

# 1998年嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件\*

张庆云 陶诗言 张顺利

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

**摘要** 利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了 1998 年夏嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件及其演变特征。造成 1998 年夏嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件是: 东亚高纬地区的阻塞形势和嫩江、松花江流域上空的低压系统及大的水汽辐合中心, 这三个条件长时间的维持造成 1998 年夏嫩江、松花江流域出现了持续性暴雨。东南风水汽输送通道对嫩江、松花江流域水汽通量辐合的加强有较大的贡献。研究指出: 当一个移动性的高空短波槽缓慢地绕着长波脊或阻塞高压移动, 尤其是当一个切断低压闯入阻塞高压或在阻塞高压南侧移动时, 往往引起暴雨, 这种低压系统很可能是暴雨的制造者。

**关键词:** 嫩江、松花江流域; 持续性暴雨; 环流条件

## 1 引言

1998 年夏嫩江、松花江流域发生了历史上罕见的长时间大洪水, 四次洪峰的流量一次比一次大, 洪峰之高, 洪量之大, 持续时间之长, 都超过历史记录, 两流域大水区直接经济损失达 238 亿元<sup>[1]</sup>。

造成 1998 年夏嫩江、松花江流域罕见的长时间大洪水的主要原因之一是降水强度大、降水时段集中、草地破坏严重、水土流失和土壤涵养水量能力下降, 遇到较强的降雨时, 汇流速度加大, 产生较大的洪峰。嫩江的洪水起因于干流和几条支流暴雨叠加, 嫩江洪水与松花江干流洪水相遭遇形成了松花江洪水。6 月 27 日嫩江出现第一次洪峰, 流量为  $8\,300\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ ; 第二次洪峰出现在 7 月 30 日, 流量达  $9\,480\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ ; 第三次洪峰出现在 8 月 12 日, 流量达  $14\,800\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ , 8 月 14 日嫩江江桥站水位为 142.37 m, 超历史最高洪水位 (140.76 m, 1969 年) 1.61 m; 第四次洪峰出现在 8 月 23 日, 松花江干流洪峰通过哈尔滨, 流量达  $17\,300\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ , 水位达 120.89 m, 超过历史最高水位 (120.05 m, 1957 年) 0.84 m, 高水位持续长达 32 小时, 为 150 年一遇, 历史上哈尔滨洪峰流量 1932 年达  $16\,200\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ , 1957 年为  $14\,800\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ , 1991 年达  $10\,700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ <sup>[1~3]</sup>。1998 年夏嫩江、松花江流域的四次洪峰都发生在持续性强降水的后期。

本文利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 研究 1998 年夏发生在嫩江、松花江流域降水时段集中、降水强度大的持续性暴雨的大尺度环流条件及其演变特征。

2000-04-28 收到, 2000-08-01 收到再改稿

\* 国家重点基础研究发展规划 G1998040900 项目第一部分资助

## 2 降水特点

1998年嫩江流域雨季开始早,5月下旬受冷涡影响,降水天气明显偏多,嫩江上游广大的山区多次降暴雨或大暴雨。6月28日嫩江干流中游甘南县降了63mm的第一场暴雨。7月下旬,暴雨中心集中在嫩江的甘河、纳谟尔河、乌裕尔河流域,降雨达200

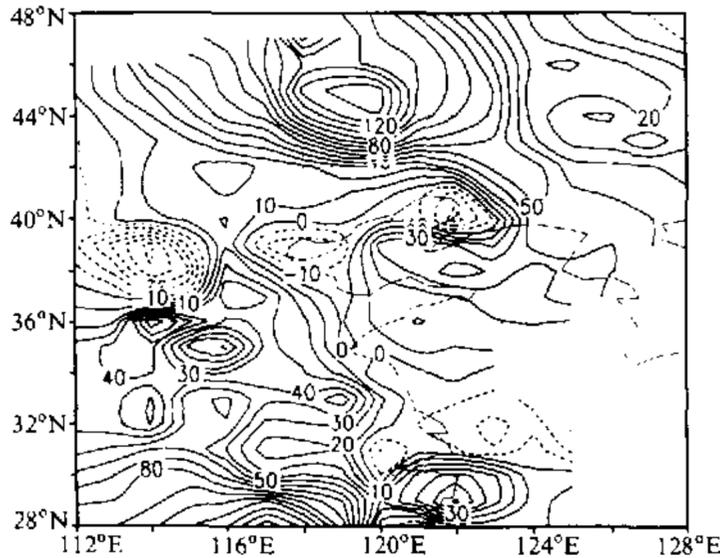


图1 1998年6~8月降水距平图

~500mm,8月上旬暴雨中心移至嫩江干流中游的甘南、龙江、林甸一带,一次过程降水达100~300mm,8月中旬嫩江右岸洮儿河、绰尔河流域和三江平原普降大雨,暴雨从流域上游向下游移动,洪水不断叠加,洪峰不断上涨。图1是1998年6~8月平均降水距平图。东北地区的多雨区出现在嫩江右岸内蒙古支流区域,降水中心位于嫩江流域的扎兰屯,中心距平值达140%以上,嫩江洪水70%以上来自嫩江右岸内蒙古支流,哈尔滨附近的降水中心距平值达40%以上(图1),6~7月降水主要集中在嫩江流域,8月降水主要集中在嫩江和松花江干流流域。

## 3 持续性暴雨的大尺度环流特征

暴雨特别是大范围持续性暴雨,是由不同尺度的天气系统的相互作用而产生,相对稳定的大气环流形势,促进了天气系统的维持、再生和发展,为连续性暴雨提供必需的动力和水汽条件。

图2给出1998年1~12月57.5~65°N纬度平均的逐月500hPa高度距平时间-经度剖面图。5月中旬到6月中旬,在高纬度50°E和140°E范围内分别出现较大的正距平区,这表明亚洲高纬度出现双阻型,乌拉尔山附近的正距平区称为西阻,鄂霍次克海附近的正距平区称为东阻。5~6月的这种双阻型到了7月和8月变成一个稳定少动强度较强的单阻型,其中心维持在贝加尔湖和鄂霍次克之间120°E附近,正距平区的中心强度达100gpm(图2),从图2可见东亚东部高纬地区从5月中旬到8月都存在着强度强而稳定的阻塞型。

图3a、b分别是1998年1~12月120~127.5°E(嫩江和松花江流域所在经度)500hPa高度距平纬向-时间剖面图和1998年8月4~18日(降水强度最强、持续时间最长时段)平均的500hPa高度和温度图。嫩江和松花江流域所在的40~50°N纬度带上,7月和8月始终维持一个低值中心,这个低值中心的北部55~65°N的纬度带上,7月和8月都是高值中心。东亚东部高纬的阻塞高压和嫩江松花江流域的低值中心的稳定少动(图3a)是嫩江、松花江流域持续性暴雨的大尺度环流背景条件。

图 3b 是 1998 年夏季嫩江、松花江暴雨强度最强, 降水持续时间最长时段平均的 500 hPa 高度和温度图。从图 3b 中的高度(实线)和温度(虚线)场的分布可见, 西风带长波槽脊发展演变时, 槽不断的向南加深, 高空冷槽与北方冷空气的联系被暖空气切断, 形成一个闭合冷性低压中心(切断低压)。嫩江和松花江区域上空出现一个强度低于 572 gpm 的切断低压系统, 这个强度偏强的切断低压维持了 5 天, 正是这个切断低压系统造成了嫩江和松花江流域持续时间最长、强度最强的降水时段。图 3b 是一个较为典型的东北切断低压型的降水环流形势。

持续性暴雨除了要有相对稳定的大气环流形势促使天气系统的维持、再生和发展外, 降水区域的水汽辐合及充足的水汽来源是持续性降水的必要条件<sup>[4]</sup>, 图 4a、b、c 分别给出 1998 年 6、7、8 月 1000 hPa 到 300 hPa 大气层水汽通量和水汽通量散度。大气水汽输送通量矢量公式为

$$Q(\lambda, \varphi) = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} q \cdot V dp, \quad (1)$$

水汽通量散度为

$$\nabla \cdot Q = \frac{1}{a \cos \varphi} \left( \frac{\partial Q_\lambda}{\partial \lambda} + \frac{\partial Q_\varphi \cos \varphi}{\partial \varphi} \right), \quad (2)$$

公式(1)中积分从 1000 hPa 到 300 hPa。

图 4a、b、c 中黑方框区是嫩江、松花江暴雨区。6 月该地区上空的水汽通量辐合区的中心值超过 100 mm (图 4a); 7 月该区域上空出现的水汽通量辐合中心值超过 200 mm (图 4b); 8 月该区域上空仍有一个超过 100 mm 的水汽通量辐合中心(图 4c)。1998 年 6、7、8 三个月嫩江松花江流域上空始终维持着一个大的水汽通量辐合中心, 这为降水区提供了充足的水汽。

#### 4 持续性暴雨的天气尺度系统

降水的形成和变化都和一定的天气尺度的系统及其变化相联系。图 5 是 1998 年 6

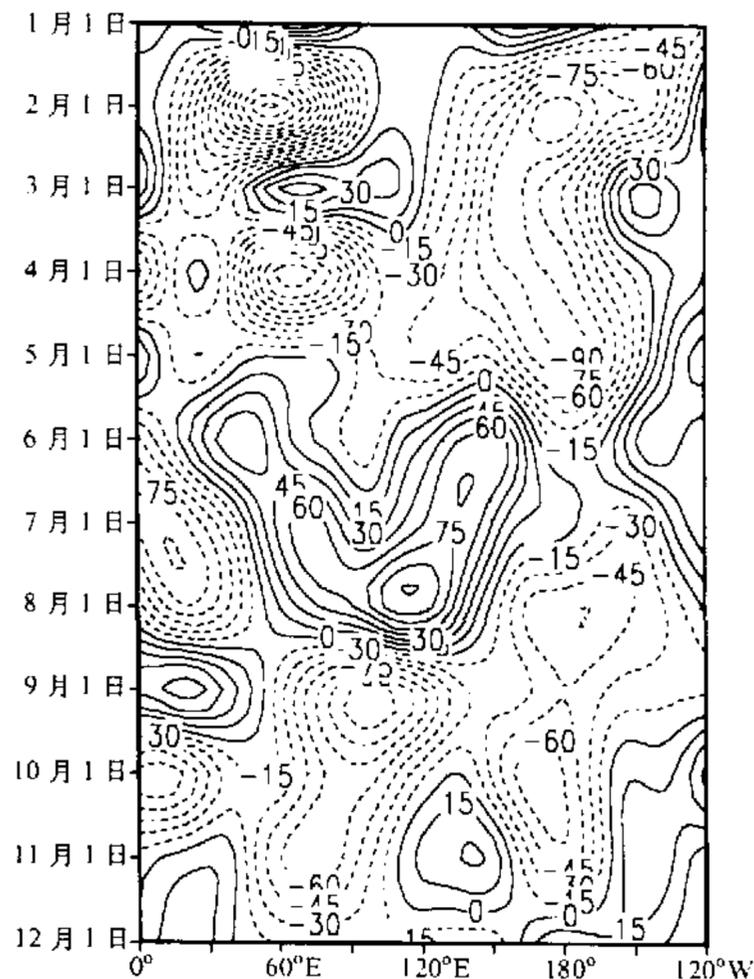


图 2 1998 年 1~12 月 57.5~65°N 纬度平均的逐月 500 hPa 高度距平时间-经度剖面图  
实线: 正距平; 虚线: 负距平

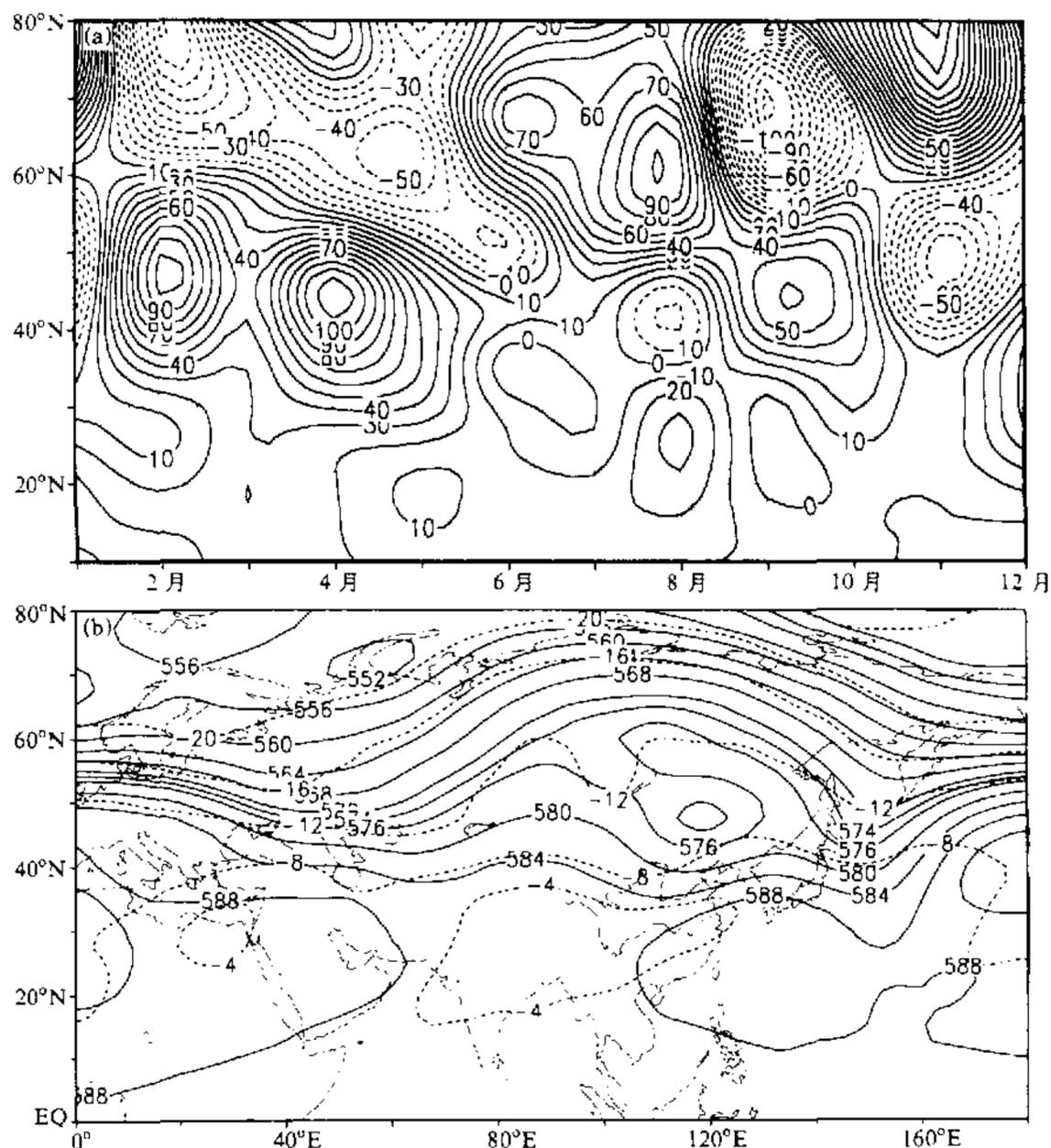


图3 1998年, (a) 1~12月120~127.5°E 500 hPa 高度距平纬向-时间剖面;  
(b) 8月4~18日平均500 hPa 高度(实线)和温度(虚线)图

~8月沿着48°N黑体亮温(TBB)值的经向-时间剖面。从TBB值的变化可以清楚看到6月12~28日、7月20~31日和8月1~15日是降水强度最强、持续时间最长的3个时段,6月27日、7月30日和8月12日3次洪峰都发生在这3个强度最强、持续时间最长的降水时段后期。前二个降水时段的TBB变化表明,嫩江、松花江流域上空的降水系统(低压系统)来自80°E方向,并自西向东缓慢过境;8月1~15日TBB值的变化表明,这个时段内的降水系统是在原地生成,即嫩江和松花江区域上空有一个切断低压,其中心强度低于572 gpdm。嫩江、松花江流域3次持续降水时段的降水强度与天气系统的这种差异有关。

暴雨的发生除了天气尺度系统造成上升运动外,在暴雨区的周围必须有一个大尺度的水汽通量辐合场,持续性暴雨则还需要更强的大尺度水汽通量辐合以补充外区水汽的减少。嫩江、松花江流域这3次强降水时段的水汽通量辐合大小以及水汽通量来自何

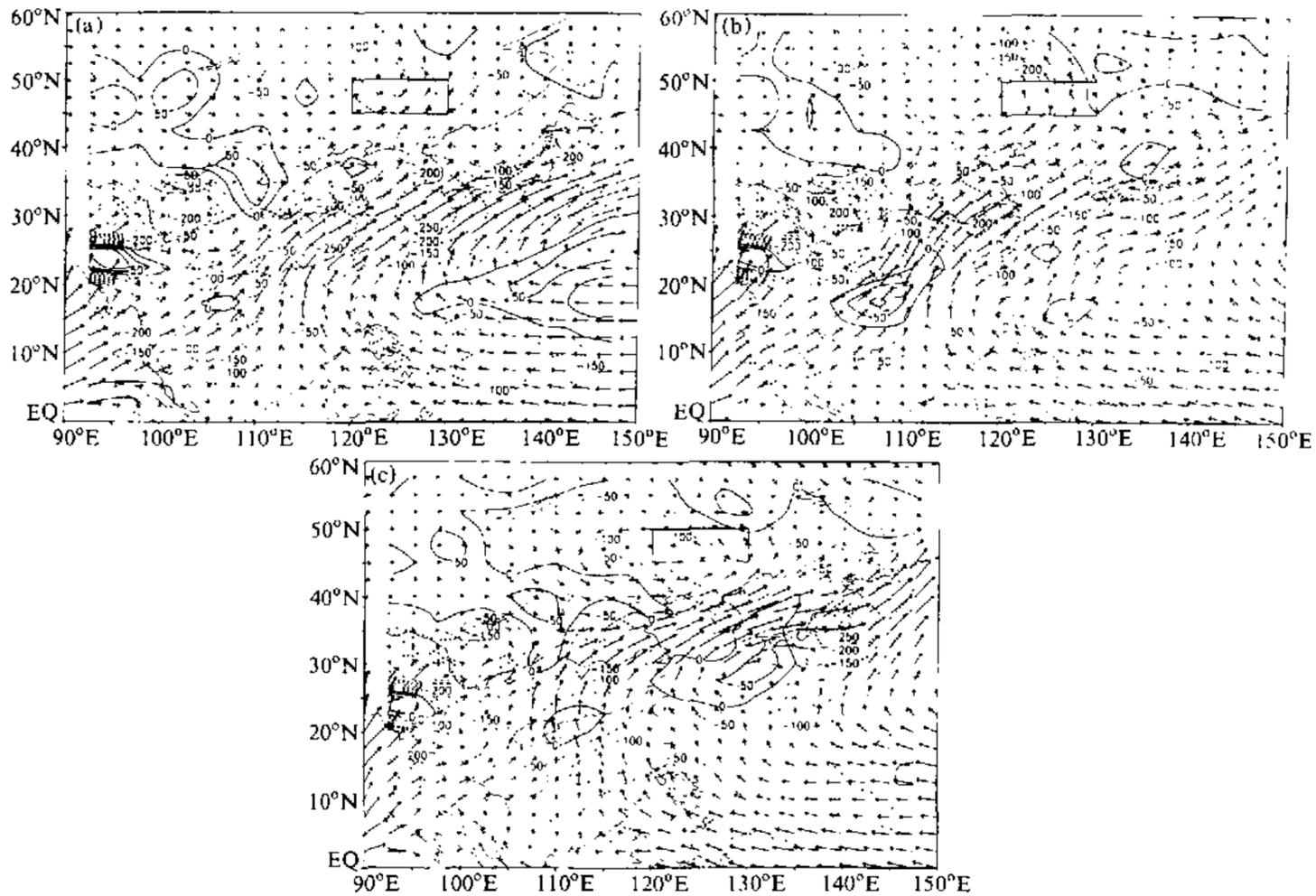


图 4 1998 年夏季水汽通量和水汽通量散度图

(a) 6 月; (b) 7 月; (c) 8 月

箭头线: 水汽通量 (单位:  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ )

实线: 辐散区; 虚线: 辐合区 (单位:  $\text{mm}$ )

方? 图 6a、b 和 c 分别给出 1998 年 6 月 12~28 日、7 月 20~31 日和 8 月 1~15 日 3 次强降雨时段的 1 000 hPa 到 300 hPa 大气水汽通量和水汽通量散度, 计算方法同公式 (1) 和 (2)。

图 6a 是 6 月 12~28 日持续性暴雨时段水汽通量和水汽通量散度。受贝加尔湖气旋性环流的偏西气流和中心在  $140^{\circ}\text{E}$  以东的高纬阻塞高压西侧的西南气流影响, 形成了一个以西南风矢量为主的西南水汽通道, 在这个时段内嫩江、松花江流域上空出现了一个 100 mm 水汽通量辐合中心区 (图 6a)。

图 6b 是 7 月 20~31 日持续性暴雨时段的水汽通量和水汽通量散度。此时高纬阻塞高压中心位于  $135^{\circ}\text{E}$ ~ $140^{\circ}\text{E}$  之间, 由于高压系统稳定及西太副高南落到  $30^{\circ}\text{N}$  以南, 东亚  $30^{\circ}\text{N}$  以北盛行东南风, 宽广的东南风气流把来自中低纬太平洋上的暖湿水汽一直送到嫩江、松花江流域上空后, 在  $60^{\circ}\text{N}$  附近转变为东北风矢量, 受东亚东部高纬度的阻塞形势的阻挡, 风场呈现为气旋性运动, 在气旋性风场的东侧形成了一个以东南风矢量为主的东南水汽通道, 受东南风气流的影响, 嫩江、松花江流域上空出现一个 200 mm 水汽通量辐合中心 (见图 6b)。

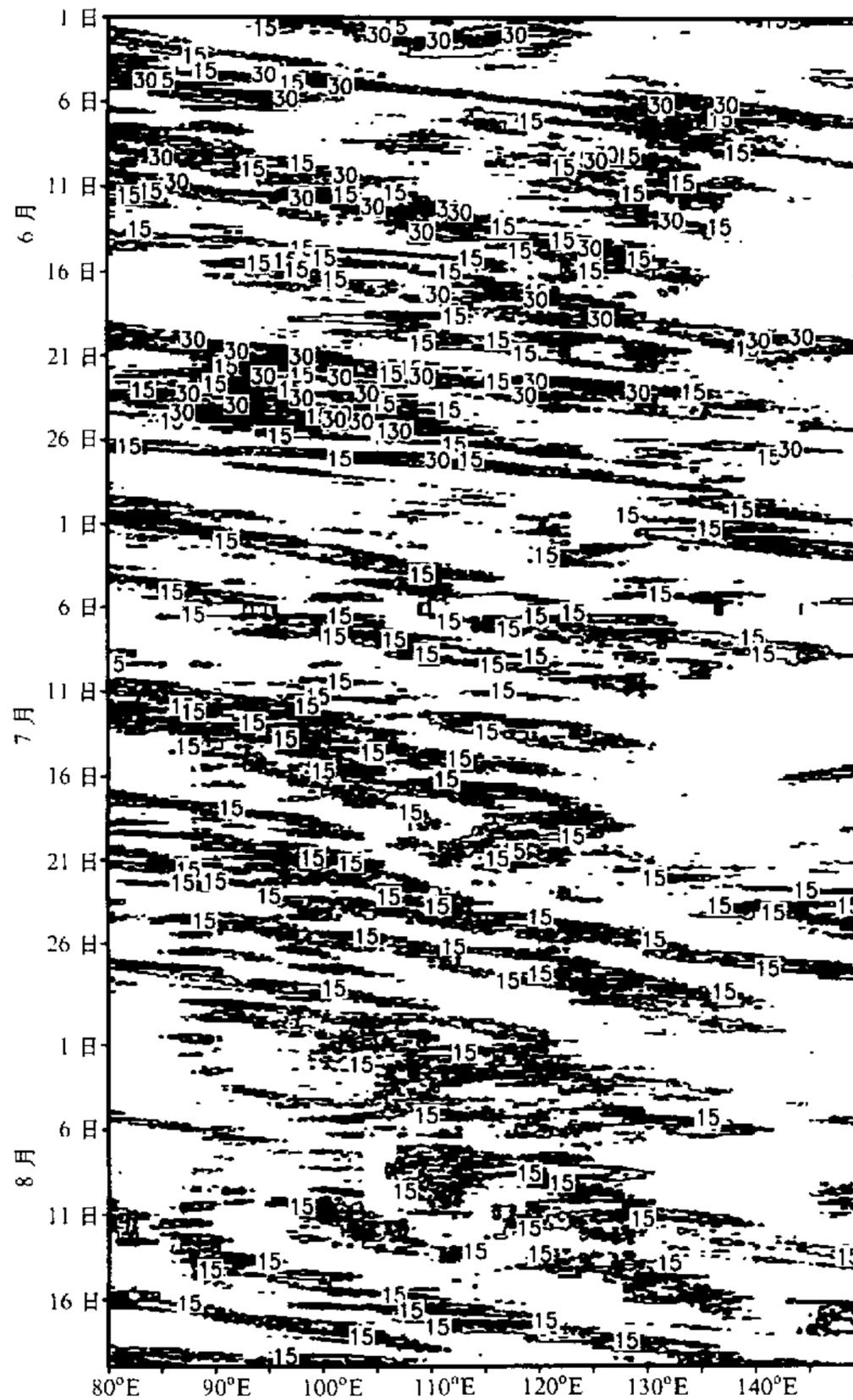


图5 1998年6~8月沿着 $48^{\circ}\text{N}$  TBB值的经向-时间剖面

图6c是8月1~15日持续性暴雨时段的水汽通量和水汽通量散度。8月上旬中高纬阻塞高压中心仍位于 $135^{\circ}\text{E}$ ~ $140^{\circ}\text{E}$ 之间,受阻塞高压南侧的东南气流和西太平洋副高再次北抬后其北侧的西南气流的影响,东南和西南风两支气流把来自中低纬的暖湿水汽一直送到嫩江、松花江流域上空,嫩江、松花江流域上空出现了一个300 mm水汽通量辐合中心区。

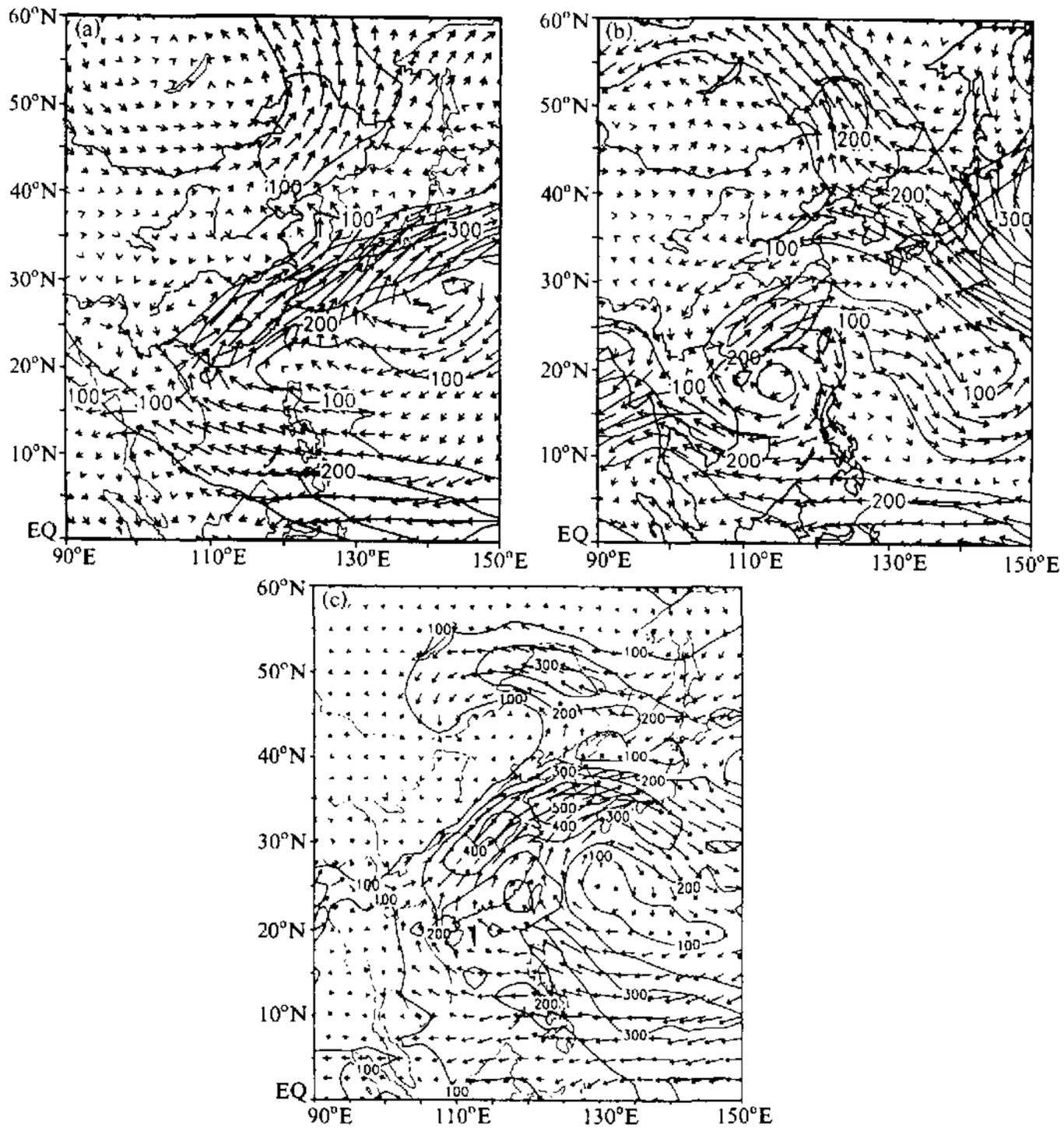


图6 1998年嫩江、松花江流域持续性暴雨时段的水汽通量和水汽通量散度  
 (a) 6月12~28日; (b) 7月20~31日; (c) 8月1~15日  
 箭头线: 水汽通量(单位:  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ); 实线: 辐合区(单位: mm)

从上可见, 嫩江、松花江流域上空这三次持续性暴雨时段水汽通量辐合的大小及水汽的来源是有差别的, 水汽通量辐合的大小对暴雨强度有直接影响。造成水汽通量辐合大小的变化除了风的辐合起了较为重要的作用外, 水汽的平流也不可忽视, 黄荣辉等<sup>[5]</sup>的研究表明, 东亚季风区水汽通量的辐合主要由季风气流带来的水汽平流所造成。纬度较高的嫩江、松花江流域, 6月12~28日的100 mm的辐合中心区的水汽通道主要与西南气流有关, 7月20~31日的200 mm辐合中心区和8月1~15日的300 mm辐合中心的水汽通道都与东南气流有关, 这三次暴雨时段的水汽通量辐合中心的强度一

次比一次强, 表明东南风气流的水汽输送对嫩江、松花江流域水汽通量辐合的大小有较大的贡献。

天气尺度系统的强烈发展和再生是持续性强暴雨的必要条件。7月20日~8月14日是嫩江流域持续性强暴雨的集中时段。图7是7月20日~8月14日嫩江地区30个

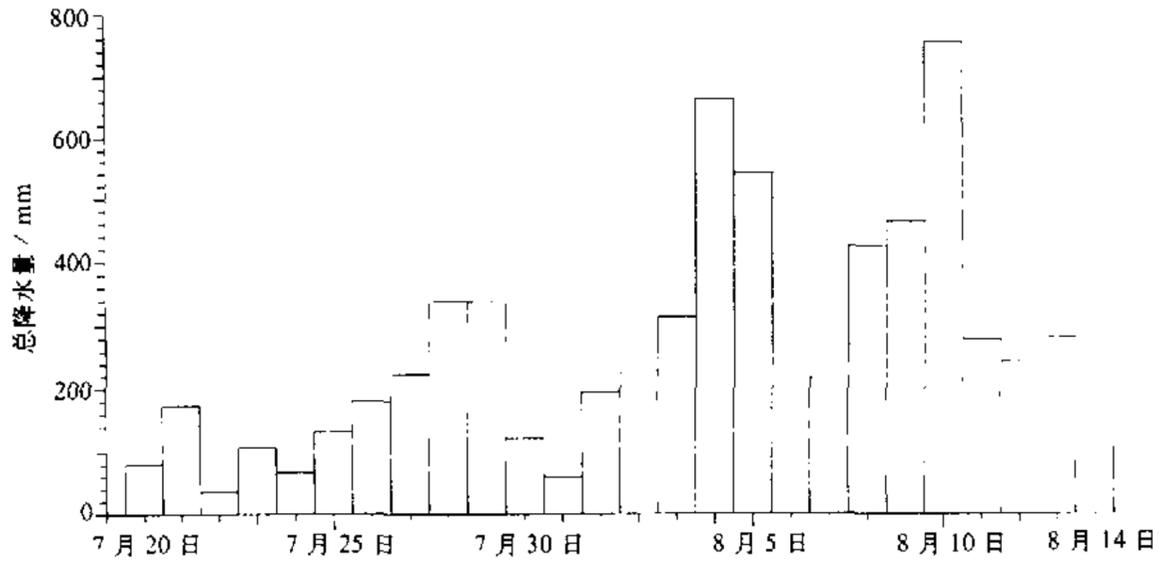


图7 1998年7月20日~8月14日嫩江地区30个站降水总量逐日变化

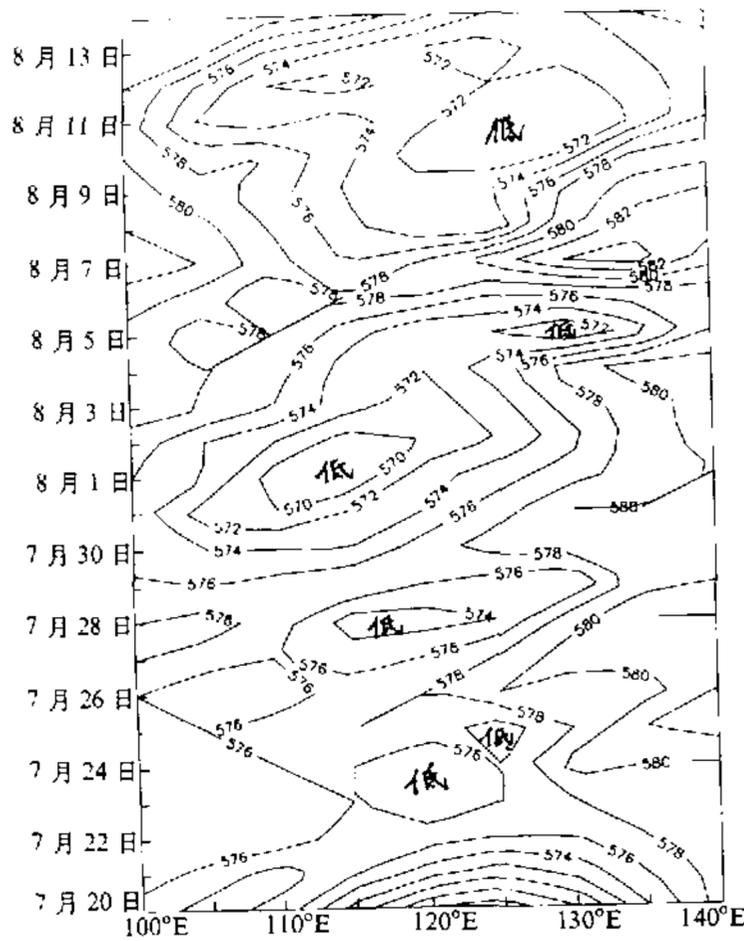


图8 1998年7月20日~8月14日沿45°N逐日500 hPa高度时间-经度剖面图

站降水总量的逐日变化。从7月20日到8月14日除了每日均有降水外, 在这26天内还出现了4次强降水过程。第一次强降水出现在7月21日, 日降水总量达180 mm; 7月28~29日出现了第二次强降水过程, 2天降水总量达700 mm; 8月4~5日出现了第三次强降水过程, 2天降水总量达到1200 mm; 8月9~10日出现了第4次强降水过程, 2天降水总量达1230 mm。

这4次强降水过程对应的天气系统有什么特征? 图8给出1998年7月20日~8月14日沿45°N逐日500 hPa高度时间-经度剖面图。7月20日~8月14日期间, 嫩江、松花江地区上空不断有移动性的高空短波槽或切断低压生成, 在120~130°E内有4次中心强度低于576 gpm的低压系统过境。第一次为7月20~25日, 第二次7月27~29日, 第三次8月3~6日, 第四次8月9~12日。每次低压或短波槽过境都

持续 4 天左右, 每次都对应一次强降水过程 (见图 7), 这种低压系统可能就是暴雨的制造者。

## 5 讨论与结论

夏季我国各个区域都可能发生持续性暴雨, 然而不同地区的大范围持续性暴雨的大尺度环流背景各不相同。大范围持续性暴雨是各种因素综合的结果, 但相对稳定的大气环流形势, 促使某种天气系统维持、再生和发展是必要条件。华南地区 1994 年 6 月大暴雨<sup>[6]</sup>就是在  $40^{\circ}\text{N}$  以南、 $105^{\circ}\text{E}$  处高空槽的维持, 给华南静止锋的维持提供了有利条件, 使得静止锋上多次出现中尺度降水系统, 造成在同一地区不断有强降水出现。长江流域持续性暴雨的发生与东亚高纬到低纬的+--的距平波列的稳定有关<sup>[7]</sup>, 这种+--的距平波列持续时间长, 说明高纬鄂霍次克海高压和低纬西太平洋副热带高压这两个高压系统稳定, 有利于东亚中纬度梅雨锋维持稳定, 使得相似的天气过程在一定的时间内反复出现, 1954、1969、1980、1983、1991 年夏长江流域持续性暴雨的发生与这种+--的距平波列持续稳定有关。

1998 年夏嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件是: 东亚东部高纬地区的阻塞形势, 为嫩江、松花江持续性暴雨提供了稳定少动的大尺度环流背景, 促进了嫩江和松花江区域的低压系统的维持、再生和发展; 在阻高的南侧嫩江、松花江流域上空不断有低压系统过境, 当低压系统缓慢地绕着阻塞高压南侧移动时, 嫩江、松花江流域出现一次强降水过程; 来自中低纬度太平洋上的东南风水汽输送对嫩江、松花江流域水汽通量辐合的增强有较大的贡献, 水汽通量辐合中心维持在嫩江、松花江流域上空, 为连续性暴雨提供了必需的动力和水汽条件。研究指出: 当一个移动性的高空短波槽缓慢地绕着长波脊或阻塞高压移动, 尤其是当一个切断低压闯入阻塞高压或在阻塞高压南侧移动时, 往往引起暴雨, 这种低压系统可能是暴雨的制造者。东亚高纬阻塞高压位置的南北对暴雨区的位置有重要影响, 1980 年 7~8 月由于阻塞高压位置偏南 (图略), 江淮流域暴雨频繁, 而我国东北、华北发生干旱现象。

致谢: 本文图 7 和图 8 由廉毅同志提供, 在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 谢永刚, 1998 年嫩江、松花江流域特大洪水后的反思, 科技导报, 1999, (3), 55~57.
- 2 余国营, 1998 年松嫩洪灾与减灾对策, 科技导报, 1999, (3), 58~60.
- 3 中国气象局气候中心, 98 中国大洪水与气候异常, 北京: 气象出版社, 1998, 25~45.
- 4 陶诗言等, 中国之暴雨, 北京: 科学出版社, 1980, 225pp.
- 5 黄荣辉等, 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别, 大气科学, 1998, 22(4), 460~469.
- 6 薛纪善等, 1994 年华南夏季特大暴雨研究, 北京: 气象出版社, 1999.
- 7 张庆云, 陶诗言, 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响, 气象学报, 1998, 56(2), 199~211.

## A Study of Excessively Heavy Rainfall in the Songhuajiang–Nenjiang River Valley in 1998

Zhang Qingyun, Tao Shiyan and Zhang Shunli

*(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)*

**Abstract** It presents a study of the large-scale atmospheric circulation during the excessively heavy rainfall in the Songhuajiang–Nenjiang River valley in 1998. The excessively heavy rainfall in the Songhuajiang–Nenjiang River valley developed and persisted in association with three salient features. First, there was a steady blocking high with a long period of two months in the high latitudes over East Asia. Second, during June to August the abundant moist airflows arrived at the Songhuajiang–Nenjiang River valley. Third, the low pressure occurred between 40~50°N and there were four centers of the low pressure through the Songhuajiang–Nenjiang River valley from 20 July to 14 August. The concurrence of all these factors brought about persistence heavy and rainfalls, thus leading to flood disasters in the Songhuajiang–Nenjiang River valley.

**Key words:** excessively heavy precipitation; large-scale atmospheric circulation; flooding disaster