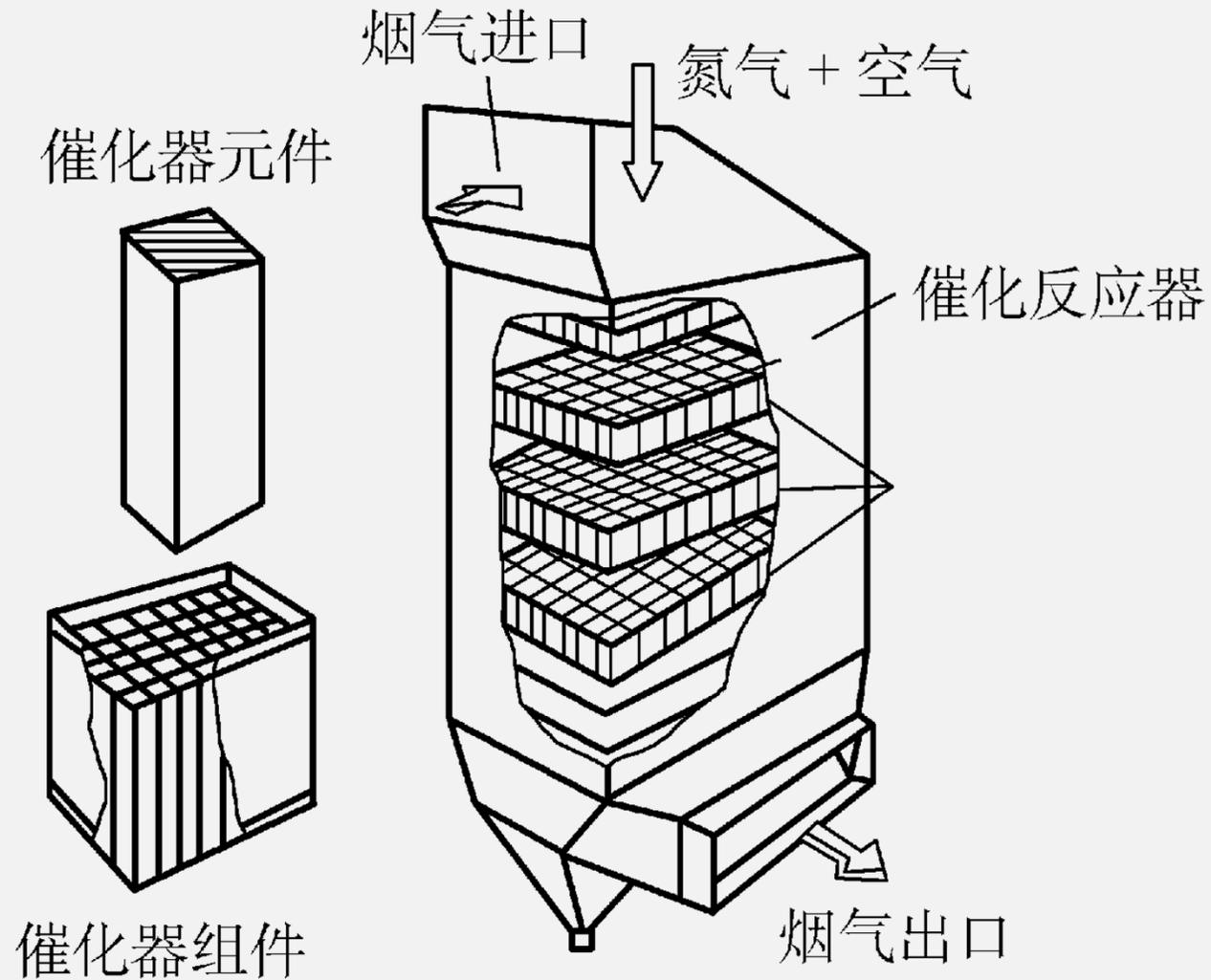


选择性催化还原法使用的催化剂是用 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 或钛作为载体，通常制成板状、蜂窝状的催化元件，在其表面上沉积铂、钨、铈等贵金属（约占催化元件总质量的0.5%），再将催化元件制成催化剂组件，组件排列在催化反应器的框架内，构成催化剂层。





## 一般组件形成的催化反应器的内部结构如图所示

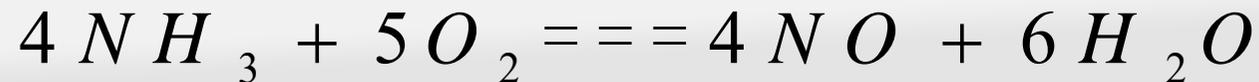




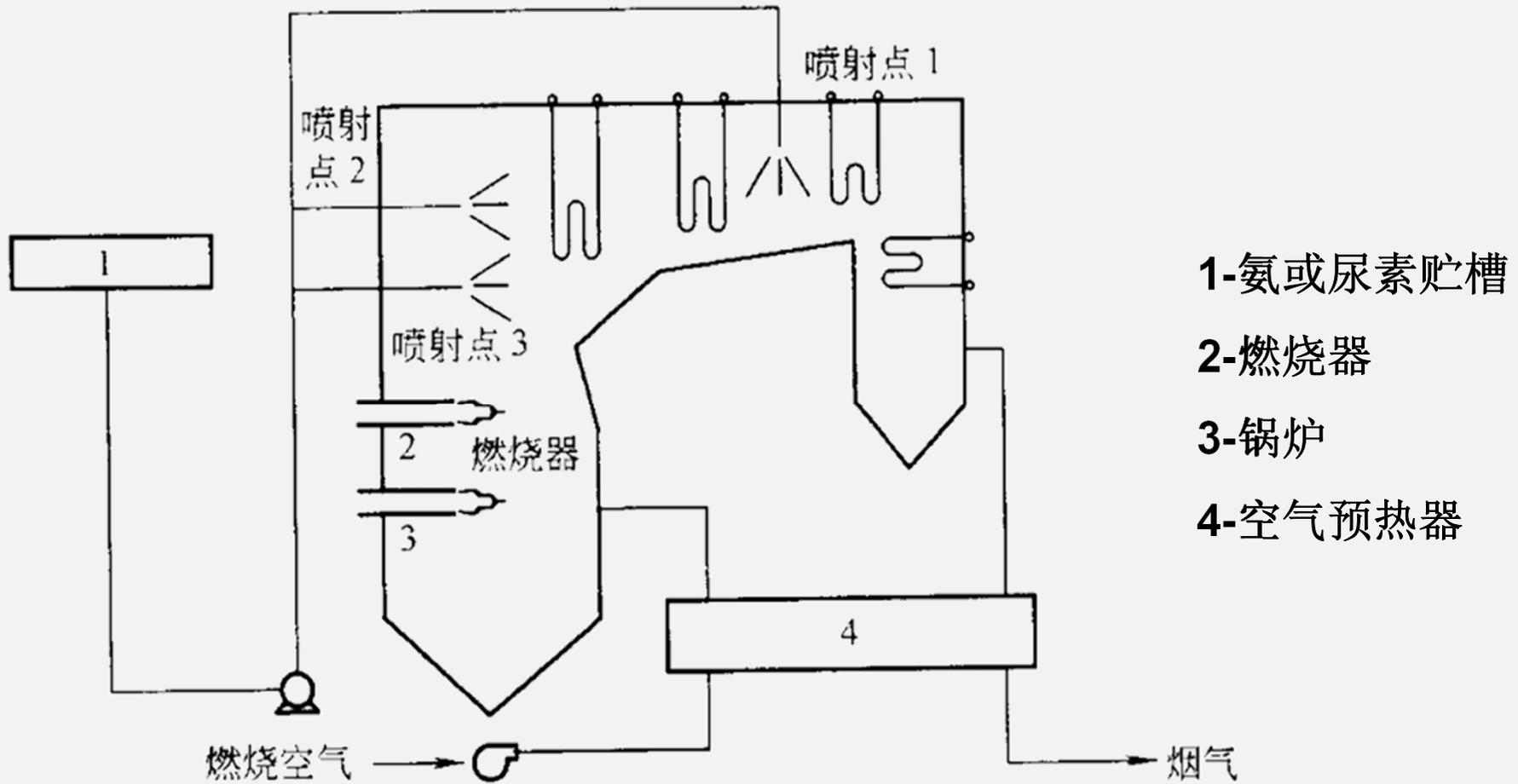
## 2. 选择性非催化还原法

选择性非催化还原法是在**没有催化剂**的情况下，将氨喷入850–1100°C范围的烟气中，使烟气中的NO<sub>x</sub>还原成 还原成N<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O。

其化学反应式为：



选择性非催化还原装置：由还原剂贮槽、 多层还原剂喷射装置  
和控制仪表等组成



选择性非催化还原工艺布置图



### 3. 非选择性催化还原法

在烟气温度 $550\text{--}800^{\circ}\text{C}$ 的烟道内，设置催化反应器，通入 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$ 或 $\text{H}_2$ 等还原剂，在温度 $550\text{--}800^{\circ}\text{C}$ 的条件及催化剂的作用下，使烟气中的 $\text{NO}_x$ 还原成 $\text{N}_2$ 。

其还原剂的消耗量比选择性催化还原法高出4 - 5倍。

其反应过程放出的热量会使烟气温度上升。



## 湿法脱氮

湿法脱氮与湿法脱硫共用一套装置，采用同时脱硫、脱氮的工艺流程，在生石灰（ $\text{CaO}$ ）、熟石灰〔 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 〕或微粒碳酸钙（ $\text{CaCO}_3$ ）制成的吸收液中，加入少量的硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ）调整吸收液的pH值到4~4.5，就可以发生还原反应，将 $\text{NO}_x$ 还原成 $\text{N}_2$ 。或在洗涤反应器中加入氨（ $\text{NH}_3$ ），也可以取得脱氮效果。



## 作业：

1. 供热锅炉房目前常用的机械化除灰系统有哪几种？各有什么优缺点？
2. 平常所说的锅炉消烟除尘的含义是什么？怎样才能有效地减轻锅炉烟尘造成的危害？
3. 锅炉常用除尘装置从基本原理上分有几类？为什么在实际运行中除尘效率都达不到设计要求？
4. 一般来说湿式除尘的除尘效果比较好，但为什么不能随使用？
5. 大气污染物有哪些？是怎样产生的？各有何危害？



## 作业：

1. 供热锅炉房目前常用的机械化除灰系统有哪几种？各有什么优缺点？



## 作业：

2. 平常所说的锅炉消烟除尘的含义是什么？怎样才能有效地减轻锅炉烟尘造成的危害？
3. 锅炉常用除尘装置从基本原理上分有几类？为什么在实际运行中除尘效率都达不到设计要求？



## 作业:

4. 一般来说湿式除尘的除尘效果比较好，但为什么不能随使用？
5. 大气污染物有哪些？是怎样产生的？各有何危害？



The End