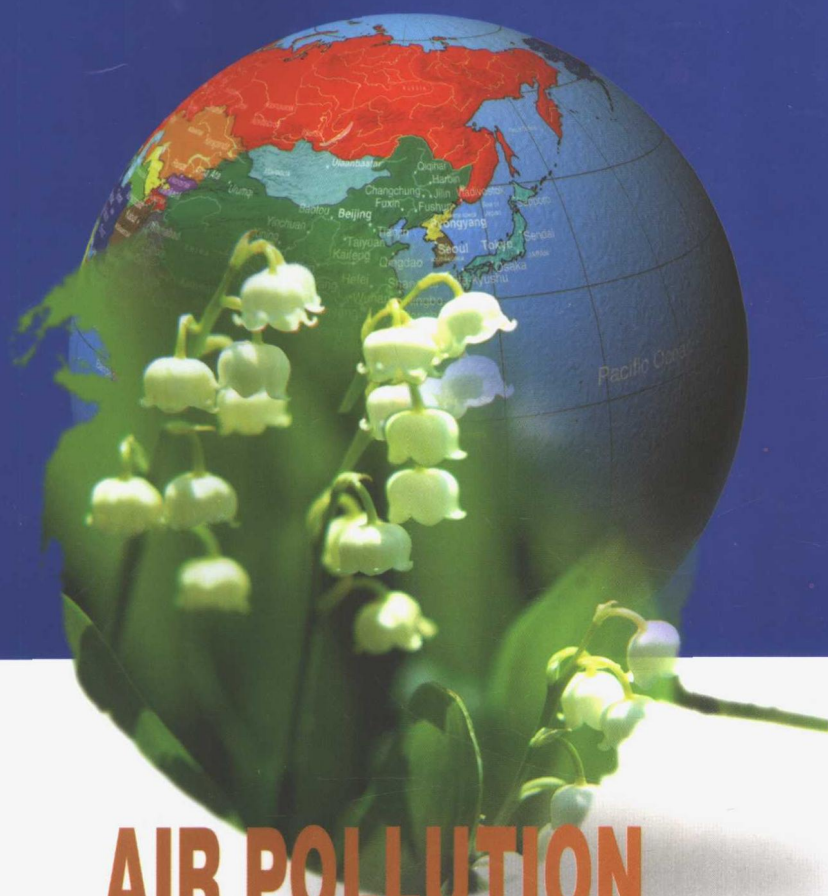


大气污染控制工程

蒋文举 宁平 主编



**AIR POLLUTION
CONTROL ENGINEERING**



四川大学出版社

责任编辑:周树琴
责任校对:余 蓉
封面设计:罗 光
责任印制:李 平

内容简介

本书主要介绍大气污染控制的基本理论、颗粒污染物控制、气态污染物控制、污染物稀释法控制以及废气净化系统等内容。本书从大气污染控制的机理出发,分析各种污染控制过程,优选各种控制方法,指导设备设计,着重工程应用,使读者能了解各种控制过程的内在联系,有效地掌握和灵活地应用各种理论知识去解决实际工作中的大气污染问题。每章都列有例题、习题。

本书可作为高等院校环境工程专业及相关专业的本科生及研究生的教材或参考书,亦可供环境保护、环境监测、环境规划与管理等有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制工程/蒋文举,宁平主编. —成都:四川大学出版社,2001.9

ISBN 7-5614-2201-6

I. 大... II. ①蒋... ②宁... 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 061518 号

书名 大气污染控制工程

作者 蒋文举 宁平主编
出版 四川大学出版社
地址 成都市一环路南一段24号(610065)
印刷 华西医科大学印刷厂
发行 新华书店经销
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 19.75
字数 470千字
版次 2001年10月第1版
印次 2001年10月第1次印刷
印数 0001~4000册
定价 28.50元

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。电话:5412526/5414115/5412212 邮政编码:610064

◆本社图书如有印装质量问题,请寄回印刷厂调换。

版权所有◆侵权必究

前 言

“大气污染控制工程”是高等院校环境工程专业的一门主干课程。为了适应我国环保事业的发展和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，其内容可供80~100学时教学使用。

全书共15章。第1~3章是基本理论，包括概论、燃烧与大气污染、大气污染控制基础知识；第4~7章是颗粒污染物控制，包括机械式除尘器（重力、惯性、旋风和旋流除尘器）、电除尘器、过滤式除尘器、湿式除尘器；第8~13章是气态污染物控制，包括吸收法、吸附法、催化法、生物法、等离子法、燃烧法、冷凝法、膜分离法、电化学法等；第14章是污染物的稀释法控制，主要包括大气扩散和烟囱设计；第15章是废气净化系统，包括集气罩、管道系统、风机和泵以及净化系统的施工、设计与运转管理等。为了帮助读者牢固掌握基本内容和扩大知识范围，每章编有习题。

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。

本书由蒋文举、宁平主编，四川大学朱联锡教授主审。参加编写的有：四川大学蒋文举（第3.1~3.3、10、11、14章），尹华强（第3.4~3.6、8、13章），苏仕军（第2章）；昆明理工大学宁平（第1、5、9章）；西南科技大学薛勇（第4、6章）；西南交通大学王文勇（第7章、15章）；中国工程物理研究院环保中心赵君科（第12章）。

编写本书时参阅并引用了国内外的有关文献资料，并得到上述单位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。

编 者

2001年4月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 大气的结构及组成	(1)
1.2 大气污染和大气污染物	(3)
1.3 防治大气污染的法规和标准	(11)
第 2 章 燃烧与大气污染	(15)
2.1 能源与燃料	(15)
2.2 燃料的燃烧	(19)
2.3 燃烧过程污染物排放量计算	(22)
2.4 燃烧过程中硫氧化物的形成与控制	(24)
2.5 燃烧过程氮氧化物的形成与控制	(25)
2.6 燃烧过程中颗粒污染物的形成与控制	(27)
2.7 燃烧过程其它污染物的形成与控制	(29)
第 3 章 大气污染控制的基础知识	(32)
3.1 气体的物理性质	(32)
3.2 物料衡算与能量衡算	(35)
3.3 颗粒粒径及粒径分布	(40)
3.4 粉体颗粒的物理性质	(46)
3.5 气体中的颗粒动力学	(48)
3.6 净化装置的性能	(52)
第 4 章 机械式除尘器	(58)
4.1 重力沉降室	(58)
4.2 惯性力除尘器	(62)
4.3 旋风除尘器	(63)
4.4 旋流除尘器	(77)
第 5 章 电除尘器	(79)
5.1 概述	(79)
5.2 电晕放电	(81)
5.3 粒子荷电	(83)
5.4 粒子的捕集	(87)
5.5 电除尘器的结构	(90)
5.6 电除尘器的设计和选型	(95)

第 6 章 过滤式除尘器	(99)
6.1 袋式除尘器的除尘过程及机理	(99)
6.2 袋式除尘器的性能	(101)
6.3 袋式除尘器的结构	(105)
6.4 袋式除尘器的设计	(111)
6.5 颗粒层除尘器	(114)
第 7 章 湿式除尘器	(118)
7.1 湿式除尘原理	(118)
7.2 雾化接触型洗涤器	(122)
7.3 液膜接触型洗涤器	(129)
7.4 鼓泡接触型洗涤器	(132)
7.5 湿式除尘器的设计举例	(134)
第 8 章 吸收法净化气态污染物	(138)
8.1 吸收平衡	(138)
8.2 吸收速率	(142)
8.3 吸收设备与设计	(150)
8.4 吸收净化法的应用	(158)
第 9 章 吸附法净化气态污染物	(162)
9.1 吸附及吸附剂	(162)
9.2 吸附平衡与吸附速率	(165)
9.3 吸附装置及工艺	(170)
9.4 固定床吸附过程的计算	(172)
9.5 吸附剂再生	(181)
9.6 吸附净化法的应用	(182)
第 10 章 催化法净化气态污染物	(187)
10.1 催化作用和催化剂	(187)
10.2 气固相催化反应过程及动力学方程	(189)
10.3 催化反应器及其设计	(194)
10.4 影响催化转化的因素	(200)
10.5 催化转化法的应用	(201)
第 11 章 生物法净化气态污染物	(205)
11.1 废气生物处理原理	(205)
11.2 生物降解动力学方程	(208)
11.3 废气的生物处理方法和装置	(211)
11.4 生物净化法的应用	(216)
第 12 章 等离子体法净化气态污染物	(220)
12.1 等离子体净化气态污染物的基本原理	(220)
12.2 电子束辐照烟气脱硫脱硝技术	(223)

12.3	脉冲电晕放电烟气脱硫脱硝技术	(226)
12.4	等离子体法处理易挥发性有机废气	(230)
第 13 章	气态污染物的其它净化法	(231)
13.1	燃烧法	(231)
13.2	冷凝法	(238)
13.3	膜分离法	(242)
13.4	电化学法	(248)
第 14 章	污染物的稀释法控制	(251)
14.1	影响大气污染的气象因子	(251)
14.2	烟气的抬升高度	(260)
14.3	污染物落地浓度	(263)
14.4	烟囱计算	(272)
第 15 章	废气净化系统	(277)
15.1	废气净化系统的组成及设计内容	(277)
15.2	集气罩设计	(278)
15.3	管道系统的设计	(286)
15.4	风机和泵的选择	(295)
15.5	净化系统的施工安装和运转管理	(296)
参考文献	(298)

第1章 概 论

1.1. 大气的结构及组成

1.1.1 大气圈及其结构

大气是自然环境的重要组成部分，是人类赖以生存的必不可少的物质。在自然地理学上，把由于地心引力而随地球旋转的大气层称之为大气圈，其厚度大约为10 000km。离地面越远，空气越稀薄，到地表上空1 400km以外的区域已非常稀薄，因此，从污染气象学研究的角度的来讲，大气圈是指从地球表面到(1 000~1 400)km的范围。大气圈的总质量大约为 6×10^{15} t，约为地球质量的百万分之一。

大气的密度、温度和组成随高度的不同而不同，呈现层状结构。例如，根据气温在垂直方向的变化情况，将大气圈分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层五层。如图1-1所示。

1. 对流层

对流层是大气圈中最接近地面的一层，对流层顶高度随着纬度和季节的变化而变化。在赤道低纬度区为(16~18)km，在两极地附近的高纬度地区为(6~10)km。暖季比冷季要高。对流层的平均厚度约为12km。这一层的特点是：

(1) 由于地球表面大陆和海洋分布不均匀，再加上不同纬度接收的太阳辐射不同以及

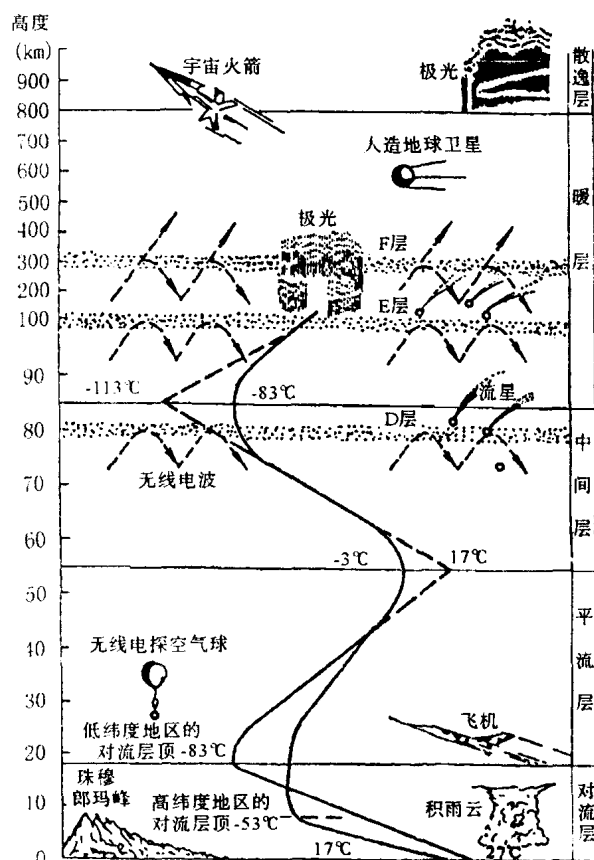


图 1-1 大气圈层的结构

地形的差别，因而在对流层中，特别是在下层中存在着大气在垂直和水平方向的对流，空气发生强烈的混合。

(2) 空气质量约占大气层总质量的 3/4，并且还含有一定量的水蒸气，对人和动植物的生存起着重要的作用。

(3) 云、雾、雨、雪和雷电等天气现象都在这一层发生。污染物的迁移扩散和转化也主要是在这一层进行，特别是在离地 (1~2) km 的近地层。因此，对流层是对人类生产、生活影响最大的一层。

(4) 气温随高度的增加而下降，一般情况下，平均每升高 100m 下降 0.65℃。

2. 平流层

平流层位于对流层上面，层顶距地面约 (50~55) km。此层根据温度的不同又可分为两层，从对流层顶到 (30~35) km，气温几乎不随高度而变化，称为同温层。而同温层上部气温则随高度的增加而迅速增高，这是因为在这一层存在一厚度约为 20km 的臭氧层，依靠臭氧层强烈吸收太阳紫外线 [波长为 (200~300) nm] 使气温增高。在平流层中，大气多是处于平流流动，因此，不利于进入平流层的污染物扩散，致使污染物在此层停留时间较长，甚至可达数年之久。并且进入平流层的污染物如氮氧化物、氟化氢及氟利昂有机致冷剂等还能与臭氧发生光化学反应，致使臭氧浓度降低，严重时产生“臭氧空洞”，太阳辐射直接穿过“臭氧空洞”，造成地球表面的紫外线增强，就会导致更多的人患皮肤癌，对人类生态系统造成极大的威胁。所以，保护臭氧层是当今世界面临的紧迫任务之一。

3. 中间层

中间层位于平流层的上面，层顶距地面约 (80~85) km。此层有强烈的垂直对流运动，又没有臭氧吸收太阳紫外线，因而，在这一层气温随高度增加而迅速下降，层顶温度可降至 -83℃ ~ -113℃。

4. 暖层

暖层位于中间层上部，层顶距地面约 800km。此层下部基本由分子氮组成，上部由原子氧组成。原子氧层可吸收太阳辐射的紫外光，因而该层气体温度随高度增加而迅速上升。暖层中的大量气体分子在太阳光和宇宙射线的作用下被电离，所以暖层又称电离层。电离层能反射电磁波，对远距离通讯有很重要的作用。

5. 散逸层

散逸层是大气圈的最外层，层顶不明确。该层空气更加稀薄，距离地面越远，气温越高，气体电离度越大，气体离子可散逸到宇宙空间。

又如：根据大气中氮气和氧气的组成比例是否有变化，将大气圈分为均质层和非均质层。从地球表面到大约 (80~85) km 高度处，其氮气和氧气的组成比例几乎没有变化，这一层称为均质层；其上的大气层，气体组成随高度而变化，称为非均质层。

1.1.2 大气成分

大气是多种成分的混合物，其中氮、氧、氩及微量氖、氦、氪、氙、氡等稀有气体的含量在地球表面几乎是不变的，为恒定组分，氮、氧两种气体所占的比例达到 99.83%。

大气中的二氧化碳和水蒸气由于受到地区、季节、气象以及人们生活、生产活动的影响而发生变化，为可变组分。通常，二氧化碳的含量在 0.02%~0.04%，水蒸气的含量小于 4%。此外，由于火山爆发、森林火灾等自然现象和人为因素将造成大气某种成分（不定组分）的增加或增多。

由恒定组分及可变组分所组成的大气，叫做洁净大气。不含水蒸气的洁净大气称为干洁空气，其组成如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 干洁空气的平均成分

气体名称	分子量	体积百分比(%)	重量百分比(%)
氮	28.016	78.09	75.55
氧	32.000	20.95	23.13
氩	39.944	0.93	1.27
二氧化碳	44.010	0.03	0.05
合计		100	100

表 1-2 干洁空气中微量气体的平均成分

气体名称	分子量	体积浓度(mL/m ³)	重量浓度(mg/kg)
氟	20.183	18	12.9
氦	4.003	5.2	0.74
甲烷	16.04	2.2	1.3
氖	83.80	1	3.0
一氧化二氮	44.01	1	1.6
氢	2.016	0.5	0.03
氙	131.30	0.08	0.37
臭氧	48.00	0.01	0.02
氡	222	0.6×10^{-12}	
合计		27.99	19.96

1.2 大气污染和大气污染物

1.2.1 大气污染

1. 大气污染

大气污染是指由于人类活动而排放到空气中的有害气体和颗粒物，累积到超过大气自净化过程（稀释、转化、洗净、沉降等作用）所能降低的程度，在一定的持续时间内有

害于生物及非生物。按照国际标准组织（ISO）的定义，大气污染是指由于人类活动和自然过程引起某种物质进入大气中，呈现出足够的浓度，达到足够的时间，并因此而危害了人体的舒适、健康和福利或危害了环境的现象。

大气污染的来源主要有两方面。一方面是自然界的自然现象引起的，此类污染一般依靠大气自净作用，最终可形成平衡；另一方面是由于人类的生产、生活活动引起的，此类污染的特点是集中、持续、排放量大，常超过了环境的自净作用，有时甚至是不可逆转的。

2. 大气污染分类

大气污染按影响范围分为局域性污染、地区性污染、广域性污染和全球性污染；按污染物特征分为煤烟型污染、石油型污染、混合型污染和特殊性污染；按放射性特性分为放射性污染和物理化学污染。

3. 大气污染源分类

大气污染源是指向大气中排放各种污染物的生活或生产过程、设备、场所等。常用的分类方法有以下几种。

按源的形态分为固定源（工厂烟囱）和移动源（飞机、轮船、火车等）；按源的几何形状分为点源（烟囱）、线源（公路，一排烟囱）和面源（居民区、车间无组织排放）；按源离地高度分为高架源（排气筒有一定高度）和地面源（直接从地面排放）；按源排放时间分为连续源（连续排放）和间断源（间歇排放）等。

1.2.2 大气污染物

大气污染物按其存在状态一般分为气态污染物和颗粒物。颗粒物与气体行为类似，所以又称为气溶胶。大气污染物粗略的估计有百余种，表 1-3 分类列举燃烧产生的大气污染物，表 1-4 列举了空气中主要的碳氢化合物，表 1-5 列举了有关的气态有机物。在我国《大气污染物综合排放标准》中列入的就有 33 项：二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、氯化氢、铬酸雾、硫酸雾、氟化物、氯气、铅及其化合物、汞及其化合物、镉及其化合物、铍及其化合物、镍及其化合物、锡及其化合物、苯、甲苯、二甲苯、酚类、甲醛、乙醛、丙烯腈、丙烯醛、氰化氢、甲醇、苯胺类、氯苯类、硝基苯类、氯乙烯、苯并（a）芘、光气、沥青烟、石棉尘、非甲烷总烃。

表 1-3 大气污染物

	物理性质	浓度水平	人为来源	天然来源
SO ₂	无色，带刺激性臭味的气体；浓度在(0.3~1)mL/m ³ 时，可用味觉检测；在水中易溶(293K下为 10.5 g/100cm ³)	全球本底浓度在(0.04 ~ 6) × 10 ⁻³ mL/m ³ 之间，市区时平均最大浓度偶尔会超过 1mL/m ³	固定源的燃料燃烧；工业过程的排放；金属和石油的炼制	有机硫化物的大气氧化

续表 1-3

	物理性质	浓度水平	人为来源	天然来源
H ₂ S	无色,可燃性气体;剧毒;有明显的臭鸡蛋气味	全球本底值大约 $3\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;观察到的市区最大浓度为 $390\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	牛皮纸浆厂;天然气和石油炼制;人造纤维和尼龙的制造;炼焦炉	生物腐烂过程;火山和地热行为
NO	无色、无味气体;不易燃烧,在水中微溶;有毒	全球本底值在 $(10\sim 100)\times 10^{-6}\text{mL}/\text{m}^3$ 间;观察到的市区最大浓度为 $0.5\text{mL}/\text{m}^3$	燃烧	细菌作用;天然燃烧过程;照明
NO ₂	带明显刺激性气味的红棕色气体;有毒、易腐蚀性;能吸收许多可见光谱中的光	全球本底值在 $(10\sim 500)\times 10^{-6}\text{mL}/\text{m}^3$ 间;观察到的市区最大浓度为 $0.5\text{mL}/\text{m}^3$	燃烧	
NH ₃	带刺激性气味的无色气体;在浓度超过 $500\text{mL}/\text{m}^3$ 时能检测;在水中易溶	全球本底值为 $1\times 10^{-3}\text{mL}/\text{m}^3$;市区浓度 $5\times 10^{-3}\text{mL}/\text{m}^3$ 范围之内	燃烧	在有机废物中氨基酸的细菌分解
CO ₂	无色、无味、无毒气体,在水中的溶解度适中	全球本底浓度从1900年的 $290\text{mL}/\text{m}^3$ 增加到1985年的 $345\text{mL}/\text{m}^3$	矿物燃料的燃烧	
CO	无色、无味、可燃的有毒气体,在水中微溶	全球平均浓度为 $0.09\text{mL}/\text{m}^3$;北半球的浓度大约是南半球的两倍;在交通繁忙的公路附近,市区值超过 $100\text{mL}/\text{m}^3$	矿物燃料的燃烧	甲烷和其它生物烃的大气氧化
O ₃	无色、有毒气体,在水中微溶	全球本底浓度在 $(20\sim 60)\times 10^{-3}\text{mL}/\text{m}^3$ 之间;受污染市区值在 $(100\sim 500)\times 10^{-3}\text{mL}/\text{m}^3$ 之间	没有最初来源;在涉及碳氢化合物和氮的氧化物的大气反应中形成的二次污染物	天然对流层的化学物质;从平流层输送到对流层
非甲烷烃类		全球本底浓度在 $(10\sim 20)\times 10^{-3}\text{mL}/\text{m}^3$ 之间;受污染市区值在 $(500\sim 1200)\times 10^{-3}\text{mL}/\text{m}^3$ 之间	不完全燃烧;工业源	植被

表 1-4 空气中主要的碳氢化合物

碳的数目	化合物	碳的数目	化合物
1	甲烷		2,3-二甲基丁烷
2	乙烷 乙醇 乙炔		
3	丙烷 丙醇 丙酮 甲基乙炔		顺-2-己烯 逆-2-己烯 顺-3-己烯 逆-3-己烯 2-甲基-1-戊烯 4-甲基-1-戊烯 4-甲基-2-戊烯 苯 环己烷 甲基环戊烷
4	丁烷 异丁烷 1-丁烯 顺-2-丁烯 逆-2-丁烯 异丁烯 1,3-丁二烯		
5	戊烷 异戊烷 1-戊烯 顺-2-戊烯 逆-2-戊烯 2-甲基-1-丁烯 2-甲基-1,3-丁二烯 环戊烷 环戊烯 异戊二烯	8	2,2,4-三甲基戊烷 乙苯 对-二甲苯 间-二甲苯 邻-二甲苯
		9	间-乙基甲苯 邻-乙基甲苯 1,2,4-三甲基苯 1,3,5-三甲基苯
6	己烷 2-甲基戊烷 3-甲基戊烷 2,2-二甲基丁烷	10	次-丁苯 α -蒎烯 β -蒎烯 3-蒎烯 丁烯

对气态污染物，又可分为一次污染物和二次污染物。若大气污染物是从污染源直接排放的原始物质，则称为一次污染物。若是由一次污染物与大气中原有成分或几种一次污染物之间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，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和光化学烟雾等。硫酸烟雾是由大气中的二氧化硫等硫化物，在有水雾、含有重金属的飘尘或氮氧化物存在时，发生一系列化学或光化学反应而生成的硫酸雾或硫酸盐气溶胶。光化学烟雾是由大气中氮氧化物、碳氢化合物与氧化剂之间在阳光照射下发生一系列光化学反应所生成的蓝色烟雾（有时带紫色或黄褐色），其主要成分有臭氧、过氧乙酰基硝酸酯（PAN）、酮类及醛类。

表 1-5 气态有机污染物

化学名称	化学式	毒性	平均浓度 ($\times 10^{-3} \text{mL/m}^3$)
卤甲烷			
甲基氯	CH_3Cl	BM	788
甲基溴	CH_3Br	BM	141
甲基碘	CH_3I	SC, BM	2.7
二氯甲烷	CH_2Cl_2	BM	978
氯仿	CHCl_3	SC, BM	346
四氯化碳	CCl_4	SC, BM	221
卤乙烷和卤丙烷			
乙基氯	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	—	100
1,2-二氯乙烷	$\text{CH}_2\text{ClCH}_2\text{Cl}$	SC, BM	558
1,2-二溴乙烷	$\text{CH}_2\text{BrCH}_2\text{Br}$	SC	32
1,1,1-三氯乙烷	CH_3CCl_3	弱 BM	512
1,1,2-三氯乙烷	$\text{CH}_2\text{ClCHCl}_2$	SC, NBM	29
1,1,2,2-四氯乙烷	$\text{CHCl}_2\text{CHCl}_2$	SC, BM	10
1,2-2 氯丙烷	$\text{CH}_2\text{ClCHClCH}_3$	BM	60
氯烷			
亚乙烯氯	$\text{CH}_2 = \text{CCl}_2$	SC, BM	19
三氯乙烯	$\text{CHCl} = \text{CCl}_2$	SC, BM	143
四氯乙烯	$\text{CCl}_2 = \text{CCl}_2$	SC	401
烯丙基氯	$\text{ClCH}_2\text{CH} = \text{CH}_2$	SC	< 5
六氯-1,3-丁二烯	$\text{Cl}_2\text{C} = \text{CCl} - \text{CCl} = \text{CCl}_2$	BM	5
含氯芳烃			
单氯苯	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	—	280
α -氯甲苯	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$	BM	< 5
对-二氯苯	$o\text{-C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	—	12
间-二氯苯	$m\text{-C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	—	6
1,2,4-三氯苯	$1,2,4\text{-C}_6\text{H}_3\text{Cl}_3$	—	5
芳香烃			
苯	C_6H_6	SC	3 883
含氧含氮物			
甲醛	HCHO	SC, BM	14 200
光气	COCl_2	—	< 20
硝酸过氧化乙酸	$\text{CH}_3\text{COOONO}_2$	植物毒性	589
过氧丙酰硝酸酯	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOONO}_2$	植物毒性	103
丙烯腈	$\text{CH}\equiv\text{CN}$	SC	

注: BM: 基于阿米沙门氏菌诱变试验(细菌诱变剂)测得的正诱变作用; NBM: 在阿米沙门氏菌诱变试验中未发现诱变(非细菌诱变剂); SC: 拟似致癌物。

近几年来, 我国的大气污染仍然以煤烟型为主, 主要污染物为总悬浮颗粒物和二氧化硫。少数特大城市属煤烟与汽车尾气污染并重类型。

1. 硫氧化物

硫氧化物主要是指二氧化硫 (SO₂) 和三氧化硫 (SO₃)。SO₂ 来自于燃料中硫的氧化及使用含硫化合物的工业生产。硫氧化物主要以 SO₂ 的形式排放, 少量以气态硫酸盐 M(SO₄)_n 和 H₂SO₄ 的形式排放, 以 SO₂ 形式排放的硫氧化物占 90% 以上, 其余占 10%。煤一直被认为是最大的 SO₂ 源, 从电力设施中排放的 SO₂ 占 SO₂ 总量的一半以上。

SO₂ 参与硫酸烟雾和酸雨的形成, 腐蚀性较大, 致使许多材料受到破坏, 缩短其使用寿命。并且损害植物叶片, 影响植物生长, 刺激人的呼吸系统, 是引起肺气肿和支气管炎发病的病因之一。

SO₂ 排放量的持续增加使全球酸雨发展迅速, 在北欧、美国东北部和我国南部雨水酸化变得尤为突出。我国酸性降水中硫酸根与硝酸根的当量浓度比大约为 64:1, 这种硫酸型酸雨表明大量 SO₂ 排放是降水酸化的主要原因。1997 年, 全国酸雨区面积已达国土面积的 40%。酸雨也是当今世界所面临的亟待解决的重要环境问题之一。

2. 总悬浮颗粒物

总悬浮颗粒物是指能悬浮在空气中, 空气动力学当量直径 $d \leq 100\mu\text{m}$ 的颗粒物。颗粒物主要来源于燃料的燃烧和工业过程。燃料燃烧时将灰分以颗粒物形式 (烟尘) 释放出来, 其产生量与燃料中的灰分含量有关。颗粒物的主要工业产生源包括金属矿物加工、石油和化工等。冶金工业包括钢铁、铜、铅、锌以及铝的生产等, 钢铁是冶金工业中最重要的排放源, 钢铁工业包括炼焦、炼钢和炼铁。硫在加工过程中少量转化为颗粒态的硫酸盐。矿物加工过程产生的颗粒物主要来自水泥、沥青、石灰、玻璃、石膏、制砖工业等。表 1-6 列举了部分颗粒物的物理和化学性质。

表 1-6 部分颗粒物的物理和化学性质

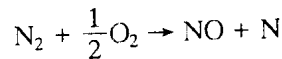
污染源种类	颗粒大小 (%)			化学主要元素 和化合物	组成微量元素 (质量 < 1%)	
	15 μm	2.5 μm	1.0 μm			
燃料燃烧						
公用事业	煤	15~90	5~70	1~15	Al, Ca, Fe, Si, 硫酸盐, 有机物	As, B, Ba, Be, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, F, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Se, Ti, V, Zn, Zr
	油	95	70~95	5~20	Al, Ca, Fe, Mg, Na, 硫酸盐, 有机物	As, Ba, Br, Co, Cr, Cu, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V
工业	油	—	—	65~95	Al, Fe, Mg, Si, 硫酸盐, 有机物	As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, K, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Ti, V, Zn
	气	—	—	100	Cl, Na, 硫酸盐, 有机物	—
商业/社团/居民	油	—	—	—	Al, Ca, Mg, Zn, 有机物	As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, K, Ni, Pb, Sb, C
	气	—	—	100	Cl, Na, 硫酸盐, 有机物	—
工业加工						

续表 1-6

污染源种类		颗粒大小(%)			化学主要元素 和化合物	组成微量元素 (质量<1%)
		15 μ m	2.5 μ m	1.0 μ m		
金属	钢铁	—	35~99	30~95	Al, C, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Pb, Si, Zn, 硫酸盐, 有机物	Ag, As, Br, Cd, Cs, Cu, F, I, Mo, Ni, Rb, Se, Sn, V, Zr
	原铝	90	75	35~45	Al, C, Ca, F, Fe, Na	—
	原铜	—	20~95	70	Cu, Pb, S, Zn	Ag, Al, As, Cd, Hg, Sb, Se, Si, Te
	原铅	—	80	—	Pb, Zn	As, Cd, Se, Te
	原锌	—	90~98	—	Cd, Fe, Pb, S, Zn	Cu, Hg, Mn, Sn
	铸铁	70~95	65~90	65	—	—
矿物产品	水泥	80	30	5~30	Al, C, Ca, Cl, K, Mg, Na, Si, 碳酸盐, 硫酸盐	Ag, Ba, Cd, Cr, Cu, F, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Ti, Zn
	石膏	—	—	20	Al, C, Ca, Mg, Na, 硫酸盐	As, Ba, Br, Cd, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Y, Zn
	沥青	10~15	1~2	<1/2	Al, C, Ca, Fe, K, Mg, Si, 硫酸盐	Ag, As, Ba, Cr, Ti
	石灰	—	25~50	5	Ca, Fe, Mg, Se, Si, 碳酸盐	—
	粉碎岩石	—	—	1~2	Ca, Si, P	Ba, Cu, Fe, K, Mn, Sr
	石油	—	—	50~90	沥青, 焦炭渣, 硫酸雾, 飞尘, 烟尘	—
化学制品	硫酸	—	40~95	10~55	硫酸雾	—
固体废物处理						
	焚烧炉	45	35	—	—	—
其它						
	谷物加工	15	1	0	有机物	—
	纸浆和纸张	90~95	70~80	—	碳酸盐, 硫酸盐	—

3. 氮氧化物

氮氧化物 (NO_x) 是 NO , NO_2 , N_2O , NO_3 , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 等的总称。造成大气污染的 NO_x 主要是指 NO 和 NO_2 。 NO 是燃烧过程的主要副产物, 主要来源于煤、油等燃料中 N 的氧化, 以及燃烧时高温下空气中的 N_2 和 O_2 的反应。其主要反应过程如下:



大气中的 NO_x 几乎一半以上来自化石燃料的燃烧过程、硝酸或使用硝酸等的生产过

程。一般城市大气中 NO_x 2/3 来自汽车等流动源的排放, 1/3 来自固定源的排放。燃烧产生的 NO_x 主要是 NO , 只有很少一部分被氧化成 NO_2 。

表 1-7 给出了不同类型的污染源排放出的 NO 和 NO_x 比率。可以看出, 尽管 NO 是主要的 NO_x 化合物, 但 NO_2 的比例随污染源的不同而不同。排放后, NO 会迅速氧化转化成 NO_2 。

表 1-7 从各种污染源排放物中 NO/NO_x 的比率

污染源类型	NO/NO_x
天然气	0.90~1.0
煤	0.95~1.0
六号燃油	0.96~1.0
内燃机	0.99~1.0
柴油马力轮车	0.77~1.0 ^a
柴油马力货车和公共汽车	0.73~0.98
氟酸厂排出的非控制尾气	~0.50
石油炼制加热器: 天然气	0.93~1.0
气涡轮发电机: 二号燃油	0.55~1.0 ^b

注: ① 最低限度是指空转状况; 最高是指 50mi/hr(80.5km·h⁻¹)。

② 最低限度是空载, 最高限度是满载。

一般空气中的 NO 对人体是无害的, 但当它转变为 NO_2 时, 就具有腐蚀性和生理刺激作用。 NO_2 还能降低远方物体的亮度, 并且还是形成光化学烟雾的主要因素之一。具体说来, NO_2 能毁坏棉花、尼龙等织物、使染料褪色、腐蚀镍青铜材料、使植物受到损害、引起急性呼吸道病变。

4. 碳的氧化物

碳的氧化物主要是指 CO 和 CO_2 。

CO 是低层大气中最重要的污染物之一。 CO 的来源有天然源和人为源。理论上, 来自天然源的 CO 排放量约为人为源的 25 倍。天然源主要有: 火山爆发、天然气、森林火灾、森林中放出的萜烯的氧化物、海洋生物的作用、叶绿素的分解、上层大气中甲烷的光化学氧化和 CO_2 的光解等。人为源主要指化石燃料的不完全燃烧, 冶金、建材、化工等生产过程, 以及汽车、拖拉机、飞机及船舶等移动源。全世界人为源 CO 排放量约为 $3.6 \times 10^8 \text{t}$, 其中, 移动源的 CO 排放占 70%, 汽车是最大排放源, 估计为 $1.99 \times 10^8 \text{t}$, 占人为源的 55%。 CO 在大气中滞留时间平均为 (2~3) 年。

一般城市大气中的 CO 水平对植物及有关微生物均无害, 但对人类则有害, 因为它能与血红蛋白作用生成碳氧血红蛋白, 由于其与血红蛋白的结合能力较 O_2 与血红蛋白的结合能力大 (200~300) 倍, 故将使血液携氧能力降低而引起缺氧。症状有头痛、晕眩等。同时, 使心脏过度疲劳, 心血管工作困难, 终至死亡。

CO_2 是动植物生命循环的基本要素。在自然界它主要来自海洋的释放、动物的呼吸、

植物体的燃烧和生物体腐烂分解过程等。燃料燃烧是最主要的人为污染源。CO₂ 在大气中平均滞留时间(5~10)年。就整个大气而言,长期以来 CO₂ 浓度是保持平衡的,但近几十年,由于人类使用矿物燃料数量激增,自然森林遭到大量破坏,全球 CO₂ 浓度平均每年增高 0.2%。产业革命初期,大气中 CO₂ 含量为 280mL/m³,90 年代初达到 353mL/m³,增加了 25%。CO₂ 增加虽然对人的生理没有危害,但其对人类环境的影响,尤其对气候的影响不容低估,最主要的是“温室效应”。大气中 CO₂ 和水蒸气能允许太阳辐射(近紫外和可见光区)通过而被地球吸收,但是它们却能强烈吸收从地面向大气再辐射的红外线能量,使能量不能向太空散发,从而将保持地球表面空气有较高的温度,造成“温室效应”。温室效应的结果,将使南北两极的冰山加快融化,海平面上升,气候变迁,许多生物消失,这一切将带来严重的环境问题。从 20 世纪 70~80 年代以来,全球气温平均增加了 0.7℃ 左右,到本世纪中叶,如果不加控制的话,按现在 CO₂ 的增长速度,大气中 CO₂ 的含量将达到 560mL/m³,全球气温将上升 1.5℃~3℃,后果不堪设想,因此,“温室效应”已成为全球关注的三大环境问题之一。除了 CO₂ 外,导致“温室效应”的气体主要还有: N₂O, CH₄, 氟氯烃等(15~30)种气体。根据 1980 年大气中主要温室气体的浓度和相对热源的潜能,它们对温室效应的贡献率估计为二氧化碳(CO₂) 50%, 氟氯烃(CFCs) 20%, 甲烷(CH₄) 16%, 对流层臭氧(O₃) 8%, 笑气(N₂O) 6%。

1.3 防治大气污染的法规和标准

1.3.1 环境防治法规

《中华人民共和国大气污染防治法》最初于 1987 年 9 月 5 日第六届全国人民代表大会常务委员会第 20 次会议通过,同日公布,并于 1988 年 6 月 1 日起施行。为了适应新时期大气环境保护的需要,根据 1995 年 8 月 29 日第八届全国人民代表大会常务委员会第十五次会议《关于修改〈中华人民共和国大气污染防治法〉的决定》修正,2000 年 4 月 29 日第九届全国人民代表大会常务委员会第十五次会议修订通过,同日以中华人民共和国主席令(第三十二号)公布,自 2000 年 9 月 1 日起施行。

现行《中华人民共和国大气污染防治法》分别对大气污染防治的总则、大气污染防治的监督管理、防治燃煤产生的大气污染、防治机动车船排放污染、防治废气、尘和恶臭污染、法律责任作出具体规定。

1.3.2 环境标准

1. 环境空气质量标准

目前世界各国在制定标准时,大多依据世界卫生组织 WHO(World Health Organization) 1963 年提出的四级标准作为基本依据。1982 年我国制定了《大气环境质量标准》GB3095-82,随着环境管理的要求、技术经济水平的提高,在充分考虑老标准执行时出现的情况和问题的基础上,1996 年 1 月 18 日经国家环保局批准,修订为《环境空气质量