

# 2013年8月16日抚顺地区暴雨诊断及滤波对比

贺 慧<sup>1,2</sup>, 陈权亮<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 辽宁省气象台, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:**利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析抚顺地区 2013 年 8 月 16 日前后的暴雨过程, 揭示此次暴雨发生时高低层各物理量配置, 对此次暴雨进行深度剖析。并利用 butterworth 滤波方法对中尺度波动进行滤波对比, 探讨中尺度波动对于此次过程的影响。主要得到以下结论: 此次大暴雨过程属于东北冷涡系统影响下的强降水天气, 高空有明显的平直西风急流引导高空冷空气东移, 辽宁省抚顺市清原低空有急流, 850 hPa 水汽通量散度大值区也位于清原, 为此次暴雨过程提供良好的水汽条件。并且对应整层垂直运动都为上升运动, 给暴雨的发生提供了较好的抬升条件。从滤波的效果来看, 500 hPa 高度场、850 hPa 流场滤波效果明显, 滤波场中 500 hPa 高度场在暴雨发生区域有明显的负值大值区, 与暴雨落区对应较好。从 850 hPa 流场来看, 滤波场在辽宁省上游南部地区表现为明显的气流辐合带, 涡旋的强度和切变的强度与实况场相比都有明显的加强, 中尺度扰动突出。滤波场的切变区域以及涡旋的中心位置都较实况更加接近强降水中心。

**关键词:**暴雨; 急流; 水汽; 滤波对比

## 0 引言

深入分析东北冷涡的波动类型、波动特征以及东北冷涡波动与强降水的关系后, 对夏季的东北冷涡天气系统下的强降水有初步的了解, 辽宁地区位于东北平原南部, 是东北冷涡活动背景下, 多发暴雨洪涝灾害的地区之一。在东北冷涡系统影响下, 波动对降水的影响, 各个物理量场与强降水的相关性。辽宁省地形东西高, 中间低的特殊地势, 导致辽宁地区东南降水偏多, 西北降水少的降水分布特点。抚顺位于辽宁的东北部, 地势呈东南高, 西北低的形势。东南部有长白山系龙岗山脉, 北部丘陵地形, 西部为辽河支流河流冲击形成的平原。抚顺地区处于中温带并位于东亚大陆季风气候区, 年平均降水量超过 760 mm, 起主要的气候特点为雨热同期, 寒冬季长, 温差较大, 四季分明。

2013 年 8 月 15 日 08 时起, 辽宁省的大部分地区降水逐渐开始, 雨强较大。至 17 日 08 时, 抚顺、本溪、锦州、辽阳、铁岭等地出现强对流天气, 雨强集中且偏大, 局部降雨量级达到暴雨、大暴雨。从 2013 年 8 月 16 日的 11 时开始, 辽宁抚顺地区降水强度逐渐变大, 最大小时雨强可达 77.2 mm, 至 23 时, 强降水逐渐减弱, 过程趋于结束, 至过程结束全市大部分地区的过程雨量普遍可达到暴雨到大暴雨量级。由于此次降雨过

程主要雨区分布于主要河流, 因此造成严重的洪涝灾害。据有关部门统计的灾情显示, 抚顺市中 43 个乡镇街道、200 余村受灾。全市受灾人口约达 36 万人, 其中死亡 16 人, 失踪 31 人, 紧急转移安置人口达 3.84 万人。造成的直接经济损失逾 17 亿元。受灾房屋毁坏达 6.17 万间, 1275 户房屋倒塌共 3316 间。有约 30.79 千公顷的农作物遭受洪水袭击, 受灾面积达 21.76 千公顷, 其中较为严重的绝收面积为 9.75 千公顷。抚顺市水利设施有 500 处遭到洪水破坏。堤防毁坏 173 处约 320 公里。32 条公路遭到破坏, 冲毁桥梁共 47 座, 造成企业停产 112 家。选用此次暴雨过程进行波动的分析, 从环流背景的叙述到各个物理量的对比分析, 从而更加具体的理解波动对辽宁省强降水的影响。从而更好地提高在东北冷涡背景下, 夏季暴雨的预报工作。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料介绍

利用抚顺地区 117 个自动站观测资料分析“8.16”特大暴雨的降水分布特征, 进一步使用 NCEP (1°×1°) 逐 6 h 资料分析此次过程的天气系统的空间结构特征, 主要包括垂直速度、水平风场、水汽输送等要素。在滤波分析部分利用的是 NCEP\NCAR (2.5°×2.5°) 再分析资料。

## 1.2 Butterworth 滤波方法介绍

Butterworth 是一种带通滤波方法,带通滤波是一种重要的尺度分离方法,带通滤波器是由 2 个低通滤波器的结果相减得出,这样带通滤波结果可以在一定范围内的波的响应值达到最大。首先利用地波滤波器根据规定的响应函数对资料进行平滑得到大尺度场,然后用带通滤波提取中尺度信息,得到中尺度场,最后用大尺度背景分量与中尺度扰动分量相加重新得到总气象场。在总气象场中消去短波噪音,中尺度扰动场对高频和低频的波都有所抑制,突出了中尺度的特点从而达到客观分析和滤波的双重目的。

## 2 天气实况

据统计,全市平均降雨量约为 127.2 mm,其中市区抚顺县 110.7 mm,清原县 182.6 mm,新宾县 94.3 mm。最大雨量出现在清原县的柞木桥雨量站,单站雨量为 405.6 mm。本次过程降水特点为雨强大,主要降水时段仅为 11 小时,1、2 小时最大降雨量分别可达 106 mm、144 mm。抚顺地区降雨量超过 100 mm 有 126 个自动站,其中降雨量超过 250 mm 的有 17 个自动站,有 8 个自动站降雨量超过 300 mm。

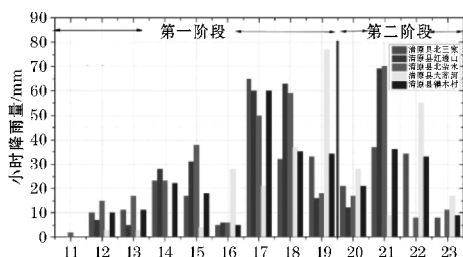


图1 8月16日11时~23时清原县累积雨量前5站点(北三家、红透山、北杂木、大苏河、镇东村)逐小时雨量分布图

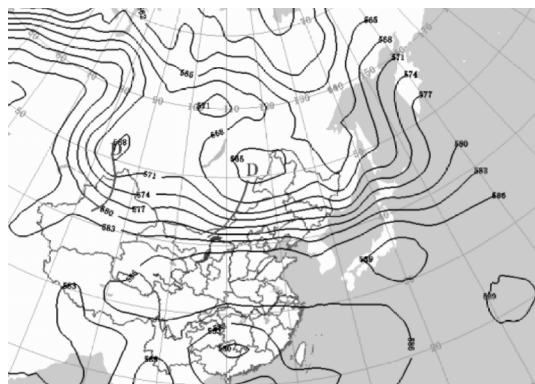
由于抚顺市为降水量最大、灾情最为严重的地区,因此选择抚顺的清原作为分析的重点地区,图1为清原县降水量前5的站点的小时雨量分布图,可以看出在16时、19~20时处有2个较为明显的降水间歇。小时雨强最大的为清原县大苏河,达77.3 mm。17时、18时降水量较为集中,小时雨强基本都超过30 mm/h。

## 3 天气学分析

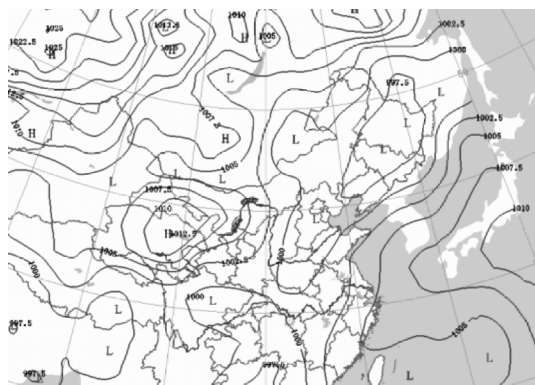
### 3.1 环流特征分析

从500 hPa环流场来看此次过程主要受西路东移冷空气影响,从冷涡的位置来看属于北涡,前期乌拉尔山高压脊发展断裂,北段东移引导贝加尔湖冷空气南下东

移影响中国东北地区,南段停滞,使得极地冷空气不断渗透南下,形成新的低值中心东移不断补充冷空气,副热带高压东退减弱,其后部西南暖湿气流与南下冷空气在东北地区西部交汇,在强降水发生时段200 hPa有平直且强的高空急流,引导高空冷空气东移,辽宁地区上空有明显的急流轴开始形成,使得高空有较为有利的辐散条件,这与总结的东-西波动型冷涡的高空风场完全吻合。配合地面低压带东移过东北地区,为本次的强降水过程提供了有利的大尺度环流形势。



(a) 高空环流图



(b) 地面形势图

图2 8月16日08时500 hPa高空环流图及地面形势图

### 3.2 水汽输送特征

从700 hPa、850 hPa风场可以看出,2013年8月16日20时,有一平直西风急流自西向东贯穿辽宁省,急流在850 hPa高度发展最为强盛,整个辽宁850 hPa风都超过 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,并在抚顺清原达到最大值约为 $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,且抚顺清原区域为明显的风向辐合区,进入吉林省之后风向略微辐散。850 hPa风速大值区域与700 hPa有较好的对应关系,随高度降低急流变短,强度仍很强,最大值中心风速达约 $22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,风向较700 hPa有逆时针旋转趋势,偏南风分量加大,有利于低空将海上大湿度水汽的输送至辽宁省东北部,为辽宁省的强降水提供了良好的水汽输送通道,此时急流

出口处,吉林省东部于强较大,从850 hPa风速可以看到在辽宁省中部地区有一小段急流,风速约为 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。给辽宁省东部地区在未来6 h内带来新一轮的强降水,强度较20时之前稍弱。

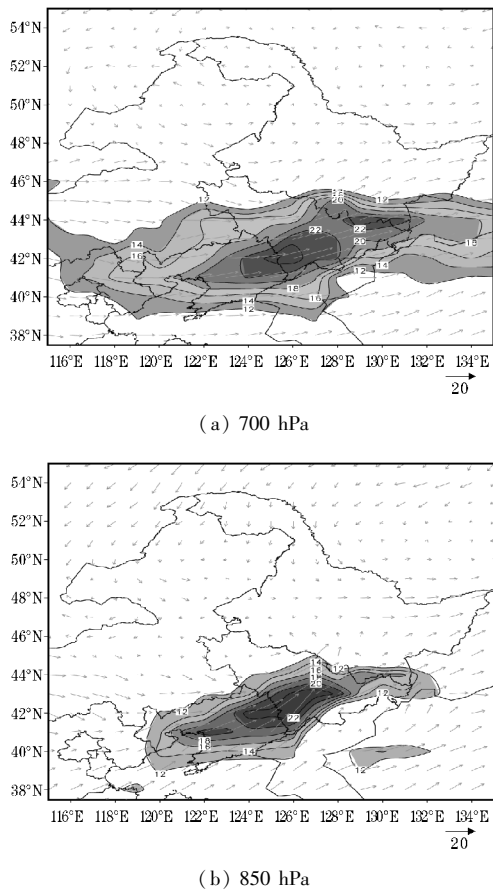


图3 8月16日20时700 hPa,850 hPa 风场、急流分布  
(填色区为风速超过 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 区域)

很多学者指出低空的水汽通量散度的分布特征对相应时段的强降水落区有较好的指示意义,即散度负值越大时,表征水汽辐合越明显,对于未来短临天气雨区有一定的参考性,因此将其作为一项重要的短时临近天气预警指标。

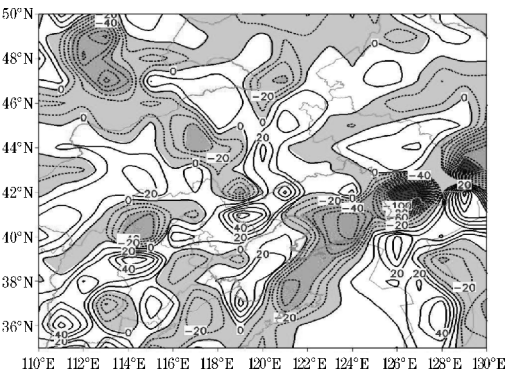


图4 850 hPa水汽通量散度分布图  
(填色区为水汽通量散度 $<0$ 的区域)

图4为8月16日20时850 hPa水汽通量散度分布图,可以看到自辽宁省南部直到东部有一条水汽通量散度为负值的大值带,以辽宁东边界为界,大值带分2个大值区。吉林省东部对应水汽通量散度的最大大值中心,散度大于 $120\times10^{-7}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,由此可知,20时前产生过一个阶段的强降水过程,20时刚好处于2个大值中心的低值区,因此20时前后为一个明显的降水间歇,此时位于丹东境内也有一个大值区,但强度较吉林东部水汽通量散度略小,中心强度约为 $60\times10^{-7}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,因此20时后降水有个高峰,但没有20时前的强降水的强度大。

3.3 涡度场分析

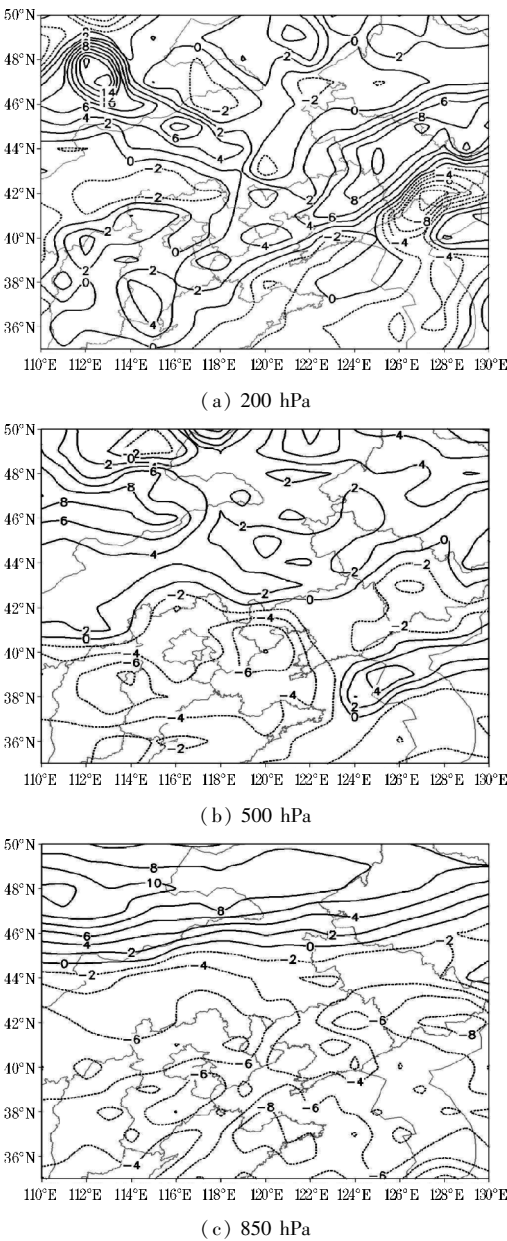


图5 200 hPa,500 hPa及850 hPa 涡度特征分布图

图5为18日20时高中低层涡度分布特征图。从涡度场来看,低层涡度成明显的南负北正的分配,整个

辽宁省地区处于负涡度控制,且存在一个大的负值中心位于吉林省的东南部,表明这一地区气流有反气旋性切变的变化趋势,辽宁省北部有正涡度中心,表明低层气流将有反旋性切变的趋势,而随着高度的升高,500 hPa上涡度较850 hPa有明显的正变化,且在辽宁省东部地区朝鲜半岛北部出现一个明显的正涡度区,说明这一地区气流有明显的气旋性切变,200 hPa的涡度较500 hPa继续向正涡度变化,越高层气旋性切变越大,则高空槽发展,脊减弱,促进东北冷涡的原地旋转加深。

### 3.4 垂直速度场

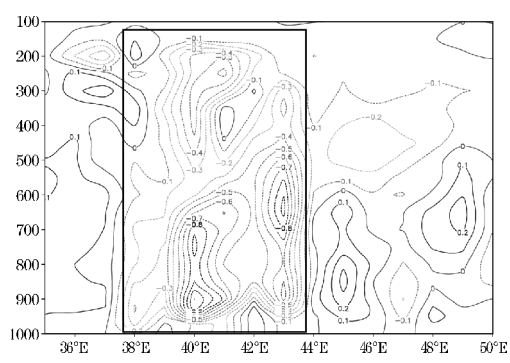


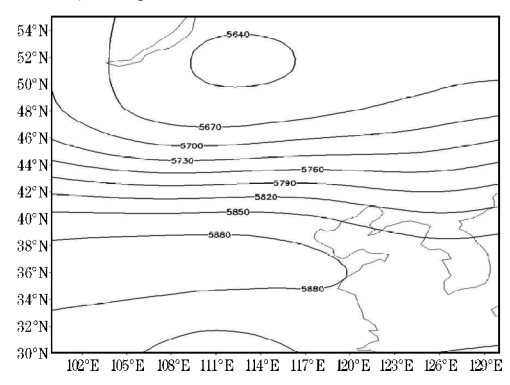
图6 垂直速度 125°E 纬向高度剖面图

图6为2013年8月16日20点在125°E的高度剖面图,从图6可以看出,抚顺清原所在位置42°N附近刚好处于两个负值大值中心中间,涡度的负值最大值达-0.9 Pa/s,近地面有正的垂直速度,低空到高空是整层的负垂直速度,由大气运动的涡度方程可以知道,若垂直速度为负,则气块有上升运动,此时涡度随高度的增加而增大,则局地涡度将减小,前面分析18日20时涡度是随高度增加而增加,因此,局地涡度减小,气流的气旋性运动曲率减小,辐合抬升作用减弱,上升气流随之减小,则强降水逐渐减弱。

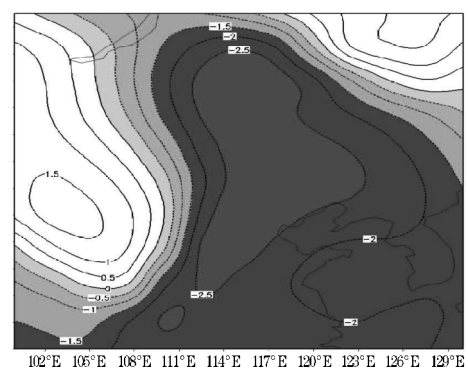
## 4 滤波实验

利用美国2.5°×2.5°的NCEP/NCAR再分析资料进行滤波实验,从尺度分离角度来分析中尺度波动对此次强降水产生的影响,进一步深化对波动与强降水相关性的理解和认识。在大尺度环流天气形势下,利用带通滤波分析中尺度波动较平滑滤波方法效果较好,容易把握系统内部细微变化。夏大庆等<sup>[6]</sup>对在中尺度的气象场中常用到的几种因子进行比较,设计了几种高通滤波器,并将滤波结果与原始场对比后进行分析,结果显示在中尺度分离各因子中滤波算子的影

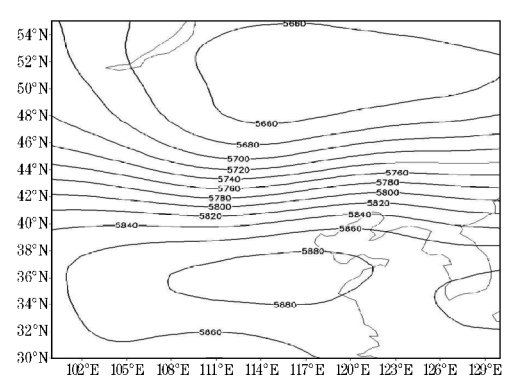
响度较高。使用butterworth滤波方法,对此次过程进行1~3天的中尺度滤波,下文则对实况与滤波场进行详细的对比分析。



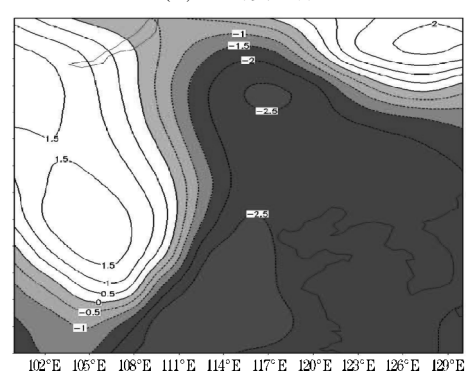
(a) 14时实况场



(b) 14时滤波场



(c) 20时实况场



(d) 20时滤波场

图7 2013年6月18日14时、20时高度场滤波对比图

4.1 高度场滤波

将 500 hPa 高度场进行了 1 ~ 3 天的滤波,利用 butterworth 滤波方法,消除了在所滤范围外的长波及短波的噪音信号影响,结果如下:

图 7 为 2013 年 8 月 16 日 14 时、20 时 500 hPa 高度场高空形势图以及滤波示意图,14 时、20 时分别为强降水起始时间和强降水间歇时间,可以看到 500 hPa 高度场在此时呈明显的东-西型波动,且由于上游高压脊作用,在辽宁省上游地区出现一短波横槽向东南移动,副高位置偏西,正减弱东退,从高度场的滤波图可以看到,整个辽宁省处于一个负值区,14 时滤波场强度略高于 20 时,到 20 时负值大值区整体东移减弱。说明辽宁省此时高空受 1 ~ 3 天短波影响明显。滤波场在贝加尔湖南部、东北地区北部分别出现一个明显的正值中心,说明受 1 ~ 3 天波动影响明显的地区位于

东北地区南部及黄淮地区。

4.2 流场滤波

将各层风场进行滤波,利用从流场的滤波效果对比讨论此次过程强降水产生的成因。下文将对 850 hPa 流场滤波进行仔细分析,结果如下:

从图 8 850 hPa 流场的实况场可以看出在降水起始时间时 850 hPa 在辽宁省上游的北部地区形成了一个明显涡旋,辽宁地区受涡旋底部西南急流的影响,在辽宁省前部气流有气旋性切变,但并不明显,在对应高空高压地区有明显的反气旋式流动趋势,对应 14 时的滤波场来看,可以在明显的涡旋附近看到较为明显的切变,且切变位置就处于辽宁省西部地区,对应之后强降水区域的高空略偏西的位置,相对于 850 hPa 的风场对于暴雨的落区更加有指示意义。

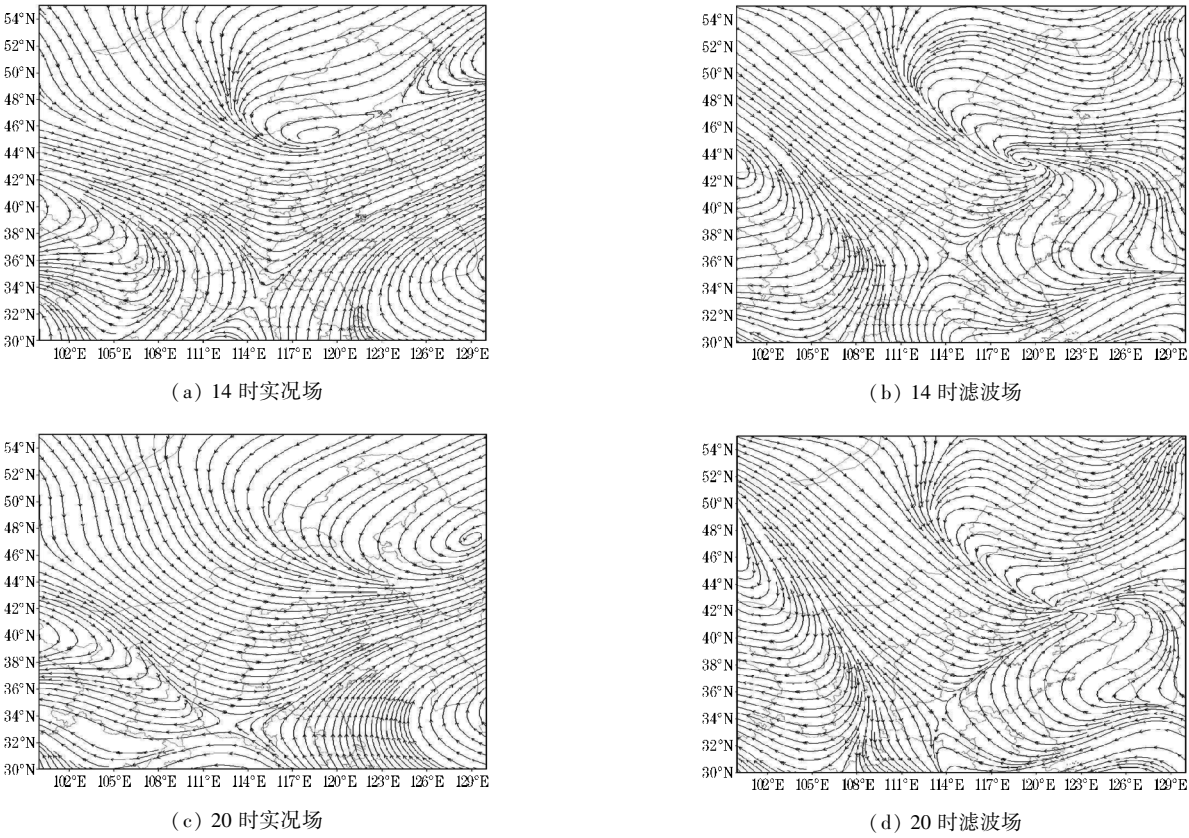


图 8 2013 年 6 月 18 日 14 时、20 时 850 hPa 流场滤波对比图

从降水间歇时次来看 850 hPa 实况流场中涡旋中心明显东移,略微北收,且强度减弱,辽宁省仍受西南急流影响,在辽宁省流线有明显的辐合趋势,流线的气旋性切变减小。而滤波场中涡旋中心略微东移,较实况场偏南,辽宁省地区气流仍有较为明显的气旋性切

变存在,且南部流线的南风分量加大,流线有明显的辐合在辽宁省的东部地区。

从实况场与滤波场对比来看,滤波过后的流场对于低空的切变的把握敏感性明显好于实况场,对于强降水的落区和时效的把握有较好的指示意义。

## 5 结论

综上所述,从大暴雨过程分析来看,主要可以得出以下结论:

(1)大暴雨过程属于东北冷涡系统影响下的强降水天气,高空有明显的平直急流引导高空冷空气东移,辽宁省抚顺市清原低空有急流,有很好的水汽输送条件,850 hPa水汽通量散度大值区也位于清原,并且对应整层垂直运动都为上升运动,20时涡度随高度的增大而增大,因此局地涡度减小,使得气旋性曲率运动减弱,辐合抬升作用减小,降水将逐渐减弱趋于平缓。

(2)从滤波的效果来看500 hPa高度场,850 hPa流场滤波效果明显,滤波场中500 hPa高度场在暴雨发生区域有明显的负值大值区,与暴雨落区对应较好。从850 hPa流场来看,滤波场在辽宁省上游南部地区表现为明显的气流辐合带,涡旋的强度和切变的强度与实况场相比都有明显的加强,对于低空急流的把握更加灵敏。滤波场的切变区域以及涡旋的中心位置都较实况更加接近强降水中心。

## 参考文献:

[1] 林云萍,赵春生. 中国地区不同强度降水的变化趋势[J]. 北京大学学报:自然科学版,2009,45(6):995-1002.

[2] 李红梅,周天军,宇如聪,等. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析[J]. 大气科学,2008,32(2):358-370.

[3] Palmen E H, Newton C W. Atmospheric Circulation Systems: Their Structure and Physical Interpretation [M]. 1969.

[4] 夏大庆,郑良杰,董双林,等. 气象场的几种中尺度分离及其比较[J]. 大气科学,1983,7(3):303-311.

[5] Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1985,111: 877-946.

[6] Price J D, Vaughan G. 1992. Statistical studies of cut off low systems[J]. Ann. Geophys., 10:96-102.

[7] Kentarchos A S, Davies T D. A climatology of cut off lows at 200hPa in the Northern Hemisphere, 1990-

1994[J]. Int. J. Climatol., 1998,18:379-390.

[8] Nieto R, Gimeno L, de la Torre L, et al. Climatological features of cut off low systems in the Northern Hemisphere [J]. J. Climate, 2005,18:3085-3103.

[9] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 2000. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社:191-192.

[10] Matsumoto S, KNinomiya, R Hasegawa, et al. The structure and the role of a subsynoptic-scale cold vortex on the heavy precipitation [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 1982, 60(1): 339-354.

[11] Miyazawa S. Mesoclimatological study on heavy snowfall-a synoptic study on the mesoscale disturbance[J]. Pap. Met. Geophys, 1967,19:487-550.

[12] Sun Jianhua, Zhang Xiaoling, Qi Linlin, et al. An analysis of a meso- $\beta$  system in a Mei-yu front using the intensive observation data during CHERES 2002 [J]. Advanced in Atmospheric Sciences, 2005,22(2): 278-289.

[13] Georg AGrell, Jimmy Dudhia, David R Stauffer. A Description of the Fifth-Generation Penn. State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR. 1994.

[14] 刘煜,何金海,李维亮,等. MM5 对中全新时期中国地区气候的模拟研究[J]. 气象学报, 2009,67(1):35-49.

[15] L Qi, Y Wang, L M Leslie. Numerical simulation of a cut-off low over southern Australia [J]. Meteorol. Atmos. Phys., 2000, 103-115.

[16] 田莹,戴泽军,隋兴斌,等. 2011年湖南一次强暴雨过程中尺度分析[J]. 气象科学,2014,34(5):556-563.

[17] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bulletin of the American meteorological Society, 1996,77(3): 437-471.

[18] 苏志侠,吕世华. 美国 NCEP/NCAR40 年全球再分析资料及其解码和图形显示软件简介[J]. 高原气象, 1999, 18(2): 199-208.

[19] 徐影,丁一汇. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(3): 337-347.

- [20] 田莹,戴泽军,隋兴斌,等. 2011 年湖南一次强暴雨过程中尺度分析[J]. 气象科学, 2014, 34(5).
- [21] 赵树海. 暴雨中系统的滤波方法及其激发和传播机制[J]. 南京气象学院学报, 1982, (2).
- [22] 王信,励申申,寿绍文. 带通滤波及其与平滑滤波的实例效果比较[J]. 气象科学, 1991, 11(3): 318-326.
- [23] 狄利华. 低通滤波在一次梅雨锋暴雨过程中的应用[C]. 第六届长三角气象科技论坛论文集, 2009.
- [24] 张虹,李国平,王曙东. 西南涡区域暴雨的中尺度滤波分析[J]. 高原气象, 2014, 33(2).
- [25] 孙国武,李震坤,信飞,等. 用低频天气图方法进行延伸期预报的探索[J]. 气象科技进展, 2013, 3(1): 6-10.
- [26] 李劲. 用带通滤波方法分析中尺度扰动与暴雨的关系[J]. 湖北气象, 1995 (4): 12-14.
- [27] 徐元泰,丁一汇. 气象场的客观分析和中尺度滤波[J]. 大气科学, 1988, 12(3): 274-282.
- [28] 陈忠明. 气象场中尺度带通滤波方法研究[J]. 气象学报, 1992, 50(4): 504-510.
- [29] 罗玲,胡亮,何金海,等. 东北冷涡背景下浙江省两次强降水过程的对比分析[J]. 气象与环境学报, 2012, 27(6): 35-42.