

东亚冬季环流季节内振荡与 2008 年初 南方大雪关系

王 允^{1,3}, 张庆云^{1,2}, 彭京备¹

1 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

2 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

3 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 2008 年 1 月 10~16 日、18~22 日、24~29 日和 1 月 31 日~2 月 2 日, 中国南方地区连续出现 4 次低温、雨雪、冰冻天气。根据 NCEP/NCAR 逐日再分析资料, 利用 LANCZOS 滤波器以及小波分析等方法, 探讨雨雪冰冻前期 2007 年 12 月 2 日~2008 年 1 月 1 日、同期 2008 年 1 月 2~21 日及后期 2008 年 1 月 22 日~2 月 14 日 850 hPa 风场季节内振荡特征及对低温、雨雪、冰冻天气的影响。2007 年 12 月~2008 年 2 月 850 hPa 风场低频振荡分析显示, 中国南方地区风场表现显著的 20~50 d 低频振荡, 季节内低频振荡的位相变化, 较好地揭示了 2008 年 1 月 10 日~2 月 2 日南方地区降雪过程的 3 种环流特征: 1) 沿高原东侧 100°E 附近南下的冷空气到达我国 30~20°N 地区, 与东亚沿海低纬的偏南风距平气流在我国南方地区形成气旋性环流, 南方降雪(水)过程中, 偏南风距平气流比偏北风距平气流强; 2) 沿高原东侧 100°E 附近南下的强偏北风距平气流与东亚沿海低纬的偏南风距平气流在我国南方地区形成气旋性环流, 南方降雪(水)过程中, 偏北风距平气流比偏南风距平气流强, 造成南方雨雪伴随低温冰冻天气; 3) 南方雨雪由偏北风距平气流与偏南风距平气流在东亚东部 25°N 形成的辐合带引起。

关键词 大雪 异常的风场 季节内振荡

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0459-09 **中图分类号** P448 **文献标识码** A

Relationship between the Intraseasonal Oscillation of East Asian Monsoon Circulation and the Heavy Snow over Southern China in Boreal Winter of 2007/2008

WANG Yun^{1,3}, ZHANG Qing-Yun^{1,2}, and PENG Jing-Bei¹

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

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

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

Abstract An extreme low temperature and heavy snow (rain) occurred in southern China during 10 January—2 February 2008. The intraseasonal oscillation characteristics of wind at 850 hPa and association with the extreme anomalous weather in southern China were studied by wavelet analysis and the LANCZOS filter based on the NCEP/

收稿日期 2008-04-01 收到, 2008-05-04 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 和国家自然科学基金资助项目 40675031、40523001

作者简介 王允, 男, 1984 年出生, 硕士研究生, 主要从事东亚季风环流异常成因机理研究。E-mail: wangyun@mail.iap.ac.cn

NCAR daily reanalysis datasets. The oscillation period with 20 to 50 days was significant for the wind over southern China at 850 hPa during December 2007–February 2008. The extreme low temperature and heavy rain/snow occurred in southern China was related to the anomalous cyclonic circulation or convergence zones over southern China which formed by vector wind at 850 hPa. During 2–21 January 2008, there were anomalous cyclonic circulation over southern China formed by anomalous northerly wind along ($20\sim30^{\circ}\text{N}$, 100°E) and anomalous southerly wind from the lower latitude in East Asia. In the first stage, the anomalous southerly wind looked stronger than northerly wind and adversed in the second stage, so the heavy snow (rain) was associated with lower temperature. During 22 January–14 February 2008 the convergence zone over 25°N formed between anomalous southerly wind from the lower latitude and northerly wind from mid-high latitude in East Asia.

Key words heavy snow, anomalous wind field, intraseasonal oscillation

1 引言

2008 年 1 月中旬至 2 月初, 我国河南东南部、湖北中东部、安徽、江苏、湖南、江西北部、浙江北部出现大雪, 局部地区出现暴雪; 江南大部及湖北东部、贵州大部、安徽南部出现冻雨或冰冻天气, 部分地区的低温雨雪冰冻灾害分别为 50 年或 100 年一遇^[1]。这次极端低温雨雪冰冻天气分别出现在 1 月 10~16 日、18~22 日, 24~29 日和 1 月 31 日~2 月 2 日, 4 次基本相同的天气过程频繁出现在南方地区且间隔时间短, 造成了南方地区大范围低温、雨雪、冰冻灾害, 给人民生命财产和国民经济带来巨大损失。郑国光^[1]指出, 2008 年初东亚大气环流的异常是造成这次大范围低温、雨雪、冰冻灾害的根本原因。深入探讨 2008 年初东亚大气环流的异常成因, 以及为什么 4 次基本相同的天气过程频繁出现在中国南方地区, 对提高灾害性天气的预测能力十分重要。

东亚大气环流季节内的异常对我国天气气候异常有直接影响, 夏季东亚大气环流季节内低频振荡异常及其与我国天气的联系的研究已有了一系列的成果^[2~7], 但冬季东亚环流季节内低频振荡异常的研究工作并不多, 金祖辉等^[8]对东亚大陆冬季风期间的地面气温、气压的变化进行分析, 指出东亚冬季风期间存在 30~60 d 以及准双周振荡。邱明宇等^[9]诊断分析了 El Niño 事件对中高纬大气低频振荡的调制作用, 指出夏季低频振荡较弱, 冬季低频振荡较强。本文重点探讨 2007~2008 年冬季我国南方地区 850 hPa 风场季节内低频振荡特征与 2008 年 1 月我国南方大范围低温雨雪冰冻灾害天气过程的关系。

2 资料和方法

NCEP/NCAR 提供的 2007 年 11 月 1 日至 2008 年 4 月 1 日逐日 850 hPa 风场再分析资料及 1968~1996 年平均的 850 hPa 风场的逐日资料, 水平分辨是 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。小波分析是检测时间序列中时间—频率变化的常用工具^[10], 本文用它来检测 2007 年 12 月至 2008 年 2 月冬季东亚地区 ($22.5\sim32.5^{\circ}\text{N}$, $112.5\sim125^{\circ}\text{E}$) 低层 850 hPa 风场的变化特征对我国南方低温雨雪冰冻灾害天气的影响。本文中的滤波均采用了 LANCZOS 滤波器, 因其是极其适用于季节内变化研究的带通滤波器^[11~13]。

3 850 hPa 风场东亚环流的低频振荡

王会军等^[14]对 1948~1999 年多年平均冬季 850 hPa 风场分析指出, 在中国东部地区及其以东海域冬季主要盛行西北风。有关冬季风指数的定义^[14~16]基本都是用逐月偏北风表征每年冬季风强度状况。为了了解 2008 年 1 月我国南方低温、雨雪、冰冻天气灾害发生发展的成因, 我们对 2007 年 11 月至 2008 年 2 月逐月 850 hPa 风场进行分析, 发现 2007 年 11 月、2008 年 2 月我国南方地区上空主要受偏北风距平控制, 2007 年 12 月、2008 年 1 月我国南方地区上空 850 hPa 风场上主要受偏南风距平控制。因此重点探讨 2007 年 12 月~2008 年 2 月 850 hPa 风场异常特征及对 2008 年 1 月我国南方低温雨雪冰冻灾害的影响。从图 1 可见, 不论是月平均风场还是距平场, 我国南方地区 ($22.5\sim32.5^{\circ}\text{N}$, $112.5\sim125^{\circ}\text{E}$) 上空盛行

西南风,也就是说 2008 年 1 月我国南方地区偏南风距平的加强可能对我国南方低温、雨雪、冰冻灾害的发生发展有一定影响。

为进一步了解 2008 年 1 月 (22.5~32.5°N, 112.5~125°E) 区域西南风与我国南方低温、雨雪、冰冻灾害的关系,参照吴尚森等^[17]和琚建华等^[18]关于夏季风活动强度指数的做法,对 (22.5~32.5°N, 112.5~125°E) 范围内的逐日 850 hPa 上纬向、经向风进行计算:

$$I_m = V_{sw} - \bar{V}_{sw},$$

式中, V_{sw} 为逐日全风速在西南方向上的投影, $\bar{V}_{sw}$ 为 V_{sw} 冬季的多年平均值。该区域平均的 I_m 定义为季风强度指数。

根据上述公式计算了 2007 年 12 月至 2008 年 2 月逐日季风强度指数并进行小波分析,图 2 给出季风强度指数 (I_m 序列) 值的小波谱。由于边

界效应,图 2 中方格区域内的数值低于真实值,不具有参考价值。阴影表示谱能量的大小,随着颜色加深谱能量增大。从图可见,通过信度检验的显著谱系数主要集中在 20~50 d 的频带里,这说明 2007 年 12 月至 2008 年 2 月,850 hPa 高度上我国南方地区风场的低频变化具有 20~50 d 的主要振荡周期。

由上可知,2007 年 12 月至 2008 年 2 月,中国南方地区上空风矢量的时间序列 (I_m) 以 20~50 d 周期振荡为主,因此对 I_m 的时间序列进行 20~50 d 滤波。图 3 给出 2007 年 12 月至 2008 年 2 月风矢量 I_m 指数以及 20~50 d 滤波后的 I_m 指数低频波的时间序列。滤波后低频波时间序列的解释方差为 32%。根据 Chan 等^[19]和 Mao 等^[20]的做法,将经过 20~50 d 滤波后的低频波进行周期和位相划分,并对各位相的距平风进行合成分析,探

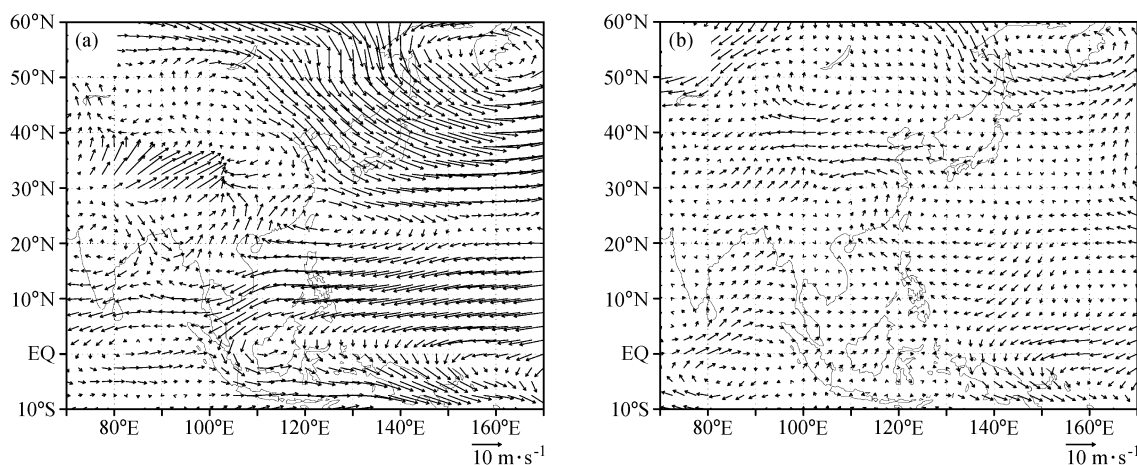


图 1 2008 年 1 月平均 850 hPa (a) 风场和 (b) 距平场
Fig. 1 The wind at 850 hPa in 2008: (a) monthly mean; (b) anomaly

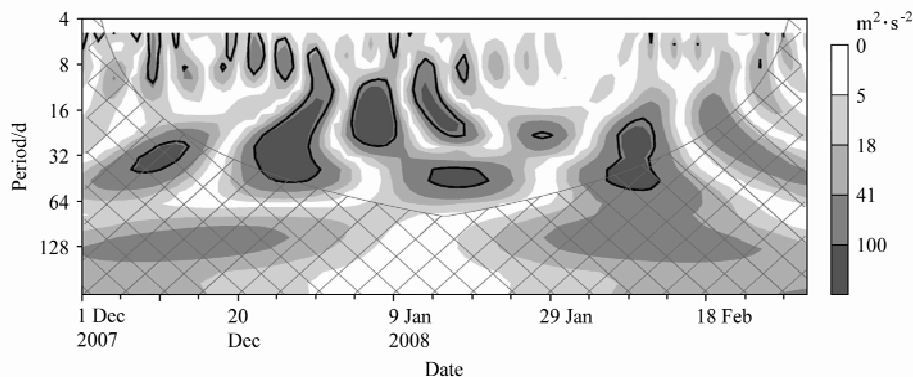


图 2 2007 年 12 月至 2008 年 2 月 I_m 序列值的小波谱。基函数是 6 阶高斯函数,闭合区表示经过红噪声的 95% 信度检验
Fig. 2 Wavelet power spectrum of daily I_m during Dec 2007—Feb 2008 based on sixth order Gaussian function. The thick solid contour encloses regions of greater than 95% confidence for a red-noise process

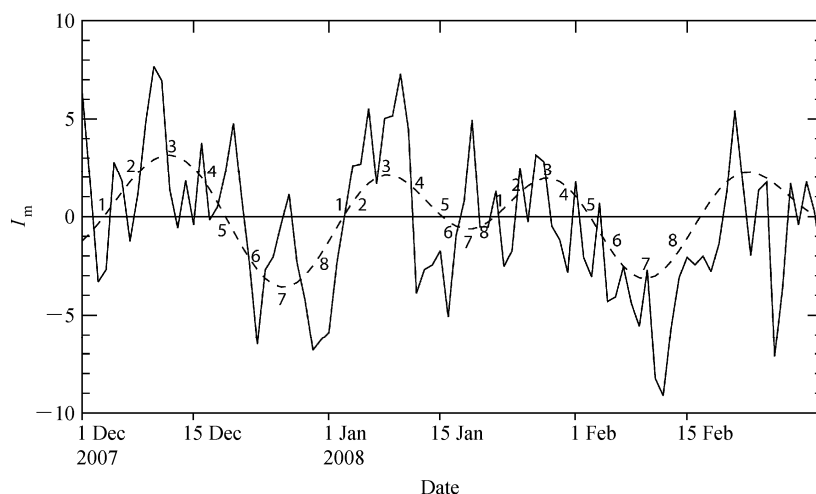


图3 2007年12月至2008年2月 I_m 值序列(实线)及其20~50 d 滤波序列(虚线)。虚线旁的数字表示一个完整 ISO 周期的8个位相

Fig. 3 The original I_m series (solid line) and the 20–50 d filtered I_m series (dashed line) in the winter during Dec 2007–Feb 2008. The numbers around the dashed line indicate 8 phases in an ISO cycle

讨论低频振荡不同位相的风场特征。图3中的数字代表低频波的位相,1和5是转折位相,2~4正位相表示西南气流活跃位相,其中3位相为峰值位相,6~8位相为负位相,表示西南气流减弱位相,其中7位相为谷值位相。图3显示,2007年12月至2008年2月共出现了4次西南风加强(正位相)过程,然而为什么仅在2008年1月10日~2月2日出现极端低温、雨雪、冰冻天气?根据图3中所示的低频波周期和位相变化,对2007年12月2日~2008年1月1日、2008年1月2~21日、2008年1月22日~2月14日这3个周期各个位相的风场特征进行合成分析,探讨2008年1月10日~2月2日低温、雨雪、冰冻天气的可能成因。

4 低温、雨雪、冰冻天气过程 850 hPa 风场低频特征

图4给出南方地区低温、雨雪、冰冻前期(2007年12月2日~2008年1月1日)低频振荡1~8位相850 hPa风场特征。第1位相期,南方地区为弱西南风距平控制,来自东亚中高纬的偏北风距平在35°N以北就东移出海,冷空气没有到达南方地区。第2~4位相期,位于35°N以北的偏北风减弱、北退并从东亚中高纬地区东移到海洋上,南方地区加强的西南风距平与反气旋性距平环流相联,不利降雪(水)出现。第5~7位

相,偏北风距平气流南下并控制南方地区,这个振荡周期结束。2007年12月2日~2008年1月1日850 hPa风场低频振荡变化表明,2~4的正位相期,我国南方地区西南风距平气流加强与反气旋性距平环流相联系,由于没有冷空气入侵,没有给南方带来降雪(水),5~7位相南方地区受偏北风距平气流控制,不利南方降雪(水)。

图5是南方低温、雨雪、冰冻天气过程(2008年1月2日~1月21日)850 hPa风场低频振荡1~8位相期风场特征。第1位相,沿高原东侧100°E附近南下的冷空气已到达我国30~20°N地区,30~20°N的南方地区受偏北风距平气流影响,东亚沿海20°N以南地区出现偏南风距平环流,我国东部30~20°N的南方地区无降雪(水);第2~4位相,沿高原东侧100°E附近南下的偏北风距平气流,与东亚沿海低纬的偏南风距平气流在我国南方地区形成气旋性环流;在第3和4位相,此时气旋性环流加强主要与偏南风距平环流加强有关,南方地区受气旋性环流影响出现降雪(水)过程,该降雪过程偏南风距平气流比偏北风距平强;在第5~7位相,东亚沿海低纬的偏南风距平气流减弱,沿高原东侧100°E附近南下的偏北风距平气流加强,南方地区仍受气旋性环流影响出现降雪(水),该降雪(水)过程中偏北风距平气流比偏南风距平气流强,加强的偏北风距平气流使得南方地区出现的雨雪伴随低温冰冻。

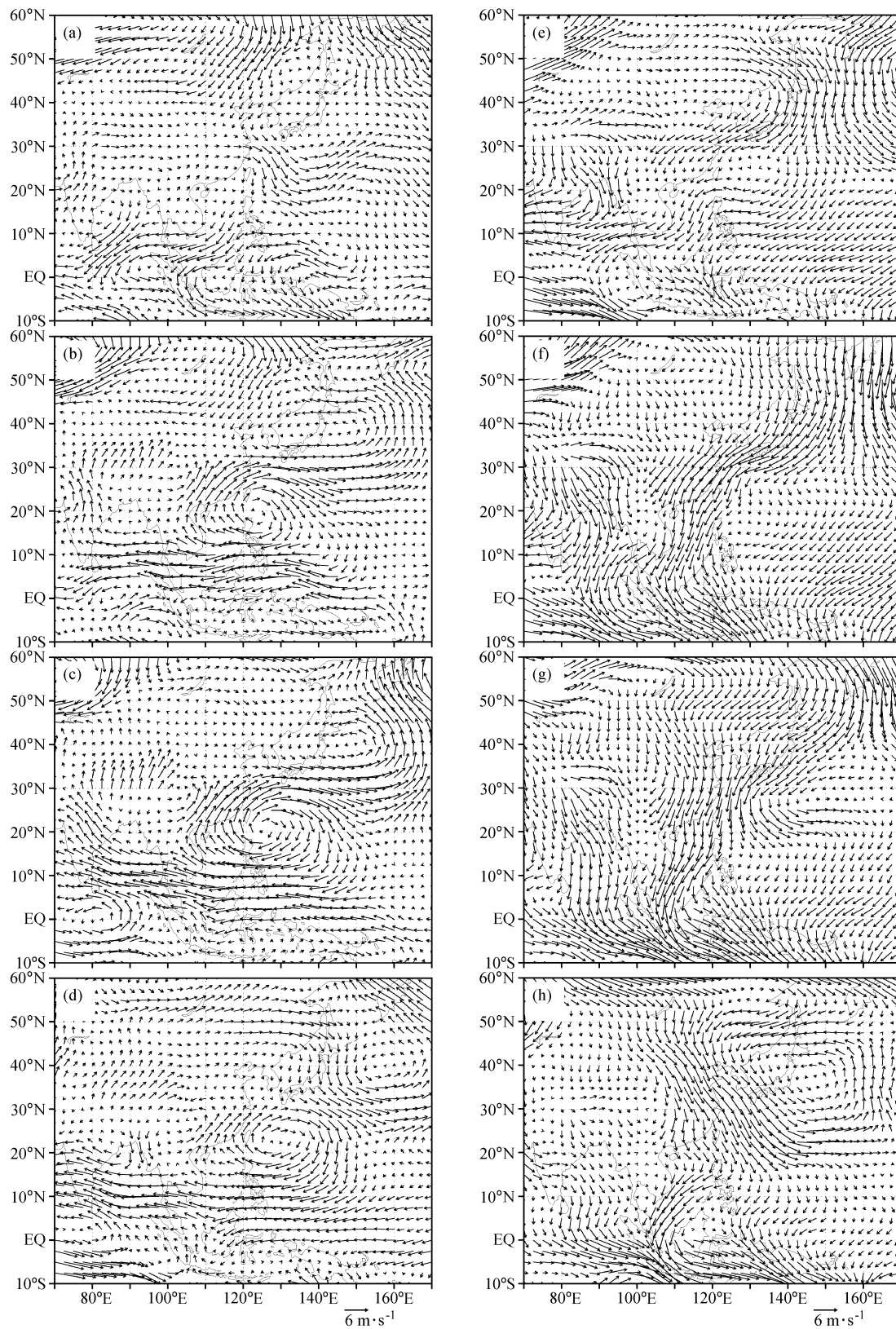


图 4 2007 年 12 月 2 日~2008 年 1 月 1 日 850 hPa 风场低频振荡位相图。(a) ~ (h) 分别为第 1~8 位相

Fig. 4 Composite anomalous vector wind at 850 hPa and the phase based on filtered by the 20–50 d during Dec 2007–Jan 2008.

(a) — (h) represent phases 1–8

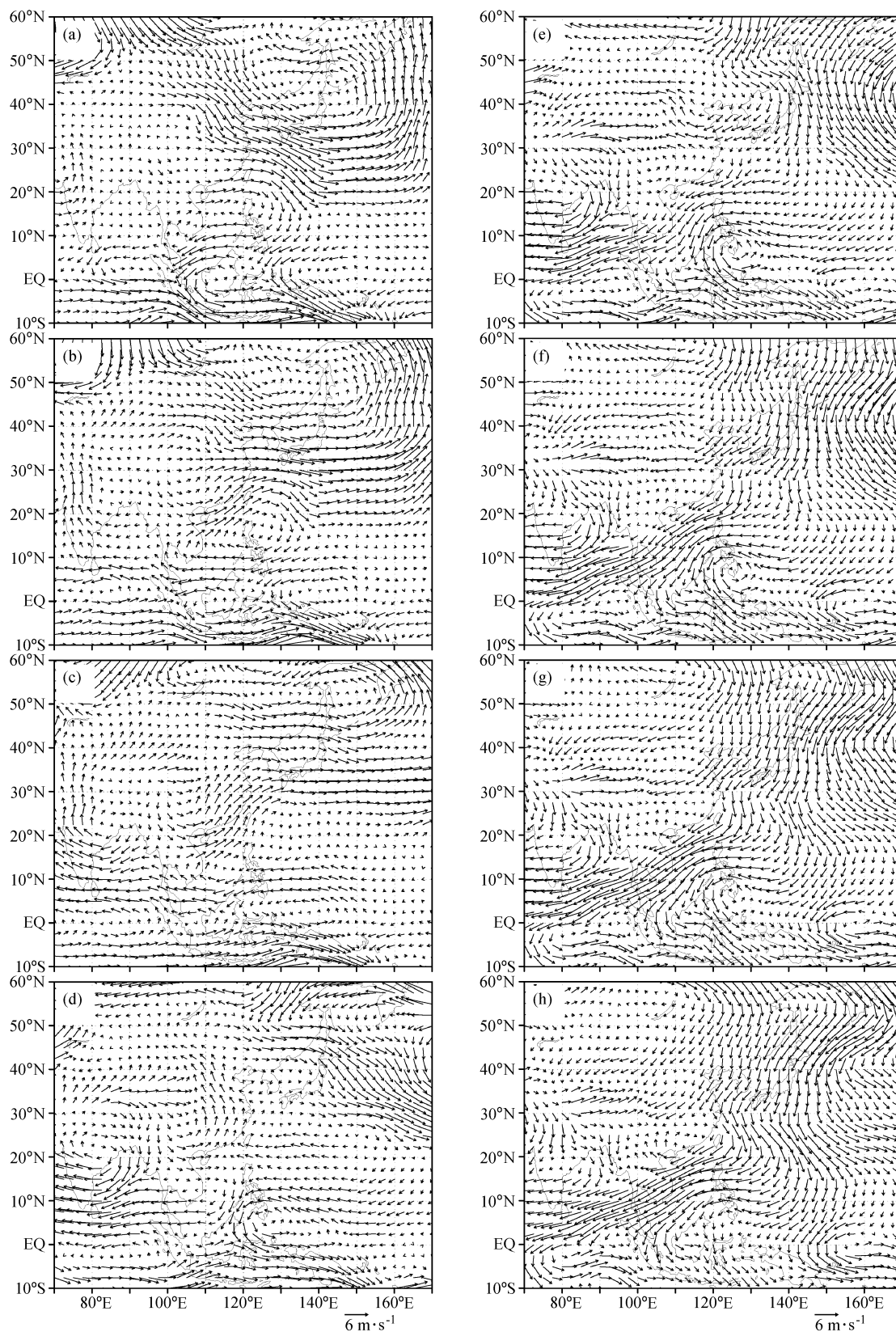


图5 2008年1月2~21日850 hPa风场20~50 d低频振荡各位相风距平场合成 (a) ~ (h) 分别为第1~8位相
Fig. 5 Same as Fig. 4 but for 2-21 Jan 2008. (a) - (h) represent phases 1-8

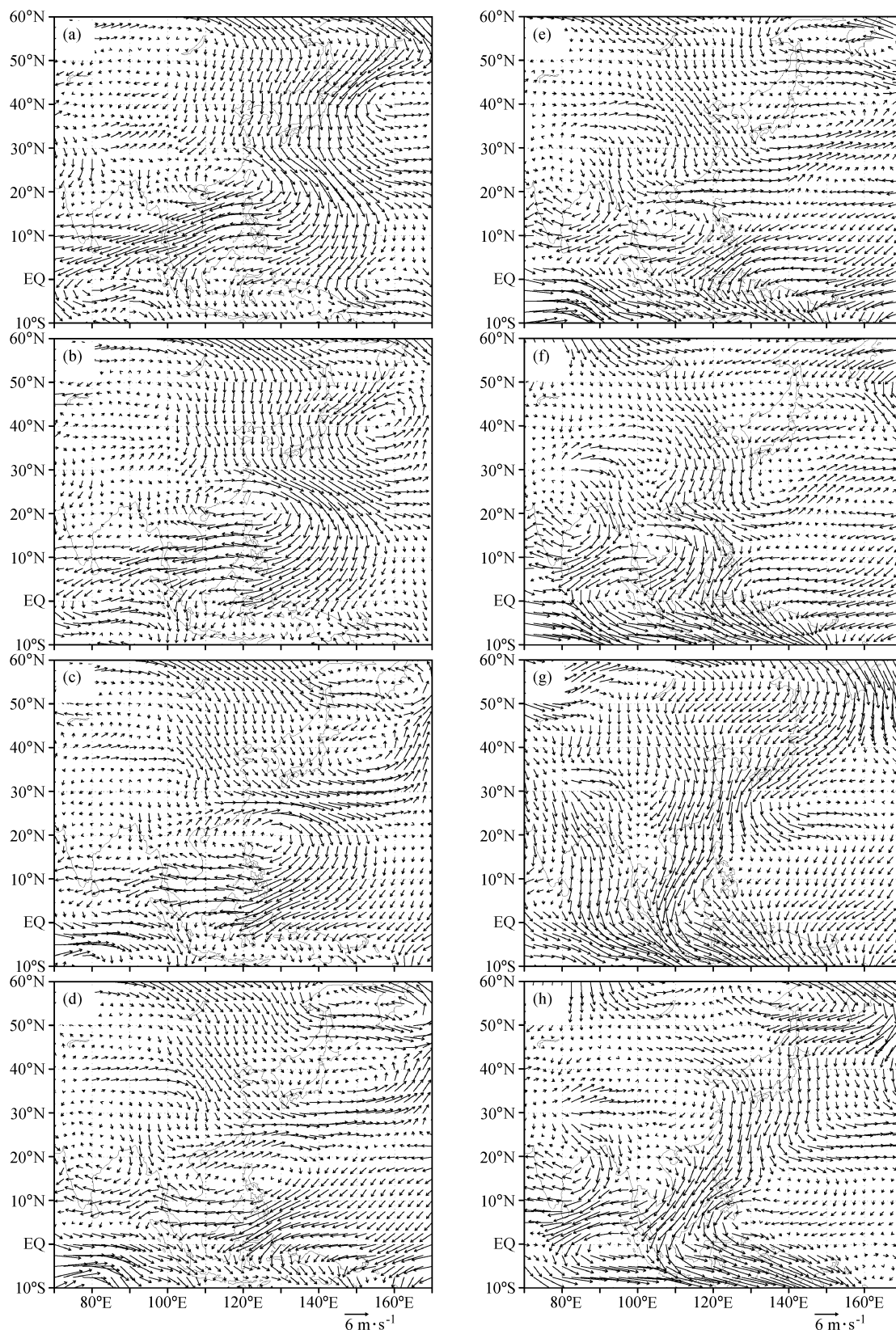


图 6 2008 年 1 月 22 日~2 月 14 日 850 hPa 风场 20~50 d 低频振荡不同位相风场距平。(a) ~ (h) 分别为第 1~8 位相
Fig. 6 Same as Fig. 4, but for 22 Jan to 14 Feb 2008. (a) — (h) represent phases 1—8

综上所述, 850 hPa 风场低频振荡的 2~4 位相, 中国南方出现气旋性环流及降雪(水)与高原东侧南下的偏北风距平气流以及东亚沿海低纬强偏南风距平气流有关, 此时偏南风距平气流加强对降雪过程形成起重要作用; 850 hPa 风场低频振荡的 5~7 位相, 中国南方出现气旋性环流及降雪(水)与高原东侧南下的强偏北风距平气流以及东亚沿海低纬弱偏南风距平气流有关, 此时偏北风距平气流加强对降雪过程形成起重要作用。2008 年 1 月 2~21 日南方持续性低温雨雪冰冻天气的发生与低频振荡位相矢量风强弱有关。

图 6 是 2008 年 1 月 22 日~2 月 14 日 850 hPa 风场低频振荡各位相的风场特征。从图可见, 第 1~4 位相, 南方地区降雪过程主要受偏北风距平气流与偏南风距平气流在 25°N 形成的辐合带的影响; 5~8 位相 2 支偏北风距平气流都南压到南方, 南方地区完全被偏北风距平气流控制, 致使南方地区持续 20 多天的降雪过程结束。

5 小结与讨论

本文根据 NCAR/NCEP 逐日再分析资料, 探讨了 2007 年 12 月~2008 年 2 月 850 hPa 风场季节内低频振荡特征及其与中国南方地区雨雪天气过程的关系, 季节内低频振荡的位相变化, 清楚地揭示了 2008 年初南方地区降雪过程的主要环流特征及异同, 主要结论如下:

(1) 2007 年 12 月 2 日~2008 年 1 月 1 日 850 hPa 风场低频振荡过程的正位相期, 南方地区为强偏南风距平气流控制, 冷空气在东亚中高纬地区就开始东移, 南方地区没有冷空气入侵, 不利降雪(雨)发生。

(2) 2008 年 1 月 2~21 日 850 hPa 风场低频振荡过程中, 沿高原东侧 100°E 附近南下的冷空气到达我国 30~20°N 地区与来自东亚沿海 20°N 以南的偏南风距平气流在南方地区形成气旋性距平环流, 该降雪过程偏南风距平气流比偏北风距平强; 沿高原东侧 100°E 附近南下的强偏北风距平气流与来自东亚沿海 20°N 以南的偏南风距平气流在南方地区形成气旋性距平环流, 该降雪(水)过程中偏北风距平气流比偏南风距平气流强, 加强的偏北风距平气流使得南方地区出现的雨雪伴

随低温冰冻。

(3) 2008 年 1 月 22 日~2 月 14 日 850 hPa 风场的低频振荡过程中, 南方地区降雪过程主要受偏北风距平气流与偏南风距平气流在 25°N 形成辐合带的影响; 东亚地区有 2 支偏北风距平气流南压到南方, 南方地区完全被偏北风距平气流控制, 致使南方地区持续 20 多天的降雪过程结束。

低频振荡位相能较好地反映系统的主要特征, 造成 2008 年 1 月 10 日~2 月 2 日南方地区持续性冰冻低温雨雪灾害天气的成因机理是十分复杂的, 有关问题需要进一步探讨。

参考文献 (References)

- [1] 郑国光. 气象局长详析历史罕见低温雨雪冰冻灾害. 人民日报, 2008 年 2 月 4 日
Zheng Guoguang. The director-general of China Meteorology Administration gave a detailed analysis of the lasting frost extreme weather disaster with low temperature and heavy rain/snow. People's Daily. 4 Feb 2008
- [2] 李崇银. 大气低频振荡. 北京: 气象出版社, 1990
Li Chongyin. *The Atmospheric Intraseasonal Oscillation* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1990
- [3] 何金海, Murakami T, Nakazawa T. 1979 年夏季亚洲季风区域 40~50 天周期振荡的环流及其水汽输送场的变化. 南京气象学院院报, 1984, 2 (2): 163~175
He Jinhai, Murakami T, Nakazawa T. Circulation with 40—50 day oscillation and changes in moisture transport over Monsoon Asia in 1979 summer. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1984, 2 (2): 163~175
- [4] 据建华, 赵尔旭. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响. 热带气象学报, 2005, 21 (2): 163~171
Ju Jianhua, Zhao Erxu. Impacts of the low-frequency oscillation in East Asian Summer Monsoon on the drought and flooding in the middle and lower valley of the Yangtze River. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2005, 21 (2): 163~171
- [5] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动. 气象学报, 2001, 59 (6): 747~758
Tao Shiyang, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. An observational study on the behavior of the subtropical high over the west pacific in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, 59 (6): 747~758
- [6] 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件. 大气科学, 2003, 27 (6): 1018~1030
Zhang Qingyun, Tao Shiyang, Zhang Shunli. The persis-

- tent heavy rainfall over the Yangtze river valley and its associations with the circulations over east Asian during summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (6): 1018~1030
- [7] Yang Hui, Li Chongyin. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and the summer flood and drought in the changjiang-huaihe river basin. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20** (4): 540~553
- [8] 金祖辉, 孙淑清. 东亚大陆冬季风的低频振荡特征. 大气科学, 1996, **20** (1): 101~111
Jin Zuhui, Sun Shuqing. The characteristics of low frequency oscillations in winter monsoon over the eastern Asia. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1996, **20** (1): 101~111
- [9] 邱明宇, 陆维松, 陶丽. ENSO 事件对中高纬大气低频振荡的调频作用. 南京气象学院学报, 2004, **27** (3): 365~373
Qiu Mingyu, Lu Weisong, Tao Li. Frequency modulation effect of ENSO events on atmospheric low-frequency oscillations in the extra-tropical latitudes. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2004, **27** (3): 365~373
- [10] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1998, **79** (1): 61~78
- [11] Duchon C E. Lanczos filtering in one and two dimensions. *J. Appl. Meteor.*, 1979, **18** (8): 1016~1022
- [12] 陈兴跃, 王会军, 曾庆存. 大气季节内振荡及其年际变化. 北京: 气象出版社, 2000. 13~14
Chen Xingyue, Wang Huijun, Zeng Qingcun. *The Atmospheric Intraseasonal Oscillation and its Inter-annual variability*. (in Chinese) Beijing: China Meteorological Press, 2000. 13~14
- [13] 姚菊香, 王盘兴, 李丽平. 季节内振荡研究中两种数字滤波器的性能对比. 南京气象学院学报, 2005, **28** (2): 248~253
Yao Juxiang, Wang Panxing, Li Liping. Performance contrast between two filters in Madden-Julian Oscillations Analysis. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2005, **28** (2): 248~253
- [14] 王会军, 姜大膀. 一个新的东亚冬季风强度指数及其强弱变化之大气环流场差异. 第四纪研究, 2004, **24** (1): 19~27
Wang Huijun, Jiang Dabang. A new East Asian winter monsoon intensity index and atmospheric circulation comparison between strong and weak composite. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2004, **24** (1): 19~27
- [15] 崔晓鹏, 孙照渤. 东亚冬季风强度指数及其变化的分析. 南京气象学院学报, 1999, **22** (3): 321~325
Cui Xiaopeng, Sun Zhaobo. East Asian winter monsoon index and its variation analysis. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1999, **22** (3): 321~325
- [16] 高辉. 东亚冬季风指数及其对东亚大气环流异常的表征. 气象学报, 2007, **65** (2): 272~279
Gao Hui. Comparison of four East Asian winter monsoon indices. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2007, **65** (2): 272~279
- [17] 吴尚森, 梁建茵. 南海夏季风强度指数及其变化特征. 热带气象学报, 2001, **17** (4): 337~344
Wu Sangshen, Liang Jianyin. An index of South China Sea summer monsoon intensity and its variation characters. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2001, **17** (4): 337~344
- [18] 据建华, 钱诚, 曹杰. 东亚夏季风的季节内振荡研究. 大气科学, 2005, **29** (2): 187~194
Ju Jianhua, Qian Cheng, Cao Jie. The intraseasonal oscillation of east Asian summer monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (2): 187~194
- [19] Chan J C L, Ai W, Xu J. Mechanisms responsible for the maintenance of the 1998 South China Sea summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2002, **80**: 1103~1113
- [20] Mao Jiangyu, Wu Guoxiong. Intraseasonal variations of the Yangtze rainfall and its related atmospheric circulation features during the 1991 summer. *Climate Dyn.* 2006, **27** (7): 815~830