

一次东北冷涡暴雨的水汽输送特征和位涡分析

王 宁^{1,2}, 徐祥德³, 徐洪雄³, 慕秀香¹, 牛立强¹, 李尚锋²

(1. 吉林省气象台, 吉林 长春 130062; 2. 吉林省气象科学研究所 中高纬度环流系统与
东亚季风研究开放实验室, 吉林 长春 130062; 3. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要:通过对2010年7月27~29日吉林省一次较大范围的冷涡暴雨、大暴雨过程进行诊断分析,建立了此类暴雨的天气概念模型:200 hPa呈现“两脊一槽”型,高空急流呈辐散状位于吉林省上空,急流中心最大风速 ≥ 60 m/s;500 hPa东北冷涡强烈发展,鄂海阻高稳定维持是此次强降水发生的重要天气系统,中心最大风速 ≥ 20 m/s的偏西风急流带横穿吉林省中部;850 hPa风速 ≥ 12 m/s的3条急流带在吉林省中东部地区交汇,形成低层辐合、高层辐散的气旋性涡度柱,较强的垂直上升气柱一直向上伸展到500 hPa附近,极有利于对流的发展和强降水的维持。通过计算整层水汽通量与吉林省逐6 h平均降水量的相关矢量场,结果表明:偏西、偏南及偏北3条水汽通道在吉林省中南部汇集是此次强降水发生的重要条件,暴雨落区与整层水汽通量汇合区密切相关,水汽输送以经向(南北方)水汽流入为主。暴雨期间具有较好的动力、热力及能量条件,特别是湿对流有效位能明显偏强,强降水出现在对流有效位能(CAPE)值由极大值开始下降的过程中。干侵入是激发冷涡发生、发展的动力条件之一, ≥ 1 PVU(位涡单位)的高位涡舌在下降的过程中,同时南移,与中部地区强降水落区自北向南移动相吻合。

关 键 词: 东北冷涡; 对流性暴雨; 水汽输送; 水汽通量相关矢量场; 位涡

中图分类号: P458.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)02-0211-09

东北平原三面环山,其西面、北面和东面分别是大兴安岭山脉、小兴安岭山脉和长白山脉,这种特定的地形条件对强对流天气的发生发展和演变的影响更为显著^[1]。而东北冷涡又是东北独特地理环境下形成暴雨的主要天气系统,1998年松嫩流域发生的特大洪涝灾害就是因东北冷涡频繁活动在东北地区持续产生暴雨而形成的,更是造成了多达千亿元的经济损失^[2,3]。由于东北冷涡诱发的对流性暴雨常常具有降雨强度大、落区分布不均、局地性明显、结构复杂等中尺度天气特征,所以在实际工作中,易造成暴雨漏报或预报量级偏小,预报难度较大。

许多气象学者围绕东北冷涡暴雨的大中尺度环流形势、物理量特征、冷涡垂直结构及数值模拟等方面开展研究工作,并相继有一些成果问世。针对1998年松嫩流域东北冷涡大暴雨天气过程,

重点分析了大尺度环流特点及其成因,结果表明:东亚阻高、西太平洋副高和东北冷涡在强度和位置上的最佳配置构成了持续性暴雨的大尺度环流背景,亚洲季风各系统(南亚季风,副热带季风等)的水汽输送也是大范围强降水频繁出现的主要原因^[4,5]。在数值模拟方面,利用MM5中尺度模式进行敏感性试验,揭示出阻塞高压和西北路径冷空气在低涡暴雨过程中的作用^[6],通过对东北冷涡诱发的一次MCS结构特征数值模拟,认为东北冷涡南部锋区斜压扰动及潜在的不稳定层结为MCS产生提供了有利的环境条件,同时地面辐合、上升气流抽吸、潜热增温共同形成的低压扰动,对于强对流系统的维持和移动有重要作用^[7]。还有气象学者分析了东北冷涡暴雨的干侵入特征与降水落区的关系,认为二者存在密切联系,干侵入前沿为降水落区^[8]。尽管东北冷涡研究取得相当进展。但

收稿日期: 2013-01-25; **修订日期:** 2013-06-21

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006006、GYHY200906011)、中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室开放课题(201109)和中国气象局预报员专项(CMAYBY2011-009)资助。

作者简介: 王 宁(1966-),女,吉林永吉人,高级工程师,主要从事灾害性天气预报及环境气象预报方法研究。E-mail: wangningwell@126.com

准确预报出冷涡暴雨的强度和落区仍十分困难。

2010年7月27~29日吉林省出现了一次较大范围的冷涡暴雨过程,强降水发生在副高偏东偏南,高空以偏西风急流为主,低空南风急流持续时间较短,地面主要为偏北低压冷锋过境的大尺度环流背景下,但却引发了吉林省严重的洪涝灾害,直接经济损失达数百亿元。其中有一些科学问题特别值得探讨,如此强降水的产生,水汽是如何输送和积聚的(包括整层大气水汽来源及各边界水汽收支的变化等),暴雨发生的动力热力学综合机制是什么?本文利用NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析格点资料、常规气象观测资料和区域高密度降水实况数据,围绕上面2个问题对这次冷涡暴雨过程进行较深入的分析,挖掘该类暴雨发生发展规律和形成机制等方面的研究价值,做到以点带面,最后建立此类东北冷涡暴雨的天气概念模型,以期进一步认识暴雨形成的物理过程,提高预报准确率,更好地为防灾减灾服务。

1 降水实况与环流形势

1.1 冷涡移动路径及降水特点分析

此次冷涡是沿西北路径东南移影响吉林省,从7月25日低涡形成开始持续到29日,吉林省一直有降水出现,30日降水结束,31日到8月1日还有一次冷涡替换过程,在吉林省东南部产生了降水。强降水主要发生在北涡转中涡的过程中,暴雨集中出现在7月27日20时至28日20时,加密站资料显示有11个乡镇日降雨量在200 mm以上,最大的永吉县官厅乡,达255.9 mm,80个乡镇在100~199.9 mm。全省50个气象站中有16站暴雨、4站大暴雨,其中永吉135 mm,辉南132 mm,

桦甸121 mm,安图118 mm,延吉98 mm,长春91 mm(图1a)。最大雨强出现在长春双阳的莲花山,达80.5 mm/h(图1b)。此次降水过程具有如下特点:① 突发性较强:雨带基本呈东西向分布,暴雨落区主要集中在中南部和东部地区,但东部(延边地区)暴雨先于中南部出现;② 对流性强:降水过程中多数测站伴有雷电天气;③ 中尺度雨团活跃:以长春站为例,24 h内共有5个中尺度雨团(1 h降雨量 ≥ 10 mm)活动,最大雨强27.5 mm/h,强降水主要出现在28日8~11时,延吉站24 h内,共有3个中尺度雨团活动,强降水主要出现在28日2~4时,降雨时空分布的不连续性在一定程度上反映出冷涡降水的特征(图1b)。

1.2 形势特征分析

暴雨期间(7月28日02~08时),200 hPa东亚地区呈现“两脊一槽”型,鄂霍次克海附近及河套地区各为一高压,两高之间为一低压,暖心结构明显,位于吉林省北部,其底部为一中心最大风速 ≥ 60 m/s的高空急流带伸向吉林省西部,在 120°E 附近急流带呈“人”字形辐散状覆盖吉林省上空,有利于中低层低值系统的发展及上升运动的维持(图2a)。

对应500 hPa,7月28日8时,冷涡中心位于 50°N 、 130°E ,中心强度为560 dagpm,并与 -12°C 的冷中心相伴,吉林省处于冷涡底部西风急流锋区中,风速为16~24 m/s,与此同时,在山东半岛南部的黄海附近,有一低压(减弱的4号热带风暴)将副高分割成大陆和海上两部分,致使海上副高位置偏东偏南,588线位于日本东南部,北界抵达日本中部 40°N ,脊线位于 35°N 附近,中心强度为591 dagpm,东部鄂海有阻塞高压维持,致使低涡东移缓慢,强降水较长时间在吉林省持续(图2b)。

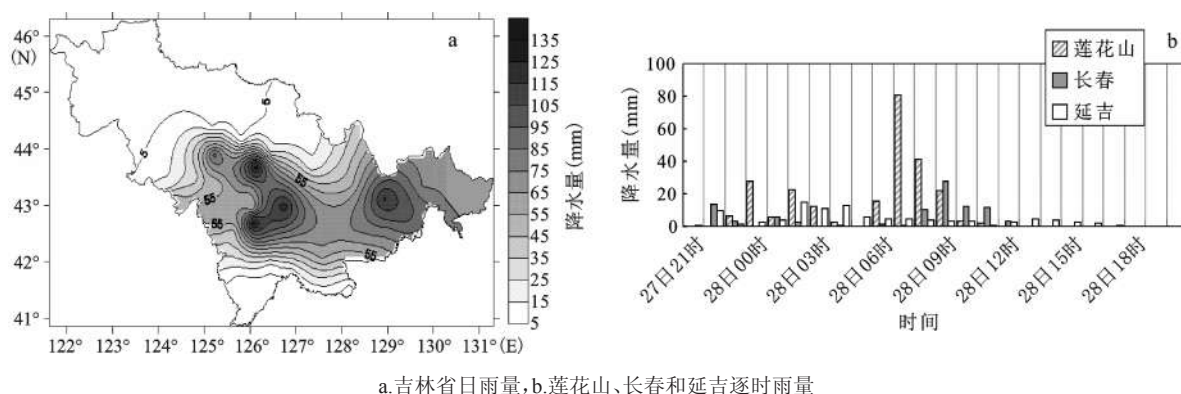
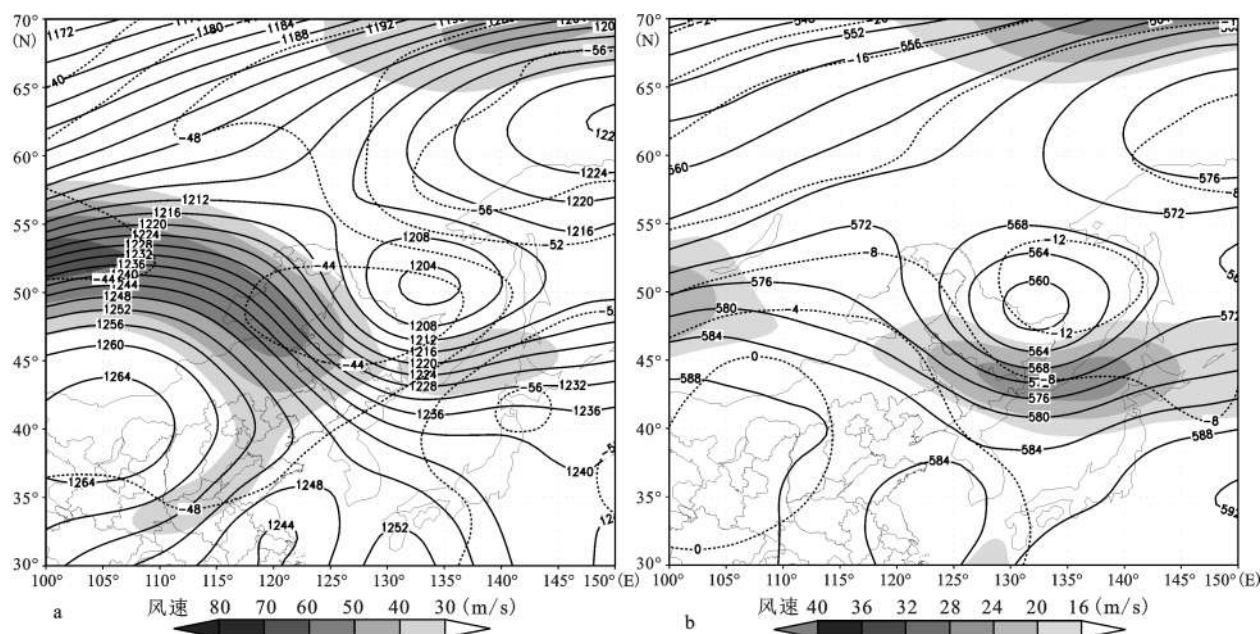


图1 吉林省2010年7月27~28日20时雨量分布(mm)

Fig.1 The precipitation distribution at 20 BT, 27-28, July 2010(mm)



a. 200 hPa(阴影区, 风速 ≥ 30 m/s的高空急流), b. 500 hPa(阴影区, 风速 ≥ 16 m/s的中空急流)

图2 2010年7月28日08时位势高度(实线,单位dagpm)及温度场(虚线,单位 $^{\circ}\text{C}$)

Fig.2 The overlay chart of geopotential height(solid line,unit:dagpm) and temperature field (dashed line,unit: $^{\circ}\text{C}$) at 08 BT, 28 July, 2010

850 hPa 相继有偏南、偏北和偏西风急流在吉林省中东部交汇, 风速一般为 12~16 m/s, 主要从渤海、黄海及日本海等地向吉林省输送水汽, 受冷涡底部扩散南下的冷空气影响, 先后触发了东部及中部地区的暴雨天气。

对应地面, 从偏北低压中心伸出的冷锋经吉林省中北部与河套气旋暖锋相连, 形成一条近似东西向的切变线横在吉林省中部地区, 暴雨区位于高低空急流之间、地面切变线附近。

2 水汽特征分析

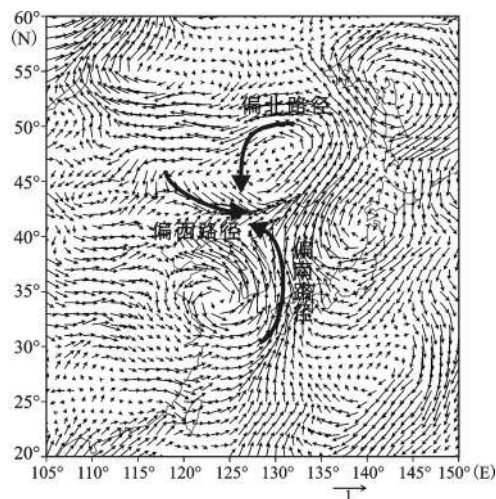
2.1 降水区整层水汽通量相关矢量场

充足的水汽供应是产生强降水的首要条件, 徐祥德^[9]在研究长江流域洪涝水汽输送“源-汇”结构时, 采用相关矢量场方法追踪水汽源, 并揭示其水汽输送“轨迹”。有关相关矢量场的数学模型如下:

$$R(X,Y)=R_u(X,Y)i+R_v(X,Y)j \quad (1)$$

上式中 R_u 为整层水汽通量纬向分量(qu)与降水量的相关场, R_v 为整层水汽通量经向分量(qv)与降水量的相关场, R 为 R_u 与 R_v 分量的相关合成矢量。以 7 月 25 日 02 时~8 月 1 日 02 时吉林省 6 h 平均降水量为时间序列, 分别计算纬向整层水汽通量 qu 及经向整层水汽通量 qv 与该序列相关系数, 并合成矢量(图

3)。可以看到, 降水期间, 共有 3 条水汽输送通道, 一条偏西路径将南海的水汽向北输送至河套附近, 然后经内蒙进入吉林省中南部, 另一条偏南路径从渤海和黄海将消失台风水汽向北输送, 还有一条偏



注: 粗实线箭头为水汽输送路径, 0.5 cm 箭头表示相关系数为 1。

图3 2010年7月25日02时~8月1日02时整层水汽通量与吉林省6 h 平均降水量的相关矢量场

Fig.3 The correlated vector field between vertically integrated water vapor flux and 6 h average precipitation in Jilin Province from 02 BT, 25 July to 02 BT, 1 August, 2010

北路径将日本海北部的水汽沿冷涡后部旋转南下补充,3条水汽通道交汇于吉林省中南部地区,为暴雨发生提供了丰沛的水汽供应。

2.2 大气整层水汽通量

分析此次暴雨过程大气整层水汽通量,可以清楚地看到,同样有3条水汽通道交汇于吉林省中东部地区,与整层水汽通量相关矢量场有较好的对应关系。27日20时,东部延边暴雨的水汽主要来源于偏南与偏北两支水汽的交汇,西支水汽通量较弱(图4a);28日08时,整层水汽输送均明显加强,但南支水汽已明显偏东,中部暴雨的水汽主要来源于偏西与偏北两支水汽的交汇,导致了中部、南部对流性降水的加强(图4b)。

2.3 各边界水汽收支分析

选取 $41^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $124^{\circ}\text{E}\sim 131^{\circ}\text{E}$ 范围作为主要研究区域,各边界上2个等压面之间即 (P_2-P_1) 整层水汽通量的计算公式为:

$$Q_L = \int_L \left[-\frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} q V_n dp \right] dl \quad (2)$$

其中 q 为比湿(单位: g/kg), L 为计算区域的周长, V_n 是风沿区域周线的法线分量。单位气层经单位周界长的水汽通量为 $Q_L/L(P_2-P_1)$ 。 $Q_L>0$ 时表示该边界有水汽流入, $Q_L<0$ 表示该边界有水汽流出^[10]。由图

5a可知,强降水发生时,西边界始终为水汽的流入方,东边界始终为水汽的流出方,且流入量大于流出量,东西方向为水汽净流入;降水开始加强时,南、北边界均为水汽流入方,且南边界的流入量略大于北边界,说明偏南急流从渤海湾等地向北输送的水汽略占优势;至最强降水发生时刻(28日02时),南边界的水汽流入量迅速减少并逐渐转为水汽流出方,而北边界的水汽流入量一直稳定维持且略有增加,说明沿低涡后部旋转南下水汽的持续补充作用,致使强降雨得以维持。整体看,强降雨期间,经向(南北方)及纬向(东西方)基本为水汽净流入,且经向流入量明显大于纬向流入量(图5b)。

3 动力热力条件综合分析

3.1 动力条件分析

图6给出了散度与垂直速度经向垂直剖面,可以看到:27日20时,低层散度场由正值转为负值,辐合区位于850 hPa以下,中心强度为 $-4\times 10^{-5}/\text{s}$,28日08时,散度场明显加强,低层辐合区抬升至700 hPa附近,中心强度增强至 $-8\times 10^{-5}/\text{s}$,同时600 hPa有一个 $+4\times 10^{-5}/\text{s}$ 的辐散中心与之对应,这种有利的高低层散度场配置进一步加强了上升运动,使垂直速度由 $-1.2\times 10^{-3}\text{hPa/s}$ 增强至 $-1.8\times 10^{-3}\text{hPa/s}$,

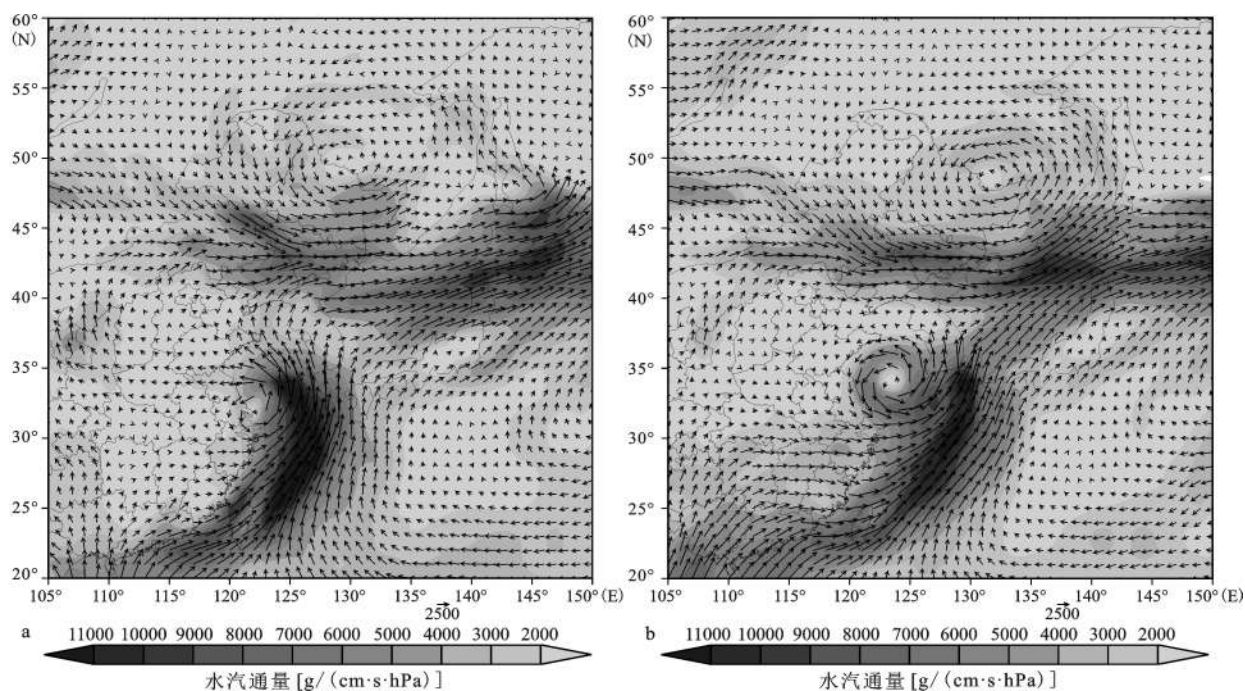
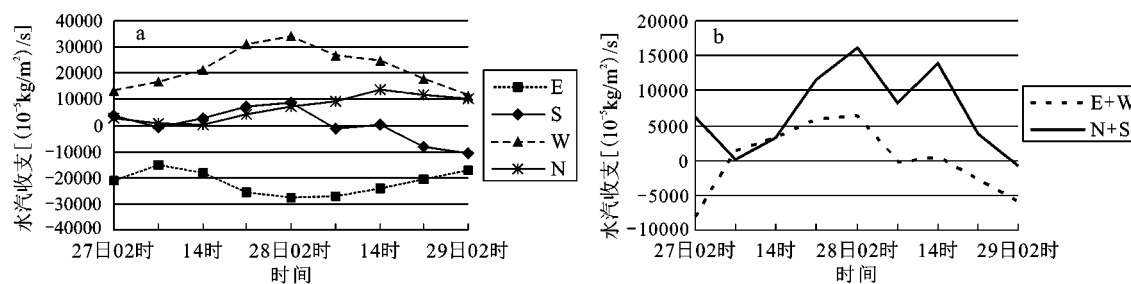
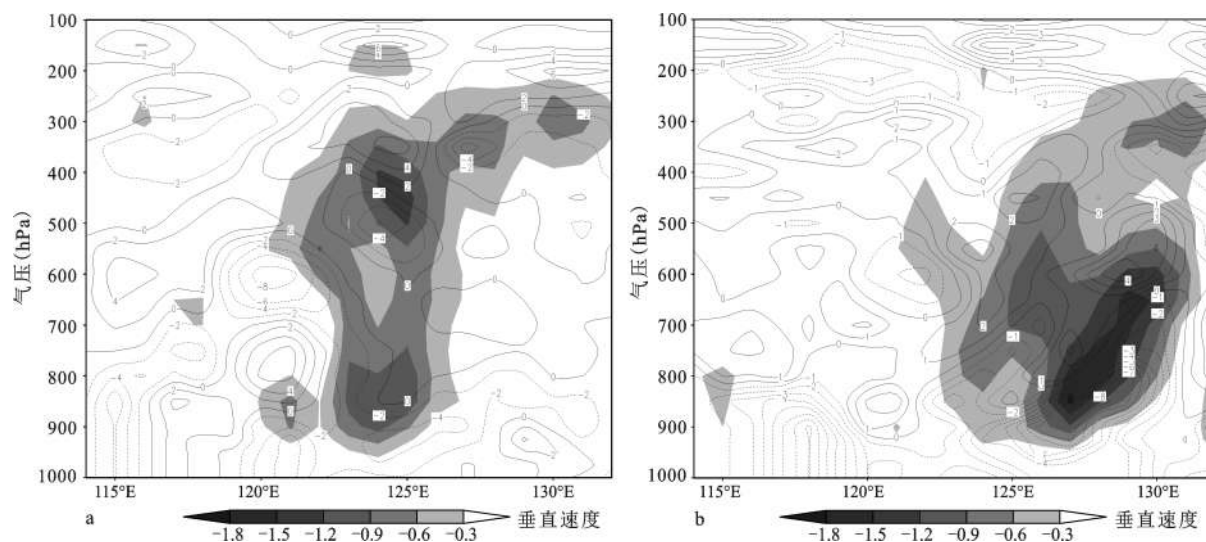


图4 2010年7月27日20时(a)和28日08时(b)大气整层水汽通量(阴影及箭头表示,单位: $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$)

Fig.4 The vertically integrated water vapor flux at 20 BT 27 (a) and 08 BT 28 (b) July 2010 (shaded area and arrow, unit: $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})$)



a.各边界; b.经向和纬向

图5 整层水汽收支时间序列[$10^{-5}\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]Fig.5 The time series chart of budget of the vertically integrated water vapor[$10^{-5}\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]图6 2010年7月27日20时(a)和28日08时(b)过43°N散度(实线, $10^{-5}/\text{s}$)与垂直速度(阴影,单位: $10^{-3}\text{hPa}/\text{s}$)的经向-垂直剖面Fig.6 The meridional-vertical section of divergence(solid line, unit: $10^{-5}/\text{s}$) and vertical velocity(shaded area, $10^{-3}\text{hPa}/\text{s}$) along 43°N at 20 BT 27(a) and 08 BT 28(b), July, 2010

此时也正是中部地区降水开始加强的时刻。

3.2 能量条件分析

分析此次暴雨过程850 hPa假相当位温可知:高能舌轴线基本呈东西向,经内蒙和辽宁指向吉林省中南部,从27日14时至28日14时,共经历高能舌向东伸展、锋区加强,高能舌及锋区在中部维持及高能舌南移、锋区南压3个阶段,分别与降雨先东部、再中部、最后南部相对应。暴雨落区基本位于高能舌头部、能量锋区偏南一侧(图略)。

3.3 对流潜势条件分析

分析此次暴雨过程长春和延吉对流潜势条件(表1)可知:从7月27日08~20时至28日08时,长春对流有效位能CAPE值由855 J/kg迅速增至2 073 J/kg,再由峰值迅速减小至261 J/kg,两时段内长春

12 h降雨量分别为38.4 mm、54.5 mm,可见强降水出现在CAPE值由极大值开始下降的过程中,即强降水出现时间晚于CAPE极大值出现的时间,说明前期湿对流有效位能积累的重要性。分析延吉CAPE值的变化,可得出类似结果,由于东部延吉降水先于中部长春,延吉CAPE值在7月27日08时达到峰值,为765 J/kg,27日20时,CAPE值下降为475 J/kg,该站12 h降雨量达75.4 mm,28日08时,CAPE值继续下降为0,该站12 h出现24.2 mm的降水。整体看,延吉CAPE值峰值及其变化幅度均小于长春。

分析K指数和Si指数可知:强降水出现时,K值差异不大,均为 36°C ,但Si值明显不同,中部长春 $Si < 0$,而东部延吉 $Si > 0$,为0.9,同时由于延吉

表1 冷涡暴雨对流潜势条件
Table 1 Convective potential condition of rainstorm of cold vortex

长春	27日08时	27日20时	28日08时	28日20时	延吉	27日08时	27日20时	28日08时	28日20时
CAPE(J/kg)	855	2073	261	0	CAPE(J/kg)	765	475	0	0
W-CAPE(J/kg)	41.3	64.4	22.8	0	W-CAPE(J/kg)	39.1	30.8	0	0
K指数(℃)	18	28	36	25	K指数(℃)	-8	36	34	30
Si指数(℃)	-1.1	5.1	-1.4	7.5	Si指数(℃)	-1.6	0.9	1.4	2.4
12 h雨量(mm)	0	38.4	54.5	0	12 h雨量(mm)	1.8	75.4	24.2	0

注:CAPE(对流有效位能),表示自由对流高度到平衡高度之间的层结曲线与状态曲线所围成的面积,CAPE值越大,强对流天气发生的潜势越大。W-CAPE为最大上升速度; $W-CAPE=CAPE^{1/2}$ 。K指数: $K=(T_{850}-T_{500})+Td_{850}-(T-Td)_{700}$,式中第一项代表温度直减率,第二项表示低层的汽水条件,第三项反映中层的饱和程度,K值越大越有利于强降水的发生。Si(沙氏指数): $Si=T_{500}-T'$,T'为气块从850 hPa开始沿干绝热线上升,到达抬升凝结高度后,再沿湿绝热线上升至500 hPa时具有的温度,Si<0时,表示对流不稳定,Si>0时,表示稳定。

地处盆地、降水主要发生在夜间,而长春地处平原、降水发生在白天,因此长春的对流活动强于延吉,但延吉27日夜间降水持续时间较长,因而导致雨量较大,这可能与它的背风坡地形也有一定的相关性。

4 暴雨的位涡特征分析

位涡是能够综合反映大气动力和热力特征的物理量。根据位涡公式^[11,12]:

$$PV=(PV)_1+(PV)_2\approx -g(\xi+f)\times\frac{\partial\theta}{\partial p}+g\left[\frac{\partial v}{\partial p}\times\frac{\partial\theta}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial p}\times\frac{\partial\theta}{\partial y}\right]$$

(3)

位涡PV由正压项(PV)₁和斜压项(PV)₂两部分组成,正压部分绝对值大于斜压部分,因此PV的分布与(PV)₁大致相同,而在干绝热、无摩擦的大气运动中位涡是守恒的,所以大气稳定度下降时,绝对涡度是增加的。当干冷空气从对流层高层侵入到低层冷涡中心上空暖湿气流之上,促使对流稳定度减小,为了保持位涡守恒,绝对涡度将增大。因此,干侵入是激发冷涡发生、发展的动力条件之一。

强降水期间,≥10 PVU[单位:1PVU=10⁻⁶ K·m²/(s·kg)]的高位涡中心位于300 hPa附近,并与一中心相对湿度≤10%的干舌相伴,随着对流层高层具有低湿、高位涡的冷空气不断地向对流层的中下层侵入,促使低层冷涡中心的上空出现了上面干冷、下面暖湿的垂直结构,从27日08时到20时,外围1 PVU的等值线已下伸到800 hPa附近,开始从50°N南伸至48°N,同时在43°N附近1 PVU的等值线从350 hPa下伸到550 hPa,此时延边地区开始出现降水,27日20时到28日08时,1

PVU的等值线又从800 hPa下降到900 hPa,造成东部降水明显加大,同时在44°N附近500 hPa又出现一个1 PVU的闭合圈,到28日20时,1 PVU的等值线从500 hPa下伸到700 hPa附近,同时从44°N南移至42°N附近,与中部地区强降水落区自北向南移动相吻合(图7)

5 对流性大暴雨天气概念模型的建立

综合分析,给出本次由东北冷涡诱发的吉林省对流性大暴雨的天气概念模型(图8):200 hPa呈现“两脊一槽”型,高空急流呈辐散状位于吉林省上空,急流核中心最大风速≥60 m/s;500 hPa东北冷涡强烈发展,鄂海阻高稳定维持是此次强降水发生的重要天气系统,中心最大风速≥20 m/s的偏西风急流带横穿吉林中部;850 hPa偏南、偏西和偏北风三条急流带(风速≥12 m/s)在吉林中东部地区交汇,形成低层辐合、高层辐散的气旋性涡度柱,较强的垂直上升气柱一直向上伸展到500 hPa附近,极有利于对流的发展和强降水的维持。

6 结论与讨论

6.1 结论

吉林省地势东高西低,中东部多为丘陵、半山区和山区,地形的抬升有助于上升运动的维持和发展,从而触发了强降水的产生;大暴雨均分布在中东部地区,与这里复杂的下垫面及中小尺度系统活动密切相关。

通过计算整层水汽通量与吉林省逐6 h平均降雨量的相关矢量场,表明:偏西、偏南及偏北3条水汽通道在吉林省中南部汇集是此次强降水发生的重要条件,暴雨落区与整层水汽通量的汇合区密

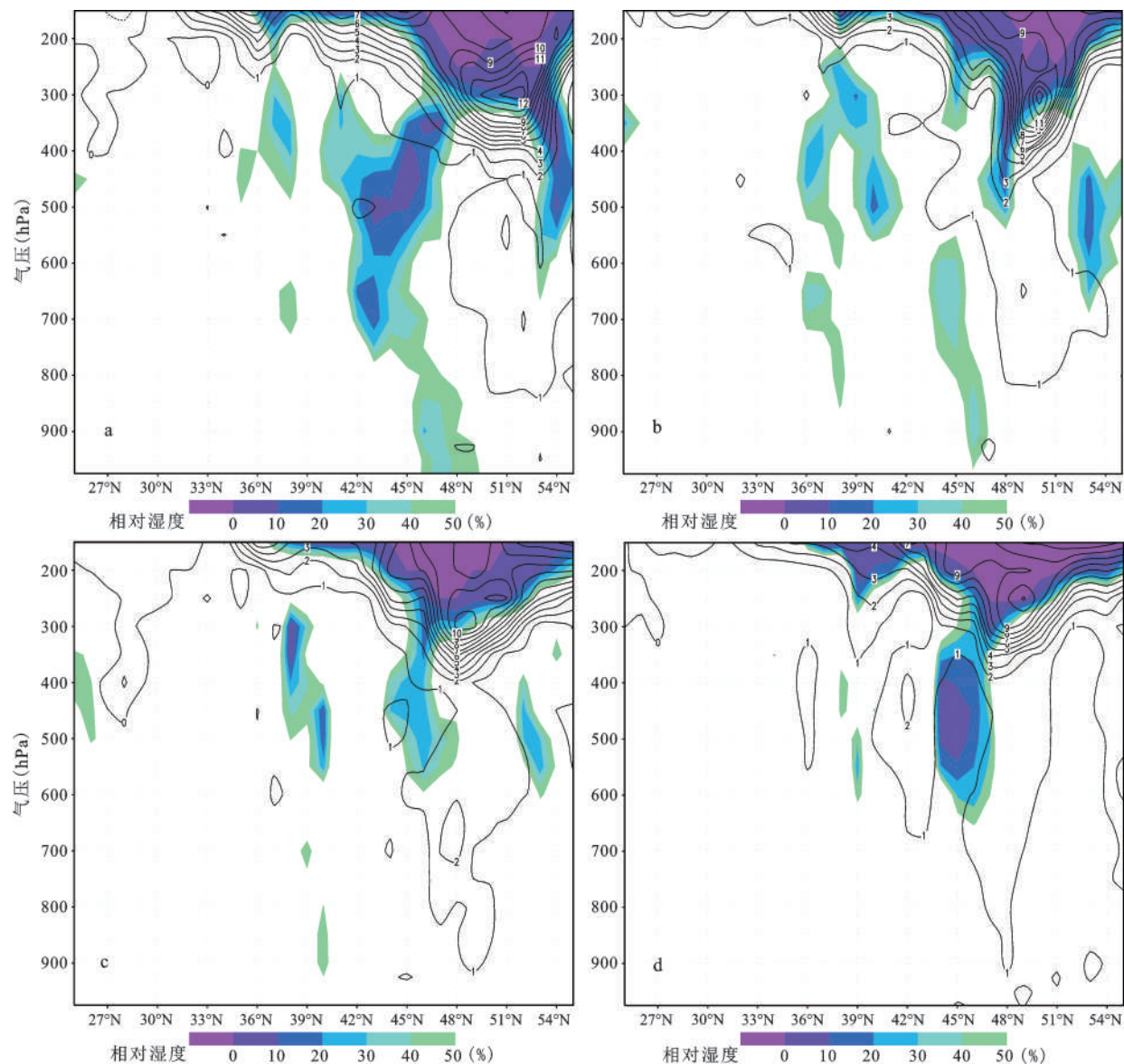


图7 2010年7月27日08时(a),27日20时(b),28日08时(c),28日20时(d)沿冷涡中心位涡

(实线,单位:PVU)及相对湿度 $\leq 50\%$ (阴影区,单位:%)的纬向-垂直剖面

Fig.7 The zonal-vertical section of potential vorticity(solid line,unit:PVU) and relative humidity(shaded area, unit:%) along the centre of cold vortex at 08 BT 27(a), 20 BT 27(b), 08 BT 28(c), 20 BT 28(d) July 2010

切相关,水汽输送以经向(南北方)水汽流入为主。

此次暴雨过程具有较好的动力、热力及能量条件,特别是湿对流有效位能明显偏强,强降水出现在CAPE值由极大值开始下降的过程中。

干侵入是激发冷涡发生、发展的动力条件之一, ≥ 1 PUV的高位涡舌在下降的过程中,同时南移,与中部地区强降水落区自北向南移动相吻合。

各家数值预报模式对此次暴雨过程的预报能力存在局限性,降水量级预报偏小,特别是延边州区域性暴雨漏报,省内4站大暴雨也均漏报,今后

应侧重分析冷涡降水过程中不稳定能量的迅速积累及水汽的持续补充,并对数值预报产品进行合理订正。

6.2 讨论

此次延边州区域性暴雨量级预报明显偏小,出现严重偏差,成为这次暴雨预报中的难点。以往的一些研究表明,延边出现强降水时,多数情况为偏东风引发的回流天气,而这次不同,它是由冷涡底部的偏西风引发的对流性强降水,且东部延边州出现强降水的时间要先于中部地区,与以往

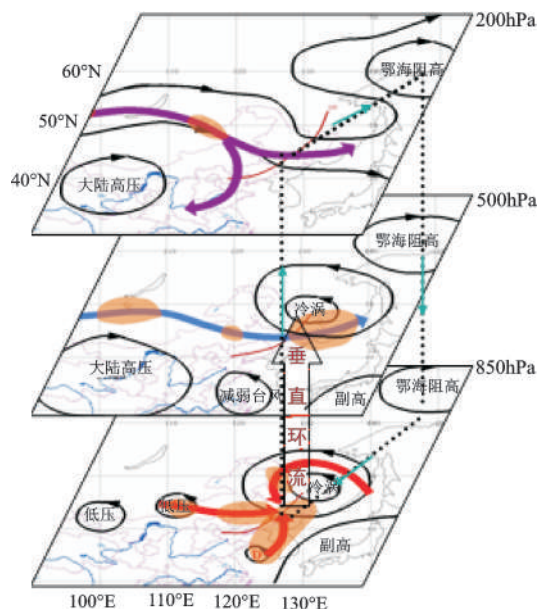


图8 东北冷涡对流性大暴雨的天气概念模型

(粗箭头为急流带,阴影区为最大风速中心,
 $V_{200hPa} \geq 60$ m/s; $V_{500hPa} \geq 20$ m/s; $V_{850hPa} \geq 12$ m/s)

Fig.8 The conceptual model of convective heavy rainstorm
 of northeast cold vortex (heavy arrow is jet; shaded area is the
 center of maximum wind speed, $V_{200hPa} \geq 60$ m/s;

$V_{500hPa} \geq 20$ m/s; $V_{850hPa} \geq 12$ m/s)

雨带自西向东移动也有所不同。强降雨主要集中在延边东部的背风坡,27日20时至28日08时,12 h全州5站出现暴雨,1站大暴雨。由此应关注以下2个方面:① 不稳定能量的积聚。27日20时,500 hPa温度图上, -20°C 冷空气主体在贝加尔湖西部,对应850 hPa,河套及其西部为 32°C 的暖中心,致使高低空急流移来时分别带来一定强度的冷空气和暖空气,形成了上冷下暖的位势不稳定层结,从27日08~20时,延吉500~850 hPa上下层温差一直为 -25°C ,同时CAPE值在765~475 J/kg

之间,K指数突增至 36°C ,这为强对流天气的发生储备了大量的不稳定能量,27日19时,延吉开始出现降水。② 低层水汽的辐合。对应850 hPa风场图上,27日20时,在吉林省东部形成一条偏南急流(风速 ≥ 12 m/s)和偏北气流(风速 ≥ 10 m/s)的汇合区,偏南急流从渤海湾、黄海等地携带的水汽具有暖湿特性,偏北气流从日本海北部输送进入吉林省的水汽具有冷湿特性,二者交汇于延边州附近,导致强降水的产生。由于对该降水过程的不稳定能量及水汽条件估计不足,致使延边州降水量级预报偏弱。

参考文献:

- [1] 王晓明,谢静芳.东北地形对强对流天气影响的分析[J].地理科学,1994,14(4):347~354.
- [2] 郑秀雅,曲桂芝.吉林省暴雨的气候分析[J].地理科学,1986,6(4):376~383.
- [3] 孙力,安刚,丁立.中国东北地区夏季旱涝的分析研究[J].地理科学,2002,22(3):311~316.
- [4] 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,2002,13(2):156~162.
- [5] 刘景涛,孟亚里,康玲,等.1998年嫩江松花江流域大暴雨成因分析[J].气象,2000,26(2):20~24.
- [6] 姜学恭,孙永刚,沈建国.98.8松嫩流域一次东北冷涡暴雨的数值模拟初步分析[J].应用气象学报,2001,12(2):176~187.
- [7] 陈力强,陈受钧,周小珊,等.东北冷涡诱发的一次MCS结构特征数值模拟[J].气象学报,2005,63(2):173~183.
- [8] 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.
- [9] 徐祥德,陈联寿,王秀荣,等.长江流域梅雨带水汽输送源-汇结构[J].科学通报,2003,48(21):2288~2294.
- [10] 武麦凤,王旭仙,孙健康,等.2003年渭河流域5次致洪暴雨过程的水汽场诊断分析[J].应用气象学报,2007,18(2):225~231.
- [11] 陆尔,丁一汇,李月洪.1991年江淮特大暴雨的位涡分析与冷空气活动[J].应用气象学报,1994,5(3):266~274.
- [12] 寿绍文.位涡理论及其应用[J].气象,2010,36(3):9~18.

Water Vapor Transport Features and Potential Vorticity Analysis of A Northeast Cold Vortex Rainstorm

WANG Ning^{1,2}, XU Xiang-de³, XU Hong-xiong³, MU Xiu-xiang¹, NIU Li-qiang¹, LI Shang-feng²

(1. *Meteorological Observatory of Jilin Province, Changchun, Jilin 130062, China*; 2. *Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation System and East Asian Monsoon, Institute of Meteorological Sciences of Jilin Province, Changchun, Jilin 130062, China*; 3. *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: Based on the diagnostic analysis of a wide range of cold vortex rainstorm and heavy rainstorm process from 27 to 29 July, 2010 in Jilin Province, the conceptual model of such heavy weather was established: "two ridge and one trough" type was consisted, upper-level jet was divergent and located in Jilin Province, the central maximum of jet wind speed was ≥ 60 m/s at 200 hPa; the strong development of northeast cold vortex and the stable maintenance of Okhotsk blocking high at 500 hPa was an important weather system of the strong precipitation, the jet zone with ≥ 20 m/s west wind speed crossed over the central section of Jilin Province; the three jets with ≥ 12 m/s wind speed at 850 hPa intersected in the middle-eastern area of Jilin Province and formed the cyclonic vorticity column of low-level convergence and upper-level divergence, the strong vertical-rising gas column had been extended upward to near 500 hPa, these were very beneficial to the maintain of convection and the development of strong precipitation. By the calculation of the correlative vector field between the whole layer of water vapor flux and 6-hour average precipitation in Jilin Province, results showed that: collection of the three water vapor channels of west, south and north in the middle-southern part of Jilin Province was an important condition for the rainstorm; the rainstorm area was highly correlated to the confluence area of vertically integrated water vapor flux; the dominant direction of water vapor transport was meridional (South and North). The rainstorm was benefited from suitable dynamic, thermal and energy conditions, especially the wet Convective Available Potential Energy (CAPE) was obviously strong and the heavy precipitation occurred when the CAPE value began to fall from the maximum. Dry intrusion was one of the dynamic conditions that stimulated the occurrence and development of cold vortex; the tongue of high potential vorticity of ≥ 1 PVU (Potential Vorticity Unit) shifted downward vertically and moved southward at the same time, corresponding to the move of heavy precipitation area from north to south in the central region.

Key words: Northeast Cold Vortex; convective rainstorm; water vapor transport; water vapor flux correlated vector field; potential vorticity