

文章编号:1000-2022(2002)01-0129-07

## 利用中尺度模式作辽宁省空气污染气象条件预报

周小珊, 张立祥, 刘万军

(沈阳区域气象中心, 辽宁 沈阳 110015)

**摘要:**利用非静力中尺度数值模式(MM5V2), 试验预报辽宁省空气污染气象条件。在模式中着重加密近地面的垂直分层, 使用中期数值预报模式(T106L19)预报场作为初值背景场和侧边界。采用美国污染潜势预报方法, 在模式预报输出场中, 通过对近地面层的混合层高度和混合层平均风速的判定, 预测未来空气污染气象条件, 并用 SO<sub>2</sub> 实测值进行检验。

**关键词:**空气污染; 气象条件预报; 非静力中尺度模式

**中图分类号:**X169 **文献标识码:**A

辽宁省是重工业省份, 工业污染较重。同时, 冬季取暖也带来了较严重的污染。因此, 从大气运动的角度来预测未来大气对污染物的扩散能力, 是气象工作者的研究课题。

20 世纪 70 年代前后, 美国已经开始了污染潜势预报(中国气象局统称为空气污染气象条件预报)的研究工作, 其思路是通过确定空气的滞留区域, 预报可能出现严重污染的气象条件。目前我国也有许多气象工作者从事这方面的研究工作, 利用大气平流扩散的箱格模型确定大气污染潜势指数<sup>[1]</sup>; 建立污染浓度专家系统<sup>[2]</sup>; 考虑较多的气象因子, 如降水量、理查逊数、地面风速、垂直速度等, 利用加权方法制作污染潜势指数<sup>[3]</sup>; 仅考虑地面常规资料进行空气污染潜势预报<sup>[4]</sup>。大部分的研究是使用天气预报和统计预报的方法来预测空气污染气象条件。本文使用中尺度数值预报模式及套网格方案, 加密近地面的垂直分辨率, 预测近地面各层的气象要素, 判断大气对污染物的稀释扩散能力, 预测辽宁省各城市在未来 12~36 h 内各时段的空气污染气象条件。

由于大气污染物的扩散主要取决于近地面大气的运动状况, 尤其是温度的垂直分布和风速。因此, 本试验主要采用美国空气污染潜势预报方法<sup>[5]</sup>, 即考虑近地面混合层高度和混合层平均风速。在实际大气中, 如果混合层很薄但风很强, 它对污染物的输送效果与混合层较厚但风较弱相同。故定义混合高度和混合层平均风速的乘积为通风系数(通风量), 它代表混合层内空气的输送速率。在该方法中, 污染物标准化浓度为

$$\frac{\bar{c}}{Q} = \frac{L}{2Hu} \quad (1)$$

其中,  $\bar{c}$  为平均浓度,  $Q$  为面源源强,  $L$  为城市的平均线性尺度,  $H$  和  $\bar{u}$  分别为混合高度和混合

收稿日期:2001-04-02; 改回日期:2001-09-27

第一作者简介:周小珊(1960-), 女, 江苏南京人, 高级工程师, 从事数值预报、污染气象等方面的研究。

层平均风速。可见,公式左边为预报对象,是  $H$  和  $\bar{u}$  的函数。利用(1)式可定量预报空气污染潜势。

## 1 模式简介

使用中尺度数值模式 MM5V2 的非静力方案。模式的空间差分采用 Arakawa B 型跳点差分格式,时间差分由蛙跃格式加 Asselin 过滤组成;时间积分为分裂半隐式方法(split semi-implicit),即在进行时间积分时,对与快波有关的项采用短时间步长,对与慢波有关的项采用长时间步长,用显式方式处理水平方向传播的声波,用隐式处理在垂直方向传播的声波。

模式计算方案为:(1)动力过程采用非静力平衡;(2)网格中心为(120°E,42°N);(3)水平分辨率为:粗网格 60 km,细网格 20 km;(4)预报区域格点数为:粗网格 63×53,细网格 67×55;(5)垂直方向共 23 层;(6)地形/地表参数为:粗网格 10'×10',细网格 5'×5';(7)客观分析采用修正的 cressman 方案;(8)初始场资料采用 T106L19 预报场;(9)侧边界条件为:1)粗网格与 T106L19 单向嵌套,采用时间流入流出方案;2)细网格与粗网格双向嵌套(粗细网格同时积分,粗网格每个时间步的预报先提供给细网格作边界值,细网格区域在相应时间步的预报值在返回替代粗网格对应格点的值);(10)主要物理过程有:1)GRELL 积云对流参数化方案;2)BLACKADAR 高分辨率 BPL 方案;3)DUDHIA 云辐射方案;(11)时间步长为 180 s;(12)预报时效为 36 h;(13)预报场输出间隔为 3 h。

## 2 资料来源与初值形成

本文所使用的资料主要为:1)中期数值模预报式(T106L19)输出场,包括从零时刻开始至 60 h,每隔 6 h 一次的  $u$ 、 $v$ 、 $T$ 、 $q$  资料;2)TTAA 高空报。用 T106L19 的 6 h 间隔预报场作为模式侧边界,选用松弛边界方案。

使用国家气象中心中期模式 T106L19 预报场作为初值背景场和侧边界。在初始时刻,利用 TTAA 高空报对背景场进行 cressman 订正,得到初始场。如果无 T106L19 报,则直接使用 TTAA 高空报进行客观分析。在模式积分过程中,每 3 h 进行一次预报输出。使用辽宁省各城市 SO<sub>2</sub> 监测值对预报结果进行检验。

## 3 预报结果后处理

在后处理时,首先诊断出网格点每个  $\sigma$  面的高度  $Z$ 。利用参考温度  $T_0=290$  K 和气压  $p_0=1\ 000$  hPa,由静力方程  $\partial p/\partial z = -\rho g$  和状态方程  $p = \rho RT$ ,消去  $\rho$ ,取平均温度  $\bar{T}$  可得到

$$Z = -RT\Delta\ln p/g. \quad (2)$$

由于

$$\bar{T} = T_s + \gamma_p RT_0 \frac{\Delta\ln p}{2} = T_s + 25\Delta\ln p, \quad (3)$$

其中,取  $\bar{T}$  为上下层的算术平均, $T_s$  为地面温度, $\gamma_p$  为干绝热递减率, $\gamma_p RT_0/g=50$ 。因此,各  $\sigma$  面每个网格点的高度为

$$Z = -R(T_s + 25\Delta\ln p)\Delta\ln p/g. \quad (4)$$

这样,输出每个  $\sigma$  层的高度、温度、风向和风速。

## 4 空气污染气象条件判定

在试验中,对每一个网格点,自地面向上逐个  $\sigma$  面判断温度垂直分布情况。如果自地面起

温度随高度递减,至某一高度后温度曲线出现折角开始随高度递增,则可以粗略地认为此折角的高度为混合层高度。如果出现贴地逆温,则记录贴地逆温层高度。如果温度一直随高度递减没有逆温,则认为无混合层。

最初试验考虑模式垂直分层时,300 m 高度以下每层间隔约为 40~60 m,300~1 200 m 之间每层间隔 80~250 m,希望能得到较精确的近地面层大气的温度和风向、风速的垂直分布。经试验并与实际监测值对比发现,当混合层或贴地逆温低于 150 m 时,地面污染并不重。这是由于高架源的污染物大部分排放在混合层上方或贴地逆温层顶以上,不能落至地面;因此贴近地面分层无须过细。试验中又发现,当混合层高于 900 m 时,地面污染区别不大,且此时污染浓度与近地面风速相关较大;故在 1 000 m 以上,也无须考虑过细分层。因此,在本试验中,将地面与 1 000 m 之间的垂直分层定在 60~80 m。

空气污染气象条件预报是大气扩散稀释能力的预报。一个地区或城市在污染物排放准定常的情况下,空气质量的好坏主要取决于大气的稀释能力,所以,对于某一特定的城市和同一季节,不同的空气污染气象条件将对应不同的污染监测值。如果将不同城市的污染状况分成不同的空气质量等级,那么,高质量的空气污染气象条件预报将能够准确地预测出各城市在未来的空气污染状况。按照中国气象局关于空气污染气象条件预报的统一规定,应将空气污染气象条件分为五级,总结出一些有利于污染物稀释扩散和不利于污染物稀释扩散的各种气象参数及其临界值,对空气污染气象条件进行恰当的分级。在本试验中,考虑美国、英国在潜势预报中所用的部分标准,再对气象条件和污染物监测值进行大量的验算、对比、修改,按照中国气象局的规定,将预测的空气污染气象条件分成如下五级(设以下所列的混合层高度和混合层平均风速为标准参考值,令城市尺度  $L=10\ 000\text{ m}$ ),见表 1。

表 1 空气污染气象条件的划分及特征

Table 1 The division and characters of meteorological conditions of air pollution

等级	评价	平均浓度/源强	混合层高度/m	平均风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
一级	好	$\bar{c}/Q < 0.45$	1 200	8.0
二级	较好	$0.5 \leq \bar{c}/Q < 1.3$	800	5.0
三级	一般	$1.3 \leq \bar{c}/Q < 5.6$	300	3.0
四级	较差	$5.6 \leq \bar{c}/Q < 20$	200	1.2
五级	差	$\geq 20$		

根据试验结果,当存在贴地逆温时,如果贴地逆温较高时,近地面污染物不能扩散到逆温层外,地面污染较重,定逆温层顶高度为混合层高度;当贴地逆温低于 150 m 时,部分高架源污染物排放在逆温层外,地面实际污染并不重,故当贴地逆温低于 100 m 时,定混合层高度为 400 m,当贴地逆温在 100~150 m 之间时,定混合层高度为 300 m。同样道理,如果混合层高度低于 150 m 时,定混合层高度为 300 m。如果整层空气温度垂直递减率为负值,则定混合层高度为 1 500 m。

## 5 试验流程与试验结果

### 5.1 试验流程

使用 08 时资料作为起报时刻,在收取并处理 T106L19 和 TTAA 资料后,自动启动模式。为得到大气污染潜势的变化状况,每隔 3 h 输出一场预报场,然后进行模式后处理。在完成模

式后处理后,求取各网格点的混合层高度  $H$  和混合层风速  $\bar{u}$ ,得到各时次预测的空气污染气象条件  $\bar{c}/Q$ ,作出每隔 3 h 一次的空气污染气象条件预报。

## 5.2 近地面层温度与风的预报结果

空气污染气象条件预报的正确与否关键是近地面层温度和风的垂直分布预报是否正确。在最初的试验中,套网格中的地形与模式初值由粗网格插值而来,而辽宁省的地形是东、西为山区中部为平原。因此,粗网格中被平滑的地形使得模式中辽宁省的地形高度与实际地形高度相差较大,不能很好地模拟辽宁省近地面层的气象要素情况。为解决这一问题,对套网格区域的地形与初值单独分析,并直接进入模式,得到了较好的结果。

图 1a、图 1b 分别是 2000-06-06T08 的沈阳的温度、风探空实测资料(将观测资料中的标准层、特性层、规定高度层测风、垂直闭合最大风等资料按高度排列,再插值到模式的  $\sigma$  面上)和模式使用 2000-06-05T08 的资料预报的 24 h 近地面  $\sigma$  层的温度、风的垂直分布。图 2a、图 2b 分别是是丹东温度、风的探空实测资料和模式使用 2000-06-05T08 的资料预报 24 h 近地面  $\sigma$  层的温度、风的垂直分布。由图可以看出,两站的温度垂直变化预报的较好,风向的预报也基本准确,但风速预报偏大,地面温度预报也有一定差异。因此,使用观测资料对模式预报结果进行统计订正,就可取得较好结果。图 2c 是 2000-06-05T08 的经统计订正后的 24 h 丹东的近地面层的温度和风预报,较之图 2b 有明显改善。

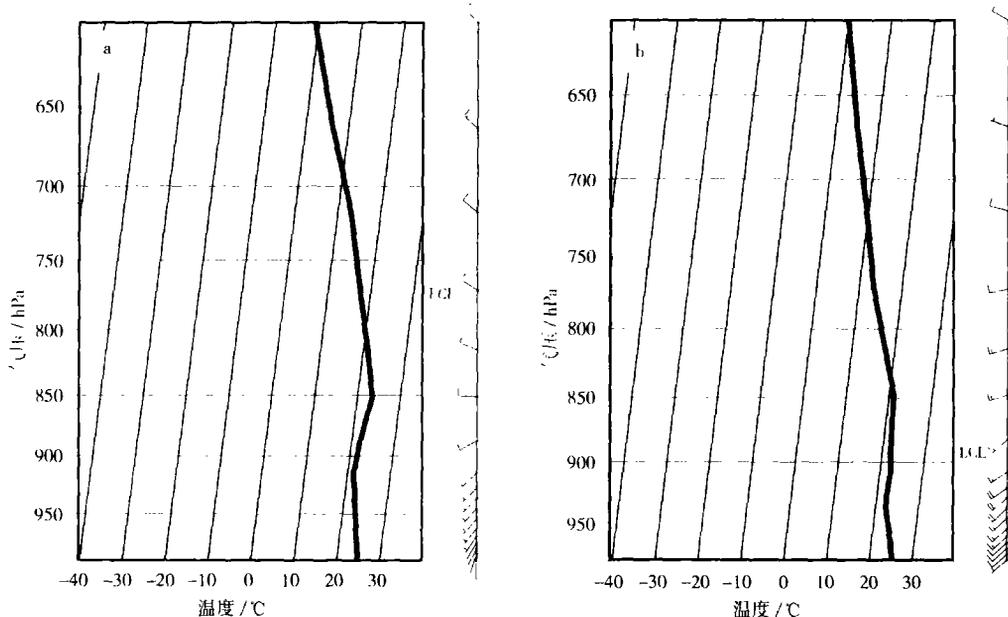


图 1 2000-06-06T08 的沈阳温度和风的探空曲线

a. 实测值;b. 预报值(2000-06-05T08 预报)

Fig. 1 Profiles of temperature and winds at Shenyang at 08:00, Jun. 6, 2000

a. observation; b. prediction made at 08:00, Jun. 5, 2000

## 5.3 空气污染气象条件预报结果

### 5.3.1 个例选取

由于在 1996 年以后,辽宁省各城市的污染监测点改换监测仪器,仅能有监测日均值,无法进行各时次预报值与监测值对比。故选择 1995 年的个例。辽宁省各城市的污染例行监测一日

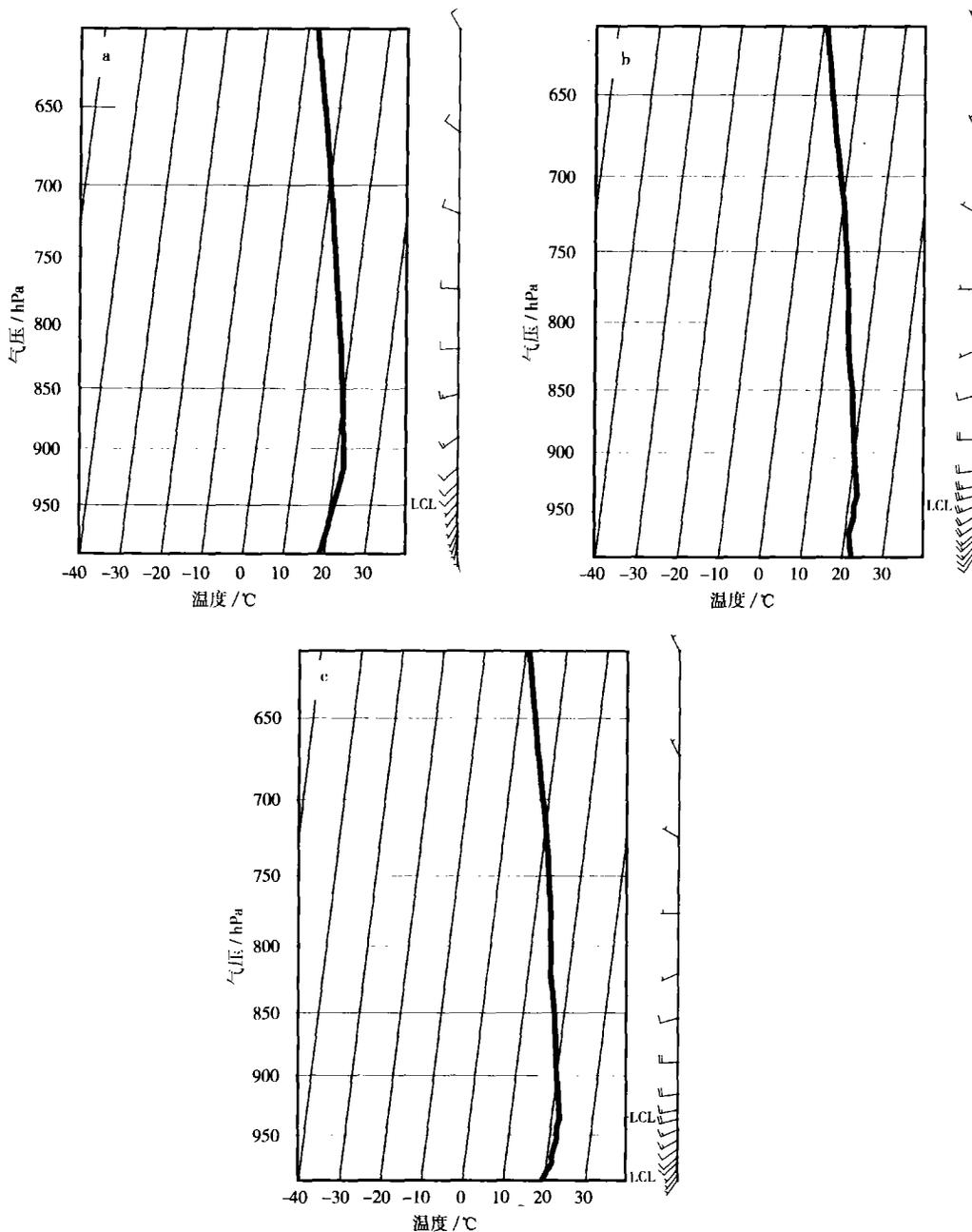


图 2 2000-06-06T08 的丹东温度和风的探空曲线

a. 实测值;b. 预报值(2000-06-05T08 预报);c. 修正值(2000-06-05T08 预报后)

Fig. 2 Profiles of temperature and winds at Dandong at 08:00, Jun. 6, 2000

a. observation;b. prediction made at 08:00, Jun. 5, 2000;c. reduction of the above prediction

三次,为早晨、10:00 和 14:00。由于各城市观测日期不一致,各城市早晨观测时间也不一致,基本在 6:00—8:00 之间,给预报结果对比造成一定困难。在试验中,取 1995 年 1 月、4 月、7 月、10 月各 2~5 个个例进行预报,用 24 h、27 h 和 30 h 的预报结果与次日实际 SO<sub>2</sub> 监测值进行对比,得到了较为理想的结果。

### 5.3.2 不同城市监测值分级

由于不同城市的污染物排放量不同,即使城市尺度相同,对于不同城市来说可能有不同的空气污染气象条件。因此不能按相同的监测值标准来评定不同城市的空气污染气象条件预报。在本试验中,将各城市的  $\text{SO}_2$  监测值按照冬、夏两季各分为 5 级,使每个城市有 45 % 左右的监测值落在第 3 级,40 % 左右的监测值落在第 2、4 级,15 % 左右的监测值落在第 1、5 级。

### 5.3.3 预报结果

图 3 是使用 1995-01-10T08 的资料(该日监测值较多,有 9 个城市的监测值,利于比较)预报的 11 日 08 时、11 时、14 时的空气污染气象条件等级,以及 9 个城市的  $\text{SO}_2$  监测值等级。图中,预报值由深浅色表示,点上的值为监测值。由图可见,预测的空气污染气象条件从 08 时到 14 时自大至小(自差至好),与实际情况相符。图 3a 中空气污染气象条件较差,大部分为 3 级,局部 4 级,与测值大致相同。图 3b 预测辽宁东部和中部部分地区为 3 级,西部和中部部分地区为 2 级,局部 1 级,与测值相比也较为吻合。图 3c 中,预测辽宁西、中、东分别为 1、2、3 级,与测值较一致。统计试验结果,在试验个例中,有 70 % 以上监测值与预测值一致,如果考虑相差一级不评,则预报准确率为 85 %。

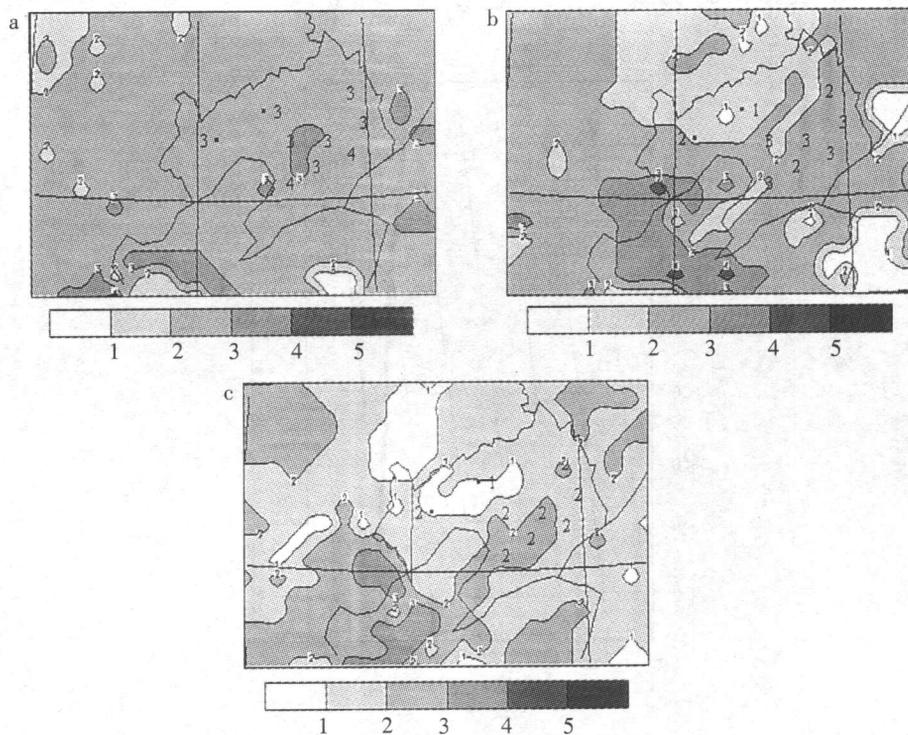


图 3 1995 年 1 月 10 日预报 11 日的空气污染气象条件等级与  $\text{SO}_2$  监测值

a. 11 日 08 时; b. 11 日 11 时; c. 11 日 14 时

Fig. 3 Prediction potential air pollution grades and observed  $\text{SO}_2$  distribution at

a. 08:00, Jan. 11; b. 11:00, Jan. 11; c. 14:00, Jan. 11

(The prediction was made in Jan. 10, 1995)

## 6 结论与讨论

(1) 试验发现,混合层较高时,同一地点相同混合层高度有相同的混合层风速、风向时,污染监测值仍有差异。分析表明,平均风速相同时,近地面风速较大的,污染较小。

(2) 对于一特定的城市,如果主要污染源不是均匀分布而是集中一方,那么当混合层风速较大时,如果城市处于主要污染源的上风头,污染将小;否则反之。故特定城市的污染源分布状况也是该城市的空气污染气象条件预报的因子。另外,各城市高架源和面源的排放污染物比例也是该城市空气污染气象条件预报的因子。

(3) 污染物等级的划分和空气污染气象条件预报等级的划分,还须继续探讨。

(4) 中尺度模式 MM5 能够用于短期空气污染气象条件预测。大气对污染物的扩散能力影响要素很多,期待于更多的数值试验,也期待有更多的污染监测资料。在计算机条件允许时,进一步加密近地面垂直分层,以期有更精确的温度等要素的垂直分布。

### 参考文献:

- [1] 徐大海,朱 蓉.大气平流扩散的箱格预报模型与污染潜势指数预报[J].应用气象学报,2000,11(1):1-12.
- [2] 周月华,薛静英.污染浓度潜预报专家系统[J].湖北气象,1997(3):31-32.
- [3] 龚 强,白乐生,杨洪斌.空气污染潜势指数预报方法[J].辽宁气象,1999(3):46-47.
- [4] 李显焕.介绍一种利用地面常规资料进行空气污染潜势预报的方法[J].安徽气象,2000(3):43-44.
- [5] 李宗恺,潘云仙,孙润桥.空气污染气象学原理及应用[M].北京:气象出版社,1985.

## Potential Prediction of Liaoning Air Pollution Using Mesoscale Model

ZHOU Xiao-shan, ZHANG Li-xiang, LIU Wan-jun

(Shenyang Regional Meteorological Center, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** Experiment is done to make potential prediction of air pollution in Liaoning Province with non-hydrostatic mesoscale model (MM5V2) with increased levels near the ground. The T106L19 output is used as initial field and lateral boundary condition. According to American method, the potentiality of air pollution is predicted by means of judging the mixing layer height and the mixing layer average wind speed near the ground. The observation data of SO<sub>2</sub> is used to check the prediction.

**Key words:** air pollution; potential prediction; non-hydrostatic mesoscale model