

火山喷发和太阳活动对我国 温度影响的研究*

贾朋群 陆龙骅 薛正夫

石广玉

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 利用特征向量分析、时序叠加分析和谱分析相结合的方法, 给出了近 50 年来我国地面气温场中较为清晰的火山喷发和太阳活动信号。强烈的火山喷发导致全国大部分地区降温, 降温最明显的时段是喷发 1 年多以后, 并能持续约半年。除这个主信号以外, 青藏高原、东南沿海和东北地区都可能出现较为复杂的温度变化。温度变化与太阳活动之间的联系更多地反映在二者的振荡关系上。

关键词 火山喷发 太阳活动 气候信号 中国气温

1 引言

在全球气候变化的研究中, 火山喷发和太阳活动一直是倍受关注的气候系统外部因子。无论是依据实测资料进行的诊断分析结果, 还是理论上分析和模拟得到的结论, 都从不同的角度肯定了火山喷发和太阳活动对气候的影响^[1~3]。然而, 火山喷发和太阳活动虽然是影响地球气候的重要因子, 但并不是惟一的。影响气候系统的各种因子之间以及它们与气候背景场之间复杂的非线性相互作用的结果, 在很大程度上“淹没”了气候要素场中与各种因子相对应的信号。在本文中, 我们用特征向量分解、时序叠加分析和谱分析相结合的方法, 针对近 50 年来中国地面气温场进行分析, 试图给出较为清晰的火山喷发和太阳活动信号。

2 资料和方法

2.1 温度资料

本文所用资料为英国东安及利亚大学气候研究所提供的全球 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬网格点月平均地面气温资料^[4]。该资料时间跨度为 1854~1997 年, 资料集给出各格点相对于 1960~1990 年的温度距平序列。图 1 给出了位于中国大陆的格点和这些格点中有效资料格点数随时间的变化。

为了进行中国大陆地区的温度场分析, 我们首先把分析格点化资料的时间段取为 1950~1997 年共 48 年。这主要是由于用于特征场分析的资料点序列不能有缺测, 而近

1998-08-04 收到, 1998-10-23 收到修改稿

* 国家重中之重项目 96-908-01-06 和国家人事部非教育系统留学回国人员科技活动 A 类资助

50 年无疑是仪器观测时代以来资料覆盖率最好的时期, 对这一时期既有相当的长度又很少有缺测需要用数学方法插值的中国地面气温场进行场分析, 可以给出较为真实的场变化规律, 而这是本文捕捉地球外部因子影响中国气候之信号的前提。此外, 影响气候的主要外部因子之一火山喷发, 在 19~20 世纪之交经历了一段多发期后, 从 1910 年代后半期一直到 1950 年以前为大约 40 年的相对平静期。因此, 若再增加资料年限内强火山喷发的样本数, 就必须把资料开始年代提前到 1880 年代, 其代价是连续资料格点大幅度减少到大约 20 个。而且, 年代久远的资料, 其可信性显然要差一些, 这都将使得温度场分析或者不真实, 或者丧失一些场变化细节, 而一些格点近代详实的观测资料也会因为上个世纪末和本世纪前半叶缺测太多而无法加入场分析中。

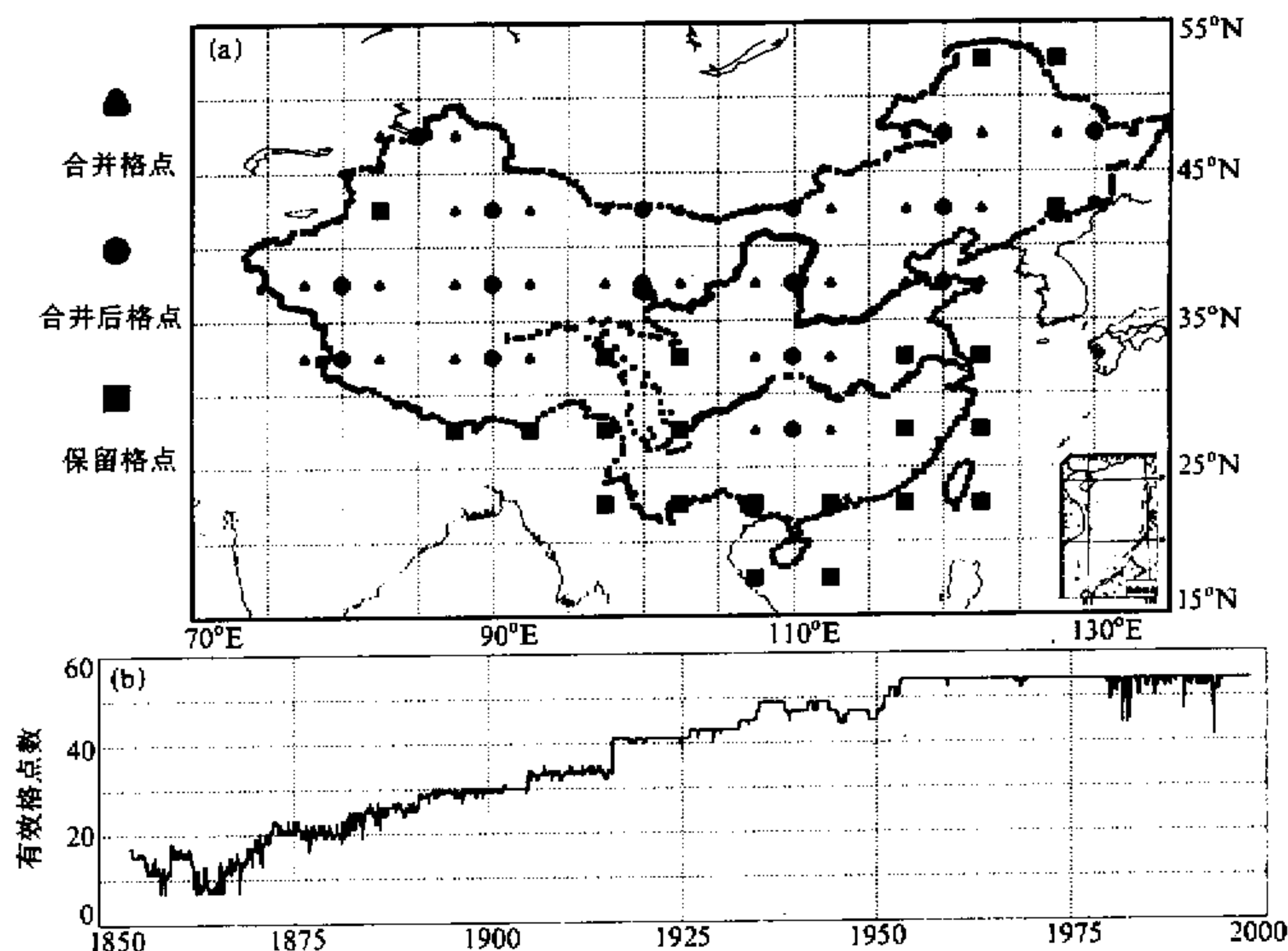


图 1 研究区域的格点分布 (a) 和有资料格点数的变化 (b)

1950~1997 年, 包括了大约每 10 年一次的强火山喷发 4 次, 再加上强度弱一些, 但位于北半球的火山喷发, 共有 7 个火山样本。这一时段覆盖了大约 4~5 个太阳活动周期, 能满足统计分析中对样本数的基本要求 (见表 1)。

对中国区域内的 54 个格点序列进行相关分析, 找出同一纬度带内相邻格点相关系数在 0.9 以上的格点进行合并, 使格点数由 54 个减少到 37 个 (图 1)。从合并结果上看, 除我国南部和东南部地区以外, 其它大部分地区相邻格点的相关性很好。相邻格点序列之间具有较好的相关性, 一方面说明了我国大陆地区地表气温变化有较好的一致性, 另一方面也表明用 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 经纬网格点资料对中国大陆地表温度场的大尺度特征进行分析, 其空间分辨率是能够满足要求的。

2.2 分析方法

对气象要素进行特征向量分析 (PCA, Principal Component Analysis) 的方法已广泛应用于天气气候诊断研究中。PCA 分析给出的前几个能够解释大额场变化方差的特征向量场不仅很好地给出了场变化的特征, 而且往往比原始场具有更明显的物理意义。各特征向量场之间是相互正交的, 原始场中各种非线性相关因子导致的场变化特征可以在不同的特征向量场中表现得更为明显和有效。我们用与 Overland 等^[5]相类似的方法找出包含明确场信号的特征向量场进行进一步分析。

时序叠加分析 (SEA, Superposed Epoch Analysis) 是找出一个时间序列中突发事件或准周期现象产生作用的信号的有效方法。在本文的 SEA 分析中, 我们以火山喷发和太阳活动极值的日期 (表 1) 作为 SEA 分析的关键日期, 对找出的特征向量场对应的时间函数进行分析。在分析中, 取关键日期前 36 个月 (3 年) 时间函数振幅的均值作为标准, 给出相对于这个标准关键日期前 36 个月和后 60 个月振幅差值的叠加结果, 并用 Monte Carlo 技术对分析信号进行检验, 从而在

表 1 时序叠加分析关键日期

因 子	关键日期	说 明
火山喷发	1965-03	Bezymianni 火山
	1963-03	Agung 火山
	1966-08	Awu 火山
	1974-10	Fuego 火山
	1980-05	St Helens 火山
	1982-04	El Chichon 火山
	1991-06	Pinatubo 火山
太阳活动	1953-01	太阳黑子数极小年
	1965-01	太阳黑子数极小年
	1977-01	太阳黑子数极小年
	1992-01	太阳黑子数极小年

不同的场变化特征中确定火山喷发和太阳活动的气候信号。多维谱分析 (Multi-Spectrum Analysis) 可以用来分析多个时间序列的自身振荡特征和相互关系。在本文中, 自谱 (autospectrum) 特征用功率谱和频率的乘积与相应的红噪音假设估计值的比值来表示, 当该值大于等于 1 时, 信度达 0.05; 各时间序列相互关系则用位相谱 (Phase-Spectrum) 和谱相关 (coherence) 来表述。

3 火山喷发和太阳活动信号

3.1 特征向量场

对标准化的温度场进行 PCA 分析后, 进行显著性检验, 前 5 个特征向量场 PC1~PC5 通过了检验, 它们共解释了中国地面气温场变化方差的 75%, 基本上代表了温度场变化的最主要特征。图 2 给出这些特征向量场的分布。第 1 特征向量 (PC1, 解释了原始场 33.3% 方差) 代表了全国气温场变化的最主要特征。占大额方差的 PC1 场的简单分布特征表明, 全国气温变化的大趋势较为一致, 只是长江和黄河两大流域的变化幅度略大一些; PC2 (17.4%) 场变化的主要特征是南北振荡; PC3 (10.4%) 以东西振荡为主要特征; PC4 (7.8%) 的正值中心位于东南沿海; PC5 (5.7%) 的正值中心则位于华中地区。

3.2 火山信号

用 1950 年以来的 7 次火山喷发时间的不同组合作为关键日期, 对 PC1~PC5 的时

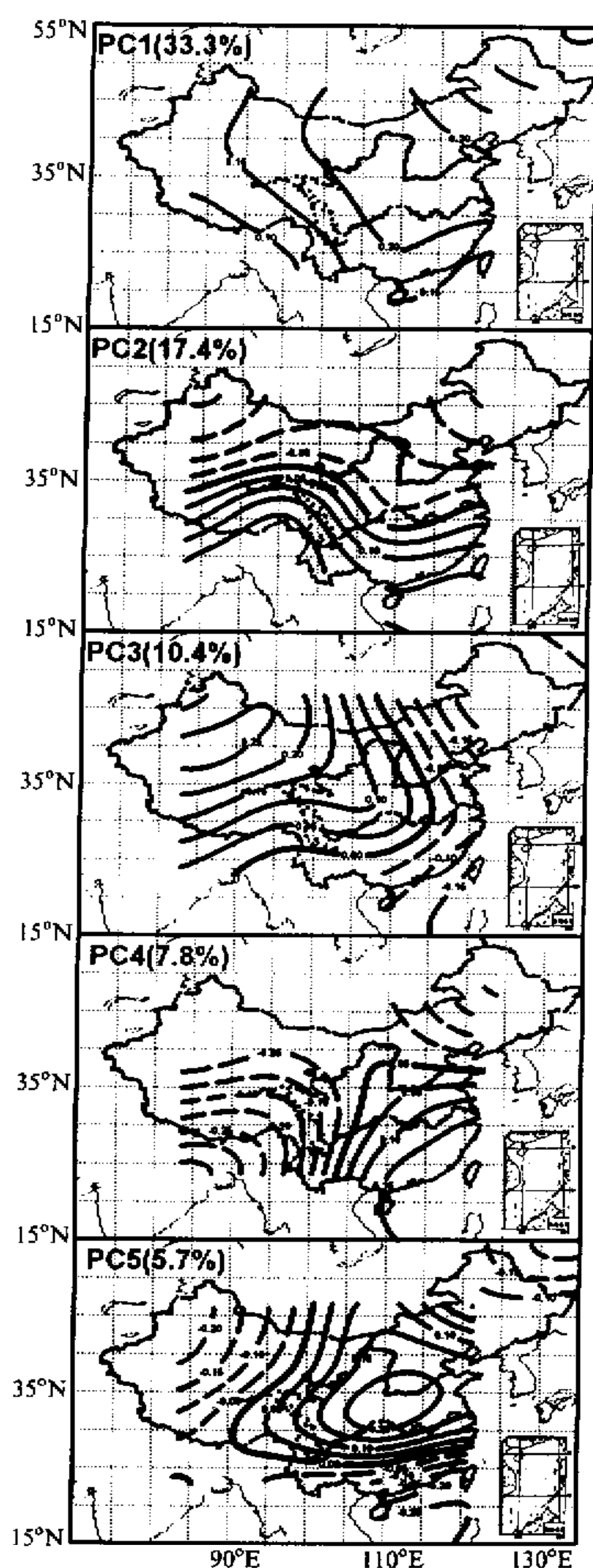


图2 地面气温特征向量场

间里, 时间函数几乎全为负值, 其廓线呈指数状递减。结合 PC3 的分布, 火山喷发后出现以青藏高原西部为中心的降温区和东南沿海及东北地区的升温区。这显然同对流层

间函数进行 SEA 分析, 得到的火山信号如图 3 所示。对 PC1, 当用 Bezymianni、Awu 和 Pinatubo 火山作为关键日期时, SEA 分析给出最为显著的降温信号 (图 3a)。火山喷发后明显的降温出现在大约 1 年以后, 即从第 15 个月开始, 超过检测的信号长达 4 个月。除去这一主信号外, 在喷发年和喷发后的第 3 年, 也有通过检测的信号, 只是持续时间短。值得注意的是, 第 3 年出现的 4 个月信号, 其中有 3 个月是连续的。当把另 3 次火山喷发, 即 Agung、Fuego 火山和 St Helens 火山加入共 6 次火山喷发以及总共 7 次火山喷发作为关键日期时, SEA 分析结果如图 3b 和图 3c 所示。6 次火山时喷发后第 2 年的主信号仍然明显存在, 只是强度略微减弱一点, 而喷发年的信号消失, 第 3 年的信号尽管符号更为一致但强度被削弱。7 次火山喷发只有 1982 年 El Chichon 火山出现几乎相反的信号, 该火山的加入使得主信号出现空心, 但对第 3 年符号一致且持续时间长而强度弱的降温信号影响不大。El Chichon 火山对降温信号的削弱作用很可能与 1982~1983 年发生的本世纪以来最强的一次 ENSO 现象有关。在火山喷发后的前 2 年里, 强烈的 ENSO 信号混淆了真正的火山信号, 但对第 3 年 ENSO 的作用结束后的火山信号则影响不大。

火山喷发后, 中国地面气温的快速反应信号在北半球低纬火山对 PC3 的作用中出现。图 3d 给出以 Awu、Fuego、El Chichon 和 Pinatubo 火山喷发为关键日期对 PC3 时间函数进行 SEA 分析的结果。强烈的负值信号在喷发后的第 2 和第 7 个月出现。另外, 在喷发后的近 2 年时

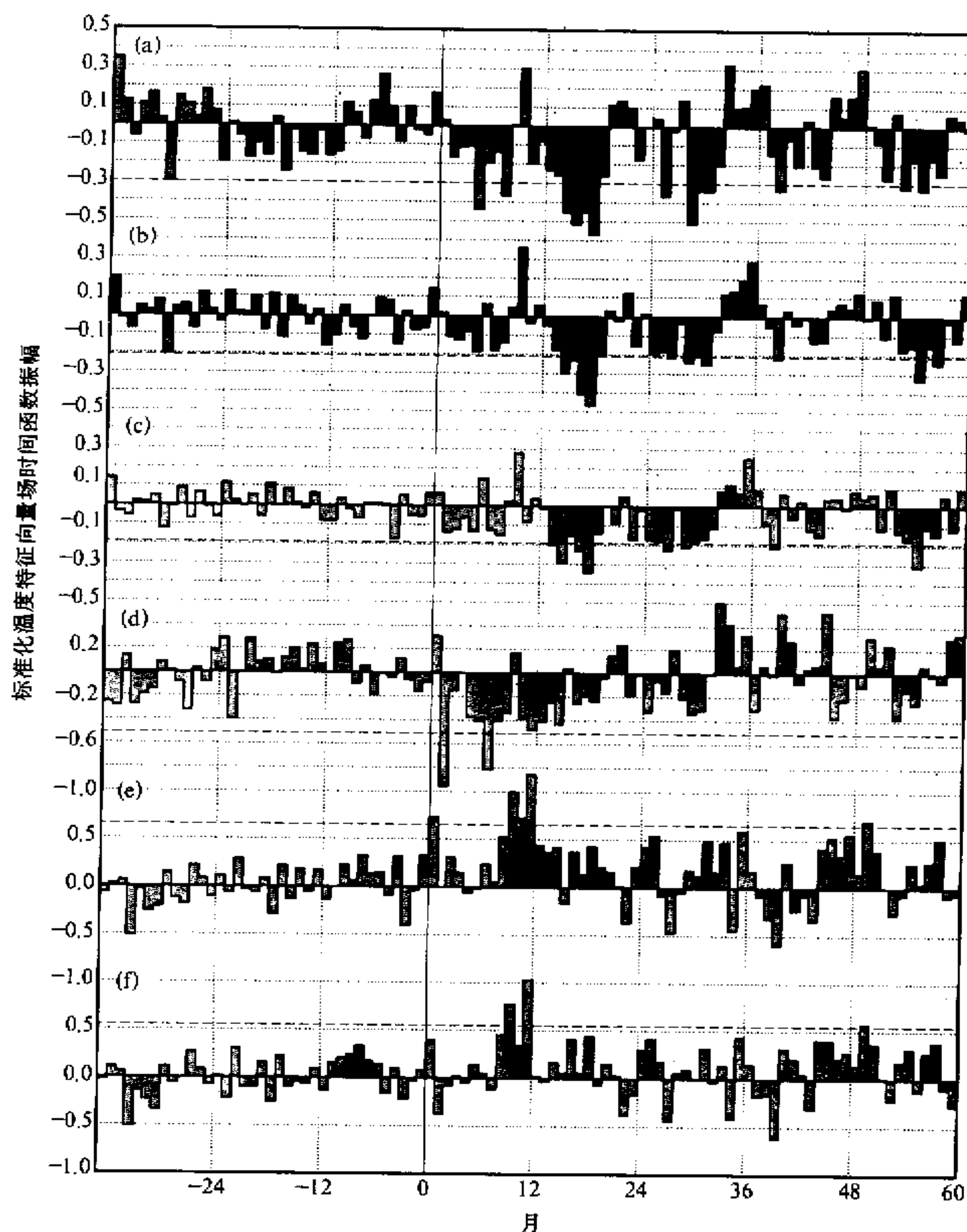


图3 SEA 分析结果中的火山和太阳活动信号

中的火山灰造成的太阳直接辐射减少,使得对辐射收支较为敏感的高原地区出现快速降温。而火山灰使云量增加,云层在长波波段的保暖作用使沿海和东北地区升温。由于火山信号在有意义的解释最大额温度场方差的5个特征场的第1、3个中出现,所以我们有理由认为火山喷发是影响我国温度场的主要因素之一。

3.3 太阳活动信号

用类似的方法得到的太阳活动信号仅在PC4中出现。当以1965、1977和1992年3次太阳黑子最少年作为关键日期,对PC4进行SEA分析的结果表明,连续的太阳活

动信号在第 10 个月时出现并持续 3 个月, 不连续的信号在第 1 个月出现 (图 3e)。而当把 1953 年太阳黑子数最少年也加入关键日期时, 信号被削弱, 连续信号被分开且第 1 个月的信号消失 (图 3f)。对照 PC4 的分布特征, 该信号的意义是, 太阳黑子数达到极小年的年末, 东南沿海地区有升温的倾向, 而青藏高原和东北地区则为弱降温。

与火山喷发不同, 太阳活动的主要特点是准周期性, 虽然太阳表面也有突发性耀斑等爆发并对射出的太阳辐射值产生影响, 但这种影响同其周期性变化相比小许多, 所以太阳辐射变化在更大的意义上是一个具有准周期性的渐变过程。前面的分析表明, 太阳活动约 11 年的主变化周期在温度场变化中, 信号并不明显。我们转用谱分析的方法对太阳活动和温度特征场的振荡特征进行分析。图 4 中给出滤去了 11 年左右 (138 个月) 的振荡周期后太阳活动和温度特征向量场的功率谱, 而太阳活动与气温特征向量场的振荡周期和它们之间的位相关系 (均表为温度场落后太阳活动的月数) 则在表 2 中列出。太阳活动除了 11 年周期以外, 还存在着准 18 月、30 月和 50 月振荡周期, 这些周期均有温度特征向量场的相应振荡周期与之呼应。准 18 月周期在 PC1~PC5 场中都存在, 位相差多为 1 年左右, 谱相关在 38% 以上。准 30 月周期在 PC1、PC4 和 PC5 中存在, 与太阳活动相应周期的谱相关达 70%、29% 和 40.3%, 而位相差较小, 即准 30 月振荡几乎是同时发生的。太阳活动的准 50 月的振荡周期只在 PC3 中出现, 谱相关为 78.3%, 位相差为 8.4 月。在表 2 中还列出了太阳黑子数与各特征向量场时间函数的相关系数, 其中太阳活动与 PC1 和 PC3 的相关信度均达到 0.001。

表 2 太阳活动和温度特征场的谱特征和谱相关

太阳活动	谱特征	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
准 18 月周期 (16.0~19.0)	位相差 / 月	7.1	-2.3	3.8	7.8	8.4
	谱相关	67.1%	55.0%	38.8%	67.0%	59.9%
准 30 月周期 (26.3~32.5)	位相差 / 月	21.5	—	—	0.2	4.6
	谱相关	70.3%	—	—	29.0%	40.3%
准 50 月周期 (40.9~58.1)	位相差 / 月	—	—	8.4	—	—
	谱相关	—	—	78.3%	—	—
相关系数		-32.3%	13.8%	33.5%	6.4%	6.8%
主周期 / 月		29.8	24.5	50.2	20.8	29.8
		38.1	18.4	19.0	29.8	18.4
		18.7	36.8		55.2	40.9

4 分析结果和讨论

我们讨论了气候系统外部因子中 2 个最为重要的因子火山喷发和太阳活动对我国地面气温的影响。为了将可能影响气温变化的众多因子的作用有效地分开, 在研究中先将温度场进行特征向量分解, 然后对包含有效物理信号的特征向量场的时间函数进行统计分析。虽然这种方法得到的信号并不是真正来自温度场本身, 而是其某一“分量”, 气温场真实的变化是所有包含和不包含有效物理信息的特征向量, 或者说是所有有效信号和噪音信号共同作用的结果, 但由于用于分析的特征向量能够解释大额场变化方差, 当我们弄清楚这些解释大额场变化方差的特征向量场的变化规律时, 也就基本上把握了“原

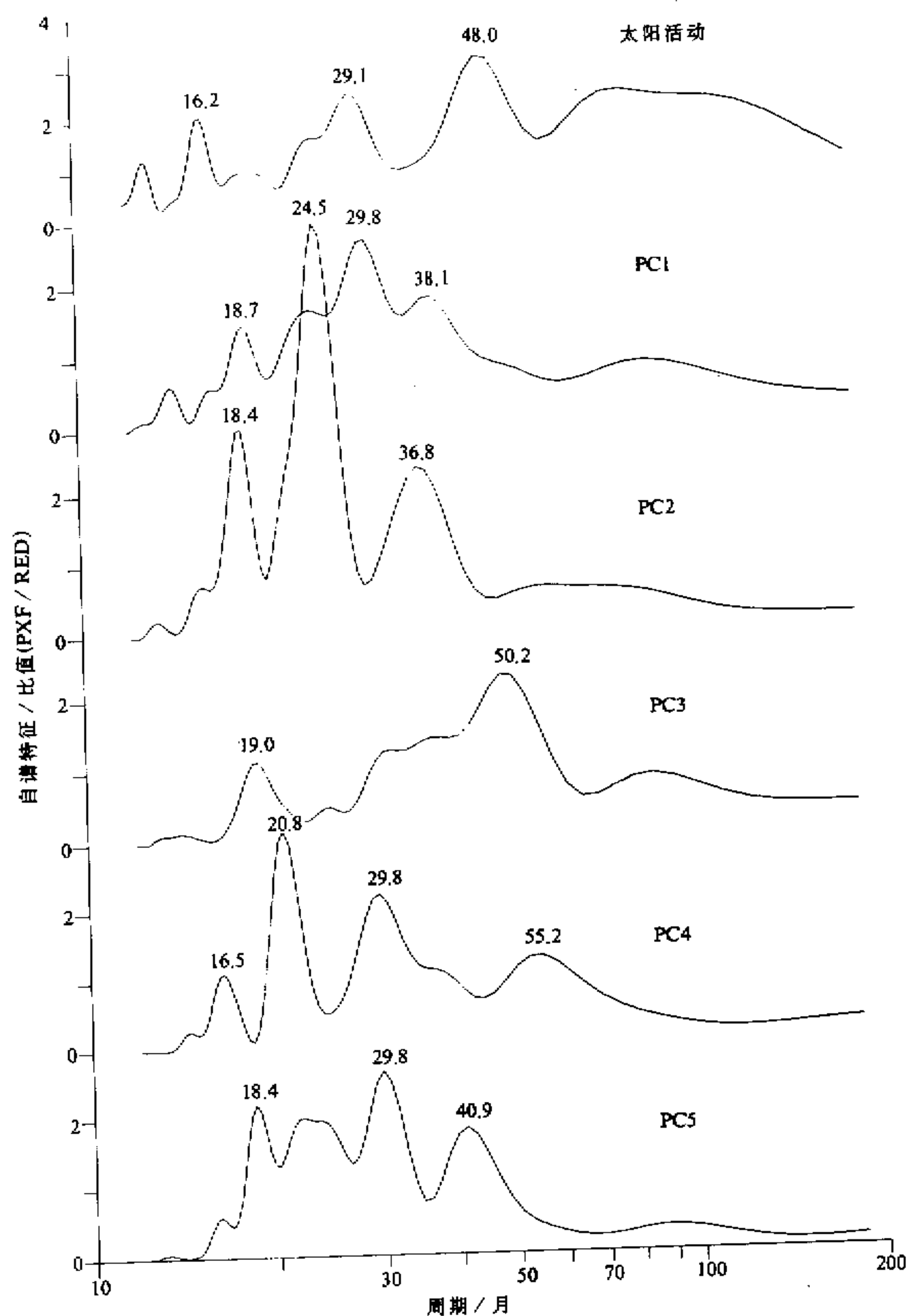


图4 太阳活动和 PC1~PC5 的自谱特征

始”场的变化。尤其是特征向量场分布中的极值区域，往往是对某种因子特别敏感的地区，这些区域和对应因子的确定对于区域气候变化分析和预报是有意义的。我们的分析得出以下结论：

(1) 火山喷发导致全国降温，降温幅度以华中地区更为明显些。这种大面积的降温发生在火山喷发大约1年以后，并持续约半年。弱一些的降温信号在喷发年和第3年均

可出现。中国地面温度场对北半球低纬火山的喷发可以出现快速反应,其特点是发生快(喷发后 1 个月),持续时间短(仅 1 个月)且温度有降(青藏高原地区)有升(东南沿海和东北地区)。

(2) 和火山信号相比,太阳活动信号不很明显,敏感区域仍是高原和东南沿海及东北地区。值得注意的是,太阳活动存在一系列短于 5 年的次振荡周期,而几乎所有这些周期在不同的特征向量场中都有表现,这种振荡特征的相互呼应,其背后的物理联系需要更为深入的工作。

(3) 本文针对中国地面气温的火山信号的分析同针对全球气温场的分析结果^[6]是吻合的,火山信号大大强于太阳活动信号的结论也和大气环流模式的模拟结果^[7]相一致。如果火山喷发主要导致温度下降和其影响持续 3 年左右的结论成立,近几十年来地面气温的变化可以部分地用火山活动的规律进行解释。近代人类活动导致气温增加的趋势一直被 1950 年代以来平均每 10 年一次的重大火山喷发和若干中小喷发造成的降温减缓,而本世纪 90 年代末,连续几年地面气温出现创记录的高温,是和 1991 年 Pinatubo 火山喷发后的平静期的出现有关。由于火山对温度升高的抑制作用在 1994 年消失,加上人类活动作用的积累,直接导致了本世纪末全球和中国出现自有仪器观测记录以来年平均极高和次高温。火山喷发的自然减温作用的气候意义是全球变暖研究中特别值得注意的。

(4) 本文研究中得到的火山喷发最大的气候效应发生在喷发 15 个月以后,这显然与存在时间较长的平流层火山灰气溶胶层的作用相联系。这一时间差既和基于平流层火山灰气溶胶层效应的模式研究结果^[8,9]一致,也有较为清楚的观测事实。例如,近 500 年来最大的一次火山喷发是发生在 1815 年 4 月的 Tambora 火山喷发,而北半球各地出现的最著名的无夏之年则是 1816 年,这中间的时间差正好是 15 个月。张先恭^[10]在对近 500 年来火山对我国气温变化的研究中也发现,剧烈的火山喷发造成的两次大面积降温分别出现在喷发后的第 8 和 12 个月,而第 2 次降温强度更甚。所以,在短期气候预测的研究中,无法避免地要考虑火山喷发这一确定(降温作用为主)又不确定(今后的喷发日期)因子。

致 谢 感谢英国东安及利亚大学 P. D. Jones 博士提供了温度网格点资料

参 考 文 献

- 1 王绍武, 1993, 气候诊断研究进展, 北京: 气象出版社, 1~263.
- 2 Shi Guangyu, Guo Jiandong, Fan Xiaobiao et al., 1997, A physical model for the global mean surface air temperature anomalies over the past century, *Chinese Science Bulletin*, 42(8), 658~662.
- 3 Kelly, P. M., Jia Pengqun and P. D., Jones, 1996, The spatial response of the climate system to explosive volcanic eruptions, *International Journal of Climatology*, 16, 537~550.
- 4 Jones, P. D., T. M. Wigley and P. M. Kelly, 1982, Variations in surface air temperatures, Part 1: Northern Hemisphere, 1881-1980, *Mon. Wea. Rev.*, 110, 59~70.
- 5 Overland J. E. and R. W. Preisendorfer, 1982, A significance test for principal components applied to a cyclone climatology, *Mon. Wea. Rev.*, 10, 1~4.
- 6 Jia Pengqun and P. M. Kelly, 1996, The identification of the volcanic signal in global surface temperature re-

- cords, *Acta Meteorologica Sinica*, **10**, 221~232.
- 7 Hansion, et al., 1997, Forcings and chaos in climate change, *J. Geophys. Res.*, **102D**, 25679~25720.
- 8 贾朋群, 1989, 平流层火山灰气溶胶层对全球温度影响的敏感性研究, 气象科学研究所院刊, **4**, 52~59.
- 9 胡荣明, 石广玉, 1998, 平流层气溶胶的辐射强迫及其气候响应的水平二维分析, 大气科学, **22**, 18~24.
- 10 张先恭, 张富国, 1985, 火山活动与我国旱涝、冷暖的关系, 气象学报, **4**, 196~207.

The Impact of Volcanic Eruptions and Solar Activities on the Surface Air Temperature over China

Jia Pengqun, Lu Longhua and Xu Zhengfu

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Shi Guangyu

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract By use of PCA / SEA and spectrum analysis, the signals of volcanic eruption and solar activity in the variations of the surface air temperature over China in the past 50 years have been described. The decrease of temperature appears 15 months later following the eruption and lasts about half year. More comprehensive temperature change pattern could be found over the Tibetan Plateau, southeast coast and northeast areas. The contact between solar activity and temperature change is more likely related in their co-oscillation characters.

Key words volcanic eruption solar activity climatic signal China temperature