

# 第 1 章 概 论

## 1.1 大 气 概 述

### 1.1.1 大气与空气

在日常生活中，人们通常是将“大气”和“空气”作为同义词来使用的。事实上，二者的含义还是有区别的。国际标准化组织（ISO）给大气和空气下的定义：大气是指地球环境周围所有空气的总和；环境空气是指暴露在人群、植物、动物和建筑物之外的室外空气。根据上述定义及大气污染的实际情况，1996年我国将《GB3095—82 大气环境质量标准》更名为《GB3095—1996 环境空气质量标准》，并作了修改补充。修改的目的在于强调环境空气质量标准，主要规定的是与人类活动关系最密切的近地层空气中的污染物浓度限值。

本书后面各章节中，除描述特定场所的空气时加定语修饰区别外，无论“大气”或“空气”均是指“环境空气”。

### 1.1.2 大气层结构

大气亦可称之为大气层或大气圈。大气层厚度约 10000km。大气层结构是指气象要素的垂直分布情况，如气温、气压、大气密度和大气成分的垂直分布等。这里仅对气温的垂直分布作一简要介绍。根据气温在垂直于下垫面（即地球表面）方向上的分布，一般将大气层分为五层，即对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层，见图 1-1。

#### 1.1.2.1 对流层

对流层是大气层中最低的一层。温度分布特点是下部气温高，上部气温低，大气易形成强烈的对流运动，故称为对流层。由于对流程度在热带要比寒带强烈，故自下垫面算起的对流层的厚度随纬度增加而降低：热带约 16~17km，温带约 10~12km，两极附近只有 8~9km，平均厚度为 12km 左右。对流层的主要特征是：

对流层虽然较薄，但却集中了整个大气质量的 75%和几乎全部的水汽，因此，主要的天气现象如云、雾、雷、雨、雪、霜、露等都发生在这一层中。对流层是气象变化最复杂、对人类活动影响最大的一层。

气温随高度增加而降低，每升高 100m 平均降温约 0.65℃。

空气具有强烈的对流运动，主要是由于下垫面受热不均及其本身特性不同造成的。

温度和湿度的水平分布不均匀，在热带海洋上空，空气比较温暖潮湿，而在高纬度内陆上空，空气则比较寒冷干燥，从而导致经常会发生大规模空气的水平运动。

对流层的底部，厚度约为 1~2km，此薄层空气受地面情况影响很大，称为大气边界层。在大气边界层中，由于受地面冷热的直接影响，特别是近地层（通常是指从下垫面

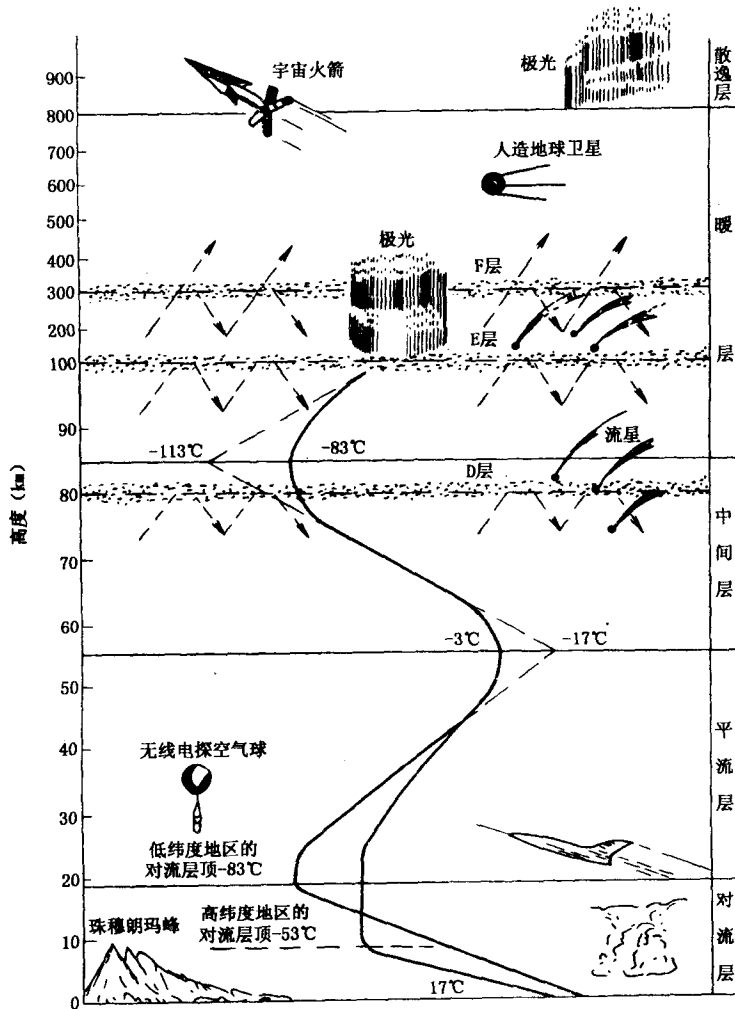


图 1-1 大气垂直方向的分层

算起向上 100m 厚度的一层空气)，昼夜可相差十几乃至几十度。由于气流运动受地面摩擦的影响，故风速随高度的增高而增大。在这一层中，大气上下有规律的对流运动和无规律的湍流运动都比较盛行，加上水汽充足，直接影响着污染物的传输、扩散和转化。

在大气边界层以上的空气，几乎不受地面摩擦的影响，所以称之为自由大气。

需要指出的是，人类活动排放的污染物绝大多数聚集于对流层，大气污染也主要发生在这一层，特别是靠近地面的近地层，所以说对流层与人类的关系最为密切。

#### 1.1.2.2 平流层

从对流层顶到 50~60km 高度的一层称为平流层。该层主要特点是：

平流层下部气温几乎不随高度而变化，称为同温层；平流层上部气温随高度增高而上升，称为逆温层。

平流层几乎没有空气对流运动，空气垂直混合微弱。

平流层集中了大气中大部分臭氧，并在 20~25km 高度上达到最大值，形成臭氧层。臭氧层能够吸收大量的太阳紫外辐射，从而保护地球上的生命免受紫外线伤害。近年来，由于大气污染（进入平流层的氮氧化物、氯化氢、氟利昂有机制冷剂等能与臭氧发生光化学反应）导致臭氧层的臭氧浓度降低，并在极地已形成臭氧洞，这已对人类生态系统造成极大的威胁，如将会导致地球上更多的人患皮肤癌。

### 1.1.2.3 中间层

中间层位于平流层顶之上，层顶高度大约为 80~85km。这一层的特点是气温随高度增高而降低，空气具有强烈的对流运动，垂直混合明显。顶部温度可降至 -83℃ 以下。

### 1.1.2.4 暖层

暖层位于中间层顶之上，暖层的上界距地球表面约有 800km。在强烈的太阳紫外线和宇宙射线作用下，气温随高度升高而增高，其顶部温度可达 1700℃ 以上。暖层空气处于高度的电离状态，因而存在着大量的离子和电子，故又称之为电离层。

### 1.1.2.5 散逸层

暖层以上的大气层统称为散逸层。它是大气的最外层，气温很高，空气极为稀薄，气体粒子的运动速度很高，可以摆脱地球引力而散逸到太空中，它是大气层和星际空间的过渡地带。

## 1.1.3 大气的组成

大气是由干燥清洁的混合气体、水蒸气和悬浮颗粒物组成，除去水蒸气和悬浮颗粒物的大气称为干洁空气。地球大气总质量的 98.2% 集中在 30km 以下的大气层中，约有 50% 集中在 5~6km 以下的对流层中。

### 1.1.3.1 干洁空气的组成

干洁空气的主要成分是氮 (N<sub>2</sub>)、氧 (O<sub>2</sub>) 和氩 (Ar)，它们共占干洁空气总体积的 99.96%，而其他气体所占体积不到 0.04%，详细情况见表 1-1。

表 1-1 干洁空气的组成

成 分	相对分子质量	体积分数/%	成 分	相对分子质量	体积比 (cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
氮 (N <sub>2</sub> )	28.01	78.09	氖 (Ne)	20.180	18.00
氧 (O <sub>2</sub> )	32.00	20.95	氦 (He)	4.003	5.30
氩 (Ar)	39.94	0.93	甲烷 (CH <sub>4</sub> )	16.040	1.50
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	44.01	0.03	氪 (Kr)	83.800	1.00
			一氧化二氮 (N <sub>2</sub> O)	44.010	0.50
			氢 (H <sub>2</sub> )	2.016	0.50
			氙 (Xe)	131.300	0.08
			臭氧 (O <sub>3</sub> )	48.000	0.01~0.04

由于大气的垂直运动、水平运动以及分子扩散，使得干洁空气的组成比例直到 90~100km 的高度还基本保持不变。也就是说，在人类经常活动的范围内、任何地方干洁空

气的物理性质是基本相同的。例如，干洁空气的平均相对分子质量为 28.966 在标准状态下（273K，101325Pa 密度为 1.293kg/m<sup>3</sup>。在自然界大气的温度和压力条件下，干洁空气的所有成分都处于气态，不易液化，因此可以看成是理想气体。

干洁大气中，对人类活动影响最大的是氮、氧、二氧化碳和臭氧。氧和氮是大气中的恒定气体成分。其中氧是人类和动植物维持生命极为重要的气体，在大气中发生化学反应时，氧起着极其重要的作用。二氧化碳和臭氧是干洁空气中的可变气体成分，对大气的温度分布影响较大。大气中的二氧化碳能吸收地表和低层大气的热辐射，所以，二氧化碳的存在，可以使地面保持较高的温度。大气中二氧化碳含量增加，地表和低层大气的温度就会升高，可形成明显的温室效应。事实上，国内外的观测均表明，大气中的二氧化碳含量在逐渐增加，此种情况如不能得到控制，则将来就会对全球气候产生明显影响。臭氧的危害前文已涉及，此处不再赘述。

### 1.1.3.2 水蒸气

水蒸气在大气中的平均含量不到 0.5%，而且随时间、地点、气象条件不同有较大变化，在热带雨林地区，其体积分数可达 4%，甚至更高；而在沙漠干燥地区却小于 0.02%。在垂直下垫面方向上，高度越大，则水蒸气含量越少，如在 5km 的高度上，水蒸气含量仅为地面的 1/10。

### 1.1.3.3 悬浮颗粒物

悬浮颗粒物是低层大气的重要组成部分。大气中悬浮微粒粒径一般在 10<sup>-4</sup>μm 到几十微米之间。悬浮微粒包括固体微粒和水蒸气凝结成的水滴和冰晶。固体微粒可分为有机物和无机物两类，有机物主要有植物花粉、微生物和细菌等，无机物主要有岩石或土壤风化后的尘粒，燃烧后的灰尘等。悬浮颗粒物的存在可造成各种影响，如可削弱太阳辐射，降低大气能见度，对云、雾、降水的形成具有重要作用。

## 1.2 大气污染和大气污染物

### 1.2.1 大气污染的定义

地球上所有生物的新陈代谢活动都离不开大气，大气也是人类赖以生存的氧的唯一来源。然而，大气又是人类活动所排放出的各种污染物的稀释场所，由于大气的稀释作用，使得大气中污染物的浓度较低。但是大气的稀释作用并不是无限的，污染物在大气中的扩散也并不是均匀的，因而可能在局部区域甚至在较大范围内形成污染物浓度较高的现象，在持续时间内对各种生物和非生物产生有害的影响，这时便产生了大气污染。因此我们可以对大气污染作如下定义：

所谓大气污染系指由于人类活动或自然过程导致某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度，涉及一定的区域且存在了足够的时间，并因此而危害了人们的舒适、健康和福利或危害了环境。

所谓人类活动不仅包括各种生产活动，而且也包括各种生活活动，如做饭、取暖、交通等。自然过程，包括火山活动、山林火灾、土壤及岩石风化及空气运动等。一般而言，

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，经过一定时间后自动消除（即生态平衡自动恢复）。所以可以说，大气污染主要是人类活动造成的。

大气污染对人的舒适、健康的危害，包括对人的生理机能及人所处的正常生活环境的影响，引起急性病、慢性病以至死亡等。

大气污染按范围大小可分为四类：

一是局部区域大气污染，如某个企业烟囱排放烟尘所造成的污染；二是区域性大气污染，如工矿企业区附近或整个城市的大气污染；三是广域性大气污染，如大工业地带或城市群的污染；四是全球性大气污染，如温室效应、酸雨及臭氧洞等。

## 1.2.2 大气污染物

大气污染物系指由于人类活动或自然过程排入大气的并对人或环境产生有害影响的那些物质。大气污染物的种类很多，按其存在状态可分为两大类，即气溶胶状态污染物和气体状态污染物。

### 1.2.2.1 气溶胶状态污染物

在大气污染中，气溶胶系指悬浮在大气中的固体粒子、液体粒子。从大气污染控制的角度，按照气溶胶的来源和物理性质，可将其分为如下几种：

#### (1) 粉尘

粉尘是指悬浮于空气中的固体颗粒，受重力作用可发生沉降，但在一定时间内能够保持悬浮状态，其粒径一般小于  $100\mu\text{m}$ （对于其中微小粉尘，如小于  $1\mu\text{m}$  的粉尘则能长期悬浮于大气之中）。粉尘通常是通过固体物质的破碎、研磨、筛分等机械过程，粉状物质的搬运、加工过程及土壤、岩石的风化过程而形成的，其形状往往是不规则的。粉尘的种类很多，如矿物粉尘、金属粉尘、有机粉尘等，常见的粉尘有道路上的粘土粉尘、教室中的粉笔粉尘、生活中的煤粉尘、水泥粉尘等。

在大气污染控制中，通常根据大气中颗粒物的大小，将其分为飘尘、降尘和总悬浮微粒。

飘尘：是指空气中粒径小于  $10\mu\text{m}$  的固体颗粒物。它能长期飘浮在空气中。

降尘：是指空气中粒径大于  $10\mu\text{m}$  的固体颗粒物，由于重力作用，在很短的时间内即可沉降到地表。

总悬浮微粒（TSP）：即总悬浮颗粒物，是指悬浮于空气中的粒径小于  $100\mu\text{m}$  的所有固体颗粒物。

#### (2) 烟尘

烟尘是指冶金过程或燃烧过程中所形成的固体微粒。其粒径多在  $1\mu\text{m}$  以下。如炼钢烟尘、燃煤烟尘等。

#### (3) 雾

空气中液体悬浮物总称为雾。气象学中特指造成能见度小于  $1\text{km}$  的小水滴悬浮体。液体蒸气的凝结过程、液体的雾化过程均可形成雾，如水雾、酸雾等。

#### (4) 化学烟雾

指某些物质经化学反应所形成的一类气溶胶。常见如：

硫酸烟雾：指空气中的二氧化硫或其他硫化物在高温气象条件下，经化学作用所产生的烟雾，又称伦敦型化学烟雾。

光化学烟雾：指空气中的氮氧化物与碳氢化合物（如汽车尾气、工业含氮氧化物和碳氢化合物的废气）经光化学作用而生成的二次污染物，又称洛杉矶型化学烟雾。

关于气溶胶颗粒的大小以及各类气溶胶的粒径范围，参见图 1-2。

### 1.2.2.2 气体状态污染物

气体状态污染物是指以分子状态存在的污染物，简称气态污染物。气态污染种类很多，主要有五大类，即含硫化合物、含氮化合物、碳氧化合物、碳氢化合物及卤素化合物等，如表 1-2 所示。

表 1-2 气体状态污染物种类

污染物	一次污染物	二次污染物
含硫化合物	SO <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> S	SO <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
含氮化合物	NO、NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> 、HNO <sub>3</sub>
碳氧化合物	CO、CO <sub>2</sub>	
碳氢化合物	CH	醛、酮、过氧乙酰硝酸酯、O <sub>3</sub>
卤素化合物	HF HCl	

气态污染物还可分为一次污染物和二次污染物。一次污染物也称原发性污染物，是指从污染源直接排入空气中的原始污染物；二次污染物也称继发性污染物，是指一次污染物进入空气后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。在大气污染控制中受到普遍重视的一次污染物主要有硫氧化物 SO<sub>2</sub>、氮氧化物 NO、碳氧化物 CO 等，二次污染物主要有 NO<sub>2</sub>、硫酸雾和光化学烟雾等。

#### (1) 硫氧化物

SO<sub>2</sub>是主要的硫氧化物，它是大气污染物中数量较大、影响范围广的一种气态污染物。大气中的 SO<sub>2</sub>来源很广，几乎所有的工业企业都可能产生，但主要来自化石燃料的燃烧过程，硫酸厂、炼油厂等化工企业生产过程。

#### (2) 氮氧化物

氮和氧的化合物形态很多，一般用氮氧化物（NO<sub>x</sub>表示。造成大气污染的主要是 NO 和 NO<sub>2</sub>，NO 进入大气后可缓慢地氧化成 NO<sub>2</sub>。大气中存在 O<sub>3</sub> 等强氧化剂，或在催化剂作用下其氧化速度加快。NO<sub>2</sub>的毒性约为 NO 的 5 倍。NO<sub>2</sub>参与光化学反应形成光化学烟雾后，其毒性更大。人类活动产生的 NO<sub>x</sub>主要来自各种炉窑和机动车船排气，其次是硝酸生产、硝化过程、炸药生产及金属表面处理等过程。其中燃料燃烧产生的氮氧化物约占 83%。

#### (3) 碳氧化物

CO 和 CO<sub>2</sub>是各种大气污染物中发生量最大的一类污染物，主要来自燃料燃烧和机



动车船排气。CO 是一种有毒气体，进入大气后，由于大气的扩散稀释和氧化作用，一般不会造成危害。但城市冬季采暖季节或交通繁忙的十字路口，在不利气象条件下，CO 浓度严重超标也是常有的。冬季居室内 CO 中毒事例屡见不鲜。

CO<sub>2</sub> 属无毒气体，但局部空气中浓度过高时，使氧气含量相对减少，也会对人产生不良影响。由于 CO<sub>2</sub> 浓度增加而产生的温室效应，已引起世界各国的密切关注。

#### (4) 碳氢化合物

碳氢化合物主要来自机动车船排气和燃料燃烧，以及炼油和有机化工企业等。除甲烷等直链碳氢化合物外，还有芳烃等复杂的有机化合物，多数有毒有害，有的甚至使人致癌、致畸，导致遗传因子变异。

#### (5) 硫酸烟雾

硫酸烟雾是大气中的 SO<sub>2</sub> 等硫氧化物在有水雾、含重金属的飘尘或氮氧化物存在时，经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。它引起的刺激作用和生理反应等危害比 SO<sub>2</sub> 大得多。

#### (6) 光化学烟雾

光化学烟雾是在阳光作用下，大气中的氮氧化物、碳氢化合物和氧化剂之间发生一系列光化学反应生成的蓝色烟雾（有的呈紫色或黄褐色）。其主要成分有臭氧、过氧乙酰硝酸酯、酮类和醛类等。光化学烟雾的刺激性和危害比一次污染物强烈得多。

### 1.2.3 大气污染物的危害

大气污染物不仅对人体健康有直接危害，而且对动植物生态系统、建筑物、器物也有很大影响。

#### 1.2.3.1 大气污染物对人体健康的影响

引起急性中毒，直至死亡。如一氧化碳中毒等。

使慢性疾病恶化。如慢性支气管炎、支气管哮喘、肺气肿、肺病、肾脏病等病人在受污染的大气环境里病情会加重。

引起身体机能障碍。如使肺气肿病人肺部气体交换量减少，产生血液循环障碍等。

引起癌症。如城市居民肺癌、肝癌等发病率高于农村，就与城市的大气污染有关。苯并(a)芘是公认的强致癌物，其他芳烃等有机化合物也有不少具有致癌或致畸作用。

⑤引起其他症状，如刺激感官，导致呼吸困难，危害心、肺、肝、肾等内脏器官。

#### 1.2.3.2 大气污染物对动植物的影响

二氧化硫、氟化物和光化学烟雾等能使植物叶子出现明显的伤害，使植物生理活动减退，生长缓慢，果实减少。城市工矿区排出的有害气体常使附近的农作物、蔬菜减产，使果树、森林、城市绿化树木受到损害。国内外有关因大气污染使农作物减产的例子并不鲜见。

对动物的影响主要是通过呼吸，引起牛羊等家畜生病；其次是饲料被污染的空气和水间接污染，从而影响到水和饲料的质量，危害家畜的正常生长。国内外大气污染事件中，猪、牛、鸡、狗生病或死亡的消息时有报道。

### 1.2.3.3 大气污染物对器物的危害

大气污染物对器物的危害有两类：一是大气污染物沾污器物表面；二是器物被沾污后，污染物与器物发生化学作用，使器物变质或腐蚀。如硫酸雾、盐酸雾、碱雾等沾污器物表面后造成严重腐蚀，光化学烟雾对橡胶制品的破坏作用等。大气污染物对金属材料 and 设备的腐蚀所造成的损失巨大。据不完全统计，纽约市一年有近  $600 \times 10^4 \text{t}$  的金属损失于大气污染，特别应该指出的是许多艺术珍品也受到了大气污染的腐蚀和破坏。

## 1.3 大气污染概况

### 1.3.1 国外大气污染概况

国外大气污染始于 18 世纪下半叶。工业革命（公元 1750—1800）使生产力得以迅速发展，化石燃料逐渐成为主要能源，燃料燃烧等造成的大气污染日趋严重。工业发达国家的大气污染是和其现代化程度同步发生和发展的，大体上经历了三个阶段：

第一阶段：18 世纪末到 20 世纪中期，大气污染状况随着社会化大工业的发展而日益严重。此阶段的大气污染主要是由燃煤引起的所谓“煤烟型”污染，主要污染物是烟尘和二氧化硫。到了这一阶段后期，人们已开始认识到烟尘的危害，并开始采取消烟除尘等技术措施。但大气污染程度有增无减。

第二阶段：主要是 20 世纪 50 年代至 60 年代。各工业发达国家迫于人们反公害斗争的压力而投入很大精力进行烟尘治理，效果显著，烟尘及二氧化硫排放量大为减少。但由于石油类燃料使用量急剧增长，汽车数量激增，所呈现出的所谓“石油型”大气污染仍在不断恶化。这一阶段的大气污染，已不再局限于城市和工矿区，而是呈现出广域污染的特点。飘尘、重金属、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、CO 和 CH 等污染物已普遍存在，大气污染的危害已不是由某一种污染物所构成，而是多种污染物共同作用的结果，即所谓“复合污染”。教训深刻的英国“伦敦烟雾”、美国的“多诺拉烟雾”及日本的“四日市气喘病”等污染事件都是大气中的  $\text{SO}_2$  与飘尘中的重金属等共同作用的结果，即所谓的硫酸烟雾污染；美国的洛杉矶烟雾，则是汽车尾气引起的光化学烟雾污染事件。硫酸烟雾和光化学烟雾均属二次污染物，其危害比一次污染物更大。

第三阶段：20 世纪 70 年代至今。环境保护意识已深入人心，环境保护与可持续发展的研讨便是证明。一些发达国家更加重视环境保护，花费了大量的人力、物力和财力，经过严格控制和综合治理，环境污染基本得到控制，环境质量有所改善。但微粒控制仍不能令人满意，同时由于汽车数量仍在大幅增加，CO、 $\text{NO}_x$ 、CH 和光化学烟雾等仍很严重，且不易解决，大气污染的范围也在不断扩大，出现了全球性的大气环境问题，如酸雨、温室效应及臭氧层破坏等。

### 1.3.2 我国的大气污染概况

我国的大气污染状况在世界上属于少数最严重的国家之一。1980 年前后曾达到相当严重的程度，部分工业城市大气中烟尘含量和某些有害气体浓度超过标准几倍，甚至几

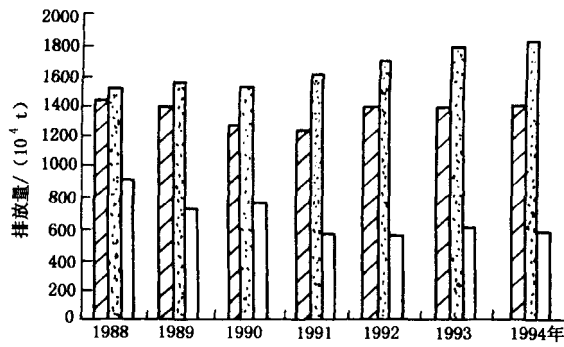


图 1-3 1988~1994年全国废气中主要污染物排放情况 (不含乡镇工业)

▨ 烟尘 ▩ SO<sub>2</sub> □ 粉尘

1994年, 全国废气排放量  $V_n$  为  $11.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$  (不含乡镇工业,下同) 废气中烟尘排放量  $1414 \times 10^4 \text{ t}$ , 二氧化硫排放量  $1825 \times 10^4 \text{ t}$ , 工业粉尘排放量  $583 \times 10^4 \text{ t}$ 。全国城市大气中总悬浮微粒年日均值范围为  $0.089 \sim 0.849 \text{ mg/m}^3$ , 其中北方城市平均  $0.407 \text{ mg/m}^3$  南方城市  $0.250 \text{ mg/m}^3$ 。表 1-5 列出了 1995 年中国部分城市大气监测结果。

百倍 (见表 1-3 和表 1-4)。20 世纪 80 年代以来随着我国环保机构的完善, 环境保护管理工作的加强, 大气污染恶化的趋势有所减缓。在 1995 年国民生产总值比 1980 年翻两番的情况下, 大气污染物并没有成倍增加, 1994 年与 1988 年相比, SO<sub>2</sub> 排放量稍有增加, 烟尘排放量基本上没有变化, 粉尘排放量则有所减少 (见图 1-3)。

表 1-3

1981 年我国部分城市大气监测结果

单位:  $\text{mg/m}^3$

污染物	地区	质量浓度范围	年日平均质量浓度	超标城市数/%	标准质量浓度
TSP	北方	0.37~2.77	0.93	100	0.30
	南方	0.16~0.85	0.41	71.4	
SO <sub>2</sub>	北方	0.02~0.38	0.12	30.0	0.15
	南方	0.02~0.45	0.11	19.2	
NO <sub>x</sub>	北方	0.02~0.09	0.06	0	0.10
	南方	0.01~0.08	0.04	0	

表 1-4

我国部分城市的降尘量

单位:  $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{月})$

年	地区	北京	西安	沈阳	鞍钢厂区	本钢厂区	北方城市	南方城市
	(1978) 1981		(30.0)	(29.2)	(50.6)	(534)	(900)	50.7
1995		19.0	27.1	26.5	51.9		24.7	10.2

表 1-5

1995 年我国部分城市大气监测结果

单位:  $\text{mg/m}^3$

污染物	地区	质量浓度范围	年日平均质量浓度	超标城市数/%	标准质量浓度
TSP	北方	0.149~0.732	0.392	79.1	0.30
	南方	0.055~0.543	0.242	25.0	
SO <sub>2</sub>	北方	0.005~0.211	0.081	11.4	0.15
	南方	0.002~0.424	0.080	9.1	
NO <sub>x</sub>	北方	0.017~0.123	0.053	4.5	0.10
	南方	0.012~0.129	0.041	2.3	

比较上述有关资料,可以看出,我国城市大气污染物中,降尘和总悬浮微粒有所降低,二氧化硫和氮氧化物等变化不大。但是,局部地区出现酸雨,据1994年73个城市统计,降水pH年平均值范围为3.94~7.63,低于5.6的占49.3%。赣州、长沙等12个城市酸雨出现率达70%以上。

在我国的能源结构中,煤约占70%,所以大气污染物主要是TSP和SO<sub>2</sub>等,属“煤烟型”污染。20世纪80年代以后,烟尘等治理取得了一定成绩,“黑龙”基本不见了,但对SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等污染物的控制到90年代也未取得明显效果。目前,我国的大气环境质量虽然没有随着国民经济的发展按比例恶化,但是污染状况仍相当严峻,不容乐观,环保工作任重道远,必须继续努力,做艰苦细致的工作。

### 1.3.3 当今世界面临的主要大气环境问题

发达国家的环境质量20世纪70年代后期已有所改善。我国的环境质量也没有随国民经济的发展速度而恶化,环境污染得到一定控制。但是,当今世界仍面临人口膨胀、资源枯竭、生态破坏和环境污染等问题。就大气环境污染而言,主要是全球性的温室效应、酸雨和臭氧洞等问题。

#### 1.3.3.1 温室效应

随着大气中某些痕量气体含量的增加,引起地球平均气温升高的现象,称为温室效应。这类痕量气体,称为温室气体,主要有CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、O<sub>3</sub>等,其中尤以CO<sub>2</sub>的温室作用最明显。

CO<sub>2</sub>等产生温室效应的机理,普遍认为与CO<sub>2</sub>等温室气体的物理性质有关。这些气体对来自太阳的短波辐射具有高度的透过性,但能吸收地面的长波辐射。CO<sub>2</sub>的强吸收带在12.5~17.0μm之间,其他温室气体的吸收带大多在7.0~13.0μm范围内。由于CO<sub>2</sub>等温室气体的含量在大气中的增加,使大气层吸收地面的长波辐射能力增强,导致大气层温度升高,气候变暖,形成温室效应。

众所周知,燃料燃烧的主要产物是CO<sub>2</sub>,随着世界人口的增加和经济的迅速发展,排入大气的CO<sub>2</sub>越来越多。据估算,过去100年通过燃烧排入大气的CO<sub>2</sub>约为4.15×10<sup>11</sup>t,使大气中CO<sub>2</sub>含量增加了15%,使全球平均气温上升0.83℃。该数字与百年来全球气温升高记录接近。有人估计,按照目前化石燃料用量的增加速率,大气中的CO<sub>2</sub>将在50年内加倍,使中纬度地面温度升高2~3℃,极地升高6~10℃。果真如此,温室效应将给人类的生态环境带来难以预测的后果。尽管温室效应不是气候变化的惟一因素,也有人对温室效应提出种种疑问,但CO<sub>2</sub>等气体浓度的增加是肯定的,温室效应已引起国际社会的普遍关注。

#### 1.3.3.2 酸雨

酸雨是pH值小于5.6的雨、雪或其他形式的大气降水(如雾、露、霜),是一种大气污染现象。空气中CO<sub>2</sub>的平均质量浓度约为621mg/m<sup>3</sup>此时被CO<sub>2</sub>饱和的雨水pH值为5.6,故清洁的雨、雪、雾等降水呈弱酸性。由于人类活动向大气排放大量酸性物质,使降水pH值降低,当pH<5.6时便发生了酸雨。

形成酸雨的主要污染物是SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>等。以SO<sub>2</sub>为例,大量SO<sub>2</sub>进入大气后,在合

适的氧化剂和催化剂存在时，就会发生化学反应生成硫酸。在干燥条件下， $\text{SO}_2$  被氧化成  $\text{SO}_3$  的反应十分缓慢；在潮湿大气中， $\text{SO}_2$  转化成硫酸的过程常与云雾的形成同时进行， $\text{SO}_2$  首先生成亚硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_3$ ），而后在铁、锰等金属盐杂质催化下，被迅速氧化为  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 。

酸雨的主要危害是破坏森林生态系统和水生生态系统，改变土壤性质和结构，腐蚀建筑物，损害人体呼吸道系统和皮肤等。酸雨在世界上分布较广，可以飘越国境影响他国。最早深受酸雨之害的是瑞典和挪威等国家，而后是加拿大和美国东北部，我国华南等地区也出现了酸雨。酸雨是国际社会关注的重要环境问题，我国正积极采取控制措施，规划酸雨控制区，控制  $\text{SO}_2$  排放总量等。

### 1.3.3.3 臭氧层被破坏

臭氧是大气中的微量气体之一，主要浓集在平流层 20~25km 的高空，该层大气也称臭氧层。臭氧层对保护地球上的生命、调节气候具有极为重要的作用。但是，近几十年来，由于出现在平流层的飞行器逐渐增多，人类生产和使用消耗臭氧的有害物质增多，导致排入大气中的  $\text{NO}_x$ 、氯氟烃等增多，使臭氧层遭到破坏。以氯氟烃为例，它在对流层内性质稳定，进入平流层后，易与臭氧发生反应消耗臭氧，使臭氧层中  $\text{O}_3$  浓度降低。

臭氧层被破坏的危害有以下几点：

臭氧层破坏使大量紫外线辐射到地面，危害人体健康。有人估计，臭氧层  $\text{O}_3$  体积分数减少 1%，地面紫外线辐射增加 2%，使皮肤癌发病率增加 2%~5%。

臭氧减少会使白内障发病率增高，并对人体免疫系统功能产生抑制作用。

紫外线辐射增大，也会对动、植物产生影响，危及生态平衡。臭氧层破坏还将导致地球气候异常，带来灾害。防止臭氧层破坏已成为全世界关注的问题，受到科学界和各国政府的高度重视。《保护臭氧层维也纳公约》、《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》等国际法律文件，都是为保护臭氧层制定的。我国非常重视臭氧层保护工作，已签署了有关文件。

除温室效应、酸雨和臭氧洞等全球性的大气污染之外，由于汽车数量的迅速增加， $\text{NO}_x$ 、CH、苯并（a）芘和 Pb 等污染也是不可忽视的当今大气污染问题。

## 1.4 大气污染的综合防治措施

### 1.4.1 大气污染综合防治的任务和原则

#### 1.4.1.1 大气污染综合防治任务

大气污染综合防治的任务主要包括以下三个方面：

减少排入大气中的污染物总量。

在排入大气中的污染物总量不变的前提下，尽可能降低其对人、动植物等的影响。

控制和改善已形成的大气污染。

#### 1.4.1.2 大气污染综合防治原则

大气污染综合防治应遵循如下的原则：

大气污染综合防治应立足于环境问题的区域性、系统性和整体性。大气污染作为

环境污染的一个方面，只有纳入到区域环境综合防治之中，才能真正解决污染问题。大气污染防治是一个系统工程，必须具有全面的观点，需要正确处理局部和整体的关系。

大气污染防治必须充分考虑技术可行性、经济合理性、实施可能性和区域适应性等几个因素，必须进行优化选择及评价，从而确定最佳的控制技术方案和工程措施，即以最少的人力、物力和财力使整个区域的大气环境质量达到国家标准。那种不考虑自身能力而盲目追求高标准的想法和做法是不可取的。

## 1.4.2 大气污染防治措施

### 1.4.2.1 全面规划，合理布局

大气污染防治是一项复杂的、综合性很强的系统工程，影响因素很多，必须进行全方面环境规划，采取区域性综合防治措施，通过合理布局，把大气污染的危害降至最低。

区域环境规划是区域经济和社会发展规划的重要组成部分。它的主要任务，一是解决区域的经济发展与环境保护之间的矛盾；二是对已造成的环境污染问题，提出改善和控制污染的最优方案。大气污染主要发生在人口高度密集城市和大工业区，因此，做好城市和大工业区的环境规划设计工作，采取区域性综合防治措施，是控制大气污染的一个重要途径。

对于工业城市，通过合理的工业布局，是可以把大气污染的危害降至最低的。一个城市按其功能可分为商业区、居民区、文教区、工业区等。如何安排这些区域，特别是工业布局，将直接影响人们的生活和工作环境。比较好的做法是将无污染的企业设在城区，对空气有轻度污染的企业如电子、纺织等，可布置在城市边缘或近郊区，而对于污染严重的大型企业，如冶金、化工、建材、火电站等最好布置在城市远郊区，并应设置在该城市主导风向的下风处。

目前我国已明确规定，在兴建大中型企业时，要先做环境影响评价，提出环境质量评价报告书。论证厂址的合理性，应采取的环境保护措施，以及建厂后对环境可能造成的影响等。

### 1.4.2.2 严格环境管理

环境管理，从广义上讲是在环境容量的允许下，以环境科学理论为基础，运用技术、经济、法律、教育和行政手段，对人类社会的经济活动进行管理，协调社会经济发展与环境保护的关系，使人类拥有一个良好的生活和劳动环境，实现资源的更高价值，保障经济得到长期稳定的增长。

完整的环境管理体制由环境立法、环境监测 and 环境保护管理机构三部分组成。环境法是环境管理的依据，它以法律、法令、条例、规定、标准等形式构成一个完整的体系。环境监测是环境管理的重要手段，没有一个完善的监测网和及时、准确的监测数据，要进行有效的环境管理和监督是不可能的。环境保护管理机构是实施环境管理的领导者和组织者。以上三个组成部分互为因果，缺一不可。

自2000年9月1日施行的《中华人民共和国大气污染防治法》对如何加强大气污染防治管理作出了明确规定：

向大气排放污染物的单位必须按照国务院环境保护行政主管部门的规定向所在地

的环境保护行政主管部门申报拥有的污染物排放设施、处理设施和正常作业条件下排放污染物的种类、数量、浓度，并提供防治大气污染方面的有关技术资料。当排放大气污染物的种类、数量、浓度有重大改变时，应当及时申报。

大气污染物处理设施必须保持正常使用，拆除或者闲置大气污染物处理设施的，必须事先报经所在地的县级以上地方人民政府环境保护行政主管部门批准。

国务院和省、自治区、直辖市人民政府对尚未达到规定的大气环境质量的区域和国务院批准划定的酸雨控制区、二氧化硫污染控制区，可以制定为主要大气污染物排放总量控制区。实施主要大气污染物的总量控制，逐步削减污染物排放量。

禁止在国务院和省、自治区、直辖市人民政府划定的风景名胜区、自然保护区、文物保护单位附近地区和其他需要特别保护的区域内建设污染环境的工业生产设施。

划定大气污染防治重点城市，实行重点管理，直辖市、省会城市、沿海开放城市和重点旅游城市全部列入其中。

⑥对严重污染大气环境的落后生产工艺和设备实行淘汰制度。被淘汰的设备，不得转让给他人使用。

⑦大、中城市人民政府环境保护行政主管部门定期发布大气环境质量状况公报，该公报包括城市大气环境污染特征、主要污染物的种类及污染危害程度等内容。

#### 1.4.2.3 控制大气污染的技术措施

改革生产工艺，优先采用无污染或少污染工艺，实施清洁生产，是防治环境污染的根本途径，它可以从根本上消除污染源或减少污染物的产生量。

严格生产工艺操作，选配适当的原材料，亦可减轻污染或便于对所产生的污染物进行处理。

合理利用能源，改革能源构成，改进燃烧设备和燃烧方式，是节约能源和控制大气污染的重要途径。

建立综合性工业基地，开展综合利用、综合治理，使废气、废水、废渣资源化，以利于减少污染物的总排放量。

安装废气净化装置，是控制污染物排放量，使排放浓度达到大气环境标准的必不可少的技术措施，也是实行环境规划等综合防治措施的前提，各种净化装置的结构特点，工作原理、性能特点和选择计算、设计计算等是本书的重要内容，将在以后各章中陆续介绍。

⑥实行集中供热及燃气化。如前所述，我国的大气污染呈现出“煤烟型”污染的特点，大量分散的低效率的燃煤是根本原因。采取集中供热及燃气化不仅能提高热能利用率，节省燃料和人力，而且便于采取集中治理措施，改善大气环境。

#### 1.4.2.4 制定有利于防治环境污染的经济政策

保障必要的环境保护设施的投资，并随着经济的发展而递增。

对治理环境污染的企事业单位从经济上给予鼓励，如对治理项目按一定比例给予资金投入、低息贷款等，对三废综合利用的产品实行减免税收政策等。

贯彻“谁污染谁治理”的原则。进一步完善排污收费制度，行政、法律处罚制度，增强其有效性、权威性。目前具体的形式有：收排污费、赔偿损失和罚款、追究行政责

任或法律责任。

#### 1.4.2.5 采用高烟囱扩散稀释

采用高烟囱扩散稀释的方法，可以使大气污染物向更高、更广的范围扩散，以减轻局部地区的大气污染程度，这是充分利用大气自净能力的一种有效方法。因为即使最好的气体净化装置，其所排废气中也总会有少量的污染物，所以不能直接排到地面上的空气中。目前世界上许多国家都把高烟囱扩散法做为减轻大气污染程度的一种手段。但是，这种方法只能减轻局部地区的大气污染，而排入到大气中的污染物总量并没有减少，而且烟囱越高造价越高（一般烟囱造价与其高度的平方成正比）。所以，在实际工作中，应根据各地区的大气污染状况，地理和气象条件，确定适当的烟囱高度，同时控制污染物的总排放量。

#### 1.4.2.6 大力发展绿化造林

绿色植物是城市生态环境中不可缺少的重要组成部分，绿化造林不仅能美化城市，调节温度、湿度，保持水土，防风固沙，而且具有截留粉尘，吸收大气中的有害气体，减低噪声等多种功能。因此，在城市和工业区有计划、有选择地扩大绿地面积是大气污染综合防治具有长效性和多功能性的措施。

## 1.5 大气质量控制标准

大气质量控制标准是执行环境保护法规，进行环境影响评价、实施大气环境管理和防治大气污染的科学依据。大气质量控制标准的制定和不断修订，在一定程度上反映了一个国家环境保护状况及环境科学的发展状况。

### 1.5.1 大气质量控制标准的种类和作用

大气质量控制标准按用途分为四类，即环境空气质量标准、大气污染物排放标准、大气污染控制技术标准和大气污染警报标准等。按其适用范围分为国家标准、地方标准和行业标准。

#### 1.5.1.1 环境空气质量标准

环境空气质量标准是以保障人体健康、正常生活条件及一定的生态环境为目标，而对某些主要污染物在环境空气中的允许含量所作的限制规定。它是进行环境空气质量评价、环境空气质量评价、制定大气污染防治规划和大气污染物排放标准的依据，是环境管理部门的执法依据。

工业发达国家如美国、瑞典、日本、德国等国家先后建立了各自的环境空气质量标准。美国 1970 年颁布的大气质量标准，对常见的飘尘、二氧化硫、氮氧化物、碳氢化合物、一氧化碳、臭氧等六种污染物分别制定出第一标准和第二标准。第一标准是为保护公共卫生而制定的；第二标准是为保护公共福利，防止对土壤、水体、农作物、畜牧、商品、运输以及对个人的财产、舒适和安宁产生不利影响而制定的。对第一标准要求在规定期限内达到，对第二标准不规定严格期限，只要求在合理期间内达到。前苏联在 1951 年颁布了居住区空气中有害物质最高允许浓度的标准。标准中所规定的有害物质最高允

许浓度，应对人不产生直接或间接的危害，不损害工作能力，不影响情绪和舒适感，以及对植物、大气透明度等也不产生有害的影响为原则。

#### **1.5.1.2 大气污染物排放标准**

大气污染物排放标准是以实现环境空气质量标准为目标，对从污染源排入大气的污染物允许含量所作的限制规定。其作用是直接控制污染源排出的污染物浓度和排放量，以防止大气污染。大气污染物排放标准也是进行净化装置设计的依据和环境管理部门的执法依据。大气污染物排放标准可分为国家标准、地方标准和行业标准。

#### **1.5.1.3 大气污染物控制技术标准**

大气污染物控制技术标准是大气污染物排放标准的一种补充。它是根据大气污染物排放标准的要求，结合实际情况，对必须采取的污染控制措施加以明确规定。如燃料和原材料的使用标准，净化装置选用标准，排气筒高度标准等。这类标准都是为保证达到污染物排放标准而从某一方面作出的具体技术规定，目的是使生产、设计和管理人员容易掌握和执行。

#### **1.5.1.4 大气污染警报标准**

大气污染警报标准是为保护大气环境不致恶化或根据大气污染发展趋势，预防发生污染事故而规定的污染物含量的极限值。是大气质量恶化到必须向社会公众发出一定警报的标准。一旦超过极限值便应发出警报，以便采取必要的措施，把损失控制到最小。

### **1.5.2 环境空气质量标准**

为了防止工业生产对环境空气造成不良影响，维护人类赖以生存的空间环境，保障人们的健康，许多国家陆续制定了各自的大气环境质量标准。然而我国在建国以来的相当长的时间内却没有正式的国家级的大气质量标准。为了保障工业基地的建设和设计工作，在 1956 年曾制定了《工业企业设计暂行卫生标准》这个专业性的环境质量标准，多年来起着大气环境质量标准的作用，但它只是规定了居住区及车间等局部区域和操作点处的大气质量标准，应用此标准作为管理、控制或评价区域性的大气质量显然是不适宜的。直到 1982 年，我国才出台了第一个国家级的《GB3095—82 大气环境质量标准》，列出了六种大气污染物的浓度标准。1996 年又公布了《GB3095—1996 环境空气质量标准》，与 1982 年公布的标准相比，增加了四种大气污染物的浓度标准，进一步明确了对环境空气质量的要求。

#### **1.5.2.1 环境空气质量标准制定的原则**

制定环境空气质量标准，首先要考虑保障人体健康和保护生态环境这一环境空气质量目标。为此需要综合研究人体健康和生态环境与大气中污染物浓度之间的关系，并进行定量的相关分析，以确定符合这一目标的污染物的允许浓度。

目前世界各国多依据世界卫生组织（WHO）1963 年公布的空气质量四级水平进行空气质量分级：

第一级：在处于或低于所规定的浓度和接触时间内，观察不到直接或间接的反应（包括反射性反应或保护性反应）

第二级：在达到或高于所规定的浓度和接触时间内，对人的感觉器官有刺激，对植

物有损害或对环境产生其他有害作用。

第三级：在达到或高于所规定的浓度和接触时间内，可以使人的生理功能发生障碍或衰退，引起慢性病或寿命缩短。

第四级：在达到或高于所规定的浓度和接触时间内，对敏感的人发生急性中毒或死亡。

其次，要考虑实现标准所需的代价与社会经济效益之间的关系。这就需要进行经济技术分析。其结果与国家在一定时期的技术水平和经济实力密切相关。当然也与原来的环境状况密切相关。对于我国而言，地域广阔，经济发展不平衡，生态系统人群构成也存在很大的差异，因此，在制定国家标准时，还应遵循区域差异性原则。此外，除国家标准外，也可以根据各地区的实际情况，制定地方环境空气质量标准。

表 1-6 列出了美国、日本、加拿大等国的环境空气质量标准，从表中可以看到，这些国家空气质量标准的数值有很大差异。

表 1-6 五种大气污染物的允许浓度 单位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

国 别	尘 粒	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
美 国 (第一标准)	260 (日平均)	365 (日平均)	40000 (1h 平均)	100 (年算术平均)	100 (1h 平均)
	75 (年几何平均)	80 (年算术平均)	10000 (8h 平均)	—	—
日 本	100 (日平均)	120 (日平均)	25000 (8h 平均)	40 (日平均)	120 (1h 平均)
加 拿 大	60 (年平均)	180 (日平均)	6000 (8h 平均)	—	100 (1h 平均)
前苏联	150 (日平均)	150 (日平均)	1000 (日平均)	85 (日平均)	—
捷 克	150 (日平均)	150 (日平均)	1000 (日平均)	100 (日平均)	—

### 1.5.2.2 中国的环境空气质量标准

《GB3095—1996 环境空气质量标准》规定了二氧化硫 (SO<sub>2</sub>)、总悬浮颗粒物 (TSP)、可吸入颗粒物 (PM<sub>10</sub>)、氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 二氧化氮 (NO<sub>2</sub>)、一氧化碳 (CO)、臭氧 (O<sub>3</sub>)、铅 (Pb)、苯并(a)芘 [B(a)P]、氟化物 (F) 共计 10 种污染物的浓度限值。该标准根据环境空气质量不同分为三类区域：

一类区：自然保护区和其他需要特殊保护的地区；

二类区：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：特定工业区。