

环境科学与工程丛书

空气污染控制

第二版

KONGQI WURAN KONGZHI

姜安玺 等编著



化学工业出版社

环境科学与工程丛书

空气污染控制

第二版

姜安玺 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《环境科学与工程丛书》之一。全书共分 11 章,较为系统地介绍了空气污染的沿革和现状,大气污染扩散的有关基础理论,颗粒物、硫氧化物、氮氧化物、氯氟烃、温室气体、汽车尾气、恶臭、持久性有机污染物 (POPs)、环境激素等的污染状况和治理、控制方法,室内空气污染与控制方法等。

本书可供高等院校环境科学与工程、市政工程及相关专业师生使用,也可供从事空气污染控制的技术人员、研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

空气污染控制/姜安玺等编著. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2010. 1
(环境科学与工程丛书)
ISBN 978-7-122-07011-1

I. 空… II. 姜… III. 空气污染控制 IV. X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 199943 号

责任编辑: 刘兴春 汲永臻
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 荣世芳
装帧设计: 杨 北

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{4}$ 字数 421 千字 2010 年 5 月北京第 2 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

《空气污染控制》编著人员

姜安玺 王 琨 马承愚 徐桂芹

李 丽 李文兰 李 芬 刘丽艳

姜 蔚 石玉明 于清江

第二版前言

《空气污染控制》一书自 2003 年 6 月出版至今已六年有余,随着全民环境意识的进一步增强,国家对环境保护的力度大幅提高,一些观念发生了很大变化,又有许多研究成果发表,为适应国民经济的快速发展和节能减排的绿色环保要求,本书需进行大量的增补、删减和调整后再版,变动情况如下。

第 1 章各节做了适当调整,增加了“空气污染与空气污染物”和“空气污染物的迁移转化”,删除了“地球大气层”和“大气污染的特点”内容,增加了近几年来新出的标准和法规,删去了陈旧的标准和法规;第 3 章增加了“垃圾焚烧与污染物控制”、“布袋滤料性能的研究”、“催化氧化”和“生物净化”等内容;第 4 章各节中添加了氮氧化物的形成机理和去除方法等;第 5 章温室效应中增加了大量的国内外先进的温室气体控制技术内容;第 6 章将“汽车尾气净化用催化剂的发展概况”细化为“三效催化剂的研究概况”和“贫燃催化剂的研究概况”,增补“机外净化技术”和“稀薄燃烧技术”涉及的内容,对“汽车尾气污染控制”部分进行修改完善,对“汽车排放法规”部分进行丰富;第 7 章删除了“南极臭氧洞的成因”,并对一些小节进行了调整;第 8 章修改了“目前国内外应用的主要的恶臭测定方法”,增加了目前国内外物理化学和生物脱臭法的研究现状和发展趋势;第 9 章持久性有机污染物为全部新增内容,并将原第 10 章二噁英污染控制融入本章中;第 10 章增加环境激素的检测方法、环境激素在环境中的迁移及分布特征以及环境激素的早期预警指标和生物标志物,其他小节也做了适当增减;第 11 章室内空气污染控制全部内容进行了调整和增减。

全书共 11 章,由姜安玺主持编著、修改再版,李芬协助统稿。参加本书编著并修改的人员有:姜安玺、王琨、马承愚、徐桂芹、李丽、李文兰、李芬、刘丽艳、姜蔚、石玉明、于清江。

在本书编著和修改再版过程中,始终得到哈尔滨工业大学市政环境工程学院及环境科学与工程系领导和老师的大力支持,在此一并表示感谢。

限于编著者时间和水平,且多人参加,难免笔调不一,疏漏及不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2009 年 8 月于哈尔滨工业大学

第一版前言

随着国民经济的高速发展、人们生活水平的迅速提高和环保意识的增强,对环境质量的要求也越来越高。空气是人类生存环境的重要组成部分,因此空气污染是人们非常关注的事情,空气污染控制则是人们迫切需要的和环境保护事业必不可少的科学技术的一部分。

空气污染按污染物扩散的广度,可分为全球性或者跨越国界的污染和地方性或局部性污染。如由 SO_2 等引起的酸雨污染,由 CO_2 等引起的温室效应,由氯氟烃等引起的臭氧层破坏,它们的污染及其危害不仅在本地区、本国,而且往往波及邻国,因此其污染为全球性的。在污染控制上,首先要有世界各国共同制定的国际公约或协议来约束,在此前提下,各国采取科学技术手段,使之达到公约或协议的要求。而地方性的污染,其污染波及面小,仅是局部的,如汽车尾气的污染一般局限于城市或道路及其附近;臭气的污染多在发生源及附近;至于室内空气污染的影响主要还是在居室内,因此其污染控制主要是由国家或国家内的地方政府制定法规来约束,并在此前提下,各地区或各户居民采用可行的技术手段进行治理或控制。

空气污染按围护结构为界可分为室外大气污染和室内大气污染。近年来,室内大气污染越来越引起人们的重视,其污染浓度有时高出室外几十倍甚至上百倍,室内空气污染控制已提到议事日程上来。因此,空气污染控制可分为室外空气污染控制和室内空气污染控制。

国民经济的发展应与环境保护相协调是后工业文明时期的主流,为适应这一进步,近年来出版发行了许多此类书籍。作者根据近年来的教学、科研的工程实践,并在查阅了大量国内、外文献基础上,编撰本书,对当前空气污染现状面临的主要问题及治理和控制方法进行了论述,对该领域的未来发展进行了展望,具体内容如下。

第1章论述大气污染的沿革与现状,空气污染控制的单项治理和综合污染防治;第2章论述大气污染扩散的有关基础理论;第3章论述颗粒物特性及污染控制方法;第4章论述硫氧化物的污染、酸雨的危害及控制方法;第5章论述氯氟烃污染及由氯氟烃等化合物引起的臭氧层破坏;第6章论述二氧化碳等气体引起的温室效应及由此造成的全球变暖而引发的各种危害;第7章论述汽车尾气污染,汽车尾气的机内控制和催化净化器的治理以及解决汽车污染的途径;第8章论述了恶臭污染的发生源、检测评估手段以及物理、化学和生物除臭方法;第9章论述了最近几年为人们所关注的环境激素污染现状、危害及控制;第10章论述了二噁英的来源、危害和控制;第11章论述了室内空气污染,城市室内空气污染由燃料燃烧污染为主转变为建筑材料、装饰材料等排放的物质污染为主,室内污染的控制方法,室内空气污染与室外空气污染的关系;第12章对该领域的发展进行了展望。

本书由姜安玺主持编著,并负责统稿。参加本书编著的人员有:姜安玺、王琨、马承愚、徐桂芹、李丽、李文兰、石玉明、于清江、李芬。

在本书的形成及编著过程中,始终得到哈尔滨工业大学市政环境工程学院及环境工程系领导,尤其是马放教授的大力支持。张敬红、刘丽艳等也做了大量工作,在此一并表示感谢。

由于作者学术水平有限,且多人参加,难免笔调不一,谬误在所难免,敬请读者赐教。

编著者

2002年11月于哈尔滨工业大学

目 录

1 绪论	1
1.1 空气污染与空气污染物	1
1.1.1 空气污染	1
1.1.2 空气污染物	1
1.2 空气污染类型和现状	3
1.2.1 空气污染的类型	3
1.2.2 空气污染的现状	3
1.3 空气污染的危害	4
1.3.1 对人体健康的影响	4
1.3.2 对生物的影响	5
1.3.3 对材料的影响	5
1.3.4 对空气能见度和气候的影响	5
1.4 空气污染的防治	6
1.4.1 主要污染物的防治技术	6
1.4.2 空气污染的综合防治	6
1.5 空气污染物的迁移与转化	8
1.6 大气环境标准和法规	8
1.6.1 大气环境标准	8
1.6.2 法规	9
参考文献	10
2 大气物理化学基础	11
2.1 大气污染物扩散与气象的关系	11
2.1.1 地球大气特征	11
2.1.2 气象要素	13
2.2 影响大气污染物扩散能力的主要因素	15
2.2.1 影响大气污染物扩散的动力因素	16
2.2.2 影响大气污染物扩散的热力因素	16
2.2.3 几种气象状况对大气污染物扩散的影响	17
2.3 大气污染化学	20
2.3.1 降水与大气污染	20
2.3.2 酸雨化学	21
2.3.3 臭氧破坏化学	22
2.3.4 光化学烟雾的化学机制	22
2.3.5 大气放射性物质	23
2.4 大气污染扩散模式	23
2.4.1 点源扩散模式	23
2.4.2 帕斯奎尔扩散曲线法求扩散参数 (σ_y, σ_z)	25

2.4.3	有效烟囱高度的计算	26
2.4.4	线源扩散模式	27
	参考文献	28
3	烟气污染与控制	29
3.1	燃料燃烧与污染物形成	29
3.1.1	燃料	29
3.1.2	燃料燃烧过程中污染物的形成	31
3.1.3	燃料燃烧污染控制	36
3.2	垃圾焚烧与污染物控制	37
3.2.1	垃圾燃烧过程中污染物的形成	37
3.2.2	垃圾焚烧污染物的控制	37
3.3	除尘技术	38
3.3.1	除尘基础概论	39
3.3.2	除尘设备	42
3.4	气态污染物净化技术	53
3.4.1	吸收	54
3.4.2	吸附	60
3.4.3	催化氧化	65
3.4.4	生物净化	66
	参考文献	67
4	酸雨污染防治	69
4.1	国内外酸雨污染状况	69
4.1.1	国内酸雨污染及防治状况	69
4.1.2	国外酸雨污染状况	70
4.1.3	酸雨的危害	71
4.2	硫和氮氧化物的形成机理	71
4.2.1	煤燃烧时硫氧化物的形成机理	71
4.2.2	煤燃烧时氮氧化物的形成机理	72
4.3	酸雨污染防治	73
4.3.1	脱硫技术基础和脱硫技术	73
4.3.2	脱氮技术基础和脱氮技术	88
	参考文献	91
5	温室效应	92
5.1	温室效应的概念及产生原理	92
5.2	温室效应气体	92
5.2.1	二氧化碳	93
5.2.2	甲烷	94
5.2.3	一氧化二氮	94
5.2.4	对流层臭氧	94
5.2.5	氯氟烃	94
5.3	温室效应作用	95
5.3.1	气候变暖	95
5.3.2	海平面上升	95

5.3.3	水分平衡变化	95
5.3.4	生态系统的改变	95
5.3.5	对人体健康的影响	95
5.3.6	影响人类生存的其他问题	96
5.4	温室效应控制	96
5.4.1	CO ₂ 的分离回收、储存及应用技术	97
5.4.2	改变能源结构	101
5.4.3	提高能源利用效率	101
5.4.4	节约能源	102
5.4.5	原子能利用	102
5.4.6	清洁能源和可再生能源	102
5.4.7	防止滥砍滥伐, 增加绿色植物	103
5.4.8	温室效应控制的其他对策	103
	参考文献	103
6	汽车尾气污染与防治	105
6.1	汽车尾气净化用催化剂的发展概况	105
6.1.1	三效催化剂的研究概况	105
6.1.2	贫燃催化剂的研究概况	106
6.2	汽车尾气排放的有害物的形成及其危害	108
6.2.1	车用汽油机有害排放物的形成及影响因素	108
6.2.2	柴油机有害排放物的形成及影响因素	111
6.2.3	汽车排放物的危害	112
6.3	控制汽车排气污染的主要措施	112
6.3.1	机内净化技术	113
6.3.2	机外净化技术	113
6.3.3	汽车尾气净化催化剂的研制	114
6.4	稀土在汽车尾气净化中的作用	115
6.4.1	完全或部分代替贵金属	115
6.4.2	提高催化剂载体的热稳定性和机械强度	115
6.4.3	提高催化剂的储氧能力	115
6.4.4	在催化剂中起协同作用	116
6.4.5	在氧传感器中的应用	116
6.5	稀土金属催化剂的净化原理及分类	116
6.5.1	稀土催化剂的净化原理	116
6.5.2	稀土催化剂的分类	117
6.6	稀土钙钛矿型复合氧化物作为汽车尾气净化催化剂的应用	117
6.6.1	三效催化剂	118
6.6.2	稀土钙钛矿型复合氧化物用作催化剂的性能	118
6.7	钙钛矿型复合氧化物的结构特性及催化机理	119
6.7.1	结构特性	119
6.7.2	缺陷化学	119
6.7.3	催化机理	120
6.8	汽车尾气污染控制	121

6.8.1	我国催化转化器生产概况	121
6.8.2	燃料概况	122
6.8.3	车用替代燃料	122
6.9	汽车排放政策及法规	128
6.9.1	国外汽车尾气排放法规	128
6.9.2	国内汽车尾气排放法规	128
	参考文献	130
7	臭氧层破坏	134
7.1	臭氧层	134
7.1.1	臭氧层及其变薄问题	134
7.1.2	臭氧层破坏现状	134
7.2	臭氧层破坏的机理	135
7.2.1	消耗臭氧层的物质	135
7.2.2	臭氧层破坏机理	135
7.3	臭氧层破坏的危害	137
7.3.1	改变大气结构	137
7.3.2	对人体健康的危害	137
7.3.3	对动植物的危害	137
7.3.4	对空气质量和建筑材料的影响	138
7.4	保护臭氧层的措施	138
7.4.1	开展淘汰消耗臭氧层物质的国际行动	138
7.4.2	中国保护臭氧层的行动	139
7.4.3	制定淘汰和控制损耗臭氧层物质的措施	139
7.4.4	研制和开发消耗臭氧层物质的替代技术	139
	参考文献	140
8	恶臭污染控制	141
8.1	恶臭和恶臭污染现状	141
8.1.1	恶臭分类及其组成	141
8.1.2	恶臭污染的危害	141
8.1.3	恶臭及恶臭污染的特点	142
8.1.4	恶臭污染的主要发生源	143
8.2	恶臭的评价标准及方法	144
8.2.1	恶臭的测定方法	144
8.2.2	恶臭的评价标准	146
8.3	恶臭污染控制技术	147
8.3.1	物理化学脱臭法	148
8.3.2	生物脱臭法	153
	参考文献	166
9	持久性有机污染物	168
9.1	持久性有机污染物概述	168
9.1.1	持久性有机污染物的基本性质	168
9.1.2	持久性有机污染物的判别与筛选	169
9.2	持久性有机污染物的分析方法和环境行为	170

9.2.1 持久性有机污染物的检测分析方法和处理方法	170
9.2.2 持久性有机污染物的环境存在	171
9.2.3 持久性有机污染物的环境行为	172
9.3 持久性有机污染的控制技术	173
9.3.1 二噁英污染控制	174
9.3.2 PCBs 的治理技术	176
9.3.3 有机氯农药的治理技术	176
9.4 我国持久性有机污染物的控制对策	177
参考文献	177
10 环境激素的污染与控制	180
10.1 环境激素的种类及来源	180
10.1.1 环境激素的产生及概念	180
10.1.2 环境激素的种类及来源	182
10.1.3 环境激素进入人体内的途径	183
10.2 环境激素的危害及作用机制	184
10.2.1 环境激素对动物的危害	184
10.2.2 环境激素对人体健康的危害	185
10.2.3 环境激素的作用机制	188
10.2.4 环境激素的筛选方法	189
10.2.5 环境激素的结构与激素效应活性的关系	191
10.3 环境激素污染的控制	191
10.3.1 环境激素的检测方法	191
10.3.2 环境激素的早期预警指标和生物标志物	194
10.3.3 环境激素的控制措施	194
参考文献	197
11 室内空气污染控制	199
11.1 室内空气污染问题	199
11.2 室内空气污染物及其来源	199
11.2.1 室内空气污染物	199
11.2.2 室内空气污染物的来源	201
11.2.3 室内空气污染的危害	202
11.3 影响室内空气质量的因素	206
11.3.1 气候与换气率	206
11.3.2 室内多种因素的协同作用	207
11.3.3 住宅建筑结构不同的影响	208
11.3.4 室内空气污染物的降解途径	208
11.4 室内空气污染物的检测	209
11.4.1 影响室内空气污染物检测的因素	209
11.4.2 室内空气污染物检测方法	211
11.4.3 室内空气污染物检测数据统计分析	212
11.5 室内空气污染预测与现状评价	213
11.5.1 室内空气污染预测模型	213
11.5.2 室内空气质量现状评价方法	217

11.5.3 人体暴露量估算与分析.....	224
11.6 室内空气污染控制技术.....	226
11.6.1 源控制.....	227
11.6.2 通风.....	230
11.6.3 空气净化技术.....	232
参考文献.....	242

1 绪 论

1.1 空气污染与空气污染物

1.1.1 空气污染

空气来源于包围在地球周围的大气层，它是人类生产和生活不可缺少的物质。自然状况下大气由混合气体、水汽和悬浮颗粒物组成。除去水汽和悬浮颗粒物的大气称为干洁空气。地球表面未被污染的干洁空气主要由氮气、氧气和氩气组成，三者共占干洁空气总体积的99.96%，其他成分如二氧化碳、氟气、氦气、臭氧和氡气等仅占0.04%左右。

目前国内空气污染和大气污染往往被当作同一个词使用。而在国际文献中，空气污染（air pollution）的概念有别于大气污染（atmospheric pollution）。空气污染是指地表边界层内的污染，如TSP、SO₂、NO_x等。而大气污染是指整个大气圈（平流层和对流层内）的污染，如温室气体、臭氧层耗竭等。国际标准化组织（ISO）总结的大气污染的定义涵盖了上述两方面的内容，认为“大气污染通常系指由于人类活动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、健康和福利或环境的现象”。这里所谓的人类活动包括生活活动和生产活动两个方面；自然过程包括火山活动、山林火灾、海啸、土壤和岩石风化、动植物尸体的腐烂及大气圈的空气运动等；对人体的舒适、健康的危害，包括对人体正常的生活环境和生理机能的影响，引起慢性疾病、急性疾病以致死亡等；而所谓福利，则认为是与人类协调并共存的生物、自然资源以及财产、器物等。为使所用词汇在国内文献中具有通用性，本书通篇采用空气污染这一词汇。

1.1.2 空气污染物

空气污染物是指由于人类活动或自然过程排放到空气中或在空气中新转化生成的对人或环境产生不利影响的物质。空气污染物种类很多，按存在状态可分为气溶胶态污染物和气态污染物；按形成过程，又可分为一次污染物和二次污染物。

1.1.2.1 气溶胶态污染物

气溶胶系指固体粒子、液体粒子或它们在气体介质中的悬浮体，按其来源和物理性质可分为以下几种。

① 粉尘（dust）指悬浮于气体介质中的细小固体颗粒。粒子的尺寸范围一般为1~200μm，在一段时间内能保持悬浮状态，但也能因重力作用发生沉降。它通常形成于物理破碎等机械处理过程或风所扬起的灰尘。

② 烟（fume）烟一般系指由冶金过程形成的固体粒子的气溶胶，为熔融物质挥发后生成的气态物质冷凝物，多为氧化产物；烟的粒子尺寸一般为0.01~1.0μm。

③ 飞灰（fly ash）在燃料燃烧过程产生的随烟气排出的分散较细的灰分。

④ 黑烟（smoke）由燃料燃烧产生的能见气溶胶。

⑤ 雾（fog）雾是气体中液滴悬浮体的总称。在气象学中指造成能见度小于1km的小

水滴悬浮体。在工程中，雾一般泛指小液滴粒子悬浮体，它可能是由于液体蒸汽的凝结、液体的雾化及化学反应等过程形成的，如水雾、酸雾等。

在环境空气质量管理与控制中，还根据空气中粉尘（或烟尘）颗粒的大小，将其分为总悬浮颗粒（total suspended particles）、可吸入颗粒（inhalable particles）和微细颗粒（fine particles）。总悬浮颗粒（TSP）为能悬浮在空气中，用标准大容量颗粒采样器在滤膜上所收集到的，空气动力学当量直径 $\leq 100\mu\text{m}$ 的所有固体颗粒；可吸入颗粒（ PM_{10} ）为能长期悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 的所有固体颗粒；微细颗粒（ $\text{PM}_{2.5}$ ）为能悬浮在空气中，空气动力学当量直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的所有固体颗粒。

1.1.2.2 气态污染物

气态污染物指在空气中以分子状态存在的污染物，能与载体构成均相体系。气态污染物的种类很多，常见的是以二氧化硫为主的含硫化合物、以一氧化氮和二氧化氮为主的含氮化合物、碳氧化合物、碳氢化合物、卤素化合物和臭氧等。从污染源排入大气中的污染物在与大气混合的过程中会发生物理、化学变化，按照形成过程的不同，可分为一次污染物和二次污染物，见表 1-1。

表 1-1 大气污染物的分类

项目	一次污染物	来 源	二次污染物	来 源
含硫化合物	SO_2 、 H_2S	含硫煤和石油的燃烧、石油炼制以及有色金属冶炼、硫酸制造和细菌活动等	SO_3 、 H_2SO_4 、 MSO_4	SO_2 在相对湿度较大以及有催化剂存在时，发生催化氧化反应得到
含氮化合物	NO 、 NH_3	土壤和海洋中有机物的分解、化石燃料的燃烧以及生产和使用硝酸的过程	NO_2 、 HNO_3 、 MNO_3	NO 在湿度较大、有催化剂存在时易转化成二次污染物
烃类化合物	甲烷到长链聚合物烃类	燃料的不完全燃烧以及在输送、储存和分配过程中发生的泄漏等	醛、酮、过氧乙酰硝酸酯	在活泼的氧化物作用下，碳氢化合物发生光化学反应生成二次污染物
碳氧化合物	CO 、 CO_2	含碳物质不完全燃烧	无	

(1) 一次污染物

一次污染物是指从各类污染源排出的物质，包括直接从各种排放源进入大气的各种气体、蒸汽和颗粒物，如表 1-1 所述的 SO_2 、氮氧化物、碳氧化物和烃类化合物等都是主要的一次污染物。一次污染物根据其化学稳定性又可分为反应性物质和非反应性物质两类：反应性污染物的性质不稳定，在大气中常与某些物质发生化学反应，或作为催化剂促进其他污染物发生化学反应，如 SO_2 和 NO_2 等；非反应性污染物的性质较为稳定，它不发生化学反应，或反应速率很慢，如 CO 等。

(2) 二次污染物

二次污染物是指由一次污染物与空气中已有成分或几种污染物之间经过一系列的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，又称为继发性污染物。如一次污染物 SO_2 在环境中氧化生成的硫酸盐气溶胶，氮氧化物、烃类化合物等在日光紫外线辐射下生成的臭氧、过氧乙酰硝酸酯、醛等。通常二次污染物对环境和人体的危害比一次污染物严重得多。

一次污染物在大气中转化为二次污染物的作用可分为以下几种：a. 气体污染物之间的化学反应；b. 空气中颗粒状污染物与气体污染物的吸附作用，或颗粒表面上吸附的化学物质与气体污染物之间的化学反应；c. 气体污染物在气溶胶中的溶解作用；d. 气体污染物在太阳光作用下的光化学反应。

1.2 空气污染类型和现状

1.2.1 空气污染的类型

空气污染的类型不仅取决于所用能源和污染物的化学反应特性，也取决于气象条件。根据污染物的化学性质及其存在的环境状况可将空气污染分为煤烟型、石油型、混合型和特殊型四种。

(1) 煤烟型污染

燃煤是产生煤烟型污染的主要原因，其主要污染物为二氧化硫、一氧化碳和颗粒物。在低温、高湿度且风速很小的阴天并伴有逆温的情况下，这些污染物扩散受阻，易在低空积聚，生成还原性烟雾。典型的煤烟型污染事例是 1952 年冬天在伦敦发生的烟雾事件，因此煤烟型污染又称伦敦烟雾型污染。

(2) 石油型污染

这类污染多发生在以石油为燃料的地区，主要的一次污染物是一氧化碳、氮氧化物和碳氢化合物。在太阳光照射下它们能起光化学反应，生成臭氧、醛类、过氧乙酰硝酸酯等二次污染物。这些物质具有极强的氧化性，能使橡胶制品开裂，对人的眼睛黏膜有强烈刺激作用，并能引起呼吸系统疾病。这种污染首次出现于美国洛杉矶，所以又称洛杉矶烟雾。

(3) 混合型污染

混合型污染包括以煤炭和石油为燃料的污染源排放的污染物，以及从各类工厂企业排出的各种化学物质结合在一起所造成的空气污染。20 世纪美国宾夕法尼亚州发生的多诺拉污染事件和日本四日市发生的哮喘事件，都属于混合型污染。

(4) 特殊型污染

特殊型污染是指有关工厂企业排放的特殊气体所造成的污染，如生产磷肥造成的氟污染、氯碱工厂周围形成的氯气污染等，这类污染常限于局部范围。

1.2.2 空气污染的现状

随着社会经济的迅速发展，人口急剧增多，地球大气环境日趋恶化，一些有害气体的排放不仅使局部地区的大气遭到污染，并且影响到全球范围内大气成分的改变。我国大气污染物排放量很大，是世界上大气污染比较严重的国家，最主要的污染物是 SO_2 和颗粒物。根据 2006 年中国大气环境状况公报，“2006 年，全国废气中 SO_2 排放总量 $2.589 \times 10^7 \text{t}$ ，烟尘排放总量 $1.078 \times 10^7 \text{t}$ ，其中工业烟尘排放量 $8.548 \times 10^6 \text{t}$ ，生活烟尘排放量 $2.236 \times 10^6 \text{t}$ ，工业粉尘排放量 $8.075 \times 10^6 \text{t}$ ”。与 2005 年相比，2006 年 SO_2 的排放总量有所增加，而烟尘和工业粉尘的排放量均低于 2005 年，具体数据见表 1-2。

表 1-2 2006 年与 2005 年废气中主要污染物排放状况的对比 单位： $\times 10^4 \text{t}$

项目	SO_2	烟尘	工业粉尘
2006 年	2588.8	1078.4	807.5
2005 年	2549.3	1182.5	911.2
增减率/%	1.55	-8.80	-11.38

根据 2006 年的中国环境状况公报，我国城市空气质量总体较上年有所好转，部分城市污染依然严重，主要污染物为可吸入颗粒物。全国酸雨发生频率在 5% 以上的区域占国土面

积的 32.6%，酸雨发生频率在 25% 以上区域占国土面积的 15.4%。全国酸雨分布区域主要集中在长江以南，四川、云南以东的区域。与上年相比，全国酸雨分布区域保持稳定。可见，经过我国人民的努力，酸雨污染没有进一步恶化的趋势。

1.3 空气污染的灾害

城市空气污染物主要是硫氧化物、氮氧化物、颗粒物、臭氧以及碳氢化合物中的苯并[a]芘和一些有毒的重金属，这些污染物不仅对人的健康造成很大的危害，而且影响气候，腐蚀建筑物和物品，降低产品质量，并且影响动、植物生长和发育，最终可能在经济上造成巨大的损失。

1.3.1 对人体健康的影响

空气污染物侵入人体主要有三种途径，即皮肤表面接触、食用含污染物的食品和水、吸入被污染的空气，其中第三条途径最为严重。空气污染对人体的危害主要表现为呼吸道系统疾病，下面介绍几种主要大气污染物对人体的危害。

1.3.1.1 硫氧化物

硫氧化物的主要成分是 SO_2 ，多来源于含硫化石燃料（煤、石油）的燃烧过程，是目前空气中数量较大的一种气态污染物。 SO_2 气体为一种无色的中等强度的物质，有刺激性气味，不仅对人体呼吸器官有很强的毒害作用，还通过皮肤经毛孔侵入人体，或通过食物和饮水经消化道进入人体而造成危害。低浓度的 SO_2 引起呼吸道炎症，呼吸加快，每次呼吸量小；浓度高时会引起急性中毒，喉头感觉异常，并出现咳嗽、呼吸道红肿等症状，造成支气管炎、哮喘病，严重的可引起肺气肿，甚至致人死亡。

排入大气中的 SO_2 在有合适的氧化剂、催化剂存在时，会发生化学反应生成 SO_3 ，当它们和空气中的水蒸气相遇，就形成硫酸酸雾。这类污染物可长期滞留在大气中，毒性比 SO_2 大 10 倍左右。一般情况下， SO_2 浓度达到 8×10^{-6} 时，人开始难受，而硫酸酸雾还不到 8×10^{-7} ，人已经开始不能接受。

1.3.1.2 氮氧化物

造成大气污染的 NO_x 主要是 NO 和 NO_2 ，其中 NO 约占 95%。 NO 能与血红蛋白作用，降低血液的输氧功能。 NO 进入大气后，在阳光照射下并有碳氢化合物存在时，能迅速氧化成 NO_2 。 NO_2 毒性比 NO 高 4~5 倍，是一种棕红色气体，对呼吸器官有强烈的刺激性，能引起急性哮喘病。

1.3.1.3 颗粒物

颗粒物对人体健康的危害主要取决于它的组成成分、理化性质、粒径和生物活性等。空气中的颗粒物是由有机物和无机物构成的复杂混合物，颗粒物上吸附的有毒金属（铬、锰、镉、汞等）、非金属物质以及有机化合物进入人体后，会引起中毒以至死亡。

颗粒物的粒径也是影响人体健康的一个重要因素，其对人体健康的危害主要体现在两个方面：一是其粒径越小、重量越轻，越不容易沉降，长期飘浮在空气中可通过呼吸道进入人体，深入肺部，引起各种尘肺病；二是粒径越小，粉尘比表面积越大，物理、化学活性就越高，能促进大气中的各种化学反应形成二次污染。

1.3.1.4 其他有害物质

大气中还含有 CO 、 O_3 、过氧乙酰硝酸酯（PAN）和氯氟烃等气态化合物，它们的含量虽然不大，但危害却很严重。

由于燃料的不完全燃烧,全世界每年有大量的 CO 排入大气,CO 无色无味,可与人体的血红蛋白结合,阻碍血红蛋白向体内供氧,一旦吸收 CO,就会发生头晕、头痛、恶心和疲劳等症状。CO 在大气中可保持 2~3 年,但一般情况下,由于大气的氧化和稀释,CO 不会对人体造成损害,只有局部地区浓度过高时才会危害人体的健康。

人类大量生产和使用的氯氟烃化合物和平流层内超声速飞机排放的大量 NO_x 是大气臭氧层破坏的主要污染物,它们可与平流层的臭氧发生反应而消耗臭氧。臭氧层的破坏将对地球生命系统产生极大的危害。首先,大量的紫外线辐射到地面,臭氧量减少 1%,皮肤癌发病率将增加 4%~6%;其次,引起免疫系统和眼的疾病。

氮氧化物、碳氢化合物和一氧化碳等一次污染物,在强烈的阳光照射下发生光化学反应而产生氧化性很强的二次污染物,如 O_3 、醛、PAN 等,这种由一次污染物和二次污染物的混合物所形成的烟雾污染现象,称为光化学烟雾。这种烟雾呈现淡蓝色,能刺激人的眼睛,在发生光化学烟雾期间,患红眼病的人数剧增,同时对鼻、咽、喉、肺和气管等呼吸器官也有明显的刺激作用。在低浓度时,使人畜呼吸紧张,视力减弱;当浓度高时,会引起全身疼痛、肺气肿等。在浓度为 5×10^{-5} 的环境中 1h 就会使人死亡。光化学烟雾还能降低大气能见度,使视程缩短,导致交通事故增多。

1.3.2 对生物的影响

大气污染物主要通过三条途径危害生物的生存和发育。首先是使生物中毒或枯竭死亡;其次是减缓生物的正常发育;最后是降低生物对病虫害的抵抗能力。各种有害气体中,二氧化硫、氯气和氯化氢等对植物的危害最大。

1.3.3 对材料的影响

大气污染物会对物质材料如皮革、建筑材料、纺织衣物、金属制品和文化艺术品等造成玷污和化学性损害。

酸雨腐蚀工业设备和建筑物,破坏露天的文物古迹,特别是许多以大理石和石灰石为材料的历史建筑物和艺术品种。欧洲已经发生多起艺术瑰宝和文物古迹因受酸雨的侵蚀而遭到损坏的现象。

氮氧化物对材料的腐蚀作用主要是由硝酸盐和亚硝酸盐引起的,同时氮氧化物能使某些织物的染料褪色。光化学烟雾的危害能加速橡胶制品的老化,腐蚀建筑与衣物,缩短其使用寿命。

氟化物能腐蚀玻璃。含铅颜料 PbCO_3 、 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ 的涂料易与 H_2S 作用,生成黑色的 PbS ,使一些坚固的金属屋面被破坏。

1.3.4 对空气能见度和气候的影响

空气污染最常见的后果之一是大气能见度降低。一般来说,气溶胶粒子、能通过大气反应生成气溶胶粒子的气体或有色气体都会对大气能见度或清晰度有影响。对能见度有影响的污染物主要是悬浮颗粒物(TSP)、硫氧化物、氮氧化物和光化学烟雾等。空气能见度的降低不仅会使人感到不愉快,而且会造成极大的心理影响,以及产生交通安全方面的危害。

20 世纪以来地球平均气温升高了 $0.3 \sim 0.6^\circ\text{C}$,这主要是由于 CO_2 等温室气体的排放造成的。如果温室气体的排放量按现在的速度增加,到 2030 年,全球平均气温将升高 $2 \sim 3^\circ\text{C}$ 。研究表明,气温的升高在不同的地域有明显的差异,在高纬度和极地地区升温较大,在低纬度地区升温较小,这就导致高纬度和低纬度之间温差变小,大气环流的运动状态由此发生变化,台风和飓风将更加频繁,热带风暴的能量也将加大。臭氧层的破坏也将导致地球