

皮纳图博火山云对 1992 年大范围气候的影响^{*}

徐 群

(江苏省气象科学研究所, 南京 210008)

提 要

1991年6月中旬, 菲律宾的 Pinatubo 火山将近二千万吨含硫气溶胶喷入平流层高空, 形成了本世纪最大的一次火山云事件. 文章叙述了火山云在高空的扩散状况及其对 1992 年大范围气候的致冷影响. 这表现为全球平均气温的明显下降; 北半球 1~10 月 (尤其是夏秋季节) 气候冷区明显增多, 这种气候冷区有从低纬向高纬逐步移动的趋势; 而且夏半年在我国也出现了一系列冷害现象.

关键词: 皮纳图博火山云事件; 气溶胶; 气候致冷效应.

1 引 言

1991年6月中旬, 位于马尼拉西北 110km 处的 Pinatubo 火山 (15. 14°N, 120. 35°E, 海拔 1475m) 出现多次大爆发, 近二千万吨 SO₂ 气体喷上平流层, 这大约是 1982 年 4 月初墨西哥 El-Chichon 火山喷发的 SO₂ 含量的 3 倍^[1], 是自 1883 年爪哇的 Krakotoa 火山喷发以后的最大一次火山云事件. 已知平流层火山云通过对太阳辐射的后向反射和散射作用对地面有净冷却影响, 然而它对气候的影响还和火山爆发所在纬度及季节密切相关. 近年来, 卫星对地球上空气溶胶浓度探测水平的显著进展以及全球气候资料的增多, 使我们能深入揭示此次 Pinatubo 火山云在全球的扩展情况及其与大范围气候异常的联系, 并进一步认识 1992 年北半球一系列气候冷害形成的原因.

2 Pinatubo 火山云的扩展

1991年6月9日下午至16日晨, Pinatubo 火山出现多次大爆发, 尤其是6月15日的爆发最为猛烈, 喷出大量 SO₂ 气体进入平流层上空. 装在雨云 7 号卫星上的臭氧总量分光测量仪 (TOMS) 从 1991 年 6 月 12 日开始即测得不断有大块 SO₂ 气溶胶云从

1993-08-16 收到, 1994-01-18 收到再改稿.

• 本文由《短期气候预测理论和方法的研究》课题资助.

Pinatubo 火山口喷上平流层,6月12~17日所测的 SO₂ 云总量接近二千万吨。6月18日测得 SO₂ 云在平流层伸展达 6500km 长,乘平流层低层东风以 20m/s 的速度向西南方扩散,而前缘的 SO₂ 云还以接近于此两倍的速度飘浮。在火山爆发后第 22 天,饱含高反射率白亮粒子的 SO₂ 云已在赤道南北各 20 度范围环绕全球一周^[1]。

地球辐射收支(ERBS)卫星上的平流层气溶胶和气体实验仪器(SAGEII)测得此次火山喷发的 SO₂ 气溶胶最高可达 29km,大多数气溶胶云位于 20~25km 上空^[1]。NOAA-11 极轨环境卫星获得的从 1989 年 6 月底到 1992 年 12 月底每周各纬带(70°N~70°S)平均

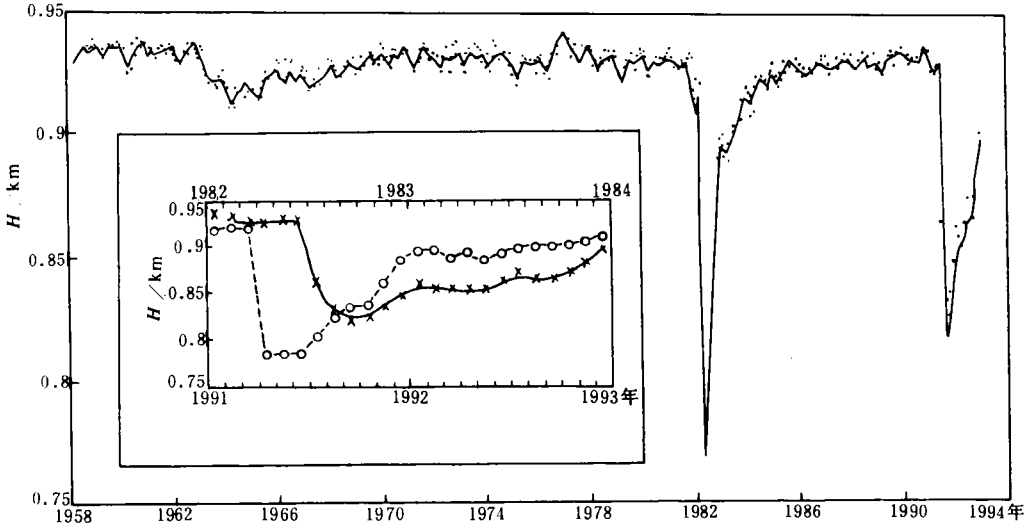


图 1 夏威夷 Mauna-Loa 观象台实测的太阳直接辐射大气透射率(T)的长期变化特点(取自[3])(图中的小插图是 1991~1992 年各月 T 值(有“ \times ”号者)与 1982~1983 年各月 T 值(有“ \circ ”号者)的对比)

的气溶胶光学厚度(AOT)演变图^[2]显示出此火山气溶胶云于 1991 年 6 月中~1992 年 3 月中主要集中于热带(25°N~20°S)上空,此后虽然气溶胶云主体北移,但仍有相当一部分维持于热带上空直到 1992 年后期(文献[2]图 1)。

热带地面实测的太阳辐射变化清楚地显示出此火山气溶胶对它有显著且持久的影响。图 1 显示出 Mauna-Loa 观象台(19.5°N, 155.6°W)所测的晴空太阳辐射透射率(T)在该火山爆发后的第二个月(1991 年 8 月)即下降 11.5%,直到 1992 年 8 月 T 值仍比火山爆发前的 1991 年上半年偏低 7%,到 1992 年 12 月还比火山爆发前偏低 3.5%(图 1);相对于 1982 年 4 月初爆发的 El-Chichon 火山来说,气溶胶浓度的衰减要缓慢得多。1992

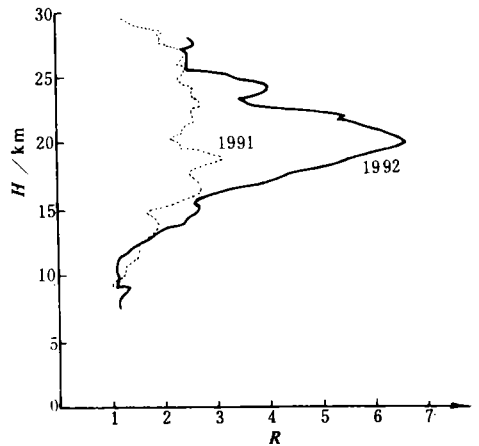


图 2 激光雷达测得的 1991 和 1992 两年盛夏北京上空气溶胶后向散射比 R 随高度分布(实线:1992 年 7 月 29 日和 8 月 22 日两天 R 的平均值,虚线:1991 年 7 月 29 日和 8 月 23 日 R 的平均值)(资料由中科院大气所提供)

年 1~9 月的 T 值比 El-Chichon 火山爆发后一年(1983)同期 T 值分别偏低 3%~4% 左右(图 1). 从 1992 年 1 月中开始,一部分火山气溶胶向北半球中高纬扩散;3 月中开始,火山气溶胶的主体开始向北移动,在 1992 年 3 月中旬至 7 月, $AOT \geq 0.20$ 的火山云始终笼罩在 $30^\circ \sim 70^\circ N$ 上空(文献[2]图 1).

由于大气环流的经向扰动,火山云在同纬度各地区上空的分布很不均匀. 北京的激光雷达探测表明,早在 1991 年 7 月下旬开始即有一些火山气溶胶在 20km 以下的平流层下部输向北京上空,10 月开始尤为显著^[4]. 图 2 显示出 1991 和 1992 两年盛夏北京上空气溶胶浓度的对比. 虚线显示 1991 年盛夏北京上空 16~19km 处气溶胶后向散射比(R)约比常态时的 $1.3^{[4]}$ 大一倍,反映出火山气溶胶增长的影响;但 1992 年盛夏各高度 R 值分布(实线)则表明该年北京上空 17~22km 处的气溶胶浓度比 1991 年盛夏还增大一倍,达到常态时的 3~5 倍. 说明 1991 年 6 月喷出的 Pinatubo 火山云对北半球中高纬以至我国的气候影响,要到 1992 年才发挥作用.

3 大范围气温变化的响应

3.1 全球气温变化的响应

1990~1992 年逐月全球平均地面气温距平的变化(图 3)充分反映出 Pinatubo 火山云的影响. 火山爆发当月(1991 年 6 月)可能受正在发展的 El-Nino 的影响,全球地面平均气温距平(\bar{t})正处于 1990 年 1 月以来的峰值(+0.35℃). 随着 6 月中旬火山气溶胶的大量释放, \bar{t} 从 7 月开始即有所下降,9 月开始降温更显著;而 1992 年的显著降温则出现于 4~9 月,尤其是在 8 月跌入了低谷(-0.42℃).



图 3 1990~1992 年逐月全球地面气温距平(相对于 1982~1991 年平均)的演变(取自[5])

表 1 Pinatubo 火山爆发前后全球平均地面气温距平(\bar{t})的变化

变化时段	平均变幅($\Delta\bar{t}$)(°C)
(1) 1991 年~1992 年	0.31
(2) (1990 年 7 月至 1991 年 6 月)~1992 年	0.36
(3) (1991 年 5 至 7 月)~(1992 年 7~9 月)	0.60

从表 1 可见该火山爆发前后,年际间 \bar{t} 约下降 0.3~0.4℃,如果时间尺度缩短成 3 个月,则从火山爆发前后的 1991 年 5~7 月到最大降温出现期的 1992 年 7~9 月,平均可下降 0.6℃(相隔 14 个月). 这和 Hansen 等(1992)利用三维气候模式所算出的 Pinatubo 火山尘对全球地面气温有 0.5℃的下降作用^[6]相当吻合.

3.2 热带和北半球中高纬对流层气温变化的响应

美国气候中心提供的利用极轨卫星遥感技术所测的 1991~1992 年逐月北半球中高纬(30°~90°N)和热带区(30°N~30°S)对流层平均气温变化(图略),反映出如下特点:①与火山云首先出现于热带上空相配合,热带对流层在 1991 年下半年的确持续降温,在 9~12 月竟下降了近 0.4℃.②对整个北半球中高纬对流层来说,降温最主要发生于 1992 年夏季,比 1991 年同期下降 1.2℃.

3.3 北半球各纬带气温变化的响应

利用俄罗斯全球气候与生态研究所的资料^[7],作者分析了 1992 年 1~11 月各月北半球各纬带地面平均气温距平分布(相对于 1951~1980 年平均值).为了消除长期气候趋势的作用和减少 El Nino 的增温影响,我们做了 1992 年 1~11 月各月各纬度地面平均气温

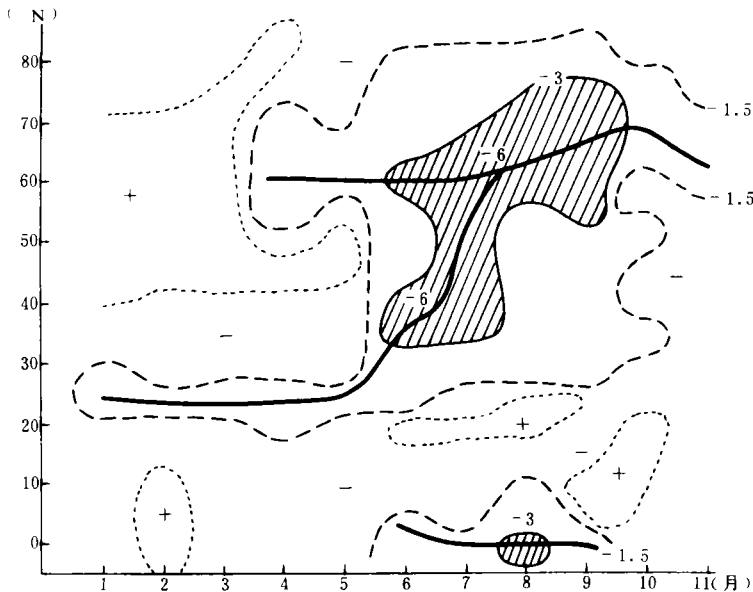


图 4 1992 年 1~11 月各月北半球各纬度地面平均气温相对于上年同期的标准化变化(气温差/标准差)(粗实线为最大降温轴线,虚线为达到-1.5 的标准化变化)

相对于上年同期的标准化变化(图 4).由图可见降温轴线首先于 1~5 月出现于副热带,6~9 月降温轴线出现在赤道处(0~5°N),而 6~9 月的最显著降温则出现于中高纬大范围(30°~75°N)地区;后者由南北两纬带上显著降温区分别发展并汇合形成,即沿 60°N 处从 4 月开始即有一降温带出现并持续发展,进入夏季时,原在 25°N 处、1~5 月发展的气温负距平北伸到 35°N 及以北地区.这和上一节所述 NOAA-11 号极轨卫星所测的纬向平均气溶胶光学厚度(AOT)在 1992 年各月位置的演变特点十分一致;北半球各纬带气温负距平轴线始终是随着火山气溶胶浓度最大处移动的,即从 1991 年夏到 1992 年春位于副热带(25°N)处,且于 1992 年夏移向中高纬.由于该处夏季大陆气温对太阳直接辐射的减少最为敏感,从而形成了 1992 年夏北半球中高纬的显著降温.

根据 WMO 气候监测月报^[8]所刊载的由日本气象厅提供的全球逐月气候异常分布图,分别统计分析了 1988~1992 年各月异常冷区数相对于异常暖区数^{*}的比率(P) (图略). 由分析可知,1~8 月或 6~8 月的 P 值前 4 年(1988~1991 年)很低. 这反映了 80 年代以来气候明显增暖的特点. 尤其是 1988 年和 1990 年这两年夏季各月,北半球均未出现过异常偏冷区,但是到 1992 年,异常冷区就出现明显增多现象,在该年夏季甚至超过了异常暖区数. 此外,在前 4 年中,1989 年的 P 值相对高于其它 3 年,这可能反映了该年属于强 La Nina 年,使得赤道太平洋的冷水舌明显减弱了 Hadley 环流输送热量的强度. 对比 1989 和 1992 两年夏季北半球各纬度的气温距平分布(图 5),由图可见 1992 年夏 25°N 以北各纬带平均气温均明显低于 1989 年同期,其中 40°~80°N 各纬带均偏低 0.6℃ 以上,而 50°~55°N 处则偏低近 1℃.

1989 年是近 50 年来最强劲的 La Nina 年之一,而 1992 年则是 El Nino 初始年的后一年. 历史资料表明后者常和全球气温较大的正距平相联系,前者则常伴随着负距平. 如今浓火山云的影响竟使 El Nino 后一年的 1992 年夏北半球气温除在 10°~20°N 范围外,包括赤道区的其它纬带气温皆低于强劲的赤道冷水年(1989)夏的气温,从而显示出 Pinatubo 火山云对北半球气温的影响已明显超过赤道太平洋最强冷、热水年的热力对比影响.

3.4 1992 年北半球各月气候异常冷区的分布和演变

1992 年各月北半球出现了明显增多的气候异常冷区,现利用日本气象厅的气候监视报告^[9],将上述这些异常冷区的出现情况归纳如下:①1~2 月,孟加拉、不丹和尼泊尔的月平均气温距平持续 $\leq -2^\circ\text{C}$,其中 2 月距平中心达 -4°C . ②1~3 月,土耳其和中东地区严寒. 实际上从上年 12 月开始到 3 月,地中海东部至中东屡次受暴风雪侵袭,尤其是 2 月中旬该地区出现了近 40 年来最大的一次降雪^[10],1~2 月土耳其东部月平均气温负距平中心均 $\leq -8^\circ\text{C}$ ^[11]. ③5~7 月从西北非经土耳其到里海东侧气温持续偏低,其中西北非至西班牙南部 6 月气温距平中心均 $\leq -4^\circ\text{C}$ ^[11];而土耳其则从上年 12 月到 7 月历时 8 个月中(仅 4 月气温正常)出现了罕见的持续低温. ④6~8 月美国中东部气温异常偏低,6 月 21 日许多州出现了近百年来最低气温,7 月美国中北部大部分地区气温比常年偏低 3~

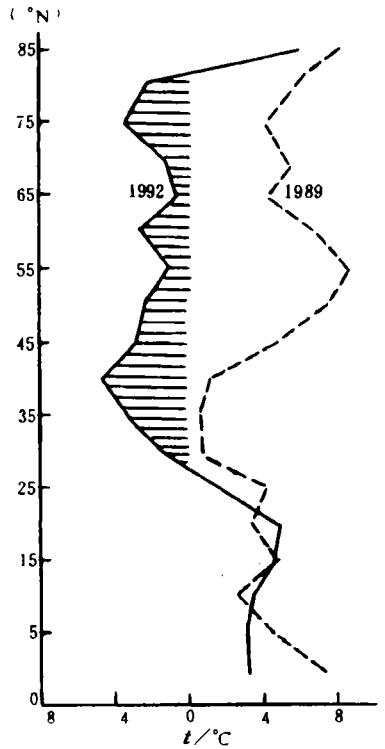


图 5 1989(虚线)和 1992(实线)年夏季北半球各纬度气温距平分布(基值为 1951~1980 年平均)(资料取自^[8])

* 月气温距平/标准差 ≤ -2 的范围称为月异常冷区;反之, $\geq +2$ 的范围称为异常暖区.

7℃^[10]. 8月在 Montana 省和加拿大中南部各省部分地区出现大雪,落基山中北部许多地区日最低气温低于零度. 夏季美国全国平均气温出现了 1895 年以来的第三低值年,且是 1916 年以来的最低值^[10]. ⑤9月在加拿大西北端至阿拉斯加和西伯利亚西部至新疆北部出现两大冷区,前者气温比常年同期偏低 7℃,阿拉斯加的 Anchorage 和 Fairbanks 等地都出现了有记录以来最冷的天气(图 6). ⑥10月西北欧地区遭受严寒侵袭,芬兰西北部月平均气温距平≤-8℃,该处和挪威的部分地区日最低气温曾达到-30℃^[10].

图 6 显示出 1992 年北半球各地出现的异常气候冷区有从 1 月到 10 月逐渐向西、向北移动的趋势,它在 1992 年内有规律地从低纬向西北方环绕全球移动. 看来受到平流层火山气溶胶乘东风飘浮的很大影响. 1991 年 8 月底 Mauna-Loa 观象台测定火山云位于 27~28km 高处^[13],而到 1992 年盛夏北京的激光雷达测定其火山气溶胶位于 20km 高处(图 2). 必须指出从冬到夏平流层 30~50hPa 的东风是逐渐增强的,且愈益向北半球中高

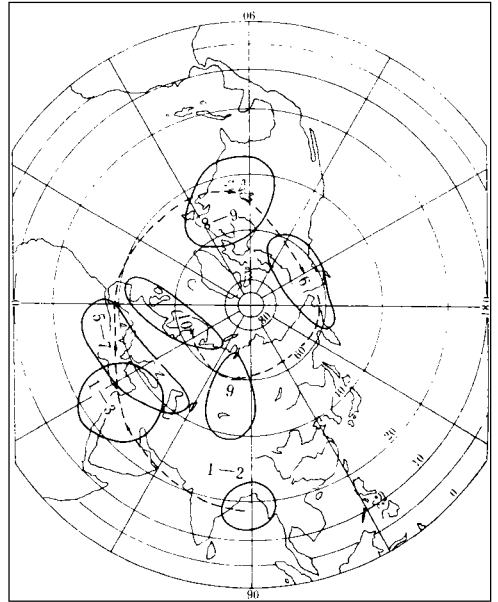


图 6 1992 年各月气候异常冷区(实线)分析(数字为月份,取自^[9],虚线为各冷区移动趋势).

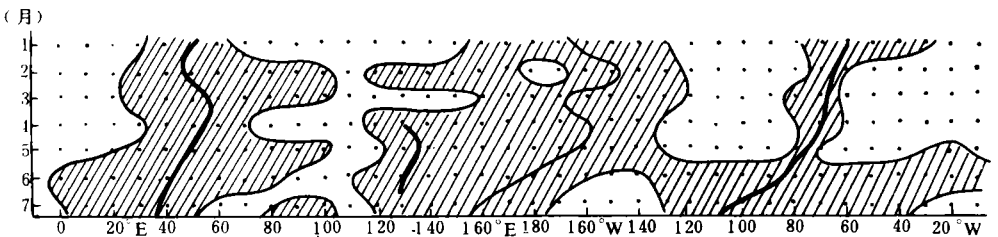


图 7 1992 年 1~7 月 500hPa 40°N 纬圈高度距平的分布(相对于 1951~1980 年平均,阴影区为负距平区) 纬扩展. 这样,在 1991 年 6 月中喷上平流层高空的火山云在 1992 年从低纬向中高纬的不断扩散过程中,乘着从冬到夏愈益增强的东风逐步向西,向北飘浮,同时在高空行星波作用下就形成了这类逐步向西,向北移动的气候冷区. 从图 7 可见 40°N 纬圈上的高度负距平区在 1992 年 1~7 月间有从冬到夏逐步扩大的趋势. 这显示出火山气溶胶从低纬逐步向中高纬飘浮,中纬的气候冷区有从冬到夏扩大的趋势. 在 1~5 月有两个主要行星波槽分别位于乌拉尔山以西 50°E 处和中太平洋区,后者的出现是和 El Nino 的维持、赤道中太平洋海温偏高有关. 到了 6~7 月,北半球中纬盛行三波槽,除前述两处波槽基本维持外,在北美中东部又出现另一个稳定的低槽,这正是夏季气候的冷区所在,而乌拉尔山西侧 50°E 处槽从冬到夏稳定的存在及其南伸则形成了土耳其至中东地区长期持续的气候冷害.

4 1992 年 Pinatubo 火山云对我国气温的影响

尽管由于高空行星波的配置,我国虽然未置于气候冷区中,但高空火山云的致冷效应仍对我国大范围气温产生显著影响.试比较 1991~1992 这两个 El Nino 年各月我国气温等级值(表 2),可见在夏秋季节(6~11 月),1992 年各月均比 1991 年同月偏冷,而夏秋季节的偏冷正是我国气温场对高空火山云的典型响应.作者曾指出夏半年我国大范围气温对于火山爆发,太阳辐射的减少十分敏感.在 6~11 月内,若连续 3 个月以上大范围气温偏低(全国月气温等级 $J_T > 3.0$)且达到下列条件者(其中 $2n/3$ 以上的 $J_T \geq 3.5$,同时 $\frac{1}{n} \sum J_T \geq 3.5$ 者),即可作为大范围冷夏(秋)年^[12].如今 1992 年 6~11 月的全国气温等级完全符合上述标准.因此即作为 1909 年以来的第 17 个冷夏(秋)年列入记录,其中 6~7 月和 10~11 月的 J_T 均 ≥ 3.5 .我国在 1992 年出现了较常年偏重的冷冻灾害:6 月下旬~7 月上旬长江流域大部分气温偏低 3~5℃,雨量虽小,但阴雨时间长,光照严重不足,

表 2 1991~1992 两年各月全国气温等级值

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1991 年	2.3	2.1	2.9	3.1	3.3	2.5	2.8	2.8	2.7	2.9	3.1	2.6
1992 年	2.5	2.5	3.5	2.0	3.0	3.7	3.6	3.2	3.3	4.1	3.5	2.0

水稻、棉花等农作物生长受到较大影响^[13].6 月东北大部,内蒙东部及河北北部出现历史上罕见的晚霜,农作物遭受冻害和冷害.8 月上中旬北方大部分气温又偏低,尤其是新疆北部和吉林、黑龙江两省大部分地区偏低 2~3℃,使农作物发育期推迟,出现障碍性冷害,影响大田作物籽粒形成和水稻抽穗扬花^[13].

5 结论和讨论

(1) 1991 年 6 月中旬菲律宾的 Pinatubo 火山喷发导致全球热带~副热带对流层大气最先出现明显降温现象.

(2) 火山在夏季喷发的低纬火山云需经历大半年时间才能从低纬向中高纬扩散,直到次年夏半年才能显著影响北半球中高纬气候^[12,14].

(3) Pinatubo 火山云的冷却影响使得 1992 年全球地面平均气温距平比 1991 年下降了 0.31℃,比火山爆发前一年(1990 年 7 月~1991 年 6 月)下降 0.36℃.

(4) 1992 年北半球出现了近年来少见的气候异常冷区频繁发生的现象.冷区有从冬到夏秋逐步向西北方移动的趋势.

(5) 1992 年我国虽处于北半球频繁发生的气候异常冷区之外,但仍然受到火山云的显著致冷影响——夏秋季节出现了大范围气温偏低现象,夏季东北至内蒙地区和初夏长江中下游地区都出现了不同程度的冷害.

参考文献

- 1 Bluth G J S et al. Global tracking of the SO₂ clouds from the June, 1991 Mt. Pinatubo eruptions. *Geophysical Research Letters*, 1992, **19**(2):151~154.
- 2 Halpert M S, Ropelewski C F et al. 1992 brings return to moderate global temperatures. *EOS*, 1993, **74**(38): 433~439.
- 3 Climate Analysis Center(NOAA). *Climate Diagnostics Bulletin*, February 1993, Fig. T46.
- 4 孙金辉, 邱金桓, 夏其林, 张金定. 激光探测平流层火山云. *科学通报*, 1993, **38**(7):631~633.
- 5 Christy J. The monthly global temperature anomalies of 1990~1992 year. *Weatherwise*, 1993, Feb./Mar.:16.
- 6 Hansen J., Lacis A, et al. Potential climate impact of Mt. Pinatubo eruption. *Geophysical Research Letters*, 1992, **19**(2):215~218.
- 7 WCP(WMO). *Climate System Monitoring (CSM) Monthly Bulletin*, 1992, No. 4~12.
- 8 WCP(WMO). *Climate System Monitoring (CSM) Monthly Bulletin*, 1988~1992.
- 9 日本气象厅. 气象系统监视报告. 1992年12月, P. 42.
- 10 WCP(WMO). *Climate System Monitoring (CSM) Monthly Bulletin*, 1992, No. 2, 11, No. 7, 7, No. 8, 9~11, No. 10, 7~21.
- 11 Deutscher Wetterdienst. Die witterung in Uebersee. 1992, 40:1~10.
- 12 徐群. 火山灰, 太阳常数和长期预报. *气象*, 1983, (6):7~10.
- 13 国家气象中心气候应用室. 1992年6月、7月、8月气象月报和1992年全国天气气候概况及影响. 北京: 国家气象中心. 1993年.
- 14 徐群. 1980年夏季我国天气气候反常和 St. Helens 火山爆发的影响. *气象学报*, 1986, **44**(4):426~432.
- 15 The IPCC Global and Hemispheric mean surface air temperature data(1861~1991), TIEMPO Resource Service Reference 4/1, UK, 1992.

INFLUENCES OF PINATUBO VOLCANIC CLOUDS ON LARGE SCALE CLIMATE IN 1992

Xu Qun

(Jiangsu Meteorological Institute, Nanjing 210008)

Abstract

Nearly 20 megaton sulfuric aerosols were erupted to the stratosphere during mid-June of 1991. It is the strongest event with maximal volcanic clouds since the beginning of present century. The dispersion of volcanic clouds in the stratosphere and their cooling effect on large scale climate in 1992 is discussed. It is shown that the global average temperature has pronounced drop, and the climatically cool regions in northern summer-autumn of 1992 appear significant extension from the tropics to higher latitudes. Furthermore, a series of cool injury events appeared in the summer of the year in China.

Key words: Pinatubo volcanic clouds; Aerosols; The climatically cooling effect.