

# 1998 年夏季嫩江和松花江流域 东北冷涡暴雨的成因分析\*

孙 力 安 刚 高 杳 亭 唐 晓 玲 丁 立 沈 柏 竹

(吉林省气象科学研究所, 长春 130062)

## 提 要

选择了 1998 年 9 例典型的松嫩流域东北冷涡暴雨过程进行诊断分析。结果表明,东亚阻高、西太平洋副高和东北冷涡以及它们在强度和位置上的最佳配置构成了 1998 年松嫩流域持续性暴雨的大尺度环流背景。亚洲季风诸系统(南亚季风,副热带季风)的水汽输送也是大范围强降水频繁出现的主要原因,并且是与一般冷涡降水的最根本区别。冷涡系统自身独特的水平和垂直结构特征导致暴雨中心主要发生在系统中心以东大约 6 个经距的范围内,而不是出现在冷涡中心附近及其以西地区。

关键词: 松嫩流域大暴雨 东北冷涡 环流条件 水汽输送 水平和垂直结构特征

## 引 言

1998 年夏季中国东北地区的嫩江和松花江流域出现了超历史记录的特大洪水,给黑龙江、吉林和内蒙古三省(区)造成了严重的洪涝灾害。此次特大洪水出现的根本原因是该流域汛期降水异常偏多,而导致强暴雨发生的最直接天气系统是东北冷涡活动异常频繁。刘景涛等<sup>[1]</sup>、孙力等<sup>[2]</sup>和白人海等<sup>[3]</sup>曾对 1998 年松嫩流域大暴雨某些个例的大尺度环流异常特征和天气学条件等做过较为深入的研究,虽然他们分析的每个暴雨个例各有其特点,但这些大暴雨过程的共同特征是什么,却是值得进一步探讨的,这不仅对从整体上了解 1998 年松嫩流域大暴雨成因有所帮助,而且对建立东北冷涡大暴雨天气概念模型也是有益的。本文从 1998 年松嫩流域东北冷涡暴雨过程中挑选出 9 个典型个例进行了诊断分析,并对上述提出的问题进行了探讨。

## 1 资料和方法

从 1998 年松嫩流域东北冷涡暴雨过程中挑选了 9 个典型个例,个例选取的具体条件是:(1)所有个例均符合文献[4]对东北冷涡的定义,冷涡中心位置比较接近(以 500 hPa

\* 资助课题:国家自然科学基金项目(49875022)以及中国气象局重点项目“1998 年长江、嫩江流域特大暴雨的成因及预报应用研究”08 专题。

2000-04-26 收到,2000-07-10 收到修改稿。

为标准);(2)对于其中的每一个个例,至少要有3个站以上出现24 h大于50 mm的降水。表1给出了所选个例的简况,可以看出,这9个冷涡个例的低中心位置是非常接近的,绝大多数个例与它们的平均位置( $47^{\circ}\text{N}, 117^{\circ}\text{E}$ ,参见图2)之间的距离差都在1~2个经纬距之内,这也是为什么1998年松嫩流域暴雨具有地域重复性的原因之一。

本文分析所用资料为东北地区 and 内蒙古东部95个测站6~8月的逐日降水以及国家气象中心提供的T106逐日客观分析资料,层次为1000、925、850、700、600、500、400、300、250和200 hPa共10层,格距 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 。

表1 所选冷涡暴雨个例简况

冷 涡	中心位置	与冷涡平均位置距离		24 h 降水简况
		$(\Delta\varphi, \Delta\lambda)^{\circ}$		
1998年7月6日20时	$46^{\circ}\text{N} 116^{\circ}\text{E}$	1	1	嫩江流域暴雨 最大降水80 mm
1998年7月7日20时	$47^{\circ}\text{N} 121^{\circ}\text{E}$	0	4	嫩江流域以东暴雨 最大降水108 mm
1998年7月13日20时	$46^{\circ}\text{N} 116^{\circ}\text{E}$	1	1	嫩江流域暴雨 最大降水86 mm
1998年7月14日20时	$46^{\circ}\text{N} 121^{\circ}\text{E}$	1	4	嫩江流域暴雨 最大降水88 mm
1998年8月4日20时	$49^{\circ}\text{N} 114^{\circ}\text{E}$	2	3	松花江流域和嫩江流域暴雨 最大降水68 mm
1998年8月5日20时	$48^{\circ}\text{N} 116^{\circ}\text{E}$	1	1	松花江流域和嫩江流域暴雨 最大降水108 mm
1998年8月8日20时	$46^{\circ}\text{N} 117^{\circ}\text{E}$	1	0	嫩江流域暴雨 最大降水149 mm
1998年8月9日20时	$48^{\circ}\text{N} 118^{\circ}\text{E}$	1	1	嫩江流域和松花江流域暴雨 最大降水125 mm
1998年8月10日20时	$48^{\circ}\text{N} 118^{\circ}\text{E}$	1	1	嫩江流域暴雨 最大降水202 mm
平均中心点	$47^{\circ}\text{N} 117^{\circ}\text{E}$			

## 2 结果分析

### 2.1 冷涡暴雨降水分布

图1表示由上述9个例子组成的1998年松嫩流域东北冷涡暴雨的平均降水分布,“C”表示500 hPa各冷涡个例的平均中心位置(参见图2)。可以看出,东北冷涡降水存在着明显的不均一性和不对称性,主要降水落区并不是发生在冷涡中心附近,而是出现在系统中心的东侧,即冷涡的第一和第四象限,特别是在距500 hPa冷涡中心以东大约6个经纬距的区域内分布着降水极值中心( $47^{\circ}\text{N}, 123^{\circ}\text{E}$ ),这一特点与北上台风和南来气旋等天气系统在东北地区所造成的强降水分布主要位于系统中心附近存在着较大差别<sup>[5]</sup>。

### 2.2 冷涡暴雨环流条件分析

图2为上述9个冷涡个例的平均高度场和平均流场分布,可以看出,1998年松嫩流域东北冷涡暴雨环流形势的主要特征是:东亚中高纬度维持两脊一槽型,雅库茨克到鄂霍茨克海为势力强大的阻塞高压,中心位置约在 $55^{\circ}\text{N}, 133^{\circ}\text{E}$ ,强度达5830 gpm,贝加尔湖

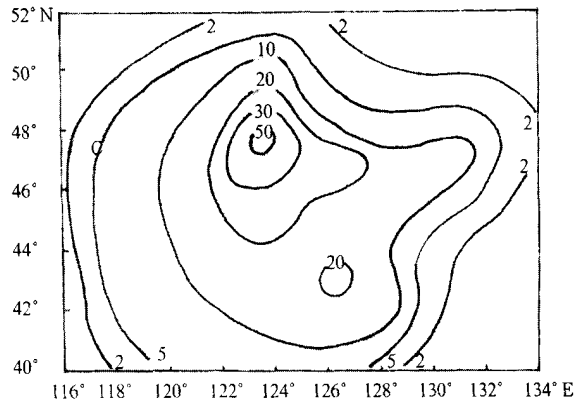


图1 1998年松嫩流域东北冷涡暴雨的平均降水分布(单位:mm)

附近也为高压脊分布,两高之间是东北冷涡,中心位于  $47^{\circ} \text{N}, 117^{\circ} \text{E}$ , 强度达  $5690 \text{ gpm}$ 。下游高压对东北冷涡活动有明显的阻塞作用,而上游高压的稳定则有利于高纬冷空气沿脊前槽后的西北气流南下,不断为冷涡补充新鲜冷空气,以维持冷涡的持续性活动。西太平洋副高与1998年松嫩流域冷涡暴雨也有密切关系,尽管该年夏季从总体上讲副高位置偏南,但在冷涡暴雨发生时,副高位置还是比较偏北和偏西的,中心大约位于  $29^{\circ} \text{N}, 128^{\circ} \text{E}$ , 西脊点在  $100^{\circ} \text{E}$  附近,特别是它在  $130^{\circ} \text{E}$  附近与东亚阻高同位相叠加所形成的南北向高压坝十分有利于低纬暖湿气流沿副高边缘北上进入冷涡系统。

### 2.3 冷涡暴雨水汽条件分析

水汽来源及其输送是影响东北冷涡降水强度的关键因素,特别是对1998年松嫩流域这样大范围大暴雨过程来说这一因素就显得更为重要了,以往人们仅仅认识到只有当冷涡与北上台风或北上江淮气旋相互作用时,冷涡系统才能得到大量水汽供应,从而导致降水强度增强<sup>[6]</sup>。但1998年松嫩流域大暴雨并不具备这样的条件,因此探讨其水汽输送特征是非常必要的。图3为冷涡暴雨  $\theta_{e,c}$  和水汽通量及水汽通量矢量的平均分布。可以分

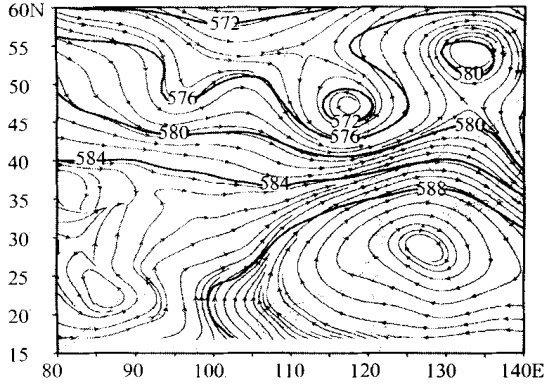


图2 500 hPa 平均高度场和流场分布

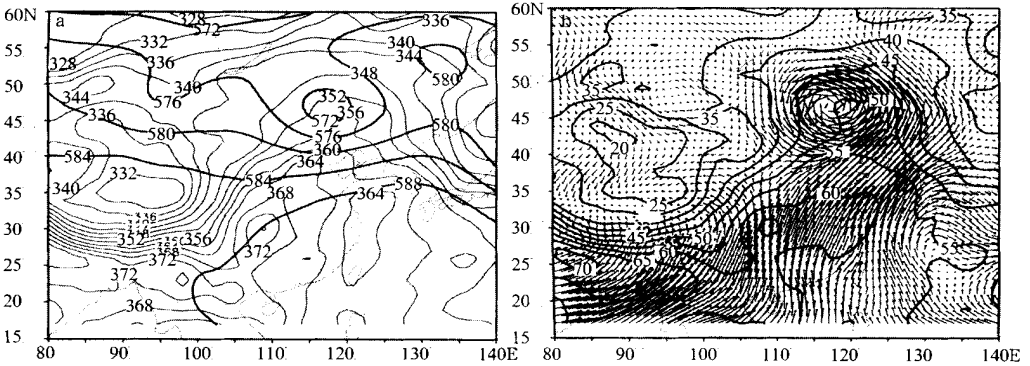
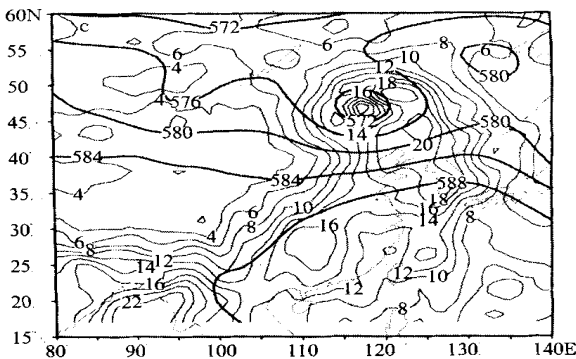


图3a 850 hPa 平均  $\theta_{e,c}$  分布(单位: K)

图3b 1000 ~ 700 hPa 水汽输送通量矢量和比湿(单位:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 平均分布

图3c 850 hPa 平均水汽通量分布(单位:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )



析出,暴雨发生时,南北向分布的高能湿舌贯穿整个东北地区中西部和内蒙古东部,高能湿舌轴线位于冷涡东侧,与强降水区相一致。 $\theta_{se} = 348 \text{ K}$  线超过了  $50^\circ \text{ N}$ ,  $356 \text{ K}$  线也达到了  $45^\circ \text{ N}$ ,这远远超出了东北地区出现区域性暴雨时  $\theta_{se}$  所能达到的指标<sup>[7]</sup>,并且很显然,1998 年松嫩流域大暴雨是在高温和高湿的季风气团控制下发生的。我们还注意到,有二支不同的水汽输送气流在中国东部地区汇集,加强后北上,从而对东北冷涡暴雨产生重要影响,一支源自孟加拉湾,东传后北上,另一支源自副热带高压南侧,西传后北上。这二支水汽输送通量矢量与西风带水汽输送通量矢量在东北地区西部形成了一个十分明显的气旋式分布,导致该区域水汽强烈辐合,从而出现较强的持续性降水。这说明东北冷涡这一中高纬度的天气系统,也可以直接受到(甚至是同时受到)亚洲季风诸系统的影响,包括南亚季风,也包括副热带季风,这是过去我们很少认识到的,这时的冷涡暴雨已经带有明显的中低纬相互作用特征,而并非是“纯粹”的冷涡降水,这一点是与过去总结的东北冷涡暴雨之间最根本区别之一<sup>[4]</sup>。图 3c 还显示出,水汽通量最大值出现在冷涡系统的东侧和东南侧,而系统中心附近则是水汽通量相对低值区。

#### 2.4 冷涡暴雨垂直结构分析

一般来说,虽然东北冷涡属天气尺度系统,但它们所造成的强降水却带有明显的局地性和不对称性,因此我们在确定其降水的强度,特别是其位置时往往有较多困难,这也一直是预报实践中的难点。如前所述,1998 年松嫩流域东北冷涡强降水主要出现在距系统中心东侧大约 6 个经距的范围内,这一方面可能与该区域中尺度系统比较活跃有关<sup>[8]</sup>,但更主要的是由冷涡系统本身的水平和垂直结构及各物理量配置所决定的。图 4 和图 5 分别表示沿  $47^\circ \text{ N}$ (过平均冷涡中心)东西向和沿  $123^\circ \text{ E}$ (过平均暴雨中心)南北向的二维环流以及涡度、散度、垂直速度和螺旋度等物理量的垂直剖面分布,从中我们可以看出,过冷涡中心东西向的垂直环流剖面上(图 4a),冷涡中心以东  $118^\circ \sim 128^\circ \text{ E}$   $850 \text{ hPa}$  以下为东南上升气流, $400 \text{ hPa}$  至  $250 \text{ hPa}$  转为西南上升气流,其间的上升气流强烈而深厚。 $132^\circ \sim 140^\circ \text{ E}$   $400 \text{ hPa}$  以上为西北下沉气流, $500 \text{ hPa}$  以下为东南下沉气流,上升和下沉气流之间形成了一个十分明显的垂直反环流圈,中心位于  $133^\circ \text{ E}$  的  $600$  和  $500 \text{ hPa}$  之间,暴雨主要出现在垂直环流圈西侧  $121^\circ \sim 125^\circ \text{ E}$  之间的强上升气流之中。冷涡中心附近及其西侧( $116^\circ \sim 107^\circ \text{ E}$ )虽然在对流层低层也存在着较弱的西北上升运动,但在中高层却是大范围较强的西北下沉气流,导致系统中心附近及其西侧的上升运动受到抑制而不能得到充分发展,这也是为什么 1998 年松嫩流域东北冷涡暴雨主要出现在系统东侧而其西侧降水却很小的主要原因之一。图 4b 表示的垂直运动纬向剖面也显示出最大上升运动不是发生在冷涡中心周围,而是出现在其东侧的  $123^\circ \text{ E}$  附近,与暴雨区相吻合,并且强上升运动轴线是向东倾斜的,上升运动中心出现在低层的  $925 \text{ hPa}$  和高层的  $400 \text{ hPa}$ ,冷涡西侧则是下沉运动分布。事实上,东北冷涡系统的涡度和散度分布相对于冷涡中心来说也是非对称性的,虽然低层的辐合中心和正涡度中心均与冷涡中心相吻合,但系统中心西侧的梯度较大,而东侧梯度较小,即东侧低层的辐合和正涡度远强于西侧,并且在冷涡附近及其西侧高层的辐散很不明显,而在其东侧的高层则是强辐散区。因此,从东北冷涡空间结构来看,系统中心东侧大约 6 个经距的范围内环流条件和各物理量条件对强降水的发生来说具有最佳配置,而冷涡中心附近特别是其西侧不利于暴雨出现。综合涡度、散度和

垂直速度并与空间结构相联系的物理量——螺旋度的分布也说明了这一点(图4d),可以看出,螺旋度的最强负值中心也出现在123°E左右,而不是出现在系统周围及其西侧。过冷涡暴雨中心(123°E)南北向的垂直环流剖面上(图5a),47°~55°N 300 hPa以下为大范围的东南上升气流,47°N以南为广阔的西南上升气流,暴雨中心出现在西南上升气流和东南上升气流的过渡带,这一区域上升气流强烈而深厚,坡度陡峭。40°N附近300 hPa至

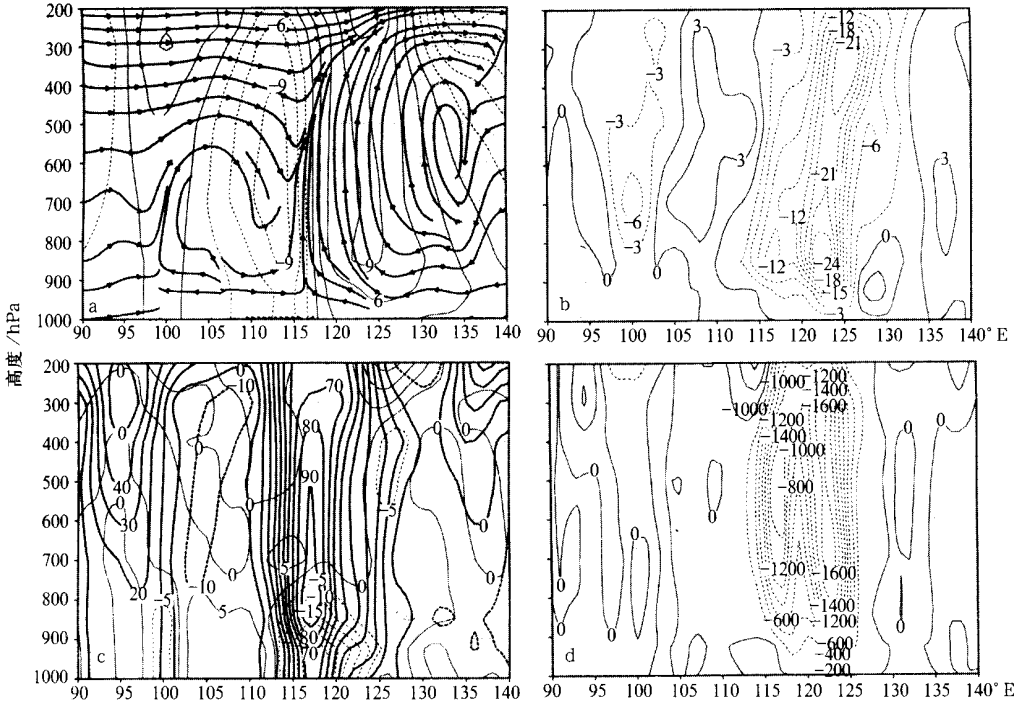


图4 沿47°N(过平均冷涡中心)东西向垂直剖面分布

- (a) 流场分布(虚线为北风,实线为南风,单位:m/s)
- (b) 垂直速度分布(单位: $10^{-3}$  hPa/s)
- (c) 涡度和散度分布(细线为散度,粗线为涡度,单位: $10^{-6}$ /s)
- (d) 螺旋度分布(单位: $10^{-8}$  hPa/s<sup>2</sup>)

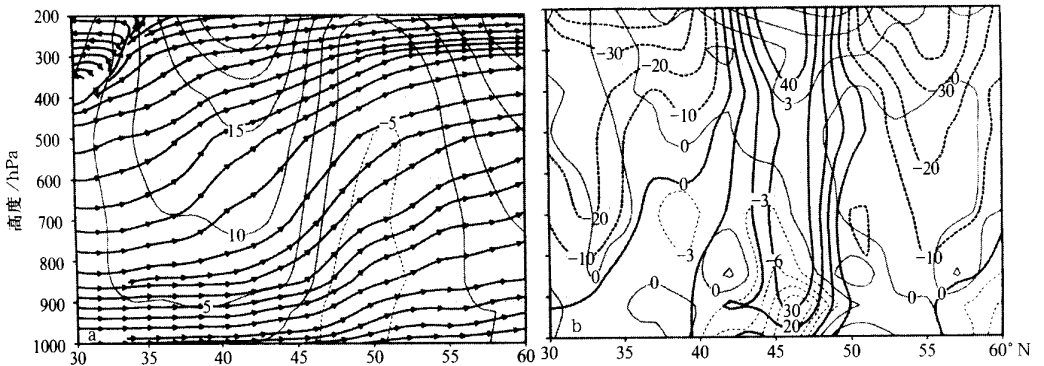


图5 沿123°E(过平均强降水中心)南北向垂直剖面分布

- (a) 流场分布(虚线为东风等风速线,实线为西风等风速线,单位:m/s)
- (b) 涡度和散度分布(细线为散度,粗线为涡度,单位: $10^{-6}$ /s)

200 hPa 还存在着一个较强的副热带西南风急流,中心风速超过 25 m/s,冷涡暴雨发生在这支高空西南风急流的左侧。在暴雨中心附近的低层(图 5b),有明显的辐合区存在,而在高层则是强烈的辐散分布,值得注意的是暴雨区最大辐合出现在 925 hPa,说明近地面的气流辐合强迫在冷涡暴雨过程中起着重要作用。涡度剖面的特点是,在暴雨区的整个对流层均为上下一致的正涡度分布,并在对流层高层(250 hPa)存在着正涡度中心。

### 3 结 论

通过对 1998 年松嫩流域 9 个典型的东北冷涡暴雨个例所进行的诊断分析,我们可以初步得到如下几点结论:

(1) 1998 年松嫩流域东北冷涡暴雨具有明显的不均一性和不对称性,强降水落区并不是出现在冷涡中心附近,而是发生在系统东侧,特别是在距 500 hPa 冷涡中心以东大约 6 个经距的范围内分布着降水极值中心。

(2) 东亚阻高的稳定强盛和西太平洋副高位置的偏北偏西,特别是其与东亚阻高的同位相南北叠加,以及东北冷涡活动的异常频繁构成了松嫩流域持续性暴雨不断出现的大尺度环流背景。

(3) 亚洲季风水汽的向北输送也是造成松嫩流域东北冷涡强降水发生的主要原因,并且是它与一般冷涡降水的根本区别。在亚洲季风诸系统的影响当中,既包括了南亚季风,也包括了副热带季风。

(4) 造成 1998 年松嫩流域大暴雨的东北冷涡有其自身独特的水平和垂直结构特征,系统东侧由于东亚阻高的存在,使上升气流能够得到充分发展,并且该上升气流是向东倾斜的,而系统中心附近及其西侧则由于对流层中高层大范围 and 较强的西北下沉气流的存在,导致上升运动受到抑制。涡度、散度和螺旋度等物理量相对冷涡中心来说也呈非对称分布,东侧低层辐合和高层辐散以及涡度远强于西侧,再加上高能湿舌轴线和水汽通量极大值均分布于这一区域,因此使得距冷涡中心东侧大约 6 个经度的范围成为强降水中心。

### 参 考 文 献

- 1 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. 气象, 2000, 26(2): 20 ~ 24.
- 2 孙力,安刚. 1998 年松嫩流域东北冷涡大暴雨过程的诊断分析. 大气科学, 2001, 25(3): 342 ~ 354.
- 3 白人海,孙永罡. 1998 年夏季松花江-嫩江流域大暴雨的水汽输送分析. 1998 年长江-嫩江流域特大暴雨的成因及预报应用研究. 北京:气象出版社, 2001. 426 ~ 433.
- 4 孙力,郑秀雅,王琪. 东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流系统之间的关系. 应用气象学报, 1994, 5(3): 297 ~ 303.
- 5 郑秀雅,张廷治,白人海. 东北暴雨. 北京:气象出版社, 1992. 71 ~ 74.
- 6 郑秀雅,张廷治,白人海. 东北暴雨. 北京:气象出版社, 1992. 138.
- 7 郑秀雅,张廷治,白人海. 东北暴雨. 北京:气象出版社, 1992. 46.
- 8 孙力,安刚,沈柏竹. “98.8.9”嫩江流域东北冷涡局地特大暴雨过程的中尺度滤波分析. 1998 年长江-嫩江流域特大暴雨的成因及预报应用研究. 北京:气象出版社, 2001. 464 ~ 469.

**A COMPOSITE DIAGNOSTIC STUDY OF HEAVY RAIN CAUSED BY  
THE NORTHEAST COLD VORTEX OVER SONGHUAJIANG  
NENJIANG RIVER BASIN IN SUMMER OF 1998**

Sun Li An Gang Gao Zongting

Tang Xiaoling Ding Li Sheng Baizhu

(*Research Institute of Meteorological Science, Jilin Province, Changchun 130062*)

**Abstract**

Nine typical heavy rain events caused by the northeast cold vortex over Songhuajiang-Nenjiang basin in China have been chosen and their composite of physical variables were also done. The results show that the blocking high over East Asia, the west Pacific subtropical high, the northeast cold vortex and summer monsoon moisture transportation play quite important roles in the persistent heavy rain over the Songhuajiang-Nenjiang region. The special horizontal and vertical structures of the cold vortex itself result in the heavy rain mainly occurring to the east of the cold vortex center.

**Key words:** Northeast cold vortex Heavy rain Circulation conditions Summer monsoon