

1991年江淮流域暴雨中不同尺度系统的相互作用*

杨福全 杨大升

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

提 要

通过对1991年7月1~5日东亚地区网格点资料平滑滤波, 将大气运动分解为大尺度背景场和中尺度扰动场. 采用 p 坐标中湿大气动力学方程组, 在两层模式中得到含有不同等压面、不同尺度系统非线性相互作用的方程组. 经过简化, 得到表征低层约700 hPa中尺度系统发展的物理量 $\frac{\partial}{\partial t} \left(\zeta'_1 - \frac{\zeta_{1a}}{R\sigma_m \Delta p + fD^2 \zeta_{3a}} \phi'_1 \right)$. 低层系统的发展和衰减决定于该物理量的正负, 也就是决定于200、500、700hPa各等压面不同尺度的运动场、涡度场和温度场之间的相互作用.

关键词: 平滑滤波; 不同尺度的相互作用; 中尺度系统发展.

引 言

1991年梅雨期间, 江淮地区出现了持续性大暴雨. 研究表明梅雨锋暴雨出现在一定的大尺度背景环流中^[1~5]. 主要的降水系统是其中的一些天气尺度系统或中小尺度系统, 通过中小尺度系统内的对流活动, 暴雨过程又可对大尺度背景场起反馈作用, 改变原有的风场、湿度场和大气层结等.

研究不同尺度系统之间的相互作用, 首先要用一定的滤波器将不同的大气运动分离. Holopainen 和 Nurmi 利用水平滤波技术曾得出波流之间的相互作用^[6]. 陈受钧和谢安利用9点平滑算子指出对流层上层和下层动能的不同输送方向^[7]. 徐祥德利用滤波器对急流出口区的暴雨进行了诊断分析^[8]. Caney 和 Vincent 曾指出: 暴雨过程中的强对流发生后, 水平平流项之间的相互作用是非常明显的^[9].

本文利用 p 坐标系中的湿大气动力学一级方程组, 采取9点平滑运算, 利用1991年7月1~5日的 $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬距格点资料, 对暴雨过程进行诊断, 得出这次暴雨过程中不同层次等压面、不同尺度系统的各非线性相互作用项对低层中尺度系统发展的作用.

1 基本方程组与滤波

以大气中大尺度背景场 \bar{A} 做为背景场, 在其中叠加中小尺度场 A' , 则有

* 由国家重点课题 08-06-01《暴雨过程中大尺度和次天气尺度系统的相互作用》资助.

1994-09-30 收到, 1994-12-09 收到修改稿.

$$A = \bar{A} + A' \quad (1)$$

如 \bar{A} 表示平滑后的场(低频部分), 则 $A' = A - \bar{A}$ 表示中小尺度或高频部分. 在仅考虑大尺度对流凝结潜热释放和无摩擦的条件下, p 坐标系一级简化方程组为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial p} = -\frac{RT}{p} \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla)T + \vec{V} \cdot \nabla\left(\frac{L}{c_p}q\right) - \sigma_m \omega = 0 \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad (6)$$

方程组中的气象要素¹⁾含有大气长波和引起天气变化的中小尺度波, 根据式(1)有

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ \omega \\ \phi \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{u}(x, y, z) \\ \bar{v}(x, y, z) \\ \bar{\omega}(x, y, z) \\ \bar{\phi}(x, y, z) \\ \bar{T}(x, y, z) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u'(x, y, z, t) \\ v'(x, y, z, t) \\ \omega'(x, y, z, t) \\ \phi'(x, y, z, t) \\ T'(x, y, z, t) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\sigma_m = -\frac{T}{\theta_{*}} \frac{\partial \theta_{*}}{\partial p} \simeq -\frac{\partial T}{\partial p} + \frac{1}{c_p \rho} - \left(0.46 T + \frac{L}{c_p}\right) \frac{\partial q}{\partial p} \quad (8)$$

其中, σ_m 为大气湿静力稳定度, q 的局地变化较小, 通常可略去, $q \approx \bar{q}$ ^[10]. \bar{q} 可作为环境场中的已知量. 将式(7)代入式(2)~(6), 利用大气环境场的方程组可得到决定中尺度扰动场的方程组^[11, 12]

$$\frac{\partial u'}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial u'}{\partial x} + u' \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + u' \frac{\partial u'}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial u'}{\partial y} + v' \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} - fv' = -\frac{\partial \phi'}{\partial x} \quad (9)$$

$$\frac{\partial v'}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial v'}{\partial x} + u' \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + u' \frac{\partial v'}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial v'}{\partial y} + v' \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + v' \frac{\partial v'}{\partial y} + fu' = -\frac{\partial \phi'}{\partial y} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \phi'}{\partial p} = -\frac{RT'}{p} \quad (11)$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} + (\vec{V}' \cdot \nabla)T' + (\vec{V}' \cdot \nabla)\bar{T} + (\vec{V}' \cdot \nabla)T' + \vec{V}' \cdot \nabla\left(\frac{L}{c_p}\bar{q}\right) - \sigma_m \omega' = 0 \quad (12)$$

$$\nabla \cdot \vec{V}' + \frac{\partial \omega'}{\partial p} = 0 \quad (13)$$

定义大尺度涡度 $\bar{\zeta}$ 和扰动涡度 ζ' 为

$$\bar{\zeta} = \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}}{\partial y}, \quad \zeta' = \frac{\partial v'}{\partial x} - \frac{\partial u'}{\partial y} \quad (14)$$

将式(9)和(10)化为关于扰动涡度 ζ' 的方程, 将式(11)中的 T' 代入式(12), 再利用

1) 方程中各项除注明外, 均为常规气象要素, 下同.

式(13)则得关于 ζ'_1, ω' 和 $\frac{\partial \psi'}{\partial p}$ 的方程组. 将所得到的方程组写在两层模式中, 其中涡度方程写在第 1、3 层, $\frac{\partial \psi'}{\partial t}$ 方程写在第 2 层, 略去较小的 β 项, 得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta'_1}{\partial t} + (\vec{V}_1 \cdot \nabla) \zeta'_1 + (\vec{V}'_1 \cdot \nabla) \bar{\zeta}_1 + (\vec{V}'_1 \cdot \nabla) \zeta'_1 - f \left(\frac{\partial \omega'}{\partial p} \right)_1 - \bar{\zeta}_1 \left(\frac{\partial \omega'}{\partial p} \right)_1 - \\ \zeta'_1 \left(\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} \right)_1 - \zeta'_1 \left(\frac{\partial \omega'}{\partial p} \right)_1 = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta'_3}{\partial t} + (\vec{V}_3 \cdot \nabla) \zeta'_3 + (\vec{V}'_3 \cdot \nabla) \bar{\zeta}_3 + (\vec{V}'_3 \cdot \nabla) \zeta'_3 - f \left(\frac{\partial \omega'}{\partial p} \right)_3 - \bar{\zeta}_3 \left(\frac{\partial \omega'}{\partial p} \right)_3 - \\ \zeta'_3 \left(\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial p} \right)_3 - \zeta'_3 \left(\frac{\partial \omega'}{\partial p} \right)_3 = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{p}{R} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \psi'}{\partial p} \right)_2 + \vec{V}_2 \cdot \nabla T'_2 + \vec{V}'_2 \cdot \nabla (\bar{T}_2 + \frac{L}{c_p} \bar{q})_2 + (\vec{V}'_2 \cdot \nabla) T'_2 - \\ \sigma_m \omega'_2 = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

胡伯威^[10]曾指出, 对于中高纬的天气-次天气尺度运动, 其涡度场仍是准地转的. 但为了保留低层次天气尺度运动的非地转特性, 仅在高层取地转近似, 即令

$$\zeta'_3 \simeq \frac{1}{f} \nabla^2 \phi'_3 \quad (18)$$

而

$$\frac{1}{f} \nabla^2 \phi'_3 = -\frac{4}{f} \frac{1}{d^2} (\phi'_3 - \bar{\phi}_3) \quad (19)$$

其中 d 为网格距, $\bar{\phi}_3$ 为指定格点四周的平均扰动位势高度. 一般平均场比较定常, 故

$$\frac{\partial \zeta'_3}{\partial t} \simeq -\frac{1}{fD^2} \frac{\partial \phi'_3}{\partial t} \quad (20)$$

其中 $D = d/2$ 为中尺度系统水平特征尺度的量度. 再利用中央差分代替垂直微商, 同时上下边界条件取为

$$p = 0, p = 1000 \text{ hPa 时}, \omega_i = 0 \quad (i = 0, 4) \quad (21)$$

则式(9)~(13)变为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta'_1}{\partial t} + (\vec{V}_1 \cdot \nabla) \zeta'_1 + (\vec{V}'_1 \cdot \nabla) \bar{\zeta}_1 + (\vec{V}'_1 \cdot \nabla) \zeta'_1 + \frac{(f + \bar{\zeta}_1)}{\Delta p} \omega'_2 + \\ \zeta'_1 \nabla \cdot \vec{V}_1 + \zeta'_1 \frac{\omega'_2}{\Delta p} = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} -\frac{1}{fD^2} \frac{\partial \phi'_3}{\partial t} + (\vec{V}_3 \cdot \nabla) \zeta'_3 + (\vec{V}'_3 \cdot \nabla) \bar{\zeta}_3 + (\vec{V}'_3 \cdot \nabla) \zeta'_3 - \frac{(\bar{\zeta}_3 + f)}{\Delta p} \omega'_2 + \\ \zeta'_3 \nabla \cdot \vec{V}_3 + \zeta'_3 \nabla \cdot \vec{V}'_3 = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial t} \frac{p_2}{R} \left(\frac{\phi_1 - \phi_3}{\Delta p} \right) + \vec{V}_2 \cdot \nabla T'_2 + \vec{V}'_2 \cdot \nabla (\bar{T}_2 + \frac{L}{c_p} \bar{q})_2 + (\vec{V}'_2 \cdot \nabla) T'_2 - \\ \sigma_m \omega'_2 = 0 \end{aligned} \quad (24)$$

由式(23)、(24) 消去 $\frac{\partial \phi'_3}{\partial t}$, 再和式(22) 联立, 消去 ω'_2 得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta_1'}{\partial t} + A \frac{\partial \phi_1'}{\partial t} = & - (\vec{V}_1 \cdot \nabla) \zeta_1' - (\vec{V}_1' \cdot \nabla) \bar{\zeta}_1 - (\vec{V}_1' \cdot \nabla) \zeta_1' - \\ & \zeta_1' \nabla \cdot \vec{V}_1 - AR [\vec{V}_2 \cdot \nabla T_2' + \vec{V}_2' \cdot \nabla (\bar{T}_2 + \frac{L}{c_p} \bar{q})_2 + (\vec{V}_2' \cdot \nabla) T_2'] - \\ & AfD^2 [(\vec{V}_3 \cdot \nabla) \zeta_3' + (\vec{V}_3' \cdot \nabla) \bar{\zeta}_3 + (\vec{V}_3' \cdot \nabla) \zeta_3' + \zeta_3' \nabla \cdot \vec{V}_3 + \\ & \zeta_3' \nabla \cdot \vec{V}_3'] \end{aligned} \quad (25)$$

其中 $A = - (f + \bar{\zeta}_1 + \zeta_1') / [R\sigma_m \Delta p + fD^2 (f + \bar{\zeta}_3 + \zeta_3')]$ 是 700 hPa (为了计算方便, 取 750 hPa) 等压面上扰动涡度和位势高度变率的比值 (单位: m/s^2)。中尺度系统发展时, $\frac{\partial \zeta_1'}{\partial t} > 0$ 而 $\frac{\partial \phi_1'}{\partial t} < 0$, 因此可以用 $\frac{\partial \zeta_1'}{\partial t}$ 和 $\frac{\partial \phi_1'}{\partial t}$ 的某种线性组合 $S = \frac{\partial \zeta_1'}{\partial t} + A \frac{\partial \phi_1'}{\partial t}$ 来综合反映低层中尺度系统的变化。当 $S > 0$ 时, 中尺度系统发展。反之减弱。

采用 9 点平滑公式计算大尺度场:

$$\begin{aligned} \bar{A}_{i,j} = & A_{i,j} + \frac{S(1-S)}{2} (A_{i+1,j} + A_{i-1,j} + A_{i,j+1} + A_{i,j-1} - 4A_{i,j}) + \\ & \frac{S^2}{4} (A_{i+1,j+1} + A_{i-1,j+1} + A_{i-1,j-1} + A_{i+1,j-1} - 4A_{i,j}) \end{aligned} \quad (26)$$

计算时, 令平滑系数 $S = 1/2$, 用实际格点资料减去对式 (26) 平滑适当次数得到的值, 即为中尺度系统格点值。本文对大尺度场平滑 6 次, 中尺度场是用实际场减去平滑 4 次的大尺度场得到的。故大尺度背景场大约为 1500 km 以上的长波, 中尺度扰动场的尺度为 500 ~ 1000 km 左右。

2 暴雨期间的中尺度扰动场

7 月 1~5 日大尺度背景场的主要特点是副高强大, 位置稳定。长江上游到川东地区一带始终有一低压维持, 它和我国华北东北地区到蒙古一带的高压形成了有利于降水发生的东高西低的形势。这种形势有利于南海、北部湾和孟加拉湾的暖湿气流向江淮流域输送, 并使得雨带在江淮地区稳定少动。

天气经验指出: 暴雨的产生与西南低涡, 冷暖切变线、中尺度积云和对流云团等中小尺度系统有密切关系。从 7 月初表征中小尺度系统演变过程的流线图看出, 7 月 1 日 08 时 (北京时, 下同) 江淮流域为气旋式辐合环流的负扰动区, 也是降水区, 此时长江下游, 四川盆地各有一个降水中心 (图略)。扰动流线辐合的位置大致和降水中心重合。2 日 20 时 (图 1a) 有来自孟加拉湾和东海的两支气流在四川盆地和宜昌地区汇合, 形成一个气旋环流中心。太湖地区是一个气旋扰动区。这一日太湖, 苏州地区都有大暴雨发生。3 日 08 时这个气旋式环流区范围向长江中游发展 (图 1b), 东西范围有所扩大。3 日和 4 日 20 时江淮流域仍是气旋式环流区, 中心位于淮河流域。同时扰动流场也表明 08 时和 20 时长江中游和上游各有一个扰动流场辐合区 (图 1c)。暴雨落区和流线辐合区配合得较好。以上的分析表明, 把扰动高度场和扰动流场结合起来, 可以比较好地分析中尺度系统发展与暴雨的关系。一般扰动流场的辐合区往往与暴雨区配合得较好, 如果扰动场和相应的流场重合, 更利于暴雨的产生。

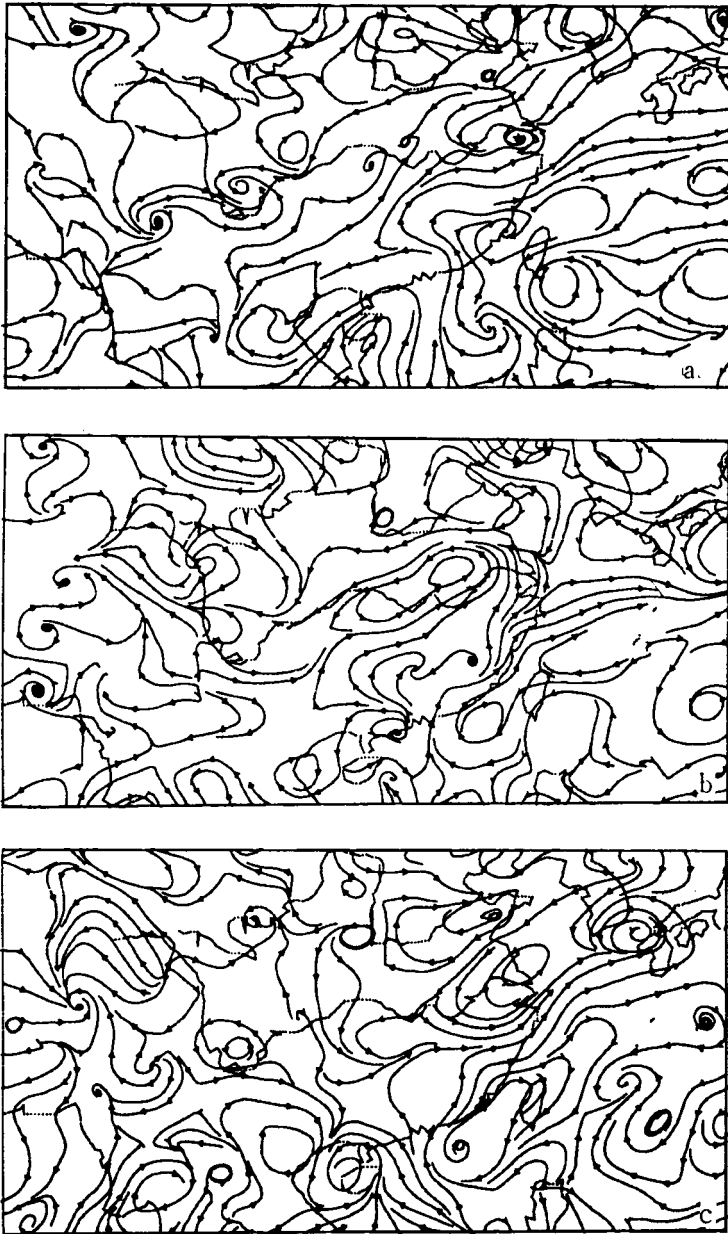


图 1 1991年7月(a)2日20时(北京时,下同)(b)3日08时(c)4日08时的扰动流线图

Fig. 1 The Perturbation streamline at (a)2000 July 2, 1991 (b)0800 July 3, 1991 (c)0800 July 4, 1991 (LT)

3 不同等压面上不同尺度系统对 700 hPa 扰动流场、位势场的影响

下面逐项讨论式(25)中各项对低层 700hPa 中小尺度扰动系统发展的影响。

① $S_1 = -(\vec{V}_1 \cdot \nabla) \zeta_1'$ 表示低层 700hPa 大尺度环境流场对中尺度扰动涡度场的平流作用. $S_1 > 0$ 的地区中尺度系统发展, 有利于暴雨发生. 从 7 月 1~5 日 08 时和 20 时的

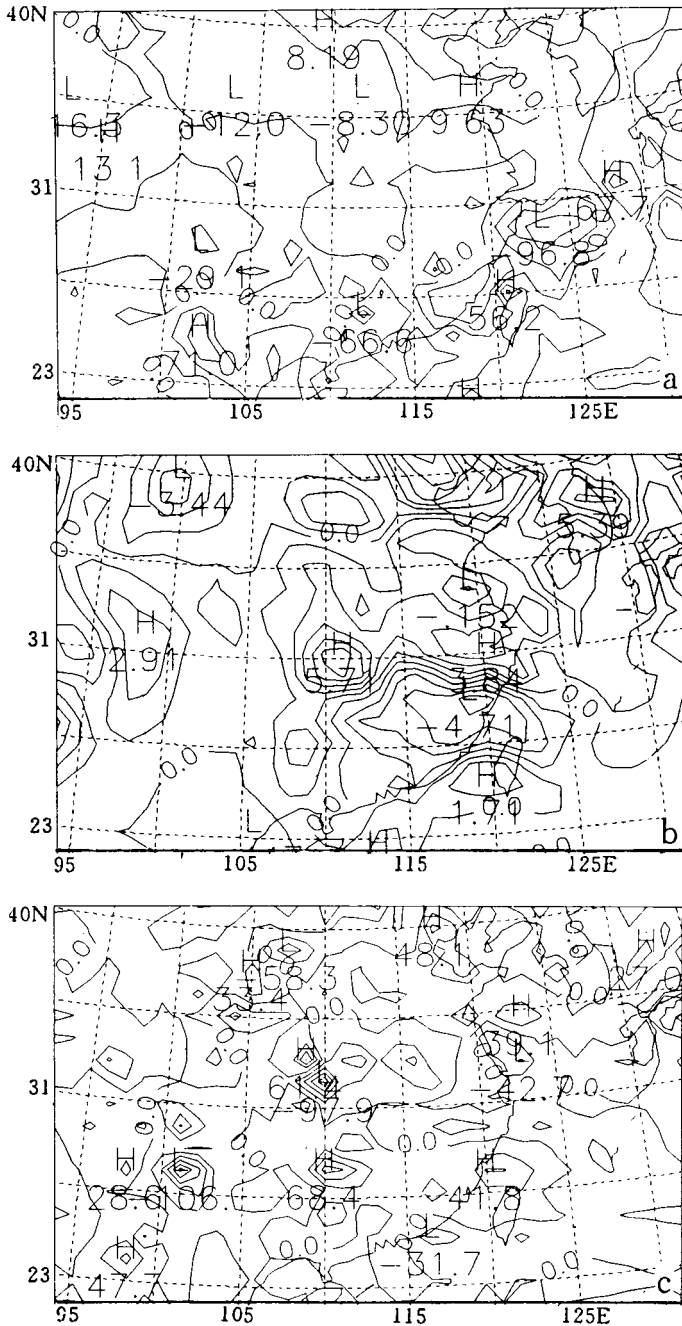


图 2 1991 年 7 月 (a)4 日 08 时 S_1 (b)1 日 08 时 S_4 (c)3 日 08 时 S_5 分布图(单位: $\times 10^{-9} s^{-2}$)

Fig. 2 The distribution of (a) S_1 at 0800, 4 July 1991 (b) S_4 at 0800, 1 July 1991 (c) S_5 at 0800, 3 July 1991 (unit: $\times 10^{-9} s^{-2}$)

S_1 的分布图以及雨量分布图可以看出: S_1 的正值区与降雨区结合得比较好(图 2a)。因此在大尺度背景场下产生的中尺度扰动往往在大尺度风场的输送下,在下风向处产生降水。

② $S_2 = -(\vec{V}_1 \cdot \nabla) \bar{\zeta}_1$ 表示低层 700hPa 中尺度扰动流场对环境大尺度涡度场的平流。在 $S_2 > 0$ 的区域,中尺度系统发展。7 月 1~5 日的 S_2 正值主要位于江淮流域以北地区(图略),其作用范围和数量级要比 S_1 小。

③ $S_3 = -(\vec{V}'_1 \cdot \nabla) \zeta'_1$ 低层中尺度流场对中小尺度涡度场的平流。 $S_3 > 0$ 有利于中尺度系统发展和暴雨的产生。在小扰动方程中, S_3 通常被视为二阶扰动小量略去。但从我们的分析结果来看, S_3 表示的小扰动非线性相互作用可以在某些地点引起较强的降水。它具有和 S_2 相同的数量级(图略),在诊断中最好不要轻易略去。

④ $S_4 = -\zeta'_1 \nabla \cdot \vec{V}_1$ 表示低层大尺度环境场散度和中小尺度扰动涡度场对中小尺度系统发展的影响。天气分析表明,低层中尺度扰动涡度为正时,即 $\zeta'_1 > 0$,则当低层大尺度环境场辐合时,有 $S_4 > 0$ 。故有利于中尺度系统的发展。实际上, $S_4 > 0$ 的区域与降水区符合得较好(图 2b)。

⑤ $S_5 = -AR \vec{V}_2 \cdot \nabla T'_2$ 表示中层 500hPa 环境大尺度风场通过扰动温度场的平流对低层扰动场发展的作用。 AR 是一个有量纲的负数,其量纲为 $(s \cdot ^\circ C)^{-1}$ 。 $S_5 > 0$ 即 $-\vec{V}_2 \cdot \nabla T'_2 < 0$ 时,低层中尺度系统易发展。图 2c 是 7 月 3 日 S_5 正值区和负值区的过渡带,位于整个长江中下游地区,表明这一日有较强的冷暖平流在长江中下游交绥。同时雨量图(图略)上也表明这一日长江下游南部有一较强的降水中心。

⑥ $S_6 = -AfD^2 \vec{V}_3 \cdot \nabla \bar{\zeta}_3$ 表示 200 hPa 扰动风场通过大尺度环境场的涡度平流对低层中尺度系统发展的作用。7 月初江淮流域基本为 S_6 正值区(图略),故对低层中尺度系统发展有利。

⑦ $S_7 = -AfD^2 \vec{V}_3 \cdot \nabla \zeta'_3$ 表示 200 hPa 大尺度环境场对中尺度扰动涡度场的平流输送对低层扰动发展的影响。计算结果表明(图略),7 月初江淮流域基本为 S_7 弱正值区。

⑧ $S_8 = -AfD^2 \zeta'_3 \nabla \cdot \vec{V}_3$ 表示 200hPa 大尺度环境场的辐合辐散和中小尺度扰动涡度共同作用对低层中尺度扰动的影响。7 月 1 日 S_8 在江淮流域为正值区,对该日的降水有正作用。梅雨暴雨期间,高层 200hPa 是大尺度反气旋环流辐散区,若此时高层的中尺度扰动涡度为气旋式涡度时,则对低层中尺度系统发展有利。

⑨ $S_9 = -AR \vec{V}_2 \cdot \nabla (\bar{T}_2 + \frac{L}{c_p} \bar{q})$, $S_{10} = -AR \vec{V}_2 \cdot \nabla T'_2$, $S_{11} = -AfD^2 (\vec{V}_3 \cdot \nabla) \zeta'_3$, 这 3 个二阶扰动项的数量级都较小,对低层中尺度系统发展贡献不大。

4 诊断分析

由式(25)可知,等式左边用了高层的地转近似和天气分析中的经验关系,同时加热过程只考虑了大尺度凝结加热,所以式(25)是近似成立的。但是这个方程可用来判断诊断方

案是否准确. 因为等式两边的量可以用格点资料独立算出. 如诊断合理, 则等式两边分别计算得到的值应近似相等. 等式左边的量可以用低层等压面上的扰动位势高度场和涡度场 24h 的前差或后差, 再对扰动位势高度场的时间差分乘以适当的参数 A 来决定. 式

(25)等式右边逐日的 S_i 极值和 $\sum_{i=1}^{11} S_i$ 的比较如表 1 所示. 值得注意的是: 逐日各项 20 时的数值普遍比 08 时的数值要小, 每天的 $\frac{\partial \zeta'_1}{\partial t} + A \frac{\partial \phi'_1}{\partial t}$ 与 $\sum_{i=1}^{11} S_i$ 的差值(图略)也比较小, 至少可以小一个数量级. 江淮流域二者的差一般小于 $20 \times 10^{-9} \text{s}^{-2}$, 很少能达到 $40 \times 10^{-9} \text{s}^{-2}$. 这表明实际资料所表示的式(25)的平衡关系是好的, 故我们的诊断关系和分析基本可信.

表 1 逐日 S_i 极值和 $\sum_{i=1}^{11} S_i$ 的比较(单位: $\times 10^{-9} \text{s}^{-2}$)

Table 1 Comparisons of daily extrema S_i with $\sum_{i=1}^{11} S_i$ (unit: $\times 10^9 \text{s}^{-2}$)

极值	1日		2日		3日		4日		5日		
	0800	2000	0800	2000	0800	2000	0800	2000	0800	2000	
S_1	max	48.6	40.9	47.1	40.3	67.6	51.2	67.6	51.2	60.4	42.8
	min	-56.8	-4.0	-56.9	-4.4	-10.6	-0.3	-96.7	-10.7	-51.3	-8.2
S_2	max	6.7	16.1	39.5	23.1	11.4	5.1	11.4	5.1	10.5	15.4
	min	-19.8	-1.1	-48.7	-11.5	-96.7	-10.7	-33.6	-3.5	-12.8	1.0
S_3	max	8.9	14.8	14.5	8.4	9.7	3.4	9.7	3.4	7.9	5.5
	min	-19.5	-0.0	-6.8	0.4	-33.6	-3.5	-16.9	1.3	-8.8	-2.5
S_4	max	6.8	7.5	5.3	4.5	12.0	5.6	12.0	5.6	6.2	6.0
	min	-9.7	-3.9	-7.2	1.0	-16.9	1.3	-8.5	-0.3	-3.8	0.0
S_5	max	6.7	9.8	10.7	4.7	11.5	3.3	11.5	3.3	2.2	3.9
	min	-10.6	-0.4	1.0	-9.7	-8.5	-2.6	-26.5	-3.9	-3.9	-1.4
S_6	min	20.5	18.6	45.2	36.9	22.7	7.8	25.3	8.4	5.1	9.1
	max	-66.2	0.8	-17.0	0.3	-43.5	-10.8	-38.7	1.6	-6.2	0.5
S_7	max	21.4	2.4	10.1	1.5	11.6	2.5	11.6	2.5	2.6	1.3
	min	-2.1	-0.0	-7.0	-0.5	-38.7	-1.6	-2.9	-0.4	-1.9	-2.8
S_8	max	10.5	2.6	2.8	2.7	4.8	2.2	4.2	4.8	0.5	1.2
	min	-6.5	-0.0	-1.3	0.1	-2.9	-4.3	-2.6	-4.4	-9.6	-2.9
S_9	max	7.1	4.3	5.5	4.9	5.3	3.4	3.3	5.3	3.9	4.4
	min	-13.8	-0.3	-9.4	0.7	-2.6	-0.0	-4.3	-1.8	-2.8	-3.4
S_{10}	max	0.6	0.8	0.5	0.4	0.8	0.3	0.3	0.7	0.3	0.6
	min	-0.4	-0.0	-0.8	-0.7	-0.4	0.1	0.0	-1.9	-0.8	0.0
S_{11}	max	1.1	0.8	0.4	0.2	1.2	0.7	1.2	0.8	0.6	1.1
	min	-0.2	-0.0	-1.0	0.3	0.8	-0.2	-0.4	-0.2	0.0	-0.1
$\sum S_i$	max	178.9	119.6	181.6	127.6	158.6	85.5	158.1	91.1	100.2	91.3
	min	-205.6	-8.9	-155.1	-24.0	-253.6	-32.6	-231.1	-24.2	-101.9	-19.8
$\frac{1}{2}(\sum_{\max} S_i - \sum_{\min} S_i)$	192.3	64.3	168.4	75.8	206.1	59.1	194.6	57.7	101.1	55.6	

注: 表中各项平均范围 $105^\circ \sim 125^\circ \text{E}$ $25^\circ \sim 40^\circ \text{N}$

5 结 论

(1)对低层中尺度系统发展贡献最大的是低层大尺度背景场对该层扰动涡度的平流输送。低层中尺度扰动对环境大尺度涡度场的平流,低层中尺度流场对中尺度扰动涡度场的平流输送对中尺度系统发展的作用大致相同,而低层大尺度场的辐合辐散对中尺度系统发展的作用因时而异,但数量级和前两项大致相同。

(2)高层 200hPa 扰动风场对大尺度环境涡度场的平流,环境大尺度风场对中尺度扰动涡度场的输送以及大尺度环境场的辐合辐散对低层中小尺度系统的北移起阻挡作用,这种阻挡作用比对其发展的直接贡献更明显。

(3)中层 500hPa 大尺度场对中尺度扰动温度场的平流以及扰动风场对大尺度系统温湿场的平流输送对低层中尺度系统的发展也有贡献。

参 考 文 献

- 1 陶诗言,孙淑清,赵思雄等. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980.
- 2 谢义炳. 湿斜压大气的天气动力学问题. 暴雨文集. 长春:吉林人民出版社,1980. 1~15.
- 3 秋山孝子. 梅雨锋的大尺度特征. 国外暴雨专题参考资料(2),1977, 37~58.
- 4 秋山孝子. 梅雨期低空急流北侧频繁发生的暴雨. 国外暴雨专题参考资料(2),1977, 59~68.
- 5 二宫洗三. 梅雨锋暴雨与中间尺度及中尺度扰动. 国外暴雨专题参考资料(2),1977, 167.
- 6 Holopainen E, Nurmi P. Acceleration of a diffluent jet stream by horizontal subgrid scale processes in an example of a scale interaction study employing a horizontal filtering technique. *Tellus*, 1980, **31**: 246~253.
- 7 陈受钧,谢安. 次天气尺度和天气尺度系统之间动能交换的诊断分析. 气象学报, 1981, **39**(4): 408~415.
- 8 徐祥德,朱远琼. 大范围暴雨过程涡旋场特征的滤波试验. 气象学报, 1985, **43**: 72~78.
- 9 Camey T Q and Vincent D G. Meso-synoptic scale interactions during AVE/SES AME I, 10~11, April 1979, Part I, Theoretical development of interaction equations. *Mon. Wea. Rev.* 1986, **114**: 344~352.
- 10 胡伯威. 副热带天气尺度系统短期演变的泛地转分析. 大气科学, 1982, **6**: 422~431.
- 11 Andrews D G and McIntyre M E. Planetary waves in horizontal and vertical shear; the generalized Eliassen-Palm relation and the mean zonal acceleration. *J. A. S.* 1976, **33**: 2031~2048.
- 12 陈忠明. 大尺度环境场影响中低层次天气尺度系统发展和移动的初步分析. 气象学报, 1991, **49**(4): 574~580.

THE INTERACTIONS OF DIFFERENT SCALE SYSTEMS IN THE TORRENTIAL RAIN OVER THE CHANGJIANG AND HUIHE RIVER VALLEY IN 1991

Yang Fuquan Yang Dasheng

(*Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871*)

Abstract

The filtering technique is employed to the grid data sets on 1~5, July, 1991 in the East Asian region. The atmospheric motions are decomposed into the large scale background and the mesoscale perturbation fields. Using the p -coordinate dynamic equation system for the moist air, the equations including the nonlinear interactions of the different scale systems over the various isobaric surfaces in the two-layer model are obtained. After simplification a physical parameter $\frac{\partial}{\partial t} \left(\zeta'_1 - \frac{\zeta_{1a} \phi'}{R\sigma_m \Delta p + fD^2 \zeta_{3a}} \right)$ characterizing the development of the mesoscale system on the lower layer (about 700hPa) is obtained. The development and attenuation of the system would depend upon the positive and negative of the parameter i. e. upon the motion, vorticity and temperature fields and their interaction of various scales on the 200, 500 and 700hPa isobaric surfaces.

Key words: Smooth filtering; Interaction of different scale systems; Development of the mesoscale system.