

全国高等农业院校教材

大气污染概论

吴方正 主编

农业环境保护专业用

农业出版社

(京)新登字060号

全国高等农业院校教材

大气污染概论

吴方正 主编

* * *

责任编辑 陈岳书

农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 通县曙光印刷厂印刷

787×1092mm16开本 12.5印张 274千字

1992年10月第1版 1992年10月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 3.30元

ISBN 7-109-02274-9/X·2

前 言

根据农业部高等农业院校教材指导委员会1989年确定的教材规划,指令性编写计划中列入《大气污染概论》一书,作为农业环境保护专业本科必修课教材,由浙江农业大学环境保护系负责编写。编写组接受任务后,经多次讨论,查阅资料,决定以本系环境保护本科教材《大气污染与防治》为基础,根据农业环境保护专业的特点,进一步参阅国内外最新文献,重新拟定编写大纲,报经学科组审定后,分工编写,集体讨论、修改后,于1990年6月完成初稿,由北京大学陈静生教授主审,编者根据陈教授提出的修改意见和所提供的参考资料,进行了讨论,并将全稿进行了校核、修改,于10月初定稿。

本书共分10章。针对农业院校环境类专业毕业生工作特点,第一至第五章重点介绍大气环境中的主要污染物及其转化、迁移、扩散规律,及与此密切相关的理论;考虑到农业环境中大气污染造成的危害,是我国农业当前及今后一个时期面临的一个挑战,对此,在书中安排第六至第八章的篇幅进行阐述;大气质量管理则是涉及面相当广泛的、今后势必得到加强的领域,在第九、十两章作了必要的介绍。

本书理论教学约50学时,教师可根据计划学时及具体情况作必要增删。

本书内容涉及知识面较广,且有相当深度,需要较好的数学、物理、化学和生物学基础,在农业环境保护专业本科或其他专业的教学计划中,宜列入第三学年内讲授,专科使用本教材亦应列于数理化生有关先修课后讲授较为合理。

由于水平、时间限制,书中错误和不妥之处在所难免,望读者不吝指正。

编 者

1990年10月

目 录

第一章 大气和大气污染	1
第一节 大气	1
一、大气的演化	1
二、大气的组成和结构	2
第二节 大气污染的发生和发展	4
一、大气的自净和污染	4
二、大气污染的发生和发展	5
三、我国大气污染概况	7
第三节 大气污染对气候的影响	8
一、CO ₂ 等气体的“温室效应”	8
二、气溶胶对气候的影响	10
第二章 污染源和主要污染物	12
第一节 大气污染源	12
一、工业企业污染源	12
二、交通运输污染源	13
三、生活炉灶污染源	14
四、农业污染源	14
第二节 主要大气污染物	15
一、含硫化合物	15
二、氮的氧化物	16
三、碳的氧化物	17
四、氟化物	18
五、碳氢化合物	19
六、光化学氧化剂	20
七、颗粒物	20
第三节 大气污染物排放量的估算	21
一、气体浓度表示法与单位换算	21
二、污染物排放量的估算	22
第三章 主要污染物在大气中的化学行为	27
第一节 光化学反应	27
一、大气层的光化学特征	27
二、近地层中大气污染物的主要化学反应	28
第二节 大气中氮的化合物的反应	29

一、 N_2O 的氧化	29
二、 NO 的氧化	29
三、 NO_2 的转化	30
四、 NH_3 的转化	30
第三节 大气中碳氢化合物的反应	31
一、大气中烃类的氧化反应	31
二、大气中含氧碳氢化合物的氧化反应	32
三、自由基反应	33
第四节 光化学烟雾	34
一、 NO_2 的光解是产生光化学烟雾的起始反应	34
二、 NO 向 NO_2 的转化是产生光化学烟雾的关键反应	34
三、碳氢化合物是产生光化学烟雾的主要成分	35
四、臭氧和PAN产生是光化学烟雾形成的标志	36
第五节 大气中硫氧化物的反应	36
一、 SO_2 的催化氧化	36
二、 SO_2 的光化学氧化	37
第六节 酸雨	39
一、酸雨的化学组成	39
二、云雾的酸度和化学组分	40
三、酸雨形成的主要化学过程	41
四、大气中硫的输送	42
五、大气颗粒物在酸雨形成中的作用	42
六、我国的酸雨问题	43
第七节 大气中的卤代烃与臭氧层	44
一、大气中的卤代烃	44
二、大气中卤代烃的转化	45
第四章 平原地区大气污染物的扩散	47
第一节 边界层中湍流、风和温度层结	47
一、边界层大气湍流和湍流扩散	47
二、边界层中的风	49
三、边界层中温度的垂直分布和静力稳定度	51
第二节 大气污染浓度估算	53
一、高斯扩散模式	53
二、扩散参数的估计	56
三、计算举例	59
第三节 烟气的抬升高度	60
一、影响烟气抬升的因素	60
二、烟气抬升高度的估算	61
三、有效源高对地面最大浓度的影响	64

四、计算举例	65
第四节 特殊气象条件下的扩散	66
一、封闭型扩散	66
二、微风逆温时的扩散	68
三、准静风时的扩散	69
第五节 污染物的沉降和降水清洗	71
一、重力沉降和下垫面清除	71
二、降水清洗	73
三、污染物在大气中的衰减	74
第五章 城市、山区和水域附近大气污染物的扩散	76
第一节 水陆交界区域的扩散	76
一、海陆风环流的影响	76
二、热力边界层的影响	78
三、水陆交界区域污染物扩散速率	79
第二节 污染物在山区的迁移扩散	80
一、山区气象特征	80
二、山区典型的污染过程	81
三、山区地面浓度估算	84
第三节 城市和工业区的污染	87
一、城市污染气象学特征	87
二、城市点源扩散	88
三、城市线源扩散	89
四、城市面源扩散	91
第六章 大气污染与农业	95
第一节 危害农业的大气污染物	95
第二节 植物遭受危害的条件	97
一、污染物种类和浓度	97
二、接触时间	97
三、植物因素	97
四、环境因素	100
第三节 大气污染对农业的基本影响	101
一、大气污染物侵入植物体的途径	101
二、植物受危害的基本症状	102
第七章 主要大气污染物对农业生物的影响	104
第一节 硫氧化物	104
一、对植物的伤害症状	104
二、危害机制	104
三、植物抗性	106

四、大气污染物浓度	108
第二节 氟化物	109
一、对植物的危害	109
二、对动物的危害	112
三、农业生产对大气氟化物的质量要求	116
第三节 氧化烟雾	116
一、臭氧	116
二、过氧乙酰硝酸酯 (PAN)	118
三、氮氧化物	120
第四节 酸雨	121
一、伤害症状	121
二、对发芽影响	121
三、对细胞透性的影响	122
四、生理影响	122
五、对病虫害影响	123
第五节 其他污染物	124
一、氯气	124
二、氨	125
三、乙烯	125
四、氯化氢	127
五、生态污染物	127
第八章 大气污染危害农业的调查研究方法	130
第一节 调查研究	130
一、现场调查研究	130
二、污染源调查	131
三、资料调查	132
第二节 生物检验和试验	132
一、室内检验	132
二、模拟试验	133
第三节 损失估算	135
一、污染范围的确定	136
二、影响程度的估算	138
第九章 大气质量管理	140
第一节 大气环境标准	140
一、环境标准概述	140
二、大气环境质量标准	141
三、大气污染物排放标准	142
四、基础方法标准	144
第二节 大气环境监测	144

一、采样时间问题	145
二、监测的布点问题	147
三、城市大气监测优化布点问题	149
第三节 大气环境影响评价	151
一、评价标准和程序	152
二、大气环境现状调查和分析	153
三、大气环境影响预测	154
四、大气环境影响评价	156
第四节 大气环境容量和污染物排放总量控制	156
一、环境容量	156
二、大气污染物排放总量控制	159
第十章 主要大气污染物治理	163
第一节 烟尘治理	163
一、除尘器的分类和性能	163
二、各类除尘器	165
第二节 气态污染物治理	170
一、气态污染物治理的一般方法	170
二、主要气态污染物的治理与利用	172
主要参考文献	179
附表	181
一 大气环境质量标准 (摘自GB3095-82)	181
二 居住区大气中有害物质最高允许浓度 (摘自TJ36-76)	182
三 大气有害物质的排放标准 (摘自GBJ4-73)	182
四 各类锅炉烟尘排放标准 (摘自GB3841-83)	184
五 太阳倾角 δ (四年平均值)	185
六 扩散参数幂函数表达式数据 (一) (二)	185
七 保护农作物的大气污染物浓度限值 (摘自GB9137-88)	187
八 燃烧过程中排放污染物的量	188
九 钢铁工业大气污染物排放系数	188
十 有色冶金工业大气污染物排放系数	189
十一 化学工业大气污染物排放系数	189
十二 建材工业大气污染物排放系数	190
十三 造纸工业大气污染物排放系数	190

第一章 大气和大气污染

第一节 大 气

大气是指包围地球的空气层，全部大气层称为大气圈。

地球周围的大气对人类来说是至关重要的，人通过呼吸获得生命所必需的氧，植物由空气中得到 CO_2 ，经过光合作用而赖以生长；生态系统中的生命支持元素碳（C）、氮（N）、氧（O）、硫（S）、氢（H）等通过大气才能保持正常的循环。可以说，地球周围的大气是地球上生命物质能够出现、演化和发展的基本保证。

一、大气的演化

今天的地球大气是各种地理化学、物理和生物过程作用的结果，其中有些过程至今仍然存在。

大气的演化与地球的演化和生命的形成有着密切关系。

太阳系最早是宇宙间一团星际气体和尘埃物质组成的星云，并围绕着银河系中心旋转。大约46亿年前，这团星云开始收缩，形成太阳系，地球是太阳系中的一员。和太阳系起源与演化一样，存在着各种关于大气演化的假说，这里我们主要参照《中国大百科全书》环境科学卷介绍如下。

地球大气演化经历了原始大气—还原大气—氧化大气三个阶段。

在地球演化的早期，原始的大气化学物质逐渐逃逸殆尽，一般认为早期地球上曾有一阶段不存在大气圈。

地球胎形成时，温度较低，并无分层结构。后来由于原始地球的重力收缩和放射性衰变致热以及陨石物质的轰击等才使地球内部温度升高，出现熔融现象，在重力作用下，开始物质的分离。地球内部较轻的物质逐渐上升，外部一些较重的物质逐渐下沉，沉积到地球中心，形成一个密度较大的地核。物质的对流伴随着大规模的化学分异，逐渐形成现在的地壳、地幔和地核。随着物质的重新化合和分化，原先在地球内部的各种气体上升（一般认为通过火山活动），到地表，地球引力使这些气体逐渐积蓄在地球周围，形成第二代大气圈。第二代大气的组成成分主要是 CO_2 、 CO 、 CH_4 和 NH_3 等，没有氧，当然也没有臭氧，称之为还原大气。

在地球形成过程中，由于内部温度较高，地球内部结晶水汽化，逸出地表，这些水汽到达地表后迅速冷却，凝成水滴降落到地面，形成原始的水圈。大约在地球形成10~15亿年，岩石圈、大气圈和水圈已经演化成型，这是一个强还原性环境。

在地热能、太阳能的作用下，简单的无机物和甲烷等合成氨基酸、核甙酸等有机物并逐步演化为蛋白质等有机物。大约35亿年前，原始海洋中氨基酸和蛋白质形成简单的原始生物（细菌），它们是厌氧型的异养生物，以后逐步演化出有叶绿素并能进行光合作用的自养原核生物——藻类（如蓝藻、绿藻等），在水体中进行光合作用：



从此生物的发生和发展对大气演化产生巨大影响，迄今为止，植物的光合作用仍是大气中氧最主要的来源。

绿色植物通过光合作用，吸收二氧化碳，放出氧；植物吸收氮，合成蛋白质，微生物分解生物残体，放出氮气。氮在常温下不活泼，不易和其它元素化合，而逐渐在大气中积累，最终成为大气中含氧最多的成分。这一切就使得还原大气演化成以氮、氧为主的第三代大气，据推断，大约在18~22亿年前，地球大气由还原性大气演化成氧化大气。

随着大气中游离氧逐渐增加，在上层大气形成臭氧层，对来自太阳的强烈的紫外辐射起到屏蔽和过滤作用，使水下生活的植物群落开始迁移到太阳能和二氧化碳丰富的陆地，植物更加繁茂。绿色植物是CO₂的主要转化者，通过光合作用大气中大量的碳向生物圈移动。同时释放氧使大气中氧的量逐渐增多。据推测大约在6亿年前，大气层中已经积累了相当于目前氧量的1%的氧。从志留纪（约4.2亿年前）起，地球上氧的浓度已达到现在浓度的10%。而在石炭纪（约3亿年前），地球上绿色植物非常繁茂，大气中氧的积累量曾一度达到现在的水平。此后，植物的腐烂大量消耗氧，氧的浓度曾急剧下跌。随着植物又繁生发展中代又出现氧的第二次剧增。如此反复生消，约在6500万年前，氧的浓度基本上达到产生和消耗的平衡，并一直稳定到今天。

人类出现以后，随着社会生产力不断提高，对环境的化学演化作用不断增强。特别是产业革命以后，人类开发自然和利用自然资源的规模越来越大，人类的活动大大加速了地表环境中各种元素的迁移。人类矿物燃料的燃烧和通过其它途径每年向大气排放数以亿吨计的污染物质，影响大气的化学性质，对我们赖以生存的环境带来影响和危害。

二、大气的组成和结构

现代大气的总质量约为 5.27×10^{15} 吨，约相当于地球总质量的百万分之一。大气质量的

表1-1 干洁大气的组成

气 体	容 积 (%)	分 子 量	气 体	容 积 (%)	分 子 量
氮 (N ₂)	78.09	28.016	氦 (He)	5×10^{-4}	4.003
氧 (O ₂)	20.95	32.000	氪 (Kr)	1×10^{-4}	83.700
氩 (Ar)	0.93	39.944	氢 (H ₂)	5×10^{-6}	3.016
二氧化碳 (CO ₂)	0.03	44.010	臭氧 (O ₃)	1×10^{-6}	48.000
氖 (Ne)	1.8×10^{-3}	20.180	氙 (Xe)	8×10^{-6}	131.300

一半集中在约5~6千米以下的对流层。

(一) **大气的组成** 自然界的大气并不是纯净的单质,而是多种气体组成的混合物,除气体外还含有水滴、冰晶、尘埃、花粉、孢子等。除去水气和杂质之外的整个混合气体称为干洁空气。干洁空气的主要成分为氮气、氧气、氩气,此外还有CO₂及氦、甲烷、氪、氢等数十种气体。氮和氧占整个体积的99%以上,加上氩则占99.9%,其余气体体积之和尚不足0.1% (表1-1)。

从地面到90千米范围内,干洁空气中各种气体容积百分比是相对稳定的。90千米以上大气成份的变化尚在研究之中。从80千米开始,由于紫外线照射,氮和氧等已有不同程度的离解,90千米以上则大多处于电离状态。

组成空气的各种气体临界温度都很低,例如氮气为-147.2℃,氧气为-113.9℃、氩气为-122.0℃,因此在自然的情况下总是保持气态。另外对流层的大气主要成分多不能吸收太阳辐射而发生光化学反应,它们之间的非光学反应也缓慢得毫无意义(表1-2)。因此,对流层大气从化学角度上看是相当稳定的。

表1-2 大气中的非光学反应

反 应	E	$K = A \exp(-E/RT)$	低浓度组分转化1%的时间(年)
$CO + O_2 \rightarrow CO_2 + O_2$	251	2.93×10^{-43}	5.3×10^{31}
$2CO + NO_2 \rightarrow CO_2 + NO$	115	2.54×10^{-19}	4.1×10^8
$SO_2 + NO_2 \rightarrow SO_3 + NO$	106	1.01×10^{-17}	1.5×10^7
$NO + O_2 \rightarrow NO_2 + O$	538	8.99×10^{-24}	1.6×10^{28}

E: 活化能, kJ/mol K: 反应速度常数, m³/cm³·S 典型气体浓度: [N₂]=780900cm³/m³
 [O₂]=209500cm³/m³ [CO]=0.2cm³/m³ [SO₂]=0.02cm³/m³ [NO₂]=0.003cm³/m³

自然界大气中还包括自然界各种物理、化学和生物过程所产生的物质,例如火山爆发产生的大量的SO₂和灰烬;地面或沼泽地带有机物分解产生的CO₂、NH₃、H₂S、CH₄;雷雨时产生的NO₂等等。这些物质中,有许多目前被认为是引起大气污染的物质。但是在自然过程中产生的这些物质的浓度是很低的,对人类和生物环境不产生危害。由于它们的自然浓度很低,因此又称之为痕量气体。

(二) **大气的垂直结构** 大气的成分、温度、密度等物理性质随高度都有明显的变化。世界气象组织(WMO)规定,主要按气温垂直分布,将大气分为对流层、平流层、中间层、热层、散逸层(图1-1)。其中与大气污染关系最为密切的是对流层和平流层。

1. 对流层 对流层位于大气的最下层,其厚度随纬度和季节而变,平均厚度在低纬度地区为17~18千米中纬度地区为10~12千米,高纬度地区为8~9千米。对流层集中了整个大气质量的3/4和几乎全部水气。

对流层内除了有空气的大规模水平运动外,垂直运动(即对流)也很旺盛。这样使得高层和低层空气得到交换,近地层热量、水汽和杂质通过对流向上输送,导致一系列天气现象(如风、云、雨、雪等)发生。大气污染现象也主要发生在对流层里。

对流层平均温度随高度增加而降低，大致每上升100米，气温平均下降 0.65°C 。

1000~2000米以下的对流层通常称为摩擦层或行星边界层，此层受地表性质的影响很大，特别是50~100米以下的贴地层，主要受地表热力性质和摩擦力影响，气象要素分布有明显的特点。边界层以上的对流层称自由大气层，自由大气层受地表影响较小。

对流层和平流层之间有一个过渡层，称为对流层顶，厚数百米至1~2千米，其温度随高度几乎不变，这种温度分布对其下层空气的垂直运动起着阻挡作用。

2. 平流层 从对流层顶至55千米高度处为平流层。

30~35千米以下的平流层温度保持在 -55°C 几乎不变，故又称同温层。在这个高度以上的

平流层温度逐渐升高至平流层顶的 -3°C 左右。由于平流层大气比较稳定，就混合而言，平流层是大气中最稳定的区域。平流层内大气垂直运动微弱，气候干燥，天气晴朗，气流平稳。

平流层臭氧浓度在22~25千米高度上达最大值，称为臭氧层。平流层的臭氧吸收了大量的太阳紫外辐射，使地球表面的生命组织免受其伤害。近年来平流层臭氧浓度的变化引起人们的密切关注。航天、航空器在平流层排放的尾气，对流层迁移扩散到平流层的大气污染物对平流层臭氧的破坏，可能降低平流层对波长300纳米以下紫外光的遮蔽作用。

平流层以上依次为中间层，热层和散逸层。

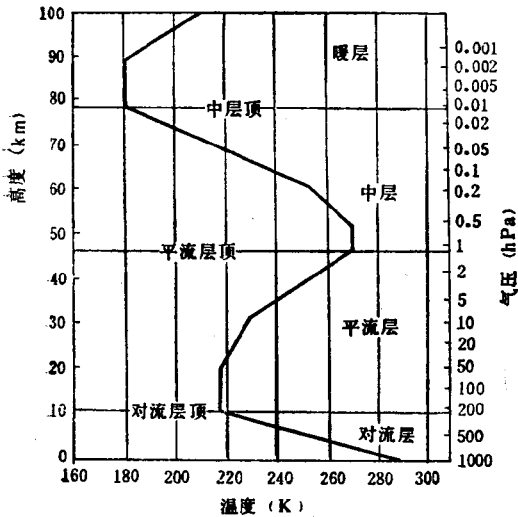


图1-1 大气的垂直结构

第二节 大气污染的发生和发展

经过漫长地质年代的演化形成的地球大气，处于相对稳定的动态平衡，然而组成大气的各种成分并不是一成不变的，许多自然过程和人为的活动都可能引起大气成分的变化。特别是产业革命以来，伴随着迅猛增长的能源消耗和经济活动，每年向大气排放数以亿吨计的污染物质，产生了大气污染问题。

一、大气的自净和污染

所谓“大气污染”并不是说空气中有了目前被认为引起大气污染的物质，也不是说有污染物向大气的排放。大气污染是指“由于人类活动或自然过程，使得排放到大气中的物质的浓度及持续时间足以对人的舒适感、健康，对设施或环境产生不利影响。”(GB6919-86

《空气质量词汇》)。

生态系统中的能量流动和物质循环从地球上生物出现以来就始终不断的存在。但是,在一定的时期内,生态系统的能量流动和物质循环能较长时间地保持稳定,这种平衡状态就是生态平衡。这是一种动态的平衡,不是静止的平衡。系统内部的因素和外界因素的变化,尤其是人为的因素都可能对系统发生影响,引起系统的改变,甚至破坏系统的平衡。

生态系统之所以能保持相对稳定的动态平衡,主要由于其内部具有自动调节的能力,对污染物质来说就是具有自净能力。这种能力与生态系统的组成、能量流动和物质循环途径有关。然而,生态系统的调节能力总是有限的,一旦超出了这个限度,调节就不再起作用,生态平衡就会遭到破坏,环境就会被污染。

对于大气环境来讲,进入大气的污染物由于自然过程可以从空气中除去或浓度大幅度下降,这就称之为“自净”。大气的自净作用包括污染物在大气中的扩散、稀释;污染物在重力作用下的沉降及降水的洗涤作用;污染物在大气中因化学反应而降解;污染物由于植物的吸收、吸附而从空气中分离出去等。

绿色植物的光合作用和吸收、吸附作用对大气的自净起着很大作用。绿色植物的光合作用在大气演化过程中曾起过重要作用,今天仍然起着重要作用,比如每10000米²阔叶林在生长季节每天可消释1吨CO₂,释放出0.73吨氧气,光合作用现在仍是大气中氧的主要来源,同时使得大气中CO₂维持在一个相应的水平上。另外许多植物能吸收大气中的SO₂、HF、Cl₂、Hg蒸气等许多有害气体;例如每千克合欢叶可吸收37.7克SO₂,每公顷华山松可吸收20千克氟,每10000米²刺槐可吸收42千克氯,烟草叶子的吸汞量可高达0.47%等。

须要指出的是植物对大气污染物的净化过程,常常同时伴随着大气污染物对植物的污染和危害。植物吸收大气污染物,净化了大气环境,但是污染物可能在植物体内积累,使其受到污染,继而可能通过食物链,对人和其它动物产生影响与危害。同时,当有害气体的剂量超过植物的承受能力时,植物本身也会受到伤害。

产业革命以前,由于人类生产、生活活动规模有限,因而进入大气的污染物是有限的、分散的,污染的环境借助于环境的自净能力,一般能得以恢复原状而不产生环境污染问题。而自从产业革命以来,人类大规模的改变自然,破坏了原有的物质和能量循环,干扰了生态系统的机能,于是产生了环境污染问题。随着资源的开发,工业的发展,人口的增长,向大气中排放越来越多的污染物质,在一定的时空范围内超过了大气的自净能力,产生了大气污染。这种情况愈演愈烈,特别是20世纪中叶以来,环境问题成为许多国家深刻的社会问题。

二、大气污染的发生和发展

大气污染是由于人类生活和生产活动过程中向大气排放污染物引起的。

远古时代,当我们的祖先还处于穴居时代,由于使用火来取暖和烤熟食物,使洞内乌烟瘴气,令人窒息;猎取的野兽或采集的食物腐烂,发出臭味等,可以认为是人类社会出现以来大气污染的重要开端。当然这些既不见经史,且不能和现代社会的环境污染问题相提并论。此后我们的祖先经历了漫长的以农牧业经济为主的历史时期,生产力很不发达,生活水平低

下,作为社会的基本能源是木柴、枯草、庄稼秸秆等,这些燃料燃烧时产生的污染程度很轻,范围有限,危害很小。

环境污染发生质的变化,形成公害,成为一个重大的社会问题,则是从19世纪末到20世纪初的产业革命开始。这一时期资本主义国家的产业革命从纺织业开始,以建立煤炭、钢铁、化工等重工业而告完成,这样作为当时社会主要能源的煤的消耗剧增,英国19世纪30年代煤产量从500~600万吨猛增至3000万吨,煤的大规模应用产生大量的烟尘、SO₂等污染物。19世纪末,英国伦敦曾多次发生烟雾事件。冶炼工业和开始发展的化学工业排放的各类有害气体,其危害更大。美国田纳西州戈斯特镇一个山谷内炼铜厂废气使周围树木死亡,成为荒山秃岭;19世纪日本足尾,炼铜废气中除SO₂外还含有As、有色金属粉尘,使整片山林和庄稼被毁,成为不毛之地,村庄被强制迁走,受害范围达400千米²;英国制碱业1823年采用新工艺,生产过程中副产的HCl废气,使树木枯黄,庄稼受害,后来采用高烟囱排放,反而使得受害范围进一步扩大。

20世纪20~40年代,大气污染进一步发展。这个时期石油和天然气生产急剧增加,在燃料中的比重大幅度上升。30年代后内燃机在世界各国普遍发展,汽车、拖拉机,各种动力机和机车用油剧增,重油锅炉广泛使用。同时以石油为原料的石油化学工业也迅速发展,因此石油制品在燃烧和加工过程中排放废气所造成的大气污染成为一个突出的问题。不仅使大气中有机物种类增加,而且酝酿着新的危机。1946年美国洛杉矶首次发生新型大气污染——光化学烟雾。与此同时,煤的消耗量仍不断上升,金属冶炼继续发展,烟尘和SO₂的排放量仍逐年剧增,英国的曼彻斯特、伦敦,比利时的马斯河谷,日本的横滨,美国的多诺拉都曾发生过由SO₂和烟尘引起的烟雾事件。

第二次世界大战后的50~60年代,随着经济的复苏,燃料消耗剧增,仅在60年代10年内,世界石油产量由10亿吨增加到21亿吨,煤由20亿吨增加到25亿吨。燃煤、燃油排放到大气中的污染物大量增加。以SO₂为例,进入60年代以来,每年均超过1亿吨,此外还有其它大气污染物,例如粉尘(包括重金属粉尘)、氮氧化物、氟化物、碳氢化合物等。这一时期公害如洪水泛滥,威胁着人类生存的环境。1952年伦敦烟雾事件,一周内导致4000余人非正常死亡;在日本石油化工废气中SO₂和重金属粉尘引起所谓“四日市气喘”公害病;光化学烟雾不断蔓延、在中纬度许多城市相继发生,如蒙特利尔、渥太华、波恩、悉尼、东京及苏联的一些城市。大气污染对农牧业生产带来严重危害,1952年伦敦烟雾事件使交易会上待售的优质奶牛也遭其害,部份死亡;洛杉矶光化学烟雾使当地的烟草、柑桔、葡萄、蔬菜、森林受害,损失很大;美国加利福尼亚曾由于大气污染造成有利于病原菌、害虫的生活环境,病虫害恶性发展,农业和林业受到严重威胁;日本60年代末因大气污染造成农业的损失占全国公害损失的30.7%;美国、加拿大、瑞典、挪威、丹麦等国酸雨使森林生长受阻,湖泊酸化,危及鱼类生存环境。

随着大气污染对人体健康,动植物的正常生长,生产力的持续发展带来影响时,人们才醒悟过来,意识到环境问题的严重性。进入到20世纪70~80年代,各国增加了环境投资,制定了一系列旨在保护和改善环境的法规、条例,开展环境教育和科学研究,发展低污染和无

污染工艺,进行环境的治理,一些国家和地区的大气环境质量开始有所改善。

三、我国大气污染概况

随着经济的发展,我国也出现大气污染问题。有些地区,有些方面还比较严重。据统计,1986年我国工业排放废气23212万亿标准立方米(Nm^3),烟尘1384万吨, SO_2 1250万吨,另外还有生产性粉尘,氮氧化物、氟化物和其它污染物,其中燃烧过程中产生的污染物占较大比重。我国能源结构以煤为主,以城市为例,煤燃烧排放的 SO_2 占城市 SO_2 排放总量的90%,烟尘占80%,我国的大气污染是典型的以排放烟尘和 SO_2 为特征的煤烟型污染。据1985年统计,全国55个城市颗粒物年日平均浓度平均为630微克/米³,其中31个北方城市均超过三级标准,南方24个城市中80%超过三级标准;64个城市 SO_2 年日平均浓度为105微克/米³,31个北方城市在13~225微克/米³,26%超过二级标准,33个南方城市在8~504微克/米³,18%超过二级标准,一些城市 SO_2 污染严重,例如重庆、沈阳。 NO_x 目前尚未超过二级标准。南方地区酸雨涉及22个省市,贵阳、重庆降水酸度(pH)曾分别达3.44、3.35。此外一些地区还存在着一些其它类型的污染,例如光化学烟雾(兰州),氟污染(包头等)。

大气污染引起或加重呼吸系统疾病是举世公认的。据我国部分城市统计,市区呼吸道疾病发病率比清洁对照区高2.4倍;肺癌发病率则要高7.3倍,就地理分布来讲,肺癌高发区也多在工业集中、大气污染比较严重的地区。

大气污染对农业生产的影响也是严重的。80年代初城市、工业区 SO_2 污染农田面积约3000万亩。据13个省市25个厂矿统计,由于 SO_2 污染,农田受害面积达35万亩,损失粮食3562万斤,蔬菜199万斤,赔款595万元。包头地区大气氟污染导致当地粮食、蔬菜、牧草中氟的累积量高出非污染区几倍、几十倍,对当地农牧业生产和人体健康带来严重影响。近年来,乡镇企业的发展,使得部分农村地区大气环境质量下降。1985年乡镇企业废气排放约占全国的12.4%,比重不大,但点多、面广,和农业环境镶嵌在一起,危害是严重的。例如云、贵、川三省土法炼硫磺,高浓度 SO_2 使局部地区生态环境造成毁灭性破坏,炼硫区内磺烟笼罩,气味熏人,有的方圆几平方公里 SO_2 超过国家标准5~50倍,局部地区形成酸雨,pH值在3~4,四川叙永县某乡,土法炼硫磺,使全乡85%的耕地受到污染,粮食总产量由50年代的700~800万斤下降到1985年的401万斤。当地曾种甘蔗2300亩,并办起小糖厂,严重的污染使甘蔗减产乃至无收,糖厂关闭。浙江杭嘉湖地区,广东珠江三角洲地区和江苏苏南地区,星罗棋布的砖瓦窑,排出的含氟废气,使得传统的蚕桑生产蒙受重大经济损失。目前,虽然乡镇企业排放大气污染物还比较少,但近年来,乡镇企业发展速度很快,预测2000年有可能超过大工业排放,如果不在布局、管理、技术上采取得力措施,小型分散的特点更加突出,在乡村形成星罗棋布的污染源,将导致乡村生态环境质量的继续下降。

70年代以来,国家加强了对环境保护工作的领导,在发展经济的同时,注意保护环境,采取了一系列防治污染,保护环境的政策、措施,例如防治污染和其它公害的设施与主体工程同时设计、同时施工,同时投产使用的“三同时”制度;对建设项目执行环境影响报告书审批制度等,收到了积极的效果。针对我国煤烟型大气污染特点,国务院和有关部委就防治

煤烟型污染技术政策、城市烟尘控制区管理、发展型煤、集中供热、加快城市煤气建设等作出规定。陆续建立和完善环境保护机构，开展环境教育、环境科研，加强环境标准建设等。各地区、各部门增强了环境意识，积极开展大气污染综合防治，取得一定的成绩。“六五”期间，全国废气处理率由25%上升到68%，虽然经济发展了但SO₂排放量基本持平，烟尘下降14.8%，工业粉尘下降60%。例如钢铁行业，1985年比1980年产量增加25.7%，而同期废气处理率由24.5%增加到68.3%，排放达标率由零增加到52%，厂区降尘下降21.5%；化工系统1986年废气治理率达65%，其中400家文明工厂，总产值比1981年上升31%，同期污染物流失量下降43%。这样许多城市和地区大气环境质量有了改善。例如上海1985年工业产值较1980年上升40.7%，煤耗增加59.9%，但大气质量没有进一步恶化，相反有一定改善，其中飘尘比1978年下降57%。辽宁省1985年工业产值占全国8%，煤耗用量比1980年增加32.7%，而同期SO₂排放减少35.7%，烟尘减少25%，CO减少46.9%。

“七五”期间，环境保护工作受到进一步重视，“大气污染防治技术研究”被列为国家科技重点攻关项目，根据“七五”环境保护计划，要求大中型企业排放的烟尘、SO₂、工业尾气达到排放标准，1990年工业SO₂排放量要控制在1985年水平上。

我国大气污染防治取得了可喜的成绩，但另一方面还要看到：作为大气污染并没有完全被控制，随着经济的发展，大气污染物的种类和排放量还有可能增加，为了进一步保护环境，严格控制新的污染，加快原有污染的治理，1986年3月，国家颁发了《建设项目环境保护管理办法》，1988年6月1日，我国第一部《大气污染防治法》正式施行，把大气环境保护工作纳入国民经济和社会发展规划；1989年底，经过十年的试行，《中华人民共和国环境保护法》正式颁布施行，这些都必将对进一步保护和改善我国大气环境质量起到积极的作用。

第三节 大气污染对气候的影响

人类活动对气候的影响正引起人们的广泛注意。许多科学家认为，大自然的激变，气候的异常在很大程度上是由于人类活动影响造成的：例如森林大量砍伐、草原过度放牧引起的严重水土流失和沙漠化；工业交通运输业消耗的煤、石油和其它燃料剧增，使大气中CO₂浓度增高，改变了地球上的热量平衡；海洋的污染特别是油污染，阻碍了海水的正常蒸发等等。从已经测得数据来看，人类活动，特别是工业大气污染物质的排放对局部地区气候的影响已经很明显，例如减少太阳辐射，降低能见度，使污染区雾和降水增多等等。但是对整个大气圈的影响，对全球气候影响究竟有多大，这是一个摆在人类面前的大课题，虽然已经做了许多工作，但至今还存在许多不同看法。但出发点是无疑的：人类每年向大气排放数以亿吨计的污染物，在一定的程度上改变了低层大气的结构和性质，影响地球表面对太阳辐射的收支状态，这样不可避免地会对天气、气候产生影响。

一、CO₂等气体的“温室效应”

CO₂和其它一些气体的“温室效应”，近年来引起广泛的注意。1989年世界环境日的主

题即为“警惕，地球变暖”。

所谓“温室效应”是指大气中有在红外区即波长5~20微米范围内有强烈吸收的气体，它们能有效地吸收由地面反射回来的红外辐射，形成温室保护层，结果使地表和大气温度升高。据 Ramanathan V 和 Ciceroue R 报道，大气中“温室效应”气体业已证实的有19种，主要的有CO₂、水蒸气、CH₄、O₃、N₂O、CFC（氟氯碳）等。

CO₂是大气成分之一。CO₂的选择吸收能力在地球能量平衡中起着重要作用，对此人们早就有所认识。自19世纪中叶就有人提出大气中CO₂浓度的变化可能造成地球表面气候变化的设想。

大气中CO₂浓度的系统观测是1958年国际地球物理年才开始的。观测资料表明北半球CO₂存在长期上升的倾向。人类活动产生的CO₂，一部分为海水所溶解，一部分为生物圈所吸收，但仍有相当一部分滞留在大气中，致使大气中CO₂浓度升高。据夏威夷冒纳罗亚（20°N）观测资料，CO₂平均浓度1959年为316.1厘米³/米³，1965年增至320.4厘米³/米³，1975年331.0厘米³/米³，1985年是345.6厘米³/米³（图1-2）。

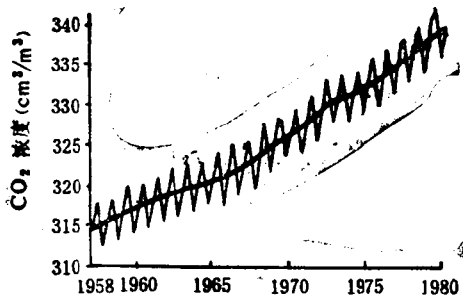


图1-2 夏威夷Maunaloa月平均CO₂浓度
资料来源：(美)世界资源研究所：世界资源报告(1986)

假定世界化石类燃料消耗的年增长量为4%，燃烧它们产生的CO₂浓度50%留在大气中，以1958年CO₂浓度为313厘米³/米³计，预测2000年CO₂浓度将为375厘米³/米³（365~385厘米³/米³），联合国经济开发署的估计，到2000年全球CO₂平均浓度为370~395厘米³/米³。据一些研究估计，如果CO₂浓度2000年增加到375厘米³/米³的话，20世纪末世界地面平均气温将升高0.4℃~0.5℃，这个估计值为许多人所接受。

一些学者按热效应模式，研究了包括CO₂和其它几种主要温室效应气体在大气中浓度增大时地表温度的变化，认为若CO₂浓度增大一倍，O₃、CH₄、N₂O浓度增大1.5倍，其它15种气体浓度由0增大到1毫米³/米³，那么这19种气体因温室效应将使地表升温3.49℃，CO₂的贡献和其它18种气体的总贡献分别为40.5%和59.5%。虽然CO₂在温室效应中占有重要地位，但是其它微量、痕量气体的作用也不容忽视，一些气体浓度只要增加毫米³/米³数量级，就可能带来明显的升温效应，而目前资料表明，释放到大气中的这些气体的数量增加很快，CO₂年增长率达0.5%，N₂O为0.25%，CH₄为1.0%，而CFC-11，CFC-12高达7%。

假若大气中没有CO₂，估计地球表面温度为-18℃，将云、水蒸气及工业化前大气中CO₂浓度275~285厘米³/米³等因素合并考虑它们的“温室效应”，可使地球表面温度提高33℃，即从-18℃增高到+15℃，这个温度为人类和其它生物的生存提供了非常重要的条件。然而随着温室效应气体在大气中浓度的增加，又将带来许多难以估量的后果。

气候变暖后，由于海水膨胀，冰山溶化，冰架溶入或滑入海中等原因引起海平面升高，导致淹没陆地、侵蚀海滩、洪水增加和盐水回灌、盐化淡水源、威胁淡水生物的生存和沿海