

海口市高温天气气候背景及其预报浅析

汤驰^{1,2} 韩静^{2,3} 吴海峰¹ 黄明旺¹ 姜毅¹

(1 海口市气象局, 海口 570100; 2 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570100; 3 海南省气象科学研究所, 海口 570100)

摘要: 近年来, 海口市高温天气频发。对近60年海口市高温天气气候特点及其环流背景进行分析, 探讨高温天气的变化特征及主要影响天气系统, 寻求海口市高温天气预报思路。研究结果表明, 海口市高温天气主要出现在5—7月, 其次是4月、8月和3月, 2月和9月极少出现高温天气, 其他月份几乎不出现异常高温天气; 近60年海口市高温指数总体趋于缓慢增多, 其趋势变率约为0.042 d/a。通过定义月高温影响指数综合判定指标, 表明7月高温影响最大, 其次是6月和5月。通过对高温天气主要影响系统分析看出, 西太平洋副热带高压、低压槽、南亚高压以及近海海温变化对海口市高温天气有明显影响; 当有热带气旋生成并影响海口市时, 其影响前外围下沉气流也是海口高温天气的主要成因之一。

关键词: 高温, 气候趋势, 副高, 海温

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.02.009

Analysis on Climate Background and Forecast of High Temperature Weather in Haikou

Tang Chi^{1,2}, Han Jing^{2,3}, Wu Haifeng¹, Huang Mingwang¹, Jiang Yi¹

(1 Haikou Meteorological Bureau, Haikou 570100 2 Hainan Meteorological Disaster Prevention and Reduction Laboratory, Haikou 570100 3 Hainan Institute of Meteorological Sciences, Haikou 570100)

Abstract: In recent years, Haikou City has experienced frequent high-temperature weather. This paper analyzes the characteristics of high temperature weather and climate in Haikou City and its circulation background in the past 60 years. Discuss the changing characteristics of high temperature weather and the main influence on weather systems, in order to seek the ideas of high temperature weather forecast in Haikou City. Research indicates, the high temperature weather in Haikou City mainly occurs from May to July, followed by April, August and March, there are very few high-temperature weather in February and September, and almost no abnormally high-temperature weather in other months; In the past 60 years, the high temperature index of Haikou City has generally tended to increase slowly, and its trend rate of change is about 0.042 d/a. By defining the comprehensive judgment index of the monthly high temperature impact index, it shows that the high temperature impact is the largest in July, followed by June and May. Through the systematic analysis of the main effects of high temperature weather, it can be seen that. The western Pacific subtropical high, low-pressure trough, South Asian high, and offshore sea temperature changes have a significant impact on the high temperature weather in Haikou City; When a tropical cyclone generates and affects Haikou City, its impact on the subsiding airflow in the front periphery is also one of the main causes of the high temperature in Haikou.

Keywords: high temperature, climate trends, subtropical high, sea temperature

0 引言

海口市地处热带, 属于热带海洋性季风气候, 年平均气温24.8℃。近年来, 海口市35℃以上高温天气频发, 主要出现在3—8月, 其中5—7月为高峰月。

高温酷暑不但能影响工农业生产、电力、交通、旅游业等社会运转的重要组成部分, 而且还能直接影响人们的心理和情绪, 容易使人疲劳、烦躁和发怒。因此, 高温天气一直是科学研究者, 特别是广大气象工作者特别关注的天气现象之一^[1-2]。纪忠萍等^[3]对夏季广东省出现的异常高温天气时空分布特点及其异常

的原因进行了分析表明, 发现影响高温天气的主要系统为副热带高压, 当菲律宾附近同时有热带气旋活动时, 有利于广东出现异常的高温天气。杨宝玲等^[4]从环流形势、地面热低压、地形及城市效应等方面对宁夏北部一次高温过程进行分析, 得出大陆暖高压及地面持续热低压是造成此次连续性高温的原因, 并给出了该地区高温天气预警信号指标。曹春燕等^[5]通过对深圳高温天气及其环流背景的统计分析, 探讨高温天气的气候特征及主要影响系统, 并分析了不同天气系统影响下高温的空间分布特征, 初步得出高温的预报流程; 张永领等^[6]和许祖清等^[7]通过分析海南岛早期高温天气及气候特征, 分析了海南高温天气时空分布基本特征及其变化周期; 近年来, 海口市高温天气更加

收稿日期: 2020年11月4日; 修回日期: 2021年5月26日
第一作者: 汤驰 (1986—), Email: tangchi1986@163.com

频繁复杂,为更好地了解海口市近年来高温天气变化特点及其形成机制,本文对1960—2019年海口市代表站高温天气气候资料进行分析,针对高温天气下不同的影响天气系统研究,探寻海口市高温天气成因,寻找海口市高温天气预报思路。

1 资料和方法

本文选用海口市1960—2019年基准站气温资料进行统计分析,并定义月高温影响指数综合指标(式1),定义持续了3 d或3 d以上的高温天气为一个高温过程,两个过程中只间隔一天算一个天气过程;3~5 d为短过程、6~8 d为中过程,9 d以上为长过程^[5],寻找海口市高温天气气候特征。高温天气成因方面,选用1960—2019年国家气候中心气候逐月副高面积与副高强度指数资料,NCEP再分析资料及国家气候中心海温资料,对影响海口市高温天气的气候背景及主要影响系统进行分析。热带气旋选用1960—2019年期间影响海口市热带气旋资料,并将热带气旋前一周出现的高温天气为其影响范围进行分析统计。

1.1 高温月影响指数

高温天气的影响主要包括出现高温的日数和最高气温这两项主要影响指标,为了综合定义高温天气的影响,本文定义月影响指数:

$$E = \frac{D_i \times H_i}{\sum_{i=1}^n (D_i \times H_i)} \times 10, \quad (1)$$

其中, E 为月影响指数, D_i 指定月份高温日数, H_i 指定月份对应的日最高气温, n 为总月份。

1.2 趋势系数

根据施能等^[8]的研究,本文引入气候趋势系数,研究海口市高温天气气候趋势变化规律。

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}}, \quad (2)$$

其中, γ 为高温日数的趋势变率, n 为年数, x_i 为第*i*年高温日数, $\bar{x}$ 为高温日数平均值; $\bar{t}=(n+1)/2$;当 γ 值为正(负)时,表明高温日数在所计算的年内有线性升(降)的趋势。

2 高温天气气候特征

2.1 月际变化特征

图1为海口市近60年高温天气月际变化图,从高温日数月变化可以看出,高温日数频次出现最多的月份分别为6月、5月和7月,平均日数分别为6.24 d、

5.98 d和5.42 d。其次是4月、8月和3月,2月和9月极少出现异常高温,1月、10—12月几乎不出现高温天气。从月最高气温分布看,海口市月最高气温出现在4月,其次是5月和7月。

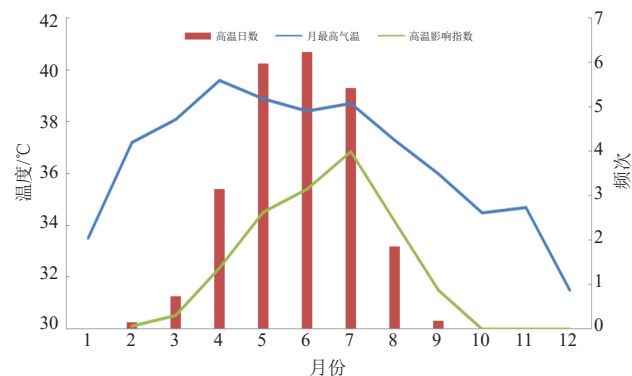


图1 海口市月高温日数及月影响指数分布图

Fig. 1 Distribution of monthly high temperature days and impact index in Haikou City

月高温影响指数定义为一个综合性的高温天气标准,体现了高温日数和最高气温的共同影响,对高温天气影响人们日常生活有一定的指导意义。从图1中月高温影响指数分布可以看出,7月份高温影响指数最大,其次是6月和5月,4月和8月影响相对较小。

2.2 年际变化特征

2.2.1 高温天气气候趋势

通过对海口市近60年气候趋势系数计算,其趋势变率约为0.042 d/a,这个结果表明海口市高温日数正在缓慢增加,这可能与温室气体排放导致的全球变暖有关;同时城市不断发展,使城市热岛效益日益突出,这也是导致高温天气频率增加的要素之一。

2.2.2 高温日数及最高气温变化

日最高气温超过35℃为一个高温日,分析统计1960—2019年高温日数及最高温度变化(图2);从最高温度分布看,海口市近60年最高温度为39.6℃,出现在2001年;其次分别是38.9℃和38.7℃,分别出现在2019年和2015年;海口市年平均高温日数为23.4 d,累计高温日数超过37℃的有150 d,超过38℃有34 d,而超过39℃的仅有1 d。总体上看,海口市高温日数虽多,但极端高温天气很少,这可能与海洋对温度的调节有关。

从高温日数上看,1960—2019年期间,海口市总高温日数(日最高气温≥35℃)为1401 d,按每10年一个阶段看,近60年高温日数分别为179 d、173 d、175 d、294 d、286 d和315 d;可见,近30年高温日数较前30年有明显增加。高温日数年际波动较大,近60年中有9

次年高温日数超过40 d, 8次出现在近30年; 累计年高温日数超过50 d的有4年, 分别出现在1977年、1998年、2015年和2019年, 累计最长高温日数为57 d和55 d, 分布出现在2015年和2019年。整体上看, 近年来海口市高温日数有明显增加趋势。

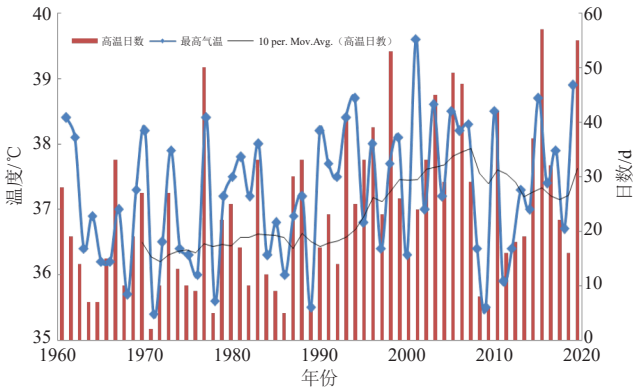


图2 海口市近60年高温年际变化

Fig. 2 Inter annual change of high temperature in Haikou City during the past 60 years

2.3 高温天气过程变化特征

高温天气往往存在一定连续性, 不同天气系统下高温天气的持续时间不同。高温直接影响人们的生产生活, 当连续3 d日最高气温在35 °C以上是高温黄色预警信号的标准, 因此, 研究高温天气的持续性对人们的生产生活有积极意义。

高温持续时间越长, 影响呈指数增加。统计发现(图3), 近60年来海口市共出现了228次高温天气过程, 其中短过程160 d, 中过程51 d, 长过程17 d; 从年分布上看, 短过程出现次数最多在1993年, 达10次/a; 其次是1977年和2002年, 达6次/a; 中过程有5个年份出现3次/a, 近15年间出现年份分别是2005年、2015年和2019年; 长过程最多为2次/a, 分别出现在2015年和2019年, 可见, 海口市高温天气中、长过程

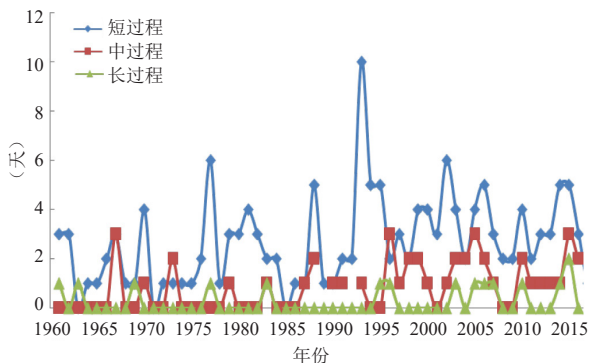


图3 海口市不同高温天气过程分布

Fig. 3 Distribution of different high temperature weather processes in Haikou City

主要出现在近10年, 且中、长过程的次数和持续时间在不断增加。

3 高温天气下天气系统及环流特征

高温天气的出现其影响系统很复杂, 广大学者^[9]对历史高温天气形势研究分析也各有不同, 本文综合海口市高温天气下主要的影响系统发现, 其高温天气系统主要包括: 西太平洋副热带高压(以下简称副高)、热带气旋外围下的下沉气流和低压槽影响; 此外, 南亚高压及近海海温变化也会对高温天气有一定的影响。为更好地研究海口市高温天气的发生发展规律, 本文综合分析以上主要影响系统, 为海口市高温天气预报预警提供指导。

3.1 西太平洋副热带高压(简称副高)

副高面积指数(GM): 是表征西太副高范围大小的指标, 即在10°N以北、110°—180°E范围内, 500 hPa高度场上所有≥588 dagpm的格点所围成的面积总和。强度指数(GQ): 是表征西太副高强度弱的指标, 即在10°N以北、110°—180°E范围内, 500 hPa高度场上所有≥588 dagpm的格点所围成的面积与该格点高度值减去587 dagpm差值的乘积的总和。

副高是一个深厚的暖性高压, 其控制区域具有明显的下沉辐散作用, 使得周围的大气在太阳辐射作用下迅速升温, 容易形成高温天气。通过图4可以看出, 近60年西太平洋副高的面积和强度均有明显的增加趋势, 特别是近10年副高面积和强度都有明显增加; 副高面积最大值出现在2016年, 副高强度最强值出现在2015年, 其次是2010年和2019年; 近10年的副高面积增加和强度变强是导致海口市近10年高温天气增加的主要因素之一。

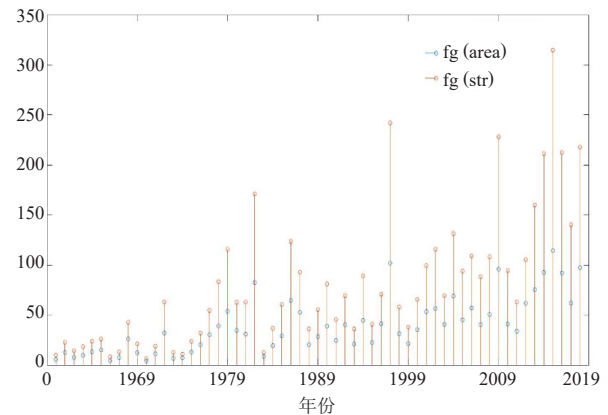


图4 副高面积及强度变化

Fig. 4 The area and intensity of the subtropical high

3.2 低压槽

近60年海口市出现的1401 d高温天气中, 有723 d

有低压槽的存在, 占整个高温天气天数的51.6%, 可见低压槽也是海口市高温天气的主要影响系统之一。

影响海口市的低压槽分为4种, 分别是越南低压槽、华南沿海槽、南海低压槽和西南低压槽(表1)。统计发现, 在4种低压槽影响下的高温天气中, 西南低压槽占总天数的41.0%, 其次是华南沿海槽、南海低压槽和越南低压槽; 从不同槽线影响下的最高气温看, 温度最高的为西南低压槽, 达39.6℃; 其次是南海低压槽, 为38.9℃。整体上看, 西南低压槽对海口市高温天气贡献最大。因此, 在今后的高温天气预报中, 西南低压槽下的高温天气更容易发生极端高温, 应引起重视。

表1 高温天气下各类低压槽出现频次

Table 1 Frequency of occurrence of various low pressure troughs in high temperature weather

天气系统	越南低压槽	华南沿海槽	南海低压槽	西南低压槽
高温日数/d	99	207	131	286
最高气温/℃	38.5	38.7	38.9	39.6
最长影响时间/d天	4	6	5	9

3.3 南亚高压及海温特征

南亚高压是出现在青藏高原及邻近地区上空的对流层上部的大型高空系统, 是北半球夏季100~200 hPa层上最强大、最稳定的控制性环流系统, 对夏季我国大范围旱涝分布以及亚洲天气都有重大影响。

根据钱永甫等^[10]分析南亚高压与我国盛夏气候异常关系研究结果表明, 当南亚高压中心位于75°E以西(也称伊朗高压)时, 高压中心及其西北区域气温偏高; 当中心位于75°E以东时(也称青藏高原高压), 此热力性高压中心从上到下对应上升运动, 使得高压中心及其东南地区形成下沉气流导致地面气温偏高。海口市高温天气主要发生在5—7月, 从2009—2019年海口市5—7月南亚高压平均值变化趋势进行研究分析发现(图5), 南亚高压中心12550线位于25°N, 105°E附近, 而海口市正位于该高压中心东南方, 正是青藏高原影

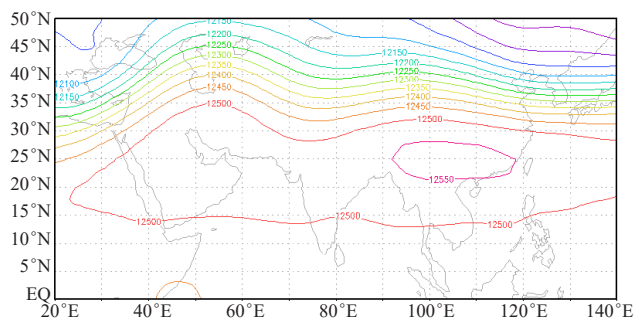


图5 南亚高压位置及其强度

Fig. 5 The location and intensity of the South Asia high

响范围, 这与海口市高温天气的出现形成了良好的对应关系。

海温方面, NINO综合区海温距平指数持续6个月以上 $\geq 0.5^\circ\text{C}$ (过程中间可有单个月份未达指标)为一次厄尔尼诺事件; 若该区指数持续5个月 $\geq 0.5^\circ\text{C}$, 且5个月的指数之和 $\geq 4.0^\circ\text{C}$, 也定义为一次厄尔尼诺事件^[11]。

通过统计分析(图6), 1981—2019年, 有5次达到厄尔尼诺现象标准; 厄尔尼诺最长时间为15个月, 出现在1982年6月—1983年8月, NEPI(NEPI指东部型指数, 表征冷舌型ENSO^[12])最大值达2.99, 期间有45 d出现高温天气, 最长连续高温天气持续时间为11 d。厄尔尼诺持续时间第二长为13个月, 出现在1997年5月—1998年5月, NEPI最大值达3.29, 期间有38 d出现高温天气, 最长连续高温天气持续时间为12 d; 最近一次厄尔尼诺出现在2015年5月—2016年3月, NEPI最大值达2.25, 期间有50 d出现高温天气, 最长连续高温天气持续时间为18 d; 此3次厄尔尼诺时间都出现了明显的高温天气过程, 且最长持续时间都超过了10 d, 可见海温异常对高温天气过程有加成作用。

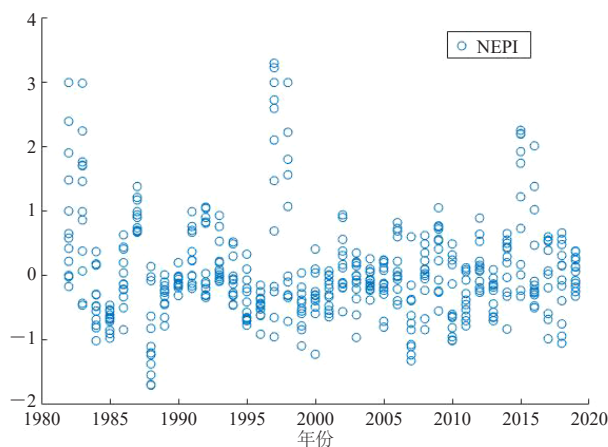


图6 近40年NEPI值变化

Fig. 6 NEPI value changes in the past 40 years

3.4 热带气旋

不少专家学者通过分析研究热带气旋对地区的高温天气也有一定的贡献作用, 本文通过对海口市近60年5—9月热带气旋生成前一周是否有高温天气出现进行相关性分析, 5—9月热带气旋与高温出现的次数有明显相关, 从单因素方差分析结果看, 影响海口热带气旋与高温天气出现的次数呈显著相关($F(0.05) < F(0.01)$)。

热带气旋影响下所带来的大量风雨会缓解高温天气, 但当热带气旋来临前, 在其外围环流的偏北下

表2 热带气旋与高温天气相关性分析
Table 2 Correlation analysis of tropical cyclones and high temperature weather

差异源	SS	df	MS	F	P-value	F ($\alpha=0.05$)	F ($\alpha=0.01$)
组间	2321.636	1	2321.636	5.457887201	0.030001877	4.351243478	8.095958046
组内	8507.455	20	425.3727				

注: SS代表平方和; df代表自由度; MS是均方; F是检验统计量; P-value是显著性水平; F是临界值。

沉气流作用下, 高空大气有强烈的下沉运动, 而伴随地面气流不明显时, 将产生明显的空气压缩做功, 导致地面增温, 同时, 伴随本地上空水汽被热带系统抽吸, 使得本地下垫面更容易形成高温天气。不同路径的热带气旋影响程度不同, 情况也比较复杂。

4 总结与讨论

1) 海口市高温天气的主要影响月份为5—7月, 其次是4月和8月。海口市近60年最高温度为39.6℃, 出现在2001年; 其次是38.9℃和38.7℃; 近60年海口市总高温日数(日最高气温 $\geq 35^\circ\text{C}$)为1401 d; 高温日数年际波动较大, 近60年有9次年高温日数超过40 d, 8次出现在近30年; 最长高温日数为2015年的57 d, 其次是2019年的55 d。可见, 近年来高温日数有明显增加趋势。

2) 1960—2019年海口市高温日数总体趋于缓慢增多趋势, 其趋势变率约为0.042 d/a, 表明海口市高温日数正在缓慢增加, 这可能与温室气体排放导致全球变暖有关; 同时城市的人工化程度不断升高, 使得城市热岛效益日益突出, 这也是导致高温天气频率增加的要素之一。

3) 近60年西太平洋副高的面积和强度均有明显的增加趋势, 特别是近10年。副高面积最大值出现在2016年, 副高强度最强值出现在2015年; 副高是一个深厚的暖性高压, 其控制区域具有明显的下沉辐散作用, 使得周围的大气在太阳辐射作用下迅速升温, 容易形成高温天气。

4) 低压槽对海口市高温天气影响大。在近60年的1401 d高温天气中, 有723 d有低压槽的存在, 占整个高温天数的51.6%; 按低压槽分类, 西南低压槽占总数的41.0%, 其次分别是华南沿海槽、南海低压槽和越南低压槽。

5) 1981—2019年, 有5次达到厄尔尼诺现象标准, 最长时间为15个月, 期间有45 d出现高温天气; 最近一次出现在2015年5月—2016年3月, 期间有50 d出现高温天气。厄尔尼诺期间都出现了明显的高温天气过程, 且最长持续时间都超过了10 d, 可见海温异

常对高温天气过程有加成作用。

6) 热带气旋外围环流下的下沉气流也是海口高温天气的主要影响因素之一, 从单因素方差分析结果看, 影响海口热带气旋与高温天气出现的次数呈显著相关($F(0.05) < F < F(0.01)$)

从天气系统上看, 春末夏初(3—6月), 副高主体在 $15^\circ\text{--}25^\circ\text{N}$, 正是海口市覆盖范围, 当副高控制时, 强大而稳定的下沉辐散气流, 极易形成高温天气。当海口市位于强大的南亚高压东南方, 高压中心自上而下的上升气流导致其东南方形成下沉气流, 此时正是西南低压槽容易建立的时候, 由于海口市地处海南岛北部, 西南风从海南岛西部陆地过来为干热气流, 及其容易形成高温天气。海口市4—10月为汛期, 也是热带气旋影响时段, 南海位于海口市东南方, 当有热带气旋生成并影响海口前, 其外围下沉气流使得海口市高空大气有强烈的下沉运动, 而伴随地面气流不明显时, 将产生明显的空气压缩做功, 导致地面增温, 同时, 伴随本地上空水汽被热带系统抽吸, 使得本地下垫面容易形成高温天气。

参考文献

- [1] 唐恬, 金荣花, 彭相瑜, 等. 2013年夏季我国南方区域性高温天气的极端性分析. 气象, 2014, 40(10): 1027-1215.
- [2] 王正旺, 庞转棠, 魏建军, 等. 长治市高温天气分析预报. 气象科技, 2007, 35(6): 822-826.
- [3] 纪忠萍, 林钢, 李晓娟, 等. 2003年广东省夏季的异常高温天气及气候背景. 热带气象学报, 2005, 21(2): 207-216.
- [4] 杨宝玲, 杨婧, 方宁莲, 等. 宁夏北部一次高温过程分析. 宁夏工程技术, 2014, 12(3): 215-219.
- [5] 曹春燕, 江崑, 孙向明, 等. 深圳夏季高温天气气候特征与形势分析. 气象科技, 2007, 35(2): 191-197.
- [6] 张永领, 陈小丽, 黄彦彬, 等. 海南异常高温的气候特征及其海气背景. 气象科技, 2005, 33(2): 147-151.
- [7] 许祖清. 海南高温分布特征. 气象研究与应用, 2008, 29(3): 12-13.
- [8] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [9] 彭莉莉, 戴泽军, 罗伯良, 等. 2013年夏季西太平洋副高异常特征及其对湖南高温干旱的影响. 干旱气象, 2015, 33(2): 195-201.
- [10] 钱永甫, 张琼, 张学洪. 南亚高压与我国盛夏气候异常. 南京大学学报(自然科学), 2002, 38(3): 295-307.
- [11] ENSO监测小组. 厄尔尼诺事件的划分标准和指数. 气象, 2000, 15(3): 36-38.
- [12] Ren H L, Jin F F. Nino indices for two types of ENSO. Geophysical Research Letters, 2011, 38, L04704, doi: 10.1029/2010GL046031.