

文章编号: 1006-4354 (2012) 06-0035-04

探空资料和 MM5 模拟气象资料在 AREMOD 模式引用差异分析

刘敏茹¹, 王娟敏², 陈建文², 高山¹, 王琦²

(1. 西安市气象局, 西安 710016; 2. 陕西省气候中心, 西安 710014)

摘 要: 利用西安市泾河观测站 2011 年地面气象资料、探空资料和 MM5 模拟中尺度气象资料, 分别采用 AREMOD 大气污染预测模式对陕西赛德电气锅炉烟囱排放 SO_2 进行污染预测, MM5 中尺度模拟高空资料与实际探空资料气温和风速有一定差异, 但气温和风速随高度变化趋势基本一致, 计算得到的边界层主要大气污染预测参数基本一致, 污染预测结果也较为一致, 不存在量级的差异, 表明 MM5 模拟高空资料在大气污染预测评价中具有较好的适用性。

关键词: AREMOD 模式; MM5 模拟气象资料; 探空资料; 差异分析

中图分类号: P49

文献标识码: B

大气污染预测是大气环境影响评价的主要依据, 而气象条件是大气污染扩散的主要环境因子。AREMOD 模式是我国法规大气污染预测模式^[1], 是一种稳态烟羽模式^[2]。该模式考虑了地形对污染物浓度分布的影响, 采用临界分流概念, 将扩散流场分为 2 层结构, 将复杂和平坦地形一体化处理, 所有网格点的污染物浓度计算按平坦地形上的扩散处理^[1], 基于当今国际主流的环境质量预测模式所应用的 20 世纪 80—90 年代的大气边界层理论, 反映了近年来对大气边界层结构和扩散规律的新认识, 具备较好地模拟空气污染物质量浓度场的能力。利用 MM5 模拟中尺度气象资料、实测探空资料, 分别采用 AREMOD 模式进行大气污染预测, 验证 MM5 模拟中尺度气象资料在大气污染预测评价中的适用性, 分析模拟结果和实际探测结果的差异, 减少观测因素造成的数据误差, 开展大气污染预测评价和环境治理工作具有重要意义。

1 基本原理

1.1 AERMOD 模型

AERMOD 模型的污染物质量浓度预测值 C_e

$\{x, y, z\}$ 由 3 种污染源的质量浓度组成

$$C_e \{x, y, z\} = C_d \{x, y, z\} + C_{rd} \{x, y, z\} + C_p \{x, y, z\}.$$

① $C_d \{x, y, z\}$ 为因下沉气流直接扩散到地面的直接源的质量浓度 (g/m^3); ② $C_{rd} \{x, y, z\}$ 为上升气流扩散到混合层顶层的间接源的质量浓度 (g/m^3), 其计算公式与直接源最大的区别是模拟浮力烟羽的滞后反射; ③ $C_p \{x, y, z\}$ 为穿透进入混合层上部稳定层中的穿透源质量浓度 (g/m^3), 其在稳定和对流条件下均满足高斯分布。

1.2 大气流边界层参数

大气边界层参数主要包括地表摩擦速度 u^* 、显热通量 H 、莫宁-奥布霍夫长度 L 、白天和夜间混合层高度、对流速度尺度 W^* 等, 这些参数由地表特性决定。

1.2.1 不稳定层结的边界层参数 地表显热通量大于零时大气为不稳定层结, 出现在日出后至日落前的白天, 地表受太阳辐射加热, 形成向上的热量传输^[3]。显热通量 H 由简化的能量平衡方程表示

收稿日期: 2012-09-12

作者简介: 刘敏茹 (1965—), 女, 陕西富平人, 学士, 工程师, 主要从事应用气象研究。

$$H + H_{\lambda} + G = R_n \quad (1)$$

式中 H_{λ} 为潜热通量, G 为土壤热通量, R_n 为净辐射率。

计算出显热通量 H 后, 再采用迭代法计算出莫宁长度

$$L = \rho C T u^{*3} / kgH \quad (2)$$

式中 $k=0.4$ 为卡曼常数; ρ 为干空气密度, 单位为 kg/m^3 ; C 为空气定压比热容, 单位为 $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; T 为环境气温, 单位为 K ; g 为重力加速度, 单位为 m/s^2 。

1.2.2 稳定层结的边界层参数 稳定边界层直接由云量、风速和气温计算地表摩擦速度和温度尺度。

2 资料来源

地面气象资料包括 2011 年泾河观测站每日逐时风向风速、总云量、低云量、气温、相对湿度、露点温度和气压, 探空资料包括泾河观测站 2011 年每日 07 时和 19 时地面至 2 000 m 高空间隔 50 m 共 41 层各层气压、风向风速、干球温度和露点温度。

MM5 模式高空资料模拟点为 34.468°N 、 108.946°E , 海拔 406.7 m。模式计算区为双重嵌套: 第一重网格精度 27 km, 66×99 个网格; 第二重网格精度为 9 km, 103×64 个网格, 中心经纬度均为 35.5°N , 108.5°E 。其中边界层物理过程参数化使用 Mellor&Yamada 的 level 2.5 闭合方案和 MRF 方案^[6]。地形地表资料包括 $30'$ 水平分辨率的 SRTM3 资料和 USGS 资料。第一猜值场采用每日 4 个时次的全球 $1^\circ \times 1^\circ$ NCEP 再分析资料。常规气象资料为北京 08 时与 20 时陕西境内 96 个地面气象站观测资料和 4 个探空站的观测资料, 以每天 12:00 时 (世界时) NCEP 再分析资料为初始时刻。输出高空资料为地面至 1 700 m 共 21 层每层的气压、干球温度、露点温度、风速和风向。

3 模拟资料和实测探空资料对比分析

使用 MM5 模拟中尺度气象资料风速、气温与实测探空资料有一定差异, 但模拟资料和探空资料气温、风速随高度变化趋势基本一致。

以 6 月 30 日 07 时 (典型小时) 为例。图 1

是 6 月 30 日 07 时模拟资料和实测探空资料气温和风速随高度分布图。模拟资料从离地 7 m 至高空 1 756 m 的平均气温 23.3°C , 平均风速 3.8 m/s, 温度递减率为 $0.38^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 风速递减率为每百米 0.26 m/s; 探空资料从地面至高空 2 000 m 的平均气温 22.3°C , 平均风速 4.8 m/s, 温度递减率为 $0.56^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 风速递减率为每百米 0.30 m/s。模拟资料风速小于探空资料, 而气温大于探空资料。从廓线形式来看, 模拟资料和探空资料气温和风速随高度变化趋势基本一致: 模拟资料 21 m 以下气温随高度升高而减小, 21~238 m 气温随高度升高而升高, 出现逆温层, 238 m 以上风速随高度升高而减少; 探空资料 100 m 以下气温随高度升高而减小, 100~200 m 气温随高度升高而升高, 出现第一层逆温, 200~600 m 气温随高度升高而减小, 600~700 m 出现第二层逆温, 700 m 以上气温随高度升高而降低; 模拟资料 147 m 以下风速随高度升高而增大, 195~535 m 风速随高度升高而减小, 626 m 以上风速随高度升高而增大; 探空资料 300 m 以下风速随高度升高而增

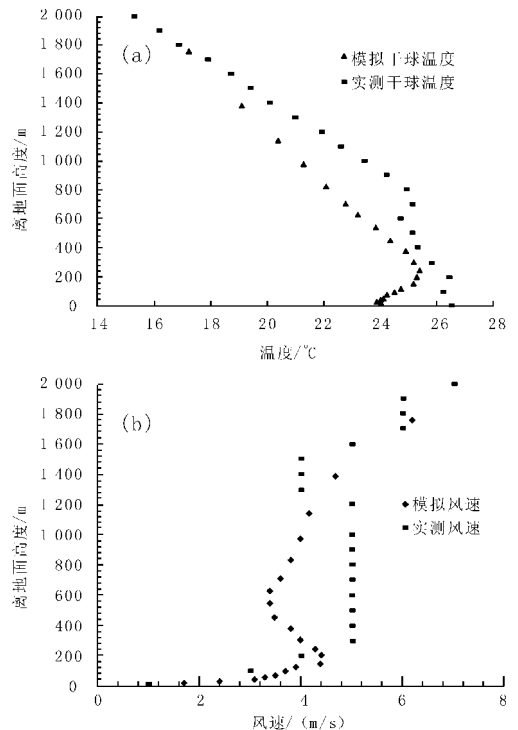


图 1 2011-06-30 模拟、泾河站探空资料气温 (a)、风速 (b) 随高度分布图

大, 300~1 200 m 风速随高度升高基本无变化, 1 200~1 500 m 风速随高度升高而减小, 1 500 m 以上风速随高度升高而增大。

4 预测模式参数对比分析

使用 MM5 模拟中尺度气象资料、实测探空资料计算得到的显热通量和莫宁长度的结果基本一致; 模拟资料的对流速度尺度和对流混合层高度均略小于实测探空资料的计算结果, 但差异不大。表明二者的预测参数差异很小。

模拟高空数据和实测探空数据预测典型小时均为 2011 年 6 月 30 日 20 时, 典型日均为 2011 年 6 月 30 日。以 2011 年 6 月 30 日为例, 模拟资料、实测探空资料得到边界层主要大气污染预测参数显热通量和莫宁长度 24 时次结果完全一致; 对流速度尺度、对流混合层高度的结果略有差异。对流速度尺度: 06—11 时模拟资料得到的结果略

大, 12—18 时实测探空资料得到的结果略大; 污染预测参数对流混合层高度: 09—11 时探空资料得到的结果略大, 其余时次均以模拟资料得到的结果略大。总体来看, 模拟资料的对流速度尺度和对流混合层高度均略小于实测探空资料的计算结果。

5 质量浓度预测结果对比分析

在我国 SO₂ 是大气中主要污染物之一, 是衡量大气是否遭到污染的重要标志。陕西赛德电气锅炉烟囱是西安泾河工业园最主要大气污染排放源之一, 主要排放污染物为 SO₂、CO 等。利用西安市泾河观测站 2011 年地面气象资料和探空资料、MM5 模拟中尺度气象资料, 分别采用 AREMOD 模式对西安泾河工业园陕西赛德电气锅炉烟囱 SO₂ 排放进行污染预测 (污染源强参数见表 1), 并对预测结果进行对比分析。

表 1 西安泾河工业园陕西赛德电气锅炉烟囱源强参数

类型	污染源	点源高度/m	内径/m	烟温/°C	烟气量 / (Nm ³ /h)	SO ₂	PM ₁₀	排放强度单位
高架点源	锅炉烟囱	50	3	80	25 000	24.8	8.02	kg/h

5.1 敏感点和网格点 SO₂ 最大预测浓度对比分析

采用模拟高空资料时, 敏感点小时和日 SO₂ 最大预测质量浓度均出现在刘家堡 (见表 2), 全年最大在梁村, 分别为 0.138 06、0.011 46、

0.001 18 mg/m³, 网格点小时、日和年 SO₂ 最大预测质量浓度分别为 0.472 03、0.037 13、0.005 78 mg/m³。采用实测探空资料时, 敏感点小时和日 SO₂ 最大预测质量浓度出现在店子王

表 2 敏感点和网格点 2011 年 SO₂ 最大预测质量浓度

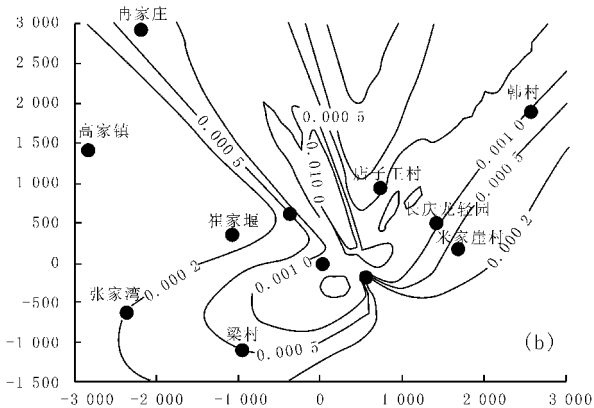
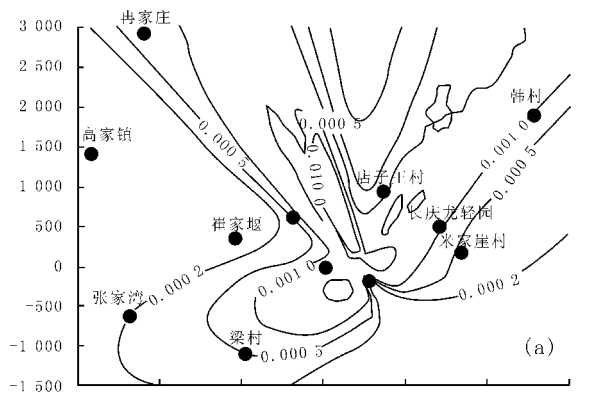
序号	点名 称	高程/m	类型	模拟资料			探空资料		
				出现 时间/	预测质量浓 度/ (mg/m ³)	占标 率/%	出现 时间	预测质量浓 度/ (mg/m ³)	占标率 /%
1	梁村	363.33	1 h	0224T09	0.053 48	10.7	0715T20	0.022 52	4.5
			日平均	1106	0.007 17	4.78	0704	0.005 42	3.61
			全时段	年值	0.001 18	1.97	年值	0.000 98	1.63
2	龙凤园	364.39	1 h	1207T10	0.053 92	10.78	0706T19	0.030 38	6.08
			日平均	0729	0.007 58	5.05	0705	0.006 02	4.02
			全时段	年值	0.000 93	1.55	年值	0.001 75	2.92
3	刘家堡	434.08	1 h	0505T21	0.138 06	27.61	0712T24	0.080 23	16.05
			日平均	0505	0.011 46	7.64	0712	0.005 95	3.97
			全时段	年值	0.000 52	0.86	年值	0.000 41	0.69
网格	300	250	1 h	0630T20	0.472 03	94.41	0630T20	0.472 03	94.41
	300	250	日平均	0630	0.037 13	24.76	0630	0.037 05	24.7
	250	—400	全时段	年值	0.005 78	9.64	年值	0.007 26	12.1

村, 全年最大在长庆龙凤园, 分别为 $0.121\ 61$ 、 $0.006\ 33$ 、 $0.001\ 75\ \text{mg}/\text{m}^3$, 网格点小时、日和年最大预测质量浓度分别为 $0.472\ 03$ 、 $0.037\ 05$ 、 $0.007\ 26\ \text{mg}/\text{m}^3$ 。刘家堡与店子王村水平距离约为 $200\ \text{m}$; 梁村在污染源西南方向, 水平距离为 $1\ 414\ \text{m}$, 长庆龙凤园在污染源东北方向, 水平距离为 $1\ 304\ \text{m}$, 三者几乎在同一条直线上。

可见, 采用 MM5 模拟高空资料和实测探空资料的污染物预测结果差异不大, 不存在量级上的差异。表明 MM5 模拟高空资料在大气污染预测评价中具有较好的适用性。

5.2 典型日质量浓度预测分布结果对比分析

以典型日为例 (见图 2), 模拟高空数据和



以泾河观测站为原点; 方位与地图一致;

坐标轴为地面网格距离, 单位均为 m

图 2 典型日 2011-06-30 预测浓度分布图

(a) 模拟资料; (b) 探空资料

范围均为 $0.0\sim0.037\ 1\ \text{mg}/\text{m}^3$, 模拟结果影响范围略大, 这是因为模拟高空风速较大的缘故。

6 结论

6.1 MM5 中尺度模拟高空资料与实测探空资料气温和风速有一定差异, 气温和风速随高度变化趋势基本一致。

6.2 模拟资料的对流速度尺度和对流混合层高度均略小于实测探空资料的计算结果, 但差异很小。

6.3 采用 MM5 模拟高空资料 and 实际探空资料的污染物预测结果差异不大, 不存在量级上的差异, 表明 MM5 模拟高空资料在大气污染预测评价中具有较好的适用性。

6.4 以典型日 (2011 年 6 月 30 日) 为例, 模拟高空数据和实测探空数据预测结果非常一致, 质量浓度范围均为 $0.0\sim0.037\ 1\ \text{mg}/\text{m}^3$, 模拟结果影响范围略大。

参考文献:

- [1] HJ 2.2—2008 环境影响评价技术导则—大气环境 [S].
- [2] 江磊, 黄国忠, 吴文军, 等. 美国 AREMOD 模型与中国大气导则推荐模型点源比较 [J]. 环境科学研究, 2007, 20 (3): 44-51.
- [3] 杨多兴, 杨木水, 赵晓宏, 等. AREMOD 模式基本理论 [J]. 化学工业与工程, 2005, 22 (2): 130-135.
- [4] 程兴宏, 徐祥德, 丁国安, 等. MM5/WRF 气象场模拟差异对 CMAQ 空气质量预报效果的影响 [J]. 环境科学研究, 2009, 22 (12): 1411-1419.
- [5] 李燕, 邱崇践, 薄兆海. MM5 模式中不同对流参数化方案的数值模拟 [J]. 高原气象, 2008, 27 (6): 458-464.
- [6] Zhao Ming, Xu Liren, Tang Jianping. An experiment on the forecast of characteristic quantities of atmospheric turbulence by mesoscale model MM5 [J]. Acta Met Sinica, 2002, 16: 94-106.
- [7] 杨庆周, 刘厚凤, 荆林晓. MM5 模拟数据在质量模型 AERMOD 中的应用评价 [J]. 中国环境管理干部学院学报, 2008, 18 (4): 28-30.

实测探空数据预测 SO_2 质量浓度结果非常一致,