

何娟,曾清川,肖莎. 昭通一次持续性大风天气过程成因分析[J]. 陕西气象, 2024(6): 8-14.

文章编号: 1006-4354(2024)06-0008-07

昭通一次持续性大风天气过程成因分析

何娟, 曾清川, 肖莎

(昭通市气象局, 云南昭通 657000)

摘要: 2023年12月12—14日昭通出现一次罕见的持续性大风天气过程, 本文利用 ERA5 逐日再分析资料、常规气象观测资料等, 对此次过程进行了天气形势和相关物理量的诊断分析。结果表明: 南支槽、地面低压、高低空急流的稳定维持和相互作用, 是此次大风过程强度大、持续时间长、影响范围广的主要原因; 500 hPa 槽前正涡度平流和低层暖平流导致的地面减压作用, 使地面低压维持、加强, 与北方冷高压形成强气压梯度力; 低层辐散、高层辐合的配置和强的垂直风切变有利于动量下传; 下沉有效位能对大风天气有一定指示意义。

关键词: 昭通; 大风; 气压梯度力; 动量传递; 下沉有效位能

中图分类号: P458.123

文献标识码: A

大风是我国常见的灾害性天气之一, 一般将平均风速达到 $10.8 \sim 13.8$ m/s (6 级) 以上的风称为大风。我国的大风多发生在春季, 夏季较少。从空间分布上看, 沿海较内陆多, 北方较南方多。常见的有冷锋后偏北大风、高压后偏南大风、强对流大风、低压大风、台风大风等^[1]。灾害性大风多具有突发性, 对航运、建筑施工、农业生产、电力、森林防火等都有较大的影响^[2-5], 因此大风天气的预报预警尤为重要。近年来国内气象学者围绕灾害性大风及其成因做了大量的分析研究。曾厅余等^[6]对溪洛渡水电站坝区大风天气的主要影响系统进行了天气学分型, 主要分为地面低压型、寒潮冷锋型、低涡切变型、西风槽型、低空急流型、副高扰动型; 康岚等^[7]对发生在四川盆地的一次极端雷暴大风进行了多方面的分析, 指出极端大风是由单体弓形回波带来的湿下击暴流引起; 张晓蔚等^[8]对南通机场发生的一次大风天气进行诊断, 发现此次过程是系统性冷空气大风和飑线阵风锋引起的大风叠加效应所致; 陈文龙等^[9]在分析西

昌一次森林火灾期间的气象特征中指出, 在一定的条件配合下, 偏南大风有利于着火指标和蔓延指标升高, 导致林火强度大, 发展快。

2023年12月12—14日昭通出现一次持续近 54 h 的大风天气过程, 在近年来实属罕见。本文对此次大风天气过程成因进行多角度分析, 为今后此类天气的预报预警提供参考。

1 数据和方法

本文使用资料包含: (1) 常规气象观测资料, 用于描述地面大风天气实况, 并对地面、700 hPa、500 hPa 和 200 hPa 进行天气形势分析; (2) 欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 提供的 ERA5 逐日再分析资料 (空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, 时间分辨率为 1 h), 用于计算不同层次的温度平流、涡度平流、散度和垂直速度, 对此次大风过程进行物理量诊断。

2 天气实况

2023年12月12日15时, 昭通南部区域气象站出现 7 级以上阵性大风, 至 13 日 08 时, 影响

收稿日期: 2024-01-19

作者简介: 何娟 (1990—), 女, 汉族, 四川西昌人, 学士, 工程师, 主要从事中短期天气预报工作。

通信作者: 曾清川 (1986—), 男, 汉族, 重庆永川人, 学士, 工程师, 主要从事中短期天气预报工作。

基金项目: 昭通市气象局自设科研项目 (ZTTQ202304)

范围逐渐扩大到昭通东部,且阵风风力加强,部分站点达9~10级;13日夜间风力稍微减弱,14日白天再次加强,至14日20时持续近54 h的大风天气过程趋于结束。从图1可见,影响时段昭通

东部、南部大部分区域气象站的极大风速达到了20.0 m/s以上,风向以西南风为主,最大风速为34.0 m/s(12级),出现在巧家县新寨。此次大风过程具有强度大,持续时间长,影响范围广的特点。

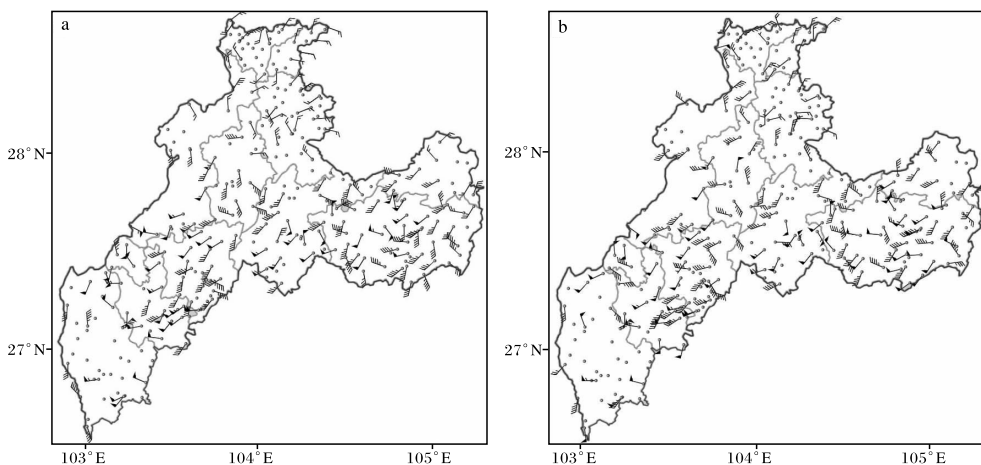


图1 昭通极大风实况分布(a 2023-12-12T20—13T20,b 2023-12-13T20—14T20;

审图号为云S(2020)015号)

以昭通南部的鲁甸国家气象站为例,分析此次过程逐小时极大风速和3 h变压的变化趋势(图2),可以看出两个气象要素都存在一定的日变化特征。夜间极大风速维持在8.0~13.0 m/s(风力5~6级左右),白天增强到14.0~20.0 m/s

(风力7~8级左右)。3 h变压在12~18时为负值,这一时段极大风速有明显增强,且日极大风速也出现在这一时段;其余时段主要表现为正变压。可见负变压有利于大风天气的形成和发展。

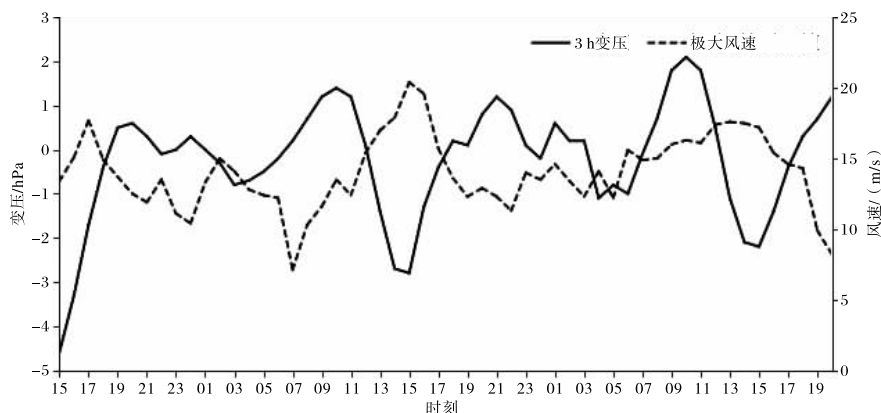


图2 2023-12-12—14 鲁甸国家气象站逐小时极大风速和3 h变压

3 天气形势分析

3.1 高空形势

12日20时200 hPa上(图略),长江中下游地区有一条西南—东北走向的急流,急流轴中心风速达70 m/s,昭通地区位于急流轴入口区附近,风速为56 m/s左右,风向为西南风;在大风影

响时段,高空急流稳定存在,13日20时昭通上空风速增加到64 m/s;14日20时昭通上空风向由西南风转为偏西风,急流轴略向东北方向移动。

500 hPa上,12日20时(图3a)在贝加尔湖东部到巴尔喀什湖有一横槽;南支槽位于87°E附近,我国西南地区到华南、华东一带都位于槽前西

南急流之中,昭通上空风速为 40 m/s 左右,位于急流轴中心。13 日 08 时(图略)北边横槽向南移动到新疆北部,冷空气开始影响我国西北地区;南支槽位置稳定少动,槽前西南急流增强,急流轴位于长江中下游地区,中心风速达 36~40 m/s,13 日白天昭通地区极大风速明显增强,影响范围扩

大。13 日 20 时(图略)北边的横槽略南压,南支槽东移至 92°E 附近。14 日 08 时(图略)横槽转竖,冷空气南下;南支槽略向东移,昭通上空仍为强盛的西南急流。14 日 20 时(图 3b)北支槽继续引导冷空气南下,南支槽东移至 100°E 附近,昭通转为偏西气流控制,位于槽线附近,大风天气趋于结束。

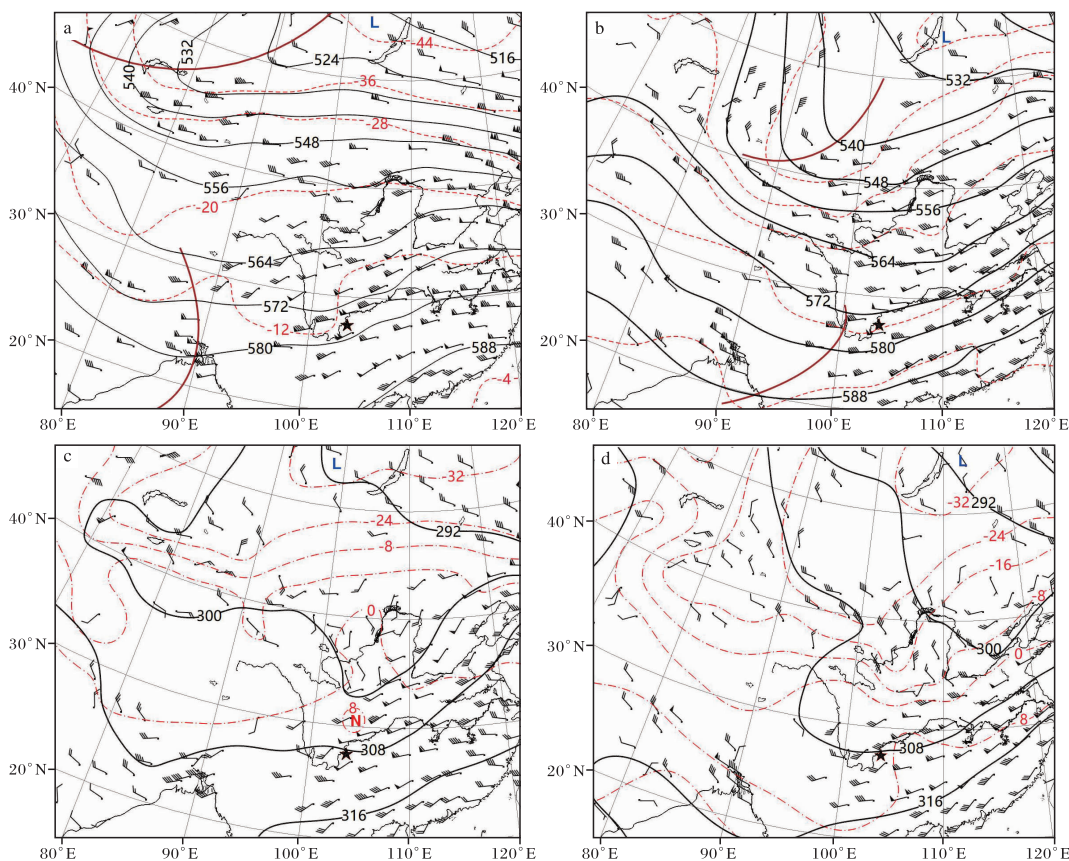


图 3 2023-12-12—14 高空形势(棕色实线为槽线;黑色实线为等高线,单位为 dagpm;红色点划线为等温线,单位为℃;L 代表冷中心,N 代表暖中心,★代表昭通所在位置(下同);a 12 日 20 时 500 hPa, b 14 日 20 时 500 hPa, c 13 日 08 时 700 hPa, d 14 日 20 时 700 hPa;审图号为 GS(2019)3082 号)

大风影响时段,700 hPa 上西南低空急流在长江中下游地区稳定维持,中心风速在 20~30 m/s 之间,昭通位于低空急流轴附近,风速达 20 m/s 以上;温度场上受暖脊控制,13 日 08 时(图 3c)在四川盆地附近形成 8℃ 的暖中心。14 日 20 时(图 3d),大风速轴向东北方向移动,逐渐远离昭通;随着 0℃ 线南压,暖脊也逐渐减弱,暖中心消失,大风减弱。

3.2 地面形势

地面图上,12 日 20 时(图 4a)位于巴尔喀什

湖北部的冷高压,中心强度达到 1 062.5 hPa,长江下游和黄河下游之间形成一个 1 032.5 hPa 小高压中心;西南地区受低压控制,形成“东高西低”的形势,有利于偏南大风的形成;昭通位于低压中心,强度为 1 012.5 hPa,高、低压之间等压线密集,气压梯度力大,大风主要出现在低压的南部、东南部区域。13 日 14 时(图略)冷高压向南移动,冷锋进入我国西北地区;西南地区的低压在发展和加强,中心强度达到 1 000 hPa,等压线更加密集,大风天气持续加强。14 日 14 时(图 4b),冷

高压中心强度加强到 1 072.5 hPa,随着冷空气扩散南下,全国大部地区已转为偏北风,云贵川地区低压维持,中心仍位于昭通,强度为 1 002.5 hPa。

14 日 20 时(图略),冷空气继续南下,昭通地区低压开始减弱,大风天气也趋于结束。15 日 08 时(图略)冷锋达到昭通北部,全市逐渐转为偏北风。

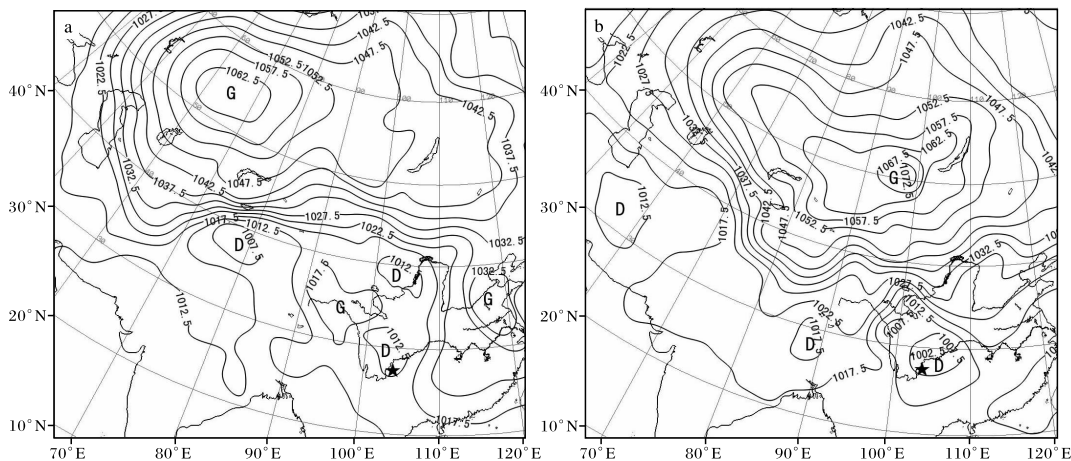


图4 2023-12-12—14 地面形势(黑色实线为等压线,单位为 hPa;G 代表高压中心, D 代表低压中心;a 12 日 20 时,b 14 日 14 时;审图号为 GS(2019)3082 号)

4 物理量诊断分析

本文主要根据斜压系统发展的物理过程和发展因子,结合热力学能量方程、涡度方程、地面形势预报方程等^[1]对此次大风过程进行诊断分析。

4.1 温度平流

地方性热低压一般具有明显的日变化特征,即:白天气温升高,低压增强;夜间和早晨气温较低,低压减弱或消失^[1]。此次过程中影响昭通的热低压系统夜间也稳定维持,是夜间大风依然显著的重要原因。

图 5 为昭通本站温度平流的垂直剖面图(因昭通海拔为 1 949.5 m,故垂直方向从 800 hPa 开始分析),过程中 600 hPa 以上主要为冷平流,有利于 500 hPa 的高空槽发展、加深(图 3a、3b),也有利于冷空气向南输送;但是对流层低层(800~600 hPa)维持暖平流,中心位于 700~650 hPa 附近,为 $(0.1\sim0.2)\times10^{-3} \text{ K}\cdot\text{s}^{-1}$ 。暖平流的作用有:(1)根据热力学能量方程^[1],暖平流可引起局地温度升高,12 月 12—14 日昭通市平均气温较常年同期偏高 8.9℃,居历史同期第 1 位,全市大部区域早晚温差小,夜间降温不明显,所以热低压到夜间也无明显减弱,有利于夜间大风维持;(2)根据地面形势预报基本方程^[1],暖平流引起地

面减压,低压持续发展、加强,高低压之间气压梯度力增加,从而促进大风天气发生发展。

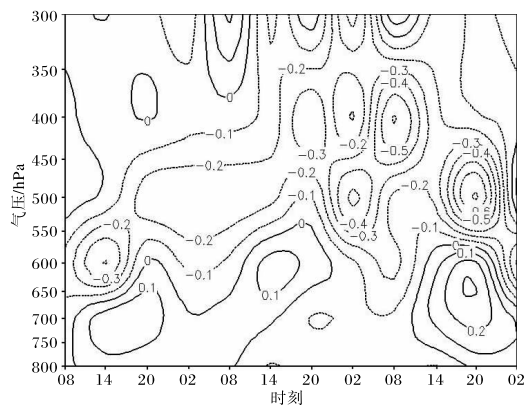


图5 2023-12-12T08—15T02 昭通国家气象站 温度平流垂直剖面(单位为 $10^{-3} \text{ K}\cdot\text{s}^{-1}$)

4.2 涡度平流

大风影响时段昭通地区位于 500 hPa 槽前西南气流中,由于槽中有正涡度,脊中有负涡度,槽前脊后沿气流方向涡度减少,主要受正涡度平流影响。12 日 20 时(图 6a)昭通位于正涡度平流中心($7\times10^{-10} \text{ s}^{-2}$)附近。根据涡度方程^[1],正涡度平流有利于气旋性涡度增加,在地转偏向力作用下,引起水平气流向外辐散,从而使得地面气压下降,促进低压维持、加强。14 日 14 时(图 6b),正

涡度平流中心正好位于昭通地区,中心值加强到 $10 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$,在高空槽前,地面低压上空区域依然存在气流辐散的形势,低压稳定存在。14日20时(图略),随着500 hPa南支槽东移,昭通位

于槽线附近,在槽线和脊线上涡度平流为“0”,因此地面低压上空辐散气流逐渐减弱消失,不利于低压的维持,大风过程减弱。

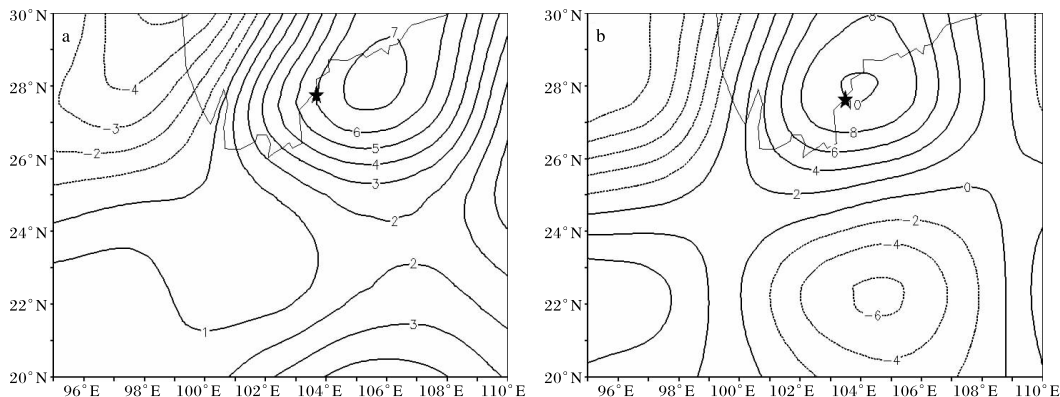


图6 2023-12-12—14 500 hPa 涡度平流(单位为 10^{-10} s^{-2} ; a 12日20时, b 14日14时;

审图号为 GS(2016)2923 号)

4.3 散度和垂直速度

500 hPa 正涡度平流引起水平气流辐散,地面减压,此时为了地面流场和气压场达到新的平衡,在气压梯度力作用下,将有气流在负变压区域辐合。由图7a可见,650 hPa 以下为辐合,650~400 hPa 以辐散为主,在这种低层辐合,中层辐散的配置下,近地面层将有上升运动发生,这一点在垂直速度的时间-高度剖面(图7b)中得以验证。13日02时至14日14时650 hPa 以下出现上升

运动,在这个过程低层辐合和上升运动是为了补偿正涡度平流引起的辐散,以达到新的地转平衡。650 hPa 以上主要以下沉运动为主,是因为400 hPa 以上气流表现为辐合,且中层辐散比高层辐合强(辐散中心为 $100 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,辐合中心为 $-80 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$),大气流动加快,产生强烈的下沉运动;13日08时,在300 hPa 附近存在 $1.0 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强下沉运动中心,有利于中高层的强西南急流动量向地面传送,形成大风。

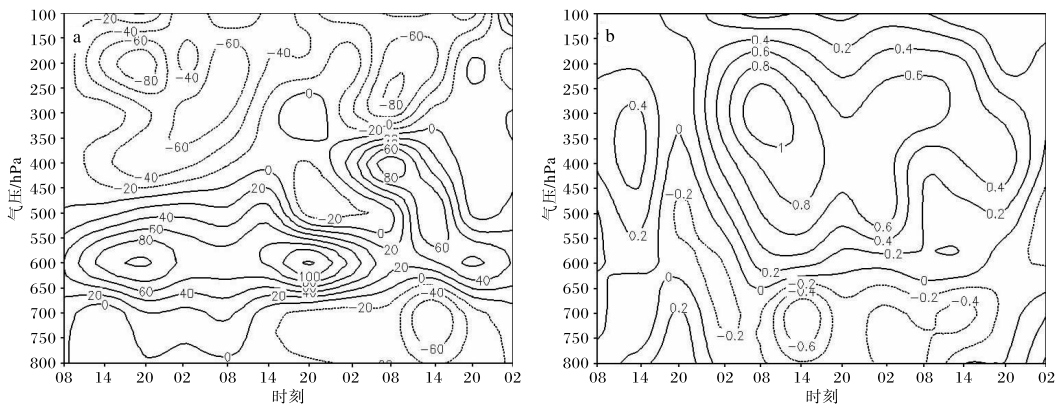


图7 2023-12-12T08—15T02 昭通国家气象站散度(a,单位为 10^{-6} s^{-1})和垂直速度

(b,单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)垂直剖面

4.4 探空资料

此次大风过程主要影响昭通东部、南部区域,

昭通无探空站,因此选择与昭通东部相邻的贵州威宁国家气象站、与昭通南部相邻的四川西昌国

家气象站资料分析。

从威宁站(图 8a)和西昌站(图 8b)12 日 20 时的温度对数压力图来看:对流层中上层的温度露点差明显大于低层,层结曲线和露点曲线呈现出“喇叭口”形状(上干下湿)。风向随高度变化基本保持一致方向,均为西南风;风速随高度明显增加,威宁 0~6 km 垂直风切变为 41.8 m/s,西昌

为 50.8 m/s,强垂直风切变有利于空气动量下传^[10],从而促进地面大风形成。下沉有效位能反映下沉气流到达地面时可能具有的最大动能。12 日 20 时威宁站下沉有效位能为 619.1 J/kg,西昌站为 90.5 J/kg;13 日 08 时(图略)威宁站下沉有效位能为 468.5 J/kg,西昌站为 583.3 J/kg。可见下沉有效位能对大风天气有一定指示意义。

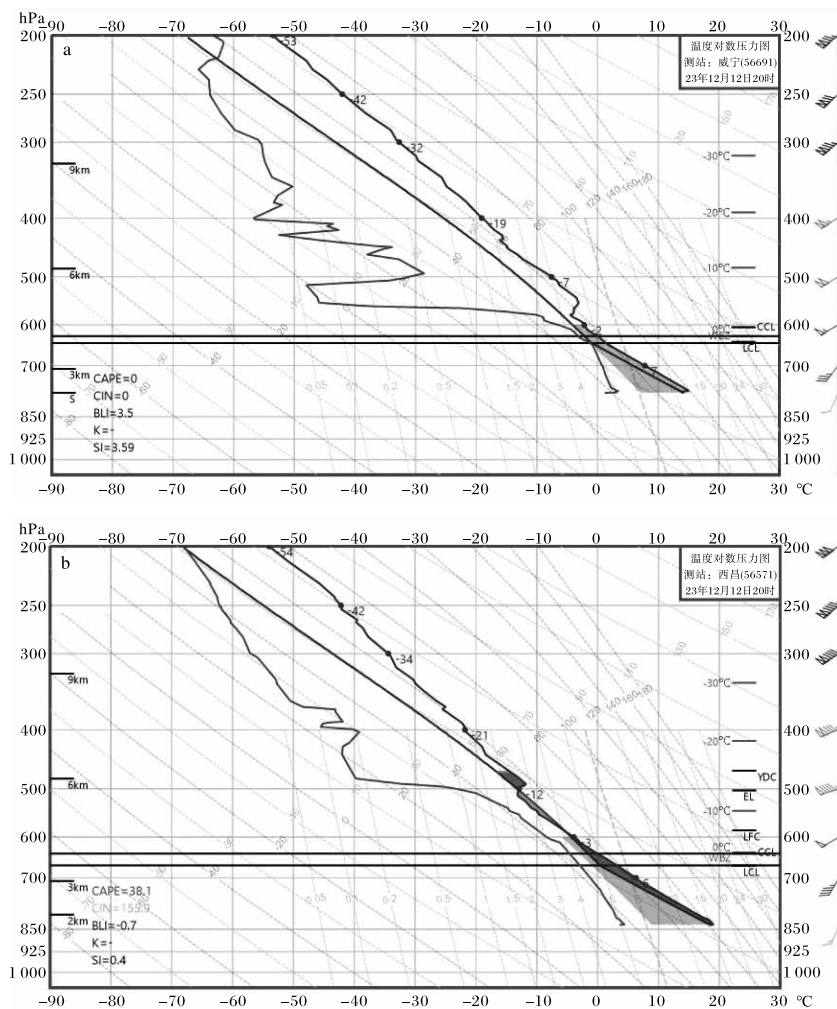


图 8 2023-12-12T20 温度对数压力图(a 威宁站,b 西昌站;600 hPa 以下阴影区域面积代表下沉有效位能)

5 结论和讨论

2023 年 12 月 12—14 日昭通出现持续性大风天气,通过天气形势分析和相关物理量诊断,得出以下结论:

(1)昭通位于低压中心附近,地面气压场上为“东高西低”的形势;正涡度平流和暖平流导致地面气压下降,加之北方冷高压加强南压,自东向西

的气压梯度力增强,有利于偏南大风形成。

(2)昭通上空高、低空急流建立,且 0~6 km 垂直风切变达 40 m/s 以上;散度场为高层辐合、低层辐散,产生较强下沉运动,有利于动量下传,形成地面大风。

(3)探空图上当层结曲线和露点曲线呈“喇叭口”形状,且具有一定的下沉有效位能,对大风天

气的发生、发展有指示意义。

(4)本次过程的预报着眼点在于关注南支槽、高低空急流和地面低压系统稳定维持和相互作用。南支槽移动缓慢,槽前正涡度平流和 700 hPa 暖脊的减压作用,造成地面低压维持、加强,夜间也未消失;加上动力条件和热力条件配合,造成此次大风天气罕见地持续近 54 h。

参考文献:

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法 [M]. 北京:气象出版社,2000.
- [2] 刘彬,邹灵宇,李晓鹏,等. 云南雷暴大风天气的环境条件特征分析[J]. 气象,2022,48(11):1402-1417.
- [3] 刘梦迪,王一冰,于静,等. 通州市两次大风沙尘天气过程的对比分析[J]. 陕西气象,2022(5):15-20.
- [4] 李亚琴,张凌云,苏小玲,等. 柳州盛夏一次下击暴流特征分析[J]. 气象科技,2023,51(4):573-581.
- [5] 吴安南,李国平,师义成,等. 采用次网格地形方案对白鹤滩水电站坝区一次大风天气的数值模拟[J]. 高原山地气象研究,2022,42(3):22-30.
- [6] 曾厅余,詹正杰,刘少荣,等. 溪洛渡水电站坝区大风主要影响天气系统分型[J]. 云南大学学报(自然科学版),2012,34(增刊 1):67-71.
- [7] 康岚,刘炜桦,肖递祥,等. 四川盆地一次极端大风天气过程成因及预报着眼点分型[J]. 气象,2018,44(11):1414-1423.
- [8] 张晓蔚,李佳帅,朱亮,等. 南通机场 4.30 大风天气过程诊断分析[J]. 民航学报,2023,7(3):59-64.
- [9] 陈文龙,李兵,程晓龙,等. 基于多源实况资料的森林火灾期间的气象特征分析:以西昌“3·30”森林火灾为例[J]. 灾害学,2023,38(1):111-116.
- [10] 张文龙,董剑希,王昂生,等. 中国西南低空急流和西南低层大风对比分析[J]. 气候与环境研究,2007,12(2):199-210.