宗海锋,陈烈庭. 2013. 中国东部夏季风雨带季内变化各模态的环流及海温特征 [J]. 大气科学, 37 (5): 1072–1082, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013. 12069. Zong Haifeng, Chen Lieting. 2013. Characteristics of the atmospheric circulation and sea surface temperature for different modes of intraseasonal variation of summer monsoon rain belt in eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 37 (5): 1072–1082.

中国东部夏季风雨带季内变化各模态 的环流及海温特征

宗海锋 陈烈庭

中国科学院大气物理研究所,北京100029

摘 要本文根据中国气象局国家气候中心提供的中国 160 站月平均降水量,NCEP/NCAR 再分析的 850 hPa 风场,及 NOAA 扩展重建的海温场资料,用合成分析和相关分析,研究了 1951~2005 年间中国夏季风雨带季内变化各模态的西太平洋副高夏季各月活动特点的差异,及其与前期冬季东亚季风和太平洋海温异常的联系,并分析了我国夏季风雨带季内变化各模态与夏季雨型的关系。结果表明,不仅不同模态对应的西太平洋副高自春至夏的两次北跳有明显不同的过程,而且两次北跳还具有相对独立性。第一次北跳主要对 6 月的雨带特征有重要影响,第二次北跳对 7、8 两月的雨带分布有决定性意义。

太平洋海温异常对我国夏季风雨带季内变化的影响是多态的,在不同季风—ENSO 循环的位相有不同的表现。第一模态主要出现在 El Niño 减弱位相,第二模态在 La Niña 发展位相,第三模态在 El Niño 发展位相,第四 模态在 La Niña 减弱位相,第五模态 ENSO 的信号较弱,第六模态在 La Niña 持续位相。此外,不同海洋关键区 的海温异常对我国雨带季内变化也有不同的调控作用。黑潮区的海温与 6 月的雨带活动关系密切,而赤道东太平 洋的 ENSO 循环对 7、8 两月的雨带有重要影响。对我国夏季风雨带季内变化模态与夏季雨型关系的分析则表明, 它们之间存在某些联系,但这并不意味着可以相互取代。

关键词 夏季风雨带 季内变化模态 东亚季风 ENSO 循环位相 文章编号 1006-9895(2013)05-1072-11 中图分类号 P466 文献标示码 A doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013.12069

Characteristics of the Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature for Different Modes of Intraseasonal Variation of Summer Monsoon Rain Belt in Eastern China

ZONG Haifeng and CHEN Lieting

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

Abstract Differences in monthly evolution of the western Pacific subtropical high (WPSH) in summer for different modes of intraseasonal variation of the summer monsoon rain belt (IVSMRB) are examined by using the composition method. For such analysis, the rainfall data from 160 stations in China, 850 hPa wind derived from the National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis dataset, and the *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) extended reconstructed sea surface temperature (SST), are used. In addition, the characteristics of the pre-winter East Asia monsoon, Pacific sea surface temperature anomalies (SSTA), and rain styles in summer relative to these modes are investigated by using composition and correlation methods.

收稿日期 2012-04-28, 2013-02-22 收修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421401、2013CB430201,公益性行业(气象)科研专项 GYHY200906018

作者简介 宗海锋,男,1975年出生,博士,主要从事气候变化、海气相互作用、短期气候预测研究。E-mail:zhf@mail.iap.ac.cn

Results show that the twice northward jumps of WPSH from spring to summer differ significantly among the modes, and that for each mode is relatively independent. The first jump of WPSH has an important influence on rain belt distribution in June, while the second jump has decisive influence on that in July and August.

The influence of SSTA in the Pacific on IVSMRB in China is multi-modal. In different phases of the Monsoon/El Niño–Southern Oscillation (ENSO) cycle, the IVSMRB presents dissimilar features. The first mode appears mainly in the decay phase of El Niño, and the second generally appears in the developing phase of La Niña. The third occurs in the developing phase of El Niño; the fourth, in the decay phase of La Niña; the fifth, at weak ENSO signals; and the sixth, in the persisting phase of La Niña. Moreover, the SSTA in different key regions has different impact on the IVSMRB. The SSTA in Kuroshio has a strong correlation with the rain belt variation in June, while the ENSO cycle in eastern tropical Pacific has an important influence on the rain belt variation in July and August. Analysis of the relationship between the IVSMRB modes and summer rain styles reveals some linkage between the two; however, these results do not imply that they can be substituted for each other.

Keywords Summer monsoon rain belt, Intraseasonal variation modes, East Asia Monsoon, Phase of ENSO cycle

1 引言

陈烈庭等(2007)利用扩展正交函数分解 (EEOF) 方法研究了 6~8 月中国东部夏季风雨带 季节性南北变动的主导模态、时空变化的特征、天 气气候的特点和与西太平洋副热带高压(WPSH, 以下简称副高)位置季内变化的关系,揭示了6~8 月夏季风雨带的季内变化(IVSMRB)主要有六种 模态(图1)(陈烈庭等,2007):梅涝型、伏旱型、 梅旱型、南涝北旱型、常态型和南旱北涝型。它们 的解释方差分别为 7.9%、6.9%、5.9%、5.7%、4.2% 和 4.0%。各模态雨带季内变化的特征见图 1 中各月 降水距平分布的变化和分析。这些模态基本上能反 映我国东部夏季风雨带季节性移动异常的各种情 况,并都有其各自的天气气候特点。这里我们想进 一步分析各模态的东亚环流演变的特征,及其与太 平洋海温异常的联系,以增进对各模态季风雨带季 内变化的规律和成因的认识,为预测我国夏季主要 雨带逐月变化的过程提供线索。

我国东部夏季风雨带的活动主要受东亚各季 风系统和中高纬环流的影响,其中尤其以与西太平 洋副高强弱和位置变化的关系最为密切(陶诗言和 徐淑英,1962;黄士松等,1962;廖荃荪和赵振国, 1992;沙万英和郭其蕴,1998;张庆云和陶诗言, 1999;张素琴和林学椿,2000,王绍武等,2000)。 关于副高和季风雨带变动的规律和成因问题,人们 从季风环流以及海温、极冰和积雪等各种影响因素 进行了许多研究。在海温方面,表明了热带太平洋 ENSO 循环、西北太平洋黑潮海温异常以及热带印 度洋与太平洋海温的纬向分布异常对西太平洋副 高和我国汛期降水有重要影响(大气物理研究所长

期天气预报组, 1973; 地理研究所长期天气预报 组, 1977; 陈烈庭, 1977; 陈烈庭等, 1985; 黄荣 辉和李维京, 1988; 陈烈庭, 1991; 吴仁广和陈烈 庭, 1996; 陈烈庭和吴仁广, 1998)。然而, 到目 前为止所有这方面的研究基本上都是分析影响因 子与整个夏季或某个月降水分布的关系, 很少探讨 雨带季内变化过程的年际变化及其与大气环流和 下垫面异常的可能联系。显然,作为夏季降水季节 预报,除夏季总的降水分布和旱涝趋势外,如果能 获得旱涝发生大致的地区和时间的信息,将会是更 有使用价值的。然而影响西太平洋副高和我国夏季 风雨带季节性变异的因素很多,且关系十分复杂, 这给问题的探讨带来很大的难度。本文拟对我国夏 季风雨带的季内变化与西太平洋副高和太平洋海 温异常这两个因子的可能联系作一初步分析,主要 目的是想探索雨带季内变化的可预报性, 预测的方 法或途径。

2 资料和方法

本文所用资料是中国气象局国家气候中心提供的 160 站月降水资料,NCEP/NCAR 再分析月平均 850 hPa 和逐日 500 hPa 风场资料,分辨率为 2.5°×2.5°,以及 NOAA 扩展重建的海表温度资料,分辨率为 2°×2°。研究时段为 1951~2005 年,共55 年。

分析方法主要是合成分析和相关分析方法。在 分析前对 850 hPa 风场和海温资料都进行了距平 化处理。而降水则取其距平百分率值。气候态 取 1971~2000 年的平均值。合成分析是每个模 态取 6 个典型年(陈烈庭等, 2007)进行合成的 结果。

3 各模态的环流演变特征

黄士松等(1962)和黄士松(1978)的分析指 出,自春至夏西太平洋副高一般有两次明显的北跳 过程。第一次出现在6月中旬,雨带从华南跃进至 长江流域, 华南前汛期结束, 江淮流域梅雨开始。 第二次在7月中旬,雨带北跃到黄河流域,梅雨结 束, 华北和东北雨季开始。这两次北跳的时间每年 不同,有早有晚,致使雨带在各地停滞的时间有长 有短,从而导致某些地区发生旱涝灾害,并指出副 高北跳具有缓慢式和跃进式两种移动过程。因此, 下面我们将重点分析各模态西太平洋副高季内变 化的特征。由于 850 hPa 距平风场能很好地表示东 亚环流异常的状态,并与我国夏季降水的分布有很 好的对应关系,我们用它来表示对流层中下层环流 的状况。关于西太平洋副高活动,已有研究表明 500 hPa 纬向风 U=0 等风速线能很好地表征西太平 洋副热带高压的脊线位置(张庆云和陶诗言, 1999), 因此本文参照赵振国(1999)的工作,采用(110°E~ 125°E平均) 纬向风 U=0 等风速线所处纬度来表征 西太平洋副热带高压脊线位置,并以副高脊线第一 次越过 20°N 和 25°N 时间作为副高脊线两次北跳时 间。

图 1 是根据 6~8 月中国东部夏季风雨带季内 变化前 6 个模态典型年合成的 6、7、8 月 850 hPa 距平风场和降水距平百分率分布图。图 2 为不同模 态对应的 6 月上旬至 8 月下旬西太平洋副高脊线的 时间一纬度剖面图。其主要特征如下:

模态1(梅涝型): 6、7、8月东亚地区从南到 北各月都有一个反气旋、气旋、反气旋性距平环流 的波列。低纬反气旋中心的位置均比常年偏南。它 与梅雨槽之间的辐合区,6月在江南北部,7月在 江淮流域,8月在黄淮地区,与该模态各月雨带位 置非常一致。西太平洋副高脊线位置 6~8月持续 偏南,在6月中旬跳过20°N之后一直维持在20°N~ 25°N之间,直到7月下旬才跳到25°N以北,之后 一直处在28°N以南(图2a)。因此,该模态环流主 要的特点是西太平洋副高第一次北跳基本正常,雨 带位置与常年相近。第二次北跳晚且位置偏南,致 使雨带7、8两月仍徘徊在江淮流域及其邻近地区, 梅雨期长,易出现梅涝。

模态 2 (伏旱型): 6 月西太平洋热带地区为反 气旋距平环流,位置偏南。7 月随着这一距平中心 迅速北跳到 35°N 附近,形势发生很大变化,东亚 地区从南到北呈气旋、反气旋、气旋性距平环流的 波列分布。8 月的形势基本维持。西太平洋副高脊 线位置 6 月上、中旬比常年偏南。6 月中旬越过 20°N 后维持在 24°N 附近。7 月上旬西太平洋副高 脊线提前跳过 25°N,位置明显偏北,并在 7 月下旬 和 8 月上旬一度达到 30°N 以北(图 2b)。因此,该 模态西太平洋副高第一次北跳较晚,6 月雨带仍在 华南。第二次北跳不仅时间早而且幅度大,7、8 两 月雨带跳过江淮流域迅速移至黄河及其以北地区, 致使江淮流域梅雨期短,伏旱明显。

模态 3 (梅旱型): 6 月东亚从南到北呈气 旋、反气旋、气旋性距平环流的波列分布。长江流 域尤其是两湖地区处于辐散区,往往出现旱梅。7 月反气旋南撤并东退至海上,多雨出现在东部沿海 地区。8月反气旋偏南西伸,主要雨带徘徊在长江 与黄河之间。6月中旬西太副高脊线北跳到 20°N 以 北,位置比常年偏北。7月中旬西太副高脊线再次 北跳越过 25°N, 位置接近常年。但7月下旬末西太 副高脊线又南退到 25°N 附近,之后一直未越过 27°N,位置明显偏南(图 2c)。所以,该模态西太 平洋副高第一次北跳正常,但由于西太副高位置偏 北偏东,其南侧向长江流域水汽输送减弱,长江流 域易出现旱梅。第二次副高北跳后不断在 25°N~ 27°N之间南北摆动,但7月由于副高偏南偏东降水 偏向东南沿海,而8月副高偏南偏西,雨带位于长 江与黄河之间。

模态4(南涝北旱型):6、7、8月在贝加尔湖 附近各月都有一个反气旋距平环流,西北太平洋热 带地区稳定维持一个庞大的气旋距平环流,我国东 部从北到南均处于异常东北风的控制之下,不利于 夏季风的向北推进。而在西北太平洋上各月大致都 有一从南到北呈气旋、反气旋、气旋性距平环流的 波列,反气旋中心在日本东侧的海洋上。西太副高 脊线 7 月中旬之前一直位于 22°N 以南, 甚至一度 出现在 20°N 以南, 位置比常年明显偏南。直到 7 月下旬才迅速跳到 25°N 以北 (图 2d)。所以,该模 态环流的特点是西北太平洋热带地区一直有一个 庞大的气旋距平环流维持, 副高强度偏弱位置偏 东,其南侧的异常东风与我国东部的东北风6月在 长江流域,7、8两月在江南地区辐合,致使长江及 其以南地区降水偏多, 而北方无明显降水, 形成南 涝北旱的天气。



图 1 中国东部夏季风雨带季节内变化模态典型年合成的 6 月(左)、7 月(中)、8 月(右) 850 hPa 距平风场(单位: m s⁻¹)和降水距平百分率(%)。 阴影区为距平百分率大于 20%的区域

Fig. 1 Composite of 850-hPa wind anomalies (units: $m s^{-1}$) and rainfall percentile anomalies (%) in June (left), July (middle), and August (right) relative to the modes of intraseasonal variation of the summer monsoon rain belt (IVSMRB). Rainfall percentile anomalies greater than 20% are shaded



图 2 中国东部夏季风雨带季节内变化模态对应的 6 月上旬至 8 月下旬西太平洋副高脊线的时间一纬度剖面(实线):(a)模态 1;(b)模态 2;(c) 模态 3;(d)模态 4;(e)模态 5;(f)模态 6。虚线为多年平均脊线位置,点线为 20°N 和 25°N 所在位置

Fig. 2 Time-latitude cross section of the western Pacific subtropical high (WPSH) ridge line from early June to late August relative to the modes of IVSMRB (solid line): (a) Mode 1; (b) mode 2; (c) mode 3; (d) mode 4; (e) mode 5; (f) mode 6. Dashed line: climate mean of the position of the ridge line; dot lines: positions of 20°N and 25°N

模态 5 (常态型): 6 月反气旋距平环流中心 在 26°N,异常辐合区位于长江中下游,与雨带位 置一致。7 月该反气旋加强西伸北抬,辐合区和 雨带也北移至黄淮地区。8 月反气旋进一步北 推,辐合区和雨带北进至黄河及其以北地区。西太 副高脊线 6 月中旬跳到 20°N 以北,位置比常年稍 偏北。7 月上旬跳到 26°N 附近,整个 7 月份,副高 脊线一直徘徊在 25°N~26°N 之间。8 月上旬继续 向北推进(图 2e)。因此平均来说,该模态西太平 洋副高和季风雨带的季内变化与多年平均情况基 本一致。

模态 6 (南旱北涝型): 与模态 4 相反, 6 月西 太平洋热带地区为一个庞大的反气旋距平环流, 位 置比常年偏北和偏西。季风雨带位于淮河流域及其 邻近地区, 江南大部地区降水偏少。7 月该反气旋 西伸北抬控制了江南大部, 雨带北移到长江上游的 川渝地区至华北一带, 江南降水仍异常偏少。8 月 江南仍受反气旋距平环流控制, 降水持续偏少, 而 秦岭一大巴山到淮河流域一带降水持续异常偏多。 西太副高脊线 6 月上旬就已经越过 20°N,并在 7 月上旬再次北跳至 25°N 以北,并在 8 月上旬达到 最北 33°N 附近,位置长时间持续较常年偏北(图 2f)。所以,该模态环流的特点是各月西太平洋副高 异常偏北、偏西,江南地区长期在副高控制之下, 形成南旱北涝的天气。

从以上分析我们看出,不同模态西太平洋副高 季内演变的过程有明显差异。副高季内变化的这一 多态性与其季节性活动的年际变化有密切关系。而 我国东部夏季风雨带的季内变化与西太平洋副高 两次北跳的时间早晚和幅度大小有直接联系。第一 次北跳主要对6月的雨带特征有重要影响,第二次 北跳对7、8两月的雨带分布有决定意义。另外, 各模态的副高两次北跳虽然处于同一模态中,可是 两次北跳的过程明显不同。也就是说它们之间虽然 存在某种联系,但可能由于主要影响因素不同而具 有相对独立性,值得进一步进行研究。

4 我国夏季风雨带季内变化与东亚 季风和太平洋海温异常的联系

鉴于东亚冬季风不同强度和ENSO循环不同阶 段对我国夏季降水有不同的影响(陈烈庭, 1977; Huang and Wu, 1989; 陈文, 2003), 我们作了前6 个模态典型年前期冬季(前年12月至当年1月平 均,下同)850 hPa 距平风场的合成图,并计算了 各模态的时间系数(陈烈庭等, 2007)与前期冬季 和同期夏季(6~8月平均,下同)太平洋海温的相 关及典型年的合成图,以期了解不同模态对应的前 期冬季环流和海温背景以及同期夏季海温背景特 征。由于相关和合成两种分析的结果基本一致,为 了节省篇幅这里我们只给出合成的结果,如图3所 示。图中实线为正海温距平,虚线为负海温距平, 阴影区由浅入深分别表示 t 检验超过 0.05、0.01 和 0.001 显著性水平。赤道东太平洋和黑潮海区是影 响我国天气气候的两个海洋关键区, 其海温距平的 符号与其周围总是相反的。这两大结构不仅表征了 太平洋海温的纬向热力差异,而且也表征了海温的 经向热力差异。下面我们将主要分析各模态这两个 海区海温距平的特征:

模态1(梅涝型):前期冬季在我国南海附近有 一反气旋距平环流(图3模态1左图)。其西北部 盛行异常西南气流,东部盛行异常东北气流,东亚 冬季风偏弱。这一异常反气旋系统一直可维持到夏 季,对本模态雨带季内变化具有重要影响(见图1 模态 1)。马来西亚、印度尼西亚西部和赤道印度洋 为明显的东风异常,赤道中东太平洋盛行异常西 风。对应冬季海温距平的分布(图3模态1中图), 整个赤道东太平洋为大范围正距平,中心强度在 1℃以上。热带西太平洋暖池区为负距平,并分别 向东南和东北方向延伸到南、北太平洋中部。西北 太平洋黑潮区为正距平。这些都是典型的 El Niño 盛期热带环流的特征和海温距平的分布。同期夏季 的海温场(图3模态1右图),热带太平洋基本上 还维持着 El Niño 的特征,只是赤道东太平洋正距 平的强度已减弱。因此,本模态的特点是前冬东亚 冬季风偏弱和太平洋海温处于 El Niño 盛期,黑潮 区海温异常偏暖,之后减弱速度比较缓慢,到夏季 赤道东太平洋基本上还维持正距平。前冬的这一海 温距平分布与吴仁广和陈烈庭(1996)和陈烈庭和 吴仁广(1998)提出的夏季长江型雨型前冬的海温

距平场非常相似。过去有关的研究表明,黑潮区冬季(1月份)海温与江南北部降水存在显著的正相关(吕炯,1950;李忠贤和孙照渤,2004),另外 El Niño 减弱位相东亚沿海易出现"+、一、+"的 EAP 遥相关型(宗海锋等,2008),有助于西太平 洋副高和我国季风雨带位置偏南,这些与本文得到 的结果是一致的。因此可以认为本模态雨带的季内 变化6月在江南北部,7、8两月稳定徘徊在江淮流 域与前期东亚冬季风偏弱和太平洋海温处于 El Niño 减弱位相有相当大的联系。

模态2(伏旱型):前期冬季我国南海南部、澳 大利亚北部和东赤道印度洋各有一个反气旋距平 环流(图3模态2左图),东亚冬季风偏弱。印度 尼西亚和马来西亚盛行东风, 而赤道中太平洋为明 显的西风异常,赤道东太平洋已转为异常东风。印 度尼西亚和马来西亚的东风异常为 La Niña 进一步 发展提供了必要条件。对应海温场(图3模态2中 图),赤道中东太平洋呈"中正东负"的距平结构, 沿秘鲁洋流有一负距平带伸向赤道。在澳大利亚东 北侧海洋上和南太平洋中部各有一个分别超过0.05 和 0.01 显著性水平的区域。这说明该模态前冬热带 太平洋海温是处于由 El Niño 向 La Niña 转变的位 相。西北太平洋黑潮区已转为负距平。同期夏季的 海温场(图3模态2右图),赤道东太平洋大部分 地区海温已变成显著的负距平,西北太平洋黑潮区 负距平区显著性增加。因此,本模态的特点是前冬 东亚季风偏弱和太平洋 El Niño 海温型已衰减,之 后减弱迅速,到夏季已处于 La Niña 发展位相。这 与过去的研究结果也是一致的,即其前冬的海温距 平分布与夏季黄河河套型雨型前冬的海温距平场 很相似(陈烈庭和吴仁广, 1998)。黑潮区冬季海 温偏冷有利于江南北部6月降水偏少(吕炯, 1950; 李忠贤和孙照渤, 2004)。而 La Niña 发展位相东 亚沿海易出现"一、+、一"的 EAP 遥相关型(宗 海锋等,2008),有助于西太平洋副高和我国季风 雨带位置偏北。所以本模态雨带的季内变化 6 月在 华南,7、8两月北跳到黄河及其以北地区主要是 与前期太平洋海温处于 La Niña 发展位相有密切的 联系。

模态 3(梅旱型):前期冬季东亚冬季风偏强(图 3 模态 3 左图),热带西太平洋为一气旋距平环流, 马来西亚至印度尼西亚东部盛行异常西风,而赤道 中东太平洋盛行异常东风。赤道西太平洋西风爆发



图 3 中国东部夏季风雨带季节内变化模态典型年合成的冬季 850 hPa 风场距平(左)(单位: m s⁻¹)以及冬季(中)、夏季(右)海温距平分布(单位: ℃)。阴影区由浅入深表示 t 检验值分别超过 0.05、0.01 和 0.001 显著性水平的区域

Fig. 3 Composite of pre-winter 850-hPa wind anomalies (left) and pre-winter (middle) and summer (right) SST anomalies (units: °C) relative to the modes of IVSMRB. Shadings from light to dark indicate *t*-test values beyond 0.05, 0.01, and 0.001 significance levels, respectively

为 El Niño 发展提供了必要条件。在阿留申群岛附 近有一很强的反气旋距平环流发展,其南侧副热带 地区为明显的气旋距平环流,这说明原来的 La Niña 的环流已处于减弱时期。对应海温距平的分布(图 3 模态 3 中图),赤道中东太平洋呈"中负东正"的 距平结构,沿秘鲁洋流区有一正距平带伸向赤道。 黑潮区为负距平。另外,在北太平洋西风漂流区有 一达到 0.01 显著性水平的正距平区。所有这些都表明该模态前冬热带太平洋是处于由 La Niña 向 El Niño 转变的位相。同期夏季的海温场(图 3 模态 3 右图),赤道东太平洋的海温已变成显著的正距平。所以,本模态的特点是前冬东亚季风偏强和太平洋La Niña 海温型已衰弱,之后减弱迅速,到夏季已处于 El Niño 发展位相。这里前冬的海温距平分布

5 期	宗海锋等: 中国东部夏季风雨带季内变化各模态的环流及海温特征	
No. 5	ZONG Haifeng et al. Characteristics of the Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature for Different Modes	1079

与夏季黄淮东型雨型前冬的海温距平场相似(陈烈庭和吴仁广,1998)。黑潮区冬季海温偏冷、有利于江南北部降水偏少(吕炯,1950;李忠贤和孙照渤,2004)。而 El Niño 发展位相易出现"+、-、+"的 EAP 遥相关型(宗海锋等,2008),不利于西太平洋副高和我国东部雨带的向北推进。因此,本模态雨带的季内变化6月位置明显偏北,7、8两月反而南撤与前期东亚季风偏强和太平洋海温处于 El Niño 发展位相有关。

模态 4 (南涝北旱型): 前期冬季东亚冬季风偏 强(图3模态4左图)。我国南海南部为一气旋距 平环流,其西北部盛行异常东北风,东南部盛行异 常西南风,印度尼西亚中西部地区有一明显的异常 西风, 而赤道中太平洋为强大的异常东风, 呈 La Niña 环流型。对应海温距平的分布(图3模态4中 图),整个赤道东太平洋为负距平。在菲律宾群岛 以东的暖池区为显著的正距平,其中心区距平值超 过了 0.001 显著性水平。南太平洋中部的正距平也 达到 0.01 的显著性水平,这说明该模态前冬热带太 平洋是处于 La Niña 盛期位相,但强度比模态 6 的 要弱。同期夏季的海温场(图3模态4右图),热 带太平洋基本上还维持着 La Niña 的特征,只是强 度已经减弱。所以,本模态的一个特点是东亚冬季 风偏强和太平洋海温处于 La Niña 的减弱位相,另 一个是暖池区的海温异常偏暖。第一个特点有利于 西太平洋副高位置偏北,形成南北两条雨带。第二 个特点有助于西北太平洋热带地区上空气旋性异 常环流的加强和维持(见图1模态4)。它一方面促 使在日本南侧的海洋上异常反气旋的形成, 使副高 异常偏东。另方面,使其西北侧我国东部到日本一 带盛行异常东北风,并与大陆的偏北风在江南地区 辐合,从而在南北两条雨带中降水距平最大区域出 现在江南地区,发生南涝北旱。因此,可以认为东 亚冬季风偏强和西太平洋暖池区海温的长时间异 常偏暖对本模态雨带的季内变化有重要影响。

模态 5(常态型):前期冬季东亚冬季风偏强(图3模态 5 左图),但我国南海的气旋距平环流很弱,印度尼西亚中部一带盛行来自南半球的越赤道西南距平气流。赤道中东太平洋由于南、北太平洋的反气旋距平环流强度异常偏弱,异常东风相对其它模态也弱得多。从海温场(图3模态 5 中、右图)也可看到,赤道中东太平洋海温为正常稍偏低,整个海温的前兆信号相对也都较弱。

模态 6 (南旱北涝型): 前期冬季亚太地区 850 hPa 距平风场(图3模态6左图)与模态4La Niña 盛期的分布有明显的差异。北太平洋阿留申地区为 一强大的反气旋距平环流, 东亚大槽和西风急流偏 弱,东亚冬季风偏弱。在菲律宾东侧有一反气旋距 平环流,赤道中东太平洋到菲律宾以东均为异常东 风。这一异常反气旋一直维持到夏季,对模态雨带 的季内变化发生重要影响(图1模态6)。对应海温 距平的分布(图3模态6中图),整个赤道中东太 平洋为显著的负距平,其范围向西一直伸至150°E, 中心强度在-1.4℃ 以上。西太平洋暖池区为正距 平,强度相对要弱得多。黑潮区为负距平。此外, 北太平洋西风漂流区有一显著的正距平区。这是典 型的 La Niña 盛期海温距平的分布,与夏季黄淮西 型雨型前冬的海温距平场很相似(陈烈庭和吴仁 广,1998)。同期夏季的海温场(图3模态6右图), 可以看出 La Niña 的特征继续维持。所以,本模态 太平洋海温演变的特点是处于 La Niña 持续或减弱 位相,即连续两年都是 La Niña 年,而这 La Niña 事件之所以能长期维持可能与热带西太平洋的反 气旋距平环流及其南侧的东风异常的存在有关系。

以上统计事实表明,不同的季风—ENSO 循环 的位相对我国夏季风雨带季内变化模态的影响是 不同的。第一模态主要出现在 El Niño 减弱位相, 第二模态在 La Niña 发展位相,第三模态在 El Niño 发展位相,第四模态在 La Niña 减弱位相,第五模 态 ENSO 的信号比较弱,第六模态多发生在 La Niña 持续的位相。也就是说,不仅前期冬季 ENSO 的特 征,而且随后其变化的状况对我国夏季雨带的活动 都有一定的影响。另外,不同海区的海温异常对雨 带季内变化也有不同的作用,黑潮区海温与6月的 雨带活动关系较为密切,而赤道中东太平洋的海温 对 7、8 两月的雨带有更大的影响。

影响我国夏季降水的因素很多,即使对海温来 讲也是一个很复杂的问题。我们这里所揭露的一些 事实只是初步的,仅限于提供了我国夏季雨带季内 变化各模态发生的背景情况,关于它们之间内在联 系的物理过程还有待进一步研究。

5 中国夏季风雨带季内变化模态与 夏季雨型的关系

上面提到我国夏季风雨带季内变化一些模态前 冬的海温距平分布分别与吴仁广和陈烈庭(1996) 和陈烈庭和吴仁广(1998)提出的夏季4类雨型前 冬的海温距平场非常相似,这节我们将进一步分析 它们之间的关系。他们根据我国东部夏季(6~8月) 总降水量的距平场之间的相似程度,将整个夏季雨 带的分布划分为如下四类雨型:

长江型(I): 主要雨带位于长江沿岸及其南侧 一带,黄河以北和华南少雨。

黄淮西型(II):主要雨带位于秦岭—大巴山到 淮河流域一线,江南和黄河以北少雨。

黄淮东型(III): 主要雨带位于黄淮和东北地区,江南和黄河以北少雨。

黄河河套型(IV): 主要雨带位于黄河河套到 华北北部一带, 江淮流域少雨, 华南相对多雨。

四类雨型 500 hPa 环流的特征,长江型在东亚 沿岸由南向北呈"+、一、+"距平的波列分布。黄 河河套型的情况相反,呈"-,+,-"距平的波 列。西太平洋副高前者偏南,而后者明显偏北。黄 淮西型和黄淮东型东亚沿岸亦呈"-、+、-"距 平的波列结构,但副高的位置介于长江型和黄河河 套型之间。黄淮西型与黄淮东型的差别主要在于西 太平洋副高前者明显偏西,后者明显偏东。

为了揭示我国 6~8 月夏季风雨带季内变化的 模态与整个夏季雨型的关系,我们统计了六种模态 各年所属的夏季雨型,结果如表1所示。可以看出, 属于模态1的9年中有8年为长江型(占89%), 没有出现黄河河套型。模态2的12年中有11年为 黄河河套型(占92%),没有出现长江型。模态3 的9年中黄淮东型有4年,黄淮西型有3年,共占 78%。模态4的7年中黄河河套型有4年,长江型 有3年。模态5无优势雨型。模态6的7年中有4 年是黄淮西型,占57%。这一方面表明我国整个夏 季的雨型是季风雨带逐月自南向北推进的综合结 果。例如模态1的主要雨带大部分时间徘徊在江淮 流域,所以夏季总的雨型为长江型。模态2主要雨 带大部时间处于黄河及其以北地区,夏季雨型为黄 河河套型。模态3主要雨带位于长江与黄河之间, 夏季雨型为黄淮东型或黄淮西型。模态6主要雨带 大多出现在秦岭--大巴山到淮河流域一线,优势雨 型为黄淮西型。即夏季风雨带季内变化的前3个模 态与夏季的4类雨型整体上有很好的对应关系。这 反过来也说明我们的模态划分的合理性。但是,另 一方面应该指出,它们之间的联系不是简单的一对 一的关系,实际的季风雨带逐月演进的过程是复杂 的。从表1可以看到,即使是长江型(黄河河套型) 除模态1(2)外,其它模态中也存在,尤其是模态 4 和模态 5。模态 4 中的黄河河套型和长江型的特 点是降水距平最大地区都在江南。模态5虽然雨带 的季内变化与多年平均情况相近,但降水距平最大 的地区不同年份有很大变化,各种夏季雨型都可能 出现。因此,夏季雨型不能取代雨带季内变化的模 态。

另外,对比表1与图1各模态西太平洋副高和 我国季风雨带季内变化的分析结果,我们不难发现,我国夏季雨型与各模态季风雨带季内变化的联 系主要是表现在其与西太平洋副高7月发生的第二 次北跳过程有密切的关系。这是由于副高第二次北 跳对7、8两月的雨带分布有决定性意义,而7、8 两月的雨带分布对夏季雨型又有最大贡献。

6 结论和讨论

本文用合成和相关分析,研究了 1951~2005 年间我国夏季风雨带季内变化各个模态与雨带直

表 1 夏季风雨带季内变化模态所属年份及对应的夏季雨型

Table 1 Years belong to IVSMRB modes and its corresponded summer precipitation types													
模态	年份及对应的夏季雨型											优势雨型	
模态 1	1954	1962	1969	1977	1980	1982	1983	1993	1998				II (89%)
	Ι	II	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι	Ι				
模态 2	1959	1962	1964	1966	1968	1976	1978	1985	1990	1992	1994	2001	IV (92%)
	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	IV	IV	IV	
模态 3	1952	1958	1963	1965	1972	1974	1981	1987	2005				III+II (78%)
	IV	II	III	III	Π	III	Π	Ι	III				
模态 4	1967	1973	1996	1997	1999	2002	2004						IV+I (100%)
	IV	IV	Ι	IV	Ι	IV	Ι						
模态 5	1951	1953	1957	1960	1970	1975	1984	1986	1988	1991	1995		无
	III	III	III	III	Ι	Ι	Π	Ι	IV	II	IV		
模态 6	1955	1956	1971	1979	1989	2000	2003						II (57%)
	Ι	II	III	IV	Π	II	Π						

5 期

No. 5 ZONG Haifeng et al. Characteristics of the Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature for Different Modes ... 1081

接联系的西太平洋副高演变的特征,及其对季风—ENSO 循环不同位相的可能响应,以及与夏季雨型的关系。主要结论如下:

(1)不同模态西太平洋副高自春至夏的两次北 跳有明显不同的过程。第一次北跳主要对 6 月的雨 带特征有重要影响,而第二次北跳对 7、8 两月的 雨带分布有决定性意义。

(2)各模态的两次副高北跳过程,既存在某种 联系,又具有相对独立性。前后变化各异。

(3)太平洋海温异常对我国夏季风雨带季内变 化的影响是多态的,在不同季风—ENSO 循环的位 相有不同的表现。第一模态主要出现在 El Niño 减 弱位相,第二模态在 La Niña 发展位相,第三模态 在 El Niño 发展位相,第四模态在 La Niña 减弱位相, 第五模态 ENSO 的信号较弱,第6模态在 La Niña 持续位相。

(4)不同海洋关键区的海温异常对我国雨带季 内变化有不同的调控作用。黑潮区海温与6月的雨 带活动关系较为密切,而赤道东太平洋的 ENSO 循 环对 7、8 两月的雨带有更大的影响。

(5)我国夏季风雨带季内变化的模态与夏季雨 型存在一定的联系,但这并不意味着它们之间可以 相互取代。

这里我们只是对各种模态的我国夏季风雨带 季内变化与太平洋海温这一因子的可能联系做了 初步的分析,要真正用于预报,不论在影响因子或 是预报技巧上都还有许多工作要做。但是,通过前 面的分析可以认为,制作我国夏季风雨带各月演变 大致趋势的预报应该是可能的。其与海温内在联系 的过程和机理值得进一步研究。

参考文献(References)

- 陈烈庭. 1977. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国 汛期降水的影响 [J]. 大气科学, 1 (1): 1–12. Chen Lieting. 1977. Influences of sea surface temperature anomalies over the eastern equatorial Pacific on tropical atmospheric circulation and summer precipitation in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 1 (1): 1–12.
- 陈烈庭. 1991. 阿拉伯海—南海海温距平纬向差异对长江中下游降水的 影响 [J]. 大气科学, 15 (1): 33–42. Chen Lieting. 1991. Effect of zonal difference of sea surface temperature anomalies in the Arabian Sea and the South China Sea on summer rainfall over the Yangtze River [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 15 (1): 33–42.

陈烈庭, 吴仁广. 1998. 太平洋各区海温异常对中国东部夏季雨带类型

的共同影响 [J]. 大气科学, 22 (5): 43–51. Chen Lieting, Wu Renguang. 1998. The joint effects of SST anomalies over different Pacific regions on summer rainbelt patterns in eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 22 (5): 43–51.

- 陈烈庭, 金祖辉, 罗绍华. 1985. 印度洋和南海海温变化的特征及其与 大气环流的某些联系 [J]. 海洋学报, 7 (1): 103–110. Chen Lieting, Jin Zuhui, Luo Shaohua. 1985. Characteristics of variation of sea surface temperature in the Indian Ocean and South China Sea and its relationship with atmospheric circulation [J]. Acta Oceanologica Sinica (in Chinese), 7 (1): 103–110.
- 陈烈庭, 宗海锋, 张庆云. 2007. 中国东部夏季风雨带季节内变异模态 的研究 [J]. 大气科学, 31 (6): 1212–1222. Chen Lieting, Zong Haifeng, Zhang Qingyun. 2007. The dominant modes of intraseasonal variability of summer monsoon rainbelt over eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (6): 1212–1222.
- 陈文. 2003. 异常的东亚冬、夏季风循环与 ENSO 事件的关系 [C]// 巢 纪平, 李崇银, 陈英仪. ENSO 循环机理和预测研究. 北京: 气象出版 社, 43–56. Chen Wen. 2003. Relationship between abnormal East Asia winter, summer monsoon cycle and ENSO events [C]// Chao Jiping, Li Chongyin, Chen Yingyi. ENSO Cycle (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 43–56.
- 黄荣辉, 李维京. 1988. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空 副热带高压的影响及其物理机制 [J]. 大气科学, 12 (特刊): 107–116. Huang Ronghui, Li Weijing. 1988. Influence of heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia and its physical mechanism [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 12(Special Issue): 107–116.
- Huang Ronghui, Wu Yifang. 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism [J]. Adv. Atmos. Sci., 6 (1): 21–32.
- 黄士松. 1978. 有关副热带高压活动及其预报问题的研究 [J]. 大气科 学, 2 (2): 159–168. Huang Shisong. 1978. Some aspects of the studies on the activities of the subtropical high and its predictions [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 2 (2): 159–168.
- 黄士松,汤明敏, 霍义强, 等. 1962. 副热带高压位置一年中南北变动的 一些特征及其意义 [J]. 南京大学学报 (自然科学), (2): 41–56. Huang Shisong, Tang Mingmin, Huo Yiqiang, et al. 1962. Some characteristics and meaning of the northward progression and southward retrogression of the subtropical high [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences) (in Chinese), (2): 41–56.
- 李忠贤, 孙照渤. 2004. 1 月份黑潮区域海温异常与我国夏季降水的关系 [J]. 南京气象学院学报, 27 (3): 374–380. Li Zhongxian, Sun Zhaobo. 2004. Relation between January Kuroshio SSTA and summer rainfall in China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 27 (3): 374–380.
- 廖荃荪,赵振国. 1992. 7~8 月西太平洋副热带高压的南北位置异常变 化及其对我国天气的影响 [C]// 章基嘉,黄荣辉. 长期天气预报和日 地关系研究. 北京:海洋出版社, 131-139. Liao Quansun, Zhao Zhenguo. 1992. The variation of north and south position of West Pacific

subtropical high and influence on weather of China in July and August [C]// Zhang Jijia, Huang Ronghui. 1992. Study on Long Range Weather Forecasting and the Sun–Earth Relationship (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 131–139.

- 大气物理研究所长期天气预报组. 1973. 太平洋海温异常对东亚大气环 流和我国旱涝影响的若干事实 [J]. 气象科技资料, (3): 14–23. Long-Term Weather Forecast Group of Institute of Atmospheric Physics. 1973. Some facts of influence of sea surface temperature anomalies in Pacific on East Asia atmospheric circulation and drought/flood in China [J]. Meteorological Science and Technology Information (in Chinese), (3): 14–23.
- 地理研究所长期天气预报组. 1977. 热带海洋对副热带高压长期变化的 影响 [J]. 科学通报, 22 (7): 313–317. Long-Term Weather Forecast Group of Institute of Geography. 1977. Influence of tropical ocean on the long-term variation of subtropical high [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 22 (7): 313–317.
- 吕炯. 1950. 海水温度与水旱问题 [J]. 气象学报, 21 (1-4): 1-16. Lü Jiong. 1950. Sea surface temperature and flood/drought [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 21 (1-4): 1-16.
- 沙万英, 郭其蕴. 1998. 西太平洋副热带高压脊线变化与我国汛期降水 的关系 [J]. 应用气象学报, 9 (增刊): 31–38. Sha Wanying, Guo Qiyun. 1998. Variations of summer rainfall over China in relation to the geographical locality of subtropical high ridge over West Pacific [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 9 (Suppl.): 31–38.
- 陶诗言, 徐淑英. 1962. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征 [J]. 气象学报, 32 (1): 1–10. Tao Shiyan, Xu Shuying. 1962. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in Yangtze and Huaihe valleys in summer [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 32 (1): 1–10.
- 王绍武, 慕巧珍, 朱锦红, 等. 2000. 西太平洋副热带高压与中国夏季降 水关系的诊断研究[C]// 陈兴芳. 汛期旱涝预测方法研究. 北京: 气

象出版社, 60-69. Wang Shaowu, Mu Qiaozhen, Zhu Jinhong, et al. 2000. A diagnostic study of the relationship between western Pacific subtropical high and rainfall in summer in China [C]// Chen Xingfang. Study of Drought and Flood Forecast in Flood Period (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 60-69.

- 吴仁广,陈烈庭. 1996. 中国东部夏季雨带分布类型及其与大气环流异常的关系 [C]// 黄荣辉. 灾害性气候的过程及诊断. 北京: 气象出版 社, 14-22. Wu Renguang, Chen Lieting. 1996. The types of summer main rainbelt distribution in eastern China and their relationship to the general circulation anomalies [C]// Huang Ronghui. Study on the Formation Processes of Disastrous Climate and Its Diagnostics (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 14-22.
- 张庆云,陶诗言. 1999. 夏季西太平洋副热带高压北跳及异常的研究 [J]. 气象学报, 57 (5): 539–548. Zhang Qingyun, Tao Shiyan. 1999. The study of the sudden northward jump of the subtropical high over the western Pacific [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 57 (5): 539–548.
- 张素琴,林学椿. 2000. 副高持续异常对长江中下游夏季降水的影响 [J]. 气象, 26 (5): 27–31. Zhang Suqin, Lin Xuechun. 2000. The influence of subtropical high sustained anomaly on flood season rainfall in the middle and lower reaches of the Changjiang River [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 26 (5): 539–548.
- 赵振国. 1999. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社, 297pp. Zhao Zhenguo. 1999. Summer Drought and Flood in China and Environmental Field (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 297pp.
- 宗海锋,张庆云,陈烈庭. 2008. 东亚—太平洋遥相关型形成过程与 ENSO 盛期海温关系的研究 [J]. 大气科学, 32 (2): 220–230. Zong Haifeng, Zhang Qingyun, Chen Lieting. 2008. A study of the processes of East Asia–Pacific teleconnection pattern formation and the relationship to ENSO [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (2): 220–230.