

杨晓春, 赵荣, 吴其重, 等. 西安空气质量预报系统及检验 [J]. 陕西气象, 2014 (2): 10-13.

文章编号: 1006-4354 (2014) 02-0010-04

西安空气质量预报系统及检验

杨晓春¹, 赵荣¹, 吴其重², 乔娟¹, 唐文哲¹, 刘峰¹, 薛荣¹, 曹梅¹
(1. 西安市气象局, 西安 710016; 2. 北京师范大学, 北京 100875)

摘要: 介绍了西安地区空气质量预报业务系统 WRF-CMAQ 及其预报产品, 该系统主要包括: 气象模式 WRF (Weather Research & Forecasting Model)、稀疏矩阵排放源模式 SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions) 以及公用多尺度空气质量模式 CAMQ (Community Multi-scale Air Quality Model)。初步检验表明: 系统的预报结果处于合理范围, 24 h 内对 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的逐小时模拟质量浓度与实况的相关系数达到 0.6 以上, 能够满足业务需求。

关键词: 空气质量; 数值预报; 业务化; 检验

中图分类号: P435

文献标识码: A

西安地区气候干燥, 雨量较少且分布不均, 受沙尘、静风、逆温等不利气象条件及秦岭山脉阻隔的影响, 大气污染物自然扩散能力较弱; 同时受西北黄土高原自然条件影响, 颗粒物本底值相对较高, 造成西安地区空气污染问题更为突出, 已引起政府部门的高度重视。陕西省“十二五”发展规划^[1]中提出大气污染联防联控的设想, 西安市“十二五”环境保护规划^[2]中也明确提出改善大气环境质量, 强化各类扬尘污染源的控制, 加强环境空气质量监测和预警能力。西安空气质量的问题也引起了广大学者的广泛关注^[3-5], 但大多数研究是对观测数据的统计分析, 对于空气质量数值模拟方面的研究还比较欠缺。

Models3/CMAQ^[6]是以“一个大气”理念为主实现了多模块集成, 多重网格嵌套, 是国际上广泛使用的数值模式空气质量预报和评估系统。国内学者也将其应用于多个区域的研究, 均表现出较好的模拟能力^[7-10], 并被用于北京、上海等地的多模式空气质量业务预报^[11-12]。西安地区 WRF-CMAQ 系统基于已有的 WRF 模式预报系统, 引进 SMOKE 和 CMAQ 模式, 建立自

动化的业务流程, 目前可制作逐日未来 72 h 的大气污染物质量浓度、能见度消减等预报产品。

1 系统介绍

西安地区 WRF-CMAQ 业务系统中采用气象模式 WRF 提供气象场, 排放模型 SMOKE 处理排放源数据, 空气质量模式 CMAQ 模拟预报污染物浓度, 利用后处理模块分析并制作业务产品。系统具体流程如图 1 所示。

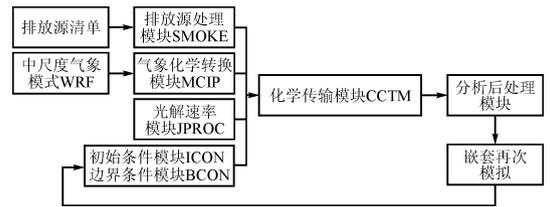


图 1 西安地区 WRF-CMAQ 业务系统流程图

1.1 中尺度气象模式 WRF

西安地区 WRF-CMAQ 系统中提供气象场数据的模式为在西安市气象台业务化运行的非静力中尺度气象模式 WRF, 该模式为三层嵌套, 空间分辨率分别设置为 45、15 和 5 km, 第一重嵌套区域覆盖我国大部分地区, 第二重区域覆盖

收稿日期: 2013-12-16

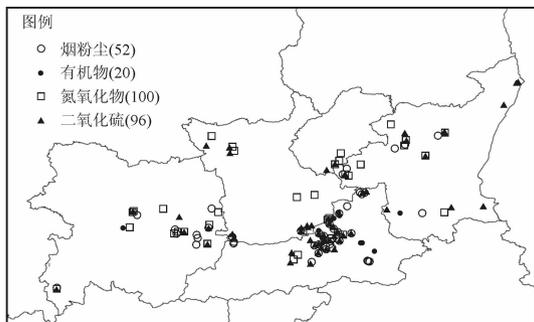
作者简介: 杨晓春 (1984—), 女, 汉族, 陕西安塞人, 硕士, 工程师, 主要从事天气气候研究。

基金项目: 陕西省气象局研究型业务重点科研项目 (2013Z-11)

陕西及临近省市,第三重嵌套区域覆盖西安及其周边地市(图略)。气象模式的初始场和边界场资料取自美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的全球预报系统(Global Forecast System, GFS)数据。模式垂直方向取 σ 坐标,为不等距36层;陆面模式采用热扩散方案;积云对流参数化方案采用浅对流Kain-Fritsch(new Eta)方案;行星边界层方案采用Pleim2Xiu方案;粗网格区域为张弛边界条件,细网格区域为时变边界条件。

1.2 污染源清单收集及排放源处理模式 SMOKE

针对西安地区污染源清单的收集主要分为两部分,一部分为区域背景数据,采用了Streets等^[13]为美国国家航天航空局(NASA)的大型观测实验TRACE-P所建立的空间分辨率为6'的东亚区域排放清单及基准年为2006年的INTEX-B2006东亚排放清单融合而成,并作空间优化处理^[14-15]。另一部分为本地污染源数据,其中面源排放数据是通过整理我国第一次污染源普查资料^[16]获取,包括了西安、宝鸡、铜川、咸阳、延安等五地市的二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘和机动车尾气的年平均排放量;点源排放数据则是收集了西安及周边城市172个排放源(包括二氧化硫、氮氧化物、有机挥发物、烟粉尘),这部分点源通过Google Earth工具获取地理信息,并利用GIS软件进行校验,如图2所示。



图中数字为各污染物对应的污染源数量,单位为个

图2 污染源清单中4种污染物点源分布图

系统以SMOKE^[17]模型为基础的大气污染排放处理系统来整合上述排放清单,建立西安及其周边地区较为完备的大气污染排放源。SMOKE模型是由美国北卡罗来纳微电子中心

(Microelectronic Center of North Carolina, MCNC)环境模拟中心研发的一套高效运算的排放源处理模型,可为空气质量模式预报及模拟提供专业的排放源前处理。该模型可结合多学科研究成果优化面源的空间分布,考虑气象因素对点源垂直分配影响,同时针对不同类型排放源的时间变化规律,设置不同时间分配曲线,从而更合理、真实地反映排放的时空分布特征。

1.3 空气质量预报模式 CMAQ

CMAQ模式是整个空气质量预报系统的核心部分,主要由以下几部分组成:ICON为初始条件模块,为模拟区域提供初始时刻的化学反应物浓度,业务系统中第一日模拟的初始条件采用近似清洁条件,第二日由前一日的模拟结果提供初始条件;BCON为边界值模块,为模拟区域的水平边界提供化学反应物的浓度场信息;JPROC为光解速率常数模块;MCIP为气象-化学转换模块,其主要功能是为空气质量模式CMAQ和源模式SMOKE提取WRF模式中的气象资料及模拟区域信息;化学传输主模块CCTM整合所有预处理模块的输出结果,模拟大气污染扩散及反应的各种物理化学过程,并获得各个污染物种的质量浓度及能见度消减的预报结果。

2 预报产品

系统的后处理模块由SHELL脚本结合GrADS软件组成,每日在北京时间10时前完成所有预报产品的分析、计算和生成。目前系统提供的产品包括:大气污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO、PM₁₀、PM_{2.5})空间分布图、10个站点(与环保局的监测站经纬度一致)的时间序列图以及能见度消减空间分布图。大气污染物空间分布图在上述气态和颗粒物未来72h内逐小时的质量浓度分布,并配以WRF的近地面风场,能够更加清楚地显示大气污染物扩散方向。能见度消减空间分布图采用分视来描述能见度恶化的量。分视是气溶胶消光系数的对数函数,分视值越高,能见度越差,大气雾霾越严重^[15]。产品(图)中颜色越深表示能见度越差,单位为km。站点时间序列图是根据模拟结果的格点插值而得

到各个站点大气污染物浓度时间序列。

3 预报性能检验

西安地区 WRF-CMAQ 系统于 2013 年 8 月初投入业务试运行, 经过近一个月的模拟运行和调试, 在消除初值为近似清洁条件的影响后, 对模式的模拟效果进行初步检验。表 1 为系统从 2013 年 9 月 16 日至 10 月 6 日每日模拟的 72 h 内逐小时颗粒物 (PM_{10} 、 $PM_{2.5}$) 浓度与泾河站的观测数据进行分时段相关系数及相对误差的对比。对比结果显示: 在 24 h 内, 两种颗粒物逐小时模拟预报与实况的相关系数达到 0.6 以上, 相对误差也在合理范围之内, 完全可以满足业务需求。随着模拟时间加长到 48 h 以后, 相关系数出现明显的下降, 在业务中需要谨慎使用, 这也是数值模式普遍存在的问题。

表 1 2013-09-16—10-06 系统模拟 72 h 内
颗粒物质量浓度与观测数据的分时段对比

时 段		24 h	48 h	72 h
相关系数	PM_{10}	0.61	0.47	0.35
	$PM_{2.5}$	0.60	0.46	0.35
相对误差	PM_{10}	2.13	2.56	2.75
	$PM_{2.5}$	2.53	2.82	2.56

4 结语

西安地区 WRF-CMAQ 系统引进 Models-3 系统中的 SMOKE 和 CMAQ 模型, 采用排放模型 SMOKE 处理污染源数据, 空气质量模式 CMAQ 来模拟预报多种污染物演变, 并与气象模式 WRF 系统对接, 建立了自动化的业务流程, 目前可以逐日制作未来 72 h 的污染物浓度和能见度消减的模拟预报产品。对系统的初步检验结果显示, 24 h 内的模拟结果能较好的反应颗粒物的逐小时变化, 精度在合理范围内, 满足业务应用需求。

参考文献:

[1] 陕西省国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要 [EB/OL]. (2011-1-22) [2013-12-8]. <http://www.shaanxi.gov.cn/0/1/65/364/857/1238/236.htm>.

- [2] 西安市国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要 [EB/OL]. [2013-12-8]. <http://www.shaanxi.gov.cn/0/1/65/364/857/1240/283.htm>.
- [3] 肖舜, 沈瑾, 刘璐, 等. 西安世园会园区大气环境质量与气象因子关系分析 [J]. 干旱气象, 2012, 30 (1): 1-7.
- [4] 王建鹏, 卢西顺, 林杨, 等. 西安城市空气质量预报统计方法及业务化应用 [J]. 陕西气象, 2001 (6): 5-7.
- [5] 王红斌, 陈杰, 刘鹤, 等. 西安市夏季空气颗粒物污染特征及来源分析 [J]. 气候与环境研究, 2000, 5 (1): 51-57.
- [6] Byun D, Schere K L. Review of the governing equations, computational algorithms, and other components of the models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system [J]. Applied Mechanics Reviews, 2006, 59 (2): 51-77.
- [7] 卢艳, 费建芳. 长江中下游地区空气质量的数值模拟研究 [J]. 安全与环境学报, 2005, 5 (4): 78-82.
- [8] 安兴琴, 左洪超, 吕世华, 等. Models-3 空气质量模式对兰州市污染物输送的模拟 [J]. 高原气象, 2005, 24 (5): 748-756.
- [9] 王扬峰, 左洪超, 马雁军, 等. 应用 Models-3 模式系统对沈阳市空气质量的数值模拟研究 [J]. 环境科学学报, 2007, 27 (3): 487-493.
- [10] 邓涛, 吴兑, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲一次典型复合型污染过程的模拟研究 [J]. 中国环境科学, 2012, 32 (2): 193-199.
- [11] 王自发, 吴其重, Alex, 等. 北京空气质量多模式集成预报系统的建立及初步应用 [J]. 南京信息工程大学学报 (自然科学版), 2009, 1 (1): 19-26.
- [12] 吴其重, 王自发, 徐文帅, 等. 多模式模拟评估奥运赛事期间可吸入颗粒物减排效果 [J]. 环境科学学报, 2010, 30 (9): 1739-1748.
- [13] Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, et al. An inventory of gaseous and primary aerosol emission in Asia in the year 2000 [J]. Geophysical Research Atmospheres, 2003, 108 (D21): 8808.

曹红丽, 陈奇. 西安边界层逆温特征及其与空气污染的关系 [J]. 陕西气象, 2014 (2): 13-16.

文章编号: 1006-4354 (2014) 02-0013-04

西安边界层逆温特征及其与空气污染的关系

曹红丽, 陈 奇

(西安市气象局, 西安 710016)

摘 要: 利用 2007—2011 年西安泾河探空站逐日 07、19 时探空资料和同时期空气污染物质量浓度资料, 分析西安边界层逆温的变化特征及其与空气污染的关系。结果表明: 西安一年四季都有逆温出现, 冬季逆温最多, 夏季最少, 早晨多于晚上; 逆温强度在 0.7~1.5 °C/100 m, 冬季逆温强度最大, 夏季最小; 晚上逆温强度大于早晨; 中等强度逆温最多; 冬季的逆温层厚度最大, 夏季最小, 早晨的逆温层厚度均明显高于晚上; 造成西安市空气污染的首要污染物是 PM₁₀, 其次为 SO₂, 再次为 NO₂; 有逆温时的空气污染物月质量浓度值均高于无逆温时, 主要污染物 PM₁₀ 的月质量浓度的变化与逆温厚度、强度成正比, 呈现出冬半年高夏半年低的变化趋势, 在逆温厚度最厚、强度最强的月份中, 空气污染物质量浓度值也最大。逆温层是影响西安地区空气质量的主要气象因子之一。

关键词: 边界层; 逆温层; 空气污染; 西安

中图分类号: P49; X51

文献标识码: A

近年来, 随着西安经济快速发展, 城市人口急剧增加, 各种工业、运输业和人们日常生活中所排放的有害气体日益增多。这些有害气体几乎都聚集在与人类生活有密切关系的边界层, 不仅造成大气污染, 甚至危害到了人类的生存和健康。因此空气污染已被国内外众多机构和学者所关注, 并认为空气污染与气象要素有着很密切的相关性^[1-2]。而逆温层是较为重要的气象因子之一。通常情况下, 在边界层大气中, 气温是随高度的增加而降低的。但有时在某些层次气温随高度的增加反而升高, 这种现象称为逆温。出现逆温现象

的大气层称为逆温层。在逆温层中, 较暖又轻的空气位于较冷又重的空气上面, 形成稳定的大气层结, 不利于空气中的水汽、烟雾和一些有害气体的稀释扩散, 加重了空气污染。受逆温层影响的地区, 大气层大都趋于稳定, 对流不易发生, 使空气质量变得恶劣。因此逆温层的强度和厚度与大气污染物质量浓度有很大相关性。近年来我国学者对逆温层的变化特征进行了大量的研究^[3-7], 本文利用西安泾河探空站的高空资料, 统计分析西安边界层逆温的厚度、强度的日变化及季节变化特征, 研究逆温与空气污染的关系。

收稿日期: 2013-01-03

作者简介: 曹红丽 (1973—), 女, 汉族, 学士, 陕西长武人, 工程师, 从事高空气象观测。

[14] 吴其重, 徐文帅, 赵秀娟, 等. 北京市大气可吸入颗粒物排放源空间优化及模式验证 [J]. 环境科学学报, 2012, 32 (10): 2548-2558.

[15] 吴其重. 北京空气质量多模式实时预报系统的建立及应用 [D]. 北京: 中国科学院研究生院大气物理研究所, 2010.

[16] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 污染源普查数据集 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011: 148-414.

[17] Carolina Environment Program. SMOKE v2.2 user's manual [Z]. University of North Carolina at Chapel Hill, 2005.