

我国东部雨带北进与长波西退的联系

朱乾根 沈桐立*

提 要

本文利用1972—1980年4—8月平均的500百帕候平均高度场资料研究了我国东部地区雨带北进时的环流变化特征。分析表明,不仅在雨带北进的跳跃期,即使在停滞期环流的季节变化也非常显著。虽然,雨带的季节性北进与环流系统的季节性北移有密切关系,但雨带的跳跃与停滞却主要决定于亚洲1波波槽(相当于环球4波)的西退。

50年代以来,很多学者研究了我国东部汛期降水的季节变化及其环流特征,陶诗言等^[1,2,3]对此进行了总结。这些研究指出:由春到夏我国东部雨带的向北位移具有2个突变和3个停滞阶段,3个停滞阶段对应着3个地区的汛期(或雨季),4月上旬至6月上旬为华南前汛期(5月中旬降水增强),6月中旬至7月上旬为江淮梅雨期,7月中旬至8月下旬为华北汛期;3个停滞阶段之间的过渡时间极为短促,表现为雨带向北跳跃式的移动;雨带位移与副热带西风急流、西太平洋副热带高压脊及南亚高压的季节变化有着密切的联系,在不同阶段具有各自的环流特征。但是几乎所有这些研究总是把各个汛期(即雨带停滞期)的高空环流看成为一种或几种类型的稳定状态,并针对它们的特点进行了环流分型^[4]。然而,陈学溶^[5]根据14年资料指出,入梅时南支高空西风急流已不存在,无突然北撤的现象。章淹^[6]分析了16年资料后指出,入梅时西太平洋副热带高压脊向北跳动的幅度不见得比5、6月份跳动的幅度大,而且副热带高压脊逐渐北移而不北跳的入梅年份并不少见。这可能与所使用的资料年份不同有关。若果真如此,那末在环流无南北位移突变的情况下,是什么环流因子使雨带北进时产生停滞和跳跃呢?

以上研究都是对个别年份而言的,在多年平均的气候情况下表现如何?高由禧等^[7]指出,在110—120°E各纬度多年候平均雨量分布图上仍有雨带的两次跳跃和3次停滞期。但是,对与其相应的环流季节变化特征至今还没有系统的研究。本文的目的就是利用1972—1980年9年平均的4—8月500百帕候平均高度场,揭示雨带北进时期的环流变化特征,进而探讨雨带跳跃和停滞的环流因子。分析计算的特征量有:我国东部汛期的500百帕西风指数、长波振幅、位相以及自然正交分解的各特征向量等。同时,为了更

1987年8月19日收到,1988年1月26日收到修改稿

*我院1983届和1984届毕业生王学锋和徐国强同学参加部分工作

好地刻划各个汛期的不同特征,许多特征量在时间上是分段、空间上是分区进行计算的,计算方法为常用的,这里不再赘述。

一、500百帕西风指数特征

我们主要讨论欧亚上空的环流,为此计算了有限区域的西风指数,计算范围的选取见表1。计算结果绘于图1中。由图可见,无论是欧亚范围还是亚洲范围,在 45°N 与 55°N 上西风指数的变化趋势几乎一致,但 45°N 上的指数大于 55°N 上的指数,这可能说明阻塞形势经常出现在较高的纬度, 45°N 往往处于相对平直的西风气流中。同时还可注意到欧亚范围和亚洲范围西风指数的变化趋势基本一致,因此,以下将着重分析亚洲范围的西风指数。

表1 西风指数计算范围

范 围	经 度	纬 度	平 均 纬 度	时 段
欧 亚	10—180°E	35—55°N	45°N	4月第3候—8月第6候
	同 上	45—35°N	55°N	同 上
亚 洲	80—150°E	35—55°N	45°N	同 上
	同 上	45—65°N	55°N	同 上
华 北	同 上	35—45°N	40°N	7月第1候—8月第6候
江 淮	同 上	27—37°N	32°N	6月第1候—7月第6候
华 南	同 上	20—30°N	25°N	4月第3候—6月第2候

图1b显示,4月中旬至5月上旬 45°N 上西风指数较强,但变化较平缓,5月中旬开始下降,至7月上旬降至最低,较低的指数维持到8月中旬方开始持续回升。华南前汛期强降水(一般5月中旬开始)和梅雨皆发生在指数减小阶段。指数减小意味着西风带减弱和北退。但指数曲线变化与雨带北移不同,它并没有相对停滞的阶段,而是持续下降的。华北汛期有所不同,西风指数变化平缓,后期转为上升,这意味着西风带加强和南移。

由图1c、1d可见,两地区上空的西风指数季节变化特征极为明显,华南和江淮地区上空指数从汛期开始直线递减,到汛期结束时环流指数接近于零,南高北低的形势几乎消失。显然,这与副热带高压的北进有关,汛期结束时,副高控制了这一地区,西风指数达最低值,雨带也随之北移。而华北上空西风指数没有明显的趋势性变化(见图1e)

平均西风指数较大，并具有明显的约为4个候的周期振荡，8月底指数趋于增大，这表明副高和西风带南移，汛期结束。

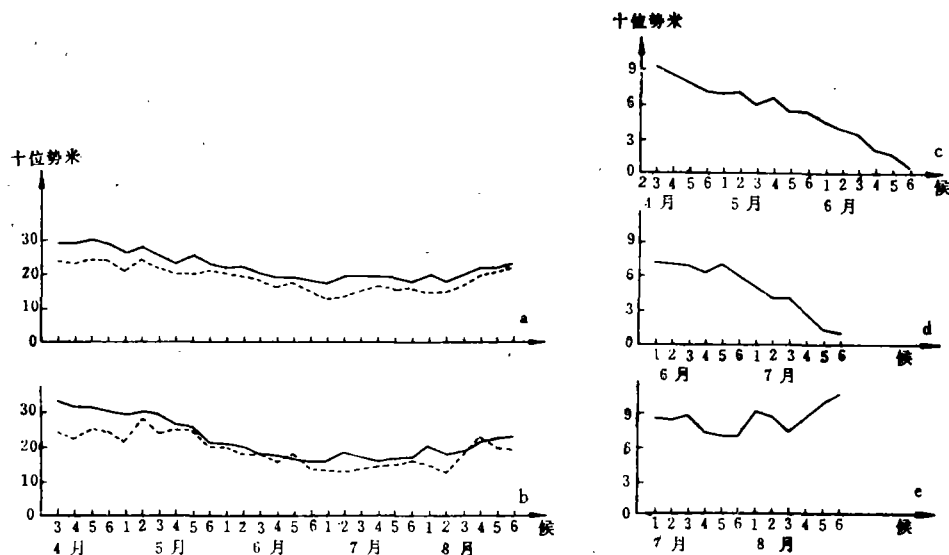


图1 各候9年平均西风指数曲线

横坐标为候；纵坐标为西风指数；——35°N，---40°N

a 欧亚 b 亚洲 c 华南 d 江淮 e 华北

由上可见，无论是欧亚和亚洲中纬的西风指数或各地区上空的西风指数在华南前汛期和江淮梅雨期均是减弱的；在华北汛期无季节性变化趋势，而有明显周期振荡，后期指数回升。这种现象与西风带和副高的南北位移有密切的关系。

二、波动特征

由于在夏季500百帕上4波最显著^[8]，同时为了突出我国东部汛期雨带上空的4波特征，我们取60—150°E范围内40°N、35°N、30°N和25°N 4个纬带上9年平均的候平均高度进行谐波分析，其结果绘于图2和图3中。由于所取经度范围相当于全球的1/4，因此，这里的1波相当于全球的4波属长波，2波相当于全球的8波。又因3波以上的波动振幅很小，仅有几个位势米，因而只给出了各纬带上1波和2波的振幅和位相变化曲线。

图2表明，在所有的纬带上1波振幅皆大于2波振幅，40°N和35°N上更为显著。在这两个纬带上1波振幅变化大致可以分为3个阶段，这3个阶段的时间恰好与3个雨带停滞期相对应。

第一阶段：从4月上旬到6月上旬大致与华南前汛期相对应。本阶段1波振幅较大，5月上旬前为高振幅时期，40°N和35°N上空平均振幅分别达到100位势米和60位势米左右，无季节变化的趋势，但具有大约3候的微小周期振荡，本时期华南前汛期降水较弱。5月上旬振幅突然减弱，而后保持在中等振幅的水平上，40°N和35°N上空平均振

幅分别约为70位势米和40位势米左右,同样无季节性变化趋势,但具有3候左右的微小周期振荡,本时期在时间上与华南前汛期的强降雨水期相对应。

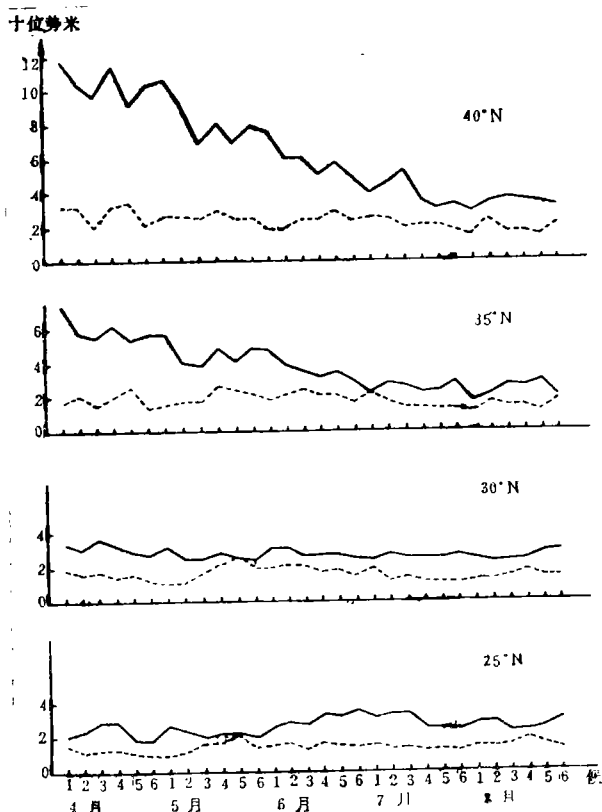


图2 亚洲区域各纬度1波(实线)和2波(虚线)的振幅(单位:十位势米)

征(图3):4—6月1波波槽位置比较稳定,无季节性变化趋势,在 130°E (40°N)和 120°E (35°N)附近作很小的振荡;7月明显西退,至8月达到最西处,西退约20个经度,在 104°E (40°N)和 100°E (35°N)附近作较明显的东西振荡。由上可见,1波位相的变化与振幅变化正好相反,在华南前汛期和江淮梅雨期变化平缓,而在华北汛期变化激烈,这是一个值得注意的现象。

在 30°N 上1波振幅季节性变化趋势不明显,从4月到8月仅下降5位势米左右,但仍存在3—4候的周期振荡(图2)。1波季节性变化的阶段特征主要反映在波动位相上(图3),从4月上旬到6月初1波位相偏东,波槽在 110°E 附近作微小的东西摆动;从6月上、中旬到7月初位相连续西退,一个多月波槽西退了20个经度,到达 90°E 附近;从7月中旬到8月底1波位相偏西,波槽稳定于 85°E 附近作显著的东西振荡。

在 25°N 上,1波位相变化特征与 30°N 相似(图3),华南前汛期位相偏东,波槽在 100°E 附近作微小的东西摆动;江淮梅雨期位相连续西退约14个经度;华北汛期在 86°E 附近作显著的东西振荡。不同的是在此纬带上1波振幅的季节变化趋势已转为上升(图

第二阶段:从6月中上旬到7月上旬大致与江淮梅雨期相对应。在本阶段中,存在明显的季节趋势变化,1波振幅连续减弱,一个月内下降了40位势米(40°N)和20位势米(35°N),在下降过程中并作3候左右的微小周期振荡。

第3阶段:从7月中旬到8月底大致与华北汛期相对应。本阶段1波振幅已降到最低值并趋稳定,在 40°N 和 35°N 上平均振幅分别为30位势米和20位势米,同时具有3候左右的微小周期振荡。

由上可见,在 35°N 和 40°N 上空1波振幅除在华北汛期中无季节性变化趋势外,在其它两个汛期都趋于减弱,在华南前汛期急剧减弱,在整个江淮梅雨期间连续减弱。

再看与其相应的位相变化特

2); 4—5月平均振幅约在20位势米附近作3—4候的周期振荡, 6—8月平均振幅上升到30位势米左右, 其中江淮梅雨期内的振幅较华北汛期内的略大。

由图3可见, 在同一时间内, 随着纬度的增加1波波槽位置偏东, 亦即1波的槽线呈东北—西南向。

下面分析2波的特征。在所有的纬带上, 2波振幅季节变化不明显, 在 40°N 上略为下降, 25°N 上略为上升。在 30°N 和 25°N 上, 整个时期内2波振幅与1波振幅相差不大, 差值在10位势米以内, 因此2波占有较大的比重。而在 40°N 和 35°N 上, 4—6月2波所占比重较小, 但由于1波振幅随季节减小, 至7—8月2波振幅与1波振幅已较接近, 因而2波比重随季节性变化是增大的。总的看来, 2波振幅既无季节性趋势变化, 也无阶段性特征。在各纬带上, 2波波槽总是位于1波波槽以西的 70° — 90°E 之间, 亦无明显的季节变化趋势和阶段特征。

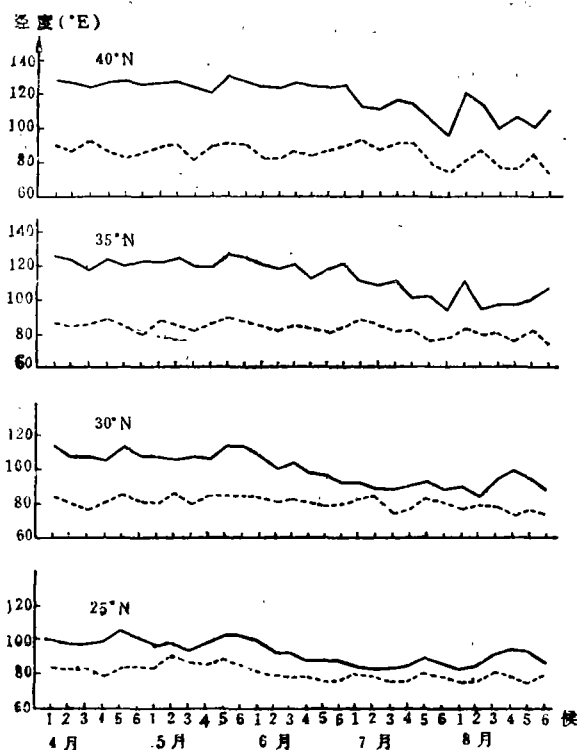


图3 亚洲区域各纬度1波(实线)和2波(虚线)波槽7位置演变

三、自然正交函数特征向量的变化特点

为了更好地反映3个汛期雨带上空环流的特点, 我们分别对4—5月、6—7月和7—8月3个时段的500百帕亚洲地区(20° — 70°N , 60° — 140°E)高度场进行自然正交展开, 展开时已将高度场减去5千位势米, 并对特征向量作标准化处理^[9]。表2列出了前5个特征向量均方差值的拟合精度。由表可见, 第一特征向量的拟合率已达98%以上, 因此, 第一特征向量反映了环流形势的基本特征, 其余特征向量只是相对基本环流形势的偏差。前两个特征向量拟合率达99.2%—99.6%。第三特征向量以后拟合率很小, 且时间系数接近于零, 这里不予考虑。下面我们讨论前两个特征向量及其时间系数。

(1) 第一特征向量及其时间系数

在4—5月第一特征向量场(图4a)上, 总形势为南高北低型, 中高纬度经向环流明显, 以东亚大槽由日本伸向我国云南, 呈东北—西南向, 西太平洋副热带高压在 20°N 南的洋面上。槽后西北气流与青藏高原南侧的偏西气流在华南汇合, 形成华南前汛期降水。

在6—7月的第一特征向量场(图4b)上仍为南高北低型, 但中高纬度经向环流减弱,

东亚大槽变浅西退,收缩到 30°N 以北地区,西太平洋副热带高压脊北移登陆,印度季风低压建立。东亚大槽后的西北气流与副高、季风低压之间的西南气流交汇于江淮流域,形成江淮梅雨。

表2 各时段前5个特征向量均方差值的拟合精度

时 段	特征向量 均方差 项	1	2	3	4	5
4—5月	第n项	0.9878	0.0044	0.0021	0.0014	0.0011
	前n项	0.9878	0.9921	0.9942	0.9955	0.9966
6—7月	第n项	0.9938	0.0017	0.0011	0.0009	0.0005
	前n项	0.9938	0.9956	0.9966	0.9975	0.9980
7—8月	第n项	0.9947	0.0013	0.0011	0.0006	0.0004
	前n项	0.9947	0.9960	0.9971	0.9977	0.9981

在7—8月的第一特征向量场(图4c)上,仍维持南高北低型,中高纬度经向环流进一步减弱,东亚大槽继续变浅西退,收缩到 40°N 以北地区。西太平洋副高脊线北移至 25°N 左右,印度季风低压维持。东亚大槽后的西偏北气流与副高和季风低压之间的西南气流交汇于黄河流域,形成华北汛期降水。

这3个时段的第一特征向量实际上反映了环流的季节变化。在季节变化中,环流系统一方面向北移动,如西风带、副高等系统;另一方面向西移动,如东亚大槽。

从3个时段第一特征向量的时间系数曲线(图5a、5b、5c)可以看到,在汛期的内部环流也发生明显的变化,这些变化具有两个特征:(1)各时段时间系数都为正值,这说明在各汛期中整个等压面随时间只是高度发生变化,环流系统是稳定的,形势不变;(2)4—5月和6—7月时间系数曲线存在明显的上升趋势,这说明从4—7月等压面升高,实际上,7月的上升趋势已趋缓慢,8月中旬开始下降。

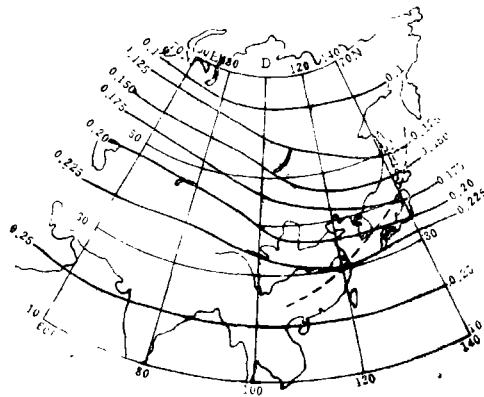


图4a 4—5月第一特征向量场

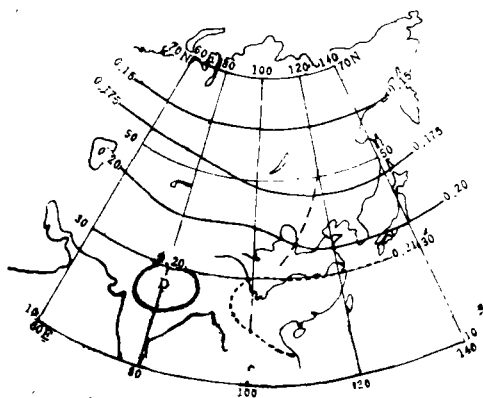


图4b 6—7月第一特征向量场

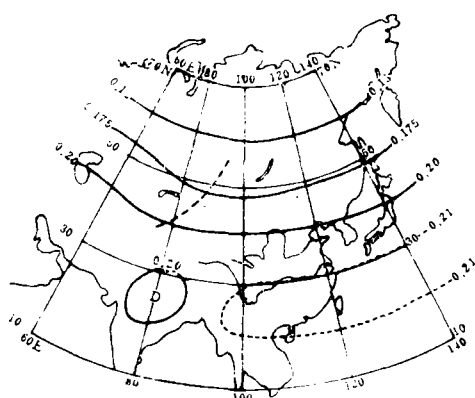


图4c 7—8月第一特征向量场

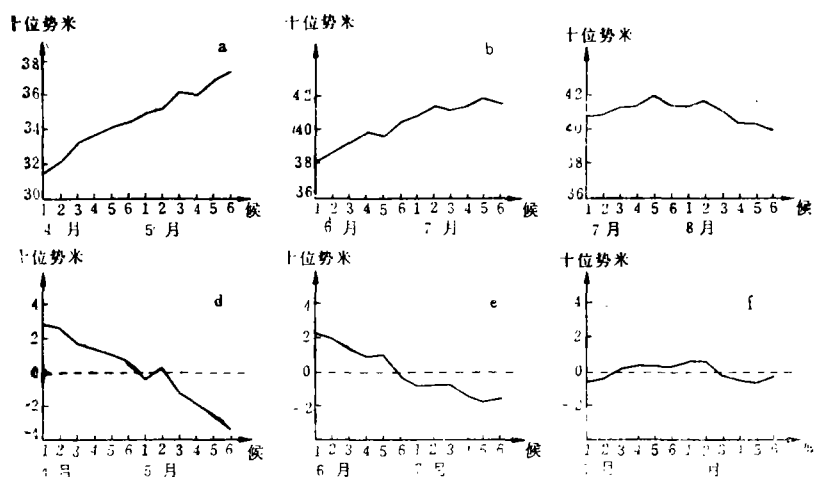


图5 第一特征向量的时间系数(5a、5b、5c分别与图4a、4b、4c相对应)和第二特征向量的时间系数(图5d、5e、5f分别与图6a、6b、6c对应)

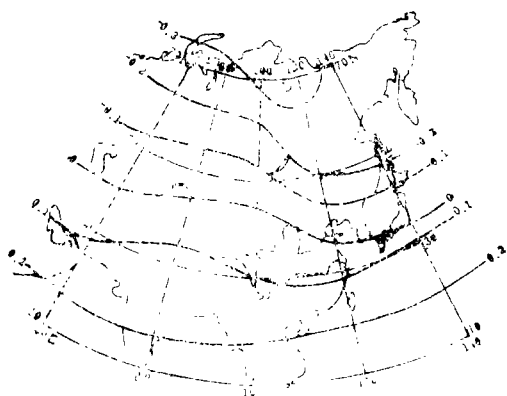
(2) 第二特征向量及其时间系数

在4—5月时段，第二特征向量场(图6a)上已出现负值，零值线位于 40°N 附近，北负南正，形势与同期第一特征向量场相似。当时间系数为正时，将加强第一特征向量的环流，为负时，将减弱第一特征向量场的环流形势。

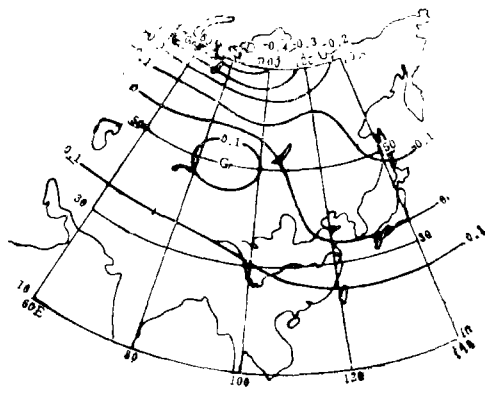
在6—7月时段第二特征向量场(图6b)形势与同期第一特征向量场基本相似，只是印度为正值区。零值线呈西北—东南向。当时间系数为正值时，加强了基本环流上的东亚大槽及其后的高压脊，同时加强了副高，削弱了季风低压；反之减弱了东亚大槽、新疆高压脊和副高，加深季风低压。因此，季风低压与副高及中纬系统的强度变化具有反位相的关系。

7—8月时段第二特征向量场(图6c)与同期第一特征向量场的形势有明显不同，中高纬呈东高西低型，在基本环流形势上的东亚槽区为正值区，乌拉尔脊区为负值区，此

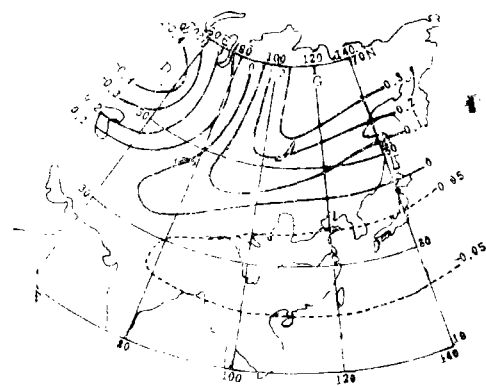
外, 在季风低压与副高中为负值中心区。当时间系数为正时, 减弱了东亚大槽、副高和乌拉尔山高压脊, 加强了季风低压; 为负值时, 加强了东亚大槽、副高和乌拉尔山高压脊, 减弱了季风低压。因此, 7—8月季风低压与副高及中纬系统的强度也具有反位相的关系。



a



b



c

图5 4—5月(a)、6—7月(b)和7—8月(c)3时段第二特征向量场

从第二特征向量时间系数变化曲线(图5d、5e、5f)上可以看到, 4—5月时段时间系数是减小的, 并经历了由正到负的转变, 转换时间在5月上旬。因此, 第二特征向量在5月上旬前, 加强了基本环流, 但这种加强是逐渐减弱的, 5月上旬后, 减弱了基本环流。6—7月第二特征向量时间系数也是减小的, 由正值转负值的时间在6月底至7月初。因此, 第二特征向量在6月份加强了东亚大槽及其后的高压脊和副高, 减弱了季风低压的发展, 在7月份, 则有利于中纬系统的季节性减弱和季风低

压的发展, 但不利于副高的加强, 7—8月第二特征向量时间系数变化比较平缓, 在零值线附近摆动, 但数值很小, 因此, 只能使环流系统强度作微小的振荡。

四、讨论与结论

通过上述分析可以看出, 从春到夏, 环流的演变不仅具有明显的阶段性, 在各阶段内部也同样存在着明显的变动性, 这些阶段及其转换时间与我国东部雨带的停滞期及跳跃期相对应。因此, 环流的季节变化不仅发生在雨带的跳跃期, 即使在雨带的停滞期也存在。这些变化表现在:

(1) 45°N 和各区上空的西风指数从华南前汛期至江淮梅雨期连续减弱, 在华北汛期作明显的振荡, 后期指数回升。它反映了西风带和副高的季节性南北进退。

(2) 35°N 和 40°N 上空长波振幅从华南前汛期至江淮梅雨期连续减弱, 由于热带长波振幅较中纬的弱(见图2), 因此, 振幅的连续减弱也反映了环流系统的季节性北进。长波波槽呈东北—西南向并随季节的推移而西退。在 40°N 和 35°N 上, 7月份连续西退; 在 30°N 和 25°N 上, 6月份连续西退。

(3) 3个时段自然正交函数的第一特征向量分别反映了3个汛期雨带的基本环流特征, 这些环流特征明显不同, 从中可以清楚地看到西风带和副高等系统的北移、季风低压的建立和维持以及东亚大槽的减弱西退。同时, 第一特征向量的时间系数表明, 在华南前汛期和江淮梅雨期500百帕等压面具有升高趋势, 华北汛期等压面具有先升后降的季节变化趋势。第二特征向量时间系数表明在华南前汛期和江淮梅雨期系统强度具有明显的振荡现象。

传统认为只有雨带跳跃期才发生较明显的环流季节性变化, 而在雨带停滞期环流则比较稳定, 无明显季节变化趋势, 但以上事实说明这种认识并不全面, 在多年平均情况下, 在雨带停滞期, 同样存在明显的环流季节变化。根据陈学溶^[5]和章淹^[6]的研究, 这种现象在个别年份也会出现。那么, 在环流发生明显的季节变化时, 雨带为什么会停滞不动呢? 为了回答这个问题, 首先要弄清楚决定雨带南北移动的环流因子。固然, 副热带高压、西风急流和南亚高压等大型环流系统的南北位移与雨带的南北变动有密切的关系, 但是, 看来它并不能完全决定雨带位置的停滞或跳跃。

从本文第二节可以看出, 环流系统的纬向季节性位移同样与雨带的稳定有密切关系。如果以 105°E 作为我国东西部的界限, 那么, 1波槽线位于 105°E 以东则不利于我国东部地区雨带的形成, 位于 105°E 以西至 80°E 之间则有利于我国东部地区雨带的形成, 之所以把 80°E 作为西界, 是因为1波的半波长为 45° , 槽线在 80°E 以东时, 我国东部地区才能位于1波槽前。图3表明, 在 35° — 40°N 上, 1波槽线位置于7月上中旬由 105°E 以东急剧退到 105°E 以西, 此时, 正是华北汛期的开始期。在 30°N 上1波槽线位置于6月初急剧退到 105°E 以西, 正好与入梅期相对应。在 25°N 上, 从一开始(即4月)1波槽线就位于 110°E 以西, 此时华南前汛期已经开始。2波槽线整个时期位于 70° — 90° 之间, 其半波长为 22.5 经度, 因而我国东部整个春夏期间皆位于2波脊前, 对我国东部地区降水不利, 它与东部雨带的形成无关。

因此, 我们认为我国东部地区雨带的季节性跳跃和停滞是由大型环流系统的北进与西退共同形成的。4月份, 华南上空1波波槽位于 105°E 以西, 当环流系统北进时, 华南前汛期开始, 直到6月初, 由于江淮流域上空1波槽线尚在 105°E 附近摆动, 雨带不能在江淮流域稳定, 因而雨带停滞于华南, 形成华南前汛期。6月上旬以后, 江淮流域上空的1波槽线急剧西退到 105°E 以西, 与此同时环流系统季节北进, 两者结合, 使雨带由华南跳跃到江淮流域, 7月上中旬前华北上空的1波槽线位于 105°E 以东, 雨带不能北进, 从而停滞于江淮流域形成梅雨。7月上旬后, 华北上空的1波槽急剧移到 105°E 以西, 并与环流系统的北进相结合, 于是华北汛期开始, 华北汛期开始后, 环流系统已基本停止北进, 因而雨带在华北维持, 形成华北汛期。但是在华北汛期期间由于1波波槽

作较显著的东西摆动,短时可东移至 105°E 以东,遂使华北汛期雨带不很稳定。在这两个环流因子中,环流系统北进是雨带北移的主要因子,而环流系统西退则是雨带跳跃和停滞的主要因子。

以上是多年平均的结果,对于个别年份和每年之中的个别过程,可能存在更加复杂的因素,但环流系统的北进、西退看来是最关键的因子。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言等,中国之暴雨,91—115,科学出版社,1980。
- [2] 徐淑英,东亚季风进退与西风环流的季节变化,东亚季风若干问题,88—97,科学出版社,1982。
- [3] 黄士松等,华南前汛期暴雨,28—33,广州科学出版社,1986。
- [4] 朱乾根、林锦瑞、寿绍文,天气学原理和方法,260—271,气象出版社,1981。
- [5] 南京气象学院实习台,东亚副热带高空西风急流的位势同长江中下游入海关口的初步探讨,南京气象学院学报,1978,1,24—31。
- [6] 章淹,初夏西太平洋副热带高压与梅雨和海洋关系的初步探讨,长江流域水文气象预报讨论会技术交流文集,164—177,1979。
- [7] 田山禧、徐淑英,东亚季风进退与雨季的进退,东亚季风的若干问题,76—87,科学出版社,1982。
- [8] 章基嘉、葛令,中短期天气预报基础,15—19,气象出版社,1982。
- [9] 王鑫光,天气向群场的自动交叉展开方法及其应用,南京气象学院学报,1981—1,35—47。

THE NORTHWARD ADVANCE OF THE RAIN BELT IN EASTERN CHINA AND ITS RELATIONSHIP TO THE WESTWARD SHIFT OF LONG WAVES

Zhu Qiangen Shen Tongli

ABSTRACT

By using the average height field data at 500 hPa from April to August of 1972—1980, studies have been made on the characteristics of the circulation variation during the seasonal northward advance of the rain belt in Eastern China. Analysis shows that the seasonal variation of the circulation is very remarkable both during the jump and the stagnation of the northward advance of the rain belt. Although the seasonal northward advance of the rain belt is closely related to the seasonal northward advance of the circulation system, the jump and stagnation of the belt depend chiefly upon the westward shift of the trough of Asian wave 1.