

火山活动与我国旱涝、冷暖的关系*

张先恭 张富国

(国家气象局气象科学研究所)

提 要

本文根据近五百年的火山资料,研究了大火山的喷发与我国旱涝、冷暖的统计关系。发现火山活动对气温的影响比对降水的影响要明显得多。而且在火山喷发后我国有两次降温,分别出现在火山喷发后第8个月和第18个月。第二次降温比第一次降温要强烈得多。1951年以来,我国东北地区夏季低温冷害的发生可能与 ≥ 2 级的火山喷发有一定联系。

一、引 言

火山活动对气候变化的影响,很早就引起了人们的注意。早在18世纪80年代, B. Franklin(1784)就指出,1783年夏季北美大部和欧洲出现的异常气象与该年冰岛的火山爆发有关^[1]。可是直到本世纪初才开始有较系统的研究(K. Sapper 1917, 1927)^[2]。1970年 H. H. Lamb 提出了火山灰尘幕指数,从而将火山活动与气候变化关系的研究提高到一个新的水平^[3]。近十来年,随着火山活动与气候变化关系研究的不断深入,越来越多的事实证明 W. Koppen 早在1873年就提出的,而后又经 W. J. Humphreys(1940)等再度强调的一个论点,即火山爆发后形成并能维持数年之久的火山灰尘幕对大气辐射收支、地面及平流层的气温以及大气环流型式均可产生明显影响^[4]。但如何评价火山活动在气候变化中的作用,至今仍有不同看法^[5]。1980年夏季我国江淮流域出现了近年来少有的低温洪涝灾害,有人认为这可能与火山活动有关^[6]。为了弄清火山活动与我国气候变化的关系,本文拟根据近五百年来全球火山喷发和我国历史旱涝资料以及近几十年来的气温资料试作某些探讨。

二、资料与方法

历史上的全球火山喷发资料,主要取自 H. H. Lamb 所编制的火山年表^[3]。现时的火山喷发资料,主要取自日本火山学会从1961年开始编辑出版的《火山年报》。

历史上火山喷发的强度用 Lamb 提出的尘幕指数(dust veil index, 缩写为 DVI)表示^[4]。Lamb 把1883年印尼喀拉喀托火山喷发的尘幕指数定为1000。因此,我们把 DVI ≥ 1000 的火山喷发作为历史上大火山喷发的标准。现时的火山喷发强度用火山喷发物

* 本文于1982年11月26日收到,1984年6月23日收到最后一次修改稿。

总量的体积来表示(K. Sapper, 1927)^[2]。我们取 ≥ 2 级的火山喷发作为大火山喷发的标准(见表1)。

表1 火山喷发强度标准

级	别	火山喷发物的量级
1		$>10^9 \text{ m}^3$
2		10^8-10^9 m^3
3		10^7-10^8 m^3
4		10^6-10^7 m^3
5		10^5-10^6 m^3
6		10^4-10^5 m^3
7		10^3-10^4 m^3
8		$<10^3 \text{ m}^3$

旱涝资料主要取自中央气象局气象科学研究院主编的《中国近五百年旱涝分布图集》，它给出了1470—1979年期间每年5—9月我国大范围旱涝分布的主要特征。该图集所提供的各站旱涝等级在无降水记录的年代是从历史记载转换而来；在有降水量记录的年代，则根据5—9月的降水量按表2的标准划分为五个等级(见表2)。为便于研究，我们将近五百年来旱涝在全国的分布归纳为六种类型：即I型全国偏涝；II型南北偏涝、长江流域偏旱；III型南涝北旱；IV、V、VI型分别与III、II、I型相反。近百年来气温资料，主要取自中央气象台《1911—1980年逐月气温等级图》资料。气温分为暖、偏暖、正常、偏冷、冷五个等级，分别用数字1—5表示。

表2 旱涝等级标准

等	级	降水标准
1		$R > (\bar{R} + 1.17\sigma)$
2		$(\bar{R} + 0.33\sigma) < R \leq (\bar{R} + 1.17\sigma)$
3		$(\bar{R} - 0.33\sigma) < R \leq (\bar{R} + 0.33\sigma)$
4		$(\bar{R} - 1.17\sigma) < R \leq (\bar{R} - 0.33\sigma)$
5		$R \leq (\bar{R} - 1.17\sigma)$

我们用时序迭加的方法来研究火山活动与气候变化的关系。分析时，首先根据一定的标准，选出火山喷发的年份，把这些年份作为关键年(记为0)，然后分别统计各关键年前一年、前二年……(分别记为-1, -2, ……)和各关键年后一年、后二年……(分别记为+1, +2, ……)各气候要素的平均变化特征。这个方法在理论上讲，当关键年很多时，迭加分析的结果可以消除其它因子的影响，突出我们所考虑的火山作用。但是当迭加次数较少时，就不可能完全消去其它因子的影响。为了考察某些结果的显著性，我们用统计学方法进行了检验。

三、火山喷发与旱涝变化

参考文献[7]所给出的 1500—1970 年 32 个大火山喷发年份, 选取了三十个 $DVI \geq 1000$ 的大火山喷发年份作为关键年(见表 3)¹⁾。为便于比较, 我们分析这些年份前一年到后十年我国大范围旱涝型的变化。表 4 为近五百年 $DVI \geq 1000$ 的火山喷发与我国旱涝型变化的统计结果。表中的气候频次是根据 1470—1979 年各型出现的概率算出来的。我们将超过气候频次 2 次以上的用黑体字标出。可以看到, 在大火山喷发后第 2 年、第 6 年和第 9 年以 I 型占优势。在大火山喷发后第 1 年、第 8 年和第 9 年以 IV 型占优势。在火山喷发后第 5 年、第 7 年和第 10 年以 V 型占优势。其它年份则没有占优势的类型。值得注意的是, 大火山喷发后的第 1 年, IV 型出现的频次(10 次), 明显超过该型的气候频次(5.1 次)。而在大火山喷发前一年则正好相反, 以 III 型为主。IV 型为南旱北涝型, III 型为南涝北旱型。说明火山喷发前后的旱涝类型可能有相反的趋势。

表 3 $DVI \geq 1000$ 的火山喷发年

年 份	DVI	年 份	DVI
1500	1000	1783	2900
1553—54	1000	1795	1000
1586	1000	1803—05	1100
1593	1000	1807—10	1500
1601	1000	1815	3000
1614	1000	1822—24	2200
1641	1500	1831—33	1400
1660	2100	1835	4000
1673	1000	1846	1000
1680	1400	1875	1000
1707	1300	1878—81	1250
1752	1000	1883	1070
1755	1600	1886	1100
1766	2950	1895	1300
1775—77	1000	1902	1000

为了检验上述结果的可靠性, 对表 4 进行了 χ^2 检验。即把上述情况分为 A, B, C 三组(把火山喷发后第 2, 6, 9 年以 I 型占优势的定为 A 组; 第 1, 8, 9 年以 IV 型占优势的定为 B 组; 第 5, 7, 10 年以 V 型占优势的定为 C 组), 分别列出各组内六种类型的频次分布, 并与期望频次比较, 然后按下式计算 χ^2 值:

$$\chi^2 = \sum \frac{d^2}{E}$$

式中 E 为期望频次, d 为每一型的期望频次与子样频次的差。计算结果(见表 5), 三组的

¹⁾ 去掉了其中重复的 1766—71 和不够标准的 1866 两年。

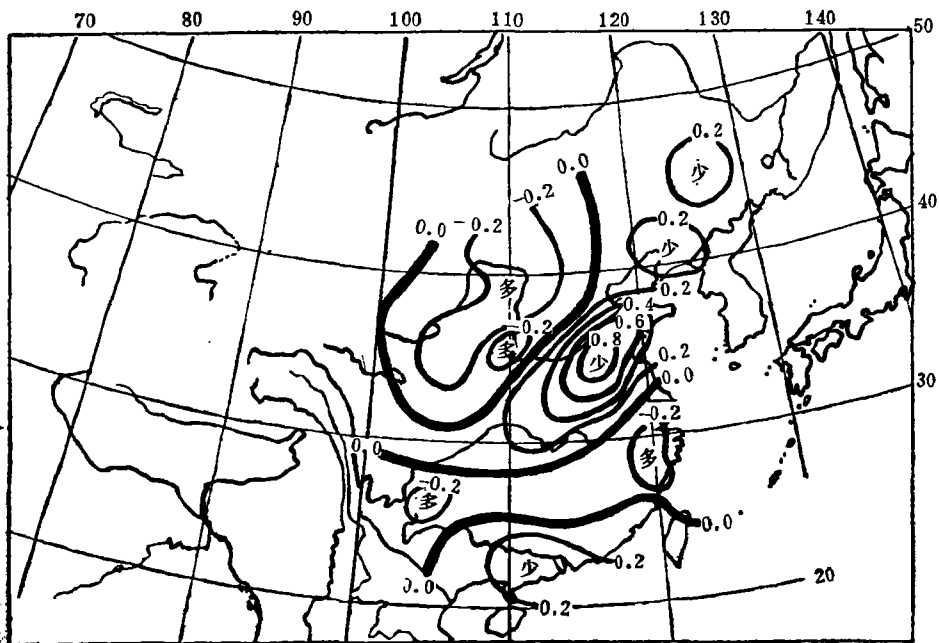
表 4 近五百年 $DVI \geq 1000$ 火山喷发前后各年我国旱涝型出现的次数

出现频次 旱涝型	年	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	气候频次
I		3	3	3	6	5	3	2	6	4	4	7	4	3.9
II		7	5	3	6	6	7	7	6	6	7	4	3	5.7
III		10	6	8	7	7	5	5	8	6	4	8	9	7.8
IV		5	6	10	5	3	6	6	6	4	8	7	4	5.1
V		1	6	4	3	6	5	8	2	7	6	2	7	4.8
VI		4	4	2	3	3	4	2	2	3	1	2	3	2.7

表 5 各组旱涝型出现频次及 χ^2 值

旱涝型		I	II	III	IV	V	VI	χ^2
子 样	A 组	19	16	23	18	7	7	9.06
	B 组	14	14	20	25	12	5	9.24
	C 组	10	16	20	14	22	8	4.93
期 望 值		11.7	17.1	23.4	15.3	14.4	8.1	$\alpha_{0.05}=11.07$

χ^2 值分别为 9.06, 9.24 和 4.93, 均未达到自由度为 5 时 5% 的 11.07, 只有 B 组的 χ^2 值刚好达到 10% 的信度 9.24。因此, 表 4 中列出的大火山喷发后各类型出现的频次分布, 除 B 组与气候频次有一定的 (10% 信度) 显著性差异外, 其它两组在统计上均无显著性的差异。为了考察大火山喷发前后我国降水等级的空间分布, 我们从三十个大火山喷发年

图 1a $DVI \geq 1000$ 火山喷发后五年与前五年全国旱涝等级平均差值分布

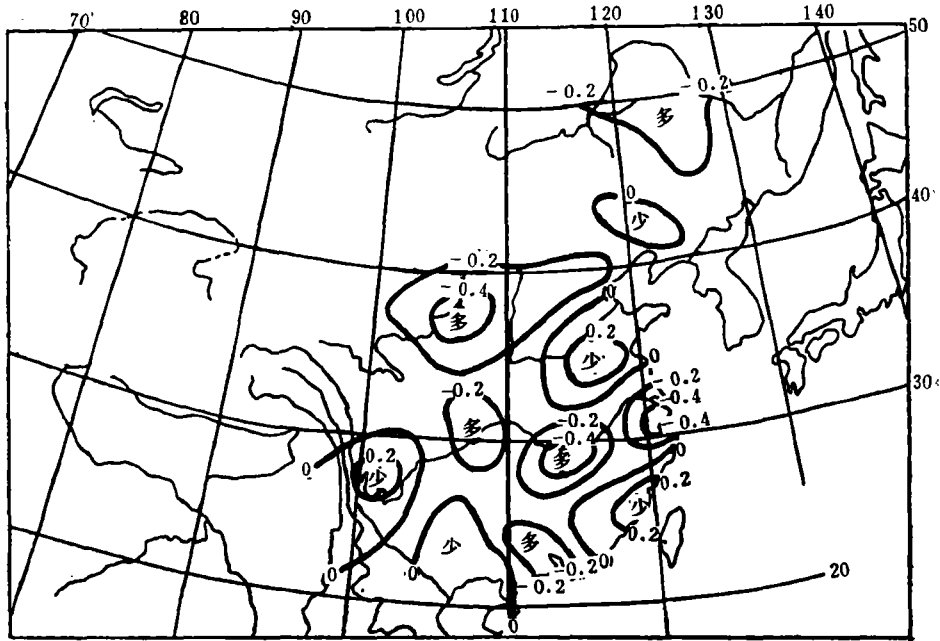


图 1 b DVI ≥ 1000 火山喷发后一年与喷发当年全国旱涝等级的差值分布

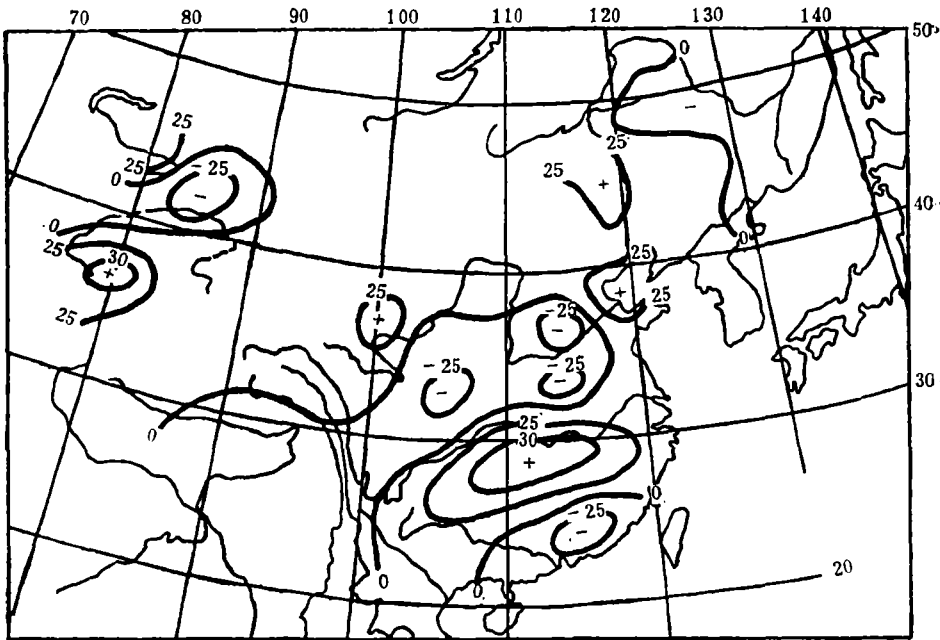


图 2 ≥ 2 级火山喷发后一年与火山喷发当年 6—8 月降水量距平百分率差值

中精选出十个前后五年没有重迭影响的 DVI ≥ 1000 的大火山喷发年份, 计算了其前后五年全国降水等级的平均与其前五年全国降水等级的平均的差值(图 1 a)。发现后五年有 49%

左右的地区降水为增加的趋势。图 1 b 为 $DVI \geq 1000$ 的三十次大火山喷发后第一年与火山喷发当年旱涝等级的变化。可以看到,旱涝等级的分布与图 1 a 相似,但是降水偏多地区的范围更大了,更明显了。另外从最近三十年中 ≥ 2 级火山喷发后一年与火山喷发当年夏季 6—8 月降水变化上看(见图 2),也有类似结果。只是降水增加的地区主要在长江流域。这说明火山喷发对我国大范围降水可能有一定程度的影响,即火山喷发后比火山喷发前,降水有增加趋势。

四、火山喷发与气温变化

关于火山活动与气温变化的关系, J.R.Bray(1978) 综合分析了一些作者根据英格兰、欧洲和北美的几个气温长序列资料,以及英格兰、欧洲和日本的谷物收成资料的研究结果^[7]。他发现在 1500—1970 年期间,北半球高纬度地区的低温年份和农业上的欠收年份,大都出现在 $DVI \geq 1000$ 的大火山喷发后 3—4 年之内。而且农业上的灾年和欠收年份都与火山喷发后所伴随的冷夏年的出现有关,且有连续 2—4 年成串出现的趋势。山元等根据近三十年来的火山资料分析,也发现火山喷发后 0.5—1 年,北半球气温均明显偏低(见图 3)^[8,9]。

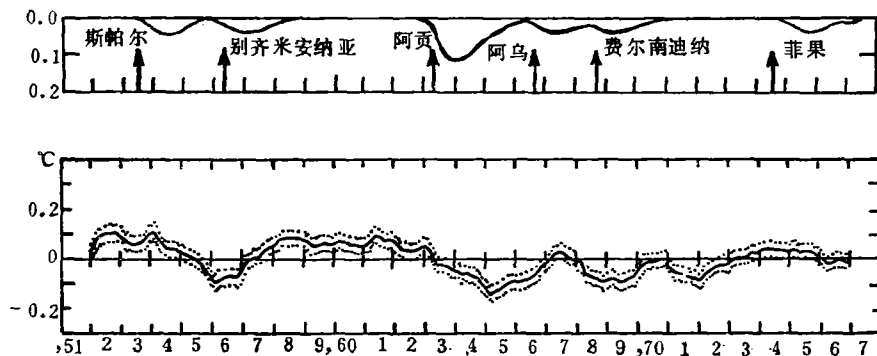


图 3 火山喷发后全球平均 $D-H$ 指数与北半球平均气温的变化
(点线表示北半球平均气温计算值 95% 的可信区间(山元, 1980))

我们从 1951 年以来的火山资料中,选取了六个 ≥ 2 级的火山(见表 6),用“时序迭加法”分析了每次火山喷发当月及喷发后 1—29 个月我国大范围气温等级值的变化。发现

表 6 1951 年以来 ≥ 2 级的火山

喷火年月	火山名	经纬度	进入平流层的量 ($10^6 T$)	猛烈等级
1953.7	Sparr	61.0°N 153.0°W	10	2
1956.3	Bezymianny	56.0°N 160.5°E	10	2
1963.3	Agung	8.5°S 115.5°E	10	1.5
1966.8	Awu	3.5°N 125.5°E	30	2
1968.6	Fernandina	0.5°S 92.0°W	10	2
1974.10	Fuego	14.5°N 91.0°W	10	2

在火山喷发后除第 6 个月气温稍偏高外,其它各月气温普遍偏低。特别是火山喷发后第 8 个月和第 18 个月,气温有两次明显偏低。经 t -检验,第 18 个月处的降温超过了 5% 的信度 (见图 4 h)。但火山喷发对我国各个地区的影响并不完全一致。图 4 a-g 为近三十年来 ≥ 2 级火山喷发后各月我国各地气温等级的变化。可以看到,全国各个地区在火山喷发后第 8 个月和第 18 个月都有明显降温,但显著程度各地区并不相同。在火山喷发后第 18 个月气温偏低超过和达到 5% 信度的地区有华北、西北、西南和华南四个地区。在火山喷发后第 8 个月气温偏低达到 5% 信度的只有西北一个地区。另外西北和西南两个地区在火山喷发后第 15 个月气温偏低也达到了 5% 信度。值得注意的是,在火山喷发后第 6 个月,除新疆地区外,其它各区气温都偏高。特别是东北和华南两区,气温偏高都达

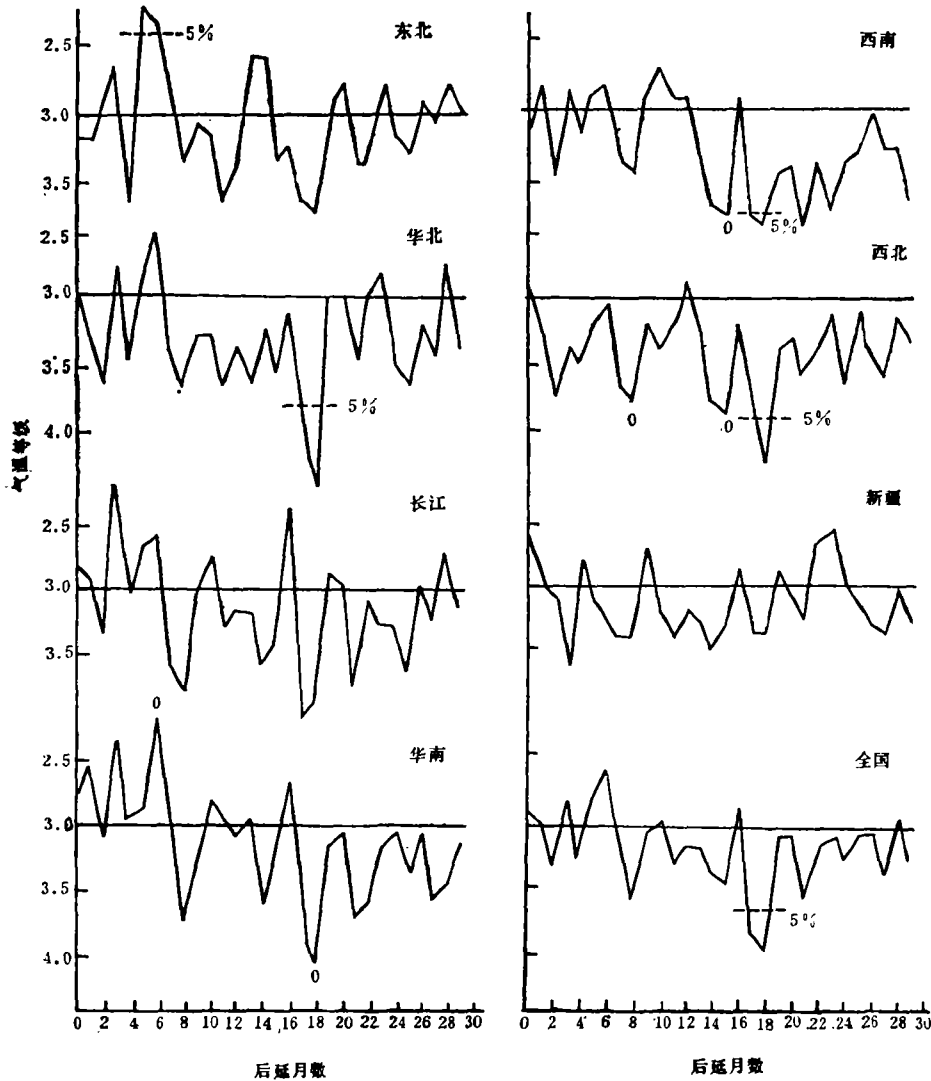


图 4 近三十年来 ≥ 2 级火山喷发后全国及各區各月气温等级的变化

(图中圆圈表示达到 5% 信度的点。东北: a, 华北: b, 长江: c, 华南: d, 西南: e, 西北: f, 新疆: g, 全国: h。)

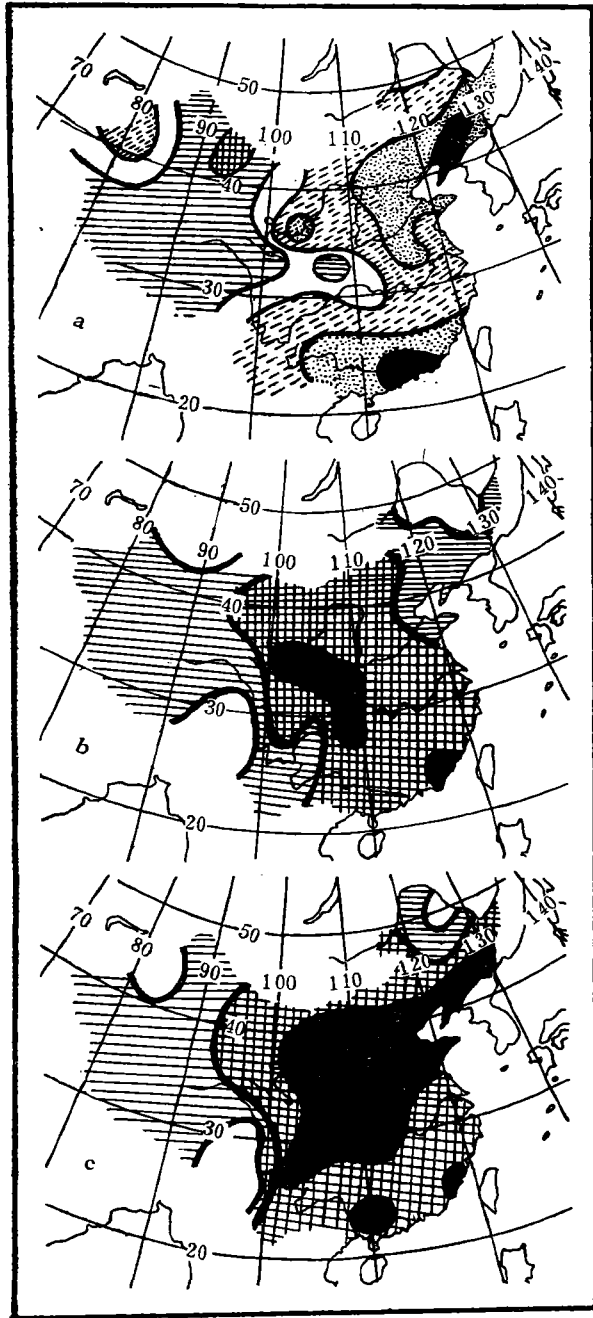


图 5 ≥ 2 级火山喷发后第 6 个月(a), 第 8 个月(b)和第 18 个月(c)我国气温等级分布

(图例: 井线区为冷, 单实线区为偏冷, 空白区为正常, 虚线区为偏暖, 点线区为暖, 黑区为达到 5% 信度的区域)

到或超过 5% 的信度。至于火山喷发后第 6 个月气温为什么会偏高, 目前尚得不到解释。图 5a-c 分别为 ≥ 2 级火山喷发后第 6 个月、第 8 个月和第 18 个月我国大范围气温等级分布图。

为了检验火山喷发对气温影响的可靠程度,对图5中各站的等级值,按下式进行了 t -检验:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S_x / \sqrt{n-1}}$$

其中 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 为各次火山喷发后某月各站气温等级的平均值。 μ_0 为母体的气温等级平均值。由于被检验的对象分五个等级,因此可近似地认为 $\mu_0 = 3$ 。 S_x 为火山喷发后某月各站气温等级的标准差。如果 $\left| \frac{\bar{x} - \mu_0}{S_x / \sqrt{n-1}} \right| \geq t_{\alpha=0.05}$ 时,则认为 \bar{x} 与 μ_0 有显著性差异,

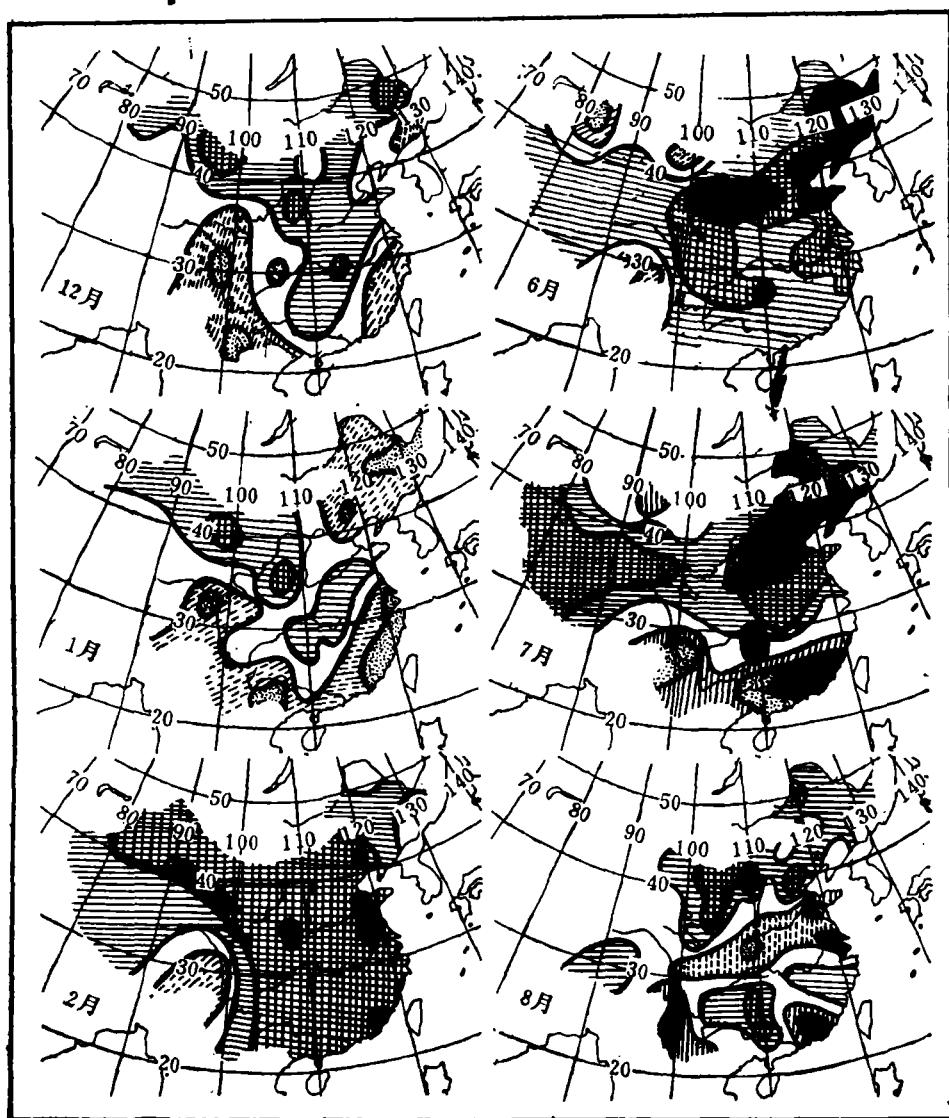


图6 ≥ 2 级火山喷发后冬季(12-1月)和夏季(6-8月)各月气温等级分布
(图例同图5)

即可认为火山喷发对气候的影响是显著的。在图上我们把达到 5% 信度的点用黑色标出，称为显著区。从图 5 上可以看到，在火山喷发后第 6 个月大范围气温偏高(图 5 a)，偏高的地区主要在东北南部和华北北部以及华南，其中东北南部和广州、汕头一带达到了 95% 的显著性水平。在火山喷发后第 8 个月(图 5 b)和第 18 个月(图 5 c)大范围气温都偏低，但第 8 个月显著区的范围比第 18 个月显著区的范围小得多，只集中在秦岭及其以南四川东部一带，范围很小。而第 18 个月显著区的范围包括东北南部、黄河流域、淮河流域、长江上游以及华南等我国东部广大地区。这个结果表明，火山喷发后在我国有两次降温，第一次降温是距火山喷发后 8 个月，第二次降温是在第一次降温后十个月，即第 18 个月。而第二次降温比第一次降温要强烈得多。

由于火山喷发时所在的月份不同，因此火山灰所引起的最强的降温月份可以出现在不同的季节。为了直接考察火山喷发对其后冬、夏季气温的影响，我们对火山喷发后紧接着来临的那个冬季和翌年夏季的气温等级分布图作了一些分析。从图 6 可以看到，冬季除 2 月份大范围气温偏低外，其它月份的降温都不明显。12 月和 1 月在东北南部、东南沿海和云、贵、川西部地区的气温反而偏高。冬季 2 月份降温的范围虽然很大，但达到 5% 信度的显著区却很小。夏季降温较冬季明显，降温主要分布在 6, 7 月份华北和东北地区。6 月份气温偏低最显著的地区在东北三省、渤海沿岸和河套地区。7 月份气温偏低最显著的地区在内蒙东部、东北南部和华北北部。相反华南地区气温偏高，达到 5% 信度的显著地区在湖南、江西南部，广东北部和福建省。8 月份则冷区和暖区都不明显。

图 7 为 ≥ 2 级火山喷发后一年与火山喷发当年夏季 6—8 月气温差。从这张图上可以更清楚地看到，火山喷发后一年夏季三个月主要降温的地区在内蒙东部、东北西部、华

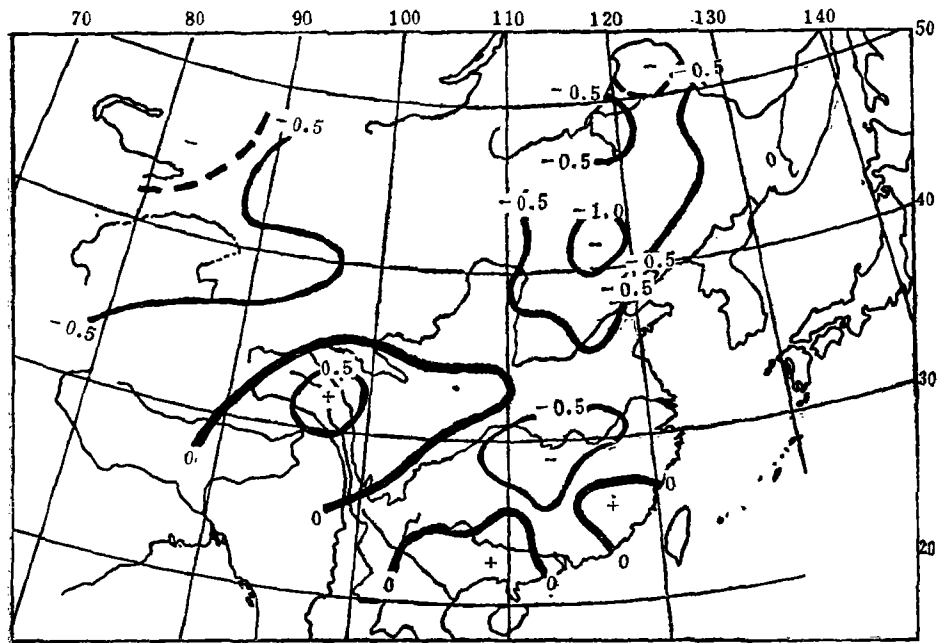


图 7 ≥ 2 级火山喷发后一年与火山喷发当年 6—8 月气温差(°C)

北北部、长江中游和新疆大部份地区,平均降温幅度在 $0.5-1.0^{\circ}\text{C}$ 之间。夏季气温偏低对北方的作物生长有很大影响。1951年以来,我国东北地区出现了六个夏季低温冷害年(1954,1957,1964,1969,1972,1976),其中有四年是在 ≥ 2 级火山喷发后一年,有一年是在 ≥ 2 级火山喷发后两年(见图 8)。火山喷发和我国东北低温冷害的出现,虽然不完全是一一对应,但有相当好的关系。

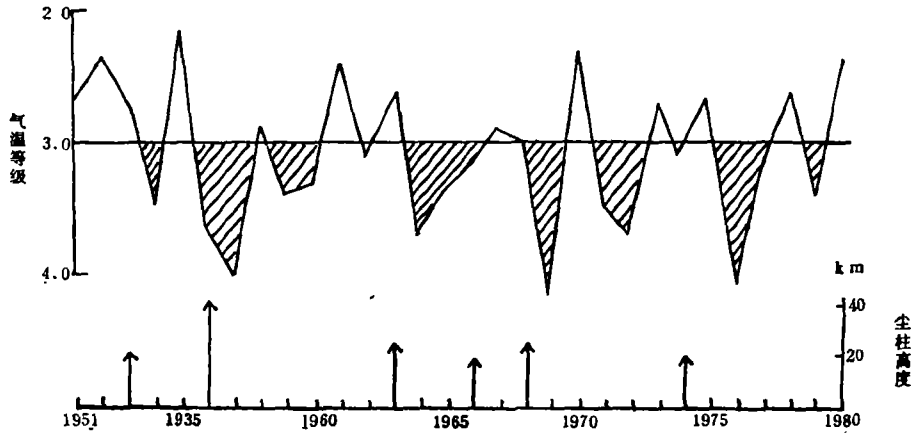


图 8 我国东北地区夏季气温等级的变化与 ≥ 2 级的火山喷发
(1935应为1955)

五、讨 论

本文的研究只考虑了火山喷发的强度和喷发季节,没有考虑火山的地理位置。火山喷发的强度决定了喷射到平流层的各种火山气体和尘埃的量,这些气体和尘埃在平流层的滞留和扩散,不但可以增加对流层的凝结核,也可以减少大气下层的太阳辐射,从而影响地球的辐射平衡。目前火山喷发的强度都是根据包括熔岩和岩石的总喷射量计算的。因此它并不能完全表示喷射到平流层的火山性气溶胶的含量。平流层气溶胶的滞留时间在很大程度上又依赖于火山喷发的高度。而喷发的高度过去一般都是根据光学现象由地面观测推算出来的。而且平流层环流有季节与纬度的差异,即使同样程度的喷发,当季节、纬度不同时,火山性气溶胶的扩散和对气候的影响也是不一样的。这些都增加了研究火山活动与气候变化的困难。

尽管如此,根据我们的初步研究,可以肯定火山活动对我国气候确有一定的影响,当然影响气候变化的因素很多,火山活动与气候变化之间的关系是复杂的。火山活动对气温的影响要比对降水的影响明显得多。火山喷发后降水量虽然有增加的趋势,但这个关系在统计上是不够显著的。而火山喷发后所伴随的降温现象却非常明显。火山喷发后在我国有两次明显降温,分别出现在第 8 个月和第 18 个月。第一次降温和第二次降温之间相隔十个月,特别是第二次降温要比第一次降温强烈得多。Dyer 和 Hicks(1968)在研究 1963 年阿贡火山时发现,表征火山尘埃的 $D-H$ 指数在每个纬度上都有两个峰值^[10]。山元等^[9]认为,对于特别强的喷发,在第一次降温以后,第 18 个月还有另一次降温。这些结

果虽有一些出入,但颇为接近,火山喷发后与温度降低之间的时间间隔的不同,可能与火山爆发的季节、火山的地理位置、火山喷发的强度、火山尘埃的光学性质以及火山爆发时的大气环流配置等有关,有待我们进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 么枕生, 气候学原理, 科学出版社, 1959。
- [2] 根本顺吉、朝仓正, 气候变化·长期预报, 朝仓书店, 1980。
- [3] Lamb, H. H., Volcanic dust in the atmosphere, with chronology and assessment of its meteorological significance, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A266, 425—533, 1970.
- [4] Lamb, H. H., *Climate: present, past and future*, Vol. 1, Methuen & co., London, 1972.
- [5] Landsberg, H. E. and J. M. Albert, The summer of 1816 and volcanism, *Weatherwise*, 27, 63—66, 1974.
- [6] 徐群, 1980年夏季我国天气气候反常的形成及其深远背景, 黑龙江气象科技, 1981年2期。
- [7] Bray, J. R., Volcanic eruptions and climate during the past 500 years, In *climate change and variability*, ed. A. B. Pittock et al., Cambridge University Press, London, 1978.
- [8] Yamamoto, R. et al., Change of the surface air temperature averaged over the northern hemisphere and large volcanic eruptions during the year 1951—1972, *J. M. S. of Japan*, 53, 6, 482—485, 1975.
- [9] 山元龍三郎, 最近の火山活動と気候, 气象研究ノート, 140, 71—80, 1980。
- [10] Dyer, A. J. and B. B. Hicks, Global spread of volcanic dust from the Bali eruption of 1963, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 94, 545—554, 1968.

THE RELATIONSHIP BETWEEN LARGE VOLCANIC ERUPTIONS AND THE DRYNESS/WETNESS AND COLD/WARM IN CHINA

Zhang Xiangong and Zhang Fuguo

(Academy of Meteorological Science, State Meteorological Administration)

Abstract

Based on the last 500-year data of volcanic eruptions, the statistical relation between large volcanic eruptions and the surface air temperature and precipitation in China is investigated. It is found that the effects of volcanic eruption on temperature are more significant than on precipitation. Two lowerings of temperature in China after a large volcanic eruption respectively occur on the eighth month and the eighteenth month. Moreover, the second temperature decrease is more severe than the first. It is probable that the cold summers in northeast China since 1951 may be related to large volcanic eruptions, which severity class is greater than or equal to 2.