

沈杭锋,林宏伟,娄小芬,等,2021.两次东风带高空冷涡强对流天气对比分析[J].气象,47(11):1380-1390. Shen H F, Lin H W, Lou X F, et al, 2021. Comparative analysis of two severe convective weather events under the influence of upper-tropospheric cold vortex in easterlies[J]. Meteor Mon, 47(11):1380-1390(in Chinese).

两次东风带高空冷涡强对流天气对比分析*

沈杭锋¹ 林宏伟² 娄小芬³ 崔洁¹ 张红蕾⁴

1 杭州市气象局,杭州 310051

2 浙江省慈溪市气象局,慈溪 315300

3 浙江省气象台,杭州 310017

4 浙江省气象科学研究所,杭州 310017

提 要: 利用常规气象站、自动站、NCEP/NCAR(美国国家环境预报中心/国家大气研究中心)的全球预报系统(GFS)分析资料、多普勒雷达和卫星等多种资料,对 2015 年 7 月 29 日和 2018 年 7 月 14 日两次过程对比分析后发现:两次过程在 200 hPa 上均存在一个东风带涡旋,500 hPa 是类似东风波的系统,850 hPa 处于副热带高压环流中,因此这两次过程是在东风带高空冷涡背景下发生的。处于东风带中的涡旋系统与台风、东风波等系统显著不同,其垂直方向上并不深厚,主要位于对流层中上层,湿度较高但温度较低,系统本身不像台风或东风波那样会发生大风、暴雨等强烈天气。2015 年 7 月 29 日中午在浙闽沿海因海洋、陆地风向风速差异以及高低层之间风向辐合等因素影响下,形成了东、西风之间的中尺度辐合线,随后中尺度辐合线触发或加强了对流天气;而 2018 年 7 月 14 日过程虽然具备了对流潜势,但由于缺乏低层的触发机制,最终没有发生强对流。高层冷涡西进时,冷涡前进方向高层的辐散式旋转特性增强了中低层的上升运动,有助于对流天气加强,这与西风带天气过程有明显差异,会给强对流的预报预警造成较大困难,应特别关注。

关键词: 高空冷涡,强对流,东风带,对比分析

中图分类号: P458

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.11.007

Comparative Analysis of Two Severe Convective Weather Events Under the Influence of Upper-Tropospheric Cold Vortex in Easterlies

SHEN Hangfeng¹ LIN Hongwei² LOU Xiaofen³ CUI Jie¹ ZHANG Honglei⁴

1 Hangzhou Meteorological Bureau, Hangzhou 310051

2 Cixi Meteorological Office of Zhejiang Province, Cixi 315300

3 Zhejiang Meteorological Observatory, Hangzhou 310017

4 Zhejiang Institute of Meteorological Sciences, Hangzhou 310017

Abstract: The comparative analysis of the severe convective weather processes on 29 July 2015 and 14 July 2018 is carried out based on conventional observation data, automatic weather station data, NCEP/NCAR GFS analysis data, Doppler radar data and satellite data. The results demonstrate that there was a cold vortex in easterlies at 200 hPa, an easterly wave at 500 hPa but subtropical high at 850 hPa in both cases, which means the weather events were under the influence of upper-tropospheric cold vortex in easterlies. The vortex in easterlies with shallow depth, high relative humidity and low temperature was significantly different from typhoon or easterly wave. Furthermore, the cold vortex could not bring gale and rainstorm by itself. However, it incurred severe convection with thunderstorm, heavy rain and hail triggered by

* 中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-047)和浙江省气象局青年项目(2019QN04)共同资助

2020 年 8 月 2 日收稿; 2021 年 6 月 30 日收修定稿

第一作者:沈杭锋,主要从事天气预报与分析. E-mail:orangeboy@zju.edu.cn

surface mesoscale convergence line which was caused by east and west winds on 29 July 2015. On the contrary, there was no occurrence of convection due to the lack of trigger mechanism on 14 July 2018. The divergent rotation characteristics in front of the cold vortex moving could enhance the ascending motion so that it made the convection severely, which was significant different from the weather systems under west-erlies. Therefore, it should be paid special attention to in the early-warning operation.

Key words: upper-tropospheric cold vortex, severe convection, easterlies, comparative analysis

引 言

西风带系统是影响我国的主要天气系统,但东风带系统也常常带来重要影响,东风带中比较常见的系统是台风和东风波。台风是发生在热带海洋上具有暖心结构的强烈气旋性涡旋,可从近地面层向上伸展到对流层顶,是一种深厚的气旋系统,会带来暴雨、大风、风暴潮,有时还会出现强对流(沈杭锋等,2014;唐明晖等,2017;余贞寿等,2017;罗玲等,2019)。东风波多产生于副热带高压南侧的东风气流中,以波动的形式自东向西传播(朱乾根等,2007)。东风波型雷暴天气多发生在8—10月,其触发机制是副热带高压南侧或热带气旋北侧东风气流里的波动,常会带来强对流天气(许爱华等,2011;陈雷等,2015;范元月等,2020;吴福浪等,2020)。高空冷涡背景下也常会带来对流性天气,易笑园等(2010)发现距离冷涡不同位置可发生不同类型的强对流天气。夏季当东北冷涡位置偏南、移动缓慢时,在冷涡西南侧有冷空气向南扩散,会诱发突发性强对流天气(徐芬等,2016)。

一般能带来强对流天气的高空冷涡是西风带冷涡;高层东风波虽然是东风带系统,但在高层没有形成闭合涡旋;台风具有闭合涡旋,但是闭合涡旋在低层更为突出。东风带高空冷涡在形势上跟上述三类天气有所不同,目前对于东风带高空冷涡研究甚少,在东风带高空冷涡背景下有时会发生强对流天气,如2015年7月29日过程就给浙江省带来强烈天气和严重危害;但有时却风平浪静、晴空万里,如2018年7月14日过程。因此本文选取了这两次东风带高空冷涡背景下的天气过程,探讨此类天气背景下强对流天气的特点和发生发展机制。

1 资料与方法

包括 NCEP/NCAR $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的 GFS 分析

场资料、华东地面区域站资料、FY-2G 卫星云顶亮温(TBB)资料、探空和多普勒雷达等资料。通过形势场演变、物理量特征、地面风场和空间结构等对比,来分析这两次天气过程。

2 天气概况

2015年7月29日,浙江、福建北部、江西东部和安徽南部等地发生了强对流天气,强对流在中午出现之后,从东南快速向西北方向移动,造成了大范围剧烈天气。这次过程以大风为主,并伴有短时强降水、雷电和冰雹。从29日12时到30日00时(北京时,下同)的累计降水量和强天气(图1a)可以看到,仅浙江省就有230站次(黑色三角形)出现了8级以上大风,最大在富阳安顶山($37.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 13级);18个测站累计雨量超过50 mm,最大出现在平阳凤巢(76.5 mm),多个测站的小时雨强超过 $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (黑色圆点),最大出现在平阳凤巢($69.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)。此次过程强度大、灾害强,不少城市出现了严重内涝、交通堵塞情况,并有人受伤以及财物损坏。

相比之下,2018年7月14日12时至15日00时(图1b)除了个别地方出现了大风、一些地区有弱降水之外,大部分地区都是晴朗天气,这与2015年7月29日过程有着天壤之别。

3 环流形势演变

图2是200 hPa高空形势场和TBB叠加图。在2015年7月29日08时的200 hPa图上(图2a),我国北方地区有一深厚高空槽(粗虚线),槽线从蒙古一直延伸到河套以南地区;南面有一个东风带涡旋,中心位于台湾岛东北面的洋面上空,在温度场上(图略),该涡旋是一个冷涡;东面是副热带高压(以下简称副高)系统,高压从海上深入内陆,在冷涡和西风带系统之间形成了高压坝。从TBB(阴影)来

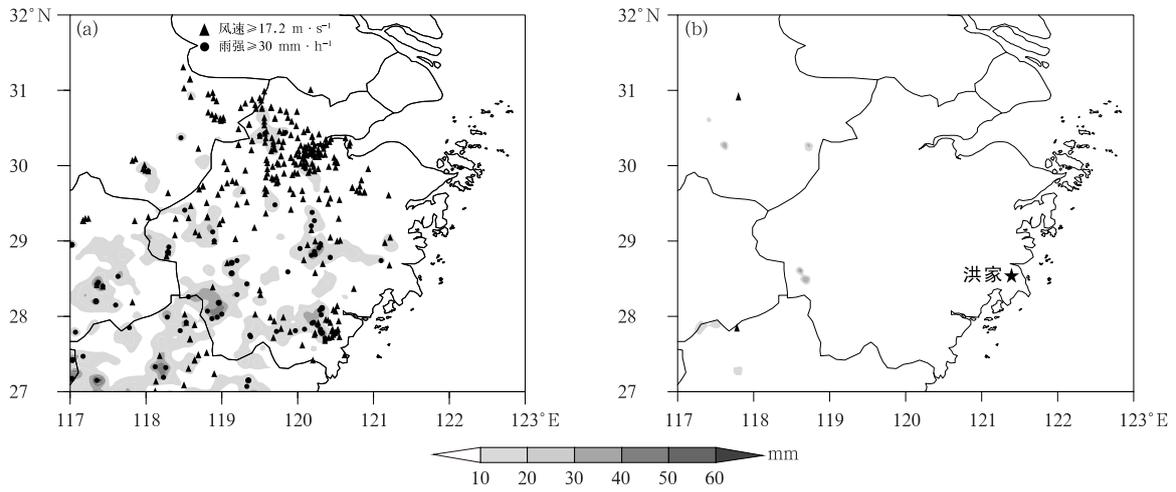


图 1 (a)2015 年 7 月 29 日 12 时至 30 日 00 时,(b)2018 年 7 月 14 日 12 时至 15 日 00 时 12 h 累计雨量(阴影)
(图 1b 中黑色五角星表示台州洪家探空站位置)

Fig. 1 The 12 h accumulated rainfall (shaded) (a) from 12:00 BT 29 to 00:00 BT 30 July 2015
and (b) from 12:00 BT 14 to 00:00 BT 15 July 2018
(Black pentagram in Fig. 1b is the location of Hongjia Sounding Station)

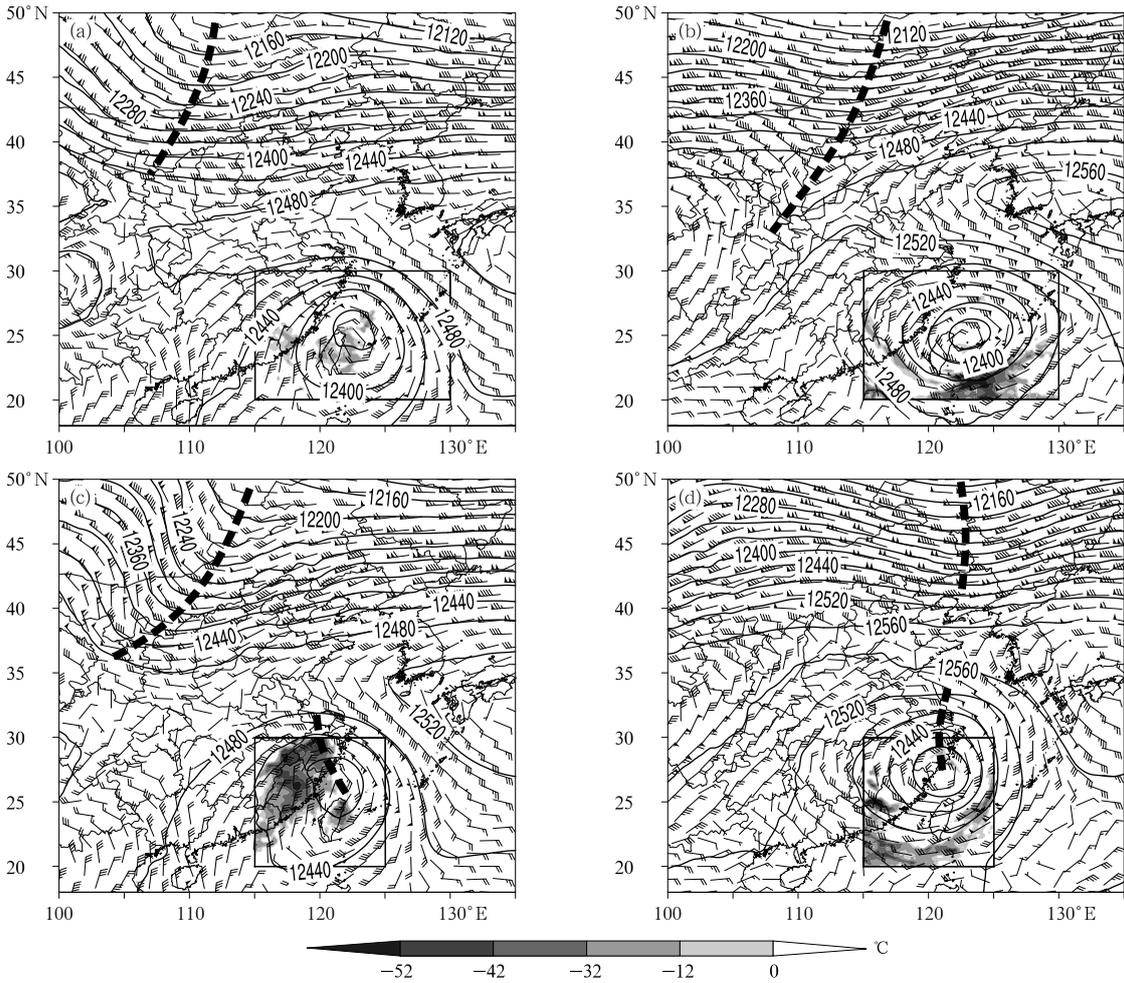


图 2 (a,c)2015 年 7 月 29 日,(b,d)2018 年 7 月 14 日(a,b)08 时,(c,d)20 时
200 hPa 风场(风羽,单位: $m \cdot s^{-1}$)、高度场(等值线,单位: gpm)和 TBB(阴影)
(粗虚线表示槽线,下同)

Fig. 2 Wind field (wind barb, unit: $m \cdot s^{-1}$), geopotential height (contour, unit: gpm) and TBB (shaded)
at 200 hPa at (a, b) 08:00 BT and (c, d) 20:00 BT on (a, c) 29 July 2015 and (b, d) 14 July 2018
(Dashed lines indicate the trough lines, the same below)

看,冷涡中心及西侧有一些弱的云系,亮温值在 $-12\sim 0^{\circ}\text{C}$ 。2018年7月14日08时200 hPa上(图2b),北方也是一个深厚的西风带高空槽(粗虚线),南面同样有一个冷涡,中心位于台湾岛东北面的洋面上空,东风带冷涡系统与西风带系统之间是一个高压坝,TBB显示了冷涡中心基本是无云区。

2015年7月29日20时(图2c),西风带高空槽较12h前有加深并东移南压,冷涡也在东风气流引导下西进,中心移到台湾岛北部洋面上空,冷涡倒槽从浙江东南沿海延伸到苏南地区上空,位于冷涡中心西侧的福建省、浙江省上空出现了TBB中心值低于 -52°C 的对流云团。2018年7月14日20时(图2d),西风槽略有北缩,并明显东移,冷涡随东风系统西进,中心位置移至浙江东南沿海上空,倒槽伸展到江苏东部沿海上空,但冷涡中心及其西面大陆上空均无明显云系出现。

通过以上分析可以看到,两次过程的200 hPa高空上,北面都是西风带系统,并有较为深厚的高空槽东移;南面是一个东风带中的冷涡,冷涡中心及附近无明显云系,在东风气流引导下西进;西风带系统与冷涡之间是从海洋伸向内陆的副高,形成了高压坝。

从500 hPa高度场的分布特征看(图3):2015年7月29日08时(图3a),北面高空槽随西风带系

统逐渐东移,副高系统西伸至华东地区上空。此时副高南面并没有出现类似200 hPa的闭合涡旋,只是在副高南侧的台湾岛上空有一东风倒槽曲率,形成了类似东风波的系统。同样,2018年7月14日08时500 hPa上(图3b),北面也是西风带高空槽,副高控制了华东地区,副高南侧只是出现了东风波动,并没有形成闭合涡旋。

在850 hPa上,2015年7月29日08时(图4a)和2018年7月14日08时(图4b)的副高中心有所偏差,2018年7月14日过程的副高中心位置偏东北,但两次过程中整个华东、华南东部及东海上空均处于副高环流内,值得注意的是在台湾岛及附近区域上空,两次过程都没有出现闭合涡旋以及东风波动现象。

通过高、中、低三层形势场、TBB卫星云图以及地面气象要素可以看到,两次过程具有高度相似的天气形势,却出现截然不同的天气现象。200 hPa上东风带中有一个冷涡,500 hPa上是副高南侧类似东风波的系统,850 hPa上相同位置则处于副高环流内,显然,这是一个位于东风带中的高空冷涡。冷涡中心及其附近没有明显云系,这与其他两类东风带系统(台风和东风波)以及西风带中的高空冷涡有显著区别。

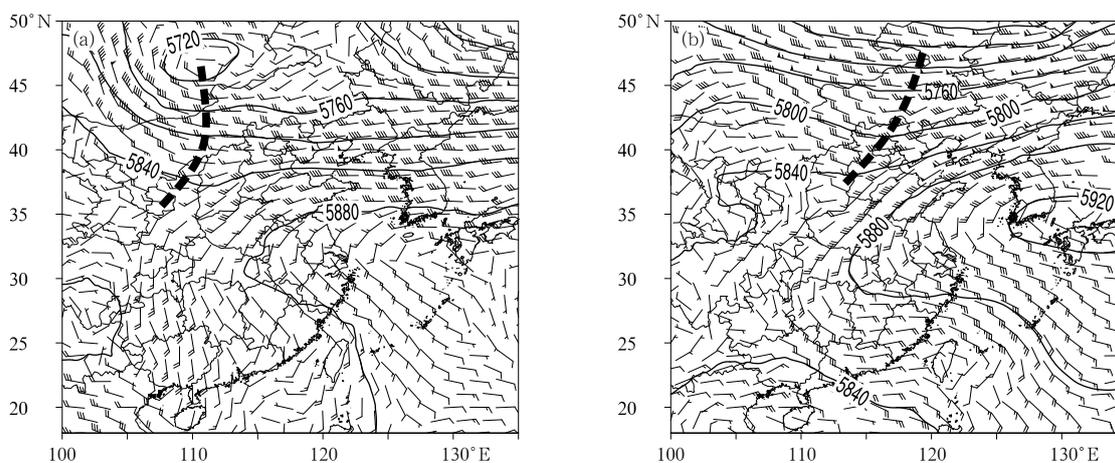


图3 (a)2015年7月29日08时,(b)2018年7月14日08时500 hPa风场(风羽,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)和高度场(等值线,单位:gpm)

Fig. 3 Wind field (wind barb, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) and geopotential height (contour, unit: gpm) at 500 hPa at 08:00 BT on (a) 29 July 2015 and (b) 14 July 2018

4 物理量场特征

图 5 是两次过程台州洪家的探空曲线(站点位置参见图 1b)。2015 年 7 月 29 日 08 时(图 5a), 850 hPa 以下有逆温, 其强度可用干暖盖指数来表征, 值越小则干暖盖越强, 越有利于对流(寿绍文等, 1993; 冯晋勤等, 2017), 此时洪家的干暖盖指数为 -42.4°C , 有利于强对流发生。对流有效位能(CAPE)接近 $1800 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 表明了大气中蕴藏着极为丰富的不稳定能量。状态曲线(粗实线)与露点曲线(虚线)也呈现了一定的“上干下湿”层结结构, 有利于出现雷暴大风。对于强对流性天气, 环境风垂直切变对风暴发展和组织形式有重要作用。此时洪家上空 850 hPa 以下是西北偏西风, 风速在 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下, 400 hPa 以上

则是东北偏东风, 风速从 400 hPa 的 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 增强到 200 hPa 的 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 上下层之间不仅风速变化大, 而且有明显的风向切变。

相比 2015 年 7 月 29 日 08 时, 2018 年 7 月 14 日 08 时(图 5b)在 850 hPa 以下没有明显的逆温, CAPE 在 $1200 \sim 1300 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 大气中也有相当的不稳定能量; 湿区并不深厚, 主要集中在 925 hPa 以下的边界层内。垂直方向上, 500 hPa 以下基本是东南风, 以上则是偏东风, 低层的风速为 $4 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 高层则在 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 上下层之间不仅没有明显的风向切变, 而且风速变化也不如 2015 年 7 月 29 日过程显著。

到了午后, 2015 年 7 月 29 日 14 时(图 6a), 整个浙江、福建及沿海地区的 CAPE 值(阴影)均超过了 $1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 中心值更是超过了 $3000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

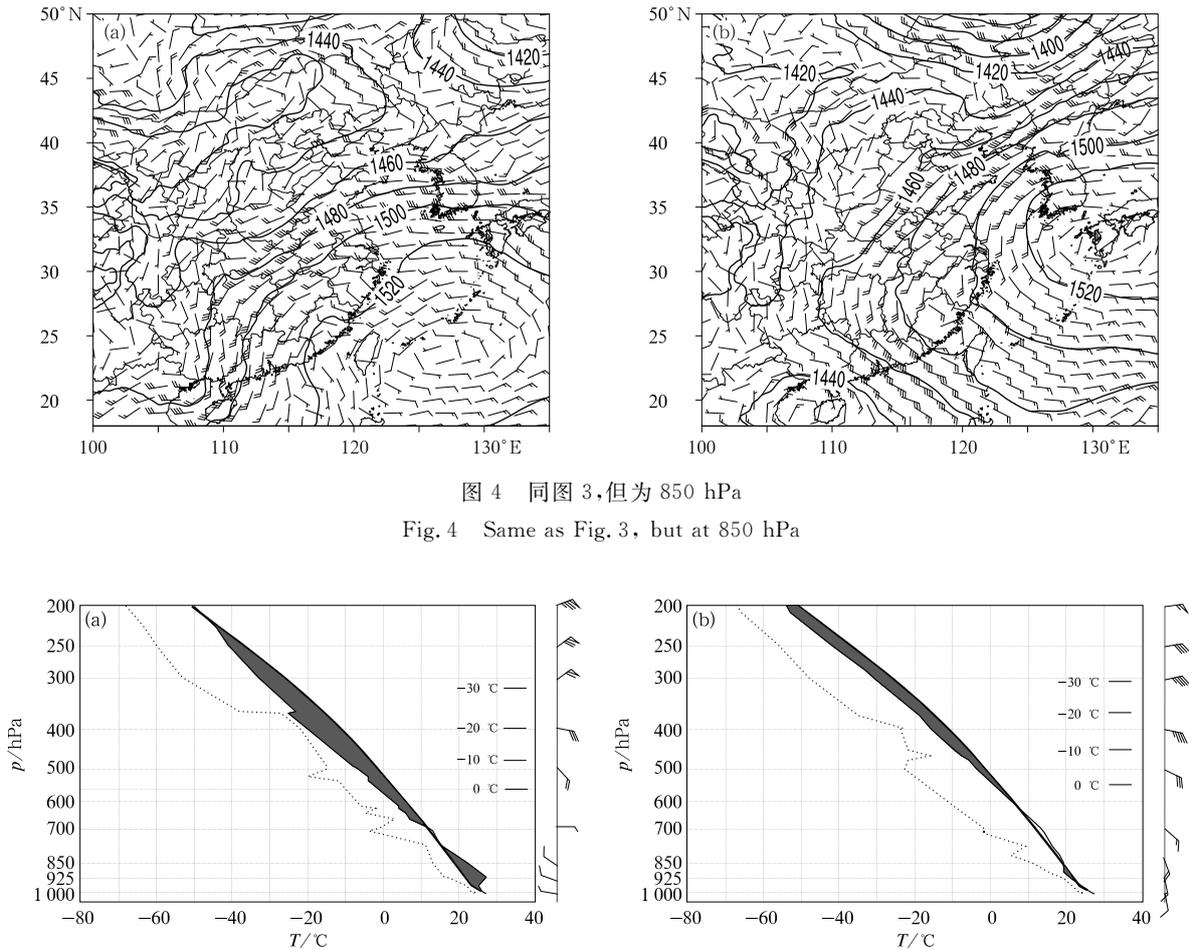


图 4 同图 3, 但为 850 hPa

Fig. 4 Same as Fig. 3, but at 850 hPa

图 5 (a)2015 年 7 月 29 日 08 时, (b)2018 年 7 月 14 日 08 时台州洪家探空曲线

(虚线表示露点温度曲线, 细实线表示温度层结曲线, 粗实线表示状态曲线)

Fig. 5 Observational soundings of Taizhou Hongjia at 08:00 BT on (a) 29 July 2015 and (b) 14 July 2018 (Dashed, thin solid and thick solid lines indicate dew point temperature curve, stratification curve and state curve, respectively)

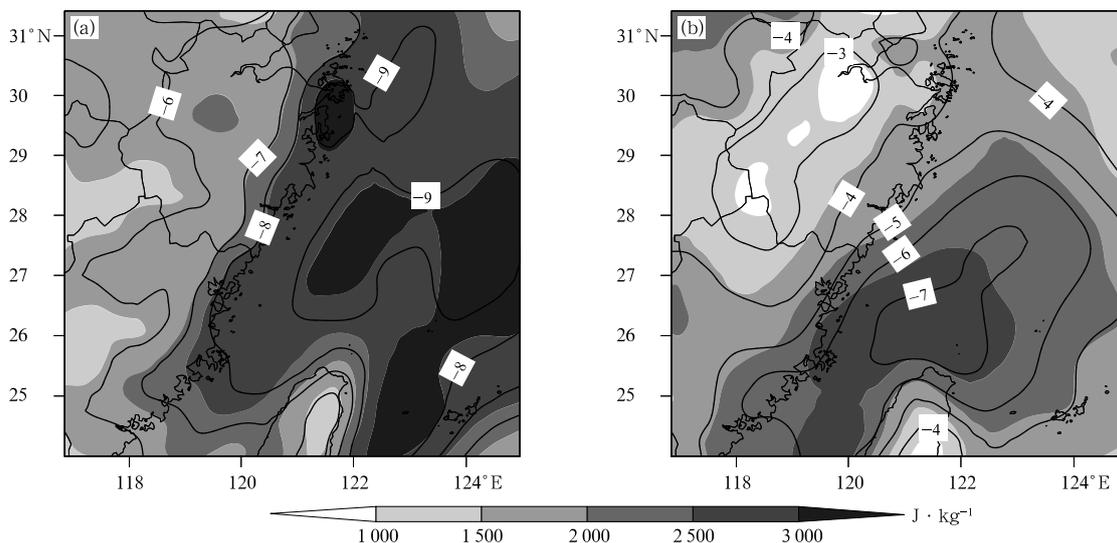


图 6 (a)2015 年 7 月 29 日 14 时,(b)2018 年 7 月 14 日 14 时
CAPE(阴影)和 LI(等值线,单位:°C)分布

Fig. 6 Distributions of CAPE (shaded) and LI (contour, unit: °C)
at 14:00 BT on (a) 29 July 2015 and (b) 14 July 2018

图中抬升指数(LI)与 CAPE 有较好的对应关系,LI 值低于 -8°C 的极不稳定区域与 CAPE 值超过 $2500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的高能区范围基本重合。2018 年 7 月 14 日 14 时(图 6b),整个浙江、福建及沿海的 CAPE 值也基本在 $1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上,中心值超过了 $2500 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,LI 最小值在 -7°C 以下。相比 2015 年 7 月 29 日 14 时,2018 年 7 月 14 日 14 时虽然数值略低,但也完全具备了强对流发生的环境条件。有研究结果表明中国东部地区飚线的 CAPE 平均为 $1000 \sim 2000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,LI 平均为 $-5 \sim -2^{\circ}\text{C}$ (Meng et al, 2013),可见这两次过程的能量和不安定非常适宜强对流的发生。另外两次过程 14 时的大气可降水量(图略)均在 36 mm 以上,最大值超过了 52 mm ,也都具备了一定的水汽条件。

从探空及物理量分布可以看到,无论能量、不稳定层结,还是大气可降水量,两次过程都具备了强对流天气发生的环境条件,相比而言,2015 年 7 月 29 日过程蕴含了更丰富的能量和更强烈的不安定。

5 触发条件

两次过程的环流形势、演变以及环境条件具有高度的相似性,却产生了完全不同的天气现象。强对流的发生除了不稳定层结、水汽条件等环境背景

外,更为关键的是要有抬升触发机制(朱乾根等, 2007)。

图 7 是利用地面自动站和雷达资料绘制的 2015 年 7 月 29 日地面风矢量场、雷达组合反射率和未来 1 h 累计雨量。10 时风场上(图 7a),浙江东南沿海和福建东北沿海因海洋、陆地风速风向的差异,出现了风的辐合,其中浙江东南部风速较小,形成了较弱的中尺度辐合线;福建东北部是由偏西风 and 东南风形成的辐合,辐合更强。12 时(图 7b),浙东南辐合线继续维持,随着东南风增强,辐合强度略有加强。闽东北辐合线随东南风向西北推进,强度也逐渐增强。此时中尺度辐合线周围出现了雷达回波,闽东北辐合线周边有较强回波,未来 1 h 降水也出现在中尺度辐合线附近区域。另外,与江西交界附近的闽西北地区,也出现了风场的辐合,对应着雷达回波以及未来 1 h 降水区。

13 时(图 7c),随着高空冷涡西进,在东南风引导下,几条辐合线都有不同程度地向西北方向移动,回波逐渐加强,对应降水也明显加大,对流更加显著,中尺度辐合线、强回波区与强降水以及雷暴大风关系密切、对应较好。在 14 时(图 7d)该现象依旧存在,而且强度和范围均得到了加强,之后随着高空冷涡进一步西进,中尺度辐合线、强回波、强降水以及雷暴大风也随之向西北内陆推进(图略),影响了

整个浙江、福建北部、安徽南部以及江西东北部地区,上述地区都出现了强烈的对流天气。

但是这种现象在 2018 年 7 月 14 日过程却没有出现,无论在 2018 年 7 月 14 日 10 时(图 8a)、12 时(图 8b)还是其他时次(图略),整个浙江几乎都是从沿海到内陆的东南风,福建则是东北偏东风,除了风速场上有所变化外,风向上基本没有出现辐合或切变,也就没有触发对流天气。另外,从 850 hPa 副高形态来看(参见图 4),两个过程有所不同,2015 年 7 月 29 日过程副高在华东呈西南—东北向,有利于西南风或偏西风与低层东南风的辐合,特别是在浙南和福建;而 2018 年 7 月 14 日过程副高基本控制了华东,副高西南侧的偏东风气流伸到内陆,因此辐合不明显。

从以上分析可以看到,2015 年 7 月 29 日中午在浙闽沿海因海洋、陆地风速风向差异以及高低层风向辐合等因素影响下,形成了东、西风之间的中尺度辐合线,随后中尺度辐合线触发或加强了对流天气;而 2018 年 7 月 14 日浙闽沿海是较为一致的东向气流,没有形成中尺度辐合线,从而缺乏了对流启动机制。

为了了解高空形势与地面中尺度辐合线之间的关系,用垂直速度、散度和垂直环流的剖面来进行分析。两条辐合线附近都出现了对流天气,闽东北辐合线随时间变化快、移动明显,浙东南辐合线位置相对固定,由于 GFS 资料的时间分辨率为 6 h,因此采用沿着 28°N 的剖面来分析浙东南辐合线附近的风场、散度场变化,以探讨高空冷涡背景下高空与地面风场之间的联系。

2015 年 7 月 29 日 08 时(图 9a),垂直速度(等值线)从上到下以正值为主,表明了是下沉气流为主导,700 hPa 以下的小范围区域内,存在上升运动;散度(填色)在近地面层以正值居多,表明近地面层以辐散为主,从 850 hPa 到 200 hPa 呈现辐合、辐散、辐合的分布。到了 14 时(图 9b),低层辐合明显加强,400 hPa 以下几乎都转为辐合,尤其是 850 hPa 以下辐合更加明显,而 400 hPa 以上辐散显著加大。值得注意的是在垂直速度场上,120°E 上空出现了 $-0.8 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 的上升运动中心,上升运动大大增强,可见,对流层高层冷涡西进时,冷涡前

进方向高层的辐散式旋转特性增强了中低层的上升运动,有利于对流天气的加强。

图 9c 和 9d 是 2018 年 7 月 14 日过程 08 时和 14 时沿 28°N 的散度(填色)和垂直速度(等值线)叠加图,可以看到,随着高层冷涡西进,无论是散度场还是垂直速度场上,对比 08 时,14 时均没有发生明显变化,这与 2015 年 7 月 29 日过程明显不同。究其原因,是因为冷涡在西进过程中,会增强低层偏东气流,图 7 和图 8 的地面风场变化均表明了两个过程都存在偏东气流加强的现象。由于 2015 年 7 月 29 日过程地面有东、西风之间的辐合,偏东风加强有利于增强低层辐合,配合高层的辐散式旋转,会加强中低层的上升运动,有助于对流天气加强。而 2018 年 7 月 14 日过程由于地面一致的东南风,虽然风速加大了,但是没有产生辐合,也就没有从本质上改变环境背景场。因此,高层冷涡主要是提供环境背景条件,触发对流的机制更多是在低层的辐合系统,当低层出现了辐合或对流时,高空冷涡背景就能增强低层的辐合、加强对流的发展。

图 10a 是 2015 年 7 月 29 日 08 时沿高空冷涡中心 122.5°E 的垂直速度(等值线)和散度(填色)的垂直剖面。从散度场上看,高空冷涡主要位于 500~200 hPa(红色方框),垂直方向上是一个较为浅薄的系统,冷涡低层辐合、高层辐散;垂直速度显示冷涡内部以上升运动为主,上升运动中心在 $-0.6 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。500 hPa 以下的冷涡下方总体是辐散下沉气流。热力结构方面(图 10b),冷涡的相对湿度(等值线)较高,基本处于 80%以上,其下方由于受副高影响,相对较干;假相当位温显示冷涡处在 330~340 K,相对平流层和近地面而言,温度偏低,是一个高空冷涡。通过对 2018 年 7 月 14 日过程高空冷涡的热动力空间结构分析(图略),也可以看到类似的结果。处于东风带中的这个涡旋系统与台风、东风波等东风带系统显著不同,其垂直方向上并不深厚,主要位于对流层中上层,湿度较高但温度较低,系统本身不像台风或东风波那样会发生大风、暴雨等强烈天气。但高空冷涡向西移动过程中,引导了低层系统西进,同时冷涡前方高空辐散式旋转加强了上升运动,若地面已有对流发生,则有利于强对流的发展、加强。

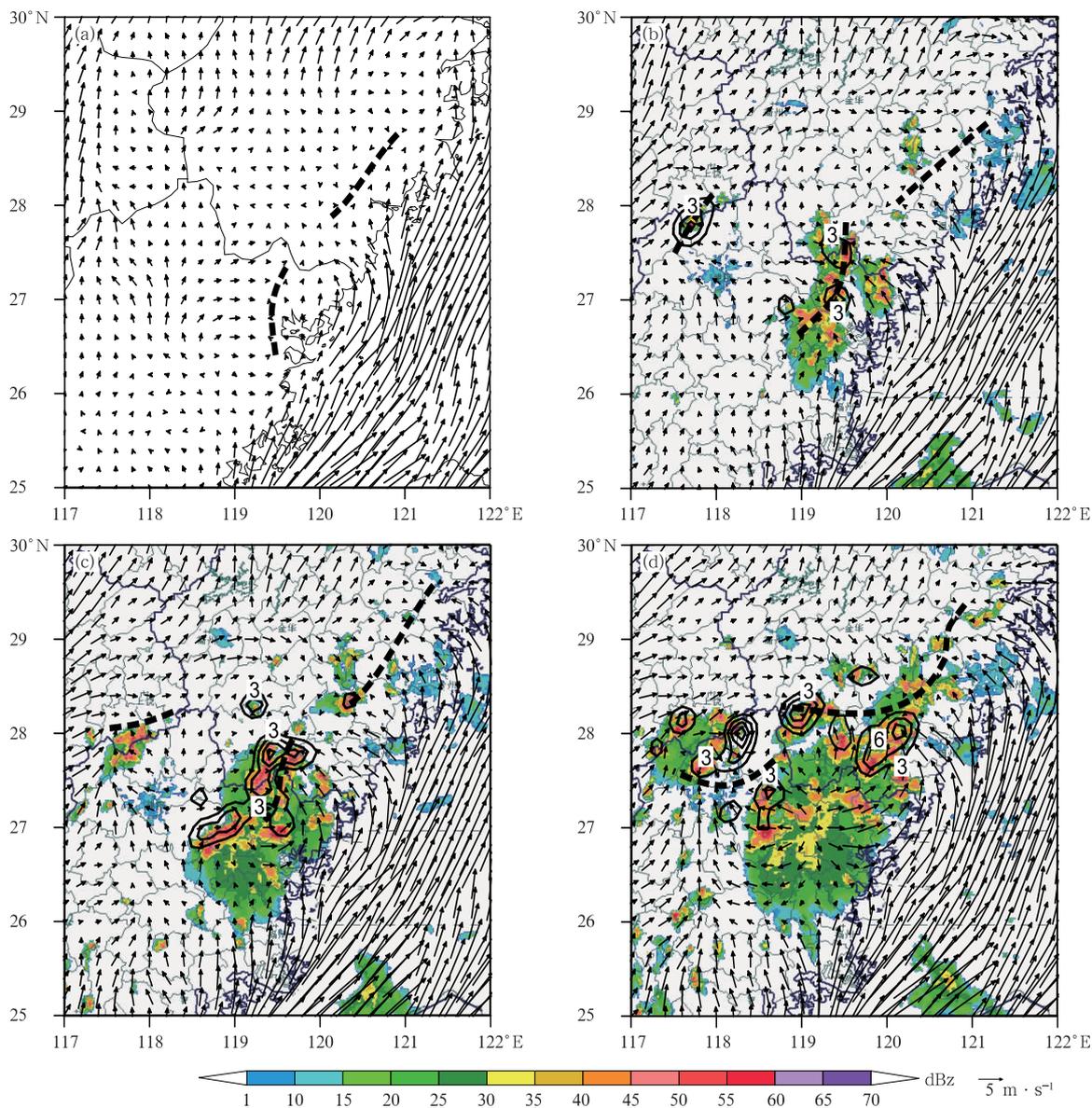


图 7 2015 年 7 月 29 日(a)10 时,(b)12 时,(c)13 时,(d)14 时地面风场(风矢,单位: $m \cdot s^{-1}$)、
 组合反射率(填色)和未来 1 h 雨量(等值线,单位:mm)
 (粗虚线表示地面辐合线或切变线)

Fig. 7 Surface wind field (vector, unit: $m \cdot s^{-1}$), composite reflectivity (colored) and future hourly accumulated rainfall (contour, unit: mm) at (a) 10:00 BT, (b) 12:00 BT, (c) 13:00 BT and (d) 14:00 BT 29 July 2015 (Thick dashed lines denote surface convergence lines or shear lines)

6 结论与讨论

2015 年 7 月 29 日发生在浙江及浙闽沿海的天气过程造成了雷雨大风、短时强降水和冰雹等强对流天气,利用多种资料并结合 2018 年 7 月 14 日相

似天气形势过程进行对比分析,得到以下结论:

(1)两次过程是在东风带高空冷涡背景下发生的:在 200 hPa 上均存在一个东风带涡旋,500 hPa 是类似东风波的系统,850 hPa 处于副高环流中。这两次过程都具备了强对流天气发生潜势,2015 年 7 月 29 日出现了雷雨大风、短时强降水和冰雹等强

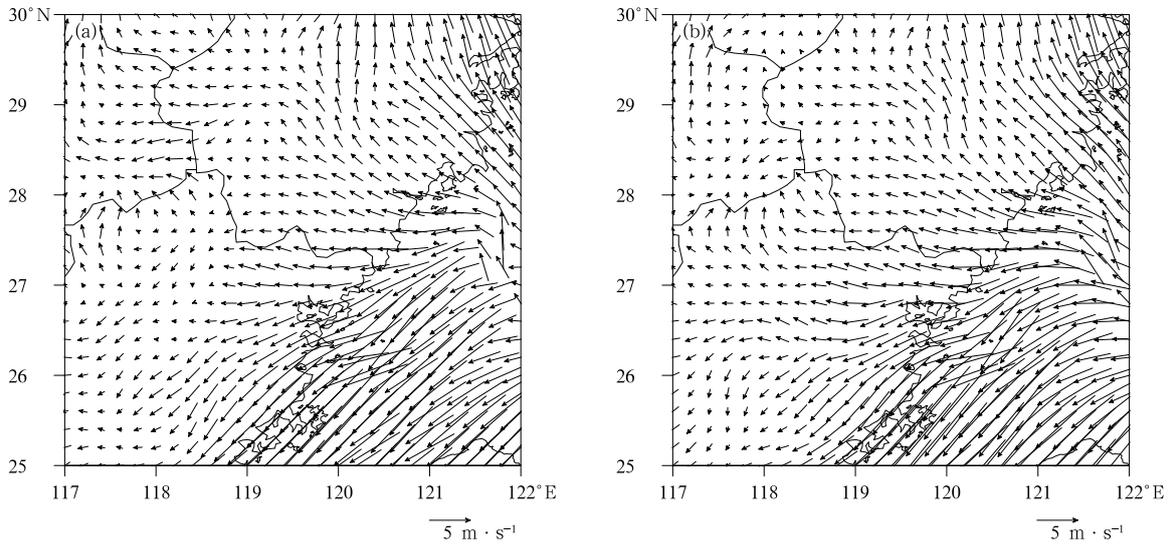


图 8 2018 年 7 月 14 日 (a)10 时, (b)12 时地面风场 (风矢, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 Fig. 8 Surface wind field (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at (a) 10:00 BT and (b) 12:00 BT 14 July 2018

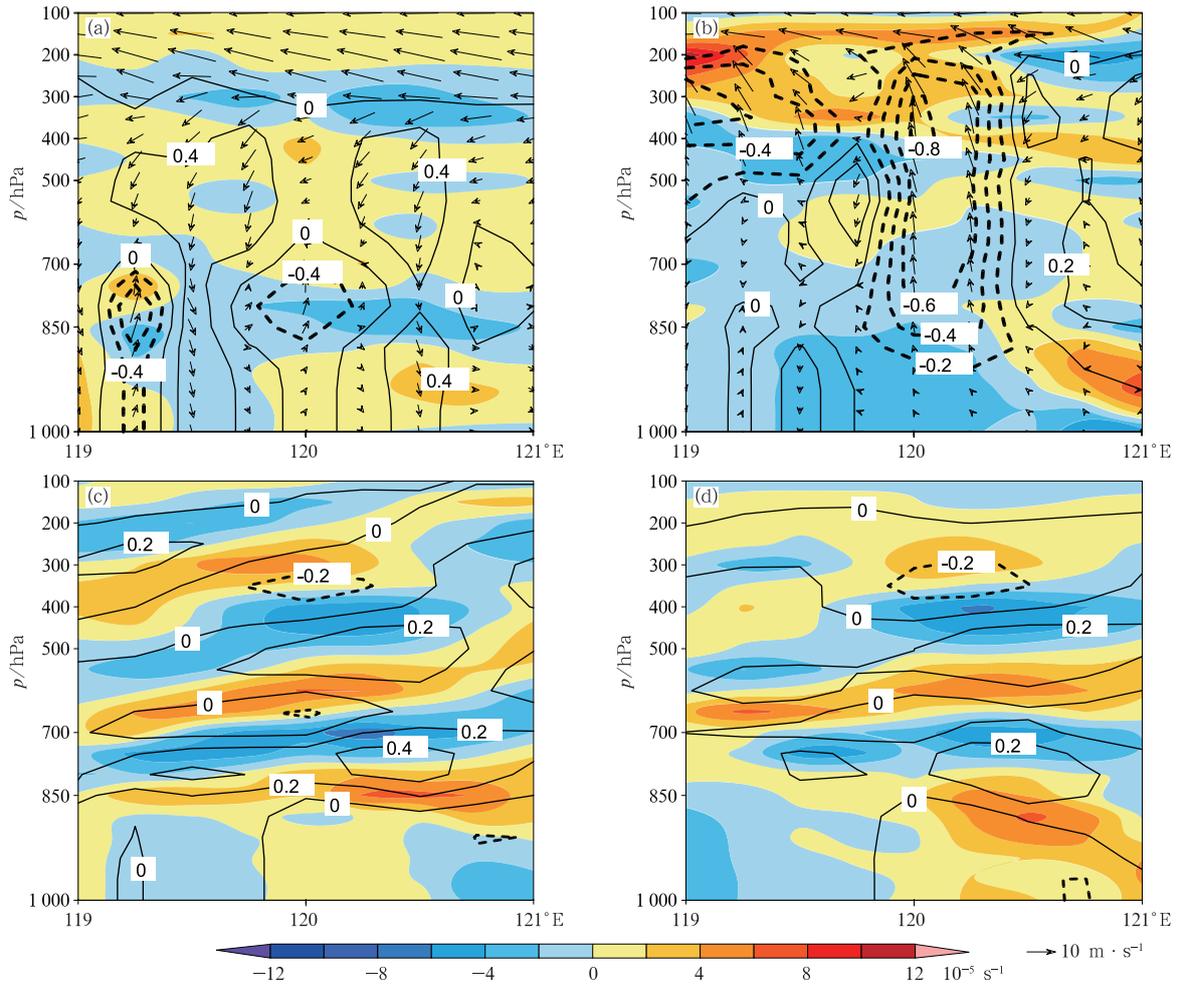


图 9 2015 年 7 月 29 日 (a) 08 时, (b) 14 时, 2018 年 7 月 14 日 (c) 08 时, (d) 14 时
 沿 28°N 的散度 (填色) 和垂直速度 (等值线, 单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) 剖面
 (图 9a 和 9b 风矢量表示垂直环流)

Fig. 9 Vertical cross-sections of the divergence (colored) and vertical velocity (contour, unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) along 28°N at (a) 08:00 BT, (b) 14:00 BT 29 July 2015 and (c) 08:00 BT, (d) 14:00 BT 14 July 2018 (Wind vector indicates the vertical circulation in Figs. 9a, 9b)

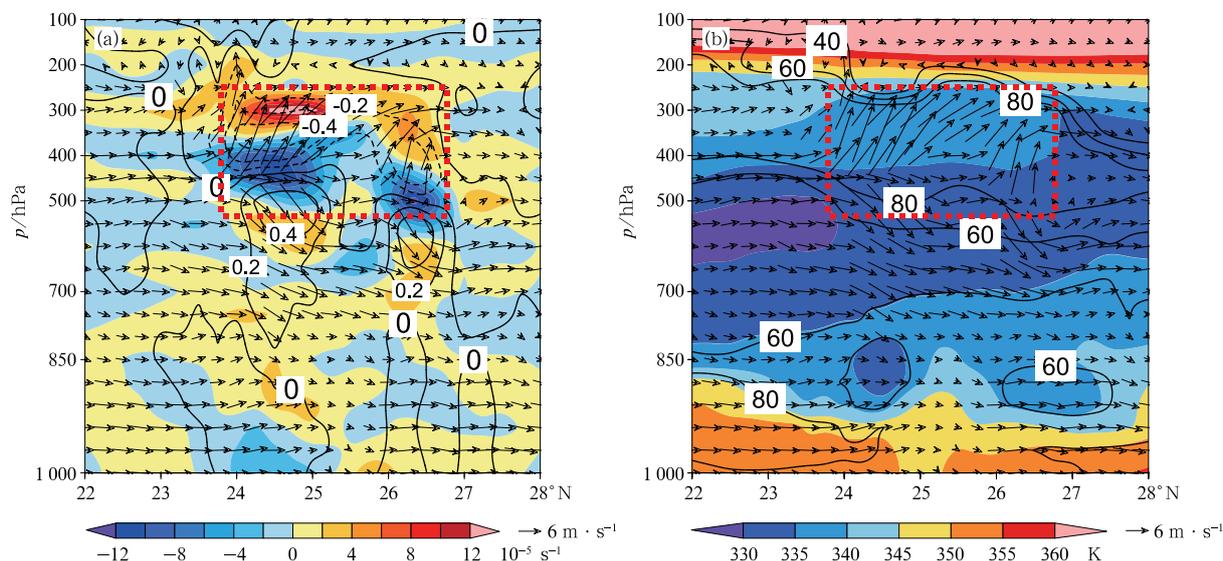


图 10 2015 年 7 月 29 日 08 时 (a) 散度 (填色) 和垂直速度 (等值线, 单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$), (b) θ_{se} (填色) 和相对湿度 (等值线, 单位: %) 沿冷涡中心 122.5°E 垂直剖面 (风矢量表示垂直环流, 红色方框表示冷涡)

Fig. 10 Vertical cross-sections along cold vortex center (122.5°E) for (a) the divergence (colored) and vertical velocity (contour, unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$), and (b) θ_{se} (colored) and relative humidity (contour, unit: %) at 08:00 BT 29 July 2015 (Wind vector and red rectangle indicate the vertical circulation and cold vortex, respectively)

对流天气, 而 2018 年 7 月 14 日却风平浪静, 没有发生强对流天气。

(2) 处于东风带中的涡旋系统与台风、东风波等系统显著不同, 其垂直方向上并不深厚, 主要位于对流层中上层, 湿度较高但温度较低, 系统本身不像台风或东风波那样会发生大风、暴雨等强烈天气。

(3) 2015 年 7 月 29 日中午在浙闽沿海因海洋、陆地风向风速差异以及高低层之间风向辐合等因素影响下, 形成了东、西风之间的中尺度辐合线, 随后中尺度辐合线触发或加强了对流天气, 而 2018 年 7 月 14 日过程虽然具备了对流潜势, 但由于低层没有触发机制, 因此没有发生强对流。高层冷涡西进时, 冷涡前进方向高层的辐散式旋转特性增强了中低层的上升运动, 若地面已有对流发生, 则有助于对流天气加强, 这与西风带天气过程有显著差异, 会给强对流的预报预警造成较大困难, 应特别关注。

通过两个个例的对比分析, 可以看到在日常预报业务中, 除了要关注或分析 500 hPa 及以下高度场上系统的分布和变化之外, 也要留意高空系统。高层系统 (如高空冷涡等) 会诱发或加强低层系统, 从而引发或加剧天气。高空冷涡背景下的强对流天气, 其触发条件主要在低层, 高空冷涡在天气背景和

引导气流方面的作用更为突出, 该类型天气是否存在更多个例以及更多个性或共性的机理性问题则需要进一步探索和研究。

参考文献

陈雷, 戴建华, 汪雅, 2015. 近 10 a 长三角地区雷暴天气统计分析 [J]. 暴雨灾害, 34(1): 80-87. Chen L, Dai J H, Wang Y, 2015. Analysis of thunderstorm weather in the Yangtze River Delta Region in recent 10 years [J]. Torr Rain Dis, 34(1): 80-87 (in Chinese).

范元月, 罗剑琴, 张家国, 等, 2020. 宜昌极端短时强降水中尺度对流系统特征分析 [J]. 气象, 46(6): 776-791. Fan Y Y, Luo J Q, Zhang J G, et al, 2020. Characteristics analysis of mesoscale convective system causing the extreme flash rain in Yichang [J]. Meteor Mon, 46(6): 776-791 (in Chinese).

冯晋勤, 俞小鼎, 蔡菁, 等, 2017. 福建春季西南急流暖湿强迫背景下的强对流天气流型配置及环境条件分析 [J]. 气象, 43(11): 1354-1363. Feng J Q, Yu X D, Cai J, et al, 2017. Flow pattern and ambient condition analysis of spring southwest low-level jet warm sector severe convection in Fujian [J]. Meteor Mon, 43(11): 1354-1363 (in Chinese).

刘刚, 封国林, 秦玉琳, 等, 2017. 初夏东北地区冷涡降水“累积效应” [J]. 大气科学, 41(1): 202-212. Liu G, Feng G L, Qin Y L, et al, 2017. “Cumulative effect” of cold vortex precipitation in Northeast China in early summer [J]. Chin J Atmos Sci, 41(1):

- 202-212(in Chinese).
- 罗玲, 娄小芬, 傅良, 等, 2019. ECMWF 极端降水预报指数在华东台风暴雨中的应用研究[J]. 气象, 45(10): 1382-1391. Luo L, Lou X F, Fu L, et al, 2019. Application of precipitation extreme forecast index from ECMWF in typhoon rainstorm in East China [J]. Meteor Mon, 45(10): 1382-1391(in Chinese).
- 沈杭锋, 高天赤, 周春雨, 等, 2014. 台风海葵引发浙西山区大暴雨的成因[J]. 气象, 40(6): 733-743. Shen H F, Gao T C, Zhou C Y, et al, 2014. Causation analysis of severe torrential rain process in mountain areas of western Zhejiang triggered by Typhoon Haikui[J]. Meteor Mon, 40(6): 733-743(in Chinese).
- 寿绍文, 杜秉玉, 肖稳安, 等, 1993. 中尺度对流系统及其预报[M]. 北京: 气象出版社: 131-140. Shou S W, Du B Y, Xiao W A, et al, 1993. The Mesoscale Convective Systems and Forecasting[M]. Beijing: China Meteorological Press: 131-140(in Chinese).
- 唐明晖, 姚秀萍, 王强, 等, 2017. 不同强度台风相伴随的内陆台前飑线对比分析[J]. 气象, 43(8): 912-923. Tang M H, Yao X P, Wang Q, et al, 2017. Contrastive analysis of inland pre-TC squall line accompanied by typhoons with different intensities [J]. Meteor Mon, 43(8): 912-923(in Chinese).
- 吴福浪, 於敏佳, 周昊, 等, 2020. 高层东风波引起的一次超级单体雹暴天气数值研究[J]. 气象科学, 40(3): 374-384. Wu F L, Yu M J, Zhou H, et al, 2020. Numerical study on a supercell hailstorm caused by high-level easterly wave[J]. J Meteor Sci, 40(3): 374-384(in Chinese).
- 许爱华, 马中元, 叶小峰, 2011. 江西 8 种强对流天气形势与云型特征分析[J]. 气象, 37(10): 1185-1195. Xu A H, Ma Z Y, Ye X F, 2011. Eight kinds of strong convective weather situations and related cloud-type characteristics in Jiangxi[J]. Meteor Mon, 37(10): 1185-1195(in Chinese).
- 徐芬, 郑媛媛, 肖卉, 等, 2016. 江苏沿江地区一次强冰雹天气的中尺度特征分析[J]. 气象, 42(5): 567-577. Xu F, Zheng Y Y, Xiao H, et al, 2016. Mesoscale characteristics of a severe hail event over the area along Yangtze River in Jiangsu[J]. Meteor Mon, 42(5): 567-577(in Chinese).
- 易笑园, 李泽椿, 李云, 等, 2010. 长生命史冷涡影响下持续对流性天气的环境条件[J]. 气象, 36(1): 17-25. Yi X Y, Li Z C, Li Y, et al, 2010. Analysis of environmental conditions of continuous severe convective weather events caused by long life cold vortex [J]. Meteor Mon, 36(1): 17-25(in Chinese).
- 余贞寿, 冀春晓, 董美莹, 等, 2017. 浙江时间多尺度台风暴雨增幅特征的统计研究[J]. 气象, 43(12): 1496-1506. Yu Z S, Ji C X, Dong M Y, et al, 2017. Statistical analysis on multi-timescale heavy rainfall reinforcement associated with tropical cyclone in Zhejiang Province[J]. Meteor Mon, 43(12): 1496-1506(in Chinese).
- 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等, 2007. 天气学原理与方法: 第 4 版[M]. 北京: 气象出版社: 649. Zhu Q G, Lin J R, Shou S W, et al, 2007. Synoptic Meteorological Analysis [M]. 4th ed. Beijing: China Meteorological Press: 649(in Chinese).
- Meng Z Y, Yan D C, Zhang Y J, 2013. General features of squall lines in East China[J]. Mon Wea Rev, 141(5): 1629-1647.