

青藏高原臭氧变化趋势的预测*

刘 煜 李维亮 周秀骥

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要 利用二维化学模式研究了青藏高原臭氧的趋势, 模式结果表明, 从 1980~1993 年, 青藏高原臭氧逐渐减少, 在 1995 年后将逐渐恢复. 但到 2050 年仍未恢复到 1980 年的水平. 在青藏高原特殊环流的影响下, 臭氧恢复要比纬圈平均状况下恢复得快. 青藏高原所产生的特殊的经圈环流不是造成青藏高原形成臭氧强递减中心的主要原因.

关键词 臭氧 强递减中心 低值中心

众所周知平流层的臭氧的减少是由于各种含氯或溴的化合物排放到大气中所造成的. 随着蒙特利尔协定和其补充协定的执行, 这些物质最终将从大气中除去, 臭氧将恢复. 因此人们除了关注臭氧层恢复外, 还关心臭氧层如何恢复、什么时候开始恢复和到什么时候恢复到 20 世纪 70 年代水平? 以及在什么地方什么时间可以最早探测到臭氧恢复的信号, 以证明目前的理论是正确的. 在预测臭氧变化趋势上, 采用的主要方法是模式预测. 在国际上, 10 个二维化学模式, 7 个三维化学模式参加了研究臭氧的变化趋势的计划^[1]. 这些二维模式的研究表明, 如果在未来没有火山的影响, 全球最低的臭氧发生在皮纳图博火山喷发后; 在 2000 年后, 臭氧将慢慢向 1980 年前水平恢复. 至于三维模式的研究, 由于目前的三维化学模式或者是低分辨率(水平和垂直方向的分辨率)加上完整的化学过程, 或者是高分辨率加上简单的化学过程, 三维耦合的化学-气候模式还未达到成熟和使人信服的水平. 三维模式的结果表明, 北极臭氧的恢复晚于平流层氯化物浓度达到最大时候, 而且比二维模式预测的臭氧恢复得要晚; 南极臭氧的恢复可能早于北极. 在国内, 研究臭氧变化趋势的工作很少, 仅有任传森等人^[2]曾利用一维化学模式预测了全球平均臭氧的趋势.

周秀骥等人^[3]利用 TOMS 资料首次发现夏季在青藏高原上存在臭氧总量的低值中心, 付超等人^[4]利用二维模式证实了周秀骥等的推测, 青藏高原上形成了特殊的环流是造成夏季青藏高原大气臭氧低值中心形成的主要原因. 刘煜等人^[5]通过分析 TOMS 资料(1979~1992 年)发现青藏高原臭氧是同纬度 3 个臭氧强递减中心之一, 其臭氧低谷有加深的趋势. 青藏高原的面积占我国面积的大约四分之一, 在青藏高原夏季又存在臭氧的低值中心, 臭氧层的变薄, 会导致地面紫外辐射的增加, 这对高原地区的人类和生态环境必将产生很大影响. 除了污染物的排放对臭氧变化有影响外, 气象条件也将影响臭氧的恢复, 模式结果表明温度的变化对臭氧的变化趋势产生影响, 特别是在高纬度地区^[1], 环流的变化对臭氧的变化也有影响^[1]. 本文主要是探讨青藏高原引起的特殊的温度分布和环流对其臭氧变化和恢复的影响.

2001-02-12 收稿, 2001-07-17 收修改稿

* 中国气象局青年气象科学基金和国家重点基础研究发展规划(G1998040904-2)资助项目

1 模式简介

二维化学模式由动力部分和化学部分组成. 动力部分采用的与付超等人^[4]的相同, 是纬向平均原始方程模式, 该模式的特点是从对流层扩展到平流层. 并且下垫面加有地形, 模式的分辨率是 5° , 从南极到北极; 垂直方向从地面到 0.1 hPa, 共 16 层. 辐射采用了 Wang 等人^[6]的窄谱方案; 在对流层, 涡旋参数化采用 P. H. Stone 等的方案, 在平流层, 采用了 Newman 等的涡旋扩散系数的数据. 化学部分在水平方向采用球坐标, 间隔为 5 个纬度, 垂直坐标为

$$Z = H_0 \log(P/P_s), \quad H_0 = 7 \text{ km}.$$

垂直间距为 2 km, 模式顶为 50 km, 采用分裂算符法交替计算输送和化学过程. 化学反应部分采用 Oslo 大学的二维化学模式的化学反应^[7]. 包括 O_3 , NO_x , ClO_x , OH_x , BrO_x , CH_4 和它的氧化物共 63 种反应物. 模式中还包括了非均相过程, 考虑了太阳辐射的 11 a 周期变化和 SAGE 资料得到的气溶胶的年变化(1979~1995 年), 采用族的方法求解物质的浓度.

2 模式检验

为了检验模式的模拟能力, 首先看一看模式模拟的纬向平均情形下臭氧的季节变化. 对比图 1(a)和(b)两图可以看出, 模式可以大致体现臭氧随纬度的分布和季节变化. 在热带和赤道地区, 臭氧总量较小, 没有明显的季节变化; 在北半球高纬地区, 臭氧总量的极大值出现在 2 月和 3 月, 中心值为 460 DU; 在南半球的高纬地区, 臭氧总量的极大值出现在 8 月和 9 月份, 其中心值为 480 DU. 但模式结果与实况相比存在着不足, 在热带和赤道地区, 模拟的臭氧比实况偏低, 没有能模拟出南极臭氧洞. 这主要因为模式的动力部分不能模拟出南极高极涡, 因此造成模拟的南半球高纬和极地的臭氧值偏高. 赤道的向极输送较强, 使得模拟的臭氧值在赤道偏低, 在高纬偏高.

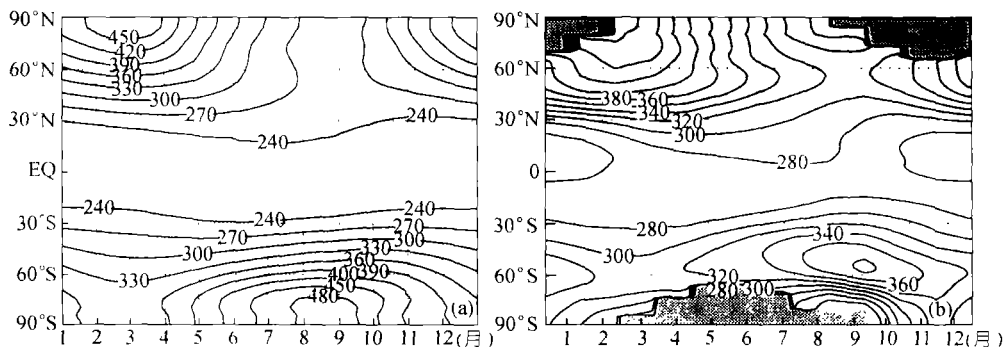


图 1 臭氧的季节变化

(a) 模式模拟; (b) TOMS 资料

为了研究青藏高原臭氧低值中心形成的机理, 付超等人^[4]在模式中考虑了青藏高原的地形和热力作用, 通过对比纬圈平均状况, 很好地解释了臭氧低值中心形成的机制. 我们重复了上述试验过程. 由图 2 可以看出, 从 6 月到 10 月, 青藏高原的臭氧低谷可以模拟出, 但低谷出现的时间比实际要迟, 最大的距平出现在 8 月, 其值达到 25 DU. 比较实况和模式结果, 模式可以大致反映实况的主要特征, 但在低谷出现的时间和强度上模拟存在不足. 这个结果类似于付超等的结果.

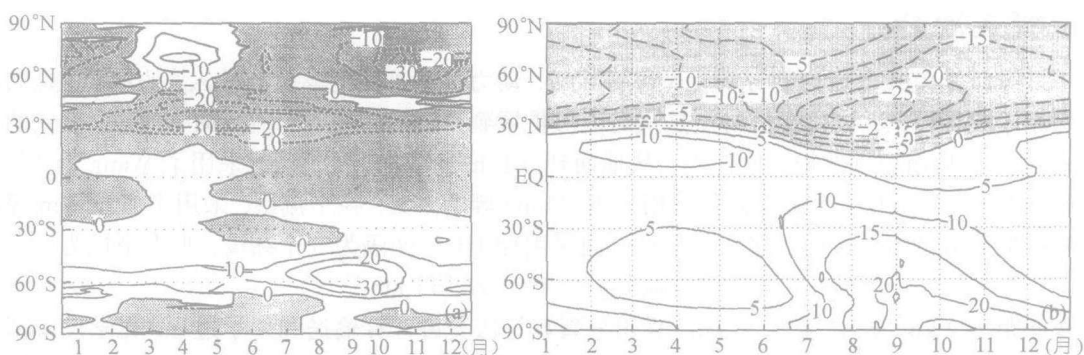


图 2 90°E 与纬圈平均臭氧总量的差值

(a) TOMS 资料; (b) 模式模拟

为了考察模式模拟臭氧变化趋势的能力,我们模拟了纬圈平均状况下全球平均的臭氧总量的变化趋势(图 3(a)),采用的排放构想是 WMO^[1]报告中提到的 A/A3 方案.从图 3(b)中可以看到,10 个模式模拟臭氧的变化趋势不尽相同.从 1980~1995 年,所有模式模拟臭氧变化趋势基本相同,臭氧减少的幅度差异明显,MPIC 模式模拟的臭氧减少趋势最弱,在 1993 年达到最小值.相对于 1979 年减少不到 3%,减少最多的是 LLNL 模式,在 1993 年相对于 1979 年减少达到了 8.5%.在 1995 年后,10 个模式之中的 5 个臭氧开始减少,这 5 个中的一个在 2000 年后开始恢复,另外 4 个在 2015 年后开始恢复.其余的 5 个模式的结果是在 1995 年后逐渐恢复.到 2050 年,10 个模式中只有两个基本上恢复到 1980 年臭氧总量的水平,其余的都没有恢复到 1980 年的水平.我们模式的结果:臭氧总量在 1993 年达到最低,相对于 1979 年臭氧总量减少了 3.25%;在 1995 年后,臭氧开始恢复;但到 2050 年,臭氧总量仍未完全恢复,只恢复到 1993 年减少的大约三分之二.通过以上比较,可以看出,我们的模式与同类模式一样,具有模拟预测臭氧变化趋势的能力.

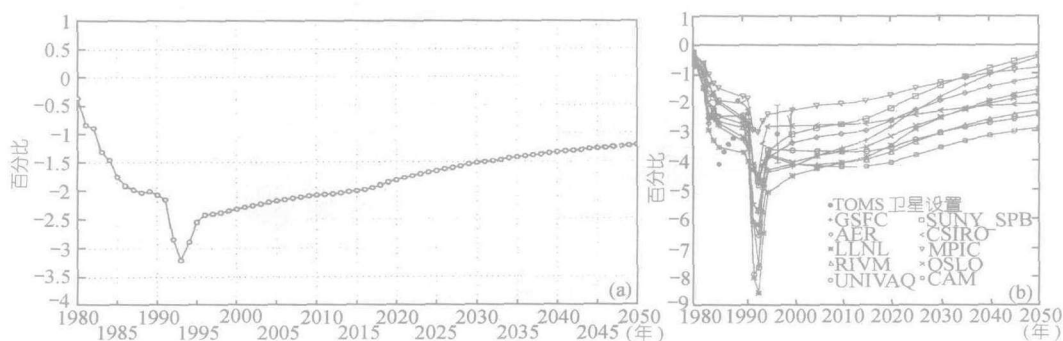


图 3 全球平均臭氧变化趋势(从 65°S~65°N)

(a) 模式模拟; (b) WMO 报告中 10 个模式的模拟

3 青藏高原臭氧变化趋势

不同温度结构和环流会改变臭氧的变化趋势,青藏高原由于其地形和热力结构造成了特

殊的环流结构(见文献[4]),那么这个特殊的环流对其臭氧的恢复有什么影响呢?我们仍然采用 A/A3 的排放构想,只是采用模拟青藏高原臭氧低值中心条件下的动力状况.图4是模式模拟的青藏高原(90° E,虚线)和纬圈平均(实线)情况下在 35° N 的变化趋势(90° E, 35° N 这一点正处在青藏高原).由图4可以看出,青藏高原的臭氧的变化趋势基本上与纬圈平均状况下的相同.从1980~1993年臭氧呈递减的趋势,在1993年臭氧减少到最低,这主要是由于皮纳图博火山喷发造成的平流层气溶胶的增加引起的.从1993~1995年臭氧恢复得较快,此后臭氧开始逐渐慢慢恢复,但到2050年臭氧仍没有恢复到1980年的水平.但在青藏高原特殊环流情况下,从1980~1993年,臭氧的减少趋势要比纬圈平均状况下弱.从1995~2050年,臭氧恢复的趋势要比纬圈平均状况下的快,臭氧总量恢复了1993年减少的大约85%,而纬圈平均状况下,只恢复了大约三分之二.

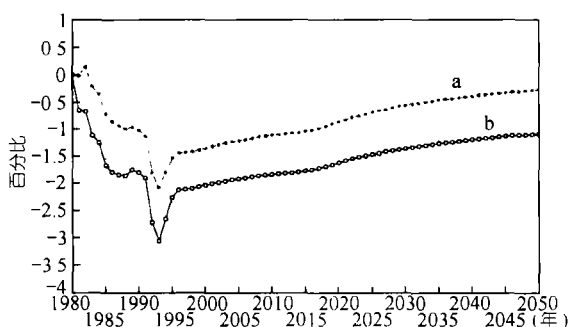


图4 模拟的青藏高原臭氧的变化趋势(a)和纬圈平均状况下臭氧的变化趋势(b)

刘煜等人^[5]分析了 TOMS 资料(1979~1992 年),结果表明青藏高原臭氧的递减趋势是同纬度 3 个强中心之一.在洛矶山等大地形上,并未出现臭氧递减的强中心,因此,刘煜等人^[5]也指出:青藏高原所产生的特殊的经圈环流不是造成青藏高原形成臭氧强递减中心的主要原因.模式的结果也证实了这个论点.在此,需要强调一点,青藏高原夏季臭氧的低值中心的形成主要是由于青藏高原所引起的特殊环流造成的;而青藏高原上臭氧递减的强中心则并不主要是由这个特殊环流造成的.可能存在另外的机理,我们今后将进一步研究.

4 小结

模式结果表明,从1980~1993年,青藏高原臭氧逐渐减少,在1995年后将逐渐恢复;但到2050年仍未恢复到1980年的水平.在青藏高原特殊环流的影响下,臭氧恢复要比纬圈平均状况下恢复得快.青藏高原所产生的特殊的经圈环流不是造成青藏高原形成臭氧强递减中心的主要原因.

致谢 感谢 I. S. A. Isaksen 教授和 B. Rognerud 博士给予的帮助.

参 考 文 献

- 1 WMO Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 44: Scientific Assessment of Ozone Depletion, 1998, 1999, WMO
- 2 任传森,周秀骥,李维亮,等.全球平均臭氧总量预测研究.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(二).北京:气象出版社,1997.286~291
- 3 周秀骥,罗超,李维亮,等.中国地区臭氧总量与青藏高原低值中心.科学通报,1995,4(15):1396~1398
- 4 付超,李维亮,周秀骥.夏季青藏高原臭氧总量低值区形成的模拟试验.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(二).北京:气象出版社,1997.274~285
- 5 刘煜,李维亮.青藏高原臭氧低谷加深及其可能的影响.气象学报,2001,59(1):97~106
- 6 Wang W C, Ryan P B. Overlapping effects of atmospheric H₂O, CO₂ and O₃ on the CO₂ radiative effect. Tellus, 1983, 35B: 81~91
- 7 Zerefos C S, Tourpali K, Bojkov B R, et al. Solar activity-total column ozone relationships, observations and model studies with heterogeneous chemistry. J Geophys Res, 1997, 102: 1561~1569