

近百年中国地表气温变化趋势的再分析

唐国利^{1, 2, 3} 任国玉¹

1 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081

2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

3 中国科学院研究生院, 北京 100039

摘要 重新考虑了1950年前后器测资料的非均一性问题, 统一采用最高温度和最低温度计算月平均温度, 利用国际上通行的区域平均温度序列计算方法, 建立了中国近100年的地表气温序列, 并对气温变化趋势进行了再分析。结果表明, 自1905年以来中国地表年平均气温明显变暖, 升高幅度约为 0.79°C , 增温速率约为 $0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 比同期全球或北半球平均略高。但是, 20世纪80年代初以来的增温似乎不比30~40年代明显, 而20世纪50~60年代地表气温的变冷却比全球或北半球显著得多。和全球平均温度变化一样, 近100年来中国的增温也主要发生在冬季和春季, 而夏季却有微弱变凉趋势。新的全国平均气温序列与以往的研究结果比较给出了更高的增温趋势估计值, 这主要与采用新的月平均气温统计方法改善了原序列的均一性有关。另一方面, 由于早期资料覆盖面积比例低和后期城市化影响等问题, 这里给出的增温趋势估计仍然存在着较大的不确定性。

关键词 气温变化 气候变暖 气温序列

文章编号 1006-9585 (2005) 04-0791-08 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Reanalysis of Surface Air Temperature Change of the Last 100 Years over China

TANG Guo-Li^{1,2,3} and REN Guo-Yu¹

1 *Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081*

2 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

3 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*

Abstract The present paper gives a new country-averaged surface air temperature anomaly series for China for 1905—2001 period. We used monthly mean temperature data obtained by averaging monthly mean maximum and minimum temperatures to avoid the in-homogeneity problems with data induced by differential observation times and statistic methods between early and late 20th century. The widely accepted procedures for creating area averaged climatic time series and for calculating linear trend have been used. The new air temperature time series has been analyzed and its rationality also has been explained. The result shows that annual mean surface air temperature of the country for the past 97 years experienced a warming of 0.79°C , with a warming rate of $0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ which is slightly larger than global or northern hemispheric average as given by IPCC TAR. Two warm periods, which occurred respectively in the 1930s—1940s and the 1980s—1990s, are evident, with 1946 and 1998 as the warmest ones within the record period. It is interesting to note that the temperature anomalies of the 1990s are no higher than

收稿日期 2005-07-26 收到, 2005-12-06 收到修定稿

资助项目 国家“十五”科技攻关项目课题“全球与中国气候变化的检测和预测”(2001BA611B 01)和中国气象局气候研究开放实验室开放基金课题

作者简介 唐国利, 男, 1960年出生, 高级工程师, 主要从事气候变化研究, E-mail: tanggl@cma.gov.cn

those of the 1940s, implying the larger contribution from warming of the cold periods to the long-term positive trend. Seasonal features of temperature changes for the last 97 years are characterized by the more rapid warming of wintertime and springtime, with summer showing an insignificant cooling trend during the 97-year period. However, the reanalysis did not take account for urbanization effect on temperature record. It is essential to pay more attention to the problem in the further study if we intend to better detect the regional change in climate.

Key words air temperature change, climate warming, air temperature series

1 引言

全球或区域地表气温变化趋势是气候变化检测研究中的核心问题。IPCC 第二次评估报告 (TAR)^[1]指出, 自 1861 年以来, 全球表面年平均温度不断上升, 20 世纪的上升幅度为 0.6 ± 0.2 °C。TAR 采用了 Jones 等^[2,3]的分析结果, 并与 Peterson 等^[4], Hansen 等^[5]以及 Vinnikov 等^[6]的结果进行了对比, 表明它们之间具有很高的-致性, 对全球或北半球平均温度变化趋势的估计十分接近。最近的研究表明, 进入 21 世纪以来, 全球地表平均气温仍在不断升高^[3]。

我国学者对全国近百年来-的气候变化进行了不少研究, 对地表气温变化的研究更是给予密切-关注。张先恭等^[7]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; 屠其琛^[8]对我国 20 世纪初以来的地表气温变化趋势和周期进行了分析; 王绍武等^[9-11]分析了近百年中国及全球气温变化趋势, 并将中国分为 10 个区, 利用代用资料在缺少器测资料的地区进行插补, 得到 1880~2000 年中国全国和 10 个区域的年平均气温序列; 唐国利等^[12]使用全国 716 个站点的月平均气温资料, 给出了 1921~1990 年中国气温序列及变化趋势; 丁一汇等^[13]对中国近百年-来气温变化的研究成果作了总结; 施能等^[14]利用 EOF 方法对中国 28 个测站近百年月平均气温进行插补和分析, 指出中国气候变化具有明显区域性特征; 林学椿等^[15]利用中国 711 个站的月平均气温记录, 分别获得了 1873~1990 年全国平均和 10 个区域平均的年平均气温序列。上述研究结果一般表明, 中国近百年平均气温变化与全球或北半球很相似, 均显示出 20 世纪 40 年代和 80~90 年代两个增温期; 全球或北半球平均气温 80~90 年代高于 40 年代, 而中国的情形与之不同, 80~90

年代与 40 年代不相上下; 近百年来中国地表年平均气温上升幅度大体在 $0.30 \sim 0.60$ °C/100 a 之间; 1998 年是我国有气象记录以来最暖的一年。

这里, 我们采用器测时期温度观测资料中的最高和最低气温统计月平均气温, 参照国际上通行的方法, 重新计算了中国近 100 年的气温序列, 并通过对比分析的方法对序列进行了分析, 在此基础上, 对中国地区近 100 年的地表气温变化趋势进行再分析。我们的结果与先前的研究有一定相似性, 但也存在着明显的差别。

2 资料与方法

地面气温资料由中国气象局国家气象信息中心气象资料室提供, 包括 1841~2001 年历年的月平均最高、最低气温。其中, 1841~1950 年的资料主要来自原中央气象局和原中国科学院地球物理研究所联合资料室整编出版的《中国气温资料》; 1951~2001 年的资料由中国气象局国家气象信息中心气象资料室整编, 主要来自国家基准气候站和基本气象站的观测记录。

我国气象观测台站及气象观测资料的情况非常复杂, 不同时期、不同区域资料的质量也存在很大差别。20 世纪上半叶我国观测台站数量较少, 而且随时-间波动很大, 特别是在早期台站分布稀疏, 主要集中在东部地区, 西部资料极为匮乏 (图 1a)。20 世纪 30 年代以后台站空间分布情况有一定程度的改观, 但根本改善还是 1950 年以后的事 (图 1b)。早期西部地区资料匮乏是我国近百年气温变化分析中存在的主要问题之一, 它使得依赖器测资料获得的 20 世纪 40 年代以前的全国平均气温序列难以真正代表全国, 更多的是代表我国东部地区。当然, 观测事实表明, 温度资料的-空间代表性远大于降水资料, 因此相比较而言, 这种空间代表性问题对温度序列的影

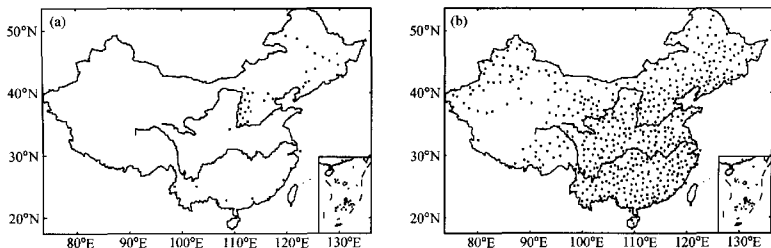


图1 中国地表气温测站分布。(a) 1925年; (b) 1975年

Fig. 1 Distribution of stations in China for (a) 1925 and (b) 1975

响要比降水序列微弱得多。

此外, 由于台站迁移、观测高度变化以及观测时制与时次、日值统计方法等方面不统一, 造成了单站气温记录在时间上的明显非均一性。这种资料的非均一性使气温序列的可信度下降, 对不同时期气温序列的衔接以及长期气温变化趋势的估计均有影响。本文总共使用了 616 个气象台站的观测资料, 其中 1950 年以前为 231 个台站。

为了尽可能利用现有的观测资料, 延长分析时间, 本文以 1905 年作为分析的起始年; 而为了减少 1950 年前后因不同观测时次、时制转换差异和日值统计方法差异等诸多因素产生的资料序列非均一性, 本文以最高和最低气温的平均值重新计算月平均气温。这样做在很大程度上避免了前后观测时制、时次和统计方法不一致所产生的问题, 提高了气温序列的均一性水平和 1950 年前后两段气温序列的可比性。

采用最高和最低气温平均来统计日或月平均气温在世界许多国家是常见的, 但也有些国家采用其他观测时次的平均统计气温值。英国东英吉利大学气候研究部 (CRU)^[2,3]、美国全球历史气候网 (GHCN)^[4] 及美国国家宇航局 (NASA) GISS^[6,5] 的月平均温度资料主要就是根据最高和最低气温值计算的。例如, Jones 等^[2,3] 的全球陆地表面气温资料集起源于世界多个气候资料数据集, 他们最后尽可能利用最高、最低气温资料统一获取月平均气温, 在原始数据没有提供最高、最低气温资料的情况下才原封不动地采用原始日或月平均温度值。因此, 本文采用最高、最低气温获得月平均气温不仅是资料均一性的需要, 也

有助于同国际上主要的长时间温度序列进行比较。

在计算全国平均气温时间序列时, 采用 Jones 等^[17] 提出的计算区域平均时间序列的方法。这个办法是把中国按经纬度划分网格, 求算每个网格区的平均气温距平值, 然后采用面积加权平均法, 得到全国平均的气温距平时间序列。这种方法可以与国际上主要的相关研究成果进行对比。具体步骤如下:

(1) 计算各个站季或年平均气温距平值, 参考气候值为 1971~2000 年的气温平均值;

(2) 按 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格, 分别求出各网格内所有站点气温距平的平均值, 得到各个网格的平均气温距平值;

(3) 以各个网格中心纬度的余弦作为权重系数, 计算所有网格区气温距平值的面积加权平均, 得到全国平均气温距平值。

根据上述资料和方法, 分别建立全国平均的全年、冬季 (12~2 月)、春季 (3~5 月)、夏季 (6~8 月) 和秋季 (9~11 月) 的气温距平序列。

3 结果分析

图 2 给出了 1905~2001 年中国年平均地表气温变化曲线 (其中虚线表示线性趋势, 下同) 及站点数量变化情况。表 1 列出了每 10 年平均的温度距平值及 1905~2001 年的线性趋势。近 100 年来中国地表年平均气温呈现明显的上升趋势, 1905~2001 年间气温上升了 0.79°C , 增温速率为 $0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 略高于 20 世纪全球平均增温速率。20 世纪 10~20 年代和 50~70 年代气温偏低,

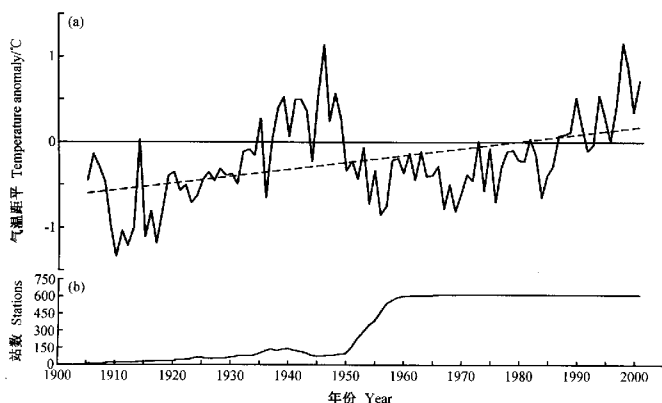


图2 中国年平均地面气温距平 (a) 及台站数量变化 (b) (1905~2001 年)

Fig. 2 Annual mean surface air temperature anomalies of China for 1905–2001 (a) and number of stations used (b)

其中前一阶段偏冷尤其明显,不少年份低于平均值 1.0°C 左右;而 30~40 年代和 80 年代中期以后是两段气温明显偏高的时期,其中 90 年代和 40 年代分别比多年平均值偏高 0.37°C 和 0.36°C ,1998 年和 1946 年分别出现了气温的最高值和次高值。与全球一样,1998 年也是我国近 100 年中最暖的一年。全国年平均气温最低和次低年分别出现在 1910 和 1912 年。

中国与全球或北半球年平均温度^[7,11]的年代变化和线性趋势大体一致,但也有不同的特点。与全球或北半球比较,中国的年平均气温变化展示了更大的波动性,存在明显的双峰现象和波动上升特点。中国和北半球在 20 世纪分别有两段气温偏高的时期,中国的气温偏高时期出现在 30~40 年代和 80 年代中期以后,而北半球出现在 40 年代和 80 年代初以后,在时间上略有不同。此外,全球或北半球 80~90 年代的平均气温明显高于 40 年代,全球平均从 10 年代到 40 年代和从 70 年代到 20 世纪末升温值分别为 0.3°C 左右和 0.5°C 左右;而中国 80 年代中期以后的平均气温与 30~40 年代基本持平,1950 年以前的增暖比以后明显,从 10 年代到 40 年代和从 70 年代到 20 世纪末升温值分别为 1.2°C 左右和 0.7°C 左右。

各个季节的全国平均气温变化存在较大差异

(表 1、图 3)。从增温情况来看,冬季、春季和秋季的气温上升,夏季气温呈下降趋势。冬季的增温速率最大,春季次之,冬、春、夏、秋四季的气温变化值依次为 1.64 、 1.32 、 -0.16 和 0.43°C 。由于冬、夏两季的气温变化呈相反的趋势,因而气温的年较差呈明显减小趋势。从各年代气温距平来看,20 世纪 10 年代和 50~80 年代各季节的气温距平均为负值,而 40 年代和 90 年代均为正值。20 年代的夏季和 30 年代的夏季、秋季为正距平,其他季节均为负距平(表 1)。可见,按年代平均统计,近 100 年中各季节的冷暖基本上与年平均相一致。此外,40 年代和 90 年代虽同为气温偏高期,但其季节表现并不一致,前者的温度最大正距平值出现在夏季,而后者则出现于冬季。同样,对于 20 世纪前后两个阶段的增温来说,前者主要表现在夏季,而后者主要表现在冬季。

4 可靠性分析

同林学椿等^[15]及王绍武等^[16]的中国近 100 年气温变化序列比较,3 条序列反映出的中国近 100 年气温变化趋势在总体上是—致的,特别是表现在 1950 年以后时段的气温变化上,三者非常相

表 1 中国每 10 年平均的气温距平及 1905~2001 年的线性变化速率

Table 1 Average annual and seasonal anomalies for each decade and rates of temperature change during 1905—2001

时间 Periods	气温距平 Temperature anomalies/℃									变化速率 Rates/ (℃/10 a)
	1911~1920	1921~1930	1931~1940	1941~1950	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	
冬季 Winter	-1.50	-1.11	-0.62	0.04	-0.74	-0.91	-0.47	-0.11	0.57	0.17
春季 Spring	-1.18	-0.59	-0.33	0.41	-0.57	-0.28	-0.25	-0.12	0.38	0.14
夏季 Summer	-0.07	0.07	0.44	0.68	-0.06	-0.21	-0.22	-0.06	0.28	-0.02
秋季 Autumn	-0.53	-0.31	0.29	0.35	-0.23	-0.39	-0.21	-0.07	0.28	0.04
年 Year	-0.79	-0.47	-0.02	0.36	-0.41	-0.45	-0.29	-0.08	0.37	0.08

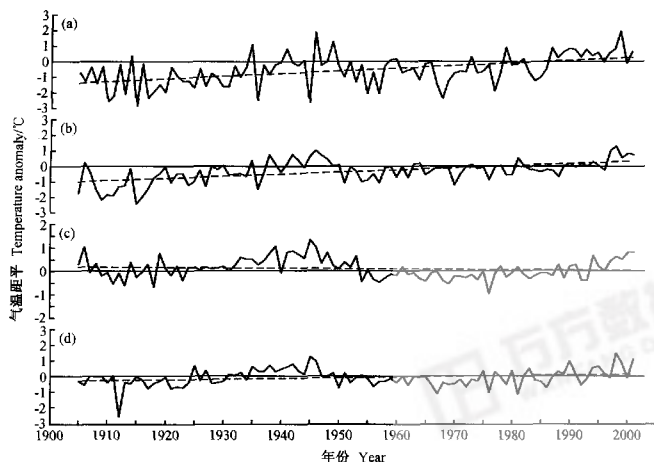


图 3 中国四季平均气温距平曲线 (1905~2001 年)。(a) 冬季; (b) 春季; (c) 夏季; (d) 秋季

Fig. 3 Seasonal mean surface air temperature anomalies of China for 1905—2001. (a) Winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn

似。但 3 条序列在 1950 年以前则存在比较明显的差别, 主要特点为本文得到的序列在 1950 年以前时段的年平均气温明显偏低, 新序列所指示的近 100 年增温速率也相对较高。分析造成这种差别的原因有助于我们判断新序列的可靠程度。

为了说明不同序列的差异, 本文比较了建立在不同统计方法基础上的平均气温序列。在序列形成方法和气象测站全部相同的基础上, 采用目前普遍使用的由 02、08、14、20 时 (北京时) 4 个时次观测值形成的月平均气温资料, 获得全国平均气温距平序列, 大体相当于前人工作给出的气温序列, 简记为 T1。该序列 1950 年以前部分的平均值实际上是由多种不同类型观测记录统计的结果, 情况非常复杂。而本文采用最高、最低

气温平均所获得的距平序列, 简记为 T2。将分别形成 T2 与 T1 的平均气温求差值得到的平均差值序列, 简记为 T3。T3 序列反映了本文序列与原序列的差异。表 2 给出了 T1、T2 和 T3 序列分阶段平均值及 T1、T2 序列气温线性变化速率和二者的差值。

可见, 在 1905~1950 年, T2 序列的平均距平值明显低于 T1 序列, 而在 1951~2001 年, T2 序列的平均距平值则略高于 T1 序列, 这样总的增温速率必然高于 T1 序列。整个时期增温速率的差值说明了这一点。1905~2001 年, T2 序列与 T1 序列增温速率分别为 $0.081\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.026\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 其差值达到 $0.056\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。采用 4 次观测平均获得的平均气温序列给出了比较低的增温速

表2 T1、T2和T3气温序列分阶段平均值及T1、T2序列气温线性变化速率和二者的差值

Table 2 Averaged anomalies of T1, T2 and T3 time series, rates of temperature change of T1 and T2 and the difference between them for different phases

时间 Periods	T1 序列 平均值 Averages of T1 series/°C	T2 序列 平均值 Averages of T2 series/°C	T3 序列 平均值 Averages of T3 series/°C	T1 序列平均 变化速率 Rates of T1 series/ (°C/10 a)	T2 序列平均 变化速率 Rates of T2 series/ (°C/10 a)	T2 与 T1 序列 变化速率差值 The difference between rates of T1 and T2/ (°C/10 a)
1905~1950	0.07	-0.28	0.23	0.282	0.305	0.023
1951~2001	-0.19	-0.15	0.57	0.238	0.202	-0.036
1905~2001	-0.07	-0.21	0.41	0.026	0.081	0.056

率,而用新方法获得的平均气温序列则表现出更明显的增温趋势。

由于1951~2001年的T1序列使用了北京标准时间的4次观测平均值,这一时期的T3反映的是形成T2序列的平均气温对4次观测平均值所形成的平均偏差,而1905~1950年的T3则代表的是T2气温对多种不同时段、时制情况下观测得到的混合平均气温的偏差。T3序列平均值在1951年以后时期明显高于1950年以前,这说明上述混合情况下得到的平均气温高于标准的4次观测平均气温。

造成这种现象的原因出在1950年以前的资料上。我们查验了1950年以前参加序列统计的231个台站中序列长度大于或等于8年的143个站的情况。这些台站的数据量占1950年以前总数据量的87%左右,可以在很大程度上代表当时的资料状况。结果表明,1950年以前气温资料存在的主要问题是观测时段繁杂,观测时制不统一,平均气温统计方法不一致等。其中,仅观测时段就可分为7类,每一类又包含1~9种时段,共计有20余种。观测时制以120°E标准时间居多,但也有不少台站随年代变化,时而采用120°E标准时间,时而采用台站所在时区的区时为标准时间,还有部分台站或时段采用地方时,个别的如海关月总簿中的资料采用的是世界时。平均气温的统计方法,除大多数台站和时段采用各时段观测值的平均以外,也有部分台站和时段采用最高、最低气温的平均值。在这种情况下得到的日和月平均气温存在着严重的系统性误差,其误差范围取决于各种情况所产生误差的综合平均结果。因此,目前保存于国家气象信息中心的1950年以前月平均气温资料存在着严重的非均一性问题,与1951年以后的日或月平均气温也失去了可比性。

我们利用1987~2002年全国39个国家基准气候站的逐日24个时次的观测记录对上述20余种观测时段产生的平均气温与北京标准时间02、08、14、20时4次观测得到的平均气温的平均偏差逐个进行了分析。结果显示,平均偏差一般在-0.59~1.91°C之间。1950年以前采用与平均偏差为负值及平均偏差异常偏高(>1°C)相对应的观测时次的台站和年份都比较少见。负值的情况仅有大约5个站共7年的资料,异常偏高的也仅有3个站约71年的资料。因此,除去少数负值和极端的情况之外,其他绝大多数台站的平均气温与北京标准时间4次观测的平均气温间的平均偏差均为正值,范围在0~0.98°C之间,说明现有的20世纪前期月平均气温资料由于观测时段和统计方法的复杂性而无法与近50年序列比较,其均一性和可靠性都很低。

由于本文给出的新序列(T2)在1950年前后采用相同的方法得到平均气温,这样就避免了上述原因所导致的原序列(T1)的严重非均一性问题,从而也解释了现在序列相较于原序列增温速率较高的原因及其合理性。

值得提出的是,在估计和分析各种观测时次的平均气温与标准4次观测平均气温的平均偏差时,没有完全考虑时制的转换。但由于1950年以前有相当多的站点采用120°E标准时间,而且对采用105°E或135°E标准时间的几种主要观测时段平均气温的估计表明,其偏差也均为正值;其他采用地方时的站点,由于站点数量和观测年代有限,而且与所在时区标准时间的时差较小,因此其影响也不大。

5 结论与讨论

本文利用新的月平均气温统计方法和区域平

均温度序列建立方法,对我国近百年的气温变化进行了再分析。主要结论是:从1905年到2001年,我国年平均气温升高 0.79°C ,增温速率约为 $0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,比20世纪全球或北半球平均略高,但近20年的增温不比30~40年代明显,而且50~60年代的变冷也比全球或北半球显著得多。与全球或北半球平均比较,我国20世纪早中期的增温更加明显,20世纪初期的低温也更为显著。和全球平均一样,近100年来全国的增温主要发生在冬季和春季,而夏季则有微弱变凉趋势。

本文的分析结果给出了高于前人的变暖趋势估计值,这主要是由于采用新的平均气温统计方法的缘故。新的方法避免了因观测时次、时制及日值统计方法不一致所造成的非均一性,并同国际上采用的几个主要全球历史气候资料集所用方法一致。

本文对近100年来我国区域平均温度变化的研究结果仍存在着一定的不确定性。最大的问题是20世纪前半叶西部地区的资料还不充分,同时近50年的地表气温记录还在不同程度上存在着城市化或土地利用变化产生的影响^[18~20]。此外,本文对于台站迁移等造成的资料非均一性还没有给予考虑。这些均有待今后进一步研究解决。

20世纪前期我国西部地区的温度资料很少(图1),这种情况到20世纪30年代略有改善,但根本性改善还是50年代以后的事。即使今天,青藏高原腹地观测资料仍然不充分。由于温度变化的空间连续性很好,目前西部的观测资料基本可以满足全国空间尺度的温度变化分析需要,但20世纪早期西部地区的资料阙如仍然给研究带来困难。或许我们可以把1950年以前的曲线段看作主要反映我国东部地区平均情况。当然,林学椿等^[15]的分析在一定程度上增强了我们对早期分析结果的信心。他们指出,1950年以前温度测站空间覆盖尽管不完善,站点数也比较少,但用这些资料所获得的序列仍然可以较好地代表全国年平均气温的变化。

城市化对地表气温记录的影响是目前气候变化检测研究中的另一个棘手问题。分析表明,全国台站中的城镇站资料多数可能存在城市热岛效应增强所造成的影响。北京、天津、山东和湖北等地区城市化对国家基准、基本站近40~50年地

表平均气温记录的影响是很明显的,大约可以说明这些台站记录的年平均气温全部增幅的20%~70%^[20]。如果其他地区国家基准、基本站也在不同程度上存在这个问题,那么从气候变化检测的角度来看,以上给出的近百年全国平均地表气温变化趋势的估计显然是偏高的。城市化对温度记录以及区域平均温度序列的影响可能主要出现在20世纪中以后,但20世纪前期记录的增温可能同样受到增强的城市热岛效应影响,而且早期的影响更难以评价。显然,如果剔除城市化对地表气温的影响,我国20世纪后期的增温趋势将会减小,20世纪初以来的变暖速率也将明显降低。

致谢 国家气候中心的刘洪滨、徐铭志、郭军和张莉参与部分工作;国家气象信息中心的刘小宁,国家气候中心的刘传凤和马天键,协助整理了1950年以前的气温资料;李泽椿、丁一汇、王绍武、陈隆勋、周曙光、赵宗慈、李克让、林学椿、孙安健、翟盛茂等专家对本文研究给予了咨询和帮助,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881pp
- [2] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993. *J. Climate*, 1994, **7**: 1794~1802
- [3] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate*, 2003, **16**: 206~223
- [4] Peterson T C, Vose R S. An overview of the global historical climatology network temperature database. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**: 2837~2849
- [5] Hansen J, Ruedy R, Glascoe J, et al. GISS analysis of surface temperature change. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104** (D24): 30997~31022
- [6] Vinnikov K Ya, Groisman P Ya, Legina K M. Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation). *J. Climate*, 1990, **3**: 662~677
- [7] 张先恭、李小泉. 本世纪我国气温变化的某些特征. *气象学报*, 1982, 40 (2): 198~208
Zhang Xiangong, Li Xiaoquan. Some characteristics of temperature variation in China in the present century. *Acta*

- Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1982, **40** (2): 198~208
- [8] 屠其璜. 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
Tu Qipu. Trend and periodicity of temperature change in China during the past hundred years. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1984, **2**: 151~162
- [9] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势. 气象, 1990, **16** (2): 11~15
Wang Shaowu. Variations of temperature in China for the 100 year period in comparison with global temperatures. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1990, **16** (2): 11~15
- [10] 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
Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi, et al. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9** (4): 392~401
- [11] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变. 见: 秦大河主编, 中国西部环境演变评估 (第一卷). 北京: 科学出版社, 2002. 29~70
Wang Shaowu, Dong Guangrong. Environmental characteristics and evolution of the Chinese Western Regions. In: *Assessment of the Environmental Evolution of the Chinese Western Regions* (Vol. 1) (in Chinese). Qin Dahe, Ed. Beijing: China Science Press, 2002. 29~70
- [12] 唐国利, 林学椿. 1921~1990 年我国气温序列及变化趋势. 气象, 1992, **18** (7): 3~6
Tang Guoli, Lin Xuechun. Average air temperature series and its variations in China in 1921~1990. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1992, **18** (7): 3~6
- [13] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来温度变化. 气象, 1994, **20** (12): 19~26
Ding Yihui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1994, **20** (12): 19~26
- [14] 施能, 陈家其, 屠其璜. 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
Shi Neng, Chen Jiaqi, Tu Qipu. 4-phase climate change features in the last 100 years over China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1995, **53** (4): 431~439
- [15] 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
Lin Xuechun, Yu Shuqiu, Tang Guoli. Series of average air temperature over China for the last 100-year period. *Scientific Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1995, **19** (5): 525~534
- [16] Hansen J, Lebedeff S. Global surface temperatures: update through 1987. *Geophys. Res. Lett.*, 1988, **15**: 323~326
- [17] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *Int. J. Climate*, 1996, **16**: 361~377
- [18] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响. 气象, 1991, **17** (4): 14~17
Zhao Zongci. The changes of temperature and the effects of the urbanization in China in the last 39 years. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1991, **17** (4): 14~17
- [19] 朱瑞兆, 吴虹. 中国热岛效应的研究及其对气候序列的影响评估. 见: 陈隆勋等主编, 气候变化规律及其数值模拟研究论文集, 北京: 气象出版社, 1996. 239~249
Zhu Ruizhao, Wu Hong. Research of the heat island effect and assessment of its impact on climate series in China. In: *Paper Collection on Regularity of Climate Change and Numerical Simulation Research* (in Chinese), Chen Longxun, et al., Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 239~249
- [20] 初子莹, 任国玉. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响. 气象学报, 2005, **63** (4): 534~540
Chu Ziyi, Ren Guoyu. Change in urban heat island magnitude and its effect on mean air temperature record in Beijing region. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, **63** (4): 534~540