

王飞, 王晓君, 姚自伟, 等. 普洱市冬季低温冷害天气过程研究[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(5): 56–63.

普洱市冬季低温冷害天气过程研究

王 飞¹, 王晓君², 姚自伟¹, 高正南¹, 何泉威¹

(1. 云南省普洱市气象台, 云南 普洱 665000; 2. 云南省普洱市人工影响天气中心, 云南 普洱 665000)

摘 要: 利用常规地面、高空观测资料, 灾情信息以及 NCEP/NCAR、ECMWF 再分析资料, 对 1999—2020 年共 22 a 发生在普洱市的 10 次低温冷害天气过程进行分析, 结果表明: (1) 普洱市低温冷害天气过程可分为 3 类, 不同类型高低层环流形势差异显著。 (2) I 型以低温雨雪灾害为主, 受南支槽和冷空气共同影响; 期间欧亚中高纬度 500 hPa 呈现为一槽一脊模态, 东亚大槽由横转竖形成阶梯槽, 并伴有南支槽稳定维持。 (3) II 型过程开始至最强阶段主要形成低温雨雪灾害, 最强至趋于结束阶段发生霜冻; 期间欧亚中高纬度 500 hPa 形势表现为两槽一脊模态, 东亚大槽偏浅, 南支槽为快速东移型。 (4) III 型主要以低温霜冻灾害为主, 无南支槽配合; 期间欧亚中高纬度 500 hPa 形势表现为两槽一脊模态, 高压脊较强利于脊前西北气流下沉。 (5) 冷空气活动是 3 类低温冷害天气过程的共同特征, 其差异主要表现在有无南支槽系统的配合; 此外, 普洱市上空 850 hPa 出现持续东北风、温度 < 8 ℃, 可以作为低温冷害, 包括低温雨雪或低温霜冻产生的重要指标。

关键词: 普洱市; 冬季低温冷害; 南支槽; 预报指标

中图分类号: P458.1⁺1 **文献标识码:** A

Study on Weather Cases of Low Temperature and Cold Damage in Winter in Pu'er City

WANG Fei¹, WANG Xiaojun², YAO Ziwei¹, GAO Zhengnan¹, HE Quanwei¹

(1. Pu'er Meteorological Observatory of Yunnan Province, Pu'er 665000, China;

2. Pu'er City Weather Modification Center of Yunnan Province, Pu'er 665000, China)

Abstract: Based on the conventional surface and high observation, disaster information, NCEP/NCAR and ECMWF reanalysis data, 10 weather cases of low temperature and cold damage occurred in Pu'er City in 22 years from 1999 to 2020 were analyzed. The results show that: (1) the weather events of low temperature and cold damage in Pu'er city can be divided into three categories, and the circulation patterns of different types at high and low levels are significantly different. (2) Type I is dominated by rain and snow disaster with low temperature, which are both affected by the south branch trough and cold air. During this period, the middle and high latitude of Eurasia shows a trough and ridge mode at 500 hPa, and the East Asian trough shows a ladder trough from the transverse to vertical mode, accompanied by the south branch trough. (3) Type II processes mainly caused rain and snow disaster with low temperature from the beginning to the strongest stage, and caused frost from the strongest stage to the end stage. During the whole period, circulation in the middle and high latitude of Eurasia at 500 hPa shows the pattern of two trough and one ridge, the East Asia trough was shallow, and the southern branch trough was fast moving eastward. (4) Type III is mainly caused low temperature frost disaster, without the cooperation of the southern branch trough, and the situation at 500 hPa in the middle and high latitude of Eurasia shows the mode of two trough and one ridge, and the strong high ridge is conducive to the sinking of the northwest air in front of the ridge. (5) The activity of cold air is the common feature of the three kinds of cold weather events, and their difference is mainly manifested in the coordination of the southern branch trough system. In addition, the persistent

收稿日期: 2022-10-10

第一作者简介: 王飞 (1983—), 男, 工程师, 主要从事中短期天气预报研究, E-mail: 178952371@qq.com。

资助项目: 国家自然科学基金 (U1902209, 41775073)。

northeast airflow at 850 hPa over Pu'er City and the temperature is less than 8 °C can be used as an important indicator for low temperature and cold damage events, including rain and snow or frost with low temperature.

Key words: Pu'er City; low temperature and cold damage in winter; south branch trough; forecast factor

0 引言

普洱市位于云南西南部,地处 22°02′~24°50′N,99°09′~102°19′E,境内群山起伏,山地面积占 98.3%;北回归线横穿普洱市中部,受地形、海拔影响,垂直气候特点明显;影响云南的冷空气只有强度较强时才有可能翻越哀牢山脉影响普洱地区。由于普洱市气候常年偏暖,种植了面积、产量和产值均居全国第一的咖啡等热带作物,因而普洱市对低温冷害的防御能力显著偏弱,例如 1999 年 12 月 23—30 日低温冷害天气造成普洱市经济损失达当年 GDP 的 16.29%。因此,开展普洱市低温冷害天气的研究,对于做好气象防灾减灾工作具有十分重要的科学意义和现实意义。

研究表明^[1-2],发生在我国的寒潮天气北方较多,其次是中国东部的江南地区。单就南方地区而言^[3-9],冷空气影响最频繁的时段为 12 月—次年 1 月,一般沿西路、中路、东路及东路加西路 4 条路径南下影响我国南方地区,而影响地处低纬高原云南的冷空气在强度和路径等方面与我国东部和北部地区不同。研究发现^[10-12],云南寒潮影响强度及频次都较全国大部偏弱、偏少,南下影响云南的冷空气主要有西北、东北和偏东 3 条路径。当前已有一些学者对云南的低温冷害天气进行了研究^[13-22],结果表明云南的寒潮天气主要集中在东部和北部,西南部地区最少,因此很多有关低温冷害天气的研究也主要针对云南东部地区。这些研究对云南西南地区的低温冷害天气的预报有一定的指导意义,但针对性不够强,缺乏定量化的指标;同时云南西南

地区低温冷害天气发生的规律、形成原因等尚不清晰。因此,有必要进一步开展普洱市低温冷害天气形成原因的研究,加深对低温冷害天气背景的认识。

1 资料与方法

所用资料为 1999—2020 年冬季(12 月—次年 2 月)的常规高空观测资料,175 个地面气温观测站资料,再分析资料(ECMWF 提供的空间分辨率为 0.25°×0.25°,时间分辨率为 1 h 的再分析资料;NCEP/NCAR 提供的空间分辨率为 2.5°×2.5°,时间分辨率为 1 d 的再分析资料),气象灾害管理系统的灾情信息以及其他补充资料;气候平均值定义为 1981—2010 年的平均值。

将达到以下任意 2 个以上标准的过程定义为 1 次低温冷害天气过程:(1)普洱市受冷空气影响,全市 20% 气象观测站出现日最低气温≤5 °C;(2)普洱市任意县(区)高海拔地区出现降雪,或者霜冻;(3)低温天气造成全市 60 万元以上的直接经济损失。根据上述标准共挑选出 10 次低温冷害天气过程;根据过程相伴出现的不同天气现象的发生时间对其分型;将每种类型的每次过程开始、最强、结束对应时段进行合成分析。

2 结果分析

2.1 普洱市低温冷害天气过程概述

1999—2020 年冬季普洱市共出现 10 次低温冷害天气过程;其中 1999 年、2013 年和 2016 年的低温冷害影响最大,经济损失均超过 50 000 万元(表 1)。

表 1 普洱市 10 县(区)1999—2020 年冬季低温冷害天气过程最低气温≤5 °C 站点百分率、天气现象和灾情统计表

Tab. 1 Statistics of the percentage of stations with minimum temperature≤5 °C, weather phenomena and disaster conditions during the cold weather cases of 10 counties(districts) in Pu'er City in winter from 1999 to 2020

日期	≤5 °C 的站点/%	天气现象	经济损失/万元
1999-12-23—30	100	霜冻	79 103.6
2007-01-31—02-02	22	雪	1 486.7
2008-12-02—03	20	霜冻	61.2
2013-12-15—18	99	雪、霜冻	92 700
2014-01-19—21	76	雪、霜冻	—
2015-01-08—14	85	雪、霜冻	1700
2016-01-23—26	86	雪	50 000
2017-12-19—22	91	霜冻	6 016.5
2019-12-04—10	85	雪、霜冻	869.6
2020-01-26—28	78	霜冻	2 468

从 1960—2020 年冬季普洱市平均气温变化可知气温年代际正距平时期的 1995 年($-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)、1996 年($-0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$)、1999 年($-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)和 2013 年

($-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)普洱市冬季平均气温均偏低(图 1),表明普洱市低温冷害天气非常值得研究。

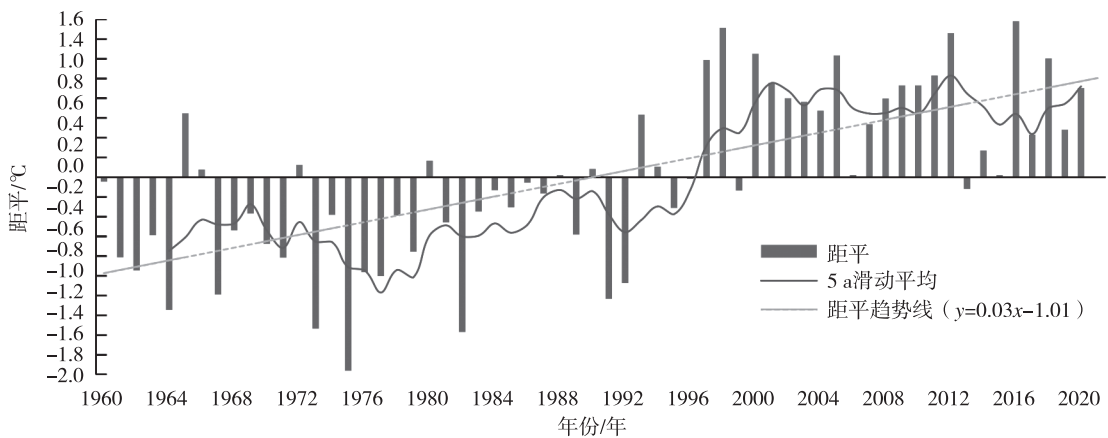


图 1 1960—2020 年冬季普洱市 10 县(区)平均气温距平变化

Fig.1 Average temperature anomalies of 10 counties(districts) in Pu'er City in winter from 1960 to 2020

2.2 低温冷害天气过程的分型分析

低温冷害天气均与冷空气活动有关,其表现形式有一定的差异,大气环流形势的变化也有所不同。根据 10 次低温冷害天气过程相伴出现的不同天气现象及其发展演变特征,将低温冷害天气分为 3 种类型:Ⅰ型以低温雨雪天气为主;Ⅱ型过程开始至最强阶段以低温雨雪天气为主,最强至趋于结束

阶段出现霜冻灾害;Ⅲ型以低温霜冻灾害为主。
2.2.1 Ⅰ型低温冷害天气过程分析 10 次低温冷害天气过程中有 2 次属于Ⅰ型,过程受南支槽和冷空气共同影响,以低温雨雪天气为主,850 hPa 上温度低于 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域分别控制普洱市 2~3 d 和 1~2 d(表 2)。

表 2 Ⅰ型低温冷害天气过程影响系统、低温变化以及天气现象
Tab.2 Influence system, low temperature variation and weather of type I cold weather cases

时间	影响系统	850 hPa < $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 线维持时间/d	850 hPa < $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 线维持时间/d	过程开始至最强阶段雨雪	过程最强至趋于 结束阶段霜冻
2007-01-31—02-02	南支槽、冷空气	2	1	无量山、哀牢山的部分乡镇 和澜沧的部分乡镇降雪	霜冻弱
2016-01-23—26	南支槽、冷空气	3	2	普洱市 70% 区域降雪	无

图 2 给出了Ⅰ型低温冷害天气高低层大气环流分布。过程开始时,500 hPa 高空图上欧亚中高纬度为一槽一脊模态,欧洲东部至亚洲为强盛的高压脊区,东亚大槽以横槽呈现,850 hPa 上东北风已开始影响云南地区并进入普洱市东部;海平面气压场上云南地区形成东高西低、北高南低的形势,且东部为大范围的正变压,这有利于冷空气进入普洱地区;此时 850 hPa 上 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线位于普洱地区东部(图 2a~2c)。过程最强阶段,强盛的高压脊区减弱位置偏西,东亚大槽转竖入海,东亚地区形成阶梯槽,850 hPa 上东北风加强影响普洱地区并延伸到中南半岛北部,云南地区海平面气压场上北高南低、东高西低形势更为明显,且东部更为明显的大范围正变压出现变压中心,普洱地区处于正变压区,说明冷空气已大举南下并有后续冷空气的补充;同时

孟加拉湾南支槽加深,将水汽输送至云南;此时 850 hPa 上 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线控制云南大部地区,普洱市位于 $0\sim4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线之间,较强的低温雨雪天气过程开始形成(图 2d~2f)。过程趋于结束阶段,强盛的高压脊区位于欧洲东部至亚洲西部,东亚阶梯槽消散;普洱地区低空由东北风转为东南风控制,云南地区海平面气压场上北高南低、东高西低的形势减弱,且包括普洱的大部地区转为负变压区,南支槽加强且位置偏南;这说明后期冷空气补充减弱,来自热带地区的水汽输送逐渐增强(图 2g~2i)。
值得关注的是,普洱地区上空 850 hPa 出现持续东北风,同时温度 $<8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,全市现有气温监测站中 22%~86% 的站点日最低气温降到了 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下(表 1),表明当对流层低层有持续东北风、温度 $<8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,普洱市出现低温冷害天气的可能性较大。

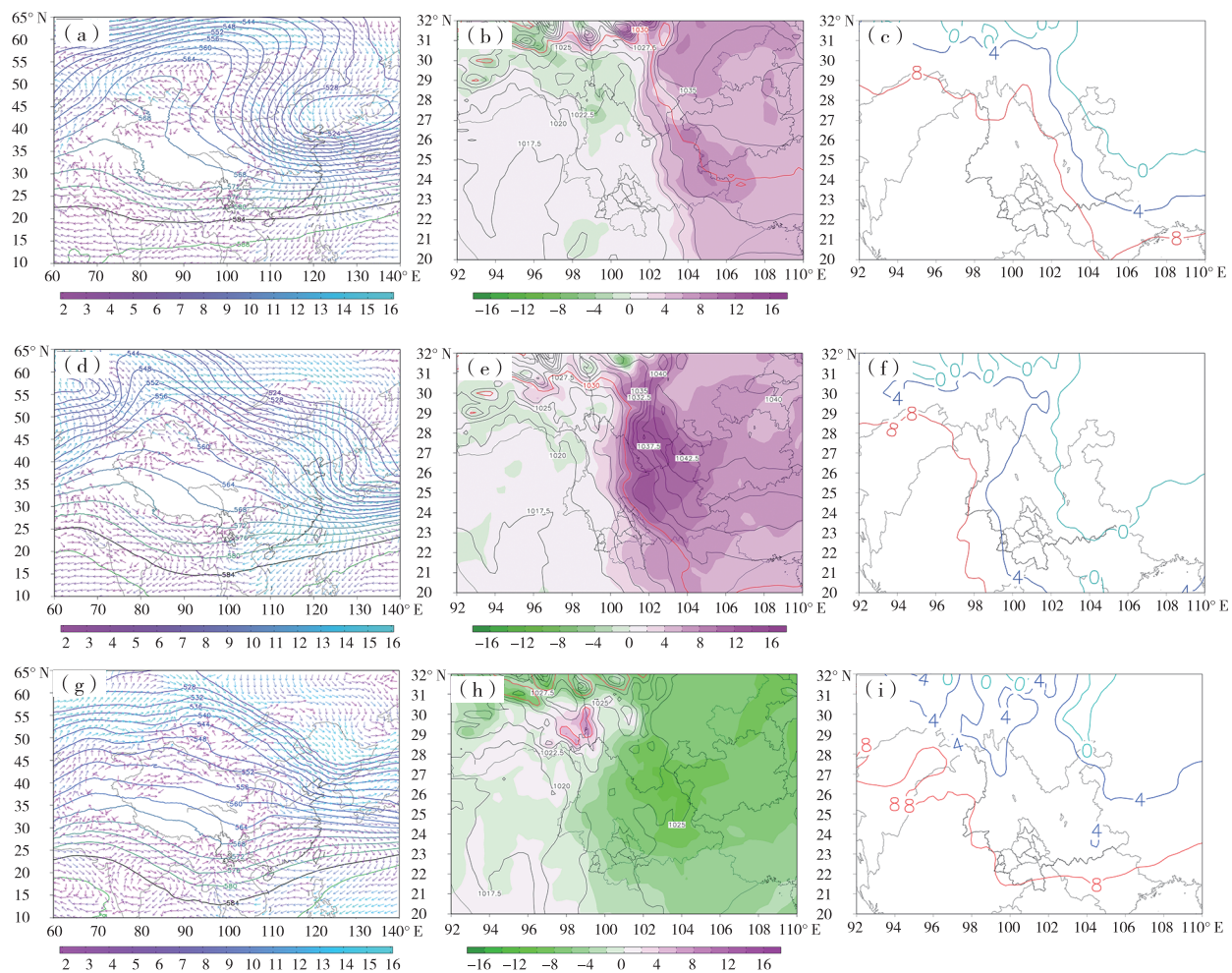


图2 I型低温冷害天气过程高低层大气环流分布合成图:(a、d、g)500 hPa 位势高度(等值线,单位:gpm)和850 hPa 风场(矢量,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);(b、e、h)海平面气压场(等值线,单位:mb)和距平(阴影,单位:mb);(c、f、i)850 hPa 温度场(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig.2 Synthetic diagram of the distribution of atmospheric circulation in upper and lower layers of type I cold weather cases:(a, d,g) 500 hPa potential height (isoline, unit:gpm) and 850 hPa wind field (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);(b,e,h) sea level pressure (isoline, unit:mb) and anomalies (shaded, unit:mb);(c,f,i)850 hPa temperature field (unit: $^{\circ}\text{C}$)

图3给出了普洱区域($22^{\circ} \sim 25^{\circ}\text{N}$, $99^{\circ} \sim 102.5^{\circ}\text{E}$) I型低温冷害天气过程相对湿度和垂直速度高度剖面,可看出850~600 hPa相对湿度较大且垂直变化较小,过程开始到最强阶段整层大气以上升运动为主,对低温雨雪天气的出现较为有利;过程趋于结束阶段上升运动明显减弱,但湿度较大使得天空状况较差,夜间辐射降温不明显,不利于霜冻的形成。

基于以上分析, I型低温冷害天气过程开始至最强阶段受南支槽和冷空气配合影响,抬升条件和水汽条件较好有利于低温雨雪天气的出现;趋于结束阶段冷空气补充减弱,南支槽有所加强位置偏南,西南气流水汽输送使得天空状况较差,夜间辐射降温不明显,不利于低温霜冻天气出现。

2.2.2 II型低温冷害天气过程分析 4次II型低

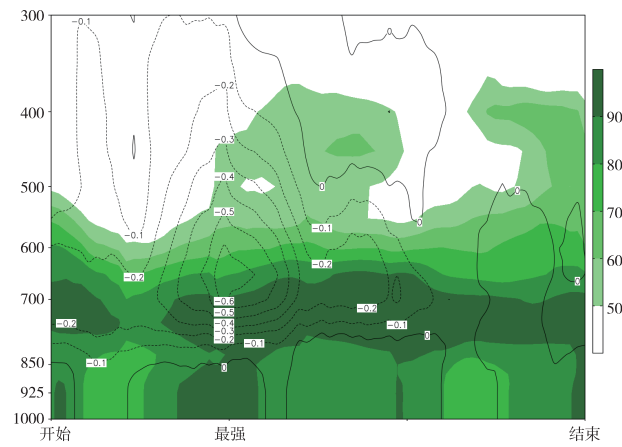


图3 普洱区域 I型低温冷害天气过程相对湿度(单位:%) 和垂直速度(单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)高度剖面合成图

Fig.3 Synthetic diagram of the relative humidity (unit:%) and vertical velocity (unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) height profile in Pu'er area during type I cold weather cases

温冷害天气过程同样受南支槽和冷空气共同影响,过程开始至最强阶段出现低温雨雪,最强至趋于结束阶段出现霜冻,850 hPa 温度 <8 ℃ 和 <4 ℃ 的区域分别控制普洱市 3~6 d 和 0~3 d(表 3)。

表 3 II 型低温冷害天气过程影响系统、低温变化以及天气现象

Tab.3 Influence system, low temperature variation and weather of type II cold weather cases

时间	影响系统	850 hPa <8 ℃ 维持时间/d	850 hPa <4 ℃ 维持时间/d	过程开始至 最强阶段雨雪	过程最强至趋于 结束阶段霜冻
2013-12-15—18	南支槽、冷空气	4	3	普洱市 80% 区域降雪	霜冻
2014-01-19—21	南支槽、冷空气	3	0	景东部分乡镇降雪	霜冻
2015-01-08—14	南支槽、冷空气	6	1	景东、镇沅部分乡镇降雪	霜冻
2019-12-04—10	南支槽、冷空气	5	1	镇沅、墨江部分乡镇降雪	霜冻

图 4 给出了 II 型低温冷害天气高低层大气环流分布。过程开始时,500 hPa 高空图上欧亚中高纬度为两槽一脊模态,欧洲东部至亚洲为强盛的高压脊区,与 I 型不同的是东亚大槽偏浅,云南地区受南支槽前西南气流影响,850 hPa 东北风建立并影响云南东部;海平面气压场上云南地区北高南低的形势较为明显,北部为较明显的正变压,同样有利于冷空气进入云南并进一步影响普洱地区;此时 850 hPa 上 8 ℃ 等温线位于普洱地区东部(图 4a~4c)。

过程最强阶段,强盛的高压脊区缓慢东移,东

亚地区未出现阶梯槽,云南地区处于南支槽后西北气流中,850 hPa 东北风加强影响普洱地区并延伸到中南半岛北部;云南地区海平面气压场上北高南低的形势维持,中部以西以南包括普洱地区为较大范围的正变压,说明此阶段受冷空气影响,且处于下沉区;此时 850 hPa 上 8 ℃ 等温线控制普洱地区,南支槽移速快,南支槽影响时段形成较强的低温雨雪,南支槽过境后,夜间容易产生较强的晴空辐射,形成霜冻天气(图 4d~4f)。

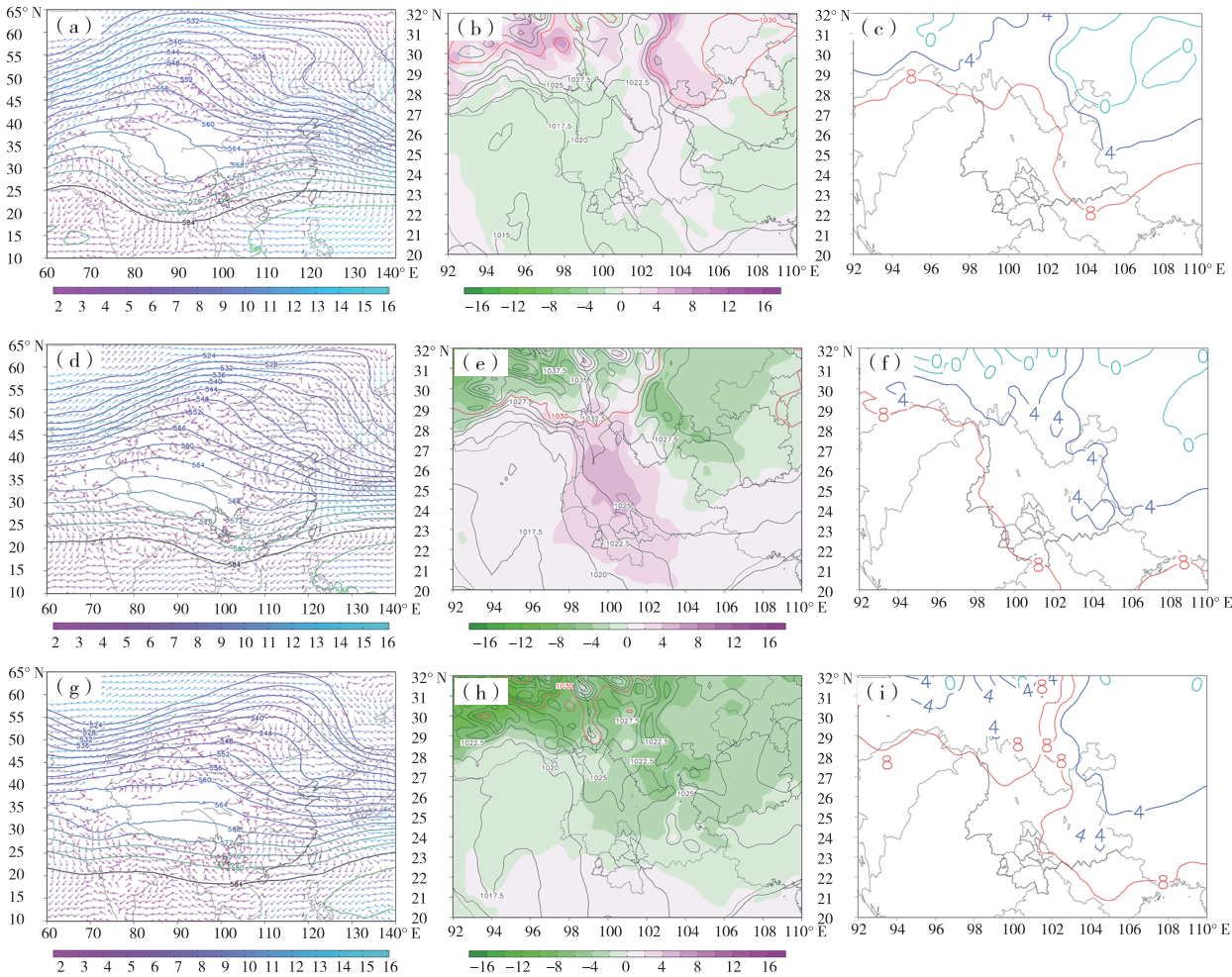


图 4 同图 2,但为 II 型低温冷害天气过程高低层大气环流分布

Fig.4 Same as fig.2, but for the Distribution of atmospheric circulation in upper and lower layers of type II cold weather cases

过程趋于结束阶段,强盛的高压脊区继续缓慢东移,云南地区转为较平直西风控制,普洱地区 850 hPa 西北风转为偏东风,云南地区海平面气压场上北高南低的形势减弱且包括普洱的大部地区转为负变压区,说明此时冷空气和下沉气流均明显减弱,霜冻天气减弱趋于结束(图 4j ~ 4i)。

值得注意的是,普洱地区上空 850 hPa 出现持续东北风,同时温度 < 8 ℃ 时,普洱市现有气温监测站中 76% ~ 99% 的站点日最低气温降到了 5 ℃ 以下(表 1),同样表明当对流层低层 850 hPa 出现持续东北风、温度 < 8 ℃ 时,普洱市出现低温冷害天气的可能性较大。

图 5 给出了普洱区域(22 ~ 25°N, 99 ~ 102.5°E) II 型低温冷害天气过程相对湿度和垂直速度高度剖面。可看出过程开始到最强阶段,850 ~ 700 hPa 相对湿度较大且垂直变化较小,整层大气以上升运动为主,对出现低温雨雪天气较为有利;过程最强阶段到趋于结束阶段相对湿度明显下降,整层大气由上升运动转为下沉运动,使得天空迅速转晴,夜间辐射降温明显,非常利于霜冻的形成;过程结束时,中高层转为上升运动,且湿度增大。

基于以上分析,II 型低温冷害天气过程开始至最强阶段受南支槽和冷空气配合影响,抬升条件和水汽条件较好有利于低温雨雪天气的出现;最强阶

段到趋于结束阶段南支槽快速出境,受冷空气和槽后下沉气流影响,夜间辐射降温明显,利于霜冻天气出现。

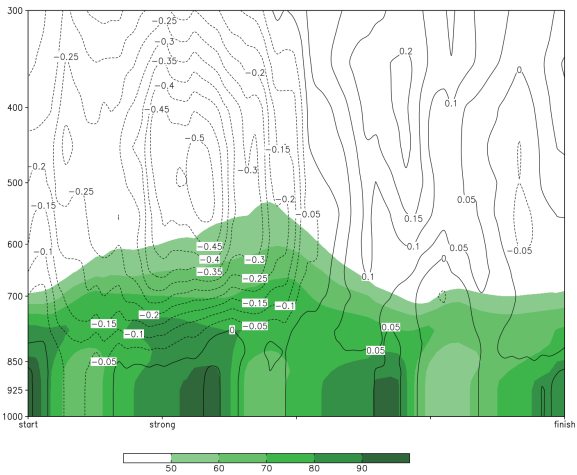


图 5 同图 3, 但为 II 型低温冷害天气过程相对湿度和垂直速度

Fig. 5 Same as fig. 3, but for the relative humidity and vertical velocity of type II cold weather cases

2.2.3 III 型低温冷害天气过程分析 10 次低温冷害天气过程中有 4 次过程属于 III 型,此类过程受冷空气影响,无南支槽配合,以霜冻天气为主,850 hPa 温度 < 8 ℃ 区域控制普洱市 2 ~ 7 d, 温度 < 4 ℃ 区域控制普洱市 0 ~ 3 d(表 4)。

表 4 III 型低温冷害天气过程影响系统、低温变化以及天气现象

Tab. 4 Influence system, low temperature variation and weather of type III cold weather cases

时间	影响系统	850 hPa < 8 ℃	850 hPa < 4 ℃	过程开始至趋	过程开始至趋
		线维持时间/d	线维持时间/d	于结束阶段雨雪	于结束阶段霜冻
1999 - 12 - 23—30	冷空气	7	3	无雨雪	霜冻
2008 - 12 - 02—03	冷空气	2	0	无雨雪	霜冻
2017 - 12 - 19—22	冷空气	4	0	无雨雪	霜冻
2020 - 01 - 26—28	冷空气	2	0	无雨雪	霜冻

图 6 给出了 III 型低温冷害天气高低层大气环流分布。过程开始时,500 hPa 高空图上欧亚中高纬度表现为两槽一脊模态,欧洲东部至亚洲西部为较强盛的高压脊区,云南地区为脊前西北气流控制,850 hPa 东北风建立影响普洱地区,并延伸到中南半岛北部;云南地区海平面气压场上北高南低、东高西低的形势较为明显,且包括普洱的大部地区处于正变压区;此时 850 hPa 上 8 ℃ 等温线已控制普洱东部地区(图 6a ~ 6c)。

过程最强阶段,高压脊东移,云南地区仍处于脊前西北气流中,普洱地区 850 hPa 东北风持续;云南地区海平面气压场上北高南低、东高西低的形势维持,正变压减弱范围减小,说明此时段冷空气持续影响但脊前下沉气流有所减弱;850 hPa 上 8 ℃ 等

温线仍控制普洱地区(图 6d ~ 6f)。

过程趋于结束阶段,整个中高纬度地区转为较平直西风气流,对应云南地区转为平直西风控制;普洱地区 850 hPa 东北风转为偏南风,云南地区海平面气压场上北高南低、东高西低的形势减弱,且包括普洱的大部地区处于负变压区;850 hPa 上气温升到 8 ℃ 以上,霜冻天气结束(图 6g ~ 6i)。

与 I 型和 II 型一样,普洱地区上空 850 hPa 出现持续东北风并且温度 < 8 ℃ 时,全市现有气温监测站中 20% ~ 100% 的站点日最低气温降到了 5 ℃ 以下(表 1),这一致表明当对流层低层出现持续东北风并且温度 < 8 ℃ 时,普洱市出现低温冷害天气的可能性较大。因此上述风场特征和温度阈值可以作为普洱市低温冷害天气出现的重要指标。

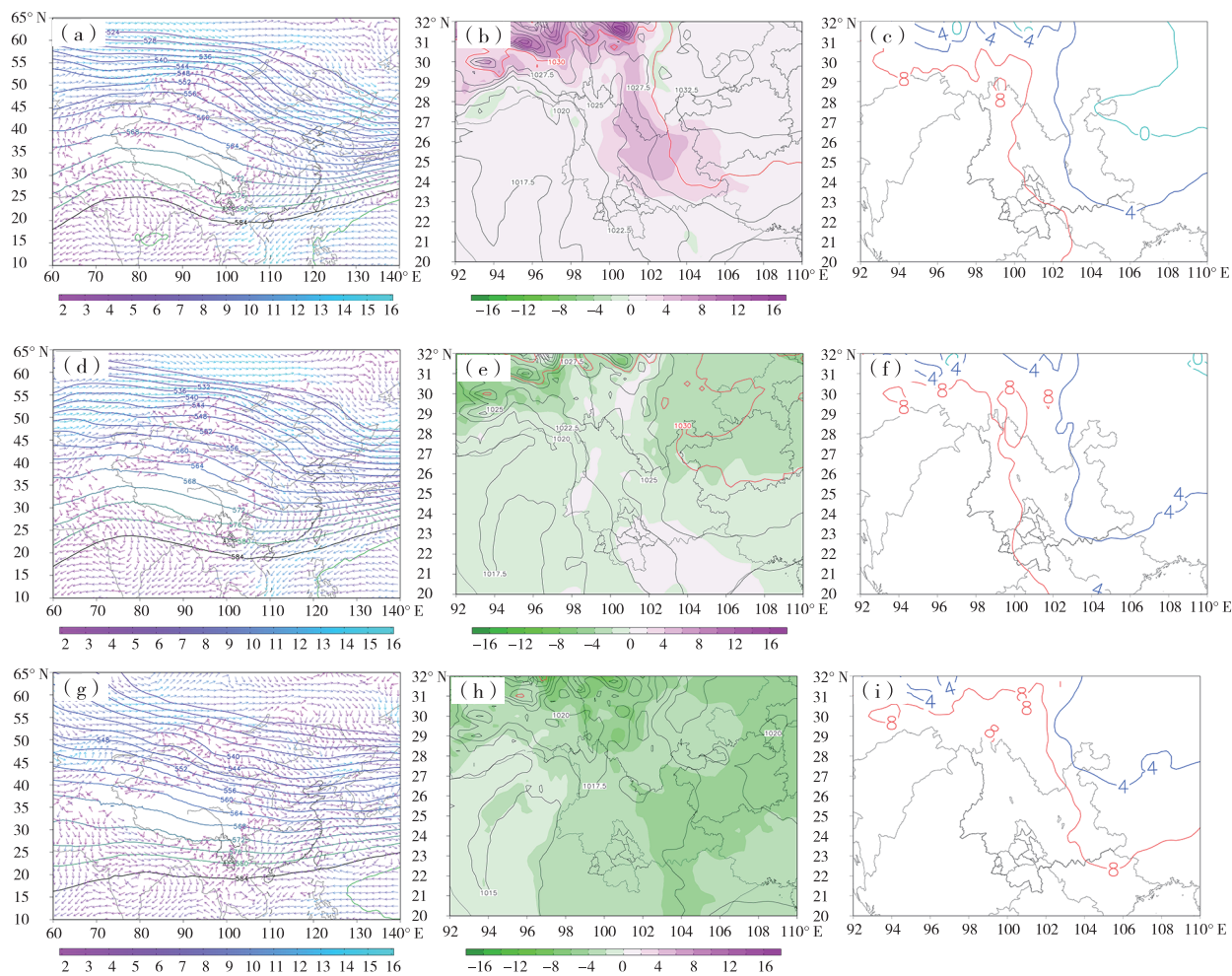


图 6 同图 2, 但为Ⅲ型低温冷害天气过程高低层大气环流分布

Fig. 6 Same as fig. 2, but for the Distribution of atmospheric circulation in upper and lower layers of type Ⅲ cold weather cases

图 7 给出了普洱区域($22^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$, $99^{\circ} \sim 102.5^{\circ} \text{E}$)Ⅲ型低温冷害天气过程相对湿度和垂直速度高度剖面。可看出整个过程相对湿度均较小, 整层大气以下沉运动为主, 有利于晴空持续及较强的夜间晴空辐射, 导致霜冻天气过程出现。

基于以上分析, Ⅲ型低温冷害天气过程主要是由于冷空气影响所致, 无南支槽配合, 较差的水汽条件加之脊前西北气流下沉引起了较强的夜间晴空辐射, 导致出现霜冻天气过程。

综上, I、II、III型低温冷害天气过程的高低层环流变化有明显差异, 其中最重要的是冷空气和南支槽的配置及其变化。冷空气影响是 3 类低温冷害天气过程的共同特征, 但环流变化的表现形式却有所不同: I 型过程欧亚中高纬度为一槽一脊模式, 高压脊区强盛, 东亚地区形成阶梯槽, 过程中不断有冷空气补充南下; II 型过程欧亚中高纬度为两槽一脊模式, 高压脊区强盛利于强冷空气南下, 东亚未形成阶梯槽补充冷空气, 利于南支槽东移转为西

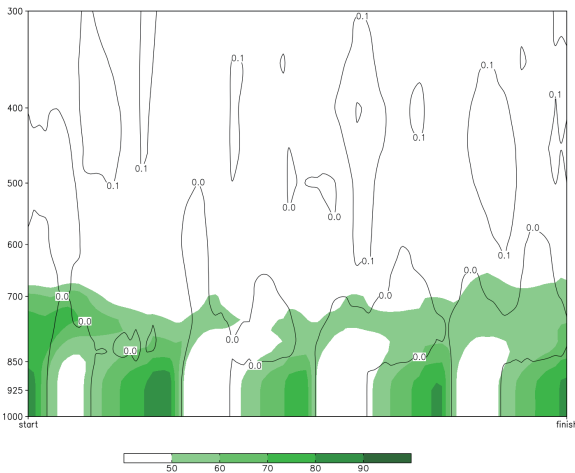


图 7 同图 3, 但为Ⅲ型低温冷害天气过程相对湿度和垂直速度

Fig. 7 Same as fig. 3, but for the relative humidity and vertical velocity of type Ⅲ cold weather cases

北气流控制;Ⅲ型过程中高纬度表现为两槽一脊模态,高压脊较强利于脊前西北气流下沉影响。南支槽的配合与否是普洱市不同类型低温冷害天气产生的关键,Ⅰ型过程南支槽稳定维持,槽前西南气流水汽输送加上稳定南下冷空气的配合影响,导致低温雨雪天气的形成;Ⅱ型过程南支槽为东移型,过程开始至最强阶段南支槽配合冷空气造成低温雨雪天气,过程最强至趋于结束阶段南支槽东移,槽后较强的西北下沉气流配合冷空气影响,导致霜冻的出现;Ⅲ型过程冷空气影响,受脊前的西北气流控制,天空转晴,利于霜冻出现。此外,普洱市上空 850 hPa 出现持续东北风、温度 $< 8\text{ }^{\circ}\text{C}$,可以作为低温冷害,包括低温雨雪或低温霜冻产生的重要指标。

3 结论

(1)根据低温冷害天气过程相伴出现的不同天气现象,普洱市的低温冷害天气过程可以分为 3 类:低温雨雪型(Ⅰ型)、低温雨雪和低温霜冻型(Ⅱ型)、低温霜冻型(Ⅲ型)。

(2)不同类型低温冷害天气过程对应的高低层大气环流配置不同。Ⅰ型发生时 500 hPa 上欧亚中高纬度表现为一槽一脊模态,东亚大槽由横转竖形成阶梯槽,伴有南支槽配合影响,环流稳定;Ⅱ型出现时欧亚中低纬度 500 hPa 形势表现为两槽一脊模态,东亚大槽偏浅,南支槽为快速东移型;Ⅲ型中高纬度 500 hPa 形势表现为两槽一脊模态,高压脊较强利于脊前西北气流下沉,无南支槽配合。

(3)普洱市上空 850 hPa 出现持续东北风、温度 $< 8\text{ }^{\circ}\text{C}$,可以作为低温冷害,包括低温雨雪或低温霜冻产生的重要指标。

参考文献

- [1] 钱维宏,张玮玮.我国近 46 a 来的寒潮时空变化与冬季增暖[J].大气科学,2007,31(6):1266-1278.
- [2] 周琳,孙照渤.1961—2010 年我国冷空气活动特征[J].大气科学学报,2015,38(3):342-353.
- [3] 肖蕾,唐海,张云秋,等.遵义市冬末初春两次寒潮降雪天气过程对比分析[J].中低纬山地气象,2018,42(3):73-79.
- [4] 周庶,汪卫平,丁立国,等.贵州省近 30a 冻雨气候特征及一次冻雨天气分析[J].中低纬山地气象,2020,44(3):60-65.
- [5] 冉仙果,胡萍,杨群,等.贵州铜仁一次罕见暴雪过程分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):1-8.
- [6] 张培忠,陈光明.影响中国寒潮冷高压的统计研究[J].气象学报,1999,57(4):493-501.
- [7] 丁一汇.东亚冬季风的统计研究[J].热带气象,1990(2):119-128.
- [8] 陶诗言.东亚冬季冷空气活动的研究[Z].中央气象局.短期预报手册,北京,1957:145-160.
- [9] 李峰,矫海燕,丁一汇,等.北极区近 30 年环流的变化及对中国强冷事件的影响[J].高原气象,2006,25(2):209-219.
- [10] 陶云,陈艳,任菊章,等.1961—2014 年云南冬季寒潮活动规律及其与大气环流异常的关系[J].云南大学学报(自然科学版),2021,43(1):68-77.
- [11] 谢应齐,赵华柱.云南省近 12 年气象灾害损失初步分析[J].云南大学学报(自然科学版),1994,16(增刊):82-85.
- [12] 海云莎,田永丽,陈新梅.云南寒潮时空特征及变化分析[J].云南大学学报(自然科学版),2011,33(增刊):147-152.
- [13] 段旭,李英,孙晓东.昆明准静止锋结构[J].高原气象,2002,21(2):205-209.
- [14] 徐爽,施海瑞,孙东磊,等.冀中南核桃花期低温冻害概率模型研究[J].气象水文海洋仪器,2020,37(4):11-15.
- [15] 沈如桂.一次罕见的侵袭云南的强寒潮[J].气象科技资料,1975(4):9-10.
- [16] 晏红明,王灵,朱勇,等.2008 年初云南低温雨雪冰冻天气的气候成因分析[J].高原气象,2009,28(4):870-879.
- [17] 杨素雨,李华宏,严华生,等.2011 年初云南东部极端低温冰冻灾害天气气候特征及成因分析[J].成都信息工程学院学报,2012,27(1):71-76.
- [18] 闵颖,李华宏,朱莉,等.2011 年 3 月云南一次寒潮天气过程分析[J].成都信息工程学院学报,2013,28(1):34-42.
- [19] 钟爱华,周泓,徐安伦,等.低纬高原一次强冷空气天气过程诊断分析[J].云南大学学报(自然科学版),2016,38(增刊):74-84.
- [20] 尤红,周泓,白学文,等.2011 年 3 月云南连续两次强倒春寒天气过程对比分析[J].暴雨灾害,2013,32(2):167-175.
- [21] 支询,倪长健,张玉书,等.低温冷害监测评估及风险区划研究进展[J].气象水文海洋仪器,2014,31(3):117-120.
- [22] 陶云,段旭,姚愚,等.云南寒潮与昆明准静止锋的气候关联性分析[J].灾害学,2018,33(2):99-105.