

10—20 天准双周振荡的经向传播 及地理特征

武炳义 章 淹

(北京气象学院, 北京 100081)

宋英杰

(国家气象中心, 北京 100081)

提 要

本文采用 ECMWF 1983 年 7 月 1 日至 9 月 12 日逐日 200hPa 纬向风场资料, 用复经验正交方法讨论了 10—20 天低频振荡的经向传播及地理特征。结果表明:

(1) 10—20 天振荡有三个显著区域: 贝加尔湖附近地区; 赤道 90°E 附近以及新加坡、马来西亚地区; $80^{\circ}\text{—}100^{\circ}\text{E}$, $22^{\circ}\text{—}32^{\circ}\text{N}$ 之间。

(2) 源于较高纬度地区的振荡与源于赤道附近地区的振荡在 105°E , $17^{\circ}\text{—}23^{\circ}\text{N}$ 附近同位相遇, 在 90°E , 20°N 附近反位相相叠加, 振荡相互削弱, 在 25°N 附近同位相遇。

(3) 从振荡位相来看, 中南半岛东南部、马来西亚北部、菲律宾以西区域的振荡向北传播到中国东南沿海, 向西传播到孟加拉湾印度半岛; 20°N 以南低纬度地区的振荡很少能传播到 80°E 以东 30°N 附近地区; 位于 $90^{\circ}\text{—}95^{\circ}\text{E}$, $25^{\circ}\text{—}27^{\circ}\text{N}$ 之间的振荡以及贝加尔湖附近地区的振荡可以向南北两个方向传播。

关键词: 复经验正交; 经向传播; 地理特征。

一、引 言

自从 Madden 与 Julian 发现热带对流层存在 40—50 天振荡以来, 大气中的低频振荡引起了气象学者的极大兴趣。准双周振荡这一大气中普遍存在的中期变化规律, 首先在印度季风的谱分析中被发现^[1], Krishnamurti 与 Bhalme^[2]在研究季风系统时, 发现诸多气象要素都存在这种振荡周期, 此后又有许多气象学者对这一周期振荡进行了深入而广泛的研究^[3—5]。

对流层上部大气中的中期变化对大气环流以及局地天气都有重大影响, 本文用 200hPa 纬向风场资料, 采用复经验正交方法, 研究了 10—20 天低频振荡的经向传播、地理特征。

二、资料和计算方法

采用 ECMWF 200hPa 纬向风场资料, 研究区域为 $75^{\circ}\text{—}132.5^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\text{—}70^{\circ}\text{N}$, 网格距是 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ (计算复经验正交函数的网格距为 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$), 时段为 1983 年 7 月至 9 月 12

目。为了能分辨出 10—20 天周期范围内的风场变化,采用 Butterworth 带通滤波器,具体方法参照文献[6],对滤波后的风场资料进行复经验正交分析。复经验正交分析是 Barnett 提出的一种针对气象要素的分析方法,它能从要素场的时间变化中识别出空间尺度行波和驻波。任一气象要素场中,第 J 空间点变量的时间序列为 $A_J(t)$,用 Hilbert 变换作用于该时间序列使之成为

$$\hat{A}_J(t) = \sum_{L=-\infty}^{\infty} A_J(t-L)h(L),$$

$$h(L) = \begin{cases} \frac{2}{\pi L} \sin\left(\frac{\pi L}{2}\right), & L \neq 0, \\ 0, & L = 0 \end{cases}$$

在计算中取 $L=7$ 即可有足够大的响应振幅^[7]。实际上这是一个滤波过程,过滤后的序列 $\hat{A}_J(t)$ 频率响应振幅大小为 1,相差为 $\pi/2$,因此这一变换能够揭示出同一频率中相差为 $\pi/2$ 的振荡情况。由 $A_J(t)$ 、 $\hat{A}_J(t)$ 构成一个新的复时间序列

$$B_J(t) = A_J(t) + i\hat{A}_J(t).$$

不同空间点复时间序列的协方差组成矩阵 C ,其元素 $C_{JK} = \langle B_J^*(t)B_K(t) \rangle$,其中 $*$ 表示复共轭, $\langle \rangle$ 表示时间平均。矩阵 C 的特征值 λ_n 所对应的复特征向量为 V_n 。由复特征向量定义的空间点 J 的位相函数、振幅函数分别为

$$\theta_k(J) = \arctan \left[\frac{\text{Im} V_k(J)}{\text{Re} V_k(J)} \right],$$

$$S_k(J) = [V_k(J)V_k^*(J)]^{1/2}.$$

第 k 个复主分量 $P_k(t) = \sum_{J=1}^m B_J(t)V_k(J)$,其中 m 为空间点数。称第 i 个复特征向量及复主分量所对应的恢复场的第 J 点时间序列

$$\tilde{A}_J^{(i)}(t) = \text{Re}[P_i(t)V_i^*(J)]$$

为第 i 模所对应的恢复场的时间序列。提取前 2 个复主分量及复特征向量,分别恢复相应的随时间变化的恢复场。

三、10—20 天低频波的传播

图 1a、1b 分别为沿 105°E、90°E 纬向风 10—20 天滤波资料的复经验正交分析的第 1 特征向量,图 1c 为时间系数。第 1 特征向量方差占总方差的 47.26%,第 1 特征向量呈波状结构,即有顺时针旋转又有逆时针旋转,而时间系数呈逆时针旋转。图 1a 特征向量在 0—5°N 之间呈顺时针旋转,波动向南传播;在 5—20°N 之间呈逆时针旋转,波动向北传播;在 20—60°N 之间呈顺时针旋转,波动向南传播;在 60—70°N 之间又向北传播。图 1b 中 0—5°N 之间波动向南传,在 5—15°N 之间波动向北传,25—30°N 之间波动向北传,35—55°N 之间波动向南传,55—70°N 之间又向北传,在 20°N 附近传播

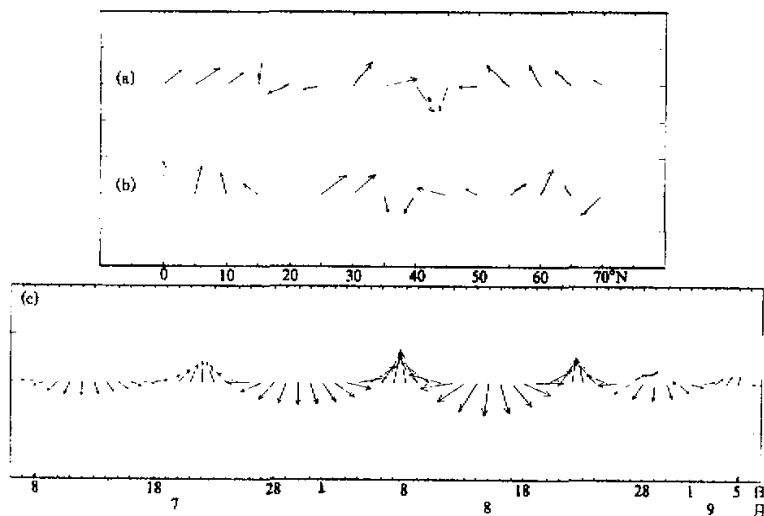


图1 纬向风 10—20 大滤波资料的复经验正交函数

(a)沿 105°E 的第 1 特征向量, (b)沿 90°E 的第 1 特征向量, (c)第 1 特征向量所对应的时间系数

不明显。

图 2 是对风场进行带通滤波后沿 105°E 所作的纬度-时间剖面图, 范围 0—70°N, 时间是 7 月 8 日到 9 月 5 日, 等值线间隔为 5 m/s (滤波值已扩大了 10 倍)。除 7 月 18—21 日在 40—50°N 之间南传的东风位相被西风位相阻隔外, 源于较高纬度地区的振荡均可传播到 22.5°N 以南, 7 月 8 日—8 月 18 日来自赤道地区的振荡北传至 20°N 附近。7 月 21 日—8 月 14 日, 位于 50—60°N 之间的贝加尔湖地区发生向南北两个方向传播的波列, 南传的部分波列与来自赤道附近北传波列在 20—25°N 之间相遇, 这一点与在图 1 中得到的结果相符。7 月 8 日—8 月 18 日源于赤道附近向北传播的振荡经历了

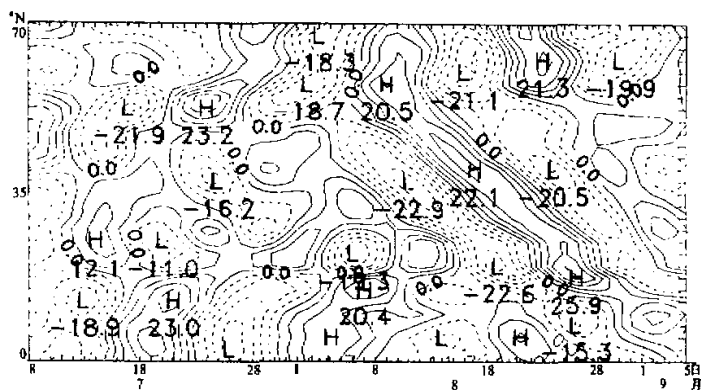


图2 200 hPa 纬向风 10—20 天带通滤波后沿 105°E 的纬度-时间剖面

一个由弱到强再转弱的过程,与此同时源于较高纬度地区向南传播的振荡由弱转强。

为揭示这种低频振荡的主要特征,提取前 2 个复主分量及复特征向量,分别恢复相应的随时间变化的恢复场,从恢复场中选取沿 105°E 的所有点构成纬度—时间剖面,见图 3。由于 1 模分量占解释方差的 47.26%, 1+2 模分量占解释方差的 73.3%, 因此图 3 可以反映出 10—20 天振荡的主要传播特征。这种低频振荡有两个振源(图 3a): 低纬度地区的振源在 0° — 5°N 之间的新加坡、马来西亚附近; 高纬度地区在 55° — 60°N 之间的贝加尔湖以北地区。两个振源发出的波列均可以向南北两个方向传播,并在 17° — 23°N 附近相遇,与图 2 的结果一致。同时我们还看到新加坡、马来西亚附近区域与 30°N 附近是同位相振荡,与中南半岛北部地区位相相反。图 3b 与图 3a 基本相似,这种波动的经向传播速度大约是每天 2 个纬度。

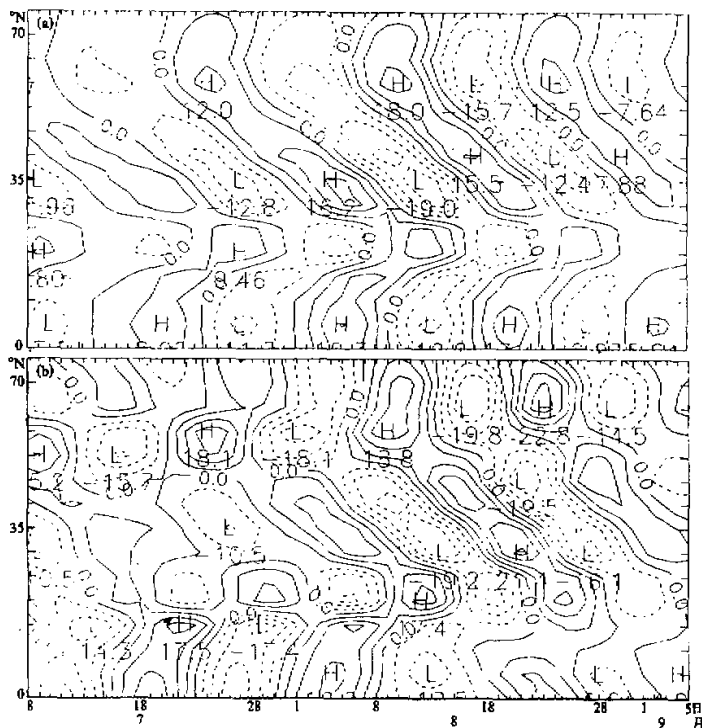


图 3 从恢复场中选取沿 105°E 的所有点构成纬度—时间剖面
(a) 第 1 模所对应恢复场的时间序列, (b) 1+2 模所对应恢复场的时间序列

从恢复场中选取沿 90°E 的所有点构成纬度—时间剖面(图 4)。图 4a 低纬度地区振源在 5°N 附近, 高纬度地区振源在 53° — 58°N 之间的新西伯利亚东南。两个振源传出的波列在 20°N 附近反位相叠加, 振荡相互削弱, 在 25°N 附近同位相相遇。 0° — 10°N 之间与 30°N 以北振荡反位相, 与 20° — 30°N 之间的振荡同位相, 前者与喻世华等^[3]用 OLR 分析所得结果一致。与图 3a 对比发现高、低纬度振源均呈现东东北—西西

南走向。在 30°N 以南图 3b 与图 3a 有显著区别: $15^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{N}$ 之间又出现一个振源, 该振源在 $15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}$ 之间维持 30 天左右后北移至 $20^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{N}$ 之间, 北移后波列可传播到 30°N 以北。Yasunari^[8-10]利用卫星云图、风场和高度场资料, 揭示了印度季风的活跃(或中断)主要受 30—40 天周期振荡的制约, 并且这种周期性振荡的位相传播是从赤道指向喜马拉雅山, 所以该处振源的维持以及北移很可能与印度季风活跃(或中断)有关。

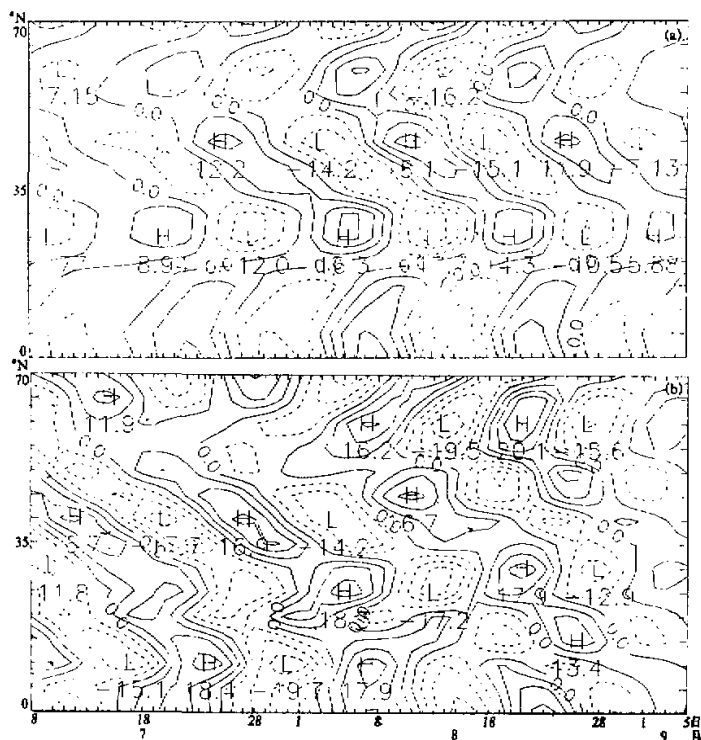


图 4 从恢复场中选取沿 90°E 的所有点构成纬度-时间剖面图(说明同图 3)

在研究区域内, 为进一步弄清振荡的空间位相和地理特征, 给出第 1 模空间位相(图 5a, 单位: 度)及振幅(图 5b, 相对单位)。大振幅区主要有: 贝加尔湖附近, 赤道 90°E 附近以及新加坡、马来西亚地区, $80^{\circ}\text{--}100^{\circ}\text{E}$, $22^{\circ}\text{--}32^{\circ}\text{N}$ 之间以及南海至菲律宾以东的西太平洋地区。这些大值区与文中我们分析振源的地理位置基本一致。喻世华等^[3]也指出南海至菲律宾以东的西太平洋为两种振荡(40 天, 10—20 天)的显著区域, 印度东北部为准双周振荡的显著区。另外我们还发现印度 $10^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}$ 以及孟加拉湾北部为振荡的不显著区, 与我们分析图 4a 中两波列反位相相遇相互削弱是一致的。早在 1980 年, Krishnamurti 等^[5]利用 40 年地面资料研究了季风槽所在纬度带地面气压移动波对季风间歇期出现高压脊的贡献, 指出 10—20 天的西传波模对季风间歇期高压脊的形成起较大作用, 季风间歇期正处在这种波动的大振幅活跃期, 而季风活跃期这种波动反而“不活跃”。印度季风活跃期印度大部分处在上升气流中, 其南北两侧为下沉气流的干旱

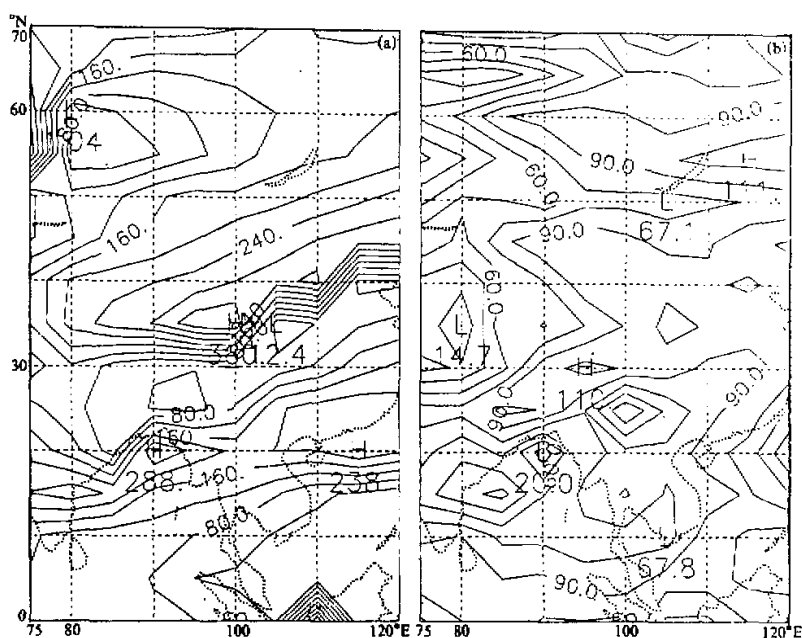


图 5 第 1 模空间位相(a)和振幅(b)

区, 喻世华等^[3]指出印度北部季风雨与 40 天振荡同步, 而与准双周振荡反位相。因此印度北部的早期正对应准双周振荡的活跃期。此外李崇银^[11]也指出这种振荡在 200hPa 上的扰动能比对流层低层大得多, 200hPa 上最大动能位于南北半球中纬度地区。我们的分析结果与上述结论是相符的。

从空间位相的分布来看, 有 4 片位相较小的区域: 80—90°E, 53—60°N 之间的新西伯利亚附近; 90—95°E, 24—27°N 之间; 105°E 附近的 30—35°N 之间; 马来西亚北部的南中国海地区。大值区: 中心在 100°E 附近的 30—40°N 之间; 孟加拉湾北部以及印度中部; 中国东南沿海地区。孟加拉湾北部 20°N 附近有一个大值中心, 这一点与我们分析图 1b 在 20°N 附近传播不明显是一致的。新西伯利亚附近的振荡向南传播到 30°N 附近; 中南半岛东南、马来西亚北部、菲律宾以西区域的振荡向北传播到中国东南沿海, 向西传播到孟加拉湾印度半岛。杨亚正等^[4]也指出这种波动的经向传播过程集中表现在热带辐合带上, 过程之初热带辐合带首先在西太平洋的较低纬度上形成, 然后随赤道缓冲带向西推进而逐渐北抬西展, 并与印度的季风辐合带相连。所不同的是杨亚正的研究对象在低层, 由此看到低纬度地区的这种振荡是一个深厚系统, 高、低层振荡的传播方向大致相同, 20°N 以南低纬度地区的振荡很少能传播到 80°E 以东的 30°N 附近, 位于 90—95°E, 25—27°N 之间的振荡可以向南北两个方向传播, 与我们在图 4 中的分析结果相符。这个位置正处在青藏高原以南季风环流上升支附近, 振荡向南北两个方向传播很可能与高空辐散气流有关。印度北部到 120°E, 40°N 附近一个东东北—西西南

走向的带状区域的位相与 90°E 以东马来西亚北部、中南半岛东南部、菲律宾以西地区位相相同, 与孟加拉湾北部、中南半岛北部以及中国东南部及其沿海地区反位相。

四、总结和讨论

通过以上分析我们得到以下几点结论:

(1) 10—20 天振荡有三个显著区域: 贝加尔湖地区; 赤道 90°E 附近以及新加坡、马来西亚地区; $80^{\circ}\text{—}100^{\circ}\text{E}$, $22^{\circ}\text{—}32^{\circ}\text{N}$ 之间。

(2) 源于较高纬度地区的振荡与源于赤道附近地区的振荡在 105°E , $17^{\circ}\text{—}23^{\circ}\text{N}$ 同位相相遇; 在 90°E , 20°N 附近反位相叠加, 振荡相互削弱, 在 25°N 附近同位相相遇。

(3) 中南半岛东南部、马来西亚北部、菲律宾以西区域的振荡相北传播到中国东南沿海, 向西传播到孟加拉湾、印度半岛; 20°N 以南低纬度地区的振荡很难传播到 80°E 以东 30°N 附近, 位于 $90^{\circ}\text{—}95^{\circ}\text{E}$, $25^{\circ}\text{—}27^{\circ}\text{N}$ 地区的振荡以及贝加尔湖地区的振荡均可向南北两个方向传播。

(4) 印度北部至 120°E , 40°N 附近一个东东北—西西南走向的带状区域的振荡位相与 90°E 以东马来西亚北部、中南半岛东南部、菲律宾以西区域的振荡位相相同; 与孟加拉湾北部、中南半岛北部、中国东南部及其沿海地区的振荡位相反。

有关准双周振荡机制的研究前人已有不少工作, Yasunari^[8]指出该振荡是一种起源于赤道向东向北传播的云和气压场扰动, 主要是南半球冷空气形成的; Murakami^[1]认为印度季风的准双周振荡起源于孟加拉湾低压的向西传播, 这一点也不能令人完全信服, 因为他的资料序列只经过低通滤波处理, 周期长于 10 天的所有信息都包含在内; Krishnamurti^[2]认为与云—辐射相互作用有关, 前两者把振荡成因归为外部振荡的影响, 但没有指出外部影响是怎样形成的, 用云—辐射机制也不能完全说明振荡的事实。最近朱乾根等用数值模式研究了 SST 对准双周振荡的影响, 指出初始 SST 暖异常愈大, 引起的振荡愈强, 有关这方面的工作有待进一步研究。有一点是肯定的, 即准双周振荡已不是低纬度地区所特有的现象。

参 考 文 献

- [1] Murakami, M., 1976, Analysis of summer monsoon fluctuations over India, *J. Meteor. Soc. Japan*, **54**, 15–31.
- [2] Krishnamurti, T. N., and H. N. Bhalme, 1976, Oscillations of a monsoon system. Part I: Observational aspects, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 1937–1954.
- [3] 喻世华等, 1990, 南亚季风期间 OLR 的准 40 天振荡和双周振荡, 热带气象, 6 卷, 2 期, 149–157.
- [4] 杨亚正等, 低纬大气双周振荡的若干基本事实, 热带天气研究集刊(4), 103–112.
- [5] Krishnamurti, T. N. and P. Ardanuy, 1980, The 10 to 20 day westward propagating mode and “Breaks in the Monsoon”, *Tellus*, **32**, 15–26.
- [6] 何金海等, 1984, 1979 年夏季亚洲季风区域 40—50 天周期振荡的环流及其水汽输送场的变化, 南京气象学院学报, 2 期, 163–175.
- [7] Barnett, T. P., 1983, Interaction of the monsoon and Pacific trade wind system at interannual time scales. Part I: The equatorial zone, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 756–773.
- [8] Yasunari, T., 1979, Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, **57**, 227–241.

- [9] Yasunari, T., 1980, A quasi-stationary appearance of 30 to 40 day period in the fluctuations during the summer monsoon over India, *J. Meteor. Soc. Japan.*, **58**, 225–229.
- [10] Yasunari, T., 1981, Structure of an India summer monsoon system with a period around 40 days, *J. Meteor. Soc. Japan*, **59**, 336–354.
- [11] 李崇银, 1991, 大气低频振荡, 气象出版社, 117–180.

The Longitudinal Propagations and Geographical Features of the 10–20 Day Oscillation

Wu Bingyi, Zhang Yan

(Beijing Institute of Meteorology, Beijing 100081)

Song Yingjie

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

By using complex empirical orthogonal function (CEOF), the longitudinal propagations and geographical features of the 10–20 day low-frequency oscillations have been discussed with the data of the daily 200 hPa ECMWF zonal wind data from July 1 to September 12, 1983.

From the study we can reach the following conclusions: (1) The 10–20 day low-frequency oscillations occur in three regions, i.e., the Lake Baikal region, the region in the equator near 90°E and Singapore, Malaysia, and the region of 22°N to 32°N, 80°E to 100°E. (2) The oscillation originated from higher latitude regions and the oscillation originated from the equator region meet in phase in the region between 17°N and 23°N around 105°E, and the oscillation superposes out-of-phase near 20°N around 90°E, with the oscillation weakened. (3) The oscillation originated in northern Malaysia and the western Philippines propagates northward to the southeast coast of China and propagates westward to the Bay of Bengal–India. The oscillation originated in regions south to 20°N rarely propagates northward to the region east to 80°E around 30°N. The oscillation originated in region of 25°N to 27°N, 90°E to 95°E can propagate both northward and southward, and so does the oscillation originated in the Lake Baikal region.

Key words: complex empirical orthogonal function (CEOF); longitudinal propagation; geographical feature.