

文章编号:2096 - 5389(2022)05 - 0033 - 06

2 次昆明准静止锋的对比分析

李 锐¹, 孟庆怡², 张 梦¹, 蒙仕红¹, 何依遥²

(1. 贵州省晴隆县气象局, 贵州 晴隆 561400; 2. 贵州省黔西南布依族苗族自治州气象局, 贵州 兴义 562400)

摘 要:利用 EAR5 再分析气象数据, 分析了 2 次昆明准静止锋天气过程的高低空环流形势、锋面结构、锋面位置、以及相关要素场等基本特征及其异同。结果表明:中高纬度地区阻塞形势的存在是昆明准静止锋形成的背景环流。当冷暖气团均强且势均力敌时, 更有利于锋面的维持; 冷空气较强时, 锋面会向西移动, 越过云贵高原地形的阻挡; 反之, 锋面则会向东移动。当锋面维持在高原地形东侧时, 冷空气受地形的阻挡, 锋面移动缓慢, 锋区最为明显。此时锋面位置位于风场的最大水平切变、温度的最大水平梯度和相当位温的密集区所处的位置。2 次过程寒潮爆发时冷空气均只能维持到 700 hPa 附近, 且水平风场也均为 600 hPa 以下的低空切变, 说明昆明准静止锋为浅薄系统。昆明准静止锋与一般冷锋锋后不同, 2 次个例昆明准静止锋锋后低空为湿区, 而锋前水汽是否充足则要看南支槽所处的位置。

关键词:昆明准静止锋; 相当位温; 云贵地区

中图分类号:P441 **文献标识码:**A

Analysis of the Frontal Characteristics of Kunming Quasi - stationary Front

LI Rui¹, MENG Qingyi², ZHANG Meng¹, MENG Shihong¹, HE Yiyao²

(1. Qinglong Meteorological Bureau of Guizhou Province, Qinglong 561400, China;

2. Meteorological Bureau of Qianxinan Prefecture of Guizhou Province, Xingyi 562400, China)

Abstract: Using EAR5 to reanalyze the meteorological data, the basic characteristics and similarities and differences of the high and low altitude circulation situation, front structure, front position, and related element fields of the two Kunming quasi - stationary front weather processes are analyzed. The results show that the existence of the blocking situation in the middle and high latitudes is the background circulation formed by the Kunming quasi - stationary front. When the heating and cooling masses are strong and evenly matched, it is more conducive to the maintenance of the front. When the cold air is strong, the front will move westward, crossing the terrain of the Yunnan - Guizhou Plateau; otherwise, the front will move eastward. When the front is maintained on the east side of the plateau terrain and the cold air is blocked by the terrain, the movement of the front is slow, and the front area is most obvious at this time. The maximum horizontal shear of the wind field, the maximum horizontal gradient of temperature and the dense area of equivalent potential temperature describe almost the front position. During the two cold wave outbreaks, the cold air can only be maintained to around 700 hPa, and the horizontal wind field is also low - altitude shear below 600 hPa, indicating that the Kunming quasi - stationary front is a shallow system. The Kunming quasi - stationary front is different from the general cold front. In two cases, the low altitude behind the Kunming quasi - stationary front is a wet area, and whether the water vapor before the front is sufficient depends on the location of the south branch trough.

Key words: Kunming quasi - stationary front; equivalent potential temperature; Yunnan - Guizhou region

收稿日期:2021 - 08 - 15

第一作者简介:李锐(1998—),男,助工,主要从事气象业务观测工作,E-mail:1716609435@qq.com。

0 引言

昆明准静止锋冬季常处于我国云贵高原,是我国西南地区最重要的天气系统之一。昆明准静止锋生成之后,由于受到云贵地区高原地形的影响,冷空气难以越过云贵高原西进,从而与暖空气形成对峙,所以锋面通常维持在平均位置,呈准静止状态。昆明准静止锋活动具有明显的季节性特征,多出现在冬春季,一年平均出现 87 d 左右^[1]。昆明准静止锋的锋前后具有明显的气候差异,锋前的昆明四季如春,更是有“春城”之称,而锋后的贵州则常常是连阴雨天气^[2-6]。昆明准静止锋对贵州、云南以及四川南部冬半年的天气变化有着非常重大的影响,云贵地区冬季的灾害性天气都与它有着密切的关联,而它一旦与其它天气系统(阻塞高压、南支槽、西南低涡、切变线以及高低空急流等)相配合,往往会带来一系列的灾害性天气,如凝冻天气、寒潮、冬季暴雨、冰雹以及倒春寒等,对大春育秧、小春越冬、安全输电、交通运输等国民经济和人民财产都会造成重大灾害^[7]。

锋面的形成主要是因为 2 个热力性质不同的气团之间的互相作用,而昆明准静止锋的不同之处在于除了暖气团的互相作用以外,还与青藏高原的大地形作用有很大的关系,而且在锋面结构上也与其它锋面有些不同^[8]。樊平^[9]最先开始从天气图和单站的角度对昆明准静止锋的结构、预报和分析进行了较为详细的研究。秦剑等^[10]研究表明滇黔准静止锋的平均位置一般在威宁、沾益以西,静止锋强盛时可抵达昆明以西,比较弱时在贵州东北部,经度的最大跨度大概为 7 个经度。段旭等^[11]选取了 10 个没有被南支槽天气系统影响的典型个例,进行合成计算、分析,对其温、湿特征、运动学结构等进行了较为详细的分析。杜正静等^[12]分析了 2001 年年初昆明准静止锋的演变过程中温湿结构以及大气环流特征,指出其大气环流特征和高原关系紧密。杜小玲等^[13]对比分析了 2008 年年初的冻雨天气和 2009 年年初的阴雨天气过程时的锋区结构特征,并发现锋生函数变性项以及水平辐合项对准静止锋天气过程中降水形态的差异,是因为变性项和水平辐合项对准静止锋的贡献有所不同。

前期对昆明准静止锋的研究,一般是通过某些灾害性天气来进行讨论,通常是以个例分析为主。张腾飞等^[7]通过研究表明高层西南风加强、上升运动的增强、水汽通量增大、存在高空冷暖平流与高空急流等,均对发生强降雪天气有利。张瑾文等^[14]

通过对比分析 3 次寒潮天气背景下的昆明准静止锋天气过程的环流形势、锋的生消及维持等,得出 500 hPa 高空阻塞形势是云南寒潮天气发生的典型环流形势。张亚男^[8]利用天气学诊断、合成分析、数值模拟等方法,探讨了昆明准静止锋进退及维持时所具有的锋面结构、环流特征及锋生函数的特征及作用,得出相对位温对于描述昆明准静止锋锋区强度、锋面位置及锋生情况比位温和广义位温更好的。

1 资料的选取

①ECMWF 1981 年至今 ERA5 land 逐小时数据:2013 年 12 月 7—23 日 08 时 2 m 温度 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 再分析数据;2016 年 1 月 20—27 日 08 时 2 m 温度 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 再分析数据。

②ECMWF 1979 年至今 ERA5 逐小时气压数据:2013 年 12 月 7—23 日 08 时 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析数据,包括高低空气压、温度、相对湿度以及 U、V 风场;2016 年 1 月 20—27 日 08 时 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析数据,包括高低空气压、温度、相对湿度以及 U、V 风场。

2 天气过程简述及环流形势

2.1 天气过程简述

以下将 2013 年 12 月这次昆明准静止锋天气过程称为过程 1,2016 年 1 月这次称为过程 2。

从 2 m 温度场可以看到,过程 1 持续时间较长,但昆明在 12 月 13 日之前几乎未受到影响,会泽在 12 月 8—12 日温度一直都是起伏的状态,贵阳温度则是一直保持低迷,可以看出贵阳从 8 日以后就受到冷空气的控制,也说明昆明准静止锋在会泽附近摆动。而在 13 日 08 时,冷空气来势汹汹,昆明、会泽、贵阳 3 地均受到偏东风的影响,故 13 日 08 时—15 日 08 时 48 h 内,会泽、昆明降温超过 10°C 并且最低温度低于 4°C ,达到寒潮标准。15 日以后气温又开始逐渐回升,昆明准静止锋开始向北向东移动直至消散。

过程 2 中昆明、会泽在 20—22 日温度并无太大变化,且温度比贵阳高,说明此前准静止锋的位置偏东。从 22 日开始,昆明、会泽受到来自东北方向的强冷空气南下影响,22 日 08 时—24 日 08 时 48 h 内降温均超过 10°C ,且温度低于 4°C ,达到寒潮标准。贵阳 23 日以后温度一直在缓慢回升,说明冷空气虽然较强,但后续并没有冷空气补充,昆明准静止锋很快开始消散。

2.2 锋面结构特征及位置

对于这 2 次准静止锋天气过程,可以分别选取

锋面维持在地形东边,锋面西进阶段,越过地形、锋面消散阶段3个关键时间点来进行分析。对这2次过程的几个关键时间点前1 d 850 hPa 相当位温和风场分布图进行分析。

12月10日08时东风区域减少,锋后相当位温的310 K 控制范围明显扩大,锋前相当位温从370 K 增加至375 K,且相当位温的密集程度与锋面前后风速均增大,锋面东退至滇黔交界一带,呈准南北向。说明暖空气推动昆明准静止锋向东移,而锋后同样有冷空气补充,造成了锋面东移且相当位温密集程度增大,而锋后的冷空气补充也是锋面在会泽

附近摆动的原因。14日锋后主要是偏东偏南风,由于地形的阻挡,冷空气在向西推进时受到阻碍,而15日(图1a)锋后转为东北风,锋面迅速向西南方向推进,锋后相当位温中心值从310 K 降至300 K,而锋前并无太大变化,且310 K 线向南压至25°N 以南,向西至105°E 以东,所以此次锋面西进,主要是受到冷空气控制。17日、18日08时,锋后风场变化不大,相当位温的中心值从300 K 降到295 K,说明锋后仍有冷空气补充,但锋面附近的相当位温几乎没有变化,锋面维持在滇黔交界一带直至消散。

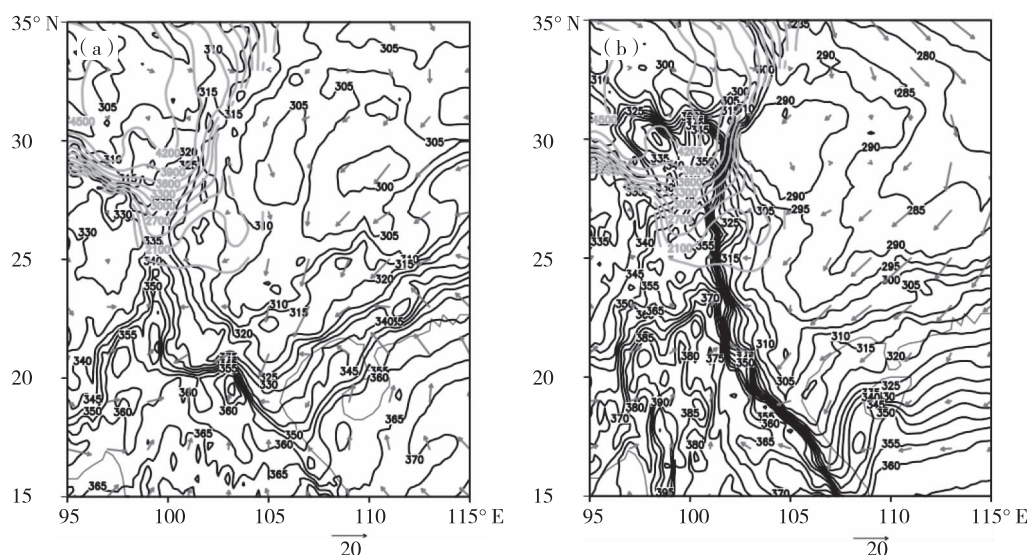


图1 2013年12月15日08时(a)和2016年1月23日08时(b)850 hPa 相当位温

(黑色等值线,单位:K)和水平风场(红色箭头,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),绿色曲线是地形高度大于1500 m 的区域

Fig. 1 At 8 o'clock on December 15, 2013(a), At 8 o'clock on January 23, 2016(b), 850 hPa equivalent potential temperature (black isoline, unit: K) and horizontal wind field (red arrow, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). The green curve is the area with terrain height greater than 1500 m

过程2在1月20日、21日08时锋前多为西南风,锋后东风较弱,所以锋面并未有太多变化。23日08时(图1b)锋面向西推进至云南中部地区,锋面为准南北向。从22日08时—23日08时,昆明和会泽24 h 内降温超过10℃。

过程2虽然持续的时间较短,但相当位温的密集区更为明显,说明锋面两侧的气象要素差异更为明显。

在过程2中,15日08时(图2a)锋后东风加强,锋面已经越过地形的阻挡,抵达100°E 左右,此时锋区的等相当位温线与10日08时相比已经变得稀疏了许多。昆明准静止锋的形成和维持与地形有着密不可分的联系,所以当锋面越过地形的阻挡后,锋区等相当位温线梯度变小了许多。18日08时锋区等相当位温线梯度进一步减小,锋前后700

hPa 以上高空等相当位温线变得密集,且等数值升高至340 K 以上,说明锋前暖空气有了较大的增强。

1月21日08时等相当位温线最密集的区域在104°E 附近,等相当位温线与地面接近垂直,判定锋面在104°E 附近且呈准南北向。1月23日08时(图2b)锋面越过地形,抵达101°E 附近,同样是强冷空气推动锋面向西移动,锋后600 hPa 以下等相当位温线小于375 K (而过程1则是小于390 K),地面最低为285 K (而过程1则为290 K),说明寒潮爆发时过程2冷空气强度更大。1月26日锋面已经不是很明显了,没有地形的阻挡,且云贵地区有反气旋式切变,锋前西风增强,锋面难以维持,锋面已经向西移动至104°E 附近,且等相当位温线梯度较小,说明如果锋后没有冷空气补充,锋面将逐渐消散。

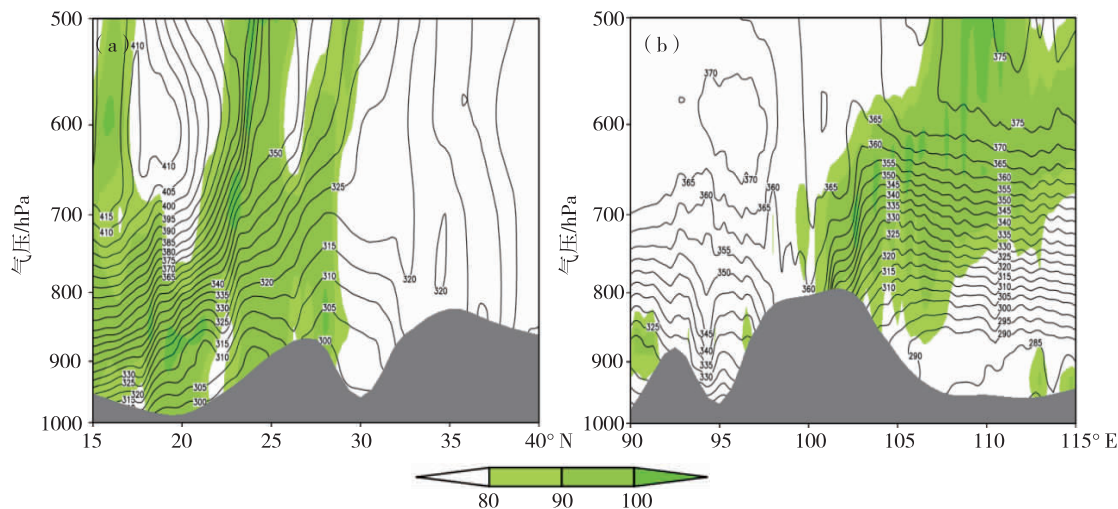


图 2 2013 年 12 月 15 日 08 时沿 105°E(a)和 2016 年 1 月 23 日 08 时沿 25°N (b)
相当位温(黑色等值线,单位:K)和相对湿度(彩色阴影,单位:%)剖面,灰色阴影是地形
Fig.2 Along 105°E at 8 o'clock on December 15, 2013(a) and along 25°N at 8 o'clock on January 23,
2016(b),850 hPa equivalent potential temperature (black isoline, unit: K) and relative humidity
(colored shadows, unit: %). The gray shadows are terrain

2.3 大尺度环流形势

过程 1:12 月 10 日 500 hPa 高空贝尔加尔湖以西存在高压脊引导冷平流向南输送,加强南下低空的冷高压,在中西伯利亚高原的横槽得以发展,将冷空气拦截堆积在贝加尔湖以北,其冷涡中心数值达到 508 dagpm,冷中心温度达 -44℃。对应 850 hPa 低空除锋区外,低纬度地区等位势线较为稀疏,而中纬度地区的等位势线开始变得密集,且沿西北方向递增,因为高层高压脊引导脊前西北冷平流向南移动。14 日 08 时阻塞形势已经崩溃,大量冷空气南下,-32℃已经从 65°N 南压至 40°N 附近,此时位于孟加拉湾附近的南支槽已进一步发展加深。15 日 08 时云贵高原地区 850 hPa 低空已经被冷高压控制,说明此时冷空气已经推进至云贵地区造成影响。18 日 08 时贝加尔湖以北又形成了阻塞高压,阻挡住高纬度地区的冷空气,使得昆明准静止锋后冷空气强度减弱,南支槽也东移至 108°E 附近,从高空环流形势来看,不利于昆明准静止锋的发展与维持。

过程 2:1 月 21 日 08 时 500 hPa 西西伯利亚平原上空阻塞形势较好,将高纬度地区的冷空气很好地阻挡在中高纬地区,但此时横槽已经南压至贝加尔湖以南,冷中心温度达 -48℃,此时南支槽位于恒河平原上空,且此时西太平洋副高也较为偏北。21 日 08 时与过程 1 相似高层环流形势引导高压脊前较弱的冷平流南下,使得等位势线密集区与过程 1 差不多。1 月 23 日横槽和冷中心均南压至 40°N

附近,高压脊有所减弱,引导大量冷空气影响我国,此时南支槽在孟加拉湾上空附近,但较为浅显。此时云贵地区 850 hPa 低空已经被冷高压控制,说明此时冷空气已经南下至云贵地区,26 日 08 时贝加尔湖以北地区重新建立横槽,将冷空气拦截在高纬度地区,昆明准静止锋逐渐消散。

3 要素场对比

对要素场的研究仍然选取一些时间点进行分析,锋面两侧要素场变化较大,而锋面在越过地形后,准静止锋迅速减弱,所以在对于要素场的研究时,主要分析锋面维持在云贵高原地形东侧和寒潮爆发时的要素场特征。

3.1 温度特征对比

图 3 是温度和风场垂直剖面图。在过程 1 中,12 月 10 日 08 时两侧温度变化最大的位置在 105.5°E 附近,从 850 hPa 相当位温和水平风场来看锋面位置大概就在 105°E 附近。此时锋面被云贵高原地形阻挡在高原地形以东,在乌拉尔山脉地区 500 hPa 高空高压脊发展较深,所以南下的冷空气有限,而南支槽此时几乎没有,此时云贵地区高空主要受来自低纬度地区的西风控制。在 850 hPa 主要受到偏北风控制,但水平风场也较弱,这样的高低空环流配置有利于锋面维持在高原以东。此时锋后存在微弱的逆温层,说明南下冷空气较弱。两侧温差达到 10℃以上,说明这样的环流背景有利于锋面的维持。12 月 15 日是锋面越过地形阻

挡的阶段,从 850 hPa 相当位温和水平风场来看,此时锋面呈准东西向且南压至 20°N 附近,500 hPa 高空阻塞形势崩溃,南支槽发展,850 hPa 低空被冷高压控制。而此时锋面两侧温差只有 6℃左右,说明

锋面越过地形后,虽然锋后有较强冷空气,而南支槽也有较好的发展,但锋面强度仍然在减弱,说明地形是昆明准静止锋形成的重要因素。

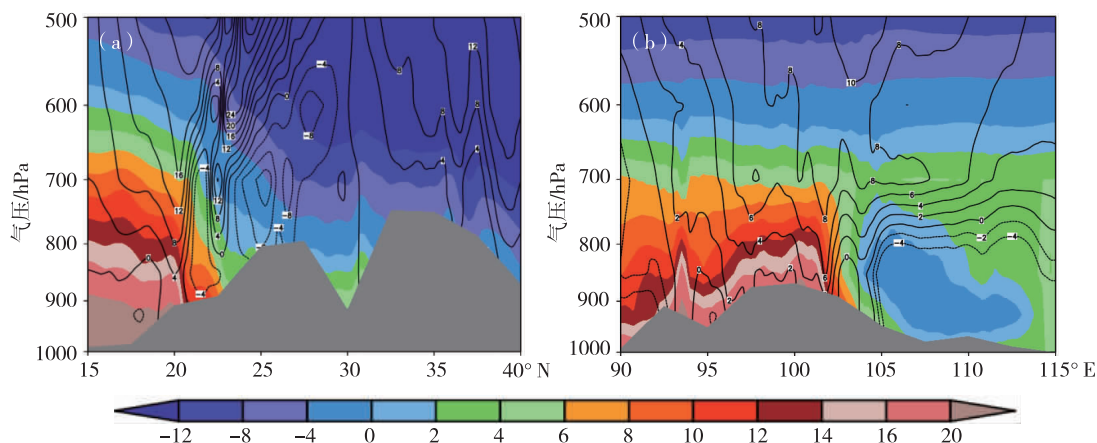


图3 2013年12月15日08时沿103°E温度垂直剖面(彩色阴影,单位:℃)和纬向风垂直剖面(a), 2016年1月23日08时沿22°N温度垂直剖面(彩色阴影,单位:℃)和经向风垂直剖面(b),灰色阴影为地形
Fig. 3 Vertical profile along 103°E temperature (colored shadow, unit: °C) and zonal wind at 08:00 on December 15, 2013(a), along 22°N temperature vertical section (colored shadow, unit: °C) and meridional wind vertical section at 08:00 on January 23, 2016(b), gray shadows are terrain

过程2中,2016年1月22日锋面维持在云贵高原地形东侧,锋面位于104.5°附近,500 hPa高空21日08时中高纬度地区阻塞形势发展较好,且在贝加尔湖南侧有横槽的存在,将大量冷空气阻挡在中高纬度地区。22日08时锋后低空存在较弱逆温层,且有冷空气开始补充,锋面两侧温差在10℃以上,且温度描述的锋面也较为明显,说明这样的环流背景有利于昆明准静止锋的维持。1月23日08时500 hPa高空横槽已经南压至40°N附近,冷中心也南压至40°N且冷中心温度达到-44℃附近。锋面向西移动越过地形的阻挡,锋后存在明显的逆温层(图3b),说明暖空气有一定势力,温度在垂直结构上呈“冷暖冷”结构。锋面两侧温差在6℃左右,同样说明锋面在越过地形阻挡后,锋面强度在减弱。

对比2次过程,在锋面维持时,温度梯度大的区域与地面接近垂直,水平梯度大;而在锋面向西移动越过地形时,温度的水平梯度均减弱了,过程1中冷空气势力只能维持到700 hPa附近。过程2中逆温层下界面达到700 hPa,冷空气向上达到700 hPa,说明暖空气有一定势力,而冷空气的势力也只能维持到700 hPa附近,说明昆明准静止锋是浅薄系统。

3.2 风场特征对比

过程1中,2013年12月10日08时锋面维持在高原地形东侧时,水平风切变大值区在105.5°E附

近,且水平风切变向上延伸至650 hPa附近,说明锋面向上只延伸至650 hPa附近。在锋面越过高原地形后,可以看到锋面呈准东西向,水平风切变密集区上延伸至600 hPa附近(图3a),说明锋面高度达到600 hPa。可以看到过程1中当冷空气向南爆发后,冷空气势力增强,水平风切变高度增加。过程2中1月22日08时锋面还在高原地形的东侧,水平风切变最大的位置大概是104.5°E,且向上延伸至700 hPa附近。23日08时,水平风切变最大的区域在102.5°E附近向上延伸至700 hPa附近(图3b),但略高于22日08时,当冷空气向南爆发后,冷空气势力增强,水平风切变延伸的高度和强度均有所增加,但没有过程1增加得多。

从2次过程来看,当锋面维持在高原地形东侧时,水平风切变高度和位置均与温度场描述的锋面位置几乎相同。在寒潮爆发后,锋面越过地形,水平风切变高度均有所增加。2次过程中水平风切变大值区向上延伸均在600 hPa附近或以下,说明昆明准静止锋是1个浅薄系统。

3.3 相对湿度对比

同样选取相对应的时间点来进行研究。12月10日08时沿25°N相对湿度剖面图中,锋面维持在大地形东侧时相对湿度大于80%的区域主要是锋后低空的小块区域;沿105°E相对湿度剖面图中,相

对湿度大于 80% 的区域为锋前低纬度低空以及锋后低空。过程 2 的维持阶段沿纬向剖面可以看到锋前湿层较为深厚, 锋后高湿区主要是 850 hPa 以下低空, 而锋前有一块向上延伸至 500 hPa 高空的高湿区, 且越往上湿度越大, 说明过程 1 中, 锋后的高湿区主要是由于锋后冷空气变性造成的。过程 2 中锋后低层的高湿区与过程 1 的高湿区来源相同, 均是由于冷空气变性造成的, 但过程 2 锋前存在的高湿区则是来自西南气流输送。2 个过程的高空环流形势区别在于过程 1 的南支槽微弱, 且位于陆地上空, 而过程 2 南支槽强于过程 1, 且位于孟加拉湾上空。

锋后强冷空气爆发时, 过程 1 高湿区主要在锋后, 锋后 850 hPa 低空风场主要是来自太平洋西岸的风场气旋性切变而来的东北风, 而 500 hPa 高空南支槽后的西北气流多是来自陆地, 中高纬度地区阻塞形势崩溃为南方带来强冷平流到南方后变性导致相对湿度增加。过程 2 中 23 日锋后低层湿度小于 80%, 高湿区向高空延伸。

锋面越过地形后向东移动时, 过程 1 的锋面附近几乎没有高湿区, 过程 2 中 26 日在锋后又出现一大块高湿区, 且湿层深厚。在此阶段过程 1 南支槽已经东移至 110°E 附近与东亚大槽结合, 增强东亚大槽, 且中高纬度地区重新建立阻塞高压, 将冷空气阻挡在高纬度地区, 昆明准静止锋后冷空气较弱, 高空主要受偏西气流控制, 不利于昆明准静止锋的发展与维持。而过程 2 南支槽位于 95°E 附近, 中高纬度地区高压脊向北延伸很深, 贝加尔湖以北地区建立横槽, 将冷空气阻挡在高纬度地区。高压脊会引导一些冷平流南下补充, 因此锋后又存在深厚的湿区。

4 结论

①昆明准静止锋的移动与西太平洋副高、南支槽、中高纬度阻塞高压以及东亚大槽等天气系统配置有关, 当南支槽出现在孟加拉湾时, 会使得准静止锋前出现高湿区。与一般冷锋后干燥的冷空气不同, 当有强冷空气南下时, 昆明准静止锋锋后都出现了高湿区。虽然昆明准静止锋大多呈准南北向, 但在越过云贵高原地形的阻挡后, 也会出现准

东西向的锋面。

②在垂直方向上, 2 次过程中锋面所在位置等相当位温线与地面近似垂直, 且等相当位温线水平梯度大。

③2 次过程中, 在锋面维持时, 温度梯度大的区域均与地面接近垂直, 水平梯度大; 而在锋面向西移动时, 温度的水平梯度均减弱, 水平风的切变均增强。2 次过程冷空气均只能维持到 700 hPa 附近, 且水平风切变也均为 600 hPa 以下的低空切变, 说明昆明准静止锋为浅薄系统。

④锋面的强弱与锋面前后的冷暖气团强弱有关, 当冷暖气团均强且势均力敌时, 有利于锋面的维持。若冷空气较强时, 锋面会向西移动, 越过云贵高原地形的阻挡; 反之, 锋面则会向东移动。

参考文献

- [1] 赵获. 昆明准静止锋的生成机制研究[D]. 云南大学, 2016.
- [2] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [3] 顾震潮. 青藏高原对东亚环流的影响和牦牛重要性[J]. 气象学报, 1951(1): 43-44.
- [4] 张君龙. 对昆明准静止锋的一点认识[J]. 贵州气象, 1980(3): 9-10.
- [5] 肖庆农, 伍荣生, 张颖. 地形的动力作用与冷锋锋生研究[J]. 大气科学, 1997(3): 21-30.
- [6] 王曼, 段旭, 李华宏, 等. 地形对昆明准静止锋影响的数值模拟研究[J]. 气象, 2009, 35(9): 77-83.
- [7] 张腾飞, 鲁亚斌, 张杰, 等. 一次低纬高原地区大到暴雪天气过程的诊断分析[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 696-703.
- [8] 张亚男. 昆明准静止锋进退及维持诊断分析[D]. 云南大学, 2018.
- [9] 樊平. 昆明准静止锋[J]. 天气月刊, 1956, 3(副刊): 14-16.
- [10] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 107-112.
- [11] 段旭, 李英, 孙晓东. 昆明准静止锋结构[J]. 高原气象, 2002(2): 205-209.
- [12] 杜正静, 丁治英, 张书余. 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[J]. 热带气象学报, 2007, 23(3): 284-292.
- [13] 杜小玲, 蓝伟. 两次滇黔准静止锋锋区结构的对比分析[J]. 高原气象, 2010(5): 1183-1195.
- [14] 张瑾文, 段旭. 云南三次典型寒潮降雪天气过程对比分析[C]//中国气象学会. 中国气象学会年会论文集灾害天气监测、分析与预报, 2015.