

2011 年春夏季长江中下游地区旱涝急转特征分析*

沈柏竹^{1)2)†} 张世轩¹⁾ 杨涵涓¹⁾ 王阔¹⁾ 封国林³⁾

1) (兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

2) (吉林省气象科学研究所, 长春 130062)

3) (国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

(2011 年 9 月 8 日收到; 2011 年 9 月 21 日收到修改稿)

本文选用美国环境预报中心/国家大气研究中心提供的全球再分析资料, 中国气象局国家气候中心提供的中国 740 站降水资料及中国气象信息中心提供的中国区域 2011 年降水格点资料, 对 2011 年长江中下游地区 6 月初旱涝急转现象及环流背景特征进行简要分析, 结论如下: 1) 2011 年 1-5 月长江中下游地区降水较气候平均值偏少且降水变率较小, 6 月长江中下游地区降水量急剧增多, 发生旱涝急转现象, 其转折点为第 31 候 (6 月第 1 候); 2) 旱涝急转前后, 水汽通量及其经验正交函数分解的第 1, 2 模态的时间和空间演变均表现出弱水汽输送向强水汽输送转变的特征; 3) 转折前后大气环流场差异显著. 急转前, 北半球冬季风偏强, 南半球夏季风偏弱, 在春季, 东亚大槽偏强导致季风的转换延迟, 不利于南方暖湿气流的北上, 南方降水偏少, 并发生大范围持续性的严重干旱. 6 月初 (急转期) 环流迅速调整, 西太平洋副高突然西伸北跳, 东亚大槽异常偏西偏强、鄂海阻高减弱, 使冷暖空气在长江中下游地区汇合, 有利于该地区的降水发生并持续, 是长江中下游地区由严重干旱向洪涝急转的主要原因.

关键词: 旱涝急转, 水汽输送, 大气环流

PACS: 92.60.-e

1 引言

长江中下游地区地处东亚, 受季风影响其降水时空变化很大, 成为旱涝灾害最严重的区域之一, 旱涝异常发生的规律、成因和预测问题也一直是短期气候研究的一个热点和中心课题^[1,2]. 早在 20 世纪 40 年代, 涂长望和黄仕松等人从季风的角度的研究了中国东部雨带进退与季风之间的联系^[3]. 之后文献 [4—11] 进一步深入分析了夏季风对中国地区夏季旱涝的影响. 戴新刚和丑纪范通过研究印度季风与东亚夏季环流的遥相关特征发现, 当印度夏季风强盛时, 江淮等地易旱; 反之, 易涝^[10]. 文献 [12—14] 对夏季江淮流域旱涝期间的大气环流特征进行分析, 指出江淮流域旱涝的发生与环流异常变化有关. Nan 和 Li 对夏季长江流域降水研究

发现其与春季南半球环状模存在密切的关系^[15]. 文献 [16—21] 研究表明, 中国东部夏季风降水及异常与海温异常以及海陆气相互作用相联系, 并通过不同统计方法对其特征进行了分析. 这些研究增进了对长江流域旱涝成因及机制的认识, 对实际预测具有十分重要的意义, 但大都着眼于夏季平均降水异常的空间分布特征及成因等分析. 对长江中下游降水季节内尺度变化, 尤其是季节内旱涝的时间非均匀分布, 如季节内旱涝急转的研究尚未见报道^[22].

2011 年 6 月份长江中下游地区发生了一次快速、剧烈旱涝急转现象. 6 月份之前, 该地区发生了近 60 年来最严重的冬春持续气象干旱, 而进入 6 月, 接连 4 轮强降水过程又使该区遭受严重暴雨洪涝灾害. 因此, 本文通过对此次长江中下游旱涝急

* 国家自然科学基金 (批准号: 40930952, 41175083)、全球变化重大研究计划 (批准号: 2012CB955902)、公益性行业科研专项 (批准号: GYHY201106016, GYHY201106015) 和吉林省科技发展计划 (批准号: 20090424) 资助的课题.

† E-mail: jlsbz2008@sina.com

转现象的特征进行分析,为进一步研究夏季旱涝急转的成因提供一定的参考.

2 资料及分析方法

本文研究选用的资料主要包括美国环境预报中心 (NCEP)/国家大气研究中心 (NCAR) 提供的 1948—2011 年全球日平均、月平均再分析资料^[23],其中包括垂直方向 1000 hPa 到 10 hPa 共 17 层等压面的风场 (u, v 分量)、温度场 (t)、高度场 (h) 资料及垂直方向 1000—300 hPa 共 8 层等压面的比湿场 (q),其水平空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的格点资料;中国气象局国家气候中心提供的中国 758 站逐日降水量资料 (1951—2010 年) 以及中国气象信息中心提供的中国区域 2011 年逐日 08 时降水格点资料 ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) (http://cdc.cma.gov.cn/shishi/pre_grid_0.25.jsp). 在分析过程中,对个别缺测值用前后两天的资料进行了线性插补,由于缺测值很少,通过比较表明对分析结果影响很小.

利用丁一汇^[24]水汽输送和收支计算方法,进行水汽特征分析,其中大气中水汽输送向量场 $\mathbf{F}$ 为

$$\mathbf{F}(\lambda, \varphi, p, t) = \frac{1}{g} q \mathbf{V}, \quad (1)$$

对单位面积空气柱,总的水汽水平通量为:

$$Q(\lambda, \varphi, t) = \int_{p_t}^{p_s} \mathbf{F} dp = \int_{p_t}^{p_s} q \mathbf{V} \frac{dp}{g}, \quad (2)$$

其中, q 为比湿, $\mathbf{V} = (u, v)$, u, v 分别为纬向和经向风速, g 为重力加速度, p_s 为表面气压, p_t 为顶部气压,这里取 300 hPa. 并利用经验正交函数分解 (EOF) 方法对其进行分解分析.

本文计算均取 1981—2010 年 30 年平均为气候态. 分析过程中对降水做日、候 (1 年 72 候, 每月 6 候)、月、季平均处理.

3 2011 年长江中下游地区降水异常特征分析

3.1 降水变率的空间分布特征

由图 1 可见, 2011 年 1—6 月降水变率较大的区域分布于长江流域及其以南的华南地区, 最大变

率中心位于长江中下游地区, 中心值可达 20 mm 以上. 另一个范围稍小的中心位于华南地区, 中心值在 10 mm 左右 (华南南部), 表明长江中下游及华南地区是 2011 年 1—6 月中国降水变化较显著的二个地区 (图 1(a)). 中国大部分地区 1—4 月的逐月降水变率较小, 月内标准差的变化范围大都在 1—5 mm 之间, 而进入 5 月份 (图 1(b)), 长江以南的大部分地区降水变化率突然增大, 标准差变化范围为 10—15 mm 之间, 中心位于华南地区, 最大值为 25 mm; 至 6 月份 (图 1(c)), 华南一带降水减弱, 降水变化剧烈的地区北移至长江中下游的湖南省、湖北省、安徽省、江西省、浙江省的大部分地区, 其标准差达到 20 mm 以上, 中心值高达 40 mm 以上, 表明长江中下游地区 5—6 月降水异常发生了较大的转变.

3.2 降水异常的时间演变特征

为了更好地反映长江中下游地区的降水异常演变的特征, 选取能够较好代表长江中下游地区降水变化特征的上海、南京、芜湖、九江、汉口 5 站平均候降水量的时间变化图 (图 2) 进行分析.

从图 2 可以看出, 1 月至 5 月长江中下游的候平均降水量偏少, 最大为 -4 mm 以上, 其中 18—28 候长江流域干旱持续并有所加重, 直至 29 候 (5 月第 5 候) 华南地区和长江中下游局部地区出现强降水过程, 但旱情仍未缓解, 到 30 候 (5 月第 6 候) 降水又急剧转少. 而从 31 候 (6 月第 1 候) 开始降水形势再一次发生转变, 表现为由 30 候 (5 月第 6 候) 的明显偏少急剧转为明显偏多, 且一直持续到 35 候 (6 月第 5 候), 其中 33 候 (6 月第 3 候) 和 34 候 (6 月第 4 候) 的候平均降水量分别比气候态偏多 8.3 mm 和 14.1 mm, 整个降水偏多形势持续时间为 5 候 (25 d 左右). 这一持续性的强降水过程是引发长江中下游涝灾的主要原因. 10 d 滑动平均降水距平曲线变化形势与候降水距平异常相似, 但略有区别. 2011 年 1—5 月整个长江中下游地区降水均为负距平, 29—30 候受华南、长江中下游地区的一次强降水过程影响, 降水负距平减小至 0 mm 附近. 从 31 候开始, 降水距平值迅速增加, 并持续到 35 候左右, 其中 34 候达到 11 mm 左右.

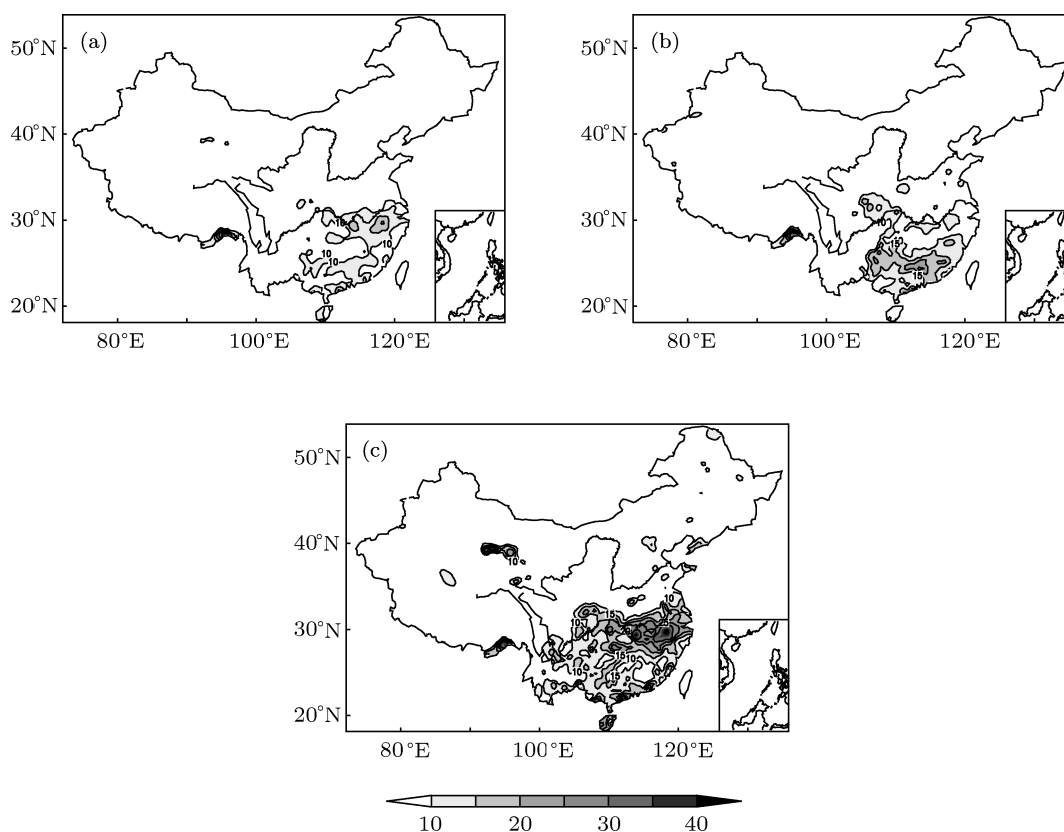


图1 2011年逐候降水量标准差空间分布(单位: mm) (a) 1—6月; (b) 5月; (c) 6月

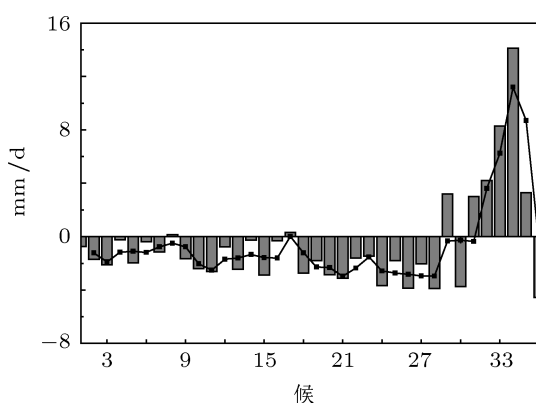


图2 2011年1—36候长江中下游5站平均降水距平时间序列图(柱状: 候平均; 曲线: 10天滑动平均)

2011年1—5月长江中下游和南方地区持续性干旱, 降水量偏少且降水变率相对较小, 5月下旬华南前汛期降水开始, 但相对较晚, 6月初长江中下游大部分地区强降水突然开始, 并提前入梅. 综合上述两方面的分析, 可以确定长江中下游的旱涝急转发生于31候(6月第1候)左右, 其原因一是降水由明显的负距平转为明显的正距平, 二是转折后降水正距平持续较长时间(5候), 且降水变率相对

较大.

4 水汽输送异常及其特征分析

4.1 水汽输送的 EOF 分布特征

由于水汽输送是产生降水的直接和必要条件, 因此研究此次旱涝急转, 有必要考察其水汽输送特征. 取5—6月份降水变率差异较大的 0° — 60° N, 70° E— 140° E区域为长江中下游地区降水异常分析区, 分别对该区2011年和1981—2010年多年平均的1—36候(1—6月)逐候水汽通量场进行EOF分解, 着重分析长江中下游地区旱涝急转前后的水汽输送异常及转折特征.

表1为EOF分解前10个模态的方差贡献率, 1981—2010年气候态平均水汽通量EOF分解的前10个模态占总方差贡献率的99.5%, 其中第1, 2模态分别占方差贡献率的59.7%和34.8%(累积方差贡献率达94.5%), 而2011年前10个模态占总方差贡献率的90.8%, 其中第1, 2模态分别占方差贡

献率的 39.1%的 20.1% (累积方差贡献率达 69.3%) 左右. 因此, EOF1 和 EOF2 是最主要的水汽输送型, 能够表征水汽活动的整体特征. 以下着重分析 EOF1 和 EOF2 模态的变化特征.

表 1 1—36 候水汽输送 EOF 分解分析累积方差贡献率 (%)

	EOF1	EOF2	EOF3	EOF4	EOF5	EOF6	EOF7	EOF8	EOF9	EOF10
气候态	59.7	94.5	97.3	98.3	98.8	99.0	99.2	99.3	99.4	99.5
2011 年	39.2	69.3	74.3	78.3	82.2	84.7	86.6	88.2	89.6	90.8

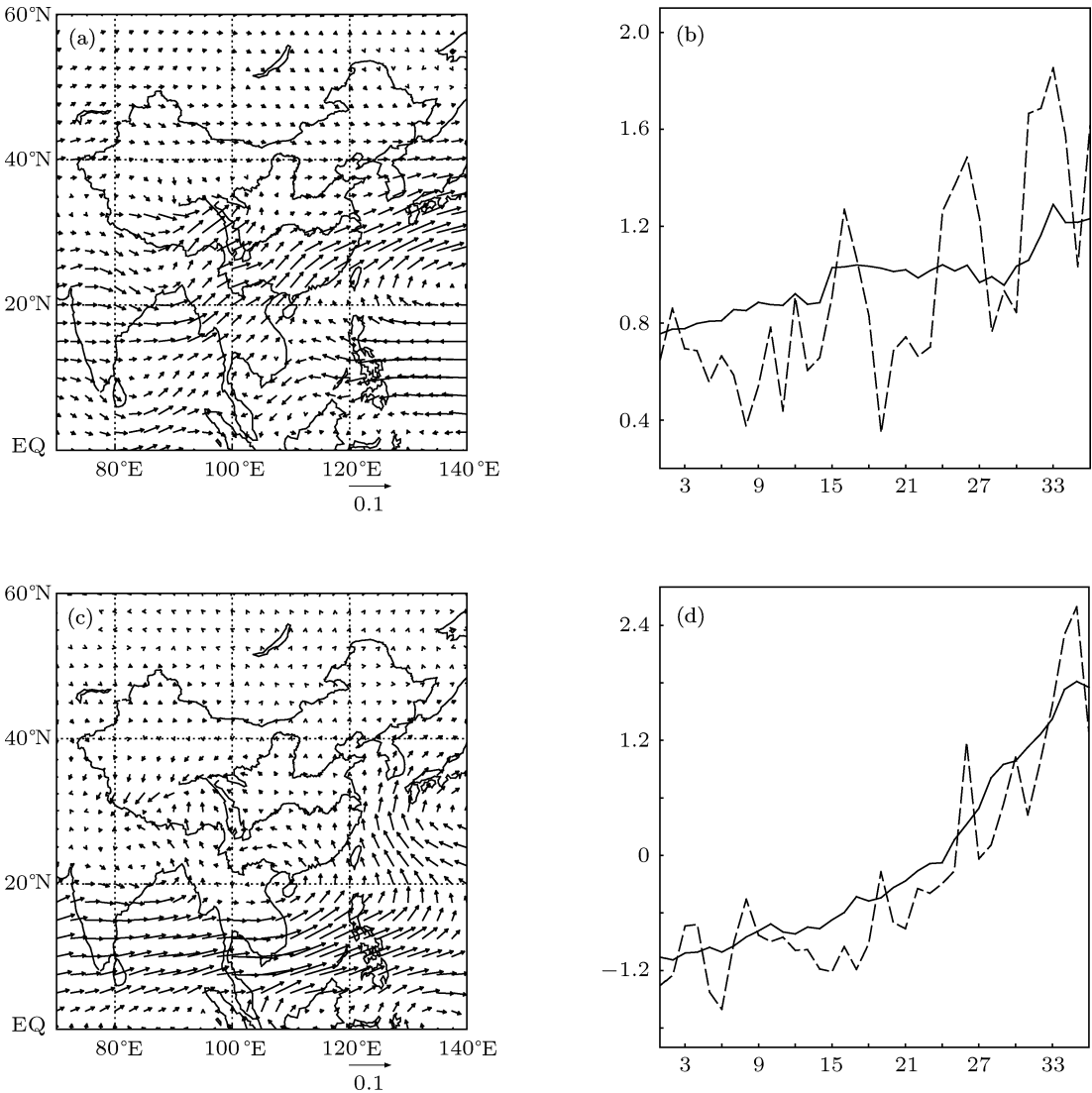


图 3 1—36 候水汽输送 EOF 分解分布及其时间系数图 (a), (c) 2011 年 EOF1, EOF2 空间分布图 (单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$); (b), (d) EOF1, EOF2 时间系数图 (实线: 气候态; 虚线: 2011 年)

气候态平均与 2011 年 1—36 候的水汽输送 EOF 分解空间分布具有十分相似的特征, 故以 2011 年 EOF 分解的空间分布图进行说明. EOF1 空间分布表现为, 赤道西太平洋和印度洋分别有一支向西和向东传输的水汽输送带, 在 100°E 中南半岛附近交汇后转向东北输送, 为中国华南及长江中下游地区的降水提供水汽 (图 3(a)). 与之对应的时间系数标准化值变化则显示 1—36 候时间系数

呈逐渐上升趋势,但波动变化较大,除2候,17候外1—24候时间系数值均在气候态以下,尤其在冬、春季节转换的18—21候,水汽输送较气候平均明显偏弱.25—27候水汽输送较气候态偏强,与华南前汛期几次强降水过程相对应.28—30候水汽输送由强转弱,由31候开始又陡然上升,使得向北输送水汽急剧增加,造成6月初长江中下游的强降水过程(图3(b)).

图3(c)水汽输送通量的EOF2空间分布与EOF1略有不同.低纬印度洋和孟加拉湾地区存在一支向东的强水汽输送带,并在100°E以东地区转向,与10°N,140°E附近太平洋西部的一个反气旋性向西北的水汽输送通量相结合,形成110°E—140°E范围内的向北水汽输送区,沿东北方向输送到30°N附近的长江中下游地区.其时间系数变化(图3(d))与EOF1类似,1—36候呈上升趋势,但波动变化较为平缓,其中1至25候均为负或弱的正时间系数,大多比气候态偏小.表明在此期间水汽输送较弱,不利于中国南方降水的发生,26—27候和31—34候有两次较大的变化,分别对应华南地区和长江中下游流域的强降水过程.

由以上分析表明,2011年1—30候,中国南方地区整体水汽输送强度较气候态偏弱,而5月份之后,25候和31候附近水汽输送出现2次较大的位

相变换,尤其是31候的水汽输送强度较气候态显著偏强.因此,EOF1, EOF2时间、空间分布均能较好地表现此次降水异常的时空变化特征.

4.2 水汽输送异常特征

为进一步分析此次旱涝急转的降水异常变化特征,分别对2011年长江中下游地区发生旱涝急转的30—31候的候平均水汽输送通量进行分析.

从2011年27—30候水汽输送整体呈一种相似变化特征,以30候(图4(a))为例,中国东部均为向北和向西北的水汽输送异常分布,华南与长江中下游地区为显著的负水汽通量异常,不利于降水发生,造成该区域的干旱少雨形势.而至31候中国东南部沿120°E附近向北的水汽输送突然增强,水汽主要来源于孟加拉湾南部向东南方向及西太平洋向西的输送,其在100°E附近汇合后向北输送,在华南和长江中下游地区为水汽汇区,为强降水提供充沛的水汽条件(图4(b)).而从32候至33候,水汽直接由孟加拉湾向东北方向输送,到中国大陆东部,在20°N, 120°E左右与西北太平洋的西南暖湿气流汇合,在长江流域一带汇合.虽然水汽输来源有所变化,但始终维持一种向长江中下游的强输送形势,使该地区维持强降水,从而导致由旱向涝的急剧转折.

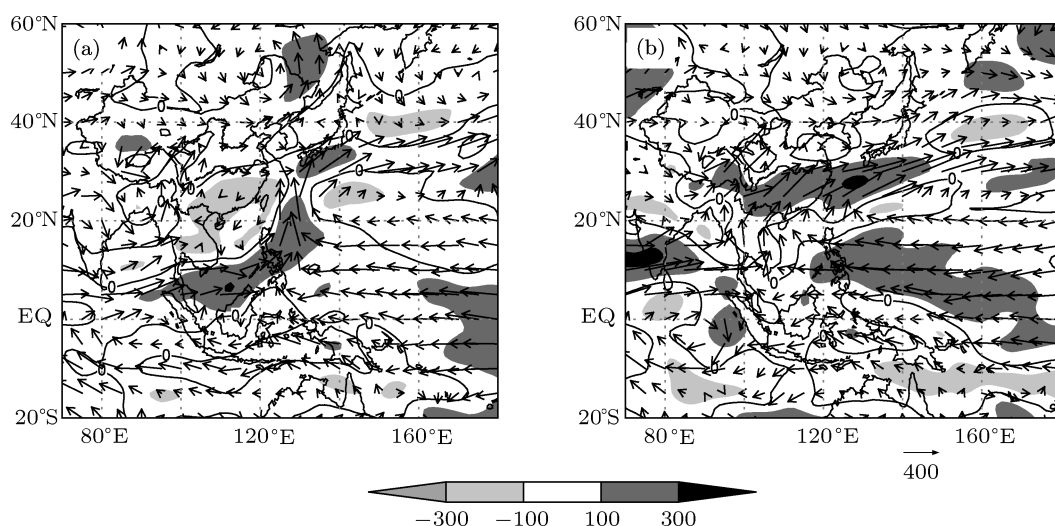


图4 2011年候平均水汽输送通量距平差值分布图 (a) 30候; (b) 31候 (矢量线: 水汽输送通量; 阴影: 水汽输送总量; 黑色等值线为水汽输送总量0线, 单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

综上所述,实际的水汽通量变化与 EOF 分解的主要模态的变化一致,2011 年 1—30 候西太平洋和印度洋向北的水汽输送偏弱,不利于中国华南及长江流域降水的发生,导致中国南方地区发生持续干旱;而 31 候之后,印度洋(孟加拉湾)、西北太平洋水汽汇合在 110°E — 140°E 附近,形成较强的向北水汽输送大值带,为长江中下游地区提供了有利的持续性水汽输送,造成强降水,并使该区发生旱涝急转.

4.3 前期及同期大尺度环流特征分析

4.3.1 前期干旱期环流背景分析

在 2011 年前冬 500 hPa 位势高度场(图 5(a))的中低纬度地区均为负距平,西北太平洋副热带高压偏低,大西洋副热带高压偏弱.极涡异常偏弱,格陵兰高压、冰岛低压异常偏强,而阿留申低压偏弱,北半球中高纬度呈显著的北极涛动(AO)负位相分布;在中高纬度地区,表现出冬季典型的三个低压

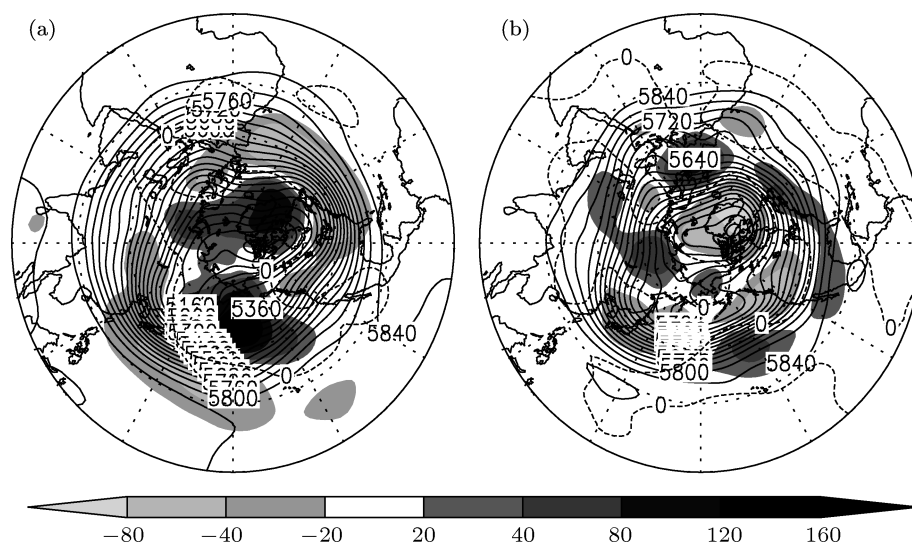


图 5 2011 年前冬 (a) 和春季 (b) 500 hPa 位势高度场空间分布 (阴影为距平场,等值线为原场,粗虚线为位势高度距平 0 线,单位: gpm)

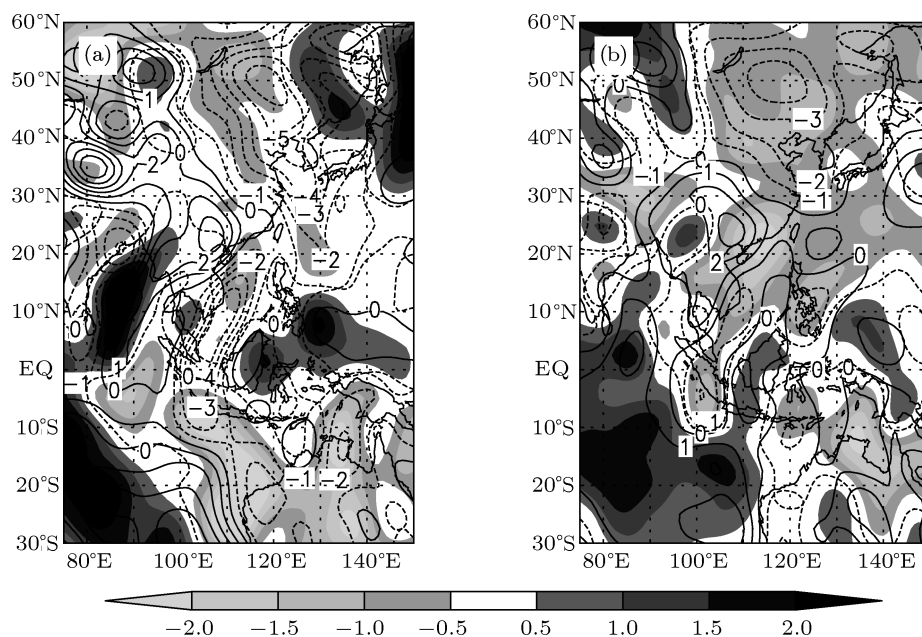


图 6 2011 年前冬 (a) 和春季 (b) 850 hPa 经向风场 (v 分量) 空间分布 (阴影为距平场,等值线为原场,粗虚线为位势高度距平 0 线,单位: m/s)

槽, 分别为欧洲浅槽、东亚大槽以及北美大槽, 且三者强度偏强.

春季(图 5(b))与前冬相比在极区和中纬度变化较大, 表现出自冬季环流型向夏季环流型转变的环流特征. 由沿 30°E -极区- 130°W - 120°E 有一条越极地的负距平带, 极涡异常加强, 格陵兰高压、冰岛低压偏弱, 而阿留申低压偏强. 北半球呈 AO 正位相分布型. 欧洲大陆北部正距平, 欧洲浅槽偏弱且位置向东略为偏移. 北美大槽在北美东、西海岸逐渐分离为两个低压槽, 前者强度偏弱, 而后者强度偏强. 东亚大槽异常偏强, 仍然维持在日本上空, 并没有表现出东移的趋势. 西北太平洋副高位于正距平区, 但强度稍弱, 控制范围较小, 西伸脊点偏东, 位于西太平洋 150°E 上空.

2011 年前冬至 2011 年春季, 500 hPa 环流场上表现出冬季风系统偏强的环流型. 尤其在春季, 东亚大槽维持在日本上空持续偏强; 极涡由正距平转为负距平, 强度偏强; 在西伯利亚上空出现较强的高压脊. 上述系统均有利于冷空气持续向南侵袭,

阻碍冬季风向夏季风转换, 这一点在 850 hPa 经向风(v 分量)上亦有很好的体现.

图 6(a) 和图 6(b) 分别为 2011 年前冬和春季 850 hPa 的经向风场. 2011 年前冬(图 6(a)), 在 110°E — 150°E 范围内, 除赤道部分地区外, 30°S — 60°N 地区几乎都为偏北风, 且偏北风较强, 尤其在中国南海一带存在正值中心, 向西南延伸至赤道附近, 在越赤道后向东南延伸, 形成强烈的越赤道气流. 在春季, 上述地区也同样多为 0.5 m/s 以上的负距平控制, 110°E 附近由 5°S -北半球中高纬度有一负值中心带, 赤道附近地区, 仍然存在偏北风的越赤道气流, 表明春季南—北半球间的北风分量异常维持并加强, 不利于南风向北的输送分量. 因此, 2011 年前冬至春季在中国东部, 偏北风偏强、偏南风偏弱, 与 2011 年前冬、春季东亚大槽异常偏南并持续相对应. 此种北风偏强的分布型, 也不利于南方暖湿空气的北上, 2011 年前冬和春季中国南方地区均呈向西南的水汽输送异常, 印度洋孟加拉湾及西北太平洋的水汽向西或向南输送(图略). 因此,

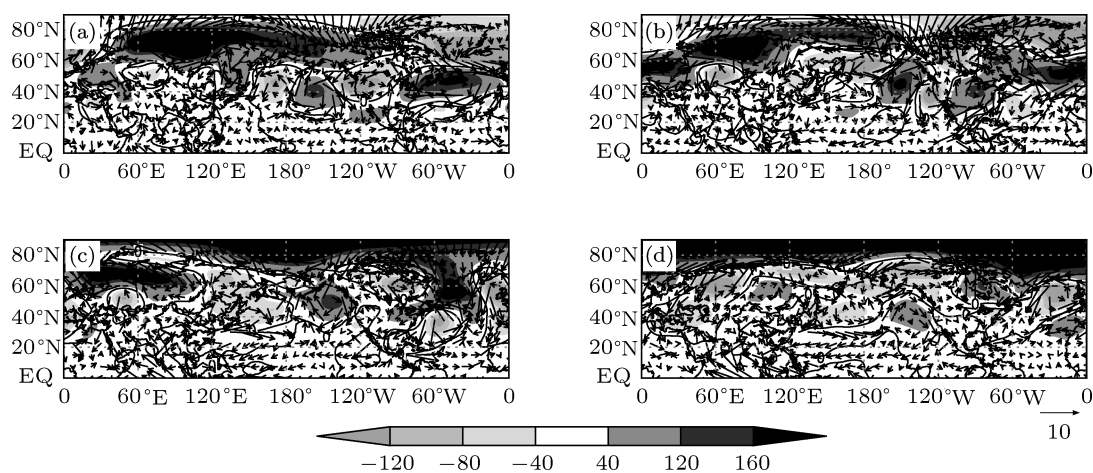


图 7 2011 年候平均 500 hPa 高度场和 850 hPa 风场距平分布图 (a)——(d) 第 30—33 候 (阴影: 高度距平场, 单位 gpm; 矢量场: 风场, 单位 m/s)

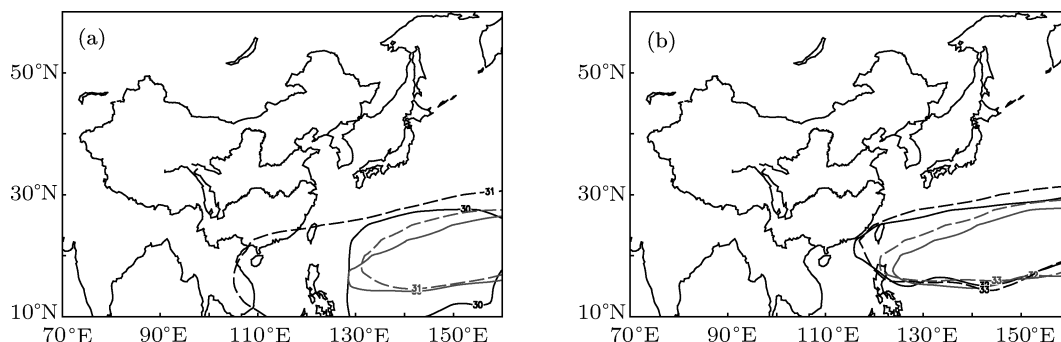


图 8 2011 年西太平洋副热带高压 (5880 gpm) 候平均分布图 (a) 第 30(实线)—31 候 (长短线); (b) 第 32(实线)—33 候 (长短线) (深色线: 2011 年候平均; 浅色线: 气候态候平均, 单位: gpm)

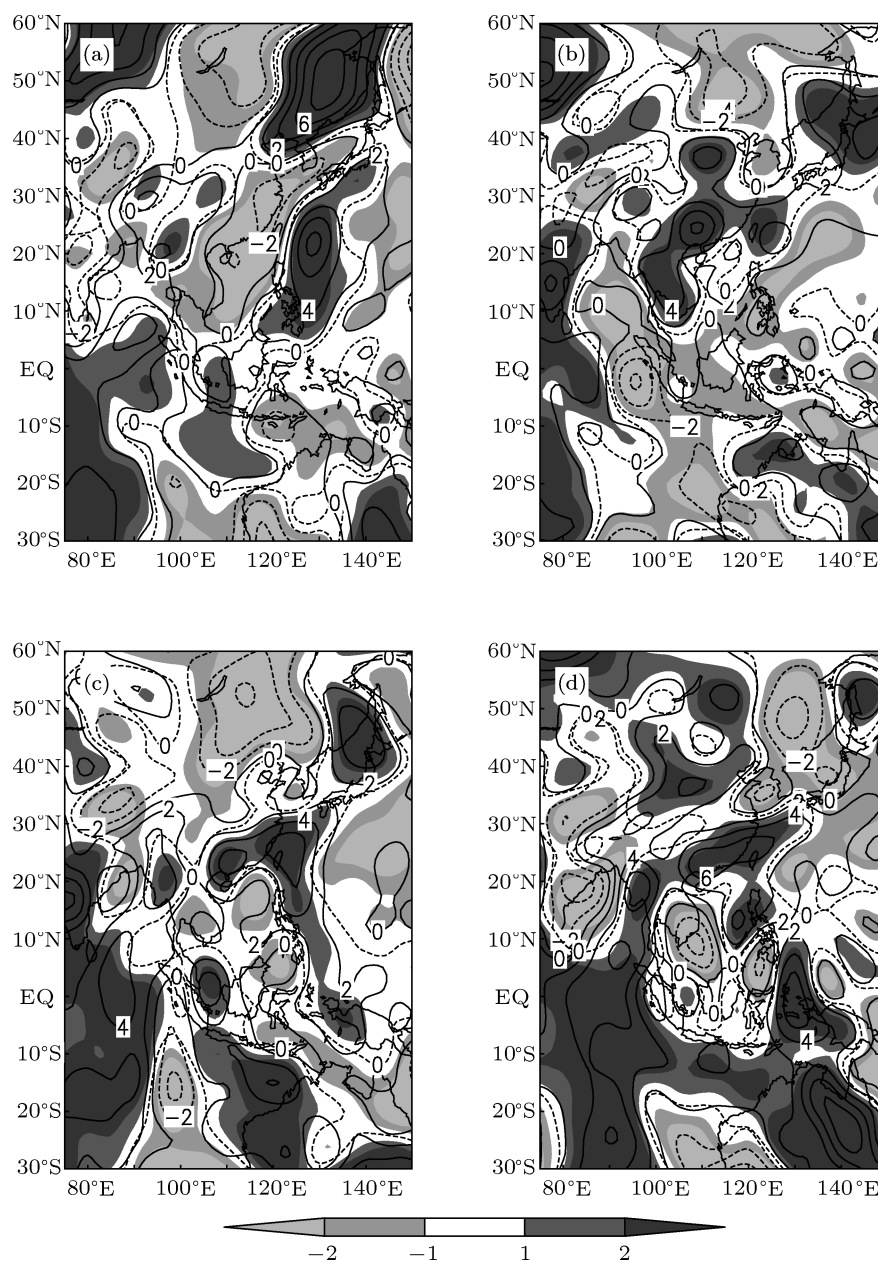


图9 850 hPa 经向风场 (v 分量) 空间分布 (a)—(d) 第30—33 候 (阴影为距平场, 等值线为原场, 粗虚线为位势高度距平 0 线, 单位: m/s)

经风向的异常亦为 2011 年前冬、春季中国南方地区水汽呈负距平分布的直接和主要原因。

4.3.2 旱涝急转期环流异常特征分析

图 7 为 2011 年长江中下游地区降水异常急转前后的 500 hPa 高度场和 850 hPa 风场候距平分布图。由图 7(a) 可以看出 30 候, 乌拉尔山、贝加尔湖阻高及鄂海阻高均偏强, 而东亚大槽较弱, 北方冷空气向南输送稍弱, 西太平洋副高虽然偏强 (图 8(a)), 但其西伸脊点稳定在 130°E 附近。31

候 (图 7(b)), 乌拉尔山阻高持续偏强, 整个东亚地区和鄂霍次克海地区呈现与第 30 候相反的形势, 东亚大槽由弱转强, 鄂霍次克海阻高则由强变弱。西太平洋副高区仍为正距平控制, 但反气旋式的差值环流加强并向西移动, 中心位于 100°E—130°E, 表明西太平洋副高西伸。31 候西太平洋副高西脊点 (134°E) 较气候平均态异常偏西, 达 107°E 附近 (偏西 27 个经度), 较 30 候突然西伸 20 个经度 (图 8(a))。32 候的环流形势图可以看到 (图 7(c)), 东亚地区及鄂霍次克海地区的异常形势一直持续,

高纬度地区的正距平显著区则持续向西减弱、收缩,至33候(图7(d))乌拉尔山附近已由显著正距平转为负距平控制.从32候至33候,太平洋副热带高压虽然东撤10个经度左右,但始终维持在 115°E — 120°E 之间(图8(b)),有利于副高后部的西南暖湿气流向北输送,致使长江中下游地区持续性洪涝灾害发生.34候副高东撤,长江中下游地区降水减弱,整个强降水过程结束(图略).

与上述环流场异常相对应,30候受中高纬阻塞高压和东亚大槽的影响,经向风场(图9(a))表现为除华北东北部、东北地区外,中国北方大部分地区都为负距平,尤其在长江中下游、华南等地受强偏北风影响,且西太平洋副高并未西伸,其西侧较强的偏南风位于海洋上空.随着大气环流场的改变,31候经向风场也随之调整(图9(b)).中高纬度正距平向西向北收缩及东亚大槽加强导致在 85°E 以西的中高纬度地区盛行偏南风,而 85°E 以东地区则受较强的偏北风控制,随着西太平洋副高的西伸,受其影响,我国长江以南地区均转为受较强的偏南风控制.此种环流形势的配置,有利于北方冷空气南下,南方暖湿气流向北输送加强,冷暖空气在长江中下游一带交汇.32—33候经向风场(图9(c), 9(d)),也可以看到长江中下游及华南地区仍受持续较强的偏南风控制,华北、东北地区受偏北风控制.

因此,从环流形势的演变可以看出,造成长江中下游地区旱涝急转的一个主要因素是东亚大槽突然由弱转强,鄂海阻高突然由强变弱,加之西太平洋副高的突然西伸,使得冷暖空气在长江中下游地区交汇.其中西太平洋副高的这种突然西伸和长时期的维持,是导致长江中下游地区大量的降水,造成暴雨洪涝灾害的直接原因.

5 结论与讨论

本文选用NCEP/NCAR的1948—2011年全球日平均、月平均再分析资料,中国气象局国家气候中心提供的中国758站逐日降水量资料以及中国气象信息中心提供的中国区域2011年逐日08时降水格点资料,对2011年春夏季长江中下游旱涝急转现象及急转发生前后环流场的变化特征等进行了简要分析,结论如下:

(1) 前冬至春季长江中下游降水偏少,降水变

化率较小,在第31候(6月第1候)长江中下游地区发生旱涝急转现象,降水变化率急剧增长,整个降水过程持续1个月左右.

(2) 旱涝急转前后,水汽输送通量差异较大.前期干旱发生时,印度洋、西太平洋向北的水汽输送偏弱,不利于中国华南及长江流域降水的发生,而31候之后,印度洋(孟加拉湾)、西北太平洋水汽汇合在 110°E — 140°E 附近形成较强的向北水汽输送大值带,为长江中下游地区强降水提供了丰沛的水汽条件.水汽通量的EOF1, EOF2模态可以较好地表现此种水汽输送的时间及空间异常特征,对降水异常的发生发展有较好的表征.

(3) 旱涝急转前后大气环流场差异显著.前冬至春季,中低纬度西北太平洋和大西洋副热带高压均偏弱,中高纬度呈冬季典型的三槽分布且强度偏强,东亚大槽仍持续偏强,维持在日本上空.表现为北半球冬季风偏强,南半球夏季风偏弱,在春季导致季风的转换延迟.而6月初大气环流场迅速调整,东亚大槽加强,鄂海阻高偏弱,西太平洋副高突然西伸并长时期维持,与之对应的长江中下游地区南风分量偏强.

(4) 西北太平洋副高的突然西伸和长时期的维持,夏季东亚大槽的异常偏西,使来自印度洋和西北太平洋的暖湿气流与北方冷空气在长江中下游地区汇合,是导致长江中下游地区旱涝急转的直接因素,而乌拉尔山、贝加尔湖阻高对此次降水异常的影响较弱.

综上所述,2011年长江中下游地区由前冬至春季的异常干旱转变为6月份的强降水异常,呈显著旱涝急转型,其成因不是单一的,而是多种因素综合互相配合、持续异常作用的结果.本文分析表明西北太平洋副热带高压、东亚大槽的异常发展和鄂霍次克海阻塞高压等大气环流形势及孟加拉湾和西北太平洋(南海)暖湿空气的向北输送异常等均对其有重要影响.然而,气候系统是一个高度非线性、无标度、多层次、强迫耗散的复杂巨系统^[25–27],影响此次旱涝急转过程的因子绝不仅限于上述讨论的几类,例如大气驻波的传播与扰动^[28–30]对此次旱涝急转的作用还有待于进一步研究.因此,我们将在此基础上另文分析此次旱涝急转前期干旱的控制因素以及海-气环流的异常特征及其对长江中下游地区旱涝急转的影响机制.

- [1] Wu Z W, Li J P, He J H, Jiang Z H 2006 *Chin. Sci. Bull.* **51** 1717 (in Chinese) [吴志伟, 李建平, 何金海, 江志红 2006 科学通报 **51** 1717]
- [2] Dai A, Trenberth K E, Karl T R 1998 *Geophys. Res. Lett.* **25** 3367
- [3] Tu C W, Huang S S 1994 *Acta Meteorol. Sin.* **18** 1 (in Chinese) [涂长望, 黄士松 1994 气象学报 **18** 1]
- [4] Tao S Y 1980 *Rain Storm in China* (Beijing: Science Press) p1–p225 (in Chinese) [陶诗言著 1980 中国之暴雨 (北京: 科学出版社) 第 1 页—第 225 页]
- [5] Tao S Y, Li J S, Wang A S 1997 *Nat. Disaster Reduction in China* **7** 17 (in Chinese) [陶诗言, 李吉顺, 王昂生 1997 中国减灾 **7** 17]
- [6] Lin X C, Xu S Y 1989 *Geogr. Res.* **8** 44 (in Chinese) [林贤超, 徐淑英 1989 地理研究 **8** 44]
- [7] Ding Y H 1992 *Meteor. Soc. Japan* **70** 373
- [8] Shi N, Zhu Q G 1993 *Adv. Atmos. Sci.* **10** 155
- [9] Shi N, Zhu Q G, Wu B G 1996 *Atmos. Sci.* **20** 575 (in Chinese) [施能, 朱乾根, 吴彬贵 1996 大气科学 **20** 575]
- [10] Dai X G, Wang P, Chou J F 2003 *Chin. Sci. Bull.* **48** 23 (in Chinese) [戴新刚, 汪萍, 丑纪范 2003 科学通报 **48** 23]
- [11] Dai X G, Chou J F, Wu G X 2002 *Acta Meteorol. Sin.* **60** 544 (in Chinese) [戴新刚, 丑纪范, 吴国雄 2002 气象学报 **60** 544]
- [12] Chen H Y 1957 *Acta Meteorol. Sin.* **1** 28 (in Chinese) [陈汉耀 1957 气象学报 **1** 28]
- [13] Tao S Y, Xu S Y 1962 *Acta Meteorol. Sin.* **32** 1 (in Chinese) [陶诗言, 徐淑英 1962 气象学报 **32** 1]
- [14] Zhang Q Y, Tao S Y 1998 *Acta Meteorol. Sin.* **56** 2 (in Chinese) [张庆云, 陶诗言 1998 气象学报 **56** 2]
- [15] Nan S L, Li J P 2003 *Geophys. Res. Lett.* **30** 24
- [16] Huang R H 1990 *Atmos. Sci.* **14** 234 (in Chinese) [黄荣辉 1990 大气科学 **14** 234]
- [17] Wu G X, Liu H Z 1995 *Atmos. Sci.* **19** 422 (in Chinese) [吴国雄, 刘还珠 1995 大气科学 **19** 422]
- [18] Zhang Q, Liu P, Wu G X 2003 *Atmos. Sci.* **27** 922 (in Chinese) [张琼, 刘平, 吴国雄 2003 大气科学 **27** 922]
- [19] Li Y, Wang Y F, Wei D 2007 *Acta Meteorol. Sin.* **65** 393 (in Chinese) [李琰, 王亚非, 魏东 2007 气象学报 **65** 393]
- [20] Shi N, Gu J Q, Yi Y M, Lin Z M 2005 *Chin. Phys.* **14** 844
- [21] Shi N, Yi Y M, Gu J Q, Xia D D 2006 *Chin. Phys.* **15** 2180
- [22] Wu Z W, Li J P, He J H 2006 *Geophys. Res. Lett.* **33** L05813 doi: 10.1029/2005GL024487
- [23] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo K C, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, Joseph D 1996 *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **77** 437
- [24] Ding Y H 2005 *Advanced Weather* (Beijing: Meteorologica Press) pp1–585 (in Chinese) [丁一汇 2005 高等天气学 (北京: 气象出版社) 第 1—585 页]
- [25] Feng G L, Hou W, Dong W J 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2 (in Chinese) [封国林, 侯威, 董文杰 2006 物理学报 **55** 962]
- [26] Feng G L, Dai X G, Wang A H, Chou J F 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 606 (in Chinese) [封国林, 戴新刚, 王爱慧, 丑纪范 2001 物理学报 **50** 606]
- [27] Gong Z Q, Feng G L, Wan S Q, Li J P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 477 (in Chinese) [龚志强, 封国林, 万仕全, 李建平 2006 物理学报 **55** 477]
- [28] Li J P, Chou J F 2003 *Chin. Atmos. Sci.* **27** 653 (in Chinese) [李建平, 丑纪范 2003 大气科学 **27** 653]
- [29] Dai X G, Fu C B, Wang P 2005 *Chin. Phys.* **14** 850
- [30] Wang P, Dai X G 2004 *Chin. Phys.* **13** 1770

Analysis of characteristics of a sharp turn from drought to flood in the middle and lower reaches of the Yangtze River in spring and summer in 2011*

Shen Bai-Zhu^{1)2)†} Zhang Shi-Xuan¹⁾ Yang Han-Wei¹⁾ Wang Kuo¹⁾ Feng Guo-Lin³⁾

1) (Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

2) (Jilin Meteorological Science Institute, Changchun 130062, China)

3) (Laboratory for Climate Studies of China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081, China)

(Received 8 September 2011; revised manuscript received 21 September 2011)

Abstract

We use global reanalysis data provided by NCEP/NCAR, precipitation data at 740 observational stations of China provided by the National Climate Center of the China Meteorological Administration, and grid data of precipitation in 2011 provided by National Meteorological Information Center to analyze the phenomenon of a sharp turn from drought to flood in the middle and lower reaches of Yangtze River in early June 2011, and the characteristics of its circulation background and briefly conclude as follows: 1) the precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River was less and its change rate was smaller than that of corresponding climatological normals from January to May in 2011, both surged suddenly in June, leading to the appearance of a sharp turn from drought to flood in June, and the kickpoint was at the 31st pentad (the 1st pentad in June); 2) around the sharp turn, both flood water vapor flux and the space-time evolution characteristics of the first and the second modes of EOF analysis represented the transform of water vapor transport from a weaker state to a stronger one; 3) before and after the turn, atmospheric circulation fields were significantly different. Before the sharp turn, winter monsoon in northern hemisphere was strong, and summer monsoon in southern hemisphere was weak, leading to the delay of monsoon transform, stronger East Asian Trough, which went against warm-moist air blowing to the north. All of that eventually led to less rainfall in south China and occurrence of this sharp turn. In early June, the period of turning, the circulation was adjusted quickly, which presented that the western Pacific subtropical high extended to west and jump to north abruptly, East Asian Trough kept strong and was maintained in the west, and blocking high located in the Okhotsk Sea weakened. Thus, cold and warm air converged in the middle and lower reaches of the Yangtze River and contributed to the occurrence and continuation of precipitation. It is the main reason of the sharp turn from drought to flood in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Keywords: sharp turn from drought to flood, water vapor transport, atmospheric circulation

PACS: 92.60.-e

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 40930952, 41175083), Significant Research Project on Global Climate Change (Grant No. 2012CB955902), the Special Scientific Research Fund of Public Welfare Profession of China (Grant Nos. GYHY201106016, GYHY201106015), and the Development Plan of Science and Technology of Jilin Province, China (Grant No. 20090424).

† E-mail: jlsbz2008@sina.com