

前期海洋热状况异常影响 2008 年 1 月 雪灾形成的初步研究

付建建^{1,2} 李双林² 王彦明^{1,2}

1 中国海洋大学海洋环境学院, 青岛 266001

2 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

摘 要 考察 2008 年 1 月雪灾发生前期全球海洋的热状况发现, 强 La Niña 事件和北大西洋显著增暖是最明显特征。此外, 北太平洋中部较常年偏暖, 北极 (特别是北欧海附近) 海冰较常年显著偏少。利用合成分析和全球大气环流模式试验, 研究了强 La Niña 事件的影响。结果表明, 强 La Niña 事件能部分解释南方偏冷和降水偏多, 及包括蒙古冷高压增强、青藏高原南支槽加深和西太平洋“负—正—负”的异常分布型在内的部分环流形势, 但不能解释乌拉尔山阻塞的异常增强。模拟中等强度 La Niña 的影响并与强 La Niña 进行了比较, 发现: 只有当 La Niña 很强时, 我国南方冬季偏冷、降水偏多的信号才显著; 当 La Niña 强度只是中等时, 这种信号将大为减弱。最后分析讨论了北大西洋异常增暖的影响, 认为它对乌拉尔环流异常形成有重要贡献。因此, 2008 年 1 月雪灾的形成可能是包括强 La Niña 事件和北大西洋增暖等因素共同作用的结果。

关键词 雪灾 La Niña 北大西洋增暖 大气环流模式 阻塞高压

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0478-13 **中图分类号** P467 **文献标识码** A

Influence of Prior Thermal State of Global Oceans on the Formation of the Disastrous Snow Storm in January 2008

FU Jian-Jian^{1,2}, LI Shuang-Lin², and WANG Yan-Ming^{1,2}

1 College of Physical and Environmental Oceanography, Ocean University of China, Qingdao 266100

2 Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract The global ocean heat status prior to January 2008, when the disastrous snowstorm freezing climate event occurred in South China, was investigated, and the results suggest that the strong La Niña event in the tropical Pacific and the anonymous warmth in the extratropical North Atlantic are the most significant. Additionally, there is warmth in the central North Pacific and in the Nordic Sea where has less sea ice extension. By analyzing the observational data and conducting experiments in an atmospheric general circulation model (AGCM), we investigated the influence of the La Niña event. The results show that the strong La Niña can explain the colder climate and more precipitation than usual in South China, as well as the associated circulation anomalies like Mongolia Cold High. But, it cannot explain the enhancements of the west Pacific subtropical high and the blocking high over the Ural Mountains. Subsequently, we discussed the influence of the North Atlantic warmth using the results from a previ-

收稿日期 2008-04-03 收到, 2008-05-06 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目 40775053、90711004, 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“百人计划”项目

作者简介 付建建, 女, 1982 年出生, 博士研究生, 主要从事东亚季风变异研究。E-mail: fujianjian1982@163.com

通讯作者 李双林, E-mail: shuanglin.li@mail.iap.ac.cn

ous modeling study, and speculated that the warmth has played an important role for the maintenance of the persistent blocking over the Urals. Thus, it is concluded that the disastrous climate event happened in January 2008 may be resulted from the coordinate interaction of several factors including strong La Niña and North Atlantic warmth.

Key words disastrous climate event, La Niña, SST anomaly, AGCM, blocking

1 引言

2008 年 1 月至 2 月初, 我国南方大部分地区发生了近 50 年来最为严重的暴风雪, 出现了严重冰冻灾害气候事件 (简称“0801”雪灾), 给国民经济和广大人民群众的生命财产造成了重大损失。造成这次灾害事件的直接原因是大气环流异常。然而, 从气候系统的角度来看, 是什么因素导致大气环流异常还不清楚。弄清这一问题不仅对了解灾害事件的成因, 而且对未来更好地开展类似事件的预测预报, 均有着十分重要的意义。

由于海水较大的热容量, 海洋有比大气好得多的记忆性, 它在全球气候系统中担当着重要角色。海表温度异常 (SSTA) —— 海洋热状况异常的一个重要表征量——具有较好的持续性, 一直是短期气候预测所要考虑的主要因子。因此, 很有必要研究前期全球 SSTA 状况及其影响。

从图 1a 可以看到, 强 La Niña 事件和北大西洋异常增暖是最主要特征。尤其是北大西洋, 其

解灾害事件的成因, 而且对未来更好地开展类似事件的预测预报, 均有着十分重要的意义。

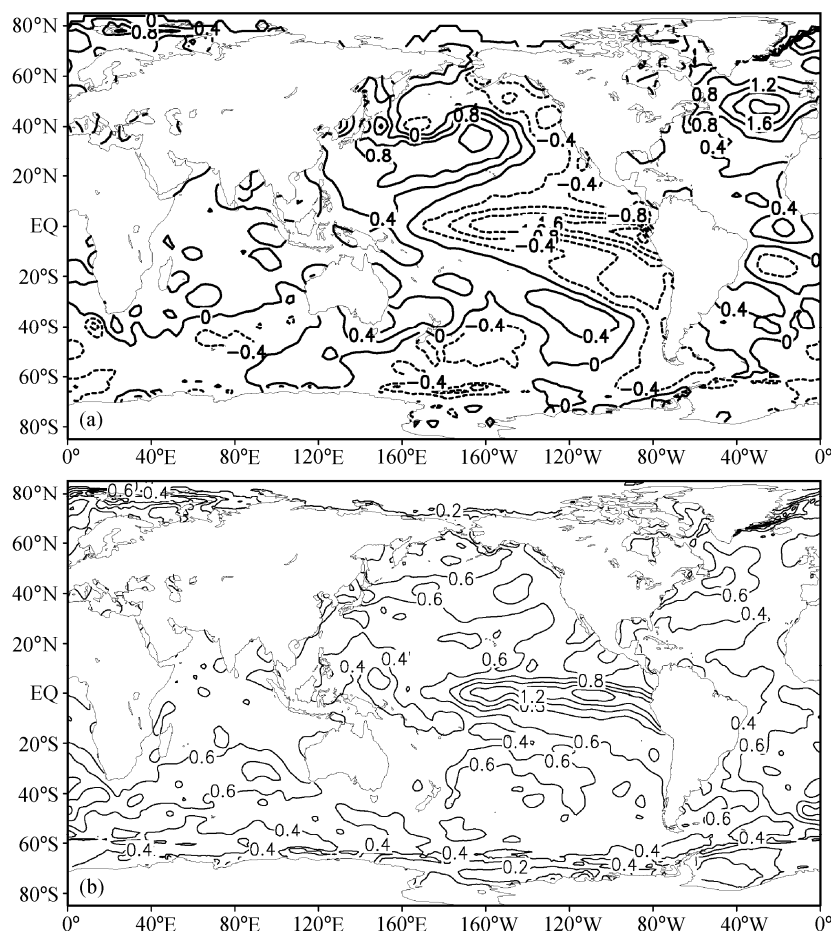


图 1 (a) 2007/2008 年冬季 (NDJ) 海表温度距平 (所用气候是 1971~2000 年共 30 年平均) 和 (b) 标准差 (计算的时间段是 1971~2000 年) (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 (a) Averaged monthly SSTA from Nov 2007 to Jan 2008 (relative to the climatological mean from 1971—2000) and (b) standard deviation (calculated for 1971—2000) (units: $^{\circ}\text{C}$)

SSTA 达 2°C 以上, 是标准差的 3~4 倍。此外, 在中高纬度地区还有另外几个特征: 异常暖的中部北太平洋; 异常暖的北冰洋, 特别是环北欧海区域, 该区域海冰较常年偏少许多。是否是这些海洋热状况造成了与雪灾有关的大气环流异常? 它们各自起了什么作用, 又是通过何种途径, 这些问题都还不很清楚, 值得深入研究。

许多研究表明, 热带中东太平洋 SSTA 是影响东亚冬季风活动的一个重要因子^[1~7]。张庆云和王媛^[8]指出它是冬夏东亚气候存在隔季韵律关系的联系纽带, 是东亚环流季节以及年际变化的一个重要强迫因子。在 La Niña 的影响方面, 陶诗言和张庆云^[9]发现 La Niña 年亚洲上空的环流型有利于寒潮的向南爆发, 并导致亚洲冬季风增强; 穆明权和李崇银^[10]利用 40 年的全球月平均资料, 讨论了东亚冬季风的年际变化特征, 指出 La Niña 冬半年东亚环流 500 hPa 位势高度为负距平、海平面气压偏高、气温偏低、异常北风偏强, 其结果是有利于东亚冷空气向南爆发, 东亚冬季风增强。此外, 陈文^[11]也指出 La Niña 盛期的冬季对应着强的东亚冬季风。

在北大西洋方面, Lu^[12]对 1998 年——20 世纪最暖年份——冬季进行个例模拟研究后指出, 该年的北大西洋 SSTA 在东亚冬季风异常的形成中起主要作用; Li 和 Bates^[13]发现, 与北大西洋多十年际振荡 (AMO) 有关的北大西洋海盆尺度的异常增暖, 往往对应着中国东部的暖冬, 同时北部降水偏多、南部降水偏少; Wu 等^[14]发现北大西洋涛动或北极涛动 (NAO/AO) 对东亚冬季风有影响, 但主要体现在年代际尺度上; Gong 等^[15]通过观测分析指出, 在年际尺度上 AO 指数与东亚冬季温度存在显著正相关。考虑到 NAO/AO 可能受北大西洋 SST 调制, 于是北大西洋可能对东亚冬季风存在显著影响。

在北太平洋方面, 杨修群等^[16]分析了东亚及中国气候年代际变化的特征及其和太平洋 SSTA 的联系, 认为北太平洋 SST 对东亚大气环流异常有显著的影响。但更多的研究 (如陈佩燕等^[17]) 强调黑潮区的影响, 认为黑潮区是影响我国东部冬季气候异常的关键海区之一。在北极海冰影响方面, 方之芳^[18]研究了北极海冰与北半球副热带高压间的相关, 指出了两者的相互作用具有明显

的季节性和滞后性。武炳义等^[19~21]的研究表明, 冬季巴伦支海和喀拉海海冰变化与我国气候年际和年代际变化有密切的联系。并进一步指出, 该关键区域的海冰异常可以通过影响大气遥相关型和冷空气活动来影响东亚冬季风。特别地, 当冬季该海区海冰面积异常偏少时, 东亚冬季风则偏强。这说明, “0801”雪灾发生前期的北极海冰异常可能对雪灾的形成有影响。

上述分析表明, 前期不同区域的海洋热状况异常可能对 “0801” 雪灾的形成起了重要作用。本文将重点研究讨论 La Niña 和北大西洋增暖的影响。考虑到热带外大气对热带 SSTA 的响应可能非线性地依赖于 SSTA 的强度^[22, 23]以及 2007/2008 年的 La Niña 是很强的, 我们将主要关注强 La Niña 事件, 并从历史强 La Niña 事件的观测合成分析和大气环流模式 (AGCM) 试验两个方面来分析。为更清楚地说明强 La Niña 事件的影响, 我们还用 AGCM 进行了中等强度 La Niña 的试验, 以供对比参考。有关北大西洋的影响, 将基于一个以前的研究来进行讨论。有关北太平洋和北极海冰的影响, 需要进行另外专门的研究, 不在本文的讨论范围。

2 资料和方法

2.1 资料

本分析所用的表面气温 (T_s)、降水、海平面气压 (SLP) 等气象要素和位势高度场、风场 (u , v) 等高空大气环流资料来自 NCEP/NCAR 再分析月平均资料集^[24], 分析时段自 1948 年始。海表温度 (SST) 来自 COADS 资料集^[25], 分析起始年为 1948 年。中国 160 个台站的降水与气温资料来自国家气候中心, 起始时间为 1951 年 1 月。观测分析所用的基本方法是合成, 并对合成结果进行了 t 显著性检验。

2.2 大气环流模式及试验

由于观测分析基本上只能揭示现象之间的联系, 难以揭示因果, 因此我们用 AGCM 进行敏感性试验来研究 La Niña 的影响。所用的 AGCM 是美国 NOAA 地球流体动力学实验室 (GFDL) 新一代大气环流模式 AM2^[26]。该模式水平面上采用 Arakawa-B 网格, 分辨率是 2.5° (经度) $\times 2.0^{\circ}$

(纬度)。在经度方向有 144 个格点, 纬度方向有 90 个格点。垂直方向采用非等间距混合垂直坐标, 共 24 层, 模式顶到达平流层 3 hPa。该模式能较好地模拟东亚季风活动, 甚至还能模拟出发生于 20 世纪 70 年代后期的夏季风年代际变异^[13,27]。

这里我们完成了 3 组试验, 第 1 组是控制试验。选择两个不同的初始场, 用具有季节变化的气候月平均 SST 强迫模式, 各积分 25 年, 完成 2 个试验。考虑到初始场与模式协调需要足够的时间, 我们把模式运行的第一年作为协调所用的时间不加分析, 于是从这两个试验可以得到一共 48 年的集合。第 2 组是 SSTA 试验。除在具有季节变化的气候月 SST 基础上迭加一 La Niña SSTA (图 2) 外, 其余完全同控制试验。该 SSTA 是基于 1970~1999 年冬季 (12 月至次年 2 月)、热带中东太平洋月平均 SST 的第一 EOF (经验正交函数) 而截取出来的。对比图 2 与图 1a, 容易看到: 它与“0801”前期的 SSTA 有很好的相似性。考虑到大气响应通常并不总是与 SST 强迫大小成线性关系^[22, 23], 而 2007/2008 年 La Niña 事件是很强的, 弄清楚中等强度 La Niña 事件的影响有助于更好地了解强 La Niña 在雪灾形成中的作用, 我们完成了第 3 组试验。在这组试验中, 只是让 SSTA 减半, 其余完全与第 2 组相同。注意到减半后的 SSTA 大小与气候标准差接近, 它相当于中等强度 La Niña 的情况。显然, 第 2 和 3 组试验与控制试验的唯一不同是 SST, 所以他们与控

制试验的差将代表大气对不同强度 La Niña 的响应。

值得指出的是, 在第 2 和 3 组试验中迭加的 SSTA 是随时间不变的。对于现在研究的问题而言, 分析时段是冬季 (12 月至次年 2 月), 考虑到 La Niña 早在 11 月或更早就已基本形成, 以及初始场的影响不会超过一个月 (这里初始场是与模式协调的), 这样的试验方案是可行的。因为它们与利用不同的初始场, 从 11 月初开始积分, 让 SSTA 保持不变而进行的冬季, 季节气候持续性集合数值预测方案本质上是一样的。Kumar 等^[28]利用同样的试验方案研究了 El Niño 对印度季风的影响。

3 观测分析——La Niña 的影响

分析 Wolter 等^[29]基于多变量的 ENSO 指数图, 不难看到: 历史上达到与 2007/2008 年强度接近或更强的 La Niña 事件共有 10 次, 它们分别是 1949/1950 年, 1950/1951 年, 1954/1955 年, 1955/1956 年, 1964/1965 年, 1970/1971 年, 1973/1974 年, 1975/1976 年, 1988/1989 年, 1999/2000 年。下面通过分析这 10 次强 La Niña 事件期间的合成图 [10 次强 La Niña 年冬季 (DJF) 平均减去 1949~2006 年中剩下的 47 年冬季平均], 来了解强 La Niña 事件与我国南方冬季气候异常的关联; 并通过与“0801”异常 (2008 年 1 月平均减去 1971~2000 年 1 月平均) 进行对比, 来进一步

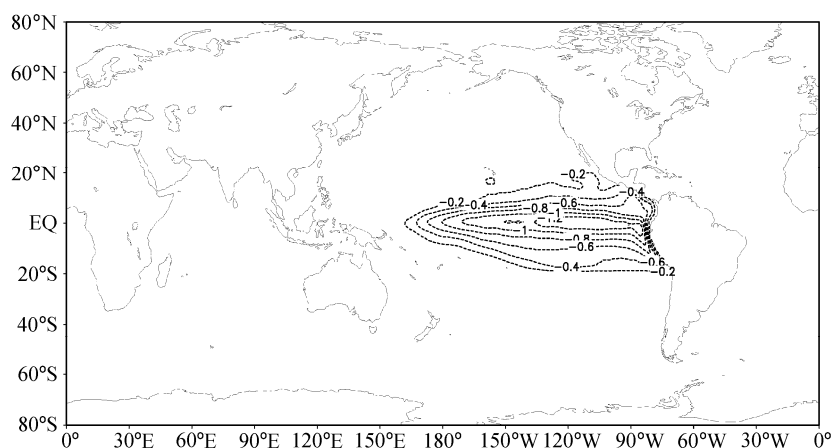


图 2 模式试验所用 SSTA, 相当于强 La Niña 的情况 (单位: °C)

Fig. 2 The SSTA prescribed in the AGCM experiments, which corresponds to a strong La Niña event (units: °C)

了解 2007/2008 年冬季 La Niña 与历史强 La Niña 事件影响的异同点。

图 3 显示了合成的冬季平均 T_s 、降水、SLP 与“0801”的比较。所用资料为 NCEP/NCAR 再分析月平均。容易看到,“0801”与历史合成有相当的一致性即中纬度中亚到我国南方较常年显著偏冷;我国南方,尤其是从西南到长江中游地区降水较常年显著偏多;从亚洲北部到贝加尔湖、再到东亚及我国长江中下游地区存在显著的 SLP 正异常,而从北非到阿拉伯海、再从孟加拉湾到青藏高原南部及菲律宾附近有显著的 SLP 负异常。前者代表了增强的亚洲冷高压和冷空气活动,

后者代表了增强的热带低压和青藏高原南支槽。这些 SLP 分布能解释 T_s 和降水异常。

然而,“0801”也有其显著不同的特点:例如,我国南方的 T_s 负距平达 -4°C ,比历史合成 (-1.0°C) 强得多;里海附近 T_s 距平达 -8°C 以下,比历史合成冷得多;欧洲北部相比历史合成显著偏暖,个别地区 T_s 距平达 9°C 。从降水来看,“0801”在西太平洋地区大范围降水显著偏少,明显不同于历史合成。从 SLP 来看,亚洲大陆正异常“0801”是历史合成的 3 倍以上,其向东亚扩展到达的纬度更为偏东偏南,以致在日本以东洋面有显著的正异常 (图 3f),说明“0801”

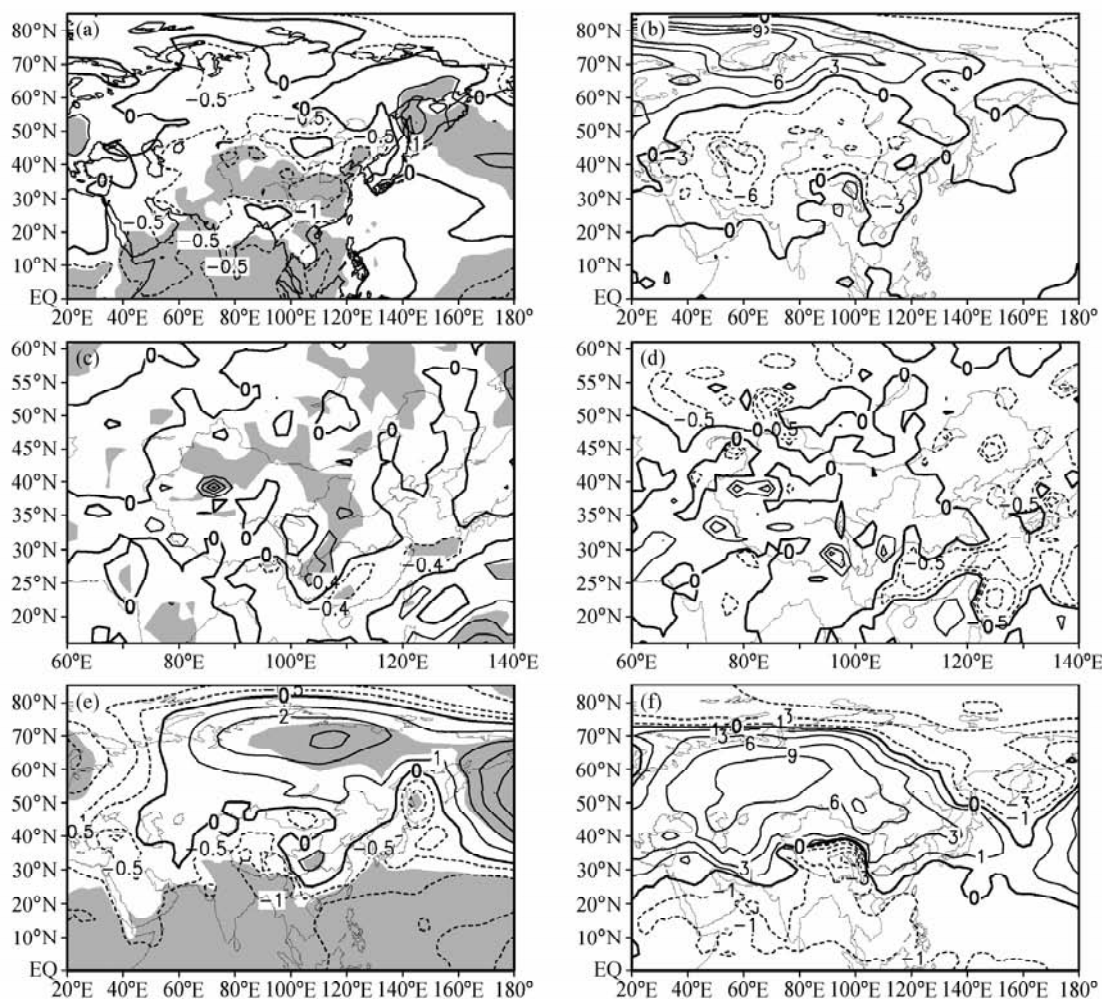


图 3 历史上 10 个最强 La Niña 年冬季 (12 月到次年 2 月) 的合成 (左列) 与 2008 年 1 月表面气象要素 (右列) 比较。(a)、(b) 为表面气温 (单位: $^{\circ}\text{C}$), (c)、(d) 为降水 (单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) 和 (e)、(f) 为海平面气压 (单位: hPa)。左列中阴影为通过 90% 显著性检验的区域

Fig. 3 Comparison of historical composite anomaly of winter (DJF) surface air temperature (a) (units: $^{\circ}\text{C}$), precipitation (c) (units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), and sea level pressure (e) (units: hPa) in the 10 strong La Niña years with those (b, d, f) from Jan 2008. Shadings in the left panels are above 90% significance level

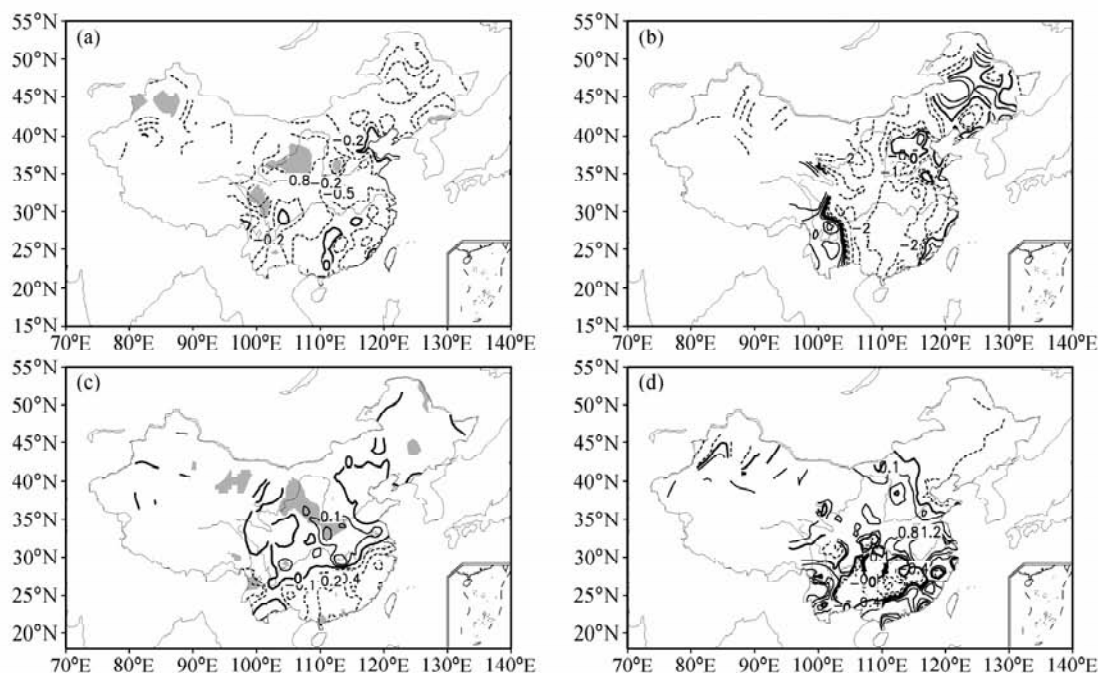


图 4 同图 3, 但所用资料为中国 160 个台站观测资料

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for the data set from China 160 stations

冷空气势力更强, 与期间亚洲冷高压更强一致。此外, 鄂霍次克海附近为显著的 SLP 负异常, 代表着“0801”加深的东亚槽。考虑到再分析资料来自模式, 不是观测资料, 我们用中国 160 个台站资料进行了类似分析。从图 4 可以看到, T_s 和降水结果与利用再分析资料得到的在定性上是一致的, 但我国南方降水偏多更清楚, 范围更大。

图 5 显示了合成的 850 hPa 水平风场和 500 hPa 高度异常与“0801”的比较。从 850 hPa 水平风场来看, 共同的特征是从我国东北, 经朝鲜半岛、日本南部到东海, 有显著的偏北风异常。这些与 T_s 和 SLP 场上反映出的增强的冷空气活动是一致的。此外, 从热带西太平洋到菲律宾以东为偏东风异常, 中纬度西太平洋 (30~40°N) 也为偏东风异常, 勘察加半岛以东为偏南风异常。但“0801”也有自己的特点 (图 5b): 例如, 热带东印度洋到孟加拉湾为显著的偏西南风异常, 与历史合成图上的偏西风异常形成对比; 中西伯利亚到巴尔喀什湖为东北风异常, 而历史合成则为偏西南风异常。该强的偏北风异常能很好地解释那里较历史合成强得多的异常寒冷。此外, 在东北亚至鄂霍次克海, “0801”为强的西北风异常,

而历史合成为弱得多的偏东北风异常, 说明“0801”影响东亚的冷空气路径不同于历史上的 La Niña 年, 具有其特殊性。

从 500 hPa 位势高度来看 (图 5e), “0801”表现出以下几方面的特点: 增强的西太平洋副热带高压; 增强的青藏高原南支槽和东亚大槽; 乌拉尔山地区阻塞高压脊异常强大并持续维持, 以至于欧亚中高纬度地区为“两槽一脊”的异常环流形势; 北大西洋地区上空为异常长时间持续的正位相北大西洋涛动 (NAO) 型。正是在欧亚异常稳定的环流形势下, 冷空气不断向南爆发, 并与强副热带高压背景下异常增强的西南风暖湿气流在我国南方交汇, 形成几次暴风雪、冰冻天气过程, 从而形成气候灾害事件。

从距平场来看, 历史合成相比“0801” (图 5c 和 5d), 尽管中高纬度槽脊位置有些不同, 例如, 与乌拉尔高压脊对应的正距平中心不仅减弱了, 而且向东移动了大约 20 经度, 还伴有向北移动, 文献 [22] 的图 1b 也表现出同样的特征: 位于中西伯利亚北部 (相应的地面异常高压也东移, 见图 3e)、与鄂霍次克海负异常对应的负距平中心也相应东移, 但在偏北的位置依然可以看到“两槽

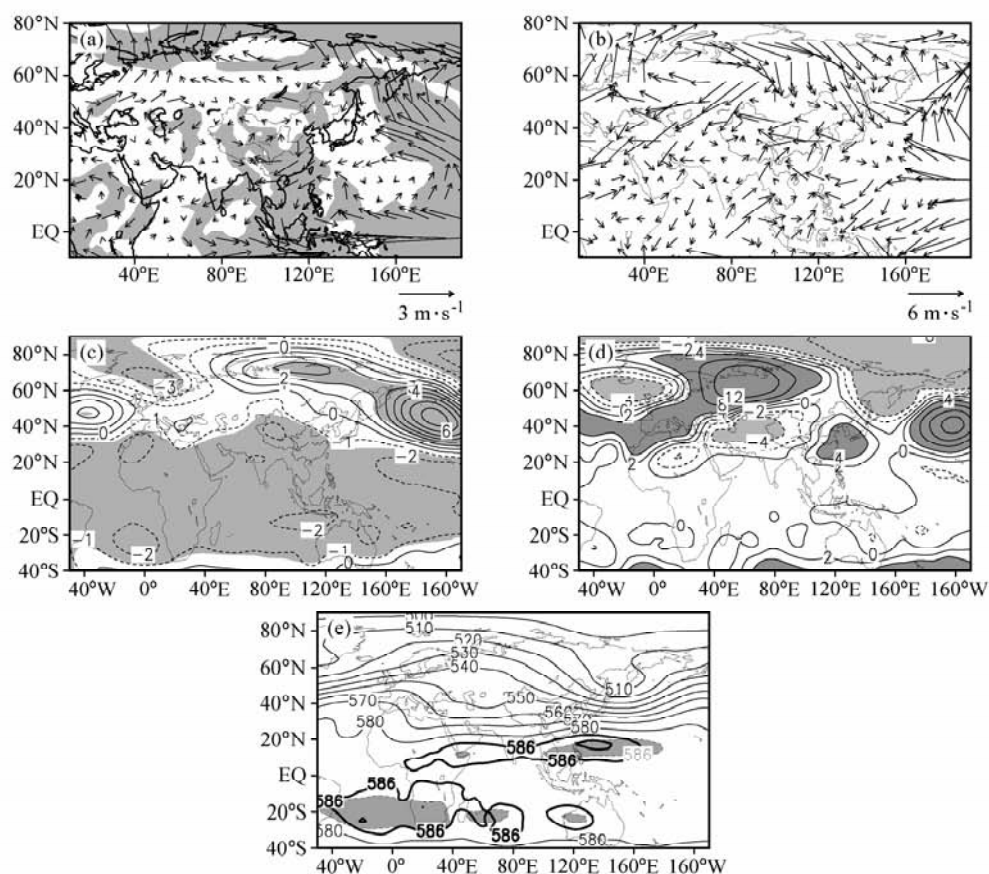


图5 同图3, 但为850 hPa风场 (a)、(b) 及500 hPa高度距平场 (c)、(d) (单位: dagpm)。为便于比较, (e) 中显示了2008年1月500 hPa位势高度场 (单位: dagpm)。(a)、(c) 中, 阴影区为通过90%显著性检验的区域, (d) 中阴影区表示距平 $>+4$ 或 <-4 的区域, (e) 中阴影区表示1971~2000年气候平均1月的586线包括的范围

Fig. 5 Same as Fig. 3, but for 850 hPa wind field (a), (b) and 500 hPa geopotential height anomalies (c), (d) (units: dagpm). For comparison, 500 hPa geopotential heights in Jan 2008 as well as the climatological mean calculated from 1971–2000 are displayed in (e) additionally (units: dagpm). Shadings are above 95% significance level in (a), (c). In (d), shading indicates the anomalies $>+4$ or <-4 . In (e), shading indicates the 586 contour of the climatological Jan 500 hPa geopotential heights

一脊”的形势。在中亚至青藏高原地区, 有明显的负异常, 代表了高原南支槽增强, 与“0801”一致。此外, 从青藏高原至热带西太平洋区域到东北亚沿岸, 再到东西伯利亚东部和白令海的大范围来看, 合成图上存在西南—东北走向的“负—正—负”的距平分布, “0801”大致也有类似的分布。在北大西洋地区合成图上也有投影到NAO正位相的距平分布。这些分析表明, “0801”的环流异常形势与历史合成存在大致的一致性。尽管如此, “0801”在东亚地区还是有显著不同于历史合成的异常。例如, 在菲律宾地区为正异常, 反映了增强的西太平洋副热带高压; 在鄂霍次克海地区, 有明显的负异常, 反映了增强的东亚大槽。

4 AGCM 结果分析——不同强度 La Niña 的影响

图6显示了两种强度 La Niña 下近地面要素响应。左列代表强 La Niña 即与“0801”相当的情形, 而右列则代表中等强度 La Niña 情形。可以看到两种情形下响应有以下共同特征: 自北非、经中东到南亚, 再经青藏高原向我国西南大部地区, 显著偏冷, 而从中西伯利亚自西向东至我国东北地区则为偏暖; 我国南方大部分地区降水显著偏多。对比图6与图3和4, 可以发现: 这些特征既存在于历史观测资料的合成分析中, 又存在

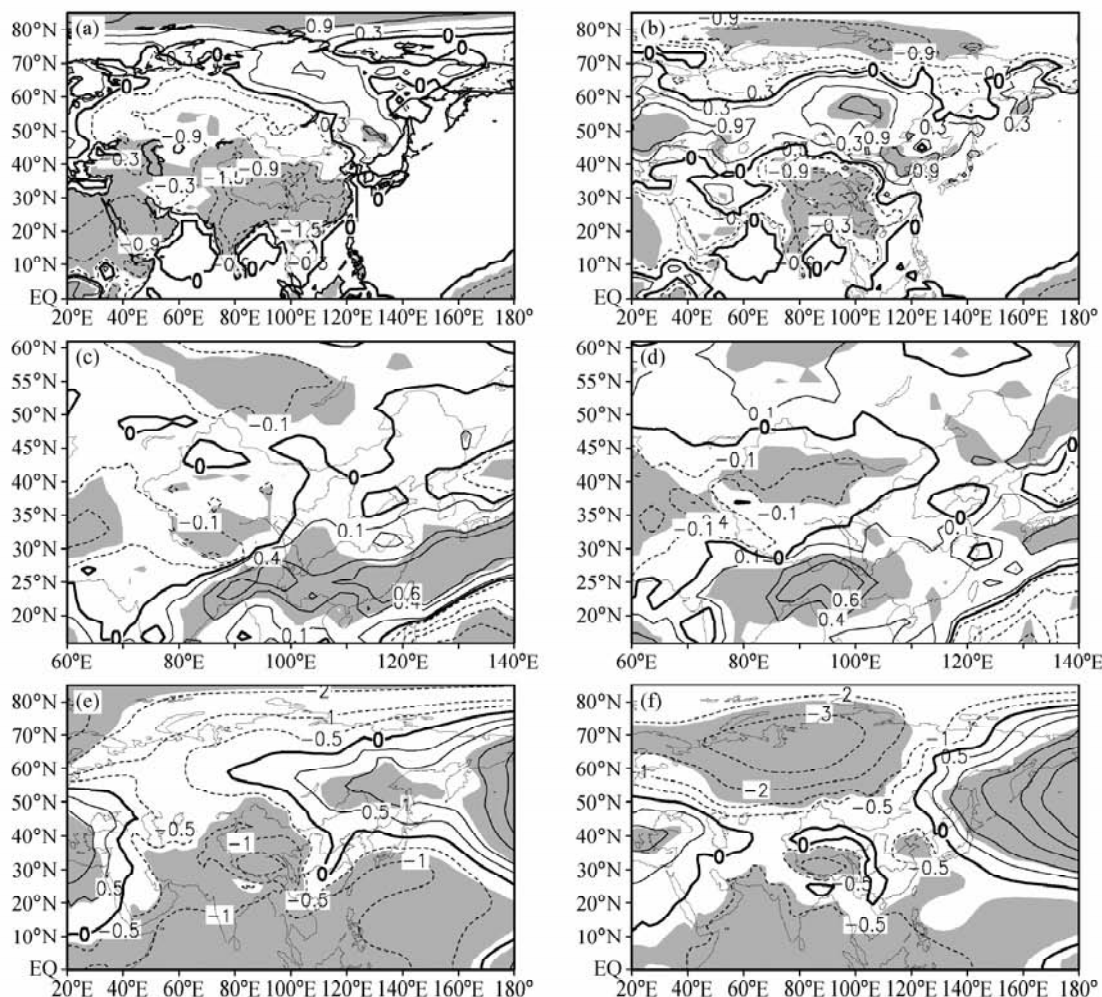


图 6 模式试验得到的冬季 (DJF) 表面温度 T_s (a)、(b) (单位: $^{\circ}\text{C}$) 和降水 (c)、(d) (单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) 及表面气压 (e)、(f) (单位: hPa) 对 La Niña 的响应。阴影区为通过 90% 显著性检验的区域

Fig. 6 Modeled responses of winter (DJF) surface air temperature (a, b) (units: $^{\circ}\text{C}$), and precipitation (c, d) (units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and surface air pressure (e, f) (units: hPa). (a, c, e) and (b, d, f) correspond to a strong and moderate La Niña event, respectively. Shading are above significance 95% level

于“0801”个例中。图 6a 和图 6b 与图 3a 的空间相关系数分别是 0.61 和 0.68; 图 6c 和图 6d 与图 3c 的空间相关系数分别是 0.5 和 0.08; 而图 6e 和图 6f 与图 3e 的空间相关系数分别是 0.72 和 0.6。

强和中等 La Niña 事件二者响应的差别也是明显的, 不仅表现在形势分布上, 也表现在响应的大小上。例如, 强 La Niña 使得极区增暖 (图 6a), 而中等 La Niña 则相反, 使极区变冷 (图 6b)。强 La Niña 使得我国南方异常偏冷 2.0°C 以上, 而中等 La Niña 只有 0.5°C 。强 La Niña 使得我国南方降水偏多更为显著。这说明, 大气对 La Niña 的响应存在很强的非线性性。类似的非线性

也存在于强、弱 La Niña 年的观测合成分析中 (文献 [22] 的图 5)。特别地, 相比中等强度 La Niña, 模拟的强 La Niña 下的响应与历史合成和“0801”的异常均更为相似。

这种非线性性也表现在模拟的表面气压响应上。在强 La Niña 下, 从贝加尔湖到我国东北及日本海为正表面气压响应, 反映了增强的蒙古冷高压, 而中等强度 La Niña 则为负异常, 且欧亚大陆北部均为显著的负异常。相比较而言, 强 La Niña 的响应更像历史合成和“0801”的 SLP 异常。

图 7 显示了模拟的 850 hPa 水平风场及 500 hPa 高度场的响应。从它们与历史合成的比较来

看,在西太平洋地区大范围,模拟的两种强度的 La Niña 引起的风场响应与历史合成是基本一致的。例如,在堪察加半岛以东,均为显著的偏南风异常,与该区域处于北太平洋异常高压后部有关;在热带西太平洋到菲律宾以东,均为东风异常;在中纬度(30~40°N)西太平洋到我国东海,均为东风异常,这些东风异常有助于将太平洋相对暖湿空气向亚洲大陆输送。此外,在孟加拉湾东部和中南半岛,为偏东风,两种强度的 La Niña 引起的风场响应与历史合成也基本一致。从我国南方局地来看,尽管存在细节上的差异,但模式结果与历史合成均存在异常东风切变辐合,它能够解释南方偏多的降水。相比较而言,强 La Niña 引起的响应与历史合成更相似。例如,强 La Niña 在日本海及我国东南部存在异常北风分量,但中等 La Niña 没有北风异常。这些在模拟的 u 风分量的空间型相关系数上也反映得很清楚。模拟的强 La Niña 引起的 u 风分量与历史合成空间型相关系数达 0.85,而对于中等强度的 La Niña 则为 0.69。图 7c 和图 7d 与图 5c 的空间相关系数分别是 0.82 和 0.77。尽管如此,当比较模拟的响应与“0801”异常时,可以看到:两种强度的 La Niña 均没有模拟出孟加拉湾西南风,也没有较好地模

拟出东亚沿岸强的偏北风异常,说明“0801”确有特殊性,其成因不能完全归于 La Niña。

上述特点在模拟的 500 hPa 高度场也有反映。从图 7c 和 7d 可见,两类 La Niña 的响应与历史合成存在很大一致性。例如,在青藏高原及其南侧及热带地区均有负高度异常,反映了加深的南支槽和热带低压带。在我国东北至日本海、到北太平洋地区有正异常。特别地,从青藏高原扩展到南海地区、到东北亚和鄂霍次克海,再到白令海的大范围来看,模式结果也为西南—东北走向的“负—正—负”波列状形势,与“0801”个例也部分相似。这说明这些异常部分是 La Niña 强迫的。考虑到夏季菲律宾海附近增强的对流有利于激发太平洋—日本波列,加上 La Niña 年冬季西太平洋暖池区较常年偏暖,对流增强,在西太平洋沿岸地区冬季引起这种“负—正—负”的波列状异常在物理上可能是合理的。此外在北大西洋地区,模拟的响应存在正位相 NAO 分量,与观测合成和“0801”一致,说明模式能部分再现历史合成中的 La Niña 信号。值得注意的是,在乌拉尔至西西伯利亚地区,模拟的响应与历史合成异常及“0801”相差均较大,与 850 hPa 风场反映的情况类似。但相比较而言,强 La Niña 引起的信号与历史合成及“0801”相似程度更

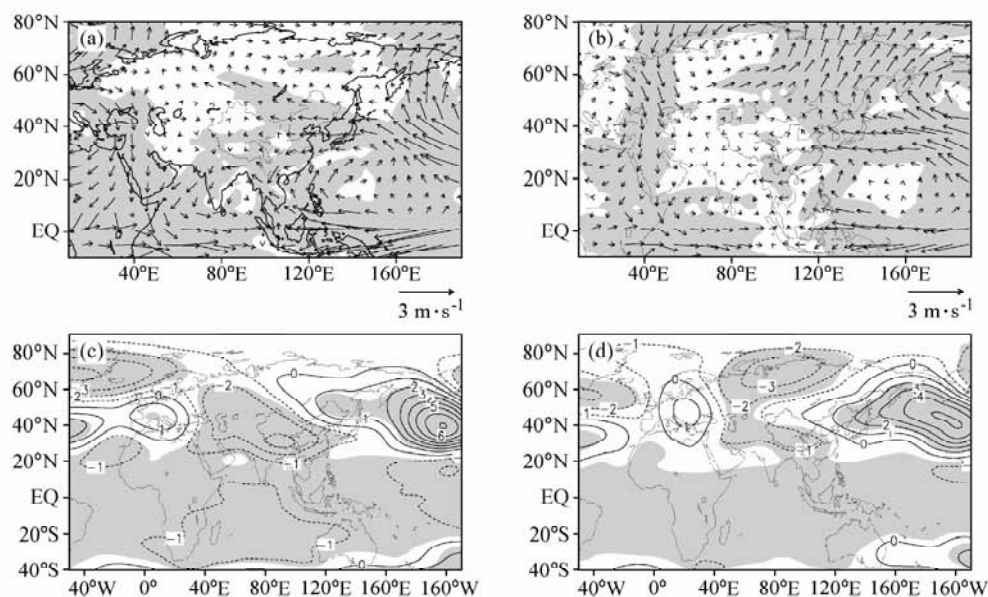


图 7 同图 6, 但为 850 hPa 风场 (a)、(b) 及 500 hPa 高度 (c)、(d) (单位: dagpm)。左列和右列分别是对强和中等强度 La Niña 的响应

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the 850 hPa horizontal wind (a)、(b) and 500 hPa geopotential heights (c)、(d) (units: hPa). Left and right panels correspond to a strong and moderate La Niña event, respectively

高些, 这点在亚洲北部表现得比较清楚。

上述分析表明, 2007/2008 年强 La Niña 事件确实有利于引起我国南方偏冷和降水偏多及有关的部分大气环流异常, 因而对“0801”灾害气候的形成有显著贡献。但它不能解释乌拉尔的环流异常和低层孟加拉湾地区的西南风异常等等, 说明其他因子对雪灾的形成也起了作用。

5 乌拉尔环流异常的形成——北大西洋异常增暖的影响

叶笃正等^[30]很早就注意到乌拉尔山地区阻塞

高压对我国冬季冷空气活动的影响。“0801”异常增强的乌拉尔阻塞高压是构成中高纬度稳定异常环流形势的重要部分, 对灾害气候形成的作用是显而易见的。尽管中高纬度的环流异常主要由大气内部动力过程产生, 但如果仅仅归因于大气内部动力过程将难以解释有的年份(比如“0801”)环流特别容易出现异常、而且特别能持续的观测事实。诸多研究表明, 海洋表面热状况异常对中高纬度的环流异常可能也有作用^[31,32]。进一步地, 通过大气环流模式试验发现, 来自 SSTA 的环流信号最大可占大约 30%^[33]。虽然与大气内部变率

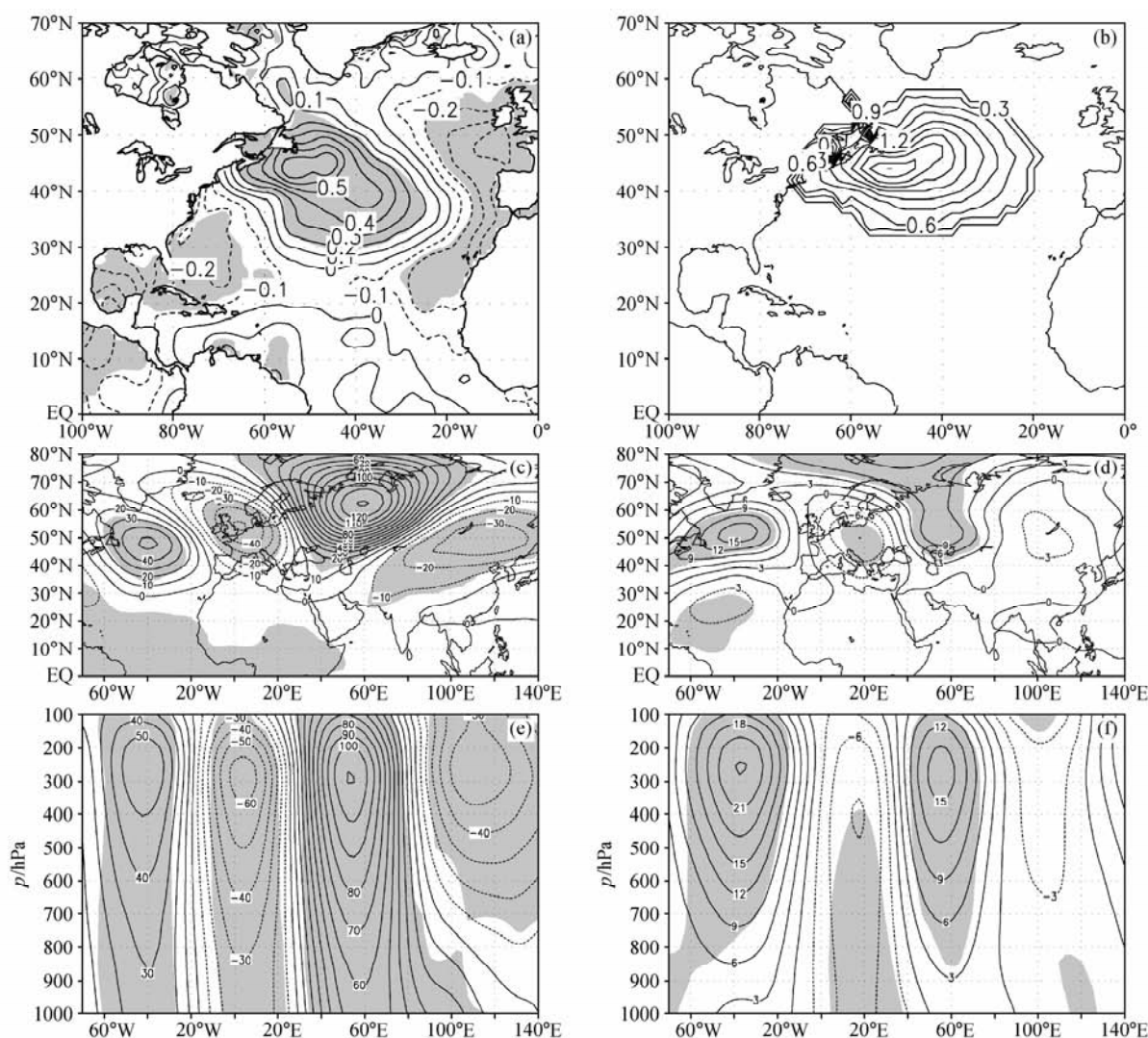


图 8 乌拉尔山地区冬季月环流正异常时合成的 SSTA (a)、(b) (单位: °C), 500 hPa 位势高度场 (c)、(d) 及沿 52.5°N 垂直剖面的位势高度的分布 (e)、(f) (单位: gpm)。左列为观测资料, 右列为 AGCM 试验。阴影区为通过 95% 的显著性检验区域

Fig. 8 The composite anomaly for the winter months between observation (left) and response of AGCM (right) of Ural Mountains area at SSTA (a), (b) (units: °C), 500 hPa geopotential height anomaly (c), (d) and the cross-section along 52.5°N (e), (f) (units: gpm). Shadings are above 95% significance level

相比,其强度不大,但由于它来源于具较好持续性的 SSTA,它是在时间尺度超过天气预报上限(2~3 周)后可以被预测的部分,因而构成中高纬度气候季节预测的基础。而且,它还可能影响风暴活动,调制大气内部变率。

北大西洋位于欧亚大陆上游,是否其热状态异常显著影响乌拉尔山阻塞活动是一个非常有意义的问题。图 8 中, Li^[34] 针对早冬季节(10~12 月)乌拉尔环流正异常历史个例进行了合成分析,发现乌拉尔地区 500 hPa 高度正异常与起源于北大西洋的波列相关联,而且与北大西洋大部 SST 显著增暖关系密切。进而用 NCEP 大气环流模式,通过设定北大西洋 SSTA 的集合数值试验,发现北大西洋增暖将激发一与观测合成分析一致的、自北大西洋向下游传播的 Rossby 波列,在乌拉尔地区形成正异常。进一步地, Li 还用适于机制分析的线性诊断模式,通过在北大西洋给定一理想的浅层加热(近似模拟热带外 SST 变暖引起的加热)进行试验,发现:北大西洋加热确实能引起一向下游传播的波列异常。这些高度响应还将通过影响北大西洋风暴路径,使乌拉尔的正异常得到加强。

对比图 1a 与图 8a 和 8b 不难发现,“0801”北大西洋前期增暖与乌拉尔正异常期间历史合成的及试验所用的 SSTA 有较好的相似性。对比图 5c 与图 8c 也不难发现,“0801”北大西洋至欧亚大陆上空环流异常与历史乌拉尔正异常期间的合成有一定的相似性。特别重要的是,他们均与 AGCM 模拟的北大西洋增暖引起的环流异常型有较好的相似性(图 8d)。于是,有理由相信,“0801”前期北大西洋异常增暖对乌拉尔正异常的形成起了重要作用。

6 小结与讨论

本文利用观测分析和 AGCM 试验,研究和讨论了 2007/2008 年强 La Niña 事件和前期北大西洋异常增暖对“0801”雪灾形成的影响。结果表明,强 La Niña 事件能部分解释“0801”南方偏冷和降水偏多及有关的部分大气环流异常,如高原南支槽加强、蒙古高压增强及西太平洋区域呈“负—正—负”西南—东北走向的异常环流型。但

它不能解释乌拉尔地区的异常环流形势。进一步的分析认为,前期北大西洋的异常增暖对乌拉尔环流正异常的形成维持有重要影响。于是,“0801”雪灾的形成可能是包括强 La Niña 事件、北大西洋异常增暖等在内的多种因素共同作用的结果。

我们还利用 AGCM 试验,研究了中等强度 La Niña 对东亚冬季气候的影响,并与强 La Niña 进行了比较,发现:La Niña 事件的影响程度与事件本身的强度并不呈线性关系。特别地,当把类似“0801”La Niña 事件热带中东太平洋的 SSTA 减半(相当于中等强度 La Niña)后进行试验时,模拟得到的我国南方 T_s 负异常将减为原来的 1/4,降水偏多信号将变得不显著。这表明,只有当 La Niña 很强时,我国南方冬季偏冷、降水偏多的信号才明显;当 La Niña 强度只是中等时,这种信号将大大减弱。最近,何溪澄等^[22]对历史强、弱 La Niña 年冬季东亚气候异常进行了观测合成对比分析,他们的结果也表现出一定的非线性性。此外,薛峰和刘长征^[23]发现 El Niño 对东亚夏季气候的影响也存在类似非线性性。

什么原因导致北大西洋异常增暖是一个有趣的问题。因为热带外 SSTA 主要是大气环流异常引起的,特别在冬季更是如此,于是似乎应该从前期大气环流异常去寻找。最近有人认为“0801”雪灾的形成可能与前期平流层异常行星波活动及 AO 有关,考虑到这些大气环流异常可能导致北大西洋 SST 异常,于是平流层异常影响雪灾的可能性不能排除。但这一问题需要用包括平流层—对流层、海洋—大气等耦合过程的气候系统模式进行深入研究。

需要指出的是,本研究是相当初步的,还存在着许多不足之处。我们知道“0801”雪灾成灾的主要原因在于大雪、冻雨对交通运输、电力和通信设施等的破坏,低温、严寒天气只是原因之一。尽管我们的模式结果表明,前期海表热状况异常能部分解释南方降水偏多和异常寒冷,但没有区分降水的形态。或者说,不清楚降水是以降雨、降雪还是冻雨形态发生的,而这种区分对灾害的形成来讲却是非常关键的。这需要了解模式对降水区大气垂直层结等细节的模拟情况,和有关不同降水形态发生的微物理过程。此外,影响

东亚冬季风活动的可能因子除本文提到的外, 还有欧亚大陆的雪盖情况和对流层准两年振荡等, 但文中没有涉及到。本文的讨论大多只是定性的, 没有定量研究 La Niña 和前期北大西洋异常增暖各自所起作用的相对大小, 模拟的 La Niña 影响与观测合成也存在部分差异, 今后我们将利用气候系统模式, 深入研究前期海洋热状况异常对“0801”雪灾形成的影响。

致 谢 感谢林朝晖研究员和布和朝鲁研究员的评述, 感谢春节前中国科学院大气物理研究所灾害天气气候讨论会各位专家的报告。特别感谢张庆云研究员对本工作的支持。

参考文献 (References)

- [1] Li Chongyin. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asian and El Niño events. *Adv. Atmos. Sci.*, 1990, **7**: 36~46
- [2] Wang Bin, Wu Renguang, Fu Xiouhua. Pacific—East Asian teleconnection: How does ENSO effect East Asian climate? *J. Climate*, 2000, **13**: 1517~1536
- [3] 黄荣辉, 陈文, 丁一汇, 等. 关于季风动力学以及季风与 ENSO 循环相互作用的研究. *大气科学*, 2003, **27** (4): 484~502
Huang Ronghui, Chen Wen, Ding Yihui, et al. Studies on the monsoon dynamics and the interaction between monsoon and ENSO cycle. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (4): 484~502
- [4] Wang Bin, Wu Renguang, Li Tim. Atmosphere—warm ocean interaction and its impacts on Asian—Australian monsoon variation. *J. Climate*, 2003, **16**: 1195~1211
- [5] 布和朝鲁, 纪立人. 东亚冬季风活动异常与热带太平洋海温异常. *科学通报*, 1999, **44** (3): 252~259
Bueh Cholaw, Ji Liren. Anomalous East Asian winter monsoon and tropical Pacific SST anomalies. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1999, **44** (3): 252~259
- [6] Wang Huijun, Zhang Renhe, Cole J, et al. El Niño and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): The largest signal in interannual climate variation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1999, **96** (20): 11071~11072
- [7] Wang Huijun. The interannual variability of the East Asian monsoon and its relationship with SST in a coupled atmosphere-ocean-land climate model. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**: 31~47
- [8] 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 sea surface temperature over the Pacific Ocean. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (4): 487~498
- [9] 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 Shiyun, Zhang Qingyun. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (4): 399~407
- [10] 穆明权, 李崇银. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息: 观察资料分析. *大气科学*, 1999, **23** (3): 276~285
Mu Mingquan, Li Chongyin. ENSO signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon. Part I: Observed data analyses. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (3): 276~285
- [11] 陈文. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、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
- [12] Lu Riyu. Impact of Atlantic sea surface temperature on the warmest global surface air temperature of 1998. *J. Geophys. Res.*, 2005, **110**, D05103, doi: 10.1029/2004JD005203
- [13] Li Shuanglin, Bates G T. Influence of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the winter climate of East China. *Adv. Atmos. Sci.*, 2007, **24** (1): 126~135
- [14] Wu Bingyi, Zhang Renhe, D'Arrigo. Distinct modes of East Asian winter monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 2006, **134** (8): 2165~2179
- [15] Gong Daoyi, Wang Shaowu, Zhu Jinhong. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2001, **28** (10): 2073~2076
- [16] 杨修群, 朱益民, 谢倩, 等. 太平洋年代际振荡的研究进展. *大气科学*, 2004, **28** (6): 979~992
Yang Xiuqun, Zhu Yimin, Xie Qian, et al. Advances in studies of Pacific decadal oscillation. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28** (6): 979~992
- [17] 陈佩燕, 倪允琪, 殷永红. 近 50 年来全球海温异常对我国东部地区冬季温度异常影响的诊断研究. *热带气象学报*, 2001, **17** (4): 371~380
Chen Peiyan, Ni Yunqi, Yin Yonghong. Diagnostic study on the impact of the global sea surface temperature anomalies on the winter temperature anomalies in eastern China in past 50 years. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2001, **17** (4): 371~380
- [18] 方之芳. 北半球副热带高压与北极海冰的相互作用. *科学*

- 通报, 1986, **31** (4): 286~290
- Fang Zhifang. Interaction between subtropical high and polar ice in Northern Hemisphere. *Chinese Science Bulletin*, 1987, **32** (5): 330~335
- [19] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季北极喀拉海、巴伦支海海冰对东亚冬季风的影响. *大气科学*, 1999, **23** (3): 267~275
- Wu Bingyi, Huang Ronghui, Gao Dengyi. The impact of variation of Sea-ice extent in the Kara Sea and the Barents Seas in winter on the winter monsoon over East Asia. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (3): 267~275
- [20] 高登义, 黄荣辉, 武炳义. 北极海冰的厚度和面积变化对大气环流影响的数值模拟研究. *气象学报*, 2001, **59** (4): 414~428
- Gao Dengyi, Huang Ronghui, Wu Bingyi. Numerical simulations on influence of Sea-ice thickness and extent variation in Arctic on atmospheric circulation. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (4): 414~428
- [21] Wu Bingyi, Wang Jia, Walsh J. Possible feedback of winter sea ice in the Greenland and the Barents Sea on the local atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, 2004, **132** (7): 1868~1876
- [22] 何溪澄, 丁一汇, 何金海. 东亚冬季风对 ENSO 事件的响应特征. *大气科学*, 2008, **32** (2): 335~344
- He Xicheng, Ding Yihui, He Jinhai. Response characteristics of the East Asian winter monsoon to ENSO events. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2008, **32** (2): 335~344
- [23] 薛峰, 刘长征. 中等强度 ENSO 对中国东部夏季降水的影响及其与强 ENSO 的对比分析. *科学通报*, 2007, **52** (23): 2798~2805
- Xue Feng, Liu Changzheng. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in Eastern China and its comparison with strong ENSO. *Chinese Science Bulletin*, 2008, **53** (5): 791~800
- [24] Kalnay E, Kanamitsum, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471
- [25] Rayner N A, Horton E B, Parker D E, et al. Version 2.2 of the global sea surface temperature data set, 1903—1994. *Climate Research Technical Note* **74**, 1996, Hadley Center for Climate Prediction and Research, UK Meteorological Office
- [26] GAMT (The GFDL Global Atmospheric Model Development Team). The new GFDL global atmosphere and land model AM2/LM2: Evaluation with prescribed SST simulations. *J. Climate*, 2004, **17**: 4641~4673
- [27] Fu Jianjian, Li Shuanglin, Luo Dehai. Impact of global SST on decadal shift of east Asian summer climate. *Adv. Atmos. Sci.*, 2009, (in press)
- [28] Kumar K K, Rajagopalan B, Hoerling M, et al. Unraveling the mystery of Indian Monsoon failure during El Niño. *Science*, 2006, **314**, DOI: 10. 1126/science. 1131152
- [29] Wolter K, Timlin M S. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, OK, NOAA/N MC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor., Univ. of Oklahoma 1993, 52~57
- [30] 叶笃正, 陶诗言, 朱抱真, 等. 北半球冬季阻塞形势的研究. 北京: 科学出版社, 1962. 220pp
- Ye Duzheng, Tao Shiyan, Zhu Baozhen, et al. *The study on wintertime blocking pattern of the Northern Hemisphere* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1962. 220pp
- [31] 李双林, 纪立人, 倪允琪. 夏季乌拉尔地区大气环流持续异常. *科学通报*, 2001, **46** (19): 1652~1656
- Li Shuanglin, Ji Liren, Ni Yunqi. The persistent anomaly of summertime circulation over the Ural Mountains. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2001, **46** (19): 1652~1656
- [32] Palmer T N, Sun Z. A modeling and observational study of the relationship between sea surface temperature in the North-west Atlantic and the atmospheric general circulation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1985, **111**: 947~975
- [33] Robinson W A. Review of WETS-The workshop on extratropical SST anomalies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2000, **81**: 567~577
- [34] Li Shuanglin. Influence of the Northwest Atlantic SST anomaly on the circulation over the Ural Mountains. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2004, **82** (4): 971~988