

KONGQI WURAN QIXIANGXUE JIAOCHENG

空气污染气象学教程

蒋维楣 孙鉴泞 曹文俊 蒋瑞宾 编著

(第二版)

气象出版社

China Meteorological Press

空气污染气象学教程

(第二版)

蒋维楣 孙鉴泞 编著
曹文俊 蒋瑞宾



气象出版社

内 容 提 要

本书系由中国气象局科教司按“八五”教材出版规划,在原南京大学、南京气象学院和北京气象学院三所院校空气污染气象学课程长期教学实践和多次编印的讲义基础上,统一编写的大气科学、大气物理和大气环境等专业本科生教材。本书系统地讲授空气污染气象学的基本原理、处理方法和应用技术。全书共分五章,主要内容包括:大气污染与气象因子的关系,大气污染与大气环境的基本理论处理技术,理想条件下和非均一下垫面条件下空气污染物散布的模式处理,城市与区域多源扩散的模式处理等,并在书后给出了适量的练习题和思考题。

本书可供高等院校大气科学专业的本科生、研究生及教员使用;也可供工程技术、科学研究、环境、能源、化工、冶金以及国防、卫生等部门的技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

空气污染气象学教程/蒋维楣等编著. —2版. —北京:气象出版社,2004.3
(2007.7重印)

ISBN 978-7-5029-1318-2

I. 空… II. ①蒋… III. ①空气污染-环境气象学-高等学校-教材 IV. X16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 015299 号

出 版 者:气象出版社

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E - mail:qxcs@263.net

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编:100081

电 话:总编室:010-68407112

发行部:010-68409198

责任编辑:陶国庆

封面设计:李勤学

责任校对:王丽梅

印 刷 者:北京昌平环球印刷厂

发 行 者:气象出版社

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:19.5

字数:392千字

版 次:2004年3月第2版 2007年7月第2次印刷

印 数:5001~10000

定 价:35.00元

终 审:陈云峰

版式设计:王丽梅

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

再版前言

很高兴应读者需要,气象出版社计划重印再版《空气污染气象学教程》一书(1993年版)。尽管近一二十年,空气污染气象学学科领域的研究和应用的发展相当迅速,尤其在不下垫面条件的处理和大气扩散与大气输送的尺度的拓展及多层次的互相作用与影响等方面,均有许多新的工作,但是,这本教材的内容作为空气污染气象学的原理和基本方法,仍然能基本适应于该学科的发展,尤其对于学生掌握该门学科的基本知识和科技工作者入门而言,则仍然是进一步学习和深入研究的基础,因此,重印再版是十分必要的。

作者在本书的再版修订中主要鉴于以下三方面的考虑:

(1)在本书出版以来,有一些比较实用的内容另有专门著作或参考书目,而且这些专门内容和技术方法及其应用已有新的发展变化;

(2)教学过程中感到原编教材的内容明显过多,很难在通常规定的教学学时内完成教学,所以,在本次再版修订中删去了原书的第六章和第七章内容。并且删去了原书每章后的参考文献,因为这些文献时间久远。在这次修订中凡书中引用的文献均在引用处有了相应的说明,所以,不致影响文献引用的原则。

(3)从教学环节考虑,本次再版修订时在书后增加了“练习与思考题”,希望有助于学生的学习和对教学内容的掌握。

除以上变动外,本次修订中所做的修改就是对全书存在的各种文字错误作了细致的校核和修订,希望使之更趋完善。

本次重印再版的修订工作由蒋维楣和孙鉴泞副教授(南京大学大气科学系)完成。孙鉴泞副教授近几年一直用本教材在南京大学进行此门课程的教学工作,教学中积累了一些经验,同时他在本领域的科学研究中也相当活

跃,这也有利于他参与本书的修订工作,新增的“练习与思考题”就是由他编写完成的。

在此书重印再版的时候,我特别要感谢这几年使用此书的许多兄弟院校的同行们,他们不时地以他们的教学经验给予我们指点和帮助。在这里尤其要感谢兰州大学大气科学系的张镭教授,在修改时,他给我们提供了他在教学过程中对本书积累的全部修正意见,采纳他的修正意见对本书的修订帮助很大。另外,也得到了中山大学地球与环境科学学院范绍佳副院长和王雪梅博士的关注和帮助。当然,气象出版社和该社陶国庆主任的支持和帮助对本书得以再版并与读者见面是最至关重要的。在此一并表示由衷的感谢!

蒋维楣

于南京大学

2004 年 1 月

第一版前言

空气污染气象学的设课和教学目的是,让学生掌握如何运用气象学的原理和方法,处理以大气扩散为核心的空气污染问题的知识技能和实用本领,包括理论和实验,数学模拟和物理模拟。

· 空气污染气象学作为一个学科领域,它既是大气科学的一个新分支,又是环境科学的一个重要组成部分。它研究大气环境中由自然因子和人为因子支配构成的大气污染系统的基本特征和变化规律,并运用气象学方法研究空气污染物自源进入大气后的散布规律。目的在于有效地控制并防治大气污染的发生与发展,改善环境空气质量。空气污染气象学处于交叉学科地位,涉及的面很广,应用性很强。

在我国,20世纪70年代中期开始设立这门课程,已历时15年。在这期间,随着学科不断发展,教学内容和教材不断增补更新,但终未能出版一本正式的教科书供教学使用。这次我们根据国家教委气象教材组的安排,着手编写本书,并定名为《空气污染气象学教程》。本书以南京大学大气科学系“空气污染气象学”讲义为基础,并汇集了南京气象学院、北京气象学院等院校的有关教材内容和特点。全书共分七章,第一章绪论,概述了空气污染问题及其影响因子以及空气污染气象学的研究内容、意义和方法。第二章讲述了运用气象学原理,对空气污染气象学的核心问题所作基本理论处理的方法。第三章和第四章分别就理想(均一)条件下和非理想(不均一)条件下的大气扩散问题及其处理作了全面细致的讲述。第五章则专门就城市与区域扩散问题及其处理作了讲述,由于有些领域的深入讨论似已超出本课程教学内容范围,因此只就其问题的各个方面作了简要介绍。第六章和第七章则以相当大的篇幅讲述空气污染气象学实验研究领域的一些常用方法,着重说明其基本方法和原理。另外,就空气污染气象学的应用方面作了介绍,旨

在让学生联系实际学习掌握本课程的基本内容。

空气污染气象学近一二十年的进展主要表现在以下几方面:

(1)大气边界层和湍流场理论与实验研究的进展和大量成果引入本学科领域;

(2)空气污染气象学的数学,物理和实验模拟研究逐步深入到非均一下垫面条件和各种特殊大气过程对空气污染物散布影响的研究领域;

(3)随着空气污染物排放与输送高度增加、尺度变大以及一些跨国界的中远距离输送及其后果的产生,空气污染气象学研究涉及的大气运动尺度更大,扩散机制和影响因子更多更广。

在各章内容编写中我们注意这些新的进展和新材料的引入。

本书由南京大学大气科学系蒋维楣主编。第一,二章由北京气象学院蒋瑞宾编写,第六、七章由南京气象学院曹文俊编写,蒋维楣编写了其余各章并对全书作了统稿和审校。在本书编写出版过程中曾得到作者所在单位和其他兄弟院校有关教授专家的支持,关心和帮助,在此谨致谢意。限于我们的学识水平和经验,书中错误和不足之处实属难免,竭诚希望得到批评指正。我们亦希望通过今后的教学实践不断修改完善这份教材。本书图稿由南京大学大气科学系石宗祥先生绘制,在此深表谢意。

作者

1992年7月

目 录

再版前言

第一版前言

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 空气污染问题	(1)
1.1.1 空气污染	(1)
1.1.2 空气污染物及其浓度	(2)
1.1.3 空气污染的危害与影响	(5)
§ 1.2 影响空气污染物散布的主要因子	(5)
1.2.1 大气边界层结构及其特征	(5)
1.2.2 风和湍流	(7)
1.2.3 气温与大气稳定度	(8)
1.2.4 辐射与云	(11)
1.2.5 天气形势	(12)
1.2.6 下垫面条件	(12)
§ 1.3 空气污染气象学研究	(12)
1.3.1 空气污染气象学的研究内容与发展	(12)
1.3.2 空气污染气象学的研究意义和应用	(14)
1.3.3 空气污染气象学研究的基本方法	(15)
第二章 空气污染物散布的基本理论处理	(17)
§ 2.1 大气扩散与空气污染物散布的一般描述	(17)
2.1.1 大气扩散描述的基本途径	(17)
2.1.2 空气污染物散布的一些基本特性	(20)
§ 2.2 梯度输送理论的基本处理	(24)
2.2.1 湍流扩散方程	(24)
2.2.2 扩散方程的简化与求解	(25)
2.2.3 方程的数值求解	(29)
2.2.4 关于湍流扩散系数 K 的讨论	(30)

§ 2.3	湍流统计理论的基本处理	(34)
2.3.1	湍流扩散的拉格朗日描述与特征	(35)
2.3.2	Taylor(泰勒)公式及讨论	(36)
§ 2.4	相似理论的基本处理	(42)
2.4.1	拉格朗日相似性假设与扩散的基本数学处理	(42)
2.4.2	中性层结条件下的平均位移	(43)
2.4.3	非中性层结条件下的平均位移	(44)
2.4.4	相似理论在对流混合层扩散问题中的应用	(45)
§ 2.5	三种基本理论处理的比较与讨论	(46)
§ 2.6	现代新的扩散模拟方法的原理与发展简介	(48)
2.6.1	随机游动扩散模拟	(48)
2.6.2	高阶矩湍流闭合模拟	(51)
第三章	理想条件下空气污染物散布的模式处理	(53)
§ 3.1	连续点源高斯扩散公式	(53)
3.1.1	无界情形	(53)
3.1.2	有界情形	(55)
3.1.3	地面源	(57)
3.1.4	地面浓度和地面最大浓度	(57)
§ 3.2	连续线源,面源和体源扩散计算公式	(59)
3.2.1	横风向积分浓度与线源扩散公式	(60)
3.2.2	面源扩散公式	(62)
3.2.3	体源扩散公式	(63)
§ 3.3	大气扩散参数	(64)
3.3.1	早期的大气扩散参数处理模式	(65)
3.3.2	稳定度扩散级别与扩散曲线法	(72)
3.3.3	扩散曲线法的修改完善与讨论	(77)
3.3.4	风向脉动与扩散函数法	(89)
3.3.5	扩散参数研究的现状与发展	(95)
§ 3.4	烟流抬升高度	(116)
3.4.1	烟流抬升	(116)
3.4.2	烟流抬升方程及其闭合求解	(119)
3.4.3	环境湍流与烟流抬升	(129)
3.4.4	烟流抬升研究的应用	(134)

§ 3.5 其它非扩散过程	(144)
3.5.1 大气清除过程的一般表述和高斯烟流扩散公式的修正形式	(144)
3.5.2 干沉积—下垫面清除	(147)
3.5.3 湿沉积—降水清除	(154)
3.5.4 化学转换和空气污染物的滞留与迁移	(159)
§ 3.6 各种条件下的扩散计算	(165)
3.6.1 封闭型扩散计算	(165)
3.6.2 熏烟型扩散计算	(169)
3.6.3 微风扩散计算	(172)
3.6.4 长期平均浓度的计算	(179)
3.6.5 对流边界层扩散处理	(182)
3.6.6 稳定边界层扩散处理	(195)
第四章 非均一下垫面条件下的空气污染物散布	(201)
§ 4.1 局地建筑物影响与扩散处理	(201)
4.1.1 建筑物与气流分布	(201)
4.1.2 排放源、建筑物与空气污染物散布	(205)
4.1.3 建筑物影响与扩散计算	(208)
§ 4.2 山地地形影响与扩散处理	(215)
4.2.1 山区空气污染气象学特征	(215)
4.2.2 山区扩散特性	(221)
4.2.3 山区大气扩散模式	(223)
4.2.4 复杂地形大气扩散研究	(228)
§ 4.3 水陆交界下垫面影响与扩散处理	(238)
4.3.1 沿岸地区气象学特征	(238)
4.3.2 沿岸地区空气污染物散布特征	(246)
4.3.3 沿岸地区大气扩散模拟	(251)
第五章 城市与区域大气扩散	(257)
§ 5.1 城市边界层与空气污染气象学特征	(257)
5.1.1 城市边界层微气象学特征	(257)
5.1.2 城市空气污染特征	(261)
§ 5.2 城市大气扩散模式处理与应用	(263)
5.2.1 一般考虑	(263)
5.2.2 常用的大气扩散公式	(266)

5.2.3	实用城市扩散模式.....	(268)
§ 5.3	城市大气扩散模式研究与多源扩散应用	(274)
5.3.1	城市大气扩散模式研究.....	(274)
5.3.2	城市多源扩散模式应用.....	(278)
§ 5.4	区域大气扩散	(282)
5.4.1	区域大气扩散问题.....	(282)
5.4.2	风场分析.....	(288)
5.4.3	烟团轨迹模式.....	(291)
5.4.4	酸沉积模式.....	(295)
练习题与思考题		(299)

第一章 绪 论

空气污染气象学是近代大气科学研究的一个新的分支学科。它作为大气环境问题研究与应用的一个重要领域,研究排放进入大气层的空气污染物的扩散稀释、转化、迁移和清除的规律,模拟并预测空气污染物的浓度分布及其对环境空气质量的影响。本章首先阐述空气污染问题,空气污染物散布与气象因子的关系,以及空气污染气象学研究的内容、意义及其发展。

§ 1.1 空气污染问题

1.1.1 空气污染

在图 1.1 所示的途径与系统中,自污染源排放的空气污染物,在一定条件下,历经各种大气过程而到达接受体。这里的核心过程则是大气输送与扩散过程,以及在这一过程中发生的迁移变化和清除过程。发生这些过程的范围小至几百米,大至区域、洲际乃至全球性各种不同尺度。

任何情况下,大气层总是一个把污染物从源地输送到接受体的完整体系,而且大多数情况下,它能把污染物扩散稀释到人类可以承受的水平。但大气的扩散稀释与输送率的时空变化很大,支配因素很复杂。有时大气自然通风与输送很有限,环境空气质量会受到很大损害,有时甚至会相当大范围地受到污染并造成危害。于是,定义空气污染是指:由于人为或自然的因素,使大气组成的成分、结构和状态发生变化,与原本情况比,增加了有害物质(称之为空气污染物),使环境空气质量恶化,扰乱并破坏了人类的正常生活环境和生态系统,从而构成了空气污染。显然,这里的三个基本组成要素是:源、污染物排放并达到一定浓度以及构成对人的危害和影响。

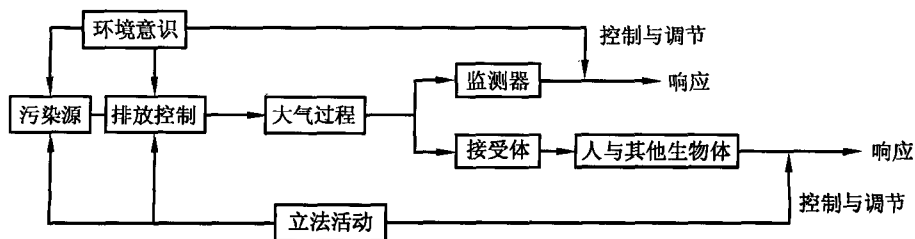


图 1.1 大气污染系统与途径

自然状态下的洁净大气是由氮、氧、氩、二氧化碳等正常成分的混合气体和水汽以及一些悬浮的固态或液态气溶胶粒子组成,其主要成分在离地几十千米以下的大气层里,组成比例基本不变。自然大气中亦有微量的其它气体成分,如氦、氖、氫、氙等惰性气体及臭氧、二氧化氮、二氧化硫、一氧化碳等,但它们的总量极少,不到空气总容积的0.01%。由于人为原因使自然大气成分与结构改变,一旦一些杂质气体的量达到并超过一定限度,就构成了空气污染的危害。另一方面,大气圈通常具有一定的自净能力,即大气环境具有一定的容量。它是指在自然净化能力之内所容许的污染物的排放量,也就是不至于破坏自然界物质循环的极限量。把满足一定环境目标的污染物排放量定为容许排放总量。只有当污染物排放量超过大气的自净能力,即超过环境容量时才构成空气污染。可见,并不是一有污染物质存在,就会构成空气污染的。其关系如图1.2所示。由图可见,我们的任务在于:一方面要减少乃至消除空气污染物,另一方面则要摸清其规律,充分利用大气环境的自净能力,做到既发展生产又保护环境。显然,空气污染状况,包括上述环境容量或容许排放总量,都会随着气象条件等因素的不同而变化。也就是说,空气污染问题与气象条件有着十分密切的关系。空气污染物散布的研究与大气科学的许多基本理论和应用有关。也就是说,应该运用气象学原理与方法研究并处理空气污染问题。

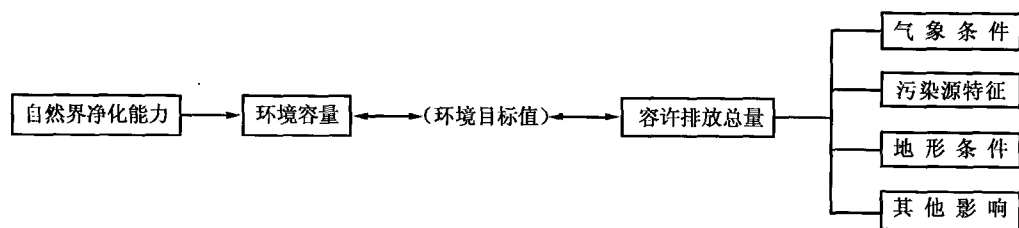


图 1.2 环境容量与容许排放总量

1.1.2 空气污染物及其浓度

1.1.2.1 空气污染物

以各种方式排放进入大气层并有可能对人和生物、建筑材料以及整个大气环境构成危害或带来不利影响的物质称之为**空气污染物**。迄今,认为对人类危害较大的,已被人们关注的就有100多种。排放进入大气的污染物质,在与空气成分的混合过程中,还会发生各种物理变化与化学变化。这样,把原始排放的直接污染大气的污染物质称为**一次污染物**,而把经化学反应生成的新的污染物质称为**二次污染物**。这种产生二次污染物的过程称为二次污染。根据空气污染物的物理形态和化学成分,将其分为以下几类:

(1)颗粒污染物。指以固体或液体微粒形式存在于空气介质中的分散体,自分子大小到大于 $10\mu\text{m}$ 粒径的各种微粒,有飘尘,降尘等,统称为**总悬浮微粒(TSP)**。

(2)碳氧化物。主要系二氧化碳、一氧化碳等气体污染物。

(3)氮氧化物。主要系一氧化氮和二氧化氮等气体污染物以及由此可能产生的二次污染物。

(4)硫化物。主要的是二氧化硫,这是迄今被认为最主要的空气污染物。此外,还有如硫化氢等气体污染物以及由二氧化硫化学转化生成的硫酸盐等酸性污染物。

(5)卤化物。主要的有氟化氢、氯气和氯化氢等气体污染物。

(6)碳氢化合物。主要包括烷烃、烯烃和芳烃类复杂多样的含碳和氢的有机化合物。

(7)氧化剂。主要是指在空气中具有高度氧化性质的一些化合物,如臭氧及其它过氧化物。

(8)放射性物质。

1.1.2.2 空气污染物浓度

浓度有两种表示法:一是**质量浓度**,单位体积空气中含污染物质量,单位为 mg/m^3 ;一是**体积浓度**,污染物体积与整个空气容积之比,以 ppm 为单位,即污染物体积占空气容积的百万分之一,亦可用 ppb 和 ppt 等表示。显然,它适用于计量气体污染物的浓度。

两种浓度单位可用下式换算:

$$X = Y \frac{A}{22.4} \quad (\text{mg}/\text{m}^3) \quad (1.1)$$

$$Y = X \frac{22.4}{A} \quad (\text{ppm}) \quad (1.2)$$

式中 X 表示质量浓度单位, Y 表示体积浓度单位, A 表示污染物的摩尔质量或克分子量。

1.1.2.3 空气污染物的排放源

排放空气污染物进入大气的源称为**空气污染源**,它分为自然源和人工源两大类。污染源与污染物的分类关系如图 1.3 所示。

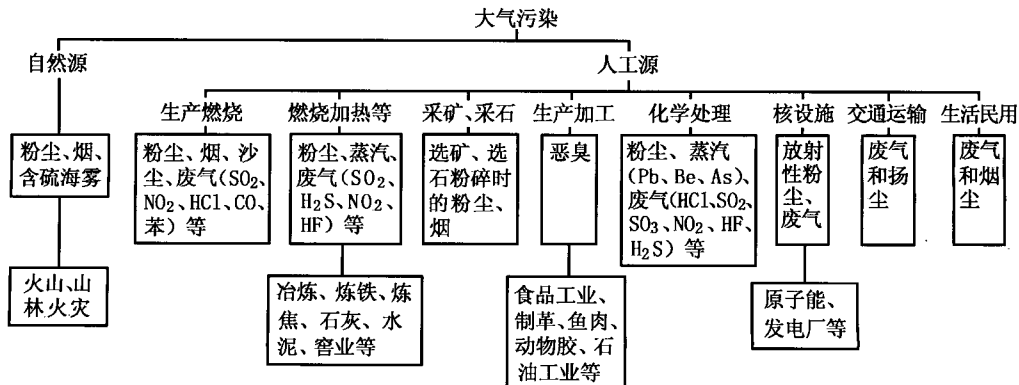


图 1.3 空气污染源与空气污染物

按照不同情况和研究目的,可以从不同角度对空气污染源进行分类。

(1)按照人类活动的内容分类:

①工业污染源。指在工业生产过程中排放出废气污染物的源。

②农业污染源。指农田在使用农药、化肥过程中产生或残留在地面和土壤中,并经大气输送和扩散进入大气层的污染物的源。

③城市生活污染源。指城市商业、交通,生活活动中排放废气污染物,如居民生活用炉灶和采暖锅炉放出大量烟尘和有害气体,以及交通运输的废气排放源等。

(2)按污染物排放方式分类:

①连续源。污染物以持续、定常的方式向大气层排放的污染源。

②间歇源。污染物以规则或不规则的间歇性方式排放的污染源。

③瞬时源。污染物以突发性方式在短时(瞬间)排放的污染源。

(3)按污染源排放位置分类:

①固定源。位置固定不变的污染源,如烟囱排放源。

②移动源。位置是移动的污染源,如车、船、飞机等排放源。

③无组织排放源。无规则或泄漏散逸向大气层排放污染物的源。

(4)按污染物排放高度分类:

①高架源。污染物通过离地一定高度的排放口排放污染物的源。

②地面源。污染物通过位于地面或低矮高度上的排放口排放的源。

(5)按污染物排放口的形式分类:

①点源。污染物的排放口呈一定口径的点状排放的污染源。

②线源。污染物排放口构成线状排放源,如工厂车间天窗排气,或由移动源构成线状排放的源,如道路车辆的废气排放。

③面源。在一定区域范围,以低矮密集的方式自地面或不大的高度排放污染物的源。

④体源。由源本身或附近建筑物的空气动力学作用使污染物呈一定体积向大气层排放的源,如楼房的通风排气设施等。

在空气污染气象学领域,为计算污染物浓度及其自源排放后在空间的再分布,常以点、线、面、体源的形式,分类选用适当的大气扩散模式予以处理。同时常以源强来表示污染源排放污染物质量的速率,也就是污染物的排放率。对点源,源强是单位时间排放污染物的质量,其单位为 g/s 或 kg/h 等;对线源,源强是单位时间,单位长度排放的污染物质量,单位为 $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m})$;对面源,源强是单位时间、单位面积上所排放污染物质的量,单位为 $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 或 $\text{kg}/(\text{h} \cdot \text{km}^2)$ 。

上述是指连续源排放的源强,而对于瞬时源,其源强则是以一次释放污染物的总量表示的,其单位为 kg 、 g 等。

1.1.3 空气污染的危害与影响

污染源、污染物(达到一定浓度)以及对人类及其生存环境造成危害与影响,这是构成空气污染问题的基本要素。当今人们已经比较充分地认识到了空气污染的各方面危害和影响,主要归结于以下几方面:

①对人体健康的危害。

②对生物体的危害,包括对动物与植物的危害。

③对各类物品的危害,如建筑材料、金属制品、纺织品、橡胶、皮革、纸制品以及各类文化艺术和文物的危害。

④对全球气候变化的影响,这是近一二十年来特别令人关注的课题,包括如温室气体效应、气溶胶颗粒物作用和臭氧层破坏等方面的作用和危害。

⑤对酸雨威胁的作用,降水酸化和其它酸性沉积物的生成都是空气污染的直接后果。

上述诸项中,有的早已为人们熟知,有的则是刚被人们认识,这些构成了空气污染气象学研究与应用的重要课题。

§ 1.2 影响空气污染物散布的主要因子

对大气污染状况的监测工作中,常常会发现,在同一地点发自同一污染源的空气污染物,对其浓度监测结果的分析表明,有时可测到很高的浓度,有时却测不出来,不同时间的测量值也有很大差异。这固然与污染源排放条件的变化以及采样点位置的选取有关,但主要是气象条件的影响所致。

大气扩散的理论研究和试验研究表明,在不同的气象条件下,同一污染源排放所造成的地面污染物浓度可相差几十倍乃至几百倍。这是由于大气对污染物的扩散稀释能力随着气象条件的不同而发生巨大变化的缘故。

日常观察经验也发现,有时烟囱排出的烟流像一根带子那样飘向远方而迟迟不散开,另一些时候,烟气一排入大气就很快散布开来与周围空气混合。不同的烟流形状反映不同的气象状况,也意味着大气的扩散稀释能力不同。烟气向四周散布的速率越高,单位时间参与同烟气混合的空气就越多,也就表示大气的扩散稀释能力越强,污染物质将会很快被稀释到人类可以接受的程度,不致造成污染危害。

1.2.1 大气边界层结构及其特征

空气污染物排放进入大气层,其活动决定于各种尺度大气过程,首先是受大气边界层湍流活动支配。大气边界层是直接受地表影响最强烈的垂直气层,它占有整个空气质量的10%,其厚度随天气条件,地表特征而变,一般在1000~2000m。在这一层里,气流

受地面摩擦力和下垫面地形地物的影响,并受这一层里的动量、热量、水汽和其它物质的输送及其通量的支配。因此,空气污染物的散布与其密切相关。按动力学特征,常把大气边界层分为三层:

1.2.1.1 贴地层

贴地层是最贴近地面的一层,厚度在 1m 以内。在这一层中,分子粘性应力占有重要地位,同时还要考虑湍流应力。地表的细致结构直接影响着该层的空气运动。

1.2.1.2 近地层

近地层高度可达 50~100m。这一层直接受下垫面的影响,因此气象要素有明显的日变化。这一层里湍流应力远超过分子粘性应力,科里奥利力与气压梯度力可以忽略不计,大气结构主要依赖于垂直方向的湍流输送,而动量、热量和水汽的湍流垂直输送通量随高度变化很小,故又称**常通量层**。

1.2.1.3 上部摩擦层(Ekman 层)

上部摩擦层的位置从近地面层到大气边界层顶。在这一层里,科里奥利力,气压梯度力与湍流应力达到同样量级。

由于边界层的厚度随时间和地点而变,即因地表性质不同,可分为海洋边界层、城市边界层等。一般把白天大气边界层分为**近地面层**、**混合层**和**夹卷层**;把夜间大气边界层分为**近地面层**、**稳定边界层**和**残留层**,各层具有各自不同的特性。

大气边界层与人类活动的关系最密切、最直接,空气污染问题亦主要发生在这一层中。边界层中气象要素场具有特征性的日平均垂直梯度,并在日平均值上再叠加以昼夜为周期的波动,波动愈接近地面愈剧烈,随着接近边界层的上边界而逐渐减弱为零。

风的日变化完全取决于湍流混合状况,温度的日变化可以看做是太阳辐射变化引起的热波及地面长波辐射引起的冷却,热波和冷却借助于湍流由地面向上传播。

污染物在大气边界层中的扩散也取决于湍流发展,湍流的强弱常常用脉动量的均方根 $\sigma_w = (\overline{w'^2})^{\frac{1}{2}}$,湍流强度 $i = \frac{\sigma}{\bar{u}}$,以及湍流耗散率 ϵ (在确定湍流能量的补充时,与切应力和热通量有关) 来表示。

混合作用的尺度以湍流积分尺度表示:

$$L_t = \int_0^\infty R(t) dt$$

$$L_x = \int_0^\infty R(x) dx$$

维持边界层湍流的动力因素主要是空气动力学粗糙度 (z_0) 和切应力 τ , 表示为

$$u_* = \left(\frac{\tau_0}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$