



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

大气污染治理技术与设备

江 晶 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

大气污染治理技术与设备

江 晶 编著



北 京

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书在简要介绍国内外大气污染治理技术与设备发展现状、趋势以及大气污染治理技术知识的基础上,较系统地介绍了粉尘污染物治理技术与设备、气态污染物吸收净化技术与设备、气态污染物吸附净化技术与设备、气态污染物催化净化技术与设备、气态污染物生物净化技术与设备、气态污染物的其他净化技术与设备等,每章后附有相应的思考题。

本书可作为高等学校环境学、环境工程及化工机械类专业的本科生教材或研究生参考书,也可供从事环境学、环境工程与大气污染控制工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气污染治理技术与设备/江晶编著. —北京:冶金工业出版社, 2018. 3

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7696-0

I. ①大… II. ①江… 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 (2018) 第 012901 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 郭冬艳 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹 蕊

责任校对 卿文春 责任印制 李珏山

ISBN 978-7-5024-7696-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2018 年 3 月第 1 版, 2018 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 18.25 印张; 441 千字; 280 页

40.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

现代工农业的迅速发展,给人类带来许多物质利益与社会利益,也带来了很多问题,其中之一就是环境污染。由于现代城市的崛起和发展,人类的社会活动和日常生活越来越多地使用能源和利用各种资源,如燃烧装置的排放,各类车辆尾气、餐饮酒店烟囱的烟气,这些活动将会产生越来越严重的空气污染。

空气是自然界中最宝贵的资源,是人类生存最重要的环境因素之一。空气的正常化学组成是保证人体生理机能和健康的必要条件。人生活在空气里,洁净的空气对于生命来说,比任何东西都重要。人需要呼吸新鲜洁净的空气来维持生命,生命的新陈代谢一时一刻也离不开空气。有资料表明,一个人5周不吃食物、5天不喝水,仍能维持生命,而5min不呼吸就会死亡。空气特别是洁净空气,对于人类的生存和动植物的生长起着十分关键的作用。事实表明,在空气污染严重的地方,人体健康、动植物的生长发育和环境生态都会受到危害。空气污染的防治普遍受到各国的极大重视。我国政府早在1987年就颁布了《中华人民共和国大气污染防治法》,并经多次修订。2013年9月国务院发布《大气污染防治行动计划》,简称“大气十条”。“大气十条”是当前和今后一个时期全国大气污染防治工作的行动指南。为了适应我国环保事业的发展和培养环保人才的需要,特编写了本书。

全书共分9章。第1章介绍了大气的组成与大气层的结构、大气污染物及污染源、大气污染的危害及治理措施、我国大气污染的现状、大气污染治理设备及大气污染防治的法规与标准、国内外大气污染治理技术与设备的发展现状;第2章介绍了燃料燃烧的基本条件、过程、燃烧过程污染物排放量的计算和燃烧过程中主要污染物的形成与控制;第3章介绍了大气污染治理技术的基础知识,包括:粉尘、气体的基本性质、烟气的理化性质和净化装置的性能;

第4章介绍了粉尘污染物治理技术及设备,其中包括:机械式除尘技术与设备、过滤式除尘技术与设备、电除尘技术与设备、湿式除尘技术与设备和除尘设备的选择;第5章介绍了气态污染物吸收净化技术(物理吸收、化学吸收的气液相平衡,吸收传质机理、吸收速率方程式、吸收塔的物料平衡)、设备及应用;第6章介绍了气态污染物吸附净化技术与设备,包括:吸附的基本理论、吸附及吸附剂、吸附工艺及吸附设备结构、吸附净化机械设备的设计及应用;第7章介绍了气态污染物催化净化技术与设备,其中包括:催化净化技术及其分类、催化作用及催化剂、气固相催化反应及速率方程、气固相催化反应器结构及其设计计算、影响催化净化的因素和催化净化技术的应用;第8章介绍了气态污染物生物净化技术与设备,包括:微生物净化气态污染物的原理、生物净化气态污染物的工艺与反应器结构、影响生物净化气态污染物的主要因素、生物净化设备的设计计算机应用;第9章介绍了气态污染物的其他净化技术与设备,包括:冷凝净化技术、原理、冷却方式、冷凝设备与应用,气体分离膜的特性参数、气体膜分离机理、膜材料及分类、气体膜分离的流程和气体膜分离设备及应用,气态污染物的燃烧净化技术、燃烧转化原理、燃烧过程与设备设计及燃烧净化法的工业应用。每章后都附有帮助消化相关内容的思考题。

本书由东北大学刘树英教授主审;本书的出版,得到了东北大学机械工程和自动化学院的资助;在编写过程中,得到同行专家们的大力帮助,也得到东北大学过程装备与环境工程研究所等单位的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,诚请广大读者批评、指正。

作者

2017年10月

目 录

1 概论	1
1.1 空气(大气)的组成及结构	1
1.1.1 空气(大气)的组成	1
1.1.2 大气层结构	2
1.2 大气污染的概念和分类	4
1.2.1 大气的重要性	4
1.2.2 大气污染的概念及特点	4
1.2.3 大气污染的分类	5
1.3 大气污染物及污染源	6
1.3.1 大气污染物	6
1.3.2 大气污染物的来源	8
1.4 大气污染的危害及治理措施	9
1.4.1 大气污染的危害	9
1.4.2 大气污染的综合治理措施	11
1.5 我国大气污染的现状	13
1.5.1 我国大气污染的特点	13
1.5.2 我国大气污染的现状	13
1.6 大气污染治理设备	14
1.6.1 大气污染治理设备的分类	14
1.6.2 大气污染治理设备的特点	15
1.7 大气污染防治的法规与标准	16
1.7.1 大气污染防治法	16
1.7.2 环境空气质量标准	17
1.8 国内外大气污染治理技术与设备的发展现状	19
1.8.1 国外大气污染治理技术与设备的发展现状	19
1.8.2 国内大气污染治理技术与设备的发展现状	21
1.9 本章小结	23
思考题	23
2 燃烧与大气污染	24
2.1 燃料	24
2.1.1 燃料的分类	24

2.1.2 燃料的组成	24
2.2 燃料的燃烧	29
2.2.1 燃烧过程	29
2.2.2 燃烧的基本条件	30
2.2.3 燃料燃烧的计算	30
2.2.4 燃料燃烧产生的主要污染物	32
2.3 燃烧过程污染物排放量的计算	33
2.3.1 烟气量的计算	33
2.3.2 污染物排放量的计算	34
2.3.3 燃料燃烧污染物排放量的衡算方法	35
2.4 燃烧过程中主要污染物的形成与控制	40
2.4.1 燃烧过程中硫氧化物的形成与控制	40
2.4.2 燃烧过程中氮氧化物的形成与控制	42
2.4.3 燃烧过程中颗粒污染物的形成与控制	43
2.5 本章小结	44
思考题	45
3 大气污染治理技术的基础知识	46
3.1 粉尘的基本性质	46
3.1.1 粉尘的分类	46
3.1.2 粉尘颗粒粒径及粒径分布	47
3.1.3 粉尘颗粒的物理化学特性	55
3.2 气体的基本性质	59
3.2.1 气体的压力与气体状态方程	59
3.2.2 气体的温度	60
3.2.3 气体的密度	60
3.2.4 气体的黏度	60
3.2.5 气体的湿度	60
3.2.6 气体的露点	62
3.2.7 气体的比热	62
3.3 烟气的理化性质	63
3.3.1 粉尘浓度	63
3.3.2 含尘气体的湿度	63
3.3.3 含尘气体的温度	64
3.3.4 含尘气体的可燃性和爆炸性	64
3.3.5 含尘气体的腐蚀性	65
3.3.6 含尘气体的预处理	65
3.4 净化装置的性能	65
3.4.1 净化装置的处理能力	66

3.4.2 净化装置的净化效率	66
3.4.3 净化装置的压力损失	67
3.5 本章小结	68
思考题	69
4 粉尘污染物治理技术及设备	70
4.1 除尘器的基本概况	70
4.1.1 除尘器的分类	70
4.1.2 除尘器的性能	71
4.2 机械式除尘技术与设备	71
4.2.1 重力沉降室	72
4.2.2 惯性除尘器	77
4.2.3 旋风除尘器	81
4.3 过滤式除尘技术与设备	96
4.3.1 袋式除尘器的除尘机理	96
4.3.2 袋式除尘器的分类、结构与工作原理	96
4.3.3 袋式除尘器的工作性能参数	105
4.3.4 袋式除尘器的设计计算	107
4.3.5 袋式除尘器的选择与结构设计	109
4.3.6 颗粒层除尘器	110
4.4 电除尘技术与设备	114
4.4.1 电除尘器的除尘过程与性能特点	114
4.4.2 电除尘器的分类与结构	115
4.4.3 影响电除尘器性能的主要因素	124
4.4.4 电除尘器的设计与选型	128
4.5 湿式除尘技术与设备	131
4.5.1 湿式除尘器分类及性能	132
4.5.2 湿式除尘器的除尘机理	133
4.5.3 湿式除尘器的结构与工作原理	134
4.5.4 湿式除尘器的设计	150
4.6 除尘设备的选择	152
4.7 本章小结	153
思考题	154
5 气态污染物吸收净化技术与设备	156
5.1 气液相平衡	156
5.1.1 物理吸收的气液相平衡	156
5.1.2 化学吸收的气液相平衡	158
5.2 吸收速率	161

5.2.1 吸收传质机理	161
5.2.2 吸收速率方程式	162
5.2.3 吸收塔的物料平衡	163
5.3 吸收净化技术与设备	165
5.3.1 吸收净化机械设备的类型与结构	165
5.3.2 吸收净化机械设备的設計	170
5.3.3 吸收工艺	177
5.4 吸收净化技术的应用	179
5.4.1 吸收净化技术在烟气脱硫中的应用	179
5.4.2 吸收法在净化含氮氧化物废气中的应用	180
5.4.3 吸收法在净化含氟废气中的应用	181
5.5 本章小结	182
思考题	182
6 气态污染物吸附净化技术与设备	184
6.1 吸附的基本理论	184
6.1.1 吸附平衡	184
6.1.2 吸附速率	187
6.2 吸附及吸附剂	188
6.2.1 物理吸附与化学吸附	188
6.2.2 吸附剂的选择原则及工业吸附剂	190
6.2.3 吸附剂再生	194
6.3 吸附工艺及吸附设备	195
6.3.1 吸附工艺	195
6.3.2 变压吸附工艺	196
6.3.3 吸附净化机械设备的类型及结构	197
6.4 吸附净化机械设备的設計	204
6.4.1 固定床吸附器的設計	204
6.4.2 移动床吸附器的設計	206
6.5 吸附净化技术的应用	209
6.5.1 吸附法净化有机废气	209
6.5.2 吸附法净化含二氧化硫废气	210
6.5.3 吸附法净化含氮氧化物废气	212
6.6 本章小结	213
思考题	213
7 气态污染物催化净化技术与设备	214
7.1 概述	214
7.1.1 催化净化技术及其分类	214

7.1.2 催化作用	214
7.1.3 催化剂	215
7.2 气固相催化反应及速率方程	218
7.2.1 气固相催化反应过程	218
7.2.2 气固相催化反应速率方程	219
7.3 气固相催化反应器及其设计	221
7.3.1 气固相催化反应器的分类及选择	221
7.3.2 气固相催化反应器的设计计算	222
7.3.3 流体通过固定床层的压力降计算	226
7.4 影响催化净化的因素	227
7.4.1 温度的影响	227
7.4.2 空速的影响	228
7.4.3 操作压力的影响	228
7.4.4 废气初始组成的影响	228
7.5 催化净化技术的应用	228
7.5.1 汽车尾气的催化净化技术	228
7.5.2 净化含 SO_2 废气的催化净化技术	230
7.5.3 净化含 NO_x 废气的催化净化技术	231
7.6 本章小结	234
思考题	234
8 气态污染物生物净化技术与设备	236
8.1 微生物净化气态污染物的原理	236
8.1.1 气态污染物生物净化的原理	236
8.1.2 废气生物降解的微生物分类	237
8.2 生物净化气态污染物的反应器	238
8.2.1 生物净化反应器的分类	238
8.2.2 生物净化反应器	239
8.3 生物净化气态污染物的工艺	240
8.3.1 生物净化气态污染物的洗涤工艺	240
8.3.2 生物净化气态污染物的过滤工艺	241
8.4 影响生物净化气态污染物的主要因素	243
8.4.1 填料对生物净化气态污染物的影响	243
8.4.2 pH 值对生物净化气态污染物的影响	244
8.4.3 溶解氧对生物净化气态污染物的影响	244
8.4.4 湿度对生物净化气态污染物的影响	245
8.4.5 温度对生物净化气态污染物的影响	245
8.5 生物净化设备的设计	245
8.5.1 生物洗涤器的设计计算	245

8.5.2 生物过滤器的设计计算	246
8.6 生物法净化气态污染物的应用	248
8.6.1 生物洗涤(吸收)装置的应用	248
8.6.2 生物过滤装置的应用	249
8.6.3 生物滴滤装置的应用	251
8.7 本章小结	251
思考题	251
9 气态污染物的其他净化技术与设备	253
9.1 气态污染物的冷凝净化技术与设备	253
9.1.1 冷凝净化技术	253
9.1.2 冷凝净化原理	253
9.1.3 冷却方式与冷凝设备	254
9.1.4 冷凝法的典型应用	260
9.2 气态污染物的膜分离净化技术与设备	261
9.2.1 气体分离膜的特性参数	261
9.2.2 气体膜分离机理	263
9.2.3 膜材料及分类	264
9.2.4 气体膜分离设备及应用	265
9.2.5 气体膜分离的流程	266
9.2.6 气膜分离技术的应用	267
9.3 气态污染物的燃烧净化技术与设备	268
9.3.1 燃烧净化及净化法概述	268
9.3.2 燃烧转化原理	268
9.3.3 燃烧过程与设备	270
9.3.4 燃烧净化法的工业应用	275
9.4 本章小结	277
思考题	277
参考文献	279

【学习指南】

本章主要了解大气的组成及结构，大气的重要性，大气污染的概念，特点及分类；重点掌握大气污染物和污染源，大气污染的危害及治理措施，我国大气污染特点和污染现状，大气污染治理设备的分类、特点，国内外大气污染治理技术与设备的发展现状；熟悉大气污染防治法，制定环境空气质量标准的原则，我国的大气环境质量和大气污染物排放标准等内容。

包围在地球周围的大气是环境的组成要素，并参与地球表面的各种过程，提供地球上一切生命赖以生存的气体环境。整个大气层的质量约 $5.3 \times 10^{15} \text{t}$ ，其中 99.9% 以上都集中在 50km 以下的范围。大气层越往上空气越稀薄。人类活动的主要范围限于近地球表面的 20km 以下的大气层，风、云、雨、雪等天气现象多发生在该大气层中。由此可见，“大气”和“空气”是作为同义词使用的，他们的区别仅在于“大气”指的范围更大，而“空气”指的范围相对小些。大气质量的优劣，对整个生态系统和人类健康有着直接的影响。某些自然过程不断地与大气之间进行着物质和能量的交换，直接影响着大气的质量，尤其是人类活动的加剧，对大气环境质量产生长期不良的影响。推动大气污染防治，是当前面临的重要问题之一。

1.1 空气（大气）的组成及结构

大气是指地球环境周围所有空气的总和，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，人们也通过生产活动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。

1.1.1 空气（大气）的组成

空气（大气）是多种气体的混合物，空气的组成为恒定的、可变的和不定组分。恒定的组分是指空气中氮（ N_2 ）、氧（ O_2 ）和氩（Ar），以及微量的氖（Ne）、氪（Kr）、氦（He）、氙（Xe）、氢（ H_2 ）等稀有气体。可变的组分是指空气中的 CO_2 和水蒸气。大气中的不定组分有煤烟、粉尘、硫氧化物、氮氧化物等。含有上述恒定组分和可变组分的空气认为是洁净空气。空气（大气）由洁净空气、水蒸气和悬浮微粒三部分组成。洁净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。洁净空气的组成见表 1-1。

表 1-1 洁净空气的组成

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	氩 (Ar)	39.94	0.934
氧 (O ₂)	32.00	20.948	二氧化碳 (CO ₂)	44.01	0.033
氩 (Ar)	39.94	0.934	氦 (He)	4.003	5.2×10 ⁻⁴
二氧化碳 (CO ₂)	44.01	0.033	氖 (Ne)	20.18	18×10 ⁻⁴
氦 (He)	4.003	5.2×10 ⁻⁴	氙 (Xe)	131.30	0.08×10 ⁻⁴
氖 (Ne)	20.18	18×10 ⁻⁴	臭氧 (O ₃)	48.00	0.02×10 ⁻⁴
氙 (Xe)	131.30	0.08×10 ⁻⁴	甲烷 (CH ₄)	16.04	1.5×10 ⁻⁴
臭氧 (O ₃)	48.00	0.02×10 ⁻⁴			
甲烷 (CH ₄)	16.04	1.5×10 ⁻⁴			

空气中不定组分的来源主要有两个：一是自然界火山爆发、森林火灾、海啸、地震等暂时性的灾难所产生的大量尘埃、硫、硫化氢、硫氧化物、氮氧化物和盐类等悬浮颗粒引起的；二是由于人类生产工业化、人口密集、城市工业布局不合理和环境设施不完善等人为因素造成的，如煤烟、粉尘、硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物等。这些物质是造成当前大气污染的主要原因。

1.1.2 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。大气层状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、暖层和散逸层等 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) 因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。

(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

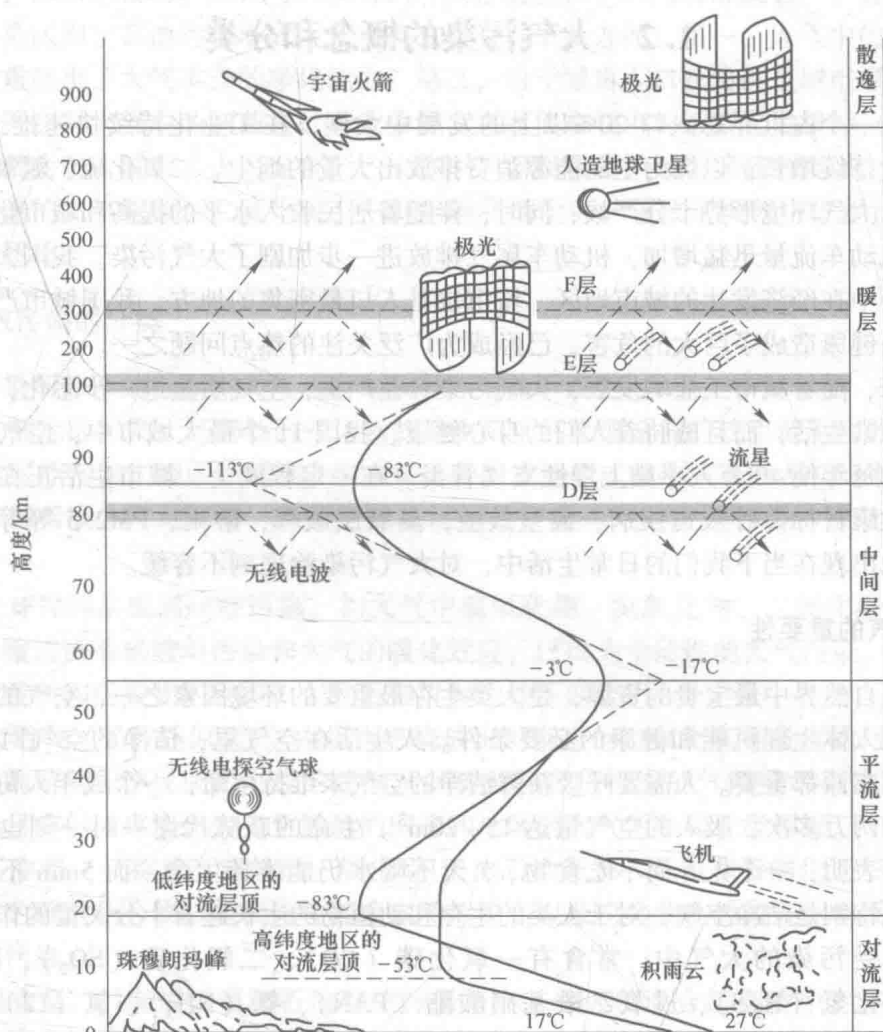


图 1-1 大气垂直方向的分层

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，保持在 -55°C 左右，称为同温层；同温层之上气温随高度增加而上升，到平流层顶升至 -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。中间层离地表 55~85km。由于该层中没有臭氧这一类可直接吸收太阳辐射能量的组分，因此这一层气温随高度增加而降低，层顶气温可降至 -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，所以又称该层为电离层。

(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，气体离子的运动速度很高，可以摆脱地球的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%，暖层及其以上层大气质量仅占大气总质量的 0.001%。

1.2 大气污染的概念和分类

我国是一个占世界总人口 20% 以上的发展中大国, 在工业化持续快速推进过程中, 能源消费量持续增长, 以煤为主的能源消费排放出大量的烟尘、二氧化硫、氮氧化物等大气污染物, 大气环境形势十分严峻; 同时, 伴随着居民收入水平的提高和城市化进程的加快, 城市机动车流量迅猛增加, 机动车尾气排放进一步加剧了大气污染。我国大气污染比较严重地集中在经济发达的城市地区, 城市也是人口最密集的地方, 我国城市严重的大气污染对居民健康造成了巨大的危害, 已经成为广泛关注的热点问题之一。

近年来, 随着城市工业的发展, 大气污染日益严重, 空气质量进一步恶化, 不仅危害到人们的正常生活, 而且威胁着人们的身心健康。我国 11 个最大城市中, 空气中的烟尘和细颗粒物每年使 40 万人感染上慢性支气管炎。在一定程度上, 城市生活正在背离人们所追求的健康目标。呼吸道疾病, 温室效应, 臭氧层破坏, 酸雨, PM_{2.5} 等等, 在这些名词频繁地出现在当下我们的日常生活中, 对大气污染治理刻不容缓。

1.2.1 大气的重要性

空气是自然界中最宝贵的资源, 是人类生存最重要的环境因素之一, 空气的正常化学组成是保证人体生理机能和健康的必要条件。人生活在空气里, 洁净的空气对于生命来说, 比任何东西都重要。人需要呼吸新鲜洁净的空气来维持生命, 一个成年人每天呼吸新鲜空气大约两万多次, 吸入的空气量达 15~20m³。生命的新陈代谢一时一刻也离不开空气, 有资料表明, 一个人 5 周不吃食物、5 天不喝水仍能维持生命, 而 5min 不呼吸就会死亡。空气特别是洁净空气, 对于人类的生存和动植物的生长起着十分关键的作用。

然而, 受污染的大气中, 常含有一氧化碳 (CO)、二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物 (NO_x)、硫化氢 (H₂S)、过氧乙酰基硝酸酯 (PAN)、氨 (NH₃)、氯 (Cl)、氯化氢 (HCl)、各种碳氢化合物, 如甲烷 (CH₄) 等, 这些有害气体常与排放到大气中的颗粒物 (气溶胶) 共同悬浮于大气中。悬浮于大气中的污染物, 不仅对太阳与地球间热量收支平衡有影响, 造成局部地区或全球性气候和气象变化, 而且能直接对动植物的生长和生存造成危害, 甚至夺取其生命, 由此可见空气 (大气) 对人类和动植物的重要性。

1.2.2 大气污染的概念及特点

大气污染就是对空气的污染, 大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、福利和生态环境。所谓人类活动不仅包括生产活动、而且还包括生活活动, 如做饭、取暖、交通等; 自然过程包括火山喷发、森林火灾、海啸、土壤和岩石的风化及大气圈中的空气运动等。由自然过程引起的大气污染, 一般通过自然环境的自净化作用, 如稀释、沉降、雨水冲洗、地面吸收、植物吸收等物理、化学及生物技能, 经过一段时间后会自动消除, 能维持生态系统的平衡。可以说, 大气污染主要是由于人类在生产活动和生活活动中向大气排放的污染物, 在大气中积累, 超过了环境的自净能力而造成的。所谓人体舒适、健康的危害, 包括对人体的正常生活环境和生理机能的影响, 引起急性病、慢性病,

甚至死亡等；而所谓福利，是指与人类协调并共存的生物、自然资源及财产、器物等。

大气污染区别于其他污染形式，其特点主要有以下几方面：第一，大气中的悬浮颗粒物过多，严重超出了大气本身的净化能力；第二，由于城市人口密集以及城市绿化面积的缺乏，导致无法对大气中的细菌进行有效分解，进而使空气中的细菌含量超标；第三，我国很多区域都为工业城市，火力发电厂、冶炼厂、居民取暖、做饭等都需要煤，煤燃烧向空中排放大量的二氧化碳、二氧化硫、一氧化碳和烟尘等，导致了大气中煤炭污染严重，环境进一步恶化。

1.2.3 大气污染的分类

按照污染所涉及的范围，大气污染大致可分为如下四类：

- (1) 局部地区污染。局部地区污染指的是由某个污染源造成的较小范围内的污染。
- (2) 地区性污染。地区性污染，如工矿区及附近地区或整个城市的大气污染。
- (3) 广域污染。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加和输送所造成酸雨污染和大气的暖化效应，已成为全球性的大气污染。

按能源性质和污染物的种类，大气污染可分为如下四类：

- (1) 煤烟型（又称还原型）。由煤炭燃烧放出的烟尘、二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硫酸盐类所构成的气溶胶污染物。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（又称汽车尾气型、氧化型）。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。在大气混合污染物中，多种污染物都以高浓度同时存在，它们之间相互耦合，发生复杂的化学反应，形成新的二次污染物。目前我国的一些城市空气中也存在较大量的煤炭和石油燃烧的污染物并存的现象。
- (4) 特殊型。特殊型指的是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。例如，磷肥厂排出的特殊气体所造成的污染，氯碱厂周围易形成氯气污染等。

煤烟型和石油型为两种最基本最主要的大气污染类型，它们的主要特点如表 1-2 所示。

表 1-2 大气主要污染类型及特点

项 目	煤烟型（还原型）	石油型（氧化型）
主要污染源	工厂、家庭取暖、燃烧煤炭装置的排放，主要有 SO_2 、 NO_x 、 C_xH_y	汽车排气为主，主要有 SO_2 、 C_xH_y
主要污染物	一次污染物和二次污染物混合体，如 SO_2 、 CO_2 、颗粒物、硫酸雾、硫酸类气溶胶	以二次污染物为主，如臭氧、过氧乙酰基硝酸酯、甲醛、乙醛、烯醛、硝酸物、硫酸雾

续表 1-2

项 目		煤烟型 (还原型)	石油型 (氧化型)
发生地区		湿度较大的温带、亚热带地区	光照强烈的热带、亚热带地区
发生地区使用的主要燃料		以煤为主, 辅以石油燃料	石油燃料
反应类型		热反应	光化学反应及热反应
化学作用		催化作用	光化学氧化反应
大 气 状 况	温度/℃	-1~4	24~32
	湿度	85%以上	70%以下
	逆温类型	上层逆温	接地逆温
	风速	静风	22m/s 以下
一天中发生的时间		早晨	中午或午后阳光最强时
发生季节		12月~次年1月 (冬季)	8~9月 (早秋)
烟雾最大时的视觉		0.8~1.6 m 以下	<100 m
对人体的影响		刺激呼吸系统, 使患呼吸道疾病者加速死亡	刺激眼黏膜等

1.3 大气污染物及污染源

1.3.1 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”。

大气污染物的种类很多, 按其存在状态, 大气污染物可分为气溶胶态污染物和气态污染物两类。按形成过程, 分为一次污染物和二次污染物。

1.3.1.1 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, 可将其分为以下几种:

(1) 粉尘 (dust)。粉尘是指固体物质的破碎、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微小固体粒子。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)。属于粉尘类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) 炱 (fume)。炱一般是指由冶金过程形成的固体粒子的气溶胶, 炱的粒子尺寸一般为 $0.01\sim 1.0\mu\text{m}$ 左右。它是由熔融物质挥发后而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, 如有色金属冶炼过程中产生的氧化铅烟、氧化锌烟, 在核燃料后处理厂中的氧化钙烟等。

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