

Fundamentals of Aerosol
Pollution Chemistry

大气气溶胶

污染化学基础

李尉卿 编著

Li Weiqing



黄河水利出版社
Yellow River Conservancy Press

责任编辑 裴 惠
封面设计 何 颖
责任校对 张 倩
责任监制 常红昕

Fundamentals of Aerosol Pollution Chemistry

ISBN 978-7-80734-745-3



9 787807 347453 >

定价：49.00元



大气气溶胶污染化学基础

Fundamentals of Aerosol Pollution Chemistry

李尉卿 编著

Li Weiqing

黄河水利出版社

Yellow River Conservancy Press

· 郑州 ·

X513

L285

内 容 提 要

本书系统、简要地介绍了大气气溶胶(包括云气溶胶、雾气溶胶、霾气溶胶)污染化学的基本概念、物理化学性质、来源、形成理论、源解析和环境质量评价方法,从实践的角度阐述了大气气溶胶中各种污染物的污染途径、化学反应、气溶胶中无机物和有机物的分析方法,讨论了气溶胶中有害物质对大气环境的影响及对人类的危害,同时还介绍了有关气溶胶的荷电性、电化学现象、干沉降、湿沉降和化学清除过程,为大气气溶胶污染物的研究和治理提供了科学依据和理论基础。

本书可作为环境大气研究、环境监测、大气环境治理、气象环境、环境化学、大气化学及生态环境等专业的参考资料,也可供大专院校相关专业的大学生、研究生和环保研究机构的源解析研究人员及环境管理部门的工作人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

大气气溶胶污染化学基础/李尉卿编著. —郑州:黄河水利出版社,2010.1

ISBN 978-7-80734-745-3

I. ①大… II. ①李… III. ①气溶胶-空气污染-环境化学 IV. ①X513②X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 202393 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhslwlp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:19.5

字数:450 千字

版次:2010 年 1 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2010 年 1 月第 1 次印刷

定价:49.00 元

前 言

大气气溶胶污染化学是综合环境化学、大气化学及大气气溶胶学的一门新兴分支科学。

大气气溶胶污染化学是一门边缘科学,它涉及的范围广、学科多,既涉及物理学、化学、生物学、数学和环境科学的基础知识,又涉及气象学、大气物理学、大气化学、大气光学、微生物学等专业知识,还涉及大气气溶胶的采样、测量分析、仪器应用、大气污染控制工程、工业窑炉、化学工程、交通科学等应用性的知识。

我国的环境工作者从20世纪70年代开始研究大气气溶胶中固体粒子的污染特性。研究的主要内容有气溶胶固体粒子的来源、化学组成、物理化学性质、存在状态及变化规律和趋势等。中国科学院、国家环保研究部门、国家气象研究部门、高等院校及个别省、市环保部门对大气气溶胶固体粒子的物理化学表征研究得较为深入,对大气污染物的金属元素及有机物等组成进行了较多的研究,主要工作有:大气气溶胶中颗粒物、有机物污染和金属元素分析,大气气溶胶固体粒子中水溶性离子研究,大气中悬浮微粒元素富集特征及其污染源研究,大气气溶胶粒子中金属元素特征,大气气溶胶粒子污染源解析,大气气溶胶与酸性降水关系等。

目前,虽然经济的迅速发展给人们带来了丰富的物质资料和精神财富,但也极其严重地导致了未曾预料和预防的资源短缺、环境污染、生态破坏等重大问题。大气环境作为人类共同赖以生存的基本条件受到了污染威胁。它作为环保工作的重要组成部分,必须制定严格有效的、可持续的大气污染治理措施,以扭转目前大气环境失衡局面,促进社会与环境协调,使其按照国民的意志健康发展。

随着我国对环境保护的不断重视,环境科研技术水平的不断提高,目前我国从事大气环境研究和大气污染治理的科学技术人员越来越多,对大气气溶胶的研究也愈来愈深入。以前出版的《环境化学》、《大气化学》、《大气物理学》、《大气气溶胶教程》、《大气环境化学》、《气溶胶测量原理、技术及应用》以及相关刊物发表的有关大气气溶胶区域调查研究和源解析方面的论文,都从不同的角度阐述了大气气溶胶的物理化学特性、产生过程、对环境和人类造成危害的途径、观测采样手段以及气溶胶测量分析方法,研究了气溶胶的发生源、化学组成及其引起的环境效应。这些著作大都涉及气溶胶产生的基本原理和基础研究,很少涉及气溶胶的采样分析、污染途径、环境评价和气溶胶污染治理的应用研究。

国内对于大气气溶胶测量技术和气溶胶污染治理方面的研究处于刚刚起步阶段,有关大气气溶胶污染化学方面的研究和有关气溶胶污染治理研究方面的著作还很少见到。

鉴于此,作者根据近些年来对大气气溶胶的研究、测量分析和对大气污染物治理的实践经验,参考国内外有关大气气溶胶成因、污染状况、监测、防治等方面的书籍和论文,动念编著本书。作者的理念是想通过近年来对大气气溶胶的布点、采集、测量分析、溯源、研究和大气污染的治理等实践研究,将大气气溶胶的污染途径、污染物进入人体内的生理和

危害作用及国内外的基础理论研究结合起来,进而再将气溶胶某些方面的实践加以总结,并进一步提升到理论高度。

本书共分十章。第一章绪论,重点介绍大气气溶胶污染化学的研究方法和内容,以及大气的化学组成、大气的物理性质、大气环境污染问题等基础内容。第二章大气气溶胶及其物理化学性质,主要介绍胶体化学、大气气溶胶的基础知识和气溶胶物理化学性质。第三章大气气溶胶污染物来源及其分布,介绍气溶胶的天然来源、人为来源、形成过程及在大气中的各种分布,还介绍了用于运移各种污染物的气象基础知识。第四章大气气溶胶的污染途径,主要介绍大气气溶胶各种化学物质的污染过程,气溶胶污染物对环境的破坏作用,气溶胶污染物进入人体的生理作用和危害。第五章气溶胶化学成分分析技术,介绍气溶胶的采样、制样、无机物成分分析技术和有机物化学成分分析技术。第六章气溶胶的物相分析和形貌分析技术,主要介绍气溶胶中晶体化学物质的分析技术及其对大气净化的贡献,大气气溶胶中各种物质的形貌分析技术和对环境的影响。第七章云、雾、霾气溶胶和酸雨化学,介绍雾、霾的化学成分,酸雨化学等与大气污染的关系。第八章大气气溶胶的荷电性及电化学,介绍气溶胶粒子在大气中的荷电、电荷分布、导电、荷电质粒的凝并及电化学性质等情况。第九章大气气溶胶污染源解析和环境评价,介绍大气气溶胶污染评价因子和评价指数。第十章大气气溶胶污染的防治和控制,主要介绍大气气溶胶污染的控制对策和措施,大气气溶胶的物理沉降、干沉降、湿沉降、化学沉降和化学沉降剂。

本书是一部大气污染控制工程专业、环境污染化学专业大气气溶胶科学的专著,它可从化学和化学反应的角度揭示气溶胶中物质间的相互作用,揭示化学与环境科学和气象科学的密切关系。它不仅是从事大气科学工作专业人员的参考书,也是从事环境科学和大气污染控制学工作专业人员的参考书,并可作为相关专业大学生和研究生的阅读参考书。

虽然笔者在编著本书的过程中参阅了大量的国内外有关大气气溶胶方面和大气化学方面的专著及近十年的最新文献,并做了大量的气溶胶采样、分析和气溶胶污染防治工作,力求涉及的知识最新、最能说明问题。但是,由于大气气溶胶污染化学涉及的内容非常庞杂,交叉性和综合性很强,要想将国内外的资料合理地梳理出来,实在是一件很难的事情,而又限于本人对气象知识和环境知识水平理解的浮浅,本书在编著过程中一定存在着许多错误和遗漏,敬请广大读者和同仁批评指正。同时,随着世界科技水平的不断发展,人类环境保护意识的不断提高,一些创造性的新知识、新成果将不断涌现出来,作者将本着“以新写新,以新更新”的视点,以更多的科技实践,尽量写好本书。

本书的编著过程中得到了河南省环境保护科学研究院有关领导和同志的大力支持,并提出了宝贵意见,在此表示深切感谢。

作者

2009年9月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 引 言	(1)
第二节 大气气溶胶污染化学研究的内容和研究方法	(3)
参考文献	(6)
第二章 大气气溶胶及其物理化学性质	(8)
第一节 胶 体	(8)
第二节 大气气溶胶的一般性质及其浓度	(10)
第三节 大气气溶胶的物理化学性质	(16)
参考文献	(28)
第三章 大气气溶胶污染物来源及其分布	(31)
第一节 大气气溶胶污染物的来源	(31)
第二节 气溶胶粒子形成的过程	(46)
第三节 大气气溶胶污染物的分布	(49)
第四节 大气污染气象基础知识	(54)
参考文献	(60)
第四章 大气气溶胶的污染途径	(62)
第一节 气溶胶的污染途径概述	(62)
第二节 大气气溶胶中含卤化物的污染途径	(65)
第三节 气溶胶中砷及重金属的污染途径	(71)
第四节 气溶胶中其他无机元素的污染途径	(96)
第五节 气溶胶中有机物的污染途径	(109)
第六节 含硫无机化合物的污染途径	(124)
第七节 含氮化合物的污染途径	(134)
第八节 气溶胶中花粉的污染途径	(139)
参考文献	(144)
第五章 气溶胶化学成分分析技术	(146)
第一节 大气气溶胶中气体和固体粒子的采样方法	(146)
第二节 气溶胶无机化学成分分析	(162)
第三节 气溶胶中有机成分分析	(183)
第四节 气溶胶中可溶性离子分析	(187)
参考文献	(191)

环境质量的生存价值。其满足程度可用来衡量这种资源的大小。事实上,目前世界上大

第六章 气溶胶的物相分析和形貌分析技术	(194)
第一节 气溶胶的物相分析技术	(194)
第二节 大气气溶胶粒子的形貌分析	(204)
参考文献	(208)
第七章 云、雾、霾气溶胶和酸雨化学	(210)
第一节 云气溶胶化学	(210)
第二节 雾和霾气溶胶化学	(220)
第三节 酸雨污染化学	(230)
参考文献	(236)
第八章 大气气溶胶的荷电性及电化学	(238)
第一节 大气气溶胶的荷电性	(238)
第二节 气溶胶的几种荷电情况	(240)
第三节 大气气溶胶电化学	(248)
参考文献	(253)
第九章 大气气溶胶污染源解析和环境评价	(254)
第一节 大气气溶胶污染物的源解析	(254)
第二节 大气气溶胶的环境质量评价	(266)
第三节 大气环境质量评价	(273)
参考文献	(280)
第十章 大气气溶胶污染的防治和控制	(282)
第一节 物理沉降对大气气溶胶粒子的清除	(282)
第二节 大气气溶胶的化学清除	(291)
参考文献	(299)
Abstract	(301)
Preface	(302)
Contents	(305)

第一章 绪论

第一节 引言

大气气溶胶污染化学是一门集气象科学、大气化学、环境化学、大气环境科学、大气气溶胶和大气污染控制学于一体的边缘性分支科学。它是以人类环境为出发点,利用气象科学和化学及环境科学的知识,研究地球大气气溶胶污染物的化学特征及其内在规律和对外界的影响,并控制其污染途径,治理其现状污染。它主要从化学的角度研究大气气溶胶对环境的污染,对人类的危害。研究大气气溶胶之间的化学反应及气溶胶中各种化学元素在气象和环境过程中的污染行为,研究气溶胶中的化学元素进入人体后的生理作用。同时还研究世界和我国大气气溶胶组分的变化规律以及预测和预报。

众所周知,雾和霾是大气气溶胶中最常见的一种天气现象,酸雾、霾和光化学雾是几种常见的环境污染现象,对人类的危害是随着经济的发展尤其是工业化进程的加快而显现,并不断加重的。它们不仅会导致公路、铁路、水路、航空交通受阻,电网故障,给生产、生活带来影响和威胁,而且还会损害人体健康。

自欧洲工业革命以来,大气气溶胶污染事件时有发生。世界上最早报道的大气污染中毒事件发生在1930年12月,即比利时马斯河谷事件。当时马斯河各地区出现了大雾和逆温,当地工厂排放的大量二氧化碳、二氧化硫、氯化物等污染物造成数以千计的居民中毒,造成60余人死亡。世界上第二个引起轰动的大气污染事件发生在1948年10月底。在一个美国的名叫多诺拉的小镇,由于受反气旋和逆温的控制,持续有雾的出现,空气中二氧化硫和金属粉尘等迅速聚集,无法扩散,造成了6000多人中毒,17人死亡。1952年12月初,大雾笼罩着英国伦敦,由于两个逆温层结合在一起,使近地面的污染物大量聚集,致使成千上万的居民患上了呼吸道疾病,4天内约有4000人丧生,在此后的2个月内还有8000人死亡,这就是世界闻名的伦敦烟雾事件。1972年,被称为“四日哮喘病”的事件,在日本四日市发生,由于该市100多个中小型企业排放的大量粉尘和二氧化硫弥漫不散,造成数千人支气管病变,10余人死亡。

研究表明,大气污染物在大雾存在时,发生复杂的物理化学反应形成新的有毒物质,毒性比原污染物大得多,例如二氧化硫在大气中被氧化与雾滴结合成硫酸气溶胶,毒性提高10倍以上,再与光化学烟雾相遇,毒性更大。由于二氧化硫的氧化生成硫酸雾,且大雾经久不散,造成病毒和细菌大量繁殖蔓延,从而给人类带来疾病。

人类群体健康生存的需要是人类社会生存发展的第一需要或最基本需要。因为人类在环境中生存和繁衍,就必定对环境质量有一定的要求,换句话说,人类只有在一定的环境质量条件下,才能生存和繁衍。我们将环境质量与这一需要客观存在的满足关系称为环境质量的生存价值。其满足程度可用来衡量这种价值的大小。事实上,目前世界上大

多数国家所颁布的环境质量标准就是对这种价值的认可和衡量。

人类是自然界中一个特殊的组成部分,它既有生物性的一面,又有社会性的一面。人类社会在利用环境发展自身的同时又改造环境。环境与人类之间最基本的关系是能量传递和物质转换关系。人类的生存必须依赖环境提供的物质和能量来维持机体的正常生长和发育;同时人类又将机体内代谢活动的产物,经济和文化活动的废弃物排放到环境中去。由此可见,人类与环境之间存在着一种循环关系。

环境中的基本物质单元是化学元素。在人体—环境这个系统中,许多化学元素都经常反复地参与了物质循环过程。在生物进化过程中,随着环境条件的改变,生态平衡的破坏,一些不适应的物种被淘汰,一些适应性较强的物种与变化了的环境建立了新的平衡,得以生存发展。人类就是通过调整自身的适应性来与不断变化的环境保持着平衡,这一平衡的实现,是保持人类生存发展的基本条件。

环境条件的异常变化是否会造成环境与人体之间的生态平衡破坏,一方面取决于环境因素的特性、变化的程度和持续的时间;另一方面还取决于机体状况和自身的调节能力。一般情况下,当环境条件变化对人体影响的程度较小时,机体可以适应,不会引起生理的异常变化;如果影响程度较大,则会引起生理的异常变化,这时机体将呈现代偿状态而生理调节,如调节能力较强,机体可保持相对稳定,不出现疾病的临床症状;如果有害因素持续时间较长,或剂量不断增加,超过了人体的生理调节范围,机体便出现该有害因素引起的特有疾病,严重时甚至导致死亡。

环境质量的恶化主要是环境污染造成的,因此环境质量恶化对人体健康的影响和危害,主要指环境污染对人体健康的影响和危害,由于环境污染的情况和污染物的不同,人体健康受到影响和危害的表现也各不相同。如在物理性污染物噪声的影响下,可导致人体的听觉疲劳,严重时甚至成为噪声性耳聋。在化学性污染物的影响下,可引起人体中毒或其他疾病,严重时可导致死亡。如1952年12月9日发生的伦敦烟雾事件,就比历年同期多死亡3 500~4 000人。总之,环境质量对人体的健康有着重大的影响,因此环境质量的生存价值可用受影响人群的健康水平的变化来表示和衡量。为了增加可比性,也可用因此造成的经济损失来衡量。

事实上,我们每一个地球人都生活在大气气溶胶的世界里,而每个气溶胶颗粒都是化学元素组成的,也就是说我们每时每刻都在与气溶胶化学打交道。上述天气的变化,大气质量的变化,生态环境的变化,人类生活环境的变化,都与大气气溶胶的化学成分变化有关。因此,研究大气气溶胶化学对改善人类的生存环境和人类的持续发展起着至关重要的作用。

有关大气气溶胶物理化学特性的研究在我国已有不少论述。王明星编著的《大气化学》,秦瑜、赵春生编著的《大气化学基础》,章澄昌、周文贤编著的《大气气溶胶教程》,都从不同层面叙述了大气气溶胶的物理化学组成和性质。国内各种环境科学杂志上也发表了多篇有关大气气溶胶化学污染和监测及评估的相关论文。如王安璞论述了关于北京大气气溶胶单个颗粒的化学表征,樊曙先论述了银川市大气颗粒物物理化学特征,吴兑论述了霾与雾气溶胶的识别方法,王荟、常卫民等论述了南京市大气气溶胶中部分无机离子的粒径分布,王玲玲、王潇磊等论述了郑州市环境空气中挥发性有机物的组成及分布特

点。国外有关大气气溶胶化学的论述则更多, Olivier Favez、Hélène Cachier 等研究了巴黎市区半挥发性气溶胶 $PM_{2.5}$ 的特性和贡献, P. Hegde、A. K. Sudheer 等研究了印度西南海岸大气气溶胶的化学特征, P. A. Búez、M. R. García、B. M. 等研究了墨西哥城南 PM_{10} 中痕量元素和无机离子的来源。M. Viana、W. Maenhaut 等分析比较了阿姆斯特丹、巴塞罗那和根特三城市碳质气溶胶中元素碳和有机碳的浓度。这些研究的成功和著作、论文的发表为本书的编写提供了有利的素材。

第二节 大气气溶胶污染化学研究的内容和研究方法

一、气溶胶污染化学的定义

从字面上讲, 大气气溶胶污染化学是用化学手段专门研究大气气溶胶污染物的污染现象的科学, 也就是说大气气溶胶污染化学是以气溶胶为对象, 以空气和液滴为介质, 以化学为理论基础和基本手段来研究化学污染物及其潜在的有害化学物质在大气环境中的分布、存在状态、化学反应、生成物质、运移规律、归宿以及它们对环境和天气现象产生的影响。研究气溶胶化学污染物在大气中的污染途径和化学过程、变化规律、控制治理技术和方法、化学机理及气溶胶中有害化学物质在人体内的危害作用。

大气气溶胶污染化学正在成为或者已经成为环境科学的重要分支科学, 具有极强的边缘科学性质, 它所涉及到的领域与大气环境学、大气化学、大气物理学、气象学、环境工程治理学、环境医学、分析化学和环境生物学等科学是密切相关的。

简单地说, 大气气溶胶污染化学是一门研究大气环境中有害气溶胶污染物的化学性质、化学反应过程、化学反应机理及其在生物体内生理化学作用和控制方法的科学。

二、大气气溶胶污染化学的研究内容

众所周知, 化学这门科学是打开宇宙一切物质组成的万能钥匙。利用化学这门科学手段可以研究气溶胶的化学组成, 研究气溶胶在大气中的化学反应历程, 研究气溶胶在人体内的生理化学效应, 研究气溶胶对世界上生命体的生物化学效应。利用目前世界上先进的探测仪器研究大气气溶胶污染物的采样、制样、分离、溶样方法。利用先进的化学和物理分析仪器探测气溶胶内在的形貌特性和单体气溶胶质粒的电化学特征; 探测气溶胶内的晶体结构, 探索这些晶体在各个化学过程中的作用。研究气溶胶内部的粒径分布和荷电情况, 从中寻找某些规律。从化学的角度研究气溶胶污染物的污染途径、控制方法和消减治理措施。因此, 大气污染化学的主要研究内容如下。

(一) 大气气溶胶在大气环境中的状态和化学组成

气溶胶是大气环境中的一项重要组成, 它充斥了地球大气层的对流层和平流层两部分, 其中以对流层的气溶胶对人和动植物的生长环境影响最大。对流层中的气溶胶污染不仅受到地壳表面大自然的影响, 同时还受到人为因素的影响, 而人为因素的影响是造成气溶胶污染的主要原因。

大气气溶胶是指大气与悬浮在其中的固体和液体微粒与气体载体共同组成的多项体

系。大气气溶胶微粒是人体感官能够直接体验到和观察到的微量成分。它们可以使人类直接感觉到皮肤的不舒适,体内呼吸系统感到粘连、堵塞、疼痛,视线障碍等生理现象。

大气气溶胶系统包括作为分散相的液态和固态质粒以及作为分散介质的空气。在 90 km 以下,空气主要由常态成分和可变成分组成,还有一部分微量稀有气体,它们对大气气溶胶质粒有着密切的关系。对大气质量和天气气候有重大影响的气溶胶质粒大约有一半以上是由空气中的微量气体经过各种化学反应和物理过程而转化的,因此气溶胶质粒在某种意义上可以说是微量气体的汇。微量气体与气溶胶质粒同样具有地球化学循环,它们源自地球,在大气中的滞留期内一同参与输送、混合、稀释、腾升、沉降,最终从大气中移出,而且有些痕量气体与气溶胶粒子一起会直接影响全球气象和气候。气溶胶质粒的化学性质一般说来不活泼,而对云雾、降水的形成能起到核化作用,某些微量气体则以不同形式参与化学反应;在大气气溶胶的研究中,对气溶胶质粒及其在空气中的分散特征是重要环节。

大气气溶胶往往以尘、飘尘、烟、飞尘、云、雾和霾的状态存在。在不同的季节、不同的时间、不同的地域、不同的气候它们的存在形式不同,它们的分布状态也不同。它们有时或薄、有时或厚,尺度或大或小,有时或上或下、或烟或尘,有时或雾或霾、或云或雨。

大气气溶胶主要包括气体物质、无机粒子、有机物质和液体物质组成的混合物。大气气溶胶中几乎包括了自然界存在的所有元素。湿润的海洋气溶胶的化学元素组成与海水的元素组成相似,干燥洁净的陆地气溶胶的化学组成与各区域地壳表层的元素组成相似。城市大气气溶胶综合了地壳元素和各种人为污染源带来的污染元素。具体一点来讲,气溶胶可分为:水溶性化学物质、酸溶性化学物质、水和酸都不溶的化学物质、有机化合物、它们都是由各种化学元素组成的。

水溶性和酸溶性物质主要有硫酸盐、硝酸盐和氯化物以及少量的有机酸。酸和水不溶性和难溶性化学物质主要有硅酸盐、一些金属氧化物、惰性元素和碳粒。气溶胶水溶性阳离子成分有 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 和 Cu^{2+} 等,阴离子有 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 S^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 F^- 和 ClO_3^- 等。气溶胶中的酸和水难溶及不溶性氧化物有 PbO_2 、 SiO_2 、 CrO_3 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 TiO_2 等。气溶胶中的有机物有烯烃类、多环芳烃、苯并芘类、呋喃类和二噁英等。

(二) 大气气溶胶污染物及其污染化学

大气气溶胶污染物是指存在气溶胶中危害人体健康和动植物生长及对建筑物有损害的重金属离子、有害阴离子、病菌、引起人类和动物治病的花粉和微细的尘埃等。

对于大气气溶胶的污染很多人认识不足,更对大气气溶胶中存在的污染物认识不足。比如,人们在大雾中进行晨练,想不到雾中的尘粒正在不知不觉地危害着您的呼吸道和肺腔。春天来临我们走在悬铃木下或一些油菜花地的时候,有些人会对花粉过敏,产生不同的疾病。

大气气溶胶污染化学研究的内容比较多,它涉及到环境科学、化学科学、物理科学、气象科学、材料科学、医学科学、地质科学、工业科学和农业科学等。

由大气气溶胶污染化学的定义可知,气溶胶污染化学的研究对象就是大气环境中的气、固、液混合体系和受其污染的受体。

(三) 大气气溶胶污染途径及大气气溶胶污染的控制

大气气溶胶污染的污染途径分为大气气溶胶的来源、大气气溶胶的污染气象、大气气溶胶的形成机理、大气气溶胶的污染运移过程等多元途径。

大气气溶胶污染物的主要来源可分为自然污染源(如火山爆发产生的气溶胶,大气运动因大风刮起的尘埃气溶胶,生物过程产生的质粒,海洋表面激烈运动、蒸发形成的质粒,因天气现象造成的自然燃烧过程产生的质粒)和人为污染源(主要来自人类各种生产、生活活动排放的液态或固态颗粒物以及排放的废气转化而形成的二次气溶胶粒子)。

研究大气气溶胶来源和气溶胶形成机理主要目的是为了大气气溶胶污染控制寻找理论基础和治理基础。大气气溶胶污染的控制可分为源头控制、局部治理、生物控制、面源治理及化学治理。

源头控制,即从污染的源头采用限制污染物的排放,改进燃料、改革生产工艺、选用优化的源头治理措施来控制气溶胶污染物的产生。局部治理,即对已经局部污染的大气空间,采用一些先进的技术措施进行治理。生物控制,即利用生物技术吸附或吸收大气气溶胶中的有毒物质,利用生物与气溶胶的有害物质反应消除或控制污染物。面源治理,即对大面积污染的气溶胶大气空间,在天气条件允许的情况下,控制温度条件和湿度条件向污染的气溶胶发射一定量的清除剂,使其与污染的气溶胶发生物理化学作用,以达到大面积控制的目的。化学治理是用无毒、无害、无污染的化学品治理控制气溶胶。

三、大气气溶胶污染化学研究的方法

大气气溶胶污染化学研究的方法较多,但是研究气溶胶的程序一般为,在不同区域、不同高度采集样品—测试其化学成分研究其特性—观察样品中各种粒子的形貌—分析其污染途径—追溯其来源—研究其污染物的评价方法—针对其特性有目的的研究治理方法。本书将沿着这一程序针对我国和世界近些年来大气气溶胶的污染问题进行讨论研究。

(一) 讨论和研究气溶胶的物理化学特性

(1) 根据胶体化学的理论和胶体的性质来定义大气气溶胶,对大气气溶胶进行分类,再对气溶胶的物理化学性质进行讨论和研究。

(2) 根据国内外有关学者对气溶胶研究的成果和论文,探索大气气溶胶化学的理论模式,根据这些理论进一步指导实践研究,再将实践研究成果升至理论,进而更加完善对气溶胶的物理化学性质研究。

(3) 研究大气气溶胶的化学浓度及其中的各种无机化学成分和有机化学成分,及晶体物质组成,并在此基础上研究各种化学物质在大气气溶胶中的反应。

(二) 研究气溶胶样品中各种粒子的物理形貌

(1) 利用各种先进的光学显微镜和电子显微镜观察大气气溶胶样品中的矿物组成和物理形貌,进一步了解和研究气溶胶的物理性质。

(2) 利用电子显微镜观察气溶胶中各种微生物、病菌、细菌和花粉的存在状态,了解和研究这些东西在大气气溶胶中的存在价值,和对人体的危害作用。

(3) 利用扫描电镜和能谱或电子探针技术研究气溶胶的宏观组分。

(三) 研究大气气溶胶的污染途径

(1) 大气气溶胶从产生的那一时刻起, 就会在大气中扩散和传播, 对大气形成污染, 给人类造成危害。要解决大气的污染问题, 就必须了解和研究气溶胶的来源与污染途径, 研究某些有害物质的形成、分解、相互之间的反应和再生成, 研究气溶胶粒子对人体的危害程度及其在人体内的活动规律。

(2) 研究气溶胶在大气中的水平和垂直分布状况及运移规律, 了解其在大气中不同层面、不同地点、不同位置、不同时间存在的厚度、浓度及污染的程度。研究气溶胶中无机物质和有机物质从一种物质生成另一种物质的化学反应历程及其对环境的影响程度。

(四) 了解和研究大气气溶胶样品的采集、处理和分析方法

(1) 大气气溶胶样品的采集是研究其性质的最靠前、最基础的步骤。能否使研究进行的顺利并达到目的, 首先就要将样品采集的地点、位置, 采集的时间和采集的数量达到最优化, 为后续样品处理和分析打下良好的基础。

(2) 大气气溶胶样品从采集后到物理化学分析要经过必要的前处理, 样品处理的方法是否得当, 将直接影响后续的分析结果, 因此必须研究样品的处理方法, 以保证样品分析结果的真实性和代表性。

(3) 样品分析的结果直接反映大气气溶胶的化学性质和大气的质量状况, 不同的分析仪器、不同的分析方法所得到的结果会有所差异。同时, 在测定气溶胶中不同物质或不同性质时要选用不同的仪器, 如测定气溶胶质量浓度时需要用恒温重量法, 以天平和恒温箱为主要仪器; 测定气溶胶中的无机元素时需要用光谱仪之类的仪器; 测定有机物时需用气相色谱和质谱之类的仪器; 测定气溶胶的数浓度时则需要粒子计数器和粒子谱仪。因此, 研究气溶胶的分析方法和所用仪器也是研究气溶胶化学的重要途径。

(五) 研究气溶胶的源解析和评价方法, 即污染物的来源

在研究和分析气溶胶中化学元素和化合物的基础上, 根据各种化学元素的特性和污染途径追溯气溶胶的来源, 再根据污染物的量和危害程度评定气溶胶的污染水平和要采取的防范措施。

(六) 研究大气气溶胶污染的防治方法

在弄清气溶胶污染物的来源和质量浓度及数浓度的基础上, 研究污染物的治理方法, 即将大气中的有害气溶胶浓度降到最低。所采用的治理方法应尽量以物理方法为主、化学方法为辅, 所采用的化学方法应不再产生二次污染和对人体不产生副作用, 不对周边环境产生影响。

参考文献

- [1] 王明星. 大气化学[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 1999.
- [2] Paul A Baron, Klaus Willeke. Aerosol Measurement Principles Techniques and Applications[M]. 白志鹏, 等译. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [3] 黄鸿恩, 蒋胜煜. 化学元素与健康[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1987.
- [4] 孔祥瑞. 必需微量元素的营养、生理及临床意义[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1982.

- [5] 李大山,等. 人工影响天气现状与展望[M]. 北京:气象出版社,2002.
- [6] 章澄昌,周文贤. 大气气溶胶教程[M]. 北京:气象出版社,1995.
- [7] 束家鑫,鲍宝堂. 中国云天[M]. 上海:上海科学普及出版社,1995.
- [8] 吴兑. 温室气体与温室效应[M]. 北京:气象出版社,2003.
- [9] 周广胜. 全球谈循环[M]. 北京:气象出版社,2003.
- [10] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2002.
- [11] 李尉卿. 河南省主要城市大气气溶胶中的 TSP 和 PM_{10} 污染特性[J]. 河南科学,2004,5(24):714-717.
- [12] Wang Minxing, Zhang Renjian, Pu Yifen. Recent Researches on Aerosol in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001,4(18):576-586.
- [13] Boris Bonn, Mark G Lawrence. Influence of Biogenic Secondary Organic Aerosol Formation Approaches on Atmospheric Chemistry[J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 2005,51: 235-270.
- [14] Mahesh J. Phadnis, Gregory R. Carmichael. Numerical Investigation of the Influence of Mineral Dust on the Tropospheric Chemistry of East Asia [J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 2000,36: 285-323.
- [15] Karina Bianca Lewerissa and Johan Boman. Study of Trace Elements and Soot in Aerosols from a Coal-Fired Power Plant in Northern Vietnam[J]. Environ Monit Assess, 2007,130:301-309.

第二章 大气气溶胶及其物理化学性质

第一节 胶 体

胶体是一种分散质粒子直径介于粗分散体系和溶液之间的一类分散体系,这是一种高度分散的多相不均匀体系。通常规定,胶体颗粒的大小为 $1 \sim 100 \text{ nm}$ (按胶体颗粒的直径计)。小于 1 nm 的颗粒为分子或离子分散体系,大于 100 nm 的为粗分散体系。准确地讲,粒子粒径范围在 $1 \sim 100 \text{ nm}$ 的物质称为胶体。

一、胶体的分类

按分散剂的不同胶体可分为气溶胶、液溶胶、固溶胶,按分散质的不同可分为离子胶体、分子胶体。

(1) 气溶胶——分散质、分散剂都是气态物质,如雾、霾、云、烟、大气可吸入颗粒物等,长时间悬浮在空气中能被观察或测量的液体或固体粒子。

(2) 液溶胶——分散质、分散剂都是液态物质,如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体和人体的血液等。

(3) 固溶胶——分散质、分散剂都是固态物质,如有色玻璃、合金等。

按分散相质点的大小,可将分散体系分为粗分散体系和胶体分散体系及分子或离子分散体系,见表 2-1。

表 2-1 分散体系按分散相质点大小分类

名 称	质点大小	性质
粗分散体系 (悬浮液,乳状液)	$> 100 \text{ nm}$	热力学不稳定,动力学不稳定,透不过滤纸,扩散慢,一般光学显微镜下可见
胶体分散体系	$1 \sim 100 \text{ nm}$	热力学不稳定(大分子溶液除外),动力学稳定,能透过滤纸,扩散慢,超显微镜下可见
分子或离子分散体系	$< 1 \text{ nm}$	均相系,热力学稳定,能透过滤纸,扩散快,超显微镜下不可见

按分散相和分散介质的聚焦状态,可分为泡沫、气溶胶、乳状液、凝胶、溶胶、固体溶液等,见表 2-2。

二、胶体的性质

胶体的性质体现在以下几方面:

(1) 有丁达尔效应。当一束光通过胶体时,从入射光的垂直方向上可看到有一条光带,这个现象叫丁达尔现象。

(2) 有电泳现象。由于胶体微粒表面积大,能吸附带电荷的离子,使胶粒带电。当在

电场作用下,胶体微粒可向某一极定向移动。胶粒带电情况:金属氢氧化物、金属氧化物和碘化银的胶粒一般带正电荷,而金属硫化物和硅酸的胶粒一般带负电荷。

表 2-2 分散体系按分散相和分散介质的聚焦状态分类

分散相	分散介质	名称	实例
气态	液态	泡沫	海浪飞沫
	固态	固体泡沫	泡沫塑料
液态	气态	气溶胶	云、雾
	液态	乳状液	牛奶
	固态	凝胶(冻胶)	硅凝胶
固态	气态	气溶胶	烟尘、大气飘尘、霾
	液态	溶胶	泥浆
	固态	固体溶液	合金、有色玻璃

(3)可发生凝聚。加入电解质或加入带相反电荷的溶胶或加热均可使胶体发生凝聚。加入电解质中和了胶粒所带的电荷,使胶粒形成大颗粒而沉淀。一般规律是电解质离子电荷数越高,胶体凝聚的能力越强。

(4)胶体粒子的双电层。整个胶体是电中性的。胶体粒子由于吸附或电离,表面上带有电荷,因而分散介质必然带有数量相等、电性相反的电荷,称为反离子或电离子。一方面,反离子受到胶体粒子表面电荷的吸引,趋向于排列在紧靠胶体粒子表面的地方;另一方面,由于热运动,反离子又会向离开胶体粒子表面的方向扩散。当静电吸引与热扩散平衡时,在胶体粒子与分散介质上就形成了一个双电层。

大气气溶胶具有上述四种特性。大气气溶胶的丁达尔效应,可从晚间的探照灯光得知,无论光源是从任何角度照射,都能观察到一条光带,入射光垂直向上照射也同样如此,同时也能看到在这条光带中有着数以亿万计的固体或液体微粒在光带中游动,这便是气溶胶的丁达尔效应。

大气气溶胶的电泳现象可从空气中的电闪解释,也可以从电除尘的机理解释。由于受各种源动力的影响,气溶胶粒子是带电的,例如各种金属离子和金属氧化物是带正电的,而硫酸根离子、硝酸根离子、氯离子和硅酸根是带负电的,它们在大气中会相互吸引,产生化学反应,向某一方向移动。当气溶胶的厚度(例如云气溶胶)达到一定尺度时,空气达到一定湿度时,会产生雷电现象,又重新使气溶胶带电。各类工厂的电除尘是以金属板为阴极,金属电晕线为阳极,对粉尘气溶胶施加电压,使粉尘气溶胶粒子向板极方向移动,黏附于板极之上,然后在震打机械的作用下达达到除尘的目的。而没有被收集的、排放到空中的细微气溶胶粒子则是带电的。

由气象知识得知,气溶胶的核分为爱根核、大核和巨核三种,也就是说在空间各种作用力(如范德华引力、布朗运动、静电引力、分子间的吸附力等)的作用下,以这些核为中心可将一些细微粒子凝聚到一起,使之形成大的颗粒而产生沉降。空气中各种污染物粒