

何娟,朱虹. 2021 年 11 月昭通 2 次降温过程对比分析[J]. 中低纬山地气象,2023,47(2):46-52.

2021 年 11 月昭通 2 次降温过程对比分析

何娟¹,朱虹²

(1. 云南省昭通市气象局,云南 昭通 657000;2. 云南省昭通机场,云南 昭通 657000)

摘要:该文利用 NCEP/NCAR 逐日再分析格点资料以及常规地面、高空观测资料,对 2021 年 11 月昭通发生的 2 次强降温天气过程环流形势、温度平流、下沉运动和水汽条件等进行了对比分析。结果表明:由于冷高压、冷平流的强度不同,2 次过程的降温幅度也不同;前期回暖有利于形成较大的降温幅度;静止锋的影响也会引起昭通南北降温的差异;较强的下沉运动有利于高层能量下传及地面大风的形成;0℃层高度降至 700 hPa 以下和较深厚的湿层有利于降雪,地面温度过高不利于积雪形成。

关键词:降温过程;温度平流;地面大风;降雪

中图分类号:P458.1⁺22 **文献标识码:**A

Comparative Analysis of the Two Cooling Processes in Zhaotong in November 2021

HE Juan¹, ZHU Hong²

(1. Zhaotong Meteorological Bureau of Yunnan Province, Zhaotong 657000, China;

2. Zhaotong Airport of Yunnan Province, Zhaotong 657000, China)

Abstract: In November 2021, Zhaotong experienced two strong cooling weather processes. Using NCEP/NCAR daily reanalysis data, conventional observation data, the paper compared and analyzed the circulation situation, temperature advection, descending motion and water vapor conditions of the two processes. The results show that the different intensities of cold high pressure and cold advection result in different temperature drops; the influence of the stationary front also caused the difference in cooling between the north and south of Zhaotong; strong descending motion is conducive to the transmission of high-level energy and the formation of ground gale; the height of the 0℃ layer falling below 700 hPa and the deep wet layer are conducive to snowfall, and the high ground temperature is not conducive to the formation of snow.

Key words: cooling process; temperature advection; ground gale; snowfall

0 引言

寒潮天气是在冬半年里高纬度特定的环流形势下发生的一种大范围的强冷空气活动,最早开始于 9 月,最晚结束于次年 5 月,期间冷空气活动频繁^[1]。冷空气影响云南一般有西北、东北和偏东 3 条路径,其中东北和偏东路径占 90% 以上^[2]。昭通市位于云南省东北部,作为冷空气入侵云南的重要“门户”,在静止锋的共同影响下,降温幅度相对较

大;而滇中及以西、以南地区没有或仅有较小幅度降温。因此,冬半年滇东北的低温雨雪天气在全省较为突出。近年来众多学者对一些典型的寒潮天气过程进行分析诊断和数值模拟研究,以揭示寒潮天气过程的冷空气源地和路径、环流演变特征和成因。张瑾文等^[3]对静止锋影响下的寒潮天气过程进行了对比分析,指出静止锋的移动和位置可以反应寒潮天气过程的开始和结束;杨倩媛等^[4]在 2016 年 1 月云南的一次寒潮天气过程分析中指出,700

收稿日期:2022-01-02

第一作者简介:何娟(1990—),女,工程师,主要从事中短期天气预报工作,E-mail:hejuan910526@163.com。

hPa 的 0°C 线可以作为判断滇中及其以东地区降水相态转换的指标;肖蕾等^[5]通过对遵义市冬末初春 2 次寒潮降雪天气过程对比分析发现,融化层的存在和厚薄可以作为降雪预报的关注点;冉仙果等^[6]对贵州铜仁一次罕见的暴雪天气成因进行多方面的诊断分析。

根据国家气候中心监测:2021 年 7 月以来,赤道中东太平洋海温持续下降,于 10 月进入拉尼娜状态。由于 2020 年 8 月—2021 年 3 月曾出现过拉尼娜事件,2021 年为“双拉尼娜年”。在这样的气候背景下,2021 年秋季,昭通气温起伏大,秋季前期(9 月—10 月上旬)全市气温异常偏高,全市 10 县区气温偏高均居历史同期第 1 位;秋季后期(10 月中旬—11 月)冷空气活动频繁,全市大部地区低温寡照特征突出,威信、彝良、大关、永善、绥江等县气温偏低居历史同期第 1 位。

昭通在 2021 年 11 月 6—7 日和 11 月 20—22 日(以下简称“11.7”过程和“11.22”过程)出现了明显的降温天气过程。对于昭通而言,出现在 11 月上旬的强降温天气还是比较罕见的,考虑到在全球气候变暖的大背景下,极端天气频发、多发,因此对这 2 次降温天气过程的分析很有必要。该研究有助于揭示昭通地区低温雨雪天气的成因,为之后的预报工作提供一些参考依据。

1 资料与方法

主要采用美国国家环境预报中心和美国大气科学研究中心提供的 NCEP/NCAR 逐日再分析格点资料,常规地面、高空观测资料,对 2021 年 11 月 6—7 日和 20—22 日滇东北出现的 2 次降温天气过程进行对比分析。从环流形势、热力条件、水汽条件、下沉气流等不同角度分析 2 次过程的共性和差异。

2 2 次降温天气过程概况

首先,选取绥江为昭通北部代表站,威信为昭通东部代表站,昭阳和巧家作为南部代表站。从 11 月各代表站逐日平均气温(图 1)可以看出,整个 11 月全市的气温起伏都是比较大的,基本上都是处于升温、降温交替出现的状态,较常年同期相比,除南部巧家气温正常,其余县区均偏低,其中 5—7 日和 19—22 日气温连续下降,温度降幅较大。“11.7”过程,全市平均气温 48 h 累计下降 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$,过程中伴有 6~7 级阵性大风,达到云南省寒潮标准^[2]。“11.22”过程,全市 72 h 平均气温累计下降 $4\sim 6^{\circ}\text{C}$,气温降幅未达到云南省寒潮标准,但是东部、南部高海拔地区出现了小到中雪,这是 2021 年冬半年第一次较明显降雪天气。

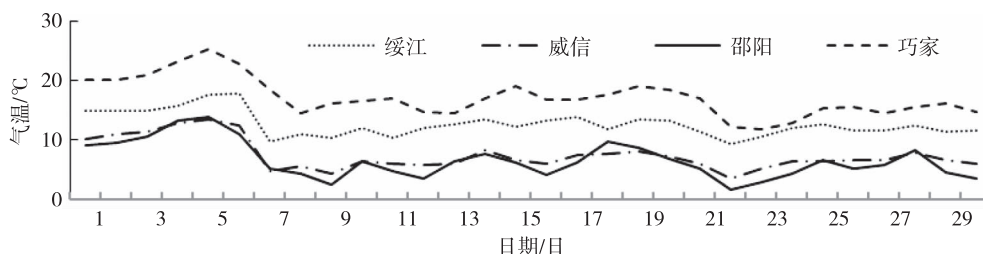


图 1 昭通各代表站 11 月逐日平均气温

Fig. 1 The daily average temperature of each representative station in Zhaotong in November

降水方面,从图 2 可以看出,2 次过程降水量级都比较小,雨量普遍为小雨,局部区域中雨。“11.7”过程降水主要集中在昭通的北部、东部区域,南部基本无有效降水,部分高海拔区域出现零星雨夹雪;“11.22”过程全市均出现降水,东部海拔 1600 m 以上、南部海拔 1800 m 以上区域出现了明显降雪,东部镇雄县城区,南部昭阳区、鲁甸县城区均观测到降雪。

“11.7”过程全市出现明显的偏北大风,部分区域站出现 6 级以上阵性大风(图 3a)。以昭阳作为代表站分析过程中逐小时气温和极大风速的时序

(图 3b),6 日 16 时昭阳区气温 22.1°C 、小时极大风速为 $6.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (西南风 4 级),16 时之后开始转为偏北风,风速增强(维持在 $8\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间),气温开始下降,到 19 时气温降至 11.6°C ,3 h 下降了 10.5°C ,之后风速减弱,降温幅度变缓,到 7 日 06 时,风速再次增强到 $9.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (偏北风 5 级),气温再次明显下降,大风天气一直维持到 7 日 18 时才开始逐渐减弱,此时气温下降到 2.0°C 左右。“11.22”过程降温中,也伴有偏北风,但是风速整体偏小,气温下降的速度和幅度都不及“11.7”,由此可见偏北大风是气温骤降的重要因素之一。

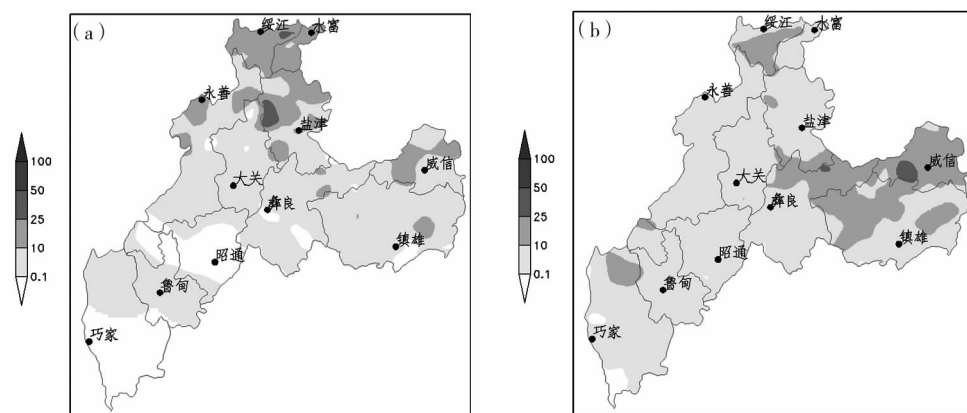


图 2 2021 年 11 月 6 日 08 时—8 日 08 时 (a), 21 日 08 时—23 日 08 时 (b) 累计降水 (单位: mm)

Fig. 2 Cumulative precipitation from 08:00 on the 6th to 08:00 on the 8th, 2021 (a), from 08:00 on the 21st to 08:00 on the 23rd, 2021 (b) (unit: mm)

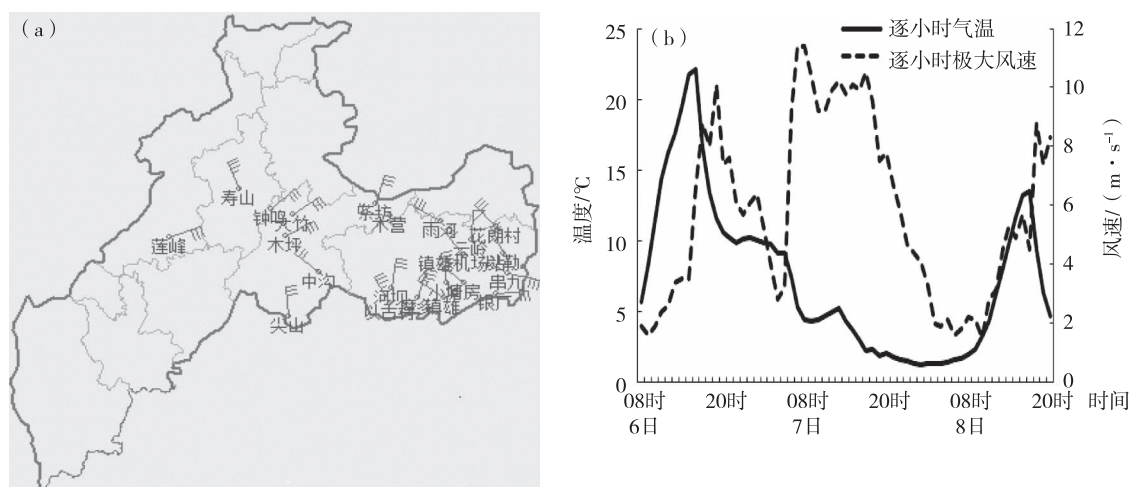


图 3 2021 年 11 月 7 日 05 时昭通市区域站 6 级以上阵风 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a),

昭阳区 6 日 08 时—8 日 20 时逐小时气温 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 和极大风速 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (b)

Fig. 3 Wind gust at the regional station in Zhaotong City at 05:00 on November 7, 2021 (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a), hourly air temperature (unit: $^{\circ}\text{C}$) and extreme wind speed (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in Zhaoyang District from 08:00 on the 6th to 20:00 on the 8th (b)

3 诊断分析

3.1 环流形势

图 4 为 500 hPa 日平均位势高度场。可以看出“11.7”过程开始前, 11 月 2 日 (图 4a) 在乌拉尔山以西地区有一径向度大的高压脊向极区伸去, 鄂霍次克海上空也有一径向度相对较小的脊, 横槽位于西伯利亚上空, 由于两暖脊的稳定维持, 冷空气在横槽后部不断堆积加强; 4 日 (图 4b) 位于乌拉尔山西部的脊线由西北—东南向转为东北—西南向且径向度减小, 此时高压脊开始崩溃, 横槽转竖, 引导槽后冷空气南下进入我国新疆地区; 5 日 (图 4c) 高压脊已经完全崩溃减弱, 东北地区西部到青海西

部、西藏西部为一深厚高空槽, 冷空气开始进入青海、青藏高原地区; 6 日 (图 4d) 高空槽分裂为 2 段, 一段向鄂霍次克海上空移去, 一段位于我国中部地区, 给我国大部地区带来了大范围的降温降雨雪天气, 昭通 6 日夜间自北向南出现大风降温天气。由此可见, 此次“11.7”过程的冷空气路径大致为新疆—青海—青藏高原—我国中东部沿海地区, 是偏西路径。

“11.22”过程开始前, 整个西伯利亚到中亚都是代表冷空气堆积的低压区 (图 4e), 此次过程的两高空脊分别位于乌拉尔山以西和青藏高原附近, 较“11.7”过程相比位于乌拉尔山的高压脊径向度较小, 强度相对较弱, 但“11.22”过程冷空气堆积区的

范围更大。从图 4e 可以看出,18 日新疆北部地区位于低涡的东南部,受其后部偏北气流影响,已出现明显降温,60°E 附近有南支槽开始酝酿;19 日(图略)冷空气继续向东南方向推进,到达青海西部;20 日(图 4f)低涡中心又分裂了一股冷空气经蒙古国进入我国,与之前经新疆进入的冷空气在河套附近汇合;21 日(图 4g)冷空气汇合后大举南下,高空槽加深东移,给我国大部地区特别是中东部带来

了剧烈的降温;22 日(图 4h)南支槽已经东移至 90°E 附近,虽然南支槽的位置整体偏北,且强度较弱,但是受槽前正涡度平流影响,昭通地区的动力条件稍有改善,高海拔地区出现了较明显降雪天气。分析得出,此次冷空气的路径大致是西路加东路,西路冷空气经新疆、青海南下,东路冷空气经蒙古国、河套南下,2 股冷空气在黄河长江附近汇合影响我国大部地区。

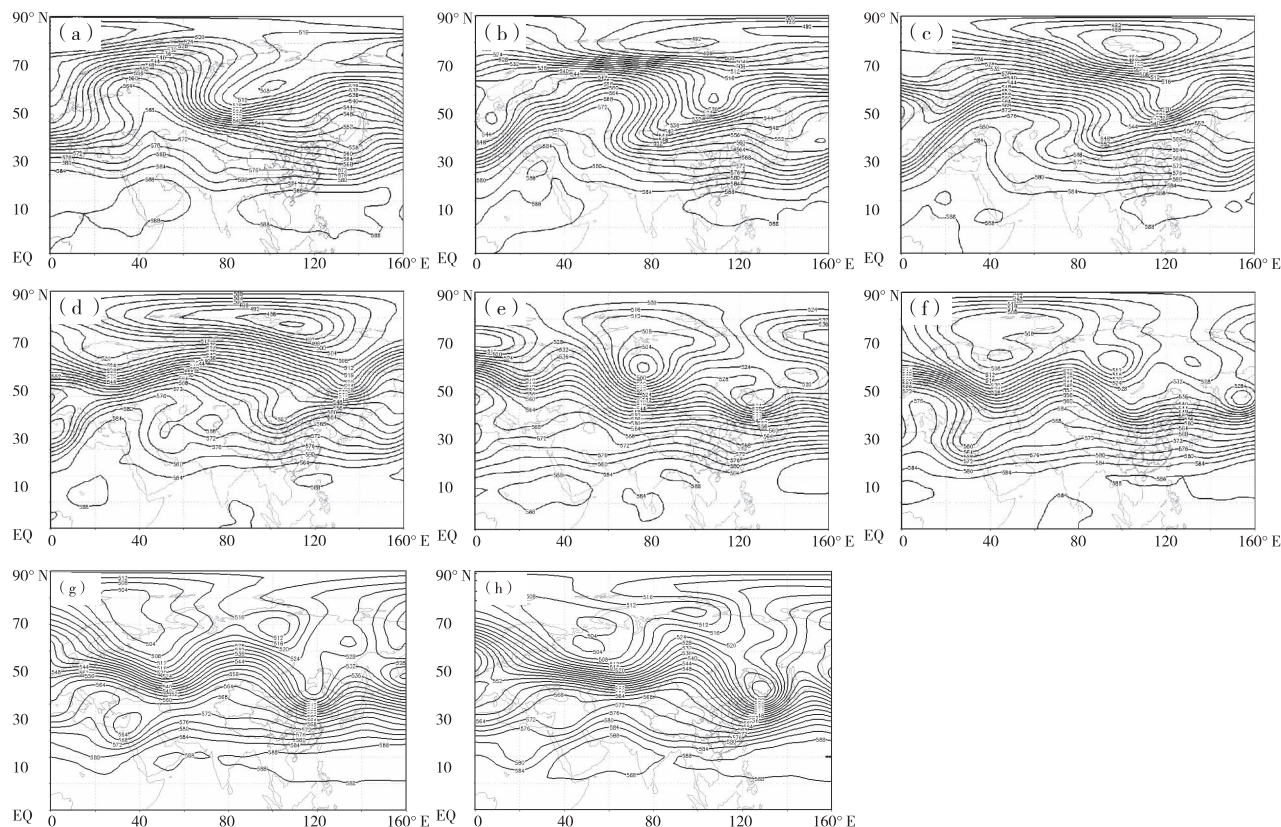


图 4 2021 年 11 月 2 日(a),4 日(b),5 日(c),6 日(d),18 日(e),
20 日(f),21 日(g),22 日(h)500 hPa 位势高度场(单位:dagpm)

Fig. 4 500 hPa geopotential height field on November 2nd(a), 4th(b),
5th(c), 6th(d), 18th(e), 20th(f), 21st(g), 22nd(h) of 2021 (unit: dagpm)

3.2 降温分析

3.2.1 前期升温 王宗明^[7]分析得出,气温骤降和当地前期升温 and 冷平流强度等因素都存在密切的联系。从图 1 可以看出,2 次过程开始前昭通各县区均存在明显的升温。统计分析发现“11.7”过程开始前,11 月 5—6 日全市平均气温较常年同期偏高 2℃左右,受冷空气影响后 11 月 7—8 日全市平均气温较常年同期偏低 5℃左右。“11.22”过程开始前,11 月 18—19 日全市平均气温偏高 1~2℃,受冷空气影响后 11 月 20—22 日全市平均气温偏低 2~3℃。

前期升温使得冷空气到达后形成更剧烈的温度变化,造成降温幅度更大。通过对比昭通南部县

区和北部县区降温幅度也更容易发现,2 次过程南部县区的升温幅度和降温幅度都更大,主要原因是冬半年昭通主要受静止锋影响。其北部、东部大部时段位于静止锋后,受静止锋云系覆盖,以阴天或阴天间多云天气为主;而南部大部时段位于静止锋前,以晴间多云天气为主。因此北部、东部的日照时数明显少于南部,白天升温幅度也较小,到了夜间由于位于静止锋前的地区辐射冷却降温更强盛,因此锋前气温较锋后更低,锋前地区日较差更大。

3.2.2 温度平流 由热力学第一定律得知^[1],引起温度局地变化的因素有温度平流、垂直运动引起的绝热变化和非绝热变化,其中温度平流对局地温度变化有着决定性作用。以下主要分析 850 hPa 的

温度平流,以揭示冷平流扩散的路径。

“11.7 过程”:11 月 6 日 08 时,在我国东北地区到甘肃、陕西一带有 1 条准东北—西南向的冷平流带,有 2 个中心,1 个位于宁夏附近,另 1 个位于东北地区(图 5a),随着高空槽后偏北气流的引导,冷平流带不断向南扩散并加强。7 日 02 时(图 5b),华北地区—西南地区东部都位于冷平流带中,中心值增强到 $-40 \times 10^{-5} \text{ k} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,大致位于四川盆地和重庆附近;此时昭通位于强冷平流中心的底部,冷空气在低层东北气流的引导下进入昭通,全市自北向南出现明显大风天气和剧烈降温。7 日 14 时(图 5c),冷平流带基本已经扩散到我国中东部和南部地区,大致变为南北走向,中心值减弱到 $-30 \times 10^{-5} \text{ k} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右;此时昭通位于冷平流后部,全市仍然维持小幅降温。8 日 08 时(图 5d),冷平流中心移到海上,昭通地区开始转为暖平流,8 日白

天全市转为多云到晴天气,“11.7”冷空气过程影响结束。

“11.22 过程”:11 月 20 日 20 时(图 5e),蒙古国—内蒙古西部地区为冷平流区,冷平流中心仍位于蒙古国,中心值大致在 $-20 \times 10^{-5} \text{ k} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。21 日 08 时(图 5f),冷平流区东移南压至华北—华中一带。21 日 20 时(图 5g),冷平流区继续东移南压,在偏东北气流引导下,冷空气仍然从冷平流底部以偏东北路径进入云南,此时中心值仍在 $-20 \times 10^{-5} \text{ k} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,位于山东和江苏一带。22 日 08 时(图 5h),冷平流中心东移入海,此时昭通上空无明显冷暖平流,但是由于 22 日白天全市有明显降雨(雪)天气,因此全市仍维持低温天气。到 23 日白天昭通地区开始转为暖平流,全市转为多云天气,“11.22”冷空气过程影响结束。

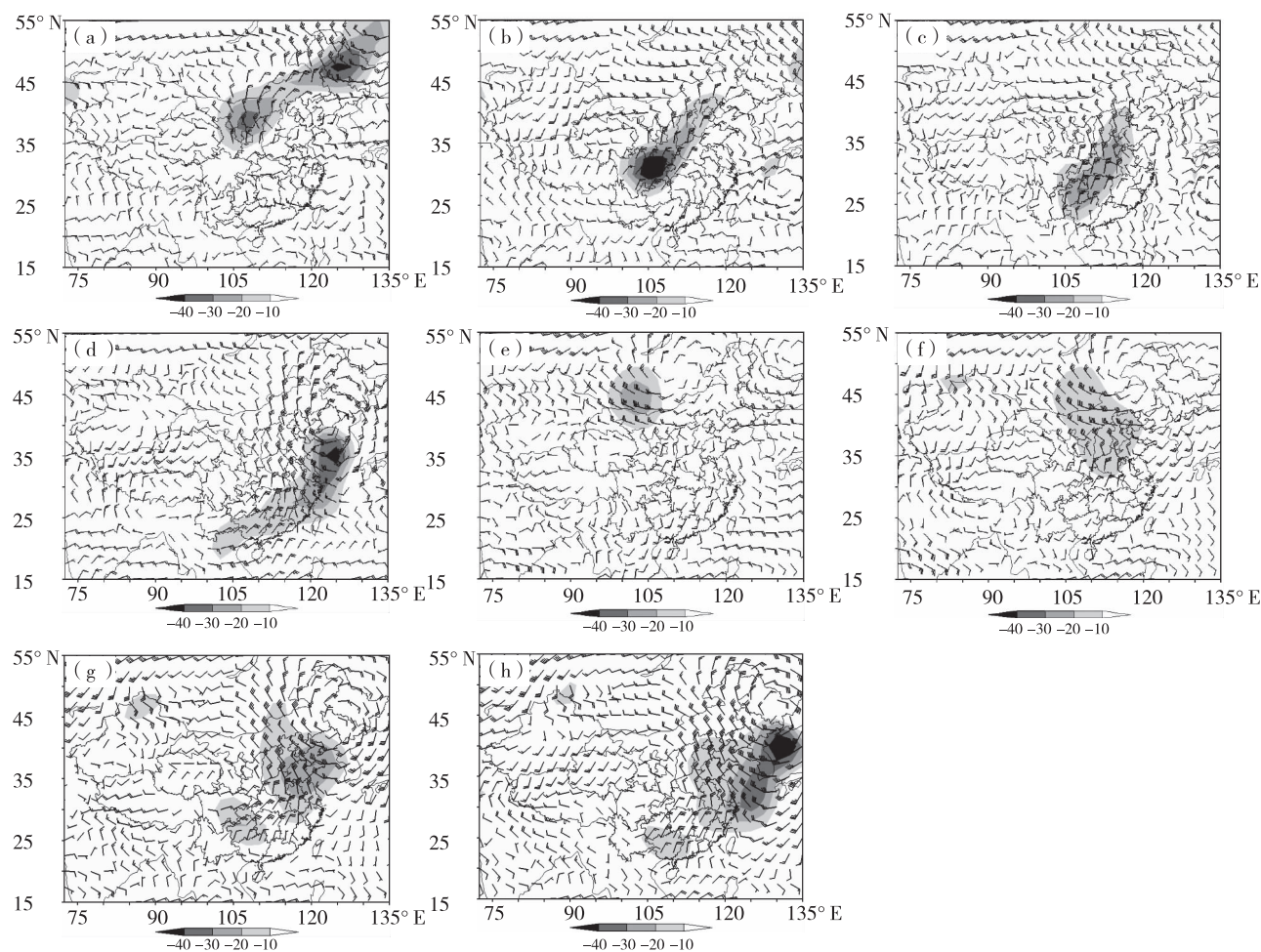


图 5 2021 年 11 月 6 日 08 时(a),7 日 02 时(b),7 日 14 时(c),8 日 08 时(d),20 日 20 时(e),21 日 08 时(f),21 日 20 时(g),22 日 08 时(h),850 hPa 风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 和温度平流(单位: $10^{-5} \text{ k} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 5 850 hPa wind field(unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and temperature advection(unit: $10^{-5} \text{ k} \cdot \text{s}^{-1}$) at 08:00 on November 6th(a), 02:00 on November 7th(b), 14:00 on November 7th(c), 08:00 on November 8th(d), 20:00 on November 20th(e), 08:00 on November 21st(f), 20:00 on November 21st(g), and 08:00 on November 22nd(h)

通过分析发现,2 次冷空气过程,冷平流都是在东北气流的引导下先进入四川盆地或贵州,再从东北方向进入昭通,其实这就是冷空气进入云南路径之中典型的东北路径。850 hPa 上风速最强的区域和强冷平流区是对应的,因此较大的风速是有利于形成较强的冷平流。“11.7”过程的冷平流强度较“11.22”过程强,并且“11.7”过程冷平流中心略偏南、更靠近昭通,因此造成更强的降温。

3.3 大风分析

冷空气带来的偏北大风,通常出现在冷锋后高压前沿气压梯度最大的地方^[1]。从 7 日 02 时的地面气压场上(图 6a)可以看出,此时冷锋刚抵达昭通北部,全国都位于冷高压的控制中,冷高压中心大

致位于蒙古国—甘肃一带,其值大约为 1052.5 hPa,30~40°N 之间等压线密集,气压梯度大,气压差达 30 hPa;7 日 14 时(图 6b)冷锋南压经过昭通,已经达到曲靖、昆明地区,此时整个等压线密集区也随之南压,昭通南北气压差达 15 hPa。分析“11.22”过程的气压场发现(图略),在冷锋经过昭通前,冷高压中心位置和“11.7”过程的基本一致,但是中心值较小,为 1045 hPa,30~40°N 的气压差大致为 20 hPa;冷锋经过昭通后,昭通的南北气压差为 10 hPa 左右。对比发现“11.7”过程的冷高压强度较“11.22”过程强,且冷锋经过昭阳前、后的气压梯度都较大,因此“11.7”过程全市出现明显的偏北大风。

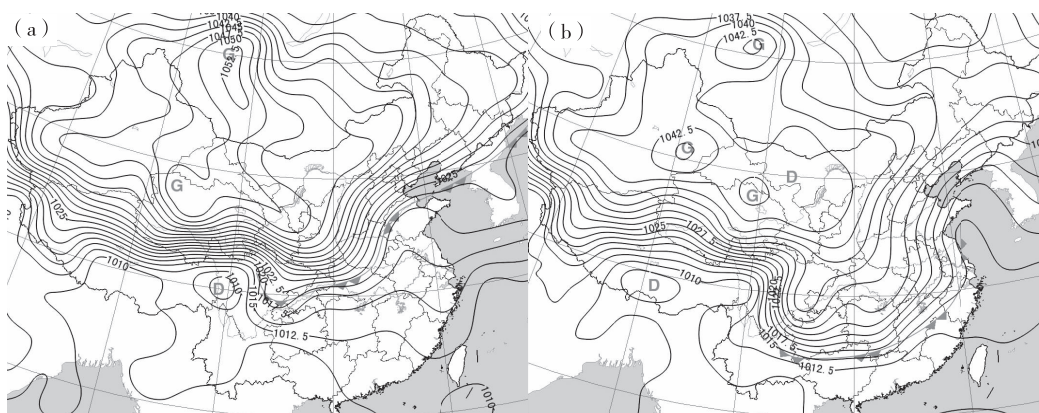


图 6 2021 年 11 月 7 日 02 时(a),7 日 14 时(b)海平面气压场(单位:hPa)

Fig. 6 Sea level pressure field at 02:00 (a) and 14:00 (b) on November 7th, 2021 (unit: hPa)

下面主要通过物理量来分析“11.7”过程的大风成因。上一节分析温度平流时,得出强冷平流区和大风区有较好的对应关系,主要是因为冷锋后上空的冷平流使锋后近地面层出现较大的正变压中心,变压风对地面风有加强作用;垂直速度也是诊断大风的重要物理量,它可以反映垂直方向的大气运动状态,大风天气对应着强烈的下沉运动。

冷空气影响时段,大监站的最大风速出现在昭通东部的威信县(7 日 02 时,偏北风,13.3 m·s⁻¹),沿威信(105°E,28°N)作风场和垂直速度的时间—高度剖面图(图 7)。由图 7a 可知,6 日 08 时—8 日 08 时威信上空 400~200 hPa 存在明显的高空急流,急流核大概位于 300 hPa 附近,中心风速为 48 m·s⁻¹;6 日 08—20 时 700 hPa 以下主要为偏南风,到 7 日 02 时 700 hPa 以下开始转为偏北风,且风速有明显增强。对应图 7b 可以清楚看到冷空气影响时段 6 日 08 时—7 日 20 时,威信上空 850~300 hPa 的垂直速度表现为正值,表明垂直方向主要以下沉

气流为主;7 日 02 时在 700 hPa 附近存在 1 个垂直速度的正值中心,强度为 0.55 Pa·s⁻¹,中心位置接近地面,强下沉气流有利于将高层的动量向下传送,从而形成地面大风。

3.4 降水分析

由于昭通没有探空站,选取位于昭通东部,且地理条件和气候都与昭通相似的威宁站为代表(威宁海拔 2200 m 左右,昭通海拔 1900 m 左右,威宁温度较昭通低 2℃左右),分析 2 次过程的温度对数压力图。前面已经提到,由于 2 次过程都没有明显的南支槽配合,所以几乎没有来自海上的水汽输送,从威宁站 T-lnP 图(图略)可以看出“11.22”过程的湿层比较深厚,从地面到 500 hPa 的温度露点差都接近为 0,水汽基本达到饱和状态,水汽条件相对较好。

降水相态的差异主要从 0℃层高度来分析。冰晶下降到 0℃层开始融化,所以 0℃层过高不利于地面降雪。11 月 7 日 08 时威宁的 0℃层位于 700

hPa 以上,地面温度大概在 5°C 左右,冰晶在到达地面之前已经融化,无法形成降雪;21 日 20 时威宁的 0°C 层降至 700 hPa 以下,地面温度 2°C 左右,22 日 02 时观测到威宁出现雨夹雪,03 时观测到降雪;22 日 08 时威宁的地面温度降至 -1°C ,700~600 hPa 之间有明显逆温层,主要是因为暖湿气流遇到冷空气被迫抬升,从而形成的上暖下冷层结。可以看到逆温层中的温度也始终保持在 0°C 以下,不利于冰

晶的融化,从而形成地面降雪。由此可以大致得出 0°C 层高度降至 700 hPa 以下有利于昭通地区的降雪天气。“11.22”过程,昭通城区 21 日 23 时观测到雨夹雪,22 日 04 时转为雪,一直持续到 22 日 11 时都以零星小雪为主,直到 22 日 12 时降雪开始明显增强,但是由于城区地面温度较高,始终维持在 2°C 左右,因此没有出现积雪。

