

20世纪全球温度年代和年代际变化的 区域特征^{*}

江志红^{1,2)} 李建平²⁾ 屠其璞¹⁾ 张强³⁾

1) (南京气象学院, 南京 210044)

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

3) (中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

摘要 利用多窗谱方法, 对全球各区域平均温度序列进行多种信号的检测、重构, 着重分析不同区域温度年代和年代际变化的演变特征及其遥相关特点, 初步研究显著年代际振荡信号的传播特征。结果表明 20 世纪年代至世纪尺度温度变化的显著信号有准 70 年波动和准 30~50 年、准 20~30 年、准 15 年、准 7~10 年多种时间尺度的振荡, 其中准 70 年波动主要存在于北大西洋及北太平洋的中高纬度; 准 30~50 年振荡则覆盖了除部分中纬度海域以外的大部分海陆表面, 其演变特征基本相似, 全球年平均温度序列中的显著年代际振荡信号主要反映了这一振荡信号; 准 20~30 年振荡则主要集中于大洋的中纬度和副热带纬度, 且具有沿副热带海洋环流传播的特点; 准 15 年振荡主要位于热带太平洋海域, 自 1930 年后, 该信号与北太平洋中纬度准 20~30 年振荡反位相; 准 7~10 年振荡则主要集中于北大西洋及北半球中高纬陆地。

关键词: 年代际振荡; 区域性特征; 遥相关关系

文章编号 1006-9895 (2004) 04-0545-14 **中图分类号** P433 **文献标识码** A

1 引言

年代际变化是当前气候研究的热点问题之一^[1]。不少观测与模拟研究表明, 气候系统中存在显著的年代际尺度变化, 但具体的时空结构存在分歧。Minobe^[2]通过对北太平洋及北美地区一些指数(包括几百年的树木年轮记录)研究, 发现气候年代际振荡的优势时间尺度是 50~60 年。Latif 等^[3]则利用 CGCM125 年的模拟结果, 并同北太平洋、北美地区的观测事实对比, 认为其振荡周期在 20 年左右。Kawamura^[4]对近 40 年的全球海表温度(SST)场作 REOF 分析, 表明在年际与年代际尺度上, 太平洋海表温度异常(SSTA)的空间分布具有明显的差异。Zhang 等^[5]利用近百年 SST 的资料, 显示年代际变率的空间分布型和与 ENSO 相联系的年际分量是基本相似的, 但年代际变率的优势区在中纬度北太平洋, 热带太平洋上则是与 ENSO 相联系的年际分量最为显著。最近, Nakamura 和 Yamagata^[6]及 Enfield 等^[7]的研究指出北太平洋存在两类不同时空结构的年代际振荡模态, 显著区分别对应于北太平洋副热带锋区和副极地锋区。李崇银^[1,8]

2003-02-24 收到, 2003-06-18 收到修改稿

^{*}国家自然科学基金资助项目 40375032、40275025 共同资助

的研究表明北太平洋海温年代际变化主要存在周期为 7~10 年和 25~35 年两种模态。黄荣辉和徐予红^[9]以及王绍武和朱锦红^[10]发现中国近百年的旱涝、华北降水都存在准 20 年的周期,与北太平洋准 20 年振荡关系密切。上述研究表明气候系统的年代际振荡可能具有多种模态,且不同区域年代际振荡间可能存在遥相关关系,但以往研究主要集中于探讨年代际振荡模态的时空结构,而年代际振荡间的遥相关关系也是通过年代际振荡的空间结构探讨的。类似于大气波动的传播,不同的年代际振荡模态可能是某种年代际振荡信号在气候系统中传播的表现形式。因此,本文将利用 1900~1998 年全球 $5^\circ \times 5^\circ$ 年平均表面温度场序列^[11]和 Hadley 中心的 HadCM2 的部分数值模拟结果,通过先进信号检测技术——多窗谱方法 (MIM)^[12,13],对文献 [14] 中得到的具有显著年际以上尺度温度变化差异的各区域平均温度序列进行多种信号的检测、重构,着重分析不同区域温度年代和年代际变化的演变特征及其遥相关特点,初步研究显著年代际振荡信号的传播特点。

2 资料与方法

2.1 资料

本文所用的资料是由文献 [11] 得到 1900~1998 年全球 ($42.5^\circ \text{S} \sim 67.5^\circ \text{N}$) $5^\circ \times 5^\circ$ 网格年平均表面温度距平资料集,其中陆地为表面气温距平,洋面为表层海温距平。模拟资料是 $2.5^\circ \times 3.75^\circ$ 网格的海陆表面气温距平场序列,取自 Hadley 中心第二代海气耦合模式 (HadCM2)^[15]240 年的控制试验(取现在的温室气体和气溶胶水平不变)结果。

2.2 方法

多窗谱方法 (MIM) 是由 Thomson^[12]和 Park 等^[13]提出的一种新颖的谱估计和信号重建技术。该方法利用最佳窗函数与多窗平滑结合得到了一种低方差、高分辨的谱估计,同时,通过多窗分解信息的时间域反演进行各类显著信号的重构,其重建信号的位相、振幅具有时变性。因此,非常适合于非线性气候系统中短序列高噪声背景下弱信号、时一空依赖信号的诊断分析。在文献 [16] 中已详细讨论 MIM 方法的基本原理及具体算法,这里不再赘述。

为有效提取各类低频变化信号,本文利用 Vondrak 滤波器的级联组合以实现有用信号尽可能的无畸变提取。滤波器的详细设计可参见文献 [17],这里仅给出其简单说明。

郑大伟等^[17]利用数字滤波理论,通过 Vondrak 滤波器的级联组合,提出了权重函数形式为

$$W = C[1 - V^N]^M \quad (1)$$

的多级滤波器,其中 C 为常数, N 、 M 为正整数, V 为 Vondrak 函数,该滤波器的频率响应函数为

$$R(f, \) = C[1 - A^N(f, \)]^M, \quad (2)$$

式中 $A(f, \)$ 为 Vondrak 滤波器的频率响应函数,

$$A(f, \) = \frac{1}{1 + (2f)^{2k}}, \quad (3)$$

其中, f 是频率, $\)$ 是平滑因子, k 为 Vondrak 滤波器的差分阶数。

3 全球温度场年代和年代际变化的显著区域

利用郑大伟等^[17]提出的窄带滤波方法，提取 7 年以上尺度的低频分量作为年代以上尺度分量。图 1a 给出该分量方差贡献百分率的分布，考虑到年代以上信号中还包括线性变暖趋势，图 1b 给出了 1900~1998 年年平均温度的线性趋势及其线性回归的方差贡献。

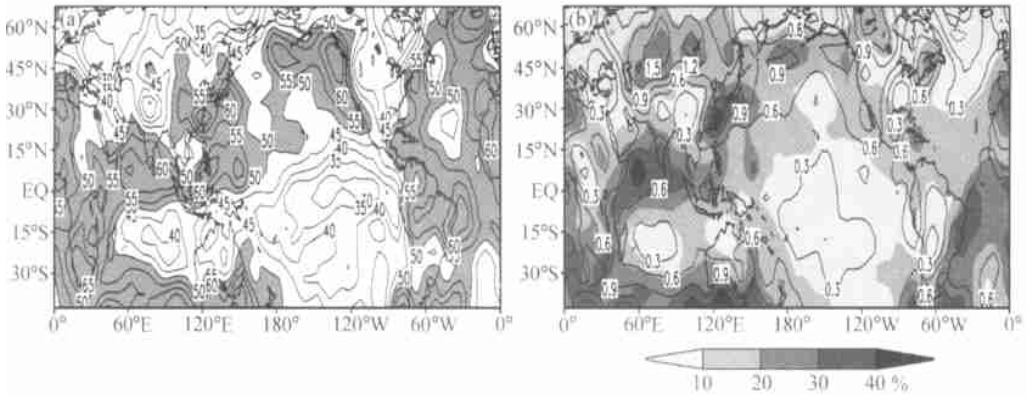


图 1 1900~1998 年年平均温度的年代以上尺度分量

- (a) 方差贡献百分率 (%)，阴影区为方差贡献百分率高于 50% 的区域；
- (b) 线性趋势 (单位：/100 a) 及其线性回归方差贡献百分率 (阴影区)

由图 1a 可见，年代以上低频分量方差贡献的高值区主要位于大西洋大部分海域、南印度洋中纬度、北印度洋、北太平洋中高纬度、西太平洋的中低纬及东亚东部、非洲和南美洲大部分地区，其方差贡献百分率均超过 50%。进一步与图 1b 对比可以发现，南大西洋的大部分地区、南印度洋中纬度、北印度洋、东亚东部及沿海地区等的低频变率高值区恰好对应于线性变暖与线性回归的高值区，表明这些地区的低频变率主要与显著的线性变暖有关；而北大西洋大部分海域、北太平洋中纬度却是线性趋势与线性回归的低值区，表明线性趋势的显著性、稳定性都较低，但上述区域年代以上尺度分量的方差贡献百分率大多高于 50%，表明北半球中高纬海域存在的较高年代际以上尺度变率可能主要与年代际振荡有关。

进一步对 HadCM2 控制试验得到的 240 年年平均模拟温度场，由类似的滤波方法，得到年代以上尺度分量，图 2 给出该模拟分量方差贡献百分率。可以看到，模拟场中年代以上低频分量主要集中于北太平洋的副热带和中高纬度及北大西洋中高纬海域，其方差贡献百分率均超过 40%。由于控制试验是在温室气体和气溶胶水平不变情形下得到，因此可以认为北半

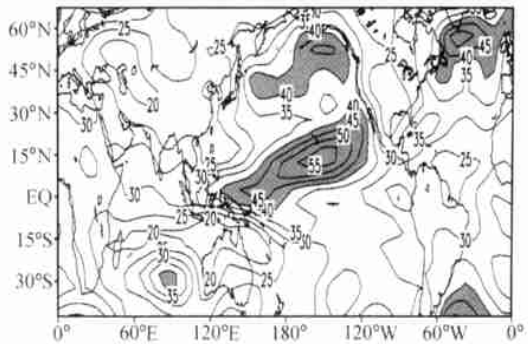


图 2 HadCM2 控制试验中年平均温度年代以上尺度分量的方差贡献百分率阴影区为方差贡献百分率高于 40% 的区域

球中高纬的强低频分量可能是海气系统自振荡的反映；另一方面，与图 1 对比可以看到，观测分析中出现在南大西洋的大部分地区、南印度洋中纬度、北印度洋、东亚东部及沿海地区等的强低频变率，在图 2 中则对应于低频变率的低值区，这也从另一侧面反映上述区域观测到的强低频变率主要与趋势变化有关。在文献 [14] 中，我们对 Hadley 中心 HadCM2 不同外强迫条件下的模拟温度场线性趋势统计特征的分析也反映了上述观点。

4 年代和年代际信号的区域特征

根据文献 [14] 得到的具有显著年际以上尺度变率差异的全球 20 个区域年平均温度距平序列（20 个区域的具体位置如图 3 所示），考虑到其都存在显著长期背景趋势^[14]，先对原序列作剔除背景的处理，再对扣除背景序列的剩余序列进行 MTM 谱分析，一些代表区域相应的谱图如图 4 所示。表 1 给出了各区域年平均温度 MTM 谱检测的显著低频（大于 7 年）周期信号（信度为 0.05，背景噪声取局地白噪声^[13]），其中包括背景趋势中呈准 70 年波动变化的信号^[14]。进一步利用 Park 等^[13]提出的基于 MTM 的信号重建技术，对各区域年平均温度序列中的显著信号进行重构。计算各重建信号与原序列的相关系数，发现均高于 0.35，表明各类重建信号确实反映了相应区域年平均温度各种时间尺度变化的主要信息。同时计算重建显著信号的方差贡献百分率（表 1 括号内数值），以反映相应信号的强弱程度。

由表 1 可以看到，年代与年代际振荡的主要周期有准 70 年、准 30~50 年、准 20~30 年及准 15 年、准 7~10 年优势时间模态。而各种低频振荡信号都有其优势区域。准 70 年波动主要存在于北半球中高纬海域，并以除墨西哥湾暖流以外北大西洋的大部分海域（8 区）、北太平洋中纬度（2 区）海域最为明显，方差贡献达 38%。准 30~50 年振荡分布的范围最广，覆盖了除部分中纬度海域以外的大部分海陆表面（即 1、8、9、10、12、15、17、18 和 20 区），其中在百慕大群岛及附近海域（9 区）、西亚及附近地

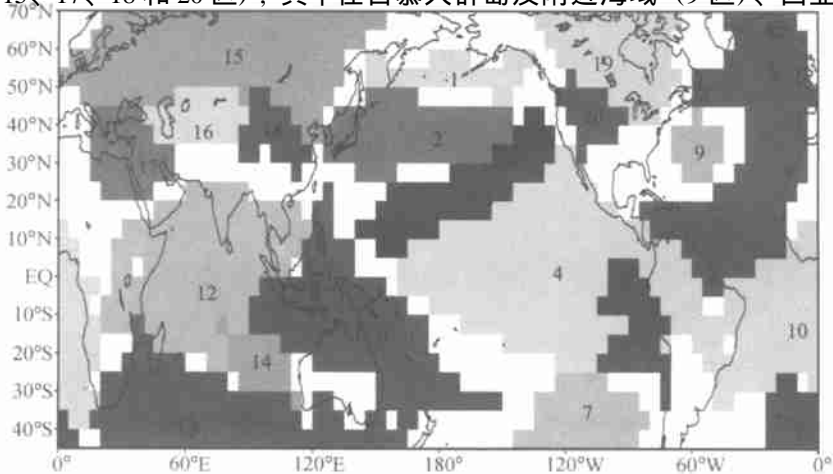


图 3 全球年平均温度距平变化的区划

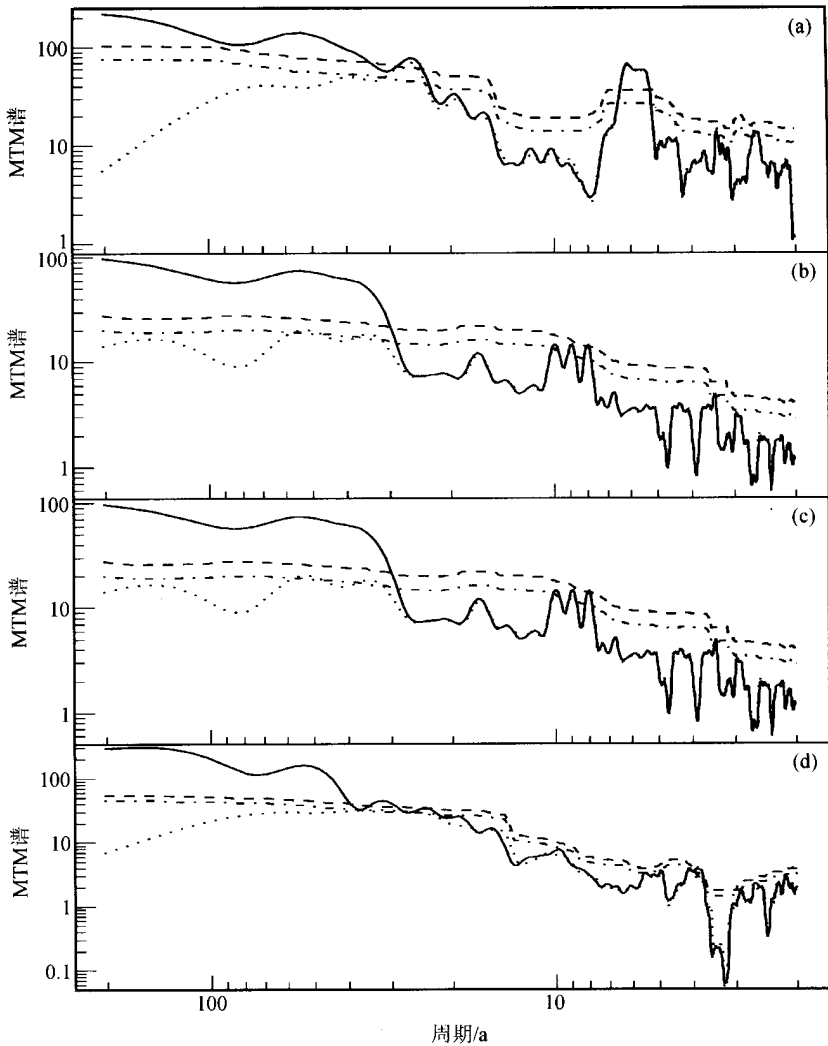


图4 各区域的年平均温度序列(1900~1998)的MIM谱分析
 实线为原始序列的谱估计; 点线为去除背景趋势后序列的谱估计;
 点划线、虚线分别是信度为95%、99%的局地强白噪声拟合谱
 (a) 区域2; (b) 区域4; (c) 区域8; (d) 区域13

中海(17区)、中国北部(18区)等地区较为明显, 方差贡献在25%左右。而准20~30年振荡则主要集中大洋的中纬度和副热带纬度, 如20~40°N之间的北太平洋(2、3区)、20~40°S之间的印度洋(13、14区)、30~40°S之间的南大西洋(11区)及中亚(16区)地区, 以北太平洋中纬至副热带纬度较显著, 方差贡献接近20%。准15年振荡主要位于热带太平洋海域, 其他准7~10年振荡则主要集中于北大西洋及北半球中高纬陆地(6、7、8、9、15、17、18、19区)。各区域主要低频振荡的尺度也各不相同, 根据重建信号的方差贡献百分率, 可以看到北大西洋大部分海域以准70年振荡最强, 墨西哥湾暖流附近海域准30~50年振荡信号最显著, 北半球中高纬大部分陆地以准30~50年振荡信号为主。北太平洋中纬至副热带海域存在显著的准20~30年振荡, 热带

太平洋地区准 15 年振荡信号最强。

表 1 各区域年平均温度 MIM 谱检测的显著低频信号 (单位: a) 及其方差贡献百分率 (% , 括号内数值)

地区	区号	年代际振荡	年代变率
北太平洋高纬度	1	70 (17.5)	44.4 ~ 56.8 (21.2) *
北太平洋中纬度	2	70 (37.6) *	23.1 ~ 31.0 (19.6)
北太平洋副热带	3	70 (31.7) *	22.3 ~ 33.0 (18.0)
热带太平洋	4	/	/
秘鲁沿岸海域	5	/	/
印度尼西亚附近及邻近海域	6	/	/
南太平洋中纬度	7	/	/
北大西洋海域	8	70 (37.7) *	34.0 ~ 56.8 (13.3)
百慕大群岛及附近海域	9	70 (22.1)	41.0 ~ 56.8 (27.4) *
南大西洋低纬度	10	/	31.9 ~ 35.3 (15.3) *
南大西洋中纬度	11	/	26.2 ~ 27.7 (13.8) *
热带印度洋	12	/	31.0 ~ 54.0 (12.7) *
南印度洋中纬度	13	/	25.5 ~ 33.0 (13.2) *
南印度洋的澳大利亚沿岸海域	14	/	31.9 ~ 35.3 (19.3) *
欧亚大陆高纬度	15	/	30.1 ~ 36.6 (14.4) *
中亚	16	/	21.0 ~ 26.9 (11.7) *
西亚及其附近地中海	17	70 (5.2)	31.0 ~ 36.6 (24.3) *
中国北部	18	/	48.7 ~ 64.4 (22.6) *
加拿大和美国东北部	19	/	/
美中西北部	20	70 (6.1)	31.0 ~ 48.8 (15.6) *

注: 带 * 数字表示各区域的主要低频振荡信号。

5 各区域低频振荡信号的时间演变及其相关关系

5.1 准 70 年波动的演变特征及其可能关系

北大西洋海盆和西亚及附近地中海地区准 70 年波动重建信号的演变特征如图 5a 所示, 其中北大西洋地区的暖位相位于 20 世纪 30 年代中期 ~ 60 年代, 冷位相则对应于 20 世纪 30 年代以前和 70 年代以后, 西亚及附近地中海地区的位相相似略有超前。位于北太平洋中高纬度及其美国西北部地区的准 70 年波动的重建信号见图 5b, 20 世纪的暖位相基本上位于 40 年代中期 ~ 60 年代, 70 年代中期后呈现下降趋势, 冷暖位相明显落后于北大西洋准 70 年波动信号。

5.2 准 30 ~ 50 年振荡的演变特征及其相关关系

图 6 给出了北大西洋 (8、9 区)、南大西洋低纬度 (10 区)、北太平洋高纬度 (1 区)、热带印度洋 (12 区)、北半球陆地的大部分地区 (15、17、18 和 20 区) 年平均温度准 30 ~ 50 年波动重建分量的演变特征, 可以看到, 上述各区域该尺度波动的主要特征相似, 它们之间的相关系数高于 0.65 (表略), 20 世纪主要有两次暖位相, 分别位于

20 世纪 20 ~ 40 年代及最近 20 多年，各区域近期暖位相的峰值大多高于 20 ~ 50 年代；冷位相主要集中于 20 世纪初 ~ 10 年代和 60 ~ 70 年代。进一步将各区域该尺度波动与全球准 40 年振荡信号对比^[16] (图 6)，可以发现其演变特征基本相似。它们与全球年平均温度准 40 年振荡信号的相关系数都在 0.54 以上，表明全球准 40 年振荡信号主要反映了北半球中高纬度、南半球低纬部分海域的准 30 ~ 50 年低频振荡信号。

最近，Timmermann 等^[18] 利用 ECHAM5/LSG 耦合海气模式的 800 年积分

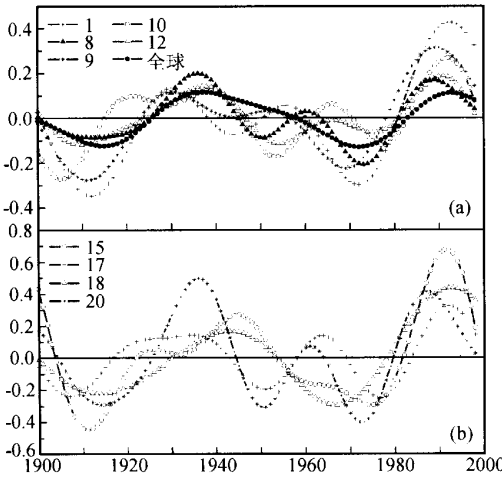


图 6 各区域的年平均温度准 30 ~ 50 年重建分量的演变
(a) 区域 1、8、9、10、12 和全球；
(b) 区域 15、17、18 和 20

才存在同位相的准 35 年振荡。显然，上述全球不少区域存在的具有相似位相的准 30 ~ 50 年振荡是否与这一机制有关，值得深入探讨。

5.3 准 20 ~ 30 年振荡的演变特征及其相关关系

图 7 给出了北太平洋及其附近地区 (2、3 和 16 区) 年平均温度重建准 20 ~ 30 年振荡分量的演变特征，可以看到不同区域之间似存在一定的滞后相关关系。图 7 还给出 1900 ~ 1995 年冬季阿留申低压^[6] [范围为 (40 ~ 55 N, 160 E ~ 160 W)] 10 ~ 40 年自回归带通滤波序列，与北太平洋中纬度 (2 区) 准 20 ~ 30 年振荡分量的对比，可以发现，两者基本呈同位相变化，相关系数高达 0.67，30 年代后尤为明显。20 世纪 70 年代中期

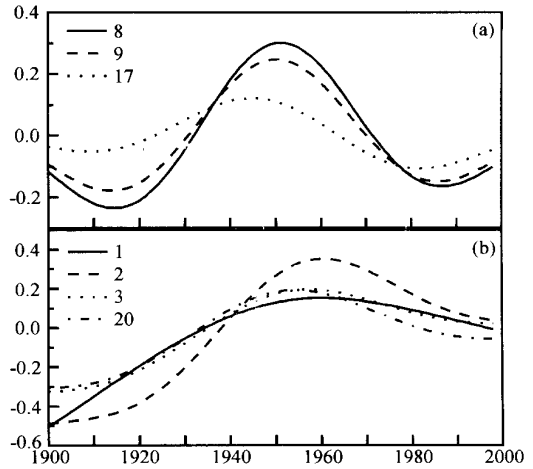


图 5 各区域的年平均温度准 70 年重建分量的演变
(a) 区域 8、9 和 17；(b) 区域 1、2、3 和 20

结果，发现北半球海气耦合模态优势振荡周期为 35 年，显著区在北大西洋中部暖流区，并提出海气耦合与温盐环流共同作用产生低频振荡的机制，其主要思想是当北大西洋为负距平覆盖时，大气系统则出现负的 SLP 响应，即北大西洋涛动 (NAO) 减弱，由此带来纽芬兰至格陵兰海域的蒸发和 Ekman 输送加强，并产生正的盐度距平，随后这种正的盐度距平被传送到格陵兰以南的强对流区，使该区域的对流强度增强，从而导致 THC 加强，使热量北输加大，形成北大西洋中部 SST 的暖距平。Timmermann 等^[18] 进一步的研究还表明只有通过大气遥相关型，在北半球的其他区域

至 80 年代, 伴随北太平洋中纬度 SST 的变冷, 冬季阿留申低压加强东移。类似情形同样可以在 20 ~ 30 年代、50 年代发现, 相反情况则存在于 40 年代, 这与 Latif 等^[3]和 Zhang 等^[5]由 EOF 得到的北太平洋年代际“类 ENSO 模”的时间演变相当一致。

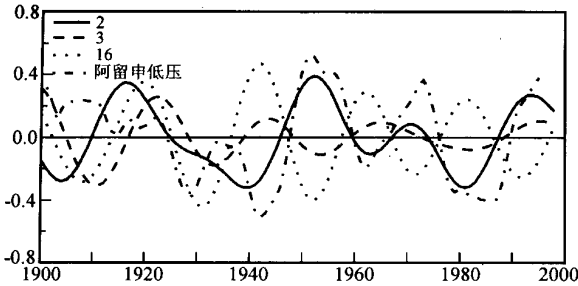


图 7 区域 2、3 和 16 的年平均温度准 20 ~ 30 年振荡重建分量和冬季阿留申低压的带通 (10 ~ 40 a) 滤波序列

计算北太平洋中纬度 (2 区) 准 20 ~ 30 年重建振荡序列与北太平洋年代以上尺度 SSTA 变化的滞后相关系数 (图 8), 可以看到当后延为零时, 正的高相关区覆盖了整个黑潮及北太平洋暖流区, 最大值位于日期变更线附近的 35 ~ 40°N, 美国西部、加拿大西南地区则有一显著的负相关区, 这种分布与李崇银等^[19, 20]所得到的北太平洋海温的年代际模的正位相特征十分相近; 当后延为 4 年时, 位于北太平洋暖流区的高相关区迅速变弱, 范围缩小, 其东北部的高相关区有向西南方向的延伸, 南部菲律宾以东的海域的负相

关区, 范围缩小, 其东北部的高相关区有向西南方向的延伸, 南部菲律宾以东的海域的负相

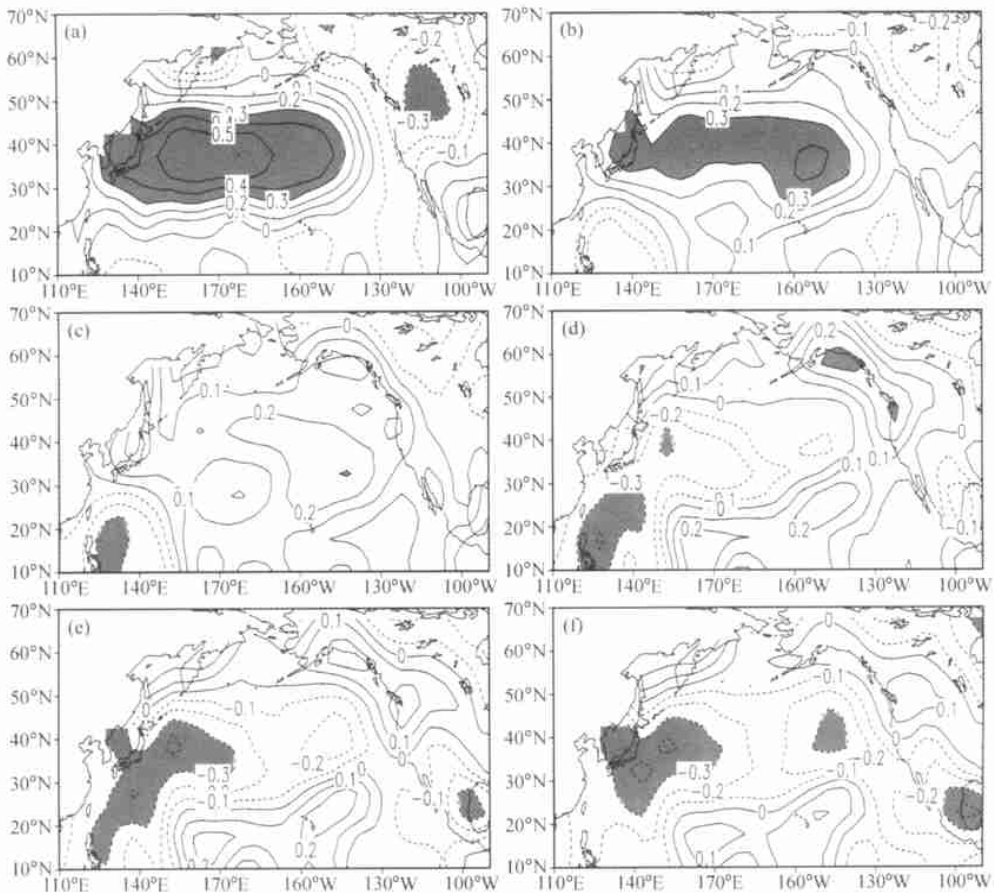


图 8 区域 2 的准 20 ~ 30 年振荡序列与年代以上尺度温度距平场的滞后相关系数 (a) 滞后 0 年; (b) 滞后 4 年; (c) 滞后 6 年; (d) 滞后 10 年; (e) 滞后 12 年; (f) 滞后 14 年

关区加强并东扩。在滞后 6~10 年时, 东扩的负相关区基本沿北太平洋暖流向东北扩展、加强, 而在阿留申群岛的下游阿拉斯加湾地区出现显著的正相关区, 并沿加利福尼亚寒流区向西南延伸; 至滞后 12 年时, 负相关区覆盖了整个黑潮及北太平洋暖流区, 美国西北部、热带中太平洋呈现正相关区, 形成了与后延为零时基本相反的相关结构。显然, 由不同后延高相关区的演变可以看到, 北太平洋东北部正高相关区有向西南方向的移动, 热带西太平洋的负高相关区有向东北方向的扩展, 表明显著相关区有沿北太平洋海盆作顺时针旋转的特征。这种特征与李崇银等^[1,19,20]利用 100 年 Hadley 中心的 SST 资料所发现的北太平洋 SSTA 年代际模 (25~35 年振荡) 有沿北太平洋海盆作顺时针旋转的特征非常相似, 因此, 上述现象实际上反映了北太平洋 SSTA 准 20~30 年振荡的顺时针传播过程, 表明北太平洋准 20~30 年的振荡与北太平洋副热带海洋环流关系密切。Latif 和 Barnett^[3]根据北太平洋、北美海气系统的观测事实及耦合模式数百年积分的结果, 重建了北太平洋上层海洋的热含量演变, 也发现北太平洋上层海洋的热含量距平存在沿副热带涡旋作顺时针旋转的准 20 年振荡, 并提出了源于北太平洋中纬度海域不稳定海气相互作用的年代际振荡机制。显然, 本文的诊断分析结果与 Latif 等^[3]北太平洋中纬度不稳定海气相互作用产生准 20 年振荡的机制是一致的。

印度洋也存在显著的准 20~30 年振荡, 图 9 即为不同后延下, 南印度洋中纬度 (13 区) 准 20~30 年重建振荡序列与印度洋及附近地区年代以上尺度温度距平场的滞后相关系数场。可以发现, 随着后延时间的加大, 南印度洋热带西测的负相关区有向东南方向的扩展, 东侧的正高相关区则向东北移动, 表明显著相关区有沿印度洋作逆时针旋转的特征, 反映南印度洋中纬度 SSTA 准 20~30 年振荡的传播与印度洋副热带海洋环流关系密切。类似的, 分析南大西洋中纬度 (11 区) 准 20~30 年重建振荡序列与南大西洋年代以上尺度温度距平场的滞后相关型的演变 (图略), 也发现与南大西洋副热带海洋环流逆时针运动一致, 即南大西洋 SSTA 准 20~30 年振荡也具有逆时针传播特点。

近年来, 有关北太平洋 SST 的年代际模有沿北太平洋海盆作顺时针旋转传播的观测事实及其可能机制引起了许多关注^[1,3,19,20]。本文的研究表明在南印度洋、南大西洋中纬度 SSTA 也有相当显著年代际振荡旋转传播的特征, 显然其观测事实及其可能机制值得深入研究。

5.4 各区域准 15 年振荡的演变特征及其相关关系

准 15 年振荡主要集中于热带太平洋、秘鲁沿岸海域及赤道、南大西洋低纬海域。图 10 给出了各区域该尺度信号的重建分量, 可以看到: 热带太平洋和秘鲁沿岸海域准 15 年左右振荡信号的演变特征相当一致, 同期相关系数都高于 0.70。除 20 世纪初及 90 年代外, 赤道、南大西洋低纬海域的年代振荡分量与热带太平洋地区基本相反, 同期负相关系数为 -0.43 (图略)。

图 10 中还给出了北太平洋中纬度准 20~30 年的振荡分量, 可以看到 30 年代后, 热带太平洋和太平洋南美沿岸地区较显著的年代振荡基本与北太平洋中纬度准 20~30 年振荡反位相。为进一步分析其空间结构, 对太平洋 SSTA 场作 9~28 年的一阶 Butterworth 函数的自回归带通滤波, 取热带、赤道太平洋 (4 区) 重建序列中显著冷、暖位相的峰值时段, 即 1914~1919 年、1940~1944 年、1947~1952 年、1978~1983 年、1987

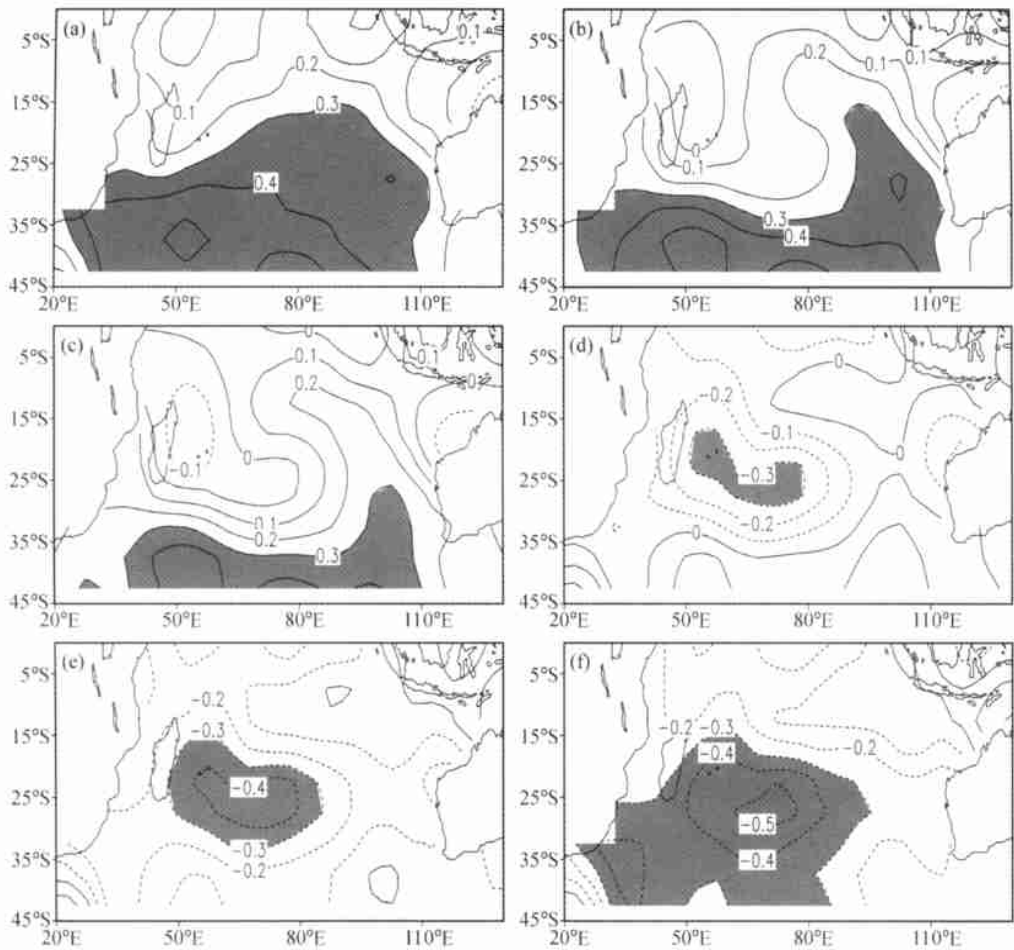


图9 区域13的准20~30年振荡序列与年代以上尺度温度距平场的滞后相关系数
 (a) 滞后0年; (b) 滞后4年; (c) 滞后6年; (d) 滞后10年; (e) 滞后12年; (f) 滞后14年

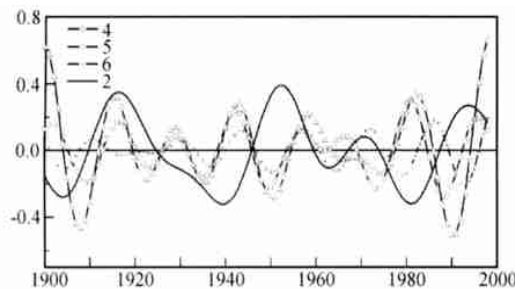


图10 区域4、5和6的年平均温度准15年振荡重建分量和2区准20~30年振荡重建分量

~1991年, 计算上述各时段太平洋海温平均距平场(图略), 可以发现, 除1914~1919年外, 在热带太平洋的冷(暖)位相时段, 热带太平洋和太平洋南美沿岸地区的SSTA场基本为负(正)距平, 北太平洋中纬度中部则有明显的正(负)距平, 东侧加拿大、美国西海岸地区有较弱的负(正)距平, 距平中心强度都超过0.25。

20世纪70年代后期北太平洋海气系统的显著年代际突变, 引起了国内外许多学者的普遍关注。最近的一些研究则将这种突变追溯到更长时期, Latif和Barnett^[3]以及Zhang等^[5]的研究表明在20世纪40年代存在着一种相反状态的突变, 并将热带太平洋与北太平洋中纬度SSTA反位相的变化称为“类ENSO”(ENSO-like)模态。李崇银

等^[19,20]则认为北太平洋海温年代际模并不是“类 ENSO”，而是有其自己特有的型态。本文的研究表明，太平洋中、低纬 SSTa 的反向变化是北太平洋中纬度准 20~30 年振荡与热带太平洋准 15 年振荡的耦合反映，但这种反向耦合变化在 1930 年前并不明显，有时甚至出现同位相。当然，由于二次世界大战前，海温资料的稀少、质量较低，有关结论尚有待进一步证实或修正。

5.5 各区域准 7~10 年振荡的演变特征及其相关关系

准 7~10 年的年代振荡主要集中于北大西洋海域和北半球中高纬陆地（6、7、8、9、15、17、18 和 19 区）。图 11 给出了北大西洋（8、9 区）、欧亚大陆大部分地区（15、17 和 18 区）、印度尼西亚及邻近海域（6 区）准 7~9 年振荡分量的演变。可以看到除 6、8 和 17 区该尺度分量的演变基本一致，其余地区该振荡分量间的相关关系是随时间变化的，但值得注意的是这种相关关系的变化，基本都出现在 20 世纪 20、60 年代。

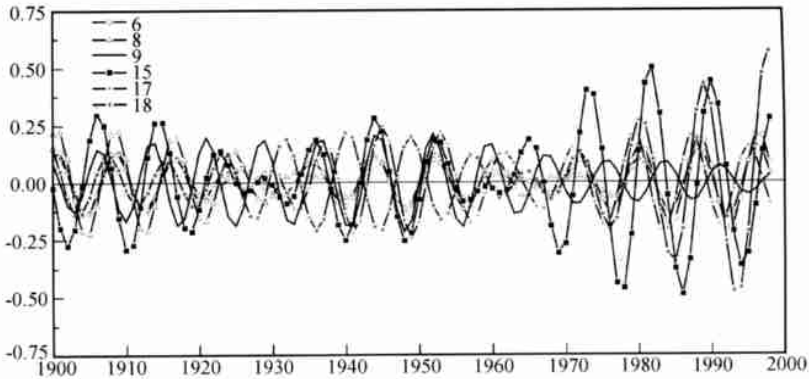


图 11 6、8、9、15、17、18 区年平均温度准 7~10 年振荡的重建分量

为更清晰地了解上述各区域准 7~10 年振荡相关关系的阶段性，进一步计算了各重建振荡序列在 1900~1998 年、1900~1924 年、1935~1963 年、1974~1998 年间的相关系数，结果如图 12 所示。可以看到：(1) 6、8 和 17 区在 20 世纪及其不同时段的相关系数均高于 0.65，表明其显著相关关系（信度为 0.01）是相当稳定的。(2) 不同时期，某些区域间显著相关关系（信度为 0.01）完全反位相，例如，9 区与 6、8 和 17 区在 1935~1963 年间有相关系数为 0.70 左右的正相关关系，但它们在 1974~1998 年的负相关系数的绝对值超过 0.70；18 区与 6、8 和 17 区在 1935~1963 年间有强的反相关关系，但它们在 1900~1924 年和 1974~1998 年的正相关系数大多超过 0.50，表明相关关系的转折基本都出现在 20 世纪 20、60 年代。

由图 11 还可以看到，大多数区域准 7~10 年振荡还具有显著的幅变特性，20 世纪 20、60 年代大多数区域振荡分量明显偏弱，不少区域 20 世纪 70 年代后振幅明显加大，欧亚大陆的高纬和中国中西部地区尤为显著。综上可见，(1) 准 7~10 年信号在某些地区有稳定的遥相关关系；(2) 大多数区域准 7~10 年振荡具有显著的幅变特性，不少区域该尺度振荡在 20 世纪 20、60 年代明显偏弱，20 世纪 70 年代后不少区域年代振荡明显

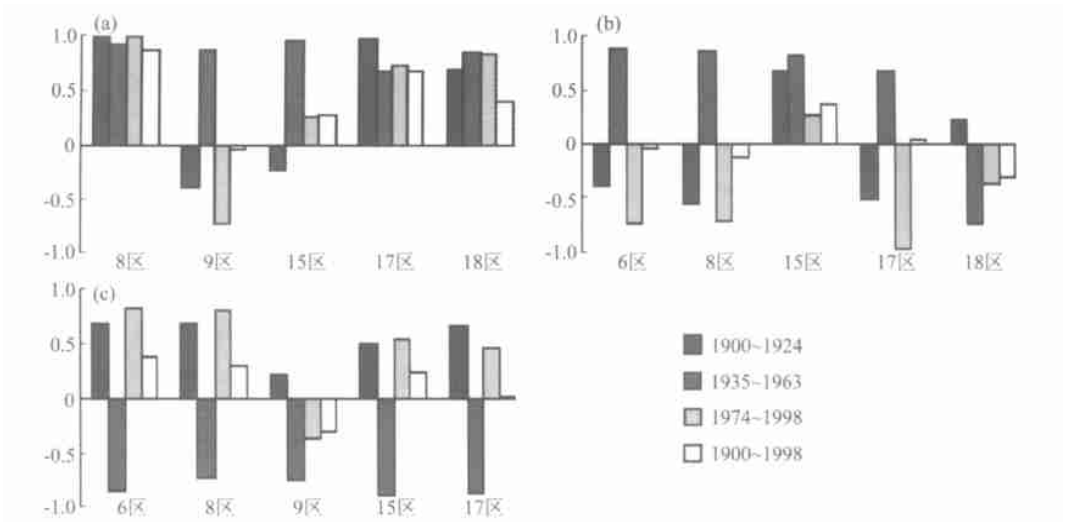


图 12 1900~1924、1935~1963、1974~1998、1900~1998 年各区域准 7~10 年振荡重建分量间的相关系数
(a) 6 区与 8、9、15、17、18 区; (b) 9 区与 6、8、15、17、18 区; (c) 18 区与 6、8、9、15、17 区

增强; (3) 不少地区该振荡分量间的相关关系具有时变性, 且相关关系的转折基本都出现于 20 世纪 20、60 年代, 为什么出现在这两个时期是一个非常值得进一步研究的问题。此外, 根据前述分析, 20 世纪 20、60 年代基本对应与准 30~50 年低频振荡变率最显著期, 显然各区域年代变率相关关系的变化是否与低频振荡背景有关值得引起注意。

6 结论

本文利用多窗谱方法 (MTM) 及各种滤波工具, 对 20 世纪全球各区域平均温度序列进行多种信号的检测、重构, 着重分析不同区域温度年代和年代际变化的演变特征及其遥相关特点, 初步研究显著年代际振荡信号的传播特征。得到了不少有新意、值得关注的事实、观点, 主要结论如下:

(1) 全球温度场年代际以上尺度低频变率的显著区位于北半球中高纬海域、南印度洋中纬度、北印度洋、东亚东部及沿海地区。但南印度洋中纬度、北印度洋、东亚东部及沿海地区较高的低频变率主要与显著的线性变暖有关, 北半球中高纬海域存在的较高年代际以上尺度变率则主要与年代际振荡有关。

(2) 20 世纪年代至世纪尺度温度变化的显著信号有准 70 年波动和准 30~50 年、准 20~30 年、准 15 年、准 7~10 年多种时间尺度的振荡, 其中准 70 年波动主要存在于北大西洋及北太平洋的中高纬度; 准 30~50 年振荡则覆盖了除部分中纬度海域以外的大部分海陆表面; 准 20~30 年振荡则主要集中于大洋的中纬度和副热带纬度; 准 15 年振荡主要位于热带太平洋海域; 准 7~10 年振荡则主要集中于北大西洋及北半球中高纬陆地。

(3) 不同区域主要低频变化尺度各异。北半球中高纬海洋以准 70 年、准 30~50 年振荡为主, 其中准 70 年振荡以北大西洋大部分海域最强, 百慕大群岛附近海域准 30~50 年振荡信号最显著, 北半球中高纬大部分陆地以准 30~50 年振荡信号为主, 低纬海

域则以年代振荡为主。由此可见, 北半球海域低频振荡的优势时间尺度似有随纬度增高而加大的趋势, 且在北太平洋海域尤为明显。

(4) 不同区域低频振荡信号间有一定的相关关系, 各区域准 30 ~ 50 年振荡的演变特征基本相似, 全球年平均温度序列中最显著的准 40 年振荡主要反映上述信号; 集中于大洋的中纬度和副热带纬度的准 20 ~ 30 年振荡, 都具有沿副热带海洋环流传播的特点; 20 世纪 30 年代后, 太平洋低纬地区的准 15 年振荡基本与北太平洋中纬度准 20 ~ 30 年振荡反位相; 除个别区域外, 不同区域准 7 ~ 10 年振荡分量间的相关关系具有时变性。但相关关系的转折大多出现在 20 世纪 20、60 年代, 为什么集中在这两个时期是值得深入研究的问题。

参 考 文 献

- 1 李崇银、朱锦红、孙照渤, 年代际气候变化研究, 气候与环境研究, 2002, 7, 209 ~ 219.
- 2 Minobe, S., Climate variability with periodicity of 50-70 years over the North Pacific and North America, *Geophys. Res. Lett.*, 1996, 24, 683 ~ 686.
- 3 Latif, M., and T. P. Barnett, Decadal climate variability over the North Pacific and North America, dynamics and predictability, *J. Climate*, 1996, 9, 2407 ~ 2423.
- 4 Kawamura, R., A rotated EOF analysis of global sea surface temperature variability with interannual and interdecadal time scales, *J. Phys. Oceanogr.*, 1994, 24, 707 ~ 715.
- 5 Zhang, Y., J. M. Wallace, and D. S. Battisti, ENSO-like interdecadal variability: 1900-93, *J. Climate*, 1997, 10 (5), 1004 ~ 1020.
- 6 Nakamura, H., and T. Yamagata, Recent decadal SST variability in the Northwestern Pacific and associated atmospheric anomalies, In: *Beyond El Niño: Decadal Climate Variability*, edited by A. Navarra, 1999, 69 ~ 92.
- 7 Enfield, D., and A. Mestas-Núñez, Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns, *J. Climate*, 1999, 12, 2719 ~ 273.
- 8 Li Chongyin, The Quasi-decadal oscillation of air-sea system in the northwestern Pacific region, *Adv. Atmos. Sci.*, 1998, 15, 31 ~ 40.
- 9 黄荣辉、徐予红, 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势, 高原气象, 1999, 18 (4), 465 ~ 476.
- 10 王绍武、朱锦红, 国外关于年代际气候变率的研究, 气象学报, 1999, 57 (3), 376 ~ 383.
- 11 江志红、屠其璞, 20 世纪全球表面温度场序列的插补试验, 南京气象学院学报, 2001, 24 (1), 26 ~ 36.
- 12 Thomson, D. J., Spectrum estimation and harmonic analysis, *Proc. IEEE*, 1982, 70, 1055 ~ 1096.
- 13 Park, J., C. R. Lindberg, and F. L. Vernon, Multitaper spectral analysis of high-frequency seismograms, *J. Geophys. Res.*, 1987, 92, 12675 ~ 12684.
- 14 江志红、李建平、屠其璞, 20 世纪全球温度场趋势变化的区域特征分析, 气候与环境研究, 2004, 9 (3).
- 15 Johns, T. C., R. E. Carnell, J. F. Crossley et al., The Second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: Model description, spinup and validation, *Climate Dynamics*, 1997, 13, 103 ~ 134.
- 16 江志红、屠其璞、施能, 多窗谱分析方法 (MIM) 及其在全球变暖研究中的应用, 气象学报, 2001, 59 (4), 480 ~ 490.
- 17 郑大伟、董大南, 用多级滤波器实现极移序列的窄带滤波, 天文学报, 1986, 27 (4), 369 ~ 375.
- 18 Timmermann, A., M. Latif, R. Voss et al., Northern Hemispheric interdecadal variability: a coupled air-sea mode, *J. Climate*, 1998, 11, 1906 ~ 1931.
- 19 咸鹏、李崇银, 北太平洋海温变化的年代际模及其演变特征, 大气科学, 2003, 27 (5), 861 ~ 868.
- 20 Li Chongyin, and Xian Peng, Atmospheric anomalies related to interdecadal variability of SST in the North Pacific, *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, 20 (6), 859 ~ 874.

Regional Characteristics of the Decadal and Interdecadal Variations for Global Temperature Field during the Last Century

Jiang Zhihong^{1,2)}, Li Jianping²⁾, Tu Qipu¹⁾, and Zhang Qiang³⁾

- 1) (*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)
- 2) (*State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)
- 3) (*National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081*)

Abstract On the basis of multi-taper spectral analysis, the detections and reconstructions are carried out in regional mean temperature time series, especially in analysis of the teleconnections of the decadal and interdecadal variations among the different region. The propagation of interdecadal oscillation was also preliminary investigated. Results show that there are different time scales of significant low-frequency oscillations with periods about 70 yr, 30~50 yr, 20~30 yr, 15 yr, and 7~10 yr, respectively. Oscillation with the period around 70 years is found in the extra-tropical ocean of the Northern Hemisphere, particularly in northwest Atlantic. The 30~50 yr oscillation exists throughout most part region of global, except for partial mid-latitude ocean, with similar change in different region. It is also displayed in the global mean temperature series. The 20~30 yr oscillation is found in the mid-latitude and subtropical ocean, which seem propagates along the subtropical ocean circulation. Decadal oscillation exhibits in the tropical and equatorial Pacific, west tropical Atlantic and mid-latitude Eurasia with periods 15, 7~10 yr, respectively. The phase of the former oscillation for low-latitude Pacific is basically in contrast to that of 20~30 yr oscillation for mid-latitude north Pacific.

Key words: interdecadal oscillation; regional characteristics; teleconnection relationship