

20 世纪全球温度场趋势变化的 区域特征分析*

江志红^{1,2)} 李建平²⁾ 王梅华³⁾ 屠其璞¹⁾

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) (中国气象局人事教育司, 北京 100081)

摘 要 利用 1900~1998 年全球 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 年平均表面温度场序列, 提取具有不同温度变化型态的显著区域, 探讨温度背景趋势的区域性及其对变暖显著性、稳定性的影响。同时结合对 Hadley 中心 HadCM2 海气耦合模式模拟结果的初步分析, 研究温度背景趋势地域性差异的可能成因。结果表明, 全球年际至世纪尺度温度变化距平场存在差异显著的 20 个区域。温度场的背景趋势主要表现为两大类, 背景增暖型和背景波动型, 其中背景波动型以准 70 a 的波动变化为主, 主要存在于北半球中高纬海域, 并以北大西洋地区尤为显著; 背景增暖最为稳定、显著的区域则是南印度洋中纬度地区。不同条件下海气耦合模式数值试验的结果也表明, 南印度洋中纬度地区是温室效应等外强迫的稳定响应区域, 温度背景趋势的地域性差异, 一方面可能与温室效应等外强迫变化在不同区域的响应稳定性有关, 另一方面也可能与海气系统年代际以上尺度耦合振荡的区域性有关。

关键词: 多窗谱方法; 全球气温; 温度背景趋势; 区域性特征

文章编号 1006-9585 (2004) 03-0422-13 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

1 引言

全球尺度地表温度变化的大量研究始于 20 世纪 80 年代, 以 Jones 等^[1]、Hansen 和 Lebedeff^[2]、Vinnikov^[3] 为代表的 3 个研究小组先后给出了 19 世纪末以来全球、半球及覆盖地球大部分地区的格点或区域平均温度序列。在 Jones 序列的基础上, 结合 COADS 资料, IPCC^[4] 的 3 次报告都公布了最新的半球及全球温度序列。根据 IPCC 2001 的报告, 19 世纪末以来全球平均表面温度已升高了 $0.4 \sim 0.8^{\circ}\text{C}$, 但温度的趋势变化也显示了极大的区域性差异^[4]。最近, Zeng 等^[5] 通过相关、趋势检验等分析认为 20 世纪增暖最稳定显著的区域是印度洋、西太平洋地区, 北大西洋温度呈下降趋势。Schlesinger 和 Ramankutty^[6] 将全球分成 11 个区, 在去除由辐射强迫变化带来的温度趋势的剩余序列中, 发现在北大西洋地区、北美、欧亚大陆、非洲等区域存在 65~70 a 周期振荡信号, 但南半球的大部分地区却不显著, 由于 Schlesinger 等所取的区域是按地理位置人为确定的, 同一区域内不一定具有相似的温度变化特征, 另外这种 65~70 a 周期振荡信号对温度趋势的影响程度也有待进一步研究。近期, 我们^[7,8] 对近

150 年来南北半球平均温度变率分析表明, 由于北半球年平均温度的变暖背景上迭加着显著的 40 a、60~70 a 的准周期振荡, 导致其线性变暖的显著性、稳定性都较南半球低。因此, 在年代以上尺度上, 不同区域低频振荡的主要时间尺度, 演变特征到底如何? 不同区域之间是否具有遥相关关系? 尚缺乏系统研究。显然, 以往大多数研究主要集中于分析长期趋势的强度, 对长期趋势稳定性的研究不多, 有关温度趋势变化的区域特征, 尤其是其可能的成因尚缺乏系统研究。

另一方面, 由于 20 世纪 30 年代前, Jones 等全球表面温度场资料的覆盖率都相当低, 给有关研究带来了困难。在文献 [9] 中, 作者利用基于主分量典型相关分析的典型变量回归 (CVR) 插补模式, 对该温度场进行插补延长, 得到了 1900~1998 年连续、均一的全球月平均表面温度场序列。同时考虑到用近百年序列分析年代至世纪尺度的变率相对较短, 引入先进信号检测技术有助于相对短序列、高噪声背景下弱信号的检测。因此, 本文将利用多窗谱方法 (MTM)^[10,11] 等信号诊断技术, 对文献 [9] 得到 1900~1998 年连续、均一的全球 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 年平均表面温度场序列, 根据近百年全球年平均温度变化的区域差异, 提取年际以上尺度温度变化不同型态的显著区域, 由此分析背景趋势的区域性及其对变暖显著性、稳定性的影响。同时本文将直接利用 Hadley 中心的 HadCM2 数值模拟结果^[12], 通过模拟结果与观测诊断分析的对比, 初步探讨背景趋势区域差异的可能成因。鉴于篇幅的关系, 有关年代际振荡的区域性特征及其遥相关特点, 我们将另文探讨。

2 资料与方法

2.1 资料

本文所用的观测资料是由文献 [9] 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。

模拟资料取自 Hadley 中心第二代海气耦合模式^[12] (HadCM2) 在不同强迫条件下的数值模拟结果。其中, 控制试验是指以现在的温室气体和气溶胶水平不变, 由耦合模式积分 250 a, 取后 240 a 的积分结果作为控制试验结果, 并记此试验为 CTL; 温室效应强迫试验是指在耦合模式中引入 1860~1989 年实际的温室气体变化, 1990~2099 年的温室气体按每年 0.5% 的增加速度变化, 由此得到的数值模拟结果, 记此试验为 HCGGD; 同时考虑温室气体的增温与气溶胶冷却效应的数值试验记为 HCGSD, 即在耦合模式中引入 1860~1989 年实际的温室气体和人为硫酸盐气溶胶浓度的变化, 1990~2099 年的温室气体按每年 0.5% 的增加速度, 人为硫酸盐气溶胶浓度的变化根据 IPCC IS92d 排放方案进行。模拟资料的空间分辨率为 $2.5^{\circ}\times 3.75^{\circ}$ 。

2.2 方法

2.2.1 显著区域的提取方法

对近 100 a 全球 ($42.5^{\circ}\text{S}\sim 67.5^{\circ}\text{N}$) 年平均温度距平场进行旋转经验正交展开 (REOF), 分析旋转后主分量的荷载分布, 以得到具有不同年际以上尺度温度变化型态的显著区域。具体方法如下:

(1) 对全球 1900~1998 年年平均温度距平场作 REOF 分析。根据 Craddock^[13] 准

则,选取施行旋转的特征向量数 (m),在方差最大准则下,对前 m 个特征向量荷载作正交旋转。(2)取同一荷载场中,荷载值 ≥ 0.45 且地理上连成一片、格点数超过 10 的区域为同一温度变化显著区。(3)在同一荷载场中,若有地理上不连续的两块或两块以上满足(2)规定的区域,则将其视为不同的温度变化显著区。(4)个别格点若按以上原则可能同时归于两个或两个以上温度变化显著区,则按其对应荷载值的大小,将其归于荷载较大的区域。(5)不能满足以上条件的剩余区域则对应于温度变化的非显著区,它们往往对应于不同显著区间的过渡区或小尺度的局地温度变化型。这样在同一区域内各格点具有相似的年平均温度距平变化特征,不同区域的温度变化反映了全球年际以上尺度温度变化的主要形态。

2.2.2 区域平均温度距平序列的建立

区域平均温度距平序列的建立步骤是:(1)对所提取的各显著区域温度距平场分别进行主成分分析(PCA);(2)以各区域第一主成分的荷载作为权重系数,进行加权平均,由此得到的平均序列作为区域平均温度距平序列。显然,它比等权的区域平均温度距平序列更好地反映了区域温度距平的变化。

2.2.3 MTM 方法的准周期信号检测与重构

多窗谱方法(MTM)是由 Thomson^[10]、Park^[11]等提出的一种新颖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可以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[7]中我们详细讨论了 MTM 方法的基本原理及具体算法,这里不再赘述。

2.2.4 线性趋势及其显著性、稳定性

设某气象要素年际序列 $\{y_t\}$, $t=1, 2, \dots, n$, 在最小二乘估计下,其线性趋势 b 的估计值为

$$\hat{b} = \frac{\sum_{t=1}^n (t - \bar{t})(y_t - \bar{y})}{\sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2}, \quad (1)$$

其中 $\bar{t}=(n+1)/2$, 为研究估计线性趋势的显著性,可以通过检验气候趋势系数的显著性确定^[7]。

根据回归理论,在样本长度与自变量确定的条件下,线性变率估计值的稳定性主要与依变量 $\{y_t\}$ 条件分布的离散程度(即剩余方差)有关,剩余方差越小,回归方差越大,则线性变率的估计值越稳定。

3 全球不同型态年平均温度距平变化的显著区域

根据 2.2.1 所述方法,对全球 1900~1998 年年平均标准温度距平场作 REOF 分析,由 Craddock^[13]准则,确定旋转特征向量数 $m=20$,相应前 20 个特征向量的累积方差贡献 $\geq 80\%$,对前 20 个特征向量荷载阵进行正交旋转,结果如下:

第 1 旋转特征向量的荷载分布如图 1a，图中阴影区为荷载绝对值高于 0.45 的区域，可以看到存在两个较大范围的高荷载区，其一位于赤道、热带中东太平洋及南美大陆低纬地区，其二则对应于热带（20°S~20°N）印度洋及其邻近区域，荷载值都高于 0.50；第 2 旋转特征向量的高荷载区（图 1b）集中在 45°N 以北的欧亚大陆的北部（包括前苏联和北欧地区），荷载值基本高于 0.50；由第 3 旋转特征向量荷载分布（图 1c）可见，高荷载覆盖了除美国东海岸、百慕大群岛附近海域以外的整个北大西洋海盆；第 4 旋转特征向量的高荷载（图 1d）位于印度尼西亚及邻近海域、热带南太平洋的西部和澳大利亚北部地区；第 5 旋转特征向量则在北太平洋中纬度存在高荷载区（图略）；第 6 旋转特征向量荷载场的主要特征是北太平洋副热带地区存在一东北至西南走向的负高荷载区（图略）；第 7 旋转特征向量的高荷载区集中在大西洋的中低纬度（图略）；由第 8 旋转特征向量荷载分布（图略）可见，其在亚洲的西部、大西洋百慕大群岛附近海域各存在一高荷载区，但符号相反；第 9 旋转特征向量的高荷载区主要位于南印度洋中高纬地区，且在南大西洋的中高纬西部也有一小范围的高值区（图略）；第 10、11、12 旋转特征向量的高荷载区（图略）分别位于南太平洋的中纬度地区、北美的加拿大大部地区及南大西洋的中高纬海区；第 13、14、15 旋转特征向量的高荷载区分别对应于地中海及其沿岸地区、美国的西北部地区、长江以北的中国大部分地区；第 16、17、20 旋转特征向量的高荷载区（图略）主要集中于南太平洋的秘鲁沿岸、南印度洋的澳大利亚沿岸海域、北太平洋高纬度海域；第 18、19 旋转特征向量荷载场上基本无高荷载区或仅个别格点的荷载值高于 0.45（图略），即没有达到分区标准的区域。在此基础上，根据前述提取显著区域的标准，可以得到 20 个具有不同温度距平年际以上尺度变化特征的显著区域（见表 1），它们覆盖了全球 76.3% 的表面，具

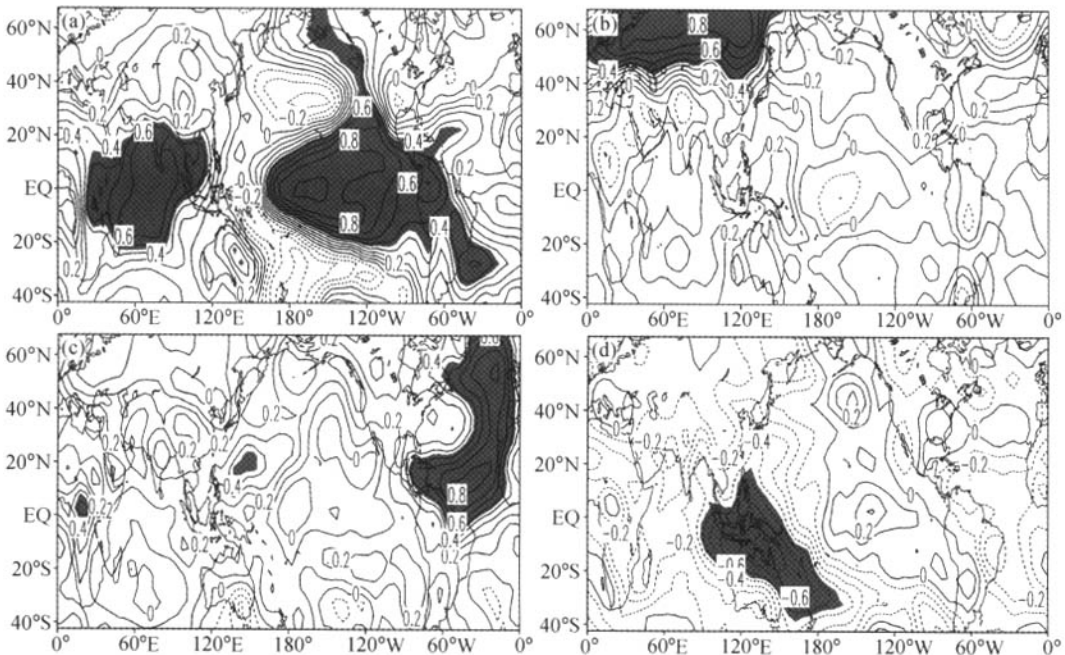


图 1 全球年平均温度距平旋转后第 1 (a)、第 2 (b)、第 3 (c) 和第 4 (d) 特征向量的荷载分布
图中阴影区为荷载绝对值高于 0.45 的区域

表 1 各区域年平均温度背景趋势的方差贡献、与全球年平均温度背景趋势间的相关系数及其线性趋势的统计特征

类型	地区	区号	MTM 的背景趋势		线性趋势	
			方差贡献/ %	与全球背景趋 势的相关系数	线性增温率/ (℃/100 a)	线性回归 方差贡献/%
上升 I 型	秘鲁沿岸海域	5	3.2	1.00	0.64	8.9
	印度尼西亚附近及邻近海域	6	28.1	0.97	0.51	32.8
	南太平洋中纬度	7	16.1	0.99	0.51	17.5
	南大西洋低纬度	10	21.7	0.95	0.79	43.5
	南印度洋中纬度	13	61.5	1.00	1.16	70.3
	欧亚大陆高纬度	15	4.2	1.00	1.11	18.7
	中亚	16	22.7	0.98	1.34	29.6
	中国北部	18	2.7	0.99	0.67	19.5
	加拿大和美国东北部	19	6.5	0.99	1.07	14.4
上升 II 型	热带太平洋	4	4.6	0.85	0.41	9.1
	南大西洋中纬度	11	16.1	0.90	0.74	19.8
	热带印度洋	12	22.3	0.92	0.57	42.1
	南印度洋的澳大利亚沿岸海域	14	4.5	0.74	0.40	15.1
波动 I 型	北大西洋海域	8	37.7	0.16	0.38	13.4
	百慕大群岛及附近海域	9	22.1	0.08	0.34	10.1
	西亚及其附近地中海	17	5.2	-0.23	0.22	3.8
波动 II 型	北太平洋高纬度	1	17.5	0.75	0.84	29.1
	北太平洋中纬度	2	37.6	0.78	0.84	25.2
	北太平洋副热带	3	31.7	0.74	0.54	22.3
	美中西北部	20	6.1	0.58	0.71	9.7

体位置如图 2 所示。

进一步对各区域标准化温度距平场作主成分分析，可以发现各区域第一主成分的方差贡献都在 45% 以上，平均荷载均大于 0.65，最小荷载也在 0.40 以上，表明同一区域内温度距平的变化是基本一致的，且各区域第一主成分反映了该区域温度变化的主要特征。

4 年平均温度背景趋势的区域性及其对变暖显著性的影响

4.1 20 世纪年平均温度背景趋势的区域性

根据 2.2.2 介绍的方法，以各区域第一特征向量的荷载向量作为权重系数，建立区域平均温度距平序列，对各区域年平均温度距平序列分别进行 MTM 分析。图 3 给出了某些代表区域的 MTM 谱图，可以发现各区域年平均温度距平序列都存在显著长期趋势（即周期大于 50 a，频率 $f < 0.02$ 的谱峰），故对各区域 $f = 0$ 的信号进行 MTM 重建，并称其为背景趋势。图 4 给出了某些代表区域的原始距平序列及相应的背景趋势演变情况。进一步计算各区域背景趋势与原始距平序列的相关系数，发现大多在 0.40 以上（表略），表明重建背景趋势反映了相应年平均温度变化的长期趋势。

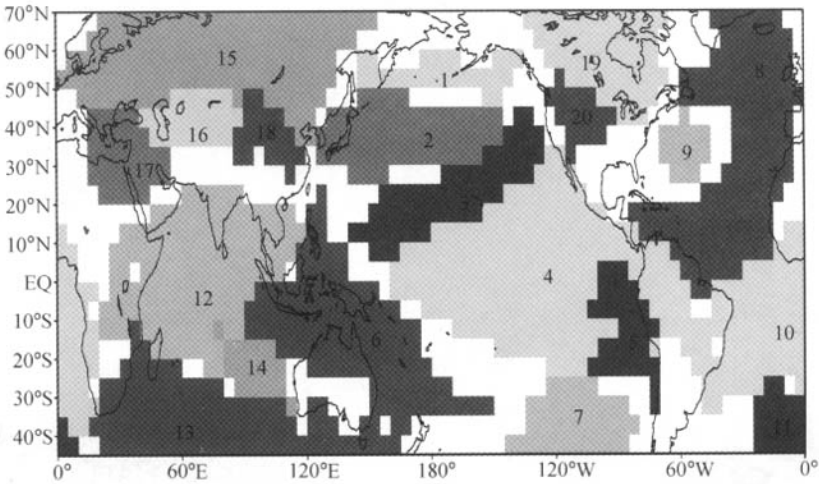


图 2 全球年平均温度距平变化的区划

图中数字为区号，1 区为北太平洋高纬度、2 区为北太平洋中纬度、3 区为北太平洋副热带、4 区为热带中东太平洋、5 区为南太平洋秘鲁沿岸、6 区为印度尼西亚及邻近海域、7 区为南太平洋中纬度、8 区为北大西洋大部分海域、9 区为百慕大群岛及附近海域、10 区为南大西洋低纬度、11 区为南大西洋中纬度、12 区为热带印度洋、13 区为南印度洋中纬度、14 区为南印度洋的澳大利亚沿岸、15 区为欧亚大陆高纬度、16 区为西亚、17 区为地中海附近、18 区为中国北部、19 区为加拿大和美国东北部、20 区为美国西北部地区

为进一步探讨各区域背景趋势与全球平均背景变暖的关系，类似地对全球年平均温度距平序列作 MTM 分析，并对其 $f=0$ 的显著信号进行 MTM 重建。图 5 给出了各区域及全球年平均温度距平的重建背景趋势演变。由图 5 可见，虽然全球许多区域都存在显著的背景增暖趋势，但也有不少区域背景趋势呈波动变化。各区域背景趋势的变化分为两大类：背景增暖型和背景波动型。其中背景增暖型中又分为 2 类：（1）背景趋势基本呈线性上升，并称其为上升 I 型，主要位于南半球的中低纬度和北半球中高纬度陆地（见图 5a、5b），它们与全球年平均温度增暖趋势的相关系数都在 0.95 以上（见表 1）；（2）自 20 世纪 20、30 年代后背景趋势基本呈线性上升，称其为上升 II 型，主要位于热带中东太平洋和热带印度洋（见图 5c），它们与全球背景趋势的相关系数都在 0.80 左右。背景波动型也分为 2 类：（1）背景趋势具有明显的波动变化，称其为波动 I 型，基本对应于大部分北大西洋海盆和西亚及附近地中海地区，波动趋势的演变特征如图 5d，波动周期约为 70 a，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似略有超前，波动 I 型与全球年平均温度增暖趋势不存在明显的相关（ $R_{0.01} = 0.254$ ）；（2）背景趋势有一定的波动变化，称其为波动 II 型（如图 5e），主要位于北太平洋中高纬度及其美国的西北部地区，20 世纪的暖位相基本上位于 20 世纪 40 年代中期～70 年代，70 年代中期后呈现下降趋势，波形变化似乎滞后于北大西洋地区的准 70 a 波动，波动 II 型与全球年平均温度背景趋势的相关系数大多低于 0.75。由此可见，20 世纪以来稳定的背景增暖存在于南半球的海陆表面、北半球中高纬大部分陆地及低纬大部分海域；而北半球大部分海域如北大西洋、北太平洋副热带以北的海盆及其上述海域以东中纬度部分陆地（西亚及附近地中海地区、美国西北部地区）的背景

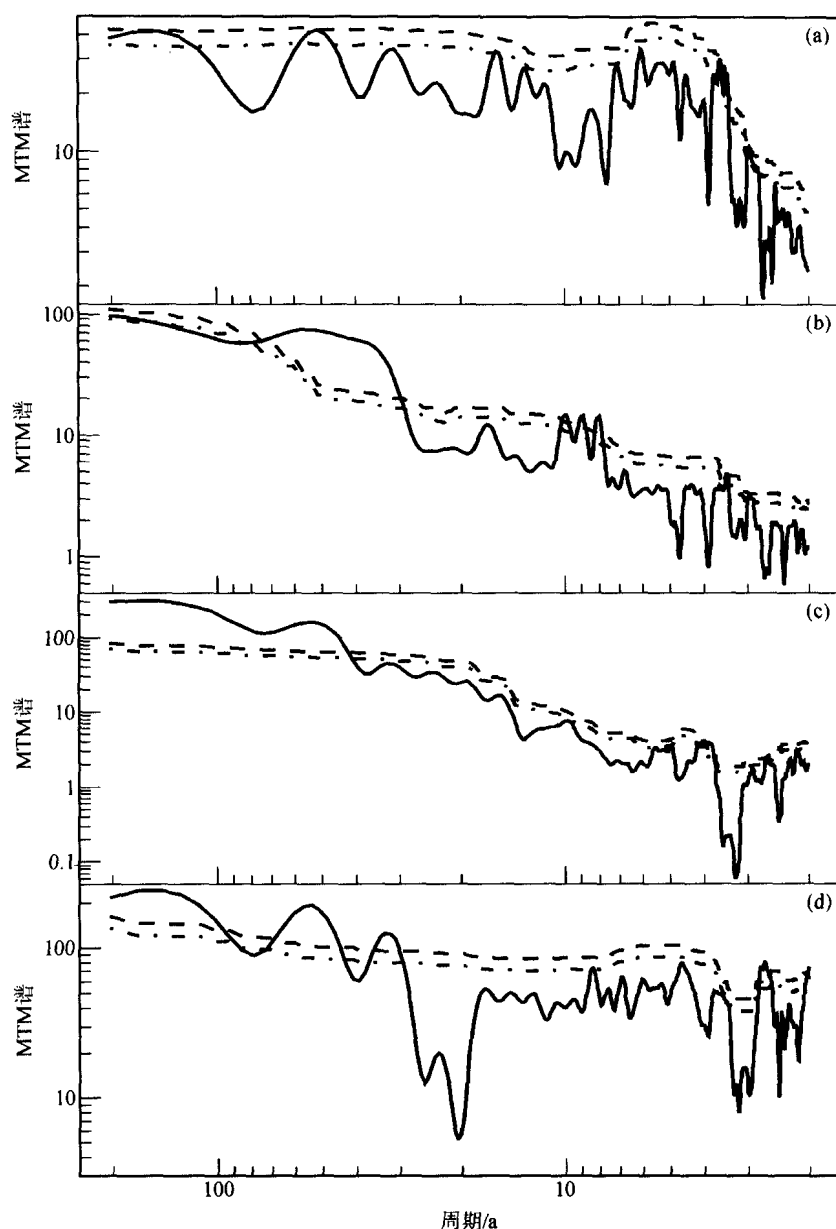


图3 区域4 (a)、8 (b)、13 (c) 和 15 (d) 的年平均温度序列 (1900~1998 年) 的 MTM 谱分析
实线为序列的谱估计, 点划线、虚线分别是信度为 95%、99% 的局地强白噪声拟合谱

趋势呈波动变化, 暖位相峰值大多位于 20 世纪 40~50 年代, 70 年代或 70 年代中期后呈现下降趋势, 且冷暖位相似乎有一从北大西洋向北太平洋传播的特征, 其中北大西洋地区背景趋势的准 70 a 波动变化最为明显。

进一步由各区域背景趋势的方差贡献 (表 1) 可以看到, 方差贡献超过 20% 的上升型背景趋势主要位于印度洋、南大西洋的中低纬度及印度尼西亚邻近海域, 南印度洋中纬度地区尤为明显, 背景增暖的方差贡献达 62%。而方差贡献高于 20% 的准 70 a 波动背景则集中于北大西洋、北太平洋副热带以北的海盆, 可见背景变暖的显著区主

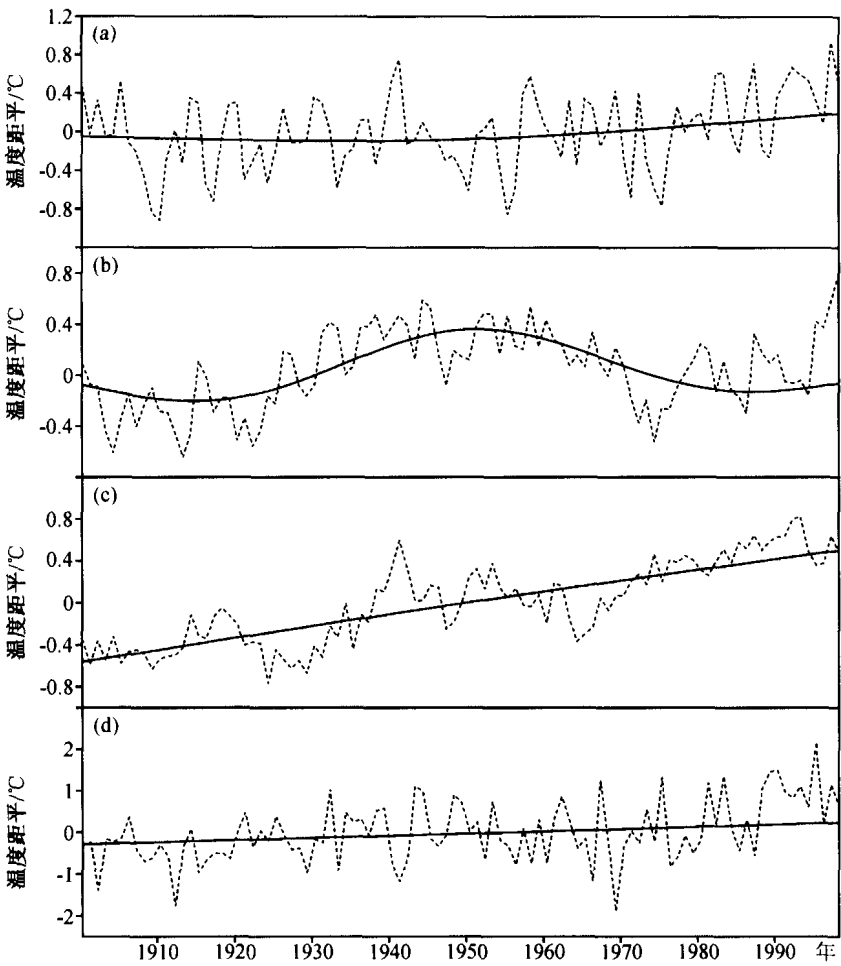


图 4 区域 4 (a)、8 (b)、13 (c) 和 15 (d) 的年平均温度距平及其相应的背景趋势
虚线为原距平序列，实线为重建趋势序列

要位于南半球海域，其中以南印度洋中纬度地区最为明显。准 70 a 的波动背景主要存在于北大西洋及北太平洋的中高纬度。

4.2 背景趋势的区域性对线性变暖稳定性的影响

为进一步探讨背景趋势区域性对线性变暖稳定性的影响，表 1 还给出了各区域年平均温度的线性增温率及线性回归的统计特征，可以发现，除热带中东太平洋（4、5 区）海域之外，在背景呈现上升型的区域，都具有显著的线性增温率，线性回归方差贡献都较高，特别是印度洋中纬度地区，线性增温率为 $1.16\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ ，线性回归方差贡献高达 70%，成为全球线性增暖最为稳定、显著的区域，对全球变暖信号具有指示意义。北半球欧亚大陆的腹地（西亚）线性增温率高达 $1.34\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ ，线性回归方差贡献也有 30%。成为全球线性增暖最强、且相对较为稳定的区域。而背景波动信号较强的北大西洋海盆和地中海及邻近地区（8、9、17 区）线性增温率最低，显著性都低于信度，线性回归方差贡献也基本低于 10%。表明准 70 a 背景波动的存在是造成某些区域线性变暖不显著的主要原因。最近，Zeng 等^[5]利用全球平均温度与全球格点温度

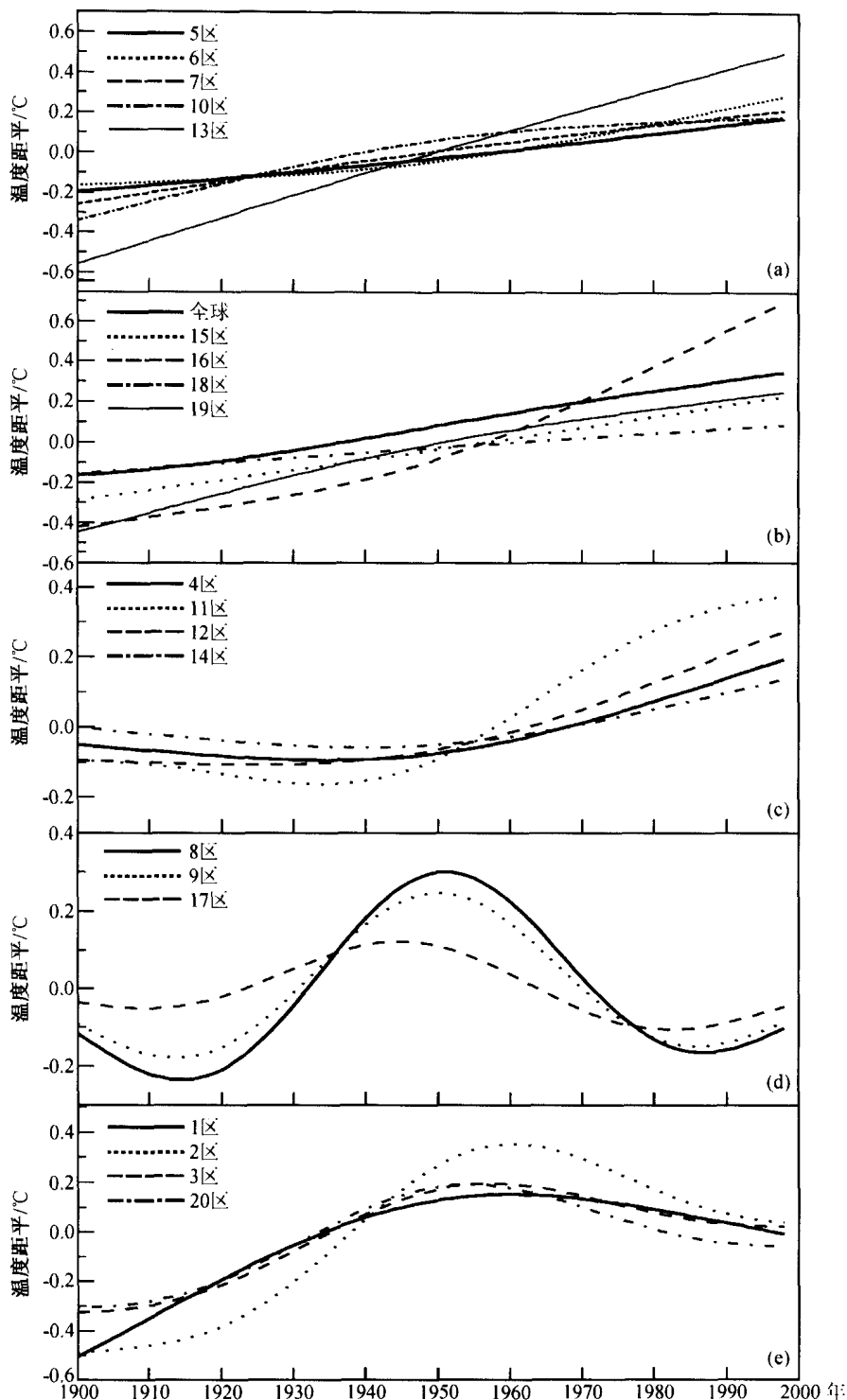


图5 各区域及全球年平均温度距平的重建背景趋势演变曲线

(a) 5、6、7、10和13区的重建背景趋势；(b) 15、16、18和19区及全球的重建背景趋势；(c) 4、11、12和14区的重建背景趋势；(d) 8、9和17区的重建背景趋势；(e) 1、2、3和20区的重建背景趋势

距平的相关、趋势等分析也发现，全球增暖最稳定的区域在印度洋、南大西洋，这一结论与本研究结果相当一致。

5 背景趋势区域性差异的可能成因

上述研究表明温度场的背景趋势具有显著的地域差异，20 世纪背景变暖显著区主要位于南半球海域，其中以南印度洋中纬度地区最为明显。准 70 a 的波动背景主要存在于北大西洋及北太平洋的中高纬度。为此，我们将进一步利用 Hadley 中心第二代海气耦合模式^[13]（HadCM2）在不同强迫条件下的数值模拟结果，寻求耦合模式中温度背景变化信号，以初步探讨这种地域性差异的可能成因。

选用 HadCM2 的控制试验和不同强迫条件下 240 a 全球温度场的数值模拟结果。为方便起见，以（25~40°S，30~90°E）之间的区域代表南印度洋中纬度地区，（30~45°N，150°E~160°W）之间的区域代表北太平洋的中高纬度地区，（45~70°N，50~10°W）之间的区域代表北大西洋的中高纬度地区，对控制试验得到的上述各区域年平均温度的序列作 MTM 谱分析。根据上述序列的 MTM 谱估计及其相应的局地强白噪声临界谱（图略），可以发现，在不考虑外强迫的条件下，北大西洋及北太平洋的中高纬度都存在年代际以上尺度振荡，且年代以上尺度（ $f<0.1$ ）变率的功率贡献都超过 45%（见表 2），南印度洋中纬度地区年代及其以上尺度信号不明显，其功率贡献低于 25%。进一步计算考虑外强迫下上述不同区域温度变化的线性趋势（如表 2），可以发现，无论是仅考虑温室效应的变化，还是同时考虑温室气体与气溶胶的变化，南印度洋中纬度地区的线性增温率、线性回归方差贡献都较高，而北大西洋和北太平洋中高纬度的线性变暖都不显著，甚至在同时考虑温室气体与气溶胶的变化的情形下，线性趋势出现负值。

图 6 给出了不同外强迫下 1900~1998 年模拟年平均温度的线性趋势及其线性回归的方差贡献，后者反映了线性趋势稳定性的强弱。可以看到当仅考虑温室气体强迫时（图 6a），陆地是近百年线性增温的高值区，最大增温在北半球高纬度，但线性回归方差贡献的高值区位于除东太平洋以外大部分中低纬地区海域，表明温室效应线性增暖的稳定区在除东太平洋以外的大部分中低纬海域。同时引入温室气体与气溶胶强迫后（见图 6b），北半球中纬度线性增温率明显降低，增温的高值区主要位于除东太平洋以外大部分低纬、南半球及部分高纬度陆地，线性增暖的稳定区也南移，对应于除中东太平洋以外的低纬和南半球中低纬海域。这种线性增暖显著性、稳定性的南移可能与北半球较强的人为气溶胶冷却效应有关^[14]。为比较方便起见，图 7 还给出了 1900~1998

表 2 不同条件下各海域年以上信号的统计特征对比

		北太平洋中纬度	北大西洋中高纬度	南印度洋中纬度
CTL	年代以上变率功率贡献/%	47.7	46.1	24.1
HCGGD	线性增温率/（℃/100 a）	0.335	0.469	0.857
（1861~1998 年）	线性回归方差贡献/%	8.61	18.6	35.7
HCGSD	线性增温率/（℃/100 a）	<0	<0	0.738
（1861~1998 年）	线性回归方差贡献/%	/	/	30.2

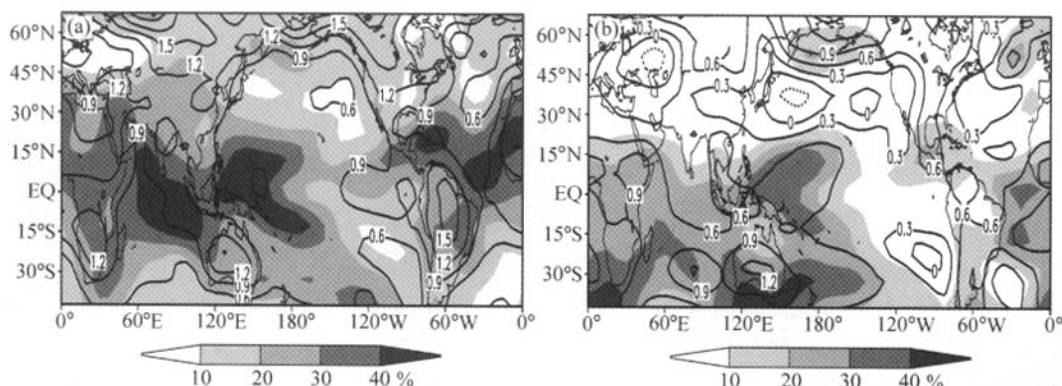


图6 不同强迫下1900~1998年模拟年平均温度线性趋势(°C/100 a)及其线性回归方差贡献百分率(阴影区)
(a) HCGGD强迫; (b) HCGSD强迫

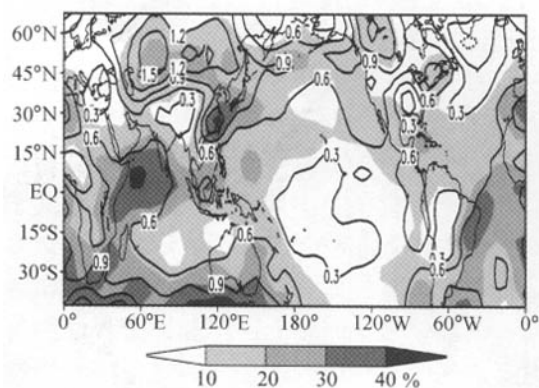


图7 1900~1998年实测年平均温度线性趋势
(°C/100 a)及其线性回归方差贡献百分率(阴影区)

年实测年平均温度的线性趋势及其线性回归的方差贡献分布,对比图6与图7,可以发现,无论何种强迫模拟序列,北半球陆地最大增温的区域、大小都与观测序列有较大差异,但在中高纬海域,与观测序列一样,都是增温的低值区;线性增温的稳定区域也都在除东太平洋以外的低纬地区和南印度洋中低纬海域,尤其是同时考虑温室气体与气溶胶强迫后,两者有更好的相似性,表明除东太平洋以外的低纬和南印度洋中低纬海域可能是外强迫的稳定响应区,必须引起全球变化研究的重视。

综合上述模拟与观测分析的结果表明,温度背景趋势的地域性差异,一方面可能与人为气溶胶含量的地域差异、温室效应在不同区域的响应稳定性有关,另一方面也可能与海气系统年代际以上尺度耦合振荡的区域性有关。低纬及南半球地区以海洋为主,水的热容量较大,人为气溶胶含量低,对强度不大而持续时间长的外强迫,如人类活动引起温室效应加剧可能有稳定的响应;赤道东太平洋地区可能因显著的年际变率导致增温强度、稳定性偏低。北半球中高纬海域温度的背景变化可能源自海气系统的自振荡,而这种振荡的明显地域性可能与温盐环流、海洋涡旋、海盆尺度等众多物理属性有关,但这种显著年代际信号的存在,直接减弱了由温室效应加剧带来的线性变暖信号。

6 结语

本文对20世纪全球温度场趋势变化的区域特征进行了分析,探讨了具有不同温度变化型态区域的温度背景趋势及其对变暖显著性、稳定性的影响,并研究了温度背景

趋势地域性差异的可能成因。主要结论如下:

(1) 通过对全球年平均温度距平场的 REOF 分析, 可以得到在年际至世纪尺度温度变化特征存在显著差异的 20 个区域, 分别是北太平洋高纬度、北太平洋中纬度、北太平洋副热带、热带太平洋、南太平洋的秘鲁沿岸、印度尼西亚及邻近海域、南太平洋中纬度、北大西洋大部分海域、百慕大群岛及附近海域、南大西洋低纬度、南大西洋中纬度、热带印度洋、南印度洋中纬度、南印度洋的澳大利亚沿岸、欧亚大陆高纬度、中亚、西亚及其附近地中海、中国北部、加拿大和美国东北部、以及美国西部地区。

(2) 20 世纪全球温度场的背景趋势主要表现为两大类, 即背景增暖型和背景波动变化型, 其中背景波动变化型以准 70 a 的波动变化为主, 并主要分布于北半球中高纬海域及部份中低纬陆地 (如西亚及附近地中海地区、美国西北部地区), 且以北大西洋地区最为显著, 方差贡献达 40%。除此以外, 20 世纪全球大部分海陆表面都有稳定的背景增暖趋势, 背景增暖最为稳定、显著的区域是南印度洋中纬度地区, 线性增温率为 $1.16\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$, 背景增暖的方差贡献达 62%。

(3) Hadley 中心 HadCM2 不同条件下的数值试验结果表明, 西太平洋低纬、南印度洋中低纬海域是综合考虑温室效应、人为气溶胶影响后的最稳定变暖区域。北半球中高纬海域由于存在显著的年代际以上尺度振荡, 线性变暖不显著。这些结果表明温度背景趋势的地域性差异, 一方面可能与温室效应等外强迫变化在不同区域的响应稳定性有关, 另一方面也可能与海气系统年代际以上尺度耦合振荡的区域性有关。

参 考 文 献

- 1 Jones, P. D., Hemispheric surface air temperature variations; a reanalysis and an update to 1993, *J. Climate*, 1994, **7**, 1794~1802.
- 2 Hansen, J., and S. Lebedeff, Global trends of measured surface air temperature, *J. Geophys. Res.*, 1987, **92**, 13345~13372.
- 3 Vinnikov, K. Y., Empirical on contemporary global climate change (temperature and precipitation), *J. Climate*, 1990, **3**, 662~667.
- 4 IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J. T. Houghton et al., Eds., Cambridge University Press, 2001.
- 5 Zeng Zhaomei, Yan Zhongwei, and Ye Duzheng, The regions with the most significant temperature trends during the last century, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**, 480~496.
- 6 Schlesinger, M. E., N. Ramankutty, An Oscillation in the global climate system of period 65—70, *Nature*, 1994, **367**, 723~726.
- 7 江志红、屠其璞、施能, 多窗谱分析方法 (MTM) 及其在全球变暖研究中的应用, *气象学报*, 2001, **59** (4), 480~490.
- 8 江志红、屠其璞, 南北半球平均温度年代际振荡的非均衡性及其对变暖显著性的影响, *热带气象学报*, 2003, **19** (2), 128~140.
- 9 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.
- 10 Thomson, D. J., Spectrum estimation and harmonic analysis, *Proc. IEEE*, 1982, **70**, 1055~1096.
- 11 Park, J., C. R. Lindberg, and F. L. Vernon, Multitaper spectral analysis of high-frequency seismograms, *J. Geophys. Res.*, 1987, **92**, 12675~12684.

- 12 Johns, T. C., R. E. Carnell, J. F. Crossley, J. M. Gregory, J. F. B. Mitchell, C. A. Senior, S. F. B. Tett, and R. A. Wood, The Second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: Model description, spinup and validation, *Climate Dynamics*, 1997, **13**, 103~134.
- 13 Caddock, J. M., Problems and prospects for eigenvector analysis in meteorology, *Statist*, 1973, **22**, 133~145.
- 14 王明星、杨昕, 人类活动对气候影响的研究. I: 温室气体和气溶胶, 气候与环境研究, 2002, **7** (2), 247~254.

Regional Characteristics of the Trend Change for Global Temperature Field during the Last Century

Jiang Zhihong^{1,2)}, Li Jianping²⁾, Wang Meihua³⁾, and Tu Qipu¹⁾

1) (Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

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

3) (Human Resource and Education Department of China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract Annual mean temperature dataset at $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ grids from 1900 to 1998 were used to reveal the significant regions with different temperature variation. The regionality of the temperature background and the effect on significance and stability of warming were examined. Furthermore, combined with the preliminary analysis of the simulation results of HadCM2 from the Hadley center, the causes of regionality of the temperature background were also discussed. Results showed that there were 20 regions with significant different variations for temperature anomalies on interannual to interdecadal scale. The background change of temperature mainly presented two type, i. e., the warming trend and the oscillation with the period around 70 years. The latter is found in the extra-tropical ocean region of the Northern Hemisphere, particularly in northwest Atlantic region. The most significant and stable warming signal appeared in south mid-latitudinal Indian Ocean. The GCM results under the different external forcing also showed that this area might be the stable response area to the forcing of greenhouse gas. The regional difference of temperature background may be reflected the different stability of response to the external forcing and the regionality of inherent oscillation in the ocean and atmosphere system.

Key words: multi-taper spectral analysis; global temperature; temperature background change; regional characteristics