

# 第29篇 污染治理

主稿人 王绍堂 北京市环境科学研究院 研究员  
编写人 徐国光 北京市环境科学研究院 研究员  
申立贤 北京市环境科学研究院 研究员  
贺世群 北京市环境科学研究院 高级工程师

|     |                             |       |       |                            |       |
|-----|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|
| 1   | 大气污染控制 .....                | 29-2  | 2.1   | 废水生物处理的基本概念 .....          | 29-23 |
| 1.1 | 概述 .....                    | 29-2  | (1)   | 生物处理的基本原理及优缺点 .....        | 29-23 |
| (1) | 大气污染物的来源和形态 .....           | 29-2  | (2)   | 生物处理中微生物的主要性状与<br>种类 ..... | 29-23 |
| (2) | 大气污染物的危害 .....              | 29-3  | (3)   | 有机污染物的主要指标及相互关<br>系 .....  | 29-24 |
| 1.2 | 大气环境质量和排放标准 .....           | 29-3  | (4)   | 生物可处理性的评价 .....            | 29-24 |
| (1) | 大气环境质量标准 .....              | 29-3  | (5)   | 生物处理的主要影响因素 .....          | 29-24 |
| (2) | 居住区大气中有害物质的最高允<br>许浓度 ..... | 29-4  | (6)   | 选择生物处理的注意事项及毒物<br>抑制 ..... | 29-26 |
| (3) | 锅炉大气污染物排放标准 .....           | 29-4  | (7)   | 生物处理方法的分类 .....            | 29-26 |
| (4) | 工业“三废”排放试行标准 .....          | 29-4  | (8)   | 生物处理工艺的选择 .....            | 29-31 |
| (5) | 排污许可证 .....                 | 29-4  | 2.2   | 活性污泥法 .....                | 29-31 |
| 1.3 | 气态污染物的控制 .....              | 29-4  | (1)   | 传统活性污泥法 .....              | 29-31 |
| (1) | 吸收 .....                    | 29-4  | (2)   | 活性污泥法的多种运行方式 .....         | 29-31 |
| (2) | 吸附 .....                    | 29-9  | (3)   | 常用的曝气设备 .....              | 29-32 |
| (3) | 燃烧 .....                    | 29-10 | (4)   | 污泥膨胀的原因及控制 .....           | 29-32 |
| (4) | 冷凝 .....                    | 29-12 | (5)   | 活性污泥脱氮除磷新工艺 .....          | 29-33 |
| 1.4 | 颗粒物的控制 .....                | 29-12 | (6)   | 活性污泥法的主要设计参数 .....         | 29-34 |
| (1) | 概述 .....                    | 29-12 | 2.3   | 生物膜法处理技术 .....             | 29-34 |
| (2) | 机械式除尘器 .....                | 29-12 | (1)   | 生物滤池 .....                 | 29-34 |
| (3) | 湿式除尘器 .....                 | 29-15 | (2)   | 生物接触氧化法 .....              | 29-36 |
| (4) | 过滤式除尘器 .....                | 29-16 | (3)   | 生物转盘 .....                 | 29-36 |
| (5) | 电除尘器 .....                  | 29-17 | (4)   | 生物流化床 .....                | 29-36 |
| (6) | 尘粒的采样方法 .....               | 29-18 | (5)   | 生物活性炭法 .....               | 29-39 |
| 1.5 | 工厂污染物排放情况和控制设<br>备的选择 ..... | 29-19 | 2.4   | 厌氧生物处理技术 .....             | 29-39 |
| (1) | 工厂污染物排放情况 .....             | 29-19 | 2.4.1 | 厌氧处理过程及影响因素 .....          | 29-39 |
| (2) | 污染控制设备的选择 .....             | 29-19 | (1)   | 厌氧发酵的阶段性和控制条件 .....        | 29-39 |
| 1.6 | 污染物在大气中的扩散及计算方法 .....       | 29-21 | (2)   | 厌氧反应器的主要控制条件 .....         | 29-39 |
| (1) | 大气污染与气象条件的关系 .....          | 29-21 | 2.4.2 | 厌氧生物处理的主要工艺 .....          | 29-40 |
| (2) | 大气污染物扩散的计算方法 .....          | 29-22 | (1)   | 传统消化池与厌氧接触消化工艺 .....       | 29-40 |
| 2   | 废水处理 .....                  | 29-23 |       |                            |       |

|                 |       |                  |       |
|-----------------|-------|------------------|-------|
| (2) 上流式厌氧污泥床反应器 | 29-41 | 基本参考文献           | 29-60 |
| (3) 厌氧过滤器       | 29-43 | 3 工业固体废物管理       | 29-61 |
| (4) 其他厌氧工艺      | 29-43 | 3.1 绪言           | 29-61 |
| 2.4.3 厌氧工艺的比较   | 29-48 | 3.2 固体废物的产生      | 29-61 |
| 2.5 污泥处置        | 29-50 | (1) 固体废物的分类和产生源  | 29-61 |
| 2.5.1 污泥的性质和数量  | 29-50 | (2) 固体废物的特性      | 29-61 |
| (1) 污泥的分类、组成    | 29-50 | (3) 有害废物         | 29-64 |
| (2) 污泥的性质       | 29-50 | 3.3 现场贮存和处理      | 29-72 |
| (3) 污泥量         | 29-52 | (1) 现场贮存         | 29-72 |
| 2.5.2 污泥浓缩      | 29-52 | (2) 现场处理         | 29-73 |
| (1) 重力浓缩池       | 29-53 | 3.4 处理和资源回收      | 29-73 |
| (2) 气浮浓缩池       | 29-54 | (1) 处理技术         | 29-73 |
| 2.5.3 污泥消化      | 29-54 | (2) 物资回收系统       | 29-73 |
| (1) 化粪池         | 29-54 | (3) 生物和化学衍生产品的回收 | 29-76 |
| (2) 隐化池         | 29-54 | (4) 从转化产品中回收能源   | 29-76 |
| (3) 人工控制的厌氧消化池  | 29-55 | 3.5 有害废物的处理技术    | 29-77 |
| 2.5.4 污泥干化与脱水   | 29-55 | (1) 综述           | 29-77 |
| (1) 污泥的自然干化     | 29-55 | (2) 稳定化/固化       | 29-77 |
| (2) 机械脱水        | 29-56 | (3) 污泥处理         | 29-79 |
| 2.5.5 污泥灌溉      | 29-58 | 3.6 最终处置         | 29-81 |
| (1) 污泥的肥效       | 29-59 | (1) 固体废物土地填埋     | 29-81 |
| (2) 直接施用        | 29-59 | (2) 有害废物安全填埋     | 29-84 |
| (3) 污泥堆肥        | 29-59 | (3) 土地处理         | 29-86 |
| (4) 工业废水污泥用作肥料  | 29-60 | (4) 其他土地处置方法和监测  | 29-86 |
| 2.5.6 污泥的最终处置方法 | 29-60 | (5) 焚烧           | 29-87 |
| (1) 填地          | 29-60 | (6) 海洋处置         | 29-88 |
| (2) 投海          | 29-60 |                  |       |

参加编写工作的还有北京市环境科学研究院王凯军高级工程师、周瑾工程师。

## 1. 大气污染控制

### 1.1 概述

空气对人的重要性是显而易见的。如果空气被有害物质污染到一定程度,就会通过呼吸道和其他部位对人的健康造成威胁,同时也会影响动、植物的正常生长、腐蚀材料甚至影响气候。保护大气环境,使空气中的有害物质浓度在允许范围之内是环境保护工作者的一项重要任务。

#### (1) 大气污染物的来源和形态

(1.1) 大气污染物的来源 大气污染物有来自自然界的,但主要是人类活动引起的。来自自然界的大气污染源有火山喷发、森林起火、有机物腐烂、花粉、风蚀、海洋蒸发等。人类活动造成的大气污染源主要是燃料燃烧。石油、煤炭、木材等在燃烧过程中排放出大量的烟尘、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳及各种有机物。

同时,化工厂、钢铁厂、冶炼厂、炼油厂、水泥厂等工厂也是重要的大气污染源,它们排出各种不同的有机和无机污染物。

由燃烧或工厂直接排出的大气污染物称为一次空气污染物。有些污染物在大气中发生化学反应并生成另外的污染物,这种污染物称为二次污染物。如二氧化硫、氮氧化物在大气中可以转化为硫酸雾、硝酸雾。碳氢化合物、氮氧化物、一氧化碳在阳光照射下经过一系列反应可生成光化学烟雾,光化学烟雾的主要成分是臭氧(约占总量 90%)和醛类(如甲醛、过氧酰基硝酸酯类、丙烯醛)等物质。

(1.2) 大气污染物的形态 大气污染物的形态有固态、气态和液态三种;固态污染物一般称为颗粒物,其粒径小于 10 微米的固态污染物可长期飘浮在空气中并能吸入肺部故又称飘尘和可吸入尘,这部分颗粒物对人的健康影响最大。粒径小于 100 微米的称为悬浮颗粒物,这些颗粒物可较长时间悬浮在空气中。颗粒物的毒性取决

# 第29篇 污染治理

主稿人 王绍堂 北京市环境科学研究院 研究员  
编写人 徐国光 北京市环境科学研究院 研究员  
申立贤 北京市环境科学研究院 研究员  
贺世群 北京市环境科学研究院 高级工程师

|     |                             |       |       |                            |       |
|-----|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|
| 1   | 大气污染控制 .....                | 29-2  | 2.1   | 废水生物处理的基本概念 .....          | 29-23 |
| 1.1 | 概述 .....                    | 29-2  | (1)   | 生物处理的基本原理及优缺点 .....        | 29-23 |
| (1) | 大气污染物的来源和形态 .....           | 29-2  | (2)   | 生物处理中微生物的主要性状与<br>种类 ..... | 29-23 |
| (2) | 大气污染物的危害 .....              | 29-3  | (3)   | 有机污染物的主要指标及相互关<br>系 .....  | 29-24 |
| 1.2 | 大气环境质量和排放标准 .....           | 29-3  | (4)   | 生物可处理性的评价 .....            | 29-24 |
| (1) | 大气环境质量标准 .....              | 29-3  | (5)   | 生物处理的主要影响因素 .....          | 29-24 |
| (2) | 居住区大气中有害物质的最高允<br>许浓度 ..... | 29-4  | (6)   | 选择生物处理的注意事项及毒物<br>抑制 ..... | 29-26 |
| (3) | 锅炉大气污染物排放标准 .....           | 29-4  | (7)   | 生物处理方法的分类 .....            | 29-26 |
| (4) | 工业“三废”排放试行标准 .....          | 29-4  | (8)   | 生物处理工艺的选择 .....            | 29-31 |
| (5) | 排污许可证 .....                 | 29-4  | 2.2   | 活性污泥法 .....                | 29-31 |
| 1.3 | 气态污染物的控制 .....              | 29-4  | (1)   | 传统活性污泥法 .....              | 29-31 |
| (1) | 吸收 .....                    | 29-4  | (2)   | 活性污泥法的多种运行方式 .....         | 29-31 |
| (2) | 吸附 .....                    | 29-9  | (3)   | 常用的曝气设备 .....              | 29-32 |
| (3) | 燃烧 .....                    | 29-10 | (4)   | 污泥膨胀的原因及控制 .....           | 29-32 |
| (4) | 冷凝 .....                    | 29-12 | (5)   | 活性污泥脱氮除磷新工艺 .....          | 29-33 |
| 1.4 | 颗粒物的控制 .....                | 29-12 | (6)   | 活性污泥法的主要设计参数 .....         | 29-34 |
| (1) | 概述 .....                    | 29-12 | 2.3   | 生物膜法处理技术 .....             | 29-34 |
| (2) | 机械式除尘器 .....                | 29-12 | (1)   | 生物滤池 .....                 | 29-34 |
| (3) | 湿式除尘器 .....                 | 29-15 | (2)   | 生物接触氧化法 .....              | 29-36 |
| (4) | 过滤式除尘器 .....                | 29-16 | (3)   | 生物转盘 .....                 | 29-36 |
| (5) | 电除尘器 .....                  | 29-17 | (4)   | 生物流化床 .....                | 29-36 |
| (6) | 尘粒的采样方法 .....               | 29-18 | (5)   | 生物活性炭法 .....               | 29-39 |
| 1.5 | 工厂污染物排放情况和控制设<br>备的选择 ..... | 29-19 | 2.4   | 厌氧生物处理技术 .....             | 29-39 |
| (1) | 工厂污染物排放情况 .....             | 29-19 | 2.4.1 | 厌氧处理过程及影响因素 .....          | 29-39 |
| (2) | 污染控制设备的选择 .....             | 29-19 | (1)   | 厌氧发酵的阶段性和控制条件 .....        | 29-39 |
| 1.6 | 污染物在大气中的扩散及计算方法 .....       | 29-21 | (2)   | 厌氧反应器的主要控制条件 .....         | 29-39 |
| (1) | 大气污染与气象条件的关系 .....          | 29-21 | 2.4.2 | 厌氧生物处理的主要工艺 .....          | 29-40 |
| (2) | 大气污染物扩散的计算方法 .....          | 29-22 | (1)   | 传统消化池与厌氧接触消化工艺 .....       | 29-40 |
| 2   | 废水处理 .....                  | 29-23 |       |                            |       |

|                 |       |                  |       |
|-----------------|-------|------------------|-------|
| (2) 上流式厌氧污泥床反应器 | 29-41 | 基本参考文献           | 29-60 |
| (3) 厌氧过滤器       | 29-43 | 3 工业固体废物管理       | 29-61 |
| (4) 其他厌氧工艺      | 29-43 | 3.1 绪言           | 29-61 |
| 2.4.3 厌氧工艺的比较   | 29-48 | 3.2 固体废物的产生      | 29-61 |
| 2.5 污泥处置        | 29-50 | (1) 固体废物的分类和产生源  | 29-61 |
| 2.5.1 污泥的性质和数量  | 29-50 | (2) 固体废物的特性      | 29-61 |
| (1) 污泥的分类、组成    | 29-50 | (3) 有害废物         | 29-64 |
| (2) 污泥的性质       | 29-50 | 3.3 现场贮存和处理      | 29-72 |
| (3) 污泥量         | 29-52 | (1) 现场贮存         | 29-72 |
| 2.5.2 污泥浓缩      | 29-52 | (2) 现场处理         | 29-73 |
| (1) 重力浓缩池       | 29-53 | 3.4 处理和资源回收      | 29-73 |
| (2) 气浮浓缩池       | 29-54 | (1) 处理技术         | 29-73 |
| 2.5.3 污泥消化      | 29-54 | (2) 物资回收系统       | 29-73 |
| (1) 化粪池         | 29-54 | (3) 生物和化学衍生产品的回收 | 29-76 |
| (2) 隐化池         | 29-54 | (4) 从转化产品中回收能源   | 29-76 |
| (3) 人工控制的厌氧消化池  | 29-55 | 3.5 有害废物的处理技术    | 29-77 |
| 2.5.4 污泥干化与脱水   | 29-55 | (1) 综述           | 29-77 |
| (1) 污泥的自然干化     | 29-55 | (2) 稳定化/固化       | 29-77 |
| (2) 机械脱水        | 29-56 | (3) 污泥处理         | 29-79 |
| 2.5.5 污泥灌溉      | 29-58 | 3.6 最终处置         | 29-81 |
| (1) 污泥的肥效       | 29-59 | (1) 固体废物土地填埋     | 29-81 |
| (2) 直接施用        | 29-59 | (2) 有害废物安全填埋     | 29-84 |
| (3) 污泥堆肥        | 29-59 | (3) 土地处理         | 29-86 |
| (4) 工业废水污泥用作肥料  | 29-60 | (4) 其他土地处置方法和监测  | 29-86 |
| 2.5.6 污泥的最终处置方法 | 29-60 | (5) 焚烧           | 29-87 |
| (1) 填地          | 29-60 | (6) 海洋处置         | 29-88 |
| (2) 投海          | 29-60 |                  |       |

参加编写工作的还有北京市环境科学研究院王凯军高级工程师、周瑾工程师。

## 1. 大气污染控制

### 1.1 概述

空气对人的重要性是显而易见的。如果空气被有害物质污染到一定程度,就会通过呼吸道和其他部位对人的健康造成威胁,同时也会影响动、植物的正常生长、腐蚀材料甚至影响气候。保护大气环境,使空气中的有害物质浓度在允许范围之内是环境保护工作者的一项重要任务。

#### (1) 大气污染物的来源和形态

(1.1) 大气污染物的来源 大气污染物有来自自然界的,但主要是人类活动引起的。来自自然界的大气污染源有火山喷发、森林起火、有机物腐烂、花粉、风蚀、海洋蒸发等。人类活动造成的大气污染源主要是燃料燃烧。石油、煤炭、木材等在燃烧过程中排放出大量的烟尘、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳及各种有机物。

同时,化工厂、钢铁厂、冶炼厂、炼油厂、水泥厂等工厂也是重要的大气污染源,它们排出各种不同的有机和无机污染物。

由燃烧或工厂直接排出的大气污染物称为一次空气污染物。有些污染物在大气中发生化学反应并生成另外的污染物,这种污染物称为二次污染物。如二氧化硫、氮氧化物在大气中可以转化为硫酸雾、硝酸雾。碳氢化合物、氮氧化物、一氧化碳在阳光照射下经过一系列反应可生成光化学烟雾,光化学烟雾的主要成分是臭氧(约占总量 90%)和醛类(如甲醛、过氧酰基硝酸酯类、丙烯醛)等物质。

(1.2) 大气污染物的形态 大气污染物的形态有固态、气态和液态三种;固态污染物一般称为颗粒物,其粒径小于 10 微米的固态污染物可长期飘浮在空气中并能吸入肺部故又称飘尘和可吸入尘,这部分颗粒物对人的健康影响最大。粒径小于 100 微米的称为悬浮颗粒物,这些颗粒物可较长时间悬浮在空气中。颗粒物的毒性取决

于它的成分,颗粒物中含硫酸盐、硝酸盐、重金属的成分越多其危害也越大,其次有些致癌的有机物如苯并芘等也吸附在颗粒物上造成严重的危害。气态的污染物有二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、氯气等等,这些污染物大都能刺激呼吸道,并最后到达肺泡。液态污染物有硫酸雾、硝酸雾和各种有机蒸汽等等,它们同气态污染物一样都能通过呼吸道进入肺泡造成危害。

(2) 大气污染物的危害

大气中有害物质的浓度达到一定程度就会对人、动物、植物造成危害,金属、古建筑物以及其他材料就会受到腐蚀和损坏,并影响气候。

(2.1) 对人体健康的影响 大气环境污染对人体健康的影响可分为急性中毒、死亡和慢性危害两类。例如由于煤烟型污染造成的呼吸道疾病,光化学烟雾造成的红眼病,化学品污染造成的双目失明、皮肤病,以及放射性物质污染造成的癌症、畸形等。

(2.2) 对动、植物的影响 大气污染物对动物的危害有直接和间接两类,二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等污染物可通过动物的呼吸道造成中毒,如1952年英国伦敦煤烟型污染事件时,大气中二氧化硫、烟尘浓度都很高,使市内350多头牛中有66头中毒生病或死亡。此外大气中的二氧化硫、氮氧化物及其在空气中部分转化为硫酸雾和硝酸雾通过降水进入河、湖,从而使这些河湖酸化,当pH值达到4以下时,生存在这些河、湖中的鱼类就会死亡。大气中的氟化物,进入水体或植物后,牛、羊等牲畜吃了这些牧草就造成氟中毒,在国内、外发生过多次牲畜中毒死亡的情况,牛吃了含氟量为0.002%的干草,牙齿上就会出现斑点,而植物性饲料中氟的含量可高达0.04%,氟中毒光造成牙齿和骨骼致残而后导致死亡。美国五十年代中、后期佛罗里达州的两个县就有3万头牛死于氟中毒。其他如铅、镉等也可能造成牲畜中毒。

二氧化硫、烟尘、臭氧是使植物受害的主要大气污染物。二氧化硫和臭氧进入叶片并溶解于水,粘附在细胞壁表面,使植物受害,叶片变黄,严重时大量叶片枯死最后造成植物枯死。烟尘或其他颗粒物一般会覆盖在叶面上,影响植物的光合作用,而造成蔬菜减产,如大白菜等叶面上有大量颗粒物则影响食用。当二氧化硫达到0.3ppm,臭氧达到0.01ppm时某些植物就开始受害。

(2.3) 对材料的影响 二氧化硫、氮氧化物及其在大气环境中转化成的硫酸雾、硝酸雾可吸附在材料表面,具有很强的腐蚀作用。它能使雕像、建筑艺术、文物受到腐蚀和破坏,同时能使金属、汉白玉、石灰石、大理石等受到腐蚀,降低其使用寿命,它还会使纸张变脆,纤维强度降低,染料退色。

光化学氧化剂(其代表物质是臭氧)可加速橡胶老化,使其变脆、龟裂而降低强度。同时也能使纤维强度降低、染料退色和加快电镀层的腐蚀。

颗粒物;空气中颗粒物浓度高将会影响精密仪器、电子产品的质量,使建筑材料污损。

(2.4) 对气候的影响 目前全球关注的问题之一是:由于大气中二氧化碳浓度的增加导致“温室效应”增强,从而使低层大气变暖,长期下去则可能冰山溶化,陆地变海。此外,大气中卤代烃和氮氧化物的增加也可能增强“温室效应”。还有就是严重威胁臭氧层的卤代烃(如作为空调和冰箱制冷剂的氟里昂),卤代烃在对流层积累并逐渐向平流层扩散,在平流层就与臭氧作用,分解并释放出氯气,破坏臭氧层,使到达地面的紫外线辐射强度增加,从而促进皮肤癌的发生。城市大气中尘粒浓度的增加,则增多了可成为云滴的核,这就使城市在冬季雾天比农村多,对地面的交通造成不利的影响。

1.2 大气环境质量和排放标准

(1) 大气环境质量标准(1982年8月实施)

我国制定的大气环境质量标准,对空气污染物浓度限值分为三级,见表1-1。

表 1-1 空气污染物三级标准浓度限值

| 污染物名称                                | 浓度限值(mg/Nm <sup>3</sup> ) |       |       |       |
|--------------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|
|                                      | 取值时间                      | 一级标准  | 二级标准  | 三级标准  |
| 总悬浮微粒 <sup>④</sup>                   | 日平均 <sup>①</sup>          | 0.15  | 0.30  | 0.50  |
|                                      | 任何一次 <sup>②</sup>         | 0.30  | 1.00  | 1.50  |
| 飘尘 <sup>⑤</sup>                      | 日平均                       | 0.05  | 0.15  | 0.25  |
|                                      | 任何一次                      | 0.15  | 0.50  | 0.70  |
| 二氧化硫                                 | 年日平均 <sup>③</sup>         | 0.02  | 0.06  | 0.10  |
|                                      | 日平均                       | 0.05  | 0.15  | 0.25  |
|                                      | 任何一次                      | 0.15  | 0.50  | 0.70  |
| 氮氧化物                                 | 日平均                       | 0.05  | 0.10  | 0.15  |
|                                      | 任何一次                      | 0.10  | 0.15  | 0.30  |
| 一氧化碳                                 | 日平均                       | 4.00  | 4.00  | 6.00  |
|                                      | 任何一次                      | 10.00 | 10.00 | 20.00 |
| 光化学氧化剂(O <sub>3</sub> ) <sup>⑥</sup> | 1小时平均                     | 0.12  | 0.16  | 0.20  |

- ①“日平均”为任何一日的平均浓度不许超过的限值;
- ②“任何一次”为任何一次采样测定不许超过的浓度限值。  
不同污染物“任何一次”采样时间见有关规定;
- ③“年日平均”为任何一年的日平均浓度均值不许超过的限值;
- ④总悬浮微粒(T.S.P)系指100μm以下微粒;
- ⑤飘尘系指10μm以下的微粒,该项为参考标准;
- ⑥光化学氧化剂(O<sub>3</sub>),一小时均值每月不得超过一次。

大气环境质量区划分为三类;一类区为国家规定的

自然保护区、风景游览区、名胜古迹和疗养地等。二类区为城市规划中确定的居民区、商业交通居民混合区、文化区、名胜古迹和广大农村。三类区为大气污染程度比较重的工业区以及城市交通枢纽、干线等。

一类区一般执行一级标准；二类区一般执行二级标准；三类区一般执行三级标准。凡位于二类区内的工业企业，应执行二级标准；凡位于三类区内的非规划的居民区，应执行三级标准。

(2) 居住区大气中有害物质的最高允许浓度

居住区大气中有害物质最高允许浓度见表 1-2 (1979 年 11 月 1 日实行)。

(3) 锅炉大气污染物排放标准

我国锅炉大气污染物排放标准于 1992 年 8 月 1 日实施，此标准适用于锅炉单台出力在 45.5MW (65t/h) 及以下各种用途的燃煤锅炉。燃油、燃气的烟气黑度限值、也按本标准执行。

锅炉最高允许烟尘与二氧化硫排放浓度，见表 1-3。

锅炉初始排放最高允许烟尘浓度和烟气黑度（根据销售出厂时间）按表 1-4 执行。

烟囱最低允许高度每个新建锅炉房只能设一个烟囱，其最低允许高度见表 1-5。

(4) 工业“三废”排放试行标准

我国制定的工业“三废”排放试行标准于 1974 年 1 月开始试行，对废气中 13 种有害物质的排放标准作了规定见表 1-6。但 20 年来有的行业如：电站及锅炉等已有新的排放标准，则执行新标准。

(5) 排污许可证

排污许可证是加强对污染源管理和改善大气环境质量的重要手段之一。政府部门可根据当地的大气环境质量、污染物排放情况、各种污染控制设备对污染物的去除效率、费用以及管理水平等，对污染源发排污许可证，规定其大气污染物的允许排放量。这就使各单位不仅要根据规定安装必要的污染控制设备，而且要对排污和治理设备进行认真的管理，否则就会超过允许排放量而遭到罚款或其他处分。排污许可证也可以按单位发放，这就使各单位可根据经济和工艺等要求对各污染源的污染物排放量自行调整。此外在城市或地区可对一种或数种大气污染物进行总量控制，即为达到环境标准或环境目标值，由政府部门根据计算，然后分配给各污染源一种或数种大气污染物的允许排放量，这样做难度比较大一些，但从全局看，更合理些。

1.3 气态污染物的控制

对气态污染物的治理方法主要有吸收、吸附、燃烧、冷凝等。

(1) 吸收

吸收就是将排气中的气态污染物同液体进行充分的

表 1-2 居住区大气中有害物质的最高容许浓度

| 编号 | 物质名称                                   | 最高容许浓度<br>mg/m <sup>3</sup> |        |
|----|----------------------------------------|-----------------------------|--------|
|    |                                        | 任何一次                        | 日平均    |
| 1  | 一氧化碳 <sup>①</sup>                      | 3.00                        | 1.00   |
| 2  | 乙 醛                                    | 0.01                        |        |
| 3  | 二甲苯                                    | 0.30                        |        |
| 4  | 二氧化硫 <sup>①</sup>                      | 0.50                        | 0.15   |
| 5  | 二硫化碳                                   | 0.04                        |        |
| 6  | 五氧化二磷                                  | 0.15                        | 0.05   |
| 7  | 丙烯腈                                    |                             | 0.05   |
| 8  | 丙烯醛                                    | 0.10                        |        |
| 9  | 丙酮                                     | 0.80                        |        |
| 10 | 甲基对硫磷（甲基 E605）                         | 0.01                        |        |
| 11 | 甲醇                                     | 3.00                        | 1.00   |
| 12 | 甲醛                                     | 0.05                        |        |
| 13 | 汞                                      |                             | 0.0003 |
| 14 | 吡啶                                     | 0.08                        |        |
| 15 | 苯                                      | 2.40                        | 0.8    |
| 16 | 苯乙烯                                    | 0.01                        |        |
| 17 | 苯胺                                     | 0.10                        | 0.03   |
| 18 | 环氧氯丙烷                                  | 0.20                        |        |
| 19 | 氟化物（换算成 F）                             | 0.02                        | 0.007  |
| 20 | 氨                                      | 0.20                        |        |
| 21 | 氧化氮（换算成 NO <sub>2</sub> ） <sup>①</sup> | 0.15                        |        |
| 22 | 砷化物（换算成 As）                            |                             | 0.003  |
| 23 | 敌百虫                                    | 0.10                        |        |
| 24 | 酚                                      | 0.02                        |        |
| 25 | 硫化氢                                    | 0.01                        |        |
| 26 | 硫酸                                     | 0.30                        | 0.10   |
| 27 | 硝基苯                                    | 0.01                        |        |
| 28 | 铅及其无机化合物（换算成 Pb）                       |                             | 0.0007 |
| 29 | 氯                                      | 0.10                        | 0.03   |
| 30 | 氯丁二烯                                   | 0.10                        |        |
| 31 | 氯化氢                                    | 0.05                        | 0.015  |
| 32 | 铬（六价）                                  | 0.0015                      |        |
| 33 | 锰及其化合物（换算成 MnO <sub>2</sub> ）          |                             | 0.01   |
| 34 | 飘尘 <sup>①</sup>                        | 0.5                         | 0.15   |

①这些污染物已有新标准，见表 1-1 应以新标准为准。

接触，使气态污染物由气相转入液相，从而净化气体的一种方法。吸收分为物理吸收和化学吸收，物理吸收是物理溶解过程，不发生任何化学反应。化学吸收则是溶解的气体与溶剂或溶剂中某一成分发生化学反应，导致气体平

表 1-3 锅炉最高烟尘、二氧化硫、烟气黑度排放允许值

| 烟尘浓度, mg/m <sup>3</sup> (标态) |     |     | 二氧化硫浓度, mg/m <sup>3</sup> (标态) |          | 林格曼黑度, 级 |
|------------------------------|-----|-----|--------------------------------|----------|----------|
| 一类区                          | 二类区 | 三类区 | 燃煤含硫量≤2%                       | 燃煤含硫量>2% |          |
| 100                          | 250 | 350 | 1200                           | 1800     | 1        |

注：1. 燃料矿区非居民使用的锅炉，燃用发热量低于 12560kJ/kg 燃料时，烟尘最高允许排放浓度可放宽到 800mg/m<sup>3</sup>（标态）。

2. 过量空气系数  $\alpha > 1.8$  时, 应换算为  $\alpha = 1.8$  时的烟尘浓度。

表 1-4 锅炉初始排放最高允许浓度和烟气黑度

| 燃烧方式 |        | 限值    | 烟尘浓度, mg/m <sup>3</sup> (标态)        |                      |                                     |                      | 林格曼<br>黑度<br>级 |
|------|--------|-------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------|
|      |        |       | 煤的灰分 A <sub>y</sub> ≤25%            |                      | 煤的灰分 A <sub>y</sub> >25%            |                      |                |
|      |        |       | 1993 年 1 月 1 日~<br>1995 年 12 月 31 日 | 1996 年 1 月 1 日<br>以后 | 1993 年 1 月 1 日~<br>1995 年 12 月 31 日 | 1996 年 1 月 1 日<br>以后 |                |
| 层燃炉  | ≤2.8MW | 2000  | 1800                                | 2200                 | 2000                                |                      |                |
|      | >2.8MW | 2400  | 2000                                | 2600                 | 2200                                |                      |                |
| 抛煤机炉 |        | 5000  |                                     | 5500                 |                                     |                      |                |
| 沸腾炉  | 循环硫化床炉 | 15000 |                                     |                      |                                     |                      |                |
|      | 煤矸石    | 30000 |                                     |                      |                                     |                      |                |
|      | 其他煤种   | 20000 |                                     |                      |                                     |                      |                |

注：过量空气系数  $\alpha > 1.7$  时应换算为  $\alpha = 1.7$  时的烟尘浓度。

**表 1-5 锅炉房烟囱最低允许高度**

|          |     |      |          |          |        |        |        |
|----------|-----|------|----------|----------|--------|--------|--------|
| 锅炉房总容量   | t/h | <1   | 1~<2     | 2~<4     | 4~<10  | 10~<20 | 20~<40 |
|          | MW  | <0.7 | 0.7~<1.4 | 1.4~<2.8 | 2.8~<7 | 7~<14  | 14~<28 |
| 烟囱最低允许高度 | m   | 20   | 25       | 30       | 35     | 40     | 45     |

注：1. 烟尘周围半径 200m 内有建筑物时，烟囱应高出最高建筑物 3m 以上，如达不到上述要求，则二、三类区排放浓度执行 200mg/m<sup>3</sup>（标态）；

2. 锅炉房总容量大于 28MW 时烟囱高度按环境影响评价要求确定, 但不得低于 45m。

衡蒸气压的降低,从而提高了吸收效率。

吸收法净化废气的主要设备是吸收塔,其优点是:1. 压降比较低;2. 可用玻璃纤维塑料制做,耐腐蚀;3. 可以达到较高的传质效率;4. 设备占地少、投资比较低;5. 在去除有害气体时可同时去除颗粒物;6. 如要提高传质效果,只需增加填料高度、形状或增加板块,不需另增新设备。其缺点是:1. 可能形成水(或液体)污染;2. 净化后的排气中有大量液滴需要收集处理;3. 有害气体中的颗粒物可能引起塔的堵塞;4. 如用玻璃纤维塑料作为材质,则对温度有一定要求。5. 维护费用比较高。

(1.1) 吸收塔的计算程序 吸收塔计算的一般程序是: 1. 选择吸收液; 2. 平衡数据的计算; 3. 操作数据的计算, 通常由物料和能量衡算组成, 其中能量衡算决定吸收过程是等温过程还是绝热过程; 4. 塔的选择; 必须对不同塔形进行计算, 最终根据经济费用来确定; 5. 塔

表 1-6 我国十三类有害物质的排放标准

| 序号 | 有害物质名称            | 排放有害物质企业 <sup>①</sup> | 排放标准       |                          |                           |
|----|-------------------|-----------------------|------------|--------------------------|---------------------------|
|    |                   |                       | 排气筒高度<br>m | 排气量 <sup>②</sup><br>kg/h | 排放浓度<br>mg/m <sup>3</sup> |
| 1  | 二氧化硫 <sup>③</sup> | 冶金                    | 30         | 52                       |                           |
|    |                   |                       | 45         | 91                       |                           |
|    |                   |                       | 60         | 140                      |                           |
|    |                   |                       | 80         | 230                      |                           |
|    |                   |                       | 100        | 450                      |                           |
|    |                   |                       | 120        | 670                      |                           |
|    |                   | 化工                    | 30         | 34                       |                           |
|    |                   |                       | 45         | 66                       |                           |
|    |                   |                       | 60         | 110                      |                           |
|    |                   |                       | 80         | 190                      |                           |
|    |                   |                       | 100        | 280                      |                           |

续表

| 序号 | 有害物质名称                         | 排放有害物质企业 <sup>①</sup> | 排放标准       |                          |                           |
|----|--------------------------------|-----------------------|------------|--------------------------|---------------------------|
|    |                                |                       | 排气筒高度<br>m | 排气量 <sup>②</sup><br>kg/h | 排放浓度<br>mg/m <sup>3</sup> |
| 2  | 二硫化碳                           | 轻工                    | 20         | 5.1                      |                           |
|    |                                |                       | 40         | 15                       |                           |
|    |                                |                       | 60         | 30                       |                           |
|    |                                |                       | 80         | 51                       |                           |
|    |                                |                       | 100        | 76                       |                           |
|    |                                |                       | 120        | 110                      |                           |
| 3  | 硫化氢                            | 化工、轻工                 | 20         | 1.3                      |                           |
|    |                                |                       | 40         | 3.8                      |                           |
|    |                                |                       | 60         | 7.6                      |                           |
|    |                                |                       | 80         | 13                       |                           |
|    |                                |                       | 100        | 19                       |                           |
|    |                                |                       | 120        | 27                       |                           |
| 4  | 氟化物(换算成 F)                     | 化工                    | 30         | 1.8                      |                           |
|    |                                |                       | 50         | 4.1                      |                           |
|    |                                | 冶金                    | 120        | 24                       |                           |
| 5  | 氮氧化物<br>(换算成 NO <sub>2</sub> ) | 化工                    | 20         | 12                       |                           |
|    |                                |                       | 40         | 37                       |                           |
|    |                                |                       | 60         | 86                       |                           |
|    |                                |                       | 80         | 160                      |                           |
|    |                                |                       | 100        | 230                      |                           |
| 6  | 氟                              | 化工、冶金                 | 20         | 2.8                      |                           |
|    |                                |                       | 30         | 5.1                      |                           |
|    |                                |                       | 50         | 12                       |                           |
|    |                                | 冶金                    | 80         | 27                       |                           |
|    |                                |                       | 100        | 41                       |                           |
| 7  | 氟化氢                            | 化工、冶金                 | 20         | 1.4                      |                           |
|    |                                |                       | 30         | 2.5                      |                           |
|    |                                |                       | 50         | 5.9                      |                           |
|    |                                | 冶金                    | 80         | 14                       |                           |
|    |                                |                       | 100        | 20                       |                           |
| 8  | 一氧化碳                           | 化工、冶金                 | 30         | 160                      |                           |
|    |                                |                       | 60         | 620                      |                           |
|    |                                |                       | 100        | 1700                     |                           |
| 9  | 硫酸(雾)                          | 化工                    | 30~45      |                          | 260                       |
|    |                                |                       | 60~80      |                          | 600                       |

续表

| 序号 | 有害物质名称      | 排放有害物质企业 <sup>①</sup> | 排放标准       |                          |                           |
|----|-------------|-----------------------|------------|--------------------------|---------------------------|
|    |             |                       | 排气筒高度<br>m | 排气量 <sup>②</sup><br>kg/h | 排放浓度<br>mg/m <sup>3</sup> |
| 10 | 铅           | 冶金                    | 100        |                          | 34                        |
|    |             |                       | 120        |                          | 47                        |
| 11 | 汞           | 轻工                    | 20         |                          | 0.01                      |
|    |             |                       | 30         |                          | 0.02                      |
| 12 | 砷化物(换算成 Be) |                       | 45~80      |                          | 0.015                     |
| 13 |             | 炼钢电炉                  |            |                          | 200                       |
|    |             | 炼钢转炉                  |            |                          |                           |
|    |             | (小于 12t)              |            |                          | 200                       |
|    |             | (大于 12t)              |            |                          | 150                       |
|    |             | 水泥                    |            |                          | 150                       |
|    |             | 生产性粉尘 <sup>④</sup>    |            |                          |                           |
|    |             | (第一类)                 |            |                          | 100                       |
|    |             | (第二类)                 |            |                          | 150                       |

- ①表中未列入的企业,其有害物质的排放量,可参照本表类似企业。
- ②表中所列数据按平原地区,大气为中性状态,点源连续排放制定。间断排放者:若每天多次排放其排放量按表中规定;若每天排放一次而又小于一小时,则二氧化硫,烟尘及生产性粉尘,二硫化碳,氟化物,氟,氟化氢,一氧化碳等七类物质的排放量可为表中规定量的三倍。
- ③关于电站二氧化硫,烟尘和生产用、采暖用、生活用锅炉烟尘排放标准,国家已有新规定,应以新规定为准,此表未列入。
- ④系指局部通风除尘后所允许的排放浓度。  
第一类指:含 10% 以上的游离二氧化硅或石棉粉尘,玻璃丝和矿渣棉粉尘,铝化物粉尘,滑石粉尘,烟草、茶叶等粉尘。  
第二类指:含 10% 以下的游离二氧化硅的煤尘及其他粉尘。

的直径计算;对填料塔,通常考虑其水流条件,对板式塔则考虑其最佳气流速度和板的液体输送能力;6. 塔高或塔板数的计算;填料塔的塔高由平衡的操作数据求得传质单元数再乘以传质单元高度求得,板式塔则先把平衡线和操作线绘成曲线图,求得理论塔板数再除以算出的总塔板效率,得出实际塔板数,根据实际塔板数和塔间距计算塔高;7. 塔的压降计算;对填料塔,可用取决于填料型式、塔的操作数据和所有组分的物理特性的关系式来计算,对板式塔,可先求得一块塔板的阻力,再乘以塔板数。

填料塔中放置的填料有很多种,并各有其特点,具体应用要点见表 1-7。

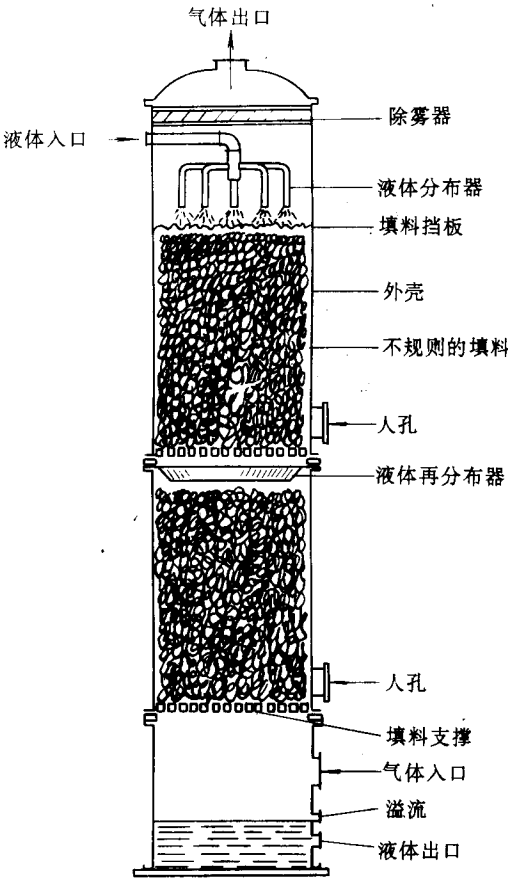


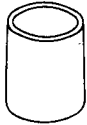
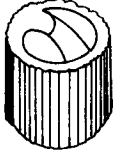
图 1-1 逆流填料塔结构示意图

选择合适的吸收液是提高吸收效率的重要因素,水是最便宜的吸收液,但选择吸收液时必须考虑如下因素。1. 气体的溶解度;要求对有害组分的溶解度尽量大,这样就可以减少吸收液用量和设备尺寸;2. 蒸气压;蒸气压应尽量低,以减少吸收液的损失;3. 腐蚀性;尽量不采用腐蚀性吸收液;4. 费用;吸收液的费用应低廉;5. 粘度;粘度低可提高吸收率、降低压降;6. 化学稳定性;化学稳定性要好,尽可能无毒、难燃;7. 冰点要低;以免吸收液在塔体内凝固而造成损失。

(1.2) 吸收塔的类型 吸收塔主要有填料塔、板式塔,其他如喷射塔、文氏管也可用作吸收设备。

填料塔是治理气态污染物使用得最普遍的塔型之一,特别是逆流填料塔,气体由塔的下部进入,液体则由上而下喷淋,这样使气液不断接触(见图 1-1),气态污染物随着上升其浓度不断下降,而往下喷淋的则是新鲜的吸收液,因此填料层的扩散和吸收过程的平均推动力是最大的。

表 1-7 某些典型填料及其应用

| 填 料                                                                                                  | 应 用 要 点                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>拉西环</div>      | 最普遍的形式,单位价格通常比较便宜,但效率往往比其他填料差。可用多种多样的材料制成,以适应各种用途。结构坚固。一般湿装填或干装填,大于 4~6 英寸的填料有时采用人工整砌法。壁厚和某些尺寸随制造厂而异;有效表面随壁厚而定。对塔可产生相当大的侧推力。通常这种填料会使较多的液体分布不均匀而把较多的液体引向塔壁 |
| <div>圆鞍形填料</div>   | 在大多数应用中,比拉西环更有效,但也更贵。填料会互相套在一起,从而在床层中形成“密实”点,促进了液体在填料中分布不均匀,但不像拉西环那么多。不产生太大的侧推力,单位压降较低,但泛点比拉西环高一些。在床层中比拉西环更容易破碎                                           |
| <div>矩鞍形填料</div>  | 最有效的填料之一,但较贵。互相套在一起和堵塞床层面积的可能性很小。床层比较均匀。液泛极限比拉西环或圆鞍形填料高,但压降比它们低。在床层中比拉西环易碎                                                                                |
| <div>鲍尔环</div>    | 压降比拉西环低(低一半),液泛极限较高。液体分布均匀,流量高。对塔壁可产生相当大的侧推力,可用金属、塑料和陶瓷制成                                                                                                 |
| <div>螺旋环</div>    | 通常用整砌法填充,以利用气-液的内部旋转,比拉西环、勒辛环或十字分隔环提供更多的接触表面,有单螺旋、双螺旋和三螺旋三种形式。压降较高。缺少广范围的操作性数据                                                                            |

续表

| 填 料                                                                                            | 应 用 要 点                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <p>泰勒环</p>    | 可用塑料制, 压降比拉西环或圆鞍形填料低, 但液泛极限比它们高。单位重量极轻, 侧推力低。比较贵                           |
| <p>十字分隔环</p>  | 通常用整砌法, 是为支承上部较小的填料而整砌在支承板上的头几层。压降比较低, 对于整砌得相当好的填料来说, 降低了液体分布的不均匀性, 无塔壁侧推力 |
| <p>勒辛环</p>    | 操作性能数据不多。但一般比拉西环略好一些, 压降稍高。塔壁侧推力高                                          |
| <p>陶瓷球</p>   | 在一定操作范围内往往会流态化, 有自洁性, 床层结构均匀, 压降较高, 接触效率比拉西环好。侧推力高。工业操作数据不多                |
| <p>网带卷</p>  | 只有金属的, 用在蒸馏、吸收、洗涤和液体萃取的大、小塔中。效率高, 压降低                                      |
| <p>波纹板</p>   | 排列规则, 结构紧凑, 具有很大的比表面, 压降小, 操作弹性大, 效率比较高。可用各种金属和非金属材料制造, 便于处理腐蚀性物料          |

湍球塔是近年发展起来的一种高效吸收设备, 属填料塔中的特殊塔型。湍球塔是在塔内填充少量塑料球, 吸收液由塔顶向下喷淋, 气流从塔的下部向上时使小球成沸腾层, 增大气液接触面。湍球塔中气体流速高、处理能力大、塔重量轻, 气液分布均匀, 不易被固体颗粒和粘性物料堵塞, 但是球磨损严重, 湍球层多时压降大。

板式塔是在塔板上穿孔, 液体靠重力流下, 而气体从孔中穿过, 并阻止液体从孔中下落, 这时在板上形成激烈搅动的液层。在这里, 气液进行较充分的接触、吸收, 然后气体穿过液层向上, 液体则通过溢流管流入下一层塔板, 塔板数可根据计算确定。板式塔的一种形式——泡罩塔的结构示意图见图 1-2。

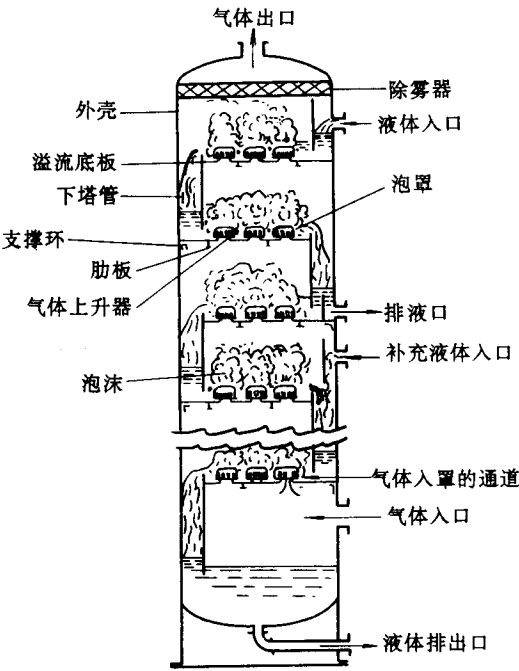


图 1-2 泡罩塔结构示意图

板式塔的塔板主要有: 有降液管式塔板、穿流塔板和其他形式的塔板, 这几种塔板的应用特点见表 1-8。

其他吸收设备包括:

文丘里管: 文丘里管是通过喉管处速度很高使气液充分接触而达到吸收的一种装置, 它具有体积小、结构简单, 不易堵塞等特点, 而且可以在去除有害气体时除尘。其缺点是阻力比较大。

旋喷型吸收塔: 其塔顶有三个相距 120° 的旋液喷淋器, 吸收液由此喷入, 气体进入后同吸收液接触得到初步净化, 然后进入喷杯, 其截面气速可达 25~30m/s, 高速气流使吸收液雾化, 从而使气液充分接触并吸收。最后进入扩大部分, 气速降到 1~1.5m/s 气液分离。这种塔的吸收液可重复使用。净化气体则通过排气筒排出。

此外还有喷射塔、冲击式除尘器等吸收装置, 其特点同文丘里管、旋喷型吸收塔类似, 其最大特点是不易堵塞。

表 1-8 三种塔板的应用特点

| 类 型    |           | 应 用 特 点                                                     |
|--------|-----------|-------------------------------------------------------------|
| 有降液    | 泡罩板       | 最早在工业上大规模应用,气液接触有充分保证,操作弹性范围大,泡罩加工复杂,钢材耗量大                  |
|        | 筛板        | 是有降液管塔板中最简单的一种、效率高,处理能力大,合理设计时可具有一定的操作弹性,但气速下限受漏液点限制        |
|        | 浮阀板       | 效率高,处理能力大,下限可比筛板低得多,目前已大量地取代泡罩塔板                            |
| 塔板     | S形单向流塔板   | 板面由S型长条互相搭接而成,气相通过齿缝单向鼓泡,可以降低液面梯度,效率同泡罩塔板与泡罩塔相比,阻力小,处理能力大   |
|        | 舌形塔板      | 是筛板的一种变形,处理能力大,但效率低                                         |
|        | 浮动喷射板     | 板上气流呈喷射状态,阻力小,处理能力大,弹性宽,板间距小,在适宜场合下,具有一定效率                  |
|        | 斜孔塔板      | 气体以水平方向喷出,相邻两排孔口相反,气流不致对喷又能互相牵制,消除不断加速现象,塔板液层低而均匀,阻力小处理能力较大 |
| 穿流塔板   | 筛孔及栅缝式穿流板 | 是最常用的穿流式塔板,结构简单,生产能力大,阻力小,设计数据较为完整,但操作弹性较小                  |
|        | 波纹穿流板     | 将筛孔穿流板压成瓦楞波形,以改善液体的再分布,有利于在大塔内保持均匀流动                        |
| 其他形式塔板 | 旋流板       | 气流通过形如固定风车叶轮的塔板,产生离心旋转与塔板上液体产生强烈接触,处理能力较大,阻力较小,操作弹性较大,效率较低  |
|        | 并流喷射塔板    | 气流并流、结构简单,生产强度高,阻力小,适于化学吸收                                  |
|        | 浮动筛板      | 气量可通过浮板自动调节开孔率,有利于改善塔板操作性能,增加操作弹性                           |

## (2) 吸附

吸附就是将排气中的蒸气和气态污染物通过固体吸附剂时将其吸附在固体表面的一种方法。吸附分为化学吸附和物理吸附。吸附过程是放热过程,吸附热能使吸附剂温度升高,对吸附作用有一定影响。

使用吸附装置的主要优点是:1. 污染物质可回收并回用于生产,这时就没有化学废弃物排放;2. 可从废气中去除浓度很低的蒸气状或气态污染物;3. 对流程变化的适应性强,净化效率高;4. 易于自动化运行,不须或只须操作人员间歇照顾。其缺点是:1. 投资比较高,回收废气中的物质时所用蒸馏和萃取设备价格比较贵;2. 循环使用多次后吸附能力会降低;3. 为了脱附(或称解吸)高分子量的碳氢化合物,需要较高的蒸气压力;4. 为了防止吸附床堵塞,有时需要预过滤以去除颗粒状固体物;5. 为了正常运行,废气一般应冷却到49℃以下。

(2.1) 吸附装置 可分为固定床和流动床两种吸附装置。

固定床吸附装置是吸附层静止不动的装置。这种装

置因结构简单、工艺成熟、性能可靠、故应用较多。其结构示意图见图1-3。

a是吸附过程。污染气体进入吸附罐(一般内装活性炭作为吸附剂),废气中的有机溶剂或其他有害气体被吸附剂所吸附,净化气体则从下部排出。当吸附剂达到饱和时,就需要脱附使吸附剂再生而重复使用,同时可回收被吸附的物质。这时须关闭阀门1和阀门3而打开阀门2和阀门4,见图1-3b,并通入水蒸汽或其他溶液,使被吸附物质随蒸汽而出,然后在冷凝器内冷凝,并进入分离器将水和溶剂分离并回收溶剂。

流动床也称流化床,有吸附和再生两部分所组成(见图1-4)。废气由吸附部分的下部进入并使每块塔板上的吸附剂呈沸腾状态形成流化床,废气中的有害物质被充分吸附后,净化的气体由顶部排出。吸附剂由吸附段的上部加入,经每段流化床的溢流堰流下,最后进入脱附部分进行再生。脱附就是在对吸附剂进行加热的同时,通入再生气体把吸附的物质吹出,净化的吸附剂循环再用,吹出的物质则可回收利用。

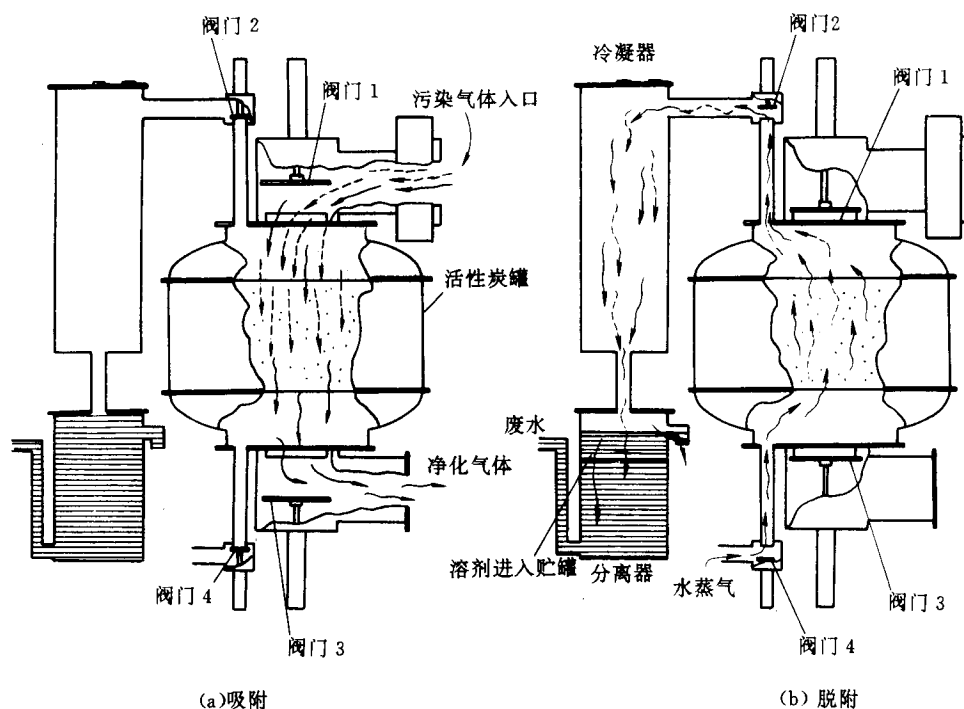


图 1-3 固定床吸附装置

蜂轮式吸附装置的吸附层是由蜂窝状吸附纸制成。吸附纸是有一定比例的活性炭和纸浆或无机纤维制成，蜂轮的端面分隔成吸附和脱附两区，比例为 10 : 1 以上。使用时，废气通过吸附区污染物质被吸附，净化的气体被排出。随着蜂轮的转动，吸附区和脱附区不断变换、废气则可净化。同时在脱附区用热空气将浓缩 10 倍以上的废气吹出，浓缩废气可用吸附、吸收或燃烧等方法进一步处理。这种装置主要用于低浓度、大风量废气的净化。

(2.2) 吸附剂的种类和选择 吸附剂有化学吸附剂和物理吸附剂两大类。常用的物理吸附剂有活性炭、硅胶、分子筛、活性氧化铝、沸石等，其性能见表 1-9。常用化学吸附剂主要有离子交换树脂、碱性吸附剂（如磺化炭）、酸性吸附剂（如氧化铁脱硫剂）等。

吸附剂应选择：吸附量大、选择性好、脱附容易、机械强度高、化学稳定性和热稳定性好、阻力小、价廉。

### (3) 燃烧

燃烧主要是使有机物在高温情况下分解成水和二氧化碳等无害物质。其主要优点是：①操作简单，②热量可以回收利用，③有害的有机物可分解成无害的水和二氧化碳。其缺点是：①需用燃料进行加热时运行费用比较高，②进行催化燃烧时，催化剂可能中毒，③存在爆炸的可能性，④如燃烧不完全，可能造成更严重的污染问题。燃烧分直接燃烧和催化燃烧两类。

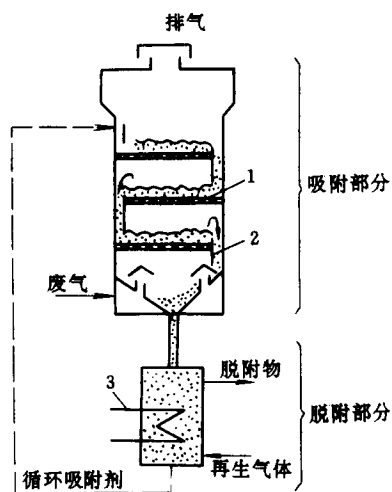


图 1-4 流动床吸附装置

1—塔板；2—溢流堰；3—加热器

表 1-9 常用吸附剂的物理性质

| 性 质                     | 活 性 炭    |          | 硅 胶      | 活性氧化铝   | 分 子 筛    |
|-------------------------|----------|----------|----------|---------|----------|
|                         | 粒 状      | 粉 状      |          |         |          |
| 真密度, g/mL               | 2.0~2.2  | 1.9~2.2  | 2.2~2.3  | 3.0~3.3 | 2.0~2.5  |
| 粒密度, g/mL               | 0.6~1.0  | —        | 0.8~1.3  | 0.9~1.9 | 0.9~1.3  |
| 充填密度, g/mL              | 0.35~0.6 | 0.15~0.6 | 0.5~0.85 | 0.5~1.0 | 0.6~0.75 |
| 空隙率, %                  | 33~45    | 45~75    | 40~45    | 40~45   | 22~40    |
| 细孔容积, mL/g              | 0.5~1.1  | 0.5~1.4  | 0.3~0.8  | 0.3~0.8 | 0.4~0.6  |
| 比表面积, m <sup>2</sup> /g | 700~1500 | 700~1600 | 200~600  | 150~350 | 400~750  |
| 平均孔径, nm                | 1.2~4.0  | 1.5~4.0  | 2.0~12   | 4.0~15  | —        |

(3.1) 直接燃烧 直接燃烧需将废气预热到 600~800℃才能燃烧完全。在供氧充足的前提下, 为了达到一定的转化率, 直接燃烧的控制条件是反应温度和停留时间, 见表 1-10。控制的反应温度越高, 则所需的停留时间越短, 燃烧室的容积越小, 但预热耗能越多。同时必须加强废气与高温烟气湍流混合, 使气体分子运动速度和方向随时改变, 以缩短混合时间, 并延长燃烧时间。废气应尽量与燃烧火焰接触, 利用火焰中游离的自由基加快燃烧反应, 以提高转化率。预热温度增高也有利于提高转化率。

表 1-10 直接燃烧控制条件

| 废 气 种 类                                                  | 反应温度<br>℃                     | 停留时间<br>s |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 碳氢化合物 <sup>①</sup><br>转化率 90% 以上                         | 590~680                       | 0.3~0.5   |
| 碳氢化合物和一氧化碳<br>转化率 90% 以上                                 | 680~820                       | 0.3~0.5   |
| 恶臭<br>转化率 50~90%<br>转化率 90~99%<br>转化率 99% 以上             | 540~650<br>580~700<br>650~820 | 0.3~0.5   |
| 白烟 (雾滴)<br>白烟消除 <sup>②</sup><br>碳氢化合物和一氧化碳<br>转化率 90% 以上 | 430~540<br>680~820            | 0.3~0.5   |
| 黑烟 (可燃性颗粒物) 消除                                           | 760~1100                      | 0.7~1.0   |

① 甲烷、芳香烃、溶纤剂转化率为 90% 以上时, 反应温度为 760~820℃。  
② 白烟消除后如其中的碳氢化合物燃烧不完全可产生恶臭。

直接燃烧设备见图 1-5, 这是带换热器的直接燃烧装置, 废气通过换热器进行预热, 然后进入燃烧室同燃烧器喷出的小火焰混合并燃烧, 从而使有机物转化为水和二氧化碳这种换热装置的换热效率一般为 30~70%。

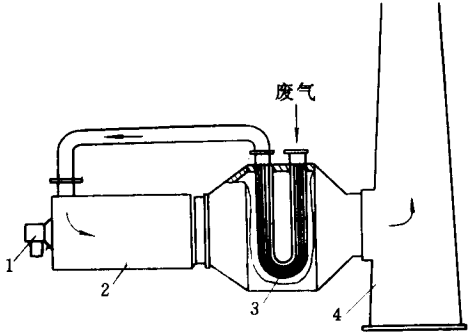


图 1-5 带换热器的直接燃烧装置  
1—燃烧器；2—燃烧室；3—换热器；4—烟囱

(3.2) 催化燃烧 催化燃烧是在催化剂的作用下, 有害气体发生化学反应转化成无害的物质。由于催化燃烧净化效率高、反应温度低、操作简单、设备紧凑, 是目前常用的一种治理废气的方法。

催化燃烧的工艺流程见图 1-6, 废气通过过滤器后由风机送入换热器以提高温度, 然后到预热器进行加热, 加热后的废气进入装有催化剂的反应器进行燃烧, 净化的气体通过换热器以回收热量。然后排出。

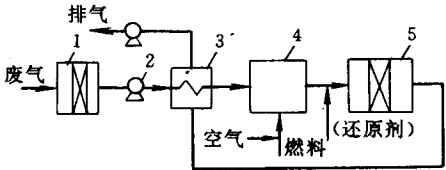


图 1-6 催化燃烧工艺流程  
1—过滤器；2—风机；3—换热器；  
4—预热器；5—反应器

用催化燃烧法净化废气一般反应温度为 200~400℃, 最高为 500℃, 这比直接燃烧可节省大量能源。催化剂分为贵金属和非贵金属两类, 贵金属主要有铂、钯、钨、铑等, 这类催化剂价格贵, 但活性好, 适用于催化燃烧碳氢化合物。非金属的主要为锰、铁、钴、镍、铜、钒等氧化物, 这类催化剂虽然活性差一些, 但价格便宜。

为了节约催化剂、提高催化剂的活性强度、稳定性和机械强度。通常把催化剂附载在有一定比表面积的惰性物质上, 这种惰性物质称为载体。常用的载体主要有氧化铝、硅胶、分子筛、陶瓷、耐热金属等。载体可做成圆柱状、圆筒状、球状、丝状、网状和蜂窝状等形式。

#### (4) 冷凝

物质在不同温度下具有不同的饱和蒸气压, 降低废气温度就可以使一些有害蒸气和气体冷凝成液体, 冷凝过程对物质仅发生物理变化。冷却温度越低, 净化程度越高, 根据废气同冷凝剂是否直接接触、冷凝法分直接接触冷凝和非接触冷凝。冷凝法的主要优点是: ①用非接触的冷凝器时, 可回收纯度高的产品; ②冷却剂可回用; 缺点是: ①净化效率低, 一般为 30~50%; ②冷凝设备比较贵。

(4.1) 非接触冷凝 非接触冷凝是指冷却剂间接冷却气态污染物质, 冷却剂一般用低温的清水, 为了强化冷却效果, 也可以用氨、氟利昂 12 等制冷剂, 冷媒为水或盐水。浓度为 20% 的盐水, 凝固点为 -17.8℃, 冷却效果可达 -15~0℃。

非接触冷凝可以使冷凝剂在管内通过, 而废气在管外冷凝器内通过, 也可以废气在管内通过并冷凝, 而管道由冷却水喷淋。

(4.2) 接触冷凝 接触冷凝一般用水作冷却剂, 所用设备基本上类似吸收塔, 由水直接喷淋或接触废气使其冷却, 这种设备有利于传热, 防腐问题易解决。但冷凝液一般不易回收, 这就可能造成二次污染, 即水的污染。

### 1.4 颗粒物的控制

#### (1) 概述

颗粒物一般称为尘, 尘的来源广泛, 有煤烟尘, 也有钢铁、水泥、木材加工、粮食加工及化工工艺过程排出的尘。对尘进行治理前, 必须了解尘的特性, 如它的粒径、粒度分布、形状、密度、比电阻、亲水性、可燃性、凝集特性以及含尘气体的化学成分、温度、压力、湿度、粘度等。

除尘设备种类很多, 除尘设备的性能与尘的特性有关。

(1.1) 除尘效率 除尘效率是衡量除尘设备的重要标志, 其计算方法有

①根据除尘器进口、出口管道内气体的流量和尘的浓度来计算。

当  $Q_i = Q_o$  时

$$\eta = \left(1 - \frac{C_o}{C_i}\right) \times 100 \quad (1-1)$$

当  $Q_i \neq Q_o$  时

$$\eta = \left(1 - \frac{C_o Q_o}{C_i Q_i}\right) \times 100 \quad (1-2)$$

式中  $\eta$  ——除尘器的除尘效率, %;

$C_i$ 、 $C_o$  ——除尘器进口、出口管道内尘的浓度, mg/Nm<sup>3</sup>;

$Q_i Q_o$  ——除尘器进口、出口管道内气体流量, Nm<sup>3</sup>/h。

②根据除尘器进口管道内气体流量、尘的浓度和除尘器灰斗收入的尘量计算。

$$\eta = \frac{M_c}{M_c + \frac{C_o Q_o}{10^6}} \times 100 \quad (1-3)$$

式中  $M_c$  ——除尘器灰斗收入的尘量, kg/h。

#### ③两级除尘时总效率的计算

采用两级除尘时, 其总效率可按式计算:

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2 \quad (1-4)$$

式中  $\eta_1$  ——第一级除尘器的效率, %;

$\eta_2$  ——第二级除尘器的效率, %。

④分级效率是指除尘器对某一粒径(或某一段粒径)的去除效率, 这是评定除尘器质量的又一重要指标。可按下式计算

$$\Delta\eta = 1 - \frac{f_o}{f_i} (1 - \eta) \quad (1-5)$$

式中  $\Delta\eta$  ——某一粒径级尘的除尘效率, %;

$f_i$ 、 $f_o$  ——除尘器灰斗收入尘和除尘器出口某一粒径级的频率密度, %。

(1.2) 除尘设备的分类、基本性能及适用范围 除尘设备一般可分为机械式除尘器、湿式(或称洗涤式)除尘器、过滤式除尘器、电除尘器等, 各类除尘器的基本性能见表 1-11、分级效率见图 1-7。各种除尘器适用的粒径范围见图 1-8。

#### (2) 机械式除尘器

机械式除尘器是利用重力、惯性、离心力等方法来去除尘粒, 包括重力沉降室、惯性除尘器和旋风除尘器等类型。这种设备构造简单、投资少、动力消耗低。但除尘效率不很高。在排尘量比较大或除尘要求比较严格的地方, 这类设备可作为预处理用, 以减轻第二级除尘器的负荷。近年来制造的多管旋风除尘器和湿式旋风除尘器的除尘效率可达 90% 以上。

表 1-11 除尘设备的分类及性能

| 序号 | 类 别    | 除尘设备型式  | 阻力, Pa    | 除尘效率, % | 设备费用 | 运行费用 |
|----|--------|---------|-----------|---------|------|------|
| 1  | 机械式除尘器 | 重力除尘器   | 50~150    | 40~60   | 少    | 少    |
|    |        | 惯性除尘器   | 100~500   | 50~70   | 少    | 少    |
|    |        | 旋风除尘器   | 400~1300  | 70~92   | 少    | 中    |
|    |        | 多管旋风除尘器 | 800~1500  | 80~95   | 中    | 中    |
| 2  | 洗涤式除尘器 | 喷淋洗涤器   | 100~300   | 75~95   | 中    | 中    |
|    |        | 文丘里洗涤器  | 500~10000 | 90~99.9 | 少    | 高    |
|    |        | 自激式洗涤器  | 800~2000  | 85~99   | 中    | 较高   |
|    |        | 水膜除尘器   | 500~1500  | 85~99   | 中    | 较高   |
| 3  | 过滤式除尘器 | 颗粒层除尘器  | 800~2000  | 85~99   | 较高   | 较高   |
|    |        | 袋 滤 器   | 400~1500  | 85~99.9 | 较高   | 较高   |
| 4  | 电除尘器   | 干式静电除尘器 | 100~200   | 80~99.9 | 高    | 少    |
|    |        | 湿式静电除尘器 | 100~200   | 80~99.9 | 高    | 少    |
| 5  | 声波除尘器  |         | 600~1000  | 80~95   | 较高   | 少    |

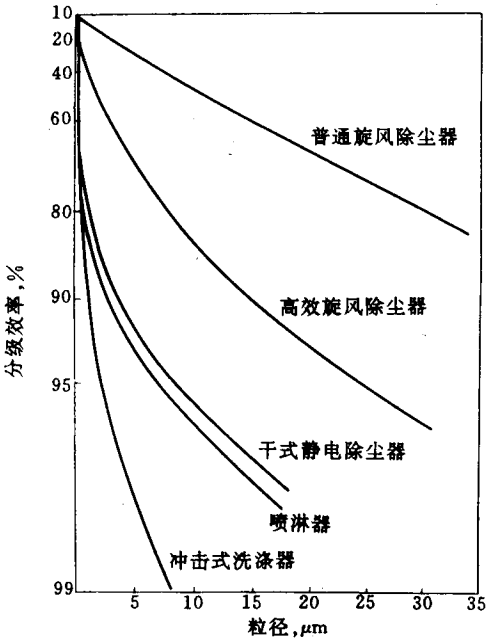


图 1-7 各种除尘器的性能 (分级效率)

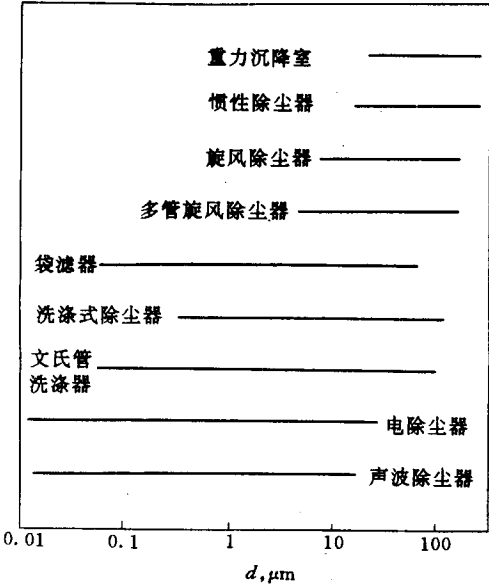


图 1-8 各种除尘器适用粒径范围

(2.1) 重力沉降室 重力沉降室是一种最古老、最简易的除尘装置。其原理是：当含尘气体进入突然扩大的空室内后，流速迅速下降，利用尘粒自身的重力作用使之自然沉降，并与气流分离。这种除尘装置构造简单、成本低、便于维护、管理，而且可以处理高温气体，但一般只能去除大于 40~50 $\mu\text{m}$  的大颗粒尘，阻力一般为 50~150Pa，

(2.2) 惯性除尘器 惯性除尘器是利用气流方向急

剧转变时，尘粒因惯性力作用而从气体中分离出来的原理而设计的，见图 1-9 (a) ~ (d)。惯性除尘器可用于处理高温的含尘气体，能直接安装在风道上。含尘气体在冲击或方向转变前的速度越高，方向转变的曲率半径越小时，其除尘效率越高，但阻力也随之增大，其除尘效率一般可达 60~80%，阻力一般为 150~400Pa。为了提高除尘效率，可在挡板上淋水，形成水膜，这就是湿式惯性除尘器。

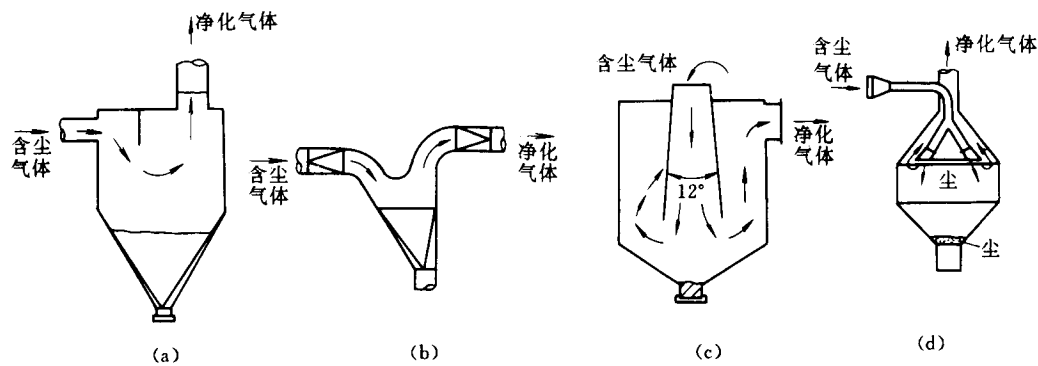


图 1-9 惯性除尘器

(2.3) 旋风除尘器 旋风除尘器是利用离心力从气体中去除颗粒物的设备,这种除尘器没有运动部件,因此造价便宜,也便于维护管理,目前在小型的锅炉上得到广泛的应用, 其他行业也常用这类除尘器回收有用的颗粒物,如: 催化剂、水泥、奶粉、面粉等。旋风除尘器可分单管、多管和组合式三类。

单管旋风除尘器示意图见图 1-10, 含尘气体进入除尘器后,由于离心力的作用,尘粒沿圆筒壁旋转下降,净化的气体则通过排气管排出,分离下来的尘粒则通过排尘口进入下部的卸尘装置。这类除尘器一般为干式的,如维护管理好,除尘效率可达 85%左右,但对粒径 10 微米以下的颗粒去除率很低,如同时喷淋液体(一般液体沿管壁而下)则可提高除尘效率,但可能产生设备腐蚀和水处理问题。

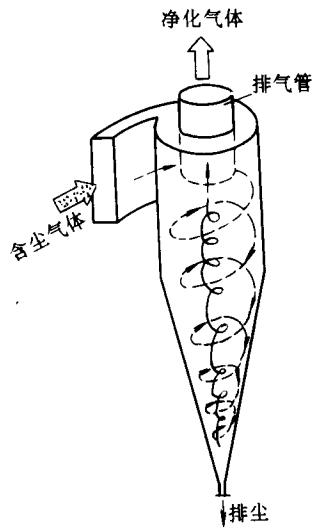


图 1-10 单管旋风除尘器示意图

单管除尘器需处理的含尘气体量越大,则筒体的直径也随之而增大,筒体直径大,不利于气体稳流,而紊流现象则降低除尘效率,因此气量大时采用多管除尘器比较适宜(见图 1-11)。多管除尘器则由若干个旋风子(见图 1-12)组成,含尘气体通过旋风子将尘除去,净化的气体由上部排出。多管除尘器进入每个旋风子的气量要均匀,这样除尘效率就高,一般比单管除尘器除尘效率高 5%左右。

除尘器除下的尘须通过卸尘装置将其排出。卸尘装置是除尘器的一个重要部件。除尘器在运行时排尘口一般呈负压状态,如卸尘装置漏风,将极大地影响除尘器的除尘效率。试验证明:漏风 5%,除尘效率降低 50%;漏风 15%,效率等于零。因此,必须高度重视卸尘装置的配置和维护管理。

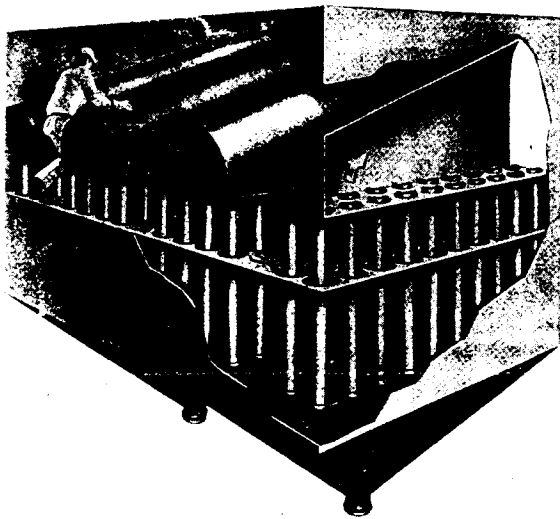


图 1-11 多管除尘器

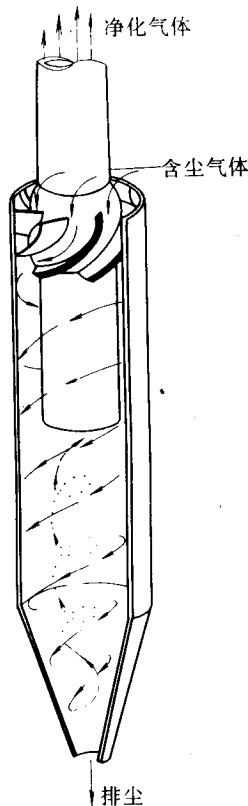


图 1-12 多管除尘器的旋风子

卸尘装置有干式和湿式两类，干式的有：各种锁气器和排灰阀，湿式的有水封排尘箱、水封沉淀池、水力冲灰器等，主要是将尘排入水中，这就能防止尘的二次飞扬和漏风，但同时出现水污染问题。

### (3) 湿式除尘器

湿式除尘器也称湿式洗涤器或洗涤式除尘器，它是用水或其他液体来去除废气中的尘粒和有害气体的设备，主要是利用液网、液膜和液滴来去除废气中的尘粒。其主要优点是：1. 在去除尘粒的同时还可以通过吸收去除某些有害气体；2. 除尘效率比较高，投资较达到同样效率的其他设备低；3. 可以处理高温废气及粘性的尘粒和液滴。其缺点是：1. 能耗比较大；2. 废液和泥浆需要处理；3. 金属设备容易被腐蚀；4. 在寒冷地区使用可能发生冻结现象。

湿式除尘器主要有喷淋塔、文丘里管、冲击式除尘器和水膜除尘器等种类。净化气体从除尘器排出时带有水滴。因此除尘器后都带有去除水滴的脱水装置。

(3.1) 喷淋塔 喷淋塔构造简单，一般不单独作除尘用。当气体需要在除尘时同时要求去除有害气体或除尘时需降温才用这种设备。根据喷淋塔内气体与液体的流动方向，可分为顺流和逆流二种形式。最常用的是逆流

喷淋塔，见图 1-13。含尘气体从塔的下部进入，通过气流分布格栅 1，使气流能均匀进入塔体，液滴通过喷嘴 4 从上向下喷淋，喷嘴可以设在一个截面上，也可以分几层设在几个截面上。通过液滴与尘的碰撞、接触，液滴就捕获了尘粒。净化的气体通过挡水板 2 以去除气体带出的液滴。

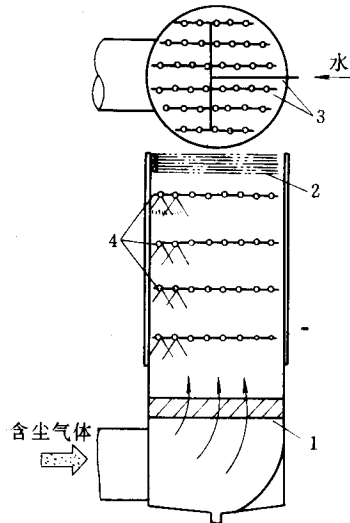


图 1-13 逆流喷淋塔

1—气流分布格栅；2—挡水板；

3—水管；4—喷嘴

(3.2) 文丘里管除尘器 文丘里管除尘器是湿式除尘中效率最高的一种除尘器。但动力消耗比较大，阻力一般为  $1500 \sim 5000 \text{ Pa}$ 。这种除尘器是由文丘里管和脱水装置两部分所组成，见图 1-14，文丘里管 3 包括渐缩管、喉管和渐扩管三部分。含尘气体从渐缩管进入，液体（一般为水）可从渐缩管进入，也可从喉管进入。气液比一般为  $0.7 \text{ L/m}^3$  左右。气体通过喉部时，其流速一般在  $50 \text{ m/s}$  以上，这就使喉部的液体成为细小的液滴，并与尘粒发生有效的碰撞，这就增加了尘粒的有效尺寸，夹带尘粒的液滴通过旋转气流调节器 4 进入离心分离器 2，在离心分离器中带尘液滴被截留，并经排液口 5 排出。净化的气体通过消旋器 1 后排入大气。

(3.3) 冲击式除尘器 冲击式除尘器没有喷嘴和很窄的缝隙，因此不容易堵塞，是一种除尘效率比较高的湿式除尘器。这种除尘器是由通风机、除尘器、排泥浆设备和水位自动控制装置等部分组成（见图 1-15）。含尘气体进入进气室 3 后冲击于洗涤液上，较大的尘粒由于惯性作用落入液内，而较小的尘粒则随着气体以  $18 \sim 35 \text{ m/s}$  的速度通过“S”形叶片通道 2，高速气体在通道处通过时，强烈地冲击着液体，这就形成了大量的水花，使气液充分接触，尘粒就被液滴所捕获。净化后的气体通过气液