

1961~2000 年中国极端高温事件的时空特征^{*}

周晓 黄菲^{**} 楚合涛 胡皓 董仕 刘骞

(中国海洋大学海洋环境学院 山东青岛 266100)

摘要 利用 1961 年~2000 年我国 506 个拥有较长时间序列的台站逐日最高气温的观测资料,给出了一种新的极端高温事件的综合判定方法,它不仅体现了“极端”小概率事件的基本特征,也参考了人的体感舒适温度突出了“高温”事件的灾害性影响。并在此基础上分析了全国极端高温事件频数和强度的时空分布特征,发现除中国西南部青藏高原东部地区的极个别台站外,我国大部分地区均出现了极端高温事件,但是其强度、频数以及发生季节有着较强的空间差异性。从极端高温事件的时间变化来看,其强度和频数的年际变化也存在很大的地区差异性,且与厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)现象有着较强的相关性,但不同地区表现形式有所不同。在北方地区,极端高温事件的发生与 ENSO 现象有着较强的同期相关性,即北方地区的极端高温事件多发生在厄尔尼诺发展年,而在一些南方地区特别是西南地区,极端高温事件则多发生在厄尔尼诺的衰减年。

关键词: 极端高温事件; 时空分布; 中国; ENSO

近百年来,地球气候正经历一场显著的增暖变化^[1],且气候变暖的趋势将在短期内难以逆转^[2]。气候变暖会使天气和气候极端事件的出现频率发生变化^[3]。大量的研究已经表明,极端气候事件(如洪水、干旱、台风、高温和低温等)所造成的经济损失是非常巨大的^[4-6],尤其是中国近几年发生了如南方雪灾、西南干旱等一系列的极端天气气候事件,引起了中国乃至世界的关注。与此同时全球气候变暖引起海平面上升,可见气温的异常变化是威胁全球的主要因素之一。在全球变暖的背景下,分析中国极端高温事件的时空分布,探讨中国极端高温事件的发生规律,这对于指导中国极端高温事件的预防,减少自然灾害造成的经济损失有重要意义。

对中国极端温度的研究已有不少工作^[7-16],多数关注极端温度事件的变化趋势和区域性特征,如任福民等^[7-8]给出了中国区域极端事件的季节特征和区域差异;马柱国等^[9]对中国北方年极端温度变化趋势的研究表明,近 50 年来中国北方干旱和半干旱地区最低温度发生的频率显著减少,而 20 世纪 90 年代之前,绝大多数地区最高温度发生的频率没有明显的变化趋势,但近 10 年来却有一个明显的增加趋势。王亚伟等^[10]分析了近 40 多年来我国南方地区最高气温的变化特征表明 1961—2004 年间,江南、华南地区年平均最高气温和年平均气温均有增加趋势,但夏季极端高温事件($\geq 35^{\circ}\text{C}$ 日数)并没有显著增加的趋势。杨馥祯等^[11]研究海南岛极端天气事件频率变化,初步表明海南极端天气事件频率变化与气候变暖有一定的内在关系。周后福等^[12]也分析了浙江省 2003 年夏季高温特征及主要原因。

^{*} 基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB951403)资助; 国家自然科学基金项目(40975038)资助。

^{**} 通讯作者: 黄菲(1971—),女,教授。Email: huangf@ouc.edu.cn

上述研究或是在空间上只针对中国某些地区^[7-11],或是在时间上只针对某一年或几年极端高温进行分析^[12],且在极端事件的定义上也不尽相同,因而得到的结论也不完全一致。一般对于极端高温事件最简单的定义是采用简单阈值法,如挑选月或季内出现的最高温度或日最高气温大于某一阈值(如 35°C)即定义为极端高温事件^[7-13],而目前极端高温事件被认为是一种小概率事件,因此一般多从出现概率的角度进行定义,一般取累积频率超过 90%或 95%时的阈值作为极端高温事件划分的标准^[14-16],但这种概率阈值具有很大的季节变化和空间差异性,往往将某些站点人体的体感舒适温度范围也划分到极端高温范畴内,具有一定的不合理性。为了弥补上述研究中的不足,更加全面地了解中国极端高温事件空间和时间的整体分布规律,本文基于全国 730 个台站建国以来的地面观测数据,综合上述两种方法重新给出了极端高温事件的定义,在此基础上分析了我国极端高温事件的时空分布特征和变化规律。

1 研究资料与方法

1.1 研究资料

在本文中所用的资料是由中国气象局提供的建国以来全国 730 个台站日最高温度的观测数据。为了保证数据的连续性和一致性,本研究从原始数据中筛选出 1961~2000 年这 40 年 506 个拥有较长时间序列的台站(图 1)数据,且气象台站资料都经过严格的质量检查,剔除了原始数据中有较大非气象误差(如站点迁徙、资料缺测大于 10 次等)的站点。对于剩余台站中的缺测数据,由该台站缺测日前后两日温度的平均值代替。对于极个别的台站中包含的明显错误数据进行了修正。

根据和台站 40 年季节和年平均最高温度长期趋势的空间分布(图略)特点,将我国分为东北、华北、华东、华南、西南、西部和西北 7 个典型区域(图 1),以方便后文年际变化研究中各区域的比较。

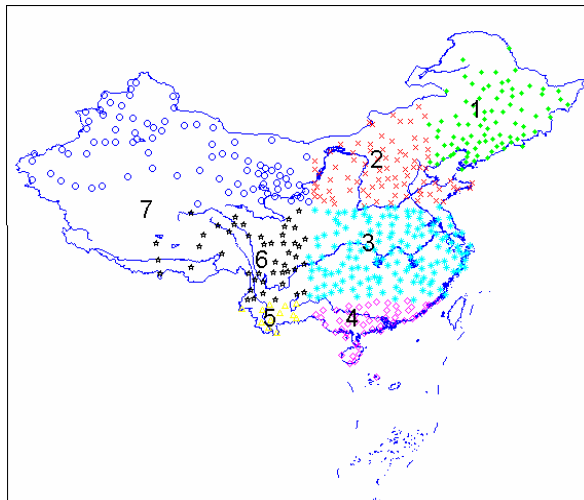


图 1 文中研究所用到的气象台站的空间分布。(图中 1、2、3、4、5、6、7 分别代表东北、华北、华东、华南、西南、西部和西北 7 个典型区域。)

Fig. 1 Spatial distribution of the observational stations used in this paper. (The numbers 1-7 denote the northeast, the north, the east, the south, the southwest, the west and the northwest, 7 typical regions in China.)

1.2 极端高温事件的定义

为了体现极端高温是小概率事件这一基本特征,以及人体体感舒适温度的高温阈值,参考文献[13-16]极端高温的定义,综合二者定义极端高温方法的优点,对中国极端高温事件的定义如下:当某一台站日最高气温的累积频率达到一定的概率分布(本文为了突出小概率事件特征,取为99%),将此概率所对应的最高气温临界值大于30℃的数值定义为极端高温事件的阈值。当某个台站的日最高气温等于或大于该阈值,则认为该台站在该日发生了极端高温事件。具体做法是首先找出每个观测站点40年里日最高气温(DMT)的最大值和最小值,然后从DMT的最小值开始,每隔0.1℃间隔统计这40年里出现该温度的频数(即出现天数),这样就得到该站DMT从最低温度到最高温度连续的频数(率)分布,选取从最小值开始累积频率达到99%时所对应的DMT作为极端高温事件的日阈值,对于不同的台站处于不同的气候带该阈值一般不同,特别是对高原等有些地区该日阈值只达到20℃-25℃,属于人的体感最为舒适的温度范围,并没有极端高温酷热的感受;因此进一步考虑“高温”的内含,即要使人的体感舒适度超出临界值产生不舒适感觉,这里取为30℃(为了保证能选取到一定数量的样本数,这里没有按中央气象台对极端高温天气的定义最高气温高于35℃的取法),进而取上述由累积频率定义的日阈值大于等于30℃作为本文所定义的该台站极端高温事件的判定阈值。本文极端高温事件定义的优点在于:1)突出了“极端”小概率事件的特征。采用99%的累积频率作为临界频率的判断标准,即只考虑出现概率为1%的极端高温小概率事件,符合极端事件的研究特点;2)阈值的选取突出了“高温”的危害性后果。由于极端事件研究的重要性就在于它出现的概率小但灾害影响巨大,如果只按照概率分布确定极端高温的阈值,则每个台站的极端高温日阈值存在极大的季节变化,如黄丹青和钱永甫[15]定义的南京站一年四季极端高温日阈值范围为5~31℃,与一般气象上定义的极端高温天气(最高气温高于35℃)的概念相去甚远。因此本文所定义的极端高温事件综合了上述两方面的优点,对极端高温事件的主要特征具有更好的表征意义。

根据上述极端高温事件的定义,本文定义了表征极端高温事件特征的两个指数:即极端高温事件的强度和发生频数。每个台站季或年内极端高温事件出现的总日数定义为极端高温事件的频数,每个台站在季或年内达到极端高温事件的日最高温度平均值定义为极端高温事件的强度。

2 中国极端高温事件的空间分布特征

2.1 极端高温事件强度的空间分布

各台站40年内极端高温事件的平均强度(图2)分布表明,除中国西南部青藏高原东部地区的极个别台站外,我国大部分地区均出现了极端高温事件。其中华北、华东、华南和新疆地区的最高温度较高,而东北和西南地区的最高温度则相对较低。

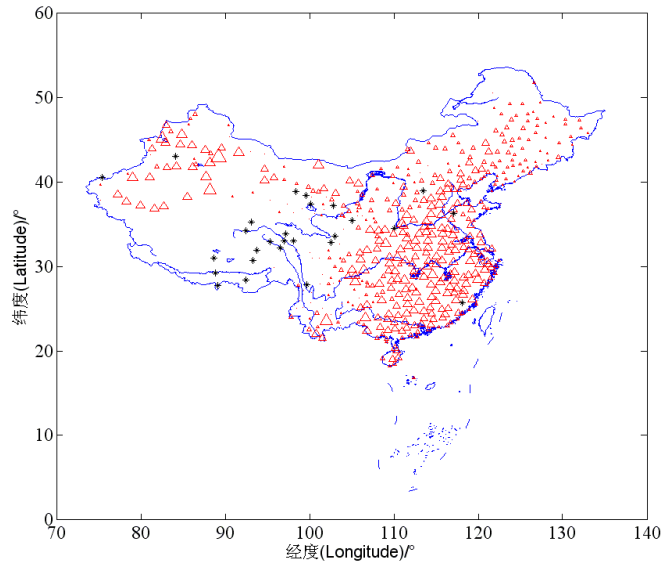


图 2 1961-2000 年极端高温事件的强度分布。（图中“△”代表出现极端高温事件的台站，其大小与极端高温事件的强度成正比例关系。“*”代表该台站未出现极端高温事件。）

Fig. 2 Distribution of the intensity of extreme high temperature event (EHTE) in 1960-2000. (“△” denotes the station occurred with EHTE and “*” denotes non-EHTE station.)

各个台站 40 年内春、夏、秋、冬四季的极端高温事件发生的强度（图 3）分布表明，我国极端高温事件主要发生在夏季，夏季的强度分布与全年平均（图 2）的分布相一致。春季中国的极端高温事件主要出现在东部地区的黄淮中下游和华南沿海地区，华北、华南和西南地区极端高温事件强度较大，东北地区强度较小。夏季全国普遍出现极端高温事件；华北、华东和西北地区极端高温事件强度增强，华南、西南地区强度减弱。秋季极端高温事件主要出现在江淮流域和黄河中游地区，东北地区 and 黄河下游地区则不再出现 30 度以上的高温天气。冬季全国除海南、广西少数地区外基本未出现极端高温事件。

同时由逐月的强度分布（图略）可以发现极端高温事件首先在 3 到 4 月出现在华南和西南的部分地区，并且西南地区的极端高温事件在 7 到 8 月逐渐消失，其他地区的极端高温事件也于 9 月左右陆续消失。

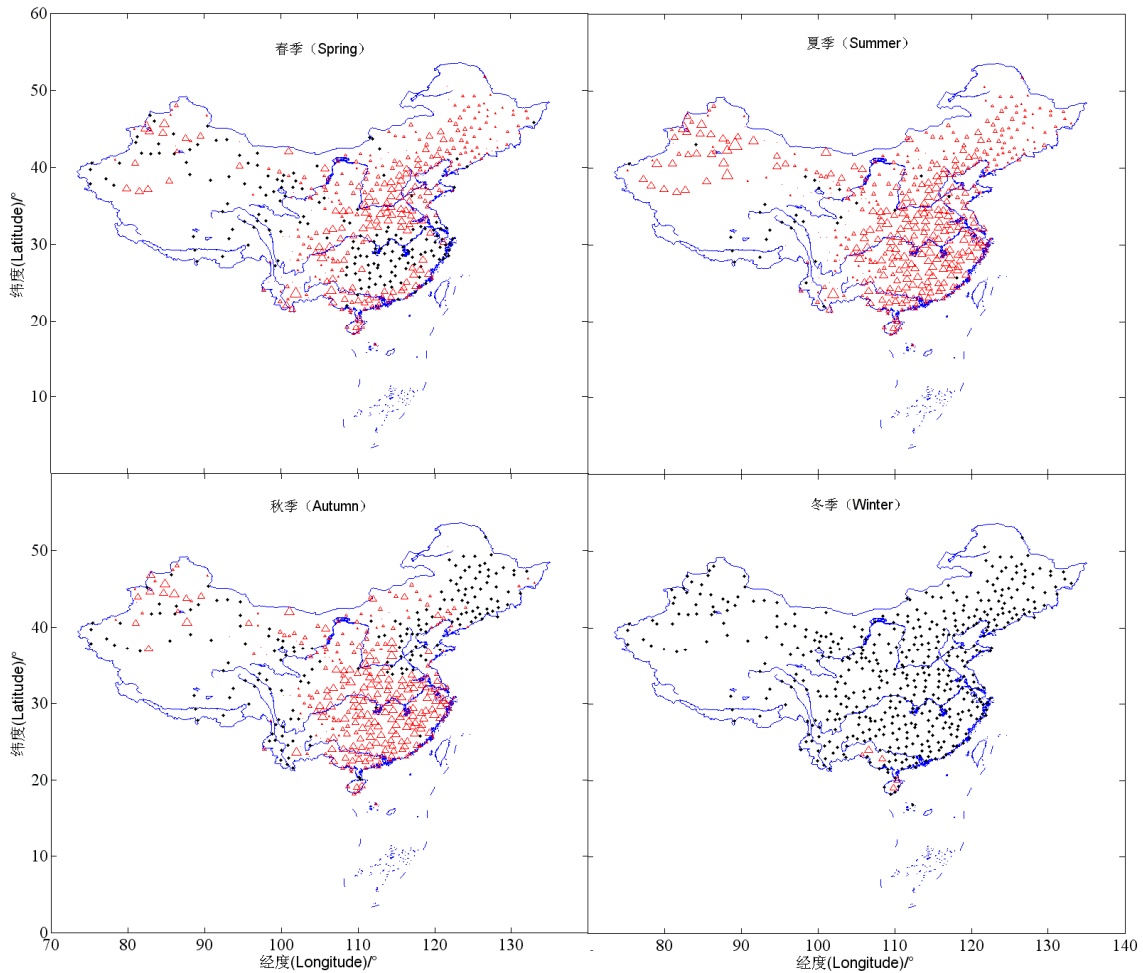


图3 中国各台站极端高温事件强度随季度的空间分布（图中“△”表示出现高温事件，图形大小代表了强度的大小；“*”代表未出现极端高温事件）

Fig. 3 Distribution of EHTE intensity in different seasons. (The marks have the same meaning as in Fig. 2)

2.2 极端高温事件频数的空间分布

由图4中可以看出，与强度的空间分布类似，极端高温事件首先于春季在西南地区开始出现，且出现天数相对较多，同时东北地区也出现极端高温事件，其出现天数相对较少；夏季当全国各地极端事件出现天数普遍增多时，西南云贵地区相对于春季其极端高温事件出现频数却大大减少；秋季除东北、西部和西北地区外，全国都出现了极端高温事件，但出现天数一般非常少，但强度较强；冬季除华南部分地区外，极端高温事件基本消失。

由逐月的分布图（图略）可以发现，西南地区的极端高温事件频数首先在3到4月开始增加，随后从6月开始减少。全国频数的整体变化趋势是从6月开始普遍增多，9月开始减少，到10月基本消失。这与极端高温事件强度的变化趋势基本一致。

综上所述，除西部个别地区外，40年内全国普遍出现了极端高温事件，但是其强度、频数以及出现时间有

着较强的空间差异性。

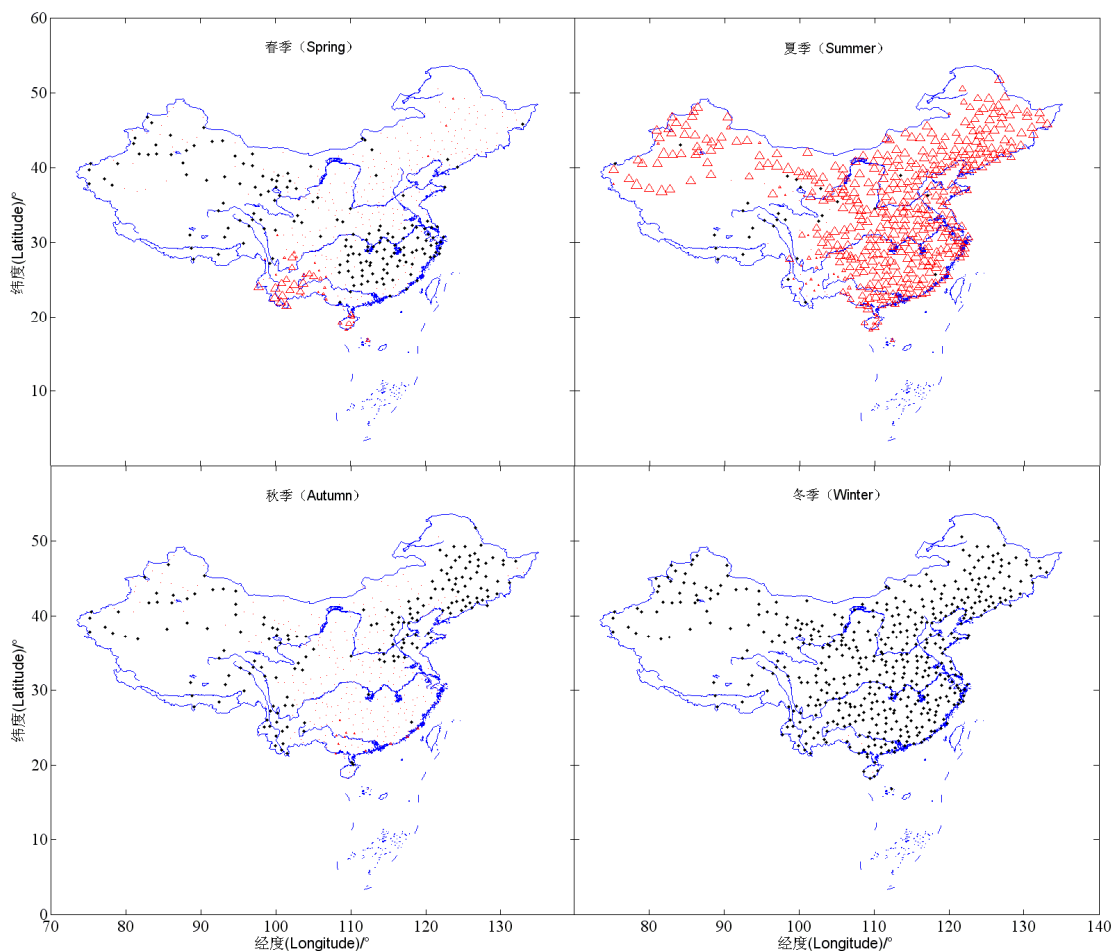


图 4 中国各台站极端高温事件频数随季节的空间分布 (图中“△”表示出现高温事件, 图形大小代表了频数的大小; “*”代表未出现高温事件)

Fig. 4 Same as in Fig. 3, but for the frequency of EHTE.

3 中国极端高温事件的时间变化特征

3.1 区域划分

根据上述分析,并结合全国最高温度的逐月变化规律与季节性极端性事件的频数变化规律,可以发现,中国极端高温事件的分布有明显的区域性特征,因此本文将我国大体分成 7 个典型的区域(图 1),这里华东、华南等并不是严格按照我国的行政区划来分,比如华东主要包括长江中下游和淮河流域大部分地区,西南仅指云贵小范围地区,是根据图 1 中的西北区域选择的,西部区则主要指三江源地区。

3.2 极端高温事件强度的年际变化特征

对上述划分的 7 个典型区域在 1961~2000 年中的极端高温事件强度的年际变率的标准差(表 1)分析可以

发现，华东地区（3区）平均极端温度最高而西部三江源地区（6区）则平均温度最低，但年际变率最大的区域是西南地区（5区），而年际变率最小的则是华南地区（4区）。

表 1 各区域中各个台站 40 年的极端高温事件的平均出现强度及标准差

Table 1 Averaged intensity and standard deviation of EHTE in different typical regions.

区域	区域号	天数平均值	标准差	强度平均值	标准差
region	Reg. num.	Ave.days	Std.	Ave.intensity	Std.
东北 NE	1	3.73	3.28	33.66	0.38
华北 N	2	3.64	2.36	35.17	0.54
华东 E	3	3.79	2.79	36.85	0.43
华南 S	4	3.96	1.99	35.95	0.30
西南 SW	5	3.70	3.36	34.33	1.04
西部 W	6	1.64	0.95	32.75	0.57
西北 NW	7	2.93	1.43	35.72	0.46

全国和各区平均的时间序列（图 5）表明不同区域极端高温事件的强度变化特征不同，差异非常大。全国平均的极端高温事件强度最大值出现在 1966 年，最小值出现在 1981 年，在 1980s 中期之前呈现出明显的下降趋势，而其后则为较弱的准两年振荡。全国平均的极端高温事件强度的变化与江淮流域的华东区（3区）的变化相当一致，二者之间的相关系数达到 0.74（表 2），远远超过 99% 的显著性水平，且主要反映了中国东部沿海地区极端高温的强度变化特征。各个区域的年际变化差异较大，东北和华北（1 和 2 区）、华北和华东（2 和 3 区）以及西南和西北（5 和 7 区）各两区之间的变化存在较显著的正相关，相关系数分别达 0.36、0.36 和 0.48，除此以外各区之间的变化不相关（表 2），具有很强的区域特征。另外华南和西南沿海地区极端高温事件的强度呈较显著的下降趋势，但二者的年际变率却为两个极端，华南地区年际振幅最小而西南地区年际变率最大（表 1）。

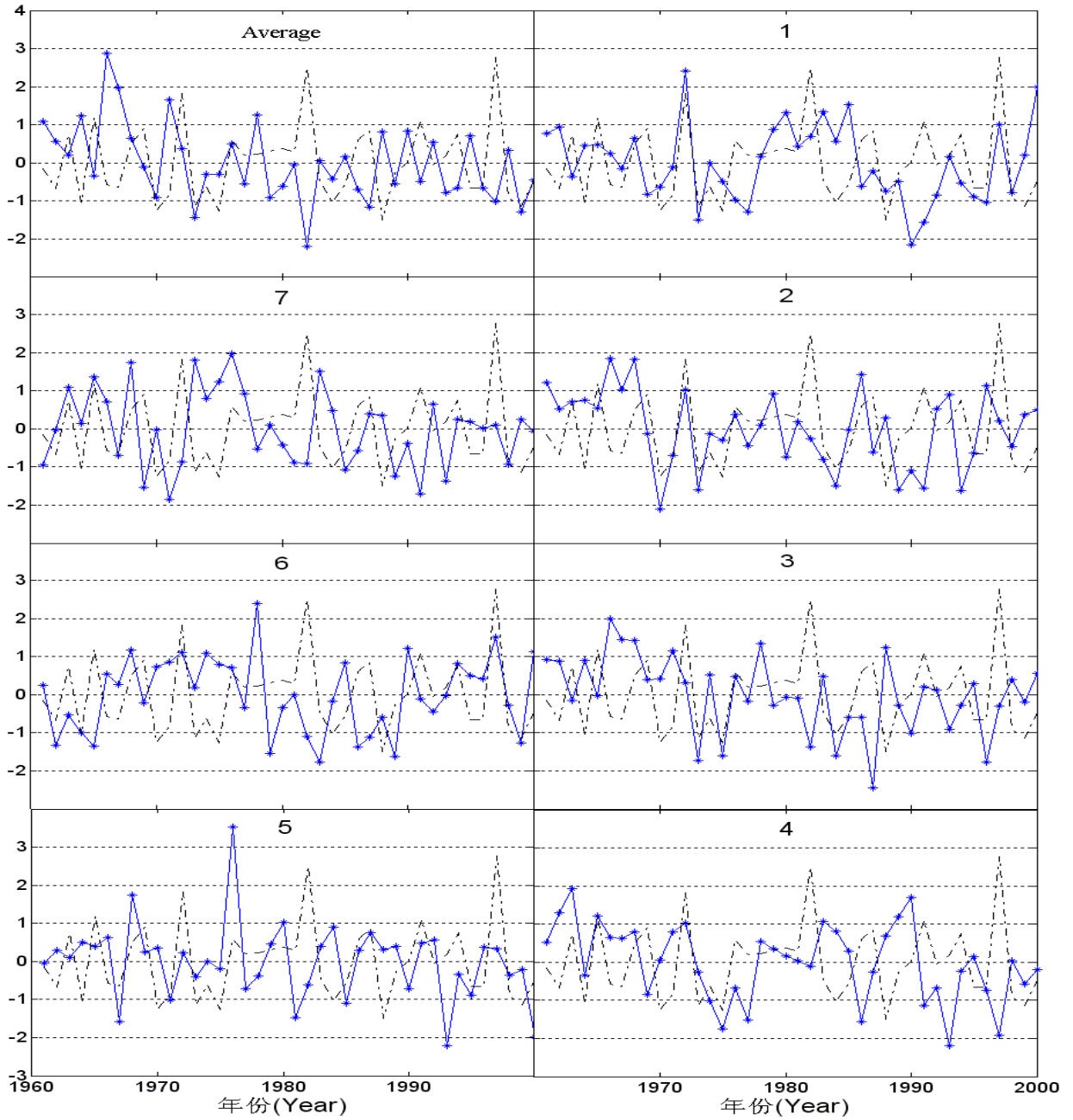


图 5 全国平均和 7 个典型区域平均的极端高温事件强度标准化的时间序列（实线表示强度变化，虚线表示每年 12 月的 Niño3 指数）
 Fig. 5 Standardized time series of EHTe intensity in national average and 7 typical regions. (The solid line denotes EHTe intensity and dashed line means the Niño3 index in December for each year.)

众所周知，年际变率的最强信息是厄尔尼诺—南方涛动（ENSO），由于 ENSO 具有冬季锁相的特征，文中所有 Niño3 指数均采用的是 1961~2000 年每年 12 月份指数来代表冬季 ENSO 的变化。全国及各区平均的极端高温事件强度与当年冬季 12 月的 Niño3 指数（图 5 中虚线）的相关分析表明（表 2），全国平均的极端高温事件

强度与 ENSO 呈较显著的负相关关系，二者之间的同期相关系数达到-0.32，超过 0.05 的置信度水平，但各个区域的变化在 40 年中却与 ENSO 没有显著的相关性。

表 2 全国平均和各区平均极端高温事件强度之间以及与 ENSO 发展年 (Niño3_0) 和衰减年 (Niño3_1) Niño3 指数的相关关系
Table 3 Correlation coefficients between the EHTE intensity in national average and 7 typical regions and Niño3 index in developing year (Niño3_0) and decay year (Niño3_1) of ENSO.

	1	2	3	4	5	6	7	Average
Niño3_0	0.21	0.14	-0.15	-0.14	0.15	0.03	-0.14	-0.32
Niño3_1	-0.10	0.25	-0.02	-0.07	-0.19	0.09	-0.20	0.19
1	-----	0.36	0.20	0.21	-0.08	-0.01	-0.08	0.01
2	-----	-----	0.36	-0.02	0.06	0.00	0.09	0.38
3	-----	-----	-----	0.30	0.07	0.20	-0.07	0.74
4	-----	-----	-----	-----	0.08	-0.11	0.05	0.42
5	-----	-----	-----	-----	-----	-0.14	0.48	0.02
6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-0.04	0.31
7	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-0.05
Average	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

3.3 极端高温事件频数的年际变化特征

从表 1 中我们还可以发现，极端高温事件出现最多的地方是华南地区（4 区），但年际变率最大的却是西南地区（5 区），西部三江源地区（6 区）则是极端高温事件出现最少且年际变率最小的地区。全国和各区（图 6）平均的极端高温事件频数时间曲线都没有显著的趋势变化，但北方地区（1，2，6，7 区）在 1990 年代末极端高温事件的发生明显增多，而南方江淮流域（3 区）和西南地区（5 区）则在 1990 年代明显减少。全国平均的极端高温事件频数变化主要与除华南和西南地区（4，5 区）外的北方各区（1，2，3，6，7 区）显著正相关，特别是与华北地区相关系数达 0.78（表 3）。

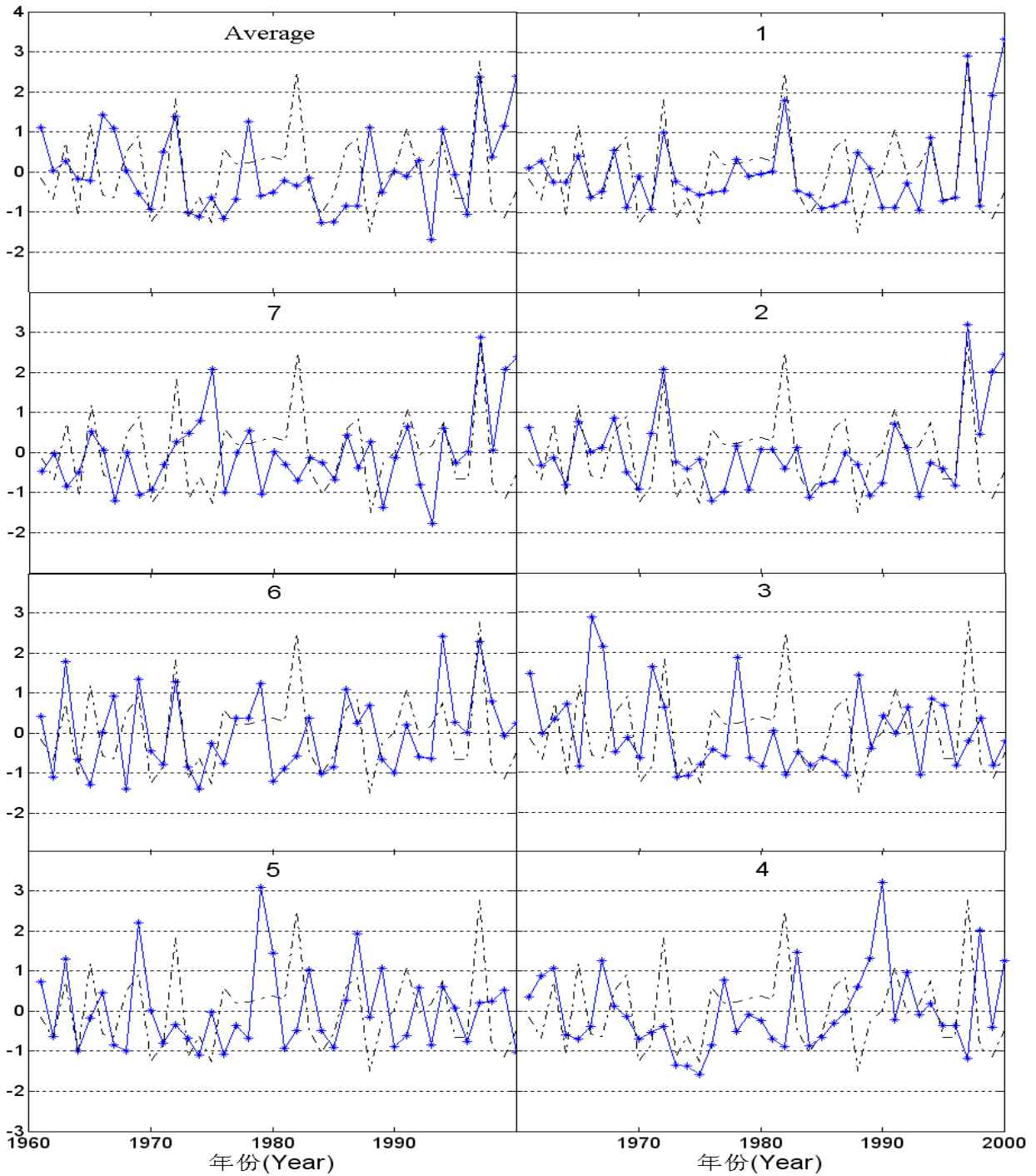


图6 全国和7个典型区域平均的极端高温事件出现频数的标准化时间序列（实线表示频数变化，虚线表示 Niño3 指数）

Fig. 6 Same as in Fig. 5, but for EHTE frequency.

全国平均的极端高温事件频数变化与 ENSO 没有显著的相关关系，但中国除西北（7区）内陆地区外，南方和北方地区的极端高温事件频数与 ENSO 的不同发展阶段有相反的相关关系。结合图 6 以及表 3 数据，可以发现，我国北方地区特别是东北、华北地区极端高温事件发生频数与 ENSO 的发展年显著相关，说明在此区域强

厄尔尼诺（拉尼娜）的发展年东北、华北和三江源地区（1，2，6区）极端高温事件发生频数较多（少）；而在 ENSO 衰减年极端高温事件的发生与 Niño3 指数呈负相关关系，这种关系最强发生在西南地区（5区），它表明南方地区的极端高温天气事件多发生在拉尼娜的衰减年。此外，西部三江源区（6区）受 ENSO 的影响最大，在厄尔尼诺（拉尼娜）的发展年呈显著正（负）相关关系，而在厄尔尼诺（拉尼娜）的衰减年则呈显著负（正）相关关系。

表 3 全国平均和各区平均极端高温事件频数之间以及与 ENSO 发展年 (Niño3_0) 和衰减年 (Niño3_1) Niño3 指数的相关关系
Table 2 Correlation coefficients between the EHTE frequency in national average and 7 typical regions and Niño3 index in developing year (Niño3_0) and decay year (Niño3_1) of ENSO.

	1	2	3	4	5	6	7	Average
Niño3_0	0.35	0.33	-0.15	-0.11	0.18	0.35	0.05	0.16
Niño3_1	-0.22	-0.26	0.04	0.01	-0.44	-0.36	-0.13	-0.20
1	-----	0.72	-0.06	-0.07	-0.06	0.23	0.60	0.66
2	-----	-----	0.15	-0.02	-0.04	0.30	0.70	0.78
3	-----	-----	-----	0.27	-0.07	0.30	-0.09	0.64
4	-----	-----	-----	-----	0.14	0.15	-0.23	0.25
5	-----	-----	-----	-----	-----	0.47	-0.17	0.00
6	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.19	0.49
7	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.52
Average	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

4 结论

对全国五百多个台站 40 年的逐日最高气温资料统计极端高温天气事件的时空特征，得到以下结论：

除中国西南部青藏高原东部地区的极个别台站外，我国大部分地区均出现了极端高温事件，但是其强度、频数以及发生季节有着较强的空间差异性。我国极端高温事件主要发生在夏季且强度大温度高，春季在西南地区最先出现，且出现天数相对较多，华北、华南和西南地区极端高温事件强度较大；秋季除东北、西部和西北地区外，全国都出现了极端高温事件，但出现天数一般非常少，但强度较强；冬季除华南部分地区外，极端高温事件基本消失。

从极端高温事件的时间变化来看，其强度和频数的年际变化存在很大的地区差异性。并且我国极端高温事件的发生与厄尔尼诺现象有着较强的相关性，但不同地区表现形式有所不同。在北方地区，极端高温事件的发生与 ENSO 现象有着较强的同期相关性，即北方地区的极端高温事件多发生在厄尔尼诺发展年，而在一些南方地区特别是西南地区，极端高温事件则多发生在厄尔尼诺的衰减年。

参考文献

- [1]王绍武,叶谨林.1995.近百年全球气候变暖的分析[J].大气科学,19(5):545-553.
- [2] IPCC .Climate Change 2001, The Scientific Basis, Observed Climate Variability and Chang[R]//Houghton J T, Ding Y, Griggs J, et al. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change .Cambridge :Cambridge University Press, 2001: 881pp.
- [3]丁一汇,张锦,宋亚芳.2002.天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系[J].气象,28(3):3—7.
- [4]Changnon S A, Roger A, Pielk J r, et al. Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes [J].Bull of the Aimer Mete Soei, 2000, 81(3):437—442.
- [5] IPCC .Climate Change 2007, Impacts, Adaptation and Vulnerability [R]// M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds). Contribution of Working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change .Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007, 976 pp
- [6] Easterling DR , Evans JI , Grossman PY ,et al. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review[J]. Bull of the Aimer Mete Soc, 2000, 81 (3): 417—425.
- [7]任福民,翟盘茂.1951—1990 年中国极端温度变化分析[J].大气科学,1998,22(2):217—227
- [8]Zhai P M ,Sum A J , Ren Fumin,etal.Changes of climate extremes in China[J].Climatic Change,1999,42:203—218
- [9]马柱国,符宗斌,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[J].地理学报,2003,58(增):11—20.
- [10]王亚伟,翟盘茂,田华.近 40 年南方高温变化特征与 2003 年的高温事件[J].气象,2006,32(10):27—33.
- [11]杨馥祯,吴胜安.近 39 年海南岛极端天气事件频率变化[J].气象,2007,33(3):107—113
- [12] 周后福,陈海燕,黄克慧,等.2005.浙江省 2003 年夏季异常高温气候及其成因分析[J].科技通报,21(5):524~528.
- [13] 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.
- [14]张宁,孙照渤,曾刚.1955—2000 年中国极端气温的变化[J].南京气象学院学报, 2008,31 (1):123—128.
- [15] 黄丹青, 钱永甫. 我国极端温度事件的定义和趋势分析[J]. 中山大学学报, 2008, 47 (3): 112-116.
- [16] 黄丹青, 钱永甫. 极端温度事件的区域性分析方法及其结果[J]. 南京大学学报, 2009, 45 (6): 715-723.

Spatial-Temporal Patterns of the Extreme High Temperature Events in China in 1961-2000

ZHOU Xiao, HUANG Fei, CHU He-tao, HU Hao, DONG Shi, LIU Qian

(College of Physical and Environmental Oceanography, Ocean University of China, Qingdao, China, 266100)

Abstract Spatial-temporal patterns of frequency and intensity for the extreme high temperature event (EHTE) over China are analyzed by using daily maximum temperature observational data at 506 observational stations with a long time series from 1961 to 2000. It is found that EHTE occurred over almost all the country except for very few stations in the east of the Tibetan Plateau. However, the intensity, frequency and occurrence of the season for the EHTE show strong spatial differences. For the time series variation of the EHTE, the interannual variability of its frequency and intensity exists great regional differences as well, and has a strong relationship with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). While in different regions, the correlation between ENSO the EHTE appears different features. In the north of China, the occurrence of EHTE has simultaneously correlation to ENSO, which means the EHTE in the North always occurs in the developing year of El Niño. However, in some southern regions, especially in the Southwest, most EHTEs occur in the decay year of El Niño.

Key words: Extreme high temperature event; Spatial-temporal patterns; China; ENSO.