

20世纪80~90年代我国气候增暖进程的统计事实*

魏凤英 曹鸿兴

王丽萍

(中国气象科学研究院,北京 100081)

(国家气象中心,北京 100081)

摘要

运用统计诊断方法分析了近50年来我国年平均及四季的气温变化特征,重点研究了20世纪90年代和80年代气温变化的主要差异及其增暖进程。结果表明,我国年平均气温是呈上升趋势的,但80年代以前年代际变化并不明显,升温幅度不大。我国气候增暖始于20世纪80年代后期,90年代增暖加速,急剧增暖的主要原因是长江流域以南地区经历了由偏冷向偏暖的趋势转变。我国四季气温变化趋势在80~90年代增暖的进程中存在明显差异:其中冬季增暖开始时间最早,幅度最大,持续时间最长;90年代我国气候增暖急剧加速,其原因除了冬季气温持续攀升作用外,春、夏、秋季气温上升,特别是春、夏季增暖幅度的加大,增暖区域的显著扩展也起到很重要的作用。

关键词:气温变化 急剧增暖 统计检验

引言

20世纪80年代初全球气候出现增暖,近20年是20世纪全球最暖的时期^[1~2]。我国近年的气温也呈上升趋势,但变暖的进程并不与全球完全同步^[3]。已有的研究表明,自1880年以来我国气温呈上升趋势,增暖幅度为每100年 0.1°C ,而全球增暖的幅度为每100年 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ^[4~6],可见我国增暖的幅度要比全球低。另有研究指出,我国20世纪以来40年代为暖期,80年代以后又开始增暖^[7~8],90年代末期我国的气温达到近百年来最暖的时期^[9]。另外,我国各区域的气温变化也不尽相同,80年代北方的气温比1951~1980年气候平均值高 1°C ,而南方的一些测站,特别是西南地区却比气候平均值低 0.5°C 。

以往的研究并没有注重研究80~90年代我国气温增暖的进程,90年代与80年代气温变化的主要差异的研究则更少。为此,本文使用严格的统计检验对近50年我国年平均气温及冬、春、夏、秋四季的气温变化特征进行分析,重点研究90年代与80年代气温变化的主要差异及其增暖的进程。

1 资料和方法

本文使用的基本资料是国家气候中心预测室提供的1951~2000年中国160个测站的各月及年平均气温。

* 本工作由国家自然科学基金(编号40275020)资助。
2002-02-20收到,2002-05-25收到修改稿。

本文中检验两个年代段气温是否存在显著性差异使用的统计检验是 u -检验^[10], 统计量 u 遵从标准正态分布, 给定显著性水平 α , 若 $|u| > u_\alpha$, 则认为两个年代段气温之间存在显著性差异, 显著性水平取为 $\alpha = 0.05$ 时, $u_\alpha = 1.96$, $\alpha = 0.10$ 时, $u_\alpha = 1.645$ 。

使用线性趋势考察气温序列上升或下降趋势变化, 即 $x_i = a + bt_i$, 其中 a, b 用最小二乘进行估计。回归系数 b 的符号代表气温的趋势倾向, b 的符号为正时, 表示随着时间 t 的增加气温序列 x 呈上升趋势, b 的符号为负时, 表示随着时间 t 的增加气温序列 x 呈下降趋势。判断变化趋势的程度是否显著, 需要用时间 t_i 与变量 x_i 之间的相关系数 r 进行显著性检验。给定显著性水平 α , 若 $|r| > r_\alpha$ 表示 x 随 t 的变化趋势是显著的。

2 年平均气温变化

图1为1951~2000年我国年平均气温距平及其各10年段的平均值。由图可以看出, 近50年来我国年平均气温总体呈上升趋势, 但80年代之前年代际变化并不明显。1951~1960年的气温距平的平均值为 -0.12°C , 1961~1970年为 -0.10°C , 1971~1980年为 -0.04°C , 1981~1990年为 0.14°C , 1991~2000年为 0.57°C , 可见从80年代起气温距平的平均值由负值变为正值, 而且, 1991~2000年的平均值比其它10年段的平均值高出许多。

我国的气温究竟是20世纪80年代还是90年代开始出现突变急剧增暖的呢? 为此, 我们使用 u -检验分别对近50年两两10年段间的气温距平的平均值有无显著差异进行检验, 取显著性水平 $\alpha = 0.05$, $u_\alpha = 1.96$ 。表1列出计算得到的每两个10年段间的 u 统计量值。由表1可以看出, 80年代与70年代段的 u 值确实比前几个10年段间的 u 值大了许多, 但是其绝对值并没有超过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平。这一结果表明, 尽管80年代我国气温呈现较明显的上升趋势, 但没有超过统计显著性水平。而90年代与80年代段的 $|u|$ 值为2.69, 大大超过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平, 因此从严格的统计意义上讲, 我国气温是在90年代才出现显著增暖的。

为了进一步了解我国气温变化的区域分布状况, 我们对全国160站近50年各个10年段间的气温的差异进行了 u -检验, 将 u 值超过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平的站记为“1”, 没有超过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平的站记为“0”。检验结果表明, 80年代与70年代相比, 在160个站中有35个站的气温差异超过 $\alpha = 0.05$ 的显著性

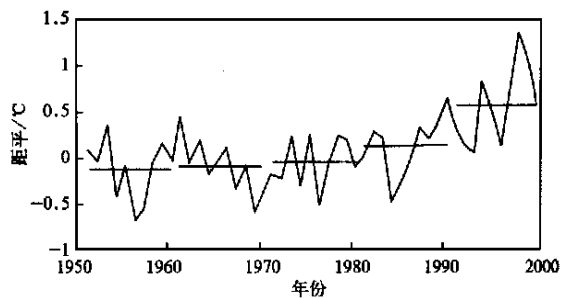


图1 1951~2000年我国年平均气温距平变化

表1 1951~2000年每两个10年段平均值的 u 统计量值

时段	$ u $
1951~1960年与1961~1970年	0.16
1961~1970年与1971~1980年	0.48
1971~1980年与1981~1990年	1.38
1981~1990年与1991~2000年	2.69

水平,主要位于东北及华北地区(图略)。从 90 年代与 80 年代 u -检验结果(图 2)来看,大多数测站两个年代的气温差异超过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平。表明 90 年代我国大部分地区的气温出现了显著的变化。

图 3a、b 分别是 1951 ~ 1990 年和 1951 ~ 2000 年两个时段年平均的气温距平序列的线性趋势。比较两时段的回归直线可以看出,90 年代以前我国气温虽然也呈上升趋势(图 3a),但上升幅度不大,速率为 $0.008\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$,相关系数为 0.28 ,没有超过 0.05 显著性水平($\alpha_{0.05}=0.3044$)。加入 90 年代资料后上升趋势十分显著(图 3b),上升速度很快,速率为 $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$,相关系数为 0.56 ,远远超过 0.001 显著性水平($\alpha_{0.001}=0.4433$)。由此可见,在我国近 50 年的增暖进程中,90 年代的急剧增温做出了显著的贡献。



图 2 20 世纪 90 年代与 80 年代我国气温统计检验分布
(标“1”的站点为 u 值超过 0.05 显著性水平,标“0”则未超过 0.05 显著性水平)

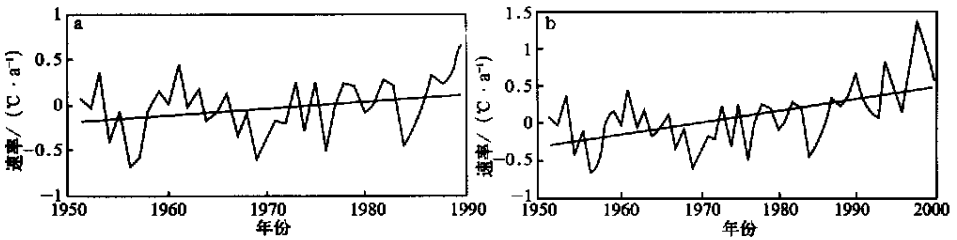


图 3 我国年平均气温距平序列线性趋势 (a)1951 ~ 1990 年, (b)1951 ~ 2000 年

图 4 是 1951 ~ 1990 年和 1951 ~ 2000 年两时段全国 160 个测站年平均气温的线性趋

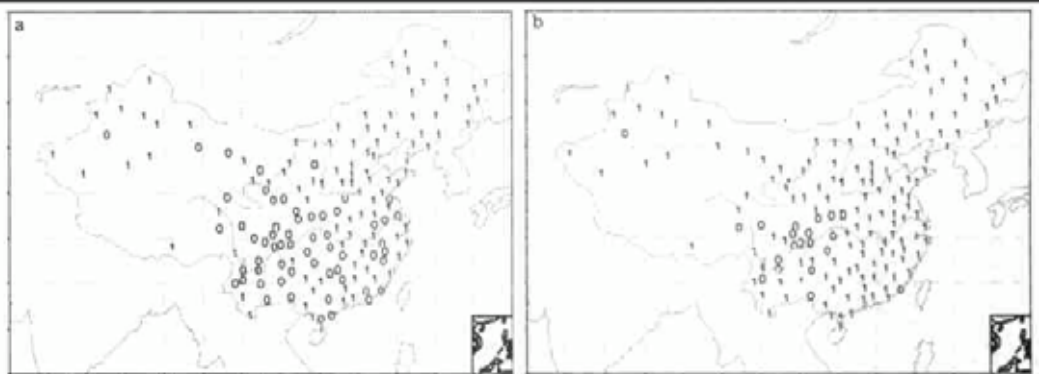


图 4 我国年平均气温线性趋势分布图(图中标“1”为上升趋势,“0”为下降趋势)
(a) 1951 ~ 1990 年, (b)1951 ~ 2000 年

势分布图。图中标“1”表示该站为正倾向,标“0”表示该站为负倾向。在 1951~1990 年 40 年段的线性趋势分布中,有 65% 的站点呈正倾向即气温为上升趋势,有 35% 的站点是负倾向即气温呈下降趋势。由图 4a 看出,90 年代以前,东北、华北、长江以北及新疆大部地区气温呈上升趋势,江南、西南及西北地区气温为下降趋势。在将资料延续至 2000 年即 1951~2000 年的 50 年时间段的线性趋势分布中(图 4b),气温为上升趋势的站点为 88%,仅有 12% 的站点的气温为下降趋势。也就是说,进入 90 年代,全国有 23% 的站点由偏冷转变为暖。从图 4b 中看到,这种转变主要出现在江南地区。西南地区的气温变化与全国大部地区的趋势相反仍维持着下降趋势。由此可见,我国 90 年代的气候急剧增温,主要是长江以南地区由偏冷转变为偏暖的趋势变化引起的。

3 各季增暖进程的差异

本文用 1、4、7、10 月的气温距平表示冬、春、夏、秋四季的气温变化。分析我国四季气温变化的差异,讨论四季增暖的进程,进而说明各个季节的气温变化对 90 年代我国气候增暖所起的作用。表 2 列出了 1951~2000 年每两个 10 年段间四季的 u 统计量值。由于各季节的 u 统计量值普遍比年平均的小,因此这里取显著性水平 $\alpha=0.10$, $u_\alpha=1.654$ 。

表 2 1951~2000 年每两个 10 年段我国四季温度变化值 u 统计结果

时段	$ u $			
	冬季	春季	夏季	秋季
1951~1960 年与 1961~1970 年	0.70	0.07	0.30	0.65
1961~1970 年与 1971~1980 年	0.81	0.74	1.02	0.25
1971~1980 年与 1981~1990 年	1.47	0.32	0.13	1.37
1981~1990 年与 1991~2000 年	1.82	1.69	1.66	0.17

由表 2 可见,近 50 年来我国四季的气温变化存在比较明显的差异。冬季 80 年代段与 70 年代段的 $|u|$ 值是四季中最大的,且 80 年代的冬季气温与 70 年代相比有了较大的差异。由图 5a 给出的 1951~2000 年冬季气温的累积距平曲线可以清楚地看出,我国冬季气温在 80 年代中期就开始增暖。90 年代段与 80 年代段气温的 $|u|$ 值为 1.82,超过了 $\alpha=0.10$ 的显著性水平,说明 90 年代冬季增暖幅度比 80 年代显著增加,而且 90 年代冬季气温在持续攀升,上升趋势一直维持至今。

春季的增暖进程与冬季有所不同。由表 2 看出:80 年代段与 70 年代段间的 $|u|$ 值较小,说明 80 年代春季气温与 70 年代相比并没有明显的变化;90 年代段与 80 年代段之间的 $|u|$ 值为 1.69,超过了 $\alpha=0.10$ 的显著性水平,说明 90 年代春季气温与 80 年代相比有了显著的变化。从图 5b 看出,春季增暖是在 1992 年开始的,期间还有波动,1997 年以后增暖趋势直线上升。

夏季的增暖进程与春季类似。但 70 年代段与 60 年代段之间的 $|u|$ 值比其它季节大得多,表明 70 年代我国夏季气温发生过较显著的变化。从图 5c 看出,60 年代夏季气温是呈上升趋势的,而到 70 年代转为下降趋势,经过整个 80 年代并一直持续到 90 年代前期。因此,70 年代与 60 年代相比,我国夏季气温存在显著差异,而 70 年代和 80 年代夏

季气温均处在下降趋势,两时段的差异较小。90年代段与80年代段之间的 $|u|$ 值是1.66,超过 $\alpha=0.10$ 的显著性水平,表明90年代夏季气温与80年代的气温有了显著的不同。由图5c看出,1994年以后夏季增暖十分迅速。

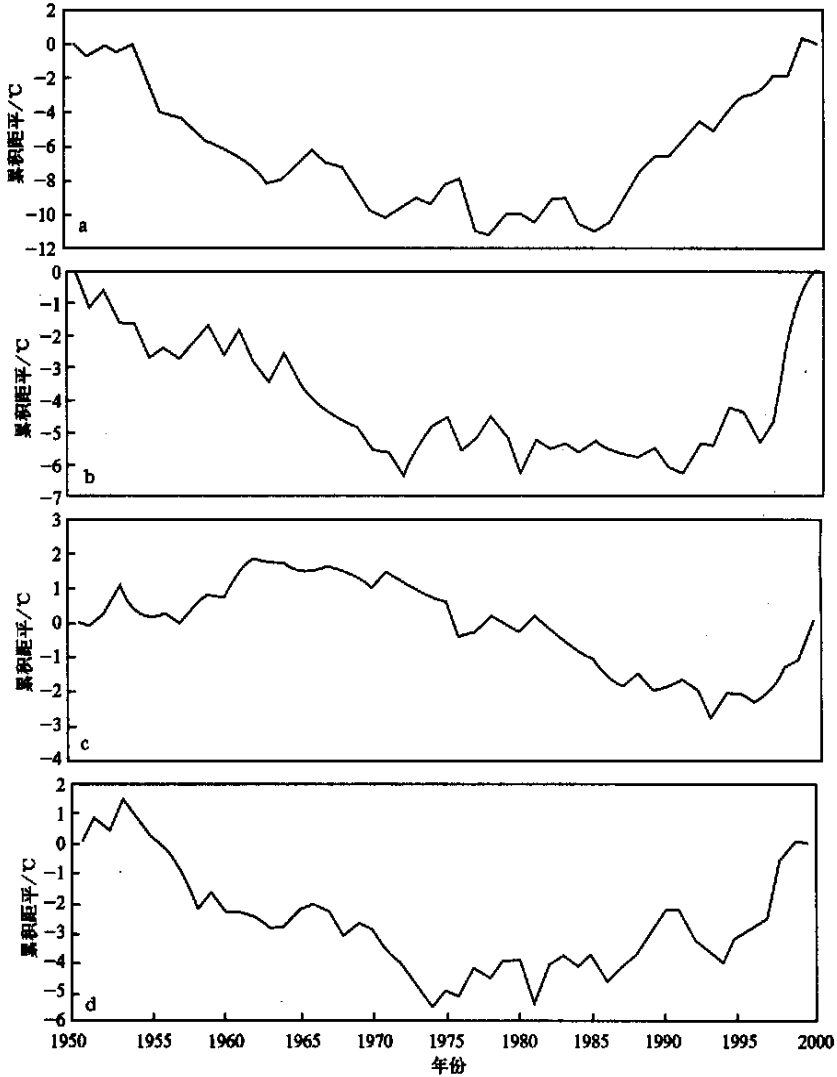


图 5 1951 ~ 2000 年冬(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)四季气温累积距平

秋季大部分时段的增暖进程与冬季相同,但1980~1990年段的 $|u|$ 值比冬季小得多。秋季80年代段与70年代段之间的 $|u|$ 值较大,虽然没有超过 $\alpha=0.10$ 的显著性水平,但至少说明这两时段的气温存在较显著的差异,这一特征与冬季相同。与冬季不同的是,90年代段与80年代段之间的 $|u|$ 值较小,即表明两时段的气温变化差异较小。在图5c中清楚地反映出这种变化进程,在1986年秋季气温呈现上升趋势,90年代初有波动,但90年代的总趋势是与80年代基本一致的,且增暖的幅度不象冬季那样显著。因此,两时

段之间的 $|u|$ 值较小。

另外,还可以从气温变化趋势的空间分布来考察各个季节增暖进程的差异。表3给出了全国160个站的冬、春、夏、秋季1951~1990年和1951~2000年时段气温呈上升趋势的站点数及其占总站数的百分率。

由表3可见,90年代以前全国大部

地区的冬季气温就已呈上升趋势,仅有9%的站点是呈下降趋势。以后,冬季气温增暖范围又有所增加,全国只有5%的站点为下降趋势,主要位于四川、云南的西部(图略)。

春季两个时段气温趋势变化的差异是4个季节中最明显的,90年代以前只有59%的站点呈上升趋势,90年代以后上升趋势的站点增至83%,也就是说,90年代以后我国有24%站点的春季气温由偏冷趋势转为偏暖。图6a、6b分别是1951~1990年和1951~2000年段的春季气温线性趋势分布,由图6a看出,90年代以前江南东部、四川、云南的气温是呈下降趋势的,90年代以后增暖趋势向江南东部扩展,至此我国东部春季气温均呈现为上升趋势(图6b)。

表3 1951~1990年和1951~2000年每两个时段四季气温呈上升趋势的站数及其百分率

	1951~1990		1951~2000	
	站数(个)	百分率(%)	站数(个)	百分率(%)
冬季	145	91	152	95
春季	95	59	132	83
夏季	49	31	80	50
秋季	129	81	137	86



图6 春季气温线性趋势分布图(图中标“1”为上升趋势,“0”为下降趋势)

(a) 1951~1990年, (b) 1951~2000年

夏季增暖趋势在四季中最弱,但两个时段的增暖范围的差异较大,90年代以前全国只有31%的站点呈现上升趋势,90年代以后增加到50%,说明90年代以来,有19%站点的夏季气温由冷转变为增暖趋势。图7a、b分别是1951~1990年和1951~2000年段的夏季气温线性趋势分布。由图7a可以看出,90年代以前,夏季主要是东北、江南南部及华南呈现增温趋势,90年代以后增暖趋势由东北部地区向华北及西北地区扩展(图7b)。

秋季情景与冬季类似,90年代以前,有81%的站点的气温呈上升趋势,90年代以后增暖范围又有所扩大,上升趋势的站点增到86%。



图 7 夏季气温线性趋势分布图(图中标“1”为上升趋势,“0”为下降趋势)

(a) 1951 ~ 1990 年, (b) 1951 ~ 2000 年

4 结 论

(1) 统计检验结果表明,我国气候的增暖是从 20 世纪 80 年代后期开始,90 年代则进入急剧增暖时期。90 年代与 80 年代年平均气温的增暖的主要差别是,80 年代增温范围较小,主要出现在东北、华北等北方地区,增暖强度不十分显著。90 年代全国大范围增暖,特别是长江以南地区经历了由偏冷向偏暖趋势的转变。

(2) 我国四季气温变化趋势和增暖的进程存在明显差异。冬季增暖开始时间最早、幅度最大、持续时间最长。而 90 年代我国气候增暖急剧加速,除了冬季气温持续攀升的作用外,90 年代春、夏、秋季气温上升,特别是春、夏季增暖幅度加大,增暖范围扩大,对 90 年代我国气候增暖加剧起到很大的作用。秋季增暖的进程与冬季类似,只是 90 年代增暖幅度不如冬季显著。春、夏季虽然增暖开始时间晚,但 90 年代的增暖幅度明显加大,增暖区域也明显扩展。

参 考 文 献

- 1 Hansen J, Ruedy R, Glascoe J, et al. GISS analysis of surface temperature change. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**: 30997 ~ 31022.
- 2 曾昭美,严中伟. 本世纪全球增暖的显著性分析. *应用气象学报*, 1999, **10**(增刊): 23 ~ 33.
- 3 魏凤英,曹鸿兴. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究. *大气科学*, 1995, **19**(2): 140 ~ 148.
- 4 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.
- 5 王绍武,叶瑾琳,龚道溢. 近百年中国气温序列的建立. *应用气象学报*, 1998, **9**(4): 392 ~ 401.
- 6 王绍武. 现代气候学研究进展. 北京:气象出版社, 2001. 80 ~ 95.
- 7 陈隆勋,朱文琴,王文,等. 中国近 45 年来气候变化的研究. *气象学报*, 1998, **56**(3): 257 ~ 271.
- 8 唐国利. 我国气温标准序列的趋势变化分析. 见: 85-913 项目 02 课题论文编委会编著. 气候变化规律及其数值模拟研究论文(第一集). 北京:气象出版社, 1996. 196 ~ 199.
- 9 龚道溢,王绍武. 1998 年:近百年以来中国最暖的一年. *气象*, 1999, **25**(8): 1 ~ 3.
- 10 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京:气象出版社, 1999. 43 ~ 47.

CLIMATIC WARMING PROCESS DURING 1980S- 1990S IN CHINA

Wei Fengying¹⁾ Cao Hongxing¹⁾ Wang Liping²⁾

¹⁾ (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

²⁾ (*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

Abstract

The changes in annual, winter, spring, summer and autumn air temperatures over China in the last 50 years are analyzed through statistical diagnosis and the focus of the study is put on the difference of change and warming process between 1990s and 1980s. The results show that the annual temperature anomaly has an increasing trend in the last 50 years, but the inter-decadal change in annual temperature is not remarkable before 1990. The mean temperature from 1991 to 2000 is much higher than those in the other decades. Their 10-year means are -0.12°C from 1951 to 1960, -0.10°C from 1961 to 1970, -0.04°C from 1971 to 1980, 0.14°C from 1981 to 1990, 0.57°C from 1991 to 2000, respectively. The difference between the mean from 1991 to 2000 and the mean from 1981 to 1990 is of statistical significance with a confidence level of $\alpha=0.05$. The linear trend coefficient of the mean temperature over China is only 0.008°C per year before 1990, but 0.02°C per year from 1991 to 2000. The beginning of warming was at the end of the 1980s and the warming speeded up in the 1990s in China, during which period a transition from cold to warm occurred in the south of the Changjiang River Valley. The change trend of temperature and the warming processes in the 1980s and 1990s were very different for four seasons. In winter, the beginning of warming was the earliest with the strongest argument and the longest duration. The main contribution to the steep warming during the 1990s comes from the long-lasting higher temperature in winter and the temperature rising in spring, summer, autumn, especially the ever-increasing warming argument and the ever-expanding warming areas in spring and summer. Only 59% and 31% of stations over China have an increasing trend in spring and summer before 1990, but 83% and 50% from 1991 to 2000.

Key words: Temperature change Steep warming Statistical test