

火山喷发对气候影响信号的检测

李晓东 王绍武 黄建平
(北京大学地球物理系, 北京 100871)

提 要

该文从时序叠加和序列分析两个方面系统地评述了近年来火山活动影响气候的研究进展和代表性工作. 给出了火山活动特征, 如火山喷发强度、喷发位置和季节等对气候影响的时空分布规律. 讨论了与之有关的几个重要问题, 如火山指标, 火山活动影响气候的途径及其和 ENSO 的联系等. 最后指出了今后研究的几个方向.

关键词: 火山喷发; 信号检测; 气候变化.

1 引 言

火山活动对气候的影响是目前国外气候研究颇受重视的课题之一. 例如, 据世界气候公报和日本《天气》月刊资料, 菲律宾皮纳图博火山喷发(1991年6月)后, 太阳辐射有显著减少, 当年全球平均近地表大气温度约下降 0.2°C . 尽管火山喷发的辐射效应及其对气候的影响已被确认, 但随着火山喷发特征, 如喷发位置、大小、时间等的不同, 其气候影响的时空分布特征及其机制也有很大的差异. 况且火山爆发并不是独立地产生影响, 太阳活动、温室效应以及气候系统内部的各个要素也在产生影响. 因此, 从实际气温变化中检测出火山爆发的信号是一个很复杂的问题. 这方面的工作主要有两类: 一类是确定一些强火山爆发, 然后用时序叠加的统计方法寻找火山喷发影响的信号. 另一类是把火山活动看成一个持续起作用的因子, 建立火山活动指数序列, 再进行火山活动和气候序列之间对应关系的研究. 由于各种研究的侧重点不同, 研究资料的时空覆盖程度不同, 所以不同作者的研究结果也不完全一致. 本文仅就这两类研究的主要工作作一扼要评述.

2 时序叠加研究

时序叠加统计方法首先要确定火山喷发的“关键时刻”,然后将温度资料按关键时刻叠加,对叠加的平均温度作统计检验,检测火山信号。“关键时刻”据所用资料的平均时间长度来定,一般有年、季、月三类。这样可以尽可能地过滤其它因素的影响,从而突出火山喷发的信号。理想的时序叠加分析应该在合理地过滤掉其它因素影响的基础上,还应考虑到不同强度、不同纬度、不同季节的火山喷发对全球和半球以及不同地区的温度、降水、气压等气候指标的影响。而事实上,由于具体应用的叠加方法的不同、资料的限制以及研究的侧重面的不同,在时序叠加检测火山信号方面还有大量的工作有待去做;同时,目前的研究无论从定量角度还是从定性角度看,均还有不少分歧。

表 1 列示了时序叠加研究的代表性工作。由此可知,叠加时对气温资料的处理有两种方法,一种是用气温的平均值,另一种是用气温的标准偏差。二者之差别在于是否考虑气候系统对火山喷发响应的季节特征。所谓标准偏差处理实际上是给冬季的温度变化以较小的权重,尽管避免了将不同月份的温度直接叠加,但同时也使温度响应的季变特征模糊了^[1-4]。也有人^[5]选用火山喷发的“关键年”资料进行叠加,从而回避了这个问题。

表 1 火山喷发对气候影响的时序叠加研究

编号	论文索引	气候指标 * 1	指标处理 时间长度 * 2	选用的火山 喷发大小级别 * 3	考虑的因子 * 4					研究的 时间
					Loc	H	L	R	S	
01	Mass, et al. 1977 ^[06]	SAT	A 1年	DVI ≥ 100						1755—1973
02	高桥, 1986 ^[18]	SAT *	A 1年	VEI ≥ 5 等				Y		1638—1985
03	Self, et al. 1981 ^[07]	SAT	A 1年	VEI ≥ 5			Y			1755—1977
04	Kelly, et al. 1984 ^[08]	SAT	s. d. 1月	VEI ≥ 4	N, S					1881—1980
05	Taylor, et al. 1980 ^[05]	SAT	A 4月	DVI ≥ 100, 500		Y	Y	Y		1811—1975
06	Sear, et al. 1987 ^[03]	SAT	s. d. 1月	VEI ≥ 5 或 DVI ≥ 800	N, S	Y				1861—1979
07	Bradley. 1988 ^[02]	SAT	s. d. 1月	VEI ≥ 5	LA		Y			1851—1984
08	Angell, et al. 1985 ^[12]	SAT	A 1季	DVI ≥ 800				Y	Y	1740—1983
09	Lough, et al. 1987 ^[11]	SAT, 年轮	A 1季	VEI ≥ 5 或 DVI ≥ 500	LA		Y	Y		1602—1900
10	Kondo. 1988 ^[13]	SAT, 冷夏	A 1季	VEI ≥ 5 或 *	N, S					1830—1986
11	Angell. 1988 ^[09]	SAT, SST	A 1季	VEI ≥ 5 或 DVI ≥ 500					Y	1880—1986
12	Mass, et al. 1989 ^[16]	SAT, SST *	A 1月	VEI ≥ 4 且 DVI ≥ 100	N, S				Y	1873—1985
13	张先恭等. 1985 ^[10]	SAT *	A 1年	DVI ≥ 1000 等				Y		1911—1980
14	徐群. 1983 ^[20]	SAT	A 1季	VEI ≥ 3 等				Y		1883—1982

注: * 1. 在本表序号 2, 12, 13 中, 除了用表面大气温度 SAT, 海温 SST 等外, 还用了气压、降水和风速等资料。

* 2. A 为年平均值, s. d. 为标准偏差。

* 3. 在本表序号 2 中以喷发物质量为指标; 在本表序号 10 中还有另外的级别, VEI ≥ 4 或 DVI ≥ 200。

* 4. Loc: 火山喷发位置, N, S 分别为北半球和南半球, LA 为不同纬度; H: 两半球差异的考虑; L: 不同纬度的考虑; R: 区域差异的考虑; S: 季节变化的考虑; E: ENSO 过程的考虑;

Y: 指考虑了该因子。

一般认为,较大或大火山喷发后1—2年里,全球和半球年平均温度约下降 0.3°C 左右,之后逐渐回升,约4—5年左右恢复到正常水平^[5-8].而较小的火山喷发似乎对全球温度的影响较小,且影响时间也较短^[6].若去掉全球平均温度的趋势变化,则全球平均温度的下降幅度稍小一些^[5].若用“喷发年”气温进行叠加,则全球年均温度降幅更大,最大可达 0.6°C ^[5].

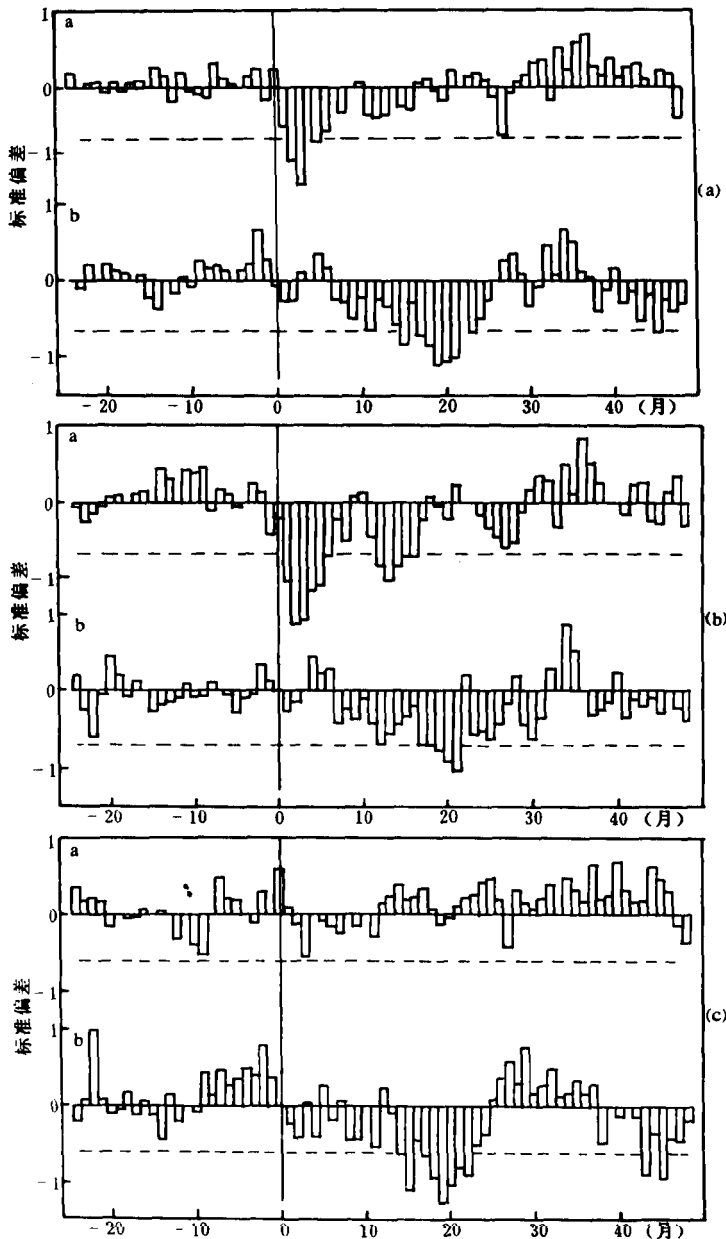


图1 气温的时序叠加^[3].(a)全球(b)北半球(c)南半球
(图中直方图a为北半球喷发,b为南半球喷发)

火山喷发对两个半球的温度的影响是不同的^[1-5]. Yamamoto 等^[1]认为喷发后两个半球有不同的温度降幅和时滞性,且较小的喷发仅影响喷发半球的温度. Taylor 等^[5]的结论是大喷发(DVI \geq 500)后两半球年均温度下降差别不大,且较显著的降温出现在北半球晚(+1—+2年),南半球早(0—+1年). 这个结论基本和 Harvey 的模拟结果一致.

不同半球的火山喷发对温度的影响不同. Sear 等的结果^[3](图 1)表明:全球月平均温度对北半球喷发的响应快,但持续时间短,而对南半球的喷发的响应慢,持续时间长;北半球月平均温度对北半球喷发的响应快,持续时间长,而对南半球喷发的响应慢;南半球的月平均温度在北半球喷发后几乎没有明显的下降,而在南半球喷发后约+1—+2年里有显著下降. 这可能和喷发的半球位置及两半球的海陆分布的差异有关. 由图 1 似乎还可看出,喷发后温度已经回升时(约+2年时),温度的变幅仍然比喷发前大. Bradley 还比较了不同纬度位置的火山喷发的影响^[2],其结论是高纬度的喷发主要影响中、高纬地区,而低纬度的喷发则主要影响中、低纬地区. 换言之,越靠近火山喷发的纬度位置,喷发后温度的下降越明显.

不同纬度带的温度对火山喷发的响应也不同^[2,5,7,9]. 这首先表现在喷发后的降温幅度上,大多数研究表明强喷发后高纬度温度的下降大,中低纬则较小. 但考虑到高纬度的温度的变率较大,所以难以得出高纬度的火山信号最强的结论^[5]. 实际上高纬火山信号的持续时间较短,如用 0—+3 年的平均值,则高纬的降温并不显著,而中低纬的降温则很显著,尤其是在南半球中纬度上^[5]. 其次,喷发后不同纬度降温的时变特征也不同,一般认为高纬降温的持续时间较中低纬短^[2,5],但最大降温出现的时间尚无一致结论. Taylor 等^[5]认为对低纬、高纬、南北两半球中纬度最大降温时间分别出现在 0.0、+2.0 年; Bradley^[2]认为低、中、高纬最大降温分别在+5、+8 和+3 月;张先恭等^[10]认为对中国地区的中纬度,最大降温主要发生在+18 月. 在这方面的分歧,或者是由于叠加的平均时间长度不同所致,也可能是由于选择的火山喷发个例不同、温度的资料来源不同所造成. 另需提及的是,火山喷发造成的降温幅度和温度的自然变化幅度大致相当^[7],这也从另一方面说明了高纬温度降幅较大的一个原因;对不同的火山喷发个例,各纬度带上温度的响应有很大的差别^[7].

还有许多研究着眼于火山喷发后区域性温度响应的叠加分析^[10-12]. 这些研究表明,火山喷发后,不同地区的温度变化趋势是不同的^[11,12,13]. Lough 等^[11]发现,火山喷发后北美东部有明显的温度下降,其幅度冬季小、夏季大;而北美西部却有明显的温度上升,温度上升的范围冬季广而夏季小,偏低纬的温度下降显著,中高纬几乎没有显著的温度变化. Angell 等^[12]的结论是:北欧、中欧、英格兰及美国 New Haven 等地在 DVI \geq 800 的大火山喷发后,五年平均的温度下降均达 0.05 的信度;副热带和温带的火山喷发后各地区降温比赤道附近的火山喷发后要大;有些火山喷发后,各个地区的温度变化趋势相差很大. Kondon^[13],徐群^[14]发现强火山喷发后日本夏季、中国长江中下游夏秋季温度约比常年低 1—2°C. 对中国华北地区季气温序列的叠加分析表明:强火山喷发后第三个季度的降温达 0.5°C,在影响较明显的喷发后,降温可达 1.8°C. 张先恭等^[10]对中国气温的时序叠加研究表明,强火山喷发后降温显著的地区大致在 25°—45°N 的中纬度,出现的时间因地区而异,但多在+18 月;喷发后各地区的温度变化趋势也不尽相同.

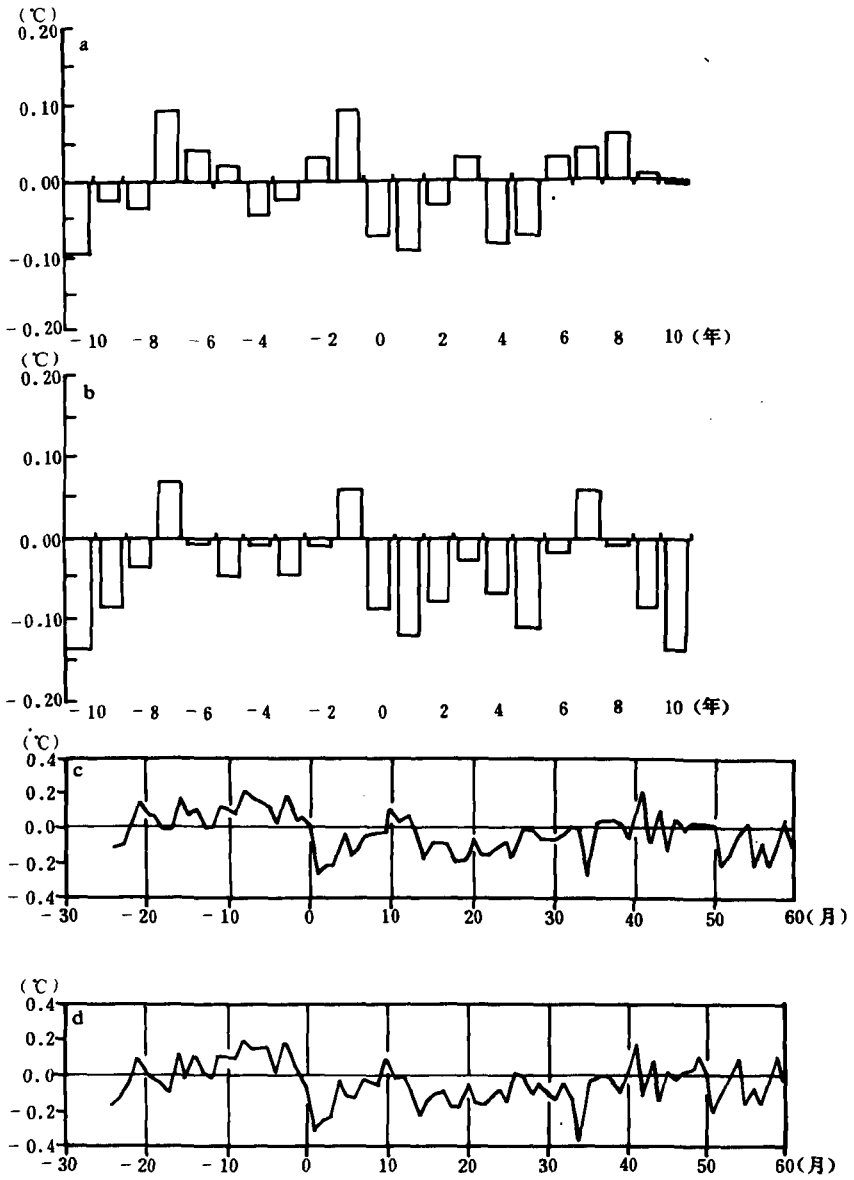


图2 (a)喷发半球年平均温度的时序叠加^[16](b)同(a),但滤去 ENSO 信号
(c)喷发半球月平均温度的时序叠加^[16](d)同(c),但滤去 ENSO 信号

Bradley^[2]和 Taylor 等^[5]还做了喷发后不同季节的叠加分析. Taylor 等发现,几乎所有纬度带上夏季降温的幅度较冬季大,且维持时间也较长,如大喷发后+2 年时,夏季温度的负距离仍很显著,而冬季温度没有明显的负距平. Bradley 指出大喷发后的降温在夏秋季明显,冬春季不明显.

许多火山喷发后有 El Nino 现象发生,有人认为 ENSO 和火山喷发有关联^[15],所以有理由在时序叠加时谨慎地考虑 ENSO 信号. Angell 等^[12]给出的例子很能说明这个问

题,在 Santa Maria-Soufriere-pelee(1902)、Agung(1963)、El Chichon(1982)和 Krakatau(1883)火山喷发后海温恢复到其平均值的时间分别在+3、+4、+8、+8个季度。所以前两个火山喷发后3—4个季度的降温更加明显,而后两个火山喷发后由于海温造成的温度的上升掩盖了火山喷发后的降温趋势。Angell 继而提出^[9]:在火山喷发后地表降温的检测中,之所以结论不明确或引起争议,其原因就是有些喷发后不久有强 El Nino,而另一些则没有;在大多数情况下,对流层的冷却效应或多或少地被 El Nino 掩盖。Mass 等^[16]滤掉了海温信号后做半球月、年平均温度的叠加,结果检测出了更明显的海温信号。如图 2 所示:滤掉 ENSO 信号后喷发半球的年、月平均温度的下降幅度更大,持续时间也更长。

另外,用于时序叠加的气候指标除了温度外,Mass 等^[16]还用气压和降水指标进行叠加,结果表明在气压和降水资料中很难检测出火山信号。张先恭等^[10]认为:火山活动对中国地区的气温的影响比对降水的影响要明显得多。周曾奎^[17]发现强火山喷发后,江淮流域降水偏多。可见火山喷发对降水的影响远比对气温的影响复杂,目前仍无一致结论^[18]。Angell^[9]还用 850—300hPa 的对流层温度进行叠加分析,其结果和用地表大气温度的叠加结果类似。尽管平流层的资料记录较短,但一致公认地检测出超过准两年振荡幅度的强烈升温的存在,如 Agung 和 El Chichon 火山喷发后的情况就是如此^[4,18]。

3 长期火山活动指数序列和温度序列的关系研究

这类研究在很大程度上依赖于如何建立一个较好的火山指数序列。Lamb^[19]最早依据火山喷发的历史记录、光学现象、辐射观测(1883 年以后)、温度资料和喷发体积等建立了火山尘幕指数(DVI)序列;继其之后,Mitchell, Lamb, Kelley, Robock, 徐群等相继对 DVI 序列进行了补充和修改^[4,20]。尽管 Lamb 的 DVI 序列是一种有利于气候学研究的火山指标序列,但 DVI 是为单个火山喷发设计的,且对中纬度资料的依赖性强,因而不利于研究累积的平流层气溶胶效应,也对不同地理位置对火山喷发响应的研究造成困难。另外,用于确定 DVI 的一些早期的辐射资料的代表性也值得怀疑(如大城市附近的测站记录、缺少低纬度和高纬度的资料,记录时间短等等)^[2,4]。

Simkin 等和 Newhall 等^[21]建立了火山爆发指数序列(VEI),VEI 是依与火山喷发的大小、强度、破坏性、扩散情况(如有无平流层气溶胶“注入”,气溶胶的喷发高度等等)等地质特性有关的 11 个准则制定的,共有 0—8 级。VEI 和气候资料无关,当然它不象 DVI 那样,完全避免了用气候资料进行火山喷发的气候响应的研究的循环推理。但同时,要把 VEI 与气候响应直接联系起来比较困难,而且 VEI 未考虑火山喷发的物质成分(如喷发物中的硫含量等)。然而仍有许多工作在对 VEI 未加任何修正的情况下就用于气候响应的研究^[4]。

冰芯资料的分析^[22,23,24]可以通过对冰芯中各断代层的化学成分、粒子含量等要素的测定,从而可以度量一些重要的火山喷发参数。其优点是排除了主观性;记录完整、记录时间长;可取样的范围广。如已有格陵兰等北极附近地区、南极地区、热带附近地区的冰芯取样。但其缺点也很明显,主要样点大多分布在高纬度地区;主要记录富硫喷发,不利于其它类型的喷发的确定;受局地的影响显著,火山喷发信号在不同取样点不尽一致,有

表2 火山活动和长期气候变化的序列分析

编号	研究论文索引	气候指标 * 1	火山指标 * 2	主要研究方法	序列分析 时间期限	
01	Schonwiese	1983 ^[29]	SAT	DVI	相关分析	1881—1980
02	Oliver	1976 ^[31]	SAT	DVI	序列拟合	1880—1965
03	Angell, et al.	1985 ^[12]	SAT	DVI	对应比较	1781—1983
04	徐群	1990 ^[27]	S	DVI	对应比较	1959—1987
05	Robock	1990 ^[24]	SAT	DVI	相关分析	1881—1981
06	Schonwiese	1988 ^[25]	SAT	SVI	相关分析	1750—1940
07	Bradley	1988 ^[22]	SAT	VEI	信度检验	1851—1984
08	Self, et al.	1981 ^[27]	SAT	VEI	对应比较	1875—1977
09	Gilliland	1982 ^[30]	SAT	GVI	解释方差	1881—1975
10	Gilliland	1984 ^[24]	SAT	GVI	解释方差	1881—1980
11	Porter	1986 ^[22]	G	GVI	对应比较	近 1400 年
12	Hammer, et al.	1980 ^[23]	SAT	GVI	相关分析	550—1940
13	Bryson	1980 ^[28]	τ	NVE	对应比较	1881—1980
14	Robock	1985 ^[32]	SAT	DVI	温度分解	1891—1981
15	高桥	1986 ^[18]	SAT *	VEI	谱分析等	近 300 年
16	Yamamoto, et al.	1977 ^[21]	SAT	M	对应比较	1957—1972
17	Yamamoto, et al.	1975 ^[26]	SAT	M	对应比较	1957—1972

注: * 1 SAT: 表面大气温度; S: 太阳直接辐射; G: 冰川进退; τ : 气溶胶光学质量; * : 在本表序号 16 中还用了气压和降水等资料

* 2 DVI: Lamb 或 Mitchell 的火山尘幕指数; VEI: 火山爆发指数; SVI: Schonwiese 等用 VEI 改进的火山指数; GVI: 由冰芯资料得出的火山指数; NVE: 火山喷发个数; M: 火山喷发物质质量级别

的甚至差别很大。这些和酸雪的空间分布及其变化有关。毕竟冰芯资料是可望更加完善的一种指标。

简言之,上述三种指标在“火山-气候”研究中各有其优缺点,每种指标都可能对有些喷发没有记录,或给予了不适当的指标值;即使在目前的观测条件下,火山喷发的观测也不完整。但对近百年来火山喷发而言,各种指标的分歧不大,DVI、VEI 和冰芯酸度资料序列的相关性也较好^[25]。

表 2 是火山喷发影响气候的序列分析的代表性工作。由此可见,用于序列研究的气候指标主要有温度、辐射、气溶胶光学质量、冰川进退、冷夏等,最多的还是温度资料。火山指标则以 DVI、VEI、冰芯资料为主,此外还有火山喷发个数、由 VEI 改进的火山指数 SVI 等等。序列分析主要以近百年为主。研究方法可分为三大类:对应比较分析,相关分析和解释方差分析。个别研究采用序列拟合和信度检验等方法。

对应比较能直观地反映火山序列和气候序列间的对应关系,强火山喷发后一到两年里几乎都对应着明显的降温。如北半球、欧洲、北美等地的近 200 年温度序列、全球和半球平均的月温度序列及各纬度带的月均温度序列、近 30 年中国东北地区夏季温度等级序列等,都显示出和火山活动有明显的对应关系^[1,12,26]。但火山喷发后降温的时空分布并不完全一致,一般高纬度降温强,喷发纬度附近降温强;降温的空间分布及其时变特征还可能和喷发的强弱及季节等有关^[10,12]。Porter 的结果显示出近 1400 年格陵兰冰芯酸度和山

岳冰川进退之间较好的对应关系,冰芯酸度很好地反映了中世纪的暖期与小冰河期^[22]. 日本冷夏和谷物收成与火山活动的对应关系也很好^[13],20 世纪有 80% 的东亚夏季低温发生前期(-1—0 年)有强火山爆发. 日本历史上著名的四次冷害(1695, 1755, 1783, 1837 年)均和强火山喷发很好地对应着. 徐群^[27]的研究表明,近 29 年来,大火山喷发后中国冬季太阳直接辐射均明显减少,尤其在 El Chichon 喷发后;且下降幅度有区域差异,总趋势是高纬度下降较强,低纬下降较弱,最大下降达 30% 多^[27]. Bryson 研究了年均气溶胶光学厚度和年火山喷发个数之间的关系,结果也证实了二者对应关系较好^[28],如 1940—1970 年间火山喷发个数由 16—18 个增至 37—40 个,同时气溶胶光学厚度也增加一倍. Self 认为,尽管近百年里火山活动和温度变化有一定对应关系,但火山活动造成的温度变化并不比温度的自然变率的变化大,且火山活动导致的温度变化可能有径向差异和季节差异^[7].

火山指数序列和气温序列之间相关性较好. 北半球年平均、夏季及冬季平均温度序列和 DVI 序列的相关系数(资料经低通滤波)都超过 95% 的置信水平,若不进行滤波,相关系数稍低,但仍达 95% 置信水平^[29];另外,北半球温度和 DVI 的凝聚谱值在大于 20—30 年和 2.3 年附近有二极大值,其显著水平分别为 99% 和 80%. Robock 给出了陆地大气温度和 DVI 滞后两年的相关系数的纬向一季节分布,可见,二者间冬季高纬的相关性好,而夏季高纬的相关差;低纬地区的相关较差,在 20°—30°N 的冬春交替期相关稍好些;中纬的相关居中^[4]. 据 Hammer 等的结论^[23],格陵兰冰芯酸度与英格兰中部气温的相关也很显著. VEI 与温度序列的相关不好. Schönwiese 考虑了 VEI ≥ 3 的火山气溶胶滞留时间(约 3 年),得到一改进的火山指数序列 SVI*, 并证实该序列和北半球温度序列的相关也较显著^[25]. 尽管 SVI* 和温度的相关系数较 DVI、冰芯酸度和温度的相关系数低,但它能更好地解释 1940—1970 年间北半球温度变化.

还有一些序列分析着眼于火山指标序列对南北半球温度的解释方差的研究. Gilliland 认为火山活动、太阳活动、CO₂ 对近百年北半球温度变化的解释方差的比例约为 5 : 3 : 2,且火山影响的持续时间约为两年^[30]. Gilliland 后来又发现,格陵兰和南极冰芯中的酸度指标可解释的近百年南北半球温度变化的方差分别在 40%—43% 和 37%—44% 之间^[24]. Schönwiese 的结论是,DVI 可解释的北半球温度变化的方差为 30%,但如用 10 年和 30 年的低通滤波,则解释方差分别提高到 45% 和 68%,该解释方差约对应着半球平均温度下降 0.3—0.5°C^[29].

Bradley 认为,在近百年北半球温度变化中,夏秋季温度的下降和火山活动关系密切,而冬春季温度下降则不然^[2]. Oliver 依火山喷发物量拟合北半球温度序列,结果表明当取火山尘的存留时间为一年时,拟合效果较佳^[31]. 高桥认为,受火山活动的准 70 年周期的影响,气候也具有准 70 年周期变化^[18]. Robock 还指出,火山喷发后,北半球降温最显著的地区是北美和亚洲大陆北部^[32].

4 结 束 语

时序叠加研究表明,强火山喷发可造成半球和全球年平均温度下降约 0.3°C,持续时

间约两年;火山喷发强度越大,则降温范围越广、幅度越大、持续时间越长,反之亦然;两半球对火山喷发的响应不同;喷发半球或喷发纬度附近温度下降幅度大,则持续时间长,反之亦然;火山喷发后,高纬地区降温幅度大,但维持时间短,火山信号并不强;火山喷发导致的降温因时空而异;夏季温度降幅大,持续时间长,冬季正好相反;滤去 ENSO 信号后,火山信号更显著。

序列分析也证实了火山喷发和温度之间显著的对应关系;火山活动活跃时对应着冷期,反之亦然;DVI 和温度序列的相关性很好,PVI 和 SVI 次之,VEI 最差;火山活动可解释近百年半球温度变化方差的 40%—50%。

火山喷发对气候影响信号检测还有大量工作有待去做,如进一步建立和完善火山指数序列;用重建的气候资料检测火山信号,以增加气候资料的样本;将火山信号的检测和气候模拟研究相结合,确定检测信号的可信度等等。关于火山活动对气候影响的数值模拟研究,我们已有另文专门评述,这里不再讨论。

参 考 文 献

- 1 Yamamoto R., et al. Change of surface air temperature averaged globally during the years 1957—1972. *Arch. Met. Geophys. Biokl.*, 1977, B, 25: 105—115.
- 2 Bradley R. S. The explosive volcanic eruption signal in Northern Hemisphere continental temperature records. *Climate Change*, 1988, 13: 331—343.
- 3 Sear C. B., et al. Global surface temperature response to major volcanic eruptions. *Nature*, 1987, 330: 365—367.
- 4 Robock A. The volcanic contribution to climate change of the past 100 years. In 'Green-House-Gas-Induced Climate Change: A Critical Appraisal of Simulations and Observations', M. E. Schlesinger (ed.) Amsterdam, Elsevier, 1991, 429—443.
- 5 Taylor B. L., et al. Volcanic eruptions and long term temperature records; an empirical search for cause and effect. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 1989, 106: 175—199.
- 6 Mass C. F., et al. Statistical evidence on the influence of sunspots and volcanic dust on long term temperature trends. *J. Atmos. Sci.*, 1977, 34: 1995—2004.
- 7 Self S. M., et al. The possible effect on large 19th and 20th century volcanic eruptions on zonal and hemispheric surface temperatures. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 1981, 11: 41—60.
- 8 Kelly P. M., et al. Climatic impact of explosive volcanic eruptions. *Nature*, 1984, 311: 740—743.
- 9 Angell J. K. Impact of El Nino on the delineation of tropospheric cooling due to the volcanic eruptions. *J. Geophys. Res.*, 1988, 93: 3697—3704.
- 10 张先恭等. 火山活动与我国旱涝、冷暖的关系. *气象学报*, 1985, 43(2): 196—207.
- 11 Lough J. M., et al. An assessment of the possible effects of volcanic eruptions on North American climate using tree-ring data, 1602—1900 A. D. *Climate Change*, 1987, 10: 219—239.
- 12 Angell J. K., et al. Surface temperature changes following the six major volcanic episodes between 1780 and 1980. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 1985, 24: 937—951.
- 13 Kondo J. Volcanic eruptions, cooling summers, and famines in the northeastern part of Japan. *J. Climate*, 1988, 1: 775—788.
- 14 徐群. 太阳常数,火山灰和长期预报. *气象*, 1983, 6: 7—10.
- 15 Handler P. Possible association between the climate effects of stratosphere aerosols and sea surface temperatures in the eastern tropical Pacific Ocean. *J. Climatol.*, 1986, 6: 31—41.
- 16 Mass C. F., et al. Major volcanic eruptions and climate: a critical evaluation. *J. Climate*, 1989, 2: 566—593.

- 17 周曾奎. 火山喷发与江淮流域气候异常, 气象, 1981, **8**: 7—8.
- 18 高桥. 火山活动对气候影响的统计分析, 天气(日), 1986, **33**(11): 615—620.
- 19 Lamb H. H. Volcanic dust in the atmosphere; with a chronology and assessment of its meteorological significance. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 1970, **A**, 266: 425—533.
- 20 徐群. 近百年北半球中纬度火山灰尘幕指数的估量. 地球物理学报, 1985, **28**(6): 558—568.
- 21 Newhall C. G., et al. The volcanic explosivity index (VEI)—an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.*, 1982, **87**: 1231—1238.
- 22 Porter S. C. Pattern and forcing of Northern Hemisphere glacier variations during the last millennium, *Quaternary Research*, 1986, **26**: 27—49.
- 23 Hammer C. U., et al. Greenland ice sheet evidence of past glacial volcanism and its climate impact. *Nature*, 1980, **288**: 230—235.
- 24 Gilliland R. L. Volcanic, CO₂ and solar forcing of Northern and Southern Hemisphere surface air temperatures. *Nature*, 1984, **310**: 38—41.
- 25 Schonwiese C. -D., et al. An improved Northern Hemisphere volcanic activity parameter based on the Smithsonian Chronology. *Meteorol. Rdsch.*, 1988, **41**: 89—92.
- 26 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. Meteor. Soc. Japan*, 1975, **53**: 482—486.
- 27 徐群. 近 29 年冬季我国太阳辐射的显著变化. 中国科学(B 辑), 1990, **10**: 1112—1120.
- 28 Bryson R. A., et al. Volcanic activity and climatic change. *Science*, 1980, **207**: 1041—1044.
- 29 Schonwiese C. -D. Northern Hemisphere temperature statistics and forcing. Part A, 1881—1980 A. D. *Arch. Met. Geophys. Biokl. Ser.*, 1983, **B32**: 337—360.
- 30 Gilliland R. L. Solar, volcanic, and CO₂ forcing of recent climatic changes. *Climatic Change*, 1982, **4**: 111—131.
- 31 Oliver R. C. On the response of hemispheric mean temperature to stratospheric dust; An empirical approach. *J. Appl. Meteor.*, 1976, **15**: 933—950.
- 32 Robock A. Detection of volcanic, CO₂, and ENSO signals in surface air temperature. *Adv. Space. Res.*, 1985, **5**(6): 53—56.

SIGNAL DETECTION OF VOLCANIC IMPACT ON CLIMATE

Li Xiaodong Wang Shaowu Huang Jianping
(Geophysical Department, Beijing University, Beijing 100871)

Abstract

The representative studies on the volcano impact on climate and their progress are reviewed systematically from two aspects; Superposed-Epoch analyses and Time-series analyses. The temporal and spatical characteristics of the climate response connected with the eruption intensity, eruption latitude, eruption season and other eruption features are shown. Some other questions related to the volcanic signal detection, such as, the volcanic index, the possible mechanism by which the volcano affects the climate, the connection between the volcano and ENSO, and so on are discussed. Finally, the research prospects in the near future are envisioned.

Key words: Volcanic eruption; Signal detection; Climate change.