

# 基于 AERMOD 模型兰州城区环境空气质量变化情况的研究

周卫华<sup>1</sup>, 窦立宝<sup>2</sup>, 郭玉刚<sup>2</sup>, 白娟<sup>3</sup> (1. 天水市环境保护科学技术研究所, 甘肃天水 741000; 2. 甘肃省环境科学设计研究院, 甘肃兰州 730030; 3. 西北师范大学地理与环境学院, 甘肃兰州 730070)

**摘要** 根据《兰州市大气污染综合防治方案》、兰州国家气象观测二级站 2008 年全年逐日逐次的实测地面气象数据、环评基础数据应用库中的中尺度高空气象模拟数据及兰州市环境监测站 2008 年全年逐日监测数据, 应用 AERMOD 模型, 估算了供热规划实施和未实施(即零方案)两种方案下采暖期的主要污染物 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub> 日均浓度值。结果表明, 供热规划实施后, 环境空气污染物 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 贡献值是零方案下的 14.5、11.2 倍, 但占标率还是较高, 原因是背景值过高。

**关键词** AERMOD 模型; 兰州市; 零方案; SO<sub>2</sub>; PM<sub>10</sub>

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)05-02211-03

## The Change of Ambient Air Quality in Lanzhou City Based on AERMOD Model

ZHOU Wei-hua et al (Tianshui Research Institute of Environmental Protection Science and Technology, Tianshui, Gansu 741000)

**Abstract** Based on the Air Pollution Comprehensive Prevention and Control Scheme of Lanzhou City, daily meteorological data of 2008 from Lanzhou National Weather Observing Secondary Station, mesoscale meteorological simulation data from the Environmental Engineering Environmental Quality Assessment Center Simulation Laboratory, and the meteorological daily data in 2008 from environmental monitoring station of Lanzhou and using AERMOD model, the daily mean concentration of SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> under two schemes: implemented heating plan and unimplemented heating plan (the zero solution) were estimated. The results showed that, the contribution value of SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> after implementation heating plan is 14.5 and 11.2 times compared with the zero scheme.

**Key words** AERMOD model; Lanzhou City; Zero solution; SO<sub>2</sub>; PM<sub>10</sub>

兰州市的大气污染为典型的复杂地形城市颗粒物和煤烟型污染, 而且属于全国大气污染严重的城市之一。兰州市城乡建设局为了落实《兰州市大气污染综合防治方案》中提出的加快集中供热的建设步伐的防治措施, 将供热区域分为 I~VI 区 6 个供热分区, 兰州城区供热区域为 I~IV 区。而不断提高热能利用效率到底能否改善城区大气环境质量, 仍需进一步探讨和研究。笔者估算了供热规划实施和未实施两种方案下采暖期的主要污染物 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 日均浓度值, 以期研究兰州城区环境空气质量变化情况提供参考。

## 1 研究区概况

甘肃省兰州位于 103°40' E、36°03' N 之间, 处于我国陆域版图的几何中心, 总的地形大体为西北高东南低, 在陇西黄土高原的西北部和祁连山东沿余脉相接处; 城区海拔高度 1 503~2 171 m, 最高峰为皋兰山东南的营盘岭, 海拔 2 171 m, 最低点为雁滩的北面滩, 海拔 1 503 m。南北两山海拔在 2 000 m 以上, 坪地海拔在 1 700 m 左右, 地形分为山、坪、川 3 类。

## 2 数据资料

**2.1 资料的选取** 地面气象参数采用了兰州国家气象观测二级站 2008 年全年逐日逐次的实测地面气象数据。在数据处理过程中, 对观测次数不足 24 次的进行了插值处理。高空气象数据采用环评基础数据应用库中的中尺度高空气象模拟数据。背景值监测数据由兰州市环境监测站提供, 兰州市环境空气质量例行监测点共设 2 个, 监测因子为 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>。

**2.2 模型简介** AERMOD 模型由美国国家环保局联合美国气象学会组建美国法规模式改善委员会(Aermic)开发。Aer-

mic 的目标是开发一个能完全替代 ISC3<sup>[1]</sup>的法规模型, 应用最新的扩散理论和计算机技术更新 ISC3 计算机程序。20 世纪 90 年代中后期, 美国法规模式改善委员会成功开发出 AERMOD 扩散模型。目前, 国内环境影响评价单位主要使用的大气预测模型包括 EIAA、ADMS、AERMOD、CAL PUFF 等<sup>[2-6]</sup>。

AERMOD 模型以扩散统计理论为出发点, 假设污染物的浓度分布在一定程度上服从高斯分布。模式系统可用于多种排放源(包括点源、面源和体源)的排放, 也适用于乡村环境和城市环境的模拟和预测。AERMOD 具有如下特点<sup>[1]</sup>: ①以行星边界层(PBL)湍流结构及理论为基础, 按空气湍流结构和尺度概念, 湍流扩散由参数化方程给出, 稳定度用连续参数表示; ②中等浮力通量对流条件采用非正态的模式; ③考虑了对流条件下浮力烟羽和混合层顶的相互作用。

**2.3 基本计算公式** AERMOD 模型在考虑地形(包括地面障碍物)对污染物浓度分布的影响时, 使用了分界流线的概念, 即将扩散流场分为两层的结构, 下层的流场保持水平绕过障碍物, 而上层的流场则抬升越过障碍物, 任一网格点的浓度值就是这两种烟羽浓度加权之后的和。假定一网格点(x, y, z)在平坦地形上(即不考虑地形影响时)的质量浓度为 c(x, y, z)(即水平烟羽的质量浓度表达式), 则考虑地形(或障碍物)影响的总质量浓度 c<sub>r</sub>(x, y, z)公式为<sup>[7]</sup>:

$$c_r(x, y, z) = f \cdot c(x, y, z) + (1 - f)c(x, y, z) \quad (1)$$

式中, f 为两种烟羽状的权函数。f 可表示为:

$$f = 0.5(1 + \theta) \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\int_d^z c(x, y, z) dz}{\int_d^x c(x, y, z) dz} \quad (3)$$

c(x, y, z) 的一般形式为:

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{u} p_y(y, x) p_z(z, x) \quad (4)$$

**作者简介** 周卫华(1972-), 女, 甘肃天水人, 工程师, 从事环境影响评价与管理研究, E-mail: gyg3021707@163.com。

**收稿日期** 2013-01-17

式中,  $Q$  为污染源排放率,  $g/s$ ;  $u$  为有效风速,  $m/s$ ;  $p_y$ 、 $p_z$  分别为水平方向和垂直方向浓度分布的概率分布函数。

### 3 模式预测分析

**3.1 环境空气影响预测方案** 兰州城区供热规划实施后, 会对废气污染源强在时间、空间和数量上产生影响。综合考虑各类变化因素, 笔者对环境空气质量的预测模式分为供热规划实施和供热规划未实施(零方案)两种, 预测时段和内容为采暖期的  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均浓度值。

#### 3.2 环境空气影响预测结果

**3.2.1 供热规划实施预测结果。** 供热规划实施后, 兰州城区采暖期  $SO_2$  和  $PM_{10}$  日均最大浓度值见表 1。从表 1 可知, 兰州城区的  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均最大浓度出现在相对坐标依次为

(-12500, 6400)、(-13400, 6400) 的网格点上, 浓度贡献值为依次为 0.027 08、0.007 84  $mg/m^3$ 。采暖期  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均最大浓度分布见图 1。

表 1 供热规划实施后采暖期  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均最大浓度值

监测因子	相对坐标	浓度贡献	出现时间	标准值	占标率
		$mg/m^3$		$mg/m^3$	
$SO_2$	-12500, 6400	0.027 08	081125	0.15	19.9
$PM_{10}$	-13400, 6400	0.007 84	081125	0.15	5.3

**3.2.2 供热规划未实施(零方案)预测结果。** 零方案下采暖期区域  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均最大浓度值见表 2。从表 2 可知, 兰州城区  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均最大浓度出现在相对坐标依次为(3400,

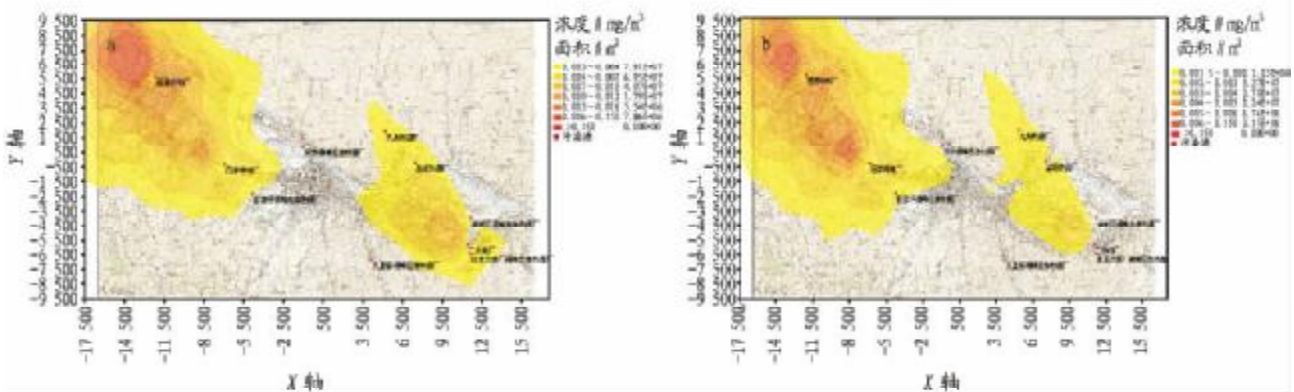


图 1 供热规划实施后  $SO_2$  (a)、 $PM_{10}$  (b) 日均最大浓度分布

(-1400)、(-7400, 1400) 的网格点上, 浓度贡献值依次为 0.403 53、0.087 80  $mg/m^3$ 。零方案下采暖期  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均最大浓度分布见图 2。

表 2 零方案下采暖期  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  日均最大浓度值

监测因子	相对坐标	浓度贡献	出现时间	标准值	占标率
		$mg/m^3$		$mg/m^3$	
$SO_2$	3400, -1400	0.403 53	081125	0.15	282.4
$PM_{10}$	-7400, 1400	0.087 80	081125	0.15	59.2

**3.3 环境空气影响预测结果分析** 通过规划实施与零方案下的浓度贡献值、占标率直方图比较分析(图 3), 得出供

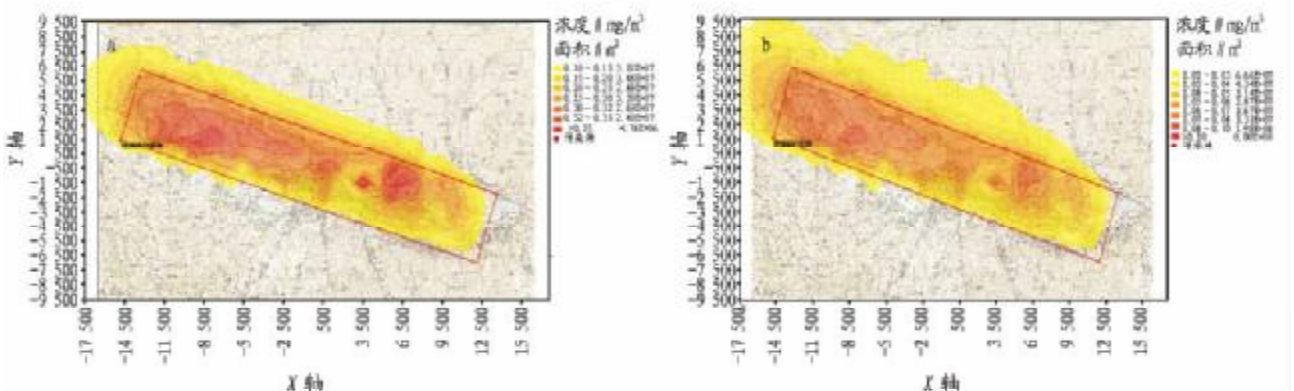


图 2 零方案下  $SO_2$  (a)、 $PM_{10}$  (b) 日均最大浓度分布

热规划的实施环境中, 空气主要污染物  $SO_2$ 、 $PM_{10}$  贡献值分别是零方案下的 14.5、11.2 倍, 但占标率还是较高, 原因是背景值过高。

境空气污染物贡献值远远小于零方案下的贡献值, 环境效益是显著, 但是兰州市大气环境质量的压力还是很大, 占标率还是较高, 原因是背景值过高。

### 4 结论

笔者基于 AERMOD 模型对兰州市城区未来的环境空气质量变化情况进行了预测与分析, 得出供热规划实施后的环

笔者仅用了 2 个例行监测站点的数据研究兰州城区大气的空间特征及变化, 显然存在局限性, 不能完全反映兰州城区的大气污染因子背景值变化。兰州城区地形和下垫面

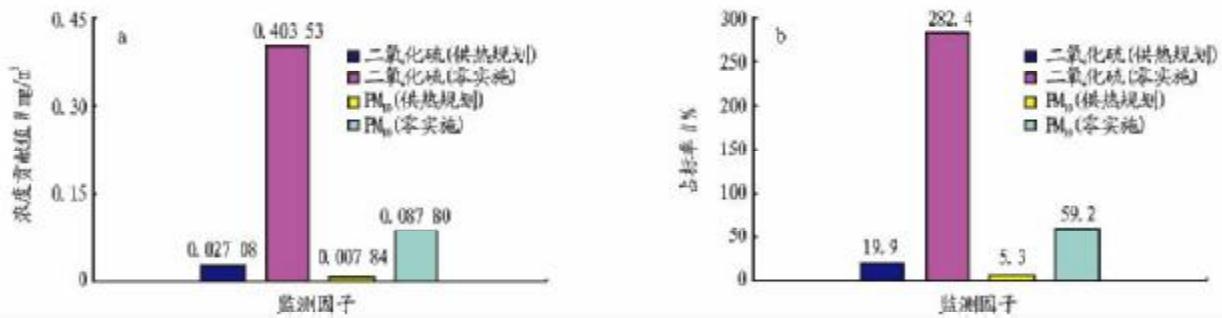


图 3 规划实施与零方案浓度贡献值(a)、占标率(b)对比

类型复杂,局地气候差异大,对研究结果的准确性有影响。又因难以获取兰州城区每年大气污染物产量数据资料,所以大部分探讨只停留在理论上,进而对兰州城区 14 年的大气环境质量的研究也只停留在宏观的水平。如果能将问题更深一步研究,那么对兰州城区制定能源结构、热源分布、供热分区发展策略将会给出很多建设性意见。

### 参考文献

[1] 夏思佳,王勤耕. 基于 AERMOD 模式的大气扩散参数方案比较研究[J]. 中国环境科学,2009,29(11):1121-1127.

[2] 林而达,王厚焯,王京华,等. 全球气候变化对中国农业影响的模拟[M]. 北京:中国农业科技出版社,1997.

[3] 张宝宁,程水源,赵瑾,等. 区域大气污染物日均浓度不同计算方法的比较[J]. 化工环保,1998,18(3):169-172.

[4] 国家环境保护局,中国环境科学院. 城市大气污染总量控制方法手册[M]. 北京:中国环境科学出版社,1991.

[5] 郝吉明. 大气污染控制工程[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[6] 任平. 影响大气污染物散布的气象条件[J]. 资源开发与市场,2003,19(2):72-75.

[7] 蒋维媚,曹文俊,蒋瑞宾. 空气污染气象学教程[M]. 北京:气象出版社,1993.

(上接第 2135 页)

控制区内采煤活动已经停止,废弃井口也全部进行了封堵处理,除汽车尾气等有少量二氧化硫和氮氧化物排放,几乎没有其他污染源;然而,郊区要落后许多,污染源分布多而广。人们生活燃煤、企业燃煤、煤矿的开采及矸石堆积等均会产生大量硫化物、氮氧化物等酸雨气体排入大气<sup>[14-15]</sup>。

**2.3 酸雨与降雨量的关系** 由于市区受人为因素影响较大,而郊区更接近自然条件,为了减少人为干扰的影响因素,因此,在此仅以郊区酸雨出现频率与降雨量进行比较分析<sup>[16]</sup>。由图 3 可以看出,该点酸雨出现率与降雨量在 2004~2007 年期间变化趋势基本一致,可能是由于 2004~2007 年期间大气中酸雨气体含量较高,污染源持续性强,酸雨出现率并没有因降雨的增加而降低;从 2008 年开始大气污染物的排放受到控制,降雨量与前几年相比也有所增加,对空气的净化作用也变大,强酸雨产生的频率明显变小。

### 3 结论与讨论

(1) 合山市 2004~2008 年期间酸雨污染较严重,其间表现出了明显时空分布差异规律,时间分布上春冬季明显比夏秋严重,空间上郊区明显高于城区。

(2) 合山市酸雨的污染物主要来源于工业大气污染物的排放。近些年来,随着合山市及其周边城市防污减排工作的深入开展,酸雨出现率明显降低,甚至已经监测不到酸雨。由此可见,治理酸雨的有效途径之一是防污减排工作。

### 参考文献

[1] 任仁. 中国酸雨的过去、现在和将来[J]. 北京工业大学学报,1997,23

(3):129.

[2] 张新民,柴发合,王淑兰,等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究,2010,23(5):528-532.

[3] 赵艳霞,侯青. 1993-2006 年中国区域酸雨变化特征及成因分析[J]. 气象学报,2008,66(6):1032-1042.

[4] 侯青,赵艳霞. 2007 年中国区域性酸雨的若干特征[J]. 气候变化研究进展,2009,5(1):7-11.

[5] CHENG A Z, WEIHH, TAN F. Analysis of the temporal-spatial distribution and seasonal variation of the acid rain in Guangxi Province [J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(1):62-65.

[6] 秦鹏,杜尧东,刘锦奎,等. 广东省酸雨分布特征及其影响因素[J]. 热带气象学报,2006,22(3):297-300.

[7] 董蕙青,黄海洪,高安宁,等. 影响广西酸雨的大气环流特征分析[J]. 气象,2005,31(10):51-55.

[8] 林长城,肖辉,赵卫红,等. 福建高山、重点城市春季 TSP 对降水酸度的影响[J]. 热带气象学报,2006,22(4):405-410.

[9] 丁永福. 广西酸雨来源、影响和控制对策的研究[M]. 南宁:广西人民出版社,1990:26-56.

[10] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京:气象出版社,1995:16-56.

[11] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近一百年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报,1995,53(4):431-439.

[12] 朱求安,江洪,宋晓东. 基于空间插值方法的中国酸雨时空分布格局模拟及分析[J]. 环境科学研究,2009,22(11):1238-1244.

[13] 王文兴,冯宗伟,唐孝炎,等. 我国酸沉降及其生态环境影响研究. 八五国家科技攻关项目 85-912-01 [R]. 北京:中国环境科学研究院,1996:65-100.

[14] 马连祥,杨文斌,周定国. 酸雨和大气污染对杨树木材物理性质的影响——对年轮宽度和基本密度的影响[J]. 福建林学院学报,2000,20(3):269-272.

[15] PHADNIS M J, CARMICHEAL G R. Evaluation of long range transport models for acidic deposition in east Asia [J]. J App Meteor, 1998, 37: 1272-1421.

[16] STREETS D G, CARMICHEAL G R, AMANA M et al. Energy consumption and acid deposition in Northeast Asia [J]. AMB IO, 1999, 28(2): 135-143.