

垂直低分辨率 GCM 模式大气平均经圈环流的诊断*

王盘兴

(南京气象学院气象系, 南京, 210044)

摘要 以 IAP 2-L GCM 为例, 给出垂直低分辨率 GCM 模式大气平均经圈环流质量流函数的一个计算方案。结果表明, 模式大气的 Hadley 环流季节变化与实际大气相一致。El Niño 年模式大气平均经圈环流中可分离出一个与 El Niño 型 SST 异常关系密切的异常经圈环流, 它导致平均 Hadley 环流向北半球盛夏型转变的滞后。

关键词 垂直低分辨率 GCM, 平均经圈环流, 季节变化, El Niño 年

分类号 P448

在大气环流气候状况及其异常的数值模拟中, 两层大气环流模式(如美国俄勒冈州立大学模式(OSU 2-L GCM)和中国科学院大气物理研究所模式(IAP 2-L GCM))在水平环流的模拟中已经取得较好的结果^[1], 但由于这类模式的垂直分辨率甚低, 用它们的试验结果分析垂直环流的细微结构是不可能的。观测研究表明, 象平均经圈环流这样一类非常重要的垂直环流一般具有较为简单的垂直结构^[2], 因而有可能通过上述模式研究它们的性质和成因。本文首先根据 IAP 2-L GCM 的一组试验资料给出平均经圈环流质量流函数计算方案, 然后对模式大气中 Hadley 环流的季节变化及其在 El Niño 年的异常作出分析。

1 模式大气资料和质量流函数计算方案

1.1 模式大气资料

袁重光使用 IAP 2-L GCM 做的一组数值试验得到了全球 400、850hPa 等压面上 3 个夏半年(4~9 月)的逐候平均要素场资料。其中两个试验在气候海表温度(SST)下进行(简记为 C1、C2); 一个试验在异常 SST 下进行(简记为 S)。所谓异常 SST 是指 40°N~40°S 间的太平洋、印度洋上使用了 1983 年逐月实际 SST, 它带有典型 El Niño 型的 SST 异常特征(文献[3]、[4]详细介绍了这组试验)。

用上述试验资料整理得 C(C1、C2 的算术平均)、S 试验 400、850hPa 层低纬(38°N~38°S)各格点(格距 $\Delta\phi = 4^\circ$)上的 4~9 月逐月沿纬圈平均的 v 分量(记为 $[\bar{v}]$)。按文献[2], $[\bar{v}]$ 给出了 C、S 试验逐月平均经圈环流。

1.2 质量流函数计算方案

直接用 $[\bar{v}]$ 和由连续性要求求得 $[\bar{w}]$ 可以绘制平均经圈环流图, 但制作过程复杂。60 年代以来一般采用质量流函数 Ψ 表示平均经圈环流, Ψ 与 $[\bar{v}]$ 的关系^[2]

* 本工作得到国家自然科学基金项目及中国科学院大气物理研究所 LASG 项目联合资助
收稿日期: 1993-03-25; 改回日期: 1993-06-01

$$2\pi a \cos\varphi [\bar{v}] = g \frac{\partial \bar{\Psi}}{\partial p} \quad (1)$$

式中, a 为地球半径, 其余符号为通常意义。

为了计算 IAP 2-L GCM 模式大气的 $\bar{\Psi}$, 设置了经圈平面上的一个矩形均匀格点网, 格距为 $\Delta\varphi = 4^\circ$, $\Delta p = 50\text{hPa}$, 经向、垂直方向的格点总数分别为 20、17; 它覆盖了 $38^\circ\text{S} \sim 38^\circ\text{N}$, 200hPa (模式大气顶) $\sim 1000\text{hPa}$ 的区域。

在这个格点网中, $k=5$ ($p=400\text{hPa}$)、 14 ($p=850\text{hPa}$) 层上所有格点的 $[\bar{v}]$ 是已知的。引进假设

$$[\bar{v}]_{0\text{hPa}} = [\bar{v}]_{1000\text{hPa}} = 0 \quad (2)$$

$k = -3$ ($p=0\text{hPa}$)、 5 、 14 、 17 ($p=1000\text{hPa}$) 以外各点的 $[\bar{v}]$, 由 p 坐标下线性内插法确定 (图 1a)。

使用 (1) 式计算 $\bar{\Psi}$ 时, 需要给定下边界 ($p=1000\text{hPa}$) 或上边界 ($p=200\text{hPa}$) 上的边界条件。由 IAP 2-L GCM 边条件

$$W_{\sigma=0.1} = 0 \quad (3)$$

以及地面气压 $p_s \doteq 1000\text{hPa}$ 知, 通过大气顶 (p_T) 的质量通量处处为 0, 通过 1000hPa 等压面的质量通量近似为 0, 因而有

$$\bar{\Psi}_{200\text{hPa}} = c', \bar{\Psi}_{1000\text{hPa}} = c'' \quad (4)$$

c' 、 c'' 为常数。对平均经圈环流, 应有通过所有纬度的整个大气层 ($p_T - p_s$) 的净质量输送为 0。故 $c' = c''$, 这里将 c' 、 c'' 取为 0, 即

$$\bar{\Psi}_{200\text{hPa}} = \bar{\Psi}_{1000\text{hPa}} = 0 \quad (5)$$

利用边界条件 (5) 取由下而上 (由上而下) 的方式数值积分 (1) 式, 得平均经圈环流质量流函数 $\bar{\Psi}_1$ ($\bar{\Psi}_2$)。但它们在 (上) (下) 边界附近出现经圈环流的扰动, 对两层模式而言, 这一结果不合理; 同时, 在侧边界 (38°S 、 38°N) 上, 还出现过强的经向质量流。为克服此缺陷, 构造

$$\bar{\Psi} = w_1 \bar{\Psi}_1 + w_2 \bar{\Psi}_2 \quad (6)$$

其中, w_1 、 w_2 是 $\bar{\Psi}_1$ 、 $\bar{\Psi}_2$ 的权重函数, 它们是 p 的线性函数 (图 1b)。 $\bar{\Psi}$ 满足边界条件 (5), 并且抑制了穿过侧边界的强质量流。本文即用这一简单方案计算平均经圈环流质量流函数。

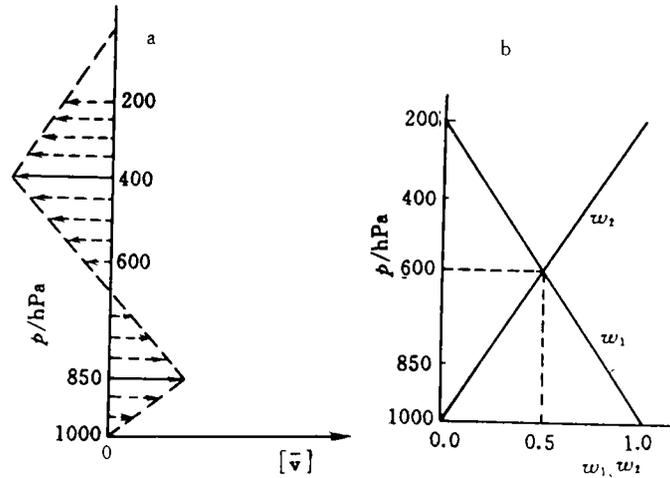


图1 质量流函数的计算中用到的图
a. $[\bar{v}]$ 插值方案; b. 权函数 w_1 、 w_2

2 平均经圈环流的季节变化

图 2 给出了 C 试验 (可认为是模式大气气候状况) 4~9 月平均经圈环流, 其主要系统是 Hadley 环流圈。由图 2 见, 模式大气平均 Hadley 环流位置和强度季节变化的基本特点有 (1) 南、北半球两个 Hadley 环流圈及其共有的上升支由春至夏随热赤道北移而北移, 7、8 月到达并稳定在最北位置; (2) 半球 Hadley 环流冬强夏弱, 变化周期为一年, 过渡季节 (4 月) 两半球 Hadley 环流强度相当; (3) Hadley 环流的上升支冬、夏强, 春、秋弱, 变化周期为半年。与实际大气平均经圈环流的季节变化^[5] 比较, 模式大气 Hadley 环流的季节变化特点非常接近实际大

气。

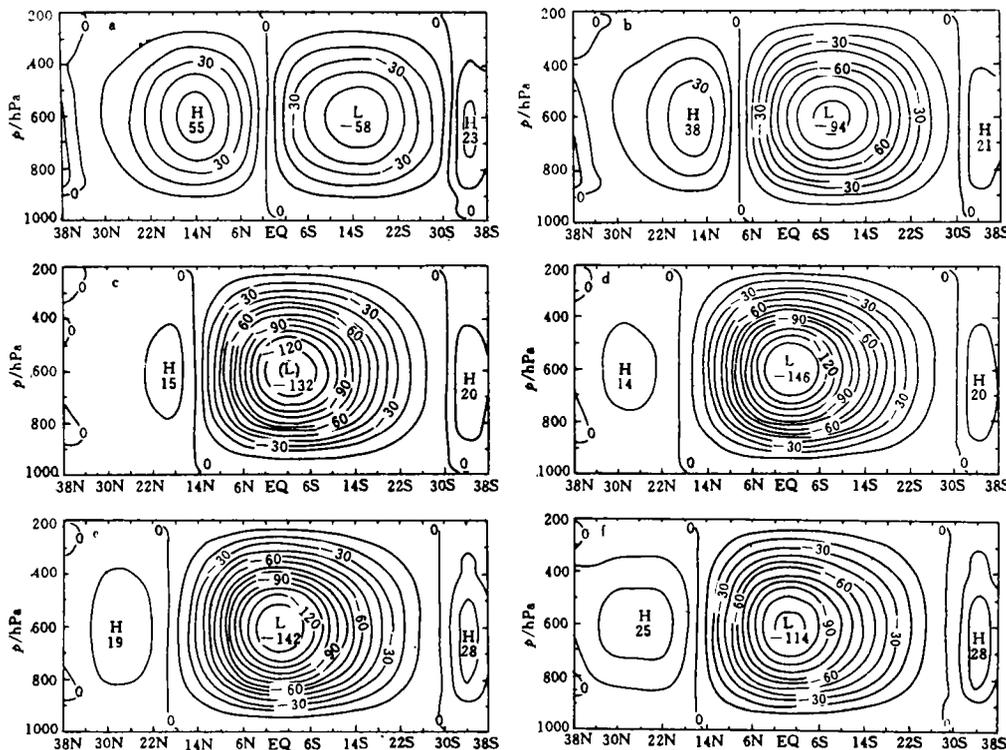


图2 平均经圈环流 图中等值线间隔为10,单位为 $10^{12}g \cdot s^{-1}$
 a. 4月; b. 5月; c. 6月 d. 7月; e. 8月; f. 9月

3 El Niño 年平均经圈环流的异常

用与 C 试验相同的方法确定 S 试验逐月平均经圈环流(图略)。定义 S 试验中(即 El Niño 年)平均经圈环流的异常为

$$\Delta\Psi = \Psi_s - \Psi_c \tag{7}$$

式中, Ψ_s 、 Ψ_c 分别为 S、C 试验中平均经圈环流的质量流函数。由于 C 试验近于模式大气的气候状况,故称 $\Delta\Psi$ 为平均经圈环流的距平(简称距平经圈环流),在本文中,距平经圈环流是平均经圈环流在 El Niño 年异常的表现。图3给出了4~9月的 $\Delta\Psi$ 图,可见在1983年El Niño事件期间,模式大气平均经圈环流的异常可明显地区分为两个阶段(4~6月和7~9月)。

4~6月:距平图上始终存在一个中心位于(6°N, 600hPa)的高值距平经圈环流系统,与平均经圈环流相比,其强度也是不可忽略的。由于它位于该季节南、北半球 Hadley 环流中心之间,表明 S 试验平均 Hadley 环流的季节性向北推进进程被滞后。从垂直气流看, Hadley 环流上升支的6°N 以南的部分异常增强,表明赤道辐合带(ITCZ)将稳定在偏南位置;20°N 附近的下沉气流将被加强(以4、5月为最)并稳定在那里,导致北半球副高系统北进偏早、强度偏强,和夏季副高位置偏南。上述特点在模式大气季风区环流的分析中得到证实^[4],并与1983年实际大气环流的异常分析结果相一致^[6,7]。

7~9月:距平图上已无闭合环流圈,但以赤道为界,南半球上升、北半球下沉的弱异常气流

仍存在。

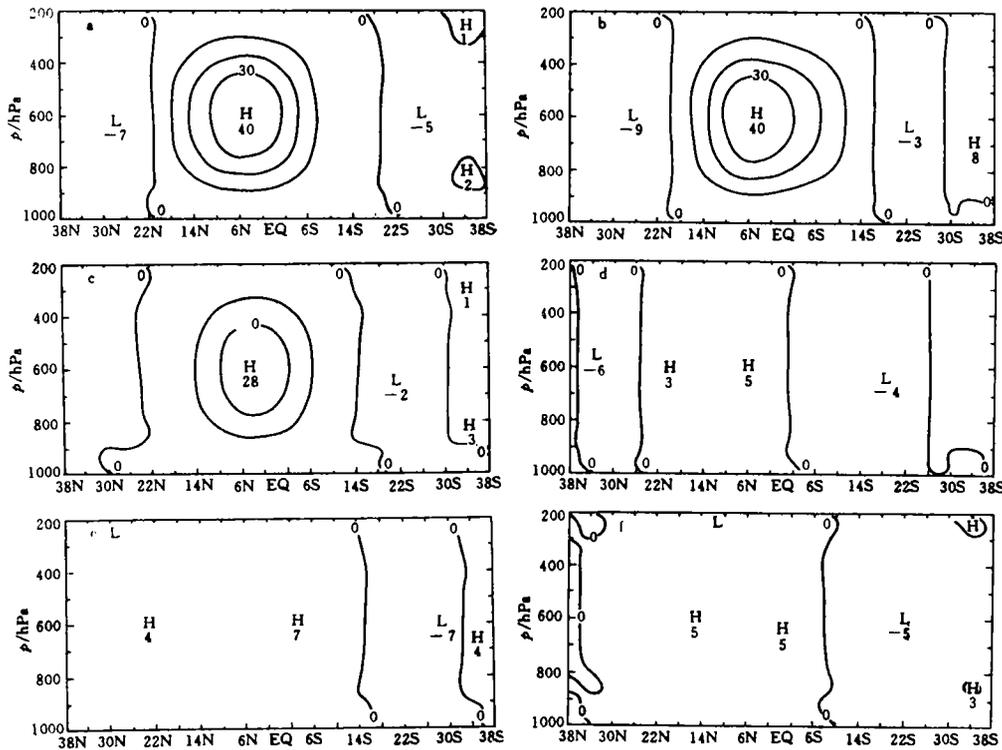


图3 异常经圈环流,其余同图2

4 讨论

众所周知,由于热带地转参数甚小,大气经圈环流对下垫面热力强迫的纬际差异响应敏感,平均 Hadley 环流主要起因于这种热力强迫。由文献[8],El Niño 期间 SST 异常的特点是赤道附近 SST 的全局性偏高(西太平洋区域例外),且异常区域的经向位置少动,由此产生的异常经圈环流应当具有图2虚线的形式。

存在两方面的原因可使图2中距平经圈环流在6、7月间发生强度的明显减弱;其一是1983年 El Niño 事件中 SST 异常强度6~7月明显由强转弱,这可由文献[4]中1983年逐月 SST 距平图看出。其二是6、7月模式大气基本环流发生了显著变化,即使异常热力强迫不变,距平经圈环流也可能明显改变。

致谢:袁重光教授、刘家铭教授和雷兆崇教授对本工作给予许多帮助,一并致谢。

参 考 文 献

- 1 叶笃正,曹庆存,郭裕福.当代气候研究.北京,气象出版社,1991. 295~312
- 2 洛伦茨 E.N. 大气环流的性质和理论.北京大学地球物理系气象专业译.北京,科学出版社,1976. 39
- 3 Yuan Chongguang. A simulation of East Asian monsoon by using IAP 2-L GCM. In: LASG. Annual Report. Beijing, LASG, 1987, 232~265
- 4 Wang Panxing, Lau K M, Shen S H. Anomalies of the background circulation of the IAP GCM model atmosphere in the

an El Nino year. A M S, 1991, 5, 608~616

- 5 吴国雄, 刘还珠. 全球大气环流时间平均统计图集. 北京: 气象出版社, 1987. 13~14
- 6 候水林. 1983年世界气候概况. 气象, 1984, 4, 22~25
- 7 徐良炎, 陈国珍, 李小泉. 1983年我国天气气候特点和北半球主要环流特征. 气象, 1984, 4, 21
- 8 李俊, 王盘兴, 何金海. 全球一月海表温度场的通相关结构分析. 南京气象学院学报, 1989, 12, 34~43

DIAGNOSIS OF MEAN MERIDIONAL CIRCULATION OF THE MODEL ATMOSPHERE IN THE GCM WITH LOW RESOLUTION VERTICALLY

Wang Panxing

(Department of Meteorology, Nanjing Institute of Meteorology, 210044, Nanjing, PRC)

Abstract A scheme is proposed for calculating the streamfunction of the mass in mean meridional circulation in the GCM of low resolution vertically. Results show that for the model Hadley circulation, its seasonal change is identical to that of the real atmosphere. It is found that, separated from the mean meridional circulation of the model atmosphere in the El Niño year can be an anomalous circulation in close relation to the El Niño-type SST anomaly, which gives rise to the lagging transition of the average Hadley circulation into the northern mid summer type.

Keywords GCM with low resolution vertically, mean meridional circulation, seasonal change, El Niño year