

第五节 空气污染与健康

一、空气污染概论

(一) 空气污染的定义

大气是多种物质的混合物。清洁干燥的大气(指离开频繁的人类活动地点及其他不良影响,有一定距离的地方的大气)有着固定的组成(如表 2-8)。

表 2-8 近海面干洁大气的组成

组分	浓度(体积%)	组分	浓度(体积%)
氮(N ₂)	78.09	氧化亚氮(N ₂ O)	0.25×10^{-4}
氧(O ₂)	20.94	氢(H ₂)	0.5×10^{-4}
氩(Ar)	0.93	甲烷(CH ₄)	1.5×10^{-4}
二氧化碳(CO ₂)	0.0318	二氧化氮(NO ₂)	0.001×10^{-4}
氖(Ne)	18×10^{-4}	臭氧(O ₃)	0.02×10^{-4}
氦(He)	5.2×10^{-4}	二氧化硫(SO ₂)	0.0002×10^{-4}
氪(Kr)	1.0×10^{-4}	一氧化碳(CO)	0.1×10^{-4}
氙(Xe)	0.08×10^{-4}	氨(NH ₃)	0.01×10^{-4}

在漫长的自然界及人类发展的过程中,人和生物逐渐适应了这个世界环境,即大气的上述组成不仅不危害人和生物,而且为人和生物的生存提供了必需的条件。但是随着人类生产活动的发展及生活水平的提高,特别是化石燃料(煤和石油)大量使用的结果,将许多有害物质如烟尘、SO₂、NO_x、CO和碳氢化合物等排放到大气中,使局部地区大气中有害物质的浓度增加。某些自然因素如火山爆发等亦可使局部大气的有害物质浓度上升。当有害物质的浓度超过环境所能允许的极限并持续一定的时间时,就会使大气质量恶化,并对人们的健康、生活、工作、财物和设备产生直接或间接的影响。我们称这种现象为空气污染(air pollution)。引起空气污染的各种有害物质称为空气污染物(air pollutant)。

(二) 大气污染物的分类

通常按下列两种方法对大气污染物进行分类。

1. 按形成过程分类

(1) 一次污染物(primary pollutant):直接从污染源排放到空气中的有害物质。最常见的一次污染物有SO₂、CO、NO_x及颗粒物。颗粒物中还包含有毒重金属,强致癌物 3、4-苯并芘 [B(a)p], 以及其他碳氢化合物等多种物质。

(2)二次污染物(secondary pollutant): 进入空气的一次污染物间的相互作用或它们与正常大气组分发生反应所产生的新的污染物。最常见的二次污染物有臭氧、醛类(乙醛和丙烯醛等)、过氧乙酰硝酸酯(PAN)以及硫酸雾和硝酸雾等。

2. 按存在状态分类

由于各种污染物的理化性质不同,产生它的工艺过程和环境条件各异,因而空气污染物的存在状态也不相同。

(1)分子状污染物(molecular pollutant): 由于沸点低,在常温下只能以气体分子的形式存在的污染物质,如CO、SO₂、NO₂、HCN等。有些物质沸点并不低,在常温下是液体(如苯和汞),但因其挥发性强,受热时易形成蒸汽进入大气中。

(2)粒子状污染物(particulate pollutant):也称颗粒物(particle matter, PM),是分散在大气中的液体或固体颗粒。粒径约在0.01~100 μm之间。通常根据颗粒物在重力下的沉降特性分为降尘(falling dust)和飘尘(suspending particulate)。前者粒径大于10 μm,在重力作用下能较快沉降到地面上;后者粒径小于10 μm,可长期漂浮在大气中,易被人体吸入,对健康危害较大。由于粒径小于10 μm的颗粒物还具有胶体的一些特性,故又称气溶胶(aerosol)。它包括通常所说的雾、烟、尘。

雾(fog): 指悬浮在空气中的液体微粒,粒径一般在10 μm以下。一般由蒸汽冷凝或液体雾化而产生,如硫酸雾、硝酸雾等。

烟(fume): 指悬浮在空气中粒径小于1 μm的固体粒子。通常是燃料未完全燃烧而逸出的细小碳粒,如煤烟;也可以是金属升华遇凝结而成,如铅烟、氧化铁烟等。

尘或粉尘(dust): 指悬浮在空气中粒径大于1 μm的固体粒子。通常是固体物在人工破碎或自然风化过程中产生,如矽尘等。

烟雾(smog): 当烟和雾同时形成时就构成烟雾。烟雾中又有硫酸烟雾和硝酸烟雾,通常分别称为工业烟雾和光化学烟雾。硫酸烟雾主要由燃煤时所产生的高浓度SO₂和煤烟所形成。在特定的条件下,高浓度的SO₂被氧化成SO₃,后者与水蒸气结合成硫酸雾并与烟混合在一起构成硫酸烟雾,由于这种烟雾主要是工业革命的产物,故通常称之为工业烟雾。由于这种烟雾首次出现在伦敦,所以又称伦敦型烟雾(London smog)。硝酸烟雾主要是汽车废气中氮氧化物和碳氢化合物通过光化学反应与水蒸气形成的硝酸雾,又与烟混合在一起构成硝酸烟雾,由于必须经过光化学反应这种特殊的反应形式才能形成,故通常称之为光化学烟雾。又因首先发生在洛杉矶。也称洛杉矶烟雾(Los Angeles smog)。工业烟雾和光化学烟雾的主要区别见表2-9。

(三) 空气污染来源及主要污染物

1. 空气污染来源:

空气污染来源广泛,概括起来可分为两大类,即自然污染和人为污染。自然污染如火山爆发、森林火灾、风沙风暴等,多具有偶然性和一时性,而人为污染则是经常存在的,因此空气污染的来源主要是后者。人为污染包括生产性污染,生活性污染、交通运输污染等,不同的来源具有不同的污染物种类及污染特点。现分述如下:

表 2-9 工业烟雾与光化学烟雾的区别

特征	工业烟雾	光化学烟雾
典型代表城市	伦敦, 芝加哥	洛杉矶, 墨西哥城
气候	寒冷, 潮湿	晴朗, 干燥, 炎热
主要污染物	SO ₂ , 微粒	O ₃ , PANs*, 醛, 氮氧化合物, CO
主要污染来源	工业和家庭燃煤和燃油	车辆汽油燃烧
易发生时间	冬天(尤其早上)	夏天(尤其中午)

*PAN: 过氧乙酰硝酸酯

(1) 生产性污染: 工业企业是大气污染的最主要来源。随着工业的不断发展, 大气污染物的种类和数量日渐增多。工业企业对大气的污染, 既可产生于其动力部门(如燃煤), 也可产生于其工艺过程(如冶金、化工部门)。由于工业企业的性质、规模、工艺过程、原料和产品的不同, 对空气污染的程度也不同, 有的可产生粉尘如水泥、矿业、冶炼、钢铁等工业, 有的散发刺激及有毒物质, 二氧化硫、氟等, 如石油、有色金属冶炼等企业, 有的散发臭气如石油联合企业、化工企业等。表 2-10 显示不同企业排出的主要大气污染物种类。

如一个设有煤粉燃烧锅炉的大型热电站, 每日烧煤 1000 吨, 煤的含尘量为 20%、含硫量为 1.57%, 则在没有净化条件下, 每日将向大气排出 190 吨灰尘和 28.3 吨二氧化硫。

在工业企业中以火力发电厂、石油化工厂、有色金属冶炼厂、钢铁厂、水泥厂、造纸厂等对大气污染最严重。

工业企业对大气的污染不仅种类多、数量大, 还具有污染范围广, 污染持续时间长的特点。这是因为工业企业的废气多以烟囱形式排放, 可输送较远距离, 污染范围较大; 而且工业生产多为长年持续生产, 因而季节性波动不明显。

表 2-10 各种工业企业排出的主要大气污染物

工业部门	企业名称	排出的主要大气污染物
电力	火力发电厂	烟尘、二氧化硫、二氧化碳、氮氧化物、多环烃、五氧化二钒
冶金	钢铁厂	烟尘、二氧化硫、一氧化硫、氧化铁粉尘、锰氧化钙粉尘
	焦化厂	烟尘、二氧化硫、一氧化碳、酚、苯、萘、硫化氢、烃类
	有色金属冶炼厂	烟尘(含有各种金属如铜、锌、铜等), 二氧化硫、汞蒸气
化工	石油化工厂	二氧化硫、硫化氢、氰化物、烃类、氮氧化物、氯化物
	氮肥厂	氮氧化物, 一氧化碳、硫酸气溶胶、氨、烟尘
	磷肥厂	烟尘、氟化氢、硫酸气溶胶
	硫酸厂	二氧化碳、氮氧化物、砷、硫酸气溶胶
	氯碱工厂	氯气、氯化氢
	化学纤维厂	硫化氢、二硫化碳、甲醇、丙酮、烟尘、二氯甲烷
	合成橡胶厂	丁间二烯、苯乙烯、乙烯、异戊乙烯、二氯乙烷、二氯乙醚、乙硫醇、氯代甲烷
	农药厂	砷、汞、氯
	水晶石工厂	氟化氢
轻工	造纸厂	烟尘、硫醇、硫化氢、臭气
	仪器仪表厂	汞、氰化物、铬酸
	灯泡厂	汞、烟尘
机械	机械加工厂	烟尘
建材	水泥厂	水泥尘、烟尘
农业	喷洒农药	农药粉尘和雾滴
	粮棉、茶加工	各种有机粉尘、某些致敏原

绝大多数工业企业都需燃料作为动力,用的最多的是煤,其次是石油。煤的含灰量为10~30%,含硫率因产地不同而有很大差别,一般平均为3%。石油含灰率为0.2%,含硫率在0.8%以下。由于煤在燃烧过程中产生多种有害气体与粉尘,能严重污染大气。

表 2-11 燃烧一吨煤时排出各种有害物质量(kg)

有害物质	电厂锅炉	工业锅炉	取暖锅炉
二氧化硫	60	60	60
一氧化碳	0.23	1.4	22.7
二氧化氮	9	9	3.6
碳化氢	0.1	0.5	5
粉尘(一般情况)	11	11	11
(燃烧得好)	3	6	9

(2)生活性污染：主要来源于生活炉灶与采暖锅炉。在城镇居民区，大量的民用生活炉灶与采暖锅炉也消耗大量煤炭，成为大气污染的一个重要来源。近年来城区内各种个体饮食摊点的增多，也使城市大气污染更为严重。由于民用炉灶数量多而散在，因而给治理带来事实上的困难。民用炉灶大多烟囱高度低甚或无烟囱，排放高度与呼吸带接近，且大多燃烧效率低，可排放大量烟尘、二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳等污染物，对人体危害大。生活性污染的另一个特点是季节性明显。在北方冬季采暖期，煤炭消耗量的大增使空气中二氧化硫与烟尘浓度大幅度升高，而冬季气象条件又不利于污染物扩散稀释，因而对居民健康的危害增大。如据北方某城市调查，采暖期(11~3月)二氧化硫最高日均浓度比非采暖期高约4倍，月降尘量高约1~3倍。

(3)交通运输污染：由于交通运输的发展，汽车量大增，汽车废气成为大气污染的重要来源。汽车使用汽油和柴油，排出的废气中含有一氧化碳、氮氧化物、烃类较多，还含有醛、铅化合物等。汽车废气靠近地面易为人所吸入，危害很大，如值勤交警血中COHb含量明显增高，甚至超过2.5%，交警体内有铅蓄积，尿铅、发铅较对照人群增高。汽车废气还是造成光化学烟雾的主要污染物。

表 2-12 常见污染物及其来源

常见污染物	主要来源
化学性污染物	
颗粒物	森林火灾、岩石风化、火山喷发、燃煤、采矿、建筑、扫地等
碳氧化物	
CO	森林火灾、燃料(主为煤)的不完全燃烧(占2/3)、吸烟
CO ₂	植物呼吸、化石燃料的燃烧
硫氧化物	
SO ₂ 和SO ₃	煤及石油的燃烧、含硫矿石冶炼、火山喷发
氮氧化物	
NO和NO ₂	机动车及炉灶中燃料的高温燃烧，闪电
碳氢化物	汽车及燃炉中化石燃料的不完全燃烧、植物腐败分解(占85%)
光化学烟雾	太阳光作用于碳氢化物及氮化物而生成
金属和金属化合物	
铅、砷、汞等	矿石开采冶炼、燃煤、机动车废气等
其他无机化合物	
氟化氢(HF)	汽油提炼、玻璃蚀刻、铝及化肥生产
氨(NH ₃)	化工部门、化肥生产
H ₂ S	化工部门、化肥生产、有机物无氧分解、污水处理
H ₂ SO ₄ 和HNO ₃	化工生产、SO ₂ 和NO _x 与水蒸气结合而成
杀虫剂、除草剂	农业及林业生产
物理性污染物	
噪声	交通运输、工业生产、建筑施工
微波辐射	雷达、通讯
放射性污染物	放射性矿石开采提炼、核电生产、核武器试验、核战争

生物性污染物

致敏原

植物花粉、螨虫等

病原微生物

结核杆菌、流感病毒等

(四) 影响空气污染物浓度的因素

空气污染物排放状况：污染物的性质、排出量、排放高度和排放时间等，是决定污染物浓度及污染范围的最基本因素。单位时间内污染物排出量越大，空气污染的浓度就越重。而排出量又与工艺过程、净化设备及其效率、生产的周期等有关。一般来说，一年中以夏季污染为轻，冬春采暖季节最重，一天中则以中午污染为最轻。污染物的排放高度直接影响污染物扩散的范围和稀释的程度，排放高度越高，排出口的风速越大，越容易扩散、稀释，地面空气受污染的程度也较低。

1. 地理环境因素的影响：污染物排出后，因所处地理环境的不同，危害大小也有差异。在“窝风”的丘陵地区和山谷盆地，污染物难以扩散，形成局部范围的污染区，同时沿山谷的平行方向流动，给远处下风侧造成持续高浓度。另外，高大建筑也能在小范围内产生涡流，阻碍污染物迅速排走，加重局部污染。著名的比利时马斯河谷烟雾事件，就是因为许多工厂密集于狭窄的河谷盆地里而造成的。

2. 气象条件的影响：气象因素对大气污染的程度及其所造成的危害具有重要的影响。当污染物进入大气后，在正常情况下，由于大气的自然扩散能力，排出的污染物能迅速得到扩散和稀释。大气的这种扩散能力，沿水平方向移动，主要受风力和风向的影响，而垂直方向的移动，则与气温垂直分布有关。在正常状态下，大气的温度随地面高度的增加而下降，每升高 100m 平均下降 0.65℃，由于下层温度高，上层温度低，大气处于不稳定状态，暖空气向上移动产生对流，污染物便能随之上升向高空扩散。然而，在某些特殊的气象条件下，大气温度出现下层气温低、上层气温高的所谓“气温逆增”现象(temperature inversion)，此时大气处于稳定状态，不能进行上下垂直对流，污染物因而聚集于地面，使其浓度加大。所以气温逆增是造成大气污染的重要因素之一。发生在 1952 年的著名的伦敦烟雾事件就是在当时特殊的气象条件(寒冷、大雾、无风、气温逆增等)的配合下而发生的。

表 2-13 各种自然因素对大气污染的影响

自然因素	影响效果
降雨、降雪	溶解并清除大气中污染物，使空气洁净
湿度大	污染物与水蒸气凝结成雾，比重加大，聚集于地面，使污染加重，帮助形成毒性更大的二次污染物如 $\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
阳光	激发光化学烟雾形成；但可减少燃料燃烧
风	促进污染物扩散，使局部污染减轻；但可将污染物带至远处
气压	稳定高压时，易出现逆温，风速也小，可使污染加重
高山、高大建筑物	形成局部涡流、阻止污染物扩散
盆地、山谷	滞留污染物

人口密集	污染源及排放量增大；易产生“城市热岛”效应加重城市污染
绿色植物	阻留灰尘，吸收CO ₂ 等有害气体

除气温外，其他气象因素及许多自然因素也会对大气污染产生一定影响，见表 2-13。

(五) 国内外大气污染概况

国外大气污染经历了三个时期最早是煤烟的污染，主要是粉尘的污染，具有代表性的污染事件是几次的伦敦烟雾事件。二次世界大战后，石油代替煤成为主要燃料，烟尘污染有所减轻，但二氧化硫污染则占了主要地位。如日本四日市，二氧化硫浓度超过容许浓度 5 倍，在污染严重地区患支气管哮喘人数比对照区高 2—3 倍，六十年代以后，随着交通事业的发展，城市中大量使用汽车，汽车排出的废气对大气污染上升到主要地位，进入所谓光化学烟雾时期。具代表性的是美国洛杉矶事件。

近年来引起广泛关注的几种新的环境污染问题如温室效应、臭氧层空洞、酸沉降污染等皆源于大气污染。全世界范围内肺癌及其他呼吸系统疾病的发病率呈逐年上升趋势，提醒人们对大气污染所带来的危害给予高度的重视。

我国城镇大气污染比较严重，大中城市工业高度集中，加上布局不合理，能源又以燃煤为主，使城市大气受到不同程度的污染。我国城市大气主要污染物是颗粒物，其次是二氧化硫，基本属于以飘尘和二氧化硫为代表的煤烟型污染。我国几乎所有的城市降尘都超过了卫生标准。近年来酸沉降污染(酸雨、酸雾等)等出现了许多地区，特别是南方城市。如某城市酸雾出现频率达 66.7~100%，雾水 pH 值最低时达 2.8。黑雨现象也有发生。

近年来大量涌现的乡镇企业、个体私营企业，其中许多工艺设备简陋，没有相应的排污净化措施，加之管理落后，分布散乱，许多已经造成大气严重污染，应该引起环保部门高度重视。

二、空气污染的危害

(一) 空气污染对人群健康的危害

大气污染物进入人体的途径主要是呼吸道。呼吸道粘膜与污染物接触面积很大，肺泡总表面积约为 50~100M²，并富含毛细血管网，对污染物的吸收很快。其次，空气中的污染物沉降到水、土壤及食物上，污染了水及食品，也可通过消化道对人造成危害。空气中的污染物还可直接接触皮肤、粘膜，造成局部或全身的损害。

人类呼吸系统存在数种防御机制以抵抗污染物的侵袭：1. 鼻毛阻挡大颗粒；2. 上呼吸道不断分泌的少量粘液吸附并洗刷掉颗粒物及刺激性气体；3. 成千上万

气管及支气管上皮细胞纤毛(cilia)的持续前后波动将粘液及外来污染物输送到肺外；4. 游离于气管及肺泡表面的大量的吞噬细胞—肺巨噬细胞(pulmonary macrophages)对异物的不断吞噬和消化。吸烟或长期暴露于刺激性大气污染物如SO₂、NO_x、颗粒物等中，可破坏上述防御机制，结果将会导致细菌及空气中污染物进入肺实质细胞或通过血气交换进入血循环，从而导致一系列的呼吸系统或全身的疾患。

大气污染对人群健康的危害，可以是局部的，也可以是全身性的；可以是特异性的，也可以是非特异性的。概括起来可分为以下几个方面：

1. 引起急、慢性中毒：大气污染引导起的急性中毒事件，在西方工业发达国家已发生过多起，多由于事故排入或特殊的气象、地理环境所致。如1950年墨西哥曾因工厂生产事故使硫化氢污染大气，引起320人急性中毒入院，22人死亡；1964年日本富山市因工厂氯气管道破裂，氯气外溢污染大气，发生急性氯气中毒，患者533人，住院43人。而发生于1930年12月的比利时马斯河谷烟雾事件，1948年10月美国多诺拉烟雾事件，1952年12月英国伦敦烟雾事件，则是在严重大气污染基础上外加特殊的气象条件、地理环境因素的作用而造成的。

大气污染所引起的急性中毒，受害人群多表现为咳嗽、胸痛、呼吸急促、咳脓痰、眼刺激等局部的、以呼吸系统为主的症状；原本体质较弱者，或患有心肺疾患的人可因呼吸系统的刺激加重心脏负担，严重者可导致死亡。如在1952年伦敦烟雾事件中超额死亡的四千多人中大部分都为原有心血管疾病或呼吸系统疾患的病人和体质较弱的老年人及婴幼儿。

空气污染引起的慢性中毒事件也屡有报道。慢性中毒是由于长期吸入较低浓度空气污染物而致，一般病程进展缓慢而隐匿，不易引人注意。其始发症状往往是一般性的体弱、食欲不振、肌肉痛、乏力、咳嗽等，随着接触时间的延长，可产生慢性进行性咳嗽伴随呼吸短促，并逐渐产生肺气肿和肺纤维化(疤痕化)。某些污染如低剂量石棉、铍、铅、砷、氟化物等，引起明显症状所需时间会长达20年。慢性中毒可以不仅甚至不主要表现在呼吸系统的损害上。视毒物性质的不同，可有其特异性的中毒表现，如铅主要损害神经、造血系统；砷常表现为皮炎；氟化物可损害牙、骨、肝、肾等系统。

2. 暴露部位及呼吸系统急慢性炎症增加。许多大气污染物(SO₂、SO₃、NO_x、H₂SO₄气溶胶、飘尘等)均可对眼、呼吸道粘膜产生直接刺激作用，使眼结膜炎、翼状胬肉和呼

吸道炎症等疾患的发病率增加，降低肺通气功能。据苏联资料，空气严重污染区与清洁区比较，儿童鼻炎高6倍，咽炎高9倍，成人鼻炎高4倍，咽炎高6倍；我国上海市某区，密集50多个工厂，降尘超标3~8倍，SO₂、H₂S和HCl的浓度超标几十甚至数百倍，当地3/5的高中生患有慢性鼻炎、1/3患有慢性咽喉炎。空气污染可使支气管炎、哮喘、肺气肿以及其他呼吸系统疾病的发病率增加。污染越重，通气阻力越大。通气阻力增大是慢性阻塞性肺部疾病的重要亚临床表现。分析表明，大气中飘尘浓度每增加0.1mg/m³，慢性气管炎患病率提高0.06倍。

表 2-14 显示 1991 年报导的我国北方某市 40 岁以上居民慢性阻塞性肺部疾患在不同污染区的发病率比较。

呼吸系统炎症的增加，不仅与污染物的局部刺激作用有关，还与污染物对机体的免疫力影响有关。

3. 空气污染对人群免疫功能的影响

许多研究表，空气污染对人群，特别是对儿童的免疫功能有重严重影响。如生活在石油化工厂周围的人群，其人体外周血中性粒细胞比值低于正常最低值的比例，污染区为 20.12%，非污染区为 1.27%；绝对值低于正常最低值的比例，污染区为 2.7%，非污染区为 5%。应用植物血凝素（PHA）皮试（一种测定细胞免疫状态的方法）对城市污染区及边缘区 10~11 岁健康儿童进行对比调查（为期三年）。发现 PHA 皮试红斑直径大小即反应强度逐年减少；污染区儿童 PHA 皮试反应强度明显低于对照区儿童，同时随着接触污染区时间的增加，二组反应强度的差异越明显，说明空气污染对儿童非特异性免疫功能影响程度逐年增加。

免疫功能的改变可发生在病理或临床改变之前。长期生活在大气污染环境中的儿童，在未出现临床症状之前，机体免疫功能已有不同程度降低。如沈阳市重污染区儿童的唾液溶菌酶含量、E 玫瑰花结形成率和 IgG 含量均明显低于对照区。

表 2-14 我国北方某市 40 岁以上居民慢性阻塞性肺部疾患患病率的比较 (%)

	对照区	中污染区	重污染区	P 值
慢性气管炎	5.0	14.3	32.7	<0.01
哮喘	2.9	7.7	16.7	<0.01
肺气肿	2.3	4.2	4.9	<0.01
肺心病	1.2	3.5	3.4	<0.01

4. 空气污染的致癌作用

近数十年来，由于工业化的发展，大量排放废气污染空气，工业发达国家肺癌死亡率急剧上升。根据美国 1974 年癌症死因统计，男女死于肺癌的平均占 31.2%，占癌症死因首位。我国肺癌死亡率上升亦很快，尤其是大城市如上海肺癌死亡率从 1960 年至 1975 年 15 年增加了 5 倍，重庆从 1973 年至 1983 年 10 年间肺癌死亡率增加 1.1 倍。

污染大气中的致癌物主要是多环芳烃化合物。多环芳烃化合物中以苯并(a)芘 [B(a)p] 含量最多致癌性最强，多环芳烃化合物主要来源于含碳有机物的不完全燃烧及用燃料加工。据测定 1g 煤燃烧可产生 63~136 μg 苯并(a)芘，1g 原油可产生 40~68 μg 苯并(a)芘，1g 木材燃烧可产生 60~120 μg 苯并(a)芘。我国城市大气中苯并(a)芘含量一般少于 10 $\mu\text{g} / 100\text{m}^3$ 。此外，大气污染物中还含有可抑制支气管上皮纤毛运动及粘液凝固的物质如苯、甲苯、甲醛、酚等。这些物质能助长化学致癌物对支气管上皮的损害。许多学者认为空气污染与致癌有密切关系。根据是空气污染严重的地区肺癌死亡率也高，反之则低。英国进行过一次较大规模调查，证明降尘量、煤烟浓度、二氧化硫与肺癌死亡率有非常显著相关，我国 26 个城市调查表明，市区空气污染浓度较对照区严重，市区居民肺癌死亡率高于对照区，空气污染程度与居民肺癌死亡率分布是一致的。一般离开大城市愈远，肺癌死亡率愈低，说明空气污染与肺癌是有关的(见表 2-15)。

其次是认为大气中的苯并(a)芘是引起肺癌的主要原因。动物试验也说明了这点。流行病学调查表明大气中苯并(a)芘的浓度与肺癌死亡率有关(见表 2-16)。近年对云南一个肺癌高发区进行流行病学调查和实验室研究都表明空气中苯并(a)芘浓度与肺癌有关。该地区使用低质烟煤(油煤)，炉灶为没有烟囱的火塘，室内苯并(a)芘含量为 131.28 $\mu\text{g} / 100\text{m}^3$ ，肺癌死亡率为 105.27 / 10 万，比肺癌死亡率最高的上海还高得多。

表 2-15 我国部分城市与其远郊县的男性肺癌调整死亡率(1 / 10 万)

城市	死亡率	近郊县死亡率	远郊县死亡率
上海	29.32	24.49	16.21
长沙	23.99	7.14	3.09
哈尔滨	19.29	8.31	6.86
太原	17.05	14.09	9.08
北京	14.85	10.67	8.30

近几年来，对室内空气污染进行了广泛的研究，证明室内空气中二氧化硫、飘尘多较室外空气高得多，尤其是以煤作燃料。还有的研究表明厨房油烟可能致癌，上述资料都支持了空气污染是引起肺癌主要原因的论点。

吸烟是肺癌的重要危险因素，但在吸烟比例相近的情况下，城市与农村肺癌死亡率存在着明显的差别。一般认为，城市因素特别是空气污染在肺癌病因中起重要作用。我国 26 城市大气污染与居民死亡调查表明，1) 工业较发达的老城市，居民肺癌标化死亡率[(重庆(20.77/10 万)、上海(18.58/10 万)、沈阳(18.49/10 万)、大连(18.18/10 万)) 高于非工业城市(兰州，西安，贵阳，桂林等，

约在 10/10 万以下)；2]市区高于郊区，如北京、上海、天津、沈阳、成都等市区肺癌死亡率比郊区高 0.2-3.0 倍。3) 在排除吸烟和室内燃煤因素的影响后，沈阳、大连、抚顺、成都等城市市区大气中 B(a)P 浓度明显高于对照区。

如何估计大气污染在肺癌病因中所占的比重？目前根据城市严重污染区较轻污染区或对照区的肺癌死亡率增高的比例，考虑城市大气污染的不均匀性，以及一些其他致病因素，初步认为空气污染在肺癌病因中仅次于吸烟的危害，居于第二位。空气污染再加上吸烟，会大大增加肺癌相对危险性，如吸烟的石棉接触者肺癌相对危险性为不吸烟石棉接触者的 17 倍。

表 2-16 上海市区与郊县大气中苯并(a)芘量与呼吸道癌死亡率关系

地区	大气中苯并(a)芘浓度 ($\mu\text{g}/1000\text{m}^3$)	降尘量 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	呼吸道癌死亡率 (1/10 万)
市区	11.89	0.99	32.20
崇明县	0.85	0.15	14.91

(二) 主要污染物及其对健康的危害

目前，国际上已公认对健康危害较大并已颁布了大气环境质量标准的大气污染物有五种：飘尘， SO_2 ， NO_x ，CO和 O_3 。

1. 飘尘(suspending particulate)

飘尘是大气颗粒物。大气颗粒物按其重力沉降特性分为降尘和飘尘。粒径大于 $10\mu\text{m}$ 靠其自身重量自然降落的固体称为降尘。粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的固体颗粒物可以长期在空气中飘浮，能进入人上下呼吸道的称为飘尘，也称为可吸入颗粒物 (inhalable particulate, IP)。

自然界的风沙尘土、火山爆发、森林火灾以及海水喷溅等，经常向空气中散发各种固体或液体颗粒，这是空气中飘尘的自然来源。

飘尘的人为来源，主要来自工矿企业排出的各种烟尘，如以煤和油为燃料的锅炉和其他燃烧设备排出的黑烟、细煤屑和飞灰，固体物质的粉碎、研磨、筛分、装卸及运输过程中散发的粉尘，金属冶炼和铸造以及食品加工的喷雾干燥等散发出的烟气和粉尘，建筑工地、采矿以及交通运输等扬起的尘土等等。全世界人为的烟尘排放量据估计每年约有 1 亿吨，其中飘尘量约有 2000 万吨。飘尘颗粒小、比重轻，有的比细菌还小，它们在空气中可以飘浮几小时甚至几年，可以飞得很远，甚至可随气流环绕全球运动。由于在空中飘浮时间长，易被人体吸入，因而与人体健康的关系密切。

(2) 飘尘对人体健康的危害：飘尘中对人体健康危害最大的是 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 之间的粒子。

大于 $5\mu\text{m}$ 的飘尘，由于惯性力作用，被鼻毛和呼吸道粘液挡住而排除；小于 $0.5\mu\text{m}$ 以下者，又能较自由进出肺部，可随呼气排出，因而危害相对较小。

飘尘自身成分复杂，它含有二氧化硅、石棉等无机物以及多种金属如铅、汞、镉、铍、钒、铁及其氧化物等，进入肺泡后，可引起与污染物特性有关的特异性损害，如二氧化硅可导致矽肺，铍可致铍肺等。

飘尘对人体健康的另一重要危害在于它的吸附能力。许多有害气体都能吸附在飘尘表面而被带入人肺深处，从而促成急性或慢性损害。如大气污染中危害最大的 SO_2 ，就是以 $5\mu\text{m}$ 以下的飘尘为“载体”而被带入肺深处，从而造成严重的危害。1952 年发生震惊世界的“伦敦烟雾事件”后，英国当局对烟尘采取控制措施，使烟尘浓度大为下降，所以在 1962 年再次发生烟雾事件时，虽然 SO_2 浓度比 1952 年还高，但由于烟尘浓度较低，所以死亡率反比 1952 年降低了 80%。(见表 2-17)。

所以，对大气中烟尘含量的控制，是降低其他有害气体如 SO_2 等危害的一个重要措施。

飘尘所含的金属氧化物具有催化作用，能促使其吸附的 SO_2 、 NO_x 等气体变成毒性更强的 H_2SO_4 、 HNO_3 ，后者对肺组织的刺激性更大；飘尘还能吸附空气中致癌性烃类化合物苯并(a)芘等，使其更易进入机体。研究表明，粒径越小的飘尘组分，吸附 B(a)p 等的浓度越大。

(3) 飘尘的其他危害：大气中飘尘污染给人们带来的危害是多方面的。首先，飘尘浓度增高，会使大气能见度降低，地面日照量减少。由于阳光中紫外线减弱，儿童生长发育受到影响，佝偻病和骨髓发育不良等疾病增加；视程的缩短，会使城市交通事故增多；日照量的减少也可影响动植物的生长，特别是妨碍植物的光合作用；飘尘量大还会给日常生活带来不便，如衣物易脏易损等。

表 2-17 英国数次伦敦烟雾事件中烟尘和 SO_2 含量与死亡人数的比较

年份	烟尘含量 (mg / m^3)	SO_2 含量 (mg / m^3)	超额死亡人数
1952	4.46	3.8	4000
1956	3.25	1.6	1000
1957	2.40	1.8	400
1962	2.80	4.1	750

大气中飘尘还有可能参与“温室效应”的形成。

我国大气卫生标准规定飘尘的日平均最高容许浓度为 $0.15\text{mg} / \text{m}^3$ ，一次最高容许浓度为 $0.3\text{mg} / \text{m}^3$ 。灰尘自然沉降量为 $3\text{T} / \text{km}^2 / \text{mon}$ (在当地清洁区基础上容许增加的数值)。

表 2-18 飘尘浓度及其影响

浓度 ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	影响
20-25	自然本底浓度
25-100	多数人能耐受浓度
100 以上	一般死亡率，慢性疾病患者死亡率增加，儿童患支气管哮喘增加
150-200	多数人不能耐受浓度，病患者，体弱者，老年人死亡数增加，视距在 8 公里以下，飞行困难，太阳紫外线减少 7.5%
200 以上	多数人完全不能耐受浓度，患病死亡率增加，视距 2 公里以下，交通事故增加

2. 二氧化硫 (sulphur dioxide)

(1) 二氧化硫的理化特性: 二氧化硫 (SO_2) 又称亚硫酸酐，为无色气体，有刺激性气

味，比重 1.4337，易溶于水而部分成为亚硫酸，能氧化成 SO_3 。

(2) 二氧化硫的污染源: SO_2 是大气污染的主要物质之一，污染主要来自于含硫燃料 (煤和石油) 的燃烧和采用各种含硫原料的工艺过程。来源于燃料燃烧者约占 80%，此系煤和石油含硫量较高而燃烧量极大之故。火力发电厂和其它工业企业所排放的烟气中的 SO_2 是 SO_2 污染大气的主要来源。生活性排放 (取暖和烹调等) 的煤烟虽排放量较小，但因分散而数多，且不易扩散，亦为重要污染源之一。至于可产生 SO_2 的工艺过程，主要有各种有色金属的冶炼、石油精制、硫酸制造、造纸等，其中有色金属冶炼和硫酸制造最为重要，与上述燃料燃烧并列为大气中 SO_2 的三大主要污染源。

(3) 二氧化硫对人体健康的危害: SO_2 是窒息性气体，有腐蚀作用。它能刺激眼结膜和鼻咽等粘膜，在潮湿或有雾的空气中，能与水分结合，形成亚硫酸，并缓慢地形成硫酸，使其刺激作用加强。

SO_2 易溶于水，吸入时易被上呼吸道和支气管粘膜的富水性粘液吸收，因而它主要作用于上呼吸道。但当空气中含有各种飘尘时，则可以吸附于飘尘的表面而进入呼吸道深部。如飘尘含有亚铁、锰或钒化合物等催化剂，能使 SO_2 氧化为硫酸，而加强其毒性。其他不易溶解的惰性飘尘则仅起载体作用。

短时吸入低浓度 SO_2 ，可使呼吸道轻度收缩，空气流通受阻；并有眼、鼻及呼吸道的刺激症状；短时吸入高浓度 SO_2 ，可引起急性支气管炎，极高浓度时可

发生声门水肿、肺水肿和呼吸道麻痹，400~500ppm时可立即危及生命。长时吸入较低浓度SO₂，可引起慢性支气管炎、慢性鼻咽炎，并对其他刺激物的敏感性提高。

表 2-1 9 二氧化硫对人体的影响

SO ₂ 浓度(mg / m ³)	对人体的影响
2. 86	对于初接触者或习惯接触者均无反应，稍有胸部压迫感
5. 15	吸入 10 分钟无明显感觉，但呼吸次数有增加
5. 72	初接触者 28 人中有 2 人习惯接触者 28 人中 13 人有异物感
7. 84	28 位不习惯者有 10 人嗅到燃烧硫的臭味，或异物臭味
8. 58~14. 3	能嗅到臭味
11. 44	初接触者 28 人中 14 人有燃烧硫的臭味感，32 名习惯者中 30 人感到硫燃烧臭味
14. 3	吸入 10 分钟对某些人有不适感
18. 59~32. 89	吸入 10~15 分钟鼻腔刺激感
28. 6	工业卫生最大允许浓度
28. 6~42. 9	吸入 1 小时从咽喉纤毛排出粘液
40~42. 9	吸入 30 分钟对鼻腔有刺激不适感
57. 2	有明显刺激感，刺激眼睛，引起咳嗽
71. 5	咽喉纤毛运动有 60~70% 发生障碍
85. 8~105. 82	初接触者吸入 15 分钟打喷嚏和咳嗽
285. 6	每日 8 小时吸入，对支气管有明显刺激症状，引起肺组织障碍
286~572	吸入 30 分钟出现喷嚏和眼泪
858	不能吸入
1144	呼吸困难

由于呼吸道阻力增大和呼吸道炎症所致的通气障碍以及肺泡本身受到SO₂破坏的结果，可以导致肺气肿和支气管哮喘等疾病，慢性支气管炎、支气管哮喘和肺气肿三者合称为“慢性阻塞性呼吸道疾病”(chronic obstructed respiratory disease)，它们可继发地引起心脏障碍。

(4) 二氧化硫的其他危害:SO₂及其衍生物能使植物干枯、叶片坏死，使之不能生长甚至死亡；对多种动物均可引起疾病或致死。此外它对于建筑物、桥梁、金属材料等都有严重的腐蚀作用。

我国大气卫生标准规定二氧化硫的日平均最高容许程度 0. 15mg / m³，一次最高容许

浓度为 0. 5mg / m³。

3. 氮氧化物与光化学烟雾(nitrogen oxides and photochemical smog)

(1)氮氧化物的理化特性:氮氧化物(NO_x)包括NO、N₂O、N₂O₃、NO₂和N₂O₅, 其中与大气污染关系最密切者为NO₂和NO。NO₂是红褐色气体, 有毒性及刺激性, 并有辛辣臭, 比重 1. 448(20℃); NO为无色气体, 遇氧则变为NO₂。在 1000℃以上高温中, 开始分解为氮和 在常温下, 空气中含有稳定的氮和氧, 对人体无不良反应。在燃烧着的火焰中(如在火炉或汽车气缸中), 特别当火焰温度超过 1093℃时, 上述两种气体可化合为NO。 NO本身毒性不大, 但当它排入大气并迅速冷却时, 可部分地转变为NO₂。NO₂在烃类化合物和日光参与下可进一步产生一系列复杂反应, 从而形成臭氧和其他氧化剂。

(2)氮氧化物的污染来源:NO是自然界NO_x的主要成分, 由细菌作用产生, 在雨季更易产生。它常被氧化为NO₂。NO_x的人为来源, 主要是煤、石油、天然气和汽车燃料的燃烧。非燃烧性工业生产, 如硝酸的制造和使用, 电镀、雕刻、焊接、金属清洗、炸药爆炸以及液态二氧化氮的应用(火箭推进剂的基本成分)等, 虽排出的总量较少, 但在职业接触中具有重要意义。家庭燃烧木柴和通风不良的煤气炉, 均可产生NO_x的污染。

(3)氮氧化物对人体健康的影响:NO_x 难溶于水, 故对眼睛和上呼吸道的刺激作用较小, 它们易于大量进入肺深处而不被人所察觉。但如空气中 NO_x 的浓度较高时, 如 60~150ppm, 可立即引起鼻腔和咽喉的刺激, 并发生咳嗽及喉头和胸部的烧灼感, 吸入新鲜空气后上述症状可消失, 但在吸入后 6~24 小时又可能发生胸部紧缩和烧灼感、呼吸促迫、失眠不安, 并可发生肺水肿、呼吸困难加剧、出现紫绀, 昏迷甚至死亡。幸存者日后有可能再发生肺炎。

短时吸入较低浓度NO₂, 可引起人呼吸道阻力增高, 浓度 0. 5ppm以下长期吸入, 可发生肺气肿样症状。其机理可能与NO₂能引起慢性缺氧, 并干扰机体对氧的利用有关。

表 2-20 不同浓度二氧化氮对人体影响

NO ₂ 浓度(mg / m ³)	对 人 体 影 响
0. 23	嗅觉阈
3~3. 8	慢性气管炎患者接触 15 分钟, 出现呼吸阻力增大
9. 4	从事间歇运动健康人, 接触 2 小时后, 出现呼吸道压力增大
24. 4	眼鼻有刺激感及胸部不适感
47~141	接触 1 小时内就会引起支气管炎和肺炎
150	接触 3~5 分钟, 胸部出现绞痛感
564~940	接触数分钟, 会引起肺水肿而死亡

(4)光化学烟雾:NO_x对人和植物的危害, 要在较高浓度下(如职业接触)方能发生。对大气而言, 若同时受到烃类物质污染, 则NO₂在 0. 1ppm时, 即可在一定条件下发生光化学反应而生成二次污染物, 使其危害增强。

产生“光化学烟雾”的光化学反应,过程非常复杂,大体有下列四个阶段:

1)NO₂和某些烃类污染物(主要是烯烃)共同存在于空气中;

2)NO₂受太阳紫外线激发分解为NO和原子氧,后者与空气中氧分子形成臭氧;

3)在烃类物质存在时,臭氧、原子氧、NO、NO₂等与烃类发生氧化反应形成多种光化学产物;

4)上述反应产物若遇上特殊的气象条件(如强烈日光、气温递增、无或微风、夏季至初秋等)和地理条件(如滨海靠山、低纬度地区等),可在低层大气中大量蓄积,形成“光化学烟雾”造成严重危害。

上述光化学反应产物可达数百种之多,包括大量的臭氧以及醛类、酮类、过氧酰基硝酸酯(PANs)、硝酸及微粒(主要为硝酸盐、硫酸盐和某些高分子化合物微粒)等。这些物质都有强烈的氧化作用,通称为“氧化剂”。其中比例最大者为臭氧,约占85%以上;其次为PANs,约占10%以上,其他物质仅占微小的比例。

臭氧主要影响呼吸道,特别是肺组织,在较低的臭氧浓度200~400 μg / m³,可引起肺部上皮和内皮细胞的很多变化,大白鼠在臭氧400ug / m³下暴露2小时,发现I型肺细胞接连发生变性、脱屑和损坏,小实验动物接触了急性中毒浓度的臭氧会导致肺水肿,出血和死亡。吸入LD₅₀大约为12mg / m³。有人研究将小白鼠暴露在总氧化剂浓度为800 μg / m³的洛杉矶空气中2~3小时,发现肺泡组织中产生了超微结构改变——细胞质分解和异常的线粒体,低浓度、长时期暴露在臭氧中对肺部造成的损害更广泛,更难以恢复,如肺气肿、肺不张、局部坏死、支气管炎和纤维性变,并常伴有各种各样的细胞变性。一些动物暴露于臭氧后,肺部抵抗感染性微生物的机制受到影响。进行人工感染实验时,由于感染性微生物和臭氧的联合作用造成死亡率增加。

居民接触光化学烟雾,当每小时氧化剂浓度在200~500 μg / m³范围以内时,会影响儿童肺功能,增加哮喘发作次数,引起经常的眼刺激和降低运动成绩,在实验室对人的试验表明,在700~800 μg / m³臭氧中暴露2小时后,健康受试者的气道阻力会增加。

WHO建议以臭氧100-200 μg / m³暴露1小时为保护公众健康的准则。我国大气环境质量标准规定光化学氧化剂(O₃)的二级标准(城市居民区、商业交通居民混合区,文化区,广大农村等)一小时平均浓度为0.16mg / m³。

表 2-21 不同浓度光化学氧化剂对人体影响

氧化剂(μ / m ³)	对人体影响
--------------------------	-------

40	臭氧嗅觉阈
200	短时接触，对眼睛产生刺激
500	哮喘病患者发作频率增加
500~1400	慢性呼吸器官病患者病情恶化

4. 一氧化碳

一氧化碳（carbon monoxide, CO）是由于含碳物质不完全燃烧而产生的一种有毒气体，无色、无臭、无味、无刺激性，吸入时不为人们所察觉。人为来源主要是各种内燃机车排出的废气，约占总排放量的 50%以上。家用炉灶、吸烟和家用热水器则是室内一氧化碳污染的主要来源。吸入一氧化碳可引起急慢性中毒，特别应引起重视的是家用热水器一氧化碳急性中毒。

一氧化碳是血液、神经毒物。它对人的主要危害是引起组织缺氧，导致急性和慢性中毒甚至死亡。CO 经呼吸道吸入，再通过肺泡弥漫于血液中，与血红蛋白的卟啉中的铁起作用，生成碳氧血红蛋白（HbCO）。CO 与血红蛋白的亲合力比 O₂ 与血红蛋白的亲合力大 200-300 倍，而 HbCO 的解离速度比氧合血红蛋白（HbO₂）慢 3600 倍，所以一旦 CO 与血红蛋白结合而形成 HbCO，不仅减少了血球携氧能力，抑制细胞的含铁呼吸酶，影响血红蛋白、肌红蛋白和细胞色素氧化酶，抑制细胞内呼吸；而且抑制氧合血红蛋白的解析与氧的释放，使组织氧分压降低，造成判断力下降、头痛、疲倦、心肺疾患加重等一系列反应、持续高浓度时可致死。

CO 中毒主要表现为缺氧，神经系统和心血管系统对缺氧最敏感，当空气中 CO 浓度引起血液中 HbCO 含量轻微升高时，即可引起行为的改变和工作能力下降，如当血液中的 HbCO

为 2%时，人的时间辨别能力受到障碍，3%时警觉性降低，5%时光感敏锐度下降。当 CO 浓度高达 62.5-312.5mg/m³时，持续 0.5-2.5 小时，人的听力警觉性和理解力都会受到抑制。此时前面汽车排出的 CO 浓度也可以伤害尾随汽车的驾驶员的光感敏锐度，使其不能及时刹车，易发生交通事故。

当吸入高浓度 CO 时，可引起脑水肿，脑缺氧和脑水肿可继发脑血循环障碍，导致脑组织发生缺血性软化和脱髓鞘性病变，目前认为这些病变可能和急性 CO 中毒迟发性脑病有关。

近年来已发现 CO 能影响中枢神经系统内单胺类神经介质的含量及代谢过程，大鼠吸入含 CO 为 52.50mg/m³的空气 2 小时，脑皮质和纹状体中的去甲肾上腺素，多巴胺以及 5-羟色胺含量均有改变，这种改变可以影响神经系统调节功能，继而发生行为改变。

CO 对心血管系统有影响，兔吸入 225mg/m³的 CO 两周后，HbCO 达 16%-18%，心肌发生退行性变。长期吸入高浓度 CO，窦性心动过速、心瓣膜病、动脉硬化性心

脏病等心血管系统疾病增加。心肌梗塞者、慢性心脏病患者由CO导致的心肌损害比正常人要容易发生。

表 2-22 非吸烟人群 CO 暴露条件指标

一氧化碳浓度	时间
125mg/m ³ (100ppm)	不得超过 15min
62.5mg/m ³ (50ppm)	不得超过 30min
31mg/m ³ (25ppm)	不得超过 1h
16mg/m ³ (13ppm)	时间超过 1h
12.5mg/m ³ (10ppm)	暴露时间为 8h-24h

胎儿对CO的毒性比母亲更敏感。孕妇若患急性的CO中毒，幸存后其胎儿可以致死或出生后遗留神经障碍。将妊娠大鼠置于 187.5mg/m³的CO环境中生活，其仔鼠学习和记忆功能均受到损害，启示CO可影响后代的发育和生长。

世界卫生组织工作根据大量动物实验及人群观察的资料，提出 2.5%-3%为一般居民暴露极限值，即在此浓度下不会出现不良的主观感觉及病理改变，并对于非吸烟人群提出了暴露条件的指标（见表 2-22）。

三、大气质量的评价

综合评价大气质量可以采用大气污染指数。大气污染指数的大量研究基本上是七十年代开始的，常用的有污染物标准指数、白勃考大气污染综合指数、橡树岭大气质量指数、密特大气质量指数等等。现重点介绍污染物标准指数与白勃考大气污染综合指数。

(一) 污染物标准指数 PSI (pollutant standard index)

美国 1979 年 9 月公布污染物标准指数 PSI 供各州、市采用，PSI 主要用于评价大气量逐日的变化，它包括一氧化碳、二氧化氮、二氧化硫、氧化剂和颗粒物 5 个参数，以及二氧化硫和颗粒物的乘积。已知各污染物的实测浓度后，可按分段线性函数关系参照表数据，用内插法计算各分指数，亦可根据表内数据或分段直线图，再根据实测浓度在图上直接查得 PSI，然后选择各分指数中最高值预报大气质量，用最高分指数报告每日大气质量比较合理，因为大气污染危害常由于那天浓度过高的某种污染物所引起，而不是各污染物的平均浓度所引起的。PSI 的特点是与人的健康密切联系，而且提出当 PSI 超过 100 时，人们为保护健康应采取的措施。

(二) 白勃考大气污染综合指数 PINDEX

由白勃考 Babcob 于 1970~1971 年提出。PINDEX 包括颗粒物、氮氧化物、硫氧化物、一氧化碳和氧化剂五项污染物。我国在实际应用时，有的只采用颗粒物、二氧化硫和二氧化氮 3 个参数。PINDEX 计算式如下：

$$PI = PM + SO_x + NO_x + CO + O_3$$

式中：PI 为大气污染综合指数

PM 为颗粒物

SO_x 为硫氧化物

NO_x 为氮氧化物

CO 为一氧化碳

O₃ 为氧化剂(臭氧)

计算时根据 5 项污染物以及碳氢化合物实测数据。先按 1 克分子氮氧化物与 1 克分子碳氢化合物，在太阳辐射作用下合成光化学氧化剂的反应，算出产生的氧化剂数量，然

后加在大气中原有氧化剂浓度内，剩余的氮氧化物假设 50% 为二氧化氮。再将这 5 项污染物浓度，分别除以相应的大气质量标准(24 小时平均浓度标准)，即得各污染物的污染分指数，其总和即为大气污染综合指数值。

PINDEX 可用于评价大气质量长期变化和逐日变化。可以比较各城市总体污染程度，还可以从各分指数比例分析每个城市重点污染物。

四、空气污染的防治

由于空气污染的日益加剧，各国都采取了一些防治措施，根据我国实践经验，要搞好空气卫生防护工作，必须采取多方面的综合措施，如厂址选择、生产区与居民区的合理规划与布局、生产工艺改革、节能及改善能源结构、废气净化措施等。针对空气污染的净化措施，主要有以下三个方面：

(一) 有害气体控制技术

1. 二氧化硫

(1) 燃料脱硫 采用低硫燃料是控制硫氧化物污染的一项根本措施，国外近年正在加强研究洗煤和原煤脱硫。如煤块在破碎后经两次浮选，可将灰分降低并去除无机硫 90%，

但不能去除有机硫。原煤脱硫可用化学法，目前推广型煤在煤粉中加入石灰与粘结剂可脱硫 51%，也可用煤的气化和液化方法。现已发展了一些生产成本较低、脱硫效果好的最佳实用技术，可以解决燃煤含硫量过高的问题。

(2) 烟气处理 火力发电厂烟气中SO₂浓度很低，即使燃用高硫煤，含硫大多在 0.5%以下，处理烟气量大，脱硫成本较高，应用受到限制。我国规定二氧化硫容许排放量与烟囱有效高度的平方成正比，但由于烟囱建造高度有一定限制，为控制二氧化硫造成的严重污染，也在大型火力发电厂建成了脱硫示范工程。对于我国使用量极大的工业锅炉，近年已推出采用碱性硫酸铝-石膏法为原理的工业脱硫装置。

2. 氮氧化物

净化烟气中氮氧化物的方法分为干法和湿法两大类。干法净化主要是采用催化还原法

，此法又分为非选择性催化还原法和选择性催化还原法两种，前者是用元素铂、钯、作催化剂，以氢、甲烷、一氧化碳和低碳氢化合物等为还原剂，在一定温度下（400-800℃）下，将烟气中的一氧化氮和二氧化氮还原成氮。此法效率高，但需耗费大量还原剂。后者是在元素铂或铜催化剂的存在下，用氨或硫化氢作还原剂，使氨有选择性地将烟气中的氮氧化物还原为氮。此法效率可达 99%，还原剂的消耗仅为非选择性催化还原法的 1/4-1/5，但氨

的消耗量大。两种方法的材料都比较昂贵，因此国内外除某些化工厂配置外，其它工业部门主要是采取预防措施，即尽量减少氮氧化物生成量的办法来控制大气污染。

表 2-23 PSI 与各污染物浓度的关系及 PSI 的分级

大气 污染 PSI 浓度 水平	污染物浓度						大气 颗粒质量 分级	对健康的 一般影响	要求采取 的措施
	颗粒物	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	SOX			
	24 小时	24 小时	8 小时	1 小时	1 小时				
		μg / m ³					μg / m ³		
		μg / m ³	μg / m ³	μg / m ³	μg / m ³				

500	显著 危害 水平	10000	2620	57.5	1200	3750	490000	病人和老年人提前死亡，健康人出现不良症状，影响正常生活	全体人群应停留在室内关闭门窗。所有的人均应尽量减少消耗
400	紧急 水平	875	2100	46.0	1000	3000	393000	除出现明显症状和降低运动耐力外，提前出现某些疾病	老年人和病人应停留在室内外，避免体力消耗，一般人群应避免户外活动
300	警报 水平	625	1600	34.0	800	2260	261000	心脏病和肺病患者症状显著加剧，运动耐力降低。健康人群中普遍出现刺激症状	老年人和肺病患者应停留在室内、并减少体力活动
200	警戒 水平	375	800	17.0	400	1130	65000	敏感的人症状有轻度加剧，健康人群出现刺激症状	心脏病和呼吸系统疾病患者应减少体力消耗和户外活动
100	大气 质量 标准	260	365	10.0	160	①	①		中 等
50	大气 质量 标准 50%	75②	80②	5.0	80				良
0		0	0	0	0				好

①浓度低于警戒水平，不报告此分指数

②一级标准年平均浓度

表 2-24 居住区大气中有毒物质最高容许浓度

编号	物质名称	最高容许浓度(mg / m ³)
----	------	------------------------------

		一次	日平均
1	飘尘	0.30	0.15
2	二氧化硫	0.50	0.15
3	一氧化碳	3.00	1.00
4	二甲苯	0.30	
5	二硫化碳	0.04	
6	五氧化二磷	0.15	0.05
7	丙烯腈		0.05
8	丙烯醛	0.10	
9	丙酮	0.80	
10	甲基对硫磷(甲基 1605)	0.01	
11	甲醇	3.00	1.00
12	甲醛	0.05	
13	汞		0.0003
14	吡啶	0.08	
15	苯	2.40	0.80
16	苯乙烯	0.01	
17	苯胺	0.10	0.03
18	环氧氯丙烷	0.20	
19	氟化物(换算成 F)	0.20	0.007
20	氨	0.20	
21	氧化氮(换算成NO ₂)	0.15	
22	砷化物(换算成 As)		0.003
23	敌百虫	0.10	
24	酚		0.01
25	硫化氢	0.02	
26	硫酸	0.01	
27	硝基苯	0.30	0.07
28	铅及其无机化合物(换算成 Pb)	0.01	
29	氯		0.03
30	氯丁二烯	0.10	
31	氯化氢	0.10	0.015
32	乙醛	0.01	
33	铬(六价)	0.05	
34	锰及其化合物(换算成MnO ₂)	0.0015	0.01

注：1. 一次最高容许浓度，指任何一次测定结果的最大容许量。

2. 日平均最高容许浓度，任何一日的平均浓度的最大容许值。

3. 灰尘自然沉降量，可在当地清洁区基础上容许增加 $3\sim 5T / \text{km}^2 / \text{mon}$ 。

3. 氟化物

在电解铝、炼钢、铸造、磷肥、磷酸等工业生产中，均排出大量的含氟废气，氟化物

治理需采取净化回收综合利用措施。净化措施有湿法和干法两种。湿法净化，采用液体吸收，是净化铝厂含氟废气并能回收制取冰晶石的成熟方法，吸收装置多为各类淋塔和洗涤器。干法吸附主要是对吸附性强的固态氧化铝进行化学吸附，生成氟化铝，含有氟化铝的氧化铝重返电解槽作为炼铝的材料。干法吸附所用的吸附器有固定床和流动床等形式。该法吸附效果好，氟化氢的净化效率可达 98% 以上，可实现含氟物质的闭路循环，是较为理想的大气卫生防护措施。

(二) 除尘技术

除尘的方法很多，一般可分为干式湿式两类。干式除尘器包括重力沉降室，各种旋风除尘器，各种袋式除尘器，静电除尘器等。湿式除尘器包括泡沫除尘器，冲击式水浴除尘器等。各种除尘器性能不同，各有其适用范围，如重力沉降室，成本低，维修简便，可处理高温气体，但除尘效率低，不能处理飘尘。湿式除尘器成本较低，除尘效率较高，不受气体湿度，温度影响，但压力损耗大，需大量洗涤水，有污水处理问题，含尘浓度高时易堵塞。袋式除尘器效率高，操作简便，适于含尘浓度低的气体。静电除尘器除尘效率最高，又耐高温气流阻力小，但成本高，粉尘电学性质对工作有影响。现介绍重力沉降室旋风除尘器和冲击式水浴除尘器于下。

1. 重力沉降室 是将含尘气体导入空室中，利用尘埃本身重力作用使较粗大尘粒自然沉降，当含尘烟气进入沉降室后，由于沉降室断面增大，烟气流速大大降低(至 $0.4-1.0\text{m/sec}$)，尘粒在重力作用下沉降下来。亦可在沉降室中设置各种形式的档板，使烟气流程增长，产生碰撞，旋转，促使尘粒与气流分离，重力沉降室除尘效率约为 40-80%。

2. 旋风除尘器 是一种离心力除尘装置。含尘气体进入旋风除尘器由于气流的多次旋转产生的离心作用将尘粒分离出来。小直径、高阻力的旋风除尘器离心力比重力可大 2500 倍。大直径、低阻力旋风除尘器离心力比重力约大 5 倍。旋风式除尘器主要分为切线进入式和轴向进入式两种。前者多用于小烟气量除尘，进口烟气速度一般取 $7\sim 15\text{m/sec}$ 。后者用于处理大烟量除尘，进口烟气速度一般为 10m/sec 。旋风除尘器能除去比用重力沉降室除去的更小粒子，而且所占空间较小，但压力损失则较大。

3. 冲击式水浴除尘器 烟气以一定流速经喷头冲入水中，喷头保持在水面下 $10-20\text{mm}$ ，由于烟气冲击作用，造成水，气激烈搅动，在水面形成大量泡沫，捕捉烟气中尘粒并沉入水中。净化后空气经档水板除去水雾后排出。这种除尘器对易溶于水的有害气体如氨、氟化氢、硫酸雾等也有净化吸收作用，故也称为冲击式洗涤塔，冲击式水浴除尘器除尘率在 90% 以上，如加用文氏管除尘率可提高到 99%。

(三)汽车废气净化

减少汽车废气污染的主要途径是改善进排气系统和燃烧室及净化汽车尾气。

在改善进排气系统及燃烧室方面，现在比较有效的技术措施有装置空气预热器、加装

引射二次空气的文丘里排气管以及为强化汽油与空气混合雾化，在燃烧室加装九孔片强化喉管。

目前汽车尾气采用催化法净化。催化净化器与发动机的排气系统相连，安装在汽车的底盘上。从发动机排出的一氧化碳、碳氢化物和氮氧化物等废气通过净化器的催化剂床，转化为二氧化碳、氮和水等无害物质。采用此法净化汽车尾气，关键是选择性能良好的催化剂。