热带对流活动对热带内外地区 环流季内遥相关变化的作用[:]

余 斌 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所,北京,100080)

摘要

基于 ECMWF 客观分析资料,本文采用诊断分析的方法研究了 1983/1984 和 1986/1987 两年冬季季内 30-60d 低频域中热带对流与热带外环流以及低频扰动动能频散之间的关系。 结果表明,热带对流强度上的差异可以造成热带内外地区季内遥相关波列以及低频波能频散 上的差别。热带对流作用可以是联系热带内外地区季内遥相关作用的一个重 要的衔接因子。 关键词:30-60d 低频域,热带对流,大气环流,低频扰动动能。

1 引 言

在季内时间尺度下,Mak(1969)、Lim 等(1983)⁽¹⁾以及 Simmons 等(1982)⁽²⁾的模拟 结果已表明热带内外地区系统间相互作用对于全球大气 的重要影响。应用相关分析技 术,Liebmann 等(1984)⁽³⁾和 Lau 等(1986)⁽⁴⁾也比较详细地研究了季内热带外环流与热带 对流间的关系。使用向外长波辐射(OLR)场和 500hPa 位势高度场资料,选取 10-90d 和 5-90d 两种时间频带,Liebmann 等研究发现,热带外扰动对热带地区的作用很强;而热 带对热带外的作用并不强,特别是对较短的时间尺度而言。Lau 等使用几乎同一时段的资 料,带通滤波提取了 20-70d 的时间频带上的变化特征。研究显示,热带外波列的发展与 热带对流的发展有很一致的位相关系。热带对流在印度洋至中太平洋地区最活跃;而热带 外环流的低频变化特征为三支波列及相应的地理位置固定的波导,它们活动于整个热带 外的纬度带内。这样,由于热带内外地区系统具有较稳定的低频变化特征,因此可以认为 它们分属于热带外及热带地区的正规模态,这两个正规模态通过地理位置固定的波导产 生强烈的耦合(王国民,1990⁽⁵⁾)。

比较 Liebmann 和 Lau 的研究结果发现,对于热带内外地区季内相互作用的方式,两 个研究结果间是有差异的。这也许与他们对资料进行时间序 列分解进而在频带提取上的 不同有关。这是一个值得进一步探讨的问题。考虑到 30-60d 大气低频振荡(LFO)在全 球大气运动中的重要作用⁶⁰,因此,讨论 30-60d 低频域中热带内外地区的遥相关作用特 征是有意义的。

文章[7]中指出,热带内外地区在季内环流型下存在强的相互作用,且这种作用与热 带地区的对流活动间的关系密切。那么,这种季内热带内外地区相互作用在正压遥响应方

[•] 初稿时间:1994年7月30日;修改稿时间:1995年1月12日。

面是否也存在明显的年际差异?这种差异与热带对流活动强度间是否也存在一定的对应 关系?此外,目前大量研究已揭示,与LFO 有关的扰动能量在热带内外地区取二维 Rossby 波列的形式频散传播。那么,热带对流变异与热带外低频扰动动能的频 散间是否也存 在较明确的关系,这也是值得进一步研究的问题。



(4,1963 年12 月至1964 年2 月16,1966 年12 月至1987 年2 月) 1983/1984 年冬季是继 1982/1983 年强 El Nino 循环之后的恢复阶段,而1986/1987

年份则处于另一个 El Nino 循环的发生期,分析向外长波辐射(OLR)资料以及东太平洋 Nino 3 区 SST 的变化,文献〔7〕指出,这是对流变化极具差异的两个典型的冬季年份,在 热带地区前者的对流活动明显较后者活跃,特别是在隆冬季节。因此,本文选用1983/ 1984 年 1986/1987 两年冬季(10-3 月)OLR 场以及 ECMWF 提供的 500hPa 风场和位 势高度场资料,采用 Batterworth 带通滤波技术⁽⁸⁾,提取 30—60d 低频成分,进而基于诊 断分析的方法来研究上述几个问题。此外,为了叙述方便,下文中使用的"低频"均是指本 文研究的"30—60d 低频"成分。

2 低频热带对流与热带外准定常波动的关系

为了揭示热带外准定常波动与热带对流间的关系,首先计算了北半球 20—60°N 纬 带 500hPa 各网格点上的低频位势高度值与热带 10°S—15°N 区域各格点上 OLR 值间的 相关。具体地,将每一 500hPa 格点上的高度值与上述 OLR 场求得的最大负相关值写到





图 2 1983/1984 年冬季 12-2 月(15-60°N)低频位势高度场与热带 (10°S-10°N,90-130°E)区域平均 OLR 间的滞后相关

高度场各对应格点上;同样,将各格点上OLR 值与上述 500hPa 低频位势高度场间求得的最大负相关值写到每一OLR 格点上。图 1a、b 分别是 1983/1984 和 1986/1987 两年冬季 12-2 月的相关结果。

由图可见,在这两年冬季热带内外地区由相关高低值中心联成的波列都主要有三支: 由欧亚大陆至太平洋地区的 EUP 型,太平洋至北美的 PNA 型和北大西洋区域上的 NA 型。这与 Lau 等(1986)的结果类似。进一步,这两个年份结果间的主要差异是:1)三支相 干波列以 1986/1987 年冬季(图 1b)的分布更为突出;2)东亚及太平洋上热带负相关极值 区在 1986/1987 年冬季主要位于中太平洋,它较 1983/1984 年冬季(图 1a)的热带西太平 洋区域的位置要偏东,这与对应时段 OLR 场本身的分布特征也是相吻合的^[7]。

由图 1 可以看到的另一个特点是:热带地区最大负相关值点既可位于与之相联系的 500hPa 对应点的东部,亦可在其西部。这表明 Rossby 驻波的群速度总有一个向东的分





图 3 1986/1987 年冬季 12-2 月(15-60°N)低频位势高度场 与热带(10°S-10°N,170°E-160°W)区域平均 OLR 间的滞后相关

量。由于上述相关型主要表示了线性 Rossby 波的传播,因此图上显示的强相关即意味着 热带内外地区的相互影响。且这种影响又以 1986/1987 年冬季更为强烈。

3 低频热带对流与热带外环流间的关系

基于上节结果,可以将热带西太平洋 120°E 及中太平洋 180°附近地区分别作为 1983/1984 和 1986/1987 两年冬季热带地区对流活动的典型区,使用滞后相关技术进一 步研究这两个年份隆冬季节(12-2月)热带内外地区的相互作用特征。

图 2 是 1983/1984 年冬季 15-60°N 低频位势高度场与热带(10°S-10°N,90-130° E)区域平均OLR 间的滞后相关结果。由图可见,当热带外位势高度场超前于热带对流 6d (记为 Day-6)时,主要相关波列是由欧亚大陆至西太平洋和中太平洋的 EUP 型波列,如 图中粗箭头线所示。这种波列走向表明了此刻波能向赤道及向东传播。到了滞后相关零 d(图 2b),上述 EUP 型仍然存在;同时,在西半球出现了由相关正负中心联成的中太平洋



图 4 500hPa 月平均低频 Fs 及中纬度扰动动能等值线 (数值单位 m²s⁻²;a,1984 年 1 月;b,1987 年 1 月)

至北美的 PNA 型波列,以及北大西洋上 NA 型波列。这表明能量已从与热源区相联系的 赤道中太平洋向热带外地区传播。随后,东亚异常波列开始减弱东移,此时相关图上以 PNA 型和 NA 型波列占主导地位(如图 2c 的 Day+6 情形)。这种形势一直维持到 Day+ 12(图略)。此后,由于 NA 型波列的作用使得波能自西半球向东传输,促使东半球 EUP 型 波列再次发展,而西半球 PNA 型波列减弱(如图 2d 的 Day+16)。注意到图 2d 与图 2a 的 相关结果几乎是呈反位相,表明对应于这两个时刻间已经历了波列位相变化的半个周期。

图 3 是 1986/1987 年冬季 15—60°N 低频位势高度场与热带(10°S—10°N,170°E— 160°W)平均OLR 间的滞后相关结果。在 Day-6 图上(图 3a),主要波列仍为 EUP 型,但 与 1983/1984 年冬季不同的是,这时西半球 PNA 型也已存在,只是它还不如东半球 EUP 型强。另一特征是西半球波列东传加强,东半球波列东传减弱(如图 3b 的 Day0 结果);同 时,北大西洋上 NA 型波列生成。此后,伴随 NA 型波列形成的能量东传,EUP 型又逐步 得以加强(图 3c),到 Day+12 时刻,类似 Day-6 结果,但也是经历了波列位相变化的半 个周期。

上面两个年份冬季热带外低频位势高度场与热带 OLR 场间的相关结果表明:在季 内 30-60d 低频域中,环绕北半球从欧亚大陆穿越太平洋至大西洋主要存在三支波列:1)



图 5 热带地区 OLR 场与热带外 500hPa 低频扰动动能间的最大负相关 (a,1983/1984 年冬季ib,1986/1987 年冬季)

EUP 型,它主要将波能传入海洋性大陆以及热带中、西太平洋;2)PNA 型,实现能量由热 带中太平洋向热带外的传输;3)NA 型,实现东西两半球间波能的传递。在这两个年份冬 季,遥相关型的热带内外地区相互作用的方式间也存在差异,在热带地区对流活动相对活 跃的年份,热带内外地区的遥相关作用波列亦显得更活跃。这一结果也再一次表明了热带 对流可以是联系热带内外地区相互作用的一个重要环节⁽⁷⁾。另外,虽然通过 EUP 型和 PNA 型波列可以实现波能在热带内外地区间的交换,但是,波列在热带中太平洋区域还 是有明显的"断裂"现象出现。Webster 等(1988,1990^(9,10))的研究指出,沿赤道负的纬向 基流伸展可以实现波能的积累进而向热带外地区频散。这是对较长时间尺度研究所得的 结果,同时它也尚未解决赤道中能量的传输问题。因此,对于季内时间尺度下热带地区波 列"断裂"而波能仍能存在传递这一现象还有待进一步研究。

4 热带内外地区低频波能传播的直观表现

根据 Plumb(1985⁽¹¹⁾)的研究,准地转近似下的定常波作用通量在水平方向的分量 为:

$$\boldsymbol{F}_{s} = \frac{P}{P_{0}} \cos\varphi \left[(V'^{2} - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial (U\boldsymbol{\Phi}')}{\partial \lambda}) \boldsymbol{i} + (-U'V' + \frac{1}{2\Omega a \sin 2\varphi} \frac{\partial (U\boldsymbol{\Phi}')}{\partial \lambda}) \boldsymbol{j} \right]$$

式中带"'"的量表示与时间和纬向平均的偏差; P_0 取1000hPa; a为地球半径; 其余为 常规气象符号。通量 F_s 可以表示时间平均非纬向扰动的线性 Rossby 波群速度方向, 它是



图 6 类似图 2,但低频位势高度场变为低频扰动动能场

用来分析时间平均非纬向扰动作用及其传播特征的一个很好的工具(刘辉等,1992^[12])。

选取 1983/1984 和 1986/1987 两年冬季热带对流变化最活跃的 1 月份求月平均低频 Fs,结果如图 4。图中几个强 Fs模区分别与对应时段中中纬度强低频扰动动能区域相联 系,这也是使用纬向非对称基流正压不稳定理 论对低频扰动动能成因的一种解释^[7]。此 外,对于太平洋区域的低频热带内外地区相互作用,在 1987 年 1 月明显强于 1984 年 1 月,这既表现在中、东太平洋 Fs向东南方向以及其东部向东北方向的矢量模上,而且在 150°E 附近地区(图中小方框区),热带外对热带地区的低频影响也以 1987 年 1 月为甚 (图略)。联系于对应时段热带地区 OLR 场的分析结果,这里相对强的热带内外地区低频 相互影响也恰好是与相对强的热带对流的存在相伴随。

5 低频热带对流与热带外扰动动能变化的关系

类似第二节的分析,我们首先计算了北半球 500hPa 上 20-60°N 低频扰动动能与



10°S-15°N 上 OLR 间对应的最大负相关,结果如图 5。

在文献[7]中已指出,在1983/1984 和1986/1987 两年冬季,热带外低频扰动动能极 大值区主要出现于对应年份东亚急流、北美急流和西亚急流这三个急流区的下游,分析图 5 结果可见,在1983/1984 年冬季,北半球热带外地区几个负的相关极大值中心也基本上 对应于该年份低频扰动动能强中心;同时,在热带地区的主要负相关极大值中心一个在 90°E 附近的印度洋上,另一个位于140—160°W 的中太平洋,这两处也都是热带对流变化 的典型区。这表明热带外低频扰动动能极值区的出现与热带对流间存在着联系。

图 7 类似图 3,但低频位势高度场变为低频扰动动能场

(c)

在 1986/1987 年冬季(图 5b),北半球热带外几个负相关极大值区也可以找到相应的 低频扰动动能强中心。而这时热带地区负相关极值中心主要有三个,分别位于西、中和东 太平洋。与上述 1983/1984 年冬季的结果相比,热带负相关极值中心在 1986/1987 年冬季 所处的位置要偏东,这与 OLR 场上显示出的热带对流活跃区的位置分布特征也相吻合。 它进一步表明了热带对流与热带外低频扰动能量间存在着紧密的联系。

(d)

90°E

与第三节的研究方法类似,我们进一步计算了 500hPa 15—60°N 上低频扰动动能与 热带地区区域平均(取法同第三节)OLR 间的滞后相关。

侧重于讨论东亚及太平洋区域。对于1983/1984 年冬季,在低频扰动动能超前于热带 对流 6d 的 Day-6 图上(图 6a),明显的一支经向型相关波列出现于 180°附近;到了 Day -2 至 Day0 时刻(图 6b 和 c),这支波列在 30°N 以北的正相关中心减弱,同时位于 25-30°N 的负中心增强;到 Day+4 时刻(图 6d)呈现与 Day-6 几乎反相的相关波列结构。上 述波列正负中心的分布特征基本上是呈一种振荡型的变化,表明该年冬季在东亚及太平 洋区域主要通过振荡型变化构成的经向型波列导致低频能量的南传(图 4)。

1986/1987 年冬季(图 7)结果与此不同,对于东亚及太平洋区域,在 Day-6 图上主要表现出一支纬向型分布的波列,波列上两个正负中心分别在(30°N,180°)和(30°N, 140°E),这与分析该年冬季低频涡对演变所得的结果亦相吻合^[14];随后(图 7b 和 c),这一 波列东传至 180°附近,且波列经向度加强;到 Day+4,在 180°附近出现一经向型波列,它 有利于波能的经向频散。上面分析已指出,这时波能从热带外向热带地区的传播更强(图 4)。

综上结果可得,热带对流与热带外低频扰动动能间亦存在着紧密的对应关系,差异的热带对流状况可以导致热带外地区低频扰动动能向热带地区的频散方式及强度上的差别。

6 结语与讨论

本文研究首先指出,热带内外地区季内遥相关作用方式主要为:环绕北半球从欧亚大 陆穿越太平洋至大西洋存在三支波列:

1)EUP 型,它主要将波能传入海洋性大陆及热带中、西太平洋;

2)PNA 型,它实现了能量由热带中太平洋向热带外的传输;

3)NA 型,实现能量由西半球向东半球的传递。这与 Lau 等(1986)⁴⁰的研究结果是一致的。进一步,本文指出,热带内外地区季内的这种低频遥响应作用还与热带对流强度间存在着紧密的关系,活跃的热带地区对流活动可以联系着相对强的热带内外地区低频环流间的遥响应作用。这一结果也再一次印证了文献[7]中提出的结论:热带地区对流作用可以是联系热带内外地区季内相互作用的一个重要的衔接因子。当然,由于本文仅分析两年冬季的资料,因此,所得结果是否具有普遍性,还需要用更多年份的资料分析、比较,作进一步的验证。

本文研究结果还表明,对于低频扰动动能的频散,在不同时段可以有不同的作用方式,且这种作用方式的改变也与热带对流状况的变化有关。这同 Keshavamurty (1982^[15]),Geisler 等(1985^[16])由GCM 试验得到的模式大气对于热带强迫的响应特征是不同的。

参考文献

⁽¹⁾ Lim H and Chang C P. Dynamics of teleconnections and Walker circulations forced by equatorial heating. J. Atmos. Sci., 1983, 40, 1897-1915.

^[2] Simmons A J. The forcing of stationary wave motion by tropical diabatic heating. Q. J. R. Met. Soc., 1983.

108. 503-534.

- (3) Liebmann B and Hartmann D L. An observational study of tropical-midlatitude interaction on intraseasonal time scale. J. Atmos. Sci. 1984. 41. 3333-3350.
- [4] Lau K M and Phillips T J. Coherent fluctuations of extratropical geophysical height and tropical convective in intraseasonal time scale. J. Atmos. Sci., 1984, 43, 1164-1181.
- 〔5〕 王国民·大气低频变化研究评述·气象科技·北京:1990,1,8-15
- 〔6〕 李崇银. «大气低频振荡». 气象出版社, 北京: 1991, 207.
- 〔7〕 余斌,黄荣辉.热带内外地区环流季内变化的相互作用特征.(1)、(I).大气科学.1993.20.No.3、4.
- (8) Krishnamurti T N and Gadgil S. On the structure of the 30 to 50 day mode over the globe during FGGE. Tellus. 1985, 37. 336-360.
- (9) Webster P J and Chang H R. Equatorial energy accumulation and emanation regions. Impacts of a zonally varying basic state. J. Atmos. Sci., 1985. 45. 803-829.
- (10) Chang H R and Webster P J. Equatorial energy accumulation and emanation regions Part I : Nolinear response to strong episodic equatorial forcing, J. Atmos. Sci., 1990. 47, 2624-2644
- (11) Plumb R A. On the three-dimensional propagation of stationary waves. J. Atmos. Sci., 1985. 42. 217-229
- 〔12〕 刘辉. «北半球阻塞高压的维持». 中国科学院大气物理研究所博士论文. 1992.
- 〔13〕 余斌. *季内时间尺度下热带内外地区相互作用研究*. 中国科学院大气物理研究所博士论文. 1993.
- (14) Keshavamurty R N. Response of the atmosphere to sea surface temperature anomalies over the equatorial Pacific and the teleconnections of the southern oscillation. J. Amos. Sci., 1982, 39, 1241-1259.
- (15) Geisler J E etal. Sensitivity of January climate response to the magnitude and position of equatorial Pacific sea surface temperature anomalies, J. Atmos. Sci., 1985, 42, 1037–1049.

THE ROLE OF THE TROPICAL CONVECTION ON THE VARIATIONS OF INTRASEASONAL TELECONNECTIONS OF TROPICAL AND EXTRATROPICAL CIRCULATIONS

Yu Bin Huang Ronghui

(Institute of Atmospheric physics, Academia Sinica, Beijing, 100080)

Abstract

Based on ECMWF objective analysis data in winter years of 1983/84 and 1986/87, the relationships between the tropical convection and the extratropical circulation, as well as the low frequency perturbation kinetic energy, on intraseasonal time scale are investigated by use of diagnostic analysis methods. Through this study, it can be found that the difference of tropical convective intensities can bring about both the different intraseasonal teleconnection wave trains between the tropical and extratropical zones and the different dispersions of low frequency wave energy. Moreover, the tropical convection can be of an important junction factor for the intraseasonal teleconnection effect of tropical and extratropical circulations.

Key words: 30-60 day Low frequency domain, Tropical convection, Atmosphere general circulation. Low frequency perturbation kinetic energy.