

地形对太原市污染物稀释扩散影响的模拟试验*

苗爱梅

(山西省气象台, 太原, 030006)

摘要

文中利用 CAPPs 模式进行了模拟试验, 试图研究在不同环流背景下, 太原附近簸箕型地形对该地主要污染物 (SO_2 , NO_x , PM_{10}) 稀释扩散的影响。结果表明: 采用仿真模式地形, 局地环流背景下, 簸箕型地形阻碍了主要污染物的稀释和扩散, 加剧近地层空气的污染; 大尺度环流背景下, 且地面为偏南风或偏东风时, 簸箕型地形有助于主要污染物的稀释和扩散, SO_2 , NO_x , PM_{10} 浓度减小, 地面为偏北风或偏西风且风速 $\geq 5 \text{ m/s}$ 时, SO_2 , NO_x 浓度减小, PM_{10} 浓度剧增。此外, 还探讨了簸箕型地形对太原市主要污染物稀释扩散作用的机制, 采用仿真模式地形, 大尺度环流背景时, 簸箕型地形对垂直运动具有增幅作用, 且地形越高, 增幅越明显。

关键词: 模式地形, 模拟试验, 污染物, 稀释扩散。

1 引言

空气的稀释能力随垂直混合作用、局部地理条件和风速而变。当污染物的垂直运动受到逆温层制约时, 稀释作用就大大减少。空气的水平运动直接影响污染物的稀释和扩散, 在不考虑局部地理条件时, 风向影响着污染物的扩散方向, 而平均风速则与污染物在大气中的浓度成反比, 风速增大一倍, 下风向污染物的浓度减少一半^[1]。然而, 在受复杂的局部地理条件限制时, 情形各异, 这方面的研究目前甚少。

城市空气污染数值预报系统 CAPPs^[1] (The City Air Pollution Numerical Prediction System) 在太原市的推广应用过程中, 遇到了其附近特殊地形的复杂影响, 本文试图通过数值试验的方法较深入地研究太原市附近特殊地形在不同环流背景下对主要污染物稀释扩散的影响。

2 太原市的地形特征及模拟试验方案

2.1 太原市的地形特征和 CAPPs 模式系统中的地形参数

太原市地形复杂, 以山地丘陵为主, 平原和谷地

次之, 东、西、北三面环山, 海拔高度分别在 1500, 1600, 1800 m 左右, 中间为太原盆地, 地势低平, 南部是河谷平原, 南宽北窄成扇形, 整个地形北高南低逐渐倾斜, 属开口向南的簸箕型地形。

CAPPs 由中尺度气象模式(本试验以及山西省气象台业务运行的均为 MM4 (Meso Scal Model Version 4.0)) 提供气象背景场, 再用大气平流扩散箱格模式预报污染潜势指数和污染指数。CAPPs 中, 气象模式的水平网格为 46×61 , 格距为 60 km, 模式网格中心点可以移动。垂直方向分为 10 层, 采用 σ 坐标系。箱格模式的顶层为大气边界层顶, 水平分辨率由箱体底面积输入参数自动确定^[2]。模式系统在 MAP.DAT 参数文件中给出了网格的地形高度、地图因子、科氏参数; 在 P1.DAT 参数文件中给出了站点字典, 包括站号、经纬度和海拔高度等信息, 地表特征只有水陆之分。

2.2 模拟试验方案

应用 CAPPs 中的气象模式(MM4)和大气平流扩散箱格模式, 采用逐日 08 时的探空资料, 通过 Gressman 逐步订正方案进行客观分析, 形成 $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$, L10 的分析场作为初始场输入 MM4 模式并采用海绵边界条件。大气平流扩散箱模式用前一

* 初稿时间: 2003 年 1 月 3 日; 修改稿时间: 2003 年 3 月 5 日。

天的污染物日均浓度值作为初始值。水平网格和格距不变,模式网格中心点调为 37.8°N , 112.5°E 。

文中主要研究在不同的环流背景下,太原附近地形对该地污染物稀释扩散的影响。由 CAPPS 中的 MAP. DAT 参数文件给出的网格地形高度可知,原模式中的地形格点数据明显削减了太原东、西、北三面山脉的高度,造成模式在描述具体陡峭地形方面不够细致,影响了流场及其他气象场的预报精度,造成对污染物的平流预报产生误差。为了更准确反映三面临山簸箕型地形的屏障作用,这里设计了 A、B 两种模式地形方案:在 A 方案中,将太原东、西、北三面山地的模式地形加倍,且山地与污染监测站的海拔高度比接近实际比值,使之成为与实际地形相吻合的簸箕型地形;B 方案则采用原模式的地形格点数据。

文中选用 2002 年 3~4 月(模拟强冷空气入侵、出现大风天气时,地形对污染物稀释扩散的影响)和 11~12 月(模拟西南暖湿气流影响,出现较强降水时,地形对污染物稀释扩散的影响)两个时段,采用两台计算机实现 A、B 两种模式地形方案同时计算,根据 A、B 两种模式地形模拟试验的时间序列图特

征,选出大尺度环流背景和局地环流背景下的典型个例深入研究。

3 模拟试验及试验结果的分析

模拟试验均以 08 时为初始时刻, A 和 B 两种模式地形方案,分别积分 36 h,获得两种模式地形下的预报输出结果。

由图 1、图 2 以及对应的天气形势背景(图略)可知:采用 B(原)模式地形,大多数情形下,系统预报的污染浓度低于实际监测的污染浓度,只有南支槽影响出现较强降水时,预报值高于监测值;采用 A(仿真)模式地形,预报的污染浓度接近实际监测的污染浓度;由图 1、图 2 中的监测值以及相对应的天气实况可知,春季 PM_{10} (Particular Matter Less Than $10\ \mu\text{m}$) 的浓度几乎全部高于 SO_2 的浓度, PM_{10} 与 SO_2 的反位相变化频率基本上反映了冷空气的活动(大风降温)频率,而在冬季 PM_{10} 与 SO_2 的影响不差上下;2002 年 3~4 月共有 7 次冷空气活动,其中 3 月 20~21 日、4 月 14~16 日冷空气势力最强(风力和降温幅度最大),3 月 30 日和 4 月 3~4 日次之。春季每次高污染都是由大风引起,而冬季

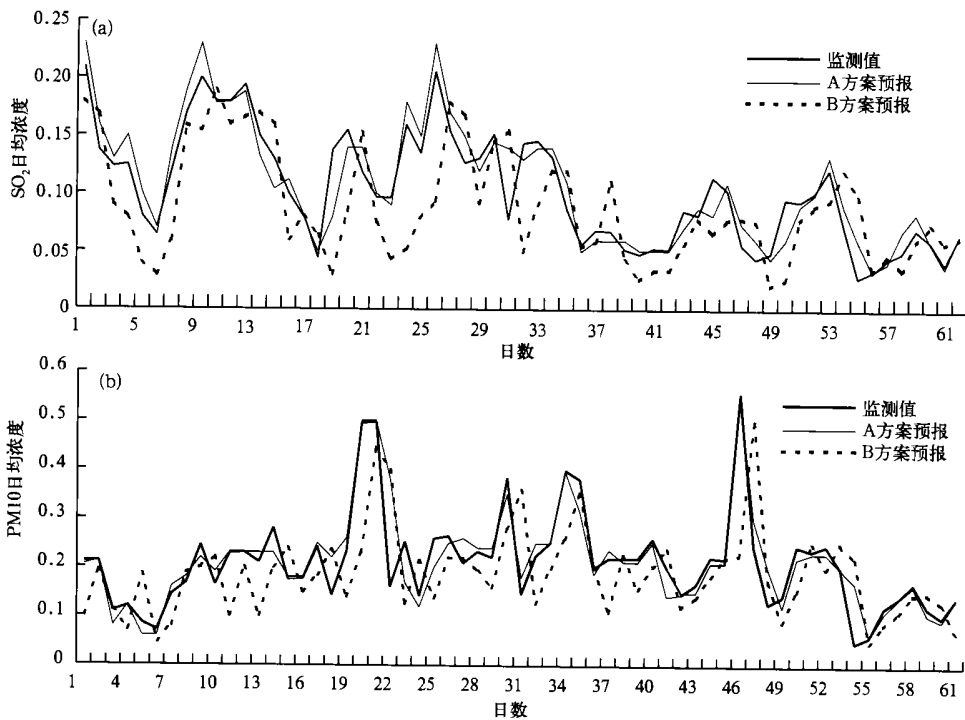


图 1 2002 年 3~4 月两种模式地形 SO_2 (a) 和 PM_{10} (b) 的预报和监测对比

Fig. 1 Contrast of forecast and survey for SO_2 (a) and PM_{10} (b) under two model topography from March to April in 2002

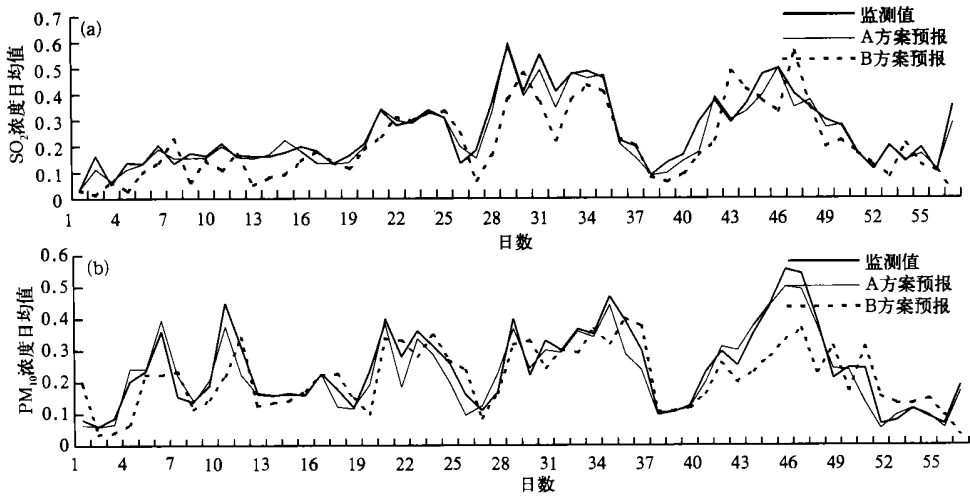


图2 2002年11月1日~12月26日两种模式地形SO₂(a)和PM₁₀(b)的预报和监测对比

Fig. 2 Contrast of forecast and survey for SO₂(a) and PM₁₀(b) under two model topography from November the 1st to December the 26th in 2002

每次高污染都是前期低风速、强逆温的累积。2002年11~12月共有5次高污染过程,在5个高污染日,风速均 ≤ 3 m/s;11~12月共有2次较强降水过程,分别出现在12月7日和12月19~23日,其中19~23日的降水过程持续时间最长、降水强度极强(太原全区域暴雪,超历史极值)。为了较深入研究局地环流背景和大尺度环流背景下地形对污染物扩散的影响,在模拟时间序列中选取了高污染持续时间较长的11月27日~12月6日高污染过程和12月19~23日的强降水过程,为了避免气象要素突变,系统预报滞后带来的复杂问题,选2002年12月3~4日和12月22~23日作为典型个例,为避免采暖期带来复杂因素,选4月15日作为大尺度环流背景下偏北气流的典型个例。

3.1 局地环流背景下地形对污染物扩散的影响

2002年12月3日12时~4日12时,局地环流背景,太原市5500 m上空为弱的西北气流控制(图略),地面为弱高压影响,上午北风,下午南风,平均风力0.8 m/s。

从A、B模式地形分别与监测时段相匹配的系统预报输出值和2002年12月3日12时~4日12时太原市6个监测站各种污染物污染浓度监测的日均值(所有的监测资料全部由太原市环境监测站提供),以及表1,2,3可知:A模式地形时,系统输出

的6个监测站各种污染物的污染浓度日均值的预报精度明显高于B模式地形下系统的预报精度,6个监测站SO₂, NO_x和PM₁₀的平均相对误差((预报值-监测值)/监测值)分别为-0.11, 0.32, 0.09;而B模式地形时,平均相对误差分别为-0.14, -0.32, -0.28。对于首要污染物PM₁₀, B方案的平均相对误差是A方案的3.1倍。这说明,局地环流背景下,真实地形对污染物的稀释扩散有较强的阻碍作用,而削平地形则有利于污染物的稀释扩散。因此,选用原模式地形方案,系统的预报输出值与实际监测值相比偏小两个污染量级^①。

3.2 大尺度环流背景下地形对污染物扩散的影响

2002年4月14~15日,西风浅槽和地面冷锋共同影响,伴随的天气现象以大风强降温为主,2002年12月19~23日南支槽发展,以强降雪为主。

2002年4月15日,非采暖期,太原市一致的NNW风,平均风速9 m/s,瞬间风速21 m/s。比较表1和表2可知:A模式地形下,系统输出的空气质量状况与实际监测一致,对6个监测站首要污染物PM₁₀的浓度预报平均相对误差为:-0.011;由表3和表2的数据可得:B模式地形下,系统输出的空气质量状况较实际监测小3个污染量级,对6个监测站首要污染物PM₁₀的浓度预报平均相对误差为:-0.592,是A模式地形下平均相对误差的54倍。

① 朱蓉等.城市大气污染潜势和污染指数预报系统操作手册

表 1 2002 年 4 月 14 日 13 时 A 模式地形下污染物预报输出值(单位: mg/m^3)Table 1 Forecast output value of pollutants under model topography A at 13 o'clock on April the 14th in 2002 (unit: mg/m^3)

站 点	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	首要污染物	空气质量级别	空气质量状况
国防工办	0.145	0.032	0.549	PM ₁₀	VI	极重
兴 安	0.110	0.024	0.561	PM ₁₀	VI	极重
太 行	0.025	0.023	0.501	PM ₁₀	VI	极重
桃 园	0.032	0.032	0.567	PM ₁₀	VI	极重
一电厂	0.052	0.009	0.534	PM ₁₀	VI	极重
小 店	0.078	0.048	0.595	PM ₁₀	VI	极重
平均值	0.074	0.028	0.551	PM ₁₀	VI	极重

表 2 2002 年 4 月 14 日 12 时~ 15 日 12 时污染物浓度监测值(单位: mg/m^3)Table 2 Tested value of pollutants density from 12 o'clock of 14 to 12 o'clock of 15 on April in 2002 (unit: mg/m^3)

站 点	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	首要污染物	空气质量级别	空气质量状况
国防工办	0.159	0.033	0.570	PM ₁₀	VI	极重
兴 安	0.019	0.019	0.586	PM ₁₀	VI	极重
太 行	0.024	0.022	0.417	PM ₁₀	V	重度
桃 圆	0.031	0.031	0.590	PM ₁₀	VI	极重
一电厂	0.040	0.008	0.582	PM ₁₀	VI	极重
小 店	0.061	0.044	0.597	PM ₁₀	VI	极重
平均值	0.056	0.026	0.557	PM ₁₀	VI	极重

表 3 2002 年 4 月 14 日 13 时 B 模式地形下污染物预报输出值(单位: mg/m^3)Table 3 Forecast output value of pollutants under model topography B at 13 o'clock on April the 14th in 2002 (unit: mg/m^3)

站 点	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	首要污染物	空气质量级别	空气质量状况
国防工办	0.126	0.045	0.230	PM ₁₀	III	轻度
兴 安	0.112	0.037	0.220	PM ₁₀	III	轻度
太 行	0.061	0.033	0.202	PM ₁₀	III	轻度
桃 圆	0.058	0.030	0.207	PM ₁₀	III	轻度
一电厂	0.034	0.010	0.293	PM ₁₀	III	轻度
小 店	0.080	0.043	0.208	PM ₁₀	III	轻度
平均值	0.079	0.033	0.227	PM ₁₀	III	轻度

表 4 2002 年 12 月 22 日 13 时 A 模式地形下污染物预报输出值(单位: mg/m^3)Table 4 Forecast output value of pollutants under model topography A at 13 o'clock on December the 22nd in 2002 (unit: mg/m^3)

站 点	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	首要污染物	空气质量级别	空气质量状况
国防工办	0.199	0.018	0.134	SO ₂	III	轻度
兴 安	0.021	0.029	0.073	PM ₁₀	II	良
太 行	0.281	0.079	0.113	SO ₂	III	轻度
桃 圆	0.087	0.015	0.119	PM ₁₀	II	良
一电厂	0.126	0.072	0.107	SO ₂	II	良
小 店	0.154	0.051	0.139	SO ₂	II	良
平均值	0.145	0.044	0.114	SO ₂	II	良

表 5 2002 年 12 月 22 日 13 时 B 模式地形下污染物预报输出值(单位: mg/m^3)Table 5 Forecast output value of pollutants under model topography B at 13 o'clock on December the 22nd in 2002 (unit: mg/m^3)

站 点	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	首要污染物	空气质量级别	空气质量状况
国防工办	0.259	0.018	0.123	SO ₂	III	轻度
兴 安	0.027	0.026	0.105	PM ₁₀	II	良
太 行	0.385	0.065	0.125	SO ₂	III	轻度
桃 圆	0.129	0.019	0.118	SO ₂	II	良
一电厂	0.207	0.069	0.152	SO ₂	III	轻度
小 店	0.227	0.046	0.161	SO ₂	III	轻度
平均值	0.206	0.041	0.131	SO ₂	III	轻度

