

近十五年全球臭氧变化^{*}

任福民

王梅华

(国家气候中心, 北京, 100081)

(北京气象学院, 北京, 100081)

周秀骥 李维亮

史久恩

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

(北京气象学院, 北京, 100081)

摘 要

利用卫星观测臭氧总含量 TOM S(第7版)资料, 在剔除季节变化后对全球60 S- 60 N 范围首先进行了沿纬度分布的线性趋势和周期分析。结果表明: 自本世纪70年代末, 各纬带上的臭氧总量都呈下降趋势, 强度随纬度升高而加剧, 并发现总体上北半球臭氧的下降趋势较南半球更加明显; 同时证实了准两年振荡是臭氧变化中除年周期外最显著的周期。并对臭氧变化中的准两年振荡作了遥相关分析; 发现准两年振荡在强度和位相上基本呈纬向分布并主要表现出赤道对称的特征。135~ 170 E 地区臭氧总量变化所表现出的不同于其它地区的原因可能是这一地区常年频繁出现的对流活动; 而臭氧总量下降趋势表现出的北半球同纬度地区均大于南半球的南北半球差异可能是由两半球人类活动的差异引起。

关键词: 全球臭氧, 变化趋势, 准两年振荡。

1 引 言

自1980年代初发现南极臭氧洞以来, 臭氧变化研究引起了越来越多的关注。英国 Hally Bay 南极站的大气臭氧总量观测显示, 自1970年代中期开始, 南极臭氧总量逐年明显下降^[1]。尽管人类活动引起北半球对流层臭氧含量自工业革命前以来表现为增加^[2], 而由它造成的全球平流层大气臭氧乃至大气柱臭氧总量的减少更是为众多观测事实所证实^[3]。Stolarski 等对 TOM S 全球臭氧资料的研究发现臭氧减少主要发生在冬春季, 南极上空臭氧总量呈现每10 a 减少20% 的趋势; 北极和南、北半球中纬度35~ 64度地区的臭氧总量也存在着显著的减少趋势^[4]。1992年末至1993年初, 南极和北半球中纬度地区的臭氧总量均达到有记录以来的最低值^[5]。周秀骥等^[6]对中国臭氧变化的研究发现在青藏高原臭氧常年维持一低值中心。

前面的工作对臭氧变化的趋势进行了深入的和富有成果的研究。然而, 臭氧变化在主要表现出下降趋势的同时, 也包含着周期性变化。30个月和20个月左右的准两年振荡是全球臭氧变化的重要特征^[7]。史久恩等^[8]对中国地区大气臭氧总量的研究表明, 中国南部地

* 初稿时间: 1997年1月30日; 修改稿时间: 1997年1月30日。

资助课题: 自然科学重大项目和96-908-04-02-4课题资助。

区臭氧变化也表现出显著的准两年振荡。然而, 仅仅对沿纬带平均或某一区域的资料进行分析, 还不足以了解臭氧变化的全球分布特征。利用 TOMS 资料, 在进行臭氧变化沿纬度分布及其周期性变化分析的基础上, 对全球范围臭氧的准两年振荡进行研究。

2 资料处理

臭氧资料为1978年11月至1993年4月美国 Goddard Space Flight Center 的 TOMS(第7版本) 全球网格资料和1977年1月至1994年12月新加坡30 hPa 纬向风逐月距平序列。对臭氧资料进行质量检查时发现, 南、北纬60度至极区的资料有缺漏现象; 因此, 实际用于分析的范围为60 S- 60 N。

对上述资料, 按下列步骤进行计算和分析:

(1) 距平化 臭氧资料按月进行距平化计算, 生成已剔除季节变化的网格逐月臭氧距平资料。

(2) 纬带平均臭氧距平序列生成 将距平化的臭氧资料按带宽8个纬距依次生成60~52 S, 52~44 S, ..., 4 S—4 N, ..., 44~52 N, 52~60 N 共15个纬带平均的逐月臭氧距平序列。

(3) 对纬带平均臭氧距平序列分别进行趋势分析和周期分析。

A. 趋势分析

对资料序列 $T(t)$, $t = 1, 2, \dots, n$, 以线性函数 $Y = a + bt$ 来拟合原序列, 按最小二乘法可求得常数项 a 和趋势项 b , 其中

$$b = \frac{n \sum tT - \sum t \sum T}{n \sum t^2 - (\sum t)^2}$$

B. 周期分析

如果时间序列 X_1, X_2, \dots, X_N 中隐含有长度为 P ($2 \leq P \leq N/2$) 的周期性规律, 则对数据成分作如下分解:

$$X_{ij} = X_{i+(j-1)P} = f_i + W_{i+(j-1)P}$$

式中 $i = 1, 2, \dots, P$, $j = 1, 2, \dots, [N/P]$; f_1, f_2, \dots, f_P 是数据的周期为 P 的分量在各个相位上的取值, 这 P 个值必然存在显著性差异, 它们构成数据的主体成分。因此, 如果分组数与周期数吻合, 则数据的组间差异必定显著。

按照上述原则可筛选出最显著周期, 该方法为隐含周期提取的方差分析方法。详细计算方法可参考文献[9]。

(4) 准两年振荡的遥相关分析

利用具有典型准两年振荡的新加坡30hPa 纬向风逐月距平序列^[10] 与全球网格距平臭氧资料做遥相关分析。资料序列的时段选取1978年11月至1993年4月。

3 结果分析和讨论

3.1 臭氧变化的纬度分布特征

3.1.1 线性趋势随纬度的变化

图1为臭氧变化的线性趋势随纬度的分布。图中横坐标为纬度值,纵坐标为趋势。从图1中容易看出,自1970年代末以来,全球各纬带上的臭氧总量都呈下降趋势。赤道地区下降幅度最小,每10 a下降5.7 DU;下降趋势随纬度升高而加剧,在南、北纬60度分别达到 $-25.0 \text{ DU}/10 \text{ a}$ 和 $-31.5 \text{ DU}/10 \text{ a}$ 。在0.05的统计检验信度水平下,只有热带 $12 \text{ S}-12 \text{ N}$ 地区的臭氧下降趋势不显著,而在其它纬带上臭氧下降趋势是显著的。图1中另一个明显的特点是,在南、北纬60度内,相同纬带上臭氧总量的下降趋势北半球均较南半球明显。

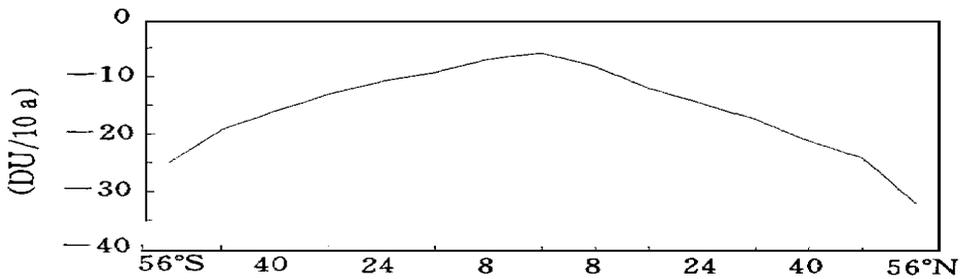


图1 臭氧变化线性趋势随纬度的分布(1978.11-1993.4)

臭氧的下降趋势表现出明显的随纬度变化的特点,其变化的步调在不同阶段是否存在这种差异呢?图2给出全球15个纬带平均逐月臭氧距平序列。可以看出在1990年以前,60-36 S和20-60 N地区臭氧总量表现为稳定的下降趋势;而36 S-20 N地区臭氧总量变化则表现为两个不同的阶段,前一阶段是1970年代末至1984年前后为相对稳定的下降趋势,1980年代中后期则呈现出逐步上升的趋势。另一个显著的特点是进入90年代以来,全球臭氧总量变化表现出几乎一致的下降趋势并持续负距平(仅赤道地区臭氧总量在1992~1993年间有4个月为正距平)。

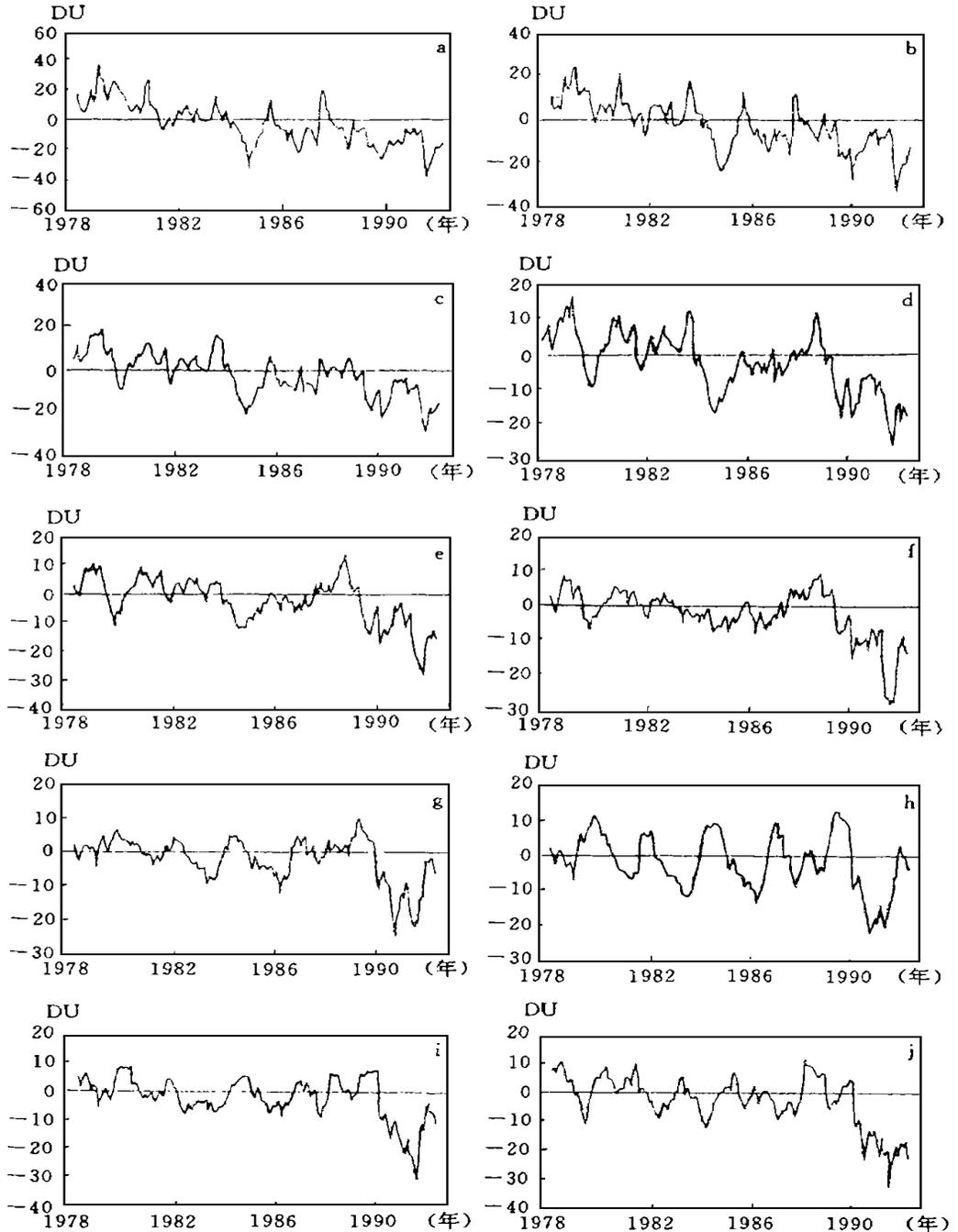
南、北半球中纬度地区的臭氧总量存在着显著下降趋势这一结果与Stolarski等人的研究结论相一致;不同点是下降趋势显著的区域在范围上较Stolarski等的结果有所扩大,这并不矛盾,主要是由于用于分析的资料样本长度不同,而本世纪90年代初又正好是臭氧下降最剧烈的时期所致。

从前面的回顾中知道,人类活动造成臭氧总量的减少。由于人类活动对大气的影响在北半球远远大于南半球,因此不难理解人类活动对臭氧总量的破坏作用在北半球比南半球更加明显,而大气环流的平衡作用可能在一定程度上还减弱了这种差异。臭氧总量下降趋势表现出来的这种南北半球差异可能主要由两半球人类活动的差异引起;然而,南极臭氧下降趋势为全球之最这一事实也暗示着人类活动也不是致使臭氧总量减少的唯一原因。其中的影响机制是值得进行深入研究的。

3.1.2 周期性变化的纬向差异

表1为臭氧变化的最显著周期随纬带的分布。可以看出,在52~20 S,12 S-4 N以及20~28 N纬带内,臭氧变化表现出明显的20~31个月的准两年振荡。准两年振荡表现最显著的纬带有4 S-4 N(30个月)和44~20 S(29个月),表现较明显的地区是12~4 S(31

个月)和 $20 \sim 28 \text{ N}$ (20个月), 在 $28 \sim 36 \text{ N}$ (20个月)和 $52 \sim 44 \text{ S}$ (21个月) 这些地区准两年振荡则相对较弱; 而在 $60 \text{ S} - 60 \text{ N}$ 的其余纬带地区, 臭氧变化没有表现出明显的周期性。这一结果与Tung等人^[7]利用功率谱方法所做的分析结论有些相似, 准两年振荡在赤道附近和南、北半球中纬度地区臭氧变化中都显著地存在; 但这一结果与文献[7]存在较大不同。分析表明, 准两年振荡的纬度差异较以往的结果更加明显, 并且在南、北半球的16度



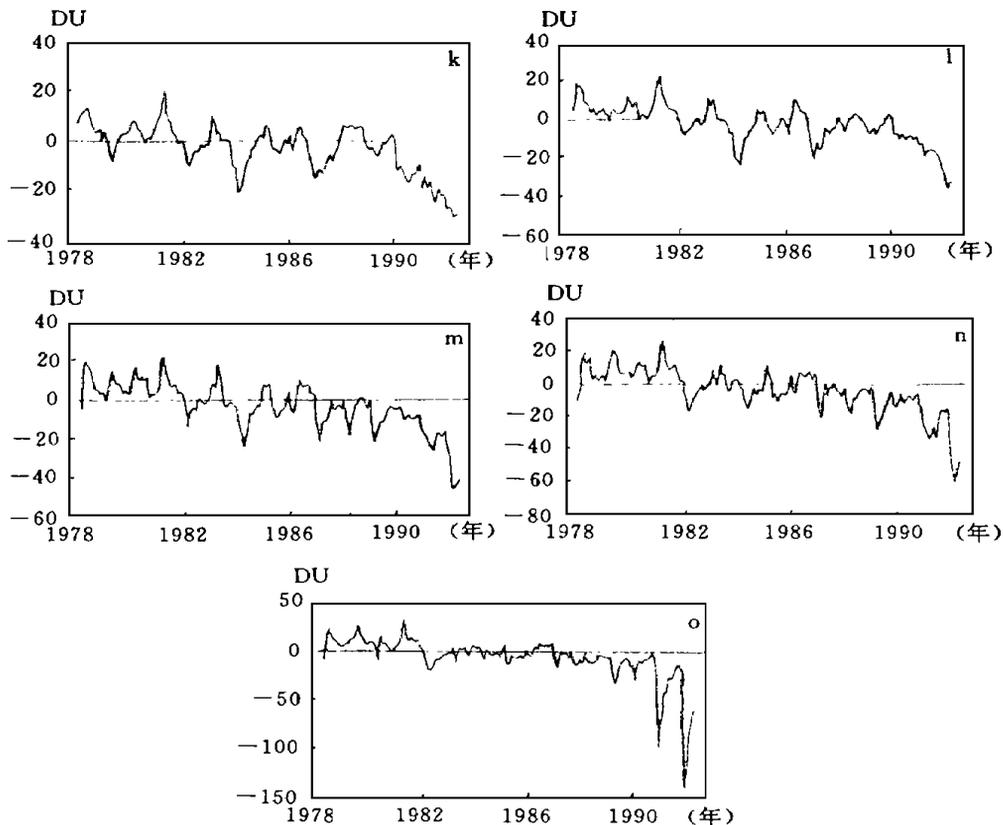


图2 60 S- 60 N 15个纬带平均逐月臭氧距平序列

(a. 60 ~ 52 S; b. 52 ~ 44 S; c. 44 ~ 36 S; d. 36 ~ 28 S
 e. 28 ~ 20 S; f. 20 ~ 12 S; g. 12 ~ 04 S; h. 04 S—04 N
 i. 04 ~ 12 N; j. 12 ~ 20 N; k. 20 ~ 28 N; l. 28 ~ 36 N
 m. 36 ~ 44 N; n. 44 ~ 52 N; o. 52 ~ 60 N)

线和56度线附近均不明显, 总体上看, 北半球的准两年振荡明显弱于南半球。

表1 臭氧变化最显著周期的纬带分布

纬带中心值	-56	-48	-40	-32	-24	-16	-8	0	8	16	24	32	40	48	56
周期(月)	无	21	29	29	29	无	31	30	30	无	20	20	无	无	无
信度水平	0.20	0.17	0.01	0.01	0.02	0.20	0.07	0.01	0.15	0.20	0.08	0.12	0.20	0.20	0.20

3.2 遥相关分析

上面的分析表明, 准两年振荡是臭氧变化中除年周期外最显著的周期, 但是对纬带平均资料进行分析, 只是从总体上了解了臭氧变化中准两年振荡随纬度的分布, 而对于准两年振荡在全球臭氧变化中表现出来的强弱结构却并不清楚。为此, 又对 TOMS 全球格点资料作了深入分析。

图3是新加坡30 hPa 纬向风逐月距平序列。周期分析结果表明, 该序列具有统计信度

超过99.9%的28个月的准两年振荡。以该序列作为准两年振荡的标准序列,对全球网格臭氧距平资料做同时遥相关计算。

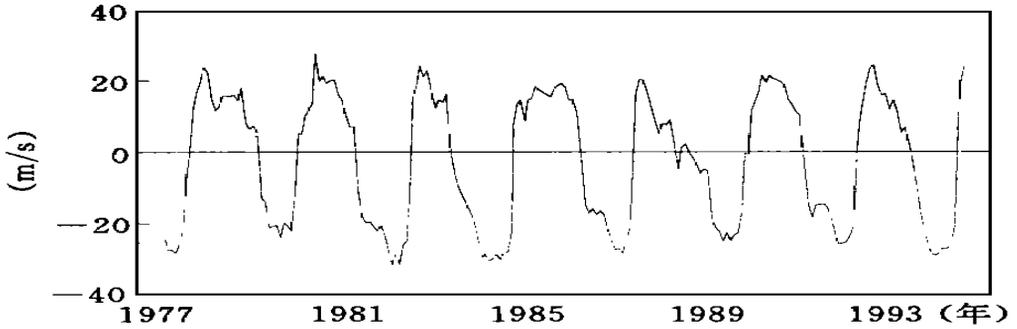


图3 新加坡30hPa纬向风逐月距平序列(1977.1-1994.12)

图4给出了新加坡30 hPa 纬向风与全球臭氧的遥相关关系。通过分析发现,除西太平洋135~170°E地区表现为特别弱的相关性外,其余地区相关系数几乎呈纬向分布;这表明全球臭氧变化准两年振荡的强弱和位相基本呈纬向分布。其中,整个沿赤道5°S-5°N地区为全球相关性最大的地区,相关系数普遍在0.5以上,最大值超过0.7;相关性次大的地区为南半球20~44°地区以及北半球24°附近部分地区,相关系数一般在-0.3以下,而在南半球中纬度的部分地区相关系数绝对值超过0.5。上述地区的相关性都超过了0.01的统计信度检验,表明这些地区的臭氧变化存在很强的准两年振荡;而后两个地区的相关系数在正负号上表现出一致性,并与沿赤道地区的相关系数符号相反,这表明准两年振荡在后两大地区在位相上是基本同步的,并与沿赤道地区的臭氧变化呈反位相关系。

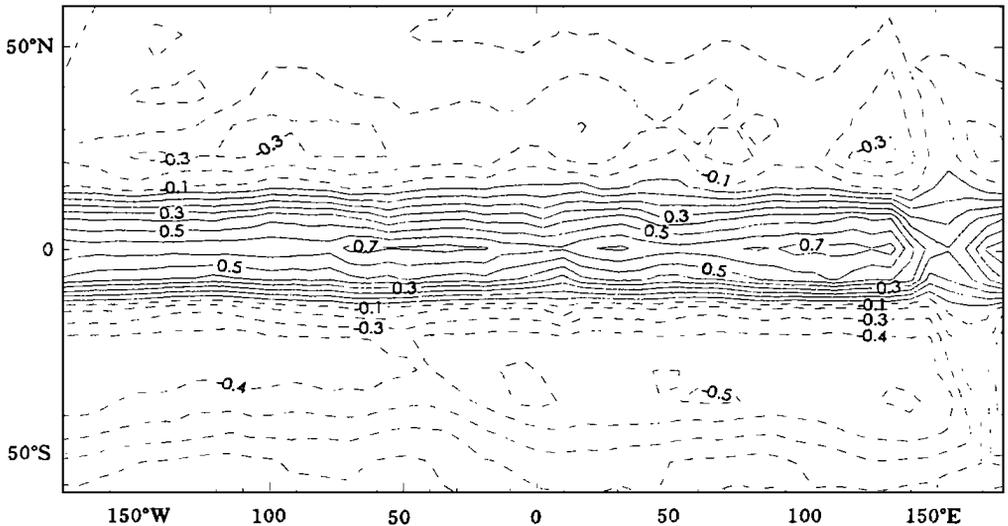


图4 60°S-60°N 臭氧与新加坡30 hPa 纬向风(u)的同时遥相关

值得指出的是, 相关转折区(即无相关区)同时并且只出现在南、北半球的14度线附近地区, 考虑到前面分析得出的南、北半球16度线附近臭氧变化周期性不明显的结果, 这一地区则可能是全球(至少在60 S- 60 N)准两年振荡表现最弱的地区。但是, 何种原因造成这一对称现象, 目前尚不清楚。

分析表明, 西太平洋135~170 E 特别是在热带地区臭氧变化表现出与其它地区显著的差异。这一地区恰好是西太平洋暖池区, 是全球最强的热源^[10]。这使得该地区几乎常年维持沃克环流的上升支气流。可以推测, 这种主要发生在对流层内的对流运动可能通过某种机制引起平流层臭氧发生改变, 使得该地区的臭氧总量变化不同于其它地区。

4 小 结

从以上的分析和讨论可以作出如下小结:

(1) 自本世纪70年代末以来, 全球60 S- 60 N 各纬带上的臭氧总量都呈下降趋势, 而且12 S- 12 N 以外地区的臭氧下降趋势在统计上是显著的; 下降趋势随纬度升高而加剧, 在相同纬带上, 臭氧的下降趋势北半球均较南半球明显。本世纪90年代初是全球各纬带臭氧下降最剧烈的时期。

(2) 准两年振荡是臭氧变化中除年周期外最显著的周期, 其强度和位相基本呈纬向分布, 而且主要表现出赤道对称的特征。

(3) 赤道和南半球中纬度20~44 地区是全球臭氧变化中准两年振荡表现最强的地区, 12~4 S 和20~28 N 地区次之, 而南、北半球的14度线附近可能是全球准两年振荡表现最弱的地区。

(4) 除西太平洋135~170 E 地区以外, 南半球中纬度地区以及北半球24 附近地区臭氧变化准两年振荡基本同位相, 并与沿赤道地区的臭氧变化呈反位相关系。

从前面的分析发现, 臭氧变化在南北半球也表现出不对称性。臭氧总量下降趋势表现出的同纬度上北半球均大于南半球的事实可能主要由两半球人类活动的差异引起。其影响机制以及准两年振荡在北半球明显弱于赤道和南半球的原因是值得进行研究的。

致谢: 研究过程中与翟盘茂、周琴芳和孙安健等同志进行了有益的讨论并得到他们的大力帮助, 在此深表谢意。

参考文献

- 1 Earth System Sciences Committee, 1989, Earth System Sciences
- 2 IPCC. Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenario. In: Houghton J T, Meira Filho L G, Bruce J, Lee Hoesung, Callander B A, Haites E, Harris N and Maskell K, eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994. 339pp
- 3 Bojkov D. The ozone layer recent developments. Bulletin of WMO, 1994, 43(2): 113~116
- 4 Stolarski R S, Bloomfield P, Mcpeters R and Herman J. Total ozone trends deduced from NIMBUS 7 TOMS data. Geophys Res Letts, 1991: 18(6): 1015~1018
- 5 World Climate Data and Monitoring Programme of WMO, «The Global Climate System Review for June 1991–November 1993», 101~103
- 6 周秀骥, 罗超, 李维亮, 史久恩. 中国地区臭氧总量变化与青藏高原低值中心. 科学通报, 1995, 40(15): 1396~1398
- 7 Tung K K and Yang H. Global QBO in circulation and ozone, part : reexamination of observational evidence, J

Atmos Sci, 1994, 51(19): 2699 ~ 2707

- 8 史久恩, 周秀骥, 任福民. 中国地区大气臭氧变化的若干特征. 见: 周秀骥主编. 中国地区大气臭氧变化及其对气候环境的影响(一). 北京: 气象出版社, 1996. 239 ~ 245
- 9 项静恬, 史久恩, 周琴芳等. 动态和静态数据处理. 北京: 气象出版社, 1991. 960 ~ 964
- 10 王绍武. 气候系统引论. 北京: 气象出版社, 1994. 81 ~ 86

STUDY ON CHANGES OF OZONE OVER THE GLOBE DURING THE PAST 15 YEARS

Ren Fumin

Wang Meihua

(National Climate Center, Beijing, 100081) (Beijing Meteorological college, Beijing, 100081)

Zhou Xiuji Li Weiliang

Shi Jiuen

(Chinese Academy of Meteorological sciences, Beijing, 100081) (Beijing Meteorological college, Beijing, 100081)

Abstract

Based on global TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) data during Nov., 1978– Apr., 1993, after rejecting the annual variation, the study aimed at the linear trend, the periodic variation of the zonal mean total ozone over 60 S– 60 N. The results show that since the end of 1970's, total ozone decrease at all latitudes with bigger trends at higher latitudes, while the trend in the Northern Hemisphere is bigger than that in the Southern Hemisphere at same latitude. Meanwhile, it is discovered that quasi-biennial oscillation is the most significant period in the changes of ozone except the annual variation. Secondly, teleconnection analysis for the quasi-biennial oscillation has been done, and the result shows that zonal distribution and equatorial symmetry in intensity and phase are the main characters in the quasi-biennial oscillation in the changes of ozone.

Key words: Global ozone, Trend, Quasi-biennial oscillation.