

唐熠,周秀华,郑传新,等,2019. 广西重大低温雨雪冰冻过程 500 hPa 信号场异常特征分析[J]. 气象,45(10):1446-1456. Tang Y, Zhou X H, Zheng C X, et al, 2019. Analysis of abnormal characteristics at 500 hPa signal field in major cryogenic freezing rain and snow processes in Guangxi[J]. Meteor Mon, 45(10):1446-1456(in Chinese).

广西重大低温雨雪冰冻过程 500 hPa 信号场 异常特征分析*

唐 熠¹ 周秀华² 郑传新¹ 黎微微¹

¹ 桂林市气象局, 桂林 541001

² 广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022

提 要: 利用 500 hPa 高度和温度信号场合成图的检验方法, 分析了排名前 40 次广西重大低温雨雪冰冻过程的环流异常特征, 研究表明: (1) 利用冷湿指数定义这种方法选取过程具备对广西重大低温雨雪冰冻的影响程度进行评估的功能。(2) 40 个个例绝大部分过程 500 hPa 高度和温度信号场都有强的面积和强信号反应, 正异常的表现更为突出。正异常一般表现的是高度场上的正值系统, 也就是脊区, 冬季高纬脊区发展通常配合冷平流的加强, 冷空气堆积是广西持续低温雨雪冰冻过程出现的关键。(3) 通过分析 500 hPa 高度信号场发现: 乌拉尔山脊及前侧的横槽, 贝加尔湖脊及前侧的东北横槽, 及我国西北新疆一带不断分裂的小槽是广西产生低温雨雪冰冻天气的关键区域和关键因子。

关键词: 低温雨雪, 冷湿指数, 信号场, 关键区

中图分类号: P456

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.10.011

Analysis of Abnormal Characteristics at 500 hPa Signal Field in Major Cryogenic Freezing Rain and Snow Processes in Guangxi

TANG Yi¹ ZHOU Xiuhua² ZHENG Chuanxin¹ LI Weiwei¹

¹ Guilin Meteorological Office of Guangxi, Guilin 541001

² Guangxi Climate Centre, Nanning 530022

Abstract: Using 500 hPa average circulation signal field and average temperature signal field, we analyzed the circulation abnormal characteristics of the first 40 major cryogenic rain and snow processes. The results showed that (1) This method that uses cold and wet index to select process has the function of assessing the influence degree cryogenic freezing rain and snow in Guangxi. (2) Most signals of the 40 cases have strong area and strong signal reflection, having prominent positive anomalies. The anomalies are usually represented by a positive system in the high field, known as the ridge. The development of high latitude ridge in winter is usually combined with the strengthening of cold advection. Cold air accumulation is the key to the continuous freezing of low temperature rain and snow in Guangxi. (3) The signal field analysis can be divided into three categories. The weather system and its performance can be understood after the analysis of the signal field and high average field. The key areas and key systems for the cold and snow freezing weather in Guangxi are the Ural ridge and the front of transversal trough, the Baikal ridge and the

* 国家自然科学基金项目(41565005)、广西科学技术厅自然科学基金项目(2015GXNSFAA139243)、广西壮族自治区重点项目(桂气科 2017Z06)和中国气象局预报员专项(CMA YBY2019-087)共同资助

2018 年 4 月 11 日收稿; 2019 年 1 月 14 日收修定稿

第一作者: 唐熠, 主要从事天气预报及应用研究. Email: glqxty@163.com

front of northeast transversal trough, and the small trough in northwestern Xinjiang.

Key words: cryogenic rain and snow, cold and wet index, signal field, key area

引 言

随着经济发展,华南冬季作物种植范围和种类扩大,低温雨雪冰冻灾害影响增大,特别是 2008 年以后,国内掀起关于低温雨雪冰冻天气过程的研究热潮(丁一汇等,2008;宋瑞艳等,2008;陶诗言和卫捷,2008;万素琴等,2008;覃志年等,2010;唐熠等,2011;2013;李艳等,2012;吴古会等,2012;王颖等,2013;兰晓青和陈文,2013;聂羽等,2016;李向红等,2018),传统上主要集中在环流背景、天气系统和发展机制方面,如丁一汇等(2008)认为在拉尼娜事件影响下,极端冰灾事件是全球性气候异常的表现之一;陶诗言和卫捷(2008)认为 2008 年大范围低温冰雪天气是由于欧亚大陆出现异常的大气环流,如 1 月下旬亚洲中高纬地区阻塞高压及里海移动的切断低压长时间维持及副热带高压西北侧西南暖湿气流不断输送到我国华南造成;覃志年等(2010)认为“北脊南槽”的分布形势是造成广西异常低温过程的主要环流背景。在低温雨雪冰冻中短期预报方面,一般先建立模型,再提取预报经验指标进行预报,如唐熠等(2012;2013)利用多因子综合评估技术筛选出 20 次过程,采用 500 hPa 高度距平关键区来定型,以距平正负值所在的关键区位置来确定高低压槽脊位置,将广西重大低温雨雪冰冻天气过程的天气概念模型分三类:乌拉尔山阻塞型、两槽一脊型、多波动型。根据三类环流特点提取经验指标,建立预报平台。另外,也有些专家利用遥感,风廓线资料,多普勒雷达探讨其大气微物理结构。

综上所述,对低温雨雪冰冻过程的研究有很多方法。近年来信号场研究作为传统天气动力诊断与预测的补充工具,被用来研究我国暴雨、冰雹、干旱等(黄嘉佑等,2002;陆慧娟等,2005;余岸雄等,2012;严小林等,2013;梁敏妍等,2016;王春学等,2017)。如黄嘉佑等(2002)提出用气候信号噪音比的概念来分析 500 hPa 逐日高度场,建立 500 hPa 高度信号场来分析我国暴雨发生的气候异常环境,进一步寻找高度信号场能显示与暴雨的突变现象有关的异常信号出现的地区和描述指标。严小林等(2013)对汛期 40 个典型严重少雨旬的 500 hPa 信

号场进行经验正交分解,得出海河流域受暖性高压控制,高纬冷空气及低纬暖湿气流难以到达流域上空交绥,持续高温少雨造成流域严重干旱。余岸雄等(2012)运用统计方法研究近 10 年来雷暴发生的气候特征。利用主成分分析方法提取宝安机场夏季雷暴日 500 hPa 高度信号场共同特征,并根据主成分分析前三个模态归纳出三种易出现雷暴的天气类型。广西低温雨雪冰冻天气过程本质上是强冷空气爆发的过程(丁一汇等,2008;陶诗言和卫捷,2008;覃志年等,2010;唐熠等,2012;2013;李艳等,2012;吴古会等,2012;王颖等,2013;兰晓青和陈文,2013;陆虹等,2015;聂羽等,2016),是一种具有气候背景的大型天气过程,因此本文尝试参考信号场在暴雨研究中的应用,对广西重大低温雨雪冰冻过程开展研究,利用欧洲预报场资料前三天的 500 hPa 高度和温度场,寻找 500 hPa 高度和温度信号场能显示与低温冰冻过程的突变现象有关的异常信号出现的区域和描述指标,确定关键系统和关键因子,为后期建立概念模型,构建广西低温雨雪冰冻过程的模糊神经网络集合预报打好基础,为广西低温雨雪冰冻天气过程的中短期预报提供一些新的思路。

1 资 料

本文使用的资料为广西 92 个国家级地面气象站的逐日平均气温和降水量数据,数据时间范围为 1957—2016 年。其中 1957—2012 年的数据来自国家气象信息中心提供的中国国家级地面气象站均一化气温日值数据集(V1.0)。该数据集经过国家气象信息中心的质量控制,数据质量得以保证(Wang et al, 2007; Wang, 2008; 曹丽娟和严中伟,2011)。2013—2016 年的新资料补充由广西壮族自治区气象信息中心提供。本文研究时段是 1957—2016 年当年 11 月至次年 3 月,选取 NECP 再分析资料($0^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{N}$ 、 $50^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$)500 hPa 高度场、温度场逐日资料。

2 选取广西重大低温雨雪冰冻天气过程

根据 Zhang et al(2011)的研究,单日冷湿指数

PT 计算方法如下:

$$PT_i = \frac{P_i - \bar{P}}{P_s} - \frac{T_i - \bar{T}}{T_s} \quad (1)$$

式中, P_i, T_i 为过程第 i 日的降水量和最低温度, \bar{P}, \bar{T} 为相应的历史同期平均值, P_s, T_s 为相应的历史同期标准差。单日冷湿特征越明显, PT 值越大, 反之, 降水量越小, 平均温度越高, PT 值越小。Zhang et al(2011)用逐日 PT 值之和的大小来评估低温雨雪过程的冷湿程度, Qian et al(2014)在研究中国大陆低温雨雪及冰冻事件及其变化特征分析时, 采用了该指数对全国历史上重大低温雨雪事件进行检测与判别, 检测到的全国重大低温雨雪事件发生的年份与王绍武给出的冷冬年份也非常一致, 因此本文参照此方法来对广西历史上重大低温雨雪事件进行检测。

据统计, 各地出现降雪、雨淞和结冰等雨雪冰冻现象时, 有 70% 以上的站点日平均气温低于 4°C 。因此本文在检测时, 所取的低温阈值为 4°C 。定义区域性持续低温雨雪事件如下: 当出现冷空气影响时, 对每天温度达到低温阈值以下的所有站点的 PT 值进行计算, 若连续 4 d 有 5 个(或以上)站点达到低温阈值条件(日平均气温 $\leq 4^{\circ}\text{C}$), 且各天各站点 PT 值相加满足 $\sum PT \geq 10$, 则认为发生了一次区域性持续性低温雨雪事件; 第 5 天起连续两日不满足站数要求或累积 PT 值要求, 则事件结束。事件添补条件: 仅连续 2 d 或 3 d 的过程, 必须满足这 2 d 或 3 d 累加 $\sum PT \geq 50$, 则视为一次连续过程。

根据以上条件, 检测出 1957—2016 年出现广西区域性持续性低温雨雪冰冻事件 89 例, 平均每年约 1.4 次, 和南方寒潮平均年爆发次数 1.3 次接近(朱乾根, 1992), 出现的时间, 最早在 11 月 29 日, 最晚在 2 月 17 日, 这个时间正和广西年极端最低温度出现的时段一致。

结合灾情, 选取累积 PT 值排序前 40 例重大过程。表 1 是广西区域持续性低温雨雪冰冻事件排名和分类情况。雨雪冰冻现象包括: 雪、结冰、霜、雨淞。

从表 1 可见, 1957—2016 年通过冷湿指数定义选取了前 40 个广西重大低温雨雪冰冻天气过程, 影响站点在 20 站以上, 最多达到 80 站。持续时间在 3 d 以上, 最长达 24 d, 而且在 PT 值排序前 15 名中

受乌拉尔山阻塞(横槽)影响的个例占 10 个, 乌拉尔山阻塞(横槽)影响的个例平均影响时间在三类中最长, 达 10.2 d, 比较符合这种类型的天气系统影响下, 广西低温雨雪灾害最重的实况。可见利用这种方法选取个例不仅能得出影响的情况(开始、结束、持续时间等), 也初步具备对广西的影响程度进行评估的功能。

3 信号场模型合成场

3.1 信号场定义

选定个例后, 参考黄嘉佑等(2002)的研究, 提出用气候信号噪音比的概念来分析 500 hPa 逐日高度场, 并建立 500 hPa 高度信号场用来分析广西重大低温雨雪冰冻过程发生的气候异常环境。进一步寻找高度信号场能显示与广西重大低温雨雪冰冻过程的突变现象有关的异常信号出现的地区和描述指标的方法, 提取低温雨雪冰冻 500 hPa 高度信号场的特征。利用 NCEP 再分析资料中 1956—2016 年冬季(当年 12 月至次年 3 月)资料, 对 $0^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 区域 500 hPa 高度场前 40 次过程的前 1、2、3 d 资料, 对各个网络点进行标准化, 即用每个格点上的高度值与同一格点上日多年平均值的差值反映气候信号, 以该格点多年序列的标准差来反映气候噪音, 它们的比值为信号噪音比(简称为信号); 它的大小反映高度场中格点逐日变化对气候异常的程度。由 500 hPa 要素场中各格点的信号值构成信号场。信号场的公式如下:

$$S_{i,j} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_{i,j}}{S} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中

$$\bar{X}_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i,j} \quad n = 60 \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{i,j} - \bar{X}_{i,j})^2} \quad (4)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, n, i$ 是某日高度场, n 是高度场的样本容量, j 是格点数, $j = 1, 2, \dots, m$ 是格点总数; $X_{i,j}$ 为第 i 个样本、第 j 个格点的 500 hPa 高度场中的高度值, $\bar{X}_{i,j}$ 为该格点多年平均高度场值, S 为该格点多年序列的标准差。

表 1 1957—2016 年广西区域持续性低温雨雪冰冻事件及天气系统和信号类型
Table 1 Incident, weather system and signal types of cryogenic freezing rain and snow processes in Guangxi from 1957 to 2016

排名	过程时段 /年.月.日	持续时间 /d	影响站点 /站	单日最多雨雪 冰冻现象站数	主要影响系统	信号场 分型
1	2008.1.13 至 2.5	24	61	28	乌山阻塞,横槽	一类
2	1975.12.9—18	10	70	37	贝湖高压,东北横槽	二类
3	1976.12.26 至 1977.1.7	13	68	35	乌山阻塞,横槽	一类
4	1984.1.17 至 2.6	21	42	10	乌山阻塞,横槽	一类
5	1996.2.17—25	9	64	31	乌山阻塞,横槽	一类
6	1964.2.16—26	11	54	21	贝湖高压,东北横槽	二类
7	1977.1.27 至 2.4	9	80	39	乌山阻塞,横槽	一类
8	1980.1.30 至 2.8	10	51	29	乌山阻塞,横槽	一类
9	1969.1.29 至 2.6	9	49	32	小槽东移(多波动)	三类
10	1984.12.17—27	11	32	14	乌山阻塞,横槽	一类
11	1972.2.3—9	7	51	27	小槽东移(多波动)	三类
12	2011.1.2—11	10	52	11	乌山阻塞,横槽	一类
13	1966.12.25 至 1967.1.3	10	48	14	乌山阻塞,横槽	一类
14	1991.12.26—31	6	59	37	贝湖高压,东北横槽	二类
15	2002.12.26—29	9	64	31	贝湖高压,东北横槽	二类
16	1974.1.29 至 2.8	11	34	18	小槽东移(多波动)	三类
17	1993.1.14—23	10	44	23	贝湖高压,东北横槽	二类
18	1865.12.16—19	4	50	20	小槽东移(多波动)	三类
19	1983.12.28 至 1984.1.1	5	46	16	贝湖高压,东北横槽	二类
20	1989.1.12—18	7	48	18	小槽东移(多波动)	三类
21	1957.2.4—11	9	41	28	乌山阻塞,横槽	一类
22	2013.1.3—7	5	50	15	贝湖高压,东北横槽	二类
23	2011.1.18—23	6	35	8	贝湖高压,东北横槽	二类
24	1960.1.23—25	3	57	27	贝湖高压,东北横槽	二类
25	1983.1.9—12	4	36	11	贝湖高压,东北横槽	二类
26	1970.1.5—7	3	55	29	乌山阻塞,横槽	一类
27	1968.1.31 至 2.8	9	32	7	乌山阻塞,横槽	一类
28	2004.12.23 至 2005.1.1	10	31	27	贝湖高压,东北横槽	二类
29	1989.1.28 至 2.3	9	49	6	小槽东移(多波动)	三类
30	2014.2.8—14	7	46	7	小槽东移(多波动)	三类
31	1969.1.1—4	4	25	6	乌山阻塞,横槽	一类
32	1969.2.16—26	11	25	8	乌山阻塞,横槽	一类
33	1982.2.6—13	8	22	3	贝湖高压,东北横槽	二类
34	1998.1.18—23	6	39	11	乌山阻塞,横槽	一类
35	1990.1.31 至 2.3	4	35	17	小槽东移(多波动)	三类
36	2003.1.5—8	4	43	25	贝湖高压,东北横槽	二类
37	1988.2.16—19	4	36	6	贝湖高压,东北横槽	二类
38	1958.1.15—19	5	43	14	贝湖高压,东北横槽	二类
39	1981.1.26—31	6	30	7	小槽东移(多波动)	三类
40	1985.12.9—12	4	25	7	乌山阻塞,横槽	一类

3.2 信号场的分类

因为信号场中格点的信号值一般是遵从标准正态分布,当 500 hPa 信号场中某格点的信号 > 1.65 时,定义为正异常点,而对信号值 < -1.65 的定义为负异常点,把信号场中的正格点数记为 PS,负格点数记为 NS,正负格点数之和定义为该场的异常

区域面积:

$$A = PS + NS \tag{5}$$

把信号场中的正格点数绝对值之和记为 PQ,负格点数绝对值之和记为 NQ,正负格点数绝对值之和定义为该场的异常强度:

$$Q = PQ + NQ \tag{6}$$

利用式(5)和式(6)计算广西 PT 值排序前 40

例较为重大的个例的异常面积和异常强度,得出各个例异常区域面积 A 、异常强度值 Q 的变化图, A 、 Q 变化非常同步,它们的相关系数达到 0.995。其中 A 的范围在 0~612,平均为 137.28, Q 值范围在 0~1401,平均为 283.23。 A 以 100 为阈值,100 以下为弱的信号反应,则 0~99 的有 16 个,100 以上有 24 个。 Q 值在 0~99 的有 8 个,100 以上有 32 个,可以发现 40 个个例大部分低温雨雪冰冻都有强的面积和强信号反应,通过计算信号场的强弱可以初步判断广西连续低温雨雪冰冻出现的可能性。另外对比 PS 和 NS , PQ 和 NQ 的数值,发现 $PS > NS$ (有 24 个个例), $PQ > NQ$ (24 个个例),正异常的表现更为突出。正异常一般表现的是高度场上的正值系统,也就是脊区,冬季高纬脊区的发展通常配合冷平流的加强,冷空气堆积是广西连续低温雨雪冰冻出现的关键。

根据正异常格点,负异常格点分布区域,将正异常格点位于乌拉尔山关键区($40^{\circ} \sim 60^{\circ}N$ 、 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}E$)正格点数 PS 达 60 以上,正格点数绝对值之和 PQ 达 150 以上定为第一类;贝加尔湖关键区($50^{\circ} \sim 60^{\circ}N$ 、 $90^{\circ} \sim 110^{\circ}E$)正格点数 PS 达 50 以上,正格点数绝对值之和 PQ 达 100 以上定为第二类;东北关键区($40^{\circ} \sim 50^{\circ}N$ 、 $110^{\circ} \sim 130^{\circ}E$)正格点数 PS 在 50 以下,正格点数绝对值之和 PQ 在 100 以下定为第三类。根据影响系统将第一类称为乌拉尔山阻塞(横槽)型,第二类称为贝加尔湖型或者两槽一脊型,第三类称为多波动型。按以上分类,通过冷湿指数定义选取 1957—2016 年广西重大低温雨雪冰冻天气过程中乌拉尔山阻塞型(第一类)和两槽一脊型(第二类)各占总次数的 40% 和 37.5%,多波动型(第三类)只占 22.5%。

从表 2 中可见,乌拉尔山阻塞型(第一类)的 A 、

表 2 三类重大低温雨雪冰冻过程的信号异常情况平均值
Table 2 Average signal values in abnormal conditions of three types of cryogenic freezing rain and snow processes

	PS	NS	A	PQ	NQ	Q
第一类	89.25	84.50	173.75	189.05	178.43	367.48
第二类	59.47	45.27	104.73	116.80	96.86	213.66
第三类	43.78	82.89	126.67	85.67	163.72	249.39

Q 及各个分量,都是最大,对应这类个例影响广西最明显,这和冷湿指数排名最靠前一致。两槽一脊型(第二类)和多波动型(第三类)总体相差不多,多波动型异常面积和强度比两槽一脊型稍大一些,从多年的预报经验来看,两槽一脊型一般是“快过程”,影响强度可能比多波动型大一些,但多波动型的范围和持续时间更为占优势。

从 PS 和 PQ 看,乌拉尔山阻塞型对应的异常信号最强,正格点数最多,表明脊的发展在这类中影响最突出;多波动型中,负的异常比正的异常明显,表明多波动型以小槽带领冷空气南下为主。前期脊的发展没有乌拉尔山阻塞型和两槽一脊型明显。两槽一脊型介于两者之间。

4 三类信号场的特征

从上分析可见,信号场上异常区即高纬脊区的发展,冷空气的堆积和爆发是爆发这类天气发生的关键,根据前面的分类,将广西持续低温雨雪天气天气过程分为:乌拉尔山阻塞(横槽)型、两槽一脊型(低槽东移型)和多波动型(小槽发展型),对三类的

信号场分别进行合成,分析对应的 500 hPa 高度和温度场的信号场及其分布特点。

4.1 第一类:关键区域为乌拉尔山和华北;关键系统为乌拉尔山阻高和横槽

图 1 是第一类 500 hPa 高度信号平均场(图 1a)和温度信号平均场(图 1b):不论是高度场还是温度场,均有三个中心:高度信号场上: $50^{\circ} \sim 80^{\circ}N$ 、 $50^{\circ} \sim 90^{\circ}E$ 区域为正值区,基本位于乌拉尔山的东北,最大值达 1.2。 $25^{\circ} \sim 50^{\circ}N$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ}E$ 区域为负值区,负值区基本在华北区域,中心值为 -1.2。 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}N$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ}E$ 为一弱的正值区,中心值只有 0.3。正—负—正值中心梯度方向是西北—东南向。温度信号场和高度信号场基本一致,只是蒙古—华北区域负的信号异常更为明显。

图 2 是第一类 500 hPa 高度场及其距平场的平均场(图 2a)和温度场及其距平场的平均场(图 2b),其中距平值为和 1980—2010 年的平均场相比(下同),高度平均场上主要高压(脊)中心在乌拉尔山东部附近,从贝加尔湖以西到乌拉尔山均为高压(脊)控制,脊后有暖平流,从贝加尔湖及东部地区—巴尔

喀什湖—咸海、里海一带为槽区,以横槽的形势出现。低纬度气流平直波动形式。距平场上 50°N 以北为正值区,比历年的平均值偏高 18 dagpm 以上,50°N 以南为负的距平区,中心在蒙古到我国内蒙古一带。比历年偏低 8~10 dagpm。温度场上,蒙古的负距平达到-6℃以上,可见冬季在贝加尔湖到蒙古一带激烈的冷空气堆积是华南低温的关键。横槽后部的暖平流和正距平(变高)预示着横槽未来可能转竖,将引导冷空气大举南下。另外,华南有一正温度距平区域,对应信号场上的华南正信号,表明这类低温过程华南前期有增温过程。

将 500 hPa 高度信号场和 500 hPa 高度平均场、距平场对比,发现信号场天气意义清晰:正负信号中心和槽脊位置基本一致。平均高度场上欧亚地区中高纬大气环流经向度加大,在乌拉尔山附近地区形成阻塞高压向东北方向伸展加强,低压槽呈准东西向横贯于 40°~50°N、90°~130°E 附近。造成

强冷空气堆积,冷空气不断从横槽内分裂南下,冬季风偏强和冷空气活动频繁。长江流域到华南为多波动的形式,不断受小槽东移影响。850 hPa 温度场及其距平场合成图(图略)上,我国东部 30°~45°N 有密集(锋)区,低层锋区进入 40°N 以南,锋区堆积在华南地区(等温线密集),850 hPa 的 0℃线到华南北部,西太平洋副热带高压明显增强和青藏高原南缘的南支低槽系统活跃,使得西南暖湿气流源源不断北上,当中高纬横槽转竖南下,引导冷空气南移,暖湿气流与冷空气在华南交汇产生降水。造成广西大范围的降雪或冰冻天气过程。特别是中低层切变线和静止锋在广西境内稳定摆动时,降水或降雪得以维持。这类低温灾害影响范围广,强度大。

这种由于乌拉尔山区域脊的发展导致前槽横槽加深,冷空气堆积的形势我们定义为乌拉尔山横槽型。其关键区域:乌拉尔山和华北;关键系统:乌拉尔山阻高和横槽。

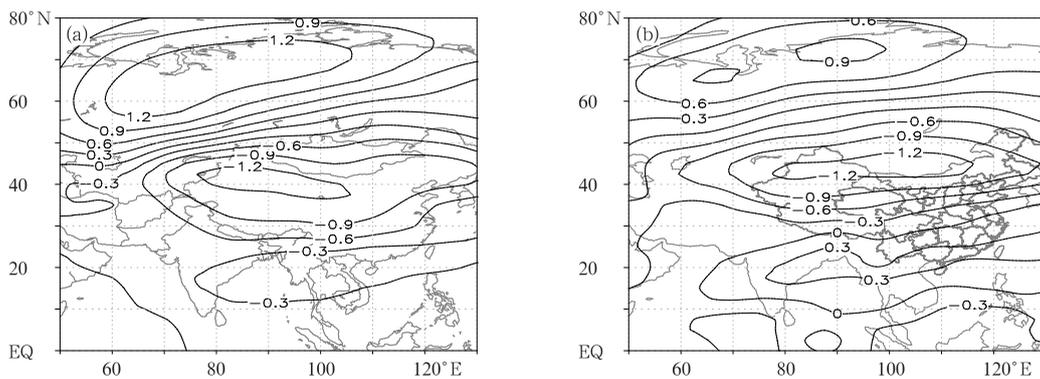


图 1 第一类 500 hPa 高度信号平均场(a,单位:dagpm)和温度信号平均场(b,单位:℃)
Fig. 1 The 500 hPa average circulation signal field (a, unit: dagpm) and average temperature signal field (b, unit: °C) of Pattern 1

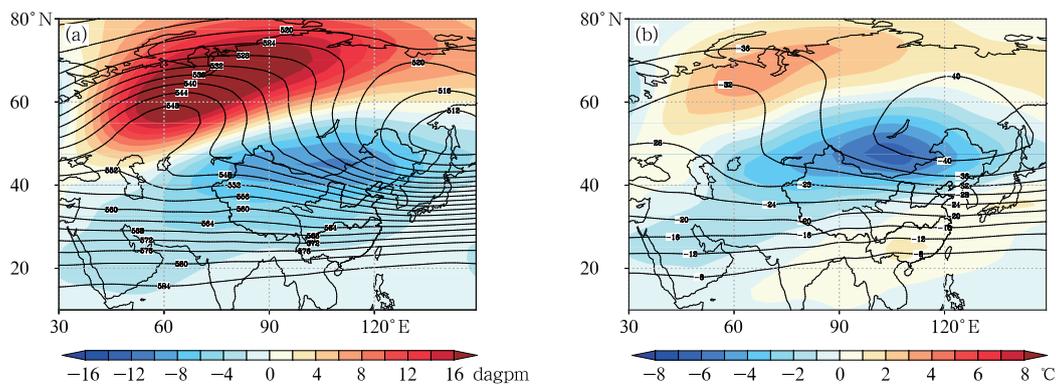


图 2 第一类 500 hPa(a)平均高度场(等值线,单位:dagpm)及其距平场(填色)和
(b)平均温度场(等值线,单位:℃)及其距平场(填色)

Fig. 2 The 500 hPa (a) average circulation field (isoline, unit: dagpm) and anomaly field (shaded) and (b) average temperature field (isoline, unit: °C) and anomaly field (shaded) of Pattern 1

4.2 第二类:关键区域为贝加尔湖区域和华中;关键系统为贝加尔湖—蒙古冷高和东北横槽

图 3 是第二类 500 hPa 高度信号合成场(图 3a)和温度信号合成场(图 3b),不论是高度场还是温度场,均有两个中心:高度信号场上,50°~80°N、70°~120°E 区域为正值区,基本位于贝加尔湖区域,最大值达 1.2。华北区域(20°~40°N、80°~120°E)为负值区,中心值为-0.9。正—负中心梯度方向由北指向南,温度信号场和高度信号场一致,只是强度没有高度值场强。

第二类和第一类信号场相比,强度和范围弱一些,负异常区域更为偏南。

图 4 是第二类 500 hPa 高度场及其距平场合成(图 4a)和温度场及其距平场合成(图 4b),在欧亚图上,贝加尔湖西北区域有脊发展,其南侧向东我国东北区域为槽区,距平场上,贝加尔湖西北比历史平均偏高 6~7 dagpm。温度场上,贝加尔湖为温度脊,东北为温度槽区,和第一类相比,距平值要小一些。华南前期的增温也没有。

500 hPa 高度信号场和 500 hPa 平均场、距平场对比,发现信号场天气意义清晰,表现为东北到蒙古一带的东北横槽发展。和第一类相比,槽脊明显东移,高压脊移到巴尔喀什湖到贝加尔湖之间,两侧各为一低压槽。由于槽脊位置偏东,当槽(脊)稳定时,冷空气一般从东路南下影响;冷空气爆发后中高纬槽脊叠加,中低纬经向度也随之加大,当槽(脊)逼近时,有明显的降水(雪)天气,当槽过后,天气转晴,进入白天融冰融雪、夜间晴空辐射降温过程。温度场上,高低温中心比乌拉尔山高压脊型弱且偏南,蒙古冷空气堆积也较弱,主要的冷中心位于江淮区域。0°C 线在 30°N 左右。华南沿海的增温没有第一类明显,也就是暖湿气流发展也没有乌拉尔山型强,这类形势下的低温雨雪冰冻天气强度比乌拉尔山型弱,持续时间也短一些。

这种由于贝加尔湖区域脊的发展导致东北横槽加深冷空气堆积的形势我们定义为贝加尔湖型或两槽一脊型,其 500 hPa 表现是两槽一脊,属于大型的低槽东移。关键区域:贝加尔湖区域和华中;关键系统:贝加尔湖—蒙古冷高和东北横槽。

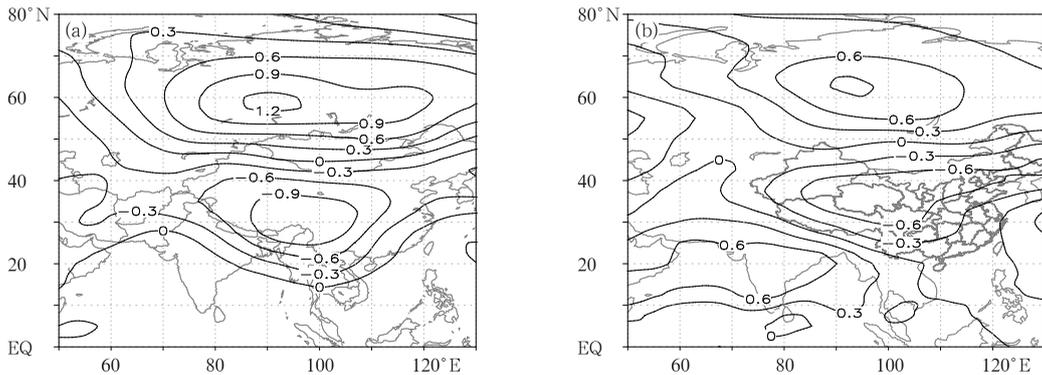


图 3 同图 1,但为第二类

Fig. 3 Same as Fig. 1, but for Pattern 2

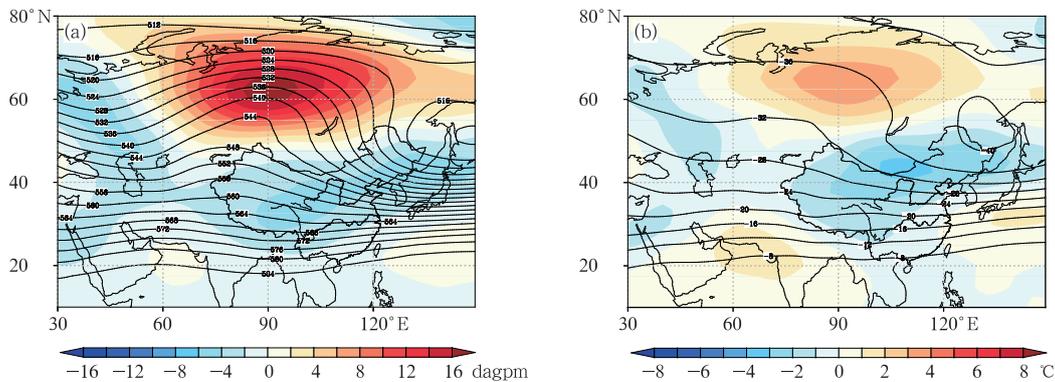


图 4 同图 2,但为第二类

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for Pattern 2

4.3 第三类:关键区域为我国西北新疆一带,关键系统为西北冷高压

图 5 是第三类 500 hPa 高度信号平均场(图 5a)和温度信号平均场(图 5b),不论是高度场还是温度场,均有两个中心。高度信号场上,陆地上是负值区,中心在我国西北新疆一带,最大值为-0.9。正值在我国东部沿海,中心值较弱,只有 0.3,负-正中心方向由西指向东,和前两类北向南明显不同。温度信号场和高度信号场一致,也有两中心,位置也大致一致。强度和范围比前两类弱。负异常比正异常突出。

图 6 是第三类 500 hPa 高度场及其距平场的平均场(图 6a)和温度场及其距平场的平均场(图 6b)。在欧亚图上,中高纬大气环流经向度不大,无明显的、长时间稳定的主体高压(脊)中心,只有一些小的波动,纬向环流比较明显。温度场上温度距平中心连线也是东西向为主,强度小。

将 500 hPa 高度信号场和 500 hPa 平均场、距平场对比,发现信号场天气意义清晰,信号场东西向

的分布代表着小槽影响为主,虽然强度没有其他两类大,但高原槽不断带下来得冷空气使得低温天气得以维持。冷空气活跃频繁,但强度不大,多以低温阴冷小雨雪天气为主。

综上,三种类型主要显著信号区的分布主要位于乌拉尔山东北,贝加尔湖及我国西北新疆一带。乌拉尔山脊及前侧的横槽,贝加尔湖脊及前侧的东北横槽,及我国西北新疆一带不断分裂的小槽是广西产生低温雨雪冰冻天气的关键系统。第一类特征是:三中心,南北向正-负-正。以 2008 年低温雨雪冰冻天气为代表。华南有增温,对北方冷空气堆积更为有利,而华南的暖垫,也使华南以冻雨为主。第二类特征是:两中心,南北向正-负,代表个例是 2003 年广西北部的大雪天气,这类天气华南前期温度没有正异常,整个华南都是负值区,说明前期华南已经降温,在后期冷空气主体南下(不断补充下),以降雪为主。第三类特征是:两中心,东西向负-正,气流纬向型,强度比前两类弱,多波动小槽。西北槽(高原槽)带领冷空气南下,使华南不断降温,这类低温过程较为常见,但经常达不到重大过程标准。

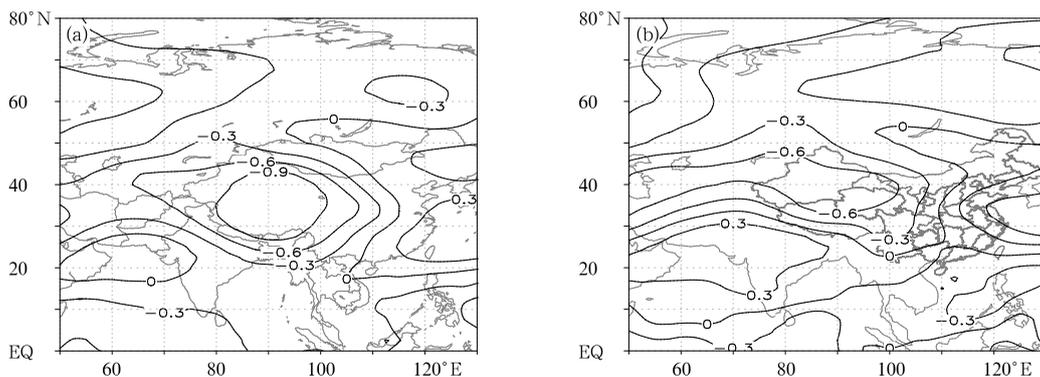


图 5 同图 1,但为第三类
Fig. 5 Same as Fig. 1, but for Pattern 3

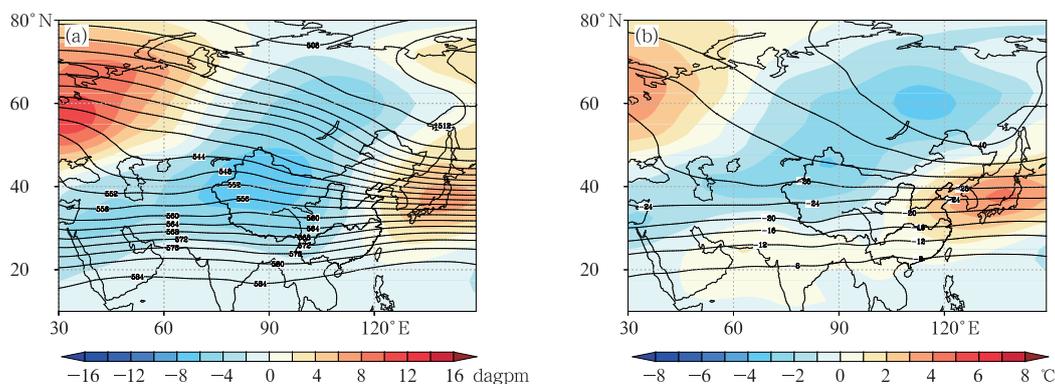


图 6 同图 2,但为第三类
Fig. 6 Same as Fig. 2, but for Pattern 3

5 三类信号场模型的 t 值场

为了检验合成场信号特征的代表性,进一步求出不同低温雨雪冰冻过程 500 hPa 高度及温度信号场合成 t 值场,也就是对合成场进行显著性检验:

$$t = \frac{\bar{X}}{s/\sqrt{m-1}} \quad (7)$$

式中, t 是一个统计量,它对应的随机变量遵从自由度为 $m-1$ 的 t 分布。 \bar{X}, s 分别为场中格点信号序列平均值和标准差, m 为合成序列的样本容量。当合成场中某格点实际计算 t 值的绝对值大于 2 时,可以认为该格点的合成值是显著的(其显著水平约为 0.05)。

对三类模型的信号合成场,得到的三类综合信号场的 t 值场(图 7~图 9)。

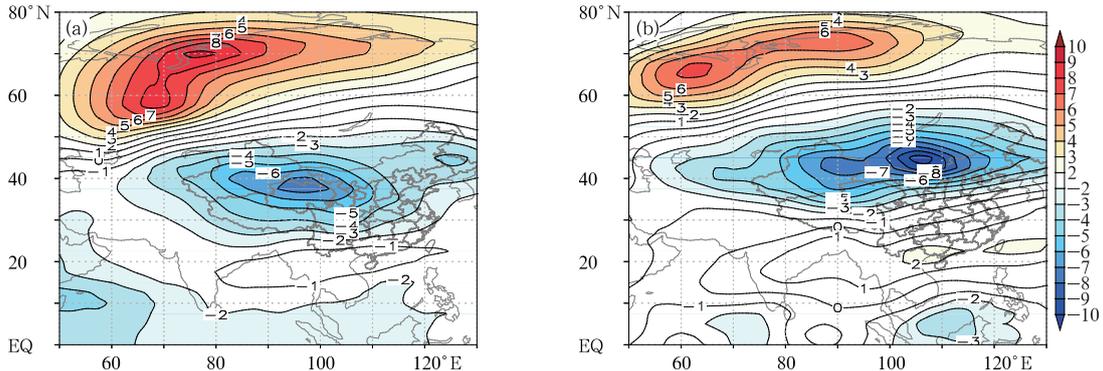


图 7 第一类要素合成 t 值场(a)500 hPa 高度场和(b)500 hPa 温度场的平均场

Fig. 7 Average t -value field (a) 500 hPa circulation field, (b) 500 hPa temperature field of Pattern 1

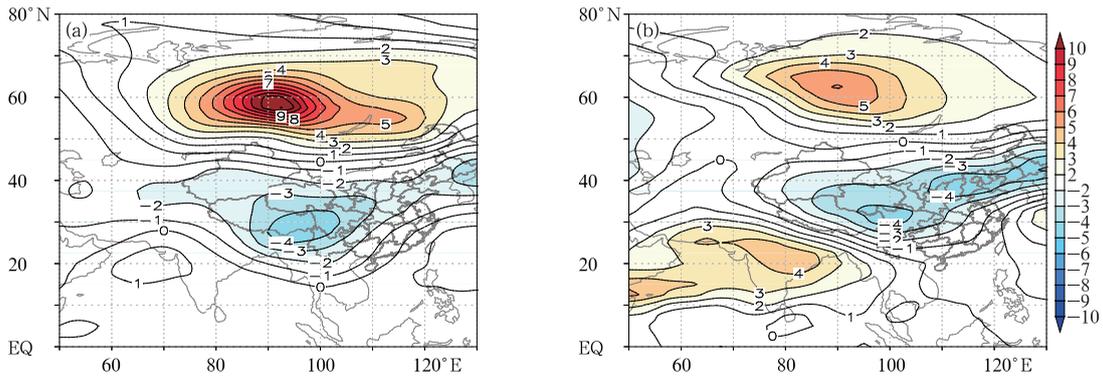


图 8 同图 7,但为第二类

Fig. 8 Same as Fig. 7, but for Pattern 2

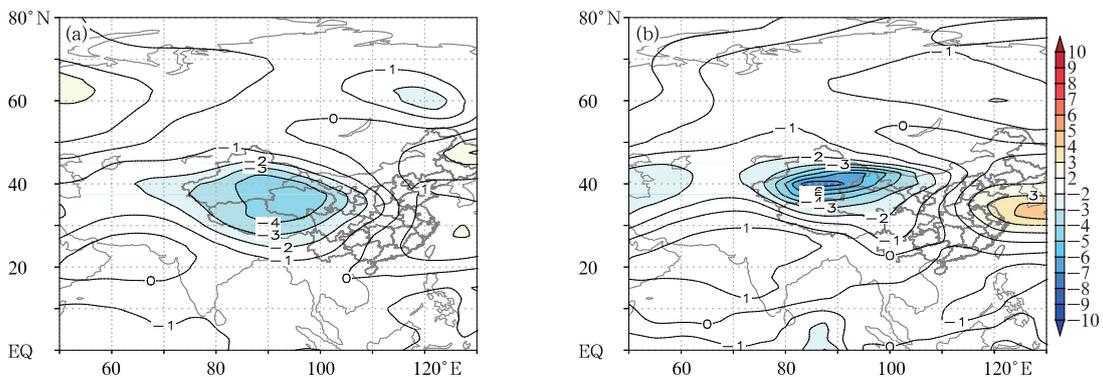


图 9 同图 7,但为第三类

Fig. 9 Same as Fig. 7, but for Pattern 3

第一类合成 t 值场上,不论是高度场还是温度场,均有两个中心:50°~80°N、50°~90°E 区域为正值区,其 t 值场的绝对值 ≥ 2 ,中心值为 8 以上;另一中心值在 25°~50°N、80°~120°E 区域为负值区,其 t 值场的绝对值 ≥ 2 ,中心值为 -8。以上说明对应的第一类异常强信号,在此区域通过 0.05 显著性水平检验。

第二类合成 t 值场上,不论是高度场还是温度场,仍有两个中心:50°~70°N、70°~120°E 区域为正值区,其 t 值场的绝对值 ≥ 2 ,中心值为 9 以上;另一中心值在 20°~40°N、80°~120°E 区域为负值区,其 t 值场的绝对值 ≥ 2 ,中心值为 -4。以上说明对应的第二类异常强信号,在此区域通过 0.05 显著性水平检验。

第三类合成 t 值场上,中国陆地范围内,不论是高度场还是温度场,只有一个中心:在 20°~45°N、80°~110°E 区域为负值区,其 t 值场的绝对值 ≥ 2 ,中心值为 -4。以上说明对应的第三类异常强信号,在此区域通过 0.05 显著性水平检验。

6 结 论

(1) 利用冷湿指数定义识别出 1957—2016 年出现广西区域持续性低温雨雪冰冻事件 89 例,平均每年约 1.4 次,和南方寒潮平均年爆发次数 1.3 次接近,出现的时间和广西年极端最低温度出现的时段一致。

(2) 利用冷湿指数定义选取 1957—2016 年广西重大低温雨雪冰冻天气过程中乌拉尔山阻塞(横槽)型和两槽一脊型各占总次数的 40% 和 37.5%,多波动只占 22.5%。而且在 PT 值排序前 15 名中受乌拉尔山阻塞(横槽)影响的个例占 10 个,乌拉尔山阻塞(横槽)影响的个例平均影响时间在三类中最长,达 10.2 d,比较符合这种类型的天气系统影响下,广西低温雨雪灾害最重的实况。利用这种方法选取个例能得出影响的时段、范围等,因而具备初步对广西重大低温雨雪冰冻天气过程的影响程度进行评估的功能。

(3) 广西 PT 值排序前 40 例重大个例的 500 hPa 高度信号场异常面积和异常强度的相关系数达到 0.995。40 个个例大部分低温雨雪冰冻都有强的面积和强信号反应。正异常的表现更为突出。正异常一般表现的是高度场上的正值系统,也就是

脊区,冬季高纬脊区发展通常配合冷平流的加强,冷空气堆积是广西连续低温雨雪冰冻出现的关键。

(4) 将 40 次低温雨雪冰冻的 500 hPa 高度信号场分为三种类型;乌拉尔山阻塞型(简称乌山型)、两槽一脊型(低槽东移型)和多波动型(小槽发展型),第一类特征是:三中心,南北向正一负一正。第二类特征是:两中心,南北向正一负,第三类特征是:两中心,东西向负一正。第一类中心值最大,第三类最小,第一、二类的正负中心北指向南,第三类由西指向东。

(5) 三种类型主要显著高度和温度信号区的分布关键区是乌拉尔山东北区域,贝加尔湖及我国西北新疆区域。乌拉尔山脊及前侧的横槽,贝加尔湖脊及前侧的东北横槽,及我国西北新疆一带不断分裂的小槽是广西产生重大低温雨雪冰冻天气的关键系统。

参考文献

- 曹丽娟,严中伟,2011. 地面气候资料均一性研究进展[J]. 气候变化研究进展,7(2):129-135. Cao L J, Yan Z W, 2011. Progresses in research of homogenization of climate data [J]. Adv Climate Change Res, 7(2):129-135 (in Chinese).
- 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[J]. 气象学报, 66(5):808-825. Ding Y H, Wang Z Y, Song Y F, et al, 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and in possible association with global warming[J]. Acta Meteor Sin, 66(5):808-825 (in Chinese).
- 黄嘉佑,杨扬,周国良,2002. 500 hPa 高度场的信号场突变与我国暴雨的发生规律性研究[J]. 大气科学,26(5):625-632. Huang J Y, Yang Y, Zhou G L, 2002. Jump phenomena in the 500 hPa signal field and the occurrence of China's heavy rainfalls[J]. Chin J Atmos Sci, 26(5):625-632 (in Chinese).
- 兰晓青,陈文,2013. 2011—2012 年冬季欧亚大陆低温严寒事件与平流层北极涛动异常下传的影响[J]. 大气科学,37(4):863-872. Lan X Q, Chen W, 2013. Strong cold weather event over Eurasia during the winter of 2011/2012 and a downward Arctic Oscillation signal from the stratosphere[J]. Chin J Atmos Sci, 37(4):863-872 (in Chinese).
- 李向红,陆虹,伍静,等,2018. 影响广西两次低温灾害及物理机制对比分析[J]. 灾害学,33(4):60-64. Li X H, Lu H, Wu J, et al, 2018. Comparison analysis of two low temperature disasters and physical mechanism in Guangxi[J]. J Catastroph, 33(4):60-64 (in Chinese).
- 李艳,王式功,金荣花,等,2012. 我国南方低温雨雪冰冻灾害期间阻塞高压异常特征分析[J]. 高原气象,31(1):94-101. Li Y, Wang S G, Jin R H, et al, 2012. Abnormal characteristics of blocking high during durative low temperature, snowfall and freezing weather in southern China[J]. Plateau Meteor, 31(1):94-101 (in

- Chinese).
- 梁敏妍,黄嘉佑,徐碧裕,等,2016. 江门市前汛期大暴雨的 500 hPa 信号场分析[J]. 热带气象学报,32(3):425-432. Liang M Y, Huang J Y, Xu B Y, et al, 2016. An analysis of the 500 hPa signal field of rainstorms in Jiangmen during annually first flood season[J]. J Trop Meteor, 32(3):425-432(in Chinese).
- 陆虹,翟盘茂,覃卫坚,等,2015. 低温雨雪过程的粒子群-神经网络预报模型[J]. 应用气象学报,26(5):513-524. Lu H, Zhai P M, Qin W J, et al, 2015. A particle swarm optimization-neural network ensemble prediction model for persistent freezing rain and snow storm in southern China[J]. J Appl Meteor Sci, 26(5):513-524 (in Chinese).
- 陆慧娟,沈善普,黄嘉佑,2005. 长江中游地区暴雨过程的 500 hPa 信号场特征[J]. 气象学报,63(3):333-341. Lu H J, Shen S P, Huang J Y, 2005. An analysis of the 500 hPa signal field for heavy rainfall events over the middle reaches of the Yangtze River in China[J]. Acta Meteor Sin, 63(3):333-341 (in Chinese).
- 聂羽,孙冷,王东阡,等,2016. 2015/2016 年前冬至隆冬北半球中高纬度暖冷急转及环流特征初析[J]. 气象,42(10):1223-1229. Nie Y, Sun L, Wang D Q, et al, 2016. Possible causes for the sudden drop of air temperature in the Northern Hemisphere from early-2015 to 2016 mid-winter[J]. Meteor Mon, 42(10):1223-1229(in Chinese).
- 覃志年,钟利华,刘莉红,等,2010. 2008 年初广西异常低温雨雪冰冻天气影响因子分析[J]. 气象,36(10):14-20. Qin Z N, Zhong L H, Liu L H, et al, 2010. Analysis on influence factors of the abnormal low temperature sleet and frost weather in Guangxi at the beginning of 2008[J]. Meteor Mon, 36(10):14-20 (in Chinese).
- 宋瑞艳,高学杰,石英,等,2008. 未来我国南方低温雨雪冰冻灾害变化的数值模拟[J]. 气候变化研究进展,4(6):352-356. Song R Y, Gao X J, Shi Y, et al, 2008. Simulation of changes in cold events in southern China under global[J]. Adv Climate Change Res, 4(6):352-356 (in Chinese).
- 唐熠,韦健,周文志,等,2013. 广西重大低温雨雪冰冻天气过程概念模型分析[J]. 灾害学,28(2):25-30. Tang Y, Wei J, Zhou W Z, et al, 2013. Analysis on the conceptual model of major cryogenic freezing rain and snow in Guangxi[J]. J Catastroph, 28(2):25-30(in Chinese).
- 唐熠,周文志,奚广平,等,2011. 广西冻雨气候及天气形成的机理分析[J]. 灾害学,26(2):24-29. Tang Y, Zhou W Z, Xi G P, et al, 2011. Analysis on mechanism of freezing rain climate and weather in Guangxi[J]. J Catastroph, 26(2):24-29(in Chinese).
- 陶诗言,卫捷,2008. 2008 年 1 月我国南方严重冰雪灾害过程分析[J]. 气候与环境研究,13(4):337-350. Tao S Y, Wei J, 2008. Severe snow and freezing-rain in January 2008 in the southern China[J]. Climatic Environ Res, 13(4):337-350(in Chinese).
- 万素琴,周月华,李兰,等,2008. 低温雨雪冰冻极端气候事件的多指标综合评估技术[J]. 气象,34(11):40-46. Wan S Q, Zhou Y H, Li L, et al, 2008. A multi-index synthetic assessment method for extreme climate events of sleet and freezing with low temperature[J]. Meteor Mon, 34(11):40-46(in Chinese).
- 王春学,马振峰,王佳津,等,2017. 四川盆地区域性暴雨时空变化特征及其前兆信号研究[J]. 气象,43(12):1517-1526. Wang C X, Ma Z F, Wang J J, et al, 2017. Recognition and spatio-temporal variation of regional rainstorm processes over Sichuan Basin[J]. Meteor Mon, 43(12):1517-1526(in Chinese).
- 王颖,王晓云,江志红,等,2013. 中国低温雨雪冰冻灾害危险性评估与区划[J]. 气象,39(5):585-591. Wang Y, Wang X Y, Jiang Z H, et al, 2013. Assessment and zoning of low-temperature, rain/snow and freezing disasters in China[J]. Meteor Mon, 39(5):585-591(in Chinese).
- 吴古会,彭芳,崔庭,等,2012. 2011 年冬季贵州低温雨雪冰冻天气的成因分析[J]. 气象,38(3):291-299. Wu G H, Peng F, Cui T, et al, 2012. Analysis of Guizhou's rare freezing catastrophic weather in winter 2011[J]. Meteor Mon, 38(3):291-299(in Chinese).
- 严小林,杨扬,黄嘉佑,等,2013. 海河流域严重干旱 500 hPa 信号场异常信号分析[J]. 水文,33(1):27-31. Yan X L, Yang Y, Huang J Y, et al, 2013. Anomalies of 500 hPa signal field during meteorological droughts in Haihe River Basin[J]. J China Hydrol, 33(1):27-31(in Chinese).
- 余岸雄,黄嘉佑,张焱,等,2012. 利用信号场作深圳宝安机场的雷暴分类研究[J]. 科学技术与工程,12(31):8349-8354. Yu A X, Huang J Y, Zhang Y, et al, 2012. A study on classification of thunderstorm by using the signal field at Shenzhen Baoan Airport[J]. Sci Technol Engineering, 12(31):8349-8354 (in Chinese).
- 朱乾根,1992. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社:442-450. Zhu Q G, 1992. Principle and Method of Synoptic Meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press: 442-450 (in Chinese).
- Qian X, Miao Q L, Zhai P M, et al, 2014. Cold-wet spells in mainland China during 1951-2011[J]. Natural Hazards, 74(2):931-946.
- Wang X L, 2008. Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal T or F test[J]. J Appl Meteor Climatol, 47(9):2423-2444.
- Wang X L, Wen Q H, Wu Y H, 2007. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series[J]. J Appl Meteor Climatol, 46(6):916-931.
- Zhang H Q, Qin J, Li Y, 2011. Climatic background of cold and wet winter in southern China; part I observational analysis[J]. Climate Dyn, 37(11-12):2335-2354.