

**第10章**  
**臭氧层与地球环境生态**

# 目录

第一节 引言

第二节 臭氧层的变化与臭氧洞的形成

第三节 大气臭氧层与太阳紫外辐射

第四节 臭氧损失原因的解释

第五节 大气臭氧层破坏对环境生态的影响

第六节

# 第一节 引言

臭氧对人类和地球环境既有害又有益，这取决于他在大气层中存在的位置。接近地面时，臭氧作为一种强氧化剂，损害人类的健康；在10~50km高度，臭氧起着温室气体的作用；而平流层中的臭氧层有过滤有害的紫外线辐射的作用，它环绕地球形成了一个防护罩。如今，人类活动造成了这一“防护罩”的削弱，已导致了許多严重的后果，危及着植物和动物的生存。最近南极臭氧洞的变化，引起了多方的关注；保护臭氧层——保护我们的地球已经成为世界各国关注的焦点。

# 科学之书

---影响人类历史的250项科学大发现 By Peter Taylor

1648年 大气压力 B Pascal (1623-1662)

1735年 信风 G Hadley (1685-1768)

1863年 **温室效应** J Tyndall(1820-1893)

1903年 混沌理论 JH Poincare (1854-1912)

1963 EN Lorenz

1912年 大陆漂移 AL Wegener(1880-1930)

1914年 气候周期 M Milankovich(1879-1958)

1920年 气象预报 V Bjerknes(1862-1951);

J Bjerknes (1897-1975)

1974年 **臭氧洞** M Molina(1943-); S Rowland(1927-)

# 南极臭氧洞 - 来自上帝的警告



## The Nobel Prize in Chemistry 1995

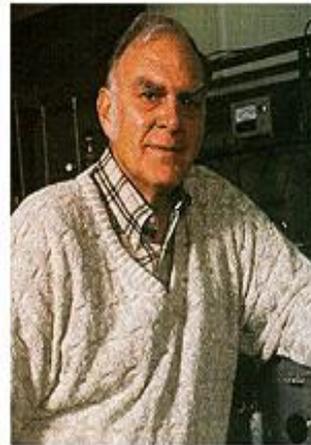
The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the 1995 Nobel Prize in Chemistry to **Paul Crutzen**, **Mario Molina** and **F. Sherwood Rowland** for their work in atmospheric chemistry, particularly concerning the formation and decomposition of ozone.



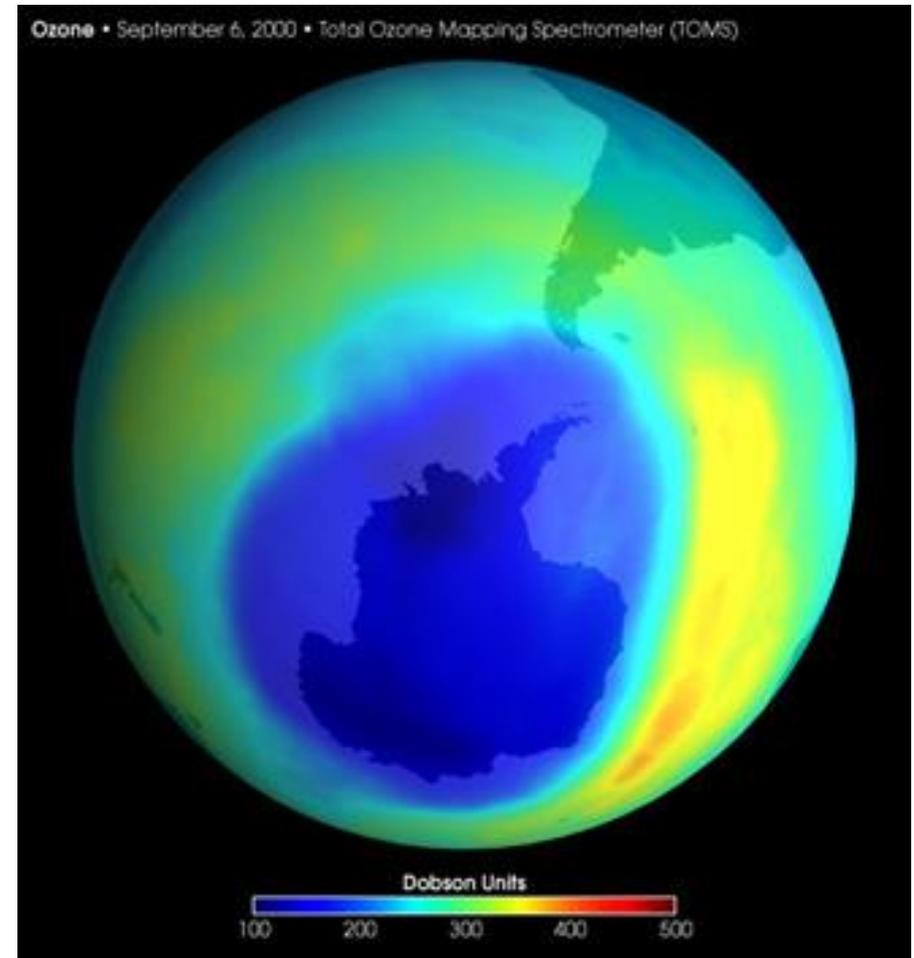
Paul Crutzen  
Max Planck Institute for  
Chemistry  
Mainz, Germany



Mario Molina  
Dept. of Earth Atmospheric  
& Planetary  
Sciences & Dept. of  
Chemistry, MIT



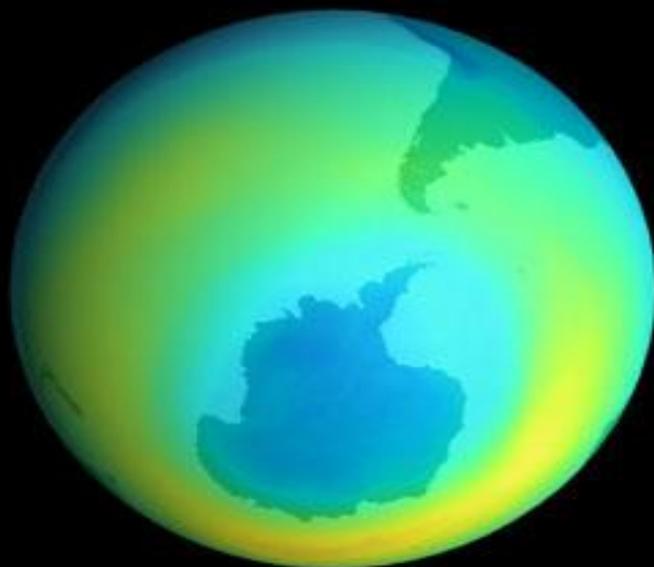
Sherwood Rowland  
Dept. of Chemistry, Univ.  
of California  
Irvine, USA



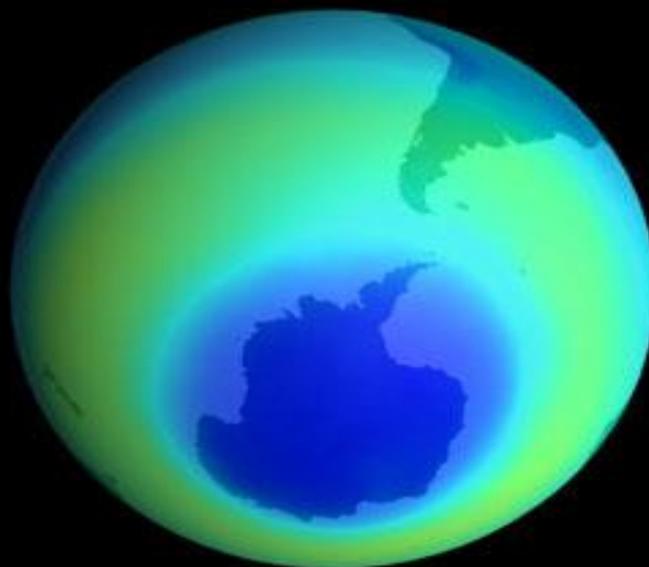
2000年9月  
人类历史上最严重的南极臭氧洞



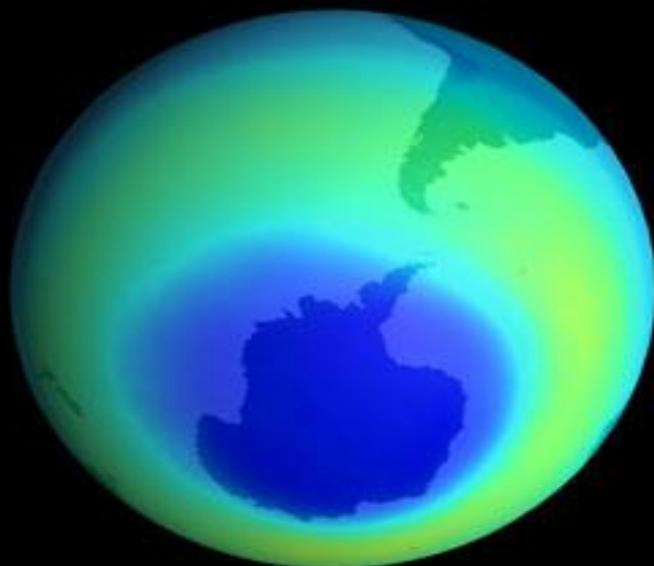
人类要考虑如何补天！



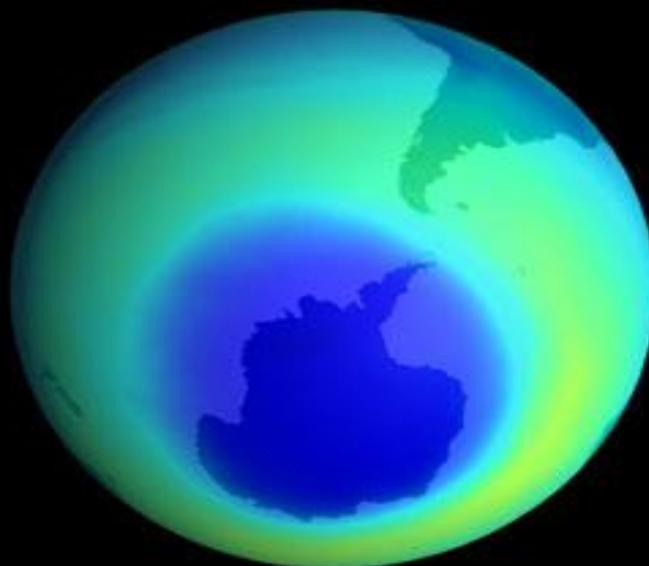
September 1981



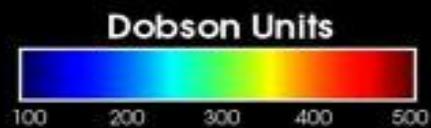
September 1987



September 1993



September 1999

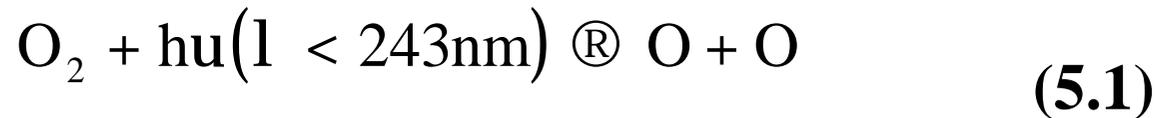


## 第二节 臭氧层的变化与臭氧洞的形成

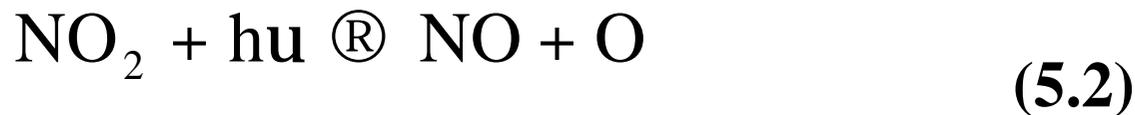
大气中对流层和平流层以及中层低部都有臭氧存在。在距地面10公里到30公里这一区域内有一臭氧浓度峰值出现，这一区域称为臭氧层。即使在这一层，臭氧浓度也很稀薄，峰值浓度仅有 $5 \cdot 10^{12} \text{O}_3$ 分子/cm<sup>3</sup>。臭氧在大气中的分布，

平流层中的臭氧吸收掉太阳放射出的大量对人类、动物及植物有害波长的紫外线辐射（240—329纳米，称为UV—B波长），为地球提供了一个防止紫外辐射有害效应的屏障。使地球上的人及生物免遭太阳强烈紫外线的辐射，保障了人类生存活动的环境，对人类生存环境具有至关重要的位置。但另一方面，臭氧遍布整个对流层，也起着温室气体的不利作用。

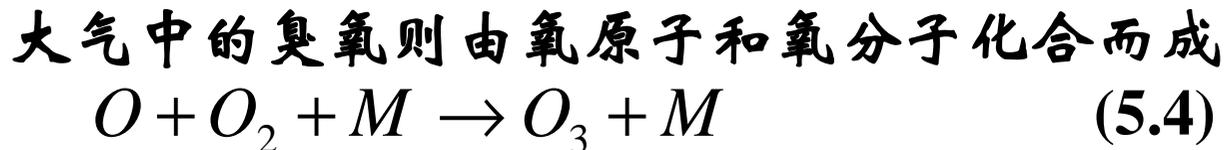
现在已知约有50多个化学反应参与臭氧的平衡。臭氧层是处在 $O_3$ 、 $O_2$ 、 $O$ 的动态平衡体系过程中。太阳辐射提供反应过程进行的驱动能量。在距离地面约20公里处， $O_2$ 经短波紫外辐射发生光解反应生成氧原子。



在对流层和低海拔的大气中，氧原子主要由 $NO_2$ 经长波紫外辐照光解而产生。



臭氧自身通过紫外线和可见光照射后，也会发生光解反应： $O_2 + hu \textcircled{R} O_2 + O$  (5.3)



M是第三者物体，需要带走由这反应释放出的能量。

因此臭氧的形成与消失是处在动态平衡中。

然而，随着人类进步和工业的发展，人们人工合成许多化合物。给人类繁荣带来难以数尽的益处。但是，有些人工合成的化合物也给人类带来灾难。氟 碳化合物就是一个这样的实例。人们大量合成及使用这些化合物，又任其排放的大气中，结果使大气臭氧层遭到破坏，而成为当前人类面临的重大环境问题。

现今，臭氧层遭到破坏的情况已逐渐被许多事实所证实。1985年英国南极科学考察站的科学家Farman等报导在南极上空于十月份观察到臭氧层浓度降低近40%，美国宇航局Stolarski,R.S等由Nimbus-7人造卫星监测大气臭氧层的数据证实自1978年以来，在南极上空于十月份确实存在“臭氧洞”，从测绘到的臭氧浓度图可看到“臭氧洞”不是固定在一区域，每年都在移动，“臭氧洞”覆盖南极的面积逐年增大。在1985年，美国的“云雨—7”号气象卫星，测到了这个“洞”，其面积与美国领土几乎相当，其深度相当于珠穆朗马峰的高度。

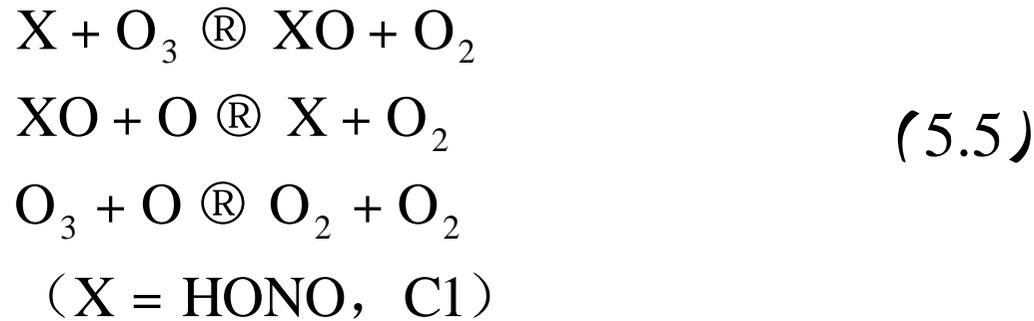
此外，1983年，瑞士、西德、加拿大和美国的科学家都观察到在北半球上空臭氧层浓度降低约5—7%，并且在北极附近也观测到臭氧层浓度降低的现象。

目前，对“臭氧洞”产生的原因尚不清楚。近管有许多科学家从不同的角度来阐述这一现象，仍未得到完满的解释。

对“臭氧洞”的形成和臭氧层浓度降低有许多种说法，其中主要有下述几种：

## (1) 气相中的氧原子引起臭氧分子消失

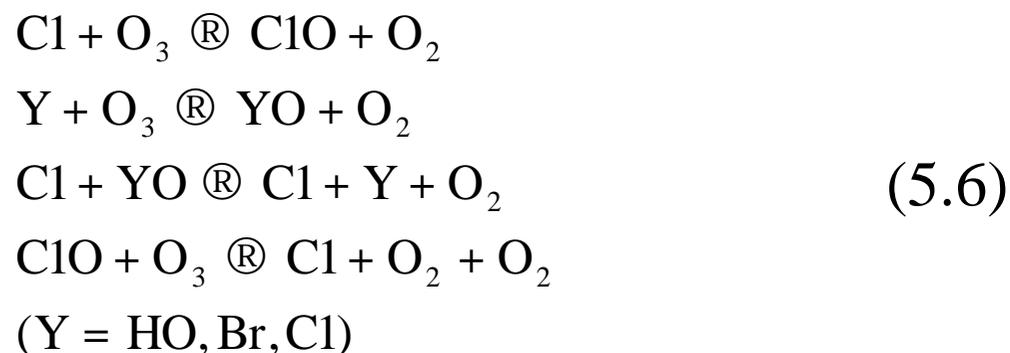
大气中的氧分子经波长小于242nm的太阳短波紫外辐射，可光解产生O，O(<sup>1</sup>O)，并进一步反应生成O<sub>3</sub>，温暖和热带区上空的平流层主要为O与O<sub>3</sub>反应而使臭氧消失。另外，尚有三组HO<sub>X</sub>、NO<sub>X</sub>、ClO<sub>X</sub>循环链式反应可导致臭氧消失。其反应如下：



WMO和NASA都指出，这些反应在温暖和热带的平流层上部进行的快。在平流层低部反应进行较慢，因为在低海拔出O原子的浓度相对较低。在南极春季不仅O原子浓度低，并且温度由很低，约为-80°C。因此上述机理不能合理地解释南极上空的“臭氧洞”的形成机制。

## (2) ClO自由基引起臭氧分子的消失

氯原子与O<sub>3</sub>作用可生成ClO。随即ClO与HO<sub>2</sub>、BrO、ClO等形成循环链式反应，而消除臭氧。其反应式如下：



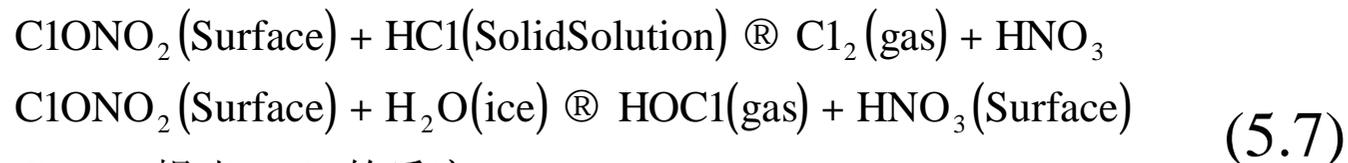
ClO与YO是很复杂的反应。Molina等与1987年指出，当YO=ClO时，可最先生成二聚物(ClO)<sub>2</sub>，然后，光解为O<sub>2</sub>+2Cl。光分解二聚物(ClOOC1)也可形成ClOO和Cl，其中ClOO键很弱，可分解为Cl和O<sub>2</sub>。

McElroy指出若 $\text{BrO} + \text{ClO}$ 反应则可生成Br及 $\text{ClOO}$ ，后者很快分解放出Cl原子，当然，也有另一途径存在。 $\text{BrO} + \text{ClO}$ 反应后生成Br及 $\text{OClO}$ ，后者在平流层温度下是热稳定的。 $\text{HO}_2$ 与 $\text{ClO}$ 反应将生成 $\text{HOCl}$ ，随即光解再生成HO和Cl。

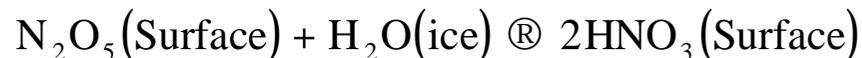
在南极上空出现“臭氧洞”时，Solomon等曾在臭氧洞内和洞外，测定大气组成及含量的变化，结果指出在洞内 $\text{ClO}$ 浓度比洞外大30倍。这表明Cl在臭氧洞形成中占有重要的作用。在平流层中可提供Cl原子的源主要为CFC。在南极Halley湾测定臭氧在十月份平均浓度在1957年到1985年的变化与大气中有机氯化物浓度的变化是一致的。

### (3) 异相化学反应

在平流层模式中曾引入许多气相化学反应，但是都不能预测南极低温下大气臭氧层浓度大幅度下降的事实。因为Rowland等在模式中引入异相化学反应，在冬季南极旋涡中有极地平流层云(PSC)，温度约为 $-80^{\circ}\text{C}$ ，实际为许多冰粒。在冰粒表面可进行许多反应，这时HCl和ClONO<sub>2</sub>都是Cl的储存库。这些化合物在冰表面，形成酸性物，在冰表面进行催化反应Molina等研究了下列反应。



Crutzen提出N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的反应



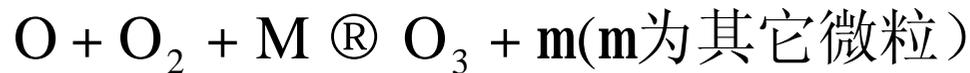
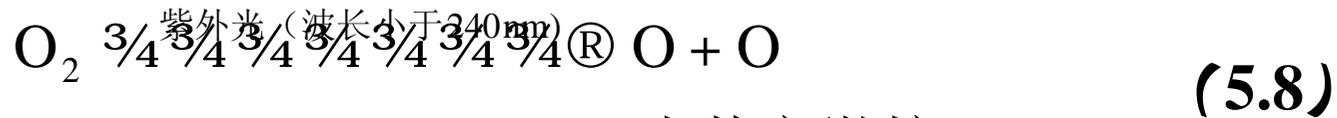
这些冰表面催化反应都进行的很快，当南极春天到来时，出现太阳光，进一步将Cl<sub>2</sub>(gas)及HOCl(gas)光解产生Cl原子和HO自由基，而和臭氧发生链式反应，使臭氧浓度降低。

### 第三节 大气臭氧层与太阳紫外辐射

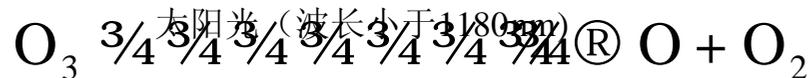
大气臭氧层损失问题之所以引起人们的如此关注，与它的性质及其对地球的保护作用是分不开的。包裹在地球外面的大气层，依其高度和性质被分为不同的层，而其中臭氧的浓度分布亦是因高度而发生变化的。在近地面的大气对流层，臭氧的浓度和大气层的温度都随高度而降低。在离地面的12km处，臭氧浓度开始上升，而大气层温度则在约15km处开始上升。如果以温度最低点处（约210°K）的高度为对流层和平流层的分界的话，则大气对流层的厚度是因纬度、季节等条件的变化而变化的。在赤道地区，对流层的厚度约为18km。而在两极地区则仅为8km。由于地球的天气现象和生命过程都是在对流层中进行。因此，它是地球生态系统中的一个极重要的部分。

从对流层顶开始，大气的温度开始随着高度而逐渐增加，至50km时达到极大值（约270°K）。而臭氧的浓度在这个大气平流层中则迅速增加的，由15km处的每立方厘米 $1 \cdot 10^{12}$ 个分子增至25km处的每立方厘米 $3.2 \cdot 10^{12}$ 个分子，随后开始下降，至50km高处即平流层顶时，臭氧浓度已降为每立方厘米中 $1 \cdot 10^{11}$ 个分子。当高度再增至大气中层约62km处时，臭氧浓度已接近零。由此可以看出：大气臭氧层离地面的高度在12—15km之间，其浓度最大值在25km附近。大气平流层正是大气臭氧浓度最大的区域。而目前发现的臭氧损耗，恰恰正是发生在大气平流层中。

再来看看太阳辐射。众所周知，太阳每时每刻都在辐射各种能量不同的电磁波。正是有了太阳的辐射，地球上才有了热，光和色彩，正是有来太阳辐射提供的能量，地球上的各种生命过程才得以顺利进行。然而，其中的短波辐射，由于能量太高，对地球上的生命系统具有极大的损害作用。图5.4为太阳辐射的光谱图。当太阳辐射的电磁波进入地球大气层后，在平流层顶部的氧分子会吸收高紫外射线生成氧原子，继而生成臭氧：



同时，在平流层中还存在着分解臭氧的反应：



由此可见，大气平流层中的臭氧浓度是处在一个动态的平衡中。

## 主要含氯和含氧化合物的大气寿命、排放量和臭氧破坏潜能

化合物名称	分子式	大气中的寿命(年)	1985年排放量(kt/a)	臭氧破坏潜能	臭氧去除百分比
CFC11	$\text{CFCl}_3$	77	281		
CFC12	$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	139	370	1.0	30.4
四氯化碳	$\text{CCl}_4$	76	66	1.0	40.0
CFC113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}$	92	138	1.06	7.6
甲基-三氯甲烷	$\text{CH}_3\text{CCl}_3$	8.3	474	0.8	11.7
				0.10	5.1

摘自曹凤中编著《臭氧层空洞的报告》，中国环境科学出版社出版

经过多年研究，科学家们确认，在过去的 20 年里，自然界高空臭氧的生成和消亡的自然平衡关系已被人类活动所破坏。工业生产和人们生活中产生的含氯化合物，加快了臭氧消亡过程的速度。其中氯氟烃类（CFCs）化合物的破坏力是最明显的。我们日常生活中所使用的冰箱、空调等制冷设备中通常使用的制冷剂氟里昂就是其中的一种。

在正常情况下，均匀分布在平流层中的臭氧能将太阳紫外辐射中的UV—C射线全部吸收，并吸收90%左右的UV—B射线。这样，太阳紫外辐射中对地球生命系统有极大伤害作用的高能紫外射线中的99%在到达地球表面之前，就被大气中的臭氧层滤除了。从而就有效地保护了地球表面生物不受高能紫外辐射的伤害。大气臭氧洞的出现，以及全球大气中的臭氧的损失，无疑将导致到达地球表面的高能紫外辐射的增加，并由此产生一系列严重的问题。这就是人们为什么对大气臭氧浓度变化问题如此关注的原因。

## 第四节 臭氧损失原因的解释

臭氧洞的发现，振动的世界大气科学、环境保护学、生态学界，引起了许多国家和政府的关注。美国于1986年率先派出了四支科学考察队赴南极进行考察。1987年6月，美国与前苏联又达成协议，将合作研究南极臭氧洞问题。同年八、九月，来自世界各地的100多名科学家在美国国家航空航天管理局（NASA）的组织下，参加了一次同时由地面和空中进行的综合考察活动，在这次考察中，动用了数十架飞机在南极上空12—20km的范围内对南极臭氧的损失情况及有关的数据进行了航测，并将这些数据与地面及卫星所得的数据进行了对比。与此同时，联合国环境规划署（UNEP）、美国环境保护局（USEPA）和其它许多国家的政府及环境保护机构，纷纷召开由不同层次的政府官员，不同领域的科学家参加的国际会议，以研究大气臭氧损失的原因，后果和对策。

人们首先关心的问题：什么东西引起了南极上空臭氧的损失？臭氧在南极消失的情况是否会扩张？整个地球的臭氧是否会都在南极损失？随着人们对这个问题的日益关注和研究工作的逐步深入，人们很自然地目光从南极移向了全球。目前，对大气臭氧层变化的监测工作已在全球进行。从已有的数据来看，全球大气臭氧的含量正在下降，而这种下降的速度以极区和高纬度地区为最大。1970—1981年的数据表明，全球臭氧浓度在这段时间内每年平均下降0.15%，而1978—1981年的数据则表明，在此期间臭氧的浓度下降为0.5%。然而，最新的监测数据表明，在1978—1987年的10年间，全球大气臭氧浓度平均已降低了3.4—3.6%。而且，臭氧洞的出现也不仅仅局限于南极，近年，在北极也开始出现了臭氧洞。据报导，北极上空臭氧洞的面积相当于南极臭氧洞的三分之一，出现的时间是每年2月份，臭氧的损耗约为2.6%。

大气臭氧洞的出现及大气臭氧的损失，是人类有史以来所面临的最为严重的全球性问题。因此，越来越多的科学家将它们的注意力集中到了这个问题上来，以研究它的原因、后果及对策。目前，化学家们和空气动力学家分别提出了许多理论，以解释大气臭氧损失的原因。其中比较有代表性的有如下几种：

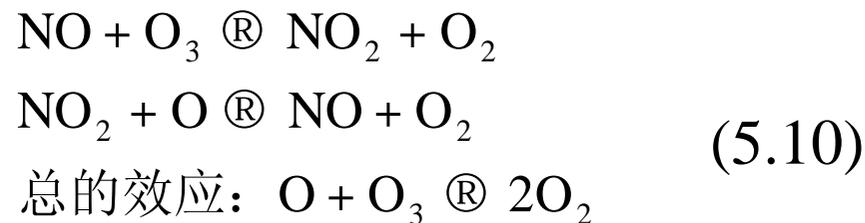
### (1) 宇宙高能粒子破坏

这种理论认为，地球每隔27天有两天半受到宇宙高能粒子的簇射，而这种能量高达200—1500万电子伏特的粒子在地球磁场作用下会沿磁力线向地球两极射去。在南极大陆黑暗的冬季，大气平流层中的氮、氢化合物浓度在高能粒子作用下会有所升高。当南极早春到来时，太阳对大气层的辐射使平流层气温升高。此时，蓄积在大气层中的氮、氢化合物开始发生化学反应并迅速消耗平流层中的臭氧。这一过程使大气臭氧层遭到破坏，因而在南极上空形成臭氧洞。

这一理论还认为，由于大气层总环流的稳定性和地球磁场的结构不同，北极磁场比南极磁场较强、较均匀，故这种化学过程只对南极大陆产生影响。显然，这个理论未能解释为何臭氧洞只是在近几年才观测到的事实，同时也未能解释北极及全球大气售氧浓度皆有不同程度下降及南极臭氧洞近年来日益扩大的现象。

## (2) 航天、航空器废气排放破坏

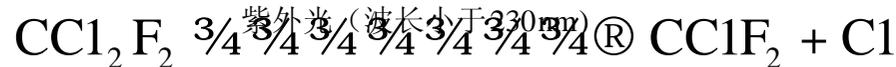
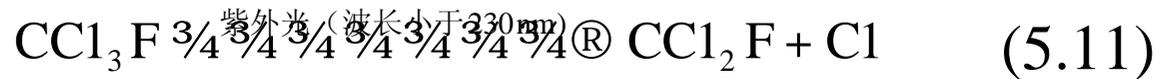
这种解释认为，近年来在平流层中日益不多的大型喷气式飞机以及人类向外空间发射航天器时所用的运载工具，皆会向大气平流层中排放大量氮氧化物 ( $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{HNO}_3$ ) 及氟化氢，二者对大气平流层中的臭氧都有破坏作用。其中，氮氧化物是通过催化圈毁坏臭氧的一种极有效的物质，它在平流层中以下列方程式与臭氧发生反应而破坏臭氧层：



由于氮氧化物是被直接排放至平流层中，且这种反应在黑暗中也能进行。因此，这类化合物对臭氧的破坏作用是不容忽视的。

### (3) 氯氟碳对臭氧的破坏

这种理论认为，经对流层扩散到平流层的氯氟碳，在紫外光辐射下，会发生光解产生氯原子：



产生的氯原子迅速与大气中的臭氧发生链式反应：



从而迅速破坏大气臭氧层。由于这一反应的速度是氮氧化物与臭氧反应速度的5.6倍。

故该理论认为，大气臭氧层主要为氯氟烃所破坏。最近，美国科学家在18km高空对大气臭氧进行航测时发现，高空中C10浓度与O<sub>3</sub>浓度间存在着对应关系，即C10浓度高的区域，O<sub>3</sub>浓度就低。从而进一步证实了这个理论的正确性。据计算，在平流层每生成一个氯原子，将有10万个臭氧分子被破坏。因此，大量的使用，排放氯氟碳，其后果是不言而喻的。应该指出的是，氯氟碳自1928年问世以来，由于具有沸点低、无毒、化学性能稳定和不可燃等特性，已被人们广泛使用并大量排放至大气中。此类化合物在低层大气中不会发生分解，唯一能使它们分解的途径是在平流层的光解。因此，自人类开始使用并排放这类化合物之日起，它们就已开始在大气层中蓄积。

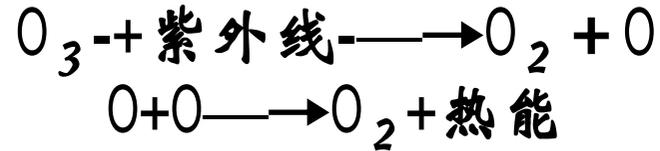
据美国航天与航空管理局的估计。到1982年，大气中已存在1200万吨氯氟烃类化合物。此类化合物在对流层中虽然很快扩散。但进入平流层却需要很长的时间。据估计，1955年至1975年间释放到大气中的氯氟碳，90%的尚未进入平流层。因此，这类化合物带来的影响将是长期的。早在1974年，这个理论的提出者F.S.罗兰德（F.S.Rowland）和M.莫林纳（M.Molina）就预言，若以全世界1972年生产和消费的氯氟烃数量（100万吨）计，若年增长率为22%的话，到1984年，释放到大气中的氯氟碳将使全球大气臭氧含量下降5%。事实已被他们言中，各方面提供的数据表明，臭氧损失的现状甚至比他们预言的更为严重。目前，氯氟碳破坏大气臭氧层的解释，已逐渐被世界公众所接受。

## 第五节 大气臭氧层破坏对环境生态的影响

伴随着大气臭氧层的破坏，到达地球表面的太阳紫外辐射线特别是UV—B会迅速增加，由于UV—B会直接作用于细胞中的脱氧糖核酸（DNA）使之形成腺嘧啶二聚物而阻止DNA双螺旋体分离，引起细胞死亡。因此，紫外辐射的增加会给地球上的生命系统带来极其严重的伤害，并破坏地球生命系统和人类生态环境间的平衡，从而造成一系列灾难性的影响。

臭氧层的最大作用就是强烈的吸收波长220~330nm的紫外线辐射。如果这些紫外线不是被臭氧吸收，那么将对地面上的生物将造成严重的伤害。

臭氧吸收紫外线过程如下：



换句话说，太阳光里的紫外线被臭氧转化成热能，这就是为什么在大约海拔50km的地区温度最高。臭氧吸收紫外辐射的效率极高，只有少量的紫外线能成功地抵达离地较近的地区。

因此，臭氧层起着保护生物的作用，使我们免受太阳光紫外线辐射的伤害。

紫外辐射的增强会改变植物的叶面结构、生理功能、芽苞发育过程等，对小麦、稻米、大豆、大麦、土豆等主要农作物产生有害影响，降低农作物的产量，并对森林生态系统也有相当大的破坏；

对鱼类、虾、蟹、浮游动植物和构成水生食物链的植物有害。

紫外辐射对人类健康最直接的危害是破坏脱氧核糖核酸（即 DNA），而 DNA 损伤则会导致癌症。

在和紫外辐射有关的诸多病症中，尤为引人注意的是晒斑，它被认为是引起皮肤癌的主要原因。根据美国国家环保局的统计，高层大气中臭氧量每减少 1%，非黑瘤皮肤癌的发病率就增加 2%~5%，也就是说仅美国每年就增加两万名皮肤癌患者。

然而在接近地面的地方，臭氧却是一种危险的污染物。

然而在接近地面的地方，臭氧却是一种危险的污染物。汽车和工厂排放的废气在阳光下进行复杂化学反应，所形成的二次污染物称为光化学烟雾，臭氧就是光化学烟雾中危害最大的成分之一，会影响植物生长。

由于空气污染物的传输和积聚，乡村地区的臭氧污染可能比城市更严重。

农作物受臭氧损害的程度不同，例如葡萄园基本不受影响，小麦、土豆、豆类则受到明显损害。

欧洲农业因臭氧污染造成的损失中，大约有三分之一来自小麦，五分之一来自土豆。

此外，臭氧对畜牧草场的损害也很严重，如果考虑到这导致的肉类和牛奶产量下降等间接损失，臭氧污染给欧洲农业造成的损失可能还要增加40亿欧元。

## (1) 对人类健康的影响

UV—B对人类健康的影响主要表现在对人体裸露部分如皮肤、眼睛的损伤上，经UV—B辐射后，人类皮肤的急性反应包括太阳灼伤、表皮增厚、色素沉着等。皮肤若长期反复接受这种辐射，其弹性组织就会发生变化，严重者则导致皮肤角质层发生病变，进而导致黑色素瘤、鳞状细胞癌等癌症。此外，紫外辐射还能诱发并恶化一些遗传性皮肤病如干皮病、白化病等。另外，紫外辐射还会直接伤害人体免疫系统，从而导致红斑狼疮、天疱疹等恶性疾病的患者人数增多。紫外辐射对眼睛的伤害则主要表现在对结膜、角膜的损伤。紫外辐射不仅能引起结膜及角膜发炎糜烂，它还会伤害晶状体而导致白内障使人失明，同时还会损伤视网膜。据美国科学院估计，臭氧浓度下降1%，到达地表的紫外线将增加2%，而皮肤癌患者的数目将增加4%。美国环保局（USEPA）则估计，若以现在的人口增长率及氟氯碳排放率为基数计算。到2075年，皮肤癌的发病人数将增至一亿五千四百万，因此而死亡的人数将达三百二十万；而白内障的发病人数将达到一千八百万。

## (2) 对植物的影响

众所周知，在植物叶绿体上发生的光合作用是植物制造养料的唯一途径，经过高能紫外线辐射的植物，其光合作用会被阻断，加上紫外辐射能使植物叶面气孔关闭，阻断植物与外界的呼吸作用与物质交换，因而对植物的生长将产生巨大的影响。尽管世界已知的35万种植物中，可供食用的有8万种，但人类作为农作物种植的仅有80种，而供应世界人口绝大部分粮食和四分之三的蛋白质需求的，只有15种植物。因此，此类植物在紫外辐射增强后的变化，对人类今后如何生存的意义是不言而喻的。

美国科学家经过了近10年的研究，测定了200种植物（其中大多数为农作物），在紫外辐射增强后的反应。结果表明：所测定的植物中三分之二以上都受到不同程度的伤害。其中对UV—B最为敏感的有豆类、瓜类、卷心菜等。紫外辐射除了会对植物造成直接伤害外，还会降低植物的抗病虫害的能力，影响果实质量。以大豆为例，测定证明，当臭氧浓度降低25%，增加的紫外辐射能使大豆的产量直接下降20—25%。而这还未加上由于大豆抗病能力下降而由病虫害带来的损失。同时，这种经紫外辐射后的大豆，其种子中的蛋白质和植物油的含量分别下降了5%和2%。由此可见，由臭氧损失引起的紫外辐射增加，将会对世界粮食的产量、质量产生巨大的影响，并可能改变人类今后的食物结构。

### (3) 对水生生物的影响

增强的紫外线会大量杀死生活在海洋中的微生物，同时使某些抗紫外线的生物如蓝—绿藻恶性增殖而充斥水体。导致作为鱼类食物的浮游生物无法生存。其结果是海洋食物链被中断。另一方面，紫外辐射还会杀死许多生活在海水表层的经济鱼类（包括虾和蟹）的幼体。最近的研究表明，在高于正常紫外辐射20%的情况下，即使是生活在水深为10米处的鲑鱼幼体，15天后也会因紫外线的辐射而全部死亡。由此可见，由于食物链的中断和幼体的死亡，海洋生态系统在这种情况下将发生不可逆转的变化。由于人类对动物蛋白的需求18%是取自鱼类。因此，这一变化对人类的生活将造成难以估量的影响。

#### (4) 对人类生存环境的影响

由于到达地表的紫外辐射增强，将诱发大气对流层中的光化学反应而增大对流层臭氧浓度。据计算，平流层臭氧每减少1%，地面臭氧烟雾就会增加2%。这种富臭氧的光化学烟雾将对人类的生存环境发生一系列的严重影响。首先，过量的臭氧会严重地伤害人的呼吸器官。研究表明，当空气中臭氧浓度为0.1ppm时，人的呼吸器官就会出现炎症，若浓度增至5ppm，将危及人的生命。其次，由于臭氧能加速大气中 $H_2O_2$ 的形成，它将加剧酸雨的形成及危害。第三，臭氧烟雾能直接伤害植物，使植物植株矮小、衰弱，并使抵抗病虫害的能力明显下降，从而对农作物就森林生态系统造成极大的危害。

第四，对流层中增加的臭氧及过氧化物，将使聚合物材料如橡胶、塑料等制品迅速老化，造成许多不应有的经济损失。还应该指出的是，伴随大气中臭氧浓度的变化和臭氧在大气层中的重新分布，太阳辐射到地表的能量流将发生改变。本身就具有温室效应作用的臭氧，加上大气中存在的氟氯碳（其热容量为 $\text{CO}_2$ 的一万倍），以及大气中日益增多的其它微量气体的协同作用，将加剧地球大气层的温室效应，使全球气候变暖。表5.1列举了由于大气臭氧层遭氟氯烃破坏而产生的后果，从中可以看出，由于大气成份和结构发生变化，引起的后果将是长期和全球性的。

# 全球大气臭氧减少将带来的后果（到2075年）

臭氧减少紫外辐射增加气候变暖

皮肤癌增加（死亡三百二十万）

产粮地区向极地方向移动

眼病增加（白内障一千八百万）

沙漠及草地增加

免疫系统受损

森林减少粮食及木材产量减少（谷物损失 $>7.5\%$ ）

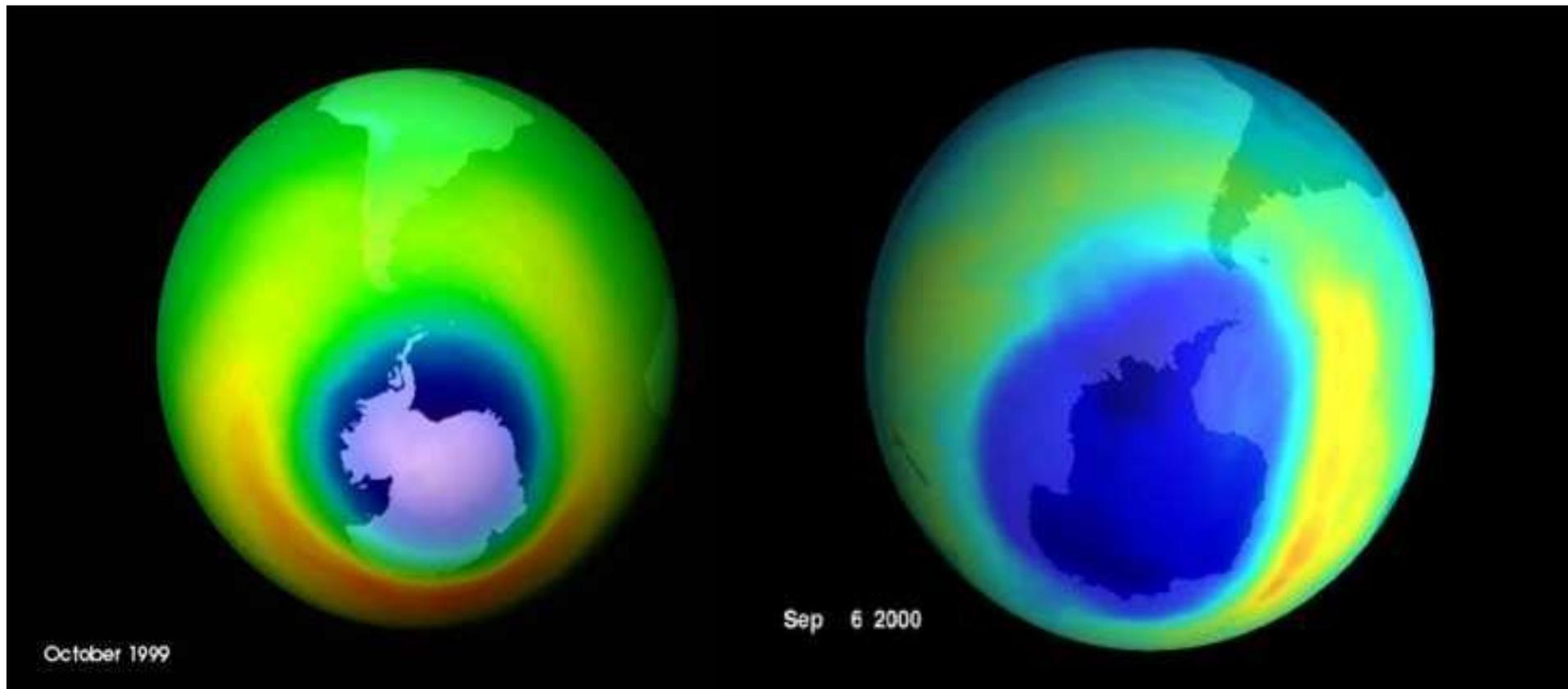
海平面升高，洪水泛滥海洋生态恶化（渔业损失 $>25\%$ ）渔业受到威胁

涂料及塑料加速老化（损失47亿美元）

生态系统恶化直接威胁人类生存环境

臭氧在地球大气中所占的比例是很少的，即使是在臭氧密度最大的区域，即离地面20—25km的大气层中，也仅仅是每十万个气体分子中才有一个臭氧分子。若将地球上的全部臭氧集中起来，其厚度也仅有3mm。然而，它在保护地球生命系统方面的作用，却又是其它气体所无法替代的。正因为其量小、作用大。臭氧层内发生一点微小变化，都会使它的保护作用产生巨大的影响，继而地球上的生命系统产生巨大的影响。人类只拥有一个地球，只拥有一个臭氧层。目前，在这个地球保护屏障上发生的变化提醒人们注意，人类采取共同行动来保护自身的生活环境，已是刻不容缓、迫在眉睫了。

## 第六节 全球臭氧层的近况



(此图分别为美国宇航局科学家分别于1999年10月和2000年9月观测到的南极上空的臭氧层空洞，图中蓝色部分为臭氧层空洞.摘自 [www.fm365.com](http://www.fm365.com))

除了法曼发现的南极上空周期性的出现臭氧空洞外，世界上其他区域也相继被发现出现不同程度的臭氧空洞。除赤道外，世界上所有地区自1979年以来，大气臭氧已减少了5%，人类主要居住的中纬度地区臭氧减少7%。

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18公里处的同温层里，臭氧含量累计减少了60%以上。这是近10年间同一区域臭氧损失最严重一次。2000年11月，北大西洋上空有一个区域臭氧层已经变薄，形成了一个小型臭氧空洞。欧洲航天局发布的消息说，荷兰KNMI气候研究中心的科学家当时使用欧航局的一颗卫星对这个小型臭氧空洞进行实时追踪，以研究它的运动情况。在这个臭氧空洞经过的地方，大气中的臭氧含量可能会下降到正常年份的60~70%。不过他们认为，这个空洞可能是气流异常所致，而不是氟利昂等化学物质引起的，与南极的臭氧层空洞不同。

我国科学家近年来对我国上空臭氧分布的分析中发现，在我国青藏高原上空，也存在着一个相对周围地区臭氧浓度较低的区域。

但在2002年9月，据NASA(美国国家航空和航天局)和NOAA(美国国家海洋和大气局)观测，南极上空的臭氧洞由原来的 $240\text{km}^2$ 在两周内将不可思议的缩小至 $150\text{km}^2$ ，是自1988年以来的最小面积，并且分裂成两部分<sup>[3]</sup>。南极上空臭氧层空洞一分为二的现象往年一般发生在11月底，而今年却比往年提前了两个多月。根据此间《三点钟报》9月28日援引麦哲伦大学专家们的分析，上述变化提前发生的原因可能是该地区上空臭氧气流活动加剧，削弱了南极上空臭氧层空洞的旋涡，以至造成空洞提早分离。

另外，澳大利亚英联邦科学与工业研究组织研究员保罗·弗雷泽说，1990年蒙特利尔议定书禁止氟里昂的规定已经取得效果。设在澳大利亚塔斯马尼亚州的观测站发现，大气中的氟含量两年前开始稳定下来，现在正在下降。弗雷泽在接受《悉尼先驱晨报》采访时说，南极上空的臭氧洞将从2005年开始稳步缩小，应该在2050年前消失。

## 第七节 臭氧层的保护与思考

臭氧层遭到破坏的主要原因就是人大量的使用CFCs，每年的产量高达200万吨。在过去的近20年里，人们为保护臭氧层作了很多努力，其中主要是大力减少对臭氧层有破坏作用的气体的排放，其主要成分就是CFCs。

1987年9月，46个国家的代表在蒙特利尔通过了关于保护臭氧层的《蒙特利尔议定书》，该议定书规定成员组织将冻结并依照所见时间表来减少五种氟氯烃的生产和消耗，冻结并减少三种溴代物的生产和消耗。1990年、1992年、1995年，又分别在伦敦、哥本哈根、维也纳召开的《议定书》缔约国第二次、第三次与第七次会议上三次修正了议定书。到1996年，受控制的物质已经扩展为：氟氯化碳、哈龙、四氯化碳、甲基氯仿、氟氯烃和甲基溴等，禁止使用的时间限制也不断提前。

到1993年底，根据上报数据的缔约国统计，使用哈龙、氟氯化碳的总量比1986年下降了58%，在此期间受控物质的替代产品与替代技术也有了较快发展<sup>[4]</sup>。在此期间，我国为保护臭氧层也作了许多工作，并于1989年和1991年我国先后加入了《维也纳公约》和《蒙特利尔议定书》。我国已成立了国家保护臭氧层领导小组，制定了国家方案和各行业淘汰战略，到1995年，以淘汰消耗臭氧层物质6000吨。

在工业飞速发展的同时，人类也在破坏这自然的平衡，到一定的时候，又遭到自然界的反作用。随着人们对环境保护的认识的提高，人们已从先发展在治理的旧观念转变到保护与发展同步、实施可持续反战的新观念。

不管臭氧层的破坏是不是主要由人类活动造成的，我们都应该清楚地认识到，如果我们失去了这层“保护伞”将意味着什么，毕竟我们只有一个地球。当然，保护臭氧层需要世界各国、社会、个人的共同努力，在相关法律法规、人们的环境意识、科学技术和替代物质的研发与推广等诸多方面还有许多事我们应该去做。正像“女娲补天”一样，面对着巨大的臭氧空洞，我们也要拿出勇气，保护臭氧层——保护我们的地球，为子孙后代造福。

美国《科学》杂志上有这样一句话：“如果所有国家都能切实执行《蒙特利尔议定书》的话，臭氧层将在未来50年中逐渐得到恢复。”欢欣鼓舞之余，我更加感到保护臭氧层的必要性与紧迫性。

我相信通过人类不懈的努力，我们这颗美丽而可爱的星球的明天会更好！

拯救地球就是拯救人类的将来

OUR EARTH HUMAN FUTURE JUST SAVE IT



The End