

黑潮和北大西洋海温异常在2008年1月我国南方雪灾中的可能作用的数值模拟

宗海锋¹ 张庆云^{1,2} 布和朝鲁^{1,2} 纪立人^{1,2} 陈烈庭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

摘 要 根据 NCEP/NCAR 再分析资料、NOAA 扩展重建海表温度资料, 利用中国科学院大气物理研究所全球大气环流谱模式 (IAP-T42L9) 模拟了大气环流对黑潮区、北大西洋海温异常变暖的响应特征, 并探讨了黑潮区、北大西洋海温异常在 2008 年 1 月我国南方雪灾中的作用。通过模拟场与观测场的比较表明, 在考虑黑潮区和北大西洋海温异常变暖的情况下, 模式比较成功地模拟出了 2008 年 1 月我国南方发生低温、雨雪、冰冻天气的各种主要环流特征。黑潮区海温升高导致东亚沿海位势高度增加, 西太平洋副热带高压偏北。它一方面不利于冷空气向下游输送, 导致冷空气在我国长江流域及其以南地区堆积; 另一方面加强了海洋的暖湿气流及向我国长江流域及其以南地区的水汽输送, 为我国南方雨雪天气形成提供了充沛的水汽条件, 有利于我国南方低温、雨雪、冰冻天气的持续。北大西洋海温异常变暖对中高纬地区中西伯利亚阻塞高压的形成有重要作用。受其影响, 我国除受东路冷空气活动的影响外, 中纬度还不断有西路冷空气随着西风带槽脊东移影响我国东部地区。它是导致我国南方低温、雨雪、冰冻天气持续的另一个重要原因。

关键词 海温异常 低温 雨雪 模拟

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0491-09 **中图分类号** P445 **文献标识码** A

Numerical Simulation of Possible Impacts of Kuroshio and North Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies on the South China Snow Disaster in January 2008

ZONG Hai-Feng¹, ZHANG Qing-Yun^{1,2}, Bueh ChoLaw^{1,2}, JI Li-Ren^{1,2}, and CHEN Lie-Ting¹

1 *Center 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*

Abstract The features of atmosphere responding to sea surface temperature anomalies (SSTA) of Kuroshio Extension (KE), North Atlantic (NA) and the roles of them on snow disaster which happened in South China in January 2008 are discussed with the global atmospheric circulation spectrum model (IAP-T42L9) of the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (IAP, CAS) and NCEP/NCAR reanalysis data, NOAA extended reconstruction sea surface temperature (ERSST). According to the simulation and observation, the main features of atmosphere circulation are successfully simulated on condition of positive SSTA in KE and NA. The warm SSTA in

收稿日期 2008-04-10 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项目 IAP07120

作者简介 宗海锋, 男, 1975 年出生, 博士, 主要从事海气相互作用、气候变化和短期气候预测研究。E-mail: zhf@mail.iap.ac.cn

KE leads to geopotential height higher and western pacific subtropical high more northward than normal over the coast of East Asia. Which in turn holds back the cold air transportation to downstream and leads to cold air resorting over the South China, at the same time, it strengthens the transportation of the warm wet air from ocean to South China. On such condition, it is very favorable for the continuation of low temperature, snow and frost weather over South China. While the warm SSTA over NA favors the block high formation in the middle Siberian. Affected by this block high, there are not only cold air from east but also cold air from west in middle latitude influencing East China. It is another important cause leading to low temperature, rain/snow and frost weather in South China.

Key words sea surface temperature anomaly, low temperature, rain/snow, simulation

1 引言

2008 年 1 月尤其是中下旬,我国南方出现了极为罕见的低温、雨雪、冰冻天气,由于此次过程持续时间长、影响范围广、强度大,对我国南方的交通、电力设施和农业造成了极大破坏,直接经济损失甚至超过 1998 年长江洪水。陶诗言等^[1]指出持久性旱涝不过是某种稳定的高空环流形势的反应,因此 2008 年 1 月中下旬持续性低温、雨雪冰冻天气也必然是某种高空异常环流形势持续稳定的结果。而大气环流的持续异常与多种因素有关,如海温、积雪等。其中海洋由于面积广、热容大尤受气象学家重视。关于海温与东亚地区气候异常影响的研究很多,但绝大多数研究都是探讨前期海温异常对我国夏季气候的影响^[2,3]。而在海温关键区对我国气候影响关系的探讨中,也多讨论赤道中东太平洋、暖池区和印度洋的影响,对黑潮区和北大西洋区关注不多。观测资料显示,2007/2008 年冬季黑潮区和北大西洋海温均异常偏高,个别月份甚至超过了 2℃。如此强的海温异常,必然会对大气环流造成影响。陈烈庭^[4]指出当 10~12 月大西洋墨西哥湾流区(太平洋黑潮区)海温偏暖时,次年 1 月欧洲地区(北太平洋区)500 hPa 容易出现低压槽。那么,2007/2008 年冬季黑潮区、北大西洋区海温异常偏暖,是否与造成 2008 年 1 月我国南方冰冻雨雪天气灾害的大气环流异常有联系呢?若有,这 2 个海温关键区的海表温度异常(SSTA)又是如何作用的呢?针对这两个问题,本文拟通过数值试验探讨大气环流对黑潮区以及北大西洋海温异常的响应特征,并分析它们在我国南方冰冻雨雪天气灾害事件中的可能作用。

2 资料、模式和试验方案设计

本文所用资料主要来自 NECP/NCAR 日平均再分析资料(包括位势高度、水平风场和相对湿度等变量)以及美国国家海洋大气局提供的扩展重建月平均海表温度(SST)资料。

为研究 12 月黑潮区、北大西洋海温异常在 1 月我国南方低温、雨雪冰冻灾害事件中的作用,我们选择了中国科学院大气物理研究所全球大气环流谱模式 IAP-T42L9。该模式采用标准层结近似,水平方向采用三角形截断 42 波,垂直方向共有 9 层并采用仿地形 σ 坐标,包括了大尺度凝结、积云对流、水平扩散、垂直湍流输送、陆面过程、地形重力波阻以及辐射等物理过程。该模式在大量的月尺度数值试验中取得了很好的效果^[5~9],证明 IAP-T42L9 具有很好的月尺度模拟能力。

本文利用集合预报方法,由 2007 年 12 月 20~31 日(12 个初始场)分别积分到 2008 年 2 月 8 日,积分时段涵盖了 2007 年 12 月、2008 年 1 和 2 月,因此利用这 3 个月平均海温,通过内插得到逐日海温场,将其作为数值试验的外强迫。12 月海温在赤道中东太平洋异常偏冷,而在北大西洋、黑潮区及其以东地区异常偏暖(图 1),其他月份 SSTA 分布与 12 月极为相似,只是强度和面积稍有变化(图略)。根据 12 月的海温异常分布,选取 2 个包含了海温增温最大的区域:黑潮区(10~34°N, 120°E~150°W)和北大西洋(20~80°N, 80°W~30°E),其他月份海温关键区选取与 12 月的一致。为了了解大气环流对不同关键区海温异常响应的特征,分别将以上 3 个月份的海温在关键区内取为实际观测值,在关键区外其他海区取为气候平均值(1971~2000 年平均),进行敏感

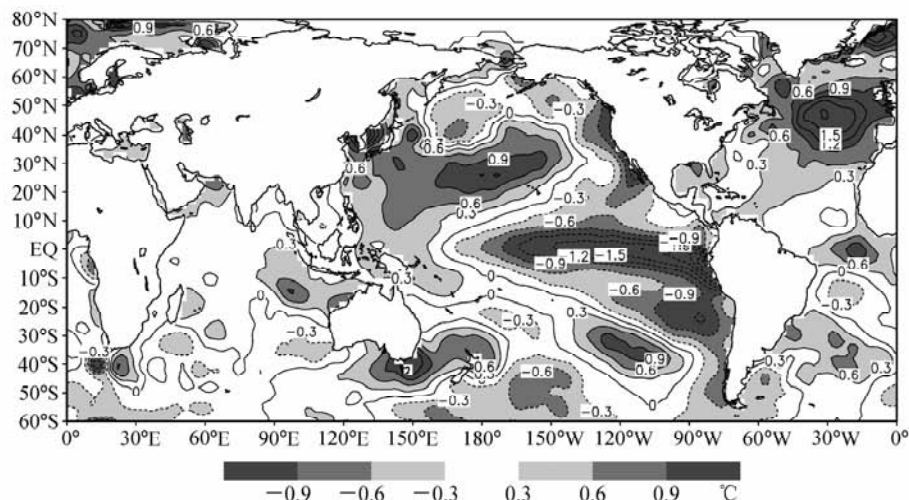


图 1 2007 年 12 月海温距平分布。实线和虚线分别为正和负距平, 阴影区由浅到深分别表示距平绝对值大于 0.3、0.6 和 0.9 区域
Fig. 1 Spatial distribution of SSTA in Dec 2007. Solid and dashed lines indicates positive and negative anomalies, and the light and dark shaded area indicates the anomalies absolute value above 0.3, 0.6 and 0.9, respectively

性试验, 共得到 2 组试验结果, 分别称之为黑潮暖海温试验 (KWT) 和北大西洋暖海温试验 (NAWT)。此外, 为了研究不同海温场强迫下, 大气环流响应特征的主要差异, 我们还设计了一个参照试验 (CT), 具体做法是以上 3 个月的海温取 1971~2000 年多年平均值, 然后由 1971~2000 年每年的 12 月 20~31 日 (共 360 个初始场) 分别积分到 2 月 8 日, 最后将这 360 个初始场积分所得结果进行合成得到模式的气候平均结果, 而将敏感性试验积分结果与模式气候平均结果相减即得到了所谓的敏感性试验结果的距平。

考虑到海温影响的滞后效应以及低温、雨雪冰冻事件主要集中在 1 月中下旬, 本文只分析 2008 年 1 月 10~31 日大气环流特征。

3 结果分析

3.1 大气环流实况

在中高纬度地区 850 hPa 风场 (如图 2a 所示) 上, 中西伯利亚和东北太平洋上空各是一个强大的反气旋中心, 而西北太平洋有一个气旋中心盘踞在勘察加半岛南部上空; 在 850 hPa 距平风场上, 则表现为在中西伯利亚和东北太平洋上空各是一个异常反气旋中心, 而勘察加半岛上空出现一个异常气旋中心 (图 2b), 表明中西伯利亚、东北太平洋反气旋环流以及勘察加半岛上空

的气旋环流均较一般年份偏强。中西伯利亚反气旋中心东侧盛行很强的偏北气流。低纬地区地中海东部和孟加拉湾上空维持气旋环流, 西太平洋维持反气旋环流, 中心在我国台湾岛上空, 距平图 (图 2b) 上在地中海附近、孟加拉湾地区附近也有异常气旋中心存在, 而在台湾岛以东洋面出现一个异常反气旋中心。孟加拉湾经中南半岛至南海地区盛行西南气流, 强度比一般年份偏强。它们与来自中高纬的冷空气持续在长江流域及其以南地区交绥, 导致了我国南方持续性低温、雨雪、冰冻天气的发生。这种环流型式建立后非常稳定, 整个 1 月中下旬各主要环流系统变化缓慢。

在 500 hPa 高度场上, 也很好地反映了上述环流的主要特征。中西伯利亚高压脊异常偏强, 有明显的急流分支。东亚大槽位置偏北偏东, 东北太平洋高压脊也很强。低纬地区南支槽活动异常活跃, 西太平洋副热带高压异常偏北偏强。这些地区都对应有明显的正、负高度距平中心。受中西伯利亚阻高的影响, 我国除受东路冷空气活动的影响外, 中纬度平直西风气流里, 不断有西路冷空气^[10]随着里海小槽东移。由于西太平洋副热带高压强度偏强, 位置偏北, 使冷空气移动受阻, 东移缓慢, 并沿高原的东北侧南下, 在我国南方地区堆积形成低温。另外, 由于西太平洋副热带高压西北侧西南风加强, 不断有暖湿空气

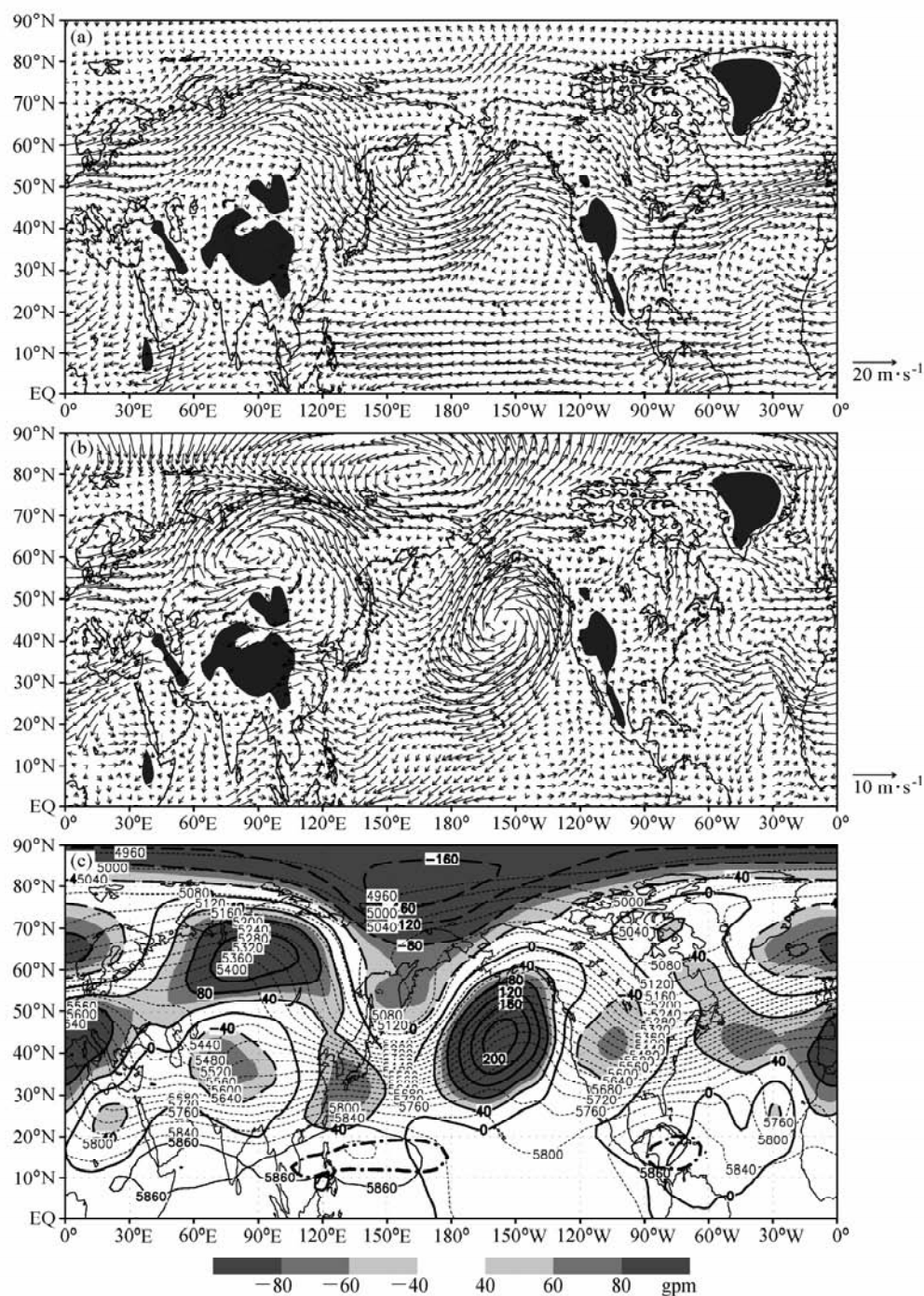


图2 2008年1月10~31日平均的 (a) 850 hPa 水平风场、(b) 850 hPa 距平风场 (阴影区为海拔高度超过1 500 m 的区域) 和 (c) 500 hPa 位势高度场及其距平 (短虚线为位势高度, 实线和长虚线分别为正、负距平, 点虚线为气候平均 5 860 gpm, 阴影区由浅入深分别表示正负距平绝对值大于 40、60 和 80 的区域)

Fig. 2 (a) Mean wind and (b) Mean wind anomalies at 850 hPa (the shaded area indicates the altitude above 1 500 meters) and (c) mean geopotential Height and its anomalies at 500 hPa (dashed lines for geopotential height and the solid and long dashed lines indicate positive and negative anomalies, dot dashed lines stand for climate mean 5 860 gpm and the shaded areas indicate the absolute value of anomalies above 40, 60, and 80, respectively) during 10–31 Jan 2008

从孟加拉湾和南海输送到我国南方地区。导致冷暖空气在我国南方汇合, 进而造成我国南方地区冰冻、雨雪天气的发生和持续。

由上可见, 2008 年 1 月无论是对流层低层, 还是对流层中层大气环流异常最主要的特征是, 中高纬地区中西伯利亚阻塞高压非常稳定, 低纬地区南支槽活动异常活跃, 以及西太平洋副热带高压异常偏北和偏强。这些环流系统也是我们要模拟的重点。

3.2 模拟结果

由图 3 和图 4 可见, 黑潮区模拟的结果与北大西洋模拟的结果非常相似。在 850 hPa 上, 中西伯利亚的反气旋环流和北太平洋勘察加半岛附近的气旋中心, 无论是黑潮区或是北大西洋海温

的试验都模拟出来了, 只是强度比实况稍弱, 位置略有差异。在低纬地区, 地中海东部和孟加拉湾地区的气旋环流及西太平洋地区的反气旋环流也都模拟得较好, 不过与实况相比位置稍偏北。同样在 500 hPa 层上, 二者结果也非常类似, 地中海东部和孟加拉湾地区的低槽, 及西太平洋副热带高压模拟结果与实况也有较高的相似度。具体表现为中西伯利亚的高压脊强度加强, 勘察加半岛上空的中断低压加深, 导致东亚中高纬度地区偏北气流盛行, 冷空气南下频繁。同时在西南欧地区高压脊加强, 地中海东部槽加深, 导致不断有冷空气随西风带槽脊东移, 而我国东部到日本上空维持一个正距平中心, 位势高度偏高, 只是位置较实况偏北。在低纬度地区西太平洋副热

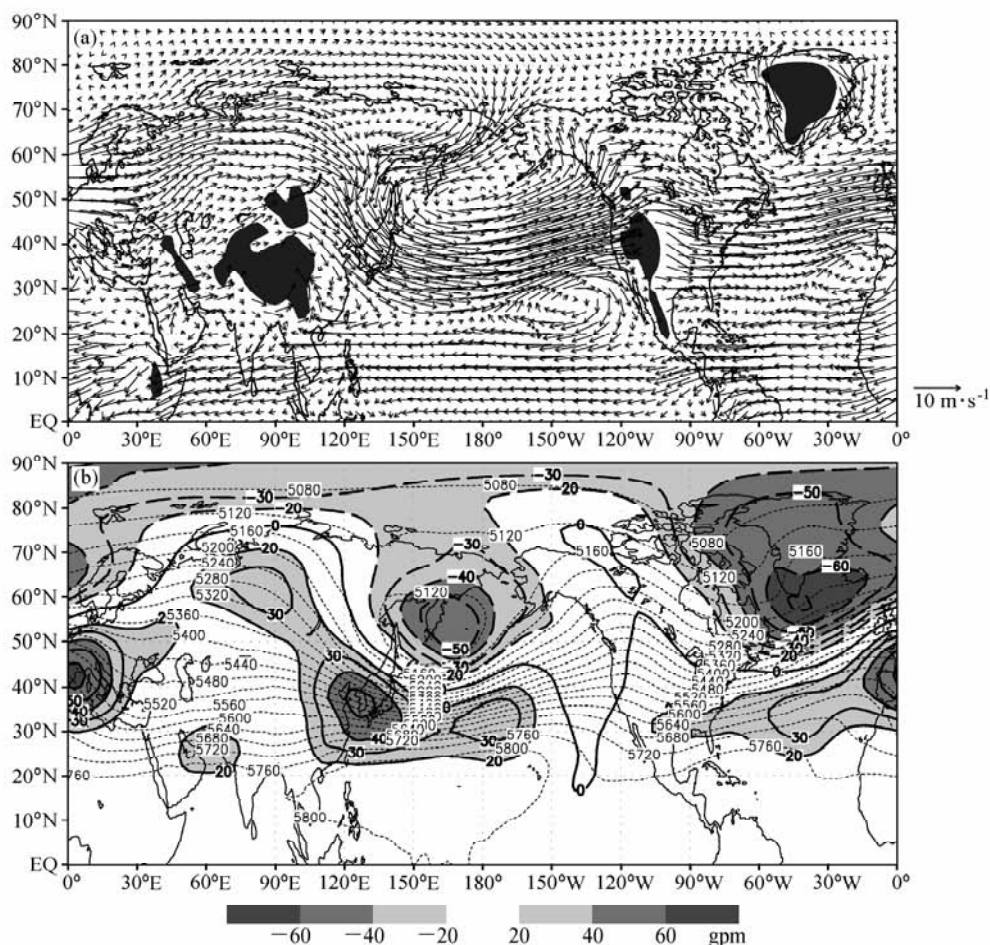


图 3 黑潮区海温偏高情况下模拟得到的 2008 年 1 月 10~31 日平均的 (a) 850 hPa 风场和 (b) 500 hPa 位势高度场及其与参照试验的差值 (阴影区由浅入深分别表示距平绝对值大于 20、40 和 60 的区域, 其他同图 2b 和 2c)

Fig. 3 (a) Mean wind at 850 hPa and (b) geopotential Height and its anomalies at 500 hPa during 10–31 Jan 2008 on model simulation test of positive SSTA over Kuroshio extension region (light and dark shaded areas indicate the absolute value of anomalies above 20, 40, and 60 respectively, others same as Figs. 2b and 2c)

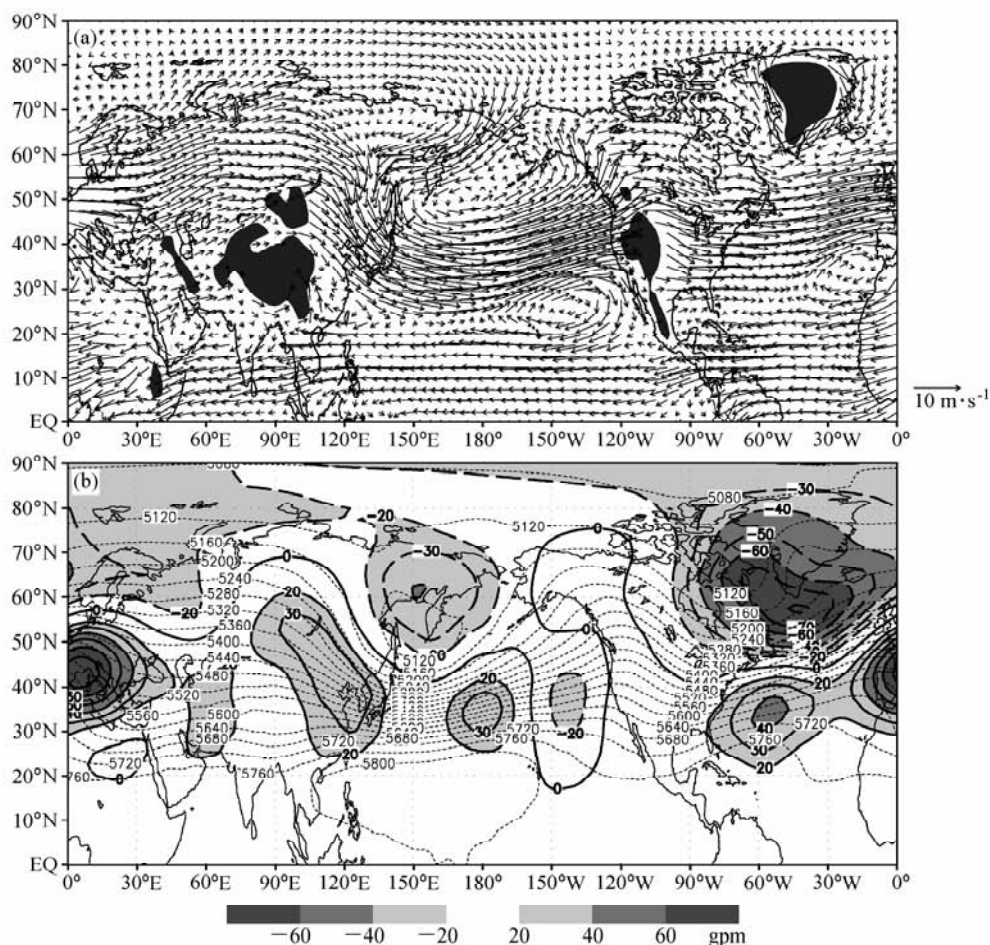


图4 同图3, 但为北大西洋海温偏高情况

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for positive SSTA over North Atlantic Ocean

带高压也表现为偏强、位置偏北, 只是强度不如实况那么大。与实况差异最大的是青藏高原地区上空的强负距平没有出现, 这说明该负距平的出现极可能是这一地区下垫面热力异常所导致的结果, 而与海温的关系不明显。

3.3 黑潮区和北大西洋区海温在我国南方冰冻雨雪天气中的作用

上述敏感性试验分析了大气环流在黑潮区、大西洋 SSTA 偏暖情况下 850 hPa 风场和 500 hPa 位势高度场上响应的主要特征。下面将进一步通过敏感性试验相对参照试验的距平场 (KWT-CT) 来分析 850 hPa 异常风场特征, 探讨这两个关键区 SSTA 在我国南方冰冻、雨雪天气灾害中的作用。

3.3.1 黑潮区海温的可能作用

图 5 给出的是黑潮区海温偏暖情况下模拟的 1

月 10~31 日平均的 850 hPa 距平风场 (KWT-CT) 分布。由图可见, 在黑潮及其延伸区上空为反气旋式距平环流, 阿留申群岛上空为气旋式距平环流, 在加拿大西北北冰洋上空为反气旋式距平环流。这一模拟结果不仅与吴国雄等^[11]的数值模拟结果一致, 即大气环流对副热带加热区定常响应表现为在副热带加热区下方的北侧异常反气旋, 而在中高纬表现为相当正压的 Rossby 波列特征; 而且也与吴国雄等^[12]利用旋转主分量法和投影方法研究热带和热带外 SSTA 情况下低空环流特征所得结论一致, 即太平洋正海温距平上方 850 hPa 流场, 热带外地区呈反气旋式距平环流, 热带地区呈气旋式距平环流。负海温距平上方的情况相反。由此可见, 黑潮区海温偏高导致了其北侧上空位势高度升高, 出现异常反气旋性环流, 造成 1 月中下旬西太平洋副热带高压位置偏北,

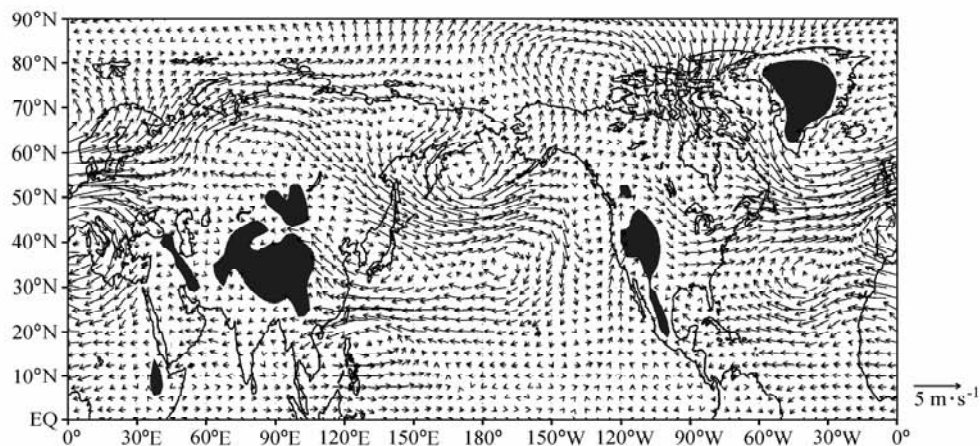


图 5 黑潮区海温偏暖情况下模拟的 2008 年 1 月 10~31 日平均的 850 hPa 距平风场 (KWT-CT) 分布 (阴影区为海拔高度超过 1 500 m 的区域)

Fig. 5 Mean abnormal wind (KWT-CT) at 850 hPa during 10–31 Jan 2008 on model simulation test of positive SSTA over Kuroshio extension region (shaded area indicates the altitude above 1 500 m)

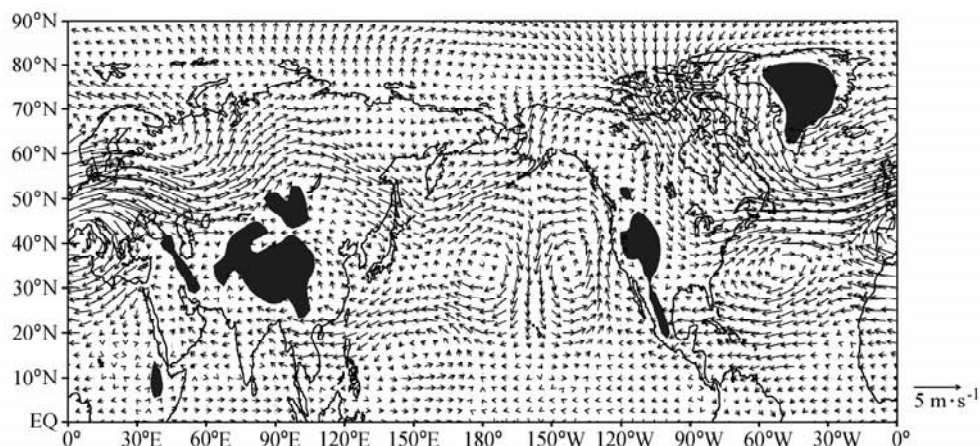


图 6 同图 5, 但为北大西洋海温偏暖情况

Fig. 6 Same as Fig. 5, but for positive SSTA over North Atlantic Ocean

导致来自海洋的暖湿气流加强, 并不断将水汽输送到我国南方地区, 有利于我国南方冰冻、雨雪天气的发生。同时黑潮区海温偏高还导致阿留申低压加深、气旋式距平环流加强, 进而把大量热量输向北美西部, 导致在那里产生了一个高压脊。这与实况也有很好的一致性。

3.3.2 北大西洋海温的可能作用

图 6 给出的是北大西洋海温偏高情况下模拟的 1 月 10~31 日平均的 850 hPa 距平风场 (NAWT-CT)。由图可见, 在北大西洋最大增温区南侧上空为反气旋式距平环流, 冰岛冷水区上空为气旋式距平环流, 这也与吴国雄等^[12]的研究结果一致。受上述环流影响, 北大西洋增温区上

空西风气流异常强盛, 把大量热量输向欧洲沿岸, 导致在地中海地区产生一个暖脊, 欧洲产生低压槽, 同时又通过能量频散作用, 导致中西伯利亚出现一个高压脊, 进而使得来自中高纬的偏北气流加强, 不断将冷空气输送到低纬地区, 进而影响我国南方地区。

4 结论和讨论

本文通过数值模拟分析了大气环流对黑潮区、北大西洋海温异常的响应特征并与实况进行了对比分析, 并初步探讨了这两个关键海温区海温异常在 2008 年 1 月我国南方冰冻、雨雪天气形成中

的作用,得到如下几个主要结论:

(1) 在考虑黑潮区和北大西洋海温都异常偏暖情况下,IAP-T42L9 模式比较成功地模拟出了 2008 年 1 月我国南方发生低温、雨雪、冰冻天气的主要环流特征。说明黑潮区和北大西洋海温异常对此次灾害的出现有很大作用。

(2) 黑潮区海温异常偏暖可引起西太平洋副热带高压异常偏北,它一方面不利于随中纬度西风带槽脊东移的冷空气向下游输送,使得冷空气沿高原东北侧南下在我国长江流域及其以南地区堆积;另一方面,加强了来自海洋的暖湿气流及其向我国长江流域及其以南地区的水汽输送,为我国南方雨雪天气形成提供了充沛的水汽条件。这是导致 2008 年 1 月我国南方低温、雨雪、冰冻天气持续的一个主要原因。

(3) 北大西洋海温异常偏暖对中高纬地区中西伯利亚阻塞高压的形成有重要作用。受其影响,我国除受东路冷空气活动的影响外,中纬度还不断有西路冷空气随着西风带槽脊东移影响我国东部地区。它是导致我国南方低温、雨雪、冰冻天气持续的另一个重要原因。

本文主要从黑潮区、北大西洋海温异常偏暖情况下探讨我国南方冰冻、雨雪天气形成的原因,得到理想状况下,黑潮区、北大西洋海温的影响作用。但实际情况极为复杂,不仅有其他海区的作用,而且还包括积雪、极冰和太阳辐射等因子的作用。对某些地区来说,可能陆面异常的作用更重要。如里海东部的低压槽,仅考虑海温影响情况下,没有模拟出来。因此有必要进一步深入研究陆面异常对大气环流的影响,分析其在我国南方雪灾中的作用,以进一步提高我国防灾、减灾的能力。

参考文献 (References)

- [1] 陶诗言,徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 1962, **32** (1): 1~10
Tao Shiyang, Xu Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yangtze and Hwai-Ho valleys in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1962, **32** (1): 1~10
- [2] 陈烈庭,吴仁广. 太平洋各区海温异常对中国东部夏季雨带类型的共同影响. 大气科学, 1998, **22** (5): 718~726

- Chen Lieting, Wu Renguang. The joint effects of SST anomalies over different Pacific Regions on summer rainbelt patterns in Eastern China. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (5): 718~726
- [3] 李琰,王亚非,魏东. 前期热带太平洋、印度洋海温异常对长江流域及以南地区 6 月降水的影响. 气象学报, 2007, **65** (3): 393~405
Li Yan, Wang Yafei, Wei Dong. Effects of anomalous sst in tropical Indian ocean and Pacific ocean on next June rainfall over the Yangtze River basin and area south of the basin. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1998, **65** (3): 718~726
- [4] 陈烈庭. 1972 年冬季世界性天气异常的环流特征及其与海表水温的联系. 科学通报, 1974, **19** (8): 372~375
Chen Lieting. Features of atmosphere circulation related to Global weather abnormal and its relation with sea surface temperature. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1974, **19** (8): 372~375
- [5] 张道民,纪立人,李金龙. 月数值天气预报的试验研究. 大气科学, 1996, **20** (4): 429~438
Zhang Daomin, Ji Liren, Li Jinlong. An Experimental Study on monthly numerical weather prediction. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1996, **20** (4): 429~438
- [6] 骆美霞,张道民. 实时海温对动力延伸(月)预报影响的数值试验研究. 应用气象学报, 2002, **13** (6): 727~733
Luo Meixia, Zhang Daomin. Numerical experiment on effects of real sea surface temperature on dynamic extended (monthly) forecasting. *Journal of Applied Meteorological Sciences* (in Chinese), 2002, **13** (6): 727~733
- [7] 张道民,纪立人,李金龙. 动力延伸(月)预报的季节变化和误差分析. 大气科学, 1997, **21** (2): 141~150
Zhang Daomin, Ji Liren, Li Jinlong. Seasonal variability and systematical error in dynamical extended range forecast experiments with the IAP Global Spectral Model. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1997, **21** (2): 141~150
- [8] 骆美霞,纪立人,张道民,等. 全球海温距平对月预报影响的数值试验. 大气科学, 1997, **21** (5): 552~556
Luo Meixia, Ji Liren, Zhang Daoming, et al. A numerical experiment of the effect of Sea Surface Temperature Anomalies on monthly forecasting. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1997, **21** (5): 552~556
- [9] 潘捷. 夏季欧亚中高纬持续异常环流研究. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2007
Pan Jie. The persistent anomaly of summertime circulation over Eurasian mid-high latitude. Ph.D. dissertation (in Chinese). Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2007
- [10] 吴乃庚,林良勋,李天然,等. 2008 年初广东罕见低温雨

- 雪冰冻天气的成因初探. 广东气象, 2008, **30** (1): 4~7
- Wu Naigeng, Lin Liangxun, Li Tianran, et al. Causality analysis of the cryogenic freezing rain and snow weather in Guangdong Province at the beginning of 2008. *Guangdong Meteorology* (in Chinese), 2008, **30** (1): 4~7
- [11] 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷, 等. 副热带高压形成和变异的动力学问题. 北京: 科学出版社, 2002. 231pp
- Wu Guoxiong, Chou Jifan, Liu Yimin, et al. *Dynamics of the Formation and Variation of Subtropical Anticyclone* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2002. 231pp
- [12] 吴国雄, 王敬方. 热带和热带外海表温度与低空环流相关比较. 气象学报, 1996, **54** (4): 387~397
- Wu Guoxiong, Wang Jingfang. Comparison of the correlations of lower tropospheric circulation with tropical and extratropical sea surface temperature anomalies. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1996, **54** (4): 387~397