

淮河流域夏季旱涝急转的低频环流成因^{*1}

徐敏¹ 丁小俊¹ 罗连升¹ 程智¹ 徐胜²

XU Min¹ DING Xiaojun¹ LUO Liansheng¹ CHENG Zhi¹ XU Sheng²

1. 安徽省气候中心,合肥,230031

2. 淮河水利委员会水文局,蚌埠,233001

1. *Climate Center of Anhui Province, Hefei 230031, China*

2. *Bureau of Hydrology, Huaihe Water Resources Commission, Bengbu 233001, China*

2011-12-06 收稿,2012-02-04 改回.

徐敏,丁小俊,罗连升,程智,徐胜. 2013. 淮河流域夏季旱涝急转的低频环流成因. 气象学报,71(1): 86-95

Xu Min, Ding Xiaojun, Luo Liansheng, Cheng Zhi, Xu Sheng. 2013. A possible cause of the low frequency circulation of summertime drought-flood abrupt alternation over the Huaihe River basin. *Acta Meteorologica Sinica*, 71(1): 86-95

Abstract The daily rainfall data in April – August during 1960 – 2007 are used to select drought-flood abrupt alternation events of the Huaihe river basin, and the characteristics of the low frequency oscillation about the summertime daily rainfall of drought-flood abrupt alternation are analyzed. The results are as follow; the 30 – 60 d oscillation about the summertime daily rainfall of drought-flood abrupt alternation obviously intensify. The positive correlation between the variance contribution of 30 – 60 d oscillation and the summertime rainfall over most part of the Huaihe river basin is shown with the large (small) variance contribution corresponding to much (rare) summertime rainfall. Furthermore, the significant correlation region is located over the south of the river basin. The opposite patterns of the zonal 30 – 60 d oscillation phase of both the height and meridional wind over the Eurasian mid-high latitudes are a possible circulation cause for the flood-drought abrupt alternation. In addition, the evolution of the low frequency distribution is given by analyzing the cases in typical years. During the drought period the global teleconnection variability pattern over the mid-high latitudes has a zonal wavenumber-4 or wavenumber-5 structure with the variability centers over Eurasian ranking as “+ – – – + – –” from northeastern Atlantic to East Asia through Europe and Lake Baikal, which is corresponding to the low frequency oscillation distribution. During the flood period the subpolar waveguide emanates from northern Europe to the high-latitude region of Asia along the westerly jet stream, then the strong positive variability center is developed over the sea of Okhotsk, which is favorable to forming and maintaining Okhotsk high blocking. Meanwhile the negative variability centers are found over the mid-latitude region of central Asia with the Indian monsoon weaker than normal, and then negative variability forms over the sea of Japan as a result of the down-stream effect, resulting in the subtropical high shift to more southern than normal. The negative variability is found over the lower latitudes of Bay of Bengal to the high levels of the troposphere over the South China Sea, therefore the convective activities over the South China Sea are weaker than normal. The zonal low frequency circulation pattern over the Eurasian mid-high latitudes during the drought period and the flood period reflects actually the subpolar and subtropical jet stream Rossby waveguide structure and its anomalous propagation.

Key words Huaihe River basin, Drought-flood abrupt alternation, Low frequency oscillation, Wave-activity flux

摘要 利用1960—2007年4—8月逐日降水资料挑选了淮河流域各分区旱涝急转事件,分析了旱涝急转夏季,逐日降水的低频振荡特征。结果表明,旱涝急转夏季逐日降水30—60 d周期振荡明显加强,流域大部分地区30—60 d低频振荡的方差贡献与夏季降水量呈正相关,低频方差贡献大(小)对应夏季降水量多(少),并且,相关显著区域位于流域南部。欧亚中高纬度高度场、经向风场的低频位相在少雨、多雨期呈相反纬向分布是造成旱涝急转的环流成因。通过对典型年份分析,给出了低频分布型的形成过程。在少雨期,北半球中高纬度扰动场为4—5波列,从东北大西洋经欧洲和贝加尔湖至东亚太平洋沿岸为

* 资助课题:水利部2009年公益项目“淮河流域洪涝特征研究”(200901024)、2010年淮河流域气象开放研究基金“淮河流域汛期气候预测方法研究”(HRM201001)。

作者简介:徐敏,主要研究短期气候预测。E-mail: xumin_hf@sina.com

“+、-、+、-”,与低频位相分布一致。在多雨期,副极地波导从欧洲北部沿急流流向亚洲高纬度地区,并在鄂霍次克海形成强盛的正扰动中心,有利于鄂霍次克海阻塞形势的形成与维持。当中纬度中亚为负扰动中心,印度季风偏弱时,由于下游效应在日本海形成负扰动,导致副热带高压位置偏南。在低纬度孟加拉湾到中国南海对流层高层为负扰动时,中国南海对流活动偏弱。少雨、多雨期的欧亚中高纬度纬向低频环流型实际上反映了副极地、副热带急流罗斯贝波导结构及其传播的异常。

关键词 淮河流域, 旱涝急转, 低频振荡, 波作用通量

中图法分类号 P466

1 引言

淮河流域地处中国南北气候过渡带,受典型季风气候影响,旱涝灾害频发。淮河流域旱涝的成因一直是气象学重要的研究课题之一。已有研究表明,淮河流域旱涝与 ENSO、青藏高原热状况等大气外强迫的异常有关。黄荣辉等(1994)研究认为,热带西太平洋暖池的热状况及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常起着十分重要的作用。当热带西太平洋暖池增温(降温)时,菲律宾、中国南海和中南半岛的对流活动增强(减弱),西太平洋副热带高压(副高)的位置偏北(南),中国江淮流域夏季降水偏少(多)。刘新等(2002)研究认为青藏高原加热异常影响高原和周边地区的环流以及亚洲季风区大尺度环流系统,当7月青藏高原加热偏强时激发罗斯贝波导致西太平洋副高偏南、西伸明显,在江淮地区形成南北气流的交汇从而造成降水偏多。近年来,除了大气外强迫,大气内部动力过程尤其是低频环流异常在淮河流域旱涝形成中的作用也受到重视。李勇等(2008)研究认为,2007年夏季淮河流域降水的强弱与副高、南亚高压以及中高纬度冷空气等环流系统的低频变化有关。岑思弦等(2009)研究表明,2007年淮河流域降水的低频振荡主要周期为30—70 d,并分析了降水处于不同位相时亚洲季风区低频热源(汇)的分布。这些研究对于认识淮河流域旱涝的年际变化起到重要作用。

淮河流域降水不仅具有显著的年际变化,降水的年内分布也极不均匀,往往出现前旱后涝、前涝后旱,甚至发生旱涝急转。进入21世纪,在全球变暖

的背景下,淮河流域降水年内分布的极端不均匀性更趋明显,旱涝急转的发生频率也明显增加,旱涝急转现象正日益成为相关学科关注的焦点。降水在短时间内由少转多的急剧变化是发生旱涝急转的前提,因此,其气候成因是导致旱涝急转发生的最直接因素。目前已有一些研究揭示了淮河流域旱涝急转的时空分布特征(王胜等,2009;张效武等,2007),但是,对于旱涝急转的气候成因仍缺少深入研究。本文首先分析了淮河流域旱涝急转夏季降水的低频振荡特征,以揭示降水的低频变化是旱涝急转现象的固有规律,再通过分析旱涝急转夏季大气环流异常分布型,归纳少雨、多雨期典型低频环流型,并以2003年为例分析在副热带、副极地急流上波导结构的变化,指出低频环流型的演变过程和低频关键区,从而为旱涝急转的短期气候预测提供思路。

2 资料和计算方法

所用资料为1961—2007年逐日 NCEP/NCAR 再分析资料,包括200 hPa 位势高度、风场和850 hPa 风场,空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$;1979—2007年向外长波辐射(OLR)资料;淮河流域安徽、河南、山东、江苏四省170个地面气象站1960—2008年逐日降水观测资料。

采用非整数波功率谱的计算方法(黄嘉佑等,1984),计算10—30、30—60 d 低频振荡方差贡献。低频滤波采用 Butterworth 带通滤波器(孙安健等,1994)。为了分析环流场波动的上下游效应,计算了纬向非均匀气流分别在 u 、 v 和垂直方向的波作用通量(Takaya, et al, 2001)。

$$\omega = \frac{p}{2|U|} \cdot \left| \begin{array}{l} u(v'^2 - \phi'v'_x) + v(-u'v' + \phi'u'_x) \\ u(-u'v' + \phi'u'_x) + v(u'^2 + \phi'u'_y) \\ \frac{f_0 R_a}{N^2 H_0} [u(v'T' - \phi'T'_x) + v(-u'T' - \phi'T'_y)] \end{array} \right|$$

式中, ω 为波作用通量, $\bar{U}=(u,v)$ 为基本流场, $U'=(u',v')$ 为扰动风场, $|U|$ 为风速, $|U|=\bar{U}+U'$, ϕ' 为扰动流函数, p 为气压场。在计算中,将研究时段

的平均场作为基本流场,然后对逐日风场进行低通滤波(滤去时间尺度 ≤ 8 d的天气尺度波),其与基本流场的差值即为扰动场。

3 旱涝急转夏季降水的低频振荡特征

考虑到地理和气候差异,根据二级水资源分区将淮河流域划分为王家坝以上、王蚌区间北岸、干流以南、南四湖、沂沭泗和里下河等 6 个区域(图 1)。由于受江淮梅雨北缘影响,同处于流域南部的王家坝以上、干流以南、里下河等 3 个分区气候相似,因此,将以上 3 个分区合并为一个区域——流域南部,便于从更大空间尺度分析旱涝急转夏季逐日降水的演变特征。

旱、涝短时间内的快速转换是旱涝急转的基本特征,因此,首先计算 1960—2008 年 4—8 月各分区逐日标准化降水指数(SPI)监测气象旱涝,符合以下条件即认为发生一次旱涝急转事件:

(1)前期出现连续 20 d 以上的气象干旱($SPI \leq -0.5$),由于强降水导致在 10 d 内转涝($SPI \geq 0.5$),并且涝期持续 20 d 以上。

(2)旱涝急转事件要伴有水文控制站点水位的迅速上涨。选取淮河干流王家坝、正阳关、吴家渡等 3 个水文站点,其旱、涝期水位变化分别达到 7、6、6 m,再结合气象灾情记录,确定旱涝急转事件。

按照上述标准,1960—2008 年淮河流域共有 13 年夏季发生旱涝急转,王家坝以上、干流以南、里下河分别出现 6、7 和 6 年,而王蚌区间北岸、南四湖和沂沭泗发生次数较少,仅出现 1 年或 2 年。从影响天气系统来看,除了 1974、1997 年是由于台风暴雨造成流域北部的南四湖、沂沭泗发生旱涝急转以外,其他年份多是由持续时间为 7—10 d 的连续性暴雨

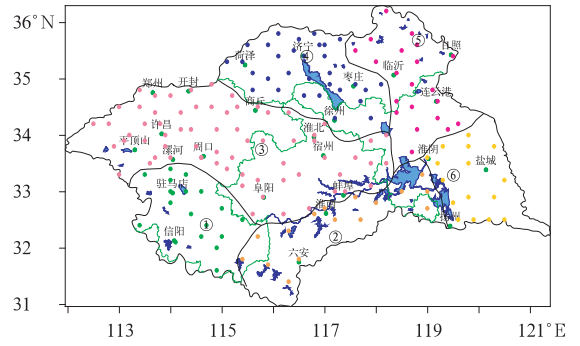


图 1 淮河流域二级水资源分区

(①:王家坝以上,②:干流以南,③:王蚌区间北岸,④:南四湖,⑤:沂沭泗,⑥:里下河)

Fig. 1 Division of the secondary water resource zones of the Huaihe River basin

(① Wangjiabayishang, ② Ganliuyinan, ③ Wangbengqujianbeian, ④ Nansihu, ⑤ Yishusi, ⑥ Lixiahe)

造成,如 2003、2007 年全流域大洪水均是由持续 1 周左右的强降水所致,但这两年旱、涝期的持续时间均远长于 1 周,因此,需要从更长时间尺度考察降水的演变规律。对旱涝急转夏季各分区的逐日降水进行小波分析和 Butterworth 滤波,发现均存在 10—30、30—60 d 两个周期的低频振荡,但显著周期并不相同,例如 1965、1968 年显著周期为 10—30 d,而 2003、2005、2007 年为 30—60 d。总体来看,显著周期为 30—60 d 的年份居多。下面对降水的 30—60 d 低频特征做进一步分析。

表 1 给出了淮河流域 13 个旱涝急转夏季 6 个分区和流域南部逐日降水 30—60 d 的低频方差贡

表 1 淮河流域各分区旱涝急转夏季逐日降水 30—60 d 低频分量方差贡献(%)

Table 1 The variance contribution of the 30—60 d oscillation of summertime daily rainfalls of drought-flood abrupt alternation over the every zone of the Huaihe River basin for 1960—2008

年份	王家坝以上	王蚌区间北岸	干流以南	南四湖	沂沭泗	里下河	流域南部
1961—2008 平均	14.8	16.6	14.3	14.0	14.3	14.3	16.6
1960				17.0			
1965	19.5	28.9				10.3	14.3
1968	29.8		21.7				28.6
1969	28.8		31.5			27.5	32.0
1972			23.0				
1974				23.8			
1982	25.0						28.7
1996						9.2	10.6
1997					11.4		
2000	10.0		7.6				11.6
2003	22.6		32.3			36.8	36.2
2006			22.7		20.0	29.8	28.0
2007			25.2			34.3	37.2

献。可以看出,除 1996、1997 和 2000 年外,另外 10 年各分区逐日降水的 30—60 d 低频方差贡献均大于 1961—2008 年气候平均值,特别是 1968、1969、2003 和 2007 年方差贡献增加最为明显,在 25%—35%,表明发生旱涝急转夏季逐日降水 30—60 d 周期振荡明显加强,而 10—30 d 低频方差贡献没有较一致的规律(表略)。注意到王家坝以上、干流以南、里下河等流域南部 3 个分区的方差贡献变化具有一致性,说明虽然水资源二级分区主要依据水系的完整性,但是淮河流域的南、北气候差异在这样的分区中也能得到体现。

为了分析降水的低频分量与夏季降水量的关系,计算了各站点 1961—2008 年 6—8 月逐日降水量 30—60 d 低频方差贡献与夏季降水量的相关系数(图 2)。可以看出,流域大部分地区 30—60 d 低频振荡的方差贡献与夏季总降水量为正相关,即低频方差贡献大(小)对应夏季降水量偏多(少)。正相关显著区域主要位于淮河流域南部,包括淮河干流上游王家坝以上、干流以南和里下河地区等 3 个分区,相关系数为 0.3—0.5,流域南部的相关系数为 0.40,均通过了 5% 的显著性检验。事实上,表 1 给出的旱涝急转年份基本包括了淮河流域所有发生严重洪涝的年份,如 1965、1968、1969、2003 和 2007

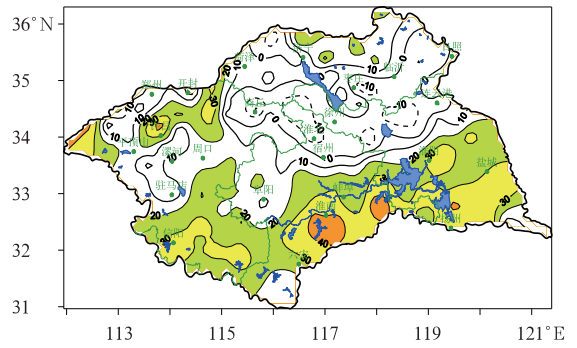


图 2 1961—2008 年 6—8 月逐日降水量 30—60 d 低频方差贡献与夏季降水量的相关系数(%) (彩色区表示相关系数 $\geq 20\%$)

Fig. 2 Correlation coefficients (%) between the variance contribution of the 30—60 d oscillation of summertime daily rainfalls and the summertime rainfall over the Huaihe River basin for 1961—2008 (The areas with the correlation coefficients more than 0.2 are shaded)

年,即降水严重偏多年份多会发生旱涝急转,因此,从这个意义上讲,降水低频方差贡献增加对应降水偏多,与上述得到的旱涝急转年份夏季逐日降水低频方差贡献明显增加的结论是一致的。

根据旱涝急转夏季洪涝的严重程度,选取 2007、2003、1969、1965、1968 年作为典型年份并划分少雨、多雨时段(表 2)。

表 2 淮河流域典型旱涝急转夏季少雨、多雨期起止日期

Table 2 The time periods of the drought/flood period in summer of typical drought-flood abrupt alternation in the Huaihe River basin for some years selected

	2007 年	2003 年	1969 年	1965 年	1968 年
少雨期	6 月 1—18 日	6 月 1—19 日	6 月 11—30 日	5 月 21 日—6 月 23 日	5 月 18 日—6 月 24 日
多雨期	6 月 30 日—7 月 9 日	6 月 30 日—7 月 10 日	7 月 3—12 日	6 月 30 日—7 月 22 日	6 月 29 日—7 月 18 日

4 典型旱涝急转夏季少雨、多雨期环流特征

大气环流异常是造成气候异常的直接原因,旱涝急转与大气环流的持续异常密切相关。从 1961—2008 年 6—7 月 200 hPa 平均纬向风及各层次平均纬向风沿 42.5°N 高度-经度剖面(图 3)可以看出,北半球西风急流位于 200 hPa 附近,西风大值区(≥ 20 m/s)从非洲北部经欧亚大陆中纬度向东延伸至太平洋,北美大陆至大西洋也有一个西风大值区。西风急流是北半球夏季静止罗斯贝波的波导,静止罗斯贝波能量的传播对中国和东亚的天气气候有着重要影响(陶诗言等, 2006; 布和朝鲁等, 2008; Enomoto, 2004)。

下面将着重分析旱涝急转夏季少雨、多雨期

200 hPa 遥相关型及波导结构的差异,为了与距平场比较,图 4 给出了夏季少雨、多雨期 200 hPa 高度距平场成分分布。由于低层水汽输送是持续强降水的必要条件,因此,也给出了夏季少雨、多雨期 850 hPa 风场异常的合成。合成时首先计算 5 个典型旱涝急转夏季少雨、多雨期相对于气候平均的 200 hPa 高度和 850 hPa 风场距平,然后再进行合成。可以看出,在少雨期,北半球中高纬度分布着 5 个负距平中心:乌拉尔山、中国大陆沿海、中太平洋、北美大陆和北大西洋;而欧洲西部、贝加尔湖、北美大陆东岸为正高度距平。欧亚大陆至太平洋日界线附近呈明显的“+ - + -”距平排列,乌拉尔山、东亚太平洋沿岸、中太平洋负距平中心均超过 -60 gpm。由于乌拉尔山低槽的强烈发展,贝加尔湖高压脊不断

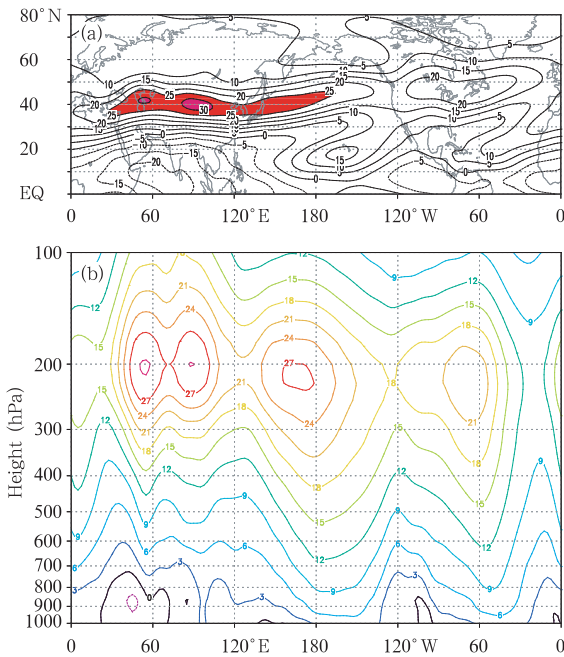


图3 1961—2008年6—7月200 hPa平均
(a)纬向风(彩色区纬向风 ≥ 25 m/s)
及其(b)沿42.5°N剖面(m/s)

Fig. 3 200 hPa averaged zonal wind (a)
and the height-longitudinal section of the mean
zonal wind along 42.5°N from 1000 to 100 hPa (b)
(unit: m/s) over June - July during 1961 - 2008
(a. the area with the zonal wind larger than 25 m/s is shaded)

加强,导致包括淮河流域在内的中国东部处于西北气流控制,降水稀少。在多雨期,距平波列变化最明显的是乌拉尔山高度距平由负转正,距平中心达60 gpm,有利于阻塞高压的形成和维持。中纬度从欧洲经里海、华北至日本海为负距平,与西风带短波槽的移动路径一致。此外,中国东南沿海转为正距平,有利于副高的增强西进。

850 hPa 风场也有明显差异。在少雨期,孟加拉湾、南海中部为反气旋式异常;在亚洲低纬度地区,从阿拉伯海经印度半岛、中南半岛延伸至菲律宾为偏东风距平,水汽输送整体偏弱,同时向外长波辐射距平场为正距平,热带对流受到抑制。在中纬度地区,华东沿海为气旋性异常,其后侧的东北气流向南延伸至华南沿海与南海异常反气旋的偏南气流交汇,对应向外长波辐射场上为负距平,对流活跃。此时期正是华南前汛期。在多雨期,亚洲低纬度地区由少雨期的偏东风距平转为偏西风距平,向外长波辐射也转为负距平,热带对流增强。中纬度地区,东南沿海至台湾岛以东洋面转为异常反气旋环流,其南侧的偏东气流在南海北部转为偏南气流向北输送,北界可达35°N,有利于淮河流域持续强降水。同时,在向外长波辐射距平场上华南沿海为强的正距平,对流减弱,华南前汛期结束。

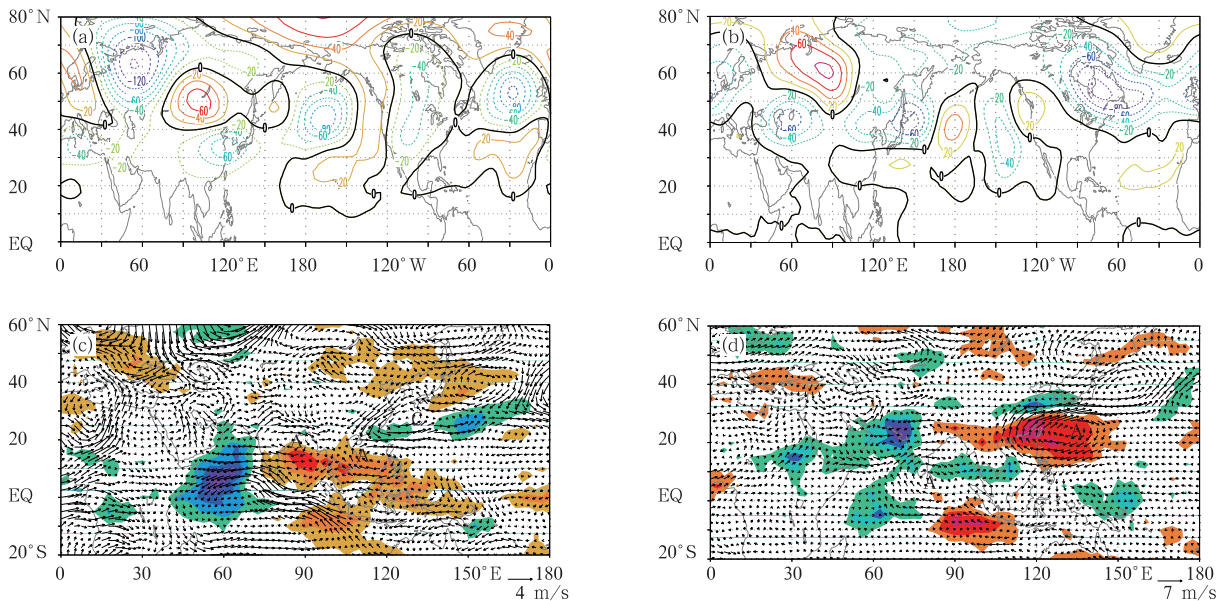


图4 典型旱涝急转夏季(a)少雨期、(b)多雨期200 hPa高度距平(gpm)
及(c)少雨期、(d)多雨期850 hPa风场距平合成
(彩色区为向外长波辐射距平,间隔为10 W/m²,A表示反气旋,C表示气旋)

Fig. 4 Composite of the 200 hPa geopotential height anomalies (a. drought period, b. flood period, unit: gpm)
and the 850 hPa wind anomalies (c. drought period, d. flood period. Shaded areas are for the OLR anomalies,
with the interval 10 W/m²) in summers of typical drought-flood abrupt alteration

5 典型旱涝急转夏季少雨、多雨期 200 hPa 低频环流和罗斯贝波传播特征

5.1 200 hPa 高度场和经向风的低频特征

降水的 30—60 d 低频方差贡献在旱涝急转夏季的明显增加与环流的低频演变有关。下面进一步分析少雨、多雨期大气低频活动中心的分布差异以及低频环流演变过程。为此将典型旱涝急转夏季少雨、多雨期经 30—60 d 带通滤波的 200 hPa 高度、经向风进行合成(图 5)。为了消除季节变化的影响,在滤波前首先计算 5—8 月(123 d)逐日 200 hPa 高度、经向风的气候平均场并通过线性拟合得到季节趋势,然后用每一典型年份的观测值减去季节趋势,再对其进行带通滤波并合成。

由图 5 可以看出,少雨期,北半球中高纬度 200 hPa 高度场低频位相呈 4—5 波分布,欧洲西部、贝加尔湖至日本海、东太平洋和西大西洋为正位相,而乌拉尔山、中太平洋、北美大陆以及东大西洋为负位相。对比图 4 可以发现,正(负)低频位相分别与正(负)高度距平中心对应,说明低频滤波后的高度场基本反映了同期环流异常。多雨期,东半球低频位

相分布与少雨期相反,乌拉尔山、鄂霍次克海以及中太平洋为正位相,而贝加尔湖为负位相。这样的形势有利于引导冷空气从贝加尔湖沿偏西和中部路径向南延伸。同时,华东沿海也由少雨期的负位相转为正位相,水汽输送明显增强,有利于淮河流域强降水的维持。

少雨、多雨期中高纬度 200 hPa 经向风的低频位相也同样呈相反的纬向分布,但低频位相中心位置比高度场约偏西 20—30 个经度。值得注意的是,30°—150°E,高纬低频位相中心均在中纬度有一个相反位相的低频中心与其对应,呈偶极子分布。在少雨期,欧洲东部(30°—60°E)为低频负位相,其南部的里海地区为正位相,而多雨期,不仅高纬度低频中心从负位相转为正位相,同时南部的低频位相也由正转负(图 5c、d)。这种经向相反位相分布有明确的天气学意义:在少雨期,乌拉尔山为低槽,南部为暖脊,南北呈“+ -”分布;在多雨期,乌拉尔山转为高压脊并经常有阻塞高压活动,其南部为切断低涡,南北呈“- +”分布,这样的变化将通过急流上的波导向下游传播,造成 60°—90°和 120°—150°E 的低频活动中心位相也发生类似变化。欧亚大陆高、

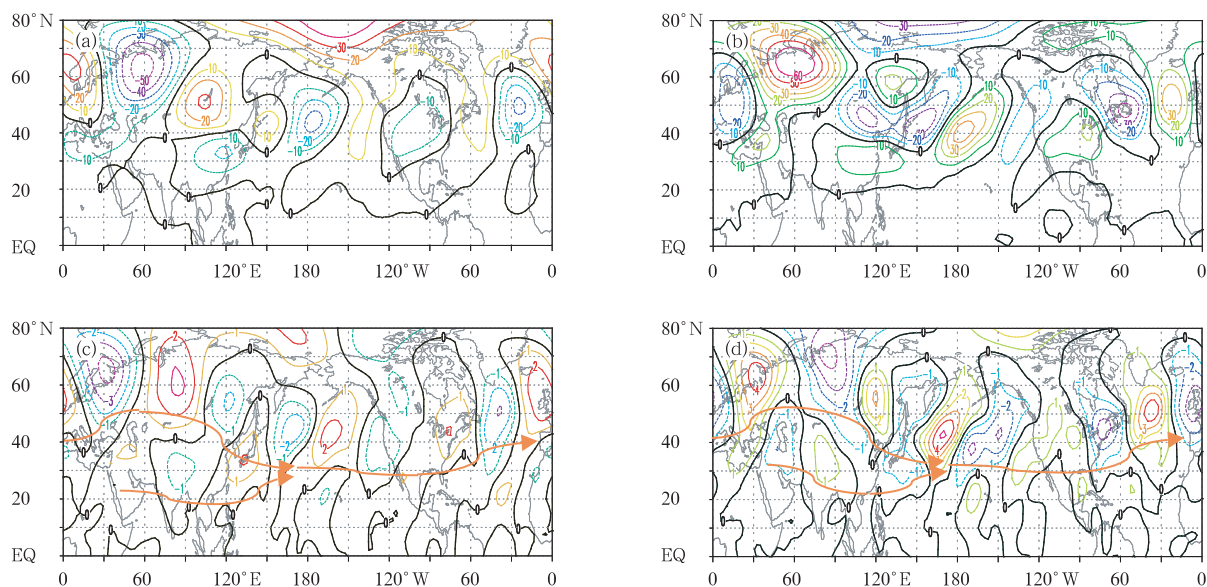


图 5 典型旱涝急转夏季(a)少雨期、(b)多雨期 200 hPa 高度(gpm)及(c)少雨期、(d)多雨期经向风(m/s)30—60 d 低频滤波合成

Fig. 5 Composite of 200 hPa geopotential height (a. drought period, b. flood period) and 200 hPa meridional wind after the 30—60 d band-pass filtering (c. drought period, d. flood period) in the summers of typical drought-flood abrupt alternation

中纬度的这两支波导在中太平洋合并成一支继续向北美大陆传播,从图 5 还可看到,中太平洋低频位相相对于同纬度的亚洲中纬度明显增强。

旱涝急转夏季北半球中高纬度 200 hPa 高度场有 4 个低频方差贡献大值区:乌拉尔山、中太平洋、北美大陆大西洋沿岸以及西大西洋,乌拉尔山、中太平洋的方差贡献最大超过 50%(图略)。少雨、多雨期低频位相呈相反变化的区域与方差贡献大值区一致,说明中高纬度大气低频位相的不同配置对于淮河流域的旱涝急转起着重要的调制作用。

行星尺度的低频位相分布与大气遥相关型紧密联系。以上 5 个典型旱涝急转夏季淮河流域的涝期均集中在 7 月,因此,多雨期低频场实际上反映了 7 月异常多雨时的环流特征。此时东亚太平洋沿岸从低纬度到高纬度呈“+ - +”的位相分布,与东亚—太平洋遥相关型(EAP)类似。该遥相关型是 7 月北半球大气环流的主要模态,是由热带西太平洋暖池对流活动激发的罗斯贝波列形成(黄荣辉等,1994; Nitta,1987)。在少雨期,虽然东亚太平洋沿岸经向波列与多雨期相反,但不能用上述的物理机制解释。事实上,初夏欧亚大陆中高纬度地区存在着另一支活跃的准定常 OKJ 波列(王亚非,2010)。从图 5 也可以看出,少雨、多雨期纬向低频波列明显强于东亚—太平洋遥相关型的经向波列。因此,除了东亚—太平洋遥相关型,纬向低频波列也是造成旱涝急转的重要原因。Lu 等(2002)通过计算 7 月平均经向风场与基点(42.5°N,105°E)的单点相关,给出了西风急流上的遥相关型并分析了与降水的关系,基点经向风与华北 7 月降水为正相关而与长江、淮河流域降水呈负相关,即基点的南风距平对应华北降水偏多而长江、淮河流域降水偏少。注意到在旱涝急转夏季的多雨期,基点的低频经向风为负位相(图 5d),与 Lu 等(2002)的结论一致。值得注意的是, Lu 等(2002)得到的结论是西风急流上遥相关型对降水年际变化的影响,而图 5 说明除了年际变化,此遥相关型还存在明显的季节内变化,其位相的转变会造成降水季节内分布的异常。

5.2 罗斯贝波传播特征

少雨、多雨期低频合成场的最大差异在于乌拉尔山低频位相的变化,说明乌拉尔低频位相在纬向遥相关型的形成过程中起重要作用,下面以 2003 年为例做进一步分析。图 6 为 2003 年 5—8 月淮河流

域南部逐日平均降水量和去除季节倾向的乌拉尔山逐日 200 hPa 位势高度距平及带通滤波结果。可以看到,乌拉尔山高度场存在明显的 30—60 d 低频振荡,方差贡献达到 57.6%。高度场与淮河流域南部降水的同期相关系数为 0.23,高度场超前 3 d 的相关系数达 0.29。高度场的正(负)低频位相分别与多(少)雨期对应,5 月下旬—6 月中旬高度场为负位相对应降水偏少,而 6 月下旬转为正位相后降水明显增多,流域南部发生旱涝急转。

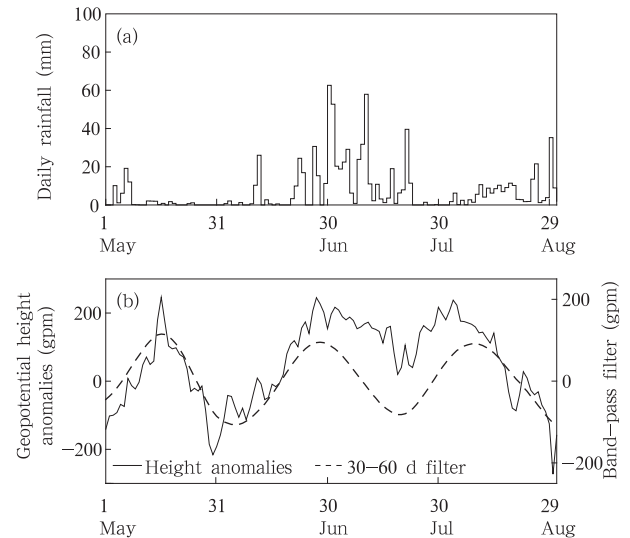


图 6 2003 年 5—8 月淮河流域南部逐日平均降水(a)和乌拉尔山(60°—70°N,55°—65°E)位势高度(b)演变
Fig. 6 Changes in the averaged daily rainfall (a) over the south region of the Huaihe River basin and the daily 200 hPa geopotential height (b) over the Ural (60°—70°N,55°—65°E) from May to August in 2003

5.2.1 少雨期和转折期

图 7 为乌拉尔山 200 hPa 高度场由低频负位相向正位相转换期间扰动流函数、波作用通量以及低频滤波场。6 月 6 日,从欧洲北部经乌拉尔山、贝加尔湖、华东沿海至北美大陆存在一支明显的罗斯贝波导,波作用通量的大值区分别在东太平洋和欧洲到亚洲西部。北美大陆太平洋沿岸和欧洲北部为两个强的正扰动中心,贝加尔湖的正扰动略弱,而乌拉尔山为强负扰动中心。从低频滤波场可以看到正(负)低频位相中心分别与正(负)扰动对应。11 日,静止波能量从强正扰动中心向下游频散,欧洲北部和贝加尔湖的正扰动随之加强,从贝加尔湖转向南进入中国东部的波作用通量明显增强,导致华东沿海的负扰动中心再度加强并向东传播,而乌拉尔山负

扰动减弱。同时欧洲北部和贝加尔湖的低频正位相较6日明显增强,而西半球由于静止波能量传播的减弱,低频位相也随之减弱。16日,罗斯贝波继续向东传播,贝加尔湖正扰动减弱,下游的日本海南部有正扰动发展。这样欧亚大陆中高纬度经历了一次完整的罗斯贝波传播。在此过程中,乌拉尔山、华东

沿海一直维持强盛的负扰动,与低频环流场上的负位相对应。此外,南海季风区的扰动也发生明显变化,原先的正扰动逐渐减弱,抑制了热带对流活动。

21日,欧亚大陆的波导结构发生变化,欧洲东部的负扰动明显减弱,波作用通量向北分量增强,乌拉尔山北部的正扰动强烈发展,中心值达 $25 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$,

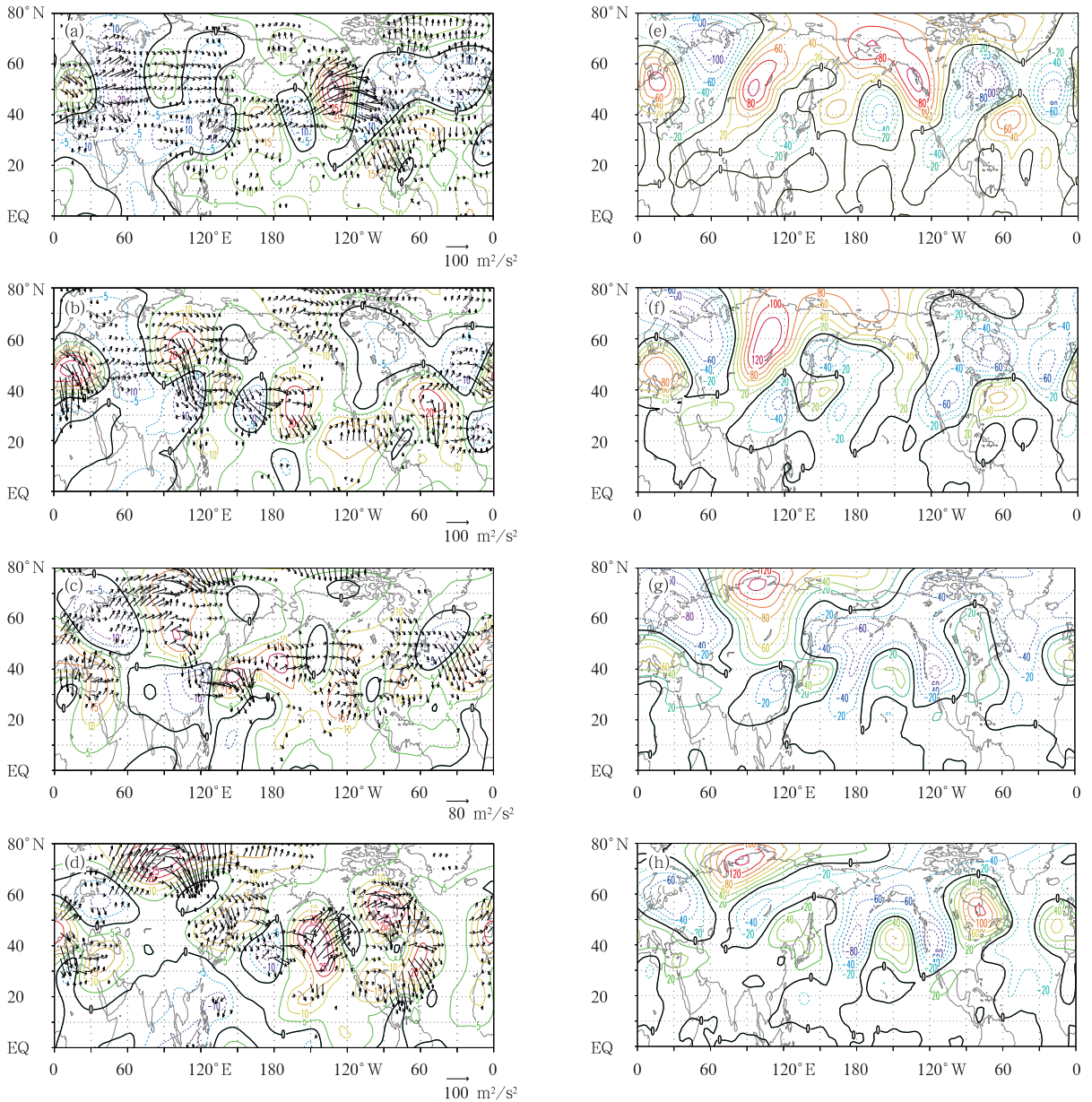


图7 2003年6月200 hPa(a—b)扰动流函数(等值线, $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)与波作用通量(矢线,略去小于 $10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 的量值)及(e—h)30—60 d低频滤波高度场(gpm)
(a,e. 6月6日,b,f. 6月11日,c,g. 6月16日,d,h. 6月21日)

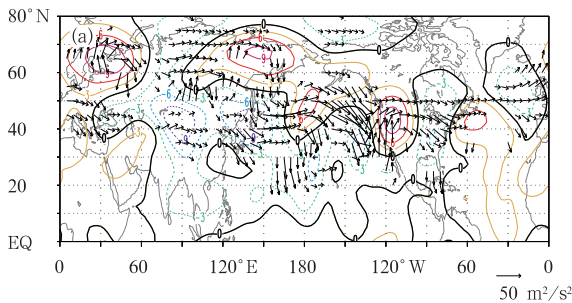
Fig. 7 (a—d) Disturbance stream function (contour lines, unit: $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$), wave activity flux (vector lines, vector less than $10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ are omitted) and (e—h) 30—60 d low frequency geopotential height field (unit: gpm) at 200 hPa for June 2003
(a,e. June 6, b,f. June 11, c,g. June 16, d,h. June 21)

贝加尔湖为波作用通量的辐合区,导致此处的正扰动减弱,前期从内蒙古进入华东的波作用通量北缩并经日本海转向东传播。

从6月中旬开始,欧洲西部的正扰动向东南方向扩展,16日阿拉伯半岛北部和伊朗高原西部为强的正扰动覆盖,中心值达 $15 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$,有利于印度季风的爆发性发展。Ding等(2007)利用超前-滞后奇异值分解方法分析了夏季欧亚大陆中纬度环流与印度季风区对流的关系,认为源于东北大西洋经欧洲至中亚的罗斯贝波列对印度季风区的对流层高层高压系统有增强作用,导致印度季风区对流活跃。图7c表明罗斯贝波列与Ding等(2007)的结论基本一致,2003年印度西部夏季风的爆发日期恰好是6月16日。

从上面分析可见,乌拉尔山高度场由负位相向正位相转换时北半球大气环流发生明显变化:(1)欧亚中高纬度波导发生变化,导致淮河流域前期持续少雨的形势减弱消失,同时副热带急流波导增强,有利于印度季风的爆发增强。(2)中国南海至菲律宾以东洋面对流层高层出现负扰动,抑制了中国南海夏季风区的对流活动。中国南海季风区扰动与印度季风区似乎有“跷跷板”关系,在旱涝急转少雨期,南海季风区上空为正扰动异常,对流活跃;转入多雨期后,印度季风区出现正扰动异常,对流增强,而南海季风区的对流活动得到抑制。

以上分析表明,在淮河流域旱涝急转的少雨期,欧亚中高纬度呈现4—5波的罗斯贝波导结构,从东



北大西洋经欧洲和贝加尔湖至东亚沿岸依次分布着“+ - + -”的扰动中心,其位置分别与低频正、负位相的分布一致。而在淮河流域降水转折时期,乌拉尔山低频位相逐渐减弱,同样伴随着欧亚大陆副极地、副热带急流上波导结构的变化。

5.2.2 多雨期

2003年夏季淮河流域降水主要集中在7月,因此,以7月为例分析多雨时期对流层高层扰动和罗斯贝波传播特征。图8为2003年7月扰动流函数和波作用矢量,为了与早年比较,同时给出了异常少雨的1994年7月的分布。

Enomoto(2004)指出,夏季欧亚大陆副极地急流和副热带急流上传播的罗斯贝静止波能量的强度和位相对阻塞高压、白令海高压等天气系统有增强作用。从图8可以看到,这两年7月副极地、副热带急流均有明显的波导结构,但存在显著差异。2003年7月,副极地波导从欧洲北部沿急流流向亚洲高纬度地区,并在鄂霍次克海形成强盛的正扰动中心,中心值超过 $9 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$,由欧洲北部正扰动下游效应导致在鄂霍次克海形成的正扰动中心,非常有利于鄂霍次克海阻塞形势的形成和维持,造成中国夏季雨带偏南。这说明乌拉尔山阻塞高压与鄂霍次克海阻塞形势的形成的确存在联系(王亚非等,1998)。与低频环流场(图5b)比较发现,欧洲北部和鄂霍次克海均为明显的正位相,与正扰动对应。

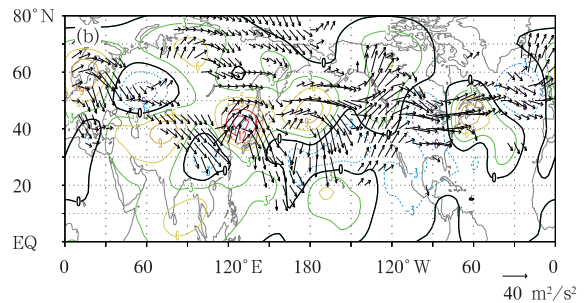


图8 2003年(a)、1994年(b)7月200 hPa扰动流函数(等值线, $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$)和波作用通量(矢量)

Fig. 8 Averaged 200 hPa disturbance stream function (unit: $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$) and wave activity flux (vector) over July of 2003 (a) and 1994 (b)

1994年7月,源于欧洲北部的波导结构在乌拉尔山附近分为两支,其中,一支流向亚洲高纬度地区,鄂霍次克海为弱的正扰动但强度远小于2003年;另一支则沿副热带急流向东传播并在中亚和日本海分别形成强盛的正扰动中心,与2003年7月的负扰动恰好相反。1994年7月中亚对流层高层的强盛正扰动,导致印度季风偏强,并向下游传播在日本海形成

强的正扰动,引导对流层中层副高加强北进,导致中国夏季雨带位置偏北,华北降水偏多而江淮流域降水偏少。同样注意到,这两年7月低纬地区扰动分布的差异,2003年7月孟加拉湾至南海为负扰动,南海对流活动较弱,而1994年7月,以上区域对流层高层为正扰动,对流活跃,南海夏季风偏强。事实上,中国气象学者很早就注意到中国夏季雨带与印度季风的强

弱存在联系(郭其蕴,1992)。Wang等(2001)的研究也认为,印度季风偏强,夏季青藏高原西部、东北亚均为强盛的反气旋,这样的遥相关型导致中国北部降水增多而日本南部降水减少。

以上分析表明,在淮河流域异常多雨的7月,东亚太平洋沿岸不仅出现“+ - +”经向波列分布的遥相关型,而且副极地、副热带急流波导结构的位相分布差异也会对东亚气候产生影响。与淮河流域旱涝急转多雨期200 hPa低频滤波场比较,欧洲北部和鄂霍次克海的正扰动、亚洲中纬度的负扰动分别与低频正、负位相一一对应。

6 结论与讨论

本文分析了淮河流域旱涝急转夏季少雨、多雨期大气低频环流分布型,结果表明,北半球中高纬度纬向距平和低频位相波列的相反分布是造成少雨、多雨的环流成因。并通过分析典型年给出了低频分布型的形成过程,低频环流型实际上反映了副极地、副热带急流罗斯贝波导结构及其传播的异常。

(1)旱涝急转夏季,淮河流域逐日降水具有明显的30—60 d低频振荡,而10—30 d低频分量没有一致的变化规律。流域大部分地区30—60 d低频振荡的方差贡献与夏季降水量呈正相关,低频方差贡献大(小)对应夏季降水量偏多(少),并且流域南部的关系更加显著。

(2)在少雨期,北半球中高纬度200 hPa高度场呈明显的距平波列,欧亚大陆至太平洋日界线附近的“+ - + -”距平波列最为明显,亚洲低纬850 hPa水汽输送偏南、偏东。在多雨期,高度距平波列分布与少雨期相反。同时,东南沿海反气旋环流西伸北进,向北水汽输送明显增强,亚洲低纬偏西气流收缩至100°E以西,南海季风转入偏弱阶段。

(3)北半球中高纬度200 hPa高度场低频位相分布与高度距平一一对应。在多雨期,乌拉尔山、鄂霍次克海以及中太平洋为正位相,而贝加尔湖为负位相,少雨期低频位相分布则相反。200 hPa经向风的低频位相在少雨、多雨期也呈相反分布,低频中心位置比高度场偏西约20—30个经度。欧亚中高纬度高度场、经向风场的低频位相在少雨、多雨期相反的纬向分布是造成旱涝急转的环流成因。

(4)在少雨期,欧亚中高纬度扰动场为4—5波列,从东北大西洋经欧洲和贝加尔湖至东亚沿岸为“+ - + -”的扰动中心,与低频位相分布一致。多雨期,东亚沿岸不仅出现“+ - + -”东亚太平洋遥相

关型,而且,副极地、副热带急流波导位相也发生变化。副极地波导从欧洲北部沿急流流向亚洲高纬度地区,并在鄂霍次克海形成强盛的正扰动中心,有利于鄂霍次克海阻塞形势的形成与维持。中纬度中亚为负扰动中心,印度季风偏弱,由于下游效应在日本海形成负扰动,导致副高位置偏南。低纬度孟加拉湾到南海对流层高层为负扰动,南海对流活动偏弱。

参考文献

- 布和朝鲁,施宁,纪立人等. 2008. 梅雨期 EAP 事件的中期演变特征与中高纬 Rossby 波活动. 科学通报, 53(1): 111-121
- 岑思弦, 巩远发, 王霄. 2009. 2007 年夏季淮河流域洪涝与亚洲地区大气低频振荡的关系. 大气科学, 33(6): 1286-1296
- 郭其蕴. 1992. 中国华北旱涝与印度夏季风降水的遥相关分析. 地理学报, 47(5): 394-402
- 黄嘉佑, 李黄. 1984. 气象中的谱方法. 北京: 科学出版社, 76-79
- 黄荣辉, 孙凤英. 1994. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季异常的影响. 大气科学, 18(2): 141-151
- 李勇, 周兵, 金荣花. 2008. 2007 年淮河强降水时期低频环流特征. 气象学报, 68(5): 740-747
- 刘新, 李伟平, 吴国雄. 2002. 夏季青藏高原加热和北半球环流年际变化的相关分析. 气象学报, 60(3): 267-277
- 孙安健, 唐国利, 黄荣辉. 1994. 1983 与 1985 年夏季北半球 500 hPa 高度场大气低频波的振荡特征. 大气科学, 18(5): 576-585
- 陶诗言, 卫捷. 2006. 再论西太平洋副热带高压的西伸北跳. 应用气象学报, 17(5): 513-525
- 王亚非, 宋永加. 1998. 1991 年夏东亚阻塞高压形成的诊断分析. 气象学报, 56(2): 212-224
- 王亚非. 2010. 有关 OKJ 波列研究及展望. 气象学报, 68(4): 584-589
- 王胜, 田红, 丁小俊等. 2009. 淮河流域主汛期降水气候特征及“旱涝急转”现象. 中国农业气象, 30(1): 31-34
- 张效武, 徐维国, 施宏江等. 2007. 安徽省旱涝急转规律的认识与研究. 中国水利, (5): 40-42
- Ding Q H, Wang B. 2007. Intraseasonal teleconnection between the summer Eurasian wave train and the Indian monsoon. J Climate, 20(15): 3751-3767
- Enomoto T. 2004. Interannual variability of the Bonin high associated with the propagation of Rossby waves along the Asian jet. J Meteor Soc, 82(4): 1019-1034
- Lu R Y, Oh J H, Kim B J. 2002. A teleconnection pattern in upper-level meridional wind over the North African and Eurasian continent in summer. Tellus, 54(1): 44-55
- Nitta T. 1987. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. J Meteor Soc, 65(3): 373-390
- Takaya K, Nakamura H. 2001. A formulation of a phase-independent wave activity flux for stationary and migratory quasi-geostrophic eddies on a zonally varying basic flow. J Atmos Sci, 58(6): 608-627
- Wang B, Wu R G, Lau K M. 2001. Interannual variability of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the western North Pacific-east Asian monsoons. J Climate, 14(20): 4073-4090