中 国 科 学
1984 年 1 月　　B 辑　　第 1 期

七十年代全球气候异常的特征及其形成原因的探讨

章名立　　曾昭美
（中国科学院大气物理研究所，北京）

摘　要

本文通过对 1969—1978 年全球地面气温场的分析，提出了一个对七十年代异常气候频繁出现的物理解释，并且讨论了气候变化关键区和它们对其它地区气候变化的影响．七十年代北半球中高纬度南北温差加大，大气斜压性增强，提供了大气扰动频繁出现和变率增大的气候背景．分析指出全球各地区气候变化是有先后的，它首先发生在赤道海洋和极地高纬度大陆等温度变率大值中心，然后向中纬度传递，从而引起一次全球性的气候短期振荡．因此这些大变率中心区是气候变化的关键性或敏感区域．

一、引　言

进入七十年代以来，全球气候出现了一些大范围的异常现象，如 1976 年夏季以后北半球中纬度大范围的持续低温，1972 年低纬度大面积干旱等．这些异常气候促使气象学家用大量的资料来研究近年来气候变化的趋势．Kukla[1-3] 等认为七十年代北半球以至全球气温仍然在继续下降，并且用海温的下降和冬季积雪面积的增加来说明气温没有回升的趋势．但是 Jones[4,5] 等把气温资料延续到 1980 年后认为北半球，尤其是极区，气温下降到六十年代就已经停止了，进入七十年代有明显增暖的趋势．

虽然对于近期气温变化的看法不一致，但是不少人指出近若干年来气温的异常变化增多．Kelly[6] 指出七十年代气温的标准偏差是 100 年中最大的十年．Harley[7] 指出近三十年来北半球 25°N 以北地区气温变化以振荡为主．Angell[3] 认为 1963 年以后热带地区有三年左右的准周期振荡，并且指出这种振荡的特征一直影响到两个半球的中纬度．

由于近来气候异常的频繁出现，我们认为研究气温大振幅、多振荡的特征和形成的原因，对了解和预测短期气候变化以及展望更长时期气候变化的趋势具有更现实的意义．

我们分析了 1969—1978 年逐月月平均全球气温距平图，资料主要来源是世界气候资料[1]，并且补充了中国的气温距平资料[2]．由于广大海洋上资料的缺乏，我们在分析海洋上的等值线时，除了岛屿和固定船舶资料外，还参考海面温度资料[3]．从每月气温距平图上我们读得 10°×

本文 1982 年 11 月 5 日收到，1983 年 4 月 15 日收修改稿．

1) 取自 Monthly Climatic Data for the World, NOAA.

2) 取自 Fishing Information, NOAA.

3) 取自国家气象局北京气象中心长期预报科，平均温度为 1951—1976 年．

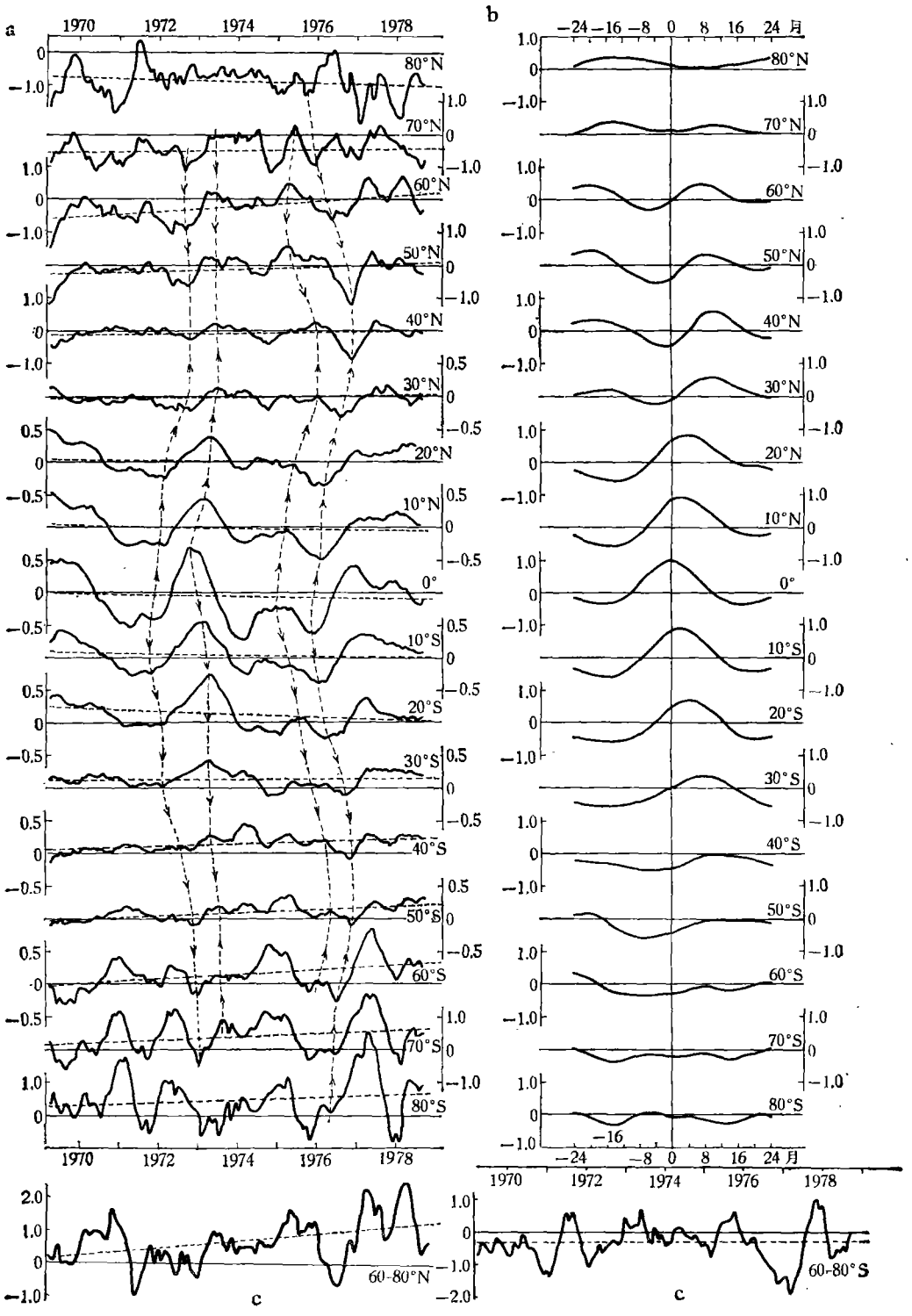


图 1 a. 80°N—80°S 各纬圈平均温度距平时间序列曲线(实线,各点数值为 7 个月的滑动平均值)和倾向曲线(虚线); b. 赤道温度与各纬圈温度相关系数(右边为赤道温度超前,左边为落后); c. 60—80°N, 和 60—80°S 温度距平梯度时间序列曲线

10° 经纬度网格格点上的月气温距平值，然后求得各纬度上纬圈平均的气温距平值.

本文不是用这短暂的十年气温资料来讨论气候变化的趋势，只是着重分析以下两个问题：(1) 十年中各纬度温度分布和变化，(2) 各纬度之间温度的相互关系，从而讨论是否存在全球气候变化的关键或敏感区域.

二、七十年代全球气温变化的特点及异常气候出现的背景条件

图 1 a 是 1969 年 3 月—1978 年 8 月全球每隔 10 个纬度的纬圈平均气温距平时间序列曲线. 从图中我们可以按温度变化的状况，分成几个不同的带：(1) 北极带，纬圈平均温度绝大部分时间处于低于平均值的状态，80°N 十年平均温度距平为—0.9℃. 温度变化的倾向为

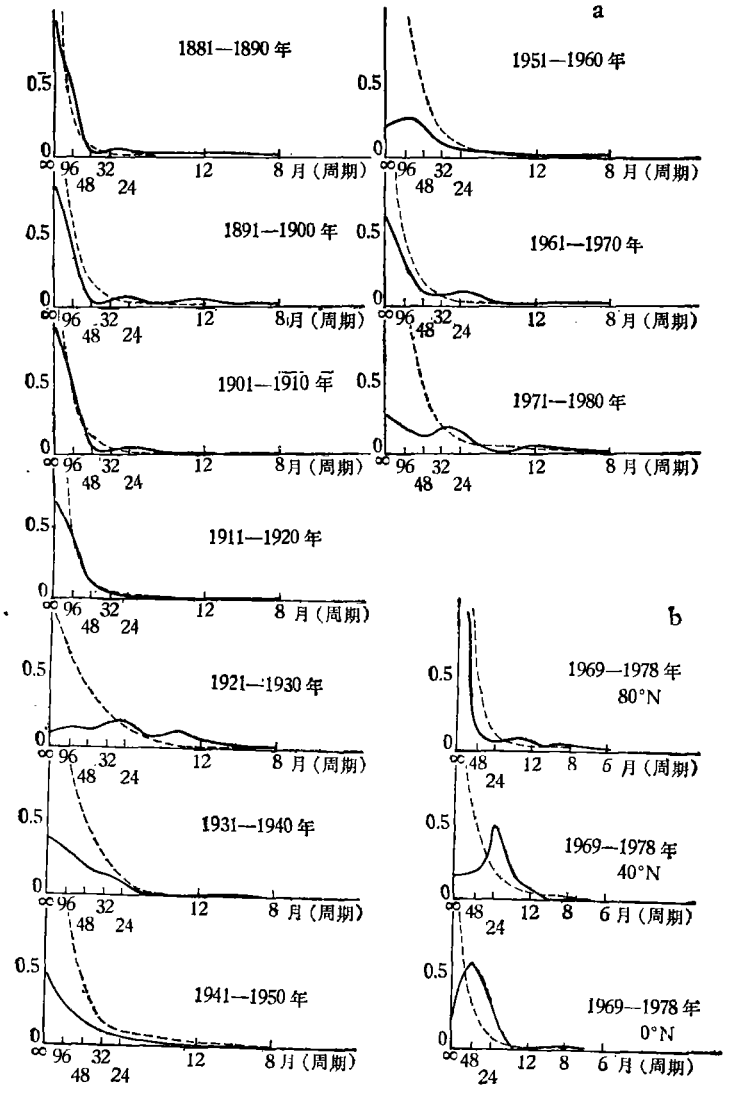


图 2　a. 1881—1980 年每十年北半球平均温度距平(资料取自文献[4]) 功率谱密度(虚线为 0.95 置信限)；b. 1969—1978 年 80°，40°，0°N 纬度上平均温度距平功率谱密度

下降，十年中约下降 0.3℃ (80°N). (2) 北半球的中高纬度带 (40—60°N), 平均温度距平振荡于正负距平之间,但是总的趋势是上升的. 尤其是 60°N 上前五年温度偏于负距平，以后上升到正距平. 虽然 1976 年温度又降到了负距平的最低值，但随后又上升并维持为正距平值，十年中 60°N 上约上升 0.8℃. (3) 赤道和两半球的热带地区,温度距平值的变化有如 Angell[3] 所指出的周期性振荡. 图 2 b 中给出了三个纬度上十年中温度距平时间序列的功率谱密度分布，在赤道上周期为 48 个月 (4 年)谱值最大. 从图 1 a 中倾向曲线可以看到，这一地区温度微弱下降，赤道上十年中降低 0.1℃. (4) 南半球以温度正距平为主，温度振幅以南极地区为最大,倾向在中高纬度都是上升的. (5) 比较全球各个纬度上的温度变化，变幅最大的在两半球的极区和高纬度,其次是赤道地区. 因此在考虑半球和全球平均温度的变化时,极地和高纬度温度状况的影响很大. 但是赤道海洋地区由于面积大,热容量大,其热状况的变化对全球气温变化的贡献是不容忽视的.

在 Kelly[5]给出的 65—85°N 平均温度序列曲线中，七十年代整个地带的平均温度是明显的在增温中. 但是我们在上节中指出,极圈和高纬度温度变化是不一致的，就是 80°N 温度是下降的,而 60°N 是明显的上升. 由于南北温度变化的差异，使得南北温差在逐渐加大.

另一方面，80°N 的平均温度维持较大的负距平值，而 40° N 及 60°N 平均温度却振荡在平均值附近，使得北半球中高纬度南北向温度梯度较平均情况增大，图 1c 中 60—80°N 温度距平梯度极大部分是正值,而 40—60°N (图略)的温度距平梯度十年中三分之二以上时间是正值. 在 60—80°N 纬带内十年平均温度距平梯度约为 0.3℃/1000 公里，由多年平均温度分布图估算得北半球这一纬带内平均温度梯度为 5℃/1000 公里,所以七十年代期间平均温度梯度在高纬度约比多年平均值增大约二十分之一. 40°—60°N 的温度梯度同样亦是增大的，但是比高纬度要增加得少一些.

由于这十年中，北半球中高纬度温度梯度的增大，这一地区大气的斜压性较平均情况增大,因此加强了大气环流的不稳定性,造成了大气中容易发展天气扰动的气候背景条件，并通过扰动的频繁出现,加强南北热量交换,大气中变率显著加大. 这可能是七十年代异常气候频繁出现的一个合理的物理解释.

我们用 Jones[4] 所得到的 1881—1981 年历年北半球平均月气温距平时间序列，求每十年的气温距平值功率谱密度分布，图 2a 给出这些分布曲线. 从图中我们发现在 1971—1980 年的分布曲线中,周期为 32 个月和 12 个月的波谱密度达到峰值,而且都超过 95% 的置信限.比较其它 9 个十年,除 1921—1930 年短周期的波动比较显著,另外 80 年中短周期波动都不很显著. 谱密度分布的情况说明了本世纪七十年代,不仅如 Kelly 所指出的温度的标准偏差是 100 年中最大的十年[6],而且气温变化具有短周期振荡的特征. 又用我们所求得的北半球各纬圈的温度距平时间序列，求 1969—1978 年期间各纬圈的气温功率谱密度，图 2b 中给出了 80° N, 40°N 和 0° 纬圈的谱密度分布曲线,分别代表极圈、中纬度和热带的情况. 各纬度都以 4 年以下的短周期波动比较显著,周期随着纬度的增高而缩短. 所以从上述两个资料序列分析的结果,都表明七十年代北半球的气温变化具有多振荡的特征. 我们认为多振荡的产生可能与中纬度大气斜压性较正常情况大有关.

南极温度在七十年代明显地偏暖,南半球中高纬度温度距平梯度以负值为主(图 1c),即温度梯度较平均情况为小，但是十年中距平梯度的倾向略有增大. 所以南半球高纬度大气的斜

压性虽较平均状态弱，但是在增强中．如果与北半球的距平梯度变化相比较，两者变化的趋势比较一致．1972 年和 1976 年的下半年，与北半球中纬度出现低温的同期，在南半球中纬度(40°—60°S) 亦出现一段低温的时期，在低温出现前，南半球中高纬度的温差加大，斜压性增大．因此从全球范围来说，七十年代北半球中高纬度温差大，斜压性增大，但南半球却不明显．

三、全球各纬度之间温度变化的相互关系

全球各纬度的温度变化有另一个特点，就是在某一个时期，某一个纬度上出现的气温异常，这种现象常常不是局地的，而是大范围的，甚至于全球范围的现象．例如 1976 年，在北半球的中高纬度属罕有的冷年，比较其它各纬度上的温度变化，发现在前期或者同期亦先后出现温度的最低值．我们用表 1 来说明 1975—1976 年全球不同纬度出现最低温度的时间，和此时的温度距平值．在这两年中全球各纬度都出现了温度最低值，但是出现时间有先后，出现最晚的是两个半球的中纬度，都是在76年的秋季．在中纬度的南北两侧都出现得比中纬度早，以赤道和两极为最早．

表 1　1975—1976 年各纬度低温出现的时间

纬　度	80°N	60°N	40°N	20°N	0°	20°S	40°S	60°S	80°S
出现时间	1975年 9 月	1976年 6 月	1976年11月	1976年3月	1975年11月	1976年3月	1976年 9 月	1976年 7 月	1976年 4 月
温度距平	−1.3℃	−0.6℃	−0.9℃	−0.4℃	−0.6℃	−0.2	−0.1℃	−0.3℃	0.2℃

我们计算了赤道 0° 纬圈平均温度距平与南北两半球各纬圈平均温度距平的交义相关系数，图 1b 表示这些相关系数的变化，图中横坐标表示 0° 纬度与各纬度温度之间相差的月数，正值为 0° 超前于其他纬度的月数，负值为 0° 纬度落后于其它纬度的月数．图中表明：

表 2　各纬度对应于 0° 纬圈温度距平交义相关系数为最大时后延的月数和系数值

纬　度	60°N	50°N	40°N	30°N	20°N	10°N	10°S	20°S	30°S
后延月	6	9	10	9	4	3	2	4	8
相关系数	0.43	0.37	0.59	0.59	0.81	0.92	0.88	0.68	0.37

(1) 对同期相关，20°N—20°S 范围内，各纬度的温度变化与 0° 纬度上的温度为正相关．但是 40—60°N 和 40—70°S 的温度变化，却与赤道温度呈反相关．(2) 各纬度的温度变化对应于 0° 纬度的温度变化有时滞后延的效应，时滞的月数随着纬度的增高而增加(表 2 为各纬度与 0° 纬度温度交义相关系数为最大时后延的月数和系数值)．在北半球从 40° N 向北后延月又比 40°N 向前提了．在南半球 40°S 以南温度与赤道温度为负相关．(3) 表 2 中相关系数值：最大为 0.92 (10°N 与 0° 纬度的温度相关)，最小为 0.37 (50°N 与 0° 纬度的相关)，这些相关系数都超过了 99% 的置信限．

所以可以认为，全球各纬度之间温度变化有一定的相互关系，当赤道上出现温度异常后，在若干月内两个半球的较高纬度上将先后出现温度异常．从表 2 中后延月随着纬度的增高而增加说明，气温变化从赤道向南北两半球传递，一直影响到中纬度地带．但是高纬度的变化亦先于中纬度，所以中纬度的温度变化受到南北两个方向传来的影响．1969—1978 年有几次全球性的冷期和暖期，它们都有上述两个特点． 在图 1a 中我们用箭头线连接这几次全球性气候异常时气温变化的过程．这些箭头线清楚地表示了赤道上异常气温影响南北北半球，大约经过三个季度到一年的时间，将影响到中纬度 40 度地带．此时，如果高纬度亦有异常气温变化影响到中纬度地区，而且南北两侧传来的影响是同相的，则中纬度将出现一次强烈的气温异常现象．如果两方面的影响是反位相的，则在一定程度上互相抵销，气候偏于正常．

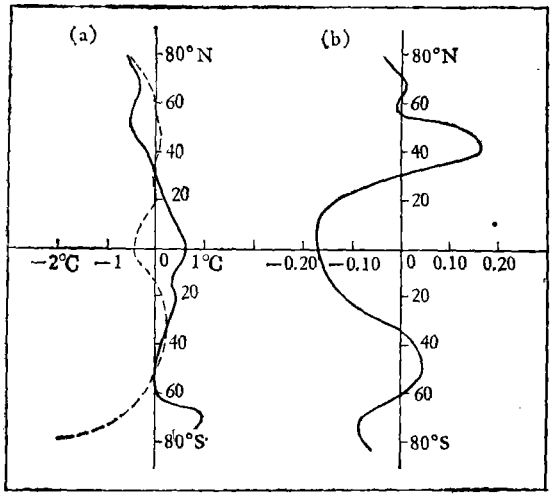


图 3 a. 1972 年(实线)和 1975 年(虚线) 夏季纬圈平均温度距平经向廓线，b. 哈尔滨与各纬度温度距平相关系数的经向廓线

图 3a 分别是 1972，1975 年夏季纬圈平均温度距平的经向廓线，它们代表了中纬度冷、暖两种不同气候情况时温度分布的特点． 图 3b 是我国东北地区哈尔滨站温度距平值与同时期全球各经纬度格点上温度距平值的相关系数各纬圈平均值的分布曲线． 从图 3a，b 清楚地显示出，全球不同纬度带之间温度变化此起彼伏 (*seesaw*) 的分布特征． 这种此起彼伏表现为以赤道为中心，两个半球为接近对称的弦振荡型式．这种温度分布的特点说明了一个有意思的现象：即地球上冷暖状况是按气候带分布的．当热带偏暖时，则温带偏冷，而极地又偏暖；反之则整个分布又相反．所以尽管在某一时期内出现很异常的气候，但是由于这种此起彼伏现象，地球上各地区之间热量的分布能相互调节，而且不久又将达到相对地均匀．

四、气候变化的关键区及其对周围地区气候变化的影响

由上节所述各纬度之间温度变化的相互关系，我们提出这样的问题，地球上是否存在气候变化的关键性地区，这些地区气候将先发生变化，然后影响到其它地区．我们认为这是可能的，而且这些地区可能在赤道和高纬度到极地．

图 4 是七十年代 1，7 月气温变率[1]的分布图[8]，十年中全球气温距平变率最大的中心区位于：(1) 南极大陆，(2) 亚欧大陆的西北部，(3) 赤道东太平洋． 这些地区的变率，前两个地区最大值达 6°—7℃． 第三个地区赤道东太平洋它的变率为 1°—2℃，虽然它仅是前两个地区最大值的三分之一，但是这个地区冬夏两季变率值变化不大．而前两个地区冬夏的变率相

1) 这里的变率即标准差： $\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma x_n^2 - n\bar{x}^2}{n}}$，其中 n 为样本数，x_n 为样本值(这里是温度距平值) $\bar{x}$ 为平均值．

差很大，夏季只有冬季的三分之一．因此赤道东太平洋地区冬季的变率虽然不及前两个地区冬季的变率大，但是夏季的变率却可与它们的夏季变率相当，所以这个区域亦是一个重要的大变率区．它所以成为大变率区与下垫面海温有剧烈变化有关，这个地区的海温变化是影响大气环流的一个关键区．

分析温度变率大值区所在的纬度，前两个位于高纬度和极地大陆上，另一个是在赤道海洋上，它们正好位于图 1 中所表明的最先发生温度变化的纬度．因此这些纬度上温度变化的出现可能与大变率区温度的剧烈变化有关，它们是气温变化的强迫源，下面我们给出两个具体的例子，说明变率中心区气温变化对周围地区的影响．

图 5 是 1972—1973 年沿 40°—50°N 纬圈温度距平的时空变化图．图中包括的范围是亚欧大陆到北太平洋的西部．两年

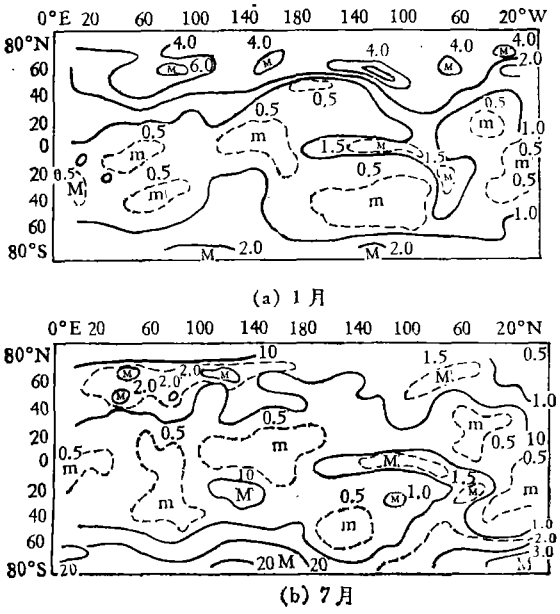


图 4　1969—1978 年全球气温距平变率分布图
(a) 1 月，(b) 7 月

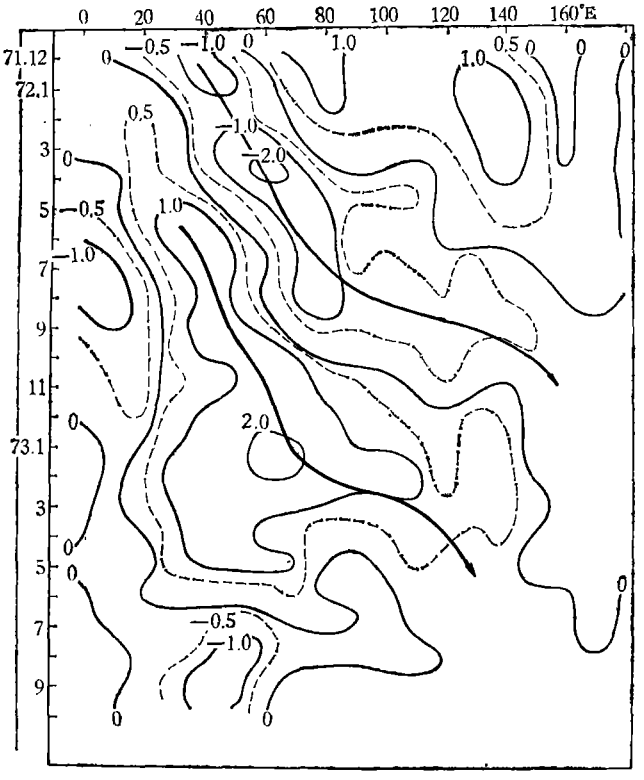
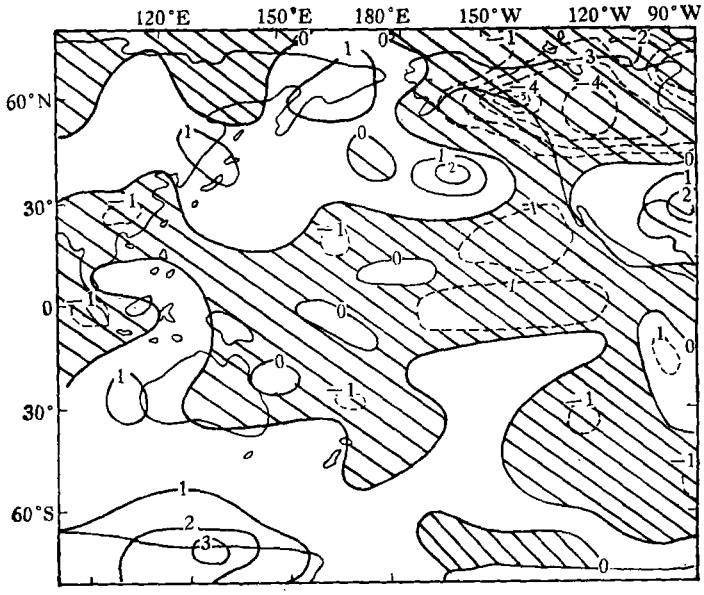


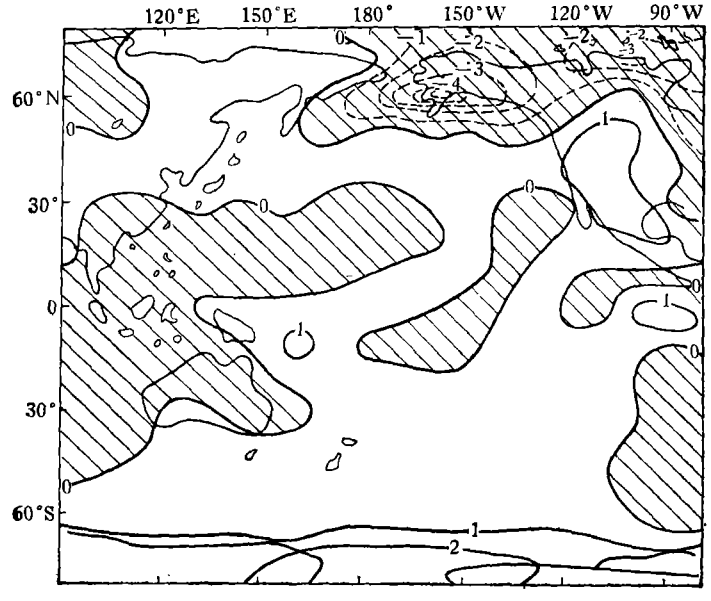
图 5　1972—1973 年沿 40°—50°N 纬圈温度距平的时空变化图

中，在这个区域内有一次负距平中心和一次正距平中心的活动过程．距平中心首先在亚欧大陆的西部出现，加强和发展，然后逐渐自西向东移动影响到亚洲东部，这个过程大约经过半年左右的时间．从这个例子可以看到，亚欧大陆西部大变率中心区对亚洲东部地区气温异常的出现有明显的影响，它表现为气温距平中心自西向东移动，并改变了下游地区的温度状况．

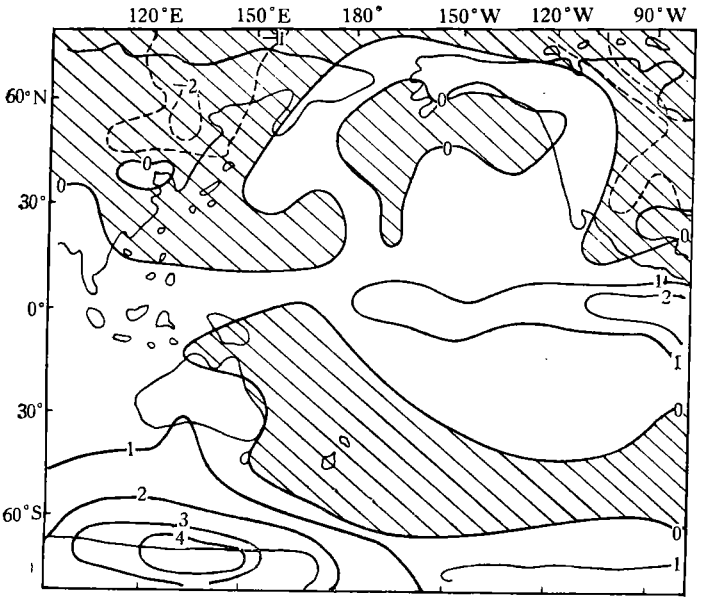
第二个例子是赤道东太平洋气温变化对其它地区气候的影响． 图 6 是 1972 年内三个季的气温距平分布图．1971—1972 年冬季，赤道东太平洋地面气温偏冷，在赤道洋面上为大范围的负距平区，中心位于东太平洋冷水区，南北两半球的中纬度地区，则是正距平分布区（图 6



(a)



(b)



(c)

图 6　1972 年 (a) 冬季 (b) 春季 (c) 夏季气温距平分布图

a). 1972 年春季(图 6b) 温度场的分布已经开始发生变化，赤道东太平洋由冷逐渐转暖，原来的大范围正距平区变为正、负距平区相间分布的形势，主要负距平区集中到热带西太平洋上. 中纬度仍然偏暖. 1972 年夏季 (图 6c) 与冬季相比较，温度场的分布已发生了相反的变化，即赤道东太平洋明显增暖，已成为正距平中心区，而且暖区已扩展到整个热带太平洋区. 但是两个半球的中纬度却变为负距平区，尤其是北半球亚欧和北美两个大陆的东部都是负距平中心区. 这种温度形势维持到 1972 年的秋季. 从图 6 的温度场变化说明，在赤道东太平洋大变率区先出现冷中心，然后向西影响到热带西太平洋，再向南和向北影响到南北半球的中纬度地区，这个过程大致需要三个季节到一年的时间. 在这里传递的方式显然与高纬度是不一样的，后者在西风带中由大气环流从西北向东南方向传递，但是在赤道海洋区域，热量的传输除了通过大气环流来完成以外，同时将依靠向西和向北的海洋环流(如黑潮)来完成.

虽然我们仅用上面两个例子来说明北半球高纬度大陆和热带海洋上两个大变率中心的气候变化对全球温度变化的影响. 但是结合上节中所指出的各纬度之间温度变化的先后关系，我们可以推测这两个大变率区是气候变化的关键性地区. 而这些关键区的存在不是偶然的，它们与其本地区的下垫面属性有关，即前者为冰雪覆盖面积变化最大的区域，后者为热带海洋中冷海水域，这两地区下垫面热状态具有巨大的变异，这种变化对气候的变化会造成很大的影响.

五、结　论

我们通过七十年代全球气温变化的分析，讨论了以下几个问题：

(1) 七十年代是近百年中气温变率大，振荡多的十年，因此在这十年中异常气候频繁出现.

(2) 七十年代北半球中高纬度南北向温度梯度较平均状态大，并且根据倾向曲线温度梯度还在继续增大中，因而增加了大气的斜压性，使天气扰动的潜在不稳定性增加，这是七十年代北半球气候变率大，多振荡现象的气候背景.

(3) 从这十年来看，全球各纬度之间的温度变化是相互关联的. 赤道纬度上的温度变化与各纬度温度变化之间有明显的时滞效应，各纬度的温度变化落后于赤道温度变化的时间，随着纬度的增高而增加，在 40°N 变化最晚，再向高纬度温度变化又随着纬度增高而提前. 40°N 上温度变化落后于赤道三个季度到一年. 由此推论中纬度的气温变化受到南北两个方向的影响.

(4) 从这十年的情况来看，全球温度大变率中心的赤道海洋和极地高纬度大陆是气候变化的关键性地区或敏感地区. 这里的变化有时能带来全球性的气候变化，如 1972 年的中纬度低温，就是先出现在这些地区. 因此研究气候异常的原因和气候变化的过程，应对这些大变率区气候变化的规律进行进一步的研究.

上面所揭示的一些现象，仅是对七十年代气温场的分析，是否适合于更长时期的气候现象还需要进一步延伸资料的长度，作更深入的研究.

致谢：本文承叶笃正、陶诗言、巢纪平三教授的帮助指导，特此表示感谢.

参 考 文 献

[1] Kukla, G. J., et al., *Nature*, 270(1977), 573—580.
[2] Starr, V. P & Oort, A. H., *Nature*, **242**(1973), 310—313.
[3] Angell, J. K. & Korshover, J., *Mon. Wea. Rev.*, **106**(1978), 755—770.
[4] Jones, P. D., et al., *ibid.*, **110**(1982), 59—70.
[5] Kelly, P. M., et al., *ibid.*, **110**(1982), 71—83.
[6] Kelly, P. M. & Jones, P. D., *Proc. of the 6th annual climate diagnostics workship*, NOAA, New York, 1981, 28—31.
[7] Harley, W. S., *Mon. Wea. Rev.*, **108**(1980), 235—248.
[8] 符淙斌等，大气科学，**6**(1982)，405—412.