

文章编号: 1673-1719 (2009) 02-0071-08

中国近百年温度曲线的对比分析

唐国利^{1,2}, 丁一汇^{1,2}, 王绍武^{2,3}, 任国玉^{1,2}, 刘洪滨^{1,2}, 张莉^{1,2}

(1 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; 2 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; 3 北京大学物理学院, 北京 100871)

摘要: 温度变化是全球变化研究中非常重要的基础性问题, 在中国近百年温度变化方面, 十几年来已取得了明显进展, 这首先表现在建立了若干条全国平均气温序列, 而几条主要序列间的相关系数在 0.73~0.97 之间。同时, 这些进展也表现在基础资料质量提高、空间覆盖面扩大、序列均一性改善以及结果可靠性提高等方面。对多序列进行综合分析得到的新结果显示, 1906—2005 年中国的年平均气温上升了 $(0.78 \pm 0.27) ^\circ\text{C}$, 2007 年是我国近百年来最暖的一年; 代表性分析显示, 现有的几条中国温度序列中除覆盖完整的序列外, 其他序列在 1920 或 1930 年代以前可能主要反映中国东部变化情况, 但在此之后则能较好地代表全国大部分地区的气候变化特征。

关键词: 近百年; 气候变化; 气温序列; 增温速率估计; 全球变暖

中图分类号: P468 **文献标识码:** A

引言

近几十年来的全球气候变暖是一个国内外都非常关注的重大问题。作为该问题的核心和基础, 气候变化基本事实的研究具有重要的理论和现实意义。在这方面, 无论国外还是国内都已开展了不少研究。这些研究为我们认识气候变化和开展更进一步的工作提供了重要的基础和背景。在我国的气候业务和科研中有不少关于温度变化的研究^[1-3], 这些工作大多主要分析近 50 a 的情况。由于资料的限制, 有关近百年温度变化的研究相对较少, 尤其是关于全国范围的研究更少。另一方面, 为了研究中国的气候变化特点和趋势, 建立代表全国温度变化的序

列是一项非常重要的基础性工作。以往的一些工作采用不同的资料、站点和方法, 分别给出了近百年的中国气温序列。这些序列反映的中国近百年温度变化趋势和特点有一定的相似性, 大多显示出气候的变暖趋势和 20 世纪 20—40 年代和 80 年代以来的两次增暖期。但是, 这些序列本身以及由它们得出的气温变化趋势估计仍然存在明显的差异, 因此, 有必要对现有的中国温度序列进行系统的比较和评估。希望这项工作有助于更全面和更准确地认识我国近百年的气候变化, 同时也有助于了解近百年温度变化研究及温度序列的现状和存在的问题, 以利于今后有针对性地开展研究并进一步改进和完善中国温度序列。

收稿日期: 2008-09-27; 修订日期: 2008-11-25

基金项目: 中国气象局气候变化专项“中国气温、降水变化曲线现有研究成果的综合分析”(CCCSF2008-10); 国家“十一五”科技支撑计划项目“气候变化的检测和预估技术研究”(2007BAC03A01) 资助

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

1 近百年温度变化研究概述

1.1 国外研究背景

全球变化科学作为一个新兴的科学领域始于20世纪80年代^[4],但实际上,早在20世纪50年代之前就已开始了有关半球和全球温度变化的研究。到1960年代,Mitchell^[5]建立了比较可靠的近百年全球及半球平均气温序列。1970年代至1990年,前苏联地球物理观测总台的Vinnikov等^[6-7]利用月平均气温距平先后获得了半球及全球的气温序列。1980年代,英国东安格利亚大学气候研究部(CRU)的Jones等^[8-9]完成了一系列工作并建立了当时资料最完整的全球及半球平均气温序列。美国宇航局Hansen等^[10]于1987年也建立了全球平均气温序列。虽然这些序列存在一些差异,但都显示出近百年来全球气候的变暖趋势。并且估计自1880年以来,全球平均气温上升了0.5~0.6℃。

近年来,有关全球温度变化的资料分析和相关研究有了很大进展。经过多次修订和补充,陆面和海面温度资料质量都有了很大改善。Jones等^[11-12]修改和更新了CRU陆面气温资料,扩大了早期南半球资料的覆盖范围。Hansen等^[13]和Peterson等^[14]也都各自给出了新的全球平均温度序列。2007年IPCC第四次评估报告^[15]给出了新的近百年全球变暖趋势估计:1906年以来的100 a中,全球平均温度大约上升了0.74℃。这些序列和新的评估结果不仅再次表明了全球平均温度的上升趋势,而且也进一步提高了增温估计的可信度。

1.2 国内研究进展

近几十年来,我国的气候学和气候变化研究不断发展。20世纪90年代初,叶笃正等^[16]主编的《当代气候研究》系统地总结了当时国际、国内气候学和气候变化领域的研究成果。1997年丁一汇^[17]主编的《中国的气候变化与气候影响研究》汇集了当时国内有关中国温室气体排放、气候变化观测事实、气候模拟与预测以及气候变化影响等气候变化领域的研究成果。近年来,气候变化科学进入了新的快速发展时期。在前人研究的基础上,新的成果^[18-19]不

断涌现,与气候变化相关的研究也不断向更深的方向发展。

我国近百年来气候变化是一个气候学界非常关注的重要问题,而气温作为其中的关键要素更是受到高度重视。竺可桢^[20]在他的研究中不仅给出了我国五千年来的温度变化曲线,而且利用北京、天津、上海及香港等站点的仪器观测记录分析了20世纪以来的温度变化。早在1960年代,涂长望^[21]曾撰文探讨我国的气候变暖问题;王绍武等^[22]也分析了我国20世纪气候的变暖趋势。1980年代以后,国内很多学者^[23-29]利用不同的资料和方法研究了中国近百年的温度变化并与全球和北半球进行了比较。2001年Qian等^[30]利用王绍武等^[26]的资料研究了中国7个区域的气候变化特征及其差异。2005年唐国利等^[31]对近百年中国的温度变化进行了再分析。此后闻新宇等^[32]利用国外的高分辨率格点数据集对比研究了中国的气温和降水变化。此外,也有一些学者^[33-34]针对区域或单站的温度变化进行了研究。

上述研究的主要结论为:中国近百年地面平均气温变化与全球或北半球很相似,但中国20世纪20—40年代的暖期比全球或北半球更为突出;近百年来中国地面年平均气温上升幅度大体在0.50~0.80℃之间;截止到2006年,1998年是我国有气象记录以来最暖的一年^[35]。

2 近百年温度序列的综合分析

2.1 全国平均温度序列综述

在近百年温度变化研究中,建立温度序列是一个非常重要的方面,也是开展进一步研究的基础。表1给出了20世纪80年代以来我国气候工作者建立的几条全国平均温度序列。可见,最早的序列是由张先恭等^[23]建立的1910—1979年每5 a平均的气温等级序列(ZL序列)。这个序列利用137个站的月平均气温资料划分等级,并将全国分为7个区。对于1950年以前的缺测资料或无记录的年份,一般采用内插读数法进行插补,但对于某些资料残缺严重无法内插的情况,则根据其他区域的温度等级值利用回归法插补,台站数量不足的时段则直接用代

表站的气温等级作为区域的等级。随后,王绍武^[25]将气温等级资料转换到气温距平,对于1910年以前时段用经过插补的哈尔滨、北京、上海和广州的平均气温资料(W序列)。1992年,唐国利等^[27]用716个站的月平均气温资料采用算术平均给出了1921—1990年中国年和各月的平均气温序列(TL序列)。之后,林学椿等^[29]利用711个站的月平均气温资料,以资料年代较长的测站为代表站,计算各代表站与全国其他测站的相关系数,按照一定的显著性水平(>0.01)同时考虑测站分布的疏密情况,将全国划分为10个区,先计算各区平均气温,再通过平均得到全国序列(LYT序列),这条序列将时间向前延伸到1873年,分别获得了全国平均和10个区域的各月和年平均气温序列。1998年,王绍武等^[26]根据不同时段的资料情况,综合使用了平均气温和由气温等级转换的气温距平资料,并在早期缺少仪器观测资料的区域使用冰芯、树木年轮和史料等代用资料插补。在将全国分为10个区的基础上,先得到各区的

年温度序列,然后按各区面积计算权重系数,做加权平均得到1880—1996年全国年平均气温序列(WYG序列)。这条序列的显著优点是空间覆盖完整,各区均有自1880年以来的完整序列,便于分析温度变化的空间分布。

由于历史原因,1950年以前的气温资料除空间覆盖不完整和许多测站资料不连续外,还由于缺乏连贯一致的统一观测规范使多种观测时间混杂,导致平均气温资料序列存在严重的非均匀性。因为难以对其进行订正,这一问题成为改进全国平均温度序列所面临的最主要困难之一。针对这一问题,唐国利等^[31]对1950年前后两个时段均采用最高、最低气温平均代表月平均温度,并利用总共616个测站的观测资料,计算 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 经纬度网格的温度距平,然后按面积加权得到1905—2001年的全国平均气温序列(TR序列)。这在一定程度上克服了上述非均匀性问题。虽然用最高、最低气温获得的平均气温同定时观测记录得到的平均气温有一定差异,但是

表 1 全国平均气温序列
Table 1 Mean temperature series for the last 100 years in China

序列名称	资料概况	测站数量	序列建立方法	序列起始年	发表时间
ZL	气温等级	137	将全国划分为7个区,先求各区的平均气温等级,再平均得到每5 a 平均的全国气温等级序列	1910	1982
W	1880—1910年,用哈尔滨、北京、上海、广州站平均气温;1911年以后用气温等级	137	将全国7个区的气温等级平均,然后转换为气温距平得到全国平均气温序列	1880	1990
TL	月平均气温	716	算术平均	1921	1992
LYT	月平均气温	711	将全国分为10个区,求出各区距平序列后再平均得到全国平均序列	1873	1995
WYG	用平均气温、气温等级,在早期缺资料地区用冰芯、树轮和史料等代用资料插补	50	将全国划分为10个区,每个区选5个代表站,先求各区平均序列,再按面积加权得到全国平均序列	1880	1998
TR	由最高、最低气温求算平均气温	616	按 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 经纬度网格区面积加权,得到全国平均序列	1905	2005
TD	重新订正和插补资料,并补充部分测站后选取1950年前后均有资料且分布均匀的站点;由最高、最低气温表示平均气温	291	按 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 经纬度网格区面积加权,得到全国平均序列	1873	2006

对于研究温度变化来说,两者间的差异可忽略,特别是对于区域平均而言,其差异更小^[36]。经过与定时观测记录序列的对比分析,用这种方法建立的全国平均气温序列的均一性确实有了明显提高。之后,唐国利^[37]又对1950年以前的气温记录进行了更为严格的质量控制,订正了其中的错误数据,同时为了充分利用那一时期宝贵的观测记录信息并提高资料序列的连续性,利用目前能够得到的630个站资料对缺测数据进行了尽可能的插补。考虑资料序列两段时期的衔接情况和空间分布的均匀性,选取了291个分布相对均匀的台站,采用同文献^[31]相似的方法生成了新的全国平均温度序列(TD序列)。这个序列的资料质量和均一性又有了进一步的提高。闻新宇等^[32]利用英国CRU释放的高分辨率格点数据集CRU-TS2.1($5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 经纬度),抽取出中国资料生成中国区域1901—2003年的气温距平序列并与WYG序列比较,两者相关系数达到0.84。这套资料对中国西部早期无资料的区域采用插值办法,所以有完整的覆盖面,但所用台站相距过远,这必然影响插值精度。

归纳起来,现有序列采用的资料主要有气温等级,定时观测平均气温和最高、最低气温平均3种。当然,其中也用到了史料、冰芯和树轮等代用资料。不过这些代用资料主要是在序列早期的西部地区个别站点,在平均序列中所占比例相对较小。区域平均方法主要有4种,分别是算术平均;先分区域平均,再按等权重平均;先分区域平均,再按各区域面积加权平均;最后是按网格区面积加权平均。从上述情况看,基于当时的条件,针对存在的问题,通过不断积累和改进,中国近百年温度序列从最初建立到后来的不断完善,已取得了明显进展。

2.2 各序列的比较和研究结果分析

上述各序列中,ZL序列是5 a平均的等级序列,W序列可以由WYG序列代表,TL序列可由LYT序列代表。因此本节着重分析目前气候变化业务和科研中比较常用的具有年时间分辨率且年代较长的几个序列,主要是WYG序列、LYT序列、TR序列和TD序列。对于由国外数据集生成的序列,因为

CRU-TS2.1资料只到2003年,所以利用CRU $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 经纬度网格的气温距平,同样抽取中国资料,然后按网格面积加权方法生成中国气温序列(CRU序列)。所有序列均根据最新资料延长至2007年。图1是上述5条序列的变化曲线,可见,虽然各序列所用资料数量和方法不尽相同,但在1951年以后,各曲线相当吻合;然而,在1950年以前,各曲线差异明显,其中在20世纪20—40年代的暖期中,TR序列和TD序列在20世纪20—30年代明显低于LYT曲线和WYG曲线,而CRU曲线偏低最明显。此外,在20世纪初的冷期,TR曲线、TD曲线和CRU曲线也都低于WYG曲线和LYT曲线。造成这种差异的原因,可能主要与所用资料以及平均气温统计方法不同等因素有关。

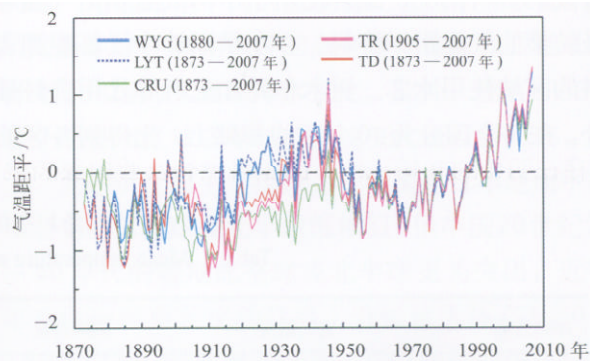


图1 中国温度距平序列(相对1971—2000年标准值)

Fig. 1 Mean temperature anomaly series in China (relative to 1971–2000)

表2是各序列之间及与全球(GL)和北半球(NH)序列之间的相关矩阵。可见几个中国温度序列间的相关系数在0.73~0.97之间,其中TD序列与其他各序列的相关最高。另外,中国序列与全球平均序列的相关系数也在逐步提高。这些数字反映出,虽然各序列存在明显差异,但其变化仍有较大的一致性特征。而且,中国温度与全球和北半球的温度变化趋势也相当一致。

在气候变化研究中,估计温度变化幅度是个非常重要的问题。表3给出了由各序列得到的温度变化趋势。为了同IPCC第四次评估报告比较,统一取1906—2005年,各序列显示的温度变化速率在0.34~1.20 $^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 之间。其中CRU序列给出的速率最高,

表 2 1906 — 2005 年中国温度序列及全球、半球序列之间的相关系数
Table 2 Correlations between different temperature series in China, globe and Northern Hemisphere for the period of 1906-2005

序列名称	WYG	LYT	TD	CRU	TR	NH	GL
WYG	1.00						
LYT	0.93	1.00					
TD	0.91	0.90	1.00				
CRU	0.78	0.73	0.88	1.00			
TR	0.86	0.85	0.97	0.88	1.00		
NH	0.68	0.60	0.79	0.86	0.77	1.00	
GL	0.63	0.53	0.75	0.86	0.74	0.97	1.00

约为1.20℃/100a；其次是TR、TD和WYG序列；LYT序列给出的变化速率最低，为0.34℃/100a。由前面分析可知，造成这种差异的原因主要在于各序列20世纪初至1950年期间有比较大的差异。由于早期西部地区有很大范围的信息空白，而且平均气温资料也存在明显的非均一性，因此考虑到这些因素的影响以及各序列间的差异，目前还不能确定气温究竟上升了多少度。不过，综合考虑现有结果，可以取各序列的平均来大体反映近百年中国的温度变化。由此得到温度变化速率约为0.78℃/100a，考虑估计误差，增温速率应为(0.78±0.27)℃/100a(95%信度区间)，即中国近百年增温0.51~1.05℃。这一结果与以前的估计相比，主要差别是增温上限提高了0.25℃。当然，增温速率的数值随时段不同而不同，

表 3 中国及全球和北半球温度变化速率（单位：℃/100a）
Table 3 The temperature change rates in China, globe and Northern Hemisphere (unit: °C/100a)

序列名称	1906 — 2005 年	1908 — 2007 年
WYG	0.53	0.59
LYT	0.34	0.42
TR	0.95	1.11
TD	0.86	0.96
CRU	1.20	1.27
NH	0.72	0.75
GL	0.74	0.75

如 1908 — 2007 年的增温速率就略高些。

虽然各序列显示的增温趋势一致，但给出的最暖年却不完全相同。表 4 是近百年中最暖的 5 a 及其距平。可见，5 个序列中 WYG、TR 和 TD 序列都是 2007 年温度最高，1998 年为次高年，而 CRU 序列却显示 1998 年最暖。出现这种差异的主要原因是各序列所用资料不完全一致。考虑到这 4 个序列中有 3 个序列的原始资料量均大于 CRU 序列，而且 CRU 序列包含一定数量周边国家的测站信息，因此 2007 年是最暖年有较高的可信度。不过 2007 年在北半球和全球均不突出，但 1998 年为次高年与北半球一致。

造成各序列结果不完全一致的原因主要有 3 个方面。首先，使用的资料不完全相同。WYG 序列主要用 50 个站的气温等级资料转换为气温距平，早期使用了冰芯、数轮和史料等代用资料。LYT 序列直接用 711 个站的平均气温资料。TR 序列、TD 序列及 CRU 序列全部或大部分用最高、最低气温平均来表示平均气温。其次，各序列选用的资料站点和数量不同，站点的空间分布和覆盖范围也存在差异。最后，区域平均方法也不尽相同。相比较而言，资料差异对序列的影响最大，其次是站点的差异，而区域平均方法的影响最小。

2.3 代表性分析

对于全国平均序列，其代表性是一个须考虑的重要问题。由上述分析可见，国内各序列由于所用

表 4 中国、全球和北半球近百年来 (1906 年以来) 温度最高的 5 a 及其温度距平 (°C)
Table 4 The warmest 5 years and their temperature anomalies in China, globe and Northern Hemisphere since 1906 (unit: °C)

排序	WYG	LYT	TR	TD	CRU	NH	GL
1	2007 (1.28)	1946 (1.22)	2007 (1.35)	2007 (1.31)	1998 (1.05)	2005 (0.53)	1998 (0.44)
2	1998 (1.15)	1998 (1.15)	1998 (1.16)	1998 (1.16)	2007 (0.93)	1998 (0.50)	2005 (0.39)
3	2006 (1.10)	2007 (1.13)	1946 (1.14)	2006 (1.08)	2002 (0.89)	2004 (0.49)	2003 (0.38)
4	2002 (0.94)	2006 (1.02)	2006 (1.11)	2002 (0.91)	1999 (0.83)	2007 (0.48)	2002 (0.37)
5	1999 (0.89)	1999 (0.84)	2002 (0.92)	1946 (0.88)	2006 (0.77)	2003 (0.46)	2004 (0.36)

注：括号里的数字为温度距平

资料数量和测站空间分布不同, 他们的空间代表性也必然存在差异, 这里对此进行了分析和评价。

首先, WYG 序列将全国分为 10 个区, 其中包括西部省区和台湾, 每区选 5 个代表站, 共计 50 个站, 这样做到了覆盖全国。这条序列虽然所用站点数相对少些, 但由于有比较均匀的空间覆盖, 因此代表性较好, 其 1951 年以后序列与 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度格点平均气温序列的相关系数达到 0.99 表明了这一点。不过, 代用资料的不确定性及 1950 年以前西部地区大范围的资料缺测, 仍然会在一定程度上影响序列早期的代表性。

LYT 序列在 1951 年之后以气候业务中使用的 330 个测站为主, 其分布比较均匀, 空间代表性也比较好。在 1950 年以前, 该序列使用了 546 个站, 其数量在各序列中是最多的, 这是这个序列的优点。由于将全国分为 10 个区, 在西部地区 1930 年代之后有代表站, 因此 1930 年代之后该序列有较好的代表性, 但在 1930 年代之前可能主要反映中国东部的变化。然而, 由于这个序列使用的是原始平均气温资料, 因此一定程度上受到资料不均一性的影响, 这是该序列的主要问题。

TR 和 TD 序列分别使用 616 个和 291 个站, 在 1951 年之后也同样有很好的代表性, 用 TD 序列同 971 个站的平均序列求相关, 相关系数达到 0.99。在 1950 年以前 TR 和 TD 序列分别使用了 231 个和 291 个站, 可见后者的测站数量比前者约增加了 26%, 而且 TD 序列还利用 630 个站对缺测数据进行了插补, 因而一定程度上改善了其代表性。不过由于资料的

限制, TR 序列和 TD 序列早期网格覆盖也受到影响, 在 20 世纪以前有 4~6 个网格, 20 世纪前 20 a 有 7~24 个网格, 以后直到 1950 年为 25~38 个, 1951 年后增加到 43 个以上。根据相关分析, TD 序列在 20 世纪前 20 a 大约能代表中国 2/3 区域的温度变化。之后代表性有很大提高, 基本能反映全国的温度变化特征。TR 序列和 LYT 序列与此类似。另外, 关于 CRU 序列, 由于其原始数据信息主要源于我国的公开资料, 因此包含的国内信息量略少, 不过对其代表性的影响还需要研究。总体上看, 除 WYG 序列覆盖完整外, 其他序列在 1920 或 1930 年代以前主要反映中国东部变化情况, 但其时段则能较好地代表全国大部分区域的气候变化特征。

3 结论与讨论

综合上述分析可见, 由于早期资料缺乏以及其他诸多问题, 研究近百年来全国范围的温度变化有很大难度。其中最主要有两点: 1) 资料覆盖面不完整造成序列早期代表性不够, 同时也因序列前后覆盖面不一致而导致不均一性; 2) 20 世纪上半叶观测规范不统一造成平均气温的不均一性。针对这些问题, 已在如下方面取得了明显进展: 1) 在资料处理方面, 利用多种方法对原始资料进行了更严格的质量控制, 同时力图更好、更多地利用我国现存的历史观测记录; 2) 通过使用冰芯、树轮和史料等代用资料, 获得了对全国的完整覆盖; 3) 利用最高、最低气温平均表示平均气温的方法, 很大程度上解决

了因观测时间不统一所造成的不均一性；4) 已建立了若干长年代温度序列。

通过对现有序列结果和代表性的综合分析得到以下几点结论：1) 1906—2005年中国年平均温度的上升幅度为 $(0.78 \pm 0.27) ^\circ\text{C}$ ；2) 2007年已超过1998年而成为1906年以来中国区域最暖的一年；3) 除覆盖完整的序列外，其他几条中国气温序列在1920或1930年代以前可能主要反映中国东部的情况，但之后则能代表全国大部分区域的气候变化特征。

不过，由于历史原因造成的资料信息空白难以完全填补，下一阶段的研究仍然有很多困难。首先是资料覆盖面问题，虽然已有一定进展，但代用资料的精度达不到器测资料的程度，且数量有限，因此仍需要进一步研究。另一可行的办法是利用周边国家的资料插补，但应注意其可用性和合理性。其次，目前的工作大都未考虑台站迁移和仪器变更的影响，这可在今后的工作中用统计方法检验和订正。最后是观测环境变化带来的不确定性，这主要指城市化和土地利用变化的影响。最近的研究^[38-40]表明，中国经济和城市化的快速发展已对气象观测资料序列产生了明显影响，但这一问题比较复杂，现有温度序列还没有考虑这一因素。因为城市化对增温具有正影响，所以中国的实际变暖幅度应小于本文给出的数字。■

参考文献

- [1] 林学椿, 于淑秋. 近40年我国气候趋势 [J]. 气象, 1990, 16 (10): 16-21
- [2] 唐国利. 我国气温标准序列的趋势变化分析 [C]//85-913项目02课题论文编委会. 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
- [3] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近54年来中国地面气温变化 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 717-727
- [4] 丁一汇, 孙颖. 国际气候变化研究新进展 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2 (4): 161-167
- [5] Mitchell J M. Recent secular changes of global temperature [J]. Ann NY Acad Sci, 1961, 95: 235-250
- [6] Borzenkova I L, Vinnikov K Y, Spirina L P, *et al.* Change in the air temperature of the Northern Hemisphere for the period 1881-1975 [J]. Meteor Gidrol, 1976, 7: 27-35
- [7] Vinnikov K Ya, Groisman P Ya, Lugina K M. Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation) [J]. J Climate, 1990, 3: 662-667
- [8] Jones P D, Wigley T M L, Kelly P M. Variations in surface air temperature: part 1, Northern Hemisphere, 1881-1980 [J]. Mon Wea Rev, 1982, 110: 59-72
- [9] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: recent trends and an update to 1987 [J]. J Climate, 1988, 1: 654-660
- [10] Hansen J, Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperature [J]. J Geophys Res, 1987, 92: 13345-13372
- [11] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993 [J]. J Climate, 1994, 7: 1794-1802
- [12] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001 [J]. J Climate, 2003, 16: 206-223
- [13] Hansen J, Ruedy R, Sato M, *et al.* A closer look at United States and global surface temperature change [J]. J Geophys Res, 2001, 106: 23947-23963
- [14] Peterson T C, Vose R S. An overview of the global historical climatology network temperature database [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1997, 78: 2837-2849
- [15] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007
- [16] 叶笃正, 曾庆存, 郭裕富. 当代气候研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1991
- [17] 丁一汇. 中国的气候变化与气候影响研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1997
- [18] 王绍武. 现代气候学研究进展 [M]. 北京: 气象出版社, 2001
- [19] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰. 中国气候与环境演变 [M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [20] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究 [J]. 中国科学, 1973 (2): 168-189
- [21] 涂长望. 关于二十世纪气候变暖的问题 [C]// 陶诗言. 涂长望文集. 北京: 气象出版社, 2000: 345-347
- [22] 王绍武, 龚奇儿, 钮芬兰. 我国气候振动的研究 [J]. 北京大学学报 (自然科学版) 1963, 31 (4): 343-358
- [23] 张先恭, 李小泉. 本世纪我国气温变化的某些特征 [J]. 气象学报,

- 1982, 40 (2): 198-208
- [24] 屠其璞. 近百年来我国气温变化的趋势和周期 [J]. 南京气象学院学报, 1984 (2): 151-162
- [25] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势 [J]. 气象, 1990, 16 (2): 11-15
- [26] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年气温序列的建立 [J]. 应用气象学报, 1998, 9 (4): 392-401
- [27] 唐国利, 林学椿. 1921—1990 年我国气温序列及变化趋势 [J]. 气象, 1992, 18 (7): 3-6
- [28] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化 [J]. 气象, 1994, 20 (12): 19-26
- [29] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列 [J]. 大气科学, 1995, 19 (5): 525-534
- [30] Qian Weihong, Zhu Yafen. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impacts on the environmental condition [J]. Clim Change, 2001, 50: 419-444
- [31] 唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 791-798
- [32] 闻新宇, 王绍武, 朱锦红, 等. 英国 CRU 高分辨率格点资料揭示的 20 世纪中国气候变化 [J]. 大气科学, 2006, 30 (5): 894-904
- [33] 任国玉, 周薇. 辽东半岛本世纪气温变化的初步研究 [J]. 气象学报, 1994, 52 (4): 493-498
- [34] 丁裕国, 金莲姬, 江志红. 近百年江苏中部和南部地区气温趋势及其变化率估计 [J]. 气象科学, 1998, 18 (3): 248-255
- [35] Wang Shaowu, Gong Daoyi. Enhancement of the warming trend in China [J]. Geophy Res Lett, 2000, 27: 2581-2584
- [36] 唐国利, 丁一汇. 由最高最低气温求算的平均气温对我国年平均气温序列影响 [J]. 应用气象学报, 2007, 18 (2): 187-192
- [37] 唐国利. 器测时期中国温度变化研究 [D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所 (硕士学位论文) 2006
- [38] 周雅清, 任国玉. 华北地区地表气温观测中城镇化影响的检测和订正 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 743-753
- [39] 张爱英, 任国玉. 山东省城市化对区域平均温度序列的影响 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 743-753
- [40] 唐国利, 任国玉, 周江兴. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列的影响 [J]. 应用气象学报, 2008, 19 (6): 721-730

Comparative Analysis of the Time Series of Surface Air Temperature over China for the Last 100 Years

Tang Guoli^{1,2}, Ding Yihui^{1,2}, Wang Shaowu^{2,3}, Ren Guoyu^{1,2}, Liu Hongbin^{1,2}, Zhangli^{1,2}

(1 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 2 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3 School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Temperature change is of great importance in global change science. Remarkable progress has been made in studies of the temperature change in China during the recent 100 years or more. Some time series provide surface air temperatures averaged over China. Correlations between the series range from 0.73 to 0.97. The achievements mainly include the following: improving the quality, increasing the coverage of data, raising the homogeneity of time series and enlarging the reliability of the results etc. Analysis shows that the warming rate of annual mean temperature in China during 1906-2005 is $(0.78 \pm 0.27)^\circ\text{C}$; 2007 is probably the warmest year. However, most of the series except those with complete coverage mainly reflect the temperature change over eastern China before the 1920s or 1930s, so caution must be taken in examination of temperature change.

Key words: recent 100 years; climate change; air temperature series; estimation of warming rate; global warming