

1951~2002年中国平均最高、最低气温及日较差变化

唐红玉^{1,2} 翟盘茂² 王振宇^{3,2}

1 青海省气象台, 西宁 810001

2 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

3 青海省气候资料中心, 西宁 810001

摘要 利用1951~2002年全国733个站点的月平均最高、最低气温资料, 对我国年、季平均最高、最低气温变化趋势的空间分布状况和时间变化特征进行了分析。结果表明: 近52年来, 我国平均最高气温的变化特征呈现北方增暖明显、南方变化不明显或呈弱降温趋势; 年平均最低气温全国各地基本一致, 呈明显的变暖趋势; 无论是年还是季, 平均最低气温的增暖幅度明显大于平均最高气温的增幅; 我国年平均日较差多呈下降趋势, 并在我国北方地区尤为明显, 各季平均日较差亦均呈下降趋势, 并以冬季的下降幅度为最大; 年平均最高气温和最低气温的变化在年代际变化上基本呈现较为一致的步伐, 即52年来主要的变暖均是从20世纪80年代中期开始, 均在90年代后期达到了近52年来的历史新高, 近年来又略有回落。

关键词 最高气温 最低气温 气温变化

文章编号 1006-9585 (2005) 04-0728-08 **中图分类号** P458 **文献标识码** A

On Change in Mean Maximum Temperature, Minimum Temperature and Diurnal Range in China During 1951—2002

TANG Hong-Yu^{1,2}, ZHAI Pan-Mao², and WANG Zhen-Yu³

1 Qinghai Meteorological Bureau, Xining 810001

2 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081

3 Qinghai Climate Data Center, Xining 810001

Abstract Based on monthly averaged surface air temperature data of 600 stations in China during 1951—2002, the spatial and temporal distributions of trends for mean maximum and minimum temperatures, as well as the daily temperature range are studied. Increasing trends of mean maximum temperatures are found in northern China, while weak decreasing or no obvious trends are detected in southern China. Mean minimum temperatures have increased all over China. Generally, increase in mean minimum temperatures is more dominant than that in maximum temperatures. As a result, annual mean diurnal range in temperature has decreased, especially in winter in northern China. Further analysis suggests variations in mean maximum and minimum temperatures are generally consistent, with the warming trends starting in the mid-1980s and the peaks in the late 1990s.

Key words maximum temperature, minimum temperature, temperature change

1 引言

20世纪以来, 由于全球气候变暖, 因而气候

变化问题越来越受到公众瞩目, 国内外一些学者曾对全球变暖背景下平均气温及平均最高、最低气温的变化及其原因做过一些研究^[1~10], 揭示了

收稿日期 2005-07-26 收到, 2005-12-09 收到修定稿

资助项目 中国气象局气候变化专项 CCSF2005-2-QH08

作者简介 唐红玉, 女, 1967年出生, 高级工程师, 主要从事气候预测及气候变化研究。E-mail: westhongyu@yahoo.com.cn

日夜温度变化的不对称性。翟盘茂等^[11]研究了1951~1990年中国最高、最低温度的时空变化趋势特点,认为中国最高温度在95°E以西及黄河以北地区普遍呈增暖趋势,而在东部黄河以南却呈降温趋势;最低温度在全国呈普遍增温趋势,在高纬地区增暖最明显。马晓波^[12]利用西北地区4个台站的月平均最高、最低气温等资料,研究了西北地区最高、最低气温的非对称变化,并与华北、中国东部及北半球进行比较,认为与华北地区和中国东部相比,西北地区非对称变化的幅度更大。马柱国等^[13]通过分析北方地区极端温度发生的频率及年极端温度和区域增暖的关系发现,当前的增暖趋势与极端最低温度发生频率的减少和年最低温度的升高密切相关,近10年极端最高温度的增加加剧了增温的幅度。翟盘茂等^[14]对中国北方近50年极端温度的研究认为,中国北方夜间温度极端偏低的天数显著趋于变小;白天温度偏高的天数则趋于增多。可以看出在我国北方地区,极端最低气温和极端最高气温都在趋于变暖。这些研究成果在揭示气候变化规律、更好地开发和利用气候资源保护生态环境等方面起到了积极的作用。

本文在资料积累和处理进一步完善的基础上,研究近52年来我国平均最高、最低温度和日较差的气候变化规律。

2 资料及其说明

本文使用的国内资料为中国气象局国家气象中心提供的1951~2002年全国733个站的月平均最高、最低气温资料。文中所指的年平均最高、最低气温为1~12月平均最高、最低气温的合计平均,春、夏、秋、冬季平均最高、最低气温分别为3~5月、6~8月、9~11月及12~2月平均最高、最低气温的合计平均。最高、最低气温距平基于1971~2000年30年的标准值为基础。各时段平均日较差为对应时段平均最高、最低气温的差值。

根据Karl等^[15]研究发现,台站迁移和仪器变更更可以使气候资料产生1℃以上的系统误差,资料在使用前剔除了变更较大的台站资料,考虑到城市热岛效应的影响,去掉了人口超过 5×10^5 的城市资料^[11]。最终使用参与计算的台站数1951~

1952年约为120~150个,1953~1956年约为240~400个,1957~1960年约为500~590个,从1961年开始即稳定保持在600~630个。为保持资料的完整性和计算结果的可靠性,故在分析中将1951~2002年及1961~2002年两个时段的资料分别进行了分析。

文中线性变化趋势及趋势的检验采用文献[16]中介绍的Kendall-tau方法,这是一种非参数检验方法^[17]。这种方法的优点在于它允许缺测值的存在,并且无需证明资料服从某一特定分布;此外,因为该方法的本质是用来检测资料的相对量级,故资料本身量级很小时,依然可以适用。在本研究中取著性水平 $\alpha=0.05$,若 $\tau<t_\alpha$,则认为显著的。

逐月平均最高、最低气温和日较差资料首先生成距平资料,然后被处理到 $2^\circ\times2^\circ$ 的经纬网格点上,区域变化序列为划定区域内格点值的平均。为滤去5年以下的高频变化,本文对温度序列采用了11点滑动平均。

3 全国平均最高、最低气温及日较差变化

3.1 年平均最高、最低气温

图1为1951~2002年中国年平均最高气温变化趋势分布,可以看出我国大部分地区的年平均最高气温都是趋于变暖。年平均最高气温趋势变化在空间分布上呈现由南向北逐渐递增趋势,并以长江(约30°N)为界,我国南、北部地区呈现明显不同的变化趋势,其中北部地区和95°E以西地区增暖趋势更为明显,增暖幅度大多在0.1~0.6℃/10a之间;30°N以南的南部地区,除青藏高原呈较为明显的增暖趋势外,其余地区基本呈变化不明显或弱的降温趋势,变化趋势大多在-0.1~-0.1℃/10a之间。总体而言,近52年来我国平均最高气温的变化特征为:北方增暖明显,南方变化不明显或呈弱降温趋势;增暖幅度最大的地区在东北北部、华北北部和西北北部地区,主要降温区位于江南地区;青藏高原的增暖表现出与众不同的特征,主要表现在:与同纬度的其他地区相比,该地区的增暖程度更为明显。

年平均最低气温全国各地基本一致,呈明显

的变暖趋势(图2),尤其是北方地区,约以 35°N 为界,其以北地区增暖幅度明显大 35°N 以南地区,纬度越高,增暖幅度越大,增暖幅度大多在 $0.3\sim 1.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间。增暖幅度最大的地区是东北、华北、新疆北部地区和青藏高原东部。我国南方的大部分地区,年平均最低气温的增暖幅度相对较小,呈弱的增暖,变暖幅度大多在 $0\sim 0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间。可以看出,在青藏高原地区,年平均最低气温的变化呈现出与年平均最高气温相同的变化特征,即与同纬度的其他地区相比,该地年平均最低气温的增暖幅度明显偏大。

在资料累积到52年之后,年平均最高、最低气温变化的这种空间分布仍与文献[11]得出的

结论基本一致,即1951~1990年中国最高温度在 95°E 以西及黄河以北地区普遍呈增暖趋势,而在东部黄河以南却呈降温趋势;最低温度在全国呈普遍增温趋势,在高纬地区增暖最明显。

3.2 季平均最高、最低气温

在了解了全国年平均最高、最低气温变化趋势的空间分布之后,有必要对其年、季变化的具体量级进行更为深入的分析。表1是中国平均最高、最低气温的不同时段年、季变化趋势对比。

可以看出,1951~2002年,我国年平均最高气温呈增暖趋势,增温幅度为 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从各季的情况看,冬季的增暖趋势尤为明显,增暖幅度达 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其他季节也均呈不同程度的增

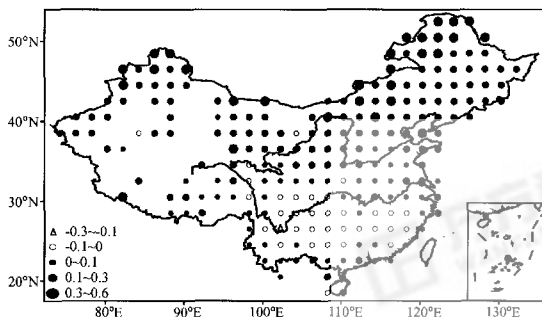


图1 1951~2002年期间年平均最高气温变化趋势(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

Fig. 1 Trends in annual mean maximum temperatures in China during 1951—2002 (units: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

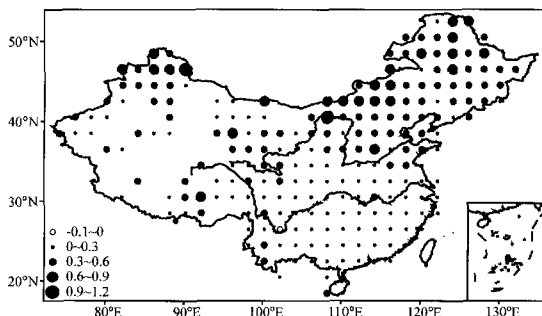


图2 1951~2002年期间年平均最低气温变化趋势(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

Fig. 2 Trends in annual mean minimum temperatures in China during 1951—2002 (units: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

表1 不同时段全国年、季平均最高、最低气温趋势比较

Table 1 Comparison of trends in seasonal and annual mean maximum and minimum temperatures in China $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$

时段 Period	项目 Item	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	年 Year
1951~2002	日较差 Diurnal range	-0.18*	-0.13*	-0.13	-0.23*	-0.17*
	平均最高气温 Mean maximum temperatures	0.10	0.03	0.09	0.25*	0.12*
	平均最低气温 Mean minimum temperatures	0.28*	0.15*	0.22*	0.49*	0.28*
1961~2002	日较差 Diurnal range	-0.22*	-0.17*	-0.09	-0.28*	-0.19*
	平均最高气温 Mean maximum temperatures	0.09	0.04	0.15	0.32*	0.14*
	平均最低气温 Mean minimum temperatures	0.31*	0.21*	0.23*	0.60*	0.33*

*表示在5%水平下具有显著意义 * are statistical significant under 5% level

温趋势,但相对较小,其中春季增温趋势明显,增暖幅度为 $0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,增暖速率位居冬季之后,其次为秋季,增温幅度为 $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,春季增温幅度相对较小,为 $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。从资料相对更为稳定的1961~2002年的情况看,无论是年还是季,全国平均最高气温均呈更为明显的增温趋势,其中年平均最高气温的增暖幅度为 $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。季的增暖趋势与52年的变化趋势略有不同,即冬季最为明显,增暖幅度高达 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其次为秋季,其增暖幅度基本接近年平均最高气温的变化趋势,为 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,春、夏季的增温幅度相对较弱,其中春季增暖幅度为 $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,夏季的增暖幅度为 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,夏季是平均最高气温增暖最弱的季节。

通过对平均最高气温年、季变化趋势的分析,可以得出以下结论:1)近52年来和近42年来,我国年平均最高气温均呈明显的增暖趋势,近42年来的增暖趋势超过了近52年来的增暖趋势;2)在季平均最高气温的变化中,以冬季的增暖最为明显,可以说在年平均最高气温的增暖中冬季的变暖是其主要的贡献者,夏季是平均最高气温增暖最弱的季节。

全国平均最低气温,其变化在总体上表现出与平均最高气温相同的变化趋势。年平均最低气温在两个不同时段均表现出明显的增暖趋势,近52年来的变暖趋势为 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,在1961~2002年的近42年里,以 $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速率变暖,增暖尤为明显。各季平均最低气温的变化状况为:近52年来的变化趋势与平均最高气温的变化趋势一样,各季均呈增暖趋势,所不同的是平均最低气温的增暖程度更强于平均最高气温,并以冬季的增暖最为强烈;冬季增温幅度为 0.49

$^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其次以春季的增暖相对明显,幅度为 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,秋季的增暖程度稍次于春季,增幅为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,夏季增温相对较弱,为 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。再来看近42年来平均最低气温各季的变化情况。这一时段,各季平均最低气温的变化趋势特征与52年来的变化特征相似,总体表现出明显的增暖趋势,增暖幅度最大的季节依旧在冬季,以高达 $0.60\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速率增暖,其次为春季,增暖幅度为 $0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,夏、秋季则以基本相同的速率增暖,增暖速率分别为 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,相对而言,夏季仍是平均最低气温增暖最弱的季节。

分析年、季平均最高气温的变化趋势结果,同样可以得出以下结论:1)无论是近52年还是近42年,我国年平均最低气温呈明显的增暖趋势;2)在季平均最低气温的变化中,以冬季的增暖最为明显,可以说在年平均最低气温的增暖中冬季的变暖起到了主要的作用;3)无论是年还是季,平均最低气温的增暖幅度明显大于平均最高气温的增幅。

3.3 日较差

图3是1951~2002年全国年平均日较差的空间分布。可以看出我国年平均日较差总体呈下降趋势。下降幅度较大的地区主要在东北、华北东北部、新疆北部和青藏高原地区,这些地区年平均日较差的下降幅度多在 $0.3\sim 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 之间;国内其他地区的年平均日较差多呈弱的下降趋势,下降幅度多在 $0\sim 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 之间。

1951~2002年,全国平均的年平均日较差变化呈现出与年平均最高、最低气温相反的变化趋势(见表1),近52年来平均日较差的变化趋势为 $-0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;1961~2002年近42年来的变化

趋势则表现出更高的下降幅度为 $-0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。各季的情况为：在1951~2002年来的近52年各季一致，均呈下降趋势；冬季平均日较差趋势表现出比其他各季更为明显的下降趋势，下降幅度为 $-0.23\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ；春季次之，降幅为 $-0.18\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ；夏、秋季平均日较差以相同的趋势下降，下降幅度为 $-0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。在1961~2002年的近42年来，平均日较差的变化更强烈地表现出这种变化趋势，在这一时段，冬季平均日较差的趋势为 $-0.28\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，下降幅度大于近52年来的变化幅度；其次为春季，下降幅度为 $-0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，明显大于近52年来的下降趋势；夏季位居第三，下降幅度为 $-0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ；秋季是各季节中平均日较差下降趋势最小的季节，下降幅度为 $-0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

通过对平均日较差的分析，可以看出：1) 近52年来和近42年来，我国年平均日较差均呈一致的下降趋势，近42年来的下降趋势超过近52年来的下降趋势，且这种下降趋势在我国北方地区尤为明显；2) 在季平均日较差的变化中，各季亦均呈下降趋势，冬季的下降幅度为最大。

平均日较差的这种变化与前面分析的平均最低气温的增暖幅度大于平均最高气温的增暖有关。

4 年平均最高、最低气温及日较差的年代际变化

4.1 年平均最高气温

图4是全国年平均最高气温距平变化曲线，可以看出，年平均最高气温的总趋势虽然是呈上

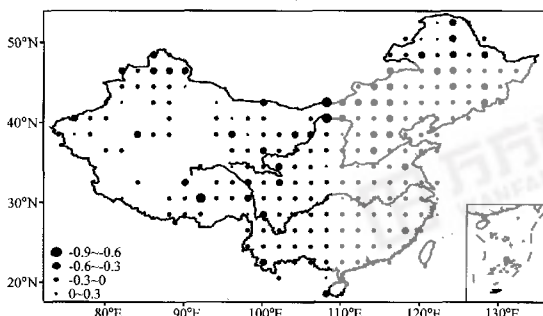


图3 1951~2002年期间中国年平均日较差变化趋势空间分布(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

Fig. 3 Trends in annual mean diurnal range in China during 1951—2002 (units: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

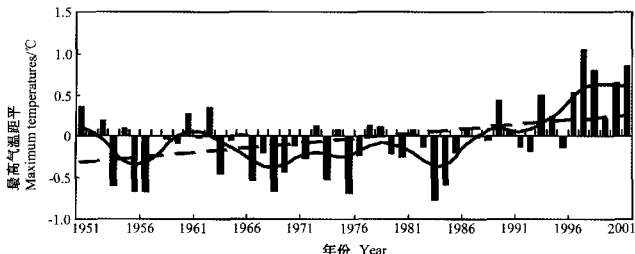


图4 全国年平均最高气温距平变化曲线(相对于1971~2000年标准值)

Fig. 4 All China mean maximum temperature variation (Solid bars are anomalies annual mean maximum temperatures; Solid line is filtered. Anomalies are referred to 1971—2000 averages)

升趋势,但其年际年代际变化还是有较多的小波动。年平均气温 20 世纪 80 年代中期以前没有很明显的升温阶段,且气温距平多在 0°C 以下。70 年代有一个弱的升温趋势,但程度较弱,最明显的升温起始于 80 年代中期,在经过 90 年代初期的波动之后继续攀升,于 90 年代末达到历史新高。近年来的变化仍很明显地表现出增温趋势,但幅度略有回落。

4.2 年平均最低气温

年平均最低温度的线性变化趋势与年平均气温的变化一致,呈升高趋势,只是最低气温的距平变化振幅比年平均气温大,使得这种增暖趋势比年平均最高气温的变化趋势明显(图 5)。其变化从 20 世纪 70 年代就开始了缓慢的升温,80 年代中期开始升温迅速,到 90 年代中期开始,升温加剧,与年平均最高气温的变化一致,同样在 90

年代末攀上了历史新高。年平均最低气温近几年来来的变化同年平均最高气温的变化有相同的特征,即增温趋势仍很明显,但幅度略有回落。

4.3 日较差

与年平均最高、最低气温的变化相对应,年平均日较差的变化总体呈下降趋势(见图 6)。从年代际的变化看,平均温度日较差在 20 世纪 60 年代以前有一较为明显的增加,从 60 年代初开始在波动中呈下降趋势,这种下降趋势持续到 90 年代初。从 90 年代开始,年平均日较差的下降趋势仍在持续,但幅度较前期已有明显回升。

对年平均最高、最低气温及年平均日较差的变化分析可以得出:年平均最高、最低气温的变化在年代际变化上呈现较为一致的变化特点,即 52 年来主要的变暖均是从 80 年代中期开始,均在 90 年代后期达到了近 52 年来的历史新高,在近年

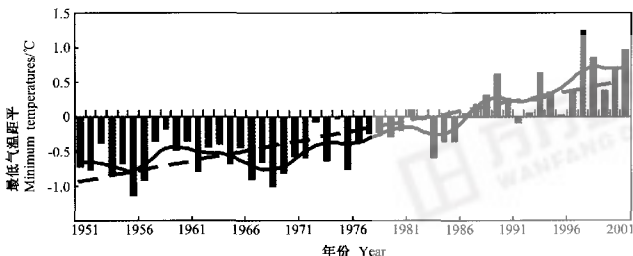


图 5 年平均最低气温距平变化曲线(相对于 1971~2000 年标准值)

Fig. 5 All China mean minimum temperature variation (Solid bars are anomalies annual mean minimum temperatures; Solid line is filtered. Anomalies are referred to 1971~2000 averages)

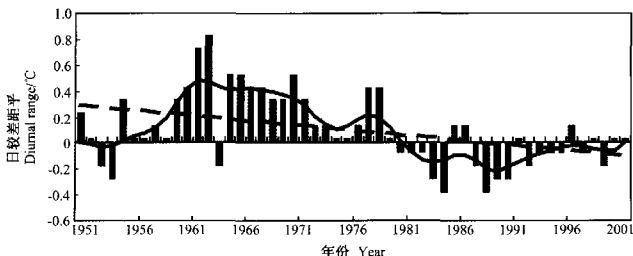


图 6 年平均日较差距平变化曲线(相对于 1971~2000 年标准值)

Fig. 6 All China mean diurnal range variation (Solid bars are anomalies annual mean diurnal range; Solid line is filtered. Anomalies are referred to 1971~2000 averages)

来又略有回落。年平均日较差的变化因为与年平均最高、最低气温的变化密切相关,故呈现出与之相对应的变化特征,近年来其变化呈回升状态。

5 结论

(1) 近 52 年来,我国平均最高气温的变化特征为:北方增暖明显,南方变化不明显或呈弱的降温趋势;增暖幅度最大的地区在东北北部、华北北部和西北北部地区,主要降温区位于江南地区;青藏高原的增暖表现出与众不同的特征,主要表现在:与同纬度的其他地区相比,该地区的增暖程度更为明显。年平均最低气温全国各地基本一致,呈明显的变暖趋势,尤其是北方地区,约以 35°N 为界,其以北地区增暖幅度明显大于 35°N 以南地区,纬度越高,增暖幅度越大,增暖幅度最大的地区是东北、华北、新疆北部地区和青藏高原东部。

(2) 在季平均最高气温的变化中,以冬季的增暖最为明显,夏季是平均最高气温增温最弱的季节。季平均最低气温同样以冬季的增暖最为明显。无论是年还是季,平均最低气温的增暖幅度明显大于平均最高气温的增幅。

(3) 近 52 年来,我国年平均日较差大多呈一致的下降趋势,这种下降趋势在我国北方地区尤为明显。在季平均日较差的变化中,各季亦均呈下降趋势,冬季的下降幅度为最大。

(4) 年平均最高气温和年平均最低气温的变化在年代际变化上基本呈现较为一致的步伐,即 52 年来主要的变暖均是从 1980 年代中期开始,均在 1990 年代后期达到了近 52 年来的历史新高,近年来又略有回落。年平均日较差的变化因为与年平均最高气温和年平均最低气温的变化密切相关,故呈现出与之相对应的变化特征,近年来其变化呈回升状态。

参考文献

- [1] Karl T R, Jones P D, Knight R W, et al. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1993, **74** (6): 1007~1023
- [2] 谢庄,曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化. *气象学报*, 1996, **56** (4): 501~507
Xie Zhuang, Cao Hongxin. The asymmetric change of maximum and minimum temperature in Beijing. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1996, **56** (4): 501~507.
- [3] 陈隆勋,朱文琴,王文,等. 中国近 45 年气候变化研究. *气象学报*, 1998, **56** (3): 257~271
Chen Longxun, Zhu Wenqing, Wang Wen, et al. Studies on climate change in China in recent 45 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1998, **56** (3): 257~271
- [4] 于淑秋,林学椿,徐祥德. 我国西北地区近 50 年降水和温度的变化. *气候与环境研究*, 2003, **8** (1): 9~18
Yu Shuqiu, Lin Xuechun, Xu Xiangde. The climatic change in northwest China in recent 50 years. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (1): 9~18
- [5] 李崇银,朱锦红,孙照渤. 年代际气候变化研究. *气候与环境研究*, 2002, **7** (2): 209~219
Li Chongyin, Zhu Jinhong, Sun Zhaobo. The study interdecadal climate variation. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (2): 209~219
- [6] 徐影,丁一汇,赵宗慈,等. 我国西北地区 21 世纪季节气候变化情景分析. *气候与环境研究*, 2003, **8** (1): 19~25
Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci, et al. A Scenario of seasonal climate change of the 21st century in Northwest China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (1): 19~25
- [7] 王琼,张铭. 中国及周边地区气温年际变化的研究. *气候与环境研究*, 2003, **8** (4): 451~456
Wang Qiong, Zhang Ming. A study of temperature change on decennary scale in China and peripheral area. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (4): 451~456
- [8] 王绍武,蔡静宁,朱锦红,等. 中国气候变化的研究. *气候与环境研究*, 2002, **7** (2): 137~145
Wang Shaowu, Cai Jingning, Zhu Jinhong, et al. Studies on climate change in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (2): 137~145
- [9] 唐红玉,翟磊茂. 1951~2002 年中国东、西部地区地面气温变化对比. *地球物理学报*, 2005, **48** (3): 61~69
Tang Hongyu, Zhai Panmao. Contrast of variations of surface air temperatures in eastern and western China during 1951~2002. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2005, **48** (3): 61~69.
- [10] 唐红玉,李锡福. 青海高原近 40 年来最高和最低温度变化趋势的初步分析. *高原气象*, 1999, **18** (2): 230~235
Tang Hongyu, Li Xifu. Preliminary analysis on maximum and minimum temperature change in Qinghai plateau during recent 40 years. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (2): 230~235

- [11] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. 气象学报, 1997, **55** (4): 418~529
Zhai Panmao, Ren Fumin. On change of china's maximum and minimum temperature in 40 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1997, **55** (4): 418~529
- [12] 马晓波. 中国西北地区最高、最低气温的非对称变化. 气象学报, 1999, **57** (5): 614~621
Ma Xiaobo. The asymmetric change of maximum and minimum temperature in northwest China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (5): 614~621
- [13] 马柱国, 符淙斌, 任小波, 等. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系. 地理学报, 2003, **58**, (9): 11~19
Ma Zhuguo, Fu Congbin, Ren Xiaobo, et al. Trend of annual extreme temperature and its relationship its regional warm in northern China. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2003, **58** (9): 11~19
- [14] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化. 地理学报, 2003, **58** (9): 1~10
Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over Northern China during the second half of the 20th century. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2003, **58** (9): 1~10
- [15] Karl T R, Jones P D, Knight R W, et al. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1993, **74** (6): 1007~1023
- [16] Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Trends in temperature extremes during 1951~1999 in China. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, **30** (17): 1913, doi:10.1029/2003 GL018004
- [17] Kendall M G, Gibbons J D. Rank Correlation Methods, 5th. London: Ukeward Arnold, 1981. 320