



实用 环境工程手册

大气污染控制工程

吴忠标 主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

实用环境工程手册

大气污染控制工程

吴忠标 主编

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

实用环境工程手册·
大气污染控制工程/吴忠标主编. —北京: 化学工业
出版社, 2001. 9
ISBN 7-5025-3370-2

I. 大… II. 吴… III. 空气污染-污染防治
IV. X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 044792 号

实用环境工程手册

大气污染控制工程

吴忠标 主编

责任编辑: 夏叶清

责任校对: 陈 静

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

http: // www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 × 1092 毫米 1/16 印张 34 1/4 字数 861 千字

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-3370-2/X·107

定 价: 76.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

环境工程技术是大力发展环保产业的根本基础，也是加快推进环境事业的重要保障。本书从系统性、实用性出发，紧紧围绕大气污染控制工程技术与设备这一中心，在系统介绍大气污染及其主要污染物特性和大气污染防治法律法规、标准的基础上，重点阐述了机械式除尘器、湿式除尘器、过滤式除尘器、电除尘器等颗粒物控制技术和吸收法、吸附法、催化燃烧法、烟气脱硫技术、有害气体治理技术等气态污染物控制方法及技术，并有选择地介绍了化学工业、石油化工、电力工业、钢铁工业、建材工业等污染重点行业的废气治理实例，同时列出了大气污染控制工程设计中常用的基础数据和主要配套设备的型号规格。

本书力求做到简明实用、重点突出、层次分明、概念清楚，并充分注意必要的系统性和完整性。因此，本书作为工具书，可供环境工程设计人员参考，也可供环境工程技术人员和环境管理人员参考。

本书由吴忠标主编。主要编写人员有：浙江大学吴忠标（第一至三章、第六章第二节、第八至十四章、第十六章、第二十一章及附录）、徐新华（第四章、第五章、第六章第一节、第七章、第十九章和第二十章）、金一中（第十五章、第十七章、第十八章、第二十二章和第二十三章）。参加整理和编写的人员有：浙江大学余世清、刘越、莫建松、官宝红和杭州天蓝脱硫除尘有限公司程常杰。

由于编写人员学术水平和时间及经验所限，书中缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2001年6月

内 容 提 要

本书以大气污染控制工程技术与设备为中心，介绍了大气污染及其主要污染物特性和大气污染防治法律法规及标准；各种除尘法等颗粒物控制技术；吸收法、吸附法等气态污染物控制方法及技术；并介绍了许多如化学工业、电力工业、钢铁工业、建材工业等重点行业的废气治理工程实例。内容系统、全面而实用。书后附有大量实用附录，供读者参考。

可供环境工程设计人员，工程技术人员和管理人员及有关院校师生参考。



实用环境工程手册

水工艺与工程

水处理设备

水处理材料与药剂

大气污染控制工程

固体废物污染控制与资源化

ISBN 7-5025-3370-2



9 787502 533700 >

ISBN 7-5025-3370-2/X · 107 定价：76.00元

目 录

第一篇 通 论

第一章 概论	1	五、过滤式除尘	27
第一节 概述	1	六、电除尘	27
第二节 大气污染源及其主要污染物	2	七、声波除尘	27
一、工业企业排放源	3	第三章 气态污染物的特性及治理概述	28
二、交通运输排放源	3	第一节 气态污染物的物理特性	28
三、家庭炉灶排放源	5	一、气体的组成	28
第三节 大气污染的危害	5	二、相组成的表示方法	28
一、对人类健康的危害	5	三、气体定律	30
二、对植物的危害	8	四、温度	33
三、对器物及气候的危害	10	五、压力	33
第四节 大气污染综合防治	11	六、湿度	34
一、加强环境管理	11	七、密度	35
二、以环境规划为中心,实行综合防治	11	八、体积换算	35
三、控制大气污染的技术政策	12	九、分子平均自由程	36
四、控制环境污染的经济政策	12	十、粘滞性	37
五、绿化造林	12	十一、热容及定压热容	38
六、加强环境科学研究、监测和教育	12	第二节 大气污染物的化学特性	40
第二章 颗粒污染物的特性及治理概述	13	一、二氧化硫的化学性质	40
第一节 颗粒污染物的物理特性	13	二、氮氧化物的化学特性	41
一、密度	13	三、含氟废气的化学性质	41
二、粉尘粒径	13	四、硫化氢的化学特性	42
三、粒径分布	15	五、碳氢化合物的化学特性	42
四、比表面积	21	六、碳氧化物的化学特性	43
五、浸润性	21	第三节 大气污染物治理概述	43
六、荷电性及导电性	21	一、吸收法	43
七、粘附性	22	二、吸附法	44
八、安息角与滑动角	22	三、催化净化法	44
九、自燃性和爆炸性	23	四、燃烧法	44
十、磨损性	24	五、冷凝法	45
十一、光学特性	24	第四章 污染物在大气中的扩散及其计算	46
第二节 颗粒污染物的化学特性	24	第一节 气象条件对大气污染的影响	46
一、无机性非金属颗粒	24	一、风	46
二、金属颗粒	25	二、湍流运动	47
三、有机性颗粒	26	三、温度层结	47
第三节 颗粒污染物治理方法概述	26	四、大气稳定度	47
一、重力沉降	26	五、大气混合层	48
二、旋风除尘	26	六、地形	48
三、惯性力除尘	26	第二节 大气扩散模式	48
四、湿式除尘	26	一、高架点源扩散模式	48

二、最大落地浓度及其位置	49	三、火电厂大气污染物排放标准	118
三、扩散参数	49	四、工业炉窑大气污染物排放标准	123
四、混合层顶对烟云的反射	52	五、水泥厂大气污染物排放标准	129
五、长期平均模式	53	六、炼焦炉大气污染物排放标准	133
六、线源扩散模式	53	七、恶臭污染物排放标准	138
七、面源扩散模式	54	八、轻型汽车排气污染物排放标准	140
八、粒子烟云模式	55	九、车用汽油机排气污染物排放标准	143
第三节 烟囱高度设计	57	十、汽油车怠速污染物排放标准	144
一、烟囱的有效高度及抬升高度	57	十一、汽车柴油机全负荷烟度排放标准	145
二、烟囱高度计算	61	十二、柴油车自由加速烟度排放标准	146
第五章 大气污染防治法律法规	65	第七章 大气环境质量管理	147
第一节 大气污染防治立法思想与历程	65	第一节 大气环境质量管理体系	147
一、国外环境立法的历程	66	一、环境保护法规和环境质量标准体系的完善	147
二、国际环境法律文书及其历程	67	二、实施排放污染物的控制管理办法	148
三、我国环境保护法律法规及其历程	71	三、环境质量监督和经济制裁手段	148
第二节 《大气污染防治法》	75	四、对新建项目开展环境影响评价和坚持“三同时”的原则	149
第三节 其他大气污染防治法律法规	82	第二节 大气环境质量评价	149
一、中华人民共和国大气污染防治法实施细则	83	一、环境质量评价概述	149
二、汽车排气污染监督管理办法	86	二、环境质量评价的一般方法	150
第六章 大气污染防治标准	89	三、环境质量评价的内容	151
第一节 大气环境标准	89	四、环境质量现状评价的步骤和程序	151
一、环境标准的含义	89	五、大气环境质量评价	152
二、环境标准的作用	89	六、大气环境影响评价	156
三、环境标准体系	90	第三节 总量控制	156
四、环境标准的发展	90	一、总量控制的必要性	156
第二节 空气环境标准	92	二、K值管理法	160
一、空气环境标准	92	三、总量控制法	160
二、环境空气质量功能区划分原则与技术方法	95	四、《制定地方大气污染物排放标准的 技术方法》中的总量控制	161
第三节 大气污染物排放标准	97		
一、大气污染物综合排放标准	97		
二、锅炉大气污染物排放标准	115		

第二篇 颗粒物控制技术

第八章 机械式除尘器	168	四、国内主要旋风除尘器性能介绍	178
第一节 重力沉降室	168	第九章 湿式除尘器	186
一、重力沉降室的构造和除尘原理	168	第一节 湿式除尘的原理	187
二、水平气流沉降室的设计计算	168	一、湿式除尘器的除尘机理	187
第二节 惯性除尘器	171	二、湿式除尘器的除尘效率	188
一、惯性除尘器除尘机理及结构	171	三、湿式除尘器的流体阻力计算	190
二、百叶窗型除尘器的设计	173	第二节 水膜除尘器	191
第三节 旋风除尘器	175	一、立式旋风水膜（CLS型）除尘器	191
一、旋风除尘器的构造及工作原理	175	二、麻石水膜除尘器	191
二、旋风除尘器的设计计算	175	三、卧式旋风水膜除尘器	193
三、旋风除尘器的选择设计	177	四、管式水膜除尘器	196

第三节 文丘里除尘器	198	一、颗粒层除尘器的性能	235
一、文丘里除尘器的构造及工作原理	198	二、颗粒层除尘器	237
二、文丘里除尘器的设计与计算	199	第十一章 电除尘器	241
三、文氏管的压力损失	202	第一节 电除尘器的分类	241
四、文丘里除尘器的除尘效率	203	一、按集尘电极的型式分类	241
第四节 喷淋除尘器	204	二、按含尘气流流动方式分类	242
一、喷淋除尘器的构造及工作原理	204	三、按电极在除尘器内空间布置不同分类	242
二、喷淋除尘器的设计及计算	204	四、按清灰方式分类	243
第五节 自激喷雾除尘器	205	第二节 电除尘原理	243
一、冲击水浴除尘器	205	一、电晕放电和气体电离	244
二、冲击式除尘器	206	二、粒子荷电	245
第六节 湿式除尘的脱水装置	210	三、荷电粒子的迁移和捕集	246
一、圆柱型旋风脱水装置	210	四、被捕集粉尘的清除	248
二、旋流板除雾器	210	第三节 电除尘器的结构	249
第十章 过滤式除尘器	212	一、电除尘器本体结构	249
第一节 过滤除尘原理	213	二、电除尘器的供电	252
第二节 过滤除尘器的性能	214	三、附属设备	253
一、过滤速度	214	第四节 电除尘器的设计和选型	253
二、除尘效率	215	一、电除尘器的设计计算	253
三、过滤器的阻力计算	216	二、电除尘器的选型	256
四、清灰方式	217	三、电除尘器的应用	262
第三节 袋式除尘器	217	第十二章 除尘器的选择与维护	264
一、滤布	218	第一节 除尘器的选择	264
二、结构型式	220	一、除尘器的合理选择	264
三、常用的袋式除尘器	221	二、各类除尘器的适用范围	265
四、袋式除尘器的选择和设计	234	第二节 除尘器的维护	266
第四节 颗粒层除尘器	235		

第三篇 气态污染物控制技术

第十三章 吸收法	268	第十四章 吸附法	295
第一节 吸收原理	268	第一节 吸附原理	295
一、汽液平衡	268	一、吸附与吸附平衡	295
二、吸收机理模型	269	二、吸附等温线与吸附等温方程式	296
三、吸收速率方程式与吸收系数	270	三、吸附量	298
第二节 吸收工艺的选择	272	四、吸附速率	299
一、吸收设备的选择	272	第二节 吸附剂	300
二、吸收剂的选择	274	一、吸附剂的选择	300
三、工艺流程设置中应考虑的一些问题	275	二、工业上常用的吸附剂	301
第三节 吸收塔类型及结构	278	三、影响气体吸附的因素	302
一、吸收设备的分类	278	四、吸附剂的再生	303
二、常用吸收塔简介	279	第三节 吸附装置的类型及结构	303
第四节 吸收塔的设计	282	一、固定床吸附器	303
一、设计计算依据	282	二、回转床吸附器	306
二、设计步骤	282	三、蜂窝转轮吸附器	306
三、填料塔的设计(伴有化学吸收过程)	283	四、流化床吸附器	308
四、板式塔设计	288	五、移动床吸附器	308

第四节 吸附装置的设计	308	二、常见的净化工艺及流程	360
一、固定床吸附器的操作过程	308	第二节 硫化氢治理技术	368
二、固定床吸附器的计算	309	一、硫化氢的来源及危害	368
三、移动床吸附器的计算	312	二、治理方法	370
第十五章 催化燃烧法	314	第三节 氟化物治理技术	383
第一节 催化转化原理	314	一、氟化物的来源及危害	383
一、催化作用及其特征	314	二、治理方法	384
二、催化作用原理	314	第四节 含铅烟气的治理技术	392
第二节 催化剂的选择	315	一、铅污染的来源与危害	392
一、催化剂选用中应注意催化剂的特殊性能	315	二、含铅烟气的净化	393
二、催化剂的选用	315	第五节 汞及其化合物治理技术	398
第三节 催化燃烧装置的类型及结构	316	一、环境中汞的来源及危害	398
一、催化燃烧的基本净化流程及类型	316	二、汞蒸气的治理	399
二、主要设备	317	三、含汞化合物气体的净化	408
三、操作要点	318	第六节 恶臭治理	409
第四节 催化燃烧装置的设计	318	一、恶臭的特性	409
一、所需催化剂的体积	318	二、臭气的其他物理特性	410
二、操作温度	319	三、臭气的来源	412
三、系统零部件	320	四、臭气的危害	412
四、热回收	321	五、恶臭的治理方法	412
第十六章 烟气脱硫技术	323	第七节 沥青烟气治理技术	418
第一节 石灰/石灰石法	324	一、沥青烟气的来源与危害	418
一、石灰-石膏法	324	二、氧化沥青尾气的净化	418
二、石灰-亚硫酸钙法	329	第八节 氯化氢治理技术	422
三、石灰/石灰石直接喷射法	330	一、冷凝法	422
第二节 钠碱法	334	二、水吸收法	423
一、反应机理	334	三、氯化氢废气的综合利用	424
二、工艺流程和特点	336	第九节 酸雾治理	427
第三节 双碱法	341	一、除雾器	427
一、钠钙双碱法	341	二、除雾工艺	430
二、碱性硫酸铝-石膏法	343	第十八章 净化装置配套设备的选择与设计	432
三、CAL法	345	第一节 风机的选择	432
第四节 氨法	346	一、风机特性曲线	433
一、反应原理	346	二、风机定律	433
二、影响吸收液组成的因素	347	三、风机性能表	434
三、氨-酸法	347	四、风机的选择	435
四、氨-亚硫酸铵法	349	五、风机的噪音	436
五、氨-硫酸铵法	351	第二节 集气罩设计	436
第五节 喷雾干燥法	352	一、伞型集气罩	436
第六节 其他脱硫技术	353	二、侧吸罩	437
一、金属氧化物吸收法	353	三、密闭式集气罩	438
二、活性炭吸附法	355	第三节 管道系统设计	439
第十七章 其他有害气体治理技术	357	一、流体理论	439
第一节 有机废气治理技术	357	二、风道计算方法	442
一、概述	357	三、通风管道的设计与运转管理	443

第四篇 工程应用实例

第十九章 化学工业废气治理实例	446	第二十三章 建材工业废气治理实例	465
第一节 化工废气的来源、分类及特点	446	一、概况	465
一、化工废气的来源	446	二、设计方案	465
二、化工废气的分类	446	三、运行监测结果	466
三、化工废气的特点	446	主要参考文献	467
第二节 硝铵车间硝酸尾气治理工程实例	448	附录	468
一、硝铵生产工艺、废气来源	448	附录一 单位换算表	468
二、硝酸生产工艺、废气来源	448	附录二 干空气的重要物理性质	471
三、选择性还原法脱除 NO _x 工程实例	449	附录三 气体比热容共线图	472
第二十章 石油化工废气治理实例	452	附录四 一些气体水溶液的亨利常数	473
第一节 石油化工废气排放情况	452	附录五 水的饱和蒸汽压	474
一、石油炼制及废气排放	452	附录六 饱和水蒸气表 (按温度排列)	475
二、石油化工及废气排放	453	附录七 饱和水蒸气表 (按压力排列)	476
三、石油化工废气来源及特点	453	附录八 常用风机规格型号	478
第二节 石油化工废气治理	454	(一) 锅炉离心引风机	478
第三节 氧化沥青废气治理工程实例	457	(二) 排尘离心通风机	489
一、预处理	457	附录九 泵的规格型号	502
二、氧化沥青废气的焚烧处理	458	(一) IS 系列泵性能表	502
第二十一章 电力工业废气治理实例	460	(二) AF 型耐腐蚀泵	506
一、概述	460	(三) G 型管道离心泵	509
二、工程实例	460	(四) PW 型污水泵	510
第二十二章 钢铁工业废气治理实例	463	(五) PWF 型耐腐蚀污水泵	512
一、炼铁过程的烟气控制	463	(六) PWL 型立式污水泵	513
二、烧结过程的烟尘控制	463	(七) FUH 系统工程塑料离心泵	514
三、焦炉的烟尘控制	463	附录十 管子规格	516
四、炼钢电炉的烟尘控制	464	(一) 热轧无缝钢管	516
五、其他气态污染物的控制	464	(二) 不锈钢、耐酸钢无缝钢管	521
		(三) 非金属管和衬里管	523

第一篇 通 论

第一章 概 论

当人类赖以生存的空气不断被人类本身活动（生产活动和消费活动）所产生的各种有害气体和微粒物质所混入，从而给人类带来直接或间接的危害时，则可认为大气环境受到了污染。

第一节 概 述

国际标准化组织（ISO）认为，“大气污染，通常指由于人类活动和自然过程引起某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度，达到了足够的时间，并因此而危害了人体的舒适、健康和福利或危害了环境。”

对人体舒适、健康的危害，包括对人体正常生理机能的影响，引起急性病、慢性病以至死亡等；而福利，则包括与人类协调并共存的生物、自然资源及财产、器物等。人类活动包括生活活动和生产活动两方面。自然过程包括火山活动、山林火灾、海啸、土壤和岩石分化及大气圈的空气运动等。

目前，在国内把大气污染和空气污染往往当作同一词使用。“空气污染”常被理解为室内空气污染，即指厂房内部或其他劳动场所和活动场所的空气污染问题；而室外空气污染，即地区性空气污染则大多使用大气污染一词。亦有人将大气污染理解为这两种污染的总称。

随着经济的快速发展，人类在大量消耗能源的同时，将大量废气、烟尘杂质排入环境大气，严重影响了大气环境的质量，尤其在人口稠密的城市和大规模排放源的附近区域更为突出。表 1-1 列举了一些重要的气体污染物，这些污染物在污染区的典型浓度值与清洁区的浓度值相比可高出几倍甚至几百倍。

表 1-1 清洁与污染空气的成分含量对比

成 分	清洁空气	污染空气	成 分	清洁空气	污染空气
$\text{SO}_2 / \times 10^{-6}$	0.001 ~ 0.01	0.02 ~ 2	$\text{NO}_x / \times 10^{-6}$	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.5
$\text{CO}_2 / \times 10^{-6}$	310 ~ 330	350 ~ 370	碳氢物 / $\times 10^{-6}$	1	1 ~ 20
$\text{CO} / \times 10^{-6}$	< 1	5 ~ 200	颗粒物 / $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	10 ~ 20	70 ~ 700

图 1-1 给出了大气污染流程图，可见，形成大气污染的三个要素是污染源、大气状态、污染汇——受体；大气污染的三个主要过程是：污染物排放、大气相互作用和接受体的影响；大气污染的流程顺序是：污染源排放污染物、进入大气环境的污染物与大气相互作用进行着散布、转化和排除等过程；最后，根据接受体的影响确定大气污染的程度。

大气污染的产生与污染源排放的许多特征有关。显然，污染物的排放率及其物理和化学性质对于决定空气中所含污染物的数量和类型是主要的，另一方面，了解包括排放区的形

状、排放的持续时间以及污染物喷射的有效高度等污染源特征也很重要。

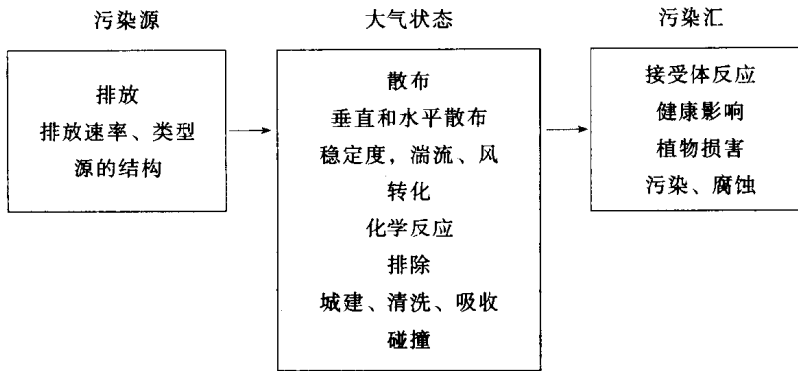


图 1-1 大气污染流程图

污染物排放后，它们的扩散受多种尺度的大气运动（风和湍流）控制。温度层结构决定了大气稳定度，而稳定度本身又左右热力湍流强度（浮力）和地面混合层厚度。混合层厚度和湍流强度则调节污染物向上散布和以较清洁空气从上空取代污染空气的速率。边界层内的风场对污染物的水平散布起着决定性的作用。风速不但决定污染物向下风方向输送的距离，而且还决定由烟云“伸张”所引起的稀释，同时与地面粗糙度结合起来可以估计机械湍流的强度。风向则控制污染物输送的一般路径，它的变率约束烟云在横向方向展开的范围。

悬浮在大气中的污染物可能同时经受物理和化学的变化，这些变化又与气象特征如水气或水滴多少、空气湿度、太阳辐射强度和其他大气物质等有关。污染物最后通过与降水有关的过程（降水清洗）、重力沉降或地面吸附和碰撞从大气中消除，这些都与大气状态有关。

总之，大气污染的形成需要具备三个条件：一是大量的污染物排入大气中；二是由于当地不利的气象条件等影响，使这些污染物不能在大气中及时扩散稀释；三是由于污染物在大气中积累或变化，以及有些污染物的协同作用，使这些污染物的浓度达到危害的程度。在这三个条件中，起主要作用的是大气污染物。

研究大气污染问题主要在于：①查明污染物的来源；②查明污染物在大气中的物理和化学行为；③研究污染物对人体、动物、食品等的影响；④研究控制途径和方法；⑤立法管理。

第二节 大气污染源及其主要污染物

大气污染从总体上来看，可认为是由自然界所发生的自然灾害和人类活动所造成的。由自然灾害所造成的污染多为暂时的、局部的，由人类活动造成的污染通常延续的时间长、范围广。一般所说的大气污染问题，多指人为因素引起的大气污染问题。

污染源的类型有四种划分方法。

1. 按污染源存在的形式划分

- ① 固定污染源 位置固定，如工厂的排烟或排气。
- ② 移动污染源 位置可以移动，在移动过程中排放大量废气，如汽车等。

2. 按污染物排放的方式划分

- ① 高架源 污染物通过烟囱排放，一般情况下，是排放量比较大的污染源。
- ② 面源 许多低矮烟囱集合起来而构成的一个区域性的污染源。

③ 线源 移动污染源在一定街道上造成的污染。

3. 按污染排放的时间划分

① 连续源 污染物连续排放，如化工厂的排气筒等。

② 间断源 排出源时断时续，如取暖锅炉的烟囱。

③ 瞬时源 排放时间短暂，如工厂的事故排放。

4. 按污染物产生的类型划分

① 工业污染源 这里包括燃料燃烧排放的污染物，生产过程中的排气（如炼焦厂向大气排放 H_2S 、酚、苯、烃类等有害物质；各类化工厂向大气排放具有刺激性、腐蚀性、异味性或恶臭的有机和无机气体；化纤厂排放的 H_2S 、氨、二氧化硫、甲醇、丙酮等）以及生产过程中排放的各类矿物和金属粉尘。

② 生活污染源 在我国这是一种排放量大、分布广、排放高度低、危害性不容忽视的空气污染源。

③ 交通污染源 由于汽车、飞机、火车和船舶等交通工具排放尾气所造成的大气污染物的污染源成为交通污染源。

按照 GB 6916—86（《空气质量词汇》）所下的定义，“由于人类活动或自然过程，排放到大气中的物质，对人或环境产生不利影响，统称空气污染物”（本书称大气污染物）。

自然过程产生的大气污染物主要有：火山排出的火山灰颗粒、二氧化硫（ SO_2 ）、硫化氢（ H_2S ），煤田和油田自然逸出煤气和天然气，腐烂的动植物放出有害气体等。

人类活动产生的污染物大致又可分为两种：燃煤、燃油、煤气和天然气燃烧放出的污染物有烟尘、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳、铅以及热能；工业生产过程中排放出大量的废气，其中含有种类繁多的大气污染物。

目前，大气污染源主要集中在城市里，因此城市的大气污染问题最突出，各种大气污染物城市数量最多。从污染源来看，这些污染物主要来自火力发电厂、民用炉灶、工厂锅炉和工业窑炉的燃料燃烧，以及工业生产过程和交通运输三大方面。

一、工业企业排放源

工业企业排放源的特点是：排放量大而集中，排放的污染物中绝大部分都存在煤和石油燃烧过程中排放的烟尘、 SO_2 、CO 和 NO_2 。尤其是火力发电厂、冶炼厂、有色金属厂、炼焦厂、石油化工厂、钢铁厂、氮肥厂等。由于企业性质的差异，排放的污染物也不同。表 1-2a 列出了各类企业及工业窑炉向大气排放的主要污染物质的情况，从中可以看出，钢铁厂和有色金属冶炼厂，还向大气中排放各种矿物粉尘（氧化铁、氧化钙粉尘）和有毒金属粉尘（锰、铅、锌、镉等），炼焦厂还向大气中排放 H_2S 、酚、苯、萘和烃类化合物，各类化工企业向大气中排放带有刺激性、腐蚀性异味和恶臭的无机和有机气体等等。

二、交通运输排放源

1. 汽车排放

汽车是一种流动性的排放源，近年来，随着汽车数量的迅速增长，由汽车排放造成的大气污染也日趋严重，特别是在一些发达的资本主义国家，如：美国、日本、瑞典等国，汽车排放已成为一项十分重要的大气污染源。

汽车废气中含有 150~200 种不同的碳氢化合物，其中危害最大的是一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化合物和铅的化合物。

汽车排出物的性质和数量，随发动机的种类、使用燃料的性质、成分，以及行驶状况

表 1-2a 各类工业企业向大气中排放的主要污染物质

工业部门	企业名称	排放的主要大气污染物质
电力	火力发电厂	烟尘、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、苯
冶金	钢铁厂	烟尘、二氧化硫、一氧化碳、氧化铁尘、氧化钙尘、锰尘
	有色金属冶炼厂	粉尘(各种重金属:铅、锌、镉、铜等)、二氧化硫
	炼焦厂	烟尘、二氧化硫、一氧化碳、硫化氢、苯、酚、萘、烃类
化工	石油化工厂	二氧化硫、硫化氢、氰化物、氮氧化物、氟化物、烃类
	氮肥厂	烟尘、氮氧化物、一氧化碳、氨、硫酸气溶胶
	磷肥厂	烟尘、氟化物、硫酸气溶胶
	硫酸厂	二氧化硫、氮氧化物、砷、硫酸气溶胶
	氯碱厂	氯气、氯化气
	化学纤维厂	烟尘、硫化氢、氨、二硫化碳、甲醇、丙酮、二氯甲苯
	合成橡胶厂	丁间二烯、苯乙烯、异乙烯、异戊二烯、丙烯腈
	合成橡胶厂	二氯乙醚、乙硫醇、氯代甲烷
	农药厂	砷、汞、氯、农药
	水晶石厂	氟化氢
机械	机械加工厂	烟尘
轻工	造纸厂	烟尘、硫醇、硫化氢
	仪表厂	汞、氟化物
	冰晶石厂	烟尘、汞
建材	水泥厂	水泥尘、烟尘等

表 1-2b 各种工业窑炉的粉尘排放情况

污染装置	烟尘类别	粉尘粒径 / μm	粉尘含量 / (g/m^3)	污染装置	烟尘类别	粉尘粒径 / μm	粉尘含量 / (g/m^3)
水泥烧结窑	水泥尘	2~4	10~50	废铁炼钢平炉	氧化铁、氧化锌		1~34
石灰窑	石灰尘	0.5~20	21	黄铁矿焙烧炉	矿尘		1~40
锌矿焙烧窑	氧化锌矾飘尘	0.1~10	1~8	铝矾土煅烧炉	半烧铅粉尘		25~30
炼铁高炉	矿粉、焦粉	0.1~10	7~85	煤粉锅炉	飘尘		8~30
镍铁熔矿炉	硅粉	0.02~0.5	2~10	炭黑工厂	碳尘	1~30	0.5~2.5
熔铅炉	铅尘	0.08~10	2~6	煤干馏炉	煤焦油	1~10	5~40
炼钢平炉	氧化铁		2~14	硫酸厂	硫酸雾	5~85	0.6~0.8

(空挡、加速、定速、减速)等有关。表 1-3 列出了汽车尾气在不同的行使情况下的化学组成。由表可以看出,通常碳氢化合物的浓度在减速时明显比其他时候为高,CO 的浓度在空挡和减速时也很高,而氮氧化物的浓度则相反,是在加速和定速情况下为最高。

铅的化合物是汽车废气中又一很重要的污染物。这里指的铅化合物是包括四甲基铅和四乙基铅在内的四烷基铅,它们是汽油的良好抗爆剂,其中四乙基铅效果最好,用的也最多,在汽车排气中铅多达 20~50 $\mu\text{g}/\text{L}$ 以上,排出的铅部分分解生成氧化铅附着在排气管壁上,或残留在油内和滤油器中。据报道,美、日、德等国主要街道上空气中含铅量都在 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上,甚至

高达 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 1-3 汽车尾气化学组成

尾气成分	行使条件			
	空挡	加速	定速	减速
碳氢化合物(乙烷等)/ $\times 10^{-6}$	800	540	435	5000
碳氢化合物范围(乙烷等)/ $\times 10^{-6}$	300 ~ 1000	300 ~ 800	250 ~ 550	3000 ~ 12000
乙炔/ $\times 10^{-6}$	710	170	173	1096
醛/ $\times 10^{-6}$	15	27	34	199
氮氧化物/ $\times 10^{-6}$	23	543	1270	16
氮氧化物范围/ $\times 10^{-6}$	10 ~ 50	1000 ~ 4000	1000 ~ 3000	5 ~ 50
一氧化碳/%	49	1.8	1.7	8.1
氧/%	1.8	1.5	17	8.1
排气量/(ft^3 ①/min)	8	60	35	8
排气量范围/(ft^3 ①/min)	5 ~ 25	40 ~ 200	25 ~ 60	5 ~ 25
排气温度/ $^{\circ}\text{F}$	300 ~ 600	900 ~ 1300	800 ~ 1100	400 ~ 800
未燃烧燃料/%	2.88	2.12	1.96	18.0
二氧化碳/%	10.2	12.1	12.4	6.0

① 1 ft = 30.48cm。

2. 飞机排放

从喷气式飞机和活塞发动机飞机排放的废气，含有与机动车辆排放出相同的污染物，因此，会造成与汽车类似的污染问题。

3. 铁路排放

这种污染很大程度上取决于机车所使用的燃料。在发达国家，用电力或柴油机车代替了蒸汽机车，很大程度上减少了烟尘的排放，在一些仍使用煤作燃料的地方，烟和颗粒物等污染物在铁路沿线仍然存在。

4. 海运

海运也因地而异。在许多港口，由于执行限制船舶排放烟密度的规定，烟尘污染已大大减少了。防止烟尘排放的措施也限制了颗粒污染物质的排放程度。

三、家庭炉灶排放源

家庭炉灶及取暖设备，因其数量大、分布广，且排放高度低的缘故，其排放的污染物常常弥漫于居民区周围，是造成低空大气污染不可忽视的污染源。在这类污染源中还包括大量焚烧垃圾造成的污染，它们排放的污染物质基本上由燃烧煤和石油产生的烟尘、废气组成。

上述所讲的污染物为直接排放于大气中的一次污染物，除一次污染物之外，还有二次污染物。二次污染物是由一次污染物与大气中的组分或几种一次污染物，经过一系列化学或光化学反应而生成的。二次污染物主要有硫酸盐气溶胶、硫酸烟雾、光化学氧化剂、臭氧、过氧乙酰硝酸酯 (PAN)、酮、醛等化学物质。

第三节 大气污染的危害

一、对人类健康的危害

大气污染物侵入人体主要有三种途径：表面接触，食入含污染物的食物和水，吸入被污

染的空气。其中以第三条途径最为重要。大气污染物对人体健康的危害主要表现为呼吸道疾病。在突然的高浓度污染物下可造成急性中毒，甚至在短时间内死亡。长期接触低浓度的污染物，会引起支气管炎、支气管哮喘、肺气肿和肺癌等病症。

(一) 几种主要大气污染物对人体的危害

1. 粉尘

粉尘的危害，不仅取决于它的暴露浓度，还在很大程度上取决于它的组成成分、理化性质、粒径和生物活性等。

粉尘的成分和理化性质是对人体危害的主要因素。有毒的金属粉尘和非金属粉尘（铬、锰、镉、铅、汞、砷等）进入人体后，会引起中毒以至死亡。例如，吸入铬尘能引起鼻中隔溃疡和穿孔，肺癌发病率增加；吸入锰尘会引起中毒性肺炎。无毒性粉尘对人体亦有害。如含有游离二氧化硅的粉尘吸入后，在肺内沉积，能引起纤维性病变，使肺组织逐渐硬化，严重损害呼吸功能，发生“矽肺”病。

粉尘的粒径大小是危害人体健康的另一重要因素。主要表现在两个方面：①粒径愈小，愈不容易沉降，长期漂浮在空气中容易被吸人体内，并且容易深入肺部，一般，粒径在 $100\mu\text{m}$ 以上的尘粒会很快在大气中沉降； $10\mu\text{m}$ 以上的尘粒可以滞留在呼吸道中； $5\sim 10\mu\text{m}$ 的尘粒大部分会在呼吸道沉积，被分泌的粘液吸附，可以随痰排出；小于 $5\mu\text{m}$ 的微粒能深入肺部，引起各种尘肺病；②粒径愈小，粉尘比表面积愈大，物理、化学活性愈高，加剧了生理效应的发生和发展。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，如可以承载强致癌物质苯并芘及细菌等。特别是含有重金属的飘尘，能促进大气中的各种化学反应，形成二次污染。

2. 二氧化硫

SO_2 为一种无色的中等强度刺激性气体。在低浓度下， SO_2 主要影响是造成呼吸道管腔缩小，最初呼吸加快，每次呼吸量减少。浓度较高时，喉头感觉异常，并出现咳嗽、喷嚏、咯痰、声哑、胸闷、呼吸困难、呼吸道红肿等症状，造成支气管炎、哮喘病，严重的可以引起肺气肿，甚至死亡。一般认为，空气中在 0.5×10^{-6} 以上，对人体健康已有某种潜在性影响， $(1\sim 3)\times 10^{-6}$ 时多数人开始受到刺激， 10^{-5} 时刺激加剧，个别人还会出现严重的支气管痉挛等。

3. 一氧化碳

CO是无色、无臭、有毒的气体，CO和血液中主管输送氧气的血红蛋白有很强的结合力，其结合力比氧与血红蛋白的结合力大210倍。一旦吸入CO，它就和血红蛋白结合起来，迅速形成羧络血红蛋白，妨碍氧气的补给，发生头晕、头痛、恶心、疲劳等氧气不足的症状，危害中枢神经系统，严重时窒息、死亡。

CO的危害不仅与CO的分压、体内羧络血红蛋白的饱和浓度有关，还与接触浓度、暴露时间、机体活动时的肺通气量和血容量等许多复杂因素有关。据亨德逊研究，CO的浓度与暴露时间的乘积所发生症状之间的关系是：3——无影响；6——稍有影响；9——头痛恶心；15——危险。

4. 氮氧化物

污染环境的氮氧化物(NO_x)，主要是NO和 NO_2 。NO是无色、无刺激、不活泼的气体，在阳光照射下，并有 C_mH_n 存在时，能被迅速氧化为 NO_2 。 NO_2 在阳光照射下，又会分解为NO和O。所以大气中NO和 NO_2 以及 N_2O 、 N_2O_3 、 N_2O_5 等自成一个循环系统，而统称为