

Comparative Analysis of EA and BL Squall Line Processes under the Background of Cold Vortex

Hao Chen¹, Shanshan Yang², Wenya Shi², Mengyu Shen²

¹The Meteorological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang Hebei

²The Meteorological Bureau of Shijiazhuang, Shijiazhuang Hebei

Email: 751989484@qq.com

Received: Aug. 23rd, 2019; accepted: Sep. 4th, 2019; published: Sep. 11th, 2019

Abstract

In this paper, we make a comparative analysis of EA and BL squall line processes under the background of cold vortex with the same geographical location at 40°N and 118°E, the NCEP FNL data and TBB data are used, and use the WRF V3.1 numerical model to simulate the results. We get the following conclusion: 1) The EA type cold vortex is a deep high-altitude cold trough deepening to form a cut-off low pressure, and then developing to form a cold vortex. The BL type cold vortex is formed by deepening and cutting the Mongolian cold trough; 2) The EA squall line is more unstable than the BL squall line; 3) The water vapor condition is better when the EA squall line occurs; 4) In the case of the EA type, there is a significant air pressure at the formation of the squall line, the dew point temperature, the sudden change of the wind speed, and the BL type is weak.

Keywords

Cold Vortex, Squall Line, Contrast Analysis

冷涡背景下两次飑线过程对比分析

陈浩¹, 杨珊珊², 石文雅², 沈梦宇²

¹河北省气象局, 河北 石家庄

²石家庄市气象局, 河北 石家庄

Email: 751989484@qq.com

收稿日期: 2019年8月23日; 录用日期: 2019年9月4日; 发布日期: 2019年9月11日

摘要

本文利用1° × 1° 6 h的NCEP FNL资料, 并使用WRF V3.1数值模式模拟, 选取发生地理位置均在40°N、

118°E附近, 冷涡背景下的两次飊线过程的潜势条件进行对比分析。得到以下结论: 1) EA型飊线个例的冷涡是极地高空冷槽加深形成切断低压, 继而发展形成冷涡, BL型飊线个例的冷涡是蒙古冷槽加深切断形成的。2) EA型飊线个例比BL型飊线个例发生的环境场更不稳定。3) EA型飊线个例发生时水汽条件较好。4) EA型个例在飊线形成时有明显的气压, 露点温度, 风速的骤变, BL型较弱。

关键词

冷涡, 飊线, 对比分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

已有不少学者对冷涡背景下的飊线过程进行过分析研究, 杨珊珊[1]指出飊线的发生有明显的月变化和日变化, 约 58.8%的飊线发生在 7 月。曹倩[2]指出在飊线发展过程中, 新生单体不断在对流区前沿触发加强以及对流单体合并与增长使得飊线系统得以长时间维持, 而成熟单体减弱为后方的层状云降水区, 正是单体的生消交替保证飊线系统向前传播。张哲[3]指出飊线发生发展期间, 对流层中层存在正在发展加深的槽, 近地面则是偏南暖湿气流和西北干冷气流交汇形成的辐合线, 天气尺度环境强迫较强, 有利于强对流的触发和发展。吴瑞姣[4]把飊线的天气背景分成五种类型: 浅槽型、深槽型、高压边缘型、槽后型和冷涡型。江淮飊线多出现在西风槽前, 深槽型飊线引起的地面降温幅度最大, 深槽型和冷涡型飊线的雷达回波核较高, 天气也更为剧烈, 除了降水和雷暴大风外, 还可出现冰雹或龙卷。但是对于飊线的对比分析较少, 本文对冷涡背景下的两次飊线过程进行对比分析, 旨在找出不同飊线的特征, 以期提高对冷涡背景下飊线的认识。

2. 资料及数据选取

根据 Meng [5]对飊线的定义: 1) 一个连续的或准连续的 40-DBZ 反射带长度至少 100 km, 生命时长至少 3 小时; 2) 40 DBZ 区域具有线性或带有一个明显的共同前缘准线性的形状。3) 镶嵌有 35 dBZ 带的 40 dBZ 带是严格连续的, 再 Bluestein [5]对飊线形成方式的分类(图 1): embedded areal 嵌套区线型(EA): 中尺度对流回波带嵌在大片降水回波中而形成飊线。broken line 断续线型(BL): 在低层辐合带上, 当对流发生的条件成熟时, 沿辐合带不断形成小的对流单体, 形成飊线。broken areal 离散区线(BA): 小的对流单体大片零星形成, 当对流单体被某种中尺度系统影响时, 零星单体集成带, 镶嵌移动或者传播形成飊线。back building 后续线型(BB): 在低层辐合带的某一部分不断有对流单体生成, 或在老单体后部生成新单体并与老单体合并, 移出的单体不断发展成熟, 最后形成飊线。

本文选取冷涡背景下的嵌套区线型飊线(简称 EA)和断续线型(简称 BL)飊线各一例。EA 型飊线选取的是 2009 年 7 月 22 日北京的一次飊线过程(图 3), 中尺度对流回波带嵌在大片降水回波中而形成飊线, BL 型飊线选取的是 2008 年 6 月 23 日北京的一次飊线过程(图 2), 在低层辐合带上, 当对流发生的条件成熟时, 沿辐合带不断形成多个小的对流单体, 对流单体不断壮大连接最终形成飊线。这两个飊线个例的发生地理位置均在 40°N、118°E 附近。本文利用 $1^\circ \times 1^\circ$ 6 h 的 NCEP FNL 资料, 并使用 WRF V3.1 数值模式, 对两次飊线个例进行了对比分析。

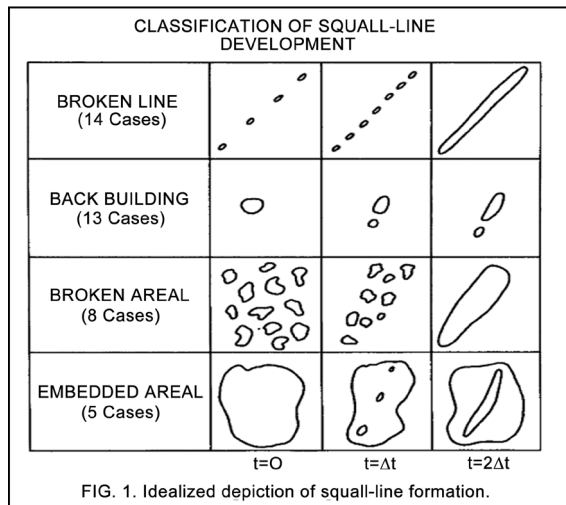


Figure 1. Idealized depiction of squall-line formation (Bluestein and Jain, 1985)
图 1. 飚线形成方式理想化示意图(Bluestein and Jain, 1985)

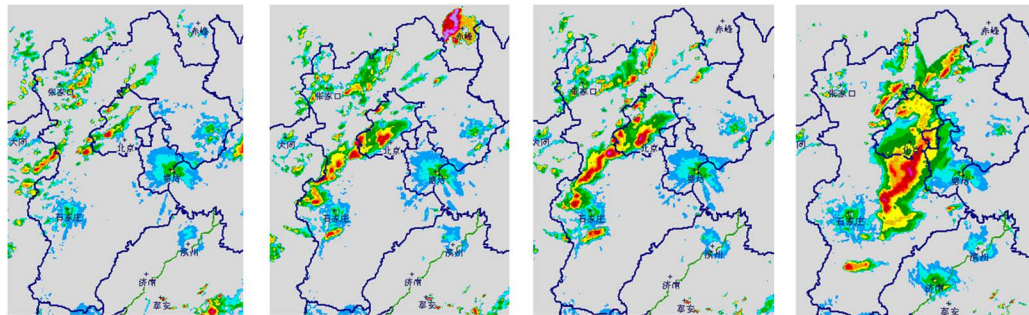


Figure 2. Squall line of June 23 in 2008
图 2. 2008 年 6 月 23 日 BL 型飚线示意图

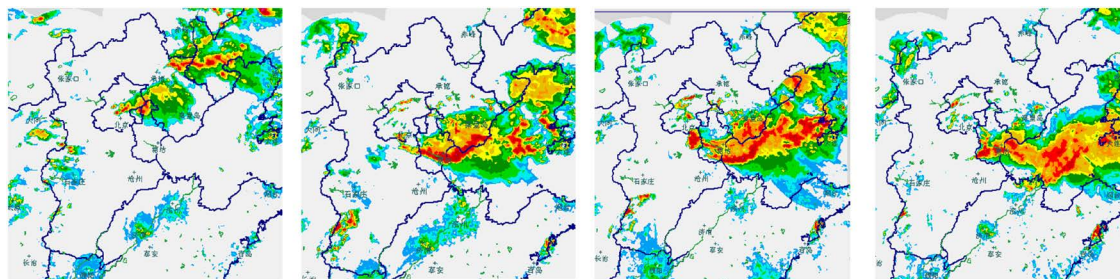


Figure 3. Squall line of July 22 in 2009
图 3. 2009 年 7 月 22 日 EA 型飚线示意图

3. 结果对比分析

3.1. 天气尺度环流特征对比

2009 年 7 月 22 日、2008 年 6 月 23 日两次飚线过程期间北京均出现降水。2009 年 7 月 22 日北京、河北、天津地区共出现 8 站次大风，三站次大雾天气。2008 年 6 月 23 日北京、河北、天津共出现 21 站次大风，2 站次暴雨、1 站次大雾天气。从图 4 和图 5 可以看出，2009 年 7 月 22 日 08 时不稳定能量明显大于 2008 年 6 月 23 日。2008 年 6 月 23 日 925 hPa 有明显垂直风切变。

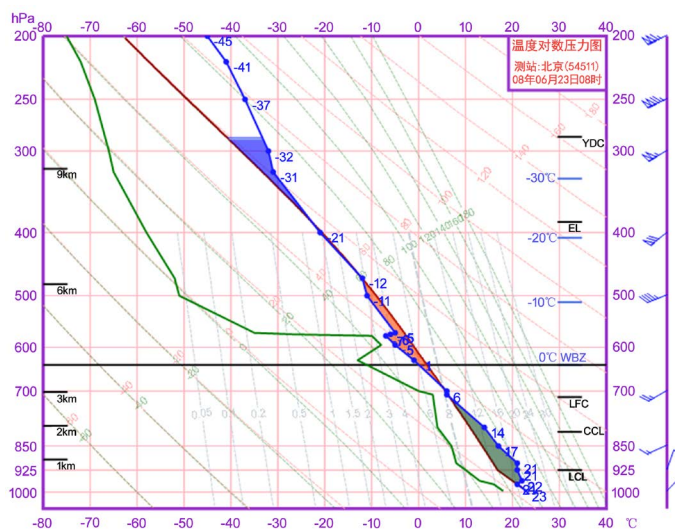


Figure 4. T-lnp map of Beijing station at 08:00 on June 23, 2008
图 4. 2008 年 6 月 23 日 08 时北京站 T-lnp 图

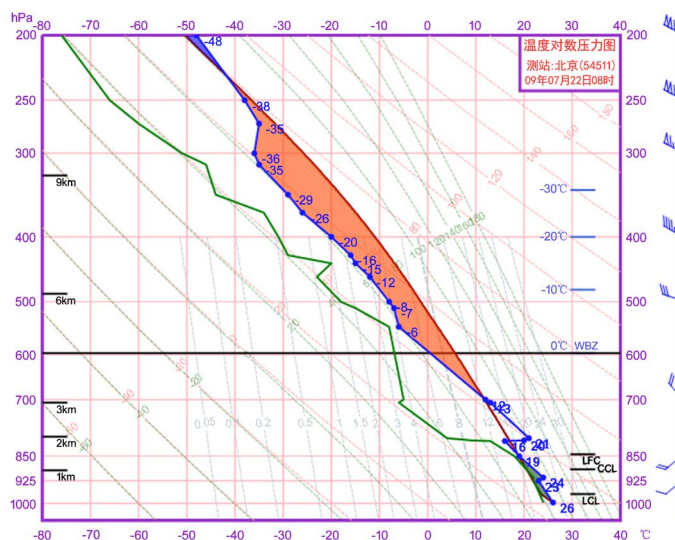


Figure 5. T-lnp map of Beijing station at 08:00 on July 22, 2009
图 5. 2009 年 7 月 22 日 08 时北京站 T-lnp 图

两次爬线过程均是在冷涡背景下发生的, 但天气尺度环流形势有所差异。从 2009 年 7 月 18 日~23 日逐日的 500 hPa 形势场(图略)分析发现, 此次冷涡是极地高空冷槽加深形成切断低压, 向南发展在 7 月 20 日形成冷涡, 冷涡中心位置位于 60°N , 135°E , 冷涡向南移动在 7 月 22 日到达我国东北地区, 爬线发生在冷涡的西南部。爬线成熟时在 200 hPa (图 6(a))高空出现横跨我过北方地区的高空急流, 且爬线出现在急流轴的中心位置 40°N 附近, 急流速度达 55 m/s。700 hPa 形势场(图略)可以看出, 爬线出现的对应地区风速较 500 hPa (图略)小, 爬线的南部出现切变线, 925 hPa (图略)形势场显示 EA 型爬线出现前 6 h 对应地区东北部有切变线存在, 温度为 24°C 。

从 2008 年 6 月 22 日~28 日逐日的 500 hPa 形势场(图略)分析发现, 6 月 22 日蒙古高空冷槽加深切断形成, 在 6 月 23 日 08 时冷涡发展成熟, 冷涡中心位于 45°N , 113°E , 冷涡的东南部开始形成零星的对流回波, 并逐渐形成爬线。爬线成熟时时 200 hPa (图 6(b))高空形势场可以看出爬线出现在急流轴的偏北

部边缘处，风速较 EA 型的小。500 hPa (图略)形势场上可以看出 BL 型飑线位于冷涡的东南部，位于偏西风气流中。700 hPa (图略)形势场显示 BL 型飑线的南部有切变。

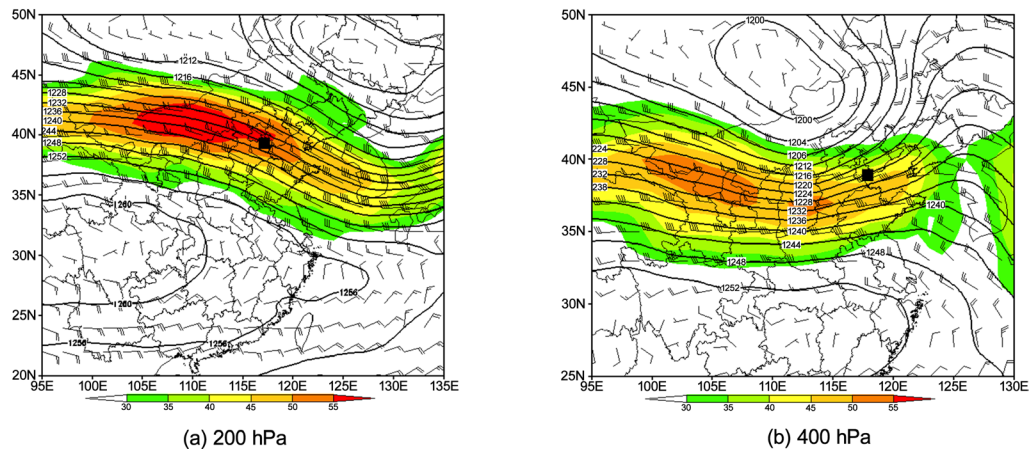


Figure 6. Left is a composite diagram of EA squall line in the background of cold vortex, right is a composite diagram of BL squall line in the background of cold vortex. (Black solid line, unit: GPM, jet (shadow part, unit: m/s) and wind field (wind direction bar) temperature (red dotted line, unit: centigrade) black solid zone representing the position of squall line)

图 6. 图左为冷涡背景下 EA 型飑线成熟时合成图，图右为冷涡背景下 BL 型飑线成熟时的合成图(黑色实线，单位: gpm、急流(阴影部分，单位: m/s)和风向杆)温度(红色虚线，单位: °C)黑色实心区代表飑线的位置)

3.2. 风场和温度平流对比

图 7 分别是 EA 型和 BL 型飑线发生前 6 h 各高度场的风场和温度平流场。从 500 hPa (图 7(a))形势场上可以看出 EA 型飑线发生前 6 h 对应地区位于冷暖平流交界处，西北部有暖平流，东南部有冷平流，700 hPa (图略)和 850 hPa 飑线对应地区均处于强暖平流中。这种上冷下暖的配置配合上高层辐散低层辐合，对应地区极易产生对流系统。12 时 500 hPa 形势场上飑线对应地区为暖平流，西北部为冷平流，700 hPa 形势场上飑线对应地区为冷平流，850 hPa 形势场上飑线对应地区以及附近地区均为暖平流。中低层为不稳定层结。

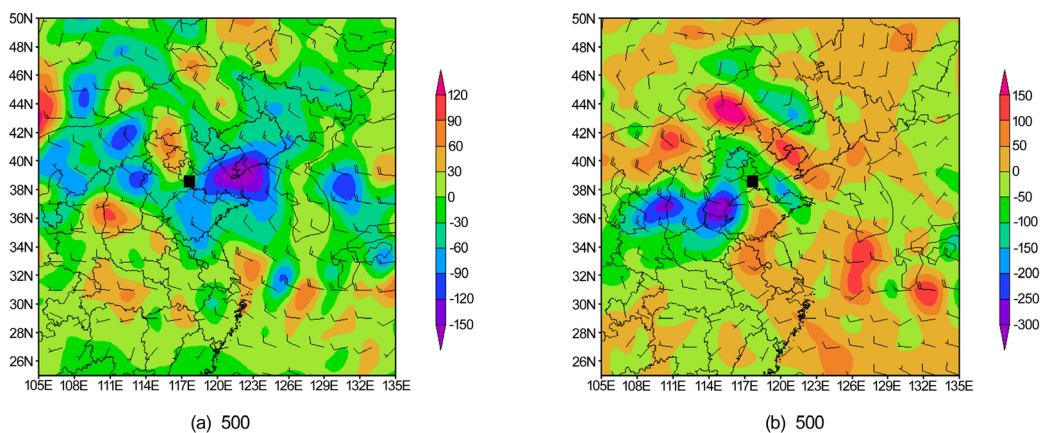


Figure 7. The left figure is the distribution of temperature and wind field (EA) on 06UTC Jul 23 2009, the right figure is BL type on 06UTC Jun 23. (The whole wind plume indicates 4 m/s. The collocation indicates the temperature advection, unit is 10 - 6 degrees/s, black solid point represents the squall line position)

图 7. 图左为 2009 年 07 月 22 日 06 时 UTC (EA 型)温度平流与风场的分布图，图右为 2008 年 06 月 23 日 06 时(BL 型)温度平流与风场的分布图(全风羽表示 4 m/s，填色表示温度平流，单位: 10°C/s~6°C/s，黑色实心点代表飑线位置)

从 500 hPa 形势场上可以看出 BL 型飊线发生前 6 h, 对应地区处于冷暖平流交界处, 对应地区西南部有强冷平流, 南部、东北部、西北部均有暖平流。700 hPa 形势场冷暖平流分布和 500 hPa 形势场一致, 南部的暖平流加强。850 hPa 形势场上可以看到飊线对应地区为强冷平流, 飊线对应地区南部有暖平流, 西部有强暖平流。飊线成熟时刻中层为暖平流控制, 西南部为冷平流。700 hPa 有冷平流, 在 850 hPa 也有冷平流。此时大气呈不稳定状态。EA 型飊线发生前 6 h 有不稳定层结存在, 飊线成熟时中低层有不稳定层结存在, BL 型飊线在发生前大气呈较弱的不稳定状态, 而发生时大气呈较稳定状态。

3.3. 水汽条件对比

图 8 是 EA 型飊线和 BL 型飊线成熟时期水汽通量及其散度图(左 EA 型、右 BL 型)。EA 型低层有很强的从南海来的自南向北的水汽通量, 有明显的水汽辐合, 中层有大量西北-东南方向的水汽, 中层有辐散。这种配置有利于对流系统的形成。

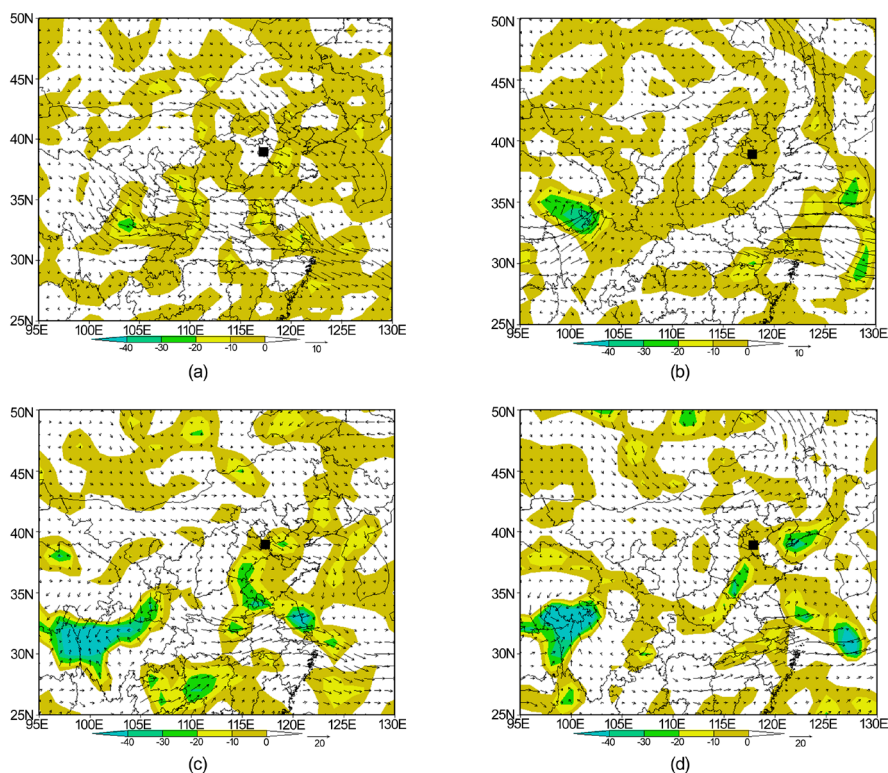


Figure 8. Water vapor flux and its divergence on July 22, 2009 and June 23, 2008

图 8. 2009 年 7 月 22 日 12 时和 2008 年 6 月 23 日 12 时 UTC 水汽通量及其散度图水汽通量(黑色箭头: g/hPa/cm/s)和水汽通量散度(阴影部分: $10^{-6} \text{ g/hPa/cm}^2/\text{s}$)

BL 型飊线形成对应地区的西北和东南部在 850 hPa 和 925 hPa 均有明显的水汽辐合, 在 500 hPa、700 hPa 有水汽辐散, 低层有大量偏南-北方向的水汽通量从海上源源不断的汇集于此, 高层有西北-东南方向的水汽汇集于此。

4. WRF 模拟结果对比分析

4.1. 地面物理量场模拟结果

图 9 为中尺度对流系统发生前后沿 118°E , 40°N 的模拟输出的 2 m 露点温度地面气压、风速的时间

剖面图。结合图 9(a)和图 9(c)可以看出在飊线形成期, 有气压骤减和风速递减。从图 9(b)中可以看出, 飊线成熟期, 露点温度降低, 湿度增大。

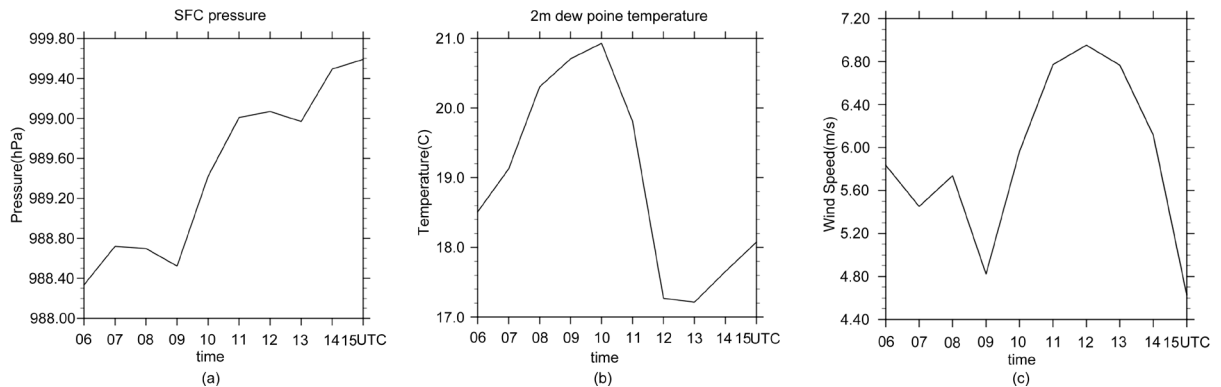


Figure 9. Analog output data at 118°E, 40°N on June 23, 2008, from 06UTC to 12UTC

图 9. 2008 年 6 月 23 日 06 时~12 时(图中坐标轴为世界时)沿 118°E, 40°N 的模拟输出, (a)地面气压(hPa)、(b) 2 m 露点温度(°C)、(c) 10 米风速(m/s)

图 10 为中尺度对流系统发生前后沿 118°E, 40°N 的模拟输出的 2 m 露点温度、地面气压、10 米风速的时间剖面图。结合图 10(a)和图 10(c)可以看出在飊线形成期, 有气压骤减和风速递减。从图 10(b)中可以看出, 07~08 时, 露点温度突增, 湿度降低, 在 08~12 时, 飊线逐渐发展成熟阶段, 露点温度明显降低, 湿度增大。

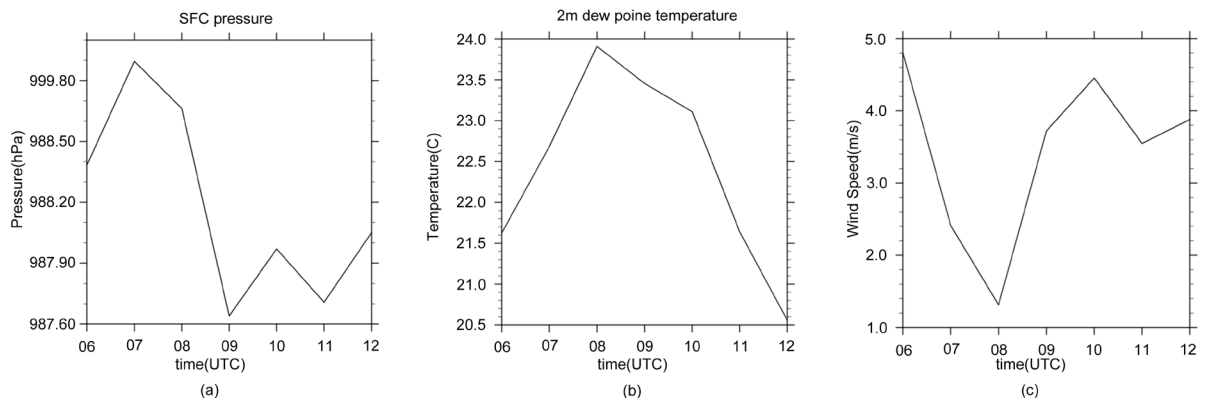


Figure 10. Analog output data at 118°E, 40°N on July 22, 2009, from 06UTC to 12UTC

图 10. 2009 年 7 月 22 日 06 时~12 时(图中坐标轴为世界时)沿 118°E, 40°N 的模拟输出, (a)地面气压(单位: hPa)、(b) 2 m 露点温度(°C)、(c) 10 米风速(m/s)

4.2. 中尺度对流系统及其环境场的模拟结果

过 2008 年 6 月 23 日 06~12 时中尺度对流系统中心做涡度, 散度, 垂直速度的剖面图和 925 hPa 水汽通量图(图 11), 图 11(a)为涡度的剖面图, 由图可见, 6 月 23 日 10 时(飊线的形成期)中层以下为正涡度区, 中层以上位负涡度区, 中低层有上升运动, 配合上散度场(图 11(b)), 10 时中层以下低层为负散度区, 高层为散度正值区, 低层辐合高层辐散, 图 11(d)为垂直速度剖面图, 10 时 350 hPa 以下垂直速度为正值, 有上升运动。在 2008 年 6 月 23 日 10 时有明显的从东南向西北方向的水汽通量, 低层暖湿气流不断汇集到对应地区, 为对流系统的发展提供了条件。

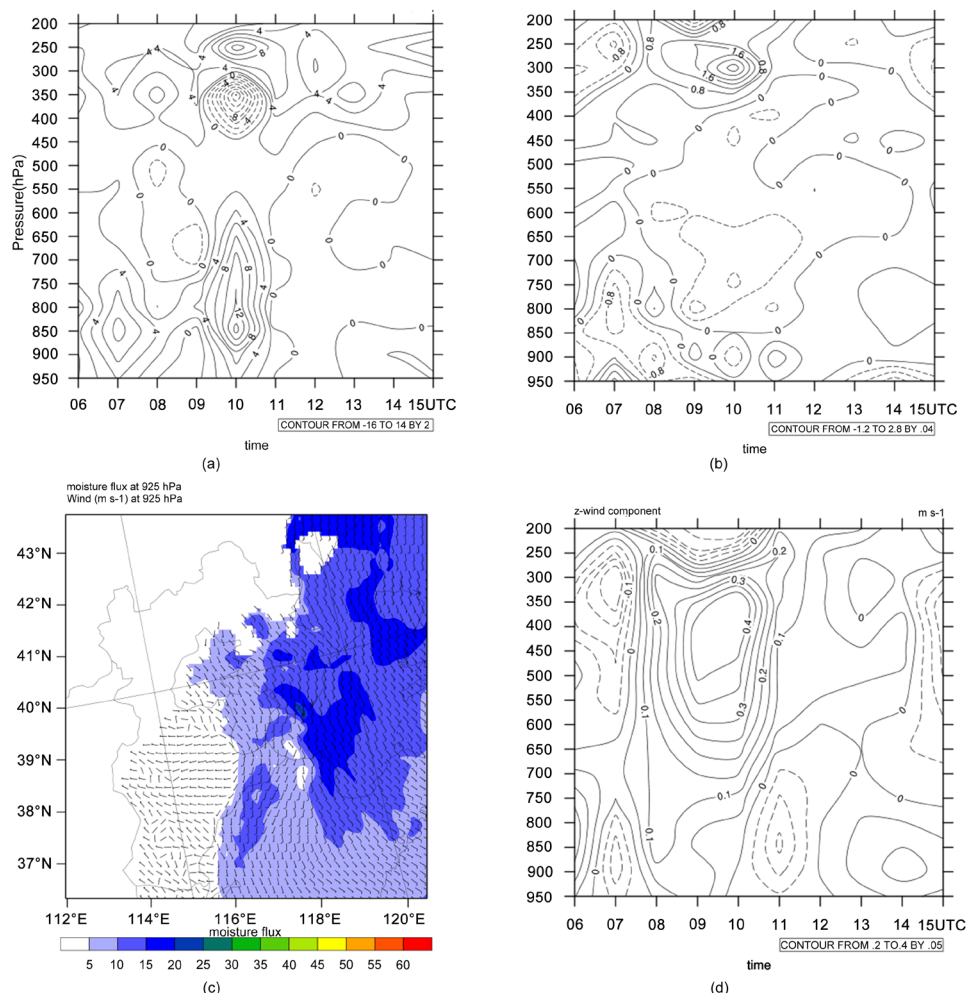


Figure 11. Vertical distribution of physical quantities along 118°E, 40°N from 06UTC-12UTC on June 23, 2008

图 11. 2008 年 6 月 23 日 06 时~12 时(图中坐标轴为世界时)各物理量沿 118°E, 40°N 的垂直分布。(a)散度($10^{-51}/s$); (b)垂直速度(m/s); (c)涡度(m/s)

过 2009 年 7 月 22 日 06~12 时中尺度对流系统中心做涡度, 散度, 垂直速度的剖面图和 925 hPa 水汽通量图(图 12), 图 12(a)为涡度的剖面图, 由图可见, 7 月 22 日 07~08 时(爬线的形成期)中层以下为正涡度区, 500 hPa~300 hPa 为负涡度区, 中低层有上升运动, 09 时, 700 hPa 以下为正涡度区, 700~400 hPa 为负涡度区。配合上散度场(图 12(b)), 07~08 时低层以下低层为负散度区, 700 hPa~800 hPa 散度正值区, 低层辐合中层辐散, 09 时, 低层以下为散度负值区, 低层以上至高层均为散度正值区, 低层辐合, 高层辐散。图 12(d)为垂直速度剖面图, 08 时整层垂直速度为正值, 有上升运动。09~11 时, 整层垂直速度为正值, 上升运动。在 2009 年 7 月 22 日 08 时有明显的自南向北方向的水汽通量, 低层暖湿气流不断汇集到对应地区, 配合上低层辐散高层辐合, 强烈的上升运动, 为对流系统的发展提供了条件。

5. 结论与讨论

本文通过对两例冷涡背景下爬线过程进行分析, 得到以下几个结论:

1) EA 型爬线个例的冷涡是极地高空冷槽加深形成切断低压, 继而发展形成冷涡, 爬线发生在冷涡的西南部, BL 型爬线个例的冷涡是蒙古冷槽加深切断形成的, 爬线发生在冷涡的东南部, 两次爬线过程的触发机制均是低层切变线。

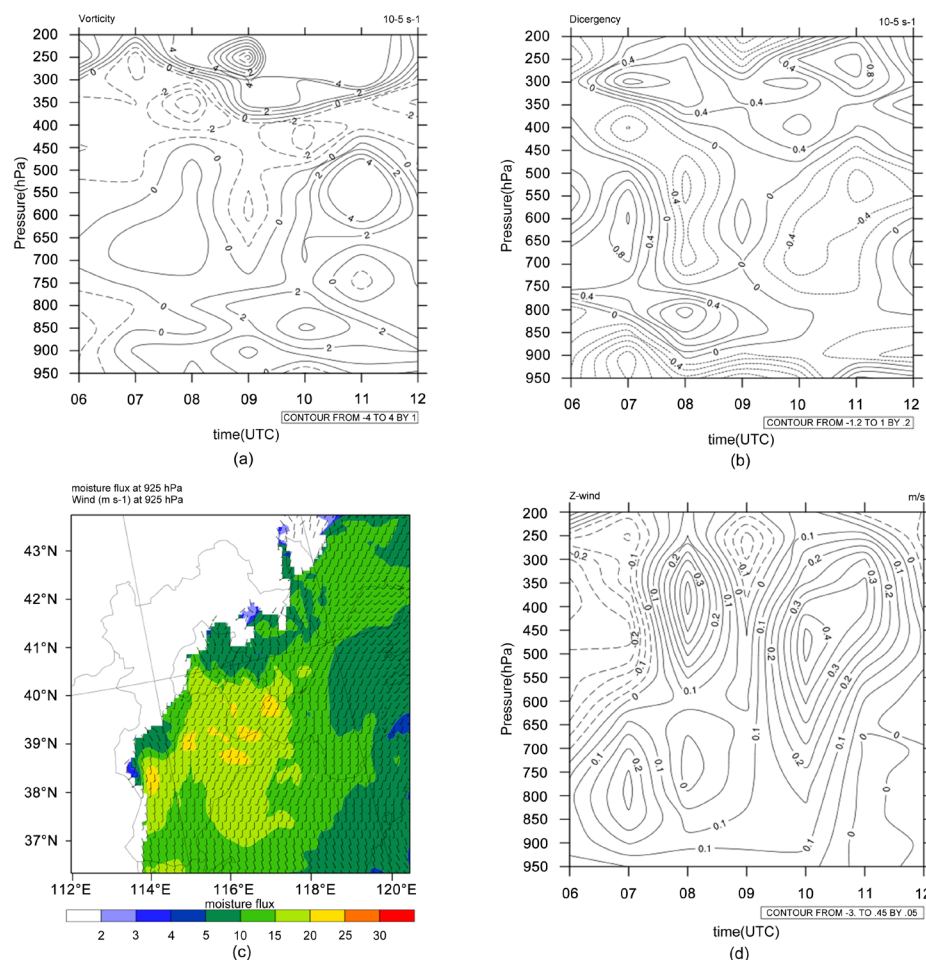


Figure 12. Vertical distribution of physical quantities along 118°E, 40°N from 06UTC to 12UTC July 22, 2009
图 12. 2009 年 7 月 22 日 06 时~12 时(图中坐标轴为世界时)各物理量沿 118°E, 40°N 的垂直分布。(a)散度(单位: 10⁻⁵/s); (b)涡度(单位: m/s); (c)水汽通量; (d)垂直速度(单位: m/s)

2) EA 型飊线个例比 BL 型飊线个例发生的环境场更不稳定。

3) EA 型飊线个例发生时水汽条件较好。

4) 两个飊线的形成阶段, 高层辐散低层辐合, 有上升运动, 对流活动加强, 低层水汽供应充沛, 有利于中尺度对流系统的发展。EA 型在飊线形成时有明显的气压, 露点温度, 风速的骤变, BL 型较弱。

参考文献

- [1] 杨珊珊, 湛芸, 李晟祺, 等. 冷涡背景下飊线过程统计分析[J]. 气象, 2016, 42(9): 1079-1089.
- [2] 曹倩, 杨茜茜, 叶丹, 等. 一次飊线过程的雷达观测和数值模拟分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(2): 305-316.
- [3] 张哲, 周玉淑, 高守亭. 一次辽东湾飊线过程的观测与数值模拟分析[J]. 大气科学, 2018, 42(5): 1157-1174.
- [4] 吴瑞姣, 陶玮, 周昆, 等. 江淮灾害性大风飊线的特征分析[J]. 气象学报, 2019, 45(2): 155-165.
- [5] Meng, Z. and Zhang, Y. (2012) On the Squall Lines Preceding Land Falling Tropical Cyclones in China. *Monthly Weather Review*, 140, 445-470. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-10-05080.1>