

中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征*

施 能

陈家其

(南京气象学院,南京,210044) (中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京,210008)

屠其璞

(南京气象学院,南京,210044)

摘 要

研究了本世纪中国年平均气温、年总降水量的气候趋势。指出,20 世纪中国西北、东北、华北明显变暖;降水趋势值不大,但以负趋势为主。20 世纪 80 年代中国降水、气温的区域特征明显:华北暖干、西南冷干、东北暖略偏湿、长江中下游冷湿。此外,还研究了 20 世纪 4 个年代际的气候变化特征及差异。指出,在数十年尺度的暖背景下,中国的华北、长江下游等大部分地区降水偏少(比冷背景),东北降水偏多。20 世纪 70 年代开始的增暖主要发生在西北、东北;黄河以南的增温还达不到 40 年代的程度。相应的降水特征:除了黄河以南及江淮流域降水比 40 年代多以外,其它大部分地区降水偏少。

关键词: 气候变化,冷暖时段,气候趋势系数。

1 前 言

观测表明,1880 年以来北半球地面平均温度升高了 0.3—0.6℃。大多数科学家认为,大气中的温室气体剧增是全球气温增高的主要原因^[1,2]。据 IPCC 最新预测,若温室效应仍迅速增强,全球平均气温还将继续上升。从 1990 年代初的资料看,增温特征仍很明显。这种趋势无疑将对全球生态系统、社会带来巨大影响。

中国的全球气候变化研究,涉及到许多复杂的问题。为了预测未来气候变化,深入分析本世纪全球变暖背景,对中国气温、降水特征的研究有重要意义。我们知道,20 世纪已是近千年来最暖的世纪^[4]。在这个百年尺度的增暖背景下,中国降水、气温特征及变化趋势值得探讨,而数十年时间尺度的变暖、变冷趋势已由观测所证实。本世纪全球变化大体划分为两段暖及两段冷的时段^[5,6]。它们是 1901—1920 年第一段冷(Ic);1921—1950 年第一段暖(Iw);1951—1970 年第二段冷(IIc);1971 年至今的第二段暖(IIw)。本文取第二段暖为 1971—1988 年。目前,全球处于百年尺度的变暖期,数十年尺度的变暖期中。随着时间的推移,终将处于数十年尺度的冷阶段中。因此,研究这 4 个年代际气温、降水分布特征以及两段冷暖时期中国气候的差异,对中国气候预测是有意义的。

*1993 年 10 月 14 日收到原稿,1994 年 7 月 1 日收到修改稿。由国家自然科学基金(编号:49475265)课题资助。

2 资料及方法

2.1 资料

资料来源于中国及邻近地区共 62 个测站的逐月平均气温及月总降水量的插补资料。资料年代从 1881 年起,插补的方法是自然正交展开。该方法利用了要素空间分布的相关性,具有较高的可靠性^[7-8]。为完成插补工作,还利用国外有百年观测资料的某些测站,如塔什干、阿拉木图、鹿儿岛、长崎等等。由于长序列资料有限,我们选用国内 28 个测站进行分析,测站见表 1。

2.2 方法

2.2.1 气候趋势系数

为研究气象要素在气候变化中升降的定量程度,并可对其进行统计检验,计算了气候趋势系数 r_{xt} 。它定义为 n 个时刻(年)的要素序列与自然数列 $1, 2, 3, \dots, n$ 的相关系数

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2}} \quad (1)$$

其中 n 为年数, x_i 是第 i 年要素值, \bar{x} 为其样均值, $\bar{i} = (n + 1)/2$ 。显然,这个值为正(负)时表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(降)的趋势, $r_{xt} \sqrt{n - 2} / \sqrt{1 - r_{xt}^2}$ 符合自由度 $n - 2$ 的 t 分布,从而检验这种气候趋势是否有意义,还是一种随机振动。

2.2.2 气候倾向率

气象要素的趋势变化一般用一次线性方程表示,即

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t \quad t = 1, 2, \dots, n(\text{年}) \quad (2)$$

$$\frac{d\hat{x}_t}{dt} = a_1 \quad (3)$$

$a_1 \cdot 10$ 称为气候倾向率^[9],单位为某要素单位/10a。据回归理论

$$a_1 = r_{xt} \frac{\sigma_x}{\sigma_t} \quad (4)$$

σ_x 是要素 x 的均方差, σ_t 为数列 $1, 2, \dots, n$ 的均方差。这样,我们就可以从气候趋势系数 r_{xt} 求出气候倾向率。

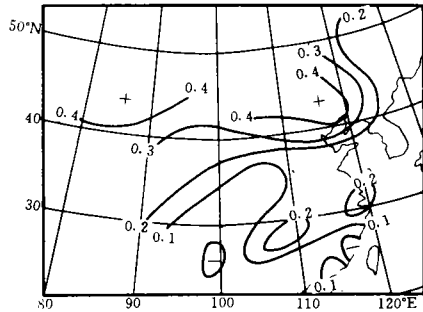


图 1 1901—1988 年中国年平均气温的气候趋势系数 (等值线间隔为 0.1)

3 20 世纪中国气候变化趋势及 80 年代特征

3.1 近百年中国气温、降水趋势系数及倾向率

关于中国的百年气候变化研究,已有一些工作,但主要是东部沿海地区,而全国大范围的气候变化特征尚待深入研究。由于气候变化有各种不同的尺度,所以必须了解本世纪

全国大范围的变化特征。图 1 是 1901—1988 年中国年平均气温的气候趋势系数。

由图 1 看出,气温趋势系数全国几乎都是正值。因为 0.05 信度的相关系数仅为 0.21,所以,中国东北的中西部、华北北部、西北年平均气温已明显升高了。但是,地处低纬的东南沿海及西南正值很小或略为负值(福州、昆明)。气温的气候倾向率,最大的是乌鲁木齐,0.17(单位 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,下同),海拉尔 0.09,沈阳 0.14,北京 0.09,哈尔滨 0.07,上海 0.08,南昌 0.08;而福州为-0.01,昆明-0.00,是负值。

从降水的趋势系数图(略)看出,仅有 3 个测站较为明显:乌鲁木齐为 0.20,福州为-0.26,芷江为-0.20。东北、西北是正区,西南及东南沿海是负区。年降水量倾向率(单位: $\text{mm}/10\text{a}$):乌鲁木齐为 4.3,福州-32,芷江-13,汕头-7.5,贵阳-12.3,南昌-13,齐齐哈尔 6.5,沈阳 7.8,酒泉 0.8。可以看出,正倾向率的数值是比较小的,而负倾向率的绝对值倒是比较大的,28 站平均为-22.3 $\text{mm}/10\text{a}$ 。这样,从全国范围看,源于降水的水资源本世纪是负趋势。

表 1 20 世纪 80 年代中国气温、降水
在 20 世纪各年代中所处序号(最暖(湿)为 1,最冷(干)为 9)

站名	年平均气温	年降水量	特征	
海拉尔	1	5	暖	/
沈阳	1	3	暖	湿
齐齐哈尔	1	2	暖	湿
哈尔滨	1	1	暖	湿
延吉	4	1	暖	湿
北京	1	7	暖	干
太原	2	8	暖	干
青岛	2	9	暖	干
银川	2	9	暖	干
兰州	2	9	暖	干
西安	5	3	/	湿
郑州	6	1	冷	湿
南宁	4	3	暖	湿
汕头	5	5	/	/
芷江	5	9	/	干
南昌	4	8	暖	干
宜昌	7	5	冷	/
汉口	5	1	冷	湿
南京	8	2	冷	湿
上海	2	4	暖	湿
温州	5	4	/	湿
福州	5	7	/	干
昌都	5	8	/	干
昆明	5	6	/	干
成都	8	8	冷	干
贵阳	8	9	冷	干
酒泉	4	2	暖	湿
乌鲁木齐	3	2	暖	湿

3.2 20 世纪 80 年代中国降水、气温分布特征

80 年代, 北半球在继续增温, 是近百年来北半球最暖的 10 年^[10]。比较中国 80 年代与本世纪其它年代的气候特征, 我们从 1901 年起, 每 10a 算出 28 个测站的年平均气温及年平均降水量, 共 9 个年代进行比较。最暖(湿)的年代序号为 1, 最冷(干)的年代序号为 9 (见表 1)。由表 1 看出:

(1) 东北区(除东部延吉外), 80 年代是本世纪最暖期, 也是降水偏多期, 属暖湿。

(2) 华北区测站, 位置偏北的(38°N 以北)是暖干, 80 年代是本世纪最干旱的年代。位置偏南的郑州、西安以湿为主。

(3) 西南地区, 80 年代偏干, 特别是四川和贵州, 冷干特征明显。西北地区, 80 年代暖湿。

(4) 华中地区, 80 年代干旱明显。而长江流域以冷湿为主要特征。

由此看来, 在 20 世纪北半球最暖的 80 年代, 中国气温、降水分布有区域特征: 西南地区及长江流域偏冷, 其余大部分地区偏暖; 降水以华北、西南、华中偏少, 其它地方偏多。为了解 80 年代中国各地气候变化特征的起始年代, 将每 10a 的平均气温及年降水量进行比较, 找出数值开始单调上升或下降的年代(见表 2)。

表 2 中国 28 个测站中年平均气温及年降水量开始单调升(降)的年代及测站
(+表示升, -表示降)

气 温		降 水			
1930 年代		延吉+			
1950 年代	海拉尔+ 贵阳- 成都-	兰州-	银川-	成都-	南宁+
		郑州+ 酒泉+			
1960 年代	齐齐哈尔+ 沈阳+ 太原+ 银川+ 青岛+	温州+	芷江-		
1970 年代	哈尔滨+ 北京+ 兰州+ 宜昌-	沈阳+	南京+	乌鲁木齐+	太原- 青岛-

从表 2 看出, 东北西北部的海拉尔从 50 年代起单调升温, 且似乎向东南传, 齐齐哈尔从 60 年代开始, 哈尔滨从 70 年代开始单调变暖。华北从 60 年代开始单调升温, 而变干旱则始于 50 年代。西南地区从 50 年代开始变冷并变干。西北地区从 70 年代起降水有增加趋势。由此看来, 80 年代中国气温、降水分布特征是长期气候变化的结果。

4 20 世纪两段冷暖背景下中国气温降水特征及差异

现在我们将冷时段(I_c + II_c)及暖时段(I_w + II_w)的各站气温、降水分别求多年平均及差值, 并对差值进行 t 统计量检验。

$$t = \frac{\overline{x(w)} - \overline{x(c)}}{\left[\left(\frac{n_w \sigma_w^2 + n_c \sigma_c^2}{n_w + n_c - 2} \right) \left(\frac{1}{n_w} + \frac{1}{n_c} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

式中 n_w, n_c 分别是暖、冷时段年数, $n_w = 48, n_c = 40$; $\overline{x(w)}, \overline{x(c)}$ 分别是暖、冷时段要素的多年平均值, σ_w^2, σ_c^2 是相应的方差。分析图 2 的计算结果:

(1) 由图 2a 看出, 暖时段与冷时段相比, 增温不均匀。东北南部、华北、西北、西南、中南增暖明显。而东北东部、长江下游、东南沿海、西藏增暖都比较小, 不到 0.3℃。

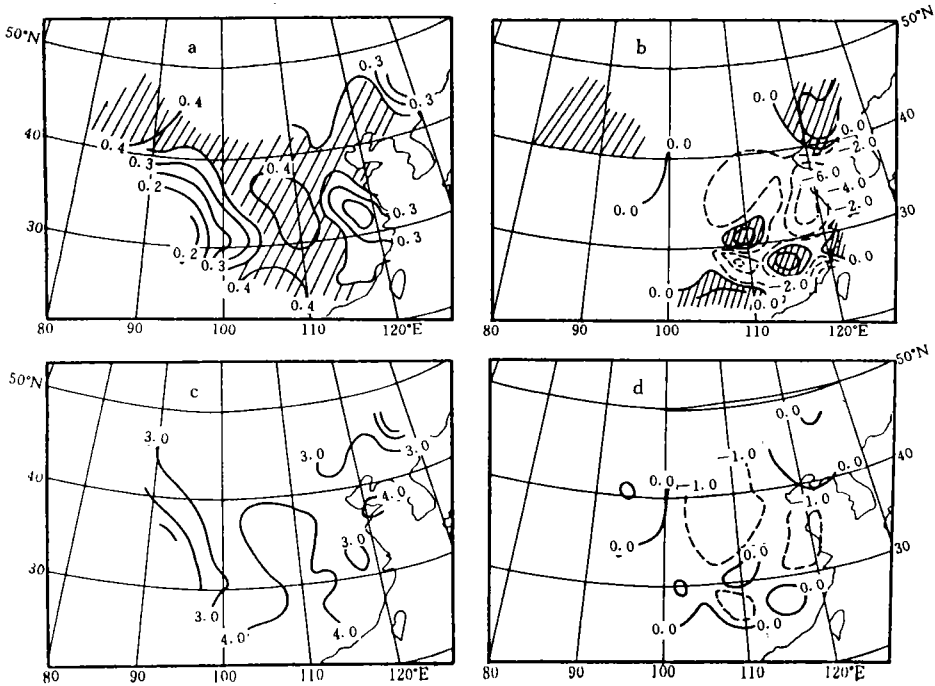


图 2 20 世纪冷暖背景下,中国年平均气温及年降水量差值图(暖减冷)
 (a,气温(单位:℃,间隔 0.5);b,降水(单位:mm,间隔 20);c,气温的 t 统计量;
 d,降水的 t 统计量,虚线为负值,a 中斜线为大于 0.35℃区)

(2) 图 2c 表明,暖、冷时段气温差都已达到 0.05 信度。但差异最明显的地区是中国中部 20—40°N,103—113°E。 t 统计量达到 4.0 的测站有西安、南宁、太原、银川、青岛、汉口、昆明、贵阳。

(3) 图 2b,c 表明,在暖背景下华北的河套地区、长江中下游及以北的安徽、山东以及湖南降水明显偏少,而东北的南部、新疆略偏多、广西明显偏多。表 3 是 t 统计量绝对值最大的 11 个测站及相应的降水量差值,表中只有 3 个站是正值,其余均为负值。表示暖背景时降水偏少。

表 3 冷暖背景下年平均总降水差(暖减冷)及其 t 检验(单位:mm)

站	沈阳	太原	青岛	兰州	西安	银川	南京	福州	芷江	南宁	乌鲁木齐
t	1.00	-1.54	-1.29	-1.07	-1.66	-1.79	-1.43	-1.06	-1.77	1.97	0.96
降水差	31.5	-38.8	-60.8	-15.3	-37.9	-18.4	-69.5	-70.5	-63.1	103.0	11.1

5 20 世纪两冷暖时段时中国气候变化的差异

5.1 两个冷暖时段的气候趋势系数

图 3 是两段冷、暖时段年平均气温的气候趋势系数图,由图可见:

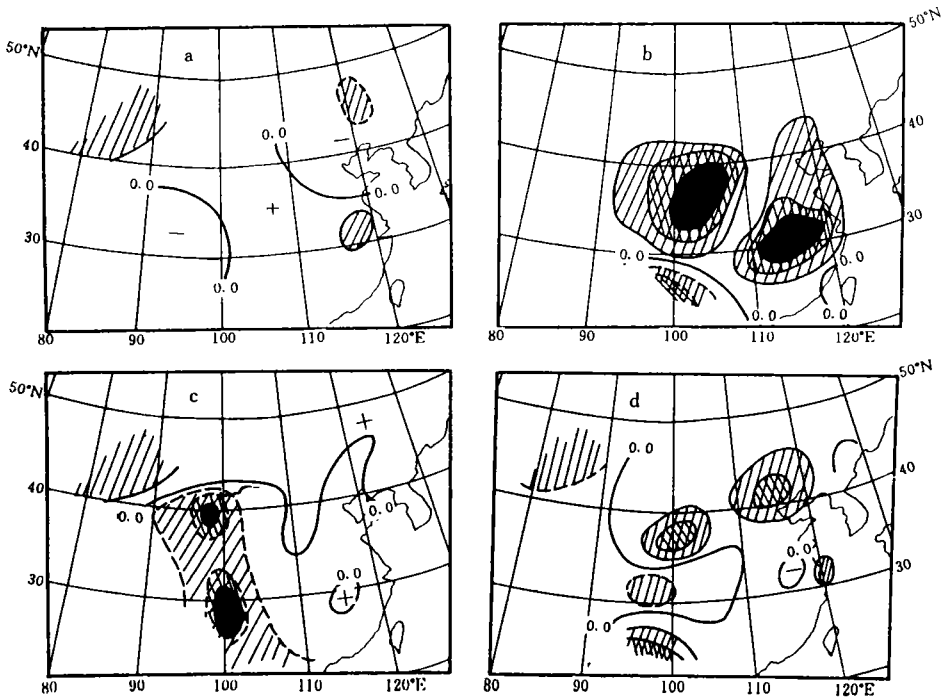


图3 本世纪两段冷暖时段平均气温气候趋势图

(a (I c); b (I w); c (II c); d (II w), 单(双)斜线

分别为 0.05(0.01)信度, 黑区为 0.001 信度, 虚线为负区(降温))

(1) I c, 即 1901—1920 年, 中国仅东北、华北北部、西南降温、其余地区仍为微弱的正趋势。南京、乌鲁木齐的正趋势达到 0.05 信度。

(2) I w, 1921—1950, 增温范围很大, 除了昆明及福州仍是降温以外, 其余地区均为增暖。其中长江中下游、河套、华北的增温尤为明显。

(3) II c, 1951—1970 年, 降温范围比较小, 只发生在 95—105°E 范围内。昆明、成都、兰州、酒泉降温达到 0.01 信度。新疆、东北、长江中游继续升温。

(4) II w, 1971—1988, 东北的南部及华北的北部、河套西部、云南增湿明显。但在四川、乌鲁木齐仍有较明显的降温。

表4 4个年代际(两段冷暖)时年平均气温呈明显负相关的测站对(括号内为相关系数)

时段	测站对及相关系数
I c	昆明、齐齐哈尔(-0.53), 昆明、哈尔滨(-0.24)
I w	昆明、海拉尔(-0.46), 昌都、乌鲁木齐(-0.59), 昆明、乌鲁木齐(-0.36)
II c	昆明、海拉尔(-0.29), 昆明、乌鲁木齐(-0.61), 昌都、乌鲁木齐(-0.43), 成都、乌鲁木齐(-0.33)
II w	昆明、海拉尔(-0.31), 昆明、乌鲁木齐(-0.60), 南宁、西安(0.37), 昆明、北京(-0.33)

由上述结果看出, 不管在什么冷暖背景下, 中国各地降温增温特征是不完全一致的。

这可能与大气环流及温度场的跷跷板结构有关。文献[11]曾指出,中国季、月气温呈西南向东北、西南向西北辐射状的跷跷板结构。本文在冷暖背景下研究年平均气温特征,也发现类似结果。表 4 是两段冷暖背景下年平均气温呈明显负相关的测站对。

5.2 冷暖时段年平均气温场及降水场的 EOF 展开

表 5 冷暖时段年平均气温、年总降水量 EOF 展开的前 5 个特征值的累积贡献率

时段要素	1	2	3	4	5	
冷时段	气温	0.51	0.68	0.74	0.79	0.82
	降水	0.17	0.30	0.39	0.47	0.54
暖时段	气温	0.40	0.58	0.65	0.72	0.76
	降水	0.40	0.58	0.65	0.72	0.77

已知冷暖时段内气候变化有区域特征,现进一步对冷暖时段的气候变化不均匀性作一比较。我们采用自然正交展开方法,将冷时段($Ic + Ic$)、暖时段($Iw + Iw$)的年平均气温、年总降水量的相关矩阵分别作 EOF 展开,列于表 5。

由表 5 看出,冷时段气温的收敛速度比暖时段快,说明暖时段气温大尺度特征不如冷时段明显,暖时段气温分布比冷时段更具有不均匀性。然而,对年降水量而言,暖时段的收敛速度快得多,暖时段降水的大尺度特征明显,冷时段降水不均匀性较明显。

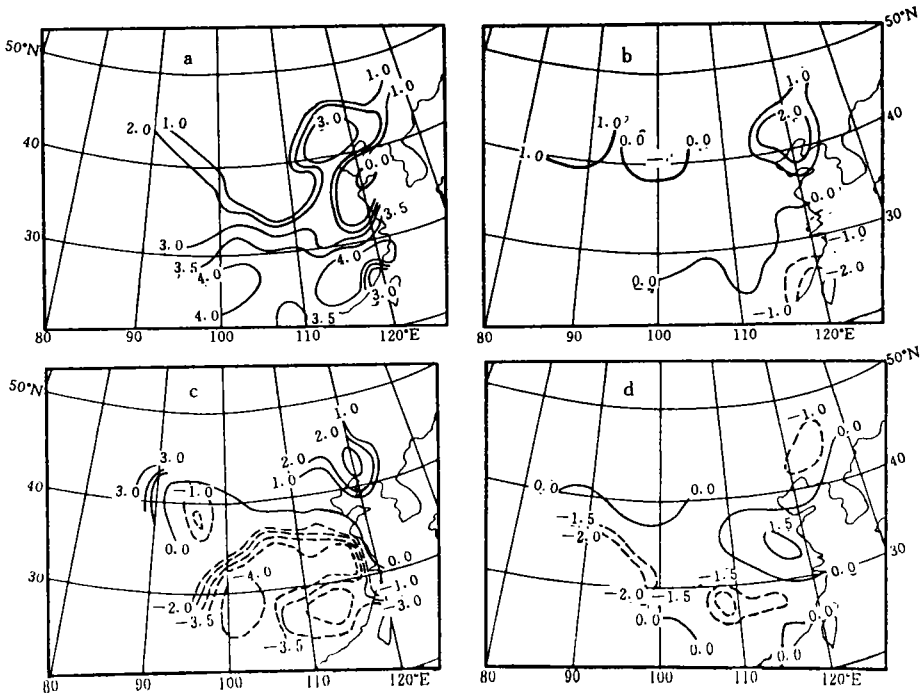


图 4 两段冷暖时段年平均气温、年总降水量差异的 t 统计量值

(a, $Ic - Ic$, 气温; b, $Ic - Ic$, 降水; c, $Iw - Iw$, 气温; d, $Iw - Iw$, 降水; 虚线为负值)

5.3 两段冷暖时段气温降水差异的特征分析

现在我们将 I_c, I_w 时段的气温、降水分别与 20 世纪早些时候的 I_c, I_w 分别作比较,以了解最近两次冷暖背景下的要素场分布与以往的差异。图 4 是差值的 *t* 统计量图(第二时段减第一时段)。

由图 4c 看出,最近一次增温主要发生在东北南部、华北北部及新疆地区。上述地区的增暖已超过 20 世纪 40 年代前后的温度,达到 0.05 及 0.01 信度 ($t_{0.05} = 2.00, t_{0.01} = 2.70$),而在黄河以南的地区年平均气温低于 I_w 时期,特别是四川、云南、贵州年平均气温比 I_w 时期约低 0.7℃。从图 4d 看出, I_w 时期降水除了黄河以南长江中下游以北地区比 I_w 多外,其余绝大多数地区降水均比 I_w 时期少。但均未达到 0.05 信度。从年降水量看,南京增加 103mm,郑州增加 59mm,汕头增加 109mm,但南昌减少 118mm,芷江减少 107mm,贵阳减少 77mm,成都减少 113mm,昌都减少 50mm。28 个测站合计, I_w 比 I_w 减少 369 mm。所以,总的来看 I_w 比 I_w 时段更趋干旱。

6 总 结

(1) 本世纪以来中国绝大部分地区气温变暖,其中西北、东北、华北北部增暖最明显,增温幅度在 0.1℃/10a 以上。降水以负趋势为主,但趋势系数值较小。

(2) 20 世纪 80 年代中国降水气温的区域特色明显:华北是暖干,西南是冷干,东北是暖略偏湿,长江中下游是冷湿,西北是暖湿。

(3) 20 世纪以来中国经历两次数十年尺度的冷暖时段。比较这种尺度冷暖背景下气温、降水的差异表明:增温最显著的地区是中国中部(20—40°N, 103—113°E)。在此暖背景下,中国华北及河套地区、长江中下游以北黄河以南、华中降水明显减少;东北及西北略有增加。

(4) 数十年尺度冷暖背景下,中国气候变化特征有区域性。这与气温的遥相关特征有关。暖冷时段要素场的自然正交展开表明,在暖时段,中国降水的大尺度特征比冷时段明显。而气温则相反,冷时段的大尺度特征更明显。

(5) 与 20 世纪 40 年代前后的增暖相比,70 年代开始的增暖主要表现在西北、东北及华北北部,黄河以南的增温尚未达到 20 世纪 40 年代的程度。70 年代的增暖对应中国西南、长江以南地区降水明显减少,但黄河以南及江淮流域降水增多。

参考文献

- [1] 田中正之(日). 地球在变暖. 石广玉, 李昌明译. 北京:气象出版社. 1992. 66—87.
- [2] 叶笃正. 中国的全球变化预研究. 北京:气象出版社. 1992. 40—53.
- [3] 黄荣辉, 梁幼林, 宋连春. 近 40 年我国夏季旱涝变化及成因初探. 《气候变化若干问题研究》, 李崇银主编, 北京:科学出版社. 1992. 14—30.
- [4] 王绍武. 近千年我国冬夏温度的变化. 气象. 1990. 16(2): 15—21.
- [5] 李丽云. 中国东部沿海近百年来来的气候变化. 中国科学. B 辑. 1986(6): 655—663.
- [6] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势. 气象. 1990. 16(2): 11—16.
- [7] 屠其璞. 一种气温序列的延长插补方法. 南京气象学院学报. 1986. 9(1): 19—31.
- [8] 屠其璞. 近百年来我国降水量的变化. 南京气象学院学报. 1987. 10(2): 117—189.

- [9] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: recent trend and an update to 1978. *Journal of Climate*. 1988, 1: 654—660.
- [10] 朝仓正(日)著. 气候异常与环境破坏. 周力译. 北京:气象出版社. 1990. 10—40.
- [11] 施能, 屠其璞. 我国月平均气温场遥相关结构的观测研究. *南京气象学院学报*. 1993. 16(4): 479—483.

4-PHASE CLIMATE CHANGE FEATURES IN THE LAST 100 YEARS OVER CHINA

Shi Neng

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044*)

Chen Jiaqi

(*Nanjing Geographical and Lake Research institute, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

Tu Qipu

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044*)

Abstract

In this study, the climate trend of the annual average air temperature and total annual rainfall in China in the present century has been examined. It is noted that the Northwest, the North China have become notably warmer this century but the rainfall trend has not been evident, mainly negative. In the 1980s China's rainfall and temperature showed noticeable regional features: warm and dry in North China, cold and dry in the Southwest, warm and wet in the Northeast area, cold and wet in the middle-lower reaches of the Changjiang River. Besides, the 4-phase climate features and differences of this century have been studied. It is found that on the scale of tens of years there was considerably less rainfall in most of China in the warm background than in the cold background. The increase of temperature which started from the 1970's was mainly experienced in the Northwest and Northeast, while in the southern part of the Huanghe River the temperature increase did not even reach the level of the 1940's. The corresponding rainfall feature is that most of the areas experienced much less rainfall except in the south of the Huaihe River and over reaches of the Changjiang and Huaihe Rivers.

Key words: Climate change, Cold-warm period, Climate trend coefficient.