

文章编号: 1004-4965 (2003) 02-0113-09

南海夏季风活动与季内北太平洋副高的形态和西伸

张 韧¹, 余志豪², 蒋全荣²,
罗 坚¹, 董兆俊¹

(1. 解放军理工大学气象学院海洋气象教研室, 江苏 南京 211101;

2. 南京大学大气科学系, 江苏 南京 210093)

摘 要: 基于 db1 小波基和 shannon 熵的 4 层小波包分解重构及 NCEP / NCAR 逐日再分析资料, 研究讨论了南海夏季风与季内北太平洋副高东西形态和西伸过程的相关特征, 提出和定义了诊断判别副高活动的夏季风小波包频域能量判据, 揭示出南海夏季风低频扰动与太平洋副高形态活动之间的一些新的现象和关联。

关 键 词: 太平洋副高; 南海夏季风; 小波包; 频域能量判据

中图分类号: P425.4.2

文献标识码: A

1 引 言

太平洋副高是亚洲季风系统中的重要成员, 夏季副高的季内强度变化和进退活动与季风活动密切相关^[1~6]。陶诗言等^[7]资料分析发现, 亚洲夏季风的强弱与北太平洋副高的位置和活动有很好的相关性: 强夏季风年 500 hPa 的副高脊线大多位于 30 °N 以北, 并分裂成为两个中心; 弱季风年副高脊线则主要位于 30 °N 以南, 表现为从太平洋中部高压中心向西伸展的高压脊。彭加毅的研究表明^[6], 太平洋副高形态与夏季风的强弱关系密切, 强夏季风年太平洋副高往往偏北、偏弱、偏东; 弱夏季风年副高则大多偏南、偏强、偏西。太平洋副高除南北进退外, 还存在西伸的活动特征, 夏季北太平洋副高的季内活动有两种模态^[7]: 第一种表现为副高系统以 20 ~ 30 天的周期从北太平洋中东部的副高中心一次次的向西扩张、西伸, 这类过程大多出现在亚洲夏季风偏弱的年份, 第二种模态表现为副高系统以 20 ~ 30 天的周期从东向西扩充、西伸的同时, 有时在东经 125 ~

收稿日期: 2001-08-21; 修订日期: 2002-03-18

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 49975012) 资助

作者简介: 张 韧 (1963-), 男, 四川峨眉人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事热带海洋天气学研究。

155°E之间停滞,这类过程大多出现在亚洲夏季风偏强的年份。太平洋副高的西伸现象,喻世华等人^[8, 9]在1980~1990年代就进行了研究,指出北太平洋副高的变化首先出现在中、东太平洋地区,然后以一种低频波的形式向西传播。日本气象厅也在资料分析中注意到了副高西伸的现象。

上述研究均指出夏季风与副高之间存在十分显著的关联,但比较偏重于广义的形态学解释和定性的描述,量化的判别分析相对欠缺。最近,我们在作南海夏季风与北太平洋副高的相关分析时,注意到一些有意义的现象。下面先简述这些分析结果,其后引入小波包分解重构方法,定义一种客观定量的小波包频域能量判据,以对南海夏季风与北太平洋副高的相关特征作进一步的诊断判别。

2 南海夏季风与北太平洋副高

南海夏季风与西太平洋副高同为东亚季风系统的重要成员,南海夏季风的强弱对太平洋副高的活动无疑具有十分重要的制约和影响。下面分别对南海夏季风强、弱年份的几个副高活动个例作简要的分析。

2.1 资 料

采用NCEP/NCAR 500 hPa位势高度场及850 hPa纬向风场逐日再分析资料(前者用于描述副高,后者用于季风分析),时间范围:1980~1997年。取6月6日~8月26日时段100~130°E, 5~15°N 格点平均值表示南海夏季风的强度和扰动变化;取6月16日~8月26日时段以30°N为中心(27.5°N~30°N~32.5°N格点平均)的时间-经度剖面图描述北太平洋副高的东西分布状况和西伸过程。

2.2 夏季风强弱与副高东西形态

1985年为南海强夏季风年,5~8月期间西风风速平均在6~8 m/s 以上。与此对应,该年6月16日~8月26日期间北太平洋副高主体位置偏东,5900位势高度中心均处于140°E以东,5880位势区域也主要位于130°E以东(图1)。1984年南海夏季风也较为强盛(平均风速5~7 m/s以上),该年夏季北太平洋副高的主体位置也相对偏东(5880位势米的中心主要位于130°E以东,图略)。

1992年为南海夏季风偏弱的年份,5~8月期间西风平均风速在4 m/s 以下。与此对应,该年夏季北太平洋副高主体位置偏西,7月10日~8月10日期间5900位势高度中心普遍西伸至110~130°E之间,8月初5900位势米中心甚至一度伸至100°E以西(图2)。1995年亦属南海弱夏季风年,该年夏季北太平洋副高中心位置也相对偏西,7月中下旬及8月中下旬,5880位势米高度范围大多西伸至110~120°E以西(图略)。

上述分析表明,南海夏季风与北太平洋副高之间大致存在这样的相关现象:南海夏季风偏强/偏弱年份,太平洋副高中心位置则相对偏东/偏西。

2.3 夏季风扰动与副高西伸

1987年南海夏季风存在较大幅度的扰动起伏。与此对应,该年夏季北太平洋副高存在3次较显著的西伸过程(6月中~7月初、7月初~8月初、7月末~8月中,图3),而前两次

西伸均与南海夏季风两次较显著的扰动(6.1~6.20、6.20~7.20)有较好的时滞对应关系。而在南海夏季风扰动或涨落幅度较小的年份(如1988、1993、1995和1997年),北太平洋副高则较少出现明显的西伸过程(图略)。

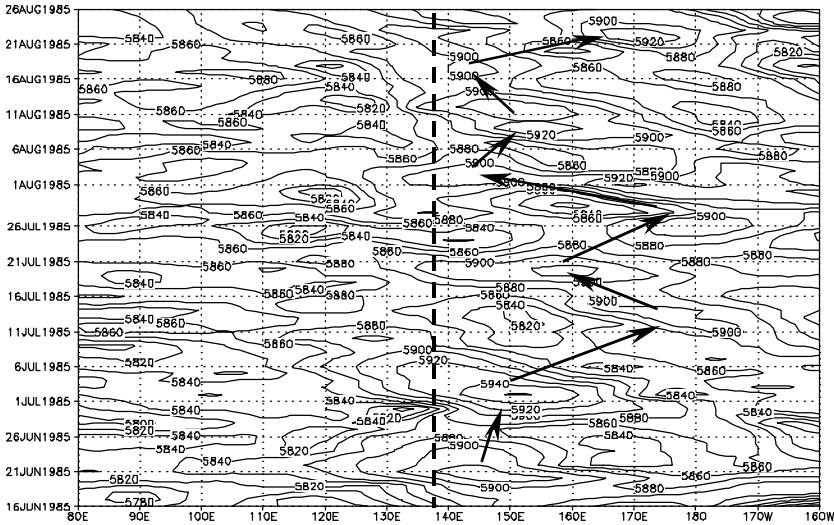


图1 1985.06.16~08.26北太平洋上空500 hPa位势高度时间-经度剖面

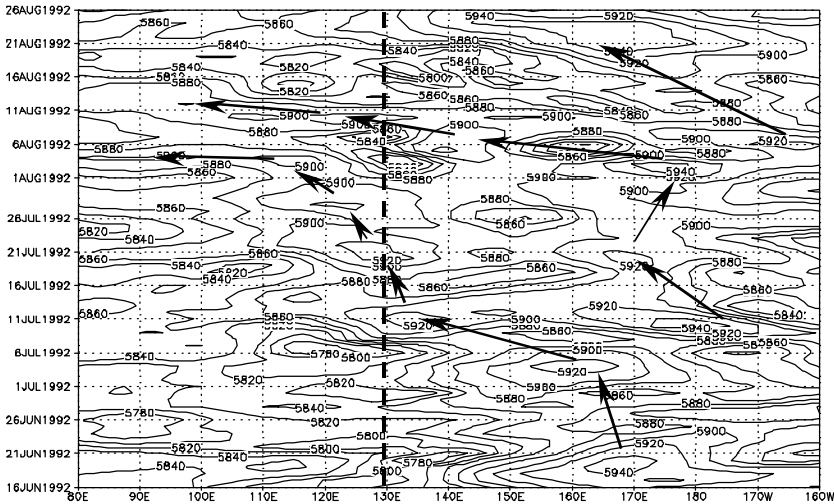


图2 1992.06.16~08.26北太平洋上空500 hPa位势高度时间-经度剖面

上述分析表明,对应于南海夏季风的强扰动过程,北太平洋副高将表现出相应的西伸响应;而在南海夏季风涨落及扰动幅度较小的年份,北太平洋副高的西伸过程也相应较弱。

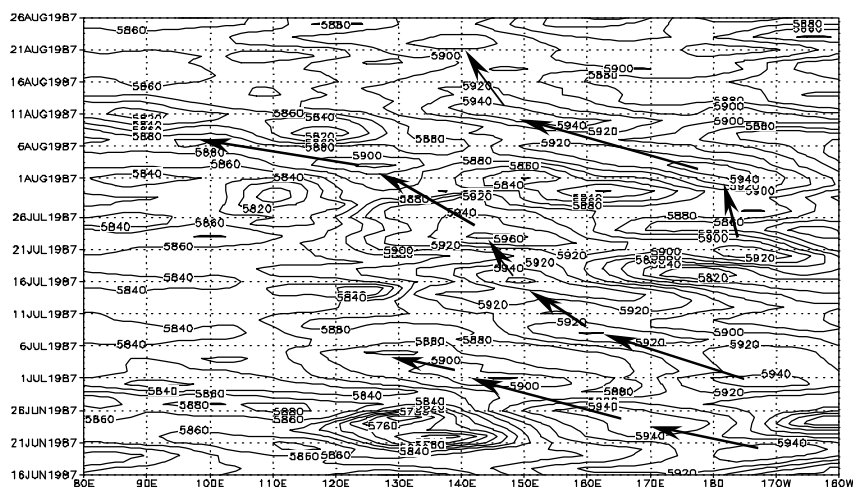


图3 1987.06.16 ~ 08.26北太平洋上空500 hPa位势高度时间-经度剖面

3 小波包分解重构与频域能量判据

以上分析揭示出南海夏季风与北太平洋副高之间存在一些有意义的现象和关联,但缺乏量化描述和判别标准。尽管一些副高指数(如面积指数、西脊点指数、脊线指数)和东亚季风指数可以借鉴参考,但它们主要描述和刻画的是副高或季风自身的特征规律。此外,由于季风扰动本身存在多种活动周期(如30~50天及准双周振荡等),而现有的季风指数并未在频率结构上有细致的划分和描述,因此也需要引入合理的指标来描述季风活动的多周期性。

小波分析是研究非平稳时-频信号的强有力工具,小波包分解以二进制形式对信号频率进行精密的层次划分,并根据被分析信号的特征,自适应地选择相应频带,使之与信号频谱相匹配。由于小波包分解重构可以准确地对各个波动周期的扰动强弱和能量分布情况分别进行讨论。因此本文拟基于这种分析方法,定义夏季风的频域能量特征值,以对南海夏季风与北太平洋副高的相关关系作较为客观定量的分析诊断。

选择db1小波基和shannon熵进行4层小波包分解重构。该小波基具有良好正交性和紧支撑性,能够进行连续和离散的小波变换,可较好表现各频域信号的连续性和突变性。有关小波函数和尺度函数的表达式及相应的伸缩、平移变换形式可参考文献[10, 11],不再赘述。

主要分析步骤:

(1) 首先用db1小波基对南海夏季风时间序列信号进行4层小波包分解,分别提取其第4层从低频到高频16个频率成分的信号特征(图4)。由于本文采用的是逐日资料,因此信号序列的采样频率为1(次/日)。

(2) 然后对第4层的小波包分解系数进行重构,提取各频带范围的信号特征。基于

上述小波包分解的不同频段相当于带宽均等的带通滤波器，分解重构关系为
 $S = S_{40} + S_{41} + S_{42} + S_{43} + S_{44} + S_{45} + S_{46} + S_{47} + S_{48} + S_{49} + S_{410} + S_{411} + S_{412} + S_{413} + S_{414} + S_{415}$
其中S为实际夏季风信号，各分解层所占具体带宽如表1。

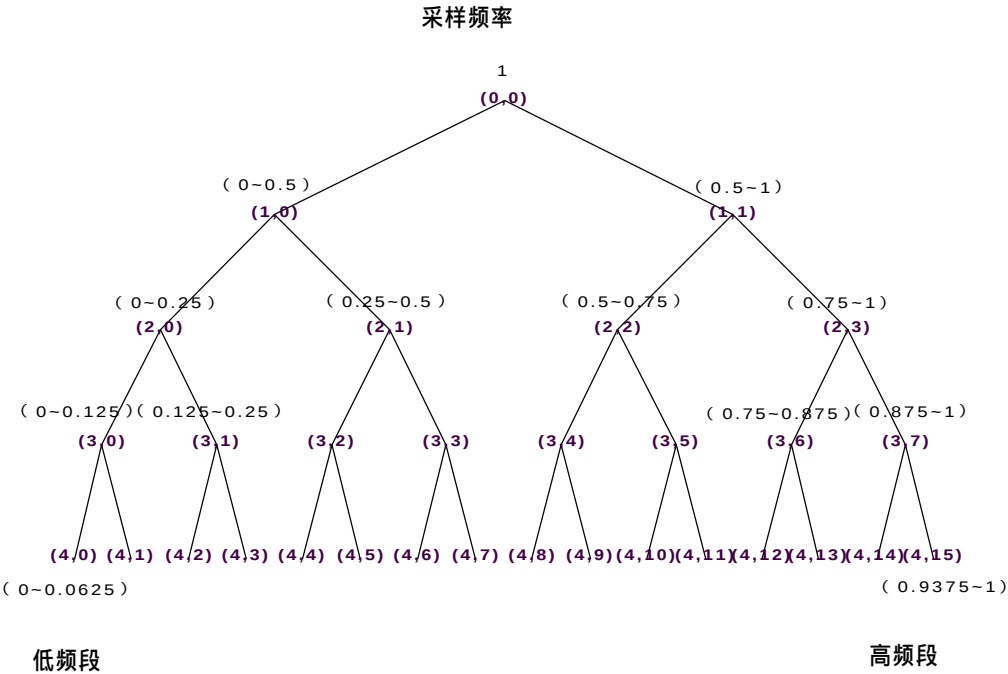


图4 4层小波包分解树结构示意图（采样频率为1）

表1 信号分量对应的带宽周期

信号分量	频率带宽	对应周期/ 天	信号分量	频率带宽	对应周期/ 天
S_{40}	0.000 ~ 0.0625	≥ 16.0	S_{48}	0.500 ~ 0.5625	1.8 ~ 2.0
S_{41}	0.0625 ~ 0.125	8.0 ~ 16.0	S_{49}	0.5625 ~ 0.625	1.6 ~ 1.8
S_{42}	0.125 ~ 0.1875	5.6 ~ 8.0	S_{410}	0.625 ~ 0.6875	1.5 ~ 1.6
S_{43}	0.1875 ~ 0.250	4.0 ~ 5.6	S_{411}	0.6875 ~ 0.750	1.3 ~ 1.5
S_{44}	0.250 ~ 0.3125	3.2 ~ 4.0	S_{412}	0.750 ~ 0.8125	1.2 ~ 1.3
S_{45}	0.3125 ~ 0.375	2.6 ~ 3.2	S_{413}	0.8125 ~ 0.875	1.1 ~ 1.2
S_{46}	0.375 ~ 0.4375	2.3 ~ 2.6	S_{414}	0.875 ~ 0.9375	1.06 ~ 1.1
S_{47}	0.4375 ~ 0.500	2.0 ~ 2.3	S_{415}	0.9375 ~ 1.000	1.0 ~ 1.06

从以上频率-周期分解结构可以看出，4层小波包分解具有非常精细的带宽结构和周期分辨率。不同频带(周期)的分解信号可以比较客观地表现实际信号中的各种频率(周期)结构及相应的强弱生消。

(3) 求各频带信号的总能量。设 S_{4j} ($j=0, 1, 2, \dots, 15$) 对应的能量为 E_{4j} ($j=0, 1, 2, \dots, 15$) , 则有 $E_{4j} = \int |S_{4j}(t)|^2 dt = \sum |x_{jk}|^2$, 其中 x_{jk} ($j=0, 1, 2, \dots, 15; k=0, 1, 2, \dots, n$) 表示重构信号 S_{4j} 的离散点幅值, n 为采样点。

(4) 定义频域能量特征值。季风系统(季风大小和季风扰动)在正常和异常状况时, 由于频率(周期)信号间的相互混淆, 信号序列本身可能看不出明显的实质性差别。但季风信号在特定频域(周期)的强弱和能量大小却可能是大不一样。分析计算季风信号在指定频域的扰动能量特征值可以有效表现或度量不同周期的季风扰动强弱, 并通过与实际副高活动的比较, 建立起相应的对应关系, 进而诊断判别副高的活动。

下面以各频段季风分解重构信号为元素构造一个特征向量 T : $T = [E_{40}, E_{41}, E_{42}, E_{43}, E_{44}, E_{45}, E_{46}, E_{47}, E_{48}, E_{49}, E_{410}, E_{411}, E_{412}, E_{413}, E_{414}, E_{415}]$, 当能量较大时, E_{4j} ($j=0, 1, 2, \dots, 15$) 通常是较大的数值, 为分析方便起见也可视具体情况对向量 T 进行归一化处理, 取

$$E = \left(\sum_{j=0}^{15} |E_{4j}|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$T' = \left[\frac{E_{40}}{E}, \frac{E_{41}}{E}, \frac{E_{42}}{E}, \frac{E_{43}}{E}, \frac{E_{44}}{E}, \frac{E_{45}}{E}, \frac{E_{46}}{E}, \frac{E_{47}}{E}, \frac{E_{48}}{E}, \frac{E_{49}}{E}, \frac{E_{410}}{E}, \frac{E_{411}}{E}, \frac{E_{412}}{E}, \frac{E_{413}}{E}, \frac{E_{414}}{E}, \frac{E_{415}}{E} \right]$$

向量 T' 即为归一化后的季风频域特征能量向量。 T 或 T' 向量中的每一个能量特征值分别表示不同频域范围(周期)的季风扰动强弱和扰动能量大小。

4 南海夏季风第1能量特征值判据

由于3天以上周期的季风扰动约占季风总扰动能量85%左右(表2), 它们可表现南海夏季风变动的主要特征; 3天以下短期扰动的方差贡献较小, 对副高影响较弱, 故夏季风高频段分解重构信号特征值不予讨论(下同)。若以5880及5900位势米高度中心位于140°E以东为副高偏东状态, 位势中心伸展到120~130°E以西为副高偏西状态。表3是计算所得南海夏季风频域能量特征值与实际副高形态的对比(计算时段为每年6月1日~8月15日)。分析表明, 南海夏季风第1能量特征值(对应16天以上周期低频振荡)与北太平洋副高中心平均位置有较好的对应关系: 第1能量特征值偏大(大于53)/偏小(小于53)的年份(即南海夏季风低频扰动偏强和偏弱年份), 北太平洋副高主要的活动中心位置则相对偏东/偏西。表3中多数年份的诊断判别结果与实际情况相符, 但也有少数年份判别失误(表中标注*者)外, 如1994年个例期间, 南海夏季风较强(第1能量特征值相应较大), 但当年夏季北太平洋副高并非判别的偏东而是实际偏西; 1988年南海夏季风较弱(第1能量特征值相应较小), 该年夏季北太平洋副高并非推测的偏西而是实际偏东。这表明南海夏季风的强弱与北太平洋副高东、西形态之间存在密切的相关, 但不是决定因素, 当其它影响因子或影响机理起主要作用时, 夏季风与副高形态的上述相关特征就有可能削弱甚至消失。

表2 南海夏季风各周期波动所占扰动总方差百分比(%, 计算时段: 06.01~08.15)

周期 / d	> 16	8~16	5.6~8	4~5.6	3.2~4	其它
1980~1997年的平均值	43.697	15.217	9.435	13.172	3.468	15.011

表3 南海夏季风小波包分解重构频域特征能量向量（计算时段：06.01~08.15）

年 份	实际副高 中心位置	特征值的 判别结果	小波包频域特征能量向量对应的周期（前5个特征值）				
			> 16 d	8 ~ 16 d	5.6 ~ 8 d	4 ~ 5.6 d	3.2 ~ 4 d
1994	120 ~ 140 °E	偏 东 *	61.318	11.639	11.259	10.216	2.425
1985	140 ~ 160 °E	偏 东	60.769	20.445	9.715	11.632	3.994
1982	140 ~ 160 °E	偏 东	60.674	14.057	7.771	17.083	3.443
1984	150 ~ 170 °E	偏 东	54.669	16.657	11.980	13.003	3.964
1981	150 ~ 170 °E	偏 东	53.735	19.552	9.965	17.967	2.652
1996	130 ~ 150 °E	偏 西	52.794	13.160	10.979	9.955	5.215
1990	130 ~ 150 °E	偏 西	52.484	14.390	8.046	10.682	1.968
1986	120 ~ 140 °E	偏 西	52.140	13.912	14.393	13.575	2.240
1997	130 ~ 150 °E	偏 西	48.611	9.686	11.544	14.142	3.350
1989	130 ~ 150 °E	偏 西	42.437	18.966	13.288	12.653	3.390
1987	130 ~ 150 °E	偏 西	41.986	23.201	11.709	7.625	6.002
1991	120 ~ 140 °E	偏 西	39.429	25.287	13.052	12.407	4.419
1993	140 ~ 160 °E	偏 西 *	39.195	13.717	4.622	16.090	3.010
1992	120 ~ 140 °E	偏 西	38.633	9.128	6.818	20.080	4.210
1980	130 ~ 150 °E	偏 西	36.386	16.191	4.910	8.069	2.512
1988	160 ~ 180 °E	偏 西 *	31.114	13.061	7.045	16.125	3.246
1983	120 ~ 140 °E	偏 西	29.862	13.551	6.051	15.956	2.632
1995	130 ~ 150 °E	偏 西	14.223	8.954	7.728	8.117	3.084

5 南海夏季风第 2 能量特征值判据

通过分析30 °N为中心的500 hPa位势高度场时间-经度剖面图及5880以上的位势高度中心随时间的东、西向活动情况，夏季北太平洋副高的东、西活动状况可大致分为西伸幅度明显和移动幅度较小两种类型。小波包分解重构的第2能量特征值有助于我们进一步分析南海夏季风扰动与副高西伸的对应关系。对比结果发现（表4），南海夏季风的第2能量特征值(对应于8~16天周期的准双周扰动)与太平洋副高的西伸过程关系密切：特征值较大(大于15)和较小(小于15)的年份(即南海夏季风准双周活动较强和较弱年份)，对应的北太平洋副高分别表现出明显西伸和稳定少动的特征，除少数年份判别失误外(表4中标注*号者)，多数年份的副高活动符合上述对应关系。

对照副高稳定少动的年份，南海夏季风不仅第2能量特征值偏小，第3能量特征值(对应于5.6~8天的夏季风周期扰动)也往往偏小；在副高西伸显著的一些年份，南海夏季风第2能量特征值偏小，但第3能量特征值却相对较大(如1986和1996年)，即准双周扰动较弱，但5~8天周期扰动较强。因此南海夏季风第3能量特征值对北太平洋副高的西伸也有一定的诊断意义。对南海夏季风的第2、第3能量特征值分别采用0.60和0.40的权重系数进行加权平均后得到的综合特征值判据与副高东、西活动形态的对比结果(表略)表

明, 加权平均后的特征值较单纯的第2能量特征值更能恰当地表现南海夏季风扰动与北太平洋副高东、西活动的对应关系: 即在南海夏季风8~16天及5~8天周期扰动强盛/弱小的年份, 北太平洋副高往往表现出明显西伸/稳定少动的响应形式(仅1980, 1985, 1992年个例有误)。上述判别也有例外的情况: 如1985年南海夏季风扰动较强, 但该年夏季北太平洋副高的西伸过程并不显著(图1); 1992年南海夏季风扰动较弱, 但该年夏季北太平洋副高的西伸过程却非常明显(图2)。这表明副高的西伸有多种影响因素, 南海夏季风扰动在多数年份对副高西伸有重要影响, 但个别年份则可能是其它因子起关键作用。

表4 南海夏季风小波包分解重构频域特征能量向量(计算时段: 06.01~08.15)

年 份	实际副高 活动状况	特征值判 别结果	小波包频域特征能量向量对应的周期 (前5个特征值)				
			> 16 d	8~16 d	5.6~8 d	4~5.6 d	3.2~4 d
1991	西伸幅度大	西伸幅度大	39.429	25.287	13.052	12.407	4.419
1987	西伸幅度大	西伸幅度大	41.986	23.201	11.709	7.625	6.002
1985	移动幅度小	西伸幅度大*	60.769	20.445	9.715	11.632	3.994
1981	西伸幅度大	西伸幅度大	53.735	19.552	9.965	17.967	2.652
1989	西伸幅度大	西伸幅度大	42.437	18.966	13.288	12.653	3.390
1984	西伸幅度大	西伸幅度大	54.669	16.657	11.980	13.003	3.964
1980	西伸幅度大	西伸幅度大	36.386	16.191	4.910	8.069	2.512
1990	移动幅度小	移动幅度小	52.484	14.390	8.046	10.682	1.968
1982	移动幅度小	移动幅度小	60.674	14.057	7.771	17.083	3.443
1986	西伸幅度大	移动幅度小*	52.140	13.912	14.393	13.575	2.240
1983	移动幅度小	移动幅度小	29.862	13.551	6.051	15.956	2.632
1993	移动幅度小	移动幅度小	39.195	13.717	4.622	16.090	3.010
1996	西伸幅度大	移动幅度小*	52.794	13.160	10.979	9.955	5.215
1988	移动幅度小	移动幅度小	31.114	13.061	7.045	16.125	3.246
1994	移动幅度小	移动幅度小	61.318	11.639	11.259	10.216	2.425
1997	移动幅度小	移动幅度小	48.611	9.686	11.544	14.142	3.350
1992	西伸幅度大	移动幅度小*	38.633	9.128	6.818	20.080	4.210
1995	移动幅度小	移动幅度小	14.223	8.954	7.728	8.117	3.084

6 小 结

基于db1小波基和shannon熵的4层小波包分解重构方法和NCEP/NCAR逐日再分析资料, 引入定义了南海夏季风的频域能量判据, 研究讨论了南海夏季风与季内北太平洋副高的相关关系, 揭示出一些有意义的现象。主要研究结果有:

(1) 在季风和副高的相关性分析中引入了小波包分解重构方法, 定义了较为客观定量的夏季风频域能量判据, 将夏季风活动的定性描述分解为相对精确的定量计算, 通过确立一个临界特征值作为判据指标, 为诊断预测夏季北太平洋副高的东、西形态和西伸

提供了一种分析方法和判别标准。

(2) 研究发现, 南海夏季风的强弱(16天以上周期的低频活动)与夏季北太平洋副高活动中心的东、西位置有较好的对应关系: 南海夏季风强盛(弱小)的年份, 太平洋副高活动中心的位置大多相对偏东(偏西)。

(3) 分析表明, 南海夏季风扰动(5~8天及8~16天周期的周和准双周振荡)与夏季北太平洋副高的西伸过程关系密切: 南海夏季风准双周及周扰动强盛时期, 北太平洋副高往往有显著的西伸响应; 扰动弱小时期, 副高中心位置的移动幅度大多较小。

参 考 文 献:

- [1] 黄仕松, 余志豪. 副热带高压活动及其与大气环流有关若干问题的研究[J]. 气象学报, 1961, **31**: 339-359.
- [2] 陶诗言, 朱福康. 夏季亚洲南部100 hPa流型的变化与副热带高压进退的关系[M]. 北京: 气象出版社, 1964. 385-395.
- [3] 喻世华, 王绍龙. 西太平洋副热带高压中期进退的环流机制[J]. 海洋学报, 1989, **11**: 370-377.
- [4] 张 韧, 史汉生, 喻世华. 西太平洋副热带高压非线性稳定性问题研究[J]. 大气科学, 1995, **19**: 687-700.
- [5] 张庆云, 陶诗言. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水[J]. 应用气象学报, 1998, **9**(增刊): 16-23.
- [6] 彭加毅. ENSO对西太平洋副高的影响及与东亚季风的相互作用研究[D]. 博士学位论文. 1999. 100-114.
- [7] 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 夏季北太平洋副热带系统的活动. 气象学报, 待刊.
- [8] LUO Jian, YU Shi-hua. CEOF analyses of atmospheric low-frequency oscillation in lower latitude region and frequency modulation phenomena of low-frequency signals[J]. *ACTA Meteor Sinica*, 1995, **9**: 199-206.
- [9] 喻世华, 张 韧, 杨维武. 副热带高压进退机理研究[M]. 北京: 解放军出版社, 1999. 123-169.
- [10] 李建平. 小波分析与信号处理[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997. 125-137.
- [11] 赵松年, 熊小芸. 子波变换与子波分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 1996. 51-63.

THE SOUTH CHINA SEA SUMMER MONSOON AND THE SEASONAL MODALITY AND WEST-EXTENDING OF THE NORTHERN HEMISPHERE PACIFIC SUBTROPICAL HIGH

ZHANG Ren¹, YU Zhi-hao², JIANG Quan-rong²,
LUO Jian¹, DONG Zhao-jun¹

(1. Institute Of Meteorology, PLA University Of Sciences & Technology, Nanjing 211101, China;

2. Department Of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Based on the 4-layer db1 wavelet packet and shannon entropy decomposition/reconstruction method and the NCEP/NCAR daily reanalysis data set, the correlation between the South China Sea summer monsoon and the Northern Hemisphere Pacific subtropical high seasonal modality/shift was studied and discussed, and a corresponding summer monsoon frequency-band energy criterion was defined and introduced for diagnosing the Pacific subtropical high's modality/shift. A few new phenomena and correlation between the South China Sea summer monsoon and the Northern Hemisphere Pacific subtropical high were also revealed and presented.

Key words: the Pacific subtropical high ; South China Sea summer monsoon ;
wavelet packet ; frequency-band energy criterion