

张宁,孙照渤,曾刚. 1955—2005 年中国极端气温的变化 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31 (1): 123-128

## 1955—2005 年中国极端气温的变化

张宁,孙照渤,曾刚

(南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室,江苏 南京 210044)

**摘要:**利用 1955—2005 年中国 234 站逐日最高、最低气温资料,通过计算趋势系数等,研究了中国年、季极端气温变化趋势的时空特征。结果表明:空间分布上,我国年和四季的极端低温均表现出稳定的增温趋势;年、春季和夏季极端高温在黄河下游地区出现了较明显的降温趋势,而在华南地区增温趋势较显著;时间演变上,无论年还是四季,极端低温的增温幅度明显大于极端高温的增幅;极端气温在四季均有增温趋势,尤其以冬季的升温最明显;年极端高温和低温的年代际变化基本一致。

**关键词:**极端气温;趋势系数;时空特征;年代际变化

**中图分类号:** P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2008)01-0123-06

## Change of Extreme Temperatures in China during 1955—2005

ZHANG Ning, SUN Zhao-bo, ZENG Gang

(Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NU IST, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on daily maximum and minimum temperature data of 234 stations in China during the period of 1955—2005, the spatial and temporal features of trends of annual and seasonal extreme temperatures are studied by using modern statistical diagnostic methods such as the computation of trend coefficients. Results show the stably increasing trends of annual and seasonal extreme minimum temperatures all over China. Decreasing trends of extreme maximum temperatures are obvious in the lower reaches of the Yellow River in year, spring and summer; while increasing trends of extreme maximum temperatures are evident in South China. Increasing trends of extreme temperatures are detected in most areas of China, and the increase range of extreme minimum temperatures is greater than that of extreme maximum temperatures. Increasing trends of extreme minimum temperatures are found in every season, especially in winter. Further analysis suggests that interdecadal variations in extreme maximum and minimum temperatures are generally consistent.

**Key words:** extreme temperature; trend coefficient; spatial and temporal feature; interdecadal variation

## 0 引言

20 世纪以来,由于全球气候变暖,在此背景下的极端气温事件引起了众多学者的关注。政府间气候变化专业委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change,简称 IPCC)第三次评估报告(2001 年)指出<sup>[1]</sup>,极端天气事件是指某一地点或地区从统计分布的观点看不常或极少发生的天气事件。

国外的学者对全球变暖背景下的极端气温进行了一系列的研究<sup>[2-3]</sup>。

国内,江志红等<sup>[4]</sup>发现冬夏季平均最低气温、平均最高气温的空间形态基本都在 20 世纪 70 年代末到 80 年代初发生显著的变化。丁裕国等<sup>[5]</sup>利用旋转经验正交函数(Rotated Empirical Orthogonal Function,简称 REOF)对冬季平均最低气温和夏季平均最高气温进行客观区划,揭示了我国近半个世

收稿日期:2006-10-25;改回日期:2006-12-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40775059);“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2007BAC29B01-5);江苏省高校自然科学基金基础研究项目(07KJB170067)

作者简介:张宁(1981—),男,山东威海人,硕士,研究方向为短期气候预测,zhangsm4907@sina.com;孙照渤(通信作者),男,教授,博士生导师,sunzbp@yahoo.com.cn

纪冷夏、严冬气候异常的变化规律。翟盘茂等<sup>[6]</sup>研究了 1951—1990 年中国最高、最低温度的时空变化趋势,认为最低、最高温度的线性变化趋势表现出较为一致的年代际变化特点,但却反映出非常明显的不对称性。任福民等<sup>[7]</sup>研究认为,中国在 1951—1990 年里,极端最低温度和平均最低温度都趋于增高,但是季极端温度的变化趋势存在较大的季节性差异。翟盘茂等<sup>[8]</sup>指出,目前国际上在气候极值变化研究中最多见的是采用某个百分位值作为极端值的阈值,超过这个阈值的值被认为是极值,该事件可以看作是极端事件,由此对中国北方近 50 a 极端温度进行研究,认为在我国北方地区,极端最低气温和极端最高气温都在趋于变暖。潘晓华等<sup>[9]</sup>指出,我国极端温度事件频率呈 10 a 左右的年代际振荡,冬季全国增温趋势最大并且最明显。李如琦等<sup>[10]</sup>研究认为,江淮梅雨期的最高气温有明显的年代际变化特征,并且各个区域存在着显著差异。唐红玉等<sup>[11]</sup>分析认为,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幅度。

从上述研究看,众多学者的研究多以季平均最低、最高气温作为基本分析资料,或者以逐月气温资料中的绝对极端值作为研究对象,分析季平均或者年平均的极端气温问题,这种较长时间的平均可能平滑掉一些重要的极端特征。另外,在以往的研究中,趋势的比较往往采用回归系数,而本文采用的是无量纲的趋势系数,目的是研究和揭示中国大范围极端气温的长期变化,与回归系数做一个对比,并且结合前人对极端气温的定义方法,对极端气温进行了定义,然后以趋势系数来显示极端气温的长期变化。本文以逐日最高、最低气温为基础,通过仔细筛选站点,针对前人资料较短的情况,在较新的资料和处理进一步完善的基础上,利用 1955—2005 年的逐日最高和最低气温资料,通过确定极端气温阈值,进而确定极端气温值;通过趋势系数对选取的 234 个站点进行分析,并用蒙特卡洛检验来看其显著性,研究了 51 a 来我国极端气温的气候变化规律,以及气温是否更趋于极端化,以期对极端气温方面的研究加以充实和完善。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

采用中国国家气象信息中心整编的中国大陆 730 站 1951—2005 年的逐日最高温度、最低温度资料。考虑到某些站点有缺测的情况,选取了 1955—

2005 年总缺测日数小于 10 d 的 234 个站点资料,对年以及四季极端气温的时空演变特征进行分析。

### 1.2 极端气温的定义

本文在定义极端气温时,参考了文献 [3, 8-9, 12] 的极端气温的定义。首先将 1955—2005 年每个测站的逐年(季)日最高(低)气温资料按照降序排列第 5% (95%) 的值定义为该测站的年(季)极端高(低)温阈值。然后,年(季)极端高温定义为大于年(季)极端高温阈值的日最高气温的平均值;年(季)极端低温定义为小于年(季)极端低温阈值的日最低气温的平均值。

### 1.3 分析方法

#### 1.3.1 趋势系数的计算与检验

为了解气象要素的长期趋势变化,根据文献 [13-15] 的方法,计算极端气温与时间之间的相关系数(称为趋势系数)。这样定义的趋势系数是无量纲的,在  $[-1, 1]$  之间变化。可以证明,它就是标准化的一元线性回归系数,它消去了气象要素的均方差和单位对线性回归系数数值大小的影响,从而可以在不同的地理位置、不同的气象要素之间比较,特别适合于研究和揭露大范围气象场长期变化的空间变化特征。对计算的趋势系数进行蒙特卡洛显著性水平检验<sup>[14, 16-17]</sup>。

#### 1.3.2 时间序列的生成<sup>[7-8]</sup>

由于所选的全国台站在分布上东多西少,若按站点等权平均生成全国资料,会增加东部地区的权重,这样不能客观反映全国的总体平均状况。为了避免这种情况,先求各省的所有站点资料的平均,再做距平,可以得到省的资料,然后再采用按照省面积加权平均的方法得到中国的年平均资料,获得时间序列。本文对时间序列采用 11 点二项式平滑<sup>[8-9]</sup>。

## 2 极端高温、极端低温的空间变化

表 1 是年、季极端气温空间分布的趋势系数通过 0.05 显著性水平检验的站数,可以看出,不论是年还是四季,在通过 0.05 显著性水平检验的站点数上,极端低温都要多于极端高温。

### 2.1 年极端温度事件趋势变化的空间分布

图 1a 为 1955—2005 年中国年极端高温趋势变化的空间分布,可以看出我国黄河以北、105°E 以西地区以及华南地区的年极端高温都是趋于变暖的,只有在我国黄河下游以及长江中游地区有较显著的降温趋势。西北北部、华南地区是正趋势,趋势系数最高达到 0.6 以上,通过 0.05 显著性水平检验,增

温趋势显著。

表 1 年、季极端温度空间分布的趋势系数  
通过 0.05 显著性水平检验的站点数

Table 1 Numbers of stations, whose trend coefficients of annual and seasonal mean extreme temperatures are statistically significant at the 95% confidence level

	极端高温站点数	极端低温站点数
春季	60	112
夏季	51	144
秋季	70	129
冬季	48	203
年	60	217

图 1b 为 1955—2005 年中国年极端低温趋势变化空间分布,可以看出全国各地基本一致,呈现明显的增暖趋势,东北、华北、新疆北部、华东以及华南大部分地区趋势系数均在 0.4~0.7 之间,通过 0.05 显著性水平检验,增温趋势明显。通过比较可知,大部分地区极端低温的正趋势要比极端高温的大,最高的趋势系数达到了 0.7 以上,增温趋势显著。

### 2.2 季极端温度事件趋势变化的空间分布

在了解了全国年极端气温趋势变化的空间分布后,有必要对季极端气温趋势变化的空间分布进行深入分析。

春季(3—5月;图略)极端最高气温除了黄河下游地区、四川部分地区有弱的负趋势外,其他地区均呈现正趋势,但是趋势较弱。极端最低气温在全国范围呈现正趋势,在东北、华北、西北北部以及青藏

高原东部、云南部分地区均有显著的增温趋势,正趋势最高值达到 0.7 以上。

从图 2 可以看出,夏季(6—8月)极端最高气温依然在黄河下游有负趋势,其他大部分地区为正趋势,东北、西北以及华南地区增温相对明显,最高正趋势在 0.5 以上。而极端最低气温在全国范围内呈正趋势,总体来说,北方地区的增温趋势要大于南方地区的增温趋势,最高增温趋势可达 0.6 以上,通过了 0.05 显著性水平检验,增温趋势比较显著。

秋季(9—11月;图略)无论是极端最高气温还是极端最低气温均呈现全国范围的正趋势。但是,极端最高气温的正趋势较弱,在河套平原地区增温趋势较大,为 0.5 以上,通过了 0.05 显著性水平检验。极端最低气温在全国范围增温趋势均较明显,为 0.1~0.6 之间,西北北部地区、西南南部地区以及中国东南部地区增温相对显著。

从图 3 可以看出,冬季(12月至次年 2月)和秋季情况有些类似,不管是极端低温还是极端高温在全国大部分地区均呈增温趋势,并且在四季中增暖幅度最大。极端最高气温在河套地区西部以及华南地区、云南部分地区正趋势较明显,其值为 0.4 以上,通过 0.05 显著性水平检验,其他地区的增温趋势较弱;极端低温呈现全国性的正趋势,在北方地区正趋势显著,范围在 0.3~0.6,南方地区的正趋势也达到了 0.5 以上,通过了 0.05 显著性水平检验,增温趋势比较显著,总体来说北方地区增温趋势大于南方地区的增温趋势。

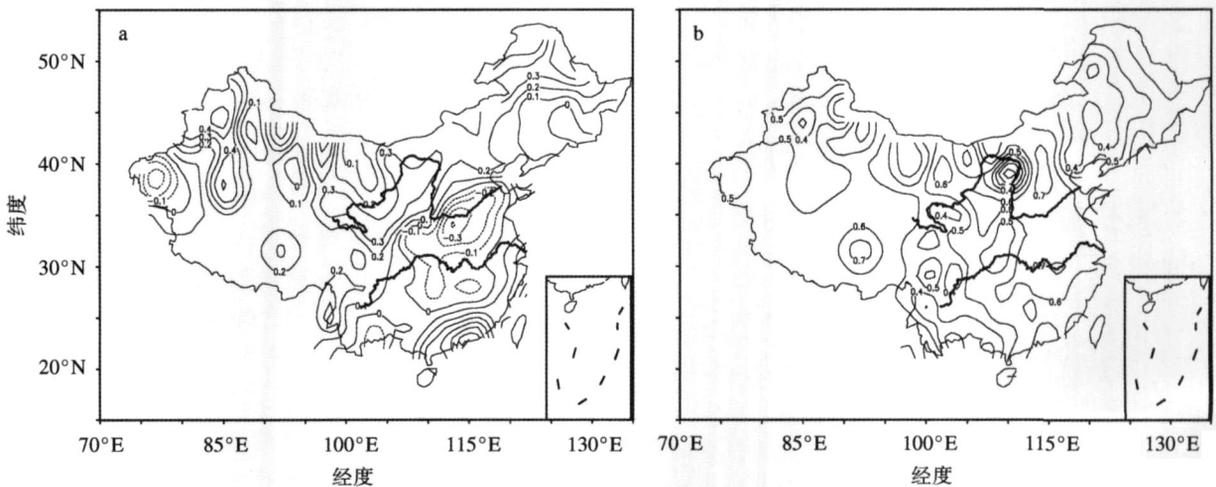


图 1 1955—2005 年中国年极端高温 (a) 和年极端低温 (b) 的趋势系数 (实线:正系数;虚线:负系数)

Fig 1 Trend coefficients for annual extreme (a) maximum and (b) minimum temperatures in China in 1955—2005 (solid line: positive value; dash line: negative value)

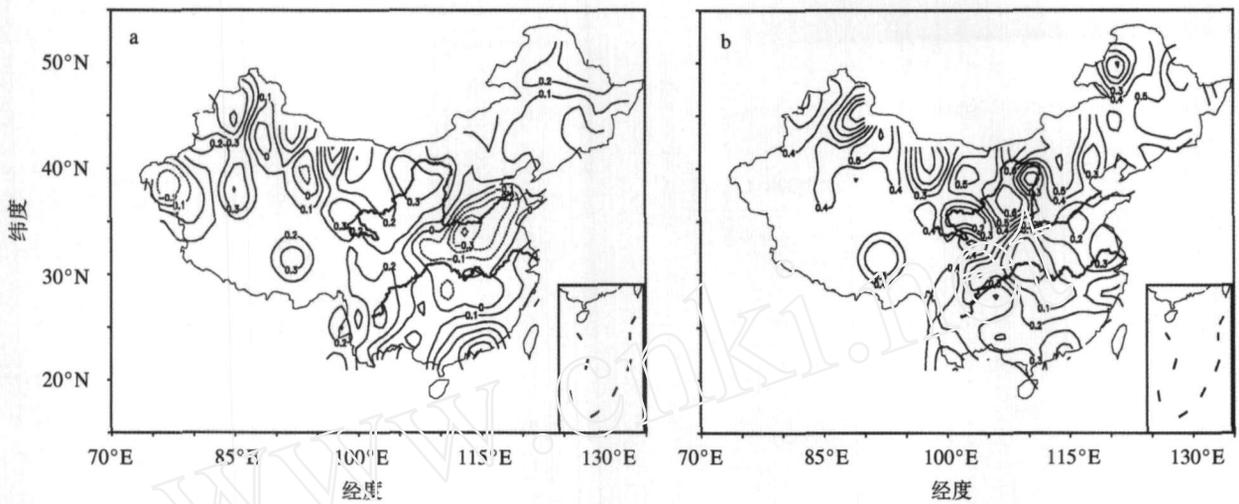


图 2 1955—2005年夏季极端高温 (a)和极端低温 (b)的趋势系数 (实线:正系数;虚线:负系数)

Fig 2 Trend coefficients for extreme (a) maximum and (b) minimum temperatures of summer in 1955—2005 (solid line: positive value; dash line: negative value)

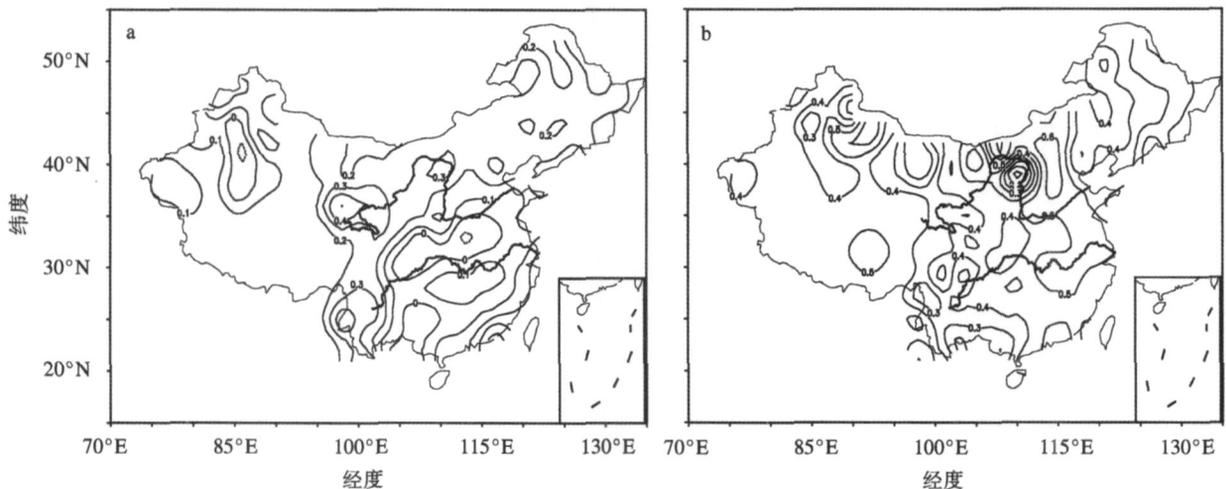


图 3 1955—2005年冬季极端高温 (a)和极端低温 (b)的趋势系数 (实线:正系数;虚线:负系数)

Fig 3 Trend coefficients for extreme (a) maximum and (b) minimum temperatures of winter in 1955—2005 (solid line: positive value; dash line: negative value)

### 3 全国极端最高、最低气温的时间序列

表 2给出了年、季极端温度距平变化的趋势系数以及回归系数,无论是年还是四季,趋势系数均通过 0.05显著性水平检验。

#### 3.1 年极端气温距平的时间序列

由图 4和表 2可以看出,年极端气温趋势系数均为正,但是年极端最低气温的正趋势要比极端最高气温明显,为 0.849,通过了 0.05显著性水平检

验,回归系数为  $0.74 / (10 \text{ a})$ ,即平均每 10 a 升温  $0.74$ 。从二项式平滑曲线上看,极端高温在 20世纪 90年代之前没有很明显的升温趋势,并且气温距平基本在 0 以下,90年代中期升温开始,到 90年代末达到历史新高,然后温度距平又呈下降趋势,近几年又有回升。极端低温从 1955年到 1980年之间在波动中逐渐攀升,20世纪 80年代中期以后升温加剧,在 80年代末 90年代初达到了历史最高点。此外,年极端气温均通过了 0.05显著性水平检验。

表 2 年、季极端温度距平变化的趋势系数和回归系数

Table 2 Trend coefficients and regression coefficients of annual and seasonal extreme temperature anomalies in 1955—2005

	春季		夏季		秋季		冬季		年	
	趋势系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	回归系数 / 系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	趋势系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	回归系数 / 系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	趋势系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	回归系数 / 系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	趋势系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	回归系数 / 系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	趋势系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )	回归系数 / 系数 (· (10 a) <sup>-1</sup> )
极端高温	0.295	0.120	0.383	0.130	0.460	0.230	0.329	0.260	0.395	0.120
极端低温	0.577	0.530	0.741	0.350	0.551	0.570	0.800	0.740	0.849	0.740

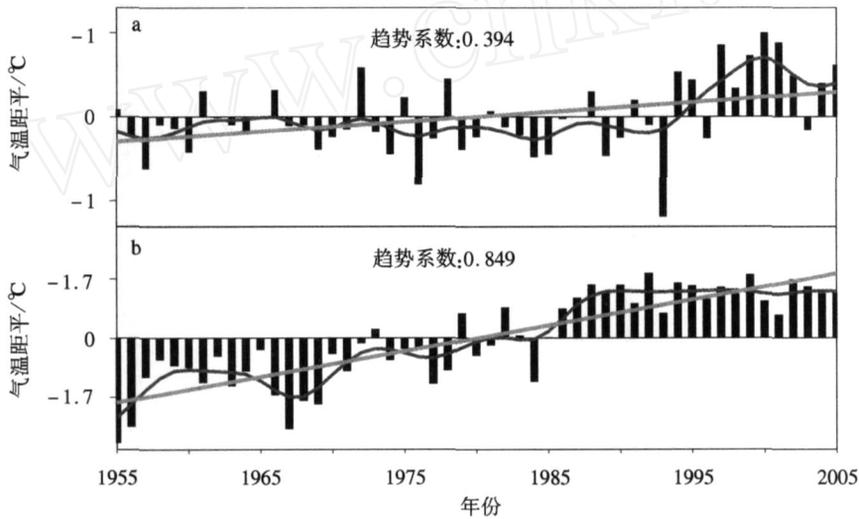


图 4 1955—2005年中国年极端高温 (a)和极端低温 (b)距平的变化 (柱状线为时间演变,滑动曲线是 11点二项式滤波,直线为线性拟合线)

Fig. 4 Variations of annual extreme (a) maximum and (b) minimum temperature anomalies in China in 1955—2005 (Bars for temporal evolution, running mean lines for 11-point binomial filtering, beelines for linear trends)

3.2 季极端气温距平的时间变化

春季 (图略) 极端气温均呈上升趋势, 极端低温的趋势要比极端高温的大。极端高温的趋势系数为 0.295, 增温幅度为 0.12 / (10 a), 1955年到 70年代中期, 气温距平呈现低—高—低的波动状态, 70年代中期到 80年代末, 气温没有显著变化, 90年代开始持续升温, 到 21世纪初达到最高点, 之后波动下降。极端低温趋势系数为 0.577, 增温幅度为 0.53 / (10 a), 20世纪 70年代中期之前, 气温距平均在 0 以下波动, 但波动幅度较大, 到了 80年代中期在历经小的升温之后, 又呈降温趋势, 80年代中期以后, 虽有小的波动, 但是气温总体上持续上升, 在 90年代末达到了最高点。

夏季 (图略) 极端高温趋势系数是 0.383, 增温幅度为 0.13 / (10 a), 总趋势是上升的, 但在 20世纪 90年代前有较多的小波动, 并且没有明显的升温阶段, 气温距平多在 0 以下, 90年代初期以后急剧升

温, 在 90年代末攀升达到历史新高。极端低温的趋势系数是 0.741, 增温幅度为 0.35 / (10 a), 20世纪 70年代之前温度变化不很明显, 70年代后在波动中缓慢升温, 90年代中期升温开始加剧, 在 21世纪初达到最高值, 之后有小幅度的波动。

秋季 (图略) 极端高温趋势系数是 0.463, 增温幅度为 0.23 / (10 a), 20世纪 80年代之前, 呈有规律的波动, 周期为 10 a 左右, 但大部分温度距平在 0 以下, 80年代之后持续升温, 90年代升温加剧, 90年代末达最高。极端低温总体上呈升温趋势, 但升温比较缓慢, 趋势系数是 0.551, 增温幅度 0.57 / (10 a), 增温幅度要比极端高温的大, 20世纪 80年代中期之前, 气温距平基本在 0 以下, 80年代中期以后一直到 2005年, 气温缓慢上升。

冬季 (图略) 极端高温趋势系数是 0.329, 增温幅度为 0.26 / (10 a), 20世纪 80年代之前气温距平呈高—低—高—低的波动状态, 之后急剧升温, 到 80

年代末有小的降温,之后又缓慢升温,在 21 世纪初达到最高值。极端低温总体呈上升趋势,在波动中增温,趋势系数是 0.800,增温幅度为 0.74 / (10 a), 20 世纪 70 年代中期之前有明显的年代际变化,从 70 年代中期以后逐渐升温,升温幅度较大,80 年代末到 21 世纪初期一直在升温,但程度较弱。

## 4 结论

(1)在空间分布上,不论是年还是四季,极端低温通过 0.05 显著性水平检验的站点数都要多于极端高温的站点数;极端最低气温的增暖趋势明显大于极端最高气温的增暖趋势;极端最低气温在年、四季里均表现出稳定增温的趋势,东北、华北北部地区、内蒙古中部和新疆北部地区增暖趋势较大;而极端最高气温在黄河下游地区的年、春季和夏季出现了较明显的降温趋势,在华南地区的年、夏季、秋季、冬季均有较明显的增温趋势。

(2)在时间演变上,无论年还是季,极端气温均呈上升趋势,并且极端最低气温的增暖趋势明显大于极端最高气温的增暖趋势,这与全球增暖的大背景是一致的;极端气温的增温不是集中在某个季节,而是在四季均有明显的增加,尤其以冬季的升温最为明显(冬季极端高、低气温升温幅度分别为 0.26 / (10 a)、0.74 / (10 a)),其次为秋季、春季、夏季;极端最高气温和极端最低气温的变化在年代际变化上基本上呈现较为一致的变化,即 51 a 来主要的变暖均是从 20 世纪 80 年代中期之后开始,在 90 年代中后期达到了历史新高,然后在近年略有回落。

## 参考文献:

[1] IPCC. Climate change 2001: Synthesis report [R]. Cambridge:

- Cambridge University Press, 2001: 373.
- [2] Karl T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change [J]. *Geophys Res Lett*, 1991, 18 (12): 2253-2256.
- [3] Mantou M J, DellaMarta P M, Haylock M R, et al Trend in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the south Pacific: 1961—1998 [J]. *Int J Climatol*, 2001, 21: 269-284.
- [4] 江志红,丁裕国,屠其璞. 中国近 50 年冬夏季极端气温场的年代际空间型态及其演变特征研究 [J]. *应用气象学报*, 1998, 10 (增刊): 97-103.
- [5] 丁裕国,江志红. 中国近 50 年严冬和冷夏演变趋势与区划 [J]. *应用气象学报*, 1998, 10 (增刊): 88-96.
- [6] 翟盘茂,任福民. 中国近四十年最高最低温度变化 [J]. *气象学报*, 1997, 55 (4): 418-529.
- [7] 任福民,翟盘茂. 1951—1990 年中国极端气温变化分析 [J]. *大气科学*, 1998, 22 (2): 217-227.
- [8] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化 [J]. *地理学报*, 2003, 58 (9): 1-10.
- [9] 潘晓华. 近五十年中国极端温度和降水事件变化规律的研究 [D]. 北京:中国气象科学研究院, 2002.
- [10] 李如琦,王谦谦. 江淮梅雨期 (6—7 月)最高气温的区域特征 [J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28 (3): 308-315.
- [11] 唐红玉,翟盘茂,王振宇. 1951—2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. *气候与环境研究*, 2005, 10 (4): 728-735.
- [12] 严中伟,杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局 [J]. *气候与环境研究*, 2000, 5 (3): 267-272.
- [13] 施能,黄先香,杨扬. 1948—2000 年全球陆地年降水量场趋势变化的时空特征 [J]. *大气科学*, 2003, 27 (6): 971-982.
- [14] 施能,魏风英,封国林,等. 气象场相关分析及合成分析中蒙特卡洛检验方法及应用 [J]. *南京气象学院学报*, 1997, 20 (3): 355-359.
- [15] 王颖,施能,顾骏强,等. 中国雨日的气候变化 [J]. *大气科学*, 2006, 30 (1): 162-170.
- [16] 施能,陈家其. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征 [J]. *气象学报*, 1995, 53 (4): 431-439.
- [17] 郭丽娜,施能,朱兴明,等. 东南亚地区年际降水变化及其与 ENSO 的关系 [J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29 (1): 88-93.