

# 2008 年初中国南方雪灾大尺度环流背景分析<sup>\* 1</sup>

王亚非<sup>1</sup> 李 琰<sup>1,2</sup> 李萍云<sup>1</sup> 刘 英<sup>1</sup>

WANG Yafei<sup>1</sup> LI Yan<sup>1,2</sup> LI Pingyun<sup>1</sup> LIU Ying<sup>1</sup>

1. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京, 100081

2. 南京信息工程大学, 南京, 210044

1. *State Key laboratory of Severe weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*

2. *Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China*

2008-03-31 收稿, 2008-07-01 改回.

**Wang Yafei, Li Yan, Li Pingyun, Liu Ying. 2008. The large scale circulation of the snow disaster in south China in the beginning of 2008. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(5):826–835**

**Abstract** This study analyzed the heaviest snowfalls and icy rainfalls occurring in southern China from January to the beginning of February 2008. The results are summarized as follows: the disaster was associated with a persistent front of warm/cold air mass in southern China. It was result of the interaction between the weather systems in high latitudes and low latitudes. In mid-January 2008, the AO index changed from negative to positive, indicative of an adjustment of hemispheric circulation. The long lasting precipitation well coincided with a blocking situation nearby 80°E during mid-January to early February. A diagnostic analysis indicates that the energy dispersion accompanying the blocking high compelled stationary waves to propagate from high latitudes to the south of the Yangtze River, which maintained as an energy source for the cyclonic circulation in situ. Under the control of the massive blocking high, cold air from high latitudes could march southward on a large scale, but continuously pervaded into the south. On the other hand, the SST in the western Pacific warm pool rose up constantly since the onset of the strong La Nina episode, which provided a source for warm and moist air. The blocking high collapsed around 30 January and the energy source for the local cyclonic circulation was cutoff. Thus, the precipitation in southern China stopped after 1 February.

**Key words** Rossby wave, Large scale circulation, Snow disaster, Southern China, Blocking high

**摘 要** 分析 2008 年 1 月到 2 月初发生在中国南方雪灾冻雨的大尺度环流场, 结果表明: 这次南方强雨雪天气过程是北方冷空气和南方暖空气在中国南方地区持续维持、高低纬系统相互作用的一个典型个例。AO 指数在 1 月中旬由负变正, 表明了半球尺度环流的大幅度调整, 高纬度 80°E 附近地区阻高形势的维持是 1 月中下旬到 2 月初阴雨雪天气过程持续的清晰指标; 阻塞高压所伴随的能量频散使得准定常波持续从中高纬地区传播到较低纬度的长江及其以南地区, 使得当地的气旋性环流得以维持; 在乌拉尔山到贝加尔湖的强大阻塞高压的控制下, 冷空气不能大举南下、只是不断的渗透到南方, 与此同时受拉尼娜影响西太平洋暖池的海温不断增高, 暖湿空气势力也是持续增强, 代表暖势力暖池海温达到历史最强, 冷空气在南方受阻形成静止态势。一旦阻塞高压在 1 月 30 日前后崩溃, 供给江南地区气旋性环流的能源被切断, 所以 2 月 1 日的降水过程以后江南地区的持续性降水也就随之结束。

**关键词** Rossby 波, 大尺度环流, 南方雪灾, 阻塞高压

**中图法分类号** P434 P448

<sup>\*</sup> 资助项目: 国家自然科学基金委项目(40675034), JICA 中日政府间合作项目及中国气象科学研究院灾害性天气重点实验室 2008 自主研究项目。

作者简介: 王亚非, 主要从事东亚季风及大尺度环流背景等。E-mail: yfwang@cma.cma.gov.cn

## 1 引言

中国东部南方的天气,即使到了冬天也鲜见降雪,但是2008年初的长时间暴雪和冻雨使得这样的常规被打破,常年气象记录也被改写。中国东部南方地处副热带,受多种天气系统的影响,即使是冬季天气形势也会复杂难测。在冬季风盛行的1、2月份,南方的暖空气一般来讲很难长时间的抵御高纬度的强冷空气,降水天气维持时间相对较短,大风伴随大幅度的降温是主要的天气现象。造成2008年初雪灾的情况显然是与常规大相径庭。冬季风在这段时间相对偏弱,暖空气势力相对偏强可能是主因。单纯从天气形势的角度来说,一般而言,一种恶劣天气现象得以持续必然和某个大尺度环流类型的维持有关,这次雪灾过程确实也和阻塞形势有密切的联系。因此揭示此种环流的形成以及维持的规律是破解南方雨雪灾害天气原因的一个关键。阻塞环流在冬天易于发展(Rex, 1950a, 1950b),这个规律自然也应该适用于这次雪灾过程,况且冬季阻塞环流维持10—20 d的情形也并不少见。但是阻塞环流形成的原因却是多种多样的,除了一些直接的原因(例如上游地区瞬变波动的传输形成阻高维持和发展的能源等)外,在目前全球变暖的大背景下,间接的因素有时也会起到关键作用,例如太平洋海温变化等因素(Wang, et al, 2001)。这次雪灾过程到底属于哪种的情形很值得关注。众所周知,目前的数值预报对一周以内特别是24—48 h的天气形势预报和实际观测的误差较小,但是对1周以上的预报较难,对阻塞高压的预报更是如此。这种误差来源于两个因素:(1)长时间的数值积分会导致本来较小误差的线性增长,(2)正如Lorenz (1963)所指出的由不太准确初始观测资料引起的混沌现象会加剧这种累计误差并呈非线性飞速增长。由于阻塞环流是在所有大尺度系统中最为典型的混沌现象,预知其出现和消亡的时间变得更加困难。因此诊断分析能够帮助分析大尺度环流变化原因,有助于理解和预测灾害性天气的出现。本研究的目的是探讨造成这次雪灾的大尺度环流背景和产生原因,从而为灾害性天气预报提供理论依据。

## 2 资料和方法

本文所用资料主要有:(1)降水量资料来自于中

国气象局 Micaps 系统提供的气象观测资料;(2)美国 NCAR/NCEP 提供的 500 hPa 高度场逐日再分析资料,水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  经纬度,全球共  $144 \times 73$  网格点,时段为2008年1月1日至2月1日;(3)NOAA的V2周平均资料(1982—2008年), $1.0^\circ \times 1.0^\circ$  经纬度;(4)欧洲中心(ECMWF)逐日再分析资料,水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  经纬度,全球共  $144 \times 73$  网格点,包括高度场、风场和海表温度等资料,时段为2007年5月至2008年2月。

阻塞指数基本遵循Tibaldi等(1990)的定义,由美国气候预报中心(CPC)获得  $GHG1(\lambda, t)$ ,  $GHG2(\lambda, t)$ , 具体公式

$$I_{GHG1}(\lambda, t) = \frac{z(\phi_0, \lambda, t) - z(\phi_-, \lambda, t)}{\phi_0 - \phi_-} \quad (1)$$

$$I_{GHG2}(\lambda, t) = \frac{z(\phi_+, \lambda, t) - z(\phi_0, \lambda, t)}{\phi_+ - \phi_0}$$

这里  $z$  是 500 hPa 高度场的 5 d 滑动平均,其中

$$\begin{aligned} \phi_0 &= 60^\circ\text{N} + \Delta \\ \phi_+ &= \phi_0 + 20^\circ + \Delta \\ \phi_- &= \phi_0 - 20^\circ + \Delta \end{aligned} \quad (2)$$

其中  $\Delta = -5^\circ, 0^\circ, +5^\circ$  (3)

如果

$$I_{GHG1}(\lambda, t) > 0 \text{ 和 } I_{GHG2}(\lambda, t) < -10 \text{ m/deg} \quad (4)$$

加上一个  $\Delta$  成立,则判断环流在该经度阻塞。

定常波活动通量的水平分量的计算方法由Plumb(1985)开发所得,即

$$F = \begin{pmatrix} F_\lambda \\ F_\phi \end{pmatrix} = \frac{p}{p_s} \cos \phi \times \begin{pmatrix} v'^2 - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\phi} \frac{\partial(v'\Phi')}{\partial \lambda} \\ -u'v' + \frac{1}{2\Omega a \sin 2\phi} \frac{\partial(u'\Phi')}{\partial \lambda} \end{pmatrix} \quad (5)$$

式(5)中的风场  $u'$  和  $v'$  是在应用了地转近似之后的纬向距平值,  $\Phi'$  为位势高度纬向距平值,  $\Omega$  和  $a$  分别为地球自转角速度和地球半径,详情请参考Wang等(1994)的文章。

## 3 大尺度环流变化

由2008年1月1日—2月1日的中国江南地区逐日降水量(图1)可见,从1月中旬开始就不断有降水产生,一共有4个降水峰值,并且一次比一次强,1月28日和2月2日的降水量更加明显。阻塞指数随时间的变化(图2)表明,1月1日到1月11日高纬度  $20^\circ - 60^\circ\text{E}$  呈现很强的阻塞指数,说明有

强阻塞高压活动;1月16—28日较弱的阻高指数出现在 $60^{\circ}$ — $100^{\circ}$ E,另外鄂霍次克海(鄂海)以东地区的阿拉斯加附近也有稍弱的阻塞指数出现。这说明阻塞形势在1月12—15日有一个环流调整,中高纬度地区环流形势的这一变化也意味着连续的降水过程并不是单一的环流型所为。于是我们按照阻塞指数的活动规律分别分析1月1—11日和1月16—28日的环流场的特征。

图3a、3b分别是这两个时间段500 hPa高度场(等值线)和相应定常波的活动通量水平分量(矢量箭头)。第1阶段(1月1—11日)在乌拉尔山以西 $40^{\circ}$ E附近为一个强大的脊(图3a),并有552 dagpm

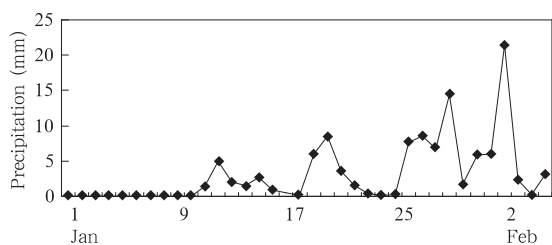


图1 2008年1月1日—2月5日中国江南地区( $25^{\circ}$ — $32^{\circ}$ N,  $110^{\circ}$ — $120^{\circ}$ E)的逐日降水量(单位:mm)

Fig. 1 Daily precipitation over the region ( $25^{\circ}$ — $32^{\circ}$ N,  $110^{\circ}$ — $120^{\circ}$ E) from January 1, 2008 to February 5, 2008 (units: mm)

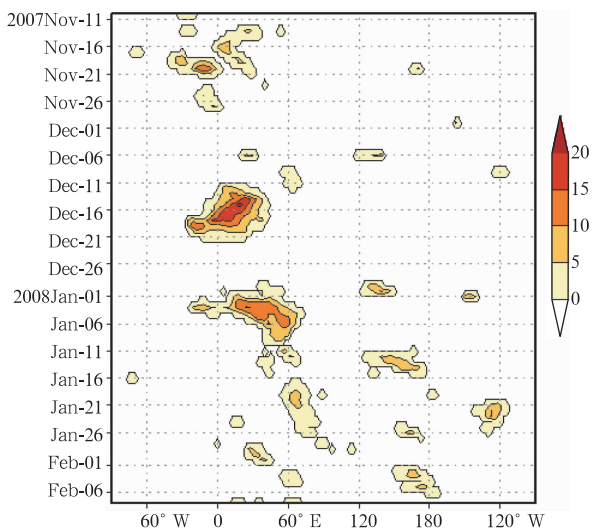


图2 CPC制作的阻高指数随时间的变化(单位:5 m/deg)

Fig. 2 Longitude-time diagram of the blocking index (unit: 5 m/deg, shaded area:  $>5$  m/deg) (Index was provided by CPC)

的闭合等值线,其东南部有闭合低压,为一典型的阻塞高压;在亚洲的中高纬度地区盛行西北气流,鄂海和贝加湖(贝湖)东北部分别有闭合的低压环流,阿拉斯加附近有较强的脊,这些环流特征也印证了阻塞指数的分布(图2)。高纬度地区沿 $70^{\circ}$ N附近从 $20^{\circ}$ E至 $100^{\circ}$ E有一支强劲的向东传播的通量波束,中低纬度基本盛行向东北传播的波束,值得注意的是从里海附近有向东北传播的波活动通量与沿 $70^{\circ}$ N向东传播的通量在 $80^{\circ}$ E附近汇合,还有相对明显的从日本南部向东北很快转向东南的短距离波活动通量传播。这些现象说明这段时间低纬度系统相对活跃得多,中国南方处于短波槽后部,受此种形势的长期控制降水偏少。但是第2阶段(1月16—28日)的情况(图3b)就不一样了,经过一次环流调整,宽广的高压脊线和切断低压槽线位于贝湖以西的 $80^{\circ}$ E附近形成一个阻塞环流。虽然这个阻塞环流缺少闭合中心不如前一个强,但由于其十分宽广,牢牢地控制着欧亚大部分地区的形势。伴随着阻塞高压的维持从高压中心附近有向东和向东南的波活动通量传播,最强烈的通量分布在 $140^{\circ}$ E以东,但是有一支相对稍弱的波束从高压中心向东南传播到中国南方。说明控制南方地区的系统一直得到来自高纬度能量的补充。换言之,这期间欧亚高纬度地区有Rossby波能传到长江及以南地区,按波动理论:定常波的能量将沿大圆路径以大约基本气流速度的两倍传播,在江淮地区产生气旋性异常环流从而导致降水(雪)。这是根据维持了很长时间的中、高纬度的阻塞高压使得大尺度环流背景相对稳定而得出的判断,很多研究证明准定常波的传播经常伴随阻塞高压的维持而存在。当然实际观测到的环流场也经常伴随移行波以及其他高频瞬变波的干扰,使得能量频散的速度和方向不是那么简单可以推测准确,在此我们暗含着也利用了中高纬度大气的准正压这个特性。

图4为随时间变化的500 hPa高度场与纬圈平均的差值,其横坐标为沿图3b中的粗实线从西向东而行比较活跃的Rossby波路径,选取此路径的原因除了根据波活动通量的活跃程度以外,还因为它经过长江以南地区会对我们所关心地区产生影响,纵坐标为2008年1月1日—2月1日的日期。从图3我们可以发现长江以南地区维持负距平环流( $32.5^{\circ}$ N,  $115^{\circ}$ E),而中高纬度为正距平,虽然有一

定的位相移动,但基本上呈现为定常波动,图中的粗线为主观定义的具体波动传播情况,上游正距平的加强对应着几天后下游地区的负距平的加强,换言之,阻塞高压的加强与下游低压的加深有明显对应关系,这是典型的定常波频散现象。在下游地区( $45^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{E}$ )以东维持着负距平区域并有几个负值中心。1月18—22日的降水过程与 $50^{\circ}\text{E}$ 左右的高度场正距平在1月15日加强及21日的 $112.5^{\circ}\text{E}$ 附近的负距平加强有对应关系,1月27日在 $80^{\circ}\text{E}$ 附近的正距平对应1月29日在 $112.5^{\circ}\text{E}$ 附近负距

平场的加强同时对应江南地区明显的降水过程。注意这期间包含有一次阻塞高压的重建过程(1月16—21日),阻塞高压在这段时间由乌拉尔山以西移动到了贝湖以西,而且 Rossby 波的传播形式属于准定常和移行波混合体,这是因为作为阻高脊的位向有明显的向东移动的趋势,证明长江流域及以南地区的低压的形成确实和上游地区的能量频散有关。由于上游能量渐渐衰弱,阻塞高压主体渐趋东移减弱,并在1月30日前后崩溃。阻高崩溃之后还有一部分能量持续东南传播继续加强了当地的气旋

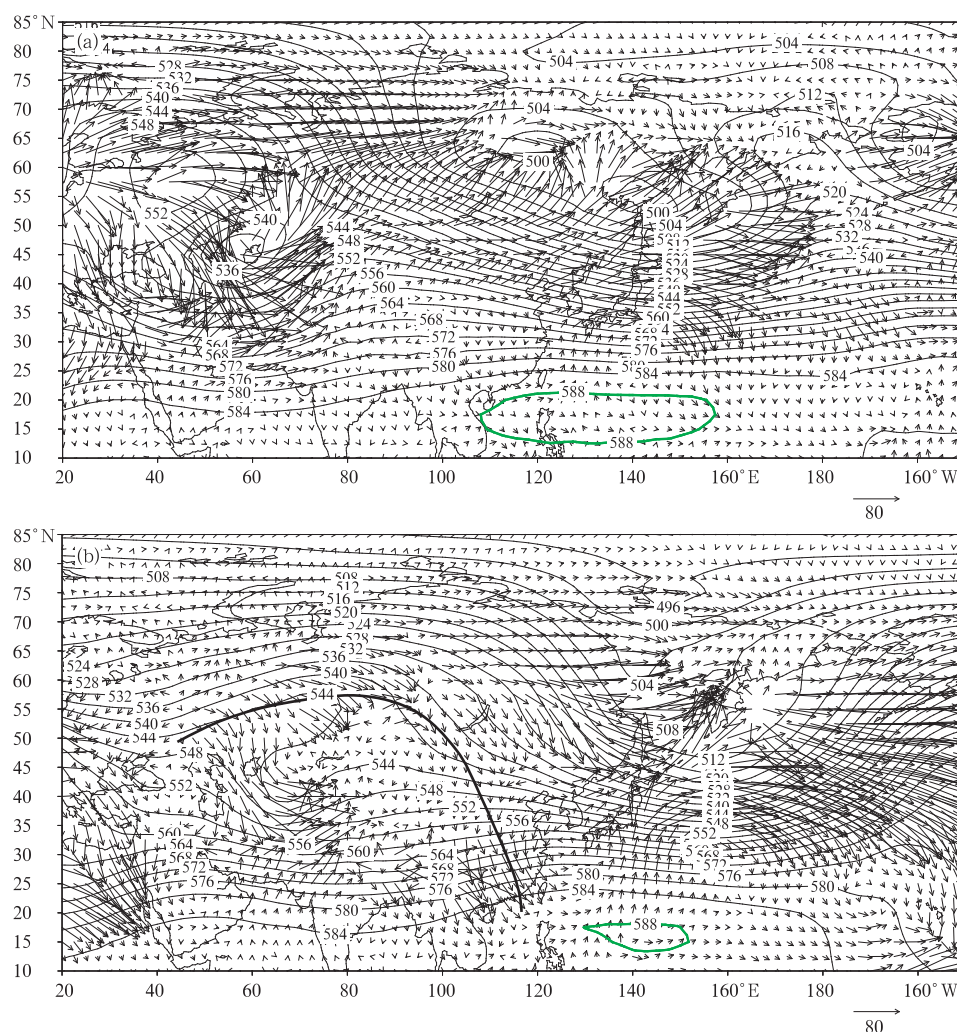


图3 2008年1月1—11日(a)和16—28日(b)的500 hPa波活动通量(矢量箭头)  
(单位:  $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ )和500 hPa高度(等值线,单位: dagpm)  
(粗实线为较强波活动通量从高纬传播到南方的途径)

Fig. 3 Wave activity flux (arrows; unit:  $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) and geopotential height (contour lines) at 500 hPa averaged from 1 to 11 January 2008 (a) and from 16 to 28 January 2008 (units: dagpm) (b). The thick line is the route of strong wave activity flux from high latitudes of the Northern Hemisphere to southern China



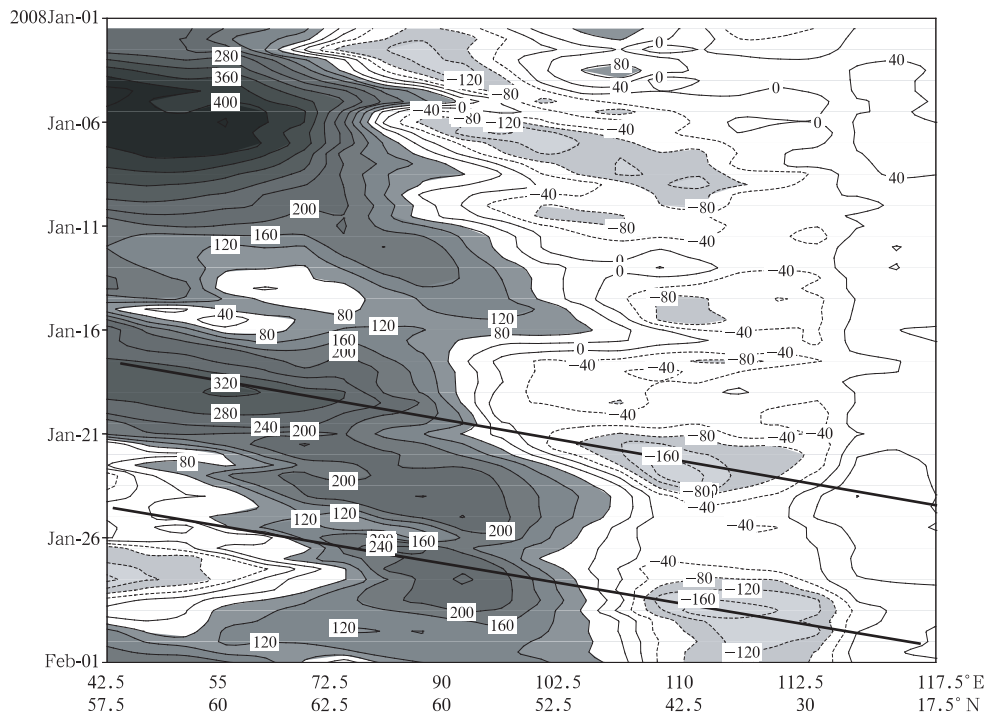


图 4 500 hPa 高度对纬圈平均的距平值(单位:gpm)  
(横坐标为图 3 中粗实线所指的较强波活动通量从高纬度传播到南方的途径)

Fig. 4 500 hPa geopotential height anomaly from zonal mean along the arc line that denotes the route of strong wave activity flux from high latitudes of the Northern Hemisphere to southern China in Fig. 3 from January 1, 2008 to February 1, 2008 (units: gpm).

性环流,造成 2 月 1—2 日江南地区的强雨雪天气,之后江南雨雪才完全停止。阻高崩溃后有至少 1 周的时间没有什么雨雪发生。AO (Arctic-oscillation) 指数是反映北半球行星尺度运动的第 1 气候变率,它是由 20°N 以北的 1000 hPa 月平均高度场

第 1 主成分的分布对应的时间系数来确定。它的变化通常代表半球尺度的空气运动,对俘获冬季主要运动特征有较大的指示意义。从 AO 指数的变化来看(图 5),1 月 1—15 日 AO 指数为负,1 月 16 日到月末为正,其中在 1 月 23 日左右为极高点,从 CPC 提供的

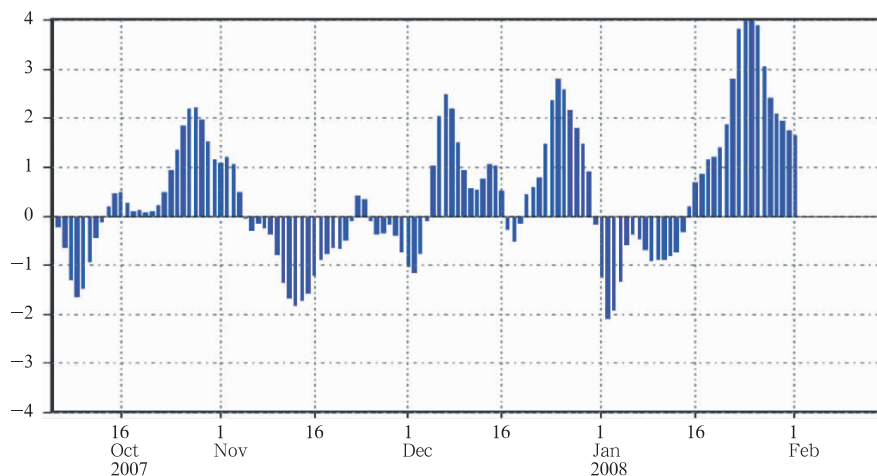
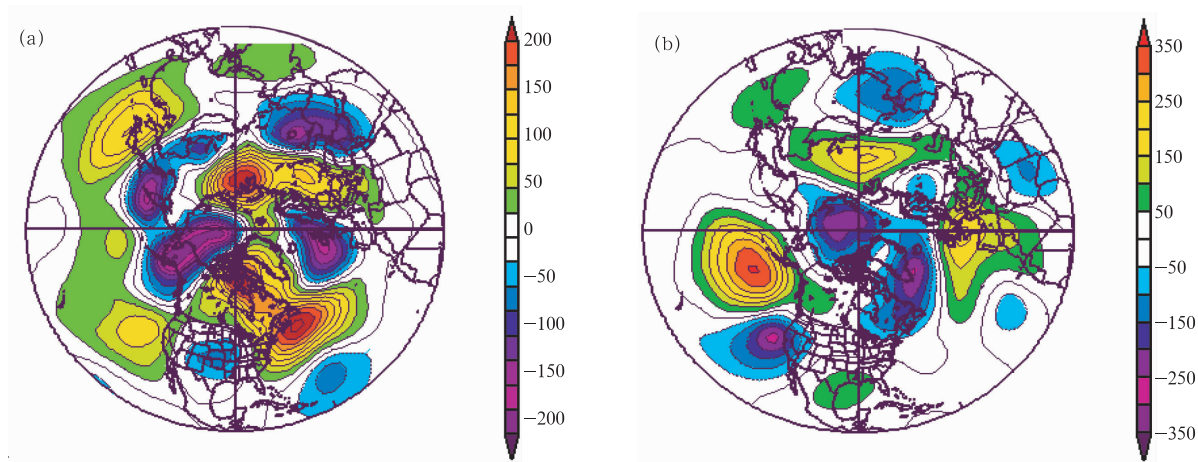
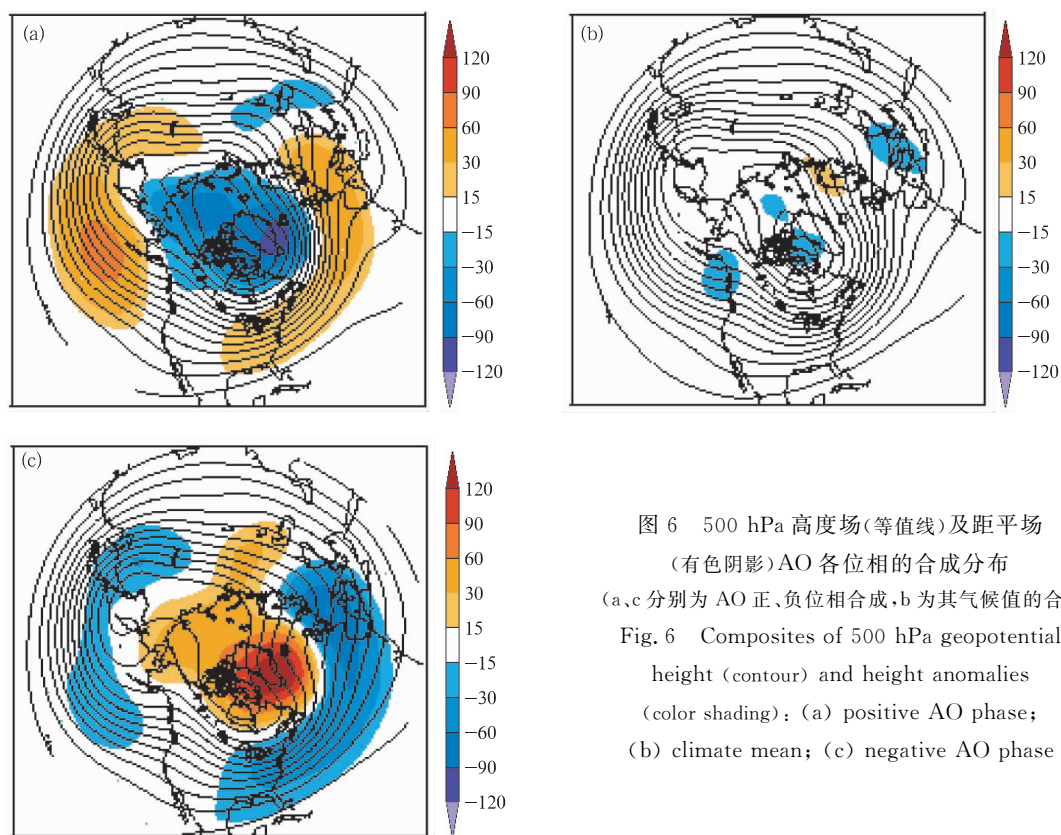


图 5 2007 年 10 月 1 日到 2008 年 1 月 31 日的 AO 指数

Fig. 5 AO index from October 1, 2007 to January 31, 2008

500 hPa高度场(等值线)及距平场(有色阴影)AO各位相的合成(图6),图6a、6c分别为AO正、负位相合成,图6b为其气候值的合成。对比CPC提供

的2008年1月正负AO指数对应的500 hPa位势高度距平合成图来看(图7),负的AO指数对应的500 hPa距平场中在欧洲为大的正距平(图7a),但是

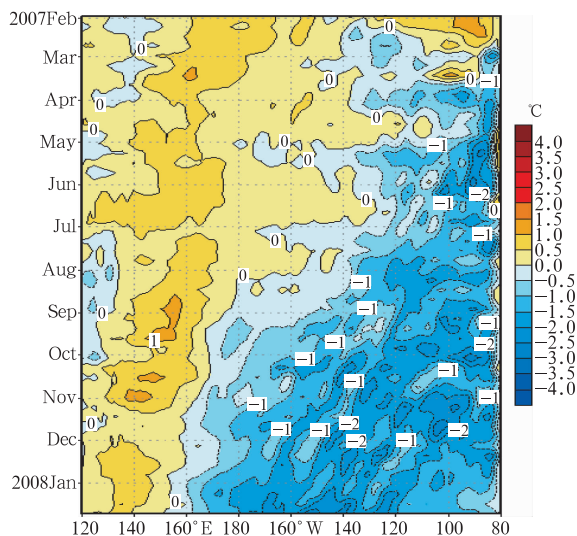


正的 AO 指数却主要在北太平洋上空为正距平(图 7b), 这表明单纯的负或正的 AO 指数的出现并不总意味着阻塞高压要在乌拉尔山和贝湖出现, 但是连续的负、正 AO 指数的出现对乌拉尔山阻塞高压向贝湖推进有一定的指示意义。

#### 4 相关要素变化

从赤道地区的海温距平来看(图 8), 从 2007 年 5 月到 2008 年 1 月负的海温距平持续由东太平洋向西扩展, 1 月份  $-0.5^{\circ}\text{C}$  海温异常竟然扩展到了接近  $160^{\circ}\text{E}$ , 说明拉尼娜现象非常强大, 暖水区主要在  $160^{\circ}\text{E}$  以西, 虽然其范围随时间缩小但是具有  $0.5^{\circ}\text{C}$  以上的正距平中心, 与此同时在  $(20^{\circ}-30^{\circ}\text{N}, 130^{\circ}-150^{\circ}\text{E})$  暖池附近的海温不断增高, 1 月中旬达到最强, 说明支持暖空气势力强盛的副热带高压很强大。雨区基本落在地面天气图的高压区范围内, 其对流层中上部为切变线、南支槽等低压环流控制, 其附近有很大的南北向温度梯度为典型的冬季风影响南方区域的形势。500 hPa 活跃的南支槽和阻塞形势遥相呼应也是造成持续雨雪天气的具体系统。

如果按图 1 中的阻塞指数分布把 2008 年 1 月 1—11 日当作第 1 阶段而把 2008 年 1 月 16—28 日



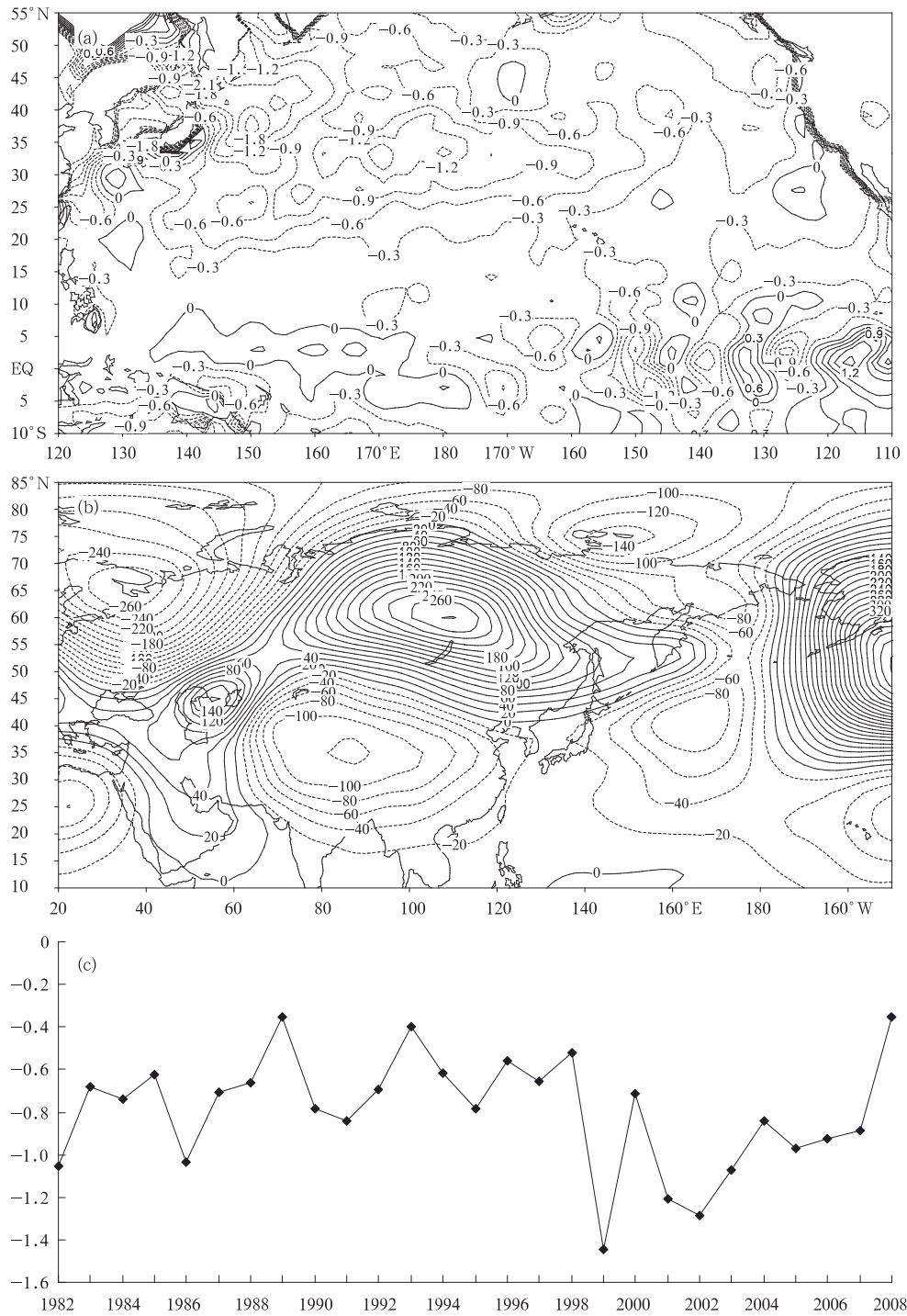


图9 2008 年 1 月 16—28 日与 1 月 1—11 日的海温差(a,单位 : $^{\circ}\text{C}$ )和 500 hPa 位势高度差(b,单位:gpm)分布以及 1982—2008 年第 3—5 周与第 1—2 周的暖池区域的海温差年际变化 (c,单位 : $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 9 (a) The difference between the composite sea surface temperature averaged from January 16 to 28 and that from January 1 to 11, 2008 (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ); (b) Same as (a) except for the composite 500 hPa geopotential height (units: gpm); (c) Temporal variation of the difference between the mean SST from the 3rd to the 5th week and that from the 1st to the 2nd week from 1982—2008 (units:  $^{\circ}\text{C}$ ).



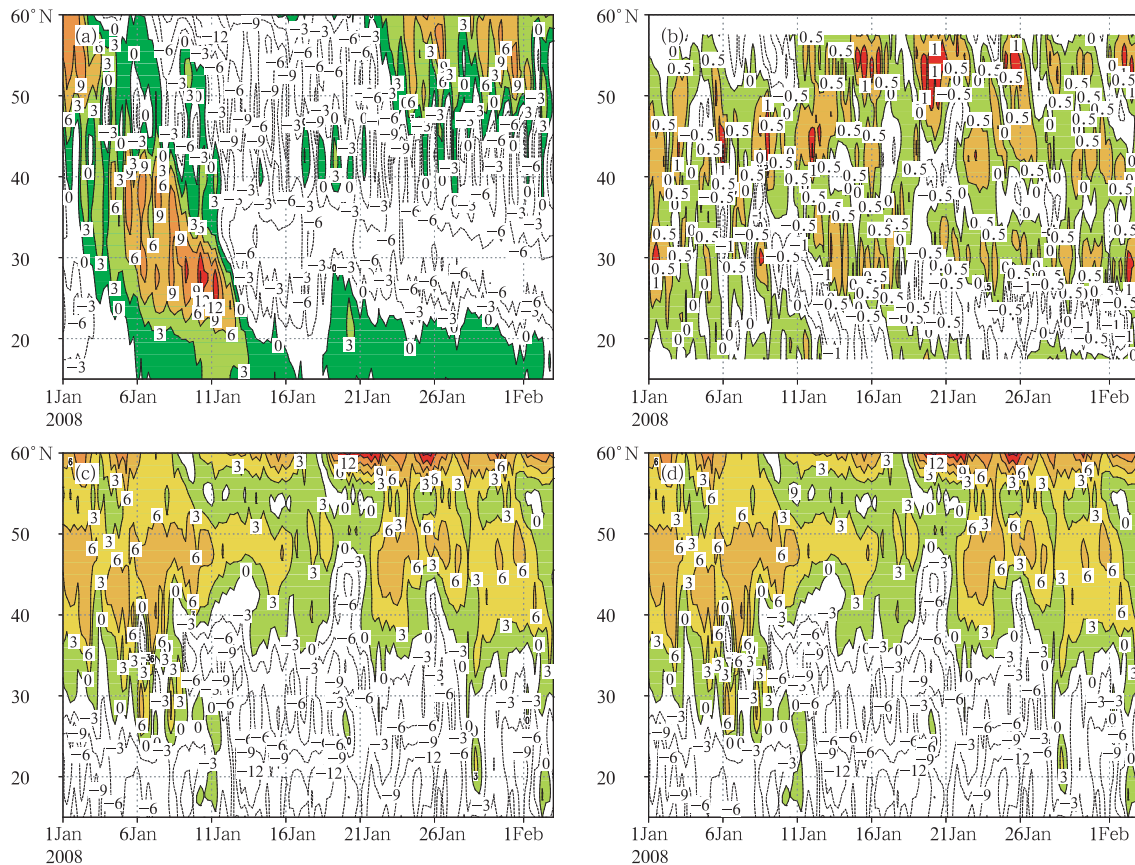


图 10 2008 年 1 月 1 日—2 月 1 日 925 hPa 温度距平(a, 单位:  $^{\circ}\text{C}$ )、散度(b, 单位:  $10^{-6} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$ )、  
纬向风(c, 单位:  $\text{m/s}$ )、经向风(d, 单位:  $\text{m/s}$ ) 沿  $110^{\circ}$ — $120^{\circ}\text{E}$  经向平均值随时间的变化

Fig. 10 Latitude-time diagram of the 925 hPa temperature (a) (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ); divergence (b) (units:  $10^{-6} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2)$ );  
horizontal wind (c) (unit:  $\text{m/s}$ ); and meridional wind (d) (units:  $\text{m/s}$ ) averaged between  
 $110^{\circ}$ — $120^{\circ}\text{E}$  from January 1 to February 1, 2008.

近地区阻高形势的维持是 1 月中下旬到 2 月初阴雨雪天气过程持续的清晰指标, 诊断分析结果显示阻塞高压所伴随的能量频散使得准定常波持续从中高纬度地区传播到较低纬度的长江及以南地区使得当地的气旋性环流得以维持, 在乌拉尔山到贝湖的强大阻塞高压的控制下冷空气不能大举南下只是不断地渗透到南方, 与此同时受拉尼娜影响西太平洋暖池的海温不断增高暖湿空气势力也是持续增强, 代表暖势力暖池海温达到历史最强, 冷空气在南方受阻形成静止态势。一旦阻塞高压崩溃, 供给长江及以南地区气旋性环流的能源被切断, 所以 2 月 1 日的降水过程以后江南地区的持续降水过程也就随之结束。

另外, 1 月 1—11 日在  $40^{\circ}\text{E}$  左右维持着更为强大的阻塞系统可以称之为酝酿阶段, 在此阶段低纬度的系统受到拉尼娜现象的加剧表现得异常活跃, 有大量波活动通量从低纬传播到高纬, 暖池的海温

也达到最高, 表示副热带高压的 588 dagpm 线范围很宽, 其脊线甚至达到了  $17.5^{\circ}\text{N}$ 。高纬度环流经过调整后的第 2 阶段即 1 月 16—28 日的爆发阶段, 低纬度系统得到了相当的抑制, 冷空气在江南大量堆积又兼有暖湿空气从其南方不断补充形成静止锋。所以说高纬度的冷空气在阻高的控制下没有大规模的南下, 只是从低层渗透形成了冷暖空气的僵持也是灾害天气长期维持的原因之一。

实际上, 在图 3b 中的水平波活动通量主要集中在高纬度地区, 特别是有最为强劲的一支波束从欧洲传播到北太平洋, 伴随阻塞高压存在的能量频散主要补充了北太平洋系统的能量, 那里有强的西风急流从而形成波导是很常见的 (Hoskins, 1993)。从高纬度传播到长江以南流域的波活动通量相对来说要小不少, 但是这种相对较小的能量补充对南支槽的维持却是不可或缺的, 正是因为南支槽的维持,

有充分的水汽输送给长江流域以南地区形成当地长期的降水,所以说高纬度地区的能量补充对雪灾的形成起着非常关键的作用。冬季的这种准定常波的传播对长江以南地区的环流影响显然和夏季不同(Wang, et al, 2007; He, et al, 1995),前者是对降水系统直接的能量补充,后者是一种间接的影响,也即通过对副热带高压的影响来调控江南地区西南气流的分布,但是其结果都能造成江南地区的异常降水。如上所示上游地区通过能量频散对下游地区的产生影响大约需要 7—8 d 甚至更长的时间,所以对中期预报具有较强的指示意义。

## References

- He J, Zhou X, Ye R. 1995. Numerical study of Ural blocking high's effect upon Asian summer monsoon circulation and East China flood and drought. *Adv Atmos Sci*, 12: 361-370
- Hoskins B J, Ambrizzi T. 1993. Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow. *J Atmos Sci*, 50: 1661-1671
- Lorenz E N. 1963. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci*, 42: 217-229
- Plumb R A. 1985. On the three dimensional propagation of stationary waves. *J Atmos Sci*, 42: 217-229
- Rex D F. 1950a. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate, I. An aerological study of blocking action. *Tellus*, 2: 196-211
- Rex D F. 1950b. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate, II. The climatology of blocking action. *Tellus*, 2: 275-301
- Tibaldi S, Molteni F. 1990. On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42a: 343-365
- Wang Y, Koji Yamazaki. 2007. The Interaction between two separate propagations of Rossby waves. *Mon Wea Rev*, 135: 3521-3540
- Wang Y, Wang B, Oh J H. 2001. Impact of preceding El Niño on the East Asian summer atmosphere circulation. *J Meteor Soc Japan*, 79: 575-588
- Wang Y, Yasunari T. 1994. A diagnostic analysis of the wave train propagating from high-latitudes to low-latitudes in early summer. *J Meteor Soc Japan*, 72(2): 269-279