

## 我国气温长期变化的区域特征

辛若桂\* 屠其璞

(南京气象学院应用气象学系, 南京 210044)

**摘要** 采用旋转经验正交展开(EOF)的方法,对我国 160 个测站 39 年(1951 ~ 1989)的年平均气温场和冬、夏季平均气温场分别作了空间分型。得到年和夏季平均气温场均可分为 7 个区;冬季则分为 4 个区。同时对有长期观测资料区的主成分进行了多元回归延长。研究表明,冬、夏季及年平均气温场各区之间近 40 年来的差别较大,我国大部分地区均有增温趋势;但在四川盆地(年平均气温场)、长江中下游(夏季平均气温场)则表现为降温趋势。近百年来我国的气温变化趋势及位相与北半球一致,40 年代前后为高温期,70 年代为低温期。

**关键词** 旋转经验正交展开,气温,变化趋势,区域特征

**分类号** P467

本世纪 60 年代以来,全球性的气候变化和区域性气候变化,引起许多气象学家以及各国政府的高度重视。关于大范围的气候变化已有不少研究,而中国气候变化的研究,由于观测资料的限制,工作着眼点基本上放在我国东部地区,涉及的资料仅几十个站。对全球及北半球气温变化与我国气温变化的相互关系的细节是一个需要进一步研究的问题。本文利用我国 160 个站的年平均和冬、夏季平均气温资料,对它们进行了正交旋转分析,对各区主成分进行了多元回归延长,并与北半球温度变化进行了比较。

### 1 资料和方法

本文采用我国 160 个基准站的月平均气温资料(1951 ~ 1989 年)以及北京、上海、昆明、成都、广州等 5 个站和北半球的月平均气温序列(1881 ~ 1989 年)。

旋转经验正交展开(EOF)<sup>[1]</sup>是在经验正交展开(EOF)的基础,选择一个正交旋转矩阵,使原始阵旋转后列向量元素平方的方差达最大<sup>[2]</sup>。旋转前将经验正交展开系数  $T$  和特征场  $V$  作归一化处理,即

$$\bar{T} = \frac{T}{\sqrt{\sum T^2}}, \quad \bar{V} = \frac{V}{\sqrt{\sum V^2}}$$

其中

本文受中国气象局八五重点课题“短期气候变化预测理论和方法研究”资助

\* 现在山西省气象科学研究所工作

收稿日期:1996-01-23; 改回日期:1996-07-28

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\sqrt{n}} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{n}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{n}} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{n}} \end{pmatrix} \\
 \frac{1}{\sqrt{n}} &= \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{n}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{n}} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{\sqrt{n}} \end{pmatrix} \\
 U &= \tilde{V} \quad \tilde{V} = V \quad \tilde{V}^T = U^T
 \end{aligned}$$

则

$$X = \tilde{T} U^T$$

$U$  为旋转后的特征向量场。取  $A = \tilde{T}$  为旋转特征向量对应的时间系数, 则

$$X = A U^T$$

所以,  $X$  仍可以分为时间系数与空间系数的乘积。特征值  $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n$  分别表示各特征向量对原始方程的方差贡献。

旋转前后每个特征向量对原始方程的方差贡献率的计算公式分别为

$$\begin{aligned}
 \text{旋转前} \quad EVPL &= \frac{\lambda_l}{\sum_{l=1}^n \lambda_l} \times 100\% & L &= \overline{1, n} \\
 \text{旋转后} \quad EVPL &= \frac{U_{jl}^2}{\sum_{l=1}^n U_{jl}^2} \times 100\% & L &= \overline{1, n}
 \end{aligned}$$

式中,  $U_{jl}$  为第  $l$  个特征向量第  $j$  个空间点的荷载值。原始方程的主要信息浓缩于特征值较大的前  $K$  个特征场上。

选取几个主成分以及取几个对应的载荷向量做旋转变换。本文采用的是卵石测试法<sup>[6]</sup>, 取前  $K$  个分量组成的子集代表无噪声的气象信息场。因此  $X$  的估计值为

$$X = A_{mk} U_{nk}^T$$

## 2 中国年平均气温多年变化的分区及各区的特征

### 2.1 年平均气温的分区

对全国 160 个测站多年平均气温序列(1951~1989 年)组成的资料矩阵作标准化变换, 并进行 REOF 分析。得到特征值  $\lambda_l$ , 各特征向量方差贡献率  $EVPI_l$ , 前  $K$  个特征向量的累积方差贡献率  $EVCK(k = \overline{1, k})$ , 特征向量场  $U_{nk}$  和时间系数  $A$ 。根据旋转主成分荷载值确定出各站气温序列相关最密切的旋转主成分, 将同一旋转主成分给出的方差贡献大小, 且地域上连成一片

测站划分为同一区<sup>[1]</sup>。根据区域的气温具有相似的年际变化特征将我国划分为 7 种类型(图 1)。表 1 给出了与第 1~7 主成分相关最密切的测站数、区域内平均荷载系数较大的代表性测站。

表 1 年平均气温场旋转后各区的测站数、代表测站的荷载及平均荷载

Table 1 Number of stations, mean load and the load for a representative station based on the rotated yearly mean temperature fields

区号(站数)	荷载及代表站				平均荷载
1(57)	0.9601(通化)	0.9560(朝阳)	0.9554(沈阳)	0.9539(通辽)	0.8845
2(42)	0.9578(合肥)	0.9269(常德)	0.9130(鄱县)	0.8927(蚌埠)	0.8807
3(14)	0.8990(北海)	0.8687(湛江)	0.8076(梧州)	0.7642(阳江)	0.7689
4(16)	0.8176(淮安)	0.7774(内江)	0.7746(重庆)	0.7609(康定)	0.7094
5(13)	0.9590(保山)	0.9303(丽江)	0.9060(昆明)	0.8672(兴仁)	0.8470
6(6)	0.8412(昌都)	0.7716(拉萨)	0.6693(玉树)	0.6161(武威)	0.7069
7(12)	0.9397(若羌)	0.9340(库车)	0.9150(哈密)	0.8889(敦煌)	0.8192

由表 1 结合图 1 可以看出, 1 区与第一主成分关系为密切, 平均荷载达 0.8845, 覆盖我国东北全部、华北大部及新疆北部; 与第二主成分关系密切的是 2 区, 平均荷载为 0.8807, 包括我国华东地区、华北及华南的部分地区; 3 区与第六主成分关系密切, 覆盖我国华南大部分地区, 其平均荷载为 0.7689; 4 区的平均荷载达 0.7094, 与第八主成分密切相关, 位于我国中南地区, 包括四川大部分, 贵州省、广西西部及云南东部的部分地区; 5 区与第三主成分相关, 位于我国西南地区, 主要包括云南西部大部分地区, 平均荷载为 0.8470; 6 区内所含的测站数较少, 仅 6 个站, 位于我国西部广大地区, 包含西藏部分、四川北部, 甘肃南部及青海部分, 其平均荷载为 0.7094; 七区的平均荷载值达 0.8192, 覆盖我国西北部, 包括新疆大部, 青海北部及甘肃西部地区。

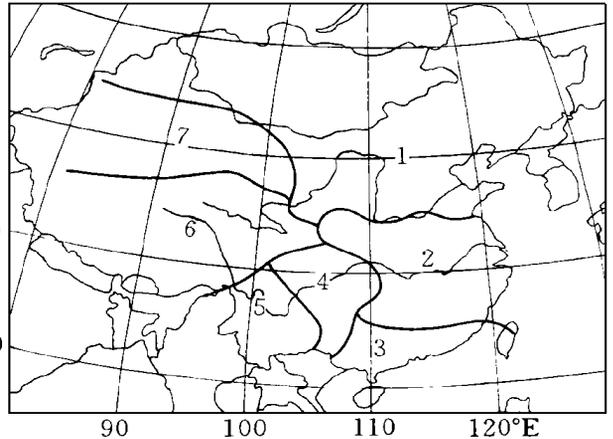


图 1 年平均气温分区图

Fig. 1 Annual mean temperature on a regional basis

## 2.2 各区气温的年际变化特征

为了清楚地给出各区气温变化的主要特征, 对各区年平均气温序列作旋转主成分分解, 各区气温序列的第一主成分给出该区气温变化的主要特征。从各区的第一主成分变化趋势来看, 1 区(华北、东北)、2 区(华东)、3 区(华南)与北半球的变化比较一致(图略), 相关密切( $R_{1N} = 0.5911$ ,  $R_{2N} = 0.4203$ ,  $R_{3N} = 0.4595$ ), 其中  $R_{1N}$  表示 1 区与北半球的相关系数, 以此类推, 40 年来都具有总的升温趋势, 60 年代前后与 80 年代前后为两个温暖期; 50 年代中期, 70 年代前

后为两个寒冷期, 其中 70 年代前后的低温期持续时间较长。4 区(四川盆地、云贵高原东部)气温变化与北半球相关系数较小( $R_{4N} = 0.2443$ )。近 40 年来, 在北半球增温的总趋势下, 该区则表现为下降的趋势。几次高低温出现的时段是相近的, 所不同的是 70 年代初北半球持续低温时, 4 区曾出现一次回暖。此外, 4 区的每次降温幅度基本上都大于升温幅度。7 区(西北南部)与北半球的相关系数为 0.3811, 40 年来的升降温趋势不明显。6 区(青藏高原)年平均气温变化与北半球相关最差( $R_{6N} = 0.1091$ )。该区看不出明显的升降温趋势, 位相的变化与其它地区也有所不同。5 区(滇西南)没有大幅度的升降温( $R_{5N} = 0.3455$ )。

各区第一主成分给出了各区变化的主要特征, 可以看做是该区的一种平均气温趋势。为研究各区的气候长期变化, 根据每个区及邻区有长资料观测台站的实测气温序列与其第一主成分的关系建立多元回归, 并利用回归方程对每个区的第一主成分进行延长。建立的回归模式可表示为

$$P_i = B_{0i} + B_{1i}X_{1i} + B_{2i}X_{2i} + B_{3i}X_{3i} \quad i = \overline{1, n}$$

表 2、3 分别给出了所选长资料站与其主成分的相关系数及回归方程的回归系数。

表 2 各区年平均气温与长资料站的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of annual mean temperature with long-record observation stations for the delimited regions

	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区
北京	0.8645	0.4887	0.3588	0.0289	0.0732
上海	0.6647	0.7885	0.4857	0.2910	0.3295
广州	0.4884	0.5162	0.9152	0.3809	0.4310
成都	0.0802	0.3428	0.4892	0.8326	0.5618
昆明	0.0023	0.0863	0.4771	0.2947	0.8857

表 3 年平均气温场各第一主成分与其高相关长资料站的回归系数  $B_i$

Table 3 Regression coefficients  $B_i$  for first principal component of annual mean temperature and high-correlation long-record stations on a regional basis

回归系数	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区
$B_0$	- 134.3778	- 183.6764	- 93.3033	- 136.5135	- 186.5856
$B_1$	5.8951	0.0718	4.7208	- 1.1370	0.4321
$B_2$	3.6411	8.2711	1.5813	7.3855	1.7433
$B_3$	0.3808	2.4394	- 0.0625	1.5782	6.9596

图 2 给出了延长后的主成分温度变化趋势, 可以看出, 在近百年中, 1、2、3 区与北半球变化趋势比较一致( $R_{1N} = 0.3967$ ,  $R_{2N} = 0.5325$ ,  $R_{3N} = 0.5586$ ), 都有明显的增温趋势, 从 1940 到 1950 年为高峰期, 70 年代前后为低温期。4、5 区与北半球的变化也比较一致( $R_{4N} = 0.4485$ ,  $R_{5N} = 0.3368$ ), 一百年来也具有总的增温趋势, 40 年代的高温期与 70 年代的低温期也比较明显。与前三区比较, 40 年代的高温期位相提前, 升温幅度较大。5 区近 40 年来为持续长时间的低温过程, 从 20 年代到 50 年代为持续长时间的高温过程。就全国而言, 尽管近 40 年的变化有

相当大的差别,特别是4区,在北半球升温的趋势下,该区出现降温趋势,但近百年的变化基本是一致的,包括高低温出现的时间。

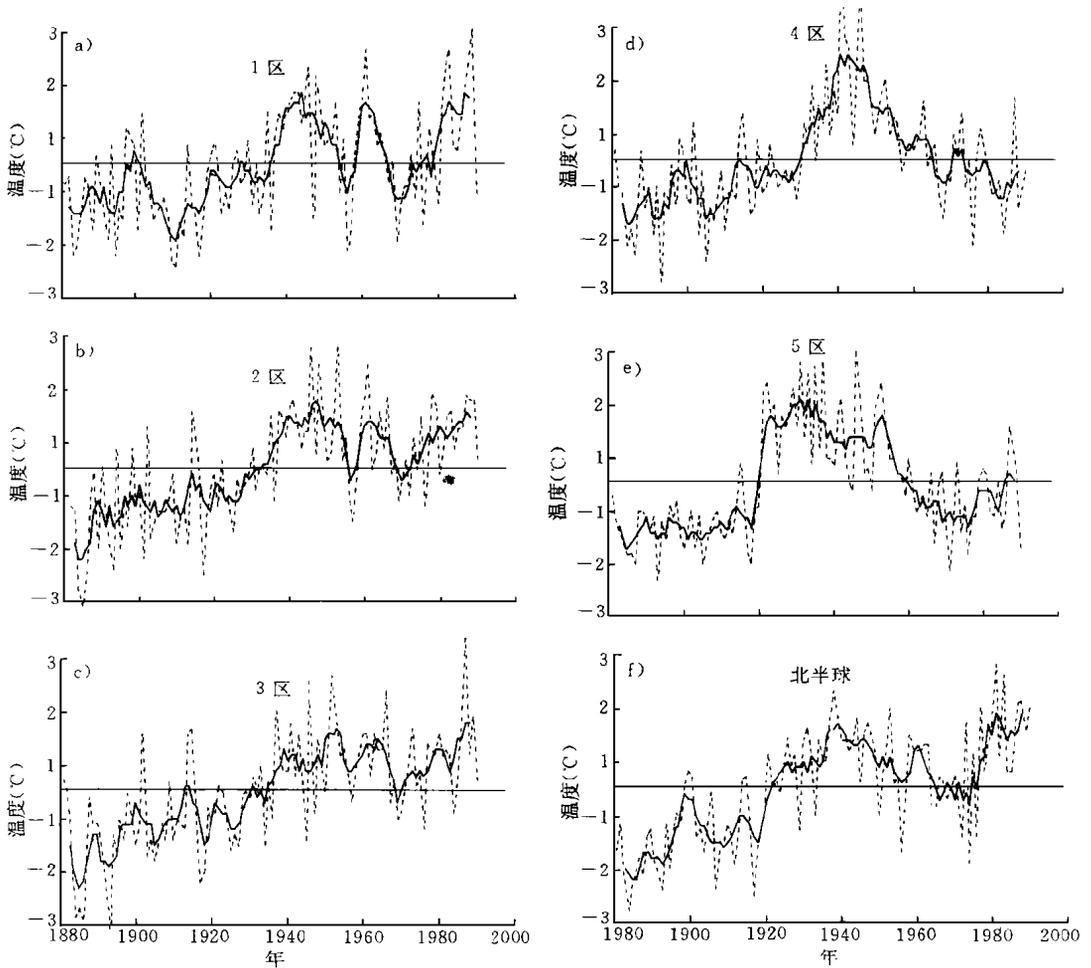


图2 年平均气温近百年变化趋势

虚线为第一主成分距平值,实线为其五年滑动平均值

Fig. 2 Annual mean temperature trend for nearly 100 years of the past, with first principal component given by dashed line and 5 year running mean by solid

### 3 夏季平均气温多年变化特征的分区及各区特征

#### 3.1 夏季平均气温多年变化的分区

同样利用 REOF 方法对夏季平均气温进行了分区,与年平均相似,也可以分为7个区(图3)。40年来,从各区第一主成分变化趋势可以看出:4区(华南、西南),5区(青藏高原)与北半球的长期变化最接近( $R_{4N} = 0.4713$ ,  $R_{5N} = 0.5639$ ),70年代前后为低温期;3区(长江中下游),6区(新疆南部)具有降温趋势,3区的变化趋势与年平均划区中的4区比较相似,在四川盆地有降温趋势,而夏季平均气温则在长江中下游和南疆为降温趋势。6区比较特别,从50年代开始大幅度降温20年,随后又是20年波动式逐渐升温过程;2区(华北)、7区(北疆)具有波动式增

温趋势; 1 区(东北)在 50 年代后期到 80 年代为持续低温过程, 80 年代前后则为增温期。总的讲, 夏季各区与北半球相关较差, 各区之间的变化也有较大的差别。1、2、4、7 区略有增温趋势, 位相也有较大的差异; 5、6 区 20 年降温, 20 年增温, 5 区变化幅度较大, 6 区则只是小波动; 3 区降温为其总趋势。

### 3.2 夏季平均气温代表序列的重建

用同样的方法对夏季平均气温场各区的第一主成分序列进行延长, 并以此代表各区近百年来温度的变化。表 4、5 分别给出了我国东部三个区的夏季平均气温与长资料站的相关系数和回归系数。

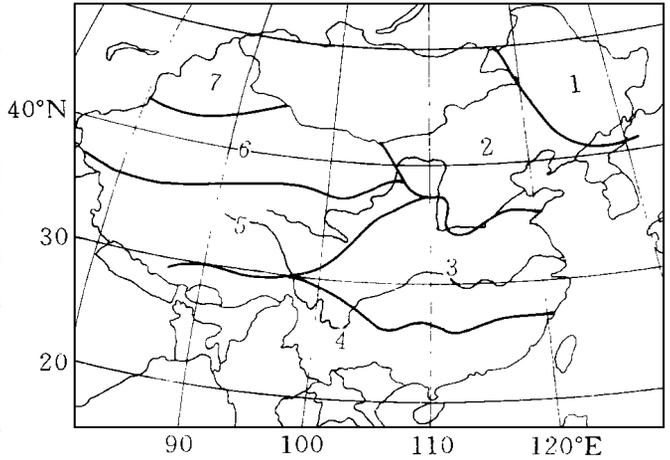


图 3 夏季平均气温分区图

Fig. 3 Summer mean temperature pattern on a regional basis

表 4 夏季平均气温场与长资料站的相关系数

Table 4 Correlation coefficients of summer mean temperature with long-record stations

	2 区	3 区	4 区
北京	0.8362	0.1735	0.2084
上海	0.3624	0.8277	0.3343
昆明	0.2549	0.2748	0.8021

表 5 夏季平均气温场与长资料站的回归系数

Table 5 Regression coefficients of summer mean temperature with long-record stations

回归系数	2 区	3 区	4 区
$B_0$	-147.4966	-220.4197	-184.37115
$B_1$	4.1515	0.4462	0.1144
$B_2$	1.5729	7.192	1.9193
$B_3$	0.1737	1.0875	8.1091

利用延长估计模式得出延长序列的年变化曲线(图 4), 2、3 区波动的趋势与北半球是一致的, 都具有增温趋势。20 世纪 40 年代为温暖期, 70 年代为寒冷期。4 区与北半球比较同样具有增温趋势, 不同之处在于 40 年代的高温期提前, 峰值较高。

## 4 冬季平均气温多年变化特征的分区及各区特征

对全国 160 个站 39 年冬季(12、1、2 月)平均气温作 REOF 分析, 根据所得的前 8 个特征值、方差贡献及旋转后的方差贡献, 按冬季平均气温年际变化的不同特点将全国划分为 4 个区(图 5)。从各区的第一主成分变化趋势可以看出(图略): 1 区(东北)、2 区(华北)与北半球的变化是一致的, 都具有升温趋势, 60 年代末、70 年代前后为近 40 年来的低温期, 60 年代前后、80

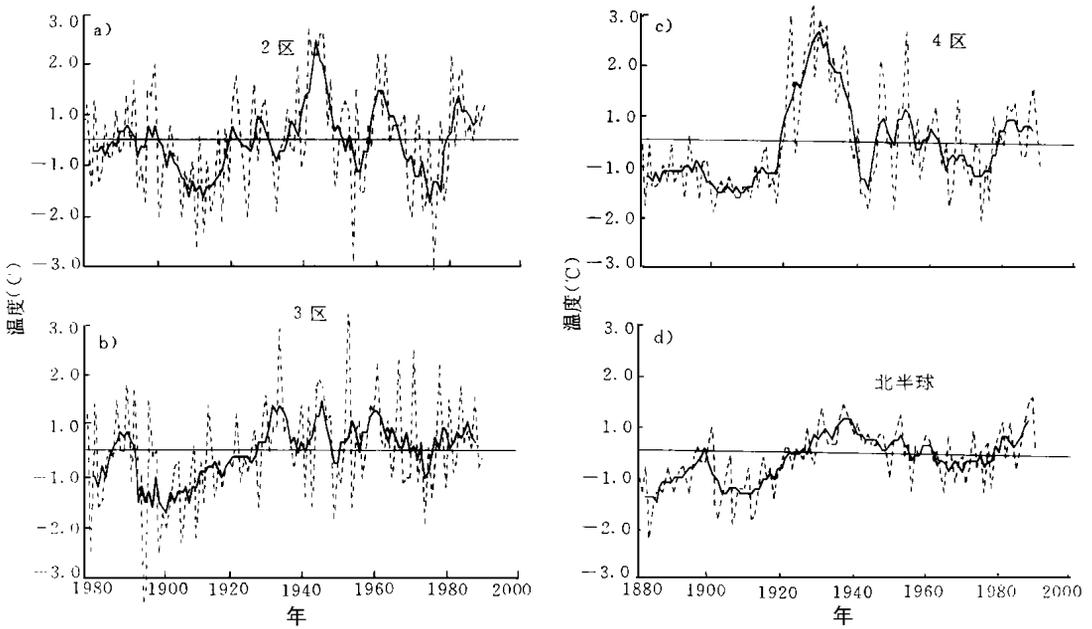


图 4 夏季平均气温近百年变化趋势

Fig. 4 Summer average temperature trend for the past 100 years

年代前后为两个高温期; 4区(西北)与北半球变化趋势也比较一致, 几次波动较为相近; 3区(华南、华东、西南及青藏高原)与北半球比较, 升温趋势不如此半球明显, 但波动的周期比较一致。

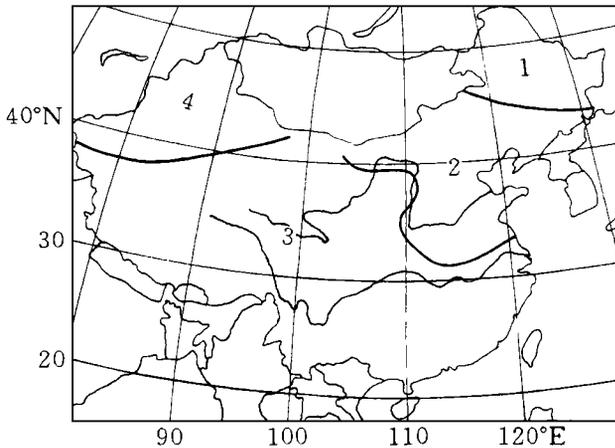


图 5 冬季平均气温分区图

Fig. 5 Winter mean temperature pattern on a regional basis

同样对冬季平均气温代表序列进行重建, 主成分与长资料站的相关系数列于表 6, 表 7 给出了回归估算模式中的回归系数。

表 6 冬季平均气温场与长资料站的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of winter mean temperature with long-record stations

	2 区	3 区
北京	0.8925	0.4565
上海	0.6925	0.7926
昆明	0.4976	0.7745

表 7 冬季平均气温场与长资料站的回归系数

Table 7 Regression coefficients of winter mean temperature with long-record stations

回归系数	2 区	3 区
$B_0$	0.6877	- 32.7484
$B_1$	2.5124	0.3766
$B_2$	2.1431	0.4337
$B_3$	- 0.4251	0.3525

图 6 给出了延长序列的长年变化曲线。2、3 区冬季平均气温近百年变化趋势基本上与北半球的变化一致。与夏季或年平均气温相比, 冬季都有升温趋势, 40 年代为高温期, 70 年代为低温期。

尽管近 40 年来冬夏两季与年平均的气温变化趋势有所不同, 在各区之间也有明显的差异, 但近百年的变化是一致的。

## 5 小 结

通过分析, 我们得出以下几点结论:

(1) 对我国年平均气温场、冬、夏季平均气温场进行 REOF 分析, 可将我国划分为气温变化相对一致的 7 个区(年平均气温场, 夏季平均气温场)和 4 个区(冬季平均气温场)。

(2) 年平均气温近 40 年来变化趋势在各区的表现不同, 东北、华北(1 区)、长江中下游(2 区)、华南(3 区)与北半球温度变化趋势的位相比较一致; 四川盆地、云贵高原东部(4 区)近 40 年来, 在北半球总的增温趋势下, 表现为降温; 西北南部(7 区)青藏高原(6 区)、西南大部分(5 区)年平均气温变化与北半球相关较差, 看不出明显的升降温趋势。

(3) 年平均气温的近百年变化趋势与近 40 年有所不同, 我国东部(1、2、3 区)都有明显的增温趋势, 与北半球非常一致。

(4) 夏季平均气温 60 年代前后在我国大部分地区(华北、长江中下游、华南、青藏高原)为高温期; 80 年代初, 东北、华北、华南、青藏高原与北半球均为高温期, 长江中下游为低温期, 而且长江中下游表现为降温趋势。但华南、西南及长江中下游地区气温的近百年变化趋势与年平均气温是一致的, 都有增温趋势。

(5) 近 40 年来, 我国大部分地区(东北、华北、新疆)冬季平均气温的变化趋势与北半球一致; 华南、华北、青藏高原等地也没有明显的升降温趋势。近百年来我国大部分地区冬季的平均气温变化趋势与北半球有较好的一致性, 位相也基本上一致。

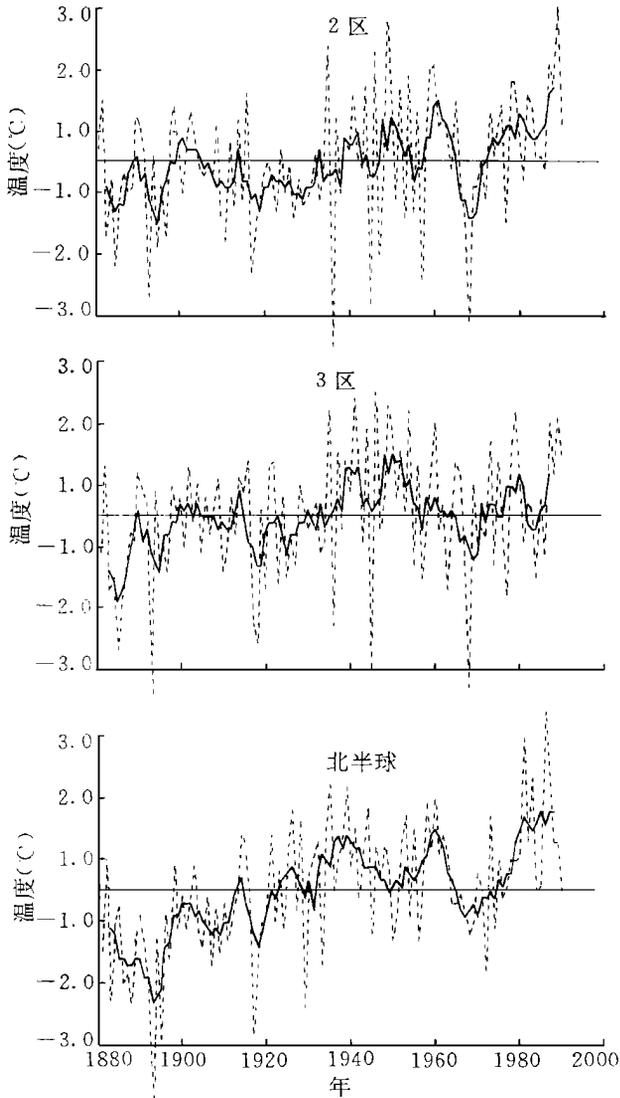


图6 冬季平均气温近百年变化趋势

Fig. 6 Winter average temperature trend for the past 100 years

### 参 考 文 献

- 1 Horel J D. A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500mb height field. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(10): 2080 ~ 2092
- 2 王学仁. 地质数据的多变量统计分析. 北京: 科学出版社, 1982
- 3 O lenic E A, Livezey R E. Practical considerations in the use of rotated principal component analysis in diagnostic studies of upper-air height fields. *Mon Wea Rev*, 1988, 116(8): 1682 ~ 1689
- 4 屠其璞. 近百年来我国气温变化的趋势和周期. *南京气象学院学报*, 1984, (2): 151 ~ 162

# REGIONAL FEATURES OF LONG-TERM CHANGES IN TEMPERATURE OVER CHINA

Xin Ruogui      Tu Qipu

(Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

**Abstract** 1951 ~ 1985 annual, winter and summer mean temperatures of 160 stations over China are REOF-investigated with the resulting fields spatially classified, leading to 7 segments for both the yearly and summer temperature compared to 4 for the winter mean, and multivariate regression extension is conducted of principal components for the areas with long-range observations. Evidence suggests greater difference in these mean fields among the different regions for the past 4 decades, indicating a warming trend in much of the country as opposed to Sichuan basin (annual average temperature) and mid-lower Changjiang valleys (summer mean field). It is found that the temperature trend and phase over China agree with those in the Northern Hemisphere, disclosing a high (low) temperature regime around the 1940s (1970s).

**Keywords** rotated empirical orthogonal function (REOF), temperature, changing trend, regional feature