

“十二五”国家重点图书出版规划项目

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

AIR
KONGQI WURAN
YU JIAN KANG
空气污染与健康

环境污染与健康研究丛书·第一辑

名誉主编 / 魏复盛 刘以训

丛书主编 / 周宜开

本书结合国内环境现状，系统整理近十年空气污染与健康领域研究成果，分为大气污染与室内空气污染两部分，阐述了颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、臭氧、室内甲醛、挥发性有机物等一系列污染物的污染特征及其与健康的联系，特别关注了雾霾、室内装修污染物、大气污染与癌症等重点环境问题。本书学术资料翔实，对国内近十年空气污染与健康研究情况进行了详尽地介绍，并对相关问题提出思考与展望，具有较高的学术价值与社会效益。

长江出版传媒 湖北科学技术出版社



AIR

KONGQI WURAN
YU JIANKANG

空气污染与健康

主编 / 郭新彪 杨 旭

图书在版编目(CIP)数据

空气污染与健康/郭新彪, 杨旭主编. -- 武汉: 湖北科学技术出版社,
2015. 12
(环境污染与健康研究丛书/周宜开主编. 第1辑)
ISBN 978-7-5352-8300-9

I. ①空… II. ①郭… ②杨… III. ①空气污染—影响—健康
IV. ①X510.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 244100 号

责任编辑:冯友仁 李 青

封面设计:戴 旻

出版发行:湖北科学技术出版社
地 址:武汉市雄楚大街 268 号
(湖北出版文化城 B 座 13—14 层)
网 址:<http://www.hbstp.com.cn>

电话:027-87679447
邮编:430070

印 刷:武汉市金港彩印有限公司

邮编:430023

889 × 1194
2015 年 12 月第 1 版

1/16

25.5 印张

680 千字

2015 年 12 月第 1 次印刷
定价:108.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

“十二五”国家重点图书出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

环境污染与健康研究丛书·第一辑

丛书编委会

名誉主编 魏复盛 (中国工程院,院士)

刘以训 (中国科学院,院士)

丛书主编 周宜开 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

丛书编委 (按姓氏拼音排序)

陈建伟 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

郭新彪 (北京大学公共卫生学院,教授)

荆涛 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)

李君文 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所,教授)

刘烈刚 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

鲁文清 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

宋伟民 (复旦大学公共卫生学院,教授)

王琳 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)

王齐 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)

杨旭 (华中师范大学生命科学学院,教授)

杨明亮 (湖北省卫生和计划生育委员会,主任医师)

姚平 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

《空气污染与健康》

编 委 会

主 编 郭新彪 杨 旭

编 委 (按姓氏拼音排序)

邓芙蓉 董光辉 郭新彪 黄 薇 阚海东 李 睿 李劲松 林本成

马 萍 孟紫强 潘小川 宋伟民 裘著革 徐东群 杨 旭 赵卓慧

编 者 (按姓氏拼音排序)

陈仁杰 (复旦大学公共卫生学院)

邓芙蓉 (北京大学公共卫生学院)

董光辉 (中山大学公共卫生学院)

郭新彪 (北京大学公共卫生学院)

韩京秀 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

黄 婧 (北京大学公共卫生学院)

黄 薇 (北京大学公共卫生学院)

阚海东 (复旦大学公共卫生学院)

李 睿 (华中师范大学生命科学学院)

李劲松 (军事医学科学院微生物流行病学研究所)

林本成 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

林薇薇 (中山大学公共卫生学院)

林之靖 (复旦大学公共卫生学院)

刘玉芹 (中国医科大学公共卫生学院)

马 萍 (湖北科技学院基础医学院)

孟紫强 (山西大学环境科学研究所)

潘小川 (北京大学公共卫生学院)

裴益玲 (复旦大学公共卫生学院)

宋伟民 (复旦大学公共卫生学院)

宋晓明 (北京大学公共卫生学院)

石晶金 (复旦大学公共卫生学院)

田 霖 (北京大学公共卫生学院)

涂星莹 (北京大学公共卫生学院)

王 秦 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

武 阳 (湖北科技学院基础医学院)

裘著革 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所)

徐春雨 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

徐东群 (中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所)

杨 旭 (华中师范大学生命科学学院)

杨振华 (山西大学环境科学研究所)

张全喜 (山西大学环境科学研究所)

赵 洋 (中国医科大学公共卫生学院)

赵卓慧 (复旦大学公共卫生学院)

序 一

环境是人类赖以生存和发展的物质基础,也是与人类健康密切相关的重要条件。我国改革开放以来,经济持续快速发展,但环境污染问题也十分突出。环境污染不仅影响经济、社会的可持续发展,还极大地威胁着人类的生存环境,地球生态平衡和人类自身健康。因此,人类应该通过提高环境知识水平,增强自身的环境意识,认清环境与健康的关系,规范自己的社会行为,确立保护环境就是保护人类自身健康的观念。政府应努力建立保护环境的法规,制订相关标准,避免环境退化和失衡。我国政府历来高度重视环境保护,在国民经济和社会发展“十·五”纲要中,对环境保护提出了明确要求,相继制定了环境保护相关的法律和法规,采取了一系列积极有效的保护和治理措施,提高城乡环境质量,努力遏止生态环境恶化并在环境污染与人群健康方面开展了系统研究,取得了一些进展,但离环境保护终极目的——保护人类健康的要求还任重而道远。

环境问题与人们的生活息息相关,为人民群众所关注,在这样的时代背景下,湖北科学技术出版社联合华中科技大学同济医学院,组织全国公共卫生领域专家学者,编写了这一套《环境污染与健康研究丛书》,丛书紧密联系环境污染及其对健康影响问题,从空气、土壤、水、食品等多个角度,系统阐述国内环境污染与健康研究最新成果,特别剖析了雾霾、装修污染物、藻类污染和重金属污染等重点、热点环境问题。《环境污染与健康研究丛书》第一辑共五本,分别为《空气污染与健康》《水污染与健康》《土壤污染与健康》《食品污染与健康》《环境重金属污染人群健康风险和损害评估技术》。丛书构架清晰,结构合理,内容丰富。既全面总结、梳理了我国环境污染与健康研究领域近十年的研究成果,为广大科研工作者提供了一套权威的研究参考资料,同时还提出了这一研究领域存在的问题与研究的难点,并对这些问题与难点进行了探索与讨论,这将促进国内环境污染与健康研究领域更多地沟通与交流,助推研究工作的进一步深入。

丛书的编写主题符合国计民生需求,符合党的十八届三中全会提出的我国生态文明建设的主题目标,其编写与出版具有积极的社会意义。丛书编委会集合了我国环境与健康研究领域的顶尖学者力量,他们学识丰厚,治学严谨,严格遵守各项学术规范,保证了本丛书较高的学术水准与学术价值。环境保护是我国一项基本国策。保护环境,减少污染,遏制生态恶化,是环境保护的主要任务。良好的环境对经济、社会的发展和人类健康具有积极的促进作用。本丛书的出版,既可为相关政策的制定提供权威的参考资料,还能提升广大读者环保意识,增进人民群众对环境与健康的认识。鉴于此,我们乐意将本书推荐给广大读者,是为序。

中国工程院院士

魏复盛

2015年12月

序 二

环境与人类健康有着密切的关系。人与环境是一个不可分割的物质与能量整体,环境提供人类赖以生存的物质基础,人体通过新陈代谢与外界环境不断地进行物质交换与能量交换,使人体与外界环境之间保持着一种动态平衡,这种动态平衡是维持人体与环境健康的前提。良好的环境使人心情愉快、心旷神怡、精神焕发,有益于人类身心健康,有助于更好地发挥其积极性、主动性、创造性,进而促进环境保护与生态文明建设。改革开放以来,我国经济持续快速发展,取得了举世瞩目的成绩。但能耗、物耗也随之增加,主要污染物排放总量也快速增长,环境污染不仅影响我国经济社会的可持续发展,也会影响人民群众的身体健康和生活质量。

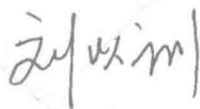
环境污染影响人体健康有两大特点:一是影响范围大,因为所有的污染物都会随生物地球化学循环对所有的接触者产生影响;二是作用时间长,因为许多有毒物质在环境中及人体内的降解较慢。环境污染进入人体的主要途径是呼吸道和消化道,也可经皮肤和其他途径进入。污染物进入人体后,由血液输送到人体各组织。不同的有毒物质在人体各组织的分布状况不同。毒物长期隐藏在组织内,并能在组织内富集,造成机体的潜在危险。环境污染对人体健康往往造成急性危害、慢性危害和远期危害。当污染物在短期内大量侵入人体,常会造成急性危害;当污染物长期以低剂量持续不断地进入人体,则会产生慢性危害和远期危害。

一直以来,我国研究者在环境污染与人类健康的关系方面做了大量的相关研究。首先,空气、水、土壤、食品是与人类生存息息相关的环境物质基础,总结研究它们与人类健康之间的关系十分必要,也具有十分重要的意义。其次,环境是全人类共同关心的问题,但在不同的国家、不同的地区,因为社会经济发展与人类生活习惯等多种原因,人们需要面对不同的环境情况与环境问题,因此,总结研究富有我国本土特色的环境与健康问题,也十分必要。

本套《环境污染与健康研究丛书》,密切关注了我国国内环境污染情况,紧密联系国内特殊地理、天气、经济与社会发展情况,剖析了国内多个近年来被广泛关注的环境问题,具有极强的实践指导作用;同时本书侧重探究环境污染对人类健康的影响,对环境作用的健康效应进行了重点探究,目前国内外尚无如此全面关注我国环境污染与健康问题的系统专著,本书的编写与出版将填补这一空白,具有重要的学术价值与社会效益。

本书的编撰队伍包括华中科技大学、北京大学、复旦大学、武汉大学、中国疾病预防控制中心等多所高校和科研院所的环境卫生领域的专家学者,他们常年活跃在环境卫生研究领域的第一线,他们的参与,确保图书代表了我国环境污染与健康研究的最高水平。希望本丛书的出版能够促进我国环境健康事业的发展,为人与环境的和谐发展做出贡献。

中国科学院院士



2015年12月

前 言

在我国,空气污染对人类健康的影响受到了从公众、学者到政府的普遍关注,成为了社会热点问题。究其原因,一方面是由于我国社会经济发展迅速,生产和消费过程带来较之过去更为严重的空气污染,另一方面我国国民的整体环境意识水平也在快速地提高,对学科知识的需求日益增长。为了帮助专业人员和公众深入了解空气污染与健康的关系,我们在湖北科学技术出版社的组织下编写了这本《空气污染与健康》专著。

本书的作者都是在空气污染与健康领域一线从事科学研究的科研工作者,他们中的很多人是这方面的知名专家。在编写过程中,全体编写人员力求将空气污染与健康领域的最新学术思想反映出来,特别是展示我国学者近年来的科研成果,深入和全面介绍各种空气污染物对人体健康危害的现状和机制、研究前沿以及问题和展望。本书的内容分为三个部分:大气污染物与人体健康(第一章至第五章),室内空气污染物与人体健康(第六章至第十二章),我国空气污染健康专题(第十三章至二十二章)。

本书可供本领域科研机构、高等院校预防医学专业的本科生和研究生参考使用,也可以供从事环境医学、环境保护和环境管理工作的人员和对环境科学有兴趣的公众阅读使用。由于编者的水平有限,时间仓促,不足之处在所难免,热情欢迎广大读者批评指正。

编者
2015年6月

目 录

第一章 大气污染绪论	1
第一节 大气污染	1
第二节 大气污染对人体健康的影响	4
第二章 颗粒物	14
第一节 我国颗粒物污染的特征	14
第二节 颗粒物对呼吸系统的影响	18
第三节 颗粒物对心血管系统的影响	21
第四节 其他影响	24
第五节 颗粒物健康影响的相关因素及颗粒物控制的健康效应	27
第六节 问题与展望	31
第三章 二氧化硫	39
第一节 我国二氧化硫污染的特征	39
第二节 二氧化硫对呼吸系统的影响	40
第三节 二氧化硫对心脑血管系统的影响	44
第四节 二氧化硫的其他影响	46
第五节 问题与展望	49
第四章 氮氧化物	54
第一节 我国氮氧化物污染的特征	54
第二节 氮氧化物对呼吸系统的影响	57
第三节 氮氧化物对心血管系统的影响	66
第四节 其他影响	71
第五节 问题与展望	72
第五章 臭氧	79
第一节 我国大气臭氧污染的来源及特征	79
第二节 臭氧污染对呼吸系统的影响	84
第三节 臭氧污染对心血管系统的影响	86
第四节 臭氧污染对生殖系统的影响	87
第五节 臭氧与大气颗粒物污染的联合效应	88
第六节 臭氧污染健康影响研究的展望	90
第六章 室内空气污染绪论	95
第一节 室内空气污染	95



第二节 室内空气污染相关疾病	99
第三节 我国的室内环境质量及检测标准	102
第七章 室内甲醛	106
第一节 我国室内空气甲醛污染的特征	106
第二节 甲醛与白血病	116
第三节 甲醛与哮喘	120
第四节 其他毒性作用和相关疾病	124
第五节 问题与展望	127
第八章 挥发性有机化合物	131
第一节 我国挥发性有机化合物污染的特征	131
第二节 挥发性有机化合物对呼吸系统的影响	136
第三节 挥发性有机化合物致癌性	140
第四节 其他影响	142
第五节 问题与展望	144
第九章 半挥发性有机化合物	148
第一节 我国半挥发性有机化合物污染的特征	148
第二节 邻苯二甲酸酯类的健康影响	157
第三节 多溴联苯醚的健康影响	161
第四节 双酚 A 的健康影响	163
第五节 烷基酚的健康影响	165
第六节 问题与展望	166
第十章 环境烟草烟雾	173
第一节 我国环境烟草烟雾污染的特征	173
第二节 环境烟草烟雾中主要有害物质的毒性	175
第三节 环境烟草烟雾致癌作用	176
第四节 环境烟草烟雾对呼吸系统的影响	178
第五节 其他影响	180
第六节 问题与展望	182
第十一章 室内燃料燃烧	187
第一节 我国室内燃料燃烧污染的特征	187
第二节 室内燃料燃烧对人群健康的影响	192
第三节 健康影响干预措施效果评价	196
第四节 问题与展望	198
第十二章 空气微生物与健康	201
第一节 开放环境空气微生物的来源与种群	201
第二节 室内空气微生物的来源和种群	221
第三节 空气微生物对健康的影响	231



第四节 室内空气微生物的净化控制	233
第五节 未来空气微生物研究趋势	235
第十三章 我国大气污染的疾病负担	238
第一节 大气污染流行病学疾病负担的研究方法	238
第二节 大气污染经济学疾病负担的研究方法	240
第三节 世界银行评估案例	245
第四节 全球疾病负担评估案例	246
第十四章 燃煤污染所致的健康损失	251
第一节 我国燃煤大气污染的概况	251
第二节 燃煤大气污染的健康危害事件	252
第三节 燃煤排放污染物致人群健康损失研究	261
第十五章 我国雾霾事件的健康影响	269
第一节 雾霾的定义、起因及特征	269
第二节 我国雾霾事件的健康风险评估	274
第十六章 沙尘暴的健康影响	283
第一节 我国沙尘暴的发生与分布	283
第二节 沙尘暴颗粒物的理化特性	285
第三节 沙尘暴对人群健康的急性危害	287
第四节 沙尘天气对医院门诊和住院人数的影响	290
第五节 沙尘天气对健康危害的累积效应	295
第六节 问题与展望	297
第十七章 机动车尾气污染的健康影响	301
第一节 我国机动车尾气污染的现状和特征	301
第二节 机动车尾气对人群健康的影响	306
第三节 问题与展望	315
第十八章 大气污染与癌症	324
第一节 大气致癌物质	324
第二节 大气污染致癌风险	326
第三节 大气污染致癌机制	329
第四节 问题与展望	331
第十九章 不良建筑物综合征	335
第一节 不良建筑物综合征的定义和相关术语	335
第二节 不良建筑物综合征的流行水平和流行特征	336
第三节 不良建筑物综合征的诊断基准和危险因素	337
第四节 不良建筑物综合征的发病机制	339
第五节 不良建筑物综合征的研究方法	340
第六节 问题与展望	345



第二十章 空气污染与儿童哮喘	350
第一节 儿童哮喘的基本概念和特征	350
第二节 环境、基因与儿童哮喘	352
第三节 我国儿童哮喘患病的流行水平	352
第四节 环境对儿童哮喘的流行病学研究	354
第五节 问题与展望	358
第二十一章 宣威肺癌研究新进展	362
第一节 宣威室内空气污染及人群暴露特征	362
第二节 宣威肺癌危险因素研究	364
第三节 室内燃煤空气污染物致癌危险度评价	369
第四节 问题与展望	369
第二十二章 军团菌病与环境	373
第一节 军团菌病的临床表现和发病机制	373
第二节 军团菌的分型和军团菌病的治疗	377
第三节 我国环境介质中军团菌的污染	382
第四节 军团菌病的流行状况和预防对策	386
第五节 问题与展望	391

第一章 大气污染绪论

大气是生活在地球上生命体所必需的,可保护它们免遭来自外层空间的有害影响。植物进行光合作用所需的二氧化碳、动物和人呼吸所需的氧气以及固氮菌所用的氮都由大气提供。此外,大气还行使着把水分从海洋输送到陆地的功能。人通过呼吸与外界进行气体交换,从空气中吸收氧气,呼出二氧化碳,以维持生命活动。一个成年人通常每天呼吸2万多次,吸入 $10\sim 15\text{ m}^3$ 的空气。因此,空气的清洁程度及其理化性状与人类健康关系十分密切。

随着距地面高度的不同,大气层的物理和化学性质有很大的变化。按气温的垂直变化特点,可将大气层自下而上分为对流层、平流层、中间层(上界为85 km左右)、热成层(上界为800 km左右)和逸散层(没有明显的上界)。人类活动排入的大气污染物绝大多数在对流层聚集。因此,对流层的状况对人类生活的影响最大,与人类关系最密切。

第一节 大气污染

一、大气污染的来源

大气污染(air pollution)包括天然污染(natural pollution)和人为污染(anthropogenic pollution)两大类。天然污染主要由于自然原因形成,例如沙尘暴、火山爆发、森林火灾等。人为污染是由于人们的生产和生活活动造成的,可来自固定污染源(如烟囱、工业排气管等)和流动污染源(汽车、火车等各种机动交通工具)。二者相比,人为污染的来源更多,范围更广。下面介绍人为活动引起的大气污染。

(一)工农业生产

各种工业企业是大气污染的主要来源,也是大气卫生防护的重点。工业企业排放的污染物主要来源于燃料的燃烧和工业生产过程。农业生产中化肥的施用、农药的喷洒以及秸秆的焚烧也会造成大气的污染。

1. 燃料的燃烧 这是大气污染的主要来源。目前我国的主要工业燃料是煤,其次是石油。用煤量最大的是火力发电、冶金、化工、机械、轻工和建材等行业,它们的用煤量占总消耗量的70%以上。煤的主要杂质是硫化物,此外还有氟、砷、钙、铁、镉等的化合物。石油的主要杂质是硫化物和氮化物,其中也含少量的有机金属化合物。

2. 工业生产过程的排放 由原材料到产品,工业生产的各个环节都可能污染物排放出来。污染物的种类与原料种类及其生产工艺有关。

(二)生活炉灶和采暖锅炉

采暖锅炉以煤或石油产品为燃料,是采暖季节大气污染的重要原因。生活炉灶使用的燃料有煤、液化石油气、煤气和天然气。如果燃烧设备效率低,燃烧不完全,烟囱高度低或无烟囱,可造成大量污染物低空排放。在采暖季节,各种燃煤小炉灶是居民区大气污染的重要来源。

(三)交通运输

主要是指飞机、汽车、火车、轮船和摩托车等交通运输工具排放的污染物。目前这些交通工具的主要



燃料是汽油、柴油等石油制品,燃烧后能产生大量的颗粒物、 NO_x 、 CO 、多环芳烃和醛类。

(四)其他

地面尘土飞扬或土壤及固体废弃物被大风刮起,均可将铅、农药等化学性污染物以及结核杆菌、粪链球菌等生物性污染物转入大气。水体和土壤中的挥发性化合物也易进入大气,车辆轮胎与沥青路面摩擦可以扬起多环芳烃和石棉。

意外事件,例如工厂爆炸、火灾、核泄漏均能严重污染大气,这类事件虽然少见,但是危害严重。另外,火葬场、垃圾焚烧炉产生的废气也可以影响大气环境。大气光化学反应也可能产生一些大气污染物。

二、大气污染物的种类

可根据大气污染物(air pollutant)的属性、在大气中的存在状态及形成过程将其分类。

(一)按属性分类

一般分为物理性(如噪声、电离辐射、电磁辐射等)、化学性和生物性(经空气传播的病原微生物和植物花粉等)三类,其中以化学性污染物种类最多、污染范围最广。

(二)按存在状态分类

根据污染物在大气中的存在状态,可将其分为气态和气溶胶。

1. 气态污染物 气态污染物包括气体和蒸汽。气体是某些物质在常温、常压下所形成的气态形式。蒸汽是某些固态或液态物质受热后,引起固体升华或液体挥发而形成的气态物质如汞蒸气等。气态污染物主要可分为以下5类。

- (1)含硫化合物。主要有 SO_2 、 SO_3 和 H_2S 等,其中 SO_2 的数量最大,危害也最严重。
- (2)含氮化合物。主要有 NO 、 NO_2 和 NH_3 等。
- (3)碳氧化合物。主要是 CO 和 CO_2 。
- (4)碳氢化合物。包括烃类、醇类、酮类、酯类以及胺类。
- (5)卤素化合物。主要是含氯和含氟化合物,如 HCl 、 HF 和 SiF_4 等。

2. 气溶胶 大气气溶胶体系中分散的各种微粒常常也被称作大气颗粒物(particulate matter)。粒径是大气颗粒物最重要的性质。它反映了大气颗粒物来源的本质,并可影响光散射性质和气候效应。大气颗粒物的许多性质如体积、质量和沉降速度都与颗粒物的大小有关。实际的大气颗粒物因来源和形成条件不同,其形状是多种多样的,有球形、菱形、方形等等。因此,在实际工作中常使用空气动力学等效直径(D_p)来表示大气颗粒物的大小。在气流中,如果所研究的大气颗粒物与一个有单位密度的球形颗粒物的空气动力学效应相同,则这个球形颗粒物的直径就定义为所研究大气颗粒物的 D_p 。这种表示法可以直接表达出大气颗粒物在空气中的停留时间、沉降速度、进入呼吸道的可能性以及在呼吸道的沉积部位等。

按粒径大小,大气颗粒物一般可分为以下几类。

- (1)总悬浮颗粒物(total suspended particulates, TSP)。是指空气动力学直径 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 的颗粒物,包括液体、固体或者液体和固体结合存在的,并悬浮在空气介质中的颗粒。
- (2)可吸入颗粒物(inhalable particle, IP; PM_{10})。指空气动力学直径 $\leq 10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物,因其能进入人体呼吸道而命名之,又因其能够长期飘浮在空气中,也被称为飘尘(suspended dusts)。
- (3)细颗粒物(fine particle; fine particulate matter, $\text{PM}_{2.5}$)。是指空气动力学直径 $\leq 2.5\ \mu\text{m}$ 的细颗粒。它在空气中悬浮的时间更长,易于滞留在终末细支气管和肺泡中,其中某些较细的组分还可穿透肺泡进入血液。 $\text{PM}_{2.5}$ 更易于吸附各种有毒的有机物和重金属元素,对健康的危害极大。
- (4)超细颗粒物(ultrafine particle; ultrafine particulate matter, $\text{PM}_{0.1}$)。指空气动力学直径 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$ 的大



气颗粒物。城市环境中,人为来源的 $PM_{0.1}$ 主要来自汽车尾气。 $PM_{0.1}$ 有直接排放到大气的,也有排放出的气态污染物经日光紫外线作用或其他化学反应转化后二次生成的。 $PM_{0.1}$ 的健康影响受到日益广泛的关注。

(三)按形成过程分类

1. 一次污染物 由污染源直接排入大气环境中,其物理和化学性质均未发生变化的污染物称为一次大气污染物(primary air pollutants)。这些污染物包括从各种排放源排出的气体、蒸气和颗粒物,如 SO_2 、 CO 、 NO 、颗粒物、挥发性有机物等。

2. 二次污染物 排入大气的污染物在物理、化学等因素的作用下发生变化,或与环境中的其他物质发生反应所形成的理化性质不同于一次污染物的新的污染物,称为二次污染物(secondary air pollutants)。常见的有: SO_2 在大气中氧化遇水形成的硫酸盐;汽车尾气中的氮氧化物(NO_x)和挥发性有机物在日光紫外线的照射下,经过一系列的光化学反应生成的臭氧、醛类以及各种过氧酰基硝酸酯(peroxyacyl nitrates, PANs)。一般来说,二次污染物对环境和人体的危害要比一次污染物大。

三、影响大气中污染物浓度的因素

(一)污染源的排放情况

1. 排放量 污染物的排放量是决定大气污染程度的最基本的因素。燃料燃烧产生的污染物排放量与燃料的种类、消耗量、燃烧方式、燃烧是否充分有关;工业企业污染物的排放量受工业企业的数量、生产性质、生产规模、工艺过程、净化设备及其效率的影响。

2. 与污染源的距离 有组织排放时,烟气自烟囱排出后,向下风侧扩散稀释,然后接触地面,接触地面的点被称为烟波着陆点。颗粒物的着陆点更接近烟囱。近地面的大气中污染物的浓度以烟波着陆点最大,下风侧大气污染物的浓度随着距离的增加而下降,在烟波着陆点和烟囱之间的区域常没有明显的污染。无组织排放扩散的距离较短,距污染源越近,大气中污染物浓度越高。

3. 排出高度 排出高度指污染物通过烟囱等排放时烟囱的有效排出高度,即烟囱本身的高度和烟气抬升高度之和,可以用烟波中心轴距地面的高度来表示。在其他条件相同时,排出高度越高,烟波断面越大,污染物的稀释程度就越大,烟波着陆点的浓度就越低。

(二)气象因素

1. 风和湍流 风向是指风吹来的方向,在不同时刻有着相应的风向和风速。将一定时期内各个风向出现的频率按比例标在罗盘坐标上,可以绘制成风向频率图,又称风玫瑰图。风向频率图能够反映某地区一定时期内的主导风向,从而能够指示该地区受某一污染源影响的主要方位,全年污染以全年主导风向的下风向地区污染最严重,瞬时污染以排污当时的下风向地区受影响最大。风速决定了大气污染物稀释的程度和扩散范围。随着风速的增大,单位时间内从污染源排放出的污染物气团被很快地拉长,这时混入的空气量越大,则污染物的浓度越低。在其他条件不变的情况下,污染物浓度与风速成反比。

风速时大时小,并在主导风向的下风向上、左右出现无规则的摆动,风的这种不规则运动称为大气湍流,其产生与垂直气温的变化和大气中气团间的摩擦作用引起的短暂性紊乱有关。因此,垂直温度递减率大、风速高、地面起伏程度大,则湍流运动就强。湍流运动使气体充分混合,有利于污染物的稀释和扩散。

2. 温度层结 温度层结也就是气温的垂直梯度,它决定大气的稳定程度,影响大气湍流的强弱。稳定的垂直梯度易造成湍流抑制,使大气扩散不畅。垂直梯度不稳定时,由于热力作用湍流加强,大气扩散增强。因此,气温的垂直梯度与污染物的稀释和扩散密切相关。



在标准大气条件下,对流层内气温是随高度的增加而逐渐降低的。然而,近地层大气的实际情况非常复杂,各种气象条件均可影响到气温的垂直分布。实际上气温的垂直分布可出现下述三种情况:①气温随高度递减,此情况一般出现在晴朗的白天,风速小时。地面受太阳的辐射后,近地空气增温较快,热量缓慢向高层传递,形成气温下高上低,此时空气的垂直对流良好。②气温随高度递增,例如在无风、少云的夜晚,夜间地面无热量吸收,但同时不断通过辐射失去热量而冷却,近地空气也随之冷却,这样气层不断由下向上冷却,形成气温下低上高。这种大气温度随着距地面高度的增加而增加的现象称为逆温(temperature inversion)。③气温不随高度变化,多见于多云天或阴天,风速较大时。由于云层反射,白天到达地面的太阳辐射减少,地面增温不显著。夜间时,云层的存在增强了大气的逆辐射,地面冷却不明显。风速较大加剧了上下气层的交换,空气得到充分混合。因此,上述情况下气温随高度的变化不明显。

根据逆温发生的原因可分为辐射逆温、下沉逆温、地形逆温等。辐射逆温是由于地面长波辐射冷却形成的。一般在无风、少云的夜晚,地面无热量吸收,但同时不断通过辐射失去热量而冷却,近地空气也随之冷却,而上层空气降温较慢,形成逆温。下沉逆温是由于空气压缩增温而形成的。上层空气下沉落入高压团中受压变热,结果上层空气的气温高于下层,形成逆温。地形逆温是由于局部地区的地理条件而形成的。在盆地和山谷中,晚上寒冷的空气沿山坡聚集在山谷中,形成停滞的冷气团,而其上层有热气流。因此,山谷中就形成了上温下冷的逆温层。如没有阳光直射或热风劲吹,这种状况有时可持续一整天。著名的马斯河谷和多诺拉大气污染事件发生的原因中,地形逆温的形成起了很重要的作用。

3. 气压 气压的高低与海拔高度、地理纬度和空气温度等有关。当地面受低压控制时,四周高压气团流向中心,中心的空气上升,形成上升的气流,此时多为大风和多云的天气,大气呈中性或不稳定状态,有利于污染物的扩散和稀释。反之,当地面受高压控制时,中心部位的空气向周围下降,呈顺时针方向旋转,形成反气旋。此时天气晴朗,风速小,出现逆温层,阻止污染物向上扩散。

4. 气湿 即大气中含水的程度,通常用相对湿度(%)表示。空气中水分多,湿度大时,大气中的颗粒物因吸收更多的水分使重量增加,运动速度减慢,气温低的时候还可以形成雾,影响污染物的扩散速度,使局部污染加重。当水溶性气体如 SO_2 污染存在时,湿度较高将促使酸雨的形成。

(三)地形

地形可以影响局部的气象条件,从而影响当地大气污染物的稀释和扩散。山谷的地形特点容易形成上述地形逆温,不利于污染物的扩散。城市的高大建筑物间犹如峡谷,可以阻碍近地面空气污染物的扩散。

人口密集的城市热量散发远远大于郊区,结果造成城区气温较高,往郊外方向气温逐渐降低。如果在地图上绘制等温图,城区的高温部就像浮在海面上的岛屿,称为热岛(heat island)现象。在这种情况下,城市的热空气上升,四周郊区的冷空气补充,可把郊区排放的污染物引入城市,造成市区的大气污染。世界上许多城市都出现了热岛现象。照明器具、家电、办公设备使用时产生的热量,机动车发动机、空调以及尾气散发的热量,混凝土建筑、沥青路面日照后的散热以及城市绿地减少等导致热岛现象的形成。

陆地与江、河、湖、海和水库等大面积水体相连之处,白天由于太阳辐射使陆地升温速率比水面快,形成由水面吹向陆地的风。相反,夜晚陆地散热快于水面,气流由陆地吹向水面,形成陆风。如果污染源在岸边,白天就可能污染岸上的居住区。

第二节 大气污染对人体健康的影响

大气污染物主要通过呼吸道进入人体,小部分污染物也可以降落至食物、水体或土壤,通过进食或饮



水,经消化道进入体内,儿童还可能经直接食入尘土而由消化道摄入大气污染物。有的污染物可通过直接接触黏膜、皮肤进入机体,脂溶性的物质更易经过完整的皮肤而进入体内。

一、大气污染对健康的直接危害

(一)急性危害

大气污染物的浓度在短期内急剧升高,可使当地人群因吸入大量的污染物而引起急性中毒,按其形成的原因可以分为烟雾事件和生产事故。

1. 烟雾事件 根据烟雾形成的原因,烟雾事件可以分为煤烟型烟雾事件、光化学型烟雾事件和复合型烟雾事件。

(1)煤烟型烟雾(coal smog)事件。主要由燃煤产生的大量污染物排入大气,在不良气象条件下不能充分扩散所致。自19世纪末开始,世界各地曾经发生过许多起大的烟雾事件。如表1-1所示,著名的有马斯河谷烟雾事件、多诺拉烟雾事件以及伦敦烟雾事件。

表 1-1 历史上著名的煤烟型烟雾事件

名称	发生地	时间	污染源	污染物	形成条件	健康影响
马斯河谷事件	比利时	1930.12	钢铁厂、炼锌厂、玻璃加工厂	二氧化硫	高气压、逆温、无风、河谷、低温	60人死亡、数千人患呼吸道疾病
多诺拉事件	美国宾夕法尼亚州	1948.10	炼锌、钢铁、硫酸制造厂	二氧化硫、硫酸雾	高气压、逆温、无风、河谷	全镇14 000人中,18人死亡,5 910人(43%)有眼、鼻、喉的刺激症状及其他呼吸道疾病
伦敦烟雾事件	英国伦敦	1952.12	家庭及工业燃煤	二氧化硫、一氧化碳、烟尘	高气压、逆温、无风、湿度大、低温、盆地	2周内超过4 000人死亡,死者以老人居多,死因主要为呼吸系统疾病和心脏病

近百年来,英国伦敦等大城市曾发生十多次煤烟型烟雾事件,其中以1952年12月在伦敦发生的最为严重。

1952年12月5日至9日,英国许多地区被浓雾覆盖,大气呈逆温状态。伦敦的情况尤为严重,气温在 -3°C 至 4°C 之间,空气静止,浓雾不散,4~5 d内持续不变。空气中的污染物浓度不断增高,烟尘浓度最高达 $4.46\text{ mg}/\text{m}^3$,为平时的10倍。 SO_2 的最高浓度达到 $3.8\text{ mg}/\text{m}^3$,为平时的6倍。对这一异常情况首先发生反应的是一群准备在交易会上展出的得奖牛。它们表现为呼吸困难,舌头吐露,其中1头当即死去,12头奄奄一息,还有160头需要治疗。与此同时,数千市民出现胸闷、咳嗽、咽痛、呕吐等症状,以此病患者为主的死亡人数骤增。12月7日至13日这一周,死亡人数突然猛增,死亡总数为4 703人,与1947—1951年同期相比多死亡了2 851人。之后的第二周内,死亡人数为3 138人,仍较平时成倍增加。在此后两个月内,还陆续有8 000人死亡。对当时的数据进行重新分析后表明,这次事件造成的超额死亡人数高于以前的估计,达12 000人。

在这类烟雾事件中,引起人群健康危害的主要大气污染物是烟尘、 SO_2 以及硫酸雾。烟尘含有的三氧化二铁等金属氧化物,可催化 SO_2 氧化成硫酸雾,而后者的刺激作用是前者10倍左右。1962年伦敦发生