

化工“三废”的危害与治理

第一节 化工废气污染及治理

第二节 化工废水污染及治理

第三节 化工废渣污染及治理



第一节 化工废气污染及治理

洁净大气对生命来说是至关重要的。一个成年人每天呼吸约2万次，呼入的空气量大约10~15m³，约为吃入食物重量的10倍。生命的新陈代谢一时一刻也离不开空气，人5周不吃饭，5天不喝水尚能生存，而5分钟不呼吸就会死亡。大气为地球生命的繁衍、人类的发展，提供了理想的环境。



一、化工废气主要污染物及其危害

1.化工废气主要污染物的种类

颗粒污染物

- ① 烟尘
- ② 粉尘
- ③ 飘尘
- ④ 尘粒
- ⑤ 煤尘
- ⑥ 雾尘



气态污染物

- ① 硫氧化物
- ② 氮氧化物
- ③ 碳氧化物
- ④ 碳氢化合物
- ⑤ 卤素化合物

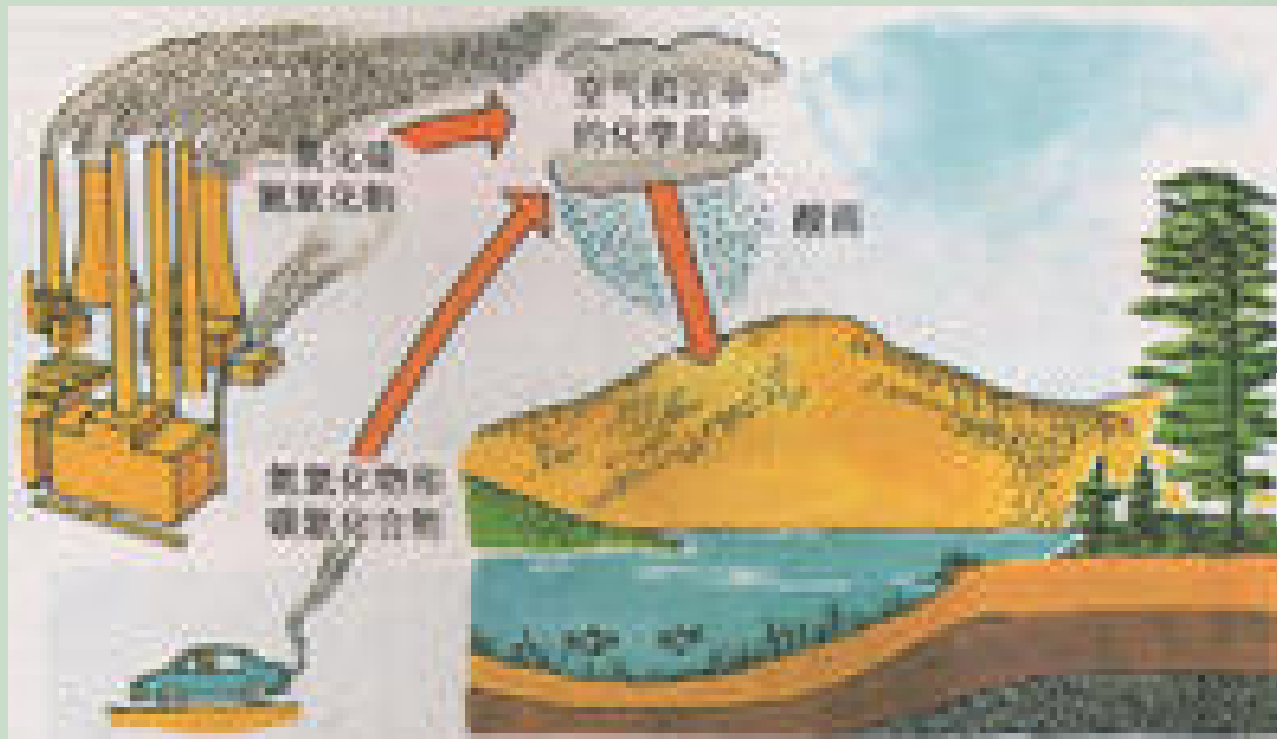


二次污染物

① 光化学烟雾

② 伦敦型烟雾

③ 酸雨



2.化工废气污染物的危害

(1) 颗粒污染物的危害 大气中的颗粒污染物通过呼吸系统，侵害人类的身体健康。大气中的尘粒和煤尘，通过呼吸系统时可被鼻腔、咽喉捕集，不能进入肺泡。飘尘对人体危害最大，它可通过呼吸直接深深地浸入肺部而沉积。滞留在鼻腔、咽喉气管、支气管等部的颗粒物，刺激腐蚀腔内的粘膜，将引起鼻咽炎、慢性气管炎及支气管炎等病变，浸入到肺泡的飘尘，刺激肺泡壁纤维增生，从而诱发肺纤维发生病变、肺气肿、哮喘等病症，并使肺部血管阻力增加，加重心脏负担，导致心肺病。若沉积在肺部的飘尘被溶解，可直接进入血液，造成血液中毒。

大气中颗粒物的沉积，会使电气装置接触不良或引起短路，使金属材料发生电化学腐蚀。

大气中的颗粒物，可作为水蒸汽凝聚的核心，形成云雾，雨水增多，影响气候。大量的烟尘和水蒸汽还可以吸收太阳辐射和紫外线，降低大气透明度，从而减弱太阳光的辐射。

(2) 气态污染物的危害 大气中的硫氧化物主要是 SO_2 。 SO_2 是无色、有特殊臭味的刺激性气体。当浓度比较低时，主要对结膜和上呼吸道粘膜产生刺激，长时间接触，损害鼻、喉、支气管等。当浓度比较高时，对呼吸道深部产生刺激，对骨髓、脾等造血器官也有损伤作用。此外， SO_2 对植物还会产生漂白作用，形成斑点、抑制生长，损坏叶片，还能腐蚀金属器材，使建筑物表面损坏，能使纤维织物、皮革制品发生变化。

大气中的氮氧化物主要指 NO 和 NO_2 。 NO 能使人体中的血红蛋白结合生成亚硝基血红蛋白，影响血液的输氧功能，危害人体健康。浓度高时，将导致肺部充血、水肿，严重时窒息而亡。 NO_2 将严重刺激眼、鼻、呼吸系统，使血红蛋白发生硝化，损害造血组织。长期吸入一定浓度的 NO_2 ，可引起支气管、肺部发生病变。

大气中的碳氧化合物主要指CO和CO₂。高浓度的CO能与人体血液中的血红蛋白化合，生成碳氧血红蛋白，降低血液的输氧能力，导致人体缺氧，轻者出现头痛、恶心、虚脱等症状，重者则昏迷，中毒而死亡。大气中CO₂浓度的增高，阻碍了地球表面向外散热的过程，导致全球气温上升，从而影响环境平衡。

大气中的碳氢化合物与氮氧化合物一样，也是形成光化学烟雾的主要物质。油炸食品，抽烟产生的多环芳烃，如3,4-苯比芘，是一种强致癌物。

大气中含有的Cl₂、HCl，刺激眼、鼻、咽喉，可损伤肺部，浓度高时可中毒致死。



二、化工废气污染物的治理

1. 颗粒污染物的治理

煤尘、烟尘、飘尘等颗粒污染物主要来自于燃料燃烧及固体物料在粉碎、筛分或输送等机械加工过程。



表10-1 常用除尘装置及主要用途

类型		工作原理	特点	主要用途	处理粒度/ μm	除尘效率/ %
机械式 除尘器	重力 沉降器	含尘气体通过横截面积比较大的沉降室，尘粒因重力作用而自然沉降。	构造简单，施工方便，除尘效率低。	主要用于高浓度含尘气体的预防处理。	50~ 100	40~ 60
	惯性 除尘器	含尘气体冲击挡板或使气流急剧改变流动方向，借助粒子本身的惯性力作用，使尘粒从气体中分离出来。	气流速度越大，转变次数越多，净化效率也越高。	常被用作高效除尘器的预除尘使用。	10~ 100	50~ 70
	旋风 分离器	含尘气流作旋转运动产生离心力，将尘粒从气流中分离出来	结构简单，造价便宜，体积小，维修方便，效率较好，	可作一级除尘装置，也可与其他除尘装置串联使用	20~ 100	85~ 95

表10-1 常用除尘装置及主要用途

类型	工作原理	特点	主要用途	处理粒度/ μm	除尘 效率/ %
湿式除 尘器 (文丘里 式)	含尘气体与液体(一般用水)的密切接触,尘粒与液体所形成液膜、液滴、雾沫等发生碰撞、粘附、凝聚而达到分离。	结构简单,造价低,除尘效率高。缺点是动力消耗大,用水量大,易产生腐蚀性物质以及污泥。	适用于净化高温、易燃、易爆的含尘气体。	0.1~ 100	80~ 95
过滤式 除尘器 (袋式)	含尘气体通过多孔滤料,将气体中的尘粒捕集从而达到分离。袋式除尘器是将许多滤布作为滤袋挂在除尘室内,气体通过各个滤袋时,尘粒被拦截,使用一段时间后要及时清灰。	除尘效率高,属于高效除尘器。其缺点是设备体积大,占地多,维修费用高,	广泛应用于各种工业废气的处理中。不适宜于处理高温、高湿的含尘气体。	0.1~ 20	90~ 99
静电 除尘器	含尘气体通过高压电场,在电场力的作用下,尘粒沉积在集尘极表面上,再通过机械振动等方式使尘粒脱离集尘极表面而达到分离。	也是一种高效除尘器,处理量大。能捕集腐蚀性极强的尘粒和酸、油雾等。能连续运行,阻力小,压力损失小	用于高温高压场合,广泛应用于化工工业、火电、冶金建材等到的除尘。其缺点是设备庞大,占地面积大,一次性投资费用高。	0.05~ 20	85~ 99.9

2.气态污染物的治理

常用的防治方法有:

吸收法

吸附法

催化转化法

燃烧法

冷凝法

生物法

膜分离法



①吸收法

定义：吸收是利用气体混合物中不同组分在吸收剂中溶解度不同或与吸收剂发生选择性化学反应，将废气中的有害组分分离出来的过程。

优点：吸收法处理废气具有设备简单，捕集效率高，一次性投资低等优点，被广泛应用于气态污染物的防治中。

设备：有填料塔、喷淋塔、泡沫塔、文丘里洗涤器、板式塔等。



②吸附法

定义：吸附法是使气态污染物通过多孔性固体吸附剂，使废气中的一种或多种有害物质吸附在吸附剂表面，将废气中的有害成分分离出来的过程。

吸附剂：活性炭、分子筛、氧化铝、硅胶、离子交换树脂等。

优点：吸附净化法的净化效率高，可回收有用组分，设备简单，操作方便，易实现自动控制，适用于低浓度气体的净化，常用作深度净化或联合应用几种净化方法的最终控制手段。



③催化转化法

定义：催化转化法是利用催化剂的作用，使气态污染物中的有害组分转化为无害物质或易于去除的物质而达到净化的目的。

优点：可直接将有害物质转变为无害物质，无需将污染物与主流气体分离，避免了二次污染，简化了操作过程。



④燃烧法

定义： 燃烧法是将气态污染物中的可燃性有害组分通过氧化燃烧或高温分解转化为无害物质而达到净化的目的。主要用于一氧化碳、碳氢化合物、恶臭、沥青烟、黑烟等有害物质的净化。



常用的燃烧法有三种。

——直接燃烧是把废气中的可燃性组分在空气或氧气中当作燃料直接燃烧的方法。因此它是有火焰的燃烧，温度高达 1100°C 以上。只适用于净化可燃组分浓度高或有害组分燃烧时热值较高的废气。

——热力燃烧是把废气利用辅助燃料燃烧放出的热量加热到要求温度，使可燃性有害物质进行高温分解而变为无害物质的方法。因此它也是有火焰的燃烧，但温度较低（ $760\sim 820^{\circ}\text{C}$ ），一般用于可燃有机物含量较低的废气或燃烧热值低的废气治理。

——催化燃烧是在催化剂作用下，使有害组分在 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 下氧化分解成的二氧化碳和水的方法，同时放出燃烧热，因此是无火焰燃烧。

燃烧法工艺简单,操作方便,净化程度高,可回收燃烧后的热量,常放在所有工艺流程之后,又称后烧法,所用设备称为后烧器。

⑤冷凝法。

定义： 冷凝法是利用降低温度或提高系统压力使处于蒸气状态的气态污染物冷凝成液体并从废气中分离的过程。

优点： 设备简单，操作方便。适合于处理高浓度的有机废气，常作为吸附、燃烧等净化方式的前处理。



[案例] 水泥生产中排放的烟气含尘浓度高，温度、湿度变化大，治理难度相应较困难，若采用湿法水膜除尘技术来治理窑尾烟气比用一般沉降室来治理，效果将好的多。图10-1是湿法水膜除尘技术的工艺流程示意图。含尘气体从排风管到达水膜除尘器内部，通过烟囱的扩径使烟气中的颗粒物流速降低，较大颗粒物沿烟囱壁沉降下来。进入到水膜除尘器中烟气，被环行均匀分布在除尘腔内喷水嘴喷出的半雾化的水膜所覆盖，使烟气进一步降低流速，烟气中颗粒物粘附在水珠表面而沉降下来。除尘器排出的含尘污水流入净水器，分离后的浓浆从排污管流入双轴搅拌机与水泥生料混合进入成球机内成球，然后进入机立窑中进行煅烧生成水泥熟料。净水器浓浆上部的污水流入沉淀池沉淀，泥浆流入搅拌机。净水器和沉淀池分离净化的清水流入储水箱，通过水泵打入水膜除尘器的喷水嘴循环使用。在整个除尘过程中，不向外界排放污水，从而解决了废水的二次污染问题。

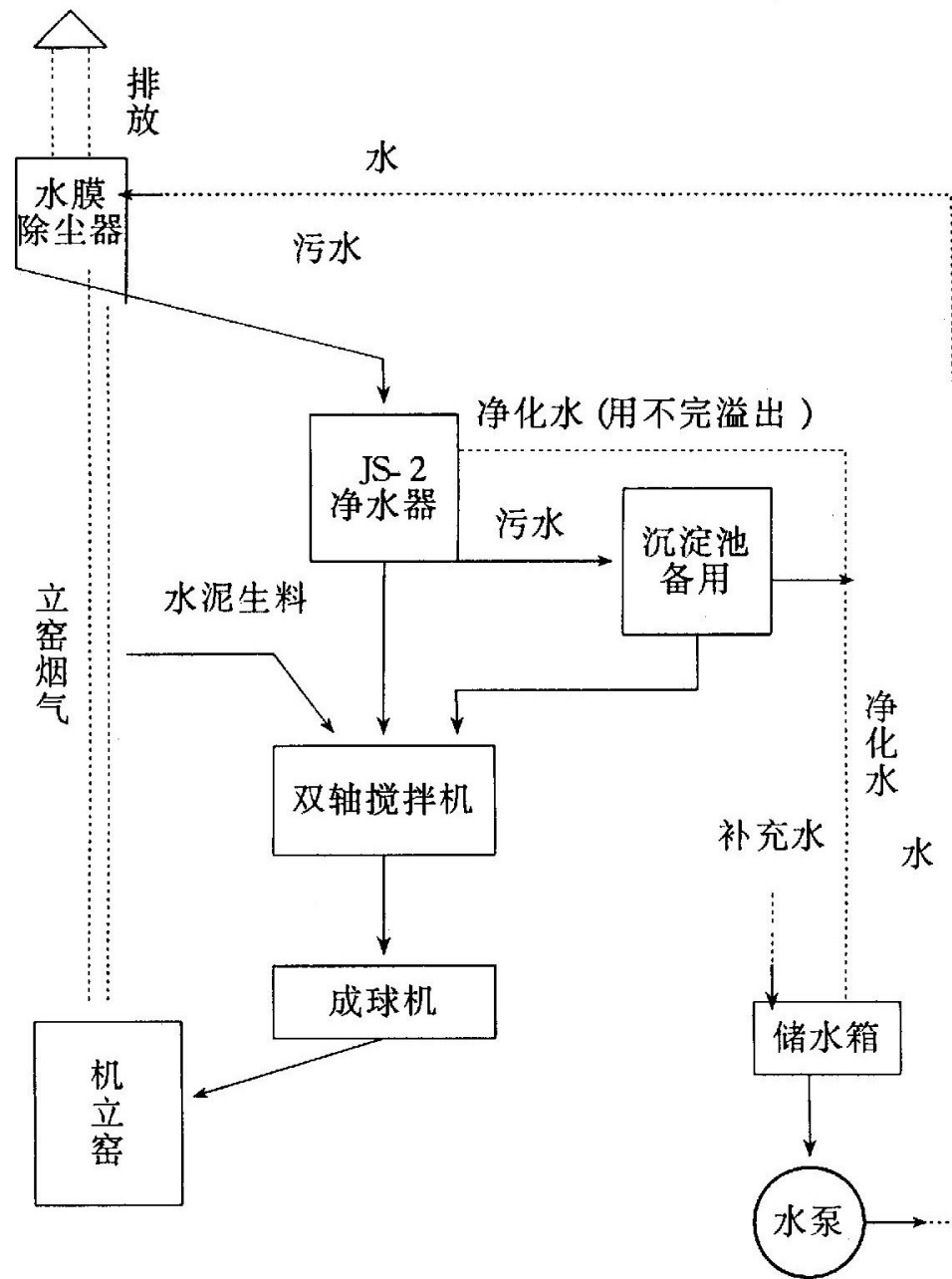


图10-1 水膜除尘工艺流程图

第二节 化工废水污染及治理

污染物进入水体，使水体的物理、化学性质或生物群落组成发生变化，降低水体使用价值的现象。



一、水体污染物及其危害

1. 水体污染物的种类

化工生产排放废水按其种类和性质的不同可分为以下几种：

(1) 含无机物的废水 主要来自于无机盐、氮肥、磷肥、硫酸、硝酸、纯碱等工业生产时排放的酸、碱、无机盐及一些重金属和氰化物等。通常将含有酸、碱及一般无机盐的废水称为无机无毒物，将含有金属氰化物的废水称为无机有毒物。

(2) 含有机物的废水 主要来自于基本有机原料、三大合成材料、农药、染料等工业生产排放的碳水化合物、脂肪、蛋白质、有机氯、酚类、多环芳烃等。通常将含有碳水化合物、脂肪、蛋白质等易于降解的废水称为有机无毒物（也称需氧有机物），将含有酚类、多环芳烃、有机氯等废水称为有机有毒物。

(3) 含石油类的废水 主要来自于石油化工生产的重要原料，各种动力设施运转过程消耗的石油类废弃物等。

2.水体污染物的危害

(1) 含无机物废水的危害 废水中的酸、碱会使水体的pH值发生变化，消灭或抑制了微生物的生长，削弱了水体的净化功能，腐蚀桥梁、船舶等，使土壤改性，危害农、林、渔业生产等。人体接触可对皮肤、眼睛和粘膜产生刺激作用，进入呼吸系统，能引起呼吸道和肺部发生损伤。无机盐可增大水体的渗透压，对淡水和植物的生长不利。

氮、磷等营养物能促进水中植物生长，加快水体的富营养化，使水体出现老化现象，促进各种水生生物的活性，刺激它们异常繁殖，生成藻类，从而带来一系列严重的后果。

废水中各类重金属主要是指：汞、铅、铬、镍、铜等。这些物质在水体中不能被微生物降解，只能产生分散、富集、转化等在水体中的迁移。如果进入人体，将在某些器官中积蓄起来造成慢性中毒，产生各种疾病，影响人体正常生活。废水中的无机有毒物对人体健康的危害非常大。氯化物本身就是剧毒物质，可引起呼吸困难，造成人体组织的严重缺氧。

(2) 含有机物废水的危害

废水中的有机无毒物在有氧条件下，分解生成 CO_2 和 H_2O ，但若需要分解的物质太多，将消耗水体中大量的氧气，造成各种耗氧生物（如鱼类）的缺氧死亡。

废水中的有机有毒物比较稳定，不易分解。长期接触，将会影响皮肤、神经、肝脏的代谢，导致骨骼、牙齿的损害。

酚类排入水体后，严重影响水质及水产品的质量。水体中的酚浓度低时，影响了鱼类的回游繁殖，浓度高时引起鱼类大量死亡，甚至绝迹。进入人体可引起头昏、出疹、贫血等。

多环芳烃一般都具有很强的毒性，如1,2-苯并芘、1,2-苯并蒽等有很强的致癌作用。



(3) 含石油类废水的危害 当水体含有石油类物质，不仅对水资源造成污染，而且对水生物有相当大的危害。水面上的油膜使大气与水面隔绝，减少氧气进入水体，从而降低了水体的自净能力。水体中的油类物质含量高时，将造成水体生物的死亡。



二、化工废水污染物的治理

(1) 物理处理法

物理法主要去除废水中的漂浮物、悬浮固体、沙和油类物质，具有设备简单、成本低、操作方便、效果稳定等优点，在工业废水处理中占有很重要的地位，一般用作预处理或补充处理。



主要方法有：

①**沉淀法**。是利用废水中悬浮状污染物与水的密度不同，借助重力沉降作用使其与水分离的方法。主要用来作预处理或再处理。一般采用沉淀池。

②**离心分离法**。是利用离心力的作用，使悬浮物从水中分离出来的方法。常用设备有水力旋转器、离心机等。该法具有体积小、结构简单、使用方便、单位容积处理能力高等优点，但设备易磨损，电耗较大。

③**过滤法**。是让废水通过具有微细孔道的过滤介质，悬浮固体颗粒被截留从水中分离出来的方法。常作为废水处理过程中的预处理。常用过滤介质有格栅、筛网、滤布、粒状滤料。



(2) 化学处理法

化学法是利用化学反应的作用来处理废水中的溶解物质或胶体物质。它既可以去除废水中的无机污染物或有机污染物，还可回收某些有用组分。

①**中和法**。是利用酸碱物质中和含酸碱废水以调整废水中的pH值，使其达到排放标准的处理方法。

②**混凝法**。是向废水中投加混凝剂，使细小的悬浮颗粒和胶体粒子聚集成较大粒子而沉淀下来的处理方法。

③**氧化还原法**。利用氧化还原反应，使废水中的有毒害的无机物质或有机物质转变成无毒或毒性较小的物质，从而达到净化的目的。

④**电解法**。是用适当材料作电极，在直流电场作用下，使废水中的污染物分别在两极发生氧化还原反应，形成絮凝物质或生成的气体从废水中逸出，以达到净化的目的。

[案例] 如炼油厂的含硫废水的处理，如图10-3所示。含硫废水经过隔油池沉淀除渣后与水蒸汽、压缩空气混合，在换热器内升温至 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ 后进入空气氧化塔。氧化塔塔径一般不大于 2.5 m ，分四段，每段高 3 m ，每段进口处设喷嘴，雾化进料，塔内气水比例不小于15，废水在塔内平均停留时间为 $1.5\sim 2.5\text{ h}$ 。



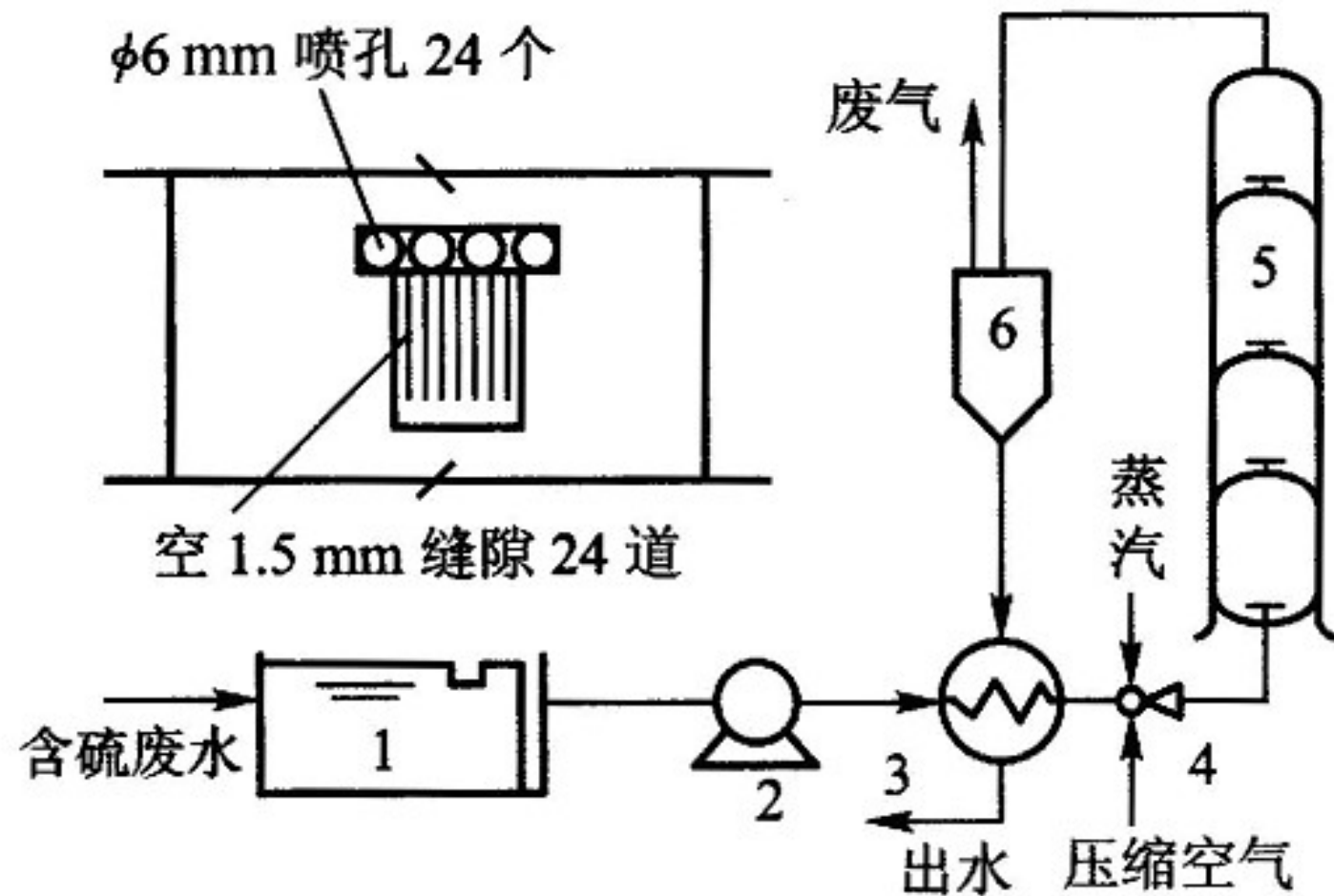


图 10-3 空气氧化法处理含硫废水流程

1. 隔油池; 2. 泵; 3. 换热器; 4. 射流器; 5. 空气氧化塔; 6. 分离器

(3) 物理化学处理法 废水经过物理方法处理后，还会有少量细小的悬浮物和溶解于水中的有机物，为了进一步去除残存在水中的污染物，可采用物理化学方法做进一步的处理。

①吸附法。 是利用多孔性固体吸附剂，使废水中的一种或多种污染物吸附在固体表面从废水中分离出来的方法。常用吸附剂有活性炭、磺化煤、焦炭、硅藻土、木炭、泥炭、白土、矾土、矿渣、炉渣、木屑、吸附树脂等。

②浮选法。 是将空气通入废水中，形成许多微小气泡，气泡在上升过程中捕集废水中的悬浮颗粒及胶状物质后浮到水面上，然后从水面上将其除去的方法。

③膜分离法。 是用一种特殊的薄膜将溶液隔开，使溶液中的某种物质或者溶剂渗透出来，从而达到分离溶质的目的。

(4) 生物处理法

生物处理法是利用自然环境中微生物的生物化学作用氧化分解废水中的有害污染物。

①**好氧生物处理法**。是在有氧条件下，好氧微生物和兼性微生物将有机污染物分解为二氧化碳和水的过程。

②**厌氧生物处理法**。是在隔绝氧气的条件下，利用厌氧微生物将有机污染物分解为甲烷、二氧化碳和少量硫化氢、氢气等无机物的过程。



第三节 化工废渣污染及治理

固体废弃物是指人类在生产过程中和社会生活活动中产生的不再需要或没有“利用价值”而被遗弃的固体或半固体物质。



一、固体废弃物对环境的污染

(1) 对土壤的危害 固体废弃物体积庞大，长期露天堆放，其中的有害成分在地表通过土壤孔隙向四周及土壤深层迁移。在迁移的过程中，有害成分被土壤吸附，在土壤中集聚，导致土壤成分和结构的改变，从而影响了植物的生长，严重时将使土地无法耕种。

(2) 对大气的危害 固体废弃物在堆放、运输及处理过程中，不仅粉尘随风扬散，而且释放出的有害气体扩散到大气中，影响大气质量使大气受到污染。如炼油厂排放的重油渣及沥青块，在自然条件下将产生致癌物质多环芳烃。

(3) 对水体的危害 如果固体废弃物不加处理直接排放到江、河、湖、海等水域中或者飘入大气中的微小细粒，通过降水落入地表水系，水体可溶解其中的有害成分，毒害生物，造成水体缺氧、污染、变性、富营养化，导致水体生物死亡，降低水体质量。

(4) 对人体的危害 人类的生存离不开土壤、水、大气等媒介系统，固体废弃物使人类赖以生存的媒介受到了污染，有害成分将直接由呼吸系统、皮肤、消化系统摄入人体，使人体受到有害成分的袭击而致病。

二、化工废渣的处理和利用

(1) 卫生填埋法 卫生填埋法俗称安全填埋法，属于减量化、无害化处理中最经济的方法。该法是在平地上或在天然低洼地上，逐层堆积压实，覆盖土层的处理方法。为防止废渣中有害污染物浸入地下水，填埋场底部与侧面均采用黏土作防渗层，在防治层上设置收集管道系统，定期将浸沥液抽出。当填埋物可能产生气体时，则需用透气性良好的材料在填埋场不同部位设置排气通道，把气体导出。



(2) 焚烧法 焚烧法是把可燃性固体废物集中在焚烧炉内，通入空气彻底燃烧的处理方法。焚烧法产生的热量可以生产蒸汽或发电，处理方法快速有效，故焚烧法不仅有环保意义，而且有经济价值。但容易造成二次污染，且投资和运行管理费用也较高。固体废弃物通过焚烧可减重**80%**以上，减小体积**90%**以上，体现了“减量化”原则；可以破坏固体废弃物的组织结构，杀灭细菌，达到“无害化”原则；回收热量，生产蒸汽和发电，体现了“资源化”原则。



(3) 热解法 热解法是利用固体废物中有机物的热不稳定性，在无氧或缺氧条件下受热分解生成汽、油和炭的过程。热分解主要是使高分子化合物分解为低分子，因此也称为“干馏”。其产物一般有以氢气、甲烷、一氧化碳、二氧化碳等低分子碳氢化合物为主的可燃性气体；以醋酸、丙酮、甲醛等化合物为主的燃料油；以纯炭与金属、玻璃、沙土等混合形成的炭黑。将可燃性固体废弃物在无氧条件下加热到 $500\sim 550^{\circ}\text{C}$ 转化为油状，若进一步加热至 900°C 时可几乎全部气化。热解法因为是在缺氧条件下操作，产生的氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)、氯化氢(HCl)等较少，排气量也小，可减轻对大气的二次污染。但由于废物种类繁多，夹杂物质多，要稳定、连续地分解，在技术和运转操作上要求高，难度大。适合于热解的废物主要有废塑料、废橡胶、废轮胎、废油等。

(4) 微生物分解法 微生物分解法是依靠自然界广泛分布的微生物，人为地促进可生物降解的有机物转化为腐殖肥料、沼气、饲料蛋白等，从而达到固体废物“无害化”处理方法。目前应用较广泛是好氧堆肥技术和厌氧发酵技术。

好氧堆肥是在通气的条件下，借助好氧微生物使有机物得以降解。堆肥温度一般在 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，最高可达 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，因此好氧堆肥又称为高温堆肥。

厌氧发酵是在无氧的条件下，借助厌氧微生物的作用来进行的。分为酸性发酵阶段和碱性发酵阶段。



(5) 固化处理 通过物理或化学的方法将有害固体废弃物固定或包容在惰性固体中，使之具有化学稳定性或密封性，降低或消除有害成分的逸出，是一种无害化处理技术。要求处理后的固化体具有良好的抗渗透性、抗浸出性、抗冻融性、具有良好的机械强度。根据废弃物的性能和固化剂的不同，固化技术常用的有水泥固化法、石灰固化法、热塑性材料固化法、热固性材料固化法、玻璃固化法、高分子有机物聚合固化法等。



[案例] 图10-6是转炉型工业废弃物焚烧炉处理工艺流程。将各种工业废弃物在垃圾槽内混合，然后送入旋转炉内加热裂解，产生可燃性气体送入再燃烧室与空气混合进行焚烧。从旋转炉内排出的热解残渣送入后燃烧加煤机中完全灰化，经出灰输送机排出。从再燃烧室出来的气体经废热锅炉回收热量后进入气体冷却室进一步降温，然后送入电除尘器除去气体中粉尘，后送入吸收塔用碱液吸收气体中的二氧化硫、氯化氢等有害气体，处理好的气体从吸收塔上部烟囱排出。



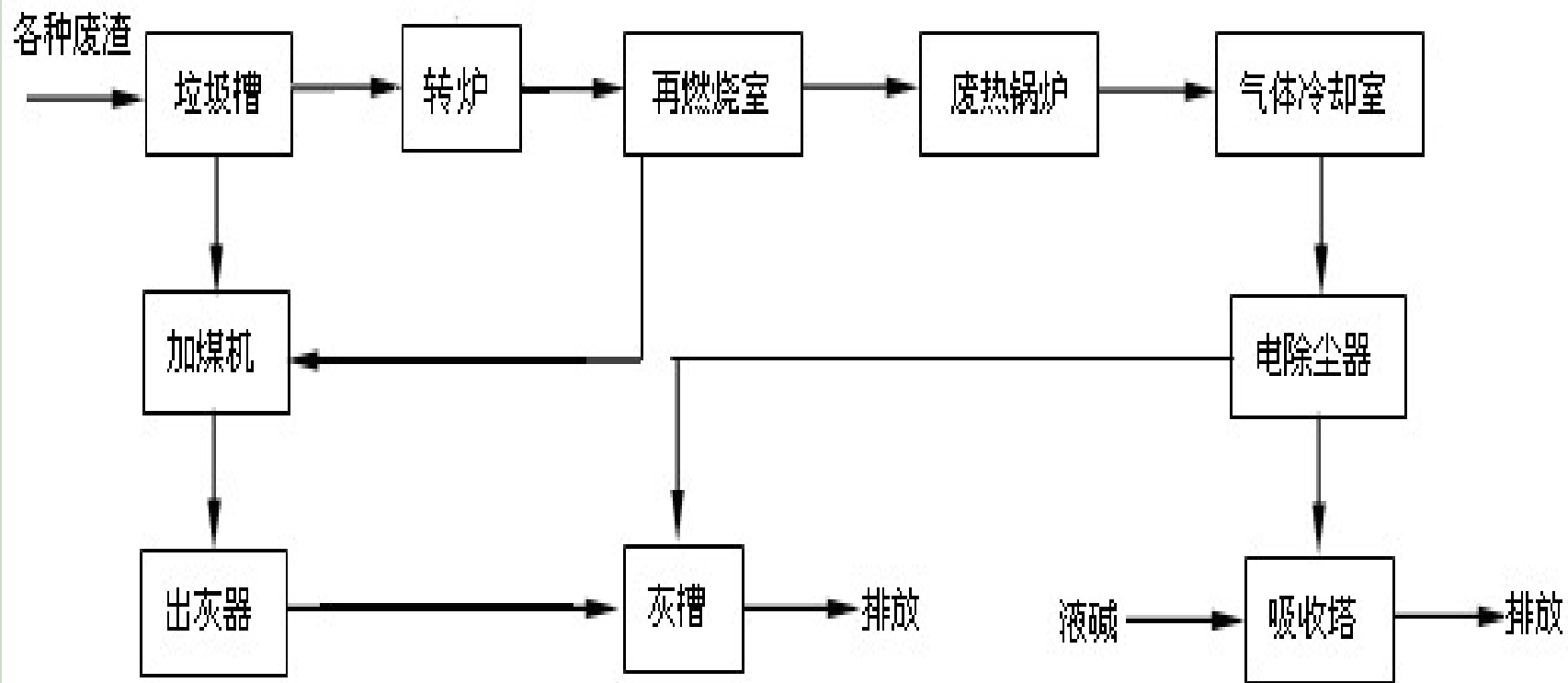


图10-6 转炉型工业废渣焚烧炉处理工艺流程示意图