

关于准40天振荡经向传播机制的讨论

何 金 海

提 要

本文讨论了准40天振荡的性质及其传播特性, 强调南半球中纬度准周期性冷空气对热带大气准40天振荡的强迫作用及其对北半球夏季风的影响。提出经向环流系统的侧向耦合和相互作用可能是准40天振荡经向传播的机制。

一、引 言

准40天振荡是迄今所发现的热带大气中最强的低频分量。自从Madden和Julian^[1,2]的开创性工作以来, 准40天振荡的研究已成了气象学家最热门的课题之一。除了有关准40天振荡纬向传播的研究外, 人们普遍注意到它的经向传播及其与北半球夏季风的关系。Yasunari^[3,4]首先注意到准40天振荡向北传播联系着印度夏季风的位相转变。Krishnamurti等^[5]发现准40天周期的经向槽(脊)的向北传播恰好对应着印度季风的活跃与中断。作者与Murakami等^[6]利用综合分析的方法系统讨论了准40天振荡在亚洲季风区的位相传播、环流演变、水汽输送和能量平衡及其与亚洲夏季风位相转变的关系。陈隆勋、金祖辉^[7]指出南北半球间的相互作用依靠 u 分量的准40天振荡。陶诗言等^[8]则强调南半球 $40-160^{\circ}\text{E}$ 范围内中纬地区斜压性发展对北半球亚洲夏季风的建立、加强和北进的重要作用。柯史钊等^[9]提出南半球冷空气向北冲动影响北半球季风区造成ITCZ的强弱振荡。看来, 南半球中纬度的冷空气活动、准40天振荡的经向传播和北半球夏季风的变化三者之间存在某种内在联系。这是一个关系到准40天振荡的起源和经向传播机制的问题。Lau等^[10]讨论了准40天振荡的起源, 发现“波动CISK”机制是准40天振荡向东传播的机理, 但不能解释其经向传播。本文的目的是在已有工作的基础上, 着重讨论准40天振荡与南北半球环流相互作用的关系, 强调南半球中纬度准周期性冷空气对热带大气和准40天振荡的强迫作用, 提出经向环流系统的侧向耦合和相互作用可能是准40天振荡经向传播的机制。

二、关于准40天振荡的性质及其向东传播

Chang^[11]最早提出准40天振荡的向东传播是由对流驱动并拦截于赤道的开尔文波的表现形式,指出这种运动的垂直尺度和时间尺度同有积云摩擦和牛顿冷却存在情况下的赤道波理论相吻合。

许多其他作者,如Webster^[12]、Yamagata等^[13]、Goswami等^[14]和Anderson等^[15]也相继对有关低频振荡的性质和起源问题进行了研究,其中比较有突破性进展的工作是Lau等^[10]的工作。

Lau等利用五层 σ 坐标原始方程模式比较深入地揭示了准40天振荡向东传播的机制。他们指出,准40天振荡是由“移动的波动CISK机制”(mobile wave—CISK)引起的对流和动力学相互作用而形成的固有振荡流型,向东传播是这种流型的特性。通过这种波动CISK机制,热源(扰动)两侧的赤道波动的响应有明显的不对称性,其东面的开尔文波被选择性地放大了。这是因为开尔文波有较快的相速从而对瞬时强迫的响应要比其西面的罗斯贝波的响应快,且有较大的散度。因此对于一个给定的初始扰动,与开尔文波相联系的低层辐合要比罗斯贝波强得多,如果初始扰动位于赤道附近,那么这种效应将更加明显。于是热源和开尔文波的辐合将一起向东移动,从而在其东部不断地激发出开尔文波,其西部的罗斯贝波虽然也不断激发但在热源移动之前没有充足的响应时间。这样就在移动的热源和风场之间形成了一种新的平衡,相应的环流型也就不断地向东传播。

由于准40天振荡在刚被发现时是一种与热带对流相联系的波数为1或2的纬向风振荡,因此人们自然地将它看成是某种型式的开尔文波,特别是Lau等引进波动CISK机制通过开尔文波被选择性地放大解释了它的向东传播以后更加增强了这种看法。但是这种理论不能解释准40天振荡流型中存在的显著的经向风分量,不能解释准40天振荡的经向传播,更不能解释其在某些情况下的向西传播;准40天振荡的动力学特性与开尔文波也有明显的不同。

图1是作者^[16]计算的准40天周期扰动在各个位相的环流结构。图中粗实线之间的东(西)风扰动区域随着位相移动的特征表明其扰动风场的位相向东上传播。同时印度洋地区强的上升(下沉)运动与负(正)的温度扰动相结合,导致扰动动能向扰动位能转换。并且西风动量向下输送。但是我们知道,开尔文波的位相是向东向下传播,西风动量向上输送。这表明准40天周期扰动的动力学特性与开尔文波有明显的不同。

最近, Hendon*应用非线性和线性垂直模型研究了积云加热对赤道拦截波的影响。他发现,在线性模型中稳定的积云加热(所谓“稳定”是指绝热冷却能够补偿积云加热)使向东传播的开尔文波很快地从自由相速迅速地减弱到准40天振荡的相速(小于10米/秒),然而这些线性湿波动衰减很快,且不能解释观测到的经向风扰动。在非线性模型中的不稳定加热情况下, CISK增长的环流型迅速使大气稳定。这种稳定性的增加,在CISK加

*1988年澳大利亚热带气象国际会议论文摘要

热的西部为最大,从而导致了这种流型的向东传播。达到平衡时,这种流型东传的速度小于10米/秒(即使参数在较大范围内变动时也是这样),并且具有较大的经向风扰动。这种流型看来象是罗斯贝波和开尔文波的水平耦合波,比较类似于观测到的准40天振荡。这里, Hendon 强调了非线性和不稳定积云加热的重要性,指出积云加热导致的稳定性的增加在 CISK 加热区两侧的非对称性是这种流型向东传播的原因。由上讨论可以看出,准40天振荡的性质及其向东传播的特性仍是一个值得进一步研究的问题。

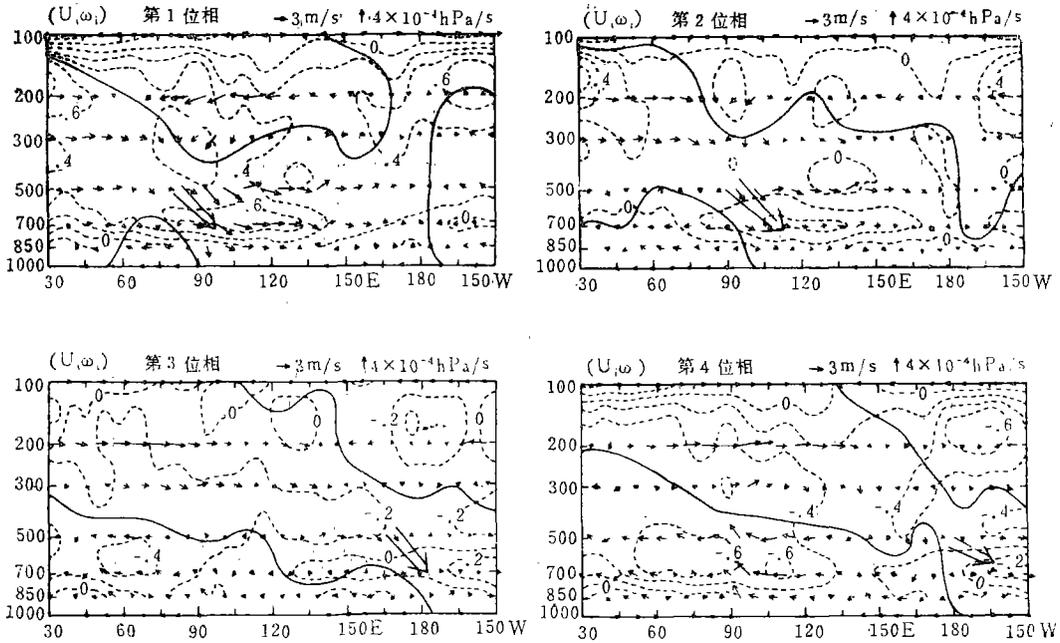


图 1 赤道剖面内准40天振荡的各位相环流(u_i, ω_i)矢量和温度扰动 T_i (虚线)分布图。温度等值线间隔为 0.2°C ,图中粗实线为东西风零线。双线箭头表示动量下传轴线。5—8位相环流型式与1—4位相相同,只是符号相反。取自文献[16]

三、关于准40天振荡的经向传播

如前所述,准40天振荡的经向传播特征及其对亚洲夏季风的重要性早就为许多气象学者所注意,但是关于经向传播机制的研究却并未得到更多的注意。

首先研究低频振荡经向传播机制的要算是 Webster,他用水分循环的反馈作用解释了季风区准双周振荡(这种振荡与准40天振荡相联系)的经向传播机制。他认为地面感热通量的变化造成了季风降水带的振荡。因为降水改变了降水区陆地地面的湿度,随着湿度增大蒸发也增多,于是造成地面冷却,引起地面感热通量的减小,从而降水带向着更热更不稳定的地区移动,这样就形成了降水带的经向移动和振荡,如图2所示。

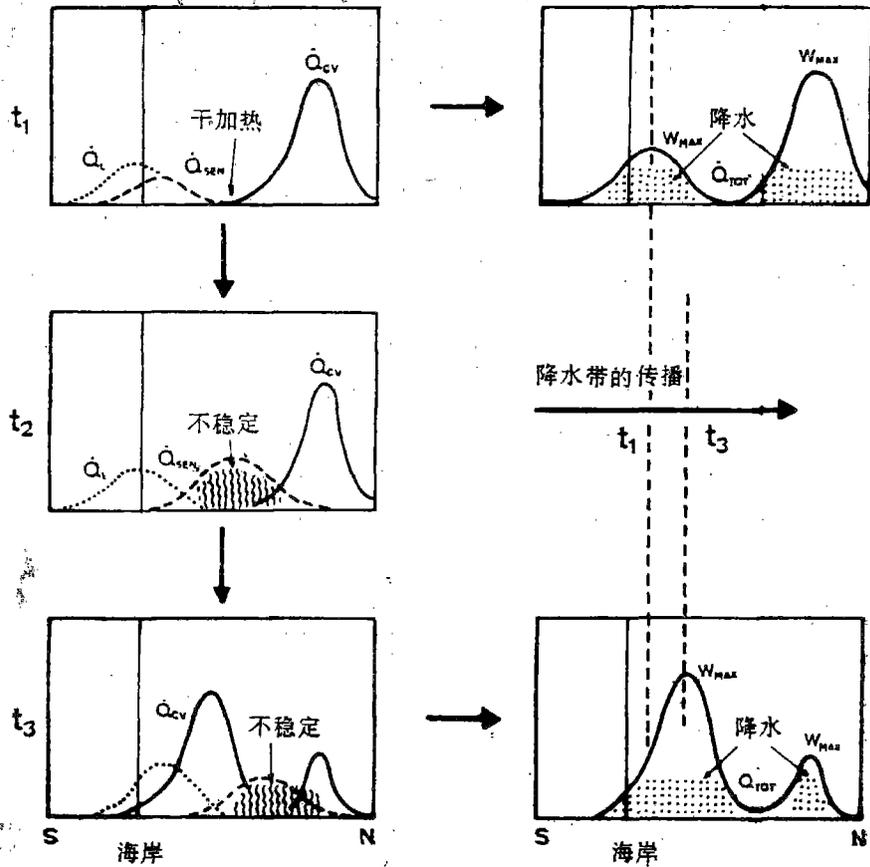


图2 通过地面水份循环而引起的感热加热(\dot{Q}_{sen})和对流加热(\dot{Q}_{cv})相互作用的示意图。 \dot{Q}_L 是非对流的潜热加热,图右部示出了总的加热 \dot{Q}_{tot} 以及与其极大值相联系的垂直速度的极大值,取自文献[12]

Krishnamurti 指出赤道印度洋地区异常的经向槽(脊)的向北移动可以引起印度季风的活跃(中断),但是他既没有说明这种槽脊的形成原因,也没有指出为什么会向北移动。Chen*则将这种槽脊的产生与行星尺度的准40天振荡的向东传播联系起来,他认为行星尺度的30—50天振荡环流型的向东传播可以产生赤道地区的异常槽脊(或ITCZ),它的向北传播则可影响印度夏季风。但他同样没有说明异常槽脊为什么会向北传播。Lau*最近的数值试验指出,沿着赤道向东传播的准40天扰动能够导致理想季风热源附近的近赤道雨带的迅速向北移动。当季风热源被冷源代替,向北传播则被抑制,强降水带便主要局限于赤道附近。这里Lau强调了季风热源对雨带向北传播的重要作用。他给我们一个启发,即我们可以用准40天振荡与季风环流或南北半球环流的相互作用来解释

*1988年澳大利亚热带气象国际会议论文摘要,下文同

其经向传播。

作者^[17]利用1979年 FGGE III b 资料计算了准40天振荡造成的经向物理量输送在其各个位相的不同特点及其与夏季风环流的关系。发现准40天周期扰动的动能来源于扰动有效位能向扰动动能的转换,其源地有两个:一个位于亚洲季风地区对流层的中上部,一个位于南半球中纬和副热带地区对流层的中下部。前者是季风地区低频扰动的对流活动导致 ω_1 和 T_1 相关的结果,后者是南半球中纬地区准周期性斜压活动的结果。这两个能源(尤其是前者)分别以位能的形式在高层和低层向南和向北输送能量以维持赤道地区的准40天周期扰动。它们分别位于南北半球且在准40天周期振荡的不同位相起作用(前者落后10—12天),代表着不同的天气学过程。它们的配置体现了南半球中纬冷空气活动与北半球亚洲夏季风环流的相互作用。因此我们有理由将准40天振荡的维持及其经向传播与南北半球环流的相互作用联系起来。

基于上述的分析,人们自然要问,南半球中纬度的冷空气活动是否具有准40天的周期性?与北半球夏季风的变化是否真有显著联系?它们的联系和准40天振荡的经向传播又是什么关系?

为了回答上述问题,我们^[18]使用1982年5—9月欧洲中期预报中心网格点资料,通过功率谱和带通滤波(30—60天)相结合的方法,分析了南半球中纬30—150°E范围内冷空气的周期性及其对北半球夏季风的影响。发现南半球中纬度大范围的斜压性和冷空气活动确实具有准40天的周期性,且对北半球夏季风确有显著影响,时间滞后亦为10—12天,与文献^[17]指出的时间落后非常一致。如图3所示,在5—9月的时段内,南半球中纬度30—150°E范围内有3次大规模的冷空气活动,它们均对应着北半球季风槽南侧西风的增强,而3次回暖均对应着西风的减弱。图中的连线指出了这种对应关系。令人惊奇的

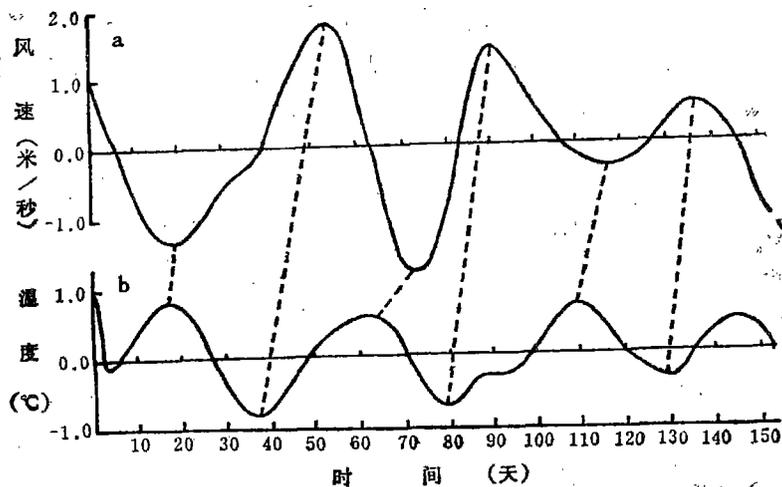


图3 北半球夏季风、南半球中纬度温度的滤波曲线

a. 850百帕 \bar{u} (10—20°N, 30—150°E)

b. 850百帕 \bar{T} (25—35°S, 30—150°E)

是具有文献[17]指出的同样的落后时间。这表明1979年和1982年具有相同的时间落后,其规律性是否具有普遍意义值得进一步研究。

进一步的分析还发现,南半球中纬度准周期性冷空气活动对北半球夏季季风的影响主要通过两条路径来实现。一条与索马里越赤道气流相联系(图略),另一条则与 105°E (90° — 120°E)附近的越赤道气流相联系,其传播过程如图4所示。于是我们提出准40天振荡在夏季向北传播的可能的天气学过程如下:南半球中纬度冷空气活动可以成为北半球夏季风环流的一个周期性外界强迫。这种强迫首先增强马斯克林高压南部的西风,随后高压增强导致相应地区高压北部东南信风的加强,进而越赤道气流增强导致北半球夏季风的活跃和中国东部地区季风的加强与北进。

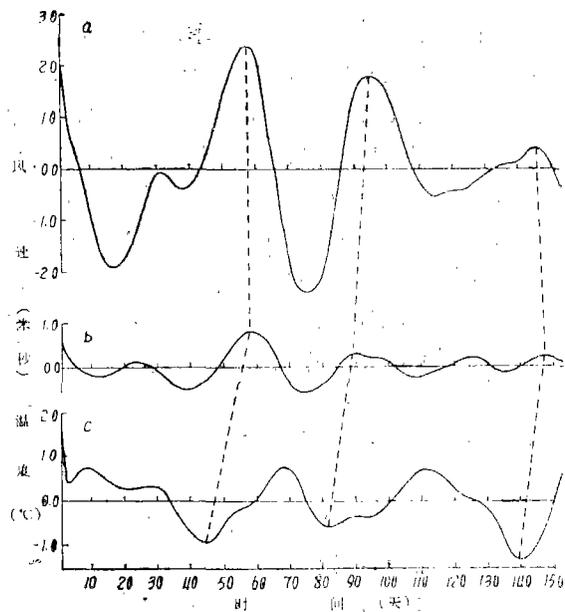


图4 (90° — 120°E)区域850百帕若干参数在不同纬带上的滤波曲线。

a. 15°N \bar{u} , b. 赤道上 \bar{v} , c. 30°S \bar{T}

四、有关的数值试验结果

根据前面的诊断分析结果,我们^[19]使用钱永甫-郭晓岚五层 σ - p 坐标原始方程球带模式进行数值试验。其方案如下:选择1982年6月份平均场作为基本初始场,但在澳大利亚地区(如图5中方框区域所示)迭加上分别表征冷空气活动强、弱的异常环流场(选自实际资料),然后以这两个场作为初始场进行积分试验(分别称之为MAS和MAW试验)。鉴于前面的分析结果,我们着重比较这两个试验(MAS和MAW)在积分10—14天时段内的环流差异。图5给出了上述时段内模式第四层上平均流场的较差图,即用MAS试验减去MAW试验。

由图5可见,北半球亚洲季风区有3支显著的气流较差带。一是从孟加拉湾南部经中南半岛到我国东部地区为一强的偏南风(SW—SE)较差带,这说明当澳大利亚地区有强冷空气活动时,经过10—14天北半球这一地区的夏季风有明显的增强,且主要表现为偏南风分量的增强,这与越赤道气流的增强相联系。二是在北太平洋地区有反气旋的较差环流,这说明北太平洋副高在MAS中要比MAW试验中偏强,特别是其西部的南—东南气流显著增强。上述两股较差气流在中南半岛至我国东南部地区汇合北上一直伸向我国江淮流域,从而对上述地区的降水产生重要影响。另外值得注意的是在印度地区北部也有一支比较明显的偏北较差气流,这表明MAS试验中的印度季风反而比较弱。

换句话说, 澳大利亚地区冷空气对北半球东亚夏季风和印度夏季风的影响是相反的。这和陈隆勋等^[20]指出的东亚季风与印度季风反位相的观点有一致的地方。

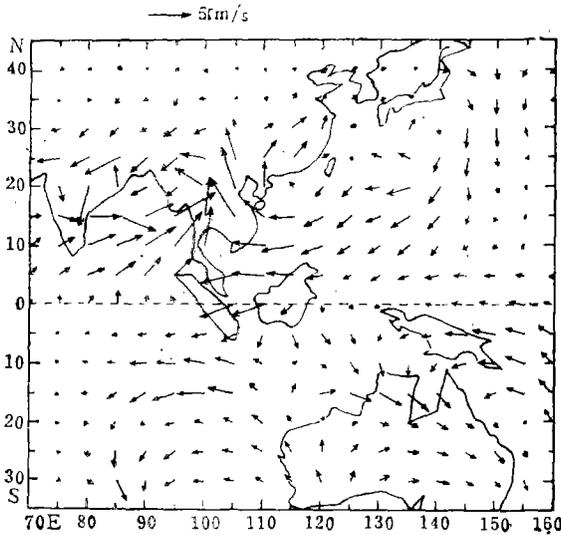


图5 MAS试验和MAW试验积分10—14天时段内平均的模式第四层上的流场较差。图中方框区域表示叠加异常环流的澳大利亚地区

与流场较差相联系, 存在着三个比较明显的垂直运动、加热场和降水的较差区。图6示出了MAS试验和MAW试验的降水较差。由图可见, 从赤道印度尼西亚到中南半岛一直延伸到我国东部地区为一正的降水较差带, 其中有3个相对大的较差中心: 一个位于105°E附近的印度尼西亚地区, 中心较差值为3.0毫米/天。第二个中心位于100°E附近的中南半岛北部, 中心较差值为16.0毫米/天。第三个较小的较差中心位于我国东部30°N附近的江淮流域。同样可见, 在上述正的降水较差带的两侧有两条负的较差带, 一条位于西太平洋地区, 另一条位于印度地区。它们与前述流场的较差是吻合的。相应的加热场较差也有类似的分布特点(图略), 这

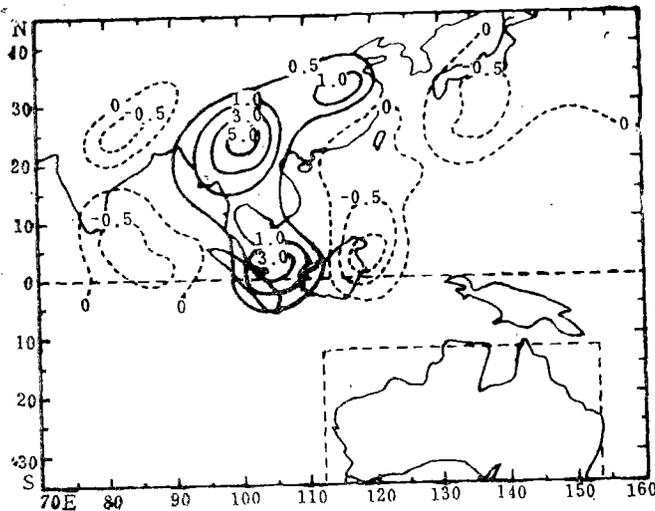


图6 MAS试验和MAW试验10—14天时段内平均日降水量较差

说明季风降水的潜热加热在非绝热加热场中起着重要的作用。

综上所述, 我们可以相信澳大利亚地区的冷空气活动确实对北半球亚洲夏季风有显

著的影响。那么这种影响的过程如何呢?为此,我们考察MAS试验中 110°E 附近经向风随时间的演变。如图7所示,可以看出,异常经向风明显地向北传播。这就是说,在以澳大利亚地区有异常强冷空气活动的初始场条件下,积分2天以后,澳高北侧南风增强,积分6天印度尼西亚地区越赤道气流增强,然后中南半岛到我国华南地区南风增强,于14天左右北传到我国江淮流域。其南风异常在积分10—14天的时段内达到最大。正是这一南风异常导致了孟加拉湾经中南半岛到我国东部地区夏季风(SW—SE)及其降水的增强(参阅图5和图6)。上述过程说明,积分10—14天时段内北半球夏季风环流、垂直运动、降水和加热场的差异来自一种自南向北的传播过程,这种传播起因于澳大利亚地区冷空气活动的冲击。MAW试验也有类似的传播过程,但它是一种南风减弱的传播。因此可以说,澳大利亚地区的冷空气活动确实对北半球亚洲夏季风特别是东亚夏季风有着重要的影响,这种影响是与准40天振荡经向传播有联系的过程。

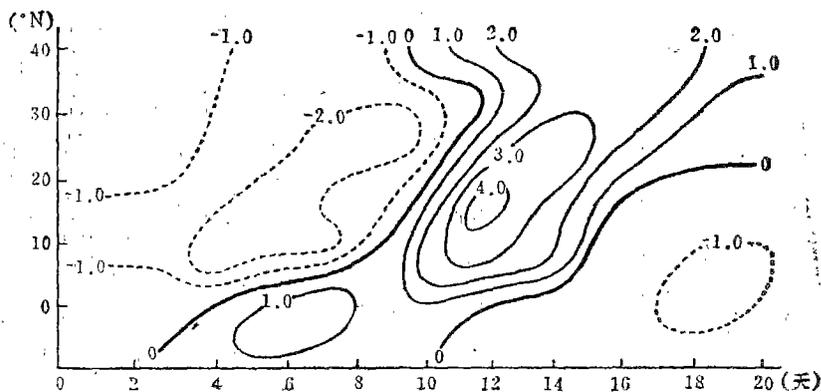


图7 MAS试验中 110°E 附近经向风异常(减去积分时段内的经向风平均值)的时间纬度剖面图

五、讨 论

1. 作为一种频率域内的低频信号,准40天振荡的物理过程应有多样性。就以其传播特性而言,主要为向东传播,但也有驻波型式的甚至向西传播的过程,这显然有其不同的动力学特性。虽然用波动CISK机制比较好地解释了它的向东传播,但不能用这种机制解释它在中高纬的传播,更不宜用开尔文波的响应来解释它在中高纬的存在。况且准10天振荡的经向风分量、某些动力学特性及其经向传播都难以用开尔文波这一种理论框架来解释。

2. 准40天振荡周期性的解释是一个重要问题。根据Lau的解释,一个初始扰动通过波动CISK机制向东移动,如果它绕地球运行一周的时间恰好为40天左右,那末局地的准40天振荡周期便可得到解释。但这里的问题在于如果初始扰动的出现具有不同的周期,则局地准40天的周期性依然不能解释。事实上1979年1月一次冷涌达到赤道印度尼西亚

亚地区后就激发了向东传播的风场扰动^[21],其传播速度5—10米/秒,与准40天振荡的东传速度相当。因此我们就要问,什么样的初始扰动能够通过波动CISK机制向东传播?这种初始扰动是否具有准40天的周期性?它与中高纬度的冷涌又有什么联系?冷涌强迫对准40天振荡的经向传播又有什么作用?看来,这些都是需要进一步研究的问题。

3. 根据我们诊断分析所得到的准40天振荡向北传播的天气学过程以及数值试验的结果,我们推想,南半球中纬度的冷空气活动可以导致澳大利亚高压和马斯克林高压南侧西风的增强,相应的高压有非对称性发展,这种发展又引起其北侧东南信风和越赤道气流的增强,进而北半球季风槽活跃并北移,夏季风向北推进。这种向北传播的过程可能是一种经向环流系统的侧向耦合和相互作用。这种耦合和相互作用与南半球中纬度冷空气冲击对热带大气的强迫密切相关。很显然,如果中纬度冷空气活动有准40天的周期性(这一点已被诊断分析所证实),那么上述传播就表现为准40天振荡的经向传播。如果准40天振荡的经向传播确实是经圈方向上环流系统的侧向耦合和相互作用的表现形式,那么准40天振荡的全球性便可得到解释。诚然,要证实这种看法尚需更加全面更加深入的研究。

本文是在国家自然科学基金会和国家气象局季风科研基金的联合资助下完成的。

参 考 文 献

- [1] Madden, R. A. and Julian, P. R., Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical pacific, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 28 (1971), 702—708.
- [2] Madden, R. A. and Julian, P. R., Description of global scale circulation cells in the tropics with a 40—50 day period, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 29 (1972), 1109—1123.
- [3] Yasunari, T., A quasi-stationary appearance of 30—40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 58 (1980), 225—229.
- [4] Yasunari, T., Structure of an Indian summer monsoon system with a period around 40 days, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 59 (1981), 336—354.
- [5] Krishnamurti, T. N. and Subrahmanyam, D., The 30—50 day mode at 850 mb during MONEX, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 39 (1982), 2088—2095.
- [6] Murakami, T., Nakazawa, T. and He Jinhai, 40—50 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere Summer, UHMET 83—02, Dept. of Meteorology, University of Hawaii, 1983.
- [7] 陈隆勋、金祖辉, 夏季东亚季风环流系统内中期变化的南北半球相互作用, 全国热带夏季风学术会议文集, 210—231, 云南人民出版社, 1982.
- [8] 陶诗言、何诗秀、杨祖芳, 1979年季风试验期间东亚地区夏季风爆发时期的观测研究, *大气科学*, Vol. 7, No. 4, 347—355, 1983.
- [9] 柯史钊、朱庆圻, 季风环流的40天振荡, 全国夏季风学术会议文集, 232—245, 云南人民出版社, 1982.
- [10] Lau, K. M. and Peng, L., Origin of low-frequency (intraseasonal) oscillations in the tropical atmosphere, part I: Basic theory, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 44 (1987), 950—972.
- [11] Chang, C.-P., Viscous internal gravity waves and low frequency oscillation in the tropics, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 34 (1977), 901—910.

- [12] Webster, P. J., Mechanics of monsoon low frequency variability, surface hydrological effects, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 40 (1983), 2110—2124.
- [13] Yamagata, T. and Hayashi, Y., A simple model for the 30—50 day oscillation in the tropics, *J. Met. Soc. Japan*, Vol. 62, (1984), 709—717.
- [14] Goswami, B. N. and Shukla, Quasi-periodic oscillation in a symmetric general circulation model, *J. Atmos. Sci.*, Vol. 42 (1984), 20—37.
- [15] Anderson, J. R., Slow motions in the tropical troposphere, *Atmos. Sci. Paper*, No. 381, Dept. Atmos. Sci., Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, 1984.
- [16] 何金海, 亚洲季风区纬圈剖面内准40天周期振荡的环流结构及其演变, *热带气象*, Vol. 4, No. 2, 116—125, 1988.
- [17] He Jinhai, The transfer of physical quantities in a QDPO and its relation to the interaction between the NH and SH Circulations, *A. A. S.*, Vol. 5, 107—116, 1988.
- [18] He Jinhai et al., The SH midlatitude QPO with its effect on the NH summer monsoon Circulation, *Acta Met. Sinica*, Vol. 2, No. 3, 331—339, 1988.
- [19] 季永平, 何金海, 关于南半球冷空气活动对北半球夏季风发展影响的数值试验, 待发表.
- [20] 陈隆勋, 罗绍华, 西太平洋地区强和弱热带辐合带时期低纬大气环流的分析, *中国科学院大气物理研究所集刊*, 第8号, 77—85, 1979.
- [21] Williams, M. "Interhemispheric Interaction During Winter MONEX", *Proceedings International Conference on Early Results of FGGE and Large Scale Aspects of Its Monsoon Experiments*, Tallahassee, Florida, WMO, Geneva, 1981.

A DISCUSSION ON THE MECHANISM FOR THE MERIDIONAL PROPAGATION OF THE QUASI 40 DAY PERIODIC OSCILLATION (QPO)

He Jinhai

ABSTRACT

A discussion is made on the behavior and propagation feature of the QPO, with emphasis laid on the forcing of the Southern Hemisphere mid-latitude quasi periodic cold air on the QPO in the tropical atmosphere and its influence on the Northern Hemisphere summer monsoon. It is proposed that the lateral coupling of the circulation systems along the meridional direction and their interaction should be a possible mechanism for the QPO meridional propagation.