

文章编号: 1000-2022(1999) 01-0001-08

南半球臭氧变化气候效应的数值模拟

徐海明, 何金海

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

摘要:采用一个陆气耦合的 9 层谱模式模拟了南半球臭氧减少所产生的气候效应。数值试验结果表明, 南半球臭氧的减少不仅对南半球温度场的结构和大气环流有影响, 而且对北半球的温度场结构和大气环流也有一定的影响。其气候效应具有全球性。南半球臭氧减少总体上可以使平流层中层以上大气降温、平流层低层增温、对流层顶附近降温。此外, 在北半球冬半年期间, 南半球臭氧的减少可使南北半球的副热带西风急流都减弱、极锋急流都增强; 在北半球夏半年期间, 南半球臭氧减少可使北半球极锋急流减弱、副热带西风急流南移, 但使南半球极锋急流增强、副热带西风急流北移。数值试验结果进一步表明, 南半球臭氧减少对我国的气温也存在一定的影响。

关键词: 臭氧变化; 气候效应; 数值模拟

中图分类号: P435 文献标识码: A

臭氧是大气中一种重要的微量气体, 它主要集中在平流层中, 平流层中的臭氧占全球臭氧总量的 90 %^[1]。臭氧能够强烈地吸收太阳辐射紫外线, 同时在长波辐射的 9.6 μm 带的吸收和放射作用也很强。因此, 大气中臭氧含量的变化直接影响大气中温度场的结构。

近几年来, 氟里昂在大气中的含量不断增加, 破坏了大气层高层的臭氧层, 另外, 氮肥、燃料的大量使用以及飞机的飞行及火山爆发等人类和自然扰动, 也使大气层中的臭氧大量减少。据观测, 本世纪 70 年代以来, 南极地区大气中的臭氧在每年 10 月份前后, 突然减少 40% 左右, 形成臭氧洞^[2]。近几年来, 臭氧洞有扩大的趋势。其后果不仅由于紫外辐射的污染危及人类及一切生物的生存, 同时还通过臭氧的温度效应影响全球气候。

有关臭氧气候效应的研究还不多, 刘健^[3]曾用一维能量平衡模式研究了臭氧的温度效应, 钱永甫^[4]用同样的模式研究了臭氧浓度增至 2、3 和 4 倍及减半后对海平面纬带平均温度的影响。本文试图用一个九层的全球谱模式来研究南半球臭氧浓度发生变化后所产生的全球气候效应和对我国气候的影响。

1 南半球臭氧含量变化的观测事实

图 1 给出了 1979 年~1993 年南半球 30°S 以南地区平均臭氧量的变化曲线, 从图中可以

收稿日期: 1997- 11- 07; 改回日期: 1998- 06- 23

基金项目: 国家“九五”攻关资助项目(96- 908- 01- 06)

第一作者简介: 徐海明, 男, 1964 年 12 月生, 硕士, 副教授

看到南半球 30°S 以南地区的臭氧量不仅有显著的季节变化, 而且有明显的年际变化。季节变化表现为臭氧含量春季少、秋季多。年际变化则表现为 1979 年至 1984 年以前, 臭氧含量呈缓慢减少的趋势, 而 1984 年以后臭氧含量年际变化增大, 1985 年、1987 年、1990 年以及 1992 年春季以后臭氧含量明显减少, 在这几年, 臭氧含量不仅在秋季有大幅度的减少, 而且在其他季节也有不同程度的减少。

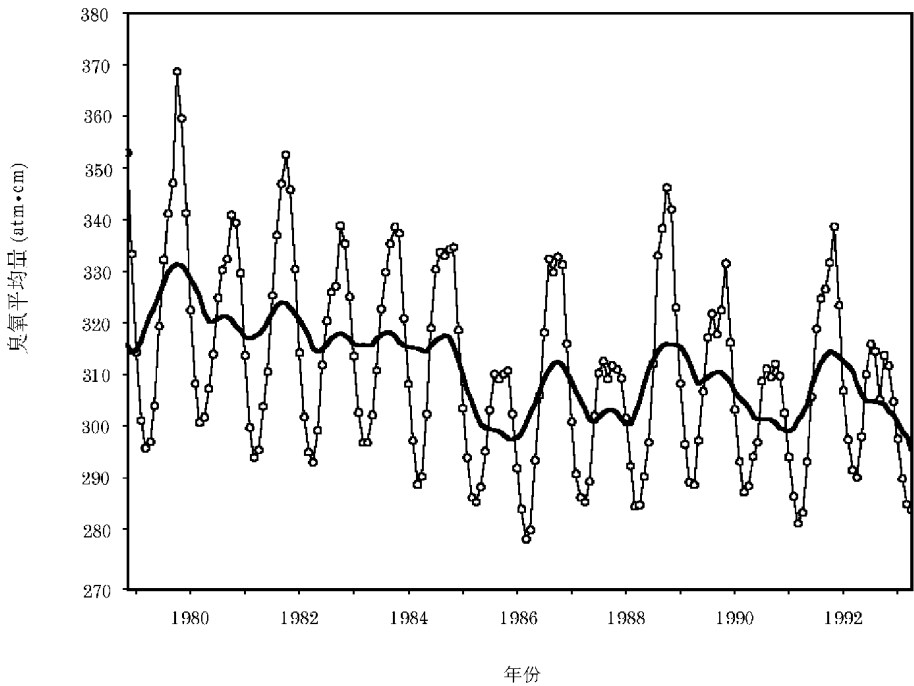


图1 1979 年~1993 年南半球 30°S 以南地区平均臭氧量($\times 10^{-3}$)的时间变化曲线(细实线) 及其 11 点滑动平均曲线(粗实线)

Fig.1 Regional mean curve (thin) of ozone over area south of 30°S in the shouthern hemisphere from 1979 to 1993 and its 11 points running mean (heavy line)

2 模式及试验方案简介

本文采用了由吴国雄^[5]和刘辉等^[6]等对 Simmons 模式^[7]作进一步修改, 使之成为包含简化生物圈模式(SSiB)^[8]的陆气耦合的 9 层谱模式, 它包含了比较完整的物理过程, 包括长短波辐射、干湿对流调整等。辐射加热每隔 24 h 计算一次, 辐射的吸收物质包括 CO₂、O₃、云及水汽, 臭氧的分布采用十年月平均的纬向平均场。海温采用 1979 年~1988 年 10 年平均的月平均资料。

为了研究南半球臭氧浓度减少后所引起的气候效应, 本文设计了二个试验, 试验 1 采用多年积分得到的 1 月 1 日的场作为模式的初始场再积分 2 年 2 个月, 共 26 个月, 将最后 12 个月的结果取季节平均后输出, 春季取为 3 月~5 月, 夏季取为 6 月~8 月, 秋季取为 9 月~11 月, 冬季取为 12 月~次年 2 月, 该试验称之为控制试验(CTL)。试验 2 采用与试验 1 同样的初始场从 1 月 1 日起积分 26 个月, 但在模式积分到第二年的 1 月 1 日时, 人为地将南半球

30°S 以南地区平流层的臭氧浓度减至原来的一半, 而赤道至 30°S 的臭氧含量呈线性减少, 同样将最后 12 个月(3 月~次年的 2 月)的结果取季节平均后输出, 该试验称之为异常试验 (ANT)。通过对比以上两个试验结果, 讨论南半球臭氧减少后所引起的全球气候效应。

3 结果分析

3.1 对温度场垂直结构的影响

臭氧在紫外线和可见光区($0.4\text{ }\mu\text{m} < \lambda < 0.7\text{ }\mu\text{m}$)有强烈的吸收带, 在红外光谱区($9.6\text{ }\mu\text{m}$)也有强烈的吸收带, 它浓度的改变最直接的后果是通过辐射过程改变大气层中温度场的垂直结构。图 2 给出了春夏秋冬四季南半球臭氧减少试验与控制试验之间纬向平均温度差的垂直剖面图。从图中可以看到南半球臭氧减少对南半球对流层和平流层的温度有显著的

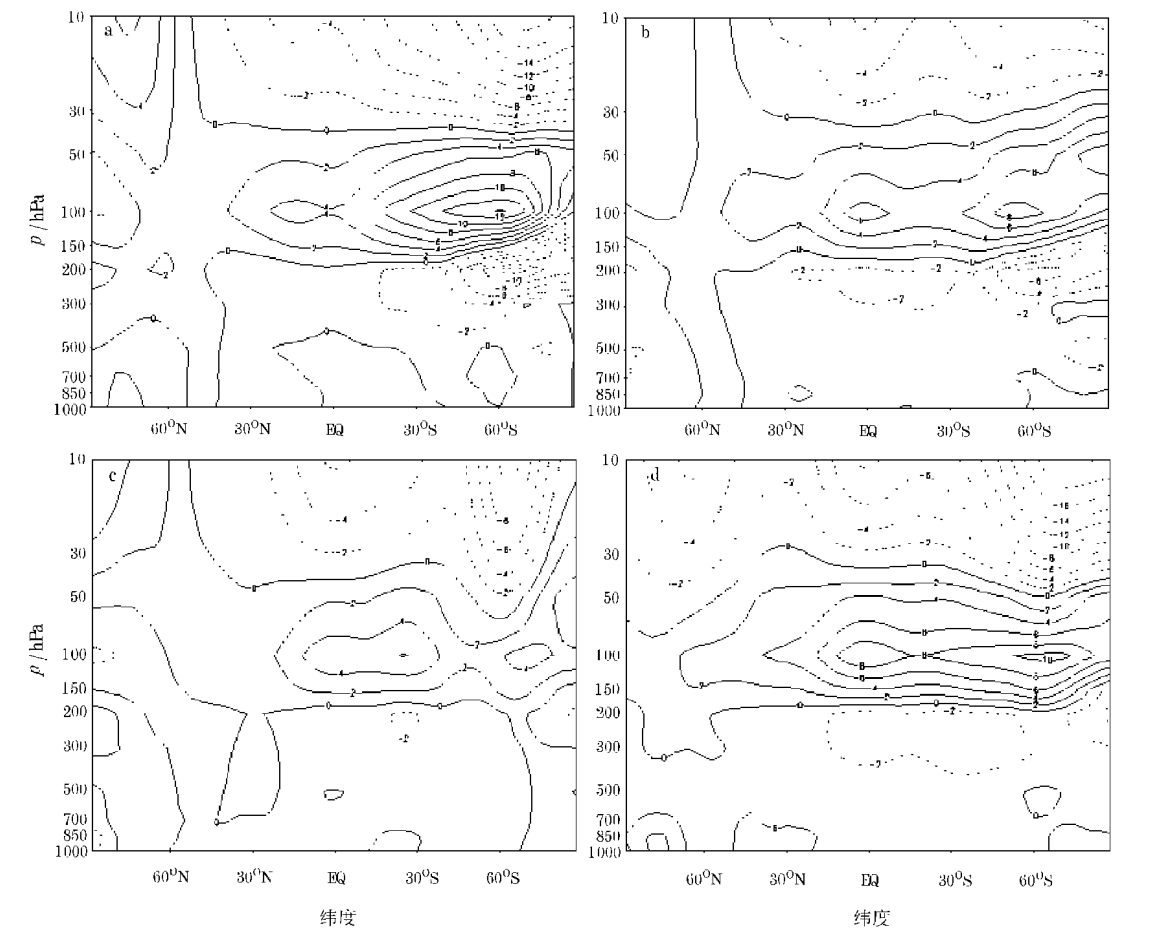


图 2 南半球臭氧减少试验与控制试验之间纬向平均温度之差的垂直剖面图
等值线间隔: 2.0 °C
a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

Fig. 2 Latitude- pressure cross section of zonally averaged temperature differences between ANT and CTL experiment, with contour interval of 2.0 °C
a. spring; b. summer; c. autumn; d. winter
影响, 总体上表现在使平流层中层以上的温度降低、对流层顶(200 hPa)附近温度也降低, 而

平流层低层温度上升。从图中还可以看到,温度的变化幅度随季节的变化而变化,冬春季温度的变化幅度明显大于夏季和秋季。另外从图中可以看到南半球臭氧减少不仅对南半球温度场的垂直结构有重要影响,而且对北半球温度场垂直结构也有重大影响。南半球臭氧减少同样使北半球 40°N 以南地区平流层中层以上温度降低、平流层低层温度明显增加、对流层顶附近降温,而 40°N 以北的高纬度地区则表现为明显的不同特征,春、夏、秋季温度的改变与低纬度地区刚好相反,平流层中层以上增温、平流层低层降温;而冬季则与低纬度地区表现为相同的特征。南半球臭氧减少对北半球对流层的温度场结构也有一定的影响,但影响的程度明显小于对平流层的影响。

Kratz 等^[9] 利用其建立的红外吸收模式来计算臭氧对大气温度结构的影响,计算结果表明臭氧对地表面和平流层低层(30 km)以下的大气具有增温效应,而对平流层中层以上大气具有降温效应。Wang^[10] 则利用一维模式研究了臭氧浓度与 NO_x 、 CFC_3 、 CH_4 等气体含量之间的关系及其引起的大气温度的变化。结果表明,1980 年~2010 年期间,由于人类活动,向大气排放的 NO_x 、 CFC_3 、 CH_4 等气体,对臭氧的垂直分布有很大的影响,平流层臭氧将会减少,而 CFC_3 的增加可使平流层臭氧在 42 km 处减少 15%,这种影响使臭氧对平流层中层以上的大气产生冷却作用(在 48 km 处可降温 4°C),而对平流层低层以下的大气稍有增温作用。而用较为复杂的三维数值模式模拟的结果,同样也表明南半球平流层臭氧的减少可使南半球平流层中层以上大气降温、平流层低层增温,在这一点上,与文献[9]、[10]所得的结果是一致的。且本文的结果进一步表明,平流层臭氧的减少所引起的平流层低层以下大气的增温效应并不是同步的,在对流层顶附近(200 hPa)有一个降温过程。另外,本文的结果还表明,南半球臭氧减少不仅对南半球温度场的结构有影响,而且对北半球温度场也有一定的影响,可见,它的气候效应具有全球性。

3.2 对纬向平均气流的影响

限于篇幅本文就分冬半年(11 月到次年 4 月)和夏半年(5 月~10 月)来讨论南半球臭氧减少对大气环流的影响。图 3、图 4 给出了控制试验冬半年、夏半年纬向平均西风分量的垂直剖面图和相应的异常试验与控制试验的纬向平均西风分量差的垂直剖面图。从图中可以清楚地看到 9 层谱模式能很好模拟出了冬、夏半年的副热带西风急流和极锋急流的位置和强度及其随季节的变化,模拟的北半球的平流层极锋急流和对流层副热带西风急流明显产生了断裂,但与实况相比所模拟的冬半年的副热带西风急流偏向极地 5 个纬度左右,南半球的平流层极锋急流和对流层副热带西风急流也没有产生断裂。对照图 4 和图 3 可以看到,在北半球冬半年期间,南半球臭氧减少可以使北半球副热带西风减弱、平流层极锋急流增强。同样,南半球臭氧减少也使南半球平流层极锋急流增强、副热带西风急流减弱。在北半球夏半年(图 4a),可以看到南半球臭氧减少可使北半球的极锋急流减弱、南半球极锋急流增强,另外,南半球臭氧减少同时也使北半球副热带西风急流南侧风速增强、北侧风速减弱,有利于北半球副热带西风急流的南移;而南半球副热带西风急流中心北侧的西风增强、南侧的西风减弱,有利于南半球副热带西风急流轴的北移。此外,从图中还可以看到南半球臭氧减少还使冬夏季赤道上空平流层的东风急流的强度和位置产生明显的变化。

以上分析表明,南半球臭氧减少不仅可以改变全球的温度场垂直结构,而且还可以明显改变南北半球副热带西风急流、极锋急流的位置和强度,从而对全球大气环流产生影响。

3.3 对我国气候的影响及其影响机制的讨论

以上两小节的结果分析表明,南半球臭氧减少不仅对全球的温度场垂直结构有影响,而且

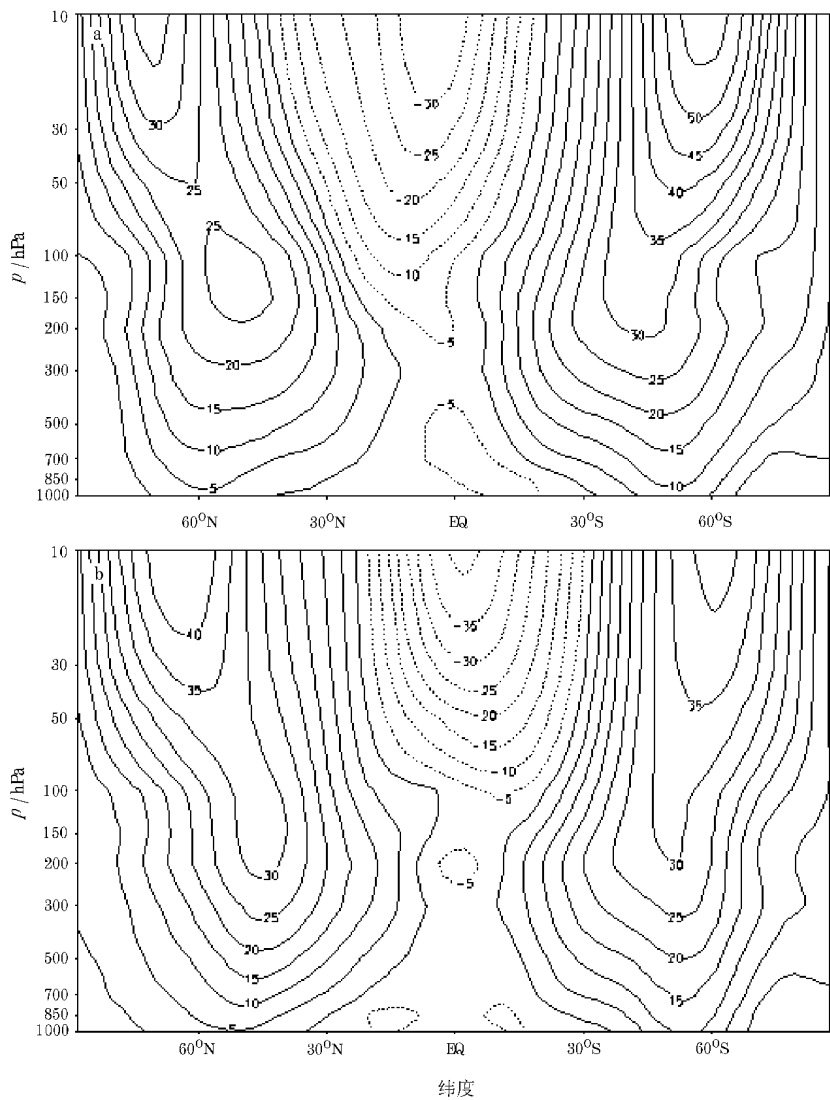


图 3 控制试验(CTL)西风分量纬向平均的垂直剖面图
a. 北半球夏半年(5 月~10 月); b. 北半球冬半年(11 月到次年 4 月)

Fig. 3 Latitude- pressure cross section of zonally averaged west component in the CTL experiment with contour interval of $5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
a. May~October; b. November~April

对全球大气环流也存在一定影响。对于中国气象学者而言,更加关心南半球臭氧减少对中国的气候是否存在影响。为此,我们将讨论一下南半球臭氧减少对我国四季气温的影响。图 5 给出了春夏秋冬四季南半球臭氧减少试验与控制试验在亚洲地区 1 000 hPa 温度场的差值分布,从图中可以看到南半球臭氧减少对我国的气温存在显著影响。在春季,除我国东北地区温度上升以外,我国其他地区的温度都有不同程度的下降,降温幅度的最大区位于河南省境内,达 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。在夏季,我国气温的改变则与春季气温场的改变刚好相反,除我国东北地区的气温下降外,我国其他地区的温度都有不同程度的上升,在江苏省和新疆维吾尔自治区境内分别存在两个升温大值区,中心最大值均在 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。在秋季,我国气温场的变化则表现为我国华南、长江

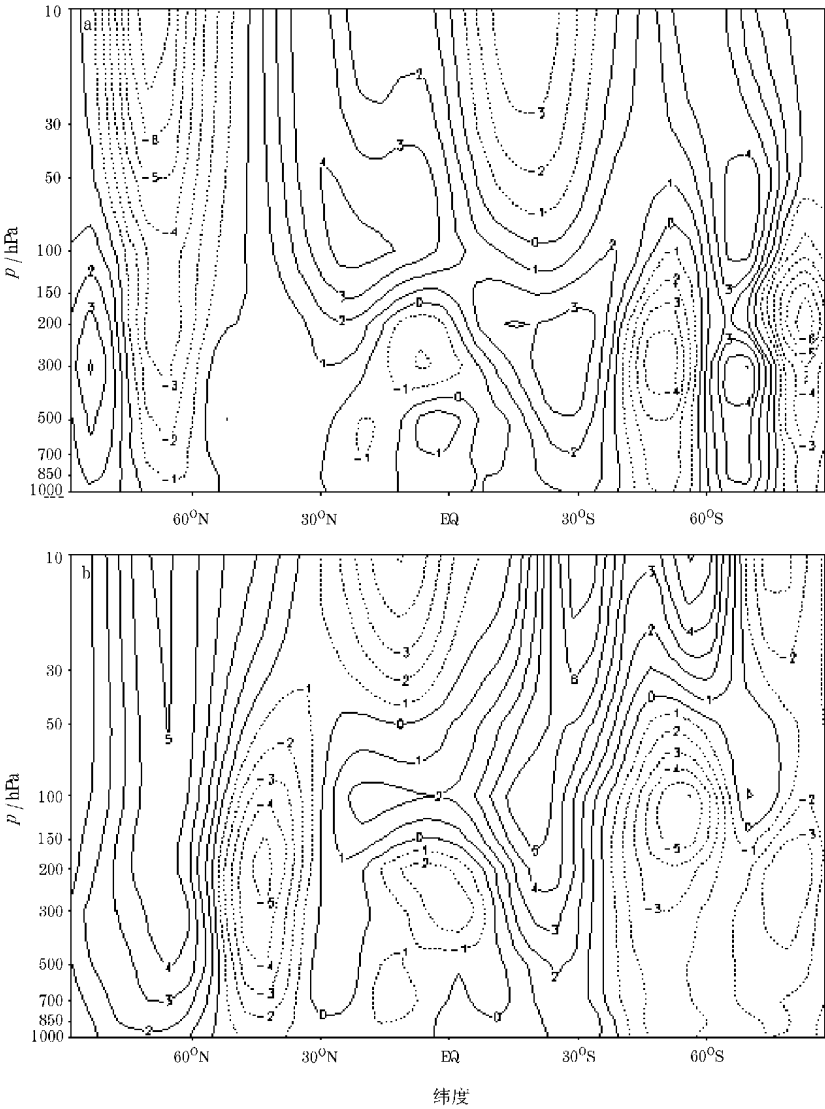


图 4 南半球臭氧减少试验与控制试验之间纬向平均西风差的垂直剖面图
等值线间隔: $1.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

a. 北半球夏半年(5~10月); b. 北半球冬半年(11月到次年4月)

Fig. 4 Latitude– pressure cross section of zonally averaged west wind differences between ANT and CTL experiment, with contour interval of $1.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
a. May~October; b. November~April

中下游地区的温度上升,而我国华北、西北和青藏高原的气温下降。到了冬季,除了青藏高原地区温度是下降外,我国其他地区的温度都有不同程度的上升。由此可见,南半球臭氧减少对我国气温存在一定的影响,且其对我国气温的影响随季节的变化而变化,这也从某个方面说明大气环流的基本状态对臭氧减少所产生的气候效应具有一定的调制作用。至于南半球臭氧减少是如何影响我国气候变化的,我们从前面的数值试验结果分析不难看到,南半球中高纬平流层臭氧减少首先通过辐射过程改变了南半球温度场的垂直结构,再通过温压场的调整从而改变了南半球高低层的大气环流。众所周知,南北半球环流之间存在相互作用,特别在亚澳季风区,

南北半球环流之间的相互作用更为显著, 所以, 南半球大气环流的改变势必会对东亚季风环流产生影响, 从而对我国的气候也产生一定的影响。

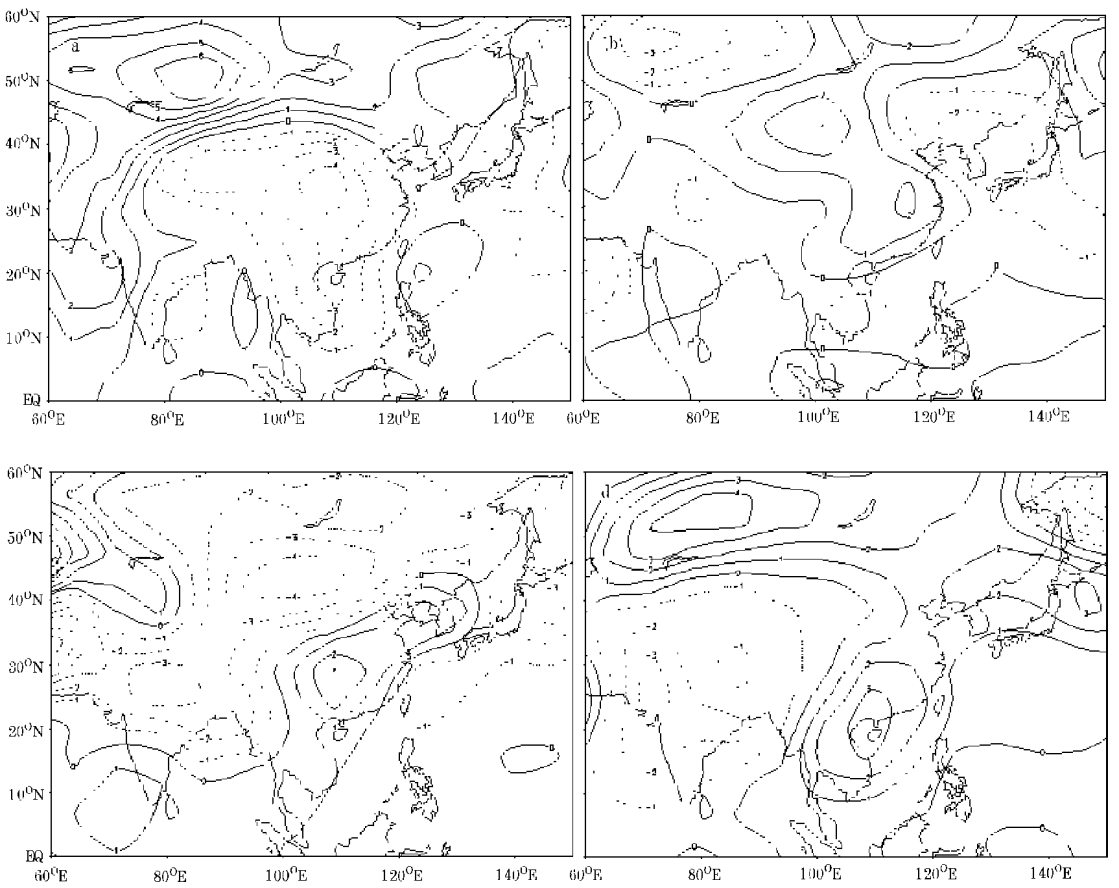


图 5 1 000 hPa 上南半球臭氧减少试验与控制试验之间纬向温度差的水平分布图
等值线间隔: 1.0 °C

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季; d. 冬季

Fig.5 Temperature differences between ANT and CTL experiment at 1000 hPa,
with contour interval of 1.0 °C

a. spring; b. summer; c. autumn; d. winter

4 结 论

本文采用一个陆气耦合的 9 层谱模式模拟了南半球臭氧减少所产生的气候效应。数值试验结果表明, 南半球臭氧的减少不仅对南半球温度场的结构和大气环流有影响, 而且对北半球的温度场结构和大气环流也有一定的影响, 可见其气候效应具有全球性。南半球臭氧减少总体上可以使平流层中层以上大气降温、平流层低层增温、对流层顶附近降温。数值试验结果还表明, 在北半球冬半年, 南半球臭氧的减少还可以使南北半球的副热带西风急流都减弱、极锋急流都增强; 而在北半球夏半年, 南半球臭氧减少可使北半球副热带西风急流南移、极锋急流减弱, 但使南半球副热带西风急流北移、平流层极锋急流增强。另外, 臭氧减少对平流层赤道东风急流也有一定的影响。数值试验结果进一步表明, 南半球臭氧减少对我国的气温也存在一定的影响, 其对我国气温的影响随季节的变化而变化。

参考文献

- [1] RUMRNB. WMO和世界臭氧研究[J]. 气象科技, 1994, (2): 21- 28
- [2] KERR R A. Stratospheric ozone is decreasing[J]. Science, 1988, 239: 1489- 1491
- [3] 刘健. 微量气体气候效应的数值模拟[J]. 气象科学, 1992, 12(3): 310- 319
- [4] 钱永甫, 黄媛媛. 臭氧对海平面纬带年平均温度影响的数值模拟[J]. 南京大学学报, 1994, 30(3): 534- 539
- [5] WUGX, LIU H, ZHAO Y C, et al. A nine-layer atmosphere general circulation model and its performance[J]. Adv Atmos Sci, 1996, 13(1): 1- 18
- [6] LIU H, WUGX. Impacts of land surface on climate of July and onset of summer monsoon: A study with an AGCM plus SSiB[J]. Adv Atmos Sci, 1997, 14(3): 289- 308
- [7] SIMMONDS I. A analysis of the “pinning” of a general circulation model[J]. J Geophy Res, 1985, 90(D3): 5639- 5660
- [8] XUE Y, SELLERS P J, KINTER III J L, et al. A simplified biosphere model for global climate studies[J]. J Climate, 1991, 4(3): 345- 365
- [9] KRATZ D P, CESS R D. Infrared radiation models for atmospheric ozone[J]. J Geophy Res, 1988, 93(D6): 7074- 7054
- [10] WANG W C. Climatological effects of atmospheric ozone: a review[J]. In: ZEREFOS C S, ed. Atmospheric Ozone. Greece: D. Reidel publishing company, 1985. 98- 102

NUMERICAL SIMULATION OF EFFECTS ON CLIMATE CHANGE OF OZONE DEPLETION IN THE SOUTHERN HEMISPHERE

XU Hai-ming, HE Jin-hai

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: In the context of L9R15 AGCM, numerical study is performed of effects on climate change of the ozone depletion in the Southern Hemisphere(ODSH). Numerical results indicate that the ODSH has a significant effect on the vertical structure of temperature and the atmospheric circulation in both hemispheres. Numerical results also suggest that the ODSH is responsible for the climate change over China to some extent.

Keywords: ozone change; climate change; numerical simulation