王润鹿等 编著

实用污染气象学

气象出版社

实用污染气象学

王潤鹿 杜行远 李洪珍
丁国安 楊东貞 李郁竹 編著

气象出版社

内 容 简 介

本书共分八章。其包括大气化学，大气监测，边界层中湍流、风、温度的特性，地形地貌等产生的特殊气象条件，根据实测气象资料估算污染浓度，空气污染预报以及大气污染对气候的影响等内容。书中涉及面较广，介绍了国内外一些新的材料，可供从事工程设计、大气环境保护和气象等方面的科技人员以及有关大专院校的师生参考。

实用污染气象学

王润鹿 杜行远 李洪珍
丁国安 楊东貞 李郁竹 编著

气象出版社 出版

（北京西郊白石桥路46号）

北京丰台岳各庄印刷厂印装

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

开本787×1092 1/32 印张：5.375 字数：111.5千字 印数：6,000

1981年11月第1版 1981年11月第1次印刷

科技新书目：13—78 统一书号：13194·0050

定价：0.58元

前　言

大气是人类赖以生存的重要条件。在世界著名的八大公害事件中，有多起因大气污染致使人口大量死亡，这就引起了人们对于大气环境保护的广泛注意。人们在实践中发现，气象条件与大气污染有着密切的关系，于是一门新兴的学科——空气污染学应运而生。

本书就空气污染气象学的一般性问题作一概略介绍。内容涉及大气化学、大气污染监测、大气污染和气象条件的关系、地形地物的影响、污染浓度的估算、空气污染预报、大气污染对气候的影响，以及其他有关基本知识和概念等等；此外，对近年来国内外大气污染研究成果也作了适当介绍。在各章节叙述中尽可能少用公式，力求通俗易懂，深入浅出，以便使读者对空气污染气象学的各个侧面有所了解，并能在实际工作中有所借鉴。本书可供工程设计、大气环境保护和气象等方面的科技人员参考。

由于我们知识面不广，水平有限，在编写过程中错误难免，希望读者不吝赐教。

本书写作分工，第一章：杜行远；第二章：李洪珍；第三、八章：王润鹿；第四章：王润鹿、丁国安；第五章：丁国安；第六章：杨东贞；第七章：李郁竹。最后由丁国安同志负责全书的统稿工作。

本书全部插图由齐淑芬同志绘制，我们谨致谢意。

编　者

目　录

前言 ……(1)
第一章　引论 ……(1)
第二章　大气化学与大气污染 ……(8)
§1　大气的组成 ……(8)
§2　大气中存在的几种主要污染物质 ……(12)
§3　大气降水 ……(17)
第三章　大气污染的监测和大气净化 ……(30)
§1　大气质量的评定 ……(30)
§2　大气本底污染的监测 ……(32)
§3　国外大气污染监测概况 ……(38)
§4　大气的净化 ……(40)
第四章　边界层中湍流、风、温度 ……(43)
§1　边界层与大气湍流 ……(44)
§2　边界层中的风及其随高度的变化 ……(46)
§3　边界层中温度的垂直分布 ……(60)
第五章　不同地形条件下的局地环流和其它特殊的气象条件 ……(66)
§1　山区地形影响 ……(66)
§2　海陆不同的热状况产生海陆风 ……(76)
§3　城市环境产生的特殊气象条件 ……(80)
§4　与烟囱有关的几个局地环流问题 ……(91)

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第六章　根据实测的气象资料估算污染浓度……（93）
§1　稳定度的分类 ……（93）
§2　浓度的计算 ……（98）
§3　烟气抬升高度(Δh)……（106）
§4　多源、面源、线源、瞬时源的地面浓度计算公式……（110）
例题 ……（114）
附录Ⅰ　常数 ……（122）
附录Ⅱ　指数解 ……（123）
第七章　空气污染预报……（132）
§1　空气污染与预报 ……（132）
§2　空气污染气象预报 ……（134）
§3　空气污染浓度预报 ……（149）
第八章　大气污染对气候的影响 ……（155）
§1　二氧化碳对气候的影响 ……（156）
§2　气溶胶对气候的影响 ……（161）

第一章 引 论

大气是包括固体尘埃在内的混合气体，它的成份不是固定不变的。由于自然和人为的原因，其中有些成份的含量可以增多或减少。有些成份是人类生存所必需的(如氧气)。但也有很大一部分是人类非直接需要的（如氮气及其它许多惰性气体)，还有一些在一定情况下直接或间接地对人类起着危害作用，例如二氧化硫、一氧化碳、气溶胶等。通常所说的大气污染，就是指这类有害物质，当其数量、浓度和持续时间达到一定程度，会给人体及精神状态带来影响，或对动植物生长产生危害。如在工业生产、交通运输、家庭生活中燃烧石油和煤炭时放出来的二氧化硫，就是对人体健康、植物以及各种建筑材料有着严重危害的一种气体。

大气污染物的来源有两点，一是自然过程，二是人类活动。若要保护大气环境，控制污染，就必须对污染物的来源进行研究。

自然过程造成污染的来源之一就是火山爆发。一次较大的火山爆发，可以使数千万吨尘埃进入大气，其抛射高度可达五十公里，以后这些尘埃将随着大气环流，分散在整个地球上空。根据当前的科学技术水平，人们还没有充分认识火山活动的规律，还不能对火山爆发作出预报，更谈不上控制了。不过，火山爆发的次数并不很多。平均起来，由于自然界的其它过程而进入大气的尘埃，比火山爆发更为严重。据最新的资料估计，每年由风从地面吹入大气的尘埃，可达 5

亿吨，其高度可达对流层顶（12公里以上）。从我国黄土高原和戈壁沙漠吹起的尘暴，一周之内可到达日本列岛上空。每年，全世界由于森林火灾，可有三千万吨尘埃进入大气圈。1950年9月，加拿大阿尔伯达省的西北部发生森林大火灾，它所造成的尘烟，除在当地上空停留外，其中一部分还沿着高空气流向东扩散。一星期后，越过美洲东海岸进入大西洋。两星期后到达欧洲。北至斯堪的那维亚半岛，南至直布罗陀海峡，都可监测到这种尘烟。它不仅在水平方向，而且也在铅直方向扩散，在大西洋上空扩散到五公里以上，到达欧洲上空时，已高达九公里。

沙土飞扬、森林失火虽属自然过程，却也有人类活动的间接影响，与人类活动密切关联。例如，由于不适当地砍伐森林，无限制地开荒，致使水土流失，气候干燥，尘土飞扬，黄沙蔽天，而这些又易引起森林火灾；生态平衡的破坏造成的恶性循环，也能加剧大气污染。所以，植树造林，绿化大地，改造沙漠，封山育林，控制水土流失，防止森林火灾，都是减少大气污染，改善空气质量的重要措施。

上面谈的是自然过程或人类活动间接造成的大气污染。至于人类活动对大气造成的直接污染，则主要是与现代工业发展相伴随着的煤炭、瓦斯和石油等燃烧而引起的，估计因此种过程，每年约有两千万吨固体尘埃及一些有害气体（CO，SO_2等）被释放到大气中。由于近百年来大工业的兴起，这些有害物质对大气的污染也日益严重。而大工业多数集中在城市，据最近监测的资料，城市空气中尘埃的含量，一般要比农村高10倍，CO高30倍，SO_2高40—50倍，气溶胶中氢离子的含量要高数十倍乃至100倍。

随着近代工业的发展，燃料结构有了改变，发达的资本主义国家的空气污染已由最初的烟尘污染以及随后的工业废气污染转为光化学烟雾污染，美国的洛杉矶城就是一个典型的例子。其空气污染主要是由汽车废气造成的，废气成份多为碳氢化合物和氧化氮等，在阳光下形成各种复杂的光化学次生污染物，它与尘埃、水汽混合在一起，造成光化学烟雾。这是现代工业城市中大气污染的一种主要形式。现代交通的发展(除汽车外)，超音速喷气式飞机的大量出现，也带来了一系列大气污染问题。它们在繁忙的航线上，不断释放出一氧化氮和水汽等，通过化学变化可以改变平流层中臭氧的含量，从而改变地球表面可接收到的紫外线辐射量。据美国一些人最近的研究，其后果将使患皮肤癌的人增多。

空气污染能使大气的混浊度增加。根据观测资料得知，近半个世纪，美国首都华盛顿的大气混浊度增加50%以上。瑞士东部山区，近三十年大气的混浊度竟增加一倍。

根据在伦敦监测到的数据，大气污染的烟雾，可使到达地面的太阳紫外线辐射减少30%，其后果是使人们缺乏维生素D，因而使老年人骨节挫伤症、小儿软骨病的发病率增多。在医学界，一般认为小儿软骨病只是在1630年以后才有的，这正与伦敦大气污染的出现相吻合。所以，也有人把小儿软骨病叫作英吉利病。

还有一些慢性病（如肺气肿、支气管炎及呼吸道系统的其它疾病等）也都与大气污染有密切的联系。而且大气污染还可以造成危害人畜生命的严重后果。1952年12月5—8日“烟雾刽子手”袭击伦敦，当时从5日清晨开始连续四天空气静止，浓雾不散，地面空气中污染物浓度不断增加，烟尘

浓度最高达到4.96毫克/米^3，为平时的10倍，SO_2最高浓度达到1.34 ppm，为平时的6倍。对这异常情况首先出现反应的是一群准备在交易会上展出的得奖牛，一头当即死去，十二头奄奄待毙。与此同时几千居民感到胸口窒闷，並有咳嗽、喉痛，呕吐等症状出现，到了第三、四天发病率与死亡率急剧上升，五天中死亡4000人。

伦敦公园中，能够成活生长的植物品种也在逐渐减少。据研究，这与空气中SO_2等污染物含量的增加有密切关系。空气污染对人体健康、农作物生长、牲畜以及整个生物圈都有危害。

大气污染甚至还破坏建筑物、大理石雕塑、名胜古迹以及各种珍贵的艺术品等。世界著名的古代艺术品——重达200余吨的玫瑰红色的埃及方尖塔华表，在大约90年前从埃及移往伦敦后，因大气污染而受到的腐蚀比过去三千年还要厉害。因此，有的国家法令已规定，在一些著名古迹庙宇附近禁止车辆通行，以免汽车废气造成污染破坏。

空气中有各种固体、气体污染物，它们的化学成分较复杂，在不同的气象条件下进行着复杂的分解合成过程。为此，要进行空气取样，以了解空气中各种污染物的含量。因大气降水对各种污染成分有清洗作用，所以采样和分析各种大气降水也是了解空气中污染成分及其规律的一个重要手段。为了达到以上目的，还需熟悉各种化学的、物理的分析方法。以上这些就构成了大气化学这一特定的内容。

大气是一个不停地运动着的介质，其中的污染物可弥漫到整个大气。空气的污染决不局限于大城市或工业区，世界上任何地方的空气都经受着不同程度的污染，只是轻重程度

不同罢了。例如根据监测资料，最近发现在格陵兰的降雪中，铅的含量已比上个世纪增加10倍。在格陵兰的冰盖地区，还监测到CO，其最大值可高出本底标准3倍以上。甚至在南极洲地区，最近还发现有DDT的污染。可见进行本底监测是重要的。为了解全球性的空气污染状况和空气污染物的输送、扩散规律，特别是由于空气污染对世界气候的影响已日益被人们所重视，则需要按照世界气象组织的要求建立污染监测站网。关于建站的技术要求、观测内容及分析方法在下面将作较详细的介绍。

大气污染与气象条件也有密切的关系。上面提到的“烟雾刽子手”，就是由于不利于大气污染物稀释的气象条件所引起的。其不利条件是一个暖高压系统中，静风伴随着下沉逆温，少云无雨，大气层结稳定（即气温随高度增加不降低或降低的很缓慢）。这种不利于污染物稀释的天气形势，能使工业烟雾较长时期地停留在某个城市的上空且笼罩着一片相当大的地区，造成的危害是十分严重的。暖高气压系统不利于扩散的情况，从卫星照片上可以看到。如从卫星拍摄的照片上可以清楚地分辨出美国东部的工业烟雾团随着暖高缓慢地向东移动，经过数天移至百慕大群岛上空之后仍可看出。

而另一些气象条件，则可减轻大气污染的程度。大风可把空气中的污染物吹跑、稀释掉；降水对低空大气污染具有净化作用，但落于地面的污染物将增多。空气的温度和湿度，也能影响大气污染的腐蚀、危害程度。假如空气是绝对干燥的，即使是处在最严重的大气污染环境中，物质也不至于被腐蚀，珍贵的艺术品也不会褪色。相对湿度愈大(小)，大气污染的危害也愈大（小）。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

可见气象条件与大气污染有着密切的联系，我们在控制、改善大气环境的工作中，必须对各种气象条件加以考虑和研究。关于气象条件与大气污染的各种关系曾有不少人探讨过，本书仅着重介绍近地层中与空气污染物扩散、稀释关系最为密切的大气湍流、风和温度的垂直分布状况。

另外，还可发现，在同一时刻的不同地点往往出现不同程度的污染，一个山谷中有的地方风速很小（所谓"死风区"），如有工厂的话，这些"死风区"的空气污染是较重的；而在山谷的中部污染就轻些。1948年10月最后一周，美国东北部广大地区为反气旋和逆温所控制，又因为有雾使一些工业区的污染物迅速积累起来，多诺拉处在这样一个天气条件，加上其河谷盆地的地形特点，导致全镇约6000人（占居民总数43%）患病，並有17人死亡。这就是有名的八大公害之一"多诺拉烟雾事件"。由此可见，了解地形对气象条件的影响，也可大致掌握空气污染浓度的分布规律。

空气污染物从烟囱排出后，将遵循一定的规律在空气中扩散、稀释。了解这些规律，对于烟囱的设计，厂区、生活区的平面布局，排放标准及环境保护法令的制定都有着重要意义。空气污染物的稀释、扩散与源强、污染源的高度、烟气的出口温度及速度、周围环境的水平风速以及温度等因素有密切的关系。随着工业的发展，不仅要了解点源扩散公式，而且了解多重源、线源、面源、瞬时源的规律也是必不可少的，本书将专门分出一章对这些内容加以阐述，为使读者易于掌握这些计算公式，在其后半部还举出一些例题以供参考。

在还不能把废气完全控制和利用起来的情况下，必须严加控制排放量，务必使其不要超过规定标准。还要注意气象

条件的变化，根据预报随时压低或调整排放量。一般的厂矿均建设在城市的下风向，即常年平均最多风向频率的下风方向。但在特殊情况下，下风区会变成上风区，上风区又会变为下风区。例如北京盛行的是西北风，但有时也吹东南风，当风向与盛行风相反时，设在下风区厂矿的排放量就要降低，要少排或不排废气。另外，当有不利的气象条件出现时，也应减少排放量，甚至停止不排。这就是下面谈到的空气污染预报问题，它与控制污染有着密切关系。

正如前面所谈到的，由于世界工业的日益发展，大量的污染物被排放到大气中，特别是近年来异常气候现象的出现，人们逐渐把大气污染对地球大气可能产生什么影响这个问题提了出来。因为这是一个关系到我们子孙后代休养生息的重要问题。然而，气候变迁是经历了一个漫长的地质年代反映出来的规律，仅短短几十年空气污染的监测，对于它只是"沧海一粟"，而且关于气候变迁的看法也不尽一致。因此探讨这方面的工作尚有不少困难。但相信随着现代科学技术的发展，将会提供更多的分析方法和得出更可靠的结论。

第二章　大气化学与大气污染

引论中已提到，大气污染是由于在空气中混进了一定数量的污染物，从而破坏了大气的正常组成。从大气污染工作开展的近况看来，大气化学已不仅限于自身的领域，它还与大气环境科学的其它分支（如湍流扩散，空气污染预报等）有着广泛的联系，因此，人们对大气化学就产生了浓厚的兴趣。本章就大气中各种固态及气态的污染物的化学成分、特性、运动变化规律作一简单介绍。因为大气降水对大气中的污染物起着清洗作用，所以，世界气象组织把大气降水分析规定为一项业务观测项目，本章就采集、储存大气降水，同时对大气降水中各种污染物的特性和规律作了较详细的介绍。因为空气中各种污染物的常规分析方法在一般环境化学书刊中已有专门介绍，为了节省篇幅，不再赘述。同样，对降水化学，我们也仅以简表形式列出各种常规分析的项目及方法，仅供读者参考。

§1　大气的组成

要想了解大气污染，首先应当了解大气本底，即清洁大气的组成。

大气层是由氮、氧、二氧化碳、惰性气体及气溶胶、水气、雨滴、冰晶和尘、花粉、孢子等混合而成。大气中除去水汽和各种杂质后的整个混和气体称为“干洁空气”。主要成分为氮、氧和氩，约占空气总量的 99.9%（见表 2.1、2.2），

其它气体含量甚微。水汽约占全部空气容积的1—3%。

干洁空气中各种气体的临界温度都很低（如氮为−147.2°C，氧−113.9°C，氩−122.0°C）。在天然情况下，自然界不能达到这样低的温度，因此，这些气体在大气圈中永不会液化，空气的主要组成成分永为气体状态。

表 2.1 干洁大气的组成

气体	氮	氧	氩	二氧化碳	臭氧	氖
容积（%）	78.09	20.95	0.93	0.03	0.000001	0.0018
分子量	28.016	32.000	39.944	44.010	48.000	20.180

气体	氦	氪	氢	氙	氡
容积（%）	0.0005	0.0001	0.00005	0.000008	6×10^{-18}
分子量	4.003	83.70	3.016	131.300	222

表 2.2 地球上较重要污染物和一些痕量气体的特征

成份	主要的人造源	主要的天然源	估计每年排放量（百万吨）		大气中停留时间		主要沉降和去除反应	应解决的问题	
			人造的	天然的	对流层	同温层		地球	区域的/局部的
二氧化碳	燃烧	生物腐烂，从海洋中放出	$4—5\times10^3$（以碳计）	$2—3\times10^4$（以碳计）	4 年	2 年	生物吸收，光合作用，海洋吸收	累积在对流层而与气候变化有关	测定源，沉降反应
一氧化碳	汽车排出物，燃烧	甲烷反应，森林着火，从海洋中放出，萜烷反应	250	$>10^3$	0.1—3年		未知，但有大量的沉降存在	可能氧化到CO_2	累积与否？消失在同温层中
二氧化硫	化石燃料的燃烧	从海洋中放出（硫酸盐），火山爆发	80（以硫计）	（硫酸盐50，以硫计）	～4天		氧化成硫酸盐，硫酸	在对流层和同温层上空形成微粒	伤害植物危险人类健康，微粒形成过程
硫化氢	化学过程，污水处理	有机物的腐烂，火山爆发	3（以S计）	100（以硫计）	～2天		氧化成SO_2，通过下雨清洗掉		氧化成SO_2过程，天然源的测定
臭氧	工厂流出物的光化学反应	由于火山爆发，雷击，森林着火，氧的光离解	少	2000	1—3个月	0.1—2年	还原成O_2	保护O_3由于超音速飞机的破坏	光化学过程，
水蒸汽	燃烧	蒸发	10^4	5×10^3	10天	2 年	交界层具有冷阱作用	影响O_3和同温层辐射平衡	
一氧化氮 二氧化氮	燃烧	土壤的生物作用	30（以氮计）	150（以氮计）	5 天		氧化成硝酸盐	对O_3浓度影响，对PAN和微粒形成影响	损害植物ppm浓度的毒性
一氧化二氮	—		—	400（以氮计）	1—4年		同温层的光离解，土壤的生物作用	同温层的光离解率	光化学过程

表 2 （续）

成份	主要的人造源	主要的天然源	估计每年排放量（百万吨）		大气中停留时间		主要沉降和去除反应	应解决的问题	
			人造的	天然的	对流层	同温层		地球	区域的/局部的
硝酸	只有同温层的硝酸应该注意						化学反应，扩散到同温层	对 O_3 浓度的影响，对产生气溶胶的影响	
氨	废料处理	生物腐烂	4	6×10^3	2—5天		与 SO_2 反应生成 $(NH_4)_2SO_4$ 气溶胶氧化成硫酸	形成 $(NH_4)_2SO_4$ 气溶胶	
碳氢化物	燃烧，排出物，化学过程	生物过程	40	>200			光化学反应	影响气溶胶产生	
甲烷	化学过程	天然气，天然物的腐烂	90	$>10^3$	15—100年		光化学反应推测大部分形成 CO 沉降	影响水和臭氧在同温层的浓度和 CO 形成机理	影响城市光化学反应
过氧酰硝酸盐	大气氧化工厂排出的烯类				不知道				毒化工业区光化学过程
氟碳化合物	冰箱氟利昂和烟雾剂，包括电绝缘材料						非移动源	累积与否？	找到除去过程
卤素	工厂排出的 HF，HCl	来自土壤，海洋的 Br_2，I_2						Br_2 表示海洋的生物产率	损害有生命组织
气溶胶	工业排放，农业排放	海盐，土壤尘埃，火山爆发和森林着火产生的微粒	200	1100	大的～10天 小的～30天	1--2年	雨、雪、雹	大小和容量分布．由于浊度增加改变环境	

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com