

银川市空气质量动力预测系统及预测结果分析

孙银川^{1,2}, 繆启龙¹, 李艳春², 桑建人¹

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 宁夏防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002)

摘要: 在介绍银川市空气质量动力预测模型的基础上, 重点对该模型的预测结果及误差进行分析。结果表明, 该系统能较好地 对 24 h 污染气象条件进行预测, 污染气象条件的预测结果与监测结果比较吻合, 预报准确率 PM₁₀ 为 61%、SO₂ 为 92%。春季各月 PM₁₀ 预测值的平均绝对误差较大, 其它 3 个季节相对较小, SO₂ 的情况与 PM₁₀ 正好相反。考虑风沙条件对模式预测准确性的影响, 可根据不同时间、不同季节, 逐步调整模式中的扬沙系数, 能有效地提高该模式对银川市多风沙季节以 PM₁₀ 为首要污染物的空气质量预测准确率, 以适应银川市特殊的气候及环境条件。

关键词: 银川市; 空气质量; 预测

中图分类号: X51

文献标识码: A

引言

近年来, 随着经济的高速发展, 银川市的人口数量在急剧增长, 城市规模也在不断扩大。并且人们的生活水平也随着社会的进步在不断提高。人们越来越认识到保护生存环境的重要性和紧迫性。无论是地方政府还是普通市民, 都希望了解目前生存环境受污染现状的同时, 更希望了解未来的环境及大气状况, 有效地控制大气污染。我们知道在污染源相对稳定的情况下, 大气污染的轻重很大程度上受气象条件的制约。如果要在不利的气象条件下, 对有关的污染源进行控制, 从而达到改善城市空气质量的目的。必须首先开展城市空气污染气象条件预报以及空气污染预报的研究, 实现从预防的角度出发, 控制和改善城市空气质量。本文通过银川市空气质量动力预测模型的建立, 重点对该模型的预测结果及误差进行分析, 以便在今后的使用过程中更好的改进, 进一步提高预测准确率。

1 预测模型介绍

我们知道空气污染除与源强有直接关系外, 在很大程度上取决于大气的扩散能力, 即气象条件的好坏。对于一个城市而言, 源强资料具有很大的可

变性和不确定性, 在此基础上开展空气质量预测有很大难度。因此课题组在考虑引进中国气象科学研究院 CAPPS 模式的基础上^[1-2], 建立了银川市空气质量动力预测系统, 该模式最大的优点是充分考虑了污染监测点实时资料及气象探空资料, 将其作为初始场, 该模式是一个以中尺度动力天气预测模型为基础的平流扩散箱格预报模型。其对初始浓度有记忆能力, 并对非相邻地区的浓度有感受能力。可进行空气污染潜势预报, 并可在给出当天污染浓度监测资料的条件下, 作出空气污染指数(API)预报^[3-4]。其中污染潜势指数(PPI)采用以下公式计算:

$$PPI_{t=(n+1)\delta T} = \frac{V_c^{\text{标准}}}{V_c} (1 - e^{-\frac{V_c}{T}\delta T}) + PPI_{t=n\delta T} e^{-\frac{V_c}{T}\delta T}$$

式中 V_c 表示的是实际气象条件下的通风扩散稀释和干、湿沉降清除大气污染物的总能力; $V_c^{\text{标准}}$ 表示的是标准气象条件下的这种能力; $PPI_{t=n\delta T}$ 表示 $t = n\delta T$ 时的污染潜势指数。

由于该模式的运行完全脱离了污染源和污染浓度监测场, 所以它不可能给出大气的实际污染状态。而空气污染指数则表示真实源强在真实气象条件下产生的平均浓度对标准浓度的比值。对某一个污染箱体来说:

收稿日期 2005-04-21 改回日期 2006-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(40575048)、宁夏回族自治区自然科学基金项目(AD001-2004)共同资助

作者简介: 孙银川(1968-), 男, 宁夏银川人, 硕士, 主要从事污染气象学研究。E-mail: sunyc@126.com

$$PSI_{t=(n+1)\delta T} = \frac{Q_{\text{真实排放量}}}{Vc \times C_{\text{标准}}} (1 - e^{-\frac{Vc}{t}\delta T}) + PSI_{t=n\delta T} e^{-\frac{Vc}{t}\delta T}$$

式中 PSI 为污染指数, $Q_{\text{真实排放量}}$ 为污染源源强, $C_{\text{标准}}$ 为标准浓度, $PSI_{t=n\delta T}$ 表示 $t = n\delta T$ 时的污染指数。在无真实排放总量时, 按一定时间间隔提供各种大气污染物的前期 $PSI_{t=(n+1)\delta T}$ 则:

$$PSI_{t=(n+1)\delta T} = \frac{V_{c \ t=n\delta T}}{Vc} (1 - e^{-\frac{Vc}{t}\delta T}) + e^{-\frac{Vc}{t}\delta T} + PSI_{t=n\delta T}$$

上式各项表示的意义同上式。

2 探空资料、空气污染监测资料的来源及处理过程

模型中所需的基本气象资料为每日 08 时或 20 时探测的地面、850 ~ 100 hPa 各规定等压面上的温、压、湿和风资料。它来源于中国气象局每日 08 时后或 20 时后通过卫星下传并由卫星单收站接收到的将近 150 多个探空站每 10 min 打包的 TTAA 报文资料。并对报文资料根据要求进行合并加工处理, 使之成为空气质量预测模型所需的完整气象资料, 紧接着进行解报处理, 并代入模型进行误差检测以及地形特征和地表特征等的客观分析。给出中尺度动力预测模式所需的初始物理场及边界条件, 然后开始 24 h 后的数值物理量场预测, 即可预测出 24 h 后的大气污染潜势状况。

初始时刻污染物浓度监测资料为每日 08 时或 20 时环境监测部门提供的污染浓度监测值。将初始污染浓度监测资料代入平流扩散的箱格模式, 即可预测出未来 24 h 内各污染物对应的污染指数。

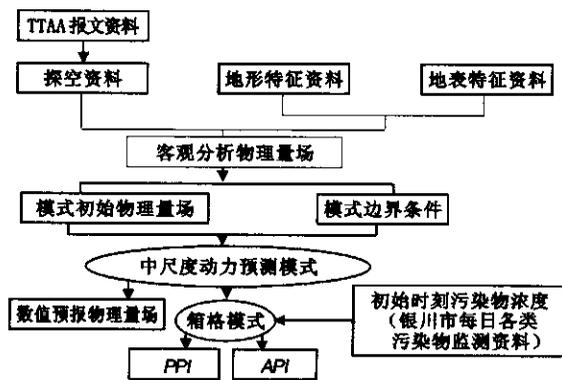


图 1 银川市空气污染动力预测系统流程图

Fig. 1 The flow chart of Air Quality Dynamic Prediction System in Yinchuan city

在地理参数的选取中, 以银川老城区为中心, 纬度为 $38^{\circ}29'$, 经度为 $106^{\circ}13'$, 面积为 45 km^2 。另外根据“制定地方大气污染物排放标准的技术方法”的要求, 银川市所在的地区号为 4, 地区污染物总量控制系数 (A) 为 4.9。

银川市空气污染动力预测系统流程见图 1。

3 空气污染潜势指数与污染指数的试预报

3.1 空气污染潜势指数预测分析

银川市空气质量动力预测模型, 每 3 h 输出一次所有网格点上的空气污染潜势指数, 最后给出 24 h 平均格点上的污染潜势预测指数, 并通过 Winsurf-er 绘图软件给出预测范围内污染潜势指数图。

下面给出利用该系统进行试预报的个例, 选用 2000 年 6 月 28 日至 6 月 30 日, 每天 08 时的气象探空资料及环境监测部门提供的当天空气污染监测资料, 对银川市大气污染潜势指数 (PPI) 进行试预报 (图 2 ~ 4, 图右的色标数即为对应的空气污染潜势预报指数)。图中 $PPI = 1$ 表示大气的通风扩散稀释和干湿尘降清除大气污染物的总能力与标准 (多年平均) 气象条件相同; $PPI = 0.5$ 表示本地上空大气清除污染物的总能力比标准条件的强 1 倍; $PPI = 2.0$, 表示本地大气清除污染物的总能力比标准气象条件下弱 1 倍, 此时即使按标准源强排放, 由于当天的气象条件不利于污染物的稀释扩散与清除, 惰性污染物的浓度将为标准浓度的 2 倍^[5-6]。

2000 年 6 月 28 日银川市上空的大气扩散能力较强, 首要污染物 PM_{10} 的监测浓度为 0.046 mg/m^3 , 明显低于本月平均值 0.054 mg/m^3 , 污染等级为“优”。6 月 28 日利用银川市空气质量动力预测系统, 对 29 日银川市上空的污染潜势指数预测显示 (图 2) 29 日污染潜势指数显著偏高, 说明 29 日的气象条件不利于污染物的稀释扩散与清除。从 29 日的实况监测值看, 首要污染物 PM_{10} 的浓度值为 0.093 mg/m^3 , 明显高出本月平均值 (0.054 mg/m^3) 的 72%, 污染等级为“良”。从 6 月 29 日对 6 月 30 日及 7 月 1 日的污染潜势预测情况看 (图 3 ~ 4), 污染潜势指数接近平均状况, 在污染源强相对稳定的情况下, 不会造成显著污染。从实况监测值看, 6 月 30 日及 7 月 1 日的首要污染物 PM_{10} 浓度均为 0.056 mg/m^3 , 接近平均状况。

3.2 空气污染指数试预测检验分析

3.2.1 预测效果分析

为了充分说明该预测模型较其他统计模型的优

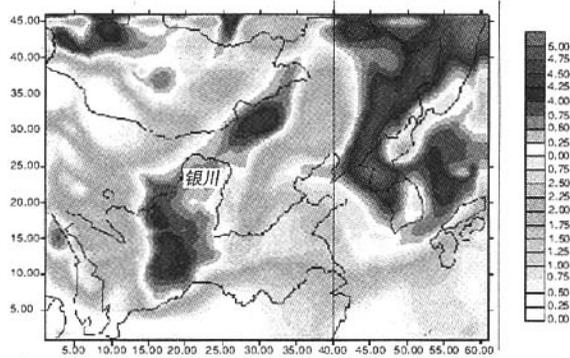


图2 2000年6月29日空气污染潜势预测

Fig.2 Air pollution potential prediction on June 29 2000

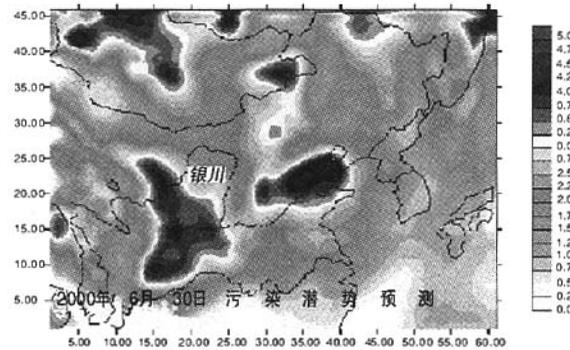


图3 2000年6月30日空气污染潜势预测

Fig.3 Air pollution potential prediction on June 30 2000

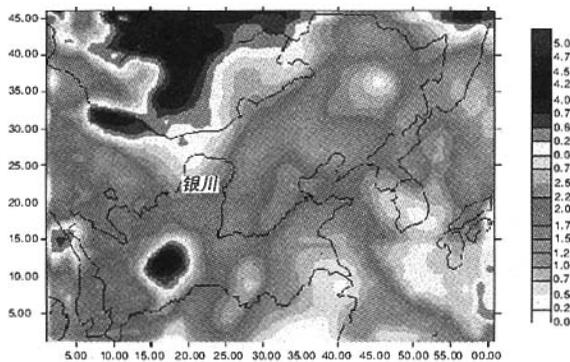


图4 2000年7月1日空气污染潜势预测

Fig.4 Air pollution potential prediction on July 1 2000

势和特点,选取银川市空气污染较严重的春季近1个月的监测及预测资料(2001年3月14日至4月9日)来分析其首要污染物PM₁₀预测值与实测值的变化^[7-8]。

春季在银川市来说正是一个多风沙的季节,由实

测资料发现,其首要污染物PM₁₀的浓度明显高于其他季节,为了充分说明模式的预报效果,我们选择了一次包含银川市沙尘暴天气发生过程的时段(图5)。

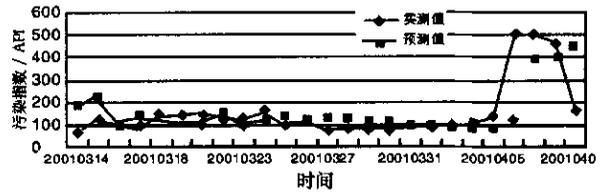


图5 银川市空气污染动力预测模型预测效果分析

Fig.5 The prediction result analysis by Yinchuan air pollution dynamic prediction model

从变化曲线看,前20 d 实测值基本在80~150之间变化,相对比较稳定。其中前10 d 预测值相对实测值略偏低,后10 d 实测值较前10 d 有所下降,紧跟着预测值也在逐步调整,以适应实测值的变化。从4月6日开始,由于受银川地区沙尘天气过程的影响,PM₁₀指数出现了不连续的跳跃式上升,达到了严重污染的程度(API=499),而对应的模式预测值出现了1 d 的滞后,在4月7日、8日连续2 d 的高污染期间,该模型的预测值与实测峰值区拟合得非常好,到4月9日沙尘天气已趋于结束,实测PM₁₀指数也出现了跳跃式的下降,回复了正常(API=165),而对应的模型预测值仍维持了1 d 的高值(API=447)。这同样也说明了该模型在预测过程中存在着一定的滞后性。

分析其原因,由于PM₁₀的实测值为日平均值,它取自前一天12时至当天11时区间内每小时监测值的日平均。而该预测模型在对气象要素场的预测过程中,所用气象要素场的初始场为前一天08时的探空资料分析处理后所形成的高空形势场。在初始场的基础上,通过平流扩散方程进行24 h 连续积分,给出高空大气扩散形势场预测结果只到当天08时之前,和实测值在时间上至少相差12 h,这是该预测模型出现滞后性的一个重要原因。

尽管该模型在预测过程中具有一定的滞后性,但通过以上分析,我们也可看出,在对极值的预测过程中具有独特的优势。

3.2.2 预测与实测相关分析

我们统计分析了银川市首要污染物PM₁₀在相对污染较重的春季,其实测值与预测值的相关关系,

并给出了 PM₁₀ 污染指数的预测值与实测值的对比图(图6)。从图中看出:当 PM₁₀ 的实测值较小时,对应预测值也比较小;当 PM₁₀ 的实测值增加时,对应预测值也明显增加。两者之间存在明显的正相关关系。

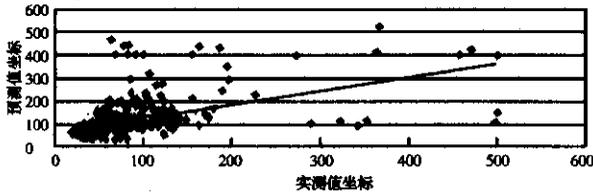


图6 首要污染物 PM₁₀ 预测值与实测值对比

Fig. 6 Contrast between observed and forecasted values of PM₁₀

由相关系数的计算发现,在 0.05 的置信度区间里,其相关系数为 0.6,表现出明显的正相关,这充分说明该预测模型具有一定的预测水平。

3.2.3 预测准确率统计分析

在空气污染试预报中,选取了银川市老城区少年宫大气污染自动监测点 2000 年 6 月至 8 月间共 64 d 2 种污染物(PM₁₀、SO₂)的逐日平均浓度值及 API 值资料,作为银川市主要污染物的实测值。利用银川市空气质量动力预测系统,对同期各类污染物进行预测,给出以上 2 种污染物的 API 预测值。并将预测值与实测值进行对比分析,给出该预测系统对这 2 类污染物的预测准确率。

$$\text{预报准确率} = \frac{\text{污染等级预报正确的天数}}{\text{有效预报的总天数}} \times 100\%$$

$$\text{空报率} = \frac{\text{污染等级预报偏高的天数}}{\text{有效预报的总天数}} \times 100\%$$

$$\text{漏报率} = \frac{\text{污染等级预报偏低的天数}}{\text{有效预报的总天数}} \times 100\%$$

通过利用银川市空气质量动力预测系统,对银川市老城区夏季(6~8月)空气质量预测结果的准确率统计,其中 PM₁₀ 预报准确率为 61%,空报率为 15.6%,漏报率为 23.4%;SO₂ 预报准确率为 92.0%,空报率为 4.7%,漏报率为 3.1%。从统计结果看,对 PM₁₀ 的预测水平显然低于对其它 2 项污染物的预测水平。这主要是由于 PM₁₀ 的逐日变化幅度明显高于 SO₂。这一点从图 7 和图 8 中也可清楚地看出。

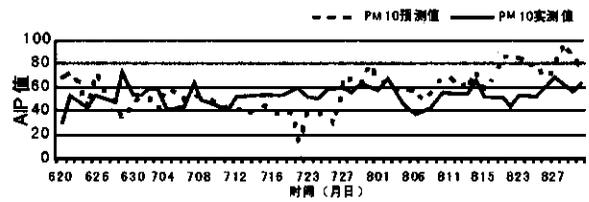


图7 银川市空气污染实测(预测)图

Fig. 7 Contrast between observed and forecasted values of PM₁₀ over Yinchuan city

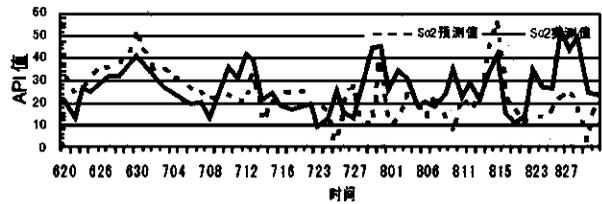


图8 银川市空气污染实测(预测)图

Fig. 8 Contrast between observed and forecasted values of SO₂ over Yinchuan city

另外需要说明的是,在预报准确率的统计中,以污染指数为基础将污染程度按污染指数的不同划分为不同的污染等级^[9](表 1)。

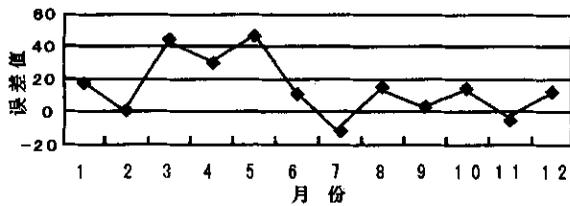
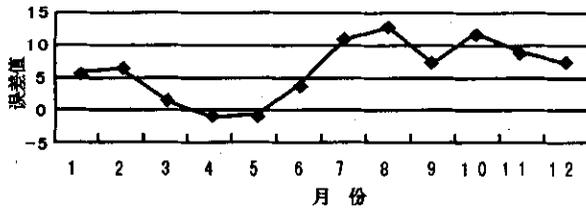
表 1 空气污染指数范围及相应的污染等级表
Tab. 1 The categories of air pollution levels based on air pollution index

空气污染等级	优	良	轻度污染	中度污染	重污染
空气污染指数	0~50	51~100	101~200	201~300	>300

从我们对一年来银川市老城区 PM₁₀ 的逐日监测资料及预测结果对比分析发现:夏季首要污染物 PM₁₀ 对应的污染指数(API)值变化范围主要在 40~60 之间,而污染指数等级又以 50 为分界线,这样在预报准确率的统计中,就造成了夏季首要污染物 PM₁₀ 的监测值与实测值虽然只相差不超过 10,而对应的空气污染等级却相差一个级别的现象频繁发生。这也是造成了统计首要污染物 PM₁₀ 准确率相对较低的一个主要原因。

3.2.4 预测误差的月际变化

自 2000 年 5 月银川市空气质量动力预测系统建成后,进行了将近 1 a 的试运行,在此对这一年的预测资料进行了统计分析,给出了逐日资料的绝对误差,及月平均绝对误差的年变化(图 9、10)。

图9 PM₁₀预报误差月际变化Fig. 9 Monthly change of PM₁₀ prediction error图10 SO₂预报误差月际变化Fig. 10 Monthly change of SO₂ prediction error

从图9中看出,PM₁₀污染指数的统计误差在一年中春季较大,其他3个季节相对较小。这主要是由于春季风沙较多,造成PM₁₀的基础值明显高于其他季节,进而造成绝对误差偏大。

从图10中看出,SO₂污染指数的绝对误差,春季最小,其他3个季节相对较大,这与PM₁₀的误差变化情况正好相反。分析其原因,主要是由于SO₂的污染源在一年四季中变化不大,其污染指数的大小,主要取决于大气本身的通风扩散稀释及干湿沉降等清除大气污染物的能力。而春季又是一年中大气最不稳定的一个季节,天气系统进行着大规模的调整,对流活动较其他季节明显加强;从热力条件讲,由于下垫面升温,对应大气湍流旺盛。另外,从我们对一年来各季逆温的统计情况看,春季逆温出现次数最少。综合以上因素,春季是大气扩散稀释条件最好的季节,因此在源强相对稳定的条件下,对应SO₂污染指数的基础值最低,从而使预测值的绝对误差也达到最低。

4 结 论

(1) 通过银川市空气质量动力预测系统的试运行可看出,该系统能较好地、对24h污染气象条件进行预测。污染气象条件的预测结果与监测结果比较吻合。预报准确率PM₁₀为61%,SO₂为92%。

(2) 银川市空气质量动力预测系统在实际预测过程中,其预测结果与实测值相比,存在着一定的滞后性。但该预测系统在对极值的预测过程中具有其独特的优势,是一般统计模式无法比拟的。

(3) 从一年来(2000年6月至2001年5月)对银川市的大气监测结果及模式预测结果的分析看出,银川市的首要大气污染物为PM₁₀,而SO₂污染相对较小。另外,由图7、图8也可清楚地看到,PM₁₀随时间变化幅度明显大于SO₂。这也是造成该模式对PM₁₀预测准确率相对较低的一个主要原因。

(4) 从预测模型对PM₁₀及SO₂各月预测值的平均绝对误差分析,春季PM₁₀的绝对误差较大,其他3个季节相对较小。SO₂的情况与PM₁₀正好相反。

(5) 由于银川市地处西北地区,春季多大风及沙尘暴天气。考虑风沙条件对模式预测准确性的影响,可根据不同的时间、不同的季节,逐步调整模式中的扬沙系数,能有效地提高该模式对银川市多风沙季节以PM₁₀为首要污染物的空气质量预测准确率,以适应银川市特殊的气候及环境条件。

(6) 要进一步提高预报准确率,首先要提高气象要素场的预报水平,特别是风场的预报水平。此外,探空资料本身的质量直接影响预报的准确率。

参考文献:

- [1] 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[J].应用气象学报,2000,11(1):1-12.
- [2] 徐大海,李宗恺.城市大气污染物排放总量控制中多源模拟法与国家标准A-P值方法的关系[J].气象科学,1993,3(2):146-151.
- [3] 赵庆云,张武,王式功.空气污染与大气能见度及环流特征的研究[J].高原气象,2003,22(4):468-471.
- [4] 王鹏云,潘在桃,徐宝新,等.中尺度业务预报试验数值模式系统[J].应用气象学报,1992,3(3):257-265.
- [5] 李宗恺,潘云仙,孙润桥,等.空气污染气象学原理及应用[M].北京:气象出版社,1985.427-445.
- [6] 宋宇,唐孝炎,方晨,等.北京市能见度下降与颗粒物污染的关系[J].环境科学学报,2003,23(4):468-471.
- [7] 徐大海.多尺度湍流的扩散及扩散度[J].气象学报,1989,47(3):302-311.
- [8] 苏维瀚,张秋彭,沈济,等.大气能见度与大气污染的关系初探[J].大气科学,1986,10(2):138-144.
- [9] 蒋维楣,曹文俊,蒋瑞宾.空气污染气象学教程[M].北京:气象出版社,1993.395-423.

Prediction Result Analysis of Air Quality Dynamic Prediction System in Yinchuan City

SUN Yin - chuan^{1 2} , MIAO Qi - long¹ , LI Yan - chun² , SANG Jian - ren²

(1. Nanjing University of Information Science & Technology , Nanjing 210044 , China ;
2. Ningxia Key Laboratory of Preventing and Reducing Meteorological Disaster , Yinchuan 750002 , China)

Abstract The air quality dynamic prediction system in Yinchuan city is given out simply , and the prediction result and error about the system are analyzed in detail. Results show that the system can forecast pollution meteorological condition in 24 hours , and the prediction result corresponds to monitoring result well , the prediction accuracy for PM₁₀ and SO₂ is 61% and 92% , respectively ; the average absolute error of predicted value for PM₁₀ is relatively less in winter , summer and autumn , but it is contrary to that of SO₂ ; Considering the influence of blow sand condition on predicting accuracy of the system , the blowing sand coefficient in the model can be adjusted progressively according to different time and seasons , thus it can improve prediction accuracy of the model for air quality in windy and dusty season effectively , so as to be adapted to the special climate and environmental condition in Yinchuan city.

Key words : Yinchuan city ; air quality ; prediction