

高等学校教材

主 编 王丽萍
副主编 李多松



大气污染控制工程

煤炭工业出版社

X5/0.6-43
w34

高等学校教材

大气污染控制工程

主 编 王丽萍
副主编 李多松
编写人员 聂丽君 彭 林 郑继东
主 审 马广大

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书共分十三章，主要内容包括大气、大气污染和大气污染物的生成控制，各种除尘技术和除尘设备（包括机械式除尘器、电除尘器、袋式除尘器、湿式除尘器等），气态污染物的吸收法、吸附法、催化转化法以及其他净化方法、净化设备，净化系统的设计及应用，大气扩散的基本理论及工程应用。全书结构清晰，循序渐进地阐述了大气污染控制技术的原理、净化设备的构造、性能及设计计算，突出了工程应用的特点，并介绍了当代大气污染控制技术的新发展。

本书可作为高等学校本科环境工程类及工科相关专业教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

大气污染控制工程/王丽萍主编. -北京:煤炭工业出版社, 2002

高等学校教材

ISBN 7-5020-2169-8

I. 大… II. 王… III. 空气污染-环境控制-高等学校-教材 IV. X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 030661 号

高等学校教材 大气污染控制工程

主编 王丽萍 副主编 李多松
责任编辑: 李小波 李 星

*

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
北京市房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787 × 1092mm¹/₁₆ 印张 19
字数 446 千字 印数 1 - 3,000
2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷
社内编号 4940 定价 27.60 元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，本社负责调换

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 大气与大气污染.....	1
第二节 大气污染的综合防治.....	7
第三节 大气环境标准	10
第二章 大气污染物的生成控制	15
第一节 燃烧过程的污染物生成机制与控制	15
第二节 机动车污染控制	28
第三节 洁净煤技术	33
第三章 粉尘的性质与除尘器性能	42
第一节 粉尘的粒径及粒径分布	42
第二节 粉尘的物理性质	49
第三节 粉尘颗粒的捕集	53
第四节 除尘装置及其性能	56
第四章 机械式除尘器	62
第一节 重力沉降室和惯性除尘器	62
第二节 旋风除尘器	65
第五章 电除尘器	75
第一节 电除尘器的工作原理	75
第二节 影响电除尘器除尘效率的因素	83
第三节 电除尘器的结构形式与供电	87
第四节 电除尘器的设计计算与应用	90
第六章 袋式除尘器	94
第一节 袋式除尘器的工作原理	94
第二节 袋式除尘器的性能分析	96
第三节 袋式除尘器的结构形式	99
第四节 袋式除尘器的应用.....	107

第七章 湿式除尘器	110
第一节 湿式除尘器的除尘机理.....	110
第二节 重力喷雾除尘器与旋风水膜除尘器.....	113
第三节 自激式洗涤器.....	117
第四节 文氏管除尘器.....	119
第八章 吸收法净化气态污染物	125
第一节 吸收过程中的气液平衡.....	125
第二节 伴有化学反应的吸收动力学.....	129
第三节 吸收传质计算.....	137
第四节 吸收设备的设计计算.....	141
第五节 吸收法净化气态污染物的应用.....	147
第九章 吸附法净化气态污染物	156
第一节 吸附原理.....	156
第二节 吸附剂与吸附设备.....	162
第三节 固定床吸附装置设计.....	165
第四节 吸附法净化气态污染物的应用.....	171
第十章 催化转化法净化气态污染物	177
第一节 概 述.....	177
第二节 催化转化基本理论.....	178
第三节 催化剂和固定床催化反应器.....	183
第四节 催化转化法净化气态污染物的应用.....	195
第十一章 气态污染物的其他净化方法	201
第一节 燃烧净化.....	201
第二节 冷凝净化.....	204
第三节 生物净化.....	206
第四节 膜分离法.....	209
第五节 电子束照射法.....	213
第十二章 集气罩及管道设计	216
第一节 净化系统的组成与设计内容.....	216
第二节 集气罩的捕集机理.....	217
第三节 集气罩的结构形式及主要性能.....	222
第四节 集气罩的设计.....	228
第五节 管道系统的设计计算.....	236

第十三章 大气扩散	248
第一节 影响大气污染物散布的主要因子	248
第二节 大气扩散的基本理论简介	255
第三节 点源扩散的高斯模式	256
第四节 烟流抬升高度	260
第五节 扩散参数 σ_y 和 σ_z 的选择确定	263
第六节 特殊情况下的扩散模式	270
第七节 烟囱高度的设计	274
第八节 厂址选择	278
主要参考文献	284
附录 1 空气污染物三级标准浓度限值 (摘自 GB3095—1996 修订)	286
附录 2 居住区大气中有害物质最高容许浓度	287
附录 3 车间空气中有害物质最高容许浓度值 (摘自 TJ36—79)	288
附录 4 锅炉大气污染物排放标准 (GB13271—91 摘要)	290
附录 5 炼焦炉大气污染物排放标准 (GB16171—1996 摘要)	292
附录 6 镀槽表面控制风速	293

第一章 绪 论

第一节 大气与大气污染

大气是人类和一切生物生存必不可少的环境要素之一，其重要性仅次于或近似于等同阳光对于生命的意义。空气的质量直接影响我们接受到的阳光的量和类型，从而直接或间接地影响人类生活。

一、大 气

大气层的范围是有限的，但其最外层边界很难确定。一般认为，从地球表面到高空1000~1400km，可看作是大气层的厚度，超过1400km就是宇宙空间了。

(一) 大气层的结构

大气的结构是指大气层的气象要素的垂直分布情况。观测证明，大气在垂直方向上的温度、组成与物理性质有显著的差异。根据大气温度随高度垂直变化的特征，可将大气分为对流层、平流层、中间层、电离层和散逸层。

1. 对流层

对流层是大气层的最低的一层，也是大气中最活跃的一层，存在着强烈的垂直对流作用，同时也存在着较大的水平运动，平均厚度约为12km。对流层里水汽、尘埃较多，雨、雪、云、雾、雹、霜、雷、电等主要的天气现象与过程都发生在这一层，尤其是在靠地面1~2km的范围内，受到地形、生物等影响，局部空气更是复杂多变。对流层对人类的影响最大，通常所指的大气污染就是对此层而言。

由于对流层不能直接从太阳光得到热能，而只能从地面反射得到热能，因而该层大气温度随高度升高而降低，平均每升高100m温度降低0.65℃。

对流层顶的实际高度随纬度位置和季节而变化。平均而言，对流层的高度从赤道向两极减小，在低纬度地区对流层高约16~17km，中纬度地区约10~12km，两极附近只有8~9km。对流层相对于整个大气圈的总厚度来说是相当薄的，但它的质量却占整个大气总质量的3/4以上。

2. 平流层

对流层之上是平流层。这一层空气比较干燥，几乎没有水汽和尘埃，性质非常稳定，不存在雨、雪等大气现象。平流层高度约至50~55km处止，厚度约为38km。平流层的温度先是随高度增加变化很小，到30~35km处温度约为-55℃左右，再向上温度则随高度的上升而增加，到平流层顶升至-3℃以上。引起这一层空气温度随高度升高而上升的主要原因，是该层中的臭氧(O₃)能够强烈吸收来自太阳的紫外线，并分解成分子氧和原子氧，这些分子氧和原子氧又能很快地重新化合生成臭氧，释放出大量的热能。

3. 中间层

由平流层顶至85km高处范围内的大气称为中间层，其厚度约35km。由于该层中没有

可直接吸收太阳辐射能量的组分,因此其温度垂直分布的特点是气温随高度的增加而迅速降低,中间层顶温度可降到-83℃左右,而中间层底部由于接受了平流层传递的热量,因而温度最高。这种温度分布上低下高的特点,使得中间层空气再次出现较强的垂直对流运动。

4. 电离层

电离层的高度在85~800km之间。这一层空气密度很小,气体在宇宙射线的作用下处于电离状态,故此层称为电离层。由于电离后的原子氧能强烈地吸收太阳的短波辐射,使空气迅速升温,因此这一层中的气温分布是随着高度增加而增加。电离层能反射无线电波,对远距离通讯极为重要。

5. 散逸层

电离层以上的大气统称为散逸层,也称为外层大气。该层大气极为稀薄,气温高,分子运动速度快,有的高速运动的粒子能克服地球引力的作用而逃逸到太空中去,所以称其为散逸层。

(二) 大气的组成

大气是由多种气体混合组成的,按其成分可以概括为干燥清洁的空气、水汽和悬浮微粒三部分。干洁空气的组成如表1-1所示。干洁空气的组成比例在0~90km范围内基本保持不变,大气中的水汽含量变化较大,其变化范围可达0.02%,许多天气现象与水汽含量有关。

大气中的悬浮微粒主要是大气尘埃和悬浮杂质。人类的活动或自然的作用,会使某些物质进入大气,这些物质以微粒或有害气体的形式存在,是大气污染的物质基础。

表1-1 干洁空气的组成

成分	分子量	体积比/%	成分	分子量	体积比/10 ⁻⁶
氮(N ₂)	28.01	78.09	氖(Ne)	20.18	18
氧(O ₂)	32.00	20.95	氦(He)	4.003	5.3
氩(Ar)	39.94	0.93	氪(Kr)	83.80	1
二氧化碳(CO ₂)	44.01	0.03	氢(H ₂)	2.016	0.5
			氙(Xe)	131.30	0.08
			臭氧(O ₃)	48.00	0.01~0.04
			甲烷(CH ₄)	16.04	1.5

二、大气污染与大气污染物

大气污染通常系指由人类活动和自然过程引起某些物质进入大气后,达到足够的浓度,存在足够的时间,并因此对人体的舒适、健康和福利或环境造成危害。所谓对人体的舒适、健康的危害,包括对人体正常的生活环境和生理机能的影响,引起急性病、慢性病以至死亡等;而所谓福利,则包括与人类协调并共存的生物、自然资源以及财产、器物等。

人类活动包括生活活动和生产活动,但造成大气污染的主要因素是工业生产活动,交通和取暖等生活活动对大气污染也起着重要的作用。所谓自然过程,是指火山活动、山林

火灾、海啸、土壤和岩石风化及大气圈的空气运动等。但是，一般说来，由于自然环境所具有的物理、化学和生物机能，即自然环境的自净作用，会使自然过程造成的大气污染，经过一段时间后自动消除，从而使生态平衡自动恢复。所以可以说，大气污染主要是人类活动造成的。

清洁空气和被污染空气中的污染物含量如表 1-2 所示。

表 1-2 清洁空气与被污染空气中污染物的含量

污 染 物	清洁空气中的含量/ 10^{-6}	污染空气中的含量/ 10^{-6}
二氧化硫	0.001 ~ 0.01	0.02 ~ 2
氮氧化物	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.5
碳氢化物	1	1 ~ 20
一氧化碳	< 1	5 ~ 200
二氧化碳	310 ~ 330	350 ~ 370
颗粒物	10 ~ 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70 ~ 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

按大气污染的范围来说，大致可分为四类：①局限性和局部地区大气污染，如受某个工厂烟囱排气的直接影响；②涉及一个地区的区域性大气污染，如工矿区域及其附近地区或整个城市大气受到污染；③涉及更广域的大气污染，如在大城市、大工业地带可以看到的广域污染；④从全球范围考虑的全球性大气污染，如大气中硫氧化物、氮氧化物、二氧化碳和飘尘的不断增长，造成跨国界的酸性降雨和温室气体效应。全球性大气污染受到世界各国的关注，需要国际间的合作加以解决。

大气污染物是指由于人类活动或自然过程排放到大气中，并对人或环境产生有害影响的物质。

(一) 污染物的种类

大气污染物的种类很多，按其存在状态可概括为两大类：颗粒污染物和气态污染物。

1. 颗粒污染物

颗粒污染物也称为气溶胶状态污染物，是指固体粒子、液体粒子或它们在气体介质中的悬浮体。根据气溶胶的来源和物理性质，可将其分为如下几种：

(1) 粉尘 (dust) 系指悬浮于气体介质中的细小固体粒子。通常是由固体物质的破碎、分级、研磨等机械过程或土壤、岩石风化等自然过程形成。粉尘粒径一般在 1 ~ 200 μm 。

(2) 烟 (fume) 通常系指由冶金过程形成的固体粒子的气溶胶。它是由熔融物质挥发后生成的气态物质的冷凝物，在产生过程中总是伴有诸如氧化之类的化学反应。烟是很细的微粒，粒径范围一般为 0.01 ~ 1 μm 。

(3) 飞灰 (flyash) 系指由燃料燃烧产生的烟气带走的灰分中分散得较细的粒子。灰分 (ash) 系含碳物质燃烧后残留的固体渣，尽管其中可能含有未完全燃尽的燃料，作为分析目的总是假定它是完全燃烧的。

(4) 黑烟 (smoke) 通常系指由燃料燃烧产生的能见气溶胶。黑烟的粒度范围为 0.05 ~ 1 μm 。

(5) 液滴 (droplet) 系指在静止条件下能沉降、在紊流条件下能保持悬浮这样一种尺寸和密度的小液体粒子，主要粒径范围在 200 μm 以下。

此外，在大气污染控制中，还根据大气中尘颗粒的大小进行分类，可分为总悬浮颗粒物和可吸入颗粒物：

总悬浮颗粒物（TSP）：指能悬浮在空气中，空气动力学当量直径小于或等于 $100\mu\text{m}$ 的颗粒物；

可吸入颗粒物（ PM_{10} ）：指悬浮在空气中，空气动力学当量直径小于或等于 $10\mu\text{m}$ 的颗粒物。

2. 气态污染物

气体状态污染物种类极多，常见的有 5 大类：以二氧化硫为主的含硫化合物、以一氧化氮和二氧化氮为主的含氮化合物、碳的氧化物、碳氢化合物及卤素化合物等，如表 1-3 所示。

表 1-3 气体状态大气污染物的种类

污 染 物	一 次 污 染 物	二 次 污 染 物
含硫化合物	SO_2 、 H_2S	SO_2 、 H_2SO_4 、 MSO_4
碳的氧化物	CO 、 CO_2	无
含氮化合物	NO 、 NH_3	NO_2 、 HNO_3 、 MNO_3
碳氢化合物	C_mH_n	醛、酮、过氧乙酰硝酸酯、 O_3
卤素化合物	HF 、 HCl	无

注：M 代表金属离子。

气态污染物根据其产生方式还可分为一次污染物和二次污染物。若大气污染物是从污染源直接排出的原始物质，称为一次污染物。若是由一次污染物与大气中原有成分或几种一次污染物之间经过一系列化学或光化学反应而生成的与一次污染物性质不同的新污染物，则称为二次污染物。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）。硫酸烟雾是由大气中的二氧化硫等硫化物，在有水雾、含有重金属的飘尘或氮氧化物存在时，发生一系列化学或光化学反应而生成的硫酸雾或硫酸盐气溶胶。光化学烟雾是由大气中的氮氧化物、碳氢化合物与氧化剂之间在阳光照射下发生一系列光化学反应所生成的淡蓝色烟雾（有时带紫色或黄褐色），其主要成分有臭氧（ O_3 ）、过氧乙酰基硝酸酯（PAN）、酮类及醛类等。

受到世界各国普遍关注的传统大气污染物有：二氧化硫（ SO_2 ）、总悬浮微粒（TSP）、氮氧化物（ NO_x ）、一氧化碳（CO）以及光化学氧化剂。据测算，前三种污染物（ SO_2 、TSP、 NO_x ）中只有 TSP 排放量目前全球有所降低，其余均将增加。目前我们关心的大气污染物名单加入了许多新化学物质，包括铅、石棉、汞、砷、酸类（ H_2SO_4 、 HCl 、 HF ）卤素类、呋喃、聚氯联苯（ PCB_s ）等。

（二）大气污染物的来源和发生量

根据对主要大气污染物的分类统计表明，其主要来源有 3 大方面：①燃料燃烧；②工业生产过程；③交通运输。前两类污染源通称为固定源，交通运输工具（机动车、火车、飞机等）则称为流动源。

自 20 世纪 70 年代的能源危机以来，为了节约能源，多国普遍开始建造密闭型房屋，

以增加保暖效果。室内空调的普遍采用和室内装潢的流行，都影响着室内空气质量 (IAQ, Indoor Air Quality)，使室内空气质量问题日趋严重。国外学者调查表明室内空气污染物种类已高达 900 多种，主要包括甲醛等挥发性有机物、O₃、CO、CO₂、氡及其子体等等。现将室内空气主要污染物及其来源综合列在表 1-4 中。

表 1-4 室内空气主要污染物及其来源

污染物	污 染 源
甲 醛	建筑材料：各种含脲醛树脂的建筑材料、绝缘材料等 装饰材料：木制家具、墙壁涂料、油漆、粘合剂、化纤地毯等 生活用品：液化石油气的燃烧、化妆品、清洗剂、消毒剂、香烟烟雾、书刊（油墨印刷）等
氡及其子体	建材（水泥、砖、地板等）、地壳本体、地下坑道中的冷气
挥发性有机物	涂料、化妆品、油漆、清洁剂、杀虫剂、鞋油、指甲油、摩丝等
O ₃	室外光化反应进入、复印机高压产生
CO	燃料燃烧、吸烟、燃气热水器使用不当
CO ₂	燃料燃烧、吸烟、人类呼吸代谢、植物呼吸作用
NO _x	燃料燃烧、吸烟、使用电炉
过敏反应物	植物花粉、孢子、动物皮毛、家畜（猫、狗等），螨类
菌类微生物	人体、空调器、湿度器、家畜、不清洁的毛毯
有机氯化物	纺织物、杀虫剂、集成电路半导体元件使用的有机氯清洗剂
颗粒物	室外、石棉、燃料燃烧、吸烟、发烟蚊香、室内清扫、日化用品（如空气清新剂、臭氧剂、化妆品）等

三、我国大气污染的现状和特点

(一) 大气污染水平

我国目前大气污染形势仍然严峻，城市大气污染更加突出，主要污染物排放量相当大。2000 年全国 SO₂ 排放总量为 1995 万 t，其中工业来源的排放量 1612 万 t，生活来源的排放量 383 万 t；烟尘排放总量 1165 万 t，其中工业烟尘排放量 953 万 t，生活烟尘排放量 212 万 t；工业粉尘排放量 1092 万 t。我国已成为世界上大气污染物排放总量最大的国家之一。

城市空气质量总体上比 1999 年度好转，但整体污染水平仍较严重。据

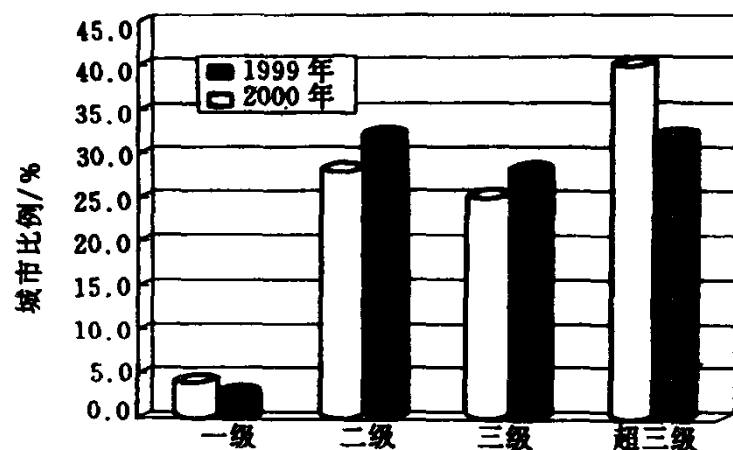


图 1-1 城市空气质量级别年度对比

2000年中国环境状况公报，在实行环境统计的338个城市中，63.5%的城市超过国家空气质量二级标准，其中112个城市超过三级标准（见图1-1）。总悬浮颗粒物中可吸入颗粒物是影响城市空气质量的主要污染物，部分地区SO₂污染较重，少数大城市如北京、上海、广州等空气中的首要污染物为氮氧化物（NO_x）。酸雨区面积约占国土面积的30%，酸雨区区域主要集中在华中、华南、西南及华东地区。

(二) 当前大气污染的特点

1. 大气污染防治取得一定成绩，城市空气质量恶化的趋势有所减缓，但整体污染水平仍较严重

我国大气污染无论是控制排放总量还是改善城市空气质量总体上均有进步，从图1-1和表1-5中可以得到反映。

表1-5 1995~2000年废气中主要污染物排放量及对比

年 度	SO ₂ /10 ⁴ t	烟尘/10 ⁴ t	工业粉尘/10 ⁴ t
1995	2369.6	1743.6	1731.2
1996			
1997	2346	1873	
1998	2091	1455	
1999	1857.5	1159	
2000	1995.1	1165.4	1092.0
2000年 1995年 增减/%	-15.8	-32.2	-36.9

2. 大气污染总体类型为煤烟型污染，大城市机动车尾气污染加剧，呈现汽车型污染特征

大气污染的类型主要是由能源结构决定。我国现阶段以及今后相当长时期内，一次能源以煤为主，并且我国能源用煤的80%以上是直接燃烧，且燃烧方式落后，热效率低，造成单位产品能耗大，排污大，加之烟气净化水平不高，是造成我国大气污染严重的症结所在。因此，总体上我国大气污染呈现以烟尘和SO₂为特征污染物的煤烟型污染。

随着经济的发展我国城市机动车数量大幅度增长，但由于我国机动车污染控制水平低，只相当于国外70年代中期水平，单车污染排放水平是日本的10~20倍，美国的1~8倍，机动车尾气已成为大气污染的重要来源，特别是北京、广州等大城市，氮氧化物已成为大气环境中的首要污染物。有关研究结果表明，北京、上海等大城市机动车排放的污染已占空气污染负荷的60%以上，北京市大气中74%的碳氢化合物、63%的NO、50%的NO_x来自机动车的排放。这表明我国特大城市的空气污染正由第一代煤烟型污染向第二代汽车型污染转变。

3. 大气污染范围和类型有扩大趋势

城市和工矿区的扩展和乡镇企业的迅速发展，使大气污染范围逐渐扩大。一般来说，乡镇企业的生产和污染治理水平相对较低，加上城市产业结构调整以及为减缓城区的环境压力，将一些污染较重的生产企业向郊区或农村转移，使某些地区乡镇的环境恶化加剧。

此外，我国大气污染的致因除了工业生产、交通运输和能源燃烧之外，目前不少北方

城市大气 TSP 的一半来自扬尘。

综上所述，我国大气污染的防治范围主要是重点城市的污染防治、燃煤的污染防治及其他领域的污染防治（包括机动车尾气及扬尘污染等的控制）。

4. 大气污染造成的危害不容忽视

严重的大气污染，直接影响人体的身体健康和生态环境，影响我国经济的可持续发展。据中国社会科学院的一项研究报告，1995 年我国环境污染造成的经济损失达到 1875 亿元，占当年 GDP 的 3.27%。其中因大气污染造成的经济损失占总损失的 16.1%，因总悬浮颗粒物影响导致的人体健康损失估算为 171 亿元，因酸雨造成的损失为 130 亿元。世界银行的一份报告测算，1995 年我国仅大气和水污染造成的损失约 540 亿美元，占当年 GDP 的 8%。

第二节 大气污染的综合防治

一、大气污染综合防治的基本思想

大气污染控制需要采取综合措施，需要从立法管理、环境规划和污染控制技术几个方面进行。

所谓立法管理，就是通过制订技术经济政策和法规来限制或禁止污染物的排放与扩散。这就需要明确哪些物质应受限制，控制到什么程度；研究有害物质对人体健康的影响，对财产的损失，及在美学上造成的不良影响。研究不同污染物质在大气中的相互作用，污染物在大气中的迁移、变化规律等等。近几年来，这种污染控制的研究范围还在扩大。

环境规划是体现环境污染以预防为主综合防治的最重要和最高层次的手段。环境规划是经济可持续发展规划的重要组成部分。做好城市和工业区的环境规划设计工作，正确选择厂址考虑区域综合性治理措施，是控制污染的一个重要途径。

从各国大气污染控制的实践来看，国家及地方的立法管理对大气环境的改善起着至关重要的作用。各发达国家都有一套严格的环境管理方法和制度。这套体制是由环境立法、环境监测机构、环境法的执行机构构成的，三者构成完整的环境管理体制。

2000 年 4 月 29 日，九届全国人大常委会表决通过了新修订的《大气污染防治法》，表明我国大气污染控制从浓度控制向总量控制转变，并明确了总量控制制度、排污许可证制度、按排污总量收费的制度三项制度。

二、大气污染的综合防治措施

（一）燃煤的污染防治

1. 改善能源结构、合理利用能源

新修订的《大气污染防治法》规定：

（1）要求在不能采用清洁能源而必须使用煤炭供热的地区发展集中供热，并且在集中供热管网覆盖的地区，不得新建燃煤供热锅炉，以防止小锅炉浪费能源，污染环境。

（2）要求在城市推行“禁煤区”，即在大中城市的某些区域禁止燃用煤炭，实行以气

代煤或者以电代煤，推广使用清洁能源。

(3) 要求对未划定为禁止使用高污染燃料区域的大中城市市区内的其他民用炉灶，限期改用固硫型煤或者使用其他清洁能源，禁止燃用原煤。

除了改善能源结构外，改进燃烧设备和燃烧条件，发展洁净煤技术，提高设备热效率也是降低污染物排放的有效手段（见第二章）。

2. 改进生产工艺

污染是生产工艺不能充分利用资源引起的，空气污染物可以被认为是未被利用的原材料或产品。

改进生产工艺是减少污染物产生的最经济而有效的措施。生产中要尽量采用无害或少害的原材料，采用闭路循环工艺，提高原材料的利用率。容易扬尘的生产过程要尽量采用湿式作业、密闭运转。粉状物料的加工，应尽量减少震动、高差跌落和气流扰动。液体和粉状物料要采用管道输送，并防止泄漏。

此外，应当广泛开展综合利用，减少污染物的总排放量。按照工业生态系统的概念建立综合性工业基地，一个工厂产生的废气、废水、废渣成为另外一个厂家的原材料使其资源化，在共生企业层次上组织物质和能源的流动。

3. 高烟囱扩散稀释

采用高烟囱扩散稀释的方法，可以使大气污染物在更广的范围和空间内扩散，减轻局部地区污染。因为从技术和经济两方面看，完全不排放污染物很难实现，也没有必要。合理利用大气的自净能力，设计合理的烟囱高度有控制地排放污染物是一项可行的环境工程措施。

4. 加强大气环境治理

就是对产生的大气污染物用环境工程措施进行净化处理。常用的工程措施有：除尘净化工艺，吸收、吸附、催化转化法净化气态污染物工艺等。这也是本课程的重点技术内容。

(二) 汽车尾气污染的综合防治措施

1. 汽车尾气源头控制

通过强制生产厂家对汽车采用闭环电控燃油供给系统，安装三元催化转化器等匹配的排放控制装置，采用高能电子点火技术和先进的发动机管理系统，以及推广使用车载诊断系统自动监控汽车排放控制系统等多种控制技术，从源头上控制汽车尾气污染。对排放水平不能稳定达到国家排放标准的汽车产品，不许生产、销售和使用；对于尾气排放符合国家标准的新生产的汽车要建立严格的质量保证体系。

另外，大力开发使用清洁能源的新型汽车，包括地铁、各种类型的电车等。目前，各国科学家正积极研制使用石油液化气（LPG）、压缩天然气（CNG）等清洁能源的汽车，并已开始推广使用，我国部分城市已开始着手推广使用石油液化气（LPG）、压缩天然气（CNG）汽车。

2. 尾气排放控制

(1) 建立和强化检查/维护（I/M）制度和建立在用车的排放检测体系。即建立统一、规范、先进的在用车排放检查、维修体系，通过对在用车的排放进行定期检查和随机抽查促进车辆进行严格的维修与保养，使车辆不仅达标排放，而且整车技术状况得到改善，在

使用周期内始终保持良好的技术状态。实施在用车的检查/维护制度是最经济、合理、科学、有效地控制在用车排放的措施。

在建立检查/维护制度的同时，各地市级环保部门要建立在用车的排放检测体系，以确保汽车达标排放。

(2) 加快车辆的淘汰速度。根据我国国情，通过严格的统计和技术论证，规定一个合适的汽车尾气排放上限，作为汽车排放的一个硬性指标。

根据国家 1997 年出台的汽车淘汰标准中有关污染物排放的条款规定，对经修理和调整或采用排气污染控制技术后，排放污染仍然超过国家规定的排放标准的在用车辆予以淘汰，对于各项指标尚能达到国家标准要求的老旧在用车辆，非强制性地鼓励用户进行更新，或通过税费调节机制，加速旧机动车淘汰。

(3) 提高车用燃料质量。禁止使用含铅汽油，淘汰 90 号以下低标号汽油，以加快推广无铅汽油使用的进程。

另外，运用燃油清洁添加剂技术，使燃油成为在发动机燃油系统和燃烧系统中不产生胶质和积碳的清洁型燃油，也可以经济而有效地降低尾气排放。

3. 加强规划，宏观遏制

导致汽车尾气污染的原因是多方面的，但汽车保有量增加过快是造成我国机动车尾气污染的根本原因。需要国家采取多种措施，从宏观上遏制这种趋势。

按国家污染物排放总量控制原则，优先发展城市公共交通事业（发展城市地铁，用电车代替普通汽车等），减少车辆总数，减轻尾气污染；开征汽车排污费，使汽车的增长量与城市的交通道路发展相匹配。同时加快城市道路交通设施建设，提高交通管理水平，一方面通过加强规划，为日后的道路发展留有余地和足够的空间，另一方面通过加强微循环，尽可能地高效利用现有公路设施，确保畅通工程。

(三) 城市扬尘的污染防治

目前我国北方城市大气总悬浮微粒（TSP）大部分来自扬尘，近年来频频发生的沙尘暴使扬尘污染更加严重。

根据水平能见度的不同，沙尘天气可分为浮尘、扬沙和沙尘暴三个不同的等级。其中浮尘天气是指尘土、细沙随风漂移，均匀地浮游在空中，水平能见度大于 10km 的天气；扬沙天气是指大风将地面沙尘吹起，使空气混浊，水平能见度在 1~10km 以内的天气；沙尘暴天气是指强风把地面大量沙尘卷入空中，使空气相当混浊，水平能见度小于 1km 的一种自然灾害性天气。

沙尘暴的形成主要受气象、地理条件等自然因素影响，但乱垦滥伐、过度放牧和水资源过度开发等不合理的人类活动导致土地裸露、沙化，加剧了沙尘暴的危害。我国北方地区沙漠化土地年均扩展速度从 20 世纪 50 年代末至 70 年代中期的 1560km² 发展到 70 年代中期到 80 年代后期的 2100km²，进入 90 年代则以每年 2460km² 的速度扩展。与此同时，西北地区强沙尘暴发生频率也有所增加。

要控制城市的扬尘污染首先必须采取各种措施降低沙尘暴的产生，其次是控制城市的局地扬尘。

1. 生态保护与生态建设

加强地表植被的保护，尽快遏制土地沙漠化发展趋势，逐步消弱发生沙尘暴的“物质

基础”。生态保护重点在“防”，主要是通过经济的、社会的和法律的手段加强监管，防止毁林、垦草，节约和合理调配水资源，对良好生态系统或经过恢复重建的生态系统采取积极的保护措施。生态建设重点在“治”，主要是通过生物与工程相结合的措施，对已经破坏的生态系统进行治理，使其得以重建和恢复。

2. 因地制宜建立生态功能保护区

遵循生态规律开展生态环境保护与建设工作。沙尘暴发生区主要分布于我国西部地区，生态脆弱，自然条件复杂，年降水量不足400mm，属干旱、半干旱草原地带，这些地区原则上不宜大量植树造林；退化的林地、草地一般通过封育，3~5年即可起到防风固沙的效果。因此，西部地区生态建设必须因地制宜，遵循自然规律。主要是加大封育力度，人工恢复与自然恢复结合，宜林则林，宜灌则灌，宜草则草。同时，应切实加大防风固沙生态功能区的退耕还林还草力度，在防风固沙区抢救性地建立一批生态功能保护区。

3. 城市绿化工程

有规划地加快种植能高效吸附、吸收粉尘和有害气体的树种，增强对空气的净化功能。加强城市绿化工程，减少市区裸露地面和地面尘土，提高人均占有绿地面积，不仅可以控制大气污染，而且具有降噪、杀菌、调节城市气候的作用。

4. 建筑施工管理

建筑施工是城市扬尘的重要来源，因此在城市市区进行建筑施工或者从事其他产生扬尘污染活动的单位，必须采取防治扬尘污染措施。

除了加强施工管理外，还需采取控制渣土堆放和清洁运输等措施，以控制城市的扬尘污染。

第三节 大气环境标准

一、大气环境质量标准

大气环境质量标准是以保障人体健康和防止生态系统破坏为目标，对大气环境中多种污染物所规定的含量限度。它是进行大气质量管理和评价，制订大气污染防治规划和污染物排放标准的依据，同时也是环境管理部门的工作指南和监督依据之一。

(一) 制订大气环境质量标准的依据

目前世界上一些主要国家在判断大气环境质量时，多依照世界卫生组织（WHO）1963年提出的四级标准作为基本依据。

第一级——对人和动植物看不到有什么直接或间接影响的浓度和接触时间。

第二级——开始对人体感觉器官有刺激、对植物有害、对人的视距有影响时的浓度和接触时间。

第三级——开始对人能引起慢性疾病，使人的生理机能发生障碍或衰退而导致寿命缩短时的浓度和接触时间。

第四级——开始对污染敏感的人能起急性症状或导致死亡时的浓度和接触时间。

我国的大气质量标准在此一、二级之间。制订大气质量标准时还应考虑：①标准应低于为保障人类福利健康而制订的多种大气标准阈值；②要合理地协调与平衡实现标准所需

的代价和效益之间的关系。

我国是一个地域广大、各地经济发展不平衡的大国，除了全国统一的大气环境质量标准之外，各地在具体实施时，还制订出符合当地情况的标准或分阶段达到国家标准的实施规划。

(二) 我国的环境空气质量标准

我国 1982 年制订并于 1996 年修订的《环境空气质量标准》(GB3095—1996) 将大气环境质量分为三级。

一级标准：为保护自然生态和人群健康，在长期接触的情况下，不发生任何影响的大气质量要求。

二级标准：为保护人群健康和城市、乡村的动植物在长期和短期接触情况下，不发生伤害的大气质量要求。

三级标准：为保护人群不发生急、慢性中毒和城市一般动植物（敏感者除外）正常生长的大气质量要求。

GB3095—82 共列入总悬浮微粒 (TSP)、飘尘、二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物 (NO_x)、一氧化碳 (CO)、光化学氧化剂 (O₃) 6 种污染物。GB3095—1996 标准中又增加了二氧化氮 (NO₂)、铅 (pb)、苯并 (a) 芘 (B (a) P)、氟化物 (F) 4 项指标，并将飘尘调整为可吸入尘 PM₁₀。2001 年 1 月通过的 (GB3095—1996) 修订调整确定了 9 种污染物的浓度限值 (见附录 1)

该标准将环境空气质量功能区分为三类：一类区为自然保护区和其他需要特殊保护的地区；二类区为城镇规划中确定的居住区，商业交通居民混合区，文教区，一般工业区和农村地区；三类区为特定工业区。一、二、三类功能区分别执行 GB3095 所规定的一、二、三级大气质量标准。

(三) 工业企业设计卫生标准

由于现行制定的大气环境质量标准中所指定的污染物种类较少，在实际工作中会遇到更多的污染物。为贯彻执行“预防为主”的卫生工作方针和宪法中有关国家保护环境和自然资源、防治污染和其他公害以及改善劳动条件、加强劳动保护的规定，保障人民身体健康，促进工农业生产发展，我国 1979 年重新修订公布了《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79)，规定了“居住区大气中有害物质的最高容许浓度”和“车间空气中有害物质的最高容许浓度”标准，参见附录 2 和附录 3。

居住区大气中有害物质的最高容许浓度标准，是以居民区大气卫生学调查资料及动物实验研究资料为依据制定的。由于居民区中有老、弱、幼、病人，昼夜接触有害物质时间长等特点，所以采用了较严格的指标。该标准类似于大气环境质量标准的二级标准，在中国的大气环境质量标准制定之前，基本上起着大气环境质量标准的作用。目前，大气环境质量标准未规定的污染物，仍参考此标准执行。

“车间空气中有害物质最高容许浓度标准”是以工矿企业现场卫生学调查，工人健康状况的观察以及动物实验研究资料为主要依据制定的。最高允许浓度是指工人在该浓度下进行长期劳动，不致引起急性或慢性职业性危害的数值。鉴于在车间工作的都是健康的成年人，接触时间短等原因，污染物浓度值较居住区大气中有害物质的最高允许浓度值高得