

低阶谱模式的| 种新方案及其应用

曹 杰, 尤亚磊

(云南大学 大气科学系, 昆明 650091)

(黄永念推荐)

摘要: 针对经典低阶谱模式存在的不足, 提出了在最小二乘准则下通过计算不同函数组合与实测资料间的复相关系数, 从实际观测资料中客观提取能反映具体物理现象的截断函数的新方案克服了应用低阶谱模式研究物理现象时选取截断函数时的主观任意性 将此方法用于研究北半球夏季大气环流年际变化, 利用 1994 年和 1998 年 6 月大气环流资料客观确定相应的函数组合, 从描述大尺度大气运动的准地转两层斜压方程出发, 揭示了造成这两年夏季大气环流演变存在差异的物理机制

关键词: 低阶谱模式; 最小二乘准则; 截断函数基; 夏季大气环流; 物理机制

中图分类号: P456.7 **文献标识码:** A

引 言

自 Lorenz(1963 年) 将低阶谱模式方法引入大气科学研究领域提出著名的 Lorenz 方程以来^[1,2], 低阶谱模式方法在大气科学研究领域得到了较为广泛的应用, 其中特别是 Charney 等人(1979, 1980 年) 在利用低阶谱模式方法研究大气运动中的多平衡态方面, 做了具有划时代意义的开创性工作^[3,4] 此后国内李麦村等(1983, 1987 年)、柳崇健等人(1983 年) 和缪锦海等人(1985 年) 应用低阶谱模式方法, 研究了大气环流中突变等现象的物理机制, 获得了一系列有意义的研究成果^[5~8] 但一些研究, 例如 Tung 等人(1985 年)、Cehelsky 等人(1987 年) 和吕克利等人(1996 年) 指出对于低阶谱系统, 由于所作的简化十分粗糙, 再加之低阶谱模式方法对截断函数基敏感, 若不针对具体物理现象来客观选择截断函数基, 人们就有理由怀疑所获得的有关研究物理问题的结论是其本身的特征, 还是人为因素造成的结果^[9~11]

本文在前人工作的基础上, 提出了一种基于最小二乘准则客观选择截断函数的方法, 并应用此方法揭示了北半球夏季大气环流年际变化的物理机制

1 方法和步骤

为清楚起见且不失一般性, 用三角函数来介绍此低阶谱模式的方法和步骤 应用其他形式的正交函数来作为展函数的方法和步骤以此类推 新的低阶谱模式的方法和步骤为:

收稿日期: 2005_03_10; 修订日期: 2005_10_07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40475040); 国家重点基础研究发展计划资助项目(2003CB415100)

作者简介: 曹杰(1968), 男, 云南个旧人, 教授, 博士(联系人. Tel: + 86_871_5354811; Fax: + 86_871_5033733; E_mail: caoj@ynu.edu.cn)

1. 直角坐标系下的任一与时间和二维空间 (x, y, t) 有关的函数 (x, y, t) , 可以展成

$$(x, y, t) = \sum_{k=0} \sum_{l=0} (A_{1,kl}(t) \cos kx \sin ly + A_{2,kl}(t) \cos kx \cos ly + A_{3,kl}(t) \sin kx \sin ly + A_{4,kl}(t) \sin kx \cos ly), \quad (1)$$

其中 k 为 x 方向的波数, l 为 y 方向波数

2. 若在 $y = 0$ 和 $y = P_y$ 处, 满足边界条件 $\phi|_{x=0} = 0$; x 方向满足周期边界条件, 根据所研究具体物理问题给定 x 和 y 方向波数上限 P_x 和 P_y 的条件下, 式(1)可化简为

$$(x, y, t) = \sum_{l=0}^{P_y} (A_{1,0l}(t) \sin ly + A_{2,0l}(t) \cos ly) + \sum_{k=1}^{P_x} \sum_{l=1}^{P_y} (A_{1,kl}(t) \cos kx \sin ly + A_{3,kl}(t) \sin kx \sin ly) \quad (2)$$

这样, 共有 $M = 2P_x P_y + 2P_y + 1$ 个基函数项; 并令 $g_1 = \sin y, g_2 = \sin 2y, \dots, g_{M-1} = \cos P_x x \sin P_y y$ 和 $g_M = \sin P_x x \sin P_y y$

3. 给定低阶谱截断函数项数 m , 则在 M 个基函数中选出 m 个基函数的组合共有 $N = C_M^m = [M(M-1)(M-2)\dots(M-m+1)]/m!$ 个 第 i 组基函数组合可表示为

$$\begin{cases} f_{i,1} = g_{i_1}, & i_1 = 1, \dots, M-m+1, \\ f_{i,2} = g_{i_2}, & i_1+1 \leq i_2 \leq M-m+2, \\ \vdots \\ f_{i,m} = g_{i_m}, & i_{m-1}+1 \leq i_m \leq M \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

根据所研究物理问题初始时刻 t_0 的实际观测场资料 (x, y, t_0) , 如大气环流研究中常用的某月等压面上高度场和温度场资料等, 相应的样本数为 $n = n_x n_y$, n_x 为 x 方向格点个数, n_y 为 y 方向格点个数, 且一般有 $m \leq n$ 利用最小二乘准则即可计算得第 i 组基函数组合与观测初始场资料间的复相关系数 R_i 为此, 只需解下列联立方程组

$$\begin{cases} b_{i,1} S_{i,11} + b_{i,2} S_{i,12} + \dots + b_{i,m} S_{i,1m} = S_{i,1}, \\ b_{i,1} S_{i,21} + b_{i,2} S_{i,22} + \dots + b_{i,m} S_{i,2m} = S_{i,2}, \\ \vdots \\ b_{i,1} S_{i,m1} + b_{i,2} S_{i,m2} + \dots + b_{i,m} S_{i,mm} = S_{i,m}, \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$S_{i,pq} = \sum_{k=1}^n (f_{i,p,k} - \bar{f}_{i,p})(f_{i,q,k} - \bar{f}_{i,q}), \quad S_{i,p} = \sum_{k=1}^n (f_{i,p,k} - \bar{f}_{i,p})(\bar{f}_{i,k} - \bar{f}_i), \\ \bar{f}_{i,p} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_{i,p,k}, \quad \bar{f}_{i,q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_{i,q,k}, \quad \bar{f}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \bar{f}_{i,k}, \\ i = 1, 2, \dots, N; \quad p, q = 1, 2, \dots, m$$

将系数 $b_{i,1}, b_{i,2}, \dots, b_{i,m}$ 代入下式,

$$R_i = \sqrt{\frac{b_{i,p} S_{i,p}}{S_{i,i}}}, \quad (5)$$

不难获得第 i 组基函数组合与实际观测场资料间的复相关系数 R_i 式(5)中

$$S_{i,i} = \sum_{k=1}^n (\bar{f}_{i,k} - \bar{f}_i)(\bar{f}_{i,k} - \bar{f}_i)$$

以复相关系数最高为标准即可挑选出一组函数组合

4. 将函数 (x, y, t_0) 按选出的函数展开, 代入所研究物理问题的控制方程中, 按经典低阶谱模式的研究方法即可对该物理问题作出分析

2 在北半球夏季大气环流年际变化中的应用

叶笃正等人(1958年)研究指出, 在6月北半球大气环流存在从冬季环流型向夏季环流型的突变^[12] 此后黄荣辉等人(1988, 1992年)研究指出这种现象存在年际差异^[13, 14] 有些年份大气环流以突变的形式从冬季型转变为夏季型, 例如1994年; 而在有些年份又以渐变的形式由冬季型渐变为夏季型, 例如1998年 这种现象预示着大气环流的演变存在不同的内部动力过程 下面, 我们就应用新的低阶谱模式方法来获得蕴涵在这种现象中的物理机制

2.1 基函数的客观选取

给定 $P_x = 6, P_y = 4$ 和 $m = 4$, 不失一般性选定 $\cos y$ 来描述纬向基本流的变化, 相应 $\cos y$ 描述纬向反对称外部热力强迫 在 $y = 0$ 和 $y = \pi$ 处, 满足边界条件 $\partial \psi / \partial x = 0$ 并且在 x 方向满足周期边界条件的函数共有 $M = 49$ 个基函数, 从中选出 $m = 4$ 个的基函数组合共有 211 876 个 根据上述介绍的方法, 分别计算所有组合与由 NCEP/NCAR 提供的 1994 年 6 月位于 300 hPa 和 700 hPa 两个等压面上的实测位势高度物理量场, 和位于 500 hPa 等压面上的实测温度物理量场间的复相关系数^[15], 以平均复相关系数最高为标准选出函数的组合(表 1)

表 1 描述 1994 年 6 月大气环流演变的最佳函数组合

编号	$f_{1, 1994}$	$f_{2, 1994}$	$f_{3, 1994}$	$f_{4, 1994}$	复相关系数
基函数	$\sin x \sin 2y$	$\sin x \sin 4y$	$\cos x \sin 4y$	$\cos y$	0.900

同理可获得描述 1998 年 6 月大气环流演变的最佳函数组合(表 2)

表 2 描述 1998 年 6 月大气环流演变的最佳函数组合

编号	$f_{1, 1998}$	$f_{2, 1998}$	$f_{3, 1998}$	$f_{4, 1998}$	复相关系数
基函数	$\sin x \sin 2y$	$\cos 2x \sin 2y$	$\cos 4x \sin 3y$	$\cos y$	0.907

从表 1 和表 2 可以看出, 尽管仅用了 4 个函数来分别描述 1994 和 1998 年 6 月的大气环流空间分布特征, 但还是保留了实际观测资料所反映的大部分空间分布特征, 两者的复相关系数均通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验 因此, 可以用这两组函数来近似描述 1994 年和 1998 年夏季大气环流的演变及研究其演变的内部非线性动力过程差异

2.2 动力模式和数学推导

采用考虑外部热力强迫, 有耗散的准地转两层斜压模式(Chamey 和 Straus, 1980 年)^[4] 来研究北半球夏季大气环流演变的物理机制 此模式的无量纲形式为:

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -J(\psi, \psi) - J(\psi, \psi) - \frac{\partial \psi}{\partial x} - k^2(\psi - \psi), \\ \frac{\partial \psi}{\partial t} = -J(\psi, \psi) - J(\psi, \psi) - \frac{\partial \psi}{\partial x} - w - 2k^2 \psi + k^2(\psi - \psi), \\ \frac{\partial \psi}{\partial t} = -J(\psi, \psi) - \omega + h_d(\psi - \psi), \end{cases} \quad (6)$$

其中, $\psi = (\psi_1 + \psi_3)/2$ 为平均流函数, $\psi_T = (\psi_1 - \psi_3)/2$ 为平均切变流函数, ψ_1 为高层地转流函数, ψ_3 为低层地转流函数; w 为二层交界面处的垂直速度; $\psi = (\psi_1 + \psi_3)/2$ 为平均位温, ψ^*

为外部热力强迫; $\beta_0 = \beta^2/L^2$, r_0 为 Rossby 变形半径, L 为水平特征尺度; h_d 为牛顿冷却系数, k 为下垫面的 Ekman 抽吸系数, k_0 为交界面的摩擦因数; $\beta_0 = (L/a)\tan\theta_0$, a 为地球半径, J 为 Jacobi 算子 在 $y = 0$ 和 $y = \beta_0$ 处, 满足边界条件 $\psi = 0$; x 方向满足周期边界条件

根据大尺度准地转动力学理论, 同一等压面上流函数 ψ 的空间分布可用位势高度场的空间分布代替^[16] 于是可将平均流函数、垂直速度、平均位温和外部热力强迫按上述获得的函数分别展开为

$$\begin{cases} \psi = \psi_{1,1994}f_{1,1994} + \psi_{2,1994}f_{2,1994} + \psi_{3,1994}f_{3,1994} + \psi_{4,1994}f_{4,1994}, \\ w = w_{1,1994}f_{1,1994} + w_{2,1994}f_{2,1994} + w_{3,1994}f_{3,1994} + w_{4,1994}f_{4,1994}, \\ \theta = \theta_{1,1994}f_{1,1994} + \theta_{2,1994}f_{2,1994} + \theta_{3,1994}f_{3,1994} + \theta_{4,1994}f_{4,1994}, \\ Q^* = Q_{1,1994}^*f_{1,1994} + Q_{2,1994}^*f_{2,1994} + Q_{3,1994}^*f_{3,1994} + Q_{4,1994}^*f_{4,1994}; \end{cases} \quad (7)$$

和

$$\begin{cases} \psi = \psi_{1,1998}f_{1,1998} + \psi_{2,1998}f_{2,1998} + \psi_{3,1998}f_{3,1998} + \psi_{4,1998}f_{4,1998}, \\ w = w_{1,1998}f_{1,1998} + w_{2,1998}f_{2,1998} + w_{3,1998}f_{3,1998} + w_{4,1998}f_{4,1998}, \\ \theta = \theta_{1,1998}f_{1,1998} + \theta_{2,1998}f_{2,1998} + \theta_{3,1998}f_{3,1998} + \theta_{4,1998}f_{4,1998}, \\ Q^* = Q_{1,1998}^*f_{1,1998} + Q_{2,1998}^*f_{2,1998} + Q_{3,1998}^*f_{3,1998} + Q_{4,1998}^*f_{4,1998} \end{cases} \quad (8)$$

将式(7)和式(8)分别代入式(6), 分别乘以 $f_{1,1994}$, $f_{2,1994}$, $f_{3,1994}$ 和 $f_{4,1994}$, 以及 $f_{1,1998}$, $f_{2,1998}$, $f_{3,1998}$ 和 $f_{4,1998}$, 再在区域 $\{x: 0, 2\pi; y: 0, \beta_0\}$ 内积分, 并消去垂直速度分量 w 后即可获得大致描述 1994 年和 1998 年大气环流演变的常微分方程组:

$$\frac{d\psi_{1,1994}}{dt} = -\frac{1024}{525}\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} - \frac{1024}{525}\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} - k(\psi_{1,1994} - \psi_{1,1994}), \quad (9a)$$

$$\frac{d\psi_{2,1994}}{dt} = \frac{2048}{1071}\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} + \frac{2048}{1071}\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} - \frac{3,1994}{17} - k(\psi_{2,1994} - \psi_{2,1994}), \quad (9b)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{3,1994}}{dt} &= \frac{256}{5355}\psi_{4,1994}(3\psi_{1,1994} - 40\psi_{2,1994}) + \frac{256}{5355}\psi_{4,1994}(3\psi_{1,1994} - 40\psi_{2,1994}) + \\ &\quad - \frac{2,1994}{17} - k(\psi_{3,1994} - \psi_{3,1994}), \end{aligned} \quad (9c)$$

$$\frac{d\psi_{4,1994}}{dt} = \frac{128}{35}\psi_{1,1994}\psi_{2,1994} + \frac{128}{35}\psi_{1,1994}\psi_{3,1994} - k(\psi_{4,1994} - \psi_{4,1994}), \quad (9d)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{1,1994}}{dt} &= -\frac{1024}{105}\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} + \frac{64(\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} - \psi_{3,1994}\psi_{4,1994})}{105(1+5\beta_0)} + \\ &\quad \frac{h_d(\psi_{1,1994} - \psi_{1,1994})}{1+5\beta_0} - \frac{10k\psi_{3,1994}\psi_{4,1994}}{1+5\beta_0} + \frac{5k(\psi_{1,1994} - \psi_{1,1994})}{1+5\beta_0}, \end{aligned} \quad (9e)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{2,1994}}{dt} &= -\frac{2048}{63}\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} - \frac{128(\psi_{3,1994}\psi_{4,1994} - \psi_{3,1994}\psi_{4,1994})}{63(1+17\beta_0)} - \\ &\quad \frac{3,1994}{1+17\beta_0} + \frac{h_d(\psi_{2,1994} - \psi_{2,1994})}{1+17\beta_0} - \frac{34k\psi_{3,1994}\psi_{4,1994}}{1+17\beta_0} + \frac{17k(\psi_{2,1994} - \psi_{2,1994})}{1+17\beta_0}, \end{aligned} \quad (9f)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{3,1994}}{dt} &= -\frac{256}{315}\psi_{4,1994}(40\psi_{2,1994} + 40\psi_{2,1994} - 3\psi_{4,1994}\psi_{1,1994} - 3\psi_{1,1994}\psi_{4,1994}) - \\ &\quad \frac{64(10\psi_{4,1994}\psi_{2,1994} - 10\psi_{4,1994}\psi_{2,1994} + 3\psi_{4,1994}\psi_{1,1994} - 3\psi_{1,1994}\psi_{4,1994})}{315(1+17\beta_0)} + \\ &\quad \frac{2,1994}{1+17\beta_0} + \frac{h_d(\psi_{3,1994} - \psi_{3,1994})}{1+17\beta_0} - \frac{34k\psi_{3,1994}\psi_{4,1994}}{1+17\beta_0} + \frac{17k(\psi_{3,1994} - \psi_{3,1994})}{1+17\beta_0}, \end{aligned} \quad (9g)$$

$$\frac{d \phi_{4,1994}}{dt} = \frac{128 \phi_{3,1994} (1 + \phi_{1,1994} + \phi_{3,1994} \phi_{1,1994})}{35} + \frac{h_d (\phi_{4,1994}^* - \phi_{4,1994})}{1 + \phi_0} - \frac{2k \phi_{0,4,1994}}{1 + \phi_0} + \frac{32(3 \phi_{1,1994} \phi_{3,1994} - 3 \phi_{1,1994} \phi_{3,1994} - 10 \phi_{2,1994} \phi_{3,1994} + 10 \phi_{3,1994} \phi_{2,1994})}{315 (1 + \phi_0)} + \frac{k(\phi_{4,1994} - \phi_{4,1994})}{(1 + \phi_0)}; \tag{9h}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d \phi_{1,1998}}{dt} &= -k(\phi_{1,1998} - \phi_{1,1998}), & \frac{d \phi_{2,1998}}{dt} &= -k(\phi_{2,1998} - \phi_{2,1998}), \\ \frac{d \phi_{3,1998}}{dt} &= -k(\phi_{3,1998} - \phi_{3,1998}), & \frac{d \phi_{4,1998}}{dt} &= -k(\phi_{4,1998} - \phi_{4,1998}), \\ \frac{d \phi_{1,1998}}{dt} &= \frac{h_d(\phi_{1,1998}^* - \phi_{1,1998})}{1 + 5\phi_0} - \frac{10k\phi_{0,1,1998}}{1 + 5\phi_0} + \frac{5k(\phi_{1,1998} - \phi_{1,1998})}{1 + 5\phi_0}, \\ \frac{d \phi_{2,1998}}{dt} &= \frac{h_d(\phi_{2,1998}^* - \phi_{2,1998})}{1 + 8\phi_0} - \frac{16k\phi_{0,2,1998}}{1 + 8\phi_0} + \frac{8k(\phi_{2,1998} - \phi_{2,1998})}{1 + 8\phi_0}, \\ \frac{d \phi_{3,1998}}{dt} &= \frac{h_d(\phi_{3,1998}^* - \phi_{3,1998})}{1 + 25R_0} - \frac{50kR_0\phi_{3,1998}}{1 + 25R_0} + \frac{25k(\phi_{3,1998} - \phi_{3,1998})}{1 + 25R_0}, \\ \frac{d \phi_{4,1998}}{dt} &= \frac{h_d(\phi_{4,1998}^* - \phi_{4,1998})}{1 + R_0} - \frac{2kR_0\phi_{4,1998}}{1 + R_0} + \frac{k(\phi_{4,1998} - \phi_{4,1998})}{1 + R_0} \end{aligned} \right. \tag{10}$$

根据式(9)和式(10)即可研究1994年和1998年夏季大气环流演变的非线性内部动力过程1

2.3 结果分析

由于表征外部热力强迫的函数中 $\cos y$ 为纬向不对称加热形式, 其谱系数 $H_{4,1994}^*$ 和 $H_{4,1998}^*$ 均大致反映太阳高度角的年变化1 当 $H_{4,1994}^* < 0$ 或 $H_{4,1998}^* < 0$ 时, 表示南半球加热, 北半球冷却; 而 $H_{4,1994}^* > 0$ 或 $H_{4,1998}^* > 0$ 则表示南半球冷却, 北半球加热1 于是可以粗略地认为 $H_{4,1994}^*$ 和 $H_{4,1998}^*$ 由负变正对应北半球外部热力强迫场由冬季型转变为夏季型; 相应谱系数 $W_{4,1994}$ 和 $W_{4,1998}$ 由负变正大致对应北半球冬季型大气环流转变为夏季型大气环流1

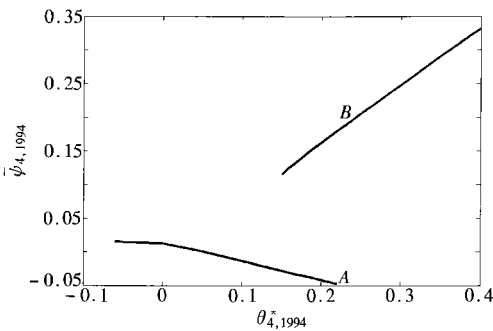


图1 随外部热力强迫参数 $H_{4,1994}^*$ 渐变的基本流的平衡态集合 $W_{4,1994}$

对于1994年北半球大气环流演变的情形, 取 $R_0 = 0.2, h_d = 2kc = k = 0.0114, H_{1,1994}^* = -0.05, H_{2,1994}^* = -0.15$ 和 $H_{3,1994}^* = 0.05$, 通过数值计算, 可以获得随外部热力强迫参数 $H_{4,1994}^*$ 渐变的基本流的平衡态集合 $W_{4,1994}$ (图1)1

从图1可以看出, 随外部热力强迫参数 $H_{4,1994}^*$ 渐变, 基本流的平衡态个数将发生改变, 即出现多平衡态现象1 当 $H_{4,1994}^* < 0.15$ 时, 仅存在单平衡态; 当 $0.15 [H_{4,1994}^* [0.22$ 时, 存在多平衡态; 当 $H_{4,1994}^* > 0.22$ 时, 又仅存在单平衡态1 这种配置就导致随外部热力强迫参数 $H_{4,1994}^*$ 渐变, 基本流将会

从一个平衡态突变到另一个平衡态1 对应1994年大气环流将以突变的方式由冬季型转变为夏季型1

对于1998年北半球大气环流演变的情形, 同样取 $R_0 = 0.2, h_d = 2kc = k = 0.0114$ 1 此时, 随外部热力强迫参数 $H_{4,1998}^*$ 渐变, 基本流的平衡态个数不会发生改变, 仅存在单平衡态, 即

$$\begin{cases} W_{1,1998} = \frac{H_{1,1998}^*}{2}, & W_{2,1998} = \frac{5H_{1,1998}^*}{13}, & W_{3,1998} = \frac{H_{1,1998}^*}{6}, & W_{4,1998} = \frac{5H_{1,1998}^*}{6}, \\ H_{1,1998} = \frac{H_{1,1998}^*}{2}, & H_{2,1998} = \frac{5H_{1,1998}^*}{13}, & H_{3,1998} = \frac{H_{1,1998}^*}{6}, & H_{4,1998} = \frac{5H_{1,1998}^*}{6} \end{cases} \quad (11)$$

这样就导致随外部热力强迫参数 $H_{4,1998}^*$ 渐变, 基本流只会发生渐变 1998 年大气环流将只能以渐变的方式由冬季型转变为夏季型 1

3 结 论

1. 将最小二乘准则引入经典低阶谱模式的研究中 1 在给定截断函数上限和函数选取个数的条件下, 分别计算了所有函数组合与所研究物理问题实测资料间的复相关系数 1 以复相关系数最高客观确定基函数组合 1 这样就在一定程度上克服了经典低阶谱模式研究中人为选取函数的不足 1

2. 将改进的低阶谱模式方法应用于北半球夏季大气环流年际变化的研究中 1 分别计算获得了与 1994 和 1998 年实测大气环流资料复相关系数最高的函数组合 1 这两组基函数均能反映实测资料的大部分空间分布特征 1 由此获得产生北半球夏季大气环流年际变化的原因是其内部非线性动力存在差异 1 由于在 1994 年的低阶谱模式中仍然保留了非线性平流项的作用, 存在明显的波波相互作用和波流相互作用, 导致大气环流演变中存在多平衡态, 其以突变的方式从冬季型环流向夏季型环流转变; 在 1998 年则由于非线性平流项的作用很小, 波波相互作用和波流相互作用很弱, 导致大气环流演变中仅存在单平衡态, 其以渐变的方式从冬季型环流向夏季型环流转变 1

3. 初步的应用结果表明, 新的低阶谱模式方法不仅克服了经典方法中存在的不足, 而且能揭示所研究物理问题间客观存在的差异, 为理论研究提供了一条有效的研究途径 1 为清楚起见, 本文只给出了以一般三角函数为基础的方法介绍和应用实例, 但此方法也适用于其他函数形式, 例如球谐函数等 1

[参 考 文 献]

- [1] Lorenz E N. Deterministic nonperiodic flow[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1963, 20(2): 130-148.
- [2] Lorenz E N. The mechanics of vacillation[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1963, 20(5): 448-464.
- [3] Charney Jule G, Devore John G. Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1979, 36(7): 1205-1216.
- [4] Charney Jule G, Straus David M. Form_drag instability, multiple equilibria and propagating planetary waves in baroclinic, orographically forced, planetary wave systems[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1980, 37(6): 1157-1176.
- [5] 李麦村, 罗哲贤. 6 月和 10 月大气环流突变的非线性机制[J]. 中国科学, B 辑, 1983, 13(2): 187-192.
- [6] 李麦村, 罗哲贤. 湿过程对北半球夏季大气环流的作用[J]. 大气科学, 1987, 11(4): 341-349.
- [7] 柳崇健, 陶诗言. 副热带高压北跳与月尖(CUSP)突变[J]. 中国科学, B 辑, 1983, 13(5): 474-480.
- [8] 缪锦海, 丁敏芳. 热力强迫下大气平衡态的突变与季节变化、副高北跳[J]. 中国科学, B 辑, 1985, 15(1): 87-96.
- [9] Tung K K, Rosenthal A J. Theories of multiple equilibria) a critical reexamination) Part barotrop-

Journal of Atmospheric Sciences, 1985, 42(24): 2804-2819.

- [10] Cehelsky P, Tung K K. Theories of multiple equilibria and weather regimes) a critical reexamination) Part baroclinic two_layer models[J]. Journal of Atmospheric Sciences, 1987, 44(21): 3382-3303.
- [11] 吕克利, 王柏强. 大气平衡态研究中高截谱模式的问题[J]. 热带气象学报, 1996, 12(1): 51-59.
- [12] 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在六月和十月大气环流的突变现象[J]. 气象学报, 1958, 29(4): 249-263.
- [13] 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制[J]. 大气科学, 1988, 12(特刊): 107-116.
- [14] HUANG Rong_hui, SUN Feng_ying. Impacts of tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon[J]. J Meteor Soc Japan, 1992, 70(1): 243-256.
- [15] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40_year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77(3): 437-471.
- [16] 刘式达, 刘式适. 大气动力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991, 186) 198.

New Method for Low Order Spectral Model
and Its Application

CAO Jie, YOU Ya_lei

(Department of Atmospheric Science, Yunnan University,
Kunming 650091, P. R. China)

Abstract: In order to overcome the deficiency existing in classical method of low order spectral model, a new method for low order spectral model was advanced. Through calculating the multiple correlation coefficients between combinations of different function and the recorded data under the least square criterion, the truncated functions which can mostly reflect the studied physical phenomenon was objectively distilled from these data. The new method overcame the deficiency of artificially selecting the truncated functions in the classical low order spectral model. The new method being applied to study the inter-annual variation of summer atmospheric circulation over Northern Hemisphere, the truncated functions were obtained with the atmospheric circulation data of June 1994 and June 1998. The mechanisms for the two-summer atmospheric circulation variations over Northern Hemisphere were obtained with two-layer quasi-geostrophic baroclinic equation.

Key words: low order spectral model; least square criterion; truncated function; atmospheric circulation in summer; physical mechanism