

制药工业

三废处理技术

ZHIYAO GONGYE SANFEI CHULI JISHU

▶ 王效山 夏伦祝 主编



化学工业出版社

制药工业

三废处理技术

ZHIYAO GONGYE SANFEI CHULI JISHU

► 王效山 夏伦祝 主编

X787
W386



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在分析制药工业三废综合处理技术的现状和发展趋势的基础上,结合大量生产应用实例,详细介绍了当前我国制药工业废水、废气、废渣的常用处理技术,具有较强的实用性。

本书可供从事制药、化工、环境保护管理等工作的相关人员参考,也可供大专院校药学、制药工程、环境科学等相关专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

制药工业三废处理技术/王效山,夏伦祝主编. —北京:
化学工业出版社, 2010. 3
ISBN 978-7-122-07601-4

I. 制… II. ①王…②夏… III. 制药工业-废物处理
IV. X787

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 007338 号

责任编辑: 刘 军
责任校对: 徐贞珍

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 22¼ 字数 448 千字 2010 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 编 王效山 夏伦祝

副 主 编 陈小平 高家荣

编写人员 (以姓氏笔画为序)

王 可 王效山 王 磊 刘先进

汤 青 李 端 汪永忠 张学才

陈小平 段贤春 夏伦祝 高家荣

彭成松

前言

有这样一种判断：进入 21 世纪，人类在回望自身发展的历程时，认识到在创造巨大物质财富和高度社会文明的同时也迎来了有史以来最严峻的资源与环境危机，资源并非取之不竭，环境对污染的承受能力已近极限。我国是世界上人口最多的国家，同时又是药品生产和消费大国。制药工业的废水、废气、废渣对环境的影响和污染日益严重，构成了在保护人类健康的同时，又危害人类健康的“二律背反”。1955 年 7 月 15 日，量子力学创始人玻恩（Max Born）、海森伯（Werner Karl Heisenberg），裂变的发现者哈恩（Hahn）等 52 位诺贝尔奖获得者发表《迈瑙宣言》：“我们，下面的签名者，是不同国家、不同种族和宗教、不同政治见解的自然科学家，只有诺贝尔奖会把我们联系在一起，我们荣幸获得这项殊荣，我们愉快地贡献我们的一生为科学服务。我们相信：科学是通向人类幸福生活之路，但是，我们怀着惊恐的心情看到：也正是这个科学向人类提供了自杀的手段。”著名科学家阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）在给 5000 年以后的子孙们的信中不无忧郁地告诫：现在科学技术的超前发展，使人们一想到将来，都不得不提心吊胆和极端痛苦。伟人们的眼光，比较清晰地看到了工业化发展后果的糟糕一幕，如果人类真的失去自我节制和有效控制的话，现实是，人类对自然界的每次冒犯，没有哪一次不是受到加倍惩罚的。因而这部专著的编写过程隐隐地贯穿着我们的虔诚意识：为制药工业“三废”对自然环境和人类社会的严重危害表达药科技工作者的一次集体忏悔行动，同时又是一次试图改变事件进程的自救努力。这或许是比较深层次的编写本书的指导思想吧。

参加本书编写的作者都具有长期的药学教学和工作背景，都积极致力于环境保护和“三废”治理。但都不能说是这方面的专家，因为《牛津辞典》曾对“专家”一词给出这样的解释：“An expert is one who knows more and more about less and less”，即“专家是在越来越窄的领域里知道越来越多的人”，我们尚不具备“more and more”和“less and less”中任何一个。因而编写这样一部专著能力是有限的，只是认为国内尚无一本这样的书，我们通过短时间的努力把散见于知识界、技术界的成果纠集起来，呈现给我们的制药工业和关乎人类生命的药学科学，这应该是有有点益处的。

全书共分为5章，第1章绪论（夏伦祝），对制药工业三废的定义、分类、来源与特性，制药工业三废的组成，制药工业三废对环境的污染，我国环境污染防治法规体系和立法状况进行了全面的阐述；第2章制药工业废水处理（张学才、陈小平、彭成松），对制药工业废水的分类，发酵及生物工程类制药废水、化学合成类制药废水、提取与中药类制药废水和混装制剂类制药废水的处理概况、特性以及工艺设计进行了系统的介绍；第3章制药工业废气处理（王效山、李端、刘先进、王可），论述了制药工业废气的主要处理方法和技术，且对制药工业废气处理的发展趋势进行了简明扼要的分析；第4章制药工业废渣处理（高家荣、汪永忠、段贤春），介绍了无机物废渣、化学合成药物产生的废渣、发酵生产药物产生的废渣以及中药废渣等处理技术和方法，并举例分析了废渣的处理过程；第5章制药工业三废综合处理（王磊、李端、汤青），实例说明制药工业三废的综合处理技术、方法和控制工艺流程。全书由王效山教授、夏伦祝教授统稿、修约。

在编写过程中得到皖北药业有限责任公司李利副总经理、朱立元总工程师，安徽丰原药业有限责任公司盛太奎副总经理，马鞍山丰原药业公司刘永宏总经理，挪威玛特文雅集团（Malthe Winje AS）爱可林环境工程有限公司张群总经理，安徽中医学院第一附属医院章俊如、马燕、张睿、周丽药师，安徽中医学院科研实验中心周安老师，安徽中医学院药学院何黎琴、马凤余、胡海霞、黄鹏、李传润等老师的大力支持和帮助，在此一并致谢。非常感谢化学工业出版社的大力帮助，感谢所有参考文献资料的作者，感谢安徽省人才开发资金（引进海外留学人才资金）的资助。由于科技发展日新月异，限于编者学识水平，本书难免疏漏之处，恳请读者和专家批评指正。

编 者
2010年1月于合肥

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 水资源、水污染的定义和分类	1
1.1.2 大气污染的定义和分类	2
1.1.3 固体废物的定义和分类	6
1.2 环境保护法规与三废处理	7
第 2 章 制药工业废水处理	10
2.1 制药废水处理概述	10
2.1.1 制药废水及其分类	10
2.1.2 制药废水的基本特性	13
2.1.3 制药废水处理的名词术语	13
2.1.4 制药废水处理的基本方法	15
2.1.5 制药废水处理的工程设计	25
2.1.6 制药废水处理技术与进展	28
2.1.7 制药废水处理后的达标排放	46
2.2 发酵及生物工程类制药废水处理技术	53
2.2.1 发酵类制药生产概况	54
2.2.2 发酵类制药废水的特性	54
2.2.3 发酵类制药废水处理工艺设计	56
2.2.4 发酵类制药废水处理工程实例	66
2.2.5 发酵类制药废水处理工艺总结与展望	104
2.2.6 生物工程类制药废水处理	106
2.3 化学合成类制药废水处理技术	109
2.3.1 化学合成类制药生产概况	110
2.3.2 化学合成类制药废水的特性	116
2.3.3 化学合成类制药废水处理工艺设计	117
2.3.4 化学合成类制药废水处理工程实例	125

2.3.5	药用辅料生产废水处理	138
2.4	提取与中药类制药废水处理技术	139
2.4.1	提取与中药类制药生产概况	139
2.4.2	提取与中药类制药废水的特性	142
2.4.3	提取与中药类制药废水处理工艺设计	142
2.4.4	提取与中药类制药废水处理工程实例	145
2.5	混装制剂类制药废水处理技术	164
2.5.1	混装制剂类制药生产概况	165
2.5.2	混装制剂类制药废水的特性	166
2.5.3	混装制剂类制药废水处理工艺设计	170
2.5.4	混装制剂类制药废水处理工程实例	172
第3章	制药工业废气处理	179
3.1	制药工业废气处理的主要方法	179
3.1.1	吸收法	180
3.1.2	吸附法	184
3.1.3	催化转化法	189
3.1.4	燃烧法	190
3.1.5	冷凝法	192
3.1.6	生物处理法	192
3.2	制药工业生产中各种废气处理技术	194
3.2.1	含硫化物废气处理	194
3.2.2	含氮氧化物废气的处理	202
3.2.3	含氯及氯化氢废气的处理	205
3.2.4	处理制药工业废气的发展	210
第4章	制药工业废渣处理	214
4.1	制药工业废渣处理概述	214
4.1.1	废渣的收集、运输和贮存	214
4.1.2	危险废渣的收集、运输和贮存	217
4.1.3	废渣的预处理	219
4.1.4	废渣处理的方法	222
4.1.5	废渣的资源化	231
4.2	无机物废渣的处理技术	233
4.2.1	中和法	234
4.2.2	氧化还原法	234
4.2.3	沉淀法	235

4.2.4	化学浸出法	237
4.2.5	吸附法	237
4.2.6	离子交换法	238
4.2.7	化学稳定化法的重要应用	238
4.2.8	无机物废渣处理应用实例	239
4.3	化学合成药物产生废渣的处理技术	253
4.3.1	热解	254
4.3.2	好氧堆肥化	257
4.3.3	厌氧发酵技术	262
4.3.4	化学合成类制药废渣处理应用实例	264
4.4	发酵生产药物产生废渣的处理技术	276
4.4.1	发酵废渣资源化利用研究进展及其发展对策	277
4.4.2	复合菌发酵乳酸废渣生产蛋白质饲料	279
4.4.3	利用发酵法丙酮酸产生的废渣制备超微碳酸钙	279
4.4.4	抗生素生成过程中的废渣处理	280
4.4.5	发酵生产药物废渣处理应用实例	281
4.5	中药废渣的处理技术	290
4.5.1	中药渣的主要来源及化学成分	290
4.5.2	出渣间药渣的处理	291
4.5.3	药渣的综合利用处理	291
4.5.4	中药药渣焚烧和堆肥方案投资分析	298
4.5.5	中药废渣处理应用实例	300
第5章	制药工业三废综合处理	312
5.1	制药工业三废处理的改造工程	
	——实例：上海市第十五制药厂污水处理工程	313
5.1.1	工程概况	313
5.1.2	工艺流程	313
5.1.3	工艺设计参数及特点	314
5.1.4	运行数据汇总	315
5.1.5	经济分析	315
5.2	制药工业三废的回收综合利用	
	——实例：东北制药总厂三废回收利用	316
5.2.1	综合利用，实现三废资源化	316
5.2.2	工艺改革	317
5.2.3	加强科研，突破治理技术难题	318

5.3	制药工业不同工艺三废的综合处理	
	——实例：浙江新昌制药厂污水处理工程	318
5.3.1	工程概况	318
5.3.2	工艺流程	319
5.3.3	工程设计参数及特点	320
5.3.4	污水站实际运行数据	320
5.3.5	技术经济分析	321
5.3.6	存在问题及建议	321
5.3.7	平面布置图	322
5.4	制药工业不同种类三废的综合处理	
	——实例：上海小西生物技术有限公司制药污水处理工程	323
5.4.1	工程概况	323
5.4.2	工艺流程	323
5.4.3	工艺设计参数及特点	324
5.4.4	运行数据汇总	325
5.4.5	经济分析	326
5.4.6	存在问题及建议	326
5.5	制药工业三废处理多种技术的综合利用	
	——实例：安徽省皖北药业生产废水综合处理工程	326
5.5.1	工程概况	326
5.5.2	工艺方案	327
5.5.3	工程设计	329
5.5.4	运行费用与效益分析	331
5.6	制药工业三废部分处理和总体处理结合	
	——实例：浙江某化学有限公司医药化工废水治理工程	331
5.6.1	设计水质、水量及处理要求	332
5.6.2	污水处理工艺流程	332
5.6.3	主要新建构筑物尺寸及设计参数	333
5.6.4	主要设备	333
5.6.5	运行情况	334
5.7	中药制药工业三废综合处理技术	
	——实例：青海三普药业股份有限公司废水净化处理	334
5.7.1	主要污染物及其排放情况	335
5.7.2	污水处理工艺	335
5.7.3	废水处理过程	335
5.7.4	污泥处理	336

5.7.5 结果	336
5.8 制药工业医药原料药中间体三废处理技术	
——实例：杭州某化学厂医药化工原料药中间体的废水处理	336
5.8.1 废水水量、水质	336
5.8.2 工艺流程	337
5.8.3 调试运行与验收	338
5.8.4 技术经济分析	339
5.8.5 存在的问题	339
5.8.6 结论	339
参考文献	340

第1章 绪论

制药工业的“三废”一般指制药工业生产过程中产生的废水、废气、废渣，它们属于环境科学所定义的污水、大气污染物和固体废物范畴。

1.1 基本概念

三百年前，当西方国家从传统农业文明走向传统工业文明的时候，带来了科技、经济的飞速发展和人类物质生活水平的极大提高，同时也以惊人的速度消耗全球自然资源，排放大量自然界无法吸纳的废弃物，打破了全球生态系统自然循环和自我平衡，使人类与自然的关系恶化，造成日益严重的环境危机，威胁着人类的生存发展。在过去几十年中，随着我国经济的快速发展，环境污染问题也日益严重。人口、土地、能源和环境成了影响我国二十一世纪可持续发展的重要因素。为了避免走西方工业化国家先污染后治理的老路，我国政府对环境保护和基础设施建设给予了异乎寻常的重视，2007年在国家“十一五”环境规划中明确提出，环境保护费用要占GDP的1.35%，约人民币15300亿元。党的“十七大”报告中指出：“建设生态文明，基本形成节约能源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式。循环经济形成较大规模、可再生能源比重显著上升。主要污染物排放得到有效控制，生态环境质量明显改善，生态文明观念在全社会牢固树立。”环境这一极其广泛的概念，不仅是影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体。环境还深深地影响着社会、经济和人类的文明。

1.1.1 水资源、水污染的定义和分类

水是生命的源泉，是人类生存和发展的重要物质，是不可替代的重要资源。至今水作为资源尚无公认的定义，主要原因是水的表现形式的多样性，如地表水、地下水、土壤水、降水等，且相互之间可以转化。水资源包含水量和水质两方面，且与自然因素、社会因素、经济因素和环境因素相互影响。水资源作为一个系统是一个非平衡态超复杂的巨大系统，可视作复变函数，涉及学科众多，如数学、化学、物

理学、气象学、生物学、水文学、地质学、生态学和地学等，并且与人类社会系统相耦合。

在《大英百科全书》中，将水资源定义为全部自然界任意形态的水，包括气态水、液态水和固态水的全部量。联合国教科文组织（UNESCO）和世界气象组织（WMO）将水资源定义为：“可利用或有可能被利用的水源，具有足够数量和可用的质量，并能在某一地点满足某种用途而被利用”。这些定义具有特定的内涵和外延。广义上的水资源是指人类社会能够直接或间接使用的各种水和水中物质，能作为生产资料和生活资料的天然水和通过工程或生物措施得到的水。

(1) 水的特殊物理化学性质 水的用途和污染与其特殊的物理化学性质相关。

① 沸点较高 由于氢键作用，使水具有较高的沸点，常温下呈液态。因此地球上大量出现海洋、湖泊、河流和生物水。

② 热容量高 水是热容量最高的物质之一。除氢和铝之外，水比其他物质热容量要高5~30倍。这一特性，使水温的升降过程比其他物质慢，有利于影响并减缓气温的变化幅度，也有利于工业生产中的排热。

③ 蒸发热大 在所有液体中，水的蒸发热最大。这意味着蒸发少量水就需要大量热量。水的这种特性可以使太阳照射到地球上的热能在全全球分散，调节地球上各地的气温。

④ 反常膨胀 水温为4℃时，水的密度最大，低于4℃以下，因体积膨胀，密度变小，成为冰而浮于水面，否则地球会处于冰河时期，水中生物会被冻结。

⑤ 优良溶剂 水能溶解化学元素周期表中的大部分元素，是优良的溶剂。包括二氧化硅这类难溶物质。这一特性完成了动植物体中物质的输送，也作为最常用、最经济的清洁剂而被人类广泛使用。正是这种性质，水极易被污染。

(2) 水污染 水污染也称之为水体污染，是指排入水体的污染物使该物质在水中的含量超过了水体的本底含量和水体的自净力。使水的感官性状、物理性能、化学成分、生物组成及本底发生恶化，破坏了水体的原有用途。水体污染是多方面的，目前，全世界每年约有4200多亿立方米的污水排入江河湖海，污染了55000亿立方米的淡水，这相当于全球径流总量的14%以上。我国水污染的高峰期出现在20世纪80~90年代，1983年我国城市污水年排放量为309亿立方米，1988~1998年污水年排放量一直高达350亿立方米，造成江河湖泊和地下水源的严重污染。根据2001~2006年调查统计，我国年污水排放总量为 $(428\sim 536.8)\times 10^8\text{t}$ ，排放总量呈上升趋势。其中制药工业的废水占有相当成分。

1.1.2 大气污染的定义和分类

按照国际标准化组织（ISO）的定义：“大气污染通常是指由于人类组织或自然过程引起某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度，达到足够的时间，并因此危

害了人体的舒适、健康和福利，或危害了环境的现象。”

排入大气的污染物种类很多，依据不同的原则，可将其进行分类。依照污染物存在的形态，可将其分为颗粒污染物与气态污染物。依照与污染源的关系，可将其分为一次污染物与二次污染物。若大气污染物是从污染源直接排出的原始物质，进入大气后其性质没有发生变化，则称其为一次污染物；若由污染源排出的一次污染物与大气中的原有成分，或几种一次污染物之间，发生了一系列的化学变化或光化学反应，形成了与原污染物性质不同的新污染物，则所形成的新污染物称为二次污染物。

(1) 颗粒污染物 进入大气的固体粒子和液体粒子均属于颗粒污染物。对颗粒污染物一般作如下分类。

① 粉尘 粉尘是指悬浮于气体介质中的小固体颗粒，受重力作用能发生沉降，但在一段时间内能保持悬浮状态。它通常是由于固体物质的破碎、研磨、分级、输送等机械过程，或土壤、岩石的风化等自然过程形成的。颗粒的状态往往是不规则的。颗粒的尺寸范围一般为 $1\sim 200\mu\text{m}$ 。属于粉尘类的大气污染物的种类很多，如黏土粉尘、石英粉尘、粉煤、水泥粉尘、各种金属粉尘等。

② 烟 烟一般是指在冶金过程中形成的固体颗粒气溶胶。它是熔融物质挥发后生成的气态物质的冷凝物，在生成过程中总是伴有诸如氧化之类的化学反应。烟颗粒尺寸很小，一般为 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 。产生烟是一种较为普遍的现象，如在有色金属冶炼过程中产生的氧化铅烟、氧化锌烟，在核燃料后处理场中的氧化钙烟等。

③ 飞灰 飞灰是指随燃料燃烧产生的烟气排出的分散得较细的灰分。

④ 黑烟 黑烟一般是指由燃料燃烧产生的能见气溶胶。

⑤ 雾 雾是气体中液滴悬浮体的总称。在气象中指造成能见度小于 1km 的小水滴悬浮体。

在我国的环境空气质量标准中，还根据粉尘粒径的大小，将其分为总悬浮颗粒物和可吸入颗粒物。总悬浮颗粒物(TSP)指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 100\mu\text{m}$ 的颗粒物。可吸入颗粒物指悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 的颗粒物。

颗粒物对人体健康危害很大，其危害主要取决于大气中颗粒物的浓度和人体在其中暴露的时间。研究数据表明，因上呼吸道感染、心脏病、支气管炎、气喘、肺炎、肺气肿等疾病而到医院就诊人数的增加与大气中颗粒物浓度的增加是相关的。患呼吸道疾病和心脏病老人的死亡率也表明，在颗粒物浓度一连几天异常高的时期内就有所增加。暴露在合并有其他污染物(如 SO_2)的颗粒物中所造成的健康危害，要比分别暴露在单一污染物中严重得多。表1-1中列举了颗粒物浓度与其产生的影响之间关系的有关数据。

表 1-1 观察到的颗粒物浓度与其产生的影响

颗粒物浓度/(mg/m ³)	测量时间及合并污染物	影 响
0.06~0.18	年度几何平均,SO ₂ 和水分	加快钢和锌板的腐蚀
0.15	相对湿度<70%	能见度缩短到 8km
0.10~0.15		直射日光减少 1/3
0.08~0.10	硫酸盐水平 30mg/(cm ² ·月)	50 岁以上的人死亡率增加
0.10~0.13	SO ₂ >0.12mg/m ³	儿童呼吸道发病率增加
0.20	24h 平均值,SO ₂ >0.25mg/m ³	工人因病未上班人数增加
0.30	24h 最大值,SO ₂ >0.63mg/m ³	慢性支气管炎病人可能出现急性恶化的症状
0.75	24h 最大值,SO ₂ >0.715mg/m ³	病人数明显增加,可能发生大量死亡

颗粒物粒径大小是危害人体健康的另一重要因素,其主要表现在两个方面。

① 粒径越小,越不易沉积,长时间飘浮在大气中容易被吸入体内,且容易深入肺部。一般粒径在 100 μ m 以上的尘粒会很快在大气中沉降,10 μ m 以上的尘粒可以滞留在呼吸道中;5~10 μ m 的尘粒大部分会在呼吸道沉积,被分泌的黏液吸附,可以随痰排出;小于 5 μ m 的尘粒能深入肺部,0.01~0.1 μ m 的尘粒,50% 以上将沉积在肺腔中,引起各种尘肺病(肺尘埃沉着病,下同)。

② 粒径越小,粉尘比表面积越大,物理、化学活性越高,加剧了生理效应的发生与发展。此外,尘粒的表面可以吸附空气中的各种有害气体及其他污染物,而成为它们的载体,如可以承载致癌物质苯并[a]芘及细菌等。

(2) 气态污染物 以气体形态进入大气的污染物称为气态污染物。气态污染物种类极多,按其对我国大气环境的危害大小,主要分为 5 种。

① 含硫化合物 主要是指 SO₂、SO₃ 和 H₂S 等,其中以 SO₂ 的数量最大,危害最大,是影响大气质量的最主要气态污染物。

SO₂ 在空气中的浓度达到 (0.3~1.0) $\times 10^{-6}$ mg/m³ 时,人们就会闻到一种气味。包括人类在内的各种动物,对 SO₂ 的反应都会表现为支气管收缩。一般认为,空气中 SO₂ 浓度在 0.5 $\times 10^{-6}$ mg/m³ 以上的,对人体健康已有某种潜在性影响,(1~3) $\times 10^{-6}$ mg/m³ 时多数人开始受到刺激,10 $\times 10^{-6}$ mg/m³ 时刺激加剧,个别人还会出现严重的支气管痉挛。

当大气中 SO₂ 氧化形成硫酸和硫酸烟雾时,即使其浓度只相当于 SO₂ 的 1/10,其刺激和危害也将更加显著。根据动物实验表明,硫酸烟雾引起的生理反应要比单一 SO₂ 气体强 4~20 倍。

② 含氮化合物 含氮化合物种类很多,其中最主要的是 NO、NO₂、NH₃ 等。

NO 毒性不太大,但进入大气后可被缓慢地氧化成 NO₂,当大气中有 O₃ 等强氧化剂存在时,或在催化剂作用下,其氧化速度会加快。NO₂ 是棕红色气体,其毒性约为 NO 的 5 倍,对呼吸器官有强烈的刺激作用。据实验表明,NO₂ 会迅速破坏肺细胞,可能是哮喘病、肺气肿和肺癌的一种病因。环境空气中 NO₂ 浓度低

于 $0.01 \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 时，儿童（2~3 周岁）支气管炎的发病率有所增加； NO_2 浓度为 $(1\sim3) \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 时，可闻到臭味；浓度为 $13 \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 时，眼、鼻有急性刺激感；在浓度为 $17 \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 的环境下，呼吸 10min，会使肺活量减少，肺部气流阻力增加。 NO_x 与碳氢化合物混合时，在阳光照射下发生光化学反应生成光化学烟雾。光化学烟雾的成分是过氧乙酰硝酸酯（PAN）、 O_3 、醛类等光化学氧化剂，其危害更加严重。

③ 碳氧化合物 污染大气的碳氧化合物主要是 CO 和 CO_2 。

CO 是一种窒息性气体，进入大气后，由于大气的扩散稀释作用和氧化作用，一般不会造成危害。但在城市冬季采暖季节或在交通繁忙的十字路口，当气象条件不利于排气扩散时，CO 的浓度有可能达到危害人体健康的水平。在 CO 浓度为 $(10\sim15) \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 时，暴露 8h 或更长时间的有些人，对时间间隔的辨别力就会受到损害。这种浓度范围是白天商业区街道上的普遍现象。为 $30 \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 时，暴露 8h 或更长时间，会造成损害，出现呆滞现象。一般认为，CO 浓度为 $100 \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 是一定年龄范围内健康人暴露 8h 的工业安全上限。CO 浓度达到 $100 \times 10^{-6} \text{ mg/m}^3$ 以上时，多数人会觉得眩晕、头痛和倦怠。

CO_2 是无毒气体，但当其在大气中的浓度过高时，使氧气含量相对减少，对人便会产生不良影响。地球上的 CO_2 浓度增加后产生“温室效应”。

④ 碳氢化合物 此处主要是指有机废气。有机废气中的许多组分构成了对大气的污染，如烃、醇、酮、酯、胺等。

大气中的挥发性有机化合物（VOC）一般是 $\text{C}_1\sim\text{C}_{10}$ 化合物，它不完全等同于严格意义上的碳氢化合物，因为它除含有碳和氢原子以外，还常含有氧、氮和硫的原子。甲烷被认为是一种非活性烃，所以人们总以非甲烷烃类（NMHC）的形式来报道环境中烃的浓度。特别是多环芳烃（PAH）中的苯并[a]芘（B[a]P）是强致癌物质，因而作为大气受 PAH 污染的依据。苯并[a]芘主要通过呼吸道侵入肺部，并引起肺癌。实验数据表明，肺癌与大气污染、苯并[a]芘含量的相关性是显著的。从世界范围看，城市肺癌死亡率约比农村高 2 倍，有的城市高达 9 倍。

⑤ 卤素化合物 对大气构成污染的卤素化合物主要是含氯化合物及含氟化合物，如 HCl、HF、 SiF_4 等。

气态污染物从污染源排入大气中，可以直接对大气造成污染，同时还经过反应形成二次污染物。主要气态污染物和其所形成的二次污染物种类见表 1-2。

表 1-2 气体状态大气污染物的种类

污染物	一次污染物	二次污染物	污染物	一次污染物	二次污染物
含硫化合物	SO_2 、 H_2S	SO_3 、 H_2SO_4 、 MSO_4	碳氢化合物	C_mH_n	醛、酮等
含氮化合物	NO 、 NO_2	NO_2 、 HNO_3 、 MNO_3 、 O_3	卤素化合物	HF、HCl	无
碳氧化合物	CO、 CO_2	无			

注：M 代表金属离子。

(3) 二次污染物 二次污染物中危害最大,也最受人们普遍重视的是硫酸烟雾和光化学烟雾。

① 硫酸烟雾 因为其最早发生在英国伦敦,也称为伦敦型烟雾。硫酸烟雾是还原型烟雾,是大气中的 SO_2 等硫氧化物,在有水雾、含有重金属的悬浮颗粒物或氮氧化物存在时,发生一系列化学或光化学反应而生成的硫酸烟雾或硫酸盐气溶胶。这种污染一般发生在冬季气温低、湿度高和日光弱的天气条件下。硫酸烟雾引起的刺激作用和生理反应等危害要比 SO_2 气体大得多。

② 光化学烟雾 1946年美国洛杉矶首先发生严重的光化学烟雾事件,故又称洛杉矶型烟雾。光化学烟雾是氧化型烟雾,是在阳光照射下,大气中的氮氧化物和碳氢化合物等污染物发生一系列光化学反应而生成的蓝色烟雾(有时带些紫色或黄褐色)。其主要成分有臭氧、过氧乙酰硝酸酯(PAN)、酮类和醛类等。光化学烟雾的刺激性和危害比一次污染物强烈得多。

1.1.3 固体废物的定义和分类

我国对固体废物的定义为:“在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态-半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。”

固体废物一般具有以下特性。①无主性:固体废物在丢弃以后,不再属于固体废物的产生者,也不属于其他人。②分散性:固体废物分散在不同的地方,需要进行收集。③危害性:对人类的生产和生活具有不利的影响,对生态环境和人类健康造成不同程度的危害。④错位性:一个时空领域的废物是另一时空领域的可用资源。

固体废物常用的分类方法有以下几种。

(1) 按其组成可分为有机废物和无机废物。有机废物是指废物的化学成分主要是有机物混合物;无机废物是指废物的化学成分主要是无机物的混合物。

(2) 按其形态分为固态、半固态和液(气)态废物。固体废物是指以固体形态存在的废物;半固态废物是指以膏状或糊状存在并具有一定流动性的废物;液(气)态废物是指以液态或气态形式存在的废物,一般置于容器中。

(3) 按其污染特性可分为危险废物和一般废物。危险废物是指列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的废物;一般废物是指除危险废物以外的废物。

(4) 按其来源分为城市生活垃圾、工业固体废物、矿业固体废物、危险废物和农林业固体废物。城市生活垃圾是指在城市日常生活中或者为城市日常生活提供服务的活动中产生的固体废物以及法律、行政法规规定视为城市生活垃圾的固体废物;工业固体废物是指在工业、交通等生产活动中产生的固体废物;矿业固体废物是指在矿业生产过程中产生的尾矿、废石、矸石等固体废物;危险废物是