

孙建奇, 王会军, 袁薇. 2011. 我国极端高温事件的年代际变化及其与大气环流的联系 [J]. 气候与环境研究, 16 (2): 199-208. Sun Jianqi, Wang Huijun, Yuan Wei. 2011. Decadal variability of the extreme hot event in China and its association with atmospheric circulations [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (2): 199-208.

我国极端高温事件的年代际变化 及其与大气环流的联系

孙建奇^{1,2} 王会军^{1,2} 袁薇^{3,4}

- 1 中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029
- 2 中国科学院气候变化研究中心, 北京 100029
- 3 中国气象局培训中心, 北京 100081
- 4 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

摘要 利用 1957~2004 年全国 181 个气象台站观测逐日最高气温, 分析了我国年平均极端高温事件 (Extreme Hot Events, EHE) 日数、强度、最早发生日期 (EHE Onset Date, EHE-OD) 和最迟发生日期 (EHE Termination Date, EHE-TD) 的气候态及年代际变化的时空特征。气候态分析结果显示, EHE 的主要高发区位于我国东南部和新疆地区, 其年际变率的较大区主要位于我国东部, 新疆地区相对较小。我国 EHE 在过去 48 年中存在明显的年代际变化特征, 其中发生日数与强度变化一致, EHE-OD 和 EHE-TD 的变化相类似。按照 EHE 的时空变化特征, 可将我国分为南部、中部、北方东部和北方西部 4 个区。南部地区 EHE 的多发期主要集中在 20 世纪 60 和 80 年代, 中部地区为 60 和 90 年代, 北方地区为 90 年代。进而对造成这 4 个区域 EHE 发生异常的年际和年代际大气环流因子进行分析, 结果表明影响其年际和年代际变化的大气环流型是一致的。对北方地区而言, 影响因子主要是对流层中高层的位势高度异常; 而影响我国中部和南部地区的因子, 除了其上空中高层的位势高度异常外, 低层冷暖平流输送的作用也非常重要, 这两个因子的共同作用造成该地 EHE 的异常。

关键词 极端高温事件 大气环流 年代际变化 位势高度 冷暖平流

文章编号 1006-9585 (2011) 02-0199-10 **中图分类号** P468.0+21 **文献标识码** A

Decadal Variability of the Extreme Hot Event in China and Its Association with Atmospheric Circulations

SUN Jianqi^{1,2}, WANG Huijun^{1,2}, and YUAN Wei^{3,4}

- 1 Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029
- 2 Climate Change Research Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029
- 3 China Meteorological Administration Training Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081
- 4 Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089

收稿日期 2009-11-10 收到, 2010-12-20 收到修定稿

资助项目 国家科技支撑计划项目 01 课题 2007BAC03A01, 国家重点基础研究发展规划项目 2009CB421406, 中国科学院知识创新工程领域前沿项目 IAP07412, 城市气象科学研究基金 UMRP200809, 国家人事部留学回国人员科技活动择优资助项目

作者简介 孙建奇, 男, 博士, 主要从事大气遥相关及其对东亚气候和极端天气气候的影响研究。E-mail: sunjq@mail.iap.ac.cn

Abstract Using observational daily maximum temperature of Chinese 181 stations for the period of 1957–2004, the spatio-temporal features of the climatology and decadal variability of the extreme hot event (EHE) frequency, intensity, onset date (EHE-OD), and termination date (EHE-TD) are investigated. The climatological analysis indicates that southeastern China and Xinjiang are the two major domains for the EHE, and eastern China is a region with a strong interannual variability. The EHE experienced strong decadal variability in the last 48 years. The variabilities of the frequency and intensity are consistent, and the variabilities of the EHE-OD and EHE-TD are similar. Based on the EHE spatio-temporal feature, the whole China can be divided into four sub-regions: Southern China, central China, eastern northern China, and Northwest China. The EHE frequency is high in the 1960s and the 1980s for southern China, in the 1960s and the 1990s for central China, and in the 1990s for northern China. Further, the atmospheric circulations which are responsible for the interannual and decadal variability of the EHE in the above four sub-regions are explored. It suggests that the circulations impacting on the interannual and decadal variability are consistent. For northern China, the major circulation is the overlying geopotential height anomaly at middle-to-upper levels. For southern and central China, the major circulations are the overlying geopotential height anomaly at middle-to-upper levels and temperature advection by the meridional wind at lower levels.

Key words extreme hot events, atmospheric circulation, decadal variability, geopotential height, temperature advection

1 引言

相较气候的长期变化, 极端天气、气候事件对全球生态系统及人类社会的影响程度要大很多 (Karl and Easterling, 1999; Easterling et al., 2000)。因此, 在近期的全球气候变化研究中, 极端天气、气候的变化特征备受关注, 尤其是在全球变暖的背景下, 极端天气、气候将如何演变已成为社会各界关注的焦点。

在对已有相关研究结果综合分析后, IPCC (2007) 第四次评估报告指出, 就全球平均而言, 大多数极端天气、气候事件的发生频次和强度在 20 世纪后半叶呈现出显著增加的趋势, 并在 21 世纪还有继续增加的可能。这说明全球变暖对极端天气、气候事件的影响非常重要。另一方面, 一些研究也表明, 极端天气、气候事件的变化具有很强的局地特征。在一些区域, 它的发生会增加, 而在另外一些地区则减少。Alexander et al. (2006) 利用全球历史观测资料, 综合分析了极端气温和降水事件的变化趋势, 发现极端天气、气候事件发生区域的不均一性非常明显, 因此细致分析区域尺度极端天气、气候事件的变化异常, 对于更好地理解全球变化的区域气候响应非常重要。

我国地处亚洲东部, 特殊的地理位置决定了

我国是一个气候敏感区, 极端天气、气候事件发生频繁、剧烈。据统计, 每年由于气象灾害所造成的经济损失大约在 2000 亿人民币。这些损失的大部分是由极端天气、气候事件所导致。在这些极端天气、气候事件中, 极端高温是非常重要的, 这也正是本文重点研究的对象。

关于极端高温的研究, 我国学者已作了一些工作。研究指出, 从全国平均的角度来看, 我国极端高温在过去几十年的变化趋势较弱 (翟盘茂和任福民, 1997; 任福民和翟盘茂, 1998; Zhai et al., 1999; 严中伟和杨赤, 2000; 张宁等, 2008)。而从区域的尺度来看, 它的变化特征非常复杂。翟盘茂和任福民 (1997) 指出在我国 95°E 以西和黄河以北的大部分地区, 极端高温是增加的, 而在黄河以南地区则是降低的。Xu et al. (2009) 的研究也表明我国华北和高原东部地区极端高温呈现出增加的趋势。Zhai et al. (1999)、翟盘茂和潘晓华 (2003) 进一步的工作指出我国北方地区的极端高温事件 (Extreme Hot Event, EHE) 日数在过去 50 年中略微减少。而 Ding et al. (2009) 的研究显示我国大部地区, 尤其是北方地区 EHE 日数呈现出显著的增加趋势。史军等 (2009) 在分析华东极端高温的变化时, 发现该地极端高温主要表现出年代际的变化特征。张宁等 (2008) 的研究表明我国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,

而在华南地区的年、夏季、秋季、冬季均有较明显的增温趋势。除上述观测资料的分析结果外，对温室气体增加的敏感性试验结果显示，我国气温和 EHE 在全球变暖的背景下有可能显著增加（王会军等，1992；Gao et al., 2002；张勇等，2008）。

全球变暖对气候变化的影响主要表现在长时间尺度上，所以之前关于我国极端高温的变化研究，基本上都集中在长期趋势的探讨上。但是上述研究结果得出的我国 EHE 的趋势变化有所差异，这主要是因为不同研究选择的研究时段不同而造成。趋势结果的差异从另一方面也显示出我国 EHE 的变化应该具有较强的年代际特征，因此研究时段的选择对趋势变化的研究结果才会有很大的影响。由此，探讨全球变暖背景下我国 EHE 变化的年代际特征就显得十分有意义。虽然之前也有一些研究涉及到年代际部分，但是大多都针对最高温度本身，或者某个区域 EHE 发生日数。从全国大范围尺度、多参数来综合分析我国 EHE 的年代际时空变化特征较少，对其形成原因探讨的工作就更少。所以，本文将基于 EHE 的 4 个主要表述参量：发生日数、强度、最早发生日期（EHE Onset Date, EHE-OD）、最迟发生日期（EHE Termination Date, EHE-TD），对过去 48 年我国 EHE 的气候态和年代际变化特征作综合分析。并在此基础上，利用欧洲中期预报中心全球大气环流再分析资料（ERA-40），探讨引起我国 EHE 年际和年代际变化的可能原因及其异同点。

2 资料

2006 年，中国气象局公布了一套新的高质量观测资料（中国均一化的历史气温资料集 CHHT1）（Li et al., 2009）。这套资料是对我国台站日平均、日最高、日最低气温资料进行严格质量控制的基础上完成的。其中，中国大陆地区国际气象组织定义的 194 个国际交换站的资料现已对外发布。考虑到缺测问题，本文选择 1957~2004 年资料齐全的 181 个台站（站点的位置可参见图 2），这 181 个台站比较均匀的分布于除青藏高原之外的我国大部地区，因此该资料可以较好的反映我国 EHE 的整体和区域变化特征。

关于极端高温日的定义方式有几种。本文选择我国气象部门定义的极端高温日标准，即日最高气温大于或等于 35 °C 的日期；EHE 的强度定义为极端高温日最高气温与 35 °C 的差值，差值越大表示该 EHE 越强；EHE-OD，指的是当年中最早发生极端高温日的日期；EHE-TD，指的是当年中最晚发生极端高温日的日期。

考虑到 NCEP 再分析大气环流资料在我国区域 1979 年之前的可靠性问题（徐影等，2001；黄刚，2006），本文选择 ERA-40 进行研究，已有资料对比工作显示该资料在我国区域具有相对较高的可信度（黄刚，2006）。

3 我国 EHE 的气候特征分析

本文首先分析我国 EHE 的气候态及年际变率分布，这是了解其基本时空变化特征的基础。图 1a 和 1b 为 1961~2000 年我国年平均 EHE 发生日数的气候态及其方差分布图。可以看到，EHE 发生日数存在 2 个主要大值区，一个位于我国东南部，一个位于新疆地区。从数值上看，新疆地区的日数要高于我国东南部。但是从日数的年际变率来看，我国东南部则为变化最剧烈的地区，该地区年平均 EHE 发生日数的均方差可以达到气候平均值的 1/3~1/2，而新疆地区则小于平均值的 1/5。

EHE 强度的气候态分布与日数的很相似（图略），2 个大值区也分别位于我国东南部和新疆地区。EHE 强度变化的大值区主要位于我国东部北方地区，该地 EHE 强度的均方差数值与其气候态的数值基本相当。

我国大部分地区 EHE 一般开始于 6、7 月份（图 1c），结束于 7、8 月份（图 1e）。平均而言，我国中南部和新疆地区，EHE 的持续时间在 3 个月左右，东部北方地区为 1 个月或者以下。我国东部地区 EHE 发生迟早的均方差大部分都在 20 多天，新疆地区相对较少，为 10 多天（图 1d 和 1f）。

以上分析表明，新疆和我国中南部地区为 EHE 的 2 个主要大值区，其中以新疆地区为最强。但是，新疆地区 EHE 的变率却相对较小，这可能与新疆地区独特的气候和地理位置有一定关

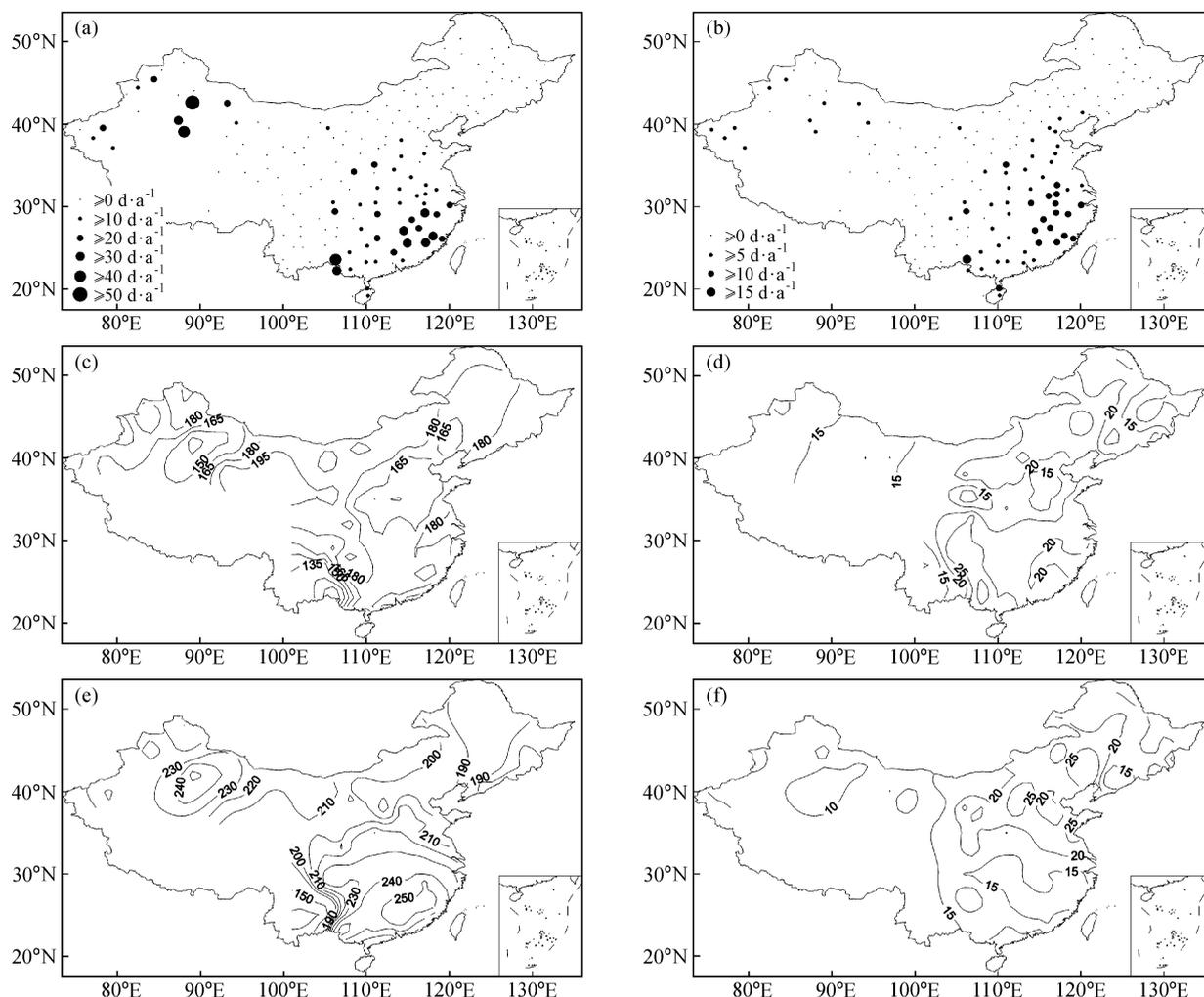


图1 1961~2000年我国年平均 (a) EHE发生日数及 (b) 其均方差, (c) EHE-OD (单位: 儒略日, 元月1日为儒略日第一天) 及 (d) 其均方差 (单位: d), (e) EHE-TD (单位: 儒略日) 及 (f) 其均方差 (单位: d) 分布

Fig. 1 Geographical distribution of (a) the EHE frequency and (b) its standard deviation, (c) the EHE-OD (Julian day, 1 Jan is Julian day 1) and (d) its standard deviation (d), (e) the EHE-TD (Julian day) and (f) its standard deviation (d) for the period of 1961-2000

系。新疆地处亚洲大陆腹地, 盛行典型的干旱半干旱气候。该地的年降水量很少, 平均在 150 mm 以下, 植被稀少导致地表反照率较高, 还有该地的日照时间较长等。在这些因素共同作用下, 导致新疆地区近地面层大气得到较多的太阳短波辐射和地表长波辐射。另一方面, 新疆地区盆地地形, 可以加剧低层大气热量的积累。由此, 使得新疆地区近地面温度在白天迅速升高, 易达到极端高温的标准。所以新疆地区虽然纬度较高, 但是该地 EHE 发生日数却较多、EHE 强度较强, 同时高温发生的较早, 结束的较晚。一般来讲, 某一地区的地形、日照时间和地表反照率的年际

变化较小或者不变化, 年平均小于 150 mm 的降水 (主要集中于冬季降雪) 对气温升高的抵消作用又很微弱。这些影响因子的稳定性, 有可能很大程度上决定了新疆地区 EHE 变化的稳定性, 所以其变率相对其气候态的分布而言, 要较其他地区小很多。而我国东部地区, 为典型的季风性气候, 气候变率很大 (Wang, 2001), 相应该地的 EHE 发生的变率自然也偏大。

4 我国 EHE 的年代际变化特征

图 2 为 1961~2000 年间我国每 10 年平均的

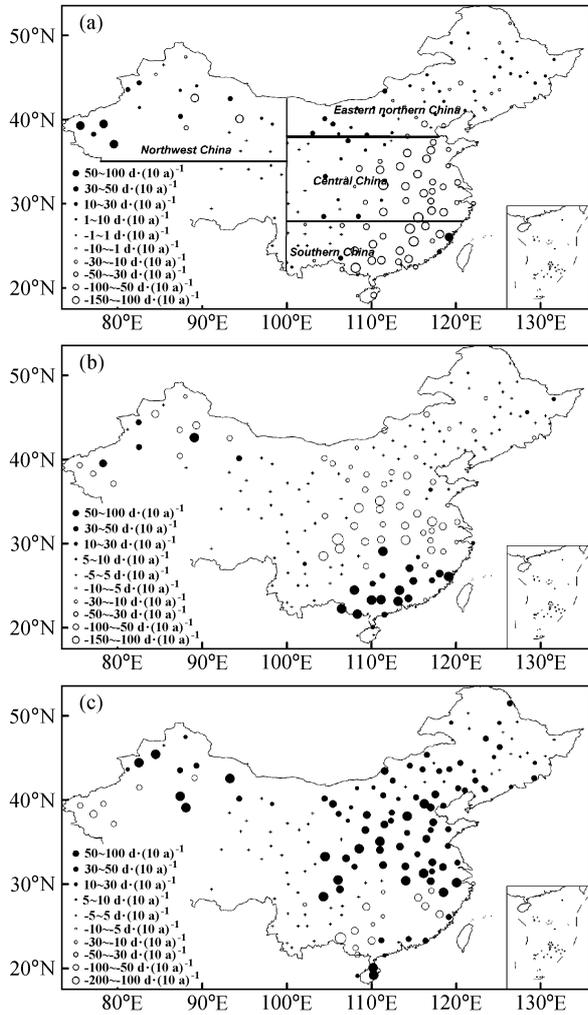


图2 1961~2000年我国年平均EHE发生日数年代际变化分布：(a) 1971~1980年与1961~1970年平均值差值；(b) 1981~1990年与1971~1980年平均值差值；(c) 1991~2000年与1981~1990年平均值差值

Fig. 2 Decadal changes of the EHE frequency for the period of 1961-2000: (a) Difference of the means between 1971-1980 and 1961-1970; (b) difference of the means between 1981-1990 and 1971-1980; (c) difference of the means between 1991-2000 and 1981-1990

EHE发生日数的相对变化。可以看出，从上世纪60年代到70年代，除新疆西部和内蒙中部的少数站点外，我国北方绝大多数地区的EHE发生日数年代际变化不明显，而我国中部和南部地区绝大多数站点都呈现出显著减少的特征。从上世纪70年代到80年代，北方EHE发生日数的变化呈现出微弱的减少特征，而我国南部地区则表现出显著增加的特征。EHE发生日数在80年代到90年

代的变化与70年代到80年代的变化正好相反，此时我国南部地区EHE发生日数是减少的，而中部和北方地区则是增加的。

依照上述EHE发生日数的空间分布一致性特征，可将我国除青藏高原以外的地区划分为4个区，即南部、中部、北方东部和北方西部，如图2a所示。再将每个区域内多个站点平均的EHE发生日数定义为该区域EHE发生日数指数。从图3可以看到，这4个区域EHE发生日数存在很强的年际和年代际变化特征。我国南部地区EHE发生较多的时段主要集中在20世纪60和80年代，70和90年代相对较少；中部地区发生较多的时段主要是上世纪60和90年代，70和80年代极端高温发生的较少。我国北方地区EHE在上世纪90年代初之前，发生相对较少，而且年代际变化不明显，在90年代中后期发生日数显著增加。指数分析的结果与上面空间分析结果一致，进一步佐证了我国EHE较强的区域及年代际变化特征。

EHE强度的年代际变化表现出与发生日数相似的特征（图略）。从上世纪60年代到70年代，我国大部分地区EHE的强度都是减弱的。70年代到80年代的变化与80年代到90年代的变化也表现出反位相的特征：当我国南部EHE强度增强（减弱）时，我国中部和北方地区的高温强度则减弱（增强）。当然，相较EHE发生日数的空间分布，EHE强度空间分布的区域一致性要弱一些。

相对于EHE发生日数和强度的年代际变化，EHE-OD和EHE-TD的年代际变化的空间尺度要小很多，而且它们变化的分布与EHE发生日数和强度之间也没有明显的对应关系（图略）。但是，EHE-OD和EHE-TD两者的变化之间却具有一定的对应关系，即EHE-OD偏早（晚）的站点，EHE-TD也偏早（晚）。这一点清楚地反映在变化同号率的分析中。如表1所示，上世纪60到70年代，EHE-OD和EHE-TD变化的同号率为69%；70到80年代为76%；80到90年代为70%。可见对我国大多数站点来说，EHE-OD和EHE-TD之间存在较好的正相关关系。而且，EHE-OD提前（落后）的天数也与EHE-TD提前（落后）的天数基本相当。说明我国大部分地区EHE的持续时间在年代际尺度上是基本稳定的。

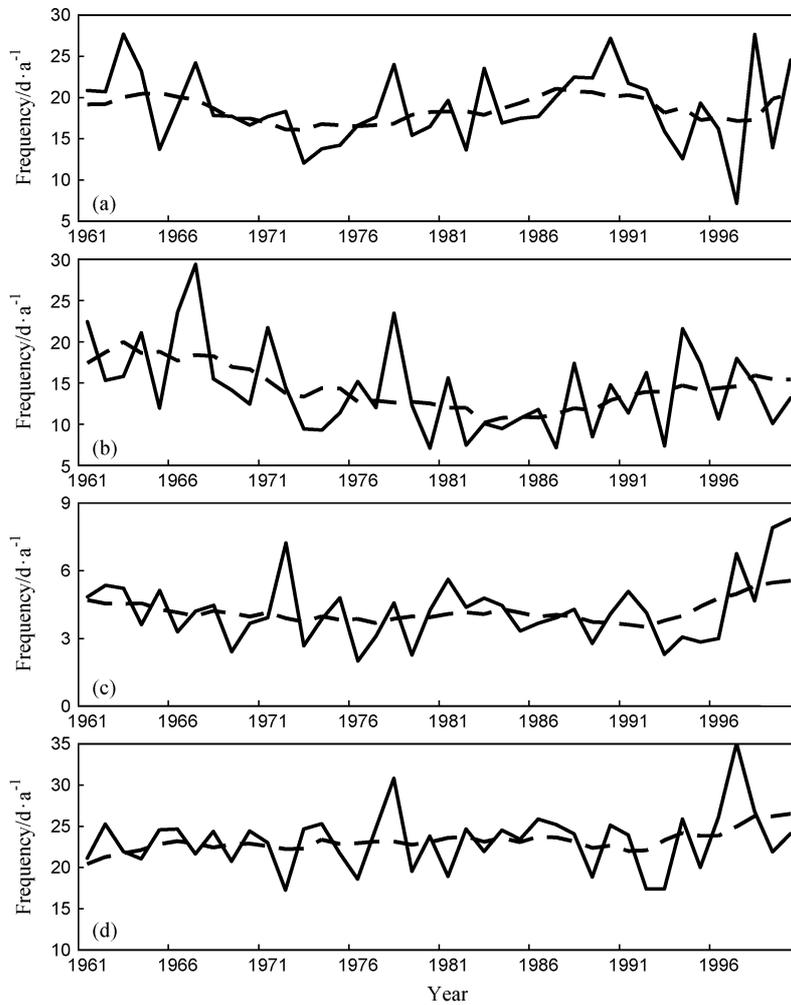


图3 1957~2004年我国年平均EHE发生日数(实线)及其9年滑动曲线(虚线): (a)南方; (b)中部; (c)北方东部; (d)北方西部

Fig. 3 Time series of the EHE frequency (solid line) and its 9-year running mean (dashed line) for the period of 1961–2000; (a) Southern China; (b) central China; (c) eastern northern China; (d) Northwest China

表1 EHE-OD和EHE-TD对比表
Table 1 Comparisons between the EHE-OD和EHE-TD

年代际变化同号率	EHE-OD和EHE-TD	偏早站点平均的偏早天数差值/d		偏晚站点平均的偏晚天数差值/d	
		EHE-OD	EHE-TD	EHE-OD	EHE-TD
1971~1980年与1961~1970年	69%	18.3	21.9	19.5	16.4
1981~1990年与1971~1980年	76%	19.7	20.2	17.8	25.4
1991~2000年与1981~1990年	70%	21.4	24.1	18.6	18.6

5 我国EHE的气候变化特征与大气环流的关系

之前的一些研究指出: 对流层中上层的位势

高度异常和低层温度平流是影响地表气温两个最重要的环流因子(孙建奇和王会军, 2006; Sun et al., 2008), 因此本文主要选择对流层中层500 hPa位势高度场和850 hPa风场进行分析。考虑到EHE发生日数和强度的变化的一致性, 为方便起

见，这里以 EHE 发生日数的指数为基础，考察我国 EHE 的气候变化特征与大气环流的关系。此外，前面的分析结果表明，我国极端高温日大都发生在 6、7 和 8 月份，因此本文后面的环流分析将主要针对夏季平均的情景。

首先，利用相关分析方法考察过去 48 年影响上述 4 个地区 EHE 年际变化的大气环流因子。图 4 给出的是我国南部、中部、北方东部、北方西部 4 个地区 EHE 发生日数指数与 500 hPa 位势高度场的相关分布。可以看到，某地 EHE 发生日数与其上空高度场呈现出显著的正相关关系。这是由于：正异常位势高度有利于一个地区维持良好的天气条件，晴朗的天气有利于太阳辐射到达地面，从而易于该地高温天气的形成。

高温指数与 850 hPa 经向风的相关结果显示(图 5)，我国南部和中部地区 EHE 与本地对流层低层经向风具有显著的正相关关系，当该地盛行偏南风时，暖空气被带到该地，致使气温升高，反之，偏北风则带来冷空气，使得温度降低。相

对而言，我国北方地区 EHE 的变化与低层温度平流的关系不是很明显，说明引起我国 EHE 变化的因子在我国南方和北方地区存在明显差别。

在上述年际变化环流因子分析的基础上，下面着重讨论引起过去 48 年我国 EHE 显著年代际突变的原因。为了突出年代际突变的特征，首先对我国南部、中部、北方东部和北方西部 4 个分区 EHE 发生日数进行 10 年滑动 t 检验，发现我国南部在过去 48 年中经历了 2 次显著的突变，突变时间分别为 1968~1969 年和 1982~1983 年，中部地区也发生了 2 次突变，时间分别为 1968~1969 年和 1994~1995 年，我国北方两区只发生了 1 次显著的气候突变，突变时间在 1994~1995 年。所以依据上述突变点和 ERA-40 资料，可将过去 45 年(1958~2002 年)分成 4 个时段进行研究，分别为 1958~1967 年、1970~1981 年、1984~1993 年、1996~2002 年。

图 6a 是 1970~1981 年夏季平均的 500 hPa 位势高度和 850 hPa 水平风场相对于 1958~1967 年

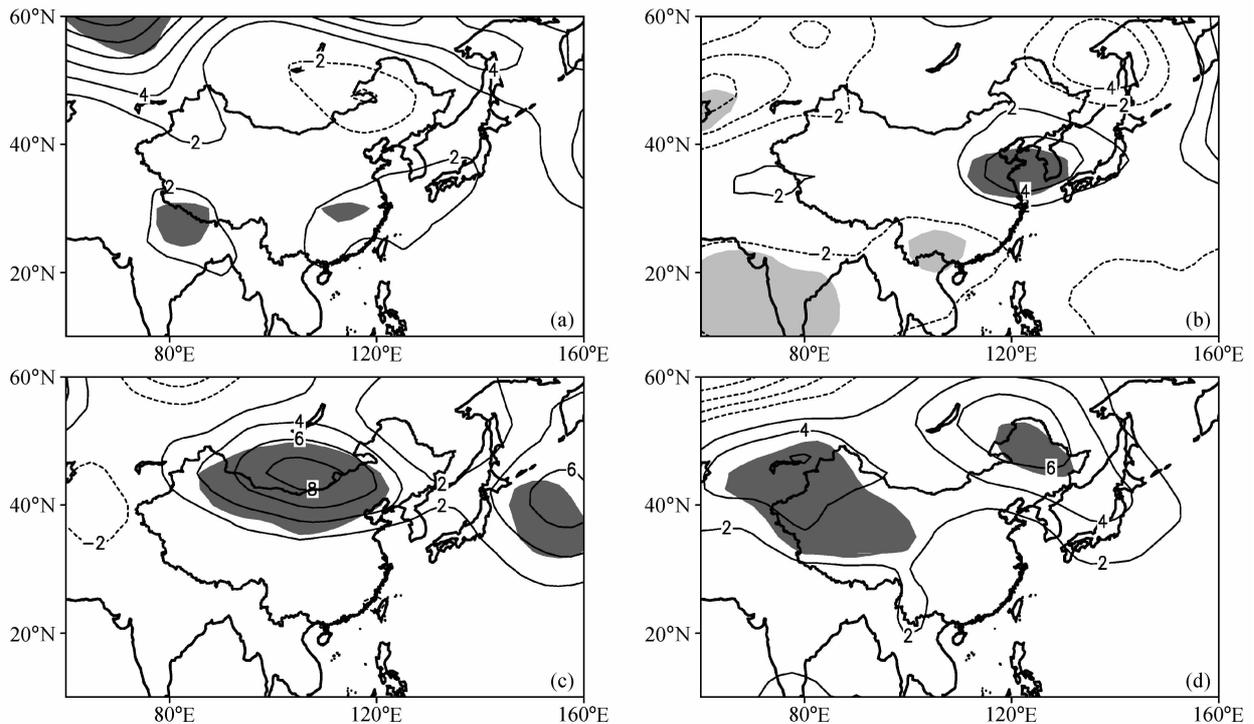


图 4 利用 1958~2002 年我国 4 个区域 EHE 发生日数指数线性回归的夏季 500 hPa 异常位势高度场(单位: gpm): (a) 南方; (b) 中部; (c) 北方东部; (d) 北方西部。深(浅)阴影区为正(负)相关大于 98% 信度检验的区域

Fig. 4 Linear regression patterns of summer 500-hPa geopotential height (gpm) based on the normalized EHE frequency over the four sub-regions for the period of 1958-2002: (a) Southern China; (b) central China; (c) eastern northern China; (d) northwest China. The positive (negative) correlations significant at the 98% confidence level are darkly (lightly) shaded

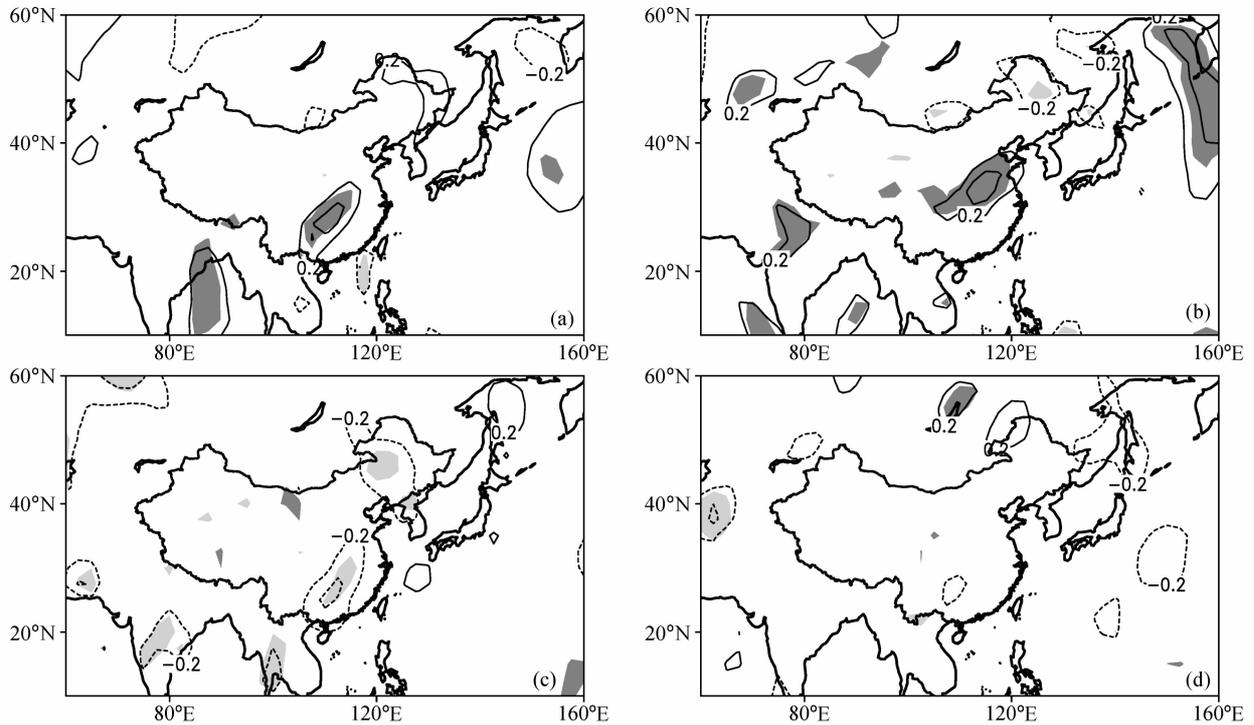


图5 利用1958~2002年我国4个区域EHE发生日指数线性回归的夏季850 hPa异常异常经向风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$): (a) 南方; (b) 中部; (c) 北方东部; (d) 北方西部。深(浅)阴影区为正(负)相关大于98%信度检验的区域

Fig. 5 Linear regression patterns of summer 850-hPa meridional wind ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) based on the normalized EHE frequency over the four subregions for the period of 1958–2002: (a) Southern China; (b) central China; (c) eastern northern China; (d) Northwest China. The positive (negative) correlations significant at the 98% confidence level are darkly (lightly) shaded

平均的差值。可以看到,在我国北方上空无显著的异常区分布,表明对流层中高层位势高度在这个年代际变化中没有发生大的变化,对应着我国北方地区的EHE也没有发生显著的气候突变。在我国南部和中部地区,虽然高空位势高度异常也不显著,但该地对流层低层却盛行强劲的异常偏北风,给该地带来冷平流,这种形势不利于我国中南部地区EHE的发生,这与前面EHE发生日数的实际观测结果相一致。

相对于时段1970~1981年而言,在时段1984~1993年,我国北方大部分地区的位势高度异常也不显著,所以我国北方地区的EHE在这个年代际变化中也不明显(图6b)。此时印度中北部地区存在一个显著的正异常位势高度区,由图6a可知,该区域的位势高度异常与我国南部地区的EHE变化存在显著的正相关关系,所以这预示着我国南方EHE将会增多;同时,在对流层低层 30°N 以南地区盛行西南风,表明该地为暖平流,高低空环流形势配合有利于我国南部EHE发生日

数增加,这也与前面分析结果完全吻合。

从时段1984~1993年到1996~2002年,我国中部和北方地区被显著的正异常位势高度所控制(图6c),这意味着我国中部和北方地区EHE发生日数将显著增加,所以我国中部、北方东部地区、北方西部地区EHE日数在20世纪90年代初发生了显著的年代际突变,呈现出增加的特征。而此时,我国南部大部分地区被上述强大正异常位势高度引起的异常东北风所控制,为该地带来冷平流,因此我国南方地区EHE发生日数减少。

如上分析表明,造成我国EHE年代际变化的大气环流型与影响其年际变化的相一致,正是由于东亚上空大气环流的年代际突变,造成了我国EHE发生的年代际异常。虽然本文也从气候学的角度统计分析了EHE-OD和EHE-TD的年代际变化特征,但是由于这两者的早晚很大程度上受某日极端天气系统的影响,因此,对于它们原因的探讨还应属于天气尺度的范畴,本文在此不作深究。

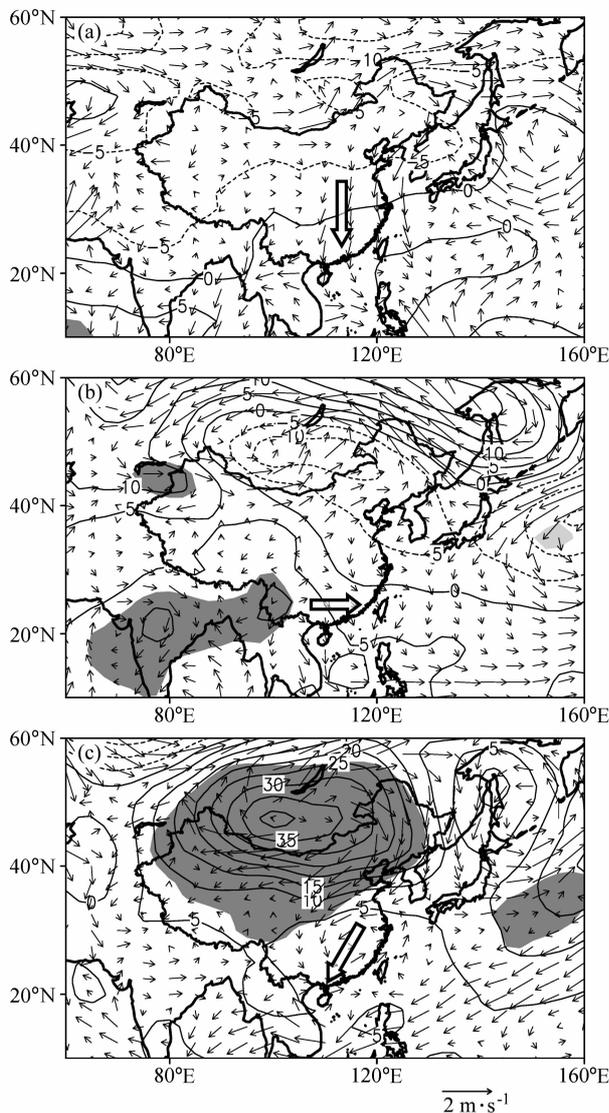


图6 1958~2002年东亚500 hPa位势高度场(等值线,单位:gpm)和850 hPa水平风场(单位: $m \cdot s^{-1}$)的年代际变化分布:(a)1970~1981年与1957~1967年平均值差值;(b)1984~1993年与1970~1981年平均值差值;(c)1996~2002年与1984~1993年平均值差值

Fig. 6 Decadal changes of the summer 500-hPa geopotential height (contour; units: gpm) and 850-hPa horizontal winds (vectors; units: $m \cdot s^{-1}$) for the period of 1958 - 2002: (a) Difference of the means between 1970 - 1981 and 1957 - 1967; (b) difference of the means between 1984 - 1993 and 1970 - 1981; (c) difference of the means between 1996 - 2002 and 1984 - 1993

6 结论

(1) 本文通过对我国1957~2004年181个气

象台站EHE发生日数、强度、EHE-OD、EHE-TD的气候态及其方差进行分析,发现我国东南部和新疆地区是EHE活动的2个主要大值区,新疆地区由于其独特地理位置,EHE上述4个量的年际变率相对较小,我国东部地区变率较大。

(2) 我国EHE发生日数在过去48年中呈现出明显的年代际变化特征。依照年代际变化的空间分布,我国EHE研究可以分为4个区,为南部、中部、北方东部和北方西部。我国南部地区的EHE在20世纪60和80年代发生较多,70和90年代发生较少,中部地区在上世纪60年代和90年代发生较多,70和80年代发生较少。我国北方地区EHE的显著增加主要集中在20世纪90年代中后期,之前则相对较少,而且年代际变化特征也较弱。总体来看,EHE发生日数和强度具有非常好的共变特征。EHE-OD和EHE-TD之间具有较好的共变特征。

(3) 对我国EHE异常影响因子研究表明,影响我国北方地区EHE发生异常的主要大气环流因子为其上空位势高度异常,当其偏高时,EHE发生日数偏多,反之偏少。影响我国中部和南部地区EHE异常的大气环流因子,除了其上空的位势高度异常外,还有低层大气的冷暖平流。造成我国EHE发生异常的年代际大气环流型与影响其年际变化的相一致。

参考文献 (References)

Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.

Ding T, Qian W H, Yan Z W. 2009. Changes in hot days and heat waves in China during 1961 - 2007 [J]. *Int. J. Climatol.*, doi: 10.1002/joc.1989.

Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. 2000. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81: 417 - 425.

Gao X, Zhao Z, Giorgi F. 2002. Changes of extreme events in regional climate simulations over East Asia [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 19 (5): 927 - 942.

黄刚. 2006. NCEP/NCAR和ERA-40再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化 [J]. *气候与环境研究*, 11 (3): 310 - 320.

Huang Gang. 2006. The assessment and differ-

- ence of the interdecadal variations of climate change in northern part of China with the NCEP/NCAR and ERA-40 reanalysis data [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 11 (3): 310-320.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [M]. Solomon S, Qin D, Manning M, et al., Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996pp.
- Karl T R, Easterling D R. 1999. Climate extremes: Selected review and future research directions [J]. *Climatic Change*, 42: 309-325.
- Li Q, Zhang H, Chen J, et al. 2009. A mainland China homogenized historical temperature dataset of 1951-2004 [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi: 10.1175/2009BAMS2736.1.
- 任福民, 翟盘茂. 1998. 1951~1990年中国极端气温变化分析 [J]. *大气科学*, 22 (2): 217-227. Ren Fumin, Zhai Panmao. 1998. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951-1990 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 22 (2): 217-227.
- 史军, 丁一汇, 崔林丽. 2009. 华东极端高温气候特征及成因分析 [J]. *大气科学*, 33 (2): 347-358. Shi Jun, Ding Yihui, Cui Linli. 2009. Climatic characteristics of extreme maximum temperature in East China and its causes [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 33 (2): 347-358.
- Sun J Q, Wang H J, Yuan W. 2008. Decadal variations of the relationship between the summer North Atlantic Oscillation and middle East Asian air temperature [J]. *J. Geophys. Res.*, 113, D15107, doi: 10.1029/2007JD009626.
- 孙建奇, 王会军. 2006. 东北夏季气温变异的区域差异及其与大气环流和海表温度的关系 [J]. *地球物理学报*, 49 (3): 662-671. Sun Jianqi, Wang Huijun. 2006. Regional difference of summer air temperature anomalies in Northeast China and its relationship to atmospheric general circulation and sea surface temperature [J]. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 49 (3): 662-671.
- 王会军, 曾庆存, 张学洪. 1992. 大气中CO₂含量加倍引起的气候变化的数值模拟研究 [J]. *中国科学 (B辑)*, 22 (6): 663-672. Wang Huijun, Zeng Qingcun, Zhang Xuehong. 1992. The numerical simulation of the climatic change caused by CO₂ doubling [J]. *Science in China (Ser. B)*, 36 (4): 451-462.
- Wang H. 2001. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 18: 376-386.
- 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 2001. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中的可信度的初步分析 [J]. *应用气象学报*, 12 (3): 337-347. Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci. 2001. Confidence analysis of NCEP/NCAR 50-year global reanalysis data in climate change research in China [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 12 (3): 337-347.
- Xu Y, Gao X, Shen Y, et al. 2009. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 26 (4): 763-772.
- 严中伟, 杨赤. 2000. 近几十年中国极端气候变化格局 [J]. *气候与环境研究*, 5 (3): 267-272. Yan Zhongwei, Yang Chi. 2000. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951-1997 [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 5 (3): 267-272.
- 翟盘茂, 潘晓华. 2003. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化 [J]. *地理学报*, 58 (9): 1-10. Zhai Panmao, Pan Xiaohua. 2003. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th Century [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 58 (9): 1-10.
- 翟盘茂, 任福民. 1997. 中国近四十年最高最低温度变化 [J]. *气象学报*, 55 (4): 418-428. Zhai Panmao, Ren Fumin. 1997. Maximum and minimum temperature change in China during recent 40 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 55 (4): 418-429.
- Zhai P, Sun A, Ren F, et al. 1999. Changes of climate extremes in China [J]. *Climate Change*, 42 (1): 203-218.
- 张宁, 孙照渤, 曾刚. 2008. 1955~2005年中国极端气温的变化 [J]. *南京气象学院学报*, 31 (1): 123-128. Zhang Ning, Sun Zhaobo, Zeng Gang. 2008. Change of extreme temperatures in China during 1955-2005 [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 31 (1): 123-128.
- 张勇, 曹丽娟, 许吟隆, 等. 2008. 未来我国极端温度事件变化情景分析 [J]. *应用气象学报*, 19 (6): 655-660. Zhang Yong, Cao Lijuan, Xu Yinlong, et al. 2008. Scenario analyses on future changes of extreme temperature events over China [J]. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 19 (6): 655-660.