

文章编号: 2096-1618(2019)03-0287-10

2017年7月吉林永吉两次极端强降水过程的对比分析

于佳舍, 巩远发, 毛文书

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:2017年7月13-14日和19-21日吉林省永吉县发生了两次极端强降水天气过程,为研究它们的影响机制及差异,采用ERA-Interim $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 逐6 h再分析资料、常规气象观测资料、FY-2E 卫星 TBB 资料,对大尺度环流背景、高低空急流的演变、物理量场的配置和 TBB 云图进行对比分析。结果表明:(1)第一次过程受西北气流与西南低空急流的强辐合影响,第二次过程受东北气流与西南低空急流的切变线影响。(2)第一次过程的低空急流更强,水汽含量更充沛,高空急流有较强的抽吸作用。(3)永吉县的最强降雨时段在第一次过程受低层暖湿空气加强与中层干冷空气发生作用的影响,在第二次过程中,前期 TBB $\leq -50^{\circ}\text{C}$,之后对流逐渐减弱。

关键词:气象学;天气诊断;东北冷涡;暴雨;高低空急流;物理量;TBB

中图分类号:P458.1⁺21

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2019.03.014

0 引言

暴雨是中国夏季主要的气象灾害之一^[1],具有突发性强的特点,经常能引发洪涝和地质灾害,并给国民经济和人民的生命财产带来严重危害。关于暴雨的研究有很多,如郑秀雅等^[2]对形成东北暴雨的主要天气系统和东北暴雨的气候特征进行了归纳和研究;王晓芳等^[3]从环流形式、副高位置及其强度变化以及西南涡活动等方面对2010年5月中国南方持续暴雨过程进行了分析;王宝书^[4]分析了2010年7月吉林省一次大范围的强降水过程,发现高空冷涡的建立与维持是有利于暴雨发生发展的大尺度环流背景。赵思雄等^[5]认为,当低纬度的热带涡旋系统北上,在与东北冷涡共同作用下,就会引发特大暴雨。

东北冷涡是中国东北地区特有的天气系统,能引发大范围区域持续性的强降水,甚至出现雷雨大风、冰雹、短时暴雨等强对流天气^[6-9]。东北冷涡的持续性、准静止性是对中国天气造成影响的关键,朱占云等^[10],苏博颖^[11]发现,东北冷涡对吉林省汛期的干旱和洪涝有着非常重要的作用,冷涡出现的少,吉林省汛期降水则偏少,冷涡出现的多,吉林省汛期降水则偏多。孙力等^[12]分析了1998年松嫩流域9个典型的东北冷涡暴雨个例,指出东北冷涡、西太副高和东亚阻高在位置和强度上的最佳配置构成了暴雨发生的大尺度环流背景。

西太平洋副热带高压是产生暴雨的重要系统之

一,暖湿空气沿副高北上与南下的冷空气在副高北侧交绥,往往产生大范围的降水,其北侧或西北侧邻近西风带副热带锋区,锋面和气旋活动较多,上升运动强,易引发区域性暴雨。

2017年7月东北冷涡共有3次活动,分别为7月6-9日,11-14日和19-21日。其中,后两次东北冷涡活动与西太副高相配合,分别在7月13-14日(第一次过程)和19-21日(第二次过程)造成了吉林省永吉县两次极端强降水天气过程,两次过程降雨量大、时间仅短暂间隔5d,且位置重叠,在当地气象史上极为罕见。吉林丰满水库7月14日和21日分别出现最大入库流量为9590 m^3/s 和10400 m^3/s 的两次洪水过程,先后编号为松花江2017年第1、2号洪水,经丰满水库拦洪调蓄后,第二松花江干流吉林水文站两次洪峰水位分别为190.06 m、189.76 m,分别超过警戒水位0.67 m、0.37 m。温德河口前站7月14日和20日两次洪峰流量分别为3350 m^3/s 和2480 m^3/s ,分列有实测记录以来第1位、第3位特大洪水。7月13日永吉县出现特大暴雨后,洪水迅速汇集,温德河水位4 h暴涨5.05 m,从超警到漫堤仅间隔1.25 h,最大漫堤水深2.05 m,永吉县城平均水深2~3 m,积水最深处约5 m。7月20日,温德河洪水再次暴涨,2次漫过堤顶,最大漫堤水深0.8 m,永吉县城再次被淹。强降水造成多个乡镇受灾,吉林省紧急转移53.4万人,其中永吉县转移24.27万人^[13]。

利用ERA-Interim $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 逐6 h再分析资料、常规气象观测资料、FY-2E 卫星 TBB 资料,从两次过程的大尺度环流背景、高低空急流的演变、物理量场的配置和 TBB 云图方面,分析2017年7月13-14日和19-21日吉

收稿日期:2018-09-14

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(91537214);
国家自然科学基金资助项目(41775079,41275080)

林省永吉县两次极端强降水天气过程的影响机制及差异,有利于进一步提高该类灾害性天气的预报水平,及时为各行业用户提供预报服务,减少生命和财产的损失,以达到防灾减灾的目的。

1 两次降水过程的特征

2017年7月13-14日和19-21日受东北冷涡和西太平洋副热带高压的影响,东北地区以吉林省永吉县为中心出现了两次强降水天气过程,降雨量分布如图1所示。

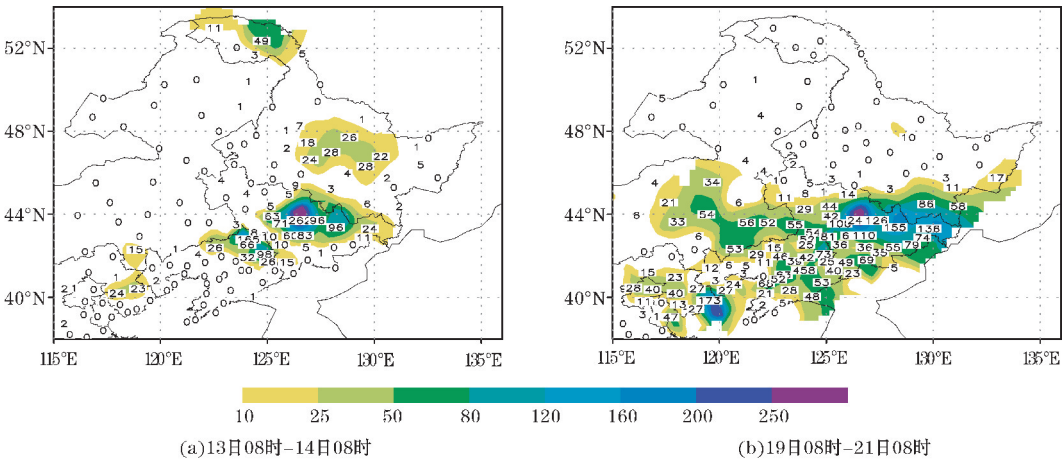


图1 2017年7月13日08时-14日08时和19日08时-21日08时东北地区雨量分布

在第二次过程中,19日08-20时,雨量较小且较分散,19日20时-20日08时,降雨主要分布在吉林东北部,雨量较大,是这次过程的主要降雨时段,20日08-20时,降雨主要分布在内蒙古东部至吉林东部一带,20日20时-21日08时,降雨主要分布在东北东部一带。此次过程共出现暴雨16站,大暴雨3站。暴雨中心永吉县过程降雨量达245.7 mm,有2个时次的1 h降雨量超过20 mm,分别为20日01-02时和02-03时,仅这2个时次的降雨量就达104.6 mm,永吉县逐小时雨量分布如图2(b)所示。

2 大尺度环流背景

2.1 第一次过程

11日14时,500 hPa东亚中高纬呈“一槽一脊”形势,鄂霍次克海地区为高压脊,贝加尔湖东侧为东北冷涡,中心值5578 gpm,约位于118 °E、52 °N,对应有一个-13℃的冷中心,此时高空槽等高线槽前疏散,槽后密集,此槽将快速移动并加强,东北冷涡处于发展阶段,但由于其东部高压脊的阻挡,使得该东北冷涡缓慢东移并稳定维持在黑龙江北部附近,同时高空槽引导

示。在第一次过程中,13日08-20时(北京时,下同),降雨主要分布在吉林省东北部,雨量较大,为此次过程的主要降雨时段,13日20时-14日08时,降雨主要分布在辽宁北部、吉林中东部和黑龙江中部。此次过程共出现暴雨8站,大暴雨1站,特大暴雨1站(永吉县),暴雨中心吉林省永吉县(54171)的过程降雨量达261.7 mm,有6个时次的1 h降雨量超过20 mm,分别是13日10-11时、13-14时、18-19时、19-20时、20-21时、21-22时,仅这6个时次的降雨量就达235.7 mm,永吉县逐小时雨量分布如图2(a)所示。

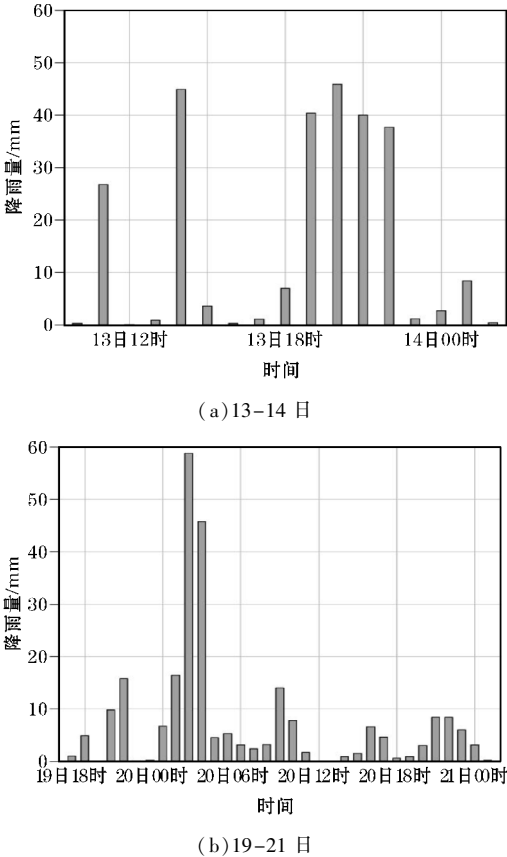
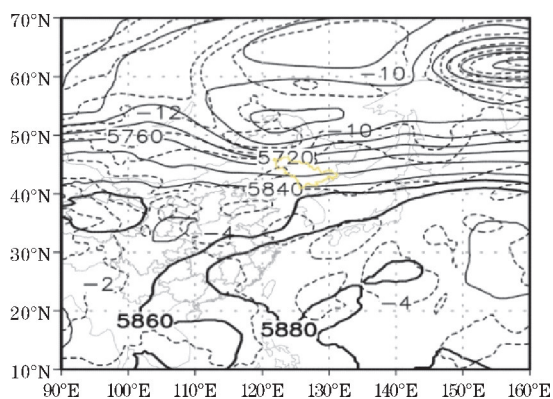


图2 吉林省永吉县2017年7月13-14日和19-21日逐小时雨量变化

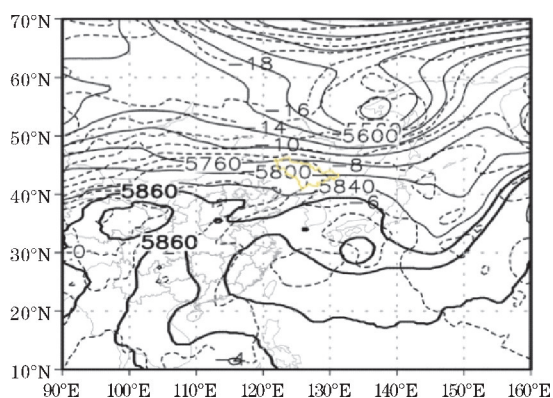
来自西伯利亚的冷空气向东南方向移动;13日02时,500 hPa高空,东北冷涡东移至127°E、53°N附近,中心值加强为5553 gpm,冷空气不断南下补充使冷涡得以维持,冷涡处于成熟阶段,鄂海阻高消失,西太平洋副热带高压主体位于海上,脊线位于25°N附近,西伸脊点106°E。13日14时,500 hPa高空,冷涡略东移,约位于129°E、53°N,中心值减弱为5580 gpm,冷涡逐渐减弱填塞,副高东退北抬,北低南高的环流形式是有利于暴雨发生发展的大尺度环流背景。850 hPa高空,水汽和能量沿副高外围的西南低空急流输送至雨区。地面低压位于黑龙江北部,与高空的东北冷涡对应,一条NE-SW向的地面冷锋从黑龙江西部一直延伸至内蒙古西部,雨区基本位于地面冷锋前部的暖区,为暖空气所控制;到13日20时,永吉县暴雨强度达45.9 mm/h,500 hPa高空图上(图3a),东北冷涡西退,位于122°E、52.5°N附近,中心值减弱为5590 gpm,副高东退,冷暖空气交汇带来强烈的降水。850 hPa高空(图3c),西南低空急流明显增强,源源不断地为暴雨提供水汽和能量,暴雨中心受东北冷涡西南位相的强西北气流与副热带高压西北位相的西南低空急流的强辐合影响,这种强风向风速在中低层的辐合,导致上升运动的迅速加强,促使强暴雨的发展。地面冷锋向东移动,说明冷空气势力较强,冷暖空气交汇有利于暴雨的发生发展,强降水发生在冷锋前部的暖区。

2.2 第二次过程

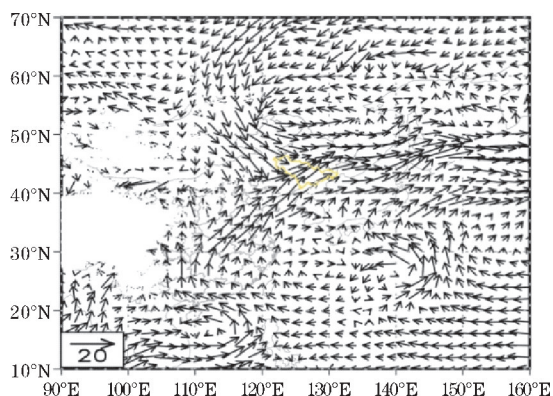
19日02时,500 hPa高空,东西伯利亚有一个深厚的极地冷涡,向低纬延伸出一个高空槽,在黑龙江北部形成东北冷涡,位于130.5°E、54°N附近,中心值5514 gpm,并伴有一个-14℃的冷中心,等高线槽前疏散,槽后密集,说明此高空槽将快速东移并加强,东北冷涡处于发展阶段,来自西伯利亚的冷空气沿槽后西北气流下滑;19日14时,500 hPa高空,东北冷涡东移至135°E、54.5°N附近,中心值加强为5504 gpm,温度槽与高度槽几乎重合,东北冷涡处于成熟阶段,冷空气不断补充南下,使冷涡得以维持,西太平洋副热带高压脊线在25°N附近,西伸脊点112°E。850 hPa高空,副高外围的西南暖湿气流将水汽和能量输送至雨区,冷涡后部的西北气流转为东北气流与副高外围的西南气流相遇,产生一条NE-SW向的切变线经吉林省中部偏西,降水带位于切变线附近,且方向一致,地面低压位于黑龙江北部,与高空冷涡对应,地面冷锋与低空切变线方向一致且略偏东,在冷空气的推动下,逐渐向东移动;到20日02时,永吉县暴雨强度达58.8 mm/h,500 hPa高空(图3b),冷涡略东移,约位于137°E、54°N,



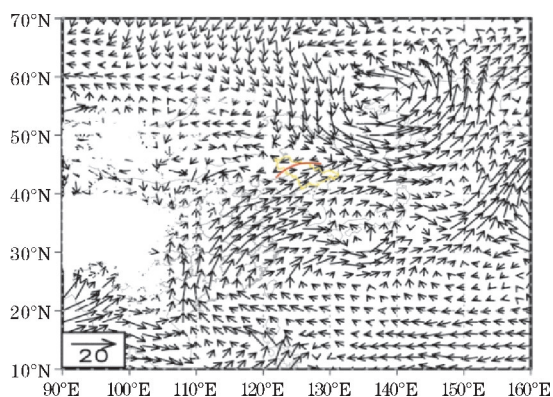
(a) 13日20时500 hPa高度场和温度场



(b) 20日02时500 hPa高度场和温度场



(c) 13日20时850 hPa风场



(d) 20日02时850 hPa风场

图3 2017年7月13日20时和20日02时500 hPa高度场(实线)和温度场(虚线)叠加图及850 hPa风场图(红线为切变线)

中心值减弱为5513 gpm,等高线槽前密集,槽后疏散,冷涡逐渐减弱填塞,副高略东退,雨区上空的冷空气逐渐向暖区侵入并下沉堆积。850 hPa高空(图3d),西南低空急流持续向暴雨区输送水汽和能量,冷涡后部形成了一个小的低压环流,其南侧的东北气流与西南低空急流之间有较弱的辐合,切变线随冷涡东移且强度增强,配合有地面冷锋,引发了强烈的降水,暴雨落区主要位于切变线东侧的西南低空急流中;20日14时,500 hPa高空,冷涡向东北方向移动,约位于139.5°E、55.5°N,中心值减弱为5558 gpm,副高北抬。850 hPa切变线东移经吉林省中部,风速辐合减弱,切变线强度也随之减弱,降水带分布于切变线两侧呈东西向,地面冷锋已东移出中国边境,暴雨区上空被冷空气占据,暖空气被迫抬升到高空;21日02时,冷涡趋于消亡,850 hPa切变线东移至东北东部,降水带位于切变线附近,且方向一致。

3 高、低空急流的演变

3.1 第一次过程

高守亭等^[14]指出,高低空急流的耦合对暴雨等剧烈天气的发生发展十分重要。200 hPa高空(图略),13日14时,45°N附近,从108°E延伸到124°E存在一个中心风速 ≥ 35 m/s的高空西风急流带,位于暴雨区的后方;13日20时,高空急流明显东移,中心风速仍 ≥ 35 m/s,暴雨区位于急流右侧的强辐散区,高空辐散的抽吸作用使得暴雨区上空的垂直上升运动较为剧烈;14日02时,高空急流略向南移,中心风速加强为 ≥ 40 m/s,对应的暴雨区也向南发展,辽宁北部出现较强的降水。丁一汇等^[15]指出,低空急流不仅能将水汽输送给中纬度暴雨,同时也能给强对流系统提供能量。850 hPa低空(图略),13日14时,有一个中心风速 ≥ 18 m/s的西南低空急流位于辽宁北部,将水汽和能量输送至暴雨区;13日20时,低空急流略向东北方向移动,中心风速增长至 ≥ 20 m/s,持续为暴雨提供了大量的水汽和能量,此时暴雨区位于低空急流的右前方;14日02时,低空急流继续向东北方向移动,中心风速仍 ≥ 20 m/s,与对应的降雨落区有较大的重叠。

3.2 第二次过程

200 hPa高空(图略),19日20时,46°N附近已建立一条较强的高空西风急流从30°E延伸到145°E,急流核位于蒙古国,风速 ≥ 60 m/s,此时东北地区雨量较小且雨区较分散,大部分雨区位于急流区的下方;20

日02时,东北地区上空的高空急流向南伸展,中心风速 ≥ 50 m/s,急流覆盖了降雨较大的地区,包括强降雨中心永吉县,部分雨量较小的地区位于急流的右侧;20日14时,高空急流东移北缩,前部急流核风速 ≥ 50 m/s,后部急流核风速 ≥ 60 m/s,急流位于大部分雨区的上空,少部分雨区位于急流的右侧;21日02时,高空急流东移,并向南伸展,其后部急流核风速 ≥ 60 m/s,急流覆盖了大部分雨区,其右侧有少部分雨区。可见,此次过程的高空急流虽然比上一次过程强,但主要位于雨区的上空,对大部分雨区的高空抽吸作用不强。850 hPa低空(图略),19日20时,辽宁北部形成了一个较小的西南低空急流,风速 ≥ 12 m/s;20日02时,急流向东北方向移动,风速仍 ≥ 12 m/s,雨区主要位于急流的右前方;20日14时,内蒙古东部、吉林东部均存在风速 ≥ 12 m/s的低空急流,对应内蒙古东部到吉林东部东西向的降水带;21日02时,吉林中部、东部各有一条低空急流,中心风速 ≥ 16 m/s,对应东北地区的东部有一条狭长的雨带。

3.3 两次过程暴雨中心分析

分析两次过程的暴雨中心永吉县(126.5°E、43.68°N)沿126.5°E的高低空急流的时间演变,并与对应的逐小时降雨量进行对比,发现在第一次过程中(图4a),高空急流出现在降雨中后期,并逐渐加强,13日20时前后加强为35 m/s以上,永吉县位于急流右侧的强辐散区(图5a),高空辐散的抽吸作用明显,垂直上升运动剧烈;850 hPa低空,永吉县在降雨期间均存在着低空急流,中后期较强,13日20时前后达到18 m/s以上,永吉县位于低空急流左前方辐合区(图5b)与高空急流右侧强辐散区所形成的垂直上升区(图5c)。可见,高低空急流在后期的增强及其在永吉县上空形成高空辐散、低空辐合的强垂直上升运动是导致永吉县在13日20时前后产生强降雨的因素之一。

在第二次过程中(图4b),200 hPa高空,永吉县北侧一直存在一条较强的高空急流,20日02时前后风速 ≥ 50 m/s,此时永吉县位于高空急流带的边缘,对应高空为辐合区(图5d),有较弱的下沉运动;850 hPa低空,永吉县南侧在降雨中期出现一条速度 ≥ 12 m/s的低空急流,20日02时前后,永吉县位于该低空急流左前方的辐合区(图5e),辐合区对应垂直上升运动(图5f),20日12、13时低空急流消失,对应的降雨出现停滞,降雨后期,永吉县南侧出现较强的低空急流,对应有小幅度的降雨。可见,此次过程的高空急流并未对永吉县20日02时前后的强降雨产生重要作用,而对应的低空急流起到了辐合上升作用但比第一次过程弱。

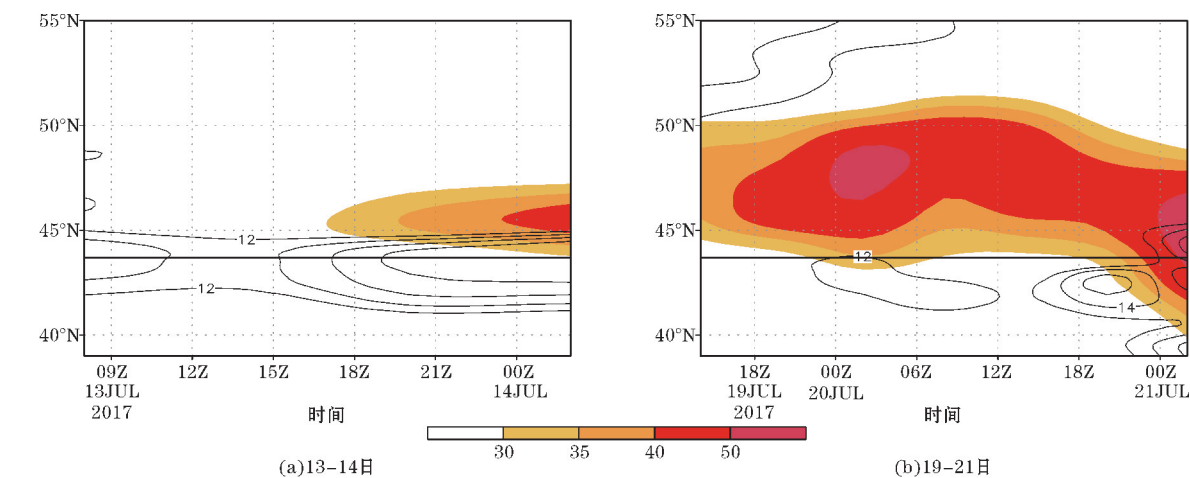


图4 2017年7月13-14日和19-21日沿126.5°E的200 hPa 高空急流(阴影)和850 hPa 低空急流(等值线,间隔:2 m/s)的纬向-时间剖面(图中横线为永吉县所在纬度)

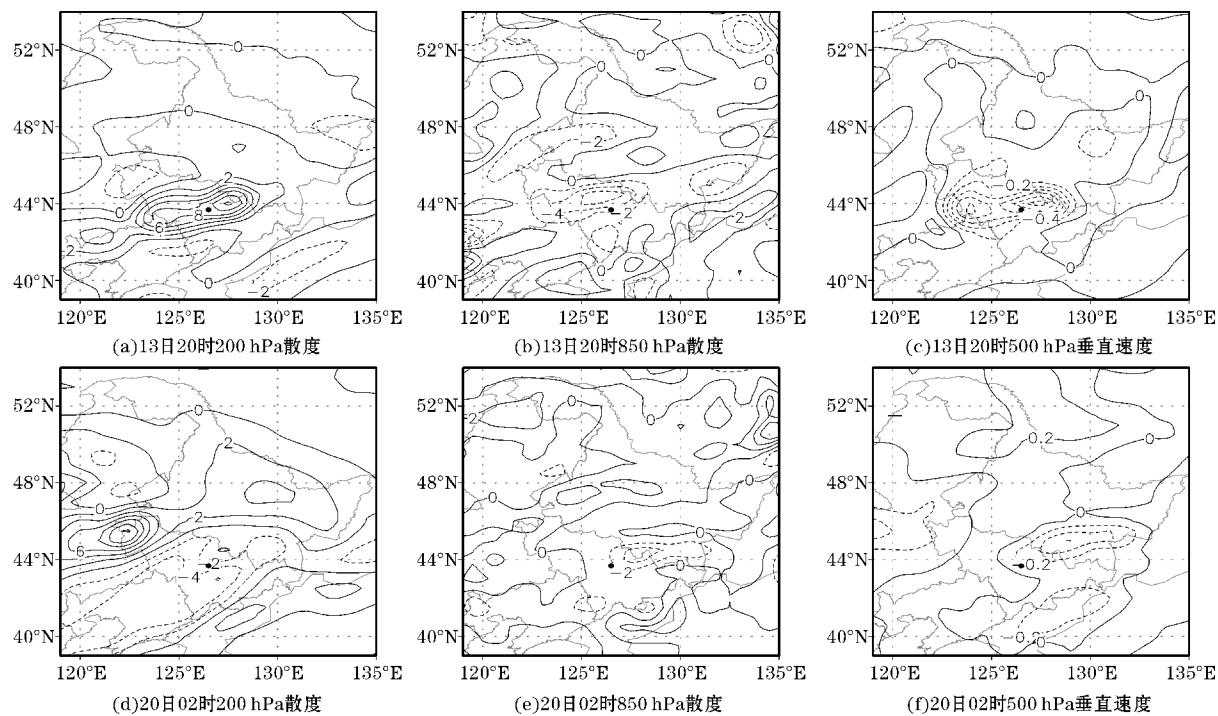


图5 2017年7月13日20时和20日02时的200 hPa 散度(等值线间隔: $2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)和850 hPa 散度(等值线间隔: $2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)以及500 hPa 垂直速度(等值线间隔: $0.2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

4 物理量分析

4.1 水汽条件分析

水汽输送是产生暴雨的必要条件,近年来,许多学者研究了降水过程中水汽与能量的输送问题^[16-21],参考谢坤等^[22]的方法,计算两次暴雨过程的整层水汽通量,发现两次过程的水汽和能量主要来源于南海,且沿副高外围北上,经黄海、渤海补充后随西南低空急流输送至暴雨区,形成了一个 NE-SW 向的水汽通量大值区。可以看出,第一次过程与第二次过程比整层水汽

通量值明显更高,说明第一次过程的水汽含量更充沛。

4.1.1 第一次过程

13日08时,水汽通量大值区有南北两个中心,数值均超过 $700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,分别位于辽宁北部和吉林、黑龙江交界的中部,暴雨中心永吉县的水汽通量值达 $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上;13日14时,水汽通量中心位于辽宁、吉林的交界偏西,水汽输送有所加强,数值超过 $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,13日08-20时的降水落区与水汽通量大值区有较好的对应,永吉县的水汽通量增长至 $700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上;13日20时(图6a),水汽通量中心位置稳定少动,水汽输送继续增强,数值超过 $900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,永吉县的水汽通量增长至

800 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上,对应有较强的降水;14 日 02 时,水汽通量中心向东北方向移动至黑龙江、吉林交界偏东,强度减弱为 800 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上,水汽通量大值区与 13 日 20 时-14 日 08 时的降水落区对应较好,永吉县的水汽通量减少为 700 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上。

4.1.2 第二次过程

19 日 14 时,辽宁省有一个水汽通量大值中心,数值超过 600 kg · m⁻¹ · s⁻¹,暴雨中心永吉县的水汽通量达 500 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上;19 日 20 时,水汽通量中心移至吉林省中南部,数值仍为 600 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上,19 日 08-20 时的降水落区与水汽通量大值区对应较好,永吉县的水汽通量仍≥500 kg · m⁻¹ · s⁻¹;20 日 02 时(图 6b),水汽通量中心向东北方向移动至吉林省中东部,数值仍≥600 kg · m⁻¹ · s⁻¹,水汽通量大值区与 19 日 20 时-20 日 08 时的降水落区有较好的对

应,此时永吉县的水汽通量仍≥500 kg · m⁻¹ · s⁻¹,并对应有短时强降雨;20 日 14 时,水汽通量中心稳定维持在吉林省东部,数值仍为 600 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上,20 日 08-20 时的降水落区为一条东西向较长的雨带,与水汽通量大值区有较好的对应,此时,永吉县的水汽通量减少至 400 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上,对应降雨量很小;20 日 20 时,吉林、辽宁交界出现一个大的水汽通量大值中心,数值超过 900 kg · m⁻¹ · s⁻¹,此时,永吉县水汽通量增长至 500 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上,对应有小幅度的降雨;21 日 02 时,水汽通量中心移至吉林省东部,水汽输送方向向东偏转,20 日 20 时-21 日 08 时的降雨落区为一条 NE-SW 向的雨带位于东北东部,与水汽通量大值区对应较好,此时,永吉县位于水汽大值区的边缘,数值减弱为 300 kg · m⁻¹ · s⁻¹以上。

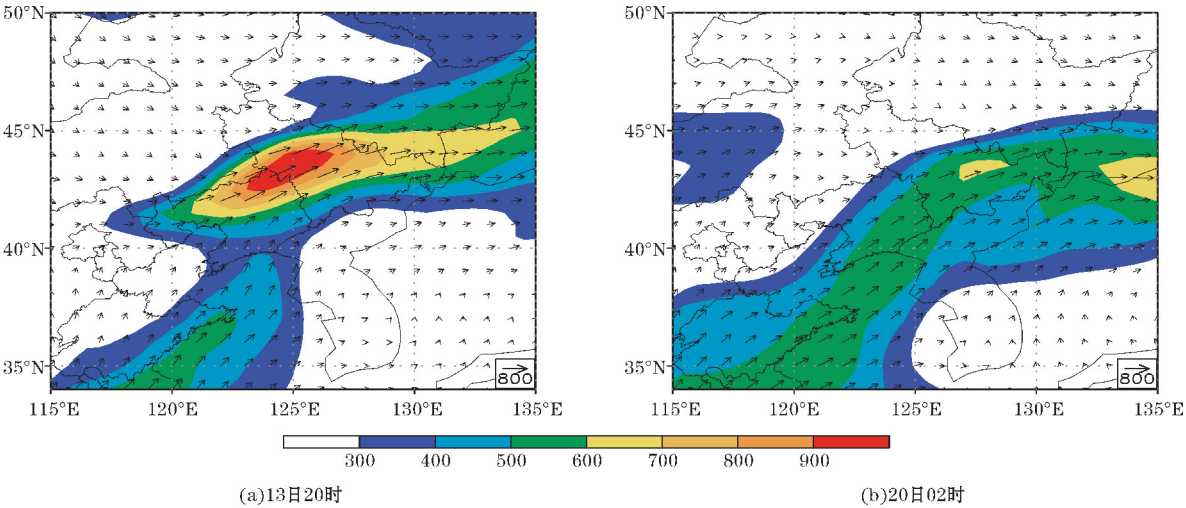


图 6 2017 年 7 月 13 日 20 时和 20 日 02 时的整层水汽通量图(阴影区为≥300 kg · m⁻¹ · s⁻¹)

4.2 热力条件分析

假相当位温能够综合反应大气的温度、湿度和压力^[23-25],位势不稳定度的定义为 500 hPa 与 850 hPa 的假相当位温 θ_{se} 之差,位势不稳定度小于 0 时,表示大气层结不稳定,而位势不稳定度大于 0 时,则表示大气层结稳定。分析两次过程的位势不稳定度,发现两次过程均有强的层结不稳定发展,且第一次过程的大气层结比第二次过程更不稳定。

分析两次过程的暴雨中心永吉县上空的假相当位温时间演变图,并与对应的逐小时雨量变化进行比较,发现在第一次过程中(图 7a),永吉县上空中层一直维持着 332 ~ 340 K 的较干冷空气控制,低层一直维持着 348 ~ 360 K 的较暖湿空气,中层和低层 θ_{se} 差值较大,是低层较暖湿、中层较干冷的不稳定层结。其中,348 ~ 352 K 的较暖湿空气在 13 日 11 时之前明显抬

升,在 13 日 22 时之后明显降低,在 13 日 20 时前后,低层出现了 ≥356 K 的暖湿空气,较大雨量出现在了 13 日 11 时、14 时、18-22 时,可见,此次过程永吉县的强降雨出现在低层暖湿空气抬升,加强与中层干冷空气发生作用的过程中。

第二次过程的层结结构与第一次过程的有所不同,在这次过程中(图 7b),永吉县上空中层维持着 336 ~ 344 K 的较干冷空气,低层维持着 344 ~ 356 K 的较暖湿空气,中层和低层 θ_{se} 差值较小,整体属于弱不稳定层结。其中,20 日 02 时前后,中层较干冷空气向下侵入到低层 850 hPa,对应的雨量图上,20 日 02 时前后出现了较强的降雨,说明这段时间的强降雨出现在中层干冷空气向下侵入低层的过程中,19 日 20 时和 20 日 20 时前后,低层暖湿空气有所抬升,与中层干冷空气作用加强,对应的 19 日 20、21 时,20 日 16、17、21、22、23 时有小幅度的降雨。

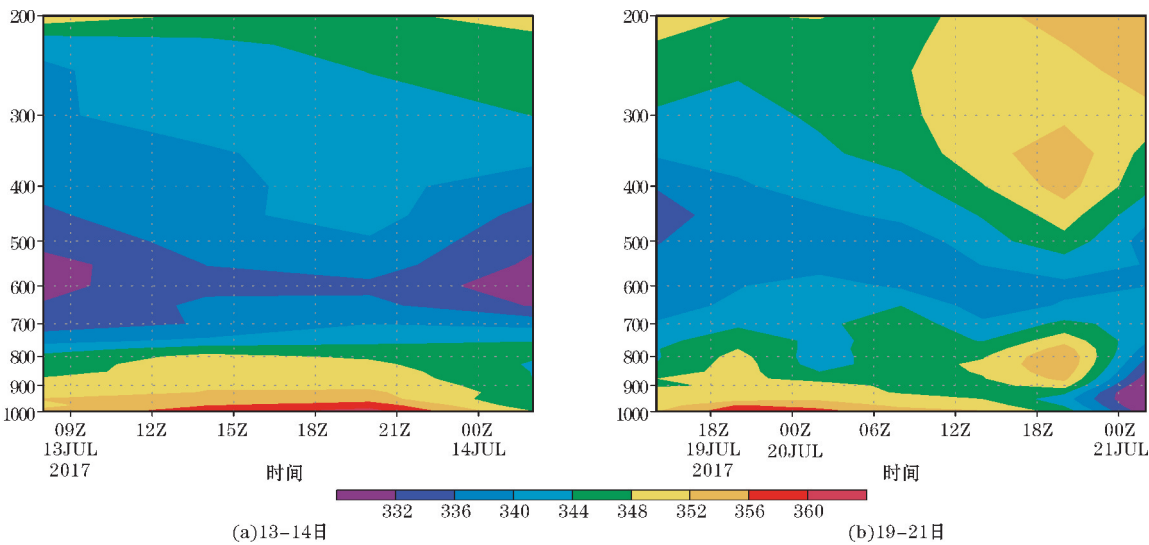


图 7 2017 年 7 月 13-14 日和 19-21 日永吉县的假相当位温时间剖面

4.3 动力条件分析

将两次过程的 200 hPa 高空、850 hPa 低空的散度场和 500 hPa 垂直速度场与降雨落区分布进行对比,发现第一次过程的大部分雨区对应应有较好的低空辐合、高空辐散和垂直上升运动,而第二次过程的大部分雨区对应应有较好的低空辐合和垂直上升运动,但对应的高空为辐合。可见,第一次过程的动力条件总体上比第二次过程的好。

分析两次过程暴雨中心永吉县的散度和垂直速度的时间剖面,发现在第一次过程中(图 8a),降雨前期,对流层低层为辐合,中层 600 hPa 附近为辐散,高层 200 hPa 附近为辐合,对应中低层为弱上升运动,中高层为弱下沉运动。降雨中后期,对流层低层和 600 hPa 附近为辐合,400 hPa 和 200 hPa 附近为辐散,200 hPa 以下为较强的上升运动,中心最大值达 -0.75 Pa/s 出现在 13 日 20 时 500 hPa 附近,对应的逐小时雨量图上,

13 日 18-22 时出现了较强的降雨,可见,持续而强烈的上升运动,是产生强降水的必要条件。

在第二次过程中(图 8b),降水前期,对流层中低层为辐合,中高层为辐散,200 hPa 以下为较强的垂直上升运动,中心最大值达 -1.0 Pa/s 出现在 19 日 20 时 500 hPa 附近。降水中期,对流层低层为辐合,600 hPa 附近为辐散,200 hPa 附近为辐合,中低层为弱上升运动,中高层为弱下沉运动。降水后期,对流层低层和 500 hPa 附近为辐合,700 hPa 附近和高层为辐散,对应整层为较强的上升运动,20 日 20 时 800 hPa 和 400 hPa 附近有两个大值中心分别为 -1.1 Pa/s 和 -1.3 Pa/s ,与此次过程的逐小时降雨量对比,垂直速度大值中心对应的时次前后出现小幅度的降雨,而 20 日 02 时前后的强降雨对应的垂直速度较小,且 400 hPa 以上为下沉运动。可见,永吉县的最强降雨时段在此次过程中的动力条件较第一次过程弱,结合图 6(b)可知受中层干冷空气向下侵入低层的影响。

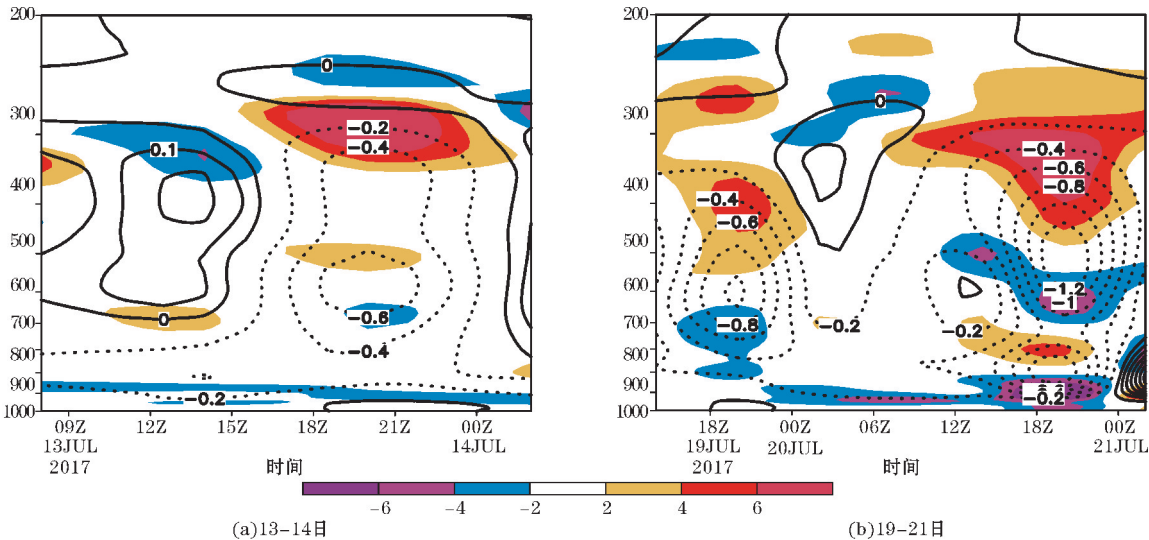


图 8 2017 年 7 月 13-14 日和 19-21 日永吉县的散度(阴影)与垂直速度(等值线)的时间剖面

5 卫星云图分析

5.1 第一次过程

13日08时15分,东北中部有一个NE-SW向的强对流云系,TBB最低值 $\leq -60^{\circ}\text{C}$ 位于吉林中部偏北;10时15分,云系东移,对流略增强,永吉县TBB值增长至 $\leq -60^{\circ}\text{C}$,对应10–11时的1小时降水量为26.8 mm;13时15分,云系继续东移,永吉县上空有一个TBB值 $\leq -50^{\circ}\text{C}$ 的强对流云团,对应13–14时的1小时降水量为44.9 mm;16时15分,云系西侧形成一个最低值 $\leq -60^{\circ}\text{C}$ 的强对流云系;19时15分(图9a),两个云系合并成一个大的强对流云系,至22时15分,对流逐渐增强,永吉县TBB值 $\leq -60^{\circ}\text{C}$,对应18–22时的4小时累计降水量为164 mm;14日01时15分,云系东移,对流减弱。在这次过程中,暴雨中心永吉县在13日10–11时和18–22时的短时强降雨中,上空受TBB $\leq -60^{\circ}\text{C}$ 的强对流云团影响,在13–14时的短时强降雨中,受TBB $\leq -50^{\circ}\text{C}$ 的强对流云团影响。

5.2 第二次过程

19日16时15分,东北西部有一个弱对流云系,东部有一个强对流云系,TBB最低值 $\leq -60^{\circ}\text{C}$ 位于黑龙江东南部;22时15分,两块云系东移合并,TBB最低值 $\leq -60^{\circ}\text{C}$ 位于吉林东北部,东北西部有一个面积较大的块状云系逐渐东移,对流较弱;20日01时15分,两块云系东移,永吉县东部的TBB值 $\leq -60^{\circ}\text{C}$,其上空TBB值 $\leq -50^{\circ}\text{C}$;02时15分(图9b),两块云系东移且东部云系对流增强,永吉县位于东部云系的西部边缘,上空TBB值小于 -20°C ;03时15分,云系继续东移,对流增强,永吉县上空已无强对流云影响,对应01–03时的2小时累计降水量为104.6 mm;06时15分,两块云系合并后东移,对流略减弱;20时15分,云系逐渐转为NE-SW向位于东北东部,此后,云系继续东移且基本移出中国边境。在此次过程中,暴雨中心永吉县在20日01–03时的短时强降雨中,前期上空的TBB值 $\leq -50^{\circ}\text{C}$,之后随着云系的东移,上空的对流逐渐减弱。

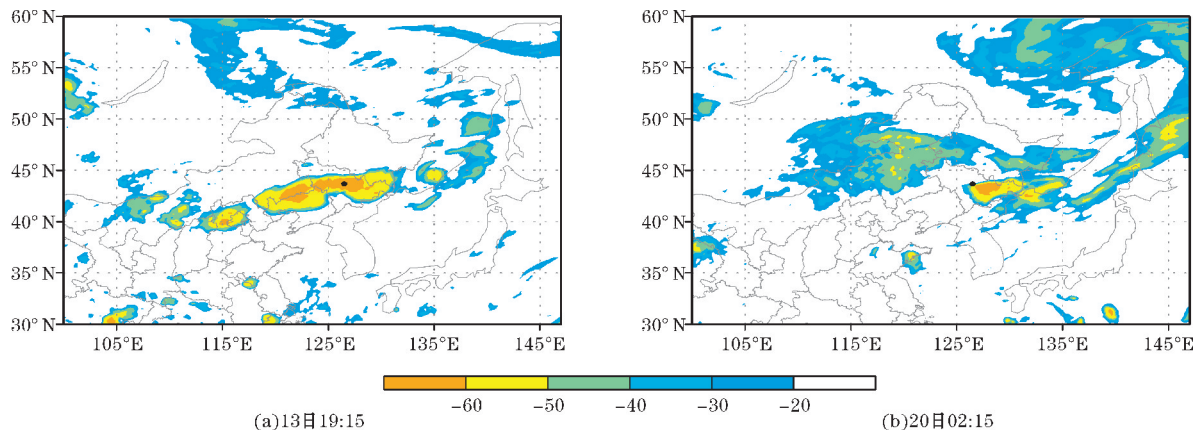


图9 2017年7月13日19:15和20日02:15 FY-2E卫星TBB云图

6 结论与讨论

东北冷涡和西太平洋副热带高压的有利配置是这两次过程的大尺度环流背景。暴雨中心的最强降雨时段在第一次过程中受东北冷涡西南位相的强西北气流与西太平洋副热带高压西北位相的西南低空急流的强辐合影响,这种强风向风速在中低层的辐合,导致上升运动的迅速加强,促使强暴雨的发展;在第二次过程中受东北冷涡后部高压环流南侧的东北气流与西南低空急流之间的强辐合影响,形成一条低空切变线配合有

地面冷锋,引发了强烈的降水。

两次过程的水汽和能量主要来源于南海,且沿副高外围北上,经黄海、渤海补充后随西南低空急流输送至暴雨区,形成了一个NE-SW向的水汽通量大值区,在第一次过程中,低空急流更强,水汽含量更充沛,同时高空急流对暴雨区的抽吸作用较强,动力条件较好,而第二次过程的高空急流虽较强,但与雨区有较大的重叠,对雨区的抽吸作用不强,动力条件相对较弱。

两次过程均有强的层结不稳定发展,且第一次过程的大气层结更不稳定。暴雨中心的最强降雨时段在第一次过程中受低层暖湿空气加强与中层干冷空气发

生作用的影响,在第二次过程中受中层干冷空气向下侵入低层的影响。

暴雨中心的短时强降雨在第一次过程的13日10-11时和18-22时中,受 $TBB \leq -60^{\circ}\text{C}$ 的强对流云团影响,在13-14时中,受 $TBB \leq -50^{\circ}\text{C}$ 的强对流云团影响;在第二次过程的20日01-03时中,前期上空的 TBB 值 $\leq -50^{\circ}\text{C}$,之后随着云系的东移,上空的对流逐渐减弱。

从天气学角度对这两次过程进行了简要的分析,暴雨的形成是多种因素共同导致的结果,今后还需要更具体的分析,如地形的作用、多普勒雷达的回波特征、中尺度系统的发生发展机制和是否有更小尺度系统活动的影响等,以及用中尺度数值模式验证这两次过程的物理机制。

参考文献:

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [2] 郑秀雅,张廷治,白人海. 东北暴雨[M]. 北京:气象出版社,1992:129-137.
- [3] 王晓芳,徐明,闵爱荣,等. 2010年5月我国南方持续性暴雨过程分析[J]. 暴雨灾害,2010,29(2):193-199.
- [4] 王宝书,张瑛. 2010年7月27—29日吉林省大范围强降水过程分析[J]. 暴雨灾害,2011,30(1):36-43.
- [5] 赵思雄,刘苏红,刘名扬. 夏季北京冷涡强对流天气的中尺度分析[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [6] 刘慧斌,温敏,何金海,等. 东北冷涡活动的季节内振荡特征及其影响[J]. 大气科学,2012,36(5):959-973.
- [7] 刘刚,廉毅,颜鹏程,等. 5-8月东北冷涡客观识别分类及北半球大气环流特征分析[J]. 地理科学,2015,35(8):1042-1050.
- [8] 刘刚,王宁,秦玉琳,等. 5-6月东北冷涡持续活动及强度特征[J]. 应用气象学报,2016,27(1):47-55.
- [9] 李爽,丁治英,戴萍,等. 东北冷涡的最新研究进展[J]. 干旱气象,2016,34(1):13-19.
- [10] 朱占云,何金海. 东北冷涡的特征、影响及其可能机制的研究[J]. 气象与减灾研究,2010,33(4):1-8.
- [11] 苏博颖. 东北冷涡与1993年6月份降水分析[J]. 水文,1996(3):58-60.
- [12] 孙力,安刚,高枫亭,等. 1998年夏季嫩江和松花江流域东北冷涡暴雨的成因分析[J]. 应用气象学报,2002(2):156-162.
- [13] 张康波,郭健玮,冯明轩,等. 2017年东北地区暴雨洪水防御[J]. 中国防汛抗旱,2017,27(5):12-15.
- [14] 高守亭,孙建华,崔晓鹏. 暴雨中尺度系统数值模拟与动力诊断研究[J]. 大气科学,2008(4):854-866.
- [15] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社,1991:573-574.
- [16] 吴国雄. 大气水汽的输送和收支及其对副热带干旱的影响[J]. 大气科学,1990(1):53-63.
- [17] 汪钟兴,刘金良. 长江中下游梅雨期热量和水汽收支研究[J]. 中国科学技术大学学报,1993(3):89-93.
- [18] 周军,薛宇峰,刘宣飞. 1994年8月亚洲季风区水汽的源汇分布和输送[J]. 热带气象学报,1998(1):92-97.
- [19] 田红,郭品文,陆维松. 夏季水汽输送特征及其与中国降水异常的关系[J]. 南京气象学院学报,2002(4):496-502.
- [20] 姚文清,徐祥德,张雪金. 1998年长江流域梅雨期暴雨过程的水汽输送特征[J]. 南京气象学院学报,2003(4):496-503.
- [21] 胡国权,丁一汇. 1991年江淮暴雨时期的能量和水汽循环研究[J]. 气象学报,2003(2):146-163.
- [22] 谢坤,任雪娟. 华北夏季大气水汽输送特征及其与夏季旱涝的关系[J]. 气象科学,2008(5):5508-5514.
- [23] 刘家峻,刘睿卉,李荔珊,等. 一次海南大暴雨过程的能量及螺旋度分布特征[J]. 气象与环境科学,2011,34(1):36-41.
- [24] 吴迪,寿绍文,姚秀萍. 东北冷涡暴雨过程中干侵入特征及其与降水落区的关系[J]. 暴雨灾害,2010,29(2):111-116.
- [25] 陈传雷,孙欣,李玉鸣,等. 2010年辽宁主汛期暴雨过程副高、急流及层结特征分析[J]. 气象科技,2013,41(1):146-152.

Comparative Analysis on Two Extreme Severe Precipitation Events in Yongji County, Jilin Province in July 2017

YU Jiahan, GONG Yuanfa, MAO Wenshu

(College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: Two extreme severe precipitation weather events happened in Yongji County, Jilin Province on 13–14 and 19–21 in July 2017. In order to research their influence mechanisms and differences, based on ERA-Interim $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ} \times 6$ hourly reanalyzed data, the conventionally observed data and FY-2E satellite TBB data, analyzed the large-scale circulation background, the evolution of upper and lower-level jets, the configuration of physical quantities and TBB cloud images. The results show that: (1) The first event was influenced by the strong convergence of the northwest current and the southwest low-altitude jet stream. The second event was influenced by the shear line of the northeast current and the southwest low-altitude jet stream. (2) In the first event, the low-altitude jet stream was stronger, the water vapor was more abundant and the high-altitude jet stream had stronger suction effect on rainstorm area. (3) The period of maximum precipitation at Yongji County in the first event was influenced by the interaction between the enhanced warm-wet air in the lower layer and dry and cold air in the middle layer. In the second event, it was influenced by the dry and cold air in the middle layer down into the lower layer. (4) The short-term strong precipitation in Yongji County were influenced by severe convective cloud cluster with $TBB \leq -50^{\circ}C$ or $-60^{\circ}C$ in the first process, and in the second process, the early $TBB \leq -50^{\circ}C$, then the convection gradually weakened.

Keywords: meteorology; diagnosis of the weather; northeast cold vortex; rainstorm; upper and lower-level jets; physical quantities; TBB