

朱晶晶,赵小平,吴慧,等,2018.近40年海南岛冷冬气候特征及其成因分析[J].气象,44(10):1286-1294.

## 近40年海南岛冷冬气候特征及其成因分析\*

朱晶晶<sup>1,2</sup> 赵小平<sup>3</sup> 吴慧<sup>1,2</sup> 党建涛<sup>3</sup> 易灵伟<sup>1,2</sup>

1 海南省气候中心,海口 570203

2 海南省南海气象防灾减灾重点实验室,海口 570203

3 西昌卫星发射中心气象水文室,四川西昌 615000

**提 要:** 利用海南岛17个市、县近40年气象观测站逐月气温观测资料,参照《暖冬等级》国家标准,对海南岛异常冷冬事件的时空分布规律进行了分析。在此基础上,利用国家气候中心提供的74项环流指数以及1977—2017年NCEP/NCAR全球再分析格点资料、NOAA ERSST全球海表温度格点资料以及Niño3.4指数和AO指数,对海南岛冷冬事件形成机制进行了研究。结果表明:海南岛冬季平均气温存在明显的年代际变化特征,近40年海南岛冷冬频发,共出现12次冷冬年。南部市、县发生冷冬的频次大于中部及北部,北部市、县冷冬发生的强度强于南部。海南岛冷冬形成原因主要是对流层大气环流异常,西伯利亚高压增强,东亚冬季风显著偏强,对应副热带高压偏弱、位置偏东,影响海南岛的冷空气更加活跃,使得海南岛冬季气温偏低。另外,南海海温较常年偏低,ENSO冷位相叠加AO指数正位相,有利于进一步诱发大气环流异常,促使海南岛冬季气温偏低,出现异常冷冬事件。

**关键词:** 冷冬,大气环流异常,ENSO,AO指数

**中图分类号:** P461

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.10.005

## Climatic Characteristics and Causes of Cold Winter over Hainan in Last 40 Years

ZHU Jingjing<sup>1,2</sup> ZHAO Xiaoping<sup>3</sup> WU Hui<sup>1,2</sup> DANG Jiantao<sup>3</sup> YI Lingwei<sup>1,2</sup>

1 Hainan Climate Center, Haikou 570203

2 Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203

3 Meteorology and Hydrology Laboratory of Xichang Satellite Launch Center, Sichuan, Xichang 615000

**Abstract:** Using the monthly mean temperature observation data from 17 meteorological observation stations in Hainan Province in last 40 years, according to “the Warm Winter Grade” national standard, the temporal and spatial distribution of cold winter is analyzed in this paper. On this basis, using 74 kinds of circulation index data provided by the National Climate Centre and NCEP/NCAR reanalysis datasets from 1977 to 2017, and the NOAA ERSST data, and the Niño3.4 and AO index data, this paper analyzes the causes of the cold winter over Hainan. The results show that the winter temperature over Hainan has the interdecadal characteristics in the last 40 years. In recent years, cold winter has happened frequently and appeared 12 times. The frequency of cold winter in southern Hainan is more than that in northern and central parts. The strength of the cold winter in northern area is stronger than that in southern. In cold winter, atmospheric circulation is abnormal in troposphere. Siberian high pressure and East Asian winter monsoon are strong, correspondingly the subtropical high pressure is weak, lying on an eastward position.

\* 国家自然科学基金项目(41765005)、海南省气象局技术提升项目(HNXXJS201606)和海南省自然科学基金面上项目(417298)共同资助  
2017年5月19日收稿; 2018年2月11日收修定稿

第一作者:朱晶晶,主要从事短期气候预测工作. Email:314030126@qq.com

All these reasons result in the winter temperature lower than average. In addition, the sea temperature of South China Sea is lower than average. The collective effect of cold phase of ENSO index and positive phase of AO index is beneficial to induce the anomalies of atmospheric circulation in troposphere, leading to low temperature over Hainan. Thus, cold winter appears.

**Key words:** cold winter, atmospheric circulation anomaly, ENSO, AO index

## 引 言

在全球气候变暖的大气候背景下,全球大部分地区年均气温呈现显著升高趋势,特别是近 30 年来气温升高显著(王凌等,2007;王绍武,1994;董李丽等,2015)。然而,任福民和翟盘茂(1998)对 1951—1990 年中国极端气温的变化进行了研究,发现季极端气温的变化存在显著的季节性差异。近年来,全球部分地区出现了大范围的冷冬事件。冷冬事件的发生,常常对工农业生产等具有极为不利的影响,特别是对亚热带或热带地区的影响更为显著。因此,研究冬季气温的气候特征,了解冷冬特点有助于揭示冬季气温的变化规律(周自江和王颖,2000;琚建华等,2004)。

海南岛位于我国南海北部,其特殊的地理位置决定了其特殊的气候特征。虽然海南岛“全年无冬”,即使在最冷的 1 月,其平均气温也达到 18℃ 左右。然而,近些年,海南岛却出现过低温冷害的侵袭,出现了异常冷冬事件。特别是进入 21 世纪后,海南岛出现了几次冷冬事件,如 2007、2010、2011、2013 年冬天等。在“全年无冬”的海南,异常冷冬常常给海南热带果木、橡胶树、茶树等农业以及旅游业等产生不利影响。另外,全球变暖背景下冷冬事件的频繁发生,给冬季冷暖趋势的预测带来了较大难度,研究其内在机理已成为海南省短期气候预测业务的重中之重。

本文利用海南岛 1977—2016 年冬季气温观测资料,研究海南岛冬季气温变化特征及异常冷冬发生规律。结合大气环流、海温等分析近年来海南岛冷冬出现的内在机理,为海南岛冬季气温预测提供技术支持。

## 1 数据资料与方法

### 1.1 数据资料

本文使用的地面气温观测资料是由海南省气象

局提供的 1977—2017 年逐月平均气温观测资料。由于三亚站曾迁移站点,西沙站距离陆地较远,本文选取海南岛其余 17 个市、县气象站观测资料作为研究对象。

再分析数据来自 NCEP/NCAR 发布的全球格点逐月平均资料、气候平均资料(1981—2010 年气候态平均),分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,垂直方向为 1000~100 hPa 共 12 层,包括风场、高度场、海平面气压场、垂直速度场和次表层海温场等。海表温度数据来自于 NOAA ERSST 的  $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$  逐月平均海表面温度资料及气候平均资料(1981—2010 年气候态平均)。Niño3.4 指数和北极涛动(Arctic Oscillation, AO)指数来自 CPC 网站的逐月平均资料,时间为 1977—2017 年。

环流指数资料来自国家气候中心提供的 74 项环流指数,本文主要选取北半球副热带高压(以下简称副高)、北半球极涡、南海副高、西太平洋副高、亚洲区极涡等面积和强度指数以及亚洲经向和纬向环流指数等。

文中冬季时段为每年 12 月至次年 2 月,气候态取 1981—2010 年。

### 1.2 冷冬指标划分

文中冷冬指标划分标准按照国家标准《暖冬等级》(GB/T21983—2008)执行(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会,2008)。

当海南岛各市县气象站冬季(12 月至次年 2 月)平均气温距平( $T_{距平}$ )小于等于其标准差( $\sigma$ )的  $-0.43$  倍时,即表示为冷冬事件。当平均气温距平( $T_{距平}$ )小于等于其标准差( $\sigma$ )的  $-1.29$  倍时,即表示为强冷冬事件。本文设定  $-1.29\sigma < T_{距平} \leq -0.43\sigma$  为一般冷冬年,  $T_{距平} \leq -1.29\sigma$  为强冷冬年(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会,2008)。

当海南岛 17 个市、县中,冷冬站数超过 50% (含),则定义为海南岛区域冷冬,即为一次冷冬年。

### 2 近 40 年海南岛冬季温度异常特征

图 1 显示的是 1977—2016 年海南岛 17 个市、县冬季气温异常时间序列,从图 1a 看出,海南岛冬季平均气温存在年代际变化特征,主要表现为 20 世纪 80—90 年代以负距平异常居多,90—00 年代正距平异常与负距平异常年数相近,21 世纪 00—10 年代以正距平异常居多,2010 年至今以负距平异常居多。因此,海南岛冬季气温呈现偏低-偏高-偏低的变化特征。结合气温距平 M-K 检验(图 1b)可以看出,在 1993—1995 年、2010 年前后分别出现了两次气温异常突变,与图 1a 中气温距平变化规律较为一致。

根据近 40 年海南岛冬季气温异常时间序列及各市县冷冬分布情况,结合国家《暖冬等级》划分标

准,对海南岛冷冬事件进行了筛选统计。近 40 年来,海南岛冷冬事件有 1981、1982、1983、1985、1988、1991、1995、1999、2007、2010、2011、2013 年共 12 年,其中 1982、1983、2007、2013 年共 4 年为强冷冬事件。

对海南岛 17 个市、县冷冬事件特征进行统计发现(图 2),海南岛南部市、县发生冷冬的频次大于中部及北部地区(图 2a),出现冷冬次数最多的是陵水和临高,达到 13 年,中部和北部大部分地区发生冷冬的年数约为 9~10 a。与冷冬年发生频次的规律不同的是,冷冬温度距平呈现北高南低的特征(图 2b),北部海口、临高等市、县冷冬温度距平较大,达到-1.1℃以下。中部市、县的冷冬温度距平相对较小,主体位于-1.1~-0.9℃,南部最小,约为-0.8℃,表明海南岛北部市、县冷冬强度强于南部地区。

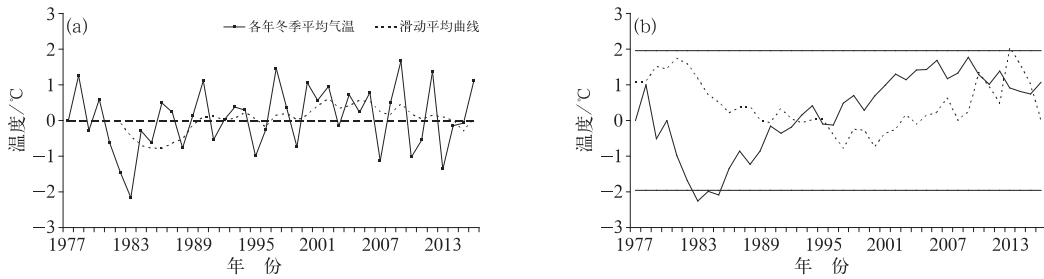


图 1 1977—2016 年冬季海南岛 17 个市、县气象站气温异常时间序列

(a)气温距平, (b)气温距平 M-K 检验

Fig. 1 Evolution of winter temperature anomaly of Hainan from 1977 to 2016

(a) temperature anomaly, (b) M-K test of temperature anomaly

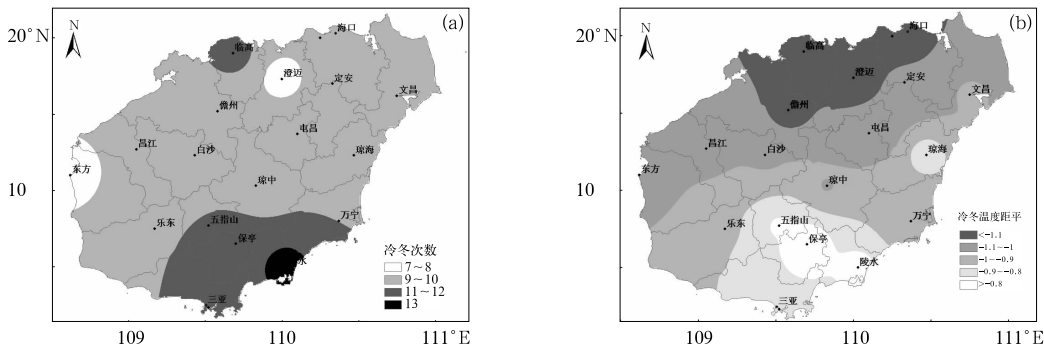


图 2 1977—2016 年海南岛冬季 17 个市、县冷冬发生频次概率及冷冬温度距平分布图

(a)冷冬发生次数, (b)冷冬温度距平(单位:℃)

Fig. 2 Distribution of frequency and temperature anomaly over Hainan

in cold winter from 1977 to 2016

(a) frequency distribution, (b) temperature anomaly distribution (unit: ℃)

### 3 冷冬形成机理分析

#### 3.1 冷冬年大气环流异常特征分析

冬季气温异常与大尺度环流异常密切相关。为揭示海南岛冷冬年大气环流异常特征,对冷冬年大气环流异常进行了合成分析(图 3)。在 200 hPa 对流层上层(图 3a), $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$  中纬度地区为一致的西风异常带, $10^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$  中低纬度地区为一致的东风异常带,表明偏冷年中纬度东亚地区高空偏西急流偏强,低纬度地区偏弱。在 500 hPa 对流层中层(图 3b),我国大部地区为高度场负距平,负距平大值区位于  $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ ,表明冷冬年副高强度偏弱。另外, $25^{\circ}\text{N}$  附近为西风异常带,该异常带南端可达

到华南及海南岛一带,表明偏冷年我国南部多低压槽活动且东亚大槽和南支槽偏强,位置偏南。在对流层低层,850 hPa 华南至海南岛一带为东北风异常带(图 3c),可以反映出偏冷年东亚冬季风较常年偏强。对应低层海平面气压距平分布(图 3d),除青藏高原地区为海平面气压负距平,我国大部地区为正距平,正距平向南伸展至海南岛南侧,表明偏冷年内陆西伯利亚冷高压强度偏强,东亚冬季风偏强。结合高低层大气环流异常形势,可以看出,海南岛偏冷年,高层中纬度西风偏强,低纬度西风偏弱。中层中低纬西风偏强,低层东北风偏强,底层海平面气压偏高。从高低层大气环流异常配置可以看出,中高层中纬度偏西急流偏强,对流层中低层西伯利亚高压和东亚冬季风显著偏强,影响我国南方的冷空气更加强烈,影响海南岛的冷空气更加活跃,有利于海

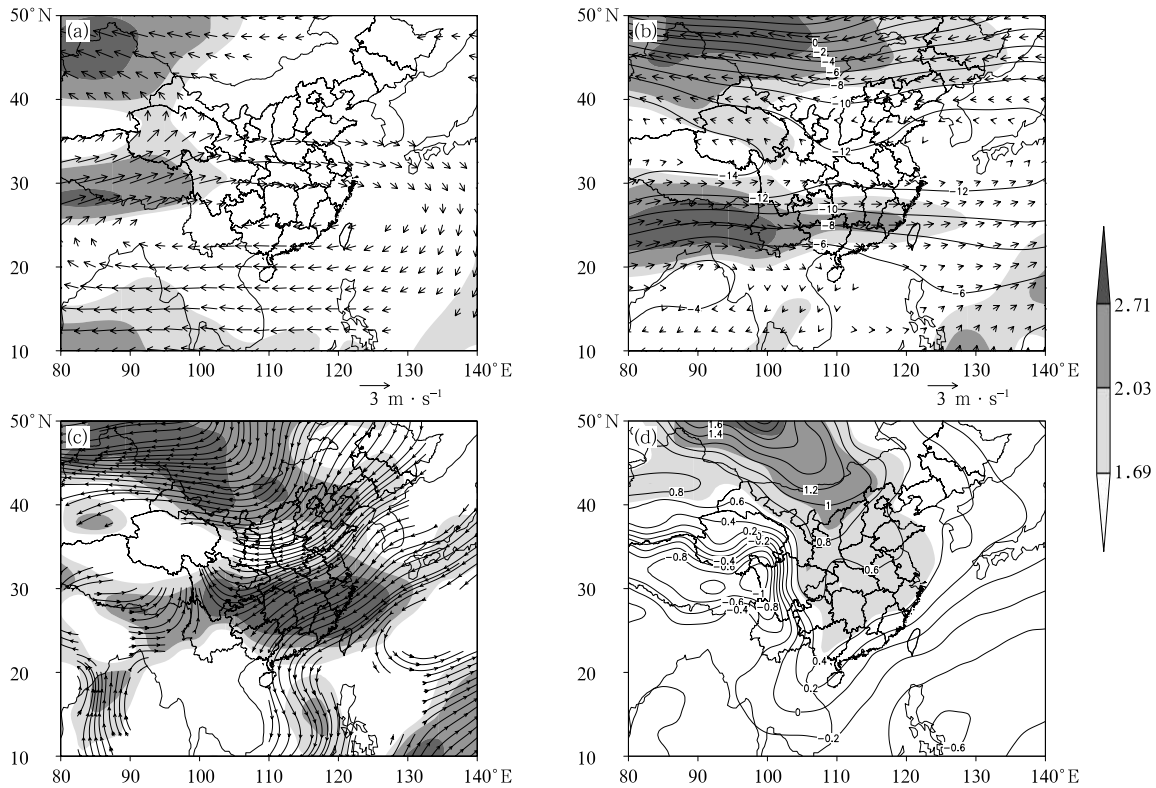


图 3 海南岛冷冬年大气环流距平合成分布

(a)200 hPa 风场距平(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), (b)500 hPa 风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和高度场距平(单位:gpm),  
 (c)850 hPa 风场距平(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), (d)海平面气压距平(单位:hPa)  
 (阴影区域表示分别通过  $\alpha=0.05, 0.01, 0.001$  的显著性水平检验)

Fig. 3 Synthetic distribution of atmospheric circulation anomaly of cold winter over Hainan

(a) wind anomaly at 200 hPa (unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), (b) wind (unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and potential height anomaly (unit: gpm) at 500 hPa, (c) wind anomaly at 850 hPa (unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), (d) sea level pressure anomaly (unit: hPa)

(Shaded area has passed  $\alpha=0.05, 0.01, 0.001$  significance level test, respectively)

南岛冬季气温偏低,出现冷冬事件。

为了进一步揭示大气环流异常对海南岛冬季气温的影响,选取 15°~25°N、105°~115°E 平均风场资料分别分析了纬向环流和经向环流特征。图 4a 和 4b 分别显示的是冬季纬向风气候态平均和冷冬年纬向风异常分布。由气候态平均可以看出(图 4a),海南岛附近低层 850 hPa 以下为东风分量,无明显垂直上升气流。而在冷冬年份(图 4b),低层 850 hPa 以下为纬向风负距平,表明冷冬年东

风偏强。另外,在海南岛附近存在明显的垂直上升气流。

图 4c,图 4d 分别显示的是冬季经向风气候态平均和冷冬年经向风异常分布。气候态平均显示(图 4c),海南岛上空 925 hPa 以下为明显的偏北风,无明显垂直上升气流。而对于冷冬年而言(图 4d),700 hPa 以下均为一致的负距平,表明冷冬年低层北风偏强,且存在明显的上升气流。

对比纬向环流异常及经向环流异常可以看出,

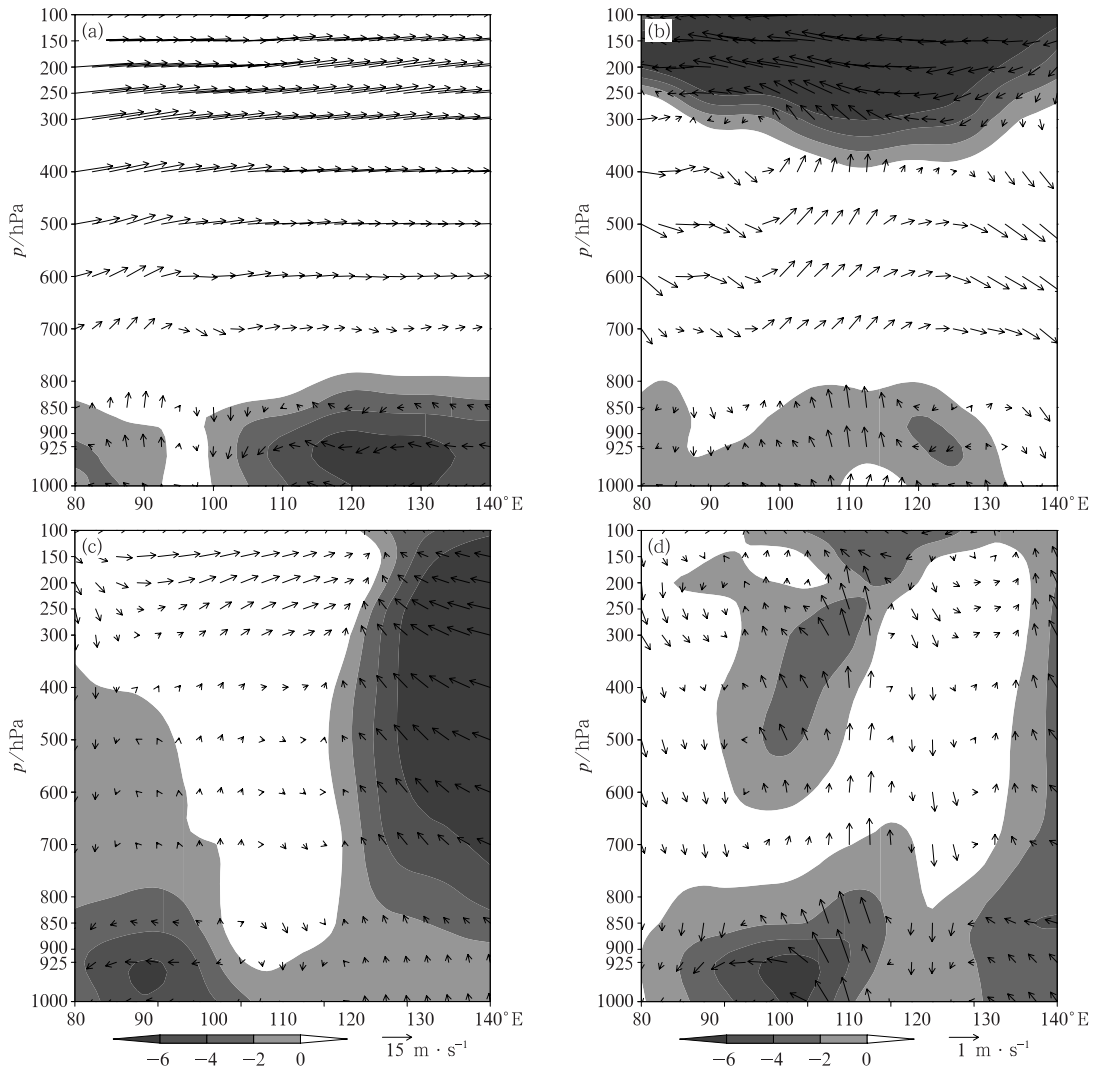


图 4 海南岛地区纬向(15°~25°N)环流场(a,b,阴影区域为纬向风速)与经向(105°~115°E)环流场(c,d,阴影区域为经向风速)  
(单位:m·s<sup>-1</sup>,垂直速度扩大 100 倍)  
(a,c)气候态平均,(b,d)冷冬异常距平

Fig. 4 Zonal average circulation field (a, b) (15°–25°N, shaded area; zonal wind speed anomaly) and meridional average circulation field (c, d) (105°–115°E, shaded area; meridional wind speed anomaly), (The vertical velocity has been multiplied by 100 times, unit: m·s<sup>-1</sup>)  
(a, c) long term climate mean, (b, d) anomaly in cold winter

冷冬年中低层东北气流偏强,并且伴随有明显的上升气流,这与前文分析冷冬年东亚冬季风偏强结论一致,表明影响海南岛的冷空气活跃,强度偏强,使得冬季气温偏低。

### 3.2 冷冬年海温分布特征分析

海南岛紧邻广阔的南海,海洋的热力强迫作用可以引起大气环流系统产生变化,同时大气环流可以反映海洋热力强迫作用(蒋全荣等,1997)。海南岛周围海域海温与海南岛冬季气温关系密切相关。为直观显示海温与海南岛冬季气温的关系,将近 40 年来冷冬年海表温度距平及次表层海温距平进行了合成,如图 5a 所示,在冷冬年,南海海表温度较常年明显偏低,其中海南岛东侧海域较常年偏低约  $0.6^{\circ}\text{C}$ ,负距平中心位于南海北部,偏低约  $0.8^{\circ}\text{C}$ 。图 5b 显示的是 30 m 次表层海温距平分布,从图中可看出,在 30 m 次表层,南海至我国东部近海次表层海温均较常年偏低,次表层其他深度特征相似(图略),整层海温较常年偏低。我国东部近海以及南海北部海温偏低,受海洋热力强迫作用,其上空等压面降低,副高东退,副高位置偏东,使得冬季冷空气更易南下影响海南岛,迫使冬季气温偏低,出现冷冬事件。可见,海南岛周围海域海温异常偏低可作为冬季气温偏低的诱因之一。

### 3.3 环流指数与冷冬年关系分析

为分析大气环流指数与海南岛冷冬的内在联系,对国家气候中心提供的 74 项环流指数与海南岛

冷冬事件的相关性进行了分析(表略),筛选与海南岛冷冬事件相关性较高的环流指数。经统计分析,相关系数达到 0.3 以上的环流指数有:北半球副高面积指数(0.46)、北半球副高强度指数(0.41)、北半球极涡中心位置(-0.31)、南海副高北界(0.32)、南海副高面积指数(0.43)、南海副高强度指数(0.39)、西太平洋副高面积指数(0.46)、西太平洋副高强度指数(0.35)、西太平洋副高西伸脊点(-0.45)、亚洲经向环流指数(-0.32)、亚洲纬向环流指数(0.31)、亚洲区极涡面积指数(-0.31)。从相关性分析可以看出,各环流指数中,副高面积指数、副高西伸脊点与海南岛冷冬事件相关系数较高。选取南海副高面积指数、西太平洋副高面积指数和西太平洋副高西伸脊点为例,分析其与海南岛冷冬事件的对应关系(图 6)。从图 6 中可以看出,冷冬年多对应副高面积指数低值年和副高西伸脊点高值年,进一步证明冷冬年副高偏弱。副热带高压偏弱、位置偏东时,有利于北方冷空气向南扩散,影响华南及海南地区,使海南岛出现冷冬事件。

### 3.4 ENSO 和北极涛动与海南岛冷冬关系分析

EL Niño 和 La Niña 是热带海洋-大气共同作用的产物,EL Niño 和 La Niña 的发生常常会引起我国气候异常,La Niña 事件的发生有利于东亚冬季风的增强。图 7a 显示的是近 40 年来 Niño3.4 指数演变与海南岛冷冬对应关系,在近 40 年海南岛发生的 12 次冷冬事件中,有 9 年位于 ENSO 冷位相,2 年位于 ENSO 暖位相,1 年位于冷位相向暖位相

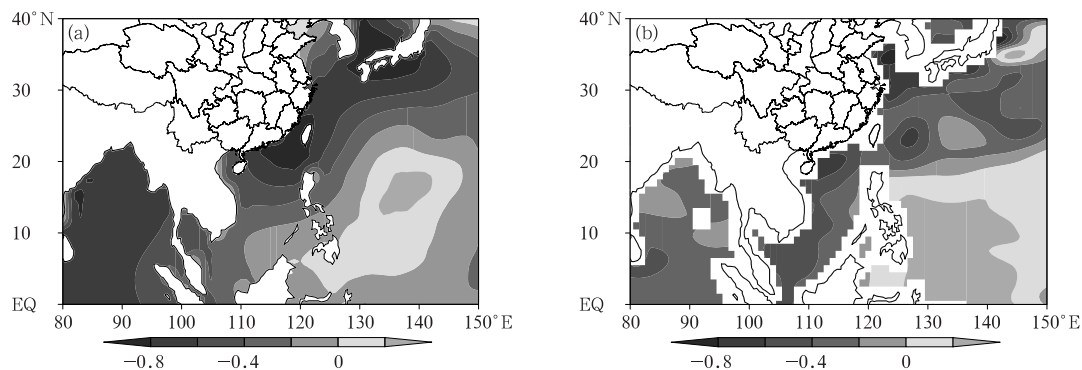


图 5 冷冬年海温距平分布(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

(a)海表温度距平,(b)30 m 次表层海温距平

Fig. 5 Sea temperature anomaly in cold winter (unit:  $^{\circ}\text{C}$ )

(a) sea surface temperature anomaly, (b) subsurface temperature in 30 m below sea surface

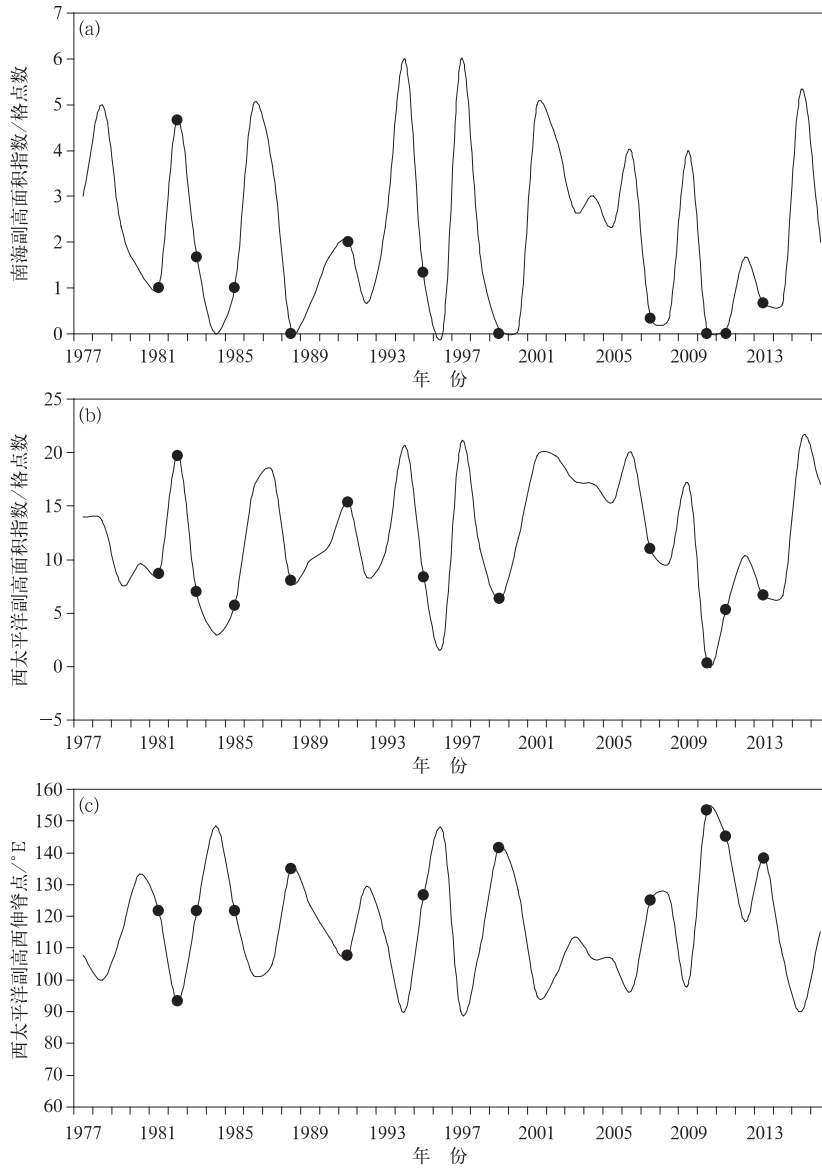


图 6 副高面积指数、副高西伸脊点指数与海南岛冷冬事件对应分布  
 (a)南海副高面积指数,(b)西太平洋副高面积指数,(c)西太平洋副高西伸脊点  
 (黑点为近 40 年海南岛冷冬年)

Fig. 6 The cold winter years and the subtropical high area index and west ridge point index  
 (a) subtropical high area index of South China Sea, (b) subtropical high area index  
 of West Pacific, (c) west ridge point index of West Pacific  
 (Black spots are cold winter years)

过渡期。另外,对 ENSO 冷位相年中的 La Niña 事件统计发现,近 40 年来,一共出现 9 次 La Niña 事件,其中 7 次海南岛出现了冷冬事件。因此,可以看出,海南岛冷冬事件多出现在 ENSO 冷位相,并且与 La Niña 事件存在较好的对应关系,ENSO 位于冷位相时,西北太平洋有气旋性环流异常,副高相对偏弱,使得冬季北风异常偏强,导致我国冬季偏冷,

进而有利于冷冬事件的发生(Zhang et al,1996; Wang et al,2000)。分析结论与伍红雨等(2014)研究华南冬季气温与 ENSO 的关系结论一致,La Niña 事件发生时,副高偏弱,中高纬度冷高压较强,东亚冬季风偏强。

另外,AO 指数同样与我国冬季气温存在密切联系(所玲玲等,2008;庞子琴和郭品文,2010)。研

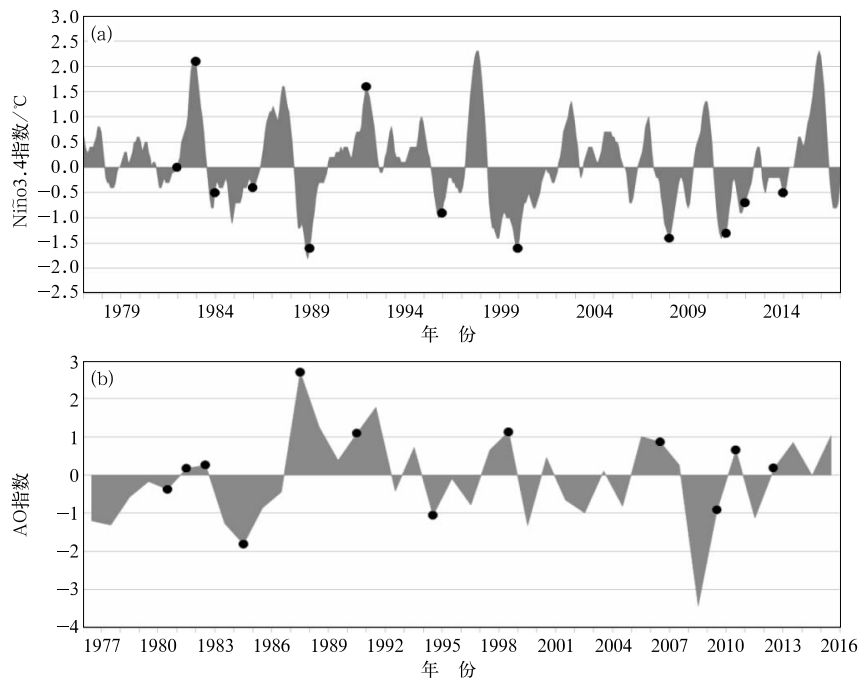


图 7 1977—2016 年 3 月滑动平均 Niño3.4 指数演变(a)和 AO 指数演变(b)  
(黑点为近 40 年海南岛冷冬年)

Fig. 7 Evolution of Niño3.4 index (a) and AO index (b) from 1977 to 2016  
(Black spots are cold winter years)

究指出, AO 指数负异常往往会引起中纬度东亚冬季风强度、西伯利亚高压强度异常偏强,从而使得我国中纬度冬季气温偏低(胡秀玲和刘宣飞,2005;李春和方之芳,2005)。陈文等(2013)研究指出,ENSO 和 AO 的影响在东亚呈现出线性叠加的特征,即南方受 ENSO 影响显著,而北方受 AO 的影响显著,ENSO 与 AO 对我国南北地区的影响存在一定的差异性。然而,有学者对 AO 指数与低纬度天气气候的关系进行了研究,指出 AO 指数同样对中低纬度地区气温存在一定的影响(屈静玄等,2015;司东等,2016),AO 指数能够显著影响东亚冬季风及我国南方的冬季气温。陈文等(2013)也指出,在 ENSO 循环处于冷位相与 AO 指数正位相相叠加的背景下,易出现北暖南冷的气候特点。因此,对海南岛冷冬事件与 AO 指数的对应关系进行了统计分析。分析时,将 AO 指数 > 0 视为 AO 正位相, AO 指数 < 0 视为 AO 负位相。如图 7b 所示,海南岛冷冬事件与 AO 指数同样存在一定的对应关系。海南岛 12 次冷冬事件中,8 次出现在 AO 指数正位相。在 AO 指数正位相年,孟加拉湾上空南支槽和南亚急流偏强,东亚急流显著减弱,西太平洋副高减弱,热带西太平洋有异常气旋式环流,我国南方地区偏

南风减弱,北风加强,使得海南岛更容易出现冷冬事件。

为综合考虑海南岛冷冬事件与 ENSO 事件和 AO 指数的内在联系,将海南岛近 40 年冷冬事件的发生与冬季 Niño3.4 指数和 AO 指数进行了统计分析(表 1),其中 Niño3.4 指数 > 0 以 Niño3.4(+ )表示,表征为 ENSO(暖), Niño3.4 指数 < 0 以 Niño3.4(- )表示,表征为 ENSO(冷)。1978/1979、1981/1982 年两年冬季 Niño3.4 指数 = 0,统计时未列入表中。统计结果表明,近 40 年中,在 ENSO 暖位相对应 AO 指数正位相时,海南岛冷冬事件出现的概率为 22.2%, ENSO 暖位相对应 AO 指数负位相时海南岛未出现冷冬事件。而当 ENSO 处于冷位相对应 AO 指数正位相时,海南岛冷冬事件出现的概率为 60%, ENSO 冷位相对应 AO 指数负位相时出现冷冬的概率为 33.3%。可以看出,海南岛冷冬事件更易出现在 ENSO 冷位相对应 AO 指数正位相年。结合大气环流异常特征及 ENSO 和 AO 指数分析,可以看出, ENSO 冷位相与 AO 正位相年相叠加,副高强度较弱,位置偏东,西风槽和孟加拉湾上空南支槽偏强,影响我国南方北风异常偏强,各系统异常相互配置,有利于影响海南岛的冷空气较常年



表 1 海南岛冷冬事件发生与 Niño3.4 指数  
和 AO 指数对应关系

Table 1 Proportion of cold winter year during different  
phases of Niño3.4 index and AO index

	AO(+)	AO(-)
Niño3.4(+)	2/9	0/10
Niño3.4(-)	6/10	3/9

注: 分母为总次数, 分子为冷冬次数。

Note: Denominator is the total year and numerator is the cold winter year.

偏强, 易发生冷冬事件。

## 4 结 论

对海南岛近 40 年来冷冬事件气候特征及其形成机理进行了分析, 得到结论如下:

(1) 海南岛冬季平均气温存在明显的年代际变化特征, 在 1993—1995 年、2010 年前后分别出现了两次气温突变。近 40 年, 海南岛冷冬事件频发, 有 1981、1982、1983、1985、1988、1991、1995、1999、2007、2010、2011、2013 年共 12 次冷冬年。海南岛南部市、县发生冷冬的频次大于中部及北部地区, 北部市、县冷冬强度强于南部地区。

(2) 海南岛偏冷年, 高低层良好的环流形势配合, 有利于对流层中低层西伯利亚高压的增强, 东亚冬季风显著偏强, 影响我国的冷空气更加活跃, 且存在明显的上升气流, 高低层大气环流异常共同作用使得海南岛冬季气温偏低。冷冬年分别对应副高面积指数低值年和副高西伸脊点高值年, 表明副高偏弱、位置偏东时, 海南岛易出现冷冬事件。

(3) 冷冬年, 海南岛周围海域海温较常年明显偏低。海温异常偏低, 受海洋强迫作用, 副高位置易偏东, 进而有利于诱发海南岛冬季气温偏低。

(4) 海南岛冷冬事件与 La Niña 事件存在较好的对应关系, 冷冬多出现在 ENSO 冷位相年和 AO 指数正位相年。ENSO 冷位相对应 AO 正位相年, 更加有利于副高强度偏弱偏东, 西风槽和孟加拉湾上空南支槽偏强, 影响我国南方的北风异常偏强, 使

得影响海南岛的冷空气较常年偏强, 发生冷冬事件。

## 参考文献

- 陈文, 兰晓青, 王林, 等, 2013. ENSO 和北极涛动对东亚冬季气候异常的综合影响[J]. 科学通报, 58(8): 634-641.
- 董李丽, 李清泉, 丁一汇, 2015. 全球变暖背景下我国春季气温的时空变化特征[J]. 气象, 41(10): 1177-1189.
- 胡秀玲, 刘宣飞, 2005. 东北地区冬季气温与北极涛动年代际关系研究[J]. 南京气象学院学报, 28(5): 640-648.
- 蒋全荣, 郑定英, 余志豪, 1997. 副热带高压季节性移动与海温场的联系[J]. 大气科学, 21(2): 199-204.
- 琚建华, 任菊章, 吕俊梅, 2004. 北极涛动年代际变化对东亚北部冬季气温增暖的影响[J]. 高原气象, 23(4): 429-434.
- 李春, 方之芳, 2005. 北极涛动与东北冬季温度的联系[J]. 高原气象, 24(6): 927-934.
- 庞子琴, 郭品文, 2010. 不同年代际背景下 AO 与冬季中国东北气温的关系[J]. 大气科学学报, 33(4): 469-476.
- 屈静玄, 龚道溢, 李桑, 2015. 春季北极涛动对南海气候的影响[J]. 科学通报, 60(24): 2327-2337.
- 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.
- 司东, 马丽娟, 王朋岭, 等, 2016. 2015/2016 年冬季北极涛动异常活动及其对我国气温的影响[J]. 气象, 42(7): 892-897.
- 所玲玲, 黄嘉佑, 谭本旭, 2008. 北极涛动对我国冬季同期极端气温的影响研究[J]. 热带气象学报, 24(2): 163-168.
- 王凌, 张强, 陈裕, 等, 2007. 1956—2005 年中国暖冬和冬季温度变化[J]. 气候变化研究进展, 3(1): 26-30.
- 王绍武, 1994. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. 气象学报, 52(3): 261-273.
- 伍红雨, 潘蔚娟, 王婷, 2014. 华南冬季气温异常与 ENSO 的关系[J]. 气象, 40(10): 1230-1239.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会, 2008. 暖冬等级: GB/T 21983—2008[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 周自江, 王颖, 2000. 中国近 46 年冬季气温序列变化的研究[J]. 南京气象学院学报, 23(1): 106-112.
- Wang Bin, Wu Renguang, Fu Xiouhua, 2000. Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect east Asian climate? [J]. J Climate, 13(9): 1517-1536.
- Zhang Renhe, Sumi A, Kimoto M, 1996. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: a diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events[J]. J Meteor Soc Japan, 74(1): 49-62.