

中国近 117 年年平均气温变化的区域特征研究*

屠其璞 邓自旺 周晓兰

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

用 REOF 法以 160 站近 47 年的年平均气温变化为依据将我国分为 8 个年平均气温变化区, 以国内及临近国家长资料序列为基础, 建立了反映我国各区及全国近 117 年的年平均气温标准化序列。从近 117 年气温变化来看, I-V III 区都有升温趋势, 全国平均气温的升温趋势为 $0.76 / 100 \text{ a}$, 北半球陆地则为 $0.64 / 100 \text{ a}$ 。最大的为东北, 华北、新疆, 最小的为四川、贵州。从年代际尺度看我国与北半球陆地的平均气温的变化是相当一致的, 相关系数高达 0.93, 主要差别在于年际变化。

关键词: 平均气温 升温趋势 区域特征 旋转经验正交函数(ROF)

引 言

近百年来全球平均气温持续升高, 我国气温也相应地升高。对此问题我国学者进行了许多研究。王绍武^[1]利用中国气温等级资料研究了近百年我国气温变化规律, 表明中国的气候变化与全球有相同的时候, 但并不总是一致。中国与全球气温的相关系数在 0.3~0.4 之间。施能等^[2]研究表明, 本世纪以来中国绝大部分地区气温变暖。数十年尺度冷暖背景下, 中国气候变化具有区域特征。然而, 以往人们研究我国气温区域变化时, 其区域的划分总是预先给定的, 这样的区域往往缺乏客观性。一般只研究某一特定区域 50 年代以后的变化特征。以客观分析方法进行分区, 并全面研究我国近一百多年来气温变化的区域特征的并不多见。本研究是以近 47 年年平均气温变化的区域差异为依据, 将我国分为多个气温变化区, 然后以我国气温及临近国家的具有长序列的站点气温资料, 建立我国各区的代表序列, 进一步研究我国近一百多年来气候变化的区域特征。

1 资料和方法

(1) 资料 包括 160 站 1951~1997 年的年平均气温序列; P. D. Jones 整理的相对于 1961~1990 年 30 年平均值的 1881~1996 年北半球年平均气温距平值序列; 中国、前苏联、印度、朝鲜、日本等国的一些测站 1881 年以来的年平均气温资料。

* 国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测系统的研究”96-908-01-01-1 课题资助
1998-12-15 收到, 1999-02-10 收到修改稿

(2) 分区方法 分区的原则是使同一区域内各测站温度变化相似, 不同区域测站气温变化之间则要求有显著差异。用旋转经验正交函数 (REOF) [3~5] 进行客观分区可以达到要求。具体分区方法为: 对气温场进行 REOF 分析, 其中选取累积方差 85% 作为旋转点, 令 $\epsilon = 10^{-3}$, 即直到相邻两次的方差贡献之差小于 ϵ 停止旋转。绘制各旋转主成分荷载向量场, 标明荷载 0.5 的站点。在同一荷载向量场中, 荷载 0.5 且地理上连成一片的测站多于 4 个的区域划分为同一个气温变化区。在同一荷载向量场中, 若有地理上不连续的两块或以上符合规定的区域, 则将其作为不同的气温变化区。若在某一荷载向量场中, 荷载 0.5 的站数少于或虽多于 4, 但地理上连成一片的站点数少于 4, 则认为没有与该荷载向量场相对应的气温变化区。这些荷载较大的测站的归属, 按其与其他荷载场的关系密切程度进行划分。个别测站按上述原则可能同时归于两个或以上相邻气温变化区, 对这些测站, 也按其在与这些相邻气候变化区对应的荷载向量场的荷载的大小, 将其归于荷载最大的区域。这样在同一区域内各站平均气温具有相似的变化特征。

(3) 滤波方法 为了研究气温的年代际尺度的变化, 对各区一些序列采用高斯低通滤波法进行滤波处理。权重函数为高斯函数:

$$h(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

其中 $\sigma = 6$, $h(x)$ 为权重。若以 T 表示气温序列, $H(T)$ 表示进行滤波处理后, 滤去了 10 年以下的高频变化部分, 得到的气温年代际以上尺度的变化 [6], $T - H(T)$ 表示 10 年以下时间尺度的高频变化部分。

(4) 气温变化幅度的计算 设某一时段标准化序列的变化幅度为 dt , 实际序列的均方差为 t , 则该时段实际序列的变化幅度 DT 为:

$$DT = dt \times t \quad (2)$$

2 中国近 47 年的气温变化

2.1 分区结果

我国近 47 年来年平均气温变化第一主成分的方差贡献率为 43.3%, 从第一特征向量场可以看出 (图略), 它反映了除西南部外的广大东部及西北地区气温总的变化趋势, 它与这些区域各站的相关系数绝大多数大于 0.6。从图 1a 可以看出我国气温 60 年代有下

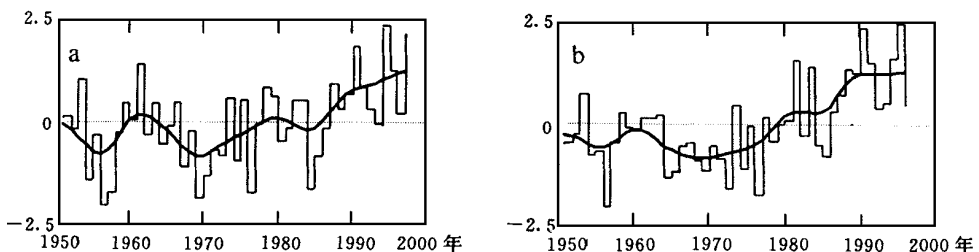


图 1 中国年平均气温场标准化第一主成分 (a) 和北半球年平均气温标准化序列 (b)
(曲线为低通滤波曲线)

降趋势,从1970年以来一直呈上升趋势,现在的气温已达近47年来最高值。图1b为同期北半球陆地气温变化标准化序列,比较图1a和图1b,可以看出它们是非常相似的,其相关系数达0.742,两平滑曲线的相关系数达0.924,可见我国和北半球气温变化具有较好的一致性,特别是气温变化波动对应得很好。

为了进一步分析我国年平均气温变化的区域特征,先利用REOF法对气温场进行区域的划分。前10个特征向量场的累计方差贡献率为85.1%,因此,对其进行正交旋转,结果是第五、第七、第八和第九荷载向量场中没有达到分区标准的区域。根据各向量场绝对值大于0.5的区域分布(图略),可见第一旋转主分量反映了河套以东长江以北及北疆的气温变化,第二旋转主分量反映了四川、贵州等的气温变化,第三旋转主分量反映了西藏和云南的气温变化,第四、第六、第十旋转主分量分别反映了西北东部和华南、华北南部和长江中下游地区以及新疆南部的气温变化。再根据前叙分区原则可将全国分为8个气温变化区,如图2所示。对各区所有测站气温进行主成分分析结果如表1所示,可见

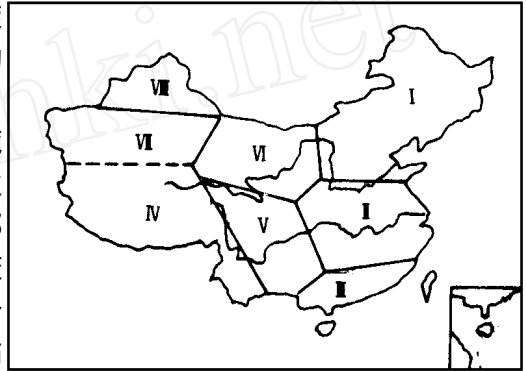


图2 中国年平均气温变化分区

各区第一主成分的方差贡献率都在50%以上,平均荷载均大于0.69,最小荷载均大于0.46,说明了同一区域内的测站气温变化是一致的,并且各区的第一主成分能够代表其气温变化的基本特征。

上,平均荷载均大于0.69,最小荷载均大于0.46,说明了同一区域内的测站气温变化是一致的,并且各区的第一主成分能够代表其气温变化的基本特征。

表1 中国各区年平均气温REOF分区结果

范围(站数)	PC1 方差贡献率(%)	平均荷载	荷载最大测站及荷载值	荷载最大测站均方差	荷载最小测站及荷载值
I 东北和华北北部(42)	73.7	0.85	长春(0.96)	0.79	太原(0.67)
II 华北南部 华中和华东(39)	67.4	0.82	安庆(0.94)	0.44	陨县(0.58)
III 华南(18)	64.7	0.78	梧州(0.92)	0.37	百色(0.66)
IV 西藏和云南(15)	50.2	0.69	昆明(0.86)	0.47	玉树(0.46)
V 四川和贵州(20)	60.3	0.82	雅安(0.90)	0.34	内江(0.75)
VI 西北东部(13)	72.9	0.80	中宁(0.93)	0.48	西安(0.60)
VII 新疆南部(4)	71.0	0.86	和田(0.89)	0.47	喀什(0.80)
VIII 新疆北部(9)	60.3	0.78	乌苏(0.91)	0.92	库车(0.60)

对各区年平均气温分别作主成分分析并对各区气温第一主成分两两求相关,发现虽然大多数区域之间相关系数均较小,但也有4个相关系数大于0.6,分别为第I区与第II区、第II区与第VI区、第III区与第VI区、第V区与第VI区。第II、III、V区都与第VI区有较大的相关系数,但这3区之间的相关系数都较小,第III区与第VI区地理上不相连,因此这些区不能合并。从整个时间尺度而言,有些分区之间并不存在显著的差异。为了进一步研究各区之间的关系,我们利用高斯滤波方法将各区第一主成分分解成年代际尺度(低频)部分和年际尺度(高频)部分,然后再分别对低频和高频部分两两求相关,结果如表2所示。由表可见,低频部分有些区域之间的相关系数较大,而高频部分的大多数相关系数较小。

除第Ⅲ区和第Ⅵ区外, 没有一对高、低频变化部分的相关系数同时大于 0.6 这说明所划分的区域是客观的 另外, 除第Ⅳ、Ⅴ两区外, 其它 6 个区低频部分之间的相关系数一般都较大, 表明各区之间气温年代际变化相关性较好, 主要差别在于年际变化

表 2 8 个区之间年平均气温第一主成分低频(上三角阵)和高频部分相关系数(下三角阵)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	1	0.83	0.52	0.44	- 0.03	0.79	0.89	0.85
II	0.57	1	0.76	0.70	0.38	0.89	0.71	0.71
III	0.23	0.34	1	0.64	0.59	0.83	0.33	0.35
IV	- 0.17	0.08	0.27	1	0.45	0.75	0.26	0.19
V	0.13	0.44	0.61	0.21	1	0.42	- 0.14	- 0.19
VI	0.32	0.53	0.75	0.23	0.75	1	0.67	0.61
VII	0.05	0.28	0.45	- 0.01	0.53	0.49	1	0.92
VIII	0.35	0.40	0.36	- 0.23	0.45	0.37	0.49	1

2.2 年代际变化的区域特征

无论从全国范围的第一主成分荷载场的特征还是各个区第一主成分平滑序列的相关系数看, 我国大范围内气温的长期变化具有较好的一致性, 但仍然存在一定的区域特征 图 3a~ h 分别为第 I 到第Ⅷ区气温变化的第一主成分标准化序列 第 I、Ⅶ、Ⅷ区气温总

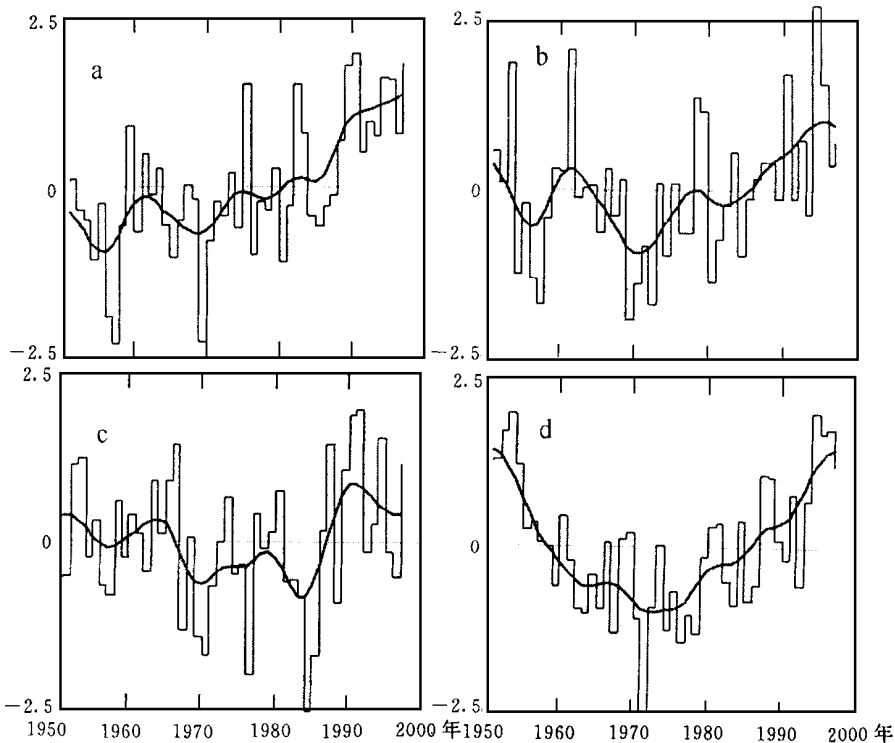
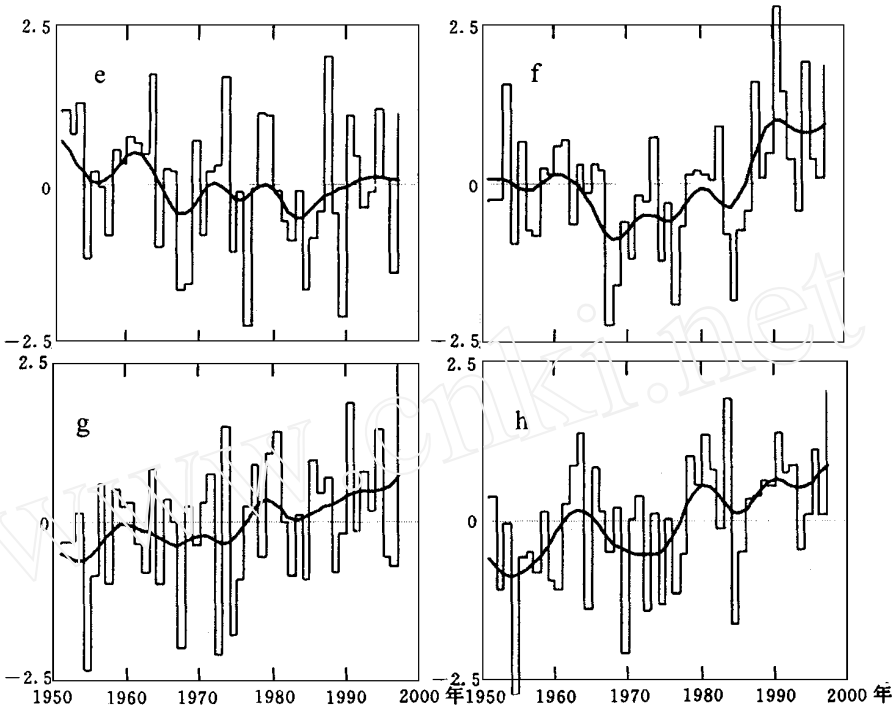


图 3 第 I 至第Ⅷ区年平均气温第一主成分标准化序列
(图 3a, 3b, ..., 3h 分别对应第 I, 第 II, ..., 第Ⅷ区, 黑实线为平滑曲线)



(续图 3)

的趋势是一致的升温, 并且没有明显的较长时间降温时段出现, 升温幅度最大的为东北地区 and 北疆, 其次为南疆 与北部相反, 近 47 年来有明显降温趋势的为四川、贵州 而华南、西北东部、西藏、云南、华北南部和长江中下游等地区则以 1970 年前后为分界点, 以前有降温趋势, 以后则为升温趋势, 但各区前后两段的具体温度变化又各有特点, 并不完全一致, 尤其是西藏和云南前后两段时间气温的变化趋势非常明显

3 近百年各区气温的变化特征

3.1 序列的建立

研究近百年气温变化的区域差异, 首先要建立起反映我国各区气温变化 1881 ~ 1997 年的年平均气温序列, 然后研究其长期变化的区域差异及其与北半球同期气温变化的关系 由于 1951 年以前, 我国境内只有很少几个站有气温实测记录, 特别是能够延伸到 1881 年的更少, 无法求取这段时间内各区第一主成分. 在有些区域内有个别站点具有较长的温度实际资料, 并且从近 47 年来的资料来看, 与该区第一主

表 3 8 个区代表站资料情况

代表站	近 47 年代表站与 PC1 相关系数	实测资料起迄年
I 北京	0.88	1881~ 1997
II 上海	0.83	1881~ 1997
III 福州	0.82	1931~ 1997
IV 昆明	0.86	1931~ 1997
V 成都	0.83	1931~ 1997
VI 兰州	0.85	1931~ 1997
VII 和田	0.89	1951~ 1997
VIII 伊宁	0.88	1951~ 1997

成分的相关系数较大 因此, 我们可以用这些站的标准化序列来代表各区气温变化的趋势 如表 3 所示各代表站近 47 年来的气温与其所处区域的第一主成分的相关系数均在 0.82 以上 而与我国临近的一些国家则有些是自 1881 年以来的实测气温资料的测站, 因此可以利用我国境内外的资料建立起 1881 年以来各区代表站的温度变化序列 对缺失部分采用文献[7]中提供的方法进行插补, 对建立起来的序列进行标准化处理, 对该序列分别以公式(2)进行处理, 求出其线性趋势 利用面积加权平均的方法建立起中国平均气温序列

3.2 各区年平均气温之间高、低频成分的相关分析

表 4 为 8 个区近 117 年代表序列之间高、低频成分相关系数表, 由表 4 可见与 47 年相似, 低频部分区域之间的相关系数较大, 最大者为 II 区与 VI 区(高达 0.94), 最小者为 I 区与 V 区之间(0.32). 所有低频成分之间的相关系数均为正值, 这说明各区气温总的趋势是一致的, 均呈升温趋势 我国气温的长期变化的主要差异为南北差异, 东西差异则较小 高频部分的相关系数较小, 大多数在 0.5 以下, 且有负的相关系数 一般地说两区之间高、低频部分相关系数不会同时都大 只有 VI 区与 V 区、VII 区与 VIII 区的相关系数在高、低频部分都较大, 这主要是因为这 4 个区内均无足够长的资料, 插补资料较多引起的^[7]. 综上所述, 可见建立的代表序列具有一定的代表性, 可用于对各气温变化进行进一步分析

表 4 8 个区之间近 117 年年平均气温变化低频(上三角阵)
和高频部分相关系数(下三角阵)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	1	0.84	0.40	0.47	0.32	0.86	0.58	0.65
II	0.52	1	0.65	0.56	0.61	0.94	0.78	0.76
III	0.26	0.57	1	0.86	0.67	0.65	0.62	0.65
IV	0.07	0.20	0.35	1	0.57	0.64	0.51	0.58
V	0.19	0.48	0.45	0.43	1	<u>0.62</u>	0.60	0.42
VI	0.26	0.56	0.33	0.31	<u>0.64</u>	1	0.70	0.68
VII	-0.01	0.22	0.17	0.16	0.56	0.49	1	<u>0.93</u>
VIII	0.19	0.12	-0.03	-0.15	0.31	0.31	<u>0.66</u>	1

注: 有下划线“—”的为高、低频部分相关系数均大于 0.60

3.3 近百年我国气温变化的区域特征

从建立起来的各区代表序列中, 可以看到气温近一百多年来都有升温趋势, 但幅度的大小有所不同 近 117 年来 I ~ VIII 区年平均气温的线性趋势分别为 1.1 /100 a, 1.1 /100 a, 0.60 /100 a, 0.52 /100 a, 0.35 /100 a, 0.85 /100 a, 0.60 /100 a, 1.1 /100 a, 中国平均气温的线性趋势为 0.76 /100 a, 北半球陆地则为 0.64 /100 a 可见我国平均升温幅度大于北半球, 而特定区域的升温幅度并不都如此 东北、华北、西北大于北半球, 而华南、西南则小于北半球 四川、贵州升温幅度最小 可见近百年来我国北部升温显著, 而南部地区则较小

图 4a 和图 4b 分别为 I、VI、VII、VIII 区和 II、III、IV、V 区近 117 年来气温变化的标准化序列的平滑曲线 可以看到, 虽然各区序列并不完全一致, 但有一些共同点 即我国各区当前都处于一个高温期, 而另一个高温期对于第 I、II、V、VI、VII、VIII 区而言在本世纪 40 年

代,且位置较为一致,但有一点值得注意的是第V、VII两区40年代高温期的气温超过当前的高温期,而其他4区则未超过当前的高温期。对于华南(III区)、云南、西藏(IV区)则另一个高温期为20~30年代,且温度高于当前的高温。

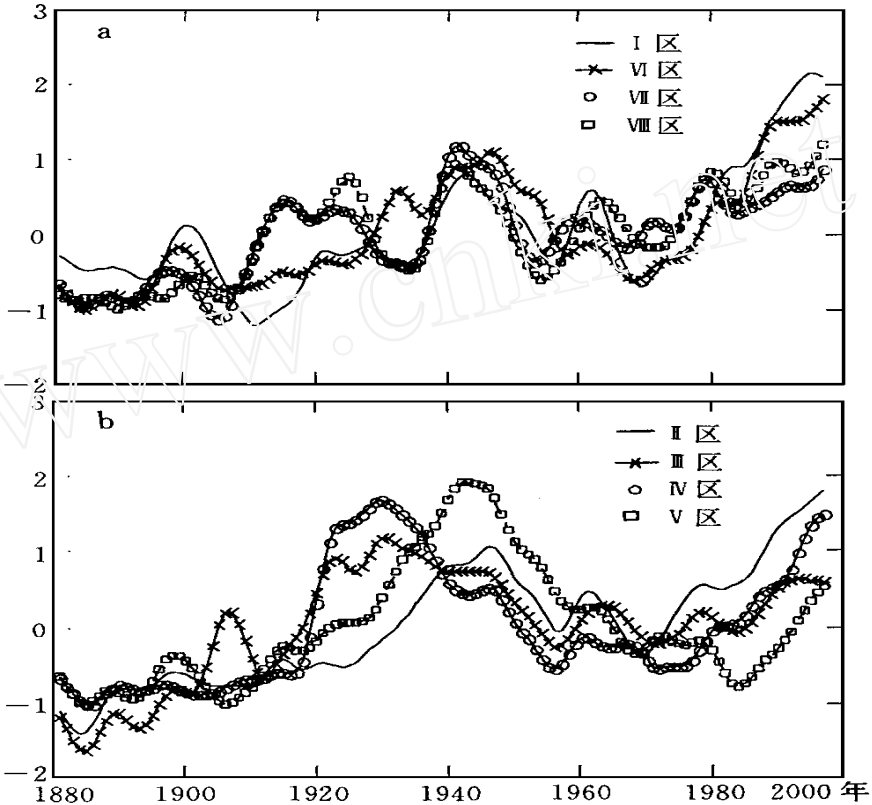


图4 8个区1881~1997年年平均气温标准化序列平滑曲线
(a) I、VI、VII、VIII区 (b) II、III、IV、V区

3.4 我国平均气温与北半球平均气温的关系

由各区代表气温序列以该区面积占总面积的百分比(表5)为权重加权平均求得的我国平均气温与北半球气温的相关系数为0.78,其高频部分的相关系数仅为0.39,而其低频部分的相关系数则高达0.93。可见我国与北半球年代际变化是相当一致的,其主要差别在于年际变化。图5为我国平均气温与北半球平均气温的标准化序列的平滑曲线图,北半球陆地气温现在升到历史最高值,我国平均气温也如此。北半球陆地气温的波动在我国平均气温变化序列中均有明显反映。40~70年代的降温和70年代末以后北半球的快速

表5 我国各气温变化区面积占总面积百分比(%)

区号	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
面积	24.3	9.2	5.3	24.9	9.9	9.8	11.2	5.2

升温在我国各区都有一致的响应 这表明对应于大的气温波动我国各个区域都有反应, 但响应的强烈程度是各异的

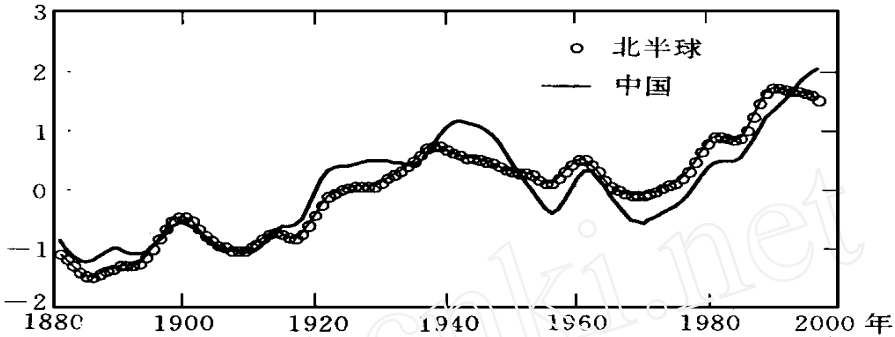


图 5 1881~ 1997 年北半球和中国年平均气温标准化序列平滑曲线

4 小 结

(1) 我国年平均气温可以分为 8 个变化区, 分别为东北、华北北部区, 华北南部和长江中下游区, 华南区, 西藏、云南区, 四川、贵州区, 西北东部区, 南疆区, 北疆区

(2) 从近 117 年气温变化来看, 8 个区都有升温趋势, 分别为 $1.1 / 100 \text{ a}$, $1.1 / 100 \text{ a}$, $0.60 / 100 \text{ a}$, $0.52 / 100 \text{ a}$, $0.35 / 100 \text{ a}$, $0.85 / 100 \text{ a}$, $0.60 / 100 \text{ a}$, $1.1 / 100 \text{ a}$ 最大的为东北、华北、新疆, 最小的为四川、贵州 V、VII 两区 40 年代的高温超过目前的高温, III、IV 区 20~ 30 年代的高温超过目前的高温, 其余 4 区目前的高温达近 117 年的最高值 中国平均气温的升温趋势为 $0.76 / 100 \text{ a}$, 北半球陆地则为 $0.64 / 100 \text{ a}$ 中国平均气温和北半球平均气温目前都处在最高温期

(3) 我国与北半球陆地平均气温的相关系数为 0.78, 其中年代际变化相关系数高达 0.93, 年际变化相关系数为 0.39 说明我国与北半球气温变化主要差别在于年际变化, 而年代际变化之间则较为一致

参 考 文 献

- 1 王绍武 近百年气候变化与变率的诊断研究 气象学报, 1994, 52(3): 261~ 273
- 2 施能, 陈家其, 屠其璞 中国近百年来 4 个年代际的气候变化特征 气象学报, 1995, 53(4): 431~ 439
- 3 黄嘉佑 我国夏季气温、降水量场的时空特征分析 大气科学, 1991, 15(3): 124~ 132
- 4 Richman M B. Obliquely rotated principal components: An improved meteorological map typing technique. *J. Appl. Meteor.*, 1981, 20: 1145~ 1159
- 5 O'lenic E A and Livezev R E. Practicable considerations in the use of rotated principle component analysis in diagnostic studies of upper-air height fields *Mon. Wea. Rev.*, 1988, 116: 1682~ 1689
- 6 马开玉, 丁裕国, 等 气象统计方法 北京: 气象出版社, 1996 253~ 265
- 7 屠其璞 一种气温场序列的延长插补方法 南京气象学院学报, 1986, 9(1): 12~ 20

STUDY OF REGIONAL CHARACTERISTICS ON MEAN ANNUAL TEMPERATURE VARIATION OF NEAR 117 YEARS IN CHINA

Tu Qipu Deng Ziwan Zhou Xiaolan

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract

Based on the mean annual temperature serials of 160 stations in near 47 years, the eight subregions of annual temperature variation are categorized by using the REOF method. Eight representative long temperature time serials of 117 years are created for the eight subregions based on the long time serial data of some stations in China and adjacent countries. In the last 117 years, there is a temperature warming trend for all the I-VIII subregions. The mean annual temperature trends of China and Northern Hemisphere are $0.76/100a$ and $0.64/100a$, respectively. There is a high correlation between smoothed serials of China and Northern Hemisphere with a coefficient of 0.93. It shows that the difference of temperature variation is mainly in interannual change.

Key words: Mean temperature Warming trend Regional characteristics Rotational Empirical Orthogonal Function (REOF)