



学生应知自然知识

人类与环境

周丽琼 编

三

# 目 录

大气圈与大气污染 .....	1
大气圈的结构和组成 .....	1
大气污染与类型 .....	9
大气污染物的种类及其转化规律 .....	12
人类活动对大气圈的影响 .....	34
大气污染的危害 .....	72
岩石圈与非再生资源 .....	80
岩石圈与自然资源 .....	80
岩石圈中的能源和矿物资源 .....	88
人类对岩石圈的影响 .....	105

## 大气圈与大气污染

大气圈是由气体和悬浮物组成的复杂流体系统。地球在行星系统中开始出现时，还没有大气圈。大气是由地球本身产生的化学和生物化学过程经过长期演化而成。地球上的大气是维持一切生命所必需的。低层大气的主要成分是氮气和氧气，此外，还有惰性气体及二氧化碳、甲烷等微量气体。

大气圈的这种组成并非古而有之，也并非一成不变，而是大气圈长期发育演变的结果，其发育与演变又受到地球其它圈层发育演变的影响。

## 大气圈的结构和组成

### 一、大气圈发展史

45 亿年前，在地球发育的早期阶段，在太阳发射的热量、可见光、紫外线和 X 射线等作用下，C、H、O 与 N 等原子结合成  $H_3$ 、 $NH_4$ 、 $CH_2$  与  $H_2O$  等分子，构成了原始大气的主要成分。

经过漫长的地质时期，到了大约 30 亿年前，原始海洋中的 C 元素在射线作用下与其它元素结合产生了少量的有机分子，例如原始病毒 (protovirus)，能从原始海洋“汤液”的有机化合物发酵中获取必要的能量，作为副产品放出  $CO_2$ 。这是大气圈发育历史中的一个重要事件，为叶绿素的光合作用合成糖创造了条件。

20 亿年以前含叶绿素的生物出现是大气圈发育历

史上的另一个划时代的事件，光合作用产生了  $O_2$ ，这种极其活泼的元素对大气圈进行了一次“氧革命”：它与  $CH_4$  作用生成  $CO_2$  和  $H_2O$ ，与  $NH_3$  作用生成  $N_2$  和  $H_2O$ ，在高空中  $O_2$  分子相互作用生成  $O_3$ 。 $O_3$  的出现逐渐减弱了紫外线辐射的强度，为更高等的海洋植物出现提供了条件。

大气圈中  $O_2$  含量的这种变化可以从岩石学中找到证据：世界上许多地方都发现叠层石（stromatolites），这种 20—30 亿年前形成的岩石外表上象一本本揉皱了的书，是古海洋中的河流冲积物在细菌作用下形成的。这个过程现代还在进行，不同之处是现代叠层石是在蓝绿藻作用下形成的，已经氧化；而 30 亿年前的叠层石却未受氧化，这说明当时大气中  $O_2$  很少。

另一个岩石学证据是：现已发现许多有经济价值的富铁岩石是 20 亿年前形成的。据认为 20 亿年前以还原状态溶解于古海洋中的铁与光合作用产生的  $O_2$  结合（氧化）而沉积下来形成岩石。海洋中大部分铁质被氧化、沉积后，生物所产生的  $O_2$  开始在大气中积累。因此，大气中游离  $O_2$  的浓度在大约 20 亿年前开始明显增加。根据这种理论，地壳中重要的铁矿与大气中的游离  $O_2$  均系生物作用的结果。

值得指出的是，这场“氧革命”的主角竟然是毫不引人注目的低等植物——蓝绿藻。

古海洋中蓝绿藻长期以来是释放  $O_2$  的主要生物。它与其它生物一样，在光合作用时摄入  $CO_2$ ，放出  $O_2$ ，但藻类本身的呼吸作用又吸入  $O_2$ ，把  $CO_2$  放回大气中。藻类死亡后沉入海底被覆盖后进行不完全的分解，造成  $O_2$  的摄入与释出之间微小的不平衡，使  $O_2$  有所积累。 $O_2$  长期积累的结果最终改变了大气圈以及地球的面貌。如果

没有生命的活动，则今天大气圈的组成将完全是另一种情况。

生物圈是在大气圈与水圈、岩石圈的共同作用下产生的，但生物的出现以及生物圈的形成又深刻地改变了大气圈的组成和其它圈层的面貌，这也是自然界中互为因果的极好例证。

## 二、大气圈的结构

大气圈就是指包围着整个地球的空气层。大气圈的边界很难确定，但从流星和北极光的最高发光点推算，在离地球表面 800km 的高空还有少量空气存在。所以，一般来说，大气圈的厚度为 1000 公里。

大气圈的总质量估计为  $5.2 \times 10^{15}$  吨，相当于地球质量 ( $5.974 \times 10^{21}$  吨) 的百万分之一。大气质量在垂直方向的分布是极不均匀的。由于受地心引力的作用，大气的质量主要集中在下部，其中的 50% 集中在离地面 5km 以下；75% 集中在 10km 以下，90% 集中在 30km 以下。

按照分子组成，大气可分为两个大的层次：均质层和非均质层（或同质层和异质层）。

均质层为从地表至 90km 左右高度的大气层，其密度随着高度的增加而减小。除水汽有较大变动外，它们的组成是稳定均一的。这是由于大气低层的风和湍流连续运动的结果。

均质层上面是非均质层，根据其成分又可分为四个层次：氮层（距地面 90—200km）、原子氧层（200—1100km）、氦层（1100—3200km）、氢层（3200—9600km）。在这四个层次之间，都存在过渡带，没有明显的分界面。

按大气的化学和物理性质，大气圈也可分为光化层

和离子层，两层大致以平流层顶为分界线。

大气圈垂直方向有各种各样的分层方法。目前世界各国普遍采用的分层方法是 1962 年世界气象组织(WMO)执行委员会正式通过国际大地测量和地球物理联合会(IUGG)所建议的分层系统，即根据大气温度随高度垂直变化的特征，将大气分为对流层、平流层、中间层、热成层和逸散层。

1. 对流层大气圈的最低一层，其平均厚度约为 12km。对流层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。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里。此层大气对人类的影响最大，通常所指的大气污染就是对此层而言。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。对流层内大气温度随高度的增加而下降，其平均温度递减率约为 $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

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 18km，中纬度地区为 11km，高纬度地区为 8km。

对流层相对于整个大气圈的总厚度来说是相当薄的，而它的质量却占整个大气总质量的 3/4 以上。

2. 平流层从对流层顶以上到大约 50km 左右的高度叫平流层，也叫同温层。平流层的下部有一很明显的稳定层，温度不随高度变化或变化很小，近似等温。然后随高度增加而温度上升。这主要是由于地表辐射影响的减少和氧及臭氧对太阳辐射吸收加热，使大气温度随高度增加而上升。这种温度结构抑制了大气垂直运动的发

展，大气只有水平方向的运动。

在平流层中水汽和尘埃含量很少，没有对流层中那种云、雨等天气现象。

在平流层之上，距地面大约 50km 的地方温度达到了最高值，这就是平流层顶。

3. 中间层平流层顶以上到大约 80km 的一层大气叫作中间层。在这一层中温度随高度增加而下降。在中间层顶，气温达到极低值，是大气中最冷的一层。

在中间层内，大气又可发生垂直对流运动。该层水汽浓度很低，但由于对流运动的发展，在某些特定条件下仍能出现夜光云。在大约 60km 的高度上，大气分子在白天开始电离。因此，在 60—80km 之间是均质层转向非均质层的过渡层。

4. 热成层在中间层顶之上的大气层称为热成层，也称作增温层或电离层。在热成层中大气温度随高度增加而急剧上升。到大约 1000km，白天气温可达 1250—1750K。在热成层中由于太阳和其它星球辐射各种射线的作用，该层中大部分空气分子大都发生电离，成为原子、离子和自由电子，所以这一层也叫电离层。

在热成层中由于太阳辐射强度的变化，而使各种成分分离解过程表现出不同的特征。因此大气的化学组成也随高度增加而有很大的变化。这就是非均质层的由来。

5. 逸散层在热成层之上的大气层称为逸散层。也称外大气层。是大气圈的最外层，大约在 800km 以上。在外层，大气极为稀薄，地心引力微弱，大气质点之间很难相互碰撞。有些运动速度较快的大气质点有可能完全摆脱地球引力而进入宇宙空间去。

### 三、大气的组成

地球大气的主要成分是氮和氧，这种大气的化学组成在太阳系的九大行星中非常特殊。离地球最近的两颗行星——金星和火星的大气化学组成就与地球大气完全不同，其主要成分是二氧化碳，氧含量极少，几乎不存在。

地球大气的成分除主要气体氮和氧外，还有氩和二氧化碳，上述四种气体占大气圈总体积的 99.99%。此外还有氦，氩、氦、氙、氢、甲烷、一氧化二氮、一氧化碳、臭氧、水汽、二氧化硫、硫化氢、氨、气溶胶等微量气体（表 5.1）。

在组成地球大气的多种气体中，包括稳定组分和可变的稳定组分。氮、氧、氩、氦、氩、氦、甲烷、氢、氙等是大气中的稳定组分，这一组分的比例，从地球表面至 90 公里的高度范围内都是稳定的。

二氧化碳、二氧化硫、硫化氢、臭氧、水汽等是地球大气中的不稳定组分。

另外，地球大气中还含有一些固体和液体的杂质。主要来源于自然界的火山爆发、地震、岩石风化、森林火灾等和人类活动产生的煤烟、尘、硫氧化物和氮氧化物等，这也是地球大气中的不稳定组分。

地球大气圈的形成与演化，经历了漫长的地质时期。现在大气圈的面貌是地球各圈层（主要是生物圈）塑造的。

表 5.1 大气的组成

成 分	体积混合比	寿 命
氮 (N <sub>2</sub> )	0.78083	~ 10 <sup>6</sup> 年
氧 (O <sub>2</sub> )	0.20947	~ 5 × 10 <sup>3</sup> 年
氩 (Ar)	0.00934	~ 10 <sup>7</sup> 年
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	0.00035	5—6年
氖 (Ne)	1.82 × 10 <sup>-6</sup>	~ 10 <sup>7</sup> 年
氦 (He)	5.2 × 10 <sup>-6</sup>	~ 10 <sup>7</sup> 年
氪 (Kr)	1.1 × 10 <sup>-6</sup>	~ 10 <sup>7</sup> 年
氙 (Xe)	0.1 × 10 <sup>-6</sup>	~ 10 <sup>7</sup> 年
氢 (H <sub>2</sub> )	0.5 × 10 <sup>-6</sup>	6—8年
甲烷 (CH <sub>4</sub> )	1.7 × 10 <sup>-6</sup>	~ 10年
一氧化二氮 (N <sub>2</sub> O)	0.3 × 10 <sup>-6</sup>	~ 25年
一氧化碳 (CO)	0.1 × 10 <sup>-6</sup>	0.2—0.5年
臭氧 (O <sub>3</sub> )	10 — 50 × 10 <sup>-9</sup>	~ 2年
水汽 (H <sub>2</sub> O)	2—1000 × 10 <sup>-6</sup>	~ 10天
二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )	0.03 — 30 × 10 <sup>-9</sup>	~ 2天
硫化氢 (H <sub>2</sub> S)	0.006 — 0.6 × 10 <sup>-9</sup>	~ 0.5天
氨 (NH <sub>3</sub> )	0.1—10 × 10 <sup>-9</sup>	~ 5天
气溶胶	1 — 1000 × 10 <sup>-9</sup>	~ 10天

生物圈各组分与大气之间保持着十分密切的物质与能量的交换，它们从大气中摄取某些必需的成分，经过光合作用、呼吸作用和其残体的好气或厌气分解作用，又把一些气体释放到大气中去，使大气的组分保持着精巧的平衡。

如果大气组分的这种平衡一旦遭到破坏，就会对许多生物甚至会对整个生物圈造成灾难性的生态后果。

就以大气组分中的二氧化碳而论，尽管它在大气圈中只占 0.03%，但对地球上的生物却很重要。据估算，生物圈每年由大气吸收的二氧化碳约为  $480 \times 10^9$  吨，而向大气排放的二氧化碳也差不多是这一数值。19 世纪工业革命以前，大气中二氧化碳的浓度一直保持在 0.028%。工业革命后，随着人口增加和工业发展，人类活动已经开始打破了二氧化碳的自然平衡。植被（尤其是森林）的破坏和大量化石燃料及生物体的燃烧使生物圈向大气排放的二氧化碳量超过了它从大气中吸收的二氧化碳量，使大气二氧化碳浓度逐年上升，目前已经达到 0.035% 左右。由于二氧化碳具有吸收长波辐射的特性，而使地球表面温度升高，并因此导致一系列连锁反应，其中对人类影响较大的是温度上升会使极地冰帽融化，海平面上升，世界上许多地区将被淹没在海水之下。

相反，如果二氧化碳含量减少，则会引起气温下降，这种温度下降的幅度即使很小，也会带来很大的影响。因为温度下降会使作物生长期缩短，而导致产量减少。

对于含量极少的甲烷也是如此，其浓度目前为 1.4ppm，只要略有增高，在现有氧的浓度下就会因闪电而燃烧。而更重要的是，甲烷的“温室效应”比二氧化碳效果强 300 多倍。对全球变暖起着重要作用。

对于生命活动至关重要的氧更是如此。大气中氧浓度的降低或增高都会影响许多重要的生命过程和产生一些意想不到的恶果。氧浓度的大小决定了生物的演化过程。30 亿年前，地球大气中氧的浓度只有现在浓度的千分之一，生命只可能出现在水下 10 米深处。大约距今 6 亿年时，地球大气中氧的浓度达到了现在浓度的百分之一，生物开始出现在水面上，这是生物发展史上的第一

个关键浓度。到了大约 4 亿年以前，大气中氧的浓度达到了现在浓度的十分之一，生物从海洋登上了陆地，这是生物发展史上的第二个关键浓度。此后，地球大气中氧的浓度尽管也出现过小幅度的波动（比现在浓度高），但一直保持在一定的水平上，即复氧与耗氧之间达到了某种平衡。

另外，大气中氧含量如果由现在的 21% 增高至 25%，则雷电就能把嫩枝与草地点燃，造成连绵不断的火灾，使全球植被化为乌有。当然，这只是一种假想的情况，因为发生森林火灾的同时也消耗了大气中的氧，这里还存在一些负反馈机制问题。

诚然，大气圈以其巨大的体积与质量，更由于存在着反馈机制，要想改变其组成的百分之一，千分之一乃至万分之一并非易事。然而，人类以其巨大的数量和今日高度发展的科学技术，却确实在对大气圈发生着一定的影响。

## 大气污染与类型

### 一、大气污染的含义

在英语中大气污染有两个名词：AirPollution（空气污染）和 AtmospherePollution（大气污染）。后者用法比较固定，专指有毒有害化学物质排放到室外空气中所产生的污染问题。而对前者的使用比较混乱，有人将此词仅仅理解为室内空气污染；也有人将其理解为室内和室外空气污染的总称。

对于什么是大气污染，许多国家的科学工作者提出了内容类似的定义，可综合概括如下：由于自然的或人

为的过程，改变了大气圈中某些原有成分和增加了某些有毒有害物质，致使大气质量恶化，影响原来有利的生态平衡体系，严重威胁着人体健康和正常工农业生产，以及对建筑物和设备财产等的损坏，这种现象称为大气污染。

## 二、大气污染与大气污染的分类

### （一）大气污染的分类

（1）大气污染按其影响所及范围可分为四类：局部性污染、地区性污染、广域性污染、全球性污染。上述分类方法中所涉及到的范围只能是相对的，没有具体的标准。例如广域污染是大工业城市及其附近地区的污染，但对某些国家来说（面积有限）可能产生国与国之间的广域污染。

（2）根据能源性质和大气污染物组成和反应，一般将大气污染划分为四种类型：煤炭型、石油型、混合型、特殊型。

煤炭型污染的一次污染物是烟气、粉尘和二氧化硫。二次污染物是硫酸及其盐类所构成的气溶胶。此污染类型多发生在以燃煤为主要能源的国家与地区，历史上早期的大气污染多属于此种类型。

石油型污染又称排气型或联合企业型污染，其一次污染物是烯烃、二氧化氮以及烷、醇、羰基化合物等。二次污染物主要是臭氧、氢氧基、过氧氢基等自由基以及醛、酮和 PAN（过氧乙酰硝酸脂）。此类污染多发生在油田及石油化工企业和汽车较多的大城市。近代的大气污染，尤其在发达国家和地区一般属于此种类型。

混合型污染是指以煤炭为主，还包括以石油为燃料的污染源而排放出的污染物体系。此种污染类型是由煤

炭型向石油型过渡的阶段，它取决于一个国家的能源发展结构和经济发展速度。

特殊型污染是指某些工矿企业排放的特殊气体所造成的污染，如氯气、金属蒸汽或硫化氢、氟化氢等气体。

前三种污染类型造成的污染范围较大，而第四种污染所涉及的范围较小，主要发生在污染源附近的局部地区。

(3)根据污染物的化学性质及其存在的大气环境状况，可将大气污染划分为两种类型：还原型和氧化型。

还原型是指以煤、石油等为燃料所产生的大气污染，实质上就是第二种分类方法中的煤炭型和混合型污染。

氧化型是指以石油为燃料所产生的大气污染，实质上就是第二种分类方法中的石油型污染。

有关还原型和氧化型大气污染的特征见表 5.2。

## (二) 污染源的类型划分方法

大气污染可分为自然的和人为的两大类。前者是自然界所发生火山爆发、地震、台风、森林火灾等自然灾害所造成的。后者是人类活动所排放的有毒有害气体所造成的。目前，一般所说的大气污染多指后者。人为造成大气污染的污染源较多，根据不同的研究目的以及污染源的特点，污染源的类型有四种划分方法：

(1)按污染源存在的形式可划分为固定污染源和移动污染源，此划分法适用于进行大气质量评价时绘制污染源分析图。

(2)按污染物排放的方式可划分为高架源、面源、线源，此划分法适用于大气扩散计算。

(3)按污染物排放的时间可划分为连续源、间断源、瞬时源，此划分方法适用于分析大气污染物排放的时间

规律。

表 5.2 烟雾的两种代表类型 (L.H.洛嘉斯)

	洛杉矶烟雾	伦敦烟雾
发生时的温度	75—90F	30—40F
发生时的湿度	70% 以下	85% 以上
逆温种类	下沉逆温	辐射逆温
风速	8km/h 以下	无风
烟雾最浓时的视距	1.6—0.8 公里以下	100 米以下
最容易发生的时期	8 月, 9 月	12 月, 1 月
使用的主要燃料	石油燃料	煤及石油类燃料
主要污染物质	HC, 臭氧, 有机物, 二氧化氮, 一氧化碳	硫化物, 颗粒物, 一氧化碳
反应类型	光化学的及热的	热的
化学作用	氧化	还原
发生时间	中午	早晨
对人体的影响	短时间刺激眼粘膜等	刺激呼吸系统器官引起咳嗽, 同时呼吸系统患者死亡率增高

(4) 按污染物产生的类型可划分为生活污染源、工业污染源、交通污染源, 此划分法适用于区域大气环境质量评价。

## 大气污染物的种类及其转化规律

### 一、大气污染物的种类

大气污染物的种类很多, 并且因污染源不同而有差异。目前大气污染物的物理、化学性质非常复杂。根据污染物的性质, 可将其分为一次污染物(原发性污染物)与二次污染物(继发性污染物)。一次污染物是从污染源直接排出的污染物, 它可分为反应性物质和非反应性物质。前者不稳定, 还可与大气中的其它物质发生化学反应; 后者比较稳定, 在大气中不与其它物质发生反应或反应速度缓慢。二次污染物是指不稳定的一次污染物与

大气中原有物质发生反应，或者污染物之间相互反应而生成的新的污染物质，这种新的污染物质与原来的物质在物理、化学性质上完全不同。但无论是一次污染物还是二次污染物都能引起大气污染，对环境及人类产生不同程度的影响。

按污染物质的物理状态，可分为固体、液体和气体等形式。其中 90% 以气体形式存在，10% 以气溶胶形式存在。根据化学性质不同，一般把大气污染物分为以下八类：

- 1) 碳氧化物，主要指 CO 和 CO<sub>2</sub>。
- 2) 氮氧化物，主要指 NO 和 NO<sub>2</sub>，用 NO<sub>x</sub> 表示。
- 3) 硫氧化物，主要指 SO<sub>2</sub> 等，用 SO<sub>x</sub> 表示。
- 4) 碳氢化合物，通常包括醛、酮和 H—C—O 化合物。
- 5) 卤素化合物，主要指氟利昂。
- 6) 氧化剂，主要指 O<sub>3</sub>、PAN 和过氧化物等。
- 7) 颗粒物及气溶胶。
- 8) 放射性物质。

此外，有的地区还有汞蒸汽、铅蒸汽和石棉等污染（表 5.3）。

上述污染物对环境和人类健康的影响是显而易见的。要想减少或消除环境中的污染物，就必须了解污染物的来源和迁移转化规律，以便制订相应的处理措施。下面主要讨论几种具有代表性的污染物的来源、迁移转化和归宿。

## 二、大气环境中主要污染物的迁移转化规律

### （一）一氧化碳的来源、迁移转化和归宿

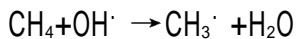
CO 是低层大气中最丰富的气态污染物，也是人类向自然界排放量最大的污染物。

人为源 CO 主要来自汽车尾气和化石燃料的燃烧。根据对全球化石燃料消耗量、燃烧条件以及对汽车排放状况的实际测量估算, 1984 年全球人为排放的一氧化碳约为  $640 \times 10^6$  吨。其中 50% 以上是来自汽车的汽油燃烧。

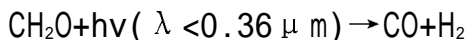
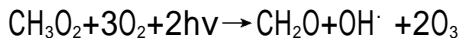
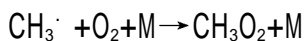
自然源 CO 主要来自海洋、森林火灾和森林中释放出的萜烯化合物及其它生物体的燃烧, 此外还有甲烷和其它碳氢化合物的氧化对大气一氧化碳的贡献。

以前, 人们认为海洋是吸收 CO 的重要途径, 但通过实测研究发现, 表层海水中的 CO 是饱和的, 根据海水和大气中 CO 浓度之差估算出海洋每年向大气中排放 CO 量约为  $100 \times 10^6$  吨。森林火灾和其它生物体燃烧排放的 CO 量约为  $60 \times 10^6$  吨。甲烷和其它碳氢化合物的氧化向大气排放 CO 量很难估算, 因为甲烷转化成一氧化碳的中间产物很多, 因此该源的估算值相差很大。

大气中甲烷被氧化成一氧化碳的反应过程主要是首先与  $\text{OH}\cdot$  作用生成  $\text{CH}_3\cdot$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 即

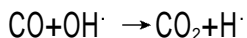


生成的  $\text{CH}_3\cdot$  很快与大气氧反应生成  $\text{CH}_3\text{O}_2$ , 此生成物继续反应, 生成  $\text{CH}_2\text{O}$ , 进而转化为 CO, 即



大气中 CO 的最终归宿有两个方面: 第一, 在大气中氧化转化成  $\text{CO}_2$ ; 第二, 被土壤吸收。

大气中 CO 很容易与  $\text{OH}\cdot$  反应, 主要过程是:



这一过程对大气 CO 的清除率约为 90%。

表 5.3 地球大气圈重要污染物和一些痕量气体的特

征

(转引自 EbbeAlmquist, 1974)