

工业污染防治实用技术丛书

大气污染控制工程

DAQI WURAN
KONGZHI GONGCHENG

马建锋 李英柳 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

013045064

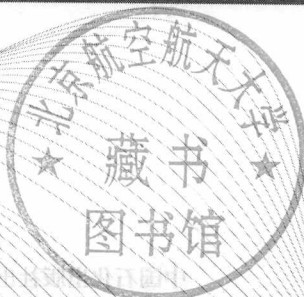
X510.6

17

工业污染防治实用技术丛书

大气污染控制工程

DAQI WURAN
KONGZHI GONGCHENG



X510.6

17

中国石化出版社



北航

C1651566

013042084

工业污染防治实用技术丛书

内 容 提 要

本书以大气污染控制基本理论为指导,从大气污染的产生、常见污染物的控制、相关治理设备和方法等角度,系统、简洁、概括性地介绍了常规大气污染控制的主要内容。

本书可供从事环境保护工作的管理人员、技术人员使用,也可供普通高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制工程 / 马建锋, 李英柳主编. —北京:
中国石化出版社, 2013. 4
(工业污染防治实用技术丛书)
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1988 - 0

I. ①大… II. ①马… ②李… III. ①空气污染控制
IV. ①X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 067966 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 17.75 印张 429 千字

2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

定价: 55.00 元

《工业污染防治实用技术丛书》

编委会

主 任 王凯全

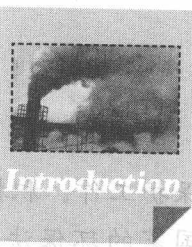
副主任 李定龙

委 员 马建锋 李英柳 张文艺 冯俊生

常杰云 黄 勇 万玉山 陈海群

严文瑶 戴竹青 赵 远 梁玉婷

序



保护环境关系到我国现代化建设的全局和长远发展，是造福当代、惠及子孙的事业。党中央、国务院历来重视环境保护工作，把保护环境作为一项基本国策，把可持续发展作为一项重大战略。党的十六大以后，我们提出树立科学发展观、构建社会主义和谐社会的重要思想，提出建设资源节约型、环境友好型社会的奋斗目标。这是我们党对社会主义现代化建设规律认识的新飞跃，也是加强环境保护工作的根本指导方针。

近年来，我们在推进经济发展的同时，采取了一系列措施加强环境保护，取得了积极进展。在资源消耗和污染物产生量大幅度增加的情况下，环境污染和生态破坏加剧的趋势减缓，部分流域区域污染治理取得初步成效，部分城市和地区环境质量有所改善，工业产品的污染排放强度有所下降。对于环境保护工作的成绩应给予充分肯定。

同时，必须清醒地看到，我国环境形势依然十分严峻。长期积累的环境问题尚未解决，新的环境问题又在不断产生，一些地区环境污染和生态恶化已经到了相当严重的程度。主要污染物排放量超过环境承载能力，水、大气、土壤等污染日益严重，固体废物、汽车尾气、持久性有机物等污染持续增加。流经城市的河段普遍遭到污染，1/5的城市空气污染严重，1/3的国土面积受到酸雨影响。全国水土流失面积356万平方公里，沙化土地面积174万平方公里，90%以上的天然草原退化，生物多样性减少。特别是2013年初以来北京等多地连续多天发生雾霾天气，一度覆盖全国约七分之一的陆地面积，空气污染十分严重。发达国家上百年工业化过程中分阶段出现的环境问题，在我国已经集中出现。生态破坏和环境污染，造成了巨大的经济损失，给人民生活和健康带来严重威胁，必须引起我们的高度警醒。

深刻的历史教训和严峻的现实告诫我们，绝不能以牺牲后代的利益来求得经济一时的快速发展。作为我国环境污染重要来源的工业企业，理应十分

重视环境保护工作，积极实施可持续发展战略，追求经济与环境的协调发展；严格遵守国家的环保法规、政策、标准，积极推行清洁生产，恪守保护环境的社会承诺；以科学发展观为指导，以实现环保稳定达标和污染物持续减排为目标，继续加大污染整治力度，全面推行清洁生产，大力发展循环经济，努力创建资源节约型、环境友好型企业。

大力推进科技进步和技术创新，研究和推广清洁生产是工业企业污染防治的关键。要综合解决目前工业企业发展中面临的资源浪费和环境污染等比较突出的问题，唯一出路就是建立资源节约型工业生产体系，走新型工业化道路。企业要在全面落实国家环境保护方针政策、强化环境保护管理的同时，针对废气、废水、废渣、噪声等主要工业污染源，开展污染控制的技术攻关，评估工业污染防治措施实施的效果，推广清洁生产、环境生物等替代技术。将企业的经济效益、社会效益和环境效益有机地结合，树立中国企业诚信守则、关注社会的良好形象。

多年来，常州大学依托石油化工行业特点开展环境保护人才培养和科学研究，积累了一定的经验，取得了一定的成果。现在，在中国石化出版社的支持下，常州大学组织学者编撰《工业污染防治实用技术丛书》，分别介绍废气、废水、废渣、噪声等主要工业污染源治理，环境影响评估、清洁生产、环境生物等技术的新成果，旨在推介环保实用技术，促进工业环保事业，彰显环保科技工作者的社会责任，实在是一件值得称道和鼓励的幸事。

愿各位同仁共同交流，加强环境保护理论和技术总结、交流与合作；愿我们携手努力，为提高全人类的生活水平和保护子孙后代的利益贡献力量，为祖国的碧水蓝天不断作出新的贡献。

中国环境科学研究院研究员
国家环境保护总局科技顾问委员会副主任
中国工程院院士

刘鸣亮

2013年3月30日

前言



我国国民经济正在呈现快速增长态势,由于能源结构单一、加工技术相对落后、利用效率低等原因导致我国大气污染严重。为探索低碳发展对能源环境的影响,为了适应我国环保事业的发展 and 培养环保人才的需要,我们在多年教授“大气污染控制工程”专业课程基础上,合作编写了这本教材。

全书共八章。第一章介绍了大气和大气系统的基本概念;第二章介绍了大气常见污染物的产生;第三章介绍了颗粒污染物控制技术与设备;第四章介绍了气态污染物的净化技术和设备;第五章介绍了硫氧化物和氮氧化物的控制技术和设备;第六章介绍了挥发性有机废气治理与回收技术;第七章介绍了温室气体减排与防治技术;第八章介绍了其他气态污染物防治技术。

本书内容新颖、系统,理论联系实际,着重工程应用,力求引导读者把理论应用于各种控制装置的实际设计与分析,培养读者的创新思维和工程应用能力。

本书由马建锋、李英柳主编。参加编写的有:马建锋(第一、四章),崔冰莹(第二、三章),祁静(第五章),李英柳(第六、七章),张天立(第八章)。

编写本书时参阅并引用了国内外的有关文献资料,并得到上述许多老师和同事的帮助和支持。在此,一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者学识水平所限,书中错误与不足之处在所难免,热诚欢迎读者批评指正。

目 录



第一章 绪论	(1)
第一节 大气及大气污染概况	(1)
一、大气的组成及结构	(1)
二、大气污染、污染物和污染源	(4)
三、全球性大气污染问题	(7)
第二节 大气污染防治措施及相关标准	(14)
一、大气污染综合防治	(14)
二、大气环境标准	(16)
三、主要气体参数的换算与计算	(18)
第二章 燃烧与大气污染	(25)
第一节 燃料与燃烧	(25)
一、燃料性质	(25)
二、燃料燃烧过程	(30)
三、烟气体积及污染物排放置	(34)
第二节 燃烧设备及污染物产生机理	(35)
第三章 颗粒污染物控制技术	(41)
第一节 颗粒物性质	(41)
一、颗粒物的粒径及分布	(41)
二、粉尘的基本性质	(49)
第二节 除尘器	(54)
一、除尘装置的性能	(54)
二、重力沉降室	(57)
三、惯性除尘器	(59)
四、旋风除尘器	(61)
五、电除尘器	(69)
六、过滤除尘	(82)
七、湿式除尘器	(91)
第四章 气态污染物的净化	(99)
第一节 化学吸收法	(99)
一、吸收法概述	(99)

二、吸收净化的基本理论	(100)
第二节 吸附法处理气态污染物	(105)
一、吸附法概述	(105)
二、吸附理论	(107)
第三节 催化法	(111)
一、催化法净化气态污染物	(111)
二、燃烧法净化气态污染物	(113)
第五章 烟(废)气脱硫脱硝	(115)
第一节 烟气脱硫	(115)
一、烟气脱硫概述	(115)
二、湿法脱硫技术	(116)
三、干法和半干法脱硫技术	(127)
第二节 烟气脱硝	(132)
一、烟(废)气脱硝概述	(132)
二、还原法脱硝技术	(133)
三、吸收法脱硝技术	(137)
四、吸附法脱硝技术	(143)
五、同时脱硫脱硝技术	(144)
第六章 挥发性有机物治理与回收技术	(147)
第一节 挥发性有机物概述	(147)
一、挥发性有机物的种类与来源	(147)
二、挥发性有机物的性质与危害	(148)
三、挥发性有机物的控制	(149)
第二节 有机废气吸附处理法	(152)
一、影响气体吸附的因素	(152)
二、吸附剂	(153)
三、吸附装置	(157)
四、吸附工艺	(158)
第三节 有机废气吸收处理法	(161)
一、VOCs 溶液吸收法概述	(161)
二、VOCs 溶液吸收法工艺	(162)
第四节 有机废气冷凝回收法	(164)
一、冷凝原理	(164)
二、冷凝方式	(165)
三、冷凝设备	(166)
四、冷凝法的应用	(167)
第五节 有机废气燃烧处理法	(169)
一、直接燃烧法	(169)
二、热力燃烧法	(170)

三、催化燃烧法	(170)
四、蓄热式燃烧法和蓄热式催化氧化法	(172)
五、吸附-催化燃烧组合工艺	(172)
第六节 VOCs 生物处理法	(173)
一、生物法净化 VOCs 概述	(173)
二、VOCs 生物净化工艺	(174)
三、生物反应器的适用范围	(177)
第七节 VOCs 废气处理新技术	(179)
一、膜分离技术	(179)
二、等离子体技术	(180)
三、光催化氧化	(182)
四、其他技术	(183)
第七章 温室气体减排与控制	(184)
第一节 温室气体及温室效应概论	(184)
一、温室气体种类与含量	(184)
二、温室气体的源与汇	(186)
三、温室效应影响	(191)
四、温室效应减缓对策	(193)
第二节 工业节能减排温室气体	(196)
一、燃烧节能减排技术	(196)
二、锅炉节能技术	(198)
三、热泵技术	(202)
四、主要行业节能减排技术	(204)
第三节 清洁能源技术	(211)
一、洁净煤技术	(211)
二、可再生能源	(216)
三、核能	(221)
四、清洁能源发展前景	(222)
第四节 二氧化碳捕获与封存技术	(222)
一、CCS 技术现状	(222)
二、二氧化碳捕获系统	(224)
三、二氧化碳封存与固定技术	(234)
第五节 二氧化碳的综合利用	(241)
一、物理应用	(242)
二、化学应用	(243)
三、生物应用	(244)
四、CO ₂ 转化利用新进展	(244)
第八章 其他气态污染防治技术	(248)
第一节 机动车污染控制技术	(248)
一、汽油车污染物形成与控制	(249)

二、柴油车污染形成与控制	(251)
第二节 加油站及油库污染控制	(253)
一、加油站及油库污染物的产生	(253)
二、加油站及油库污染物的控制	(255)
第三节 含重金属废气的治理技术	(260)
一、空气中铅和汞的来源与性质	(260)
二、含铅废气治理技术	(261)
二、含汞废气治理技术	(263)
第四节 含氟废气治理技术	(265)
第五节 氯及氯化氢废气治理技术	(268)
一、含氯废气治理技术	(268)
二、含氯化氢废气的净化技术	(269)
参考文献	(270)

第一章 绪 论

第一节 大气及大气污染概况

一、大气的组成及结构

按照国际标准化组织 ISO 的定义,大气是指地球环境周围所有空气的总和(The entire mass of air which surrounds the Earth),环境空气是指暴露在人群、植物、动物和建筑物之外的室外空气(Outdoor air to which people, plants, animals and structures are exposed)。可见,“大气”和“空气”是同义词,其组成成分在均质层内是一样的,区别仅在于“大气”指的范围更大,“空气”指的范围相对小些。大气的总质量约为 $5.3 \times 10^{15} \text{t}$,其密度随高度增加而迅速减少,98.2% 的空气集中在 30km 以下的空间。本书除在讨论大气的组成及结构、臭氧层破坏时所用“大气”一词涉及更大范围以外,其余部分所用“大气”或“空气”一词都是指与人类活动关系密切的下层“环境空气”,个别情况指室内空气。

大气是自然环境的重要组成部分,是人类及一切生物赖以生存的物质。人离开空气,5min 就会死亡。同时,人们也通过生产和生活活动影响着周围大气的质量。人与大气环境之间的这种连续不断的物质和能量的交换,决定了大气环境的重要性。

(一) 大气的组成

大气由干洁空气、水蒸气和悬浮微粒三部分组成。干洁空气的主要成分是氮(N_2)、氧(O_2)和氩(Ar),三者共占大气总体积的 99.96%,其他次要成分仅占 0.04% 左右。干洁空气的组成见表 1-1。

表 1-1 干洁空气的组成

气体成分	相对分子质量	体积分数/%	气体成分	相对分子质量	体积分数/%
氮(N_2)	28.01	78.084	氪(Kr)	83.80	1.0×10^{-4}
氧(O_2)	32.00	20.948	氢(H_2)	2.016	0.5×10^{-4}
氩(Ar)	39.94	0.934	氧化二氮(N_2O)	44.01	0.3×10^{-4}
二氧化碳(CO_2)	44.01	0.033	氙(Xe)	131.30	0.08×10^{-4}
氖(Ne)	20.18	1.8×10^{-4}	臭氧(O_3)	48.00	0.02×10^{-4}
氦(He)	4.003	5.2×10^{-4}	甲烷(CH_4)	16.04	1.5×10^{-4}

由于大气的湍流运动和动植物的气体代谢作用使不同高度、不同地区的空气进行交换和混合,因而在 85km 以下的大气层中除 CO_2 和臭氧外,干洁空气组成的比例基本上保持不变,称为均质层。均质层以上的大气层中,以分子扩散为主,气体组成随高度而变化,称为非均质层。干洁空气的平均相对分子质量为 28.966,在标准状态下(273.15K, 101325Pa),其密度为 1.293kg/m^3 。二氧化碳和臭氧是干洁空气中的可变成分,对大气的温度分布影响较大。

CO₂来源于大气底层燃料的燃烧、动物的呼吸和有机物的腐解等,因此它主要集中在20km以下的大气层内,其含量因时空而异,夏季多于冬季,陆地多于海洋,城市多于农村。

臭氧是大气中的微量成分之一,总质量约为 3.29×10^9 t,占大气质量的 0.64×10^{-6} 。它的含量随时空变化很大,在10km以下含量甚微。从10km往上,含量随高度增高而增加,到20~25km高空处,含量达到最大值,称为臭氧层,再往上又减少。臭氧层能大量吸收太阳辐射中波长小于0.32μm的紫外线,从而保护地球上有机体的生命活动。

大气中的水蒸气来源于地表水的蒸发,其平均体积分数不到0.5%,随时空和气象条件而变化。在热带多雨地区,其体积分数可达4%;而在沙漠或两极地区,其体积分数可小于0.01%。一般低纬度地区大于高纬度地区,夏季高于冬季,下层高于上层。观测表明,在1.5~2.0km高度上,空气中水蒸气已减少到地面的1/2,在5km高度上则减少到地面的1/10,再往上就更少了。

水蒸气是实际大气中唯一能在自然条件下发生相变的成分,这种相变导致了大气中云、雾、雨、雪、雹等天气现象的发生。

水蒸气和CO₂对地面和大气长波辐射的能量吸收较强,对地球起到保温作用。

大气中的悬浮微粒物有固体和液体两类。前者包括粉尘、烟尘、宇宙尘埃、微生物和植物的孢子、花粉等;后者则指悬浮于大气中的雾滴等水蒸气凝结物。悬浮微粒粒径一般在 10^{-4} μm到几十微米之间,多集中于大气低层,含量和成分都是变化的。一般陆地多于海上,城市多于农村,冬季多于夏季。其中有些物质是引起大气污染的物质。它们的存在对辐射的吸收和散射,云、雾和降水的形成,大气光电现象具有重要作用,对大气污染有重要影响。

(二) 大气层结构

受地心引力而随地球旋转的大气称为大气圈。虽然在几千千米的高空中仍有微量气体存在,但通常把地球表面到1200~1400km的气层视为大气圈的厚度,1400km以外被看作宇宙空间。

大气圈具有层状结构。大气层结构是指气象要素的垂直分布情况,如气温、气压、大气密度和大气成分的垂直分布等。根据气温在垂直于地球表面方向上的分布,一般将大气分为对流层、平流层、中间层、暖层和逸散层等5层(见图1-1)。

1. 对流层

对流层是大气圈最低的一层,其特征是:①层内气温随高度增加而降低,每升高100m,平均降低0.65℃,因而大气易形成强烈的对流(升降)运动;②热带气流的对流强度比寒带强,故对流层厚度随纬度增加而降低,赤道处约16~17km,中纬度地区约10~12km,两极附近约8~9km,对同一地区,其厚度夏季大于冬季;③对流层虽较薄,但却集中了大气总质量的75%和几乎全部的水蒸气,主要天气现象和通常所说的大气污染都发生在这一层,对人类活动影响最大;④层内温度和湿度的水平分布不均匀,在热带海洋上空,空气温暖潮湿,在高纬度内陆上空,空气寒冷干燥,因此也常发生大规模的空气水平运动。

对流层下层(地面至1~2km)的大气运动受地面阻滞和摩擦的影响很大,因此称对流层下层为大气边界层或摩擦层。由于受地面冷热的直接影响,层内气温的日变化很大。气流由于受地面摩擦力的影响,风速随高度增加而增大;加上气流的对流作用,层内大气的运动总是表现为湍流形式,从而直接影响着大气污染物的输送、扩散和转化。

大气边界层以上的大气运动,几乎不受地面摩擦力的影响,大气可看作没有黏性的理想气体,因此称大气边界层以上为自由大气层。

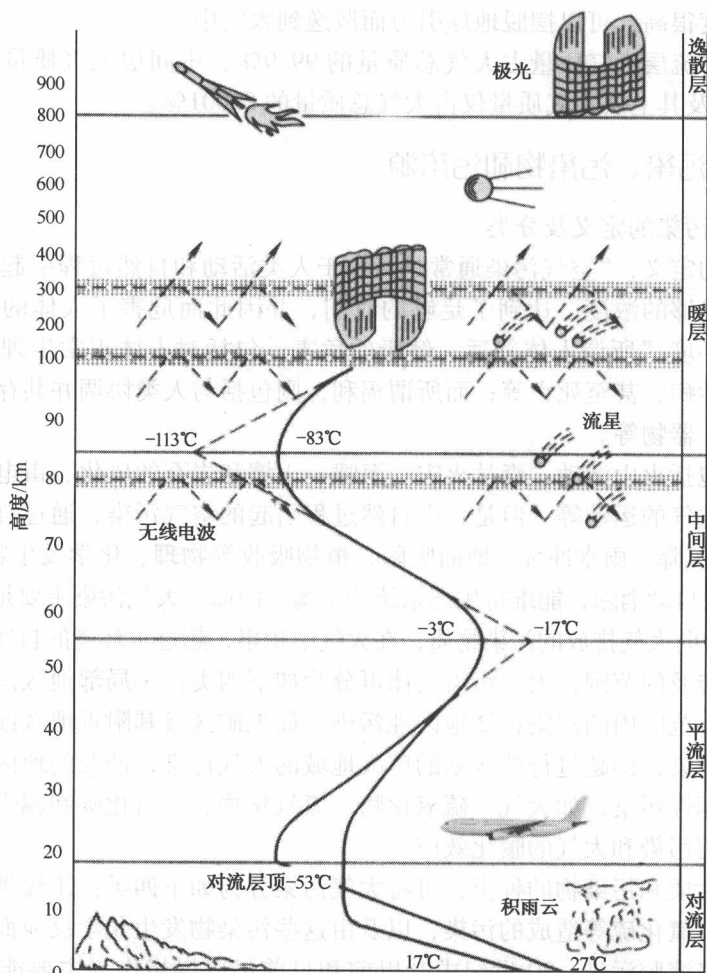


图 1-1 大气垂直方向的分层

2. 平流层

对流层顶到 50~55km 高度的一层称为平流层，层内几乎没有大气的对流运动。从对流层顶到 22km 左右的一层，气温几乎不随高度而变化，为 -55°C 左右，称为同温层；同温层之上，气温随高度增高而上升，至平流层顶达 -3°C 左右，称为逆温层。平流层集中了大气中大部分臭氧，在 20~25km 高度内形成臭氧层，

3. 中间层

平流层顶到 80~85km 高度为中间层。这一层气温随高度增高而降低，层顶可降到 -83°C ，大气具有强烈的对流运动。

4. 暖层

中间层顶到 800km 高度为暖层。由于强烈的太阳紫外线和宇宙射线的作用，气温随高度增加而增高，层顶温度可达 500~2000K，极为稀薄的气体分子被高度电离，存在着大量的离子和电子，故又称为电离层。

5. 逸散层

暖层以上的大气层统称为散逸层。它是大气的外层，气温很高，空气极为稀薄，气体

离子的运动速度很高,可以摆脱地球引力而散逸到太空中。

对流层和平流层大气质量占大气总质量的 99.9%,中间层大气质量占大气总质量的 0.099%,暖层及其上层大气质量仅占大气总质量的 0.001%。

二、大气污染、污染物和污染源

(一) 大气污染的定义及分类

按照 ISO 的定义,“空气污染通常是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。”所谓人体舒适、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,甚至死亡等;而所谓福利,则包括与人类协调并共存的生物、自然资源,以及财产、器物等。

自然过程包括火山活动、森林火灾、海啸、土壤和岩石的风化、雷电、动植物尸体的腐烂及大气圈空气的运动等。但是,由自然过程引起的空气污染,通过自然环境的自净化作用(如稀释、沉降、雨水冲洗、地面吸附、植物吸收等物理、化学及生物机能),一般经过一段时间后会自动消除,能维持生态系统的平衡。因而,大气污染主要是由于在人类的生产与生活活动中向大气排放的污染物质,在大气中积累,超过了环境的自净能力而造成的。

按污染所涉及的范围,大气污染大体可分为如下四类:①局部地区污染,如由某个污染源造成的较小范围内的污染;②地区性污染,如工矿区及其附近地区或整个城市的大气污染;③广域污染,即超过行政区划的广大地域的大气污染,涉及的地区更加广泛;④全球性污染或国际性污染,如大气中硫氧化物、氮氧化物、二氧化碳和飘尘的不断增多和输送所造成的酸雨污染和大气的暖化效应。

按照能源性质和污染物的种类,可将大气污染分为如下四类:①煤烟型,由煤炭燃烧放出的烟尘、一氧化硫等造成的污染,以及由这些污染物发生化学反应而生成的硫酸及其盐类所构成的气溶胶污染,20 世纪中叶以前和目前仍以煤炭作为主要能源的国家和地区的大气污染属此类污染;②石油型,由石油开采、炼制和石油化工厂的排气以及汽车尾气的碳氢化合物、氮氧化物等造成的污染,以及这些物质经过光化学反应形成的光化学烟雾污染;③混合型,具有煤烟型和石油型的污染特点;④特殊型,由工厂排放某些特定的污染物所造成的局部污染或地区性污染,其污染特征由所排污染物决定。

(二) 大气污染物

按照 ISO 定义,“空气污染物是指由于人类活动或自然过程排入大气的并对人或环境产生有害影响的那些物质”。

大气的污染物种类很多,按其存在状态,要分为气溶胶态污染物和气态污染物两类。

1. 气溶胶态污染物

气溶胶是指悬浮在气体介质中的固态或液态微小颗粒所组成的气体分散体系。从大气污染控制的角度。按照气溶胶颗粒的来源和物理性质,可将其分为如下几种:

(1) 粉尘(Dust) 指固体物质的破碎、分级、研磨等机械过程或土壤、岩石风化等自然过程形成的悬浮小固体粒子。通常,又将粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的悬浮固体粒子称为落尘,它们在空气中能靠重力在较短时间内沉降到地面;将粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的悬浮固体粒子称为飘尘,它们能长期飘浮在空气中;粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的粉尘又称为亚微粉尘(Sub-micron Dust)。

(2) 烟(Smoke) 熔融物质经高温挥发并伴随一些化学反应而生成的气态物质经冷却凝结而成的固体粒子, 粒径一般小于 $1\mu\text{m}$ 。

(3) 飞灰(Fly Ash) 指由固体燃料燃烧产生的烟气带走的灰分中的较细粒子。

(4) 炱(Fume) 通常指燃料燃烧过程产生的不完全燃烧产物, 又称炭黑, 粒径一般为 $0.01 \sim 1.0\mu\text{m}$ 。

(5) 雾(Fog) 在工程中, 雾泛指小液滴的悬浮体, 是由液体蒸气的凝结、液体的雾化和化学反应等过程形成的, 如水雾、酸雾、碱雾等。在气象中, 雾指造成能见度小于 1km 的小水滴悬浮体。

(6) 化学烟雾(Smog) 如硫酸烟雾、光化学烟雾等。

在我国的环境空气质量标准中, 还根据颗粒物的大小, 将其分为总悬浮颗粒物(Total Suspend Particles, TSP)和可吸入颗粒物(Inhalable Particles, PM_{10})。前者是指悬浮在空气中, 空气动力学当量直径 $\leq 100\mu\text{m}$ 的颗粒物; 后者是指空气动力学当量直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 的颗粒物。2012年2月, 国务院同意发布新修订的《环境空气质量标准》增加了 $\text{PM}_{2.5}$ 监测指标。根据新的标准, $\text{PM}_{2.5}$ 的24小时浓度限值的一级标准为 $35\text{mg}/\text{m}^3$, 二级标准为 $75\text{mg}/\text{m}^3$ 。世界卫生组织(WHO)认为, $\text{PM}_{2.5}$ 小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 是安全值。

在实际工作中, 以及国内外一些文献数据中, 常常未对“粉尘”、“飞灰”、“烟”、“雾”等名词作严格区分, 多统称为“粉尘”或“烟尘”。本书中, 对除尘对象的气溶胶颗粒, 常以“粉尘”称之, 在述及燃料燃烧产生的固体粒子时, 常用“烟尘”一词。

2. 气态污染物

气态污染物包括无机物和有机物两类。

无机气态污染物有硫化物(SO_2 、 SO_3 、 H_2S 等)、含氮化合物(NO 、 NO_2 、 NH_3 等)、卤化物(Cl_2 、 HCl 、 HF 、 SiF_4 等)、碳氧化物(CO 、 CO_2)及臭氧、过氧化物等。

有机气态污染物则有碳氢化合物(烃、芳烃、稠环芳烃等)、含氧有机物(醛、酮、酚等)、含氟有机物(芳香胺类化合物、腈等)、含硫有机物(硫醇、噻吩、二硫化碳等)、含氯有机物(氯化烃、氯醇、有机氯农药等)等。挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)是易挥发的一类含碳有机物的总称, 近年来 VOCs 引起的大气污染已受到广泛的关注。

直接从污染源排出的污染物称为一次污染物; 一次污染物与空气中原有成分或几种污染物之间发生一系列化学或光化学反应而生成的、与一次污染物性质不同的新污染物, 称为二次污染物。在大气污染中受到普遍重视的二次污染物主要有硫酸烟雾(Sulfurous Smog)、光化学烟雾(Photochemical Smog)和酸雨。

硫酸烟雾是空气中的二氧化硫等含硫化合物在水雾、重金属飘尘存在时, 发生一系列化学反应而生成的硫酸雾和硫酸盐气溶胶。光化学烟雾则是在太阳光照射下, 空气中的氮氧化物、碳氢化合物和氧化剂之间发生一系列光化学反应而生成的淡蓝色烟雾, 其主要成分是臭氧、过氧乙酰基硝酸酯(PAN)、醛类及酮类等。硫酸烟雾和光化学烟雾引起的刺激作用和生理反应等危害要比一次污染物强烈得多。

监测数据表明, 在我国大气环境中, 影响普遍的广域污染物为悬浮颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳和臭氧等。

(三) 大气污染源

大气污染物的来源包括自然过程和人类活动两个方面。人类活动排放的大气污染物主

要来自三个方面：①燃料燃烧；②工业生产过程；③交通运输。前两者称为固定源，后者（如汽车、火车、飞机等）则称为流动源。此外，在污染源的调查与评价中，还常按污染物的来源分为工业污染源、农业污染源和生活污染源三类。

根据大气污染源的几何形状和排放方式，污染源可分为点源、线源、面源；按它离地面的高度可分为地面源和高架源；按排放污染物的持续时间可分为瞬时源、间断源和连续源。污染源还可分为稳定源和可变源，冷源和热源等。通常将工厂烟囱的排放当作高架连续点源；将成直线排列的烟囱、飞机沿直线飞行喷洒农药、汽车流量较大的高速公路等作为线源；将稠密居民区中家庭的炉灶和大楼的取暖排放当作面源。大城市或工业区各种不同类型的污染源都有，则称为复合源。污染源的这种划分都是相对于扩散的空间和时间的尺度而言的。例如，在研究某城市污染时，一个工厂的烟囱可视为点源，将该城市视为各种类型源的复合源；但当研究一个大的区域或全球污染时，却又把一个城市当作点源。

（四）大气污染的危害

大气污染将造成很多方面的危害，其程度取决于大气污染物的性质，数量和滞留时间。这些危害包括：

1. 危害人体健康

大气污染对人体健康的危害包括急性和慢性两方面。急性危害一般出现在污染物浓度较高的工业区及其附近。慢性危害是在大气污染物直接或间接的长期作用下对人体健康造成的危害。这种危害短期表现不明显，不易觉察。据我国 10 个城市统计，呼吸道疾病的患病率和检出率在工业重污染区为 30% ~ 70%，而在轻污染区只有其 1/2。

2. 居民生活费用增加

大气污染造成的居民生活费用增加，包括清扫、洗涤和生活物质损坏三方面。根据 1985 年估算，每年全国损失达 16 亿元。

3. 物质材料破坏

排入大气中的二氧化硫、氮氧化物、各种有机物等不仅直接腐蚀建筑物、桥梁、机器和设备，而且衍生的二次污染物包括光化学氧化剂、酸雨等能对这些物质材料产生更大的破坏。

4. 农林水产损失

大气污染物对我国农业、森林、水产造成严重的危害，其中特别是农业和森林受害最大，导致农业减产、林木衰败。

5. 影响全球大气环境

大气污染物不仅污染低层大气，而且能对上层大气产生影响，形成酸雨、破坏臭氧层、气温升高等全球性环境问题，可能给人类带来更严重的危害。

（五）我国大气污染的现状

1. 我国大气污染物的排放量

我国最主要的大气污染物是二氧化硫和颗粒物，其排放量很大。1995 年我国二氧化硫排放总量达 2369.6 万 t，超过美国成为世界二氧化硫排放第一大国。近年来，我国采取了一系列措施，使我国主要大气污染物的排放量有所降低，但总体上仍保持在很高的水平上（见表 1-2）。