

# 南方极端雨雪冰冻过程东亚冬季风环流特征及 与 EI Nino/La Nina 事件的关系

李 灿<sup>1</sup>,张礼平<sup>2</sup>,吴义城<sup>1</sup>,冯 明<sup>2</sup>

(1.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074;2.武汉区域气候中心,武汉 430074)

**摘 要:**根据南方极端雨雪冰冻过程的定义,确定 1964、1969、1977、1984、2008 年的强降水、降温过程为南方极端雨雪冰冻过程。对发生在 EI Nino/La Nina 事件之后的南方极端雨雪冰冻过程的分析表明:EI Nino/La Nina 是造成中国东部 1 月降水异常的一个主要原因,但不能解释气温异常。前一年秋季热带中东太平洋发生暖事件时,利于 1 月降水黄河流域偏少,长江以南偏多,而发生冷事件时,则利于 1 月降水黄河流域偏多,长江以南偏少。南方极端雨雪冰冻过程期间对流层低层和高层矢量风距平场表明:发生月对流层低层在 1977、1984 年南方极端雨雪冰冻过程中,北太平洋出现大范围气旋环流异常,中国长江中下游及以南至菲律宾出现气旋环流异常,长江中下游及以南为东风距平控制。1964、1969、2008 年北太平洋出现大范围反气旋环流异常,中国长江中下游及以南出现大片偏南风距平。其共同点是均存在洋面上空暖湿空气向长江中下游及以南地区的输送。南方极端雨雪冰冻过程的前一年 11 月北太平洋无一例外地出现大范围气旋环流异常,发生月对流层高层副热带西风急流在中国黄海至日本一带较常年都有不同程度的偏强。

**关键词:**气候学;东亚冬季风;EI Nino/La Nina 事件;南方极端雨雪冰冻过程

**中图分类号:**P461 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2010)02-0142-06

## 1 引言

2008 年 1 月中旬到 2 月上旬,中国南方发生了历史罕见的低温雨雪冰冻灾害,灾害发生地最大连续低温日数、最大连续降雪量和最大连续冰冻日数均为 1951 年以来历年冬季的最大值,其强度为百年一遇。此次灾害具有影响范围广、持续时间长、发生强度大等特点,对中国南方电力、交通、农业、林业、人民生活等产生了重大影响<sup>[1]</sup>。由此引起社会各界对南方冰雪的关注。尽管南方出现冰雪的频率明显少于北方,但南方的冰雪一旦发生,造成的灾害并不亚于北方,有时甚至超过北方,探讨南方极端冰雪灾害有十分重要的科学和社会意义。

顾雷等<sup>[2]</sup>从东亚季风系统有关成员的异常探讨 2008 年 1 月低温雨雪冰冻灾害成因,认为阻塞高压和东亚大槽稳定维持、西太平洋副热带高压偏北导致了长时间低温雨雪冰冻天气。常蕊等<sup>[3]</sup>的研究表明:EI Nino 或 La Nina 背景下,冬季南方降雪可能多也可能少。何溪澄等<sup>[4]</sup>通过分析中国南方冬季典型的多雨年(1997/1998 年)和少雨年(1998/1999 年),认为多雨年与 ENSO 事件的暖期相联系,西风带槽脊偏东偏弱,东亚冬季风减弱,副热带高压增强。张礼平等<sup>[5]</sup>用月平均

850 hPa 风场资料分析华中地区气温异常与东亚冬季风系统低空环流异常的关联,结果表明:若 11 月 850 hPa 阿留申气旋环流偏强,位置偏南,其次台湾岛以东的气旋环流异常和其以东的反气旋环流异常,次年 1 月华中地区气温将偏低,反之亦然。

本文根据文献[6]的研究定义南方极端雨雪冰冻过程,分析 1960 年以来南方极端雨雪冰冻过程发生年份的东亚冬季风系统环流特征,并探讨南方极端雨雪冰冻过程与 EI Nino/La Nina 事件的可能关联。

## 2 资料及相关定义

月平均 850、200 hPa 风场  $u$ 、 $v$  资料取自 NCEP/NCAR 全球再分析资料<sup>[7]</sup>,水平分辨率  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。用 850 hPa 代表对流层低层,200 hPa 代表对流层高层。

EI Nino 3.4 区( $5^\circ\text{N}—5^\circ\text{S}$ , $170^\circ—120^\circ\text{W}$ )海表温度取自 ERSST.V3B 资料<sup>[8]</sup>。ONI(Oceanic Nino Index)指数资料取自网站<sup>[9]</sup>。

中国月平均气温、总降水量取自国家气候中心中国 160 站资料。

冬季定义为 12 月至次年 2 月。南方区域是指四川、湖北、湖南、贵州、重庆、江西、广西 7 省市区,1960—2008 年冬季逐日资料取自南方区域的 164 个

收稿日期:2010-04-30;定稿日期:2010-06-08

基金项目:国家科技支撑计划项目(2008BAC47B01)资助

作者简介:李灿,男,1970 生,工程师,主要从事应用气象研究。E-mail: lican@whhr.com.cn

气象站平均气温、日最低气温和降水量资料,资料来源于国家气象信息中心。

南方极端雨雪冰冻过程的定义<sup>[6]</sup>:凡研究区(7个省市范围)内有40个县(市)及以上满足日平均温度低于 $-0.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或过程的最低温度平均值低于 $-2.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天气持续时间达9 d或以上,并伴有雨雪发生,过程降水量 $\geq 19\text{ mm}$ 的天气过程,定义为南方极端低温

冰雪天气过程。极端雨雪冰冻过程发生的年份定义为雨雪冰冻年。

1960年以来南方极端雨雪冰冻过程共发生5次:1964年2月16—25日、1969年1月28日至2月6日、1977年1月27日至2月4日、1984年1月17—28日、2008年1月13日至2月2日。具体气候特征见表1。

表1 5次南方极端雨雪冰冻过程气候特征值统计表

年份	开始月	开始日	持续天数/d	平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	平均最低温度/ $^{\circ}\text{C}$	极端最低温度/ $^{\circ}\text{C}$	过程降水量/mm	台站数/个
1964	2	16	10	-1.2	-2.7	-5.2	39.2	52
1969	1	28	10	-2.7	-5.1	-8.7	28.7	52
1977	1	27	9	-2.3	-4.4	-9.5	19.2	62
1984	1	17	12	-0.5	-2.5	-5.5	27.8	40
2008	1	13	21	-1.1	-2.2	-4.8	46.0	49

### 3 南方极端雨雪冰冻过程与 EI Nino/La Nina 事件的关联

计算了南方极端雨雪冰冻过程发生的前一年9—12月逐月 EI Nino 3.4 区 SST 与中国大陆次年1月和2月气温、降水的相关系数。结果表明:9—12月逐月 EI Nino 3.4 区 SST 与中国大陆次年1月和2月气温相关系数分布相似,负、正区域系统分布大致相同;与中国大陆次年1月和2月降水相关系数分布相似,负、正区域系统分布也大致相同。其中,1月降水与 EI Nino 3.4 区 SST 关系最好,黄河河套及长江以南分别有超过显著性水平5%的负、正相关区(图1),相关系数零线大致与长江重合,即前期 EI Nino 3.4 区 SST 偏高时,1月降水黄河河套偏少,长江以南偏多。也即前一年秋季热带中东太平洋发生暖事件时,利于1月黄河河套降水偏少,长江以南偏多,反之亦然。9—12月逐月 EI Nino 3.4 区 SST 与中国大陆2月降水相关系数绝对值小于1月,没有大片超过显著性水平5%

区域(图略)。1月、2月气温与 EI Nino 3.4 区 SST 相关系数中国大陆以弱正相关为主,中东部均没有大片超过显著性水平5%区域(图略)。2月中国中东部降水、1月、2月中国大陆气温与前一年秋季热带中东太平洋热状况的关联并不密切。

定义 EI Nino 3.4 区 SST 距平3个月滑动平均持续5个月在 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以上为一次 EI Nino 事件, $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以下为一次 La Nina 事件<sup>[9]</sup>。1963年7月至1964年1月,热带中东太平洋发生了一次 EI Nino 事件,ONI 指数1.0,其后在1964年2月南方发生极端雨雪冰冻过程(1964年2月16—25日)。1968年11月至1969年6月,热带中东太平洋发生一次 EI Nino 事件,ONI 指数1.0,其后在1969年1月南方发生极端雨雪冰冻过程(1969年1月28日至2月6日)。1976年9月至1977年2月,热带中东太平洋发生一次 EI Nino 事件,ONI 指数0.8,其后在1977年1月南方发生极端雨雪冰冻过程(1977年1月27日至2月4日)。1983年9—12月, EI Nino 3.4 区 SST 距平持续4个月 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,但未达到 La Nina 事件,1个月后,1984年1月南方发生极端雨雪冰冻过程(1984年1月17—28日)。2007年5月至2008年3月,热带中东太平洋发生一次 La Nina 事件,ONI 指数-1.4,其后2008年1月南方发生了极端雨雪冰冻过程(2008年1月13日至2月2日)。

南方极端雨雪冰冻过程中,1964、1969、1977年与 EI Nino 事件对应,仅2008年与 La Nina 事件对应,1984年与冷事件对应。可见, EI Nino 或 La Nina 背景下,南方极端冰雪均可能发生,但相对而言, EI Nino 事件背景更容易发生南方极端雨雪冰冻过程。

鉴于1969、1977、2008年3年出现气候异常的1月均处于 EI Nino/La Nina 事件之后,且1月降水又

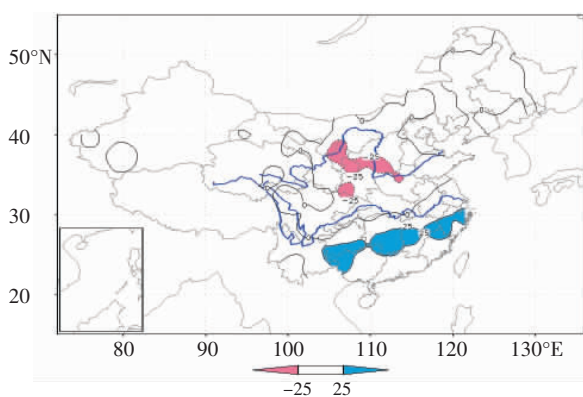


图1 10月 EI Nino 3.4 区 SST 与次年1月中国大陆降水相关系数分布图

(等值线标值扩大了100,阴影表示超过显著性水平5%区域)

与热带中东太平洋热状况相关显著,因而有可能、也有必要分析这 3 年 1 月气候异常与 EI Nino/La Nina 事件的关联。1969 年 1 月月平均气温中国大部偏低,降水黄河河套北部及以东异常偏少,长江中下游及以南异常偏多。1977 年 1 月月平均气温中国大部偏低,降水黄河河套大部及以东异常偏少,长江中下游以南大部异常偏多。2008 年 1 月月平均气温中国大部偏低,降水中国中东部长江以北(包括河套大部)异常偏多,长江以南贵州、湖南大部异常偏少,异常偏多出现在广东、福建的沿海地区。对比 10 月 EI Nino 3.4 区 SST 与中国大陆次年 1 月降水、气温的相关图,1969、

1977 年 1 月降水异常正、负区域可大致对应 EI Nino 3.4 区 SST 与中国大陆次年 1 月降水的相关图上超过显著性水平 5% 区域,2008 年 1 月降水异常正、负区域与相关图上超过显著性水平 5% 区域大致相反(图 1、2)。10 月 EI Nino 3.4 区 SST 与中国大陆次年 1 月气温以弱正相关为主,与 EI Nino 对应的 1969、1977 年和与 La Nina 对应的 2008 年中国大陆大部气温都异常偏低,难以用 EI Nino/La Nina 事件区别这 3 年中国大陆气温的异常。可以认为 EI Nino/La Nina 事件是这 3 年中国大陆 1 月降水异常的一个主要原因,但不能解释气温异常。

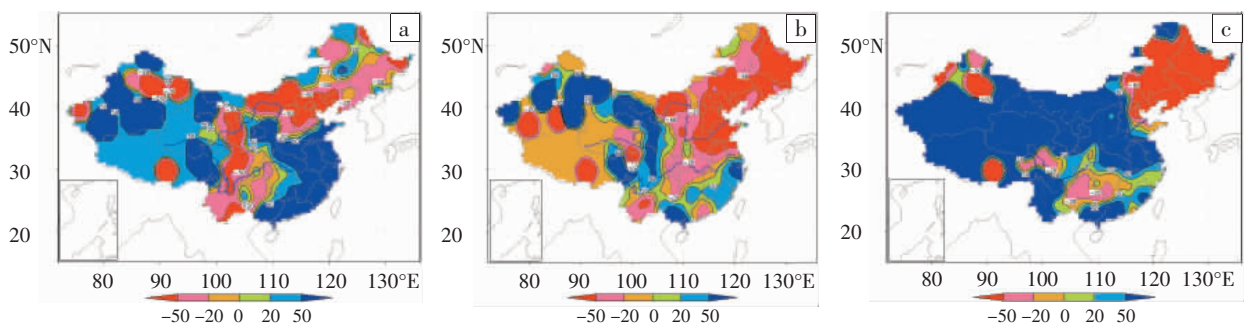


图 2 1969(a)、1977(b)、2008(c)年 1 月中国大陆降水距平百分率图(单位:%)  
(多年平均基准为 1971—2000 年,下同)

可从 EI Nino 事件与东亚季风的关系<sup>[10]</sup>解释其中部分原因:1 月为东亚冬季风盛行期,前一年秋季热带中东太平洋发生暖事件时,利于冬季风偏弱,而大尺度降水正异常往往发生在冷暖空气交汇的气流辐合地带,弱冬季风使得冷暖空气交汇在长江以南,造成长江以南降水偏多;前一年秋季热带中东太平洋发生冷事件时,利于冬季风偏强,强冬季风使得冷暖空气交汇在更南,致使长江以南降水偏少。而大尺度气温异常与冷暖空气对峙关系不大,因而 1 月中国大陆气温与秋季热带中东太平洋热状况的关联并不密切。

#### 4 冬季南方极端冰雪年东亚冬季风环流特征

##### 4.1 冬季南方极端冰雪年东亚冬季风环流

对流层低层南方极端冰雪年份低温雨雪冰冻初日发生月(1964 年为 2 月,1969、1977、1984、2008 年为 1 月)1977、1984 年北太平洋出现大范围气旋环流异常,中国长江中下游及以南至菲律宾出现气旋环流异常,长江中下游及以南为东风距平控制,即东风明显偏大。1964、1969、2008 年北太平洋出现大范围反气旋环流异常,中国长江中下游及以南出现大片偏南风距平,即南风明显偏大。尽管风向不同,洋面上空暖湿空气向长江中下游及以南地区输送是相同的。1969 年反气旋异常环流南侧,有一范围略小的气旋异常环流。1969、1977 年受 EI Nino 影响,东亚大陆边缘受南

风距平控制,即冬季风偏弱。2008 年受 La Nina 的影响,东亚大陆边缘中高纬受北风距平控制,即冬季风偏强。由于 1964 年 2 月、1984 年 1 月均处于 EI Nino/La Nina 事件结束之后,其影响并不明显(图 3)。

南方极端冰雪年份中低温雨雪冰冻发生的前一年 11 月北太平洋无一例外地出现大范围气旋环流异常(图 4),与张礼平等<sup>[5]</sup>分析的前一年 11 月 850 hPa 风场与 1 月华中地区气温场关系的结果类似。由于 11 月资料 12 月可获得,用 11 月资料预测次年 1 月气候趋势业务可行,因而前一年 11 月北太平洋有无大范围气旋环流异常可以作为预测 1 月气候是否异常的一个重要指标。发生的前一年 12 月 1963、1976、1983 年北太平洋维持气旋环流异常,1968、2007 年转为反气旋环流异常(图略)。

对流层高层冬季北半球副热带西风急流由阿拉伯半岛往东,经青藏高原南缘、日本,至日本以东北太平洋。低温雨雪冰冻初日发生月,副热带西风急流在中国黄海至日本较常年都有不同程度的偏强。1964、1969、2008 年北太平洋出现大范围反气旋环流异常,1977、1984 年北太平洋出现大范围气旋环流异常(图 5)。与对流层低层对应,1969 年反气旋异常环流南侧,也有一范围略小的气旋异常环流。所有年北太平洋上空对流层高、低层均为相同的异常环流,其中心位置高、低层大致不变。

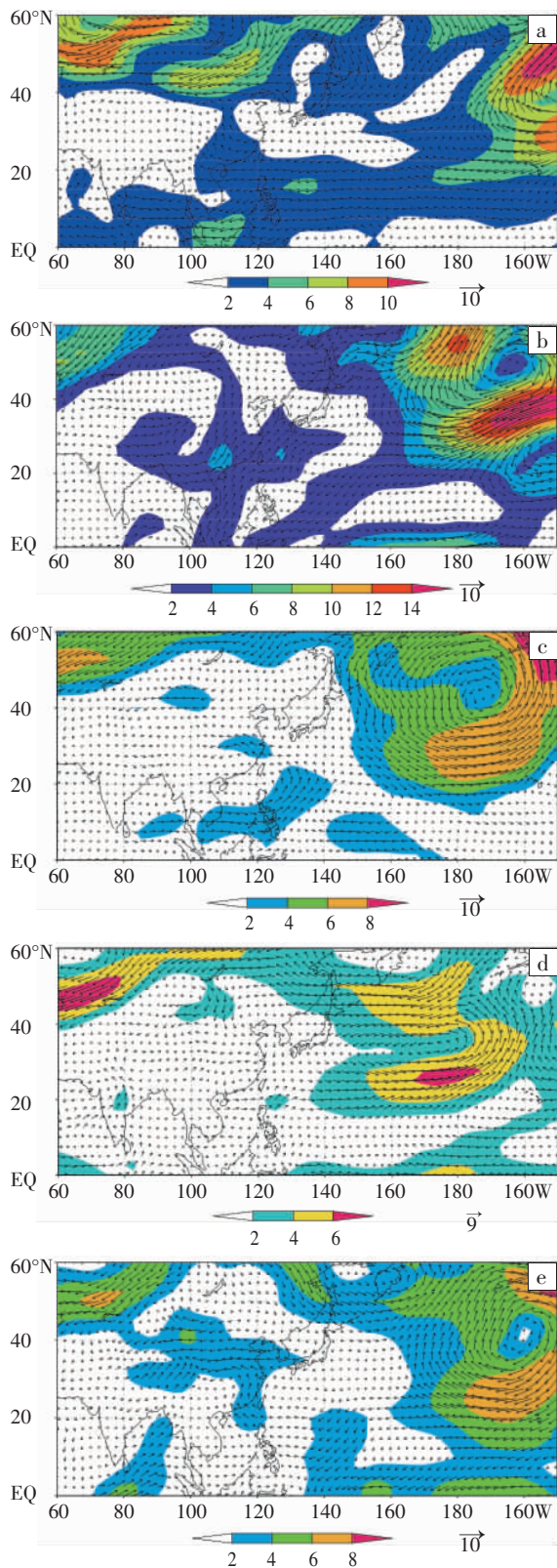


图 3 1964 年 2 月(a)及 1969(b)、1977(c)、1984(d)、2008(e)年 1 月 850 hPa 矢量风距平场图(阴影区风速距平  $\geq 2$  m/s)

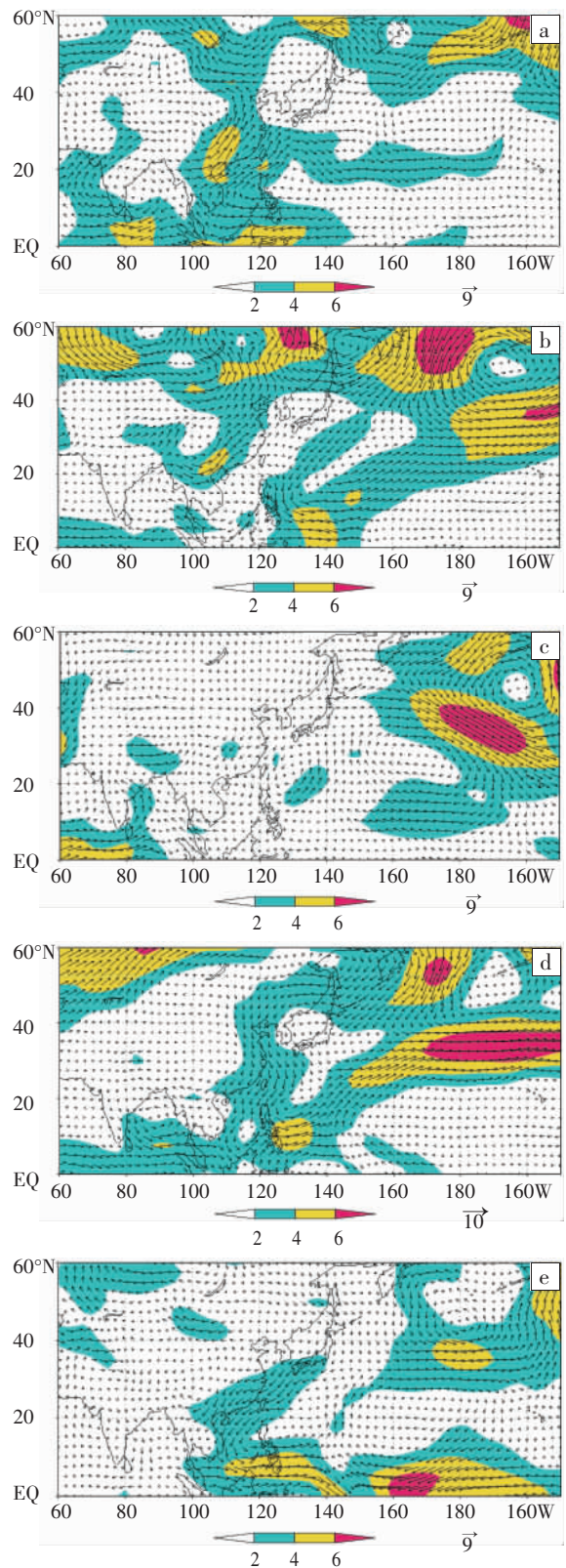


图 4 1963(a)、1968(b)、1976(c)、1983(d)、2007(e)年 11 月 850 hPa 矢量风距平场图(阴影区风速距平  $\geq 2$  m/s)

#### 4.2 1977 年与 2008 年环流差异

1977 年 1 月和 2008 年 1 月平均温度距平中国大范围均为负异常(图略), 但 1977 年 1 月降水距平中国大范围负异常, 2008 年 1 月降水距平中国大范围正异常(图 2)。

1977 年 1 月对流层低层西伯利亚的北风和中国东部江南的南风均未出现明显异常, 仅黄河、长江上游附近出现东西风辐合, 对流层高层中国东部大部为气旋异常环流控制(图 3c、5c), 因而中国东部(黄河、长江中下游)大部降水偏少, 而黄河、长江上游偏多。2008

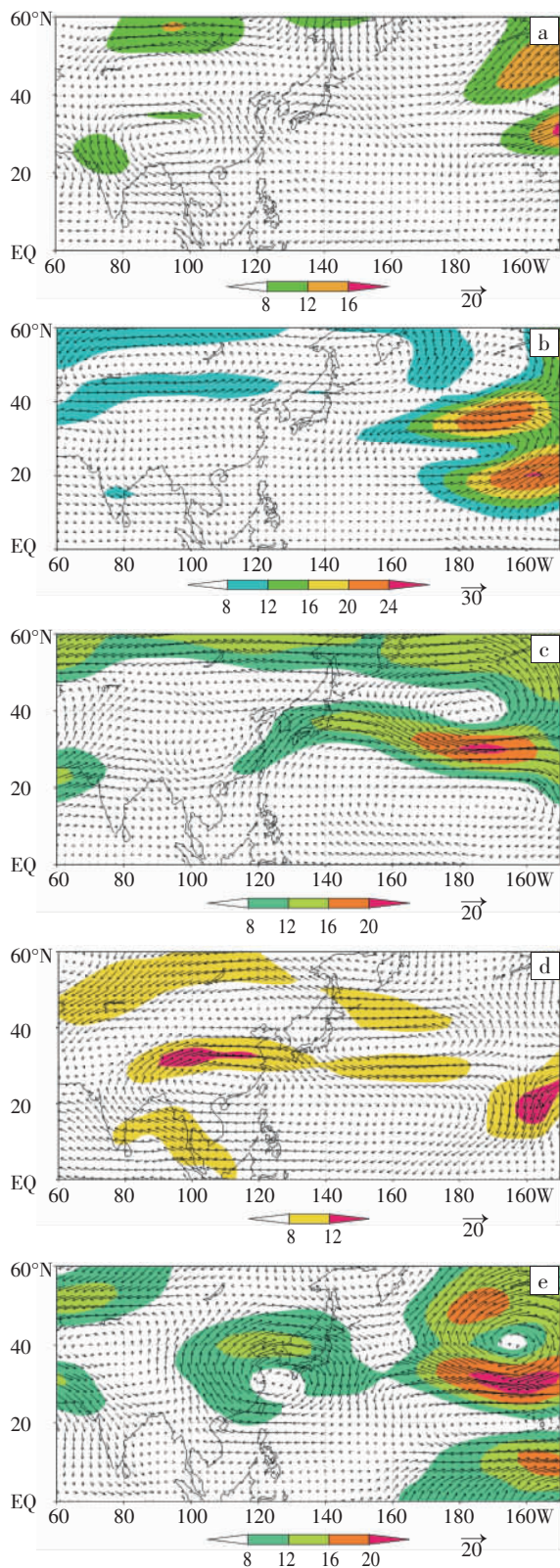


图 5 1964 年 2 月(a),1969(b)、1977(c)、1984(d)、2008(e)年 1 月 200 hPa 矢量风距平场图(阴影区风速距平 $\geq 8$  m/s)

年 1 月对流层底层东亚  $45^{\circ}\text{N}$  以北北风异常偏强,而长江中下游及以南南风也异常偏强,对流层高层东亚大部反气旋环流异常(图 3、5),这种高层辐散、低层辐合的配制,显然有利于中国东部(黄河、长江中下游)大部降水偏多。

## 5 结论

(1)EI Nino/La Nina 事件是中国大陆 1 月降水异常一个主要原因,但不能解释气温异常。前一年秋季热带中东太平洋发生暖事件时,利于 1 月降水黄河河套偏少,长江以南偏多,反之亦然。

(2)对流层低层南方极端冰雪年份低温雨雪冰冻初日发生月 1977、1984 年北太平洋出现大范围气旋环流异常,中国长江中下游及以南至菲律宾出现气旋环流异常,长江中下游及以南为东风距平控制。1964、1969、2008 年北太平洋出现大范围反气旋环流异常,中国长江中下游及以南出现大片偏南风距平。其共同点是都有洋面上空暖湿空气向长江中下游及以南地区的输送。低温雨雪冰冻发生的前一年 11 月北太平洋无一例外地出现大范围气旋环流异常,因而前一年 11 月北太平洋有无大范围气旋环流异常可以作为预测 1 月气候是否异常的一个重要指标,但其物理机制尚不清楚,有待于进一步研究。1969、1977 年受 EI Nino 影响,东亚大陆边缘受南风距平控制,即冬季风偏弱。2008 年受 La Nina 的影响,东亚大陆边缘中高纬受北风距平控制,即冬季风偏强。

(3)对流层高层低温雨雪冰冻初日发生月,副热带西风急流在中国黄海至日本较常年都有不同程度的偏强。1964、1969、2008 年北太平洋出现大范围反气旋环流异常,1977、1984 年北太平洋出现大范围气旋环流异常。

## 参考文献:

- [1] 王遵娅,张强,陈峪,等. 2008 年初我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征[J].气候变化研究进展,2008(2):63-67.
- [2] 顾雷,魏科,黄荣辉. 2008 年 1 月我国严重低温雨雪冰冻灾害与东亚季风系统异常的关系[J].气候与环境研究,2008,13(4):405-418.
- [3] 常蕊,张庆云,彭京备.中国南方多雪年环流特征及对关键区海温的响应[J].气候与环境研究,2008,13(4):468-477.
- [4] 何溪澄,丁一汇,何金海,等.中国南方地区冬季降水异常的分析[J].气象学报,2006,64(5):594-604.
- [5] 张礼平,张乐飞.东亚冬季风系统低空环流特征及其对 1 月华中地区气温异常的影响[J].热带气象学报,2009,25(3):321-328.
- [6] 李灿,张端禹,冯明,等.南方极端低温雨雪冰冻过程天气学特征分析[J].暴雨灾害,2009,28(4):321-327.
- [7] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-years reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996,77(3): 437-471.
- [8] Smith T M, Reynolds R W,Thomas C Peterson, et al. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006) [J]. Journal of Climate, 2008,21: 2283-2296.
- [9] <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>
- [10] 穆明权,李崇银.东亚冬季年际变化的 ENSO 信息: .观测资料分析[J].大气科学,1999,23(3):276-285.

## Circulation Characteristic of East Asia Winter Monsoon of Extremely Low Temperature and Snow-ice Weather in Southern China and Its correlation with EI Nino/La Nina events

LI Can<sup>1</sup>, ZHANG Li-ping<sup>2</sup>, WU Yi-cheng<sup>1</sup>, FENG Ming<sup>2</sup>

(1.Institute of heavy Rain, CMA, Wuhan 430074;2.Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074)

**Abstract:** Some selected heavy rain and detemperature events during 1964,1969,1977,1984,2008 are deemed as extremely low temperature and snow-ice weather in Southern China according to its definition. Through the contrast analysis of those low temperature and snow-ice weather events during 1969,1977,2008 occurred after EI Nino/La Nina events, it is revealed that EI Nino/La Nina event is a major cause of rainfall anomaly over the eastern China in January, while it has no business with temperature anomaly. When warm events take place in the middle and eastern of equatorial Pacific during the last autumn, it facilitates to have less rainfall over the Yellow River valley while more rainfall over the south of the Yangtze River in January of the following year. And when cold events take place, it leads to reverse result. Wind departure field during extremely low temperature and snow-ice weather over the Southern China shows that as for low convective layer in the occurring month of 1977, 1984, large-scale anomalous cyclonic circulation is observed in the north of Pacific, anomalous cyclonic circulation is observed from the middle and lower reaches of the Yangtze River southerly to Philippines, easterly anomalies were observed in the middle and lower reaches of the Yangtze River and the area south to it. While in 1964,1969,2008 large scale anomalous anticyclonic circulation is observed in the north Pacific, southerly anomalies are observed in the middle and lower reaches of the Yangtze River and the area south to it. It is common that there is moist air transportation from over the sea to the middle and lower reaches of the Yangtze River and the area south to it. In the last November of all the years of 1964,1969,1977,1984,2008, large scale anomalous cyclonic circulations are observed in the north Pacific. In the occurring month of these years, upper-level subtropical westerly jet stream is stronger to some extent from the Huanghai Sea of China to Japan.

**Key words:** Climatology; East Asia winter monsoon; EI Nino/La Nina event; Extremely low temperature and snow-ice weather in Southern China

(上接第 110 页)

## Overview of Application of Quasi-balanced Flow in Diagnostic Analysis of Deep and Moist Convection System

LU Han-cheng, GE Jing-jing, ZHONG Wei

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

**Abstract:** Based on the fact of meso-scale organized deep and moist convection having the dynamical characteristics of strong divergent wind and vertical motion, this paper outlines the functions and shortcomings of balanced and non-balanced flows in diagnostic analysis of rotational wind and divergent wind. The paper introduces the principle and calculation method of quasi-balanced flow, as well as its application in the research of typhoon rainstorms and Meiyu front rainstorms. Results show that quasi-balanced flow can be a true reflection of the characteristics of large-amplitude vertical motion, in which vorticity and divergence coexist. 50%~70% of the vertical circulation in rainstorm area belongs to quasi-balanced flow. Therefore, quasi-balanced flow can describe the main part of vertical motion of deep and moist convection with long life and organized course. Quasi-balanced flow field has the characteristics of coexistence of vorticity motion and divergence motion. The analysis method of quasi-balanced flow has important effect in the diagnostic research of meso-scale deep and moist convection.

**Key words:** Deep and moist convection; Coexistence of vorticity and divergence; Quasi-balanced flow; PV- $\omega$  inversion method