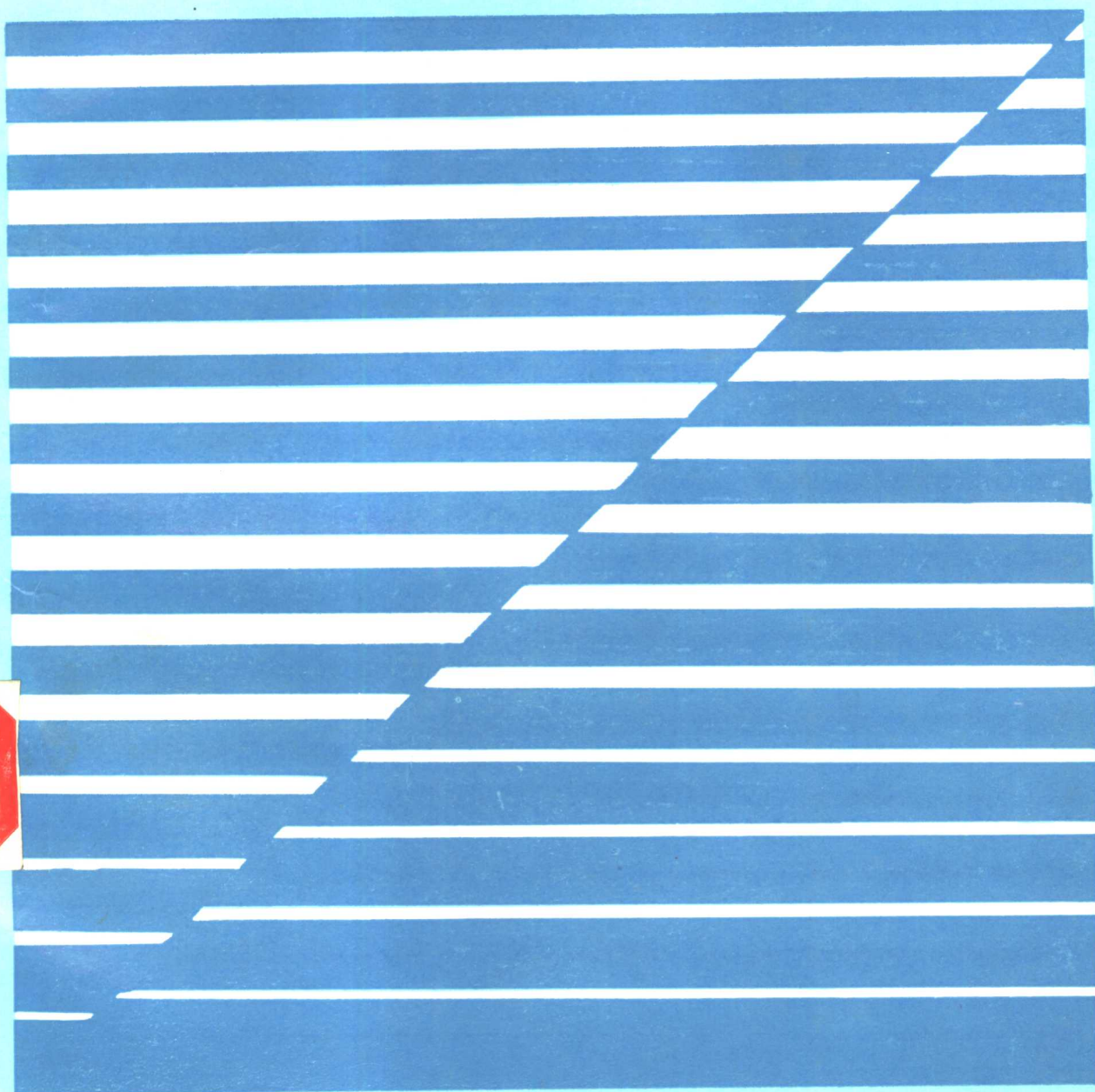


大气污染及其控制

彭定一 林少宁 编著



51

21

环境科学出版社

中国环境科学出版社

大气污染及其控制

彭定一 林少宁 编著

中国环境科学出版社

1991

内 容 简 介

本书主要阐述的是当污染大气的各种污染物排入大气后,对其所发生的物理的、化学的变化过程及其主要影响因素进行科学分析和研究,掌握它的变化规律,提出经济有效的控制途径和方法,以减少或避免污染事件的形成,保护大气环境质量。全书共分八章,即大气污染及其控制概念;大气扩散;大气扩散基本模式及污染物浓度估算;大气污染的化学过程;燃烧与大气污染;消烟除尘净化技术;气态污染物的净化技术;大气的质量管理与大气环境评价。

本书可供环境保护工作者、工程技术人员、设计人员及大专院校有关专业师生阅读参考。

大 气 污 染 及 其 控 制

彭定一 林少宁 编著

责任编辑 丁 枚

*

中国环境科学出版社出版

北京崇文区北岗子街8号

北京昌平兴华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年4月 第 一 版 开本 787×1092 1/16

1991年4月 第一次印刷 印张 20 7/8

印数 1—2 500 字数 494千字

ISBN 7-80010-824-4/X·456

定价: 10.70元

前 言

《大气污染及其控制》阐述的主要内容是：当污染大气的各种污染物排入大气后，对其所发生的物理的、化学的变化过程及其主要影响因素进行科学分析和研究，掌握它的变化规律，提出经济有效的控制途径和方法，以减少或避免污染事件的形成，保护大气环境质量。

大气污染事件的形成，除了有大量污染物排入外，还和当地当时的气象等条件有关。一个城市的有害污染物的排放量在短时期内的变化，一般不会很大。但是，城市大气中这些有害污染物的浓度，往往会发生几十倍甚至几百倍的变化，要研究这些问题，就需要找出不同的气象条件下，污染物在运动大气中迁移转化规律以及化学变化过程。大气污染现象极其复杂，从发生到迁移扩散，经历了多种变化，各种变化互相影响、错综复杂。例如，大气中的化学变化，当然也属化学问题，如仍按照一些基础化学知识搬过来未必能解释大气污染中化学现象，大气中的化学过程有其本身的规律。因此，只有在各基础学科的基础上综合地、全面地、联系地观察、分析研究大气污染现象，才能得到较合理的结论。

大气污染的防治与其它环境污染防治一样，首先应该尽可能地减少污染源的排放量，这就要求我们从生产工艺、技术改革、生产管理着手，减少污染物的排放；其次应致力经济有效的净化技术的开发和应用以强化有害污染物的净化。随着我国四个现代化建设的发展，人民生活水平的提高，有关大气污染问题，已引起人们高度重视。

本学科处于发展阶段，有关大气污染的许多问题还有待于我们去开发、去研究，加之编著者水平所限，书中观点、论述难免有不当之处。内容上我们兼顾环境工程专业大气污染及控制课程的少学时教学计划，除介绍一些大气污染的有关基础知识外，着重阐述污染物在大气扩散作用下，地面浓度的估算，初步学会对点源现象的分析评价；介绍一些典型的废气净化技术，了解大气质量管理法规和方法，力求理论与实践相统一，从而获得对大气污染防治的启示，为今后继续学习和应用创造一个良好的开端。

本书还可作为环保管理干部及工程技术人员技术参考读物。

本书由彭定一副教授编写一、五、六、七章，由林少宁老师编写二、三、四、八章。中国纺织大学施介宽副教授审校了部分章节，陈亮、夏苏湘同志帮助了资料和文字的整理工作，在此，一并致谢。

编 著 者

1990年3月于上海

中国纺织大学

目 录

第一章 大气污染及其控制概念	(1)
第一节 大气污染的概念.....	(1)
第二节 大气污染物与发生源.....	(9)
第三节 大气污染的危害.....	(15)
第四节 控制大气污染的途径.....	(17)
第二章 大气扩散	(22)
第一节 地球大气圈.....	(22)
第二节 大气的作用力.....	(30)
第三节 大气运动方程.....	(34)
第四节 影响扩散的几个主要气象因素.....	(43)
第五节 大气的热力过程.....	(47)
第六节 下垫面对大气扩散的影响.....	(62)
第三章 大气扩散基本模式及污染物浓度估算	(65)
第一节 基本理论.....	(65)
第二节 正态分布的扩散模式.....	(71)
第三节 特殊气象条件下的扩散公式.....	(81)
第四节 厂址选择和烟囱高度设计.....	(84)
第四章 大气污染的化学过程	(89)
第一节 大气光化学反应.....	(89)
第二节 光化学烟雾.....	(101)
第三节 酸雨.....	(111)
第四节 大气臭氧层的化学.....	(122)
第五章 燃烧与大气污染	(132)
第一节 燃烧的基本概念和一般理论.....	(132)
第二节 煤的组成和燃烧.....	(135)
第三节 煤的燃烧产物及其计算.....	(140)
第四节 石油的组成和燃烧及其污染物的形成和影响.....	(148)
第六章 消烟除尘净化技术	(155)
第一节 概述.....	(156)
第二节 除尘器的除尘效率.....	(168)
第三节 除尘机理及除尘器分类.....	(171)
第四节 机械除尘技术.....	(172)
第五节 湿式除尘器.....	(180)

第六节	袋式除尘器	(183)
第七节	静电除尘器	(188)
第八节	除尘器的选择	(197)
第九节	锅炉烟尘的防治	(199)
第七章	气态污染物的净化技术	(204)
第一节	气态污染物的吸收净化	(204)
第二节	催化转化法净化气态污染物	(236)
第三节	吸附法净化气态污染物	(262)
第四节	气态污染物的综合治理过程	(277)
第八章	大气的质量管理与大气环境评价	(292)
第一节	法规	(292)
第二节	标准	(294)
第三节	大气环境质量评价	(310)
第四节	大气环境影响评价	(323)
参考文献		(328)

第一章 大气污染及其控制概念

第一节 大气污染的概念

一、自然大气的组成

1. 干洁空气

地球周围的大气，通常是由多种气体组成的混合物，同时还有水汽及微粒。我们称前者为干洁空气，它的主要组成成分如表1-1所示。

表1-1 干洁空气的组成成分

成 分	容 积 (%)	质 量 (%)	分 子 量
氮 (N_2)	78.08	75.51	28.016
氧 (O_2)	20.94	23.14	32.00
氩 (Ar)	0.93	1.30	39.94
二氧化碳(CO_2)	0.03	0.046	44.01
氖 (Ne)	0.0018	0.0012	20.18
氦 (He)	0.0005	0.00008	4.003
氪 (Kr)	0.0001	0.00029	83.70
氢 (H_2)	0.00005	0.0000035	2.016
氙 (Xe)	0.000008	0.000036	131.30
臭氧 (O_3)	0.000001	0.0000017	48.00

其中 N_2 和 O_2 构成空气的99%，但对气象的影响不大，而 CO_2 及高空处(离地面20~30km)的 O_3 ，虽然它们的含量极少，但是，这两种气体都具有吸收太阳高能辐射能力，对气象影响极大。从地表至90km的大气层里，除水汽有较大的变动外，它们的组成是均一的，这是因为大气低层的风和湍流连续运动的结果。因此按物理性质，这层干洁空气可当作单一气体来处理。

2. 大气中的水汽

大气中的水汽来自江、湖、河、海及潮湿物表面的水分蒸发，并借助大气的垂直交换输送。一般说来，大气中的水汽含量随离地面高度的增加而减少。由于大气温度随高度增加而降低，以及水汽因温度降至一定程度而凝结。因此，这种向上减少的速度是很快的，由观测证明，在1.5~2km高空，大气中的水汽已减至地面的一半，在5km处减少为地面的1/10，再向上就更少了。

大气中水汽含量，不但有垂直分布的变化，而且还因地理纬度、地势高低以及海、陆上空的不同而有明显的差异。大气中水汽的含量虽然不多，但它对地面和空气的温度有一定的影响。

3. 固体和液体微粒

在清洁的大气中也常含有固体和液体的微粒，但由于含量极微，对人类和环境没有什么影响，一般不作为大气的正常成分。

如果大气中出现通常没有或很少的物质，其数量、浓度和在大气中滞留时间，足以影响人体健康和动植物的生存时，那么大气就被这种微粒污染了。如表1-2所示：

表1-2 空气中物质浓度对比

成 分	清 洁 空 气	污 染 空 气
SO ₂	0.001~0.01ppm	0.02~2 ppm
CO ₂	310~330 ppm	350~700ppm
CO	1 ppm	5~200ppm
NO _x	0.001~0.01ppm	0.01~0.5ppm
H·C	1 ppm	1~20 ppm
浮游粒子	10~20 μg/m ³	70~700μg/m ³

二、大气污染及其发展

1. 大气污染

人们一刻也不停地呼吸着空气，一个成年人每天吸入的空气量为10~20m³，约为13~26kg，为每天食物及饮水总量的5~10倍。如果我们周围的大气受到污染，对人体健康的危害就可想而知了。

实际上，我们周围的大气，既是人类赖以生存的氧的来源，又是人类活动过程中排放各种废气的稀释场所。然而，我们也知道大气不是无限的，它只存在于地球表面至高空百公里的范围内，它的总重量约为6000万亿t，而且它的总量的95%集中在距地球表面十几公里范围内，离地面越高大气就越稀薄。由于大气的稀释，除大气本身的成分外，所含污染物是极其微少的。但是，污染并非均匀地与整个大气相混合，所以有的区域污染物的浓度就很高，有的地区相对要少得多。如果污染物的浓度以十几亿分之几出现时，人们往往意识不到；若浓度以百万分之几出现时，我们的身体就会不适应了。

所谓大气污染，就是指散播在大气中的有害气体及颗粒物质，积累到大气自净过程中稀释、沉降等作用已经不能再降低的浓度，在持续时间内有害于生物及非生物的现象。

大气污染的形成与危害程度，不是以大气中是否存在某种有害物质来衡量，而是以它们作用于生物与非生物的浓度和作用时间来衡量的。所以如不研究与控制大气污染，任其发展，人们就要遭受污染的危害，有时甚至产生严重的死亡事故。

2. 大气污染的发展

(1) 本世纪50年代以前，城市大气污染主要是由于烧煤所产生的烟尘及 SO_2 所引起的。

(2) 50年代以后，石油燃料的生产和消费急剧增加，仅60年代的10年内，国外石油产量从10亿t增至21亿t。燃油和燃煤产生排入大气的 SO_2 量，每年超过了1亿t。近二三十年，发达国家汽车倍增，汽车的尾气引起了光化学烟雾。所以目前 SO_2 与光化学烟雾已成国内外城市污染的主要问题。另外放射性污染亦逐渐被人们所重视。

三、产生大气污染的主要因素

影响大气污染的主要因素为：污染物的排放情况、大气的自净能力及大气中的光化学作用等。

1. 污染物的排放情况

(1) 与排放量的关系：在其他条件相同的情况下，单位时间内排放的污染物越多，大气的污染就越严重。在同类生产过程中，排放量决定于生产过程是否合理，管理水平高低，有无净化设施及其效果等。在同一企业中排放量又随生产量的变化而变化。除了上述情况对大气污染有规律性的改变外，生产的临时改变、原料与燃料的改变、生产事故等都能使排放量发生不规则的变化。

(2) 与污染源距离的关系：污染物被大气稀释的程度与污染物排出后达到观察点所通过的距离有关，距离越远，污染物扩散开的断面越大，稀释的程度也就越大，因而浓度就越低。

(3) 与排放高度关系：其他条件相同时，污染物排放高度越高，地面附近的污染物的浓度就越低。这是因为排放高度越高，排放口处的风速越大，这就加速了污染物与大气的混合稀释，于是扩散到周围地面的浓度也就越低了。

2. 大气的自净能力

(1) 大气中污染物的稀释。大气对污染物主要起稀释扩散作用，使污染物在大气中浓度急剧下降。而污染物在大气中因物理、化学以及物理化学等过程所引起的自净作用是次要的。影响因素有：

① 与风向风速的关系：在其他条件相同时，风速越大，单位时间内通过污染物扩散断面的空气量就越多，稀释效果也就越好，大气中污染物的浓度就越小。

② 与垂直温差关系：近地面的大气通常随离地面高度的升高而温度下降，每升高100m下降的温度数称垂直温差。它越大，越易造成垂直气流，把低层的污染物带到上空扩散，因而降低了低层污染物的浓度。

③ 与湿度的关系：灰尘颗粒为水蒸气的凝结核，凝结后沉于大气低层，使灰尘浓度升高，在足够的湿度及低温时形成雾，使大气污染加剧。

湿度增加时 SO_2 、 SO_3 、煤烟等浓度升高，如： SO_2 量在2000ppm时，不同湿度下转

化率为:

φ (空气相对湿度)	km	氧化率%
<70%	15	1~3
>70%	15	20
	13	30
	10	55

(2)大气中污染物的沉降及其他作用。进入大气中的悬浮物由于自重而沉降,其中粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的沉速大,迅速沉降,自净过程较快。而粒径小于 $10\mu\text{m}$ 颗粒沉速小,飘浮于大气中形成飘尘,自净过程就非常缓慢,对大气的污染也比较严重。

其次,由于大气中化学作用而得到自净。例如: SO_2 被大气中的 NH_3 或碱性灰尘中和,也能被土壤及建筑材料所吸附,但这些过程是比较缓慢的。当然如若同时存在碳氢化合物($\text{H}\cdot\text{C}$)、氮氧化物(NO_x)及光照射下产生了光化学反应时,情况又不同了,有时还能产生二次污染。

降水也可从大气中洗下灰尘、煤烟、各种气态污染物质。绿化对净化大气的作用是众所周知的。植物的叶子不仅能阻截灰尘,而且还能吸收多种有害气体。据苏联调查统计,城市大气所含的污染物至少有25%可被绿色植物所净化。

显然,上述这些物理、化学或物理化学甚至生化作用能净化被污染了的大气,但这些自净作用一般都比较缓慢,所以我们研究大气污染及其控制还应着眼于具有实际意义的大气扩散稀释作用。

3. 光化学反应

由于交通运输的繁忙,特别在国外,小汽车的普遍使用,排出的污染物中含有碳氢化合物($\text{H}\cdot\text{C}$)与氮氧化物(NO_x),在阳光的照射下产生光化学作用,生成二次污染物,如臭氧(O_3)、醛类、过氧乙酰硝酸酯及微粒等。这些物质对大气污染危害极大,所以必须研究其形成机理及控制方法。

由上可知,影响大气污染的因素是极其复杂的。只有充分理解大气污染发生的机理,才能对污染事件发生的可能性找到有效的对策,达到保护大气环境的目的。

四、大气污染的特点

(1)大气的总量是很大的。其中污染物质的存在相对来讲是极微少的,因此对污染物的测定带来了一定的困难(即定量地研究较困难)。

(2)这些污染物,由于大气的运动,如风的影响以及产生漩涡而扩散,所以它是随着时间、空间、气象条件的变化而变化的,是非稳态的。

(3)由于太阳光的照射,使进入大气中的某些污染物质产生光化学反应,生成二次污染物。

(4)由于大气中污染物的凝集、蒸发以及重力等作用会使其浓度发生变化。

总之,大气中污染物及污染物存在的状态是多变的,因此对掌握大气污染的防治规律带来许多困难。

五、国内外大气污染概况

1. 我国大气污染状况及其分析

我国大气污染状况在世界上属于少数最严重的国家之列。据不完全统计，我国工业和生活窑炉每年排入大气的烟尘量在 1400 多万 t 以上，平均每平方公里降尘量为 1.5 t，而全球陆地降尘量平均每平方公里为 0.7 t，高出 1 倍还多。全国排入大气中的二氧化硫估计在 1500 万 t 以上，平均每平方公里为 1.6 t，而全球陆地平均每平方公里为 1 t，也高出 60%。

我国大气环境中量大面广有普遍影响的污染物主要是飘尘、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、强氧化剂（如臭氧、PAN 系列）五类。据 12 个城市调查中获得的清洁对照区的最低数据（我国各地区处理大气污染监测数据时，普遍采用该数据作为相对背景值）及大气污染数据与联合国环境规划署推荐的“大气中污染物的天然来源和背景浓度”有关数据相对照，如表 1-3 所示。

表 1-3 几个代表性城市的污染情况

污 染 物	联合国推荐 背景浓度	我国清洁对照区 [日平均最低值]	大气质量暂行标准				12个城市大气污 染数据日平均值
			相对 背景	日 平 均			
				一级 标准	二级 标准	三级 标准	
飘 尘 (mg/m ³)	无	北京北海公园 0.0432	0.04	0.10	0.15	0.25	北方城市： 0.24~1.98 南方城市： 0.19~0.95
SO ₂ (mg/m ³)	0.001~0.004	哈尔滨太阳岛公园 0.011 桂林大河公社 0.007	0.01	0.05	0.15	0.25	北方城市： 0.012~2.19 常出现0.18~0.39 南方城市： 0.014~0.78 常见浓度： 0.13~0.32
CO(mg/m ³)	0.1	北京百花山0.8	0.8	/	4	6	3~12.3
NO _x (mg/m ³)	0.002~0.0025	上海 0.02 桂林0.02~0.046 杭州0.009~0.04	0.02	0.02	0.05	0.10	北方城市： 0.1~0.17 南方城市： 0.02~0.13
强氧化剂 (O ₃ 计) (mg/m ³)	0.02~0.06	兰州城关夏季 0.045	0.03	/	0.10	0.10	北京市： 0.07~0.08 (最大值0.11) 兰州市： 0.06~0.21

由表可知，我国大气污染是十分严重的，污染主要来源于燃料的燃烧、工业生产及机动车辆排放的废气，其中尤以燃料的燃烧为主要来源。

燃料燃烧。我国使用的能源燃料中以固体燃料占比例最大，约为 70.6%，液体燃料

(包括汽油、柴油、重油等)占17.2%,气体燃料(包括天然气、煤气、液化石油气等)占12.2%。据估算我国固定源燃料燃烧产生的二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物和粉尘约占这些污染物总量的70%以上,其中煤炭燃烧产生的约占95%以上,所以煤炭燃烧产生的烟尘是我国大气污染的主要特征。目前,我国能源政策又决定减少燃油比例,增加燃煤比例,还要求多烧劣质煤。因此,环境污染还会加大。

工业生产排放的污染物种类繁多,其中二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物和烟尘的排放量约占这些污染物总量的20%。工厂集中于城市,常年连续排放,造成局部污染也十分严重。

机动车辆排气。全国约有机动车辆500万台,每年消耗油量3000万吨,其中集中于城市的就有300多万辆,耗油2000多万吨,汽油机车占90%,并用了不少低辛烷值的加铅汽油。我国车辆总数虽然不高,但由于利用率高,排气量很大,据估算由于汽车等流动源排放的二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、烟尘量,约占这些污染物总量的10%。从发展看,我国车辆年递增率约为10%,如不采取措施,大气污染将会加重。

我国北方城市在采暖季节,每天有规律地出现两个大气污染高峰。时间以早上和晚上七八点钟为中心共三个小时,一般高峰值比日平均值高1~3倍。这主要是直接烧煤,冬季采暖和炊事等人为活动产生的,又加上此时往往处于静风、逆温等不利于扩散稀释的气象条件,致使污染物浓度成倍增加。

我国南方地区煤质较差,含硫高,含灰分量大,有些省区民用煤含硫高达3~5%。

以上分析表明我国大气污染主要还是煤烟型污染。大气污染严重与燃料利用效率低是相关的。下面概要地从几个不同角度叙述:

(1)直接烧煤,燃烧效率低。我国直接燃烧的煤占总量的84%,其中市场煤(采暖、炊事和饮食服务业等)占17%,大多使用小型炉灶,热效率仅15~18%,烟囱低且分散,在人口密集的居民区造成严重污染。我国目前城市民用煤气仅占17%,若采取城市煤气化措施,则可成倍节约煤炭,解决千家万户炉灶污染问题。

工业锅炉用煤约占34%,在现有的18万台锅炉中,有2/3是等于或小于2t/h蒸发量的小锅炉,平均热效率仅40~50%,1/3是较大的锅炉,平均热效率也只有60%,可见节煤和改善大气环境的潜力是很大的。

火电厂耗煤为23.7%,约有1/3的电站在城区或近郊,城市污染是相当严重的。

以上两种锅炉占总用煤量的57.7%,约3.3亿t,其中只有6%属选洗煤,大部分用的是含硫、含灰分量大的原煤。若把这部分动力用煤,进行选洗预处理,对节煤、提高效率、改善大气环境无疑都是很重要的。

(2)供热方式分散、落后。我国工业与民用供热极为分散,一个工厂、一座楼房使用一个锅炉相当普遍,在北京就有4000多台容量小于1t/h的锅炉,既浪费能源,又污染环境。

发展集中供热,能有效地节约能源,改善大气环境。如以热电厂为热源,集中供电、供动力蒸汽、供采暖热力,则每度电可降低耗煤量1倍,效率提高1倍。但这项工作还有待于具体落实,因此这方面节约能源、改善环境的潜力还是很大的。

(3)缺乏严格的环境和节能管理。我国由于未建立汽车排放标准,汽车排气中一氧化碳排放量超过国外同类车标准的20~27倍;碳氢化合物超过13~55倍。汽车耗油量大于国外同类车1~3倍,如加强管理和车型改造,排污量可减少90%。

又如我国占比例极大的中小型锅炉，缺乏严格的节能管理，操作粗放，燃烧空气过剩系数常在2以上，排烟损失热高达20~25%。

综上所述，只要我们抓住能源构成、使用、分配、管理上存在的问题，采取多方面防治措施，有计划地落实煤气化和集中供热，对一些陈旧落后的能源利用设备（包括固定源和流动源）有计划地进行技术改造，采用先进工艺和节能新设备，在建立科学的大气质量标准的基础上制订出各种耗能设备的产品工艺标准，并进行严格检验和管理，实行燃煤选洗预处理，控制分配环节，就能大幅度提高能源利用率，减轻大气污染，逐步达到国家规定的大气质量标准。

2. 国外污染情况及其分析

(1) 污染物排放量：美国大气中危害大、范围广的有CO、SO_x、C·H、NO_x和固体粉尘等。如表1-4所示。

表1-4 1970年美国大气污染物排放量（估计值，×10⁶t计）

来 源 / 污 染 物	CO	尘 粒	SO _x	H·C	NO _x
交通运输	111.0	0.7	1.0	19.5	11.7
固定源燃烧	0.8	6.8	26.5	0.6	10.0
工 业	11.4	13.1	6.0	5.5	0.2
固体废物处理	7.2	1.4	0.1	2.0	0.4
其 他	16.8	3.4	0.8	7.1	0.4
总 计	147.2	25.4	33.9	34.7	22.7
百分比%	55.78	9.62	12.85	13.15	8.60

由上表可知，1970年美国排入大气的污染物为2.64亿t，平均每人1t。每平方公里上空约有22t，其中CO占一半以上，硫氧化物及碳氢化合物各占13%，NO_x和固尘粒各占9%。同时从污染源分析，美国交通运输引起的污染是极其严重的，占总排放量的56%，工业过程仅占14%，可见象美国这样的国度里消除汽车的排气污染是十分重要的。

(2) 其他国家情况。日本的大气污染也很严重。一年中排入大气的污染物有1000万t左右，每平方公里上空约有32t，比美国还高，其中CO占一半。苏联的大气污染最主要的来源也是交通运输，其次才是工厂的排放。如表1-5、1-6所示。

表1-5 日本大气污染物排放量（×10⁶t计）

项 目 / 污 染 物	CO	SO _x	NO _x	H·C	飘尘	共计
排放量	5	3.1	1.1	1.1	0.21	约10
百分比%	48	30	10	10	2	100

表1-6 1969年美、苏、英、日排放量 ($\times 10^6 t$ 计)

国 别	污 染 物	粉 尘	SO ₂	CO
美 国		23.3	33.2	100
苏 联		20.0	20.0	25
英 国		18.0	6.0	15
日 本		1.5	5.0	6.0

(3)世界每年向大气排放的污染物总量。估计世界各国每年向大气排放的污染物总量为6亿多t。一般情况下,大气污染物中粉尘与SO₂约占40%; CO占30%; 其他占30%, 如表1-7所示。

表1-7 全世界每年向大气排放的污染物总量

污 染 物	污 染 源	排 放 量 (亿t)
煤粉尘	燃煤设备	1.00
SO ₂	燃煤、燃油设备	1.46
CO	汽车、工厂不完全燃烧设备	2.20
NO ₂	汽车、工厂高温燃烧设备	0.53
H ₂ C	汽车、燃煤、燃油及化工设备	0.88
H ₂ S	化工设备	0.03
NH ₃	工厂废气	0.04
总量		6.14

3. 国外污染事件

国外大气污染事件时有发生, 举不胜数, 已成为社会问题, 引起了广泛的重视。举下列代表性事件, 以供参考。

(1)马斯河谷烟雾事件。1930年在比利时马斯河谷工业区, 因硫化矿冶炼厂、炼焦厂、化肥厂等排出的SO₂等有害气体及粉尘在大气中积累, 当时 SO₂的浓度高达 19~38 ppm(23~100mg/m³), 引起几千人患呼吸道疾病, 约60人死亡。

(2)洛杉矶光化学烟雾事件。1942年以来, 美国洛杉矶不断出现光化学烟雾, 这种烟雾是由大量的汽车排气形成的, 有时滞留在市内几天不散, 使许多居民患红眼、喉痛、咳嗽, 甚至造成死亡。

(3)多诺拉烟雾事件。1948年美国多诺拉镇, 因炼锌厂、钢铁厂等工厂排出的 SO₂ 等有害气体、粉尘积累在深谷的大气中, 扩散不开。使6000人患病, 17人死亡。

(4)伦敦烟雾事件。1952年英国伦敦因家庭取暖用煤排出的煤烟、粉尘在浓雾中积累不散, 居民感到胸闷, 并有咳嗽、喉痛、呕吐等症状。四天后死亡4000人, 1956~1962年又相继发生同类烟雾事件, 共死亡2000人, 这主要由于烟尘比1952年减少了一半, 使死亡人数也大为减少。

(5)日本四日市气喘病事件。1955年以来, 日本四日市, 因石油化学工业和燃烧重

油产生的废气，含重金属粉尘污染了大气，造成气喘病患者高达500余人，死亡36人。

4. 大气污染事件形成的条件

上述污染事件，虽然发生在不同地区，但确有它们共同的特点。即有大量污染物的排放，处于谷地或盆地，气象方面出现无风、逆温等条件，所以形成大气污染事件的条件为：

(1) 大量污染物排入大气。

(2) 不利的气象条件，使污染物不能在大气中及时扩散稀释。

(3) 由于污染物在大气中的积累或转化，以及有些污染物的协同作用，使某些污染物积累到一定浓度并持续一定时间，达到危害的程度，形成了污染事件。

(4) 大气污染还和使用的能源有关，目前一些发达国家建造核电站，已占总发电量的15%以上，使用核燃料所产生的放射性副产物，增加了放射性物质的污染。如苏联切尔诺贝利电站的事故，造成大面积放射性污染。

第二节 大气污染物与发生源

大气污染的原因有两个方面：一是自然原因，如火山爆发、森林失火等，这是局部的暂时的现象。另一是人类活动造成的，污染也是严重的、普遍的、经常的现象。

随着城市人口的集中和工业的发展，需要燃烧大量的煤和石油，生成大量有害气体及颗粒物。污染严重的工厂有火力发电厂、钢铁厂、石油精炼厂以及千家万户做饭取暖排出的煤烟。由于这些污染物都从固定地点排出，故称之为固定源。同时，由于城市人口的增长，生活废弃物的多样化，城市垃圾堆场也作为特殊污染源而被重视起来了。随着科技水平的提高，频繁的交通运输所排放的废气急剧增长，作为移动发生源的汽车排气是影响城市大气污染的另一重要因素。

一、大气污染物的分类

污染物质的种类，根据发生源的不同而有差异。在城市及工业区具有各种物理、化学性质的污染物，已经受到人们注意的大约有100种左右，现将主要污染物及工业上产生的几种危害较大的废气列于表1-8、1-9中。

表1-8 几种主要污染物质

污 染 物	包 含 内 容
粉尘微粒	碳粒、飞灰、碳酸钙、氧化锌、二氧化铅等
硫化物	SO ₂ 、SO ₃ 、H ₂ SO ₄ 雾、H ₂ S、硫醇等
氮化物	NO、NO ₂ 、HNO ₃ 、NH ₃ 等
氧化物	O ₃ 、PAN系列、CO等
卤化物	Cl ₂ 、F ₂ 、HCl、H ₂ F等
有机化合物	H·C、CH ₄ 、有机酸、焦油、有机卤化物等

表1-9 工业生产中几种危害较大的废气

废 气 种 类	来 源
粉尘废气	钢铁厂、有色金属冶炼厂、热电站、建材工业等
重金属废气	冶炼及其各种原料生产中产生的废气
含硫废气	燃料燃烧、有色金属冶炼、石油炼厂、硫酸厂等
含氯废气	氯碱厂、有机工业中氯化反应过程等
含氟废气	炼铅厂、磷肥厂等

二、大气污染物及发生源

大气污染物主要有以下几种：

(1) 硫的氧化物，主要是 SO_2 、 SO_3 ，它们总称为硫的氧化物，以 SO_x 表示。

① SO_x 来源，主要是含硫煤、石油等燃烧时以及含硫金属矿物的冶炼过程中产生的。

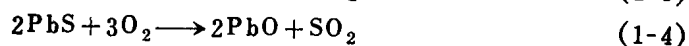
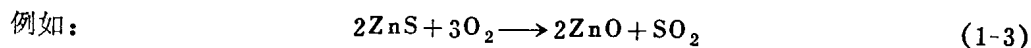
煤、石油燃烧时硫的反应为：



以上两个反应从热力学分析虽然都能成立，但在燃烧时，即使 O_2 很充足，也不能大量生成 SO_3 ，主要以 SO_2 形式存在，约占98%，只有2%生成 SO_3 ，反应式(1-2)只有在高温及催化剂存在下才加速反应。

金属冶炼过程中产生 SO_2 ：

许多金属矿是以硫化物形式存在的，要先经过焙烧变成金属氧化物，再还原成金属。如果直接提取金属，将会有硫的杂质存在。



②地球上每年硫的氧化物总量：

发生源	发生量 ($\times 10^6 \text{t}$)
④煤燃烧	102
⑤石油燃烧：汽油、轻质油	2
重油	20
精制	6
⑥工厂排放的 H_2S (折算成 SO_2)	3
⑦金属冶炼	16

以上是人工原因排放 SO_2 为 $149 \times 10^6 \text{t/a}$

⑧从海面上产生的 H_2S (折算成 SO_2) 32

⑨从陆地产生的 H_2S (折算成 SO_2) 72

以上为天然产生的 SO_2 量为 $148 \times 10^6 \text{ t/a}$

从上可知人工原因每年排放量与天然原因排放量相当。但是，天然产生的是对整个地球而言的，而人工原因造成的 SO_x 排放基本上集中在北半球，集中在一些大城市，所以对我们的影响比天然原因所产生的危害大得多。因而也是我们必须加以充分认识的研究对象。

(2)氮氧化物 NO_x 。氮氧化物有下列形式： N_2O 、 NO 、 NO_2 、 N_2O_3 、 N_2O_5 等，其中 N_2O 为惰性物质对人无害。 N_2O_3 、 N_2O_5 在自然界存在极少。因此一般讲 NO_x 主要是 NO 、 NO_2 。 NO 是无色无臭的，而 NO_2 为有刺激性气味的黄色气体，它们对环境危害极大。

① NO_x 的来源：主要来自于高温燃烧，其反应式如下。



从表面看，与硫的氧化相仿。但是，硫是燃料本身的组成成分，而氮不仅是燃料中所含有的有机氮，还有空气中带入的大量氮气，反应式(1-5)要求高温，而且还要保持此高温在足够时间下进行。从反应式(1-6)看，似乎 NO 是 NO_2 生成过程中的中间产物，氧充足的话，会全部生成 NO_2 ，但实际上不论 O_2 如何充足，大部分仍是 NO 约占99.5%， NO_2 只占0.5%以下，其原因为反应式(1-6)性质特殊，温度越低，反应速度越快。式(1-5)必须在高温下才能生成 NO ，故高温条件下不会形成 NO_2 。当 NO 排至大气后处于低温，有利于生成 NO_2 ，但由于这时的 NO 浓度甚低，而 NO_2 的生成速度又和 $[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$ 浓度成正比，因此，在汽车等排气时 NO 浓度下降，形成 NO_2 的条件欠佳，故大气中 NO 仍占绝大多数。 NO 只有在 O_3 存在下加速生成 NO_2 。那么，反应式(1-5)为什么又必须在高温下才能生成呢？这是因为 NO 不是直接由 N_2 和 O_2 结合的，它必须先离解 O_2 为 O 原子才能和 N_2 结合，离解 O_2 成为 O 原子必须要求较高的能量。即：



NO 的形成和温度、时间关系如表1-10所示。

表1-10 NO 生成量与温度、时间关系

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	平衡时 NO 浓度 (ppm)	生成500ppm 所需时间(s)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	平衡时 NO 浓度 (ppm)	生成500ppm 所需时间(s)
27	1.1×10^{-16}	—	1538	1380	162
527	0.77	—	1760	2600	1.10
1316	550	1370	1980	4150	0.117

②地球上人为原因每年产生的 NO_x 物量：

发生源

发生量 ($\times 10^6 \text{ t}$)

①煤：火力发电厂

12.2