

GAODENG ZHIYE JIAOYU JIAOCAI

• 高等职业教育教材 •

大气污染控制工程

DAQI WURAN KONGZHI GONGCHENG

刘景良 主编



中国轻工业出版社

ZHONGGUO QINGGONGYE CHUBANSHE

高等职业教育教材

大气污染控制工程

刘景良 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大气污染控制工程/刘景良主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2002. 1

高等职业教育教材

ISBN 7-5019-3397-9

I. 大… II. 刘… III. 空气污染-污染防治-高等学校: 技术学校-教材 IV. X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 064600 号

责任编辑: 李建华

策划编辑: 李建华 责任终审: 劳国强 封面设计: 赵小云

版式设计: 赵益东 责任校对: 燕 杰 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010—65241695

印 刷: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 25.25

字 数: 578 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3397-9/X·010

定 价: 40.00 元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

编写说明

随着社会的不断进步，国家对可持续发展战略的重视，人们环境意识逐渐加强，企业对清洁生产有了更深入的认识，环境保护和环境治理将会由目前的单纯政府强制行为，变为企业的经济行为，而逐步趋向产业化。环境保护和环境治理是一个有发展潜力的朝阳行业。

我国高等职业教育近年来蓬勃发展，招生数量逐年增加，但与之相适应的教材很少，高职普遍使用大学本科教材，理论较深，在实践方面不能满足高职教育的要求。为此，全国高等职业教育研究会和中国轻工业出版社联合召开了环保专业高职教育教材研讨会，参加会议的有天津职业大学、深圳职业技术学院、广东轻工职业技术学院、福建三明职业大学、山西煤炭职业技术学院。在会上，交流了各自学校的情况，尤其是环保专业的专业设置、招生和分配、课程设置、教材使用等情况；讨论了环保专业高职班的现状和前景，高职环保教材的需求情况，确定了第一轮环保专业教材的编写计划。

在教材编写过程中，按照教学大纲，尽量体现高职教育的特点，即高职专业的培养目标是应用型技术人才，与社会的职业需求紧密结合，教材内容要具有实用性、先进性、时效性。经过一年多的努力，高等职业教育环保专业教材由中国轻工业出版社正式出版了，希望这套教材能够满足高职教育环保专业广大师生的需要。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，欢迎读者批评指正。

编者

2001年6月

前 言

《大气污染控制工程》是环境工程专业的主干专业课之一。本书是根据高等职业教育培养高等技术应用型人才的特征,结合编者多年从事本课程教学实践经验,在参考了各高等院校相关教材的基础上,为高等职业院校环境工程专业专科层次学生编写的一本教材。

长期以来,高等职业院校一直缺少适合高等职业教育特点的教材,环境工程专业的“大气污染控制工程”教材即属此列,这在很大程度上影响了高等职业教育特色的显现。弥补这一缺憾正是我们编写此书的目的之所在。

本书简要介绍了大气污染的相关知识,较系统地阐述了大气污染控制的原理、方法及有关设计问题,突出了国内外常用的较为成熟的大气污染物控制技术,加强了有关大气污染物控制系统及净化设备的运行管理内容,力求突出学生技术应用能力的培养。每章后均附有习题及思考题。本书内容适应 60~80 学时的教学需要。也可供从事环境治理技术人员及环境管理干部学习与参考。

本书共分 8 章,第 1、2、4、5、8 章由天津职业大学刘景良编写,第 3、6、7 章由天津大学郭静编写。全书由刘景良统稿。

由于编者水平所限,加之实践经验不足,书中的缺点、错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2001 年 5 月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 大气概述	(1)
1.2 大气污染和大气污染物	(4)
1.3 大气污染概况	(9)
1.4 大气污染的综合防治措施.....	(12)
1.5 大气质量控制标准.....	(15)
第 2 章 燃料燃烧	(30)
2.1 燃料的种类及性质.....	(30)
2.2 燃料燃烧过程.....	(34)
2.3 燃烧计算.....	(36)
2.4 燃烧污染物的形成与控制.....	(42)
第 3 章 污染物在大气中的扩散	(50)
3.1 影响大气污染扩散的主要气象要素.....	(50)
3.2 大气污染与气象.....	(58)
3.3 大气扩散模式及污染物浓度估算方法.....	(63)
3.4 烟囱高度的设计.....	(74)
3.5 厂址选择.....	(76)
第 4 章 除尘技术基础	(81)
4.1 除尘技术中的流体力学基础.....	(81)
4.2 粉尘的粒径和粒径分布.....	(89)
4.3 粉尘的物理性质	(100)
4.4 粉尘捕集理论基础	(106)
4.5 除尘装置的性能指标	(112)
第 5 章 除尘装置	(119)
5.1 重力沉降室	(119)
5.2 惯性除尘器	(122)
5.3 旋风除尘器	(125)
5.4 袋式除尘器	(141)
5.5 电除尘器	(174)
5.6 湿式除尘器	(203)
5.7 除尘设备在制造和安装方面应注意的问题	(217)
5.8 除尘器的选择	(220)

第 6 章 气态污染物净化技术基础	(224)
6.1 吸收法净化气态污染物	(224)
6.2 吸附法净化气态污染物	(241)
6.3 催化转化法净化气态污染物	(255)
第 7 章 气态污染物净化技术	(267)
7.1 二氧化硫的净化技术	(267)
7.2 氮氧化物的净化技术	(276)
7.3 其他气态污染物净化技术	(290)
第 8 章 净化系统的设计和运行管理	(300)
8.1 净化系统的组成及系统设计的基本内容	(300)
8.2 集气罩的设计	(301)
8.3 管道系统的设计	(322)
8.4 净化系统的运行管理	(339)
附录	(342)
附录 1 中华人民共和国大气污染防治法	(342)
附录 2 中国颁布的车间空气中有害物质最高允许浓度	(350)
附录 3 大气污染物排放标准	(358)
附录 4 工业炉窑大气污染物排放标准	(370)
附录 5 空气的物理参数	(376)
附录 6 干空气的物理参数	(379)
附录 7 水的物理参数	(380)
附录 8 烟道气的物理参数	(381)
附录 9 气体平均容积热容	(381)
附录 10 几种气体或蒸气的爆炸特性	(382)
附录 11 局部阻力系数 (ζ) 表	(383)
主要参考文献	(394)

第 1 章 概 论

1.1 大气概述

1.1.1 大气与空气

在日常生活中,人们通常是将“大气”和“空气”作为同义词来使用的。事实上,二者的含义还是有区别的。国际标准化组织(ISO)给大气和空气下的定义:大气是指地球环境周围所有空气的总和;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。根据上述定义及大气污染的实际情况,1996年我国将《GB3095—82 大气环境质量标准》更名为《GB3095—1996 环境空气质量标准》,并作了修改补充。修改的目的在于强调环境空气质量标准,主要规定的是与人类活动关系最密切的近地层空气中的污染物浓度限值。

本书后面各章节中,除描述特定场所的空气时加定语修饰区别外,无论“大气”或“空气”均是指“环境空气”。

1.1.2 大气层结构

大气亦可称之为大气层或大气圈。大气层厚度约 10000km。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。这里仅对气温的垂直分布作一简要介绍。根据气温在垂直于下垫面(即地球表面)方向上的分布,一般将大气层分为五层,即对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层,见图 1-1。

1.1.2.1 对流层

对流层是大气层中最低的一层。温度分布特点是下部气温高,上部气温低,大气易形成强烈的对流运动,故称为对流层。由于对流程度在热带要比寒带强烈,故自下垫面算起的对流层的厚度随纬度增加而降低:热带约 16~17km,温带约 10~12km,两极附近只有 8~9km,平均厚度为 12km 左右。对流层的主要特征是:

①对流层虽然较薄,但却集中了整个大气质量的 75%和几乎全部的水汽,因此,主要的天气现象如云、雾、雷、雨、雪、霜、露等都发生在这一层中。对流层是气象变化最复杂、对人类活动影响最大的一层。

②气温随高度增加而降低,每升高 100m 平均降温约 0.65℃。

③空气具有强烈的对流运动,主要是由于下垫面受热不均及其本身特性不同造成的。

④温度和湿度的水平分布不均匀,在热带海洋上空,空气比较温暖潮湿,而在高纬度内陆上空,空气则比较寒冷干燥,从而导致经常会发生大规模空气的水平运动。

对流层的底部,厚度约为 1~2km,此薄层空气受地面情况影响很大,称为大气边界层。在大气边界层中,由于受地面冷热的直接影响,特别是近地层(通常是指从下垫面

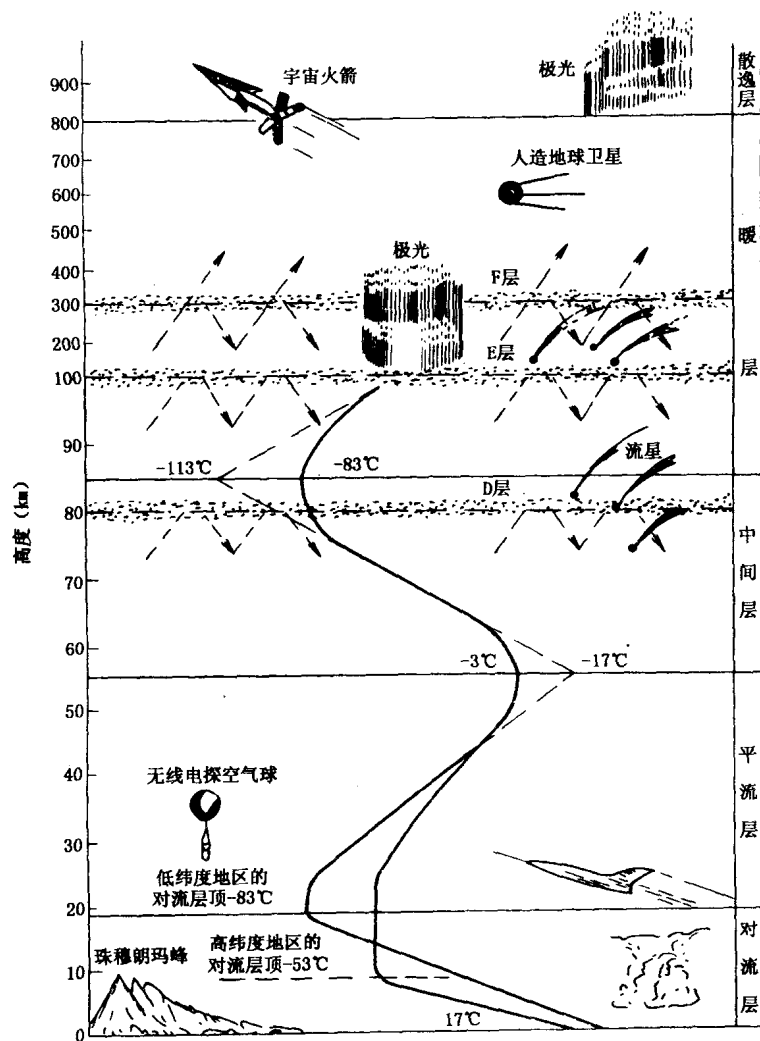


图 1-1 大气垂直方向的分层

算起向上 100m 厚度的一层空气), 昼夜可相差十几乃至几十度。由于气流运动受地面摩擦的影响, 故风速随高度的增高而增大。在这一层中, 大气上下有规律的对流运动和无规律的湍流运动都比较盛行, 加上水汽充足, 直接影响着污染物的传输、扩散和转化。

在大气边界层以上的空气, 几乎不受地面摩擦的影响, 所以称之为自由大气。

需要指出的是, 人类活动排放的污染物绝大多数聚集于对流层, 大气污染也主要发生在这一层, 特别是靠近地面的近地层, 所以说对流层与人类的关系最为密切。

1.1.2.2 平流层

从对流层顶到 50~60km 高度的一层称为平流层。该层主要特点是:

①平流层下部气温几乎不随高度而变化, 称为同温层; 平流层上部气温随高度增高而上升, 称为逆温层。

②平流层几乎没有空气对流运动，空气垂直混合微弱。

③平流层集中了大气中大部分臭氧，并在 20~25km 高度上达到最大值，形成臭氧层。臭氧层能够吸收大量的太阳紫外辐射，从而保护地球上的生命免受紫外线伤害。近年来，由于大气污染（进入平流层的氮氧化物、氯化氢、氟利昂有机制冷剂等能与臭氧发生光化学反应）导致臭氧层的臭氧浓度降低，并在极地已形成臭氧洞，这已对人类生态系统造成极大的威胁，如将会导致地球上更多的人患皮肤癌。

1.1.2.3 中间层

中间层位于平流层顶之上，层顶高度大约为 80~85km。这一层的特点是气温随高度增高而降低，空气具有强烈的对流运动，垂直混合明显。顶部温度可降至-83℃以下。

1.1.2.4 暖层

暖层位于中间层顶之上，暖层的上界距地球表面约有 800km。在强烈的太阳紫外线和宇宙射线作用下，气温随高度升高而增高，其顶部温度可达 1700℃以上。暖层空气处于高度的电离状态，因而存在着大量的离子和电子，故又称之为电离层。

1.1.2.5 散逸层

暖层以上的大气层统称为散逸层。它是大气的最外层，气温很高，空气极为稀薄，气体粒子的运动速度很高，可以摆脱地球引力而散逸到太空中，它是大气层和星际空间的过渡地带。

1.1.3 大气的组成

大气是由于干燥清洁的混合气体、水蒸气和悬浮颗粒物组成，除去水蒸气和悬浮颗粒物的大气称为干洁空气。地球大气总质量的 98.2%集中在 30km 以下的大气层中，约有 50%集中在 5~6km 以下的对流层中。

1.1.3.1 干洁空气的组成

干洁空气的主要成分是氮（N₂）、氧（O₂）和氩（Ar），它们共占干洁空气总体积的 99.96%，而其他气体所占体积不到 0.04%，详细情况见表 1-1。

表 1-1 干洁空气的组成

成 分	相对分子质量	体积分数/%	成 分	相对分子质量	体积比 (cm ³ /m ³)
氮 (N ₂)	28.01	78.09	氖 (Ne)	20.180	18.00
氧 (O ₂)	32.00	20.95	氦 (He)	4.003	5.30
氩 (Ar)	39.94	0.93	甲烷 (CH ₄)	16.040	1.50
二氧化碳 (CO ₂)	44.01	0.03	氪 (Kr)	83.800	1.00
			一氧化二氮 (N ₂ O)	44.010	0.50
			氢 (H ₂)	2.016	0.50
			氙 (Xe)	131.300	0.08
			臭氧 (O ₃)	48.000	0.01~0.04

由于大气的垂直运动、水平运动以及分子扩散，使得干洁空气的组成比例直到 90~100km 的高度还基本保持不变。也就是说，在人类经常活动的范围内、任何地方干洁空

气的物理性质是基本相同的。例如，干洁空气的平均相对分子质量为 28.966，在标准状态下 (273K, 101325Pa) 密度为 1.293kg/m^3 。在自然界大气的温度和压力条件下，干洁空气的所有成分都处于气态，不易液化，因此可以看成是理想气体。

干洁大气中，对人类活动影响最大的是氮、氧、二氧化碳和臭氧。氧和氮是大气中的恒定气体成分。其中氧是人类和动植物维持生命极为重要的气体，在大气中发生化学反应时，氧起着极其重要的作用。二氧化碳和臭氧是干洁空气中的可变气体成分，对大气的温度分布影响较大。大气中的二氧化碳能吸收地表和低层大气的热辐射，所以，二氧化碳的存在，可以使地面保持较高的温度。大气中二氧化碳含量增加，地表和低层大气的温度就会升高，可形成明显的温室效应。事实上，国内外的观测均表明，大气中的二氧化碳含量在逐渐增加，此种情况如不能得到控制，则将来就会对全球气候产生明显影响。臭氧的危害前文已涉及，此处不再赘述。

1.1.3.2 水蒸气

水蒸气在大气中的平均含量不到 0.5%，而且随时间、地点、气象条件不同有较大变化，在热带雨林地区，其体积分数可达 4%，甚至更高；而在沙漠干燥地区却小于 0.02%。在垂直下垫面方向上，高度越大，则水蒸气含量越少，如在 5km 的高度上，水蒸气含量仅为地面的 1/10。

1.1.3.3 悬浮颗粒物

悬浮颗粒物是低层大气的重要组成部分。大气中悬浮微粒粒径一般在 $10^{-4}\mu\text{m}$ 到几十微米之间。悬浮微粒包括固体微粒和水蒸气凝结成的水滴和冰晶。固体微粒可分为有机物和无机物两类，有机物主要有植物花粉、微生物和细菌等，无机物主要有岩石或土壤风化后的尘粒，燃烧后的灰尘等。悬浮颗粒物的存在可造成各种影响，如可削弱太阳辐射，降低大气能见度，对云、雾、降水的形成具有重要作用。

1.2 大气污染和大气污染物

1.2.1 大气污染的定义

地球上所有生物的新陈代谢活动都离不开大气，大气也是人类赖以生存的氧的惟一来源。然而，大气又是人类活动所排放出的各种污染物的稀释场所，由于大气的稀释作用，使得大气中污染物的浓度较低。但是大气的稀释作用并不是无限的，污染物在大气中的扩散也并不是均匀的，因而可能在局部区域甚至在较大范围内形成污染物浓度较高的现象，在持续时间内对各种生物和非生物产生有害的影响，这时便产生了大气污染。因此我们可以对大气污染作如下定义：

所谓大气污染系指由于人类活动或自然过程导致某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度，涉及一定的区域且存在了足够的时间，并因此而危害了人们的舒适、健康和福利或危害了环境。

所谓人类活动不仅包括各种生产活动，而且也包括各种生活活动，如做饭、取暖、交通等。自然过程，包括火山活动、山林火灾、土壤及岩石风化及空气运动等。一般而言，

由于自然环境所具有的物理、化学和生物机能（即自然环境的自净作用），会使自然过程造成的大气污染，经过一定时间后自动消除（即生态平衡自动恢复）。所以可以说，大气污染主要是人类活动造成的。

大气污染对人的舒适、健康的危害，包括对人的生理机能及人所处的正常生活环境的影响，引起急性病、慢性病以至死亡等。

大气污染按范围大小可分为四类：

一是局部区域大气污染，如某个企业烟囱排放烟尘所造成的污染；二是区域性大气污染，如工矿企业区附近或整个城市的大气污染；三是广域性大气污染，如大工业地带或城市群的污染；四是全球性大气污染，如温室效应、酸雨及臭氧洞等。

1.2.2 大气污染物

大气污染物系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。大气污染物的种类很多，按其存在状态可分为两大类，即气溶胶状态污染物和气体状态污染物。

1.2.2.1 气溶胶状态污染物

在大气污染中，气溶胶系指悬浮在大气中的固体粒子、液体粒子。从大气污染控制的角度，按照气溶胶的来源和物理性质，可将其分为如下几种：

(1) 粉尘

粉尘是指悬浮于空气中的固体颗粒，受重力作用可发生沉降，但在一定时间内能够保持悬浮状态，其粒径一般小于 $100\mu\text{m}$ （对于其中微小粉尘，如小于 $1\mu\text{m}$ 的粉尘则能长期悬浮于大气之中）。粉尘通常是通过固体物质的破碎、研磨、筛分等机械过程，粉状物质的搬运、加工过程及土壤、岩石的风化过程而形成的，其形状往往是不规则的。粉尘的种类很多，如矿物粉尘、金属粉尘、有机粉尘等，常见的粉尘有道路上的粘土粉尘、教室中的粉笔粉尘、生活中的煤粉尘、水泥粉尘等。

在大气污染控制中，通常根据大气中颗粒物的大小，将其分为飘尘、降尘和总悬浮微粒。

①飘尘：是指空气中粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的固体颗粒物。它能长期飘浮在空气中。

②降尘：是指空气中粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的固体颗粒物，由于重力作用，在很短的时间内即可沉降到地表。

③总悬浮微粒（TSP）：即总悬浮颗粒物，是指悬浮于空气中的粒径小于 $100\mu\text{m}$ 的所有固体颗粒物。

(2) 烟尘

烟尘是指冶金过程或燃烧过程中所形成的固体微粒。其粒径多在 $1\mu\text{m}$ 以下。如炼钢烟尘、燃煤烟尘等。

(3) 雾

空气中液体悬浮物总称为雾。气象学中特指造成能见度小于 1km 的小水滴悬浮体。液体蒸气的凝结过程、液体的雾化过程均可形成雾，如水雾、酸雾等。

(4) 化学烟雾

指某些物质经化学反应所形成的一类气溶胶。常见如：

①硫酸烟雾：指空气中的二氧化硫或其他硫化物在高温气象条件下，经化学作用所产生的烟雾，又称伦敦型化学烟雾。

②光化学烟雾：指空气中的氮氧化物与碳氢化合物（如汽车尾气、工业含氮氧化物和碳氢化合物的废气）经光化学作用而生成的二次污染物，又称洛杉矶型化学烟雾。

关于气溶胶颗粒的大小以及各类气溶胶的粒径范围，参见图 1-2。

1.2.2.2 气体状态污染物

气体状态污染物是指以分子状态存在的污染物，简称气态污染物。气态污染种类很多，主要有五大类，即含硫化合物、含氮化合物、碳氧化合物、碳氢化合物及卤素化合物等，如表 1-2 所示。

表 1-2

气体状态污染物种类

污染物	一次污染物	二次污染物
含硫化合物	SO ₂ 、H ₂ S	SO ₃ 、H ₂ SO ₄
含氮化合物	NO、NH ₃	NO ₂ 、HNO ₃
碳氧化合物	CO、CO ₂	
碳氢化合物	CH	醛、酮、过氧乙酰硝酸酯、O ₃
卤素化合物	HF HCl	

气态污染物还可分为一次污染物和二次污染物。一次污染物也称原发性污染物，是指从污染源直接排入空气中的原始污染物；二次污染物也称继发性污染物，是指一次污染物进入空气后经过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。在大气污染控制中受到普遍重视的一次污染物主要有硫氧化物 SO₂、氮氧化物 NO、碳氧化物 CO 等，二次污染物主要有 NO₂、硫酸雾和光化学烟雾等。

(1) 硫氧化物

SO₂ 是主要的硫氧化物，它是大气污染物中数量较大、影响范围广的一种气态污染物。大气中的 SO₂ 来源很广，几乎所有的工业企业都可能产生，但主要来自化石燃料的燃烧过程，硫酸厂、炼油厂等化工企业生产过程。

(2) 氮氧化物

氮和氧的化合物形态很多，一般用氮氧化物 (NO_x) 表示。造成大气污染的主要是 NO 和 NO₂，NO 进入大气后可缓慢地氧化成 NO₂。大气中存在 O₃ 等强氧化剂，或在催化剂作用下，其氧化速度加快。NO₂ 的毒性约为 NO 的 5 倍。NO₂ 参与光化学反应形成光化学烟雾后，其毒性更大。人类活动产生的 NO_x 主要来自各种炉窑和机动车船排气，其次是硝酸生产、硝化过程、炸药生产及金属表面处理等过程。其中燃料燃烧产生的氮氧化物约占 83%。

(3) 碳氧化物

CO 和 CO₂ 是各种大气污染物中发生量最大的一类污染物，主要来自燃料燃烧和机

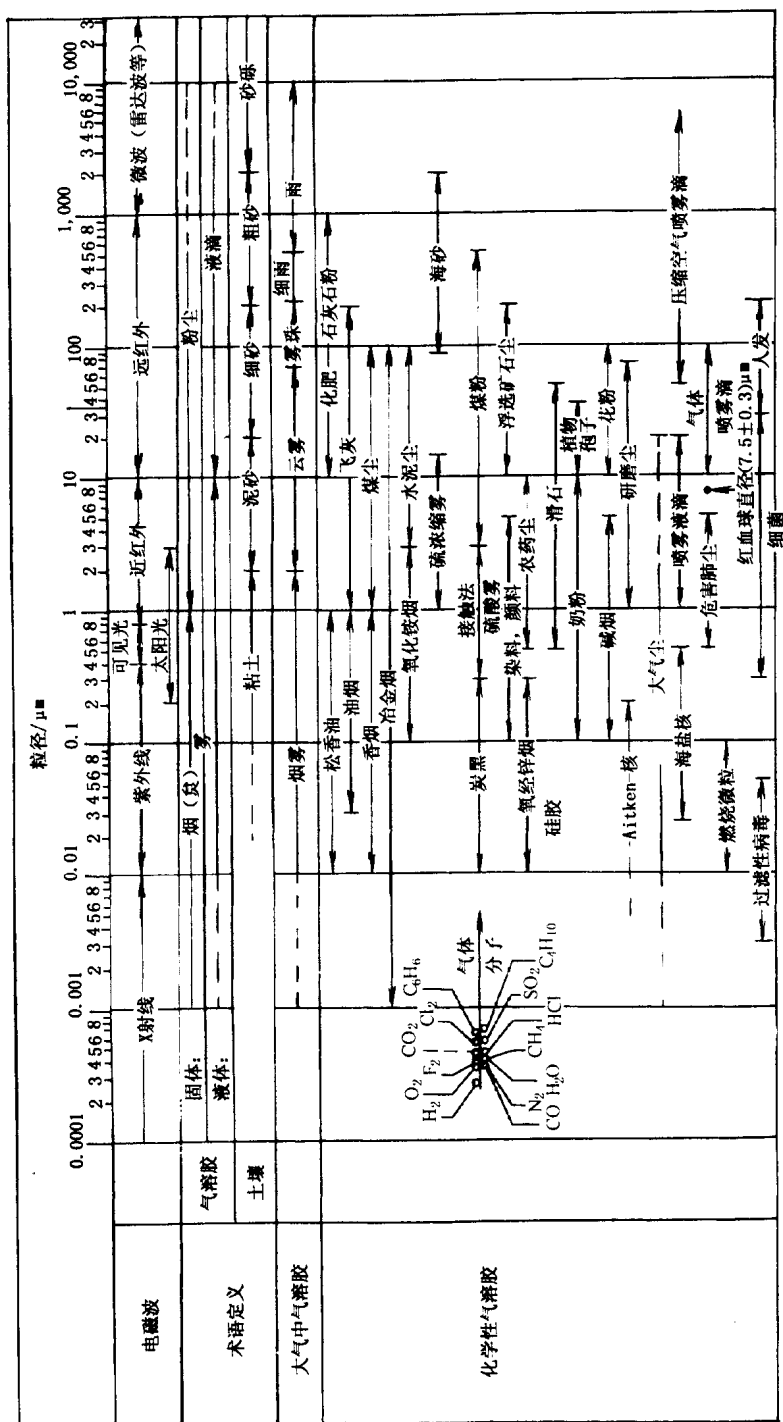


图 1-2 各类气溶胶的粒径范围

动车船排气。CO 是一种有毒气体，进入大气后，由于大气的扩散稀释和氧化作用，一般不会造成危害。但城市冬季采暖季节或交通繁忙的十字路口，在不利气象条件下，CO 浓度严重超标也是常有的。冬季居室内 CO 中毒事例屡见不鲜。

CO₂ 属无毒气体，但局部空气中浓度过高时，使氧气含量相对减少，也会对人产生不良影响。由于 CO₂ 浓度增加而产生的温室效应，已引起世界各国的密切关注。

(4) 碳氢化合物

碳氢化合物主要来自机动车船排气和燃料燃烧，以及炼油和有机化工企业等。除甲烷等直链碳氢化合物外，还有芳烃等复杂的有机化合物，多数有毒有害，有的甚至使人致癌、致畸，导致遗传因子变异。

(5) 硫酸烟雾

硫酸烟雾是大气中的 SO₂ 等硫氧化物在有水雾、含重金属的飘尘或氮氧化物存在时，经一系列化学或光化学反应而生成的硫酸雾或硫酸盐气溶胶。它引起的刺激作用和生理反应等危害比 SO₂ 大得多。

(6) 光化学烟雾

光化学烟雾是在阳光作用下，大气中的氮氧化物、碳氢化合物和氧化剂之间发生一系列光化学反应生成的蓝色烟雾（有的呈紫色或黄褐色）。其主要成分有臭氧、过氧乙酰硝酸酯、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。

1.2.3 大气污染物的危害

大气污染物不仅对人体健康有直接危害，而且对动植物生态系统、建筑物、器物也有很大影响。

1.2.3.1 大气污染物对人体健康的影响

- ①引起急性中毒，直至死亡。如一氧化碳中毒等。
- ②使慢性疾病恶化。如慢性支气管炎、支气管哮喘、肺气肿、肺病、肾脏病等病人在受污染的大气环境里病情会加重。
- ③引起身体机能障碍。如使肺气肿病人肺部气体交换量减少，产生血液循环障碍等。
- ④引起癌症。如城市居民肺癌、肝癌等发病率高于农村，就与城市的大气污染有关。苯并(a)芘是公认的强致癌物，其他芳烃等有机化合物也有不少具有致癌或致畸作用。
- ⑤引起其他症状，如刺激感官，导致呼吸困难，危害心、肺、肝、肾等内脏器官。

1.2.3.2 大气污染物对动植物的影响

二氧化硫、氟化物和光化学烟雾等能使植物叶子出现明显的伤害，使植物生理活动减退，生长缓慢，果实减少。城市工矿区排出的有害气体常使附近的农作物、蔬菜减产，使果树、森林、城市绿化树木受到损害。国内外有关因大气污染使农作物减产的例子并不鲜见。

对动物的影响主要是通过呼吸，引起牛羊等家畜生病；其次是饲料被污染的空气和水间接污染，从而影响到水和饲料的质量，危害家畜的正常生长。国内外大气污染事件中，猪、牛、鸡、狗生病或死亡的消息时有报道。

1.2.3.3 大气污染物对器物的危害

大气污染物对器物的危害有两类：一是大气污染物沾污器物表面；二是器物被沾污后，污染物与器物发生化学作用，使器物变质或腐蚀。如硫酸雾、盐酸雾、碱雾等沾污器物表面后造成严重腐蚀，光化学烟雾对橡胶制品的破坏作用等。大气污染物对金属材料 and 设备的腐蚀所造成的损失巨大。据不完全统计，纽约市一年有近 $600 \times 10^4 \text{t}$ 的金属损失于大气污染，特别应该指出的是许多艺术珍品也受到了大气污染的腐蚀和破坏。

1.3 大气污染概况

1.3.1 国外大气污染概况

国外大气污染始于 18 世纪下半叶。工业革命（公元 1750—1800）使生产力得以迅速发展，化石燃料逐渐成为主要能源，燃料燃烧等造成的大气污染日趋严重。工业发达国家的大气污染是和其现代化程度同步发生和发展的，大体上经历了三个阶段：

第一阶段：18 世纪末到 20 世纪中期，大气污染状况随着社会化大工业的发展而日益严重。此阶段的大气污染主要是由燃煤引起的所谓“煤烟型”污染，主要污染物是烟尘和二氧化硫。到了这一阶段后期，人们已开始认识到烟尘的危害，并开始采取消烟除尘等技术措施。但大气污染程度有增无减。

第二阶段：主要是 20 世纪 50 年代至 60 年代。各工业发达国家迫于人们反公害斗争的压力而投入很大精力进行烟尘治理，效果显著，烟尘及二氧化硫排放量大为减少。但由于石油类燃料使用量急剧增长，汽车数量激增，所呈现出的所谓“石油型”大气污染仍在不断恶化。这一阶段的大气污染，已不再局限于城市和工矿区，而是呈现出广域污染的特点。飘尘、重金属、 SO_2 、 NO_x 、CO 和 CH 等污染物已普遍存在，大气污染的危害已不是由某一种污染物所构成，而是多种污染物共同作用的结果，即所谓“复合污染”。教训深刻的英国“伦敦烟雾”、美国的“多诺拉烟雾”及日本的“四日市气喘病”等污染事件都是大气中的 SO_2 与飘尘中的重金属等共同作用的结果，即所谓的硫酸烟雾污染；美国的洛杉矶烟雾，则是汽车尾气引起的光化学烟雾污染事件。硫酸烟雾和光化学烟雾均属二次污染物，其危害比一次污染物更大。

第三阶段：20 世纪 70 年代至今。环境保护意识已深入人心，环境保护与可持续发展的研讨便是证明。一些发达国家更加重视环境保护，花费了大量的人力、物力和财力，经过严格控制和综合治理，环境污染基本得到控制，环境质量有所改善。但微粒控制仍不能令人满意，同时由于汽车数量仍在大幅增加，CO、 NO_x 、CH 和光化学烟雾等仍很严重，且不易解决，大气污染的范围也在不断扩大，出现了全球性的大气环境问题，如酸雨、温室效应及臭氧层破坏等。

1.3.2 我国的大气污染概况

我国的大气污染状况在世界上属于少数最严重的国家之一。1980 年前后曾达到相当严重的程度，部分工业城市大气中烟尘含量和某些有害气体浓度超过标准几倍，甚至几

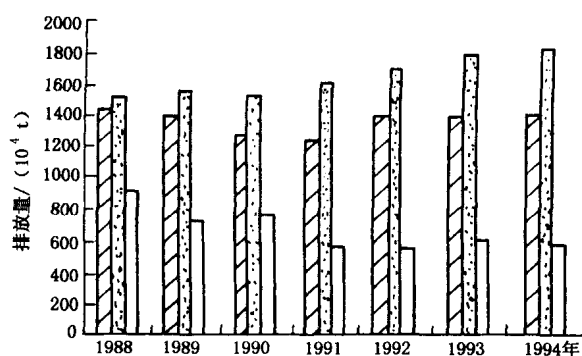


图 1-3 1988~1994 年全国废气中主要污染物
排放情况 (不含乡镇工业)

▨ 烟尘 ▩ SO₂ □ 粉尘

19825×10⁴t, 工业粉尘排放量 583×10⁴t。全国城市大气中总悬浮微粒年日均值范围为 0.089~0.849mg/m³, 其中北方城市平均 0.407mg/m³, 南方城市 0.250mg/m³。表 1-5 列出了 1995 年中国部分城市大气监测结果。

表 1-3

1981 年我国部分城市大气监测结果

单位: mg/m³

污染物	地 区	质量浓度范围	年日平均质量浓度	超标城市数/%	标准质量浓度
TSP	北 方	0.37~2.77	0.93	100	0.30
	南 方	0.16~0.85	0.41	71.4	
SO ₂	北 方	0.02~0.38	0.12	30.0	0.15
	南 方	0.02~0.45	0.11	19.2	
NO _x	北 方	0.02~0.09	0.06	0	0.10
	南 方	0.01~0.08	0.04	0	

表 1-4

我国部分城市的降尘量

单位: t/(km²·月)

地 区 年	北京	西安	沈阳	鞍钢厂区	本钢厂区	北方城市	南方城市
(1978) 1981	(30.0)	(29.2)	(50.6)	(534)	(900)	50.7	18.8
1995	19.0	27.1	26.5	51.9		24.7	10.2

表 1-5

1995 年我国部分城市大气监测结果

单位: mg/m³

污染物	地 区	质量浓度范围	年日平均质量浓度	超标城市数/%	标准质量浓度
TSP	北 方	0.149~0.732	0.392	79.1	0.30
	南 方	0.055~0.543	0.242	25.0	
SO ₂	北 方	0.005~0.211	0.081	11.4	0.15
	南 方	0.002~0.424	0.080	9.1	
NO _x	北 方	0.017~0.123	0.053	4.5	0.10
	南 方	0.012~0.129	0.041	2.3	

百倍 (见表 1-3 和表 1-4)。20 世纪 80 年代以来随着我国环保机构的完善, 环境保护管理工作的加强, 大气污染恶化的趋势有所减缓。在 1995 年国民生产总值比 1980 年翻两番的情况下, 大气污染物并没有成倍增加, 1994 年与 1988 年相比, SO₂ 排放量稍有增加, 烟尘排放量基本上没有变化, 粉尘排放量则有所减少 (见图 1-3)。1994 年, 全国废气排放量 V_e 为 11.4×10¹²m³ (不含乡镇工业, 下同)。废气中烟尘排放量 1 414×10⁴t, 二氧化硫排放量