

# 城市空气污染数值预报系统 CAPPS 及其应用<sup>\*</sup>

朱蓉<sup>1)</sup> 徐大海<sup>1)</sup> 孟燕君<sup>2)</sup> 程丛兰<sup>2)</sup> 邵德民<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> (中国气象科学研究院,北京 100081) <sup>2)</sup> (北京市气象局,北京 100089) <sup>3)</sup> (上海市气象局,上海 200030)

## 提 要

城市空气污染数值预报系统 CAPPS,是在 ADPIC 的概念的基础上经过积分求得的大气平流扩散的多尺度箱格预报模型。它不需要污染源的源强资料就可预报出城市空气污染潜势指数(PPI)和污染指数(API),克服了由污染源调查本身具有的不确定性给城市空气污染的数值预报所带来的困难。该文对 CAPPS 系统在北京市和上海市进行数值预报的结果进行了分析检验,并与国际上几种光化学污染预报模式的预报结果进行比较。结果表明,就预报值与监测值的线性相关系数来说,CAPPS 系统的预报水平与其他发达国家的模式预报水平相当。此外,CAPPS 系统的污染指数等级预报准确率(北京市和上海市)平均达到 61.5%。

关键词: CAPPS 污染指数 城市空气质量 预报 箱格模式

## 前 言

近二十年来,城市大气污染预报模式的研究得到了很大的发展。从过去的统计预报模式,已发展到今天的中尺度气象预报模式、污染扩散模式和光化学模式相结合的城市大气污染预报系统。如加拿大国家研究委员会的 MC2-CALGRID 模式系统<sup>[1]</sup>,是由一个非静力平衡的半显式半拉格朗日中尺度气象模式和一个综合(comprehensive)光化学模式结合而成的模式系统;德国 Cologne 大学的 EURAD 大气污染预报系统<sup>[2]</sup>由 MM5、EEM 污染扩散模式和 CTM2 化学传输模式组成;挪威气象研究所发展的预报 NO<sub>x</sub> 和 O<sub>3</sub> 的光化学模式<sup>[3]</sup>是将 EMEP MSC-W NO<sub>x</sub> 预报模式和 Norwegian 轨迹模式结合起来的,其中考虑了污染物的扩散传输、干湿沉降和包括 45 个物种的 100 个化学反应方程式。但绝大多数的大气污染物传输扩散模型都不可避免的依赖于污染源的源资料。应用统计方法对于有长期的监测数据的城市是可行的,但是城市大气污染物的排放源的源强及其时空分布发生变化时,统计预报的效果就会受到影响。然而,污染源调查是一个具有内在的、经常性的和相当大不确定性的复杂过程<sup>[4]</sup>,成为城市大气污染预报中的一大障碍。1997 年中国气象科学研究院建立了非静稳多箱大气污染浓度预报和潜势预报系统 CAPPS,该模型是在 ADPIC 的概念的基础上经过积分求得的<sup>[5]</sup>,它不需要污染源的源强资料就可预报出

\* 本文由中国气象局青年气象科学基金和国家重点基础研究发展规划项目 973 城市环境 G1999045700 共同资助。

2000-03-06 收到,2000-05-23 收到修改稿。

城市空气污染潜势指数和污染指数。污染潜势指数是反映气象条件本身对污染物的清除能力,与污染源强无关,因此污染潜势指数的预报就不需要污染源资料。CAPPS 模式预报污染物的污染指数或浓度时,需要前一天的污染物日均浓度值作为初始值,在假设两天之间日平均污染源强的变化可以忽略不计的前提下,由气象条件计算污染物浓度的变化,从而预报第二天的日平均污染物浓度或污染指数,因此也不需要污染源强资料。若考虑到污染源强的日变化,可对污染源强增加一个时间系数,适当增加白天或上、下班高峰期污染排放的权重,减少夜间污染排放的权重,则可提高一天中不同时段污染浓度预报的准确率。同样,作日平均浓度预报时,遇到节假日也需建立权重系数对污染源强加以调整,文献[6]已对此进行了研究。根据文献[4][7],对于城市尺度的污染过程,风速、混合层高度和干、湿沉降的影响是主要的,化学转化过程的影响是相对次要的。同时考虑到化学反应过程比较复杂,其中的参数较多且不易获得。因此 CAPPS 模式中暂时不考虑化学转化过程,以便国内的城市和地区在现有条件下进行应用。CAPPS 模式系统的气象背景部分由改进后的 MOMS(中国气象科学研究院中尺度业务试验数值模式系统)<sup>[8-10]</sup>提供。

污染统计预报模式在国内外有着广泛的应用,它需要大量的历史污染监测资料和气象观测资料。但是,目前国内能够全面具有较长时间历史资料的部门很少。此外,污染源的分布和源强在较长的期间内会有明显的变化,这将对统计预报的准确率产生较大影响。CAPPS 非静稳多箱大气污染浓度预报和潜势预报系统物理意义明确,能够反映出造成城市污染的物理过程,这是统计预报不能做到的。

1997年3月,CAPPS 模式安装在京津冀中尺度试验基地业务组,在业务运行期间,每天使用由国家环保局发表的全国主要城市污染物浓度年均值反演出的源强资料,实时气象资料试行 52 个城市总体污染指数及全国大气污染潜势指数预报试验。1998年6月,CAPPS 模式又安装在国家气象中心的 J90 上,并将气象模式改用 MM5,逐日对 36 h 内全国范围的污染潜势指数进行试预报。随后 CAPPS 系统在北京市、上海市、河北、江西、天津市、湖北等 13 个气象部门得到应用,主要用于 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、TSP 和 CO 等污染物的污染指数预报。CAPPS 模式的输入参数非常简单,只需要输入常规气象资料就可预报 24~36 h 的全国空气污染潜势。现在的 CAPPS 模式不需要源强反演过程,直接根据各个城市或城市内各区监测的大气 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、TSP 和 CO 的污染指数初始值(如日均值),则可预报 24~36 h 的相应地区的污染物的空气污染指数。

## 1 预报原理及系统结构

### 1.1 空气污染潜势指数和污染指数的预报

CAPPS 系统中的空气污染潜势指数(PPI)和污染指数 API(或 PSI)的预报,直接采用文献[5]中介绍的箱格预报模型。根据污染物守恒原理,不考虑化学反应的大气污染物平流扩散方程为:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla c = \sum q_i \delta(\mathbf{r}_i) - \nabla \cdot (c \mathbf{V}_d) - \nabla \cdot (c \mathbf{V}_w) + \nabla \cdot \bar{k} \cdot \nabla c \quad (1)$$

其中  $c$  是大气污染物浓度,由体积  $\tau$  内若干位于  $\mathbf{r} = (x_i, y_i, z_i)$  源强分别为  $q_i$  源产生,  $\mathbf{V}$

为风速,二阶张量  $\bar{k}$  为湍流交换系数,  $V_d$  为干沉降速度,  $V_w$  为湿沉降速度。对式(1)在体积  $\tau$  内积分后再对体积平均,可以得到箱体内平均浓度预报方程

$$\tau \frac{d\bar{c}}{dt} = Q - \oint\!\!\!\!\!\oint_s c(V + V_t + V_d + V_w) dS \quad (2)$$

上式右方的积分项表示体积  $\tau$  内大气扩散稀释和干湿沉降过程对污染物的清除能力,设该积分值对平均浓度的比值为:

$$V_c = \frac{1}{\bar{c}} \oint\!\!\!\!\!\oint_s c(V + V_t + V_d + V_w) dS \quad (3)$$

$V_c$  表示该时段的大气通风扩散稀释和干湿沉降的总能力的平均值。由式(2)可解得

$$\tau = e^{-\int_0^{\delta T} V_c dt} \left( \frac{1}{Q} \int_0^{\delta T} Q e^{\int_0^t V_c dt} dt + \bar{c}_0 \right) \quad (4)$$

其中积分常数  $\bar{c}_0$  表示初始平均浓度。在给定的时段  $\delta T$  内,只要时间间隔  $\delta T$  不很大,则  $V_c$  和  $Q$  随时间变化可以忽略,于是可解出体积  $\tau$  内的污染物平均浓度

$$\bar{c} = \frac{Q}{V_c} (1 - e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T}) + \bar{c}_0 e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T} \quad (5)$$

对于一个底面积为  $s$  的箱体,大气污染物的清除能力  $V_c$  由式(3)可表示为<sup>[5]</sup>

$$V_c = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \times \sqrt{s} \times u_i \times H + (v_d + v_w) \times s \quad (6)$$

污染潜势指数 PPI 定义为,标准源强在实际气象条件下生成的浓度与在标准气象条件下产生的浓度的比值,这样根据文献[5]有

$$PPI = \frac{\bar{C}}{C_{\text{标准}}} = \frac{A_i \times \sqrt{s}}{\frac{\sqrt{\pi}}{2} \times \sqrt{s} \times u_i \times H + (v_d + v_w) \times s} (1 - e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T}) + \frac{\bar{c}_0}{C_{\text{标准}}} e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T} \quad (7)$$

因此 PPI 的预报公式为

$$PPI_{t=(n+1)\delta T} = \frac{A_i \times \sqrt{s}}{\frac{\sqrt{\pi}}{2} \times \sqrt{s} \times u_i \times H + (v_d + v_w) \times s} (1 - e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T}) + PPI_{t=n\delta T} e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T} \quad (8)$$

$v_w$  的值等于降水率  $R$  和降水清洗比  $w_r$  的乘积。其中  $A_i$  是表示大气扩散稀释能力的控制参数,可根据所在地区从国标 GB/T 3840-91 中查出。

$$v_w = w_r R \quad (9)$$

污染指数 API 在(在文献[5]中称为 PSI)定义为,真实源强在真实气象条件下产生的平均浓度与标准浓度的比值,即

$$API_{t=(n+1)\delta T} = \frac{Q_{\text{真实排放总量}}}{V_c \times C_{\text{标准}}} (1 - e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T}) + API_{t=(n+1)\delta T} e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T} \quad (10)$$

假定  $n\delta T$  时刻到  $(n+1)\delta T$  时刻的源强变化可以忽略不记,则 API 的预报公式为

$$API_{t=(n+1)\delta T} = \left[ \frac{A_i \times \sqrt{s}}{\frac{\sqrt{\pi}}{2} \times \sqrt{s} \times u_i \times H + (v_d + v_w) \times s} (1 - e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T}) + e^{-\frac{V_c}{\tau} \delta T} \right] \times API_{t=n\delta T} \quad (11)$$

事实上,一个城市的污染源强不同季节之间的变化很大,但每天之间的变化的确是小小

的。因此,在预报污染物浓度日均值时,可以忽略一天中污染源强的变化。在一天之间某些污染物的排放量可能会有明显变化,例如  $\text{NO}_x$ ,在上、下班的高峰期排放量增大,所以预报一天中不同时刻的污染物浓度时,可以增加反映排放量变化的时间因子。

### 1.2 CAPPS 模式系统的结构

CAPPS 系统由 MOMS 中尺度气象模式提供气象背景场(在国家气象中心 CRAY 机上使用 MM5),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 系统气象模式的水平网格为  $46 \times 61$ ,格距 60 km,模式网格中心点可以移动。垂直方向分为 10 层,采用气压  $\sigma$  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。CAPPS 系统在 P II/233 上预报 24 h 需运行 20 min。图 1 是 CAPPS 系统流程图。

模式系统所需的参数有:模式网格中心点的经纬度;所要预报的各城市或监测点所代表区域的经纬度、面积、所在区的地理区号。地形特征值是由分辨率为 10' 的地形高度资料经客观分析到网格点上得到的。地表特征只分两类:陆面和水面。

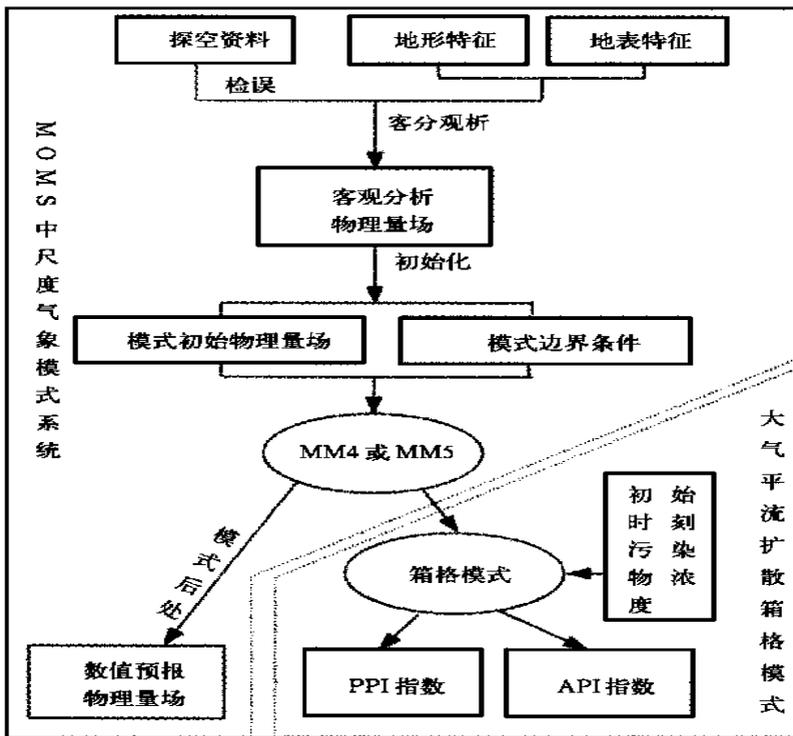


图 1 CAPPS 模式系统流程图

输入模式系统的实时资料:探空资料和初始时刻污染物浓度监测资料。探空资料为每日 08:00(北京时下同)或 20:00 探测的地面和 850 hPa 到 100 hPa 各规定等压面上温、压、湿和风。初始时刻污染物浓度监测资料应为每日 08:00 或 20:00 监测的污染浓度值,也可用前一日污染物平均浓度值代替。

CAPPS 模式系统每 3 h 输出一次所有网格点上的 PPI 指数值,最后给出 24 h 平均的格点上的 PPI 指数值,然后直接用绘图软件绘出预报范围内 PPI 指数等值线图<sup>[5]</sup>。模式系统也可以根据需要通过双线性内插给出固定点的 PPI 指数值。同时,模式系统每 3 h 还输出一次所需要的城市或地区 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、TSP 和 CO 的 API 指数和污染等级。最后给出 24 h 平均的 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、TSP 和 CO 的 API 指数和污染等级(表 1)。

表 1 北京市 1999 年 12 月 8 日 API 预报结果

		预报时次(h)								
		3	6	9	12	15	18	21	24	平均
SO <sub>2</sub>	等级	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	API	106.9	118.4	121.8	122.8	128.9	133.0	143.0	144.9	127.5
NO <sub>x</sub>	等级	2	3	3	3	3	3	3	3	3
	API	95.4	113.6	118.3	119.9	128.4	134.2	147.9	150.5	126.0
TSP	等级	3	4	5	3	3	3	3	3	3
	API	154.1	208.1	199.6	187.9	186.9	185.7	191.8	190.6	188.1
CO	等级	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	API	75.9	88.1	80.4	74.0	73.5	72.9	75.0	74.6	76.8

## 2 CAPPS 系统的应用及检验

CAPPS 系统在各省市的应用中都已取得了一定的结果,本文以北京市和上海市预报试验数据结果进行分析检验。此外河北省气象局用 CAPPS 系统也进行了深入的预报试验研究<sup>[6]</sup>。

### (1) 北京市应用的结果

从 1999 年 11 月起,北京市气象局使用 CAPPS 模式根据常规气象观测资料和北京市环保局发布的污染指数监测值,逐日对 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、RSP(可吸入颗粒物)和 CO 进行 24 h 试验预报。从 1999 年 11 月 22 日至 2000 年 1 月 9 日有效预报共 46 次,其余 3 次由于气象资料传输故障未能预报。在此期间 RSP 污染指数达到 4 级的中度污染有 5 次,CAPPS 模式预报出 3 次,捕获率为 60%。如定义污染物预报准确率、空报率和漏报率分别为:

$$\text{预报准确率} = \frac{\text{污染等级预报正确的天数}}{\text{进行预报的总天数}} \times 100\% \quad (18)$$

$$\text{空报率} = \frac{\text{污染等级预报偏高的天数}}{\text{进行预报的总天数}} \times 100\% \quad (19)$$

$$\text{漏报率} = \frac{\text{污染等级预报偏低的天数}}{\text{进行预报的总天数}} \times 100\% \quad (20)$$

根据式(18)~(20),预报试验的检验结果是 SO<sub>2</sub> 预报准确率为 67%,空报率为 11%,漏报率为 22%;NO<sub>2</sub> 预报准确率为 72%,空报率为 11%,漏报率为 17%;RSP 预报准确率为 61%,空报率为 24%,漏报率为 15%;CO 预报准确率为 46%,空报率为 33%,漏报率为 21%。图 2~图 5 是 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、RSP 和 CO 污染指数的预报值与监测值对比,污染指数预报值与监测值的相关系数分别为 0.53、0.63、0.78 和 0.45。图 6 是所有污染物的污染指数预报值与监测值的相关,相关系数为 69%。

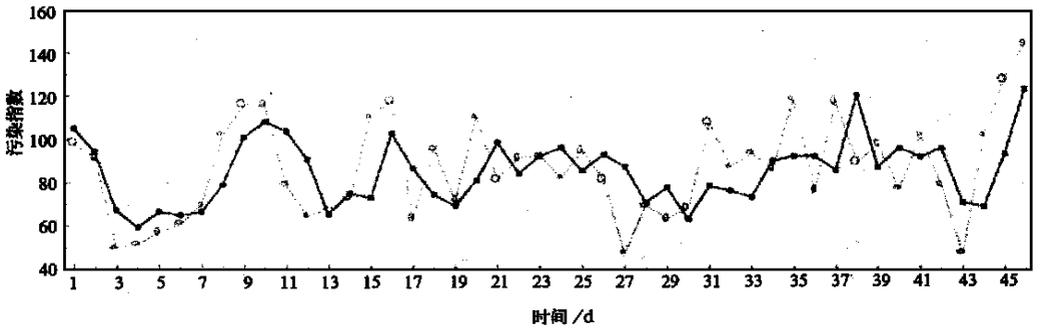


图2 SO<sub>2</sub> 污染指数的预报值与监测值对比(实线:预报值,点线:监测值(下同))

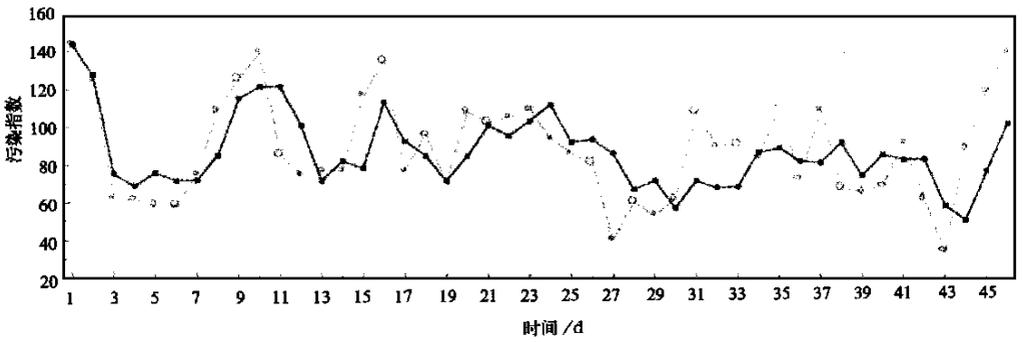


图3 NO<sub>2</sub> 污染指数的预报值与监测值对比

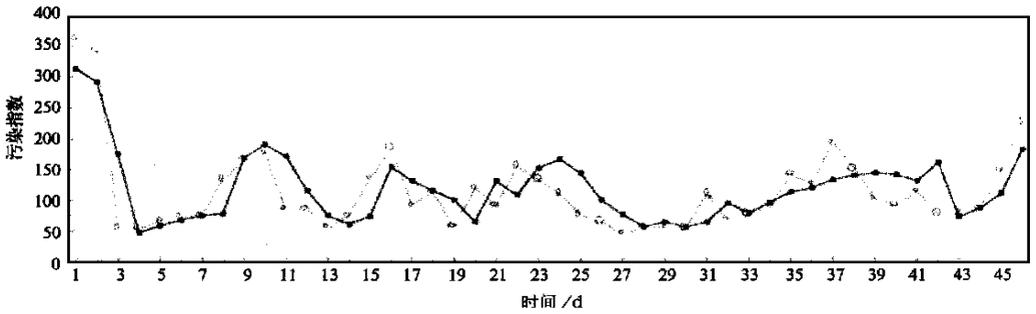


图4 RSP 污染指数的预报值与监测值对比

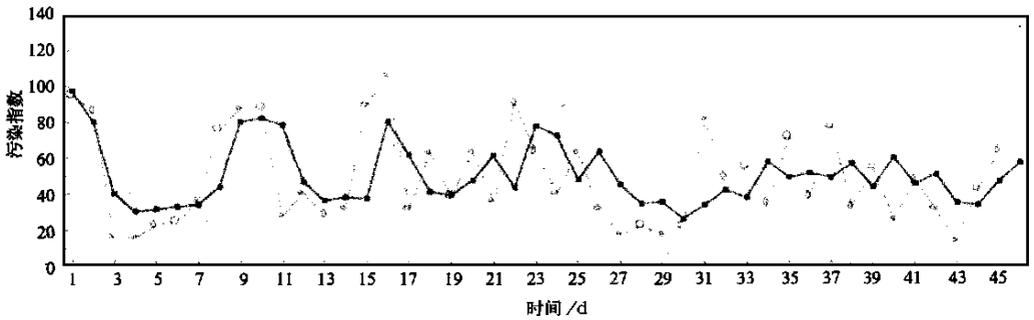


图5 CO 污染指数的预报值与监测值对比

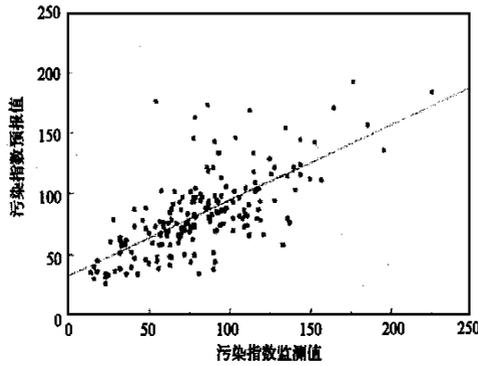


图 6 所有污染物的污染指数预报与监测值的相关

(2) 上海市应用的结果

1998 年 8 月至 12 月,上海市气象局用 CAPPS 模式系统,对  $\text{SO}_2$ 、TSP 和  $\text{NO}_x$  的日平均 API 值,逐日进行了预报试验,同时有预报值与监测值的日数为 118 天。检验结果表明,其中  $\text{SO}_2$  的 API 日平均预报值与监测值的相关系数为 63.5%, TSP 为 61.8%,  $\text{NO}_x$  为 45.0%。 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和 TSP 的日平均 API 预报值与监测值的对比见图 7 ~ 图 9。根据式(18) ~ (20),TSP 的预报准确率为 80%,空报率为 11%,漏报率为 9%; $\text{SO}_2$  准确率为 61%,空报率为 5%,漏报率为 34%; $\text{NO}_x$  准确率为 49%,空报率为 36%,漏报率为 15%。

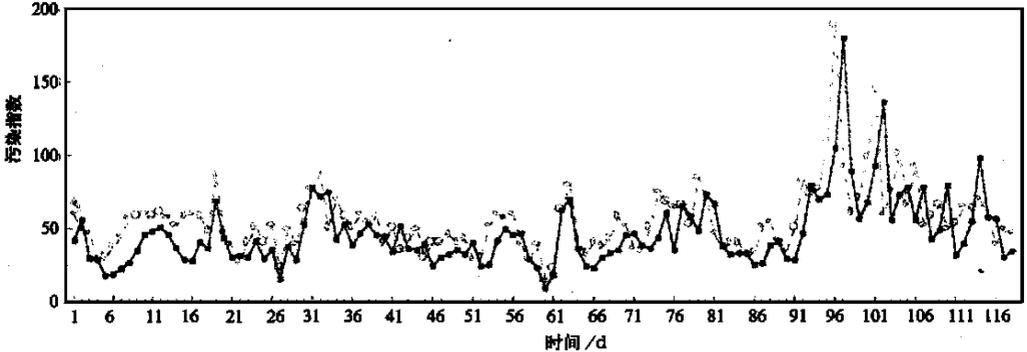


图 7  $\text{SO}_2$  污染指数的预报值与监测值对比(实线:预报值,虚线:观测值(下同))

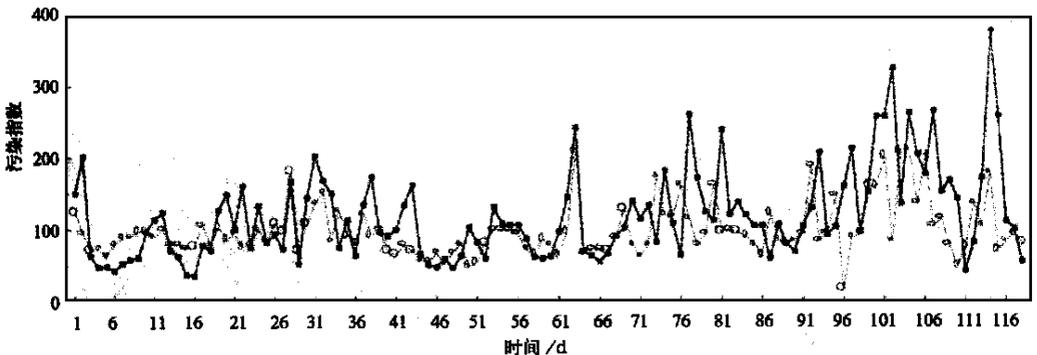


图 8  $\text{NO}_x$  污染指数的预报值与监测值对比

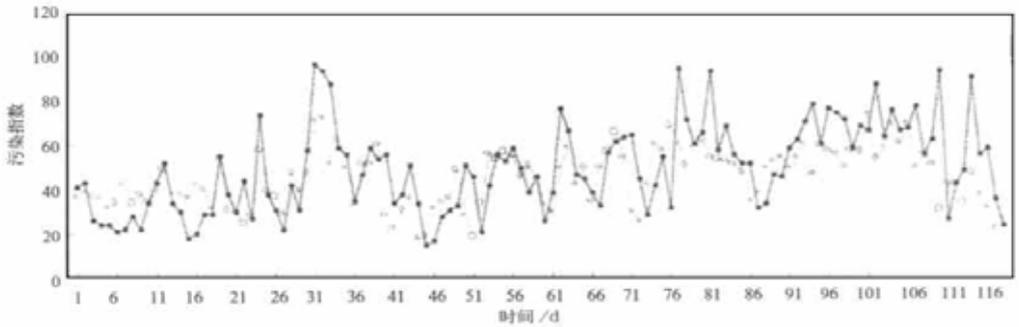


图9 TSP 污染指数的预报值与监测值对比

### 3 与其它模式预报结果比较

目前国内外研制出的城市大气污染的预报模式有很多,我们通过查阅文献选出了几个发达国家的模式,将预报试验结果进行比较。

加拿大国家研究委员会的 MC2-CALGRID 模式<sup>[1]</sup>,是由一个非静力平衡的半显式半拉格朗日中尺度气象模式和一个综合(comprehensive)光化学模式结合而成的模式系统,它综合了大气污染物的传输、沉降和化学转化的先进技术,有包括 54 个有机和无机物种的 129 个化学反应方程式。MC2 气象模式水平分辨率 10 km,模式顶高 25 km,垂直分 31 层,在 SGPI2 工作站上预报 1 h 需运行 40 min;CALGRID 化学模式,水平分辨率 5 km,顶高 5 km,垂直分 10 层,预报 24 h 需运行 1.5 h。该模式对 1985 年 7 月 17~21 日发生在加拿大 Lower Fraser Valley 的一次大气污染过程进行了模拟,参与 NO<sub>x</sub> 预报结果与监测值对比的站点共有 9 个,CO 有 5 个。

由于发达国家 SO<sub>2</sub> 的污染得到了有效的控制,因此近十年来国际上有关 SO<sub>2</sub> 的污染预报研究报道得较少。本文只选取了美国 IMB 研究实验室城市空气污染模式<sup>[11]</sup>,将其试验预报结果与 CAPPS 模式预报 SO<sub>2</sub> 的结果进行比较。美国 IMB 研究实验室城市空气污染模式是一个大气湍流扩散模式,水平分辨率 1.5 km,垂直方向 13 层,最靠近地面 5 层垂直分辨率 20 m,在 IBM360/195 上预报 24 h 需运行 2~5 min。美国 IMB 研究实验室用该模式对 St. Louis 都市区 1965 年 2 月 1~26 日的大气污染过程进行了模拟研究,逐日预报了 10 个站点的 24 h SO<sub>2</sub> 的浓度。

挪威气象研究所的化学模式<sup>[3]</sup>是由 EMEP MSC-W NO<sub>x</sub> 预报模式和 Norwegian 轨迹模式组成的,其中考虑了污染物的扩散传输、干湿沉降和包括 45 个物种的 100 个化学反应方程式,模式范围覆盖整个欧洲,水平分辨率 150 km。挪威气象研究所用该模式对 Rörvik 地区 1989 年 8~10 月的大气污染过程进行了试验预报研究,逐日预报了 5 个站点 NO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub> 等污染物的 24 h 平均浓度。

由于文献[1][11][3]中只用预报值与监测值的线性相关系数对模式进行检验,因此在表 2 中就将 CAPPS 系统的预报值与监测值的线性相关系数与其它模式进行比较。

表 2 CAPPS 系统和其它模式的预报值与观测值的相关系数

模式	样本数	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	TSP	RSP
CAPPS	北京市	46	0.53		0.63	0.45	0.78
	上海市	118	0.64	0.45		0.62	
	石家庄	107	0.72	0.69		0.71	
加拿大国家研究委员会 MC2-CALGRID 模式	5 天						
	9 个站点( NO <sub>x</sub> ) 5 个站点( CO)		0.63		0.44		
美国 I MB 研究实验室 城市空气污染模式	25 天						
	10 个站点	0.65					
挪威气象研究所 光化学模式	92 天						
	5 个站点		0.56	0.38			

从表 2 中可以看出 CAPPS 系统的预报水平与其他 3 种模式的预报水平是相当的。比较 SO<sub>2</sub> 线性相关系数发现, CAPPS 系统在石家庄市预报结果的线性相关系数最高,北京市的最低。这是因为石家庄市 SO<sub>2</sub> 排放源分布相对比较均匀;北京市经过治理后,集中供热的比例有了很大的提高,SO<sub>2</sub> 的排放源分布相对集中,另外北京市范围较大,使 SO<sub>2</sub> 源的分布更加不均匀;上海市 SO<sub>2</sub> 的排放主要是工业排放,排放源的分布也比较不均匀。对于箱格预报模型来说,箱体内污染源分布均匀时,预报出的浓度值,会与实际情况更接近。所以石家庄 SO<sub>2</sub> 预报值与实测值线性相关系数较高,而北京市和上海市的相对低一些。如采用分辨率高的中小尺度气象预报模式,减小箱格的尺度,将有助于提高污染源分布不均匀地区的预报准确率。

图 10 是德国 Cologne 大学的 EURAD 大气污染预报系统<sup>[2]</sup>1990 年 10 月 13~19 日在欧洲范围内的一次数值预报试验中得到的 SO<sub>2</sub> 的预报结果,与图 2 和图 7 比较,可以看到同 CAPPS 系一样,也存在着预报值有时滞后或超前的现象,模式格距较大时,预报值滞后现象出现得较多。

对于 NO<sub>x</sub>、NO<sub>2</sub> 和 CO 的预报, CAPPS 系统虽然没有考虑化学转化,但也达到了加拿

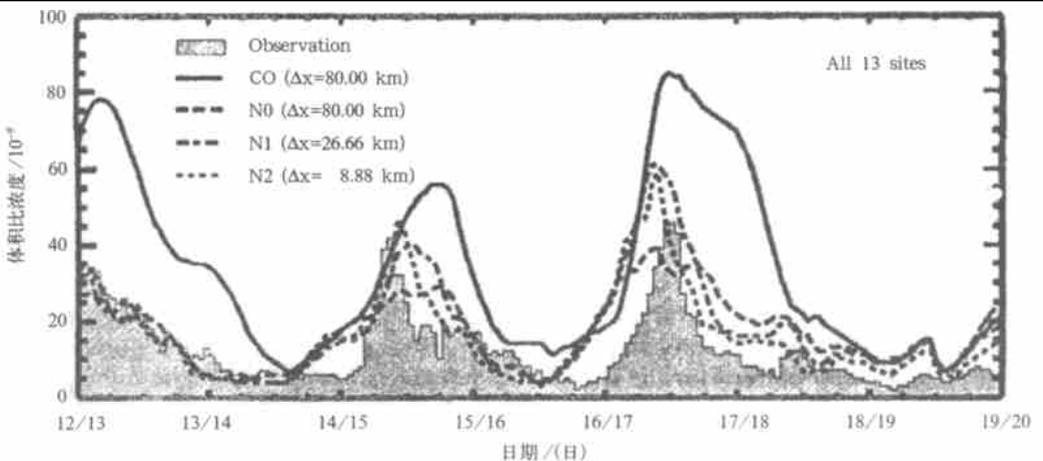


图 10 1990 年 10 月 13~19 日德国 Cologne 大学的 EURAD 大气污染预报系统不同网格分辨率预报的 SO<sub>2</sub> 浓度与监测值的比较<sup>[2]</sup>

大国家研究委员会的 MC2-CALGRID 模式和挪威气象研究所的光化学模式的预报水平。图 11 ~ 图 12 是挪威气象研究所的光化学模式预报的 Rörvik 地区 1989 年 8 ~ 10 月的  $\text{NO}_x$  和  $\text{NO}_2$  浓度与监测值比较。对比图 4, CAPPS 系统的对  $\text{NO}_2$  预报的准确率要高于挪威气象研究所的光化学模式。 $\text{CO}$  在大气污染物化学转化的过程中参与的反应较多, 而且在大气中的浓度较低, 因此  $\text{CO}$  的预报有一定难度, 各种模式对  $\text{CO}$  的预报水平都较低。如果在 CAPPS 系统中考虑  $\text{NO}_x$  浓度在一天之间、工作日与休息日之间和季节间的变化,  $\text{NO}_x$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{CO}$  的预报准确率估计会有所提高。

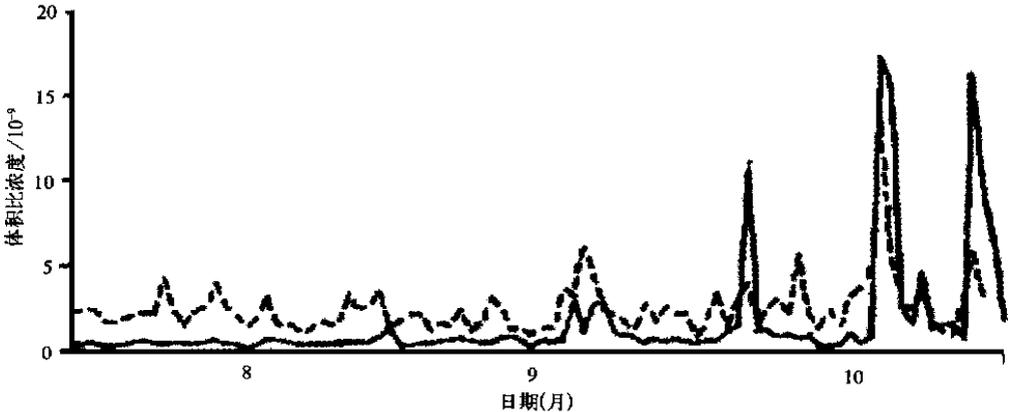


图 11 挪威气象研究所的光化学模式预报的 Rörvik 地区 1989 年 8 ~ 10 月的  $\text{NO}_2$  浓度与监测值比较<sup>[3]</sup>(实线:预报值,虚线:监测值)

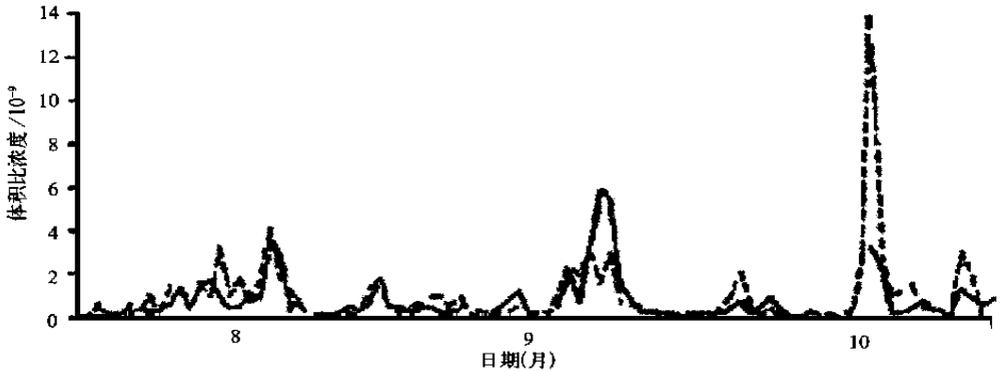


图 12 挪威气象研究所的光化学模式预报的 Rörvik 地区 1989 年 8 ~ 10 月的  $\text{NO}_x$  浓度与监测值比较<sup>[3]</sup>(说明同图 11)

目前,在发达国家 TSP 不是主要大气污染物,而  $\text{PM}_{10}$  已成为仅次于  $\text{O}_3$  的大气中主要污染物。但是由于  $\text{PM}_{10}$  的来源和化学转化机理还不很清楚,因此现有的化学模式对  $\text{PM}_{10}$  的预报准确率相当低。然而, CAPPS 系统对 TSP 的预报准确率在上海市达到 80%, 预报值与监测值的线性相关系数为 0.62。北京市的 RSP(相当于  $\text{PM}_{10}$ ) 预报准确率达到 61%, 预报值与监测值的线性相关系数为 0.78。说明即使不考虑源强和化学反应过程,

仅根据气象条件变化和初始浓度,CAPPS 系统对 TSP 在业务预报中还是有一定预报能力的。尽管如此,目前正在致力于在模式中引入一些必要的化学过程,以增加理论上的完整性,努力进一步提高准确率。

## 4 结 论

中国气象科学研究院研制的城市空气污染监预报系统 CAPPS,通过在一定范围内的推广应用,并与国际上几种模式的预报结果进行比较,得到如下结论:

(1) CAPPS 系统对城市污染物浓度的预报,是在无源参数条件下进行的,克服了污染源调查本身具有不确定性的困难,极大地降低了对模式运行的初始资料的要求,便于模式系统的推广应用。

(2) 通过与国际上几种模式的预报结果进行比较,CAPPS 系统的预报水平与国际上几种模式的预报水平相当,同时也表明化学转化过程对于城市 and 区域尺度的污染过程的影响不是主要的。CAPPS 模式的预报准确率平均可达 60%。

目前 CAPPS 系统由于没有考虑化学转化过程,还不能预报  $O_3$ 。污染物浓度逐时的预报还未进行严格的统计检验,为此需要进一步对污染源排放时间系数进行试验研究,同时可改善  $NO_x$ 、 $NO_2$  和 CO 等污染物预报的准确率。CAPPS 系统采用积分数值计算方法,避免了差分格式的缺点,同时也便于引入污染物的化学转化。因此在增加  $O_3$  等二次污染物的预报和提高预报准确率方面,CAPPS 模式系统还有一定的潜力。

## 参 考 文 献

- 1 Hedley M A, et al. Evaluation of an air quality simulation of the lower fraser valley, I Meteorology, II Photochemistry. *Atmospheric Environment*, 1997, 31: 1605 ~ 1630.
- 2 Jakobs H J, et al. The use of nested models for air pollution studies: an application of the EURAD model to a SANA episode. *J. Appl. Meteor.* 1995, 34: 1301 ~ 1319.
- 3 Simpson D. Photochemical model calculations over Europe for two extended summer periods: 1985 and 1989 Model results and comparison with observations. *Atmospheric Environment*, 1993, 27A: 921 ~ 941.
- 4 WMO. Report of the Meeting of Experts on Atmospheric Urban Pollution and the Role of National Meteorological Services, Geneva, 7 ~ 11, October 1996. World Meteorological Organization Global Atmosphere Watch, 1996, No.115, 10.
- 5 徐大海,朱蓉. 大气平流扩散的箱格预报模型与污染潜势指数预报. *应用气象学报*, 2000, 11(1): 1 ~ 12.
- 6 范引琪. 石家庄市主要大气污染物( $SO_2$ 、 $NO_x$ 、TSP)的数值预报. *气象*, 2001, 27(4): 7 ~ 11.
- 7 桑建国,温市耕. 大气扩散的数值计算. 北京:气象出版社,1992. 80 ~ 81.
- 8 王鹏云,潘再桃,徐宝新,等. 中尺度业务预报试验数值模式系统. *应用气象学报*, 1992, 3(3): 257 ~ 265.
- 9 朱蓉,徐大海,朱彤. MM4 模式中站点相关性的研究和客观分析方案的改进. *应用气象学报*, 1994, 5(4): 436 ~ 443.
- 10 朱蓉,徐大海. 中国地区对流参数化加热廓线的分析研究和数值试验. *应用气象学报*, 1996, 7(2): 221 ~ 228.
- 11 Shir C C. A generalized urban air pollution model and its application to the study of  $SO_2$  distributions in the St. Louis metropolitan area. *J. Appl. Meteor.*, 1974, 13(2): 185 ~ 204.

## CITY AIR POLLUTION NUMERICAL PREDICTION SYSTEM AND ITS APPLICATION

Zhu Rong<sup>1)</sup> Xu Dahai<sup>1)</sup> Meng Yanjun<sup>2)</sup> Cheng Conglan<sup>2)</sup> Chao De min<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> ( *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081* )

<sup>2)</sup> ( *Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100081* )

<sup>3)</sup> ( *Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200030* )

### ABSTRACT

The City Air Pollution Numerical Prediction System (CAPPS) consists of MM5 (or MM4) and the multi-scale grid box model based on the integral of the atmospheric advective dispersion equation. The system has been used for predicting the Pollution Potential Index (PPI) and Air Pollution Index (API) in the urban areas without inventory data of sources. In the field of urban air pollution numerical prediction, CAPPS has overcome the difficulty brought by the inherent indefiniteness in the urban inventory of emissions. In this paper, CAPPS is applied to the air quality prediction experiments in Beijing and Shanghai and the results from these experiments are verified and compared with those from several photochemical air pollution models cited from publications. The comparison shows that the prediction accuracy of CAPPS is as good as most sophisticated photochemical models according to the correlation coefficients between the forecasted and the observed. Furthermore, the averaged prediction accuracy of pollution level has reached 61.5% in Beijing and Shanghai.

**Key words:** CAPPS Air pollution index Prediction of urban air quality Grid box model