

中国暴雨中尺度系统发生与发展的 诊断分析和数值模拟 (I) 诊断分析

程麟生

Ying-Hwa Kuo**

彭新东

李小莉

(兰州大学大气科学系, 兰州 730000)

提 要

通过对我国三次(“81.7”、“81.8”和“91.7”)典型大暴雨过程的动力学和热力学诊断来探讨暴雨中尺度系统发生与发展的问題。

大、中尺度天气分析指出,无论是发生在我国东部的“91.7”暴雨过程,还是出现在西部地区的“81.7”和“81.8”暴雨过程,都与在特定大尺度环流形势下持续发展的中尺度系统直接关联。

涡度诊断表明,高、低空正涡度中心的叠加和耦合,并形成一正涡度柱是这类暴雨中尺度系统持续发展的一种共同特征。

根据场分解涡度方程获得的涡源诊断表明,涡源对这类中尺度系统的发生和发展具有重要的动力学贡献。

中尺度热量和水汽收支诊断揭示,视热源 Q_1 和视水汽汇 Q_2 的垂直积分高值区,与低涡或低涡切变线及其暴雨区基本一致; $Q_1(Q_2)$ 的面积平均最大加热(增湿)区间出现在对流层中、上(下)部;由于感热和潜热对流涡动通量辐合的加热,在其上部近乎等于凝结释放潜热量的一半。

关键词:暴雨;中尺度系统;诊断。

1 引 言

在夏季,无论是在我国西部青藏高原的东侧,还是在东部江淮流域和其他地区,经常有暴雨过程发生。因此暴雨已成为我国洪涝灾害的主要天气。近十年,特别值得注意的典型暴雨过程有“81.7”四川特大暴雨过程^{[1][2]}、“81.8”陕、甘、川毗邻区持续暴雨过程^[3],特别是1991年6、7月间在江淮流域出现的百年不遇的持续特大暴雨和严重的洪涝灾害,使我国,特别是江苏、安徽和湖北三省的国民经济和人民生命财产损失严重^[5]。

1992年12月25日收到。

* 85-906 国家科技攻关项目:08-05,08-06 课题资助。

** NCAR, U. S. A.

为了加深对这类暴雨形成机理的认识,进一步提高对造成这类暴雨系统发生和发展的预报能力,我们曾对分别发生在我国西部和东部的三次典型特大暴雨过程进行过系列的诊断分析^[1-4]和数值模拟^{[4][6-7]}。这三次过程是:1981年7月11—15日的四川特大暴雨过程(“81.7”);1981年8月14—22日的陕、甘、川毗邻区持续暴雨的低涡切变线过程(8月14—17日)(“81.8”);1991年6月29日—7月13日的江淮流域持续暴雨的低涡切变线过程(7月4—7日)(“91.7”)。本文将给出与这三次典型特大暴雨过程直接相关联的中- α 尺度系统发生和发展的诊断分析结果要点;而相应的数值模拟研究结果要点将在本文的第二部分给出。

在进行动力学和热力学诊断分析之前,我们首先对上述三次暴雨天气过程予以简述。

2 大、中尺度环流特征分析要点

“81.7”四川特大暴雨过程是典型准稳定的“东高西低、北槽南涡”型环流形势(图1)。在该期间,西伸加强的西太平洋副热带高压和偏东发展的印度季风低压稳定地维持;加深的贝加尔湖低槽东移。在这种准稳定的环流形势下,西南涡形成并持续发展是导致这次暴雨洪涝的直接原因^[1]。

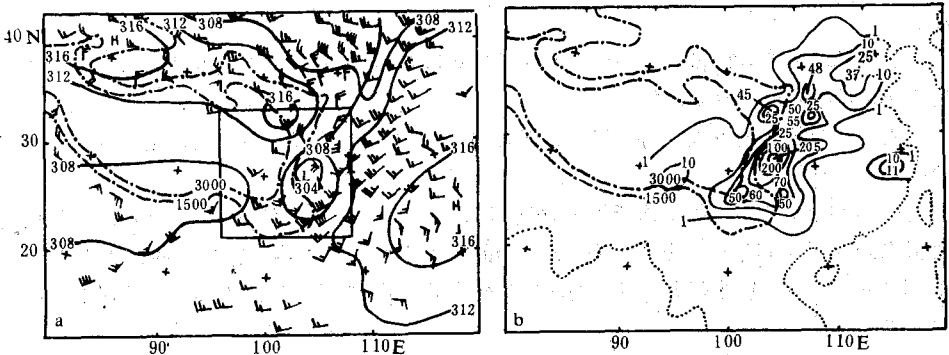


图1 (a)1981年7月13日12UTC的700hPa分析(实线是位势什米等高线)
(b)13日00UTC至14日00UTC的24小时降雨量(mm)
(图中点划线为地形等高线(m);(a)中内方框为后面用图框)

“81.8”陕、甘、川毗邻区暴雨过程的环流形势与上述“81.7”暴雨过程的基本相似,但西南涡伴有切变线,该低涡切变线的形成和准稳定的持续发展与该暴雨过程直接关联^[3]。这种大、中尺度系统配置的典型流型和相应的24小时降雨量在图2中给出。

下面我们简述“91.7”暴雨过程。

众所周知,1991年江淮流域特大暴雨是我国历史上近百年罕见的持续暴雨。在持续暴雨三个时段(5月18日至5月26日;6月2日至6月20日;6月29日至7月13日)的第二时段,为了保护京浦铁路,两淮煤田以及淮河大堤的安全,在淮河王家坝进行了人为决堤,牺牲170万亩土地供积滞洪水,迁移80万人^[5]。在降水最强的第三时段,沿着梅雨锋或切变线不断有中- α 尺度低涡发展并东移,致使江苏、安徽、湖北三省出现严重洪涝灾

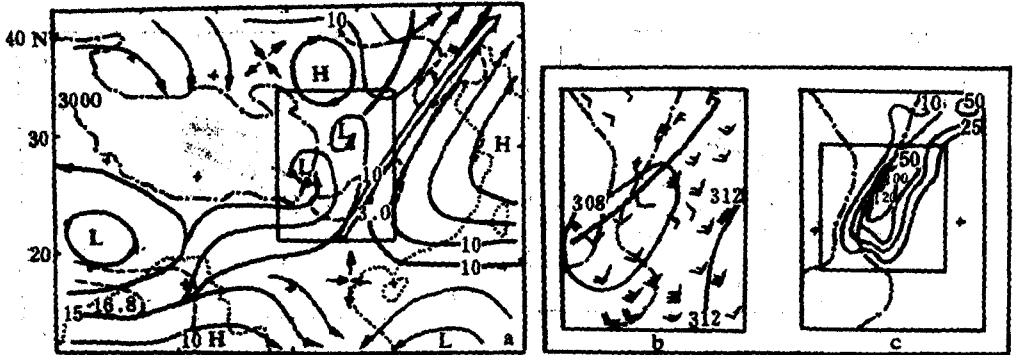


图2 (a)1981年8月16日00UTC的700hPa流型
 (带箭头线为流线,双箭头线为急流轴,虚线为等风速线)
 (b)内域低涡切变线和风场
 (c)相应的24小时(15日00UTC至16日00UTC)雨量(单位:mm)

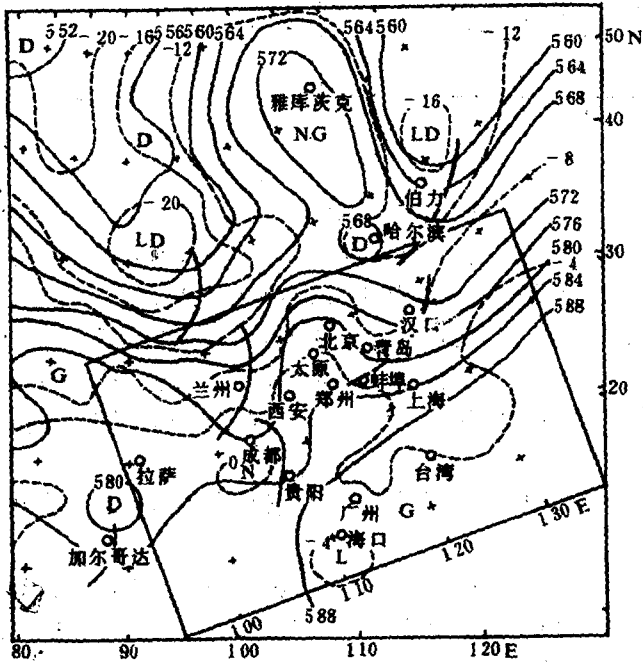


图3 1991年7月5日00UTC500hPa分析和诊断区域
 (内域矩形)(实(虚)线是等位势高度(温度)线)

害。本文将着重研究该时段7月4日至7日一次低涡切变线特大暴雨过程,即“91.7”过程。该过程典型大尺度环流特征在图3中给出。由图可见,强大的雅库茨克阻塞高压和西太平洋副热带高压稳定地对峙维持;东移加深的贝加尔湖冷槽受阻于雅库茨克阻塞高压;冷槽后部不断向南入侵的冷空气伴随中纬度短波槽相继在北部阻高和南部副高之间东移。与其相伴,在低空有切变线低涡连续发生和发展。图4给出了一个生成于四川盆地的

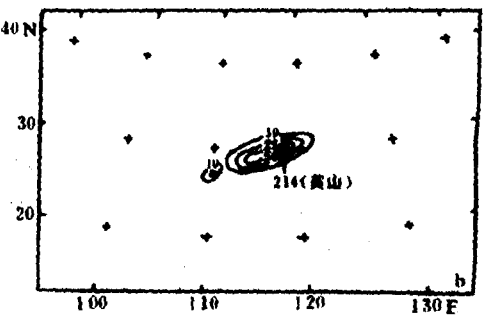
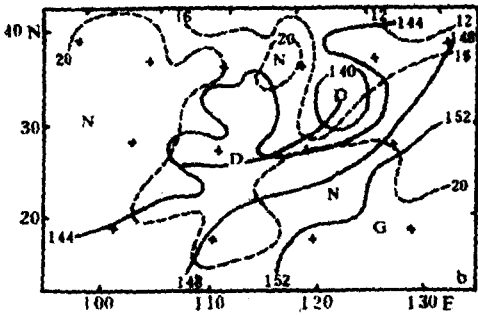
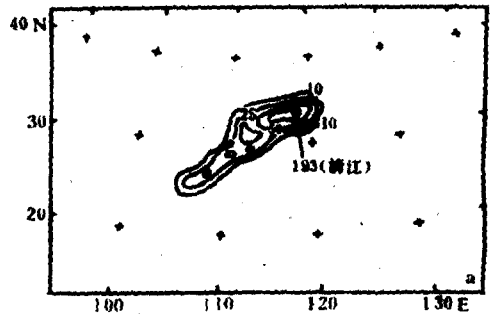
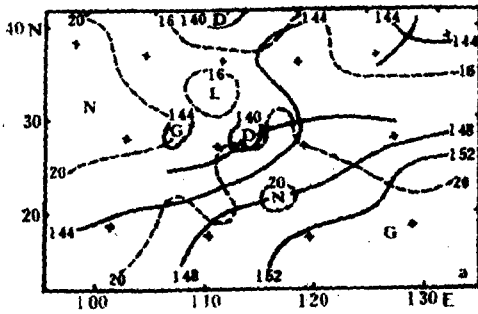


图4 1991年(a)7月6日00UTC和(b)7月7日00 UTC850hPa(诊断区域)分析(说明同图3) 图5 1991年7月(a)5、6日12UTC和(b)6、7日12UTC的24小时实测降雨量(mm)

低涡沿切变线东移并持续发展的过程。与该低涡切变线的发展和东移相伴,大暴雨持续发生。图5是相应期间的逐日24小时降雨量。自6日12UTC至7日12UTC的24小时,黄山站的降雨量达214毫米。从低涡切变线和雨区的对应关系看,二者相当一致,但应注意,低涡移入海域的降水量没有观测值,因而在图5(b)中无法分析出来。

以下我们首先对这些暴雨中尺度系统进行涡度和涡源诊断分析。

3 低涡切变线发展的涡度结构和涡源诊断

对于涡旋性的中-α尺度暴雨系统,无论是低涡还是伴有切变线的低涡,通过涡度诊断其生成、发展及其结构演变较为适当^{[2][3]}。因此,在进行涡源诊断之前,我们首先在前述各例的分析域(见图1、图2、图3)计算了(相对)涡度ζ,其表示式如下

$$\zeta = m^2 \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v}{m} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{u}{m} \right) \right] \quad (1)$$

其中,m为地图因子,其余符号通用。计算采用跳点格式。资料是根据美国NMC10层等压面全球网格点分析资料和诊断域内的探空资料,再通过中尺度客观分析处理而获得的80km格点资料。

根据对各例涡度场演变分析,可以发现,无论是在700hPa青藏高原东南角和四川盆地附近生成而且很少移动的西南涡(“81.7”过程,图1(a))或低涡切变线(“81.8”过程,图2(b)),还是在850hPa四川盆地附近生成而向东经淮河流域移入海域的低涡切变线

“91.7过程,图4(a)(b)(c),都是由于高、低空正涡度中心的叠加和耦合而持续发展,并且正涡度中心自地面至300hPa贯通为一个近乎垂直的气旋性涡柱。这类正涡柱的典型结构,对“81.7”过程的暴雨西南涡和“81.8”过程的暴雨低涡切变线,分别按计算域内域(图1(a)和图2(a)中内方框)图幅在图6(a)和图7(a)中给出;对“91.7”过程移动性的低涡切变线是按计算域内域C(图8中C矩形)图幅在图9(a)中给出。比较这三次典型大暴雨过程中西南涡或低涡切变线的涡度垂直结构时,明显可以看出,“91.7”过程中暴雨低涡切变线发展得最强,在7月6日12UTC正涡度中心强度在850hPa上达 $22.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ (图9(a));而“81.8”过程的低涡切变线不如其他两例强(图7(a))。但这类与暴雨过程直接相伴的中尺度系统在演变过程中有一个共性,这就是:高、低空正涡度中心的叠加和耦合,并形成正涡度柱是这类暴雨中尺度发展的共同特征。这种共性可能揭示这样一种物理机制:在对流活跃的中尺度系统中,涡度的垂直输送有着不容忽视的重要性。

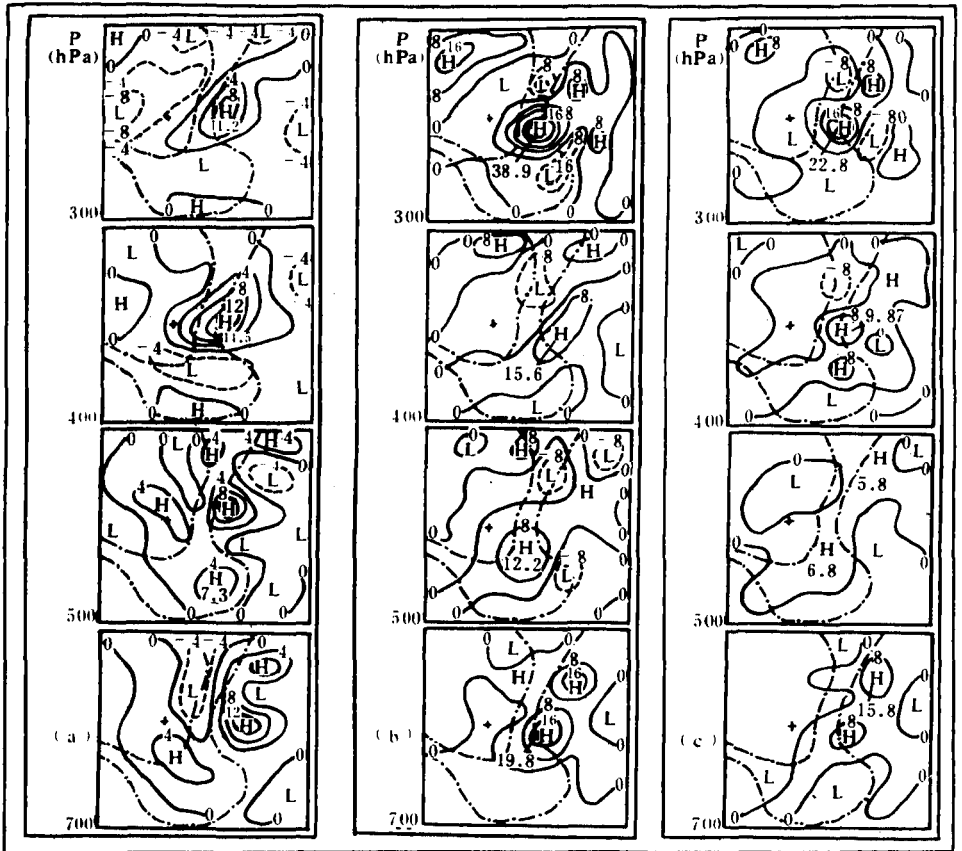


图6 “81.7”过程西南涡持续发展期的涡度(a)、总涡源(b)和相互作用涡源(c)的垂直结构示例(7月13日12UTC)(说明:内域点划线分别是1500和3000m地形等高线;(a)和(b)、(c)中的实(虚)线分别是正(负)涡度($\times 10^{-5} \text{s}^{-1}$)和涡源($\times 10^{-5} \text{s}^{-2}$)等值线;H(L)是其正(负)中心)

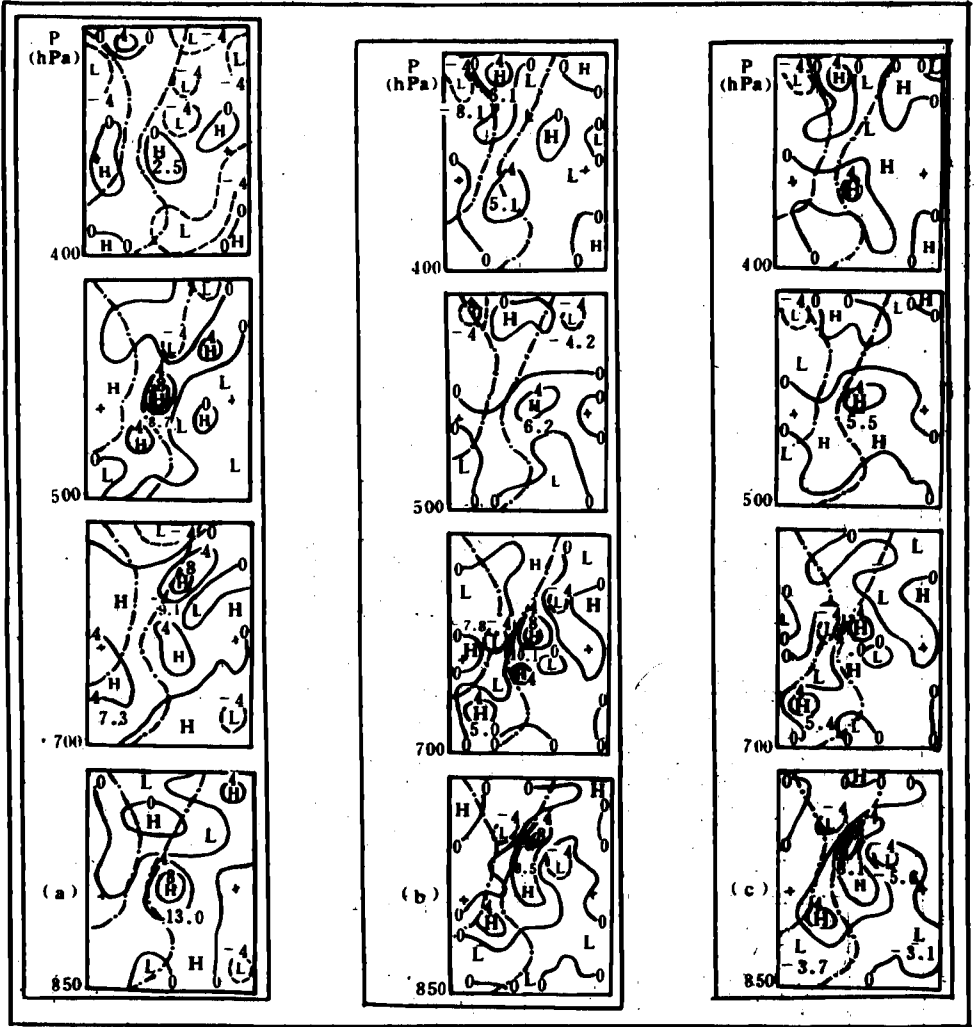


图7 “81.8”过程低涡切变线持续发展期的涡度(a)、总涡源(b)和相互作用涡源(c)的垂直结构示意图(8月16日00UTC)(说明同图6)

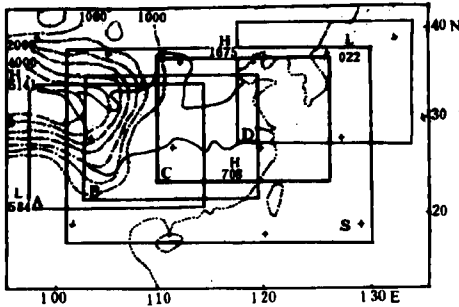


图8 “91.7”过程诊断计算域内地形(点划线)、模拟域S以及低涡切变线逐日所在的内域A(4日12UTC)、B(5日12UTC)、C(6日12UTC)和D(7日12UTC)

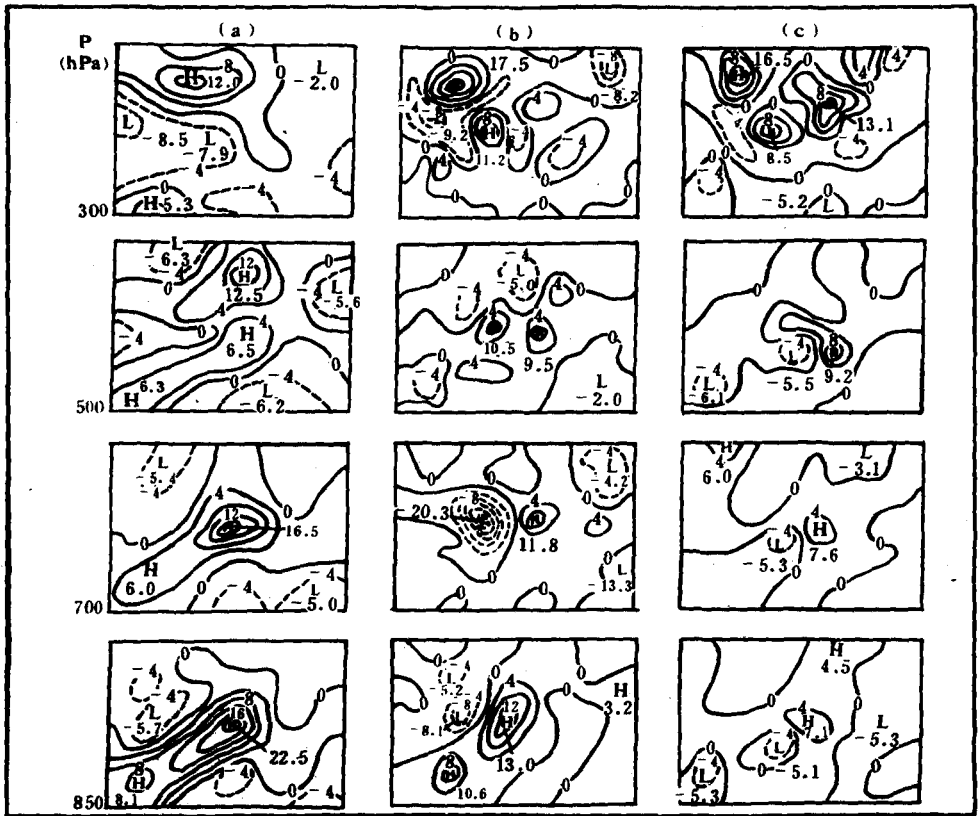


图 9 “91.7”过程低涡切变线持续发展期的涡度(a)、总涡源(b)和相互作用涡源(c)的垂直结构示例(7月6日12UTC)(说明同图6)

为了进一步诊断暴雨中尺度系统涡度演变的动力学机制,我们采用了涡度方程:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -m \left(u \frac{\partial \zeta_a}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta_a}{\partial y} \right) - \omega \frac{\partial \zeta}{\partial p} - \zeta_a D - m \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} \right) = \zeta_h + \zeta_v + \zeta_a + \zeta_c = \zeta \quad (2)$$

而且可写作

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} + \frac{\partial \zeta'}{\partial t} = \bar{\zeta} + \zeta' + \tilde{\zeta} \quad (3)$$

式中, $\zeta_h, \zeta_v, \zeta_a, \zeta_c$ 分别是水平绝对涡度平流项, 垂直涡度输送项, 散度项, 扭转项; 如果我们定义涡度变率 $\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \zeta'$ 为(总) 涡源, 则 $\bar{\zeta}, \zeta'$ 和 $\tilde{\zeta}$ 分别是平均涡源, 扰动涡源和非线性相互作用涡源; 其表示式分别如下:

$$\begin{cases} \bar{\zeta} = \bar{\zeta}_h + \bar{\zeta}_v + \bar{\zeta}_a + \bar{\zeta}_c \\ \zeta' = \zeta'_h + \zeta'_v + \zeta'_a + \zeta'_c \\ \tilde{\zeta} = \tilde{\zeta}_h + \tilde{\zeta}_v + \tilde{\zeta}_a + \tilde{\zeta}_c \end{cases} \quad (4)$$

在(4)式中, $\bar{\zeta}$ 和 ζ' 诸强迫项类同 ζ 诸强迫项; 但 $\bar{\zeta}$ 的意义和形式呈如下表示

$$\begin{cases} \bar{\zeta}_h = -m \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{\zeta}'_h}{\partial x} + u' \frac{\partial \bar{\zeta}'_h}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{\zeta}'_h}{\partial y} + v' \frac{\partial \bar{\zeta}'_h}{\partial y} \right) \\ \bar{\zeta}_r = - \left(\bar{\omega} \frac{\partial \bar{\zeta}'_r}{\partial p} + \omega' \frac{\partial \bar{\zeta}'_r}{\partial p} \right) \\ \bar{\zeta}_d = - (\bar{\zeta}'_d D' + \zeta' \bar{D}) \\ \bar{\zeta}_s = -m \left[\left(\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial x} \frac{\partial u'}{\partial p} + \frac{\partial \omega'}{\partial x} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \right) - \left(\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial y} \frac{\partial u'}{\partial p} + \frac{\partial \omega'}{\partial y} \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \right) \right] \end{cases} \quad (5)$$

式中带“-”和“”的量分别表示时间平均尺度约4天的天气尺度运动和随时空变化的中尺度波扰运动。其余符号通用。

当注意到 $\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} = 0$, 则由式(2)和(3)得

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} = \zeta_s = \bar{\zeta}_s + \zeta'_s + \bar{\zeta}'_s \quad (6)$$

以下着重讨论不同涡源垂直结构及其演变的诊断分析结果。

对各例总涡源 ζ 的诊断揭示, ζ 正中心的生成、发展和结构演变与其对应低涡或低涡切变线的正涡度中心的演变和垂直结构大体一致; 作为示例, 我们在图6、图7和图9的(a)与(b)中分别给出了“81.7”、“81.8”和“91.7”过程中这类中尺度系统的涡度与总涡源垂直结构图。在贡献于总涡源的四个强迫项中, 散度项 ζ_d 的贡献相对最大(图略)。尽管总涡源和涡度的这种对应演变和结构, 在一定程度上各例之间类似, 但从比较可以发现“81.7”过程的总涡源和“91.7”过程的总涡源在高、低空特别强; 而“81.8”过程低涡切变线的总涡源相对弱些, 发展的平均高度也略低。实际上, “81.7”过程和“91.7”过程也比“81.8”过程强。这些事实表明, 正涡源中心垂直结构与演变和正涡源中心垂直结构及其演变的一致性启示, 正涡源对这类中尺度系统的发生和发展具有重要的动力学贡献。

对总涡源各分量的区分结果指出, 时间平均气流和扰动气流之间的非线性相互作用涡源 $\bar{\zeta}$ 对总涡源 ζ 的贡献比时间平均涡源 $\bar{\zeta}$ 和扰动涡源 ζ' 要大; 这一结果与暴雨发展期, 大、中尺度系统在空间的配置及相互作用大体一致; 时间平均涡源 $\bar{\zeta}$ 通常与大、中尺度地形的构形及其动力强迫有关, 青藏高原的特殊构形对其东侧暴雨中尺度系统的生成和维持是有利的; 当低涡切变线强烈发展时, 扰动涡源 ζ' 的贡献值得注意。为节省篇幅, 在图6(c)、图7(c)和图9(c)中仅给出“81.7”、“81.8”和“91.7”过程中与总涡源对应的非线性相互作用涡源。从各例的比较不难发现, 尽管这些典型大暴雨过程发生的时间和地域不同, 但非线性相互作用涡源对总涡源的贡献总是最主要的。这也表明, 非线性过程在暴雨中尺度系统发展过程中有着重要的动力学作用。

4 中尺度热量和水汽收支诊断

这里主要对暴雨过程的视热源和视水汽汇进行诊断分析。为此, 我们仍采用文献[1]中 σ 坐标系内的如下热量和水汽收支方程:

$$\begin{aligned} \overline{p^*} Q_1 &= \frac{\partial \overline{p^*} \overline{T}}{\partial \alpha} + m^2 \nabla \cdot \frac{\overline{p^*} \overline{\nabla T}}{m} + \frac{\partial \overline{p^*} \overline{\sigma T}}{\partial \sigma} - \frac{R \overline{T} \overline{\omega}}{c_p (\sigma + p_i / \overline{p^*})} \\ &= \frac{L}{c_p} \overline{p^*} \overline{c^*} - \frac{\partial \overline{p^*} \overline{\sigma' T'}}{\partial \sigma} + \frac{R \overline{T'} \overline{\omega'}}{c_p (\sigma + p_i / \overline{p^*})} + \overline{p^*} Q_R \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \overline{p^*} Q_2 &= - \frac{L}{c_p} \left(\frac{\partial \overline{p^*} \overline{q}}{\partial \alpha} + m^2 \nabla \cdot \frac{\overline{p^*} \overline{\nabla q}}{m} + \frac{\partial \overline{p^*} \overline{\sigma q}}{\partial \sigma} \right) \\ &= \frac{L}{c_p} \overline{p^*} \overline{c^*} + \frac{L}{c_p} \frac{\partial \overline{p^*} \overline{\sigma' q'}}{\partial \sigma} \end{aligned} \quad (8)$$

式中, m 是地图因子, $\overline{c^*}$ 是一个网格平均的净凝结, 带“—”和带“'”的量分别是网格尺度平均的大尺度变数和次网格尺度变数; Q_1 和 Q_2 分别是由于积云对流和层云降水产生的视热源和视水汽汇; Q_R 的计算方法与文献[1]的相同。其余符号通用。

如果方程(7)和(8)相减, 还可得到一个有重要物理意义的方程, 即

$$\overline{p^*} (Q_1 - Q_2 - Q_R) = - \frac{\partial \overline{p^*} \overline{\sigma' T'}}{\partial \sigma} + \frac{R \overline{T'} \overline{\omega'}}{c_p (\sigma + p_i / \overline{p^*})} - \frac{\partial \overline{p^*} \overline{\sigma' q'}}{\partial \sigma} \quad (9)$$

式(9)表明, Q_2 和辐射冷却 Q_R 与视热源 Q_1 之差正是对总热量(感热加潜热)垂直涡动通量散度的一种度量。这种差异主要由次网格尺度垂直涡动热通量和水汽通量的垂直输送所引起。

由式(7)、(8)和(9)可见, 为了计算次网格尺度项对中尺度系统热量和水汽收支的贡献, 可以通过网格尺度平均变数项进行计算, 当求得 Q_1 、 Q_2 和 Q_R 后, 则可由式(9)求得 $(Q_1 - Q_2 - Q_R)$ 。

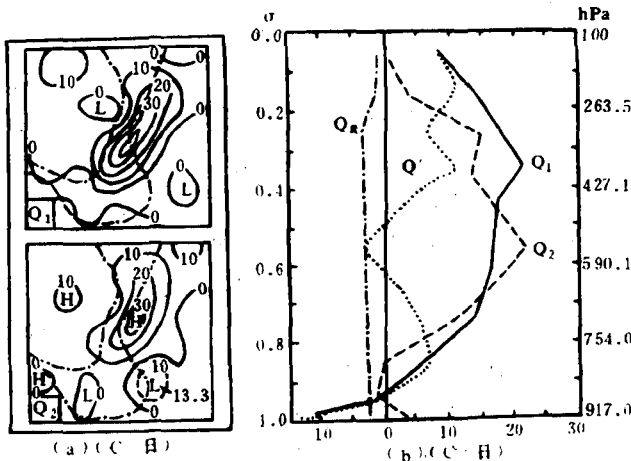


图 10 (a)“81.7”过程视热源 Q_1 和视水汽汇 Q_2 垂直积分的 36 小时平均(7 月 12 日 00UTC 至 13 日 12UTC); (b) 7 月 13 日 12UTC 低涡暴雨区(880km × 880km)的 Q_1 (实线)、 Q_2 (虚线)、 Q_R (点划线)和 Q' ($Q_1 - Q_2 - Q_R$, 点线)的垂直廓线

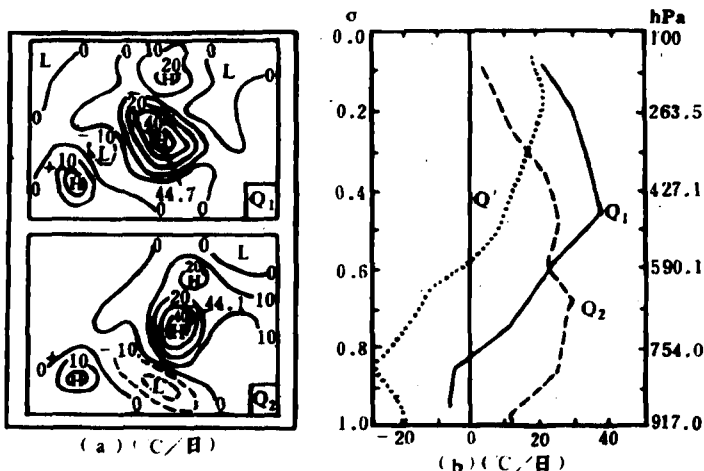


图 11 (a)“91.7”过程 Q_1 和 Q_2 在 7 月 6 日 12UTC 的垂直积分; (b) 7 月 6 日 12UTC 低涡切变线暴雨区 ($480\text{km} \times 480\text{km}$) 的 Q_1 、 Q_2 和 Q' 的垂直廓线(其余说明同图 10)

对各例所用资料的处理方法均与文献[1]的类似;计算域格点和格距也均为 46×61 和 80km ;但“81.7”和“81.8”的域中心是 30°N 、 100°E ,而“91.7”过程的域中心是 30°N 、 115°E 。

根据方程(7)(8)和(9)对各例视热源 Q_1 和视水汽汇 Q_2 以及 $Q_1 - Q_2 - Q_R$ 的诊断结果表明, Q_1 和 Q_2 和垂直积分高值区与低涡或低涡切变线的发展区及暴雨区基本一致。这是由于 Q_1 等于总潜热释放与地面热通量及 Q_R 之和,而 Q_2 等于总降水与液态水贮存扣除蒸发后之和,因而, Q_1 和 Q_2 的垂直积分理应与观测到的降水分布大体一致,其强度与雨强成正比。实际上,这些结果在图 10(a)、图 11(a)中明显可见。对“81.7”过程,可由图 1(a)内域方框、图 1(b)24 小时雨量及其相应的图 6(a)和图 10(a)比较可知,即使 Q_1 和 Q_2 的 36 小时平均(三个时次平均),它们闭合区的中心强度仍分别达 $40^\circ\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $30^\circ\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$,而且该闭合高值区与低涡暴雨区相当一致;对“81.8”过程有完全类似的结果(图略);对“91.7”过程逐个时次的计算结果表明, Q_1 和 Q_2 的垂直积分明显的比前两例强,而且 Q_1 和 Q_2 闭合区中心极值比较接近。1991 年 7 月 6 日 12UTC 的 Q_1 和 Q_2 垂直积分结果在图 11(a)中给出,这与图 9(a)内域对应;其 $Q_{1\text{max}}$ 和 $Q_{2\text{max}}$ 分别达 $44.7^\circ\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $44.1^\circ\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$ 。这种来自积云对流为主的潜热释放^[6],对这种中尺度系统的发展有重要的热力贡献。

与各例低涡或低涡切变线暴雨区对应的 Q_1 和 Q_2 垂直廓线分别在图 10(b)、图 11(b)中给出;与此同时, $Q_1 - Q_2 - Q_R$ 的差值 Q' 也在各图中给出,由于辐射冷却相对较小且少变,故在图 11(b)中略去了 Q_R 。由图明显可以看出,“91.7”过程和视热源 Q_1 和视水汽汇 Q_2 显著地强于其他两例;而且最大加热区间在对流层中部,最大加湿区间在对流层中、下部。如果注意到 Q_1 和 Q_2 主要取决于积云对流降水,那么,对流加热的强弱和最大加热区间的高低,不仅对环境大气及其层结稳定度有明显影响,而且对中尺度系统的发展也有重要的反馈作用。图 11(b)中 Q_1 和 Q_2 垂直廓线的这种配置,对中尺度对流及暴雨的产生和维持极为有利。这是由于 Q_1 的最大加热在对流层中部,因而气柱中层部位明显增温(上层

增温相对较小),这必然导致对流层中部附近增暖的空气上升运动加强;在质量连续性原理约束下,低空必须有大量湿空气辐合补偿;又因加热区热量向上输送,又加强了高空反气旋性环流的发展和气流辐散;随着高空强辐散导致的质量流失,低空又必须以强辐合进行补偿;与强辐合相伴的上升运动进一步诱发低空低涡切变线的发展和暴雨的持续。一旦这种正反馈过程结束,暴雨过程也就停止。而“91.7”过程在一定程度上受这种机制所制约。

此外,还应该注意 Q' 的贡献。由于 Q' 主要表示由感热和潜热对流涡动通量辐合的加热,而且在对流层上部有时约等于凝结释放潜热量的一半(图10(b),图11(b));因而,在中纬度积云参数化方案中如何估计这种加热是值得考虑的。

5 结 语

大、中尺度天气分析指出,无论是发生在我国东部的“91.7”大暴雨过程,还是出现在西部地区的“81.7”和“81.8”大暴雨过程,都与在特定大尺度环流形势下持续发展的中尺度系统直接关联。

涡度诊断指出,高、低空正涡度中心的叠加和耦合,并形成正涡度柱是这类暴雨中尺度系统持续发展的一种共同特征。

根据场分解涡度方程获得的涡源诊断表明,从正涡源中心垂直结构与演变和正涡度中心垂直结构及其演变的一致性启示,涡源对这类中尺度系统的发生和发展具有重要的动力学贡献。

热量和水汽收支诊断揭示,视热源 Q_1 和视水汽汇 Q_2 的垂直积分高值区,与低涡或低涡切变线及其暴雨区基本一致。 $Q_1(Q_2)$ 的面积平均最大加热(增湿)区间出现在对流层中、上(下)部;由于感热和潜热对流涡动通量辐合的加热,在其上部近乎等于凝结释放潜热量的一半。

参 考 文 献

- 1 Kuo, Y.-H., L. Cheng and R. A. Anthes. Mesoscale analyses of the Sichuan flood catastrophe, 11-15 July 1981. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**: 1984-2003.
- 2 Cheng, L., and Y.-H. Kuo. The diagnosis of vorticity sources for the origin and development of the SW vortex during Sichuan heavy rainfall July 11-15, 1981. *C. J. Atmos. Sci.*, 1988, **12**: 25-37.
- 3 程麟生. “81.8”持续暴雨期中 α 尺度低涡发展的涡度变率及其热源. *高原气象*, 1991, **10**: 337-350.
- 4 Cheng, L., X. Peng, X. Li and Y. Ma. Diagnosis and numerical simulation of the evolution of a mesoscale vortex with shear line during July 1991 heavy rainfall over Yangtze-Huai River. 3rd PRC/USA Workshop on Mesoscale Meteorology, Dalian, China, 1992, 24-26.
- 5 Tao, S.. The flooding in the reaches of Yangtze and Haihe River during the Maiyu period in June and July 1991. Intern. Symp. on Terrestrial Rain and Flood, Huangshan, 1992, 4-6.
- 6 Kuo, Y.-H., L. Cheng and J.-W. Bao. Numerical simulation of the 1981 Sichuan flood. Part I: Evolution of a mesoscale southwest vortex. *Mon. Wea. Rev.*, 1988, **116**: 2481-2504.
- 7 Cheng, L., and Y.-H. Kuo. Mesoscale numerical simulation of the influence of PBL parameterization and moist process on development of a shear-line vortex. *C. J. Atmos. Sci.*, 1992, **16**: 90-100.

DIAGNOSIS AND NUMERICAL SIMULATION FOR THE GENESIS AND DEVELOPMENT OF MESOSCALE SYSTEMS WITH HEAVY RAINFALL

Part I: Diagnostic Analysis

Cheng Linsheng Ying-Hwa Kuo* Peng Xindong Li Xiaoli

*(Department of Atmospheric Sciences,
Lanzhou University, Lanzhou 730000)*

Abstract

The present study is for three typical heavy rainfall events ("81.7", "81.8" and "91.7") in China. It is mainly to inquire into the problems with the genesis and development of the mesoscale systems which producing heavy rainfall with the help of dynamic and thermodynamic diagnoses.

The large- and meso-scale synoptic analysis indicated both the "91.7" heavy rainfall event occurred the eastern part of China and the "81.7" as well as "81.8" heavy rainfalls occurred the western part of China were directly related to the mesoscale systems with persistent development under the special circulation pattern.

Vorticity diagnosis showed the superposition and coupling of the positive vorticity centers over upper- and lower-levels, and the formation of a positive vorticity column were a common characteristic of persistent development for this kind of mesoscale systems with the heavy rainfall.

Diagnosis of vorticity sources based on the vorticity equation of separating field variables indicated that the vorticity source was possessed of an important dynamically contribution to the genesis and development of the mesoscale systems.

Diagnosis of the heat and moisture budgets revealed that the vertical-integrated high value regions of the apparent heat source Q_1 and apparent moisture sink Q_2 were basically consistent with the regions of the vortex shear with precipitation. The area-averaged maximum heating (moistening) interval of the Q_1 (Q_2) occurred in the middle upper (lower) troposphere. The heating due to convective eddy flux convergence of the sensible and latent heat on the upper level was about half of the condensation latent heat.

Key words: Heavy rainfall; Mesoscale system; Diagnosis.