

边界层参数化和湿过程对 切变线低涡发展影响的中尺度模拟

程麟生

(兰州大学, 730001)

郭英华

(NCAR)*

提 要

1981年8月14至22日,在青藏高原东侧陕、甘、川毗邻区,出现了一次持续暴雨过程。对其主过程的涡度诊断表明,切变线低涡初生於青藏高原东侧低空,其后,不仅出现了高、低空涡度中心的叠加和耦合过程,而且在行星边界层(PBL)内发生了迅速加强过程。这种过程与切变低涡的持续发展相伴。

一系列48和72小时中尺度数值模拟结果揭示:只有高分辨PBL参数化的湿物理过程,才能较好地模拟出切变低涡在PBL内的突然加强及其涡度演变和垂直结构;而总体PBL参数化,虽然其涡度演变和垂直结构也能基本模拟出来,但不能模拟出切变线低涡在PBL内的迅速加强;总体PBL参数化干过程的模拟结果指出,该方案较前两种湿过程方案均差,特别是被模拟系统的强度明显减弱,位置偏离。

模拟与诊断和观测之间的比较揭示,尽可能仔细地改进PBL参数化和湿物理过程,才有可能改进对这类中尺度系统发生和发展的模拟。

关键词: 高分辨PBL参数化;切变线低涡;总体PBL参数化;中尺度模拟。

一. 引 言

国内外大量观测事实证明,中尺度天气系统是造成各种灾害性天气的主要系统之一。对我国来说,中- α 尺度切变线低涡不仅是长江流域、而且也是青藏高原东侧的主要暴雨系统^[1]。“81.7”四川特大暴雨^[2]和“81.8”(1981年8月14至22日)陕、甘、川毗邻区的持续暴雨^[3]都与这类中- α 尺度系统直接关联。从减少这类系统对国民经济造成的损失考虑,就应该尽可能提高对这类中尺度系统生成和发展的预报水平。尽管近十几年国外的中尺度气象模拟和预报已有迅速的发展^[4-5],但对发生、发展在青藏高原及其东侧的中尺度系统演变却研究得很少。然而,对西北地区夏季天气预报来说,改进对这类系统的预报已成为一个必须面对的现实问题。因此,从研究如何改进对这类系统的中尺度数值模拟着手,应该说是为改进对这类系统预报迈开的第一步。为此,我们通过对PSU/NCAR MM4中尺度模式模拟系统^[6]的检验和发展,最初成功地完成了对“81.7”四川特大暴雨期西南涡发生和发展的数值模拟^[7-8];作为对该模式模拟系统的进一步检验和发展,我们对“81.8”持续暴雨期的中- α 尺度切变线低

1990年10月11日收到,1991年8月3日收到再改稿。

* National Center for Atmospheric Research is sponsored by the National Science Foundation, USA.

涡演变，进行了重新设计的系列数值试验。本文将给出其中部分48小时模拟结果。为了便于讨论、检验和了解这些结果，以下首先简要说明“81.8”过程及部分诊断结果。

二、“81.8”暴雨过程及其涡度诊断

“81.8”持续暴雨期的基本环流特征是^[3]：贝加尔湖低压稳定，热带气旋和南海台风常有活动，东风急流北进，青藏高原东侧维持“西低东高”的稳定暴雨形势。进一步的大、中尺度分析指出，1981年8月14至22日这次持续9天的过程，有准连续的三次类似暴雨过程：8月14日00—17日12UTC的第一主过程，18日00—19日00UTC的第二过程和20日00—22日12UTC的第三过程；其中，第一(主)过程最具有代表性。因此，以后的诊断和模拟都是对该主过程讨论的。计算和模拟区域的地形及内域如图1所示，该地形图是根据NCAR1度实际地形资料通过中尺度客观分析^[2]而输出的500米间隔的等高线图。这样的地形资料图对中- α 尺度系统的诊断和模拟应该说是满足的。

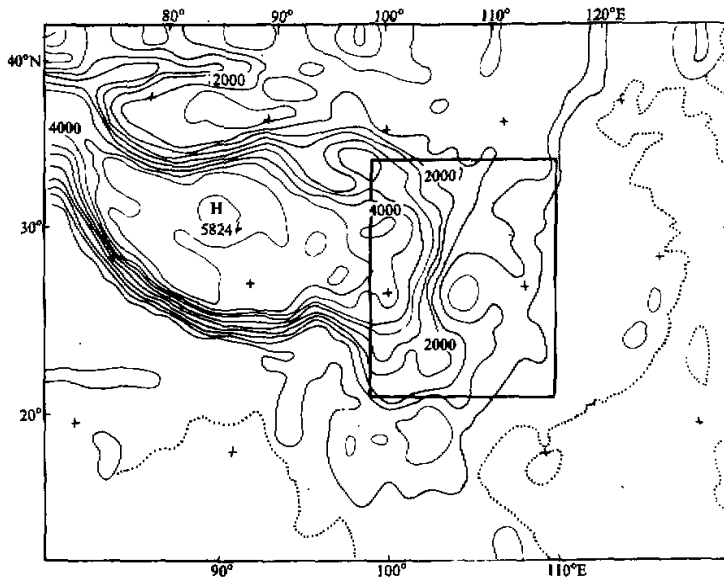


图1 计算和模拟域的地形和内域

对主过程暴雨和切变线低涡发展期的高空(图略)和中、低空典型流型空间配置的分析(图2)表明：脊线位于30°N附近的200 hPa副高中心，两侧各有一支强西风 and 东风急流(图略)；与其对应，300 hPa的环流特征是：原200 hPa副高中心，在高原东侧暴雨区上空分裂为东、西各一的副高单体(图略)；这两个单体之间的低压区，在500 hPa上(图2c)表现为加深的西风槽；该槽前西南气流强风轴下方和700 hPa强风轴(图2b)、850 hPa低空急流(图2a)左侧，正是中- α 尺度切变线低涡和暴雨的发生

与持续发展区。

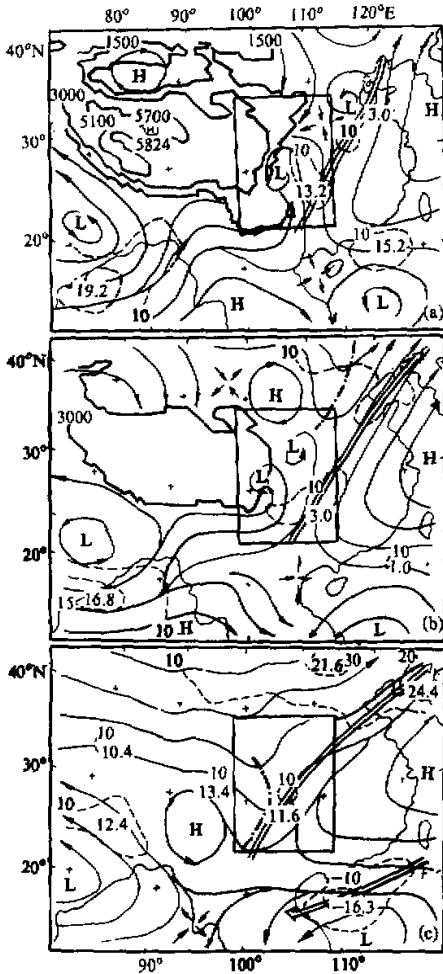


图2 持续暴雨第一过程发展期(8月16日00UTC)

中、低空流型的空间配置

矢线是流线, 双矢线是急流轴或强风轴, 虚线是等风速线, (H)L是(反)气旋性环流中心, 粗实线是地形等高线或内域周界. a: 850 hPa, b: 700 hPa; c: 500 hPa.

为了检验和分析 48 小时的中尺度模拟结果, 在分析域(图 1)计算了相应时次的涡度 ζ , 其计算式是

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

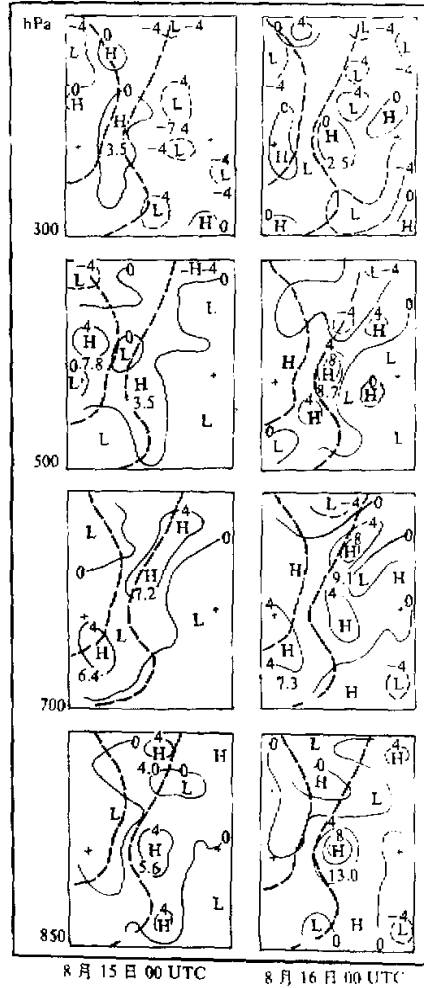


图3 切变线低涡生成和发展期的涡度演变结构

实(虚)线是正(负)涡度($\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$)等值线, H(L)是正(负)涡度中心; 粗虚线是 1500m 和 3000m 地形等高线.

式中 m 是地图因子, 全域共 46×61 个格点, 格距 80km, 垂直向 10 层. ζ 值按跳点格式算出. 为节省篇幅, 其后, 只给出重要时次的内域(见图 1)结果. 该内域足以描述切变线低涡的演变和结构.

对主过程的涡度诊断指出, 伴有切变线的低涡, 在 8 月 14 日 12UTC, 生成于 850 hPa 四川盆地和 700 hPa 青藏高原东南角至四川盆地与陕南; 12 小时后, 在 500 hPa 以上的高空和其低空各有增强的涡度中心在相应发展(图 3); 至 15 日 12UTC, 由于高、低空涡度中心的叠加和耦合, 切变线低涡涡度中心自地面上旋至 300hPa; 其后, 这种涡度的垂直结构持续至 17 日 12UTC(图略). 其间一个值得注意的事实是: 在 16 日 00UTC, 切变线低涡在 PBL 内 850 hPa 上突然加强, 中心值达 $13.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. 这种加强在 700 hPa 和 500 hPa 上均有反映, 这意味着, 在 PBL 内突然发展的切变线低涡, 对其向上发展和维持(图 3)均十分重要. 由于低空正涡度中心区与暴雨区(图 7)有很好的对应关系. 因此, 如果能较好地模拟或预报这类中- α 尺度系统发生和突然加强的涡度场及其结构, 那么, 这将有助于提高与其相伴的暴雨预报. 为此, 首先通过数值试验来探讨边界层参数化和干、湿物理过程对切变线低涡发生发展的影响.

三、总体 PBL 和高分辨 PBL 的参数化要点

总体 PBL 参数化是指总体空气动力学(拖曳系数)方法参数化. 该方案用在等 $\Delta\sigma$ 垂直厚度的 10 层模式中, 即 $\sigma=0.0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0$; $\Delta\sigma=0.1$; 模式最低层($\sigma=0.95$)代表边界层. 地面应力 τ_s 在 x 和 y 方向的分量 τ_{sx} 与 τ_{sy} 由下式计算:

$$\tau_{sx} = \tau_s \frac{u}{V_a} = (\rho_a C_D V^2) \frac{u}{V_a}, \quad (2)$$

$$\tau_{sy} = \tau_s \frac{v}{V_a} = (\rho_a C_D V^2) \frac{v}{V_a}, \quad (3)$$

其中 V_a 和 ρ_a 分别是模式最低位面上的风速和密度; $V = (V_a^2 + V_c^2)^{\frac{1}{2}}$, V_c 是对流速度^[6]; u 和 v 分别是 x 和 y 向风速分量; $\tau_s = \rho_a C_D V^2$; 拖曳系数 C_D 由下式给出^[6]:

$$C_D = C'_D + 3 \times 10^{-3} \left(\frac{\Phi_s}{\Phi_s + 9800} \right), \quad (4)$$

而 Φ_s 是地地位势高度, 其式为修正地形高度; $C'_D = C_u^2$, C_u 是动量交换系数, 且是总体 Ri 数函数.

对地面感热通量 H_s 和水汽通量 E_s 以及潜热通量 H_l 分别用下式计算:

$$H_s = \rho_a C_{pm} C_\theta C_u (\theta_s - \theta_a) V, \quad (5)$$

$$E_s = \rho_a C_\theta C_u M [q_{vs}(T_s) - q_{va}] V, \quad (6)$$

$$H_l = L_v E_s, \quad (7)$$

其中 C_{pm} 是湿空气比热, C_θ 是地面热量交换系数, M 是水汽有效率(从 1 到零变化),

q_{es} 和 q_{ea} 分别是饱和的和最低模式位面的水汽混合比, L_v 是水汽凝结潜热, T_g 和 θ_g 分别是地面温度和位温, 而 T_g 是按照 Blackadar^[9] 的“强迫-恢复”法计算的, 即

$$C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = R_n - H_m - H_s - H_l, \quad (8)$$

其中 C_g 是薄层单位面积热容量, R_n 是净辐射通量, H_m 是进入地面下层的热流量; H_s 和 H_l 由公式(5)和(7)计算; R_n 采用 Benjamin^[10] 的方案计算; H_m 用下述参数化公式:

$$H_m = K_m C_g (T_g - T_m), \quad (9)$$

其中 K_m 为热量传输系数, T_m 是地面下层温度.

不难看出, 总体 PBL 参数化把 PBL 看作是个混合很好的总体, 而用一层模式来描写 PBL 的总体特性. 然而, PBL 不仅在垂直向具有多层结构, 而且还有复杂的下垫面和明显的日变化. 因此, 考虑下垫面的水平不均匀性, 以及在垂直方向用多层来显式地分辨 PBL 的热力特性和风、温、湿场结构将是十分必要的.

这里的高分辨 PBL 参数化, 不仅指把原来总体 PBL 的一层模式加密到 $\Delta\sigma$ 不等距的七层(构成这七层的 8 个位面是: 0.78, 0.84, 0.89, 0.93, 0.96, 0.98, 0.998, 1.0), 而且还分夜间(分稳定、机械驱动湍流、强迫对流不稳定三种情形)和白天(自由对流不稳定)两种状态^[6,9,11], 对不同的下垫面条件下 PBL 的演变和结构进行显式预报. 在稳定条件下, 湍流通量与局地 Ri 数有关; 在不稳定条件下, 热量、水汽和动量的交换是通过起始于地面的对流气块和环境空气之间的混合进行的. 在 PBL 顶($\sigma \approx 0.8$, $P \approx 820$ hPa)以上的 8 个模式位面(0.7, 0.6, ..., 0.1)也是等距的. 所以, 15 层 MM4 和 10 层 MM4 的垂直分辨率差异主要在 PBL 内.

在高分辨 PBL 模式中, 不仅对夜间和白天状态加以区别, 而且还把 PBL 分为两部分: 近地层和近地层以上. 地面动量、热量和水汽的通量计算也与总体 PBL 的不同, 其参数化如下:

$$\tau_{sx} = \tau_s \frac{u}{V_a} = (\rho_a u^2) \frac{u}{V_a}, \quad (10)$$

$$\tau_{sy} = \tau_s \frac{v}{V_a} = (\rho_a u^2) \frac{v}{V_a}, \quad (11)$$

$$H_s = -C_{pm} \rho_a \kappa u_* T_s, \quad (12)$$

$$E_s = M \rho_a I^{-1} [q_{es}(T_g) - q_{ea}], \quad (13)$$

$$H_l = L_v E_s, \quad (14)$$

其中

$$u_* = \max \left(\frac{\kappa V}{\ln \frac{Z_a}{Z_0} - \psi_m}, u_{*0} \right), \quad (15)$$

$$T_s = (\theta_a - \theta_g) / \left[\ln \frac{Z_a}{Z_0} - \psi_h \right], \quad (16)$$

$$I^{-1} = \kappa u_* \left[\ln \left(\frac{u_* Z_a \kappa}{K_a} + \frac{Z_a}{Z_l} \right) - \psi_h \right]^{-1}, \quad (17)$$

这里 u_* 和 T_* 分别是地面摩擦速度和“摩擦”温度, Z_a 和 Z_0 分别是模式最低层高度和地面粗糙度, ψ_m 和 ψ_h 分别是动量和热量与水汽的无因次稳定度参数, κ 和 K_a 分别是卡门常数和分子扩散率, u_{*0} 和 Z_l 分别是 u_* 的基值和分子层厚度.

由于这里的 H_s 、 E_s 和 H_l 的参数化更合理些, 所以, 用(8)式预报的 T_g 会更合理些.

此外, 夜间状态下, 地面变数的预报主要取决于地面和近地层顶的诸通量; 在近地层以上, 则从 K 理论和一种隐式扩散方案计算^[6]; 在白天状态下, 指自由对流情形, 此时, 近地层变数由一个解析解^[6] 预报, 该解析式与地面通量、近地层顶通量、PBL 高度、混合系数、夹卷系数以及时间步长有关; 在近地层以上变数的预报还与混合系数有关. 在确定不稳定条件时, 不仅与整体 Ri 数有关, 而且还取决于 PBL 高度和 Monin 长度.

不难看出, 高分辨 PBL 参数化要比总体 PBL 参数化更细致、更复杂和更合理.

四、中尺度数值模拟设计

不同 PBL 参数化和干、湿物理过程, 对切变线低涡模拟影响试验设计如表 1. 模拟时间均为 48 小时.

表 1 控制模拟和对比模拟设计

方案	PBL 参数化	水分循环	其它条件和过程	模式分层	方案说明
NO.1	高分辨	湿过程	全	15	控制模拟
NO.2	总体	湿过程	全	10	PBL 参数化对比
NO.3	总体	干过程	全	10	干、湿过程对比

在表 1 中, “湿过程”指有稳定度核查的 Anthes-Kuo 型方案; “其它条件和过程”指: 初始条件和初始化(NMC 全球分析 + 探空和其它资料 + 非线性正规模初始化); 侧边界条件(海绵边界); 地面温度(用有云效应的能量收支方案预报); 不均匀下垫面(分十三类); 地形(NCAR 的 1 度实测资料).

五、模拟结果和讨论

按表 1 设计进行的一系列 48 小时中尺度数值模拟的部分结果, 在图 4—7 中给出. 对图 4—6 中模拟的涡度中心位置和强度与实况涡度中心位置和强度(图 3)作了仔细分析和对比, 其结果列于表 2 中. 由图 3—6 和表 2 的对比, 可以发现以下事实:

● 高分辨 PBL 参数化的全物理过程模拟结果最好. 不仅能较好地模拟出切变线低涡演变过程中的涡度中心位置、强度和垂直结构; 而且, 在对流层下部, 特别在边界层内部, 能相当逼真地模拟出该中尺度系统的突然加强(图 4, 16 日 00UTC). 该事

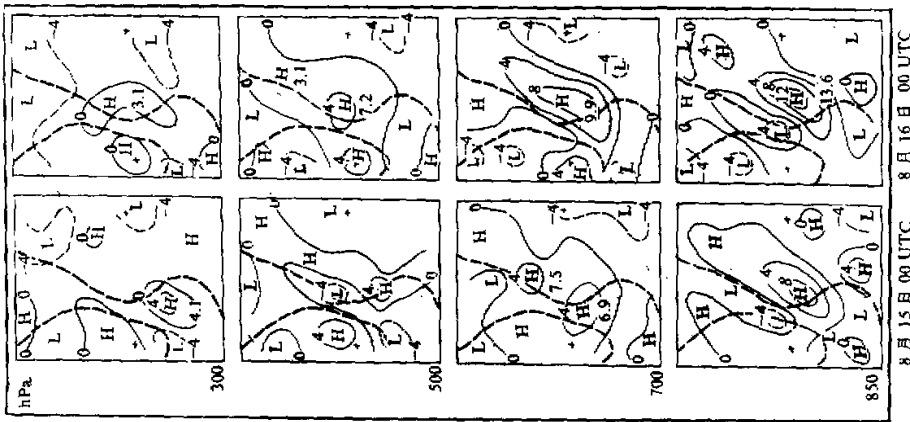


图 4. 控制模拟 (No. 1) [说明同图 3]

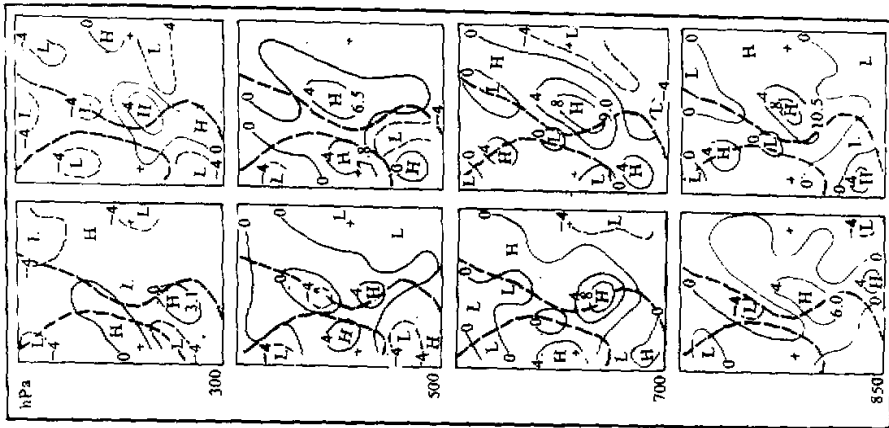


图 5. 总体 PBL 湿模拟 (No. 2) [说明同图 3]

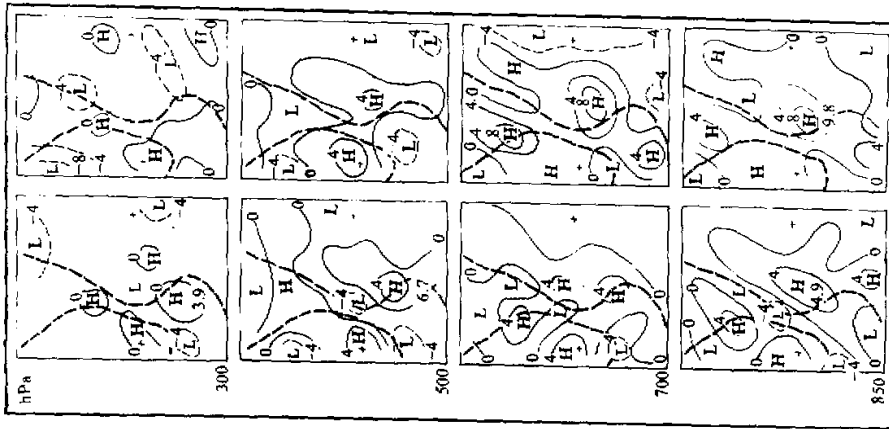


图 6. 总体 PBL 干模拟 (No. 3) [说明同图 3]

实启示：用高分辨的多层 PBL 模式和改进的 PBL 参数化，对受复杂地形和下垫面影响的中尺度系统演变模拟，是十分必要的。

● 总体 PBL 参数化的湿全物理过程，基本上能模拟出切变线低涡演变的中心位置、强度和垂直结构；但模拟不出该中尺度系统在低空和边界层内的突然加强（图 5，表 2，16 日 00UTC）。该事实表明，用总体一层 PBL 模式和空气动力学 PBL 参数化，对这类中尺度系统演变的模拟缺乏描写能力。

表 2 切变线低涡演变的实况计算涡度和诸方案模拟涡度对比

日 时	P (hPa)	实况 涡度		№.1 模拟		№.2 模拟		№.3 模拟	
		中 心 位 置	强 度 ($\times 10^{-5} s^{-1}$)	中 心 位 置	强 度 ($\times 10^{-5} s^{-1}$)	中 心 位 置	强 度 ($\times 10^{-5} s^{-1}$)	中 心 位 置	强 度 ($\times 10^{-5} s^{-1}$)
15 ⁰⁰	300	C 3	3.5	偏 C 3 南	4.1	偏 C 3 南	3.1	偏 C 3 南	3.9
	500	C 5w	7.8	C 5w	4.0	C 5w	4.0	偏 C 5w 南	4.0
		C 5e	3.5	C 5e	4.0	C 5e	4.0	C 5w	6.7
	700	C 7n C 7s	7.2 6.4	C 7n C 7s	7.5 6.9	偏 C 7n 南 偏 C 7s 北	8.0 4.0	C 7n 分裂 C 7s 分裂	4.0 4.0
16 ⁰⁰	850	C 8	5.6	C 8	8.0	偏 C 8 西	6.8	偏 C 8 南	4.9
	300	C 3	2.5	C 3	3.1	C 3	4.0	无 C 3	
	500	C 5n	4.0	C 5n	3.1	无 C 5n		无 C 5n	
		C 5m	8.7	C 5m	7.2	C m	6.5	C 5m	4.0
		C 5s	4.0	偏 C 5s 西	4.0	偏 C 5s 北	7.5	无 C 5s	
	700	C 7n C 7s	9.1 4.0	C 7ns	9.9	C 7ns	9.0	无 C 7n C 7s	8.0
	850	C 8	13.0	C 8	13.6	C 8	10.5	C 8	9.8

说明 表中 C 表示正涡度中心，C 的下标数字和小英文字母分别表示 C 所在等压面及相对方位，有两个字母的表示实况中的两个，但在模拟中未能区分。

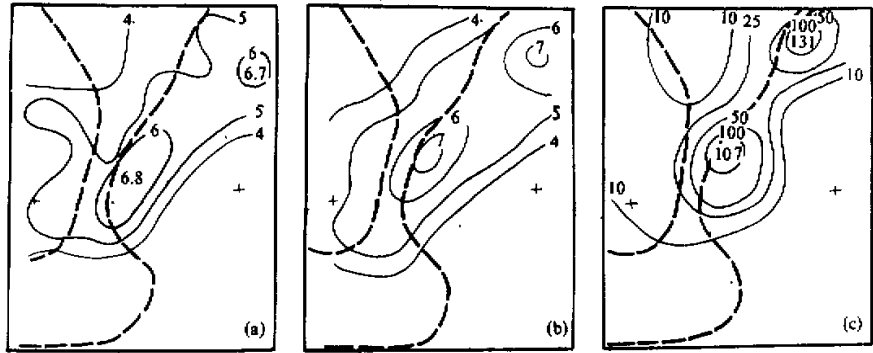


图 7 8 月 14 日 12UTC—16 日 00 UTC 的 36 小时降雨量模拟和实况比较
a：总体 PBL，b：高分辨 PBL，c：实况。

● 中尺度模拟采用总体 PBL 参数化和干过程，其结果是三种方案中最差的，虽然对切变线低涡演变的涡度中心和垂直结构大体上也模拟出来了(图 6，表 2)，但其涡度中心位置与实况有明显偏差(表 2)，有的则完全模拟不出来；此外，涡度中心强度一般均模拟得偏弱。

● 36 小时降雨量预报和实况雨量(图 7)以及切变线低涡的低空涡度分布(图 4—5)比较表明，南边(略阳，绵阳)和北边(延安附近)的两个强降雨中心(分别为 107mm 和 131mm)，在两个湿模拟(干模拟去掉水汽无降水)中(图 7a, b)都模拟出来了，但总体 PBL 参数化的(南、北雨量中心分别为 90.3 mm、81.7 mm)比高分辨 PBL 参数化的(南、北雨量中心均为 110.1mm)模拟雨量小；而后者更接近观测雨量(图 7c)；但二者对北边雨量中心的模拟都相对差些，这主要由于北边强降水与切变线相伴，而南边降水中心主要与低涡相伴。

图 7a、b 中的等 p 线依 $p = \ln(R + 0.01) + 4.6$ 计算式画出。 p 和 $R(\text{cm})$ 对应值如下：

P	4	5	6	6.7	6.8	7
$R(\text{cm})$	0.54	1.48	4.05	8.17	9.03	11.01

上述事实表明，提高 PBL 的垂直分辨率和改进 PBL 参数化，是改进中尺度数值模拟的关键问题之一。为说明改进 PBL 参数化的物理本质，则必须了解边界层物理过程的重要性和复杂性，以及改进 PBL 参数化方案的内涵。

● 整个大气的主要能源是太阳辐射，而绝大部分辐射能为地面吸收，然后，通过 PBL 过程又传输给大气。这就是为什么要尽可能精确地预报地温 T_g 。

● 事实上，进入自由大气的全部水汽都是首先经由 PBL 的湍流过程及平流过程输送的。这正是用高分辨 PBL 改进湿度场和风场预报的原因。

● 动量通过 PBL 向地面的湍流输送是大气最重要的动量汇。因此，改进 PBL 内动量计算是必要的。

● 水汽中的潜热贮存是驱动大气运动和中尺度系统发展的重要能源。所以，对水汽通量和热通量作了改进的高分辨 PBL 参数化，其结果就好些。

● 白天和夜间的 PBL 状态明显不同，对夏季暴雨过程尤其需要区分，这正是高分辨 PBL 方案把夜间(稳定，机械驱动湍流，强迫对流)和白天(自由对流)状态进行判定区分的原因。

● 高分辨 PBL 参数化优于总体 PBL 参数化的本质，是改进了对 PBL 内湍流和物理过程的描写。

● 干过程模拟不成功的本质，是切断了边界层及自由大气内的水汽源。这对暴雨过程显然是人为的歪曲；而此时，中尺度系统的演变主要受斜压强迫机制控制。

六、结 语

根据对不同 PBL 参数化方案及湿、干过程的对比模拟与分析讨论，可得如下结论：青藏高原东侧“81.8”持续暴雨过程的大、中尺度分析和涡度诊断表明，该过程与

中 α 尺度切变线低涡的发生和持续发展直接关联, 对其主要过程的涡度诊断指出, 初生于青藏高原东侧低空的切变线低涡中心, 其后, 不仅出现了高、低空涡度中心的叠加和耦合过程, 而且在 PBL 内发生了迅速加强过程, 这种过程与切变线低涡的持续发展相伴。

一系列 48 小时中尺度数值模拟结果揭示: 只有高分辨 PBL 参数化的湿物理过程, 才能较好地模拟出切变线低涡在 PBL 内的突然加强, 以及涡度的演变和垂直结构; 而总体 PBL 参数化则不能模拟出切变线低涡在 PBL 内的迅速加强, 虽然其涡度演变和垂直结构仍能基本模拟出来; 总体 PBL 参数化的干过程模拟结果指出, 这种方案均较前两种湿过程方案差, 特别是被模拟系统的强度明显减弱, 位置偏离。

模拟、诊断和观测之间的对比揭示: 尽可能仔细地改进 PBL 参数化和湿物理过程, 才有可能改进对这类中尺度系统发生、发展的模拟。

致谢: 作者衷心感谢 Dr. R. A. Anthes 对本工作的大力支持和热情帮助。

参 考 文 献

- [1] Tao, S. -Y., and Y. -H. Ding, 1981, Observational evidence of the influence of the occurrence of heavy rain and severe convective storms in China, *Bull. Amer. Met. Sci.*, **62**, 23-30.
- [2] Kuo, Y. -H., L. Cheng and R. A. Anthes, 1986, Mesoscale analysis of the Sichuan flood catastrophe, 11-15 July 1981, *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 1984-2003.
- [3] 程麟生, "81.8" 持续暴雨期中 α 尺度低涡发展的涡度变率和热源, 高原气象 (1991, 即将发表).
- [4] Pielke, R. A., 1984, *Mesoscale Meteorological Modeling*, Academic Press, Inc., p. 612.
- [5] Ray, P. S., 1986, *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, AMS, Boston, p. 785.
- [6] Anthes, R. A., E. -Y., Hsieh and Y. -H. Kuo, 1987, Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4), Boulder, Colorado, NCAR (NCAR/TN-282+STR), p. 46.
- [7] Kuo, Y. -H., L. Cheng, and J. -W. Bao, 1988, Numerical simulation of the 1981 Sichuan flood, Part I: Evolution of a mesoscale Southwest Vortex, *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 2481-2504.
- [8] 程麟生、郭英华, 1988, 物理过程和分辨率对西南涡演变的中尺度模拟影响, 高原气象, **7**, 289-299.
- [9] Blackadar, A. K., 1979, High-resolution models of the planetary boundary layer, *Advances in Environmental Science and Engineering*, **1**, 50-85.
- [10] Benjamin, S. G., 1983, Some effects of surface heating and topography on the regional severe storm environment, Ph. D. thesis, Dept. of Meteo., Penn State Uni., p. 265.
- [11] Zhang, D. -L., and R. A. Anthes, 1982, A high-resolution model of the planetary boundary layer sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data, *J. Appl. Meteo.*, **21**, 1594-1609.

Mesoscale Numerical Simulation of the Influence of PBL Parameterization and Moist Process on Development of a Shear-Line Vortex

Cheng Linsheng

Yinghwa Kuo

(Lanzhou University, Lanzhou, 730001)

(NCAR)

Abstract

During the period of 14–22 August 1981, a persistent heavy rainfall event occurred over adjoining region of Shanxi, Gansu and Sichuan provinces which are located on the eastern side of the Tibetan Plateau. The vorticity diagnosis of the main heavy rainfall event showed that the shear-line vortex originated in lower level of the eastern side of the Tibetan Plateau. Following that event, not only vorticity centers superimposed and coupled at the upper and lower level, but also an intensive process took place rapidly in the PBL. This process was accompanying by persistent development of the shear-line vortex.

A series of 48 hr and 72 hr mesoscale numerical simulations reveal that only the high resolution PBL parameterization with moist process can well simulate the rapidly intensive process in the PBL, vorticity evolution and vertical structure of the shear-line vortex. The bulk PBL parameterization can not simulate this rapidly intensive process of the shear-line vortex although its vorticity evolution and vertical structure can be roughly simulated. The simulation result of the bulk PBL parameterization with dry process indicates that this scheme is worse than the two schemes with moist processes as mentioned above, especially, the intensification of simulated shear-line vortex was significantly weakened and the location deviated.

The comparisons of the simulations, diagnoses and observations reveal that only by improving PBL parameterization and moist physical processes as careful as possible can we improve the simulations of the formation and development of this kind of mesoscale systems.

Key words: High resolution PBL parameterization; Shear-line vortex bulk PBL parameterization; Mesoscale simulation.