

Analysis of Heavy Precipitation Weather Process in Hulunbuir in June 2016

Yi Feng, Yulei Qi

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 1742979063@qq.com

Received: Jul. 4th, 2019; accepted: Jul. 18th, 2019; published: Jul. 25th, 2019

Abstract

Based on the routine meteorological observation data and ECMWF $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ reanalysis data, the heavy precipitation weather process in Hulunbuir from June 16 to 18, 2016 were analyzed. The results show that: during the heavy rainfall, the region was affected by the cold vortex from beginning to end. The southerly airflow in the front of the low pressure makes the warm and humid air in the lower layer transmit to the upper layer, and the local stratification become unstable, which is conducive to the occurrence of severe convective weather. The convective instability conditions caused by the low level jet further promote the appearance of convective rainstorm, and the occurrence and development of rainstorm and the formation and maintenance of low level jet promote each other. Low altitude convergence and high altitude divergence, deep humidity and adequate moisture transport provide important conditions for the maintenance of precipitation.

Keywords

Heavy Precipitation, Circulation Situation, Dynamic Conditions, Water Vapor Conditions

2016年6月呼伦贝尔地区强降水天气过程分析

冯 怡, 齐玉磊

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: 1742979063@qq.com

收稿日期: 2019年7月4日; 录用日期: 2019年7月18日; 发布日期: 2019年7月25日

摘 要

文章利用常规气象观测资料和ECMWF $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料, 研究了2016年6月16日~18日呼伦贝尔的一次

强降水天气过程。结果表明, 强降水期间, 该地区自始至终受冷涡系统的影响, 低压前部的偏南气流使低层暖湿空气向高层输送, 局地层结变得不稳定, 有利于强对流天气的发生。低空急流产生的对流不稳定进一步促使对流性降水的出现, 暴雨的发生发展与急流的形成维持互相促进。低空辐合高空辐散, 深厚的湿度和充足的水汽输送为降水维持提供了的重要条件。

关键词

强降水, 环流形势, 动力条件, 水汽条件

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

我国深受夏季风的影响, 加之复杂的地形作用, 使得我国强降水发生频繁[1]。在全球变暖的背景下, 降水也发生了重大调整, 其中中高纬大部分地区强降水的频率显著增加[2]。呼伦贝尔位于内蒙古东北部, 大兴安岭贯穿南北。其中扎兰屯地处呼伦贝尔市南部, 大兴安岭山脉中段东麓。夏季, 东南季风向西北推进受到阻碍, 气流在山前辐合抬升, 使得岭东地区夏季降水量和暴雨出现的频率较岭西地区明显偏多[3]。常煜等[4]研究出 2006 年 7 月呼伦贝尔市一次强降水天气过程为一次典型的高空槽, 中层暖式切变与地面气旋共同作用的结果。徐东升等[5]研究出 2013 年 7 月呼伦贝尔市一次强降水天气过程为典型的副热带高压与西风槽相互作用的结果。王洪丽等[6]研究出 2011 年 7 月呼伦贝尔市一次强降水天气过程是在鄂霍茨克海阻塞高压坝阻挡低槽东移的稳定环流背景下伴随高低空急流耦合作用产生的。苗冬梅[7]总结了呼伦贝尔市暴雨的天气分型主要为高空槽型、冷涡型、低涡型。暴雨过程多伴有低空急流、下游常存在高压系统成阻塞形势、西太平洋副热带高压 588 线位置偏北等特点。高度总结了呼伦贝尔市强降水天气过程主要的影响系统, 但不同的降水过程的高低空配置依然存在着差异性。文章将通过运用常规气象资料、ECMWF 再分析资料, 分析呼伦贝尔岭东扎兰屯的一次强降水天气过程, 揭示其触发机制及发展过程的演变特征, 总结有价值的预报经验, 为以后的强降水预报提供一定的基础, 以减少气象灾害带来的损失。

2. 资料和方法

2.1. 资料

文章运用了成都信息工程大学气象实习台提供的常规气象观测资料及 ECMWF $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料。其中: 常规气象观测资料: 主要对该次强降水实况、红外卫星云图进行分析。ECMWF $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料: 资料为 6 小时一次, 参数包括散度、涡度、垂直速度、相对湿度、 u 分量风、 v 分量风。主要对该次强降水 500 hPa、700 hPa、850 hPa 环流形势、动力条件和水汽条件进行分析。

2.2. 方法

文章从降水实况、环流形势, 红外卫星云图、动力条件及水汽条件五个方面进行分析。首先用 6 小时降雨量对该次强降水天气实况的时间演变进行了说明。再根据大气环流形势确定影响该次强降水过程的环流型和天气系统配置。最后利用 ECMWF $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料对物理量场进行分析, 讨论该次强降水

过程的动力条件和水汽条件。

其中物理量包括散度, 其表达式为:

$$\nabla \cdot V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (1)$$

散度表示任意气块在单位时间内其单位体积的变化率。当散度为正值时, 气块的体积膨胀, 气流辐散; 反之, 当散度为负值时, 气块体积收缩, 气流辐合。

涡度, 其表达式为:

$$\nabla \times V = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2)$$

以静止地球为参考坐标, 故亦称为相对涡度, 其表示大气的旋转情况。当相对涡度为正值时, 气团逆时针转动; 反之, 当相对涡度负值, 气团顺时针转动。

垂直速度, 其表达式为:

$$\omega = \frac{dp}{dt} = \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right)_z + u \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)_z + v \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right)_z + w \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3)$$

ω 为“P”坐标系中的垂直速度。当 $\omega < 0$, 为上升运动; 当 $\omega > 0$, 为下沉运动。

相对湿度, 其表达式为:

$$RH = \frac{e}{e_s} \times 100\% \quad (4)$$

相对湿度 RH 是一定温度和压强下, 实际水汽压 e 与同温度下饱和水汽压 e_s 之比, 表示空气距离饱和的程度。

水汽通量, 其表达式为:

$$\frac{1}{g} Vq = \frac{1}{g} uq + \frac{1}{g} vq \quad (5)$$

水汽通量是单位时间内通过单位面积所输送的水汽量, 通常说的水汽输送主要是指水平方向的水汽输送。可以通过水汽通量的数值和方向了解暴雨过程的水汽来源。

水汽通量散度, 其表达式为:

$$\nabla \cdot \left(\frac{1}{g} Vq \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{uq}{g} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{vq}{g} \right) \quad (6)$$

水汽通量散度是单位时间内, 单位体积内水汽的辐合或辐散量。可以通过水汽通量散度了解暴雨出现在何处, 雨量大小等。

3. 降水实况

2016年6月16日~18日, 扎兰屯发生了一次强降水过程。图1为扎兰屯单站6小时降雨量分布图: 可见扎兰屯市在6月16日14时~19日02时出现了降水天气。降雨时段主要集中在16日20时~17日08时、17日14时~17日20时, 根据降水量等级标准, 两个时段均达到暴雨等级。17日夜间到18日中午降水有一个间歇, 18日14时~20时再次出现中雨。扎兰屯16日08时~17日08时24小时雨量达59 mm, 17日08时~18日08时24小时雨量达43 mm, 18日08时~19日08时24小时雨量达17 mm。降雨导致扎兰屯市多个乡镇遭受洪涝灾害, 桥涵冲毁受损, 农作物受灾, 房屋过水倒塌, 造成了严重的经济损失。

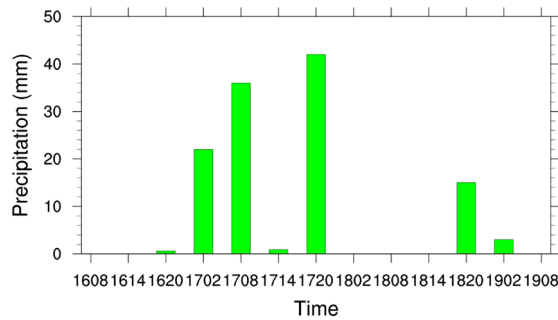
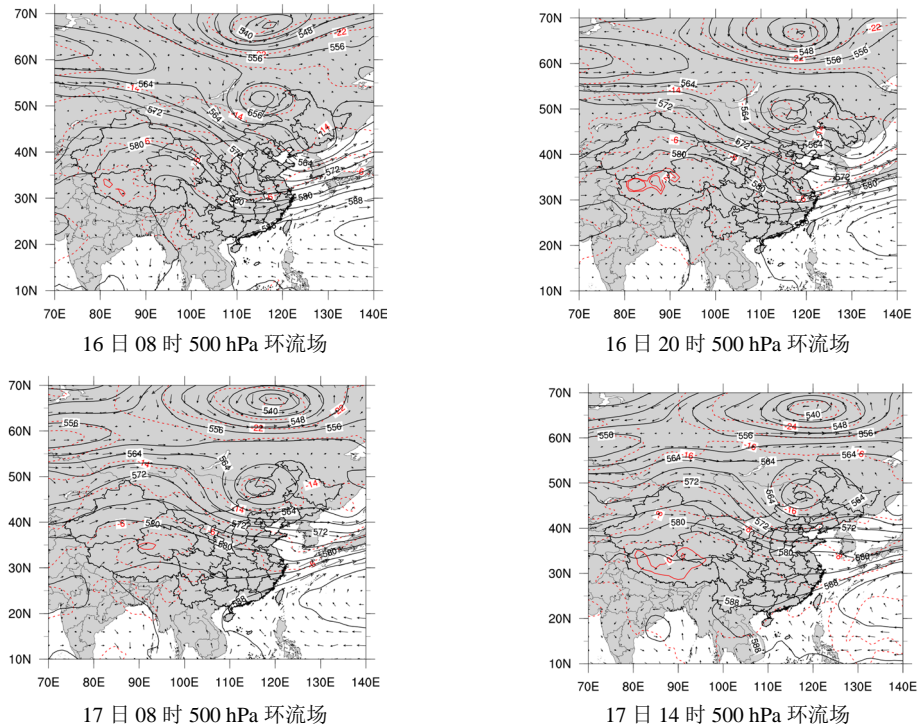


Figure 1. 6 hours precipitation at Zhalantun station
图 1. 扎兰屯站 6 小时降雨量图

4. 环流背景分析

图 2 为 16 日 08 时~19 日 08 时 500 hPa 上的环流场(黑线代表等高线, 红线代表等温线, 黑色箭头代表风): 16 日 08 时, 贝湖以东有一低涡, 中心强度为 552 gpm, 温度场上, 有冷中心与之配合, 冷中心强度为 -18°C 。低涡东西两侧为高压脊, 脊经向度较小, 最北界伸到 60°N 附近。其温度槽脊落后于高度槽脊, 系统整体呈现出一个发展的态势。低压槽中存在一弱脊, 有利于低涡底部暖湿空气向上输送, 扎兰屯市处在弱脊的外围, 受槽前脊后西南气流影响; 16 日 20 时, 由于贝湖以西高压脊的加强, 使得冷空气沿脊前偏北气流不断堆积到低压槽中, 低涡中心南压东移, 温度场上, 冷中心继续与之配合。扎兰屯位于低涡东南方, 前期暖空气与东移冷空气交汇, 开始大的降水; 17 日 08 时, 低涡继续南压东移, 由于槽前高压脊的维持, 低涡移动缓慢; 17 日 14 时, 低压槽中弱脊消失, 暖湿空气被低涡中的冷空气抬升到高空, 冷暖空气交汇, 层结不稳定, 开始第二轮降水; 18 日 08 时, 低涡继续缓慢东移, 强度减弱, 扎兰屯由其东南部转为东北部, 此时温度槽略超前于高度槽, 不利于地面系统的发展, 降水暂时停歇; 19 日 08 时, 低涡中心消失, 低槽移过扎兰屯, 此时其受高空槽后西北气流控制, 降水基本停止。



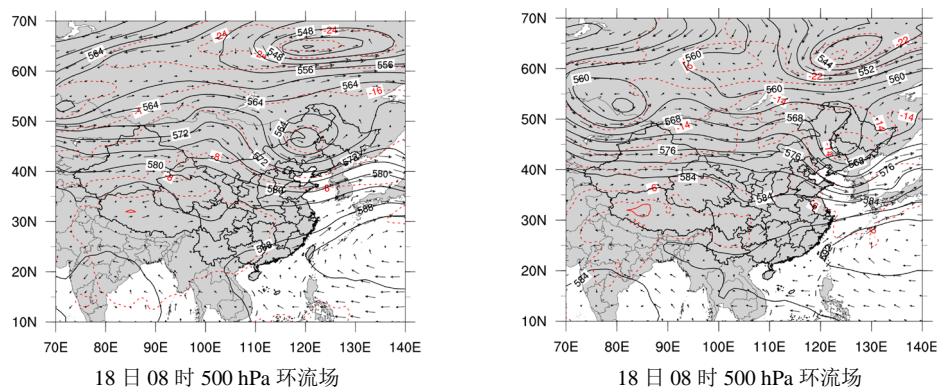


Figure 2. 500 hPa potential height field and wind field
图 2. 500 hPa 位势高度场和风场

图 3 为 16 日 08 时~19 日 08 时 700 hPa 上的的环流场(黑线代表等高线, 红线代表等温线, 黑色箭头代表风): 16 日 08 时, 贝湖以东仍为一闭合的低压中心, 可见低涡发展深厚。低压槽中有一弱脊, 扎兰屯受槽前脊后西南气流影响; 16 日 20 时~18 日 08 时, 低压缓慢东移, 扎兰屯上空始终为一气旋性环流, 水汽辐合明显, 有利于上升运动, 为暴雨的发生提供了适宜的风场条件。槽南部维持有一支西南低空急流, 风速达 15 m/s 以上, 扎兰屯位于其左侧, 受低空急流影响产生的对流不稳定条件进一步促使对流性降水的出现; 19 日 08 时, 低槽东移过扎兰屯, 扎兰屯处于槽后偏北气流控制, 天气转好。

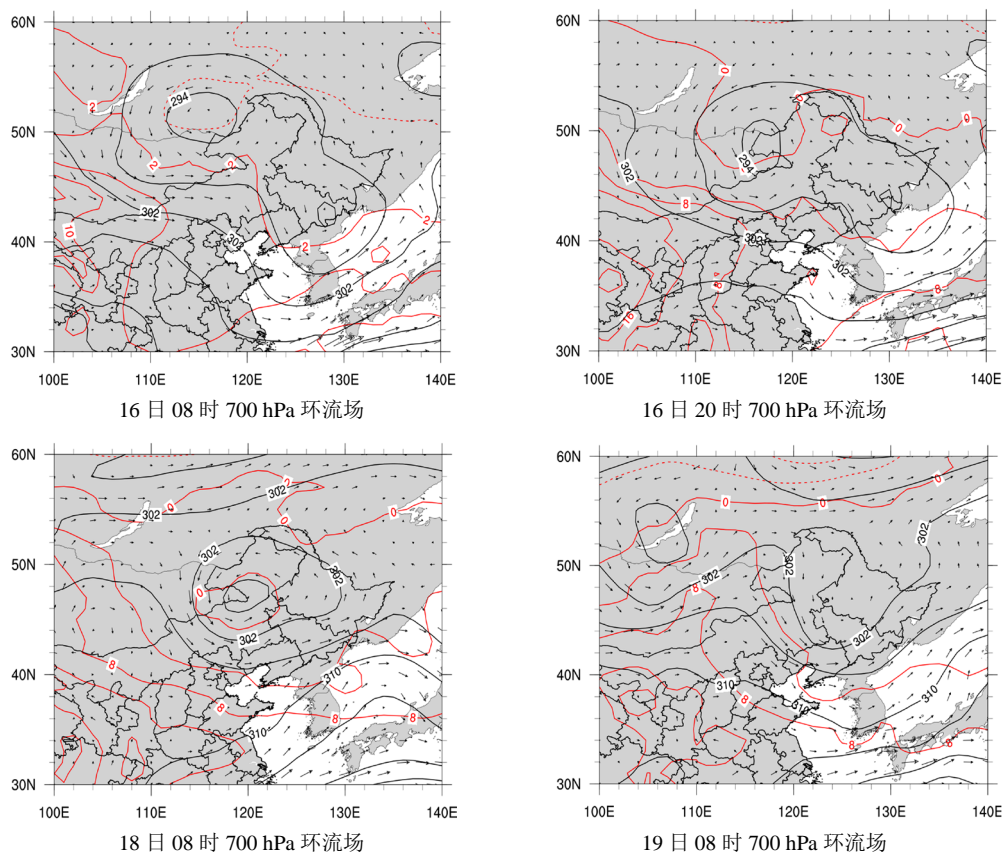


Figure 3. 700 hPa potential height field and wind field
图 3. 700 hPa 位势高度场和风场

图4为16日08时~19日08时850 hPa上的的环流场(黑线代表等高线, 红线代表等温线, 黑色箭头代表风): 16日08时, 贝湖以东为一低压中心, 扎兰屯位于槽前西南气流中, 且槽前西南气流对应一经向幅度较大的温度脊, 可见扎兰屯低层空气较暖, 这种高层冷平流、低层暖平流的温度平流差异使得局地层结变得不稳定, 有利于强对流天气的发生发展; 16日20时~18日08时, 同700 hPa一致, 低压缓慢东移, 扎兰屯上空维持一气旋性环流, 有利于水汽辐合上升运动, 槽南部维持有一支西南低空急流, 受其影响产生的对流不稳定条件进一步促使对流性降水的出现; 直到19日08时, 低槽东移过扎兰屯, 扎兰屯处于槽后偏北气流控制, 天气转好。

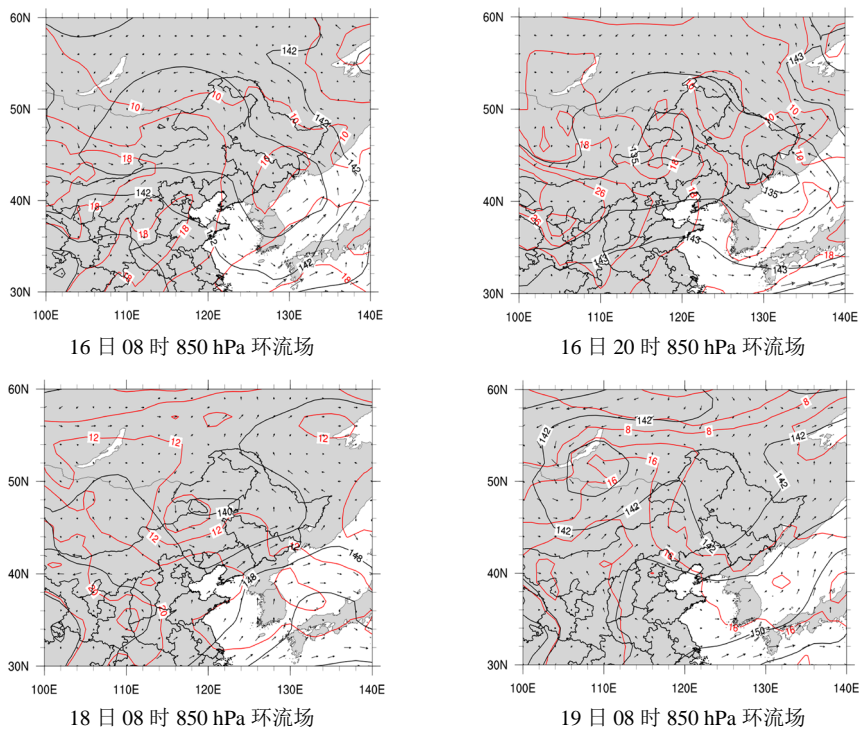
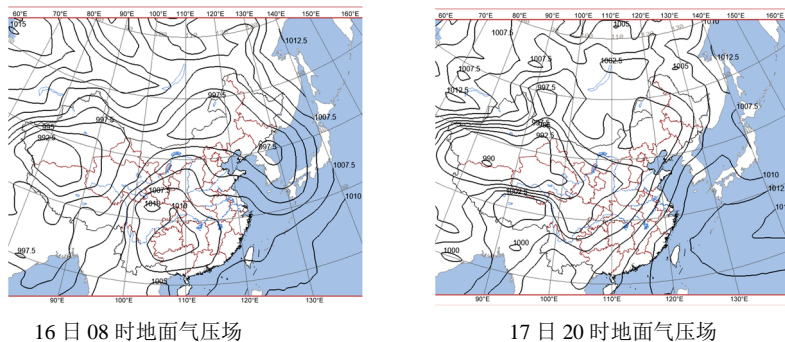
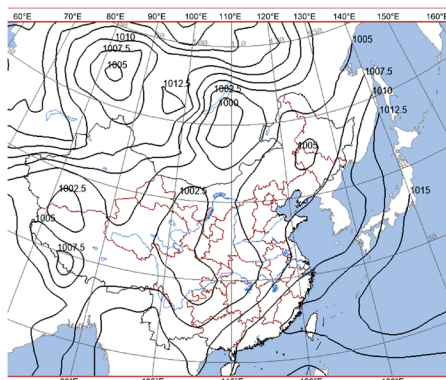


Figure 4. 850 hPa potential height field and wind field
图4. 850 hPa 位势高度场和风场

图5为16日08时~19日08时的地面气压场: 16日08时东北地区为一个大的低压带, 扎兰屯位于一低压中心的东南方, 中心值为997.5 hPa; 16日20时~17日20时扎兰屯市降水量大, 降水集中, 全市大部分地区降大到暴雨。17日20时低压带东移中心值减弱为1000.0 hPa; 17日20时至18日14时降水有一个停歇; 19日08时低压带东移过扎兰屯市, 中心位置减弱为1005.0 hPa, 此次降水过程停止。



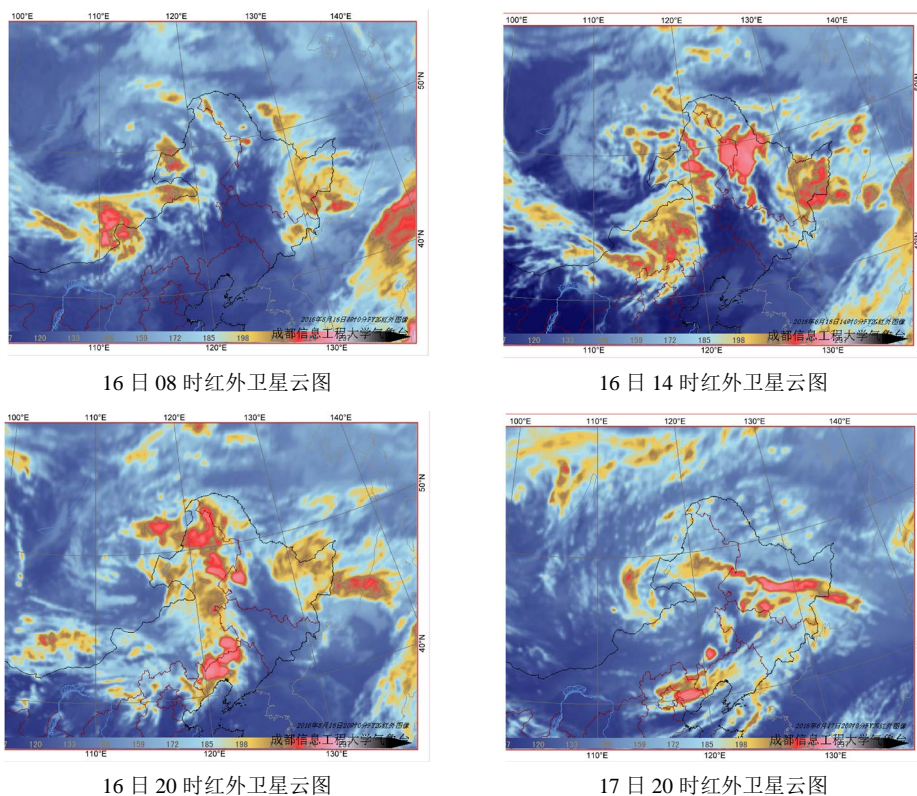


19日08时地面气压场

Figure 5. Surface pressure field
图 5. 地面气压场

5. 卫星云图分析

图6为6月16日~18日强降水时段的红外卫星云图, 该次降水时段主要集中在16日20时~17日20时。16日08时, 在呼伦贝尔市以西初生一逗点云系。在东北冷涡的影响下, 该逗点云系不断发展东移; 16日14时, 午后逗点云系中的对流云系逐渐发展起来, 移动到呼伦贝尔市上空, 对流云系呈分布不均的特点; 16日20时, 扎兰屯(红色圆圈标注位置)上空对流云发展旺盛, 开始大降水; 17日20时, 逗点云系随着冷涡不断东移, 对流云系也东移集中到黑龙江上空, 扎兰屯降水暂时停歇。



16日08时红外卫星云图

16日14时红外卫星云图

16日20时红外卫星云图

17日20时红外卫星云图

Figure 6. Infrared satellite image
图 6. 红外卫星云图

此次强降水过程东北冷涡垂直发展深厚, 下游高压脊形成阻塞形式, 使得该地区自始至终受冷涡系统的影响。低压前部的偏南气流使低层暖湿空气向高层输送, 造成高层冷平流、低层暖平流的温度平流差异, 局地层结变得不稳定, 有利于触发强对流天气的发生。低空急流影响产生的对流不稳定条件进一步促使对流性降水的出现, 暴雨的发生发展与急流的形成和维持互相促进。低空辐合高空辐散, 深厚的湿度条件和充足的水汽输送为降水维持提供了的重要条件。冷涡影响下出现的降水分布不均与对流云系不连贯分布有着较好的对应关系。

6. 动力条件分析

6.1. 散度

扎兰屯市位于 $47^{\circ}5'N\sim 48^{\circ}36'N$, $120^{\circ}28'E\sim 123^{\circ}17'E$ 。以下均选在扎兰屯市内固定一点($48^{\circ}N$, $123^{\circ}E$)上做时间-高度剖面图。

图7为6月16日~18日降水时段散度沿 $48^{\circ}N$, $123^{\circ}E$ 的时间-高度剖面图。低空辐合、高空辐散是产生上升运动的充分必要条件, 低空流场的辐合作用也是水汽汇合的主要原因。其中散度为正代表辐散, 散度为负代表辐合, 散度为零代表无辐合辐散[8] [9] [10] [11]。该次降水时段主要集中在16日20时~17日20时, 在16日08时~17日20时, 该地上空为“上正下负”的垂直结构: 400 hPa~200 hPa 主要为正散度, 在350 hPa、230 hPa、300 hPa 依次出现了一个正散度中心, 强度均 $\geq 28 \times 10^{-6} S^{-1}$, 850 hPa~400 hPa 主要为负散度, 在850 hPa、700 hPa、500 hPa 依次出现了一个负散度中心, 强度均 $\leq -16 \times 10^{-6} S^{-1}$, 此种高层辐散大于低层辐合的垂直结构, 使得扎兰屯市上空上升运动剧烈发展, 且散度差越大, 上升运动越剧烈。17日20时~18日14时降水有一个间歇, 18日14时~20时再次出现中雨, 在17日20时~18日20时, 散度同样表现为“上正下负”的垂直结构。18日20时后降水基本停止, 散度场转为“上负下正”的垂直结构, 其中400 hPa~200 hPa 主要为负散度, 850 hPa~400 hPa 主要为正散度。

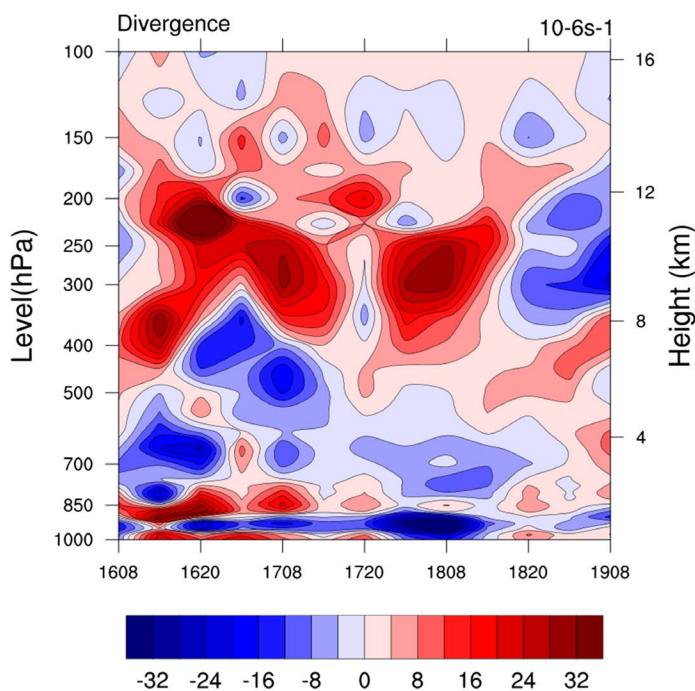


Figure 7. Time-height profile of divergence along $48^{\circ}N$ and $123^{\circ}E$
图7. 散度沿 $48^{\circ}N$, $123^{\circ}E$ 的时间 - 高度剖面图

6.2. 涡度

图8为6月16日~18日降水时段涡度沿48°N, 123°E的时间-高度剖面图, 涡度反映大气环流的旋转程度和方向, 北半球正涡度表示环流为逆时针旋转, 负涡度表示环流为顺时针旋转[12][13][14]。该次降水时段主要集中在16日20时~17日20时, 在16日08时~17日20时, 该地上空为“上负下正”的垂直结构: 500 hPa~200 hPa 主要为负涡度, 在400 hPa、250 hPa 各有一个负涡度中心, 强度均 $\leq -5 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$, 850 hPa~500 hPa 主要为正涡度, 在700 hPa 有一个正涡度中心, 强度 $\geq 6 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$, 此结构有利于上升运动发展。17日20时~18日14时降水有一个间歇, 18日14时~20时再次出现中雨, 18日20时后降水基本停止, 在17日20时~19日08时, 高层的负涡度逐渐转为正涡度, 整层都表现为正涡度, 在500 hPa~200 hPa、850 hPa~700 hPa, 各有一个正涡度中心, 强度均 $\geq 7 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$ 。

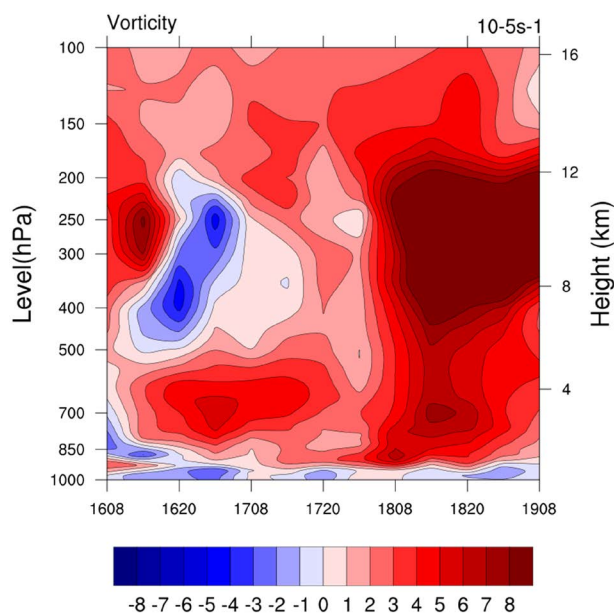


Figure 8. Time-height profile of vorticity along 48°N and 123°E
图8. 涡度沿48°N, 123°E的时间-高度剖面图

6.3. 垂直速度

图9为6月16日~18日降水时段垂直速度沿48°N, 123°E的时间-高度剖面图, 负速度对应上升运动, 正速度对应下沉运动[15]。该次降水时段主要集中在16日20时~17日20时, 在16日08时~17日20时, 整层基本表现为负速度, 在500 hPa、400 hPa 依次出现一个负的大值中心, 强度分别 $\leq -0.4 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{S}^{-1}$ 、 $\leq -0.3 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{S}^{-1}$, 大气做上升运动。17日20时~18日14时降水有一个间歇, 18日14时~20时再次出现中雨, 在17日20时~18日20时, 垂直速度仍表现为负速度, 大值中心范围下降且扩大。18日20时后降水基本停止, 垂直速度转为正速度, 大气做下沉运动。

该次降水时段主要集中在16日20时~17日20时。扎兰屯上空散度表现为“上正下负”的垂直结构: 400 hPa~200 hPa 主要为正散度, 中心强度 $\geq 28 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$, 850 hPa~400 hPa 主要为负散度, 中心强度 $\leq -16 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$; 涡度表现为“上负下正”的垂直结构: 500 hPa~200 hPa 主要为负涡度, 中心强度均 $\leq -5 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$, 850 hPa~500 hPa 主要为正涡度, 中心强度 $\geq 6 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$; 垂直速度表现为整层基本为负速度, 中心强度 $\leq -0.4 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{S}^{-1}$; 因此, 可看出该时段大气低层辐合, 高层辐散, 上升运动强烈, 为暴雨提供了充分的动力条件。

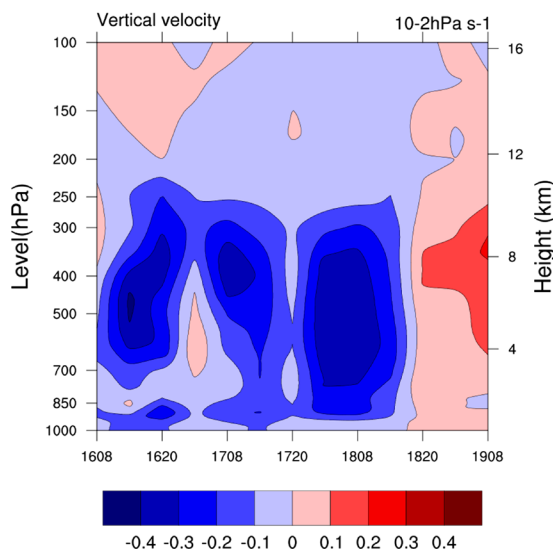


Figure 9. Time-height profile of vertical velocity along 48°N and 123°E
图 9. 垂直速度沿 48°N, 123°E 的时间 - 高度剖面图

7. 水汽条件分析

7.1. 相对湿度

图 10 为 6 月 16 日~18 日降水时段相对湿度沿 48°N, 123°E 的时间 - 高度剖面图。相对湿度指空气距离饱和的程度[16]。该次降水时段主要集中在 16 日 20 时~17 日 20 时, 在 16 日 20 时~17 日 20 时, 由于低涡辐合和低空西南急流的共同作用, 1000 hPa~700 hPa 相对湿度 $\geq 70\%$, 700 hPa~200 hPa 相对湿度在 50%~100% 之间, 垂直方向上在 250 hPa、400 hPa 上有 2 个湿核, 湿度达 100%, 整体来看: 垂直方向上水汽含量十分充足。17 日 20 时~18 日 14 时降水有一个间歇, 18 日 14 时~20 时再次出现中雨, 18 日 20 时后降水基本停止, 在 17 日 20 时~19 日 08 时, 由于 700 hPa 以下仍然受到低涡的影响, 水汽不断辐合, 使得低层空气比较潮湿, 相对湿度 $\geq 70\%$, 700 hPa 以上由于高空受比较干的冷空气的作用, 相对湿度有所减小。

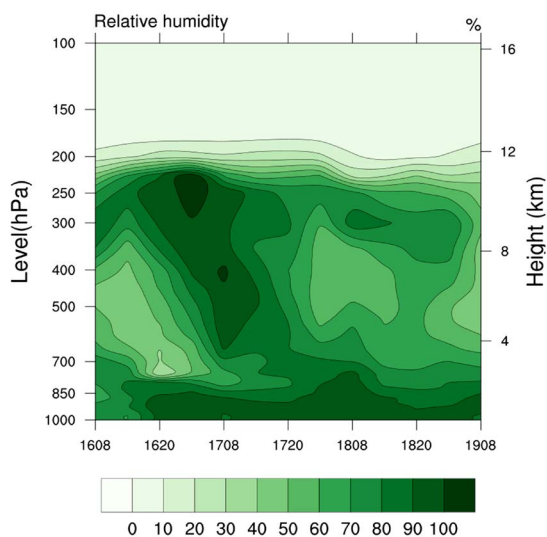


Figure 10. Time-height profile of relative humidity along 48°N and 123°E
图 10. 相对湿度沿 48°N, 123°E 的时间 - 高度剖面图

7.2. 水汽通量

图 11、图 12 为 6 月 16 日~18 日降水时段 700 hPa、850 hPa 的水汽通量图。水汽通量表征水汽输送的强度, 叠加风场后便于判断降水过程中的水汽来源 [17]。扎兰屯市位于 $47^{\circ}5'N\sim 48^{\circ}36'N$, $120^{\circ}28'E\sim 123^{\circ}17'E$ (图中红色三角标注位置)。降雨时段主要集中在 16 日 20 时~17 日 08 时、17 日 14 时~17 日 20 时。图 11(a), 图 11(b) 可以看出: 700 hPa 上, 16 日 20 时~17 日 08 时的降水水汽主要来自于日本海, 其上有两个很强的水汽通量中心, 强度 $\geq 10 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 在低涡辐合作用下, 强盛的东南风源源不断的将水汽向北输送, 水汽输送呈增强的特征, 扎兰屯上空的水汽通量约为 $2 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。图 12(a), 图 12(b) 可以看出: 850 hPa 上, 水汽同样来自于日本海, 其水汽通量强度 $\geq 10 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域范围较 700 hPa 扩大, 不仅有强盛的东南风, 在辽宁附近上空还存在一支低空西南气流, 二者共同作用, 将水汽向北输送, 扎兰屯上空的水汽通量约为 $6 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 使得第一次降水过程得以维持。图 11(c), 图 11(d) 可以看出, 700 hPa 上, 17 日 14 时~17 日 20 时的降水水汽主要来自于渤海, 由于低空西南气流的作用, 在辽宁、吉林上空有一个很强的水汽通量中心, 强度 $\geq 10 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 在低涡的辐合作用下, 将水汽向北输送, 扎兰屯上空的水汽通量约为 $2 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。图 12(c), 图 12(d) 可以看出: 850 hPa 上, 水汽同样来自渤海, 强盛的低空西南急流, 使得水汽通量强度 $\geq 10 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域范围较 700 hPa 扩大, 低涡气旋式辐合将水汽向北输送, 扎兰屯上空的水汽通量约为 $4 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 使得第二次降水过程得以维持。

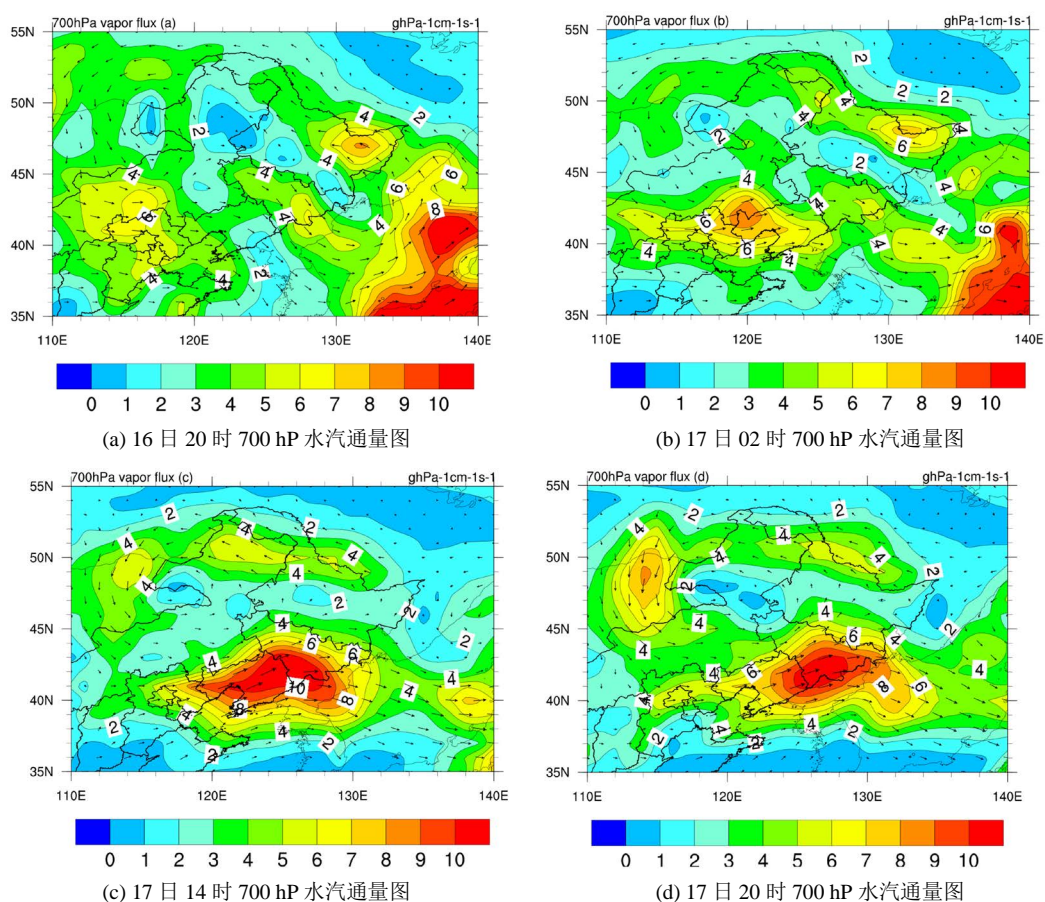


Figure 11. 700 hPa water vapor flux diagram
图 11. 700 hPa 水汽通量图

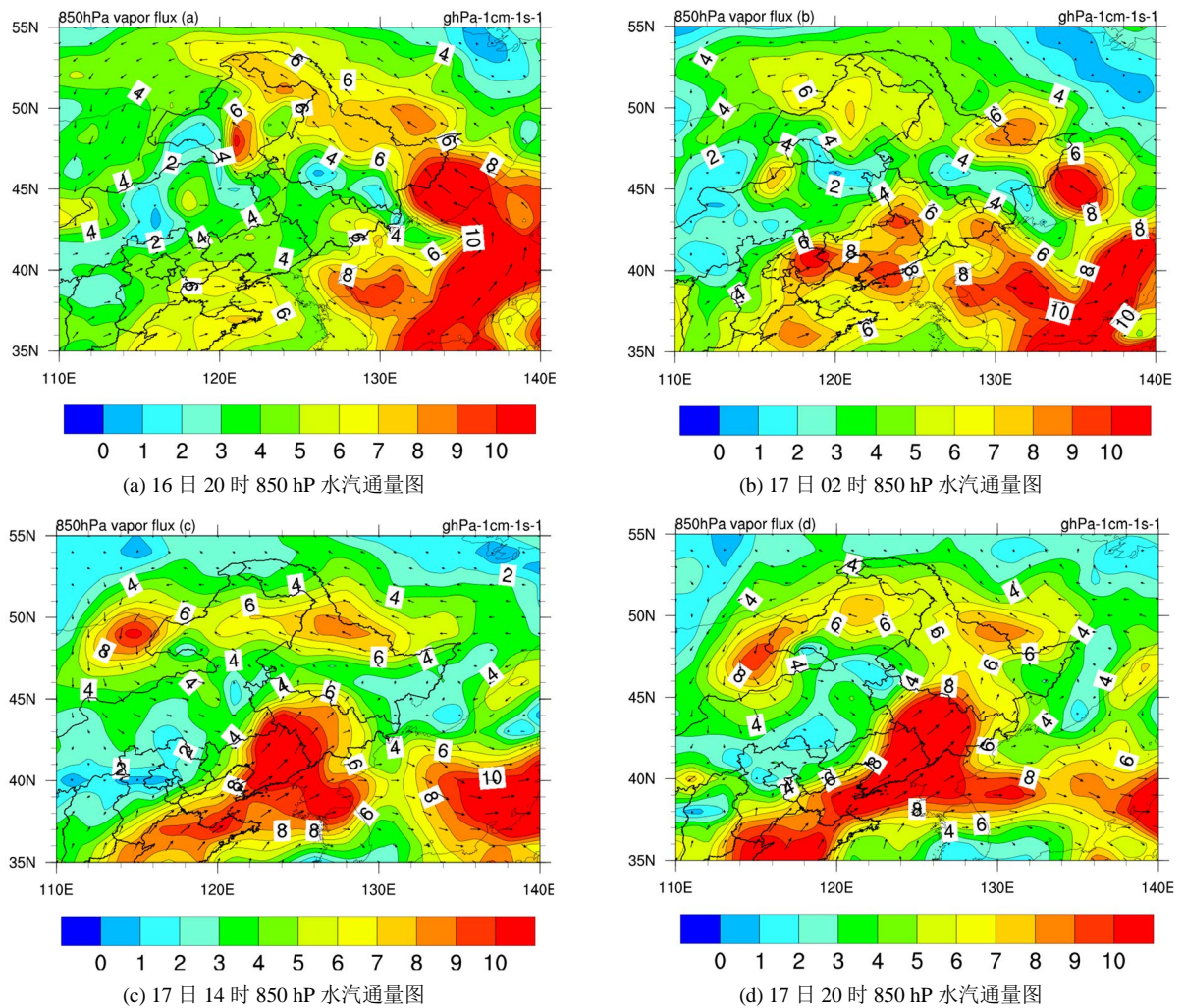
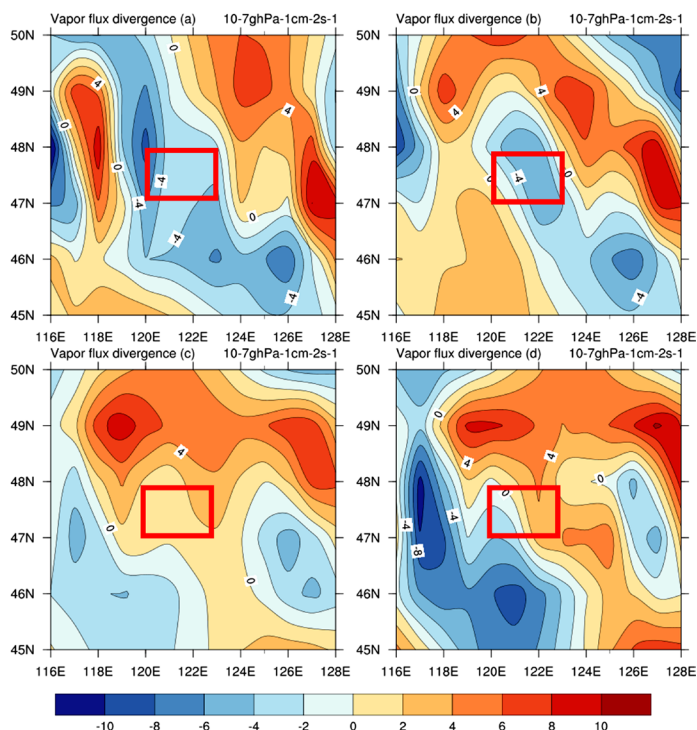


Figure 12. 850 hPa water vapor flux diagram
 图 12. 850 hPa 水汽通量图

7.3. 水汽通量散度

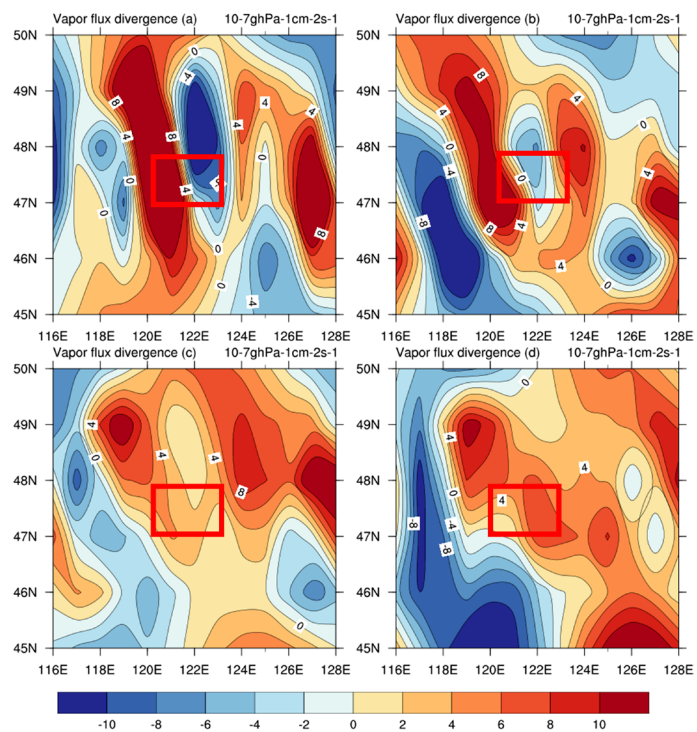
图 13、图 14 为 6 月 16 日~18 日强降水时段 700 hPa、850 hPa 的水汽通量散度图。水汽通量散度表征了水汽辐合辐散的程度，水汽通量散度为正，水汽辐散，水汽通量散度为负，水汽辐合[18]。扎兰屯市位于 47°5'N~48°36'N, 120°28'E~123°17'E (图中红框标注位置)。降雨时段主要集中在 16 日 20 时~17 日 08 时、17 日 14 时~17 日 20 时。图 13(a)，图 13(b)可以看出：700 hPa 上，16 日 20 时~17 日 08 时扎兰屯上空为负的水汽通量散度，水汽辐合，16 日 20 时在 48°N, 120°E 附近有一个大值中心，强度 $\leq -8 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，17 日 02 时全市普遍存在一个大值中心，强度 $\leq -4 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，略有减弱。图 14(a)，图 14(b)可以看出：850 hPa 上，扎兰屯中东部为负的水汽通量散度，水汽辐合，西部为正的水汽通量散度，水汽辐散，16 日 20 时中东部有一个大值中心，强度 $\leq -10 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，17 日 02 时中东部辐合减弱，强度 $\leq -6 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。图 13(c)，图 13(d)可以看出：700 hPa 上，17 日 14 时扎兰屯上空为正的水汽通量散度，但散度值很小，为弱的辐散，17 日 20 时，扎兰屯西部为负的水汽通量散度，中东部为正的水汽通量散度，西部辐合，中东部辐散。图 14(c)，图 14(d)可以看出：850 hPa 上，17 日 14 时扎兰屯上空为弱辐散，17 日 20 时，降水结束，辐散增强。



(a) 16日 20时, (b) 17日 02时, (c) 17日 14时, (d) 17日 20时

Figure 13. 700 hPa water vapor flux divergence diagram

图 13. 700 hPa 水汽通量散度图



(a) 16日 20时, (b) 17日 02时, (c) 17日 14时, (d) 17日 20时

Figure 14. 850 hPa water vapor flux divergence diagram

图 14. 850 hPa 水汽通量散度图

降雨时段主要集中在16日20时~17日08时、17日14时~17日20时。扎兰屯上空相对湿度表现出垂直方向上水汽含量十分充足,1000 hPa~700 hPa相对湿度 $\geq 70\%$,700 hPa~200 hPa相对湿度在50%~100%之间。水汽通量叠加风场后可以看出16日20时~17日08时的水汽主要来自于日本海,17日14时~17日20时的水汽主要来自于渤海,冷涡辐合和低空西南气流共同作用下,将水汽向降水区域输送。扎兰屯上空850 hPa的水汽通量强度大于700 hPa的水汽通量强度。水汽通量散度表现出16日20时~17日08时700 hPa上扎兰屯上空水汽辐合,850 hPa上,水汽辐合辐散共存,强度较强,17日14时~17日20时700 hPa上扎兰屯上空水汽辐合辐散并存,强度较弱,850 hPa上水汽辐散。可以看出该时段,扎兰屯上空相对湿度较大,水汽输送充沛,伴随适当的水汽辐合辐散,为暴雨提供了充分的水汽条件。

8. 结论

文章从降水实况、环流形势,红外卫星云图、动力条件及水汽条件五个方面分析了2016年6月16日~18日强降水天气过程。得到如下结论:

此次强降水过程:该地区自始至终受冷涡系统的影响,低压前部的偏南气流使低层暖湿空气向高层输送,局地层结变得不稳定,有利于触发强对流天气。低空急流影响产生的对流不稳定进一步促使对流性暴雨的出现,暴雨的发生发展与急流的形成维持互相促进。低空辐合高空辐散、深厚的湿度和充足的水汽输送为降水维持提供了重要条件。冷涡影响下出现的降水分布不均与对流云系不连贯分布有着较好的对应关系。

动力条件:降水集中时段16日20时~17日20时,扎兰屯上空散度表现为“上正下负”的垂直结构;涡度表现为“上负下正”的垂直结构;该地上空基本为负速度。

水汽条件:扎兰屯上空水汽含量充足,从水汽通量叠加风场可看出16日20时~17日08时的水汽主要来自于日本海,17日14时~17日20时的水汽主要来自于渤海,低涡辐合和低空西南急流共同作用下,将水汽向降水区域输送。

项目基金

高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金项目(SCQXKJQN2019019)。

参考文献

- [1] 陶诗言, 丁一汇, 周晓平. 暴雨和强对流天气的研究[J]. 大气科学, 1979, 3(3): 227-238.
- [2] 姜爱军, 杜银, 谢志清, 等. 中国强降水过程时空集中度气候趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 1007-1014.
- [3] 郭钱柱, 吴晓凤, 李银枝, 等. 大兴安岭东侧暴雨特征的研究[J]. 内蒙古气象, 2007(6): 6-8.
- [4] 常煜, 常立群, 徐桂华, 等. 呼伦贝尔市区域暴雨分析[J]. 内蒙古气象, 2008(2): 15-16.
- [5] 徐东升, 王洪丽. 呼伦贝尔市2013年7月14-16日暴雨天气分析[J]. 北方农业学报, 2014(1): 76-79.
- [6] 王洪丽, 常煜, 张平安, 等. 高低空急流耦合对内蒙古东部持续性暴雨的触发作用[J]. 中国农学通报, 2013, 30(23): 211-217.
- [7] 苗冬梅. 呼伦贝尔市暴雨天气分型研究[J]. 江西农业, 2018(12): 63-64.
- [8] 卢峰本. “95.8”防城港市连续暴雨天气过程的变压风及其散度特征分析[J]. 广西气象, 1998, 19(3): 4-6.
- [9] 王善华, 洪永庭. 阳江强降水的散度场分析[J]. 大气科学学报, 1985(1): 98-104.
- [10] Ulanski, S.L. and Garstang, M. (1978) The Role of Surface Divergence and Vorticity in the Life Cycle of Convective Rainfall. Part I: Observation and Analysis. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **35**, 1047-1062.
- [11] Ran, L.K. and Chu, Y.L. (2009) Diagnosis of Vertical Helicity, Divergence Flux and Their Extensions in Heavy-Rainfall Events. *Acta Physica Sinica*, **58**, 8094-8106.
- [12] 乔枫雪, 赵思雄, 孙建华. 一次引发暴雨的东北低涡的涡度和水汽收支分析[J]. 气候与环境研究, 2007, 12(3): 397-412.

- [13] 赵宇, 崔晓鹏. 对流涡度矢量和湿涡度矢量在暴雨诊断分析中的应用研究[J]. 气象学报, 2009, 67(4): 540-548.
- [14] Kang, L., Hao, L.-P. and Niu, J.-L. (2011) Feature Analysis on Southwest Vortex of Triggering Rainstorm. *Plateau Meteorology*, **30**, 1435-1443.
- [15] 张羽, 臧增亮, 潘晓滨, 等. 华南地区一次暴雨过程中湿Q矢量及其垂直速度诊断量的对比分析[C]//中国气象学会年会. 中国气象学会年会. 中国气象学会, 2009: 10.
- [16] 饶淑丽, 李彩虹, 宋雪瑞. 2012年8月20日暴雨的成因分析[J]. 科技致富向导, 2015(3): 35-35.
- [17] 程航. 2010-2011年6场暴雨的水汽分析[C]//中国气象学会. 第29届中国气象学会年会论文集. 中国气象学会, 2012: 12.
- [18] 陈鹏. 一次川东南暴雨过程中低涡和中尺度对流系统的分析研究[J]. 南京信息工程大学, 2011.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org