

2008年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析

II: 西太平洋副热带高压的特征

施 宁¹ 布和朝鲁^{2,3} 纪立人^{2,3} 王盘兴¹

1 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

2 中国科学院大气物理研究所灾害性气候研究与预测中心, 北京 100029

3 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

摘 要 针对2008年初1月17~23日我国南方地区雨雪低温过程, 分析了其中期演变特征及其可能机理。这次过程中: 1) 西太平洋副热带高压在其前期异常状态的基础上, 在对流层低层演变为“内凹外凸”结构, 并在我国长江中下游附近形成切变线, 从而造成了这次雨雪过程; 2) 在对流层上层, 源自北非的 Rossby 波能量在副热带和中纬度地区向下扩散, 同从乌拉尔山地区向南扩散出的 Rossby 波能量在帕米尔高原及中亚地区汇合, 共同引起该地区气压槽的加深。它使对流层低层西太平洋副高在其西部向内凹陷。另一方面, 在对流层中层, Rossby 波能量沿副热带急流传播, 最终引起西太平洋副高向西南方向伸展。西太平洋副热带高压的“内凹外凸”演变特征的主要原因是来自上游地区的 Rossby 波活动, 并非热带西太平洋对流异常活动; 3) 亚洲北部冷高压沿高原东侧伸入我国东部地区是我国南方地区低温过程的主要原因。

关键词 低温过程 Rossby 波 西太平洋副热带高压

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0434-12 **中图分类号** P448 **文献标识码** A

On the Medium-Range Process of the Rainy, Snowy and Cold Weather of South China in Early 2008

Part II: Characteristics of the Western Pacific Subtropical High

SHI Ning¹, Bueh Cholaw^{2,3}, JI Li-Ren^{2,3}, and WANG Pan-Xing¹

1 College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Center for Disastrous Climate Research and Prediction, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract Medium-range evolution features and the possible mechanism for the rainy and snowy weather process over South China during January 17 to January 23, 2008 are investigated. It is shown that: 1) With its anomalous state formed previously, the western Pacific subtropical high evolves into the so-called “concave-inner and protruding-outer” structure in the lower troposphere during this period. Such a structure constitutes a distinct shear line straddling over the middle and lower reaches of the Yangtze River, which is primarily responsible for the rain and

收稿日期 2008-03-10 收到, 2008-04-10 收到修定稿

资助项目 中国科学院大气物理研究所创新基金领域前沿项目 IAP07120 和国家重点基础研究发展规划项目 2006CB403601

作者简介 施宁, 男, 1982 年出生, 博士研究生, 主要从事短期气候预测。E-mail: shining0826@hotmail.com

通讯作者 布和朝鲁, E-mail: bueh@lasg.iap.ac.cn

snow process. 2) In the upper troposphere, Rossby wave energy emanating from North Africa disperses downward both in the subtropical and mid-latitude region. The Rossby wave packets from upstream mid-latitude and subtropical region converge around the Pamir plateau and central Asia, showing a deepening pressure trough there. On one hand, its eastward expansion and temporary movement causes the concave-inner structure for the west part of the West Pacific subtropical high in the lower troposphere; On the other hand, in the middle troposphere, Rossby wave energy emanates along the subtropical jet, and eventually leads to the southwestward expansion of the West Pacific subtropical high. Therefore, the formation of the “concave-inner and protruding-outer” structure of the West Pacific subtropical high could be attributed to the upstream Rossby wave activity, rather than the anomalous convective activity over the tropical western Pacific. 3) The invasion of the cold high system of North Asia along the eastern slope of Tibetan Plateau is mainly responsible for the low temperature weather over South China.

Key words low-temperature process, Rossby wave, western Pacific subtropical high

1 引言

2008 年初接连出现了 4 次强烈灾害天气过程, 时间段分别为 1 月 10~16 日、1 月 18~22 日、1 月 25~29 日以及 1 月 31 日~2 月 1 日。第一次过程已在文献 [1] 中加以分析, 并认为南支槽的形成和加深、西太平洋副热带高压的北扩以及叶尼塞地区高压脊的东扩南侵是其雨雪过程的主要原因; 至于西太平洋副热带高压北扩, 则主要来自上游南支槽区的 Rossby 波能量频散。那么在第二次过程 (1 月 17~23 日) 中, 又是哪些异常环流最终导致了雨雪低温过程? Rossby 波活动在其中又起着怎样的作用? 西太平洋副热带高压的演变特征及成因是什么? 本文将在中期时间尺度上^[2]回答以上问题。

2 资料和方法

与文献 [1] 一致, 本文所用数据主要为 NCEP/NCAR 逐日再分析资料^[3]; 利用 Takaya 和 Nakamura^[4, 5]推导出的三维波作用通量 (简称 T-N 通量) 描述准定常 Rossby 波的能量频散特征; 利用 250 hPa 瞬变涡动高度场的波包函数 (envelope function)^[6]来表征与天气过程相联的斜压扰动强度。

本文给出了两类波作用通量, 它们基本与文献 [1] 中一致, 所不同的是时间段取为 1 月 17~23 日。

3 环流的异常特征

首先分析第二次过程的平均环流特征。图 1a

和 1c 给出了这一时段对流层中层流函数和气温距平。就中期过程而言, 欧亚地区上空 3 个稳定的系统是关键, 它们维系着入侵我国南方的冷空气源地和路径以及稳定的水汽输送。图 1a 清楚表征了这几个系统的发展和维持, 它们分别是中心位于乌拉尔山地区 (记为 UR) 的正异常中心 [流函数距平中心 (或环流) 称之为异常中心 (或异常环流)], 帕米尔高原及中亚地区 (PMA) 的负异常中心和东亚 (EA) 的正异常中心。PMA 负异常中心的强度达到 $-8 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 它伸向贝加尔湖方向。该负异常中心反应的是稳定的横槽和相伴随的深厚冷堆。从图 1c 中可以看出, 该处 500 hPa 的气温距平达到 -10°C 。EA 正异常中心与 PMA 负异常中心的出现, 使得我国东部维持着“东高西低”的异常环流形势, 加强了西南—东北方向的暖湿气流输送。与此对应, 我国南方地区及东部地区, 对流层中层温度偏高约 4°C 。UR 正异常中心标志着亚洲北部地区高压脊的形成和东扩, 从图 1c 中可以看出该高压脊是暖性的, 其温度距平达 $+4^\circ\text{C}$ 。它一方面有利于引导冷空气南下补充 PMA 地区的冷堆; 另一方面在其脊前可引导冷空气从西北路径直接侵入我国, 这与图 1c 中贝加尔湖区的气温负异常中心 (-4°C) 相对应。

图 1b 和 1d 给出了这一时段海平面气压和地表气温场的异常特征。亚洲大陆冷高压系统在该时段大范围加强, 分别在威海和贝加尔湖地区形成气压正异常中心 (图 1b), 其中心强度分别达到约 16 hPa 和 12 hPa。同时, 该高压系统沿着高原的东侧伸向我国东部地区。与该冷高压系统异常一致, 从里海至贝加尔湖以及向南至高原东侧

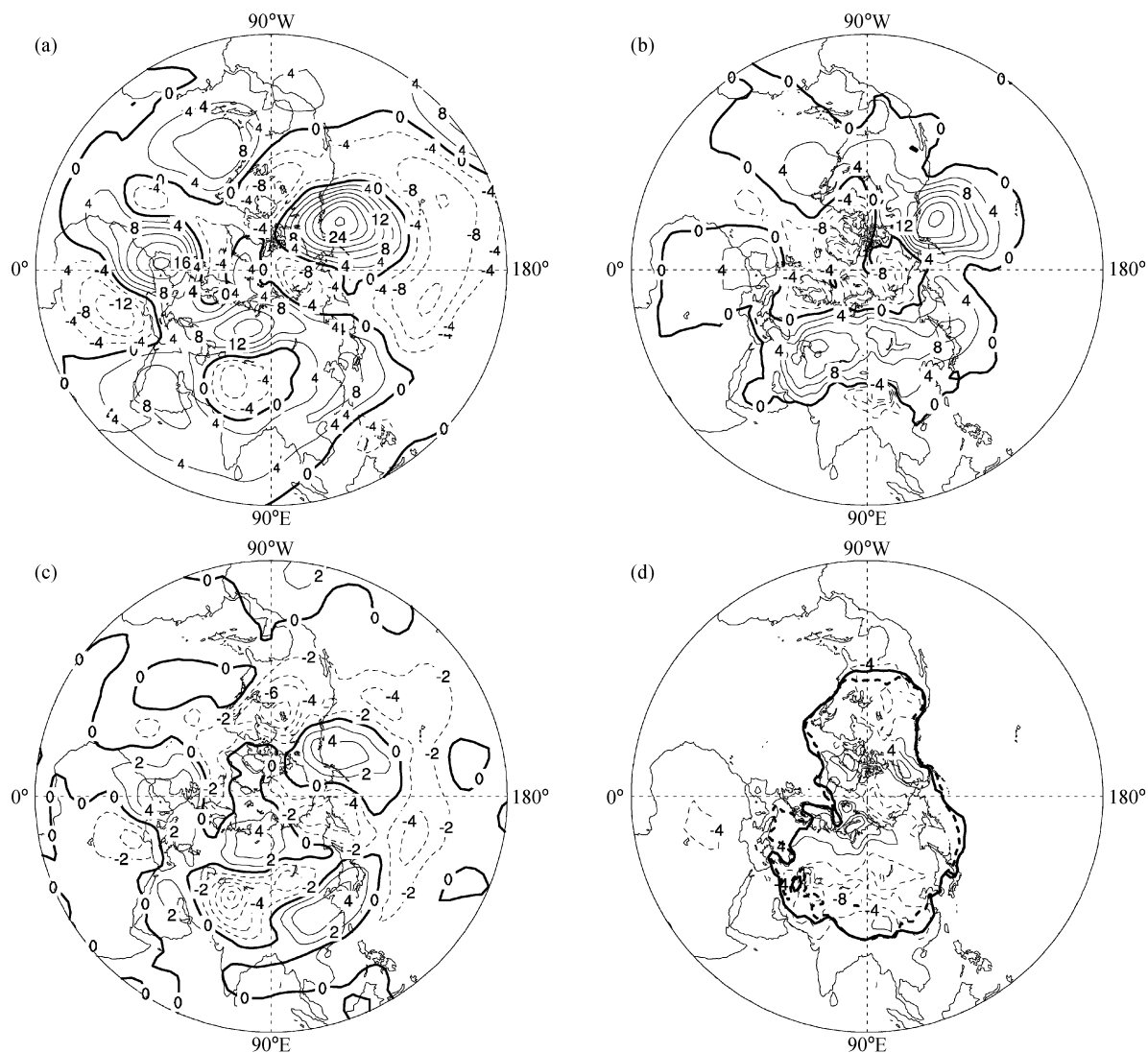


图1 2008年1月17~23日平均的 (a) 500 hPa 流函数距平 (相对于多年平均, 单位: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)、(b) 海平面气压距平 (单位: hPa)、(c) 500 hPa 温度距平 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 和 (d) 地表气温距平 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。 (a) ~ (c) 粗实线为零线, (d) 粗实线代表 2008 年 1 月 17~23 日平均地表温度场的零线, 粗虚线则为其多年平均场的零线

Fig. 1 (a) Mean anomalies of 500 hPa streamfunction (units: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), relative to the multi-year mean field; (b) sea level pressure anomalies (units: hPa); (c) 500 hPa temperature anomalies (units: $^{\circ}\text{C}$); (d) surface temperature anomalies (units: $^{\circ}\text{C}$) during 17–23 Jan 2008. Thick solid lines in (a) – (c) indicate zero lines. The thick solid line in (d) represents the zero line of the total surface temperature field during 17–23 Jan 2008 and the thick dashed line stands for its multi-year climate-mean counterpart

地区的地表气温普遍偏冷, 其中我国南方地区的气温距平达到 $-6 \sim -3^{\circ}\text{C}$ (图 1d)。另从图 1d 中可以看出, 这次过程的平均地表气温的 0°C 线 (粗实线) 已南移至我国长江流域附近, 比其气候平均位置 (粗虚线) 偏南 5 个纬度, 我国长江中下游地区基本处于冰冻状态。

图 2 为高层 (200 hPa) 这一时段气候平均纬向风及其异常和对应的对流层中高层的 Rossby 波

能量频散特征。波能量的频散特征是通过第一类波作用通量的计算给出 (详见第 2 节)。首先注意这一时段的气候平均纬向风, 尤其是急流的分布, 因为它决定着 Rossby 波能量频散的基本特征^[7]。从图 2a 中可以看出, 对流层高层有两个显著的急流中心, 它们分别是北美东岸约 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的中心和日本以南西太平洋上的 $70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的中心。后面将会看到, Rossby 波能量频散的主要方向为沿着

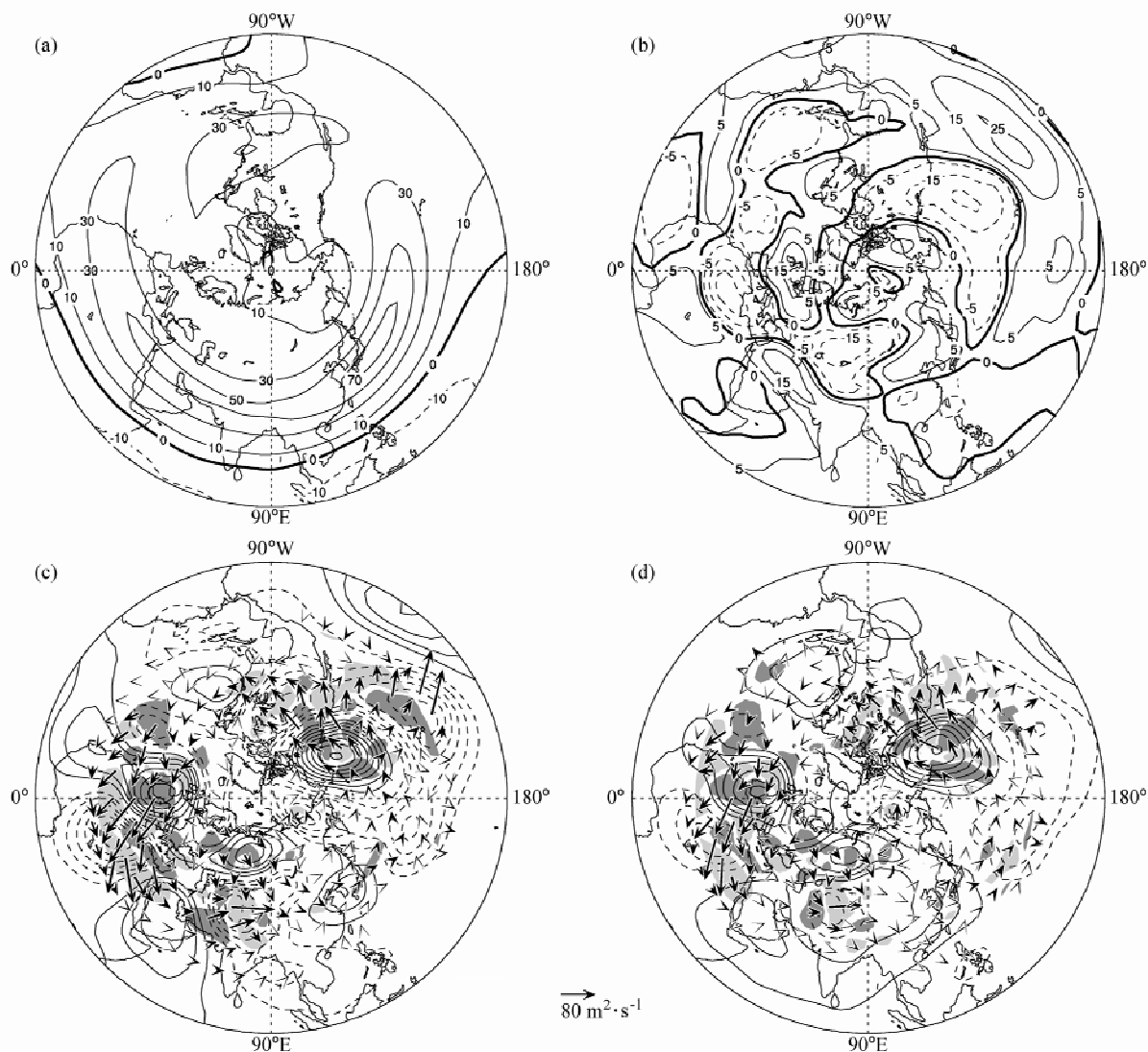


图2 2008年1月17~23日的(a)气候平均200 hPa纬向风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、(b)200 hPa纬向风速距平、(c)300 hPa流函数距平(等值线,单位: $10^6 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)和对应的波作用通量(箭头,单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)、(d)同(c)但为500 hPa。(c)和(d)等值线间隔均为 $4 \times 10^6 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 零线已略去, 深(浅)阴影区为波作用通量散度大于(小于) 3×10^{-6} (-3×10^{-6}) $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 的区域

Fig. 2 (a) Climate-mean 200 hPa zonal wind (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); (b) 200 hPa zonal wind anomalies; (c) 300 hPa streamfunction anomaly (contour, units: $10^6 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) and its corresponding wave activity flux (arrow, units: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) during 17–23 Jan 2008. In (c) and (d), isolines are drawn for every $4 \times 10^6 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, and zero lines are omitted. Dark (light) shading represents the region where the divergence of wave activity flux is more (less) than 3×10^{-6} (-3×10^{-6})

北非—欧亚急流, 或是指向该急流。

从图2c中可以看出, 一个经向跨度较大的负异常环流区从大西洋中部伸展至北欧地区, 这可能反映了北大西洋气旋活动路径的偏南和偏北。来自大西洋中部的 Rossby 波能量向北非—欧亚急流区频散, 对应着南欧—地中海西部—北非西部较强的正异常中心, 波作用通量在此处强烈辐散, 成为波源区(深阴影)。Rossby 波能量进一步向

东南方向频散, 波矢量直指北非—欧亚急流入口区, 几乎与急流(图2a)等风速线垂直, 波作用通量在红海以西的 $25 \sim 30^\circ \text{N}$ 地区强烈辐合(浅阴影), 有利于该区负异常中心的形成和发展。此后, Rossby 波能量沿着亚非急流向东传播, 并在其下游的阿拉伯半岛地区形成了正异常中心。值得注意的是, 自 UR 正异常中心与自副热带急流区的 Rossby 波能量在巴尔喀什湖的南侧汇合, 形

成了 PMA 异常中心。来自 UR 正异常中心波能量频散也使 PMA 异常中心向贝加尔湖方向伸展。EA 异常中心主要由来自 PMA 异常中心的 Rossby 波能量维系。500 hPa 上 Rossby 波能量的频散特征基本与 300 hPa 的一致。不同的是, 由于青藏高原的存在, 来自上游 PMA 异常中心指向 EA 异常中心的波作用通量变得较弱。

总之, 源自大西洋及南欧—北非的 Rossby 波能量沿着副热带急流向下游频散, 经过不断地辐合辐散, 传至阿拉伯半岛地区。来自阿拉伯半岛和 UR 地区的 Rossby 波能量在帕米尔高原以西形成汇合, 共同形成 PMA 异常中心。Rossby 波能量的向下游传播有利于 EA 异常中心的维持和加强。

4 中期演变特征及其机理

实际上, 我国南方地区出现大范围降雪的时间段为 2008 年 1 月 18~21 日。本节将重点讨论 1 月 21 日之前的环流演变特征。

4.1 能量频散过程

图 3 给出了这一时段对流层中上层 Rossby 波能量频散的中期演变特征。这里采用第二类波作用通量的计算方法(详见第 2 节)。1 月 17 日(图 3a)北非西部地区存在较强的流函数异常中心(简称异常中心,“异常”指相对于 31 天滑动平均场上的距平),强度达 $8 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 在其中心北侧地区波作用通量辐散较强, 成为波源区。源自这里的 Rossby 波向下游地区传播, 在地中海中部、黑海—里海及其北侧地区、巴尔喀什湖附近分别对应着正负相间的异常中心。其中巴尔喀什湖附近的负异常中心强度达到 $-4 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。1 月 19 日(图 3b)来自北大西洋上的 Rossby 波能量加强了东大西洋—南欧地区的正异常环流, 并形成正异常中心, 它与北非正异常中心连成一片。波作用通量从该中心及北非西部的波源区向下游强烈频散, 不断加强其下游的异常中心, 并使它们的异常中心向南移动。此时, 巴尔喀什湖附近负异常中心的强度已达到 $-8 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。1 月 21 日(图 3c)巴尔喀什湖南侧的负异常中心进一步增强, 强度达到 $-1.2 \times 10^7 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 其中心位置已向南移至 PMA 地区, 上游 Rossby 波能量

在其中心辐合的特征清晰可见。另值得注意的是, 1 月 19~21 日乌拉尔山始终维持着正异常环流, 在其东侧也有 Rossby 波向巴尔喀什湖处频散能量并辐合, 因此它对 PMA 中心的北部异常起着维持和加强的作用。这与图 2d 中的 Rossby 波能量从 UR 异常中心向 PMA 异常中心的频散特征基本一致。1 月 23 日(图略)来自阿拉伯半岛和乌拉尔山两个方向的 Rossby 波能量辐合进一步加强, 导致 PMA 异常中心进一步增强。

至于图 2 中出现的 EA 正异常中心, 在图 3 中的演变过程并不明显, 只是在此次南方大雪的最后一天(图 3c)才出现一较弱的正异常中心, 中心强度为 $4 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。这是因为图 3 中的流函数异常场取相对其低频滤波场 31 天滑动平均的距平场, 而在此阶段东亚地区的环流场恰好与其 31 天滑动平均场相差无几。这从另一方面也说明 EA 正异常环流在该阶段中呈现出了准定常的特征。因此, 在第 2 次过程中东亚地区稳定维持着的正异常环流(图 1a), 其形成应当与前期环流异常有关^[1], 而图 3c 中显示的波能量向该处频散应当是对 EA 异常中心起着维持和加强的作用。至于来自上游地区(包括副热带和中纬度地区)的 Rossby 波如何影响 EA 异常中心及其对应的西太副高形态演变, 将在下一节详细探讨。

UR 正异常中心的发展变化, 在图 3 中也比较清楚, 1 月 17 日(图 3a)乌拉尔山及其东侧地区维持着一正异常环流, 它对应着该地区高压脊的异常发展。此后, 该正异常环流逐步减弱西退, 这应当有利于引导高纬度的冷空气南下入侵我国。但注意到该中心的形成演变过程与 Rossby 波能量频散的关系不大, 应另有成因。由于篇幅关系, 本文不再详细讨论。

500 hPa 的演变情况与 300 hPa 的状况相似。但 Rossby 波在印度半岛至菲律宾地区的能量频散特征有所不同, 由于青藏高原的阻挡, Rossby 波相比其 300 hPa 沿着偏南的路径频散。这将在 4.2 节讨论。

综上所述, 在对流层中上层来自上游的 Rossby 波能量沿着副热带急流向东传播, 然后转而指向中纬 PMA 地区, 并与自 UR 地区向南频散的 Rossby 波能量汇合, 共同导致 PMA 负异常环流的形成和加强。

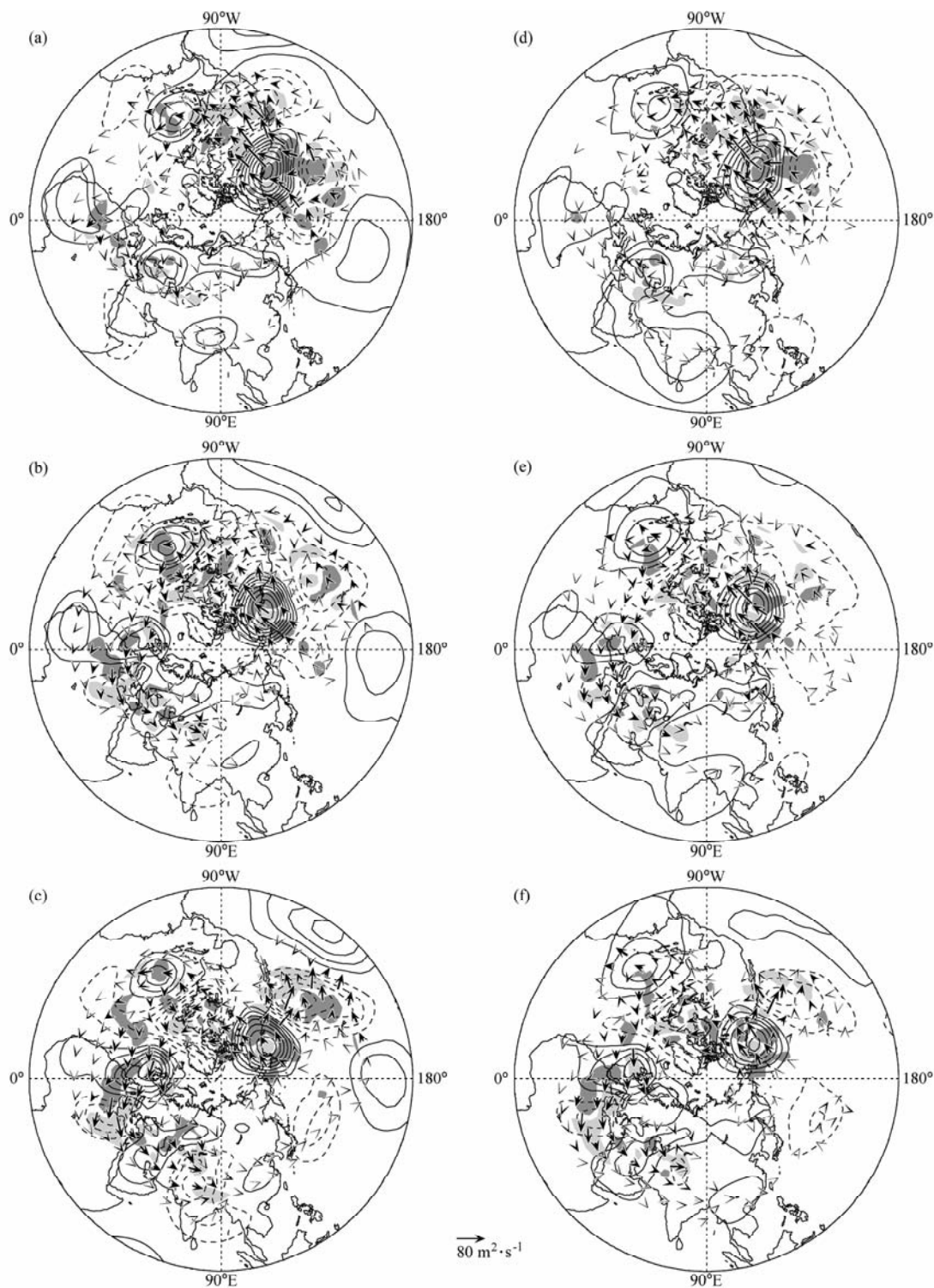


图 3 2008 年 1 月 (a) 17 日、(b) 19 日和 (c) 21 日 300 hPa 流函数距平 (等值线, 单位: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) 和对应的波作用通量 (箭头), (d) ~ (f) 同 (a) ~ (c) 但为 500 hPa 层。(a) ~ (c) 和 (d) ~ (f) 等值线间隔分别为 4×10^6 和 $3 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 零线已略去, 阴影区的意义与图 2c 相同

Fig. 3 300 hPa streamfunction anomalies (contours, units: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) and the corresponding wave activity fluxes (arrows) on (a) 17 Jan, (b) 19 Jan, and (c) 21 Jan 2008. (d) — (f) are the same as (a) — (c), but for 500 hPa level. In (a) — (c) and (d) — (f), isolines are drawn for every 4×10^6 and $3 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, respectively, and zero lines are omitted. Shading convention is the same as in Fig. 2c

4.2 西太平洋副热带高压

从图 1a 中看出,在东亚地区维持着一个正异常中心,而其南部则存在着一个负异常中心,它们的出现似乎与西太平洋副热带高压系统的中心位置偏北相对应。如前节所述,EA 异常中心(图 1a)在该阶段中呈现出准定常的特征(图 3),这意味着西太平洋副高的北扩(或北抬)应当发生在这次过程之前。那么,它在此次过程中如何演变并导致雨雪过程?过去的研究指出^[8~10],西太平洋暖池区对流活动增强有利于西太平洋副热带高压偏北或北跳。那么,这次过程西太平洋暖池区对流活动与西太平洋副高的相互作用特征是怎样的?

图 4 给出了这一时段 500 hPa 流函数及其气候平均和异常场。由图 4a 和 4b 可见,流函数场与位势高度场一样,也能较好地描述副热带高压系统。在这一时段,气候平均的流函数零线与副热带高压的北界基本吻合。从图 4c 看出,在这次过程中,正流函数距平区不仅包括流函数零线(图 4a)以南的地区,还包括流函数零线以北地区、我国东部地区和日本南部,其距平中心位于朝鲜半岛南侧的 30°N 左右地区。因此,EA 异常中心(图 1a)不仅反映了西太平洋副热带系统的异常,还反映了东亚地区中纬度环流异常。

图 5 给出 500 hPa 流函数和向外长波辐射(OLR)异常场(相对于其气候平均)的演变过程。从 1 月 17~21 日(图 5a~5c),东亚地区的异常环流始终维持着正距平,对应着西太平洋副高偏北的形势。与之对应,菲律宾附近始终维持着 OLR 负距平(图 5d~5f),表明其对流活动的增强。值得注意的是,对流加强区的北界在 1 月 17 日位于我国台湾及华南一带,而在 1 月 21 日已退至菲律宾。可见,这次过程中热带西太平洋对流活动区一直在向南退缩。这与 500 hPa 流函数正距平区一直向东南方向移动相对应(图 5a~5c)。此外,在 500 hPa(图 2 和图 3)以及对流层低层(图略)均没有发现由热带西太平洋地区向北 Rossby 波能量频散的现象。由此可见,西太平洋副高在此次过程中的演变并非由热带西太平洋对流活动异常引起。

图 6 给出了此次过程 850 hPa 位势高度和风场的演变特征。1 月 17 日我国黄河以南的东部地

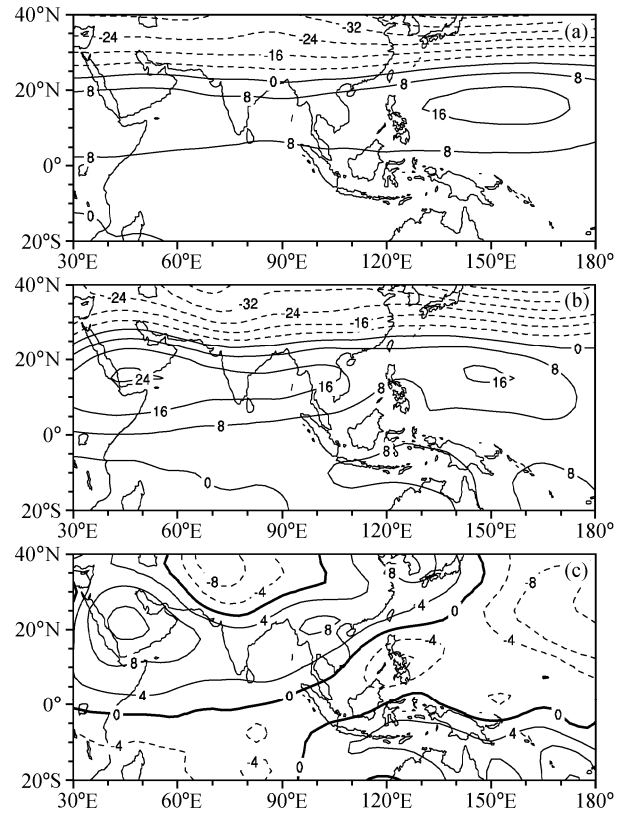


图 4 500 hPa (a) 2008 年 1 月 17~23 日多年平均流函数场(单位: $10^6 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) 以及 2008 年 (b) 流函数场和 (c) 流函数距平场 [(b) 与 (a) 之差]

Fig. 4 (a) Multi-year mean 500 hPa streamfunction field (units: $10^6 \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) during 17–23 Jan; (b) is the same as (a), but for 2008; (c) 500 hPa streamfunction anomalies, that is the difference of (b) and (a)

区处在高压控制之下(图 6a),它应当对应着副高的加强和北扩。引人注目的是,该高压西部的 154 gpm 线在 30°N 附近呈现内凹,而在华南沿海地区则为西凸(以下称之为“内凹外凸”现象)。随着副高主体的南移东撤,这一现象仍然维持(图 6b 和 6c),内凹现象尤为突出。由图 6d~6f 可知,上述内凹特征恰好在我国长江中下游附近形成切变线,造成了这次雨雪过程。由图 3a~3f 可见,在对流层中上层 PMA 负异常中心逐步加强,其 850 hPa 负异常环流(图 6a~6c)使高压 154 gpm 线在 30°N 附近出现内凹。另一方面,在对流层中层(图 3e~3f),Rossby 波能量沿着副热带急流区,经青藏高原南麓向东频散,从而导致我国华南地区出现正异常环流。在图 2d 中也有此频散特征。图 5c 中华南正异常中心强度甚至达到 $1.2 \times$

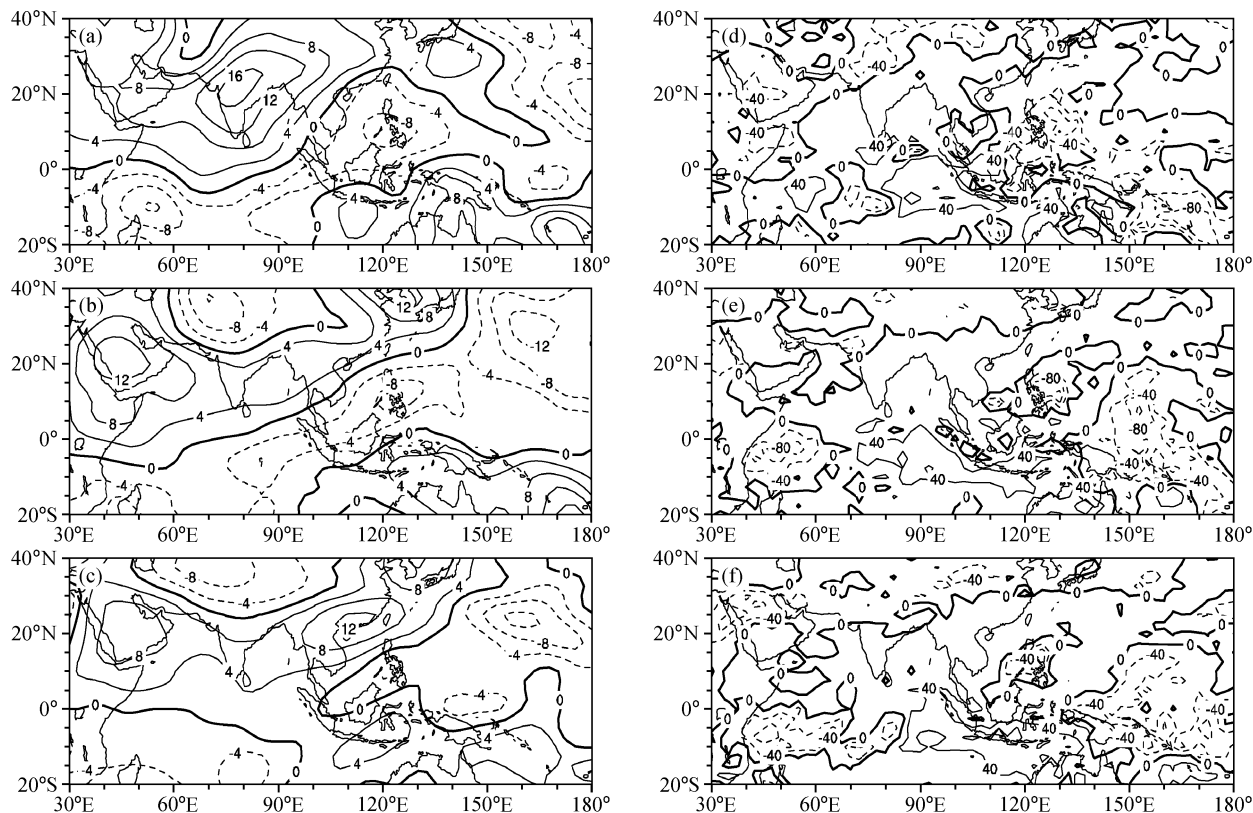


图 5 2008 年 1 月 (a) 17 日、(b) 19 日和 (c) 21 日流函数距平场 (单位: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), (d) ~ (f) 同 (a) ~ (c) 但为 OLR 距平场 (单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 5 Daily streamfunction anomalies (units: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) on (a) 17 Jan, (b) 19 Jan, and (c) 21 Jan 2008. (d) — (f) are the same as (a) — (c), but for OLR anomalies (units: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

$10^7 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。受它的影响, 850 hPa 高压 154 gpm 线在华南沿海地区呈现西凸特征。1 月 22 日后 (图略) 西太平洋副高有所加强并向西移, 而热带西太平洋对流活动区有所增强并移至我国南海。这实际上对应着下一次雨雪过程的开始, 本文暂不对此讨论。由此可见, 在此次雨雪过程中, 西太平洋副高的演变主要受对流层中高层上游 Rossby 波能量在副热带和中纬度地区传播的影响。

总而言之, 西太平洋副高北扩的现象发生在此次过程之前。它在这次过程中的演变特征并非由热带西太平洋对流活动异常引起, 主要是受对流层中高层 Rossby 波在副热带和中纬度地区传播的影响。

4.3 降水与低温过程

图 7 给出这次过程的降水量及对应的 250 hPa 斜压波波包函数异常 (相对于其 31 天滑动平均值)。斜压波波包函数表示 8 天以下的瞬变天气扰

动的强度, 定性地表明瞬变斜压过程引起的降水情况。本节讨论的重点是我国南方地区的降水, 对此次过程中出现的西南地区及西北地区的降水暂不予以讨论。

1 月 17 日 (图 7a) 广东地区出现了 2 mm 左右的降水量。从图 7e 中看出, 斜压波波包函数距平在我国东南沿海地区存在正异常中心, 强度达到 20 m, 其西南侧对应着我国广东地区的降水。表明此次降水过程与瞬变斜压过程联系在一起。在 1 月 17 日 850 hPa 上 (图 6a), 西太平洋副高与亚洲大陆中高纬高压系统连成一片, 其中西太平洋副高的西侧内凹, 使得其南侧的东风和其西南侧的西南风在我国华南地区形成切变线 (图 6d), 从而造成广东地区降水。

1 月 19 日在我国江淮流域出现了强降水 (图 7b), 尤其是长江下游地区出现了 30 mm 的降水。但斜压波波包函数在此减弱 (图 7e), 说明该地区

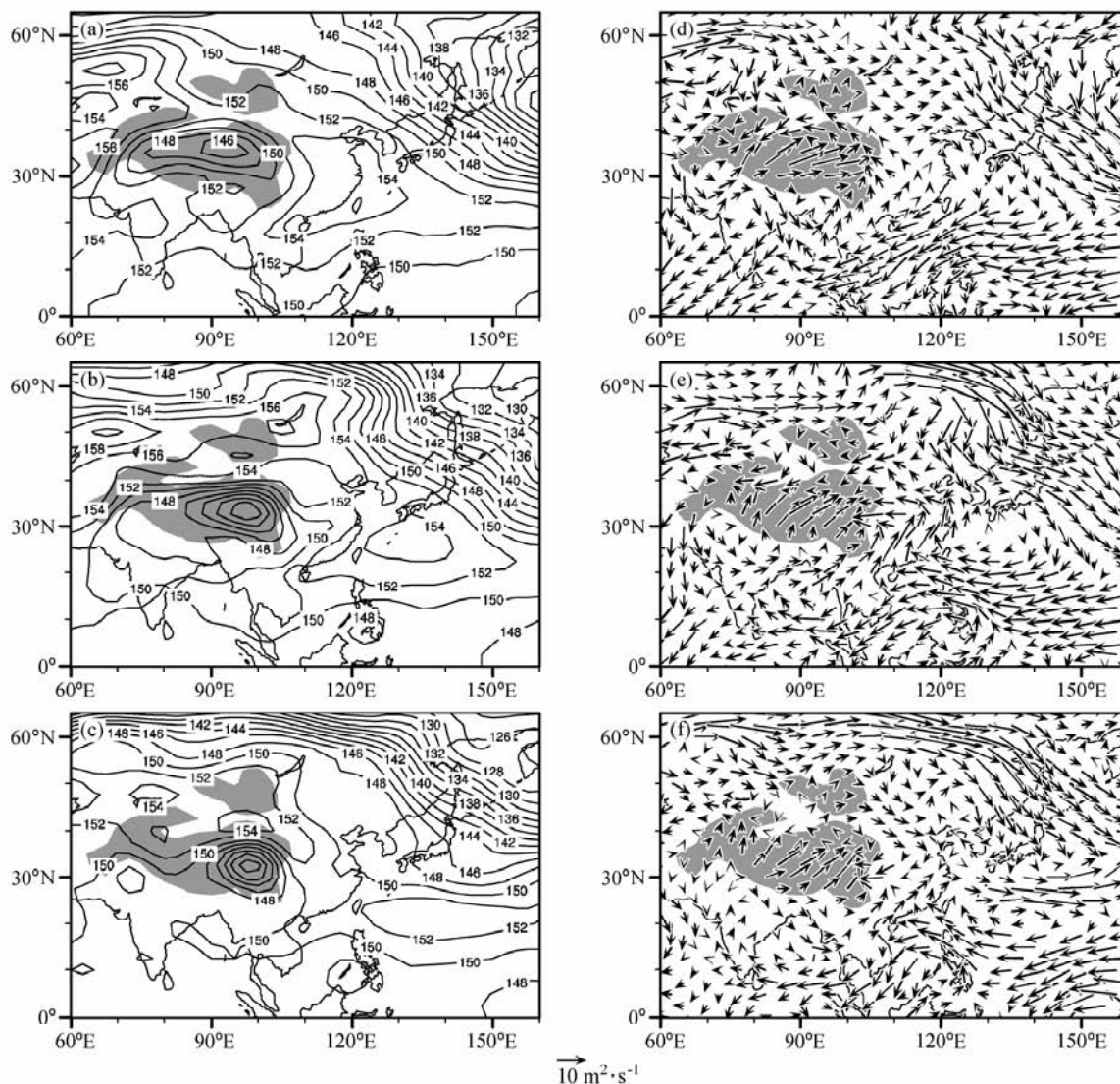


图6 2008年1月 (a) 17日、(b) 19日和 (c) 21日 850 hPa 位势高度距平 (相对于其多年平均场, 单位: gpm), (d) ~ (f) 同 (a) ~ (c) 但为 850 hPa 风距平 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。阴影区代表 1 500 m 以上的地形

Fig. 6 850 hPa geopotential height anomalies (units: gpm), relative to the multi-year mean field, on (a) 17 Jan, (b) 19 Jan, (c) 23 Jan 2008. (d) — (f) are the same as (a) — (c), but for 850 hPa wind anomalies (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). Shading marks the topography higher than 1 500 m

的降水具有低频性, 并非瞬变斜压过程所致。从 850 hPa 的高度场上可以看出 (图 6b), 亚洲大陆高压脊在贝加尔湖地区得以加强, 而西太平洋副高减弱东移, 西太平洋副高的“内凹外凸”的特征更加明显, 它使得南—西南风与偏东气流在淮河流域形成了明显的切变线 (图 6e), 从而造成该地区附近的强降水。

1月21日我国东部地区的主要降水带向南移至长江以南, 局部地区降水量达到 5 mm。与 1月19日类似, 该过程的降水仍与瞬变斜压过程无关

(图 7f)。亚洲高压脊有所减弱西退 (图 6c), 有利于高纬度冷空气进一步南下。其中斜压波波包函数正距平区在贝加尔湖至内蒙古地区有所增强 (图 7e), 它对应着南下的冷空气活动。西太平洋副高此时也有所减弱东退, 其西南侧的南风气流与亚洲高压脊前的西北冷空气在我国长江中下游地区形成切变线 (图 7g), 并导致降水带相比前期偏南。

1月23日 (图略) 我国南方地区基本没有降水。此时亚洲高压脊和西太平洋副高均再次加强

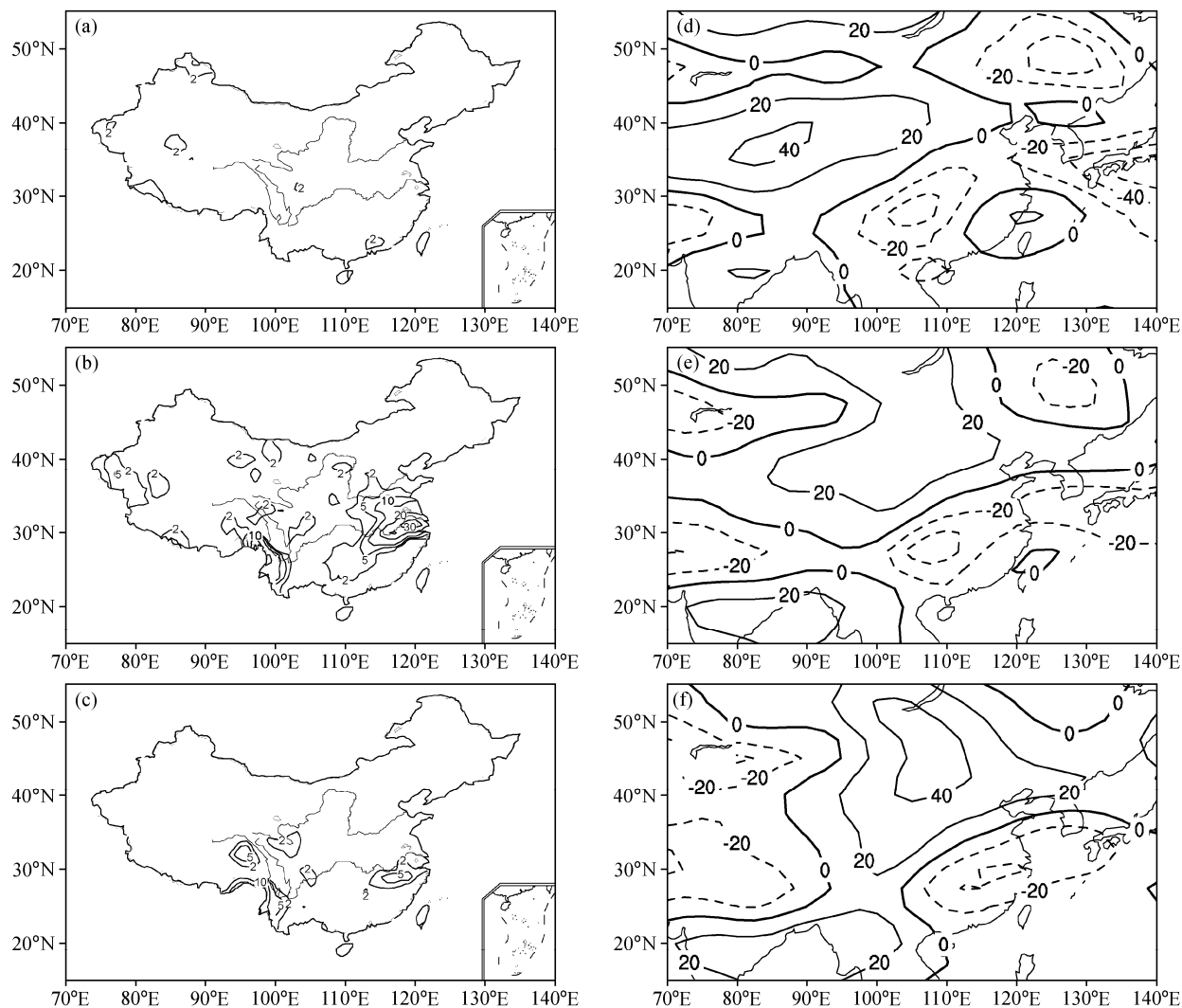


图 7 2008 年 1 月 (a) 17 日、(b) 19 日和 (c) 21 日降水量 (单位: mm), (d) ~ (f) 同 (a) ~ (c) 但为 250 hPa 斜压波波包函数相对于其 31 天滑动平均场的距平 (单位: m)

Fig. 7 Daily precipitation (units; mm) on (a) 17 Jan, (b) 19 Jan, and (c) 21 Jan 2008. (d) — (f) are the same as (a) — (c), but for 250 hPa envelope function anomalies of transient eddies (units; m), relative to the corresponding 31-day running-mean field

并相连接,但在我国南方地区没有形成明显的切变线。

由此可见,我国南方地区在第二次雨雪过程中的降水具有低频性。西太平洋副高维持着“内凹外凸”的特征,进而导致我国长江流域附近始终位于切变线控制之下,从而造成了此次降水过程。

图 8 给出了海平面气压及其地表气温的异常场。亚洲冷高压系统的演变和 850 hPa 上高度场的演变一致 (图 6a~6c)。受第一次过程的影响^[1],1 月 17 日我国东部地区仍在偏强的亚洲冷

高压控制下,气压距平达到 +4 hPa 以上 (图 8a),东部地区维持着低温状态,地表气温距平达到 -3~-6 °C (图 8d)。1 月 19 日 (图 8b) 贝加尔湖形成一强度达 20 hPa 的气压正异常中心,对应着亚洲冷高压的显著增强,同时气压正距平区在贝加尔湖至日本以东地区也有所增强。但在我国东南地区,气压则有所减弱,气压距平零线已北抬至长江以北地区。从图 8e 中可以看出,高原东侧的气温负距平区已向西北方向收缩,而我国华南地区则已出现正气温距平。1 月 21 日 (图 8c) 相比于前期,亚洲冷高压减弱并向东南移动。

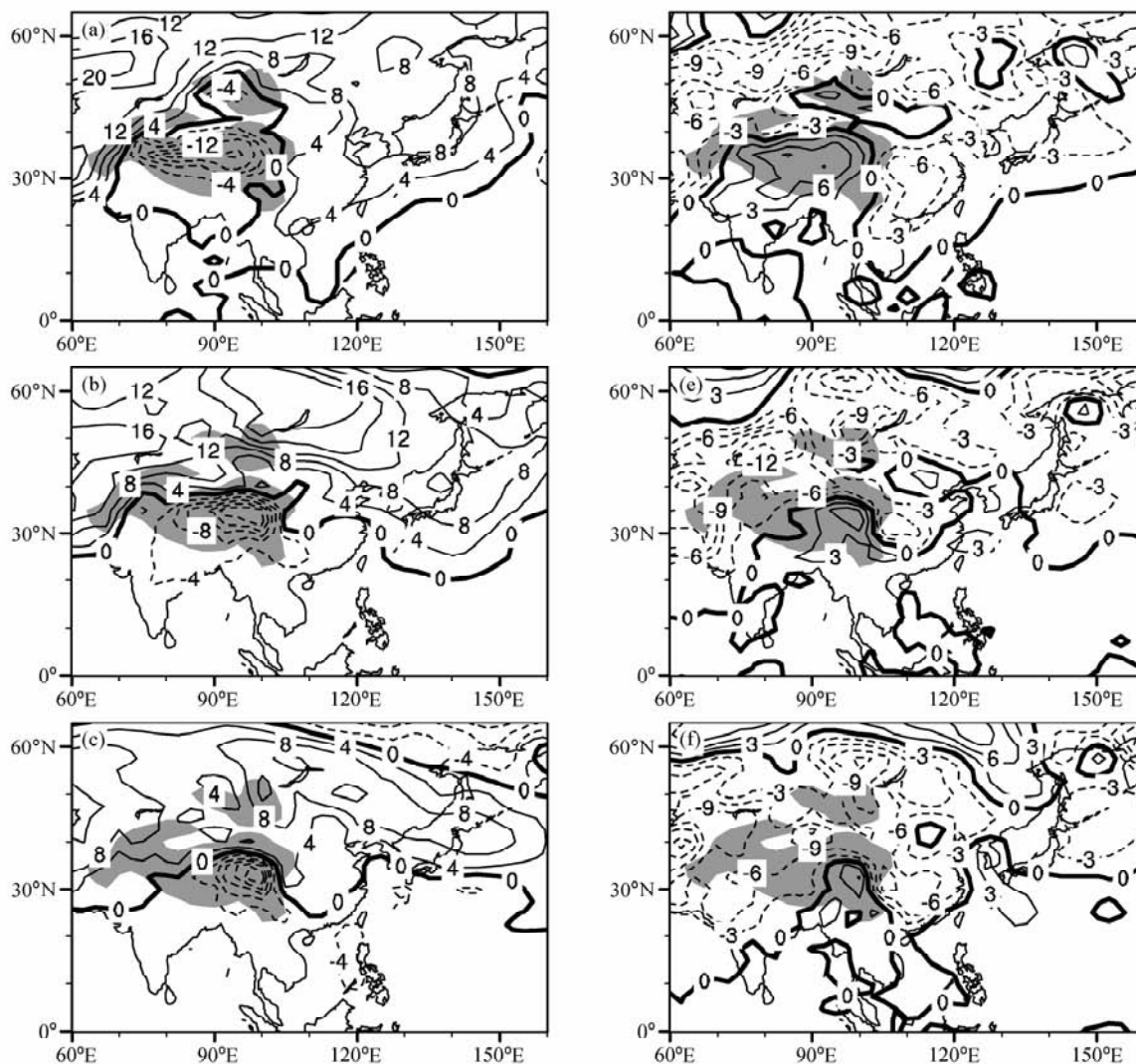


图8 2008年1月(a)17日、(b)19日和(c)21日海平面气压距平(单位:hPa), (d)~(f)同(a)~(c)但为地表温度距平(单位:°C)

Fig. 8 Daily sea level pressure anomalies (units: hPa) on (a) 17 Jan, (b) 19 Jan, and (c) 21 Jan 2008. (d) — (f) are the same as (a) — (c), but for surface temperature anomalies (units: °C). Thick lines represent zero lines

此时高原东侧的距平零线也向南移至我国华南地区,它有利于中高纬异常冷空气经渤海湾影响到我国南方地区。从图8f上可以看出,我国高原东部地区的气温负距平区再次向东南方向扩张,距平零线基本与海岸线重叠,我国南方地区的低温过程得以延续。到1月23日(图略)亚洲冷高压进一步增强并沿着高原的东侧向南移,更加有利于冷空气从高纬度南下侵入我国。

由此可见,在这次过程之前,我国南方地区已出现冰冻天气。而在该阶段中,亚洲冷高压偏强并沿着高原东侧伸入我国东部地区,应

当是我国南方地区能够维持低温冰冻天气的主要原因。

5 结论

本文主要利用 NCEP/NCAR 逐日再分析资料,分析了2008年初我国南方第二次(1月17~23日)雨雪低温过程的中期演变特征及其成因。西太平洋副热带高压偏强偏北发生在此次过程之前,它在该阶段中更多的是维持了其前期异常状态。西太平洋副高的西部在对流层低层呈现出的

“内凹外凸”特征, 恰好在我国长江中下游附近形成切变线, 从而造成了这次雨雪过程。亚洲冷高压偏强并沿着高原东侧伸入我国东部地区, 是我国南方地区在此过程中能够持续冰冻低温的主要原因。

至于西太平洋副高“内凹外凸”特征的成因, 则与对流层中上层的异常环流密切相关。在对流层中上层, Rossby 波通过其能量的辐合辐散从北非地区传播到中亚地区, 同从乌拉尔山地区向南频散出的 Rossby 波能量共同引起了帕米尔高原及中亚地区气压槽的加深, 进而引导着对流层低层西太平洋副高的西侧向内凹陷; 在对流层中层, 由于 Rossby 波能量的传播, 印度大陆地区的正异常环流逐步向东移动, 引导着西太平洋副高向西南方向伸展; 同时, 贝加尔湖地区的高压异常逐渐向东移动, 导致西太平洋副高向西北方向伸展。在这三个方面的共同作用下, 最终导致西太平洋副高对流层低层维持着内凹外凸的特征。

此次过程中, 在热带西太平洋对流活动异常与西太平洋副高的演变之间的相互关系中, 后者起着主导作用。我们注意到, 这次过程中, 最强的波源区在北太平洋地区 (图 3a 和 3d), 它可能与 La Niña 背景下的北太平洋海气相互作用过程有关。Rossby 波能量从这里向下游地区传播, 通过北美和北大西洋地区, 影响到亚非地区。这一环半球尺度的现象已经超出中期过程范畴, 因此在本文中未予以讨论, 今后将在更长时间尺度上进一步深入研究。

致 谢 感谢中国科学院大气物理研究所赵思雄研究员和孙建华研究员对本文提出了建设性修改意见。

参考文献 (References)

- [1] 布和朝鲁, 纪立人, 施宁. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析 I: 亚非副热带急流低频波. 气候与环境研究, 2008, **13** (4): 419~433
- Bueh Cholaw, Ji Liren, Shi Ning. On the medium-range process of the rainy, snowy and cold weather of South China in early 2008. Part I: Low-frequency waves embedded in the Asian-African subtropical jet. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2008, **13** (4): 419~433
- [2] Shapiro M A, Thorpe A J. A global atmospheric research programme for the beginning of the 21st century. *WMO Bull.*, 2004, **53** (3): 222~226
- [3] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77** (3): 437~471
- [4] Takaya K, Nakamura H. A formulation of a wave-activity flux for stationary Rossby waves on a zonally varying basic flow. *Geophys. Res. Lett.*, 1997, **24** (23): 2985~2988
- [5] Takaya K, Nakamura H. A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, 2001, **58** (6): 608~627
- [6] Nakamura H, Nakamura M, Anderson J L. The role of high-and low-frequency dynamics in blocking formation. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125** (9): 2074~2093
- [7] Karoly D J, Hoskins B J. Three dimensional propagation of planetary waves. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1982, **60**: 109~123
- [8] Huang R. The East Asia/Pacific teleconnection pattern of summer circulation and climate anomaly in East Asia. *Acta Meteorologica Sinica*, 1992, **6** (1): 25~37
- [9] 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季异常的影响. 大气科学, 1994, **18** (2): 141~151
- Huang Ronghui, Sun Fengying. Impact of the convective activities over the western tropical Pacific warm pool on the intraseasonal variability of the east Asian summer monsoon. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1994, **18** (2): 141~151
- [10] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **65** (3): 373~390

[1] 布和朝鲁, 纪立人, 施宁. 2008 年初我国南方雨雪低温天