

一个高分辨对流层物质交换模式*

雷孝恩 J. S. Chang**

(中国科学院大气物理研究所, 北京100029)

提 要

在区域酸沉积模式^[1](RADM)基础上, 设计了一个高分辨对流层(TL)物质交换模式(EM3). EM3在以下五个方面明显不同于RADM: 第一, 增加行星边界层(PBL)的垂直网格层次; 第二, TL内考虑分层的垂直涡旋扩散系数型; 第三, 使用TL内分层的水平涡旋扩散系数型; 第四, 采用包含有植物冠层垂直结构影响的新干沉积速度型; 第五, 使用数值扩散小的二阶矩守恒平流格式^[2]. 用EM3和RADM对OSCAR IV^[3]实例作对比模拟, 结果表明EM3能更好地预测出TL内的三维物质分布规律, 在同样条件下, 两模式预测的PBL低层中心浓度比值均大于1.8, 最大值可大于3.

关键词: 垂直结构, 干沉积速度, 数值扩散.

1 引 言

物质守恒方程的尺度分析表明^[1-5], 几百到千公里范围的问题与中尺度气象中的 α 尺度对应, 它和200公里以下的中尺度 β 和 γ 尺度问题相比, 有两大基本特征: 一是物质从PBL垂直交换到整个TL; 另一是大面积下垫面非均匀性(森林、农作物、水域、沙漠、草原和城市等)对物质迁移过程的影响越来越重要。随着酸雨和温室效应问题的兴起, 80年代以来区域环境问题研究发展很迅速。在数值模式研究方面, 可以以美国NCAR最新研制的RADM为代表。

RADM和欧洲1985年公布的32个区域尺度(50—5000km)空气污染模式^[6]相比, 它是先进的, 主要表现在它考虑了物质在整个TL中经历的平流输送、湍流扩散、化学转化、云微物理、干湿迁移及光化学反应等全过程, 研究的痕量气体物质多达28类, 并和目前仍处国际先进水准的NCAR中尺度模式(MM4)^[7]进行同步模拟。此模式已被OSCAR I、II和IV资料验证^[8], 得到大量实测资料的支持, 研究的水平范围为 30×30 网格, $\Delta x = \Delta y = 80$ km, 垂直范围是100 hPa以下的整个TL, 垂直分层6—15不等, 时间步长为15 min。

RADM仍处在研制和发展中, 在PBL垂直结构最新理论和观测结果^[8]的引入、干沉积过程参数化、水平扩散的处理和数值扩散的克服上均有值得改进之处。为此, 通

* 1991年3月25日收到原稿, 1991年9月20日收到修改稿。

** Mailing Address, ASRC, SUNYA, Albany, NY, 12205, U.S.A.

过系统地数值研究,在模式的垂直分层,干沉积过程,分层的水平和垂直涡旋扩散系数,新的平流差分格式的选取等五方面对 RADM 作发展,发展后的模式简称 EM3。

2 模式

模式是以完善的物质守恒方程为出发点。

$$\frac{dc^*}{dt} = -m^2 \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{uc^*}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{vc^*}{m} \right) \right\} - \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} c^* + m \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(mK_x \frac{\partial c^*}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(mK_y \frac{\partial c^*}{\partial y} \right) \right\} + \left(\frac{g}{p^*} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\rho^2 K_z \frac{\partial c^*}{\partial \sigma} \right) + P_{chem} - L_{chem} + \left(\frac{\partial c^*}{\partial t} \right)_{dry} + \left(\frac{\partial c^*}{\partial t} \right)_{clouds} + E \quad (1)$$

$$\text{式中 } c^* = cp^*, \quad p^* = p_s - p_t, \quad \sigma = (p - p_t) / (p_s - p_t) \quad (2)$$

其中 c 为物质体积混合比, $\dot{\sigma}$ 是 σ 坐标系垂直速度, m 为 Lambert 地图投影系数, E 是物质排放率, P_{chem} 和 L_{chem} 分别是由化学反应引起的物质产生率和损失率, $\left(\frac{\partial c^*}{\partial t} \right)_{clouds}$ 是由云引起的物质随时间变化率(包括小尺度浓度垂直方向重新分配,液相化学反应和

降水冲刷等影响), $\left(\frac{\partial c^*}{\partial t} \right)_{dry}$ 表示由干沉积过程引起的浓度变化,其它符号是常见的。

2.1 高分辨的垂直分层

本研究重点之一是要在垂直和水平湍流垂直结构上发展 RADM,为此我们以 EM2⁽⁹⁾ 而不是考虑复杂化学过程的 RADM 为出发点,因 EM2 与 RADM 唯一差别是前者只考虑 SO_2 和 SO_3 两类物质。将 EM2 的 6 个垂直分层变成 19 层(表 1),因此称之为高分辨模式。

EM3 和 EM2 相比,有以下特点:(1)使模式能很好地反映 PBL 详细的垂直结构(由 EM2 在 PBL 里只含 3 层变成 12 层);(2)物质干沉积过程参考高度通常选在最低的网格层上,参考高度由 EM2 的 78 m 变成 3.8 m 后,使模式能很好地反映森林和高农作物冠层垂直结构对沉积过程的影响;(3)风、温和湿度场由 MM4 15 个垂直分层的预测结果耦合提供,15 层以外的值,对 PBL 以内的层次,由文献[8]的公式导出,以上层次用线性内插得到。

2.2 新的干沉积速度型

大气中物质的主要迁移机制是由土壤、森林、植物、建筑物和和水体的地面吸收(或溶解)引起的干沉积,排放到 TL 中的物质,差不多一半以上被干沉积过程从大气中清除掉,它比湿沉积过程更重要。因此干沉积速度的参数化是区域范围物质分布正确模拟的关键问题之一。在 RADM 中是使用如下沉积速度参数化关系

$$V_{d,i}(Z_r) = 100 \left/ \left[\int_{Z_d}^{Z_r} \frac{dz}{K_d} + \frac{1}{0.36u_*} \ln \frac{Z_r}{Z_d} + r \right] \right. \quad (\text{cm/s}) \quad (3)$$

其中 r 是由吸收、溶解引起的总体地面阻力与物质化学性质有关, Z_r 为参考高度, Z_d 为动量汇高度, Z_d 质量汇高度, u_* 地面摩擦速度。式(3)没有把植物冠层内外参数联合起来考虑,而且采用了常通量层的假设,这在冠层内是非常不合理。为了提高沉积速度计算精度,对近地面层和冠层中物质和动量的湍流交换、输送,冠层内物质和动量的吸

收^[10]，地表面上的溶解(吸收或反射)以及大气稳定度等对于沉积过程的影响作了详细的数值研究，最后得到如下完善的关系

$$V_{d..}(Zr) = A_{..} + B_{..} V_{ds}(Z_r) \quad (4)$$

式中 $A_{..}$ ， $B_{..}$ 是大气稳定度。化学物质以及植物(含森林)特征参函数。

$$V_{ds}(Z_r) = \left[\frac{\int_{z_0}^{z_r} \lambda dz}{\int_{z_0}^{z_r} dz + \frac{1}{0.36 u_*} \ln \frac{Z_0}{Z_r}} \right]^{1/2} = (V_{ds} \cdot V_{as})^{1/2} \quad (5)$$

式中 λ 为物质在冠层内或地面上的迁移率(或捕获率)，如果 λ 随高度分布已知(它依赖于界面上和冠层内生物性质、结构和物质的化学性质)，则 V_{ds} (式(5)的分子部分)可由数值积分导出。从式(5)可以认为总体沉积速度 V_{ds} 定义成由大气边界层和冠层内湍流向下降引起的质量传送速度 V_{as} (式(5)分母部分)和界面吸收作用引起的质量传送速度 V_{ds} 的几何平均，表达式导出的详细过程参考文献[11—12]。使用国际上20个不同地区(6种污染物及不同下垫面)10年内的1022个实测沉积速度资料分别与 V_{ds} 和 V_{ds} 进行比较，其计算与实测的平均比值分别为 0.808 ± 0.611 和 1.061 ± 0.816 ， V_{ds} 明显好于并大于

表1 垂直坐标分层对照

k	σ	p(hPa)	Z(m)	EM ₁ (RADM)	MM ₁	EM ₂
0	1.000	1000.0	0.00	0	0	0
1	0.999	999.1	7.72			1
2	0.995	995.5	38.68			2
3	0.990	991.0	77.51		1	3
4	0.980	982.0	155.59	1	2	4
5	0.960	964.0	313.51		3	5
6	0.930	937.0	554.92	2	4	6
7	0.890	901.0	885.72		5	7
8	0.865	878.5	1097.8			8
9	0.840	856.0	1314.6	3	6	9
10	0.780	802.0	1854.1		7	10
11	0.700	730.0	2621.1		8	11
12	0.650	685.0	3132.3			12
13	0.600	640.0	3671.3	4	9	13
14	0.500	550.0	4848.7		10	14
15	0.400	480.0	6194.1		11	15
16	0.300	370.0	7772.6	5	12	16
17	0.200	280.0	9760.3		13	17
18	0.100	190.0	12239.8		14	18
19	0.000	100.0	16403.4	6	15	19

V_{ds} 、 V_{ds} 与 V_{ds} 相比, 它有以下优点: (1)考虑了植物冠层垂直结构影响; (2)在冠层内没有常通量的假设; (3)它定义成湍流与吸收两者引起的输送速度的几何平均, 物理图象比由阻力相似导出的 V_{ds} 更清楚; (4) V_{ds} 包括了大气稳定度的影响, 更能反应出植物吸收过程与太阳辐射有密切关系的这一事实。

所谓新的沉积速度型是相对 RADM 使用的沉积速度型而言的, 它包括以下内容:

(1)用 V_{ds} 代替 V_{ds} ; (2) $\ln\left(\frac{Z_0}{Z_d}\right) \approx 2.0$ 代替2.83; (3)文献[8]的 K_z 关系代替Louis^[13]公式; (4) $Z_0 = 3.8\text{m}$ 代替78m; (5)PBL厚度 z_i 随大气稳定度变化代替 $Z_i = 1500\text{m}$ 。

2.3 分层的垂直涡旋扩散系数型

发源于PBL内的痕量气体物质如何传送到整个TL是区域模式研究的重要问题之一, 而浓度的垂直分布又主要取决于垂直涡旋扩散系数(K_z)的垂直结构。在大多数区域尺度模式中, K_z 几乎都是由风的垂直切变导出的。理论和观测均表明, PBL内和以上TL的湍流发生机制是不一样的, PBL内主要是机械和热力湍流引起的, 因而具有连续性特征, 而PBL以上自由对流层的湍流则主要是由风切变引起的, 而且具有大的间隙性。如何将这一事实引入到模式中去是本研究的重点之一。

通过Louis^[13]、MM4^[7]、Ku^[14]和LEI^[8]4类 K_z 型的数值比较分析, 最后推荐以下分层的垂直涡旋扩散系数型(K_z)。

在PBL内采用 K_z 的湍流统计形式

$$K_z = 0.1 \lambda_m \sigma_w \quad (6)$$

其中 λ_m 为垂直湍流尺度, σ_w 是垂直脉动速度的标准差, 它俩均为大气稳定度和高度的函数, 其表达式已由文献[8]给出。

对PBL以上的TL, K_z 采用由风垂直切变决定的MM4关系^[7]

$$K_z \begin{cases} = K_{zo} & R_i \geq R_{ic} \\ = K_{zo} + l^2 s^{1/2} \frac{R_{ic} - R_i}{R_{ic}} & R_i < R_{ic} \end{cases} \quad (7)$$

式中 R_i 为Richardson数, $K_{zo} = 1.0\text{m}^2/\text{s}$, $s = \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2 + 10^{-9}$, 临界Richardson数 $R_{ic} = 0.257 \Delta z^{0.175}$, 混合长

$$l = 0.36z / (1 + 0.36z/100) \quad (8)$$

从表达式(7)看出, 当垂直风切变 $s = 0$ 时, $K_z = K_{zo}$, s 越大 K_z 则越大。

2.4 分层的水平涡旋扩散系数型

RADM和某些区域尺度模式常常忽略水平涡旋扩散的贡献, 其原因有二, 一是水平扩散与水平平流相比作用小; 另一是在解平流方程时的数值扩散远远大于大气中实际扩散。即使有的模式也考虑水平扩散的影响, 其参数化关系也是由风的水平切变形式给出的, 忽略了PBL内由热力和机械作用产生的小尺度湍流的贡献。为此, 通过MM4^[7]和LEI^[8]两类 K_x 型的数值比较分析, 最后选用以下分层的水平涡旋扩散系数型(K_x)。

在PBL内采用 K_x 的湍流统计量参数化形式

$$K_x = K_x = \lambda_m^h \sigma_u \quad (9)$$

其中 λ_m^h 为水平湍流尺度, σ_u 为水平速度脉动量的标准差, 它俩均为大气稳定度和高度

的函数，其参数化关系已由文献[8]给出。

对PBL以上的TL，采用 K_z 的水平风场非均匀性的参数化关系^[15]

$$K_z = K_{z0} = c_0 \Delta x \Delta y \left\{ \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \right\} \quad (10)$$

式中常数 $c_0 = 0.01$ 。

2.5 新的平流格式

使用Prather^[2]二阶矩守恒格式代替RADM中使用的逆风格式加数值扩散修正的方法^[16](老格式)。通过只有平流条件下的数值对比试验发现，在同样条件下Prather格式比老格式的数值扩散小一个量级，而且新格式模拟的质量中心轨迹与实际很好一致，而老格式远远慢于真实情况。因此采用新格式后，其真实的大气水平扩散的重要性就更突出了。

3 实例模拟

为了考察经过5个方面发展后的EM3的效果，选用美国OSCAR IV的实验资料^[17]和MM4预报的72小时的中尺度气象场，对EM3和RADM的性能以及各个控制因子的相对重要性进行了详细的对比模拟，其主要结果分别讨论如下。

3.1 垂直分辨率的影响

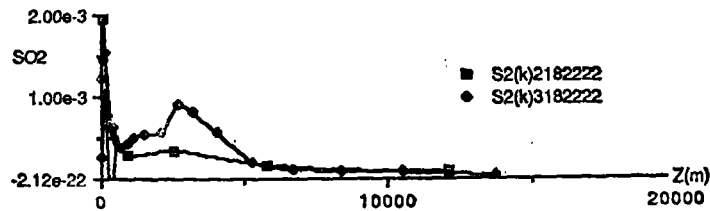


图 1a EM3 和 EM2 模拟的 SO_2 浓度(ppm)随高度分布($i=j=22$, $T=18h$)

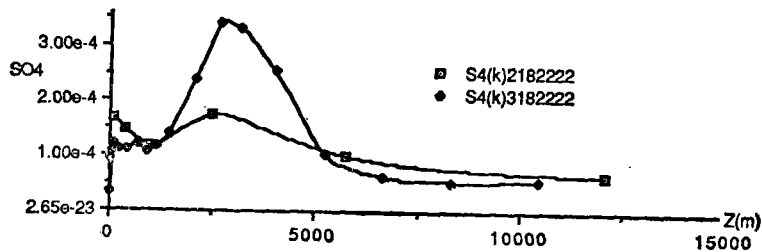


图 1b EM3 和 EM2 模拟的 SO_4 浓度(ppm)随高度分布($i=j=22$, $T=18h$)

图1a和1b分别表示仅仅由于垂直分辨率的不同造成的 SO_2 和 SO_4 浓度随高度分布的差别，从中看出：(1)EM3能很好地描写5km以下浓度分布的垂直结构，而EM2只能得到一个较平滑的廓线；(2)不论是 SO_2 还是 SO_4 两模式所得到的浓度值均有大的差别，特别是5km以下的TL下层，两模式模拟的浓度可相差一个量级以上，加密垂直网格的分辨率，对PBL内浓度分布影响非常明显。

3.2 干沉积速度的影响

其它条件完全一样的情况下,在EM3中分别引入 V_{d5} 和 V_{d3} 两情况3.3m高度上18点的 SO_2 浓度分别给在图2a和2b中。从它们的比较可得到如下结果:

- (1) 浓度水平分布趋势基本一致,各个中心位置有好的对应;
- (2) 由沉积速度参数化关系不同,造成地面浓度有显著差别,以5个对应的最大浓度中心为例,它们之间的浓度比值分别为2.15, 0.52, 0.67, 0.63和1.35,其它一些小中心,两者的浓度差别就更大;
- (3) 不同水平位置, V_{d5} 和 V_{d3} 造成的迁移效果不同,如有的中心反映出 V_{d3} 迁移大于 V_{d5} ,有的地区则是 V_{d5} 迁移比 V_{d3} 大,这表明沉积过程的影响具有明显的水平非均匀性,从原理上讲, V_{d5} 更能反映这种不同下垫面的影响。

3.3 垂直涡旋扩散系数型的影响

图3a和3b分别表示PBL低层($k=1$)和18点时有无 KK 的EM3模拟的 SO_2 浓度分布,从中看出两者浓度分布有着明显的差异。先,没有 KK 影响,只有平均垂直首运动作用的图3b,浓度水平分布很不连续,这正好反映垂直运动空间分布的不连续性特点,而有 KK 作用后,浓度水平分布变成连续了,而且浓度总体增大2个量级,其浓度的增加,是因为模拟的所有污染源是在 $k=4-9$ 的层次上,污染物靠垂直向下运动和湍流扩散向下输

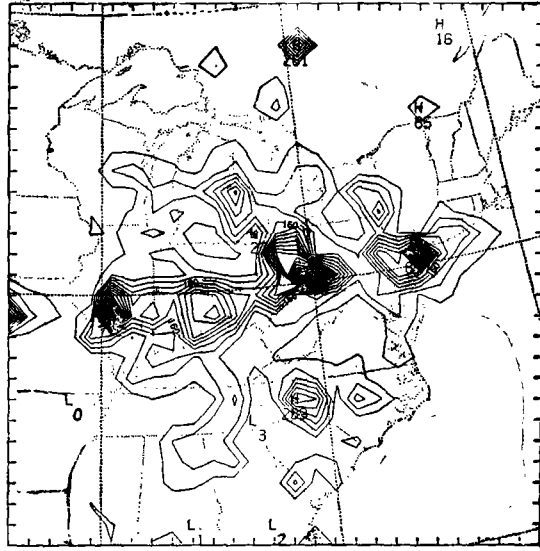


图2a 用具有 V_{d5} 的EM3模拟的浓度(ppm/0.10E+6)分布($k=1, T=18h$)

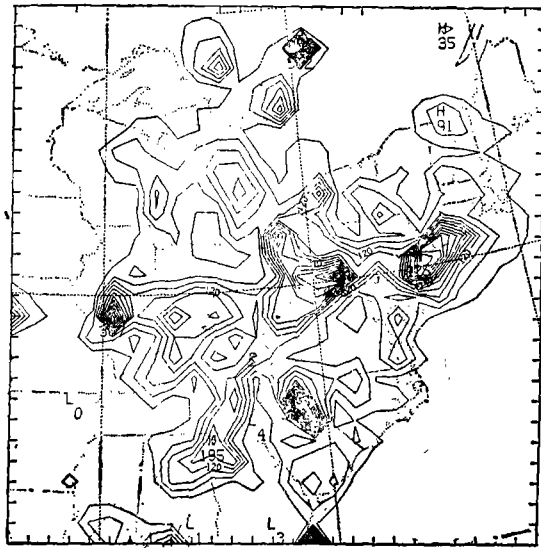


图2b 用具有 V_{d3} 的EM3模拟的浓度(ppm/0.10E+6)分布($k=1, T=18h$)

送, 前者的作用远远小于后者。这说明在 PBL 下层, 浓度的垂直交换主要靠湍流扩散。

图3c 和 3d 分别表示 TL 上层 ($k=19$) 和 30 点有无 KK_i 的 EM3 模拟的 SO_2 浓度分布, 其结论和 PBL 低层情况相似, KK_i 的作用总体讲可使浓度增加 3 个量级。结果表明, 不论是 PBL 内还是 PBL 以上的 TL, 物质的垂直交换和分布的垂直结构, 主要由垂直湍流扩散决定, 也说明采用分层的垂直湍流交换机制是合适的。

3.4 水平涡旋扩散系数型的影响

表 2 给出 $j=26$, $k=9$ 及 30 点有无 JK, 的 EM3 模拟的 so_2 浓度比随 x 方向 (i) 的变化规律, 从中看出, K_i 可使浓度发生显著变化, 虽然其影响不如垂直扩散大, 但也不能忽略。不同地区 K_i 的影响有明显差别, 说明 JK, 能较好地反映出水平非均匀性的影响。

3.5 平流格式的影响

表 3 给出了用新老平流格式的 EM3 模拟的 SO_2 浓度之间比值随高度和 x 方向变化规律, 从中看出: (1) 由新格式代替老格式后, 可引起浓度非常大的变化, 比值最大可接近 9.0; (2) 比值表现出明显的空间变化, 而且水平变化比垂直变化更突出; (3) 老

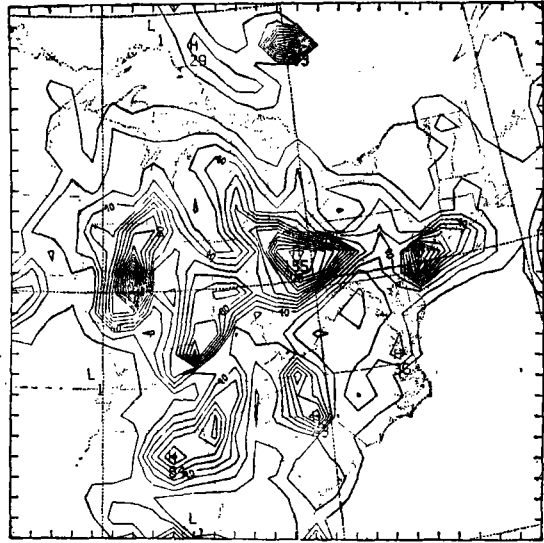


图 3a 有 KK_i 的 EM3 模拟的浓度分布 ($k=1, T=18h$)

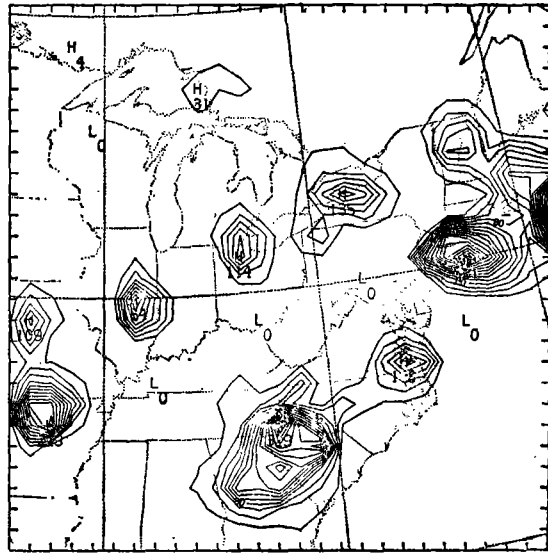


图 3b 无 KK_i 的 EM3 模拟的浓度分布 ($k=1, T=18h$)

表 2 有无 Jk_i 的 EM3 模拟的 SO_2 浓度 (ppm) 比随 x 方向变化

$x(i)$	7	12	16	17	18	19	20	22	23
$c(k_i=0)$	$6.95 \cdot 10^{-9}$	$3.91 \cdot 10^{-8}$	$3.71 \cdot 10^{-8}$	$8.42 \cdot 10^{-8}$	$1.22 \cdot 10^{-7}$	$2.04 \cdot 10^{-7}$	$5.64 \cdot 10^{-8}$	$9.49 \cdot 10^{-11}$	$4.95 \cdot 10^{-11}$
比值	1.10	0.973	0.981	0.891	0.701	0.782	0.791	1.390	0.640

表3 用新老平流格式的EM3模拟的SO₂浓度比(T=30h)

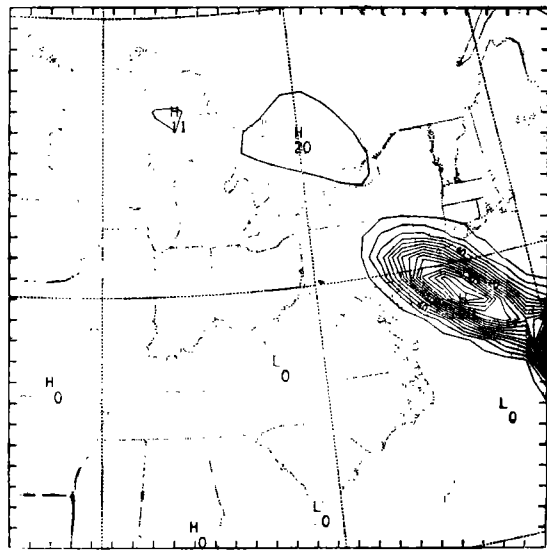
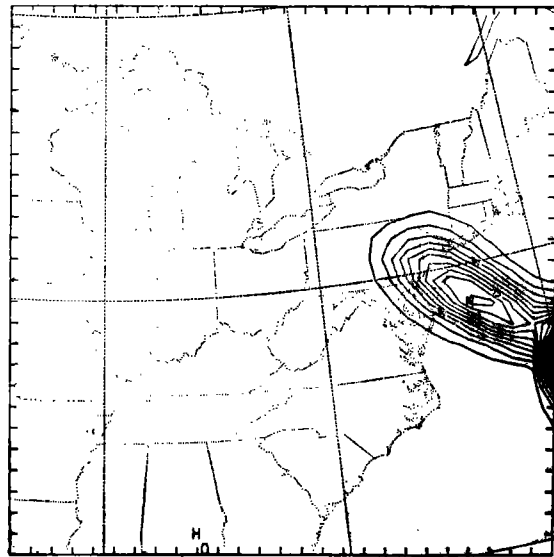
X (i)	3	4	10	16	17	18	23	27	28
j=23, k=9	1.34	0.37	0.77	0.77	0.15	0.84	0.93	1.69	6.38
j=26, k=9	0.41	0.54	1.87	0.42	0.32	0.34	0.33	2.99	8.88
Z(k)	1	2	4	6	10	11	14	16	17
l=g=22	1.19	1.22	1.23	1.25	1.28	1.36	0.53	0.47	1.45

格式引起的数值扩散明显大于新格式, 故使用新格式后所模拟的浓度分布更具有真实性和代表性。

3.6 EM3的总效果

上面已分别对每个控制因子作讨论, 它们都对浓度精确模拟有显著贡献。经过5个方面发展后的EM3与EM2总的比较结果给在图4a—4d中。

图4a和4b分别是EM2和EM3在相应高度上(PBL底层) SO₂浓度分布, 其浓度分布型基本相似, 但浓度值差别是相当大的, 有的浓度中心EM3模拟的结果有, EM2就没有, 5个对应的大浓度中心比值分别为2.72, 1.79, 1.99, 3.13, 和 3.13,

图3c KK_z的有EM3模拟的浓度分布(k=19, T=30h)图3d 无KK_z的EM3模拟的浓度分布(k=19, T=30h)

EM₂的结果都大于EM₃，这样大的差别是相当可观的。

图4c和4d分别表示用EM₂和EM₃对TL上部模拟的SO₂浓度分布，从中看出最大浓度中心位置明显不同，x方向两者相差约4个网格距(320km)，y方向相差一个网格距。EM₃模拟出的浓度中心值比EM₂大很多，这和PBL低层相反，但EM₂的浓度等值线所包围的面积比EM₃大一倍多，其浓度中心比值为0.57。这表明，EM₃不但对PBL低层浓度预测有明显改善，对TL上层也有特殊效果。

从以上原理分析和实例模拟比较，经过5个方面改进后的EM₃所预测的浓度分布与EM₂有明显不同，它们之间量的差别是可观的，但那一个更符合实际，还得受实测资料的检验。为此我们



图4a EM₂模拟的PBL低层浓度(ppm/10000)分布(k=1, T=18h)

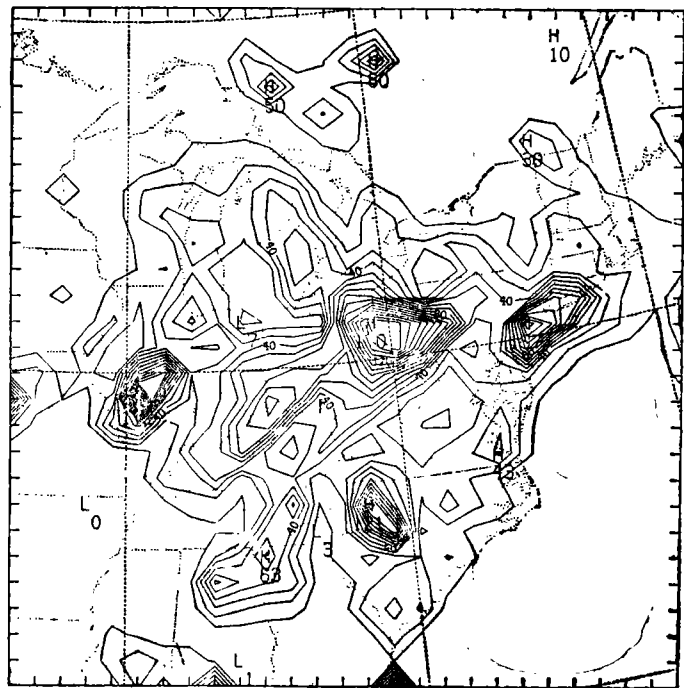


图4b EM₃模拟的PBL低层浓度(ppm/10000)分布

采用 Middleton (1989)^[3]提供的 OSCARIV实例中 6个监测站共 16次 SO₂浓度资料(包括白天,晚上和全天的平均值)同时与EM3和EM2模拟的结果进行比较分析,实测与模拟浓度的比值如表4所示。

从表4看出,实测值与EM2计算值之比超过2和小于0.5的有10次,而EM3只有2次,EM2平均比值与离散差很接近,EM3情况的平均值大于离散差很多,而且EM3的平均比值EM2更接近1。由此可以认为对浓度预测EM3明显优于EM2,对EM2的5个方面改进有显著效果。

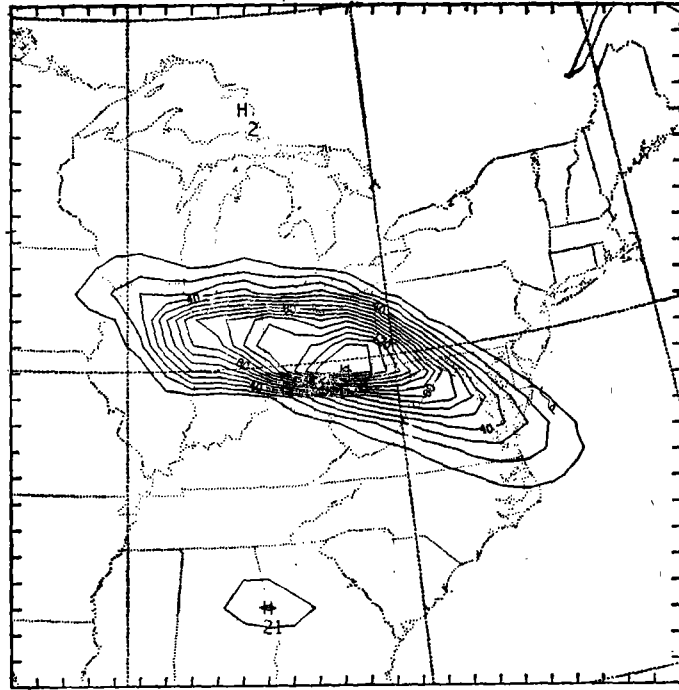


图4c EM2模拟的TL上层浓度(ppm/0.10E+7)分布(k=6, T=18h)

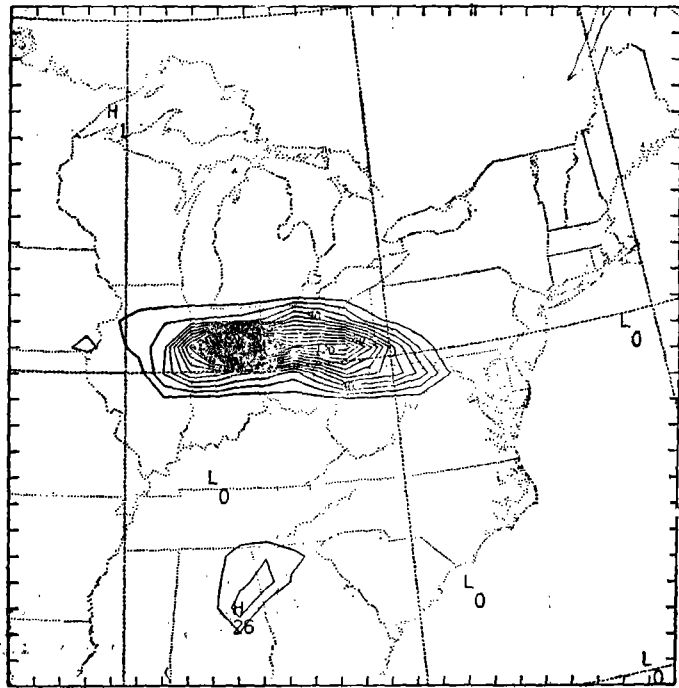


图4d EM3模拟的TL上层浓度(ppm/0.10E+7)分布(k=19, T=18h)

表4 观测与EM3和EM₂模拟的SO₂浓度比值

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	平均比值
EM3	1.76	1.18	1.21	0.33	2.67	0.74	1.33	0.52	0.53	1.26	0.92	1.24	1.02	0.93	1.07	1.21	1.12±0.546
EM2	2.22	0.52	1.45	0.13	0.75	0.34	1.67	0.24	1.02	0.62	0.31	0.41	0.35	0.26	0.38	0.33	0.69±0.601

4 结 论

经过增加垂直网格密度,新的沉积速度型,分层的垂直和水平涡旋扩散系数型以及新平流格式等5方面发展的EM3能更好地预测区域尺度物质的三维分布规律,和RADM相比,不论是对PBL低层还是TL上层的浓度模拟均有显著效果,且更接近实际。在同样条件下,两模式预测的PBL低层中心浓度比值一般可大于1.8,最大可大于3。

参 考 文 献

- [1] Chang J S, et al. three dimensional Eulerian acid deposition model: Physical concepts and model formulation. *J Geophys Res* 1987,92(D 4): 14681-14700.
- [2] Prather M J. Numerical advection by conservation of second-order moments. *J geophys Res*, 1986, 91 (D 6), 6671-6681.
- [3] Middleton P, Chang J S. Analysis of RADM gas concentration predictions using OSCAR and NEROS monitoring data. *Atm Environ*, 1990,24(4):
- [4] Johnson WB. Observational systems and techniques in air pollution meteorology. Lectures on air pollution and environment impact analyses. AMS, Boston, Massachusetts, 1975. 243-274.
- [5] Anthes R A. Meteorological aspects of regional-scale air-quality modeling. *Advances in Environmental Science and Engineering*, 1979. 1, 276.
- [6] Van den Hout K D, Dop H van. Interregional Modelling, *Interregional Air Pollution Modelling*, The state of the Art, 11-82, Plenum Press, New York, 1985.
- [7] Anthes R A, et al. Description of the Penn State/NCAR mesoscale, model version 4(MM4), NCAR /ITN-282+STR, NCAR Technical Note, May 1987, 1-66.
- [8] Lei Xiaoen, Parameterization of variation of turbulent statistics and wind speed with height in the PBL, The 2nd International Conference on Atmospheric Sciences and Application to Air Quality, October 3-7, 1988, Tokyo, Japan; Annual report, IAP, Academia Sinica, 1988 7, 248-253.
- [9] NCAF. The ADMP engineering model, version 2 (EM2), Use r's guide and report on test and evaluation, ADMP, NCAR, Boulder, Colorado, 1987.
- [10] Lei Xiaoen, Chang J S. A numerical study on absorption characteristics both momentum and mass in canopy layer. *Scientia Atmosphaica Sinica*, 1992, 16(2):228-236.
- [11] Lei Xiaoen. A heigh resolution model for chemical species exchange within the troposphere and simulation of regional acid deposition processes. The 4th Japan-China Symposium of JCSTEA Series, November 28-30, 1991, Tokeo, Japan, 51-56.
- [12] Lei Xiaoen, Chang J S. A numerical study on dry deposition processes within canopy layer. *Advance in Atmospheric Sciences*, 1992, 9(4):460-469.

- [13] Louis J F. A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Boundary-Layer Meteor.*, 1979, 17, 182-202.
- [14] Ku Jia-Yeong, et al. Numerical simulation of air pollution in urban areas. Model development. *Atm Environ.*, 1987, 21(1), 201-212.
- [15] Jim Kao Chih-Yue, Yamada T. Use of the CAPTEX data for evaluations of a long-range transport numerical model with a four-dimensional data assimilation technique. *Mon Wea Rev.*, 1988, 116: 293-306.
- [16] Smolarkiewicz P K. A simple positive definite advection scheme with small implicit diffusion. *Mon Wea Rev.*, 1983, 111, 479-486.

A HIGH RESOLUTION MODEL FOR SPECIES EXCHANGE WITHIN THE TROPOSPHERE

Lei Xiaoen Julius S. Chang*

(*Institute of Atmospheric physics, Academia Sinica, Beijing 10029*)

Abstract

Based on the regional acid deposition model(RADM), a high resolution model(EM3) for species exchange within the troposphere (TL) is designed. EM3 differs considerably in the following 5 aspects from RADM. First, the vertical grid levels in planetary boundary layer (PBL) are increased. Second, layering vertical eddy diffusivity patterns within TL are considered. Third, layering horizontal eddy diffusivity patterns within TL are used. Fourth, new dry deposition velocity pattern including the effect of plant canopy layer vertical structure is adopted. Fifth, advective schemes of second-order moment conservation with less numerical diffusion is used. OSCAR IV case is comparatively simulated with both EM3 and RADM. The results show that 3-D mass distribution laws whole TL are forecasted by EM3 better than RADM. Under the same conditions, all ratios of the center concentration simulated with both models in lower PBL are more than 1.8, the maximum can be more than 3.

Key Words: Vertical structure, Dry deposition velocity, Numerical diffusion.

*Mailing Address, ASRC, SUNYA, Albany, NY., 12205, U.S.A.