

中国南方雨雪冰冻异常天气原因的分析

李崇银^{1,2} 杨辉² 顾薇²

1 中国人民解放军理工大学气象学院, 南京 211101

2 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学国家重点实验室, 北京 100029

摘要 2008年1月我国南方发生了罕见的持续严重雨雪冰冻灾害, 对于这次小概率极端天气气候事件的初步分析表明, 虽然这个冬季在赤道东太平洋存在明显的 La Niña 事件, 但2008年1月无论是我国的异常降水场和温度场, 还是亚洲和西太平洋地区的大气环流异常场都与历史上11个 La Niña 事件盛期1月的合成场有显著的差别, 因此 La Niña 事件不是造成持续雨雪冰冻天气的直接罪魁祸首。进一步的分析发现这次持续严重雨雪冰冻天气的发生与多个大气环流系统的异常有关, 而且更为重要的是它们的异常形成了某种形式的配合, 我们称其为组合性异常。其中, 乌拉尔山阻塞高压和贝加尔湖—巴尔喀什湖的横槽, 为不断有冷空气从西路向南爆发提供了条件; 东亚和日本地区的高度正异常使得北方冷空气的势力不是很强, 适于锋面在我国南岭及其以北地区较长时间停留, 为持续降水确立了背景; 西太平洋副高偏强和偏西也对冷空气的向南推进起了阻挡作用; 印缅槽的持续偏强和西太平洋副高的偏强一起使暖湿空气源源不断地输送到华南地区, 有利持续降水的发生; 持续的冷空气活动和持续的降水, 导致持续的低温, 为冰冻创造了条件。可以认为, 大气环流的组合性异常是造成持续雨雪冰冻天气的直接原因。

关键词 持续雨雪冰冻天气 大气环流组合性异常 La Niña 事件

文章编号 1006-9585 (2008) 02-0113-10 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

Cause of Severe Weather with Cold Air, Freezing Rain and Snow over South China in January 2008

LI Chong-Yin^{1,2}, YANG Hui², and GU Wei²

1 *Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*

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

Abstract Lasting disaster weather with cold air, freezing rain and snow occurred over South China during January 2008. This little probabilistic extreme weather and climate event is analyzed. Although La Niña event in the eastern equatorial Pacific is clear in 2007/2008 winter, both the anomalous patterns of the precipitation and temperature in China and atmospheric circulation over Asia and the western Pacific during January 2008 are very different from that of the 11 cases mean for La Niña mature phase in January. Thus La Niña event is not the direct arch-criminal to cause the extreme weather. Further study shows that the occurrence of this lasting disaster weather with cold air, freezing rain and snow is related to the anomalies of the atmospheric circulation systems. These anomalous circulation systems form a kind of cooperation, which is named combination anomaly. In the combination anomaly, the Ural blocking high and a transverse trough from Lake Baikal to Lake Balkhash offer condition for continual cold air

收稿日期 2008-02-10 收到, 2008-02-20 收到修定稿

资助项目 中国科学院创新项目 ZKCX3-SW-22 和国家重点基础研究规划项目 2006CB403600

作者简介 李崇银, 男, 1940 年出生, 研究员, 中国科学院院士, 主要从事气候变化及其动力学研究。E-mail: lcy@lasg.iap.ac.cn

pouring southward from the west passage. The positive height anomalies over the eastern Asia and Japan weakens the force of cold air from the north. Thus the front stays over the South Mountain and north of it for a longer time, which establishes background for continuous raining and snowing. Meanwhile, the Northwest Pacific subtropical high extends westward and its intensity is also enhanced. So it blocks the cold air. The persistent strong Indian and Burma trough and the Northwest Pacific subtropical high transport the warm and wet air to South China continuously, which is favorable to the occurrence of continuous rain and snow. Persistent cold air activity and precipitation induce persistent low temperature, which conditions freezing weather. It may be considered that the combination anomaly of the atmospheric circulations is the efficient cause of lasting disaster weather with cold air, freezing rain and snow.

Key words lasting severe weather of cold air, freezing rain and snow, combination anomaly of atmospheric circulation, La Niña event, influence

1 引言

2008 年 1 月 10 日至月底, 中国南方有 19 个省(湖南、贵州、广东、广西、湖北、安徽、江西、河南、陕西、四川、江苏、福建和甘肃等)遭受了几十年乃至百年一遇的严重雨雪和冰冻灾害, 真可谓“罕见大雪冻住了半个中国”。这次罕见的雨雪冰冻灾害给全国人民的生产和生活造成了极其严重的影响, 因大雪和冰冻使输电线路严重结冰, 导致高压输电线断裂和输电线铁塔倒塌, 仅湖南就有 9 000 km 的输电线路被毁, 几百个铁塔倒塌。输电线路的毁坏, 造成了不少地方断电停产。因大雪以及冰雪造成的断电, 使得大量铁路和公路运输中断, 尤其是京广铁路和京珠高速严重受阻, 数十辆火车和几千辆汽车被困在冰雪中, 在广州地区一度有近 200 万旅客无法乘车回家。据不完全统计, 这次雨雪和冰冻天气造成 1 亿多人口受灾害影响, 共有 120 多人因灾死亡、多人失踪, 农作物受灾面积为 $1\,180 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、绝收 168.7 hm^2 , 共有 $1\,193 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 森林受损毁, 倒塌房屋 35.4 万间, 造成的直接经济损失超过 1 500 亿元。

这次罕见的雨雪冰冻灾害是典型的极端天气气候事件所造成的, 最主要的特点是范围广、强度大、持续时间长。对于这种小概率的极端天气气候事件, 现在的科技水平尚难以对其作出中长期的天气预报, 但分析研究这次极端天气气候事件发生的原因, 寻求预测和预报的途经和方法, 进而提前对类似的极端天气气候事件做出适当的预测和预报, 无疑是国家建设的重大需求。

对于这次极端天气气候事件的发生, 已有不少媒体和一些学者认为 La Niña 是罪魁祸首, 因为这个冬季在赤道东太平洋确实有 La Niña 生成, 而 La Niña 的出现又对东亚冬季风(寒潮)及中国的天气气候有影响。早在 20 世纪 80 年代李崇银等^[1~4]就研究过 ENSO (El Niño 和 La Niña) 与东亚冬季风的关系, 并指出 ENSO 与东亚冬季风存在相互作用。就 ENSO 的影响而论, El Niño 将会削弱东亚冬季风, La Niña 将会增强东亚冬季风^[5, 6]。因此, 说这次极端天气气候事件的发生与 La Niña 有关是十分自然的, 但说它是罪魁祸首就未必正确。因为大范围的持续天气气候异常, 包括东亚冬季风和中国的天气气候异常都普遍同大气环流的长时间异常有密切关系^[7~10], 而 La Niña 并非是造成东亚某种大气环流形势持续异常的唯一因素。

中国南方这次极端天气气候事件的发生是否与 La Niña 现象有关? 还有哪些更重要的因子? 本文将进行初步分析, 揭示这次极端天气气候事件的发生机理, 为其预测预报提供科学依据。

本文将用收集到的资料, 从整个环境场异常的角度分析这次天气气候事件发生的原因和机理。资料主要有美国 NCEP/NCAR 的再分析资料, NCEP 的海温资料, 以及中国气象局的资料等。

2 2008 年 1 月的天气气候异常情况

我国南方今年 1 月的持续雨雪冰冻天气, 必然在 1 月的降水和温度场上有所反映, 图 1 分别给出的是 2008 年 1 月我国的月降水量和降水距平分布形势。可以看到, 1 月我国降水基本集中

在江淮以南地区，北方降水比较少，在降水距平图上有 3 个区域的降水多于多年平均，即我国西北、长江中下游和华南地区；而我国东北和华北东北部地区明显偏少。

从图 2 给出的 2008 年 1 月的温度距平分布可以看到，同降水场相对应，我国西北、长江中下游和华南地区都为明显的温度负距平区，气温明显比多年平均值偏低。低温和大雪在我国南方都创下了 1951 年以来的历史记录，贵州有 49 个县持续冻雨日数破历史记录，安徽一些地区持续降雪 24 天，广州、香港和澳门的气温也都创下历

史最低记录。

3 2008 年 1 月大气环流形势的异常

观测和研究都一致表明，无论什么地方发生大范围的天气气候异常都必然有一定的大气环流系统的异常与之相配合，人们也就将一定形式的大气环流系统异常视为发生某类大范围天气气候异常的条件。因此，首先分析 2008 年 1 月可能引起我国南方持续雨雪冰冻天气的大气环流异常形势。

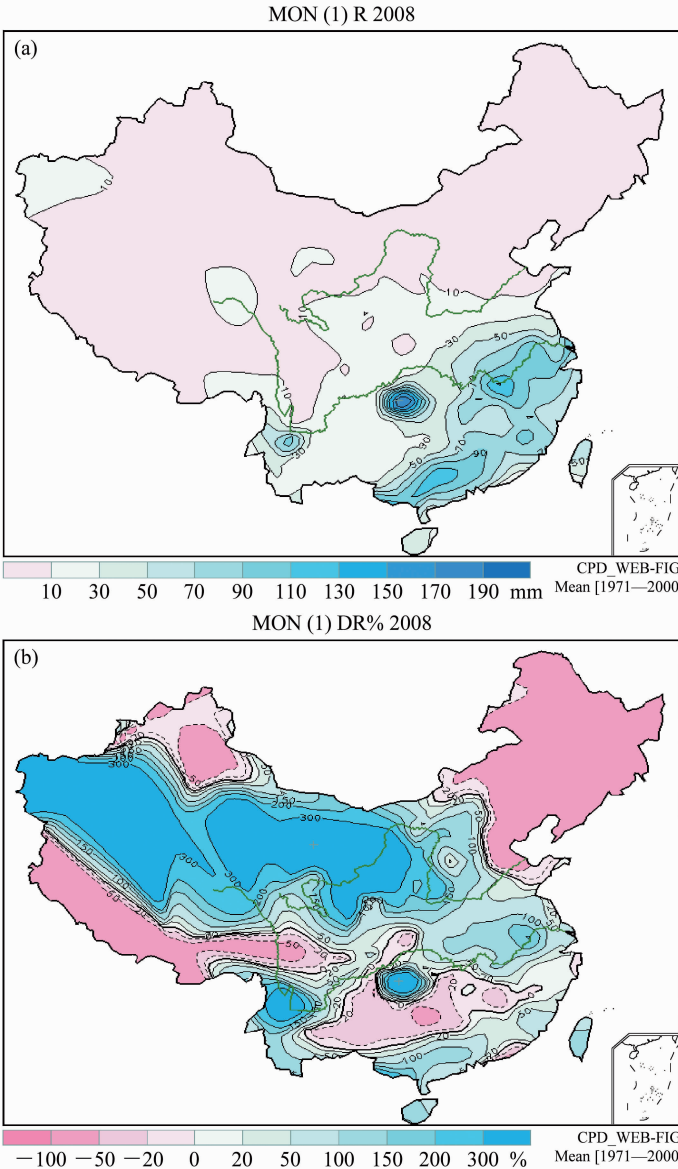


图 1 2008 年 1 月中国 (a) 月降水量和 (b) 降水距平的分布形势^[11]

Fig. 1 (a) Monthly precipitation and (b) percentage anomalies over China in Jan 2008^[11]

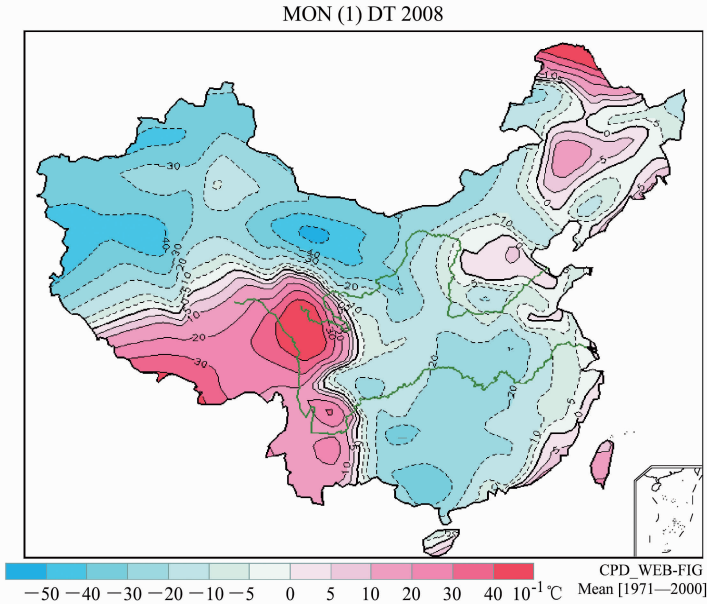


图 2 2008 年 1 月中国 160 站的温度距平^[11]
Fig. 2 Monthly mean surface air temperature anomaly at 160 stations of China in Jan 2008^[11]

3.1 中高纬度大气环流的异常

在图 3 中分别给出了多年 1 月平均的 500 hPa 高度场形势，以及 2008 年 1 月的 500 hPa 高度场和 500 hPa 高度异常场的形势。从图 3b 的阴影可清楚看到，环流的异常是十分显著的，而对我国有直接影响的主要是在（60°N，60°E）附近地区有较强的大片高度正异常区，这正是乌拉尔阻塞高压较长时间存在所造成的。同阻塞高压相匹配的是在贝加尔湖到巴尔喀什湖一带有一个东北—西南向的高度负距平带，在我国东北到日本一带为一高度正距平区。上述形势表明，2008 年 1 月在贝加尔湖到巴尔喀什湖一带有一个横槽存在，使得传统上影响我国的东亚大槽偏弱偏西；加之有乌拉尔山阻塞高压的存在，又使得上述异常形势能较长时间维持。这样，影响我国的冷空气的路径偏西，但因不断有由横槽中分裂出来的小槽活动，冷空气活动频次也就较多。正因为这样，使得雨雪冰冻天气能持续较长时间；而且，冷空气因相对不是很强，也就无法将雨雪天气从南岭及以北地区推到南面的海上。

也正因为 1 月冷空气的活动比较偏西，我国东北、朝鲜半岛和日本地区都出现了少雪的异常天气。朝鲜气象部门宣称朝鲜今年也出现气候异

常，其异常的标志就是降雪太少。因此，乌拉尔山阻塞高压的存在和入侵我国冷空气的偏西对造成我国南方持续雨雪冰冻天气有直接的重要作用。

3.2 副热带大气环流的异常

从图 3 还可以看到，在亚洲东部到西太平洋的副热带地区也有高度正距平存在，而且在菲律宾以东地区有明显的 588 线的副高中心。这说明 2008 年 1 月的西太平洋副热带高压较常年明显偏强、偏西。这种副热带高压的异常特征极为有效地阻止了冷空气的向南推进，它的稳定异常对南方持续的雨雪冰冻天气也起着重要作用。

图 4 给出的是 2007 年 12 月~2008 年 1 月 20~30°N 纬度带平均的 500 hPa 距平的时间-经度剖面，可以清楚地看到在 110~140°E 经度范围，自 2008 年开始直至 1 月末一直都为稳定的正距平控制，清楚显示了西太平洋副高的持续异常和偏西的特征。同时，从图 4 还可以看到在 80~90°E 一带，自 2008 年 1 月中旬起都一直维持着负的高度距平，表明印缅槽持续偏强。印缅槽的持续偏强，使得来自印度洋的暖湿空气可以源源不断地输送到华南地区，对于我国南方持续的雨雪天气起着重要的作用。

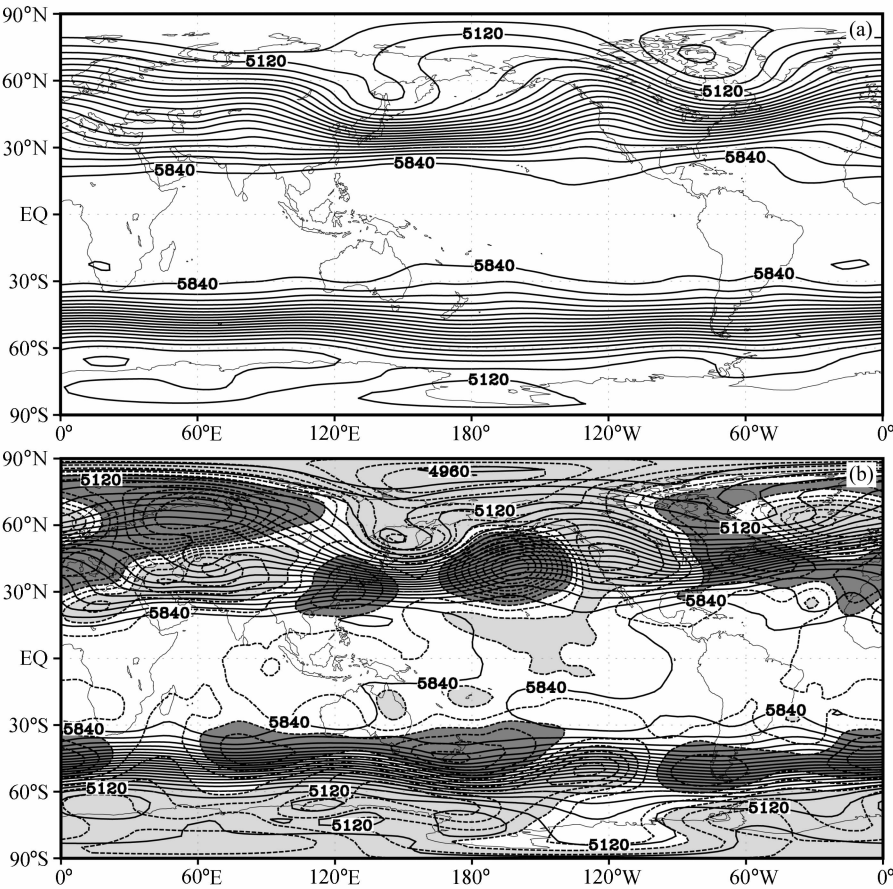


图3 (a) 多年1月平均的500 hPa高度场以及 (b) 2008年1月的500 hPa高度场和高度异常场。实线：位势高度，等值线间隔40 gpm；虚线：高度距平，等值线间隔20 gpm，深色阴影区表示正距平 ≥ 20 ，浅色阴影区表示负距平 ≤ -20

Fig. 3 (a) Geopotential height for 1980—2004 mean and (b) geopotential height and anomalies in Jan 2008 at 500 hPa. Solid line: height (units: 40 gpm); Dashed line: height anomaly (units: 20 gpm, dark shading: positive with ≥ 20 , light shading: negative with ≤ -20)

4 大气环流系统的组合性异常特征

如前所述，2008年1月发生在我国南方的雨雪冰冻天气属于一种小概率事件，并不经常出现。但是大气环流总是在变化，某个大气环流系统总会出现异常现象，也会造成一定的天气气候异常，但却难于导致如此严重的异常事件。这是为什么？

这里存在着几个系统同时相互配合的异常问题。一个乃至两个系统同时出现异常比单个系统的异常难以发生，如果几个系统同时异常并且出现有某类配合的异常就更难以发生了，因此它们的发生是小概率事件。这次我国南方的雨雪冰冻天气就是因为几个大气环流系统都出现异常，而且有某类配合，不妨称其为发生了组合性异常。

图5中给出了这次大气环流系统组合性异常

的示意图。其中乌拉尔山阻塞高压和贝加尔湖—巴尔喀什湖的横槽，为不断有冷空气从西路向南爆发提供了条件；而东亚和日本地区的高度正异常使得北方冷空气的势力不是很强，适于锋面在我国南岭及其以北地区较长时间停留，为持续降水确立了背景；西太平洋副高偏强和偏西也对冷空气的向南推进起了阻挡作用；同时，印缅槽的持续偏强和西太平洋副高的偏强恰恰有利于暖湿空气源源不断地输送至华南地区，有利持续降水的发生；持续的冷空气活动和持续的降水，导致持续的低温，为冰冻创造条件。

图6中进一步给出了2008年1月平均850 hPa辐散风场的距平分布，可以清楚地看到，在我国华南地区有一个相当强的异常辐合中心，对流层低层的这个异常辐合场对我国南方持续雨雪冰冻天气的发生有着极其重要的作用。

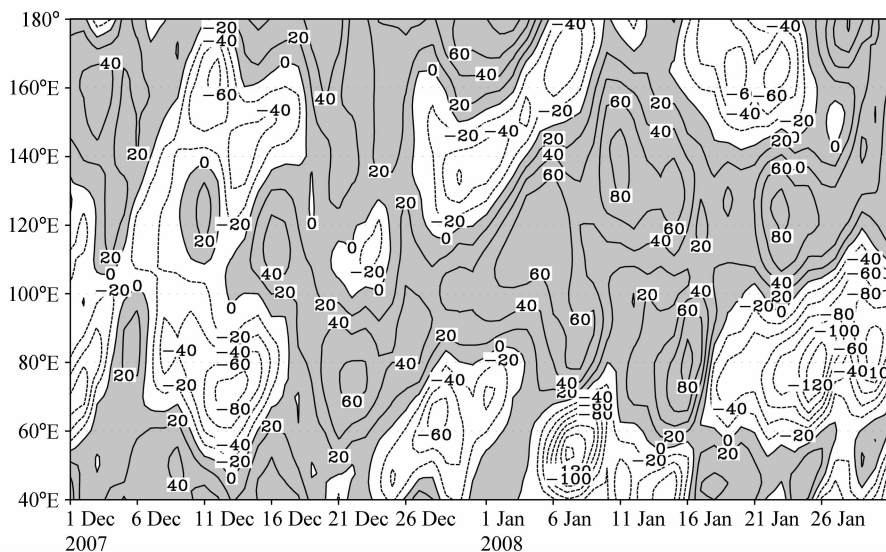


图 4 2008 年 1 月 20~30°N 平均 500 hPa 高度距平的时间—经度剖面

Fig. 4 Time-longitude section of 500 hPa anomalous geopotential height averaged from 20—30°N in Jan 2008

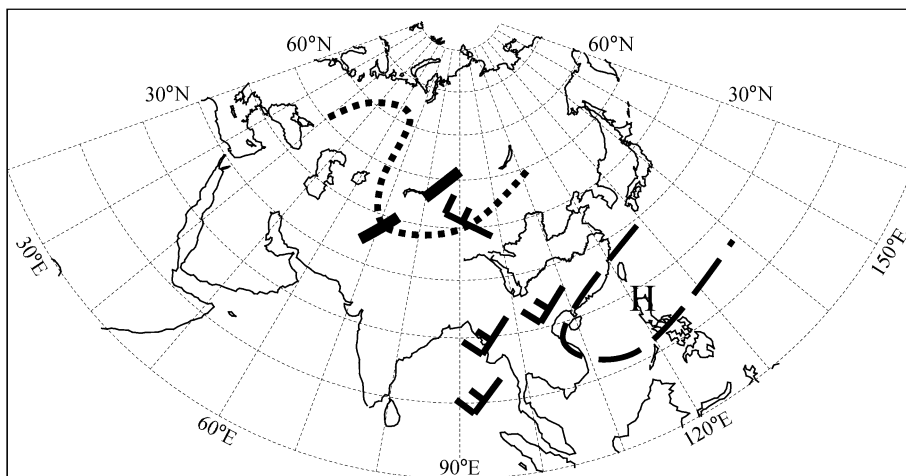


图 5 2008 年 1 月大气环流系统组合性异常示意图 (点虚线表示横槽, 粗长虚线表示槽线位置, 细长虚线表示西太平洋副热带高压)

Fig. 5 Schematic illustration of the combination anomaly of atmospheric circulation systems in Jan 2008 (dotted line indicates the transverse trough, thick dashed line denotes the position of the trough and thin dashes line represents the subtropical high)

正是上述这种大气环流系统的组合性异常,造成了我国南方的持续雨雪冰冻天气及其相应的灾害。因此,可以认为大气环流系统的组合性异常是造成我国南方持续雨雪冰冻天气和灾害的直接原因。我们必须研究和认识大气环流系统的组合性异常,提高对它的预测和预报能力,为减轻自然灾害的损失做出贡献。

5 La Niña 的作用

从 2007 年秋天开始,赤道东太平洋确实发生

了 La Niña 事件,它在 2008 年 1 月仍然比较强。图 7 给出的是 2008 年 1 月平均海温距平 (SSTA) 的分布,其最大负距平超过 -2°C , La Niña 的特征十分显著。与典型的 La Niña 事件有所不同,这次 La Niña 事件的海温负距平主要出现在 Niño 4 区。

为了揭示 La Niña 对我国气候的影响,在图 8 中分别给出了 11 次 La Niña 处于盛期 (1955、1956、1965、1971、1972、1974、1975、1976、1989、1999 和 2000 年) 1 月所合成的中国东部降水和温度异常 (距平) 的分布形势。可以看到,

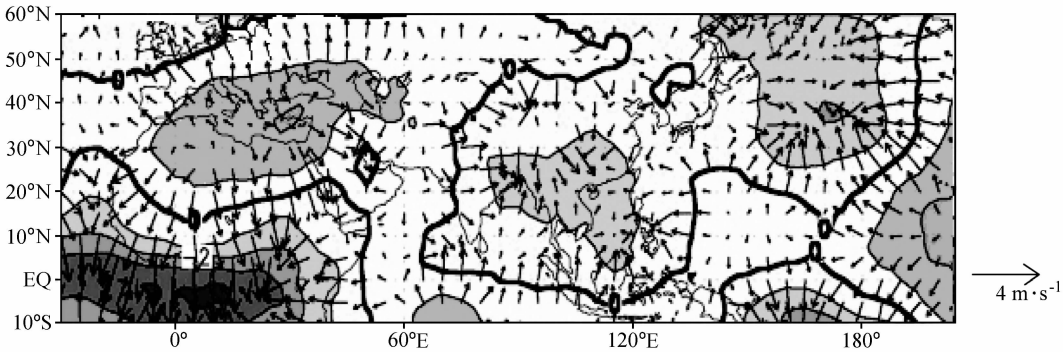


图 6 2008 年 1 月 850 hPa 月平均速度势距平 (单位: $10^5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) 和辐散风场的距平 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 分布^[11]

Fig. 6 Anomalies for monthly mean velocity potential (units: $10^5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) and divergent wind vector (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 850 hPa in Jan 2008^[11]

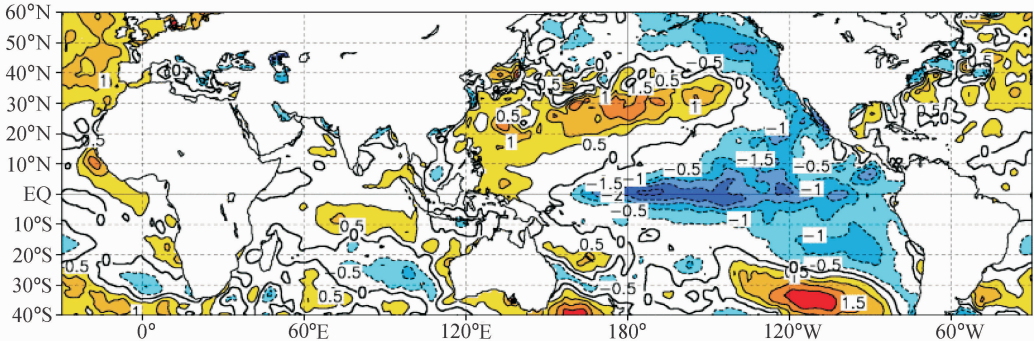


图 7 2008 年 1 月平均的海表温度距平 (SSTA) 分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$)^[11]

Fig. 7 Monthly mean sea surface temperature anomalies (units: $^{\circ}\text{C}$) in Jan 2008^[11]

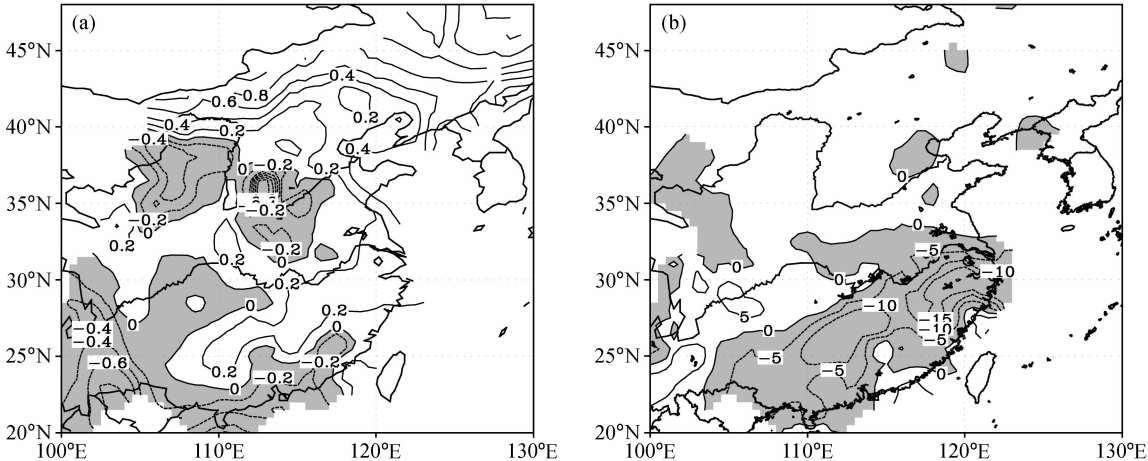


图 8 11 次 La Niña 事件合成的 (a) 温度距平和 (b) 降水距平的分布形势

Fig. 8 Surface air temperature (a) and precipitation (b) anomalies at 160 stations in China in Jan for the 11 cases mean of La Niña mature phase

由于 La Niña 的影响,在我国华南沿海造成了温度负异常,气温偏低;在西南和东南沿海有降水正距平,降水量偏多,而从长江下游到广西一带

却都是负距平,降水量偏少。

比较图 8 与图 1 和 2 可以发现,无论是温度场还是降水场,2008 年 1 月同 La Niña 影响的平

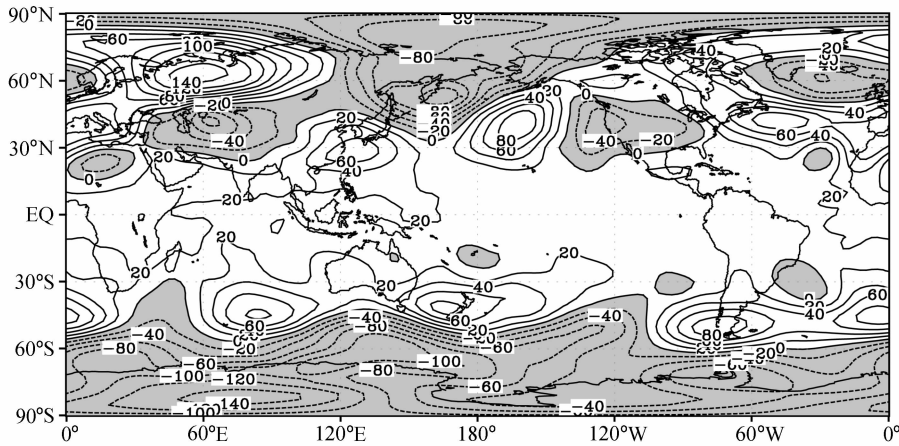


图 9 2008 年 1 月与 11 个 La Niña 盛期 1 月合成的 500 hPa 高度场差值分布 (单位: gpm)
Fig. 9 500 hPa geopotential height difference (the Jan 2008 minus that for the 11 cases mean of La Niña mature phase) (units: gpm)

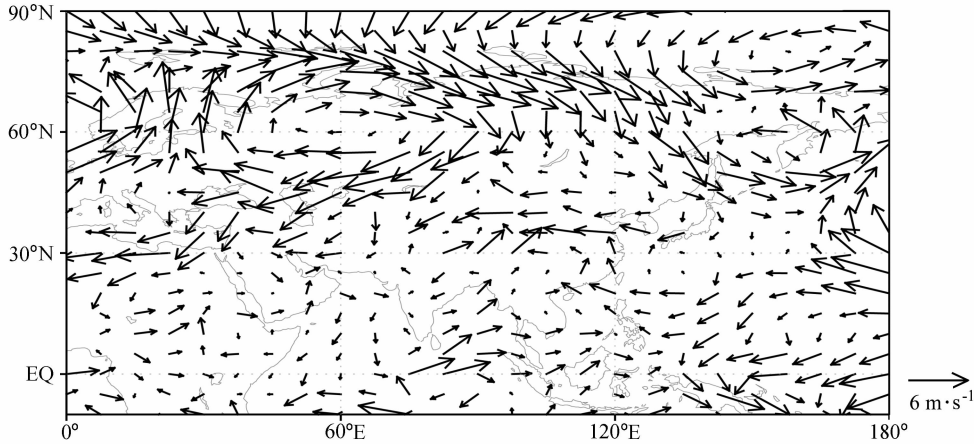


图 10 2008 年 1 月与 11 个 La Niña 盛期 1 月合成的 850 hPa 流场差值分布
Fig. 10 Wind vector difference at 850 hPa with the rest being the same as Fig. 9

均效果有非常大的差异,很难说 La Niña 是造成今年持续雨雪冰冻天气的罪魁祸首。从物理过程的角度讲,La Niña 会造成强东亚冬季风以及冷空气活动频繁且强。那么在较强北风的作用下,冷锋一般多在东南沿海一带活动,雨雪天气应多在华南沿海及海上出现,低温的地区也应在我国东南和华南沿海;而在江南到南岭一带应该出现降水负异常和温度正异常,也就是如图 8 所示的分布特征。但图 1 和 2 所示的 2008 年的情况,却难于完全用 La Niña 所造成的强东亚冬季风来解释。也就是说,La Niña 只可能是对这次极端天气气候事件的发生起到了一定的作用,远非是罪魁祸首。我们还需要寻找其他更为直接的影响因素。

一系列的分析 and 研究都表明,ENSO 对天气

气候的影响总是伴有大气环流形势的明显异常。2008 年 1 月在赤道东太平洋存在明显的 La Niña 事件,它会造成大气环流的异常,而且其异常形势应该与 La Niña 影响的平均形势大体一致。但是,分析比较 2008 年 1 月与 11 个 La Niña 盛期 1 月合成的大气环流形势,却发现它们有相当大的差异。图 9 是 2008 年 1 月和 11 个 La Niña 盛期 1 月合成的 500 hPa 高度场的差值分布情况,在相当大的程度上可以认为是扣除了 La Niña 影响后的 500 hPa 高度异常场。比较图 9 和图 3b 中的阴影区,尤其是在北半球,可以看到两者有非常好的相似性。在图 9 中清楚地看到乌拉尔山附近地区有高度的正距平,贝加尔湖到巴尔喀什湖一带有东北—西南向的高度负距平带,我国东北到日

本一带有高度的正距平区。上述这些特征表明，与我国南方持续雨雪冰冻天气紧密相联的是大气环流异常，并不是或主要不是 La Niña 事件所造成的。

图 10 给出了 2008 年 1 月与 11 个 La Niña 盛期 1 月合成的 850 hPa 流场的差值分布情况，也在相当大的程度上可以被认为是扣除了 La Niña 影响后 850 hPa 风场的异常。可以清楚看到，在孟加拉湾有较强的西南风吹到我国南方，在我国 30°N 附近有气旋性辐合。这些异常的环流特征正是导致我国南方持续雨雪冰冻天气的重要因素，而它们又恰恰与 La Niña 事件的关系很小。导致我国南方持续雨雪冰冻天气重要因素的低层环流异常，是在扣除 La Niña 影响的图上显现出来的，这也进一步表明 La Niña 不是造成我国南方持续雨雪冰冻天气的真正罪魁祸首。

要特别指出，ENSO 对大气环流及气候的影响有着极明显的不对称性，其一是 El Niño 和 La Niña 的影响并非完全反向；其二是两者的影响并非程度都一样，一般是 El Niño 的影响要强于 La Niña 的影响；其三是 La Niña 影响的变化和不确定性比较大。最近我们的研究表明^①，ENSO 对其后中国夏季梅雨的影响就不是对称的，发生 El Niño 事件之后，梅雨降水偏多；但是在 La Niña 事件之后，梅雨降水量并不一定减少，有时还会偏多，其影响有显著的年代际变化。因此，在考虑 ENSO 对中国天气气候的影响，尤其是考虑 La Niña 事件的影响时，要特别注意它们影响的不对称性以及影响的年代际变化特征。同时，绝对不能仅仅只注意 El Niño 或 La Niña 的影响，还必须考虑大气环流的异常，尤其是上述组合性环流异常。

6 结语

对 2008 年 1 月造成我国南方严重灾害的极端天气气候异常进行了初步分析研究，得到了以下一些值得注意的结果：

(1) 2008 年 1 月我国南方发生了罕见的持续

严重雨雪冰冻灾害，造成这次严重灾害的原因是一次极端天气气候异常。这种极端天气气候异常在气象上是一种小概率事件，它不仅罕见，而且目前还不能对其做出较为准确的预测和预报。但是从本文的分析也可以看到，这种极端天气气候异常事件的出现大气环流上是有明显表现的，也就为预报这种极端天气气候异常的发生提供了可能性，或者说这种事件还有一定的可预报性。

(2) 本文的分析清楚地表明，造成这次灾害性异常天气气候的直接原因是大气环流的组合性异常，即多个大气环流系统的异常，并形成某种形式的配合。其中，乌拉尔山阻塞高压和贝加尔湖—巴尔喀什湖的横槽，为不断有冷空气从西路向南爆发提供了条件；东亚和日本地区的位势高度正异常使得北方冷空气的势力不是很强，适于锋面在我国南岭及其以北地区较长时间停留，为持续降水确立了背景；西太平洋副高偏强和偏西也对冷空气的向南推进起了阻挡作用；印缅槽的持续偏强和西太平洋副高的偏强共同使暖湿空气能够源源不断地输送到华南地区，有利持续降水的发生；持续的冷空气活动和持续的降水，导致持续的低温，为冰冻创造了条件。因此，大气环流的组合性异常应该是导致这次极端天气气候异常事件的罪魁祸首。

(3) 虽然这个冬季在赤道东太平洋存在明显的 La Niña 事件，但 2008 年 1 月无论是我国的异常降水场和温度场，还是亚洲和西太平洋地区的大气环流异常场都与历史上 11 个 La Niña 盛期 1 月的合成场有显著的差别；在扣除 La Niña 影响的情况下，大气环流的异常形势却仍与 2008 年 1 月观测的异常形势相类似：低层在孟加拉湾有较强的西南风吹到我国南方，在我国 30°N 附近有气旋性辐合；对流层中层在乌拉尔山附近地区有位势高度的正距平，贝加尔湖到巴尔喀什湖一带有东北—西南向的高度负距平带，我国东北到日本一带有位势高度正距平区。因此，La Niña 事件不是造成这次持续雨雪冰冻天气的直接原因。联系到关于 ENSO 影响的不对称性研究结果，有必要深入认识 La Niña 事件及其影响，尤其是它对中

① Wang X, Zhou W, Ling J, et al. Time-dependent influence of La Niña events on Mei-yu rainfall. *International Journal of Climatology*, 2008 (to be submitted)

国天气气候的影响需要具体分析,不可一概而论。

(4) 一个大气环流系统发生异常比较常见,所造成的影响一般比较有限;几个大气环流系统同时发生异常虽然不是很多,但其影响较大;几个大气环流系统同时发生异常,并相互配合而形成某种组合,是罕见的小概率事件,当然其影响也就非常严重,往往会导致极端天气气候事件。在气象保障服务中,需要特别注意大气环流系统组合性异常的发生。

参考文献 (References)

[1] 李崇银, 胡季. 东亚大气环流与厄尼诺相互影响的一个分析研究. 大气科学, 1987, **11** (4): 359~364
Li Chongyin, Hu Ji. A study on interaction between the East-Asia atmospheric circulation and El Niño. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1987, **11** (4): 359~364

[2] 李崇银. 频繁的强东亚大槽活动与 El Niño 的发生. 中国科学 (B 辑), 1988, **18** (6): 667~674
Li Chongyin. Frequent activity of intense East Asia trough and the occurrence of El Niño. *Science in China* (Ser. B) (in Chinese), 1988, **18** (6): 667~674

[3] 李崇银. 中国东部地区的暖冬与 El Niño. 科学通报, 1989, **34** (4): 283~286
Li Chongyin. Warm winters in East China and El Niño. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1989, **34** (4): 283~286

[4] Li Chongyin. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events. *Adv. Atmos. Sci.*, 1990, **7**: 36~46

[5] 陶诗言, 张庆云. 亚洲冬季风对 ENSO 现象的响应. 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

[6] 张庆云, 王媛. 冬夏东亚季风环流对太平洋热状况的响应. 气候与环境研究, 2006, **11** (4): 487~498
Zhang Qingyun, Wang Yuan. The response of East Asian monsoon circulation between winter and summer to sea surface temperature over the Pacific Ocean. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (4): 487~498

[7] 陶诗言. 十年来我国对东亚寒潮的研究. 气象学报, 1959, **30**: 226~230
Tao Shiyan. Research on East Asia cold wave in China for the last decade. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1959, **30**: 226~230

[8] Chan J C L, Li C Y. The East Asian winter monsoon. In: *East Asian Monsoon*, Chang C P, Ed. Singapore: World Scientific Publisher, 2004

[9] 王遵娅, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能成因. 大气科学, 2006, **30** (6): 1068~1076
Wang Zunya, Ding Yihui. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (6): 1068~1076

[10] 黄荣辉, 魏科, 陈际龙, 等. 东亚 2005 年和 2006 年冬季风异常及其与准定常行星波活动的关系. 大气科学, 2007, **31** (6): 1033~1048
Huang Ronghui, Wei Ke, Chen Jilong, et al. The East Asian winter monsoon anomalies in the winters of 2005 and 2006 and their relations to the quasi-stationary planetary wave activity in the Northern Hemisphere. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007, **31** (6): 1033~1048

[11] <http://ncc.cma.gov.cn/cn/>