

# 1998年夏季中国暴雨洪涝灾害的气象水文特征\*

张顺利 陶诗言 张庆云 张小玲

(中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

## 提 要

文章分析了1998年夏季我国长江、嫩江、珠江流域发生的严重洪涝灾害的气象、水文特征及其成因。6月中、下旬珠江、长江、嫩江流域出现了持续性强降水,局部地区下了大暴雨;7月下旬长江流域出现了“二度梅”,湖南、湖北和江西省普降暴雨;8月上半月嫩江流域再次出现持续性强降水。频繁的强降水使长江、嫩江、华南西江等干、支流水位迅猛上涨,支流河水不断涌入干流,使得干流洪峰迭起。雨水和洪峰迭加,引发了百年一遇的大洪水。1998年7月副热带高压南落是造成长江流域“二度梅”的主要原因。副热带高压、南海季风涌、中高纬冷空气和从青藏高原东移的中尺度对流系统(MCS)等4个因子的最佳组配,有利于长江流域出现持续性强降水。

关键词:长江 嫩江 珠江流域 洪涝灾害 气象 水文 季风涌

## 引 言

1998年夏季我国南、北方出现了不同程度的洪涝灾害。自1997年11月以来我国南方大部分地区降水偏多,湘江、赣江、闽江和广东北江等干流于1998年3月上旬相继发生洪水,出现了罕见的冬汛。进入6月中旬以后,华南、长江中下游、嫩江、松花江流域出现了持续性强降水。频繁、持续的强降水使得江河洪峰不断、水位猛涨。珠江流域的西江、长江中游、嫩江、松花江流域水位超过历史最高值,出现了百年一遇的特大洪水。全国有29个省、自治区、直辖市遭受了不同程度的洪涝灾害。

1998年洪涝灾害范围广、强度大,引起了社会各界的广泛关注,中国气象局和中国气象学会于1999年10月在杭州举办了“1998年特大暴雨(洪涝)学术研讨会”。对这次洪涝灾害的气候背景、成因、影响因子及中尺度特征等进行了研究[1~5]。本文是在有关研究的基础上,对1998年夏季我国洪涝灾害的气象、水文特征及其成因作一概括分析。

## 1 1998年我国洪涝灾害的特征

### 1.1 冬、春季气候特征

1997年5月至1998年6月爆发了20世纪以来最强的一次厄尔尼诺事件,1997年10

\* 本工作得到了国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究”(G1998040908)、(G1998040903)的共同资助。

2000-08-07收到,2000-09-07收到修改稿。

月厄尔尼诺事件发展到极强盛阶段。研究表明:受强 ENSO 循环的影响,1997/1998 年冬季东亚大槽势力比常年偏弱,寒潮活动不活跃,东亚冬季风偏弱。另外,冬季南支西风势力强,南支西风带中瞬变扰动活跃,造成长江以南的持续性降水及青藏高原的强降雪<sup>[1]</sup>。

1997 年 11 月到 1998 年 3 月我国淮河以南大部地区降水在 400 mm 以上,强降水主要出现在江西中北部、浙江西部、福建西部、湖南东北部及安徽西南部。

冬春持续性降水使部分江河水位超过警戒水位,出现罕见的冬汛,闽江 2 月发生了历史同期最大洪水;湘江、赣江、闽江、北江等干流 3 月上中旬发生洪水。这几条江河的春汛比常年提前一个月左右。江南持续性的阴雨天气使部分地区农田发生渍涝。梅雨开始前江南土壤含水量接近饱和,江河和水库等的水位已经很高,这对 1998 年夏季洪涝灾害有以下三方面的影响:(1)土壤和江河不能再容纳 6、7 月梅雨期大量的强降水,必然造成大量的地表强径流,引起江河泛滥;(2)暴雨区蒸发量加大,内循环加大,持续强降水;(3)由于江南连续 9 个月的多雨,长江、鄱阳湖、洞庭湖等堤坝长期受洪水浸泡,土壤变得稀松,易出现渗漏、滑坡、溃口。

受南支西风强瞬变扰动影响,1997/1998 年冬季西藏大部和青海南部连降大到暴雪,西藏阿里、日喀则地区、青海玉树、果洛地区遭受了历史上罕见的严重雪灾。青藏高原积雪一方面改变了下垫面的反照率,使高原接受到的太阳辐射减少;另一方面,通过融化雪的过程改变地表感热、潜热的分配比例。使得春夏季青藏高原同其南面的海洋之间的海陆热力对比减小,造成东亚夏季风比正常年份偏弱。

## 1.2 1998 年夏季降水特征

1998 年夏季除我国西北地区东部、华北、西藏大部及华南部分地区降水偏少外,我国长江、嫩江、珠江流域降水偏多(图略)。1998 年夏季珠江流域降水量在 700~800 mm,广西东北部降水量超过 1000 mm,比常年平均降水量偏多约 100%。珠江流域 13 个站(厦门、梅县、汕头、韶关、广州、湛江、海口、桂林、柳州、梧州、南宁、北海、百色)平均的逐日降水量(图 1a)可以看出,华南 6 月初进入前汛期强降水,此后降水一直持续到 7 月中旬,强降水主要集中在 6 月 16~29 日。受 1998 年初夏华南持续性大暴雨的影响,西江中下游、珠江、锦江等在 1998 年 6 月发生了百年一遇的特大洪水。

1998 年夏季长江流域降水量超过 500 mm,其中,鄱阳湖、赣江降水量在 1000 mm 以上。图 1b 是 1998 年 6~8 月长江流域 16 个站(武汉、黄石、英山、桑植、常德、芷江、长沙、南昌、修水、景德镇、庐山、贵溪、玉山、南城、宜春、岳阳)平均的逐日降水量。长江流域的降水主要集中在 6 月 12~28 日、7 月 21~31 日,两次梅雨活跃间有 22 天(6 月 29 日~7 月 20 日)降水稀少,长江流域梅雨中断。8 月长江上游的四川、重庆等地降水频繁,降水量较常年同期偏多 50%~100%,局部地区偏多 200%(图略)。持续的强降水使得长江干、支流和沿江湖泊水位猛涨,引发了自 1954 年以来长江又一次全流域的特大洪水。

嫩江、松花江流域 1998 年夏季的降水量在 400 mm 以上,降水中心在嫩江中下游一带,其中扎兰屯、阿荣旗 6~8 月降水量分别达 952.4 mm、808.1 mm。与常年相比,松嫩平原降水一般偏多 50%左右,嫩江西部偏多 100%~150%(图 1b)。嫩江流域 16 个站(小二沟、博克图、索伦、哈尔滨、通河、依兰、鹤岗、富锦、嫩江、富裕、齐齐哈尔、泰来、大兴安岭、克山、扎兰屯、阿荣旗)平均的逐日降水量图可以看出(图 1c),嫩江、松花江流域

1998年夏季几乎天天有降水,大范围强降水主要集中在3个阶段,即6月中—下旬、7月上—中旬、7月底到8月中旬。其中7月底到8月中旬降水强度最大。6月的强降水引发了嫩江流域第一次洪峰(6月27日)。6、7月嫩江、松花江流域的持续性降水使得7月底到8月初松嫩平原再次出现强暴雨后,大量降水流向嫩江,嫩江、松花江支流水位猛涨,干流洪峰迭起,7月底至8月中旬出现了3次洪峰,爆发了有记录以来的最大洪水。

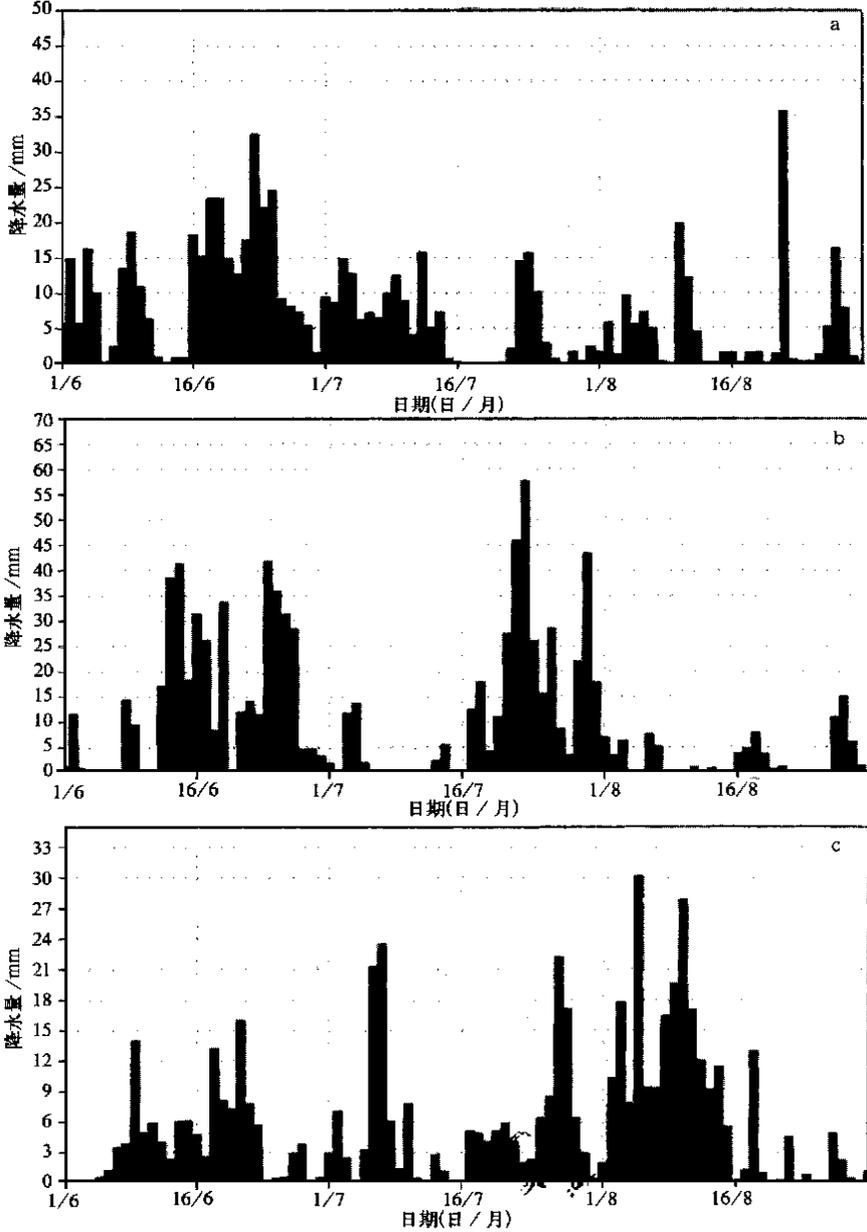


图1 1998年6~8月珠江(a)、长江(b)、嫩江、松花江(c)流域平均逐日降水量(单位:mm)

## 2 1998 年暴雨的大尺度环流背景

大范围持续性暴雨是在一定的环流背景下产生的,对 1998 年夏季我国不同区域暴雨的环流特征的分析,有助于我们认识我国发生大范围强暴雨的大气动力学特征,并对暴雨预报提供依据。

### 2.1 南方暴雨

#### 2.1.1 华南前汛期暴雨

南海夏季风试验(SCS MEX)外场观测结果表明<sup>[6]</sup>:1998 年南海夏季风首先于 5 月 17 日在南海北部爆发,5 月 25 ~ 26 日南海中南部季风爆发。静止气象卫星(GMS)红外通道探测的黑体亮温(TBB)资料能很好的表示中低纬度地区云系的分布特征及其对流强度。图 2 是 1998 年 5 ~ 8 月 100° ~ 120°E 平均的 TBB(阴影)和整层水汽输送(箭头)时间-纬度剖面图。可以看出,5 月 16 日以前南海地区盛行东风气流,5 月 16 日南海北部开始出现西风气流和对流云系(图 2 中阴影),16 ~ 24 日南海北部到华南是大片的降水云团,华南前汛期降水开始。25 日西风气流在南海南部建立,对流云向南移到 15°N 以南,南海中南部季风爆发。

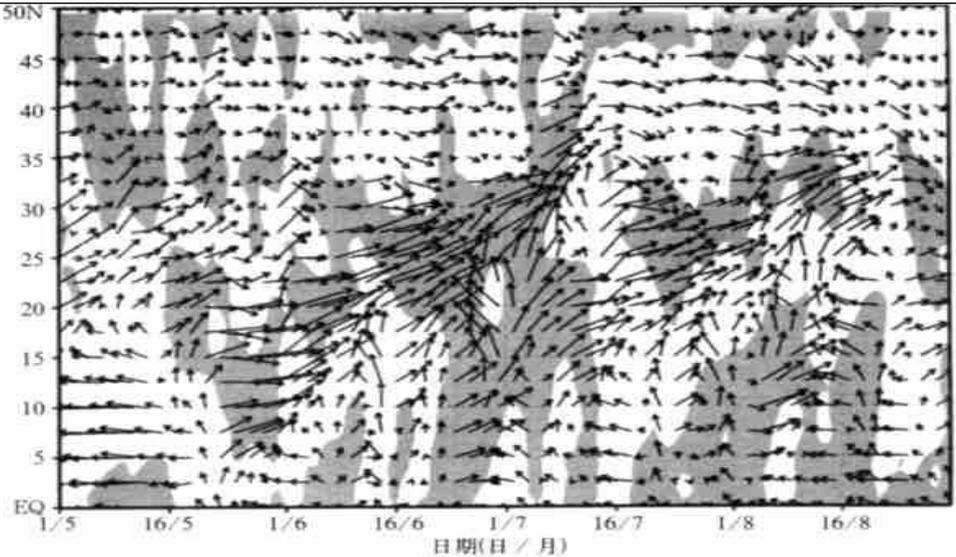


图 2 1998 年 5 ~ 8 月 100° ~ 120°E 平均的大气整层水汽输送通量矢量

$$(Q = 1/g \int_{300}^{1000} qv dp, \text{图中箭头,单位:} \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}) \text{和 TBB}$$

(单位:℃,阴影为 TBB ≤ -5℃)时间-纬度剖面图

6 月以后,华南前汛期降水进入了集中和强盛期(图 1a)。图 3 是 6 月上旬 500 hPa 平均高度场和 TBB 分布图。东亚上空出现强的阻塞形势,鄂霍次克为高压脊,东亚西风分支很明显。副热带高压呈带状分布,向西伸展到中南半岛,脊线位于 14°N。我国华南处在副热带高压西南侧的偏南气流和阻高南侧南支西风中的偏北气流的交汇带,梅雨锋

位于华南南部(图3中阴影)。从700 hPa 温度的时间剖面图(图4)可以看出,6月2日、7日各有一次冷空气向南移到梅雨锋中,造成6月1~5日、7~11日广东中部、东北部、西南部、珠江口及福建南部的暴雨天气(图1a)。

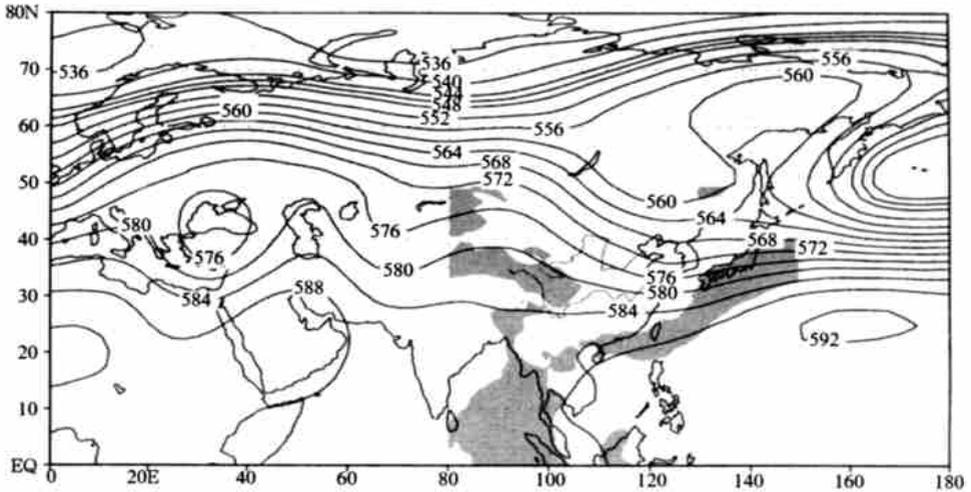


图3 1998年6月1~11日平均500 hPa 高度场(单位:dagpm) 和 TBB(单位:°C,阴影为 TBB < -10 °C)

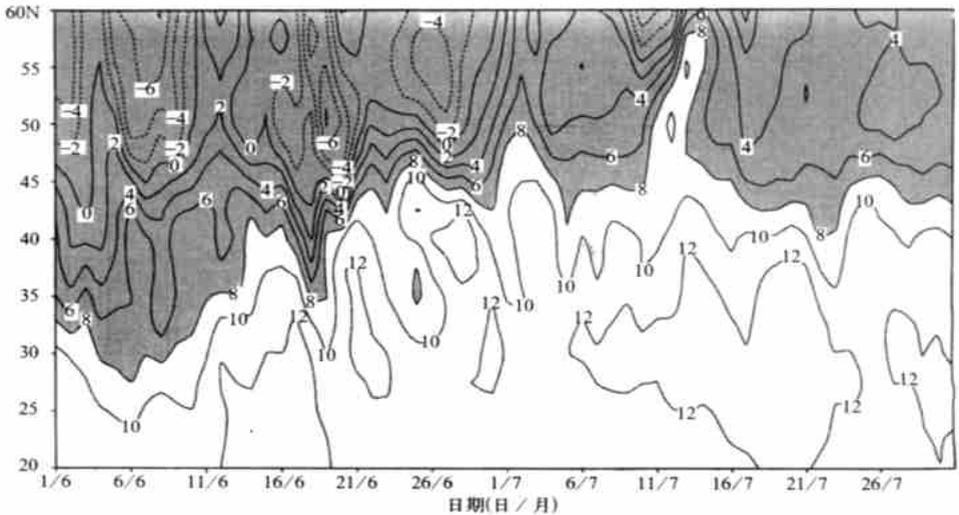


图4 1998年6~7月沿100°~120°E 平均的700 hPa 温度时间-纬度剖面图(单位:°C)

### 2.1.2 华南及长江流域暴雨

(1) 6月中下旬过程 1998年6月12~28日,我国南方出现了大范围持续性降水,长江流域梅雨开始。强降水主要在广东、广西、福建、江西等省。在500 hPa 图上(图5a),亚洲中高纬度地区为双阻塞形势,阻塞高压分别位于乌拉尔山、鄂霍次克海,这是典

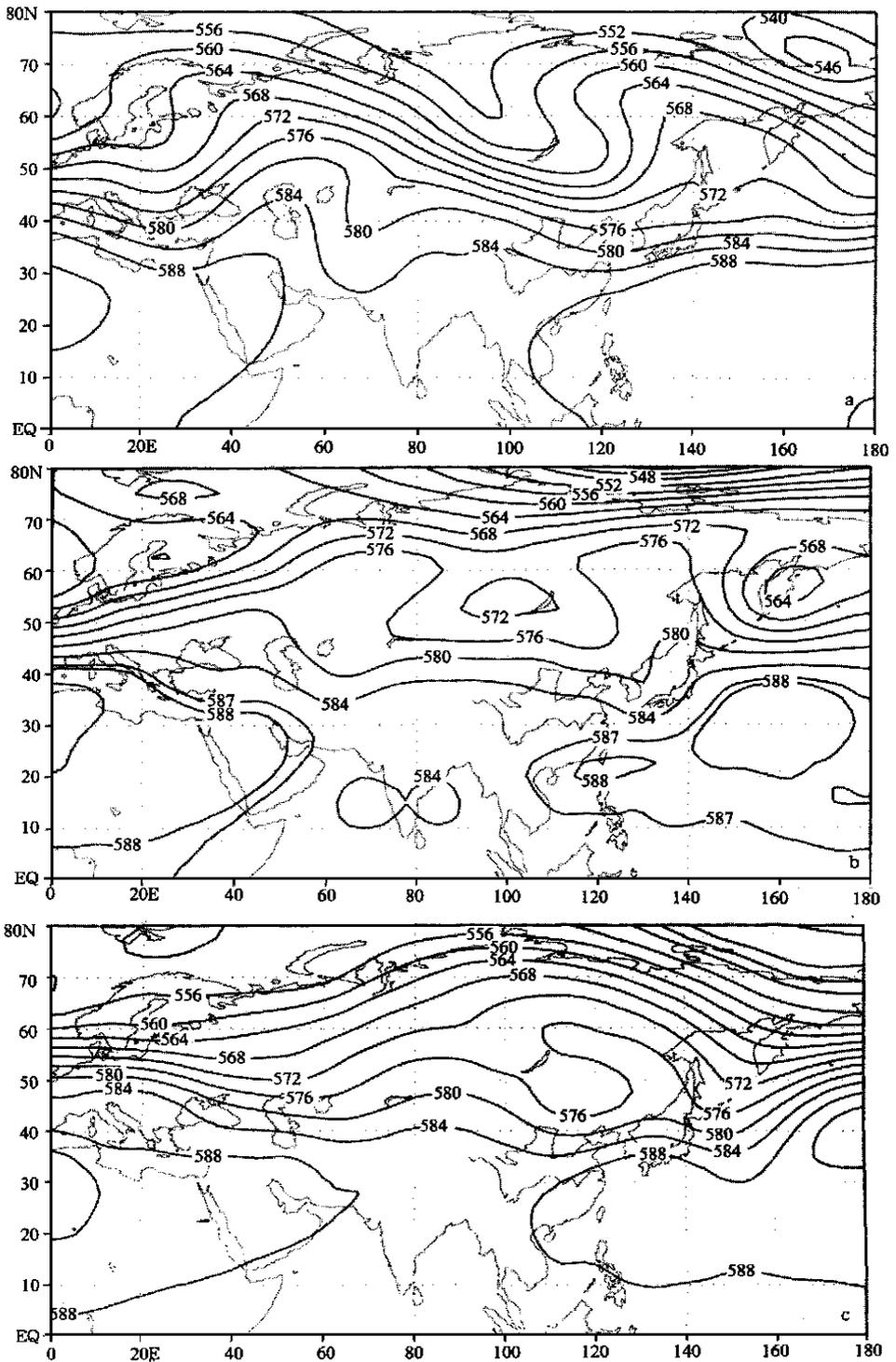


图5 1998年6月12~28日(a) 7月21~30日(b) 8月1~18日(c)  
平均500 hPa高度场(单位:dagpm)

型的梅雨期中高纬环流形势。从鄂霍次克海阻高西南侧的西北气流中有多次冷空气侵入长江中下游。在副热带,青藏高原上空为脊,副热带高压向西南伸展到我国东南沿海,副高比6月上旬北抬了约4个纬度,脊线位于18°N。由于青藏高原上空为高压脊控制,北方冷空气是从鄂霍次克海高压的西侧向东南侵入,到达长江以南及华南地区,同来自副热带高压西南和东南侧的暖湿气流在江南到华南一带交汇。冷、暖空气频繁交汇是引发持续性降水的主要原因。

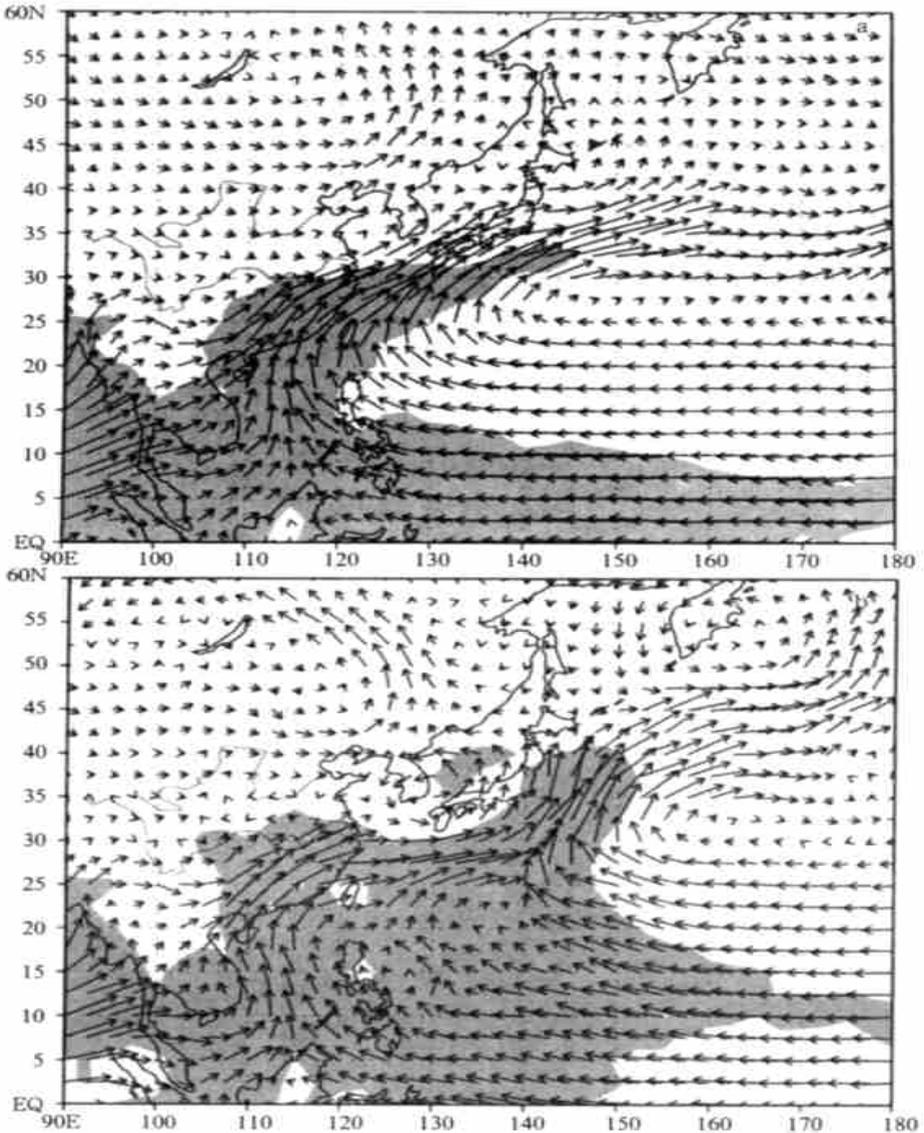
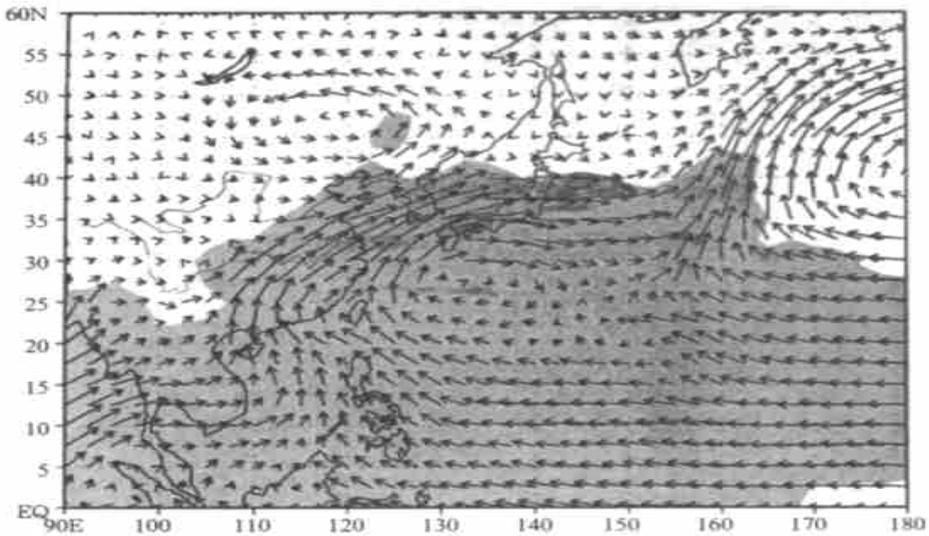


图6 1998年6月12~28日(a)、7月21~30日(b)、8月1~18日(c)平均大气整层水汽输送通量矢量(图中箭头,单位:dagp m)和可降水量

$$\text{水量} (W = 1/\int_{300}^{p_s} q dp, \text{单位: mm, 阴影为 } W \geq 50 \text{ mm})$$



续图 6

充足的水汽是发生暴雨的重要物理条件。1998 年第一段梅雨时期,来自西太平洋副热带高压南侧的东风气流把热带西太平洋的暖湿气流向西输送,在南海同来自孟加拉湾的西南暖湿季风气流汇合后,两支气流折向北,沿着西太平洋副热带高压的西南、西北边缘将大量的水汽输送到我国华南、江南到日本以南地区(图 6a),这一带是一很强的水汽辐合中心(图略)。东亚水汽高值区(图中阴影)同西太平洋副热带高压(图 5a 中 588 dagpm 线)分布很相似。在对流层低层(图 7a),来自西太平洋副热带高压南侧的东风和来自孟加拉湾的西南季风在南海辐合,形成很强的南风急流(季风涌)。梅雨锋云带(图 7a 中阴影)从日本南部伸展到我国江南、华南一带,同图 6a 上东亚高水汽区基本一致。

(2) 7 月下旬过程 1998 年 7 月上、中旬西太平洋副热带高压北抬,控制了长江中、下游地区,长江流域的梅雨中断。7 月下旬西太平洋副热带高压减弱南落、东退,副高主体位于日本以东的洋面上( $160^{\circ}\text{E}$ ,  $30^{\circ}\text{N}$ ),副高向西南伸展控制了我国华南地区,长江流域出现了第二段梅雨期降水(亦即“二度梅”),这段时期强降水主要在湖南、湖北和江西 3 省。从图 5b 可以看出,7 月下旬亚欧高纬度环流仍为双阻塞形势。乌拉尔山、鄂霍次克海分别为阻塞高压脊区,巴尔喀什湖到贝加尔湖是一宽广的低压槽。亚洲中纬度环流平直,南支西风锋区位于  $40^{\circ}\text{N}$  以南,较常年位置偏南。同第一段梅雨期所不同的是,亚洲中纬度环流平直,表明不断有西风槽从河西走廊东移到长江以南。张顺利等<sup>[4]</sup>指出,在长江流域二段梅雨锋降水时期,有 3 次短波槽从河西走廊沿青藏高原东北部东移经过梅雨锋,引起强暴雨。

7 月 20~30 日大量来自孟加拉湾和赤道太平洋的水汽向北输送到我国江南(图 6b 中阴影),洞庭湖、鄱阳湖是强水汽辐合和高水汽含量中心。丰富的水汽为持续性强降水提供了保证。梅雨锋位于长江以南的湖南、湖北和江西 3 省(图 7b)。

## 2.2 嫩江、松花江流域暴雨

1998 年夏季嫩江流域雨季开始早,暴雨频繁。其中,8 月上中旬的降水强度最大,嫩

江、松花江流域降水量在 150 mm 左右,部分地区降水量达到 250 mm。500 hPa 图上(图 5c),在副热带,西太平洋副热带高压向西伸展,控制了朝鲜半岛到我国江淮流域及华南地区。东亚中高纬度地区仍维持阻塞形势,值得注意的是阻塞西南侧在贝加尔湖到嫩江之间形成一个准静止的冷涡。冷涡南侧的西北气流引导的冷空气和副高西北侧的西南气流引导的暖湿气流一直在嫩江、松花江流域交汇,这种环流形势有利于嫩江、松花江产生持续性强降水。从 TBB 演变(图略)也可以看出,7 月底到 8 月中旬,有 3 次冷空气东移过嫩江流域,并引起嫩江流域 3 次洪峰。张庆云等<sup>[5]</sup>对嫩江、松花江流域持续性暴雨的研究表明,当高空短波槽或切断低压进入高压脊时,往往引起暴雨,这种低压系统很可能是暴雨

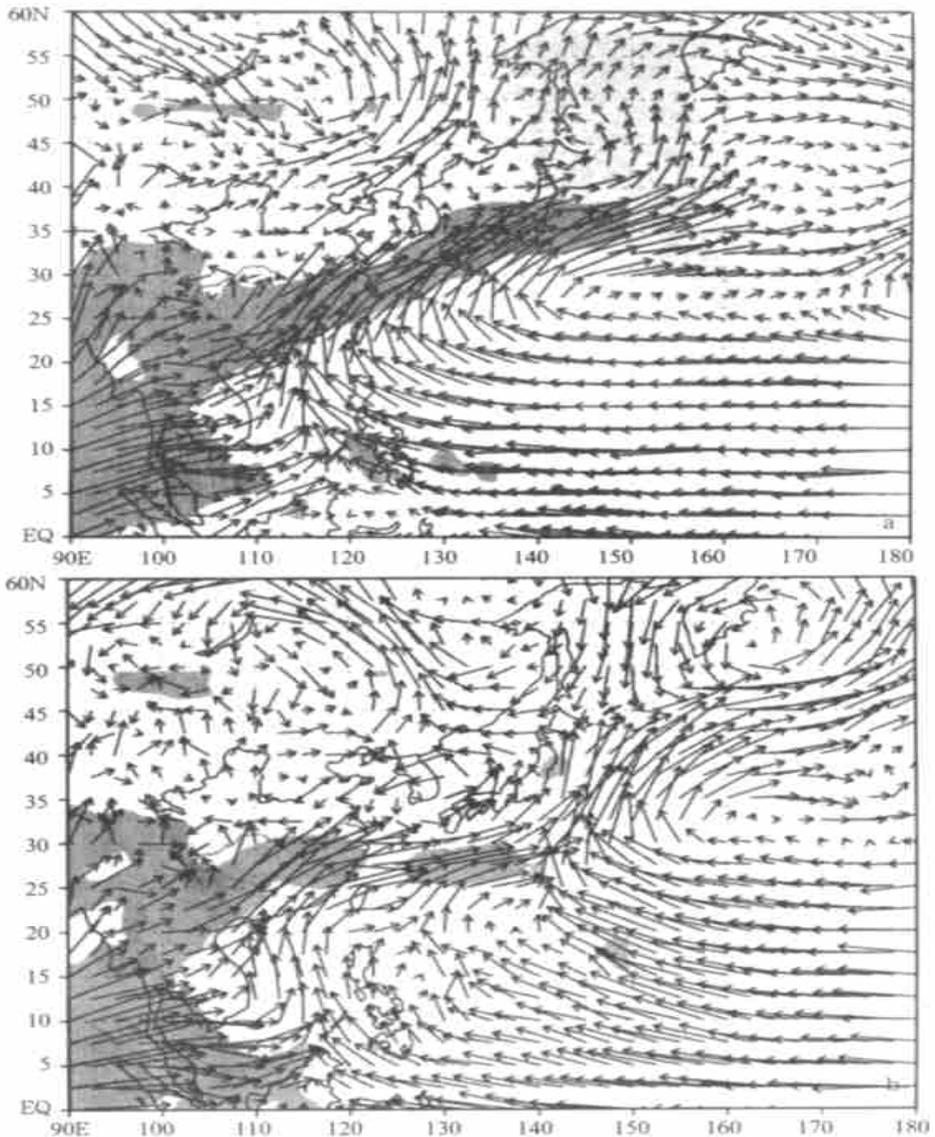
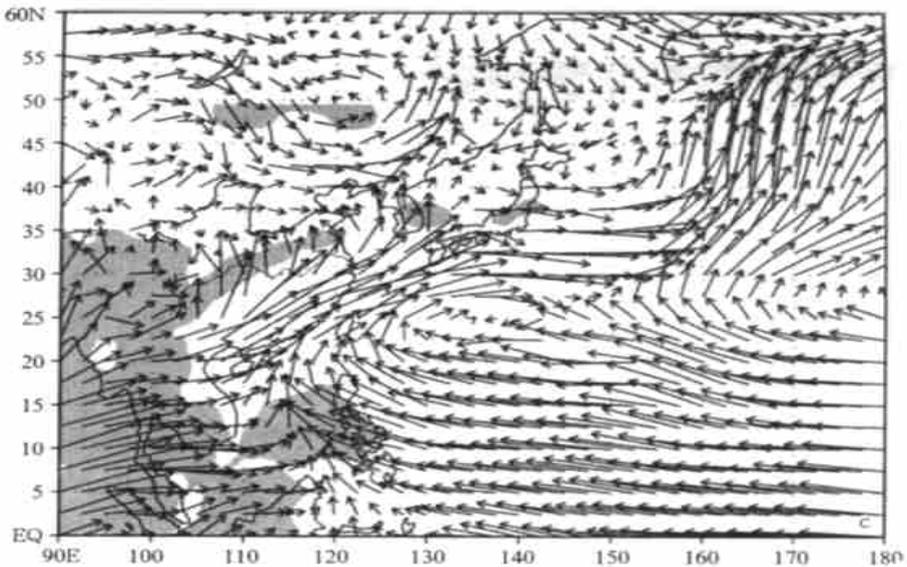


图 7 1998 年 6 月 12 ~ 28 日(a)、7 月 21 ~ 30 日(b)、8 月 1 ~ 18 日(c)  
平均 850 hPa 风(单位: m/s)和 TBB(单位: °C),阴影为 TBB < -10 °C



续图 7

的制造者。8 月上、中旬,来自赤道太平洋、南海、孟加拉湾的水汽沿着西太平洋副热带高压西部边缘一部分向东输送到朝鲜半岛和日本,另一部分向北输送到嫩江、松花江流域(图 6c)。嫩江、松花江流域是一水汽辐合中心(图略),可降水量达 40 mm。有利的环流背景和充沛的水汽使得嫩江、松花江流域在 8 月上半月降水频繁,出现了历史上少见的大暴雨和百年一遇的大洪水。

### 3 长江流域持续性大暴雨的多尺度条件

季风是亚洲夏季环流的重要特征,80 年代以来的研究<sup>[7~9]</sup>指出:亚洲夏季风由印度夏季风和东亚夏季风组成。由于青藏高原的阻挡作用,印度夏季风几乎是一个单纯热带环流,属于热带性质的季风。而东亚夏季风比较复杂,一方面,冷空气可以向南侵入到 30°N 以南;另一方面,由于东亚处于青藏高原的下游,常常受到来自高原扰动的影响。东亚夏季风既包含了热带季风的性质,又包含了副热带季风的性质。副热带高压的东、西向及南、北向进退决定了中国东部夏季雨带的位置;中纬度西风扰动、从南海向北的水汽输送(季风涌)则有助于梅雨锋的维持和加强。下面我们对形成 1998 年夏季长江流域持续性强降水的各个因子分别进行讨论。

(1) 西太平洋副热带高压 为了解释 1998 年长江流域梅雨的二次活跃和一次中断,我们在以前的研究中<sup>[1]</sup>把 1998 年 6~8 月 300 hPa 高度场分解成低频(周期 > 30 天)和高频(周期 < 10 天)两部分,低频部分主要反映慢变系统(如副热带高压)的活动。我们发现,1998 年夏季亚洲副热带地区(35°N)低频环流形势经历了 4 次调整。6 月中下旬,稳定的准静止 Rossby 波列在青藏高原西侧为槽,高原上为脊,中国东部为槽。这一阶段是长江流域第一段梅雨期。7 月上旬,准静止 Rossby 波列进行了调整,高原西侧出现高压

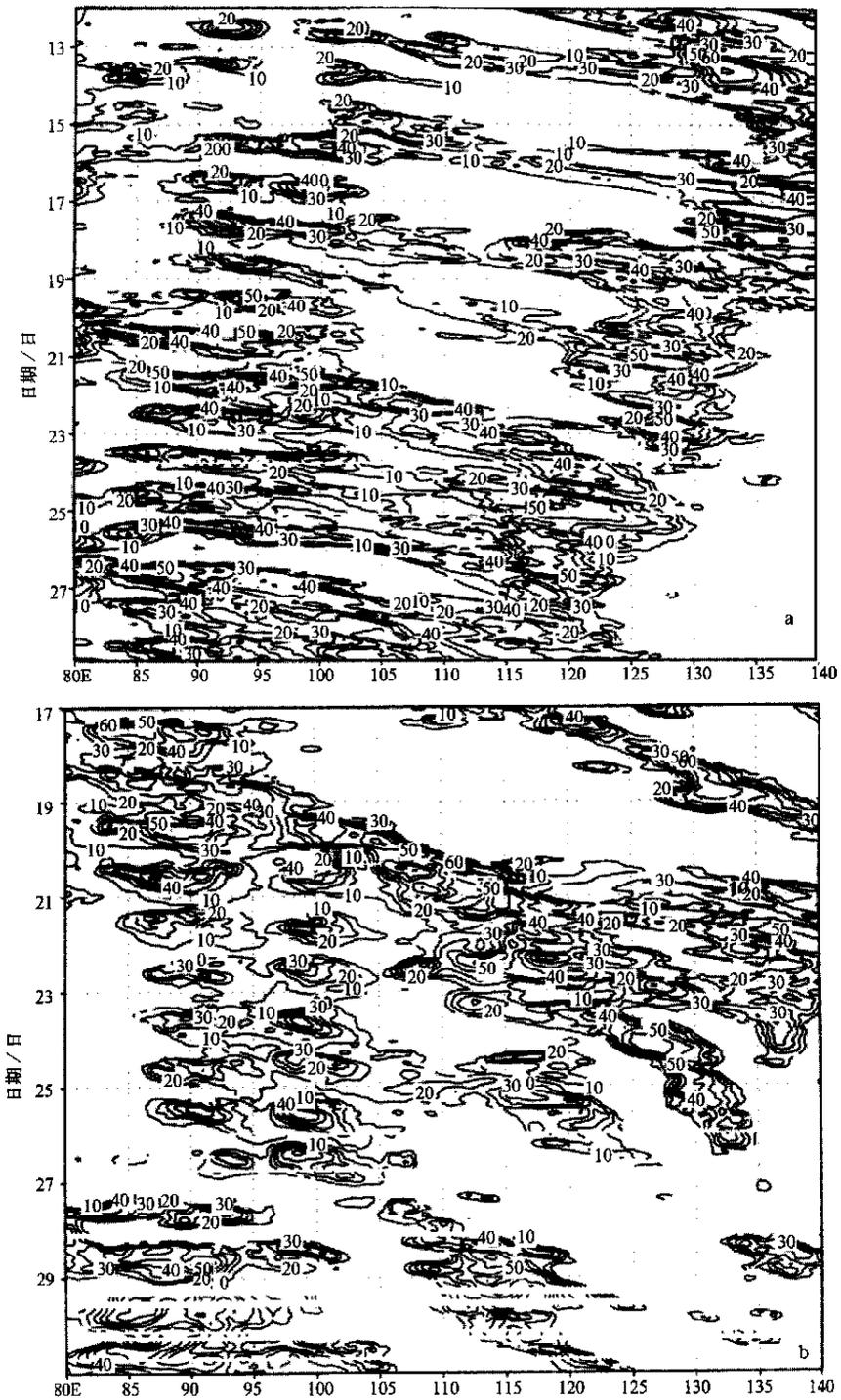


图8 沿30°N的TBB时间-经度剖面图(单位:°C,图中省略了负号)  
(a) 1998年第一段梅雨期 (b) 1998年第二段梅雨期

脊,高原上出现槽,大陆东部为副热带高压控制,长江流域梅雨降水中断。7月下旬出现“二度梅”时,波列调整到第一段梅雨期的位置,位于中国东部的副热带高压突然南撤。8月波列又一次调整,高原东侧 $100^{\circ}\text{E}$ 处出现一静止槽,造成四川多暴雨发生。

(2) 南海季风涌 水汽输送(图2)表明,5月20日以前南海地区盛行东风气流,5月21日以后,随着南海季风的全面爆发,强烈的季风涌向中国大陆输送水汽。伴随着大量水汽的北上,对流云系(图中阴影)也逐渐北移。6月上旬南海水汽输送到华南,开始了华南前汛期的强盛降水;6月中、下旬强水汽在华南到长江流域一带,长江流域进入第一段梅雨期降水;7月上、中旬水汽向北推进到淮河至黄河一带,长江流域降水中断。6月下旬南海出现第二次季风涌,大量水汽向北输送,两次季风涌相隔约一个月。第二次季风涌在7月下旬到达 $30^{\circ}\text{N}$ ,长江流域对流强盛,进入第二段梅雨期降水。

(3) 中、高纬冷空气 1998年夏季,中、高纬度不断有西风槽前云系向南移到 $30^{\circ}\text{N}$ 附近,西风槽的南端扫过梅雨锋,加强了梅雨锋区。700 hPa温度场(图4)的分析也表明,在梅雨锋两次活跃期间,都有强冷空气侵入到 $30^{\circ}\text{N}$ 以南,引起梅雨锋上强降水。这表明冷、暖空气交汇是梅雨期强降水的重要条件。

(4) 青藏高原的 MCS 青藏高原的天气系统对其下游的梅雨锋降水也有影响。图8可以看出,青藏高原的对流有明显的日变化,高原对流云多于午后发展强盛,清晨衰退。青藏高原 MCS 有的仅在高原上发展、消亡,有的通过不断再生的过程,向东移出高原,汇入到梅雨锋中,有利于梅雨锋上 MCS 的形成和发展。在1998年长江流域两段梅雨期,先后有9次 MCS 从高原东移,加入到梅雨锋中,并引起强降水。7月18日有一个 MCS 从高原东部东移,21~23日在长江中游不断激发出 MCS(图8b),致使武汉、黄石21~23日下了特大暴雨,武汉21日07:00(北京时)1 h降水量达88.4 mm,黄石22日09:00 1 h降水量为76.4 mm。

以上分析表明,我国长江流域持续性强降水是多种尺度相互作用的结果,受副热带高压、南海季风涌、中、高纬冷空气以及青藏高原 MCS 等4种系统的共同影响,这4个影响因子的最佳组配造成梅雨锋上的持续性强暴雨。

## 4 1998年洪涝灾害的水文特征

1998年夏季我国持续的异常强降水,使得许多江河、湖泊流量大增,水位陡涨,洪峰不断。其中华南西江、长江、嫩江、松花江的水位超过历史最高水位,部分江段出现溃堤。持续性暴雨洪水造成沿江不断出现险情,给国家和人民的财产造成巨大的损失。

### 4.1 华南西江水文特征

1998年夏季华南降水主要集中在6月1~10日、12~28日(图1a)。其中,在6月12~28日这段时间内,华南普降连续性暴雨到大暴雨。6月12~17日降水主要在广西北部 and 南部的钦州。6月18~26日降水出现在广东恩平到阳春一带,其中恩平良西水库、阳春7天降水量分别达1521.0 mm、1271.0 mm。持续性大暴雨使珠江流域江、河洪水不断,水位猛涨。图9a是6~8月华南13个站平均逐日累积降水量和6月18日到7月3日西江高要水位。可以看出,华南6月26日以前的强降水,使广东高要站水位迅速上涨,6

月22日高要水位超过9 m的警戒水位。从6月22日至7月3日高要连续12天持续超警戒水位的高水位。其中,6月27~29日水位超过13.0 m,接近13.62 m的历史最高水位。西江流域梧州、封开、郁南、高要等地超过或接近历史最高水位,出现了百年一遇的大洪水。

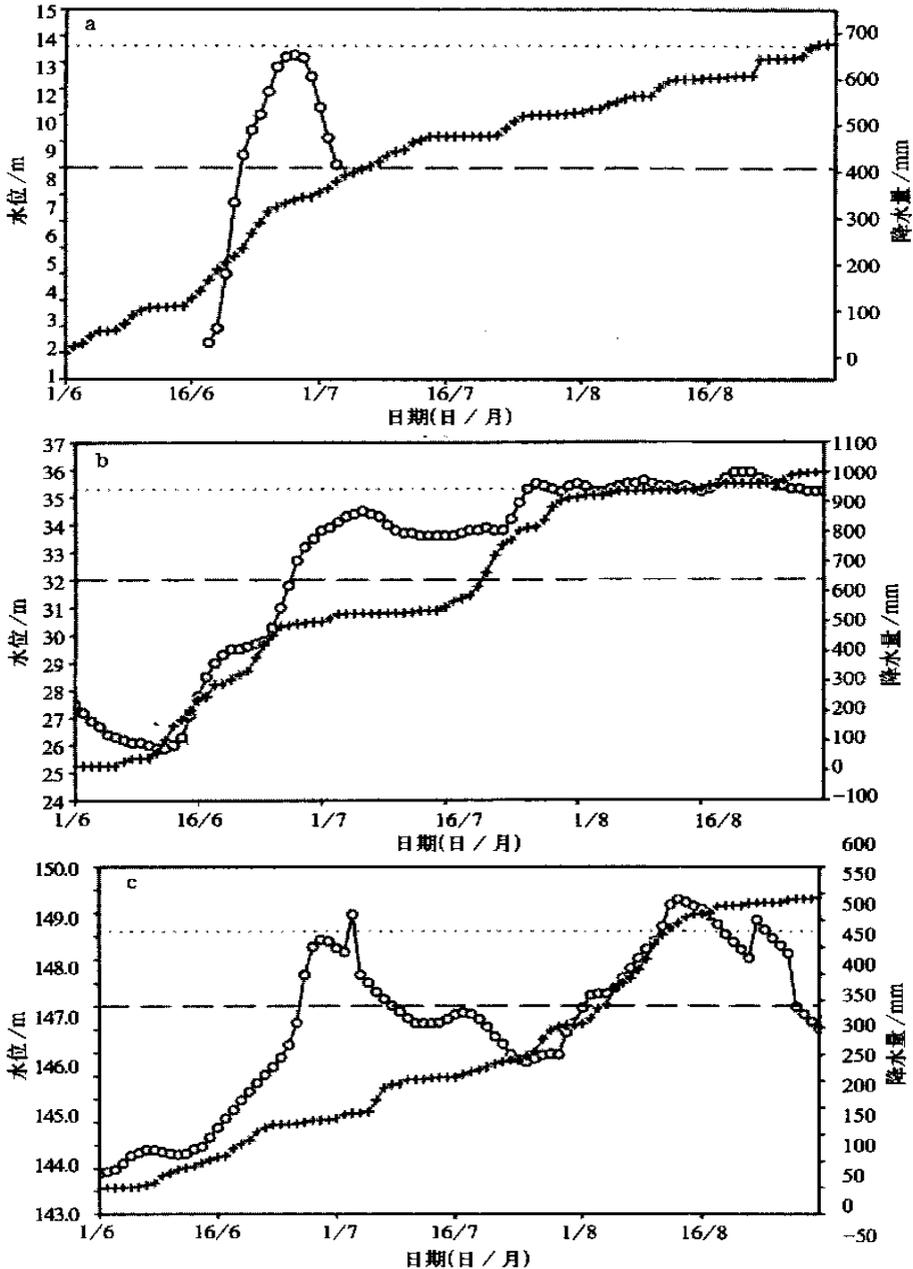


图9 1998年夏季(6~8月)珠江(a)、长江(b)、嫩江、松花江(c)流域平均逐日累积降水量(单位:mm,图中+字线)和高要(a)、城陵矶(b)、齐齐哈尔(c)水位(单位:m,图中空心圆线)(图中长虚线为警戒水位,点线为历史最高水位,高要水位资料仅限于6月18日~7月3日)

## 4.2 长江流域水文特征

1998年6月12~28日长江流域出现了第一段梅雨(图1b),持续性暴雨主要出现在长江中游的江西省和湖南省。由于1998年初春我国南方异常多雨,许多江河、湖泊在汛期之前水位就已经较高,受这段强降水的影响,长江干流、支流、洞庭湖、鄱阳湖等出现了洪涝。图9b是1998年夏季长江流域16个站平均逐日累积降水量和长江中游城陵矶的逐日水位变化图。可以看出,随着6月中旬梅雨期强降水的开始,城陵矶水位迅速上涨,6月27日超过警戒水位。7月2日长江第一次洪峰通过湖北省宜昌市,城陵矶水位接近1996年出现的历史最高水位。受长江上游来水及洞庭湖、鄱阳湖水系的共同影响,长江中下游水位在6月底全线超过警戒水位,7月初接近历史最高水位。

在梅雨中断的20天,虽然长江中、下游降水较少,但长江上游仍有中到大雨,局地大雨,7月18日长江第二次洪峰通过宜昌。7月下旬长江中游出现了第二次持续性强暴雨(图1b)。由于第一段梅雨期暴雨已经使土壤水分饱和,长江干流及洞庭湖、鄱阳湖的水位均已很高,第二段梅雨期的持续性强暴雨只能作为径流进入湘江和赣江,并进入洞庭湖和鄱阳湖,最后流入长江,加剧了长江水位的迅猛上涨。7月25日长江上游的第三次洪峰通过宜昌,来自洞庭湖水系、鄱阳湖水系的洪水与长江上游来的洪水相遇,雨洪重叠,使得长江中游水位又继续上涨,于7月底接近或超过历史最高水位。7月26日城陵矶水位(图9b)达35.4 m,超过了35.31 m的历史最高水位。

8月以来,长江上游的四川、重庆等地降水频繁,致使洪水迭起,8月7日、12日、15日、25日和31日在长江上游出现了5次洪峰。长江上游的5次洪峰下泻,维持了长江中游的高水位,长江干流宜昌以下河段8月一直持续超过或接近历史最高值的高水位。其中,监利、城陵矶、九江分别超过历史最高水位1.25 m、0.63 m、0.83 m。高水位使长江中游多次出现险情,8月3日湖北嘉鱼出现溃堤,8月7日江西九江出现溃堤。

## 4.3 嫩江、松花江流域水文特征

1998年夏季嫩江流域降水强度大、持续时间长,出现了建国以来最大的降水,引发了百年一遇的特大洪水。1998年夏季嫩江流域雨季开始早,5月下旬受冷涡影响,松嫩平原持续降水,局部下了暴雨。6月上旬中期至下旬中期嫩江流域出现连续性降水,部分地区出现暴雨(图1c)。持续性强降水使得嫩江干、支流河水上涨,9条支流的洪水不断流入嫩江干流。6月27日嫩江出现第一次洪峰,流量达8300 m<sup>3</sup>/s。从1998年夏季嫩江流域16个站平均逐日累积降水量和嫩江中游齐齐哈尔水位(图9c)可以看出,嫩江中游齐齐哈尔水位6月以来不断上涨,在6月27日第一次洪峰经过时,水位上涨了1.04 m,并超过警戒水位。7月3日齐齐哈尔水位涨至148.98 m,超过1969年9月的历史最高水位0.37 m。7月底到8月初,嫩江流域再次爆发了持续性强降水(图1a),降水强度较第一阶段(6月上中旬)强。强降水也由嫩江上游的甘河、拉漠河、乌裕尔河一带逐渐移至下游的绰儿河等地。洪水不断迭加,7月30日、8月12日、16日嫩江流域分别出现了第二、第三、第四次洪峰。受干流及支流超过历史记录的降雨及洪水的影响,嫩江干流7月底水位复涨,8月嫩江干流的全盟、齐齐哈尔、江桥、大赉等站均出现历史最大洪水。齐齐哈尔水位于7月26日再次上涨,8月2日超过警戒水位,8月11日超过历史最高水位。8月13日齐齐哈尔水位高达149.30 m,比历史最高水位高出0.69 m,再创历史新高。持续性高水位使

嫩江流域干、支流河堤多次决口。

## 5 结 论

本文分析了1998年夏季我国洪涝灾害的气象和水文特征及其造成这次洪涝灾害的原因。1998年我国洪涝灾害主要发生在长江、嫩江及珠江流域的西江。长江流域持续性强降水集中在6月中下旬和8月下旬;嫩江流域持续性强降水集中在6月中下旬和8月上中旬;华南西江在6月上中旬出现了持续性大暴雨。持续性强降水多次引起洪峰,暴雨和洪水迭加,长江、嫩江、西江水位猛涨,许多地区水位超过或接近历史最高水位。持续性高水位使一些江段决堤,引发了百年一遇的大洪水。

1998年的严重洪涝还与水文、气象条件有关。1998年冬春季长江以南降水量为正距平,在梅雨开始前,长江以南的江河水位已经很高,加上土壤水分接近饱和,使珠江和长江的洪涝加剧。嫩江流域6、7月的持续性降水使得8月初出现强暴雨后,大量降水流向嫩江,造成强洪峰。

我国长江流域持续性强降水是多种尺度相互作用的结果,受副热带高压、南海季风涌、中高纬冷空气和青藏高原MCS等4方面的共同影响,这4个影响因子的最佳组配有利于出现持续性强降水。1998年夏季西太平洋副热带高压位置偏南,7月下旬副高南落,引发了长江流域的“二度梅”。来自北方的冷空气,与来自孟加拉湾、南海、赤道太平洋的季风涌在华南和长江以南交汇,是造成6月中下旬、7月下旬我国华南、长江流域持续性强降水的主要原因。8月上半月,亚洲高纬度地区维持阻塞形势,在 $40^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ ,鄂霍次克海以西是一稳定的阻塞高压,贝加尔湖到我国东北地区有一切断低压。由于切断低压东侧的高压脊稳定、少动,低压后部的西北气流引导的冷空气和副高西北侧的西南气流引导的暖湿气流一直在嫩江、松花江流域交汇,造成了嫩江、松花江流域罕见的强降水。

1998年夏季我国同时发生南、北大范围的洪涝灾害是历史上罕见的。1998年嫩江、松花江流域的特大洪涝灾害是百年一遇的;长江流域在1788~1998年的211年间出现了7次(1788、1860、1870、1931、1935、1954、1998年)类似1998年的特大洪涝灾害<sup>[10]</sup>,其中1870年的灾害最严重,其次分别是1954、1931和1998年,值得对这4次洪涝灾害作一比较分析。根据概率统计,长江流域发生特大洪灾的概率在3%左右,可以推断,在未来的21世纪,长江流域可能会发生1~3次特大洪涝灾害。就两个独立事件而言,松嫩江流域、长江流域同时发生特大洪涝灾害的概率将小于1%。本文仅从大尺度环流和水文特征对1998年洪涝灾害作了概括性论述,没有涉及中、小尺度天气系统对1998年暴雨的作用,希望有人在这方面作深入分析。

致谢:袁恩国、黄忠恕先生提供了1998年长江流域的水位资料,孙永罡、白人海、李帅先生提供了1998年嫩江流域的水位资料,梁暖培先生提供了1998年广东高要站的水位资料。在此一并致谢。

## 参 考 文 献

1 陶诗言,张庆云,张顺利.1998年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件.气候与环境研究,1998,3(4):

- 290 ~ 299 .
- 2 黄荣辉,徐予红,王鹏飞,周连童.1998年夏长江流域特大洪涝特征及其成因探讨.气候与环境研究,1998,3(4):300 ~ 313 .
- 3 赵思雄,孙建华,陈红,张凤.1998年7月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究.气候与环境研究,1998,3(4):368 ~ 381 .
- 4 张顺利,陶诗言.青藏高原对1998年长江流域天气异常的影响.气象学报,2001,待发表 .
- 5 张庆云,陶诗言,张顺利.1998年嫩江松花江流域持续性暴雨的大尺度环流条件.大气科学,2001,25(4):567 ~ 576 .
- 6 丁一汇,薛纪善,王守荣,等.1998年亚洲季风活动与中国的暴雨/洪涝.见:丁一汇主编.南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用.北京:气象出版社,1999.1 ~ 4 .
- 7 Tao S Y, Chen L. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. Monsoon Meteorology. Oxford University Press, 1987. 60 ~ 92 .
- 8 陈隆勋,金祖辉.夏季东亚季风环流系统中期变化的南北半球相互作用.全国热带夏季风学术会议文集.昆明:云南人民出版社,1983.218 ~ 231 .
- 9 Zhu Qiangen, He Jinhai, Wang Panxing. A study of circulation difference between East-Asian and Indian summer monsoons with their interaction. A. A. S., 1986,3: 446 ~ 477 .
- 10 栗珂.长江流域特大洪灾发生概率的统计推断.暴雨.灾害,1999,(1):72 ~ 78 .

## METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF SEVERE FLOODING IN CHINA DURING THE SUMMER OF 1998

Zhang Shunli Tao Shiyan Zhang Qingyun Zhang Xiaoling  
(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

### Abstract

An extremely great flood occurred over the Yangtze River, Nenjiang-Songhuajiang regions, and Pearl River during the summer of 1998, its meteorological and hydrological characteristics and causes are presented. Pearl River, Yangtze River, Nenjiang-Songhuajiang basins had successive heavy rains in the second half of June. Yangtze River valley experienced the second period of the Meiyu in the last ten-day period of July. Heavy rainfalls centered in Zhalantun were observed over Nenjiang-Songhuajiang regions in first half of August. Frequent heavy rainfalls brought about the rapidly rising water level in most part along the middle reaches of Yangtze, Nenjiang, and Pearl River, and led to the greatest floods in the recent 100 years. The southward shifted subtropical high over the West Pacific was responsible for the second period of Meiyu. The right mixture of subtropical high, monsoon swell from South China Sea, cold air mass coming from mid-high latitudes, and MCSs from the Tibetan Plateau contributed to successive heavy rains over the Yangtze River valley.

**Key words:** Yangtze River Nenjiang River Pearl River Flash flood Meteorology Hydrology Monsoon swell