

东亚季风区大气季节内振荡经向与纬向传播特征分析

琚建华¹ 孙丹² 吕俊梅³

1 中国气象局培训中心, 北京 100081

2 云南大学大气科学系, 昆明 650091

3 中国气象科学研究院, 北京 100081

摘 要 将 NECP/NCAR 资料中 850 hPa 纬向风分量进行 30~60 天带通滤波, 研究东亚季风区大气季节内振荡的传播特征。分析表明, 夏季东亚季风区大气季节内振荡 (ISO) 的传播分为经向传播和纬向传播, 其中经向传播主要为热带地区 ISO 的向北传播, 纬向传播则是分别起源于印度季风区的 ISO 东传和起源于西太平洋海域的 ISO 西传。东传和西传的 ISO 在 120°E 附近汇合后增强自热带地区北传到此的 ISO, 使得 ISO 在经向上可以继续向北传播, 其最北界可达 35°N 以北, 并对我国长江中下游地区夏季降水产生一定的影响。

关键词 东亚夏季风 季节内振荡 经向传播 纬向传播 补充特征

文章编号 1006-9895 (2008) 03-0523-07

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Relay Character Analysis of the Zonal and Longitudinal Propagations of the Atmospheric Intraseasonal Oscillation in the East Asian Monsoon Region

JU Jian-Hua¹, SUN Dan², and LÜ Jun-Mei³

1 Training Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091

3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract The NCEP/NCAR 850-hPa zonal wind reanalysis data are calculated by using the band-pass filter to study the propagating characters of the atmospheric intraseasonal oscillation (ISO) in the East Asian monsoon region. The results show that the propagations of the atmospheric ISO in the East Asian monsoon region in summer include zonal propagation and longitudinal propagation. The longitudinal propagations mainly transfer from the tropical region northward, and the zonal propagations involve the eastward propagation coming from the Indian monsoon region and the westward propagation coming from the western Pacific area. These two ISO zonal propagations will converge at 120°E, and then reinforce the ISO which propagates northward here. This reinforcement can make the ISO keep on propagating northward and its north boundary may arrive at 35°N, even more further north. It will have some influence on the summer precipitation in the mid to lower reaches of the Yangtze River.

Key words East Asian summer monsoon, intraseasonal oscillation, longitudinal propagation, zonal propagation, complementary character

1 引言

大气季节内振荡 (Intraseasonal Oscillation,

简称 ISO) 是重要的大气环流之一, 它的活动对热带地区和副热带地区的天气气候变化有着重大的影响。因此, 自 20 世纪 70 年代初发现大气季节内振

荡以来^[1, 2], 国内外已经对其结构和活动规律进行了一系列的研究^[3~7]。关于大气季节内振荡的传播, 分析发现主要分为纬向传播和经向传播。在纬向上北半球热带大气季节内振荡多表现出向东移动的特征, 而在赤道地区以外的副热带大气中, 季节内振荡更以西传为主^[8~10]。经向上的传播则表现为在 30°N 以南地区从赤道向北传播, 而在 30°N 以北地区向南传播的特征。因此, 大气季节内振荡的纬向传播与经向传播是紧密相连、相互作用的^[11~13]。

我国位于东亚季风区, 是世界上著名的季风活动区之一, 而在东亚季风区普遍存在着 30~60 天大气季节内振荡, 对我国东部地区夏季大尺度降水过程有着重要影响。据建华等^[14]研究发现, 东亚夏季风的季节内振荡在东亚地区表现为随时间向北传播的“季风涌”, 其不同纬度的量值可以很好地描述当地大尺度降水过程。在东亚强季风涌年, 准 30~60 天振荡的影响显著, 容易造成长江中下游多雨; 而弱季风涌年的主要振荡周期为 10~20 天, 容易造成长江中下游干旱^[15]。另外, 通过对 OLR、经向风等参数的季节内振荡分析, 发现在长江中下游地区涝年、对流层中上层江淮流域及其以北的中高纬地区有强的 ISO 活动, 并且, 低纬地区向北传播的 ISO 与中高纬地区向南传播的 ISO 在江淮流域汇合, 而旱年 ISO 活动较弱, 向南传播特征不明显^[16~18]。而季节内振荡的经向风不仅在江淮流域(旱)年夏季表现出明显的西(东)传特征^[19], 并且在东亚季风区涝年, 太平洋同一纬带上 ISO 向西传播的强度也比绝大多数旱年强^[20]。

已有的研究表明, 夏季东亚季风区 ISO 的传播规律与我国东部地区夏季降水过程有着密切的联系, 并且在 ISO 向北传播过程中在 25°N~30°N 附近的增强容易导致长江流域降水的增加, 弄清二者之间的关系对于我国夏季降水的预报有着重要意义。但是, 起源于热带地区的 ISO 北传过程中在 25°N~30°N 附近增强的原因还不是很清楚, 与 ISO 的纬向传播之间是否存在着一一定的联系? 因此, 本文选取长江流域降水偏多的几个年份, 将东亚季风区 ISO 的经向传播与纬向传播结合起来进行分析, 研究东亚季风区 ISO 的传播特征以及对我国长江中下游地区夏季降水的影响。

2 资料和方法

本文主要使用 NCEP/NCAR 发布的 850 hPa 纬向风 u 分量逐日再分析资料(分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$), 以及长江中下游地区 17 个测站夏季逐日降水资料。按照国家气候中心确定的长江中下游代表站的选取方法^[21], 这 17 个测站分别是南京、合肥、安庆、屯溪、钟祥、岳阳、宜昌、常德、长沙、武汉、上海、杭州、九江、贵溪、衢州、南昌和慈溪。为了提取 ISO 的活动特征, 首先对 850 hPa 风场资料进行 30~60 天带通滤波处理, 滤波器使用一维 Butterworth 函数^[9]。对长江中下游地区降水偏多年份的选取主要是根据 17 个测站夏季平均降水量为依据。

3 东亚季风区夏季大气季节内振荡与长江中下游地区降水的关系

据建华等^[15]的研究发现, ISO 的传播对我国长江中下游地区夏季降水有着重要影响, 在长江中下游地区出现强的 ISO 活动年份时易发生洪涝。东亚副热带地区的夏季风中存在较强的季节内振荡, 并且在我国东部地区低频波的变化与我国盛夏南北两条雨带相对应。据建华等^[14]设计了一个由西南风和向外长波辐射组合成的东亚季风指数, 分析了 1998 年季风中 ISO 的传播特征, 发现季风中 ISO 经向传播与江淮梅雨有很好的对应关系。分析还发现, 东亚夏季风活跃时, 许多要素都能显示出 ISO 的经向传播特征。为了最简便地利用常规观测资料来提取东亚地区 ISO 活动特征, 本文选取 850 hPa 纬向风分量进行 30~60 天带通滤波后与长江中下游地区夏季逐日降水实况进行对比。我们选取 4 年作为长江中下游地区降水偏多的年份, 分别为 1991 年、1996 年、1998 年和 1999 年。图 1 给出了 1998 年夏季 5~8 月 ISO 活动与长江中下游地区平均降水随时间的演变图, 直方图表示夏季长江中下游地区 17 个测站区域平均后的逐日降水, 实线表示经过 30~60 天滤波后的 850 hPa 纬向风在东亚副热带地区 (22.5°N~32.5°N, 112.5°E~122.5°E) 的平均, 表征 ISO 在该地区的活动特征。

从图 1 中可以看到, 夏季东亚副热带地区存在显著的 ISO 活动, 并且其强度变化随时间呈波动的形式。与长江中下游地区逐日平均降水相比较, 可以明显地看出波动趋势与降水的多寡相对应。1998

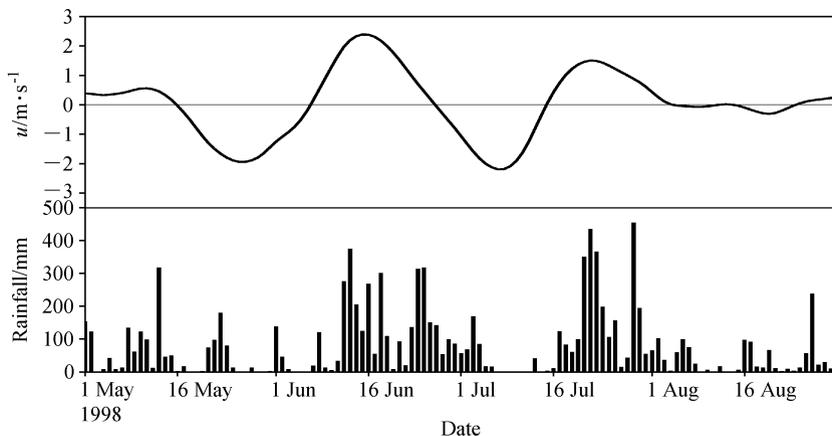


图1 1998年长江中下游平均纬向风分量30~60天滤波曲线和该区域17站平均降水逐日演变图(直方图)

Fig. 1 Time series of 30-60-day band-pass filtered zonal wind (solid line) and mean rainfall (histogram) at 17 stations of the middle to lower reaches of the Yangtze River in 1998

年夏季我国长江流域出现了典型的二度梅形势, 第一段梅雨期为6月12~28日, 第二段梅雨期为7月20~30日, 从图1上可以看出降水也主要集中在这两个时段, 与之相对应的ISO活动处于活跃期, 表现为ISO的两个波峰阶段。而当7月1~18日降水逐渐减少, 出现一个短暂间歇期时, ISO活动也在逐渐减弱, 位于波谷阶段。因此, 可以认为ISO活动强弱与长江中下游地区夏季降水多少有着较好的对应关系, 这一特征在我们选择的其他3年中也有明显的表现(图略)。

长江中下游地区降水相对集中的时段正好对应着ISO较强的波峰值, 而两段集中降水时段之间的间歇期则对应着ISO的波谷。由此可以看出, 东亚季风区夏季ISO的活动对我国东部地区夏季降水过程有着一定的控制作用。有研究表明, ISO的源地主要位于热带地区的洋面上, 然后分别从经向和纬向上移动到副热带地区并对该地区产生作用。下面, 将具体分析ISO在东亚季风区的传播情况。

4 东亚季风区大气季节内振荡的传播情况

4.1 东亚季风区大气季节内振荡的经向传播

东亚季风区ISO的经向传播主要表现为热带地区的向北传播和中高纬地区的向南传播, 并且在有些年份二者在35°N附近地区交汇, 造成我国长江流域降水偏多。首先, 考察东亚季风区夏季ISO在经向上的传播路径, 给出1998年经过30~60天

带通滤波后的纬向风沿120°E的纬度-时间剖面图(图2)。

平均来看, 在长江中下游降水偏多的这几年热带地区ISO都有比较明显的向北传播过程, 其传播可以向北延伸到35°N以北地区, 个别年份甚至可以到达40°N。由于各年东亚夏季风的爆发时间不同, ISO的具体传播情况也各不相同。具体分析1998年, 5月上旬在赤道地区ISO仍然处于一个低值区, 从5月下旬开始, 15°N附近由低值中心转为高值中心, 并开始向北传播(图2中箭头所示), 当该中心6月中旬传到25°N左右时, 正好对应着6月中旬长江中下游地区梅雨的第一次强降水阶段。并且在该区域ISO的强度得到增强, 使得其继续向北传播, 于7月10日左右到达35°N以北地区, 其最北界可达40°N, 这次从南向北传播的时间为55天左右。在这次中心值为正值的ISO向北传播的同时, 6月中旬左右在热带地区又出现一次中心值为负值的ISO活动, 于7月上旬北传到26°N附近, 正好对应着长江中下游地区降水过程的间歇期, 而当第三次中心值为正值的ISO于7月中旬北传到长江流域时, 很快长江中下游地区出现梅雨的第二阶段强降水过程。由此分析可以看出, 夏季ISO的向北传播对长江中下游地区的大尺度降水过程有着非常重要的调控作用。其他3年的情况与此大致相同(图略)。

另外, 从图2中还发现在ISO从热带地区向北传播的过程中有两个比较明显的大值中心带, 分别

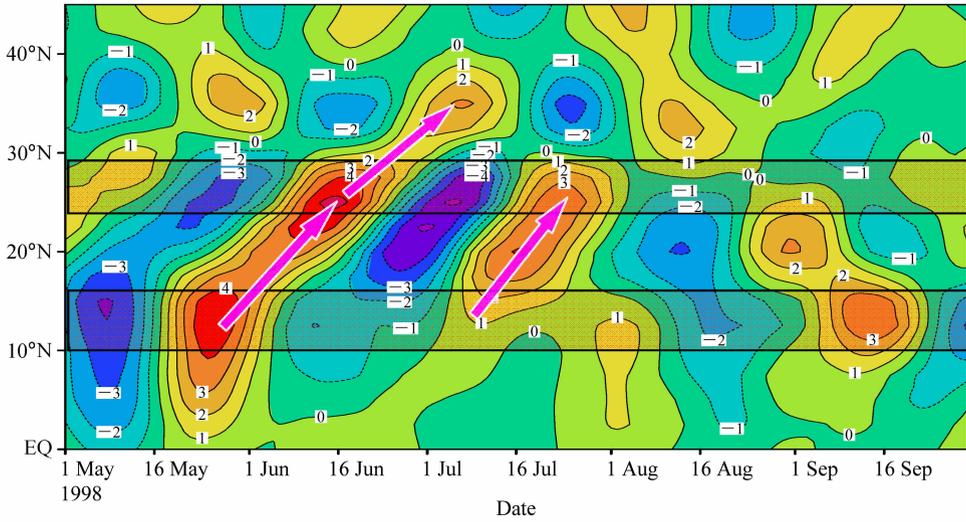


图 2 1998 年 30~60 天带通滤波的纬向风沿 120°E 的纬度-时间剖面图

Fig. 2 Time-latitude section of zonal wind along 120°E after 30-60-day band-pass filtering in 1998

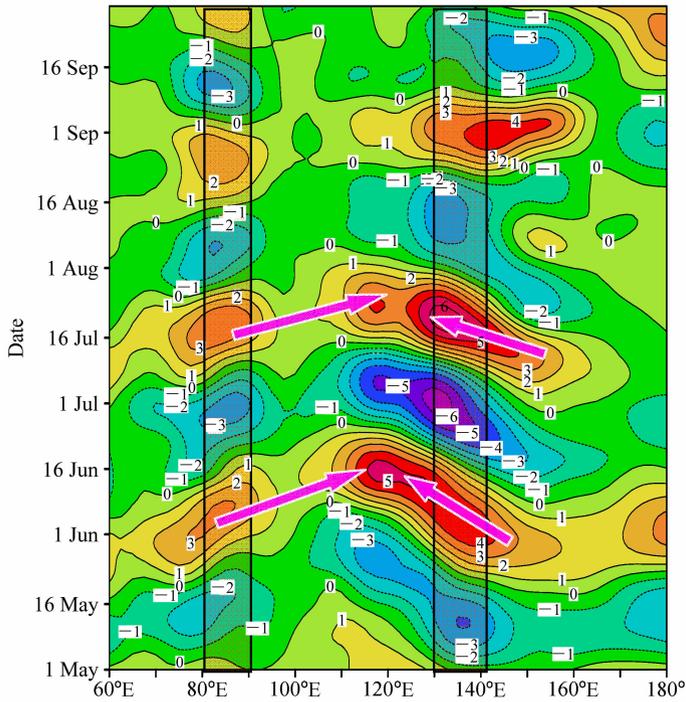


图 3 1998 年 30~60 天带通滤波后的 850 hPa 纬向风沿 25°N 的经度-时间剖面图

Fig. 3 Time-longitude section of zonal wind along 25°N after 30-60-day band-pass filtering in 1998

位于 10°N~15°N 和 25°N~30°N 之间, 其位置大概处于 ITCZ 辐合带和梅雨锋辐合带处, 说明当 ISO 北传到这两个辐合带地区时, 有能量对其进行补充, 使得北传过程中逐渐减弱的 ISO 能再一次加强, 从而可以继续向北传播, 并且传播的最北界可达 40°N 附近地区。究竟这两个辐合带对 ISO 北传过程产生怎样的作用, 还有待进一步的分析研究。

4.2 东亚季风区大气季节内振荡的纬向传播

东亚季风区 ISO 不仅存在经向上的传播, 同样也存在纬向上的传播, 传播路径主要为起源于热带印度洋的 ISO 向东传播以及起源于西太平洋地区的 ISO 向西传播。下面, 我们分析 ISO 的纬向传播情况。仍然用 30~60 天带通滤波后的 850 hPa 纬向风, 沿 25°N 得到经度-时间剖面图 (图 3)。

在纬向上, ISO 的传播主要分为两个部分, 一部分是从 70°E 附近开始向东传播, 另一部分从 140°E 左右开始向西传播, 二者最终在 110°E~120°E 区域内汇合。以 1998 年为例, 5 月上旬在印度季风区 (70°E) 以及西太平洋附近洋面上 (140°E) ISO 还处于一个负值区, 大约到了 5 月 20 日, 这两个地区分别出现正值区, 说明在该区域 ISO 开始活跃起来, 并逐渐向东、向西传播 (图 3 中箭头所示)。向西传播的 ISO 稍强于向东传播的 ISO。6 月 16 日, 由西太平洋洋面上向西传播的 ISO 正值中心和来自印度季风区向东传播的 ISO 正值中心同时到达 110°E~120°E。与图 2 中 1998 年 ISO 经向传播的情况相比较, 可以清楚地看到, 赤道地区的 ISO 在 5 月 18 日时开始活跃, 并于 6 月 16 日向北传播到 25°N, 这恰好与纬向上向东、向西传播的 ISO 正值中心到达 120°E 时的时间相吻合。也就是说, 有可能从赤道地区向北传播的 ISO 在北传过程中得到来自纬向传播的 ISO 的补充, 从而在 20°N~30°N 之间产生增强作用, 不仅使得 ISO 在经向上

能得以继续向北传播, 同时还在该地区产生一次强降水过程。

从图 3 中还可以看到, 大约在 80°E~90°E 和 130°E~140°E 区域 ISO 同样也出现一个大值中心带, 这两个区域分别位于印度季风槽区和菲律宾东侧强对流区。我们猜测这两个区域可能是激发 ISO 的关键区, 在印度季风槽区激发的 ISO 经青藏高原南侧向东传播, 而在菲律宾东侧强对流区激发的 ISO 经华南地区向西传播, 这与高辉等^[22]的研究一致。另外 3 年的情况也基本一致 (图略)。下面具体分析东亚季风区 ISO 纬向对经向的补充传播特征。

4.3 东亚季风区大气季节内振荡纬向对经向的补充传播

为了更清楚地认识这两种传播之间的相互关系, 将滤波后的 850 hPa 纬向风沿 120°E 的纬度-时间剖面图和沿 25°N 的经度-时间剖面图相融合, 绘制了经度-时间-纬度综合剖面图 (图 4)。

图 4 分为两部分, 图 4a 为经度-纬度-时间剖

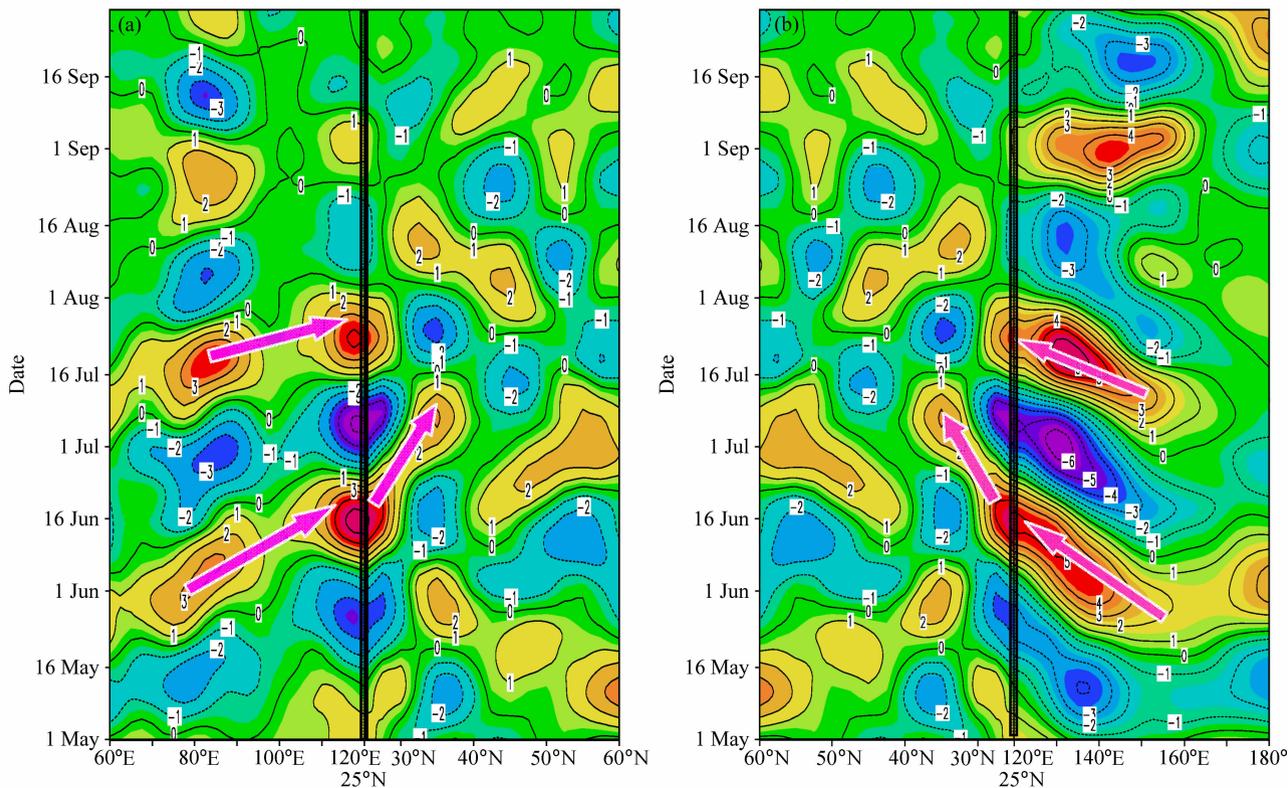


图 4 1998 年 30~60 天带通滤波后 850 hPa 纬向风的经度-时间-纬度综合剖面图: (a) 经度-纬度-时间剖面图; (b) 纬度-经度-时间剖面图
Fig. 4 Longitude-time-latitude composite section of zonal wind after 30-60-day band-pass filtering in 1998: (a) Longitude-latitude-time section; (b) latitude-longitude-time section

面图,图 4b 为纬度-经度-时间剖面图,纵坐标表示时间。其中图 4a 的左半部分为 ISO 的纬向东传(横坐标表示经度),右半部分为 ISO 的经向北传(横坐标表示纬度);图 4b 的左半部分为 ISO 的经向北传(横坐标表示纬度),右半部分为 ISO 的纬向西传(横坐标表示经度)。图 4a、b 中间的粗实线表示 (25°N , 120°E) 交汇区,并且两幅图无论东传还是西传,交汇以后其向北传播的特征是一致的(对称的)。

综合图 4a、b 两幅图,可以发现在东亚季风区 ISO 的传播存在着纬向传播对经向传播的补充特征。1998 年夏季 ISO 在东亚季风区有两次较大的活动过程,第一次是从 5 月下旬开始,在 70°E 附近产生的 ISO 开始向东传播,其高值中心于 6 月 16 日东传到 (25°N , 120°E) 区域,然后汇入向北传播的 ISO 中(如图 4a 中箭头所示);同时在 140°E 附近也有 ISO 的向西传播,于 6 月 16 日同样西传到 (25°N , 120°E) 区域后汇入向北传播的 ISO 中(如图 4b 中箭头所示)。因此,使得从低纬度热带地区于 5 月中旬开始向北传播的 ISO 在 25°N 附近得到补充,有利于其继续北传,并且在该区域即长江中下游地区产生了一次强降水过程。ISO 的第二次较强活动过程是于 7 月 10 日左右在 70°E 和 140°E 附近产生的 ISO 同时向东、向西传播,其高值中心传到 (25°N , 120°E) 区域后汇入北传的 ISO 中,使得北传到此的 ISO 得到补充,同时在该地区产生第二次强降水过程。同样,分析其他年份时,发现情况与此类似(图略)。因此,东亚季风区 ISO 传播过程中纬向传播与经向传播的相互补充,可以导致 ISO 在经向传播过程中在副热带地区得到来自纬向上的 ISO 的补充,强度增强后进一步向北传播到 35°N 以北,并在副热带地区产生降水。

从以上分析中可以清楚认识到,夏季在东亚季风区起源于热带的 ISO 向北传播时,存在着在副热带地区增强的现象。这种增强是由于副热带地区来源于印度季风区沿青藏高原南侧向东传播的 ISO 以及来源于菲律宾东侧强对流区向西传播的 ISO 在 $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 附近汇合,使得北传过程中逐渐减弱的 ISO 在此得到补充,进一步加强后向北传播到 35°N 以北地区,其最北界可达 40°N ,并导致长江中下游地区降水偏多。东亚季风中 ISO 经向传播的这种特征也许可以为我国长江中下游地区降水

的中期监测提供一定的预报依据。

5 结论

(1) 夏季东亚季风区存在着明显的大气季节内振荡(30~60 天振荡),其活动强度呈波动形式,当这种低频波分别处于波峰和波谷时,对应的我国长江中下游地区将出现降水集中阶段和间歇阶段,说明东亚季风区 ISO 的活动对我国东部夏季大尺度降水有一定的调控作用。

(2) 夏季东亚季风区 ISO 的传播主要分为经向传播和纬向传播,经向上表现为热带地区的向北传播,纬向传播路径则分为两部分,即来源于印度季风区沿青藏高原南侧的 ISO 向东传播以及来源于西太平洋菲律宾东侧强对流区的 ISO 向西传播。

(3) 在副热带地区,ISO 的传播表现出纬向传播对经向传播的补充特征,当纬向上分别向东、向西传播的 ISO 在 $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 汇合后补充到由低纬度热带向北传播的 ISO 中,使得其可以继续加强北传,最北界能延伸到 35°N 以北,并导致我国长江中下游地区的大尺度降水过程。

由于 ISO 活动存在着年际变化,各年在纬向上和经向上的传播特征并不完全一致,其补充过程究竟是单一的由纬向对经向进行补充,还是双向的相互补充还不是很明确,因此需要进一步的深入研究。

参考文献 (References)

- [1] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40 - 50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 1971, **28**: 702~708
- [2] Madden R A, Julian P R. Description of globe scale circulation cells in the tropics with 40 - 50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 1972, **29**: 1109~1123
- [3] Murakami T, Tetsuo N. On the 40 - 50 day oscillations during the 1979 northern hemisphere summer. Part I: Phase propagation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1984, **62**: 440~468
- [4] Lau K M, Chan P H. Aspects of the 40 - 50 day oscillations during the Northern winter as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 1985, **113**: 1889~1909
- [5] Lau K M, Chan P H. Aspects of the 40 - 50 day oscillation during Northern summer as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**: 1354~1367
- [6] Murakami T, Chen Longxun, Xie A, et al. Eastward propagation of 30 - 60 day perturbations as revealed from outgoing longwave radiation data. *J. Atmos. Sci.*, 1986, **43**: 961~971

- [7] Murakami T, Chen Longxun, Xie A. Relationship among seasonal cycles low-frequency oscillations and transient disturbances as revealed from outgoing longwave radiation data. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**: 1456~1465
- [8] 李崇银. 大气低频振荡. 北京: 气象出版社, 1993. 310pp
Li Chongyin. *Low-Frequency Oscillation in the Atmosphere* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1993. 310pp
- [9] Huang Ronghui. Interactions between the 30 - 60 day oscillation, the Walker circulation and the convective activities in the tropical western Pacific and their relations to the interannual oscillation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1994, **11** (3): 367~384
- [10] 李崇银. 热带大气季节内振荡的几个基本问题. 热带气象学报, 1995, **11** (3): 276~288
Li Chongyin. Some fundamental problems of intraseasonal oscillation in the tropical atmosphere. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1995, **11** (3): 276~288
- [11] Chen Longxun, Xie An. Westward propagation low-frequency oscillation and its teleconnections in the Eastern Hemisphere. *Acta Meteor. Sinica*, 1988, **2**: 300~312
- [12] 李崇银, 武培立, 张勤. 北半球大气环流 30 - 60 天振荡的一些特征. 中国科学(B辑), 1990, **7**: 764~774
Li Chongyin, Wu Peili, Zhang Qin. Some characters of the 30 - 60 day oscillation in the atmospheric circulation in North Hemisphere. *Science in China* (B) (in Chinese), 1990, **7**: 764~774
- [13] 李崇银, 龙振夏, 穆明权. 大气季节内振荡及其重要作用. 大气科学, 2003, **27** (4): 518~535
Li Chongyin, Long Zhenxia, Mu Mingquan. Atmospheric intraseasonal oscillation and its important effect. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (4): 518~535
- [14] 据建华, 钱诚, 曹杰. 东亚夏季风的季节内振荡研究. 大气科学, 2005, **29** (2): 187~194
Ju Jianhua, Qian Cheng, Cao Jie. The intraseasonal oscillation of East Asian summer monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (2): 187~194
- [15] 据建华, 赵而旭. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响. 热带气象学报, 2005, **21** (2): 163~171
Ju Jianhua, Zhao Erxu. Impacts of the low frequency oscillation in East Asian summer monsoon on the drought and flooding in the middle and lower valley of the Yangtze River. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2005, **21** (2): 163~171
- [16] 陈丽臻, 张先恭, 陈隆勋. 长江流域两个典型旱、涝年大气 30 - 60 天低频波差异的初步分析. 应用气象学报, 1994, **5** (4): 483~488
Chen Lizhen, Zhang Xiangong, Chen Longxun. A study of the difference of low-frequency oscillation between the typical flood/drought years in Changjiang valley. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1994, **5** (4): 483~488
- [17] 葛旭阳, 李砚华, 姜尚城. 热带对流活动与长江中下游和华北地区夏季旱涝的关系. 南京气象学院学报, 2000, **23** (3): 391~398
Ge Xuyang, Li Yanhua, Jiang Shangcheng. Relationship between tropical convection and summer rainfall over the mid-lower valleys of the Yangtze and North China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2000, **23** (3): 391~398
- [18] Yang Hui, Li Chongyin. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and summer severe flood and drought in the Changjiang - Huaihe River basin. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (4): 540~553
- [19] 李桂龙, 李崇银. 江淮流域夏季旱涝与不同时间尺度大气扰动的关系. 大气科学, 1999, **23** (1): 39~50
Li Guilong, Li Chongyin. Drought and flood in the Changjiang - Huaihe River basin associated with the multi-time-scale oscillation. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (1): 39~50
- [20] 韩荣青, 李维京, 董敏. 北半球副热带-中纬度太平洋大气季节内振荡的纬向传播与东亚夏季旱涝. 气象学报, 2006, **64** (2): 149~163
Han Rongqing, Li Weijing, Dong Min. The impact of 30 - 60 day oscillations over the subtropical Pacific on the East Asian summer rainfall. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2006, **64** (2): 149~163
- [21] 陈兴芳, 赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京: 气象出版社, 2000. 100~101
Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. *The Research and Application of the Rainfall Prediction in the Flood Period of China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 100~101
- [22] 高辉, 陈隆勋, 何金海, 等. 亚洲赤道地区大气动能的纬向传播. 气象学报, 2005, **63** (1): 21~29
Gao Hui, Chen Longxun, He Jinhai, et al. Characteristics of zonal propagation of atmospheric kinetic energy at equatorial region in Asia. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, **63** (1): 21~29