毛程燕,龚理卿,孙杭媛,等. 2018. 2017 年 2 月下旬浙江省一次冷锋引起的大风天气过程分析[J]. 气象与减灾研究,41(2):105-111.

Mao Chengyan, Gong Liqing, Sun Hangyuan, et al. 2018. Diagnostic analysis of windy weather caused by cold front in the West-Central of Zhejiang province in late February 2017[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,41(2):105-111.

2017 年 2 月下旬浙江省一次冷锋引起的大风天气过程分析

毛程燕[1], 龚理卿[1], 孙杭媛[1], 李浩文[2,3]

1. 衢州市气象局, 浙江 衢州 324000
2. 中山大学 大气科学学院, 广东 广州 510275
3. 广州市气象台, 广东 广州 510080

摘 要: 利用常规地面气象观测资料和 NCEP 再分析资料,对 2017 年 2 月 20—21 日浙江省中西部地区的一次冷空气大风天气过程进行分析。结果表明:西伯利亚冷高压与东亚大槽共同作用形成的强气压梯度是此次大风天气过程的重要成因;高空槽槽后动量下传是此次区域性大风超出一般冷锋大风强度的关键因素;200 hPa 高空西风急流入流区的辐合下沉运动与冷锋前的上升运动叠加形成的次级环流是此次大风天气出现的增强条件。

关键词: 冷锋大风,气压梯度,动量下传,次级环流

中图分类号: P458 **文献标识码**: A **文章编号**: 1007-9033(2018)02-0105-07

doi:10.12013/qxyjzyj2018-015

Diagnostic Analysis of Windy Weather Caused by Cold Front in the West-Central of Zhejiang Province in Late February 2017

Mao Chengyan[1], Gong Liqing[1], Sun Hangyuan[1], Li Haowen[2]

1. *Quzhou Meteorological Bureau*, *Quzhou* 324000, *China*
2. *School of Atmospheric Sciences*, *Sun Yat-Sen University*, *Guangzhou* 510275, *China*
3. *Guangzhou Meteorological Observatory*, *Guangzhou* 510080, *China*

Abstract: An analysis of windy weather caused by passing cold front happened in the west-Central of Zhejiang province from February 20 to 21, 2017 was performed using conventional observation surface data and NCEP reanalysis data of every 6 h. The results show that the strong barometric gradient induced by Siberian cold high with East Asia major trough is the main reason for this event; the downward momentum transportation from the upper trough is the key factor making wind during this period stronger than those in general cold front; secondary circulation caused by the union of descending motion in the inflow area of the upper westerly jet and ascending motion before the ground cold front is the enhanced condition.

Key words: cold front gale; barometric gradient; downward momentum transmission; secondary circulation

收稿日期: 2018-03-21; **修订日期**: 2018-06-29.

基金项目: 浙江省气象局预报员专项(编号:2017YBY13).

作者简介: 毛程燕,硕士,工程师,主要从事天气气候研究,E-mail:mcy_yxt@163.com.
李浩文(通信作者),博士,工程师,主要从事气候和环境研究,E-mail:lihaowen@mail3.sysu.edu.cn.

0 引 言

平均风速≥10.8 m/s(风力6级)或瞬时风速≥17.2 m/s(风力8级)的风称为大风。大风具有巨大的破坏力,严重威胁人类生命财产安全。历来国内外研究比较关注强对流引起的雷暴大风等灾害性强天气过程(苏俐敏等,2013;吴风波等,2016)。我国冬、春季冷空气活动频繁,常常造成大风、降温和降水天气过程,冷空气大风天气往往影响范围更广且危害性强。康志明等(2010)研究指出,冷锋过境前冷高压加强,冷空气堆积时冷平流输送显著(牛若芸等,2009)。黄继章等(2009)研究指出,冷锋过境时气象要素发生明显变化,大气动量下传使近地层的风向突变风速加大。由于沿海地区出现大风的频率更高,对冷空气大风的研究大多是针对渤海、东海等强海风进行的探讨与分析(郑崇伟,2011),而针对内陆地区大风天气过程的研究不足。

经统计发现,浙江省中西部地区冬、春季的冷锋过程多以降温天气为主,较少出现明显的大风天气,而2017年2月20—21日的冷锋过程却产生了区域性大风,有别于一般冷锋天气过程。因此文中利用天气学分析和物理量诊断的方法对此次冷空气大风天气过程进行诊断分析,以期为大风天气的预报预警服务提供参考依据。

1 资料与天气实况

文中使用了2017年2月20—21日浙江省中西部(衢州、金华、丽水地区)地面风速、气温、气压等逐小时地面观测资料,以及水平分辨率为1°×1°、空间分辨率为6 h、范围为(115°—135°E、20°—70°N)NCEP再分析资料。

2017年2月20—21日浙江省中西部地区出现一次冷锋天气过程,引起大范围大风和降温天气。分析2017年2月19日20时—21日20时(北京时,下同)浙江省极大风速空间分布(图1a)可知,浙江省中西部地区极大风速均在6级以上,尤其是杭州南部、衢州、金华中西部、丽水北部风力达8—10级,其中茅头尖林场站(杭州淳安县)极大风速为24.8 m/s(10级);东部沿海瞬时风力达8—11级,其中虎头屿站(温州洞头县)极大风速为29.8 m/s(11级)。分析衢州站气压、气温和极大风速时间序列(图1b)可见,20日中午前后衢州站风速陡增,风速由3.2 m/s增至18.5 m/s;20日上午气压缓慢下降,15时下降到1 004.4 hPa,冷锋过境后气压逐渐升高,21日01时气压值达到1 016.4 hPa;20日14—16时气温骤降,2 h变温达11.0 ℃。

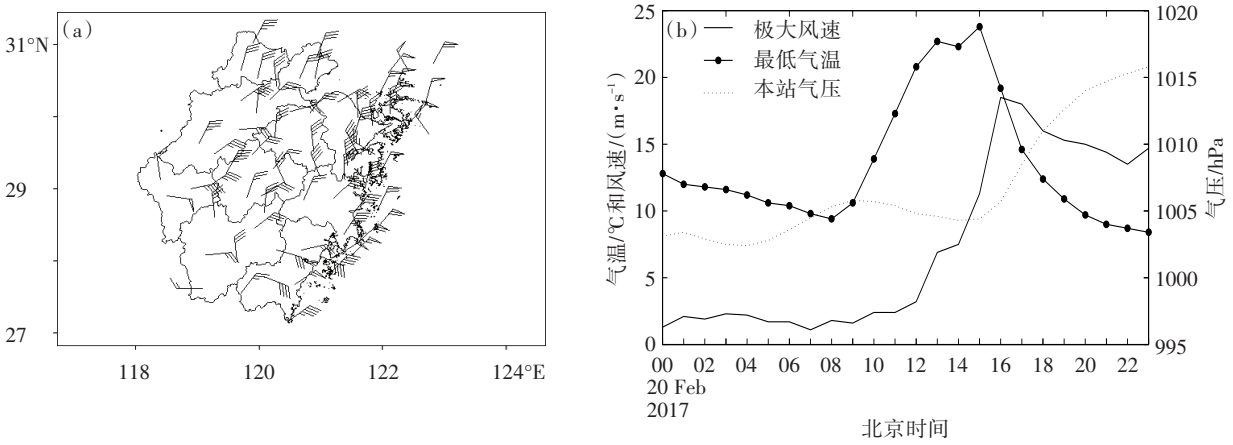


图1 2017年2月19日20时—21日20时浙江省极大风速空间分布(a,单位:m/s)和20日00—23时衢州站气压、气温、极大风速时间序列(b)

Fig. 1 The distribution of the largest instantaneous wind speed in Zhejiang province (a; unit: m/s) from 20:00 BT 20 to 20:00 BT 21 February 21 and the evolution of pressure, temperature and extreme wind speed (b) from 00:00 BT to 23:00 BT 20 February 21, 2017

2 环流特征分析

2.1 中、高纬度环流

在500 hPa高度层上,2017年2月20日08时东亚地区上空中、高纬度地区表现为“两槽一脊”的环流形势(图2a),其中槽线分别位于乌拉尔山以东(70°E左右)和鄂霍次克海以西洋面,贝加尔湖附近为高压脊。(120°E,65°N)附近有一高空冷涡,中心

强度为 -44 ℃,我国东部沿海受深厚的东亚大槽控制,整个东北地区处于槽后脊前西北气流中,小槽发展,经向度加大。21 日 02 时 70°E 附近的高压脊向高纬地区发展,冷涡加强,东亚大槽位于日本海上空,高空脊前西北气流源源不断地输送到长江以南,此次冷空气过程属于小槽东移发展型。在 850 hPa 高度层,19 日 08 时贝加尔湖以西地区受高压脊控制,高压中心为 148 dagpm,其南侧有一锋区,位于我国内蒙古东部到东北地区中部,锋区强度为 20 ℃/10°N(图略)。20 日 08 时高压东移加强至内蒙古东部地区(图 2b),中心值加深至 152 dagpm,锋区则南压至淮河流域,850 hPa 高度层 0 ℃线南推至黄淮地区,等高线与等温线近乎垂直,大气斜压性强,冷平流南压速度较快,温度梯度力继续加大,14 时锋区南压至江南中南部。分析地面环流形势(图 2c、d)可知,20 日 08 时贝加尔湖以东有一较强的地面冷高压,中心强度为 1 040 hPa,位于内蒙古东部,高压前缘有一条较强的冷锋,锋面位置已南压至 40°N 以南;江南北部至黄淮流域均为正变压,24 h变压中心强度为 27 hPa,变压中心比海平面气压位置略偏东南。冷高压移动路径为东南向,移动速度约为每天 15°E,强度略有减弱,高压长轴由南北向逐渐转为东西向,但 24 h 变压中心也由高压中心移到其南边,因此高压逐渐向东南方移动,移动速度减小,至 21 日 08 时冷高压中心位于吉林省东部,变压中心则位于日本海。20 日 08 时冷锋位于长江流域,浙江省中西部大部分地区处于冷锋前暖区中,风速不大;14 时前后锋面南压至浙江省南部,风力加强;21 日 08 时冷锋南下影响华南地区,整个江南地区已被冷空气覆盖,浙江地区风力较大。

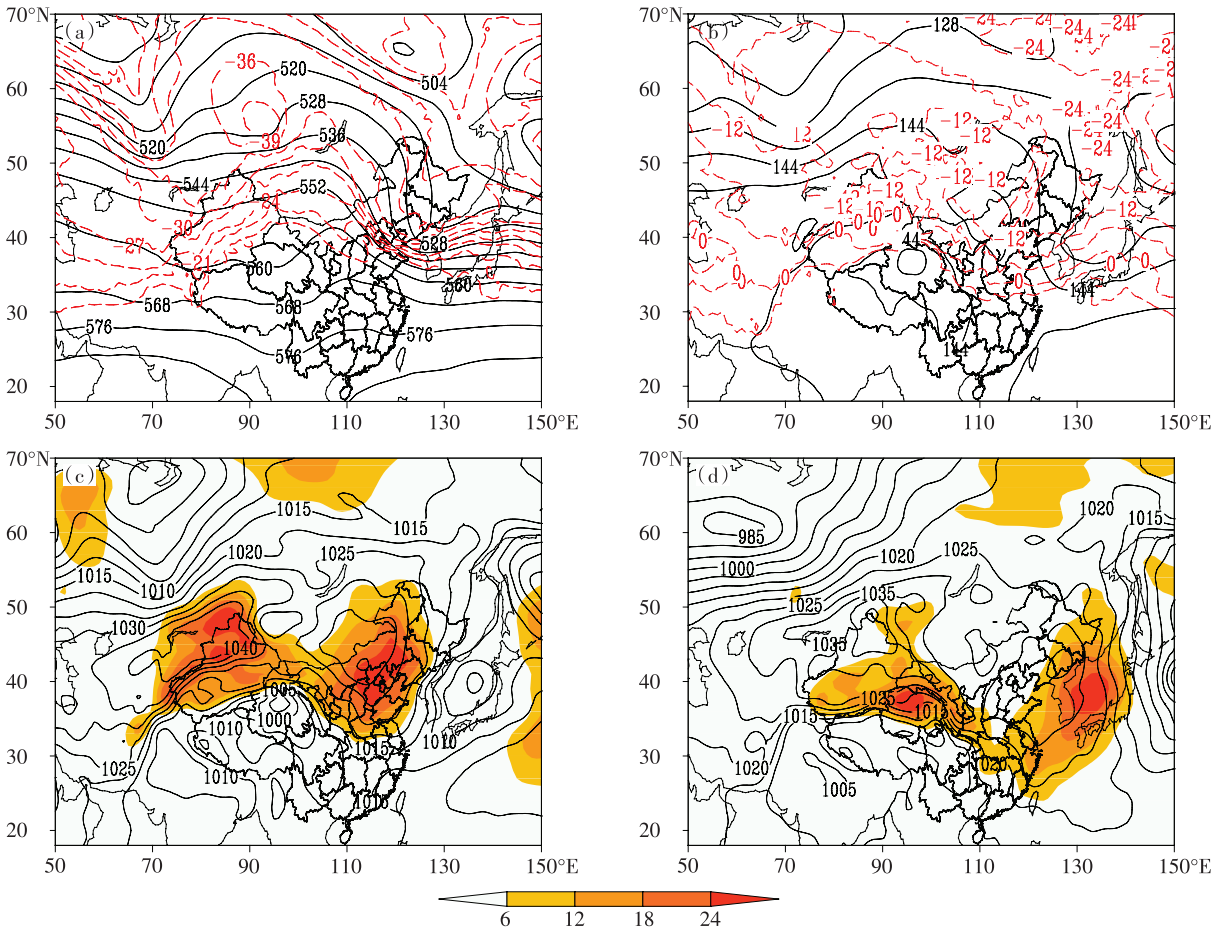


图 2 2017 年 2 月 20 日 08 时 500 hPa(a)、850 hPa(b)位势高度场(实线,单位:dagpm)和温度场(虚线,单位:℃),以及 20 日 08 时(c)、21 日 08 时(d)海平面气压场(实线,单位:hPa)和 24 h 变压场(阴影,单位:hPa)

Fig. 2 The height field (solid lines; unit: dagpm) and temperature field (dashed lines; unit:℃) on 500 hPa (a) and 850 hPa (b) at 08:00 BT 20 February, 2017. Sea level pressure (solid lines; unit:hPa) and 24 h pressure change (shaded; unit:hPa) at 08:00 BT 20 (c) and 21 (d) February 2017

2.2 高空急流和低层环流

叶丹等(2014)研究发现,东亚副热带西风急流与冷空气活动有密切关系。为进一步研究此次过程的环流特征,分析了20日08时200 hPa高度层高空急流和850 hPa高度层风场(图3a),发现850 hPa高度层上湖北省中部至安徽省中部有一条东西走向的辐合切变线,地面冷锋位于850 hPa高度层辐合线以南。200 hPa高度层上,26°N和37°N附近均有一支高空西风急流,急流核位于东海上空,浙江省位于两支高空急流的入流区,高空辐合产生下沉运动,急流风速达40 m/s以上。14时辐合线南压至27°N,此时浙江省内陆地区850 hPa风速为16—18 m/s,沿海为20—22 m/s(图略)。图3b为08时沿119°E的流场经向垂直剖面,分析发现,高空急流轴(35°N)附近及其以北200 hPa以下出现很强的下沉气流,30°N附近600 hPa高度层以下为下沉运动,其上以水平运动为主。600 hPa高度层以下27°N以南为一致倾斜的上升气流,700 hPa高度层以上主要为水平运动,形成了高空急流入口区次级环流,更有利于高空动量下传(涂小萍等,2014)。总之,冷锋附近中低层上升气流与高空急流入流区下方的下沉气流相叠加,加强了垂直环流;同时高空冷空气被携带至地面,也使锋前、锋后温度梯度加大、气压加大,形成大风。

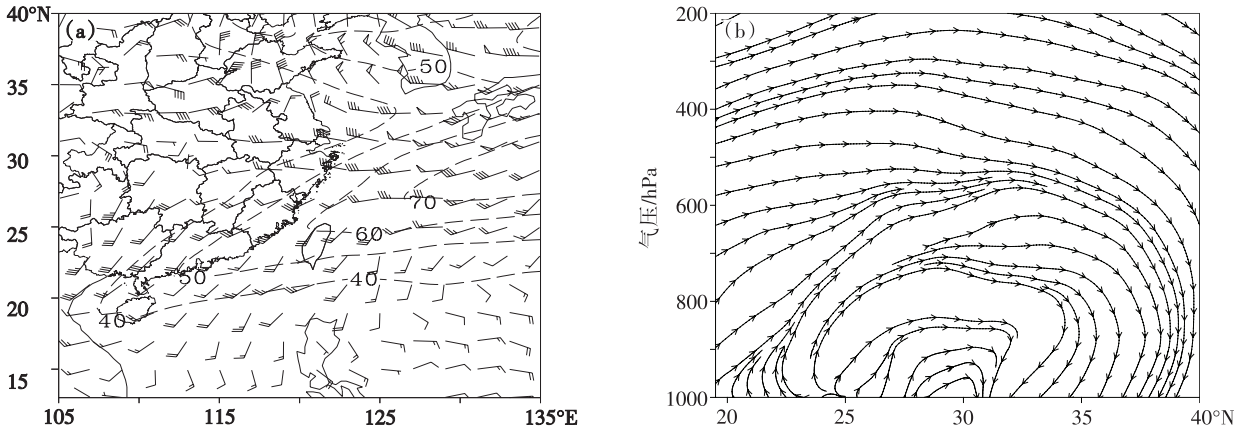


图3 2017年2月20日08时200 hPa高度层急流区(虚线,单位:m/s)、850 hPa高度层风场(风向杆,单位:m/s)(a)和大气流场沿119°E的垂直剖面(b)

Fig. 3 200 hPa jet (dashed lines; unit:m/s) and 850 hPa wind field (barb; unit:m/s) (a) and the vertical cross section of stream field along 119°E (b) at 08:00 BT on February 20, 2017

3 环境物理量特征分析

3.1 温度平流

分析20日08时850 hPa高度层温度平流场(图略)发现,冷平流南压至江淮地区,呈纬向分布,冷中心位于华北地区上空,最强冷平流中心强度为-9×10^{-4} K/s,位于37°N附近。分析温度平流经向剖面分布(图4a)还发现,冷平流随高度向北倾斜。800 hPa高度层以下的锋区抵达30°N,而高空锋区仍位于40°N附近,冷锋后部的平流深厚;900 hPa和650 hPa高度层各存在一个冷中心。高空冷空气源源不断向下输送,导致锋区增强,这是产生大风天气的必要条件。高空的冷涡中心、低层冷锋前增大的温度梯度配合垂直环流可形成大气动量下传(潘冬梅和田忠锋,2014),从而产生的风力大小超出一般冷锋的风。分析图4a还发现,此时,锋生函数在30°N以北为明显的正值,且数个锋生函数大值区沿锋区的走向分布,在700 hPa高度层以下形成楔形南插;30°N以南没有锋生锋消,锋生函数几乎为零。20时冷空气扩散南下,冷平流近乎经向分布,浙江省西北部山区至安徽南部出现一个冷平流中心,中心强度为-3×10^{-4} K/s。分析温度平流和锋生函数沿119°E的经向垂直剖面(图4b)可知,30°N以南800 hPa高度层以下有明显的冷平流中心,中心强度为-5×10^{-4} K/s,低层已经受冷空气影响;强锋生中心位于27°N附近,锋生函数正值区延伸至25°N附近并且继续增强,900 hPa高度层附近锋生作用显著,但高空无明显锋面。

分析20日08时垂直速度和全风速沿118°E的经向垂直剖面(图4c)可知,上升速度最大值位于25°N附近(中心值为-20×10^{-3} hPa/s),次中心位于32°N附近(中心值为-5×10^{-3} hPa/s);冷锋前

沿 38°N 附近 600 hPa 高度层以上为强下沉运动(中心值为 15×10^{-3} hPa/s)。20 时(图 4d),25°N 附近整层大气仍处于上升运动中,30°N 附近 800 hPa 高度层上下的下沉运动加强。冷锋影响后,浙江省中西部地区 600 hPa 高度层以下均处于下沉运动中,且出现了 10 m/s 的强风速区,-30 m/s 的大值中心位于800 hPa高度层附近,此时浙江省中西部大部分地区出现了 6 级以上大风。下沉运动将高空动量带到地面从而加强了大范围的冷空气大风(张琳娜等,2018)。

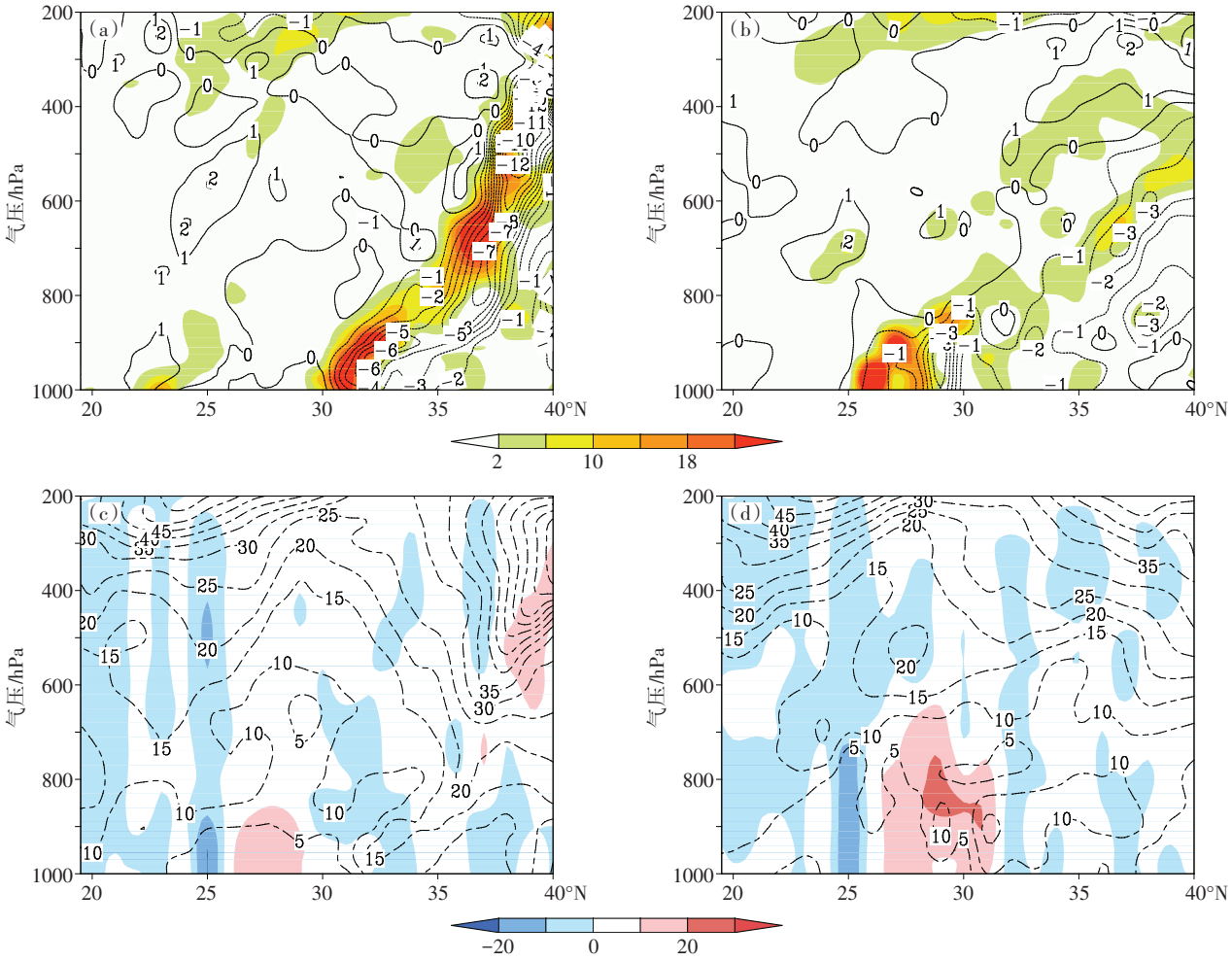


图 4 2017 年 2 月 20 日 08 时(a、c)和 20 时(b、d)温度平流(实线,单位:10^{-4} K/s)、锋生函数(阴影,单位:10^{-10} K/(m·s))(a、b)和垂直速度(阴影,单位:10^{-3} hPa/s)、全风速(虚线,单位:m/s)(c、d)沿 119°E 的垂直剖面

Fig. 4 Vertical cross sections of temperature advection (lines; unit: 10^{-4} K/s), frontogenesis function (shaded; unit: 10^{-10} K/(m·s)) (a,b) and vertical velocity (shaded; unit: 10^{-3} hPa/s), all speed (dashed lines; unit: m/s) (c, d) along 119°E at 08:00 BT (a,c) and 20:00 BT (b,d) on February 20, 2017

图 5 给出了 20 日 08 时和 20 时衢州站的探空曲线。分析发现,08 时冷锋影响前衢州上空大气偏干,高空风速不大,近地层偏南风微弱,1 000 hPa高度层附近有辐射逆温,即冷锋影响前,衢州上空整体表现出显著的不稳定层结,低层存在浅薄的稳定层结,随着太阳辐射加剧,地面逆温消失,整层大气处于不稳定层结中。20 日 14 时冷锋开始影响衢州地区,700 hPa 高度层以上温度露点差显著加大,整层均处于不稳定层结中,有利于高空动量下传。冷锋过境后(图 5b),700 hPa 高度层以下形成锋面逆温,气温下降,水汽达饱和状态,大气层结稳定。

3.2 假相当位温、散度和垂直螺旋度

分析 20 日 14 时假相当位温和散度沿 119°E 经向垂直剖面(图 6a)发现,能量锋区随高度向冷区倾斜,假相当位温值随高度增加而增大,有显著的锋面逆温,冷锋前沿(30°N 以北)假相当位温梯度最大。冷锋锋区存在明显风速辐合,最大辐合中心强度达 -4×10^{-5} s^{-1},出现在950 hPa高度层;辐散中心强

度较弱,位于辐合中心北侧。能量锋区移动速度较快,20 时南压至27°N附近。此时,风速辐合中心南压至 27°N 以北,最大强度为 -6×10^{-5} s^{-1},假相当位温梯度大值区与锋区基本吻合,锋前以辐合上升运动为主,锋后为一致的辐散下沉运动,假相当位温梯度大值区的移动和分布即可反映锋面的状况。

垂直螺旋度常用于描述环境风场气流旋转程度和运动强弱的物理量(岳彩军等, 2014),正螺旋度对应正涡度,反之亦然。分析 20 日 14 时垂直螺旋度沿 119°E 的经向垂直剖面(图 6b)可见,30°N 处 850 hPa 高度层以下出现一个正螺旋度中心,强度为5×10^{-6} hPa/s^2;850 hPa 高度层以上有一个负螺旋度中心,强度为-3×10^{-6} hPa/s^2。20 时,随着冷锋南下,近地面垂直螺旋度的负值区向南移动,大风区也随之南移,负螺旋度中心移动至 27°N,850 hPa 高度层附近,而此时冷锋前沿已经抵达福建北部地区(图略)。这说明此次大风天气不仅仅受冷锋过境气压梯度力加大的影响,而且与冷锋后下沉气流的动量下传有关,大风天气出现在垂直螺旋度负值区的下游,负值中心强度越强,地面风力越显著。

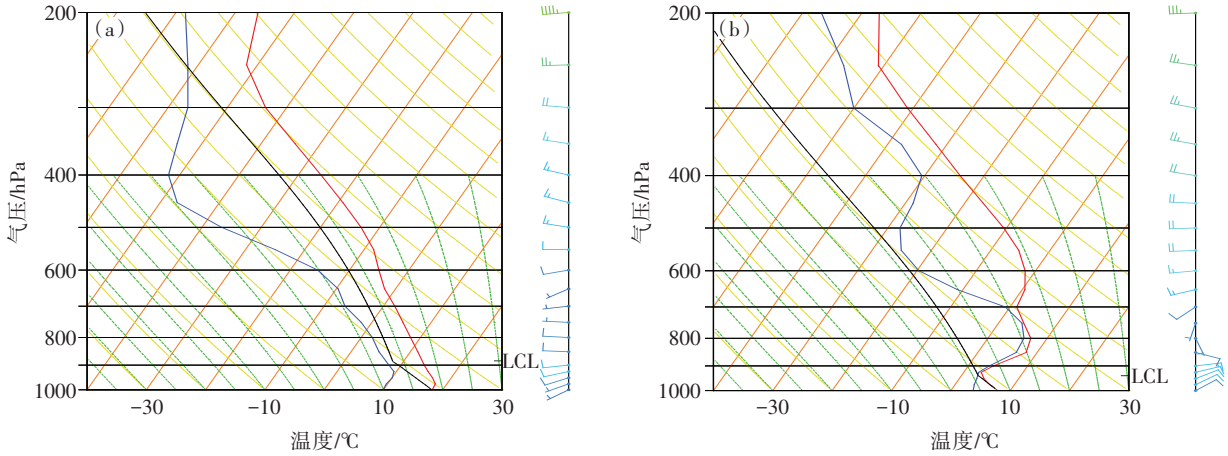


图 5 2017 年 2 月 20 日 08 时(a)和 20 时(b)衢州站探空曲线(红色实线为温度层结曲线,蓝色实线为露点层结曲线,黑色实线为状态曲线,LCL 为抬升凝结高度)

Fig. 5 t-ln$p$ diagram nearby Quzhou station at 08:00 BT (a) and 20:00 BT (b) on February 20, 2017 (Red line represents temperature sounding, blue line represents dew-point sounding, black line represents state curve, LCL represents lifting condensation level)

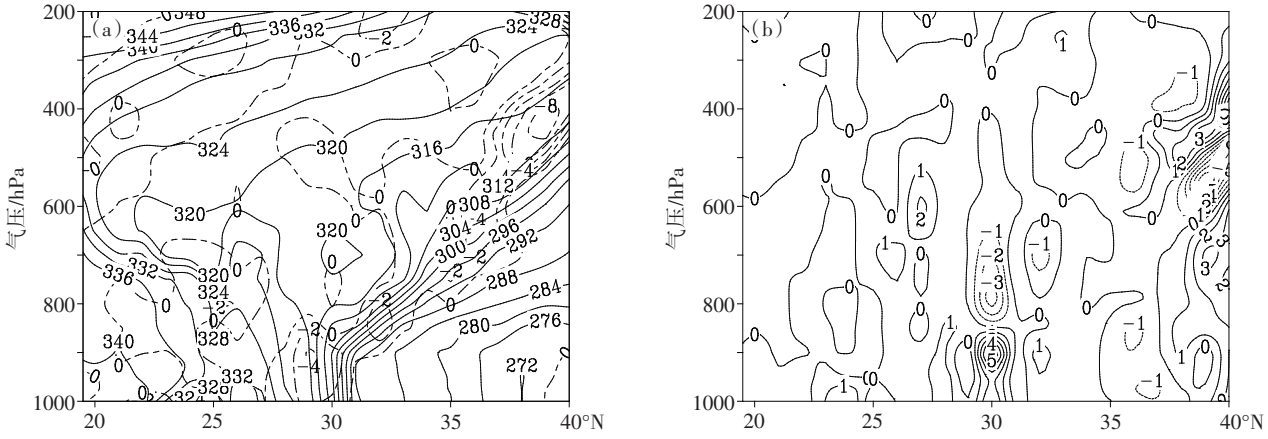


图 6 2017 年 2 月 20 日 14 时假相当位温(实线,单位:K)、散度(虚线,单位:10^{-5} s^{-1})(a)和垂直螺旋度(b,单位:10^{-6} hPa/s^2)沿 119°E 的垂直剖面

Fig. 6 Vertical cross sections of potential pseudo-equivalent temperature (solid lines; unit: K), divergence (dashed lines; unit: 10^{-5} s^{-1}) and vertical helicity (unit: 10^{-6} hPa/s^2) along 119°E at 14:00 on February 20, 2017

4 结 论

文中基于常规地面气象观测资料和 NCEP 再分析资料,利用天气学诊断方法,分析了 2017 年 2 月20—21 日浙江省中西部地区的一次冷空气大风天气过程,得到:

1) 此次大风天气过程中,中高纬度 500 hPa 位势高度场表现为"两槽一脊"的环流形势,贝加尔湖附近高空脊前冷平流沿东亚大槽后部源源不断地补充南下,温度场落后于高度场,且等温线与等高线近乎垂直,高空斜压性强,有利于地面冷锋前沿产生更强的气压梯度和温度平流,从而导致此次大风天气的发生。

2) 浙江省中西部处于 200 hPa 西风急流入流区,深厚的辐合下沉运动与冷锋前沿上升运动叠加形成次级反环流,加大了低层的气压梯度,使得地面风速增大。

3) 冷锋过境时,低层温度平流加强,温度梯度加大,大风出现在垂直螺旋度负值区的下游,负值中心强度越强,地面风速越大。

参考文献(References)

黄继章,范绍佳,宋丽莉,等. 2009. 广东博贺近海海面的一次冷空气过程强风特征分析[J]. 热带气象学报,25(5):635-640. Huang J Z, Fan S J, Song L L, et al. 2009. A case study of the characteristics of strong wind near the ocean surface during a strong cold air process in Bohe Guangdong[J]. J Trop Meteor,25(5):635-640.(in chinese)

康志明,金荣花,鲍媛媛. 2010. 1951—2006 年期间我国寒潮活动特征分析[J]. 高原气象,29(2):420-428. Kang Z M, Jin R H, Bao Y Y. 2010. Characteristic analysis of cold wave in China during the period of 1951 - 2006[J]. Plateau Meteor,29(2):420-428. (in chinese)

牛若芸,乔林,陈涛,等. 2009. 2008 年 12 月 2—6 日寒潮天气过程分析[J]. 气象,35(12):74-82. Niu R Y, Qiao L, Chen T, et al. 2009. Analysis of the cold wave during 2 - 6 December 2008[J]. Meteor Mon,35(12):74-82.(in chinese)

潘冬梅,田忠锋. 2014. 近 50 a 阿勒泰地区大风的环流分型及预报[J]. 干旱气象,32(1):108-113. Pan D M, Tian Z F. 2014. The circulation patternsand forecast of strong wind in recent 50 years in Altay[J]. Arid Meteor,32(1):108-113.(in chinese)

苏俐敏,郭水连,帅莉莉,等. 2013. 宜春地区三类典型天气的风廓线雷达产品特征分析[J]. 气象与减灾研究,36(3):63-68. Su L M, Guo S L, Shuai L L, et al. 2013. The product features of the wind profiler for three types of typical weather cases in Yichun city[J]. Meteor Disaster Reduction Res,36(3):63-68.(in chinese)

涂小萍,姚日升,漆梁波,等. 2014. 浙江省北部一次灾害性大风多普勒雷达和边界层特征分析[J]. 高原气象,33(6):1687-1696. Tu X P, Yao R S, Qi L B, et al. 2014. Analysis on characteristics of a damage wind case in doppler radar and boundary layer across Northern Zhejiang province[J]. Plateau Meteor,33(6):1687-1696.(in chinese)

吴风波,李岩松,苏丽蓉. 2016. 2014 年春季华南地区两次强对流天气过程对比分析[J]. 气象与减灾研究,39(3): 179-189. Wu F B, Li Y S, Su L R. 2016. Comparative analysis of two severe convective weather processes in Southern China area[J]. Meteor Disaster Reduction Res,39(3):179-189.(in chinese)

叶丹,张耀存. 2014. 冬季东亚副热带急流和温带急流协同变化与我国冷空气活动的关系[J]. 大气科学,38(1):146-158. Ye D, Zhang Y C. 2014. Association of concurrent variation between the East Asian Polar Front and Subtropical Jets with winter cold air activity in China[J]. Chinese J Atmos Sci,38(1):146-158.(in chinese)

岳彩军,曹钰,李小凡. 2014. 垂直螺旋度的拓展研究及应用[J]. 高原气象,33(5):1281-1288. Yue C J, CaoY, Li X F. 2014. Extensional study and application on vertical helicity[J]. Plateau Meteor,33(5):1281-1288.(in chinese)

张琳娜,冉令坤,李娜,等. 2018. 雷暴大风过程中对流层中低层动量通量和动能通量输送特征研究[J]. 大气科学,42(1):178-191. Zhang L N, Dan L K, Li N, et al. 2018. Analysis of momentum flux and kinetic energy flux transport in the middle and lower troposphere during a thunderstorm event[J]. Chinese J Atmos Sci,42(1):178-191.(in chinese)