

2008 年初中国南方持续性冰冻雨雪灾害形成的温度场结构分析^{* 1}

曾明剑^{1,2} 陆维松¹ 梁信忠³ 吴海英² 濮梅娟² 尹东屏²

ZENG Mingjian^{1,2} LU Weisong¹ LIANG Xinzong³ WU Haiying² PU Meijuan² YIN Dongping²

1. 南京信息工程大学, 南京, 210044

2. 江苏省气象台, 南京, 210008

3. University of Illinois at Urbana-Champaign/Illinois State Water Survey, IL 61820, USA

1. *Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China*

2. *Jiangsu Provincial Observatory, Nanjing 210008, China*

3. *University of Illinois at Urbana-Champaign/Illinois State Water Survey, IL 61820, USA*

2008-04-23 收稿, 2008-12-20 改回.

Zeng Mingjian, Lu Weisong, Liang Xinzong, Wu Haiying, Pu Meijuan, Yin Dongping. 2008. Analysis of temperature structure for persistent disastrous freezing rain and snow over southern China in early 2008. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(6):1043—1052

Abstract Early 2008, a large-scale and persistent low-temperature, freezing rain and snow weather occurred in southern China. The disaster caused by freezing rain and snow storm was unprecedented, and broke the 50 years record in many areas. In this paper, we mainly discussed the geographical distribution characteristics of the three different types of precipitation, especially freezing rain, and reasons from temperature stratification status and horizontal distribution of surface and ground temperature. Analysis showed that the distributive characteristics of rain, freezing rain and snow from south to north was determined by different stratification status in different regions of northward inclined cold front zone in the mid-low troposphere and surface temperature conditions. Under above front conditions, there must also be a specific vertical temperature structure in the mid-lower troposphere, i. e. the existence of obvious inversion layer and lower surface or ground temperature conditions. The inversion layer exceeding 0 °C should possess suitable strength, thickness and height, it should be neither too thick and low nor thin and high. The type of precipitation will be rain if the inversion layer is too thick and low, and it will be snow or ice vice versa. It seemed that a subfreezing layer below 0 °C existed beneath the warm layer of 0—6 °C between 650 and 850 hPa. And under colder conditions in the subfreezing layer, freezing might occur even if the surface temperature was between 0—1 °C. Besides, if there is no suitable inversion layer for freezing rain, the ice-covered water drop, supercooled water or melted snow will freeze rapidly under conditions of lower surface and ground temperatures.

Key words Southern China, Persistency, Freezing rain, Temperature structure

摘 要 2008 年初, 中国南方发生了大范围、持续性低温冰冻雨雪天气, 冻雨、暴雪灾害历史罕见, 许多地方打破 50 年记录。文中主要从 3 种降水类型, 特别是冻雨的地域分布和促使其形成的温度场层结及地面温度分布特征方面讨论了 1 月 25 日到 2 月 2 日冰冻雨雪灾害最为严重的过程阶段。分析表明, 降雨、冻雨和降雪 3 种类型降水物的自南向北分布特征是由对流层中低层向北后倾的锋区在南北不同区域上的层结特征和地面温度条件决定的; 在倾斜锋区存在背景下, 在对流层中低层形成了产生冻雨的大气逆温特征和较低的地面(表)温度条件。逆温区大于 0 °C 的暖层应具有合适的强度、厚度和高度, 既不能太厚太低, 也不能太薄太高。如果太厚太低, 降水将会以雨的类型降落地面, 如果太薄太高, 降水则会以雪或冰粒子的类型出现。这次过程中 0—6 °C 的暖层在 650—850 hPa, 其下为低于 0 °C 的次冻层, 在次冻层温度较低的情况下, 即使地面(表)温度

* 资助课题: 江苏省气象局科研开放基金(200702)

作者简介: 曾明剑, 主要从事短期天气预报技术研究。E-mail: swordzjm@yahoo.com.cn

在 $0-1\text{ }^{\circ}\text{C}$,也可能形成冻雨或冰冻灾害。此外,在没有适宜逆温区存在的条件下,较低的地面(表)温度也能使“冰包水”物质、过冷却水滴降落到地面或雪融化成水后迅速凝冻成冰,或使冰冻维持而至灾。

关键词 中国南方,持续性,冰冻,温度结构

中图法分类号 P441

1 引言

低温雨雪,特别是冰冻、暴雪天气作为主要灾害性天气一直是气象科研和业务部门关注的重点,也是政府和公众每年冬季最关心的灾害性天气之一,因为它们对交通、电力、通讯、建筑等造成的灾害损失社会涉及面广,程度较深。2008年1月底到2月初中国南方发生的持续性冰冻雨雪过程所形成的冻雨、暴雪历史罕见,许多地方打破50年记录。回顾这次灾害的发生过程,南方多省电力中断、航空停运、大部分高速公路封闭,为正值春运高峰的交通带来了前所未有的压力。之所以造成如此严峻的局面,一方面是江苏、浙江、安徽、湖北等地暴雪、低温影响,另一方面,也是最主要的是连接中国南北、横贯东西的江西—湖南—贵州一带严重的冻雨灾害。

对暴雪天气的研究过去主要集中在青藏高原、西北和东北以及其他广大北方地区,如王文辉等(1979)对“77·10”锡盟暴雪的天气条件分析开始了中国对降雪天气的研究。王建中等(1995)从条件性对称不稳定(CSI)和局地对称不稳定(LSI)研究了一次强降雪的动力稳定性问题,指出降雪带中不同降雪中心有着不同的形成机理。王文(2000)、蔡晓军(2007)分别用CSI理论和非线性对称不稳定理论研究了高原暴雪发生的动力机制。张迎新等(2007)则从实际业务预报出发,研究了华北地区回流暴雪的天气学特征。还有一些研究(邓远平等,2000;胡中明等,2005;贾宏元等,2007;孙兴池等,2007;王东勇等,2006;杨成芳等,2007)通过诊断和数值模拟的方法从诸如大气环流、影响系统、地形影响、热力水汽条件、气候特征等方面研究了北方暴雪形成的机理和特点。总体而言,对北方暴雪的研究比较系统和全面,但对南方暴雪天气此前仅从预报经验、天气学分析和物理量诊断方面进行过少量的研究(曾欣欣等,2002;陈佩君等,2003;陈丽芳,2007)。冻雨的分布主要集中在贵州地区,其次在湖北、湖南、江西、安徽和辽东半岛也时有出现,对发生在北方的冻雨一些个例研究(陈天锡等,1993;

吕胜辉等,2004)分析了冻雨发生的天气形势和温度的垂直分布特征。赵思雄等(2002)在对北京的一次降雪过程的研究中指出,严重“地穿甲”很可能与该日的地面温度过低有关。贵州作为中国冻雨发生最集中的地区,当地气象工作者从短期气候预测模型的建立(许炳南,2001)、时空分布特征和环流分析(许丹等,2003)、各类滇黔静止锋结构下冻雨天气的产生条件(杜正静等,2007)、数值预报产品的释用(顾欣,2007)等方面做了许多卓有成效的研究总结工作。但上述研究仅局限于单点或有限区域冻雨的情况,而对类似本次过程绵延千余公里的冻雨带没有进行过研究。国外对冻雨的研究起步较早,Okada(1914)对发生在德国的一次冻雨天气过程利用冻雨区地面观测和邻近山峰(870 m)的观测资料进行了分析,指出在有接近饱和状态和足够上升运动且大于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的暖层和有次冻层存在条件下,容易形成“冰包水”物质并在地面冻结。Szeto等(1999)通过对加拿大东部一次由气旋引起的冻雨过程的数值模拟发现,冻雨区上空存在一个逆温层,逆温层下的次冻层将使融化后的雪再次冻结或成为过冷却雨滴,且逆温层的厚度决定了最终的降水类型。国内孙晶等(2007)通过对北方两次不同类型降雪过程的微物理模拟也发现了云中水成物类型分布与温度密切相关。Ronald等(1987)的研究进一步指出降水物的不同类型即雪、冰粒和冻雨分别处于逆温层和次冻层不同位置。Ronald等(1987)和The'riault等(2006)还通过数值模拟方法,研究了不同降水类型发生时的逆温层温度、厚度、次冻层厚度和地面温度等条件。Tremblay等(2000)模拟了几次发生在西欧和北美地区的冻雨过程,取得较好效果。Cortains等(2000)则用统计方法分析总结了北美大湖地区冻雨形成的条件,指出强斜压天气系统上暖湿气流的平流和垂直运动,容易导致冻雨条件的形成。上述研究都是基于经典的“融冰过程”冻雨形成机理,Huffman(1988)首次提出了冻雨形成的“暖云过程”机制,该机制是在云内温度处于 $0-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,由过冷却云滴间的碰并过程形成冻雨,而无需暖层

的融化和次冻层的冻结作用,后来 Rauber 等(2000)和 Bernstein 等(2000)的工作进一步验证了这一机制。可见,冻雨的发生需要一些特定的天气条件和微物理机制,在冻雨过程中温度的垂直结构、湿度条件以及地表温度起着重要作用。关于这次发生在中国南方的持续性冰冻雨雪天气过程,丁一汇等(2008)着重研究了灾害的主要特征及其与气候变化的关系。灾害期间的大尺度环流背景、天气过程和冻雨的形成条件等,也有学者进行了分析研究(王亚非等,2008;杨贵名等,2008;王东海等,2008;陶祖钰等,2008)。本次低温冰冻雨雪天气过程形成了自南向北以降水、冻雨、雪 3 种按纬向分布的降水类型,不同类型降水区对应的细致的温湿特征和它们之间的区别与联系、与所处的地理位置、地形特点的关系等方面,前述研究未作详细分析,本文尝试对这

些问题进行分析讨论。

本文所用资料为中国气象部门 9210 系统提供的 2008 年 1 月 25 日 20 时到 2008 年 2 月 2 日 20 时(北京时间)的探空和地面观测数据,以及 NCEP 同期逐日 4 次全球 $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析数据。

2 天气形势与实况

对于 2008 年初大规模影响南方的灾害性低温冰冻雨雪天气,丁一汇等(2008)指出,这是一次非孤立的极端事件,是在拉尼娜年气候背景下,南下冷空气不断侵袭中国南方,孟加拉湾和南海暖湿气流北上共同持续作用下形成的。由于冰冻雨雪期间,天气形势总体变化不大,以 1 月 27 日 08 时为例作简单介绍,图 1 是根据该时刻的再分析资料作的高空和地面形势图。

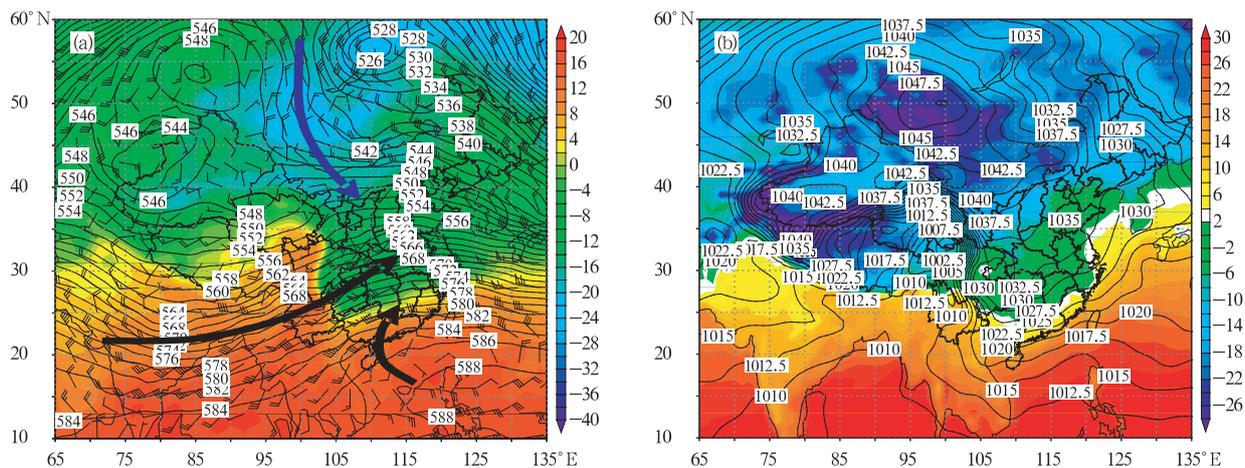


图 1 2008 年 1 月 27 日 08 时天气形势

(a) 500 hPa 高度(等值线,单位:dagpm), 700 hPa 风场(单位:m/s), 850 hPa 温度(阴影,单位:°C)
(b) 海平面气压(等值线,单位:hPa), 2 m 温度(阴影,单位:°C)

Fig. 1 Synoptic chart at 08:00 BST 27 Jan 2008 (a) height at 500 hPa (contour; unit: dagpm), wind field at 700 hPa (unit: m/s) and temperature at 850 hPa (shadings; unit: °C)
(b) sea level pressure (contour; unit: hPa) and temperature at 2 m (shadings; unit: °C)

图 1a 中 500 hPa 的等位势线表明,乌拉尔山以东为一强大阻塞高压,气流在阻高西部分成南北两支,一支北上高纬后沿阻高东面偏北气流侵入中国;南支气流南下并绕过青藏高原,经孟加拉湾形成暖湿气流从西南方向越过横断山脉进入中国;另外,由于副高异常强大,588 dagpm 线西脊点达南海中西部,暖湿气流沿其西侧边缘从华南进入中国,3 支气流(图 1a 中箭头所示)交汇并“对峙”于长江及其以南地区。700 hPa 风场最突出的特征是西起印度半

岛东部,经过孟加拉湾跨越横断山脉进入中国,并直达华东地区,风速为 12—25 m/s 的西南急流。850 hPa 温度场(阴影区)主要表现为冷空气从蒙古西部进入中国并大举东移南下过程中,冷空气经过秦岭山脉后,由于青藏高原阻挡,沿青藏高原东侧南下,驻留于云贵高原北部;中东部冷空气和南方暖湿气流相遇,停滞于长江以南地区。地面图上(图 1b),整个中国大陆由以蒙古西部为中心的大陆冷高压所控制,地面 0 °C 线基本维持在东部沿海-武夷-岭南

山脉北侧到横断山脉东部。上述形势形成了这次“冬行夏令”的异常天气,但降水类型却是自南向北以降雨、冻雨和降雪分布(图2),波浪线覆盖部分为统计时段出现过冻雨的地区,冻雨区南面、东面是雨

区,北部以降雪天气为主。冻雨区主体位于贵州大部分地区、湖南中南部和江西中部地区,安徽和广西北部地区也出现过冻雨天气。

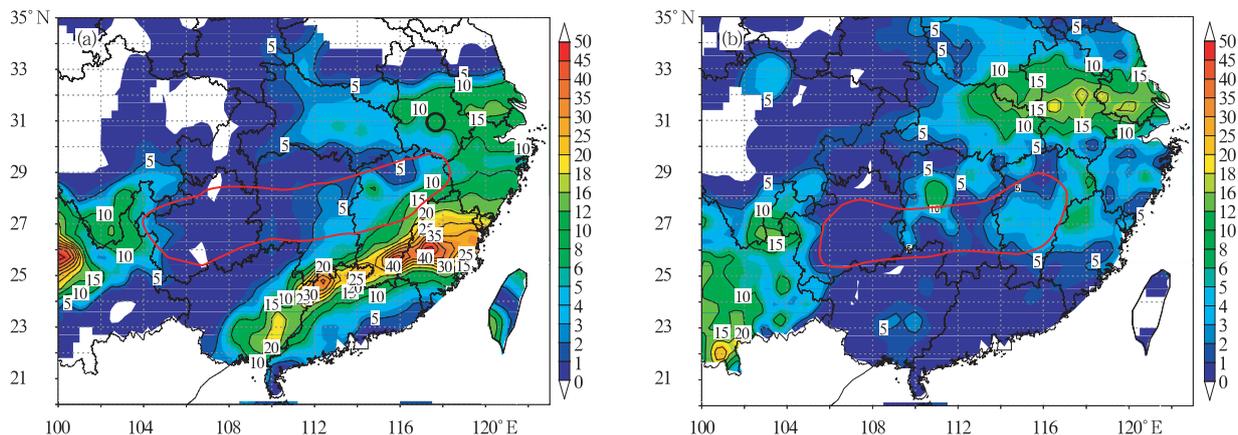


图2 24 h 降水量(波浪线覆盖区为冻雨区,单位:mm, a. 1月27日08时, b. 1月28日08时)

Fig. 2 24 h rainfall (shadings, unit: mm; areas with wavy line: freezing rain regions) at 08:00 BST (a) 27 and (b) 28 Jan 2008

3 降水类型分布原因分析

中国南方夏季典型的强降水过程发生在隆冬季节且出现雨水、冻雨和雪3种降水类型,降水类型分布特征与Czys等(1996)研究的1990年横贯美国中西部地区的“情人节”冰冻雨雪过程非常相似。由于冻雨的形成在不同机制下所需的大气温度垂直结构不同,则需分析本次冰冻雨雪过程中温度场的分布特征。

由于贵阳地区是这次冻雨天气的重灾区之一,用本次冰冻雨雪过程最严重阶段期间2008年1月27日08时的再分析资料作经过贵阳附近的温度垂直剖面图进行分析。沿 26°N 纬线的剖面图(图3a,大致穿过云南北部、贵州中部、湖南、江西中南部和福建中部地区)上,最明显的特征是大约位于 $105^{\circ}\text{--}117^{\circ}\text{E}$ 的对流层底层倾斜“梨型”低温区($\leq 0^{\circ}\text{C}$)的存在,低温区中两个冷核($t \leq -6^{\circ}\text{C}$ 和 $t \leq -8^{\circ}\text{C}$)分别位于 106°E 偏东(贵阳附近)的850 hPa高度和 112°E 偏西(湖南零陵地区)的925 hPa高度上,低温区对应的整个对流层中低层为因底层低温区存在而形成的较强逆温区,逆温区暖层温度为 $0\text{--}6^{\circ}\text{C}$ 。低温区以西(云南境内)垂直方向为一致的不稳定层结结构,以东(福建境内)虽然

也存在一定的逆温,但强度较弱,且从650 hPa以下各层温度均在 0°C 以上。对照1月27日08时地面降水类型(图2b),“梨型”低温区与冻雨区完全对应,低温区西侧云南境内是对流性的阵性降水,而东部的福建境内则是一般性小雨。可见,降水类型和降水性质与大气温度层结特征密切相关,下暖(大于 0°C)上冷的不稳定层结导致降雨发生,且不稳定层结越强,对流性越强,而有逆温层结且逆温区暖层温度大于 0°C ,低层温度低于 0°C (次冻层)的区域则出现了冻雨。

经向(图3b)的明显特征则是从南向北、向上伸展的“暖舌”象一个楔子倾斜插入北边自上而下的冷空气堆,“暖舌”和冷空气间形成一个从地面到约550 hPa附近的向北后倾的锋区(蓝色虚框所示),倾斜锋区在垂直方向上表现出较强的逆温特征,其中 $24^{\circ}\text{--}28^{\circ}\text{N}$ 的逆温区域(图中黑色方框)内存在温度大于 0°C 的暖层和暖层下温度低于 0°C 的冷层(次冻层),该区域对应着以贵阳为中心的南北向冻雨区,但其南北跨度比冻雨区略大,实况是该区域南部是小雨区,而北部是雪或冰粒子,也就是说,贵阳为中心的南北方向存在着3种不同类型的降水。不同类型的降水区域处于倾斜锋区的不同水平位置,不同水平位置在垂直方向上,700 hPa附近逆温层

内暖层的强度、厚度和高度存在着差异。在南部,暖层较厚、较低,冷层较薄,北部则暖层较薄、较高,冷层较厚,中间的贵阳处于两者之间,这是否意味着暖层的厚薄、强度和高度确实影响着降水的类型?

为此,选取1月26和27日08时自南向北为雨区、冻雨区和雪区3种降水类型对应探空站点的温度资料,作站点-高度剖面图进一步分析。

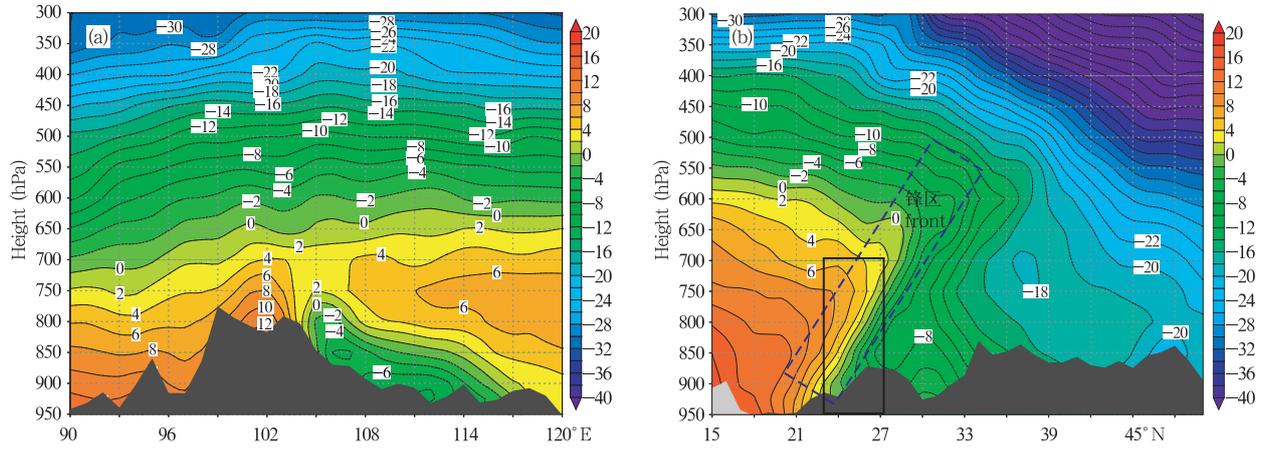


图3 温度场垂直剖面图

(a. 沿 26°N 经度-高度剖面, b. 沿 107°E 纬度-高度剖面; 单位: °C)

Fig. 3 Vertical cross sections of temperature field (°C)

(a) along 26°N and (b) 107°E at 0800 BST 27th Jan 2008

图4中降雨区A内站点基本位于岭南山脉以南的华南地区(包括福建省内2个探空站),冻雨区B的站点位于从贵阳以东、岭南山脉北侧、长江以南的贵州、湖南和江西境内站点,降雪区C包括重庆以东的长江沿线站点。将A、B、C内站点依次自西向东顺序排列(57993,赣州站排B区最后),作所有站点温度的高度-站点剖面图(图5a、b)。

1月26日08时(图5a),A区中除59293(广东河源)在对流层中低层为上一一致的0°C等温层结外,其他站在850 hPa附近都存在大于10°C的温度大值中心,且与其上冷空气构成了下暖上冷的不稳定层结,虽然在近地面层存在逆温层结,但温度都相对较高(>3°C),对应实况59293无降水,其他各站都是小雨天气;B区内6站温度垂直结构上,都形成了对流层中低层暖(>0°C)、低层冷(<0°C)的逆温层结,冷中心温度低于-9°C,但存在明显差异的是57993(江西赣州)站的暖层特别厚而低,650—900 hPa温度均大于0°C,只在925 hPa附近存在浅薄冷层,其下又是暖层,实况是赣州为小雨,其余各站本站或附近区域在当天出现了冻雨天气,看来太厚、太低的暖层和较高的近地面温度不利于冻雨的形成。C区各站温度层结特征差别较大,57516(重庆)站除近地层存在浅薄不稳定层结外,对流层中低层温度层结特征不明显,为近似等温结构,57447(湖北鄂西)处于弱逆温特征的强冷区中,57461(宜昌)、57494(武汉)在850 hPa存在明显的强冷中心,与700 hPa形成较强逆温,但700 hPa温度小于-3°C,58424(合肥站)层结与B区相似,在700 hPa存在大于0°C的暖心,58238(南京)则与武汉相似,

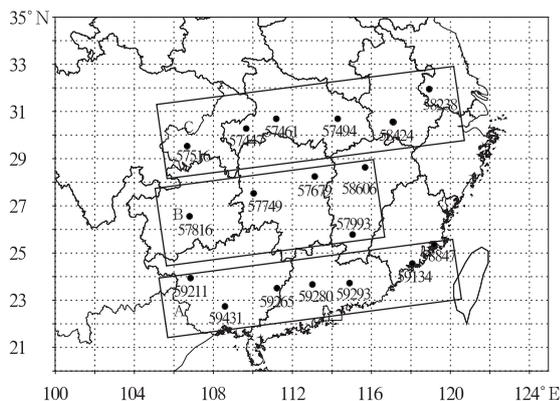


图4 降水类型区

(A: 雨区, B: 冻雨区, C: 雪区; 图中黑点为探空站点, 数字为对应站号)

Fig. 4 Regions for types of precipitation

(A: rain; B: freezing rain; C: snow; black dot denotes a sounding station, with its station index number below)

对应地面实况,重庆小雨,鄂西当天 08 时前后都出现降雪,宜昌观测到电线结冰,武汉、南京小雪,合肥冻雨。显见,逆温本身并不是冻雨形成的充分条件,而逆温区暖层的强度、厚度和高度才是主要的。

1 月 27 日 08 时的剖面图(图 5b)与前一日相比,层结特征有所变化,主要表现在 B 区逆温区向

东扩展,赣州站(57993) 900 hPa 附近及以下各层温度降至 0 °C 以下,原来的暖层厚度减弱,暖中心上移,恰在中间,赣州观测到了冻雨,可见,暖层高度确实是影响冻雨形成的原因之一。C 区合肥站 700 hPa 暖区强度减弱,中心降至 -1 °C 左右,冻雨结束,可见大于 0 °C 的逆温是冻雨产生的必要条件。

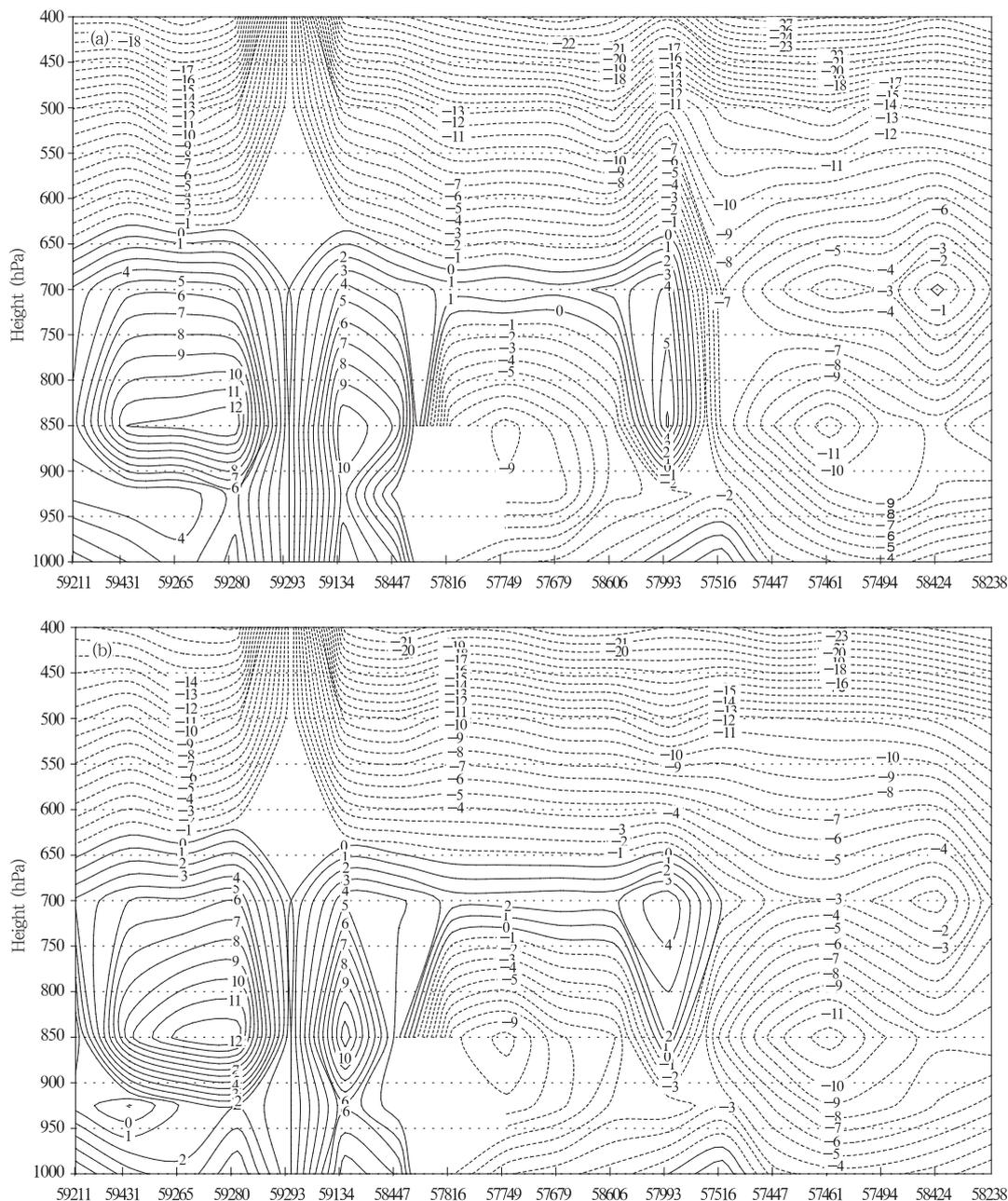


图 5 各区站点温度的高度-站点剖面

(a. 1 月 26 日 08 时, b. 1 月 27 日 08 时; 横坐标是站号, 单位: °C)

Fig. 5 Vertical cross sections of temperature (color contour, unit: °C)

at 08:00 BST (a) 26th and (b) 27th Jan 2008 (The abscissa is station index number)

上述情况表明,这是一次类似经典的“融冰过程”机制下形成的冻雨现象,表现在大气温度垂直结构直接影响了降水的类型。当冰晶粒子经过逆温层内的暖层融化成水,或云体内本身的液态水降落进入逆温层下的次冻层再次冷却,形成“冰包水”或过冷却水滴,降落至地面,就容易形成冻雨。但最终是否就能形成冻雨或在地面冻结而造成灾害,相关研究表明了地面(表)温度的影响还非常重要。事实上,这次低温冰冻雨雪灾害,气象部门直接观测到的

冻雨主要发生在贵州、湖南、江西一带,湖北、安徽、江苏等地以暴雪天气为主,为什么湖北、安徽、江苏等地又存在冰冻灾害呢?图6a、6b分别按图5的站点顺序绘制了各站日最低气温和地表最低温度随时间的变化。

由图6a可见,冰冻灾害期间,降雨区各站日最低地面气温无一例外都在0℃以上,冻雨区除57993站(赣州)的日最低气温在0—1℃外,其余各站都小于0℃,其中贵阳站温度最低,大部分时间最

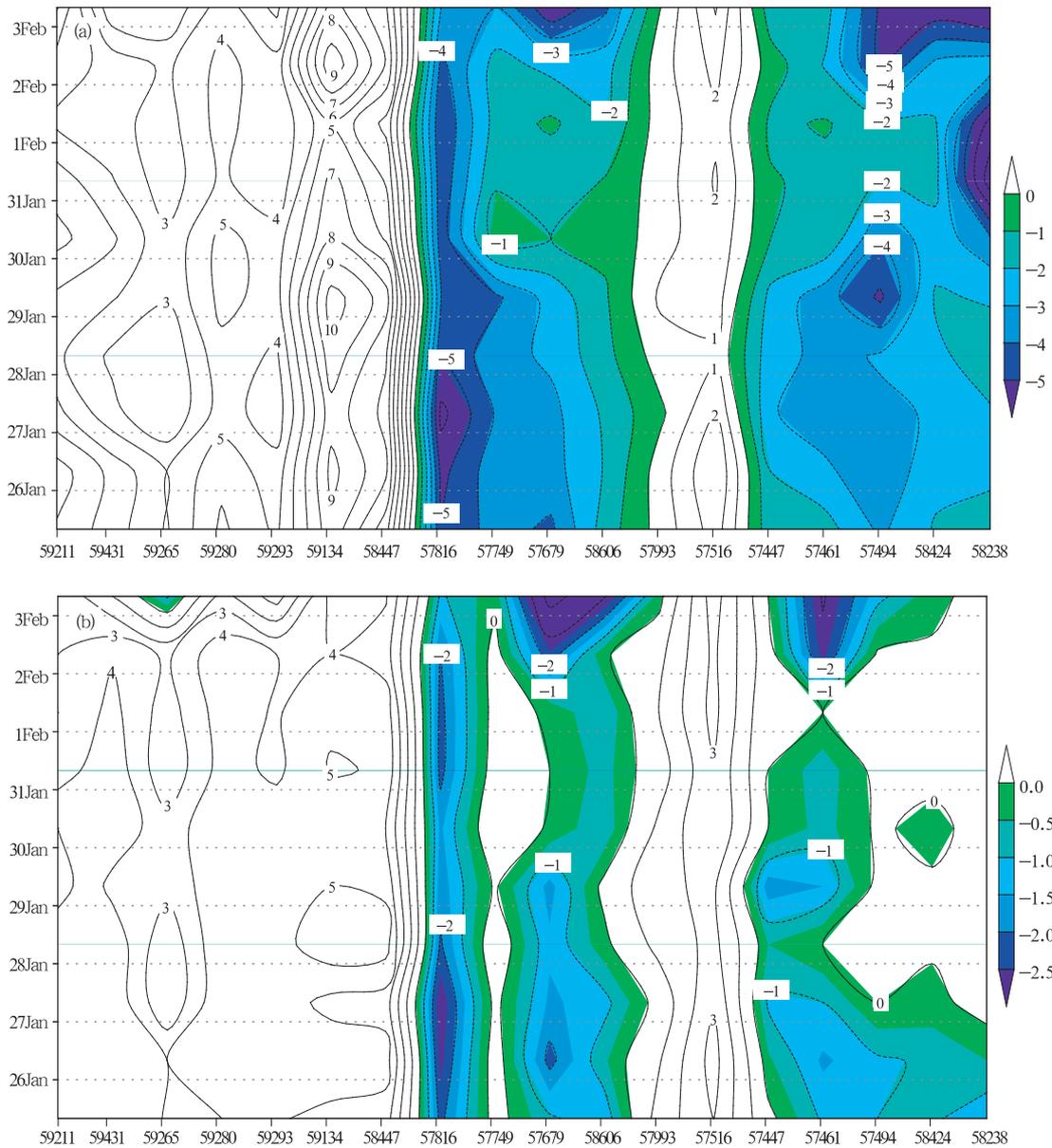


图6 各站日最低地面气温和最低地表温度时间变化

(a. 日最低气温, b. 日最低地表温度;横坐标是站号,单位:℃)

Fig. 6 Evolution of daily minimum (a) surface and (b) ground surface temperatures (shadings, unit:℃; the abscissa is station index number, and the ordinate is date)

低气温在 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。C区除57516站(重庆)外,自57447(鄂西)以东各站日最低气温均低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。日最低地表温度(图6b)分布在符号上的形态与图6a相似,但57749(怀化)和57747(鄂西)的日最低地表温度为 $0-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。显见,冻雨灾害的形成还与地面(表)温度具有紧密的联系,这种联系表现为较低的地面(表)温度(小于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$)可以使得“冰包水”、过冷却水滴降落到地面或雪融化成水后迅速凝冻成冰,或使冰冻维持。在暴雪区白天气温升高或车辆尾气排放、碾压融化后迅速冻结造成冰冻灾害,这也就是在没有适宜逆温层存在条件下,而产生暴雪的湖北、安徽、江苏(特别是湖北)也发生了较强的冰冻灾害的原因所在。另外,即使地面(表)温度没有处于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,但接近 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,“冰包水”物质或过冷却水滴由于本身的温度较低,在降落到地面也会冻结成冰,但观测显示其强度较弱,且维持时间较短。

综上所述,这次冻雨过程的形成是在倾斜锋区存在背景下,形成了产生冻雨的大气逆温特征和适宜的地面(表)温度条件,且逆温区暖层具有合适的强度、厚度和高度。即暖层温度必须大于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,而且不能太厚太低,也不能太薄太高,如果太厚太低,则冰晶降落经过暖层融化成水或者云体内本身的液态水降落过程中,没有足够的低温空间予以冷冻形成“冰包水”或过冷却水滴,而以雨的类型降落地面,这就是图3b黑色框区南部是降雨的原因;如果太薄太高,则冰晶降落至暖层时没有足够的时间融化就再次降落至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的低温区,而以雪或冰粒子出现,这反映了图3b黑色框区北部出现的情况。较低的地面(表)温度能使“冰包水”或过冷却水滴降落到地面后迅速凝冻成冰,并使冰冻维持而至灾。从这次过程来看大于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的逆温区暖层在650—850 hPa,温度为 $0-6\text{ }^{\circ}\text{C}$,其下是低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的次冻层,在次冻层温度较低的情况下,即使地面(表)温度在 $0-1\text{ }^{\circ}\text{C}$,也可能形成冻雨。这与Therriault等(2006)数值模拟的结果要求地面(表)温度必须小于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有所不同,但与Cortains等(2000;2004)统计的北美地区冻雨观测事实相一致。

以上主要分析了3种类型降水的地域分布特征和促使其形成的温度场层结和地面温度分布。事实上,这种温度的垂直和水平分布特征虽然是各天气系统配置及其相互作用的结果,但考虑到冻雨带分布主要集中在横断山脉以东和岭南山脉北侧的贵

州、湖南和江西境内情况,地形(横断山脉和南岭山脉)在这次冰冻雨雪天气过程的作用也许不可忽视。

4 结 论

本文主要从天气形势、降水的3种类型地域分布与温度场的层结和地面温度分布特征方面讨论了2008年年初发生在中国南方的持续性大面积冰冻雨雪天气过程,特别是对造成严重灾害的冻雨的形成条件进行了分析,得到如下结论:

(1) 这次降雨、冻雨和降雪3种类型降水物的自南向北分布特征是由对流层中低层向北后倾的锋区在南北不同区域上的层结特征和地面温度条件决定的。

(2) 在倾斜锋区存在背景下,形成了产生冻雨的大气逆温特征和适宜的地面(表)温度条件,且逆温区暖层具有合适的强度、厚度和高度。也就是暖层温度必须大于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,而且不能太厚太低,也不能太薄太高。

(3) 在没有适宜逆温区存在条件下,较低的地面(表)温度则能使“冰包水”、过冷却水滴降落到地面或雪融化成水后迅速凝冻成冰,或使冰冻维持而至灾。

(4) 大于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的逆温区暖层在650—850 hPa,温度为 $0-6\text{ }^{\circ}\text{C}$,其下方是低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的次冻层,但在次冻层温度较低的情况下,即使地面(表)温度在 $0-1\text{ }^{\circ}\text{C}$,也可能形成冻雨或冰冻灾害。

References

- Ben C Bernstein. 2000. Regional and local influences on freezing drizzle, freezing rain and ice pellet events. *Wea Forecasting*, 15: 485-508
- Cai X J, Wang W. 2007. Numerical study of 3-dimensional conditional symmetric instability for “95.1” heavy snowstorm. *Arid Meteor (in Chinese)*, 25(4):25-29
- Chen L F. 2007. Comparison study of two similar rain and snow processes in south China. *Meteor Mon (in Chinese)*, 33(8):69-75
- Chen P J, Xu Y. 2003. Analysis of weather conditions of heavy snow events in Nantong, Jiangsu province. *Meteor Mon (in Chinese)*, 29(12):45-47
- Chen T X, Chen G F, Mu X T. 1993. Analysis and forecast of synoptic characteristics for freezing rain in Zhumadian. *Meteor Mon (in Chinese)*, 19(2):33-36
- Deng Y P, Chen L SH, Zhang X L. 2000. Three-phase cloud explicit

- precipitation scheme and mesoscale numerical simulation for formation of the "96.1" snowstorm. *Plateau Meteor* (in Chinese), 19(4):401-414
- Ding Y H, Wang Z Y, Song Y F, et al. 2008. Causes of unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with global warming. *Acta Meteor Sinica*, 66(5):808-825
- Du Z J, Ding Z Y, Zhang S Y. 2007. Analysis of atmospheric circulation and structure of yunnan-guizhou quasi-stationary front in January 2001. *J Trop Meteor*(in Chinese), 23(3):284-292
- George J. Huffman, Gene Alfred Norman. 1988. The supercooled warm rain process and the specification of freezing precipitation. *Mon Wea Rev*, 116:2172-2182
- Gu X. 2001. Analysis of freezing rain processes using numerical model products. *Guizhou Meteor*(in Chinese), 25(3):12-13
- Hu Z M, Zhou W C. 2005. Case study on the genesis of a snowstorm over Northeast China. *J Nanjing Institute Meteor*(in Chinese), 28(5):679-684
- Jia H W, Zhao G P, Shen Y Q, et al. 2007. Analysis on causes of a heavy snowstorm in Ningxia. *Arid Meteor*(in Chinese), 25(4):36-40
- John Cortinas Jr. 2000. A climatology of freezing rain in the great lakes region of north America. *Mon Wea Rev*, 128:3574-3588
- John V Cortinas Jr, Ben C Bernstein, Christopher C Robbins, et al. 2004. An analysis of freezing rain, freezing drizzle, and ice pellets across the United States and Canada;1976-90. *Wea Fore*, 19:377-390
- Lu S H, Wang J G, Qiu J. 2004. Analysis of freezing rains at Tianjin airport. *Meteor Sci Techn*(in Chinese), 32(6):456-460
- Okada T. 1914. Notes on the formation of glazed frost. *Mon Wea Rev*, 42:284-286
- Robert M Rauber, Larry S Olthoff, Mohan K Ramamorthy. 2000. The relative importance of warm rain and melting processes in freezing precipitation events. *J Appl Meteor*, 39: 1185-1195
- Robert R Czys, Robert W Scott, Tang K C, et al. 1996. A physically based, nondimensional parameter for discriminating between locations of freezing rain and ice pellets. *Wea Fore*, 11:591-598
- Ronald E Stewart, Patrick King. 1987. Freezing precipitation in winter storms. *Mon Wea Rev*, 115:1270-1279
- Sun J, Wang P Y, Li X, et al. 2007. Numerical study on microphysical processes of two different snow cases in northern China. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 65(1):29-44
- Sun X C, Wang W Y, Yan L F, et al. 2007. Analysis of a particularly heavy snowstorm in the Shandong peninsula in 2005. *J Ocean University of China*, 37 (6):879-884
- Szeto K K, Tremblay A, Guan H, et al. 1999. The mesoscale dynamics of freezing rain storms over eastern Canada. *J Atmos Sci*, 56(10):1261-1281
- Tao Z Y, Zhen Y G, Zhang X L. 2008. Southern China quasi-stationary front during ice-snow disaster of January 2008. *Acta Meteor Sinica*(in Chinese), 66(5):850-854
- The'riault J M, Stewart R E, A Milbrandt J, et al. 2006. On the simulation of winter precipitation types. *J Geophys Res*, 111, D18202, doi:10.1029/2005JD006665
- Tremblay A, Glazer A. 2000. An improved modeling scheme for freezing precipitation forecasts. *Mon Wea Rev*, 128:1289-1308
- 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 D Y, Liu Y, Zhou K. 2006. Diagnosis and numeric simulation of snowstorm processes in Huanghuai basin in Dec. 2004. *Meteor Mon*(in Chinese), 32(1):30-36
- Wang J Z, Ding Y H. 1995. Research of moist symmetric instability in a strong snowfall in North China. *Acta Meteor Sinica*(in Chinese), 53(4):451-459
- Wang W H, Xu X D. 1979. Heavy snow processes in Xilingele and the analysis of "77.10" snowstorm. *Acta Meteor Sinica*(in Chinese), 37(3):80-86
- Wang W, Cheng L S. 2000. Numerical study of conditional symmetric instability in the "96.1" snowstorm. *Plateau Meteor* (in Chinese), 19(2):129-140
- Wang Y F, Li Y, Li P Y, et al. 2008. The large scale circulation of the snow disaster in southern China in the beginning of 2008. *Acta Meteor Sinica*(in Chinese), 66(5):826-835
- Xu B N. 2001. A study on forecast signals and forecast models of winter glaze in Guizhou. *Guizhou Meteor*(in Chinese), 25(4):3-6
- Xu D, Luo X P. 2003. Spatiotemporal characters of congelation in Guizhou and its circulation features analyses. *Plateau Meteor*(in Chinese), 22(4):401-404
- Yang C F, Zhou X S, Wang Y H. 2007. Climatic features and signals of cold airflow snow in Shandong peninsula. *Meteor Mon* (in Chinese), 33(8):76-82
- Yang G M, Kong Q, Mao D Y, et al. 2008. Analysis of the long-lasting cryogenic freezing rain and snow weather in the beginning of 2008. *Acta Meteor Sinica*(in Chinese), 66(5):836-849
- Zeng X X, Zhen P Q, Hao S F, et al. 2002. Analysis of the "1998.01.22" snowstorm process in the mid-north of Zhejiang province. *Zhejiang Meteor*(in Chinese) 23(3):8-10
- Zhang Y X, Hou R Q, Zhang S B. 2007. Numerical experiments and diagnosis on a heavy snow of return-flow events. *Meteor Mon* (in Chinese), 33(9):25-32
- Zhao S X, Sun J H, Cheng H, et al. 2002. A analysis of the "12.7" snowstorm process. *Clim Environ Res*(in Chinese), 7(1):7-21

附中文参考文献

- 蔡晓军,王文. 2007. 一次高原强降雪过程三维对称不稳定数值模拟研究. *干旱气象*, 25(4):25-29
- 陈丽芳. 2007. 南方两次相似降雪(雨)过程的对比研究. *气象*, 33(8):69-75

- 陈佩君,徐云. 2003. 南通地区暴雪的天气条件对比分析. 气象, 29(12):45-47
- 陈天锡, 陈贵发, 穆晓涛. 1993. 驻马店地区冻雨天气特征的分析 and 预报. 气象, 19(2):33-36
- 邓远平, 程麟生, 张小玲. 2000. 三相云显式降水方案和高原东部“96.1”暴雪成因的中尺度数值模拟. 高原气象, 19(4):401-414
- 丁一汇, 王遵娅, 宋亚芳等. 2008. 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. 气象学报, 66(5):808-825
- 杜正静, 丁治英, 张书余. 2007. 2001 年 1 月滇黔准静止锋在演变过程中的结构及大气环流特征分析. 热带气象学报, 23(3):284-292
- 顾欣. 2001. 利用数值预报产品分析雨雪凝冻天气过程. 贵州气象, 25(3):12-13
- 胡中明, 周伟灿. 2005. 中国东北地区暴雪形成机理的个例研究. 南京气象学院学报, 28(5):679-684
- 贾宏元, 赵光平, 沈跃琴等. 2007. 宁夏一次大暴雪天气过程的物理成因. 干旱气象, 25(4):36-40
- 吕胜辉, 王积国, 邱菊. 2004. 天津机场地区冻雨天气分析. 气象科技, 32(6):456-460
- 孙晶, 王鹏云, 李想等. 2007. 北方两次不同类型降雪过程的微物理模拟研究. 气象学报, 65(1):29-44
- 孙兴池, 王文毅, 闫丽凤等. 2007. 2005 年山东半岛特大暴风雪分析. 中国海洋大学学报, 37(6):879-884
- 陶祖钰, 郑永光, 张小玲. 2008. 2008 年初冰雪灾害和华南准静止锋. 气象学报, 66(5):850-854
- 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
- 王东勇, 刘勇, 周昆. 2006. 2004 年末黄淮暴雪的特点分析和数值模拟. 气象, 32(1):30-36
- 王建中, 丁一汇. 1995. 一次华北强降雪过程的湿对称不稳定性研究. 气象学报, 53(4):451-459
- 王文, 程麟生. 2000. “96.1”高原暴雪过程湿对称不稳定的数值研究. 高原气象, 19(2):129-140
- 王文辉, 徐祥德. 1979. 锡盟大雪和“77·10”暴雪分析. 气象学报, 37(3):80-86
- 王亚非, 李琰, 李萍云等. 2008. 2008 年初中国南方雪灾大尺度环流背景分析. 气象学报, 66(5):826-835
- 许炳南. 2001. 贵州冬季凝冻预测信号和预测模型研究. 贵州气象, 25(4):3-6
- 许丹, 罗喜平. 2003. 贵州凝冻的时空分布特征和环流成因分析. 高原气象, 22(4):401-404
- 杨成芳, 周雪松, 王业宏. 2007. 山东半岛冷流降雪的气候特征及其前兆信号. 气象, 33(8):76-82
- 杨贵名, 孔期, 毛冬艳, 张芳华等. 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):836-849
- 曾欣欣, 郑沛群, 郝世峰等. 2002. “1998.01.22”浙中北大到暴雪分析. 浙江气象, 23(3):8-10
- 张迎新, 侯瑞钦, 张守保. 2007. 回流暴雪过程的诊断分析和数值试验. 气象, 33(9):25-32
- 赵思雄, 孙建华, 陈红等. 2002. 北京“12.7”降雪过程的分析研究. 气候与环境研究, 7(1):7-21