

影响黄渤海区域两次北上台风的对比分析

孙密娜, 杨洋, 姜皓严

(天津市气象局, 天津 300074)

摘要: 利用热带气旋路径数据集资料、NCEP逐6 h再分析资料和FY卫星TBB资料,统计显示:1985—2014年北上到渤海和黄海北部的台风一共34个,其中8月最多,有三分之一已经变性成温带气旋。两次北上影响黄渤海的台风过程(1410号“麦德姆”和0713号“韦帕”)的对比分析显示:两者北上时与中纬度的高空槽云系结合,锋生显著,降水范围增大。台风“韦帕”登陆后与高空槽云系结合的纬度更低,强度减弱速度更快,降水和对流云带主要分布在其中心的北侧,而台风“麦德姆”则主要分布在其中心的西南侧。台风登陆后垂直速度和水汽通量散度出现不对称结构,并与降水区域一致。视热源和视水汽汇诊断显示:台风“韦帕”遭遇的冷空气强度更强,由西侧的中高层开始快速向下入侵;台风“麦德姆”则由低层开始由西侧和东侧同时入侵。

关键词: 北上台风;等熵面;高空槽;降水

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2018)05-0074-11

1 引言

北上台风是深入中国北方的热带气旋,是影响中国北部沿海的重要天气系统。周小珊等^[1]的统计显示平均每年约有3个北上热带气旋,其与中纬度冷空气发生相互作用产生变性,使预报的难度加大^[2],对台风“麦莎”的分析显示其变性的原因是冷空气从底层入侵并促使暖湿气流抬升^[3],0417号台风的暖空气与西侧高空入侵下沉的干冷空气形成偶极,较强的湿斜压性和假相当位温(θ_{se})陡立区,适宜倾斜涡度发展,使气旋性环流发展加强^[4-5]。高位涡下传是干空气入侵的一种可能机制^[6],适当强度的冷空气入侵有利于斜压能的积累和释放^[7],倾斜的湿位涡柱结构的形成表明台风变性过程的开始^[8]。

冷空气的入侵促使台风环流出现非对称分布,而台风降水与动力条件(上升运动)和热力条件(暖平流)的不对称分布直接相关^[9]。冷空气入侵热带

气旋外围可大幅度增加热带气旋外围及倒槽的降水量^[10]。在对1109号台风“梅花”、1210号台风“达维”和1215号台风“布拉万”的分析中发现北方冷空气对北上台风引起的降雨起十分关键作用^[11-12]。冷空气入侵触发不稳定能量,对流增强,能够引发暴雨^[13-15]。2014年第10号台风“麦德姆”和2007年第13号超强台风“韦帕”都在浙江登陆后北上,进入黄海减弱为热带气旋,两者的移动路径非常相似,但是,从降水分布来看,“麦德姆”的暴雨范围更大,对流性更强,降水主要分布在台风中心的南侧,“韦帕”的暴雨范围较小,降水主要分布在台风中心的北侧,两者的热力结构也存在着差异,因此,有必要对这两次过程进行深入的分析,为北上台风的预报提供参考依据。

2 资料简介

利用2014年7月23—25日和2007年9月18—

收稿日期: 2018-01-12; 修回日期: 2018-03-15。

基金项目: 天津市应用基础与前沿技术研究计划(15JCQNJC07600);中国气象局预报员专项(CMAYB2018-005);天津市局课题(201814ybxm08)

作者简介: 孙密娜(1982-),女,工程师,硕士,主要从事天气预报技术研究。E-mail: sunminan@163.com

20日中国FY-2E和FY-2C卫星相当黑体亮温(Black Body Temperature, TBB)资料、NCEP逐6 h $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 分辨率的再分析资料 and 全国自动站24 h降水观测资料对比分析了两次北上影响黄渤海区域台风的动力、热力和降水差异。台风路径资料来源于中国台风网(网址: www.typhoon.gov.cn)“CMA-STI热带气旋最佳路径数据集”。

3 北上台风概况

1985—2014年30 a期间北上影响到黄海北部和渤海区域的台风一共有34个(见图1),其中1985年和1994年的数量最多分别为4个和3个,从台风影响的月份统计,8月最多,有15个,7月有9个,9月有8个,6月最少,只有2个。从台风的风力来看,到达 37°N 以北台风中心附近风力达到30 m/s以上的有7个,其中0012号和1007号台风达到33 m/s,风力最小的为9417号热带气旋,风力为10 m/s。从台风的强度来看,最强强度达到超强台风的有8个,达到强台风级别的有7个,达到台风级别的有11个,到达 37°N 附近已经变性的有10个,约占总数的三

分之一。

4 台风实况对比分析

4.1 实况简介

2014年第10号台风“麦德姆”7月18日02时(北京时,下同)在菲律宾以东的西北太平洋洋面上生成,生成后向西北方向移动,22日下午加强为强台风,23日15时前后在福建省沿海登陆并减弱为强热带风暴,经浙江、江西、安徽、江苏等省进入黄海,25日05时在山东省荣成市登陆强度为热带风暴,中心最大风力8级,然后向东北方向移动,25日夜间在黄海北部逐渐减弱(见图2a)。受“麦德姆”影响,山东东部普降大暴雨,烟台昆嵛山最大小时雨量达到60 mm,黄海北部及沿海风力达到8~9级,阵风11级。2007年第13号超强台风于9月16日08时在菲律宾以东洋面上生成,生成后向西北方向移动,18日05时加强为超强台风,19日03时前后在浙江温州登陆,登陆时中心气压950 hPa,之后北上转为向东北方向移动,11时快速减弱为热带风暴,随后进入黄海,20日早晨在朝鲜西南部减弱为热带低压

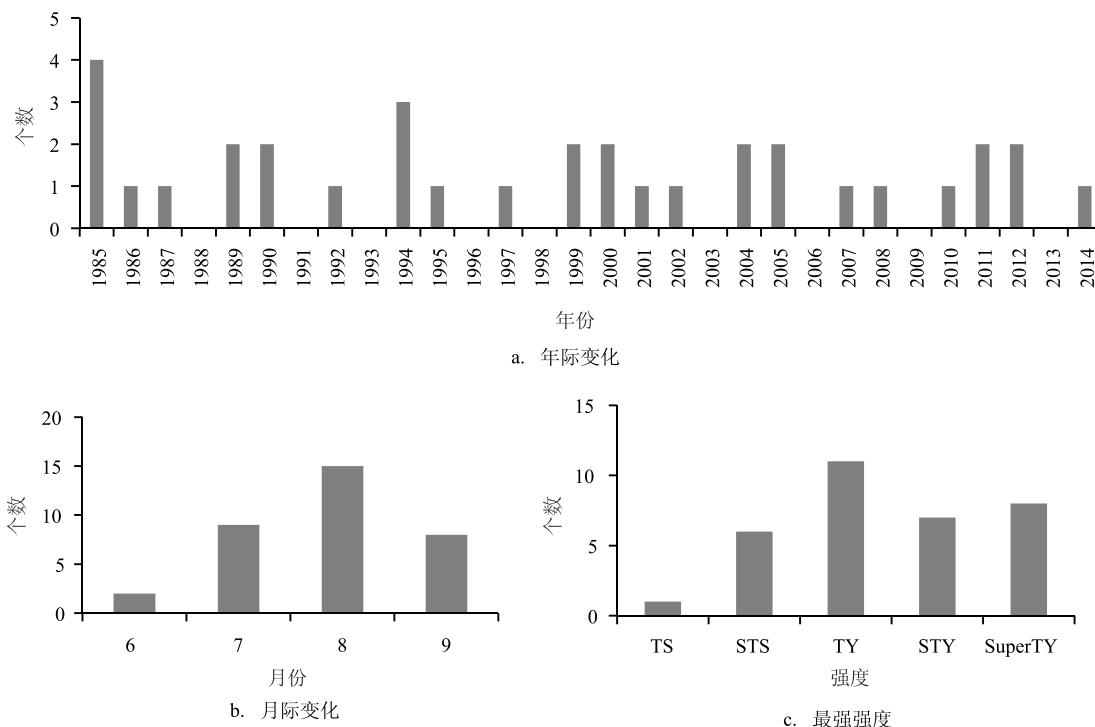


图1 1985—2014年北上到 37°N 以北的台风变化和强度
(TS:热带风暴;STS:强热带风暴;TY:台风;STY:强台风;SuperTY:超强台风)

(见图2a)。受“韦帕”影响,山东东部沿海出现大暴雨,黄海北部及沿海风力达到10~11级。

4.2 环流特征

“麦德姆”活动时期东亚的环流形势为一槽一脊,2014年7月24日20时,高压脊位于100°E附近(见图2b),其下游高空槽南部受副高阻挡移动缓慢,脊前西北气流不断有冷空气补充南下,使槽加深发展,副热带高压(副高)势力强盛,584线北伸到38°N,台风沿副高外围东南气流北上,在32°N附近转向东北方向。“韦帕”活动时期东亚存在一槽两脊的形式,2009年9月19日20时(见图2c),高空槽位于115°E,经向度更大,使得槽后冷空气的强度更强,同时副高脊线到达的纬度更高,584线北伸到达42°N,形成阻挡形势,上游脊前的冷空气不断堆积,使高空槽不断加深,其与副高之间的位势梯度不

断增大,导致引导气流增强。使“韦帕”更倾向于沿引导气流运动而不受西侧高空槽的吸引^[10]。引导气流由东南风转为西南风,“韦帕”沿引导气流向东北方向移动,在黄海北部减弱填塞。

因此,“麦德姆”与“韦帕”活动期间东亚中高纬度上游都存在高空槽,但是,后者的副高位置更偏北,形成有力的阻挡形势,使槽发展更强,上游的冷空气不断在低槽积累。其东侧副热带高压的引导气流更强,对其形成更强的吸引作用,使“韦帕”的路径更偏东。

4.3 TBB特征

云顶亮温能直接反应对流活动的强弱和雨带的位置,以下利用TBB的变化情况分析台风移动和变性过程中的结构特征。23日20时(见图3a),“麦德姆”登陆后,中心云区呈不对称分布,台风眼消

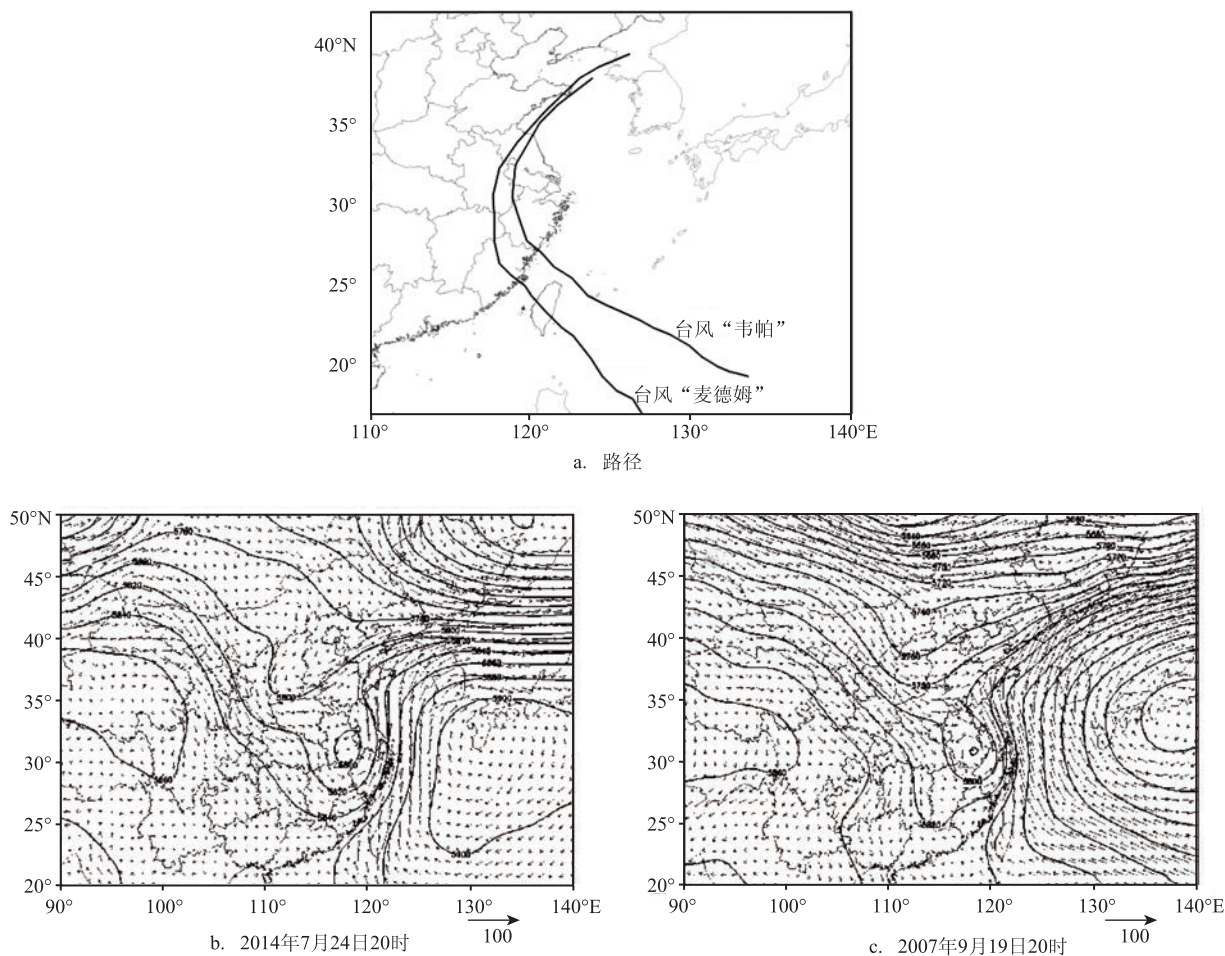


图2 台风“麦德姆”和“韦帕”路径和不同时间500 hPa位势高度场(实线,单位:gpm)和水平风场(矢量,单位:m/s)

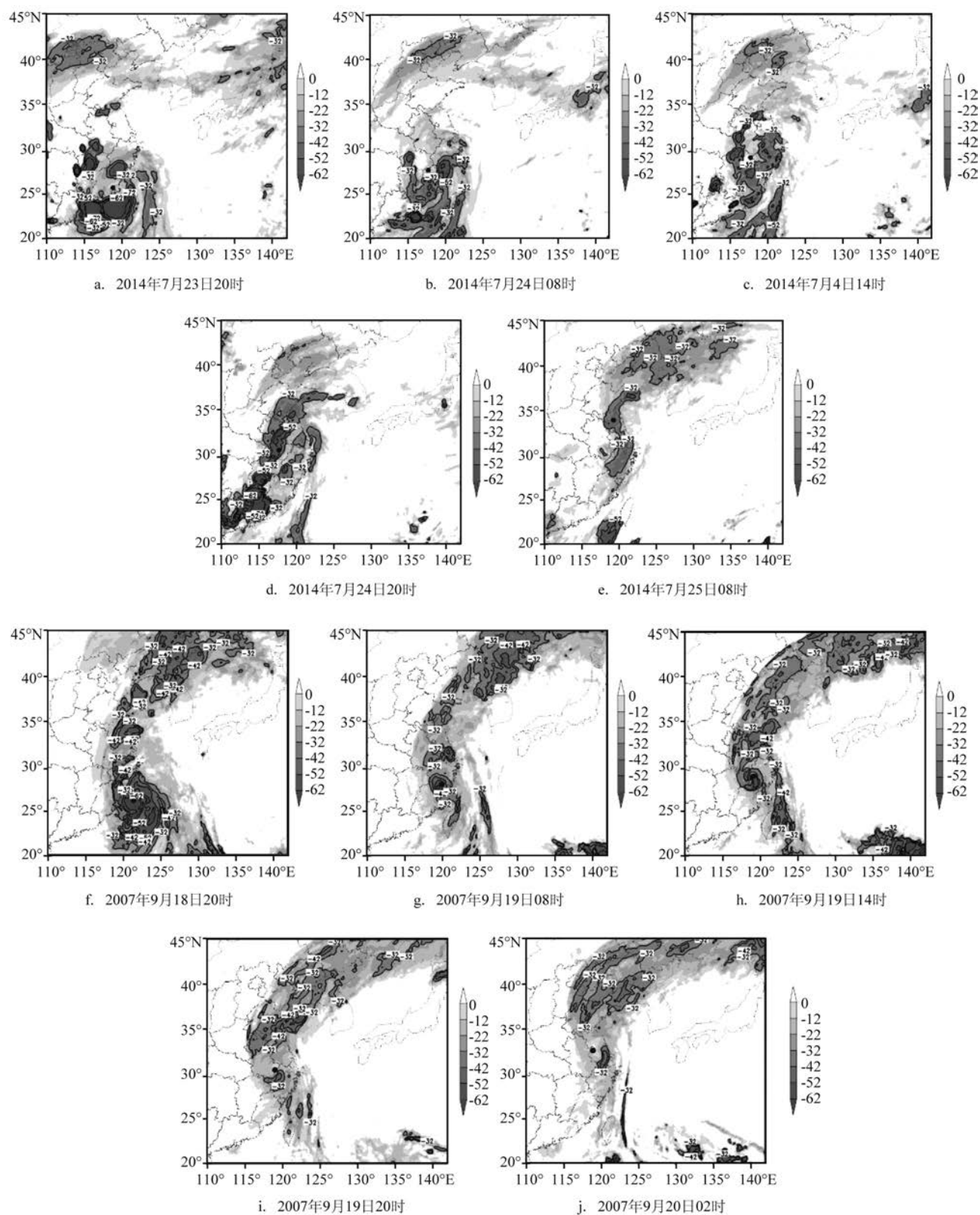


图3 TBB云图(•表示台风中心位置,单位:°C)

失,南侧存在较宽广的螺旋云带,均为密蔽云区,最低值小于 -62°C ,西北侧云量少,但是仍存在TBB的低值中心,最低值小于 -62°C 。在“麦德姆”继续北上的过程中西北部的云区面积继续缩小,并且低值中心强度减弱,最低值小于 -42°C 。南侧密蔽云区结构也变得松散。24日08时(见图3b),“麦德姆”的结构更加松散,与 35°N 以北的华北地区上空的高空槽云系逐渐接近,14时(见图3c),高空槽云系与“麦德姆”在山东以南汇合在一起,其对流云系得到发展,云区范围显著扩大,对流中心显著增强,最低值小于 -52°C 。18时对流云系发展成为从山东伸向华南的东北西南向的对流带(见图3d),山东东部开始出现降水并增强。25日08时对流云系移到山东东部(见图3e),造成山东东部普降大暴雨,小时雨强达 60 mm 。14时之后“麦德姆”继续向东北方向移动,对流强度减弱。

18日20时在浙江沿岸登陆的“韦帕”仍然具有对称的圆形螺旋云区和中心眼区(见图3f),TBB最低值小于 -62°C 。北侧与中纬度的高空槽云系相接,19日08时向北方移动的“韦帕”云区开始变得松散(见图3g),TBB最低值小于 -42°C ,西侧和南侧减弱最明显,密蔽云区的范围在台风中心 10 km 左右,14时与北侧的高空槽云系汇合(见图3h),北侧的对流云系范围扩大,对流强度增强,TBB温度最低值小于 -42°C 。浙江山东的降水增强,出现暴雨到大

暴雨天气。20时(见图3i),“韦帕”向东北方向继续移动,山东东部受其北部云系的影响,云系变得更加稀疏,降水云区位于“韦帕”中心的东北侧,TBB温度最低值小于 -42°C 。19日02时降水云系逐渐东移(见图3j),云系呈明显的温带气旋涡旋结构。

因此,在台风登陆后强度明显减弱,云区结构松散,与高空槽云系结合时对流性显著增强,降水强度大。不同的是“韦帕”登陆后与高空槽云系结合的纬度更低,强度减弱的速度更快,密蔽云区范围小强度弱,对流云带主要分布在其中心的北侧,而“麦德姆”的对流云带主要分布在其中心的南侧。

4.4 降水特征

从降水的分布来看(图略),“麦德姆”造成山东、江苏、浙江和江西等地出现了暴雨或大暴雨,2014年7月24日08时—26日08时累计最大雨量出现在山东省的胶州和荣成,雨量为 252.8 mm 和 247 mm ,降水主要出现在其移动方向的西侧和西南侧。而2007年9月19日08时至21日08时累计最大雨量(图略)显示:“韦帕”降水分布的范围与“麦德姆”相似,在浙江和山东的沿海出现了大到暴雨,只是雨区位置略偏东,降水主要集中在其移动路径的东北侧,其西南侧云区稀少降水弱。

2014年7月24日20时, 32°N 的 θ_{se} 和速度剖面显示(见图4a):东北风出现在 900 hPa 附近的低层,

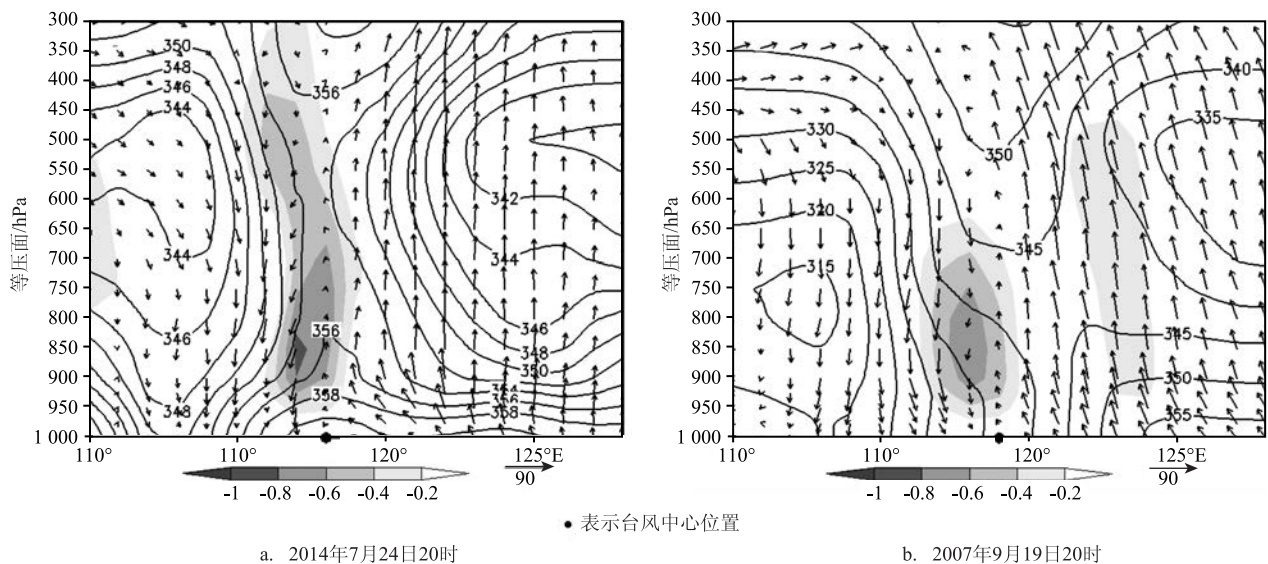


图4 不同时间沿 32°N 和 31°N 的 θ_{se} (等值线,单位: $^{\circ}\text{C}$)、水平风场(矢量,单位: m/s)和垂直速度(阴影,单位: Pa/s)

354 K等值线随高度向西倾斜,说明有冷空气入侵,120°E附近等 θ_{se} 线密集,斜压性增强,锋生显著,暖湿空气在冷空气上爬升,而垂直速度也在此时得到了发展,说明锋生作用促进了垂直运动的发展,释放了斜压位能,对流活动显著。2007年9月19日20时(见图4b),在“韦帕”西侧的冷空气中心位于850 hPa,强度达到315 K,从底层到400 hPa都为北风控制,且风速较“麦德姆”显著偏大,119°E以西的陆地区域被干冷空气占据,暖湿空气在119°E以东,等假相当位温线分布稀疏,锋生作用较“麦德姆”弱,对流发展较弱。

4.5 水汽通量散度

为了分析两次台风降水分布差异的原因,对比分析了两次过程的水汽通量散度(见图5),850 hPa的水汽通量散度显示:2014年7月24日20时(见图5a)“麦德姆”移动到浙赣交界,中心位于31°N附近,水汽通量散度辐合区在其中心的西侧和南侧,水汽辐合中心达到 $-8 \times 10^{-5} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s})$,水汽辐合区与TBB的低值区相一致,对应着强降水区。25日02时(见图5c)“麦德姆”中心移动到32°N附近,辐合中心在其中心的西侧和北侧,到25日08时(见图5e)“麦德姆”移动到34°N附近,辐合中心转移到其北侧的36°N附近。2007年9月19日20时(见图5b)“韦帕”位于浙江中部,中心位于30°N附近,水汽通量辐合区范围比“麦德姆”明显偏小,“韦帕”中心附近存在弱辐合区,中心为 $-2 \times 10^{-5} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s})$,辐合大值区位于“韦帕”北侧的高空槽区,强度达到 $-6 \times 10^{-5} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s})$ 。20日02时和08时(见图5d、5f)水汽通量辐合中心仍然位于“韦帕”的北侧,与TBB的分布一致,强降水也位于其中心的北侧。

4.6 垂直速度

2014年7月24日20时,在“麦德姆”登陆后南北两侧均存在上升运动,中心位于31°N附近(见图5a),随着“麦德姆”的北上上升运动区逐渐北移,25日08时(见图5e),中心位于34°N附近,上升运动出现在中心北侧2个纬度附近,上升运动区移动到黄海北部36°N附近,上升运动深厚,中心强度为 -1 Pa/s ,山东降水开始增强。2007年9月19日20时(见图5b),在“韦帕”登陆以后速度场开始出现不对称分

布,上升运动分布在“韦帕”的北侧,随着其北上上升运动一直位于其中心的北侧,上升运动范围也逐渐缩小,20日08时(见图5f),上升运动区移动到黄海北部36°N附近,上升运动中心强度为 -1.2 Pa/s ,山东降水开始增强。

5 干侵入特征对比

5.1 热力结构

台风北上的过程中与北方冷空气相遇会发生变性,由暖心结构的热带气旋变为存在冷暖结构的温带气旋,在变性的过程中,冷空气的入侵会改变系统的热力结构,使不稳定能量增加,上升运动的抬升作用释放不稳定能量,增加降水的强度。为了揭示台风变性过程的热力结构,利用视热源(Q_1)和视水汽汇(Q_2)的诊断公式^[16]:

$$Q_1 = c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T + \omega \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{R}{P_0}} \frac{\partial \theta}{\partial p} \right] \quad (1)$$

$$Q_2 = -L \left(\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} \right) \quad (2)$$

式中: L 为潜热系数, θ 为位温, q 为比湿, R 为气体常数, c_p 为定压比热, ω 为垂直速度,是由连续方程垂直积分,并经过散度订正得到的,下边界条件考虑了地形强迫作用,上边界条件由热力方程考虑辐射冷却作用得到。右端3项分别表示局地变化项、水平平流项和垂直输送项。 Q_1 表示单位时间内单位质量空气的增温率, Q_2 表示单位时间内单位质量水汽凝结潜热释放引起的增温率。用 $Q = Q_1 + Q_2$ 来表示在冷空气入侵的过程中,冷暖空气所需的视热源和视水汽汇。

从 Q 的纬向剖面来看,24日14时在850 hPa附近存在冷中心(见图6a),说明有冷空气在低层入侵,中心强度为 $-15 \text{ K}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,到了20时冷空气继续渗透(见图6b),存在从700 hPa向西北倾斜的冷中心,强度为 $-5 \text{ K}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,从300 hPa到850 hPa还存在一条垂直的冷轴线,中心强度为 $-10 \text{ K}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,在“麦德姆”东侧仍然是暖中心,强度为 $12 \text{ K}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,但是底层已经为冷空气所控制,“麦德姆”变性为温带气旋。2007年9月19日14时在“韦帕”西侧和上空存在冷中心(见图6c),中心在800 hPa和500 hPa,

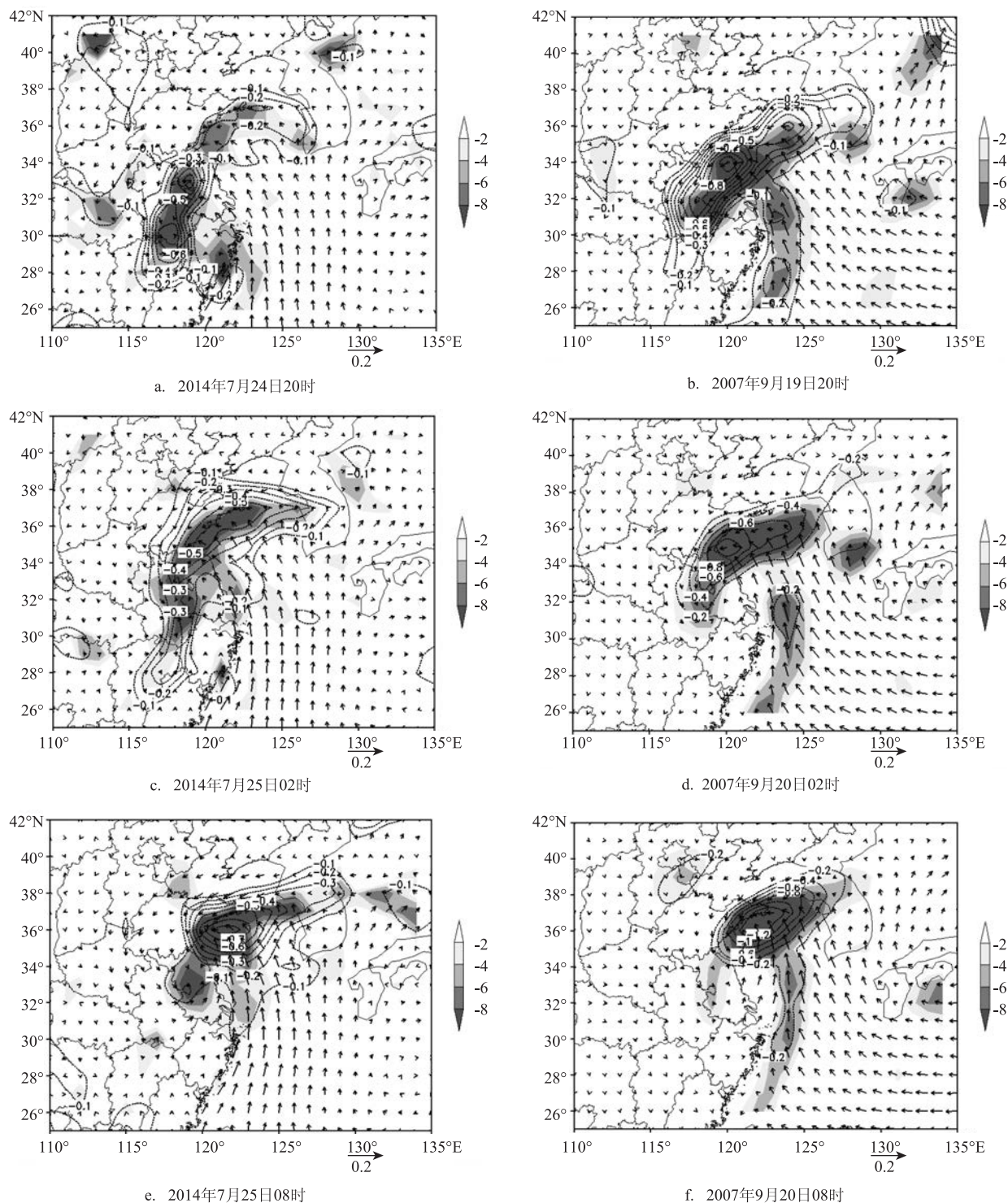


图5 850 hPa水汽通量散度(阴影,单位: $10^5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s})$)、水汽通量(矢量,单位: $10^3 \text{ g}/\text{m} \cdot \text{s}$)和垂直速度(虚线,单位: Pa/s)

强度为 $-12 \text{ K}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ，“韦帕”的西侧开始有冷空气入侵，20时(见图6d)“韦帕”的低层已经存在冷中心，中心强度为 $-30 \text{ K}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ，西侧还有冷空气不断

渗透，说明冷空气强度较“麦德姆”更强。两者冷空气入侵的方式也不同，“麦德姆”由低层从西侧和东侧同时逐渐入侵，“韦帕”则是由中高层从西侧快速

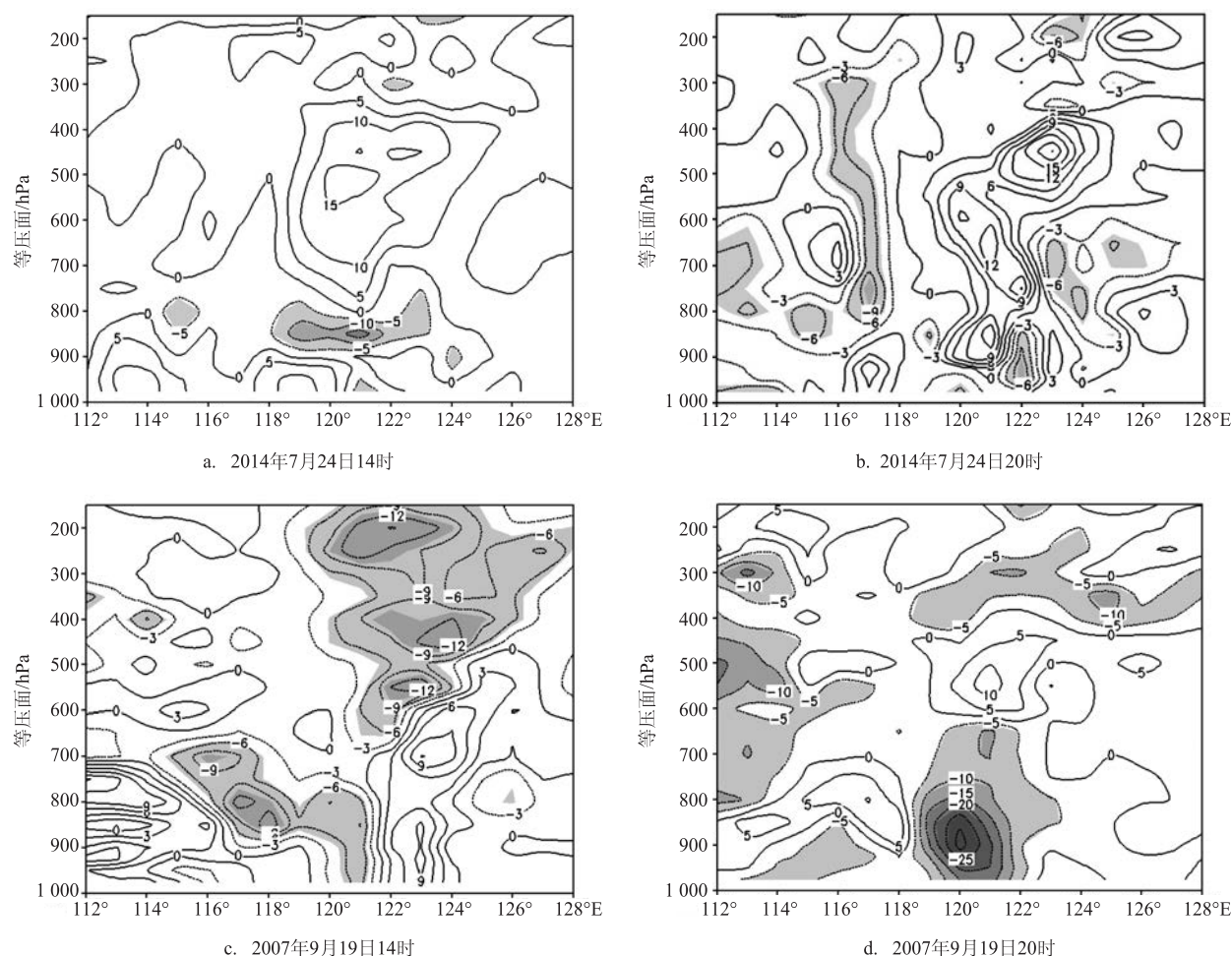


图6 过台风中心 Q 值的纬向剖面(阴影为负值区,单位: $10^3 \text{ K}/(\text{kg} \cdot \text{d})$)

向下入侵。

5.2 等熵面分析

5.2.1 高度场和 θ_{se}

Hoskins 等^[17]曾指出:绝热无摩擦大气有沿着等熵面做二维运动的趋势。在绝热情况下,等熵面能更好的反应气流的三维运动特征。Hoskins 等^[17]的位涡理论指出对流层上部或平流层的位涡扰动移动到对流层低层或地面斜压区上空,就会产生暖平流和扰动,从而激发气旋性环流,形成低涡或气旋^[18],导致地面气旋的发展^[19-21]。在等熵面上高位涡区对应气旋性环流。吴国雄等^[22]指出当空气沿等熵面下滑时,涡度的垂直分量会显著增加,等熵面坡度越大增加越快。

2014年7月25日08时“麦德姆”320 K等熵面

上的高度场、风场和 θ_{se} 可见(见图7a),在贝加尔湖附近为高压脊,干冷空气沿脊前西北气流从5 500 m高度以上下滑到3 500 m高度附近,风速达到22 m/s,一部分继续南下,一部分卷入到“麦德姆”气旋式环流中,等熵面的坡度较大,利于涡度的增长。

2007年9月19日20时(见图7b),干冷空气沿脊前西北气流从7 500 m高度下滑到4 500 m高度附近,说明等熵面的坡度更大,有利于涡度的快速增长,使垂直上升速度得到发展(见图5f),风速也更大,达到16 m/s,在“韦帕”西侧均为干区,水汽的输送带位于“韦帕”的东侧。因此,其西侧的降水不明显,降水带位于相对湿度大的北侧。

5.2.2 等熵剖面

从等熵坐标中过台风中心的等压面、相对湿度和水平流场的剖面可见(见图8a),在2014年7月25

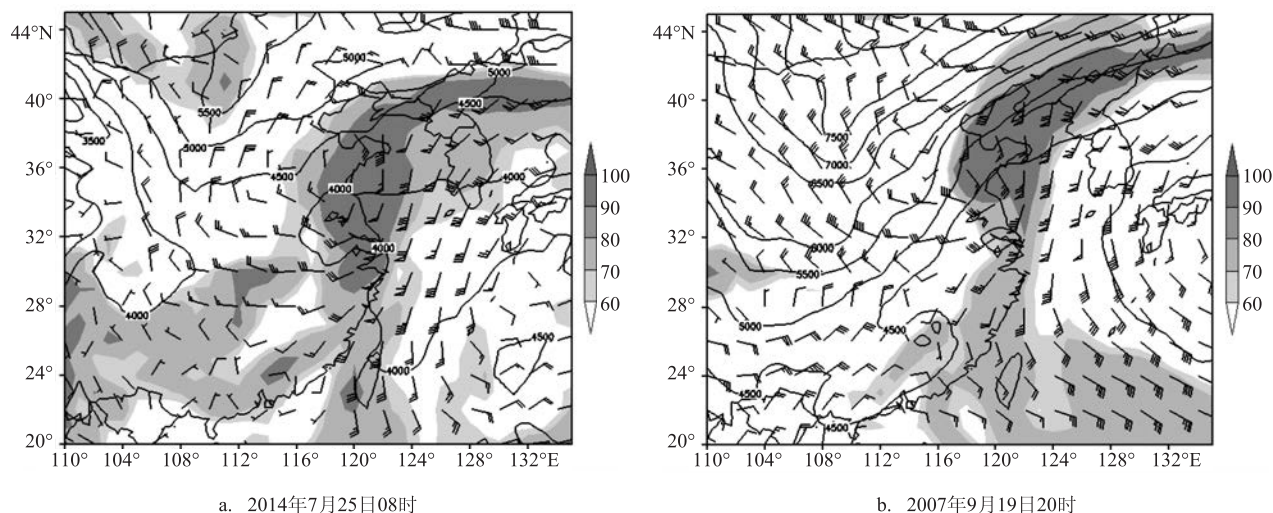


图7 不同时间 320 K等熵面上的水平风场(风羽,单位:m/s)、位势高度场(实线,单位:gpm)和相对湿度(阴影,单位:%)

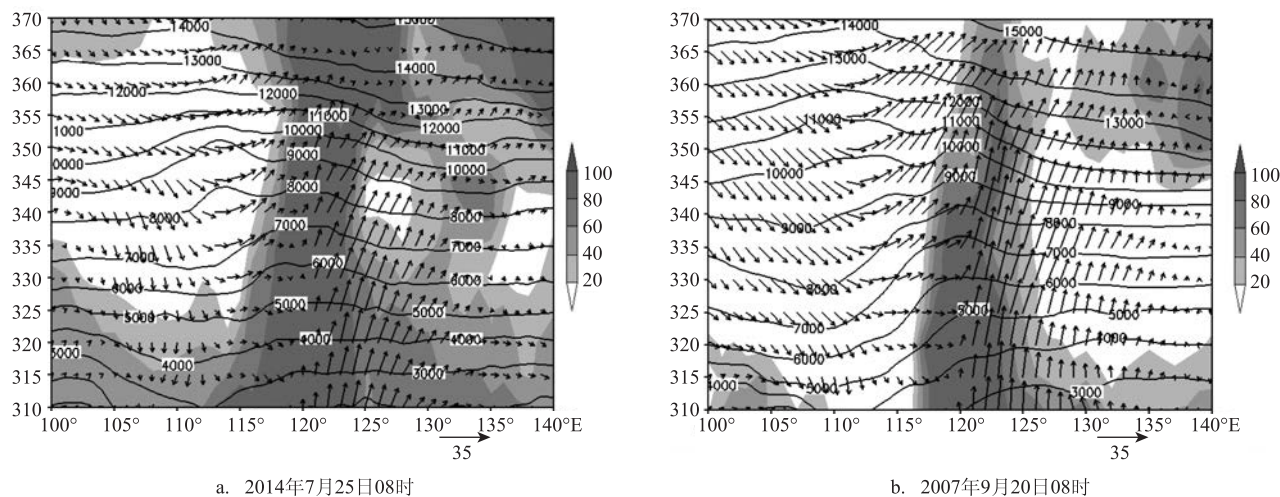


图8 不同时间过系统中心水平风场(风矢,单位:m/s)、位势高度场(实线,单位:10 gpm)和相对湿度(阴影,单位:%)等熵剖面

日08时,在“麦德姆”的西侧有相对湿度小于60%的干冷气流,从高层向下入侵到700 hPa以下的高度,从下向上呈西倾状,说明冷空气已经完全入侵到“麦德姆”环流内部,一部分冷空气继续向低层入侵,一部分卷入120°E以东的上升气流中。在环流中心119°E附近存在深厚的上升运动,同时相对湿度达到90%以上,有利于强降水的产生。2007年9月20日8时(见图8b),“韦帕”中心位于120°E附近,在“韦帕”西侧同样存在相对湿度小于20%的干冷气流从高层向下入侵,不同的是干冷和暖湿空气的

分界线坡度大,接近90°,分界线在117°E附近,117°E以西是下沉气流,以东为上升气流,水汽饱和区范围小,因此其西侧的降水区域范围小,而且以稳定性降水为主。

6 结论

(1)1985—2014年30 a期间夏季北上影响到黄海北部和渤海区域的台风8月最多,6月最少。到达37°N以北台风中心附近风力最大达到33 m/s,风力

最小为10 m/s。强台风以上强度达到了45%,到达37°N附近已经变性的约占总数的三分之一;

(2)“麦德姆”与“韦帕”的相同点为:生成地相近生成地相近、路径相似;500 hPa的环流形势相似;在北上的过程中都与冷空气结合发生了变性;登陆后垂直速度和水汽通量散度都出现不对称结构,并与降水区域一致。但是两者仍存在显著差异;

(3)“韦帕”的副高位置更偏北,形成有力的阻挡形势,使槽发展更强,上游的冷空气不断在低槽积累。其东侧副热带高压的引导气流更强,对其形成更强的吸引作用,使“韦帕”的路径更偏东;

(4)“韦帕”登陆后与高空槽云系结合的纬度更低,强度减弱的速度更快,密蔽云区范围小强度弱,降水和对流云带主要分布在其中心的北侧,而“麦德姆”的降水和对流云带主要分布在其中心的南侧;

(5)利用视热源和视水汽汇的诊断公式发现:“韦帕”冷空气强度更强。两者冷空气入侵的方式也不同,“麦德姆”由低层从西侧和东侧同时入侵。“韦帕”则是由中高层从西侧快速向下入侵;

(6)“韦帕”环流的等熵面的坡度较大,干冷和暖湿空气的分界线坡度接近90°,其西南侧均为干区,因此其降水区域范围小,而且以稳定性降水为主。“麦德姆”等熵面的坡度更小,水汽饱和区范围大,降水影响范围更大,对流性更强。

参考文献:

- [1] 周小珊, 杨阳, 杨森, 等. 北上热带气旋气候特征分析[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(6): 1-5.
- [2] 陈联寿, 孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展[J]. 大气科学, 2001, 25(3): 420-432.
- [3] 狄利华, 姚学祥, 解以扬, 等. 冷空气入侵对0509号台风“麦莎”变性的作用[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 18-25.
- [4] 钟颖旻, 徐明, 王元. Chaba(0417)台风变性前后热力结构特征[J]. 应用气象学报, 2008, 19(5): 588-594.
- [5] 郭丽霞, 陈联寿, 李英. 登陆热带气旋入黄渤海强度变化的环境场特征[J]. 应用气象学报, 2010, 21(5): 570-579.
- [6] 刘会荣, 李崇银, 周育锋. 山东地区一次台风降水事件的干侵入特征分析[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(3): 289-300.
- [7] 陆佳麟, 郭品文. 入侵冷空气强度对台风变性过程的影响[J]. 气象科学, 2012, 32(4): 355-364.
- [8] 黄泓, 许超, 刘吉敏, 等. “罗莎”台风变性前后结构变化的诊断分析[C]//第29届中国气象学会年会论文集. 沈阳: 中国气象学会.
- [9] 史得道, 易笑园, 孙密娜, 等. 影响天津地区两次北上热带气旋过程对比分析[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(3): 19-27.
- [10] 钮学新, 杜惠良, 滕代高, 等. 影响登陆台风降水量的主要因素分析[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(1): 76-80.
- [11] 李慧琳, 高松影, 徐璐璐, 等. 影响辽东半岛两次相似路径的台风对比分析[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(1): 6-13.
- [12] 高晓梅, 王令军, 闫凤君, 等. 台风“达维”影响山东的暴雨落区及路径特征分析[J]. 海洋预报, 2015, 32(2): 72-78.
- [13] 赵宇, 吴增茂, 刘诗军, 等. 由变性台风环流引发的山东特大暴雨天气的位涡场分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(1): 33-43.
- [14] 张建海, 庞盛荣. “莫兰蒂”台风(1010)暴雨成因分析[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(4): 305-312.
- [15] 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.
- [16] 刘英, 王东海, 张中锋, 等. 东北冷涡的结构及其演变特征的一个例综合分析[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 354-370.
- [17] Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1985, 111 (470): 877-946.
- [18] 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 387-405.
- [19] 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1989, 177-180.
- [20] 黄勇, 王亚桂, 蔡其发. 超强台风“梅花”急剧变化的环境特征和能量变化分析[J]. 海洋预报, 2016, 33(6): 22-31.
- [21] 吴志彦, 李宏江, 石燕清, 等. 山东半岛一次台风暴雨过程的冷空气侵入特征分析[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(1): 61-68.
- [22] 吴国雄, 蔡雅萍. 风垂直切变和下滑倾斜涡度发展[J]. 大气科学, 1997, 21(3): 273-282.

Comparative analysis of two northward typhoons affecting the Bohai and Yellow sea areas

SUN Mi-na, YANG Yang, JIANG Hao-yan

(*Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074 China*)

Abstract: Based on the tropical cyclone path data, FY TBB (Temperature of Black Body) data and NCEP (National Centers for Environment Prediction) 6 hourly reanalysis data, there are 34 typhoons moving up to 37°N from 1985 to 2014 statistically, with a highest numbers in August, and one of third has turned into extratropical cyclone. The comparison between typhoon “Matom” and typhoon “Wipha” affecting the Yellow and Bohai Sea indicates that they are in combination with upper trough clouds under the northward move, with significant front genesis and precipitation. The precipitation of typhoon “Matom” is mainly located at the southwest of the center, while the other is located at the north of the center. After typhoon landing, vertical velocity and vapor flux divergence appears asymmetric structure, and is consistent with the precipitation area. By diagnosing the heat source and apparent moisture sinks, it shows that the cold air of typhoon “Wipha” is stronger. The invasion is from the west and downwards swiftly. The invasion of typhoon “Matom” starts at the same time by the west and the east from low levels.

Key words: northward typhoon; the isentropic surface; upper trough; precipitation