

# 环境工程实训指导教师、环境工程实训指导教师（兼实训室管理） 岗位试讲内容

## 注意事项：

1. 每位考生试讲时间为 20 分钟；
2. 试讲内容：统一指定 1 个教学内容，考生选择其中的全部或部分内容并根据高职学生的特点进行试讲；
3. 试讲必须使用PPT课件，**课件不得透露个人信息。**
4. 考生报到时需提交教材打印件和授课教案各 8 份，并提交试讲课件，**请不要在教材和教案上写上姓名。**

## 教学内容：

**第 6 章第 5 节 固体废物焚烧污染物控制**

**重点：6.5.1、6.5.2、6.5.3**

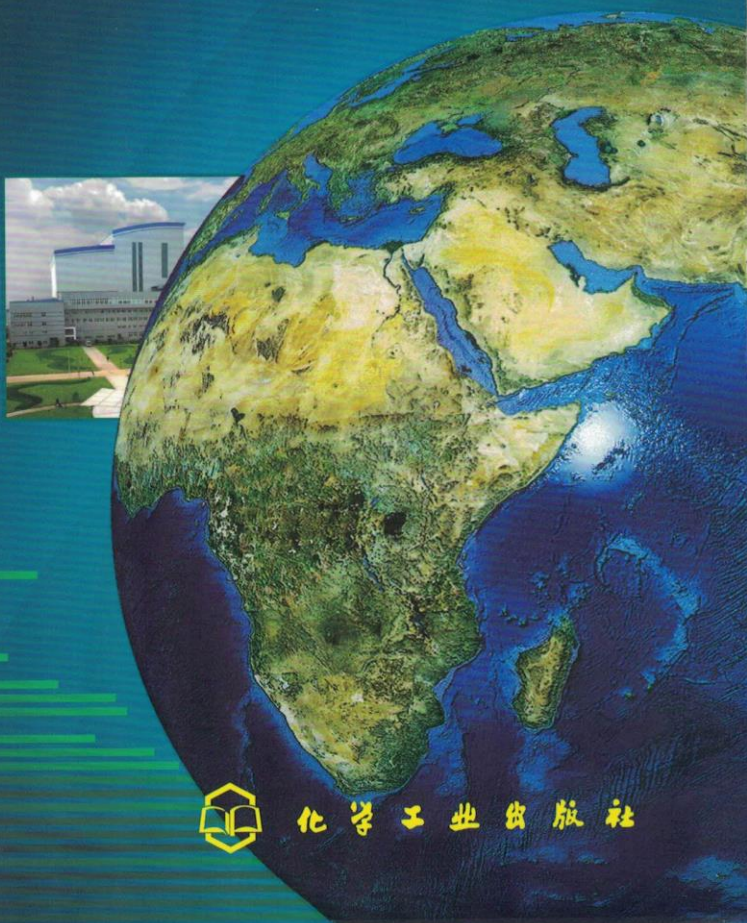
**教材：《固体废物处理与处置》，页码范围：123-127 页**

普通高等教育“十三五”规划教材

# 固体废物处理 与处置

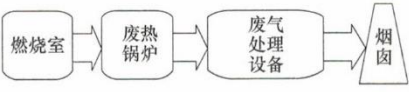
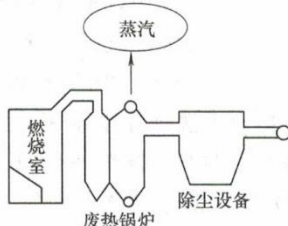
## 第二版

唐雪娇 沈伯雄 主编 王晋刚 副主编



化学工业出版社

续表

种类	废热回收流程	方式	废热利用设备配置	废热回收形态
全废热回收型		F 方式		高压蒸汽

## 6.5 固体废物焚烧污染物控制

焚烧过程（特别是有害废物的焚烧）会产生大量的酸性气体和未完全燃烧的有机组分及炉渣，如将其直接排入环境，必然会导致二次污染，因此需采取有效的措施对其进行适当的控制。

### 6.5.1 固体废物焚烧污染物

可燃性的固体废物基本上都是有机物类，由大量的碳、氢、氧元素组成，有些还含有氮、硫、磷和卤素等元素。这些元素在焚烧过程中容易与空气中的氧起反应，生成各种氧化物或部分元素的氢化物，一般如下。

① 有机碳的焚烧产物是二氧化碳气体。

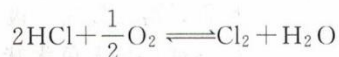
② 有机物中的氢的焚烧产物是水。若有氟或氯元素存在，会产生 HF、HCl 等强酸性和强腐蚀性物质。

③ 固体废物中的有机硫和有机磷在焚烧过程中生成二氧化硫或三氧化硫以及五氧化二磷，遇到水蒸气便会形成酸性烟气。

④ 有机氯化物的焚烧产物主要是气态的氮，也有少量的氮氧化物生成。由于高温时空气中氧和氮也结合生成一氧化氮，相对于空气中氮来说，固体废物中的氮元素含量很小，一般可以忽略不计。

⑤ 有机氟化物的焚烧产物是氟化氢。若体系中氢的量不足，可能出现四氟化碳或二氟氧化碳。如果有其他元素存在，例如金属元素，可与氟结合形成金属氟化物。

⑥ 有机氯化物的焚烧产物是氯化氢。由于氧和氯的电负性相近，存在着下列可逆反应：



如果体系中氢量不足，则有游离的氯气产生。

⑦ 有机溴化物和碘化物焚烧后生成溴化氢及少量溴气以及元素碘。

⑧ 根据焚烧元素的种类和焚烧温度，金属在焚烧以后可生成卤化物、硫酸盐、磷酸盐、碳酸盐、氢氧化物和氧化物等。

## 6.5.2 酸性气体的控制

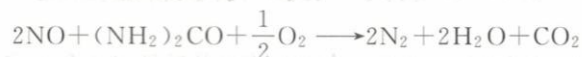
(1) HCl、SO<sub>2</sub> 的去除 以碱性药剂消石灰和烟气中的 HCl、SO<sub>2</sub> 发生化学反应，生成 NaCl、CaCl<sub>2</sub> 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>、CaSO<sub>3</sub> 等，根据碱性药剂的状态分为干法和湿法。干法是以消石灰的粉末与酸性气体作用，形成颗粒状的产物再被除尘器去除。湿法是将消石灰的溶液喷入到湿式洗涤塔内，与酸性气体进行气液吸收，回收吸收液。代表性的工艺流程如下：

- ① 焚烧炉→干法→除尘器→烟囱；
- ② 焚烧炉→干法→除尘器→湿式洗涤塔→烟囱；
- ③ 焚烧炉→湿式洗涤塔→烟囱。

(2) NO<sub>x</sub> 的去除 焚烧产生的 NO<sub>x</sub> 中 95% 以上是 NO，其余是 NO<sub>2</sub>。去除 NO<sub>x</sub> 的措施如下。

① 燃烧控制法。是通过低氧浓度燃烧控制 NO<sub>x</sub> 的产生，但氧气浓度低时，易引起不完全燃烧，产生 CO 进而产生二噁英。

② 无催化剂脱氮法。将尿素或氨水喷入焚烧炉内，通过下列反应分解 NO<sub>x</sub>。



该方法简单易行，成本低，去除效率约 30%，但喷入药剂过多时会产生氯化铵，烟囱的烟气变紫。

③ 催化剂脱氮法。在催化剂表面有氨气存在时，将 NO<sub>x</sub> 还原成 N<sub>2</sub>。



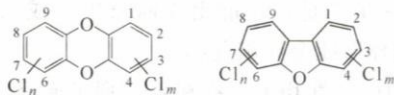
该方法去除效率很好，可达 95%，但是使用的低温催化剂价格昂贵，还需配备氨气供应设备。

由于垃圾中成分复杂，对其焚烧产生的烟气中污染物也复杂多样，对其处理也是个较为困难的工作。

## 6.5.3 二噁英的产生与控制

### 6.5.3.1 二噁英的特性和毒性

二噁英 (dioxin) 是指含有 2 个或 1 个氧键连接 2 个苯环的含氯有机化合物。由于 Cl 原子在 1~9 的取代位置不同，构成 75 种异构体多氯代二苯并二噁英 (polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin, PCDDs) 和 135 种异构体多氯代二苯并呋喃 (polychlorinated dibenzofuran, PCDFs)，结构如图 6-12 所示。



(a) PCDDs

(b) PCDFs

图 6-12 二噁英的结构图

二噁英是这两大类化合物的总称，白色结晶体，分子量为 321.96，熔点 302~305℃。500℃ 开始分解，800℃ 时 21s 完全分解。一般情况下二噁英非常稳定，熔点较高，极难溶于水，可以溶于大部分有机溶剂，是无色无味的脂溶性物质，极易在生物体内积累。自然界的微生物和水解作用对二噁英的分子结构影响较小，环境中的二噁英很难自然降解消除。

二噁英是目前人类创造的最可怕的化学物质，其毒性十分强大，是氰化物的 130 倍、砒霜的 900 倍，有“世纪之毒”之称。其毒性的分子机制还没有完全研究清楚，但是人们对其

机理具有一定的认识。研究表明,二噁英化学物质主要是通过芳香烃受体诱导基因、改变激酶活性、改变蛋白质功能等而起作用,属于生物毒性,有急性发作和慢性发作两种。国际癌症研究中心已将其列为人类一级致癌物。二噁英的毒性因氯原子的取代位置不同而有差异,其中以2,3,7,8-四氯二苯并对二噁英(2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin, 2,3,7,8-TCDD)的毒性最强,研究也最多。

### 6.5.3.2 二噁英的形成机制

根据美国和日本等发达国家对二噁英来源进行的调查结果,大气环境中的二噁英主要来源于城市和工业垃圾焚烧。各种废弃物特别是医疗废弃物在燃烧温度低于300~400℃时容易产生二噁英。聚氯乙烯塑料、纸张、氯气以及某些农药的生产环节、钢铁冶炼、催化剂高温氯气活化等过程都可向环境中释放二噁英。

垃圾焚烧过程中二噁英的形成机理相当复杂,到目前为止尚未完全了解二噁英在垃圾焚烧过程中形成的详细化学反应,但学术界比较认同二噁英是在焚烧炉低温区域烟气和飞灰的环境中通过一些多相反应产生的说法,见图6-13。

人们普遍认为垃圾焚烧时排放的二噁英来源于以下三条途径。

① 生活垃圾中本身含有一定微量的二噁英,由于二噁英具有热稳定性,虽然大部分二噁英会在高温燃烧时得以分解,但仍会有一小部分的二噁英未分解而排放出来。

② 在燃烧过程中由含氯前驱物生成二噁英,前驱物包括聚氯乙烯、氯代苯、五氯苯酚等,在燃烧中前驱物分子通过重排、自由基缩合、脱氯或其他分子反应等过程会生成二噁英,这部分二噁英在高温燃烧条件下大部分也会被分解。

③ 当因燃烧不充分时,在烟气中会产生过多的未燃尽物质,同时当遇适量的催化剂物质(主要为重金属,特别是铜等)及300~500℃的温度环境下,二噁英有可能会重新生成。

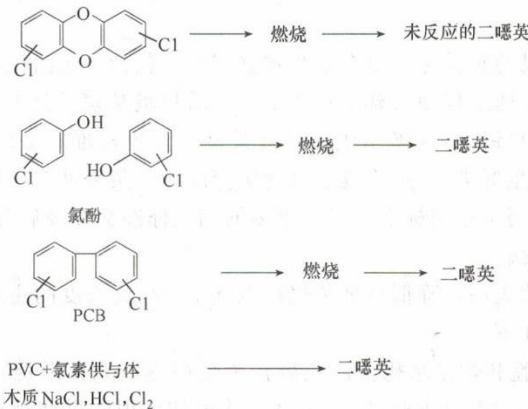


图6-13 二噁英主要形成机制

### 6.5.3.3 二噁英的暴露途径

大气中的二噁英浓度一般很低。与农村相比,城市、工业区或离污染源较近区域的大气中含有较高浓度的二噁英。一般人群通过呼吸途径暴露的二噁英量是很少的,仅为经消化道摄入量的1%左右,约为0.03 pgTEQ/(kg·d)。在一些特殊情况下,经呼吸途径暴露的二噁英量也是不容忽视的。有调查显示,垃圾焚烧从业人员血液中的二噁英含量为806 pg

TEQ/L, 是正常人群水平的 40 倍左右。

排放到大气中的二噁英可以吸附在颗粒物上, 随之沉降到水体和土壤中, 然后通过食物链的富集作用进入人体。食物是人体内二噁英的主要来源, 经胎盘和哺乳可以造成胎儿和婴幼儿的二噁英暴露, 经常接触的人更容易得癌症。

#### 6.5.3.4 我国二噁英污染状况

根据国外经验和研究数据, 我国在人体血液、母乳和湖泊底泥中都检出了二噁英。我国曾用作对付血吸虫病的灭钉螺药物(五氯酚钠)的生产会产生二噁英副产物。

我国 1998 年 1 月颁布的《国家危险废物名录》列出的 47 类危险废物中, 至少有 13 类与二噁英直接有关或者在处理过程中可能产生二噁英。例如 H04 农药废物、H05 木材防腐剂废物、HW10 含多氯联苯废物、HW18 焚烧处理残渣、HW43 含多氯苯并呋喃类废物和 HW44 含多氯苯并二噁英废物等。所以, 未来几年甚至十几年内, 开展二噁英污染调查和控制研究都是非常有意义的。

#### 6.5.3.5 二噁英排放标准

(1) 欧盟 对人体健康的要求比较高, 制定标准也比较严格, 将二噁英排放标准定为  $0.1\text{ng}/\text{m}^3$ , 这是目前世界上学术界无争议的、无害的、最安全的标准。

(2) 日本 2002 年开始执行新的标准。新标准中, 二噁英排放浓度执行  $0.1\text{ng}/\text{m}^3$ 。

(3) 美国 针对居民对焚烧炉 10 年的投诉, 花费 1000 多万美金对焚烧炉周边饮用水源、农作物、食品和人体健康进行了深入细致的研究工作, 研究成果报告多达 3300 页, 该报告中提到: 当二噁英浓度在  $0.5\sim 1.0\text{ng}/\text{m}^3$  之间时, 未发现焚烧炉烟气中“二噁英”的排放对焚烧炉周边饮用水源、农作物、食品和人体健康造成的危害。

(4) 中国 结合国内外的研究成果和国内焚烧水平, 我国 2014 年实施的《生活垃圾焚烧污染控制标准》中生活垃圾焚烧烟气二噁英排放浓度根据焚烧处理浓度的不同分别选用了  $1.0\text{ng}/\text{m}^3$ 、 $0.5\text{ng}/\text{m}^3$ 、 $0.1\text{ng}/\text{m}^3$ 。

与此同时, 我国其他相关标准也在逐步建立完善, 包括《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准》《生活垃圾焚烧厂运行维护与安全技术规程》《生活垃圾焚烧炉及余热锅炉》《城市生活垃圾焚烧厂评价标准》《生活垃圾焚烧炉渣集料》《医疗废物焚烧环境卫生标准》《危险废物(含医疗废物)焚烧处置设施二噁英排放监测技术规范》《危险废物焚烧污染控制标准》等, 更多的相关标准会在今后几年陆续发布。

#### 6.5.3.6 二噁英的控制

国内外的研究实践表明, 降低垃圾焚烧厂烟气中二噁英浓度的主要方法是控制二噁英的生成。主要控制措施如下。

① 选用合适的炉膛和炉排结构。使垃圾在焚烧炉得以充分燃烧, 烟气中 CO 的浓度是衡量垃圾是否充分燃烧的重要指标之一, CO 的浓度越低说明燃烧越充分, 烟气中比较理想的 CO 浓度指标是低于  $60\text{mg}/\text{m}^3$ 。

② 控制炉膛、二次燃烧室内及在进入余热锅炉前的烟道内烟气温度不低于  $850^\circ\text{C}$ , 烟气在炉膛及二次燃烧室内的停留时间不少于 2s, 余热锅炉出口  $\text{O}_2$  浓度控制在  $6\%\sim 10\%$ , 并合理控制助燃空气的风量、温度和注入位置。

③ 缩短烟气在处理 and 排放过程中处于  $300\sim 500^\circ\text{C}$  温度域的时间, 控制余热锅炉的排烟温度不超过  $250^\circ\text{C}$  左右。

④ 在减温塔出口处喷射吸附能力极强的活性炭, 吸附烟气中的二噁英。

- ⑤ 选用高效袋式除尘器,提高除尘器效率,进一步去除二噁英。
- ⑥ 根据需要适当投加碱性物质、含硫含氮化合物等抑制剂。
- ⑦ 在生活垃圾焚烧厂中设置先进、完善和可靠的全套自动控制系统,使焚烧和净化工艺得以良好执行。
- ⑧ 通过分类收集或预分拣控制生活垃圾中氯和重金属含量高的物质进入垃圾焚烧炉。
- ⑨ 由于二噁英可以在飞灰上被吸附或生成,所以对飞灰应按照相关标准的要求进行稳定化和无害化处理。

#### 6.5.4 恶臭的产生与控制

在焚烧固体废物的过程中,常会产生恶臭。中华人民共和国国家标准——《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)将恶臭定义为:一切刺激嗅觉器官,引起人们不愉快及损坏生活环境的气体物质。恶臭物质多为未完全燃烧的有机硫化物或氮化物。为了保护和提高各类垃圾处理现场及周围环境卫生质量,防止对空气造成二次污染,必须对恶臭进行有效的控制。

垃圾处置过程中的恶臭管理和控制技术比起其他处理技术来说是一个较新的领域。我国目前从事恶臭控制的专业单位不多,尚不具备项目整体规划、工程设计、设备制造、系统集成和运行管理的综合能力。早期发展的技术主要是借鉴化工单元操作技术,如吸收、吸附、氧化、燃烧等方法,这些技术已经非常成熟、可靠和有效,且具备完善的设计标准、制造工艺、工程实施和运行管理经验。因此,单元操作仍然是处理恶臭污染物的主流方法。

① 在焚烧处理工艺中,为防止恶臭的产生,常在二次燃烧室中利用辅助燃料将温度提高到1000℃,使恶臭物直接燃烧。

② 也可利用催化剂在150~400℃下进行催化燃烧。

③ 吸收法包括利用水或酸、碱溶液吸收恶臭物质。

④ 用活性炭、分子筛等吸附剂来吸附废气中的恶臭。

⑤ 用含有微生物的土粒、干鸡粪等多孔物作吸附剂,让微生物分解恶臭物质。

⑥ 将气体冷却,使恶臭物冷凝成液体而与气体分离。

表6-5是几种常见的恶臭控制方法的比较。

表6-5 几种常见的恶臭控制方法

技术方法	应用	费用	优点	缺点	总去除率
填料式湿法吸收塔	中至重度污染,中至大型设施	中等投资和运行成本	有效和可靠;使用年限长	必须处理化学废水,消耗化学品	99%
细雾湿法吸收器	中至重度污染,中至大型设施	较上种方法投资多	化学品消耗低	需要软化用水,吸收器体积较大	—
活性炭吸附器	低至中度污染,小至大型设施	取决于活性炭填料的置换和再生的次数	方法、结构简易	只适用于相对低浓度的臭气,难以确定活性炭使用寿命	—
生物滤池	低至中度污染,小至大型设施	低投资和运行成本	简易,运行、维护最少	难以确立设计标准,不适合高浓度臭气	>95%
热氧化法	重度污染,大型设施	高投资和运行成本	对于臭气和挥发性有机化合物很有效	只适用于大型设施的高流量、难处理的臭气	—