

沈 铎 黄世鸿
编著
聂梅生 郑均华

空气污染与控制



中国环境科学出版社

空气污染与控制

沈 铎 黄世鸿
郑均华 聂梅生 编著

中国环境科学出版社

1985

内 容 提 要

本书系美籍华人沈铎 (Thomas T. Shen) 教授、郑均华 (Roger J. Cheng) 先生及我国访美学者黄世鸿、聂梅生同志共同编写, 既介绍了美国防治空气污染的经验 and 情况, 又联系了我国的空气污染问题。本书就空气污染的成因和危害、空气和污染源排放物的采样和分析、空气污染影响评价、空气污染物排放的控制、空气质量管理及燃烧设备的检查方法等问题, 做了较系统的论述。

本书可供环保工作者、有关企事业单位人员及大专院校师生参考。

空气污染与控制

沈 铎 黄世鸿
郑均华 聂梅生 编 著

*

中国环境科学出版社 出版

北京西郊白石桥路45号

二二〇七工厂印装

*

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1985年12月第一版

开本: 850×1168 1/32

1985年12月第一次印刷

印张: 5 1/4

印数: 0001—9,100

字数: 141千字

统一书号: 13239·0023

定价: 1.35元

序 言

美籍华人沈铎 (Thomas T. Shen) 教授1983年访问我国时, 曾表示要围绕大气污染及其防治技术写一本书, 对此, 我们表示支持。沈先生学识渊博, 在美国长期从事环境保护科学技术的教学与研究工作, 在环境管理方面积累了丰富的经验。去年以来, 沈铎先生同美国纽约州立大学大气科学研究中心研究员、美籍华人郑均华 (Roger J. Cheng) 先生一起, 怀着热爱中华、关心我国环保事业的赤子之心, 辛勤劳作, 共同编著了这本《空气污染与控制》。现在我们欣喜地推荐给广大读者。

本书既介绍了美国防治大气污染的经验 and 情况, 又联系到了我国的大气污染问题。它分别就大气污染的成因和危害、评价和控制技术、污染物的测试及大气环境质量管理等内容进行了论述。

众所周知, 我国的主要燃料是煤。随着工业的迅速发展, 加之缺乏相应的控制措施, 致使我国的大气污染成为环境管理中的突出问题, 现在全国的大气环境普遍受到以尘、二氧化硫为主要污染物的煤烟型污染。从七十年代开始, 特别是党的十一届三中全会之后, 党和政府就十分重视大气污染问题, 在科学研究和管理方面采取了一系列相应措施, 大力开发大气污染治理技术, 建立了大气污染监测系统, 制定了防治大气污染的法规、标准以及健全了大气环境管理制度等等, 因而有不少地区大气污染状况不断有所改善。但是, 我们还应清醒地看到, 我国大气污染状况仍很严重, 随着经济和社会的发展, 控制大气污染的任务仍是很艰巨的。

本书为系统研究大气污染及其防治技术提供了参考资料, 对广大读者是有所裨益的。当然应该看到, 本书是由沈铎、郑均华两位先生和我国访美学者黄世鸿、聂梅生同志共同编写, 他们没

有更多的机会深入了解我国当前的实际情况，因而，很难就我国大气污染防治提出系统的、适合国情的对策，这有待于国内学者继续努力。我们希望今后有更多更好的防治大气污染方面的著作问世。

曲格平 焦金虎

1985年6月北京

编 者 的 话

1983年秋，沈铎先生应联合国开发计划署邀请回国讲学和考察后，深感国内环境污染状况亟待改善，而开展环境保护工作的突出问题是缺乏足够数量和水平较高的人才。在空气污染防治方面，目前国内从事空气污染防治的专业人员多数是从与空气污染防治有一些联系的专业人员转过来的，而在大学专修空气污染防治专业的学生为数甚少，因此，为了推动国内空气污染防治工作写成此书。

本书是从空气污染防治实际应用出发，把有关内容贯穿起来，使读者对空气污染防治有一个整体了解。全书内容计分六章，包括空气污染的成因和危害；空气质量和污染源排放物的测量；空气污染影响评价；空气污染物排放的控制以及空气质量管理 and 燃烧源的检查方法。本书广泛收集了有关的参考资料。但因手头缺乏国内资料，所以主要资料和举例大都借鉴美国。所有资料以适合我国国情为原则。其目的是使此书可作为环保人员培训教材及供企事业领导，管理干部等有关技术人员阅读，同时也可供大专院校师生参考。

本书自1984年秋开始编写到脱稿，历时半载，全部是利用业余写的。尽管多次修改，难免有错误和不妥之处，欢迎读者斧正。最后我们感谢曲格平、焦金虎、王子成和王文兴四位先生在我们编著过程中给了热情的支持和鼓励，戚启勋教授，王世同和薛观瀛二位先生协助校阅了部分章节，我们也借此机会深表谢意。

编著同仁写于美国纽约州奥尔巴尼市

1985年4月10日



作 者 介 绍

沈铎(Thomas T. Shen)(左二): 美国纽约州政府环保署高级研究员, 纽约哥伦比亚大学环科系兼任教授, 美加空气污染防治学会技术委员会委员。

郑均华(Roger J. Cneng)(左四): 美国纽约州立大学大气科学研究中心研究员, 美加空气污染防治学会技术委员会委员。

黄世鸿(左一): 南京大学赴美访问学者。

聂梅生: 城乡建设环境保护部赴美访问学者。

目 录

序言	(1)
编者的话	(iii)
第一章 空气污染的成因和危害	(1)
第一节 空气污染的含义	(1)
第二节 空气污染源	(3)
第三节 空气污染物质	(5)
第四节 气象条件与空气污染的关系	(10)
第五节 空气污染物的危害	(26)
第二章 空气和污染源排放物的采样和分析	(35)
第一节 采样和分析要求	(35)
第二节 颗粒污染物的采样和分析	(36)
第三节 气体污染物的采样和分析	(39)
第四节 污染源排放物的测定	(53)
第五节 臭味鉴定技术	(66)
第六节 空气质量监测站的设置和自动测量	(67)
第三章 空气污染影响评价	(74)
第一节 环境和空气污染影响评价的基本内容和方法	(75)
第二节 空气污染的现况评价	(78)
第三节 事前评价	(82)
第四节 事后评价	(87)
第四章 空气污染物排放的控制技术	(96)
第一节 从生产过程各环节上减少污染物排放	(97)
第二节 颗粒物质排放的控制技术	(99)
第三节 气体污染物排放的控制技术	(112)
第四节 二氧化硫排放控制法	(113)
第五节 氮氧化物排放控制法	(116)
第六节 机动车辆排放物的控制	(118)

第五章	空气质量管理	.....	(120)
第一节	法规	.....	(121)
第二节	标准	.....	(124)
第三节	空气污染防治机构	.....	(131)
第四节	污染源的管理	.....	(136)
第五节	关于我国空气污染防治和管理	.....	(138)
第六章	燃料燃烧设备的检查	.....	(140)
第一节	燃料燃烧的污染物排放量	.....	(140)
第二节	燃料	.....	(144)
第三节	燃烧及控制	.....	(147)
第四节	燃烧设备及其检查方法	.....	(152)

参考文献

第一章 空气污染的成因和危害

空气是重要的自然资源之一。人类的生存须臾离不开空气。人们可以断食数周、断水数天而不致丧命,但要停止呼吸几分钟即会死亡。空气对动植物的生存和生长与对人类同样重要。自然界的进化和人类社会的发展都离不开空气。

然而,随着现代化生产高度发展,大规模地使用包括煤和石油在内的能源和其它自然资源,其结果给环境空气造成不同程度的污染,使空气质量受到损害。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生态都受到影响。空气污染的防治已经和正在受到各国的重视。

空气污染物的形成与工业发展和其生产使用的燃料有密切关系。煤固然能给生产发展带来巨大的动力,但燃煤排放出的废气含有相当多的有害物质。同样称之为工业血液的石油的燃烧也排放出不少有害物质进入大气。所有这些有害物质分散在大气中,当它们在空气中的浓度达到一定程度,会对人、动植物和社会财产产生明显的“损害效应”,在严重情况下,将危及人的生命。

空气中有了污染物并不就构成空气污染,空气污染有它本身的含义,空气污染的形成是有条件的。本章旨在说明空气污染所包含的内容及形成的条件。

第一节 空气污染的含义

什么是空气污染?什么情况下才会形成空气污染?正确理解空气污染的含义不仅对了解空气污染的成因,而且对处理和指导环保工作中实际出现的问题都是十分重要的。

众所周知,人类和其他生物必须依赖空气才能生存。空气的

成份及其物理和化学性质是相对恒定的，但在人类社会活动过程中，总有一些人为产生的异常物质进入空气。但这些物质在空气中的存在并不明显地改变空气的物理和化学性质，也就是说并不直接或间接地对人类、生物和社会财产构成危害，即虽有污染源排放污染物质进入空气，但其浓度不高，不一定构成空气污染。

污染物质的“损害效应”与其性质有关。某些排放物质虽然在空气中的浓度较大，但其危害性却很小；而有些物质毒性很大，虽然它们在空气中的含量很少，却能产生严重危害。显然，前者构成空气污染的潜在性小，而后者构成空气污染的潜在性很大。污染物质在空气中的浓度取决于污染源在单位时间内所排放的污染物质的数量，即排放率或污染源强度，同时气象条件对污染物质在空气中浓度的分布起着决定性的影响。污染物质进入空气后是集聚在污染源附近，还是向外输送和扩散？向何处输送？扩散到多大范围？这些都与气象条件有关。在排放率一定的情况下，人们往往根据气象条件来评价和预报产生空气污染的潜在可能性。

其次我们要谈到受害对象。假如在某地区的污染源排放出大量污染物质，在一定的气象条件下，污染物质在空气中累积到能产生严重危害的浓度，但该地区荒漠无人，无受害对象，这就不能构成我们所要控制的空气污染问题。所以所谓形成空气污染必须具备三个条件：

- (1) 排放大量污染物质；
- (2) 存在不利气象条件；
- (3) 有受害对象。

空气污染一般都发生在人口密集、工厂林立的城区。我们要解决空气污染问题，必须从上面所说的形成空气污染的三个条件着手。因为我们不可能把城市内的受害对象如人口和工厂大规模地疏散，而现有的科学技术尚不能较大规模地改变气象因子，唯一能做到的只有通过控制和减少污染物质的排放量来避免或减少污染。因此，空气污染防治的策略是根据实际情况，制定出空气质量标准，控制污染物质在空气中的浓度，保证人类、动植物和社会财

产免受污染物质的损害。

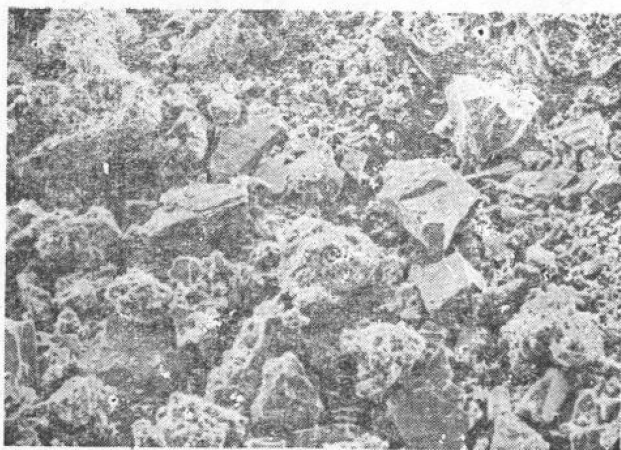
第二节 空气污染源

空气污染源可分为两类：自然源和人为源。自然源包括风的吹尘，火山爆发所产生的气体和灰粒，闪电产生的臭氧，植物产生的酯和烃，森林火灾造成的烟气和飞灰、花粉，自然腐败物产生的臭气，自然放射性源和其他变因源产生的有害物质。这些自然界产生的污染物构成了空气的背景污染，除火山爆发产生的气体和灰粒有很大的危害以外，一般并不损害空气质量。对自然性空气污染，人们无有效方法进行控制。

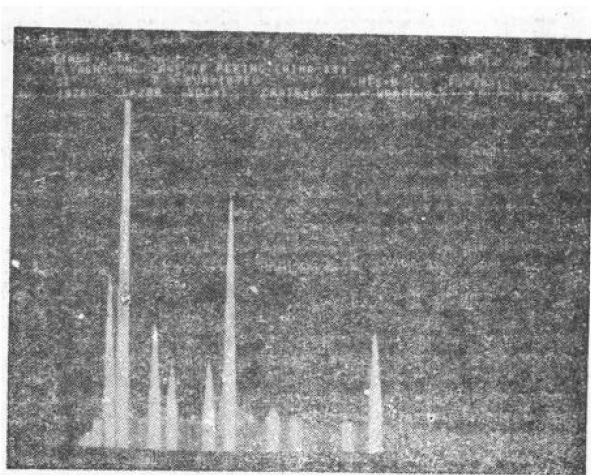
人为源是产生空气污染的主要方面，它主要是从人们的生产活动和日常生活过程中（工业、交通、各种燃烧和垃圾处理等）产生的。人为源可分为特殊源和综合源。如果人们根据空气中所含的污染物能明确无误地指出它们来自某个排放源，则该源称为特殊源。特殊源往往是指个别大的工厂或是某种空气污染物的唯一排放源。如果某地区有许多排放源，有固定的或流动的，人们不可能根据空气中所含的污染物的成份和性质来判定它们来自某个具体源，这种源统称综合源。

不同类型的污染源排放出的空气污染物也有所不同，但目前在我国，煤和石油作为最主要的动力原料，因此绝大部分空气污染物是燃煤和燃油的排放物。此外，火力发电厂、冶炼厂、化工厂、造纸厂、炼油厂、交通运输工具等也是重要的污染源。

煤燃烧所排放出的污染物有气体物质，如二氧化硫（ SO_2 ）、三氧化硫（ SO_3 ）、一氧化碳（ CO ）、氮氧化物（ NO_x ）、甲醛（ HCHO ）和烃等。此外还有许多固体颗粒组成的烟灰。烟灰是由无机物组成的混合物，主要成份二氧化硅（ SiO_2 ）、氧化铝（ Al_2O_3 ）、氧化铁（ Fe_2O_3 ）、氧化钙（ CaO ）等，见图1·2-1(a)。煤烟中各种有害物质的浓度与煤质、锅炉设计、燃烧操作技术有很大关系。图1·2-1(b)表明在一般情形下每燃烧一吨煤所排放的



(a)



(b)

图 1·2-1 北京城区煤灰样品的电子显微镜照片 (500倍)

(a) X-射线能谱; (b) 表示样品中的化学成份: 沙粒、钠、镁、铝、硫、氯、钾、钙、钛、锰、铁、砷。

(a 图中有棱角的是砂粒)

主要污染物的成份和数量。燃油源排放的有害物质大体上与煤相同。表1·2-1也列出每燃烧一吨石油所排放的主要污染物的成份和数量。在石油炼制过程中，石油气从管道外泄也是产生空气污染物的原因之一。化工厂等散发出的空气污染物与它们使用的燃料、原材料和生产的产品有关，排放量与工艺流程和是否采取积极的防污措施有很大关系。

表 1·2-1 燃料燃烧后污染物排放系数 (公斤/吨)

污 染 物	排 放 系 数	
	煤	石 油
二氧化硫 (SO ₂)	17S~19S*	19S*
一氧化碳 (CO)	0.4~0.6	0.4~0.6
烃 (HC)	0.25~0.35	0.25~0.35
氮氧化物 (NO _x)	4~12	4~12
烟 尘	1.0~2.8克/标准米 ³	1.0~2.8克/标准米 ³

* S是含硫百分率

火力发电厂、以煤和石油作能源的大型工厂和其它连续排放有害物质的工厂是主要的特殊源，城市和工业区以及交通拥挤的地方集中了许多固定或流动源，因而组成综合污染源。对污染源进行管制和技术改造是防治空气污染的主要措施。

第三节 空气污染物质

所有空气污染物质都有一定的物理性质和化学性质。我们可根据它们的形成方式、物理状态和化学成份进行分类。根据它们的形成方式，空气污染物可分成一次污染物和二次污染物。由污染源直接排放进入空气的污染物称为一次污染物。由污染源排放出的某些物质与原来所含在空气中的某些成份发生化学反应（光化反应、水解、氧化等）所产生的污染物称为二次污染物。根据空气污染物的物理状态，则它们可分为粒子物质和气态物质。粒子物质可以是固体颗粒和液体颗粒。气体物质可以是气和汽。如果

按照它们的化学成份，则可分为 有机物和 无机物。表1·3-1归纳了各类典型的空气污染物质的成份。

表 1·3-1 空气污染物的类型

主要类别	次要类别	典 型 物 质
有机气体	烃 醛 酮 其他有机物	乙烷、苯、乙烯、甲烷、丁烷、丁二烯 甲醛、丙酮 氯化烃、酒精
无机气体	氮氧化物 硫氧化物 碳氧化物 其他无机物	一氧化氮、二氧化氮 二氧化硫、三氧化硫 一氧化碳、二氧化碳 硫化氢、氟化氢、氨、氯
粒子物质	固体粒子 液体粒子	灰尘、烟粒、烟气* 薄雾、浪花

* 由气态直接凝结成固态的粒子组成

物质对空气污染的潜在作用主要取决于它们的物理性质（粒子的大小、形状、带电状况、放射性和蒸汽压等）、化学性质（酸性、碱性、溶解度、吸水性、反应性等）和生物学性质（毒性、味道和臭味等）。为方便起见，下面将按粒子和气体物质的顺序对它们进行叙述。

一 颗粒物质

物质可在大气中分散成固体和液体颗粒，与空气一起组成气溶胶。人们常常根据粒子的形成过程和它们在大气中反映出的直观现象来估计它们的大小。烟粒大多数是直径为 1 微米左右的未经充分燃烧的碳粒子。水气凝结产生的雾滴直径为 5~60 微米，雨滴直径为 400~5000 微米。尘雾是由直径小于 1 微米的固体粒子组成，它们是经由蒸汽凝结和凝华或通过化学反应产生的，其排放源大多数是金属冶炼厂、蒸馏厂等。尘埃比雾更普通，直径大于 1 微米，由自然风化过程或工业研磨过程产生。轻雾（霭）

由直径在100微米以下的液体粒子组成,它除通过大气凝结过程产生外,还可以通过雾 化 工 艺 产 生。通常微生物病毒的大小为0.01~0.1微米。图1·3-1表明这些气溶胶粒子的粒径范围。

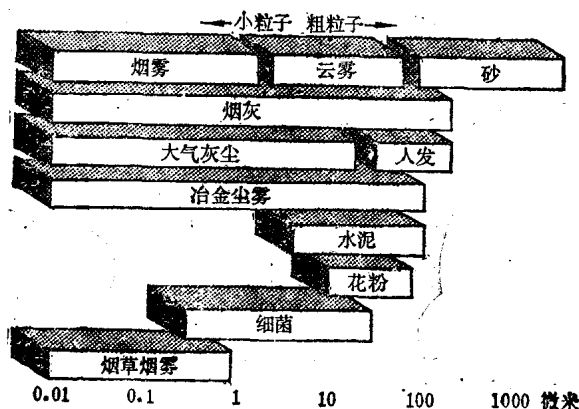


图 1·3-1 大气气溶胶粒径范围

粒子的性质与大小有关,粒子越小,则与空气接触的总的表面积越大,因此它们与大气中的其他物质发生物理和化学作用的可能性越大。通常直径小于10微米的粒子,人们用肉眼就不能分辨。人和动物的呼吸系统不能排阻直径小于2~3微米的粒子,这些粒子的总重量占城市空气悬浮粒子的一半。这些小粒子中,有些是含有有害物质,会对人体组织造成伤害。粒子如包含金属微量元素,则能作为化学反应的催化剂,如二氧化硫快速变成硫酸是借铁等的催化作用。气溶胶粒子能吸收和散射太阳辐射,吸收和散射特性与粒子的成份和大小有关。气溶胶粒子把吸收的能量散发到周围大气,结果使粒子附近的空气变暖。一些气象学家担心,目前通过工业和交通把大量粒子排放到对流层中,可能会导致在对流层中形成一个太阳能的吸收层,从而减少到达地面的能量。

二 气体污染物质

对空气污染发生重要影响的气体是一些无机或有机化合物,

最普通的是一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物和碳氢化合物——烃等(见表1·3-1)。

1. 碳和氧化碳

碳是一个非金属元素，它可以单独存在或作为煤、石油和其他有机或无机化合物的重要组成成份。碳化合物最通常用作燃料。如果燃料未经完全燃烧，则产生大量的一氧化碳。如果燃烧是完全的，则生成二氧化碳。

一氧化碳是无色、无嗅但具有很大毒害性的气体。城市中的所有污染气体中，它的相对浓度最高，但它在大气中的含量是经常变化的。实验表明，大约 100ppm 的一氧化碳浓度会使人昏眩、头痛或有其它中毒症状。这样的浓度在交通拥挤的地方是很普通的。据估计，全球每年大约有 300 亿吨的一氧化碳排放到空气中，由此推算，五年之后它在空气中的浓度会足以增加一倍。但是，仔细分析表明，在过去五十年中，一氧化碳的平均浓度并没有发生变化。因此一氧化碳在大气中如何循环仍是一个谜。

二氧化碳是无色和无嗅的气体，它在燃料完全燃烧的条件下产生。此外二氧化碳可在有机物质的腐烂分解过程中产生。可是植物在进行光合作用过程中必须吸收大气中的二氧化碳。它并不认为是空气的污染物，因为它是作为生命新陈代谢过程中必然排出和吸收的物质。但是过量的二氧化碳会产生副作用。在潮湿环境中，二氧化碳会转化成碳酸并侵蚀岩石。它也是镁和其它金属被侵蚀的原因之一。另外，大气中二氧化碳的浓度近三十年来不断在增加，如果长期增加下去，会造成大气温度的升高，结果使极地冰层融化，可能导致全球范围的严重水灾。

2. 硫及其化合物

硫的氧化是造成许多城市空气污染的主要原因之一。它包含在煤和石油中，而煤和石油是当前最主要的燃料。

氧化硫是含硫燃料燃烧时，硫与空气中的氧发生化学反应而