

梁军,张胜军,李婷婷,等.台风布拉万(1215)北上引发辽东半岛强降水的诊断分析[J].干旱气象,2018,36(6):990-996. [LIANG Jun, ZHANG Shengjun, LI Tingting, et al. Diagnostic Analysis of Torrential Rain Associated with Typhoon Bolaven (1215) over Liaodong Peninsula[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(6):990-996], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-0990

台风布拉万(1215)北上引发辽东半岛 强降水的诊断分析

梁军¹,张胜军²,李婷婷¹,张黎红¹,冯呈呈¹,张彩凤¹

(1.辽宁省大连市气象台,辽宁 大连 116001;2.中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

摘要:利用中国气象局热带气旋年鉴、FY-2E卫星黑体亮度温度(TBB)产品($0.1^\circ \times 0.1^\circ$)、大连地区逐时自动气象站雨量资料、常规观测资料和欧洲中期数值预报中心(ECMWF)ERA-Interim全球再分析资料($0.125^\circ \times 0.125^\circ$),对1215号台风“布拉万”(Bolaven)北上引发辽东半岛东部强降水过程的环流背景和中尺度特征进行诊断分析。结果表明:(1)副高西脊点稳定在 130°E 附近有利于台风Bolaven北上,其与1214号台风“天秤”(Tembin)及副高之间所形成的偏南风低空急流为辽东半岛东部强降水提供了水汽和能量的补充。(2)Bolaven影响辽东半岛时处于变性减弱阶段,但位于辽东半岛东部和副高西侧的辐合带,为中尺度云团的形成和加强提供了有利的环境场。(3)辽东半岛相对于Bolaven的方位不同,其降水强度差异明显:西北侧低层水平辐合较强,水平风垂直切变较大,维持深厚上升运动,降水强度大;西南侧中低层下沉运动明显,动力抬升条件较弱,降水强度弱。(4)强降水与台风低层环流北侧辐合带内冷暖平流活动密切相关,冷暖平流交汇处对辽东半岛东部强降水有较好指示作用。

关键词:台风“布拉万”;辽东半岛;强降水;诊断

文章编号:1006-7639(2018)06-0990-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-0990

中图分类号:P458.1⁺24

文献标志码:A

引言

影响辽东半岛及黄渤海的热带气旋(TC)平均每年仅1.1个^[1],而2012年影响辽东半岛的TC却多达4个。北上台风是华北和东北地区暴雨的重要影响系统^[2-3],其直接或间接影响引发的暴雨占东北地区大范围暴雨的40%^[4]。研究发现台风北上过程中受副热带高压、西风带系统或另一热带系统影响,降水条件复杂^[5-9]。有的台风能从中纬度斜压锋区中获取斜压能量变性加强,引发暴雨;有的则逐渐填塞消亡,降水不明显。而在此过程中TC常发生变性,降水分布发生显著改变,非对称性分布明显,降水集中在台风中心北侧^[10]或西北侧^[11]能量锋区附近。对比分析2011年第5号台风“米雷”(1105, Meari)和第9号台风“梅花”(1109, Muifa)影

响辽东半岛的降水特征^[12]表明,北上变性台风的降水非均匀分布特征明显,辽东半岛位于台风不同区域,其降水量级存在明显差异。不仅如此,台风在北上减弱过程中仍能导致东北地区出现强降水。北上台风与另一台风相互作用是引发东北地区强降水的一种有利形势,如8108号台风(佚名)登陆浙江乐清后,深入内陆腹地,减弱为热带低压北上,但与8107号台风“莫瑞”(Maury)及冷空气相互作用,引发辽东半岛地区特大暴雨,过程最大雨量644.0 mm(出现在大连中部普兰店市的西韭),日最大雨量为576.0 mm,小时最大雨量达116.5 mm;9415号台风“爱丽”(Ellie)、1210号台风“达维”(Damrey)和1215号台风“布拉万”(Bolaven)均是在其北上减弱期间,分别与减弱为低压的9414号台风“道格”(Doug)、1209号台风“苏拉”(Saola)和1214号台风

收稿日期:2018-06-05;改回日期:2018-09-03

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2015CB452804)、国家自然科学基金项目(41475055、41275066、41575063)及环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201615、QYXM201702、QYXM201711)共同资助

作者简介:梁军(1967—),女,正研级高级工程师,主要从事短期天气预报和研究工作. E-mail:qinldj@163.com.

“天秤”(Tembin)发生相互作用,进而引发辽东半岛地区出现大暴雨。然而在双台风相互作用的复杂环境下,北上减弱台风引发辽东半岛强降水的研究还不多。本文利用中国气象局 2012 年《热带气旋年鉴》、FY-2E 卫星黑体亮度温度(TBB)产品($0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$)、大连地区逐时自动气象站降雨量资料、常规观测资料和欧洲中期数值预报中心 ERA-Interim 全球再分析资料($0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$),对 1215 号台风“布拉万”北上减弱期间引发辽东半岛强降水的大尺度环流背景和物理成因进行诊断,以期为此类台风强降水预报提供参考。

1 台风概况和降水实况

图 1 为 2012 年 8 月 20 日 08:00(北京时,下同)至 29 日 14:00 台风“布拉万”、8 月 27 日 20:00 至 29 日 14:00 台风“天秤”逐 6 h 中心海平面气压和 8 月 28 日 08:00 至 29 日 08:00 累计降水量。可以看出,2012 年 8 月 20 日 08:00 1215 号台风“布拉万”在西北太平洋洋面上生成,生成后向西北偏西方向移动,强度逐渐增强,直至 25 日晚加强为超强台风,26 日早晨开始减弱。27 日 14:00,“布拉万”移至长江口以东的东海海域减弱为台风,转向偏北方向移动,28 日 14:00 在朝鲜西南部海域减弱为

强热带风暴,向东北方向移动,当日 22:50 前后在朝鲜西北部的平安北道南部登陆。登陆后快速向东北偏北方向移动,经辽宁东南部进入吉林南部,减弱为热带风暴,29 日 14:00 在黑龙江省东部演变为温带气旋,30 日夜間在鄂霍次克海西南部海域消失。“布拉万”生命史为 12 d,是一般台风的 2 倍。

辽东半岛降水期间(28 日 08:00 至 29 日 02:00),“布拉万”由台风减弱为热带风暴,其南部的台风“天秤”由台湾东部近海海面北移至温州以东 950 km 海域[图 1(a)]。辽东半岛台风强降水期间(28 日 14:00—22:00),2 个台风相距 1350~1500 km,之后其距离明显加大,相距均超过 1700 km。受“布拉万”影响,山东东北部、辽宁、吉林和黑龙江出现暴雨、局地大暴雨天气[图 1(b)]。28 日 08:00 起,辽东半岛自南向北开始降水,6 h 后降水强度明显增大。辽东半岛中东部出现暴雨,其东北部出现 100 mm 以上的大暴雨,最大雨量出现在大连东北部的庄河市的黑岛,为 123 mm,造成庄河市近万公顷的作物受灾,受灾人口 6 万多人,直接经济损失达 4 亿 3519 万元。29 日 02:00 后,辽东半岛降水减弱停止,台风强降水区逐渐北移至辽宁北部、吉林和黑龙江地区。

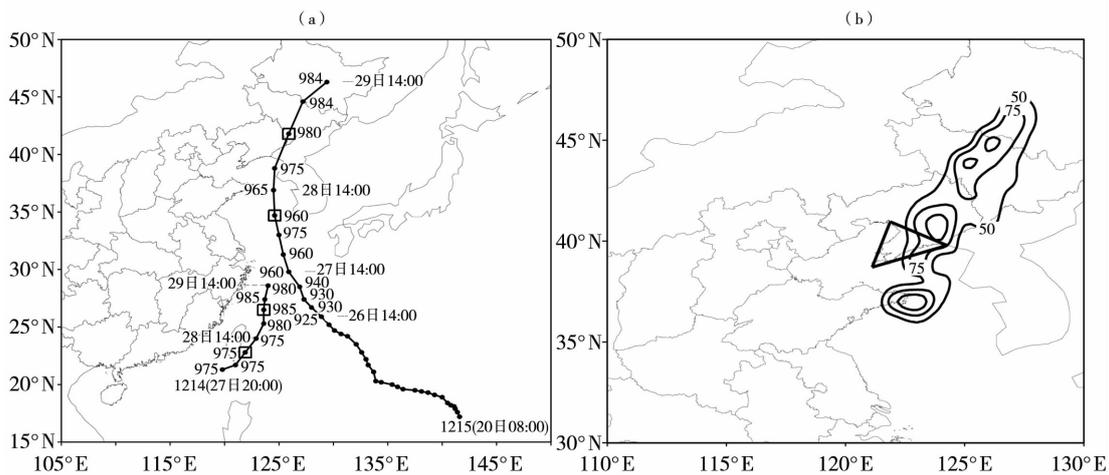


图 1 2012 年 8 月 20 日 08:00 至 29 日 14:00 台风“布拉万”(1215)、8 月 27 日 20:00 至 29 日 14:00“天秤”(1214)逐 6 h 中心海平面气压(单位:hPa) (a) 和 8 月 28 日 08:00 至 29 日 08:00 累计降水量(单位:mm) (b) (方框之间为辽东半岛台风降水时段;三角形区域为辽东半岛地区,下同)

Fig. 1 The 6-hourly sea level pressure (Unit:hPa) in the center of the typhoon Bolaven from 08:00 BST 20 to 14:00 BST 29 and Tembin from 20:00 BST 27 to 14:00 BST 29 (a) and the accumulated precipitation (Unit:mm) from 08:00 BST 28 to 08:00 BST 29 August 2012 (b) (the time interval between two panes indicates the precipitation period in Liaodong Peninsula, the triangle indicates the Liaodong Peninsula, the same as below)

2 大尺度环流背景

27日20:00(图略),副热带高压(简称“副高”)近纬向稳定在日本海附近,极地冷空气向南扩散至西伯利亚地区后缓慢东移。28日08:00(图略),我国北方地区上空为宽广的温度槽,河套以西和新疆以南大范围地区为大陆高压控制。“布拉万”在黄海中部海面上向偏北方向移动,“天秤”则位于“布拉万”西南偏南约1300 km的台湾东部近海海面上向东北移动。2个台风均位于日本海附近近北向副高的西侧,并与副高之间形成较强的偏南急流带。此时,850 hPa上“布拉万”东南部和“天秤”东北侧的偏南风水汽通道已连通(图略),水汽通量大值区分布在山东半岛东部地区。图2为2012年8月28日14:00 500 hPa位势高度场、温度

场及850 hPa风场、水汽通量。可以看出,28日14:00—20:00,西风槽东移,大陆高压中心逐渐东移至100°E附近,青藏高原的暖高脊向北伸展加强,贝加尔湖南部地区的冷空气加强并沿脊前偏北气流向南移动,输送至辽东半岛西侧[图2(a)];在此期间,“天秤”继续向东北移动靠近辽东半岛,其与副高之间形成的偏南风急流加强,辽东半岛东部水平辐合加强,水汽通量增大[图2(b)],降水增强。29日02:00(图略),2个台风间的反气旋环流加强,水汽带断开,由于暖湿输送的减弱,“布拉万”的水汽通量明显减小,水汽辐合中心由辽东半岛东部移至辽宁北部,辽东半岛东部地区强降水减弱停止。可见,“布拉万”北移靠近辽东半岛且与“天秤”之间的水汽通道连通对辽东半岛东部地区强降水的产生有积极作用。

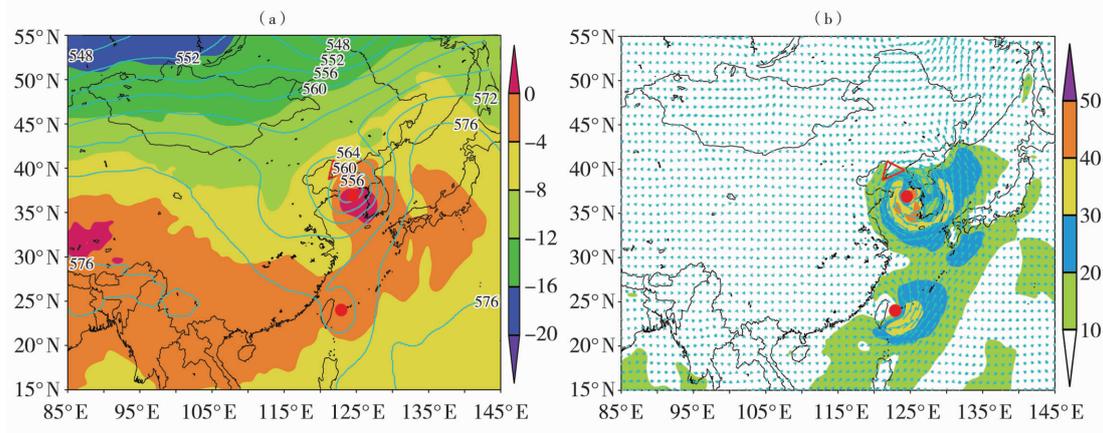


图2 2012年8月28日14:00 500 hPa位势高度场(实线,单位:dagpm)、温度场(阴影,单位:°C)(a)及850 hPa风场(风矢量,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、水汽通量(阴影,单位: $10^{-1} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)(b)(圆点为台风位置,下同)

Fig. 2 The 500 hPa geopotential height field (solid lines, Unit:dagpm) and temperature field (the shaded, Unit:°C) (a) and the 850 hPa wind field (vectors, Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and water vapor flux (the shaded, Unit: $10^{-1} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) (b) at 14:00 BST 28 August 2012 (The dots indicate the TC centers, the same as below)

3 强降水成因

3.1 冷空气影响

环境场是台风降水的重要影响因子之一^[13]。图3是2012年8月28日08:00和20:00通过台风“布拉万”中心(34.9°N)的温度纬向垂直剖面,图4是28日08:00和20:00 925 hPa风场和假相当位温。分析“布拉万”影响辽东半岛期间的环境温度场发现,28日08:00,925 hPa以下台风中心东侧温度明显高于西侧[图3(a)],中心附近358 K的暖湿中心与其西北侧342 K的冷中心形成半暖半冷的结

构[图4(a)],气旋性环流中假相当位温线密集,说明“布拉万”开始变性。此时,辽东半岛位于“布拉万”北侧,风向为偏东风,水汽输送和辐合抬升作用加强,其南部降水开始。分析辽东半岛区域(38°N—40°N,122°E—124°E)的平均相当位温和水平风场随时间的演变[图5(a)]可以看出,随着台风北上,中低层偏东气流加强。28日14:00副高略东退,“布拉万”继续北上,台风位于辽东半岛西南侧,随着干冷空气的向下侵入,中低层对流不稳定性加大;此时,辽东半岛高层的东南风风速减小,低层由偏东风转为东北风,且风速显著加强,高低层风垂

直切变加大;辽东半岛增强的东北风与“布拉万”东侧加强的暖湿气流相互作用,水平辐合和上升运动加强[图5(b)]。随着“布拉万”继续北上及冷空气持续向南延伸,辽东半岛东部和“布拉万”之间的假相当位温等值线逐渐密集[图4(b)],28日14:00—20:00,“布拉万”南部和“天秤”北侧的螺旋云带连接(图略),辽东半岛上空整层抬升作用加强,湿层

增厚,10 g · kg⁻¹比湿等值线高度由850 hPa升至700 hPa[图5(b)],降水逐渐增强。28日20:00开始,“布拉万”已移至辽东半岛东北侧,辽东半岛风向转为北风,其对流层低层为冷气团控制,大气层结趋于稳定;与此同时,南部台风“天秤”与向东北移的“布拉万”之间的水汽输送带断开,辽东半岛降水逐渐减弱。

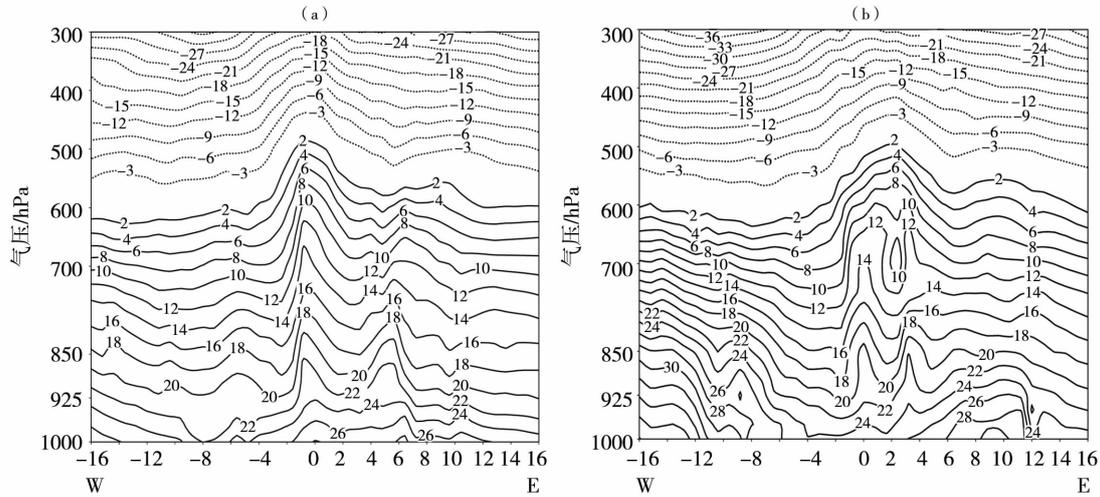


图3 2012年8月28日08:00(a)和20:00(b)通过台风“布拉万”中心(34.9°N)的温度(单位:°C)纬向垂直剖面 [横坐标表示距台风中心(0点)的距离(单位:10² km),向东为正,向西为负]

Fig. 3 The zonal profiles of temperature (Unit:°C) through Bolaven's center(34.9°N) at 08:00 BST(a) and 20:00 BST (b) on 28 August 2012 (Abscissa is distance from typhoon center (zero), Unit:10² km, the negative for westward, and the positive for eastward)

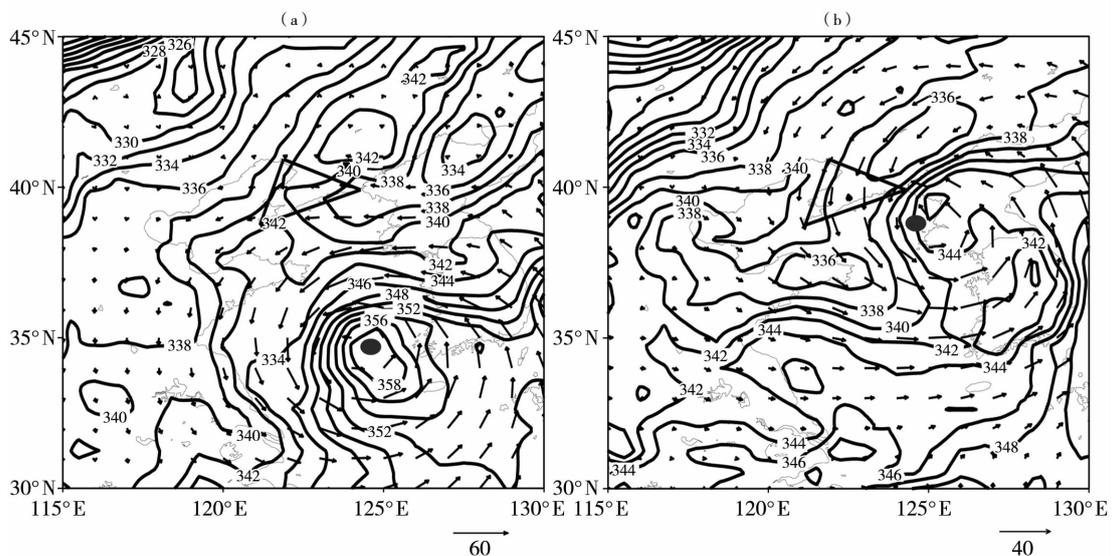


图4 2012年8月28日08:00(a)和20:00(b)925 hPa风场(风矢量,单位:m · s⁻¹)和假相当位温(等值线,单位:K)

Fig. 4 The wind field (vectors, Unit:m · s⁻¹) and potential pseudo-equivalent temperature (isolines, Unit:K) on 925 hPa at 08:00 BST (a) and 20:00 BST (b) on 28 August 2012

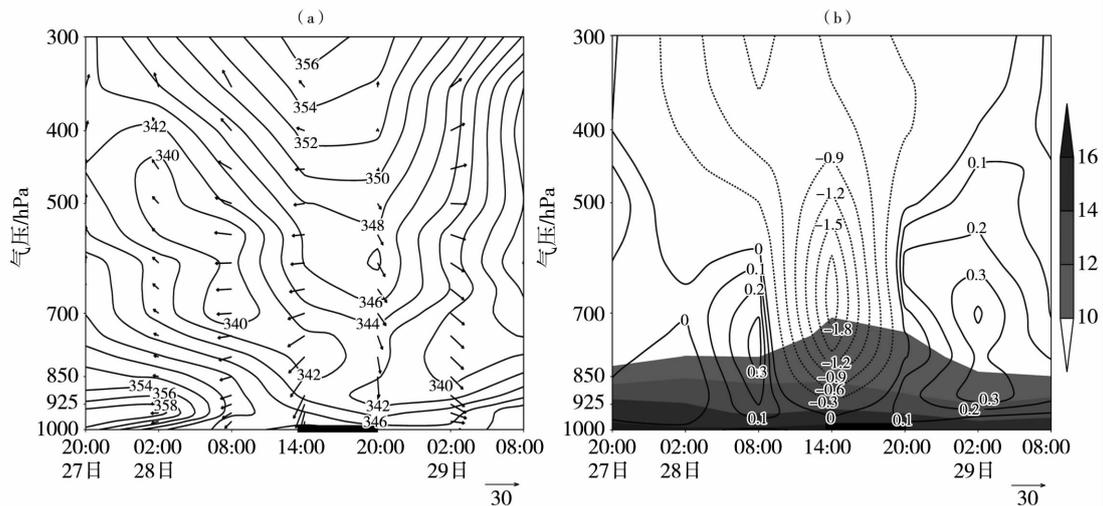


图5 2012年8月27日02:00至29日08:00辽东半岛上空(38°N—40°N,122°E—124°E)

平均相当位温(等值线,单位:K)、水平风场(风矢量,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)(a)及
比湿(阴影,单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)、垂直速度(等值线,单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)(b)的高度—时间剖面
(横坐标上的短粗线为强降水时段,阴影为 $\geq 10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的比湿区)

Fig. 5 The height-time sections of averaged equivalent temperature (isolines, Unit:K)
and horizontal wind field (vectors, Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (a), specific humidity (the shaded, Unit: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
and vertical velocity (isolines, Unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) (b) over Liaodong Peninsula region
(38°N—40°N, 122°E—124°E) from 02:00 BST 27 to 08:00 BST 29 August 2012
(the short thick line on abscissa indicates heavy rainfall time,
the shaded areas indicate specific humidity more than $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

综上所述,台风“布拉万”影响辽东半岛期间受冷空气影响已变性,半冷半暖的非对称结构明显。其西北侧低层水平辐合较强,水平风垂直切变较大,有利于对流发展;其西南侧低层为冷气团控制,大气层结趋于稳定,对流运动受到抑制。当辽东半岛处于台风西北部湿斜压不稳定区内,暴雨发生,当辽东半岛在台风环流西南侧的冷区内,对流受到抑制,不利于强降水的持续。

3.2 中尺度对流云团发展

冷空气通常触发台风环流内中尺度对流云团的生成和发展产生暴雨^[14-15]。图6为2012年8月27日20:00至29日02:00逐6hFY-2E卫星TBB演变。可以看出,辽东半岛强降水期间,“布拉万”北侧和东侧围绕眼区有明显的螺旋云带,变性过程中云带内不同尺度的中尺度对流云团的发展对降水落区有影响。2012年8月27日20:00,“布拉万”移至东海北部海面上,其北部的螺旋云带已影响辽东半岛,西风槽云带位于内蒙古中东部。28日02:00,2条云带靠近、合并,螺旋云带在东北—西南方向上被拉长,低于 -32°C 的云体呈“9”字型非对称结构分布,显示了变性台风的一般结构特征。但台风北侧云团内云顶亮温由 -62°C

升至 -50°C ,表明台风变性减弱;此时,辽东半岛位于台风中心西北侧的反气旋环流内,处于强对流云带的西侧,云系逐渐减弱。28日14:00,台风“天秤”的北支云带靠近“布拉万”南部的螺旋云带并与之相连,“布拉万”的水汽输送加强,与辽东半岛西部的冷空气相互作用,在半岛东部地区形成强辐合中心,沿辐合中心有中尺度云团维持,14:00—20:00辽东半岛东部出现短时强降水。29日02:00后,华北南部冷空气继续东南移,切断了2个台风之间的暖湿输送带;辽东半岛上空500hPa以下转为偏北风,螺旋云带趋于松散减弱。

综上所述,“布拉万”北上变性期间的非对称结构明显,中尺度对流云团在其北侧和东侧发展。南部台风的水汽补充导致位于“布拉万”西北侧的辽东半岛处于有利的中尺度环境下,可激发局地的对流运动发展,产生强降水。

3.3 台风环流内冷暖平流活动

上述分析表明,“布拉万”影响辽东半岛期间,强降水落区只出现在辽东半岛东部与“布拉万”之间假相当位温等值线密集的锋区附近一定位置,这与变性台风环流中冷、暖气流有关^[16-17]。

图7为2012年8月28日08:00、14:00和20:00

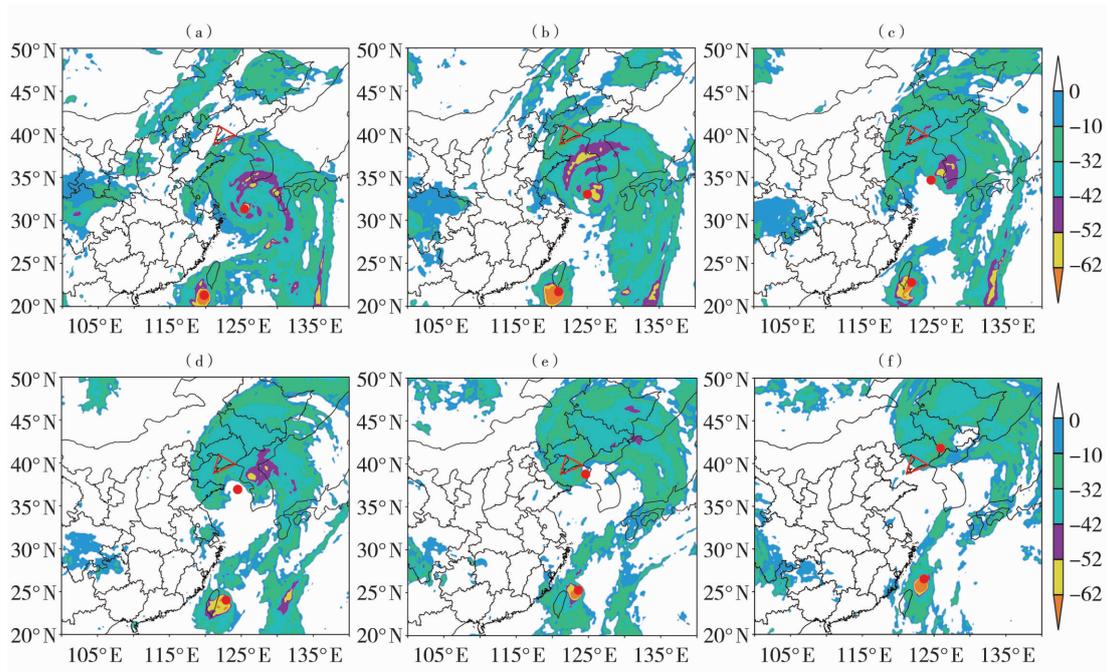


图 6 2012 年 8 月 27 日 20:00 至 29 日 02:00 逐 6 h FY-2E 卫星 TBB 演变(单位:°C)
 (a)27 日 20:00,(b)28 日 02:00,(c)28 日 08:00,(d)28 日 14:00,(e)28 日 20:00,(f)29 日 02:00

Fig. 6 The evolution of 6-hourly TBB from FY-2E satellite from 20:00 BST on 27 to 02:00 BST on 29 August 2012 (Unit: °C)

(a) 20:00 BST on 27, (b) 02:00 BST on 28, (c) 08:00 BST on 28,
 (d) 14:00 BST on 28, (e) 20:00 BST on 28, (f) 02:00 BST on 29

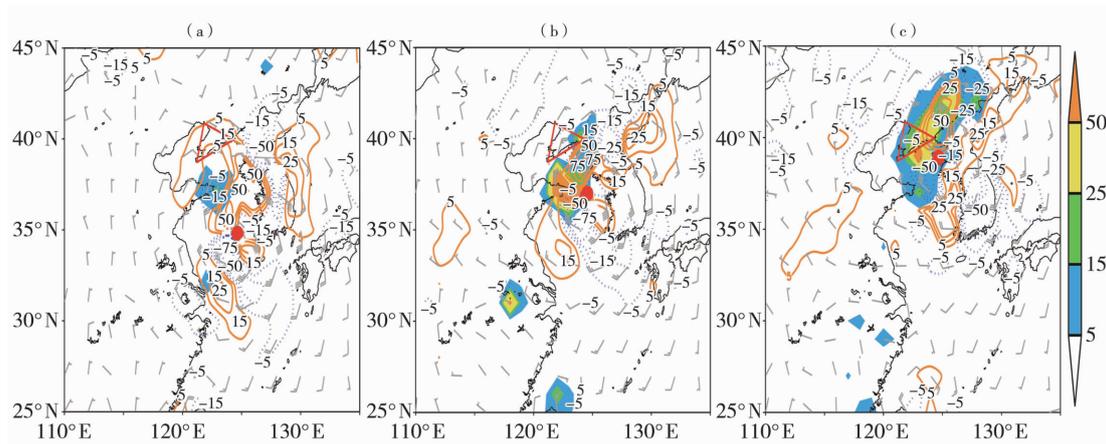


图 7 2012 年 8 月 28 日 08:00(a)、14:00(b)和 20:00(c)850 hPa 风场(风矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$)、
 温度平流(等值线,单位: $10^{-3} K \cdot s^{-1}$)和 6 h 累计降水量(阴影,单位:mm)
 (彩色阴影表示降水量 ≥ 5 mm)

Fig. 7 The wind field (vectors, Unit: $m \cdot s^{-1}$), temperature advection (isolines, $10^{-3} K \cdot s^{-1}$)
 on 850 hPa, and 6-hourly accumulated precipitation (the shaded, Unit:mm)
 at 08:00 BST (a), 14:00 BST (b) and 20:00 BST (c) on 28 August 2012
 (the color shaded areas indicate precipitation more than 5 mm)

850 hPa 风场、温度平流和 6 h 累计降水量。可以看出,28 日 08:00,暖平流大值中心位于“布拉万”东北部,西风槽后的冷平流已移至其西南部,降水大值中心位于山东半岛东北部,即台风北侧水平辐合带内假

相当位温等值线密集区冷暖平流交汇处[图 4(a)],此时辽东半岛处于暖平流区,仅在南部出现微量降水。28 日 14:00,由于台风“天秤”的水汽补充和西风槽后低层冷空气向南扩散,“布拉万”东北部的暖

平流和西南部的冷平流均明显加强,辽东半岛东部位于台风西北侧冷锋带上强暖平流与弱冷平流之间区域,降水明显加强,但强暖平流与冷平流大值中心仍维持在山东半岛东北部地区,其强降水仍维持,且较辽东半岛明显偏强。28日20:00,“布拉万”北移靠近辽东半岛,辽东半岛东部假相当位温等值线更加密集[图4(b)],此时暖平流大值中心位于辽东半岛东北部,冷平流持续卷入台风环流西南侧,强降水中心出现在辽东半岛东部锋面上冷暖平流交汇处。此后,“布拉万”向东北移动,与“天秤”之间的水汽输送带断裂,“布拉万”东北部的暖平流逐渐减弱,但其西部的冷平流明显加强,强降雨带沿东北—西南向的冷暖平流交汇区分布在辽东中东部、吉林中北部和黑龙江中南部,辽东半岛已为冷平流影响区,降水逐渐减弱停止。由此可见,“布拉万”变性过程中低层环流伴随着冷暖平流活动,其西北侧假相当位温等值线密集带上冷暖平流交汇处对强降水有较好的指示作用,揭示了强降水落区在锋面的一定区域出现。

4 结 论

(1) 台风“布拉万”与日本海附近的副高及另一台风“天秤”之间所形成的偏南风低空急流为辽东半岛东部强降水的产生提供了水汽和能量的补充。

(2) “布拉万”在变性过程中与西风槽以及低空急流相互作用有利于其北侧螺旋云系的发展。强降水落区与台风低层环流北侧辐合带内冷暖平流活动密切相关,冷暖平流交汇处的能量锋带对强降水有较好的指示作用。

(3) “布拉万”在变性过程中具有明显非对称性,其西北侧低层水平辐合较强,水平风垂直切变较大,有利于对流发展;其西南侧低层为冷气团控制,大气层结趋于稳定,对流运动受到抑制。故辽东半岛处于台风西北侧发展的中尺度对流区,强降水持续;而位于台风西南侧中尺度对流运动减弱的区域,强降水停止。

参考文献:

- [1] 梁军,陈联寿. 影响辽东半岛热带气旋运动、强度和影响的特征[J]. 热带气象学报,2005,21(4):410-419.
- [2] 《华北暴雨》编写组. 华北暴雨[M]. 北京:气象出版社,1992:182.
- [3] 王达文. 北上热带气旋分析与预报[M]. 北京:气象出版社,2001:249.
- [4] 孙力,隋波,王晓明,等. 我国东北地区夏季暴雨的气候学特征[J]. 气候与环境研究,2010,15(6):778-786.
- [5] 陈联寿,罗哲贤,李英. 登陆热带气旋研究的进展[J]. 气象学报,2004,62(5):541-549.
- [6] 王文波,王旭,杨明,等. 台风“达维”移动路径成因分析[J]. 干旱气象,2014,32(1):75-80.
- [7] 梁军,陈联寿,张胜军,等. 冷空气影响辽东半岛热带气旋降水的数值试验[J]. 大气科学,2008,32(5):1107-1118.
- [8] 陆桂荣,王文,于怀征,等. 台风“达维”对山东日照“08.03”暴雨天气过程的影响分析[J]. 干旱气象,2014,32(2):256-262.
- [9] 梁军,张胜军,黄艇,等. 辽东半岛“达维”(1210)台风暴雨的诊断分析[J]. 气象,2015,41(3):364-371.
- [10] 李英,陈联寿,雷小途. Winnie(9711)台风变性加强过程中的降水变化研究[J]. 大气科学,2013,37(3):623-633.
- [11] 孙力,董伟,药明,等. 1215号“布拉万”台风暴雨及降水非对称性分布的成因分析[J]. 气象学报,2015,73(1):36-49.
- [12] 梁军,李英,张胜军,等. 影响辽东半岛两个台风 Meari 和 Muifa 暴雨环流特征的对比分析[J]. 大气科学,2015,39(6):1215-1224.
- [13] 程正泉,陈联寿,李英. 登陆台风降水的大尺度环流诊断分析[J]. 气象学报,2009,67(5):840-850.
- [14] 李英,陈联寿,雷小途. Winnie(1997)和 Bilis(2000)变性过程的湿位涡分析[J]. 热带气象学报,2005,21(2):142-152.
- [15] 杨引明,朱雪松,陶祖钰. 上海特大暴雨热带低压结构的数值模拟及其加强机制的分析[J]. 高原气象,2011,30(2):416-427.
- [16] BONELL M, CALLAGHAN J. The synoptic meteorology of high rainfalls and the storm runoff response wet tropics[M]. //STORK N, TURTON S, Eds. Living in a dynamic tropical forecast landscape. Oxford:Blackwell Press, 2008:488.
- [17] GAO S Z, MENG Z Y, ZHANG F Q, et al. Observational analysis of heavy rainfall mechanisms associated with severe tropical cyclone storm Bilis (2006) after its landfall[J]. Monthly Weather Review, 2009,137:1881-1897.

(下转至 1051 页)