

前 言

《空气污染控制工程》是环境保护专业的试用教材。在教材的取材上，范围稍广了一点，讲授时可按教学计划的要求适当增减。

本教材共分二十章，主要包括两大部分内容：气体除尘和有害气体的净化与利用。第一章概述了理解空气污染的基本知识，国内外空气污染及其控制概况，以及空气污染控制标准等。第二章是根据研究空气污染控制工程的需要，对气体的物理性质和特性参数的某些概念和计算方法作了概括介绍。第三章论述了控制空气污染物的局部排气罩的结构原理和设计计算方法等。

第四章至第九章为气体除尘部分。第四章扼要介绍了粉尘的物理性质、除尘器性能表示方法和除尘器分类等，是气体除尘技术的基础。第五、六、七、八章分别论述了机械式除尘器、湿式气体洗涤器、袋式除尘器及电除尘器的净化机理、结构和性能特点等。第九章以几种工业炉窑（工业锅炉、烧结机、氧气顶吹转炉、炼钢电弧炉、铜冶炼炉和水泥回转窑）烟气除尘作为实例，简要介绍了几种炉窑工艺生产特点、烟尘特性以及常用净化流程。

第十至第十四章为有害气体净化与利用部分。第十章综述了有害气体净化的一般方法的原理和特点。第十一章介绍利用含高浓度二氧化硫的有色冶炼烟气制酸的基本原理和工艺流程。第十二、十三、十四章分别介绍了含低浓度二氧化硫、氮氧化物和氟化物废气的净化与利用的一般方法的原理和工艺流程等。

第十五至第十九章为空气污染控制系统的设计和运行管理部分，包括管道系统的设计，粉料输送装置，有害气体净化装置的设计，净化系统的防爆、防腐和防磨，以及净化系统的测试与运行管理等。

第二十章大气扩散是作为空气污染控制的一种手段而编入本教材的，本章仅对大气扩散的基本原理、计算方法以及厂址选择和烟囱设计中的有关问题等作一简要介绍。

《空气污染控制工程》是我们按环境保护专业的要求而设置的一门新课，课程的体系及其内容的深度和广度等尚不成熟。在教材大纲制订过程中，许多单位提供了很多宝贵意见，在此一并表示感谢。由于我们学识水平有限，实践经验不足，加之编写时间仓促，所以错误和不当之处在所难免，衷心希望使用本教材的师生及其它科技人员多多提出批评意见，以便重印时修改。

编 者

1979年10月

目 录

上 册

第一章 概论

§ 1—1	空气污染和空气污染物	(1)
§ 1—2	空气污染概况	(9)
§ 1—3	空气污染控制概况	(11)
§ 1—4	空气污染控制标准	(19)

第二章 气体的物理性质

§ 2—1	气体的组成及气体状态方程式	(20)
§ 2—2	气体的基本参数	(20)
§ 2—3	气体的热力参数	(24)
§ 2—4	气体体积的换算	(34)

第三章 局部排气罩

§ 3—1	概述	(47)
§ 3—2	局部排气罩的基本型式及其性能	(50)
§ 3—3	密闭罩	(54)
§ 3—4	排气柜	(56)
§ 3—5	外部吸气罩	(57)
§ 3—6	接受式排气罩	(63)
§ 3—7	槽边吸气罩	(67)
§ 3—8	吹吸式排气罩及空气幕	(70)

第四章 粉尘的物理性质及除尘器性能表示方法

§ 4—1	粉尘的粒径及粒径分布	(75)
§ 4—2	粉尘的一般特性	(85)
§ 4—3	尘粒在流体中的动力特性	(90)
§ 4—4	除尘器性能的表示方法	(96)
§ 4—5	除尘器的除尘效率	(97)
§ 4—6	分级除尘效率及其与粒径分布和总除尘效率的关系	(99)
§ 4—7	除尘器的分类	(102)

第五章 机械式除尘器

§ 5—1	重力沉降室	(104)
§ 5—2	惯性除尘器	(106)
§ 5—3	旋风除尘器的基本原理	(108)
§ 5—4	旋风除尘器的结构型式	(115)
§ 5—5	常用旋风除尘器的结构和性能	(116)
§ 5—6	组合式多管旋风除尘器	(121)
§ 5—7	旋风除尘器的选择、设计和应用	(124)

第六章 湿式气体洗涤器

§ 6—1	概述	(128)
§ 6—2	重力喷雾洗涤器	(132)
§ 6—3	旋风洗涤器	(135)
§ 6—4	自激喷雾洗涤器	(139)
§ 6—5	泡沫洗涤器	(141)
§ 6—6	填料床洗涤器	(145)
§ 6—7	文丘里洗涤器	(149)
§ 6—8	湿式气体洗涤器的主要构件简介	(155)

第七章 过滤式除尘器

§ 7—1	袋式除尘器的基本原理	(163)
§ 7—2	袋式除尘器的滤料和结构型式	(169)
§ 7—3	常用袋式除尘器的结构和性能	(173)
§ 7—4	袋式除尘器的选择、设计和应用	(180)
§ 7—5	颗粒层除尘器	(182)

第八章 电除尘器

§ 8—1	概述	(184)
§ 8—2	电晕的发生	(187)
§ 8—3	电场	(191)
§ 8—4	粉尘荷电	(194)
§ 8—5	粉尘的捕集	(198)
§ 8—6	电除尘器的结构	(203)
§ 8—7	粉尘比电阻	(211)
§ 8—8	电除尘器的供电	(216)
§ 8—9	电除尘器的选择、设计和应用	(224)

第九章 工业炉窑烟气除尘

§ 9—1	烟气冷却	(229)
§ 9—2	工业锅炉烟气除尘	(238)
§ 9—3	烧结机烟气除尘	(247)
§ 9—4	氧气顶吹转炉烟气净化与利用	(251)
§ 9—5	炼钢电弧炉烟气除尘	(265)
§ 9—6	铜冶炼烟气除尘	(272)
§ 9—7	水泥窑烟气除尘	(280)

第一章 概 论

我们知道，地球上的一切生物赖以生存的自然环境，是由大气圈、水圈和岩石圈等环境要素构成的。目前，在地球上所形成的生存环境，是在自从地球上生命以来的大约二十亿年中，在一切生命活动的参与下逐渐形成的。特别是自从地球上出现人类以来，人类在利用、改造和开发自然环境的过程中，使自然环境的性质和质量发生很大变化。一方面向人类提供了有益的财富，另一方面还可能会超出自然环境动态平衡的恢复能力，达到对人类的生活和生产活动发生不利影响的程度，即造成通常所说的环境污染或公害。

空气污染（或大气污染）问题是环境污染的主要问题之一。空气污染控制工程技术是解决空气污染问题的重要环境工程学科之一。

为了从总体方面为后述的空气污染控制工程技术准备一定的基础知识，本章将概要回顾一下理解空气污染的基本知识，空气污染及其控制概况，以及空气污染控制标准等。

§ 1—1 空气污染和空气污染物

一、空气污染的含义

由地球表面到大约1千公里的高空，围绕着由多种气体组成的空气层。这种空气层，上层稀薄，下层浓厚，对万物生息起着重要作用，是一切生物生存必不可少的环境要素之一。地面上的干燥清洁空气的组成，如表1—1所示。在未受到污染的情况下，干洁空气的组成基本上是稳定的；在受到污染后，它的组成成分和状态可能发生各种各样的变化。

干洁空气的组成 表 1—1

成 分	体积百分数 (%)
氮(N ₂)	78.084
氧(O ₂)	20.9476
氩(Ar)	0.934
二氧化碳(CO ₂)	0.0314
氖(Ne)	0.001818
氦(He)	0.000524
甲烷(CH ₄)	0.0002
氪(Kr)	0.000114
一氧化二氮(N ₂ O)	0.00005
氢(H ₂)	0.00005
氙(Xe)	0.0000087
臭氧(O ₃) 夏季:	0~0.000007
冬季:	0~0.000002
氨(NH ₃)	0~痕量
一氧化碳(CO)	0~痕量
碘(I)	0~0.000001
二氧化氮(NO ₂)	0~0.000002
二氧化硫(SO ₂)	0~0.0001

所谓空气污染，广义地说，当环境中的空气受到外界影响而使其原有组成成分和状态发生变化时，就是受到了污染。这种外界影响包括人类活动，还包括火山活动、山林火灾、海啸、土壤和岩石风化以及大气圈空气运动等自然现象。但是，一般说来，由于自然环境所具有的物理、化学机能，使各种自然现象造成的空气污染，经过一定时间后便会自动消失，使空气基本恢复原状。这就是说，由于自然环境的自净作用，各种自然现象不会构成对空气的污染，而能自动协调生态系统的动态平衡关系。

通常所说的空气污染，是指人类活动所排出的污染物质扩散到工厂车间或室外空气中，污染物的性质、浓度和持续时间等因素的综合影响而引起车间工人或地区居民中大多数人的不适感，并使身体健康和社会经济福利受到恶劣的影响。所谓对身体健康的影响，包括对人体正常生理机能的影响，引起急性病、慢性病以至死亡等情况。而所谓经济福利，则可认为包括与人类协调并共存的动植物、自然资源保护、财产、器物等。

所谓人类的活动，不仅包括生产活动，甚至还包括生活活动，如民用炉灶和采暖用燃料燃烧及垃圾焚烧等。但是，作为防止空气污染的主要对象，首先是工业生产活动。

从自然科学的观点来看，“空气”和“大气”这两个名词，在本质上没有不同的含义。但有时为区分起见，将室外空气称为“大气”，将室外地区性空气污染称为“大气污染”。本书将多称“空气污染”，既包括室内空气的污染，也包括室外地区性空气的污染。当专指室内空气的污染时，将加“室内”或“车间内”这一词，专指室外地区性空气污染时，也称大气污染。

按大气污染的范围来说，大气污染大体可分为四类：局限性的局部地区污染、涉及一个地区的地区性污染、涉及更广泛地区的广域污染、及必须以全球范围考虑的全球性污染。

受某个工厂烟囱排气的直接影响，属于局部地区污染。工矿区或其附近地区或整个城市大气受到污染，属于地区性污染。超过行政区划的广大地域的大气污染，属于广域污染。地区性污染在城市、工矿区经常可见，而在大城市、大工业地带，一般可看到广域污染。在现代，国际污染问题也可见到，如西欧各国用高烟囱排放含二氧化硫的废气，被南风吹至斯堪的纳维亚半岛上空，导致瑞典等国降落酸性雨、“茶色雪”，使水域、土壤、森林受害。由于人类活动，大气中二氧化碳和飘尘的增加，作为全球性大气污染，已成为必须采取措施的状态。

二、空气污染物种类及其来源

空气污染物种类繁多，来源广泛。现仅就排放量大、危害严重、涉及面广的主要空气污染物及其来源作一简要介绍。根据空气污染物质的存在状态，可将其概括为两大类：一是气溶胶状态污染物；二是气体状态污染物。

所谓气溶胶是指由悬浮在气体介质中的固体或液体粒子所组成的气体分散体系。从空气污染控制角度出发，按气溶胶污染物的物理性质，可将其分为如下几类：

(1) 粉尘 (Dust)：也称灰尘，为固体粒子的分散性气溶胶，是由破碎、切削、研磨或类似操作过程或土壤、岩石的风化作用而形成的无机粒子在空气中的混合物。粒子的形状是不规则的，其尺寸大小可用粒径表示（粒径的定义详见第四章），粒径范围一般为 $1 \sim 200 \mu\text{m}$ 。有机物质的棉绒和粒子也归入粉尘类。

(2) 烟 (Smoke) : 为固态粒子或液态粒子的凝聚性气溶胶, 是由燃烧、氧化、升华、蒸发和冷凝的热过程或其它化学过程形成的很细的粒子在空气中的混合物。粒径范围为 $0.01\sim 1\mu\text{m}$ 。若粒子是由固体物质形成的, 其形状可能是不规则的, 若是由冷凝形成的, 则呈球形。

在有些情况下, 粉尘和烟的界限很难明显划分。例如燃烧粉煤产生的飞灰, 虽然是在剧烈氧化过程中形成的, 但因其颗粒粗, 一般皆归入粉尘类; 煤燃烧不完全时产生的很细的碳粒, 则是黑色的烟 (亦称为烟炱)。所以煤燃烧产生的烟尘就是指烟炱和飞灰而言。

(3) 雾 (Mist) : 是液体粒子的凝聚性气溶胶, 其粒径范围为 $5\sim 100\mu\text{m}$ 。

(4) 水雾 (Fog) : 当雾中的液体是水时的雾。

气体状态污染物种类极多, 现今受到普遍注意的大气污染物有: 以二氧化硫为主的硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x : NO 、 NO_2)、碳氢化物 (CH)、二氧化碳 (CO_2) 及一氧化碳 (CO) 等。

上述空气污染物, 若是从污染源直接排出的原始物质, 称为原发性污染物或一次污染物。而有些污染物, 是几种原发性污染物经过化学或光化学反应而生成的与原发性污染物的物理、化学性质不同的新污染物, 则称为继发性污染物或二次污染物。在大气污染中, 受到普遍重视的二次污染物主要有硫酸烟雾 (Sulfurous smog) 和光化学烟雾 (Photochemical smog)。

我们知道, 硫酸烟雾为二氧化硫和其它硫化物与包括水雾在内的各种飘尘结合在一起以及在这种状态下引起的各种化学反应产物在空气中的混合物。据分析, 硫酸烟雾的毒性要比二氧化硫大10倍多。光化学烟雾是大气中的二氧化氮和碳氢化物在阳光照射下发生一系列复杂的光化学反应而生成的浅兰色烟雾, 其主要成分有臭氧、过乙酰硝酸酯 (PAN) 及其它过氧化物等氧化性物质, 以及甲醛、酮、丙稀醛之类的还原性物质。这种光化学烟雾的毒性要比二氧化氮强烈得多。

排放到大气中的粉尘、烟和雾等, 当它们的粒径大于 $10\mu\text{m}$ 时, 由于自身重力会迅速沉降到地面, 所以统称为落尘; 而小于 $10\mu\text{m}$ 的粒子, 一般能在大气中长期飘浮, 所以称为飘尘或浮游粒子。粒径 $10\mu\text{m}$ 的粒子沉降到地面一般需 $4\sim 9$ 小时, $1\mu\text{m}$ 的粒子需 $19\sim 98$ 日, 小于 $0.1\mu\text{m}$ 的超细粒子甚至需要 $5\sim 10$ 年才能降落到地面。燃烧重油排出的烟尘, 粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的占 $48\sim 90\%$, 汽车排气中的粒状污染物, 粒径在 $2\mu\text{m}$ 以下的有 $62\sim 88\%$ 。

各种空气污染物的主要来源有三大方面: ①火电厂、工业和民用炉窑的燃料燃烧; ②各种工业生产过程; ③交通运输。前两种污染源因设备是固定不动的, 所以统称为固定污染源; 后一种污染源 (汽车、火车等) 则称为流动污染源。据美国1970年城市大气污染物来源分类统计 (见表1—2), 可以看出一氧化碳、氮氧化物和碳氢化物的主要污染源是汽车排气, 烟尘和硫氧化物的主要污染源是燃料燃烧。而这两种污染源所产生的污染物共占全部污染物的 77% 。这就说明, 城市大气污染的主要来源是化石燃料 (煤、石油等) 的燃烧, 大气污染问题与能源利用问题有非常密切的关系。燃料种类与大气污染物的概况如表1—3所示。

美国城市大气污染物来源分类统计(1970年) : (Colom2) 表1—2

来 源	污 染 物 (百万吨/年)						百分数 (%)
	一氧化碳 (CO)	硫氧化物 (SO ₂)	氮氧化物 (NO _x)	碳氢化物 (CH)	烟 尘	共 计	
交通运输 (主要是汽车)	71.2	0.4	8.0	13.8	1.2	94.6	55
燃料燃烧 (火电厂、住宅等)	1.9	22.0	7.5	0.7	6.0	38.1	22
工业生产 (化工、冶金等)	7.8	7.2	0.2	3.5	5.9	24.6	14
其它 (固体废弃物燃烧等)	5.7	0.7	0.9	5.6	1.6	14.5	9
共 计	86.6	30.3	16.6	23.6	14.7	171.8	100

燃料种类与大气污染 表1—3

污 染 物	主 要 燃 料			
	煤	石 油	煤 气	汽 油
浮游烟尘	有	无	无	无
CO	有	无	无	有
NO _x	有	有	有	有
SO ₂	有	有	无	无

各种工业生产过程排放的空气污染物质,因工艺路线、流程和原料不同,其种类、数量和特性差别很大。但其共同特点是排放点较集中且浓度较高,对局部地区或工矿区的大气污染较严重。例如冶金工业的金属冶炼和加工过程,除需用各种矿石外,还大量耗用煤、焦炭等燃料,所以排放的废气既有燃料燃烧烟气的成分,又含有各种金属及其氧化物的烟尘,特别是重金属镍、铅、锰、铍、镉等造成局部地区大气污染,更应特别注意。此外,各种矿石、煤炭等物料的堆放、破碎、混合和输送等过程扬起的粉尘,也会造成车间内或局部地区的空气污染。

以上所述大气污染物质和来源概括在图1—1中。总的来说,目前在地区性大气污染中,一般注意的污染物有一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物、碳氢化物、浮游烟尘和重金属;而在全球性大气污染中受注意的则有二氧化碳、浮游烟尘、铁、汞等重金属、聚氯联苯(PCB)、滴滴涕(DDT)、六六六等。作为二次污染物质,受到注意的主要是光化学烟雾和硫酸烟雾等。

所列举的应该重视的大气污染物的种类,依各国、各地区经济发展、能源利用等情况不同而异,因而是随着时代变迁的。例如,美、日等发达的工业国家,在二十世纪五十年代以前,以煤炭为主要燃料,因而注意的大气污染物主要是烟尘、二氧化硫等。在五十年代以后,随着工业和汽车数量的高速增长,石油和天然气等成了主要燃料,因而大气污

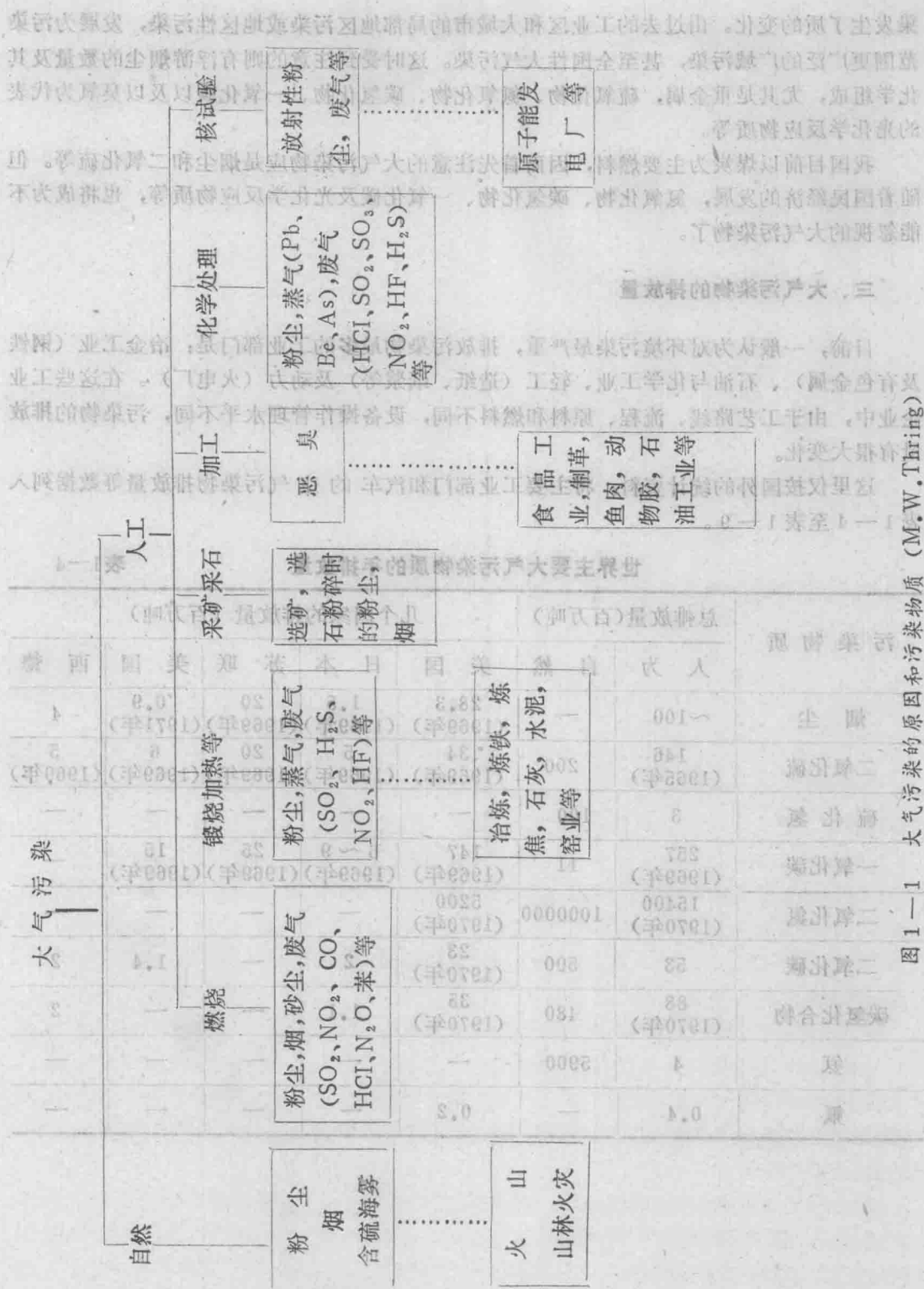


图 1-1 大气污染的原因和污染物质 (M. W. Thring)

染发生了质的变化。由过去的工业区和大城市的局部地区污染或地区性污染，发展为污染范围更广泛的广域污染，甚至全国性大气污染。这时受到注意的则有浮游烟尘的数量及其化学组成，尤其是重金属，硫氧化物、氮氧化物、碳氢化物、一氧化碳以及以臭氧为代表的光化学反应物质等。

我国目前以煤炭为主要燃料，因而首先注意的大气污染物应是烟尘和二氧化硫等。但随着国民经济的发展，氮氧化物、碳氢化物、一氧化碳及光化学反应物质等，也将成为不能忽视的大气污染物了。

三、大气污染物的排放量

目前，一般认为对环境污染最严重，排放污染物最多的工业部门是：冶金工业（钢铁及有色金属）、石油与化学工业、轻工（造纸、纸浆等）及动力（火电厂）。在这些工业企业中，由于工艺路线、流程、原料和燃料不同，设备操作管理水平不同，污染物的排放量有很大变化。

这里仅按国外的统计资料，将主要工业部门和汽车的空气污染物排放量等数据列入表1—4至表1—9。

世界主要大气污染物质的年排放量

表1—4

污 染 物 质	总排放量(百万吨)		几个国家的排放量 (百万吨)				
	人 为	自 然	美 国	日 本	苏 联	美 国	西 德
烟 尘	~100	—	28.3 (1969年)	1.5 (1969年)	20 (1969年)	0.9 (1971年)	4
二氧化硫	146 (1965年)	200	34 (1969年)	5 (1969年)	20 (1969年)	6 (1969年)	5 (1969年)
硫化氢	3	100	—	—	—	—	—
一氧化碳	257 (1969年)	11	147 (1969年)	6~9 (1969年)	25 (1969年)	15 (1969年)	—
二氧化氮	15400 (1970年)	1000000	5200 (1970年)	—	—	—	—
二氧化碳	53	500	23 (1970年)	2	—	1.4	2
碳氢化合物	88 (1970年)	480	35 (1970年)	1.1	—	—	2
氨	4	5900	—	—	—	—	—
氟	0.4	—	0.2	—	—	—	—

钢铁生产大气污染物的排放量

表1—5

产品名称	每吨产品的排放量	产品名称	每吨产品的排放量
烧 结 矿	废气: 4000~6000标米 ³ ; 其中含尘量: 烧结带: 1~5克/标米 ³ ; 卸矿端: 5~10克/标米 ³ ; 二氧化硫: 500~1500毫克/米 ³	钢	①氧气顶吹转炉(未燃法) 烟气: 60~70标米 ³ , 其中 粉尘: 16~30千克(含铁量 约占60~80%) CO: 73.8% CO ₂ : 14.0% N ₂ : 11.0% O ₂ : 0.1% H ₂ : 1.2% NO: 5PPM H ₂ S: 0.1PPM HCN: 1PPM SO ₂ : 0.5PPM
焦炭(只包 括装煤和出 焦工序)	煤尘: 5千克 一氧化碳: 330克 硫化氢: 544克 二氧化碳: 21克 苯系烃: 158克 氰化物: 70克 氮氧化物: 370克		②平炉 烟气量: ~3630标米 ³ /时 (不吹氧时) 平均含尘量: 4~6克/标米 ³ (吹氧时), 0.99克/标米 ³ (不吹氧时)
生 铁	煤气: 2000~2500标米 ³ , 烟气含尘量5~40克/标米 ³ , 煤气中含CO占23~30%		③电弧炉 粉尘量: 2~19千克, 其中 Fe ₂ O ₃ 52.9% ZnO 16.3% CaO 14.4% MnO 4.4% SiO ₂ 2.6% MgO 1.9%
铁合金(敞开 式电炉冶炼)	硅锰铁合金排出烟尘: 50~125千克(烟尘中含锰约 占10%)		

有色金属冶炼大气污染物的排放量

表1—6

产品名称	每吨产品的排放量	产品名称	每吨产品的排放量
铜	粉尘: 57.5千克(除尘后), 二 氧化硫: 3500米 ³ (含硫量1%), 折合成总硫量为1120千克	铅	粉尘: 64.5千克(除尘后) 二氧化硫折合成总硫量 为556千克
锌	粉尘: 773千克(除尘后) 二氧化硫折合成总硫量为610 千克	电 解 铝	氟尘: 8千克(上插槽) 5千克(予焙槽) 氟化氢: 15千克(上插槽) 12千克(予焙槽) 硫量: 5千克(石油焦中含硫 1.5%) 一氧化碳: 300千克 二氧化碳: 1000千克

无机化工生产大气污染物的排放量

表1—7

产品名称	每吨产品的排放量	产品名称	每吨产品的排放量
氯	①水银电解法： 耗汞量：30~40克 (一般为150~200克) 氯气：18~72.5千克 二氧化碳：0.9千克 ②隔膜电解法： 氯气：9~45.3千克 二氧化碳：1.8千克	硝酸	氧化氮的排放量一般为硝酸产量的0.1%，国外实际排放量，按二氧化氮计为30千克
纯碱	有少量纯碱及石灰粉尘(50~150千克)排出	黄磷	氟：30千克，约为湿法磷酸生产排放量的五分之一
硫酸	二氧化硫：9~32千克 硫酸雾：0.1~3.5千克 (有除雾器时为0.009~0.09千克)	磷酸	每吨五氧化二磷排出9~29千克氟化氢
合成氨	氨：3.2千克 一氧化碳：90千克	磷肥	含氟气体浓度为0.2~5%
		石灰	石灰粉尘为4~8千克(除尘后)

不同燃料燃烧排放的大气污染物

表1—8

污染物和来源		每吨(或升)燃料燃烧时的排放量		
		煤炭(千克/吨)	重油(千克/升)	原子能
火力发电站	二氧化硫	60	19	反应堆： 每一反应堆，每年产生大量氙 ⁴¹ 、 照射氟和杂质产生的 氙、裂变产物 氙 ⁸⁵ 、碘 ¹³¹ 和氙 ¹³³
	二氧化氮	9	12.6	
	粉尘	3~11	1	
	醛类	—	0.12	
工业锅炉房	二氧化硫	60	17	
	二氧化氮	3.6	1.5	
	粉尘	9~11	—	
	黑烟	25~30	—	
	醛类	—	0.25	

汽车排气量 表1—9

污 染 物 名 称	烧汽油 (克/升)	烧 柴 油 (克/升)	
	小 汽 车	荷 重 汽 车	机 车
铅 化 合 物	2.1	1.56	3.0
二 氧 化 硫	0.295	3.24	7.8
一 氧 化 碳	169	27.0	8.4
氮的氧化物	21.1	44.4	9.0
碳氢化合物	33.3	4.44	6.0

§ 1—2 空 气 污 染 概 况

一、国外空气污染概况

各发达的资本主义国家的空气污染，有一个发生、发展和演变过程，大体上可分为三个阶段，现简介如下：

第一阶段：十八世纪末到二十世纪中，空气污染状况随着工业的发展而发展。各国政府和资本家，对环境污染的危害性认识不足，不重视环境保护；为追求高额利润，只顾生产，不管人民死活，因而使环境污染任其发展。

这一阶段的大气污染主要是燃烧煤炭引起的，所以数量多影响大的大气污染物主要是烟尘、二氧化硫气体等。视觉上可见的烟尘污染最易引起城市居民的反对，迫于社会压力而推广了热能管理和安装除尘装置等措施。这个时期相当于第二次世界大战前后。当时，烟尘问题虽已趋于解决，原来昏黑的天空在视觉上显出明亮的倾向，但从其影响方面来看反而恶化了。这是因为反倒增加了浮游烟尘和二氧化硫等的污染，而当时对它采取措施在技术上几乎是不可能的。

第二阶段：二十世纪五十至六十年代，各国工业畸形发展，汽车数量倍增，重油等燃料耗量剧增，空气污染日趋严重。

这一时期的大气污染，已不再是限于城市和工矿区了，而是呈现为广域污染，甚至演变成全国性的污染（日本）。浮游粉尘尤其是重金属、硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳及碳化氢等已经普遍存在。在生产过程中因跑冒滴漏等造成的局部污染，已经成为社会问题。

这一时期大气污染的危害，已不能用单一污染物的物理特性加以解释，而是多种污染物协同作用的结果，即所谓复合污染。著名的英国“伦敦烟雾”、美国“多诺拉烟雾”以及日本的“四日气喘病”等，皆是因大气中二氧化硫与含有重金属的飘尘等协同作用的结果，即所谓硫酸烟雾污染。因汽车排气引起的光化学烟雾污染，在汽车化了的资本主义各国城市，层出不穷。美国第三大城市洛杉矶市，在五、六十年代光化学烟雾污染连续不断地发生，就是因汽车数量剧增引起的。据统计，到1968年洛杉矶市人口增至800万人，而汽车增

至400万辆，每天约有1000吨碳氢化物、433吨氮氧化物和4200吨一氧化碳排入大气中。

由于环境污染严重，使人民身体健康受到严重损害，能源、资源和财产遭到破坏，人民的反公害斗争此起彼伏，迫使各国政府开始重视环境保护，着手治理环境污染。但这一时期环境污染问题并没有得到解决，这是由于解决环境污染问题需有个试验研究、总结经验的过程，环境污染后也要有个恢复过程。

第三阶段：七十年代以来，各国更加重视环境保护，花了大量人力、物力和财力，经过严格控制、综合治理，取得了显著成效，环境污染基本得到控制，环境质量明显改善。

日本在解决大气污染问题上成效是较显著的。在1968年至1974年工业继续增长的情况下，大气中的飘尘、二氧化硫和一氧化碳浓度都不断下降。到1968年，二氧化硫的总排放量比1970年减少了60%，大气中二氧化硫浓度为0.02ppm，低于国家标准一半；飘尘在东京、大阪、北九州三大工业区由1967年的0.36毫克/标米³，降到0.046~0.065毫克/标米³（国家标准为0.1毫克/米³）；大气降尘量小于10吨/月·公里²的测点数占90.8%，有的钢铁厂甚至降到6吨/月·公里²；大气中一氧化碳浓度为1.6ppm（国家标准为10ppm）；氮氧化物自1974年以来已经得到控制，三年来都在0.03ppm以下（日本的标准最严，为0.02ppm）；碳氢化物和光化学氧化剂呈减少趋势。由于大气污染减轻，据说东京在1968年只有13天能看见富士山，而1975年就有76天看见富士山了。1976年和1977年未发布光化学烟雾警报。但是，氮氧化物、汽车排气和恶臭等污染，仍是没有得到解决的严重问题。

美国从1970年至1976年，飘尘（降低12%）、二氧化硫（减少27%）、碳氢化物和一氧化碳（降低20%）的总排放量都有所减少，只有氮氧化物排放量在增加。总的来看，美国的空气污染控制规定和技术都落后于日本。

英国由1952年到1973年，烟尘排放量由239万吨降至52万吨，减少78%；二氧化硫排放量由475万吨增加到590万吨，这是工业增长和大型化的结果。但由于增加了烟囱高度，大气中二氧化硫浓度由1960年的0.14毫克/米³降低为0.08毫克/米³（美国标准年平均值为0.08毫克/米³）。

二氧化硫浓度以伦敦最高，这主要是由于汽车多和老厂多的原故。据报导，伦敦各季能见度1976年比1958年增加200%，12月份日照增加了70%。

莫斯科市由于采取清洁燃料（煤气和低硫重油）、改革工艺、增加空气净化设备和增加城市绿化面积等措施，据说莫斯科市现在的空气比1963年清洁了四倍，含硫气体减少了2/3。

二、我国空气污染概况

我国由于对环境保护这一经济建设中出现的新课题，没有及时总结经验，采取得力措施，特别是林彪、“四人帮”的干扰破坏，使我国的环境污染在无控制的发展，有的达到了相当严重的程度，对人民健康和工农业生产都造成了很大危害。

我国的空气污染也是相当严重的。据统计，我国工业和生活炉窑每年排入大气的烟尘约为1400万吨，排入大气的二氧化硫约为1500万吨，成为世界上排放量最多的国家之一。许多大中城市和工矿区大气污染日趋严重，大气中的烟尘含量和各种有害气体含量超过国家标准几倍、几十倍、甚至几百倍。例如粉尘沉降量，北京为30、西安为29.2、沈阳为

50.6、鞍钢厂区为534、本钢厂区为900吨/月·公里²。

我国城市大气污染，目前主要是烧煤引起的，因而主要污染物是烟尘、二氧化硫、二氧化碳及一氧化碳等。我国汽车数量尽管不多，但由于发动机陈旧，行驶年限特长，汽油质量不高，排气量必然大增。加上各种工业部门排放的废气，则大气中的氮氧化物、硫氢化物及含有重金属的飘尘等也已较普遍地存在着，使得某些城市也呈现出广域污染和复合污染的特点了。有的城市烟雾腾腾，能见度很低，有时白天行驶汽车都要开车灯，有的城市直到上午十点钟才能见太阳；有的城市开始出现光化学烟雾。沈阳市大气污染比较严重，在1977年冬季至1978年春，由于大气中一氧化碳浓度增高，有2000人被送入医院抢救。兰州市大气污染之重，危害之深，在全国是少有的。由于全部烧烟煤的工业和民用炉窑、炼油、化工、冶金等工业以及汽车排放的大量废气，加之兰州地处峡谷，冬季无风，一年中有70%以上时间形成逆温，废气很难扩散，致使兰州市大气污染相当严重，整个冬季居民集中的市区笼罩在烟雾之中。据十个大医院统计，1977年10月至1978年1月住院病人因呼吸、心血管疾病死亡人数比上年同期猛增一倍，死者的病因和年龄与1952年震惊世界的伦敦烟雾事件（一周内死了4000人）相仿。

工业生产排放的废气造成局部地区大气污染，也对人民健康和工农业生产造成了严重险害。例如，内蒙的包头、巴盟地区，由于包钢等企业排放大量含氟废气，使大气、水源、牧草和农作物受到严重污染，附近的4个旗县的37个公社、1万多平方公里的面积、100多万人口和100多万头牲畜都受到氟气的危害。据对三个生产队社员体检，患明显氟中毒症（如骨骼变形、骨质增生、妇女产后瘫痪等）的占人口总数的5.5%；对2600名在校学生检查，患氟中毒斑釉牙症的占60%。湖北大冶有色金属公司排放的二氧化硫烟气，使郊区和附近两个县常年受害，受害严重的几个公社普遍减产30~50%，年年赔偿农业损失，工农矛盾尖锐。

以上所谈大气污染危害情况，虽是较严重的典型事例，但确实说明我国有些大中城市和工矿区的空气污染已达到了相当严重的程度。一般大中城市和工矿区的空气污染虽不是这样严重，但都程度不同的受到了污染。

§ 1—3 空气污染控制概况

一、控制空气污染的综合措施

多年来，特别是七十年代以来，各发达的工业国家在环境污染控制技术方面，其中包括空气污染控制技术，取得了一定经验，达到了较高的水平。我国在环境污染治理方面，也摸索出一些经验。这里仅就控制空气污染的主要综合措施，作一简要介绍。

1. 严格的环境管理

各工业国家有一套较严格的环境管理方法和制度。首先是立法，它是控制环境质量的根据；其次是监测，它是环境管理的基础；再次是执法，它是保证环境质量的重要手段。三者构成了完整的管理体制。

七十年代以来，许多国家（瑞典、英国、美国、日本、西德等）都设立了国家一级的环境管理机构。在此前后陆续颁布了一系列环境管理法律、法令和条例。美国有关环境保护方面的法令、条例最多，现已有121种。日本仅环境厅制定的法律就有17种，各部门和各

地区还有自己的法令和规定。我国于1979年9月公布了《中华人民共和国环境保护法（试行）》，还将制定《大气保护法》、《水质保护法》、《基建、技措工程环境保护管理条例》等。

为保证环境保护法令、条例的实施，各国都先后建立了完整的环境监测系统（监测中心、监测站、监测点）。目前许多国家建立了大气自动监测系统，并开始用激光雷达、地球卫星等先进手段监测大气污染。

2. 合理布局、综合防治

大气污染控制技术是一门综合性很强的技术，影响大气环境质量的因素是多方面的，因此仅考虑各个污染源的单项治理措施是不够的，而必须考虑到区域性综合治理措施。

现在各国在新建大型工业区（工厂）时，首先要进行环境综合调查及环境影响评价。所谓建设前的环境影响评价，主要是对拟建工业区的自然环境（气象、水文、地质和环境本底值等）和社会环境作详尽调查，进行各种试验，弄清该地区对环境的要求及自然（大气和水域）本身的扩散规律、稀释能力，确定保护、协调、改善环境的各种措施，最后作出“环境影响评价报告书”，论证该地区能否建厂、行业种类、工厂规模、最佳工业区及厂区的布置和各种改善环境的措施。这样，才能报请有关政府部门，确定能否在此地区建厂或改变原有建设计划。在大气环境调查和分析方面，可采用大气扩散计算法、风洞模拟试验法及现场大气扩散试验法等，但一般是以一种方法为主其它两种方法为辅进行校核修正。日本采用风洞模拟试验法较为普遍。到1973年已建成环境风洞11座。美国的最大环境风洞试验段高5米，宽9米，长90米。我国有关单位正在筹建环境风洞。

3. 控制空气污染的技术政策

（1）改革工艺，优先采用无污染或少污染工艺是防止环境污染的根本途径。例如硫酸厂采用两段转化、两段吸收代替一段转化一段吸收的工艺流程，可使二氧化硫的转化率从96~98%提高到99.7%，尾气中二氧化硫浓度从0.1~0.2%下降到100~400ppm。炼焦生产过程中产生的空气污染历来被认为是难以解决的，但是采用无烟装煤、煤予热工艺及干法熄焦等新工艺，将会使炼焦炉的污染大大减轻。

（2）严格工艺操作，选配合适的原料，不但能保证产品质量，而且有利于减轻污染或对污染物的处理。如转炉炼钢时要求石灰石有一定粒度（10~30毫米），才能使烟气除尘污水的PH值稳定在一定范围内，有利于水质稳定。否则，若粉料过多，不仅给烟气除尘带来困难，而且也恶化水质，不利于污水设备正常运转。

（3）改革燃料，改进燃烧，是减少空气污染和节约能源的重要途径。在解决烟尘和二氧化硫等污染时，可选用低硫少灰的燃料或原料。当有困难时，亦可采用燃料予处理的方法，如洗煤脱硫或煤的气化和液化，以及重油脱硫等。

（4）建立综合性工业基地，使各企业之间综合利用原料和废弃物，减少污染物总排放量。

4. 控制环境污染的经济政策

为控制环境污染，国外实行了一系列有利于环境污染治理的经济政策，我国也陆续制定了一些经济政策。概括起来主要有：

（1）逐年增加环境保护投资。如美国用于工业污染控制设施的投资，1974年为56亿

美元, 1975年为65亿美元, 1976年又比上年增加了12%。日本环境保护投资比重较大, 1975年环境投资为2万亿日元, 占国民生产总值的2%, 占工业总投资的7%, 比1970年约增加一倍。日本的大分钢厂环境投资为840亿日元(约6亿美元), 占该厂总投资的18%, 其中用于废气净化的投资占59%, 用于水处理的占23%, 用于控制噪音的占16%, 其它占7%。

(2) 对治理污染从经济上给以优待, 如银行可以低息长期贷款, 对综合利用产品实行免税或减税政策。

(3) 对排放污染物实行收税, 且逐年提高。

5. 高烟囱扩散

采用高烟囱扩散的办法, 可以使大气污染物有组织地排向高空, 向更广的范围扩散稀释, 以减轻局部地区大气污染。具体做法是兴建超高烟囱或加大烟气排放速度。烟囱高度按气象和地形条件不同, 以穿透经常出现的逆温层为依据。目前各国防止二氧化硫污染主要采用高烟囱的办法。加拿大国际制镍公司的379.68米高的超高烟囱(底部直径34.5米, 顶部直径15.82米), 是目前世界上最高的烟囱, 一般高烟囱都在200米左右。这种高烟囱扩散方法, 虽能减轻局部地区大气污染, 但因排放的污染物的绝对量并没有减少, 而且不能解决复杂污染源的集中排放问题, 以及烟囱越高, 造价越大(烟囱造价约与高度的平方成正比), 所以它只不过是一种代价高昂的治标办法而已, 而且往往是以邻为壑, 嫁祸于人。

6. 绿化造林

绿化造林, 不仅能美化城市, 调节空气温、湿度, 调节城市小气候, 而且在保护环境和净化大气方面起到显著作用。绿化造林的好处很多:

(1) 树木能吸收二氧化碳, 排出氧气。每公顷的杨、柳、槐树等树林每天约能吸收1吨二氧化碳, 放出730千克氧气。

(2) 树叶表面能吸附和阻挡空气中的飘尘, 再经雨水洗涤而降落到地面。据统计, 1公顷树林的叶面积约为75公顷, 每年能过滤30~60千克粉尘。据调查, 绿化地区比不绿化地区空气含尘量要少15倍。

(3) 可吸收二氧化硫、氯、光化学烟雾等有害气体。据统计, 每公顷柳树每年可吸收20千克二氧化硫。橡树、槐树等能吸收氯气、光化学烟雾等。

(4) 不同的植物对不同的有害气体都有不同的敏感性反应, 因此可以利用植物来监测有害气体, 起到报警的作用。

此外, 树木等还能起到杀菌、减少噪音、调节气候、加快污染物扩散、防风砂等多种功能。

国外一般对城市和工厂绿化都很重视。据报导, 莫斯科现在绿地面积比15年前增加了50%, 平均每人约20米²(巴黎5.6米², 维也纳12.5米²)。近年来, 不少国家提出工厂园林化的要求, 尽管日本国土狭小, 仍提出工厂绿化地面积要占20%的规定。

7. 安装废气净化装置

在充分考虑到合理布局, 综合防治, 改革工艺、燃料和原料, 大气和绿化地的自净稀释能力的情况下, 若废气排放浓度或环境中污染物浓度仍达不到国家标准时, 则需安装废气净化装置。各种净化装置的结构原理、净化流程特点等是本教材的中心内容, 将在后面各章中详述, 这里仅就几种常见的空气污染物的控制概况作一扼要介绍。