

# 2003 年淮河流域强降水大尺度环流特征及成因分析

章国材, 毕宝贵, 鲍媛媛, 廖要明

(国家气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 分析了 2003 年淮河流域 6~7 月降水的时空分布特征, 并与历史同期进行了比较。结果表明, 2003 年淮河流域梅雨期经历了 7 次强降水过程, 降水总量和洪水流量都超过 1991 年, 但小于 1954 年; 雨带稳定、暴雨集中和突发性强是 2003 年淮河降水的突出特点, 也是造成淮河流域全线超保证水位的原因。同时利用 NCEP 再分析资料对 2003 年淮河强降水的大尺度环流特征及其成因分析后发现: 中高纬度两槽一脊的稳定维持, 副高脊线持续稳定在 22~25°N 之间, 淮河流域恰好位于高空急流的右前方, 低空急流的左前方, 是造成 2003 年 6~7 月淮河流域连续性暴雨的主要原因。

**关键词:** 淮河流域; 降水; 副高; 急流

**中图分类号:** P434+.5; X4 **文章编号:** 1000-0585(2004)06-0795-10

## 1 引言

2003 年 6 月下旬至 7 月上旬淮河流域出现了 1954 年以来的第二次大洪水。人们十分关注造成这次大洪水的成因—持续性暴雨过程产生的原因。

对于大范围持续性强降雨的研究, 已经取得了许多成果, 但大多是针对长江洪涝<sup>[1~6]</sup>的, 对于淮河流域的研究相对较少<sup>[7,8]</sup>。1991 年淮河大洪水后, 中国气象局组织了“八五”攻关项目, 对造成淮河洪涝的天气气候成因进行了全面的分析。研究表明<sup>[9]</sup>, 1991 年淮河大洪水期间, 通常在中高纬度维持持久的阻塞形势, 副热带高压稳定在 20~25°N, 而中低纬出现三次明显的季风涌, 天气尺度扰动不断从高原东侧生成并东移至淮河流域, 梅雨锋稳定维持在江淮地区。1998 年中国南海季风试验项目 (The South China Sea Monsoon Experiment (SCSMEX)) 获得了大量气象、水文、卫星、辐射、通量等多种常规和加密的观测资料, 在南海季风爆发和演变与雨带变化关系<sup>[10]</sup>、大气环流的观测和数值研究方面取得了许多新成果<sup>[11~13]</sup>。通过上述项目, 揭示了一些造成淮河流域雨带维持和暴雨频繁的大尺度及天气尺度原因; 一些作者对美国降水异常也进行过类似的科学试验和研究, 但是还有很多的科学问题没有解决, 如梅雨期阻塞形势的维持机理还不清楚, 低频振荡的季风涌是怎样发生的, 副热带高压的北跳和稳定的原因, 以及每次降水过程中的中尺度系统的结构和发展演变, 天气尺度低空急流产生的原因等等都还有待解决。因此, 其成果尚不能用于解释 2003 年淮河大水的成因, 本文着重分析 2003 年夏季大尺度环流特征并给出

收稿日期: 2004-04-10; 修订日期: 2004-07-20

基金项目: 本文由 973《国家重点基础研究发展规划》项目 (G1999045700) 和国家气象中心项目 (2003 年淮河流域致洪暴雨的研究) 共同资助。

作者简介: 章国材 (1955-), 男, 江西人, 高级工程师。研究方向: 大尺度天气动力学。E-mail: zhanggc@cma.gov.cn

其形成的可能原因。

## 2 降水的时空分布特征

总体而言, 2003 年 6 月下旬至 7 月中旬的情况不同于 1991 年, 2003 年入梅较晚, 降雨集中, 降水强度大, 主要降水带在淮河流域长期停滞、摆动, 天气尺度扰动及 MCC 系统频繁发生, 降雨过程频繁, 淮河流域共出现了 7 次暴雨过程, 来自中低纬度的季风涌有 6 次之多, 而中高纬度阻塞持久, 重建过程也多次出现, 副热带高压稳定少动控制江南华南大部地区使之出现历史上罕见的持续高温天气。

### 2.1 淮河流域梅雨期的降水概况

2003 年 6 月 21 日, 我国主要降水带从华南、江南南部北跳至江淮地区, 并在此地区持续长达 30 天之久。6 月 21 日淮河流域入汛以来, 共出现了 7 次强降水过程, 降水总量一般有 200~500mm (图 1a), 其中安徽北部、江苏中北部达 500~700mm。大于 700mm 的地点有: 河南的新县 732mm, 安徽的太和 848mm、临泉 729mm、阜阳 772mm、蒙城 715mm、泗县 712mm, 江苏的泗阳 739mm、宿迁 715mm。最强的降水过程发生在 6 月 29 日~7 月 3 日, 河南东部、安徽北部、江苏北部出现大范围的持续性暴雨和大暴雨。其中, 安徽太和 7 月 3 日 08 时~4 日 08 时 24h 的降水量达到 249.3mm。安徽北部、河南东南部等地降水总量普遍比常年同期偏多 1~2 倍, 局地偏多 2~3 倍 (图 1b)。

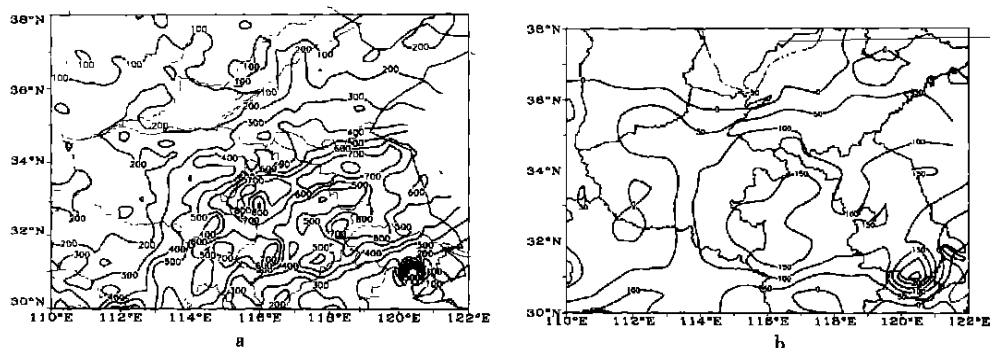


图 1 2003 年 6 月 21 日~7 月 22 日淮河流域

(a) 降水量 (mm); (b) 降水距平百分率 (% , 相对于 1971~2000 年平均)

Fig. 1 Precipitation (mm) (a); precipitation anomaly (%) (b)  
in the Huaihe river basin during June 21 - July 22, 2003

### 2.2 淮河流域梅雨期历史降水量变化对比分析

淮河流域的洪水主要是由流域内广大地区的降水汇集而成的, 本文在淮河流域选择 15 个代表站 (河南西华、驻马店、信阳、固始, 安徽亳州、宿县、阜阳、寿县、蚌埠、霍山、合肥, 江苏盱眙、射阳、高邮、东台) 的雨量平均计算了 1954 年以来 6 月 21 日~7 月 22 日期间逐年淮河流域降水量 (图 2)。从图中可以看出历史上淮河流域大洪水都与此曲线对应很好, 这说明这些代表站具有代表性, 能反映淮河流域多年降水特征, 从变化曲线可发现 2003 年淮河流域的降水比常年明显偏多, 比 1991 年多 122 mm, 但比 1954 年少 64 mm, 是仅次于 1954 年的第二个多雨年份。从 2003 年全国降水量与 1954、1991 年同期降水量差值图 (见图版 3, 图 3a、b) 可以进一步证明上述观点, 从图中可看出, 无论是 6

月 1 日~7 月 22 日还是 6 月 21 日~7 月 22 日期间(后者图略), 2003 年淮河流域降水都多于 1991 年。6 月 1 日~7 月 22 日, 一般偏多 50~100 mm, 安徽北部、河南大部、山东南部偏多 100~300 mm。而在 2003 年强降水时段(6 月 21~7 月 22 日)期间, 一般偏多 60~200 mm, 河南东部、安徽北部偏多 300~400 mm。2003 年 6~7 月与 1954 年同期相比, 只有黄淮北部偏多 50~100 mm, 淮河流域大部比 1954 年偏少 50~200 mm, 即使在强降水时段(6 月 21 日~7 月 22 日)也呈类似的分布。

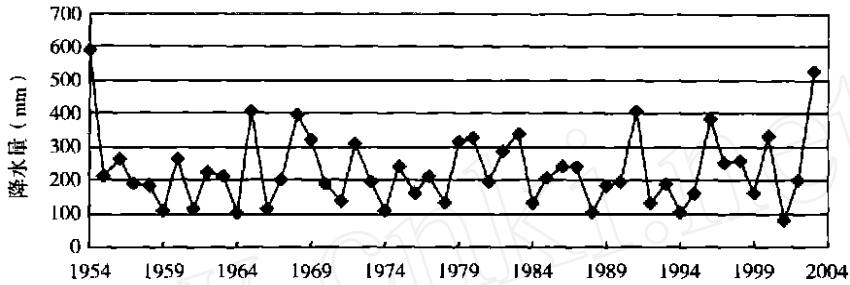


图 2 1954~2003 年淮河流域 6 月 21~7 月 22 日历年降水量 (mm) 变化

Fig. 2 Precipitation (mm) trend during June 21 - July 22 in the Huaihe river basin from 1954 to 2003

### 3 大尺度环流特征分析

#### 3.1 中高纬环流特征

从 2003 年 6 月 21 日~7 月 22 日 500hPa 平均高度场(图 4)可以发现, 欧亚中高纬呈两槽一脊形势。在 2003 年江淮梅雨到来之前的 6 月中旬后期, 欧亚中高纬即已建立了一脊两槽的中阻塞经向环流形势。高压脊位于西西伯利亚平原到中西伯利亚地区, 高压脊两边从乌拉尔山到欧洲及贝加尔湖以东地区分别为两个长波槽区。冷空气主要有两种路径: 第一种路径从贝加尔湖南下, 到达华北东部后, 低层冷空气向西南扩散影响江淮、黄淮地区, 为主要路径; 第二种路径是从欧洲低槽中分裂出小股冷空气沿高压脊南部的偏西气流进入西北地区东部, 进而影响淮河流域强降水, 造成 6 月 22~23 日、24~27 日、29 日至 7 月 3 日、7 月 4~7 日、8~11 日、12~13 日、21~22 日共 7 次强暴雨天气过程。

从 2003 年 6~7 月亚洲中高纬逐日西风指数的变化图可看出(图 6a), 在 6 月上中旬一直维持纬向型高指数环流, 中旬末中高纬环流从高指数向低指数转变, 对应着稳定的中阻形势, 6 月下旬, 一直维持低指数的经向型环流, 6 月 27 日亚洲中高纬度西风指数达到最低值。进入 7 月份, 低指数经向型环流仍在稳定持续。

#### 3.2 副热带高压的变化

图 5 是 2003 年 6~7 月  $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$  范围内副热带高压脊线位置的逐日变化。在 6~7 月的大部分时间内, 副高脊线位置比常年同期平均位置偏南。6 月上半月副高基本上是平稳地向北推进, 6 月 16~26 日, 副高脊线在  $17^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$  之间摆动, 比常年偏南 2~3 个纬距。6 月 27 日~7 月 4 日副高脊线向北移到  $24^{\circ}\text{N}$  后长时间在  $22^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$  之间摆动, 由于在南海和西北太平洋上同时有 8 号强热带风暴天鹅和 7 号台风伊布都活动, 致使前期稳定的西太平洋副高 7 月 23 日北跳, 淮河梅汛期宣告结束。与常年不同, 6 月下旬, 副高北跳到  $22^{\circ}\text{N}$  的时间偏早一周左右, 但之后并未像常年那样稳步北抬, 而是一直稳定在  $22^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$

附近, 南北摆动幅度很小, 这样, 就使得雨带长时间稳定在江淮地区, 强降水相对集中, 且持续时间长, 而江南的梅雨期很短, 高温少雨成为 2003 年夏季的主角。

2003 年夏季副高总体偏强、偏西。6~7 月副高在各个经度上 (100°E, 110°E, 120°E, 130°E, 140°E, 150°E) 都比常年偏高 2~4dagpm (图略), 副高西脊点 2 次伸展到 100°E 以西的地方。并且副高范围和强度明显大于常年, 6 月 20 日~7 月 31 日期间, 我国长江以南大部地区 (110~160°E, 15°N~30°N) 都在强大的副热带高压控制之下, 高压中心强度超过 592dagpm, 副高控制下的下沉增温非常明显, 这也是我国南方持续高温的主要原因。因此, 分析副高稳定维持在 22°~25°N 之间的原因成为分析 2003 年淮河大水成因的关键。

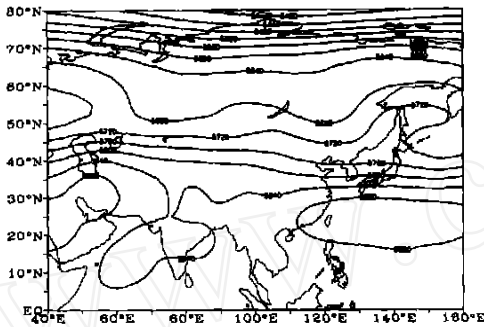


图 4 2003 年 6 月 21 日~7 月 22 日  
500hPa 高度平均场  
Fig. 4 Mean geopotential height at  
500hPa during June21-July22, 2003

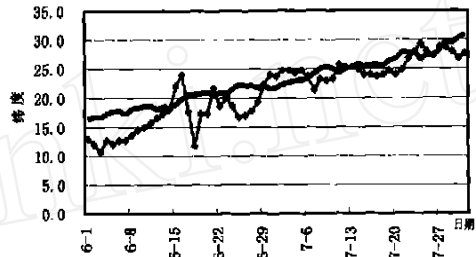
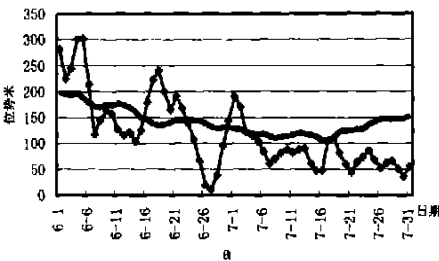
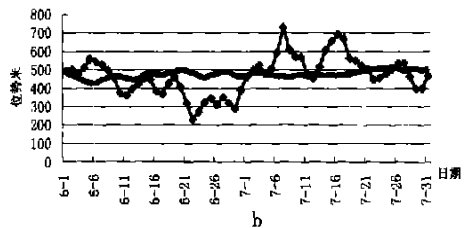


图 5 2003 年 6~7 月 (带◆细线) 和多年平均  
(粗实线) 110~130°E 副高脊线演变  
Fig. 5 The evolution of ridge of subtropical high  
along 110~130°E (thin line with ◆ is for ridge  
during June-July 2003, and thick line for mean)



(a) 北半球 (65~155°E, 45~65°N)



(b) 南半球 (60~180°E, 30~50°S)

图 6 2003 年 6~7 月 (带◆细线) 和多年平均 (粗实线) 西风指数演变  
Fig. 6 The evolution of west wind index (thin line with ◆ for June-July, 2003, and thick line for mean)  
Northern hemisphere (65~155°E, 45~65°N) (a); Southern hemisphere (60~180°E, 30~50°S) (b)

## 4 2003 年夏季淮河降水异常的成因分析

### 4.1 越赤道气流和赤道辐合带对淮河雨带的影响

过去的研究表明, 越赤道气流是热带大气环流的一个重要组成部分, 它在南、北两半球相互作用中扮演着一个重要角色<sup>[14,15]</sup>, 越赤道气流总量的多少与西北太平洋台风生成频率及中国大陆降水存在很好的正相关关系<sup>[16]</sup>。但是这些研究多集中在气候学特征方面, 下面的分析表明, 越赤道气流同样具有明显的天气学意义。

从南半球西风指数变化可发现 (图 6b), 6 月份南半球有 4 次冷空气爆发, 尤以 6 月 22 日为最强, 6 月 21~22 日南半球冷空气爆发, 导致越赤道气流加强, 使位于江南南部的雨带提前一周北移至江淮地区, 7 月上中旬, 南半球中高纬从低指数经向型环流向高指数纬向型环流转变, 冷空气活动偏弱, 越赤道气流减弱。

从 2003 年 6~7 月平均沿赤道经向风经度-高度剖面图可知 (图 7a), 45°E 索马里急流处的越赤道气流特别强劲, 急流中心在 900~850hPa 之间, 风速达  $12\text{ms}^{-1}$  以上; 同时, 该越赤道气流非常深厚, 从地面一直延伸到 300hPa。在 90°E、110°E 和 130°E 附近也有南风中心存在, 但强度明显弱于前者, 并主要在 800hPa 以下。而多年平均 (图 7b), 在 45°E 南风为  $10\text{ms}^{-1}$ , 比 2003 年小, 垂直方向仅到达 500hPa; 在 60°E 以东也有三个南风中心, 但是强度大于 2003 年, 尤其是 110°E 附近的越赤道气流比 2003 年大  $2\text{ms}^{-1}$  以上。

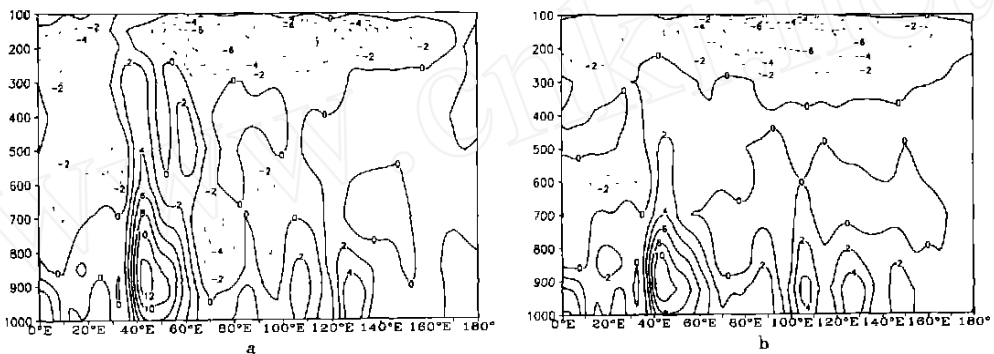


图 7 6 月 21 日~7 月 22 日平均沿赤道经向风经度-高度剖面图

(a) 2003 年; (b) 多年平均 (单位:  $\text{ms}^{-1}$ )

Fig. 7 Longitudinal-height cross section of averaged (June and July) v component along equator 2003 (a); mean (b) (unit:  $\text{ms}^{-1}$ )

从 850hPa 赤道经向风的时间演变图 (图 8a) 发现, 45°E 附近的越赤道气流从 6 月 16 日开始加强, 出现大于  $12\text{ms}^{-1}$  的越赤道急流, 21~24 日, 越赤道气流进一步加强, 与淮河流域的第一场强降水日期相吻合, 7 月 8 日, 经向风速达到  $15\text{ms}^{-1}$  以上, 7 月 18~20 日, 有所减弱, 21~25 日, 再次加强后迅速减弱, 与淮河强降水结束日期一致。60°E 以东的越赤道气流总体比较弱, 甚至出现北风。与多年平均相比 (图略), 越赤道气流 45°E 附近偏强, 60°E 以东明显偏弱, 不利于赤道辐合带的发展和北抬。

其次, 从纬向风角度来分析赤道辐合带的变化。从 2003 年 6~7 月 850hPa 100~160°E 平均纬向风演变图 (图 8b) 可知, 6 月 20 日~7 月 25 日, 低纬地区盛行东风, 西风明显偏弱, 只有 7 月 13 日以后在 5°N 以南才有赤道西风发展, 东西风切变很弱, 多年平均 6~7 月赤道辐合带在 10°N 左右 (图略), 6 月中旬开始活跃, 并逐步北抬; 而 2003 年赤道辐合带明显偏弱、偏南、偏晚, 不利于赤道辐合带的西伸加强, 不利于热带气旋的生成, 导致 2003 年热带气旋 6~7 月明显偏少。黄士松<sup>[17]</sup>指出副热带高压脊的北跳往往比 ITCZ 的移动晚 3~4 候, 因此 2003 年 7 月中旬 ITCZ 偏弱偏南可能是这段时间副高稳定维持在 22~25°N 之间没有继续北跳的主要原因之一。

以上分析表明, 南半球中高纬的冷空气活动、60°E 以东越赤道气流偏弱和赤道辐合

带偏弱、偏南是造成副高偏南、淮河流域雨带稳定和降水集中的主要原因之一。

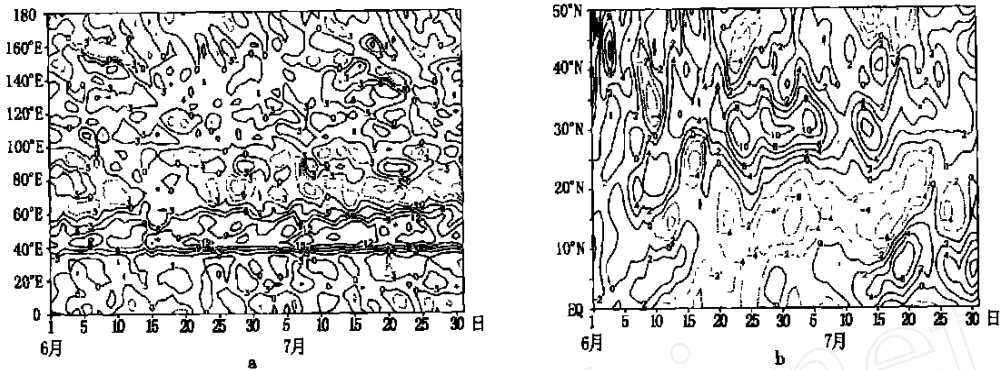


图 8 2003 年 6~7 月 850hPa (a) 过赤道的  $v$  分量经度-时间、(b)  $100 \sim 160^{\circ}\text{E}$  平均纬向风纬度-时间演变图 (单位:  $\text{ms}^{-1}$ )

Fig. 8 Temporal-longitudinal cross section of  $v$  wind averaged along equator (a) and temporal-latitude cross section of  $u$  wind averaged along  $100 \sim 160^{\circ}\text{E}$  (b) at 850hPa during June and July, 2003

#### 4.2 极涡和冷空气活动对淮河雨带的影响

进入 6 月中旬, 中阻型的梅雨形势已基本建立, 该形势一直维持到 7 月上旬, 从 700hPa 温度  $105 \sim 120^{\circ}\text{E}$  平均的纬向-时间剖面图 (图 9a) 可以看出, 2003 年 6 月下旬~7 月, 冷暖空气交汇在  $35^{\circ}\text{N}$  附近, 锋区位置偏南, 亚洲中高纬地区有四次强冷空气天气过程, 分别是 6 月 4~16 日、6 月 19~30 日、7 月 1~9 日、7 月 16~20 日, 冷空气势力明显强于多年平均 (图略)。6 月 4~11 日的冷空气非常强, 一直侵入  $25^{\circ}\text{N}$  以南地区, 使副高退居海上, 主要降水出现在江南南部和华南地区; 6 月 16 日以后, 随着冷空气势力减弱, 副高脊线逐日北抬, 6 月 27 日脊线位于  $22^{\circ}\text{N}$  左右, 由于受到后两次冷空气影响, 副高继续北上受到抑制, 又由于后两次冷空气势力的明显减弱, 副高得到短暂加强。7 月 16~20 日的弱冷空气使副高加强趋势有所减弱, 28 日以后, 冷空气进一步减弱, 副高迅速北上。

影响我国的冷空气强弱主要是由位于亚洲部分极涡决定的, 张先恭等<sup>[18]</sup>等指出极涡的范围和强度与中国夏季的雨带位置存在密切的关系。因此, 选择  $70 \sim 80^{\circ}\text{N}$ 、 $60 \sim 120^{\circ}\text{E}$  区域的平均高度代表亚洲极涡的强度, 计算了 2003 年 6~7 月亚洲极涡强度的时间变化曲线 (图 9b), 6 月 20 日以前, 亚洲极涡不断减弱, 6 月 21 日, 亚洲极涡达到最弱 ( $5675\text{gpm}$ ), 与历史同期相比明显偏弱 (图略), 6 月 22 日副高脊线北跳到  $22^{\circ}\text{N}$ 。然后, 极涡迅速加强, 促使冷空气南下, 6 月 30 日达到最强, 与历史同期相比明显偏强, 7 月 10~15 日, 亚洲极涡处于减弱阶段, 强度与历史同期相当, 7 月 16~22 日, 亚洲极涡进入新一轮加强阶段, 与历史同期相比明显偏强。综观 2003 年 6~7 月亚洲极涡的变化, 6 月份弱于多年平均, 而 7 月份明显强于多年平均, 这可能是 7 月副高持续稳定在  $22 \sim 25^{\circ}\text{E}$  之间而没有继续北抬的另一个重要原因。

从以上的分析表明, 7 月亚洲极涡偏强和冷空气活动既是淮河流域出现强降水又是副高位置偏南的主要影响因子之一。

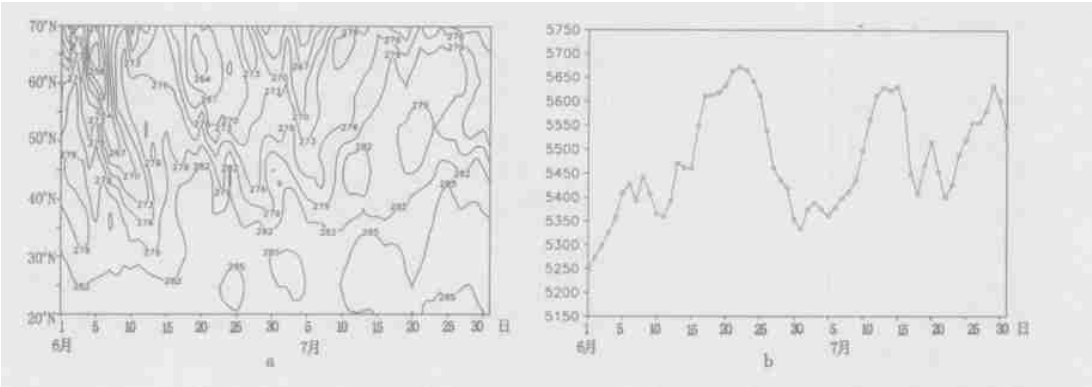


图 9 (a) 2003 年 6~7 月 700hPa 温度 105~120 °E 平均的纬向-时间演变图 (单位: K) ;  
(b) 2003 年 6~7 月 500hPa 高度 (gpm) 在 70~80 °N、60~120 °E 范围平均的时间演变图多年平均  
Fig. 9 Temporal-latitudinal cross section of temperature at 700hPa averaged along 105~120 °E  
(a) and temporal-variation of geopotential height at 500hPa averaged along 70~80 °N, 60~120 °E  
(b) during June and July, 2003

4.3 高低空急流活动对雨带的影响

4.3.1 高空急流活动对雨带的影响 6 月 20 日之前, 副高北面的高空急流还在 120 °E 以东和 100 °E 以西地区, 尚未连接起来。6 月 21 日东、西两段急流打通, 6 月 22~24 日、25~29 日、6 月 30 日~7 月 5 日、7 月 6 日~10 日、7 月 12~16 日分别有 5 次明显的急流中心从西向东传播过程, 这说明动量是从西部传播过来的, 也是与 7 次暴雨过程紧密相连的 (图略)。

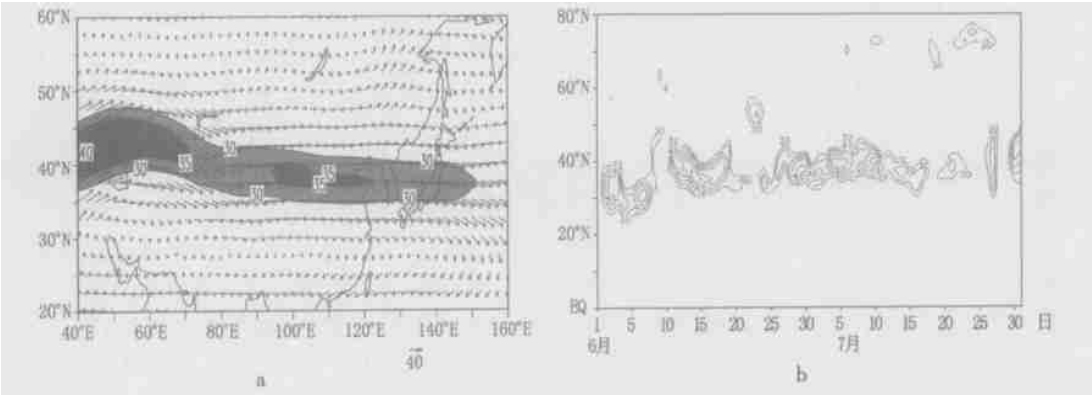


图 10 2003 年 6~7 月 200hPa 西风急流全风速 (a) 时间平均图; (b) 105~120 °E 平均纬度-时间演变图 (等值线代表大于 30ms<sup>-1</sup> 的值, 箭矢为合成风场, 单位: ms<sup>-1</sup>)  
Fig. 10 Average horizontal velocity at 200hPa during June and July 2003  
(a); and temporal-latitudinal cross section averaged along 105~120 °E  
(b) (isoline for velocity > 30ms<sup>-1</sup> and arrow for wind vector, unit: ms<sup>-1</sup>)

2003 年淮河强降水期间在 200hPa 图上, 6~7 月东亚的高空急流轴位于 38 °N 附近 (图 10a), 急流核位于 125 °E 左右 (图略), 急流平均风速超过 35ms<sup>-1</sup>。我国淮河流域上游正

好位于急流入口区南端,而淮河流域中下游地区位于急流核附近,朝鲜半岛和日本为急流出口区。在急流入口区,运动的空气块因加速会产生向顺风方向左边偏的非地转风分量,结果在急流北侧产生高空辐合,出现下沉气流;在急流南侧产生高空辐散,出现上升气流。低层大气随之发生质量调整,产生与高层相反的辐散辐合区,从而形成垂直环流。很显然,急流南侧的上升运动不利于副高继续北抬,但有利于淮河流域出现暴雨。急流一次次加强,对应上升速度加强,产生一次次暴雨过程。从急流的时间演变来看(图 10b),6 月上旬急流轴位于  $31^{\circ}\text{N}$  附近,6 月中旬西风急流迅速北跳到  $36^{\circ}\text{N}$ ,6 月 22 日继续向北移动到  $38^{\circ}\text{N}$ ,并一直维持到 7 月底,同时可以发现,淮河流域强降水期间,急流核维持在  $35\sim 50\text{ms}^{-1}$ 。与多年平均比较(图略),2003 年 200hPa 西风急流在东亚地区偏强  $5\text{ms}^{-1}$ ,急流轴比多年平均( $40^{\circ}\text{N}$ )偏南 2 个纬距,由此导致副高位置偏南,进而使淮河流域降水异常增加。

**4.3.2 梅雨期低空急流活动特征及其与大尺度环境场的关系** 在 2003 年夏季淮河流域特大洪涝期,与暴雨相伴随的低空急流十分强劲,平均风速在印度西部沿海和我国江淮地区分别可达  $22\text{ms}^{-1}$  和  $10\text{ms}^{-1}$  以上(见图版 3,图 11a),明显强于多年平均(图略),它对暴雨区热量、动量及水汽输送起了不可缺少的作用。在 6~7 月暴雨期中,850hPa 出现了  $16\text{ms}^{-1}$  西南风共 6 次。急流轴平均宽度为 50km 左右。与暴雨相联系的低空急流的活动特点是:6 月上旬初急流轴从南海伸至中国大陆,6 月下旬急流轴前端一直伸展到  $30^{\circ}\text{N}$  以北,极强的低空急流从 6 月 20 日一直持续至 7 月底(图 11b),其中 6 月 22 日~7 月 15 日低空急流前端维持在  $30^{\circ}\text{N}$  左右。

**4.3.3 高低空急流的耦合关系** 暴雨是一种垂直运动较为突出的过程。深厚的对流发展需要有利的高空条件相配合,70 年代 Uccellini 和 Johnson 等人从研究高空急流轴上水平风速分布不均匀及非地转风差异所引起的质量调整出发,指出高低空急流之间有一种耦合关系<sup>[19]</sup>。2003 年 6~7 月高空急流轴位于  $38^{\circ}\text{N}$  左右,呈准东西向分布,急流核心分别位于  $45^{\circ}\text{E}$  和  $125^{\circ}\text{E}$  附近;低空急流轴位于  $30^{\circ}\text{N}$  附近,呈东东北-西西南走向,急流核位于  $110^{\circ}\text{E}$  和  $130^{\circ}\text{E}$  附近,高空急流南界与低空急流的北界相距 1~2 个纬距,淮河流域降雨带恰好位于高空急流入口处的右前方、低空急流的左前方,同时副热带高压 5880 位势米等高线控制江南、华南地区(见图版 3,图 12a)。正是由于这种高低空配置的维持造成了淮河流域的大洪水。由于高空急流入口处右前方的强辐散,导致低层的强辐合,使低层气压梯度力加大,从而使低空急流得到维持和加强。由于低层辐合加强,使上升运动得到发展,导致高层辐散加强,使高空急流维持和发展,此种正反馈的结果是:在江淮地区产生持久的上升运动,上升气流到达 200hPa 辐散向南北两个方向运动,向南的一支与 Hadley 环流汇合在  $15\sim 30^{\circ}\text{N}$  之间产生强下沉运动,下沉增温加热中、低层大气,有利于副高的稳定和发展;向北一支在  $36\sim 42^{\circ}\text{N}$  之间下沉,有利于阻塞形势的维持和加强,两支下沉气流到达地面后汇聚到江淮地区,从而产生了由于高低空急流激发和维持的次级环流(见图版 3,图 12b)。从 850hPa 垂直速度时间演变(图略)可以进一步证明上面论点,这种形势始于 6 月 20 日,一直维持到 7 月 20 日左右。总之,200hPa 的副热带西风急流、500hPa 副高以及 850hPa 的低空急流的配置非常有利于淮河流域强降水的发展与维持。

## 5 结论与讨论

通过以上分析可以得到以下结论:



(1) 2003 年淮河大水是连续 7 场暴雨过程造成, 具有降水时间集中、强度大、突发性的特点, 6 月 21 日至 7 月 22 日淮河流域的降雨量仅次于 1954 年, 居有历史记录以来的第二位。

(2) 6 月 21 日~7 月 22 日中高纬度两槽一脊的稳定维持, 副高脊线持续稳定在  $22^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{E}$  之间, 淮河流域恰好位于高空急流入口处的右前方, 低空急流的左前方, 高低空急流构成的次级环流对副高和中高纬度大尺度环流形势的稳定维持起到了重要作用, 是造成 2003 年 6~7 月淮河流域连续性暴雨的主要原因。

(3) 2003 年 6 月下旬~7 月中旬  $60^{\circ}\text{E}$  以东越赤道气流偏弱、赤道辐合带较常年偏弱、偏南, 东西风切变弱, 热带气旋少是副热带高压偏南的原因之一; 2003 年 6~7 月东亚高空急流较常年偏南 2 个纬距, 高空急流和低空急流合适配置和耦合是造成淮河 6~7 月连续性暴雨的天气形势背景; 7 月份亚洲极涡偏强和冷空气活动既是淮河流域出现强降水又是副高位置偏南的主要影响因子之一。

以上分析表明, 副高稳定维持在  $22^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$  之间的原因成为分析 2003 年淮河大水成因的关键, 同时本文也分析了影响副高的几种因子, 各种因子共同作用导致淮河大水。各因子之间的相对重要性很难分析清楚, 不过从以上分析可以推测热带系统、高低空急流对副高影响较大, 进而对淮河大水的发生、发展产生重要影响。究竟影响程度如何, 有待进一步做深入研究工作。

## 参考文献:

- [1] 国家气象中心. 98 中国大洪水与天气预报. 北京: 气象出版社, 1999. 1~34.
- [2] 张顺利, 陶诗言, 张庆云, 等. 1998 年夏季中国暴雨洪涝灾害的气象水文特征. 应用气象学报, 2001, 12(4): 442~457.
- [3] 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.
- [4] 黄荣辉, 徐予红, 王鹏飞, 等. 1998 年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.
- [5] 陶诗言, 倪允琪, 赵思雄, 等. 1998 夏季中国暴雨的形成机理与预报研究. 北京: 气象出版社, 2001. 1~156.
- [6] 赵思雄, 孙建华, 陈红, 等. 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.
- [7] 汪美华, 谢强, 王红亚. 未来气候变化对淮河流域径流深的影响. 地理研究, 2003, 22(1): 79~88.
- [8] 周寅康, 王腊春. 淮河流域洪涝变化的耗散性. 地理研究, 2000, 19(3): 277~282.
- [9] 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993. 1~30.
- [10] Lau KM, Coauthors. A report of the field operations and early results of the South China Sea Monsoon Experiment (SCSMEX). Bull. Amer. Meteor. Soc., 2000, 81: 1261~1270.
- [11] Lau KM, Wu H T. Principal modes of rainfall-SST variability of the Asian summer monsoon: a reassessment of the monsoon-ENSO relationship. J. Climate, 2001, 14: 2880~2895.
- [12] Shin X, Kimoto M, Sumi A, et al. Simulation of the 1998 East Asian summer monsoon by the CCSR/NIEW AGCM. J. Meteor. Soc. Japan, 2001, 79: 741~757.
- [13] Wang HJ, Matsuno T, Kurihara Y. Ensemble hindcast experiments for the flood period over China in 1998 by use of the CCSR/NIES AGCM. J. Meteor. Soc. Japan, 2000, 78: 357~365.
- [14] 王会军, 薛峰. 索马里急流的年际变化及其对半球间水汽输送和东亚夏季降水的影响. 地球物理学报, 2003, 46(1): 18~25.
- [15] 曾庆存, 李建平. 南北两半球大气的相互作用和季风的本质. 大气科学, 2002, 26(4): 433~448.
- [16] 黄耀荣, 李曾中, 等. 南北半球台风形成的物理场特征对比分析. 热带气象学报, 2002, 18(2): 131~138.

- [17] 黄土松. 有关副热带高压活动及其预报问题的研究. 大气科学, 1978, 2(2): 159 ~ 168.
- [18] 张先恭, 魏凤英. 北半球极涡与副热带高压的相互关系. 长期天气预报论文集. 北京: 气象出版社, 1990.
- [19] Uccellini L W, Johnson D R. The coupling of upper and lower tropospheric jet streaks and implications of the development of severe convective storms. Mon. Wea. Rev., 1979, 107: 652 ~ 703.

## The features of the large-scale circulation leading to catastrophic flood over the Huaihe river basin during the summer of 2003 and cause exploration

ZHANG Guo-cai, BI Bao-gui, BAO Yuan-yuan, LIAO Yao-ming

(National Meteorological Centre, Beijing 100081, China)

**Abstract:** This paper analyzes the temporal and spatial distribution characteristics of the second greatest flood occurrence ever since 1954 in Huaihe river basin during the summer of 2003. Comparison is conducted with the previous data for the same period. The results show that 7 weather processes occurred with the total precipitation and water level and flux more than 1991 and less than 1954; that stable rain belt, intensive and explosive heavy rain are the main reason for the whole Huaihe river above the guaranteed water level. At the same time, by use of NCEP reanalysis data, large-scale atmospheric circulation and its formation reasons are discussed, which indicate that one of the important reasons for subtropical high noncontinually moving northward as a rule is that between the end of June and the beginning of July, the mid-high latitudes (60 ~ 180 °E, 30 ~ 50 °S) of southern hemisphere experienced circulation change from low index (longitudinal pattern) to high index (latitudinal pattern) which lasted to the mid July with the cold masses and cross-equatorial flow at 110 °E weaker than the normal. The other reasons are that between the third dekad of June and the second dekad of July, ITCZ was rather weak and further southward shifted than the normal, and shear between the west and the east wind is not obvious, and tropical cyclones formed at the western North Pacific Oceans and South China Sea; that high-level jet was southward shifted by 2 more degrees than the normal, whose coordination and coupling with low-level jet is the main reason for continuous torrential rain; that the secondary circulation caused by high and low jets played an important role in maintaining stable subtropical high and large-scale circulations in mid-high latitudes; and that the polar vortex in Asia is stronger than the normal.

**Key words:** Huaihe river basin; precipitation; subtropical high; jet

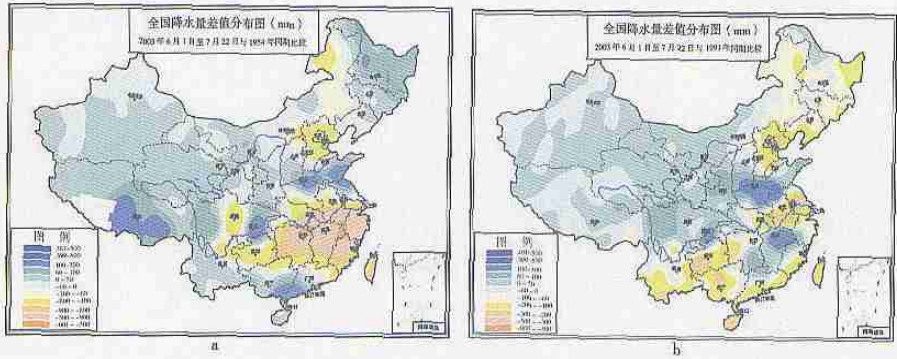


图 3 2003 年 6 月 1 日~7 月 22 日全国降水量与 1954 年(a)、1991 年(b)同期差值分布图  
Fig. 3 Precipitation difference during June 1–July 22 between 2003 and 1954 (a); 1991 (b)

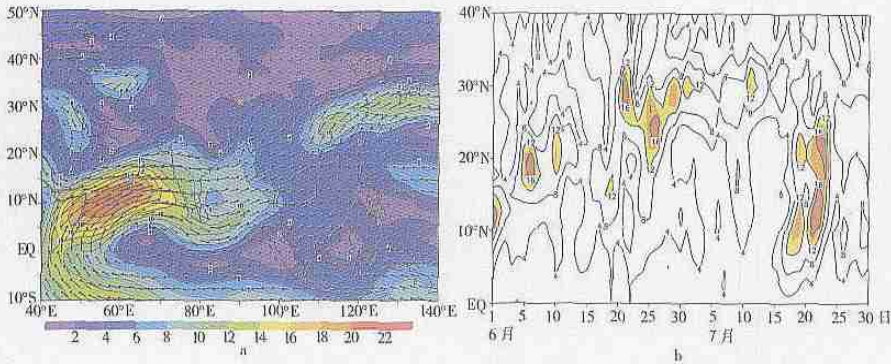


图 11 850hPa 低空急流(a)2003 年 6 月 21 日~7 月 22 日平均图(b)2003 年 6~7 月 105~120°E 平均演变图  
(图中箭头代表合成矢量风,等值线单位:ms<sup>-1</sup>)  
Fig. 11 Average horizontal velocity at 850hPa during June 21–July 22, 2003 (a); and temporal–latitudinal cross section average along 105–120°E (b) (arrow for wind vector, unit: ms<sup>-1</sup>)

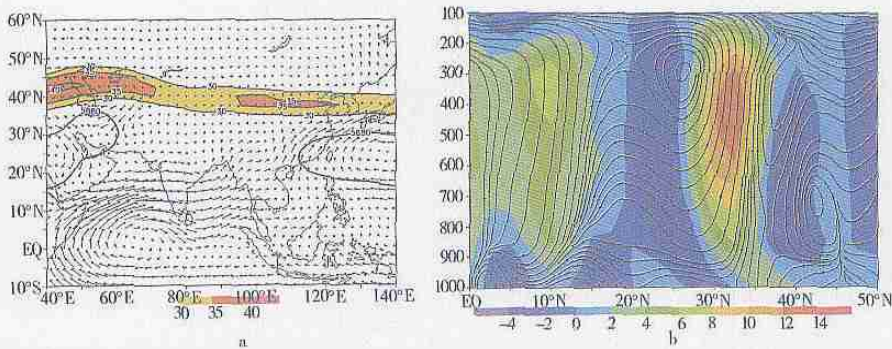


图 12 2003 年 6 月 21 日~7 月 22 日平均图(a)急流与副高配置图(实粗线为 500hPa 588dagpm 线,阴影实细线为 200hPa 全风速线(ms<sup>-1</sup>),箭头为 850hPa 风场(b) $v\omega$  合成流线图(等值线  $\omega$  符号取反,单位:~10<sup>-3</sup>Pa s<sup>-1</sup>)  
Fig. 12 A set of high–low level jet and subtropical high (a) (thick line for 500hPa 588dagpm, shaded line for velocity at 200hPa, arrow for wind vector at 850hPa, unit: ms<sup>-1</sup>); and streamline of  $v\omega$  (b) average during June 21–July 22, 2003 (unit of  $\omega$ : ~10<sup>-3</sup>Pa s<sup>-1</sup>)