

黄河中上游 19 城市 2007 年 SO₂ 排放相互影响及其对北京贡献的数值预测分析

王繁强¹, 徐大海², 时进刚³, 陈晓丽³

1. 陕西省气象科学研究所, 西安 710015
2. 中国气象科学研究院, 北京 100081
3. 环境保护部环境发展中心, 北京 100045

摘要 依据黄河中上游地区 19 个城市 2007 年 SO₂ 源排放总量和气象资料, 利用 MM5、CALPUFF 数值模式系统, 数值模拟分析了城市间的相互影响以及长距离输送对北京 SO₂ 浓度的贡献。结果表明, 黄河中上游城市间 SO₂ 污染物排放相互影响较大的有银川、石嘴山、中卫、吴忠和渭南、铜川、咸阳、宝鸡两个城市群。周围城市对银川年平均浓度的贡献占到二级标准的 50%, 对咸阳年平均浓度的贡献占到二级标准的 44%。对周边城市 SO₂ 年平均浓度贡献超过二级标准 10% 的城市有: 石嘴山对银川, 吴忠对银川, 渭南对咸阳、铜川, 咸阳对渭南。长距离输送对北京有一定影响, 其中年平均浓度贡献最大的是鄂尔多斯市 0.00038mg/m³, 包头市 0.00032mg/m³ 次之, 宝鸡市、延安市、银川市、中卫市、铜川市最小, 为 0.00001 mg/m³; SO₂ 最大日平均浓度贡献最大的是鄂尔多斯市 0.00540mg/m³, 忻州市 0.00414mg/m³ 次之, 延安市 0.00008mg/m³ 最小; SO₂ 最大小时平均浓度贡献最大的是忻州市 0.03708mg/m³, 鄂尔多斯市 0.01815mg/m³ 次之, 中卫市 0.00029mg/m³ 最小。因此, 为提高空气质量, 单一城市的污染控制规划和措施除考虑其对本地的影响外, 还应充分考虑限定其对外界的贡献。

关键词 数值分析; SO₂ 扩散; 相互影响; 长距离输送

中图分类号 X51

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.16.001

Numerical Analysis of Interaction of SO₂ Emission Among 19 Cities Along the Middle-up Stream of Yellow River and Their Contribution to Beijing City

WANG Fanqiang¹, XU Dahai², SHI Jingang³, CHEN Xiaoli³

1. Meteorological Institute of Shaanxi Province, Xi'an 710015, China
2. Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China
3. Environmental Development Centre, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100045, China

Abstract Based on the SO₂ emission inventory and meteorological data along the middle-up stream of Yellow River in 2007, the simulation system including CALPUFF and MM5 models is utilized to simulate, predict and analyze the interaction of SO₂ emission between one city and other 18 cities, and the contribution of their transport to Beijing city. From the results, the following conclusions can be reached. (1) It is obvious that the SO₂ emission dramatically interacts with that around the circumjacent cities, in the second level (0.06mg/m³) of National Standard of SO₂ emission, 49.8% and 44.3% of average yearly SO₂ concentration in Yinchuan and Xianyang cities are contributed by that around the circumjacent cities, respectively. (2) The city whose contribution to neighboring city exceeds 10% of the second level includes Shizuishan to Yinchuan, Wuzhong to Yinchuan, Weinan to Xiangyang, Weinan to Tongchuan, and Xiangyang to Weinan. (3) The long distance transport of SO₂ emission from adjacent cities influences to some extent the concentration of SO₂ in Beijing city, the contribution of average yearly SO₂ concentration to Beijing reaches 0.00038mg/m³ with the largest in Ordos,

收稿日期: 2010-11-03; 修回日期: 2011-05-17

作者简介: 王繁强, 高级工程师, 研究方向为大气环境, 电子邮箱: wfq0208@163.com

followed by Baotou, $0.00032\text{mg}/\text{m}^3$, and is only $0.00001\text{mg}/\text{m}^3$, the smallest for Baoji and Xinzhou and Yanan and Zhongwei and Tongchuan; the contribution of the maximum daily SO_2 concentration to Beijing is Ordos with an extreme value of $0.005404\text{mg}/\text{m}^3$, followed by Xinzhou, $0.00414\text{mg}/\text{m}^3$, and is the minimum for Yanan, $0.00008\text{mg}/\text{m}^3$; the contribution of the maximum hourly SO_2 concentration to Beijing is Xinzhou with an extreme value of $0.03708\text{mg}/\text{m}^3$, followed by Ordos, $0.01815\text{mg}/\text{m}^3$, and is the minimum for Zhongwei, $0.00029\text{mg}/\text{m}^3$. (4) For the purpose of improving the air quality, it is critical that its contribution to the surrounding regions should be circumscribed in addition to the consideration of its local influence in the pollution control and countermeasure of a single city.

Keywords numerical analysis; SO_2 emission; interaction; long distance transport

0 引言

CALPUFF^[1]模式是美国环保局(EPA)推荐使用的一个用于复杂地形下的大气质量评价、预测数值模式系统,在国内外已有较多的应用^[2-7]。中国环保部2008年12月31日发布的《环境影响评价技术导则—大气环境》也已将其列为推荐模式。本文利用MM5^[8-9]与CALPUFF耦合的数值模式系统,依据2007年 SO_2 源排放清单和一个完整年的气象资料,通过计算分析,揭示黄河中上游地区19城市污染物 SO_2 排放的相互影响,以及长距离输送对北京 SO_2 浓度的贡献,定量给出19城市大气污染物 SO_2 相互影响和长距离输送的 SO_2 年平均质量浓度及其占标率,最大日、时平均质量浓度及其占标率,为城市群间和更大区域的大气质量控制提供参考。

1 资料与方法

1.1 气象数据

(1) 中尺度数值模式MM5模拟计算采用三层嵌套网格,具体设置为:一层,水平分辨率 $81\text{km}\times 81\text{km}$,格点 60×60 ;二层,水平分辨率 $27\text{km}\times 27\text{km}$,水平格点 110×112 ;三层,水平分辨率 $9\text{km}\times 9\text{km}$,格点 110×112 。垂直分辨率取30层。中心经纬度为(110°E , 37.5°N),积分的时间步长为90s。

背景场资料为国家气象中心T213的输出产品,地域分辨率为 $1^\circ\times 1^\circ$,时间分辨率是6h/次,观测资料采用的是欧亚地区逐日观测资料,其中地面站的观测资料为3h/次,高空为12h/次。

(2) 边界层风温场诊断模式CALMET输入资料使用MM5输出的水平分辨率为 $27\text{km}\times 27\text{km}$ 的结果,垂直分辨率取10层(0,20,40,80,160,300,600,1000,1500,2200,3000m),积分步长为60min,模拟计算区域以 109.58°E 、 37.75°N 为中心,东西1600km,南北1600km,总面积256万 km^2 ,如图1所示。网格点设置为 160×160 ,网格间距为10km,计算时段选择2007年1月1日08时至2008年1月1日08时。

地形资料采用USGS的 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 地形格点资料。

地表资料也采用USGS的 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 土地利用格点资料。

(3) CALPUFF输入气象资料使用CALMET输出的三维气象资料,垂直分辨率、积分步长、计算区域及水平网格的设置同CALME。

1.2 污染物扩散调用过程

污染物扩散的调用过程如下:(1) 高斯烟团扩散模块;

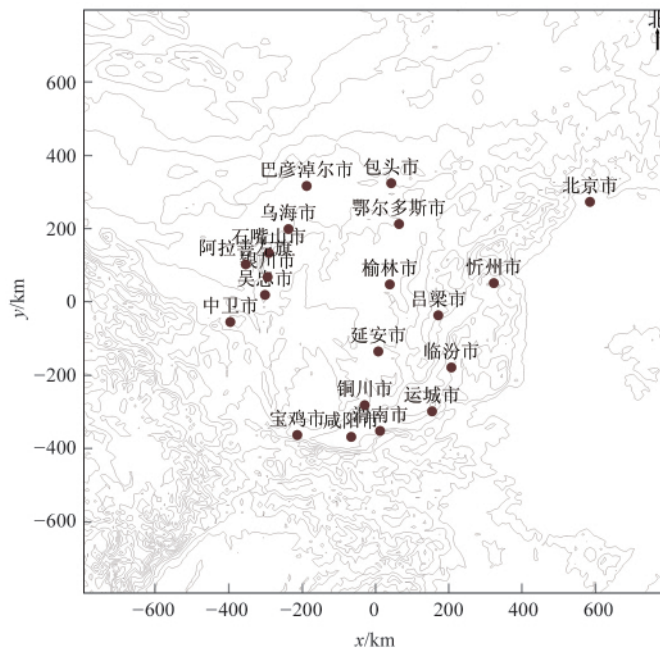


图1 数值预测区域示意

Fig. 1 Modeling domain

(2) 干沉降过程;(3) 湿沉降过程;(4) 化学过程选用MESOPUFF II方案;(5) 过程参数选用系统缺省值^[1]。

1.3 污染源排放数据

本文主要分析城市间污染物的输送影响,以各城市 SO_2 总排放量为源强,19个城市按照19个点源输入模式进行数值预测分析。2007年黄河中上游地区19城市 SO_2 排放量见表1,主要包括工业和生活排放源。

1.4 研究方法

气象要素场的数值模拟采用动力降尺度方法,首先,在大尺度模式模拟和客观分析资料结果基础上,进行中尺度数值模拟分析(MM5),拟合出逐时气象要素场,即拟合出没有实测记录时刻的气象要素场,再利用边界层数值模式(CALMET^[10]),根据地形条件及地表状况对逐时气象要素场做进一步的诊断分析,获得CALPUFF模式需要的逐时网格化三维气象要素场。

CALPUFF采用CALMET输出的逐时气象场,在考虑下垫面对污染物干湿沉降的影响、复杂地形的动力学效应以及静风等条件下,预测时空变化的气象条件下污染物扩散、输

表 2 城市间 SO₂ 年平均浓度的相互贡献及占标率 (续)Table 2 Interaction of SO₂ emission between one city and other cities (continued)

受体城市	渭南市	铜川	榆林市	咸阳	宝鸡	忻州	吕梁	运城	合计	占标率/%
临汾	0.0005		0.0003			0.0002	0.0014	0.0010	0.0034	6
延安市	0.0010	0.0002	0.0006	0.0003			0.0002	0.0005	0.0028	5
运城	0.0045			0.0005			0.0003		0.0053	9
宝鸡	0.0030			0.0035					0.0065	11
铜川	0.0100			0.0020	0.0002			0.0006	0.0128	21
渭南市		0.0003		0.0060	0.0002			0.0018	0.0083	14
咸阳	0.0250	0.0006			0.0005			0.0005	0.0266	44

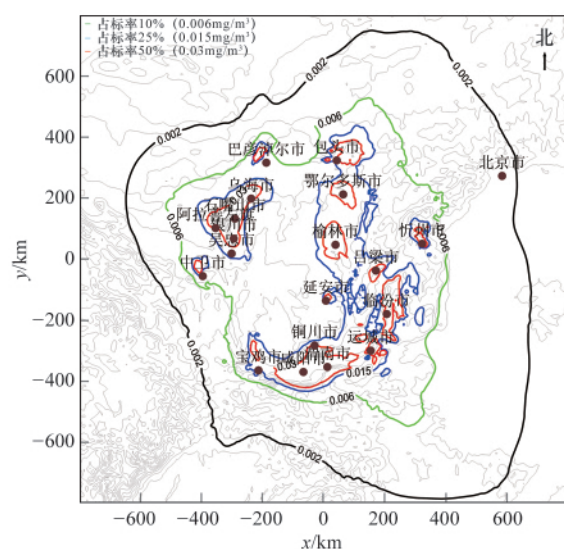


图 3 SO₂ 年平均浓度分布

Fig. 3 Annual average concentration increments by power plant emissions in the middle-up stream of Yellow river in 2007

2.2.4 不同城市 SO₂ 排放对北京的贡献

各地排放对北京市空气质量贡献的大小与其污染物的排放量、排放源的地理位置相关,排放量越大、距离受体点北京越近的城市对北京的 SO_2 浓度贡献越大。表 3 给出了 2007 年 19 城市 SO_2 排放对北京 SO_2 年、最大日、最大时平均浓度的贡献。其中, SO_2 年平均浓度贡献前三位是鄂尔多斯市 $0.00038\text{mg}/\text{m}^3$ 、包头市 $0.00032\text{mg}/\text{m}^3$ 、忻州市 $0.00025\text{mg}/\text{m}^3$, 宝鸡市、延安市、银川市、中卫市、铜川市最小, $0.00001\text{mg}/\text{m}^3$; 最大 SO_2 日平均浓度贡献前三位的是鄂尔多斯市 $0.00540\text{mg}/\text{m}^3$, 忻州市 $0.00414\text{mg}/\text{m}^3$, 包头市、吕梁市, $0.00282\text{mg}/\text{m}^3$, 延安市 $0.00008\text{mg}/\text{m}^3$ 最小; 最大 SO_2 时平均浓度贡献前三位的是忻州市 $0.03708\text{mg}/\text{m}^3$ 、鄂尔多斯市 $0.01815\text{mg}/\text{m}^3$ 、包头市 $0.01311\text{mg}/\text{m}^3$, 中卫市 $0.00029\text{mg}/\text{m}^3$ 最小。

3 讨论与结论

(1) 黄河中上游 19 城市间 SO_2 污染物排放相互影响较明显的是,以银川为中心的银川城市群和以咸阳为中心的关中城市群。周围城市对银川年平均浓度的贡献占到二级标准

表 3 2007 年 19 城市 SO₂ 排放对北京的贡献排序Table 3 Source emission contribution of average yearly and maximum hourly and daily SO₂ concentration to Beijing in 2007

城市(最大年均浓度对北京的贡献/(mg·m ⁻³))	城市(最大日均浓度对北京的贡献/(mg·m ⁻³))	城市(最大时均浓度对北京的贡献/(mg·m ⁻³))
鄂尔多斯市(0.00038)	鄂尔多斯市(0.00540)	忻州市(0.03708)
包头市(0.00032)	忻州市(0.00414)	鄂尔多斯市(0.01815)
忻州市(0.00025)	包头市(0.00282)	包头市(0.01311)
吕梁市(0.00019)	吕梁市(0.00282)	吕梁市(0.01130)
榆林市(0.00010)	运城市(0.00241)	榆林市(0.00751)
运城市(0.00009)	榆林市(0.00165)	运城市(0.00735)
渭南市(0.00008)	石嘴山市(0.00152)	石嘴山市(0.00619)
乌海市(0.00006)	乌海市(0.00113)	乌海市(0.00496)
石嘴山市(0.00006)	渭南市(0.00109)	渭南市(0.00320)
巴彦淖尔市(0.00005)	咸阳市(0.00056)	临汾市(0.00317)
临汾市(0.00005)	临汾市(0.00056)	巴彦淖尔市(0.00240)
咸阳市(0.00003)	巴彦淖尔市(0.00055)	阿拉善左旗(0.00235)
吴忠市(0.00002)	阿拉善左旗(0.00036)	咸阳市(0.00204)
阿拉善左旗(0.00002)	吴忠市(0.00029)	吴忠市(0.00137)
宝鸡市(0.00001)	宝鸡市(0.00021)	宝鸡市(0.00085)
延安市(0.00001)	银川市(0.00014)	银川市(0.00068)
银川市(0.00001)	中卫市(0.00011)	铜川市(0.00031)
中卫市(0.00001)	铜川市(0.00011)	延安市(0.00030)
铜川市(0.00001)	延安市(0.00008)	中卫市(0.00029)

的 50%,对咸阳年平均浓度的贡献占到二级标准的 44%。对周边城市 SO₂ 年平均浓度贡献超过二级标准 10%的城市有:石嘴山对银川,吴忠对银川,渭南对咸阳、铜川,咸阳对渭南。

(2) 19 城市 SO₂ 污染物的排放传输对北京有一定的贡献,其中年平均浓度对北京的贡献约为 0.002mg/m³,占二级标准的 3.3%,最大日平均浓度对北京的贡献约为 0.016mg/m³,占二级标准 10.7%,最大小时平均浓度对北京的贡献约为 0.05mg/m³,占二级标准 10%。

(3) SO₂ 年平均浓度对北京的贡献最大的是鄂尔多斯市, 0.00038mg/m³,占总贡献的 19%,最大日和小时平均浓度对北京贡献最大的是鄂尔多斯市和忻州市,分别为 0.00540mg/m³和 0.03708mg/m³。

(4) 城市空气污染除来自本地污染源的贡献外,还有外地污染源的贡献,黄河中上游地区 19 城市污染物排放的长距离传输对北京的贡献,凸现出污染物输送对较远区域空气质量的影响,表明北京市空气质量在一定程度上受外地污染源排放的影响。因此,为提高空气质量,针对单一城市的污染控制规划和措施除考虑其对本地的影响外,还应充分考虑限定其对外界的贡献,即必须考虑区域的协调、统一规划和综合治理。

(5) 以上研究结果是在水平格距为 10km 的条件下得到的,如果水平格距不同,结果是否一致,有多大差别,有待进一步的预测对比分析。

(6) 由于污染物扩散过程参数选用系统缺省值,这对研究结果的准确性会有一定的影响,其影响程度的大小,有待进一步的监测实验研究。

参考文献 (References)

[1] Joseph S, David G. A user's guide for the CALPUFF dispersion model

[EB/OL]. [2001-11-03]. <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>.

[2] 王淑兰, 张远航, 钟流举, 等. 珠江三角洲城市间空气污染的相互影响[J]. 中国环境科学, 2005, 25(2): 133-137.

Wang Shulan, Zhang Yuanhang, Zhong Liuju, et al. China Environmental Science, 2005, 25(2): 133-137.

[3] 宋宇, 陈家宜, 蔡旭晖. 石景山工业区 PM₁₀ 污染对北京市影响的模拟计算[J]. 环境科学, 2002, 23(S1): 65-68.

Song Yu, Chen Jiayi, Cai Xuhui. Environmental Science, 2002, 23(S1): 65-68.

[4] 王红磊, 钱骏, 廖瑞雪, 等. CALPUFF 模型在大气环境容量测算中的应用研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(12): 169-172.

Wang Honglei, Qian Jun, Liao Ruixue, et al. Environmental Science and Management, 2008, 33(12): 169-172.

[5] 王繁强, 周阿舒, 王琦, 等. 区域大气质量评价数值模式系统的建立及试用[J]. 气象科技, 2007, 35(6): 763-770.

Wang Fanqiang, Zhou Ashu, Wang Qi, et al. Meteorological Science and Technology, 2007, 35(6): 763-770.

[6] 王繁强, 徐大海, 蒋宁洁, 等. 区域大气质量数值预测评价业务平台的建立及应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2009.

Wang Fanqiang, Xu Dahai, Jiang Ningjie, et al. Establishment and practical use of regional atmosphere quality evaluation numerical model system[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2009.

[7] Shir C C, Shieh L J. A generalized urban air pollution model and its application to the study of SO₂ distributions in the St. Louis Metropolitan area[J]. Journal of Applied Meteorology, 1974, 13(2): 186-204.

[8] Haagenson P L, Dudhia J, Stauffer D R, et al. The penn state/NCAR mesoscale model (MM5) source code documentation [R/OL]. CAR/TN-392+STR, [2002-04-09]. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>.

[9] Stoelinga M T. A users' guide to RIP version 3: A program for visualizing PSU/NCAR mesoscale modeling system output[EB/OL]. Boulder: National Center for Atmospheric Research. [2002-04-09]. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>.

[10] Joseph S, Francoise R. A user's guide for the CALMET meteorological model[EB/OL]. [2001-11-03]. <http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

“2011 中国机械动力学学术会议”征文

由中国振动工程学会机械动力学专业委员会主办的“2011 中国机械动力学学术会议”将于 2011 年 7 月 29—31 日在杭州召开。

征文范围:机械动力学理论与方法;机床动力学;动态测试与信号分析;机械系统故障诊断;振动分析与控制;噪声分析与控制;切削动力学;机械动态设计;各类工程中的机械动力学理论及应用。

联系方式:北京市海淀区清华大学精密仪器与机械学系(100084) 阎绍泽; 联系电话:010-62796046; 电子信箱:wjhxhy2011@yahoo.com.cn。

会议网址:www.csmd.com.cn。