

皮纳图博火山喷发对气候影响的数值试验

巴勒德 吴池胜

(中山大学大气科学系, 广州510275)

摘要 用俄勒冈州立大学(OSU)的两层大气环流模式,研究1997年6月中旬菲律宾的皮纳图博(Pinatubo)火山喷发对短期气候的影响.数值试验的结果表明:①火山喷发引起低纬太阳辐射减少,导致次年1、2月模式大气的北半球主要大气活动中心(阿留申低压、冰岛低压、东亚冷高压、北美冷高压等)的强度明显减弱,亚洲和北美大陆中高纬度大部分地区的地面气温明显上升.模拟结果与实况相当一致.皮纳图博火山喷发对北半球中高纬许多地区(如前苏联的西伯利亚的中西部、中国北方地区、日本和西欧以及美国等地)1997年1、2月所出现的异常暖冬天气有重要的作用.②火山喷发引起的热带太平洋海平面气压场变化有利于南方涛动的减弱.

关键词 火山喷发,气候变化,数值试验

分类号 P 435

1997年6月中旬,菲律宾的皮纳图博(Pinatubo)火山喷发被认为是本世纪最强的火山喷发,它对大范围气候变化的影响引起人们的广泛关注.1991~1992年的冬季,中国的气温“南低北高”,北方大部分地区出现明显的暖冬异常天气^[1,2].一般以为,火山灰的阳伞效应会导致地面太阳总辐射的减少和气温下降.Robock等^[3]在分析了1875~1997年间12个最强的火山喷发事件的地面气温资料后发现,火山喷发所引起的地面气温的升降随季节和地区有较大的差异.其中,热带地区的火山喷发后的第一个冬季,欧亚大陆中高纬的相当大部分地区以及美国的东部地区的地面气温是正距平,而北非和亚洲南部(包括中国的大部分地区)是负距平.文献[4]利用GISS的大气环流模式所做的模拟,在中国大部分地区的结果与文献[3]的结论正好相反.究竟火山喷发对气候的影响如何,需要进一步研究.本文利用俄勒冈州立大学(OSU)的两层大气环流模式,对皮纳图博火山喷发进行数值模拟试验,以探究其对短期气候的影响.

1 模式简介和试验方案

1.1 模式简介

试验采用俄勒冈州立大学(OSU)的 σ 坐标系两层大气环流模式.模式中包含对流调整、大尺度凝结和蒸发、积云对流、长波辐射和短波辐射等物理过程;边界层中的各种通量的处理,采用常数通量层参数化方法;地表的温度、湿度和雪量分别由地表热量平衡方程、地表

水份收支方程和雪量方程决定;模式中还考虑了臭氧含量的纬度和季节变化;模式的 SST 和海冰分布为已知,由两个相邻(以 15日 为界)的月平均 SST 线性内插以得到每日的 SST 值,而海冰分布则每月更换 1 次;地形采用 4(个纬距) × 5(个经距)网格的真实地形,其中青藏高原的最高高度为 4415 m.

模式的时间积分方案采用欧拉后差和中央差交替进行的方式,时间步长取为 10 min,每小时先进行 4 步欧拉后差,然后进行 2 步中央差,如此重复.

1.2 试验方案

为研究皮纳图博火山灰的阳伞效应对气候的影响,作者设计了 2 组试验:① 控制试验 (CE),在模式中不考虑火山灰对太阳辐射的影响.② 敏感试验 (SE),在模式中引入火山灰云产生的太阳辐射强迫.

根据文献 [5],在火山喷发后第 22 d, 饱和高反射率的白亮粒子的 SO₂ 云已经在赤道南北各 20° 范围环绕全球 1 周; NOAA-1 极轨卫星测得的气溶胶光学厚度 (AOT) 演变图显示,气溶胶云于 1999 年 6 月中至 1999 年 3 月中主要集中于热带 (25° N- 20° S) 上空.为便于处理,假定火山气溶胶云沿纬向均匀分布.在火山灰云覆盖的纬带上,在模式层顶 (200 hPa) 改变入射太阳光的反照率 (大体上等效于火山灰云对辐射的作用),即取太阳入射辐射通量 S₀ 计算公式为

$$S_0 = S_{\infty} \cos(\theta(\lambda, h, t)) \cdot [1 - T(h)] \tag{1}$$

其中, S_∞ 为模式层顶处太阳常数, θ(λ, h, t) 为太阳天顶角, T(h) 为考虑火山灰作用的因子,这里仅考虑它为纬度 (h) 的函数,即取

$$T(h) = T_0 [1 - (|h - h_c|) / d] \tag{2}$$

其中, d 为南北方向上火山灰云带的宽度参数, h_c 为火山灰阳伞效应最强处的纬度,根据文献 [5],取 h_c 南北纬均为 2°. 因此,有

$$T(h) = \begin{cases} 0, & \text{当 } |h - h_c| = d \text{ 时} \\ T_0, & \text{当 } h = h_c \text{ 时} \end{cases} \tag{3}$$

其中, T₀ 为常数 (0.01), 图 1 给出据 (1)~ (3) 式绘制的 T(h) 曲线.

模式的初值 U, V, T, q, P_s, T_s 和 W 由 GFDL 的 10 a 平均的 6 月份资料经线性内插求出,地温 T_g 的初值取为 T_s; 积雪量和地面湿润度则取为模式大气 6 月份的平均值.

控制试验和敏感试验均从模式第 71 a 的 6 月 15 日 24 时始积分,其中敏感试验从 7 月 1 日起加入 (1) 式的辐射强迫,并在积分过程中维持不变.两个试验均积分到次年的 2 月 28 日.下面主要分析火山喷发后的次年 (1999 年) 1 月和 2 月大气对火山灰辐射强迫的响应.

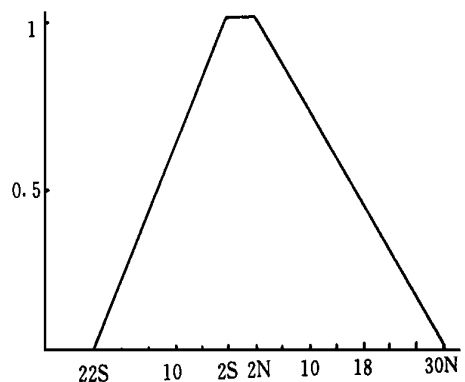


图 1 T(h) 随纬度的分布

Fig. 1 Variation of T(h) with latitude

2 结果分析

模式对冬、夏季大气环流的模拟能力已为文献 [6] 所详述,此处不再重复.控制试验 1 月份

的月平均海平面气压场与实测的气候平均场^[6]很相似,主要的大气活动中心,如亚洲大陆和北美大陆的冷高压、阿留申低压和冰岛低压等都模拟出来了(图略)。

2.1 海平面气压场

比较1992年1月敏感试验与控制试验的海平面气压差值分布(图2a)与实测的海平面气压距平图(图2b)^[7]可以看出,两者的主要分布特征有许多相似之处。因此,作者认为,1992年1月大气环流的异常与火山喷发有密切的关系。火山喷发引起的辐射强迫使北半球冬季主要的大气活动中心(阿留申低压、冰岛低压、东亚冷高压和北美冷高压)明显减弱,而西太平洋副热带高压则有所加强。除冰岛低压外,1992年1月的实况(图2b)基本如此。

由图2a还可看到,热带太平洋地区的变压场基本上呈“东低西高”型,即大致以日界线为界,日界线以西地区为正变压,而日界线以东地区则为负压。显然,辐射强迫所引起的这种变压分布有利于南方涛动的减弱(SOI减少)。事实上,1992年1月正是ENSO的发展成熟期,南方涛动指数降至-2.8,是此前11月以来的最低值^[7],这与热带太平洋地区的变压场(图2b)一致。根据统计结果得出^①,低纬强火山喷发后1~3个季节有出现ENSO的可能,并认为火山喷发可加强ENSO的发展。这也与模拟结果相一致。因此,1992年1月份的海平面气压系统的大尺度变化与皮纳图博火山喷发引起的太阳辐射的减少有密切的关系,或至少可以说,该火山喷发是有利于ENSO的发展(加强)的。

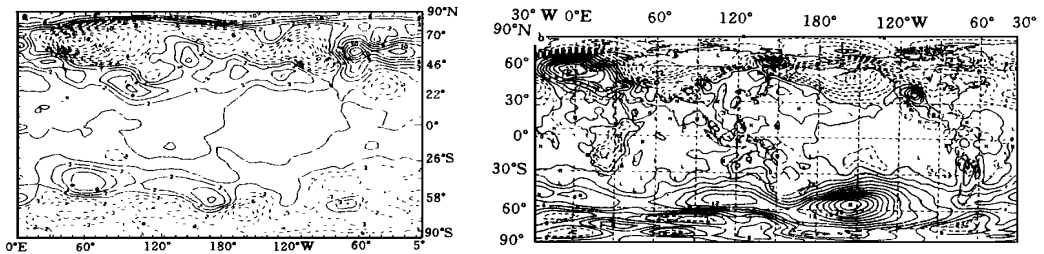


图2 1992年1月份海平面气压的变化

Fig. 2 Difference of monthly mean sea level pressure (SLP) field between sensitivity experiment (SE) and control experiment (CE) (a) and monthly mean SLP anomaly (b) in Jan., 1992

(a) (SE-CE) (b) 实测距平

由2月份海平面气压差值(SE-CE)(图3a)可见,在北太平洋中部、西欧—北非地区有大片的正变压区,而欧亚大陆的中高纬地区和北美大陆(美国东南部除外)有大片的负压区;在热带太平洋地区与1月份的情形相似,“东低西高”型的分布仍比较明显。辐射强迫引起的这些变化特征在实测的海平面气压距平图(图3b)^[8]上,基本上有相应的变化;北半球主要大气活动中心的变化趋势也与1月份的相似。

由此可见,皮纳图博火山喷发对1992年1、2月的大气环流异常起着相当重要的作用。

2.2 地面气温

图4是辐射强迫引起的次年1月份地面月平均气温的变化。虽然敏感试验中辐射强迫的最大值是在赤道附近(图1),但图4显示热带地区温度的变化并不明显,变温比较大的在北半

① 王绍武. 强火山爆发对气候的影响. 见: 国家气候委员会. 火山爆发及科威特油井燃烧与气候变化专题研讨会材料汇编. 1991. 37-38.

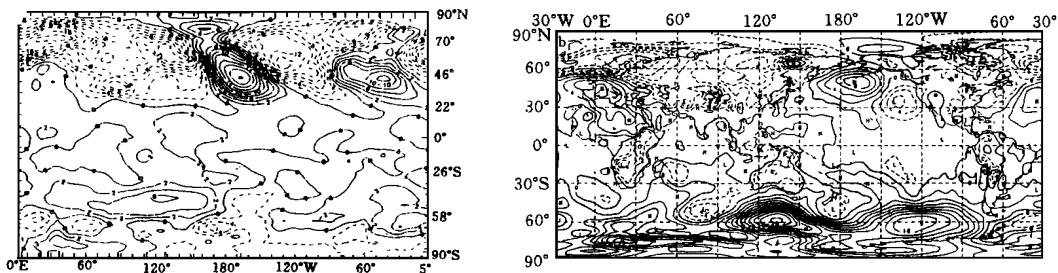


图 3 1992 年 2 月海平面气压的变化

Fig. 3 Difference of monthly mean SLP field between SE and CE

(a) and monthly mean SLP anomaly (b) in Feb., 1992

(a) (SE- CE) (b) 实测距平

球的中高纬地区. Robock 在利用能量平衡模式模拟 EL Chichon 火山喷发的影响时, 也得到类似的结果, 即最大温度响应的区域并不是辐射强迫最强的区域, 而是冰雪反馈显著的高纬地区^[9].

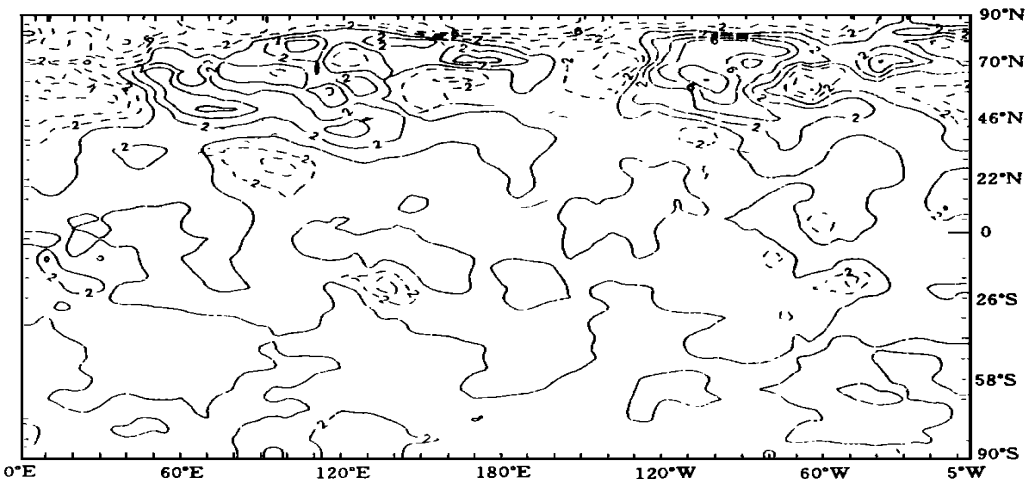


图 4 1992 年 1 月份地面月平均气温的变化 (SE- CE)

Fig. 4 Difference of monthly mean surface temperature field between SE and CE in Jan., 1992

1992 年 1 月中国北方的大部分地区、日本、前苏联西伯利亚的中西部以及北美大陆的大部分地区等, 都出现明显的暖冬天气, 其中北京的月平均气温是 120 多 a 以来的同期最高值^[2, 7]. 图 5 是 1992 年 1 月份的气温百分位分布图^[7]. 比较图 4 与 5 可以看出, 出现明显暖冬天气的地区基本上都是落在图 4 的正变温中心附近, 而且中国西南地区的冷冬天气也基本模拟出来了; 差异比较大的是在西北欧和北非地区, 模拟与实测的变温相反. 由此可见, 北半球 1992 年 1 月份许多地方的气温异常与皮纳图博火山喷发引起的低纬太阳辐射减少有密切的关系.

在敏感试验与控制试验的 2 月份地面气温的差值 (SE- CE) 分布图上 (图略), 亚洲和北美大陆有大片的正变温区. 而实况正是, 1992 年 2 月中国北方大部分地区以及江淮和江南大部分地区的气温较常年同期明显偏高, 其中新疆西北部、内蒙古东部和东北等地偏高 4-

6℃,而华南和西南地区则偏低1~2℃.同年2月,美国大部分地区的气温也偏高,其中中北部偏高6~8℃;欧洲除法国和南欧外,几乎整个欧洲气温也比常年同期偏高2~5℃^[8].此外中国的华南、西南和南欧等地的负变温区也模拟得相当好.因此,上述的结果说明,1992年2月北半球大气环流和气候的异常,在相当程度上是由皮纳图博火山喷发所引起的.

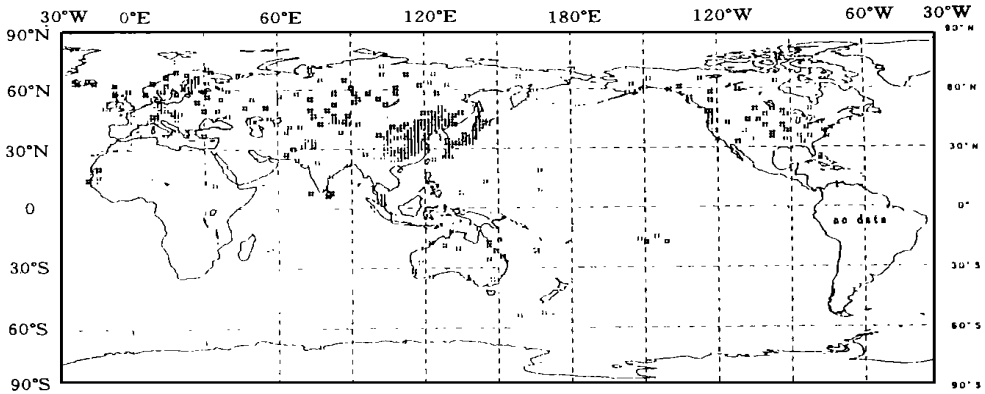


图5 1992年1月地面月平均气温百分位分布

Fig. 5 The GAUSSIAN distribution of monthly mean temperature in Jan., 1992

2.3 降水

分析1992年1、2月平均的降水量偏差(SE-CE)图发现,主要的正、负偏差中心是位于副热带和热带地区的洋面上;而在中、高纬度的陆地上,雨量的变化则很小,这与变温的分布(图4)相反.雨量差值的这种分布可能与大气中水汽含量的地理分布有关.1992年1、2月,中国南方(30°N以南)大部分地区降水显著偏多^[1,2],该区位于正偏差区内,但正偏差值较弱.前述火山喷发引起北方冷空气减弱和西太平洋副热带高压加强,根据文献[1],这有利于华南和西南地区冬季降水增多.

因此,皮纳图博火山喷发对1992年1、2月中国南方降水偏多有正的贡献.

3 结论

由上面的数值试验,得到如下几点主要的结果:

(1) 1992年6月中旬的皮纳图博火山喷发引起的低纬地区太阳辐射的减少,导致模式大气次年1月和2月北半球主要大气活动中心(阿留申低压、冰岛低压、东亚冷高压和北美冷高压等)的强度明显减弱,亚洲和北美大陆的中、高纬度大部分地区地面气温明显上升.模拟结果与实况相当一致.

(2) 皮纳图博火山喷发产生的阳伞效应使次年1月和2月热带太平洋海平面气压场的变化趋于“东低西高型”,因而有利于南方涛动的减弱(SOI值减少).

(3) 火山喷发引起的次年1月和2月的降雨量变化主要发生在热带和副热带的洋面上.中国的江南、华南和西南等地是位于正偏差区内.辐射强迫所引起的北方冷空气强度减弱和西太平洋副热带高压的加强可能是使中国南方1992年1月和2月降水显著偏多的原因之一.

参 考 文 献

- 1 韩建钢. 三北地区气温高、滇桂粤闽雨水多. 气象, 1993, 18(4): 58~ 59
- 2 焦佩金. 降水南多北少、气温南低北高. 气象, 1993, 18(5): 58~ 59
- 3 Robock A, Mao J. The volcanic signal in surface temperature observations. J Climate, 1995, 8(5): 1086~ 1103
- 4 Robock A, Liu Y. The volcanic signal in Goddard institute for space studies three-dimensional model simulations. J Climate, 1994, 7(1): 44~ 55
- 5 徐群. 皮纳图博火山云对 199 年大范围气候的影响. 应用气象学报, 1995, 6(1): 35~ 42
- 6 Schlesinger M E, Gates W L. The January and July performance of the OSU two-level atmospheric general circulation model. J Atmos Sci, 1980, 37: 1914~ 1943
- 7 国家气象中心气候应用室. 气候监测公报, 1992 年 1 月
- 8 国家气象中心气候应用室. 气候监测公报, 1992 年 2 月
- 9 Robock A. Climatic model simulations of the Elchichon eruption. Geof Int, 1984, 23(3): 403~ 414

Numerical Study on the Influence of Pinatubo Volcanic Eruption on Large Scale Climate

*Balde Alpha Oumar Wu Chisheng**

Abstract The OSU two-level atmospheric general circulation model is used to simulate the influence of eruption of Pinatubo volcano in June 1991 on large scale climate. The result shows that^① The weakening of the major atmospheric activity centers in northern hemisphere(NH) and the distinct warming over the NH mid- and high-latitude continents in the first winter after the eruption response to the reduction of solar radiation in low-latitude caused by the volcanic eruption. Therefore, it is suggested that the winter warming in North China, Japan and America, etc., during 1991~ 1992 is related to the eruption.^② patterns of sea level pressure variation in the tropical Pacific connected with the volcanic eruption appear to be similar to the ENSO patterns, and the volcanic eruption is therefore favorable to the weakening of the Southern Oscillation(SOI decreasing).

Keywords volcanic eruption, climatic anomaly, numerical experiment

* Department of Atmospheric, Zhongshan University, Guangzhou 510275