NO_x的准两年周期变化及其与臭氧 准两年周期振荡的关系*

I. 资料分析

郑 彬 陈月娟 简 俊

(中国科学技术大学地球与空间科学学院,合肥 230026)

摘 要 利用 1992~2000 年 HALOE 的观测资料,分析了平流层 NO_x(这里是指 NO 和 NO₂)混合比的垂直经向分布结构、季节变化和年际变化,并与 O₃混合比的年际变化进行比 较。结果表明:(1) 在各纬度平流层 NO_x混合比的垂直结构基本相似,从平流层下层向上随 高度增加,分别在 1~2 hPa (NO) 和 5~10 hPa (NO₂) 达到极大值,再向上 NO_x混合比随 高度减小。另外,NO 混合比在 1.0×10⁻⁵ hPa 高度附近还有一个极值区。在平流层下层,它 们的极值区下方,NO_x混合比基本从热带向两极增大。NO 混合比在平流层位于 1~2 hPa 之 间有一个高值区,在 1.0×10⁻⁵ hPa 附近还有一个更大的极值。而 NO₂只有一个浓度高值区,位置在 5~10 hPa。(2) NO_x混合比在中低纬的高度分布和经向分布上都存在准两年周期振荡 (简称 QBO)。NO₂的 QBO 较 NO 更明显,赤道上空的 NO_x的 QBO 最明显,北半球 NO_x 的 QBO 较南半球更明显,而 20~5 hPa 的 NO_x的 QBO 又较其他气层更明显。(3) 在热带 30 km 以上,NO_x的 QBO 与 O₃混合比的 QBO 位相相反;而中纬地区及 30 km 以下的热带,它们有一个位相差,但不完全相反。

关键词:氮氧化物;臭氧;准两年周期振荡

1 引言

在平流层臭氧的光化学过程中,氮氧化物(NO_x)起着重要的作用,特别是在平流层中低层,与HO_x和ClO_x相比较,NO_x对臭氧分子的破坏占主要地位^[1]。因此,20世纪70年代以来,在研究平流层臭氧耗损的同时,也对NO_x的分布和变化进行了一系列观测和研究。在1982年WMO出版的《The Stratosphere 1981》一书中总结了前人的单站观测工作^[2],如:利用安置在气球上的化学发光仪器对NO进行探测,利用装置在飞艇和火箭上的化学发光仪器对NO进行探测,利用光致电离质谱分析技术探测NO,利用自旋反转激光吸收技术探测NO,以及利用以气球为平台的红外和可见光吸收技术进行NO₂观测。我国学者也进行过NO₂的单站观测,如1993年2月起在南极中山站利用 Brewer MKIV 型臭氧仪对其上空的O₃、NO₂柱总量及平流层O₃、NO₂含量进行了长期观测研究。这些观测研究对我们了解NO_x的垂直分布是很有帮助的。但由

²⁰⁰¹⁻¹⁰⁻³⁰ 收到, 2002-04-15 收到再改稿

^{*} 中国科学院重大项目 KZ951-Al-403-03 资助

于这些观测资料比较零散,而且是单站观测资料,对研究 NO_x的空间分布和随时间的 变化特征是很不够的。近年来,人们在研究臭氧的准两年周期振荡(简称 QBO)现象 的同时,也开始用数值模拟方法研究 NO_x的 QBO 现象。Chipperfield 等^[3]用一个二维 模式研究了 SAGE II 的 NO2和 O3的准两年周期信号,认为平流层中上层臭氧的 QBO 主要就是由于 NO_x的 QBO 强迫形成的。Huang^[4]在用一个 2-D 模式模拟研究太阳辐射 对热带平流层臭氧准两年周期振荡影响的同时,也得出了同样的结论。Jones 等^[5]模拟 了风场 QBO 对平流层微量元素的输送,指出风场 QBO 会引导出一个经向环流,将长 寿命的微量气体从热带地区向外输送并形成热带以外地区微量气体的 QBO。张弘等^[6] 利用 NCAR 的包含化学、辐射、动力相互作用的两维模式(SOCRATES)模拟了赤道 上空平均纬向风场的 QBO 对大气中微量气体分布的影响,结果表明,风场 QBO 及与 其相关的次级环流所引起动力输送的变化,使平流层微量气体分布发生变化。这些模 拟实验都表明,热带纬向风场的 QBO 不仅能引起臭氧的准两年周期振荡,同时也引起 其他微量元素(包括 NO_x)的准两年周期振荡,而且 NO_x的准两年周期振荡与臭氧的 QBO 有一定的关系。Cordero 等^[7]通过分析 UARS 卫星上超过四年的 CH₄、HF 和 O₃ 观测资料,指出长寿命微量气体的 QBO 信号强度与其浓度垂直梯度有关。这些研究结 果增进了我们对平流层—中层 NO_x的分布和年际变化特征的认识。但是数值模拟结果 需要用观测资料加以验证。1991年10月 UARS 卫星上的卤素掩星试验(HALOE)开 始工作并发布各种微量气体的垂直分布资料,为我们研究 NO_x的空间分布和随时间的 变化提供了很好的条件。我们曾用此资料讨论过 1992~1998 年 NO,混合比的垂首分布 特征^[8]和平流层臭氧 QBO 的问题^[9]; Luo 等^[10]曾用 1992 年至 1995 年的 HALOE 资料 分析了热带平流层微量气体的 QBO 现象,其中给出过 NO 和 NO₂混合比的距平图,并 指出 NO_x也有 QBO 现象,但他们分析的只是 10°S~10°N 范围的 QBO,时间只是从 1992 年到 1995 年,分析的空间范围也很窄,所以 NO、混合比 QBO 的空间结构仍不是 很清楚。为了深入对此问题的研究,在本文中,我们将用 1992~2000 年的 HALOE 资 料,包含了 70°S~70°N 范围的 NO,混合比来分析其空间分布及其随时间的变化,详细 地讨论其 QBO 特征,并与 O₃的 QBO 进行比较,分析了它们之间的关系。

2 资料简介

本文使用的 NO 和 NO₂资料是取自于从网上下载的 1992~2001 年 2 月日出时的卤 素掩星试验(HALOE)资料。根据掩星试验的观测原理,只有当某地在日出或日落的 瞬间,太阳、卫星之间的连线正好与该地相切的情况下,才能进行观测。因此并不是 每天在各纬度都有观测资料,也就是说,有些月份、有些纬度带没有观测资料。我们 下载的所有的资料,基本上有了各年春夏秋冬四季的资料,唯独缺 1997 年 6~8 月的 日出资料,在以后的分析中,我们用 1997 年 5~6 月的资料代替它。从 1993 年 1 月起, NO 和 NO₂的垂直测量范围分别约为 360~3.98×10⁻⁶ hPa 和 250~0.63 hPa,垂直分 辨率在平流层约为 500 m。在文献 [8,9]中,我们已对 HALOE 资料作过介绍,这 里不再重复。由于 UARS 卫星是极轨卫星,它给出的观测资料不是定时定点的,而是 与其轨道有关。为了便于分析对比,我们对原始资料进行了客观分析,得到了这 9 年 271 个观测高度上 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格点上的资料(覆盖范围: 70° S ~ 70° N, 180° W ~ 180° E), 然后用这些格点上的资料进行分析研究。

3 资料分析结果

3.1 平流层 NO_x及其垂直经向分布和季节变化

在平流层,NO主要是通过 N₂O 与原子氧的反应形成的,而 NO 可以很快与臭氧 分子反应生成 NO₂。N₂O 主要是通过与土壤复杂的氮化和消氮化机制相联系的细菌过 程而产生的;人为活动也会产生 N₂O,特别是氮肥工业、燃烧和有机废物。N₂O 在整 个对流层都存在,并被注入到平流层下层。这就使 NO 和 NO₂成为平流层中重要的微 量气体。

在文献 [8] 中,我们对 NO 和 NO₂的垂直分布进行过详细的讨论,总的来说, NO 混合比有两个极值,一个在高层约 1.0×10^{-5} hPa,另一个在平流层 2 hPa 附近; NO₂混合比只有一个极值,位于平流层 5~10 hPa,与臭氧的峰值区位置相近。

在这里我们主要讨论平流层 NO_x混合比的垂直经向分布,垂直范围取为 50~0.2 hPa。图 1a~d 分别为 1992 年到 2000 年平均的各季度 NO 混合比垂直经向分布。图 1 显示 NO 的混合比在中高纬自 22 hPa (热带自 14 hPa) 附近向上从 1.0×10^{-9} (文中所提到的混合比皆为体积混合比,单位为 m³ m⁻³,下同)逐渐增大,到 4 hPa 附近达到 8.0×10^{-9} ,在 2 hPa 附近达到极值,再往上混合比又开始减小。在 6 hPa 以下,NO 混合比是从赤道向两极增大。NO 混合比高值区分布在 1~3 hPa 之间。从图 1a 可以看出,在 3~5 月 (以下用 MAM 表示),NO 的高值区有两个极值中心,一个位于 25°S,



(a) 3~5月; (b); 6~8月; (c) 9~11月; (d) 12月~次年2月

另一个位于20°N,高度都在 1.0 hPa 附近。图 1b~d 分别显示了北半球夏季到冬季 NO 混合比的垂直经向分布,它们都只有一个明显的高值中心,其中 9~11 月的 NO 混合 比高值中心已明显地向南半球中纬延伸。从图 1 我们给出了一个 NO 混合比高值中心 分布随季节变化的过程:6~8 月,NO 混合比高值中心位于 20°N 附近,最大值约为 1.2×10⁻⁸,中心区最南端约在 15°S;到了 9~11 月,NO 混合比高值中心位于 20°N 附 近,但最大值已减小为 1.1×10⁻⁸,中心区最南端已伸至 55°S;12 月至次年 2 月,NO 混合比高值中心移到 10°S,最南端可至 30°S 附近;至北半球春季,NO 混合比高值中 心区向北延伸,并分裂出两个中心;再到北半球夏季,NO 混合比高值中心回到 20°N 附近,结束一年的循环。

图 2 为 1992 年到 2000 年平均的各季度 NO₂ 混合比垂直经向分布。图 2 显示 NO₂ 的混合比自 15~50 hPa (各季节、各纬度有区别)向上从 1.0×10^{-9} 逐渐增大,到 8 hPa 附近达到极值,再往上混合比又开始减小。从 5 hPa 向上至 0.5 hPa, NO₂的等值 线较平直;高值区以下至 50 hPa, NO₂混合比的分布与 NO 类似,都是从热带向两极 增大,所不同的是在北半球春夏季,NO₂混合比向北增加得更快,而在北半球秋冬季, NO₂混合比则是向南增加得更快。从图 2 可以看出,在北半球春季与秋季,NO₂混合比 在 40°S 有一个较弱的高值中心,而北半球夏季和冬季,NO₂混合比在中低纬没有明显 的高值中心;在北半球春夏,NO₂混合比在高纬 70°N (或以北)有一个高值中心,最大 值可达到 6.5×10^{-9} (或更大),在北半球秋冬,NO₂混合比在高纬 70°S (或以南)有一 个高值中心,最大值可达 7×10^{-9} 。

3.2 NO_x的季节变化和准两年周期振荡

图 3 是 10.8 hPa 气层 NO 混合比及其距平经向分布的时间变化图,图中高纬地区



(a) 3~5月; (b) 6~8月; (c) 9~11月; (d) 12月~次年2月

的空白处为缺测区。从图 3a 可以看出,在中纬度地区的 10.8 hPa 气层,NO 混合比的 季节变化强于热带地区。在热带的 10.8 hPa 气层,NO 混合比有明显的准两年周期振 荡。1992 年 1 月~1994 年 4 月、1995 年 1 月~1996 年 4 月、1997 年 1 月~1998 年 4 月、1999 年 1 月~2000 年 7 月,NO 混合比都是小值,约为 1.0×10⁻⁹,除了第一个周 期较长外,其他周期都在 2 年左右。在南北半球的副热带,NO 混合比都有很强的季节 变化特征,总的来说是冬半年 NO 混合比大于夏半年的值。不仅如此,在 20~50°N, NO 混合比还有较强的准两年周期振荡,而南半球则不明显。20~40°N 的 1993 年 12 月~1994 年 2 月、1995 年 12 月~1996 年 2 月、1997 年 12 月~1998 年 2 月、1999 年 12 月~2000 年 2 月,NO 混合比都有较大的值,并且由南向北值是增大的。除 1993 年 外,它们都对应于热带的 NO 混合比高值区;同样,对于 20~40°N 的低值区,也对应 于热带的 NO 混合比低值区。这表明 20~40°N 纬度带的 NO 混合比两年周期振荡与热 带的同相。南半球 NO 混合比的年变化太强,掩盖了其 QBO 信号,使其不明显。为了 更好地看清楚其 QBO 特征,我们求出 NO_x混合比相对于这 9 年各季节平均值的距平



图 3 10.8 hPa 气层 NO 混合比(a) 及其距平(b) 经向分布的时间变化(单位:×10-9)

(下同)。图 3b 显示了 NO 混合比距平的年变化,可以看出在滤去季节变化后,NO 在 热带和副热带都有明显的准两年周期变化,并且可以明显看出南北半球的副热带 NO 的振荡位相是相反的。

图 4 给出了 NO₂混合比及其距平在 15.8 hPa 气层经向分布的时间变化图。从图 4a 可以看出,一方面,在中纬地区,NO₂混合比季节变化比低纬度地区明显;另一方面, 1992 年到 2001 年 2 月的 15°S~12°N 之间,NO₂混合比有 5 个低值中心区 (1992 年中 心区很宽,从 21°S 到 24°N),中心值约为 1.0×10^{-9} ,各中心之间相差 24 个月到 30 个 月,体现了很好的准两年周期振荡的特征。与 NO 相同,NO₂混合比在南半球 (15°S 以南至 50°S 附近)以年变化为主,准两年周期振荡不明显; 15°N 至 30°N 附近,NO₂ 混合比有明显的准两年周期振荡,并且也与热带 QBO 有相同的振荡位相。在滤去季节 变化后的图 4b 中,可以看出,热带和副热带都有明显的准两年周期振荡,南北半球中 纬的振荡也是南北反相的。

在作高度分布随时间的变化图时,我们发现 NO_x混合比的季节变化的信号太强,



很难看出其年际变化。为了突出其年际变化,我们用距平的变化代替混合比本身的变化。 从图 5 给出在赤道上空的纬向平均的 NO 混合比的距平的高度分布随时间的变化,可以看 出,在 NO 混合比的极值高度(1~2 hPa)以下至 23 hPa 附近, NO 混合比的距平存在明 显的准两年周期振荡,并且在 6 hPa 以下,还可以清楚地看到振荡向下传输。



图 5 赤道上空纬向平均的 NO 混合比距平(单位: ×10⁻⁹)的高度分布随时间的变化

图 6 是南北纬 30°纬向平均的 NO 混合比距平的高度分布随时间的变化。从图 6a 显示的 30°S 的 NO 混合比距平的高度时间变化图可以看出,在 20~1 hPa 附近,NO 混合比距平的准两年周期振荡在 4 hPa 以上有较大的振幅,振荡 也更清晰,而且它与下层振荡位相正好相差半年左右。图 6b 是 30°N 的 NO 混合比距 平的高度时间变化图,可以看出,30°N 的 NO 混合比距平的 QBO 没有 30°S 明显,但 在 4 hPa 以上仍能看出其准两年的周期变化。此外,从图 6 我们还能看出,在 8 hPa 以下,30°S 的 NO 混合比距平中心的正负值几乎完全与 30°N 的相反。南北纬 20°的 NO 混合比距平也有准两年周期振荡,与南北纬 30°不同的是,它们的 QBO 主要在 8 hPa 以下 (图略)。

图 7 是赤道上空纬向平均的 NO₂混合比距平的高度分布随时间的变化。从图 7 可 以很明显地看出在赤道上空 50~1 hPa, NO₂混合比距平有很强的准两年周期振荡,而 且与 NO 的振荡相同,都是从上层向下传输。NO₂混合比距平在 15~5 hPa 的 QBO 信 号比其上下方都强,振幅可达 0.4×10^{-9} (甚至 0.6×10^{-9}),而它的上下方振幅一般在 0.2×10^{-9} 左右。

图 8 是南北纬 30°纬向平均的 NO₂混合比距平的高度分布随时间的变化。可以看出,在 20~5 hPa, NO₂混合比距平仍有较明显的准两年周期振荡。在 30°N(见图 8b),25~10 hPa, NO₂混合比的正距平中心分别位于 1993 年 12 月~1994 年 2 月、1995 年 3~5 月、1997 年 12 月~1998 年 5 月和 1999 年 3~5 月,振幅约为 0.4×10⁻⁹



图 6 沿纬向平均的 NO 混合比距平的高度分布随时间的变化(单位:×10⁻⁹) (a) 30°S; (b) 30°N

(最大可达 0.8×10⁻⁹),周期约为 24 个月到 28 个月。从图 8c 中还能看出,一般是振幅为正时其值大于振幅为负时的值 (1992 年例外),约大 50%~100%。与 NO 类似, 25 hPa 以上南半球 NO₂混合比的正距平中心基本对应于北半球它的负距平中心。南北 纬 20°的 NO₂混合比距平的准两年周期振荡主要位于 NO₂混合比的极值高度附近到 20 hPa (图略)。

从图 5~8 的分析,可以看出,NO_x在赤道和中低纬的高度分布上的确存在准两年 周期振荡,而且这种振荡不仅存在于它们分布的极值高度上,还存在于它们极值高度 的上下方。在赤道,NO_x的 QBO 最明显,并且可以看出振荡从上向下传;在平流层低 层,南北半球对应纬度上(大于 20°)的 NO_x的 QBO 通常是反位相的,而同一纬度的上 下层 NO_x的振荡相差一个位相,但并不是完全反相。一般看来,NO₂的 QBO 较 NO 更 明显,赤道上空的 NO_x的 QBO 最明显,北半球 NO_x的 QBO 较南半球更明显,而 20~ 5 hPa 的 NO_x的 QBO 又较其他气层更明显。



图 7 赤道上空 NO2混合比距平(单位:×10-9)的高度分布随时间的变化

3.3 NO_x的准两年周期振荡与臭氧 QBO 的关系

平流层 NO₂ 除了 直接参加破坏平流层 O₃ 的自催化反应外([O₃] 正比于 [NO₂]/[NO]),还与 CIO 反应形成 CIONO₂,从而削弱了氯化物对 O₃的破坏作用。 在稳定天气条件下(平流层风力较小,温度低于-76 °C),NO₂含量与 O₃含量存在着 正比变化关系,这可能是非均相化学反应在起主导作用;当平流层风力较大,动力输 送过程起主导作用时,两者间的关系较复杂,一般呈反比关系^[11]。在 35 km 以上到 45 km 附近,以下反应被认为是有 NO_x参与的最有效的反应^[12, 13]:

$$NO+O_3 \rightarrow NO_2+O_2$$
, $NO_2+O \rightarrow NO+O_2$,

净效果:
$$O_3 + O \rightarrow 2O_2$$
. (1)

但是这个循环与另一个对奇氧没有影响的循环进行竞争^[14], NO+O₃→NO₂+O₂, NO₂+ $h\gamma$ →NO+O, O₂+O+M→O₃+M,

净效果:零.

(2)

虽然这两组反应之间存在着竞争,但两个循环的总的效果还是消耗臭氧。由于我 们分析的是 HALOE 日出时的 NO_x观测资料,是经过一个夜晚后的 NO_x的混合比。显 然在夜晚循环(1)是主要的。循环(2)的 NO₂的光解反应限制了该循环不能在夜晚 进行。因此在夜晚 NO_x对臭氧的破坏过程主要是循环(1)。

有研究表明,平流层上下层的臭氧 QBO 位相相反^[15]。我们在分析了 HALOE 的 观测资料后也得出了同样的结论。为了研究 30 km 上下层的 NO_x浓度的 QBO 与臭氧浓 度 QBO 的关系,我们分别分析比较了 10.8 hPa (约 30 km)、15.8 hPa 和 7.9 hPa 三个 高度在赤道和南北半球各纬度带的臭氧混合比距平与 NO_x混合比距平。

从图 9 可以明显地看出赤道上空 NO、NO₂与 O₃混合比距平的准两年周期振荡的特征。图 9a 显示出在赤道上空的 7.9 hPa 高度, NO 和 NO₂混合比的 QBO 有相同的位相, 而它们与 O₃混合比的 QBO 位相相反。其中, 1992 年 6~8 月、1995 年 3~5 月、



(a) 30°S; (b) 30°N

1997年9~11月、2000年3~5月,NO_x都是负距平,而O₃正相反,都是正距平。在 中纬度地区,NO_x和臭氧的QBO与赤道相比较都是基本反相的,所以NO_x与O₃混合 比距平的QBO位相仍然相反,但是对应关系没有热带好(图略)。图9b是赤道上空 15.8 hPa高度NO_xNO₂与O₃的混合比距平变化,由前几节的分析得知这个高度NO_x 的QBO与7.9 hPa高度NO_x的QBO有一位相差,O₃的QBO与7.9 hPa高度O₃的 QBO基本反位相,所以它们之间的对应关系没有7.9 hPa高度好,即NO和NO₂混合 比距平的QBO仍有相同的位相,而它们与O₃混合比距平的QBO位相并不完全相反。 从以上分析可以看出,在热带30 km以上,NO_x的QBO与O₃混合比距平的QBO位相 相反,体现了很好的正负距平交替;而中纬地区及30 km以下的热带,NO_x的QBO与 O₃混合比距平的QBO位相并不完全相反。因此,NO_x对O₃的破坏在热带平流层的中 上层更重要。Chipperfield等^[3]和Huang^[4]通过模拟实验都得到热带平流层中上层(30 km以上)NO_x的QBO对臭氧QBO形成有很重要的影响,与我们的资料分析结果相



(a) 7.9 hPa; (b) 15.8 hPa

同。从 Jones 等^[5]和张弘、陈月娟等^[6]的工作,我们知道中纬度地区由于赤道上空纬向 风 QBO 引起的经向余差环流输送,形成了与热带基本相反位相的准两年周期振荡,所 以 NO_x在中纬对 O₃的影响较小,O₃的 QBO 主要是动力输送形成的。

关于 NO_x的 QBO 如何形成以及它们与 O₃的 QBO 关系,我们用 NCAR 的包含化 学、动力和辐射相互作用的二维模式进行了数值模拟研究,有关结果将在本论文的第 II 部分予以详细讨论。

4 结论

在前面主要分析了一年四季平流层 NO_x混合比的垂直经向分布及其准两年周期振荡的特征,并与 O₃的准两年周期振荡进行对比,得出了以下几点结论:

(1) 平流层 NO_x浓度的垂直经向分布,从某一气层开始向上增大,达到极值高度 后,开始减小。在它们的极值区下层,NO_x浓度基本从热带向两极增大。NO 的高值区 分布在 1~2 hPa 之间 (中心更接近 2 hPa),并且高值中心的位置有明显的季节变化和 两年周期变化;NO₂的高值区分布在 5~10 hPa,中心在高纬地区。

(2) NO_x在中低纬的高度分布和经向分布上的确存在准两年周期振荡,而且这种 振荡不仅存在于它们分布的极值高度上,还存在于它们极值高度的上下方。在赤道, NO_x的 QBO 最明显,并且可以看出振荡从上向下传;在平流层低层,南北半球对应纬 度(大于 20°)上的 NO_x的 QBO 通常是反位相的,而同一纬度的上下层 NO_x的振荡并 不是完全反相。一般看来,NO₂的 QBO 较 NO 更明显,赤道上空的 NO_x的 QBO 最明 显,北半球 NO_x的 QBO 较南半球更明显,而 20~5 hPa 的 NO_x的 QBO 又较其他气层 更明显。

(3) 在热带 30 km 以上, NO_x的 QBO 与 O₃混合比 QBO 位相相反;而中纬地区及

30 km 以下的热带,NO_x的 QBO 与 O₃混合比 QBO 位相并不完全相反。因此,我们可 以认为 NO_x的 QBO 对臭氧 QBO 形成的作用主要在热带地区的平流层中上层,与 Chipperfield 等^[3]和 Huang^[4]的模拟结果一致;中纬度地区由于赤道上空纬向风 QBO 引起的经向余差环流输送,形成了与热带基本相反位相的准两年周期振荡,所以 NO_x 在中纬对 O₃的影响较小,O₃的 QBO 主要是动力输送形成的。

致谢:感谢 UARS 卫星计划的研究人员为我们的研究工作提供了 HALOE 资料。

参考文献

- 1 王贵勤,大气臭氧层研究简介,北京:气象出版社,1990,21~25.
- 2 World Meteorological Organization, The Stratosphere 1981, 1982, 1~76, 1~97.
- 3 Chipperfield, M. P., L. J. Kinnersley, and J. Zawodny, A two-dimensional model study of the QBO signal in SAGE II NO₂ and O₃, *Geophys. Res. Lett.*, 1994, **21**, 589~592.
- 4 Huang, T. Y. W., The impact of solar radiation on the quasi-biennial oscillation of ozone in the tropical stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 1996, 23(22), 3211~3214.
- 5 Jones, D. B. A., H. R. Schneider, and M. B. McElroy, Effects of the quasi-biennial oscillation on the zonally averaged transport of tracers, J. Geophys. Res., 1998, 103, 11235~11249.
- 6 张弘、陈月娟、吴北婴,准两年振荡对大气中微量气体分布的影响,大气科学,2000,24 (1),103~110.
- 7 Eugene, C., C. S. R. Kawa, and M. R. Schoeberl, An analysis of tropical transport: Influence of the quasibiennial oscillation, J. Geophys. Res., 1997, 102(D14), 16453~16461.
- 8 简俊、陈月娟、郑彬等,北半球中层大气中 NO,的垂直分布特征,大气科学,2001, 25 (5),697~706.
- 9 Chen Yuejuan, Zheng Bin, and Zhang Hong, The features of ozone quasi-biennial oscillation in tropical stratosphere and its numerical simulation, Adv. Atmos. Sci., 2002, 19(5), 777~793.
- 10 M. Luo, J. M. Russell III, and T. Y. W. Huang, Halogen occultation experiment observations of the quasibiennial oscillation and the effects of Pinatubo aerosols in the tropical stratosphere, J. Geophys. Res., 1997, 102 (D15), 19 187~19 198.
- 郭松、周秀骥、陆龙骅等,南极中山站 NO₂的观测及平流层 NO₂与 O₃的关系分析,极地研究,1997,9 (3),163~ 168.
- 12 Crutzen, P. J., The influence of nitrogen oxide on the atmospheric ozone content, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1970, 96, 320~325.
- 13 Johnston, H., Reduction of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysts from supersonic transport exhaust, Science, 1971, 173, 517~522.
- 14 G. 布拉塞、S. 索洛蒙,黄润恒译,中层大气化学和物理学,北京:气象出版社,1988,第五章第五、九节.
- 15 Hasebe, F., Quasi-biennial oscillation of ozone and diabatic circulation in the equatorial stratosphere, J. Atmos. Sci., 1994, 51, 729~745.

Quasi-Biennial Oscillation in NO_x and Relationship to O₃ QBO Part I. Data Analysis

Zheng Bin, Chen Yuejuan, and Jian Jun

(School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract HALOE observational data through 1992 to 2000 were used to analyze the vertical-meridional structure of stratospheric NO_x (NO and NO₂). The seasonal and interannual variations were also analyzed and compared with O₃ mixing ratio QBO. The results indicated that the vertical structures of NO_x mixing ratio in stratosphere in various latitudes are similar. They increase with altitude from low stratosphere, reach the maximum value at $1\sim2$ hPa level for NO and $5\sim10$ hPa for NO₂, respectively, and then decrease with altitude. There is another belt of maximum value of NO mixing ratio located at 1.0×10^{-5} hPa. In the lower stratosphere below the maximum value, the NO_x mixing ratios increase poleward. In middle and low latitudes, NO_x mixing ratio of both vertical and latitudinal distribution oscillate with quasi-biennial period. Generally, feature of the NO₂ QBO are more obvious than that of NO; the QBO in equatorial stratospheric NO_x is more apparent than that of the other latitudes; the QBO in northern hemispheric NO_x are more noticeable than that in southern hemisphere; the QBO between 5 hPa and 20 hPa are particularly obvious. In tropical middle and upper stratosphere, phase of NO_x QBO is reversal to that of O₃ QBO; they have phase lay but not opposite in other regions.

Key words: nitrogen oxides; ozone; quasi-biennial oscillation