

大气污染 控制工程

DAQI WURAN

KONGZHI GONGCHENG

主 编 刘立忠

主 审 张承中

中国建材工业出版社

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

大气污染控制工程

主 编 刘立忠
主 审 张承中

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

大气污染控制工程 / 刘立忠主编. —北京: 中国
建材工业出版社, 2015. 1

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

ISBN 978-7-5160-0969-7

I. ①大… II. ①刘… III. ①空气污染控制-高等学
校-教材 IV. ①X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 214794 号

内 容 简 介

本书内容分为 9 章, 第 1~5 章阐述了大气污染控制的基础理论, 包括概论、大气污染的发生与扩散、颗粒污染物控制技术基础、净化装置的分类和性能、气态污染物控制技术基础; 第 6~8 章分别为颗粒态污染物净化设备、气态污染物控制工艺、净化系统的设计, 选取目前工程上成熟的主流技术, 阐明工作原理, 强调工程设计方法和设备选型, 突出工程应用的特点, 力求引导学生理论指导和应用于工程实践, 逐步培养学生的创新意识和创新思维; 第 9 章为城市空气污染, 对当前国内关注的城市大气污染发展趋势和控制对策进行了阐述。

本书可作为普通高等院校环境科学与工程类专业的基础课程教材, 也可作为相关专业科研、管理人员的参考书。

大气污染控制工程

主 编 刘立忠

主 审 张承中

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 20

字 数: 496 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版

印 次: 2015 年 1 月第 1 次

定 价: 53.00 元

本社网址: www.jccbs.com.cn 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前言

《大气污染控制工程》是高等院校环境类专业的8门核心课程之一。本教材内容落实近年的教学改革成果,经历了多年的应用和教学实践。编者按照我国高等学校本科环境类专业课程的基本要求,编写了普通高等院校环境科学与工程类规划教材《大气污染控制工程》,适合56~64学时左右的教学安排。

本教材内容分为9章,第1~5章阐述了大气污染控制的基础理论;第6~8章选取目前工程上成熟的主流技术,阐明工作原理,强调工程设计方法和设备选型,突出工程应用的特点,力求引导学生理论指导和应用于工程实践,逐步培养学生的创新意识和创新思维;第9章对当前国内关注的城市大气污染发展趋势和控制对策进行了阐述。全书内容紧凑、环环相扣,具有新颖、系统、全面、科学和实用的特点,利于学生系统掌握大气污染控制工程的原理和方法。

本书由刘立忠副教授主编,张承中教授主审。参加编写的有:西安建筑科技大学刘立忠(第1、2、3、4、6、8章)、曹利(第5、7章)、叶磊(第9章)。编写本书时参阅并引用了国内外的有关文献资料,并得到许多老师和同事的帮助和支持;西安建筑科技大学的多届本科生和研究生为本教材的修订提出过许多积极建议,在资料收集、图表加工等方面给予了诸多帮助。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

2014年7月



中国建材工业出版社

China Building Materials Press

我们提供

图书出版、图书广告宣传、企业/个人定向出版、设计业务、企业内刊等外包、代选代购图书、团体用书、会议、培训，其他深度合作等优质高效服务。

编辑部

010-88364778

宣传推广

010-68361706

出版咨询

010-68343948

图书销售

010-88386906

设计业务

010-68361706

邮箱：jccbs-zbs@163.com

网址：www.jccbs.com.cn

发展出版传媒 服务经济建设

传播科技进步 满足社会需求

(版权专有，盗版必究。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。举报电话：010-68343948)

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 大气环境与大气污染	1
1.1.1 大气圈的构成及大气组成	1
1.1.2 大气污染	3
1.1.3 室内空气污染	4
1.2 大气污染物及其危害	5
1.2.1 气溶胶状态污染物	6
1.2.2 气体状态污染物	7
1.3 空气质量控制标准	9
1.3.1 环境空气质量控制标准的种类和作用	9
1.3.2 环境空气质量标准	10
1.3.3 工业企业设计卫生标准	11
1.3.4 大气污染物综合排放标准	11
1.3.5 空气质量指数及报告	12
习题与思考	15
第 2 章 大气污染的发生与扩散	16
2.1 燃料燃烧过程大气污染的发生	16
2.1.1 燃料及燃料的组成	16
2.1.2 燃料燃烧过程	20
2.1.3 燃料燃烧产生烟气体积	22
2.1.4 燃烧产生的污染物	27
2.2 气象要素和大气的热力过程	27
2.2.1 主要气象要素	27
2.2.2 大气的热力过程	31
2.3 大气扩散浓度估算模式	39

2.3.1 湍流扩散统计理论	39
2.3.2 高斯扩散模式	40
2.3.3 污染物浓度的估算	43
2.3.4 特殊条件下的扩散模式	47
2.4 空气质量模型	48
习题与思考	49

第3章 颗粒污染物控制技术基础

3.1 颗粒物的粒径和颗粒群的特性	51
3.1.1 颗粒物的粒径	51
3.1.2 颗粒群的特性	53
3.1.3 粉尘的粒径分布函数	56
3.2 粉尘的物理性质	59
3.2.1 粉尘的密度	59
3.2.2 粉尘的比表面积	60
3.2.3 粉尘的安息角与滑动角	61
3.2.4 粉尘的含水率	61
3.2.5 粉尘的润湿性	62
3.2.6 粉尘的荷电性和导电性	62
3.2.7 粉尘的粘附性	63
3.2.8 粉尘的自燃性和爆炸性	64
3.3 颗粒物捕集的理论基础	65
3.3.1 流体阻力	65
3.3.2 重力沉降	66
3.3.3 离心沉降	67
3.3.4 静电沉降	68
3.3.5 扩散沉降	68
3.3.6 惯性沉降	69
习题与思考	72

第4章 净化装置的分类和性能

4.1 大气污染物的一般净化方法	73
4.1.1 气溶胶污染物净化方法	73
4.1.2 气态污染物净化方法	73
4.2 净化装置的分类	74
4.2.1 气溶胶污染物净化装置	74

4.2.2 气态污染物净化装置	74
4.3 净化装置的性能	76
4.3.1 净化装置技术性能的一般表示方法	76
4.3.2 净化效率的表示方法	77
4.3.3 排放浓度及排放速率	79
习题与思考	80

第5章 气态污染物控制技术基础

5.1 气体扩散	81
5.1.1 分子扩散速率方程	81
5.1.2 气体在气相中的扩散系数	82
5.1.3 气体在液体中的扩散系数	83
5.2 气体吸收	83
5.2.1 气液相平衡关系	83
5.2.2 吸收机理与速率方程	86
5.2.3 伴有化学反应的吸收过程动力学	88
5.2.4 吸收设备	96
5.3 气体吸附	98
5.3.1 吸附原理	98
5.3.2 吸附剂	102
5.3.3 吸附速率	106
5.3.4 吸附设备	108
5.4 气体催化转化	114
5.4.1 催化作用和催化剂	114
5.4.2 气固相催化反应动力学	117
5.4.3 SO_2 催化氧化动力学方程	124
5.4.4 气-固相催化反应器	124
习题与思考	130

第6章 颗粒态污染物净化设备

6.1 机械式除尘器	132
6.1.1 重力沉降室	132
6.1.2 惯性除尘器	134
6.1.3 旋风除尘器	135
6.2 电除尘器	142
6.2.1 电晕的发生	142

6.2.2 电场	144
6.2.3 粒子荷电	145
6.2.4 粒子的捕集	147
6.2.5 电除尘器的工作原理	149
6.2.6 电除尘器的特点	150
6.2.7 电除尘器的分类	150
6.2.8 电除尘器结构	151
6.2.9 电除尘器的供电	155
6.2.10 影响电除尘器性能的因素	156
6.2.11 电除尘器的选择设计 and 应用	160
6.3 过滤式除尘器	161
6.3.1 袋式除尘器的工作原理	162
6.3.2 袋式除尘器的滤料和结构型式	165
6.3.3 袋式除尘与静电除尘比较	169
6.3.4 袋式除尘器的选择设计 and 应用	170
6.3.5 颗粒层除尘器	171
6.3.6 电袋复合除尘器	172
6.4 湿式洗涤器	173
6.4.1 概述	173
6.4.2 重力喷雾洗涤器	175
6.4.3 旋风洗涤器	177
6.4.4 自激喷雾洗涤器	178
6.4.5 文丘里洗涤器	179
习题与思考	182

第 7 章 气态污染物控制工艺

7.1 硫氧化物的控制工艺	183
7.1.1 燃烧前燃料脱硫	183
7.1.2 燃烧中脱硫	185
7.1.3 高浓度二氧化硫的回收和净化	187
7.1.4 燃烧后烟气脱硫	190
7.2 固定源氮氧化物的控制工艺	207
7.2.1 氮氧化物的来源和危害	207
7.2.2 氮氧化物的形成机理	207
7.2.3 低氮氧化物燃烧技术	211
7.2.4 燃烧后烟气脱硝	214
7.3 挥发性有机物的控制工艺	223

7.3.1 概述	223
7.3.2 冷凝法净化含 VOCs 废气	224
7.3.3 吸收法净化含 VOCs 废气	226
7.3.4 吸附法净化含 VOCs 废气	227
7.3.5 燃烧法净化含 VOCs 废气	228
7.3.6 生物法净化含 VOCs 废气	233
7.3.7 VOCs 净化新技术	235
7.4 恶臭物质的控制工艺	237
7.4.1 恶臭物质的分类与来源	237
7.4.2 恶臭污染的一般控制方法	238
习题与思考	239

第 8 章 净化系统的设计

8.1 净化系统概述	241
8.1.1 净化系统的组成	241
8.1.2 净化系统设计的基本内容	242
8.2 集气罩	242
8.2.1 集气罩的集气机理	242
8.2.2 集气罩的基本类型	245
8.2.3 集气罩的性能参数及计算	249
8.2.4 集气罩的设计	252
8.3 管道系统的设计	258
8.3.1 管道系统部件	258
8.3.2 管道系统布置	262
8.3.3 管道系统设计计算	264
8.3.4 烟囱设计	267
8.4 净化装置选择	271
8.4.1 净化装置的选择	271
8.4.2 净化装置的费用	276
8.5 净化系统的动力选择	279
习题与思考	282

第 9 章 城市空气污染

9.1 城市扬尘	284
9.1.1 什么是扬尘	284
9.1.2 城市扬尘的来源	285

9.1.3 城市扬尘的影响因子	286
9.1.4 城市扬尘的危害	287
9.1.5 城市扬尘的防治	288
9.2 机动车污染	289
9.2.1 机动车尾气污染物种类及危害	289
9.2.2 机动车尾气污染的防治	291
9.3 持久性有机污染物 (POPs) 污染	292
9.3.1 POPs 的定义	292
9.3.2 POPs 的种类与危害	292
9.3.3 POPs 的来源	293
9.3.4 POPs 的降解消除	293
9.4 光化学烟雾	293
9.4.1 什么是光化学烟雾	293
9.4.2 光化学烟雾是怎么形成的	294
9.4.3 光化学烟雾的危害	295
9.4.4 光化学烟雾的防治	295
9.5 温室效应	296
9.5.1 温室效应的定义	296
9.5.2 温室气体的种类	296
9.5.3 温室效应的影响	297
9.5.4 温室效应的防治对策	298
9.6 酸雨	299
9.6.1 酸雨的定义	299
9.6.2 酸雨的成因分析	299
9.6.3 酸雨的危害	300
9.6.4 酸雨的防治对策	301
9.7 雾霾	302
9.7.1 雾霾的定义	302
9.7.2 “雾”和“霾”的区别	302
9.7.3 雾霾的成因分析	303
9.7.4 雾霾天气的危害	303
9.7.5 雾霾天气的防治措施	303
习题与思考	305
参考文献	306

第1章 概 论

学 习 提 示

掌握大气污染和室内大气污染的含义、类型；掌握大气污染物的含义、类型和来源；掌握环境空气质量控制标准的种类和主要内容，理解空气质量指数 AQI 的应用。

学习重点：大气污染物的类型和来源。

学习难点：环境空气质量控制标准的种类及其应用。

1.1 大气环境与大气污染

1.1.1 大气圈的构成及大气组成

1. 大气圈的垂直结构

地球表面环绕着一层很厚的气体，称为环境大气或地球大气，简称大气。大气是自然环境的重要组成部分，是人类及生物赖以生存的必不可少的物质。

将受地心引力而随地球旋转的大气层称为大气圈。大气圈与宇宙空间之间的界限很难确切划分，常认为“距离地表 1200~1400km”的范围是大气圈的“上边界”。大气圈的垂直结构是指气象要素（如气温、气压、大气密度和大气成分等）的垂直分布情况。根据气温在垂直于下垫面方向上的分布，可将大气圈分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层五层。

(1) 对流层

对流层是大气圈最低的一层。其厚度随纬度的增加而降低，赤道处约为 16~17km，中纬度地区约为 10~12km，两极附近只有 8~9km。对流层的下层（厚度约为 1~2km）气流受下垫面阻滞和摩擦的影响很大，称为大气边界层（或摩擦层），其中从地面到 50~100m 左右的一层又称近地层。在近地层中，垂直方向上热量和动量的交换甚微，上下气温之差可达 1~2℃。在近地层以上，气流受地面摩擦的影响越来越小，几乎不受地面摩擦的影响，称为自由大气。

对流层虽然较薄，但集中了整个大气质量的 3/4 和几乎全部水蒸气，主要的天气现象都发生在这一层中，它是天气变化最复杂、对人类活动影响最大的一层。大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，大气温度随高度增加而降低，每升高 100m 平均降温约 0.65℃；温度和湿度的水平分布不均匀，在热带海洋上空，大气比较温暖潮湿，在高纬度内陆上空，大气比较寒冷干燥，经常发生大规模大气的水平运动。

(2) 平流层

从对流层顶到 50~55km 高度的一层称为平流层。从对流层顶到 35~40km 左右的一层，气温几乎不随高度变化，为 -55℃ 左右，称为同温层。平流层集中了大气中大部分臭氧（O₃），并在 20~25km 高度上达到最大值，形成臭氧层。臭氧层能强烈吸收波长为 200~300nm 的太阳紫外线，保护了地球上的生命免受紫外线的伤害。

在平流层中，几乎没有大气对流运动，大气垂直混合微弱，极少出现雨雪天气，所以进入平流层中的大气污染物的停留时间很长，特别是进入平流层的氟氯烃（CFC）等大气污染物，能与臭氧发生光化学反应，致使臭氧层的臭氧逐渐减少。

(3) 中间层

从平流层顶到 85km 高度的一层称为中间层。气温随高度升高而迅速降低，其顶部气温可达-83℃以下，大气的对流运动强烈，垂直混合明显。

(4) 暖层

从中间层顶到 800km 高度的一层称为暖层。在强烈的太阳紫外线和宇宙射线作用下，再度出现气温随高度升高而增高的现象。暖层气体分子被高度电离，存在着大量的离子和电子，又称为电离层。

(5) 散逸层

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，空气粒子的运动速度很高，可以摆脱地球引力而散逸到太空中。

整个大气圈是地球系统中最活跃的部分，其不断地流动变化，把太阳的光和热及其辐射能量输送给地球，在地球各处形成各种各样的天气和气候，影响着人类的生存环境和生产活动。其中，对人类生存环境影响最大的是对流层，其大气边界层是大气污染的活跃层，大气自由层是天气活跃层，而平流层内的臭氧层变化直接影响人类生存，因此也是大气污染研究的主要内容。从大气污染控制角度出发，我们最关心的是大气温度、压力、密度成分的分布（垂直分布），这些规律将对大气扩散、臭氧层保护和温室气体控制起到重要作用。

2. 大气组成

大气是由多种气体混合而成的，可以分为干洁空气、水蒸气和各种杂质三部分。

干洁空气的主要成分是氮、氧、氩和二氧化碳气体，其体积含量占全部干洁空气的 99.996%，氦、氖、氫、甲烷等次要成分只占 0.004%。表 1-1 列出了乡村或远离大陆的海洋上空典型的干洁空气的组成。干洁空气的平均分子量 28.966，在标准状态下（273.15K，101325Pa）密度为 1.293kg/m³。由于大气的垂直运动、水平运动、湍流运动及分子扩散等原因，使不同高度、不同地区的大气得以交换和混合，从地面到 90km 左右的高度，干洁空气的组成基本保持不变。

表 1-1 干洁空气的组成

成分	分子量	体积比（%）
氮（N ₂ ）	28.01	78.084±0.004
氧（O ₂ ）	32.00	20.946±0.002
氩（Ar）	39.94	0.934±0.001
二氧化碳（CO ₂ ）	44.01	0.033±0.001

大气中的水蒸气平均含量不到 0.5%，而且随着时间、地点和形象条件等不同而有较大变化，其变化范围可达 0.01%~4%。大气中的水蒸气含量虽然很少，但却导致了各种复杂的天气现象（云、雾、雨、雪、霜、露等），这些现象不仅引起空气湿度的变化，而且还导致大气中热能的输送和交换。此外，水蒸气吸收太阳辐射的能力较弱，但吸收地面长波辐射的能力却较强，对地面的保温起着重要的作用。

大气中的各种杂质是由于自然过程和人类活动排到空气中的各种悬浮微粒和气态物质形

成的。大气中的悬浮微粒，除了由水蒸气凝结成的水滴和冰晶外，主要是各种有机的或无机的固体微粒。有机微粒数量较少，主要是植物花粉、微生物、细菌、病毒等。无机微粒数量较多，主要有岩石或土壤风化后的尘粒、流星在大气层中燃烧后产生的灰烬、火山喷发后留在大气中的火山灰、海洋中浪花溅起在空中蒸发留下的盐粒，以及地面上燃料燃烧和人类活动产生的烟尘等。大气中的各种气态物质，也是由于自然过程和人类活动产生的，主要有硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳、硫化氢、氨、甲烷、甲醛、烃蒸气、恶臭气体等。

1.1.2 大气污染

1. 大气污染的含义

大气污染系指由于人类活动或自然过程使得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，并因此危害了人体的舒适、健康和人们的福利，甚至危害了生态环境。

人类活动主要包括生产活动和生活活动（如做饭、取暖、交通等）。自然过程主要包括山林火灾、海啸、土壤和岩石的风化及大气圈的空气运动等。一般说来，由于自然环境所具有的物理、化学和生物机能，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）。所以从某种程度上可以说，大气污染主要是人类活动造成的。

2. 大气污染的影响

大气污染对人体的舒适、健康的危害，包括对人体的正常环境和生理机能的影响，引起急性病、慢性病以致死亡等。

大气污染物侵入人体主要有表面接触、食入含污染物的食物和水、吸入被污染的空气三条途径。大气污染对人体健康的危害主要表现为引起呼吸道疾病。在突然的高浓度污染物作用下，可造成急性中毒，甚至在短时间内死亡。长期接触低浓度污染物，会引起支气管炎、支气管哮喘、肺气肿和肺癌等病症。大气污染对植物的伤害，通常发生在叶子结构中，因为叶子含有整棵植物的构造机理，最常遇到的毒害植物的气体有二氧化硫、臭氧、过氧乙酰硝酸酯（PAN）、氟化氢、乙烯、氯化氢、氯、硫化氢和氨等。大气污染对金属制品、油漆涂料、皮革制品、纸制品、纺织品、橡胶制品和建筑物等的损害也是严重的，这种损害包括玷污性损害和化学性损害两个方面。玷污性损害主要是粉尘、烟等颗粒物落在器物上面造成的，有的可以清扫冲洗除去，有的很难除去。化学性损害是由于污染物的化学作用，使器物 and 材料腐蚀或损坏。

大气污染最常见的后果之一是大气能见度降低。一般说来，对大气能见度或清晰度有影响的污染物，包括气溶胶粒子、能通过大气反应生成气溶胶粒子的气体或有色气体。因此，对能见度有潜在影响的污染物有总悬浮颗粒物（TSP）、可吸入颗粒物（ PM_{10} ）、细颗粒物（ $PM_{2.5}$ ）、 SO_2 、 NO_x 和光化学烟雾等。大气能见度的降低，不仅会使人感到不愉快，而且会造成极大的心理影响，还会产生交通安全方面的危害。

大气污染引起的全球性影响，有 CO_2 等温室气体引起的温室效应以及 SO_2 、 NO_x 排放产生的酸雨等。一些研究者认为，由于太阳辐射的散射损失和吸收损失，气溶胶粒子霾层会导致太阳辐射强度的降低，在受影响的气团区域，辐射散射损失可能会致使气温降低 $1^\circ C$ 。

3. 大气污染的类型

大气污染类型主要取决于所用能源性质和污染物的化学反应特性。同时气象条件（如阳光、风、湿度及逆温等）也起着重要的作用，从大气污染的发展历史来看，可根据不同的出发点进行不同分类。

(1) 按大气污染物的化学性质分类

① 还原型（煤烟型）

这种类型常发生在以使用煤炭为主，同时也使用石油的地区，它的主要污染物是 SO_2 、CO 和微粒物质。若遇上低温、高湿度的阴天，且风速很小并伴有逆温存在的情况时，一次污染物扩散受阻，易在低空聚积，以致生成了还原型烟雾。英国伦敦烟雾事件属于这种污染类型。

② 氧化型（石油型）

这种类型常发生在采用石油为燃料的地区。污染物的主要来源是汽车尾气和燃油锅炉以及石油化工企业，主要的一次污染物是 CO、 NO_x 和 HC，在太阳辐射作用下易引起光化学反应，生成二次污染物 O_3 、醛类和 PAN 等物质。它们是强氧化性物质，可以造成橡胶开裂、眼睛等黏膜引起强烈刺激和呼吸系统疾病。美国洛杉矶烟雾事件属于这种污染类型。

③ 酸雨型（酸性降水型）

由煤炭和石油在燃烧或加工过程中产生的混合污染物造成的大气污染，或者是由工业企业排放的各种混合污染物造成的大气污染。如酸性降水就属于这种类型。

④ 特殊型

它是指生产和使用过程中向空气排放有毒有害物质而造成的局部地区乃至全球性大气污染，因大部分是由于特殊原因和某种特殊的污染物所致，所以称为特殊型大气污染。如温室效应属于这种类型。

(2) 按大气污染的范围分类

从大气污染范围大小出发，可将空气污染分为局部地区污染、地区性污染、区域性污染和全球性污染四大类。所谓局部地区污染，是指污染源附近极小范围的污染；地区性污染，是指某工厂区域的污染；区域性污染，是指大工业城市及其附近的污染；全球性污染，是指污染超越国界，影响全球，如酸雨、温室效应和臭氧层破坏等。

当然，也可以把大气污染划分为室内污染和室外污染（大气污染）两大类。室内（居室内、车间内）空气质量越来越受到重视。随着人类社会使用的现代化、电气化器件增加，随着新型建筑材料和合成材料的大量使用，室内空气污染问题日趋严重，引起广泛关注。

1.1.3 室内空气污染

1. 室内空气污染的含义

“室内”主要指居室内或车间内等，室内空气污染是指由于各种原因导致的室内空气中有害物质超标，进而影响人体健康的室内环境污染行为，是有害的化学性因子、物理性因子或生物性因子进入室内空气中并已达到对人体身心健康产生直接或间接、近期或远期，或者潜在有害影响的程度的状况。

室内空气污染类型可分为生物污染、化学污染、放射性污染和物理污染。生物污染主要来自于霉菌、花粉、携带的细菌和病毒以及尘螨等；化学污染主要来自建筑材料、装饰材料、日用化学品、人体排泄物、香烟和燃烧产物等；放射性污染主要来自于铀、钍和氡等；物理污染主要包括噪声、电磁辐射和光线等。

有关专家认为，18 世纪工业革命以来的煤烟型污染为第一空气污染时期，19 世纪石油和汽车工业带来光化学烟雾污染为第二空气污染时期，20 世纪以来大量使用能源和特殊建筑材料带来室内空气污染为第三空气污染时期。

人们每天平均大约有 80% 以上的时间在室内度过, 室内空气质量对人体健康的关系就显得更加密切、更加重要。室内污染物的浓度虽然较低, 但由于接触时间很长, 故其累积接触量很高, 室内空气质量问题随之成为重要环境问题之一。

2. 室内空气污染物

(1) 甲醛

甲醛 (CH_2O) 是最普遍存在且毒性较强的室内空气污染物。

甲醛并不是由住户的活动所产生的, 而是由一些消费产品和建筑材料释放出来的, 包括压木制品、绝缘材料 (尿素—甲醛发泡绝缘体) 和纺织品等, 也可从燃料燃烧产生。甲醛只有在新的材料被带进室内时才会产生。让房子通风一段时间, 甲醛的浓度便会降下来。

(2) 苯及苯系物

苯及苯系物主要来源于有机溶剂 (如油漆的添加剂和稀释剂)、防水材料添加剂、装饰材料、人造板家具等使用的粘合剂的溶液。

(3) 氨

氨主要来源于建筑材料中的混凝土外加剂 (冬季施工常常在混凝土墙体中加入以尿素和氨水为主要原料的外加剂对混凝土进行防冻保护, 这些添加剂在墙体中会随环境因素的变化而被还原成氨气并从墙体中缓慢释放出来, 造成室内空气中氨浓度的增加) 和室内装饰材料中的添加剂、增白剂 (采用含有尿素组分胶粘剂的木制板、以氨水作为添加剂与增白剂的涂料) 等。

(4) 挥发有机化合物 (VOC)

在室内空气中有 300 多种挥发性有机化合物, 如醛类、烷类、烯类、醚类、酮类及多环芳烃 (PAHs) 等, 虽然它们并不同时全部存在, 但却经常有好几种同时存在。VOC 主要源于: ①建筑材料、室内装饰材料及生活和办公用品; ②家用燃气、燃煤、烟草烟雾; ③室外工业废气、汽车尾气、光化学污染等。

(5) 氡

虽然氡气不被视为空气污染物, 但在住宅中有较高的浓度, 尤其是地下室等地方。氡气是一种从天然地质过程或建筑材料中释放出的一种放射性气体。

(6) 新风量

新风量是指室内新鲜空气的总量。使用新风的目的是提供呼吸所需要的空气, 稀释气味, 除去过量的湿气, 稀释室内污染物。我国国家标准《室内空气质量标准》(GB/T 18883—2002) 中确定新风量不应小于 $30\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$, 这是根据人体的生理需要量而定的, 以保证 CO_2 的浓度不超过国家标准的 0.1%。

新风量不足的主要原因有: ①房屋自然通风能力普遍不足; ②对于空调房屋, 为了节省运行费用按最小新风量运行导致新风量不足; ③新风输送和扩散过程的污染, 恶化了新风品质, 削弱了新风的稀释作用; ④空调系统运行管理不当也可造成新风量的不足。

1.2 大气污染物及其危害

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和环境产生有害影响的物质。

大气污染物的种类很多, 按其存在状态分为气溶胶状态污染物和气体状态污染物。根据污染物发生机理可分为一次污染物和二次污染物。一次污染物是指直接从污染源排到大气中

的原始污染物质，二次污染物是指由一次污染物与大气中已有组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质。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(SO_x)、氮氧化物(NO_x)、碳氧化物(CO 、 CO_2)及有机化合物($\text{C}_1 \sim \text{C}_{10}$ 化合物)等；二次污染物主要有硫酸烟雾、光化学烟雾以及化学反应生成的颗粒物，包括 H_2S 、 SO_2 、 NO_x 、 NH_3 及碳氢化合物的转化产物等， H_2S 及 SO_2 转化成硫酸盐， NO_x 及 NH_3 转化成硝酸盐，碳氢化合物反应形成的产物在大气温度下会凝结形成颗粒。

1.2.1 气溶胶状态污染物

在大气污染中，气溶胶系指沉降速度可以忽略的小固体粒子、液体粒子或它们在气体介质中的悬浮体系。从大气污染控制的角度，按照气溶胶的来源和物理性质，可分为以下几种：

(1) 粉尘

粉尘系指悬浮于气体介质中的小固体颗粒，受重力作用能发生沉降，但在一段时间内能保持悬浮状态。它通常是由于固体物质的破碎、研磨、分级和输送等机械过程，或土壤、岩石的风化等自然过程形成的。颗粒的形状往往是不规则的。颗粒的尺寸范围一般为 $1 \sim 200 \mu\text{m}$ 左右。属于粉尘类的大气污染物的种类很多，如黏土粉尘、石英粉尘、煤粉、水泥粉尘、各种金属粉尘等。

(2) 烟

烟系指由冶金过程形成的固体颗粒的气溶胶，它是由熔融物质挥发后生成的气态物质的冷凝物，在生成过程中总是伴有诸如氧化之类的化学反应。烟颗粒的尺寸一般为 $0.01 \sim 1 \mu\text{m}$ 左右。产生烟是一种较为普遍的现象，如有色金属冶炼过程中产生的氧化铅烟、氧化锌烟。

(3) 飞灰

飞灰又称粉煤灰，由燃料（主要是煤）燃烧过程中排出的微小灰粒，其粒径一般在 $1 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间。飞灰的排放量与燃煤中的灰分含量有关。飞灰主要物相是玻璃体，占 $50\% \sim 80\%$ ，所含晶体矿物有莫来石、 α -石英、方解石、钙长石、硅酸钙、赤铁矿和磁铁矿等，还有少量未燃的碳。

(4) 黑烟

黑烟系指由燃料燃烧产生的能见气溶胶。在某些情况下，粉尘、烟、飞灰、黑烟等小固体颗粒气溶胶的界限，很难明显区分开，根据我国的习惯，一般可将冶金过程和化学过程形成的固体颗粒气溶胶称为烟尘；将燃料燃烧过程产生的飞灰和黑烟，在不需仔细区分时，也称为烟尘。在其他情况下，或泛指小固体颗粒的气溶胶时，则通称粉尘。

(5) 雾

雾是气体中液滴悬浮体的总称。在气象中是指造成能见度小于 1km 的小水滴悬浮体系。在工程中，雾一般泛指小液体粒子悬浮体系，它是由于液体蒸气的凝结、液体的雾化及化学反应等过程形成的，如水雾、酸雾、碱雾、油雾等。

(6) 铅

大气中的铅以颗粒物形式存在，颗粒大小介于 $0.16 \sim 0.43 \mu\text{m}$ 之间。与其他主要的大气污染物相反，铅是一种累积性的有毒物质。铅可通过食物和水被人体摄入，摄入的铅大约有 $5\% \sim 10\%$ 被人体吸收，从大气吸入的铅大约有 $20\% \sim 50\%$ 被人体吸收，其余未被人体吸收