

准40天振荡的基本特征及其研究进展

何金海 王盘兴

(南京气象学院)

提 要

本文主要介绍准40天周期振荡的基本特征及其有关的观测研究结果。重点讨论了与准40天振荡的纬向和经向传播相联系的研究进展。提出了准40天振荡在季风区经向传播的可能的天气学过程。

一、引言

七十年代以来,在热带大气的观测研究中Madden和Julian^{[1][2]}首先发现一系列气象要素时间序列中均存在占优势的周期约为40天(30—60天或30—50天等)的振荡。它就是本文要介绍的大气中准40天周期振荡。

准40天振荡给出了热带大气中某一类大尺度过程的时域特征。观测研究表明:这类大尺度过程的空间表现形式主要是纬向波数为1和2的热带超长波;其运动一般表现为向东传播,但在季风区还表现出明显的经向传播。

准40天振荡的观测、理论和应用研究正日益引起世界各国气象学家的的高度重视。这是因为越来越多的研究指出,这一周期振荡现象不仅在热带大气中存在,而且具有全球性^[3];不仅在对流层存在,而且也发生在平流层^[4];不仅在观测资料中存在,而且在气候数值模拟的数值资料中也得到证实^{*}。同时还因为这一周期振荡现象与各种时间尺度的大气环流变化有紧密联系。举例来说,准40天振荡位相向北传播可以影响亚洲夏季风的活跃与中断以及中国东部夏季风雨带的季节性北跳^{[5][6][7]};它向东传播造成的西风异常可以成为El Niño现象发生的促发因素^[8],反之在El Niño年和非El Niño年,它的大尺度特征又有明显的不同^[9]。此外,准40天振荡还对短周期振荡的振幅具有调节作用^[10]。总之,准40天振荡的研究对于理解大气环流的异常和全球大气环流各种时间尺度变化之间的相互联系,从而对根本上改善中长期预报具有重要意义。

*中国科学院大气物理研究所IAP模式模拟结果。

1987年12月14日收到来稿,1988年2月18日收到修改稿。

二、观测研究结果

准40天振荡现象是Madden和Julian利用坎顿(Canton)岛资料对本站气压、850和150百帕纬向风分量(u)进行谱分析首先发现的。他们的研究指出,850百帕纬向风与本站气压的准40天振荡具有基本相同的位相(相角差为 10°),而与150百帕纬向风振荡位相相反(相角差为 177°)。整个对流层的温度距平也具有准40天振荡,它与850百帕纬向风振荡的位相也相反。他们在解释坎顿岛准40天振荡的观测结果时认为,准40天振荡是具有地球尺度(1波)的纬向环流单体沿赤道向东移动(绕赤道运行一周约40天)造成的局地效应。其纬圈环流的时空变化可由图1来说明。

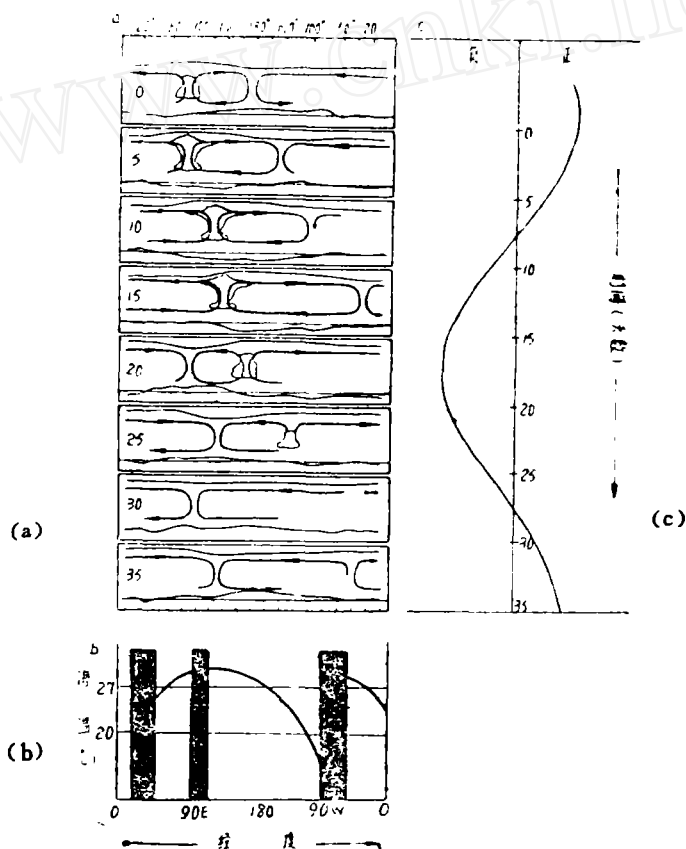


图1. 与赤道地区40—50天周期振荡相联系的纬圈环流的时空变化(a)。图框中左边的数字为循环的天数,云表示对流,图框中底部的细实线表示气压距平,顶部细实线为对流层顶。图b为沿着赤道的年平均海温分布。图c为Tahiti与Darwin之间的气压差的变化。

由图1可以看出,这个变化周期分为8个阶段,每个阶段约为5天。积云对流首先在东印度洋的暖水面上活跃,10—20天后积云对流带和低压区域东移至印度尼西亚群岛和西太平洋,此时的环流非常类似于平均的沃克环流,随着它进一步东移至东太平洋冷水面上空,对

流减弱以至最终消失。经过一定的时间,东印度洋的对流又会重建,循环重新开始并且东移。在Madden等以后的一系列研究^{[11][12][13]}证实了上述环流圈的周期性变化。

进一步的研究表明,准40天振荡现象在热带大气环流的各种参数中普遍存在,在季风区域中表现更为明显^{[14][15][16][17]}。朱乾根等^{[18][19][20]}研究了频率域上各种能量沿纬向的输送,结果发现输送值的准40天振荡在热带季风区中普遍存在,而在副热带季风区中不明显。何金海指出^[7],在北半球夏季,准40天振荡在低纬显著,一般向北传播至 30°N 处振幅已不明显。Krishnamurti等^[3]对FGGE资料中的五种要素作了全球范围的谱分析。结果发现,准40天振荡不仅存在于热带大气,而且具有全球性。显著的地区为亚洲季风区,热带对流带及极地高纬度。

值得指出,早先发现的热带地区准40天振荡环流在高、低空是反位相的,这种低频扰动的轴线随高度有很大的倾斜。但是近年来的研究,例如Krishnamurti^[3]等和何金海等^[21]指出,在热带以外地区,这种低频扰动的轴线是近乎垂直的,即高、低空的振荡接近同位相当然振幅随高度增加。这一特征称之为低频扰动的相当正压结构。图2给出了相当正压结构的一个例子。

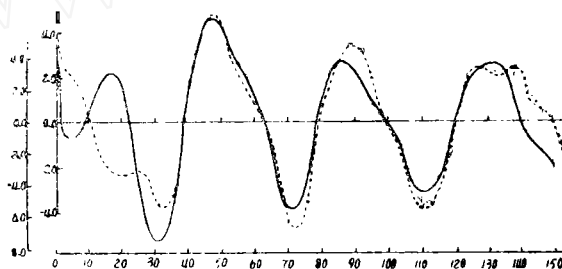


图2. 澳大利亚高压南部地区($25^{\circ}\text{--}35^{\circ}\text{S}$, $120^{\circ}\text{--}150^{\circ}\text{E}$)200百帕(实线)和850百帕(虚线)纬向风分量的带通(30—60天)滤波曲线。纵坐标I和II分别为高低空风速标尺,单位为1米/秒。

准40天振荡除了伴随着纬圈环流沿赤道东移外,也伴随着经圈环流向北移动。Yasurari^[22]通过云量研究了印度季风的爆发、活跃与中断的循环,在这一循环中,经圈方向的环流存在着30—50天周期的变化。在印度季风中断时,大范围的上升气流位于赤道附近及喜马拉雅山南麓,而印度中部则存在着下沉气流,降水与云量集中在赤道及喜马拉雅山南坡。随着赤道附近的上升气流向北移动,当降水与云带集中于印度次大陆中部(20°N)时,印度季风进入活跃期,而赤道及喜马拉雅山的南坡则是下沉气流的区域。以后大范围的上升气流又北移到喜马拉雅山南坡,印度中部季风又转入中断期。这一循环的时间约为30—50天。Krishnamurti等^[23]和Murakami等^[6]也证实了准40天振荡的这种经向传播及其与亚洲夏季风活跃和中断的关系。

日益增多的研究指出,准40天振荡与其他时间尺度的大气环流变化以及El Niño现象有紧密联系。Nakazawa, T.^[10]利用OLR资料进行诊断分析的结果表明,30—60天的周期振荡对于3—10天的短期振荡的振幅有显著的调节作用。在其活跃位相,短周期振荡和热带气旋比较活跃,反之亦然。Murakami, T.等^[6]也讨论过短期天气尺度的扰动和长周期的行星尺度的振荡之间的关系,指出在热带地区,前者一般是向西传播的,后者是向东传播的,这种现象非常类似于能量传播的群速度现象。一方面,与热带对流不稳定相关联的周期为

40—60天向东传播的低频振荡可能是ENSO事件的促发机制,但是另一方面,ENSO现象又会改变准40天振荡的大尺度特征和传播特性。陈隆勋、谢安^[9]发现,在El Niño发生前,东半球赤道附近准40天振荡异常活跃,在90°E和135°E处出现明显的振荡中心,向东传播也十分清楚。El Niño发生后,东半球的振荡突然减弱,上述两处振荡中心消失。而东太平洋的振荡却活跃起来,且为驻波型式,偶而还有西传。与此同时,正常的季节振荡和准双周振荡规律也发生改变,准40天振荡经向传播的方向也有明显的异常。

综上所述,我们介绍了准40天振荡的基本特征及其有关的观测研究结果,包括它的水平尺度、空间结构和传播特性,以及它们和其他时间尺度的环流变化的关系。下面将要介绍有关它的成因和机理的研究。

三、有关准40天振荡起源的理论研究

已有的工作反映出两种基本观点:一种认为准40天振荡是热带大气对周期性外界强迫(特别是热源强迫)的响应^{[26][21]},但这种观点必须首先证实强迫源的存在。另一种认为是大气内部的动力机制造就的自电波动。刘家铭等^[24]和Hayashi等^[25]在这方面取得了明显进展,其试验结果在一些主要特征上与观测研究结果颇为接近。下面简单介绍刘家铭等人的研究结果。

刘家铭等的工作是在一个 σ 坐标五层原始方程谱模式上进行的。试验中,全部非线性项均忽略不计,温度扰动是指纬偏值,风和重力位势扰动是对试验中静止基本态的偏离。地形未予考虑。耗散用雷利摩擦和牛顿冷却形式表示,其时间尺度为5天。模式仅有的物理过程是热带对流加热作用,其方案有两种:a.外部加热且无来自环流的反馈效应;b.内部加热且有与环流的相互作用(有反馈)。对后者,采用了一个简单的波型CISK进行参数化,此时假定加热仅占据低层辐合区,而由凝结释放出来的加热正比于水汽辐合引起的从对流层下部向上的水汽通量。

设计了两种试验方案:给定的局地振荡热源方案(I)和内部强迫移动热源方案(II)。在方案I中,振荡热源具有偶极型水平结构,最大加热强度在400百帕附近,且以44天为周期。在第0、22、44、66、88天时加热强度为0,在第11、55天时120°E(180°)处的赤道上为最大加热(冷却)中心,在33、77天时相反。试验结果表明,在无基本气流情况下,一个大尺度局地振荡热源附近可以形成与之相应的准40天振荡(图略)。对热源的响应存在明显的纬向不对称性,其西面为Rossby波,其东面为Kelvin波;赤道垂直剖面上存在明显的沃克环流,其上升(下沉)支位于加热(冷却)中心附近。上述结果与观测事实的主要差异是,模拟风场扰动向东、西两个方向伸展,而实际大气中风场扰动则是向东传播。由于引进了常驻波假设,故该方案中不包含与移动性热源相对应的动力学效应。

在方案II的试验中,初始纬向风扰动取方案I第55天的情形。此时,最强正(负)加热在120°E(180°)处。试验开始时(第0天)撤掉方案I中的外强迫源,而引进一个参数化的波型CISK加热。波型CISK加热参数化的形式为

$$Q(\sigma) = \begin{cases} -c q_{\text{sat}}(T_s) D_s & D_s < 0 \\ 0 & D_s > 0 \end{cases}$$

图3b为考虑海表温度纬向差异的试验。海表温度的纬向差异是通过在模式最低层($\sigma=0.9$)的环境湿度 $q_{\text{sat}}(T_s)$ 中引入地理位置固定的波数1的振动给出的,其波峰位于 $270^\circ(90^\circ\text{W})$ 处,波谷位于 90°E 处,它相当于将模式中 $Q^*=180^\circ$ 的区域划为冷区, $180^\circ-360^\circ$ 的区域划分为暖区。比较图3a和3b可知,在引入下垫面纬向差异后,扰动东传的基本性质未变,而强度在东传过程中存在振荡。当扰动移经暖区($180^\circ-360^\circ$)时,强度明显增强,移过冷区时明显减弱。这似乎可以解释热带准40天振荡在季风区(印度洋和西太平洋海域,那里海表温度具有正纬偏)表现得更为明显的观测事实。

综上,两个方案均可用以描述热带准40天振荡。但方案I不能给出振荡的向东传播,且局地振荡热源的存在也必须加以说明。方案II在考虑了纬向不对称的海温后,一并给出热带准40天振荡的三个观测特征(具有1波尺度的扰动,向东传播,在季风区域表现明显),因此它可能揭示了一类热带准40天振荡的成因。但是上述试验不能说明观测到的不向东甚至向西传播的准40天振荡,同时也不能解释准40天振荡在季风区域明显的经向传播。这类热带准40天振荡现象的起因很可能与南北半球环流的相互作用或中低纬大气的相互作用有关。下一节将介绍有关的研究结果。

四、准40天振荡与南北半球环流相互作用

准40天振荡在季风区域具有明显的经向传播。围绕这一特性的研究提出了两个方面有意义的问题:1.这种低频振荡究竟是自由波动还是强迫波动?2.它在南北半球和中低纬环流的相互作用中有何意义?

关于上述两个方面的问题,国内许多作者的研究基本上都着眼于南半球冷空气与北半球夏季风的相互作用。〔27〕〔28〕〔29〕陶诗言等强调南半球 $40^\circ-160^\circ\text{E}$ 范围内中纬地区斜压性的发展会导致印度、中印半岛至南海以及西北太平洋地区夏季风的爆发和建立。季风建立后这种斜压性的发展则会导致夏季风的北进和加强。孙国武等〔30〕认为青藏高原地区可以是大气低频振荡的源,并指出这可能与青藏高原的热力学和动力学效应有关。

准40天周期振荡在1979年夏季亚洲季风区向北的位相传播、相应的水汽输送和能量平衡已由Murakami, T.和何金海等〔6〕〔31〕〔32〕进行了系统研究。何金海〔33〕还通过准40天振荡在经向垂直剖面内造成的物理量输送,讨论了准40天振荡与南北半球环流相互作用的关系和可能的天气学过程。从能量学观点看来,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度对流层的中下部。前者是季风地区对流活动周期性扰动导致 W_i 和 T_i 相关的结果,后者是南半球中纬地区准周期性斜压活动过程的结果。这两个能量源地(尤其是前者)分别以位能的形式在高层和低层向南向北输送能量,以维持研究区域里的准40天周期扰动。值得注意的是,这两个能源分居南北半球,且在准40天周期振荡的不同位相起作用,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与北半球亚洲地区夏季风环流的相互作用,可能是准40天周期振荡的一种维持机制。或许可以认为准40天周期振荡是南半球中纬冷空气准周期性爆发对亚洲地区季风环流不断冲击所引起的南北半球环流(季风环流系统)相互作用的一种形式。

作者最近使用1982年5—9月欧洲中期预报中心网格点资料,分析了南半球中纬度冷空气的周期性及其对北半球夏季风的影响^[21]。发现南半球中纬度大范围斜压性和冷空气活动确实具有准40天的周期性,从而证实了冷空气强迫源的存在。分析表明这种准周期性冷空气对北半球夏季风影响的时间迟后约为10—12天,这与文献^[33]提出的时间落后非常一致。图4和图5分别给出了马斯克林高压和澳大利亚高压东南部西风增强(对应着冷空气活动)引起相应的越赤道气流(索马里和105°E越赤道气流)的增强,从而影响北半球相应地区的低层辐合和高空辐散增强的过程。

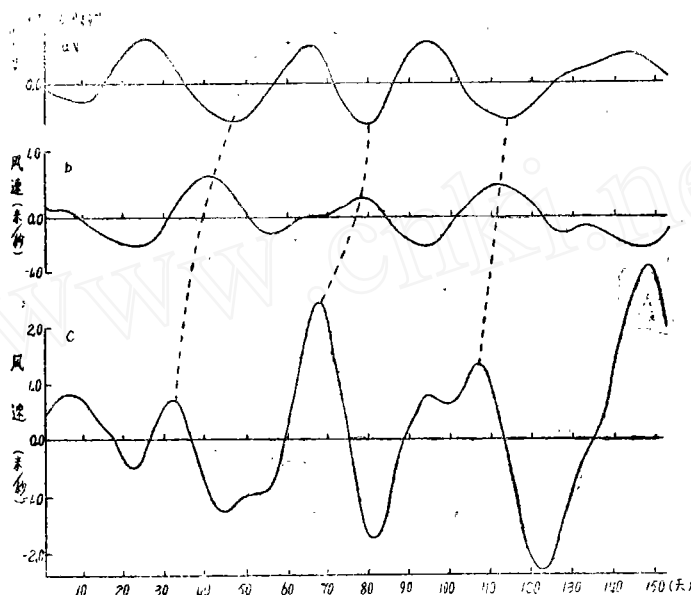


图4. 马斯克林高压东南侧纬向风振荡向北传播的过程, 图中所示均是滤波曲线。

- a. 850百帕(30°—60°E, 20°N)的散度
- b. 850百帕(30°—60°E)越赤道气流
- c. 850百帕(60°—90°E, 30°S)纬向风

根据前面的结果, 作者提出准40天振荡在夏季向北传播的可能的天气学过程如下: 南半球中纬度准周期性的冷空气可以成为北半球夏季风环流的外界强迫。这种强迫首先增强马斯克林高压或者澳大利亚高压南部的西风, 随后使得高压增强, 进而依次导致越赤道气流和北半球夏季风增强与活跃以及中国东部地区夏季风的北进, 其过程如图6所示。

Murakami, T.^[25]也讨论了准40天周期振荡是自电波还是强迫波的问题。他们利用30—60天滤波辐射资料(OLR)发现这种扰动并不总是系统地向东传播的, 有时是不规则的甚至是向西的。他们认为, 如果赤道低频振荡(30—60天)果真是自由波动的话, 那么它应该总是系统地向东传播的。他们比较了向东传播和不规则传播两种情况下环流的不同特点, 发现在后一种情况下, 850百帕上没有显著的经向冷涌, 相应的结果是对流活动微弱, 其界限模糊, 扰动波数大于2。因此他们推测, 赤道低频扰动主要是由北半球和南半球副热带与中纬度地区的30—60天准周期性的经向冷涌所强迫的。

看来, 准40天周期扰动的起源问题是复杂的, 尚需进一步研究。鉴于准40天周期振荡在季风区具有明显的经向传播, 在冬半球的冷空气与夏半球的夏季风相互作用和中低纬遥相关

中具有重要意义，因此关于这一问题的研究将日益引起人们的广泛兴趣。

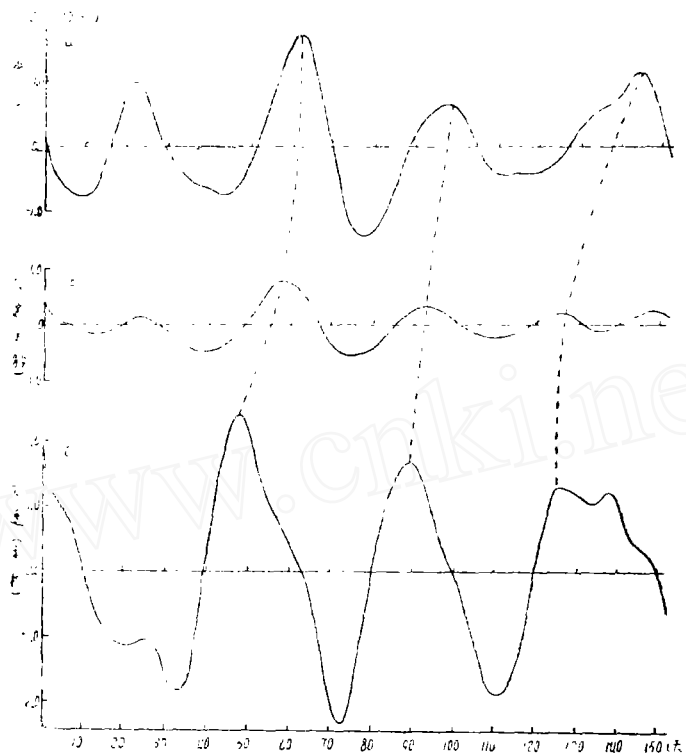


图5. 澳大利亚高压东南侧纬向风振荡向北传播的过程。图中所示均为滤波曲线。

- a. 200百帕 (120°—150°E, 25°N) 散度
- b. 850百帕 (90°—120°E) 越赤道气流
- c. 850百帕 (120°—150°E, 30°S) 纬向风

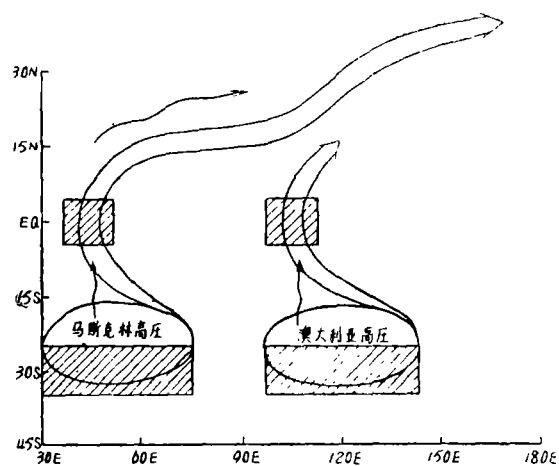


图6. 在北半球夏季，南半球中纬度准40天振荡影响北半球亚洲夏季风传播路径的概念模型。空心箭头表示强气流带或水汽输送带，曲线箭头表示振荡的传播，斜线区域表示冷空气强迫的关键区域。

参考文献

- [1] Madden, R.A. and P.R. Julian, Detection of a 40--50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific, *J.A.S.*, 28(1971), 702--708.
- [2] Madden, R.A. and P.R. Julian, Description of global scale circulation cells in the tropics with 40--50 day period, *J.A.S.*, 29(1972), 1109--1123.
- [3] Krishnamurti, T.N. and S. Gadgil, On the structure of the 30 to 50 day mode over the globe during FGGE, *Tellus*, Vol. 37A, NO. 4, 336--360, 1985.
- [4] 张可苏, 40--50天的纬向基流低频振荡及其失稳效应, *大气科学*, Vol. 11, NO. 3, 227--236, 1987.
- [5] Yasunari, T., Structure of an Indian summer monsoon system with a period around 40 days, *J. Meteor. Japan*, 59(1981), 336--354.
- [6] Murakami, T., T. Nakazawa and Jinhai, He, 40--50 day Oscillations during the 1979 Northern Hemisphere summer, UHMET83--02, Dept. of Meteorology, University of Hawaii, 1983.
- [7] 何金海、于新文, 1979年夏季我国东部各纬带水汽输送周期振荡的初步分析, 《热带气象》, Vol. 2, NO. 1, 9--15, 1986.
- [8] Lau, K.M. and P.H. Chan, *Bull. American Meteor. Soc.*, 67(1986), 533--534.
- [9] 陈隆勋、谢安, OLR资料所揭示的El Niño和30--60天振荡之间的关系, *气象科学技术集刊*(11), 气象出版社, 26--35, 1987.
- [10] Nakazawa, T., Intraseasonal variation of OLR in the tropics during the FGGE year, *J. Meteor. Soc. Japan*, 64(1986) 17--34.
- [11] Murakami, T. and T. Nakazawa, Tropical 45 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere summer, *J.A.S.*, 42(1985), 1107--1122.
- [12] Murakami, T., T. Nakazawa and J. He(何金海), On the 40--50 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere summer, Part I: Phase Propagation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 63(1984), 250--271.
- [13] Lorenc, A.C., The evolution of planetary scale 200 mb divergences during the FGGE Year, Meteorological Office 20, Technical Note II/210, Meteorological Office, Bracknell, Berkshire, England, 1984.
- [14] 北京大学地球物理系热带天气研究组, 国家海洋局水文气象预报总台, 夏季热带低层环流及其中期变化的初步分析, 《热带天气会议文集》, 科学出版社, 1976.
- [15] 章基嘉、王盘兴、孙照勃、陈松平, 低纬大气环流季节转换及青藏高原非绝热加热的天气统计学分析, *南京气象学院学报*, 1983年第1期, 1--13.
- [16] 王盘兴、张国华, 1979年5--7月东亚和南亚季风区700毫巴环流分析, 《热带气象》, 1985年第2期, 99--107.
- [17] 王盘兴、李笃武, 东亚和南亚夏季对流层下部环流的差别和联系, *南京气象学院学报*, 1987年第1期, 51--58.
- [18] Zhu Qiang, He Jinhai and Wang Panxing, A study of circulation differences between East-Asian and Indian summer monsoons with their Interaction, *A.A.S. Vol. 3*, NO. 4, 466--477, 1986.
- [19] 朱乾根、王信, 亚洲东西季风区之间的能量交换及其周期振荡, *南京气象学院学报*, 1985年第3期, 266--274.
- [20] 朱乾根、何金海, 亚洲季风建立及其中期振荡的高空环流特征, 《热带气象》, Vol. 1, No. 1, 9--18, 1985.

- [21] 何金海、陈丽臻, 南半球中纬度准 40 天 (30--60 天) 振荡及其对北半球夏季风的作用, « 气象学报 » 英文版, 将发表。
- [22] 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, 58(1980), 225--229.
- [23] Krishnamurti, T.N. and D. Subrahmanyam, The 30--50 day mode at 850 mb during MONEX, J. A. S., 39(1982), 2088--2095.
- [24] Lau, K.M. and L. Peng, Origin of low-frequency (intraseasonal) Oscillations in the tropical atmosphere, part I: Basic theory, J. A. S. 950--972, 1987.
- [25] Hayashi et al., The 30-40 day oscillation simulated in an "aquaplanet" model, J. Meteor. Soc. Japan, 64(1986), 451-467.
- [26] Sumathi-pala W. L. and T. Murakami, The role of low-level northerly surges upon the enhancement of 30-60 day equatorial Oscillations during Winter, UHMET 87-10, Dept. of Meteorology, University of Hawaii, 1987, 2.
- [27] 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, 218-231, 云南人民出版社, 1982.
- [28] 柯史钊、朱庆圻, 季风环流的40天振荡, 全国热带夏季风学术会议文集, 232-245, 云南人民出版社, 1982.
- [29] 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.
- [30] Sun Gowu and Chen Baode, Oscillation characteristics and meridional Propagation atmospheric low frequency waves over Qinghai-Xizang plateau, to appear in A. A. S.
- [31] 何金海、Murakami, T. 和 Nakazawa, T., 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, 1984年第2期, 163-175.
- [32] He Jinhai (何金海), Murakami, T. and Nakazawa, T., Energy balance in 40-50 day periodic Oscillation over the Asian summer monsoon region during the 1979 summer, A. A. S., vol. 4, No. 1, 66-73, 1987.
- [33] He Jinhai (何金海), 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, No. 1, 107-116, 1988.

THE BASIC FEATURES OF QUASI-40 DAY OSCILLATION AND THE ADVANCES IN ITS RESEARCH

He Jinhai

Wang Panxing

(Nanjing Institute of Meteorology)

Abstracts

The basic features of quasi-40 day periodic oscillation (QDPO) and the associated results by observational research are mainly introduced in this paper. Also the discussion is emphasized on the advances in research associated with zonal and meridional propagation of QDPO. Finally, the synoptic processes are proposed for QDPO to propagate along meridional direction in the monsoon region.