

# 银川河东机场一次锋面气旋型强雷雨天气过程总结分析

李桃

民航宁夏空管分局, 宁夏 银川

收稿日期: 2024年2月14日; 录用日期: 2024年3月13日; 发布日期: 2024年3月19日

## 摘要

本文利用MICAPS和NCEP再分析资料对2019年6月11日银川河东机场的一次强雷雨天气过程从天气实况、环流形势、物理量场条件等方面进行了分析。总结得出: 低层河套地区低涡的活动、地面锋面的配合以及前倾槽的建立提供了河东机场正涡度、辐合和上升运动的基础, 从而诱发了强对流天气; 地面上蒙古国冷空气的南下为河东机场的强对流天气提供了触发条件, 且冷空气受贺兰山阻挡以及冷空气的势力强弱影响着强对流触发的位置; 地面锋面气旋中, 冷空气和暖湿空气势力的强弱、冷暖锋的位置和移动决定了雷暴天气发生的位置和移动方向; 低层华北地区高压底部的回流为银川河东机场强对流天气提供了暖湿气流的输送, 有利于大气不稳定层结的建立。

## 关键词

银川河东机场, 锋面气旋, 强雷雨

## Summary and Analysis of the Weather Process of a Frontal Cyclone Type Strong Thunderstorm at Yinchuan Hedong Airport

Tao Li

Civil Aviation Ningxia Air Traffic Control Branch, Yinchuan Ningxia

Received: Feb. 14<sup>th</sup>, 2024; accepted: Mar. 13<sup>th</sup>, 2024; published: Mar. 19<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

This article uses MICAPS and NCEP reanalysis data to analyze a strong thunderstorm weather process at Yinchuan Hedong Airport on June 11, 2019, including weather conditions, circulation patterns, and

physical field conditions. The conclusion is that the activity of low vortices in the lower Hetao region, the coordination of surface fronts, and the establishment of forward tilting troughs provide the basis for positive vorticity, convergence, and upward motion at Hedong Airport, thereby inducing strong convective weather; the southward movement of Mongolian cold air on the ground provides triggering conditions for strong convective weather at Hedong Airport, and the cold air is obstructed by the Helan Mountains and the strength of the cold air affects the location of strong convective triggering; in surface frontal cyclones, the strength of the forces of cold and warm air and the position and movement of cold and warm fronts determine the location and direction of thunderstorm occurrence; the reflux of the high-pressure bottom in the lower North China region provides warm and humid airflow for the strong convective weather at Yinchuan Hedong Airport, which is conducive to the establishment of unstable atmospheric stratification.

## Keywords

Yinchuan Hedong Airport, Frontal Cyclone, Strong Thunderstorm

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

雷暴是积雨云云中、云间或云地之间产生的放电现象，表现为闪电兼有雷声、仅闻雷声而不见闪电或仅见闪电而不闻雷声。雷暴总是和积雨云相联系，它是积雨云强烈发展的结果。雷暴云及其附近常伴有阵雨、大风、低能见度、下击暴流、风切变和降雹天气，是危及飞行安全最主要的天气现象。雷暴中的闪电和强烈的雷暴电场能严重干扰中、短波无线电通信，引起飞机个别部分磁化，使磁罗盘产生误差；飞机在雷暴电场中飞行，由于感应带电的电量很大，在翼尖等部位还会出现跳火花现象；当机场上空有雷暴时，强烈的降水、恶劣的能见度、急剧的风向变化和阵风对飞行活动以及地面设备也都有很大的影响。在世界航空史上由雷暴造成的飞行事故最多，因此必须熟练掌握它的各种规律，以期更好地为飞行安全服务。

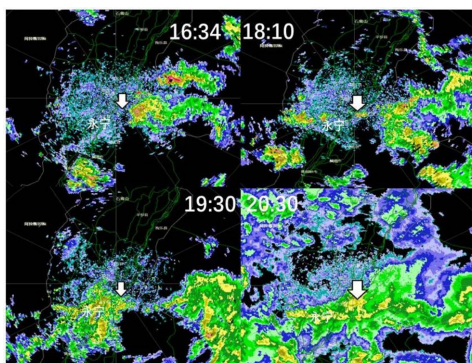
银川河东机场雷暴的地方性特征为午后、傍晚和午夜都为雷暴高发时段。热力性雷暴持续时间短，系统性雷暴持续时间长。近些年，宁夏许多气象工作者针对雷暴天气展开了大量的研究。陈永旭等[1]对宁夏中卫雷暴伴冰雹过程进行了诊断分析，得出当甘肃西部和内蒙一带横槽东移南压转竖，带动冷空气迅速南下时，为中卫市的对流天气及冰雹的产生提供了有利的条件；王海霞等[2]对银川河东机场雷暴过程进行了中尺度天气特征分析，得出水平的干湿分布不均匀引起的大气不稳定极易诱发强对流天气；仝淑梅等[3]对银川冷锋天气过程进行了分析，得出河东机场气象要素和大气层结指数的变化很好地反映了冷暖空气及地面形势场的变化特征。本文通过对一次典型的锋面气旋型雷暴过程的分析，总结雷暴过程中积雨云移动方位与地面天气系统的关系，以期对未来同类型雷暴天气过程中的积雨云移动以及强天气落区预报有一定的指示意义。

**资料：**多普勒雷达资料、NCEP 再分析资料、气象站探空和地面实况资料。

## 2. 天气实况

2019年6月11日下午，河东机场出现了雷暴伴中阵雨的天气，强积雨云(本文中指回波强度超过35 dBz的对流云团)先后三次影响河东机场：下午15:30(本文中均为北京时)左右，银川河东机场东边开始出

现强积雨云。从 16:34 的回波图像(图 1 为 11 日雷达回波图像,其中白色箭头所指的位置是银川河东机场)上可以看出积雨云在发展,但是除了云体有微弱的向北发展的趋势以外,中心位置基本上没有移动,强回波中心位于河东机场东南方向 20 km (永宁)处,虽然这一次强积雨云的影响过程中银川河东机场未见闻雷,但是由于云体边缘已经延伸到了跑道,其下沉气流也造成了河东机场的低空风切变,对航班的正常降落造成威胁,导致航班采取了更换跑道的调整措施,这片强积雨云在 17:30 减弱。之后在 18 时,银川河东机场南面出现有一块范围较小(回波直径在 5 km 以内)但是回波强度很强(达 40 dBZ)的雷暴单体,在 18:04 移动到银川河东机场上空,造成了银川河东机场持续了五分钟的中阵雨天气,之后迅速减弱并向北移出银川河东机场。18:10 可以看到在河东机场西南面永宁的位置出现了大范围强回波,18:55 这片强回波迅速向东偏北的方向移动,而之前维持在银川河东机场东边不移动的强回波云系在这个时候已经迅速东撤到银川河东机场东 30 km 以外。19:30,永宁这一片新生成的积雨云移动到银川河东机场,银川河东机场出现雷雨,然后该云团移速变得缓慢,回波强度随着降水的发生而逐渐减弱,雷暴持续一小时,20:40 转为层状云降水,之后小雨一直持续到 22:00 时。



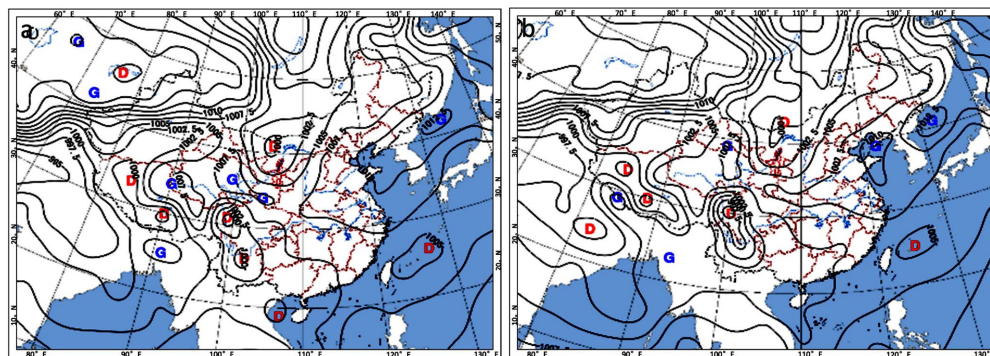
**Figure 1.** Doppler radar intensity echo on June 11, 2019 at 16:34, 18:10, 19:30, and 20:30

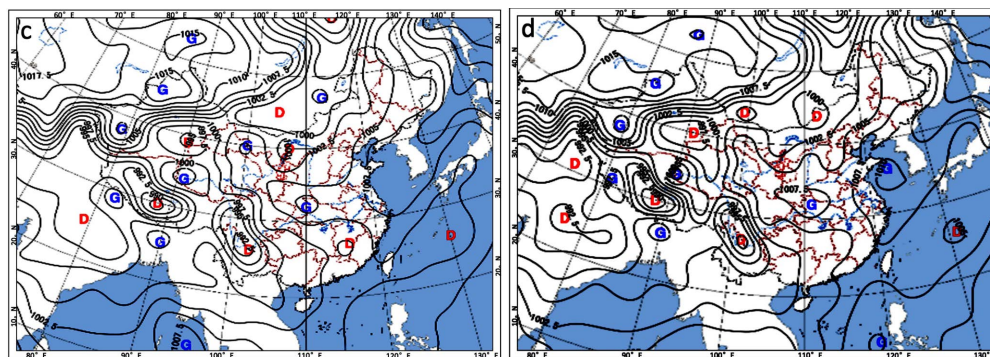
**图 1.** 2019 年 6 月 11 日 16:34、18:10、19:30、20:30 多普勒雷达强度回波

值得注意的是:本次雷暴过程中先后三次影响河东机场的积雨云在移动速度和传播方向上表现出很明显的不一致:产生第一次影响的积雨云缓慢向北发展,产生第二次影响并伴有中等强度降水的积雨云迅速向东移动,产生第三次雷暴并伴有降水的积雨云由西南向东北迅速移动后又停滞随着降水的持续而逐渐转为层状云。

### 3. 环流形势分析

#### 3.1. 地面环流形势分析





**Figure 2.** Ground pressure field maps on June 11, 2019 at (a) 08:00, (b) 11:00, (c) 17:00, and (d) 20:00  
**图 2.** 2019 年 6 月 11 日 (a) 08:00、(b) 11:00、(c) 17:00、(d) 20:00 地面气压场图

地面图上：蒙古国到我国河套地区为锋面气旋控制，如图 2(a)所示，11 日 08:00，地面冷锋位于阿拉善地区，河西地区南部有小范围冷高压存在，河套西北部地区受锋面气旋控制，华北到渤海区域也受高压控制；11:00 (图 2(b))，河套北部锋面气旋向东南方向略有偏移，范围缩小，而在蒙古国中部，高压前部等压线密集区东移；14:00，锋面气旋的范围继续缩小，锋面气旋中冷锋位于贺兰山北侧，冷空气因受到贺兰山的阻挡，移动速度减缓，在贺兰山西侧堆积，黄河下游到华北地区的高压维持稳定，同时在蒙古国至我国内蒙中部形成小范围较弱的高压中心，随后，这股冷空气继续南下，于 16:30 到达河东机场区域，在河东机场东南侧与锋面气旋的暖锋相遇，发展成强积雨云。此时由于冷空气势力较弱而暖湿空气维持向北的输送，暖锋缓慢向北移动，故此次强积雨云仅有微弱的向北发展的趋势。图 2(c)中，17:00 之后，自内蒙东部向南移动的这片冷空气已经南下与黄河下游的高压融合连成一片，锋面气旋中位于河西地区的高压加强东移，从贺兰山拗口区冲击河套平原，之后向东推进，影响到宁夏中部，这时可见永宁东侧生成大范围强积雨云，之后这股冷空气迅速东移，其前缘在 18:04 到达河东机场，造成河东机场突发中阵雨，而永宁位置这片强积雨云于 19:30 到达河东机场，造成降水；如图 2(d)所示，20:00 之后，这股冷空气逐渐东移与黄河下游华北地区的高压连成一片。

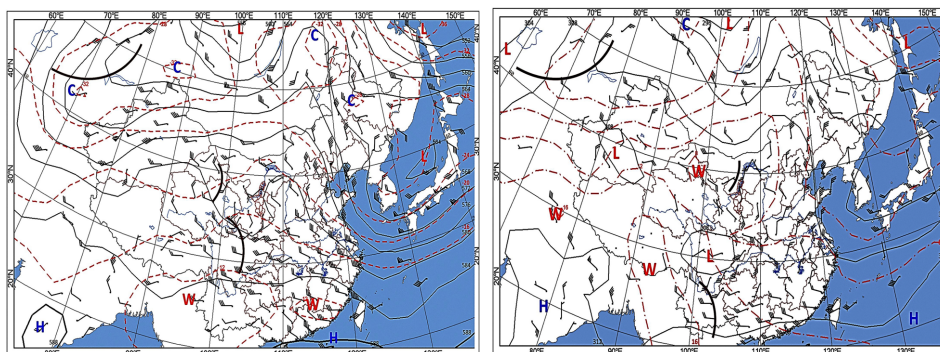
从地面形势场的变化中可以看出，此次雷暴过程中三次积雨云的移动方向和速度的不一致主要与地面冷暖锋相关的冷空气移动有着直接的关系，第一次影响是北方南下的弱冷空气与暖锋相遇，冷暖空气对峙中产生积雨云，移动缓慢；第二次是西侧冷空气推着锋面气旋的冷锋迅速东移，造成短时间内的中等强度降水；第三次是新的一股冷空气迅速东移造成的副冷锋产生的雷暴，在河东机场位置与前期东移的冷空气汇合后减缓东移，积雨云停滞在河东机场上空释放能量后转为层状云降水。这一过程可以看出：冷空气和暖湿空气势力的强弱，冷暖锋的位置和移速决定了雷暴天气发生的位置和移动。

### 3.2. 高空环流形势分析

在 10 日 500 hPa 的高空图上，中高纬地区大体环流形势是“两槽一脊”型，贝加尔湖地区处在深厚的槽区控制之中，我国东北至日本地区受东亚大槽控制，从我国新疆地区到华北地区整体处在高压脊控制中，河西有短波槽影响，温度槽明显落后于高度槽，形势有利于短波槽的发展加深。由 11 日 08:00 的 500 hPa 的高空图上(图 3)可见，中高纬大体的环流形势没有变化，但是前一天位于河西的短波槽已经迅速发展加深并移动到河套地区。

在 11 日 08:00 的 700 hPa 的高空图上(图 3)，中高纬地区环流形势大体与 500 hPa 一致，河西到河套地区多小槽波动，在贺兰山区位置有强辐合，黄河下游有高压维持，西南地区有西南涡活动，西南涡东北部的西南气流与黄河下游高压西侧的偏南气流在长江中游汇合，形成一支由南向北的暖湿气流输送带

直达宁夏北部。同时，河套地区受强温度脊控制。



**Figure 3.** High altitude potential height and temperature field maps at 08:00 on June 11, 2019 at 500 hPa and 700 hPa

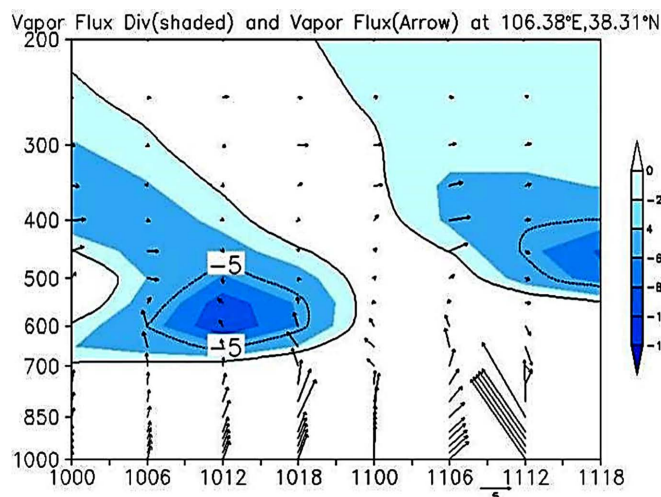
**图 3.** 2019 年 6 月 11 日 500 hPa、700 hPa 08:00 高空位势高度和温度场图

从 850 hPa 环流形势上来看，与 700 hPa 一致的是黄河下游为高压控制且西南地区有西南涡活动，而内蒙古阿拉善地区到宁夏北部处在低涡的控制范围中，同时此地区到内蒙古中部的大范围区域均受强暖温度脊的控制。

综合高空的环流形势：10 日，在上游河西地区整层有短波槽活动，各层低压槽位置相对比较一致；11 日上午 08:00，500 hPa 低槽东移至宁夏北部石嘴山地区到内蒙中部区域，700 hPa 槽区位于宁夏中部到贺兰山附近，850 hPa 低涡位于贺兰山西边的阿拉善地区。可见，从 10 日到 11 日该短波槽系统逐渐发展成为前倾槽，更有利于强对流天气的发生。

综上所述，此次强雷雨天气过程的影响系统较为深厚，中层短波槽配合低层低涡，河套地区整层处在暖温度脊的控制中，本地的热量累积条件已经比较充沛，同时有来自西南和东南方向的两支汇合的强暖湿气流输送，给银川河东机场强雷雨的发生提供了有利的辐合和上升运动条件，前倾槽的建立更有利于强对流的发生。

#### 4. 水汽条件分析



**Figure 4.** Time series profile map of water vapor flux divergence on June 11, 2019

**图 4.** 2019 年 6 月 11 日水汽通量散度时序剖面图

水汽条件方面,由 11 日 08:00,河东机场区域中低层处在高湿区中,相对湿度达到 80% 以上;850 hPa 低层银川河东机场区域处在水汽通量辐合区中,辐合中心位于河东机场西北面的阿拉善地区。从水汽通量的时序剖面图(图 4)上可以看出,从 11 日 06:00 开始,有来自西南方向的水汽输送,此时银川河东机场上空的水汽开始积累,积雨云开始发展,到 20:00,有较强的来自东南方向的水汽输送,这与河东机场主要的降水时间相匹配,水汽通量散度的辐合中心在河东机场降水结束后的 600 hPa 到 400 hPa,这对应了强积雨云体在释放能量后上升,降水后由积云抬升逐渐转变为卷云。

## 5. 动力条件分析

### 5.1. 涡度和散度

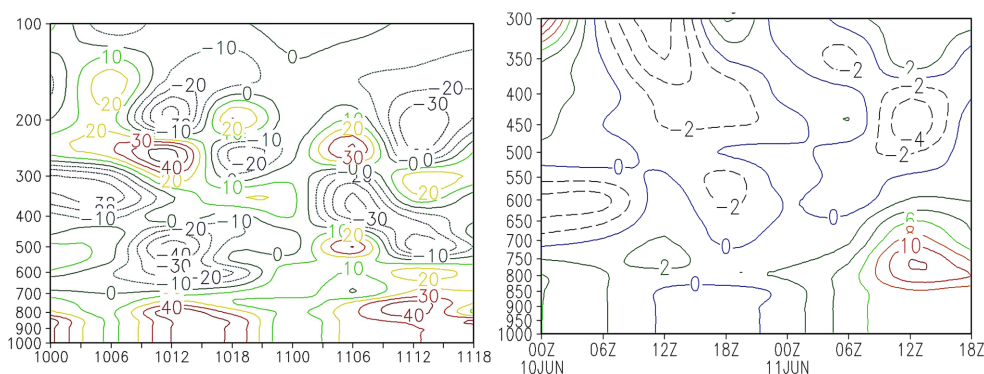


Figure 5. Time series profile map of vorticity and divergence on June 11, 2019

图 5. 2019 年 6 月 11 日涡度、散度时序剖面图

从 11 日 08:00 的涡度图来看(图 5),银川河东机场低层处在正涡度区中,正涡度中心位于河东机场北部的蒙古国区域,700 hPa 为弱的正涡度,500 hPa 为负涡度。从银川河东机场上空涡度的变化来看,11 日午后,低层正涡度逐渐增加,正涡度最大值的出现与主体的雷雨过程时间相一致,而 600 hPa 以上从正涡度向负涡度转变,在强对流天气发生后转为负涡度,这表明在对流发展中层由上升运动转变为下沉运动,是一个能量释放的过程[4]。从散度图(图 5)上可以看出,11 日 08:00,850 hPa 银川河东机场为强辐合区,辐合中心位于河东机场西北面的阿拉善地区,而对应的 700 hPa 至 200 hPa 均为辐散区。

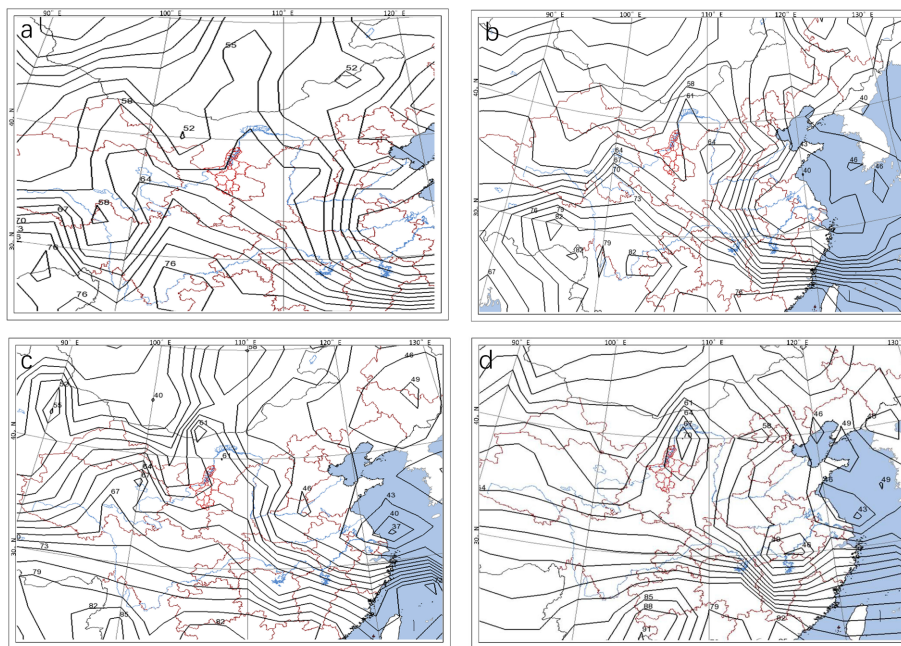
综合涡度和散度来看,11 日银川河东机场低层为正涡度辐合,而随着高度增加,700 hPa 至 500 hPa 逐渐转为负涡度辐散,这样整层形成了抽吸作用加强了低层气流的上升运动,更为强雷雨的触发提供了必要条件。从时序图上看,11 日午后到傍晚,低层由弱正涡度辐合转为强正涡度辐散,而中层由正涡度辐散转变为负涡度辐合,这说明在对流天气发展到消散的过程中,由积雨云生成时的上升运动转为降水时的下沉运动,是高低层能量交换、不稳定能量得以释放的过程[5]。

11 日,河东机场区域从 850 hPa 到 500 hPa 都处于垂直速度的上升速度区控制之中并逐渐加强,有利于低层水汽的持续向上输送,既增大了湿层厚度,又很好地促进了冷暖空气的交汇,导致雷雨天气的发生。

### 5.2. 假相当位温

假相当位温  $\theta_{se}$  能够反映大气的不稳定能量[6]。从 11 日低层的假相当位温图中可以看到,银川河东机场 08 时处在  $\theta_{se}$  的高值区(图 6(a)), $\theta_{se}$  达到 58℃ 以上,20:00 河东机场降水时(图 6(b)), $\theta_{se}$  的高值区增强并东移,且与降水区域有一定的对应关系;850 hPa 上,11 日 08:00 河东机场区域同样处在  $\theta_{se}$  的高值区中(图 6(c)), $\theta_{se}$  高值区的位置对应了高空槽前的偏南气流,代表了一条高能自南向北的暖湿气流输送带;

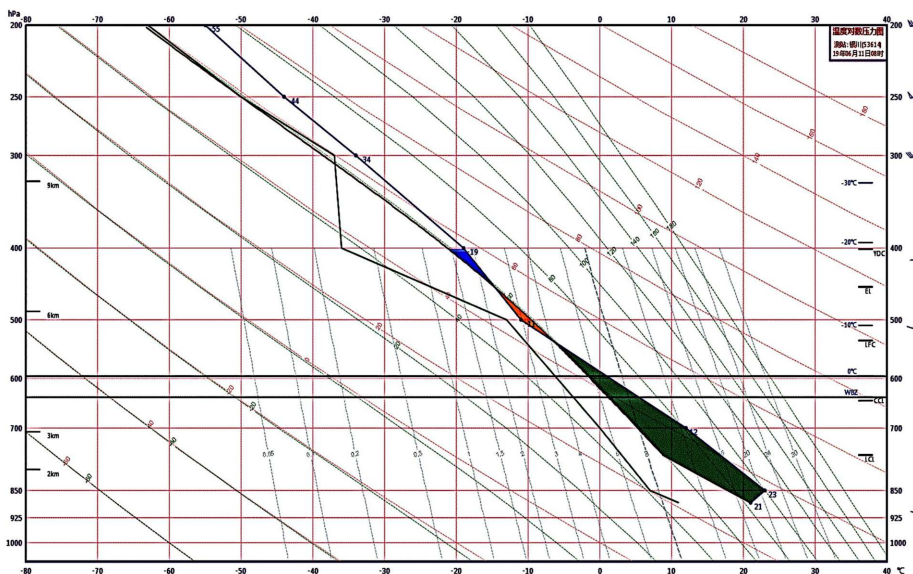
20:00 河东机场降水时(图 6(d)),  $\theta_{se}$  高值中心东移至河东机场西北方位内蒙中部区域, 中心强度增大到  $70^{\circ}\text{C}$ , 并对应了降水的发生。可见,  $\theta_{se}$  反映了不稳定能量的输送和积累,  $\theta_{se}$  的区域和大小对降水的预报也有一定的指示意义。



**Figure 6.**  $\theta_{se}$  maps on June 11, 2019: (a) 700 hPa at 08:00; (b) 700 hPa at 20:00; (c) 850 hPa at 08:00; (d) 850 hPa at 20:00

**图 6.** 2019 年 6 月 11 日假相当位温图: (a) 700 hPa 08 时; (b) 700 hPa 20 时; (c) 850 hPa 08 时; (d) 850 hPa 20 时

### 5.3. 层结条件



**Figure 7.** T-logP map on June 11, 2019 at 08:00

**图 7.** 2019 年 6 月 11 日 08:00 T-logP 图

从温度对数压力图上(图 7)可以看出: 银川河东机场为“上干下湿”的层结配置, 850 hPa~500 hPa 风随高度逆转, 有冷平流, 中层干冷空气的入侵有利于加强河东机场上空大气层结的不稳定, 加强对流的发展; 850 hPa 以下为暖平流, 更加剧了不稳定能量的积累; 低层存在逆温层, 形成暖盖, 有利于不稳定能量的积聚和集中释放, 午后河东机场气温上升到 27℃, 逆温破坏, 随后气温继续迅速上升, 在 15:00 达到 33℃, 突破对流抑制, 积累的不稳定能量得到充分释放。

## 6. 结论

1) 河西地区前倾槽的建立以及地面锋面气旋的配合给银川河东机场强雷雨的发生提供了有利的辐合和上升运动条件;

2) 华北地区高压和西南涡的位置配合形成两支汇合的强暖湿气流输送, 对河东机场强对流天气对河东机场正涡度、辐合和上升运动有着很大的贡献;

3) 地面上蒙古国以及河西地区冷空气的南下东移为河东机场的强对流天气提供了触发条件, 且冷空气受贺兰山阻挡以及冷暖锋的位置和移动速度影响着强对流触发的位置和移动方向以及移动速度;

4) 强对流天气中, 低层由负涡度辐合转为正涡度辐散, 而中层由正涡度辐散转变为负涡度辐合, 是高低层能量交换、不稳定能量得以释放的过程;

5)  $\theta_{se}$  反映了不稳定能量的输送和积累,  $\theta_{se}$  的区域和大小对降水的预报也有一定的指示意义。

## 参考文献

- [1] 陈永旭, 梁希豪, 曾祥耀. 卫星云图在暴雨预报中的应用[J]. 现代农业科技, 2011(17): 44-51.
- [2] 王海霞, 马威. 银川河东机场一次雷暴伴沙暴过程的中尺度天气特征分析[J]. 民航科技, 2011(5): 115-118.
- [3] 仝淑梅, 纪晓玲, 穆建华, 等. 银川河东机场一次冷锋雷暴天气探测分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 170-174.
- [4] 吴风波, 李岩松, 苏丽蓉. 华南地区两次强对流天气对比分析和预报[C]//第二十三届民航气象技术交流会论文集. 北京: 中国民航出版社, 2016: 106-118.
- [5] 杜惠良, 胡波, 杨诗芬. 一次复杂强对流天气过程分析[C]//2006 年全国重大天气过程总结和预报技术经验交流会论文集. 北京: 气象出版社, 2007: 144-147.
- [6] 靳莉君, 任伟, 周丹丹. 假相当位温在黄河“7·21”雨洪分析中的应用[J]. 人民黄河, 2013, 35(6): 25-26.