

经验模态分解下中国气温变化趋势的区域特征

孙 娟¹, 林振山²

(1. 陕西省气候中心, 西安 710015;

2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

摘要: 用经验模态分解 (EMD) 方法对中国 700 多个站 (1951-2001 年) 月平均气温进行了分析, 提取气温变化趋势项, 作空间分型, 并计算各站气温变化率, 以地理信息系统为数据处理平台, 以 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 分辨率的 DEM 数据作为地形的综合反映, 得到了中国平均气温空间分型和变化率精细化分布图。结果表明: 近 50 年来中国北方大部分地区气温变化率多在 $0.4\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$ 以上, 西南和长江中下游部分地区气温变化率较小, 气温变化率为负值区零星状散落在西南等地区。同时, 1881-2001 年中国 9 个区域的气温资料分析表明, 近百年来中国气温变化趋势以东北、华北、华东、华南、西北和新疆区是持续上升, 西南区呈下降型; 华中区呈倒 "V" 型变化, 西藏区趋势不明显。

关键词: 中国; 气温; 经验模态; 本征模函数

近百年来全球平均气温升高了 $0.56\sim 0.92\text{ }^\circ\text{C}$ ^[1], 在全球变暖的背景下, 中国温度变化趋势也呈上升趋势, 但变暖的过程具有波动性, 在空间和时间上也有明显的差异。区域气温变化趋势的检测是气候变化检测研究的核心问题之一。认识区域性气温变化对正确估计和理解全球变暖的原因和趋势是非常重要的, 而且可能影响世界范围的气候异常变暖。关于中国气温变化趋势和变率的研究一直吸引许多气候学者。张先恭等^[2] 利用中国温度等级序列, 首先给出了 20 世纪初以来全国地表气温变化曲线; 屠其璞等^[3] 研究表明近一百多年来中国各区都呈升温趋势, 中国平均气温的线性趋势为 $0.76\text{ }^\circ\text{C}/100\text{a}$; 王绍武等^[4] 认为中国近百年气温直线增暖趋势为 $0.44\text{ }^\circ\text{C}/100\text{a}$; 施能等^[5] 对中国 28 个测站近百年月平均气温研究发现近百年来中国大部分地区气温变暖, 但东南沿海和西南地区为负值, 具有明显的区域特征; 林学椿等^[6] 研究表明中国年温度变化和北半球年温度变化相似; 赵宗慈等^[7] 对从国内外收集到 4 组中国近百年的温度资料检测表明近 100 年中国气候变暖 $0.2\sim 0.8\text{ }^\circ\text{C}/100\text{a}$; 唐国利等^[8] 发现自 1905 年以来中国地表年平均气温明显增暖, 升高幅度约为 $0.79\text{ }^\circ\text{C}$, 增温速率约为 $0.08\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。

对于近 50 年中国气温变化的研究同样开展了很多工作^[9-11]。任国玉等^[12, 13] 研究表明: 我国近 54 年来年平均地表气温变暖幅度约为 $1.3\text{ }^\circ\text{C}$, 增温速率接近 $0.25\text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。虽然这些研究结果不尽相同, 但都揭示了一个事实: 中国气温变化具有显著的区域特征。

以往在研究气温变化长期趋势时, 通常采用多年平均温度距平滑平均或多项式、经验函数和样条函数拟合以及奇异谱分析法 (SSA)、REOF 等方法拟合变化趋势。而气温变化是一个非线性、非平稳过程, 伴有多种尺度的振荡。所以由于方法本身的局限, 没能够真实地提取出气温变化的自然变率, 不能够揭示出气候过程的基本形态。近年来, 随着信号检测技术的迅速发展, Huang^[14, 15] 提出了一种新的时间序列信号处理方法—经验模态分解方法 (Empirical Mode Decomposition, EMD), 可将不同尺度的波动或趋势从原信

收稿日期: 2007-01-10; 修订日期: 2007-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40371044) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40371044]

作者简介: 孙娟, 女, 博士。E-mail: sunxiany@163.com

通讯作者: 林振山 (1955-), 男, 博士, 博导。南京师范大学地理科学学院院长。主要从事地理 - 气候领域的研究, 已发表国际 SCI 学术论文 30 余篇、国内一级学会期刊学术论文 50 余篇。E-mail: linzhenshan@njnu.edu.cn

号中逐级分离出来, 不同特征尺度的波动称为本征模函数 (intrinsic mode function, IMF)。EMD 是自适应的, 具有更强的局地特性, 适合于非平稳、非线性信号。测试结果表明, EMD 方法是目前提取数据序列趋势的最好方法^[6]。本文利用此方法定量、精细的分析中国温度场的不同区域变化特征, 有助于正确认识全球背景下的中国气温变化区域特征。

1 资料来源和 EMD 方法

本文所使用的资料主要包括: (1) 由中国气象局国家气象信息中心提供的中国 740 个气象站 1951-2001 年逐月平均气温资料, 该资料已经过了初步的质量控制。经过严格的质量检测, 将数据超过温度合理阈值的资料, 记录超过 3 倍标准差的资料, 赋以缺测。经过筛选剔除资料长度小于 30 年的站, 最终得到 646 个气象站资料。对于资料起始年代不一致的台站, 均用该站最初 5 年该月的平均值代替, 以保证数据序列长度的一致性。另外, 对个别台站的缺测资料进行插值处理, 方法是将前后两年该月实测值取平均作为该台站的值。(2) 由王绍武等^[9]建立的中国东北、华北、华东、华南、华中、西南、西北、新疆、西藏 9 个区 1881-2001 年的年平均气温序列, 该序列是根据仪器观测资料和代用资料, 得到 1880-2001 年中国全国和 9 个区域的年平均气温序列。赵宗慈等^[7]检测表明此序列与其他三个中国气温序列之间的一致性比较高的。

EMD 分解过程是: 找出序列 $x(t)$ 所有极大值和极小值点, 分别用三次样条函数拟合合成上下包络线, 得到平均包络线 m_1 , 将原序列减去 m_1 可得到去掉低频的新序列 h_1 。一般 h_1 不是平稳的, 多次重复上述过程, 使平均包络线趋近于零, 得到第一个 IMF 分量 c_1 , 代表原始序列中最高频的分量。即: $r_1 = x(t) - c_1$ (1)

对 r_1 继续上述分解, 直到所得到的剩余部分为单一信号或其值小于预先给定的值, 分解结束。原始的时间序列 $x(t)$ 可表示为: $x(t) = \sum_{i=1}^n c_i + r_n$ (2)

将 EMD 将时间序列 $x(t)$ 分解成一系列 IMF, 每个 IMF 分量具有如下特征: (1) 极值点数必须和过零点数必须一致或者至多相差一个; (2) 在某一个局部点, 极大值包络和极小值包络在该点的值的算术平均和趋近零或小于给定值。这也是 EMD 分解结束的收敛准则。

EMD 方法自推出以来已经成功地应用在湍流、地震等许多非线性领域^[17-20]。但是, 在应用 EMD 方法时遇到困难就是边界点的处理, 因为用三次样条函数构成上下包络线时, 数据序列的两端会出现发散现象, 并且这种发散会不断逐渐向内“污染”, 使所得结果严重失真。本文采用的边界处理方法是镜像对称延伸方法^[21], 该方法能比较好地解决边界对于 EMD 分解过程中的上冲和下冲现象。

2 中国气温变化趋势类型及分区

2.1 中国气温变化趋势

北京站的温度序列经过 EMD 分解(图 1), 得到一组代表不同特征尺度的 7 个 IMF 和趋势项 res (residual)。图 1a 是原始温度序列的平均气温距平曲线, 图 1b~h 是经过 EMD 分解的 7 个 IMF 分量, 先分解出的是高频分量, 然后是低频分量, 图 1i 是北京气象站气温剔除了不同时间尺度上的振荡后的气温变化平均态。由趋势项可看出, 在 1951-2001 年的时间里北京气温变化的趋势是上升。

对中国 740 个气象站月平均气温序列分别进行 EMD 分解, 提取每个站气温变化趋势项, 通过分析总结提取出中国 50a 来的气温变化趋势共有 6 种类型 (图 2)。从图中可以看

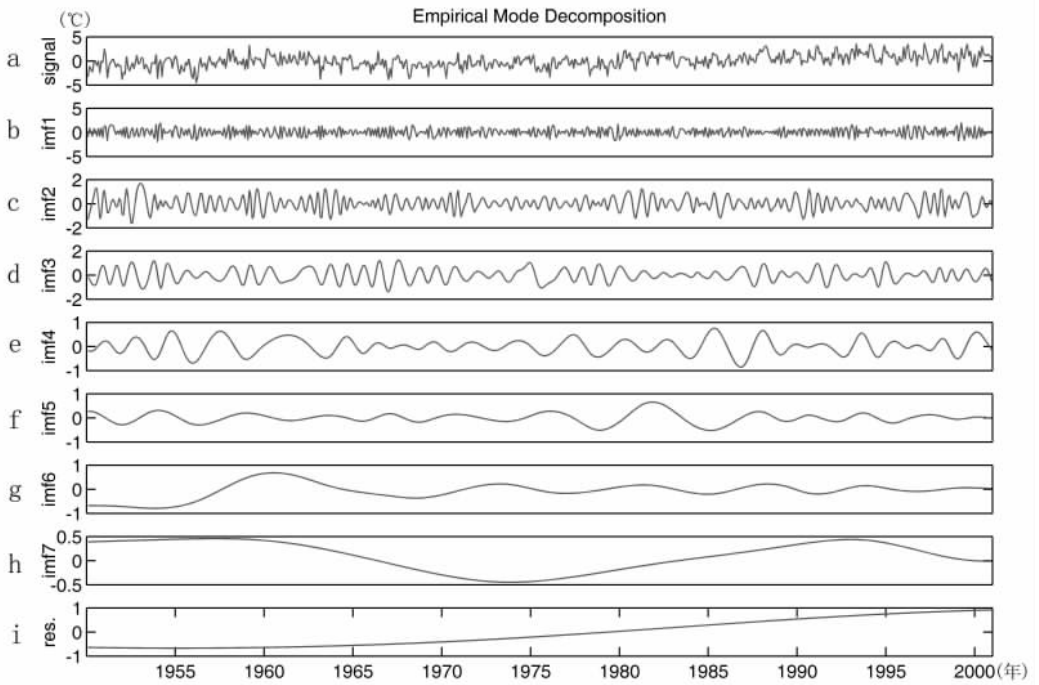


图 1 北京 1951-2001 年月平均气温距平 (图 a) 和 EMD 分解后的各 IMF 分量及趋势项 (图 b-i)

Fig. 1 Monthly mean temperature anomaly (a) and IMF1-7 and res components of mean temperature at Beijing station from 1951 to 2001 by EMD (b-i)

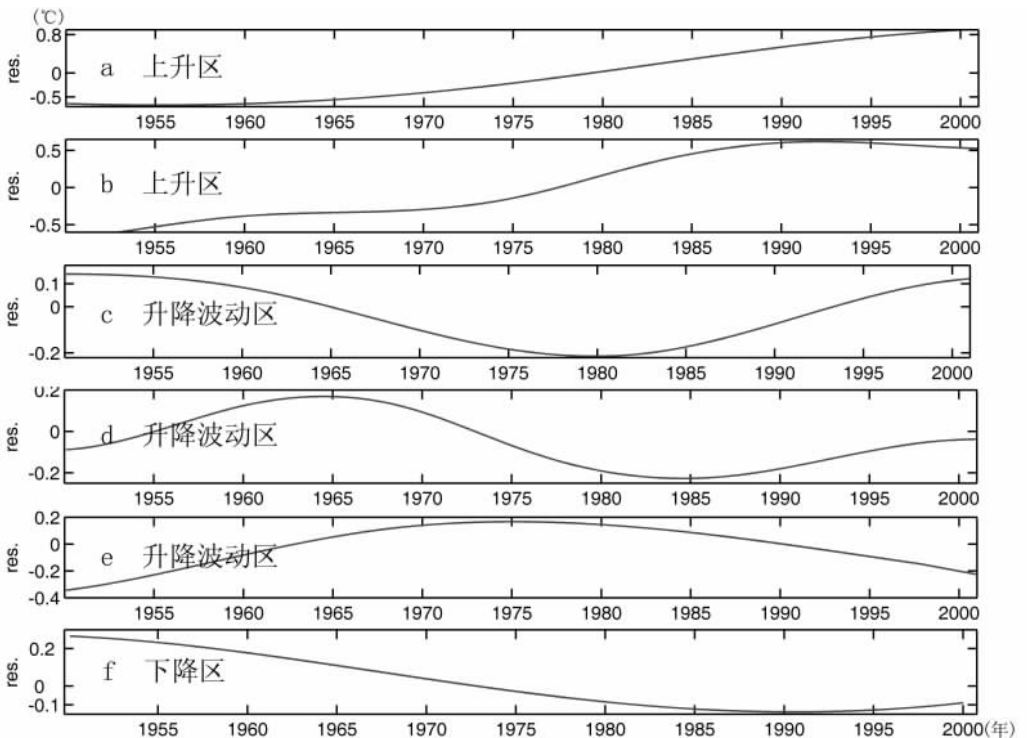


图 2 1951-2001 年中国气温变化趋势类型

Fig. 2 Types of temperature variation over China from 1951 to 2001

出: 图 2a 表明 50a 来气温的变化趋势是直线上升的, 气温是增暖的; 图 2b 也反映气温的变化趋势是上升的, 但不是线性的, 在 20 世纪 90 年代附近有波动, 但总的趋势是增温; 图 2c、d 和 e 表明气温的变化没有明显的趋势, 或者是存在着更长时间尺度的波动, 由于资料长度的限制, 我们没能够将其继续分解; 图 2f 反映的是气温的变化趋势是下降的, 气温在变冷。

2.2 中国气温变化趋势分区

图 2 表明中国的温度变化趋势存在着较大的时、空差异。但在中国气温区域变化研究中, 其区域的划分常常是预先给定的, 往往缺乏客观性, 因此本文以气温的变化趋势的差异为依据, 划分中国的气温变化区, 以期揭示出中国温度变化趋势的区域特征。将图 2a、b 所反映的变化趋势归为气温变化上升区; 图 2c、d 和 e 为气温升降波动区; 图 2f 单独为一类气温变化下降区。将依据气温趋势特征划分中国气温变化区进行讨论, 这样的分区是合理的, 而且物理意义更明晰, 和文献^[1]的结论是相类似的。根据各站气温变化趋势项, 以上述分类为标准, 以地理信息系统为数据处理平台, 以 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 分辨率的 DEM 数据作为地形的综合反映, 得到了中国平均气温变化趋势类型分布 (图 3)。

从图 3 可见, 气温变暖区占了中国大部分地区, 中国 50a 来气温变化呈持续上升趋势, 中国大部分地区的气温变化趋势和北半球的变化是一致的, 这与以往的研究结果^[9-11]在变暖的趋势上是一致的, 但是在分布范围还存在较大差异: (1) 近 50 年来中国不仅 35°N 以北的地区气温呈持续上升趋势, 青藏高原、云南、广西和东南沿海等大部地区的气温都呈变暖趋势; (2) 35°N 以北的地区并不都全部变暖, 仍存在区域特征。

气温升降波动区主要分布在西南、长江中下游长江以南大部地区以及新疆南部、西藏西部、青藏和四川交界处、甘肃西南部、秦岭南部、东南部分以及东北最北部、黑龙江东部等地区。这些地区气温不是基本不变, 而是存在着明显的升降波动, 有的是先升后降, 有的是先降温再升温。这和文献^[3, 22], 认为长江中下游和华南地区气温变化基本不

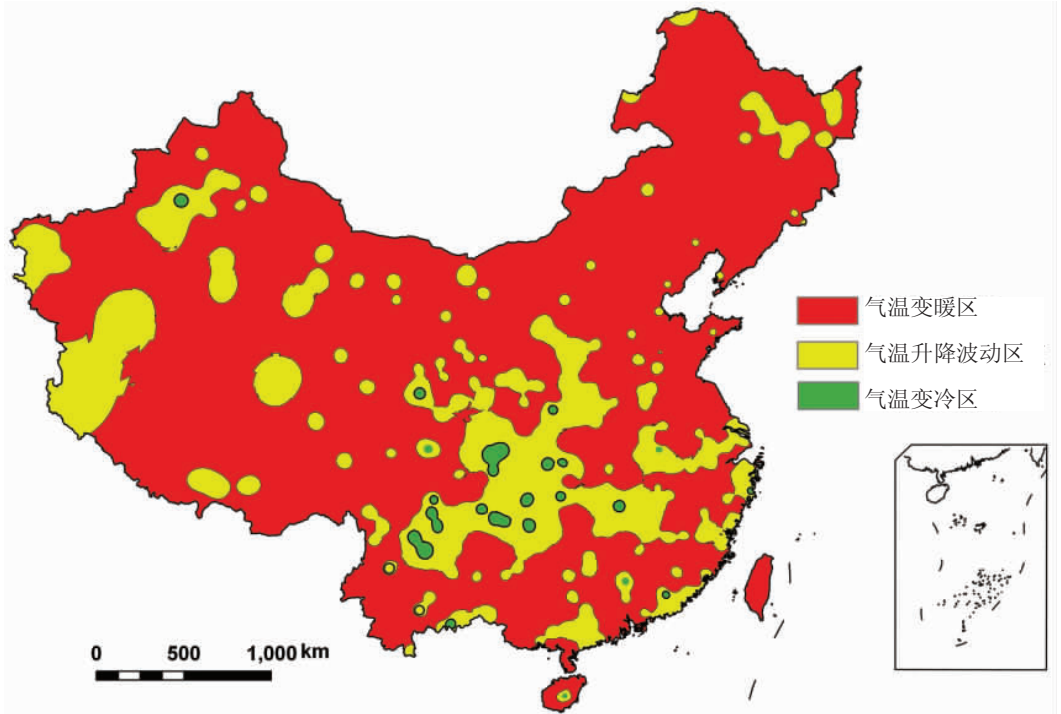


图 3 1951-2001 年中国平均气温变化趋势分区图

Fig. 3 Classification chart of temperature variation trend over China from 1951 to 2001

变等结论不同。类似图 3c、d、e 代表的气温升降波动类型，在气温升降波动区的比重分别占 85%、14%和 1%。可见，在气温升降波动区大部分区域属于先降后升型，在 20 世纪 80 年代后期开始升温，但升温的幅度不是很显著。有意思的是 c 类和 d 类的波动周期与太阳黑子 44 年的所谓半世纪周期（实际是 80 年）非常一致，尤其是占 85%的 c 类的气温波动与太阳黑子的 44 年周期是吻合的。图 3d 类的波动周期比太阳黑子的 44 年周期略长几年，可以看成是当地气候条件对太阳黑子的 44 年气候周期的扰动。同时，e 类波动周期与太阳黑子的 80 年的所谓半世纪周期非常一致。因此，太阳黑子的中长尺度的波动（半世纪周期与世纪周期）可能是导致我国气候趋势发生波动的一个主要原因。

气温变冷区呈斑点状散落在西南和长江中下游部分地区，主要分布在四川南部和云南北部、四川东部盆地和贵州西北部、川藏交界处、重庆的东部和湖北的西部等部分站都呈变冷的趋势。表明西南地区区域气候变化具有非一致性。马振峰等^[23]研究认为由于西南地区特殊的地形条件，造成区域温度、降水、日照时数和云量等气候要素差异十分明显，形成区域变化的非一致性。

可见，近 50 年来在全球气候变暖的背景下，中国大部分地区的气温变化趋势是呈持续上升的，但是西南和长江中下游部分地区对 20 世纪 80 年代中期的增温响应不显著或存在非同步性，造成中国气温变化趋势的区域性特征。但是这和林学椿等^[6]指出长江流域及西南地区的年平均气温呈下降趋势，陈隆勋等^[10]认为 35°N 以南和 100°E 以东地区是变冷区，丁一汇等^[22]研究表明西南地区出现变冷趋势是相吻合的，但是不是整个地区气温变化趋势都呈下降型，而是块状散落在这些地区。

3 中国气温变化率的区域特征

利用 EMD 方法提取的趋势项，计算各站 50 年来十年的气温变化率 ($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)，以地理信息系统为数据处理平台，以 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 分辨率的 DEM 数据作为地形的综合反映，得到了中国平均气温变化率分布图 (图 4)。从图中可见，中国的气温变暖区中要分布在 35°N 以北的范围内，包括东北、内蒙古、甘肃河西走廊、新疆北部地区及西藏西部等部分地区升温较显著，气温变化率大多在 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。华北地区的北京、天津和河北省气温较显著，但华北地区的山西、河南气温变化率不太显著，多处于 $0.1\sim 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。但是和以前的研究结果^[11]不同，新疆南部由于天山的屏障左右，其升温不是很明显，其气温变化率为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 左右。气温变化率较小的区域主要集中在西南地区和长江中下游长江以南地区，青藏高原的东部也有部分地区气温变化率较小。气温变化率为负值区零星状散落在西南地区，在黑龙江的最北端、青藏高原的西北部都出现冷区。其余地区的气温变化率多处于 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。这和石广玉等^[12, 13]研究结果：从 1951-2001 年，中国年平均气温的变化率达 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 是一致的。

4 近百年中国气温趋势变化分析

为了更好地揭示近百年来中国气温变化区域特征，对东北、华北、华东、华南、华中、西南、西北、新疆、西藏 9 个区 1881-2001 年的年平均气温序列分别进行 EMD 分解，提取每个区气温变化趋势 (图 5)。可见，百年来中国东北、华北、华东、华南、西北和新疆区气温变化趋势是持续上升的，气温是增暖的；图 e 表明西南区气温变化趋势呈持续下降；图 f 反映出华中区气温变化趋势呈倒 "V" 型变化，即先上升后下降；图 I 说明西藏区气温变化趋势叠加着更长周期的振动，由于资料长度的限制，没能分解出来。可见在百余年的尺度上，中国气温变化在相应全球变暖的同时具有区域性变化特征。通过

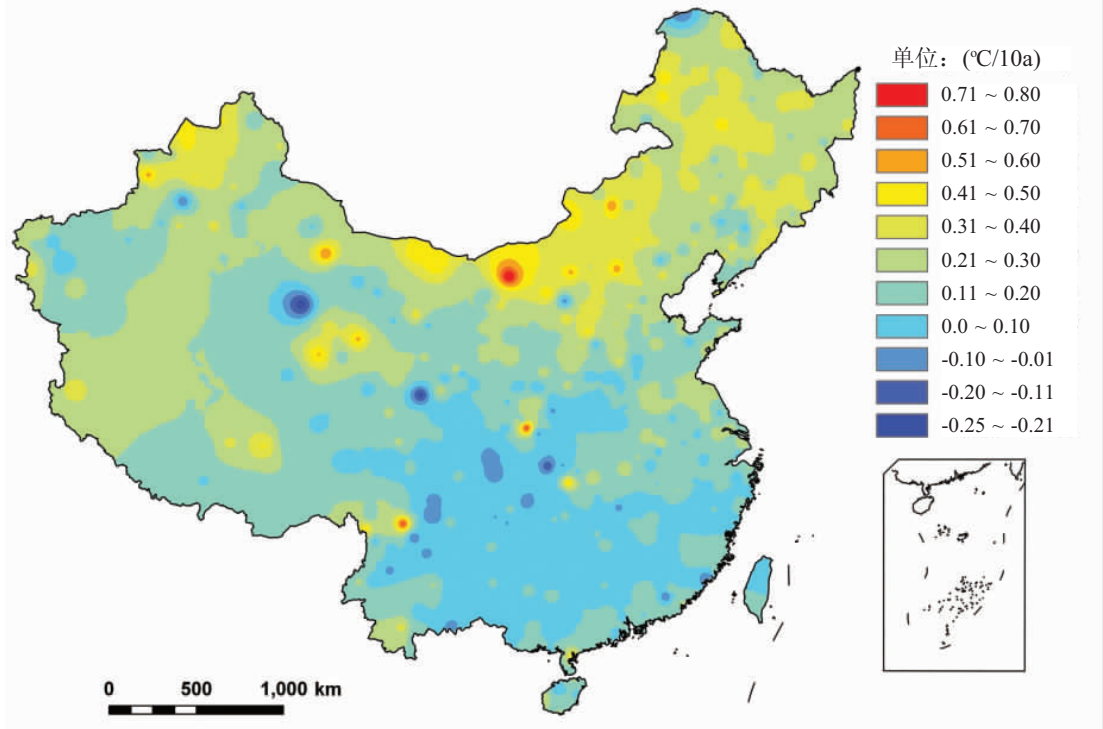


图 4 1951-2001 年中国平均气温变化率分布图

Fig. 4 Classification chart of temperature variation ratio over China from 1951 to 2001

表 1 1881-2001 年中国各区气温变化率

Tab. 1 Temperature variation ratio of nine regions over China from 1881 to 2002

分区	东北	华北	华东	华南	西南	华中	西北	新疆	西藏
气温变化率 (°C/100a)	0.89	0.43	0.61	0.31	-0.17	0.0	0.44	1.01	0.34

趋势项计算出各区百年来气温变化率 (表 1)。可见中国升温幅度最大的为新疆区 1.01 °C/100a 和东北区 0.89 °C/100a, 华中区气温变化趋势不明显, 西南区气温变化率为降温 -0.17 °C/100a。这和赵宗慈等^[7]通过多套观测资料的检测结果近百年来中国气候的变暖趋势为 0.2~0.8 °C/100a 是基本一致的, 但是中国近百年来气温变化又具有明显的区域特殊性, 不同区域的气温变化率不同, 变暖的程度不同, 有些地区处于降温期, 如西南地区气温变化率为负值, 处于变冷期。

5 讨论

5.1 中国气温变化的区域差异的原因

气候变化受不同时空尺度强迫因子制约。有全球性因子如地球轨道变动、太阳辐射变化、温室气体、大尺度地形及海陆对比等; 有区域性和局地型因子, 如复杂地形、土地利用和城镇化、内陆水体、局地海陆对比、气溶胶排放和积雪等。由于纬度和地形的差异, 中国气候变化具有显著的地域差异性。中国地形复杂, 多高山、高原, 特别是受青藏高原的影响, 气候变化情况显得更为复杂; 另外, 中国地域广大, 受多种气流影响, 又是全球最为典型的季风气候地区之一。因此, 各地对全球变化的响应速度与程度存在一定的区域差别。在全球气候变暖背景影响下, 中国气温变化还受区域性和局地性因子影响, 其局地效应改变了区域气候。对于中国气温变化区域差异的原因, 目前还难以给出明确

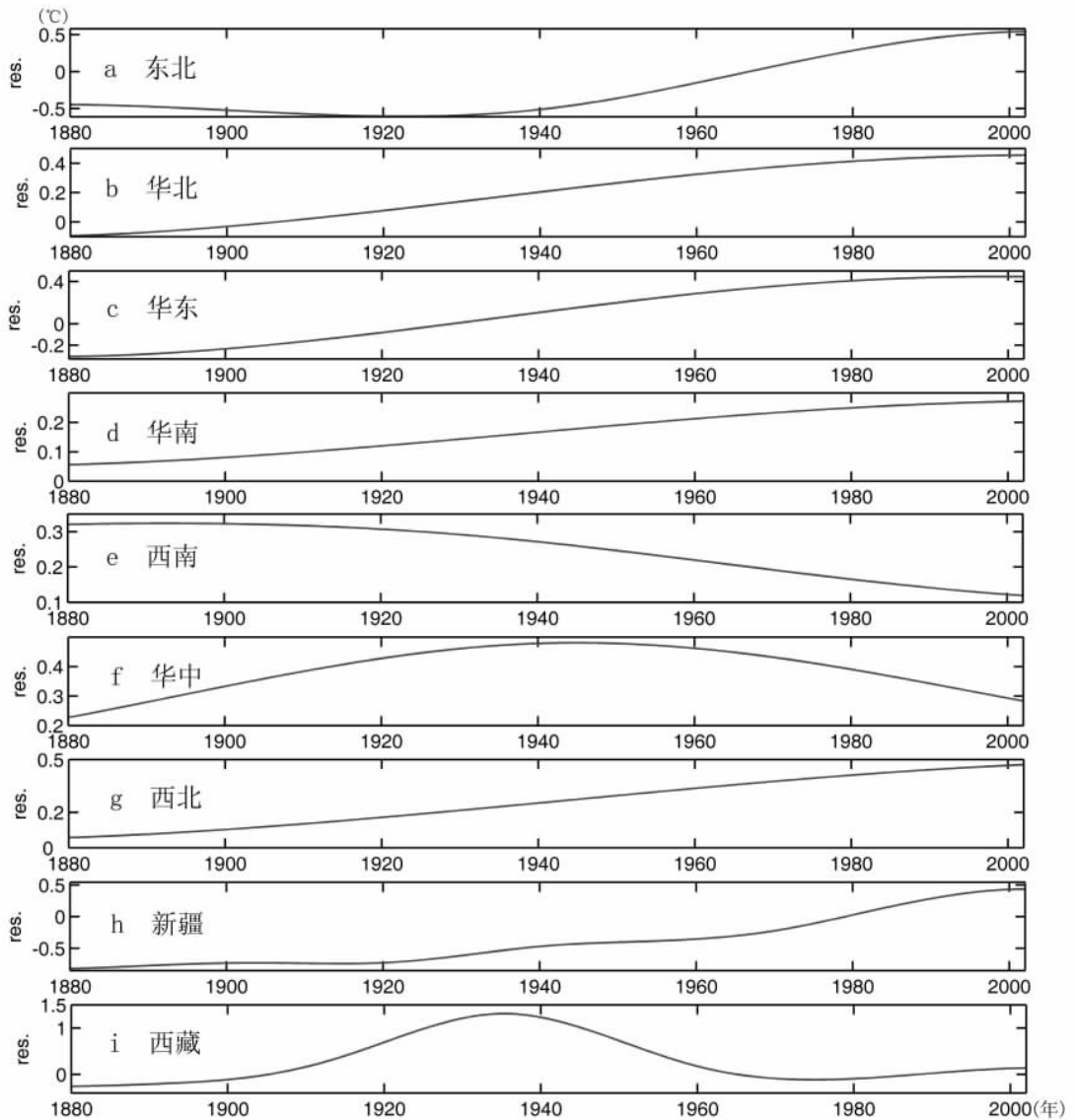


图 5 1881-2002 年中国各区年平均气温趋势变化类型

Fig. 5 Types of temperature variation trend in nine regions over China from 1881 to 2002

的结论, 有关长江流域和西南地区的降温原因的研究较多。Li 等^[24]通过数据分析和模型模拟认为四川盆地地形和湿度条件容易形成硫酸盐气溶胶, 局地大气气溶胶增加造成地面太阳总辐射减少可能是四川盆地底层大气变冷的主要原因之一。Qiu 等^[25]计算并分析了中国大气气溶胶光学厚度 (AOD), 研究表明在 100°E 以东地区有 2 个 AOD 大值中心, 最大中心在四川盆地, 重庆最大为 0.69。此外, 长江中游有一个小的 AOD 大值中心。在 100°E 以西, 南疆盆地为 AOD 的另一个大值中心, 其值小于四川盆地。中国东北大部、西北部分地区、云南和东南沿海 AOD 值较小。马振锋等^[23]研究表明青藏高原、川西高原和云南北部高海拔地区为日照时数增加区, 而在贵州、四川盆地, 年平均日照时数均减少, 尤其在 1984 年和 1980 年之后, 两个区域的日照时数减少比较显著。Xu^[26]认为长江中下游和西南地区的降温趋势可能与局地性气溶胶排放量关系密切。Luo 等^[27]数值模拟表明, 由于气溶胶的影响, 中国大陆地区地面气温均有所下降, 四川盆地到长江中下游地区以

及青藏高原北侧到河套地区降温最为明显, 分别可达 -0.4 和 -0.5 $^{\circ}\text{C}$ 。卢爱刚等^[28]研究认为由于青藏高原对其南边区域的纬向气流的阻隔作用, 使得西南区域难以受到较高纬度的气候影响, 对全球气候变化响应不敏感的结果。刘洪利等^[29]对中国地区的云量进行分析表明: 南方低云量远远高于北方地区, 西南地区是中国云量最高、云层最厚的地区, 而西北的塔里木盆地、内蒙古中西部都是云量最少、云层最薄的地方。刘艳等^[30]研究表明地—气系统云辐射强迫净效应表现为降温作用。

总之, 我们认为, 四川盆地等西南部分区域气候相对变冷的主要原因有二: 一是由于青藏高原的影响造成高原东西两边及南北两侧气候出现巨大差异; 二是西南地区是世界上地形最复杂的区域之一, 世界上海拔最高、地形最复杂的青藏高原、云贵高原、横断山区和四川盆地等构成特殊的地形、天气与大气物理条件所共同决定而导致局地太阳辐射的相对减少。

至于中国气候变暖的模拟检测与归因分析表明, 中国 1930 年代—1940 年代的增暖是温室气体、火山活动、太阳活动和气候系统内部自然振荡等综合作用的结果, 而 1980 年代剧烈增温的主要影响因子是温室气体的增加^[31]。IPCC 第四次评估报告指出, 最近 50 年观测到的大部分变暖可能是由于温室气体浓度的增加^[1]。我国大部分地区尤其是 35°N 以北地区的气温变暖, 可能由于温度变化的敏感程度与各地的大陆性随纬度升高而增强有关。主要是纬度位置和地形因素综合影响的结果, 在中国大陆, 纬度越高, 大陆性越强^[27]。除了与全球变暖相同的原因 (主要是温室气候效应) 外, 许多研究发现^[32, 33]长江三角洲地区存在明显变暖还与城市热岛效应有关, 这个热岛由上海、无锡、苏州、常州、南京、杭州和宁波等中心城市小热岛组成, 而其周围地区则仍为变冷区。

对 20 世纪中国变暖的检测与归因分析仍处于开始阶段。气候模式以及各种可能因子的分析等方面仍然存在许多不确定性, 尚需要做更多的深入研究。

5.2 结论

分析中国区域近 50 年和近百年气温变化的 EMD 的趋势分量图线, 得出以下结论:

(1) 中国 50a 来的气温变化是多尺度的, 而长期趋势则有 3 种类型: 气温变暖区、气温升降波动区和气温变冷区。中国大范围地区气温变化呈持续上升趋势, 东北、内蒙古、甘肃河西走廊、青藏西部和新疆北部地区升温较显著; 气温升降波动区主要分布在西南、长江中下游长江以南大部地区以及新疆南部、西藏西部、青藏和四川交界处、甘肃西南部、秦岭南部等地区; 气温变冷区域呈斑点状散落在西南和长江中下游部分地区。

(2) 东北、内蒙古、甘肃河西走廊、新疆北部地区及西藏西部等部分地区升温较显著, 气温变化率大多在 0.4 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; 华北地区的北京、天津和河北省气温较显著, 但山西、河南气温变化率不显著, 多处于 $0.1\sim 0.2$ $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; 新疆南部其升温不明显, 气温变化率为 0.2 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 左右。西南、长江中下游长江以南地区, 青藏高原的东部也有部分地区气温变化率较小。气温变化率为负值区零星状散落在西南地区, 在黑龙江的最北端、青藏高原的西北部也出现冷区。其余地区的气温变化率多处于 0.2 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

(3) 1881-2001 年中国升温幅度最大的为新疆区 1.01 $^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 和东北区 0.89 $^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 华中区气温变化趋势不明显, 西南区气温变化率为降温 -0.17 $^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。

有必要指出, 尽管经验模态分解 (EMD) 方法较其他的统计方法具有多分辨、多尺度的优点, 但仍然属于统计方法范畴, 而所有的统计方法对气候变化的原因的分析多是半经验、半科学的, 统计方法也无法分析气温变化与诸因素之间的非线性交叉效应。

参考文献 (References)

- [1] Solomon S, Qin D, Manning M et al (eds). IPCC, 2007: Climate Change 2007--The Physical Scientific Basis. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

- [2] Zhang Xiangong. Some characteristics of temperature variation in China in the present century. *Acta Meteorologica Sinica*, 1982, 40(2): 198-208. [张先恭. 本世纪我国气温变化的某些特征. *气象学报*, 1982, 40(2): 198-208.]
- [3] Tu Qipu, Deng Ziwan, Zhou Xiaolan. Study of regional characteristics on mean annual temperature variation of near 117 years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1999, 10 (suppl.): 34-42. [屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国近 117 年年平均气温变化的区域特征研究. *应用气象学报*, 1999, 10 (增刊): 34-42.]
- [4] Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi. Construction of China's annual mean temperature series of the last 100 years. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1998, 9(4): 392-401. [王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢等. 近百年中国年气温序列的建立. *应用气象学报*, 1998, 9(4): 392-401.]
- [5] Shi Neng. 4-phase climate change features in the last 100 years over China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, 53(4): 431-439. [施能. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征. *气象学报*, 1995, 53(4): 431-439.]
- [6] Lin Xuechun, Yu Shuqiu, Tang Guoli. Temperature series of the past 100 years for China. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1995, 19(5): 525-534. [林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列. *大气科学*, 1995, 19(5): 525-534.]
- [7] Zhao Zongci, Wang Shaowu, Xu Ying et al. Attribution of the 20th century climate warming in China. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 807-817. [赵宗慈, 王绍武, 徐影等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 807-817.]
- [8] Tang Guoli, Ren Guoyu. Reanalysis of surface air temperature change of the last 100 years over China. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 791-798. [唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的在分析. *气候与环境变化*, 2005, 10(4): 791-798.]
- [9] Song Lianchun. Spatial and temporal change of China surface air temperature over the past 40 years. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1994, 5(1): 119-124. [宋连春. 近 40 年我国气温时空变化特征. *应用气象学报*, 1994, 5(1): 119-124.]
- [10] Chen Longxun. Study on climate change of China over the past 45 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, 56(3): 257-271. [陈隆勋. 中国近 45 年来气候变化的研究. *气象学报*, 1998, 56(3): 257-271.]
- [11] Tu Qipu, Deng Ziwan. Study on regional feature of China temperature variation. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(3): 288-296. [屠其璞, 邓自旺. 中国气温异常的区域特征研究. *气象学报*, 2000, 58(3): 288-296.]
- [12] Ren Guoyu. Climate changes of China's mainland over the past half century. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 942-956. [任国玉. 近 50 年中国地面气候变化基本特征. *气象学报*, 2005, 63(6): 942-956.]
- [13] Ren Guoyu. Changes of surface air temperature in China during 1951-2004. *Climatic and Environmental Research*. 2005, 10(4): 717-727. [任国玉. 近 54 年中国地面气温变化. *气候与环境研究*, 2005, 10(4): 717-727.]
- [14] Huang N E, Shen Z, Long S R et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proc R Soc Land A*, 1998, 454: 899-955.
- [15] Huang N E, Shen Z, Long S R. A new view of nonlinear water waves: The Hilbert spectrum. *Ann Rev Fluid Mech*, 1999, 31: 417-457.
- [16] Deng Yongjun, Wang Wei, Qian Chengchun et al. EMD method and transact boundary problem of Hilbert transform. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(3): 257-263. [邓拥军, 王伟, 钱成春等. EMD 方法及 Hilbert 变换中边界问题的处理. *科学通报*, 2001, 46(3): 257-263.]
- [17] Coughlin K T, Tung K K. 11-year solar cycle in the stratosphere extracted by the empirical mode decomposition method. *Advance in Space Research*, 2004, (34): 323-329.
- [18] Sun Xian, Lin Zhenshan. A new technology HHT and its diagnosis for ENSO. *Meteorological Monthly*, 2006, 32(9): 17-22. [孙娴, 林振山. HHT 新技术及其对 ENSO 的诊断. *气象*, 2006, 32(9): 17-22.]
- [19] Lin Zhenshan, Wang Shuguang. EMD analysis of solar insolation. *Met. & Atmo. Phys.*, 2006, 93(2): 123-128.
- [20] Lin Zhenshan, Wang Shuguang. The 100ka period problem of solar radiation. *Chinese Journal of Geophysics*, 2004, 47(6): 1093-1097.
- [21] Hao Jinping, Huang Daji. Mirror extending and circular spline function for empirical mode decomposition method. *Journal of Zhejiang University (Science)*, 2001, 2: 247-252.
- [22] Ding Yihui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years. *Meteorological Monthly*, 1994, 20(12): 19-26. [丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化. *气象*, 1994, 20(12): 19-26.]
- [23] Ma Zhenfeng, Peng Jun. Climate variation of Southwest China in recent 40 years. *Plateau Meteorology*. 2006, 25(4): 633-642. [马振峰, 彭俊. 近 40 年西南地区的气候变化事实. *高原气象*, 2006, 25(4): 633-642.]
- [24] Li Xiaowen, Zhou Xiujie, Li Weiliang et al. The cooling of Sichuan province in recent 40 years and its probable mechanisms. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, 9(1): 57-68.
- [25] Qiu Jinhuan, Lin Y R. A parameterization model of aerosol optical depths in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, 59(3): 368-372.
- [26] Xu Qun. Abrupt change of the mid-summer climate in central east China by the influence of atmospheric pollution.

- Atmos. Environ., 2001, 35:5029-5040.
- [27] Luo Yunfeng, Zhou Xiujie, Li Weiliang. A numerical study of the atmospheric aerosol climate forcing in China. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1999, 23(1): 1-12.
- [28] Lu Aigang, He Yuanqing, Zhang Zhonglin et al. Regional sensitivities of the response to the global warming across China in the 20th century. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(6): 827-832. [卢爱刚, 何元庆, 张忠林等. 中国大陆对全球变暖响应的区域敏感性分析, 冰川冻土, 2005, 27(6): 827-832.]
- [29] Liu Hongli, Zhu Wenqin. Climatic analysis of the cloud over China. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 61(4): 466-473. [刘洪利, 朱文琴. 中国地区云的气候特征分析. 气象学报, 2003, 61(4): 466-473.]
- [30] Liu Yan, Weng Duming. Climatological study of temperature effects of cloud-radiative forcing in the earth-atmospheric system over China. Acta Meteorologica Sinica, 2002, 60(6): 766-773. [刘艳, 翁笃鸣. 中国地区云对地—气系统辐射强迫温度效应的气候研究. 气象学报, 2002, 60(6): 766-773.]
- [31] Zhao Zongci, Wang Shaowu, Xu Ying et al. Attribution of the 20th century climate warming in China. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 808-817. [赵宗慈, 王绍武, 徐影等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 808-817.]
- [32] Chen Longxun, Zhu Wenqin, Zhou Xiujie. Characteristics of environmental and climate change in Changjiang Delta and its possible mechanism. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 14(1): 129-140.
- [33] Chen Longxun, Zhu Wenqin, Zhou Xiujie et al. Characteristics of the heat island effect in Shanghai and its possible mechanism. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20(6): 991-1001.

The Regional Features of Temperature Variation Trends over China by Empirical Mode Decomposition Method

SUN Xian¹, LIN Zhenshan²

(1. Shaanxi Provincial Climate Center, Xi'an 710015, China;

2. The College of Geographical Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: In this paper, a new and advanced time series analysis method--the empirical mode decomposition (EMD) method is presented into climate analysis field. It is a method developed from analyzing nonlinear and non-stationary data. The oscillations of different scales or trend in the signal are decomposed into a number of characteristic intrinsic mode function components. This decomposition method is adaptive, and, therefore, highly efficient. Thus, we could extract the variation trend from the data. The testing results indicate that EMD method is the best one for extracting data trend at the present time. The climatic trend is very important in temperature change. Therefore, how to eliminate periodic oscillation in temperature change and obtain variation trend is the important process for estimating and comprehending global climate warming. In this study, temperature variation trends of monthly mean temperature data for 740 stations over China from 1951 to 2001 are diagnosed by EMD method, and there are three types of variation trends: ascending trend, descending trend, and fluctuation. Hereby, several temperature change regions have been divided in China and fields have been spatially classified. Simultaneously, the temperature variability of every station is calculated by this method, and classification chart of long term trend and temperature variability distribution chart of China are obtained, supported by GIS, 1km×1km resolution. The results show a large scale warming trend in China, especially Northeast China, Inner Mongolia, Gansu, the west of Qinghai and Tibet, and the north of Xinjiang witnessing marked warming, as opposing to the descending trend patches distributed over Southwest China and the middle and lower Changjiang valley.

Key words: China; temperature; empirical mode decomposition; intrinsic mode function