

5—6月高空候平均长波、超长波的若干统计特征

陈 静

王得民

(四川省气象台)

(南京气象学院)

摘要 用球谐展开方法,综合考察了5—6月大型环流的纬向变化和经向变化特征,发现各层上平均大型环流的波谱特征不同,各层都能找到一个球谐波作为纬向波的代表;球谐波谱特征演变能反映出大气环流的6月突变,突变从100hPa扩展到500hPa,在500hPa表现最为明显;丰、枯年球谐波谱特征不同,优势波入梅前的位相及入梅后的转换波差异较大。

关键词 候平均, 大气波动

对梅雨这种大型天气过程的研究,可归结为讨论与之相对应的大范围甚至是半球范围的环流演变特征。

球谐展开是二维展开,将球谐展开用于分析高度场演变的特征,前人已做了不少工作,Eliassen等^[1]研究了球谐展开取多少项逼近的问题,发现1—4波的超长波占有很重要的地位。Deland和章基嘉^[2,3]等人用球谐展开分析超长波时空演变规律,并用它讨论寒潮中期预报问题。以上的研究都是着重分析各类波动的振幅,即根据振幅的大小,来判断哪一种波动更占优势。

本文利用球谐展开,分析北半球5—6月海平面气压场、500hPa及100hPa高度场的多年平均资料,讨论其逐候演变特征。并以1978年为枯梅年代表,1980年为丰梅年代表,研究这两年的球谐波谱特征,以揭露丰梅年、枯梅年与正常年的环流差异。在研究各个波动演变特征时,定义一个指标去衡量某种波动对总的环流贡献大小。

1 展开方法及资料

对球面上高度场作球谐展开

$$\phi(\lambda, \theta) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} (a_{mn} \cos m\lambda + b_{mn} \sin m\lambda) P_{mn}(\cos \theta) \quad (1)$$

式中 λ 表示经度, θ 表示余纬, a_{mn} , b_{mn} 是球谐系数, $P_{mn}(\cos \theta)$ 是勒让德函数。进行展开计算时选取三角形截断,考虑到大气运动的南北对称性,对北半球高度场展开取偶截断,估计场为

$$\phi(\lambda, \theta) = \sum_{m=0}^N \sum_{n=m}^N \delta_m (a_{mn} \cos m\lambda + b_{mn} \sin m\lambda) P_{mn}(u) \quad (2)$$

$$\delta_m = \begin{cases} 1 & m = 0 \\ 2 & m \neq 0 \end{cases} \quad u = \cos \theta$$

展开系数 a_{mn} , b_{mn} 表示为

$$\begin{cases} a_{mn} = \frac{2n+1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{\pi}^0 \phi(\lambda, \theta) \cos m\lambda P_{mn}(u) du \\ b_{mn} = \frac{2n+1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{\pi}^0 \phi(\lambda, \theta) \sin m\lambda P_{mn}(u) du \end{cases} \quad (3)$$

根据房春花的试验结果*, 当 $N=8$ 时, 实况场与展开场的符号一致率为 85%。因此, 本文取 $N=8$, 为分析方便, 将 (2) 式改写

$$\phi(\lambda, \theta) = \sum_{m=0}^N \sum_{n=m}^N \delta_m A_{mn} \cos(m(\lambda - \theta_{mn}) P_{mn}(u)) \quad (4)$$

式中 $A_{mn} = \sqrt{a_{mn}^2 + b_{mn}^2}$ 是第 (m, n) 个球谐波振幅, θ_{mn} 是初位相

$$\theta_{mn} = \begin{cases} \frac{1}{n!} \operatorname{tg}^{-1} \frac{|b_{mn}|}{|a_{mn}|} & |a_{mn}| > |b_{mn}| \\ \frac{1}{n!} (90^\circ - \operatorname{tg}^{-1} \frac{|a_{mn}|}{|b_{mn}|}) & |a_{mn}| \leq |b_{mn}| \end{cases} \quad (5)$$

实际位相角的计算还必须根据 a_{mn} , b_{mn} 的符号决定其所在象限及角度。

当 $n=0$ 时, 为方便计, 定义

$$\theta_{0n} = \begin{cases} 180^\circ & a_{0n} < 0 \\ 0^\circ & a_{0n} > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{令 } Y_{mn}(\lambda, \theta) = \sum_{m=0}^N \sum_{n=m}^N \cos m(\lambda - \theta_{mn}) P_{mn}(u) \quad (7)$$

则有

$$\phi(\lambda, \theta) = \sum_{m=0}^N \sum_{n=m}^N \delta_m A_{mn} Y_{mn}(\lambda, \theta) \quad (8)$$

称 Y_{mn} 是球谐展开的基本场, 它反映了某种天气流型特征。 A_{mn} 是展开场的权重系数。现举 (2, 4) 波和 (1, 1) 波为例。如图 1, $\theta_{mn} = 0$ 时, Y_{24} 代表纬向波数为 2,

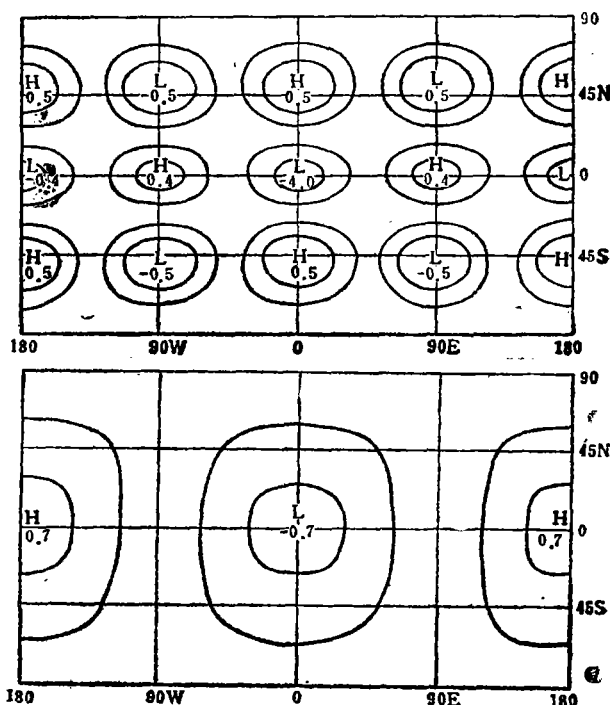


图 1 特征场 (上图) Y_{24} $m=2, n=4$
(下图) Y_{11} $m=1, n=1$

房春花, 使用多场列 料的动力—统计预报, 南京气象学院硕士论文

经向波节点数为2的特征场; Y_{11} 代表纬向波数为1, 经向波节点数为0的特征场; 波动位相角表示这种波与其相应特征场相差 θ_{mn} 个经度。

为突出环流经向度和纬向度两部分, 将高度场减去整个场的平均值^[4]

$$S = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{\pi}^0 (\phi(\lambda, \theta) - \bar{\phi})^2 d\theta d\lambda \quad (9)$$

将(2)式代入(9)式, 并由球谐函数的性质可得

$$S = \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{2n+1} A_{0n}^2 + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^N \frac{\delta_m^2}{2n+1} A_{mn}^2 \right) \quad (10)$$

定义一个指标

$$E(m, n) = \begin{cases} \frac{1}{2n+1} A_{0n}^2 / S & m=0 \\ \frac{\delta_m^2}{2(2n+1)} A_{mn}^2 / S & m \neq 0 \end{cases} \quad (11)$$

用来表征 Y_{mn} 环流型的贡献大小。 $E(m, n)$ 满足 $0 \leq E(m, n) \leq 1$ 。

所用资料为北半球(10—80°N)海平面气压场、500hPa高度场、100hPa高度场5—6月各候累年平均资料, 资料年限分别是

海平面气压场 1955—1984(30年)

500hPa高度场 1951—1984(34年)

100hPa高度场 1963—1984(22年)

丰梅年500hPa高度场(1980年)

枯梅年500hPa高度场(1978年)

按每隔10个纬度、10个经度取一个网格点, 并用中央差格式插出所缺的值。

用球谐函数展开以上资料, 求得各候分解系数、各谐波振幅、位相及贡献系数 $E(m, n)$ 。

2 候平均高度场球谐展开结果分析

2.1 5—6月大型环流的平均特征

表1分别是5—6月海平面、500hPa和100hPa平均环流前10个波的贡献系数及位相角。由表可知: 海平面场上, 前3个波贡献系数之和占70%左右; 500hPa上, 前3个波贡献系数之和占97%左右; 100hPa上, 前3个波贡献系数之和占90%左右。可见, 海平面场相对高层含有更多类的波, 反映出受地形和加热场的影响, 情况更为复杂。500hPa与100hPa相比, 500hPa上波动更简单一些, 主要是(0, 2)波, 100hPa上除(0, 2)波外, (0, 8), (0, 6)波也较重要。由表还可知, 高、中、低三层上第一个优势波都是 $m=0$ 的特征波。但各层的值不同, 500hPa上, (0, 2)波占92.7%, 海平面场上, (0, 8)波只占36.93%。

表 1 5—6 月平均环流前 10 个波的贡献系数 $E(m, n)$ (%) 及位相 θ_{mn}

海 平 面

顺 序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(m, n)	(0, 8)	(1, 1)	(0, 6)	(2, 2)	(0, 2)	(2, 6)	(2, 4)	(1, 5)	(1, 7)	(1, 3)
$E(m, n)$	33.93	20.61	13.83	5.63	3.93	3.61	2.82	2.38	2.23	1.63
θ_{mn}	0.0	88	0.0	174	0.0	93	22	269	70	154

500hPa

顺 序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(m, n)	(0, 2)	(0, 6)	(0, 4)	(0, 8)	(1, 3)	(1, 1)	(2, 4)	(2, 8)	(2, 6)	(1, 7)
$E(m, n)$	92.68	2.33	1.81	0.89	0.47	0.44	0.43	0.29	0.22	0.15
θ_{mn}	180	0	180	0	210	158	60	10	55	14

100hPa

顺 序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(m, n)	(0, 2)	(0, 8)	(0, 6)	(1, 1)	(2, 2)	(1, 5)	(1, 3)	(2, 4)	(2, 6)	(1, 7)
$E(m, n)$	72.07	10.53	8.43	4.39	1.91	0.83	0.55	0.53	0.46	0.43
θ_{mn}	180	0	0	259	90	115	227	91	24	185

尽管 $m=0$ 的波动贡献系数很小, 但从天气学角度来看, 大的天气过程主要是由于长波及位相变化造成的。如果我们能从系数稍大的纬向波动中选出一个波动, 其振幅及位相变化能大致反映出实况场特征, 这无疑能给我们的分析带来方便。

图 2 分别是北半球 5—6 月海平面 (a), 500hPa (b) 和 100hPa (c) 的平均高度图。

海平面实况场的特征是: 亚洲大陆为一低压区, 中心位置在 30°N , 80°E 附近, 东太平洋为一高压区 (图 2a)。平均而言, 东半球为低压区, 西半球为高压区。由表 1 可知, $(1, 1)$ 波贡献系数占 20.61%, 低压中心在 88°E , 这与实况较为一致。因此, 我们以 $(1, 1)$ 波为海平面气压场纬向波动代表。

500hPa 实况场上, 150°E 和 30°W 附近, 中高纬为低槽区, 低纬为高脊区, 70°E 和 110°W 附近, 与同纬度相比, 中高纬值稍高, 低纬的值较低。由表

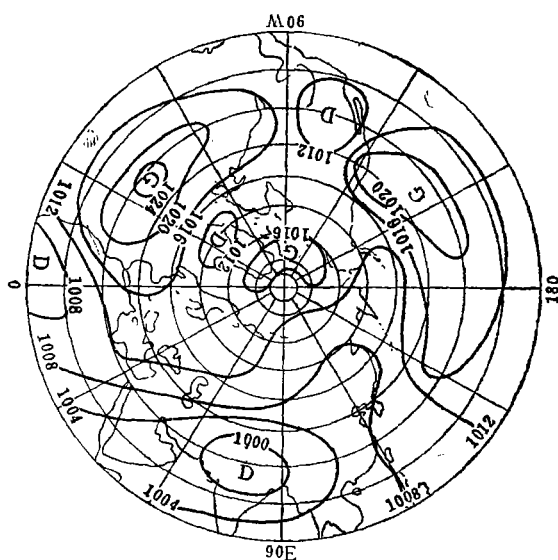


图 2 (a) 海平面

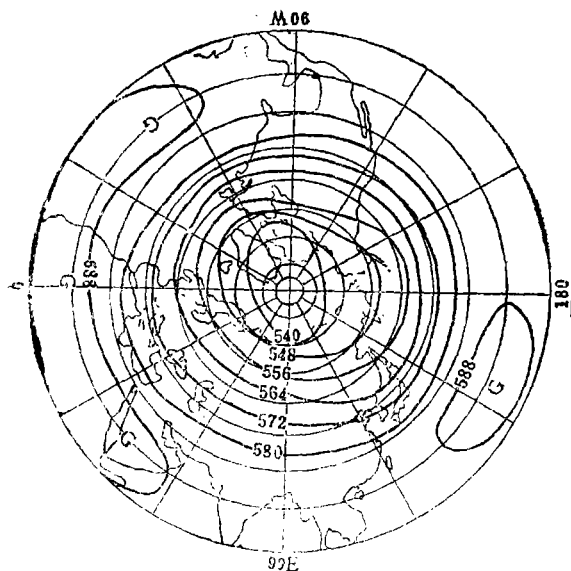


图2(b) 500hPa

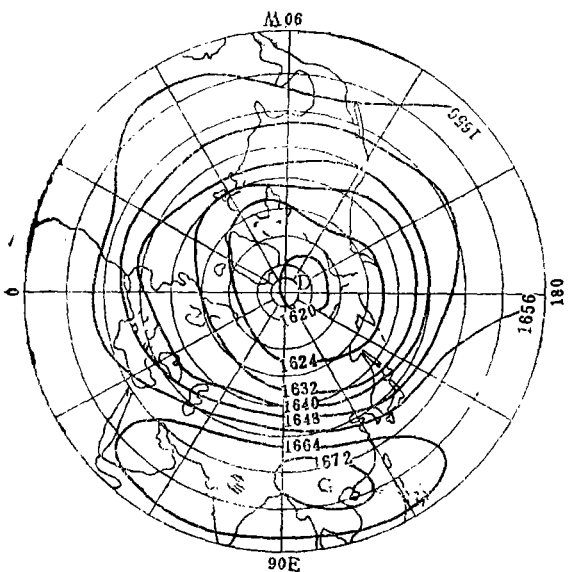


图2(c) 100hPa

图2 6—6月海平面、500hPa、100hPa平均高度

1可知,尽管(1,1),(1,3),(2,4)波贡献系数相差不大,但(2,4)波的特征场及位相角所在经度与实况较一致。因此,我们以(2,4)波为500hPa高度场纬向波动代表。

对100hPa,作类似于海平面的分析,发现(1,1)波贡献系数较大,位相角所在经度与实况较接近。因此,以(1,1)波为100hPa上纬向波动代表。

为更好地将波谱特征与行星尺度天气系统相联系,将500hPa上(2,4)波的位相角加上 90° ,即为中高纬低值区,低纬高值区所在经度,这大致是500hPa上东亚大槽及太平洋副热带高压区所在经度。将100hPa上(1,1)波位相角减去 180° ,即为脊所在经度(大致是青藏高原所在区域),以下分析都作类似处理,将不再赘述。

2.2 优势波的逐候演变特征与6月突变

早在50年代,叶笃正等曾提出6月的大气环流突变理论^[5],其特点表现在西风带突然向北推移,在高空东、西风带推移时期,高空流型也发生很大变化,经过这次变动后,便建立起典型的夏季型环流型式。从球谐波谱角度来看,大气环流的突变可理解为球谐波谱特征参数演变中出现的

极值,以下分析突变的球谐波谱特征。

图3是海平面(1,1)波、500hPa(2,4)波、100hPa(1,1)波4—7月逐候位相变化。由图可见,海平面上4—5月,(1,1)波以 $2.5^\circ/\text{候}$ 的速度东移,5月底6月初,移速减慢,6月第三候达最东端,随后以 $0.3^\circ/\text{候}$ 的速度西退。总的来说,6、7月低压中心几乎停滞于 90°E 附近。500hPa(2,4)波变化特征与海平面相似,6月第三候达最东端,随后西退,其东进速度和西退速度相当。100hPa上,(1,1)波位相角4、5月份东进,6、7月份西退,5月第六候达最东端。由此可知,高、中、低三层优势

波位相角都在 5 月底或 6 月中旬达最东端。这从另一个角度证明了发生在 6 月的大气环流突变现象。还可以看到, 各层上位势波达最东端的时间不同, 100hPa 上是 5 月第六候, 500hPa 和海平面上都是 6 月第三候, 即环流形势的突变从高层 100hPa 开始, 随后是 500hPa。由于海平面场优势波西退不明显, 还不能肯定优势波西退从高层扩展到海平面, 但大气环流的 6 月突变从高层 100hPa 开始, 逐渐扩展到 500hPa, 是不容置疑的。

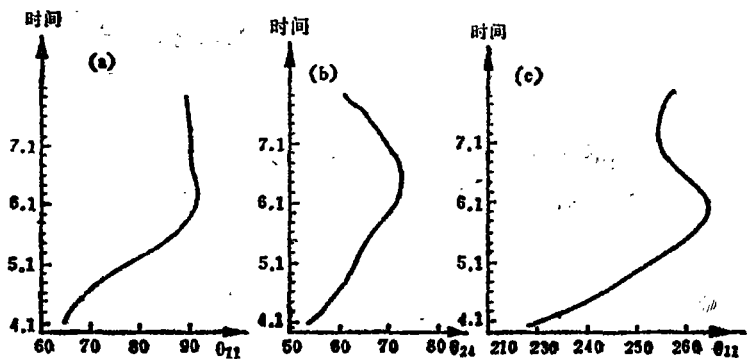


图 3 各层优势波位相角逐候变化 a. 海平面, b. 500hPa, c. 100hPa

对于贡献系数, 海平面 (0, 8) 波逐候减小, (1, 1) 波逐候增加, 100hPa (0, 2) 波逐候减小, (1, 1) 波逐候增加。这表明, 随着大型环流纬向度减小, 经向度逐候增加, 表现在实况场上, 就是 100hPa 上青藏高压及地面低压区逐渐加强。500hPa 上 (0, 2) 波贡献系数与 100hPa 变化特征相似, 但 (2, 4) 波逐候变化特征是先增后减, 6 月第一候达最大值 (图 4)。从贡献系数的变化特征分析, 只能在 500hPa 上看到大气环流的 6 月突变现象, 海平面和 100hPa 上优势波贡献系数都没有出现极值。可见, 6 月突变在 500hPa 最明显。

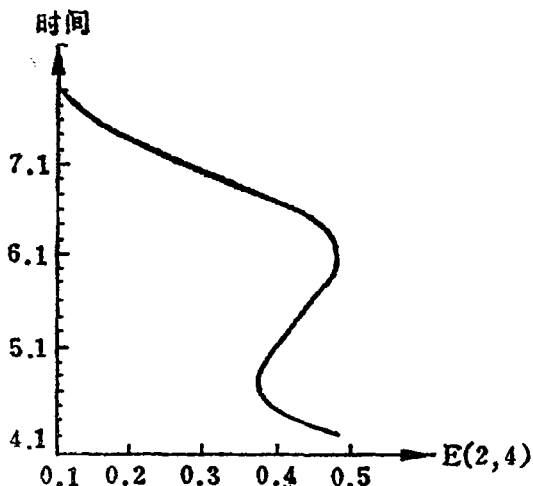


图 4 500hPa (2, 4) 波贡献系数变化

2.3 丰梅年、枯梅年球谐波谱特征

由前所述, 已能认识到大气环流 6 月突变的一些特征。显然, 6 月江淮流域梅雨是与北半球环流突变密切相联的一种局地天气过程。下面以突变现象最为明显的 500hPa 为例, 讨论丰梅年、枯梅年球谐波谱特征。

取 1978 年代表枯梅年 (6 月 8 日入梅, 6 月 15 日出梅), 1980 年代表丰梅年 (梅雨期为 6 月 9 日—7 月 12 日), 并重点分析入梅前后的环流特征。

图 5、图 6 分别为 500hPa (2, 4) 波正常年、1980 年、1978 年贡献系数和位相的逐候变化情况。1978 年的特征是入梅前, 贡献系数值在正常年附近摆动, 但位相角较正常年偏西, 即太平洋副高偏西; 入梅后, 贡献系数均小于正常年, 位相角偏东 10 个经度。

1980年的特征是: 5月份, 副高较正常年平均偏东9个经度; 入梅后, 副高偏西。

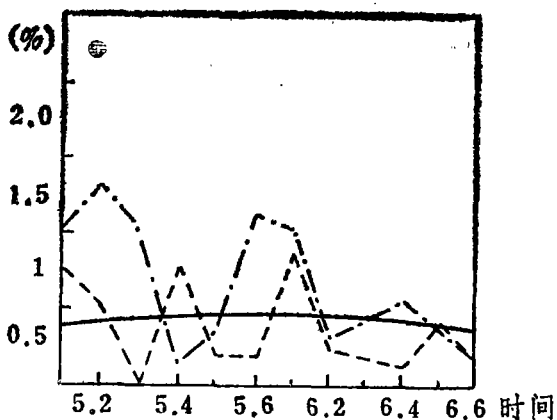


图5 500hPa(2, 4)波贡献系数
——正常年份, - - - 1980年, - · - 1978年

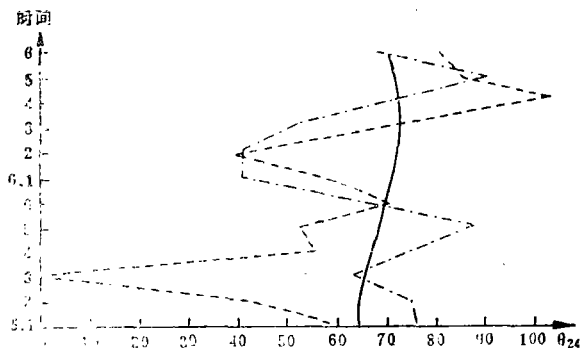


图6 500hPa(2, 4)波逐候位相
——正常年份, - - - 1980年, - · - 1978年

比较1980年、1978年(2, 4)波变化特征, 可发现两个相似之处:

1) 两年的6月份(2, 4)波振幅及位相变化趋势一致; 2) (2, 4)波贡献系数入梅后都减小。但为什么1980年和1978年江淮流域降水差别又很大呢? 根据分析必须注意以下几点: 1) 在5月份, 1980年与1978年的(2, 4)波位相(即副高位置)截然不同, 1980年较正常年偏东, 1978年偏西; 而且1980年(2, 4)波贡献系数大于1978年, 即丰梅年振幅更大。2) 入梅后, (2, 4)波贡献系数减小时, 1980年(5, 7)波贡献系数增加, 而1978年是(3, 7)波的贡献系数增加(图略), 即入梅后, 1980年的(2, 4)波向(5, 7)波转换, 1978年的(2, 4)波向(3, 7)波转换。可见, 前期环流差异及优势波向不同的波转换是造成1980年江淮流域梅雨量多于1978年的一个原因。

3 结 语

(1) 受地形和加热场的影响, 5—6月各层上平均大型环流的波谱特征不同, 海平面场含有更多类的波。且在各层上都能找到一个球谐波作为纬向波动的代表。海平面场、500hPa和100hPa分别以(1, 1)波、(2, 4)、(1, 1)波为代表。

(2) 进一步证实了大气环流的6月突变。表现在各层上主要优势波的位相角在5月底、6月中旬移到最东端, 随后开始西退。进一步研究也发现, 位相角西退从100hPa开始, 逐渐扩展到500hPa上; 500hPa上主要优势波的贡献系数在6月初也达极大值。这表明: 6月突变从高层100hPa向500hPa扩展, 在500hPa上最明显。

(3) 500hPa上, 丰梅年纬向波动振幅较枯梅年、正常年偏大。入梅前, 丰梅年副高所在经度较正常年偏东, 枯梅年偏西; 入梅后, 丰、枯梅年转换波动不同, 丰梅年(2, 4)波向(5, 7)波转换, 枯梅年则向(3, 7)波转换。

参 考 文 献

- 1 Eliassen E, Machenhauer B. *Tells*, 1965, 17: 220—238
- 2 Deland R J. *Mon Wea Rev*, 1965, 93: 307—321
- 3 章基嘉, 彭永清等. 南京气象学院学报, 1982, 1: 9—14
- 4 王得民. 南京气象学院学报, 1988, 1: 65—77
- 5 叶笃正等. 在六月和十月大气环流的突变现象. 气象学报, 1958, 3

SOME STATISTICAL FEATURES OF THE UPPER-AIR PENTAD MEAN LONG AND ULTRA-LONG WAVES IN MAY-JUNE

Chen Jing

Wang Demin

(Meteorological Observatory of Sichuan Province) (Nanjing Institute of Meteorology)

Abstract Comprehensive investigation is made of the longitudinal and latitudinal variations in the large-scale circulation from May to June in terms of spherical expansion. It is found that the spectrum features of the mean large-scale circulation are different at various levels and a spherical wave can be found as the sample for the longitudinal wave at each level. The variations in the features of spherical wave spectrum reflect the atmospheric circulation catastrophe in June, which develops from the 100hPa to 500hPa level, and is most significant at the 500 hPa level. The characteristics of spherical spectrum are different in wet and dry years and there exists a pronounced difference between the phase of the predominant wave before the beginning of the Mei-yu season and the conversion wave after the period.

Key words the pentad mean, atmospheric oscillation