

中国保护臭氧层行动

臭氧层及臭氧层的破坏

在离地面 10~50km 的大气平流层中，集中了大气中约 70%的臭氧，这一层大气圈就称之为臭氧层。太阳辐射透过大气层射向地面时，臭氧层几乎全部吸收了太阳辐射中波长 300nm 以下的紫外线，主要是一部分 UV-B(波长段 320~290nm)和全部 UV-C(波长 <290nm)，保护地球上的生命免遭短波紫外线的伤害。

然而，在 20 世纪 70 年代初期，大气科研人员就发现臭氧层有不断耗减的趋势；80 年代中期，又发现每年秋季南极上空有“臭氧空洞”出现。在探究其发生原因时，全氯氟烃(即 Fully halogenated chlorofluorocarbons，简称“CFC”，国内俗称“氟里昂”)以及全溴氟烃(Bromofluorocarbons，简称“Halon”，国内俗称“哈龙”)等物质被发现对臭氧层具有严重的削减作用，因而把它们称为“消耗臭氧层物质”(Ozone depleting substances，简称“ODS”)。

什么是臭氧层

一、大气结构与臭氧层

大气是包围地球外围的空气层，总质量大约为 $5.3 \times 10^{15}t$ ，仅是地球总量的百分之一。

由于受重力的作用，大气从地面到高空逐渐稀薄，大气质量主要集中在下部，50%集中在 5km 以下，75%集中在 10km 以下，98%集中在 30km 以下。根据大气垂直方向上的热状况和运动状况，大气分为对流层、平流层和臭氧层、中间层、热成层、逸散层，见图 1-1。

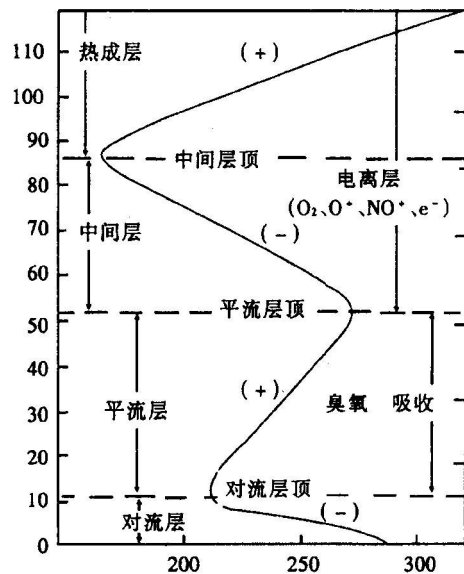


图 1-1 大气圈的层状结构

1. 对流层

对流层是大气中最低的一层，底界为地面，上界高度从赤道向两极逐渐减小。对流层内具有强烈的对流作用，云、雾、雨、雪等主要大气现象都发生在对流层。对流层对人类生产、生活和生态平衡影响最大。大气污染现象也主要发生在这一层，特别是其中近地面的大气边界层。

2. 平流层和臭氧层

对流层顶上直至大约 50km 高度之间称为平流层。该层几乎没有水汽，因此空气比较干燥。垂直温度先是随高度增加而变化甚小，到 30~35km 高度基本保持在 -55℃ 左右，再往上温度则随高度增加而上升，到平流层顶温度升至 -3℃ 以上。对流层顶以上，平流层内臭氧量增加，在 15~25km 臭氧浓度达到最大值，称为臭氧层。臭氧层能吸收绝大部分太阳紫外线，阻挡了强紫外线辐射到地面，同时加热平流层，使地面生物和人类免受紫外线伤害。

3. 中间层

离地表 50~85km 这一区域称为大气的中间层。在平流层之上温度随着高度增加而下降，中间层的温度可降至 -100℃，在该层内又出现比较强的垂直对流作用。

4. 热成层

中间层之上，上界可达 800km 以上的大气层称为热成层。该层在太阳辐射的作用下，大部分气体分子发生电离，是电离层的主要分布层。电离层能反射无线电波，其变化对全球的无线通讯有重大意义。

5. 逸散层

这是大气圈的最外层，离地表 800km 以上。逸散层是一层相当厚的过渡层，其高度约为 2000~3000km，该层温度也随高度增加而升高。

二、臭氧层的作用和分布

在离地面 10~50km 的大气平流层中，集中了大气中约 90% 的臭氧（见图 1-2），其中离地面 22~25km 臭氧浓度值达到最高，称其为臭氧层。如果将地球上臭氧压缩至 1 个大气压，其厚度仅有 3mm 左右，就像是一件“厚度为 3mm 左右的宇宙服”。

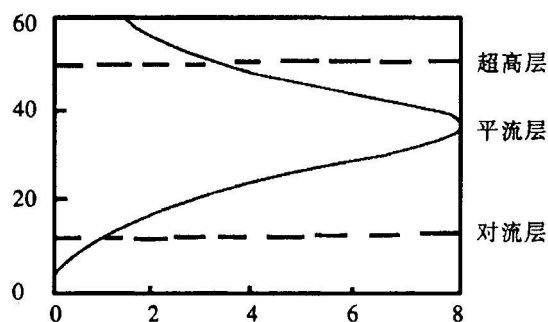


图 1-2 中纬度地区不同高度大气中臭氧浓度分布

1. 臭氧层的作用

(1) 保护作用

臭氧层能够吸收太阳光中的波长 300 μm 以下的紫外线，主要是一部分中波紫外线 UV-B 和全部的短波紫外线 UV-C（见图 1-3 和图 1-4），保护地球上的人类和动植物免遭短波紫外线的伤害。只有长波紫外线 UV-A 和少量的中波紫外线 UV-B 能够辐射到地面，长波紫外线对生物细胞的伤害要比中波紫外线轻微得多。所以臭氧层犹如一件宇宙服保护地球上的生物得以生存繁衍。

(2) 加热作用

臭氧吸收太阳光中的紫外线并将其转换为热能加热大气，由于这种作用大气温度结构在高度 50km 左右有一个峰，地球上空 15~50km 存在着升温层。正是由于存在着臭氧才有平流层的存在。而地球以外的星球因不存在臭氧和氧，所以也就不存在平流层。大气的温度结构对于大气的循环具有重要的影响，这一现象的起因也来自臭氧的高度分布。

(3) 温室气体作用

在对流层上部和平流层底部，即在气温很低的这一高度，臭氧的作用同样非常重要。如果这一高度的臭氧减少，则会产生使地面气温下降的动力。因此，臭氧的高度分布及变化是极其重要的。

注：UV-C：短波紫外线；UV-B：中波紫外线；UV-A：长波紫外线；VL：可见光；IR：红外线

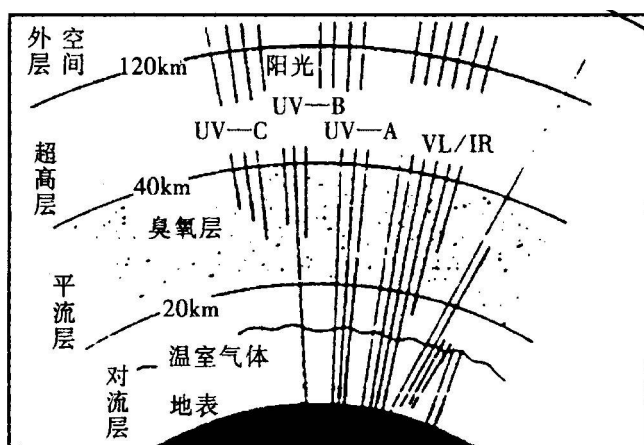


图 1-3 太阳辐射透过大气层示意图

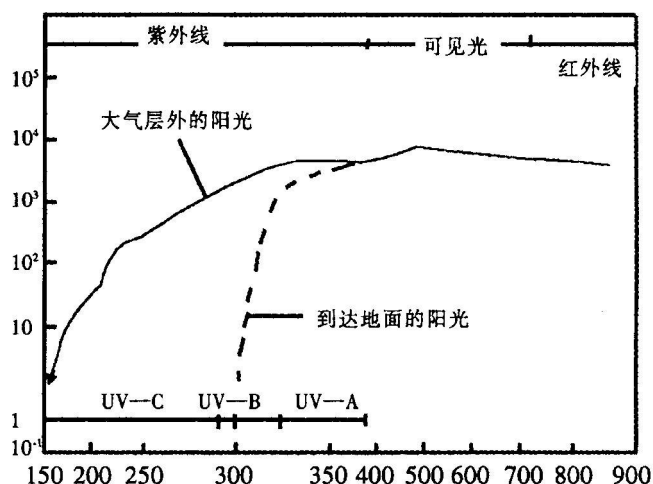


图 1-4 太阳辐射透过臭氧层的强度变化

2. 臭氧的分布和变化

臭氧的分布如前图 1-2 所示。低纬度地区臭氧峰值较高，而高纬度地区的臭氧峰值较低。臭氧总量随季节变化，高纬度地区从冬季到春季的总量都大。从冬季到春季高纬度地区

臭氧总量变大是传输效果引起的，属于力学作用。在低纬度平流层中生成的臭氧的大气被传送到高纬度并沉降。由于这种运动在冬季到春季期间较为活跃，所以在这段时间内的臭氧浓度较高。

上述传输作用引起的臭氧变化只局限于平流层下部，但在高度 30~35km 的空间则相反，夏天的臭氧浓度增高而冬天却降低。这与夏天通过光化学反应生成臭氧的速度较快是一致的，这便是所谓的化学作用。

三、臭氧层耗减的发现和现状

1. 臭氧层耗减的发现

20 世纪 70 年代以来，从世界各地地面观察站对大气臭氧总量的观测记录发现，全球臭氧总量有逐渐减少的趋势，并推断臭氧的减少主要原因在臭氧层。

一些环境科学家认为，某些人类活动所散发的物质进入臭氧层后，参与消耗臭氧的化学反应，破坏了臭氧层的自然动态平衡，因此出现了臭氧层耗减的迹象。

1974 年，美国加利福尼亚大学教授罗兰和莫利纳首先提出，世界上正在大量生产和使用的 CFCs，化学性能稳定，不易在对流层内分解，而扩散进入到臭氧层。进入臭氧层的 CFCs 受到短波紫外线 UV-C 的照射分解成 $Cl \cdot$ 自由基，参与了对臭氧的消耗。由此人们得出原来破坏臭氧层的元凶是 CFCs。同年在美国化学学会的年会上，报告了臭氧层减耗对人类健康和生存环境的危害性，使美国社会为之哗然。

1985 年，英国南极考察队队长法曼报告，他们从 1977 年起就发现南极上空的臭氧总量在每年 9 月下旬开始，迅速地减少到一半左右，形成一个“臭氧空洞”，持续到 11 月方才逐渐恢复。这一报道引起世界性的震惊，要求保护臭氧层的呼声高涨。

2. 臭氧层的变化

通过对卫星资料和地面观测的数据进行分析，可以得到臭氧总量的变化趋势(见表 1-1)。

表 1-1 臭氧总量的变化趋势(%10 年)

季节	卫星资料：1979~1991			地面观测：26' N~64' N	
	45' S	赤道	45' N	1979~1991	1970~1991
12~3 月	-5.2±1.5	+0.3±4.5	-5.6±3.5	-4.7±0.9	-2.7±0.7
4~8 月	-6.2±3.0	+0.1±5.2	-2.9±2.1	-3.3±1.2	-1.3±0.4
9~11 月	-6.4±3.2	+0.3±5.0	-1.7±1.9	-1.2±1.6	-1.2±0.6

从表 1-1 可以看出，北半球上空的臭氧从冬季到春季有大量减少的趋势，而这种变化趋势在 20 世纪 80 年代更加明显。在赤道附近未出现明显减少趋势。在南半球中纬度则全年都有明显减少趋势。

3. 南极“臭氧空洞”

南极是一个非常寒冷的地区，终年被冰雪覆盖，四面环绕着海洋。从 20 世纪 80 年代中期南极上空臭氧层浓度在春季（10 月份）期间明显下降被报道以来，进一步的测量表明，在过去 10~15 年间，每到春天南极上空的平流层臭氧都会发生急剧的大规模耗损。极地上空的臭氧层中心地带，近 95% 的臭氧被破坏。从地面向上观测，高空的臭氧层已极其稀薄，与周围相比好像是形成了一个“洞”，直径达上千公里，“臭氧空洞”就是因此而得名的（南极臭氧空洞示意图见图 1-5）。卫星观测表明，南极上空臭氧空洞的覆盖面积有时甚至比美国的国土面积还要大。

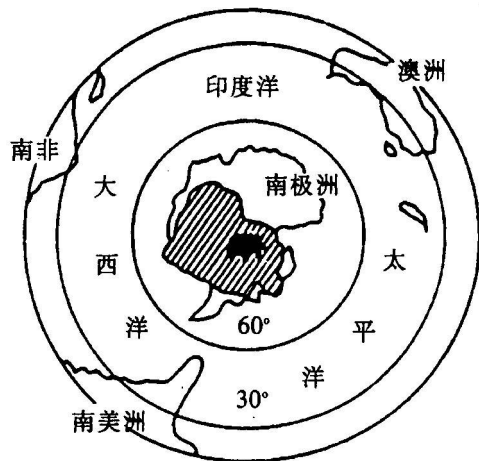


图 1-5 南极臭氧空洞示意图

臭氧空洞被定义为臭氧的柱浓度小于 200D.U.,即臭氧的浓度较臭氧空洞发生前减少超过 30%的区域。臭氧空洞可以用一个三维的结构来描述,即臭氧空洞的面积、深度以及延续的时间。

1987 年 10 月,南极上空的臭氧浓度降到了 1957~1978 年间的一半,臭氧空洞面积则扩大到足以覆盖整个欧洲大陆。此后,臭氧浓度下降的速度还在加快,有时甚至减少到只剩 30%;臭氧空洞的面积也在不断的扩大,1994 年 10 月间日观测到的臭氧空洞曾一度蔓延到了南美洲最南端的上空。

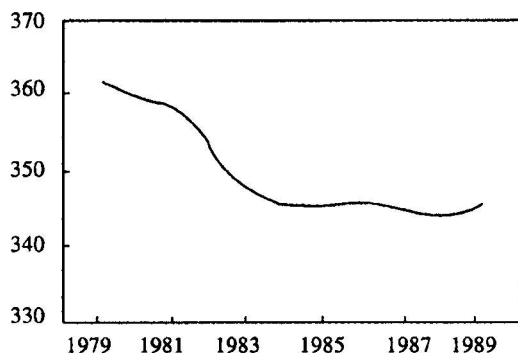
近几年,臭氧空洞的深度和面积等仍在继续扩展,1995 年观测到臭氧空洞发生期间是 77 天,到 1996 年南极平流层的臭氧几乎全部被破坏,臭氧空洞发生期间增加到 80 天。1997 年至今,观测到的臭氧空洞发生的时间也在提前,连续两年南极臭氧空洞从每年的冬初即开始,1998 年臭氧空洞的持续时间超过了 100 天,是南极臭氧空洞发现以来的最长记录,而且臭氧空洞的面积比 1997 年增大约 15%,几乎可以相当于 3 个澳大利亚。这一切迹象表明,南极臭氧空洞的耗减状况仍在恶化之中。

4. 其它地区的臭氧耗减

进一步的研究和观测还发现,臭氧层耗减不只发生在南极,在北极上空和其它中纬度地区也都出现了不同程度的臭氧层耗减现象。实际上,尽管没有在北极发现类似南极空洞的臭氧损失,但科学研究发现,北极地区在 1~2 月的时间,16~20km 高度的臭氧损耗约为正常浓度的 10%,北纬 60~70 范围的臭氧柱浓度的破坏约为 5~8%。因此,与南极的臭氧破坏相比,北极的臭氧损耗程度要轻得多,而且持续时间相对较短。不过,近几年臭氧在北半球和北极也有急剧减少的现象。

欧洲航天局 1999 年 11 月 30 日测得西欧北部上空的臭氧含量出现超低现象。在英国、比利时、荷兰和斯堪和纳维亚半岛上空的臭氧含量几乎降到与南极上空的臭氧含量同样低的水平,只相当于该地区往年同期臭氧含量的 2/3。由美国、欧盟、日本等多个国家和地区的科学家进行的一项联合研究表明,在 2000 年冬季里,北极上空臭氧含量急剧减少。据“第三次欧洲臭氧同温层试验”发表的新闻公报说,2000 年 1~3 月间,北极上空 18km 处的臭氧同温层里,臭氧含量累计减少了 60%以上,这是近 10 年同一区域臭氧损失最严重的一次,在距地面 20km 的上空,臭氧损失相对要轻一些。在 3 月份的头两周,北极上空臭氧平均含量比 20 世纪 80 年代的监测结果低 16%。北极上空臭氧减少将影响到整个欧洲上空的臭氧含量。2000 年 3 月,希腊萨洛尼卡大学发表报告说,欧洲上空的平均臭氧含量比 1976 年以前的水平低 15%。

我国在北京和昆明建立了两个观察站，也对大气臭氧总量进行了观测。从 1979~1989 年 10 年间的观测结果可以看出，上述两个站上空的臭氧总量都出现下降趋势。北京站的纬度更高，下降趋势更为明显（见图 1-6）。我国在青藏高原存在一个臭氧低值中心。中心出现于每年 6 月，臭氧总浓度的年递减率达 0.345%，这在北半球是非常异常的现象。我国上



空臭氧总量减少情况见图 1-7。

图 1-6 北京上空臭氧总量变化图

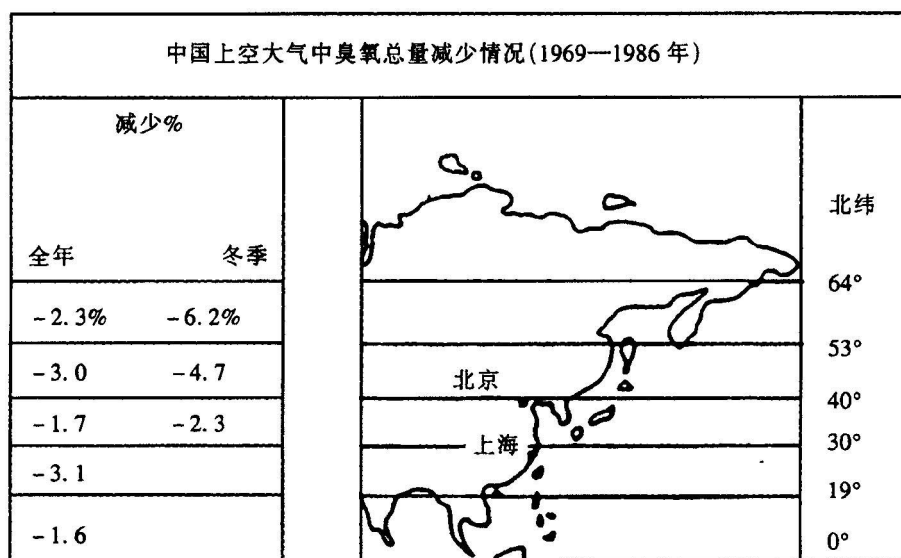


图 1-7 我国上空臭氧总量减少情况图

预测今后几十年内，大气中臭氧总量还将继续减少。即使采取措施。自 2000 年起完全停止使用 CFCs 和哈龙，大气臭氧总量也要到 100 年以后，即 2100 年才能恢复到 1985 年的水平。臭氧层的这种现状已经引起了各国政府和人民的普遍担忧。

臭氧层的破坏

一、 臭氧层破坏的原理

1. 臭氧层破坏的原理

在平流层中，一部分氧气分子可以吸收小于 240um 波长的太阳光中的紫外线，并分解形成氧原子。这些氧原子与氧分子相结合生成臭氧，生成的臭氧可以吸收太阳光而被分解掉，也可与氧原子相结合，再度变成氧分子，形成了臭氧的动态平衡。

人类生产和使用大量 CFCs 受到短波紫外 UV-C 的照射，分解出 Cl·自由基 Cl·自由基可以从臭氧分子中夺取一个氧原子，使 O₃ 变成普通的氧分子；形成的一个氧化氯很不稳定，与另一个氧原子结合，使 Cl·自由基再次游离出来，又可以重复上述反应。反应过程中释放的 Cl·自由基可以在平流层中存在好几年，因此一个 Cl·自由基能够消耗 10 万个臭氧分子就不足为怪了。一般情况下 CFCs 放出一个氯离子，但是剩下的基因可以通过与氧气等的后续反应，使 CFCs 中的全部氯都以破坏臭氧层的活动形态放出。

仅仅根据气相反应理论，臭氧减少的最明显的高度应在 40km 附近。但是实际上臭氧减少趋势最大的高度是 20km 附近。而 20km 附近正是臭氧浓度最高的区域，这一事实进一步说明了臭氧层破坏的严重性。这种气相反应经典理论，与实际臭氧层破坏状况不一致的原因现已找到。这是由于破坏臭氧的反应通常是在颗粒状气溶胶表面进行，即非相反应所造成的。正是非均相反应极大地破坏臭氧层才造成地极“臭氧空洞”。

2. 南极臭氧空洞形成原理

自从发现在南极上空存在臭氧空洞以后，为了查实和弄清臭氧层耗减及臭氧空洞形成的原因，美国宇航局(NASA)牵头组织了数十个科学家于 1986 年和 1987 年的 9~11 月，两次赴南极进行臭氧探险活动，寻求揭示臭氧空洞形成的机理。在第二次探险中获得了有效的探测结果，由此推理出臭氧空洞形成的机理。

人类所排放的 CFCs 主要在北半球，其中欧洲、俄罗斯、日本和北美洲约占总排放量的 90%。这种不溶于水和活泼的 CFCs，前 1~2 年内在整个大气层下部并与大气混合。这种含有 CFCs 的大气从底部向上升腾，一直到达赤道附近的平流层。然后分别流向两极，这样经过整个平流层的空气几乎都含有相同浓度的 CFCs。

然而由于地球表面的巨大差异，两极地区的气象状况是完全不同的。南极是一个非常广阔的陆地板块(南极洲)，周围又完全被海洋所包围，这种自然条件下产生了非常低的平流层温度。在南极黑暗酷冷的冬季(6~9 月)，下沉的空气在南极洲的山地受阻，停止环流而就地旋转，吸入周围的冷空气，形成“极地风暴旋涡”。

这股“旋涡”上升到 20km 高空的臭氧层，由于这里温度非常低，形成了滞留的“冰云”。“冰云”中的冰晶微粒把空气中带来的 CFCs 和哈龙吸收在其表面，并不断积聚其中。当南极的春季来临(9 月下旬)，阳光照向“冰云”时，冰晶溶化，释放出吸附的 CFCs 和哈龙。它们受到紫外线 UV-C 照射，分解出 Cl·和 Br·并与臭氧反应生成 ClO·和 BrO·消耗臭氧。由于冰晶的吸附作用，积累的 CFCs 和哈龙在一段时间内集中分解出 Cl·和 Br·再加上形成冰晶会发生各种各样的化学变化，促成了每年 9~11 月臭氧快速耗减，在特定高度臭氧几乎完全消失，导致臭氧空洞形成。

随着夏季的到来，南极臭氧层得到逐渐恢复，然而臭氧减少的空气可以传输到南半球的中纬度，造成全球规模的臭氧减少。

3. 北极地区臭氧层破坏的原理

南极能够形成臭氧空洞，人们自然会联想到北极也可能发生臭氧空洞。根据这一推断，1989 年初，来自几个国家的 200 个科学家又聚集到北极进行考察探测。他们发现北极的春天，臭氧层中的 ClO 浓度升高和臭氧浓度降低，两者之间有着显著的对应关系。只是北极没有极地大陆和高山，仅有一片海洋冰帽，形不成大范围强烈的“极地风暴”，所以不易生成像南极一样大的“臭氧空洞”。但是由于北极也有通过非均相反应破坏臭氧层的典型物质，因此在“极地风暴”可以生成的年份里，北极也可能发生大规模的臭氧层破坏，近几年北极出现的“臭氧空洞”便足以说明问题。对于北极臭氧层耗减的日益严重，已经变得十分引人

注目。

4. 中纬度臭氧减少的原理

在南半球，由于极地风暴的消失，南极“臭氧空洞”臭氧浓度很低的气团可以向中纬度扩散，从而稀释了中纬度臭氧使其浓度下降，人们认为这种稀释效应具有十分重要的作用。

北半球中纬度臭氧减少机理尚不十分清楚，一般认为有如下两种可能：

(1)虽然北极地区极地风暴不稳定，仍可短时间形成一些“冰云”，并发生一系列非均相反应，破坏臭氧，减少了臭氧的空气可向中纬度扩散传输，或者 $\text{ClO}\cdot$ 等破坏臭氧的物质传输到中纬度，加速了臭氧破坏。

(2)在中纬度平流层中存在的硫酸盐气溶胶，其表面上发生一系列非均相反应，加速了臭氧破坏。

二、臭氧层破坏产生的危害

臭氧层耗减对全球环境造成的影响，只能是从最近 10 多年的环境情况与 10 多年前或更最年代的情况相比，发现了某些特异的变化，就目前情况而言，还不能认为已经产生了明显的严重后果。

臭氧层的耗减产生的直接就是使太阳光中的中波紫外线 UV-B 达到地面的数量增加。臭氧层耗减和 UV-B 辐射量之间的关系见图 1-8。通常认为臭氧浓度降低 1%，UV-B 辐射量增加 1.5~2%。

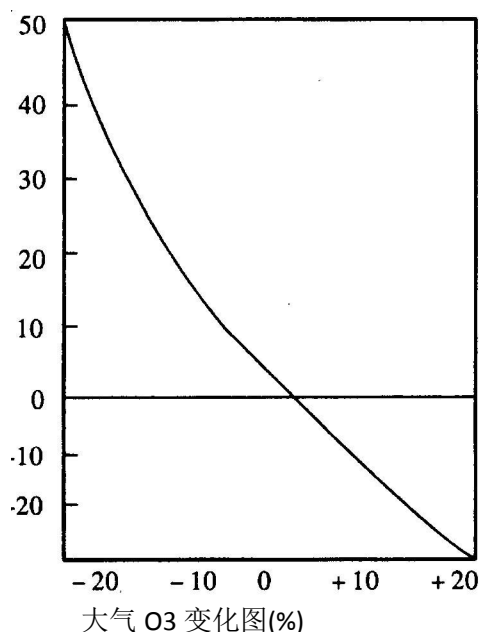


图 1-8 臭氧总量变化与中波紫外线 UV-B 关系

紫外线 UV-B 能破坏蛋白质的化学键，杀死微生物，破坏动植物的个体细胞，损害其中的脱氧核糖核酸(DNA)，引起传递遗传特性的因子变化，发生生物的变态反应。

1. 对人类健康的影响

适量的紫外线照射对人体的健康是有益的，它能增强交感肾上腺机能，提高免疫能力，促进磷钙代谢，增强人体对环境污染物的抵抗力。但是长期反复照射过量紫外线将引起细胞内的 DNA 改变，细胞的自身修复能力减弱，免疫机能减退，皮肤发生弹性组织变性、角质化以至皮肤癌变，诱发眼球晶体发生白内障等。

(1)对免疫系统的影响

中波紫外线 UV-B 的照射,对人体有许多影响。有的是积极的影响,适量的 UV-B 是维持人类生命所必需的。但是长期接受过量紫外线辐射,将引起细胞内 DNA 改变,细胞的自身修复能力减弱,免疫机制减退。由于紫外线辐射的增加,大量疾病的发病率及严重程度都会大大增加。这些疾病包括麻疹、水痘、疮疹和其它引起皮疹的病毒性疾病,通过皮肤传染的寄生虫病(如疟疾和利什曼病)、细菌感染(如肺结核和麻疯病)和真菌感染等。

人体免疫系统的一部分存在于皮肤内,使得免疫系统可直接接触紫外线照射。动物试验发现紫外线照射会减少人体对皮肤癌、传染病及其他抗原体的免疫反应,进而导致对重复的外界刺激丧失免疫反应。人体研究结果也表明暴露于紫外线 B 中会抑制免疫反应,人体中这些对传染性疾病的免疫反应的重要性目前还不十分清楚。但在世界上一些传染病对人体健康影响较大的地区以及免疫功能不完善的人群中,增加 UV-B 辐射对免疫反应的抑制影响相当大。

(2)白内障

白内障是形成在眼球晶体上的一层雾斑(晶状体浑浊)。实验证明紫外线能损伤角膜和眼晶体,可引起白内障、眼球晶体变形等。据分析,平流层臭氧减少 1%,全球白内障的发病率将增加 0.6~0.8%,全世界由于白内障而引起失明的人数将增加 10,000~15,000 人;如果不对紫外线的增加采取措施,从现在到 2075 年,UV-B 辐射的增加将导致大约 1,800 万白内障病例的发生。

(3)皮肤癌

紫外线 UV-B 辐射的增加,直接导致人类常患的三种皮肤癌。前两种是 Basal 和鳞状皮肤癌,这种非恶性癌每年在美国大约有 50 万患者,如果发现及时,这种病可以治愈,因此很少有人死于此病。美国环境保护局估计臭氧每减少 10%,这两种皮肤癌的发病率就提高 26%。恶性黑瘤比较少见,它与紫外线辐射有关,其机理知之甚少。每年大约有 25,000 人患此病。这种病比较危险,每年大约有 5,000 人死于此病。

每个细胞里的遗传物质(脱氧核糖核酸)都对紫外线很敏感,脱氧核糖核酸的损伤会杀死细胞或将其变成癌细胞。白色皮肤的人对太阳光缺乏自然保护,他们更容易患皮肤癌。据计算,臭氧每减少 1%,非黑色素瘤皮肤癌就增加 3%。按美国当今人口计算,良性黑色素瘤的病例将增加 45 万例,恶性黑色素瘤的病例将增加 1,000 例。未来数代受害将更加严重。在靠近南极的澳大利亚,皮肤癌发病率增加了 3 倍,近年来在那里也一直在讨论有关“臭氧警告”的问题。

为了防止紫外线对人体皮肤和眼睛造成损害,应避免强烈地日晒,户外活动和工作应穿着长衣长裤,或使用防止紫外线的防晒油涂抹身体裸露部分。为避免角膜炎和白内障,应佩戴能过滤紫外线的眼镜。

2. 对陆生植物的影响

臭氧层耗减,对植物和动物生长的影响,人们了解还不很多,较之对人体的影响了解更少。已做过的一些研究也尚难做出合理的解释。臭氧耗减对农作物的危害做定量预测,也由于其它环境因素的参与变得十分困难。但综合考察还是给我们启示了未来可能的影响。

对某些农作物的研究表明,紫外线 UV-B 辐射增加会引起某些植物物种和化学组成发生变化,影响农作物在光合作用中捕获光能的能力,造成植物获取的营养成分减少,生长速度减慢。研究过的植物中,紫外线对其中的 50%有不良影响,尤其是像豆类、瓜类、卷心菜一类的植物更是如此。西红柿、土豆、甜菜、大豆等农作物,由于紫外线 UV-B 辐射的增加,还会改变细胞内的遗传基因和再生能力,使它们的质量下降。一项研究表明,如果臭氧减少 25%,则大豆的产量会下降 20~25%,大豆的蛋白质含量和含油量也会降低。

紫外线辐射的增加对林业也有影响。通过对 10 个种类的针叶树幼苗进行研究,结果表

明其中 3 个品种受紫外线 UV-B 辐射的影响而产生不良后果，其所受影响的程度也与预测方案相吻合。

植物的生理和进化过程都受到 UV-B 辐射的影响，并与 UV-B 辐射的量有关。植物也具有一些缓和和修补这些影响的机制，在一定程度上可以适应 UV-B 辐射的变化。不管怎样，植物的生长直接受 UV-B 辐射的影响，不同种类的植物，甚至同一种不同栽培品种的植物对 UV-B 的反应都是不一样的。在农业生产中，就需要种植耐受 UV-B 辐射的品种，并同时培养新品种。对森林和草地，可能会改变物种的组成，进而影响不同生态系统的生物多样性分布。

UV-B 辐射带来的间接影响，例如植物形态的改变，植物各部位生物质的分配，各发育阶段的时间及二级新陈代谢等可能跟 UV-B 造成的破坏作用同样大，甚至更为严重。这些对植物的竞争平衡、食草动物、植物致病菌和生物地球化学循环等都有潜在影响。目前，这方面的研究工作尚处起步阶段。

3. 对水生生物的影响

世界上 30% 以上的动物蛋白质来自海洋，因此很有必要知道紫外线辐射增加后对水生生态系统生产力的影响。

此外，海洋在与全球变暖有关的问题中也具有十分重要的作用。海洋浮游植物的吸收是大气中 CO₂ 的一个重要的消除途径，它们对未来大气中 CO₂ 浓度的变化趋势起着决定性的作用。海洋对 CO₂ 气体的吸收能力降低，将导致温室效应加剧。

海洋浮游植物并非均分布在世界各大洋中，通常高纬度地区的密度较大，热带和亚热带地区的密度要低 10~100 倍。除可获取的营养物、温度、盐度和光外，在热带和亚热带地区普遍存在的阳光 UV-B 的含量过高的现象也在浮游植物的分布中起着重要作用。

浮游植物的生长局限在光照区，即水体表层有足够光照的区域，生物在光照区的分布地点受到风力和波浪等作用的影响。另外，许多浮游植物也能够自由运动以提高生产力保证其生存。暴露于阳光 UV-B 下会影响浮游植物的定向分布和移动，因而降低了这些生物的存活率。

研究人员测定了南极地区 UV-B 辐射及其穿透水体的量的增加，证据证实天然浮游植物群落与臭氧的变化直接相关。对臭氧空洞范围内和臭氧空洞以外地区的浮游植物进行比较的结果表明，浮游植物生产力下降与臭氧减少造成的 UV-B 辐射增加直接有关。一项研究表明，在冰川边缘地区的生产力下降了 6~12%。由于浮游生物是海洋食物链的基础，浮游生物种类和数量的减少还会影响鱼类和贝类生物的生产量。另一项科学研究的结果显示，如果平流层臭氧减少了 25%，浮游生物的初级生产力将下降 10%，这将导致水面附近的生物减少 35%。

研究发现阳光中的 UV-B 辐射对鱼、虾、蟹、两栖动物和其它动物的早期发育阶段都有危害作用，最严重的影响是繁殖力下降和幼体发育不全。即使在现有的水平下，浮游植物和动物也已经受到了紫外线的损害。紫外线 B 的照射量很少量的增加就会导致海洋生物的显著减少。

尽管已有确凿的证据证明 UV-B 辐射的增加对水生生态系统是有害的，但目前还只能对其潜在危害进行粗略的估计。

4. 对城市环境和建筑材料的影响

(1) 使城市环境恶化

过量的紫外线除了直接危害人类和生物机体外，还会使城市环境恶化，进而损害人体健康，影响植物生长和造成经济损失。城市工业在燃烧矿物燃料时排放的氧化氮，与某些工业和汽车所排放的挥发性有机物，同时在紫外线照射下会更快地发生光氧化反应，生成臭氧、过氧化烯烷基硝酸酯等产物，从而造成城市内近地面大气的臭氧浓度增高，引起光化学烟雾污染。

近地面臭氧浓度过高，吸入人体会导致肺功能减弱和组织损伤，引起咳嗽、鼻咽刺激、呼吸短促和胸闷不适等。

近地面的臭氧和过氧化烷基硝酸酯能损害植物叶片，抑制光合作用，使农作物减产，森林或树木枯萎坏死，其危害甚至比酸雨还大。

近地面臭氧浓度增高，还使聚合物材料加速老化。

据美国环保局估计，当臭氧耗减 25%时，城市光化学烟雾的发生几率将增加 30%，聚合物材料等老化的经济损失将高达 47 亿美元。

(2)对建筑材料的破坏

因平流层臭氧损耗导致阳光紫外线辐射的增加会加速建筑、喷涂、包装及电线电缆等所用材料，尤其是聚合物材料的降解和老化变质。特别是在高温和阳光充足的热带地区，这种破坏作用更为严重。由于这一破坏作用造成的损失估计全球每年达到数十亿美元。

无论是人工聚合物，还是天然聚合物以及其它材料都会受到不良影响。当这些材料尤其是塑料用于一些不得不承受日光照射的场所时，只能靠加入光稳定剂和抗氧剂或进行表面处理以保护其不受日光破坏。阳光中 UV-B 辐射的增加会加速这些材料的光降解，从而限制了它们的使用寿命。研究结果已证实中波 UV-B 辐射对材料的变色和机械完整性的损失有直接的影响。

在聚合物的组成中增加现有光稳定剂和抗氧剂的用量可能缓解上述影响，但需要满足下面三个条件：

①在阳光的照射光谱发生了变化即 UV-B 辐射增加后，该光稳定剂和抗氧剂仍然有效。

②该光稳定剂和抗氧剂自身不会随着 UV-B 辐射的增加被分解掉；

③经济可行。目前，利用光稳定性和抗氧性更好的塑料或其它材料替代现有材料是一个正在研究中的问题。

我国科学家普遍认为臭氧层耗减是客观存在的现象，对于 CFCs 和哈龙引起臭氧层耗减的看法也基本认同，但要准确估计臭氧层耗减对人类和生态环境的危害程度，还要做大量的实验研究工作才能确定。

我国科学家普遍认为臭氧层耗减是客观存在的现象，对于 CFCs 和哈龙引起臭氧层耗减的看法也基本认同，但要准确估计臭氧层耗减对人类和生态环境的危害程度，还要做大量的实验研究工作才能确定。

消耗臭氧层物质 (ODS)

许多科学研究证明，工业上大量生产和使用的全氯氟烃、全溴氟烃等物质，当它们被释放并上升到平流层时，受到强烈的太阳紫外线 UV-C 的照射，分解出 Cl·自由基和 Br 自由基，这些自由基很快地与臭氧进行连锁反应，每一个 Cl·自由基可以摧毁 10 万个臭氧分子。人们把这些破坏大气臭氧层、危害人类生存环境的物质称为“消耗臭氧层物质”，简称 ODS。目前认为 ODS 包括下列物质：CFCs、哈龙、四氯化碳、甲基氯仿、溴甲烷以及 HCFC、HBFC 等。

一、ODS 的命名

ODS 中的氯氟烷和溴氟烷通常不使用其它化学名称，而以其特有的命名来表示，即直接用数字码称呼，这在化学商品中是独一无二的。它起源于 1928 年美国一个 3 人化学家小组 (T.Midgel, A L Henne, R R McNary)为简化冗长的化学名称而以代码称呼的。代码的编制法则通过美国采暖、制冷空调工程学会(简称 ASHRAE)的协调，所有与生产和消费这类有关的会员于 1957 年 6 月一致同意采用此代码体系，称呼卤代烷制冷剂，正式通过了 ASHRAE 标准

第 34 号(1957 年 6 月 3 日)“氟代烷烃数字名的代码体系”。

1960 年 9 月这个代码体系又被美国标准协会(American Standards Association)批准确认,并公布了标准“制冷剂的数字名称-B79.1”。鉴于这个代码体系已被全世界的制造厂商普遍接受,为此,1960 年 10 月,国际标准化组织(当时名为 International Organization of Standardization,简称 IOS)的一个工作委员会建议正式通过此代码体系,并将其应用于所有卤代烷烃和碳氢烷烃。从此这个专为氯氟烷烃制冷剂使用的代码体系正式在全世界通行。

对于氟氯烃的命名,为了避免用商品名称呼化合物,国际上统一使用氯氟烃的英文名称缩写来表示其化合物的种类,作为名称的字头。如全氯氟烃,英文名称 Chlorofluorocarbon,取其字头组成缩写代号 CFC 作为其通称。对于含氢的氯氟烃同样取英文名 Hydrogen containing chlorofluorocarbon 的字头 HCFC 表示。含氢氟烃则取 Hydrofluorocarbon 字头 HFC 表示。其后面以代码表示不同的化学物质(或组成)。

编码原则是用三位数组成代码,个位数表示分子中氟原子的个数、十位数表示分子中氢原子的个数加 1,百位数表示分子中碳原子的个数 1。按此原则,三氯一氟甲烷(CC13F)的代码百位数为 0、十位数为 1、个位数为 1,即 CFC-11。

此外,乙烷丙烷类多碳氯氟烃,由于氯、氟原子取代位置的不同,可以有几个同分异构体。在代码后缀标上 a、b、c……表示其不同的同分异构体。

二、ODS 的应用

自 20 世纪 30 年代初,CFCs 作为一类新的化工产品问世以来,由于其具有化学惰性和热稳定性、不燃性、低毒性、沸点低及气液相易于转变,与碳氢类油脂相互混溶,表面张力和粘度低等特性,它们的应用范围日益广泛,已涉及航空航天、机械电子、医药卫生、石油及日用化工、建筑家具、食品加工、商业服务等许多行业。主要用作制冷剂、塑料发泡剂、喷射剂、清洁剂等。用 CFCs 制造和加工的产品,如冰箱、空调机、电视机及其它电子产品、沙发、各类气雾罐等,已进入千家万户,成为提高人们的社会和家庭生活水平,实现现代化所不同缺少的必需品。全世界的 CFCs 年消费量在各种 ODS 中始终居于首位,1986 年全世界 CFCs 消费量约为 114 万吨,其中 70%以上为 CFC-11 和 CFC-12,两者共约 82 万吨。

三、ODS 对臭氧层的破坏能力

不同的 CFC 对臭氧层的破坏力是不同的。当它们逸入大气时,由低空(对流层)逐渐向高空(平流层)扩散。一些全氯氟烃在对流层不发生变化,但至平流层中的臭氧层,受到短波紫外线照射分解,引发了破坏臭氧的反应;而一些含氢的氯氟烃,在对流层已与大气中富含 HO·自由基发生反应而分解。它们在大气对流层中的存在寿命不长,因而能够扩散到臭氧层的数量很少,对臭氧层破坏的机会就很小。为了表示和比较这些 ODS 破坏臭氧的能力,引用了臭氧耗减潜能值(Ozone depletion potential,简称 ODP)的概念。以 CFC-11 为基准作为比较物,设定其 ODP 值为 1。其它 ODS 的 ODP 值按其损耗臭氧能力比 CFC-11 大或小的分数值表示。

此外,这些 ODS 在大气中都产生温室效应,使地表和近地面大气温度增高,造成使全球气候变暖的环境问题。为了表示和比较 ODS 气体对全球气候变暖的影响能力大小,引用全球变暖潜能值(Global warming potential,简称 GWP)的概念。以 CO₂ 为基准比较,其它 ODS 的 GWP 值按其导致全球变暖的能力比 CO₂ 大或小的分数值表示。

各种主要 ODS 气体在大气中的存在寿命、ODP 值和 GWP 值见表 1-2。

表 1-2 主要 ODS 的寿命、ODP 值和 GWP 注值

ODS	在对流层中的寿命(a)	ODP	GWP
CFC-11	60	1	0.4
CFC-12	120	1	1
CFC-113	90	0.8	1.4
CFC-114	200	0.7	3.9
CFC-115	400	0.4	7.5
HCFC-22	15	0.05	0.34
Halon-1211	18	3	—
Halon-1301	110	10	2.4
Halon-2402	2.3	6	—
甲基氯仿	7	0.1	0.02
四氯化碳	40	1.1	0.35
溴甲烷		0.7	

注：GWP 值根据国际气候变化委员会 1992 年资料 CO₂=1，时间区间为 100 年。