

对流凝结加热对华北夏季 锋面影响的数值模拟研究^{*}

杨志伟 丁一汇 王鹏云

(中国气象科学研究院, 北京100081)

提 要

本文利用改进的 MM2 模式, 用干、湿过程模拟了一次夏季华北锋面结构。干模式仅能模拟出大尺度特征和明显偏弱的锋面环流, 而湿模式可模拟出某些重要的中尺度流场特征。表明只要具有合理的模式物理过程, 使用大尺度资料, 也可以在一定程度上模拟出中尺度系统。

对流参数化的试验表明, 系统演变和降水预报对湿润因子 b 和增温廓线很敏感。在此工作基础上, 设计了考虑下沉气流的积云参数化方案。初步结果表明, 这种方案使降水量预报有改进。

关键词: 对流参数化, 华北夏季降水, 数值模拟。

1 引 言

锋面是重要的降水天气系统, 过去已有许多研究。近10年来, 不少人开始用数值模拟的方法研究锋面的演变及各种物理过程的作用, 得到了不少有益结果。例如, Blumen (1980)^[1] 在 Hoskins 和 Bretherton 的水平切变模式中加进了 Ekman 边界层, 研究了锋面的演变。Keyser 和 Anthes (1982)^[2] 加进了高分辨的边界层, 研究了锋面的结构和演变。Williams 等 (1981)^[3] 曾加进水汽和对流层顶效应以及用对流调整方案, 计算了凝结潜热及其对锋面的影响。Ross 和 Orlanski (1978)^[4] 用不同基本状态研究了锋生中的水汽效应。Hsie 等 (1984)^[5] 用显式格式和中分辨边界层研究了在锋面环流中的凝结和蒸发效应。以上这些工作加深了对锋面动力学的认识, 也为改进锋面的短期预报提供了一定的依据。

相对来说, 锋面是尺度较大的次天气尺度系统, 根据目前的资料状况, 可以利用中尺度数值模式来模拟锋面的主要结构和演变。本文目的是: 用美国 NCAR/PSU 中尺度模式 (MM2) 模拟一次夏季华北冷锋的演变, 考察积云潜热释放的非绝热加热对华北锋面环流的作用及 Kuo 氏积云参数化方案对这种锋面过程的描述能力, 在此基础上提出改进的对流参数化方案, 提高中尺度模式对湿过程的模拟能力。

^{*} 1991年5月21日收到原稿, 1992年11月14日收到最后修改稿。本研究受国家自然科学基金会资助。

对流凝结加热对华北夏季 锋面影响的数值模拟研究*

杨志伟 丁一汇 王鹏云

(中国气象科学研究院, 北京100081)

提 要

本文利用改进的 MM2 模式, 用干、湿过程模拟了一次夏季华北锋面结构。干模式仅能模拟出大尺度特征和明显偏弱的锋面环流, 而湿模式可模拟出某些重要的中尺度流场特征。表明只要具有合理的模式物理过程, 使用大尺度资料, 也可以在一定程度上模拟出中尺度系统。

对流参数化的试验表明, 系统演变和降水预报对湿润因子 b 和增温廊线很敏感。在此工作基础上, 设计了考虑下沉气流的积云参数化方案。初步结果表明, 这种方案使降水量预报有改进。

关键词: 对流参数化, 华北夏季降水, 数值模拟。

1 引 言

锋面是重要的降水天气系统, 过去已有许多研究。近10年来, 不少人开始用数值模拟的方法研究锋面的演变及各种物理过程的作用, 得到了不少有益结果。例如, Blumen (1980)^[1] 在 Hoskins 和 Bretherton 的水平切变模式中加进了 Ekman 边界层, 研究了锋面的演变。Keyser 和 Anthes (1982)^[2] 加进了高分辨的边界层, 研究了锋面的结构和演变。Williams 等 (1981)^[3] 曾加进水汽和对流层顶效应以及用对流调整方案, 计算了凝结潜热及其对锋面的影响。Ross 和 Orlanski (1978)^[4] 用不同基本状态研究了锋生中的水汽效应。Hsie 等 (1984)^[5] 用显式格式和中分辨边界层研究了在锋面环流中的凝结和蒸发效应。以上这些工作加深了对锋面动力学的认识, 也为改进锋面的短期预报提供了一定的依据。

相对来说, 锋面是尺度较大的次天气尺度系统, 根据目前的资料状况, 可以利用中尺度数值模式来模拟锋面的主要结构和演变。本文目的是: 用美国 NCAR/PSU 中尺度模式 (MM2) 模拟一次夏季华北冷锋的演变, 考察积云潜热释放的非绝热加热对华北锋面环流的作用及 Kuo 氏积云参数化方案对这种锋面过程的描述能力, 在此基础上提出改进的对流参数化方案, 提高中尺度模式对湿过程的模拟能力。

* 1991年5月21日收到原稿, 1992年11月14日收到最后修改稿。本研究受国家自然科学基金会资助。

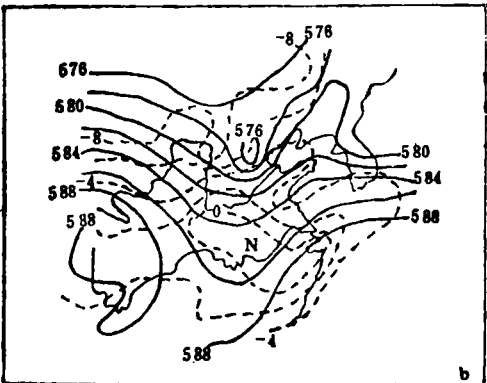
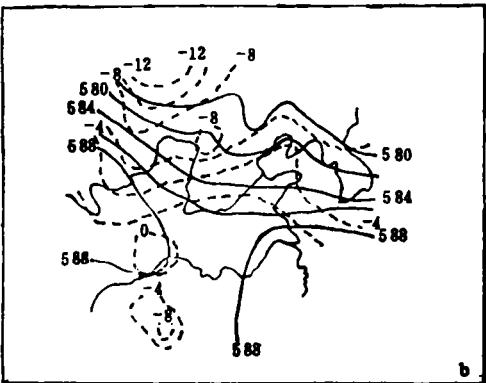
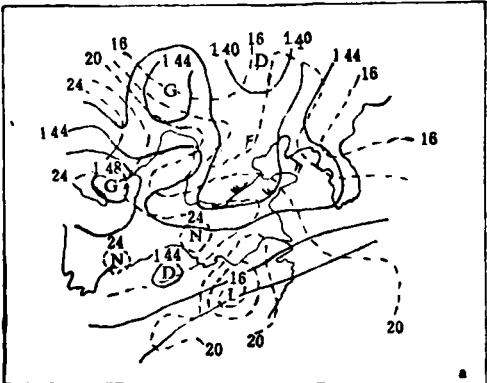
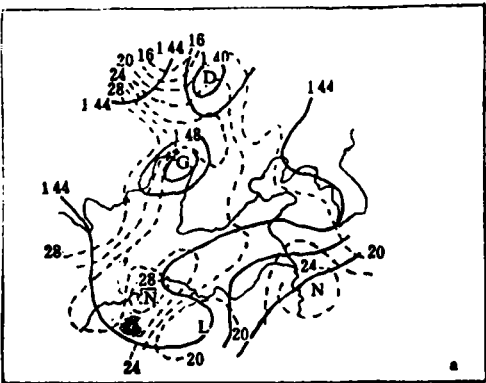


图2 20日20点的实况天气图
(a 850hPa, b 500hPa; 实线为等高线, 单位: 10gpm, 间隔20gpm, 虚线为等温线, 单位: $^{\circ}\text{C}$, 间隔 2°C)

图3 21日08点实况天气图
(说明同图2)

石家庄一线有一暖式切变线,其南侧西南风盛行,由西南气流带来的暖湿空气使得整个锋前处于潮湿不稳定的状态。

500hPa 高空图上(图2b)冷槽比低空的要深,河套附近的高空槽呈疏散槽形式。

21日08点,850hPa 上的整个锋区已明显加强并南下(图3a),高空槽加深,同时500hPa (图3b)冷空气已南下到华北地区,因此锋区在这期间有一次明显加强的过程,并在暖区中触发锋前的暖湿不稳定空气产生降水。

到21日20点,锋区强度已经减弱(图略)。

综上所述,此次锋面过程经历加强和迅速减弱的两个阶段。强降水发生在冷锋增强前阶段的暖区中。整个系统自西向东移动。雨量分布见图5。

3.2 数值试验设计

为了解积云的加热对锋面的大尺度加热场的作用,我们设计了6个试验。

Ex1是控制试验,Ex2不考虑水汽的影响,即干模式。Ex3和Ex4是为研究 Kuo 氏方案中湿润因子 b 的影响。通过选择不同大小的 b 值可考虑积云潜热释放对加热场的“相对作

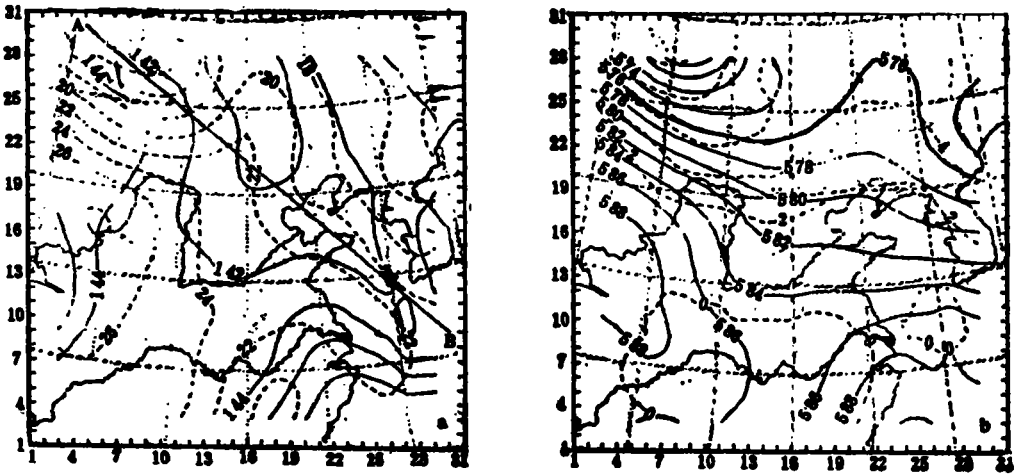


图4 12小时预报图
(a 850hPa, b 500hPa; 边框周围数字是网格点数, 其它说明同图2)

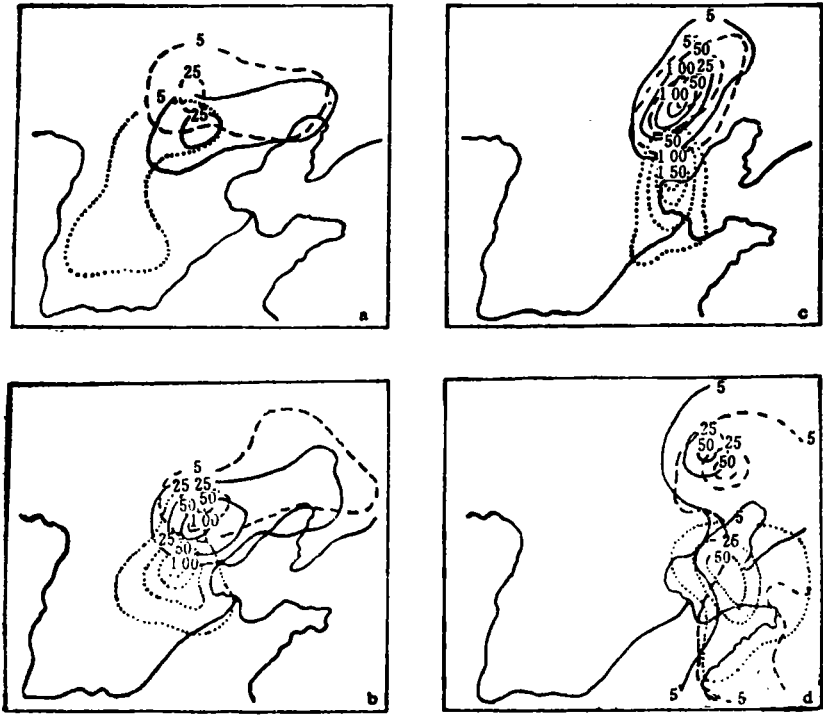


图5 Ex1预报的雨量(虚线)及Ex6预报雨量(实线)和实况(点线)对比
(a 20²⁰—21⁰², b 21⁰²—21⁰⁸, c 21⁰⁸—21¹⁴, d 21¹⁴—21²⁰; 单位:mm)

用”。Ex5是考虑积云加热垂直分布不同对锋面的影响。Ex6是本文中提出的改进的 Kuo 氏方案,主要考虑云中下沉气流对中小尺度水汽辐合的反馈作用。这个问题将在第七部分详细说明。

3.3 初始资料处理

初始资料取自国家气象中心的实时资料库,包括的变量有各气压标准层的高度、温度、温度露点差、风向、风速等。首先人工检误,剔除明显不合理的值,然后经逐步订正的客观分析方案,将资料插到各网格点上,最后再垂直内插到 σ 面上,并对初始场进行整层无辐散处理。预报开始时间是20日20点。

4 控制试验结果的分析和比较

控制试验12小时预报的850hPa形势场(图4a)表明,低压槽位置和范围与实况大致相同。预报的温度场和模式本身的初始场(图略)相比,暖脊明显北抬,锋区等温线密集,这说明了在此期间有加强的过程,这与实况是一致的,只是冷空气强度稍弱于实况。

500hPa的预报场(图4b)报出了主要槽区,但比实况浅一些,高压脊北伸明显,槽在东移过程中也是加强的,并呈辐散槽形式,这些基本特点都是与实况一致的。

24小时的预报场(图略)明显地反映出锋面在南压过程中开始减弱,暖脊已变得非常弱。

从以上控制试验的结果看,基本上报出了12小时锋面系统加强的趋势和24小时的迅速减弱的两个阶段。

图5是降雨区的比较。模式预报的降水区与实况大致相似,但降水中心位置比实况偏北二个网格点距离(约180km)。这可能同模拟的冷空气偏弱,暖脊偏强有关。另外一个明显的差别是6到18小时的预报雨量基本上只有实况的1/2—1/3左右。这是郭晓岚参数化方案(Kuo, 1965^[9])的主要问题(丁一汇等1986^[10]),不少人对此已作了改进,这也是本文的主要目的之一。

非常值得一提的是,控制试验(Ex1)预报的降水量分布具有明显的不均匀性。最大

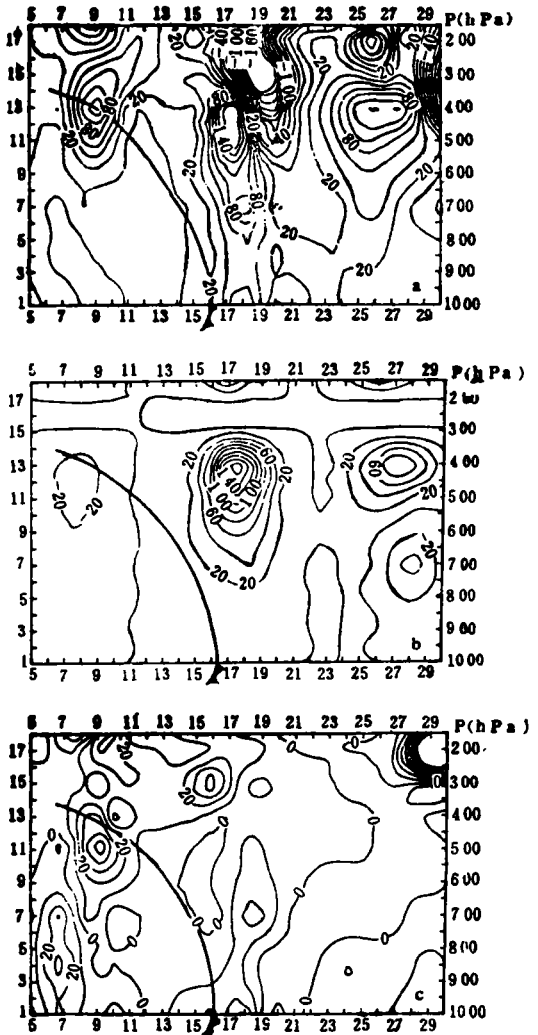


图6 湿模式锋生函数及各项贡献

(a 总锋生函数, b 非绝热项, c 变形项)

(单位: $10^{-11} \text{K}/(\text{m} \cdot \text{s})$, 图c间隔为10, 图a, b间隔为20; 框右边数值是气压高度值, 其它边框数值是网格点数, 图中实线表示锋面位置)

降雨量的网格点与邻近点雨量相差20—30mm 以上,且主要是在6小时到18小时的预报时段内,这与实况雨量的不连续分布极其相似。上述结果说明中尺度数值模式在具有合适的大尺度初始场的情况下,是能够模拟出次天气尺度和降水分布的一些特征来的。李毓芳和Anthes (1984)^{〔11〕}曾比较系统地说明了这一问题。

5 干、湿模式的比较

表1 干、湿模式中锋区的物理量对比

物 理 量		干	湿
涡 度 (10^{-5}s^{-1})	高层(200hPa)	12.3	14.54
	中层(500—700hPa)	1.8	10.3
	低层(近地面)	3.14	5.5
散 度 (10^{-5}s^{-1})	高层(200hPa)	-0.24	7.3
	中层(500—700hPa)	-0.65	-6.27
	低层(近地面)	-1.23	-5.5
风速 * ($\sqrt{u^2 + v^2}$, 单位 m/s)		>25	>35
ω^* (10^{-3}hPa/s)		- 3.6	- 19.98
v^* (m/s)		> 8	> 15
u_{ag} (m/s, 近地面锋前)		< -5	< 10^{-10}
地面气压(hPa)		998	990

注:表中数值均是中心点数值。
带* 值均是锋前的200—300hPa 高度上的值。

我们选用沿与锋面近于正交的图4a 中 AB 的垂直剖面来说明锋面结构。表1给出的是一些关于锋面的具体物理量对比,不难看出湿模式所模拟出的锋面要强于干模式。同时通过 ω 和 u_{ag} 分布,能得出通过AB剖面上有一直接的锋面环流(图略)。湿模式较干模式锋面环流强度强,锋前 u_{ag} 中心靠近锋面,梯度大,具有中尺度特征。

为了了解影响锋面环流强度的物理因子,我们利用Ogura 和Portis (1982)^{〔12〕}提出的P坐标下的锋生函数 $\frac{d}{dt}|\nabla_2\theta|$ 进行诊断。

图6给出了湿模式的总锋生函数及各项对总锋生函数的贡献。比较总的锋生函数(图6a)与变形项(图6c)和辐合项(图略),可以看出地面锋生主要来自这两项,而倾斜项贡献主要是在中上层(图略),这三者量级相同。对于非绝热项的计算,我们仅考虑了降水的潜热释放所产生的加热影响,图6b 是非绝热项贡献,不难看出,它的量级比前三项大,且主要是在中上层。

同干模式总锋生函数(图7)比较,干模式量级明显偏小。除非绝热项外,干模式的相应各项对锋生函数贡献同湿模式相似(图略),但其量级小于湿模式,这表明潜热强迫项对锋生过程

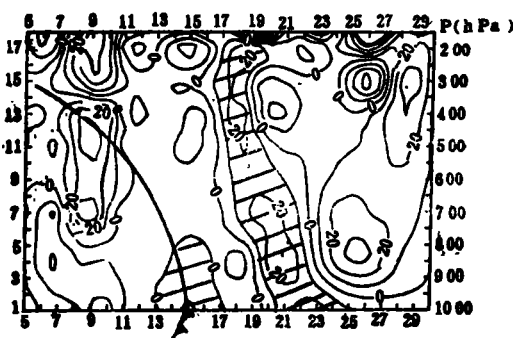


图7 干模式的总锋生函数
(阴影区是锋生函数的正值区,单位同图6,间隔为10)

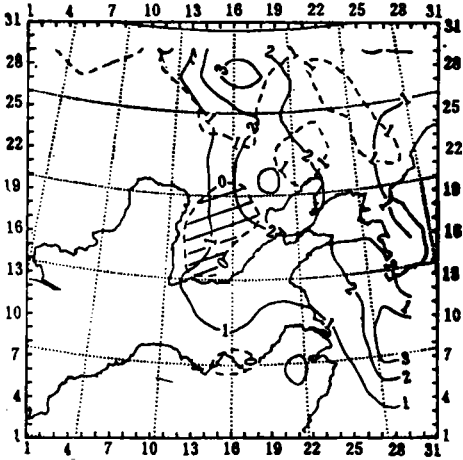


图8 $\langle \text{Ex3} \rangle - \langle \text{Ex1} \rangle$ 的850hPa 差值场
(实线是等高线差值,单位:gpm,虚线是等温线差值,单位:℃,阴影区是等值线的负值区)

的重要性。

6 湿润因子 b 和增温廓线的敏感性试验

从三个试验的降水分布(图略)可以看到,当 Ex3($b=0.8$)情况时,降水部分偏小。当 b 很大时,则增湿作用大,降水部分就偏小,这是合理的。Hsie 等(1984)^[5]利用 SESAME—AVE 资料在湿环境下模拟锋面工作中发现,当有大尺度降水时, b 因子很大,因此 $b=0.8$ 时,它所模拟的降水主要是大尺度降水。

EX4的 b 值取为0.15,Hsie 等(1984)^[5]计算结果表明对流性降水时 b 值较小,即大部分水汽辐合用于降水。一般在旺盛的强对流时段 b 因子不足0.1,因此 Ex4中所取的 b 值是接近于强对流天气时的条件,计算结果表明在前6小时模拟的雨区与实况接近,但雨量仍偏小。

Ex5中所取的增温廓线是参照了 Kuo 和 Anthes(1982)^[8]诊断得到的曲线。他们的廓线是积云旺盛期得到的。主要特点是增温最大值在300hPa 左右,约在云顶附近,原因可能是 $\overline{\omega'T'}$ 中 ω' 由负值趋近于零,因此 $\frac{\partial \overline{\omega'T'}}{\partial p}$ 在云顶附近出现最大值。结果表明,增温廓线最大值位置升高,并不利降水增强。

湿润因子和增温廓线对环流场的影响同样也是很大的。我们仅以 Ex3($b=0.8$)为例,图8表明 Ex3的850hPa 环流系统普遍地要比 Ex1试验弱,类似于干模式情况。最大差值恰好是在控制试验的低槽处,而这一区域是降水中心,这种差别是由凝结潜热不同引起的。而且我们也注意到,随时间推移,最大差值也随着增加,这可能是由于降水引起的加热强迫累积效应的结果。

850hPa 温差场的相对低值区正好处在控制试验中850hPa 温度脊附近,这表明控制试验的暖脊要比 Ex3试验强,因此控制试验的冷暖对比更强一些,所模拟出的锋面系统也要比 Ex3强。

通过以上三个试验,我们可以发现 b 因子和增温廓线无论是对降水量预报,还是对环流形势预报都有明显的作用。

7 改进的积云参数化方案

众所周知,Kuo 氏积云参数化方案是针对低纬热带潮湿大气而提出的,主要考虑的是单个深对流积云对环境的影响,这对于中纬度有组织的对流系统以及在中纬度处于干冷环境下的强对流系统并不完全适合。Kuo 和 Anthes(1984)^[8]曾用 Kuo 氏参数化方案作过半预报试验,发现湿润因子 b 在积云发展后期常为负值,这表明水汽辐合量并不完全是由大尺度水汽辐合提供的,很可能是与同时发展起来的中尺度辐合有关。Frank(1983)^[13]曾指出,Kuo 氏积云参数化方案中的最大问题是需要进一步准确地估计水汽辐合以及考虑加进网格不能分辨的中尺度环流系统的作用。

本文所模拟的对象是华北冷锋,其中的对流系统是在中上层干冷环境下发展起来的。根据观测发现,对流系统中往往存在着明显的下沉气流,它与斜压的上升气流相互作用着,其结果可以加强中尺度水汽辐合,增加降水量。因此本文的参数化模式是通过引进云

中的下沉气流增加云中的水汽辐合,以此提高积云加热量,这实际上是在一定程度上考虑了中尺度环流的作用。

下沉气流是由卷入对流系统的环境中的干冷空气引起的。由于云中蒸发冷却的作用,这种中层干冷空气可以迅速下沉,并在近地面层堆积,向四周扩散,抬升流入的暖湿空气,从而增加云中的水汽辐合量,为增加降水提供必要的水汽条件。Simpson 等(1980)^[14]曾提出过类似的观点,指出由积云单体之间的下沉运动而产生新的辐合,可以在旧积云之间触发新的对流云。这种情形在有明显垂直风切变的环境中更易出现。

为考虑中尺度下沉气流的效应,我们采用以下方案:

由水汽方程得到:

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{g} \int_{P_B}^{P_T} \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} dp - \frac{1}{g} \int_{P_B}^{P_T} \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}} q dp + \frac{1}{g} (\bar{\omega}_B \bar{q}_B - \bar{\omega}_T \bar{q}_T) \\ & = \frac{1}{g} \int_{P_B}^{P_T} \bar{c}^* dp + \frac{1}{g} (\overline{\omega' q'}_T - \overline{\omega' q'}_B) \end{aligned} \quad (1)$$

其中 T 和 B 分别表示云顶和云底,

$$\bar{\chi} = \alpha_c \chi_c + \alpha_d \chi_d$$

χ 是任一物理量, α_c 为云在一个网格内所占的面积比(以百分率计算), α_d 为无云区面积比。

我们不难得到以下关系(Kuo, 1965^[15])

$$\overline{\omega' q'} = \frac{\alpha_c}{1 - \alpha_c} (\omega_c - \bar{\omega})(q_c - \bar{q}) \quad (2)$$

下标 c 和 d 分别表示云中和云外物理量。

在一般情况下,我们常认为气块抬升速度是由大尺度运动强迫产生的,所以气块在抬升到云底时,有 $\omega' = \omega_c - \omega_B = 0$, 但是当我们加进下沉气流后,气块抬升速度是在大尺度辐合场和中尺度下沉气流的共同强迫下产生的,气块抬升速度要比不加进这种效应大,因此 $\omega' \neq 0$ 。同时被抬升的气块始终是底层的潮湿空气,所以有

$$q' = q_c - q_B \neq 0。$$

从式(1)可以得到:

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{g} \int_{P_B}^{P_T} \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} dp - \frac{1}{g} \int_{P_B}^{P_T} \bar{c}^* dp = \frac{1}{g} \int_{P_B}^{P_T} \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}} q dp \\ & - \frac{1}{g} (\bar{\omega}_B \bar{q}_B - \bar{\omega}_T \bar{q}_T) - \overline{\omega' q'}_B / g + \overline{\omega' q'}_T / g \end{aligned} \quad (3)$$

上式左边第一项是气柱的增湿部分,第二项是降水部分,右边是总的水汽辐合。

结合式(2),总的水汽辐合可改写为:

$$\begin{aligned} M_t &= \frac{1}{g} \int_{P_B}^{P_T} \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}} q dp - \frac{1}{g} (\bar{\omega}_B \bar{q}_B - \bar{q}_T \bar{\omega}_T) \\ & - \frac{\alpha}{1 - \alpha} (\omega_{CB} - \omega_B)(q_{CB} - \bar{q}_B) + \frac{2 \overline{\omega' q'}_T}{g} \end{aligned} \quad (4)$$

其中 ω_{CB}, q_{CB} 是云底物理量,在 P_T 取在模式顶高度时,我们只须确定 ω_{CB}, q_{CB} 这两个量,就可完整地描述水汽辐合了。

1. q_{CB} :假设云底是 LCL 层高度,则在此云底以下抬升地面量,由于在于绝热过程中, $\frac{dq}{dt} = 0$,因此我们可以取作云底下开始抬升时的 q 值为 q_{CB} 值。

2. ω_{CB} :参考 *Pielke*(1984)^[15],类似地有:

$$M_u(z_{LCL},t) = \overline{M}(z_{LCL},t) - M_D(z_{LCL},t)$$
$$M_d(z_{LCL},t) = -\gamma M_u(z_{LCL},t - T)$$

其中 $M_u, \overline{M}, M_d$ 分别是 LCL 层高度上的积云上升运动,大尺度或网格点上的垂直运动和下沉运动。上式表明: t 时刻的下沉运动与 $t - T$ 时刻的上升运动成正比,而 t 时刻的上升运动与同一时刻的下沉运动是有密切关系的。

通过以上简单方法,我们可以直接在参数化方案中考虑下沉运动对上升运动的反馈作用。在本文中对以上参量作了如下简化:

- (1) q_{CB} :选取的是第十层的半 σ 层上的 q 值。即认为这种抬升效应是从近地面层开始的。
- (2) T 和 γ : γ 取为 0.2, T 取一个时间步长的时间间隔,约为 191s。
- (3) LCL 层(即 P_B):选取在第 8 层 σ 层上,这大约是在 850hPa 高度左右。
- (4) P_T :这里取在模式顶高度 150hPa,这同华北夏季的高大积云顶在 200hPa 附近大致相近。

通过初步试验得到,用以上改进的积云参数化方案所模拟的结果在某些方面有所改进,尤其是在降水量的预报方面。

同实况相比,最初 6 小时所预报的雨量大(图 5),后几个时段的雨量与实况相当吻合,具体见表 2。

表 2 实况、新方案及控制试验的雨量中心值(mm)

情况	20 ²⁰ —21 ⁰²	21 ⁰² —21 ⁰⁸	21 ⁰⁸ —21 ¹⁴	21 ¹⁴ —21 ²⁰
实况 (mm)	14	108	150	61
改进方案 (mm)	41	105	154	51
控制试验 (mm)	39	50	61	54

虽然新方案在某些方面有所改进,但还存在以下问题:

- 1. 新改进方案对 γ 因子的选择非常敏感,我们曾对 γ 因子作过选择,发现雨量差别很大。
- 2. 对下沉气流产生的机制描述得不够完善,还应考虑加进下沉气流蒸发和干冷空气夹卷等因子的作用。
- 3. 现在计算云底向上的积云质量通量处理比较粗。还应结合下沉气流以及边界层效应来描述。

8 结 论

本文通过设计了六个不同试验,探讨了对流凝结加热对华北夏季冷锋结构的影响。MM2 模式能够模拟出中尺度现象的某些特征,如雨量和 ω 场,但雨量在时间上的中

尺度特征模拟得还不很理想。

通过干、湿模式对比,发现干模式所模拟出的仅具有大尺度特征,在一定程度上能反映出锋面的结构,所模拟出的锋面明显弱于湿模式,这表明华北夏季冷锋与湿过程有密切关系,或者说,移到华北的锋面及锋面环流至少是热力、动力因素共同维持的,这与西北或蒙古地区的干锋(主要造成大风、尘暴天气)不完全相同。湿模式能模拟出环流场的中尺度现象的结果表明,使用大尺度资料作为初始场,在有较好的模式物理学过程情况下,同样是可以模拟出一些中尺度系统或特征来。为达到这个目的,同时也要求中尺度模式对强迫项要有合理的描述。

锋生函数诊断结果表明低层锋面加强主要是由变形项和辐合项造成的,倾斜项和凝结潜热项的影响主要是在高空,且凝结潜热项是很重要的,因而湿物理过程的合理描述对模拟锋面演变和锋生过程是至关重要的。

湿润因子 b 和增湿廓线的选择对锋面系统的结构和降水预报是非常敏感的。 b 值大时,更接近于干模式,即大尺度特征。增湿廓线的最大加热值高度对锋面系统演变有关系,如果最大值升高,将不利于系统的进一步发展。

最后,新改进的方案对降水量预报改进明显,这说明中尺度下沉气流的引入是有一定作用的,作为一种新的思路值得进一步研究,尤其是对中纬度积云对流系统。今后如何更好地对中尺度下沉气流进行参数化是改进对流参数化方案时应该考虑的一个重要方面。

参考文献

- [1] Blumen W. A comparison between the Hoskins-Bretherton model of frontogenesis and the analysis of intense surface frontal zone. *J Atmos Sci*, 1980, 37:64—77.
- [2] Keyser D, Anthes R A. The influence of planetary boundary layer physics on frontal structure in the Hoskins-Bretherton horizontal shear model. *J Atmos Sci*, 1982, 39:1783—1802.
- [3] Williams R T, Chou L C, Cornelius C J. Effects of condensation and surface motion of the structure of steady-state fronts. *J Atmos Sci*, 1981, 38:2365—2376.
- [4] Ross B B, Orlanski I. The circulation associated with a cold front. Part II: Moist case. *J Atmos Sci*, 1978, 35: 445—465.
- [5] Hsie E Y, Anthes R A, Keyser D. Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere. *J Atmos Sci*, 1984, 41: 2581—2594.
- [6] 李毓芳,黄安丽,高坤. AW 模式对梅雨暴雨的预报试验. *杭州大学学报*, 1987, 14(2):218—232.
- [7] Anthes R A, Warner T T. Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other meso meteorological studies. *Mon Wea Rev*, 1978, 106:1045—1075.
- [8] Kuo Y H, Anthes R A. Semiprognostic tests of Kuo-type cumulus parameterization scheme in an extratropical convection system. *Mon Wea Rev*, 1984, 112:1498—1509.
- [9] Kuo H L. On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. *J Atmos Sci*, 1965, 22:40—63.
- [10] 丁一汇,傅秀琴,张宝严. 1979 年夏季季风试验时期一个孟加拉湾低压中凝结加热的分布. *气象学报*, 1986, 44(3):352—356.
- [11] 李毓芳, Anthes R A. 次天气尺度和中尺度预报中的初值问题. *气象学报*, 1984, 42(4):499—504.
- [12] Ogura Y, Portis D. Structure of the cold front observed in SESAME-AVE III and its comparison with the Hoskins-Bretherton frontogenesis model. *J Atmos Sci*, 1982, 39:2773—2792.

- [13] Frank W M. The cumulus parameterization problem. *Mon Wea Rev.* 1983,111:1859—1871.
- [14] Simpson J, Wescott E, Clerman R J, Pielke R A. On cumulus mergers, *Arch fur. Met. Geobio serie A* 29, 1980,1—40.
- [15] Pielke R A. *Mesoscale Meteorological Modeling*. Orlando Academic Press, 1984, 261—263.

A NUMERICAL SIMULATION OF THE CONVECTION HEATING EFFECT ON THE COLD FRONT IN NORTH CHINA DURING THE SUMMER SEASON

Yang Zhiwei Ding Yihui Wang Pengyun

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

The modified NCAR/PSU mesoscale model version II (referred to as MM2) is used in this paper. First, the dry and moist version models simulate the structure of a cold front in North China during the summer season. The dry model only simulates the large scale features and the weaker frontal circulation. The moist case is capable of simulating some important features of the mesoscale stream fields. It indicated that if the large scale data is well initialized and model has reasonable model physics processes, it also has the ability to simulate the mesoscale features for some systems.

The sensitivity tests of the cumulus parameterized scheme indicate that both the factor b of increasing humidity and the vertical heating profile are very sensitive to describing the evolution of system and to forecasting the precipitation. Based on above works, the cumulus parameterized scheme is designed, which includes the downdrafts. The preliminary results show that the new scheme improves the precipitation forecast.

Key words: Convective parameterization, The precipitation in North China during the summer season, Numerical simulation.