

2003 年淮河流域持续性大暴雨的水汽输送分析

康志明

(中央气象台,北京 100081)

提 要

利用 NCEP 资料对 2003 年淮河流域 6、7 月间持续性强暴雨的水汽输送特征进行分析。结果表明:持续性强暴雨发生在我国南方西南水汽输送异常偏强的背景下。水汽从南海北部经副热带高压西南侧向北及从孟加拉湾越过中南半岛到长江中下游两条通道向淮河流域输送。从整个梅汛期和暴雨个例的计算结果来看,暴雨区的各个层次上水汽收支有不同的特点,主要水汽辐合发生在 850hPa 及其以下层。来自孟加拉湾和南海的水汽向暴雨区输送在不同层次上的比重有很大差异,在暴雨区水汽的主要辐合层上,南海是最重要的水汽源地。

关键词: 暴雨 水汽通量 水汽输送

引 言

2003 年 6~7 月淮河流域出现了继 1991 年以来又一次持续性强暴雨,致使淮河洪水泛滥,大范围行洪,造成了严重的经济损失。暴雨的成因较为复杂,必须具有强烈的上升运动、位势不稳定和源源不断的充沛水汽输送等基本物理条件,且与雨强、维持时间、周

围的环境均有着密切的关系。本文利用 NCEP 资料分析 2003 年 6~7 月淮河流域的水汽输送和水汽收支,以探讨淮河流域持续性强暴雨的成因,这对于提高暴雨预报水平和减少暴雨灾害有重要的意义。

1 资料和计算方法

本文选取 30~35°N, 110~125°E 的淮河

流域。利用 NCEP 全球 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 逐日风场和水汽场再分析资料,并取 1000、900、700、500 和 300hPa 共计 5 层进行计算。

单位边长整层大气水汽输送通量矢量 Q 的计算公式为:

$$Q = -\frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} q \mathbf{V} dp$$

式中, q 为比湿 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), $\mathbf{V}$ 为水平风速矢 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), g 为重力加速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)。

各方向上水汽通量收支的计算公式为:

$$Q_L = \int_L \left[-\frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} q \mathbf{V}_n dp \right] dl$$

其中, l 为计算区域的周长, $\mathbf{V}_n$ 是风沿区域周线的法向分量。

2 梅汛期的环流形势与水汽输送特征

6 月中旬后期,欧亚中高纬建立起了一脊两槽的中阻塞经向环流形势,中低纬度上,西太平洋副高随着 0306 号台风苏迪罗的北上不断加强西伸并北抬。6 月 22 日以后,副高呈带状稳定少动,控制了我国江南中南部、华南到南海及其以东洋面。从中纬度不断有冷空气分裂南下与副高西北侧的暖湿气流频繁地交锋于淮河流域,在对流层中低层沿淮

地区有切变线维持。图 1a 和图 1b 分别是暴雨前期 6 月 1~21 日和暴雨期 6 月 22 日至 7 月 22 日整层水汽通量矢量场与 500hPa 平均高度场。由图显而易见水汽输送随环流形势演变而变化。暴雨前期,副高主体在东部海洋上,西脊点位于 130°E 附近,西南水汽输送带大致位于副高西北侧,即我国东海以东到南海。6 月 22 日以后,随着副高加强西伸,水汽输送轴也北抬至大陆上。从华南西部到长江中下游地区是一条 SW—NE 向的水汽通道,中心最大值达 $7 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由图 1b 可见:江淮暴雨的水汽主要来自南海和孟加拉湾。其中来自南海的水汽主要是靠西太平洋副热带高压南侧的偏东气流经副高西侧转向输送至江淮地区。来自孟加拉湾的水汽一部分向北越过横断山脉和云贵高原流向梅雨区;一部分向东经中南半岛后向北输送;还有一部分偏西气流从中南半岛南部向东输送至南海,与南海的偏南气流汇合,再向北输送。此外,阿拉伯海上空的西南气流携带的水汽也有一部分从印度向西北,沿着喜马拉雅山南麓向东输送至淮河上空。

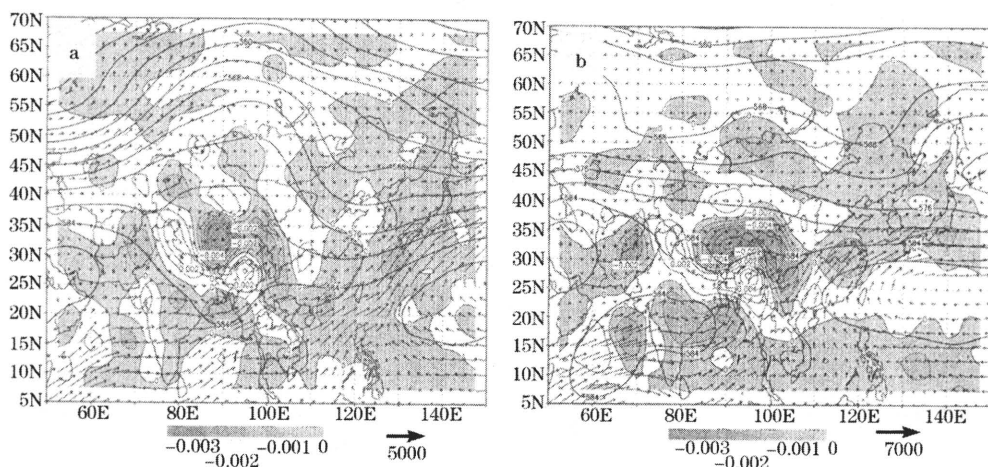


图 1 整层水汽通量 Q 和 500hPa 高度场

箭头为水汽通量矢量,单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,阴影区为辐合区

a. 梅汛前期 6 月 1~21 日平均图 b. 梅汛期 6 月 22 日~7 月 22 日平均图

持续性强降雨必须有水汽辐合集中,提供源源不断的水汽供应。2003 年 6~7 月淮

河流域持续性强降雨正发生在水汽输送异常偏强的背景下。图 2 是 6 月 22 日至 7 月 22

日整层水汽输送相对于历史同期的距平场。与常年同期相比,长江以南和江淮地区的水汽输送都明显偏强,其中江南北部和江淮南部的水汽输送正距平在 $2 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 及以上。中南半岛南部到南海南部是一负距平区,我国云贵高原一带水汽输送也为正距平区。孟加拉湾的暖湿气流输送到南海的水汽偏少,而更多水汽是从中南半岛向东输送到暴雨区。根据环流形势场的分析以及季风环流和我国降水的关系^[1],2003年6~7月我国南方水汽异常偏多,与南海季风槽偏弱,西太平洋副高明显偏强、西脊点偏西,使得南海的水汽输送偏东分量小,大部分向北输送进华南和长江中下游地区密切相关。

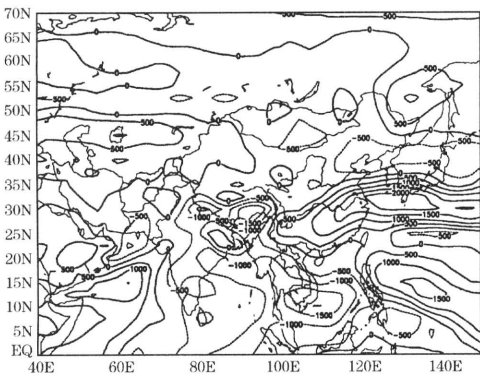


图2 2003年淮河流域6月22日至7月22日梅汛期水汽输送距平
单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

3 淮河流域的水汽收支

淮河流域($30 \sim 35^\circ \text{N}$ 、 $110 \sim 125^\circ \text{E}$)各边界在6~7月逐日的水汽收支如图3所示。其值为各边界1000~300hPa垂直积分的水汽收支,正负值分别表示在该边界输入、输出

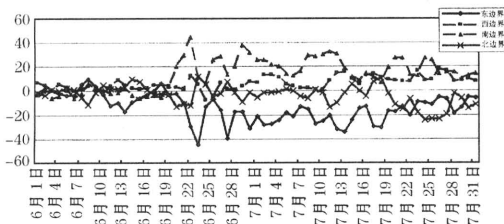


图3 2003年6月1日~7月31日淮河流域各边界水汽收支
单位: $10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

水汽。

南边界水汽输入是淮河流域水汽的主要来源。6月中旬后期,随着西南季风显著增强,水汽输入迅速增加,在6月22日达到最高值,对应着淮河流域第一场梅汛期暴雨。从6月下旬到7月,江淮切变线稳定在淮河流域,南边界的水汽输入对梅雨期降水的维持有重要的作用。西边界的水汽输入比较稳定,在6月下旬以后输入略有增加,是淮河流域水汽第二个重要来源。东边界是淮河流域水汽的主要输出方。6月下旬,副高西伸北抬后,副高西南侧的西南气流和孟加拉湾的西南气流,使得东边界成为江淮流域水汽输出的主要通道。北边界上的水汽输出与南边界的水汽输入呈反位相,但输出的量级非常小,经向上水汽有很强的辐合。到7月下旬,北边界的水汽输出开始增大,雨界北抬,淮河流域的梅雨结束。为了解各层水汽的收支情况,给出了6月29日至7月5日梅汛期的第三场大暴雨过程中各层平均水汽收支。如表1所示,各方向上水汽输送在各层分布有明显差异。其中南边界输入最强,在1000和850hPa上南边界输入占总水汽输入的90%以上。并且主要是从低层进入,1000、850、700和500hPa上的水汽通量之比为5:5:3:1。可见在700hPa以上层,水汽通量迅速减弱,主要是低层比湿大,南风分量大之故。除了在1000hPa是水汽输出外,西边界是另一主要的水汽输入方向。与西风分量相对应,在700hPa到500hPa附近,水汽通量达到最大。而东边界在低层的水汽输出相对较小,主要水汽输出在700hPa附近,几乎等于南边界和西边界的水汽输入之和。北界位于江淮切变线的北侧,在1000hPa附近有北风分量输入水汽,850hPa以上均为水汽输出层。至此反映了淮河流域的水汽在南北方向辐合,东西方向上辐散的特点。就整个区域的水汽收支来看,在300hPa以下层,四周水汽通量之和都是正值,说明淮河流域在暴雨期是一个水汽汇区,且水汽辐合层相当深厚。850hPa附近的水汽流入量是700hPa附近流

入的10倍以上,揭示在暴雨期间水汽辐合主要在低层,整个区域的平均水汽收支达 $7.72 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

表1 2003年6月29日~7月5日淮河流域平均水汽收支

	东边界	西边界	南边界	北边界	合计
1000hPa	-2.26	-6.13	67.8	3.67	63.08
850hPa	-10.9	4.27	67.6	-6.08	54.89
700hPa	-51.5	17.4	41.2	-3.65	3.45
500hPa	-28.2	20.2	13.3	-3.56	1.74
300hPa	-10.4	8.02	0.89	-1.95	-3.44
整层	-23.8	8.75	25.2	-2.43	7.72

注:等压面上和整层的水汽通量单位分别为 $10^7 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$, $10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

4 淮河流域水汽的来源

对于我国夏季降水的水汽源问题,已经有了很多的讨论。通常认为孟加拉湾地区和东亚季风控制的南海和西太平洋地区是主要的水汽源地。其中孟加拉湾处于印度低压的东南方,水汽通过西南风输送进入我国西南

部;南海和西太平洋的水汽则经西太平洋高压南缘的南风 and 西南风输送进入我国内陆。

在不同的层次,上述水汽源地输送比重是不同的。从6月22日至7月22日,1000~850hPa、850~500hPa层平均水平水汽通量计算结果中可以看出,在1000~850hPa层上(图4a),由于地形的阻挡,孟加拉湾水汽很难越过青藏高原和中南半岛,径直地西行进入我国内陆。只有一部分水汽从中南半岛南部或绕过中南半岛与南海水汽汇合,向北输送,抵达江淮地区。根据流线分析,在低层江淮地区的水汽源自南海地区。而来自东海和西太平洋的水汽在未达到淮河流域之前,就向东流去。在850~500hPa层上(图4b)情况有所不同。伴随西风分量的加大,孟加拉湾的水汽越过青藏高原和中南半岛到达淮河流域。同时由于南风分量相对减小,南海水汽向北伸展的位置就越发偏南了。

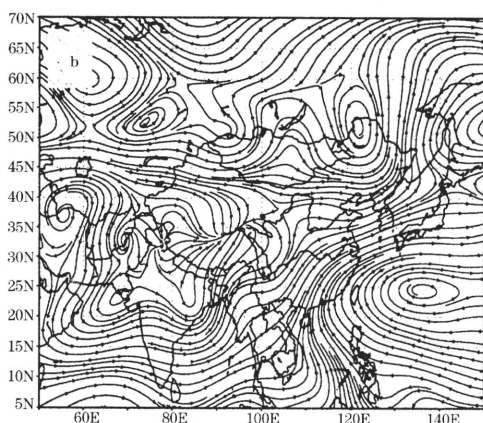
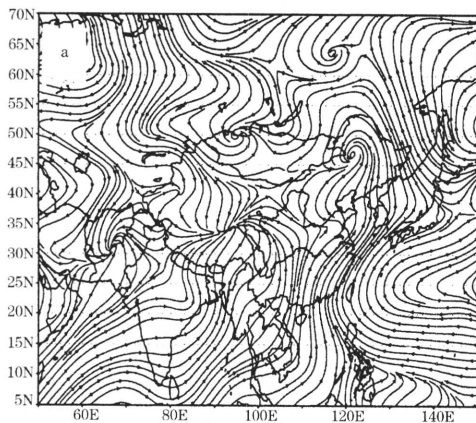


图4 2003年6月22日至7月22日1000~850hPa(a)和850~500hPa(b)平均水汽通量流场

以 $10 \sim 25^\circ \text{N}$ 、 $110 \sim 120^\circ \text{E}$ 表示南海,以 $15 \sim 27.5^\circ \text{N}$ 、 $80 \sim 105^\circ \text{E}$ 表示孟加拉湾,对于6月29日至7月5日的大暴雨过程,南海和孟加拉湾两地区在暴雨过程中的水汽收支的结果列在表2中。从图4的流场分析可以看到,南海水汽主要是通过北边界向内陆输送,而孟加拉湾水汽输送则主要是通过东边界,越过中南半岛向我国内陆输送水汽。所以主要对比这两个水汽源地北边界和东边界上的水汽收支情况。从表2中可以看到,在1000

~850hPa层上,南海是水汽源,而孟加拉湾则是水汽汇。南海的北边界水汽输出达到 $10.0 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,是孟加拉湾东边界水汽输出的近3倍。850~500hPa层上,孟加拉湾变成水汽源,而南海成为水汽汇。南海北边界水汽输出与孟加拉湾东边界的水汽输出大体相当。但从相应流场(图略)来看,从南海北边界输出的水汽向东流去明显增多。由此可以看出,在低层南海是更重要的水汽源地,而在中高层,孟加拉湾的水汽源又显重要。

表2 2003年6月29日~7月5日南海和孟加拉湾地区的平均水汽收支($10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

	东边界	西边界	南边界	北边界	合计
南海 (1000~850hPa)	6.56	-3.47	4.14	-10.0	-2.77
南海 (850~500hPa)	10.5	-2.82	5.40	-11.2	1.88
南海(整层)	19.5	-8.51	10.0	-22.1	-1.11
孟加拉湾 (1000~850hPa)	-3.48	17.4	14.0	-19.6	8.32
孟加拉湾 (850~500hPa)	-10.4	19.1	4.11	-19.1	-6.29
孟加拉湾(整层)	-12.6	35.3	19.3	-40.0	2.0

5 小 结

(1)淮河流域暴雨期开始与该区域水汽输送明显增强有很好的相关性,2003年淮河流域的降水异常偏多也是发生在我国南方地区西南水汽输送异常偏强的背景下。从南海北部经副热带高压西南侧向北,从孟加拉湾越过中南半岛到长江中下游,是淮河暴雨区最重要的两条水汽通道。

(2)水汽主要是由南边界进入淮河流域

暴雨区。水汽在暴雨区的南北方向上有强烈辐合,而在东西方向上则是辐散的。整个雨区的辐合层次非常深厚,主要水汽辐合发生在850hPa及以下层。

(3)南海和孟加拉湾是淮河流域梅汛期两个主要的水汽源地。南海水汽主要在850hPa以下层输进暴雨区,孟加拉湾水汽主要是在850~500hPa层中向淮河暴雨区输送。

参考文献

- 1 沈如桂,罗绍华,陈隆勋.盛夏季风环流与我国降水的关系.热带天气会议文集,北京:科学出版社,1980:102~111.
- 2 谢安,毛江玉,宋焱云.长江中下游地区水汽输送的气候特征.应用气象学报,2002,13(1):67~77.
- 3 陶杰,陈久康.江淮梅雨暴雨的水汽源地及其输送通道.南京气象学院学报,1994,17(4):443~446.
- 4 谢齐强.1991年江淮流域持续性特大暴雨的水汽输送.气象,1993,19(10):16~20.

Analysis of Moisture Transfer Associated with Sustained Heavy Rain in 2003 over Jianghuai Valley

Kang Zhiming

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

Based on NCEP reanalysis data, the characteristics of the moisture transfer over the Jianghuai Valley during the summer of 2003 are studied. The results show that the exceptional precipitation of the Jianghuai Valley in the summer of 2003 is related to the exceptionally intense moisture transfer in the southern area of China. And the Bay of Bangle and the South China Sea are two main moisture sources for the sustained heavy rain over the Jianghuai Valley. The calculation result of the heavy rain event shows that the budget of the moisture over the Jianghuai Valley and the attribution of two main moisture sources varied at different layers. At the layer of 1000—850hPa, which is the main moisture convergent layer during the heavy rain event, the South China Sea is the most important moisture source.

Key Words:Jianghuai valley heavy rain moisture flux moisture transfer