

中国南方 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系^{*}

丁一汇 王遵娅 宋亚芳 张 锦
DING Yihui WANG Zunya SONG Yafang ZHANG Jin

中国气象局国家气候中心, 北京, 100081

National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

2008-09-20 收稿, 2008-10-06 改回.

Ding Yihui, Wang Zunya, Song Yafang, Zhang Jin. 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(5):808–825

Abstract The unprecedented disaster of low temperature, persistent rain, snow and ice storms, causing widespread freezing in the Yangtze River basin and South China in January 2008 is not a local or regional event, but a part of the chain events of large-scale low temperature and snow storms in the same period in Asia. Its severity and impacts were most significant in South China. The event was characterized by three major features: (1) snowfall, freezing rain and rainfall, the three forms of precipitation coexisted with freezing rain being the dominant factor responsible for this disaster; (2) low temperature, rain and snow, and freezing rain exhibited extremely great intensity, with record-breaking measurements logged down for 8 meteorological elements based on the statistics made by China National Climate Center and the provincial meteorological services in the Yangtze River basin and South China; (3) the disastrous weathers persisted for an exceptionally long time period, unrecorded before in the observation history of China.

There is no single cause for this event. It may be resulted from multiple factors that superimpose on and interweave with one another at the right time and place. Among them, the La Nina situation is a climate background that provided conducive conditions for the invasion of cold air into South China; the persistent anomaly of the atmospheric circulation in Eurasia is the direct cause for 4 rounds of cold air invasion into South China; and the northward transport of warm and moist airflows from the Bay of Bengal and the South China Sea finally warranted the formation of the freezing rain and snow storms and their prolonged dominance in the southern part of China.

A preliminary discussion of a possible association of this disastrous event with the global warming is presented. This event may be viewed as a short-term, regional perturbation to the global warming trend. There is not any possibility for this event to divert the long-term trend and the global pattern of the global warming.

Key words Low temperature, Freezing rain, Rain and snow storms, Trough in the southern branch of westerlies, Blocking situation

摘 要 2008 年 1 月中国南方发生的低温、雨雪、冰冻灾害不是一个局地或地区性现象,它是同期发生的亚洲大范围冰雪灾害链中的一环,在影响范围和灾害程度上是最严重的一环。它有 3 个主要特征:(1)降雪、冻雨和降雨 3 种天气并存,冻雨是导致南方致灾的主要原因;(2)低温、雨雪、冻雨天气强度大,根据中国国家气候中心和南方各省气象部门的统计及分析,有 8 项气象要素打破同期中国历史记录;(3)低温、雨雪、冰冻天气持续时间长,破历史记录。

这次低温、雨雪冰冻灾害形成的原因不是单一的,是多种因素在同一时段,同一地区相互配合和迭加的结果,其中 La Niña 事件是灾害发生的气候背景,它为雨雪冰冻天气提供了冷空气侵袭中国南方的前提条件;欧亚大气环流异常持续性是造成

^{*} 资助课题:国家科技支撑计划“全球环境变化应对技术与示范”01 课题“气候变化的检测和预测技术研究”(2007BAC03A01),国家重点基础研究发展计划“亚印太交汇区”海气相互作用及其对我国短期气候的影响,04 课题“亚洲季风区水分循环和变异机制”(2006CB403604)。

作者简介:丁一汇,主要从事气候及气候变化、暴雨、季风等研究。E-mail: dingyh@cma.gov.cn

冷空气不断侵袭中国南方的直接原因;孟加拉湾和南海地区暖湿气流的北上是大范围冻雨和降雪形成并持续在中国南方的必要条件。

关键词 低温, 冻雨, 雨雪灾害, 中国南方, 南支槽, 阻塞形势

中图法分类号 P462.4⁺1 P467

1 引言

2008 年 1 月 10 日—2 月 5 日中国南方经历了历史上罕见的大范围低温、雨雪和冰冻灾害,这次灾害持续时间长,影响严重,给南方的国民经济和人民生命财产造成了巨大损失,特别是对交通,能源供应,电力传输,通信设施,农业生产,生态系统和人民生活造成了严重影响,引起了国内外政府部门,防灾减灾机构和科学界高度的关注。同时,从科学上也提出了一些值得研究的重要问题。例如,在全球和中国气候不断变暖的条件下,为什么在中国南方会发生 2008 年 1 月罕见的严冬和雨雪冻雨天气?它有什么突出的特点?这次严重低温雨雪冰冻天气会不会改变中国,甚至全球气候变暖的格局?这样罕见的大灾或巨灾能否尽可能早地预报和预警?从目前的科技发展和科学认识水平看,要完全回答这些问题是困难的,但所提出的这些问题值得我们关注并做深入的研究。

关于 2008 年 1 月的低温、雨雪、冰冻灾害的科学问题,国内外已做了许多研究。概括起来,有 6 个方面:(1)灾害发生的气候背景^①(王东海等,2008;王绍武,2008;高辉等,2008),强调了 La Nina 事件和北极涛动(AO)异常活跃以及相关的中东高空急流加强与向东南传播的重要性;(2)灾害的主要特征及其与历史记录的比较(王绍武,2008;王凌等,2008;王遵娅等,2008;郑国光,2008),评估了这次灾害在不同地区和地点的严重程度及其在历史中的地位(破记录情况);(3)灾害的大尺度环流与天气过程(王东海等,2008;杨贵名等,2008;郑娟等,2008),着重分析了灾害期的大尺度环流特征与 4 次冷空气的东移和南侵过程,副热带高压的活动,南支槽的作用,水汽输送的状况等,强调了欧亚大尺度环流的异常稳定形势下西来冷空气不断地与南来暖湿气流在长江流域和华南交汇的过程;(4)冻雨和暴雨形成的天气和微物理条件(王东海等,2008;杨贵名等,

2008),尤其强调了近地面层冷空气层与其上暖层(逆温层)或融化层对冻雨形成的作用。破记录暴雪的发生与西南气流沿锋区持续地爬升有密切的关系;(5)致灾原因和影响的范围与程度。重点研究了对南方电网、交通、农业和生态系统的影响^②。尤其对电网和输电设施的影响更为引起关注;(6)重大低温雨雪冰冻灾害的中长期预报和预警问题(郑国光,2008;杨贵名等,2008)。根据预报的检验和评估,这次灾害的短期预报(1—5 d)是很准确的,对 4 次过程皆作出了比较准确的预报,但对更长时期的预报(15—30 d)尚缺少办法和必要的预警,由于这个时效的预报超过了中短期数值天气预报的可预报上限(2 周左右),目前尚难解决,需要通过今后的加强研究逐步建立起次季节(subseasonal)预报和预警系统。

通过以上的研究虽然取得了不少有意义的成果,但总体上看,研究仍是初步的,尚有不少重要问题未得到解答。这包括:(1)作为气候背景的 La Nina 事件对于中国冬季天气的影响主要是带来冷干的条件,为什么这次会发生异常的多雨雪天气?(2)异常稳定的乌拉尔阻塞形势和欧亚大范围地区气流分支为什么会维持这么久?是什么原因造成的?为什么会出现 4—5 次的西方路径连续东移并南侵入南方地区的冷空气活动?(3)暖湿气流是怎样形成的?为什么能与冷空气持久地在长江流域交汇并产生破记录的冻雨和雪灾?(4)气候变暖条件下为什么会发生如此严重的冰雪灾害?它与气候变暖的关系如何?这次严重雪灾是否会改变全球或区域气候变暖的趋势?本文主要针对上述问题中的(1),(3)和(4)进行有关的分析和讨论。着重于从亚洲和更大尺度来考察这次低温、雨雪、冰冻灾害的发生,并尽可能寻求它与气候变化的关系。

本文研究所用的资料为:(1)1951—2008 年中国 740 站逐日气象资料;(2)NCEP/NCAR 再分析资料;(3)日本气象厅发布的 Monthly Highlights on Climate System 2008 年 1—4 月号;(4)中国气象局

① Wen Min, Yang Song, Kumar A, Zhang Peiqun. 2008. An analysis of the physical processes responsible for the snow storms affecting China in January 2008. Submitted to Mon Wea Rev.

② 中国气象局与中国气象学会. 2008. 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害研讨会,北京.

国家气候中心气候诊断公报:2007 年 12 月—2008 年 4 月号。为了表述简洁起见,以下对 2008 年 1 月 10 日—2 月 5 日中国南方低温、雨雪、冰冻灾害简称为“0801 冰雪灾害”。

2 0801 冰雪灾害的主要特征

根据灾后国内外众多科学家和有关部门的分析研究,这次雨雪冰冻灾害除影响范围大、影响程度深以外,还可概括为以下 4 个主要特征:

(1) 它是同期发生的亚洲冰雪灾害链中的一环,并且是最严重的一环或一个地区

从 2008 年 1 月西亚、中亚及南亚诸国从西向东陆续遭到寒流袭击,亚洲大部分地区气温较常年同期偏低超过 2°C ,中亚地区较常年同期偏低超过 6°C 。地中海东岸、伊朗和伊拉克首都都出现了历史上罕见的暴雪,伊朗北部和中都积雪有 55 cm,伊拉克也降下了 100 年以来第 1 场雪。造成德黑兰交通混乱,部分政府机关和中小学临时关闭,有 21 人死亡,88 人受伤。中亚,吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦相继出现数十年罕见的破纪录严寒天气。阿富汗遭遇罕见的全国范围持续降雪并发生雪崩,共造成 60 多人死亡。南亚孟加拉国西北部亦受到强寒流袭击,出现明显降温。图 1 是 2008 年 1 月亚洲极端气候事件的分布。可以看到异常低温事件和雪灾分布在从西亚、中亚经过南亚到东亚的一条东西向带

状区中。在亚洲发生上述一系列严寒天气和暴雪过程中,一个最明显的特征是这种灾害性天气不断由西向东,从西亚经中亚和南亚,传播到位于东亚的中国,最后结束于日本地区。

由图 2 可以看到,亚洲异常低温区在 2007 年 11 月已出现在黑海以西的亚洲中西部地区,而黑海以东(包括东亚)是大范围气候增暖区(图略)。2007 年 12 月,主要异常低温中心区已移到中亚地区(图 2a)。2008 年 1 月,进一步向东扩展到东亚地区,可以看到中国南方出现一明显的异常向南伸展的冷舌区(图 2b)。到 2008 年 2 月,整个 40°N 以南的亚洲地区全为异常冷区(图 2c),以北为异常暖区,但降温的量值在减弱。从欧亚温度距平场看,温度距平分布与多年平均和这年冬季前期都反向,造成了南冷北暖的空间分布。由上可见,0801 冰雪灾害不是一个孤立的地区性事件,是 2008 年冬季整个亚洲大范围气候异常的一个体现,它也是西亚和中亚低温雪灾不断向东传播的结果。

(2) 降雪、冻雨和降雨 3 种天气并存,冻雨是导致南方致灾的主要原因

中国气象局的台站观测表明,安徽、江苏和浙江等偏东的省份以降雪为主,广东、广西等华南地区以降雨为主,其间以冻雨或雨夹雪为主。这种降水性质的南北不同分布是由气温、地形和大气环流以及云的微物理过程等因子决定的(图 3)。冻雨发生在

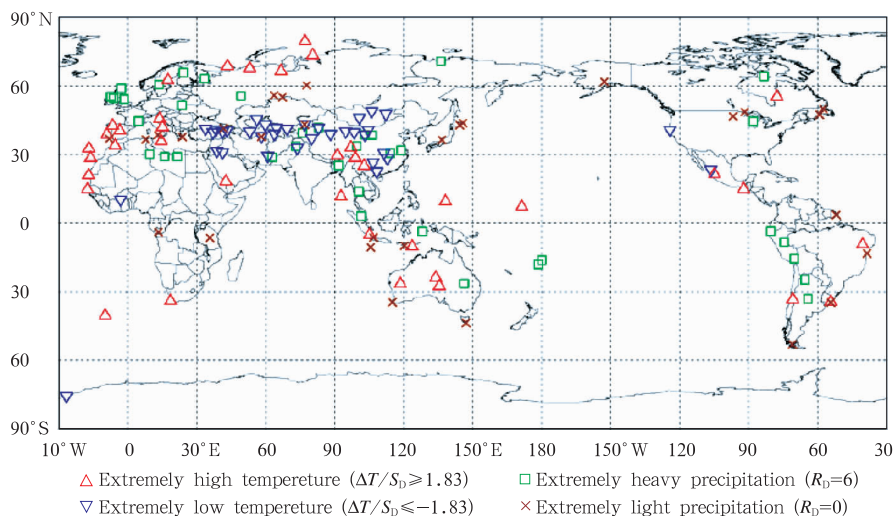


图 1 2008 年 1 月全球极端气候事件分布(取自日本气象厅,2008)

Fig. 1 Distribution of extreme events in 2008 January
(from Japan Meteorological Agency, 2008)

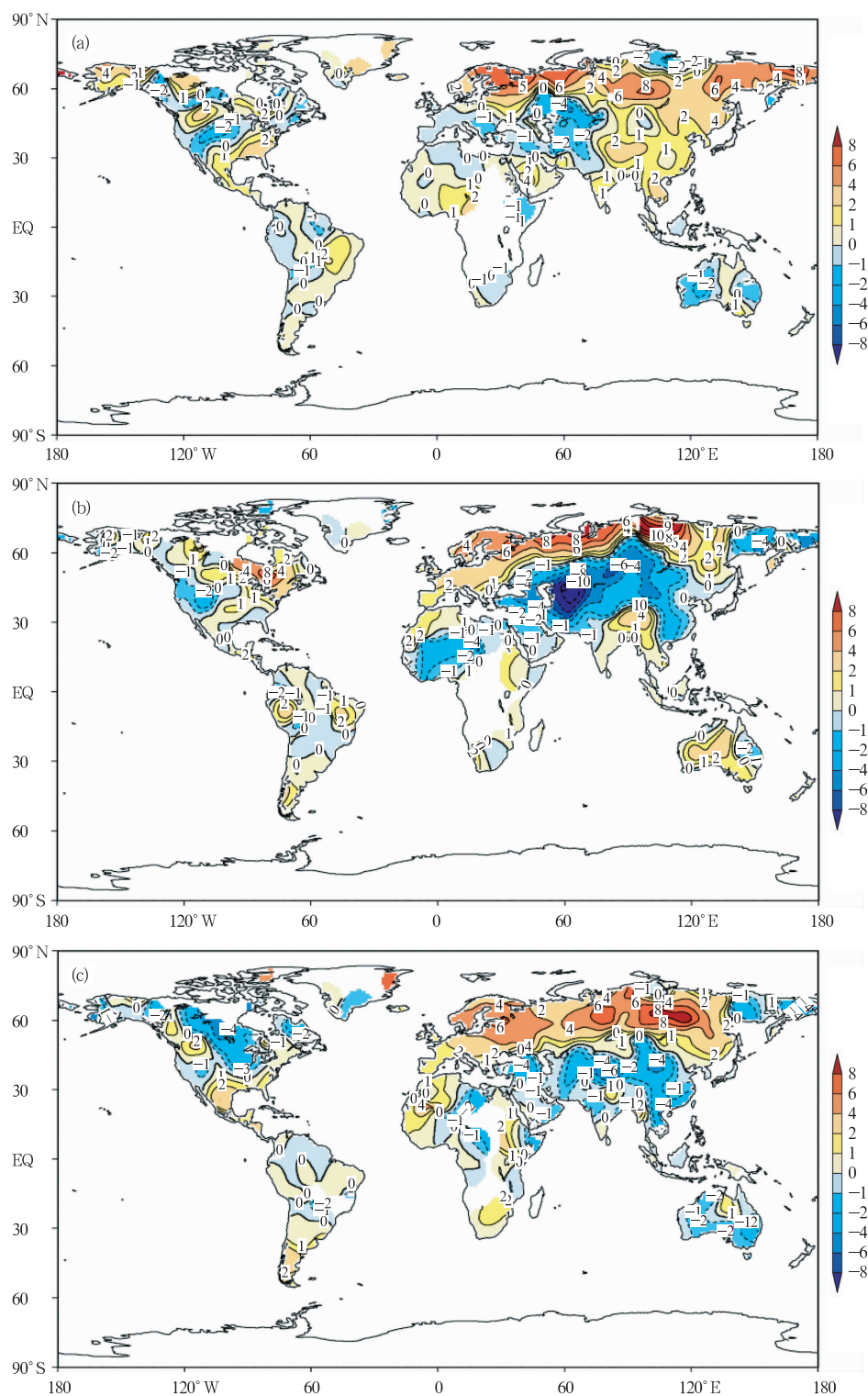


图 2 全球月平均温度距平分布

(a. 2007 年 12 月, b. 2008 年 1 月, c. 2008 年 2 月; 蓝色为负距平区, 红色为正距平区, 单位: $^{\circ}\text{C}$)

(取自中国气象局国家气候中心, 气候诊断公报, 2008)

Fig. 2 Monthly mean temperature anomalies in (a) December 2007, (b) January 2008, (c) February 2008. The blue color denotes the negative value and the red color denotes the positive value. unit: $^{\circ}\text{C}$ (from National Climate Center, China Meteorological Administration, 2008)

江西、湖南、湖北、贵州和云南等地区,这也是灾害最严重的地区。这个地区的冻雨日数已超过历史最大值。过去贵州每年都会受到冻雨的影响,其冻雨天数一般不超过 3 d(张家诚等,1985),不超过 30 个县,而此次有 79 个县均出现了冻雨,其冻雨日数、影响范围和电线积冰厚度均突破 1984 年 76 个县的历史记录。贵州中部以东部分县(市)结冰厚度超过 30 mm,其中万山结冰厚度达 83 mm,突破了威宁 1961 年出现的 53 mm 结冰厚度。贵州部分地区冰冻持续时间达 20 d。其次,江西冻雨持续时间也破历史记录,全县有 60 多个县冻雨持续时间长达 11 d,是该省有气象记录以来冻雨持续时间最长的。

冻雨并不是中国特有的冬季天气现象,在北美中东部(美国和加拿大)冬季经常发生暴雪和冻雨天气,最近一次严重灾情发生在 1998 年,造成这一地区大范围交通、电力、通讯中断等灾害。当灾情发生时还伴有强烈的大风。1942 年冬季是这个地区发生的第 2 个持续时间较长的严重冰雪灾害(当地称冰风暴)。当地科学家对冻雨研究较早、科学研究较深入。根据他们的经验,冰风暴持续 6 d 以上就足以酿成重大灾害。这种重大灾害大致每 25 a 会出现一次。因而中国南方的这次冻雨超过 20 d,在全世界都是极为罕见的,所造成的灾害也是空前的。

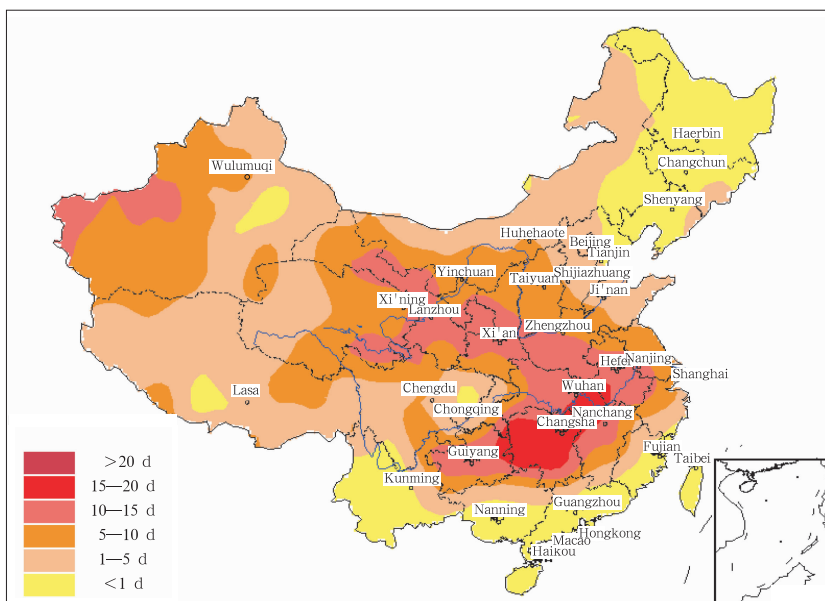


图 3 2008 年 1 月 11 日—2 月 3 日,中国冰冻日数分布(国家气候中心)

Fig. 3 Ice freezing days in China from January 11 to February 3, 2008

(from National Climate Center, China)

(3) 灾害强度大

这次持续的低温、雨雪、冰冻天气强度大,总体上表现为降温明显,日最高温度异常偏低,降水显著偏多。2008 年 1 月上旬中国长江流域是偏暖的,平均气温为 5—10 ℃,较常年同期偏高 2—4 ℃。1 月下旬,受冷空气频繁影响,南方大部分地区出现剧烈降温,长江以南大部分地区降温幅度达 10—20 ℃(图 4)。降温区从新疆开始,向东然后向南,顺青藏高原的北缘和东侧呈弧形展开,降温最显著地区是湖北、湖南、贵州、广西等地。长江中下游地区的最低气温降至 -6—0 ℃。日最高气温也显著偏低,与

常年同期相比,湖南、贵州、湖北、广西的平均最低气温偏低 2—4 ℃,平均最高气温则偏低 5—9 ℃。根据国家气候中心和南方各省气象部门的统计和分析(王凌等,2008),有 8 项气象要素打破同期中国历史记录,它们是:(1)平均最高气温异常偏低,达历史同期最低值。尤其是长江中下游及贵州的平均最高气温异常偏低,明显低于 1976/1977 年,达历史同期最低值,为百年一遇。一天中的最高气温与积雪融化密切相关,最高气温持续偏低不利于白天积雪和冻结地面(雨凝)融化,加剧了雪灾与冻雨灾害的持续影响。(2)该时段中国平均降水量为 1951 年以来历

史同期最大值。(3)长江中下游与贵州的冬季冰冻日数超过历史冬季最大值。(4)湖南、湖北雨雪冰冻天气为 1955 年以来持续时间最长。(5)贵州 43 个县(市)的冻雨天气持续时间突破了历史记录。(6)江西雨雪冰冻灾害为 1959 年以来最严重。(7)安徽

省降雪为有资料以来降雪持续时间最长。(8)江苏省区域性暴雪持续时间、积雪深度、影响程度为有记录以来之最,到1月29日08时,全省有18市、县(区)累积最大积雪深度达到或超过30 cm,部分地区为40 cm。

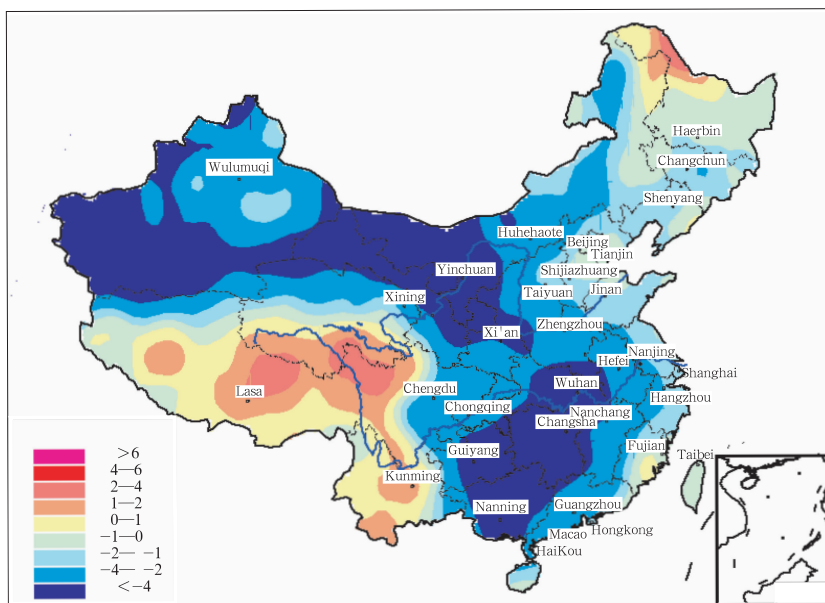


图4 2008年1月11日—2月3日中国温度距平分布(单位:℃)(国家气候中心)
Fig.4 Temperature anomalies in China from January 11 to February 3, 2008
(unit:℃)(from National Climate Center, China)

(4) 持续时间长,破历史记录

此次低温、雨雪、冰冻天气持续时间长。从历年冬季(上年12月1日至当年2月28日,2007/2008年冬季资料统计至2月18日)资料分析发现,2007/2008年冬季长江中下游及贵州连续低温(日平均气温低于 1°C)最长连续日数为18.7 d,多于1954/1955年冬季(16.7 d),为历史最大值(图5);最长连续冰冻日数为9.9 d,也超过1954/1955年冬季(8.6 d),达历史最大值。

部分省雨雪冰冻强度或持续时间超过历史极值。其中贵州省持续冰冻天气为有气象记录以来最严重的一次,冰冻影响范围及电线积冰厚度突破有气象记录以来极值,有 56 个县(市)的冰冻持续日数突破了历史记录。湖南省雨雪冰冻灾害为有历史记录以来范围最广、持续时间最长、损失最重的一年,冰冻站数为有历史记录以来最多,持续时间仅次于 1982/1983、1954/1955 年冬季。湖北出现自 1954/1955 年以来最严重的一次低温雨雪过程。大部地

区连续低温日数达 16—18 d, 为 1954/1955 年以来最长。连续雨雪日数 15—18 d, 为历史同期最长。江西省有 60 多个县市出现了冻雨天气, 持续雨雪冰冻天气为 1959 年有气象记录以来最严重。江苏省此次区域性暴雪过程历史罕见, 其持续时间, 积雪深度及影响程度都为有记录以来之最。安徽省持续降雪时间超过 1954/1955 和 1968/1969 年, 为有气象

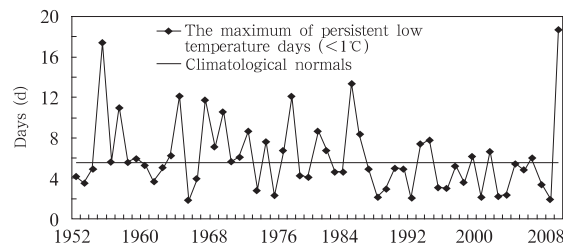


图5 冬季长江中下游及贵州日平均气温 $<1^{\circ}\text{C}$ 最长连续日数历年变化(国家气候中心提供)

Fig.5 Time series of consecutively persistent low daily mean temperature days ($<1^{\circ}\text{C}$) in winter in the mid-and lower reaches of the Yangtze River from 1951 to 2008

记录以来时间最长的一年。

这次雨雪冰冻灾害所以持续时间这样长,主要是由于欧亚大气环流形势非常稳定,使冷空气在一个月从北方连续4次南下到长江中下游和华南地区,并且近于沿同一路径移动。气象灾害形成的一个关键条件是同一地区受致灾天气系统连续不断地影响,结果使灾害一次比一次严重。这种情况对于夏季的持续性大暴雨/洪涝灾害(如1998年长江特大暴雨洪涝灾害)是如此,对这次低温、雨雪冰冻灾害也是如此。

3 0801 灾害发生的主要原因

对于0801灾害的原因,前面已经指出,国内外气象学家都做了一些研究,它们从不同侧面强调了不同原因。根据我们的研究,有3个原因是最基本的:一是拉尼娜事件的影响,虽然其它研究也强调拉尼娜事件的作用,但大多没有分析它是如何发生作用的;二是欧亚1月阻塞形势的异常发展和大气环流形势持续稳定;三是来自孟加拉湾和南海出现持续的大量暖湿空气的向北输送。总之,0801冰雪灾害的形成原因不是单一的,是多种因素综合作用的结果,它们在同一时段,同一地区,互相叠加,互相配合,最后导致异常持续、异常强烈的冰雪灾害。由于多种因素在同一时间、同一地区互相配合和增强的几率很低,因而这种灾害是十分罕见的,一般很少发生,这就是所谓的极端天气-气候事件,像前面所指出的,其出现概率至少是50年一遇。

(1) 2007年8月以后发生的强拉尼娜事件导致了全球性天气气候异常,中国0801冰雪灾害是这种全球性气候异常的表现之一

拉尼娜事件是一种海洋现象,它是指赤道地区中东太平洋海水表面温度持续异常偏冷的现象,而厄尔尼诺现象是呈相反的另一海洋现象,它表现为持续偏暖。一般将这个地区的海表温度至少连续6个月不高于 -0.5°C 定义为一次拉尼娜事件。这次拉尼娜事件与历史上相比是很强的,到2008年1月最低温度达到了 -2°C 左右(图6),并且这次拉尼娜事件是1951年以来发展最为迅速的一次,它一出现就迅速增强,因而也是拉尼娜事件的前6个月平

均强度最强的一次,其平均温度 -1.2°C 。无论是拉尼娜还是厄尔尼诺,一旦发生,就会对全球天气、气候产生明显的影响。这次拉尼娜事件在中国南方出现0801灾害之前和期间已经在南美、北美、欧洲等许多地区引起了异常的天气,如2007年11月底到12月初来自北极的寒流从北美西北部向南侵袭,与来自副热带的暖湿气流相遇,造成了暴风雪,袭击美国中西部和东北部以及加拿大东部,缅甸州北部积雪达51 cm。受其影响,许多机场关闭,公路交通瘫痪,电力供应受到严重影响,至少75人死亡。在南美,玻利维亚1月下旬连降暴雨,导致洪水泛滥,造成32人死亡。在亚洲,2007年12月和1月暴雨袭击东南亚诸国,在泰国南部,马来西亚和印尼,引发洪水和泥石流,造成马来西亚21人死亡,印度尼西亚131人死亡。所有这些事件大致都符合过去拉尼娜事件对秋、冬季全球气候影响的结果。

对于中国,拉尼娜事件发生的当年,一般秋季会造成北方降水偏多,南方降水偏少(何溪澄,2007)。对于La Nina对冬季风和冬季天气气候的影响,过去的研究表明(穆明权等,1999;陈文,2002;Zhang, et al,1996),La Nina达到盛期的冬季,东亚冬季风偏强,出现异常的北风。根据何溪澄等(2007,2008)对20个强(8 a)和弱(12 a)La Nina的冬季环流和天气气候的研究,得到了以下一些结论:(1)在欧亚高纬地区(60°N 以北)500 hPa上是大范围的正位势高度区,正中心位于新地岛附近,这表明高压脊或阻塞高压异常发展北伸,并且正值中心区通过了95%信度的 t 检验,而在西亚到中亚一带是明显的负距平区,表明有低槽或低涡经常发展。它与高纬的正距平区构成了北高南低的偶极子阻塞形势;(2)东亚沿岸为负距平区,东亚大槽偏强。中国东南沿海和南海地区处于偏北风距平区,冷空气偏强;(3)低纬菲律宾海和南海南部地区为负距平区,表明副热带高压偏弱、偏东,在850 hPa沿 $10^{\circ}\text{--}15^{\circ}\text{N}$ 是一异常气旋性环流;(4)孟加拉湾的南支槽偏弱;(5)在上述形势下中国南方温度偏冷,降水偏少。

上述研究表明,强拉尼娜事件发生的当年冬季,亚洲中纬度大气环流的经向发展会异常强烈。由暖空气构成的高压脊可向北延伸到极区,引导那里的

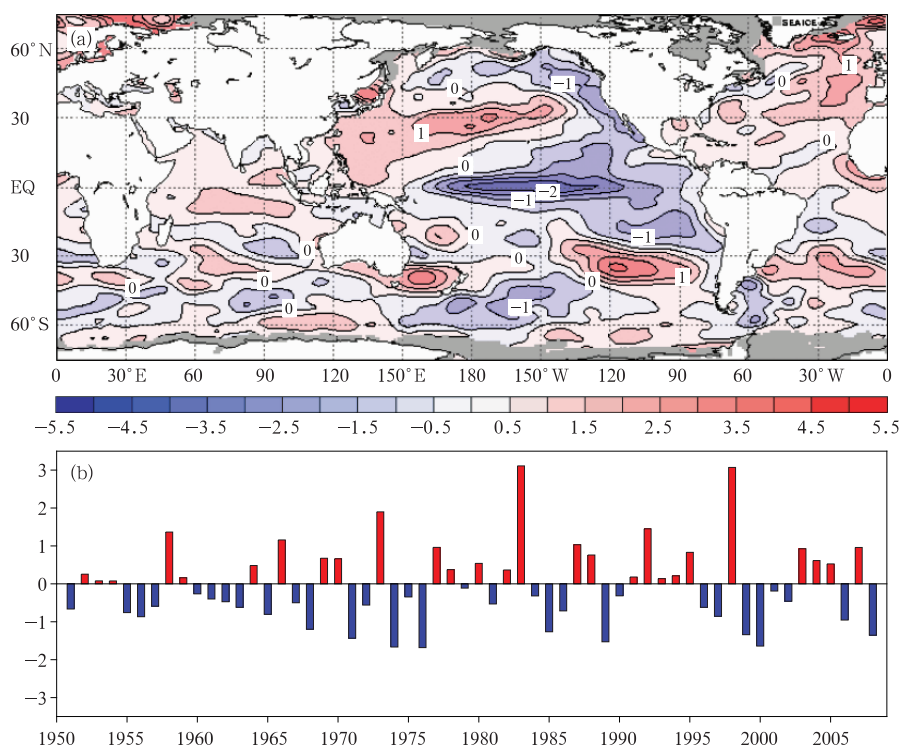


图 6 (a) 2008 年 1 月全球海表温度距平分布

(蓝色地区为冷海温,红色地区为暖海温)(日本气象厅,2008)。

(b) 1951—2008 年 1 月赤道东太平洋(NINO3 区)海温距平演变

Fig. 6 Sea surface temperature anomalies in January 2008. The blue color denotes negative anomalies and the red color positive anomalies.

(from Japan Meteorological Agency, 2008). (b) Time series

of SSTA of the NINO3 region in January from 1950—2008

极冷空气频繁南下,侵入中国,造成中国北方和东部大部分地区气温偏低,长江以北地区降水偏多,南方降水偏少。2007 年的秋季和初冬中国降水的实况与这种特征非常一致。当时南方正经历一场大范围异常的持续干旱少雨天气,这表明,拉尼娜事件的影响在前期秋季已十分明显。2007 年入冬以来,中国出现降水异常分布特征和历史上较强拉尼娜事件发生的冬季气候特征十分相似,即中国大范围多雨雪,气温偏冷,尤其是长江以北地区,降水异常偏多。同时由于冷空气偏强,迫使冬季的多雨带从南岭以北南压到南岭以南的华南地区。而在北方多雪区与华南多雨区之间,即长江以南的两湖地区到贵州是雨夹雪或冻雨的天气。但这个中间地区的实际降水量(降雪和降雨)并不异常多,在贵州和湘西降水甚至是负距平。为什么夹在北方雪区和华南雨区中间的这个地区造成的灾害反而最为严重呢?上面已经指出,这主要是冻雨所致。后面我们还要专门说明这

个问题。由上可见,拉尼娜事件是 0801 灾害发生的气候背景,它为中国的雨雪冰冻天气提供了冷空气侵袭中国的前提条件。没有这种强冷空气频繁影响,冬季就不可能造成持续性低温和冰雪天气。

但应该指出,0801 冰雪灾害时期的大范围环流条件在中高纬欧亚地区是类似于上述 La Nina 冬季的平均环流条件,而在副热带和热带并不相似,如其副高位置偏北偏西,而不是偏南偏东;南支槽偏强而不是偏弱。根据文献(何溪澄等,2008),这种情况更像 El Niño 的冬季,因而造成的南方冬季天气气候是多雨而不是少雨干旱。为什么会出现这种北方像 La Nina 冬季,而南方和低纬地区像 El Niño 冬季的异常情况,其原因尚不清楚,值得进一步研究。

(2) 欧亚大气环流持续性异常是造成这次冰雪灾害的直接原因

2008 年 1 月欧亚大气环流出现明显异常,表现为北大西洋的高空强西风气流在欧洲突然分支,北

面的一支在乌拉尔山地区强烈地向北伸展,直到高纬的极地地区,然后从那里折转南下,引导寒冷的极地空气经中亚地区向东移动,不断以西方路径侵入中国。这种大气环流的阻塞形势,不但向北伸展的纬度异常高,而且持续日数超过 20 d,是多年平均出现日数的 3 倍多,为 1951 年以来该环流型式持续时间最长的一次(图 7)。在这样的环流形势下,冷空

气主要从西伯利亚地区连续不断的自偏北方向向中亚的稳定低槽中,然后沿河西走廊南下入侵中国,直接为中国自西向东与自北向南出现大范围低温、雨雪冰冻天气提供了冷空气条件。可以看到,来自巴尔喀什湖低槽中的冷空气经高原北部不断东移,以后又在中国东部、高原东侧南下。

冷空气主要由中亚以西方路径连续侵入中国是

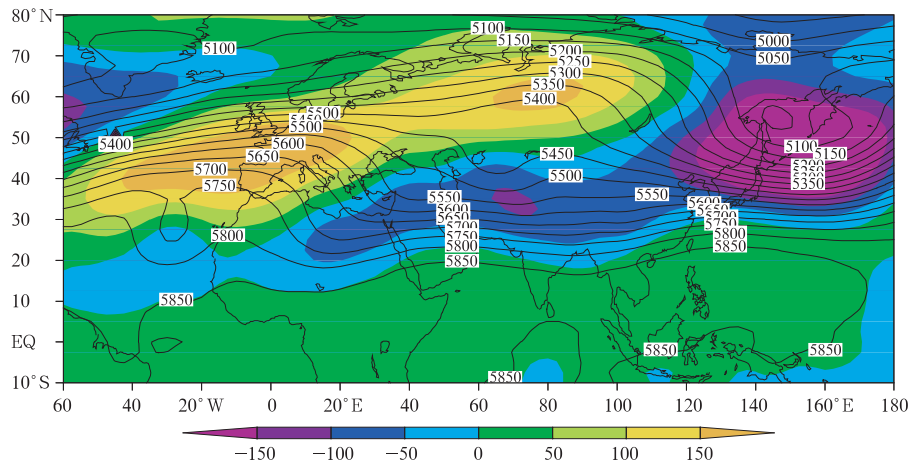


图 7 2008 年 1 月 11 日—2 月 3 日平均 500 hPa 环流形势

(等高线单位:gpm,阴影区表示高度距平值(相对 1971—2000 年冬季平均值))

Fig. 7 Mean circulation pattern at 500 hPa from January 11 to February 3, 2008, with the shaded areas denoting height anomalies (unit: gpm)

这次冰雪灾害形成过程中重要的一个环流和天气特征。在上述稳定的偶极型乌拉尔阻塞形势下,至少有 4 次冷空气活动相继沿相近的西方路径从新疆侵入中国,温度距平场清楚地显示出由冷空气活动引起的降温分布(图 4)。来自中亚的冷空气是从该地区的稳定冷槽或低涡中不断分裂出来东移的。中亚冷槽或低涡是乌拉尔阻塞强烈发展使西风气流分支的一个结果。它的形成和长期稳定不但导致了我国北方偏西路径的连续冷空气活动,而且对于孟加拉南支槽的形成也起着重要作用,它可使冷空气由青藏高原西侧流向伊朗和印巴地区,以后使孟加拉南支槽加强。南支槽的明显发展是产生冻雨和雪灾的一个关键因子。图 8 给出了 0801 灾害期乌拉尔阻塞,中亚低槽和孟加拉南支槽 3 个关键区 500 hPa 高度距平场的逐日变化及其平均相关系数。可以看到,乌拉尔阻塞与中亚低槽为反向变化,相关系数为 -0.41 ,中亚低槽与孟加拉湾南支槽是同向变化,相关系数为 0.73 。乌拉尔阻塞与孟加拉湾南支槽之

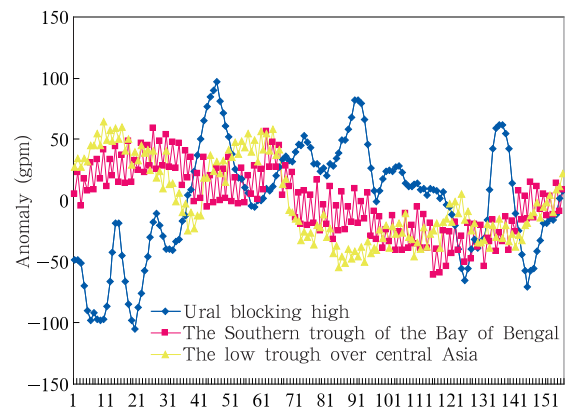


图 8 0801 冰雪灾害期乌拉尔阻塞(55—65°N, 70—90°E)、中亚低槽(30—40°N, 65—75°E)和孟加拉湾南支槽(15—25°N, 85—95°E)3 个关键区平均 500 hPa 位势高度距平的变化(单位:gpm)
Fig. 8 Evolution of geopotential height anomalies of the Ural blocking high (55°—65°N, 70°—90°E), the low trough over Central Asia (30°—40°N, 65°—75°E) and the southern trough of the Bay of Bengal (15°—25°N, 85°—95°E) from January 1 to February 8, 2008 (unit: gpm)

间基本上是反向变化,相关系数为 -0.24 。上述变化的相关关系说明,中亚低槽或低涡的发展和持续稳定是这次冰雪灾害的一个关键系统,而它的形成又取决于乌拉尔阻塞形势的发展和长期稳定。此外,应该指出东亚大槽在这个期间是偏强的(图 7 中东亚沿岸的大范围负距平区),因而从西北路径或东北路径也有冷空气南侵。

另一方面,西太平洋副热带高压脊线位置明显偏北(见图 7 中西太平洋地区为大范围正距平区),从多年平均的 1 月的 13°N 北进到 17°N ,为 1951 年以来 1 月脊线的最高纬度。这种情况下,副热带高压西侧的偏南风把南方暖湿空气向北输送,造成冷暖空气在中国长江中下游及其以北地区交汇,使早期(21 日以前)安徽、江苏、浙江等省出现大雪。之后,副热带高压南移,强度减弱,冷暖空气交汇区也随之南移,低温雨雪冰冻主要集中在长江中游及其以南地区,这个时期也是冻雨明显发生的时期。前面已经指出,副热带高压偏强且位置在冬季这样偏北,并不是平均拉尼娜事件对冬季影响的表现。为什么会出现这种异常尚不清楚。

(3) 孟加拉湾南支槽的加强和水汽输送是大范围冻雨和降雪产生的必要条件

来自西亚绕过青藏高原到达中国南方的西南气

流是一支暖湿的气流,它会同从中印半岛—南海地区向北输送的暖湿空气,共同与南下冷空气在长江中下游和湘黔地区在低层形成强烈的空气辐合,导致空气上升,形成降水。同时它们也为降水带来源源不断的水汽供应。更为重要的是,暖湿气流的北上在 $1000\text{--}3000\text{ m}$ 气层形成了一个暖湿层,使冻雨得以形成。因而没有来自孟加拉湾强烈的暖湿空气输送,这次雨雪冰冻灾害不可能有持久性的冻雨发生,而主要表现为江南以北是降雪,华南是降雨的一般性冬季降水分布,与正常情况下的强寒流入侵中国时的降水分布无异,在西南地区一般也只形成几天的冻雨天气。为什么会从孟加拉湾地区有如此持久性的强暖湿空气向东北方向输送呢?前面已经指出,这与欧洲强西风分成两支后,南面的一支西风非常活跃和强盛有关。这支西风在孟加拉湾地区受青藏高原大地形的影响在孟加拉湾地区形成南支槽。自 2008 年 1 月中旬以来南支槽活动频繁,强度加剧,是近十多年来少有的(图 9)。由图可见,孟加拉湾南支槽在气流场和高度距平场上都是十分明显的。其槽前是强西南气流,它和北方西北气流在江淮地区汇合。南支槽的稳定活跃有利于其前部的西南风把来自印度洋和孟加拉湾地区的暖湿气流沿云贵高原不断地向中国南方输送。

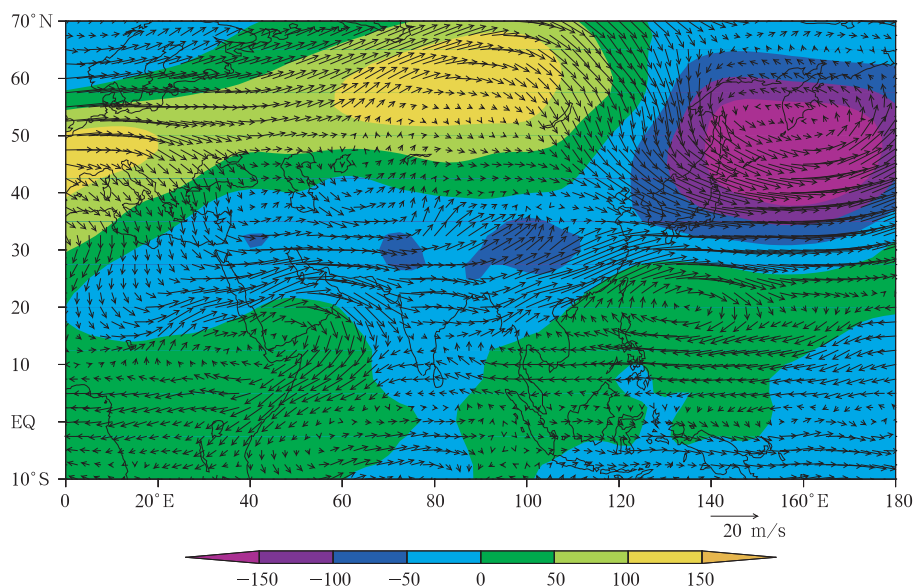


图 9 2008 年 1 月 10 日—2 月 3 日 700 hPa 平均流场
(阴影区为 700 hPa 高度距平,单位:gpm)

Fig. 9 Streamline field at 700 hPa from January 10 to February 3, 2008, with the shaded areas denoting height anomalies (unit: gpm)

南支槽的形成与沿南支西风东传的上游环流系统密切相关(图 10)。首先,它与西亚—地中海—北非的高压系统密切相关,两者有明显的负相关,(参见图 9 中的地中海地区的高压脊),又与上游北大西洋北部地区的气压场为正相关。另一方面,与下游西太

平洋地区的气压场成负相关(副热带高压北部)。因而从北大西洋北部经西亚、南亚到东亚和西太平洋存在一个明显的波列沿南支西风传播。以孟加拉湾南支槽为中心的正相关区范围相当广泛,北面包括中亚,东面到中国的西南、华南大部和中印半岛。

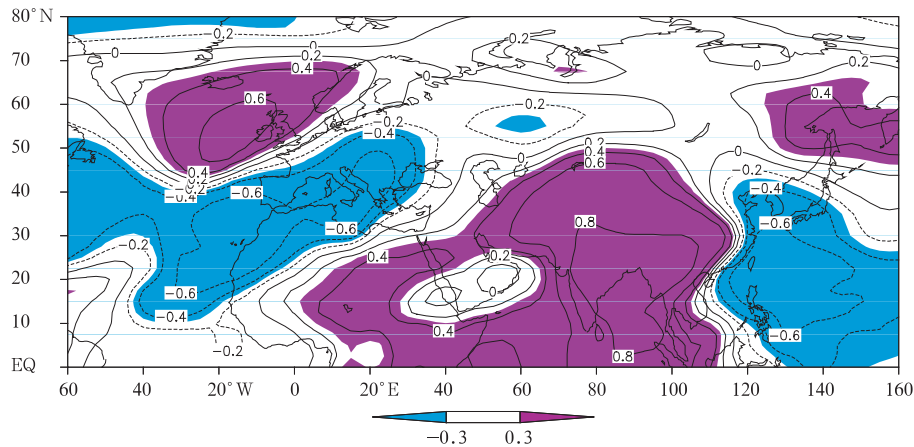


图 10 2008 年 1 月 10 日—2 月 3 日南支槽区(20°—27.5°N,85°—95°E)700 hPa 高度场与亚洲 700 hPa 高度全场的相关(阴影区可通过 95% 信度的区域)

Fig. 10 Simultaneous correlation coefficients of the geopotential height at 700 hPa between the southern trough of Bay of Bengal (20°—27.5°N,85°—95°E) and whole Asia, with shaded areas exceeding the 95% confidence level

图 11 是沿 25°N 700 hPa 高度的经度-时间剖面。可以看到,在 2008 年 1 月 10 日—2 月 6 日有两次负距平区(低槽区)从西向东传播,一次是从北非经西亚传播到中亚南部(20°W—70°E),这与西亚—中亚的低温暴雨天气(图 1)相对应。另一次是由 1 月 21 日开始,孟加拉湾(80°E 附近)的南支槽不断的向东传播,在 2 月初到达 120°E,它正与 0801 冰雪事件的盛期相对应。因而,这两次南支西风上波动(低槽)的先后向东传播是造成亚洲 35°N 以南从西亚到东亚地区冰雪灾害的主要天气扰动。注意在 1 月 10 日以前,并未观测到这种波动的系统性传播。

在 850 hPa 流场图上,可以看到,3 支气流在西南和江南的辐合情况,一方面来自副高西侧的偏南气流从中印半岛北上与来自北方的冷空气在长江中下游形成一条东西向辐合线;另一方面这 2 支气流又与来自孟加拉湾的气流在西南地区形成南北向的辐合线,这大致对应于云贵准静止锋。这种形势,既

有利长江中下游的降雪,也有利于西南地区的雨夹雪(冻雨)的发生。另外,可以看到,200 hPa 南支急流位于 25°—30°N,南支波动正是沿此急流轴从西向东传播。中国南方的冰雪区位于日本南部急流中心入口区右侧的上升运动区(图 13),而在中心以北(左侧)是下沉区,结果形成一入口区的正环流圈。

南支槽从孟加拉湾北部向中国南方冰雪区输送了大量水汽,并在南方形成了大范围水汽辐合(图 14a,b),由图 14a 可见,主要的水汽通道是从孟加拉湾北部延伸到中国的南方地区,它主要位于南支槽前的西南气流中。图 14b 中南方的水汽辐合区由于横断山脉的地形作用,主要位于山脉以东,可以看到西南地区有一条明显的水汽辐合带,它与 850 hPa 流场图上(图 12)的南北向辐合线一致,计算表明,1 月 22 日以来由南支槽产生的水汽输送要明显大于来自南边界(南海和中印半岛)的水汽输送,这对应于冰雪发展的盛期(图 15)。

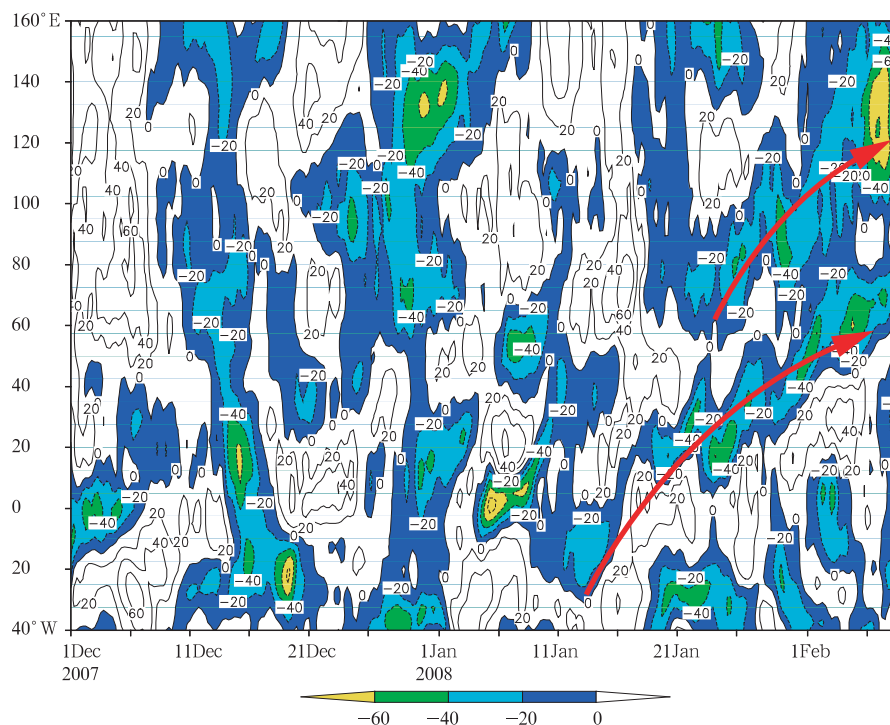


图 11 2007 年 12 月 1 日—2008 年 2 月 6 日沿 25°N 700 hPa 位势高度距平的
经度-时间剖面 (阴影区为负值区;单位:gpm)

Fig. 11 Longitude-time section of the geopotential height anomalies at 700 hPa
along 25°N averaged from December 1, 2007 to February 6, 2008
(unit: gpm). (Shaded areas denote negative anomalies)

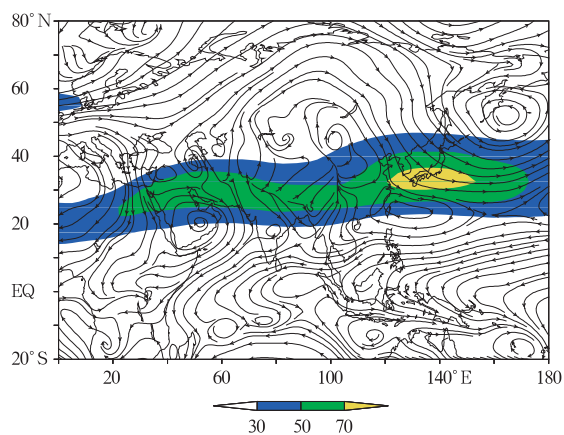


图 12 2008 年 1 月 10 日—2 月 3 日
850 hPa 平均流场

(阴影区为 200 hPa 副热带急流轴位置,单位:m/s)
Fig. 12 Streamline field at 850 hPa averaged
from January 25-February 3, 2008, with the
subtropical jet axis of 200 hPa
(shaded) (unit: m/s)

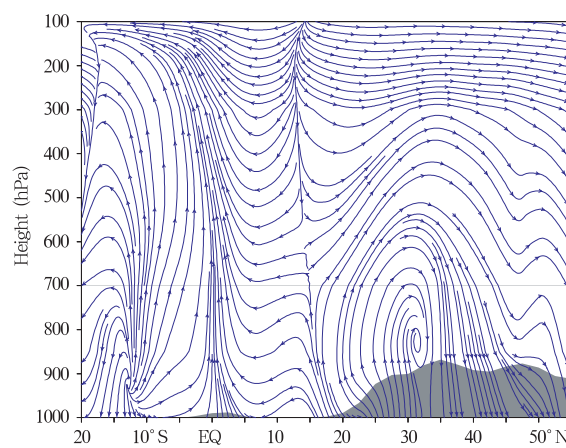


图 13 2008 年 1 月 25 日—2 月 3 日通过高空急流
入口区(115°E)的南北剖面上的垂直环流

Fig. 13 Latitude-altitude section of the streamline
field in the entrance region of the upper-level
jet averaged from January 25 to February 3,
2008 along 110°—120°E

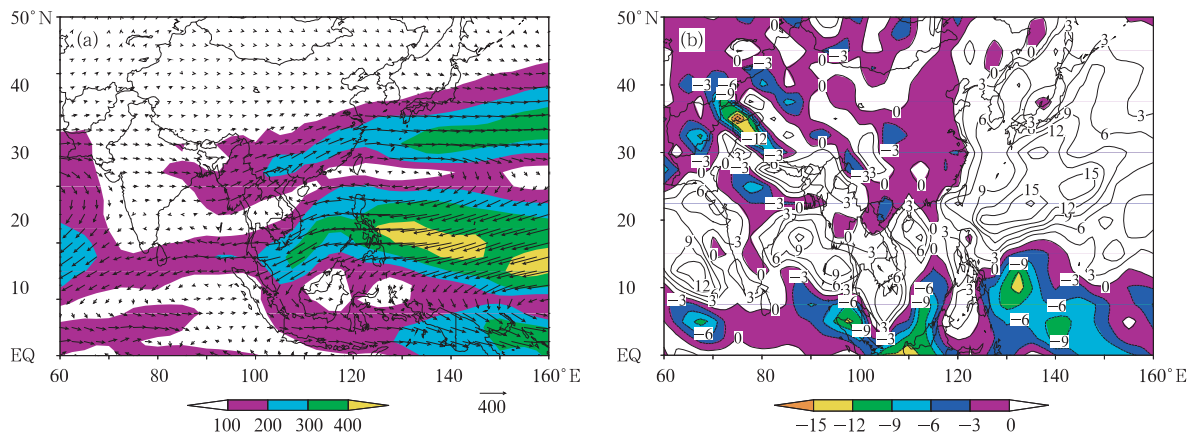


图 14 2008 年 1 月 10 日—2 月 3 日垂直积分的水汽输送通量(地表—300 hPa)分布

(a. 阴影区为水汽输送区,单位:kg/(m·s))和水汽辐合分布(b. 阴影区为水汽辐合区,单位:10⁻⁵ kg/(m²·s))

Fig. 14 (a) Water vapor flux vertically integrated from surface to 300 hPa from January 10 to February 3, 2008.

unit: kg/(m·s). (b) Divergence of water vapor flux vertically integrated from surface to 300 hPa

from January 10–February 3, 2008. Shaded areas represent convergence. unit: 10⁻⁵ kg/(m²·s)

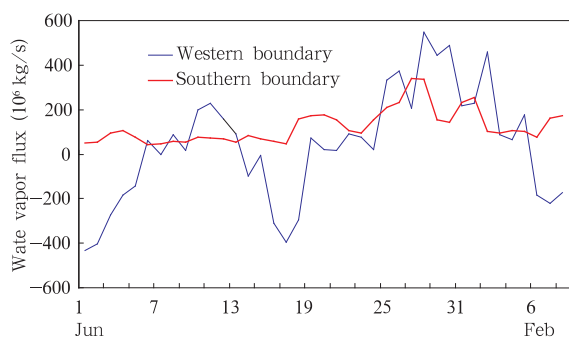


图 15 2008 年 1 月 10 日—2 月 3 日通过西边界 (100°E, 20°—27.5°N) 和南边界 (20°N, 100°—130°E)

一天 4 次整层地表—300 hPa 水汽输送通量的时间变化曲线

Fig. 15 Time series of the water vapor flux vertically integrated from surface to 300 hPa through the western boundary (20°—27.5°N, 100°E) and the southern boundary (20°N, 100°—130°E) from January 10 to February 3, 2008

(4) 长期冻雨的形成是 0801 冰雪灾害的主要成灾因子

冻雨(又称雨凇)是过冷却液态降水,主要是雨滴落到温度为 0℃以下的寒冷物体上冻结而成的一种坚实、透明或半透明的冰层。因而冻雨的形成主要与低层冷空气层的存在密切相关。这个条件在北方有强冷空气侵入中国时是容易满足的。北方的冷空气经西北、华北、长江南下后在长江以南呈扇形展

开并继续南下,当扇形空气的西南翼到达南北走向的横断山脉时,受高山阻挡,在山脉以东的广大区域内不断堆积,在云、贵、川、桂、鄂西、湘西的地面与低空 1500 m 以下,形成气象上称之为“冷垫”的冷空气层,为冻雨的产生创造了条件。在冷垫之上是一暖空气层,这个中间的暖层(又称融化层)也是十分重要的(王绍武,2008;Rafa, et al, 1991; Stewart, et al, 1992),它也成为降水型过渡层,在这个层中,可以只是雨夹雪天气,也可以是雨夹雪再加上冻雨与冰丸(包括冰粒或冰雹),一般有很高的降水率。它的宽度从几公里到上百公里不等,在大陆东岸的冬季风暴或温带气旋中经常可观测到。它实际上也是雨雪的分界区,一边是雨,一边为雪,其间过渡区为多种相态粒子的相互作用,包含微物理、热力和动力过程的复杂耦合。图 16 是沿 25°N 温度纬向距平经度-高度剖面。最明显的特征是在横断山(100°—105°E)以东地区,温度在垂直方向上呈“冷—暖—冷”的结构。观测表明,1 月中旬以来,湖南、贵州等地在 1500—3500 m 气层出现了明显的逆温层,逐渐加强并维持了近 20 d。逆温层之下,地面和低层气温长时间低于 0℃,形成了有利于冰冻产生的深厚冷下垫面。逆温层之上,温度随高度下降。逆温层是形成和长时间维持南方大范围冻雨发生的一个必要天气条件。王东海等(2008)的研究也表明,地面气温在 0—3℃,而在 850—700 hPa 形成中心大于 4℃的逆温层。29°N 以北逆温层较弱,天气主要

是降雪, 26°N 以南, 虽然仍存在强逆温层, 但近地面层温度较高, 转为雨区, 所以融化层或降水型过渡区约 3 个纬距宽, 与其他地区如北美和北欧相比是比较宽广的。Cloudsat 的雷达反射率观测表明(王东海等, 2008), 冰雪灾害盛期(如 1 月 28 日 06 时卫星观测), 在 $26^{\circ}\text{--}29^{\circ}\text{N}$, 112.5°E , 对应于逆温层 ($2\text{--}4\text{ km}$), 无冰粒子存在, 这是融化层的位置, 只在近地面层观测到冰粒子存在。沿着低层冷空气层从华南沿海上升的偏南暖湿气流向北滑升达到中高层后, 到淮河流域可上升到 10 km , 迅速凝结成长为过冷水滴或冰晶, 过冷水滴再通过贝吉隆过程变成大雪花。大雪花下降到暖层中融化成水滴, 水滴继续下降到冷空气垫上遇到物体再度凝结, 形成外冰内水的冰珠, 最终降落到地面, 产生冻雨。当地夜晚的寒气, 使这些冰水混杂的冻雨在地面、屋顶, 以及各种裸露在户外的公共设施上进一步凝结, 称为“雨凝”。由冻雨而“雨凝”, 由“雨凝”而冰, 伴随着严重低温, 这就造成了这次大规模的“低温雨雪冻雨”灾害。许多国内外的研究与天气实践的总结表明, 冻雨也可通过另外一种机制“过冷暖雨过程”形成: 由于云顶温度高, 冰晶难以形成, 雨滴在下降时通过碰并过程增长形成的大过冷却雨滴直接在地面物体上冻结, 形成冻雨。这种冻雨形成的前提条件是高层必须有下落的大云滴(直径大于 $40\text{ }\mu\text{m}$)。现在我们还不能确定由这种机制形成的冻雨在这次灾害中占多大比例。

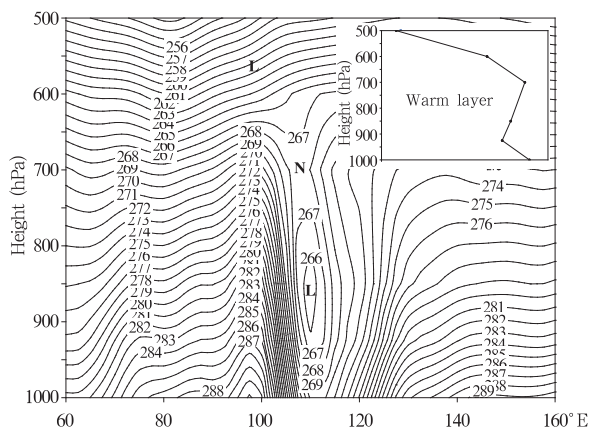


图 16 0801 灾害期沿 25°N 温度纬向距平的经度高度剖面 (单位: $^{\circ}\text{C}$), 右上角插图代表江南与西南地区平均的探空曲线

Fig. 16 Longitude-altitude section of temperature anomalies along 25°N (unit: $^{\circ}\text{C}$). Small figure presents the inversion layer over southern China

以上对于冻雨形成的分析是十分初步的, 国外在这方面的研究是很多的(Lin, et al, 1986; Rafa, et al, 1991; Stewart, et al, 1987, 1988, 1992), 主要是针对加拿大与美国东部以及北欧的冬季风暴中的降水型过渡区。研究包括: 过渡区降水类型和天气现象(如雷)的主要特征与热力和动力结构; 非绝热强迫的中尺度环流及其对两侧暴雪或冻雨的影响; 条件对称不稳定性的失稳; 雷达回波垂直亮带(代表 0°C 层, 是雪和雨层的分界层)的特征等。因而对 0801 冰雪灾害的问题尚需从微物理、热力和动力过程的耦合与相互作用方面进行更深入的研究。

4 0801 冰雪灾害与气候变暖的关系

在全球变暖的总趋势下, 气候变化的幅度变大了, 小概率、高影响天气气候事件发生的机会增加, 极端天气事件出现的概率在增加。即除气候的平均值或平均状态发生变化外, 气候变化幅度的增加也是十分明显(IPCC, 2007), 其结果是小概率事件发生的机会增加, 表现为高温热浪、强降水(包括强降雨和暴雪)等极端天气气候事件的发生频率增加。然而, 气候是一个复杂的系统, 全球气候变暖影响的方面不仅仅是这些方面, 还会通过各种复杂的过程影响全球与地区性能量与水循环, 并进而影响干旱与洪涝, 台风强度等。总体而言, 全球变暖会导致高温、暴雨等极端天气事件增加, 而严寒发生的频率一般会减少, 但局部地区、某些时段由于小概率事件发生的可能性增多, 常会有例外。诸如暴风雪、寒流会发生在暖冬季节的某一时段和某一地区, 并且温度下降和降雪量会明显增大, 2004/2005 年冬季和 2008 年 1 月的强烈严寒低温与雨雪天气就是发生在连续 21 a 的暖冬的大背景下的低概率事件。

全球气候变化的研究也表明(IPCC, 2007), 由于全球变暖, 降水作为降雨的可能性增加, 而作为降雪的可能性减少, 尤其是在大气温度接近冻结温度(0°C)的地区, 并且降雨或降雪强度增加。以冻雨为主要降水形态的 0801 冰雪灾害基本上反映了这个特点。虽然一个个例并不能与全球变暖的影响密切关联起来, 但从 0801 冰雪灾害的发生, 降水形式和强度等总体过程与特点看, 确实反映了气候变化或气候异常的影响, 这包括拉尼娜事件, 欧亚大气环流的异常与来自低纬异常强暖湿气流的作用等。这在前面已有阐述。但应该指出, 这些影响以目前

我们的认识,更多的是反映自然的气候异常或气候变化的影响。现在还没有充分的依据检测出人类活动造成的气候变暖对此次灾害发生的直接影响。这需要今后进行更多的研究加以阐明。但是这次大雪灾是发生在近20年全球与中国气候变暖明显的时期,通过与气候的偏冷期类似严寒冰雪事件的比较可以清楚地看到气候变暖对此灾害事件的影响仍是十分显著的。

中国的气候历史记录显示^①,自1951年以来,南方最严重的一次冷害发生在1954年冬天,这是发生在夏季长江最为严重的大洪水之后的一个冬天,雪区和冻雨范围和今年的冰冻雪灾差不多。根据记载,当年南方许多地区积雪深度为20—30 cm,最深处达1 m,除长江干流外,大多数江河湖泊全面封冻,冰层普遍厚16—25 cm,最厚处冰层达到1 m。淮河流域温度在-21—-18℃,长江以南在-8—-5℃,普遍降温在15℃左右。而今年的冷冻灾害尽管灾情严重,却没有关于江河封冻的报告(除洪湖、东湖和西湖有较短期的冻结报告外),降温幅度南方平均也只在4℃左右。1976/1977年也是一个严寒的冬天,洞庭湖、鄱阳湖、太湖等中国几大湖都封冻达7—10 d。这都是历史上很罕见的。

气候变暖影响的另一个方面是气温的下降主要表现为最高温度上,而对于最低温度,并没有破纪录。因为全球变暖对温度上升的影响主要表现在冬季最低温度上,由于它已上升到较高的值,因而它在这次冰冻灾害时期下降后也没有低于过去寒冷期50—70年代的值。但2008年“大雪灾”的某些指标,说是“百年一遇”,也不为过,例如湖南,湖北省雨雪冰冻天气的持续时间和影响程度超过了历史极值。0801冰雪灾害确是一次很少发生的极端天气事件,而且是一场给人们的生活、国家经济带来严重后果的灾难性事件。特别是在全球变暖、近年中国连续出现21个暖冬的大背景下,在中国南方出现这样恶劣的严寒,更是罕见。

这次雪灾,再次从科学上提出这样的问题,即大雪花和冻雨形成过程和机理,这给“云雾物理”研究者提出了新的课题。要真正回答、解决这个问题,不能只从宏观上分析,必须要有微观的雨雪形成过程的研究。比如,大量成雨、成冰、成雪的“云核”与“冰

核”从哪里来?我们的科学家必须要回答这样的问题。是否与长江流域和南方地区人为排放的严重的空气污染物(气溶胶粒子)有关?这需要进行研究。

另一个问题是这次亚洲地区出现的大范围低温、雨雪、冰冻灾害是否会改变全球变暖的趋势和大格局?

对这个问题的回答是否定的。灾害事件发生后不久,某些对气候变暖持不同意见的专家和政府官员对全球变暖的趋势提出了质疑。他们认为最近的大范围降温一扫过去一个世纪以来的全球变暖,地球正进入冰期。如美国参议院环境保护和公共工程委员会的共和党责任人马克·莫拉诺在博客上写到:“地球的热度退了,全球正在变冷”。这些说法对于近百年全球变暖的事实是一个误导。理解这个问题的关键是变冷和全球变暖是两种不同时间尺度的变化。由人类排放造成的全球变暖是百年尺度的变化趋势,其上叠加着各种原因(自然的和人类活动造成的)引起的短时间尺度,如年际或十年尺度或月,季尺度的变化。这也被称为温度的短期脉动或“噪音”。厄尔尼诺现象可以引起正的温度脉动,而拉妮娜事件,火山爆发,气溶胶排放,大范围沙尘暴以及大气环流的异常均可引起降温,虽然这种温度的变化幅度常常比全球增暖变幅大,但这是短时间的,一旦这种过程结束,全球变暖即很快恢复,重新显示出温度上升的趋势。在2008年冬季冰冻雪灾盛行的1和2月,全球1月平均温度确实下降到平均值以下,但2月以后逐步回升到平均值以上,3月份已在平均值上0.3℃左右。现在全球的气候监测表明,全球气候变暖的趋势并没有停止,并继续呈现上升的趋势,只是在1月受全球寒冷的冰雪天气短暂的干扰。这在实质上反映了自然的气候变化对全球气候变暖的影响。这种短时间的冷却干扰也包括火山爆发的冷却影响。每次火山爆发之后的1—2年内全球平均温度都有0.5℃左右的降低。如果仔细分析近百年全球平均温度曲线可以发现,在1988、1991、1992和1998年冬季都曾出现过类似的气温下降。20世纪50—70年代长期的温度下降,科学家认为是由全球污染物的增加(大气气溶胶)引起的。因为大气气溶胶或污染物的增加可更强烈的反射入射太阳光而使地面变冷。

① 陶诗言. 2008. 0801冰雪灾害的成因. 2008年1月低温冰冻雨雪灾害研讨会,中国气象局、中国气象学会主办。

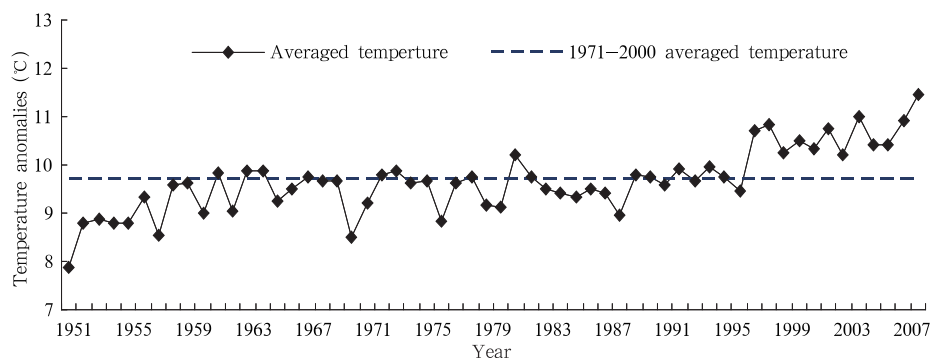


图 17 1951—2008 年 3—5 月中国地区平均温度距平曲线

Fig. 17 Temperature anomalies over China averaged from March to May during 1951 to 2008

至于是否会改变全球变暖的格局问题,回答也是明确的。这次事件只在短期内,区域尺度上改变增暖的地理分布。可以看到 1 月份由于亚洲大范围冰雪灾害的发生,使亚洲大部分地区的温度异常分布逆转或反向,过去 7 年中欧亚全区 1 月是普遍增暖的,而 2008 年 1 月则变为南冷北暖的异常分布(图 2)。这种变暖分布格局的变化是短暂的,区域性的。4 月以后则基本回复到欧亚全区又呈现变暖的趋势。从北非、欧洲、西亚、中亚到中国温度的升高都非常明显(图 11)。由上可见,2008 年 1 月的大范围冰雪灾害并不会改变全球变暖的趋势和分布格局,更不会逆转向冰期转换。

在全球变暖的背景下地球气候系统逐渐发生各种类型的短时期,区域性变动,它们常常会造成激烈的灾害。现在我们的认识水平和科技能力还难以预测它们的长期变化,这是全世界和中国科学家今后面临的一个挑战性的任务。但是复杂的气候系统模式为我们提供了强有力的工具,我们现在已经有能力预测未来 100 年或更长时期全球和区域气候变化的趋势,也初步可以预测未来可能发生的气候突然变化以及部分灾害性极端天气、气候事件。但由于气候系统是一个复杂的多种因子相互作用的系统,其预测的准确率不高。但可以相信,随着科技能力的迅速提高与对气候系统演变认识的不断深化,以及气候模式的改进,在今后 20 年中气候预测水平会不断提高,在防灾减灾与预警中会起着越来越大的作用。

5 结论和讨论

本文对 0801 冰雪灾害进行了 3 个方面的研究:

灾害的主要特征;灾害的成因和冻雨形成的天气学条件以及灾害与气候变化的关系。与国外同类型低温,冰冻,雨雪灾害相比,0801 冰雪灾害在上述几个方面都有明显的特征。

(1) 首先是灾害天气强度大,持续时间长,不但在国内有不少气象要素是破历史记录,与国外相比也是破记录的,尤其是冻雨日平均达 20 d,有些省份如湖南、江西以及贵州东部连续冻雨日 20—25 d,不但超过了 1954/1955 年冬季的历史记录,而且超过了北美中东部的冻雨记录。在这些地区,冻雨(又称冰风暴),如持续 6 d 以上就能造成重大灾害,它发生的频率约每 25 a 出现一次,持续 10 d 以上的冰风暴则极为罕见。0801 冰雪灾害的融化层或降水型过渡区十分宽广,在 300 km 以上,而在北美和北欧,皆不到 100 km,因而造成的冻雨范围很大。

(2) 0801 冰雪灾害是亚洲南部大范围低温冰冻雨雪灾害的一部分,具有大尺度,甚至行星尺度的原因,而北美中东部和北欧等地区的类似天气主要发生在冬季的风暴或温带气旋中,是一种区域性天气现象。0801 冰雪灾害在天气上表现为连续 4 次西方冷空气的东移和南侵过程。主要由冷锋/切变线天气系统造成。在这个期间,并未观测到温带气旋的明显发展。与夏季持续性暴雨灾害形成的过程类似,这需要大尺度环流系统的异常稳定,在其制约下,天气系统或天气过程具有相似的路径,从而造成严重的灾害。

(3) 十分稳定的欧亚环流形势是 0801 冰雪灾害发生的极重要大尺度环流条件。它表现为乌拉尔阻塞与中亚低槽形成的偶极子形势。它不但使冷空

气从西方路径入侵中国,而且导致上游强西风气流明显分支,使南支西风系统显著加强,以后南支气流上的扰动不断的把寒冷的冷空气带到西亚,中亚和南亚,在那里形成强烈的暴风雪。前面提到的上述地区的异常雪灾即由此产生。沿 25° — 30° N 东移的这支强西风经过青藏高原南侧之后,受青藏高原大地形影响,形成南支槽,其槽前的西南气流进入中国。由于长途在副热带地区移动,它逐渐变性,到达中国南方时,相对于北方南下的极冷的空气已转变为暖空气。又由于从孟加拉湾海面获得了大量水汽,这支气流实际上已成为很强的西南暖湿气流,它与副热带高压西侧的偏南风共同与沿青藏高原北侧南下的冷空气交汇于长江中下游与江南一带。没有这支来自欧洲后来变性为暖湿的西南气流,中国南方这次冰雪灾害也是不会发生的。因而由上可见,欧亚大范围地区气流分成两支分别从高纬度和低纬度绕过青藏高原向东流动,最后在长江流域汇合是造成这次冰冻雪灾的一个重要大气环流条件。它使两支完全不同性质的空气团(干冷和暖湿)长期在长江流域交汇,产生持续性大降水。这不但对冬季是如此,对夏季也是如此。每年夏季的长江流域的梅雨(6月中—7月中)也是发生在这种环流形势下。十分异常的是,夏季持续大暴雨的环流形势罕见地出现在冬季,是一次所谓“冬行夏令”气候(或时令)反常的具体体现^①。至于为什么西风急流会在青藏高原以西的欧洲地区分成南北两支,目前有不同的观点,一种观点认为它与北大西洋的大气涛动(NAO)或北极涛动(AO)有密切关系(王东海等,2008)。在亚洲发生冰雪灾害的前期 AO 处于正位相阶段,极地低压和包围它的高压带都处于加强阶段,这使其间的西风强烈加速,以后通过动力不稳定而分裂成两支气流。另一种观点认为中亚高空急流的加强并向东南移动是造成这次灾害的一个主要原因^②。上述观点表明,中国南方的雨雪冰冻灾害究其根源与欧洲和北大西洋地区的环流和海温异常,而最终又与北半球大气环流的异常振荡有密切关系。这表明全球的气候异常是这次中国雨雪冰冻灾害的基本原因。它清楚地说明即使对一个地区性持

续性天气、气候异常事件也是很大范围内,多尺度、多原因的复杂的科学问题。

(4) La Nina 冷事件是这次 0801 冰雪灾害发生和持续的气候背景。它与欧亚阻塞形势的建立和持续稳定有密切关系,并且东亚大槽偏强。这些条件有利于冷空气频繁的侵袭中国,但与平均的冬季 La Nina 事件不同,这次 La Nina 事件总体上产生了异常多的降水。本文的分析指出,活跃的南支槽和偏北偏西的副热带高压位置以及由它们造成的强暖湿气流的向北输送,并不符合一般冬季 La Nina 影响中国的环流与降水型,而是与冬季 El Nina 事件的影响结果相近。为什么会在西太平洋,南海,孟加拉湾等副热带和热带地区发生这种变异其原因尚不清楚,由于 La Nina 事件是一种由海洋引起的气候异常事件,对于 0801 冰雪灾害而言,可以认为是一种异常的气候事件,这就是说,气候预报员不能按平均的冬季 La Nina 事件的影响来预报这次灾害性的极端天气、气候事件。

(5) 0801 冰雪灾害与气候变暖关系是复杂的,本文对此只做了初步分析,并主要定性地对比分析了发生在气候变暖期的 0801 冰雪灾害与气候偏冷期冰雪灾害的差异。由此可以看出它们的明显差异。本文并未研究 0801 冰雪灾害成因与气候变暖的关系,因而目前无法把这次灾害的发生原因与气候变暖直接联系起来。本文的分析也指出,0801 冰雪灾害与同期发生在西亚,中亚和南亚的低温雪灾在月或季尺度上改变了欧亚的大尺度温度场和环流场,但并不能改变全球和中国气候变暖的趋势与格局。因而可以把这次低温冰冻雨雪事件看作是对全球变暖的一种扰动,这种情况与火山爆发造成的冷却趋势在结果上相似,只是性质不同,火山爆发是引起气候变化的外强迫,而 La Nina 是气候变化的内部变率。2004/2005 年冬季中国东部的低温冻雨灾害也引起气候变暖趋势的扰动(Auld, et al, 2004; 丁一汇等, 2007; 马晓青等, 2008)。这个问题值得进一步深入研究。

致谢: 本文所用资料由国家气候中心提供,特此表示感谢。

① 陶诗言. 2008. 0801 冰雪灾害的成因. 2008 年 1 月低温冰冻雨雪灾害研讨会,中国气象局、中国气象学会主办。

② Wen Min, Yang Song, Kumar A, Zhang Peiqun. An analysis of the physical processes responsible for the snow storms affecting China in January 2008. Submitted to Mon Wea Rew.

References

- Auld H, MacIver D, Kloassen J, et al. 2004. Atmospheric hazards in Ontario. ACSO science Assessment Series No. 3, Meteorological Service of Canada, Environmental Canada, Toronto, Ontario, 72pp
- Chen W. 2002. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 26(5): 595-610
- Ding Y H, Ma X Q. 2007. Analysis of isentropic potential vorticity for a strong cold wave during 2004/2005 winter. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 65(5): 695-707
- Ding Y H. Reasons for the unprecedented low temperature, rain and snow and ice freezing disaster in southern China in 2008 January under the warming climatic background//Collection of invited reports of China disaster prevention and mitigation forum (in Chinese). Beijing: June 24, 2008, 8-23
- Gao H, Chen L J, Jia X L, et al. 2008 The extensive low temperature, rain and snow and ice freezing disaster in China in 2008 January II: Reasons for the disaster. *Meteor Mon* (in Chinese), 34(4): 101-106
- He X C. 2007. Impacts of ENSO events on East Asian monsoon. Nanjing: Doctoral dissertation of Nanjing University of Information Science and Technology. 101pp
- He X C, Li Q P, Ding Y H, et al. 2007. Numerical simulation of East Asian winter monsoon with ENSO episodes using a regional climate model. *Acta Meteor Sinica*, 65(1): 18-28
- He X C, Ding Y H, He J H. 2008. Response characteristics of the East Asian winter monsoon to ENSO events. *Chinese J Atmos Sci*(in Chinese), 32(2): 335-344
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 996pp
- Lin C A, Stewart R E. 1986. Mesoscale circulation initiated by melting snow. *J Geophys Res*, 91: 13299-13302
- Ma X Q, Ding Y H. 2008. The relation between strong cold waves and low-frequency waves during the winter of 2004/2005. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 32(2): 380-394
- Mu M Q, Li C Y. 1999. ENSO signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon. Part I: observed data analyses. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 23(3): 276-285
- Rafa G B, Stewart R E, Donaldson N R. 1991. Microphysical characteristics through the melting region of a midlatitude winter storm. *J Atmos Sci*, 48: 844-855
- Stewart R E, King R. 1987. Freezing precipitation in winter storms. *Mon Wea Rev*, 115: 1270-1279
- Stewart R E, Patenaude L M. 1988. Rain-snow boundaries and freezing precipitation in Canadian East Coast winter storm. *Atmos Ocean*, 26: 377-398
- Stewart R E. 1992. Precipitation types in the transition region of winter storms. *Bull Amer Meteor Soc*, 73: 287
- Wang D H, Liu C J, Liu Y, et al. 2008. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the Southern China in January 2008. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 66(3): 405-422
- Wang L, Gao G, Zhang Q, et al. 2008. The extensive low temperature, rain and snow and ice freezing disaster in China in 2008 January I: Climatic characters and impacts. *Meteor Mon* (in Chinese). 2008, 34(4): 95-100
- Wang S W. 2008. Climatological aspects of severe winters in China. *Adv Climate Change Res* (in Chinese), 4(2): 68-72
- Wang Z Y, Zhang Q, Chen Y, et al. 2008. Characters of meteorological disasters caused by the extreme synoptic process in early 2008 over China. *Adv Climate Change Res* (in Chinese). 4(2): 63-67
- Yang G M, Kong Qi, Mao Dongyan, et al. 2008. Analysis of the long-lasting reason for the Cryogenic freezing rain and snow weather at the beginning of 2008. *Acta Meteor Sinica*, (in Chinese). 66(5): 837-850
- Zhang G G. 2008. An unprecedented low temperature, rain and snow and ice freezing disaster. *Meteor Knowledge*(in Chinese), (1): 4-7
- Zhang J C, Lin Z G. 1985. *Climate in China* (in Chinese). Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Press, 1985, 603pp
- Zhang R, Sumi A, Kimoto M. 1996. Impacts of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events. *J Meteor Soc Japan*, 74: 49-62
- Zheng J, Xu A H, Xu B. 2008. Contractive analysis of the freezing rain and heavy snow processes in 2008. *Meteorology and Disaster Reduction Research* (in Chinese), 31(2): 29-35

附中文参考文献

- 陈文. 2002. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. *大气科学*, 26(5): 595-610
- 丁一汇, 马晓青. 2007. 2004/2005 年冬季强寒潮事件的等熵位涡分析. *气象学报*, 65(5): 695-707
- 丁一汇. 2008. 气候变暖条件下我国南方 2008 年 1 月罕见低温雨雪冰冻灾害的原因//中国科协防灾减灾学术报告特邀报告文集. 2008 年 6 月 24 日, 北京, 8-23
- 高辉, 陈丽娟, 贾小龙等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析. II: 成因分析. *气象*, 34(4): 101-106
- 何溪澄, 李巧萍, 丁一汇等. 2007. ENSO 暖冷事件下东亚冬季风的区域气候模拟. *气象学报*, 65(1): 18-28
- 何溪澄. 2007. ENSO 事件对东亚季风影响的研究. 南京信息工程大学[D], 101pp
- 何溪澄, 丁一汇, 何金海. 2008. 东亚冬季风对 ENSO 事件的响应特征. *大气科学*, 32(2): 335-344
- 穆明权, 李崇银. 1999. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息. I: 观测资料分析. *大气科学*, 23(3): 276-285
- 马晓青, 丁一汇, 徐海明. 2008. 2004/2005 年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究. *大气科学*, 32(2): 380-394
- 王东海, 柳崇健, 刘英等. 2008. 2008 年 1 月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析. *气象学报*, 66(3): 405-422
- 王凌, 高歌, 张强等. 2008. 2008 年 1 月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析. I: 气候特征与影响评估. *气象*, 34(4): 95-100
- 王绍武. 2008. 中国冷冬的气候特征. *气候变化研究进展*, 4(2): 68-72
- 王遵亲, 张强, 陈峪等. 2008. 2008 年初我国低温雨雪冰冻灾害的气候特征. *气候变化研究进展*, 4(2): 63-67
- 杨贵名, 孔期, 毛冬艳等. 2008. 2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续性原因分析. *气象学报*, 66(5): 837-850
- 郑国光. 2008. 一次历史罕见的低温雨雪冰冻灾害. *气象知识*, (1): 4-7
- 张家诚, 林之光. 1985. *中国之气候*. 上海: 上海科学技术出版社, 603pp
- 郑娟, 许爱华, 许彬. 2008. 2008 年江西省冻雨和暴雪过程对比分析. *气象与减灾研究*, 31(2): 29-35