

保 护 人 类 家 园 丛 书

保护人类呼吸之气——

大气

杨新兴 王文兴 编著



中国环境科学出版社



图书在版编目(CIP)数据

保护人类呼吸之气——大气/杨新兴,王文兴编著.
北京:中国环境科学出版社,2000.11
(保护人类家园丛书)
ISBN 7-80135-073-1

I. 保… II. ①杨…②王… III. 空气污染—污染防治—
普及读物 IV. X51-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 75219 号

中国环境科学出版社出版发行

(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)

北京联华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

2001 年 3 月第 一 版 开本 787×1092 1/32

2001 年 3 月第一次印刷 印张 9 5/8

印数 1—5 000 字数 210 千字

定价: 9.80 元

序 言

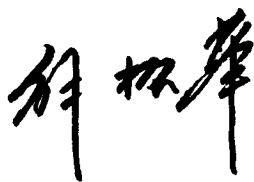
回首二十世纪，既是人类社会获得物质财富最多的世纪，也是人为破坏环境最严重的世纪。在品尝了自己酿成的恶果后，国际社会于1972年在瑞典斯德哥尔摩召开了人类环境会议，开始了防治污染，保护环境的征程，实现了人类环境认识史上的第一次飞跃。20年后的1992年，100多位国家首脑出席了在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展大会，共同探讨环境与发展问题，明确提出摒弃传统增长模式，实施可持续发展战略，实现了环境认识史上的第二次飞跃。正是伴随人类对环境问题认识水平的不断提高，环境保护事业才得以不断深入和发展。

二十多年来，在党和国家的重视和领导下，我国环境保护工作从小到大，从弱到强，取得了很大的进展，与此同时，全民环境意识也有了很大的提高。刚刚过去的五年，是我国公众环境意识提高幅度最大的时期，是环境保护与经济发展结合最紧密的时期，也是环境保护发展最快的时期。正是由于各级党委、政府把环境保护作为一项基本国策落实到各项发展进程之中，加快产业结构调整，增加环保投入，加大环境执法力度，才使环境污染恶化的趋势得以基本控制，一些地区和城市的环境质量开始得到改善；正是由于工业企业界不断改革创新，采用清洁生产技术，淘汰落后设备工艺，加强污染治理，才使全国污染物排放总量得以控制并有所减少；新闻界环境宣传和舆论监督的日益广泛和深入，既揭露了破坏环境的行为，促进了环境问题的解决，又提高了

公众的环境意识；在自觉运用法律武器，维护自身环境权益的同时，广大群众也越来越多地参与到保护和改善环境的活动中，这为环境保护事业的深入发展奠定了极其重要的社会基础。

但是，必须承认，目前我国公众环境意识还不是很高。不顾环境承载能力，追求暂时片面发展的现象依然存在；为了企业短期利益，污染一条河，破坏一方土的行为在一些地方还比较普遍。江泽民总书记曾明确指出，环境意识和环境质量如何，是衡量一个国家和民族文明程度的一个重要标志。今后十年，我国将实现第三步战略目标，国民经济仍将保持较快的增长速度，人口也将持续地增长，生态环境面临着巨大的压力。只有尽快提高全民环境意识，形成一个全社会都来关心环境保护，全民都来参与环境保护的局面，我国的生态环境才能得到更加有效的保护，环境质量才能不断得到改善，天更蓝、地更绿、水更清，山川更加秀美的景象才能永驻中华大地。

相信这套丛书的出版将对增进公众环境科学知识，提高全民环境意识起到积极的促进作用。

A large, expressive handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '解', '怀', and '平'.

二〇〇一年一月

目 录

第一章 地球大气圈与环境问题	1
1.1 大气圈的形成及演变	1
1.2 大气圈的物理结构	2
1.3 大气圈与人类的关系	15
1.4 环境问题的产生及其演变	16
1.5 生存环境的破坏与人类的责任	20
第二章 大气中的物理现象	27
2.1 大气的物理性质	27
2.2 气体状态参量及状态方程	31
2.3 太阳辐射	43
2.4 气温	46
2.5 气压	49
2.6 湿度	55
2.7 大气中的各种物理现象	59
第三章 大气化学	72
3.1 研究对象与任务	72
3.2 摩尔的概念	74
3.3 浓度的表示方法	77
3.4 源与汇的概念	81
3.5 大气的化学成分	82
3.6 大气物质成分的转化	85

第四章 大气污染	134
4.1 大气污染的概念	134
4.2 大气污染源及其分类	139
4.3 大气污染物及其分类	142
4.4 悬浮颗粒物污染	144
4.5 有机物污染	146
4.6 无机物污染	149
4.7 生物污染	153
4.8 物理因子污染	154
4.9 电磁波及其污染	157
4.10 放射性元素及放射性污染	163
4.11 大气污染物的危害	167
4.12 大气污染物的扩散和输送	182
4.13 大气污染物的净化	187
4.14 空气污染指数和空气质量等级	188
第五章 大气光化学烟雾	193
5.1 光化学烟雾的概念	193
5.2 光化学反应机理	195
5.3 大气光化学烟雾的形成	199
5.4 大气光化学烟雾的危害	209
5.5 大气光化学烟雾的控制和预防	210
第六章 大气气溶胶	212
6.1 物质分散系及气溶胶的概念	212
6.2 大气气溶胶的成因	218
6.3 大气气溶胶的性质	219
6.4 大气气溶胶的测量	223

6.5	大气气溶胶对生态环境的影响	224
6.6	大气气溶胶对气候的影响	224
6.7	大气气溶胶的清除	225
第七章	酸雨	226
7.1	酸雨的概念	226
7.2	酸雨的成因	227
7.3	酸雨的成分	229
7.4	酸雨的分布	230
7.5	酸雨的危害	231
7.6	酸雨的控制	232
第八章	臭氧层的破坏及臭氧洞	233
8.1	臭氧层的概念	233
8.2	臭氧层的形成	234
8.3	臭氧层的分布及变化	234
8.4	臭氧层对人类的保护作用	236
8.5	大气臭氧层的破坏	237
8.6	臭氧洞的成因	240
8.7	臭氧层的恢复和保护	242
8.8	臭氧层的观测与研究	244
第九章	气候变暖问题	247
9.1	地球大气温度的演变	247
9.2	大气层的热效应	256
9.3	气候变暖问题的评述	256
9.4	IPCC 及其对气候变化的评估	262
9.5	厄尔尼诺现象	266
9.6	拉尼娜现象	267

9.7 南方涛动	268
9.8 对伪科学的警惕	269
附表一 大气环境资料与数据	273
附表 1.1 典型毒性物质及其对人体的危害	273
附表 1.2 一氧化碳(CO)对人体的毒性影响	274
附表 1.3 典型致癌物质及其对人体的危害部位	275
附表 1.4 无机污染物及其来源	277
附表 1.5 有机污染物及其来源	278
附表 1.6 小轿车每公里排污类型和数量	280
附表 1.7 污染源、排放污染物及其气体排放量	280
附表 1.8 消耗臭氧的物质名称及代码	281
附表 1.9 部分放射性元素及其特性	282
附表 1.10 中国环境空气质量标准	283
附表 1.11 美、日、前苏联等国空气质量标准	284
附表 1.12 城市区域环境噪声标准	284
附表 1.13 世界各国煤炭储藏量	285
附表 1.14 中国历史上的气候异常事件	286
附表二 科学计量单位换算	287
附表 2.1 功、能和热量单位换算表(一)	287
附表 2.2 功、能和热量单位换算表(二)	288
附表 2.3 压力单位换算	288
附表 2.4 长度计量单位及其换算	289
附表 2.5 重量计量单位及其换算	289
附表 2.6 面积计量单位及其换算	290
附表三 数量级符号及其用法	291
附表四 地球地质年代表	292

附表五	希腊字母表	293
附表六	重要物理常数	295

第一章 地球大气圈与环境问题

1.1 大气圈的形成及演变

在地壳的外围,积聚着一层厚厚的气态物质,我们把它叫做地球的大气圈(atmosphere circle)。地球大气圈的形成和演变经历了漫长的过程。我们居住的地球,已经度过 46 亿年的高龄。在茫茫宇宙里,尘埃和气体的凝聚曾经形成了最原始的星云。正是那些原始宇宙星云的结合和变迁,才形成了早期的地球以及整个太阳系。早期的地球是一个不大的凝聚态的物质体系。后来由于质量和体积的加大,引力作用逐渐增强,终于能够把宇宙中更多的气体吸附在自己的周围,形成了原始的地球大气层(atmospheric mantle),这就是所谓的地球第一代大气。

随着地球体积的继续增大,地球内部的温度也越来越高。地球内部圈层变化过程产生的气体不断向地表游离;地质早期大规模的火山活动,也向地表喷发大量的气体。这时的大气物质成分的组成和数量,已经不同于原始的大气,它的主要成分是水蒸气、二氧化碳、一氧化碳、甲烷和氮气等,人们将它

称为第二代大气。在第二代大气诞生的时候,第一代大气几乎已经全部散逸到太空里去了。

大约距今天 30 亿年以前,地球上出现了最早的生物——蓝藻。蓝藻能够在阳光作用下,把水和二氧化碳合成碳水化合物,同时释放出氧气。氧气的出现,给较高级生物体的产生提供了重要条件。大约在 14 亿年前,地球上又出现了绿藻。绿藻具有更强的光合作用能力,它能够合成更多的有机物质,释放出更多的氧气。约在 6 亿年前,高等绿色植物开始在海洋里出现。2 亿年以后,陆地上也出现了绿色植物。由于大气中氧气的增加,氧化过程加快,一氧化碳逐渐被氧化成二氧化碳,甲烷变成二氧化碳和水、氨变成水汽和氮气。由于绿色植物的增多,光合作用大规模的持续进行,氧气逐渐成为大气中仅次于氮气的第二个主要成分。这就是以氮和氧为最主要成分的近代大气,人们将它称之为第三代大气。

自从近代工业革命以来,生产力空前发展,人们把大量的天然资源变为自己的消费品,同时也把一部分资源变成污染物排入大气。目前排入大气的污染物数量增长速度,已经超出了大气的自然净化能力。因此,不但大气原有的某些成分(CO_2)的数量增加了,同时还增加了一些新的物质成分(氯氟烃等)。现代的大气已经是被严重污染的大气。大气污染不仅危害人体的健康,而且对于地球上的整个生态环境系统已经构成了巨大威胁。

1.2 大气圈的物理结构

(1) 垂直分层结构

根据大气圈内的温度结构和气流运动特征,我们可以把地球大气在垂直方向上分成五个层次,即对流层、平流层、中间层、暖层和逃逸层(见表 1.1)。

1) 对流层

对流层(troposphere)处于地球大气圈的最低层,下界与地面相接,上界高度随纬度和季节的变化而有所不同。对流层厚度在低纬度地区平均为 17~18 公里;中纬度地区平均为 10~12 公里;高纬度地区平均为 8~9 公里;上界在夏季较高,冬季较低。

对流层厚度虽然只有 8~18 公里,但却集中了大气全部质量的 3/4 以及几乎全部的大气水汽。对流层最主要的特征是存在着强烈的空气对流(convection)运动现象,即高层和低层之间的气体交换运动过程。在对流层内,气温一般随高度逐步递减;高度每上升 100 米,温度则平均下降 0.65℃。在高纬度对流层顶(8 公里),温度降低到 -53℃;在低纬度层顶(18 公里),温度降到 -83℃。地球表面的状况对这一层大气的物理性质有显著的影响。风、雨、雪、雷电和寒潮等天气现象都发生在这里。


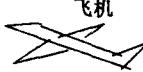
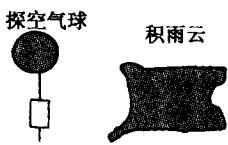
根据温度、湿度以及气流的运动特征,对流层又可以分为三个亚层,即对流上层、对流中层和对流下层。从 5.5 公里高度到对流层顶(8~18 公里)的气层称为对流上层,在这一气层里,水汽含量较少,气温通常在 0℃以下,因此,由下部输送的水汽常常凝结成水滴或者冰晶而形成云雾。在中、低纬度区域还经常有 30 米/秒的大风出现。在 2~5.5 公里高度范围的气层称为对流中层。

在 2 公里以下的气层,称为对流下层。对流下层是整个

表 1.1 地球大气层垂直物理结构

高度 (公里)	垂直层结构				温度 ℃	图 示
5000 3000	宇宙空间					
1000 900 800	逃逸层		非均质层		1000	<p>宇宙火箭 极光</p>
700 500 400 300	暖区		均质层			<p>极光 人造地球卫星</p>
200	F区		F2亚区			
140			F1亚区			
90	E区					
85	D区		均质层			

续表

高度 (公里)	垂直层结构				温度 ℃	图 示	
80	中间层			均	非	-113	 无线电通讯电磁波
70							
55							
40	平流层				臭氧层	-3	 飞机
30							
20							
18							
17	对流层	对流上层		质	电	-83	 探空气球 积雨云
15							
10							
9							
8.84813		对流中层			离	-53	 珠穆朗玛峰 (8848.13米)
5.5							
3							
2	对流下层	边界层		层	层	17	
1.0							
0.5							
0							

大气层与地球表面邻接的边界区域,因此又被称为大气边界层(atmospheric boundary layer),或者(地球)行星边界层。边界层的厚度通常在1~2公里范围内。边界层的下界与地表紧

密相接,所以地球表面被称为大气层的下垫面。因为受地表面的摩擦作用,边界层又称摩擦层。由于受地表热力和摩擦力的影响,边界层内的气象要素的分布和变化规律与高层的自由大气不同。气温、气压等气象因素随日夜变化显著。在这里,水汽和污染物含量很高,因此雾、霾和低云现象频频出现。边界层内大气的变化过程和状况,对气候的稳定和变迁,对污染物的扩散和清除,对人类的日常生活和经济生产活动,有着极为重要的影响。

另外,在整个对流层和平流层之间,还可以分出一个过渡层,厚度约1~2公里。过渡层的主要特征是气温变化小,对流过程受阻;由于水汽、尘埃积聚在它的底部,降低了能见度。

2) 平流层

从对流层顶部(8~18公里)到55公里高度范围内的气层,称为平流层(stratosphere)。平流层过去被叫做同温层。平流层的主要特征是本层内气体运动处于稳定的水平流动状态。在25公里以上气温开始升高,在层顶部达到-3℃。平流层内水汽、杂质很少,云、雨现象少见。平流层气流平稳,能见度高,有利于飞机的安全飞行。平流层的另一个特征是,在层内存在着薄薄的一层臭氧气体。臭氧成分主要分布在20~40公里的高度范围内,人们把它叫做臭氧层。由于臭氧对太阳紫外线辐射有强烈的吸收能力,因此不但使平流层温度升高,而且形成了一个阻挡太阳紫外线的天然屏障,保护了地球上的生物,使它们免受过量紫外线的伤害。

3) 中间层

中间层(mesosphere)的高度范围在55~85公里之间。中间层的主要特征是气温随高度递减,层顶部气温降到

-113℃,几乎是大气圈中温度最低的区域。由于温度梯度的出现,又形成了自下而上的空气对流过程,因此中间层也可以被叫做上对流层。在高纬度区域,在黄昏时刻可以观测到夜光云现象,它实际上是水汽的凝结雾。

4) 暖层

暖层(thermosphere)的高度范围在85~800公里之间。暖层的主要特征是气温随高度迅速递增,在层顶气温可达到1000℃以上。在暖层里,波长小于0.15微米的紫外线辐射能量,几乎全部被吸收,所以气温急剧升高。

暖层的空气质量约占大气总质量的5%。在120公里的高空,空气密度已经降到几亿分之一;在300公里高度降到百亿分之一。由于空气密度很低,太阳紫外线辐射强度很高,NO₂、O₂、O₃等几乎都处于完全电离状态,因此,暖层又被称为电离层(ionosphere)。电离层内的粒子密度基本上随高度递减。按照带电粒子的分布特征,电离层自下而上可以被分为三个区,即D区、E区和F区。D区在85~90公里高度范围内,白天离子密度为 1×10^3 个/厘米³;E区在90~140公里高度范围内,白天离子密度为 1×10^4 个/厘米³;F区在140~800公里高度范围内,它又分为F₁和F₂两个亚区。F₁亚区在140~200公里高度,白天离子密度约为 3×10^5 个/厘米³;F₂亚区在200~800公里高度,白天离子密度为 1×10^6 个/厘米³;夜间离子密度几乎等于零。

电离层实际上是地球上空的一个等离子体系。在这个体系中存在大量的自由电子。因此,电离层相当于一个流动的导体,十分有利于电磁波的传输,对于地球上的远距离通讯具有重要意义。

5) 逃逸层

800公里以上的大气层称为逃逸层(escape layer)。逃逸层的上界约在3000公里高度上。逃逸层是地球大气圈的最外层,也是从地球大气层进入宇宙太空的过渡区域。逃逸层的主要特征是气温随高度递增,空气密度极小,具有逃逸速度的粒子可以克服地球引力,不断地逃往太空。但是根据目前卫星观测资料分析,在22000公里的高度上,离子密度仍可以达到 10 个/米³。可见地球大气圈和星际太空之间,并没有明显的分界。

除了上述五个分层之外,根据大气中的物质密度,又可以把大气圈分为均质层和非均质层。在80~90公里以下的气层,称为均质层(homosphere),均质层的特征是主要物质成分的密度分布比较均匀一致。在均质层以上,物质密度随高度变化很大,称为非均质层(hetersphere)。

太阳向地球大气输送的质子数量与逃逸大气层的氢原子数量是相当的,而且其绝对通量数值与大气氢的其它源与汇相比是很小的,而且其影响也仅仅限于高层的大气。它们作为大气氢的源与汇,可能并不很重要。但是它们对于研究大气的长期变化以及大气与外部空间的关系却有着不可忽视的作用。因此,我们来计算一下氢原子为克服地球引力作用逃往宇宙空间的最低速度是有必要的。

我们知道,一个质点做椭圆运动时将遵循下面的运动方程:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{k^2m}{r} = -\frac{k^2m}{2a} \quad (1.1)$$

式中, v ——质点运动的速度;