

1915年创刊 SINCE 1915

科学

第60卷第2期 · Vol.60, No.2

SCIENCE 双月刊
BIMONTHLY



核科学前沿、学科交叉和科学传播
神经动力学：研究大脑信息处理的新领域
春季南极臭氧洞与环境保护

ISSN 0368-6396



www.kexuemag.com

2008年3月

春季南极臭氧洞与环境保护

● 陆龙骅

南极臭氧洞,与全球变暖一样,是人们广泛关注的热点问题。在很多媒体上,也经常出现诸如“大气臭氧层耗竭”、“地球生命保护伞臭氧层出现漏洞”、“南极臭氧洞日益加大”等标题。什么是南极臭氧洞呢?它的生成原因是什么?南极臭氧洞警告人们什么?中国和国际社会在保护臭氧层方面做出了哪些努力?

南极臭氧洞

臭氧是由三个氧原子组成的一种痕量气体,主要分布在平流层中,通常最大浓度出现在离地 22~27 公里的地方。在一个标准大气压和 0℃ 的标准情况下,如果把大气中的臭氧全部收集起来,全球平均累积厚度仅为 3 毫米左右。臭氧总量通常用多布森单位(DU)来度量,1 个多布森单位指的是,标准情况下臭氧总量累积厚度为 0.01 毫米。3 毫米就是 300 DU。虽然臭氧在大气中含量很少,但由于它能大量吸收太阳紫外辐射,对地球生态系统和大气环境有重要影响。若大气臭氧耗损,到达地面的太阳紫外辐射增强,将导致人类皮肤癌和白内障发病率增加,免疫力下降;还会使农作物减产,浅海浮游生物受损。若臭氧层消失,我们赖以生存的地球,就会在对生物有致命杀伤的太阳紫外线面前毫无遮拦,结果将是地球上生灵的灭绝。

南极臭氧洞指的是,在南极地区出现的臭氧总量低于全球平均值 30%~40% 的闭合低值区(通常这个值设定为 220 DU)。自 1970 年代末以来,全球臭氧总量在下降,尤其在南极地区下降最明显^[1]。1980 年代中期,日本和英国科学家先后发现^[2,3],春季南极站观测到的大气臭氧总量值与 10 年前相比减少了 30%~40%;随后美国科学家用卫星资料也证实了这一结果^[4]。与周围地区相比,就好像南极洲上空出现一个臭氧低值的“空洞”,这就是南极臭氧洞。春季南极臭氧洞的出现,

陆龙骅:研究员,中国气象科学研究院,北京 100081。

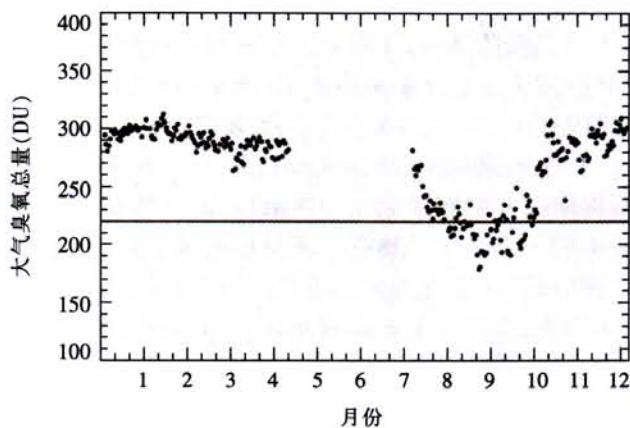
Lu Longhua: Professor, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081.

是大自然对人类发出的又一警告。

南极臭氧洞面积变化

南极臭氧洞只出现在春季,并不是全年都存在的。通常南极臭氧在 7 月下旬开始减少,8 月中旬后就出现较为明显的臭氧洞,9 月下旬到 10 月上旬臭氧洞面积最大,10 月底后臭氧急剧增加,臭氧洞逐渐填塞,12 月中旬恢复正常。

中国南极中山站位于东南极大陆边缘(69°22' 南纬、76°22' 东经),常处于极地涡旋和春季南极臭氧洞的边缘,对南极臭氧洞变化的反应十分敏感^[5]。由南极中山站 1993—2000 年测得的大气臭氧总量平均变化^[6]可以看出,在春季(9—10 月)中山站处于南极臭氧洞的下方,经常出现低于 220 DU 的臭氧总量低值;而其他时候多在 250 DU 以上,其上空没有臭氧洞。



南极中山站 1993—2000 年大气臭氧总量平均变化
(据陆龙骅等,2004)

南极臭氧洞的强度和范围每年是有变化的,“空洞”中的最低值也是波动的。1979 年春季,南极地区刚出现臭氧洞时,范围并不大,随后逐年扩大,1987 年时,春季臭氧洞的面积最大为 2000 万公里²,1988 年后则稍有缓和,1990 年以后,南极“臭氧洞”现象再次加剧,

维持时间也增加。2000年南极臭氧洞最大时面积超过2800万平方公里²,差不多有三个中国面积那么大,占据了整个南极洲,臭氧总量最低值小于90 DU,与正常值相比耗损了70%左右。而在2002年9月上旬,臭氧洞面积明显小于常年,范围只有前两年的一半左右,位置偏西,且在靠近澳大利亚一侧的大气臭氧值明显偏高,原在南纬50°~55°附近的臭氧高值带,范围扩大,并南移到南纬60°附近。特别是9月底到10月初,也就是往年臭氧洞最大时,2002年的臭氧洞小得可怜,最小面积不到300万平方公里²,只有近10年来平均值的1/7。与此同时,西南极南纬50°~80°的广大地区臭氧值偏高,其最大值达500 DU,较正常值高出60%~70%^[6]。2003年9月29日的南极臭氧洞则覆盖了整个南极大陆。

在南极臭氧洞期间,并不是南半球所有地方臭氧都同样地减少,臭氧低值中心常常偏向于西南极的南极半岛一侧,且自1992年以来,南极臭氧洞都曾一度短暂地伸展到有人类居住的南美洲南端。其中,阿根廷乌斯怀亚(Ushuaia,54°48'南纬、68°19'西经)多次测到低于150 DU的极端低值。由于臭氧亏损使到达地面的紫外辐射强度剧增,将会产生严峻的生态灾难。

在南极臭氧洞期间,南半球中纬度地区,尤其是澳大利亚-新西兰一侧,经常维持总量为350~450 DU的臭氧高值。

南极臭氧洞生成和异常的原因

为讨论南极臭氧洞形成的原因,各国科学家通过气球、飞机、火箭、卫星及地面站等多种现代化观测手段获取了大量资料,并用计算机进行分析和模拟研究。曾有两届诺贝尔化学奖得主的工作与研究臭氧洞形成的原因有关。荷兰气象学家克鲁岑(P. Crutzen)和美国大气化学家莫利纳(M. Molina)、罗兰(F. S. Rowland)一起,因研究并解释了大气中臭氧形成、分解的过程及机制,证明了人造化学物质对臭氧层有破坏作用,阐述了对臭氧层产生影响的化学机理,而获得了1995年诺贝尔化学奖;德国化学家埃特尔(G. Ertl)因在固体表面的化学过程研究中的贡献获得了2007年诺贝尔化学奖,而表面化学过程也是导致臭氧层被破坏的重要过程。

近20年来研究表明,南极臭氧洞是大气动力、光化学和平流层冰晶云等因素相互作用和影响的产物;也与大气环流,特别是平流层极地涡旋的活动密切相关。用大气动力学、太阳活动及大气化学等单个因素都无法圆满地解释南极臭氧洞形成的原因。

南极臭氧洞的出现与人类活动关系密切。为制造冰箱和空调等,人类发明和使用氟里昂和溴化烃等含氯和溴的化合物,正是这类污染物质最终导致了臭

氧层的破坏。人类活动排放到大气中的这些污染物质,在平流层低温条件下形成的冰晶云或液态硫酸气溶胶表面,会通过光化学反应大量消耗臭氧。而为光化学反应提供活动界面的平流层冰晶云或液态硫酸气溶胶,只有在温度低于-78℃时才出现。因此,大气中存在人类活动排放的氟里昂和溴化烃等消耗臭氧层物质(人为因素),是春季南极臭氧洞形成的充分条件;春季南极平流层极地涡旋中的低温(自然因素),是南极春季臭氧洞形成的必要条件^[6]。只有在平流层冰晶云表面吸附了大气污染物质,才能通过光化学反应大量消耗臭氧,在南极春季形成臭氧洞。正是由于平流层温度偏高、极地涡旋强度和位置的变化,造成了2002年南极春季臭氧洞的异常。

依据南极臭氧洞形成的充分和必要条件,可以解释为什么到目前为止,只是在南极上空春季出现了臭氧洞,在北极和青藏高原上空并没有出现臭氧洞。

北极更加接近人类活动的地区,北极大气中污染物的浓度也较高,但是,它不满足形成臭氧洞必要条件。南极地区是一块由海洋包围的冰雪大陆,而北极却是一片由大陆包围的冰雪海洋。海陆分布等下垫面特征的差异,对气候和大气环流都有很大影响。例如,全球的最低气温是出现在南极地区,南极的最低温度至少要比北极低20℃;在平流层极地涡旋中,南极的温度也低于北极。而且特别是在春季,北极地区经常出现的平流层暴发性增温,会导致北极平流层极地涡旋崩溃、温度很快升高。春季,当极夜后太阳光再次照耀北极时,平流层极地涡旋中很难达到-78℃低温,不满足形成平流层冰晶云的必要条件,所以北极春季没有臭氧洞。最近几年发现,在北极地区或北半球中高纬地区,偶尔也会出现臭氧小洞^[7]。这种现象大都出现在冬季,且在北大西洋和北欧出现的次数比北太平洋和北美地区多。臭氧小洞大都与天气系统中的上升气流和垂直交换有关,是动力原因产生的,“小洞”的空间尺度(长度或宽度)大都在1000公里以下,维持时间很短,大多仅一到数天。臭氧小洞的产生原因与春季南极臭氧洞不同,而且其时间、空间尺度也无法与春季南极臭氧洞相比,因此不能简单地称之为臭氧洞。

中国科学家曾发现,在青藏高原上空夏季臭氧会减少10%~12%,出现相对低值中心^[8]。后来的一些研究发现,世界上一些其他大的地形,如伊朗高原和落基山脉等地的上空也会出现夏季季节性臭氧减少,这种减少和南极的臭氧洞形成的原理是不一样的。在高原地区是动力性的,与高原上空的上升气流的动力交换有关,而不是化学原因。从减少的数值来看,也远达不到减少30%~40%,所以也不能称之为臭氧洞。

保护臭氧层的国际努力和中国的贡献

大气臭氧层事关人类生存环境的安全。早在 1970 年代,科学家就发现大气臭氧的含量有减少趋势,引起了国际社会的密切关注。1978 年《世界气象组织宣言》针对人类活动对臭氧层的影响及可能的地球物理后果,明确指出,如果不减少进入大气的氟里昂类物质的排放,将导致平流层臭氧显著减少。1985 年由 20 余国发起的《维也纳公约》,肯定了氟里昂等污染物对臭氧层的破坏作用。南极臭氧洞的发现,进一步加深了人们对臭氧层保护重要性和迫切性的认识。1987 年 30 国外长签署了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》。1989 年及 1990 年《议定书》的缔约国在赫尔辛基和伦敦两次开会,通过了《议定书》修正案,扩大了氟里昂类受控物质范围,增加了对其他全卤化氟烃类物质的控制,规定其中大部分物质的使用量应在 1995 年减少 50%,1997 年减少 85%,并在 2000 年初停止使用。目前该《议定书》的缔约国已增至 60 余个。1992 年建立了“蒙特利尔议定书多边基金”,用以支持发展中国家逐步淘汰消耗臭氧层的物质。此后,缔约国又于 1992 年通过了《哥本哈根修正案》,在 1995 年召开了维也纳缔约国会议,对消耗臭氧层物质的控制更为严格。1992 年联合国《气候变化框架公约》中也把保护臭氧层列为主要内容。为了及时地向各国科学家和政府提供有关南极臭氧洞的最新资料,增强各国对臭氧层保护重要性的认识,世界气象组织(WMO)秘书处自 1991 年起每年 8-12 月通过全球电信系统(GTS),每月发布 3-4 次南极臭氧公报。从 1995 年起,各期公报都可以在国际互联网上获得 (http://www.wmo.ch/web/arep/ozbul*.html)。

中国一贯重视在发展经济过程中保护环境,把保护环境作为一项基本国策,并积极参与国际合作,为此做出不懈的努力。早在 1992 年联合国环境与发展大会上中国政府就承诺“我们愿意承担与我国发展水平相应的国际责任和义务,并为解决世界环境和发展问题进一步加强国际合作”。目前,中国正在为改善人为因素带来的灾害做不懈努力,先后制定了《环境保护法》、《大气污染防治法》、《水污染防治法》等多项环境法和相关的资源法。中国正在加强对大气环境的保护和治理,采取各种措施减少二氧化碳、含氮氧化物、氟里昂和总悬浮颗粒物等污染物质的排放。其中作为国家行为,在保护臭氧层方面也做了大量的工作。

1989 年 9 月中国参加了《维也纳公约》。在第一次缔约国会议上,首先提出了“关于建立保护臭氧层多边基金”的提案;1990 年积极参与《关于消耗臭氧层物质

的蒙特利尔议定书》的修正工作。

1991 年 6 月中国加入了经修正的《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》(1990 年伦敦修正案),成为缔约国,并及时成立了有 15 个部、委、局等参加的中国保护臭氧层领导小组办公室,负责《议定书》组织实施工作,制定了有关政策和法规,编制了各相关行业的淘汰战略,开展了公共意识宣传活动,使保护臭氧层工作走上了正规。

1992 年 6 月中国签署了联合国《气候变化框架公约》。1993 年 1 月,中国向联合国秘书处递交了批准书,成为世界上最早开始履行该公约的十个国家之一。

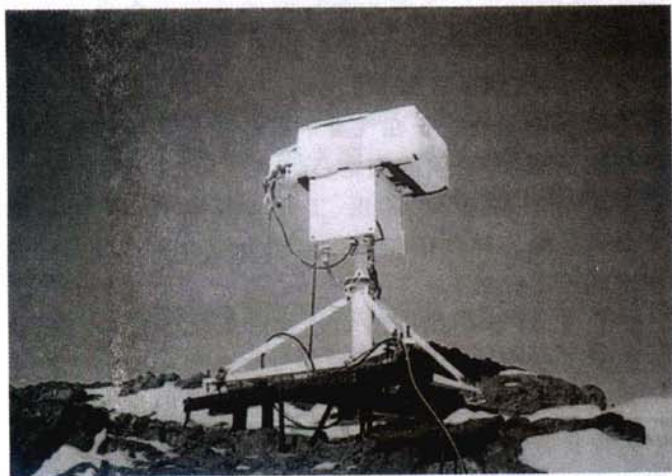
1993 年 1 月中国国务院批准《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》。1993 年 3 月蒙特利尔议定书多边基金执委会批准中国《国家方案》。1994 年中国组织制定了《烟草行业消耗臭氧层物质逐步淘汰的补充方案》。1995 年中国又组织制定了气溶胶、泡沫塑料、家用冰箱、工商制冷、汽车空调、哈龙灭火剂、电子零件清洗、受控物质生产等 8 个行业的逐步淘汰受控物质的战略研究,并得到多边基金执委会的批准。1997 年 6 月为落实《国家方案》提出的淘汰目标,国家环保局等九部委发出《关于在气雾剂行业禁止使用氯氟化碳类物质的通告》。明确规定:自 1997 年 12 月 31 日起,所有生产个人、家庭、除虫、工业和其他用品类气雾剂产品的企业不得使用氯氟化碳作为推进剂(尚无替代技术的产品除外)。

自 1993 年中国政府实施逐步淘汰消耗臭氧层物质国家方案以来,中国的保护臭氧层工作取得了较大的进展。为履行《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》,保护环境,根据《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》,国家环境保护总局于 2007 年 6 月发布了多项公告,其中关于禁止全氯氟烃(俗称氟里昂)物质生产的 43 号公告规定:自 2007 年 7 月 1 日起,任何企业不得生产除药用吸入式气雾剂用途、原料和豁免用途以外的全氯氟烃物质。各相关企业应于 2007 年 8 月 15 日前拆除全氯氟烃物质的生产装置。该项对全氯氟烃物质生产的淘汰较《蒙特利尔议定书》对发展中国家规定的时间,提前了两年半。2007 年 5 月,国家环境保护总局、国家发展和改革委员会、商务部、海关总署、国家质量监督检验检疫总局等单位联合发布了“关于禁止生产、销售、进出口以氯氟烃物质为制冷剂、发泡剂的家用电器产品的公告”,规定自 2007 年 7 月 1 日起,任何企业不得生产以氯氟烃为制冷剂、发泡剂的家用电器产品,不得在家用电器产品的生产过程中使用氯氟烃作为清洗剂;自 2007 年 9 月 1 日起,任何企业(包括生产企业以及经销商和零售商在内的所有流

通企业)不得销售以氯氟烃为制冷剂、发泡剂的家用电器产品;从2007年9月1日起,禁止进口、出口以氯氟烃物质为制冷剂、发泡剂的家用电器产品和以氯氟烃为制冷工质的家用电器产品用压缩机。在生产、销售和进出口等领域实现了全面禁氟。

除实现全面禁氟外,我国还承诺在2009年年底之前淘汰所有作为加工助剂的四氯化碳。

中国除积极参与国际合作,采取切实措施逐步淘汰消耗臭氧层物质,大力开展臭氧层保护工作外,还加强了对全球臭氧变化和南极臭氧洞的监测和研究工作。目前,在我国大陆,有北京(香河)、昆明、青海(瓦里关山)、浙江(临安)、黑龙江(龙凤山)等5个站进行大气臭氧监测;在南极,中山站的气象考察人员也正在密切监视着南极臭氧的变化情况。目前,这6个站的大气臭氧观测资料已进入WMO加拿大世界臭氧资料中心。在WMO秘书处发布的南极臭氧公报中,也已使用了中国南极中山站的大气臭氧观测资料。



中山站大气臭氧总量探测仪

结语与展望

虽然目前对南极臭氧洞和全球性臭氧减少成因,人们的认识还不尽一致,但由此而引起的对保护地球环境重要性的认识却较为一致。“环境保护刻不容缓”是南极臭氧洞给人们最重要的启示。不能因为某些年南极臭氧洞变小而对环境保护掉以轻心。

“人类只有一个地球”,环境被污染后,其影响往往很难消除。一个氟里昂分子分解产生的氯离子可以消灭一万个臭氧分子,而由溴化烃分解产生的溴离子对臭氧的破坏作用,比氯离子还要大50倍,它们自身都能再生,在大气中内寿命都很长。即使目前人们不再向大气排放这类污染物,其对臭氧的破坏影响仍可以维持几十年至一百年。

现在世界上列入逐步淘汰和禁止使用的消耗臭氧层物质已扩展为氟里昂/氯氟烃、哈龙/溴化烃、四氯化碳、甲基氯仿和甲基溴等,尚未包括含氮氧化物。全球臭氧减少和南极臭氧洞的形成与变化不仅与人类直接排放的氯氟烃有关,还有赖于全球氮循环,下层含氮氧化物含量的增加,有可能对平流层臭氧减少发生影响。目前中国正在加强对大气污染的治理力度,大力控制对二氧化碳、含氮氧化物、硫化物、消耗臭氧层物质和总悬浮颗粒物等污染物质的排放。仅从保护臭氧层出发,国际社会也应对含氮氧化物的排放有所控制。

目前人们对南极臭氧洞及全球臭氧层变化的认识尚不完善。有待于通过国际合作,进一步加强对全球臭氧层的监测和研究。

为了人类的生存和子孙万代的幸福,进行环境保护是人类义不容辞的职责。经济发达国家在过去几十年内生产和使用的大量受控物质,虽已于1995年底大部分停止生产,但氯氟烃和甲基溴等还可使用15~30年,其影响也将长期存在。为有效地保护人类共同的蓝天,经济发达国家应遵循《议定书》有关规定,切实履行国际义务,及时交纳《多边基金》捐款,帮助发展中国家参与保护臭氧层行动,共同保护好全人类的臭氧层!作为发展中的大国,中国保护臭氧层任务还相当艰巨。中国涉及生产和使用臭氧层消耗物质的行业广、企业多;加之近年来,经济持续高速发展,对使用消耗臭氧层物质的制成品需求也日益增加。中国在淘汰消耗臭氧层物质时,需要付出更大的努力,做出更大的牺牲。

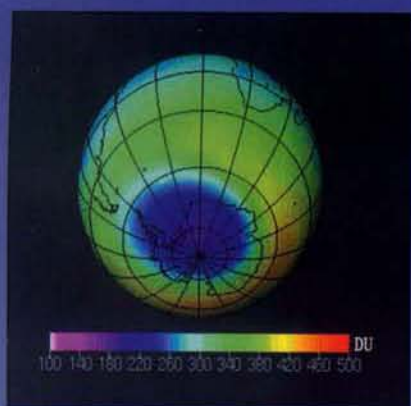
- [1] Solomon S. Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history. *Reviews of Geophysics*, 1999, 37(3):275-316.
- [2] Chubachi S. Preliminary result of ozone observations at Syowa station from February 1982 to January 1983. *Mem. Natl. Inst. Polar Res.*, 1984(34): 13-19.
- [3] Farman J D, Gardiner B C and Shanklin J D. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. *Nature*. 1985(315): 207-210.
- [4] Stolariski R S and Krueger A J. Nimbus-7 satellite measurements of the spring time Antarctic ozone decrease. *Nature*, 1986(332): 808-811.
- [5] 陈立奇. 南极地区对全球变化的响应与反馈作用研究. 北京, 海洋出版社, 2004: 224-242.
- [6] 陆龙骅. 南极臭氧洞的新发现. 气象知识, 2002(6): 4-7.
- [7] Allaart M, Valks P, Ronald van der A, et al. Ozone mini-hole observed over Europe, influence of low stratospheric temperature on observations. *Geophysical Research Letters*, 2000, 27(24): 4089-4092.
- [8] 周秀骥, 罗超, 李维亮, 等. 中国地区臭氧总量变化与青藏高原低值中心. 科学通报. 1995, 4(15): 1396-1398.

关键词: 南极臭氧洞 消耗臭氧层物质 平流层冰晶云 极地涡旋

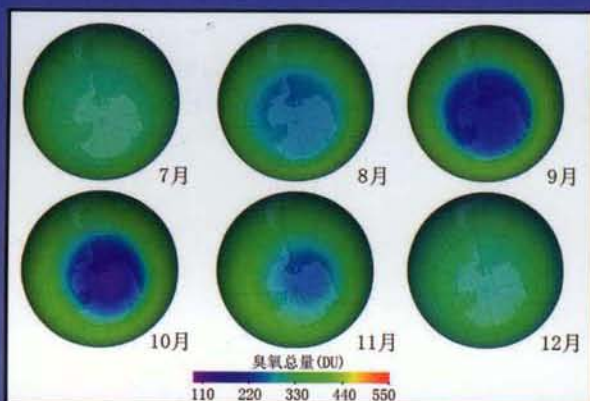
南极臭氧洞



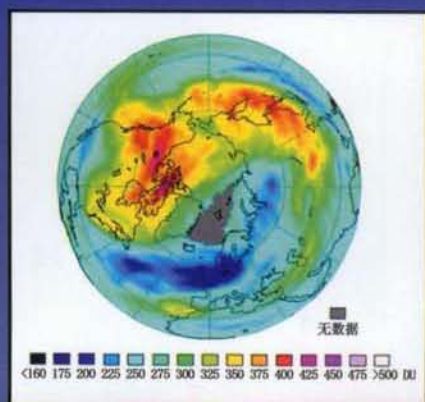
中山站大气臭氧总量探测仪。



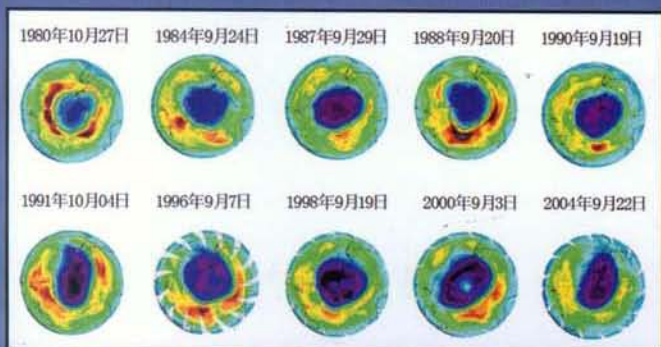
1984年10月的卫星图，蓝色区域是南极臭氧洞。



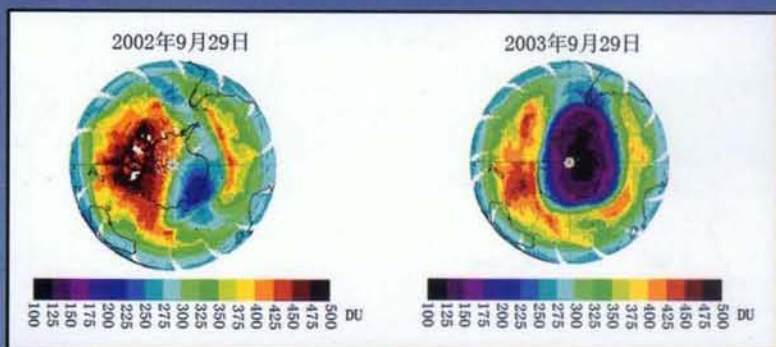
1979—2005年7—12月南半球臭氧平均分布，8月开始出现臭氧洞，9—10月面积最大，12月恢复正常。



北极春季没有臭氧洞。



1980—2004年部分年份南极臭氧洞强度和范围的变化，由蓝色区域可以看出各年是有明显变化的。



2002年和2003年的9月29日的南极臭氧洞比较，2002年的臭氧洞面积明显偏小，而2003年臭氧洞则覆盖了整个南极大陆。



进行大气臭氧总量观测的中国大气本底基准观象台（青海省瓦里关山）。