

武汉区域百年地表气温变化趋势研究

任永建^{1,2}, 陈正洪^{1,2}, 肖 莺², 孙 杰², 孙善磊², 赖安伟¹

(1 中国气象局武汉暴雨研究所, 湖北 武汉 430070; 2 武汉区域气候中心, 湖北 武汉 430074)

3 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 考虑气温序列的非均一性, 并对缺测数据进行合理插补, 建立武汉区域 1905~2005 年、季 3 项气温序列。序列结果表明, 100 a 来年均气温、年均最低气温均呈上升趋势, 增温速率分别为 $0.014^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.026^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。年平均最高气温变化呈现微弱的下降趋势, 变化速率为 $-0.003^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。表明百年来武汉区域夜间增温趋势比较明显, 白天气温变化不大; 年平均最高气温与最低气温的变化具有不对称性。年平均气温、年平均最高气温存在两个暖期, 时段为 1920~1940 年、1990~2005 年, 第一个暖期主要是夏、秋季气温偏高, 冬、春季不明显, 热在白天; 第二个暖期则四季气温均偏高, 冬、春季最明显, 夏季较弱, 暖在夜间。

关 键 词: 气温序列; 均一性检验; 变暖

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)02-0278-05

全球或区域最近百年来地表气温变化趋势是气候变化检测研究中的核心问题之一。国外^[1~3]对百年地表气温开展不少研究, 这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。IPCC 第四次评估报告指出^[4], 近百年来 (1906~2005) 地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。根据对近 100 a 全球气温观测资料的分析, 全球平均地表气温已升高 0.74°C 。

中国学者对中国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。有学者^[5~6]对千年尺度的气候变化给予关注; 1980 s 以后, 国内很多学者^[7~11]利用不同资料和方法研究了中国近百年的温度变化情况。研究表明^[12], 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 20~40 年代和 80~90 年代两个增温期。近年来, 有学者^[13~15]对中国地区近 40 a 或 50 a 的气温变化特征进行了研究, 研究表明, 不同季节、不同区域气温的年变化特征并不相同, 具有各自的特殊性。这些序列和研究成果表明我国平均气温的上升趋势, 而且进一步提高了增温估计的可信度。尽管目前有学者对武汉区域的气候变化尤其是地表气温进行了研究^[16~19], 但对长时间尺度地表气温研究相对匮乏, 且未能深入季节尺度研

究地表气温的长期变化情况。而研制武汉区域百年气温序列无论是从科学探索上, 还是从气象气候工作需要、参与全国及世界气候交流以及对社会大众都是有意义的。本文正是基于这一背景, 充分考虑数据均一性、资料的合理插补, 以及气温序列的可靠性, 开展了研制武汉区域百年气温序列的工作。

1 资料和方法

1905~1950 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》。资料序列较长且较完整的主要有武汉 (1905 年始)、宜昌 (1924 年始)、芷江 (1938 年始) 等 3 站。1951~2005 年的资料来源中国气象局气象信息中心的中国均一化历史气温数据集 CHHT (1951~2004) (1.0 版本)、中国气象科学数据共享服务网以及河南、湖北、湖南 3 省气象档案馆。

选择了 CHHT 数据集中河南、湖北、湖南等 3 省中 12 个气象站点, 另外在研究区域中选取通过均一化检验的 21 个站点。为了尽可能利用现有的观测资料, 延长分析时间, 本研究以 1905 年作为分析的起始年。

对所缺的气温数据进行插补时, 分为 1905~

收稿日期: 2009-06-09 修订日期: 2009-09-16

基金项目: 武汉区域气象中心科技发展基金年度重点项目 (QY-Z-200701, QY-Z-200807) 课题 (2007BAC29B02)、国家科技支撑计划课题 (2007BAC29B02) 资助。

作者简介: 任永建 (1982-) , 男, 江苏盐城人, 助理工程师, 主要从事气候变化研究。E-mail: www.ryj407@163.com

1950年武汉、宜昌资料插补、1951~ 1960年河南、湖北、湖南等 3省资料插补、1905~ 1950年河南、湖北、湖南等三省资料插补。利用湖南芷江站完成对1905~ 1950年武汉、宜昌缺测气温序列的插补,并以两站的气温平均作为参考序列;本文的创新点在于利用参考序列对河南、湖北、湖南三省的 1905~ 1950年的数据进行整体插补,而不是单独对各个气象站点进行插补。在对序列进行插补前,先计算1961~ 2000年三省的年平均气温序列和季节平均气温序列。对 1951~ 1960年河南、湖北、湖南等三省插补时,利用一元线性回归方程,以需插补站某种气温为预报量,以相关性最佳的参考站同类气温为预报因子。回归方程均以月值订正为基础,且均通过了显著性为 0.01的 F 检验。

在计算区域年、季气温距平时值时,参考气候值为 1971~ 2000年的 30 a 气温平均值;以各省面积作为权重系数,计算气温距平值的面积加权平均,得到武汉区域气温距平值。四季的时段分别为:冬季 (12~ 2月)、春季 (3~ 5月)、夏季 (6~ 8月)、秋季 (9~ 11月)。

2 结果分析

图 1 给出武汉区域百年地表气温距平变化曲线,表 1 给出平均气温距平的年代差异及线性变化速率。从图 1 和表 1 可以发现,武汉区域百年来存在两个暖期,分别为 20 世纪 20~ 40 s 和 1990 s 至今。第一个暖期特点明显,从 20 s 初就开始增暖,直到 40 s 末结束,暖期持续 3 个年代,与全国 1930~ 1940 s 偏暖平均情况相比^[20],开始增暖时间早,结束时间一致,所以持续时间更长;第二个增暖期为 1990 s 至今,增温相对明显,与全国增暖开始时间大体相同。与全国趋势相同,武汉区域百年来年平均气温的最大值出现在 1998 年。

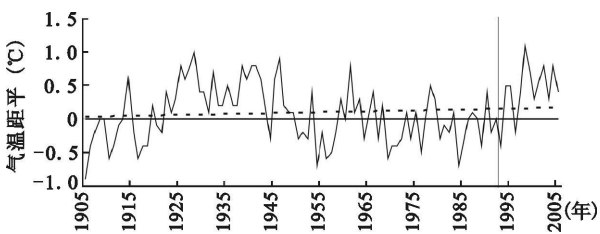


图 1 武汉区域年平均地表气温距平 (1905~ 2005 年)

Fig 1 Annual mean surface air temperature anomalies of Wuhan region in 1905 - 2005

可以发现,四季平均气温的演变过程为“冷 - 暖 - 冷 - 暖”,即 1910 s 以前、1950~ 1980 s 以负距平为主。1920~ 1940 s 和 1990 s 以后以正距平为主。具体到各季,冬、春季在 1980 s 前以负距平为主,其中冬季全部为负距平,春季仅在 1920、1930 s 为正距平,而且 1930 s 很弱,仅 0.09℃,暖的特征不明显;夏、秋季前一个暖期较明显,尤其是夏季从 1910~ 1970 s 等 7 个年代持续为正距平,秋季则从 1910~ 1940 s 等 4 个年代为正距平。所以前一个暖期主要由夏秋气温偏高所致。而 1990 s 以后所有季节均为正距平,从 1980~ 1990 s 以后升温明显,除夏季以外,强度至少有 1 个年代气温距平在 0.5℃ 以上。

图 2 给出了武汉区域百年来最高气温、最低气温地表气温距平变化曲线。自 1905 年来,武汉区域年平均最高气温变化不显著,呈现微小的下降趋势,变化速率为 - 0.003℃ /10 a;而年平均最低气温变化显著,上升速率为 0.026℃ /10 a,表明百年来武汉区域年平均最高气温与最低气温的变化具有不对称性。1976~ 2005 年,武汉区域年平均最高气温和最低气温的升高趋势显著,升温速率分别为 0.030℃ /10 a 和 0.035℃ /10 a。

从年代际变化特征看,1920~ 1940 s 和 90 年代以后是平均最高气温明显偏高的时期,20、30、40 年代分别偏高 0.75℃、0.35℃、0.64℃,除 30 年代外,都比 90 年代的 0.29℃、本世纪前 5 a 的 0.62℃ 高,表明第一次暖期很强,而且一般从 1910~ 1960 s 持续 5 个年代,显然比平均气温的第一个暖期更长。不过从 1990 s 中后期开始,年平均最高气温上升加快,表明白天增温变得重要。与年平均气温和年平均最高气温相比,年平均最低气温在 1950 年前接近常年值,没有明显的暖期,这是与年平均最高气温明显不同的。从 30 年代中后期至 70 年代中期,年平均最低气温为下降趋势;20 世纪 80 年代后期至 2005 年,年平均最低气温呈现上升趋势,为唯一的暖期。

武汉区域四季平均最高、最低气温变化特点为:冬、春季均呈上升趋势,最高气温的增温速率分别为 0.075℃ /10 a 和 0.034℃ /10 a;最低气温的增温速率分别为 0.059℃ /10 a 和 0.069℃ /10 a;夏、秋季平均最高气温呈下降趋势,降温速率分别为 - 0.085℃ /10 a 和 - 0.016℃ /10 a,其中夏季“变凉”趋势非常显著;最低气温距平在夏季、秋季

表 1 武汉区域平均气温距平的年代差异及线性变化速率 (1905~2005年)

Table 1 Seasonal anomalies for each decade and rates of temperature change during 1905–2005

时间	气温距平 (℃)											变化速率 (℃ /10 a)
	1905~	1911~	1921~	1931~	1941~	1951~	1961~	1971~	1981~	1991~	2001~	
	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	
冬	-0.68	-0.21	-0.45	-0.14	-0.03	-0.6	-0.51	-0.3	-0.38	0.58	0.54	0.069
春	-0.9	-0.34	0.37	0.09	-0.11	-0.53	-0.08	-0.16	-0.11	0.23	0.94	0.068
夏	-0.13	0.11	0.51	0.33	0.19	0.15	0.44	0.08	-0.03	0.08	0.24	-0.012
秋	-0.08	0.11	0.3	0.39	0.1	-0.15	-0.07	-0.12	-0.08	0.08	0.56	-0.015

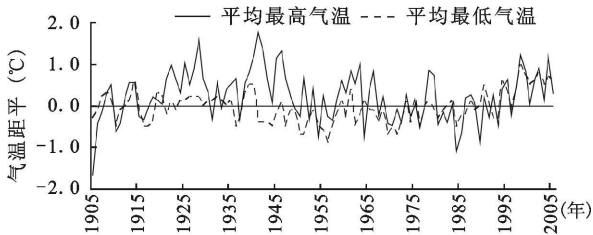


图 2 武汉区域年平均最高、最低地表气温距平 (1905~2005年)

Fig 2 Annual mean maximum and minimum surface air temperature anomalies of Wuhan region in 1905–2005

变化不显著,变化速率分别为 0.007℃/10 a 和 -0.006℃/10 a。

区域各年代平均最低气温的两个暖期均以春季开始最早;前一个暖期比较弱,但在秋、夏季持续时间比较长,集中时间段则为 1920~1930 s 而 1940 s 不明显;后一个暖期集中在 1990 s 以后,四季都很明显。另外冬、春季在 1980 s 前以负距平为主,其中冬季全部为负距平,春季只在 1920、1930 s 为正。而平均最高气温的季节变化特征与年平均气温的变化特征基本一致。

3 可靠性分析

为了说明不同序列的差异,本研究比较了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观测站全部相同的基础上,采用目前普遍

使用的由 02、08、14、20(北京时)4 个时次观测形成的月平均气温资料,获得武汉区域平均气温距平序列,大体相当于前人工给出了的气温序列,简记为 T_1 。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。将最高、最低气温平均所获得的距平序列,简记为 T_2 。将分别形成 T_2 与 T_1 的平均气温求差值所得到的平均差值序列,简记为 T_3 。

武汉区域结果见图 3。表 2 结果表明,1905~2005 年, T_1 、 T_2 序列的变化是基本一致的,均表现为增温的趋势,增温的速率分别为 0.014℃/10 a 和 0.009℃/10 a。可见两者相差很小。有研究发现^[21]以 T_2 序列代替 T_1 序列不会对温度变化速率的估计值产生明显影响,即用新方法得到的 T_2 序列代替 T_1 序列是可行的。不过 T_1 、 T_2 序列的增温速率均远小于全国平均增温速率 0.08℃/10 a^[20]。

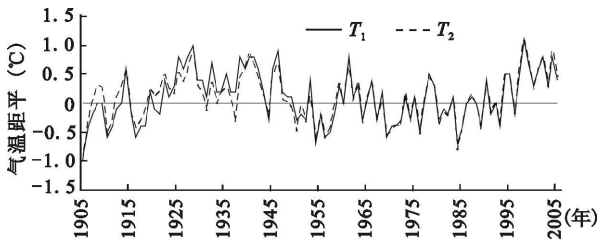


图 3 武汉地区 T_1 、 T_2 时间序列曲线 (1905~2005 年)

Fig 3 The curve of T_1 , T_2 time series for Wuhan region during 1905–2005

表 2 武汉区域 T_1 、 T_2 、 T_3 气温序列分段平均值及线性变化速率

Table 2 Averaged anomalies of T_1 , T_2 and T_3 time series rate of temperature change of T_1 and T_2

时间	T_1 序列 平均值 (℃)	T_2 序列 平均值 (℃)	T_3 序列 平均值 (℃)	T_1 序列平均 变化速率 (℃ /10 a)	T_2 序列平均 变化速率 (℃ /10 a)	T_3 序列平均 变化速率 (℃ /10 a)
1905~1950	0.18	0.14	0.57	0.170	0.085	-0.085
1951~2005	0.03	0.02	0.60	0.117	0.120	0.003
1905~2005	0.10	0.07	0.59	0.014	0.009	-0.005

另外,新序列并没有表现出更明显的增温趋势(图 3)。究其原因,在 1905~1950 年, T_1 、 T_2 序

列的变化趋势基本吻合, 1928年前多数年 T_1 略低于 T_2 , 1928年后多数年 T_1 略高于 T_2 , 使 T_1 的增温速率 ($0.017^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$) 大于 T_2 的增温速率 ($0.0085^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$); 而在 1951~ 2005 年, T_1 、 T_2 序列几乎完全吻合, T_1 、 T_2 的增温速率几乎一致 ($0.117^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)。

不过 T_3 总是 > 0 一般差值在 $0.3\sim 0.9^{\circ}\text{C}$, 平均为 0.59°C , 即最高最低气温平均值大于同期定时气温平均值, 表明用新方法获得的平均气温序列要高于原气温序列。

特别关注 1951~ 2005 年间, T_1 、 T_2 平均气温增暖幅度为 0.64°C 和 0.66°C , 两种序列的增温幅度均小于全国平均增温幅度。任国玉等研究表明^[22], 中国 1951~ 2004 年期间平均地表气温变暖幅度约为 1.3°C , 增温速率约为 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

4 结论与讨论

本研究利用武汉和宜昌的平均气温序列作为参考序列, 对武汉区域的气温序列进行插补, 从而建立了武汉区域百年气温序列。对气温序列的研究发现, 1905 年以来年平均气温、年平均最低气温均呈上升趋势, 增温速率分别为 $0.014^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.026^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 年平均最高气温变化呈现微弱的下降趋势, 变化速率为 $-0.003^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 表明百年来武汉区域夜间增温趋势比较明显, 白天气温变化不大, 日较差呈减少的趋势。

四季气温序列大致的演变过程为“冷-暖-冷-暖”, 即 1910 s 以前、1950~ 1980 s 以负距平为主。1920~ 1940 s、1990 s 以后以正距平为主。和全球与全国的平均一样, 百年来武汉区域的增温主要发生在冬季和春季, 而夏季变凉趋势显著, 年较差呈扩大的趋势。

本文对 100 年来武汉区域气温变化的研究结果仍存在着一定的不确定性。最大的问题是 1905~ 1950 武汉区域的资料还不充分, 同时近 50 a 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^[23]的影响。如果去除城市化对地表气温的影响, 武汉区域 20 世纪后期的增温趋势将有所减小。

致谢: 感谢国家气象信息中心李庆祥博士提供中国均一化历史气温数据集 CHHT(1951~ 2004); 任国玉、唐国利、张强、翟盘茂等专家在本文研究中给与咨询和帮组, 在此一并表示感谢。

参考文献:

[1] Jones P D, Wigley T M L, Kelly P M. Hemispheric surface air temperature variations: recent trends and an update to 1987[J]. J Climate, 1988, 1: 654~ 660

[2] Mitchell J M. Recent secular changes of global temperature[J]. Ann NY Acad Sci, 1996, 95: 235~ 250.

[3] 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

[4] IPCC, Climate Change 2007: The Physical Science Basis[M]. Cambridge United Kingdom: Cambridge University Press, 2007: 996.

[5] 谢远元, 李长安, 王秋良, 等. 江汉平原 90 ka B. P. 以来的气候演化: 来自江陵剖面沉积物记录[J]. 地理科学, 2006, 26(2): 199~ 204.

[6] 朱西德, 王振宇, 李林, 等. 树木年轮指示的柴达木东北缘近千年夏季气温变化[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 256~ 260.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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

[10] 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

[11] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M]. / 秦大河. 中国西部环境演变评估 (第一卷). 北京: 科学出版社, 2002: 29~ 70

[12] Wang Shaoyu, Gong Daoyi. Enhancement of the warming trend in China[J]. Geophys Res Lett, 2000, 27: 2581~ 2584

[13] 郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近 50 年来气温变化特征的研究[J]. 地理科学, 2005, 25(4): 448~ 454

[14] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 499~ 505

[15] 柳艳菊, 闫俊岳, 宋艳玲. 近 50 年南海西沙地区的气候变化特征研究[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 499~ 505

[16] 陈正洪. 武汉、宜昌 20 世纪平均气温突变的诊断分析[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(1): 56~ 62

[17] 陈正洪, 王海军, 任国玉, 等. 湖北省城市热岛强度变化对区域气温序列的影响[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 771~ 779

[18] 陈正洪, 王海军, 任国玉. 武汉市城市热岛强度非对称性变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 282~ 286

[19] 郑祚芳, 祁文, 张秀丽. 武汉市近百年气温变化特征[J]. 气象, 2002, 28(7): 18~ 21

[20] 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): 781~ 788

[21] 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): 187~194

[22] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. 气候与环境研究, 2005 **10**(4): 717~ 817

[23] 刘 宇, 匡耀求, 吴志峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响——以广东东莞为例 [J]. 地理科学, 2006 **26**(5): 597~ 602

Surface Air Temperature Change of Last 100 Years over Wuhan Region

REN Yong-jian^{1, 2}, CHEN Zheng-hong^{1, 2}, XIAO Ying², SUN Jie², SUN Shan-ke³, LAI An-wei¹
(1 Wuhan Institute of Heavy Rain, Chinese Meteorological Administration, Wuhan, Hubei 430074; 2 Wuhan Regional Climate Center, Wuhan, Hubei 430074; 3 Key Laboratory of meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract Taking into account the non-uniformity of the temperature sequence, the annual and seasonal temperature series over Wuhan region during 1905 – 2005 were established through a reasonable interpolation. The results showed that annual mean temperature and annual mean minimum temperature had showed an upward trend with rates of 0.014℃ /10a and 0.026℃ /10a since 1905, whereas the annual mean maximum temperature was a weak downward trend with a rate of – 0.003℃ /10a. All these indicated that a warming trend over Wuhan region was more visible at night, yet little during daytime, and that the annual mean maximum temperature and mean minimum temperature had showed an asymmetric trend. The annual mean temperature and the annual mean maximum temperature had two warm times, which were 1920s– 1940s and 1990s up to the present. The summer and autumn temperature were higher during the first warm period, but the winter and spring were not obvious; moreover high temperature occurred in daytime. The four-season temperature was higher during the second period, the winter and spring were most obvious, but the summer was weak, moreover warm at night.

Key words air temperature series homogeneity examination, warming