

Analysis of a Heavy Warm Area Rainstorm over Dalian

Xiangcun Cao, Guangbin Xia

Unit 15 of No. 91550 Troop of PLA, Dalian Liaoning
Email: sea121@126.com

Received: Jan. 18th, 2017; accepted: Feb. 5th, 2017; published: Feb. 8th, 2017

Abstract

The rare regional heavy rainstorm process which occurred in Dalian on July 1-2 2013 was analyzed by using a variety of data. The results show that: (1) The heavy rainstorm process was the interaction result of multiple systems such as northeast cold eddy, subtropical high, Hetao cyclone and strong tropical storm "Rumbia"; the rainfall occurred mainly in the east of Hetao cyclone and was a warm sector rainstorm; (2) the rainstorm can be divided into two stages; uneven precipitation showed obvious mesoscale features; the position and intensity of the mesoscale convective system with TBB $\leq -52^{\circ}\text{C}$ was a good indication for short-time strong precipitation area; (3) during the precipitation, the wet layer over Dalian was very thick; water vapor mainly came from the north of the south China sea; the landing and northward moving of "Rumbia" had obvious effect of distant influence of tropical cyclone and contributed to the increase of precipitation; (4) since the upper trough deepened and the subtropical high stretched westward, the southwest low-level jet strengthened, which caused the middle-level and low-level convergence over Dalian strengthened together with the surface convergence line moving eastward, and this provided a favorable dynamic conditions for the rainstorm with overlaying of strong upper divergence; (5) There was an obvious high energy tongue over Dalian; the enhance of warm advection under 700 hPa contributed to the establishment of the low-level high-energy center and made the convective instability intensified, which was also an important cause of the rainstorm.

Keywords

Warm Sector Rainstorm, Northeast Cold Vortex, Hetao Cyclone, Mesoscale Convective System, Low-Level Jet, Distant Influence of Tropical Cyclone, High Energy Tongue

大连地区一次暖区大暴雨过程分析

曹祥村, 夏光滨

中国人民解放军91550部队15分队, 辽宁 大连
Email: sea121@126.com

收稿日期: 2017年1月18日; 录用日期: 2017年2月5日; 发布日期: 2017年2月8日

摘要

采用多种资料对2013年7月1~2日发生在大连地区的一次历史上少见的区域性大暴雨过程进行了诊断分析, 结果表明: (1) 这次大暴雨过程是东北冷涡、副热带高压、河套气旋和“温比亚”强热带风暴等多个系统配合的结果, 降水主要发生在气旋东部, 是一次暖区暴雨过程; (2) 强降水可分为两个阶段, 降水分布不均匀, 具有明显的中尺度特征, $TBB \leq -52^\circ\text{C}$ 对流云团的位置和强度对短时强降水落区有较好的指示作用; (3) 降水期间大连上空湿层深厚, 水汽主要来自南海北部, “温比亚”强热带风暴登陆北上具有明显的台风远距离暴雨效应, 对降水的增幅有促进作用; (4) 高空槽加深和副热带高压西伸共同作用, 使西南风低空急流加强, 配合地面风向辅合线的东移, 使大连地区中低层辐合加强, 与高空强辅散区叠置, 为暴雨的形成提供了有利的动力条件; (5) 大连上空存在明显的高能舌, 700 hPa以下暖平流的增强促进了低层高能中心的建立, 并导致对流不稳定性的加剧, 是造成强降水的重要原因。

关键词

暖区暴雨, 东北冷涡, 河套气旋, 中尺度对流系统, 低空急流, 台风远距离影响, 高能舌

Copyright © 2017 by authors 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

2013年7月1~2日, 华北及东北地区出现了一次大范围强降水过程, 大连地区降水持续时间不到20个小时, 但多达53个站点雨量达到大暴雨级别, 最大降水量247 mm, 最大雨强60.7 mm/h, 雨量之大、范围之广、雨势之急在大连历史上非常少见。受短时强降水影响, 市区出现大面积的积水内涝, 全市多座水库超汛限水位, 庄河等地还发生了严重洪涝灾害, 仅庄河多达3006户房屋受淹, 受淹人口达6000人, 耕地、大棚被淹超过10万亩, 道路损坏4.7公里, 堤坝损毁及决口50公里, 直接经济损失达数亿元。这次大暴雨是河套气旋发展东移造成的, 大连地区降水主要发生在气旋东部, 是一次暖区暴雨过程。

薄兆海[1]研究指出气旋是造成大连地区大范围、区域性暴雨最主要的影响系统, 按源地不同可分为南部倒槽发展型[2]、江淮气旋北上型[3]、河套气旋东移型[4]等多种, 其中河套气旋东移型是华北及大连地区出现暖区暴雨的典型形势。李燕等[4]分析大连地区一次暖锋暴雨过程的成因和雷达回波特征指出, 强湿区配合暖锋前低层辅合中心、高层辅散中心, 为暖锋大暴雨天气提供了水汽和动力条件; 暖锋前部45dBz的中-β尺度反射率及速度场上“单牛眼”特征, 是造成暴雨过程的直接原因。在北京721暴雨的研究中, 第1阶段的强降水被一致认定为河套气旋暖区降水[5][6][7][8], 暖区内MCS系统的发展是导致北京721极端暴雨的重要原因之一。徐珺等[9]分析一次由黄淮暖切变线引发的豫东北、鲁南和苏北等地暖区大暴雨过程的成因时指出, 整层高湿环境有利于降低暖区暴雨对抬升条件的要求、提高降水效率和局地不断生成中尺度对流系统。以上研究表明北方暖区暴雨虽然发生次数少、但降水强度却较大, 预报难度大。本文采用大连地区自动雨量站资料、MTSAT卫星 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的逐时TBB资料以及NCEP的 $1^\circ \times 1^\circ$ 每日4时次(02、08、14和20时)的FNL再分析资料等, 对这次大暴雨过程进行了综合分析, 通过探讨此次大暴雨的特点及成因, 为今后大连暴雨预报提供参考依据。

2. 暴雨概况

实况监测表明,此次降水过程于7月1日16时后首先在大连南部的旅顺地区出现,雨区逐渐向北发展,20时后开始全区性降水并伴有短时强雷暴发生,2日05时后雨势逐渐减小,至12时基本结束。过程造成全市132个自动雨量站平均降水量87.9 mm,其中降水量在100 mm以上的站点多达53个,大多分布于北部的普兰店、瓦房店和庄河地区,庄河平均降水量高达142 mm,其中3个站点雨量超过200 mm,庄河永记站点达247 mm,为全市之最。过程降水量分布不均匀,总体表现为西南低、东北高的特点,可能跟地形地势以及相对于气旋的位置、距离不同有关[10]。

从逐时雨量来看(见表1),整个降水过程有两个明显高峰期:第一次强降水出现在7月1日22~24时,主要发生在大连北部的瓦房店和庄河地区,期间有20个左右站点雨强超过20 mm/h,其中5~6个站点雨强超过30 mm/h;第二次强降水出现在2日03~05时,特别是04~05时,全市多达33个站点雨强超过20 mm/h,其中14个站点雨强超过30 mm/h,大连站和市内凌水桥站点1h降水量分别高达51.7 mm和60.7 mm。据统计,过程期间累计133站次雨强超过20 mm/h,43站次雨强超过30 mm/h,3站次雨强超过50 mm/h。由此可见,这次大暴雨过程不仅范围广、雨量大,雨势也非常强,具有明显的中尺度对流特征。

Table 1. Hourly precipitation at main stations of Dalian

表 1. 大连地区主要站点逐时降水量统计表

时间	大连	旅顺	金州	皮口	普兰店	瓦房店	庄河	长海	>20 mm/h 站点数	>30 mm/h 站点数
2013-7-1: 16:00-17:00	0.4	1							0	0
2013-7-1: 17:00-18:00	12.8	1	0.8						2	0
2013-7-1: 18:00-19:00	3.4		5.1		0.9				2	1
2013-7-1: 19:00-20:00			0.1	2.4	3.1	2.7		10	2	1
2013-7-1: 20:00-21:00	0.1		2.3	20.7	3.7	4.8	1.4	2.9	2	1
2013-7-1: 21:00-22:00	0.1	0.1	0.2	7.7	6.3	15.5	13.5	1	9	2
2013-7-1: 22:00-23:00	0.5	1.3	1.2	4.7	3.1	28.9	28.1	8.8	23	5
2013-7-1: 23:00-24:00	1.6	0.1	0.1	4	4.2	10.2	26.6	0.2	17	6
2013-7-2: 00:00-01:00	0.4	0.3		7.4	7.1	7	10.5	10.1	5	1
2013-7-2: 01:00-02:00	0.9	1.5	0.9	0.6	0.2	0.8	10.2	7.2	5	1
2013-7-2: 02:00-03:00	4.2	7.2	3.2	0.4	2.8	4.6	13.9	5	3	1
2013-7-2: 03:00-04:00	6.7	23.5	7.6	11.7	15.2	9.8	16.3	12.8	25	9
2013-7-2: 04:00-05:00	51.7	19.9	13.2	19.5	7.7	6.7	19.8	21.5	33	14
2013-7-2: 05:00-06:00	11.9	15.9	7.3	4.9	3.8	4.9	6	8.2	2	1
2013-7-2: 06:00-07:00	2.4	10.4	1.2	1.3	0.1	0.2	3.8	2.4	1	0
2013-7-2: 07:00-08:00	2.6	5	1.9	1.1	3.8	5.5	11.9	10.6	2	0
2013-7-2: 08:00-12:00	0.5	0.2	0.6	0.9	3.4	5.5	11.9	9.9	0	0
合计	100.2	87.4	45.7	87.3	65.4	107.1	173.9	110.6	133	43

3. 环流形势分析

3.1. 高空形势

这次大暴雨过程是在东北冷涡、副热带高压、河套气旋和南海强热带风暴等多个系统共同影响的有利条件下出现的。从图 1(a)可见, 1 日 14 时, 500 hPa 上东北上空有低涡存在, 冷槽落后于涡底浅槽, 斜压性明显, 预示未来高空槽将加深。这时副高 588 线西伸至闽浙地区, 引导南海北部 1306 号强热带风暴“温比亚”向西北移动。对应 200 hPa 上华北上空为大陆高压控制, 40°N~45°N 地区存在纬向高空急流, 大连位于大陆高压东北部、靠近高空急流出口区右侧(图略)。这时 700 hPa 和 850 hPa 上东北低涡南部至河套地区存在西北风和西南风的冷切变, 950~700 hPa 上南海北部至长江中下游地区以及东北地区均存在风速 ≥ 12 m/s 的低空急流(图略), 以 850 hPa 上急流最强, 最大风速约 18 m/s (图 1(a)), 说明低空急流层深厚且风速较大, 有利于将南海暖湿气流向华北、东北地区输送。此后, 200 hPa 高空急流带在东北上空呈反气旋性弯曲加强, 受高空急流右侧辐散强迫影响, 500 hPa 涡底浅槽东移加深, 700 hPa 和 850 hPa 上河套下游逐渐转为北到东北风与西南风的切变, 辅合明显增强。同时, 副热带高压出现了明显的西伸北抬, 引导“温比亚”强热带风暴在广东登陆北上。至 2 日 02 时, 其东北侧的东南急流与切变线前的西南急流逐渐连成一片, 850 hPa 上位于山东半岛上空的急流中心风速增大到 24 m/s, 大连位于急流中心的左前方(图 1(b)), 低空急流不仅向大连地区输送了大量的水汽, 还有利于上升运动, 从而导致短时雷暴天气的出现。2 日 08 时后, 随着高空槽过境, 低空急流轴也随之东移, 大连地区降水逐渐结束。

3.2. 地面形势

地面图上, 1 日 14 时我国东部沿海为副热带高压控制, “温比亚”强热带风暴位于南海北部; 四川盆地、河套中下游及东北地区, 分散排列着 4 个弱低压, 中心气压 998 hPa (图 2(a))。此后, 由于高空槽东移加深、中低层辅合加强, 诱使河套地区弱低压发展加强。大连位于新生河套气旋前部, 受其东移影响, 16 时后大连南部地区开始降水, 初始为小雨, 但雨强很快增大且雨区向北部逐渐扩大。至 2 日 02 时, “温比亚”强热带风暴从广东登陆北上, 同时河套气旋东移与东北低压打通融合, 中心气压降至 994 hPa, 这时大连位于气旋暖锋附近(图 2(b)), 降水全面增强。2 日 08 时后, 随着气旋进一步东移, 大连地区转入气旋冷锋后部, 降水很快结束。

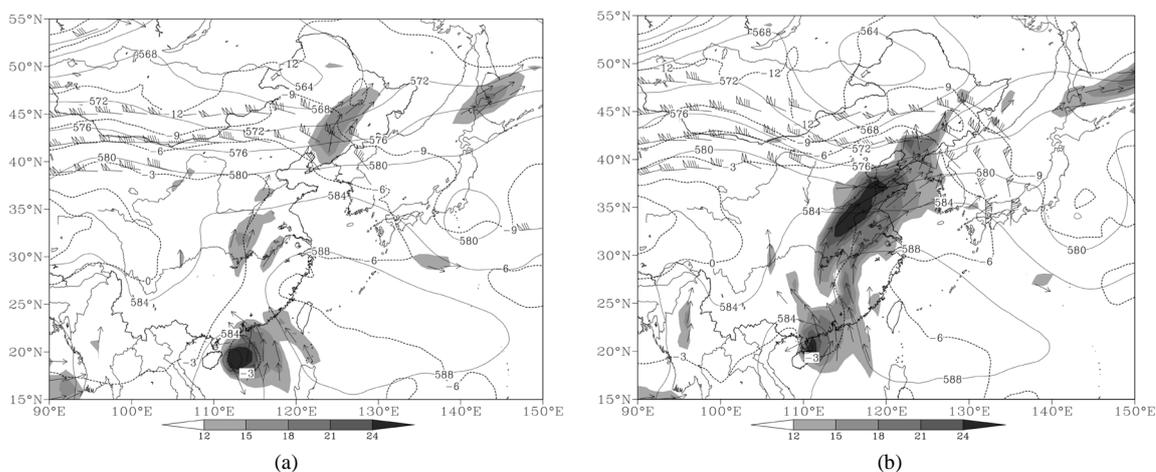


Figure 1. The 500 hPa Height (solid line, unit: dagpm) and temperature (dashed line, unit: °C) and 200 hPa upper-level jet (barb, unit: m/s) and 850 hPa low-level jet (arrow, shaded area, unit: m/s) at (a) 14:00 BT 1 July and (b) 02:00 BT 2 July
图 1. 500 hPa 位势高度场(实线, 单位: dagm)和温度场(虚线, 单位: °C)和 200 hPa 急流(风羽, 单位: m/s), 850 hPa 急流(箭头, 单位: m/s, 阴影区为急流)((a)1 日 14 时; (b)2 日 02 时)

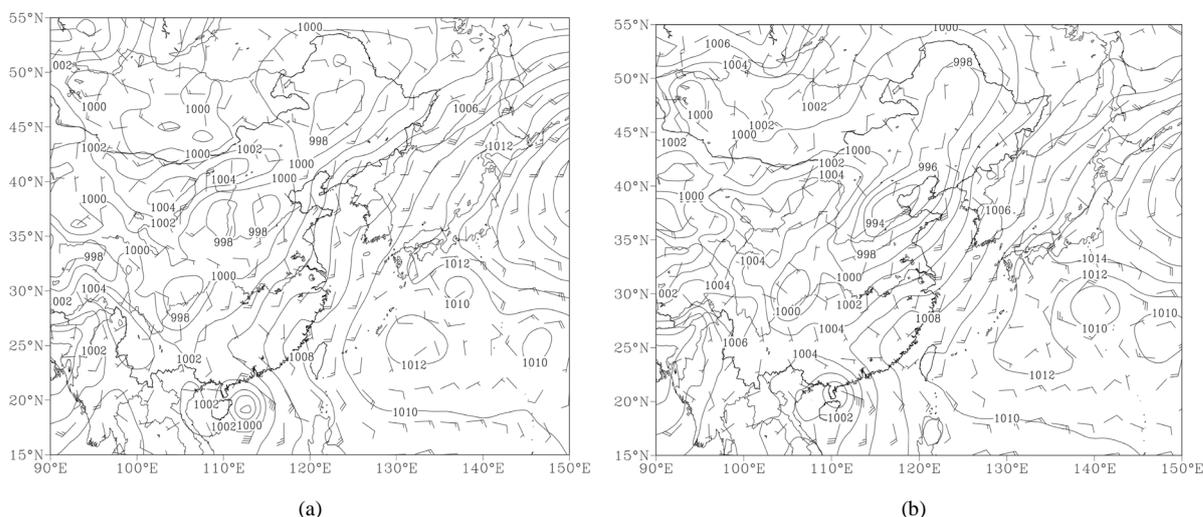


Figure 2. Sea level pressure (contour, unit: hPa) and wind at 10 m (barb, unit: m/s), at (a) 14:00 BT 1 July and (b) 02:00 BT 2 July, 2013

图 2. 海平面气压场(等值线, 单位: hPa)和 10 m 风场(风羽, 单位: m/s) ((a)1 日 14 时; (b)2 日 02 时)

以上分析表明这次大暴雨过程是在各种有利的天气条件下, 由北部的低涡系统配合高空槽加深和地面河套气旋东移过境共同造成的, 暴雨主要发生在中低层切变线前、地面气旋的暖区; 暴雨期间, 大连始终位于高空急流出口区右侧和低空急流中心的左前方, 高低空急流在大连上空的耦合不仅有利于产生较强的上升运动, 还有利于将来自南海的暖湿气流源源不断地输送到大连地区, 为暴雨的发生提供充足的水汽条件。此外, 副热带高压的西伸北抬引导“温比亚”强热带风暴登陆北上, 与高空槽加深共同作用, 导致从南海北部到大连地区低空急流的增强, 对降水的增幅有促进作用, 具有明显的台风远距离暴雨效应。

4. 卫星云图 TBB 特征分析

如前所述, 这次大暴雨过程降水时间集中, 雨强大且分布不均, 具有明显的中尺度特征。从 MTSAT 卫星逐时 TBB 特征来看, 这次大暴雨过程主要是 3 个 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 的中- β 尺度对流云团的发展和演变造成的。如图 3(a)所示, 1 日 21 时, 有 3 个 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 的对流云团分别位于渤海北部至大连中北部(A)、渤海湾(B)、河北东南部及山东西北部(C), 这时大连开始全区性降水且中北部相对较大。随着 A 云团东移覆盖大连中北部上空(图 3(b)和图 3(c)), 大连地区迎来第一次强降水时段, 中北部地区多达 9 个站点雨强超过 20 mm/h, 并有 2 个站点雨强超过 30 mm/h。同时, B、C 两个对流云团也向东移动, B 云团面积明显增大且出现小片 $TBB \leq -72^{\circ}\text{C}$ 的冷中心(图 3(d)和图 3(e))。至 2 日 02 时, 由于 A 云团东移远离大连, 大连北部地区降水明显减弱; 但与此同时, C 云团移速加快逐渐与 B 云团融合, 其前部开始影响大连南部地区, 大连南部降水开始增强(图 3(f)和图 3(g))。至 2 日 04 时(图 3(h)), 完全融合后的 B、C 对流云团发展成熟, 近似呈圆形, $TBB \leq -72^{\circ}\text{C}$ 云区近似处于对流云团中心, 已覆盖大连市上空, 导致了第二次短时强降水的发生。该云团影响期间, 全市累计 58 站次雨强超过 20 mm/h, 23 站次雨强超过 30 mm/h, 3 站次雨强超过 50 mm/h, 市内凌水桥站点 1 h 降水量更是高达 60.7 mm, 约占该站过程累计降水量(104.4 mm)的 60%。2 日 05 时(图 3(i))后随着该云团的东移, 大连地区降水明显减弱。由此可见, $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 的中- β 尺度对流云团的位置及强度对本次短时强降水的落区有明确的指示作用, 是导致大暴雨的主要因素, 其中 $TBB \leq -72^{\circ}\text{C}$ 的强对流中心对短时暴雨的贡献尤为明显。

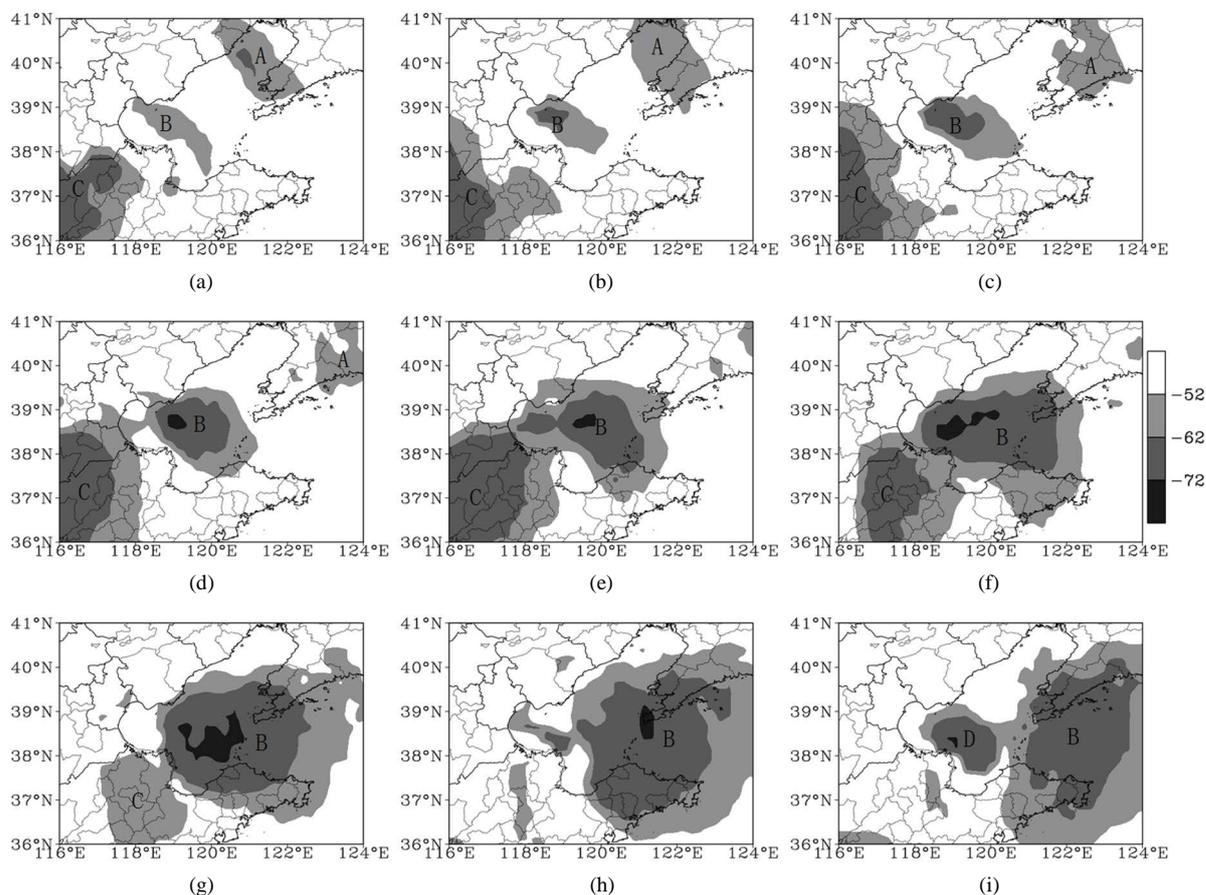


Figure 3. The hourly MTSAT satellite's TBB images from (a) 2013-07-01, 21:00; (b) 2013-07-01, 22:00; (c) 2013-07-01, 23:00; (d) 2013-07-02, 00:00; (e) 2013-07-02, 01:00; (f) 2013-07-02, 02:00; (g) 2013-07-02, 03:00; (h) 2013-07-02, 04:00; (i) 2013-07-02, 05:00

图3. MTSAT卫星逐时TBB图像((a)-(i)依次对应于1日21时至2日05时)。(a) 2013-07-01, 21:00; (b) 2013-07-01, 22:00; (c) 2013-07-01, 23:00; (d) 2013-07-02, 00:00; (e) 2013-07-02, 01:00; (f) 2013-07-02, 02:00; (g) 2013-07-02, 03:00; (h) 2013-07-02, 04:00; (i) 2013-07-02, 05:00

5. 物理量场分析

5.1. 水汽条件分析

充足的水汽是产生暴雨必不可少的条件之一。从大连地区相对湿度(图4(a))和水汽通量散度场(图4(b))的高度-时间剖面图来看,1日14时大连地区200 hPa以下相对湿度都在60%以上,其中850 hPa以下相对湿度超过85%,这种整层高湿环境有利于高降水效率和高雨强的出现[9]。不仅如此,同时刻700 hPa以下水汽通量散度略小于0,存在弱的水汽辅合,说明降水前大连地区已具备较好的水汽条件且水汽仍在积聚。随着时间推移,大连地区200 hPa以下相对湿度显著增加,至2日02时前后,近地面和对流层中上部均出现相对湿度>95%的高湿区,湿层非常深厚,为暴雨的形成和维持提供了充足的水汽。与之相应,大连上空低层水汽辅合值逐渐增大,2日02~08时,近地层辅合中心值最大值超过 $-10 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,同时500 hPa以上高空水汽辅散逐渐增强,水汽抽吸作用明显,正好对应了全区性强降水时段。2日08时后,随着500 hPa上水汽辅散层不断向地面增厚发展,大连上空整层水汽均转为流失,降水结束。

以水汽辅合最为明显的925 hPa为例,进一步分析水汽的来源。从图5可见,1日14时,我国40°N以南地区比湿 q 值几乎都在 $15 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,西部高值中心 q 大于 $20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,大连地区 q 值略小,但也大于

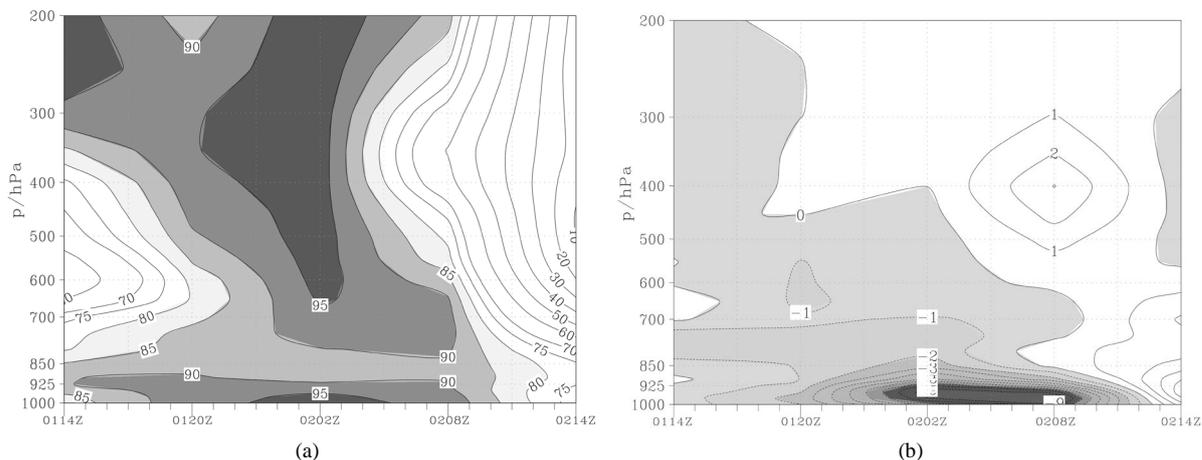


Figure 4. The height-time cross-section of relative humidity ((a) unit: %, shaded area ≥ 80); and moisture flux divergence ((b) unit: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 4. 相对湿度((a)单位: %, 阴影区 ≥ 80)和水汽通量散度((b)单位: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)的高度 - 时间剖面图

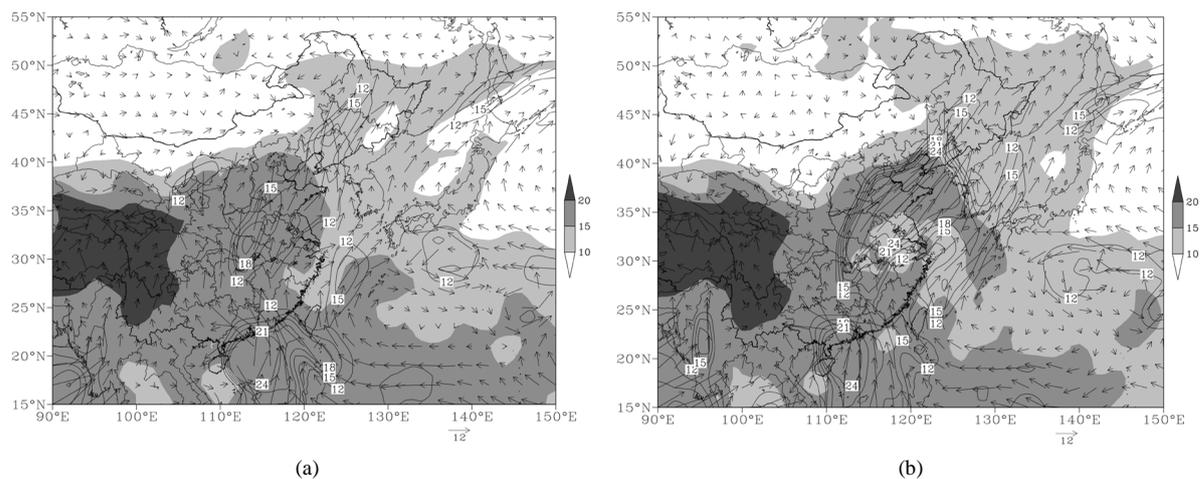


Figure 5. The specific humidity (shaded, unit: g/kg) and moisture flux (arrow, unit: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, contour areas > 12), at (a) 08:00 BT 1 July and (b) 02:00 BT 2 July

图 5. 925 hPa 比湿(阴影区, 单位: g/kg)和水汽通量(矢量箭头, 单位: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 等值线区域 > 12), ((a) 1 日 08 时; (b) 2 日 02 时)

$10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 这时从南海“温比亚”强热带风暴东北部沿副热带高压西部边缘至东北地区, 存在明显的水汽输送通道, 水汽通量高值区可达 $18\sim 21 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。至 2 日 02 时, 随着“温比亚”从广东南部登陆北上, 由南向北的水汽输送更加明显, 长江中下游至辽东半岛水汽通量高值区可达 $24 \text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 大连地区 q 值明显增加。以上分析表明西部地区低层水汽虽然充沛, 但并未向大连地区输送, 导致大连暴雨的主要水汽来源于南海, “温比亚”的登陆北上促进了偏南风低空急流的增强, 有利于来自南海的暖湿气流源源不断地输送到大连地区, 为区域性暴雨的形成提供了良好的水汽条件。

5.2. 动力条件分析

从大连地区散度场和垂直速度场的高度 - 时间剖面图(图 6)来看, 降水开始前, 大连上空 400 hPa 以下散度场以弱辅散为主, 300 hPa 左右存在辅合中心, 这时 700 hPa 以下存在弱的上升气流。1 日 16 时后, 随着整层逐渐转为上升气流, 大连地区开始降水, 且散度场发生明显转换, 500 hPa 以下低层辅合、500 hPa

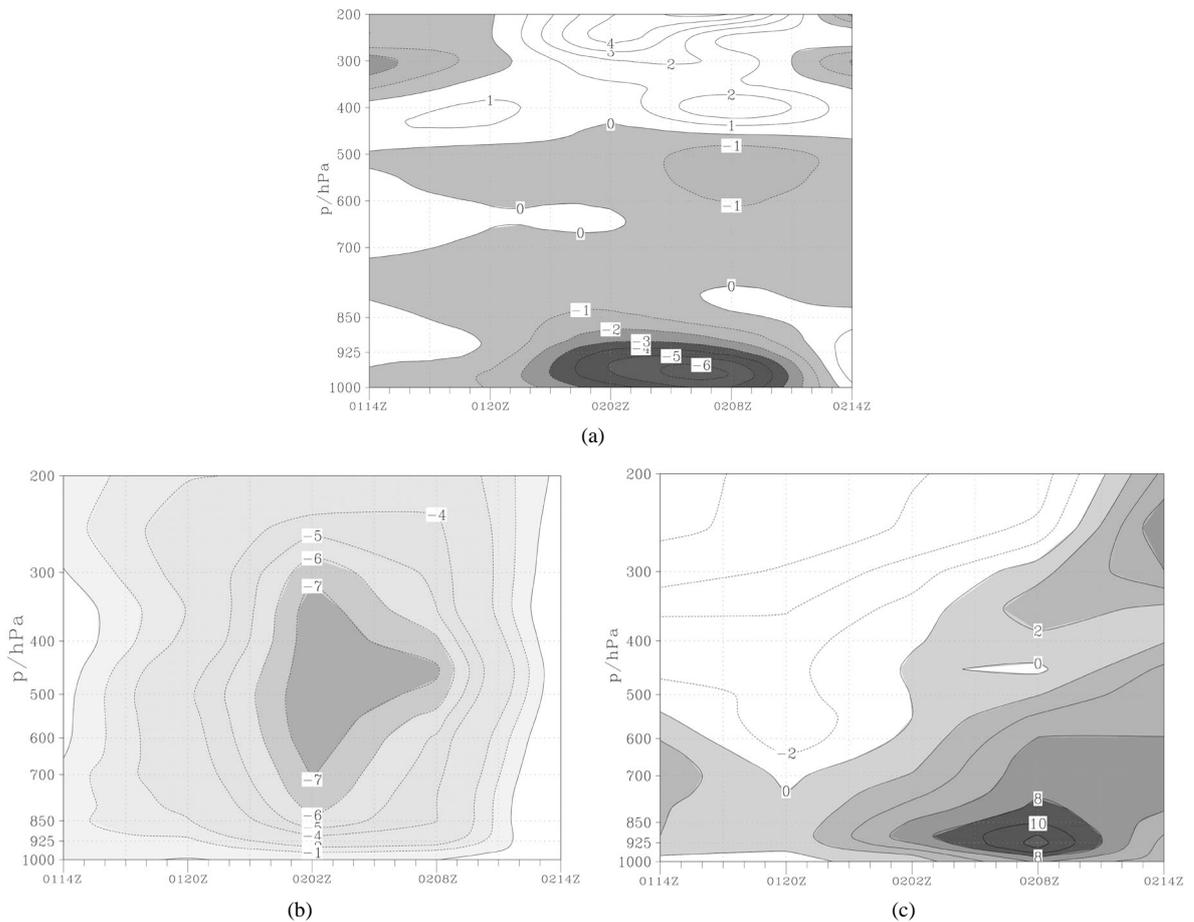


Figure 6. The height-time cross-section of divergence ((a) unit: 10^{-5} s^{-1}) and vertical velocity ((b) unit: $10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$) and vorticity ((c) unit: 10^{-5} s^{-1})

图 6. 大连地区散度((a)单位: 10^{-5} s^{-1})、垂直速度((b)单位: $10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$)和涡度((c)单位: 10^{-5} s^{-1})的高度 - 时间剖面图

以上高层辐散的动力结构逐渐清晰, 这种低层辐合、高层辐散的配置反过来又促进了上升气流的增大, 至 2 日 02~08 时, 700~300 hPa 上升气流最大速度超过 $7 \times 10^{-3} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$, 说明对流发展旺盛, 从而导致了该时段短时强对流天气的出现。

从涡度场来看, 降水前期大连 600 hPa 以下为正涡度, 600 hPa 以上为负涡度, 这是由于在对流层上层大连处于大陆高压前部造成的; 1 日 20 时至 2 日 08 时, 大连低空正涡度值显著增加, 且向上发展, 正涡度层逐渐抬升, 对应了河套气旋的东移靠近。涡度场的变化也表明这次暴雨主要发生在气旋前部。

5.3. 不稳定能量分析

假相当位温 θ_{se} 能较好地反应大气中不稳定能量的状况, θ_{se} 高值区代表的是高温高湿区, 即高能区。当 $\partial p < 0$ 时为不稳定层结, $\partial p > 0$ 时为稳定层结。分析假相当位温场 θ_{se} 可知, 2 日 08 时前, 从地面到 700 hPa, 从西南地区到大连存在一个明显的 θ_{se} 高能舌(图略), 且大连地区 θ_{se} 值随时间推移逐渐增加(图 7(a))。垂直方向上, 从 925 hPa 至 700 hPa 左右, 大连上空 θ_{se} 值随高度增加而递减, 说明气层对流不稳定。降水开始时, 大连 700 hPa 以下 θ_{se} 值增加到 342 K 以上。至 2 日 02~08 时, 925 hPa 附近 θ_{se} 值最大达到 351 K。在此期间, 925~700 hPa 高度上 θ_{se} 等值线加密, 说明气层对流不稳定性加剧, 正好对应了图 6(c)中上升气流速度的增加和短时强雷暴天气的发生。

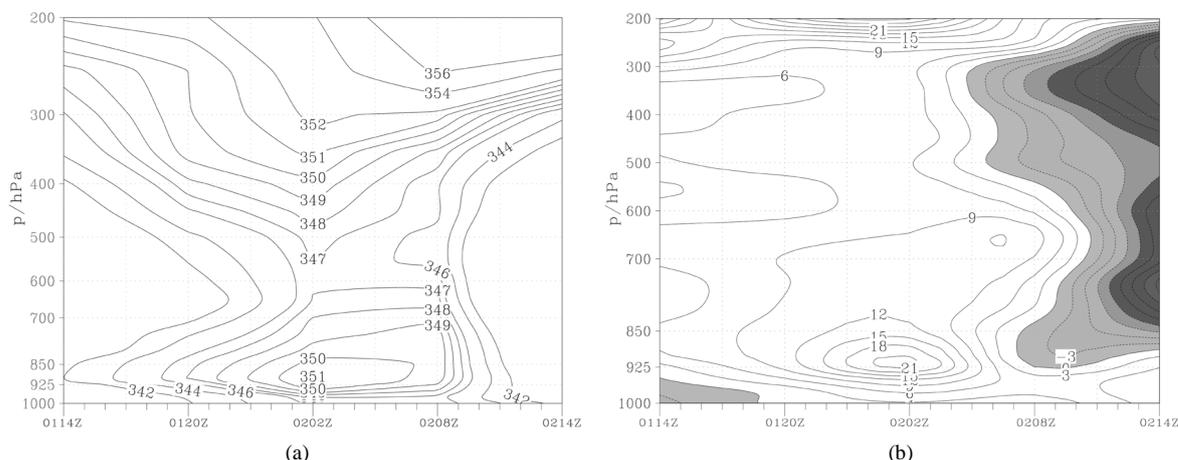


Figure 7. The height-time cross-section of θ_{se} ((a) unit: K) and temperature advection ((b) unit: $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)
图 7. 大连地区假相当位温 θ_{se} ((a)单位: K)和温度平流((b)单位: $10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)的高度 - 时间剖面图

从温度平流的变化来看(图 7(b)), 暴雨期间 θ_{se} 值的变化与与大连上空冷暖平流的变化密切相关。1 日 08 时至 2 日 08 时, 大连上空整层都为暖平流控制, 对应了 θ_{se} 值的逐渐增大。特别是 1 日 20 时后, 700 hPa 以下暖平流明显增强, 至 2 日 02 时, 925 hPa 上形成了 $15 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ 的暖平流中心, 致使 925 hPa 上形成 θ_{se} 约为 351 K 的高能中心和对流不稳定性的加剧。2 日 08 时后, 随着气旋冷锋过境, 对流层中高层冷空气的侵入使得 θ_{se} 值迅速下降, 且对流不稳定性明显减弱, 说明 θ_{se} 值的变化对此次大连暴雨指示作用较好。

6. 结论

利用多种资料, 对 2013 年 7 月 1~2 日发生在大连地区的一次区域性大暴雨、局部特大暴雨过程进行了综合诊断分析, 结论如下:

(1) 这次大暴雨过程是在东北冷涡南部高空槽加深、地面黄河气旋过境等有利大背景条件下产生的, 降水主要发生在中低层切变线左侧、地面气旋暖锋附近;

(2) $\text{TBB} \leq -52^{\circ}\text{C}$ 中- β 尺度对流云团的位置和强度对短时强降水的落区有较好的指示作用, 3 个 $\text{TBB} \leq -52^{\circ}\text{C}$ 的中- β 尺度对流云团是导致此次大暴雨过程的主要原因, 尤以 $\text{TBB} \leq -72^{\circ}\text{C}$ 的对流云团对大暴雨的贡献最为明显;

(3) 造成本次大暴雨过程的水汽主要来自南海北部, “温比亚”强热带风暴的登陆北上, 配合高空槽和中低层切变线前的西南气流, 形成了明显的台风远距离暴雨效应, 对降水的增幅有促进作用;

(4) 暴雨期间, 大连位于低空急流中心的左前方, 偏南风低空急流的增强和地面风向辅合线的逼近使大连地区中低层辐合加强, 与高空强辅散区叠置, 促使上升运动加剧, 为大暴雨的形成提供了有利的动力条件;

(5) 大连上空存在明显的高能舌, 暴雨主要发生在 $\theta_{se} \geq 342 \text{ K}$ 的高温高湿环境下, 中低层暖平流的增强促进了 925 hPa 附近 $\theta_{se} \geq 351 \text{ K}$ 高能中心的建立, 并导致了对流不稳定性的加剧, 是造成此次强降水的必要条件。

参考文献 (References)

- [1] 薄兆海, 王式功, 梁军, 等. 大连地区近 46 年暴雨统计分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(2): 803-805.
- [2] 李燕, 薄兆海, 何玉科. 大连大暴雨天气过程个例分析[J]. 气象科技, 2007, 35(2): 222-226.

- [3] 于德华, 王树雄. 2007 年 8 月大连地区一次暴雨过程特征分析[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(6): 19-23.
- [4] 李燕, 张俊峰, 王树雄, 等. 大连地区暖锋暴雨个例成因与雷达回波特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(6): 14-18.
- [5] 谌芸, 孙军, 徐珺, 等. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考[J]. 气象, 2012, 38(10): 1255-1266.
- [6] 俞小鼎. 2012 年 7 月 21 日北京特大暴雨成因分析[J]. 气象, 2012, 38(11): 1313-1329.
- [7] 孟雪峰, 孙永刚, 萨日娜, 等. 河套气旋发展东移与北京 721 暴雨的关系[J]. 气象, 2013, 39(12): 1542-1549.
- [8] 孙建华, 赵思雄, 傅慎明, 等. 2012 年 7 月 21 日北京特大暴雨的多尺度特征[J]. 大气科学, 2013, 37(3): 705-718.
- [9] 徐珺, 杨舒楠, 孙军, 等. 北方一次暖区大暴雨成因探讨[J]. 天气预报, 2014, 6(2): 14-21.
- [10] 吴杞平, 王树雄, 李燕, 等. 2004-2009 年大连地区短时暴雨分析预报[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2): 71-76

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: ojs@hanspub.org