

La Niña 年冬季亚洲中高纬环流与我国南方 降雪异常关系

张庆云^{1,2} 宣守丽^{2,3} 彭京备²

1 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

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 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 2007/2008 年冬季, 赤道中东太平洋形成了一次中等强度的 La Niña 事件。本文根据 NCAR/NCEP 再分析资料, 探讨 La Niña 气候背景下亚洲中高纬大气环流及南亚上空南支槽强度与我国南方 (25~35°N, 110~125°E) 多雪、少雪以及 2008 年 1 月我国南方大范围低温雨雪冰冻灾害的关系。分析指出, La Niña 气候背景下, 500 hPa 高度场亚洲高纬位势高度偏高易出现阻塞型, 当乌拉尔山阻塞高压强度、位置比鄂霍次克阻塞高压偏强、偏北时, 入侵我国南方的偏北气流主要来自乌拉尔山地区, 南方偏冷 (距平达 -4.0 °C) 多雪; 当鄂霍次克阻塞高压强度、位置比乌拉尔山阻塞高压偏强、偏北, 入侵我国南方的偏北气流主要来自鄂霍次克海地区, 南方偏暖 (距平达 1.0 °C) 少雪。2008 年 1 月 500 hPa 高度上亚洲高纬乌拉尔山阻高偏北、强度偏强 (正距平中心值达 120 gpm), 入侵我国南方的 2 支偏北气流都来自乌拉尔山地区, 南方出现了低温 (温度距平达 -4.0 °C) 雨雪冰冻天气; 分析指出, 200 hPa 高度场南亚地区南支槽的强弱对我国南方降雪多寡有重要影响。

关键词 La Niña 事件南方多雪 阻塞高压 西风急流

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0385-10 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Relationship between Asian Circulation in the Middle-High Latitude and Snowfall over South China during La Niña Events

ZHANG Qing-Yun^{1,2}, XUAN Shou-Li^{2,3}, and PENG Jing-Bei²

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

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

3 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

Abstract The moderate-strong La Niña was throughout in boreal winter 2007—2008 year, and the anomalous snowfall and extreme low temperature occurred in South China during January 2008. The Asian Circulation in middle-high latitude and association with the aspect of snowfall in South China during La Niña events were studied based on NCAR/NCEP reanalyzed dataset. It had been found that there was a blocking pattern in Asian Circulation of

收稿日期 2008-04-01 收到, 2008-04-20 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重点项目 IAP07120 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-226

作者简介 张庆云, 女, 1950 年出生, 研究员, 主要从事亚洲季风与短期气候变化成因机理及预测理论研究。

E-mail: zqy@mail.iap.ac.cn

middle-high latitude at 500 hPa during La Niña events. When the intensity of blocking pattern over Ural Mountains was stronger than over Okhotsk Sea in January during La Niña years, the temperature in South China was lower than normal and there was association with heavy snowfall due to the northerly wind in South China was related with the circulation in Ural Mountains. When the intensity of blocking pattern over Okhotsk Sea was stronger than over Ural Mountain in January during La Niña years, the temperature in South China was above normal and association with a light snowfall due to the northerly wind in South China was connected with the circulation in Okhotsk Sea. In January 2008, the intensity of blocking pattern over Ural Mountain looks more strengthened (positive anomalous 120 gpm). There were two branches northerly wind in South China, and both of them were associated with the circulation from Ural Mountain which resulted in the colder air temperature in South China. The intensity of southern branch jet stream over Southern Asia at 200 hPa and its association with the snowfall in South China during La Niña events were also discussed.

Key words La Niña events, heavy snowfall in South China, blocking pattern, westerly jet

1 引言

2008 年 1 月我国南方地区出现了大范围低温雨雪冰冻天气, 安徽持续降雪 24 天, 是建国以来持续性降雪最长年, 江淮地区出现 30~50 cm 的暴雪; 贵州有 49 个县市持续冻雨日子突破历史记录; 河南、四川、陕西等地区的降雪(水)量为 1951 年以来最大值; 江西出现 59 年来最严重的低温雨雪天气; 浙江出现了 84 年来最强的暴雪; 湖北、湖南的低温雨雪冰冻是百年一遇^[1]。暴雪、低温、冰冻以及大雾等多种灾害的并发, 给我国南方地区的交通运输、能源供应、电力输送、通讯设施以及农业和人民群众的生活带来严重的影响和重大损失。

极端异常天气气候事件的发生与大气环流内部动力过程以及大气外部强迫因子异常有关。2007 年 8 月, 赤道中东太平洋海温异常 (SSTA) 达到 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 即进入冷水事件 (La Niña 状态), 其后冷水事件迅速发展, 10 月赤道中东太平洋海温距平达到 $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后, 海温继续变冷, 2008 年 1 月达到 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 是进入 La Niña 状态后 6 个月以来强度最强值, 也是 1951 年以来发展最为迅速的一次 La Niña 事件。2008 年 1 月我国南方持续低温雨雪冰冻灾害事件就是发生在赤道中东太平洋出现了一次中等强度的 La Niña 事件的气候背景下。陶诗言和张庆云^[2]关于亚洲冬夏季风环流对 ENSO 事件响应的研究指出: La Niña 年冬季, 亚洲中高纬度为负温度距平, 亚洲大槽强度比常年偏强, 有利于寒潮向南爆发, 亚洲冬季风和大洋

洲夏季风偏强。陈文^[3]研究了 El Niño 和 La Niña 事件与亚洲冬夏季风循环, 指出 La Niña (El Niño) 盛期的冬季, 中国东部沿海为异常北风(南风), 亚洲冬季风偏强(弱)。李崇银^[4]研究指出, La Niña 年东亚冬季寒潮偏强, El Niño 年东亚冬季寒潮偏弱。裴顺强和李崇银^[5]研究发现, 亚洲冬季风强年, 蒙古高压偏强, 阿留申低压偏强, 东亚大槽偏强, 中高纬度环流经向度增大, 有利于冷空气向南爆发, 850 hPa 上从亚洲大陆东部到南海偏北风加强; 弱冬季风年, 形势基本相反。

上述研究表明, 对于冬季而言, 与 La Niña (El Niño) 事件相关的研究大多集中在事件发生时环流的响应, 如 La Niña (El Niño) 年冬季中国东部到太平洋地区出现北风(南风)距平, 表明亚洲冬季风环流偏强(弱)等; 冬季 La Niña (El Niño) 事件对亚洲夏季风环流、夏季天气气候异常关系等的研究已取得大量有意义的结果^[6~10]。然而对于 La Niña (El Niño) 事件气候背景下, 冬季亚洲环流异常及其对冬季我国南方降水(雪)异常的影响及成因机理研究并不多。本文利用 1948~2008 年 NCAR/NCEP 再分析资料, 对 La Niña 气候背景下的冬季多雪(1955、1956 和 1984 年)、少雪(1963、1965 和 1999 年)及 2008 年 1 月我国南方低温雨雪冰冻天气与亚洲中高纬环流异常以及可能成因机理进行探讨。

2 资料和方法

利用 NCEP/NCAR 再分析 500 hPa 位势高度

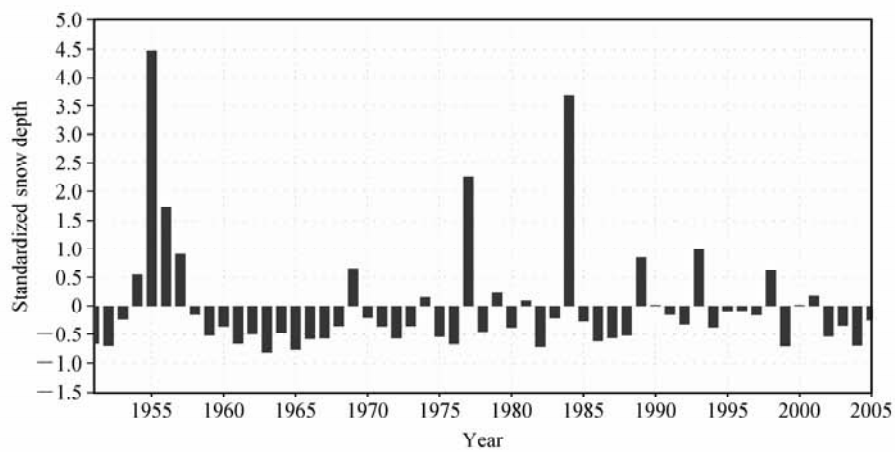


图1 1951~2005 年 1 月中国南方地区 (25~35°N, 110~125°E) 标准化的平均积雪深度
Fig.1 Standardized snow depth in South China (25—35°N, 110—125°E) in Jan during 1951 to 2005

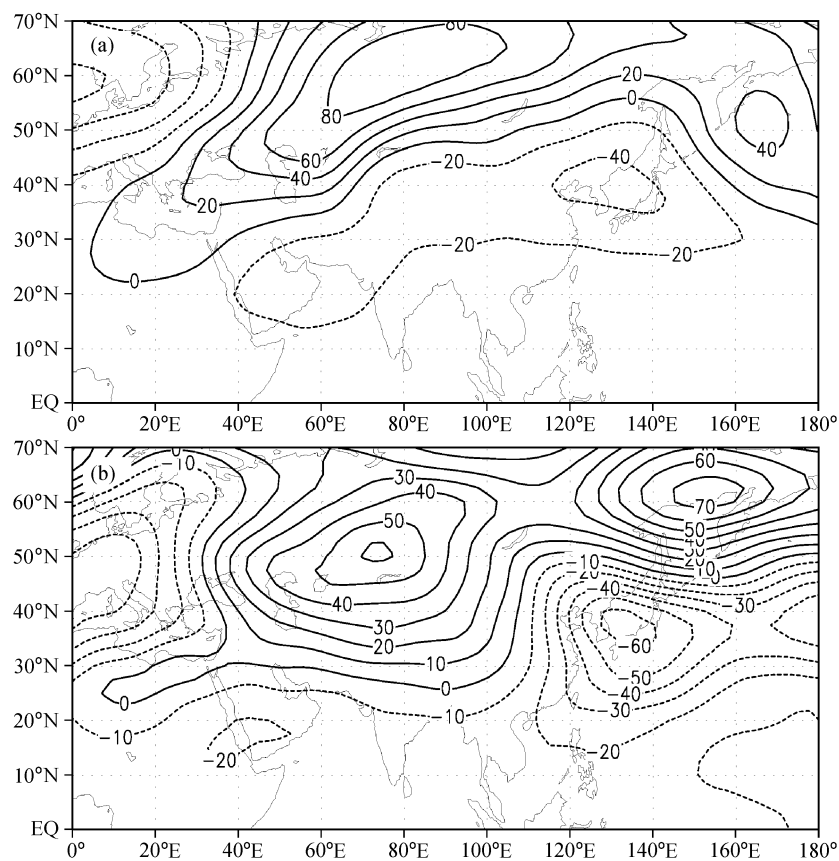


图2 La Niña 年 1 月 500 hPa 高度场距平合成 (单位: gpm): (a) 积雪偏多年; (b) 积雪偏少年
Fig.2 The composited geopotential height anomaly (gpm) at 500 hPa in Jan during La Niña years in South China: (a) more snow; (b) less snow

场, 850 和 200 hPa 风场, 1 000 hPa 温度场的月平均资料; 2008 年 1 月逐日 500 hPa 位势高度场, 850 和 200 hPa 风场, 1 000 hPa 温度场资料。资料的经纬度网格均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。1951~2005 年 754 站中国地面积雪资料由中国气象局国家气象信息中心气象资料室提供。

3 La Niña 年冬季亚洲中高纬环流特征与我国南方降雪

根据中国气象局国家气象信息中心气象资料室提供的 1951~2005 年 754 站中国地面积雪资料, 计算了我国南方地区(25~35°N, 110~125°E) 平均积雪深度(反映降雪多寡), 图 1 给出 1951~2005 年 1 月我国南方地区逐年平均积雪深度的标准化值。定义积雪深度大于 1 个标准差为多雪年, 小于 -0.7 标准差为少雪年。根据美国气候预报中心(Climatic Prediction Center) 给出的 1950 年以来 La Niña 事件的海温变化, 选取 11 月至次年 1 月 3 个月滑动平均强度小于 -0.7, 且 1 月处于 La Niña 事件的年为 La Niña 事件年。根据上述 2 个标准, 本文选取 La Niña 气候背景下 1955、1956 和 1984 年的 1 月合成代表南方多雪年,

1963、1965 和 1999 年的 1 月合成代表南方少雪年, 重点探讨 La Niña 气候背景下, 亚洲中高纬大气环流异常特征与我国南方多雪、少雪以及 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻灾害的关系及可能机理。

3.1 500 hPa 高度场环流异常特征

陶诗言和张庆云^[2] 研究指出, La Niña 年冬季, 亚洲冬季风环流加强, 中国东部与西太平洋地区出现偏北风距平。冬季偏北风距平位置反映偏北风的路径, 但偏北风的路径与强度之间的关系并不十分清楚。为了了解 La Niña 气候背景下, 我国南方降水(雪) 多寡年亚洲中高纬环流以及偏北风气流路径、强度异常特征, 图 2 给出 La Niña 气候背景下 1 月 500 hPa 高度距平合成。由图 2a 可见, 南方降雪偏多年, 亚洲中高纬度环流呈现双阻塞型, 乌拉尔山阻塞高压中心位于 60°N 以北, 位势高度距平达 80 gpm, 鄂霍次克阻塞高

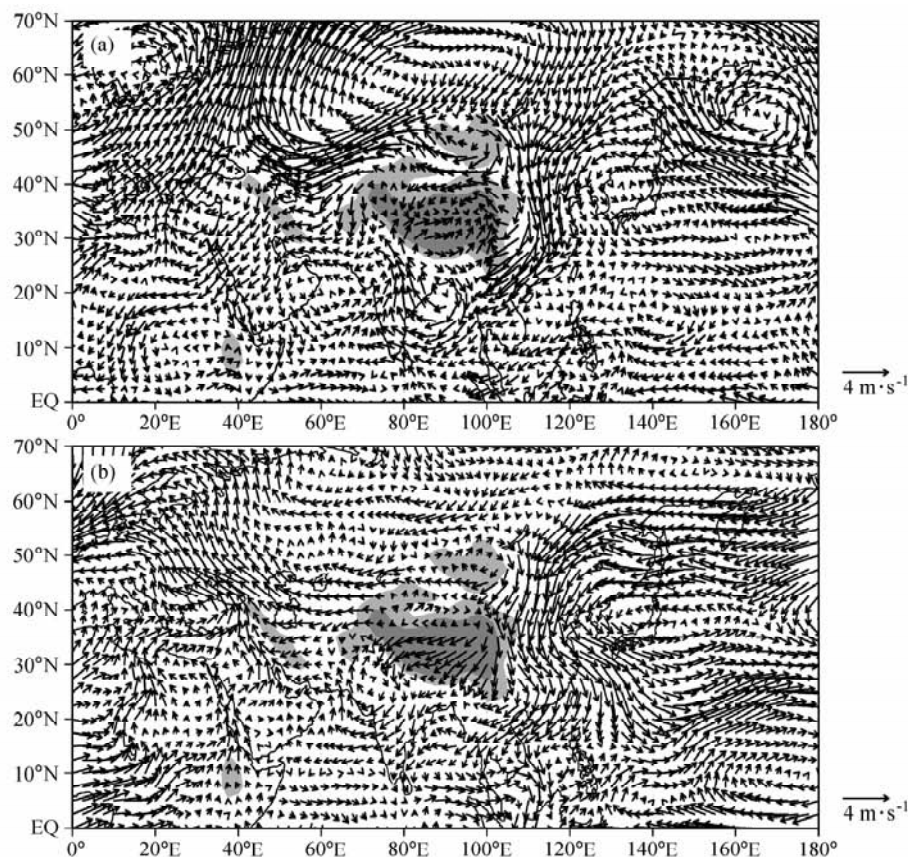


图 3 La Niña 气候背景下 1 月 850 hPa 风场距平合成: (a) 积雪偏多年; (b) 积雪偏少年(浅、深阴影分别表示地形大于 1 500 m 和 3 000 m)

Fig. 3 The composited wind anomaly at 850 hPa in Jan during La Niña years in South China; (a) more snow; (b) less snow. The light and dark shaded area for surface height above sea level 1 500 m and 3 000 m

压中心位于 50°N , 位势高度距平达 40 gpm, 表明多雪年亚洲中高纬环流出现的双阻型表现为西阻强、东阻弱。由图 2b 可见南方降雪偏少年, 亚洲中高纬环流也表现为双阻塞, 乌拉尔山阻塞高压中心位于 50°N , 中心位势高度距平达 50 gpm, 鄂霍次克阻塞高压中心位于 60°N 以北, 中心位势高度距平达 70 gpm, 表明少雪年亚洲中高纬环流的双阻型是西阻弱、东阻强。

3.2 850 hPa 风场异常特征

为了进一步探讨亚洲中高纬双阻型强度和位置的异常与东亚冷空气路径关系, 图 3 给出 La Niña 年 1 月 850 hPa 风场距平成。图 3a 是南方降雪偏多年, 亚洲中高纬度乌拉尔山地区为反气旋性的距平环流, 反气旋性环流的偏北气流沿着 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 从 70°N 南下直达我国中纬度 (30°N 附近), 表明多雪年入侵我国南方地区的偏北气流与乌拉尔山反气旋性环流相连 (见图 3a); 图 3b

是南方降雪偏少年, 沿着 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 直达我国南方地区的偏北气流与鄂霍次克地区气旋性的距平环流相连 (见图 3b)。

综上所述, La Niña 气候背景下, 亚洲中高纬环流易出现双阻型。南方降雪偏多年, 亚洲中高纬度环流西阻强、东阻弱, 沿着 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 从高纬到达我国中纬地区的偏北风气流主要与来自乌拉尔山反气旋性距平环流相连; 南方降雪偏少年, 亚洲中高纬环流西阻弱、东阻强, 沿着 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 从高纬到达我国中纬度地区的偏北风气流主要与来自鄂霍次克地区的气旋性距平环流相连。

3.3 1 000 hPa 温度场异常特征

上述分析表明, 来自乌拉尔山地区与鄂霍次克海地区的偏北风气流, 都沿 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 地区南下到达我国南方地区, 环流系统的不同对偏北风气流强度有什么影响? 图 4 给出 1 月 1 000 hPa 温度

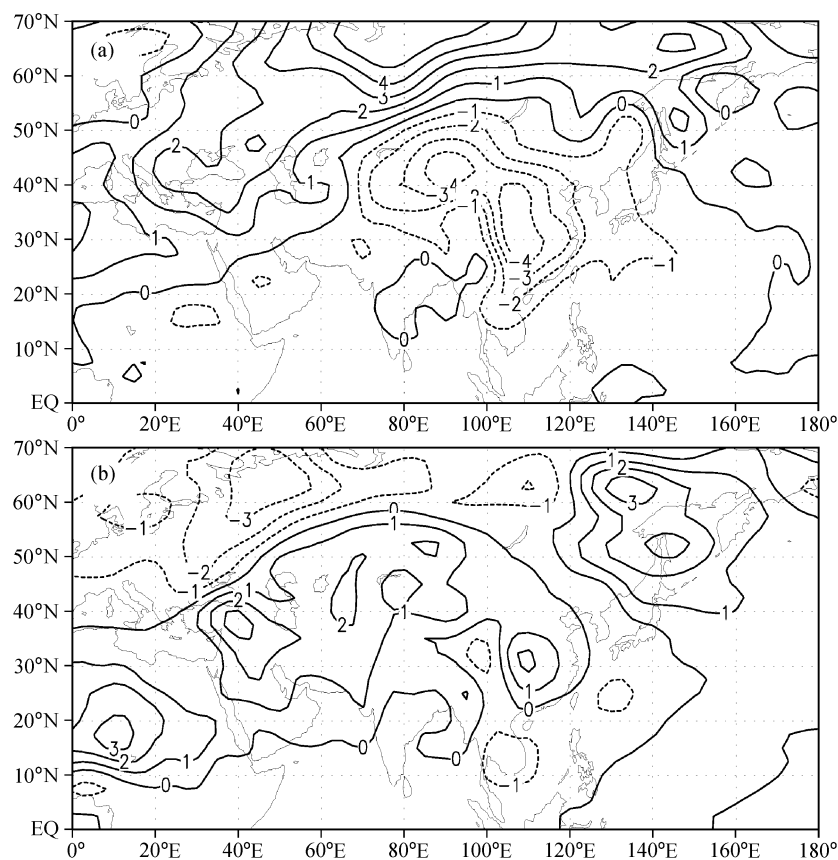


图 4 La Niña 气候背景下 1 月 1 000 hPa 温度场距平成 (单位: $^{\circ}\text{C}$): (a) 积雪偏多年; (b) 积雪偏少年

Fig. 4 The composited temperature anomaly ($^{\circ}\text{C}$) at 1 000 hPa in Jan during La Niña years in South China: (a) more snow; (b) less snow

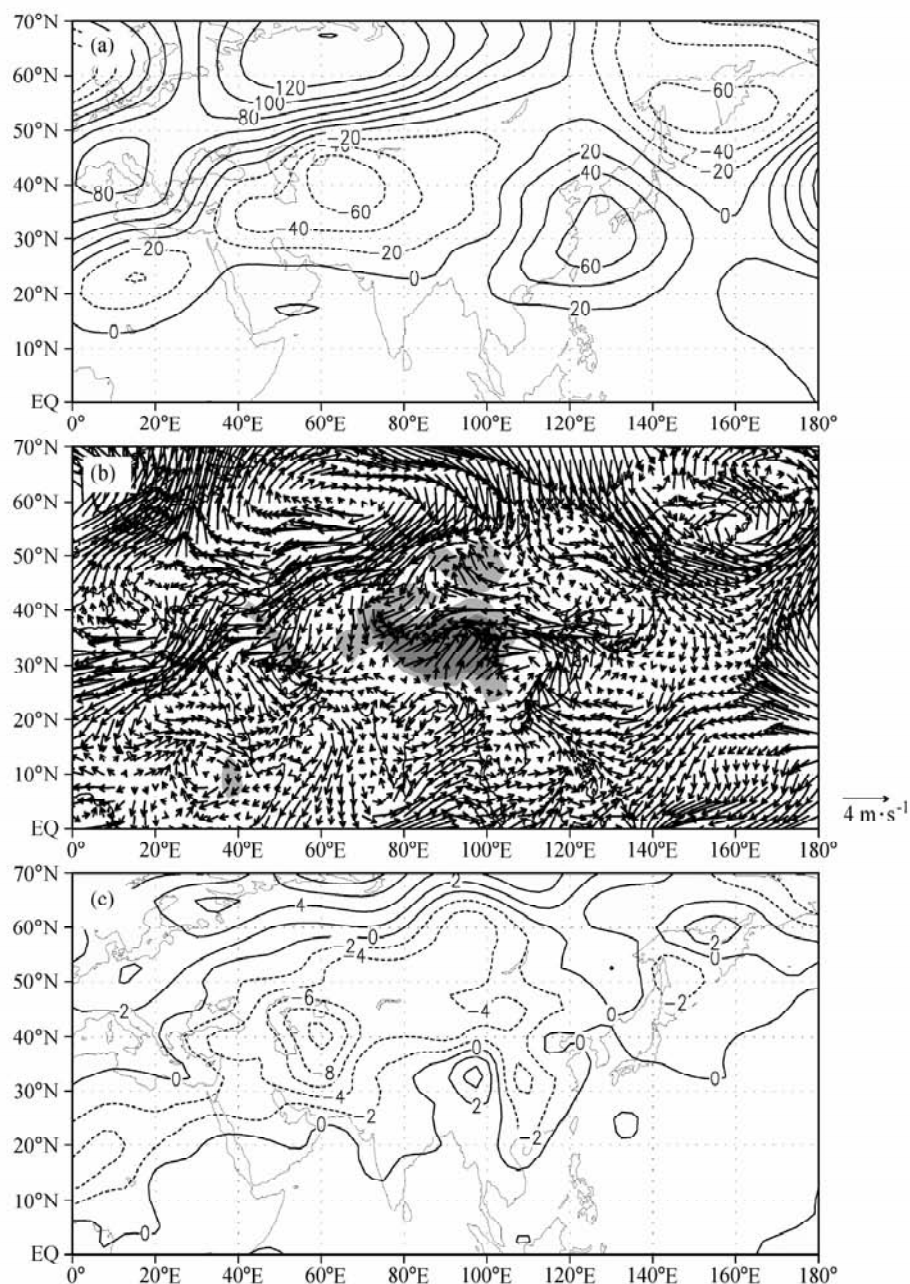


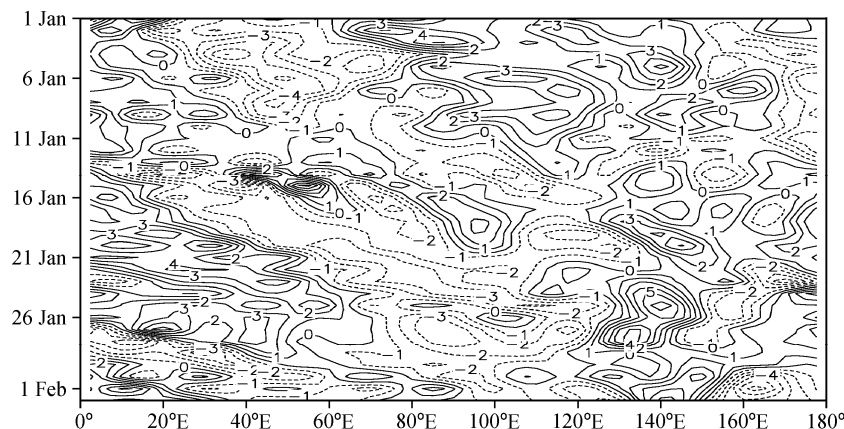
图5 2008年1月 (a) 500 hPa 高度距平 (单位: gpm)、(b) 850 hPa 风距平 (浅、深阴影分别为地形大于1 500 m和3 000 m) 和 (c) 1 000 hPa 温度距平 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 (a) The geopotential height anomaly (gpm) at 500 hPa in Jan 2008, (b) wind anomaly at 850 hPa (the light and dark shaded area for surface height above sea level 1 500 m and 3 000 m), (c) temperature anomaly at 1 000 hPa (units: $^{\circ}\text{C}$)

场距平成, 南方降雪偏多年我国南方地区的温度出现 -4°C 的距平中心 (图 4a), 这说明冬季沿着 110°E 直达我国南方地区的偏北风气流主要受乌拉尔山环流影响, 偏北气流带来的冷空气强, 易造成南方低温、多雪; 图 4b 是南方降雪偏少年, 少雪年我国南方地区出现了 1°C 的距平中心 (图 4b), 这说明冬季沿着 110°E 直达我

国南方地区的偏北风气流主要受鄂霍次克海地区环流影响, 偏北气流带来的冷空气强度弱, 南方偏暖少雪。

由上可见, 500 hPa 高度、850 hPa 风场以及 1 000 hPa 温度距平场清楚表明: La Niña 气候背景下, 冬季亚洲中高纬环流易出现双阻型, 乌拉尔山阻塞高压强度和位置比鄂霍次克阻塞高压偏

图6 2008年1月1日~2月2日500 hPa 涡度时间-经度(55~65°N 平均)剖面(单位: 10^{-5} s^{-1})Fig. 6 The time-longitude section of the vorticity (55–65°N) during 1 Jan to 2 Feb in 2008 (units: 10^{-5} s^{-1})

强、偏北,入侵我国南方地区的偏北气流主要受乌拉尔山环流系统影响,有利南方低温多雪;冬季鄂霍次克海阻塞高压强度、位置比乌拉尔山阻塞高压偏强、偏北,沿着 110°E ~ 120°E 入侵我国南方地区的偏北气流主要受来自鄂霍次克海环流影响,南方地区易出现暖冬少雪。可见同样是 La Niña 气候背景下,中高纬环流阻塞型位置、强度对我国南方地区温度以及降雪(水)异常有重要影响。因此需要进一步探讨 2008 年 1 月亚洲中高纬环流特征与我国南方降雪关系及可能机理。

4 2008 年 1 月南方雨雪低温灾害环流异常特征

2008 年 1 月我国南方冰冻雨雪低温灾害也是发生在 La Niña 气候背景下。图 5 分别给出 2008 年 1 月 500 hPa 高度距平、850 hPa 风距平以及 1 000 hPa 温度距平。2008 年 1 月亚洲中高纬环流表现为乌拉尔山阻塞高压异常强大,中心距平达到 120 gpm,亚洲中高纬鄂霍次克海上空为负距平(见图 5a)。影响我国南方地区的 2 支偏北风距平,一支从 100°E ~ 120°E 南下,另一支从 140°E 南下,两支偏北气流都与中高纬乌拉尔山环流系统相联系(见图 5b),受 2 支气流共同影响,我国南方大范围的温度距平达 -4°C (图 5c)。

综上所述,2008 年 1 月亚洲中高纬环流乌拉尔山阻塞高压异常强且稳定少动,入侵我国南方的 2 支偏北风距平气流都受乌拉尔山环流系统影

响,并与来自东亚低纬的强西南风气流在我国 25°N ~ 35°N 地区交汇,造成南方地区出现了极端冰冻、雨雪、低温天气。

为什么 2008 年 1 月亚洲中高纬环流乌拉尔山阻塞高压异常强且稳定少动,图 6 给出亚洲中高纬 55°N ~ 65°N 平均的 500 hPa 涡度逐日时间-经度剖面。从图可见,乌拉尔山所在经度范围(50°E ~ 60°E)出现的负涡度区稳定少动,这表明乌拉尔山阻塞高压强度加强与负涡度稳定少动有关,亚洲中高纬乌拉尔山附近负涡度的维持对入侵我国南方地区的 2 支偏北气流的形成维持,造成南方雨雪低温天气起了重要作用。

5 亚洲副热带环流特征

Yang 等^[11]研究指出,亚洲中纬度高空西风急流加强时,亚洲冬季风加强,导致亚洲地表温度降低。龚道溢等^[12]指出,冬季西风环流主要通过影响西伯利亚高压和亚洲大槽而影响中国气候。毛睿等^[13]指出冬季亚洲西风急流的强度和位置对我国冬季的气温和降水有重要影响。我们进一步探讨 La Niña 年冬季 200 hPa 高空亚洲西风急流变化与我国南方降雪多寡的关系,图 7 给出多、少雪年及 2008 年 1 月 200 hPa 风场距平。图 7a 是多雪年 1 月 200 hPa 风场距平,亚洲中高纬度出现 2 个反气旋性距平环流中心,一个位于(65°N , 70°E),一个位于(50°N , 160°E),这与 500 hPa 高度场上亚洲中高纬乌拉尔山阻塞高压中心位于 60°N 以北,鄂霍次克阻塞高压中心位于 50°N 一致,说明

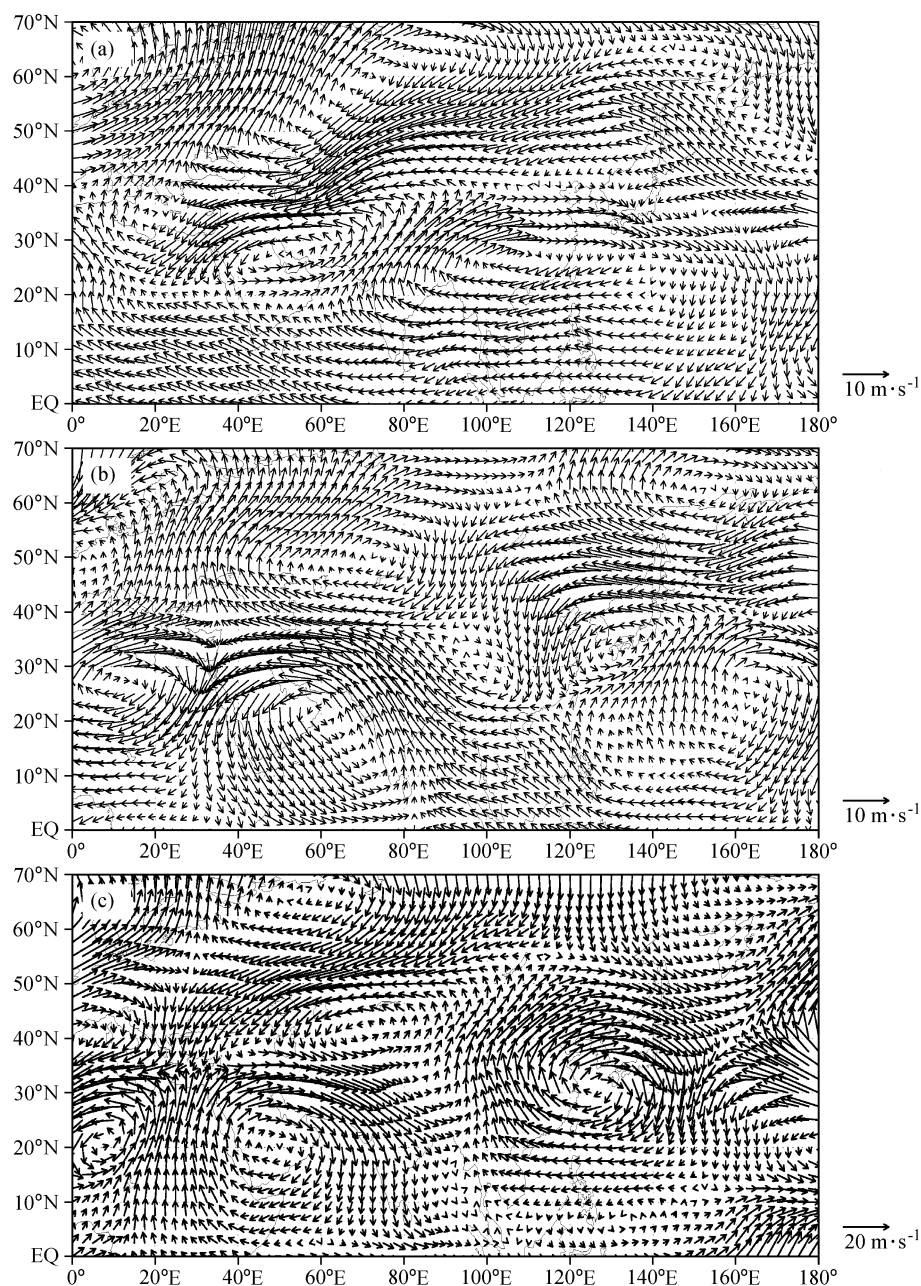


图7 1月200 hPa风场距平: (a) 积雪偏多年; (b) 积雪偏少年; (c) 2008年

Fig. 7 The composited wind anomaly at 200 hPa in Jan: (a) more snow in South China; (b) less snow in South China; (c) year 2008

亚洲中高纬500 hPa高度场与高层200 hPa风场具有正压性;此外,南亚上空20~35°N西风距平加强,表明南亚上空南支槽扰动强,有利南方降雪。图7b是少雪年1月200 hPa风场距平,亚洲中高纬度也出现2个反气旋性距平环流中心,西阻中心出现在(50°N, 70°E),东阻中心位于(65°N, 155°E),这与500 hPa高度场上亚洲中高纬西阻位于50°N、东阻位于60°N以北一致,亚洲中高

纬环流500 hPa高度场与高层200 hPa风场变化具有正压性;同时南亚上空20~35°N出现东风距平,表明南亚上空南支槽扰动减弱,不利南方降雪。图7c是2008年1月200 hPa风场距平,亚洲中高纬乌拉尔山地区呈现为强大的反气旋性的距平环流,中心位于(70°N, 65°E),鄂霍次克海上空为气旋性的距平环流,200 hPa中高纬形势与中层500 hPa环流型呈现正压性;同时,南

亚上空为西风距平, 即南支扰动加强, 有利南方降雪。

综上所述, 高层 200 hPa 与中层 500 hPa 的亚洲中高纬环流异常变化具有正压性; 南亚地区 200 hPa 上空南支槽的加强对我国南方降雪有重要作用, 200 hPa 南亚上空南支槽扰动增强有利南方多雪; 200 hPa 南亚上空南支槽扰动减弱, 不利南方降雪。2008 年 1 月我国南方持续雨雪低温天气与 2008 年 1 月南亚上空南支槽扰动异常强有关。

6 小结

本文重点分析了 La Niña 气候背景下, 我国南方 (25~35°N, 110~125°E) 降雪多寡年以及 2008 年 1 月我国南方极端低温雨雪冰冻灾害发生时亚洲中高纬大气环流异常特征及可能成因。研究指出, La Niña 气候背景下亚洲中高纬环流易出现阻塞型, 当西阻 (乌拉尔山阻塞高压) 比东阻 (鄂霍次克阻塞高压) 偏北、偏强时, 入侵我国南方地区的偏北气流主要与来自大陆的乌拉尔山环流有关, 南方地区温度低 (负距平区中心达 -4.0 °C); 当东阻比西阻偏北、偏强时, 入侵我国南方地区的偏北气流主要与来自海洋上的鄂霍次克海上空环流有关, 我国南方地区温度相对偏高 (出现 1.0 °C 的正温度距平); 2008 年 1 月亚洲中高纬环流表现为乌拉尔山阻塞高压异常强大, 来自乌拉尔山的 2 支偏北气流南下入侵我国南方地区, 造成我国南方地区极端异常低温。La Niña 气候背景下, 亚洲中高纬度高层与中层的环流变化具有正压性; 200 hPa 南亚地区南支槽扰动增强 (减弱) 有利我国南方降雪偏多 (少); 2008 年 1 月我国南方地区极端异常的雨雪与 200 hPa 南亚地区上空南支槽扰动异常强有关。

需要指出的是, 本文重点探讨了 La Niña 气候背景下冬季 500 hPa 亚洲中高纬环流及 200 hPa 南亚地区南支槽扰动强弱与我国南方降雪多寡的关系; 实际上大气外强迫因子除了赤道东太平洋海温异常外, 热带环流、大气环流季节内振荡等对我国南方降雪多寡也有重要影响, 相关的工作特别是亚洲中高纬环流的异常与冬季大西洋海温异常关系等在本期相关研究工作中已有讨论。

参考文献 (References)

- [1] http://www.cma.gov.cn/nrc/2008_2_news/
- [2] 陶诗言, 张庆云. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应. 大气科学, 1998, **22** (4): 399~407
Tao Shiyan, Zhang Qingyun. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (4): 399~407
- [3] 陈文. El Niño 和 La Niña 事件对亚洲冬、夏季风循环的影响. 大气科学, 2002, **26** (5): 595~610
Chen Wen. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2002, **26** (5): 595~610
- [4] 李崇银. 频繁强亚洲大槽活动与 El Niño 的发生. 中国科学 (B 辑), 1988, **31** (6): 667~674
Li Chongyin. Frequent activities of strong areotroughs in East Asia wintertime and occurrence of El Niño events. *Science in China* (Ser. B) (in Chinese), 1988, **31** (6): 667~674
- [5] 裴顺强, 李崇银. 亚洲冬季风及其影响的进一步研究 I. 亚洲冬季风变化及异常的特征. 气候与环境研究, 2007, **12** (2): 124~136
Pei Shunqiang, Li Chongyin. A further study on the East-Asian winter monsoon and its influences. Part I: Features of variation and anomaly climatic and environmental research. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2007, **12** (2): 124~136
- [6] 符淙斌, 藤星林. 我国夏季的气候异常与埃尔尼诺/南方涛动现象的关系. 大气科学, 1988, (特刊): 133~141
Fu Congbin, Teng Xinglin. The relationship between Chinese summer climate anomaly and ENSO. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1988, (Special Issue): 133~141
- [7] 倪允琪, 邹力, 张向东, 等. ENSO 及其对亚洲季风和我国气候变化影响的研究. 气象科学, 1995, **15** (4): 30~45
Ni Yunqi, Zou Li, Zhang Xiangdong, et al. Study for ENSO and its influences on Asian monsoon and climate change of China. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1995, **15** (4): 30~45
- [8] 黄荣辉, 陈文. 关于亚洲季风与 ENSO 循环相互作用研究最近的进展. 气候与环境研究, 2002, **7** (2): 146~159
Huang Ronghui, Chen Wen. Recent Progresses in the research on the interaction between Asian monsoon and ENSO cycle. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (2): 146~159
- [9] 刘永强, 丁一汇. ENSO 事件对我国天气气候的影响. 应

- 用气象学报, 1992, **3** (4): 473~481
- Liu Yongqiang, Ding Yihui. Influence of ENSO events on weather and climate of China. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1992, **3** (4): 473~481
- [10] Huang Ronghui, Wu Yifang. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1989, **6** (1): 21~32
- [11] Yang S, Lau K M, Kim K M. Variations of the East Asian jet stream and Asian—Pacific—American winter climate anomalies. *J. Climate*, 2002, **15**: 306~324
- [12] 龚道溢, 王绍武. 北半球冬季纬向平均环流的结构及对我国气候的影响. *地理科学*, 2001, **21** (2): 108~112
- Gong Daoyi, Wang Shaowu. Structure of the zonal-mean circulation over the northern hemisphere and its impact on climate of China in winter. *Scientia Geographica Sinica* (in Chinese), 2001, **21** (2): 108~112
- [13] 毛睿, 龚道溢, 房巧敏. 冬季亚洲中纬度西风急流对我国气候的影响. *应用气象学报*, 2007, **18** (2): 137~146
- Mao Rui, Gong Daoyi, Fang Qiaomin. Influences of the East Asian jet stream on winter climate in China. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2007, **18** (2): 137~146