

夏季中国南方流域性致洪暴雨与季风涌的关系

陶诗言 卫 捷

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

提 要: 中国淮河以南地区夏季最易受到洪水灾害的威胁, 这种致洪暴雨一般出现在沿着河谷走向的静止锋上。在引发致洪暴雨的环流系统中, 季风涌的作用非常重要, 它提供了暴雨产生所必须的水汽。分析了 1998、2003、2005 及 2006 年中国南方流域性致洪暴雨和东亚季风涌, 以及与赤道附近大气环流的 30~60 天振荡(称作 Madden-Julian Oscillation, 简称 MJO)活动的关系。当来自赤道印度洋的 MJO 引起南海地区西风的加强; 南海西风的加强, 触发中国南部大陆出现季风涌; 季风涌与来自北方的冷空气交绥, 造成静止锋上的致洪暴雨。由此提出我国南方夏季流域性致洪暴雨中、短期预报的基本思路。

关键词: 致洪暴雨 季风涌 MJO

Correlation between Monsoon Surge and Heavy Rainfall Causing Flash-flood in Southern China in Summer

Tao Shiyan Wei Jie

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: During summer the southern part of China to the south of the Huaihe River is vulnerable to the threat of the heavy rainfall causing flood damages. The rainstorms usually appear on a stationary front which is situated along the river basins. There is a monsoon surge to the south of the stationary front bringing moisture into the rainstorms. The relation between the monsoon surge and the heavy rainfall causing flood damages in southern China is studied. It is found that the intraseasonal variability of the general oscillation from the equatorial Indian Ocean named the Madden-Julian Oscillation (MJO) is most prominent in Asian and Australian monsoon sectors. When MJO propagates to the South China Sea sectors, the west winds (monsoon) at 850hPa will strengthen and the sector convection will be enhanced. At the same time, there is a monsoon surge in the southern part of China. When the monsoon surge meets with cold air from northern China, there will be severe rainstorms along the stationary front.

Key Words: the heavy rainfall monsoon surge MJO

引言

夏季我国淮河以南地区的严重致洪暴雨,主要出现在东—西走向的静止锋(梅雨锋)上,锋面的位置位于淮河、长江、闽江和珠江流域。张顺利、陶诗言等^[1]通过对1990年代3次江淮致洪暴雨(1991、1996和1998年)的多尺度条件分析,概括出江淮流域致洪暴雨的天气学模型(图1),指出太平洋副热带高压(以下简称副高)、南海季风涌、来自中高纬度的冷空气以及来自青藏高原的中- α 尺度低压系统对致洪暴雨起着重要作用。在

暴雨出现时,副高位于暴雨区南面,季风涌提供暴雨生成所需的水汽。季风涌与北方冷空气使得有一条水汽通量辐合带停滞在流域中,来自高原的中- α 尺度系统使得静止锋上的垂直速度加强,引起强水汽垂直输送形成强降水。当这4个系统配合最佳(锁定)时,引发严重的暴雨洪涝。

孙建华、张小玲等人^[2]分析2003年6月29日至7月11日淮河流域的致洪暴雨时,得到了与1998年相似的天气学模型(图2)。陶诗言、卫捷等人*分析2005年6—8月珠江流域的暴雨洪涝时,也得出与1998年相似的模型(图3),看来这个天气学模型对中国

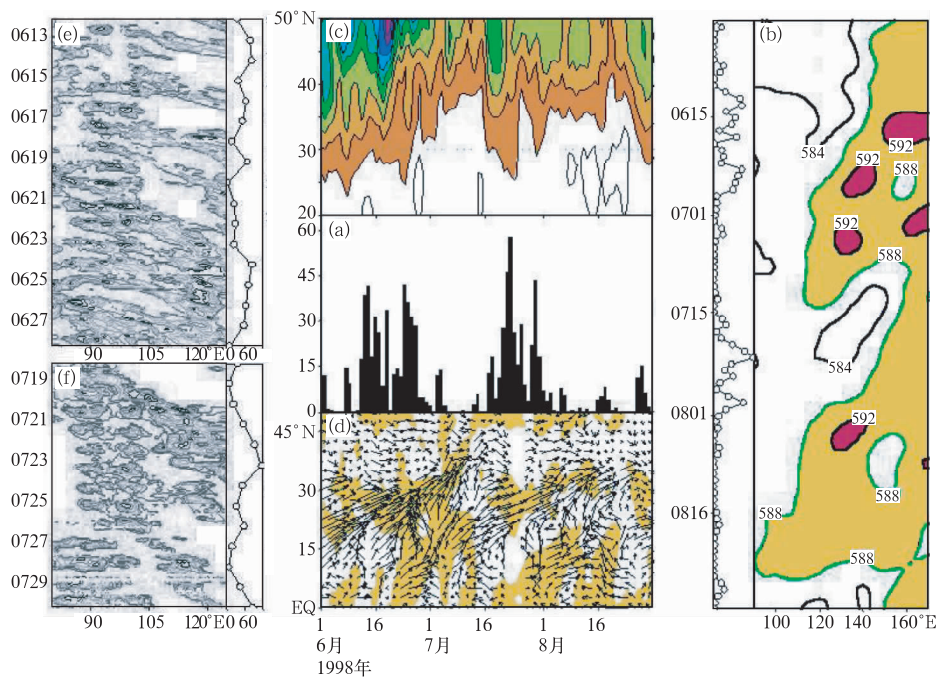


图1 1998年夏季长江流域持续性暴雨的天气学模型

a. 长江流域16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)逐日降水量(单位:mm); b. 沿30°N的500hPa高度(单位:dgpm, 大于588dgpm用阴影表示)和同期长江流域降水量(空心圆连线, 单位:mm); c. 沿100~120°E平均的500hPa高度(单位:dgpm); d. 沿100~120°E平均的大气整层水汽输送通量矢量(箭头, 单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和小于一5°C的TBB(阴影, 单位:°C); e, f分别为二段强降雨期沿30°N的小于一10°C的TBB(单位:°C, 等值线间隔10°C)和同期长江流域的降水量(空心圆连线, 单位:mm)

* 2005年6月17—26日广东致洪暴雨的研究快报

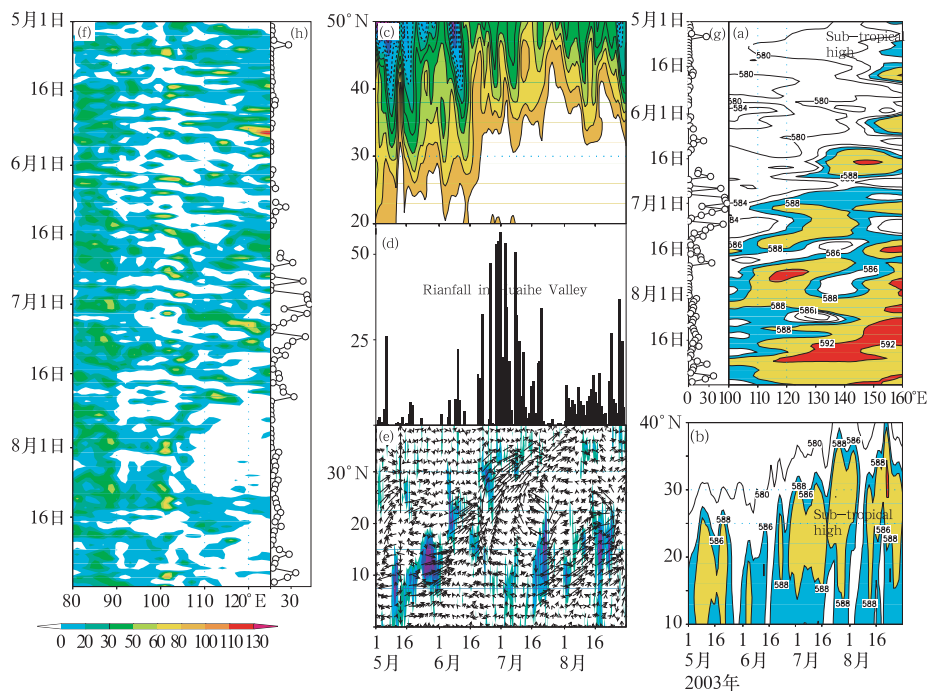


图 2 2003 年夏季淮河流域致洪暴雨的天气学模型

a、b 分别为 500 hPa 位势高度(单位: dgpm) 27.5~32.5°N 平均的 6—8 月的经度—时间剖面; c 为 110~120°E 平均的 700 hPa 温度的时间—纬度剖面, 阴影区温度 $\leq 10^{\circ}\text{C}$, 等值线间隔为 2°C , 实线表示温度 $\geq 0^{\circ}\text{C}$, 虚线表示温度 $< 0^{\circ}\text{C}$; d、g、h 为淮河流域 (32~34°N, 115~120°E) 逐日降水量(单位: mm); e 表示 110~120°E 平均的季风涌随时间的演变, 箭头表示整层(地面~300 hPa)积分的水汽通量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), 阴影表示 $\text{TBB} \leq -10^{\circ}\text{C}$;

f 为沿 32~34°N 的 600 hPa 涡度(单位: 10^{-5} s^{-1})的经度—时间剖面

南部的 3 条河流是普遍适用的。

本文研究纬向型的致洪暴雨生成时, 中国南部季风涌是怎样形成的, 并提出中国南部的 4 条大江大河发生流域性致洪暴雨时的中、短期预报思路。

1 1998、2003 与 2005 年 6—8 月长江、淮河与珠江流域区域平均降水的滤波分析

1998 年 6、7 月长江流域中下游出现仅次于 1954 年 6—7 月的暴雨洪涝, 强降水出现在 6 月 12—28 日和 7 月 21—31 日, 间隔约 1 个月; 2003 年 6—8 月淮河流域也出现两场强降水, 分别为 6 月 29 日至 7 月 11 日和 8 月中旬, 相隔约 50 天, 其中第一场暴雨引起淮河严重洪涝; 2005 年珠江的两场致洪暴雨出现在 6 月 10—28 日和 8 月 10—25

日, 相隔也是 50 天。这两次暴雨均引起华南严重洪涝。看来这 3 条大江强降水有 30~60 天不等周期的季节内振荡。

我们将 1998、2003 和 2005 年 6—8 月 3 个流域日平均降水量分别作了对 30~60 天和 10~20 天的滤波分析, 从图 4a 可以看出, 在 1998 年 6—8 月长江流域, 流域日平均降水有 30~60 天的降水季节内振荡, 对应着图 1a 所示两场出现致洪暴雨的时段。图 4b 上 2003 年 6—8 月淮河流域平均日降水量经过滤波后, 同样对应图 1b 上的两场暴雨。图 4c 也指出, 2005 年 6—8 月珠江流域滤波后的平均日降水量的 30~60 天振荡也与图 1c 上两段致洪暴雨时段相当。

值得注意, 在图 4a、b、c 上流域日平均降水量还表现有 10~15 天的振荡, 这主要是对应一次冷空气南下所引起的降水的准周期变化。

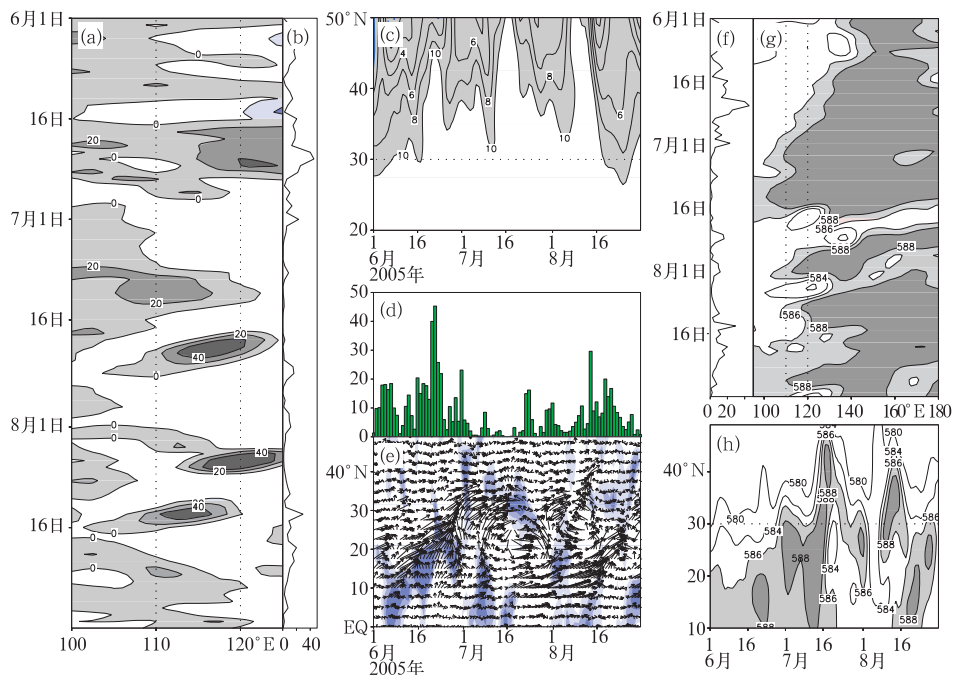


图3 2005年夏季华南地区致洪暴雨的天气学模型

(a) 沿 $22.5 \sim 27.5^\circ\text{N}$ 的 600 hPa 相对湿度(单位: 10^{-5} s^{-1})时间-经度剖面,阴影区:正相对湿度区;(b)、(d)与(f)华南地区 15 个代表站(厦门、梅县、汕头、韶关、河源、广州、阳江、湛江、海口、桂林、柳州、梧州、南宁、北海、百色)平均的逐日降水量(单位:mm);(c)沿 $110 \sim 120^\circ\text{E}$ 的 700 hPa 温度时间-纬度剖面,阴影区温度 $\leq 10^\circ\text{C}$,等值线间隔为 2°C ; (e)沿 $110 \sim 120^\circ\text{E}$ 平均的整层(地面 $\sim 300 \text{ hPa}$)积分的水汽通量矢量(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)时间-纬度剖面,阴影区表示 $\text{OLRA} \leq -10 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$; (g)、(h)分别为 500 hPa 位势高度(单位:dgpm)沿 $22.5 \sim 27.5^\circ\text{N}$ 平均的时间-经度剖面 and 沿 $110 \sim 120^\circ\text{E}$ 平均的时间-纬度剖面

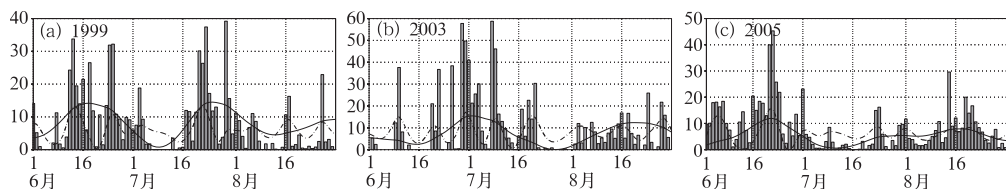


图4 1998年长江流域(a),2003年6—8月淮河流域(b),2005年珠江流域(c)平均日降水量滤波分析
直方柱:逐日降水量;实线:30~60天滤波;点虚线:10~20天滤波(单位:mm)

2 降水的 30~60 天振荡与季风涌的关系

在产生致洪暴雨的环流系统中,季风涌的作用非常重要。对应淮河、长江和珠江夏季流域平均日降水量的 30~60 天振荡,中国南部大陆的季风涌也有 30~60 天振荡。图 5 表示气候平均 6—8 月平均的 850hPa 的风场,南亚夏季风进入南海后折向偏北方向流动。当香港 850hPa 的纬向风增强时,中国

南部对流层低层的偏南风加强,出现了季风涌。HUI T. W. 等^[3]也曾通过小波分析同样得到 1998 年 4—9 月香港 850hPa 纬向风表现出很强的 30~60 天周期的低频振荡信号。图 6a、b、c 分别表示这 3 年 4—9 月香港 ($22.15^\circ\text{N}, 114.10^\circ\text{E}$) 850hPa 纬向风的逐日演变及其小波分析,在 1998、2003 与 2005 这 3 年我国南方的致洪暴雨时期,均对应着香港 850hPa 纬向风出现加强。而香港 850hPa 纬向风的加强,表明南海夏季风的加强,中国

南方大陆会出现季风涌。

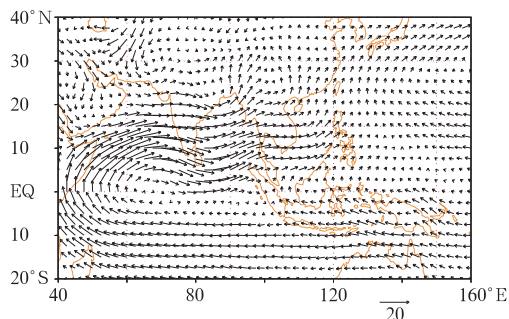


图 5 夏季气候平均 850 hPa 水平风场
(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

3 季风涌与赤道附近 MJO 的关系

1970 年代初 Madden 和 Julian^[4,5] 根据测站的风和海平面气压,发现了沿着赤道围绕全球的大气环流的振荡,人们称作 MJO (Madden-Julian Oscillation),或 30~60 天振荡。Krishnamurti 等^[6]通过对 1979 年 6 月 9 日至 7 月 29 日 200hPa 速度势的 30~50 天振荡进行了分析,指出 MJO 振荡在亚澳季风区最明显,当 MJO 传播到赤道印度洋和西部热带太平洋时,会出现地面气压降低、850hPa 西风加强,并且出现深对流。Chen 等人^[7]曾追踪 1993 年 1 月 10 日到 12 月 6 日来自赤道印度洋向东传播的 MJO,在 1 月下旬移经澳洲的经度范围时,澳洲北部 850hPa 西风加强,对流旺盛;到 2 月初,MJO 传播到日界线以东的赤道东太平洋,并引起该年的厄尔尼诺事件(图略)。

在 1980 年代到 1990 年代很多学者曾注意 MJO 与印度夏季风的活跃或中断时段的关系。Yasunari^[8]讨论了 MJO 与印度夏季风的关系,指出当 MJO 的西风活跃时段出现在印度洋时,印度夏季风增强。S. Gadgil^[9]根据季风槽脊的 30~60 天振荡预报印度半岛地区雨带的活动,指出在印度洋出现 MJO 的西风活跃时段,位于印度次大陆的恒河流

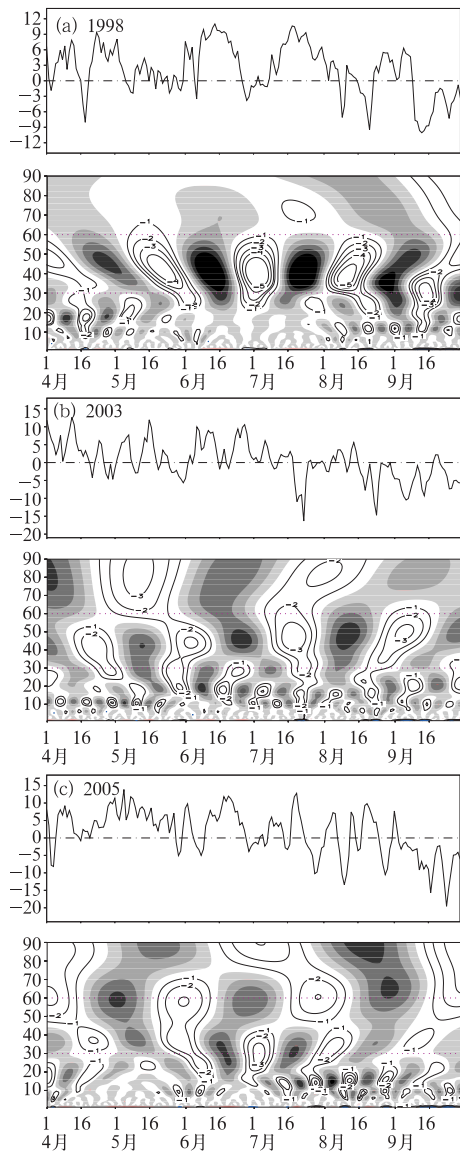


图 6 1998 年(a)、2003 年(b)与 2005 年(c)4—9 月逐日香港 (22.15°N、114.10°E)850hPa 纬向风演变及其小波分析图(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

域的季风槽(印度人称 ITCZ)活跃,印度次大陆多雨;而在 MJO 的不活跃时段,印度次大陆少雨。中国南部大陆属副热带季风区,影响降水的因子远比印度次大陆复杂,MJO 活动与我国夏季降水的关系,特别是对降水中期预报的影响在我国还未引起广泛关注。

当 MJO 的活跃期进入南海时,南海上空 850hPa 西风加强,对流活动加强;同时,在中国南部大陆,850hPa 的西南风加强,出现季风涌,将大量水汽输送到中国南部大陆。如果季风涌与来自北方的冷空气相互作用,便有大量降水产生。图 7 表示在这 3 年夏季发生第一段的强降水前期和同期来自赤道印度洋的 MJO 的活动。1998 年 6 月 3 日(图 7a),在 10°N 、 60°E 附近的印度洋上出现强西风和对流活跃区;在 6 月 13 日(图 7b),强西风和对流活跃区移到 90°E 附近;而到了 6 月 23 日(图 7c),强西风和对流活跃区移到了南

海地区(120°E),这时正是长江第一场梅雨时期。2003 年 6 月 8 日(图 7d),在 60°E 附近的赤道印度洋上出现强西风和对流活跃区;在 6 月 18 日(图 7e),强西风和对流活跃区向东北方向移到 10°N 、 90°E 附近,到了 6 月 28 日(图 7f),强西风和对流活跃区到了江淮流域(120°E),这时淮河流域出现强降水。同样,2005 年 6 月 3 日(图 7g),在 5°N 、 85°E 附近的印度洋上的西风和对流活跃区,6 月 13 日(图 7h)移到南海海面上,6 月 18 日(图 7i)强西风和对流活跃区到了南海以北(120°E),致使华南地区出现了致洪暴雨。

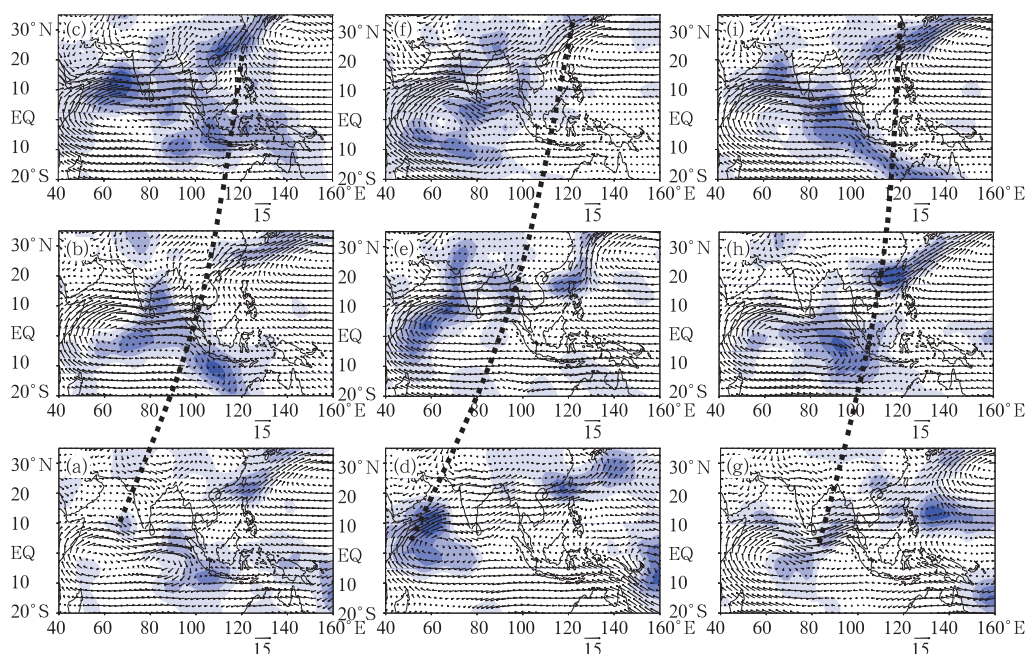


图 7 1998 年 6 月(a、b、c)、2003 年 6 月(d、e、f)与 2005 年 6 月上旬(g、h、i)前后 5 天平均的 850 hPa 水平风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和对流活跃区(阴影区表示 $\text{OLRA} \leq 0$)

4 2006 年我国南方两次致洪暴雨的分析

美国气候预测中心(CPC)的全球预报系统(GFS)在 2006 年开始发布 MJO 的中期(14 天)预报。中国南部大陆在 6 月 1—10 日以及 7 月 14—18 日出现两场致洪暴雨,我们以 2006 年这两次暴雨为例,分析热带

MJO 活动、南海 850 hPa 西风、北上大陆的季风涌和闽江致洪暴雨及碧利斯台风登陆后所引起的致洪暴雨的关系,以及美国 CPC 的 MJO 中期预报对中国南方大陆致洪暴雨中期预报的参考意义。

2006 年 5 月 22 日美国 CPC 预测在未来 1~2 周(5 月 22 日至 6 月 4 日),MJO 活动比较活跃,将影响东印度洋、孟加拉湾、印度

支那半岛以及南海地区(图 8)。在第二周 MJO 活跃区位于印度支那半岛和南海地区,这时,香港 850 hPa 的西风(图 9)以及中国南部大陆季风涌加强(图 10b),此时来自北方的强冷锋移到闽江流域,造成 6 月 4—7 日闽江致洪暴雨(图 10a)。6 月 9—10 日冷锋移到南海海面,从 9 日 00 时开始,先后有 8 个 MCS 在广西南部与珠江三角洲生成,这些 MCS 沿着静止锋不断东移到台湾西南部(图 10c)。静止锋上的中尺度对流系统(MCS)是暴雨的制造者,正是这几个 MCS 在台湾南部的暴雨区停留持续时间达 48 小时,台湾西南部 2 天的降水量 1042mm,其中 10 日 08—12 时(北京时)降水量达 387mm,超过台湾的超级暴雨标准,这是造成台湾历史上非台风造成的最强暴雨。

2006 年 7 月 8 日美国 CPC 根据 MJO 的

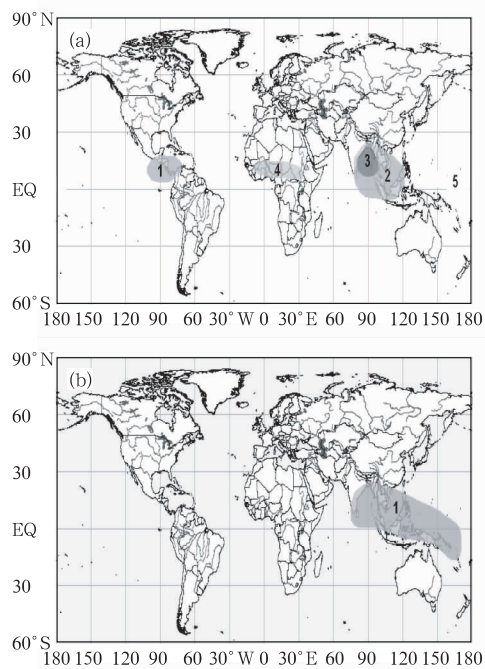


图 8 2006 年 5 月 22 日美国气候预测中心(CPC)根据 MJO 预测未来一周(a)和二周(b)热带地区天气情况示意图说明: 90~120°E、赤道到 25°N 出现强对流天气

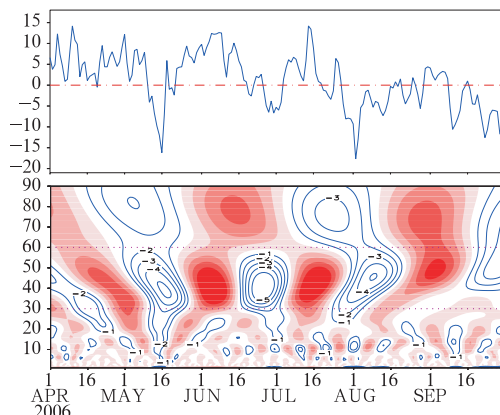


图 9 2006 年 4—9 月逐日香港(22.15°N、114.10°E)850 hPa 纬向风演变及其小波分析图(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

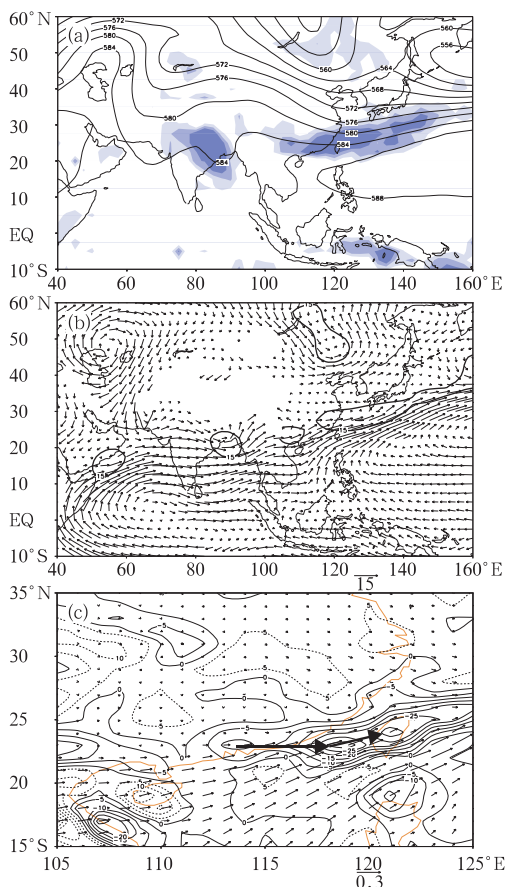


图 10 2006 年 6 月 1—10 日平均(a)500 hPa 位势高度场(dgpm, 阴影区表示 $\text{OLRA} \leq -10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$);(b)850 hPa 水平风场($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)与正涡度区(10^{-5} s^{-1});(c)6 月 8—10 日平均的 850 hPa 水汽通量($10^{-3} \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)及其散度($10^{-8} \cdot \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$),箭头:MCS 移动轨迹

中期预报,预测热带气旋碧利斯未来会加强并影响中国台湾与东南地区(图 11)。7 月 14—18 日在 40°N 附近有 Rossby 波发展^[10],在 110°E 附近 35°N 以北地区对流层中下层建立了闭合高压(图 12a),同时,华南地区对流层下层盛行西南风,高压南侧的偏东风与西南暖湿气流汇合形成一条东西走向的辐合带(图 12b),使得台风碧利斯登陆后,沿着辐合带自东向西南移动(图 12c),从福建经江西、广东、湖南、广西进入云南,对流活动持续,历时 5 天。上述地区过程降雨量一般有

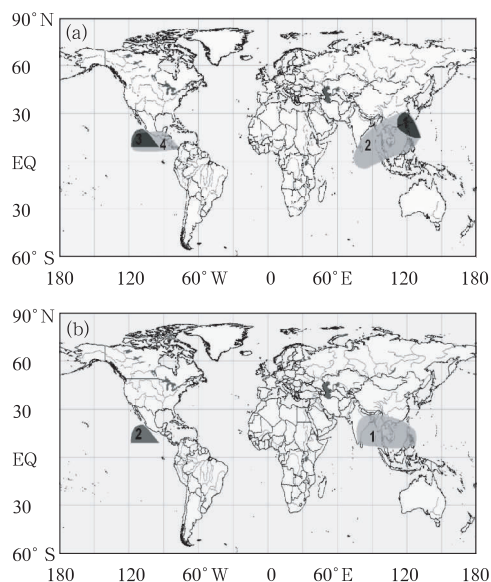


图 11 2006 年 7 月 10 日美国气候预测中心(CPC)根据 MJO 预测的未来 1 周(a)和 2 周(b)热带地区天气情况示意图
说明: $0\sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $90\sim 120^{\circ}\text{E}$ 出现强对流天气

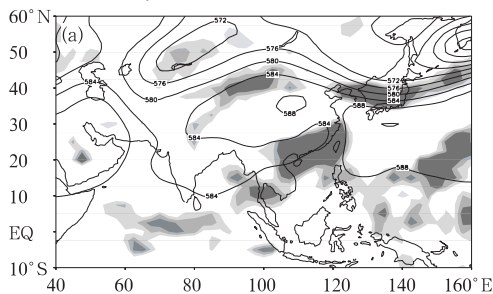


图 12a 2006 年 7 月 14—18 日平均的 500hPa 位势高度场(dgpm, 阴影区表示 $\text{OLRA} \leq -10\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

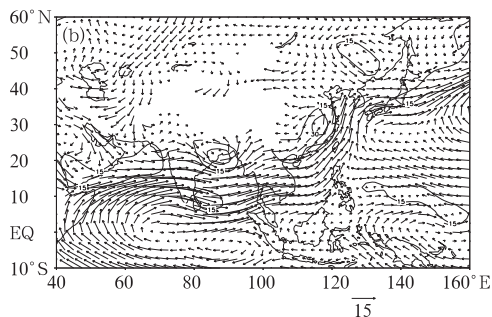


图 12b 2006 年 7 月 14—18 日 850 hPa 水平风场($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)与正涡度区(10^{-5}s^{-1})

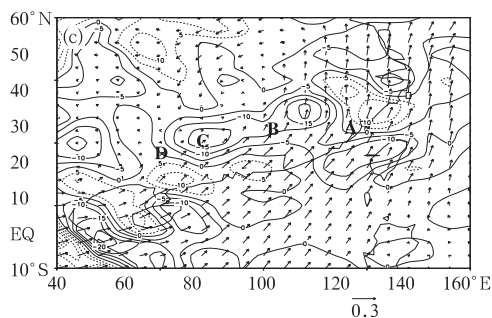


图 12c 2006 年 7 月 14—18 日 850 hPa 水汽通量($10^{-3} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)及其散度($10^{-8} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
A~D 分别表示 7 月 14 日 12 时—17 日 12 时(北京时间)碧利斯扰动中心的位置

50~200mm,其中浙江南部、福建东部、广东东部以及江西和湖南两省的南部地区达 200~400mm,造成浙、闽、赣、粤、湘、桂六省暴雨洪涝,因灾死亡 612 人,失踪 208 人,碧利斯造成的死亡人数为近 10 年最多。

5 结论与讨论

通过上述分析,得到这样的主要结论:来自赤道印度洋的 MJO,引起南海地区西风的加强,南海西风的加强,触发中国南部大陆出现季风涌,季风涌与来自北方的冷空气交绥,造成静止锋(梅雨锋)上的致洪暴雨。

本文的分析针对 1998、2003、2005 及 2006 年中国南部流域性致洪暴雨和东亚季风涌以及 MJO 活动的关系。我们曾将 1991 年的江淮暴雨、1994 年的珠江暴雨、1999 年的长江暴雨与本文所得结论进行验证,发现

与本文结论很一致。

1991、1994、1998、1999、2003、2005 与 2006 年的致洪暴雨都是出现在东西走向的静止锋上,静止锋位置与淮河、长江、闽江及珠江的走向一致。中国南部大陆上有时也会出现南北走向跨流域的致洪暴雨。这类经向型致洪暴雨有时也能产生严重洪涝。张小玲等^[11]曾分析 1996 年 7 月 14—17 日在湖南境内的一场致洪暴雨,这类经向型跨流域的致洪暴雨作者拟在另文讨论。

最近中国气象局正在筹备“中国气象灾害的预警系统工程”项目,其中气象灾害的预报和预警是一个关键的子系统。我们认为通过国家 973“中国南方致洪暴雨的机理和预测理论”项目的支持,目前有条件研究中国南部致洪暴雨的预警问题。我们认为致洪暴雨的预警应包括:

(1) 中期预报(一周左右):根据 CPC 预报 MJO 中期活动的预报,监测未来南海地区 850 hPa 纬向风中期可能变化趋势,是否位于 MJO 活跃位相,预测是否有一次中国大陆南部强季风涌出现。如果将有季风涌出现,预示可能会有一次强暴雨出现。

(2) 短期预报(1~3 天):密切注意北方冷空气的活动与冷锋的动向,估计未来雨带的位置。这与季节有关,一般而言,6 月中旬以前,雨带多位于华南地区,6 月中下旬到 7 月上旬主要位于长江流域或江淮流域。配合西太平洋副高的位置,提出未来雨带可能的位置。

(3) 临近预报(6~24 小时):在梅雨锋活跃时期,可能会有多个强对流雨团产生,它们是梅雨锋上暴雨的制造者。预报员要在 6~12 小时前预报它的发生发展,要用中尺度预报模式输出的每 3、6、9、与 12 小时有利于暴雨产生的物理量场,如:850 hPa 水汽通量、850 hPa 水汽通量辐合区、CAPE、整层可降水量以及由模式输出的降水量等;同时,利用雷达、卫星等提供的加密观测资料,追踪梅雨锋上中尺度对流系统的活动,进一步明确降水发生的地点、时间与等级(强降水,中等

强度降水,弱降水)。

建议在 2007 年外场试验时段,增加暴雨预报的试验,试验我国南方致洪暴雨预报的定区、定时与定量(等级)的问题。

本文的研究只注意 110°E 以东、淮河以南的地区。110°E 以西云南、贵州、四川等地未作研究。在北方地区东西走向的静止锋暴雨很少出现,我们也没有进行研究。

参考文献

- [1] Zhang Shunli, Tao Shiyan, Zhang Qingyun. Large and Meso- α scale characteristics of intense rainfall in the mid- and low-reaches of Yangtze River[J]. Chinese Science Bulle, 2002, 47(9): 779-786.
- [2] 张庆云,王会军,林朝晖,等. 中国天气气候异常成因研究—2003 年[M]. 北京:气象出版社,2004:21-88.
- [3] C. - P. Chang. Editors, The Global Monsoon System: Research and Forecast. T. W. Hui and W. L. Chang Some Monsoon Perspectives from an end-user's point of view.
- [4] Madden R D, Julian P. Description of globe scale circulation cells in the tropics with 40—50 day period [J]. J Atmos Sci, 1972, 29: 1109-1123.
- [5] Roland A. Madden and Paul R. Julian. Observations of the 40—50-Day Tropical Oscillation—A Review[J]. Monthly Weather Review, 1994, 122 (5): 814-837.
- [6] T. N. Krishnamurti, P. K. Jayakumar, Jian Sheng, et al. Divergent circulations on the 30 to 50 day time scale[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1985, 42(4): 364-375.
- [7] Shuyi S. Chen, Robert A. Houze Jr., et al. Multi-scale variability of deep convection in Relation to large-scale circulation in TOGA COARE[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1996, 53 (10): 1380-1409.
- [8] Yasunari, T. Cloudiness fluctuation associated with the northern hemisphere summer monsoon[J]. J Meteor Soc Japan, 1979, 57: 227-242.
- [9] Gadgil, S. The Indian monsoon and its variability [J]. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 2003, 31: 429-467.
- [10] 陶诗言,卫捷. 再论夏季西太平洋副高的西伸北跳 [J]. 应用气象学报, 2006, 17: 513-525.
- [11] 张小玲,陶诗言,张顺利,等. 1996 年 7 月洞庭湖流域持续性暴雨过程分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15 (1): 21-31.