

南极昭和站平流层臭氧变化与 NAT 凝结温度的关系*

赵永净 孔琴心 王庚辰

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

近藤丰

铃木胜久

(日本名古屋大学太阳地球环境研究所) (日本横滨国立大学教育学部)

提 要

根据南极昭和站的臭氧和气象探空资料, 分析了昭和站上空平流层内几个等压面(20, 30, 50, 70, 100 和 150 hPa)上臭氧变化与硝酸·三水合物(分子式 $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 记为 NAT) 凝结温度的关系, 给出了臭氧变化的一个基本特征。

关键词: 平流层臭氧; 硝酸; 三水合物。

引 言

南极臭氧的变化是一个重要课题. 澳洲春季南极上空臭氧洞的发现也引起了人们的广泛重视, 很多科学家都在致力于通过实验和理论来解释这种现象. 参考文献[1, 2]认为, 氯化物(如: ClO_x 等)是引起臭氧分解的重要物质, 南极上空的极区平流层云(PSC)的形成对臭氧浓度减少起着重要作用. 即: 当南极平流层温度降低到一定程度以后, 在 PSC 中发生多相化学反应^{[3][4]}, 氮氧化物(NO_x)转化为非活性硝酸并与水结合成硝酸·三水合物(NAT)同时开始凝结, 这一过程有利于激活具有分解臭氧作用的氯化物分子, 加剧臭氧的化学损失^[5]. 大量的观测资料证实了这一观点^[6], 同时, 它也得到了科学家们的普遍认同.

Hanson 等^[7]通过实验证明, NAT 的凝结温度比水汽凝结的温度高. 这表明, 在平流层温度降低的过程中, NAT 先于水汽开始凝结. 他们还给出了 NAT 凝结温度与硝酸及水汽浓度的解析关系.

本文根据南极昭和站的臭氧及气象探空资料, 以及 Hanson 等人的计算公式^[7], 计算了平流层的 NAT 凝结温度, 分析了昭和站上空几个等压面(20, 30, 50, 70, 100 和 150hPa)上臭氧变化与 NAT 凝结温度的关系. 分析结果进一步佐证了上述解释臭氧变化

* 本文为南极科学考察研究八五计划支持项目.

1994-07-09 收到, 1994-09-24 收到修改稿.

的观点.

1 资料来源

1.1 臭氧浓度

臭氧观测数据取自日本南极昭和站的臭氧探空资料. 原始数据是标准的 CANADA 格式, 其中含有大量的探空信息. 根据需要, 我们采用从 1990 年 1 月~1991 年 12 月两年期间的全部 62 次探空资料, 摘录出几个标准等压面(20, 30, 50, 70, 100 和 150hPa)上的气压、温度和臭氧分压值, 然后, 计算各等压面上的臭氧体积混合比及其数密度.

1.2 平流层温度

南极平流层温度数据取自昭和站的气象探空资料. 通常气象探空是每日两次发射, 其温度的数据量比臭氧探空的温度数据量大, 因而更加可靠. 同样, 我们只用与臭氧数据同期内的相等等压面上的温度数据.

1.3 NAT 凝结温度

根据 Hanson 等的计算公式^[7]以及一般情况下大气中硝酸和水汽的浓度分布^{[8][9]}, 本文计算了 20, 30, 50, 70, 100 和 150hPa 等几个等压面上的 NAT 凝结温度. 同时, 还考虑了不同的硝酸浓度和水汽浓度对计算 NAT 凝结温度的影响.

2 资料处理结果与讨论

图 1(a~f)分别给出 1990 年和 1991 年两年内南极昭和中国上空 20, 30, 50, 70, 100 和 150hPa 6 个等压面上臭氧浓度的年变化和这几个等压面上温度的年变化, 还给出了假定硝酸和水汽浓度分别为 8×10^{-9} 和 4.5×10^{-6} 时计算的 NAT 凝结温度.

由图可见, 这几个等压面臭氧浓度的变化具有如下特征: ①从年初到第 150d 左右平流层的气温是下降过程, 在降至 NAT 凝结温度之前, 臭氧浓度并不随之减少; 当气温进一步降低, 直至低于 NAT 凝结温度以后, 经过一个延迟时间, 臭氧浓度开始急速下降, 最终降到最低值; 气温回升以后, 只要在 NAT 凝结温度之下, 平流层臭氧的浓度不会增加; 一旦气温超过 NAT 凝结温度, 臭氧浓度首先停止下降过程, 又一次经过一段时间延迟, 开始大幅度上升, 并保持在较高的水平, 直到第二年平流层气温下降到 NAT 凝结温度之下以后. ②臭氧浓度在 30, 50, 70 和 100 hPa 4 个等压面上的上述变化特征比较明显, 而在上、下两个等压面(20 和 150hPa)上的变化则有一些差异. 其中的一个原因是发生多相化学反应的极区平流层云 PSC 主要集中在 15~22km 高度范围^[8], 约对应于 30~150hPa 气压范围; 另一个原因是平流层与对流层大气交换, 使平流层底部大气臭氧浓度的变化规律与平流层内部的变化规律不同. 根据对整层大气的臭氧探空资料分析, 也证实了这一点.

值得注意的是, 平流层臭氧变化是一个非常复杂的过程, 受多种因素的影响, 如: 太阳辐射, 平流层内多相化学反应过程, 大气传输过程, 观测点处于南极极涡的相对位置等等^[10]. 因此, 平流层内臭氧变化与 NAT 凝结温度的关系不是单调的, 在上述的大趋势下,

还存在一些其它的变化机理. 如: ①平流层气温降低到 NAT 凝结温度之下和回升到 NAT 凝结温度之上以后, 都伴随着臭氧浓度的快速变化过程. 如上所述, 这两个过程都经过了一个时间延迟, 由图可见, 这是一对非对称的延迟. 原因之一是低温下 PSC 中的氮氧化物与水结合成 NAT 并激活 ClO_x 的过程与较高温度时硝酸分解成氮氧化物, 并消除 ClO_x 的过程及反应速率不一样. 同时, 不排除其它因素的影响; ②在冬末春初季节, 来自低纬度的气团不但使南极平流层局部气温在短期内升高, 而且使臭氧浓度增加. 这是因为低纬度地区的春季先于高纬度的南极, 硝酸分解成氮氧化物并消除 ClO_x 的过程在那里已经发生, 那里的气团不但温度高, 而且富含臭氧. 同理, 来自高纬度的气团将使臭氧浓度下降. 表现在图中这段时间内臭氧和温度比较剧烈的起伏; ③臭氧浓度在大幅度上升过程

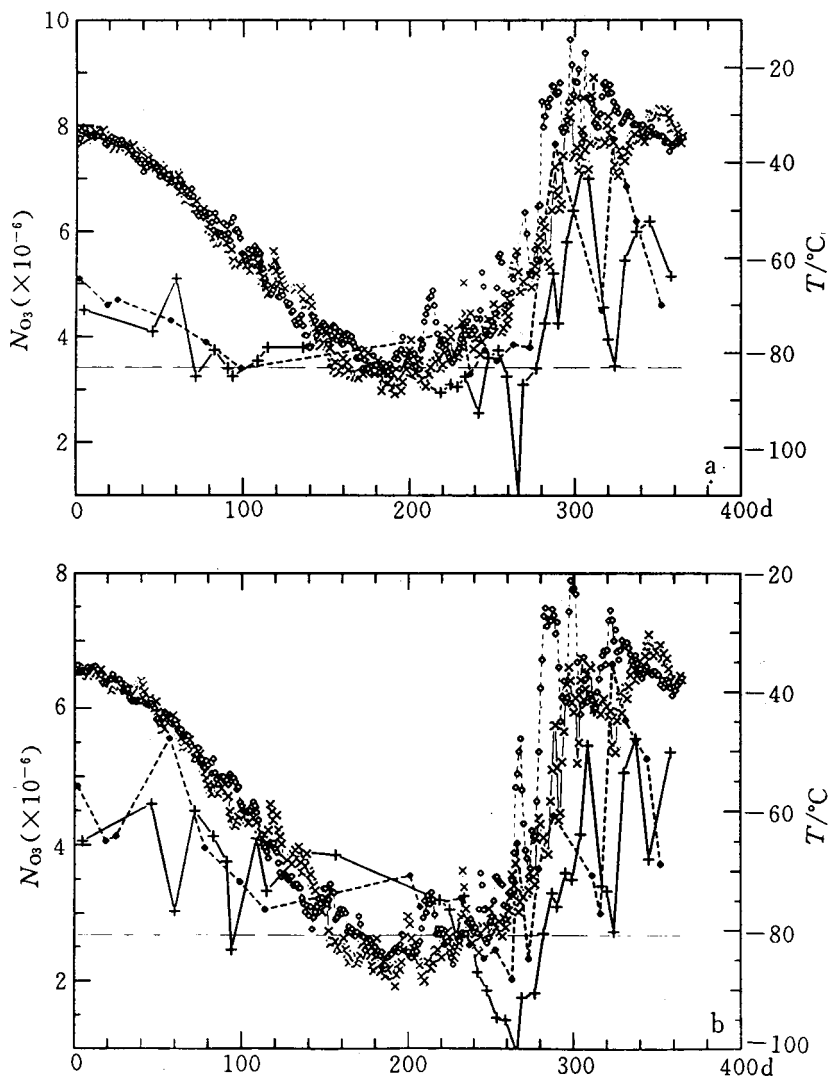
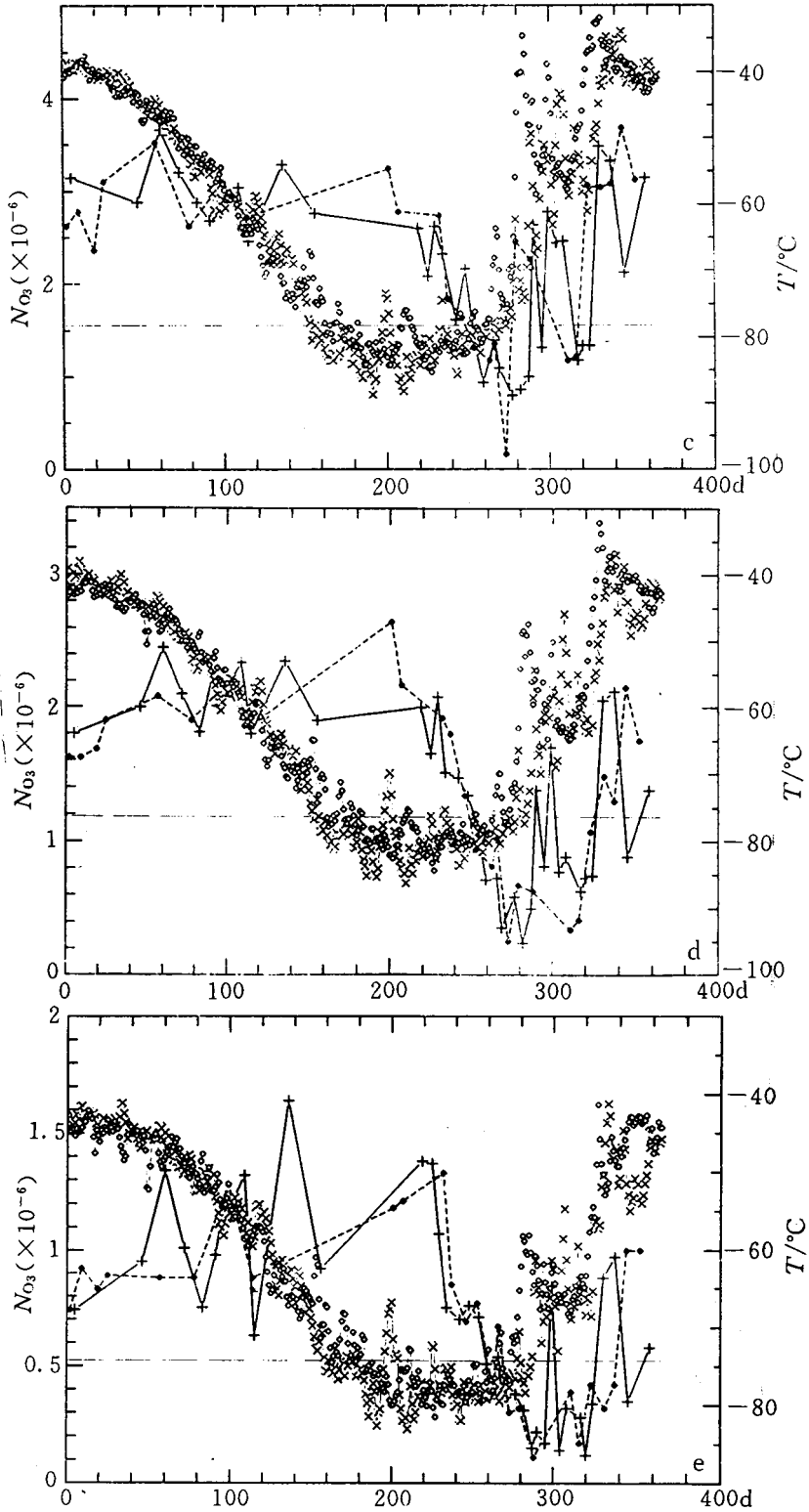
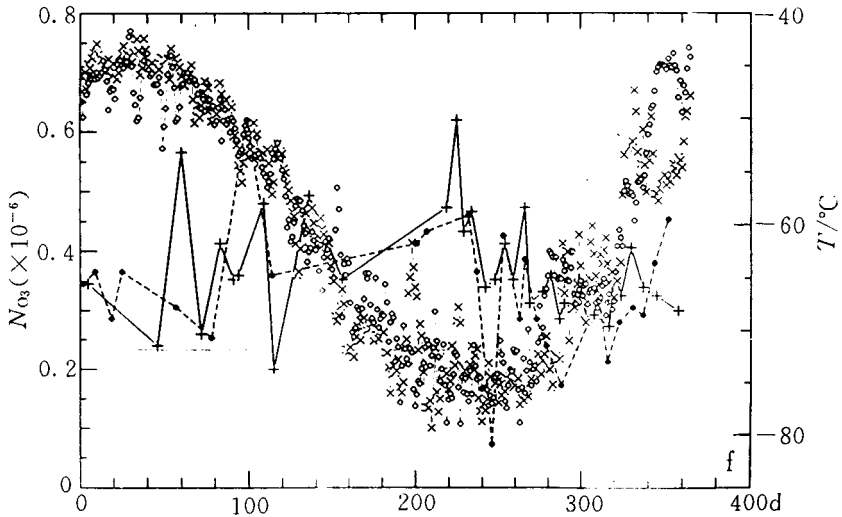


图 1 1990 年和 1991 年南极昭和站上空 (a) 20 hPa (b) 30 hPa (c) 50 hPa (d) 70 hPa (e) 100 hPa (f) 150 hPa 等压面上臭氧浓度和温度的年变化 (—○— 1990 年臭氧, —×— 1990 年温度, ···· 1991 年臭氧, -·-·- 1991 年温度, —△— 三水合物温度)



(续图 1)



(续图 1)

中,出现几次明显的下跌,例如图中 1990 年第 320d 和第 350d 前后的两次突变,这是由昭和站在南极的地理位置决定的,Krueger 等给出的 1990 年第 324d 和第 353d 的 TOMS 臭氧总量图^[11](图略)表明,此时昭和站处于低臭氧区.当富含臭氧的南极极涡经过昭站上空时,阻止低纬度的高臭氧气团进入该地区,使其平流层内臭氧浓度下降.

另外提及两点:①在平流层内硝酸和水汽浓度的合理变化范围内($\text{HNO}_3: 2 \times 10^{-9} \sim 10 \times 10^{-9}$; $\text{H}_2\text{O}: 3 \times 10^{-6} \sim 5.5 \times 10^{-6}$),我们计算了不同的硝酸和水汽浓度对平流层内各等压面上的 NAT 凝结温度的影响.结果表明,NAT 凝结温度的变化是 $\pm 2^\circ\text{C}$.显然,不影响本文的分析结果;②本文选用 1990 年和 1991 年两年观测数据的理由是:分析 1990 年以前的数据表明,臭氧变化规律与这两年基本相同,以这两年的变化作为代表不失普遍性;在进行本文的数据分析时,1991 年以后的资料还不完备,把这两年的数据作为比较近期的资料不过时.

参 考 文 献

- 1 Solomon S, Garcia R R, Rowland F S et al. On the depletion of antarctic ozone. *Nature*, 1986, **321**: 755~758.
- 2 McElroy M B, Salawitch R J, Wofsy S C et al. Reductions of antarctic ozone due to synergistic interactions of chlorine and bromine. *Nature*, 1986, **321**: 759~762.
- 3 Van Doren J M, Watson L R, Davidovits P et al. Uptake of N_2O_5 and HNO_3 by aqueous sulfuric acid droplets. *J Phys. chem.*, 1991, **95**: 1684~1689.
- 4 Hanson D R and Ravishankara A R. The reaction probabilities of ClONO_2 and N_2O_5 on 40%~75% sulfuric acid solutions. *J. Geophys. Res.*, 1991, **96**: 17307~17314.
- 5 Granier G and Brasseur G. Impact of heterogeneous chemistry on model predictions on ozone change. *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**: 18015~18033.
- 6 Anderson J G, Brune W H and Proffitt M H. Ozone destruction by chlorine radicals within the antarctic vortex: The spatial and temporal evolution of $\text{ClO}-\text{O}_3$ anticorrelation based on in situ ER-2 data. *J. Geophys. Res.*, 1989,

94:11465~11479.

- 7 Hanson D and Mauersger K. Laboratory studies of the nitric acid trihydrate: Implication for the south polar stratosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 1988, **15**:855~858.
- 8 Hofmann D J and Deshler T. Stratospheric cloud observations during formation of the Antarctic ozone hole in 1989. *J. Geophys. Res.*, 1991, **96**:2897~2912.
- 9 Kondo Y, Amedieu D, Matthews W A et al. Balloon-borne measurements of total reactive nitrogen, nitric acid, and aerosol in the cold, Antarctic stratosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 1990, **17**:437~440.
- 10 Koike M, Kondo Y, Hayashi M et al. Depletion of Arctic ozone in the winter 1990, *Geophys. Res. Lett.*, 1991, **18**:791~794.
- 11 Krueger A J, Penn L M, Guimareas P T et al. Nimbus-7 TOMS antarctic ozone atlas: August through December 1990, NASA reference publication 1264. 1991, p 213.

THE RELATIONSHIP BETWEEN OZONE VARIATION IN THE STRATOSPHERE OVER ANTARCTIC SYOWA STATION AND TRIHYDRATE CONDENSATION TEMPERATURE

Zhao Yongjing Kong Qinxin Wang Gengchen

(*Institute of Atmospheric physics, Academia Sinica, Beijing 100029*)

Y. Kondo

(*Solar-Terrestrial Environment Lab., Nagoya University, Japan*)

K. Suzuki

(*Faculty of Education, National University of Yokohama, Japan*)

Abstract

Based on the ozonesonde and rawinsonde data observed at Syowa station in Antarctica the relationship between the ozone variation on the isobaric surfaces of 20, 30, 50, 70, 100 and 150 hPa and nitric acid trihydrate (NAT) condensation temperature is analyzed and a general feature of ozone variation in Antarctica is given.

Key words: Stratospheric ozone; Nitric acid; Trihydrate (NAT).