

1998 年夏长江流域特大洪涝特征 及其成因探讨*

黄荣辉 徐予红 王鹏飞 周连童

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 利用实际观测资料来分析 1998 年夏发生在长江流域特大洪涝的气候与水文特征, 并探讨其成因。分析结果表明, 造成 1998 年夏长江流域特大洪涝的成因可能是: 在 ENSO 循环中 El Niño 事件由成熟期转变为衰减期时热带太平洋海温, 特别是热带西太平洋次表层海温变冷, 菲律宾周围对流活动减弱, 致使西太平洋副热带高压位置偏南, 从而使亚洲夏季风从孟加拉湾、南海携带大量的水汽和热带西太平洋以及西风带来的水汽先在长江中、下游, 后在长江中、上游流域辐合, 造成长江流域的持续性强降水。

关键词 长江流域 特大洪涝 成因

1 引言

长江是中国第一大河, 其流域西起青海、西藏, 东到江苏、浙江, 包括其支流, 其流域涉及中国 18 省市, 约覆盖了 180 万 km^2 的国土。长江沿江地区地理位置优越、雨量充沛、资源丰富、经济发达, 仅其干流沿江地区的工农业总产值就约占中国工农业总产值的 40%。

长江流域由于受东亚夏季风的影响, 其中、下游降水多集中在 6、7 月, 而中、上游地区降水集中在 7、8 月份。由于降水比较集中, 加上暴雨的影响, 长江流域经常发生洪涝。按黄荣辉、郭其蕴等^[1]的统计, 长江中、下游地区为中国洪涝多发区, 大约 2~3 年发生一次洪涝灾害。长江流域的洪水约 90% 以上来自于湖口以上的中、上游流域, 特别是宜昌以上的上游流域, 其水量几乎占长江总水量的 50%。

1998 年夏, 长江流域发生了 20 世纪以来仅次于 1954 年的全流域特大洪涝, 包括嫩江流域, 受灾面积 2.1×10^7 ha, 约 3000 人死亡, 造成了约 2600 亿元的巨大经济损失。造成这次特大洪涝的直接原因是由于亚洲季风异常而使汛期降水比常年增多 1.0~1.5 倍。为什么会引起今年汛期长江流域夏季风降水不仅持续时间长, 而且强度大? 这是值得好好研究的一个重要科学问题。为此, 本文利用实际观测资料来分析 1998 年夏长江流域降水与洪水特征, 其发生的气候背景以及成因, 特别是从 ENSO 循环的阶段和季风对水汽输送的异常来探讨 1998 年夏季长江流域特大洪涝的成因, 并对这次洪涝的预测情况也做简单的回顾。

1998-11-10 收到

* 国家攀登项目“气候动力学和气候预测理论的研究”和国家自然科学基金项目 49635180 联合资助

2 1998 年夏长江流域的特大洪涝的特征

1997 年冬到 1998 年春, 由于受到 ENSO 事件的影响, 中国华南、江南北部和长江流域中游发生了持续性强降水, 降水量比常年多了 100%~150%, 使这些地区发生了春涝, 也使长江干、支流和沿江湖泊水位处于异常高水位; 并且, 由于受 ENSO 循环衰减阶段热带太平洋海温和青藏高原积雪的影响, 1998 年夏长江流域发生了 20 世纪仅次于 1954 年名列第二的特大洪涝。这次特大洪涝主要特征如下:

2.1 1998 年夏长江流域的降水特征

图 1 是 1998 年夏季 (6~8 月) 中国降水距平分布图。从图 1 可以清楚看到, 1998 年夏季中国降水距平有两个超过 100% 大的正值区: 一个位于鄱阳湖、洞庭湖和湘、资、沅、澧流域; 另一个位于嫩江流域。在鄱阳湖、洞庭湖和湘、资、沅、澧流域汛期总降水量达到 1000~1200 mm 左右, 不及 1954 年汛期总降水量, 1954 年夏季长江流域汛期总降水量达到近 1600 mm, 有的地区甚至达到 2000 mm, 其降水距平近 200%。

图 2a、b、c 分别是中国 1998 年夏季 6、7、8 月份月降水距平分布图。从图 2a 可以看到, 6 月份最大降水距平位于长江中、下游, 距平值达 100% 以上, 其中心位于鄱

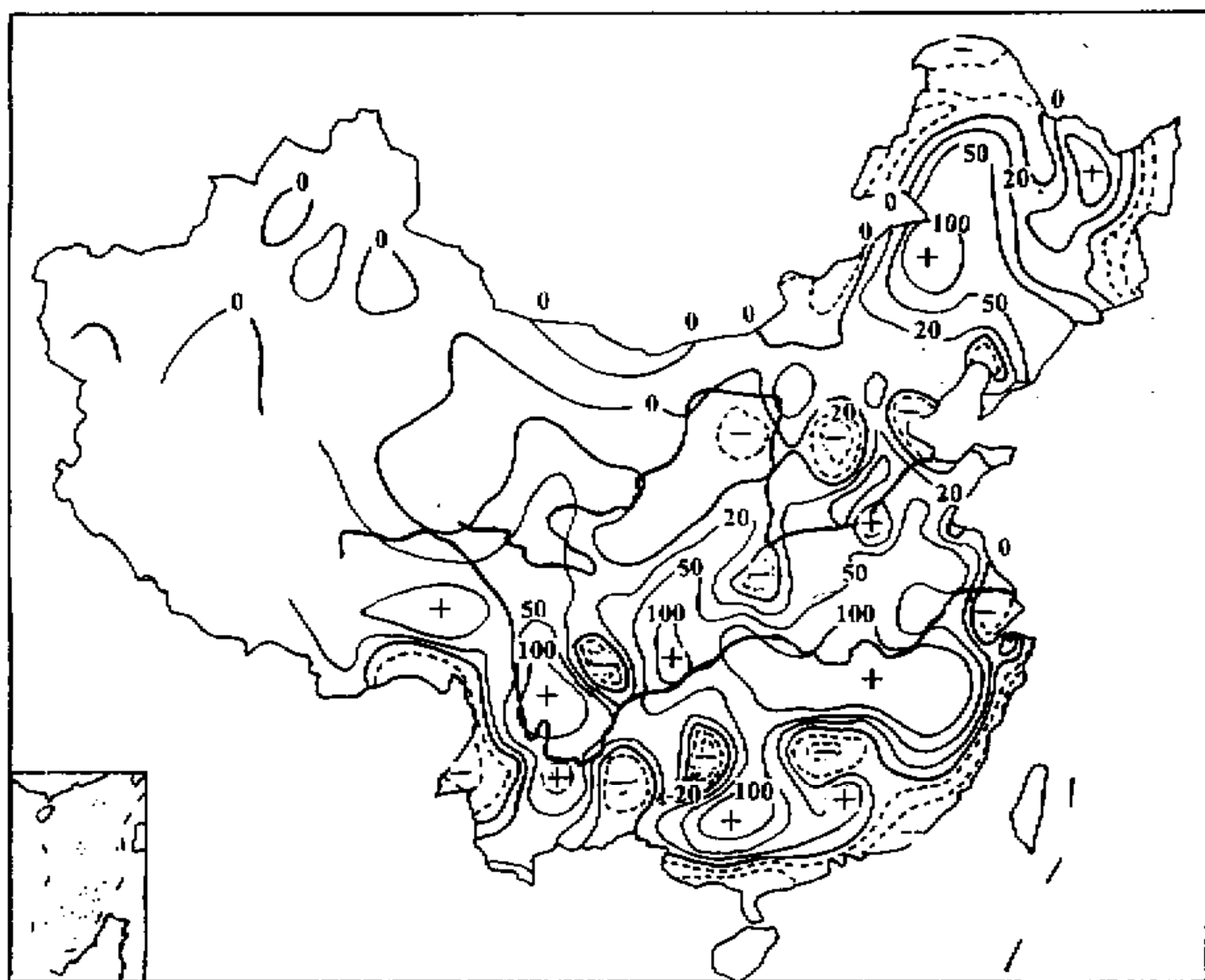


图 1 1998 年夏季 (6~8 月) 中国降水距平百分率分布

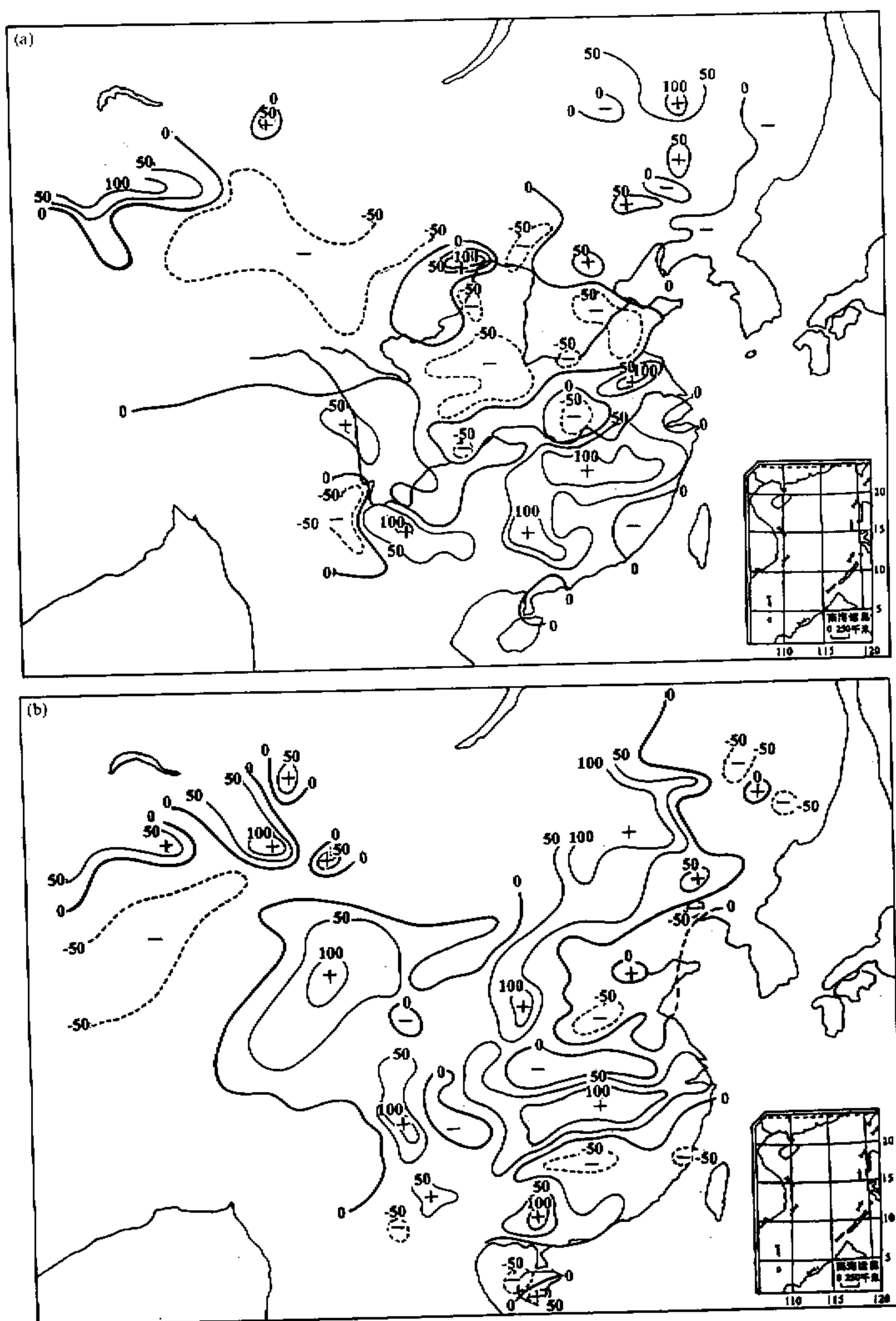


图2 1998年夏季6月(a)和7月(b)月降水距平百分率分布

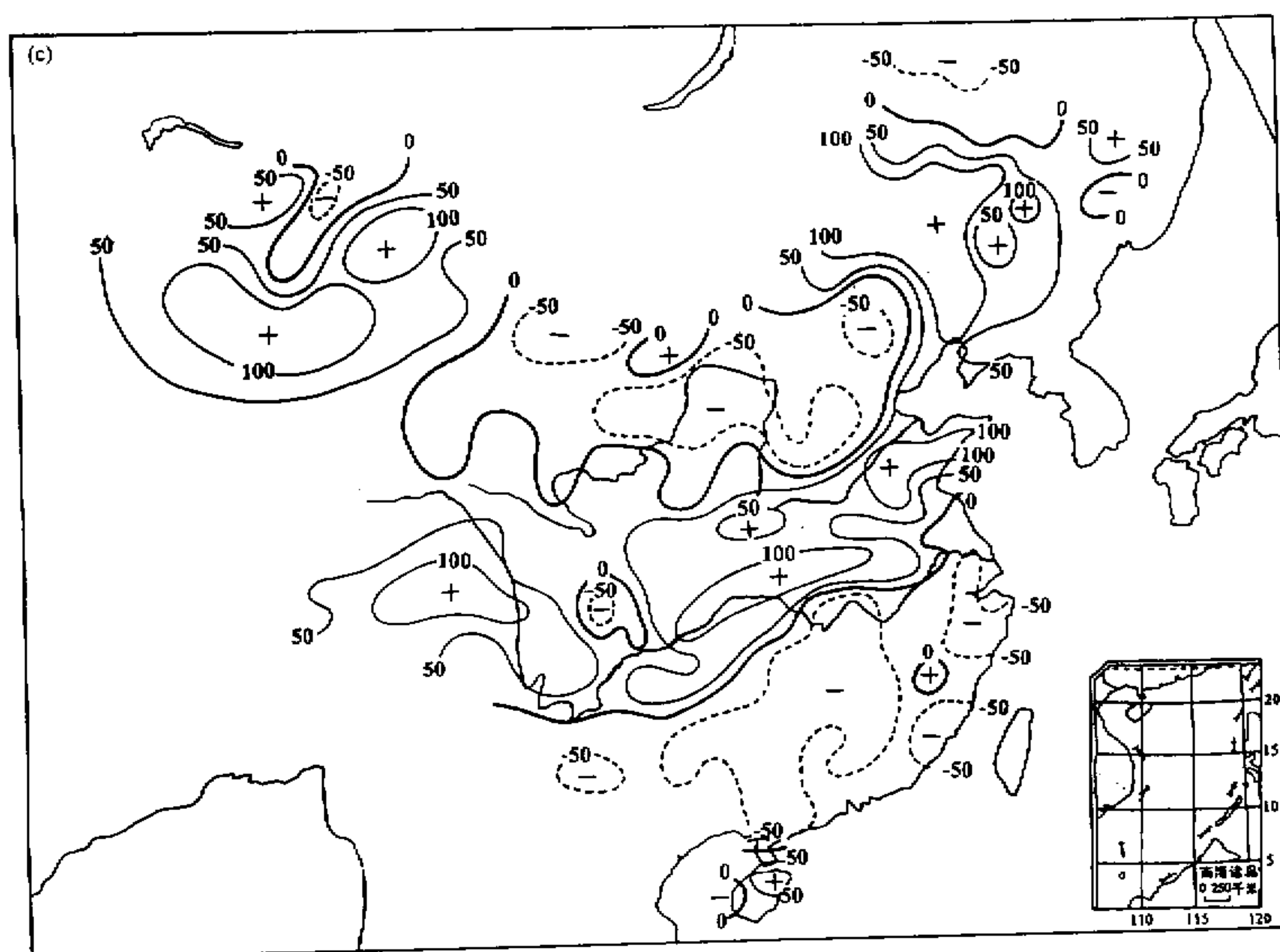


图 2 (续) 1998 年夏季 8 月 (c) 月降水距平百分率分布

阳湖、福建西北部、浙江西部, 月降水量达到 700 mm 以上, 造成了鄱阳湖流域特大洪涝; 从图 2b 可以看到, 7 月份最大降水距平也达到 100% 以上, 位于长江中、上游, 其中心位于洞庭湖和湘、资、沅、澧流域和青藏高原东部, 并且在内蒙古东部和东北西部也有一个降水距平中心。在洞庭湖和鄱阳湖流域月降水量达到 500 mm 以上, 造成了严重洪涝。这是由于西太平洋副热带高压从 7 月 20 日南撤西伸, 使雨带再一次在长江中、上游维持所造成。从图 2c 可以看到, 8 月份最大降水距平也达到 100% 以上, 位于长江中、上游, 汉江流域和东北西部和中部, 月这些地区的降水量达到 200~300 mm 以上, 在长江中、上游、东北西部继 7 月份造成持续性严重洪涝, 并且在汉江流域也发生严重洪涝。

1998 年夏降水特点是: 汛期长江流域发生了“二度梅”, 从 6 月中旬到下旬, 从 7 月 20 到 8 月底, 强季风降水先发生在中、下游, 而后发生在中、上游, 而且出现暴雨的天数多。由于这些地区已发生了春涝, 在 6 月中旬又发生了持续性强降水, 涝上加涝, 这样在中、下游地区, 特别是鄱阳湖、洞庭湖流域产生了严重洪涝。在这些河段, 长江无论是干流还是支流在春季水位都已很高, 到了 6 月中旬, 这些流域又发生了持续性强降水, 致使河水猛涨, 洪水位异常高; 从 7 月 20 日开始一直到 8 月底, 在长江中、上游又发生了持续性强降水, 并且由于上游地区是高原和山区, 降水又是以暴雨形

式居多，这样容易产生洪水，致使从7月下旬起长江中、上游河水猛涨；到了8月中、下旬，除长江中、上游持续强降水外，汉江流域又发生了强降水，使中游地区再度发生严重洪涝，由于中、下游水位从6月中旬已异常高，加上上游异常来水，本区域又严重洪涝，这就产生了洪水遭遇，导致了连续产生了5次洪峰。因此，1998年长江中、上游的持续强降水应是1998年夏长江特大洪涝的主要原因。

2.2 1998年长江流域特大洪涝的水文特征

由于先是中、下游，后是中、上游异常持续性强降水的影响，1998年夏季长江干流产生了8次洪峰，发生了仅次于1954年夏的洪水。图3是发生在20世纪长江流域全流域3次（1931、1954和1998年）特大洪涝汉口站的最高水位及其流量。可以看到，1998年无论洪水水位和流量应是20世纪第二大的特大洪涝。1998年夏汉口站的长江水位达到29.43 m，流量为 $7.23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ ，而1954年达到29.73 m，流量为 $7.61 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ ，1931年达到28.28 m，流量为 $5.99 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。从图3还可以看到，20世纪汉口站长江干流3次特大洪涝最高洪水位均发生在8月中旬末，这反映出由于受季风的影响，长江中、上游最大强降水一般发生在8月中旬。

下面让我们详细分析1998年夏长江干流各主要测站的水位情况。表1是1998年夏长江干流各主要测站的最高水位和出现时间。

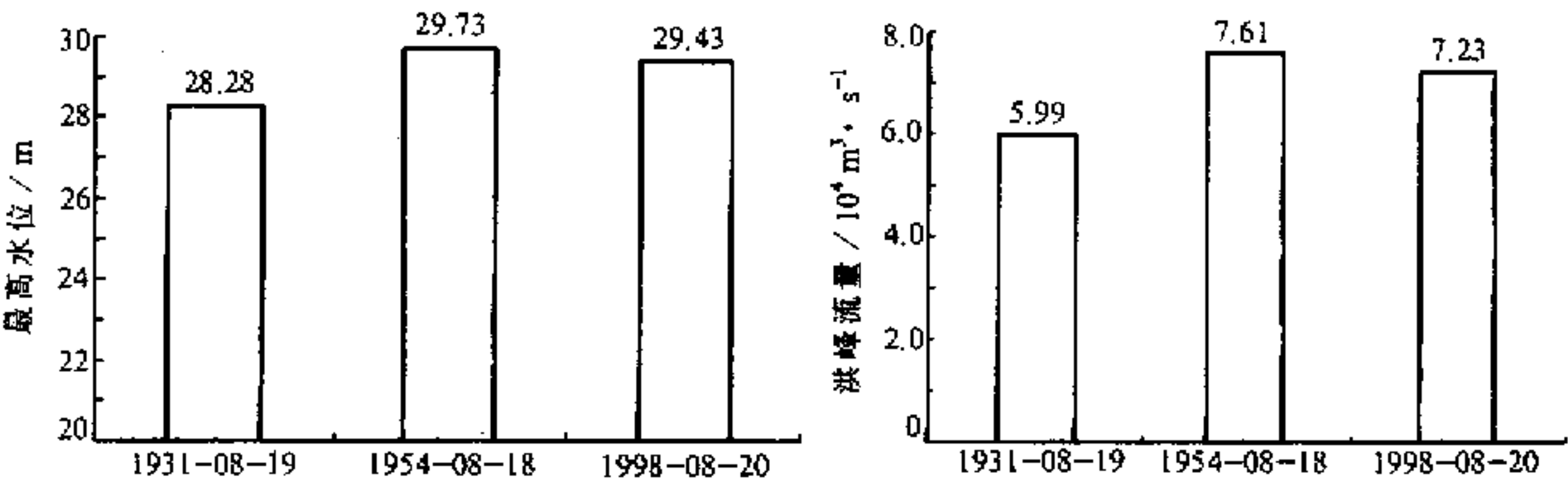


图3 20世纪长江流域3次特大洪涝汉口站的最高水位(a)与洪峰流量(b)

表1 1998年夏长江干流各主要水文站测得最高水位和出现时间

站 名	1998 年		历史		警戒水位 / m	超警天数 / d
	最高水位 / m	出现时间	最高水位 / m	出现时间		
宜 昌	54.49	1998-08-17	55.92 55.73	1896-09-06 1954-08-07	52.0	35
沙 市	45.22	1998-08-17	44.67	1954-08-07	43.0	47
监 利	38.31	1998-08-18	37.06	1966-07-25	34.5	58
城陵矶	35.94	1998-08-20	35.31	1996-07-22	32.0	59
汉 口	29.43	1998-08-20	29.73	1954-08-18	26.3	58
九 江	23.02	1998-08-02	22.20	1995-07-09	19.5	60
湖 口	22.58	1998-07-31	21.80	1995-07-09	19.0	62

从表 1 可以看到: (1) 由于受季风降水的影响, 1998 年夏季长江干流下游的洪水最高水位出现在 7 月底到 8 月初; 而中、上游最高水位出现在 8 月 17~20 日, 高洪水位先出现在上游, 后出现在中游, 这与区域最大降水出现的时间、行洪所需时间和洪水遭遇有关; (2) 1998 年夏长江上游降水不及 1954 年, 但水位却与 1954 年相近, 宜昌 8 月 17 日最大洪峰流量为 $6.36 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$, 也与 1954 年最大流量 $6.68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ 相近, 但城陵矶以上中游河段的水位却高于历史上最高水位, 不仅高于 1996 年, 也高于 1954 年。这一方面由于长江中游湖泊面积大大减少, 另一方面也由于 1998 年没有采取分洪措施; (3) 1998 年夏季无论上游或中游的洪水位均超过警戒水位, 但中游超警戒水位的维持时间比上游长。

3 90 年代初中国夏季降水的变化趋势

为什么 1998 年夏会产生 20 世纪大的特大洪涝, 首先必须从年代际气候背景来分析, 以便了解 1998 年夏长江流域特大洪涝的气候背景。

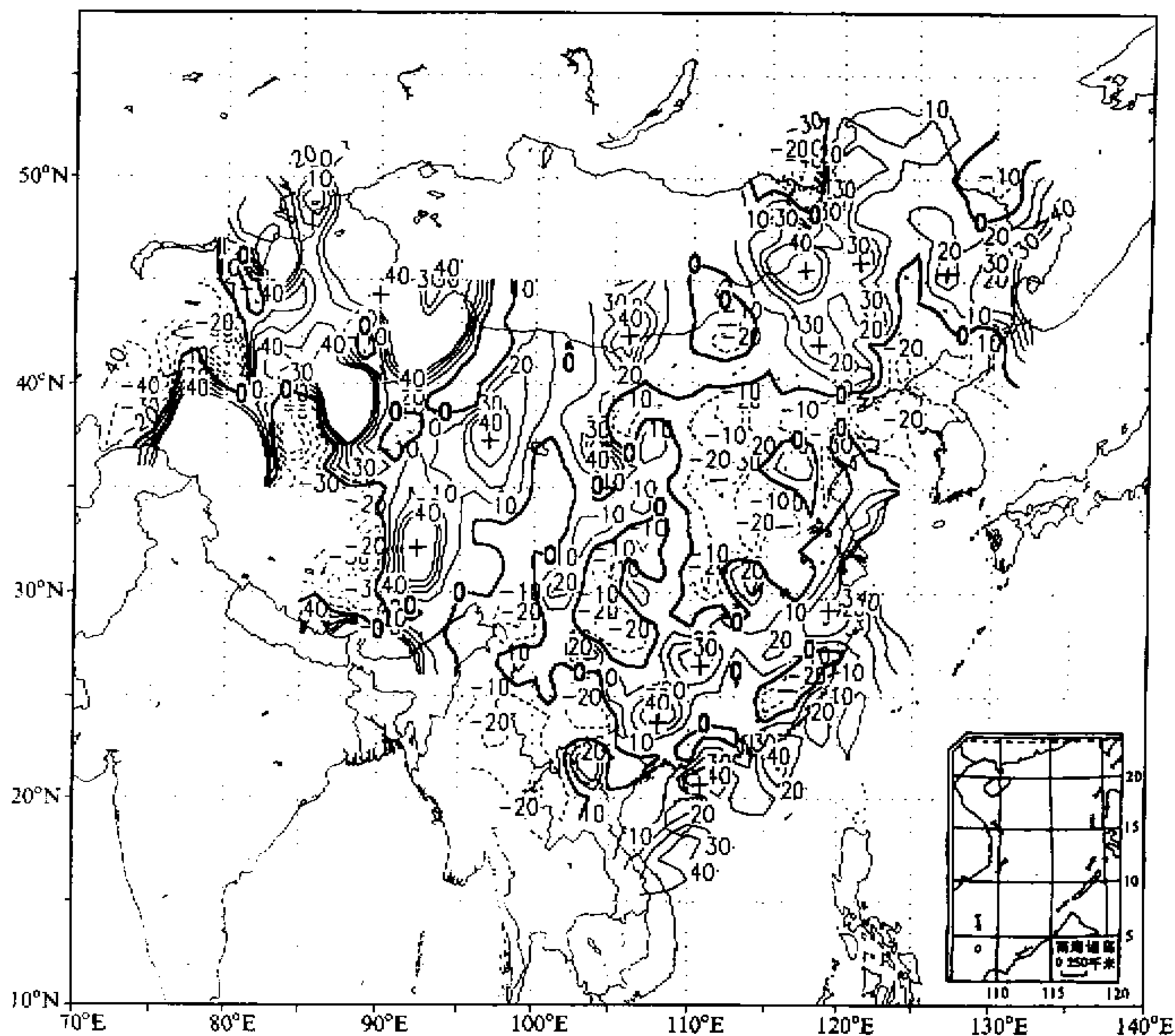


图 4 90 年代中国降水距平百分率分布

由于从 90 年代起热带中、东太平洋海表温度升高, 发生了年代际的“ENSO 现象”, 致使在 90 年代中国夏季降水距平与 80 年代的降水距平有些不同。如图 4 所示, 在华北北部的滦河流域、内蒙南部和河套地区, 降水由 80 年代的偏少变成偏多; 而在江南, 特别是鄱阳湖、洞庭湖流域降水比 80 年代增多。因此, 90 年代中国长江流域和江南地区, 特别是鄱阳湖、洞庭湖流域处于多雨期, 这种年代际的气候背景有利于鄱阳湖、洞庭湖流域和湘、资、沅、澧流域多雨。

4 1997/1998 年 ENSO 循环对 1998 年夏长江流域特大洪涝的作用

为什么 20 世纪中国长江流域 3 次特大全流域洪涝均发生在 ENSO 事件发生的第 2 年, 即 ENSO 事件的衰减期, 这是值得好好探讨的一个科学问题。

ENSO 循环的不同阶段对于中国气候异常有不同影响。黄荣辉和吴仪芳^[2]、黄荣辉^[3]分析了中国夏季季风降水年际变化与赤道中、东太平洋海温的关系, 并指出在 ENSO 循环的不同阶段, 赤道中、东太平洋的海温异常对中国夏季气候异常有不同影响。如图 5 所示, 当 ENSO 事件处于发展阶段, 即赤道中、东太平洋处于增温状态, 该年夏季中国江淮流域降水将会偏多, 而黄河流域、华北地区降水将会偏少, 往往发生干旱, 江南地区的降水也会偏少, 也可能发生干旱; 相反, 当 ENSO 现象处于衰减阶段, 即赤道东太平洋海温处于下降阶段, 江淮流域降水将偏少, 并往往发生干旱, 而黄河流域、华北地区降水将偏多, 江南、华南北部地区, 特别是洞庭湖、鄱阳湖和沅江流域的降水将偏多, 并往往发生洪涝。

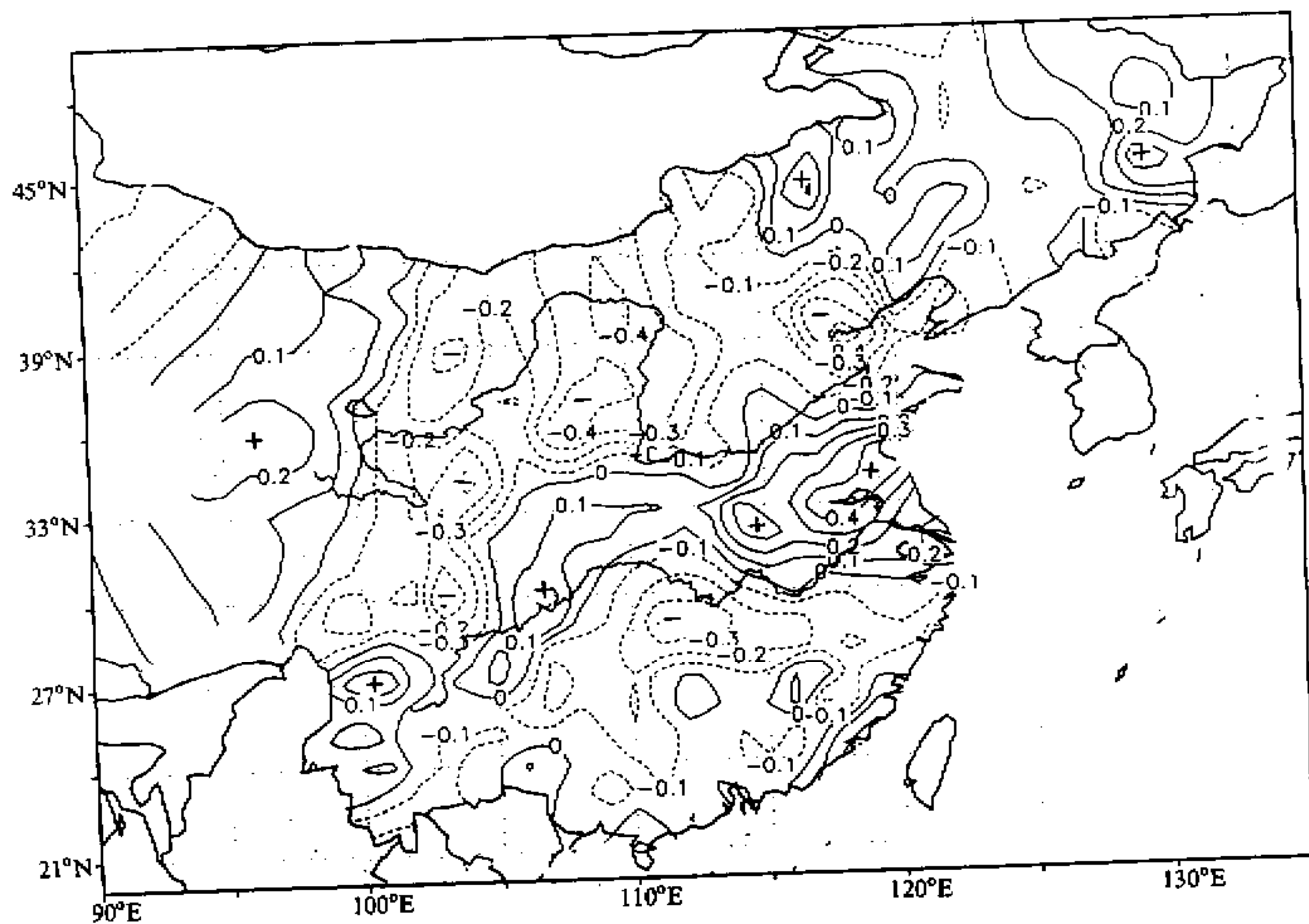


图 5 中国夏季降水距平和赤道东太平洋 Niño 3 区夏季与上一年秋季海面温度之差的相关系数分布

从图 6 可以看到, 1997/1998 年 ENSO 循环爆发于 1997 年 5 月, 到了 1997 年 10 月份 ENSO 事件发展到极盛时期。图 7 是 1997 年 10 月份太平洋海面温度 (SST) 距平的分布。可以看到, 赤道东太平洋海温距平可达到 $+4^{\circ}\text{C}$ 以上, 这是历史上最强的 El Niño 事件。然而, 这个历史上最强的 El Niño 事件到了 1998 年春很快衰减, 到了 1998 年 5 月份赤道中太平洋 SST 距平已为负, 到了 7 月份赤道东太平洋 SST 距平也为负, 这就是说 ENSO 事件已处于衰减阶段。

为了更好地分析 1997/1998 年 ENSO 循环的阶段对 1998 年夏长江流域特大洪涝的影响, 我们应用日本气象厅的气候系统监视报告^[4]的赤道太平洋次表层海温资料和射出长波辐射 (OLR) 资料。图 8 分别是 6~8 月 $5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ 平均的赤道太平洋次表层海温距平的经度-深度剖面图。从图 8 可以看到, 1998 年夏季赤道太平洋次表层的海温距平为负, 最大负距平达到 -7°C , 位于赤道东太平洋。由于赤道西太平洋次表层海温也比正常偏低, 造成热带辐合 (ITCZ) 很弱, 菲律宾周围的对流活动很弱 (见图 9)。根据 Huang 和 Sun^[5]的研究, 夏季中国长江流域的降水与菲律宾周围的对流活动有负相关的

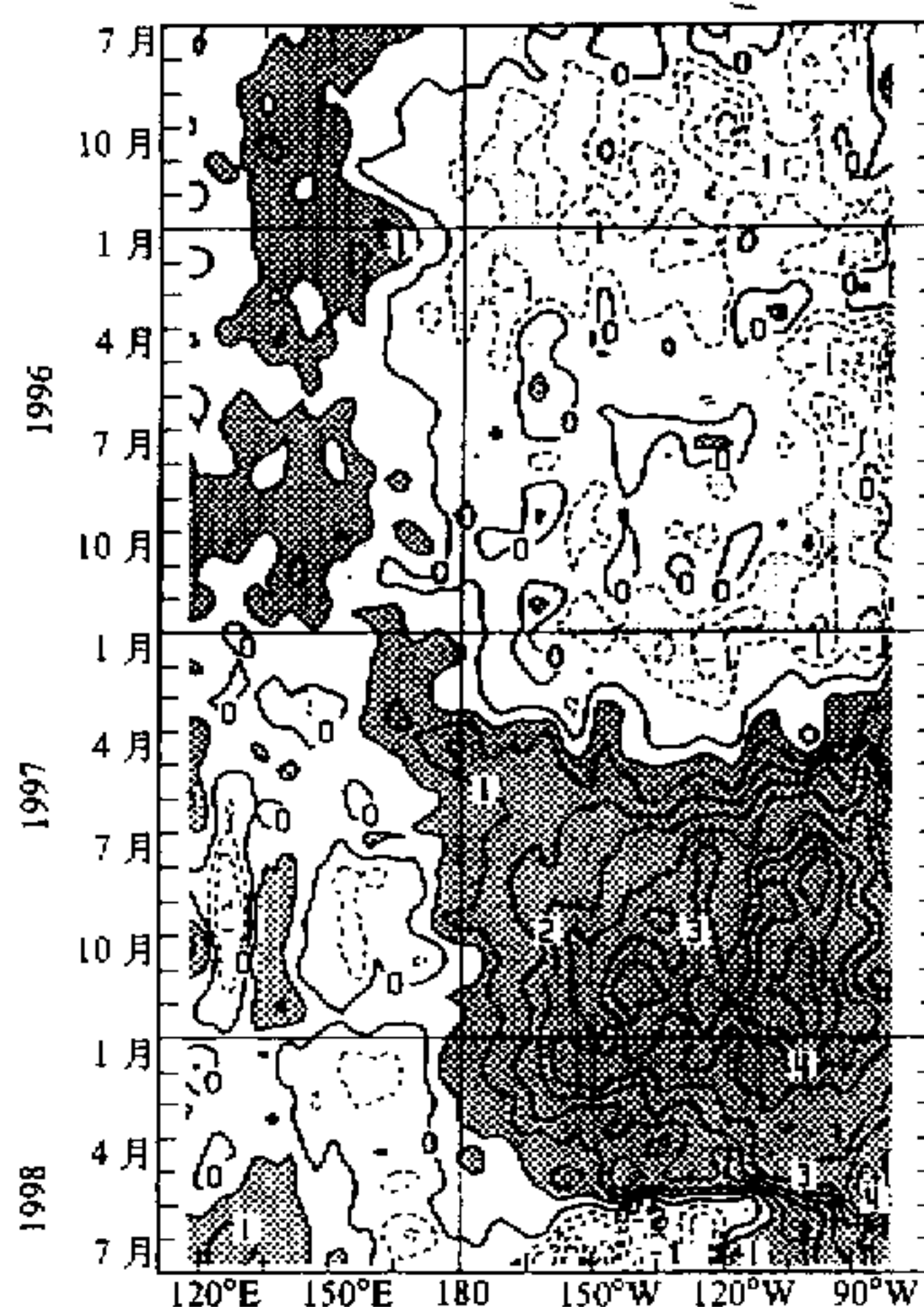


图 6 $5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ 平均的赤道太平洋 SST 距平的经度-时间剖面图
单位: $^{\circ}\text{C}$

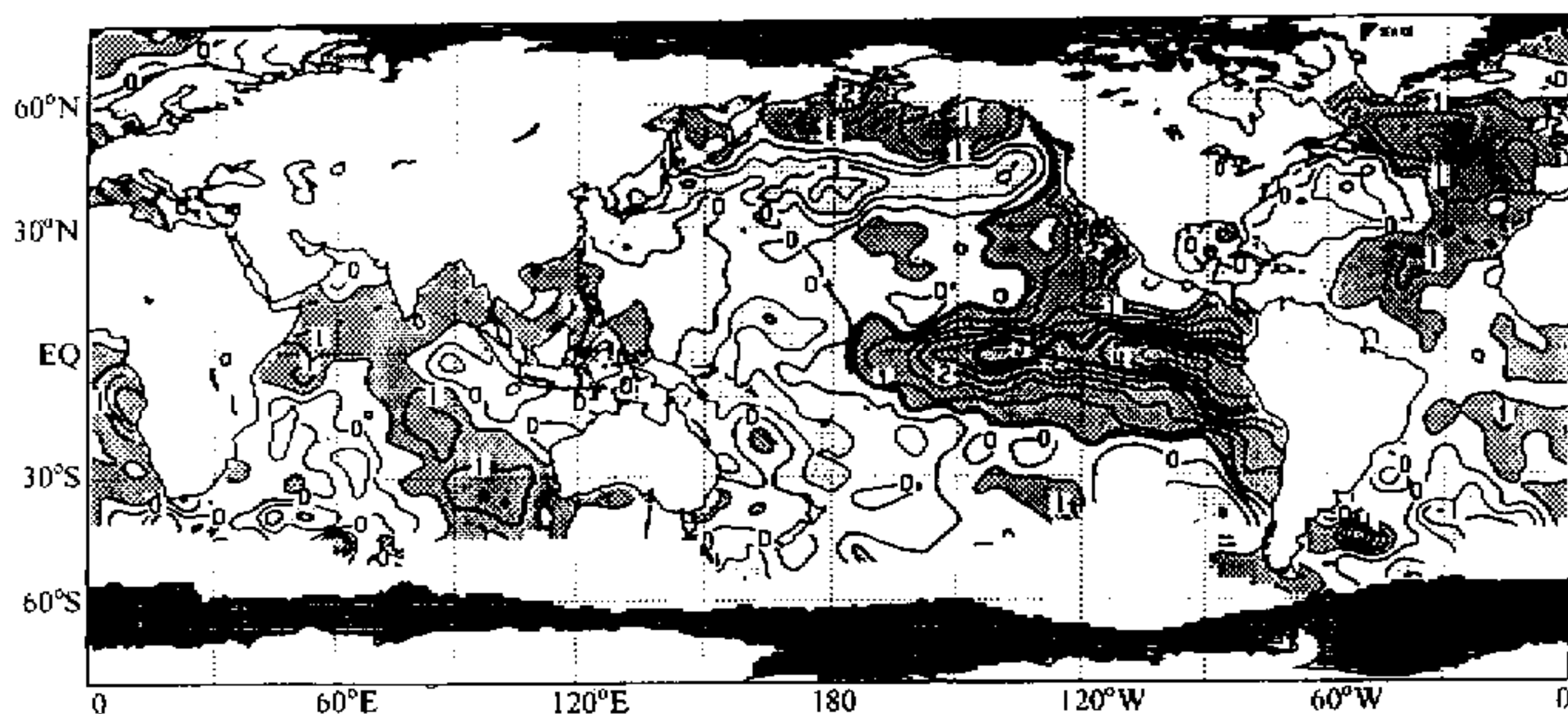


图 7 1997 年 10 月太平洋 SST 距平分布图。单位: $^{\circ}\text{C}$

关系(如图10),所以,1998年夏长江流域特别是洞庭湖、湘、资、沅、澧流域夏季有很强的降水。

5 1998年夏季亚洲季风水汽输送对长江流域特大洪涝的作用

造成1998年夏季长江流域特大洪涝的直接原因是亚洲季风异常。如图9所示,

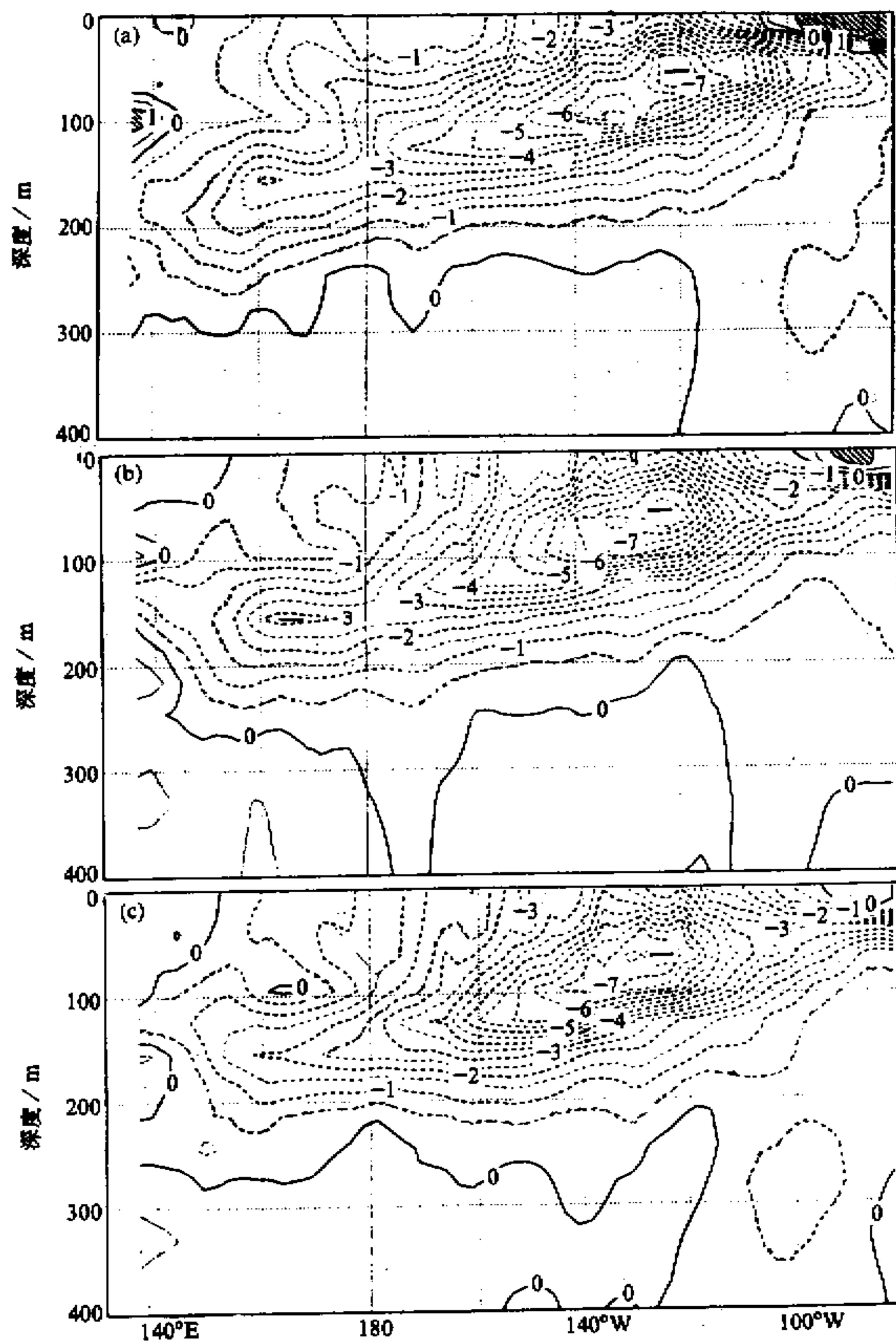


图8 1998年夏季6月(a)、7月(b)和8月(c)各月5°N~5°S平均赤道太平洋次表层海温经度-深度剖面图,单位: °C,引自文献[4]

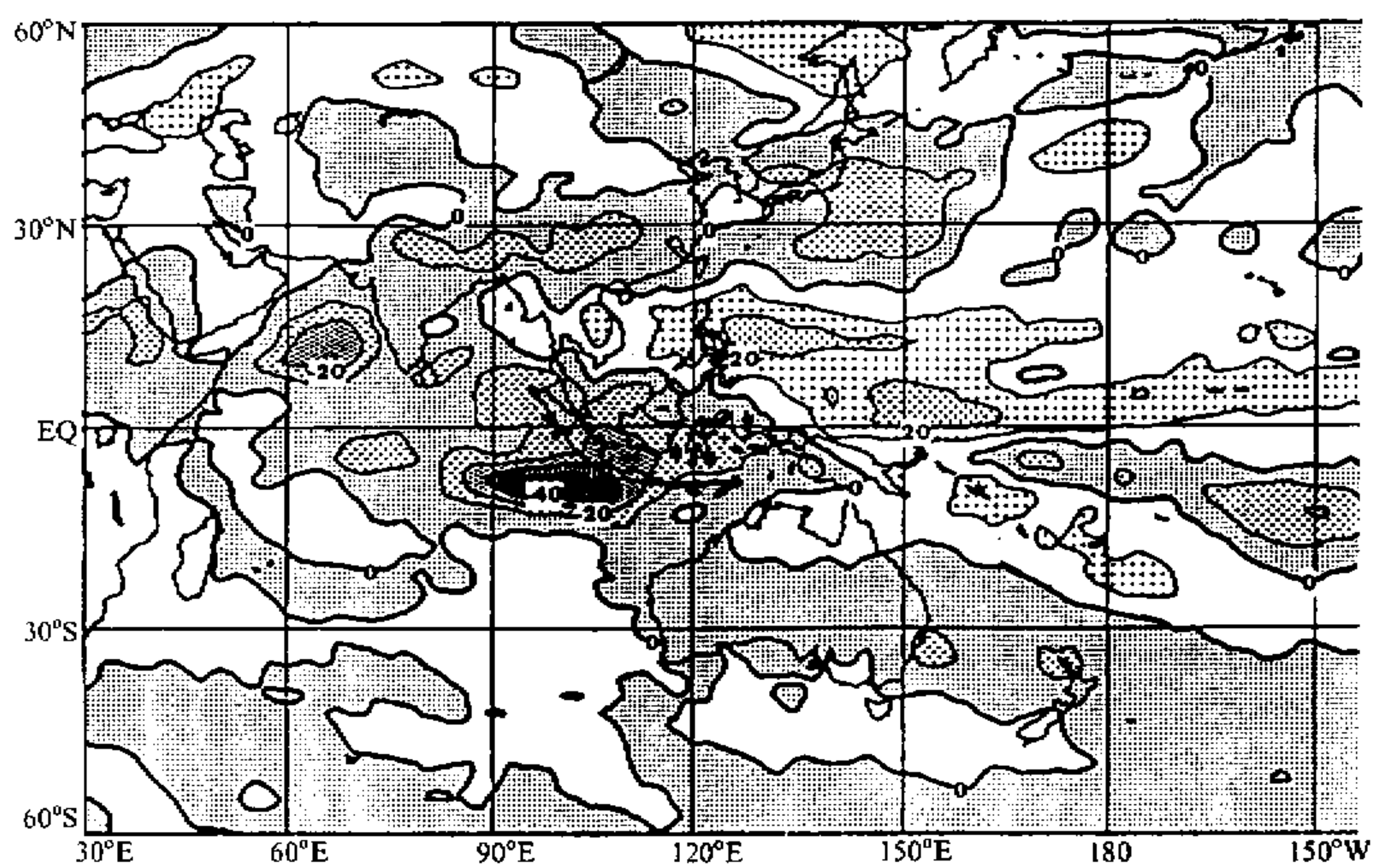


图9 1998 年夏季热带西太平洋 OLR 距平图
单位: $W \cdot m^{-2}$. 引自文献[4]

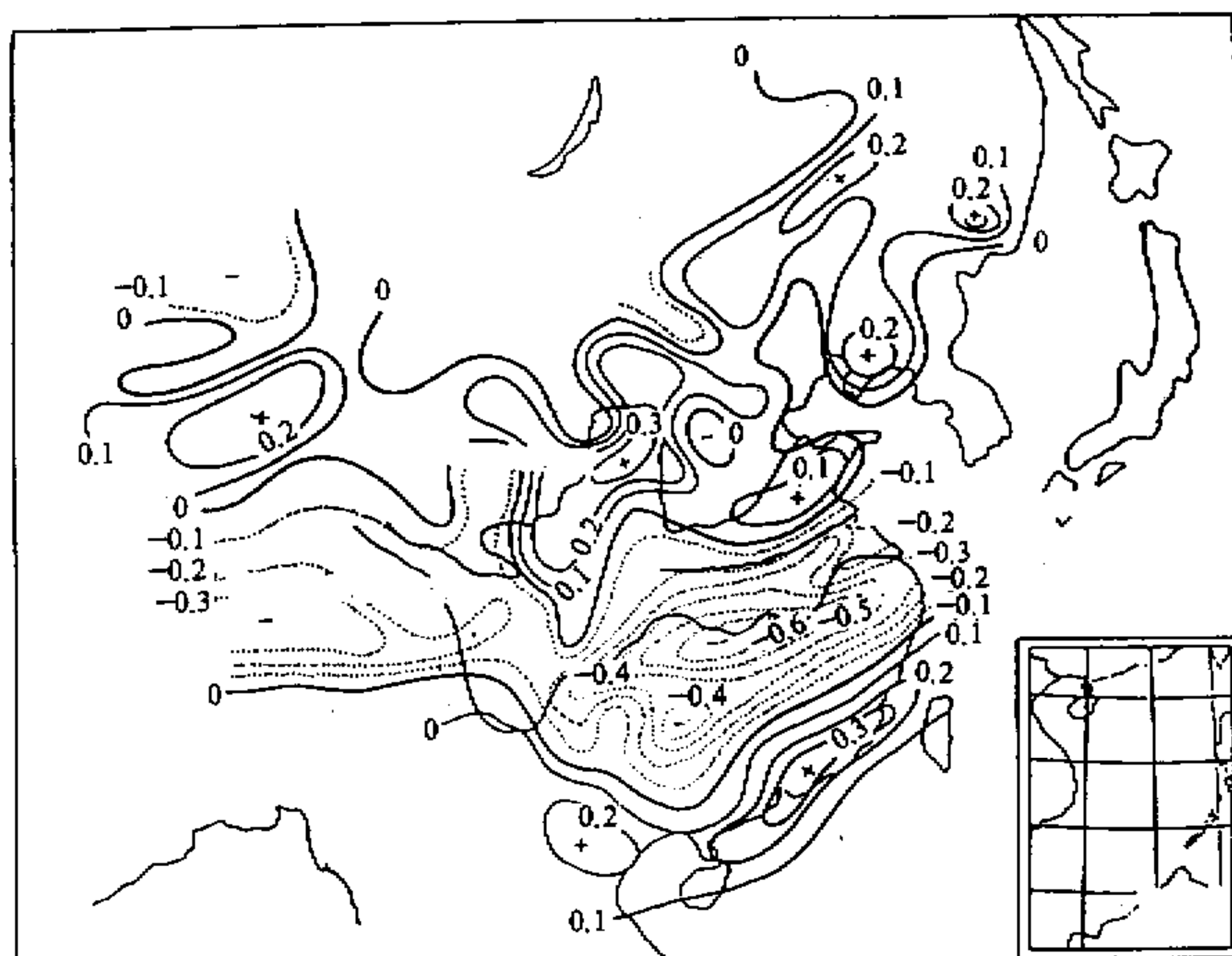


图10 中国夏季降水与菲律宾周围对流活动的相关系数分布图

1998 年夏菲律宾周围的对流活动很弱, 正如文献[5]所指出, 菲律宾周围的热带西太平洋对流活动弱, 就会导致西太平洋副热带高压偏南。图 11 是 1998 年夏季 (6~8 月) 850 hPa 高度距平分布图。从图 11 可以看到, 1998 年夏西太平洋副热带高压偏南偏西, 位于华南、南海热带西太平洋上空。这样环流形势就会造成大量的水汽汇集在长江流域。为此, 我们计算了整层水汽输送。

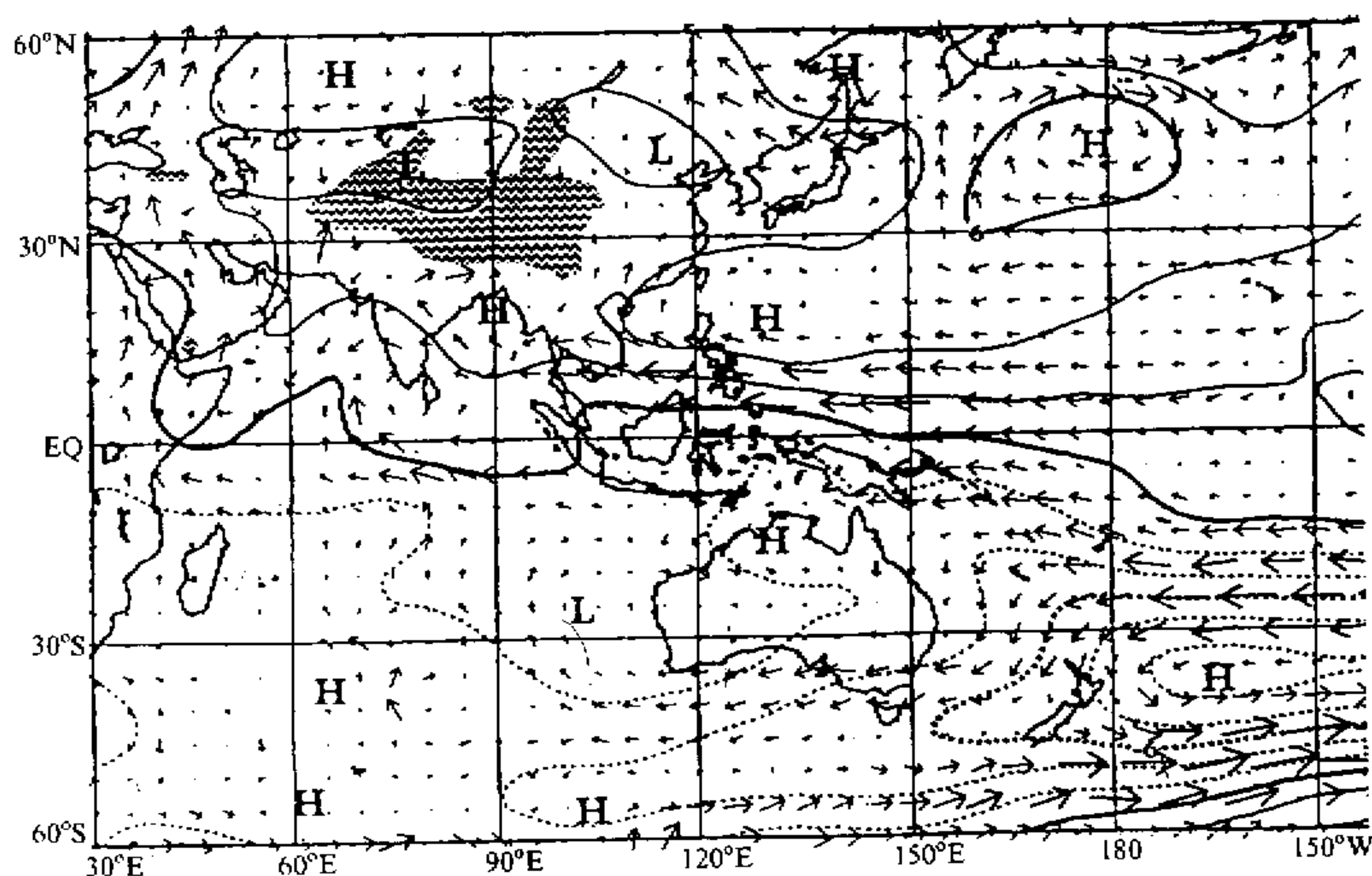


图 11 1998 年夏季 850 hPa 高度距平分布图
单位: gpm

黄荣辉等^[6]详细研究了东亚夏季风水汽输送特征, 并指出东亚夏季降水主要来自由亚洲季风所引起的水汽平流。

假设在 100 hPa 以上大气没有水汽, 则某单位气柱大气水汽输送通量矢量 $\vec{Q} = (Q_\lambda, Q_\varphi)$ 可由下式来计算:

$$\vec{Q} = \frac{1}{g} \int_{100}^{p_0} \vec{V} q dp = \frac{1}{g} \int_{100}^{p_0} (u, v) q dp. \quad (1)$$

图 12 是 1998 年夏季 6、7 和 8 月份月平均的水汽输送通量矢量分布图。从图 12a 可以看到: 6 月份大量水汽从热带印度洋、南海和热带西太平洋流向中国长江中、下游和日本南部, 并且西风带从大西洋带来的水汽也流向长江中、下游, 因此, 大量水汽在长江中、下游辐合, 这样造成长江中、下游地区持续性强降水; 从图 12b、c 可以看到, 从 7 月份到 8 月份大量水汽从孟加拉湾沿西南季风气流向长江中、下游和东北地区流, 并且从南海吹来的水汽也汇集在长江中、下游。这两支水汽输送通量矢量与西风带

的水汽输送通量矢量在长江流域中、上游和东北西北部形成两个气旋性分布, 即, 水汽输送通量矢量在这两区域形成一强辐合区, 这使长江中、上游和东北西北部形成持续性强降水, 从而使上述两区域发生特大洪涝。

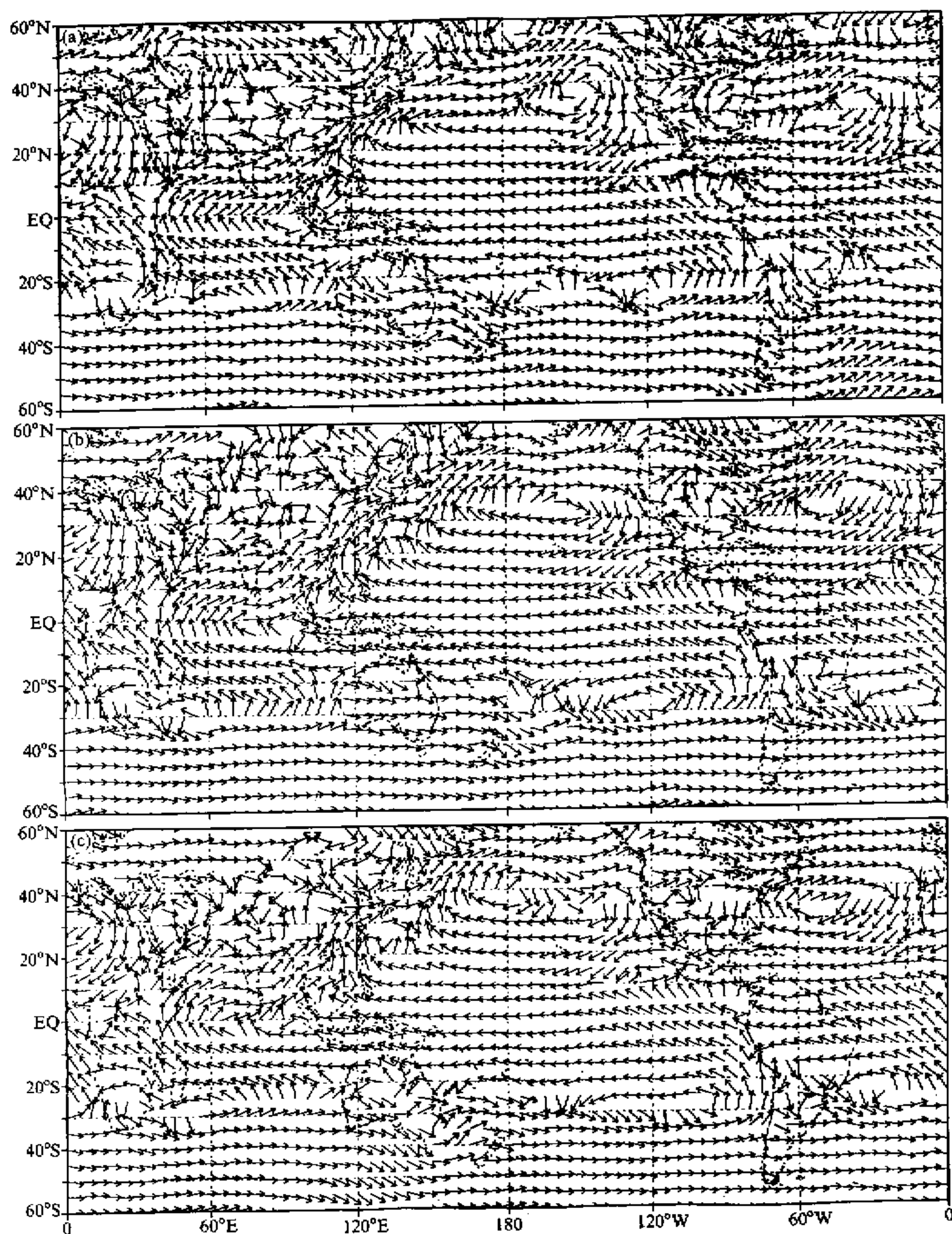


图 12 1998 年夏季 6 月 (a)、7 月 (b) 和 8 月 (c) 亚洲季风区水汽输送通量矢量分布

6 结论和讨论

本文利用 1998 年夏季中国降水、河流水位与流量的实际观测资料来分析 1998 年夏发生在长江流域特大洪涝的降水和水文特征, 指出 1998 年夏发生在长江流域特大洪涝无论降水量、水位和流量是 20 世纪仅次于 1954 年名列第二的全流域特大洪涝, 并指出这次全流域的特大洪涝主要是由于亚洲夏季风异常在长江流域中、上游形成的强降水以及强降水时空分布所造成。本文还指出, 90 年代长江流域南部处于多雨期, 这为 1998 年夏长江流域特大洪涝的产生提供气候背景。

本文利用热带太平洋海表温度和次表层温度、射出长波辐射、水汽场以及高度场分析和诊断了造成 1998 年夏长江流域特大洪涝的成因。分析结果表明: 这次长江流域特大洪涝是由于 1998 年夏处于 1997/1998 年 ENSO 循环的第 2 年, 即, 此次 ENSO 事件处于衰减期, 热带西太平洋和赤道中、东太平洋海温异常偏低, 致使菲律宾周围的热带西太平洋对流活动很弱, 从而造成副热带高压偏南。这样, 从孟加拉湾来的大量水汽沿西南季风流向长江流域并与从南海与热带西太平洋输送来的大量水汽和西风带来的水汽在长江中、上游流域辐合, 从而导致先在长江中、下游流域, 后在中、上游流域持续性强降水。

除以上原因外, 青藏高原 1997 年冬和 1998 年春异常积雪也是造成 1998 年夏长江流域特大洪涝的原因。另外, 由于生态破坏、大量水土流失和湖泊面积减少也是造成长江干流异常洪水位的原因。

参 考 文 献

- 1 黄荣辉、郭其蕴、孙安健等, 1996, 中国气候灾害分布图集, 北京: 海洋出版社, 103pp.
- 2 Huang Ronghui and Wu Yifang, 1989, The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism, *Adv. Atmos. Sci.*, 6, 21~32.
- 3 黄荣辉等, 1998, 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势, 大气科学, (即将发表).
- 4 Japan Meteorological Agency, Monthly Report on Climate System, June, July, August, 1998.
- 5 Huang, Ronghui and Sun Fengying, 1992, Impact of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, 70(1B), 243~256.
- 6 黄荣辉、张振洲、黄刚、任保华, 1998, 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, 22(4), 460~469.

The Features of the Catastrophic Flood over the Changjiang River Basin during the Summer of 1998 and Cause Exploration

Huang Ronghui

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

Abstract By use of the observational data, the climatic and hydrological features of the catastrophic flood over the Changjiang River basin during the summer of 1998 are analysed, its cause is also ex-

plored. The possible cause is shown as follows, during the transition of El Niño event from the mature stage to decaying stage in ENSO cycle, sea surface temperature in the tropical Pacific particularly sea subsurface temperature in the tropical west Pacific becomes cooler, the convection activities around Philippines decrease, thus the west Pacific subtropical high is located more southward, as a result, an abundant moisture from the Bay of Bengal and South China Sea carried by Asian summer monsoon converges with moisture from the tropical west Pacific and the westerlies first in the middle and lower reaches of the Changjiang River and then in the upper and middle reaches, causing continuously severe rainfall in the Changjiang River basin.

Key words Changjiang River basin catastrophic flood cause
