

李燕,刘勇,赛瀚. 大连地区2013年7月连续性暴雨成因[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 670-677, [LI Yan, LIU Yong, SAI Han. Causes Analysis of Continuous Rainstorm over Dalian Area of Liaoning Province in July 2013[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(4): 670-677], DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0670

# 大连地区2013年7月连续性暴雨成因

李燕<sup>1</sup>, 刘勇<sup>2</sup>, 赛瀚<sup>1</sup>

(1. 辽宁省大连市气象台, 辽宁 大连 116001; 2. 辽宁省气象局, 辽宁 沈阳 110001)

**摘要:**利用加密自动站资料、NCEP再分析资料,对2013年7月发生在大连地区的7次连续暴雨过程的成因进行分析。结果表明:2013年7月大连地区连续暴雨期间,乌拉尔山和鄂霍次克海均有强高压维持,有利于西伯利亚冷空气南下至贝加尔湖并长期维持形成大槽。副热带高压异常偏强,位置稳定偏西、偏北,为大连连续暴雨天气建立了有利的大尺度环流背景。来自华北、华东的2条水汽辐合带向大连地区汇合,大连西南方多低值系统东北传是暴雨发生发展过程中重要的中尺度对流系统。 $\theta_{se}$ 垂直方向的“不稳定层结—中性层结—稳定层结”结构促使强烈上升运动的产生和维持,同时强烈的水汽通量辐合与涡度、散度场的有利配置为连续暴雨提供了强大的热力动力条件。

**关键词:**连续暴雨;副热带高压;阻塞高压;低值系统;不稳定层结

**文章编号:**1006-7639(2016)-04-0670-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0670

**中图分类号:**P458.1<sup>+</sup>21.1

**文献标识码:**A

## 引言

持续性暴雨天气,由于降水持续时间长,累积雨量大,常常造成严重灾害。我国学者对持续性暴雨的成因做了很多研究<sup>[1-8]</sup>。陈业国等<sup>[9]</sup>对2008年6月发生在广西的持续性暴雨过程进行诊断分析,发现暴雨过程的水汽来源主要为孟加拉湾南部和南海北部,不稳定能量与降水强度有很好的对应关系。王晓芳等<sup>[10]</sup>对2010年5—6月南方持续性暴雨的成因进行分析,发现乌拉尔山阻塞高压和贝加尔湖大槽较常年偏强且稳定维持,副热带高压异常偏强,位置稳定偏南,为华南持续暴雨天气建立了有利的稳定大尺度环流背景。林爱兰等<sup>[11]</sup>分析近51 a广东前汛期持续性暴雨过程的环流特征和水汽输送来源发现,除过去所认识的“3脊2槽”和“2脊1槽”2种类型天气形势外,还有一种“高纬阻塞—中纬平绥”型,前汛期持续性暴雨过程的主要水汽来源随月份发生变化。胡亮等<sup>[12]</sup>从水汽条件、不稳定能量及抬升条件对发生在华南地区的157个连续性暴雨过程进行分析,并结合各自的爆发时间,把暴雨分成3种类型,并讨论不同类型华南持续性暴雨的形成

原因。

以上研究都是针对我国南方持续性暴雨天气的天气特征及成因开展分析。鲍名<sup>[13]</sup>分析指出,近50 a中国局地持续性暴雨事件主要发生在江南和华南地区。但2013年7月位于我国东北的大连地区平均降水量异常偏多,1个月连续出现了7场暴雨天气<sup>[14]</sup>,造成了滑坡、塌方以及人员伤亡事故等严重灾害。1个月频繁的暴雨过程对大连地区较为罕见,因此本文利用加密自动站资料、NCEP/NCAR再分析资料,分析探讨2013年7月大连地区出现的7次持续性暴雨过程的天气特点、大尺度环流背景、主要影响系统活动以及水汽输送等物理量特征。

## 1 降水实况

2013年7月辽宁大连地区先后出现了7次暴雨天气过程,全市平均降水量为412.3 mm,较常年同期(152.3 mm)偏多1.71倍,比2012年同期偏多204.7 mm,为1971年以来历史同期最多。连续多场暴雨天气过程导致了山体滑坡、城市内涝、农田被淹、人员伤亡等严重灾害损失。从表1可知,7次暴雨过程分别为:1日16:00(北京时,下同)—2日

收稿日期:2015-09-15;改回日期:2016-01-18

基金项目:环渤海区域科技协同创新基金(QYXM201502)和中国气象局预报员专项(CMAYBY2014-013)共同资助

作者简介:李燕(1973-),女,辽宁大连人,高级工程师,主要从事天气预报研究。E-mail:LYDW0211@163.com

13:00,大连大部分地区降雨量 $\geq 50$  mm,北部和东部部分地区降雨量 $\geq 100$  mm,其中庄河的永记降雨量最大,为 244 mm,最大小时雨强出现在市区凌水桥,为  $61 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;9 日 12:00—11 日 08:00,大连南部和东部降雨量为 50 ~ 168 mm,其它地区 20 ~ 50 mm,其中金州得胜降雨量最大,为 168 mm,最大小时雨强出现在瓦房店红沿河,为  $35 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;15 日 20:00—16 日 08:00,大连全区大到暴雨,最大降雨量和最大小时雨强都出现在庄河仙人洞镇,分别为 127 mm 和  $51 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;18 日 20:00—20 日 15:00,大连北部和东部降雨量 $\geq 50$  mm,长海海洋岛最大,为 117 mm,其它地区为 20 ~ 50 mm,最大小

时雨强出现在瓦房店西杨,为  $63 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;22 日 16:00—23 日 20:00,大连大部分地区降雨量为 20 ~ 60 mm,局部地区 60 ~ 80 mm,其中长海县小长山最大,为 97 mm,最大小时雨强出现在普兰店太阳、俭汤,为  $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;27 日 20:00—28 日 12:00,大连地区降雨量为 20 ~ 50 mm,大连市区降雨量偏大,为 50 ~ 120 mm,其中最大雨量出现在市区的动物园,为 119 mm,最大小时雨强出现在金州大窑湾,为  $60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;29 日 20:00—30 日 20:00,大连南部和东北部降雨量为 50 ~ 100 mm,其他地区 20 ~ 50 mm,最大雨量和最大小时雨强均出现在市区的五一广场,分别为 93 mm 和  $39 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

表 1 2013 年 7 月大连地区 7 场暴雨过程

Tab. 1 Statistics of 7 heavy rainfall processes in Dalian area of Liaoning Province in July 2013

序号	暴雨过程时间	影响范围	过程最大降水量 /mm(站名)	小时最大雨强/ $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (位置)
1	1 日 16:00— 2 日 13:00	大部降雨量 $\geq 50$ mm, 北部、东部 $\geq 100$ mm	244(庄河永记)	61(市区凌水桥)
2	9 日 12:00— 11 日 08:00	南部和东部降雨量 50 ~ 168 mm, 其它地区 20 ~ 50 mm	168(金州得胜)	35(瓦房店红沿河)
3	15 日 20:00— 16 日 08:00	大部降雨量 40 ~ 100 mm, 东北部 $\geq 100$ mm	127(庄河仙人洞)	51(庄河仙人洞)
4	18 日 20:00— 20 日 15:00	北部和东部降雨量 $\geq 50$ mm, 其它地区 20 ~ 50 mm	117(长海海洋岛)	63(瓦房店西杨)
5	22 日 16:00— 23 日 20:00	大部降雨量 20 ~ 60 mm, 局部地区 60 ~ 80 mm	97(长海小长山)	50(普兰店太阳、俭汤)
6	27 日 20:00— 28 日 12:00	市区降雨量 50 ~ 120 mm, 其他地区 20 ~ 50 mm	119(市区动物园)	60(金州大窑湾)
7	29 日 20:00— 30 日 20:00	南部和东北部降雨量 50 ~ 100 mm, 其他地区 20 ~ 50 mm	93(市区五一广场)	39(市区五一广场)

## 2 环流特征

图 1 是 2013 年 7 月 500 hPa 上 588 dagpm 线位置分布及高度距平场,用 588 dagpm 线代表西太平洋副热带高压(以下简称“副高”)的位置。2013 年 7 月副高较多年平均位置更偏西偏北,辽东半岛位于副高后部水汽输送带内,有利于辽东半岛降水偏多(图 1a)。从 500 hPa 高度距平场可以看出(图 1b),从我国东南海域至内蒙古东南部地区均是正距平控制,且朝鲜半岛南部( $127^{\circ}\text{E}, 33^{\circ}\text{N}$ )有一正距平中心,中心强度为 14 dagpm。因此,2013 年 7 月副高位置偏北偏西、强度偏强并稳定维持,有利于副

高后部偏南流场加强并稳定维持,这种环流形势为辽东半岛多降水提供有利的水汽条件。

图 2 为 2013 年 7 月 500 hPa 平均流场和温度场。可以看出,副高西侧至贝加尔湖东侧一带有宽广的高空槽,大连位于高空槽底部前部,在贝加尔湖北侧有低涡横槽,而低涡横槽西侧有明显的温度槽,其位相落后于高度槽,并有近似  $90^{\circ}$  的交角,这种配置有利于低涡横槽转竖引导其后部冷空气频繁南下,促进贝加尔湖东侧高空槽加深加强,大连位于 500 hPa 高空槽前,为持续暴雨提供有利的环流形势。

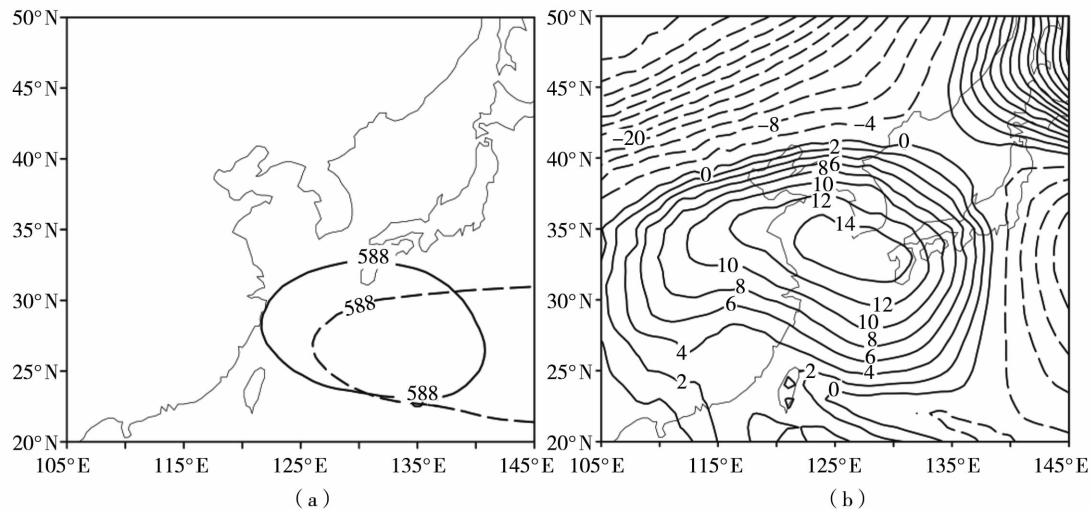


图1 2013年(a,实线)、2000—2013年(a,虚线)7月500 hPa上588 dagpm线平均位置分布(a)和2013年7月500 hPa位势高度距平场(b)(单位:dagpm)

Fig. 1 The position distribution (a) of 588 dagpm line on 500 hPa in July 2013 (a, the solid line) and from 2000 to 2013 (a, the dashed line), and geopotential height anomaly on 500 hPa in July 2013 (b) (Unit: dagpm)

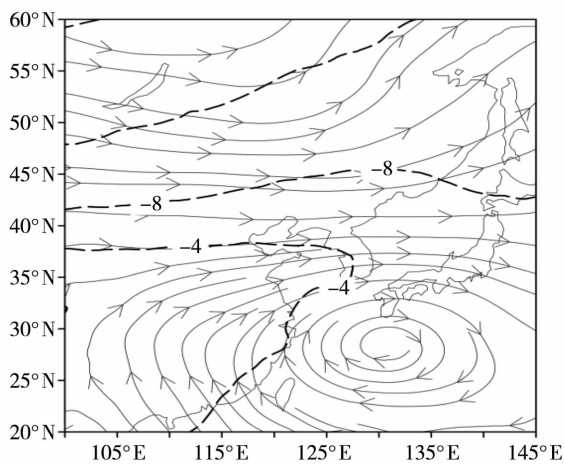


图2 2013年7月500 hPa流场(箭头线)和温度场(虚线,单位:°C)

Fig. 2 The airflow field (the lines with arrow) and temperature field (the dashed lines, Unit: °C) on 500 hPa in July 2013

从200 hPa(图3a)、500 hPa(图3b)平均散度场上看出,200 hPa上从山东半岛至东北地区都为强辐散区,有明显的抽吸作用,有利于加强抬升运动;而500 hPa在渤海海峡至辽东半岛也为辐散区,说明大连地区及渤海海峡的抽吸作用强烈,动力条件明显强于其他地区,为大连地区降水偏多提供有利的动力条件。850 hPa平均风速场上(图3c),从华南沿海至朝鲜半岛北部有一支风速 $\geq 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南急流,大连位于这支急流出口区的左侧,有利于中国南方暖湿水汽向大连输送,并在大连地区辐合抬升;

850 hPa温度场上(图3c),有温度 $\geq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的暖舌向大连伸展,进一步证明大连地区有暖空气影响;850 hPa水汽通量散度场上(图3d),有从华北、华东地区2条水汽辐合带向大连汇合,形成东北—西南向的水汽辐合带,说明水汽输送充足。综上所述,大连地区低层有明显的暖湿水汽输送和辐合抬升,中层500 hPa以上有明显的辐散抽吸作用加大低层抬升作用,为大连地区多暴雨天气提供了有利的水汽和动力条件。

### 3 中高纬度阻塞高压的建立及维持

中高纬度阻塞高压的建立和稳定维持对东亚地区降水分布有重要的影响,阻塞高压通过上下游效应及能量传输等机制,可以较长时间地维持稳定的降水天气型<sup>[15]</sup>。图4为2013年7月500 hPa高度上 $39.5^{\circ}\text{N}$ 平均位势高度随时间的演变,可以看出,贝加尔湖以西附近除了在7月8日前后、18—21日高度场较低外,其他时间均为580 dagpm以上,说明在大连地区持续暴雨期间有高压维持,其脊前偏北气流引导冷空气南下,有利于贝加尔湖东南部持续维持一低值区,其中月初最强,所以月初的暴雨量级是7场暴雨中最强的一次;而在 $135^{\circ}\text{E}$ 以东,31 d内大部分时间平均高度值也都在580 dagpm以上,说明在大连地区东部鄂霍次克海附近有阻塞高压建立并长期维持,有利于贝加尔湖冷槽的长期维持以及华北、华东暖湿水汽沿高压后部偏南气流源源不断向大连地区输送,有利于暴雨的产生。

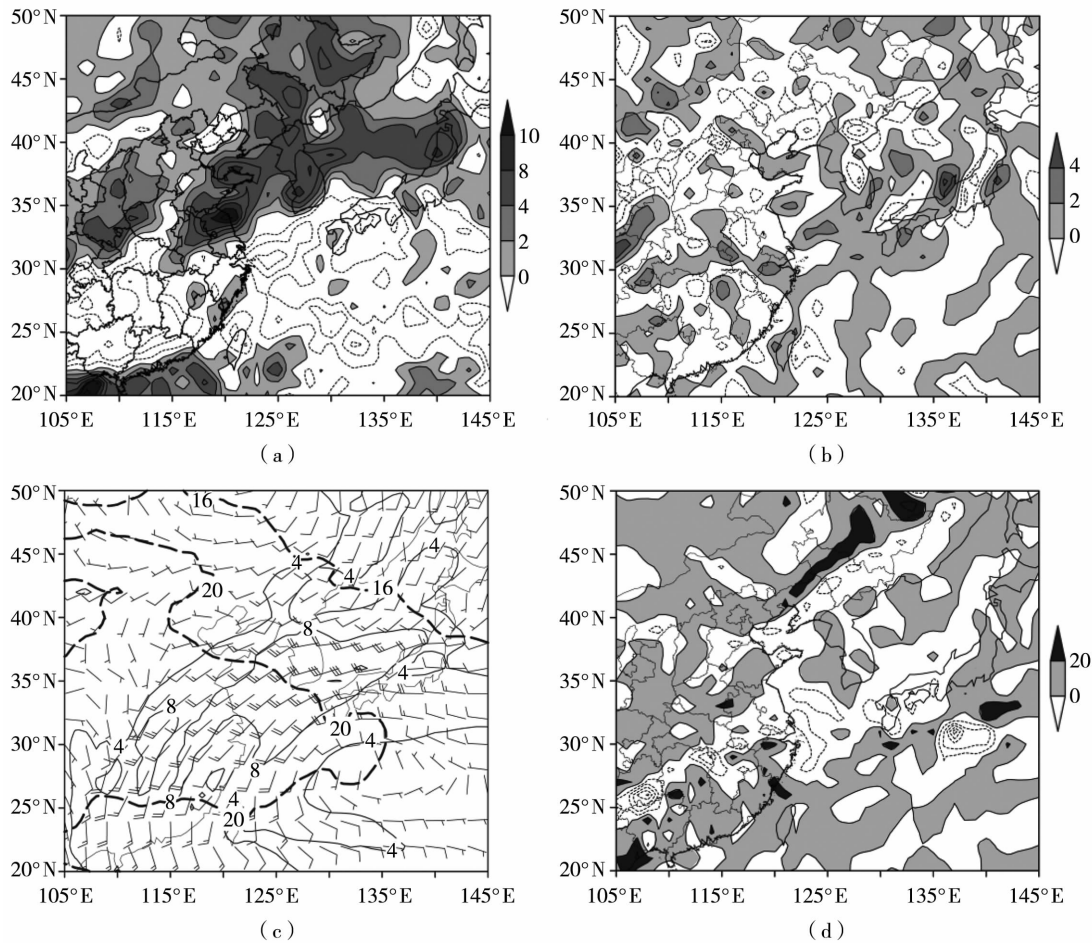


图3 2013年7月200 hPa(a)、500 hPa(b)平均散度(a,b,单位: $s^{-1}$ )和850 hPa等风速线(c,实线,单位: $m \cdot s^{-1}$ )、水平风场(c,风矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$ )、温度场(c,虚线,单位: $^{\circ}C$ )及水汽通量散度(d,单位: $10^{-6} kg \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$ )

Fig. 3 The average divergence (a, b, Unit: $s^{-1}$ ) on 200 hPa (a) and 500 hPa (b), the isotach (c, solid lines, Unit: $m \cdot s^{-1}$ ), horizontal wind field (c, vectors, Unit: $m \cdot s^{-1}$ ), temperature field (c, dashed lines, Unit: $^{\circ}C$ ) and vapor flux divergence (d, Unit: $10^{-6} kg \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$ ) on 850 hPa in July 2013

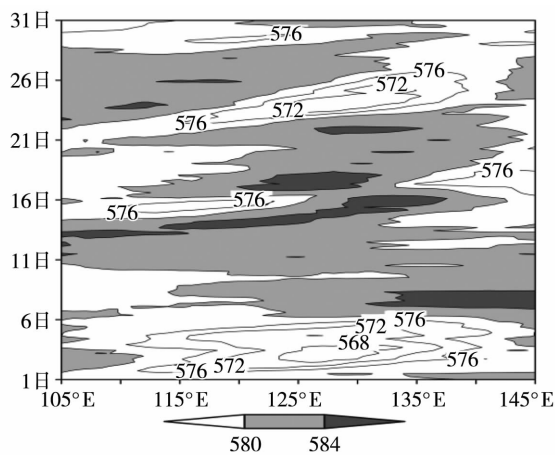


图4 2013年7月沿39.5°N做500 hPa位势高度的经度—时间剖面(单位:dagpm)

Fig. 4 The longitude - time section of geopotential height on 500 hPa along 39.5°N in July 2013 (Unit:dagpm)

2013年7月有近20 d 乌拉尔山高压稳定维持强盛状态,其中月初、16日前后、23日前后和月末乌拉尔山高压尤其强大,此时对应5次暴雨过程,而9—11日、18—20日2次暴雨过程时,乌拉尔山高压减弱,但在中国东部的鄂霍次克海有高压明显加强且西伸,平均值达584 dagpm以上,大连受其后部切变线影响,出现了2场暴雨天气,而其他时间是降水的间歇期(图略)。可见在大连地区持续暴雨期间,乌拉尔山绝大部分为高压脊,贝加尔湖以东为低压槽形势,大连东部海上大部分时间为阻塞高压。乌拉尔山高压和东部阻塞高压越强,越有利于冷空气南下和暖湿水汽北上,在贝加尔湖以东及东南河套附近有低压槽或切变加强,这种形势的持续维持是形成持续暴雨天气过程的有利条件。

## 4 低值系统的东传

持续性暴雨期间强降水不仅发生发展在有利的稳定大尺度环流背景下,也离不开中尺度对流系统的活动。利用涡度的演变来分析中尺度低值系统对大连持续暴雨的影响。图5给出2013年7月700 hPa涡度平均场的经度—时间剖面 and 纬度—时间剖面。

从经度—时间剖面图(图5a)可以看出,1—2日、9—11日、15—16日和18—20日都在110°E以西有正涡度生成并向东传;23日和30日正涡度生成位置偏东,在115°E附近;而28日正涡度生成较早,于26日在100°E以西生成,并不断东传。从7次正涡度东传至大连时,除9—11日无中小尺度正涡度中心外,其他6次均有中尺度正涡度中心位于大连地区,所以这6次过程均出现了短时强降水。从纬度—时间剖面图(图5b)可以看出,1—2日、9—11日、15—16日、23日、28日、30日都在33°N—35°N范围有正涡度生成并向北传;而18—20日正涡度在25°N以南生成并不断向北传递,但强度不强。综上所述,1—2日、9—11日和15—16日3次暴雨过程在西南方向,18—20日在西南偏南方向,23日和30日2次过程在偏南方向,而28日在西南偏西方向有正涡度生成并向东北方向传播影响大连地区,正涡度的生成及传播或许伴随着低涡东南移,造成暴雨的产生,其中中小尺度正涡度中心对应短时强降水过程。

从2013年7月FY-2E红外卫星云图的演变

情况看出(图略),7次暴雨过程前在大连西南、西南偏西、西南偏南等方向,即河套中、东部地区均有东北—西南向降水云带存在,并向东北方向移动,其中1—2日、9—11日、15—16日、22—23日、27—28日、29—30日的云带上有多尺度 $<200$  km的中尺度云团,与大连西南、西南偏西、西南偏南3个方向的中尺度正涡度中心相对应,中尺度云团的东北移,也与中尺度正涡度中心东北移动有很好的对应关系。图6是1—2日、18—20日、27—28日3次暴雨过程的中尺度对流云团分布情况。1日17:00,在大连西南方即河北省东南部至山东省西部有多个尺度 $<200$  km的中尺度对流云团(图6a),与前一次云团对比,向东北方向移动(图略);18日23:00,南—北向的冷锋云带上在大连南部渤海海峡内有多个尺度 $<100$  km的中尺度对流云团向偏北方向移动(图6b);27日22:00,在河北省和山东省交界处有多个 $<200$  km的中尺度对流云团东北移(图6c)。3个暴雨个例中的中尺度对流云团产生的位置以及移动方向均与同时间的中尺度正涡度中心的位置和移动方向相对应,进一步证实了大连西南方、西南偏西、西南偏南的低值系统是产生暴雨的主要影响系统之一。可见2013年7月持续性暴雨过程中,大连西南部低值系统活动频繁,有7次低值系统生成和发展,并自西南向东北方向移动影响大连地区,与7次暴雨天气过程相对应。大连西南方低值系统是造成2013年7月大连地区持续性暴雨过程的重要中尺度系统。

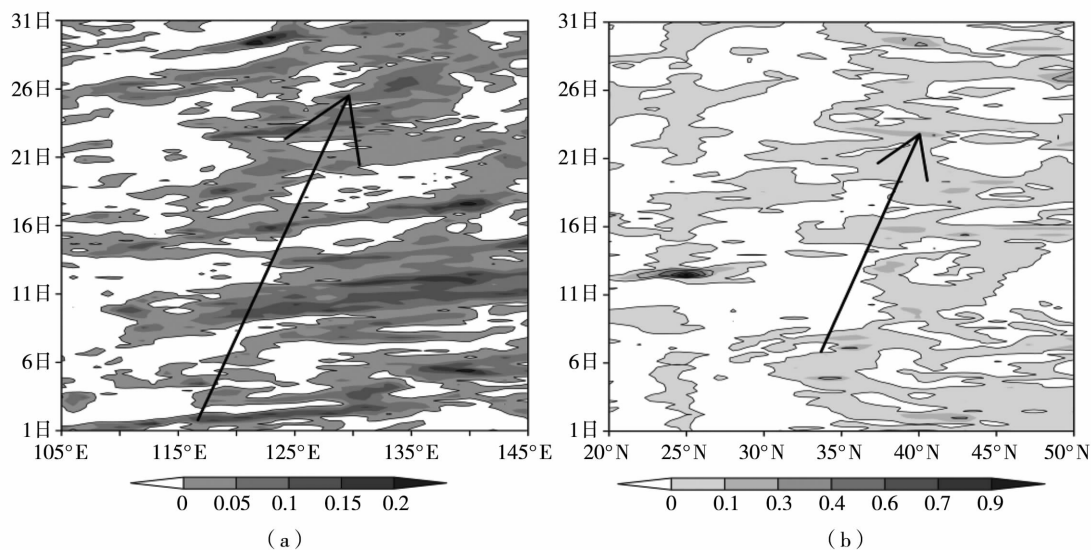


图5 2013年7月700 hPa涡度沿39.5°N的经度—时间剖面(a)和沿121.5°E的纬度—时间剖面(b)(单位: $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )(箭头为正涡度传播方向)

Fig. 5 The longitude - time section of vorticity along 39.5°N (a) and latitude - time section of vorticity along 121.5°E (b) on 700 hPa in July 2013 (Unit: $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) (The arrow for the propagation direction of positive vorticity)

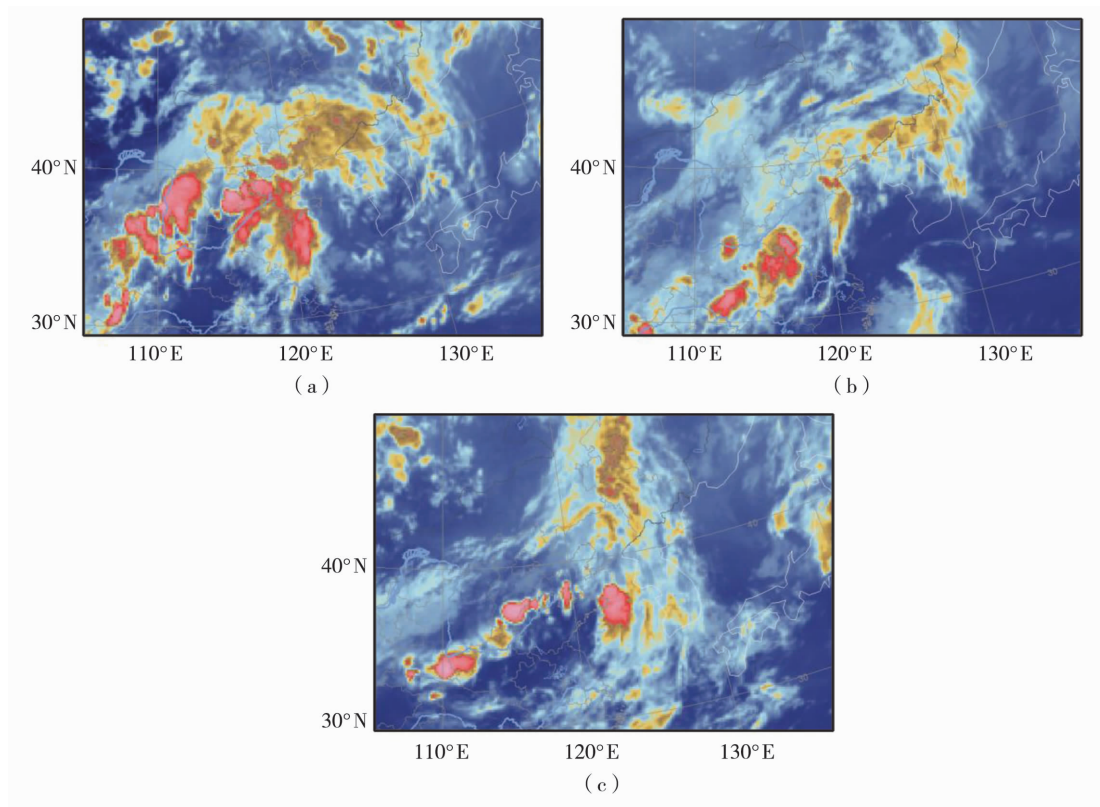


图6 2013年7月1日17:00(a)、18日23:00(b)、27日22:00(c)FY-2E红外卫星云图

Fig. 6 Infrared cloud images of FY-2E satellite at 17:00 BST on 1 (a), 23:00 BST on 18 (b) and 22:00 BST on 27 (c) July 2013

## 5 持续性暴雨物理量特征

图7为2013年7月大连持续降水期间沿 $121.5^{\circ}\text{E}$ 平均物理量的垂直剖面。假相当位温( $\theta_{se}$ )垂直剖面上(图7a),在 $40^{\circ}\text{N}$ 附近垂直方向等 $\theta_{se}$ 线分布密集,梯度非常强,说明该区域气团热力学性质不连续,600 hPa以下向南倾斜,500 hPa以上向北倾斜,形成一较强的 $\theta_{se}$ 锋区。在 $40^{\circ}\text{N}$ 附近 $\theta_{se}$ 从地面至600 hPa随高度逐渐减小,说明2013年7月持续性降水期间大连地区上空有不稳定层结。而600~500 hPa为等 $\theta_{se}$ 区,低层不稳定层内暖湿空气受扰动抬升,在此处与北部干冷空气交汇,并且对流层中性层结有利于低层暖湿水汽的不断抬升,而上层稳定层结则有利于冷暖空气在中层不断交绥,因此 $\theta_{se}$ 垂直方向的这种“不稳定层结—中性层结—稳定层结”结构有利于暴雨的持续发生发展。

在比湿垂直剖面上(图7b),在 $40^{\circ}\text{N}$ 附近上空有一向上伸展至500 hPa的湿舌。在其南部 $38^{\circ}\text{N}$ 、北部 $44^{\circ}\text{N}$ 附近分别有一支从400 hPa向下向北、向下向南伸展的干舌,并与该湿舌在800 hPa附近交绥。综合平均 $\theta_{se}$ 分布可见,2013年7月大连地区一直是干冷空气和暖湿气流的交汇带。暴雨的发生不

仅取决于水汽的通过能力(水汽通量),更重要地决定于水汽的集中能力(水汽通量散度)。分析2013年7月平均水汽通量散度(图7c)发现,在 $38^{\circ}\text{N}$ — $42^{\circ}\text{N}$ 间对流层中低层700 hPa以下是水汽通量辐合层,说明该区域内有充足的水汽作为成云致雨的“原料”,大连地区正好在此区域内。其中 $38^{\circ}\text{N}$ — $39^{\circ}\text{N}$ 区域是水汽通量辐合的大值区,表明大连南部地区上空水汽条件更加充足,降水也更强。

从垂直速度分布上(图7d), $37^{\circ}\text{N}$ — $40^{\circ}\text{N}$ 区域内整个对流层是垂直运动的上升区,800~300 hPa范围内均表现为强盛的上升运动,垂直速度达 $-12 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其中500~400 hPa为上升运动大值中心,垂直速度达 $-16 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这为2013年7月大连地区连续暴雨的发生提供了强有利的动力条件。对应的涡度和散度垂直剖面图(图略)中, $39^{\circ}\text{N}$ — $42^{\circ}\text{N}$ 范围内对流层下层为正涡度区,对流层中上层为负涡度区; $40^{\circ}\text{N}$ 附近,对流层中低层是辐合,中高层是辐散。总之,整个降水期间大连上空的涡度、散度、垂直速度场持续维持有利的垂直配置结构,为连续暴雨发生发展提供有利的动力条件。

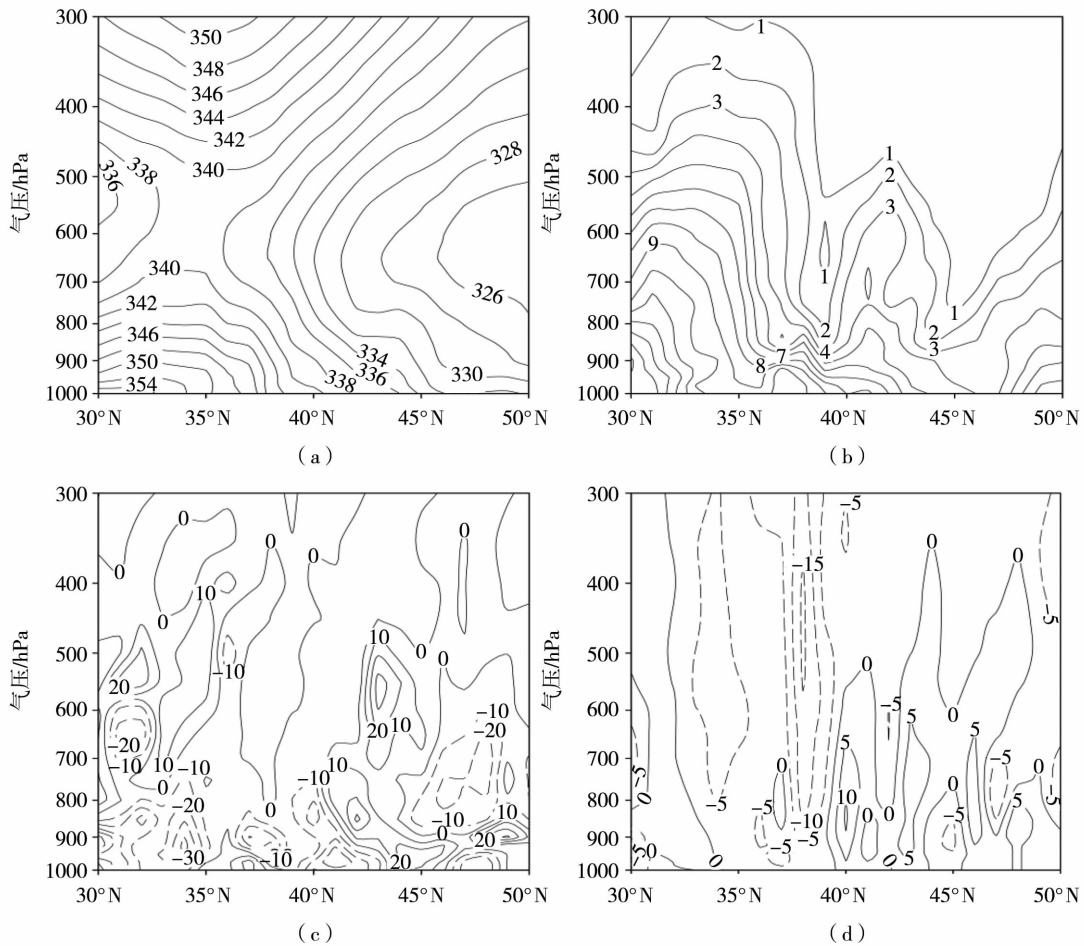


图7 2013年7月沿121.5°E的假相当位温(a,单位:K)、比湿(b,单位:g·kg<sup>-1</sup>)、水汽通量散度(c,单位:10<sup>-6</sup> kg·hPa<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)和垂直速度(d,单位:10<sup>-2</sup> Pa·s<sup>-1</sup>)垂直剖面

Fig.7 The vertical sections of average  $\theta_{se}$  (a, Unit:K), specific humidity (b, Unit:g·kg<sup>-1</sup>), water vapor flux divergence (c, Unit:10<sup>-6</sup> kg·hPa<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) and vertical velocity (d, Unit:10<sup>-2</sup> Pa·s<sup>-1</sup>) along 121.5°E in July 2013

## 6 结论

(1)2013年7月大连连续暴雨期间,副热带高压较常年偏强、偏西、偏北,低层平均风速场上大连位于急流出口区的左侧;副高后部偏南流场配合低值系统前偏南流场,从华北、华东有2条水汽辐合带向大连汇合,为持续降水提供了有利的水汽输送;中高层辐散区的抽吸作用,加强抬升运动。

(2)2013年7月乌拉尔山高压持续维持,引导西伯利亚冷空气南下至贝加尔湖形成冷槽,同时鄂霍次克海高压持续维持,有利于贝加尔湖冷槽加强并稳定维持,加上副高及其后部切变的稳定维持是大连连续暴雨发生的有利的大尺度环流背景。

(3)2013年7月大连连续暴雨过程中有7次低值系统东北移到大连上空,其中6次中小尺度正涡度中心的移动对应6次短时强降水过程。说明正涡

度的生成及传播,伴随有低涡的生成和移动。

(4)假相当位温垂直方向的“不稳定层结—中性层结—稳定层结”结构有利于强烈上升运动的产生和维持,同时强烈的水汽通量辐合、涡度和散度场的有利配置为大连连续暴雨提供了非常有利的热力动力条件。

### 参考文献

[1] 陈永仁,师锐,李跃清,等. 四川盆地持续性暴雨发生的一类环流特征研究[J]. 高原山地气象研究,2010,30(1):29-34.  
 [2] 覃昌柳,黎惠金. 广西一次持续性强降雨过程成因分析[J]. 气象与环境科学,2012,35(1):26-31.  
 [3] 宋清芝,乔春贵,谷秀杰,等. 郑州市两次不同背景下特大暴雨诊断分析[J]. 气象与环境科学,2010,33(3):11-17.  
 [4] 周春花,张驹. 2012年8月四川盆地东部一次持续性暴雨过程的中尺度特征分析[J]. 高原山地气象研究,2013,33(3):31-36.

- [5] 唐浩鹏,王芬,金强兵. 2014 年 7 月 13~17 日贵州持续性暴雨的分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2015,9(6):41-49.
- [6] 魏秀兰,赵熙,黄玉芳. 2010 年和 2011 年鲁西南初秋罕见连阴雨天气对比分析[J]. 干旱气象,2015,33(4):626-634.
- [7] 王霄,孔海江. 2011 年秋季河南持续降水的低频环流特征[J]. 气象与环境科学,2014,37(1):62-68.
- [8] 王忠东,曹楚. 2005 年 6 月 18—22 日浙南持续性梅雨锋暴雨过程诊断分析[J]. 气象与环境科学,2012,35(1):32-37.
- [9] 陈业国,农孟松. 2008 年 6 月广西持续性暴雨的诊断与数值模拟[J]. 气象科学,2010,30(2):250-255.
- [10] 王晓芳,黄华丽,黄治勇. 2010 年 5~6 月南方持续性暴雨的成因分析[J]. 气象,2011,37(10):1206-1215.
- [11] 林爱兰,李春晖,郑彬,等. 广东前汛期持续性暴雨的变化特征及其环流形势[J]. 气象学报,2013,71(4):628-642.
- [12] 胡亮,何金海,高守亭. 华南持续性暴雨的大尺度降水条件分析[J]. 南京气象学院学报,2007,30(3):345-351.
- [13] 鲍名. 近 50 年我国持续性暴雨的统计分析及其大尺度环流背景[J]. 大气科学,2007,31(5):779-792.
- [14] 梁军,李燕,黄艇,等. 2013 年辽东半岛 2 次切变线暴雨的对比分析[J]. 干旱气象,2015,33(5):822-829.
- [15] 王亚非,宋永加. 1991 年夏东亚阻塞高压形成的诊断分析[J]. 气象学报,1998,58(2):212-223.

## Causes Analysis of Continuous Rainstorm over Dalian Area of Liaoning Province in July 2013

LI Yan<sup>1</sup>, LIU Yong<sup>2</sup>, SAI Han<sup>1</sup>

(1. *Dalian Meteorological Observatory of Liaoning Province, Dalian 116001, China;*  
2. *Liaoning Provincial Meteorological Bureau, Shenyang 110001, China*)

**Abstract:** Based on the meteorological observation data from automatic weather stations and NCEP reanalysis data, the causes of seven continuous rainstorms over Dalian area of Liaoning Province in July 2013 were analyzed. The results showed that the maintenance of Ural and Okhotsk blocking high was conducive to cold air from Siberian moving southward to the Lake Baikal, and the cold air gathered and strengthened into a low trough during the continuous rainstorm in July 2013. The West Pacific subtropical high in July 2013 was stronger than the normal, and its location was to the west and north. Two moisture convergence belts from North China and East China gathered to Dalian. The low vortex in the southwest of Dalian moving eastward was an important mesoscale convective system in triggering rainstorm. The occurrence and maintenance of strong upward movement resulted from the vertical structure of potential pseudo-equivalent temperature with unstable-neutral-stable, and the strong vapor flux convergence and favorable configuration of vorticity and divergence provided powerful dynamic and thermal conditions for rainstorm.

**Key words:** continuous rainstorm; subtropical high; blocking high; low-pressure system; unstable stratification