

CAPPS 在太原市本地化过程中的改进和应用*

苗爱梅 李韬光 张红雨 何翰原 骆丽楠

(山西省气象台,太原 030006)

摘 要

该文针对 CAPPS 在太原市运行的误差问题,在分析其主要原因的基础上,变换地形背景场,依据不同季节、不同天气形势,在模式中增加对综合误差系数和扬尘系数的调节功能,进行多种数值模拟试验。结果表明:在误差分析基础上确定的模拟试验方案,使主要污染物 SO_2 、 NO_x 和 PM_{10} 的预报值与监测值的相关系数分别提高到 0.96、0.91 和 0.89,最终使 CAPPS 成为预报准确率稳定在 90% 以上的业务化数值模式系统。

关键词:空气污染指数(API) 误差分析 模拟试验 业务化系统

1 影响 CAPPS 在太原市预报精度的主要因素

2001 年中国气象局在全国推广使用 CAPPS 污染模式系统,但由于各省的气候特征、地形特征和产业结构存在较大差异,所以,CAPPS 的使用效果差异甚大。山西地处黄土高原,地形复杂,气候干燥,多风沙,更为重要的是山西是重化工基地,这种特殊的地形、气候特征和工业排放物严重的条件,使 CAPPS 在适应本地化进而产生较好的社会效益方面存在着较多问题。影响 CAPPS 预报精度的主要因素如下:① 地形特征因素 太原市东、西、北三面环山,属开口向南的簸箕型地形。CAPPS 在描述具体陡峭地形方面不够细致,影响了流场及其它气象场的预报精度,造成对污染物的平流预报产生误差。② 模式本身因素 由 CAPPS 的结构和原理^[1,2]可知,CAPPS 的源强模式实际上并未考虑气体污染物的排放量随时间的变化以及污染物的化学转化,在一定程度上造成了预报与监测之间的误差。③ 气候特征和季节转换因素 分析太原市的气候特征表明:ZALL.FOR 源程序中的扬尘系数不能概括当地的天气气候特征。因而,模式运行中,对 PM_{10} 的预报误差较大。

2 模拟试验方案

2.1 减小地形因素误差的模拟试验方案

应用 MM4 中尺度数值模式,模式水平网格为 46×61 ,格距为 60 km,模式网格中心点为 112.5°E 37.8°N ,垂直方向为 10 个非均匀 σ 层,地形分辨率为 $10'$ 。

我们主要关注太原附近地形对该地污染物稀释扩散的影响,因此设计了 A、B 两种地形方案(见图 1 和图 2)。A 方案是将太原东、西、北三面山地的模式地形加倍,且山地与

* 本文由太原市空气污染潜势及污染指数预报业务系统课题资助。

2002-12-27 收到,2003-07-21 收到修改稿。

污染监测站的海拔高度比较接近实际比值,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10地形格点数据。

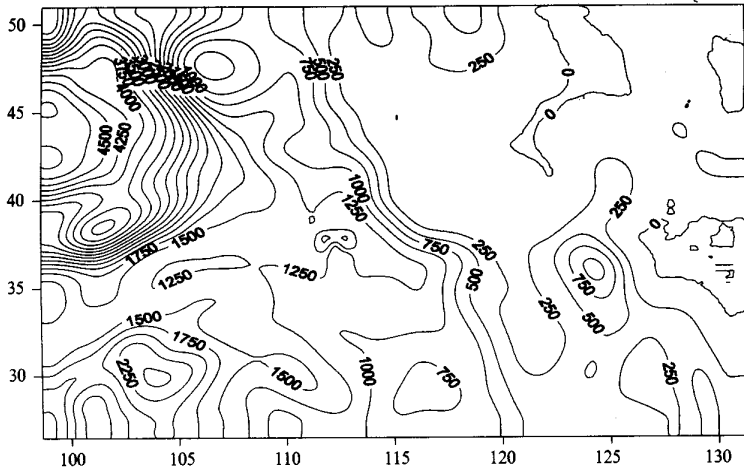


图1 仿真模式地形(A模式地形方案)

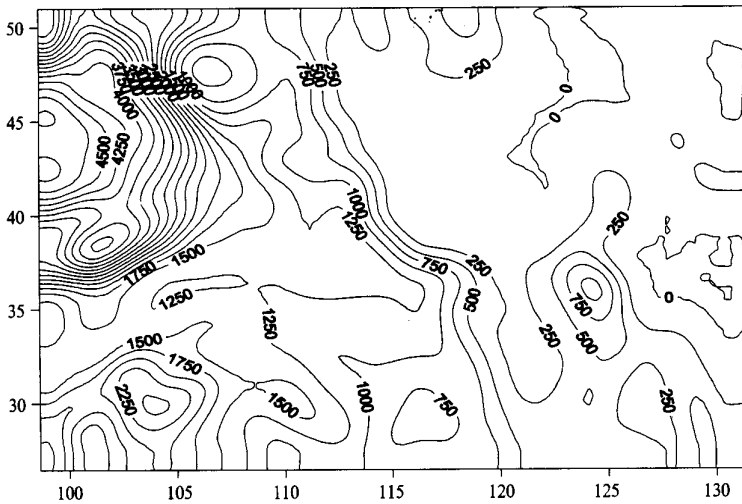


图2 原模式地形(B模式地形方案)

以2002年12月3日08:00(北京时,下同)为初始时刻,采用A、B两种模式地形,分别积分36h,对比两种模式地形下系统的输出结果变化。

由2002年12月3日12:00至4日12:00太原市6个监测站主要污染物污染浓度监测的日均值表(表略),A、B地形下系统的预报值表(表略)可知:对污染物 SO_2 、 NO_x 和 PM_{10} ,A地形下,6个监测站的平均误差分别为0.051、-0.02、0.041;B地形下,平均误差分别为-0.065、-0.02、-0.124。这说明:地方性环流影响下,真实地形对主要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主要污染物的稀释扩散。因此,模式中选用削平地形方案,预报值与实际监测值相比明显偏小。

以 2002 年 12 月 3 日 08:00 为初始场的地形模拟试验, 以及 2001 年 11 月 1 日至 2002 年 1 月 31 日两种模式地形模拟试验结果的线性相关图 (图 3 和图 4) 和对应的天气

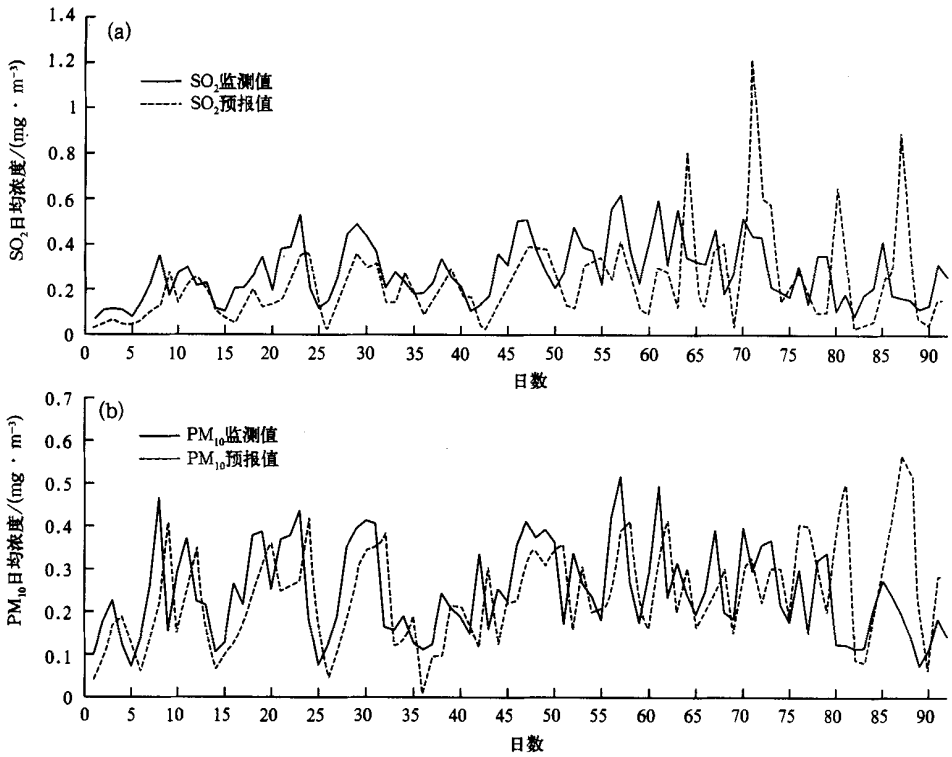


图 3 B 模式地形下 SO₂(a) 和 PM₁₀(b) 预报与监测的线性相关

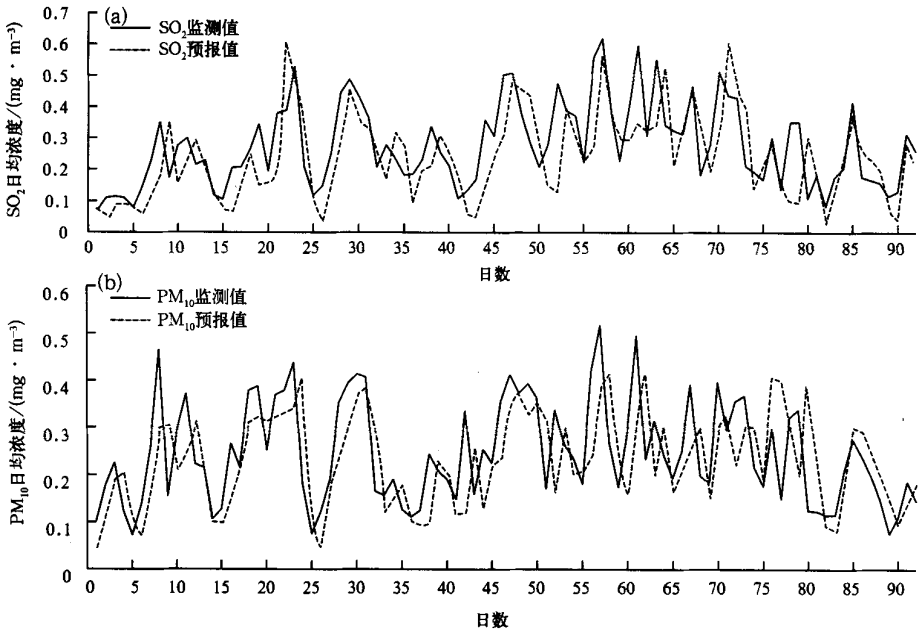


图 4 A 模式地形下 SO₂(a) 和 PM₁₀(b) 预报与监测的线性相关

背景分析表明:B地形下,地方性环流控制时,预报值与监测值相比明显偏小,而非地方性环流控制时,预报值与监测值相比又明显偏大;A地形下,无论是地方性环流还是非地方性环流控制预报误差都明显减小。

2.2 减小模式因素造成的误差

2.2.1 在模式中引入模式误差系数 K_i

据以上误差分析可知,要提高CAPPS的预报精度,应在CAPPS的大气污染指数预报模块中加入污染物排放量随时间的变化以及污染物的化学转化等其它因素造成的误差。

2.2.2 K_i 的确定方法

K_i 是污染物排放量随时间的变化、污染物的化学转化等因素引起的综合误差系数^[2]。要确定此系数只能根据当地一年中(本研究选用2001年6月至2002年5月12个月的历史污染监测资料)污染源的排放特点分季节确定。

将全年分为:4月1日至10月31日(非采暖期),11月1日至次年3月31日(采暖期)两段,用CAPPS对太原市的监测资料进行模拟,以确定采暖期和非采暖期 SO_2 、 NO_x 的模式误差系数 K_i 。

分析CAPPS中的大气污染潜势预报模式输出的空气污染潜势指数PPI可知:当 $0.2 \leq PPI \leq 0.55$ 时,天气较恶劣,平均风速加大。此时,采暖源加大排放量直接导致本区域地面污染浓度增加。因此,模式综合污染系数 K_i 较大;当PPI指数 < 0.2 时,天气特别恶劣,采暖源排放量更大,模式综合污染系数 K_i 也更大;在非采暖期,污染源数量骤减,排放量相应减小,当 $PPI \leq 0.70$ 时,一般平均风速较大,水平混合均匀,各时段的排放量接近日均值,此时源强不做订正;当 $PPI > 0.70$ 时,对源强做适当的订正。表1和表2分别给出了模拟试验后 SO_2 和 NO_x 不同时期每日的 K_i 值。

表1 不同时期每日各时段平均 SO_2 的 K_i 系数模拟值

时段	11月1日至次年3月31日			4月1日至10月31日	
	$PPI > 0.55$	$0.2 \leq PPI \leq 0.55$	$PPI < 0.2$	$PPI > 0.7$	$PPI \leq 0.7$
11:00~14:00	1.1	2.3	2.8	0.9	1.0
14:00~17:00	1.1	2.3	2.8	1.0	1.0
17:00~20:00	1.2	2.6	2.9	1.2	1.0
20:00~23:00	1.5	2.7	3.8	0.6	1.0
23:00~02:00	1.2	2.3	3.5	0.3	1.0
02:00~05:00	1.3	2.4	3.0	0.3	1.0
05:00~08:00	1.6	2.8	3.9	0.7	1.0
08:00~11:00	1.1	2.3	2.9	0.8	1.0

表2 不同时期每日各时段平均 NO_x 的 K_i 系数模拟值

时段	11月1日~次年3月31日			4月1日~10月31日	
	$PPI > 0.55$	$0.2 \leq PPI \leq 0.55$	$PPI < 0.2$	$PPI > 0.7$	$PPI \leq 0.7$
11:00~14:00	0.9	1.7	2.2	0.8	1.0
14:00~17:00	1.3	1.8	2.3	1.1	1.0
17:00~20:00	1.7	2.4	2.5	1.6	1.0
20:00~23:00	1.4	2.5	2.8	0.5	1.0
23:00~02:00	0.3	1.6	2.2	0.2	1.0
02:00~05:00	0.3	1.7	2.3	0.2	1.0
05:00~08:00	1.4	2.2	2.8	0.9	1.0
08:00~11:00	1.0	1.7	2.2	1.0	1.0

2.2.3 预报检验

对太原市 2001 年 6 月至 2002 年 5 月进行日均污染浓度值模拟试验,模拟结果表明:加 K_i 订正时 SO_2 和 NO_x 的预报值与监测值的相关系数分别是 0.96 和 0.91,不加 K_i 订正时 SO_2 和 NO_x 的预报值与监测值的相关系数只有 0.73 和 0.69。显而易见,加订正要比不加订正的预报准确率显著提高。图 5a、5b 分别为加入 K_i 后 SO_2 和 NO_2 的预报与监测值的时间序列图(图中数据为 2002 年 1 月 1 日至 5 月 31 日的 151 天的资料)。

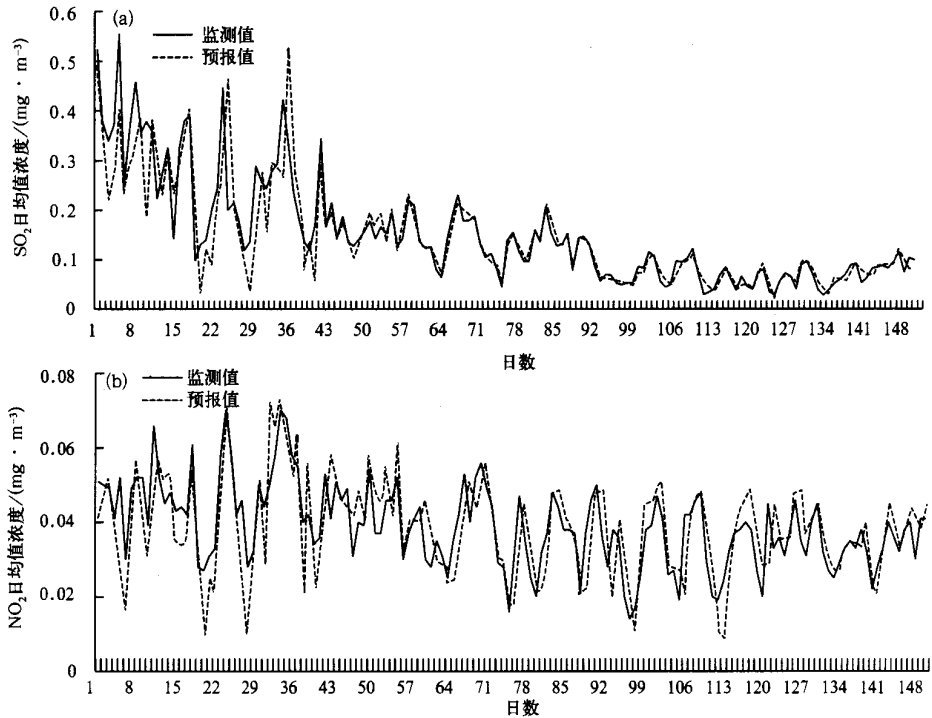


图 5 加入 K_i 系数后 SO_2 (a) 和 NO_2 (b) 的预报与监测值的时间序列图

2.2.4 分季节模拟源程序中的扬尘系数(F)

我们把扬尘浓度与大气中总悬浮颗粒浓度的比值定义为扬尘系数。在 CAPPS 的 ZALL.FOR 源程序中已设有扬尘开关,但源程序中的扬尘系数必须根据当地的气候背景分季节进行模拟试验方可获得良好的预报效果。扬尘系数主要与平均风速和季节有关,因此,选用太原市 PM_{10} 的大气监测资料进行模拟试验来确定太原市不同月份以平均风速为变量的扬尘系数(F)表达式。表 3 为太原市在不同季节的扬尘系数模拟表达式。

11 月 1 日至次年 3 月 31 日为太原市的采暖期。由表 3 可知,采暖期的后期(即 2、3 月份)扬尘系数(F)最大,采暖期的前期(11 月、12 月、1 月)次之,排在第三位的是后春(4、5 月),秋季较小,夏季最小。模拟结果与山西省一年当中植被的覆盖、湿度的变化、风速的大小、温度的高低情况相符。

对太原市 2001 年 6 月至 2002 年 5 月进行 PM_{10} 的日均污染浓度模拟,并将模拟结果对比分析表明:扬尘系数按照太原市的气候特征分季节模拟订正后,日均污染浓度模拟值

与监测值的相关系数从 0.75 上升到 0.89。显然,扬尘系数修正后可使预报准确率明显提高。图 6 为加入 F 后 PM_{10} 的预报与监测值的时间序列图(资料时间同图 5)。

表 3 太原市扬尘系数 (F) 表达式

时间(月)	$PPI > 0.55$	$PPI \leq 0.55$
11、12、1	$F = 0.01 \times (9.4 U + 28)$	$F = 0.01 \times (9.4 U + 38)$
2、3	$F = 0.01 \times (9.4 U + 30)$	$F = 0.01 \times (9.4 U + 40)$
4、5	$F = 0.01 \times (7.0 U + 25)$	$F = 0.01 \times (9.4 U + 30)$
6、7、8	$F = 0.01 \times (4.0 U + 22)$	$F = 0.01 \times (8.2 U + 20)$
9、10	$F = 0.01 \times (4.0 U + 30)$	$F = 0.01 \times (9.0 U + 30)$

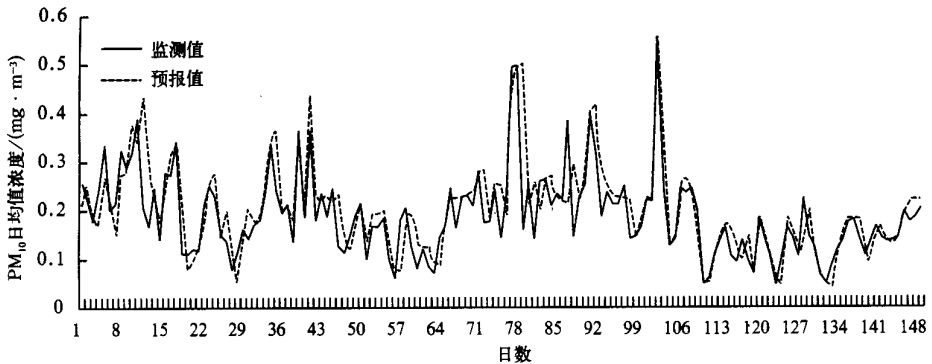


图 6 加入扬尘系数 F 后 PM_{10} 的预报与监测值的时间序列图

3 小 结

(1) 比较两种模式地形的模拟结果表明:地方性环流控制下,太原附近的特殊地形阻碍了近地层污染物的稀释扩散,非地方性环流控制下,特殊地形促进了近地层污染物的稀释扩散。仿真模式地形可使系统的预报精度明显提高,而原模式地形则造成系统对首要污染物的浓度预报值在地方性环流控制下偏小 27% 左右,在非地方性环流控制下却因风向和风速的不同而不同。

(2) 在 CAPPS 中加入气体污染物 SO_2 、 NO_x 的排放量随时间的变化以及污染物的化学转化即模式误差系数 K_i ,提高了预报因子与预报量的相关性,使系统输出的 SO_2 、 NO_x 的浓度预报值更接近实际监测值。

(3) 针对太原市的气候特征,分季节、分天气形势通过数值模拟对模式中的扬尘系数进行订正后,系统输出的 PM_{10} 值的预报准确率获得较大幅度提高。

(4) 利用 CAPPS 进行多种模拟试验修正参数使模式的整体预报水平大幅度提高,但在天气要素出现明显转折,污染指数出现陡升陡降时,系统中的大气污染指数预报模块不能快速响应,从而导致预报滞后,这一问题在春季天气系统快速变换的形势下表现得更为突出。

参 考 文 献

- 1 徐大海,朱蓉.大气平流扩散的非静稳多箱模型与污染潜势指数预报.应用气象学报,2000,11(1):1~12.
- 2 范引琪.石家庄市主要大气污染物的数值预报.气象,2001,27(4):7~11.

IMPROVEMENT AND APPLICATION OF CAPPS LOCALIZED IN TAIYUAN CITY

Miao Aimei Li Taoguang Zhang Hongyu He Hanyuan Luo Linan
(*Shanxi Meteorological Observatory, Taiyuan 030006*)

Abstract

Based on the analysis of the main reasons that lead to the error problems appearing in the operation of the CAPPS Model System in Taiyuan City, the varying of the orographic background fields were discussed. According to different seasons and different synoptic situations, the accommodation function of complex error coefficient and raising dust coefficient is added to this model system and various numerical simulation experiments are made. The result shows that through the simulation experiment schemes based on error analysis, the correlation coefficients of the prediction and the observation of main pollutants: SO_2 , NO_x and PM_{10} are increased to 0.96, 0.91 and 0.89. The forecast accuracy of the CAPPS Model System localized into an operation numerical model system in Taiyuan City can be reached to 90%.

Key words: Air pollutant index(API) Error-analysis Simulation experiments Operation system