

南极长城站大气臭氧 和NO₂的观测研究

毛节泰

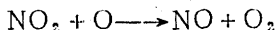
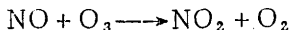
(北京大学地球物理系)

提 要

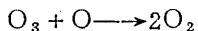
在中国第五次南极考察赴长城站的科学研究活动中,开展了与南极臭氧洞有关的大气臭氧和NO₂柱含量的观测。观测采用地面吸收光谱的原理进行。从1988年12月到1989年2月的观测结果表明,长城站区臭氧柱含量平均值为341DU,与常年平均结果相当。NO₂的平均柱含量为 $2.16 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 。无论是臭氧或NO₂的柱含量都有明显的日变化。

臭氧对人类赖以生存的大气环境有着重要的意义。它吸收掉大部分对地球生物致命的紫外辐射,同时还是一种重要的“温室气体”,影响着地球的气候。对大气臭氧层的研究已有一百多年的历史,人们已经研究了不同地区、时间臭氧浓度的分布,并把臭氧当作一种示踪剂来研究大气中发生的各种动力学过程。对臭氧光化学过程的研究是从本世纪30年代开始的。由Chapman⁽¹⁾提出的纯氧大气光化学平衡理论指明了臭氧层形成的原因。以后又逐步研究了氢、氮和氯在臭氧光化平衡中的作用。由于人类活动所排放的氮和氯的各种化合物有可能超过自然界本身的排放能力,人们一直在担心是否会由于人类排放的这些成分而导致臭氧层的破坏。

大气痕量气体NO₂是平流层中的一种重要成分,它极大地影响着那里的臭氧浓度。根据简单的氧-氮大气模型,氮氧化合物(包括NO、N₂O、NO₂……)等对臭氧有破坏作用



其净效果是



因此,在平流层中氮氧化合物的增加,有可

能导致臭氧含量的减少。在更复杂的氧-氮-氯大气模式中,理论研究表明(Kinnison等⁽²⁾),氮氧化合物对臭氧的破坏仍起相当重要的作用。

在70年代中期,曾有人提出是否会由于大型喷气机在平流层中飞行排放出大量的氮氧化合物而导致臭氧层的破坏⁽³⁾。但直到Framan等⁽⁴⁾根据英国极地站Halley Bar的臭氧观测资料发现,近10年来南极地区春季的臭氧含量有逐年下降的趋势,并经卫星资料证实⁽⁵⁾,确实在南极大陆上空春季存在着一个臭氧含量极小的区域以来,南极“臭氧洞”的问题才受到了广泛的注意。

1988年11月到1989年3月,在中国第五次南极考察队赴长城站的科学考察中,开展了对长城站区臭氧和NO₂柱含量的观测。虽然由于长城站的纬度较低(62°S)以及季节的差异,这段时间并非研究臭氧洞的理想时机,但作为对极区痕量气体的初步研究,探索仪器和观测方法对极区的适用程度还是有一定意义的。

一、南极长城站对臭氧和NO₂的观测

观测是用北京大学地球物理系研制的高分辨率太阳光谱仪进行的。其基本原理是测

量臭氧和 NO_2 某个吸收带的太阳光谱, 然后再反演出大气中臭氧和 NO_2 的柱含量。

太阳光谱仪的主体是一台小型光栅单色仪。用适当的光学装置, 将太阳光引向单色仪并在单色仪入射狭缝平面成象。经光栅分光后的单色光用光电倍增管检测。一台微型计算机用作仪器测量控制和数据采集装置。它控制步进电机实现波长扫描, 并通过A/D变换器对光电倍增管的输出信号进行采样和平均。整个系统可测量300—900nm范围内的太阳光谱, 分辨率为0.25nm。利用水银灯进行系统的波长定标。

在测量臭氧含量时, 光谱仪扫描300—340nm这一段太阳光谱。为了防止可见光波段辐射的干扰, 在入射狭缝前放置一片透紫外滤光片(ZW-B₁), 它只允许波长短于375nm的辐射通过。在测量 NO_2 时, 光谱仪扫描444.25—450.08nm波段的太阳光谱。

所观测的太阳光谱在扣除大气分子散射、气溶胶消光及大气光学质量的影响以后, 用最小二乘法计算臭氧和 NO_2 的柱含量。

仪器安置在长城站气象台。观测工作从1988年12月25日开始, 一直持续到1989年2月6日。当太阳不被云阻挡时即可进行观测。但由于长城站天气条件的限制, 晴天的机会不多, 而且多数是多云天气, 云的移动速度很快。常常因为日面有部分被云阻挡, 无法取得完整的光谱, 因此只取得88组臭氧资料和58组 NO_2 资料。

二、观测结果

88组臭氧资料包括15天的记录。对这些资料的计算表明, 在这段期间长城站区臭氧的平均含量为341DU, 其中, 12月平均值为351DU, 1月平均值为340DU, 2月平均值为339DU。这比Robinson^[6]给出的纬度平均值稍高。他给出在南纬60°处12月平均值为350DU, 1月平均值为320DU, 2

月平均值为310DU。但两者并无原则的区别。

图1给出所有观测资料随观测时间的变化, 图2给出它们随大气光学质量的变化。从这两张图中都可以看到, 臭氧的柱含量有着明显的日变化, 当太阳高度角高时, 臭氧的柱含量也增加。

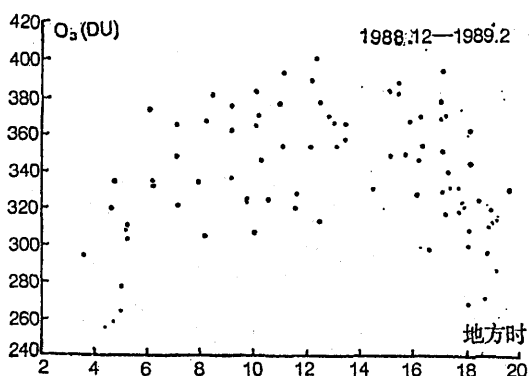


图1 南极长城站臭氧柱含量的日变化

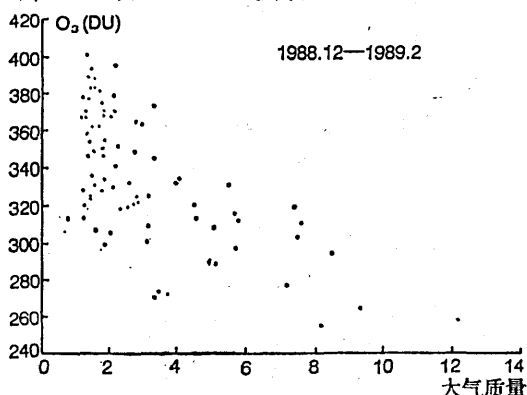


图2 南极长城站臭氧柱含量
随大气光学质量的变化

图3给出在这段观测期间臭氧柱含量日平均值的变化。图中显示了在不同日期有明显的变化, 其幅度很大。这和各天测站所处的天气系统, 输送状态等因素有关。但这里应当指出, 图中所用的数据是日平均值, 由于每天观测的时间并不相同(取决于天空状况), 所以图中的变化也包含了日变化这一因素。

NO_2 共进行了58组观测。其总平均柱含

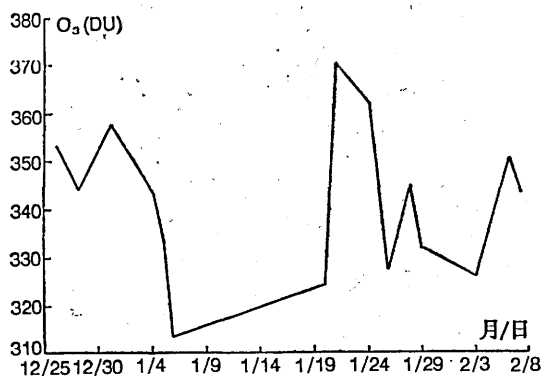


图 3 不同日期臭氧日平均量的变化

量为 $2.19 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 。图 4 给出这 58 组资料在不同时刻的分布。从图中可以看到,

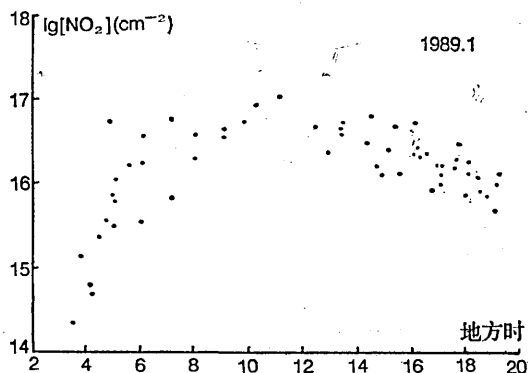


图 4 南极长城站 NO_2 柱含量的日变化
 NO_2 柱含量有相当明显的日变化。一般早上太阳高度角很低时, NO_2 的总含量也很小, 约 10^{15} cm^{-2} 。而随着太阳高度角的增加, 柱含量也迅速增加。中午时刻可达到 10^{17} cm^{-2} ; 在下午又有下降的趋势, 但速度较慢; 到 18 时降至 10^{16} cm^{-2} 。由于测站北方有小山丘阻挡, 傍晚太阳高度角更低时无法进行观测, 但总的日变化趋势在图中仍然可以看出。

Fland 等人⁽⁷⁾曾专门研究过 NO_2 柱含量的日变化规律。他们用地面红外吸收光谱的方法进行观测, 并配合一维模式来讨论 NO_2 日变化的规律。图 5 是他们模式计算的结果。虽然在绝对值上与本次观测有较大的差异, 但变化的趋势则有相似之处。

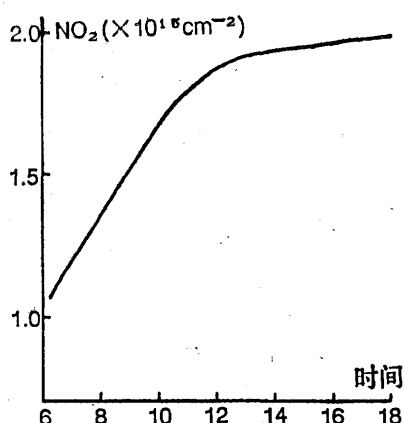


图 5 模式计算的 NO_2 含量日变化结果

已有不少科学工作者在南极地区用地面太阳光谱的方法来观测 NO_2 柱含量。但他们给出的数据都比本次观测所得的结果要低。他们观测的 NO_2 柱含量约在 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 到 $6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, 比长城站观测的结果要小一个量级。但所有这些观测都是利用曙暮光的原理进行的, 所以观测时太阳高度角都很低。根据本次观测, 由于日变化的原因, 此时的 NO_2 柱含量也在这一数量级。

另一个应当注意的是, 以前的观测工作, 除了最后一项是在新西兰进行的观测外, 其它站的纬度都比长城站要高, 这也是使本文的测量结果较高的可能原因之一。从某些卫星和飞机观测的资料来看, NO_2 含量在高纬地区也有减小的可能。根据 Levi 报导⁽⁸⁾, 为了研究南极臭氧洞, 美国和西欧一些国家联合组织了飞机南极臭氧探测计划 (AAOE)。飞机由智利最南端的蓬塔阿端姆斯出发飞向南极点。沿途测量 H_2O , NO_x , O_3 , ClO 等各种痕量气体的浓度。由 1987 年 9 月 22 日的观测看到, 从低纬向高纬, 在 64°S 处 NO_x 浓度有突然的减小, 其幅度达 5 倍。相应臭氧的浓度也有明显的下降。所以出现这一现象很可能和当时的天气形势有关。但从这里可以看到, 在纬度较低的地区, 可能 NO_2 的总量比高纬区大。当然, 飞机观测仅给出飞行高度上 NO_x 的浓

度,并非柱含量。但若配合卫星观测的资料,这一点就更清楚了。从太阳中层探测卫星(SME)得到的月平均 NO_2 浓度纬度分布图(9)中可以看到,在 60°S 上空有一个浓度较大的区域,而向更高纬度推进时,浓度就减小了。从1982年1—3月的资料来看,都有这一现象。

三、讨 论

这是在中国南极长城站首次进行的有关臭氧和大气痕量组分的光学遥感。工作的结果表明,所用的方案在长城站是可以取得一定量的资料。从对这些资料的计算和分析可以得到下面一些概念:

1. 利用高分辨率太阳光谱的方法在南极长城站观测的结果表明,在1988年底到1989年初,长城站区臭氧的柱含量变化于240DU到400DU之间,平均值为341DU。这和历史统计资料基本相同。但观测到了明显的日变化。

2. 同时期的 NO_2 柱含量观测的结果表明, NO_2 柱含量的平均值为 $2.16 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$,并有明显的日变化。与国外同类观测结果相比,长城站的值偏大,其原因可能是由于观测时间和测站纬度不同。

平流层的光化学反应是在许多痕量气体组分共同参与下进行的。在完全不了解其它组分的情况下,很难简单地去讨论臭氧和 NO_2 柱含量之间的关系。把几乎同时观测的34对资料(时间相差不超过一小时)作相关的结果如图6。图中臭氧是线性坐标,而 NO_2 是对数坐标。直线为拟合结果,有

$$\log[\text{NO}_2] = 14.56 + 4.97 \times 10^{-3} [\text{O}_3]$$

其中, $[\text{NO}_2]$ 为 NO_2 的柱含量,单位为 cm^{-2} 。 $[\text{O}_3]$ 为臭氧的柱含量,单位为DU。直线的相关系数为0.41。拟合的结果表明,虽然臭氧和 NO_2 都有日变化,随太阳高度角的增大而增加,但 NO_2 的增加比臭氧要快得多。

为了更好地利用长城站的观测资料,下

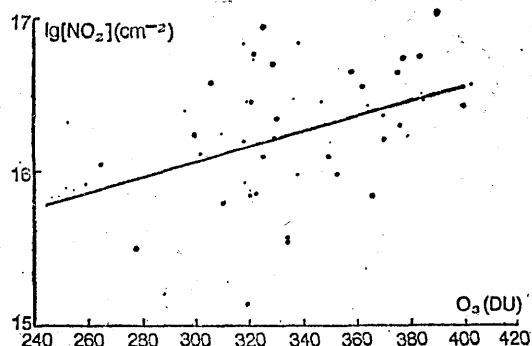


图6 南极长城站大气臭氧和 NO_2 柱含量的相关变化

列工作是很有必要的:

1. 仪器的定标:臭氧观测可与Dobson臭氧仪作对比观测,而 NO_2 目前尚无通用的标准。最好是参加不同仪器同时进行的对比观测。

2. 模式的配合:由于是单点的资料,并且只可能对有限的几种组分观测,在没有模式配合的情况下是无法用它来研究问题的。在近期应发展一个一维模式,以便对所得结果作进一步分析。

3. 对更多的组分进行观测:在紫外至近红外波段,国际上已开展了对 NO_3 , ClO 等组分的观测。若将波段开拓到红外,还可以对 HNO_3 , NO , HCl , CH_4 , N_2O , C_2H_6 ,F11和F12进行观测。这对研究极区平流层中发生的光化学过程是非常有意义的。

参 考 文 献

- (1) Chapman,S..(1930),On ozone and atomic oxygen in the upper atmosphere, Philos. Mag.,10,369.
- (2) Kinnison,D. et al.,(1988),Ozone calculations with large nitrons oxide and chlorine changes,J.G.R.,93,14165.
- (3) Broderick A.J.and R.C.Oliver, (1982), The supersonic transport, in F.A.Bower and R. B. Ward (ed.) "Stratospheric ozone and man",Vol.2 P.7.CRC Press.
- (4) Farman,J.C. et al., (1985),Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction,Nature, 315, 207.

- [5] Stolarski, R.S. and M.R. Schoeberl, (1986), Further interpretation of satellite measurements of Antarctic total ozone, Geophys. Res. Lett., 13, 1210.
- [6] Robinson, N., (ed.) "Solar Radiation", American Elsevier, New York, 1966.
- [7] Fland, J. M., et al., (1983), Daytime variation of atmospheric NO_2 from ground base infrared measurements, Geophys. Res. Lett., 10, 1104.
- [8] Levi, B.G., (1988), Ozone depletion at the poles: the hole story emerges, Phy. Today 41, 17.
- [9] James, M. Russell, III (ed.), "Handbook for MAP", Vol. 22, p233, 1986.

Measurement of the O_3 and NO_2 column abundance at the Great Wall Station Antarctica

Mao Jietai

(Department of Geophysics Beijing University)

In the Fifth Antarctic Research Expedition of China (1988-1989), the high resolution spectra of the sun were obtained at Great Wall Station from Dec. 1988 to Feb. 1989. The waveband used to reduce the O_3 and NO_2 column abundance are 300—340 nm and 444—450 nm, respectively. The results of this measurement are discussed. The O_3 column abundance in this measurement varies in the range of 310—400 DU with average 341 DU, while the NO_2 gives a average value of $2.16 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$.