

乌海机场一次短时强降水过程的中尺度分析

王秀秀

乌海机场, 内蒙古 乌海 016000

摘 要 : 运用中尺度天气分析技术, 对2018年09月01日内蒙古乌海市大暴雨过程从高空、地面的影响系统、水汽条件、抬升条件、不稳定条件、高低层风场配置等方面进行了对比分析, 结果表明, 这次大暴雨过程具有明显的中尺度特征, 主要影响系统是500hpa低槽、700hpa上切变线、850hpa上低涡切变线和地面图上的河套地区热倒槽及中尺度辐合线等, 为大暴雨的产生储存了不稳定能量及提供了有利的触发条件。

关 键 词 : 热低压; 短时强降水; 河套低涡; 中尺度分析

Mesoscale Analysis of a Short-term Heavy Precipitation Process at Wuhai Airport

Wang Xiuxiu

Wuhai Airport, Wuhai, Inner Mongolia 016000

Abstract : Using mesoscale weather analysis techniques, a comparative analysis was conducted on the heavy rainstorm process in Wuhai, Inner Mongolia on September 1, 2018, from various aspects such as the impact system at high altitude and ground level, water vapor conditions, lifting conditions, instability conditions, and wind field configuration at high and low levels. The results indicate that this heavy rainstorm process exhibited distinct mesoscale characteristics. The main influencing systems were the 500hpa low trough, the 700hpa shear line, the 850hpa low vortex shear line, and the hot inverted trough and mesoscale convergence line in the Hetao region on the surface map. These systems stored unstable energy and provided favorable triggering conditions for the generation of the heavy rainstorm.

Keywords : thermal low pressure; short-term heavy precipitation; hetao low vortex; mesoscale analysis

引言

短时强降水具有局地性和突发性, 是夏季灾害性天气之一, 由中尺度引发的短时强降水或者暴雨一直是气象预报的难点和服务的重点^[1]。中尺度强天气事件通常在大尺度环流背景下孕育, 其直接诱因是中尺度对流系统。这些系统的特点是生命周期短暂、影响范围有限, 但所带来的天气变化极为剧烈。因此, 在预测暴雨、强对流等极端天气事件时, 预报员需要更加留意那些比常规天气尺度观测网络所涵盖范围更小的天气系统, 同时要密切监测大气中瞬息万变的现象和微妙的波动^[2]。

乌海市坐落于贺兰山余脉的西侧、河套平原的南端, 地势较低, 城市沿着黄河岸堤伸展, 形成一条纵向细长的布局。作为一个以煤炭工业著称的城市, 其矿区分布十分紧凑。在这样的地理与工业背景下, 大暴雨成为乌海市需要应对的一个重要灾害性天气现象。本研究围绕乌海市一场暴雨事件, 详细分析了主导环流配置和关键影响系统, 并通过数值预报指标, 深入研究了乌海市大暴雨中尺度对流系统的形成与演变机制。

一、短时强降水过程天气概况

2018年9月1日北京时间01时至11时, 乌海市出现了一次雷阵雨天气过程, 区域加密雨量站分区显示雨量分布不均, 以对流性降水为主。乌海机场观测站出现了短历时强降水, 04时雨量增大, 到05时, 1h降水量达到了32.9mm, 最大1h的降水量达到了38.8mm, 乌海机场过程雨量为133.0mm, 此次降水过程具有局地性强、持续时间短和强度大等特点。

二、短时强降水过程中尺度天气分析

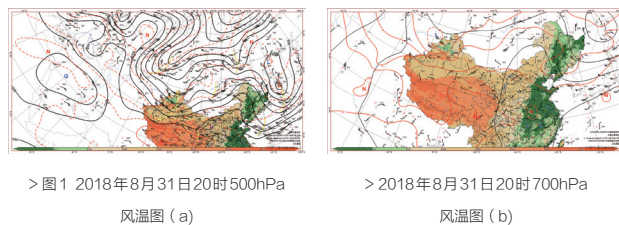
(一) 天气形势

图1(a)展示了2018年8月31日20时的500hPa环流情况, 揭示了暴雨前的天气配置。当前, 欧亚大陆的中高纬度区域呈现出一幅典型的经向环流图景, 以两槽一脊为特征。这一模式中, 长波槽区从欧洲起, 跨越乌拉尔山, 延伸至贝加尔湖附近; 相对地, 从中西伯利亚至东亚沿海地带, 则是一条显著的长波脊区。

在贝加尔湖附近的长波槽中，一个独立的低涡及其连带的低槽槽线向南伸展，影响范围从河套地区扩展至四川盆地，期间短波槽持续分裂并向东方推进。

在较低纬度区域，西太平洋副热带高压（简称副高）分为两环，分别位于黄海、东海至日本西南部海面上空，以及日本东部中太平洋海面上空。在这一配置下，热低压北侧与副高之间形成了一支强劲的东南气流，该气流在华南地区与西环副高的西北侧西南气流汇合后向北推进，成为此次大暴雨的关键水汽输送通道。

接着，从河套至四川盆地的槽线开始向东迁移，其进程受到了西环副热带高压的阻碍，其移动速度北部较快、南部较慢。在700hPa层面（图1b），在河套东端，一条切变线逐步显现，与此同时，在850hPa高度层（见图1c），乌海市西部形成了一个低涡切变体系。在此期间，切变线南侧激发了一股低空西南风急流，850hPa层面上，低涡东南端的风速达到16米/秒，急流的中心位于乌海市南侧，乌海机场的地面偏南风速甚至达到了18米/秒。这股强劲的西南暖湿气流为河套地区带来了丰富的水汽和能量，为强降雨的出现提供了绝佳的条件。本次大暴雨的主要天气尺度影响系统包括500hPa的低槽、700hPa的切变线、850hPa的低涡切变线以及低空的西南急流。这些天气系统向东移动，并在副热带高压西北侧与暖湿气流相遇。由于西环副热带高压的稳固，这些系统的移动速度减慢，致使降雨持续时间拉长，雨势加剧，最终在乌海市引发了严重的大暴雨事件。



> 图1 2018年8月31日20时500hPa 风温图 (a) > 2018年8月31日20时700hPa 风温图 (b)
> 2018年8月31日20时850hPa风温图 (c) > 2018年8月31日20时地面图 (d)

（二）水汽条件

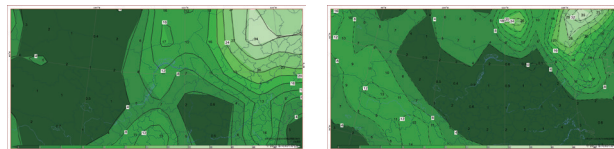
通常，地面及对流层下层分析绝对湿度，而对流层中高层则侧重相对湿度^[3]。

谈论天气时，我们可以通过检查温度和露点温度的差距来判断空气的干湿程度。如果差距超过15度，空气很干，形成“干区”；如果差距小于或等于5度，空气较湿，是“湿区”。此外，比湿和露点温度这两个指标告诉空气中的水汽含量，它们在相同气压下是相关的，帮助判断空气的湿度。水汽条件分析不仅涉及湿度的考量，还涵盖水汽的运输和汇聚。在数值天气预报中，水汽通量和水汽通量散度是常用的分析工具，而在传统的天气图分析中，重点在于低空急流和湿舌的流线分布情况^[4]。

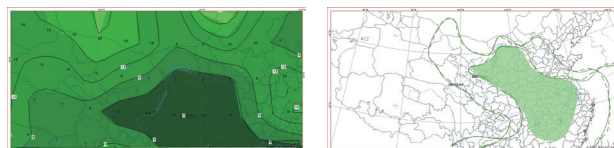
1. 高层（500hPa）和低层（700hPa、850hPa）相对湿度

从图2(a)可以看出9月1日乌海暴雨发生之前河套地区500hPa的温度露点差 $T-T_d < 12^{\circ}\text{C}$ ，这说明对流层高层处于相对干区，有干冷空气的入侵，图2(b)低层700hPa和图

2(c)850hPa的温度露点差 $T-T_d < 4^{\circ}\text{C}$ ，即相对湿度 $> 80\%$ 。河套西部的露点温度差更是达到了 2°C ，相对湿度达到了86%以上，这说明对流层低层处于高湿区，水汽条件非常充沛。从图2(d)可以看出低层700hPa、850hPa上从我国南部有明显的湿舌伸向河套地区，这种上干下暖湿的叠置区会使该区域斜压性增大。850hPa低槽落后于700hPa低槽，前倾槽有利于产生对流性天气。



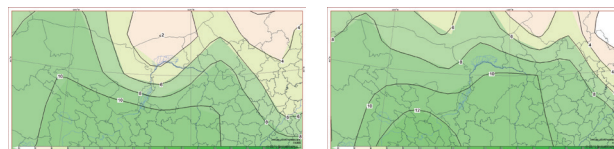
> 图2 2018年8月31日20时500hPa 温度露点差 (a) > 2018年8月31日20时700hPa 温度露点差 (b)



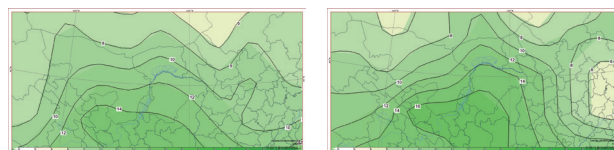
> 2018年8月31日20时850hPa 温度露点差 (c) > 2018年8月31日20时700hPa、850hPa湿区 (d)

2. 低层（700hPa、850hPa）比湿

从图3(a)可以看出9月1日乌海暴雨发生之前31日08时700hPa的比湿 $q < 6\text{g/kg}$ ，到31日20时（图3(b)）比湿 q 增大为 12g/kg ；850hPa31日08时（图3(c)）的比湿 q 为 12g/kg ，到31日20时图3(d)比湿 q 更是达到了 16g/kg 。说明在暴雨发生之前，低层已经形成了一个高湿区，已经具备发生暴雨或者强降水的水汽条件。



> 图3 2018年8月31日08时700hPa比湿 (a) > 2018年8月31日20时700hPa比湿 (b)

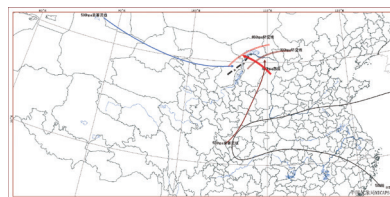


> 2018年8月31日08时850hPa比湿 (c) > 2018年8月31日20时850hPa比湿 (d)

（三）抬升条件

1. 地面辐合线

从图4可见，31日08时700hPa和850hPa高空图上，乌海附近都有一个暖式切变线，850hPa有一支风速 $> 12\text{m/s}$ 的偏南风急流伸展到乌海，乌海地区位于低空急流出口区的左前方，在地面图上，乌海地区有一个明显的风场辐合，风向切变与较强的风速辐合在乌海机场一带形成有利的辐合上升条件。



> 图4 高低空急流和低空切变线图

2. 假相当位温

从2018年8月31日20时850hPa假相当位温(图5)图上我们可以看出,乌海地区假相当位温有一个自南向北的伸展,乌海机场处于假相当位温舌的正前方能量分区的位置,有利于对流不稳定能量的触发。

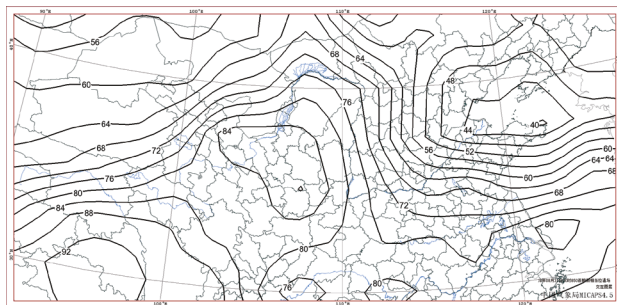


图5 2018年8月31日20时850hPa假相当位温

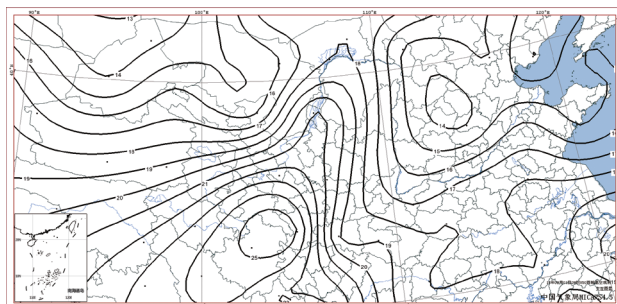


图6 2018年8月31日20时850hPa和500hPa温度差

3. 850hPa与500hPa温差

分析850 hPa与500 hPa温度差的目的是在分析两气压层之间的温度垂直递减率,其值大则层结不稳定,其值小则反之。原始场上(图6)乌海地区两层温差在18~19℃,说明上述地区温度垂直递减率较大从850hPa与500hPa温差分析看这次过程发生前强降水区域 $T_{850-500}>18^{\circ}\text{C}$,温度垂直递减率大,且处于850 hPa低空急流出口区左侧,说明该区域处于对流不稳定状态。说明高低层温差大,易形成层结不稳定。

三、结论

(1)在本次短时强降水事件中,500 hPa层面的环流配置呈现为东高西低的特征,亚欧中高纬度地区形成了两槽一脊的格局。在贝加尔湖区域,频繁有短波槽断裂并向东南方向推进携带

冷空气,与源自低涡东南部的西南向暖湿气流在河套地区交汇。此时,副热带高压的阻挡作用使得低压槽无法东移,导致低压槽在乌海地区停滞,延长了降水过程的持续时间,最终引发了暴雨天气。

(2)在乌海地区短时强降水前,地面露点温度异常升高至超过 10°C ,形成罕见的高湿区。低层比湿超过 10 g/kg ,700 hPa和850 hPa层的温度露点差小于 4°C ,指示水汽充足,为暴雨提供了关键条件。

(3)在乌海机场经历短时强降水期间,关键上升动力来源于地面辐合线的生成。同时,700 hPa层面的冷空气加强,促进了锋前上升气流的激发,这些因素联合作用,引发了短时强降水事件。

(4)乌海发生短时强降水前,其上游临河站的探空曲线上有明显的正不稳定能量,近地面为一个干层,地面到600hPa有一个明显的湿层,600hPa~500hPa又是一个干层,这种配置使得降水降到最低层时有利于夹卷,而夹卷利于蒸发形成雷暴大风,K指数 $>30^{\circ}\text{C}$,易产生强对流天气。

(5)西南暖湿气流持续从孟加拉湾向河西西部输送水汽,为强降雨区提供充足水源。在500 hPa,风速加大形成高空急流,而强降水区位于高空急流入口区右侧及850hPa低空急流左侧附近。

基于上述分析,提出了乌海短时强降水的中尺度概念模型(见图7)。

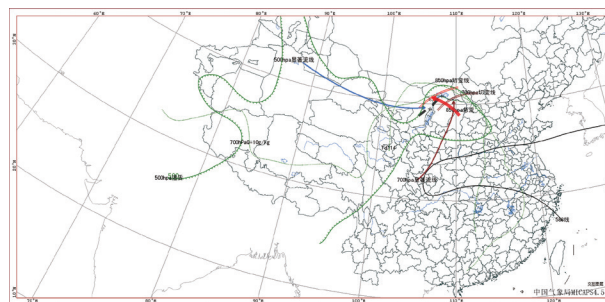


图7 乌海地区短时强降水的中尺度概念模型示意图

该概念模型适用于8月乌海地区的短时强降水预报。关键指标包括:500 hPa呈现东高西低环流,新疆短波槽东进,青海北部低涡低压槽活跃,河套至蒙古西部高压脊显著。当地面露点温度 $>10^{\circ}\text{C}$ 、700 hPa比湿 $>10\text{ g/kg}$,西南暖湿气流强劲,850hPa假相当位温 $76^{\circ}\text{C}+$,K指数 $30^{\circ}\text{C}+$,850~500 hPa温差 $19^{\circ}\text{C}+$,乌海强降水风险高。此模型为预报员提供重要参考。

参考文献

- [1] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 1—297.
- [2] 许新田, 刘瑞芳, 郭大梅, 等. 陕西一次持续性强对流天气过程的成因分析[J]. 气象, 2012, 38(5): 533—542.
- [3] 杨成芳, 阎丽凤, 周雪松, 等. 利用加密探测资料分析冷式切变线类大暴雨的动力结构[J]. 气象, 2012, 38(7): 820—827.
- [4] 祁丽燕, 农孟松, 王冀, 等. 2009年7月2—4日广西暴雨过程的中尺度特征[J]. 气象, 2012, 38(4): 438—447.