

年代际气候变化研究*

李崇银

P46 A

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体物理学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

朱锦红

孙照渤

(北京大学大气科学系, 北京 100871)

(南京气象学院, 南京 210044)

摘要 概括地介绍了中国科学家近几年在年代际气候变化方面的研究进展, 包括中国气候的年代际变化特征, 北大西洋涛动 (NAO) 和北太平洋涛动 (NPO) 与中国年代际气候变化的关系, 北太平洋海面温度 (SST) 年代际模及其影响, 大气环流系统的年代际变化以及气候突变问题。

关键词: 年代际; 气候变化; 北太平洋; 模

1 引言

年代际气候变化作为年际和月季气候变化的重要背景, 往往影响着年际和月季时间尺度的气候特征。随着科学的发展和社会需求的提高, 年代际气候变化已成为人们关注的重要问题。在国际气候变化和可预报性 (CLIVAR) 计划实施的同时, 年代际气候变化的研究在中国也得到了进一步重视和加强。近几年来, 在如下几方面取得了可喜的成果。

2 中国气候的年代际变化特征

中国降水, 特别是夏季 (6~8月) 或汛期 (4~9月) 降水异常的分布, 对农业生产有严重的影响, 从而成为大家关注的重要问题。近来的研究表明, 20世纪后半期 4~9月降水量的年代际变化比较强烈。20世纪50年代中国东部多雨, 华北尤甚; 60年代淮河以北到华北降水略多, 但长江及其以南以少雨为主; 70年代淮河少雨, 华北北部及江南降水略多, 但60~70年代对全国来讲是较为干旱的年代; 80年代的特点是长江流域多雨, 华北及华南干旱; 90年代长江及江南降水有所增加, 华北干旱持续。

中国东部年总降水量变化趋势与之相似, 1880年以来共有5个干旱期: (1) 19世纪末到20世纪初; (2) 20世纪20年代后半期到30年代初; (3) 40年代; (4) 60年代; (5) 70年代末到80年代初。其中第(1)、(2)、(4)3个旱期较强, 第(3)、(5)2个旱期较弱。无论从汛期降水量, 还是从年总降水量的变化来看, 中国东部降水的年代际变化是十分突出的。功率谱分析表明有26.7年的峰值, 从降水量变化曲线也可以

2002-03-07收到

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 和中国科学院创新项目 KZCX2-108 共同资助

看出来 20~40 年的干湿循环很明显^[1,2]。表 1 给出的是 1880~1999 年期间中国东部 6 个多雨期及 5 个少雨期中 5 年平均降水量的距平, 其资料序列总长度为 120 年, 较好地反映出降水量的准 27 年周期变化特征。

表 1 1880~1999 年期间中国东部 35 个测站平均的多雨及少雨期 5 年平均降水量距平^[2]

序号	多雨期		少雨期	
	年份	平均降水距平 (mm)	年份	平均降水距平 (mm)
1	1881~1885	42.2	1899~1902	-109.6
	1988~1892	72.0		
2	1911~1915	94.5	1925~1929	-75.5
	1918~1922	65.2		
3	1931~1935	45.7	1942~1946	-19.9
4	1950~1954	90.0	1963~1968	-65.1
5	1972~1976	62.2	1978~1982	-30.4
6	1990~1994	43.2		

关于中国西部地区的降水量, 虽然观测资料年份相对较少, 但结合代用资料的分析表明, 从 19 世纪末以来中国西部也有 5 个早期, 即 19 世纪末到 20 世纪初, 20 世纪 20 年代、40 年代、60 年代及 80 年代, 这几个早期与东部或多或少是一致的^[3]。这些分析表明, 近 20 年华北的干旱以及近 40 年西部降水的增加, 可能都是降水量的年代际变化造成的。特别从近百年来看, 降水量的变化以 20~30 年循环为主。

根据 500 年旱涝资料, 过去的研究已指出中国东部降水有 80 年的周期, 后来发现中国西部降水也有世纪尺度的旱涝变化。近 500 年来有 4 个明显的早期, 即 (1) 15 世纪~16 世纪初; (2) 16 世纪末~17 世纪初; (3) 18 世纪前半页, (4) 19 世纪初, 这些早期与中国东部华北的早期大体一致。根据 500 年旱涝资料的研究发现, 中国的华北、长江中下游地区以及华南沿海地区的夏季降水存在明显的 80 a 周期^[4]; 而且华北夏季降水的 80 a 变化周期在整个华北夏季降水低频变化中占了相当的分量, 约占低频变化方差的 27%。图 1a 是华北夏季降水 530 年旱涝级别的功率谱分析, 显示 80 a 周期十分突出。进一步研究还表明华北、长江中下游地区以及华南沿海地区降水的 80 年分量有密切的关系, 华北和华南成同位相变化, 与长江中下游为反位相关系。图 1b 给出了这 3 个地区夏季降水序列的 80 a 分量。

影响我国东部夏季降水的因子很多, 东亚夏季风是其中最重要的一个。华北地处东亚夏季风的前缘, 当季风偏强时, 副高偏北, 赤道辐合带 (ITCZ) 亦偏北, 华北和华南多雨, 长江中下游少雨。东亚夏季风的异常不仅影响中国气候的年际和年代际变化, 而且对世纪时间尺度的中国降水也有明显影响。

气温对人民的生产和生活也有重要影响, 利用观测资料和代用资料, 研究建立了 1880~1999 年中国不同地区的年平均气温序列^[5]。图 2 给出了 1880~1999 年间全球平均气温和中国地区年平均气温的时间演变, 除了两次明显的增温 (20 世纪 20 年代初和 80 年代中) 之外, 中国气温的年代际变化也反映得十分清楚。分析 1953~1995 年冬、夏季的平均最低气温和平均最高气温资料^[6], 其结果表明, 中国气温不仅平均值在 70

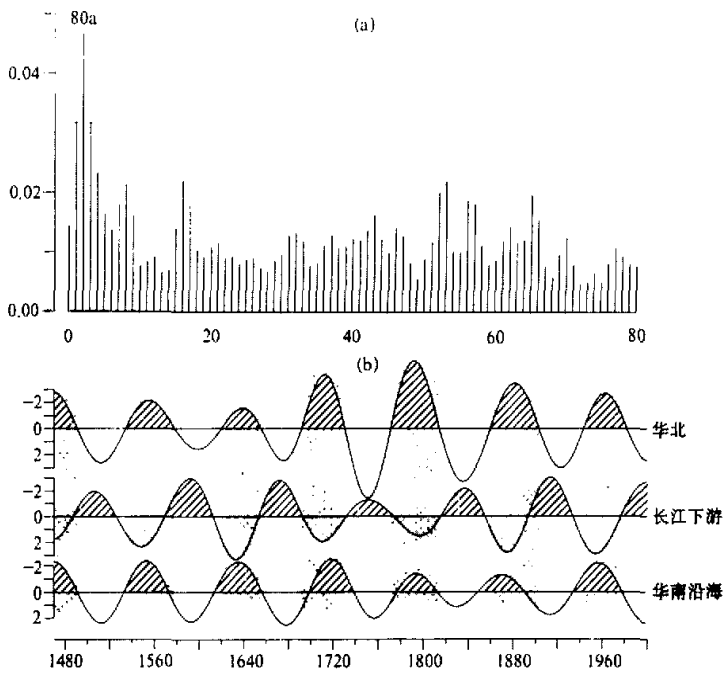


图 1 华北夏季旱涝等级 (530 年) 的功率谱 (a) 以及中国 3 个地区夏季降水序列的 80 年周期分量 (b)
 斜线表示三个地区夏季降水 80a 分量的正位相, 阴影部分表示华北多雨期

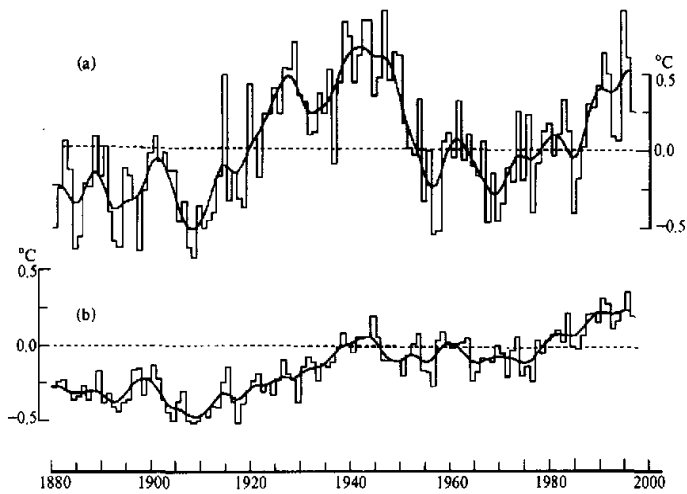


图 2 1880~1999 年中国 (a) 及全球 (b) 年平均温度距平 (对 1961~1990 平均的偏差) 的时间变化
 (引自文献[5])

年代末 80 年代初有突变（升温）现象，而且气温的分布型态也有突变。例如夏季的平均最低和最高气温的距平场由 50 年代的南高（正距平）北低（负距平）转变成 80~90 年代的南低北高。

3 NAO 和 NPO 与中国气候的年代际变化

NAO（北大西洋涛动）和 NPO（北太平洋涛动）都是南北向的大尺度跷跷板式大气质量场的振荡现象。20 世纪 90 年代的研究表明，NAO 存在明显的年代际变化^[7]，而北太平洋的大气和海洋状况也有年代际变化特征^[8]。

中国的气候变化不仅同 NPO 有关，也受到 NAO 的明显影响，因此有关 NAO 和 NPO 的年代际变化研究也为中国学者所重视。对 NAO 和 NPO 指数所进行的分析研究表明，不仅近期以来 NAO 和 NPO 指数都有明显的增幅特征，而且它们在 20 世纪 60 年代初都有极明显的突变特征^[9]。图 3 分别给出了 NAO 指数[(50~65°N, 10~50°W) 区域平均气压与 (25~40°W, 10~50°W) 区域平均气压之差]和 NPO 指数[(50~65°N, 130~170°E) 区域平均气压与 (25~40°N, 130~170°E) 区域平均气压之差]的小波分析结果，它们的年代际变化及其特征都表现得十分清楚。同时，NAO 和 NPO 的这种突变同全球气候在 60 年代的突变也十分一致^[10]。因此可以认为 NPO 和

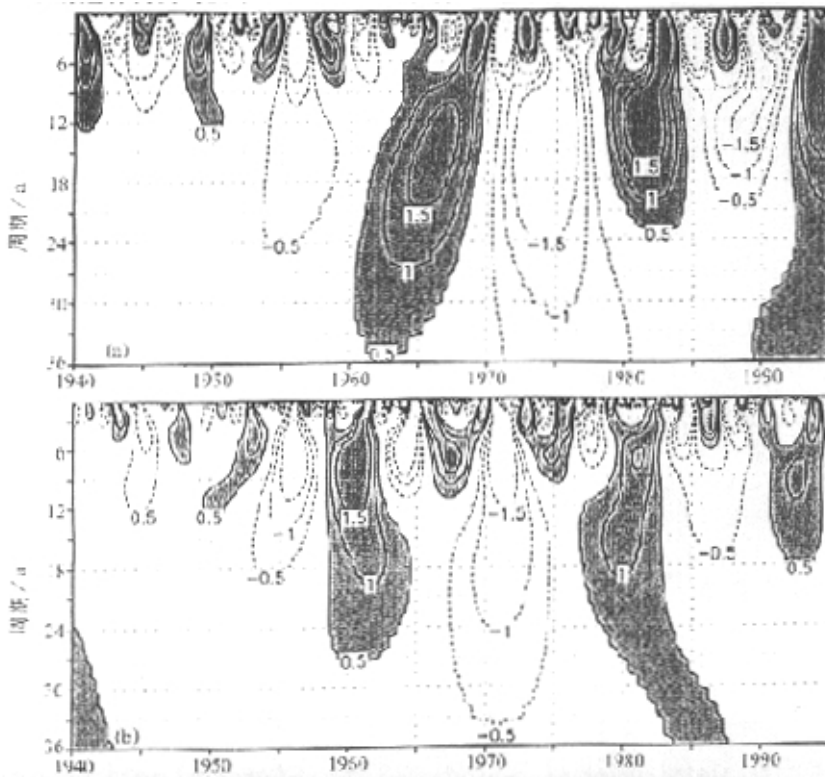


图3 NAO (a) 和 NPO (b) 指数的小波分析结果

NAO 的年代际变化对中国乃至全球气候在 60 年代的突变有着重要的影响。

冬季, 对中国有重要影响的大气系统是东亚大槽或寒潮活动, 而这种天气气候过程也有明显的年际变化和年代际变化^[11,12]。也就是说, 在某些年或某段时期, 东亚寒潮(或冬季风) 比较强, 而在另一些年或另一段时期东亚冬季风却偏弱。已有研究表明, 这种东亚冬季风的年际和年代际变化同 NAO 有着密切的关系。因为东亚冬季风偏强(弱) 的表现之一是西伯利亚地面冷高压的偏强(弱), 而强(弱) 西伯利亚地面冷高压又与 NAO 指数呈负相关。图 4 给出的是标准化的西伯利亚高压指数和东亚冬季风指数的时间变化^[13], 两者间的正相关变化是十分清楚的, 尤其是在年代际时间尺度。不仅如此, 冬季的 NAO 异常对中国夏季气候也有明显影响, 强 NAO 一般对应强东亚夏季风的形势^[14]。当然, 冬季异常的 NAO 如何影响东亚夏季风的活动, 尚待深入研究。

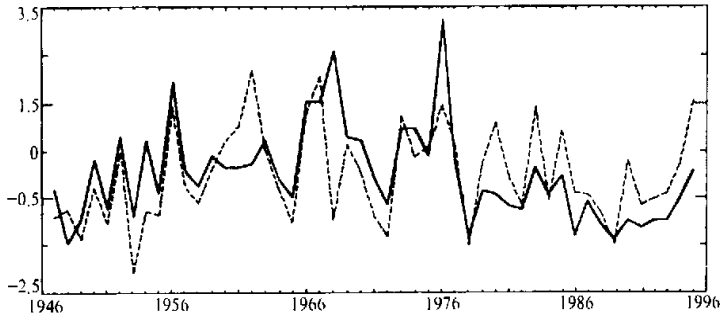


图 4 标准化西北利亚高压指数(实线)和东亚冬季风指数(虚线)的时间变化^[13]

4 北太平洋海温的年代际模及其影响研究

基于经验正交函数分解(EOF)方法, 一些学者将北太平洋 SST 的年代际变化称之为“类 ENSO 模”^[15], 其后又将这一主分量叫做太平洋年代际涛动(PDO)^[16]。但是用某一个 EOF 分量并不能完全反映年代际变化特征, 所谓“类 ENSO 模”或 PDO 都有进一步研究的必要。而初步研究表明, 中国气候及东亚大气环流的准 10 年周期变化同北太平洋海温的准 10 年变化有明显关系^[12]。

利用近 100 年的海面温度(SST)资料(Hadley 中心), 其功率谱分析表明北太平洋 SST 的变化主要有两个年代际谱峰, 分别是 25~35 年准周期模和 7~10 年准周期模。对 SST 进行带通滤波处理后, 分别可得到 25~35 年和 7~10 年两个模的形势(图 5)。很显然, 这两个年代际模都不同于 ENSO 模, 有其自己的特有形势。但它们却又有其十分相似的特征。因此北太平洋海温年代际模并不为“类 ENSO 模”, 而有其自己的特有型态。进一步分析两个年代际模的时间演变, 可以发现其正负异常中心既有振荡特征也有沿北太平洋海盆作顺时针旋转的特征。因此北太平洋海温年代际模也难以仅仅视为一种涛动, 实际上它具有涛动和旋转双重特性。

利用 NCEP 再分析资料, 研究表明北太平洋年代际模对气候的影响很明显, 其结果又是十分类似的。无论对应于 7~10 年模还是 25~35 年模, 在其正位相或负位相,

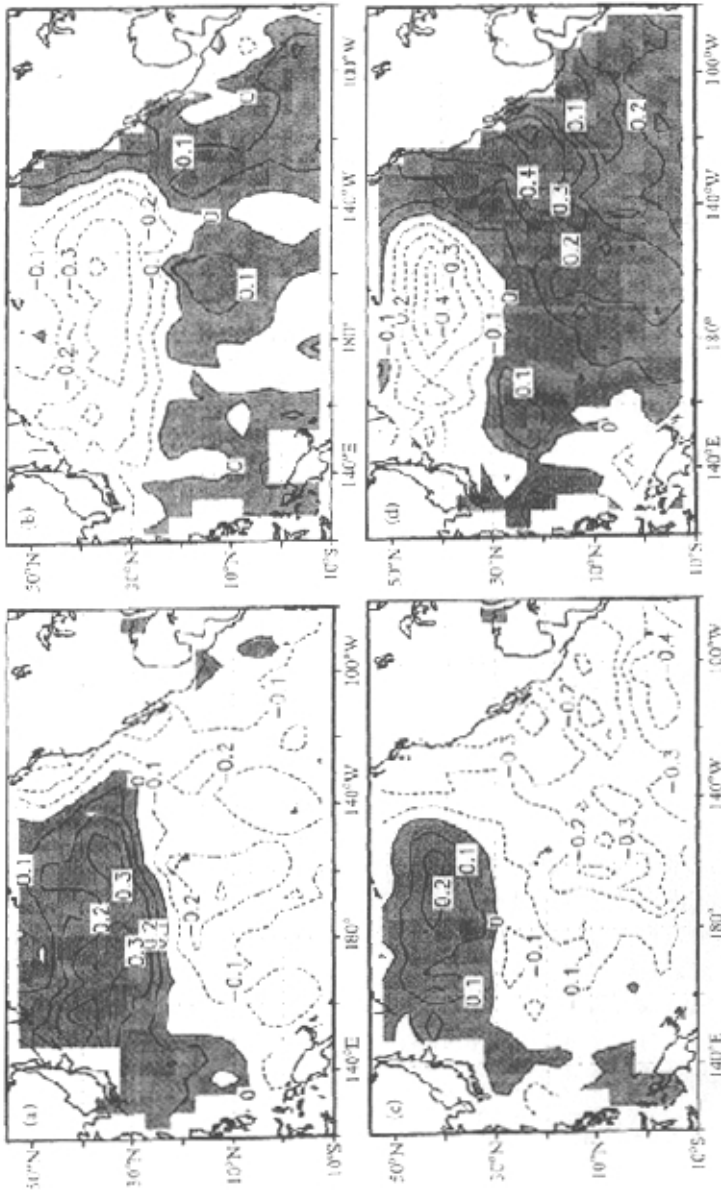


图5 北太平洋SST年代际变化的25~35年模(a)、(b)和7~10年模(c)、(d)
其中(a)和(c)为正位相,(b)和(d)为负位相

全球海平面气压场以及 500 hPa 高度场和 1000 hPa 风场均有类似的响应形势; 但对应正位相的形势却与对应负位相的形势近乎相反。以 500 hPa 为例, 对应北太平洋海温年代际模的正(负)位相, 冬季北太平洋和欧亚大陆的北部, 格陵兰以及南极地区为 500 hPa 高度负(正)距平(图 6)。对应北太平洋海温年代际模的正(负)位相, 降水量也有明显的不同(图略)。在正(负)位相期, 东亚沿海多(少)雨; 美洲东南部少(多)雨; 澳大利亚东部多(少)雨, 而西部少(多)雨。这些结果充分说明了北太平洋年代际海温异常对气候的重大影响。

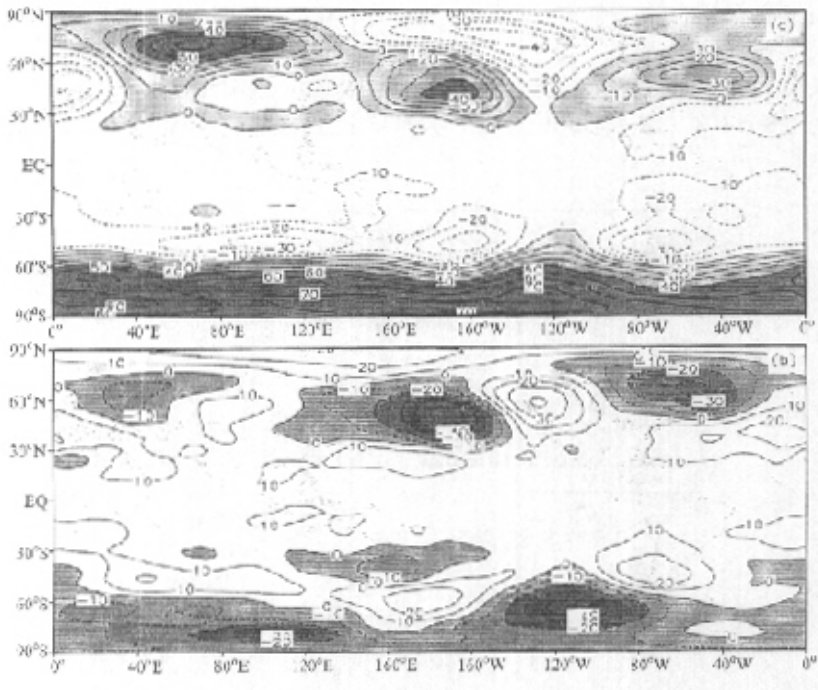


图 6 对应北太平洋 SST 年代际变化的 25~35 年模的正位相 (a) 和负位相 (b) 时期的 500 hPa 高度距平分布

5 大气环流系统的年代际变化

有关年代际气候变化的系统研究最是从海表水温的变化开始的, 这是因为海洋过程相对比较缓慢, 年代际变化信号较为显著。但是大气环流资料的分析也清楚地表明, 除了月季和年际变化之外, 大气环流系统的年代际变化特征也是十分清楚的, 而且这种大气环流系统的年代际变化同气候要素(降水和温度)的年代际变化有十分紧密的联系和匹配关系^[16]。与月季和年际气候变化相类似, 年代际气候异常也与一定的大气环流型相对应。

观测资料和 GCM 数值模拟都十分清楚地表明, 地球大气的几个主要环流系统, 如南方涛动(SO)、NAO、NPO、东亚大槽、北美大槽、西太平洋副高和亚洲季风系

统等都存在明显的年代际变化特征^[17-19]。上述大气环流系统主要存在着 10~20 年和 30 多年的准周期振荡特征，而 NAO 和 NPO 的 10~20 年准周期振荡有近乎同位相的特征，它们的 30 多年准周期振荡却近乎呈反相变化；西太平洋副高、东亚大槽和北美大槽在 30 多年准周期振荡上是基本上同位相的，但其 10~20 年准周期振荡却既有同位相，也有反位相的情况。

关于夏季西太平洋副高的年代际变化，近年也有初步的研究。利用高度场重建的 1880~1950 年 500 hPa 资料及 NCEP 资料分析了 1880~1999 年副高强度、西界和北界的变化，其结果都主要表现为低频振荡特征^[20]。图 7 给出的是西太平洋副高强度、西界和北界的小波变换的实部系数，其年代际变化特征十分清楚，主要表现为 25~35 年和 8~15 年准周期特征。

大气环流的年代际变化必然受到外界强迫，尤其是海洋热状况异常的影响，但大气内部动力过程也有不可忽视的作用。因此，年代际气候变化的机理既有海洋等外强迫的重要

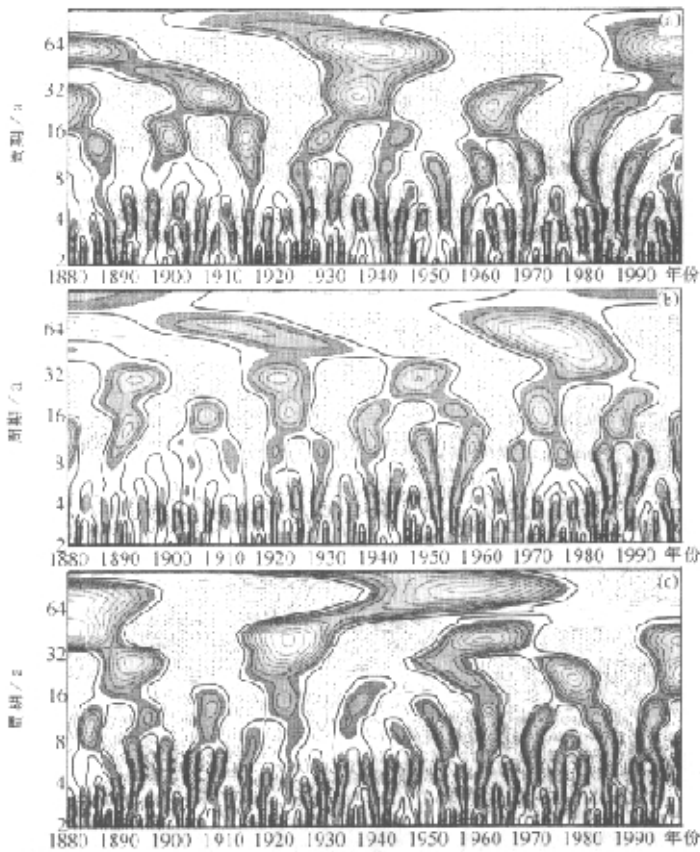


图 7 1880~1999 年西太平洋副高强度 (a)、西界 (b) 和北界 (c) 的小波变换的实部系数

作用, 也要考虑大气内部动力过程, 同时还要研究外强迫和内部动力过程的相互作用。

6 气候突变

气候的变化, 尤其是长时间尺度(包括年代际时间尺度)的变化往往具有突变特征, 即在较短时间内出现快速的剧烈变化。近百年资料的分析表明, 除了 20 世纪 20 年代初北半球气温有一次突变性升高之外, 中国和全球的气候在 60 年代也出现了一次突变, 中国的气温明显升高, 华北地区降水量明显减少^[21,22]。

根据气候突变的情况, 可以将其归并为均值突变、变率突变和趋势突变 3 类。从一个气候基本状态(以平均值表示)向另一个气候基本状态的急剧变化为均值突变; 两个气候状态的平均值并无明显差异, 但其变率有极明显的不同, 这样两种气候状态间的急剧变化称为变率突变; 两个气候阶段有完全相反的变化趋势, 这样两个气候阶段的急剧变化称为趋势突变。在实际气候的突变中, 可以单独出现某种突变型, 但也往往有几种突变型综合发生的情况^[23]。

为了定量地确定气候变化中的突变现象, 可以应用 Mann-Kendall Rank 统计检验方法, 其优点是能具体正确地给出突变开始的时间。以中国东部的干旱指数为例, 图 8 给出了对 1887~1986 年间中国东部干旱指数进行 Mann-Kendall Rank 检验的结果, 其中曲线 C_1 和曲线 C_2 的交点(位于 95% 的可信度区), 可以视为突变发生点, 其对应时间为 1922 年。说明中国东部地区在 1922 年左右有一次气候突变发生, 由相对湿润阶段迅速变成相对干旱时期。

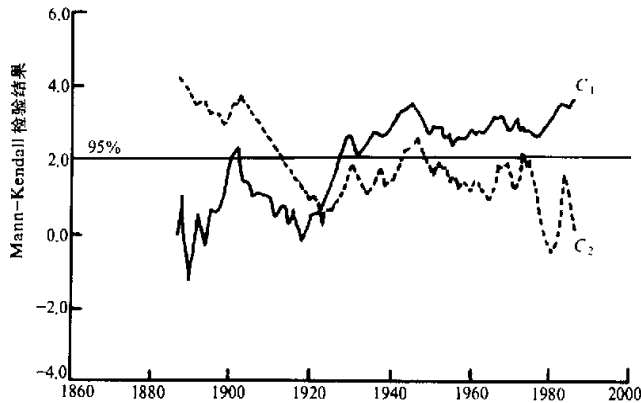


图 8 中国东部干旱指数的 Mann-Kendall 检验结果^[24]

参 考 文 献

- 1 赵振国主编, 中国夏季旱涝及环境场, 北京: 气象出版社: 1999, 45~78.
- 2 王绍武主编, 现代气候学研究进展, 第七章中国旱涝演变的研究, 北京: 气象出版社: 2001, 141~158.
- 3 秦大河主编, 中国西部气候·生态·环境演变评估第一卷第二章气候变化, 北京: 人民出版社, 2002.
- 4 Zhu Jinhong and Wang Shaowu, 80a-oscillation of summer rainfall over the east part of China and East-Asian

- summer monsoon, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**(5), 1043~1051.
- 5 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢等, 近百年中国气温序列的建立, *应用气象学报*, 1998, **9**, 392~401.
- 6 江志红, 丁裕国, 屠其璞, 中国近50年冬夏季极端气温场的年代际空间型态及其演变特征研究, *应用气象学报*, 1999, **10** (增刊), 97~103.
- 7 Hurrell, J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation, regional temperatures and precipitation, *Science*, 1995, **269**, 676~679.
- 8 Trenberth, K. E. and J. W. Hurrell, Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, *Climate Dyn.*, 1994, **9**, 303~319.
- 9 Li Chongyin and Li Guilong, Variation of the NAO and NPO associated with climate jump in the 1960s, *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**, 1983~1986.
- 10 Li Chongyin and Li Guilong, The NAO / NPO and interdecadal climate variation in China, *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**, 555~561.
- 11 朱乾根, 施能, 徐建军, 吴朝晖, 近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与我国气温、降水变化的关系, *气象学报*, 1996, **55**, 750~758.
- 12 Li Chongyin, The quasi-decadal oscillation of air-sea system in the Northwestern Pacific region, *Adv. Atmos. Sci.*, 1998, **15**, 31~40.
- 13 武炳义, 黄荣辉, 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风, *大气科学*, 1999, **23**, 641~651.
- 14 王永波, 施能, 近45a冬季北大西洋涛动异常与我国气候的关系, *南京气象学院学报*, 2001, **24**, 313~322.
- 15 Zhang, Y., J. M. Wallace and D. S. Battisti, ENSO like interdecadal variability 1900~1993, *J. Climate*, 1997, **10**, 1004~1020.
- 16 Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace and R. C. Francis, A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**, 1069~1079.
- 17 李崇银, 李柱龙, 龙振夏, 中国气候年代际变化的大气环流形势对比分析, *应用气象学报*, 1999, **10** (增刊), 1~8.
- 18 穆明权, 李崇银, 大气环流的年代际变化, I: 观测资料的分析, *气候与环境研究*, 2000, **5**, 233~241.
- 19 Li Chongyin, Mu Mingquan and Bi Xunqiang, Interdecadal variations of atmospheric circulation, Part II: Numerical simulations with GCM, *Chinese J. Atmos. Sci.*, 2000, **4**, 333~343.
- 20 蔡巧珍, 王绍武, 朱锦红, 龚道溢, 近百年夏季西太平洋副热带高压的变化, *大气科学*, 2001, **25**, 787~797.
- 21 Yamamoto, R., T. Iwashima and N. K. Sanga, An analysis of climate jump, *J. Meteor. Soc. Japan (Ser. II)*, 1986, **64**, 273~281.
- 22 Yan Zhongwei, Ji Jinjun and Ye Dusheng, Northern Hemispheric summer climate jump in the 1960's, I: Precipitation and temperature, *Science in China (B)*, 1990, **20**, 97~103.
- 23 李崇银, 气候动力学引论, 第二版, 北京: 气象出版社, 2000.
- 24 叶笃正, 黄荣辉等, 长江黄河流域旱涝规律和成因研究, 济南: 山东科学技术出版社, 1996.

The Study Interdecadel Climate Variation

Li Chongyin

(State Key Laboratory Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Zhu Jinhong

(Department of Atmospheric Science, Peking University, Beijing 100871)

Sun Zhaobo

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract Interdecadal climate variation, as an important background of the climate variations in interannual and month-seasonal time scales, usually impacts the climate situation and feature.

Recently, interdecadal climate variation has been paid much attentions in the world. Along with the implementation of international CLIVAR, the study on interdecadal climate variation has been also strengthened in China. Some accomplishments are shown as follows: Interdecadal variation feature of the climate in China; Relationship between interdecadal climate variation in China and the NAO / NPO; Interdecadal mode of SST in the North Pacific and its impact on the climate; Interdecadal variation of the atmospheric circulation and climate jump.

Key words: interdecadal; climate variation; North Pacific; mode