

文章编号: 2096-1618(2024)06-0739-10

极端异常台风“美莎克”北上过程诊断分析

李瑶^{1,2}, 巩远发¹, 谭政华³, 王梅², 赵美玲⁴, 任丽⁴

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 大兴安岭地区气象局, 黑龙江 加格达奇 165000; 3. 辽宁省气象台, 辽宁 沈阳 110000; 4. 黑龙江省气象台, 黑龙江 哈尔滨 150060)

摘要:为更好地分析极端异常北上台风“美莎克”的影响机制,利用 ERA5 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 逐6 h再分析资料, FY-2G 卫星资料, NCEP 再分析资料及东北地区常规气象观测资料,就台风北上过程的大尺度环流背景、动力、热力、水汽条件等方面进行诊断分析。结果表明,西太平洋副热带高压与鄂霍茨克海上的高压脊合并加强、稳定维持是造成“美莎克”北上的主要原因,与西风带低涡相互作用使得台风持续时间较长,台风结构在与西风带系统逐渐融合且北上的过程中强度逐渐减弱,雨强也随之迅速减弱。高空急流的抽吸作用及低层辐合、高层辐散的配置,使降水稳定维持,3条水汽通道的建立使多地区出现台风暴雨,物理量条件的非对称性分布造成了降水的非对称性。台风登陆前后不稳定性有所变化,登陆后短时间内不稳定性增强对应着降水的增幅,登陆后主要以稳定性降水为主。冷空气入侵初期增强了降水不稳定性,冷空气的深入使台风暖心结构遭到破坏,随后减弱变性。

关键词:台风;暴雨;非对称性;物理量;急流

中图分类号: P458

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2024.06.014

0 引言

热带气旋(TC)是在热带或副热带洋面上形成的,具有高度有组织的对流和确定的地面气旋性环流的非锋面性天气尺度系统,可以说是最具破坏力的自然灾害之一^[1-5]。中国是世界上受台风(泛指热带气旋)影响最严重的国家之一,每年约有7~8个台风于中国沿海地区登陆^[6]。TC在发生发展,尤其在登陆过程中具有极强的破坏性,因此受到诸多学者关注。许变等^[7]对1011号台风“凡亚比”环流合力散度的垂直分布及演变特征进行分析,提出合力散度的显著区可以有效追踪其移动路径,识别强度、结构的发展演变;吴海英等^[8]对1211号台风“海葵”登陆后引发的2段大暴雨过程进行对比分析;刘赛赛等^[9]指出,改进湿位涡可以反映台风的演变,相比于经典湿位涡更能合理地体现出水汽分布的影响,所以更适合在台风诊断中进行应用;杨丽英^[10]对2007号台风“海高斯”的强度和路径异常成因进行了分析。

有研究表明,登陆台风中华南至东北沿岸灾害最为严重^[11],任丽等^[12-13]对近60年黑龙江省台风进行分析得出,2012年后台风造成的暴雨增加,2020年达到峰值,且台风暴雨多与地形有关,对台风“狮子山”进行分析得出,此次台风暴雨为低纬度系统与中纬度系统相互作用造成的;王承伟等^[14]对北上台风造成的黑龙江省暴雨进行分析得出,影响黑龙江的台风登陆点多位于

35°N 以北,其中从朝鲜半岛进入日本海路径最多;马梁臣等^[15]对北上台风“利奇马”和“罗莎”引发的东北暴雨进行水汽特征分析得出,水汽辐合主要位于700~900 hPa,且水汽流入主要集中于低层南边界。

2020年8月末至9月初,2008号、2009号、2010号台风先后北上影响东北地区,为有气象记录以来第1次,间隔时间短、影响区域高度重叠,导致东北地区半个月平均降水量170.1 mm,较常年同期偏多3倍,为1961年以来同期最多。“三连击”台风给东北地区带来严重的风雨影响,降水造成嫩江、松花江、黑龙江等主要江河长时间超警戒水位,个别支流超保证水位,178个县受严重洪涝灾害,大风造成大面积作物倒伏,直接经济损失129亿元。其中,2009号台风“美莎克”带来的强风雨天气,叠加2008号台风的影响,对航空、旅游、农业、公众日常生活及经济建设等各领域影响都较大。此次台风降水对流性特征虽然没有特别明显,但持续时间较长,降水分布不均,导致多地城市内低洼路段出现积水和路面坍塌,对城市交通和人民生活影响极大。

本文利用 ERA5 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 逐6 h的再分析资料、FY-2G 卫星资料、NCEP 再分析资料、热带气旋资料以及东北地区常规气象观测资料,从本次台风北上过程的大尺度环流背景、动力、热力、水汽条件等方面进行诊断分析,有利于为今后类似过程的预报、服务提供借鉴意义。

1 过程概况

2020年8月28日,第2009号超强台风“美莎克”于西北太平洋洋面上由一个热带低压发展形成。形成

收稿日期: 2023-06-29

通信作者: 李瑶. E-mail: 182136925@qq.com

基金项目: 黑龙江省自然科学基金联合引导资助项目(LH2019D016)

后低压中心向西南方向缓慢移动,夜间增强为热带风暴,随后向北移动,继续增强为强热带风暴,29日夜间增强为台风。随后加速向偏北方向移动,30日12时增强为强台风,继续向北偏西方向移动,31日18时发展为超强台风,9月1日进入东海南部海域,超强台风状态维持至1日12时,其间近中心最大风速达52 m/s,中心最低气压940 hPa。1日18时“美莎克”减弱为强台风,向北偏东方向移动,穿过朝鲜海峡,3日凌晨于韩国庆尚南道登陆,登陆后减弱为台风,继续向北移动,快速移入日本海海域,随后于朝鲜东北部二次登录,3日下午移入吉林。之后转为西北路径,并减弱为热带风暴,4日凌晨变性并向西北移动,5日减弱为温带气旋折向东北缓慢移动,途中经过黑龙江省、内蒙古自治区,6日凌晨减弱消失(图1)。

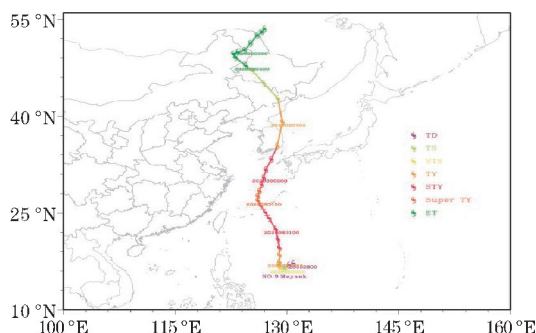


图1 “美莎克”路径及强度演变

受“美莎克”影响,多个地区出现大风、暴雨天气。9月1-2日,华东部分地区出现大到暴雨,3日登陆后造成吉林大部及黑龙江南部出现暴雨,局地大暴雨,最大小时雨强37.2 mm,暴雨站点66个,大暴雨站点6个,为台风北上后陆地降水量最大的一天。随着其继续北上,4日造成黑龙江、吉林、内蒙古交界处出现局地大暴雨,随后“美莎克”继续北上,强度减弱,降水强度逐渐减小。在“美莎克”的行进过程中,大部分地区最大风力在6~7级,阵风7~10级,其中最大风力出现于黑龙江东宁,最大风力8级(19.5 m/s),阵风11级(32.1 m/s)。东部沿海及东北部分地区出现区域性暴雨,其中吉林梅河口3日雨量152.6 mm,为此次台风过程日降水量极值,吉林磐石县降水量222 mm,为此次过程降水量极值^[16](图2)。

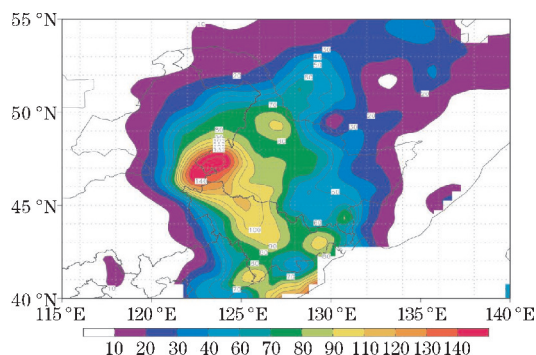


图2 9月2日08时-5日08时东北地区 ≥ 10 mm降水量分布图

2 极端性分析

对1949年以来生成于西北太平洋的热带气旋统计得出,1949-2020年,西北太平洋生成的有编号热带气旋共1799个,其中北拾TC中(包括台风减弱后的热带低压),到达的最北点位于50°N以北的TC共105个。这105个TC多位于中国大陆以东的洋面上,位于135°E以西的TC只有3个,“美莎克”位于其中,且北上纬度最高,可以说“美莎克”是自1949年以来最深入东北的台风,为一次极端天气事件。

3 大尺度环流背景

3.1 大尺度环流

2020年8月下旬,极地冷空气分裂南下,亚洲中高纬有低槽东移,移速缓慢。28日08时500 hPa高度上贝加尔湖附近低槽加深,且有冷中心配合,东亚地区暖脊稳定维持,阻挡低槽东移。低纬地区2009号台风“美莎克”形成于西北太平洋洋面并迅速增强,东部西太副高与东侧的高压脊合并加强且稳定维持,在日本岛以东的洋面形成稳定而强大的阻塞高压,使台风一路北移。9月1日14时(图3a),位于贝加尔湖附近的低槽在后部冷空气的补充下逐渐发展加深并略有东移至东北地区,东部阻塞高压仍然稳定维持,“美莎克”位于高压西南侧,在偏南气流的引导下向北移动,逐渐靠近东北地区冷槽。此后“美莎克”向北移动的过程中偏东分量增加,移速加快。9月3日02时(图3b)后,“美莎克”与东北地区冷槽逐渐合并,且在东部阻塞高压的阻挡下,继续向北移动,逐渐变性、减弱、消失。

850 hPa高度上,9月1日14时(图3c)位于东北地区中层的冷槽在低层形成闭合环流,其南部的切变逐渐向南延伸,之后随着“美莎克”北移,与冷涡逐渐接近,2个系统外围环流相互影响,台风外围环流形成的低空急流加强,东北地区雨强逐渐增大。9月3日02时(图3d)后,登陆的“美莎克”与东北地区冷涡逐渐合并,且进一步向北移动,系统东侧的东南风低空急流最大风速 ≥ 40 m/s,2个系统合并后继续向北移动,降水强度随着低空急流强度和范围的减弱而减小。

3.2 中低纬度系统的相互作用

9月2日14时,850 hPa高度上,位于东北地区北部冷涡环流与“美莎克”环流打通,温度场上表现为东北地区有一冷舌向南延伸(图略),与“美莎克”距离较远,还未直接影响。此时“美莎克”涡度区分布表现为各个象限皆为正涡度,且强度相近的准对称结构(图4c),此时降水主要位于海上。随后,台风向北移动,逐渐靠近冷涡,暖中心逐渐远离台风中心。9月3日

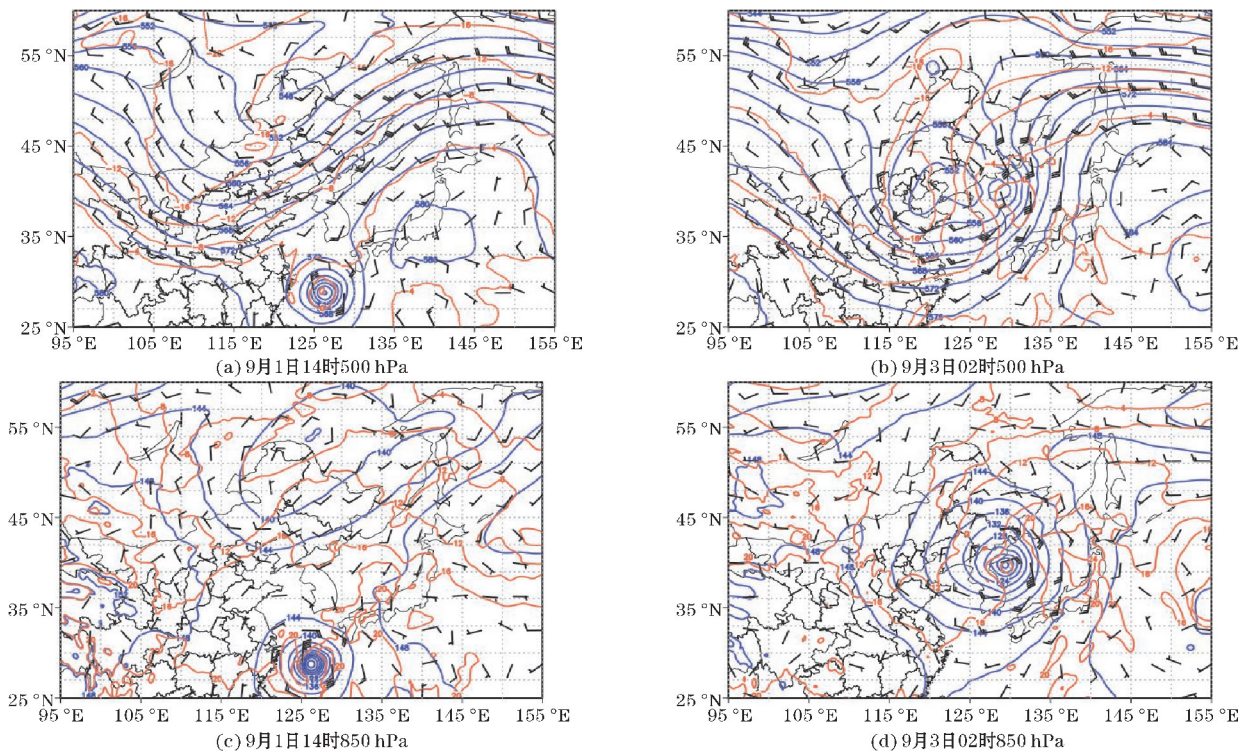


图 3 各时次不同高度等高线(蓝色等值线)、等温线(红色等值线)和风电

08 时,850 hPa上“美莎克”中心移至吉林北部,冷涡分裂出的冷空气南下且下沉,与台风环流相互影响,促使低层暖中心遭到破坏,逐渐消失,暖舌东移南压,与台风中心脱离,台风准对称结构逐渐被破坏,台风中心西北部到南部正涡度明显大于东部及北部,中心附近涡度强度大幅度减弱(图 4d),降水开始向陆地蔓延,正

涡度大值区降水强度较其他地区强,此时雨强迅速增加,最大小时雨强37.2 mm,3 日暴雨站点 66 个,大暴雨站点 6 个,其中 5 个站点位于正涡度大值区中。中层500 hPa(图 4a、b)正涡度中心位置与低层对应,准对称结构先于高层瓦解。可见此时两个系统已经发生了明显的相互作用。

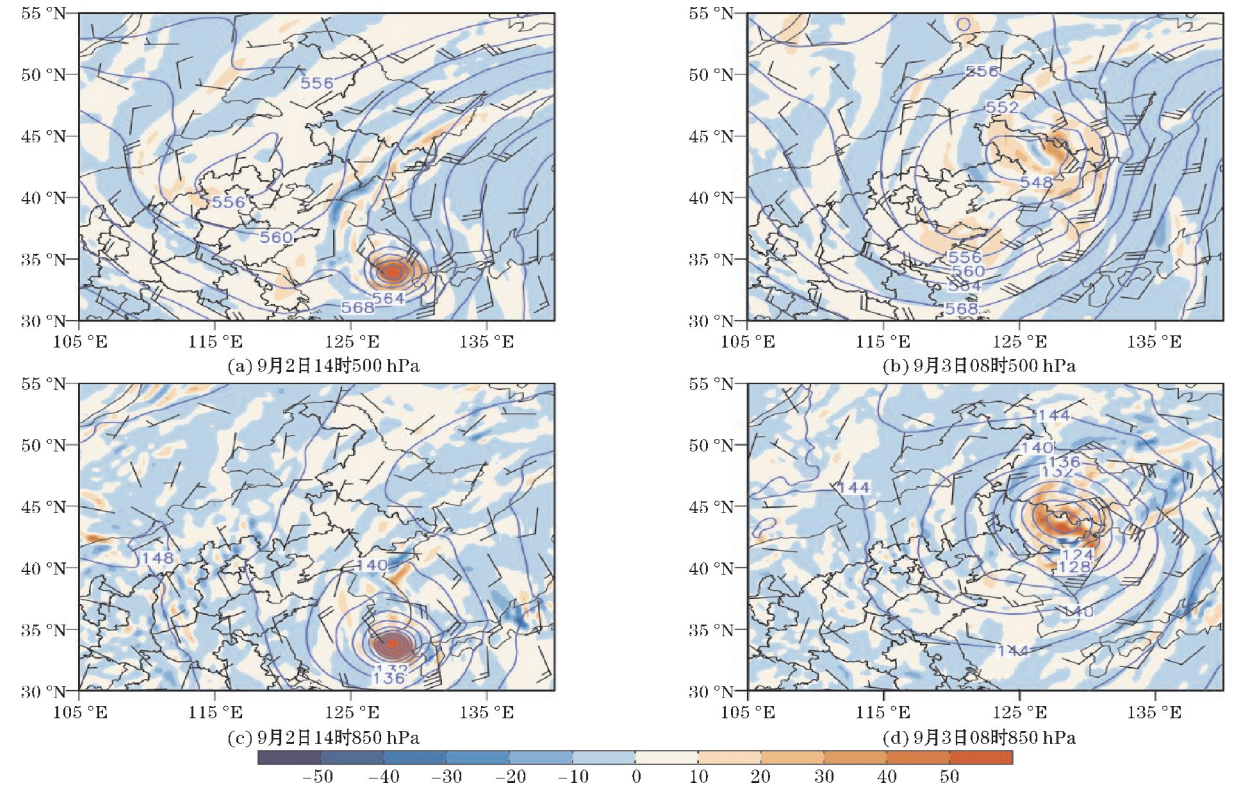


图 4 各时次不同高度涡度场(阴影)、高度场(等值线)和风电

从台风中心涡度平流的纬向剖面可以看出,9月2日20时(图5a)台风登陆前,台风中心附近低层和高层存在正涡度平流,涡度平流中心位置较台风中心略偏东,9月3日02时(图5b),“美莎克”第一次登陆后中心正涡度平流依然存在,但强度减弱,低层的東西两侧均存在负涡度平流中心,在负涡度平流的影响下,“美莎克”强度由强台风减弱为台风。之后台风重新入海,9月3日08时(图5c)

二次登陆前,台风中心附近低层有正涡度平流,虽然强度进一步减弱,但依然有利于低层涡旋系统维持,高层有负涡度平流输入,使高层系统先于低层减弱。9月3日20时(图5d),台风低层受负涡度平流控制,强度逐渐减弱。

此次台风登陆过程中,中纬度长波槽与台风逐渐靠近、合并并相互作用,槽前的正涡度平流输送有利于台风系统的维持,进而延长了台风影响时间。

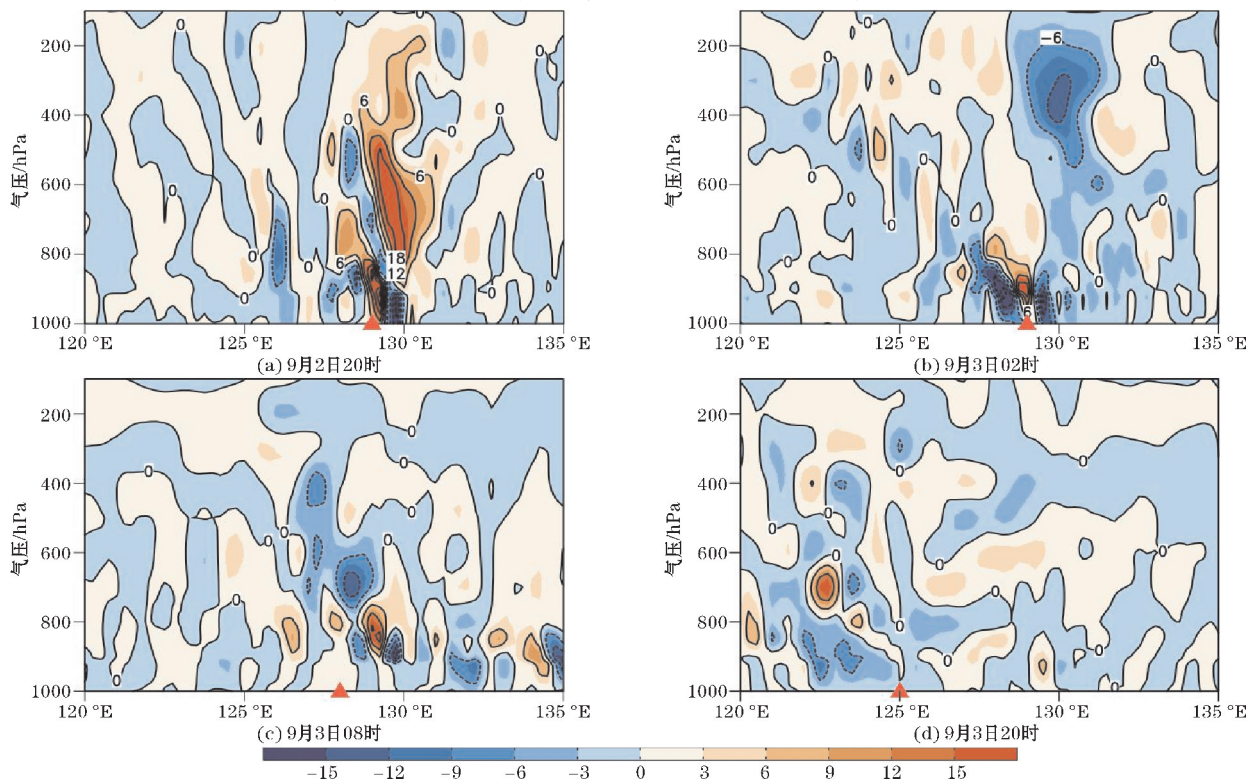


图5 各时次沿台风中心的涡度平流纬向剖面(红色三角形为台风中心位置)

从温度平流的角度分析中低纬度环流系统之间的相互作用可以看出,“美莎克”在北上过程中,与东北北部低涡逐渐靠近,冷涡中分裂的冷空气形成冷平流,逐渐影响台风中心,其暖心结构遭到破坏,逐渐减弱变性。由9月2日14时沿台风中心的剖面可见(图6a),等温线向上突起,台风维持暖心结构,对流层中低层较为明显,暖心结构延伸到400 hPa以上,台风低层中心附近为暖平流,低层至高层向东倾斜,最大暖平流中心位于600 hPa附近,强度在 $15 \times 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,在偏东暖湿气流的影响下,有助于

暖心结构的维持;台风中心西侧为冷平流,最大冷平流中心位于500 hPa附近。随着台风北移,两系统中心靠近,9月3日08时(图6b),冷平流已经侵入台风中心低层,台风中心与暖中心逐渐偏离,与周围空气的温度对比逐渐减小,中高层温度平流强度减弱。之后台风中心的暖空气逐渐变冷,暖心结构消失,减弱变性为温带气旋。此次过程中,中低层冷空气的侵入使得高层暖空气沿冷空气向上抬升,冷暖空气交汇,锋生加强(图7),有利于台风与冷涡结合后的加强和维持。

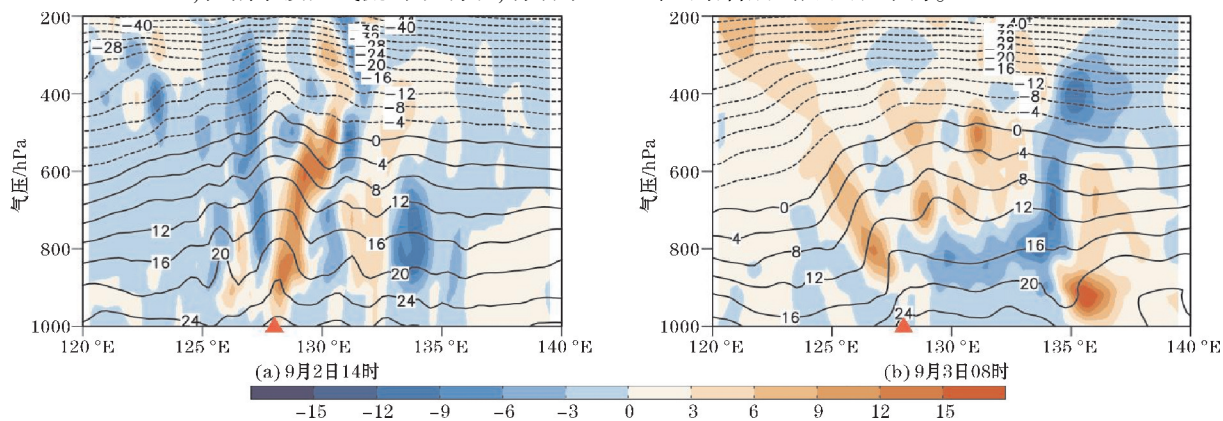


图6 各时刻温度平流(阴影)和等温线(等值线)沿台风中心的纬向剖面图(红色三角形代表台风中心位置)

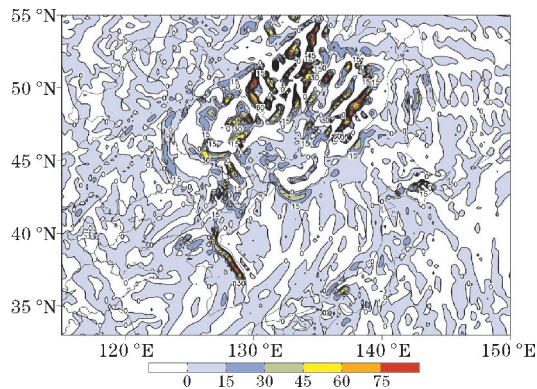


图 7 9 月 3 日 14 时 850 hPa 锋生函数

4 物理量条件诊断分析

4.1 水汽条件

从 850 hPa 水汽通量、水汽通量散度分布情况看,

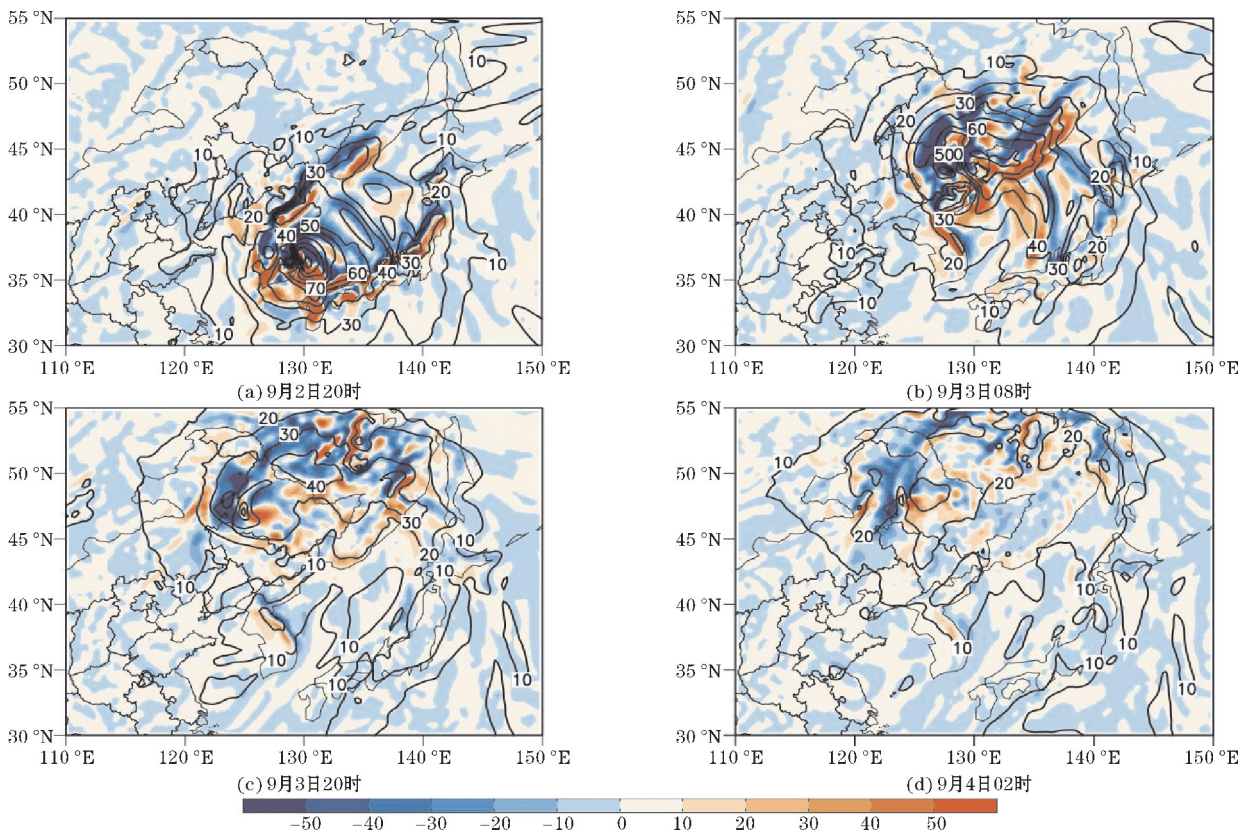
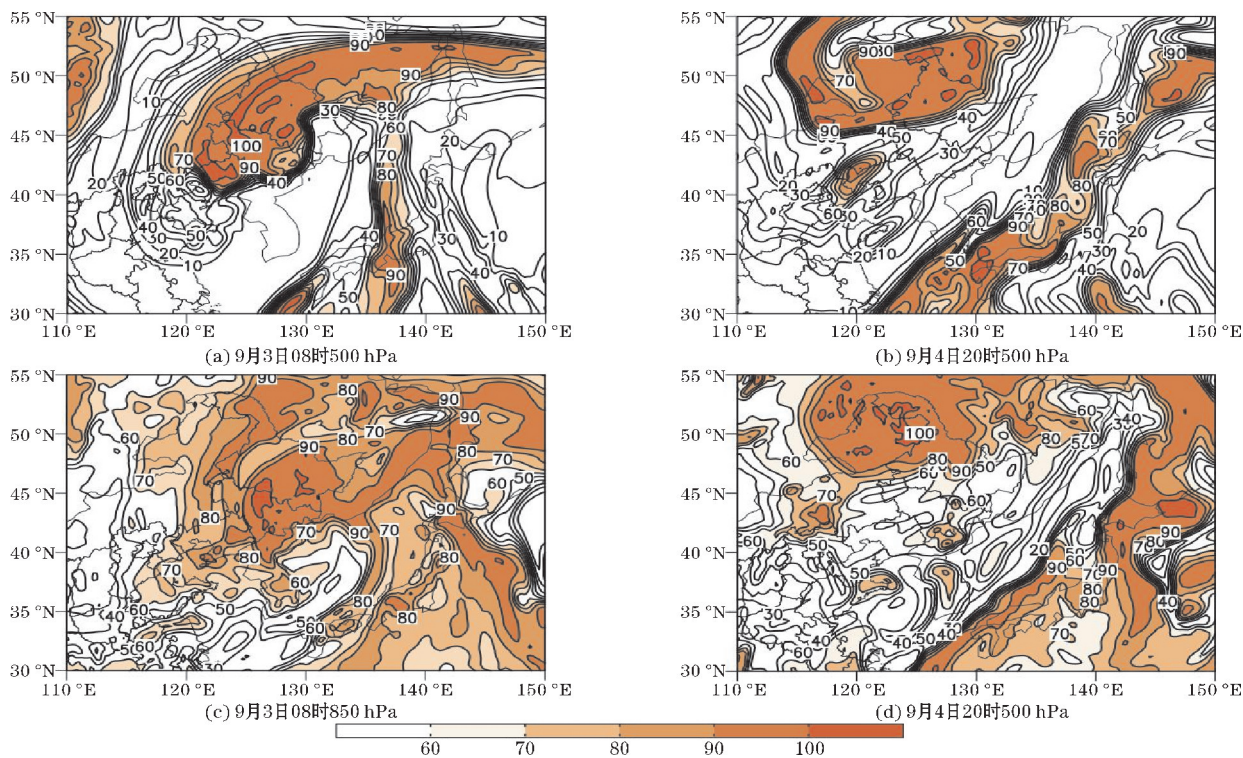


图 8 各时次 850 hPa 水汽通量(等值线)和水汽通量散度(阴影)

从相对湿度看,台风未登陆前位于海上时,相对湿度始终处于接近饱和状态,9 月 3 日 08 时(图 9a、c),“美莎克”已经完成了第一次登陆,中心位置约位于 44°N、127°E,低层水汽充足,且主要位于台风中心的西侧至北侧,高层显示出明显的非对称性,西侧至北侧水汽充足,相对湿度均在 90% 以上,南侧至东北侧相对湿度较小,大部分地区在 10% 以下,水汽分布的不均匀造成了降水的不均匀。台风登陆后,在东南气流

自台风生成起,台风中心始终保持水汽辐合状态,位于洋面上时,水汽通量较大,均超过 $100\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,在发展北抬的过程中,表现出水汽辐合的非对称性,台风中心至北侧、西侧始终保持水汽辐合状态,南部出现水汽辐散。9 月 3 日 08 时(图 8b),台风登陆后水汽通量迅速减小,最大水汽通量降至 $70\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,水汽通量散度的非对称性凸显,直接表现在降水分布的非对称性上,水汽辐合中心位于台风西侧、北侧,对应着大量级降水主要集中于台风西侧和北侧。9 月 3 日 20 时(图 8c)台风继续北抬,水汽通量进一步减小,水汽辐合减弱,位于黑龙江西部、内蒙古东部的水汽辐合稳定维持,这与降水中心位置吻合。9 月 4 日 02 时(图 8d),水汽辐合带位于内蒙古东部至黑龙江西北部,强度减弱,主要降水区与之一致,且降水强度减弱。随后水汽辐合进一步减弱,辐合中心消失,降水逐渐结束。

的控制下,水汽条件充足,9 月 4 日 20 时(图 9b、d),台风已经变性,中心约位于 50°N、124°E,低层至中层均表现出大范围的湿度大值区,此时相对湿度分布均匀,降水区域也相对均匀。此次过程中大范围深厚的相对湿度达 90% 以上的高湿区为降水的维持提供了丰富的水汽与能量,而湿度分布的非对称性也造成了降水落区的非对称性。

图9 各时次不同高度相对湿度(阴影为相对湿度 $\geq 60\%$)

结合“美莎克”登陆前后的风矢量可以发现,本次台风暴雨水汽输送通道共有3条。“美莎克”二次登陆前,由北部冷涡外围环流引导东海地区的水汽、2010号台风“海神”北上引导西北太平洋的水汽、台风自身的外围环流引导的东南侧日本海水汽共同输送至降水区,二次登陆进入中国后主要是后两条水汽通道产生作用。源源不断的暖湿空气注入,为积云对流提供能量,形成CISK机制,有利于台风登陆后的长久维持。

4.2 动力条件

从高低空急流分布看,8月30日08时,高空急流位于中高纬地区,急流核位于内蒙古以北、黑龙江以西一带,急流中心约50 m/s,低空急流还未形成。随后高空急流位置稳定少动,强度增加,台风外围环流形成低空急流,随台风逐渐向北移动,8月31日20时-9月1日14时,高空急流核强度增强至60 m/s以上,位置略

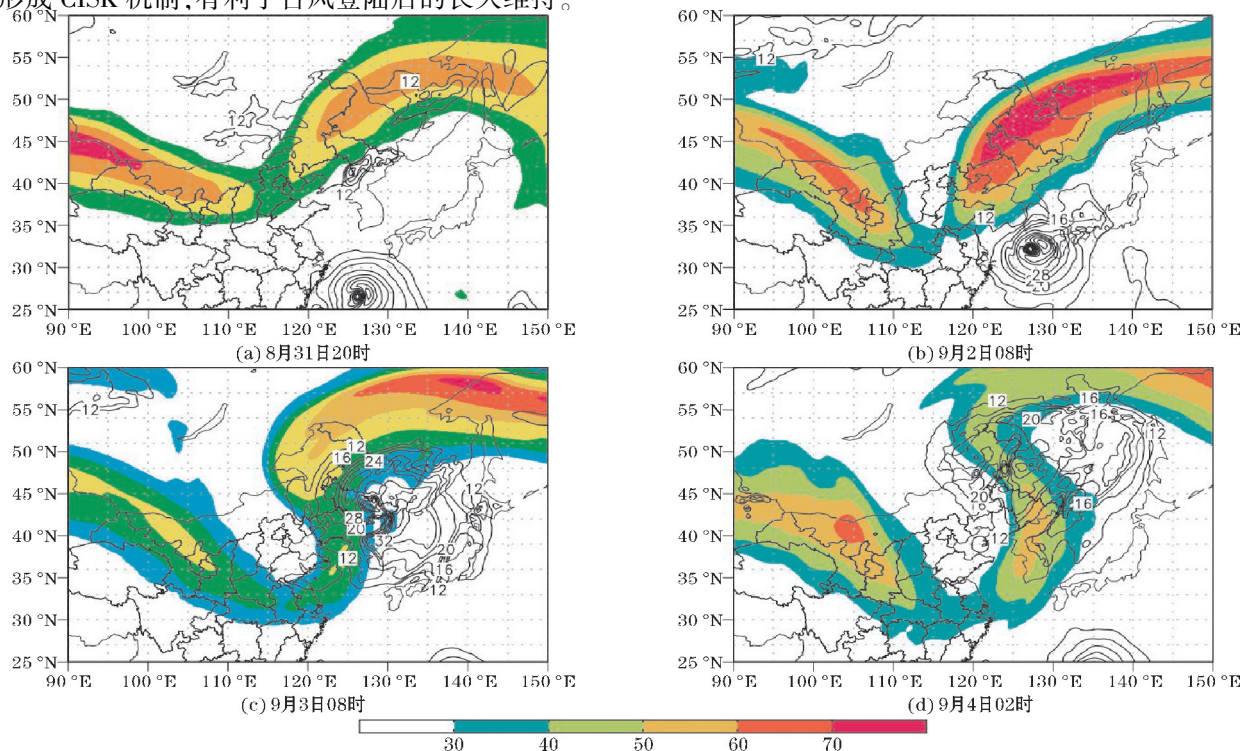


图10 各时次200 hPa高空急流(阴影)和850 hPa低空急流(等值线)分布

有南压,台风北上逐渐移入高空急流右侧的辐散区,强烈的抽吸作用有利于台风系统的维持,随后高空急流北移,9月2日08时–3日08时(图10b、c),高空急流核最大风速均在70 m/s以上,由西南—东北走向逐渐转变为东—西走向,位置由吉林北侧、黑龙江中部一带移至黑龙江北侧,台风中心位置与高空急流逐渐接近,良好的急流条件使得台风登陆后强度减弱较慢。随后急流减弱北移,9月4日02时(图10d)后,高空急流强度明显减弱,台风变性,降水强度减弱。

从高低空散度和垂直速度分布看,9月2日20时台风登陆前,低层台风中心辐合明显,辐合中心大值带呈东北—西南走向分布,对应着辐合中心附近有明显

的垂直上升运动,高层位于槽前的辐散气流中,且辐散中心也有弱的上升运动。9月3日02时,低层的辐合带及垂直上升运动依然存在,对应高层的辐散大值区,但此时高层的上升运动减弱。9月3日08时–4日08时(图11b、d),台风逐渐北抬,低层辐合中心强度逐渐减弱,且由中心位置移动至台风倒槽西侧,垂直上升运动大值区与辐合区一致,低层台风中心位置由冷涡前部逐渐与冷涡中心位置重合,高层辐散气流减弱,低压系统强度逐渐减弱。此次台风北上过程中,低层低压系统始终处于高空槽前,低层辐合、高层辐散,配合着明显的垂直上升运动,为降水的产生提供良好的动力条件,低层辐合中心与降水大值区有较好的对应关系。

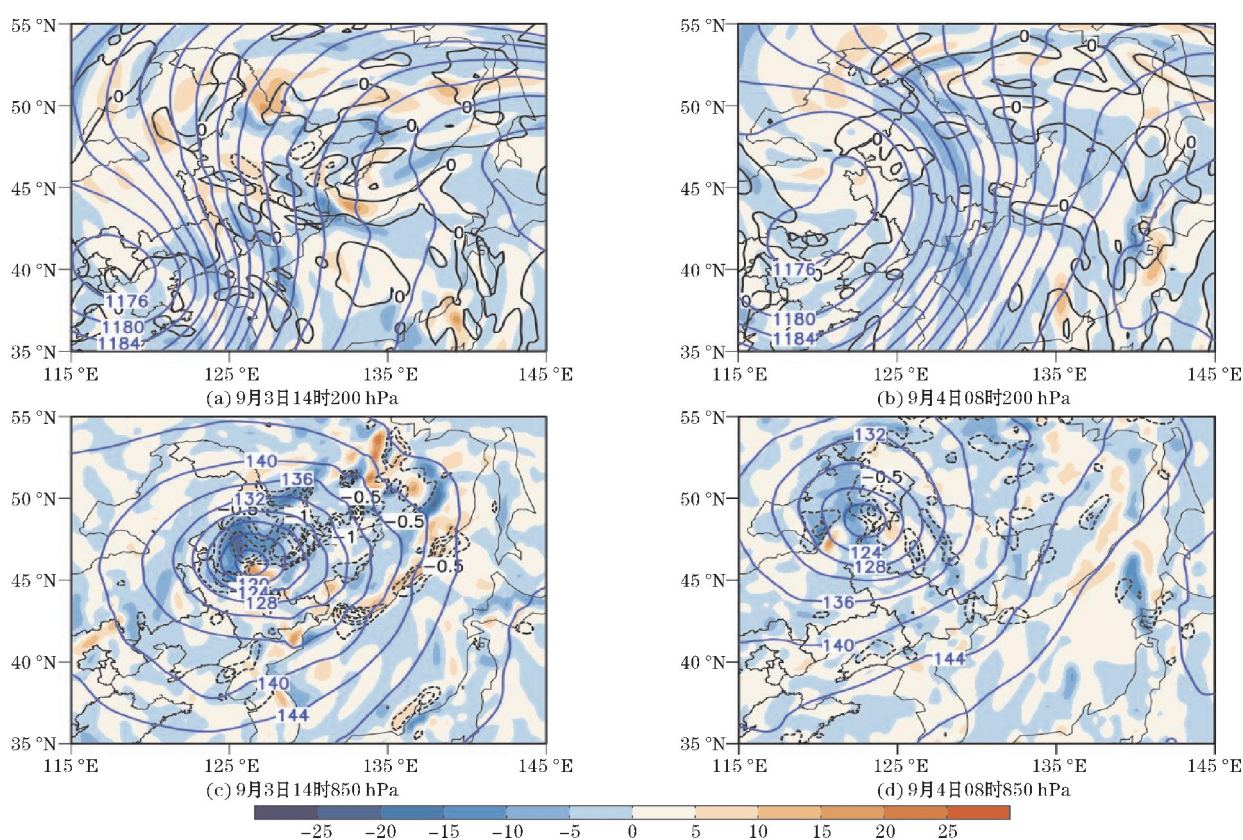


图11 各时次不同高度散度(阴影)、垂直速度(黑色等值线)和高度场(蓝色等值线)分布

4.3 不稳定条件

湿位涡(MPV)是表征动力和热力作用的综合物理量,包括MPV1(垂直方向)和MPV2(水平方向),MPV1包括惯性稳定性和对流稳定性的贡献,MPV2包含水平垂直风切变和湿斜压性的作用^[17]。

从925 hPa湿位涡的分布看,台风位于海上时,MPV1低值中心与MPV2高值中心均匀分布于台风中心附近。9月2日20时,台风第一次登陆前,湿位涡分布逐渐表现出对称性特征,MPV2大值中心仍位于台风中心附近,但分布不均匀,台风倒槽北侧逐渐由

MPV2负值区转为正值区。9月3日02时(图12a),非对称性特征更加明显,MPV1正值区面积扩大,负值区强度减弱,MPV2正值区强度也减弱,东南象限出现负值区,说明此时台风系统不稳定性减弱。9月3日08时(图12b),台风二次登陆前,中心附近MPV1负值区强度明显增加,东南象限MPV2负值区依然存在,其他区域为MPV2正值区,说明台风在影响中国前,不稳定性增强。9月3日14时(图12c),二次登陆后,台风附近MPV1为负值区控制,西北象限存在MPV2正值中心,与降水强度大值区相对应。9月3日20时(图12d),台风西移北抬,系统周围MPV1为负值区,

但强度减弱,西北象限 MPV2 正值中心依然存在,且呈带状分布。随后,台风附近 MPV1 负值区强度逐渐减小,MPV2 大值区逐渐消失,降水强度逐渐减弱。

此次台风北上过程,位于海上时,不稳定性较强,登陆前,台风附近各区域不稳定性表现出非对称性特征,且二次登陆前(即影响中国前),不稳定性加强。

在台风北上过程中,降水区域大部分为 MPV1 负值区,台风东南象限有 MPV2 负值区,其他区域为正值区,二次登陆后西北象限存在 MPV2 正值中心,与降水大值区基本吻合。说明此次台风过程存在一定的不稳定性特征,尤其是在登陆期间,随着台风逐渐深入内陆不稳定性减弱,降水主要以稳定性为主。

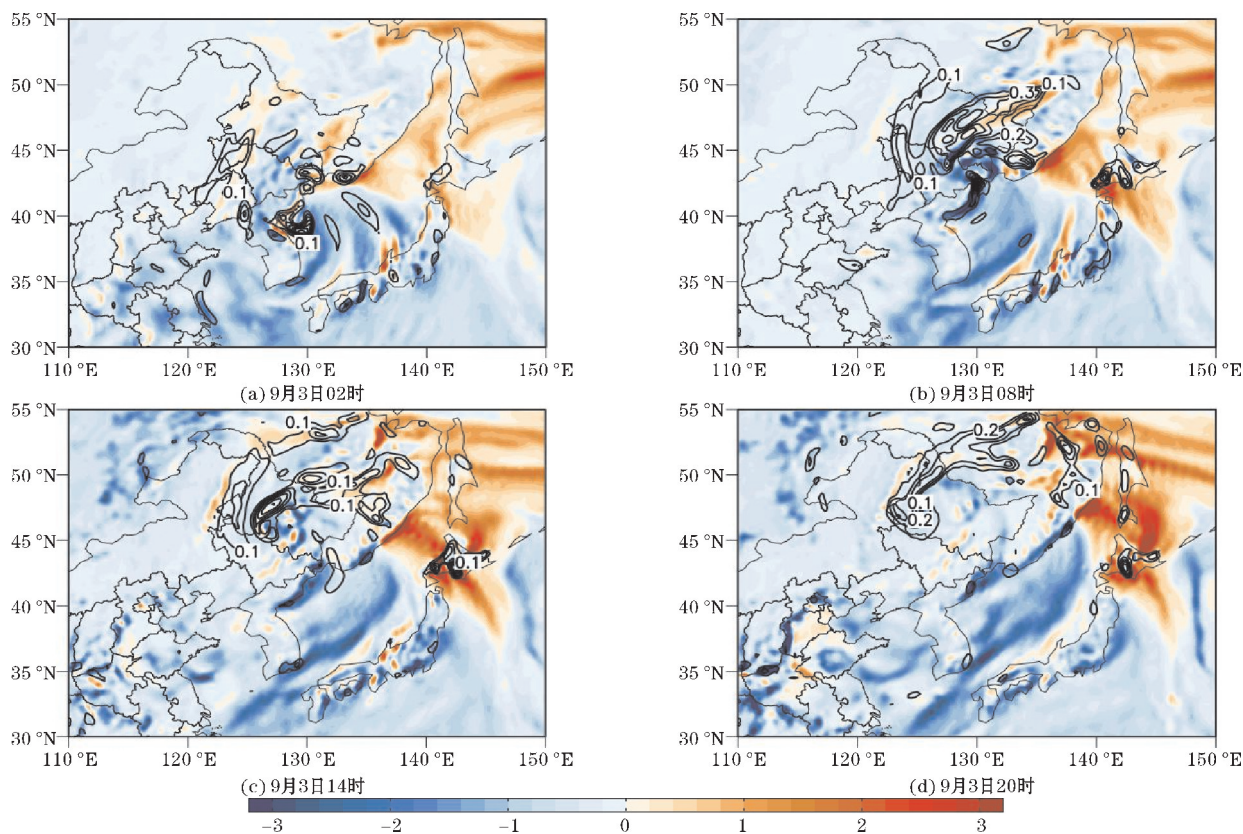


图12 各时次925 hPa MPV1(阴影)、MPV2(等值线)分布图

5 卫星云图

从红外云图看(图略),台风在登陆前始终维持着台风云系结构,且台风眼较为清晰,台风眼周围呈现出较为白亮的颜色,说明对流发展旺盛。1日20时,台风眼基本消失,云系边缘圆滑度减弱,但中心部位依然呈现白亮的颜色,说明台风强度逐渐减弱。2日,台风中心附近白亮的颜色逐渐消失,中心结构趋于散乱,且台风云系由之前的准圆形结构转变为不规则形状。3日凌晨,台风第一次登陆,中心附近呈现出小范围的白亮颜色,外围云系强度明显减弱,说明此时中心部位对流发展较强。随后台风向北移动再次入海,强度略有加强,12时后,二次登陆,强度再一次减弱为热带风暴,外围层状云范围增大,在登陆后的较短时间内,中心位置强度略有增加,说明台风在登陆初期,受下垫面

等的影响,不稳定性略有增强,与台风登陆后降水强度增加相匹配。随着台风继续深入内陆,下垫面摩擦作用增强,水汽、能量等条件减弱,“美莎克”逐渐变性,降水强度逐渐减弱至消失。

从水汽云图可以看出,台风登陆前,有明显的干带位于台风西侧,但未深入系统内部(图略)。随着台风的西移北上,干带于台风系统南部呈现逆时针旋转,台风二次登陆后,向西北方向运动,南部的干带也深入北部,9月3日16时(图13)南部有明显、清晰的干冷带进入黑龙江省南部,干冷带源于西伯利亚地区,说明有自西北部地区冷空气自台风南部向北逐渐入侵台风中心,最初的低层冷空气入侵有利于暖空气的抬升,为降水的产生提供一定的动力条件,这与台风登陆初期短时间内降水强度增强相一致。随后,南侧冷空气继续向北侵袭,逐渐占据台风中心低层,抬升条件减弱,台风的暖心结构遭到破坏,台风强度减弱。

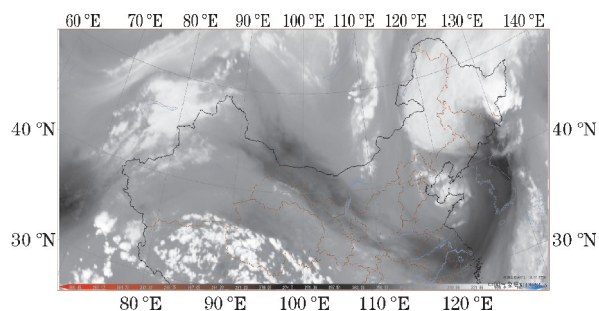


图13 9月3日16时FY-2G水汽云图

6 结论

利用 ERA5 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 逐 6 h 的再分析资料、FY-2G 卫星资料、NCEP 再分析资料,热带气旋资料以及东北地区常规气象观测资料,从大尺度环流背景、动力、水汽、热力条件等方面,对异常北上台风“美莎克”进行诊断分析,得出以下结论:

(1)“美莎克”为自 1949 年以来生成于西北太平洋的台风中最深入东北的台风,为一次台风异常北上的极端天气事件。西太副高与东部高压脊合并加强,且长期维持,形成稳定而强大的阻塞高压,是台风北上的主要原因,东北地区的降水为西风带低涡和“美莎克”共同作用的结果。两个气旋系统接近的过程中,台风将东侧海上的热量和水汽向低涡环流输送,槽前正涡度平流向台风的输送为系统维持提供动力条件,低涡系统的冷平流输送破坏台风系统的暖心结构,促使台风变性。

(2)本次台风暴雨的产生来源于 3 条水汽通道的水汽输送,相对湿度大值区及水汽通量辐合大值区均位于台风的西北象限区域,这也是造成台风降水落区非对称性的原因之一。

(3)登陆初期,台风造成的雨强较大,随着进一步北上,台风与西风带系统加深作用北上的过程中,结构逐渐遭到破坏,强度减弱,雨强也随之迅速减弱。

(4)此次台风北上至东北过程中,一直位于高空急流核右侧的强辐散区,强烈的抽吸作用有利于台风系统的维持,从高低层散度和垂直速度的分布也可以看出低层辐合、高层辐散,配合着明显的垂直上升运动,为降水的产生提供良好的动力条件,低层辐合中心与降水大值区有较好的对应关系。

(5)台风位于海上时,水汽、能量条件均较好,不稳定性较强,临近登陆时,不稳定性减弱,登陆后短时间内,不稳定性再一次增强,深入内陆后,不稳定性再一次减弱。湿位涡的分布也体现出此次台风北上的非

对称性特征。

(6)卫星云图能够清晰地看出台风演变情况。从卫星云图的特征可以看出台风的发生、发展、减弱的具体过程。从水汽云图上可以看到台风登陆后,南部有明显的冷空气入侵,干冷空气入侵初期会使得不稳定性增强,随着冷空气的不断入侵,台风系统暖心结构被破坏,强度减弱,降水趋于稳定性。

参考文献:

- [1] 张京英,赵海军,王庆华,等. 一次台风大暴雨成因及落区分析[J]. 气象科技,2010,38(增刊1):35-40.
- [2] 程正泉,陈联寿,徐祥福,等. 近 10 年中国台风暴雨研究进展[J]. 气象,2005,31(12):3-9.
- [3] 杨金红,郭建侠,王佳,等. 雷达气象学分析方法在 2020 年汛期强降水中的应用[J]. 气象水文海洋仪器,2022,39(2):86-89.
- [4] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法(修订本)[M]. 北京:气象出版社,1992:734-748.
- [5] 刘硕,杨洋,陈银东,等. 东亚夏季风活动与中国东部夏季降水关系分析[J]. 高原气象,2019,38(4):804-816.
- [6] 郑峰,曾志华,雷小途,等. 中国近海突增强台风统计分析[J]. 高原气象,2016,35(1):198-209.
- [7] 许雯,崔晓鹏,高守亭,等. 登陆台风“凡亚比”(1011)合力散度特征诊断研究—垂直分布特征[J]. 大气科学,2016(5):920-932.
- [8] 吴海英,曾明剑,王卫芳,等. 1211 号“海葵”台风登陆后引发两端大暴雨过程的对比分析[J]. 大气科学学报,2015,38(5):670-677.
- [9] 刘赛赛,张立凤,赵艳玲. 不同定义的湿位涡分析及在台风中的诊断分析[J]. 大气科学,2019,43(3):565-576.
- [10] 杨丽英. 2020 年第 7 号台风“海高斯”强度和路径异常成因[J]. 广东气象,2021,43(6):24-27.
- [11] 陈联寿,许映龙. 中国台风特大暴雨综述[J]. 气象与环境科学,2017,40(1):3-10.
- [12] 任丽,王晓雪,张桂华. 近 60 年黑龙江省台风暴雨统计及环流特征分析[J]. 热带气象学报,2023,39(2):159-170.
- [13] 任丽,赵玲,孙磊,等. 台风“狮子山”与中纬度系统相互作用所致暴雨成因分析[J]. 沙漠与

- 绿洲气象,2019,13(1):44-51.
- [14] 王承伟,曹蕾,王晓雪,等.北上台风造成黑龙江省暴雨事件的气候特征[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(1):39-45.
- [15] 马梁臣,刘海峰,沈柏竹,等.2019年台风“利奇马”和“罗莎”引发东北地区暴雨的水汽特征分析[J].气象与环境学报 2023,39(2):1-10.
- [16] 2.10 超强台风“美莎克”(Maysak)[Z].热带气旋年鉴,2020.
- [17] 马圆,张稼乐,李林蔚,等.“21·7”河南特大暴雨过程的维持机制[J].气象与环境科学,2022,45(4):1-12.

Diagnostic Analysis of the Extremely Abnormal Typhoon Maysak Moving Northward

LI Yao^{1,2}, GONG Yuanfa¹, TAN Zhenghua³, WANG Mei², ZHAO Meiling⁴, REN Li⁴

(1. College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Daxinganling Meteorological Administration, Daxinganling 165000, China; 3. Liaoning Meteorological Observatory, Shenyang 110000, China; 4. Heilongjiang Meteorological Observatory, Harbin 150060, China)

Abstract: In order to better analyze the impact mechanism of the extremely abnormal northward typhoon “Maysak”, based on ERA5 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 6 hourly reanalyzed data, NCEP reanalyzed data, the conventionally observed data, FY-2G satellite data, analyzed the large scale circulation background, power, heat and moisture conditions, etc. The results show that Strengthen, stability of the Western Pacific subtropical high and Okhotsk blocking high was the main cause of “Maysak” always toward the north, interaction with the westerlies low vortex makes a longer duration of typhoon, precipitation intensity weakened as the typhoon weakened. Jet pumping function, the configuration of low-level convergence and high-level divergence makes steady rainfall, the establishment of three water vapor channels makes many regions appeared typhoon heavy rain, the asymmetry of precipitation due to the asymmetry distribution of physical conditions. The instability changes during the typhoon landfall, the increase in instability in a short period of time after landfall corresponds to the increase in precipitation. the precipitation is mainly stable after landfall. Dry cold air initial invasion increased the instability, warm heart structure was destroyed, the typhoon weakened with the constant intrusion of cold air.

Keywords: typhoon; rainstorm; asymmetry; physical quantities; jet