

广西城市空气质量预报技术

董蕙青 郑永骏 黄海洪 李 雄

(广西壮族自治区气象局气象台, 南宁 530022)

摘要 以南宁市为例介绍广西城市空气质量预报技术。对南宁市二氧化硫、二氧化氮和可吸入颗粒物等污染物平均浓度与气象要素的相关分析表明,污染物浓度与地面、高空气象要素相关非常好。在未来 24~36 小时天气预报基础上,采用动态统计预报两种模式对城市空气质量进行预报,并根据污染日的影响天气系统类型对两种模式预报结果进行订正。业务实践证明预报准确率较高。

关键词 空气质量预报 数值预报模式 动态统计预报模式 影响天气系统

引言

大气污染已成为各国的主要公害之一,城市大气污染对人体健康的危害问题越来越引起人们的普遍关注。2000 年 11 月 24 日中国环境保护总局和中国气象局联合下文(环发[2000]231 号),规定自 2001 年 6 月 5 日起,在中央电视台发布 47 个环境保护重点城市空气质量预报,其中广西有桂林、南宁、北海 3 个城市。本文以南宁市空气质量预报为例,介绍广西城市空气质量预报技术。

1 空气污染资料和气象资料

广西城市空气污染物主要有二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、可吸入颗粒物(PM₁₀)。南宁市区

内有 5 个自动监测点,分别是青山、振宁花园、北湖、市环境监测站、区农业学校,其中青山站为对比监测站。本文所用资料为以上测站 2000 年 6 月 5 日至 2002 年 2 月污染物浓度月平均值和同期南宁市气象资料。

2 污染物浓度与气象要素相关统计分析

2.1 污染物月平均浓度与月气象要素相关关系

取 2000 年 6 月 5 日至 2002 年 7 月南宁市振宁花园、北湖、市环境监测站、区农业学校 4 个环境监测站监测的污染物浓度月平均值与地面气象要素(气压、气温、最高气温、最低气温、降雨量、风速、水汽压、相对湿度、0cm 地温、最高地温、最低地温等)月平均值进行相关分析,结果如表 1。

表 1 南宁市污染物浓度与气象要素月平均值相关系数

	气压	气温	最高气温	最低气温	雨量	风速	水汽压	相对湿度	0cm 地温	0cm 最高地温	0cm 最低地温
PM ₁₀	0.809	-0.697	-0.644	-0.737	-0.706	-0.673	-0.793	-0.539	-0.674	-0.499*	-0.772
NO ₂	0.812	-0.725	-0.680	-0.756	-0.541	-0.740	-0.781	-0.336	-0.722	-0.602	-0.773
SO ₂	0.573	-0.427*	-0.367	-0.476*	-0.501*	-0.566	-0.518*	-0.538	-0.420	-0.266	-0.516*

注:表中*表示信度 α=0.05,其余表示信度 α=0.01

从表 1 可看出污染物浓度月平均值与气象要素月平均值相关非常好,大部分通过信度为 0.01 的显著性

检验。其中,与气压呈正相关;与气温、降雨量、风速、水汽压、相对湿度、0cm 地温等呈负相关。特别是可吸

广西壮族自治区科技厅科技攻关项目“广西主要城市空气污染预报”(0015001)资助
收稿日期:2002 年 8 月 26 日;定稿日期:2002 年 10 月 8 日
作者简介:董蕙青,女,高级工程师,从事城市环境气象预报工作

入颗粒物(PM₁₀)浓度值与气象要素相关最好。

2.2 污染物日平均浓度与气象要素关系

取南宁市部分监测点 2001 年 10 月 2 日至 11

月 30 日共 60 天逐日污染物浓度资料与前 1 天(或 2 天)的逐日高空和地面气象要素相关分析,将通过信度 0.001 极显著检验的相关系数列于表 2 3。

表 2 南宁市部分污染物浓度与前 1 天高空气象要素相关系数

	925hPa 露点	850hPa 温度	850hPa 露点	700hPa 温度	700hPa 露点	500hPa 高度	500hPa 温度	400hPa 高度
振宁站 PM ₁₀	- 0.658	- 0.622	- 0.719	- 0.663	- 0.711	- 0.6738	- 0.738	- 0.704
北湖站 PM ₁₀	- 0.490	- 0.465	- 0.582	- 0.515	- 0.652	- 0.555	- 0.625	- 0.578
监测站 PM ₁₀	- 0.658	- 0.608	- 0.711	- 0.637	- 0.700	- 0.631	- 0.743	- 0.660
振宁站 NO ₂	- 0.790	- 0.731	- 0.831	- 0.747	- 0.721	- 0.792	- 0.645	- 0.817
北湖站 NO ₂	- 0.715	- 0.686	- 0.814	- 0.685	- 0.737	- 0.763	- 0.496	- 0.774
监测站 NO ₂	- 0.788	- 0.728	- 0.835	- 0.745	- 0.731	- 0.767	- 0.616	- 0.801

表 3 南宁市部分污染物浓度与前 1 天(或前 2 天)地面气象要素相关系数

	- 1 d08 时 气温	- 2 d 平均 气温	- 2 d 最低 气温	- 1 d08 时 水汽压	- 2 d14 时 水汽压	- 2 d20 时 水汽压	- 2 d14 时 相对湿度	- 1 d08 时 露点温度	- 2 d14 时 露点温度	- 2 d20 时 露点温度	- 1 d08 时 0cm 温度	- 2 d0cm 最低温度
振宁站 PM ₁₀	- 0.723	- 0.671	- 0.734	- 0.648	- 0.720	- 0.662	- 0.685	- 0.654	- 0.724	- 0.669	- 0.764	- 0.769
北湖站 PM ₁₀	- 0.557	- 0.508	- 0.605	- 0.467	- 0.610	- 0.501	- 0.687	- 0.464	- 0.614	- 0.511	- 0.613	- 0.670
监测站 PM ₁₀	- 0.711	- 0.653	- 0.717	- 0.637	- 0.704	- 0.643	- 0.685	- 0.644	- 0.715	- 0.653	- 0.754	- 0.760
振宁站 NO ₂	- 0.841	- 0.782	- 0.815	- 0.768	- 0.747	- 0.749	- 0.613	- 0.777	- 0.770	- 0.758	- 0.867	- 0.824
北湖站 NO ₂	- 0.785	- 0.739	- 0.824	- 0.674	- 0.763	- 0.693	- 0.723	- 0.691	- 0.788	- 0.712	- 0.839	- 0.867
监测站 NO ₂	- 0.826	- 0.745	- 0.787	- 0.753	- 0.729	- 0.722	- 0.634	- 0.766	- 0.757	- 0.737	- 0.859	- 0.806

注:表中 - 1 d 和 - 2 d 表示前 1 天和前 2 天

从表 2 3 可看出日平均污染物浓度与日气象要素相关非常好,因此,可采用统计方法建立气象要素与空气污染物浓度多元回归方程,对污染物浓度进行预报。

3 空气质量预报方法

空气质量预报对象为各环境监测站 SO₂、NO₂、PM₁₀浓度值。预报内容包括污染指数、首要污染物、环境空气质量等级。采用动态统计预报模式、数值预报模式、天气类型 3 种方法。

3.1 动态统计预报模式

动态统计预报模式采用了 Allew D M 1971 年提出的最小预测误差平方和法 PRESS 准则选取预报因子的逐步回归方法^[1]。

采用基于 PRESS 准则选取预报因子的逐步算法,建立空气污染物浓度预报模型。因子样本取最近两个月每天 8 个时次的地面观测资料(温度、露点、气压、风向、风速、云量和天气等)与高空探测资料(925、850、700、500、400、300 hPa)6 层的温度、湿度、高度、风向和风速。前一天的气象因子与当天的污染要素对应,动态建立多元回归方程,然后将预报当天的气象因子值代入回归方程,计算污染物浓度

的预报值。

例如,用 10 月 1 日至 11 月 29 日的气象要素,与 10 月 2 日至 11 月 30 日的污染物浓度对应,建立回归方程。用 11 月 30 日的气象要素值代入方程,计算出 2001 年 12 月 1 日污染物浓度的预报值。部分污染物浓度方程如下:

$$Y_{51n} = \frac{1}{1000} (-707.4991 - 0.2926 x_{29} + 3.0109 x_2 - 0.1271 x_{23} - 1.3971 x_{18} + 1.4767 x_{17}) \tag{1}$$

$$Y_{54n} = \frac{1}{1000} (97.618 - 0.51066 x_{29} - 1.13367 x_9 + 0.1284 x_{30} + 0.6684 x_{12} + 0.1622 x_{28}) \tag{2}$$

$$Y_{52p} = \frac{1}{1000} (-4983.355 - 1.5152 x_{26} - 1.9957 x_9 + 5.5686 x_2 + 2.8304 x_{17} - 2.3226 x_{18}) \tag{3}$$

同样用 10 月 2 日至 11 月 30 日的气象要素,与 10 月 3 日至 12 月 1 日的污染物浓度对应,建立回归方程。用 12 月 1 日的气象要素值代入方程,计算 2001 年 12 月 2 日污染物浓度的预报值。部分污染物浓度方程如下:

$$Y_{51n} = (1051.643 - 0.1183 x_{29} + 2.5058 x_2 - 0.2197 x_{23} - 1.5509 x_{11} - 0.4501 x_9 - 0.0994 x_{18})/1000 \tag{4}$$

$$Y_{54n} = (1130.112 + 4.0224 x_2 - 2.3348 x_{11} - 0.3385 x_{23} - 0.6294 x_9 - 0.9031 x_6 - 0.108 x_{18})/1000 \tag{5}$$

$$Y_{51p} = (-780.7339 - 1.550 x_{31} + 5.8359 x_4 + 1.4217 x_{23} - 3.0204 x_9 + 1.3531 x_{12})/1000 \tag{6}$$

$$Y_{52p} = \frac{1}{1000} (116.2149 - 1.206 x_{26} - 3.5725 x_9 + 7.9533 x_2 + 1.3946 x_{12} - 0.3346 x_{23}) \tag{7}$$

$$Y_{54p} = (-1063.388 - 1.8772 x_{31} + 7.6017 x_4 + 1.7962 x_{22} - 3.131 x_9 + 1.3663 x_{12})/1000 \tag{8}$$

式(1)~(8)中 Y_{51} 、 Y_{52} 、 Y_{54} 分别表示振宁花园、北湖和市环境监测站, n 、 p 分别表示 NO_2 、 PM_{10} , x_2 为 925hPa 温度, x_4 为 850hPa 高度, x_6 为 850hPa 露点, x_9 为 700hPa 露点, x_{11} 为 500hPa 温度, x_{12} 为 500hPa 露点, x_{18} 为地面最高气压, x_{22} 为地面最低气温, x_{23} 为 08 时地面水汽压, x_{26} 为 14 时地面相对湿度, x_{29} 为 08 时 0cm 地温, x_{30} 为 0cm 平均地温, x_{31} 为 0cm 最低地温。

依次类推,动态建立每日污染物浓度回归方程。由以上方程可看出,同一种污染物每日的预报方程及所选的因子都在变化,方程的复相关系数均在 0.8 以上,方差比 $F > F_{0.05}$,回归效果显著。

动态统计模式在一般情况下预报结果相当好,

但在天气转折较为明显时,效果稍差。主要原因是该模式将预报当天的气象因子值代入回归方程得出预报结果,而在天气转折较为明显时,第二天气象要素往往与预报当天的气象要素相差较大。因此,做预报时还采用了数值预报方法。

3.2 数值预报模式

应用“城市大气污染预报模式系统”^[2](CAPPS),模式系统所需的参数有模式网格中心点的经纬度,各网格点所属的地区号,所要预报城市或区域的经纬度、面积、所在区的区号、A 值(GB3840-91)和 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 污染物监测的浓度。

模式系统输入的实时资料有当地每日 08 时探测到的地面和高空 850hPa 到 100hPa 各规定等压面上温、压、湿、风资料 and 初始时刻污染物浓度实测值,用前一天 12 时至当天 12 时日污染物平均浓度值(即空气质量日报)。

影响气象要素时空分布的因子有三类:①大的天气系统(台风、西南和东北季风、副热带高压、锋面过程等);②热力作用;③动力作用。预报这三类过程通常采用中尺度气象模式。因此,建立一个高分辨率中尺度预报模式(MMM)系统是大气污染预报的基础之一。

模式预报结果分为气象场预报和空气污染潜势预报及空气质量预报两大部分,其中气象场预报采用 MM4 中尺度数值预报模式,污染潜势和污染指数预报采用大气平流扩散的非静力稳定箱格模式^[2]。

3.3 影响天气系统类型

南宁市的空气质量为轻度污染,分别出现在 2000 年 11、12 月,2001 年 1、11、12 月,2002 年 1 月,具体日期及影响天气系统见表 4。

表 4 南宁市轻度污染日的影响天气系统

轻度污染日	影响天气系统	高空逆温
2000 年 11 月 24 日	变性高压脊	920hPa 以下有逆温,温差 4℃
2000 年 12 月 9 日	变性高压脊(江南有锋生)	920hPa 以下有逆温,温差 3℃
2000 年 12 月 25、26 日	变性高压脊(江南有锋生)	920hPa 以下有逆温,温差分别 11℃、3℃
2000 年 12 月 28 日	变性高压脊	920hPa 以下有逆温,温差 4℃
2000 年 12 月 30 日	西路冷空气补充	无逆温
2001 年 1 月 18 日	地面高压后部、高空为副高边缘偏南气流	920hPa 以下有逆温,温差 2℃
2001 年 11 月 23~25 日	西路冷空气补充,冷高压控制	940hPa 以下有逆温,温差均 9℃
2001 年 11 月 27 日	变性高压脊	940hPa 以下有逆温,温差 3℃
2001 年 12 月 24、25 日	变性高压脊	920hPa 以下有逆温,温差分别 4℃、9℃
2001 年 12 月 27、28 日	变性高压脊	720hPa 以下有逆温,温差分布 6℃、7℃
2001 年 12 月 30 日	变性高压脊	940hPa 以下有逆温,温差 6℃
2001 年 12 月 31 日	高压后部,有雾	990hPa 以下有逆温,温差 6℃
2001 年 1 月 1~9 日	变性高压脊	971hPa 以下有逆温,温差分别 5℃、6℃、8℃、7℃、9℃、11℃、8℃、8℃、4℃

出现轻度污染的影响天气系统基本是地面为变性高压脊,高空有逆温。在高压控制下,一般天气晴朗,风速较小,并伴有空气的下沉运动,往往在几百米或 $1 \sim 2 \text{ km}$ 的高度上形成逆温,抑制湍流的向上发展。夜间有利于形成辐射逆温,阻止污染物的扩散,使大气污染物在近地层空气中堆积,不易扩散,容易造成地面污染。因此,在冬半年做空气质量预报时,根据影响天气系统的类型对统计预报和数值预报结果进行订正。

4 广西气象台空气质量预报业务系统建设

广西气象台“空气质量预报业务系统”由广西气

象台与南宁、桂林、北海环境保护局合作,通过互联网上传交换气象资料和环保资料,然后独立运行相应的预报模式做出自己的预报,最后通过网上会商得出最终预报结果,分别上传至国家环保总站、国家气象中心。该系统采用基于 WEB 的、以 MySQL 数据库为后台数据支持的 B/S 分布计算模式并采用目前较为流行的 JAVA 技术 JSP、Servlet、JavaBeans 等。该系统具有自动化程度高、技术成熟、性能稳定、基于互联网的可扩展性等性能,分为资料传输交换模块、预报模式计算模块、预报制作发布模块、资料综合查询、预报检验模块等。其业务流程图见图 2。

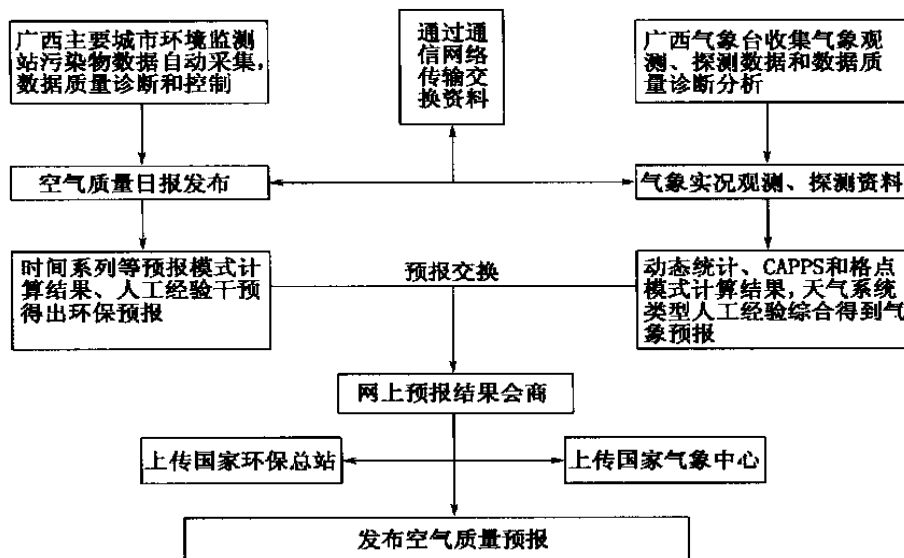


图2 广西气象台空气质量预报业务系统流程

5 结语

(1) 南宁市污染物 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 浓度值与气象条件相关非常好。其中南宁市各种污染物月平均浓度值与月平均气压呈正相关,与月平均气温、水汽压、降雨量、相对湿度、风速、 0 cm 地温等气象要素呈负相关关系。

(2) 各种污染物日平均浓度值与地面、高空气象要素相关非常好,在预报未来 $24 \sim 36$ 小时天气的基础上,可预报空气质量。

(3) 南宁市出现空气轻度污染的天气系统基本是地面为高压控制或变性高压脊控制,高空伴有逆温出现。逆温的出现使大气污染物在近地层空气中堆积,不易扩散。

(4) 动态统计预报模式在一般情况下预报结果良好。“城市大气污染数值预报模式系统”的空气污染潜势预报能较好的反映实际气象条件下的通风扩散稀释和干湿沉降消除大气污染的能力,预报结果在天气转折时有较好的指示意义。

(5) 广西主要城市空气质量预报业务系统具有自动化程度高、技术成熟、性能稳定、基于互联网的可扩展性等性能。

参考文献

- 1 姚棣荣,俞善贤.基于 PRESS 准则选取预报因子的逐步算法.大气科学,1992,16(2):129-135
- 2 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