

Models - 3 模式中增加移动源清单对模拟效果的影响

王扬锋¹ 马雁军¹ 侯波² 李炳昆² 刘凤辉³ 任万辉⁴

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 抚顺市气象局, 辽宁 抚顺 113006;
3. 辽宁省气象局, 辽宁 沈阳 110010; 4. 沈阳市环境监测中心, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:采用空气质量模式 Models - 3, 在原有点源和面源污染源输入清单的基础上, 加入移动污染源, 对辽宁地区 2004 年 12 月 24—27 日大气污染物时空分布进行数值模拟。结果表明: 加入移动污染源后, 辽宁主要城市污染物 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 模拟效果有所提高, NO₂ 模拟效果提高最为显著; 从总体模拟效果来看, SO₂ 和 NO₂ 模拟效果较好, 而 PM₁₀ 模拟值相对较差。

关键词: Models - 3 模式; 移动源清单; 数值模拟

中图分类号: X823 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673 - 503X(2009)06 - 0018 - 05

1 引言

在大气环境备受关注的今天, 应用于研究区域及城市尺度大气污染问题的数值模拟方法得到较大发展, 目前已经有许多不同尺度的空气质量模式应用于大气环境问题的研究, 为环境决策部门提供及时准确的信息, 对污染预测与控制、环境规划均有重要的实际应用价值。空气质量模式经历了由简单到复杂的逐步发展与完善过程^[1-3], 从最早的高斯扩散模式到物理过程比较简单的二维扩散模式, 再到近年来兴起的三维扩散模式。有的模式(如 EKMA、HYPACT 等)对大气的物理化学过程描述比较简单, 有的模式(如 UAM、TAQM 等)模拟的污染物种类比较单一, 这些缺陷极大地限制了模式的广泛应用^[4-5]。比如, 在利用 RAMS + HYPACT 模式研究兰州市的大气污染问题时发现, 该模式对大气中化学过程刻画能力不足, 并且存在模拟的污染物浓度分布不均匀等问题^[6-7]。美国第三代空气质量模式 Models - 3 是当前国际上先进的大气扩散模式, 可用于多尺度、多污染物的空气质量预报、评估和决策等, 目前在一些地区得到应用^[8-10]。马雁君等^[11]、王扬锋等^[12]对辽宁中部城市群大气污染物浓度分布进行了数值模拟, 并将模拟结果与监测结果进行了对比分析, 模拟结果与监测结果的变化趋势比较吻合, 可用于辽宁中部城市群区域大气污染物的研究, 但是模式输入的污染源排放清单仅包括点源和面源。本文将 Models - 3 进一步应用到辽宁地区, 完善 Models - 3 模式系统的污染源输入, 在点源和面源的基础上加入移动源, 将模式的模拟结果与监测值进

行比较, 并分析污染物空间分布特征。

2 模式简介和参数设置

2.1 模式介绍

Models - 3 模式系统由三大部分组成, 中尺度气象模式 MM5、排放模式系统 SMOKE 和多尺度空气质量模式系统 CMAQ(图 1)。其中 MM5 模式的输

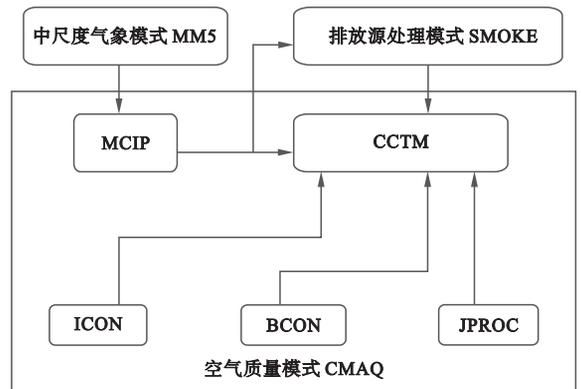


图 1 Models - 3 模式流程

出结果输入到气象化学界面处理模块 MCIP 中, 转换为应用程序界面(I/O API)格式文件, 然后再输入到化学输送模式 CCTM 中; 排放模式系统 SMOKE 主要是处理排放源资料, 将排放数据内插到模式网格点上, 并将年排放资料转化为排放源强度; CMAQ 模式系统是多污染物、多尺度的空气质量模式系统, 可同时综合处理复杂的空气污染(如 O₃、PM、毒化物和酸沉降等问题)。

CMAQ 是空气质量模式核心部分, 它可以模拟多种污染物的输送和转化过程。CMAQ 模式中包括许多模块, 其中最主要的是化学输送模块 CCTM。

收稿日期: 2009 - 07 - 14; 修订日期: 2009 - 07 - 27。

基金项目: 2008 年公益性行业气象科研专项(GYHY200806020)、2009 年中国气象局沈阳大气环境研究所基本科研业务费项目(SYKYYW200901)和科技部社会公益研究专项项目(2005DIB2J111)共同资助。

作者简介: 王扬锋, 男, 1977 年生, 助理研究员, 主要从事大气环境研究, E-mail: wyf_7818@163.com。

CCTM 模块所包括的过程可分为三类。第一类是纯粹与化学有关的各种反应物的化学反应过程。化学过程可选用 CB4 或 RADM2 机制。第二类是纯粹与气象有关的扩散和平流过程。污染物的输送过程包括平流以及次网格尺度的扩散。平流与水平风场有关,扩散中包括次网格尺度的湍流扩散。第三类是既与化学又与气象有关的一些过程。这些过程大致可分为三种:第一种是与辐射有关的光分解过程,光分解过程则可通过一个先进的光分解模块(JPROC)来计算;第二种是污染物的烟羽扩散过程;第三种是与云有关的化学过程。云在液相化学反应、垂直混合、气溶胶的湿清除方面都起着很重要的作用。云还会通过改变太阳辐射影响污染物的光化学过程。

2.2 参数设置

本文使用的 MM5 为 3.7 版本,模式的初始场和边界资料由美国 NCEP/NCAR 中心提供的 $1^\circ \times 1^\circ$ 分辨率的再分析资料,间隔为 6 h;模式为两重嵌套,母域和子域同一中心,中心坐标为 41.73°N , 123.45°E ,粗细网格格距分别为 27 km 和 9 km,格点数分别为 92×80 和 82×73 ,垂直为 23 层;陆面过程模式选取 Noah land - surface 方案,物理参数化方案选取简单冰相过程,对流参数化方案选取 Grell 方案,行星边界层参数化方案选取 MRF,选取云辐射方案等。CMAQ 模式采用了 RADM2 化学机制,水平方向上网格的设置与 MM5 的设置相同;建立合适的初始和侧边界浓度场,模式垂直分为 12 层,从低层到高层 σ 值分别为 1, 0.99, 0.98, 0.97, 0.96, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.3, 0.2, 0.1, 0.0。

利用 Models-3 模式系统进行模拟,选取的模拟时段从 2004 年 12 月 24 日 08:00 至 27 日 08:00,共计 72 h,并每 1 h 输出一次模拟结果。在数值模拟的时段内,天气形势比较稳定,局地地形引起的局地天气系统比较强,天气晴好,风速较小,辽宁多个主要城市出现较重污染。由于污染监测资料所限,仅对沈阳、鞍山、本溪、阜新、铁岭、锦州和丹东大气污染物实测值和模拟值进行比较分析。

3 排放源资料处理

所用的 2004 年 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 的污染源为辽宁省环境监测中心站提供的工业点源、生活面源和移动源数据,研究区域包括辽宁省主要城市。使用 SMOKE 模块,对所研究区域的点源污染排放资料进行前期处理,其中包括增加国家、城市和时区代码,对不同类型的锅炉和烟囱分类编码等,建立符合模式要求的点源数据 IDA 格式文件。此文件包括每个点源的所在城市、企业代码、污染源代码、锅炉燃烧

类型、企业名称、烟囱高度、烟囱直径、烟气温度、排气速度、烟囱经纬度和污染物年排放总量等。对于面源,利用 GIS 软件按照一定的比例将源数据分配到模式设定的网格上,建立符合模式要求的面源污染数据 IDA 文件;对于移动源,根据模式的需要对机动车进行分类,利用 GIS 软件按照道路等级将源数据分配到模式设定的网格上,建立符合模式要求的移动源污染数据文件,其中 SMOKE 模式要求输入的机动车数据包括各种车型的平均速度和年行驶英里数,道路包括国道、省道以及市区一级、二级和三级道路。

4 模拟结果

为了检验模式在加入移动污染源后在辽宁地区的模拟效果,设计了两种实验方案,方案一中模式输入的污染源清单包括工厂点源和生活面源(简称模拟 A),方案二中模式输入的污染源清单包括工厂点源、生活面源和移动源(简称模拟 B)。

4.1 沈阳市模拟结果

图 2 给出了沈阳市 2004 年 12 月 25 日 08:00 至 27 日 08:00 的模拟 A 和模拟 B SO_2 模拟结果和监测结果的日变化。可以看出,模拟 A 和模拟 B 中沈阳的模拟值和监测值变化趋势及浓度值都有较好的吻合,监测的 25 日 08:00、26 日 08:00 和 27 日 08:00 及 25 日 17:00—20:00 和 26 日 17:00—20:00 均出现高值,与模拟结果有较好的吻合。在模拟 A 中模拟值与监测值相关系数为 0.74,在模拟 B 中加入移动源后模拟效果有所提高,模拟值与监测值相关系数为 0.77。

图 3 给出了沈阳市 2004 年 12 月 25 日 08:00 至 27 日 08:00 的模拟 A 和模拟 B NO_2 模拟结果与监测结果的日变化。由图 3 可知,在模拟 A 中 NO_2 的模拟值和与监测值的变化趋势具有较好的一致性;沈阳市 48 h 监测 NO_2 平均值为 0.090 mg/m^3 ,而模拟值为 0.049 mg/m^3 ,模拟值偏低,比监测值大约小一倍。在模拟 B 中加入了移动源后,不仅变化趋势有较好的一致性,而且模拟值与监测值较接近,模拟效果明显提高;48 h NO_2 模拟值为 0.082 mg/m^3 ,模拟值和监测值相关系数达到 0.72。由此可见,移动源对于 NO_2 模拟效果具有重要的作用, NO_2 模拟效果明显提高主要由于增加了移动源清单的结果,同时也可得出城市道路上的机动车排放的 NO_x 在城市大气污染中的贡献较大。

图 4 给出了沈阳市 2004 年 12 月 25 日 08:00 至 27 日 08:00 的模拟 A 和模拟 B PM_{10} 模拟结果与监测结果的日变化。从图 4 可以看出,在模拟 A 和模

拟 B 中沈阳市模拟值和监测值随时间变化的趋势是 比较一致的,但模拟值比监测值均偏低。模拟B中

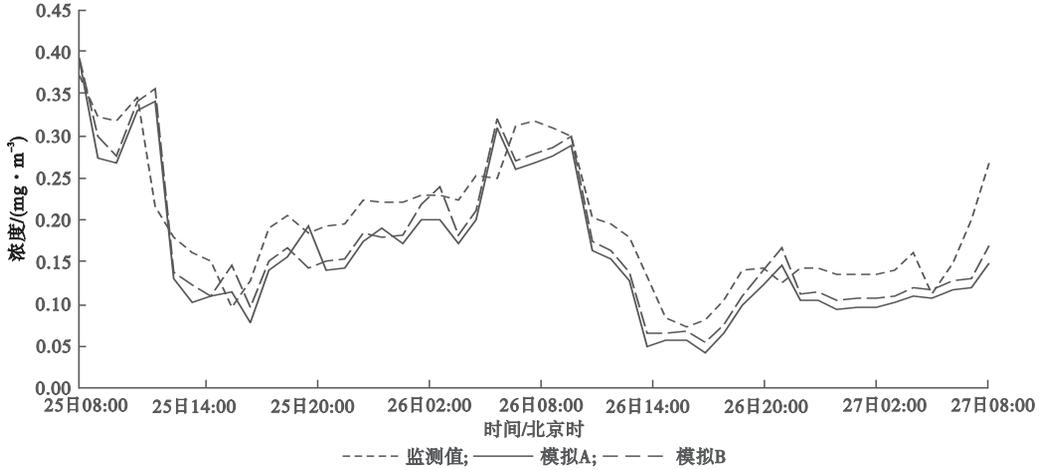


图 2 沈阳市 2004 年 12 月 25—27 日 SO₂ 模拟值与监测值日变化

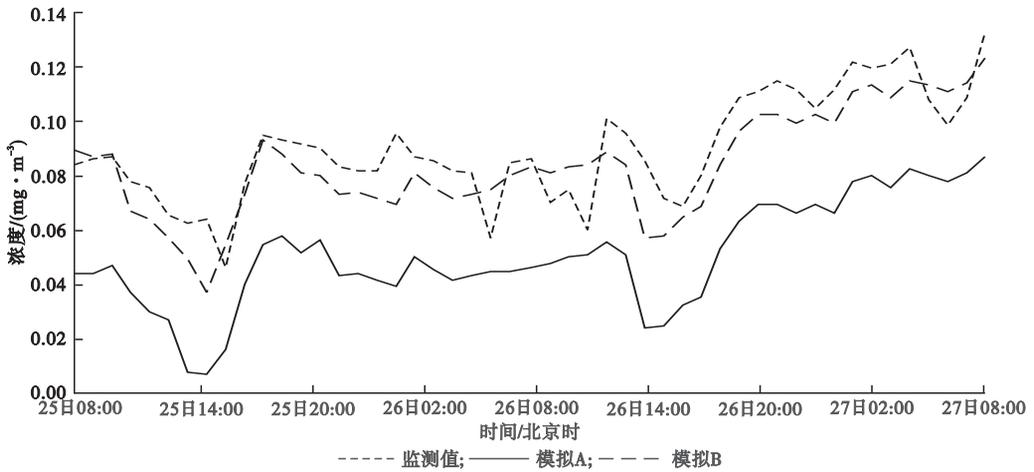


图 3 沈阳市 2004 年 12 月 25—27 日 NO₂ 模拟值与监测值日变化

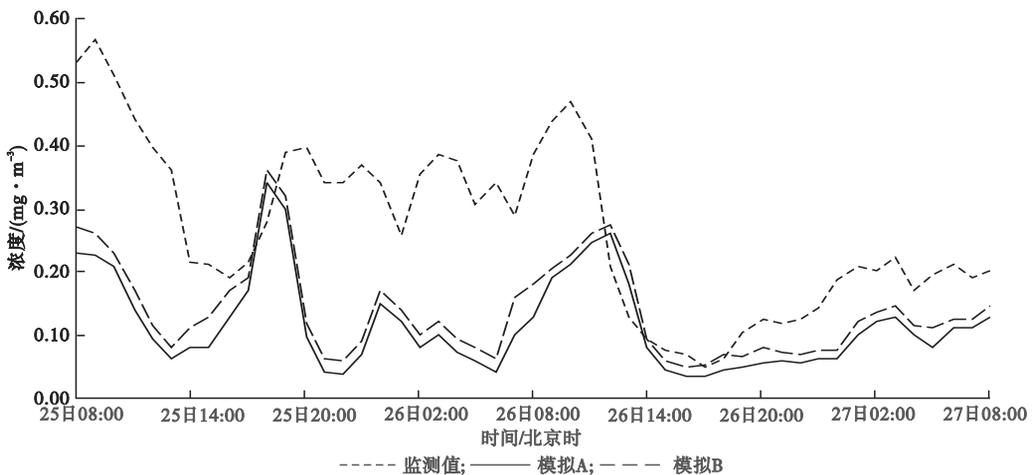


图 4 沈阳市 2004 年 12 月 25—27 日 PM₁₀ 模拟值与监测值日变化

加入移动源后,模拟的 48 h 平均值由模拟 A 中的 0.117 mg/m³ 提高到 0.139 mg/m³,模拟效果有所提高,但效果不明显。造成 PM₁₀ 模拟值与监测值之间差别的原因较多,PM₁₀ 污染源难于统计是模拟值比监测值均偏低的重要原因。

通过以上两种模拟方案对比可知,模拟 A 和模

拟 B 中沈阳市 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 监测值和模拟值的变化趋势具有较好的一致性。加入移动源后 NO₂ 的模拟效果明显改善,模拟值和监测值更为接近,而 SO₂ 和 PM₁₀ 的模拟效果稍有提高,但不明显。

4.2 辽宁主要城市模拟结果

表 1 给出了 2004 年 12 月 25—26 日沈阳、鞍山、

本溪、丹东、锦州、阜新和铁岭七城市监测值以及模拟 A 与模拟 B 中 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 的浓度日平均值

表 1 2004 年 12 月 25—26 日污染物浓度监测日平均值与模拟 A 及模拟 B 模拟日平均值比较

监测站		SO_2 日平均浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)				NO_2 日平均浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)				PM_{10} 日平均浓度/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)			
		监测值	模拟 A	模拟 B	(B-A)/A 百分率	监测值	模拟 A	模拟 B	(B-A)/A 百分率	监测值	模拟 A	模拟 B	(B-A)/A 百分率
沈阳	25 日	0.193	0.175	0.195	11.4	0.067	0.037	0.053	43.2	0.299	0.149	0.159	6.7
	26 日	0.294	0.283	0.309	9.2	0.084	0.058	0.089	53.4	0.334	0.119	0.131	10.1
鞍山	25 日	0.434	0.441	0.461	4.5	0.067	0.027	0.036	33.3	0.296	0.123	0.134	8.9
	26 日	0.439	0.397	0.417	5.0	0.064	0.038	0.052	36.8	0.242	0.112	0.120	7.1
本溪	25 日	0.112	0.102	0.114	11.8	0.004	0.002	0.003	50.0	0.227	0.134	0.146	9.0
	26 日	0.185	0.170	0.192	12.9	0.004	0.003	0.004	33.3	0.323	0.125	0.135	8.0
丹东	25 日	0.078	0.085	0.093	9.4	0.053	0.023	0.035	52.2	0.124	0.059	0.062	5.1
	26 日	0.063	0.055	0.061	10.9	0.054	0.027	0.040	48.1	0.092	0.045	0.048	6.7
锦州	25 日	0.329	0.292	0.312	6.8	0.054	0.031	0.042	35.5	0.189	0.090	0.093	3.3
	26 日	0.398	0.348	0.361	3.7	0.068	0.029	0.041	41.4	0.248	0.014	0.015	7.1
阜新	25 日	0.130	0.080	0.083	3.8	0.027	0.011	0.015	36.4	0.101	0.048	0.051	6.2
	26 日	0.268	0.218	0.238	9.2	0.044	0.026	0.036	38.5	0.196	0.097	0.103	6.2
铁岭	25 日	0.062	0.051	0.055	7.8	0.049	0.027	0.039	44.4	0.163	0.079	0.081	2.5
	26 日	0.131	0.120	0.128	6.7	0.064	0.039	0.056	43.6	0.180	0.053	0.055	3.8

比较,其中浓度值为城区空气环境监测站点平均值。从表 1 可以看出,在模拟 A 中 SO_2 模拟值和监测值比较吻合,模拟效果最好, NO_2 模拟效果次之, PM_{10} 模拟效果较差。在模拟 B 中加入移动污染源后, SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 的浓度日平均值都有所增加,但增加的幅度不同, NO_2 浓度日平均值增加最为明显,平均增加比例为 40%,也与监测值更为接近;而 SO_2 和 PM_{10} 增加不明显,平均增加的比例分别为 8% 和 6% 左右;在模拟 B 七城市中, SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 浓度日平均值增加比例最大的城市分别是本溪(12.9%)、沈阳(53.4%)和沈阳(10.1%)。

5 结论与讨论

(1) Models-3 模式输入污染源清单只有点源和面源时,沈阳市 SO_2 监测值和模拟值的日变化趋势以及浓度值均有较好的一致性,而 NO_2 和 PM_{10} 仅变化趋势具有较好的一致性,但模拟值普遍偏低;加入移动源后 NO_2 的模拟效果明显改善,模拟值和监测值更为接近,而且 SO_2 和 NO_2 模拟效果较好, PM_{10} 模拟值相对较差。由此也可得出,城市道路上的机动车排放的 NO_x 对城市地面浓度的贡献率显著。

(2) 通过对沈阳、鞍山、本溪、丹东、锦州、阜新和铁岭七城市日平均浓度模拟值和监测值的对比分析发现,加入移动源后 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 的浓度日平均值均有所增加,但增加的幅度不同, NO_2 浓度日平均值增加最为明显,平均增加比例为 40%,与监测值更为接近;而 SO_2 和 PM_{10} 增加不明显,增加比例均小

于 8%;七城市中, SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 浓度日平均值增加比例最大的城市分别为本溪(12.9%)、沈阳(53.4%)和沈阳(10.1%)。

(3) 虽然通过个例模拟 Models-3 模式在加入移动污染源前后的大气污染物的时空分布,模拟效果较好,但仍需要更多的模拟试验来验证和改进模式系统,以弥补个例研究的不足。

参考文献

- [1] Ragland K W. Multiple box model for dispersion of air pollution from area sources[J]. Atmospheric Environment, 1973, 7(11): 1017-1032.
- [2] Shir C C, Shieh L J. A generalized urban air pollution model and its application to the study of SO_2 distributions in the St. Louis Metropolitan area[J]. Journal of Applied Meteorology, 1974, 13(2): 185-204.
- [3] MacCrancken M C, Wuebbles D J, Walton J J. The Livermore regional air quality model: I. concept and development[J]. Journal of Applied Meteorology, 1978, 17(3): 254-272.
- [4] 张中锋,程麟生. 复杂地形上行星边界层和空气污染的三维数值模拟[M]//陈长和,黄建国,程麟生,等. 复杂地形上大气边界层和大气扩散的研究. 北京:气象出版社,1993:108-118.
- [5] 龙学著,余金香,陈长和. 复杂地形上大气扩散的三维数值模拟[M]//陈长和,黄建国,程麟生,等. 复杂地形上大气边界层和大气扩散的研究. 北京:气象出版社,1993:129-137.
- [6] 彭新东,姜金华. 城市大气污染物扩散模拟系统开发[J]. 高原气象,2002,21(2):139-144.

- [7] 姜金华,彭新东. 复杂地形上城市冬季大气污染的数值模拟研究[J]. 高原气象,2002,21(1):1-7.
- [8] 张美根,韩志伟. TRACE-P期间硫酸盐硝酸盐和铵盐气溶胶的模拟研究[J]. 高原气象,2003,22(1):1-6.
- [9] 安兴琴,安俊岭,吕世华,等. 复杂地形城市SO₂扩散特征的模拟研究[J]. 城市环境与城市生态,2005,18(3):23-26.
- [10] 许建明,徐祥德,刘煜,等. CMAQ-MOS区域空气质量统计修正模型预报途径研究[J]. 中国科学(D辑),2005,35(增刊I):131-144.
- [11] 马雁军,王扬锋,刘宁微. 辽宁中部城市群主要大气污染物时空分布特征的数值模拟[J]. 气象与环境学报,2006,22(2):6-10.
- [12] 王扬锋,左洪超,马雁军,等. 空气质量模式系统Models-3在沈阳市的数值模拟研究[J]. 环境科学学报,2007,27(3):487-493.

Effects of mobile pollution sources on simulated results based on Models-3

WANG Yang-feng¹ MA Yan-jun¹ HOU Bo² LI Bing-kun² LIU Feng-fui³ REN Wan-hui⁴

(1. Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110016, China;

2. Fushun Meteorological Bureau, Fushun 113006, China; 3. Liaoning Meteorological Bureau, Shenyang

110001, China; 4. Shenyang Environmental Monitoring Center, Shenyang 110016, China)

Abstract: Based on the inventories from point sources and area sources of Models-3, the temporal-spatial distributions of atmospheric pollutants were simulated with mobile pollution sources on 24-27 December, 2004 in Liaoning province. The results indicate that the simulated effects of SO₂, NO₂ and PM₁₀ improve after mobile pollution sources are added, especially NO₂. In generally, the simulated effects of SO₂ and NO₂ are better, while PM₁₀ is worse.

Key words: Models-3; Mobile pollution sources inventory; Numerical simulation