

长江中下游地区春季连阴雨-连晴天气过程的中期振荡*

钟元 吴钟浚

(浙江省气象科学研究所)

提 要

本文对长江中下游地区1980年春季连阴雨-连晴天气过程及西风带、低纬赤道带和南半球天气系统的10个参数进行功率谱分析表明,它们都有准两周振荡的主要周期。交叉谱分析给出了连阴雨-连晴天气与10个参数在准两周振荡上的关联和相对振荡顺序。对连阴雨-连晴天气的时空背景纬圈及经圈环流的时空谱分析表明,纬向及经向环流振荡的两组传播波在准两周振荡上有较高的相干,经向传播超前于纬向传播。

一、引言

春季,大气环流从冬季型向夏季型转换,长江中下游地区仍频繁地受到北方南下冷空气的侵袭,同时亦受到南方暖湿气流北上的影响。冷暖二支气流的交汇长期维持在该地区,形成了连阴雨天气;交汇减弱或移出,则连阴雨天气结束,转为连晴天气。连阴雨的稳定形势是大气经向环流恢复到纬向环流的一次转变过程,而连阴雨结束则是纬向环流破坏向经向环流转变^[1]。事实上,这两种环流的相互转变交替进行,南、北气流亦随之进退,其交汇的强弱变化与南北位移导致该地区的连阴雨天气与连晴天气交替出现,即长江中下游地区连阴雨-连晴天气过程(以下简称连阴雨-连晴天气)的振荡。本文用谱分析方法探讨这种连阴雨-连晴天气中期振荡的主要周期;引导冷暖二支气流的西风带天气系统及低纬、热带和南半球天气系统的中期振荡及其与连阴雨-连晴天气振荡的关联;连阴雨-连晴天气振荡的时空背景纬圈环流与经圈环流振荡的相干性。

二、资料及分析方法

本文用1980年3月1日至5月31日长江中下游地区35个站点(图1a)的逐日雨量资料,按照下式对每个站点的92天时间序列进行连阴雨及连晴长度权重的逐日编码:

$$C_{p,n} = aL + bi \quad \begin{cases} p = 1, 2, \dots, 35 \\ n = 1, 2, \dots, 92 \\ i = 0, 1, \dots, L-1 \end{cases}$$

* 本文于1990年3月30日收到,1990年11月6日收到修改稿。该文是“长江中下游地区春季连阴雨-连晴天气研究”课题研究项目。

为某日降水量大于或等于 0.1mm 时,定为雨日,否则为晴天。

对于雨日,则 $a=1, b=-1, L$ 为包含该日的连续雨日过程总长度。 i 为该连阴雨过程逐日序号,第一天为 0,第二天为 1,余类推。

对于晴天, $a=-1, b=1, L$ 为包含该日的连续晴天过程总长度, i 为该连晴过程逐日序号,编码规则同上。

取逐日 35 个站点编码值之和,

$$R_n = \sum_{p=1}^{35} C_{p,n} \quad (n=1, 2, \dots, 92)$$

R_n 即为代表全区域连阴雨-连晴天气时间序列, 序列的若干极大值表示连阴雨天气过程开始日,若干极小值表示连晴天气过程开始日。

本文用同期 ECMWF 的全球 2.5×2.5 经纬网格资料及中央气象台历史天气图, 统计西风带、低纬、热带与南半球天气系统参数值的时间序列。

在分析连阴雨-连晴天气与天气系统振荡周期时, 先将各时间序列标准化,再用落后自相关方法计算功率谱密度。计算时时间序列长度 92 天,最大后延时间 20 天,为消除小波动,对初谱估计进行 Hanning 平滑。在探讨连阴雨-连晴天气振荡与天气系统振荡在频谱带上的相干时,应用交叉谱分析,计算两个时间序列之间的协谱、正交谱,凝聚谱及位相差谱。有关谱分析公式参阅文献[2],本文不再列出。

在分析连阴雨-连晴振荡的时空背景纬圈环流与经圈环流相干性时,采用林良一的时空谱分析方法^[3-5]。在 500hPa 高度场沿 30°N 的纬圈及沿 $115^\circ\text{E}-65^\circ\text{W}$ 的经圈,各取 72 个格点高度值作谐波展开;再以经纬圈的傅氏系数的标准化时间序列计算纬向振荡的东进、西退分量及经向振荡的南进、北退分量的时空功率谱;用时空交叉谱方法计算纬向传播与经向传播时空序列的协谱、正交谱、凝聚谱及位相差谱。

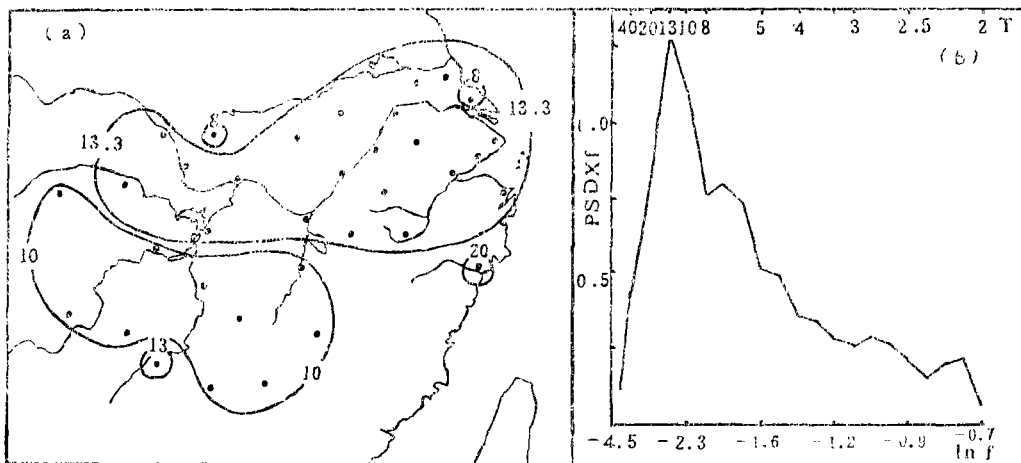


图 1 1980 年春季长江中下游地区连阴雨-连晴天气过程振荡功率谱
(a 第一主要周期的区域分布, 图中数字为周期天数, 圆点为站点位置; b R_n 的功率谱)

三、长江中下游地区春季连阴雨-连晴天气过程的中期振荡

图 1a 为 1980 年春季连阴雨-连晴天气时间序列 $C_{p,n}$ 第一主要周期的区域分布。长江下游地区及中游地区北部为 13.3 天振荡周期, 中游地区南部为 10 天周期。代表全域连阴雨-连晴天气时间序列 R_n 的功率谱(图 1b)中, 13.3 天为第一主要周期。本文的功率谱图中纵坐标为标准化功率谱密度与频率乘积, 横坐标为频率对数。

四、纬向气流的准两周振荡

本文选取 5 个参数表征引导北方冷空气南下的纬向(西风)气流, 其定义如表 1 及图 2。图 3 为五个参数的功率谱。

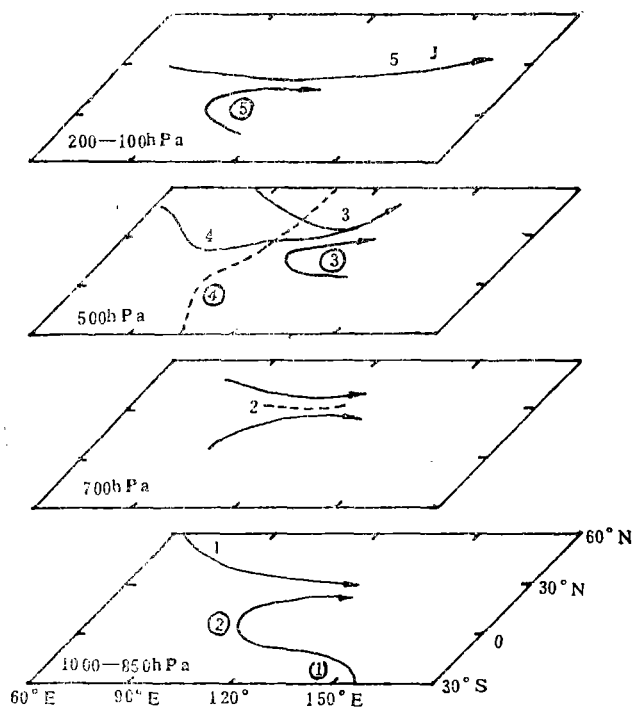


图 2 纬向及经向气流 10 个参数示意图
(图中带圆圈序号表经向气流参数)

1. 西伯利亚冷高压 春季, 西伯利亚冷空气爆发南下, 是抬升与推移长江中下游地区上空暖湿气流的重要动力因子。其主要周期为 13.3 天及 5.7 天(图 3)

2. 低空切变 江淮流域上空低层偏北风与偏南风切变线是南北气流的交汇线, 其南侧偏南风带来暖湿空气沿静止锋面上升运动, 造成大面积连阴雨天气。春季切变线位置在华南至江淮之间振荡, 在中频域内主要有 8 天及 13.3 天周期。

3. 纬圈超长波 纬圈 3 波与北半球环流三波相对应。波能密度与谐波振幅平方成正比, 波能密度增大, 槽加深, 环流向度加大, 反之则槽变浅, 环流向纬向型发展。30°N 纬圈 3 波波能密度变化主要周期是 13.3 天。

4. 纬圈长波 在环流演变与转换过程中, 5 波是进行中纬度角动量输送的主要角色^[6]。春季, 30—20°N 纬圈 5 波槽线在 80—110°E 之间振荡, 它反映了孟加拉湾低槽的变化, 其相对振幅(谐波振幅与总方差之比)变化的最主要周期是 13.3 天。

5. 副热带西风急流 副热带西风急流绕过西藏高原后, 沿急流轴常产生小波动东传, 引导小股冷空气南下。日本附近上空有一最大风速中心, 春季在 20—30°N 之间振荡,

表 1 纬向及经向气流参数定义

	参 数	符 号	定 义
纬 向 气 流	1. 西伯利亚冷高压	SCH	1000hPa, 65—45°N, 70—90°E, 平均高度
	2. 低空切变	LLS	700hPa, 110—120°E, 风向切变线平均位置
	3. 纬圈超长波	ZUW	500hPa, 30°N纬圈, 3波波能密度
	4. 纬圈长波	ZLW	500hPa, 30—20°N纬圈, 5波平均相对振幅
	5. 副热带西风急流	STJ	200hPa, 35—15°N, 100—180°E, 急流风速中心位置
经 向 气 流	1. 澳大利亚冷高压	ACH	1000hPa, 20—30°S, 140—155°E, 平均高度
	2. 110°E 低空越赤道气流	CEF	850hPa, 赤道107.5—112.5°E, 经向风速平均值
	3. 西太平洋副热带高压	PSH	500hPa, 110—130°E, 西太平洋副热带高压脊线平均位置
	4. 经圈超长波	MUW	500hPa, 115°E—65°W经圈, 2波位相
	5. 南亚高压	SAH	100hPa, 90—180°E, 南亚高压中心位置

有较强的高频振荡特性,在中频域的主要周期为 5 天及 13.3 天。

五、经向气流的准两周振荡

南半球的大气扰动可通过越赤道气流影响北半球天气系统^[7]。本文用 5 个参数表征源于南半球并越过赤道,受热带及低纬天气系统引导到达长江中下游地区的经向气流,其定义如表 1 及图 2, 振荡功率谱如图 4。

1. 澳大利亚冷高压 西太平洋越赤道气流来自澳大利亚冷空气爆发^[8,9]。春季,该冷空气爆发后,气流从澳大利亚东部涌向北,转为东南气流到达赤道。该冷高压强度变化的最主要周期是 13.3 天。

2. 110°E 越赤道气流 110°E 是南半球气流越赤道的主要通道^[9]。1980 年春季,赤道 110°E 低空存在一支自南向北稳定而强大的越赤道气流。该处经向风速振荡在中频域的主要周期为 5 天及 13.3 天。

3. 西太平洋副热带高压 春季,西太平洋副热带高压(以下简称副高)脊线在 10—20°N 之间振荡,其北侧的西南气流对华南-江南的降水维持具有重要意义。110—130°E 副高脊线平均位置的南北振荡最主要周期是 13.3 天。

4. 经圈超长波 经圈穿过两极和赤道,其上存在两个冷源和热源。沿 115°E—65°W 经圈超长波中唯有 2 波与上述热量分布相对应。春季经圈 2 波的波脊(初位相)在 10°N—5°S 之间振荡,其主要周期为 13.3 天及 8 天。

5. 南亚高压 南亚高压是对流层高层亚非大陆上空稳定而强大的副热带高压。春季,它常有两个中心,其东部中心在西太平洋—印度半岛之间作东西振荡,在 10—25°N 之间作南北振荡,其南北振荡的主要周期为 13.3 天及 5.7 天。

六、纬向及经向气流振荡与连阴雨-连晴天气振荡的关联

对连阴雨-连晴天气时间序列 R_t 分别与 10 个参数时间序列进行交叉谱分析结果如表

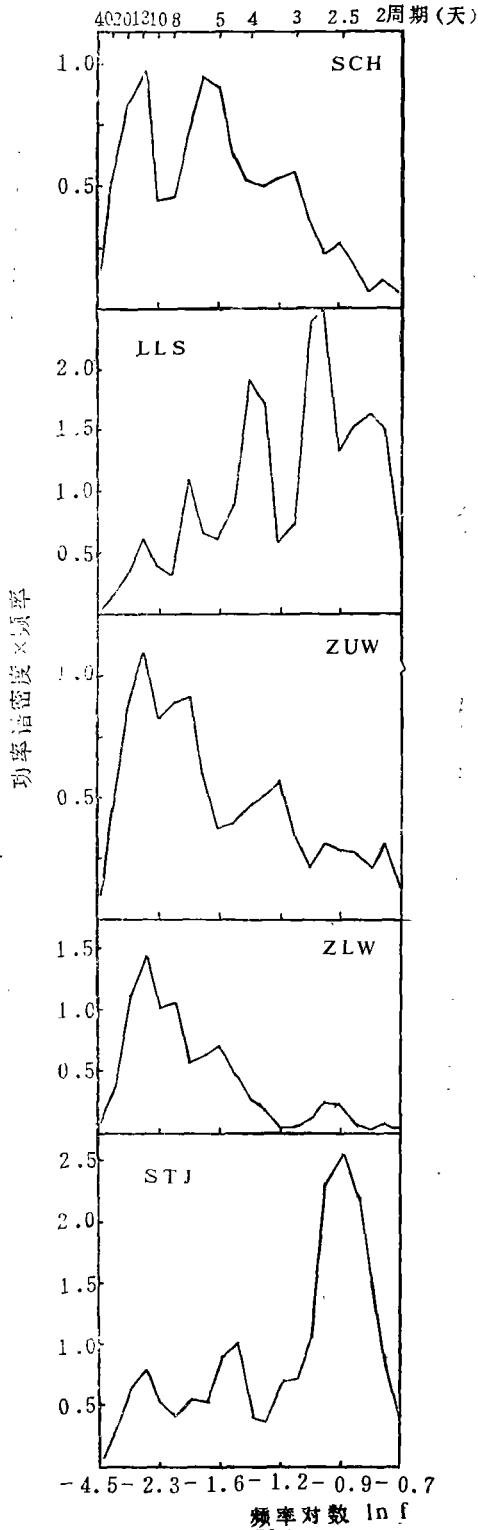


图 3 纬向气流 5 个参数的功率谱

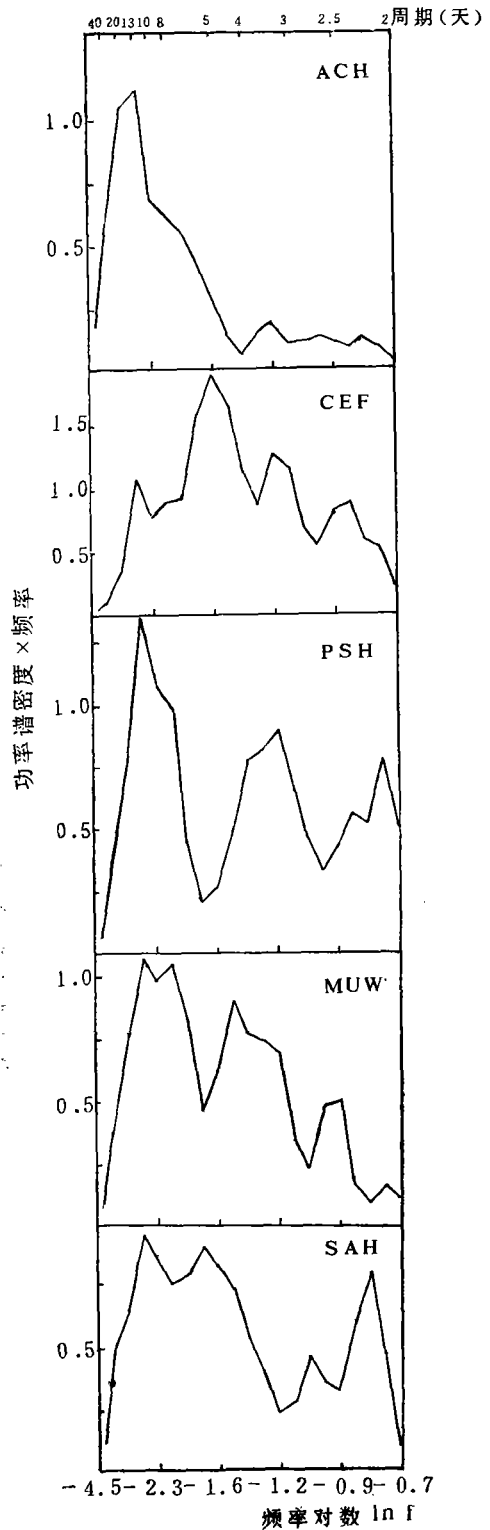


图 4 经向气流 5 个参数的功率谱

2。

10 个参数与 R_n 的凝聚均超过 90% 置信上限, 其中 8 个参数超过 95% 置信上限。可见它们与连阴雨-连晴天气在准两周振荡上有内在关联。表中位相差均为正, 表明参数的振荡超前连阴雨-连晴天气振荡。由此得到在准两周振荡上各参数相对振荡顺序(图 5)。

表 2 R_n 与各参数在准两周振荡上的凝聚及位相差

参 数	凝 聚 值	位 相 差 (度)	时 间 差 (天)	参 数	凝 聚 值	位 相 差 (度)	时 间 差 (天)
SCH	0.61	137	4.99	ACH	0.47	145	5.37
LLS	0.64	133	4.94	CEF	0.76	89	3.30
ZUW	0.58	123	4.55	PSH	0.48	125	4.63
ZLW	0.62	115	4.26	MUW	0.54	75	2.79
STJ	0.72	93	3.46	SAH	0.63	51	1.90

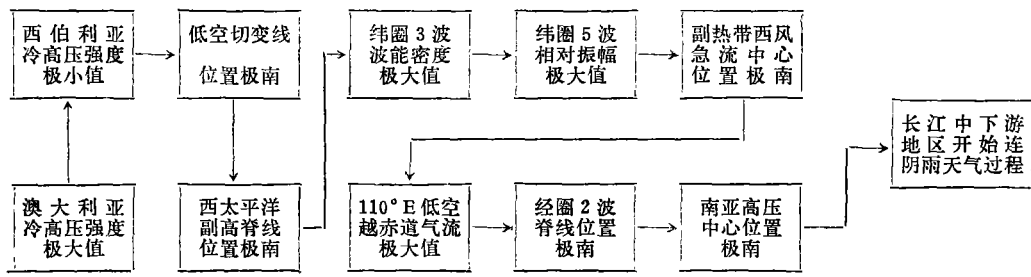


图 5 (a)

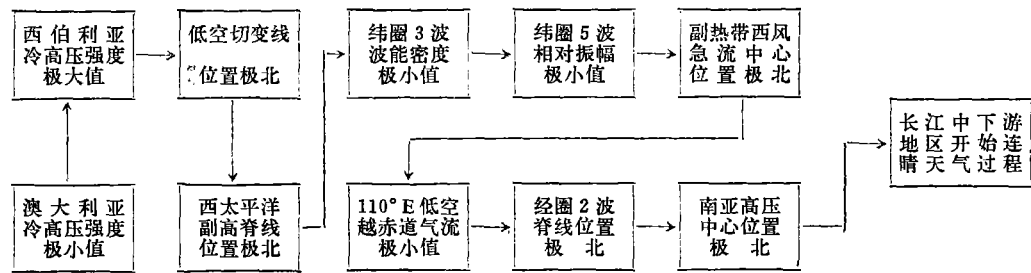


图 5 (b)

图 5 各参数在准两周振荡上的相对振荡顺序
(a)低纬及热带天气系统的活跃阶段, b)西风带天气系统活跃阶段)

从图 5 看出, 澳大利亚冷高压强度变化是第一个事件, 随后两支气流各参数振荡交替进行, 最后发生连阴雨-连晴天气振荡。在空间顺序上, 上一层振荡并不严格地紧随其下一层振荡之后开始, 但两支气流各参数振荡顺序基本上是先低层, 再中层, 最后高层振荡。

在低纬及热带天气系统活跃阶段, 经向气流振荡的一系列事件发生后的发展是: 澳大利亚冷空气爆发, 向北推进; 此后 110°E 自南向北的低空越赤道加强; 经圈 2 波脊北移, 低纬及赤道天气系统随之向北推移; 副高脊线持续北抬, 其北侧的西南气流移到长江中下游地区; 南亚高压向华南北移, 高层辐散更有利于低层暖湿气流的辐合上升运动。

与此同时, 纬向气流振荡的一系列事件后继续发展为: 西伯利亚冷空气堆积与加强; 随着低空切变线北移, 冷暖气流的交汇移到长江中下游地区; 3 波波能密度减小, 东亚大槽减弱; 5 波槽相对振幅减小, 孟加拉湾低槽变浅, 槽底加宽, 槽前西南气流向长江中下游地区延伸; 超长波与长波的一致衰减, 加强了短波扰动, 随着副热带西风急流向北移动, 急流上的小波动亦随之东传, 不断引导北方小股冷空气向长江中下游地区侵袭。

可见, 本阶段从经向及纬向气流各参数一系列振荡开始的发展趋势是低纬及热带天气系统加强北上, 为长江中下游地区输送源源不断的暖湿气流; 而西风带天气系统相对减弱北缩, 只能引导小股冷空气到达长江中下游地区与暖湿气流交汇。因此, 从澳大利亚冷高压极大值开始, 经过 5.37 天(129 小时)一系列酝酿过程, 长江中下游地区开始连阴雨过程。而该过程是与南半球、热带及低纬天气系统活跃, 西风带天气系统相对减弱, 中低纬大气环流向纬向型发展相联系的。

在准两周振荡的后半周, 即西风带天气系统活跃阶段, 纬向及经向气流各参数振荡的相对顺序同前半周一致, 位相相反。从澳大利亚冷高压极小值开始的一系列振荡导致南半球、热带和低纬天气系统相对减弱南退, 而西风带天气系统则加强南进, 强冷空气长驱直下, 冷暖气流交汇减弱移出长江中下游地区, 连阴雨天气结束, 转为连晴天气过程。可见该过程与中低纬大气环流向经向型发展相联系。

至此, 纬向及经向气流完成了一个周期 13.3 天的振荡, 长江中下游地区经历了一次连阴雨-连晴天气过程。随后各参数和天气进入下一周期的循环过程。

七、春季纬圈环流与经圈环流的准两周振荡及其相干性

对春季 500hPa 高度场, 取沿 30°N 的纬圈谱标准化 92 天时空序列, 分解为波数-频率域中的东进与西退传播分量; 取沿 $115^{\circ}\text{E}-65^{\circ}\text{W}$ 的经圈谱标准化 92 天时空序列, 分解为波数-频率域中的南进及北退传播分量(图 6a, 7a)。

沿 30°N 纬圈, 西退波分量主要集中在超长波域, 6 波以上西退分量微不足道。东进分量主要分布在长波域。超长波 3 波既有东进, 又有西退分量。3—5 波, 东进分量主要分布在低频—中频域, 随波数增加, 高频部份分量增大。在准两周振荡上, 传播波主要以 3 波及 5 波西退, 而以 3 波及 6 波东进。(图 6b)。

沿 $115^{\circ}\text{E}-65^{\circ}\text{W}$ 经圈, 超长波及长波的南进分量与北退分量相当。这与纬圈时空谱的分布有明显差异, 并可能与子午圈穿过两极及赤道, 其上受热不均程度远甚于纬圈有关。超长波传播的南进及北退两个分量主要集中在低频—中频域上。随波数增加, 两个分量各自向高频域扩展, 分布于整个频域。在准两周振荡上, 传播波主要以 2 波和 7 波南进, 而以 2 波和 9 波北退(图 7b)。

分析纬圈时空序列与经圈时空序列振荡传播的交叉谱, 其在准两周振荡上的凝聚及位相差如表 3。

除 7 波南进分量与 6 波东进分量凝聚达 85% 置信上限外, 其余分量间的凝聚均达到或超过 90% 置信上限。这表明连阴雨-连晴天气振荡及其关联的天气系统振荡的时空背景(纬圈环流与经圈环流)在准两周振荡上有较高的相干性。纬圈分量与经圈分量相干的位

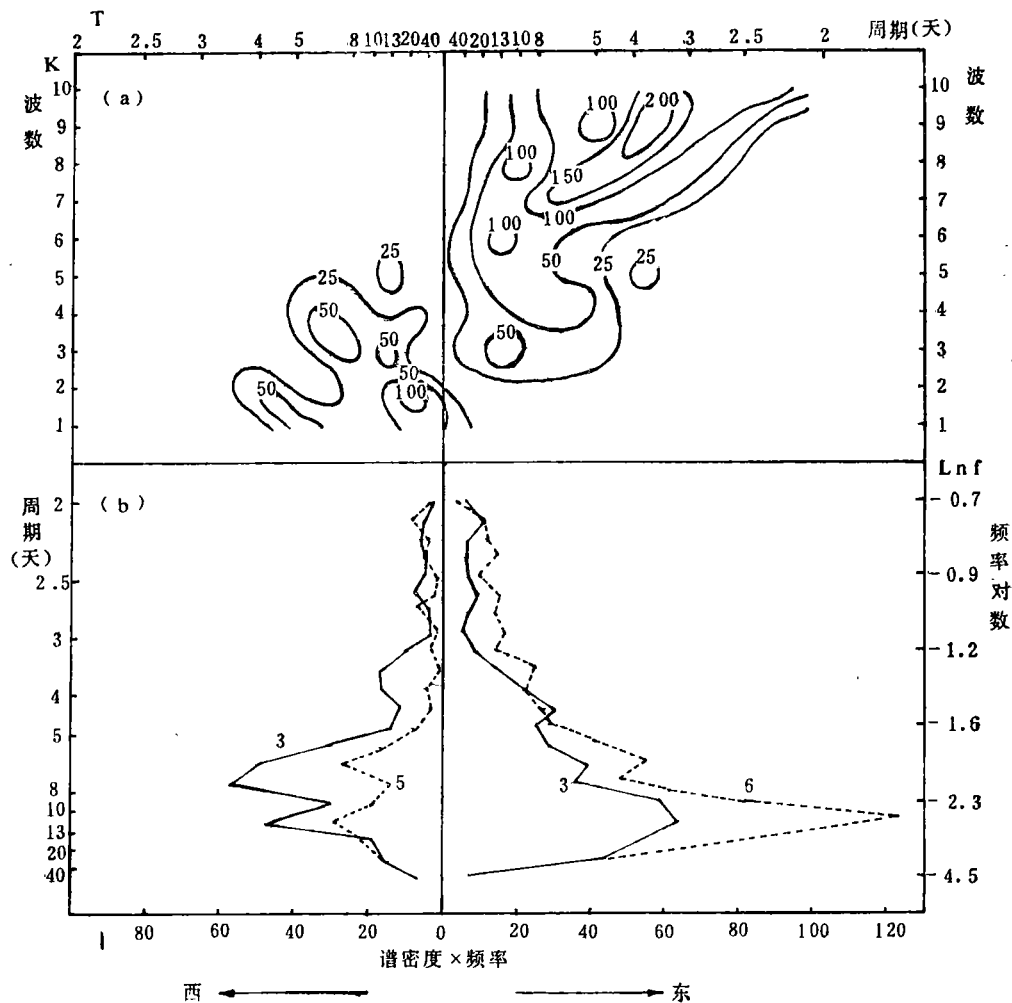


图 6 春季 500hPa 高度场 30°N 纬圈时空谱

(a 波数-频率图, 图中数字为谱密度与频率乘积;

b 时空功率谱, 实线表超长波, 虚线表长波, 曲线上数字为波数)

表 3 纬向及经向传播分量在准两周振荡上的凝聚及位相差

经向	纬向		西退分量				纬向		东进分量			
	波数	凝聚	3		5		波数	凝聚	3		6	
位相差			凝聚	位相差	位相差	凝聚			位相差	凝聚	位相差	
北退分量	2	0.56	93	0.52	161	南进分量	2	0.58	19	0.51	83	
	9	0.53	84	0.60	51		7	0.45	21	0.42	118	

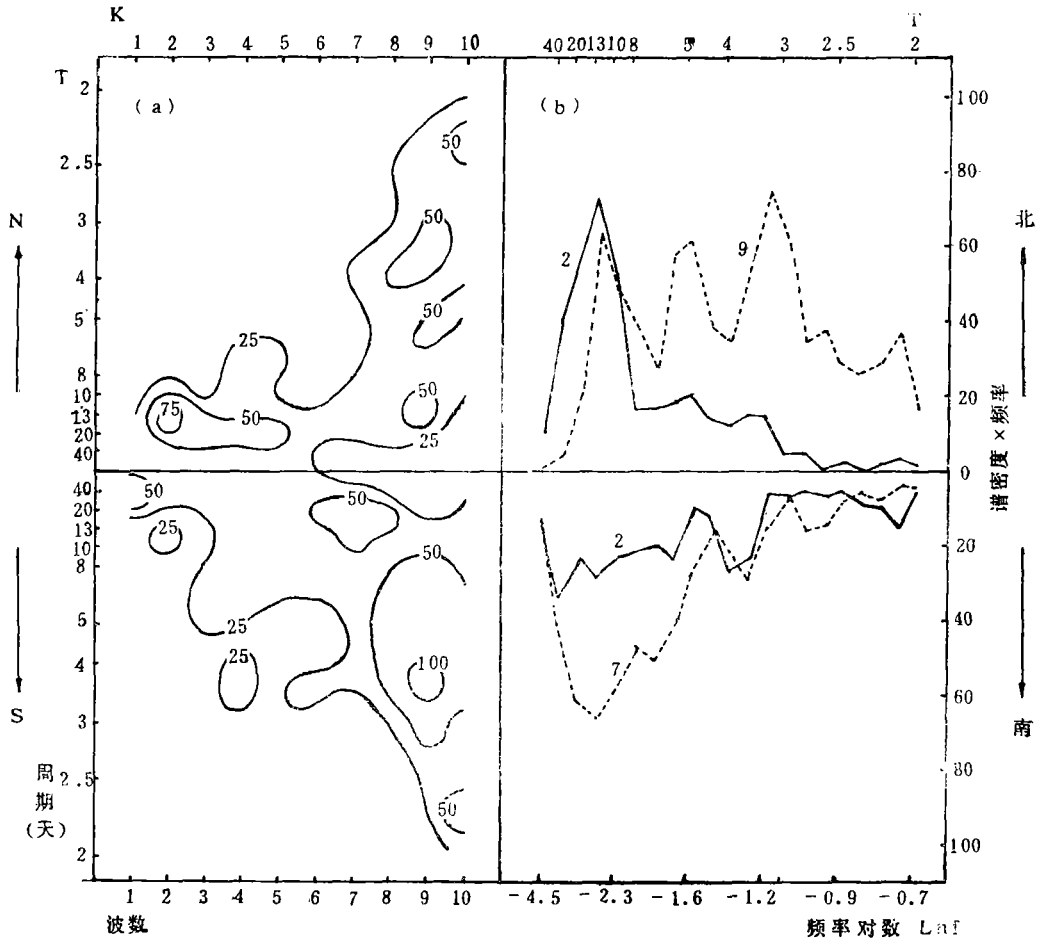


图7 春季500hPa高度场115°E-65°W经圈时空谱
 (a)波数-频率分布图, b)时空功率谱; 其它说明同图6)

相差均为正值,经向传播超前于纬向传播,即由受热不均产生的经圈环流振荡超前于主要由地球自转产生的纬圈(西风)环流振荡。此外,对于西退传播分量的同一波数,与之相干的北退分量的超长波振荡传播超前于长波;而对于东进分量的同一波数,与之相干的南进分量的超长波振荡传播落后于长波。

八、结论

1. 1980年春季,长江中下游地区连阴雨-连晴天气过程振荡的主要周期为13.3天。引导西伯利亚冷空气南下的西风带天气系统及引导源自南半球的北上暖湿空气的低纬、赤道和南半球天气系统振荡亦有13.3天的主要周期。

2. 纬向及经向气流10个参数(天气系统)与连阴雨-连晴天气在准两周振荡上有较高关联,天气系统振荡超前于连阴雨-连晴天气振荡。

3. 准两周振荡最先从南半球天气系统开始,一系列振荡的发展趋势是南半球、赤道及低纬天气系统活跃,引导暖湿气流北上,西风带天气系统相对减弱,中低纬环流向纬向型发展,长江中下游地区进入连阴雨天气过程。振荡的后半周,一系列振荡的发展趋势是南半球、赤道及低纬天气系统减弱,西风带天气系统活跃,引导强冷空气南下,中低纬环流向经向型发展,长江中下游地区进入连晴天气过程。

4. 纬向及经向环流振荡的两组传播波有 13.3 天的主要周期。西退与北退传播分量,东进与南进传播分量在准两周振荡上有较高的相干,振荡沿经圈的南北传播超前于沿纬圈的東西传播。经向与纬向环流的时空扰动构成了天气系统振荡及长江中下游地区春季连阴雨-连晴天气过程振荡的时空背景。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院大气物理研究所二室, 春季连续低温阴雨天气的预报方法, 3-6, 14-19, 科学出版社, 1977.
- [2] Bath, M., Spectral analysis in geophysics, Els.Sci.Pub.Comp., 1974.
- [3] Hayashi, Y., A generalized method of resolving disturbances into progressive and retrogressive waves by space Fourier and time cross-spectral analysis, *J. Meteor. Soc. Japan*, 49, 125-128, 1971.
- [4] Hayashi, Y., A method of analyzing transient waves by space-time cross spectra, *J. Appl. Meteor.*, 12, 404-408, 1973.
- [5] Hayashi, Y., On the coherence between progressive and retrogressive waves and a partition of space-time power into standing and traveling parts, *J. Appl. Meteor.* 16, 368-373, 1977.
- [6] 陈受钧, 大型天气转变过程中北半球波谱的分析, *气象学报*, 32, 308-321, 1962.
- [7] Krishnamurti, T. N., and H. N. Bhalme, Oscillations of a monsoon system, Part I, Observational aspect, *J. Atmos. Sci.*, 33, 1937-1954, 1976.
- [8] 王继志、李麦村, 源于澳洲过赤道气流与中国季风环流与降, *大气科学*, 6, 1, 1-9, 1982.
- [9] 陈于湘, 夏季西太平洋越赤道气流谱分析, *大气科学*, 4, 4, 363-367, 1980.

**MEDIUM-RANGE OSCILLATION OF A
CONTINUOUS RAIN-CONTINUOUS
FINE MARCH OVER MIDDLE
AND LOWER REACHES OF
THE CHANGJIANG RIVER
IN SPRING**

Zhong Yuan Wu Zhongjun

(Zhejiang Research Institute of meteorological Science)

Abstract

In this paper the results of a spectral analysis indicate that there seems to exist a quasi-biweekly oscillation in continuous rain-continuous fine march over middle and lower reaches of the Changjian River and in almost all of ten elements, which are defined from weather systems of westerly belt, of low latitude belt and of the Souther Hemisphere in spring of 1980. The relations of the march with elements and relative sequence of these oscillations are determined from a crosse-spectral analysis between Continuous rain-continuous fine march and ten elements. The results of a space-time spectral analysis indicate that there seems also to exist a quasi-biweekly oscillation in progressive and retrogressive waves of zonal circulation and of meridional circulation. There are pronounced relations both between progressive waves of zonal circulation and progressive waves of meridional circulation, and between retrogressive waves of zonal circulation and retrogressive waves of meridional circulation. The propagate of disturbances along zonal circle lags behind along meridian circle. The disturbances are spacetime background of these oscillations.