

呼和浩特市大气污染与天气气候的关系

司瑶冰^{1,2} 宫春宁² 郑有飞¹

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 内蒙古自治区气象台, 呼和浩特 010051)

摘要 利用 1990 ~ 2002 年呼和浩特市空气污染物 TSP、SO₂、NO_x 浓度的实际监测数据, 分析了呼和浩特市大气污染物浓度变化的时空分布特征、大气污染与天气条件的关系。呼和浩特市市区主要以煤烟型污染为主, 冬、春季比夏、秋季污染严重, 采暖期比非采暖期污染严重, 市区中心污染最严重。污染物的排放量及大气的稳定度状态是城市大气污染的主要影响因子, 天气变化是城市大气污染物浓度变化的主导因素, 局地环流是决定城市污染物分布的关键因素。因此, 不同季节排污量的变化、天气条件是制作呼和浩特市大气污染预报的主要依据。

关键词 大气污染 排污量 天气条件 局地环流

引言

随着工业和交通的快速发展, 城市大气污染状况也在不断加剧, 并严重影响着人们的生活质量, 危及着人们的身体健康, 成为人们十分关注的问题。城市大气污染预报问题早已提到议事日程。

国内的许多学者在城市空气污染浓度预报模式的研究方面作了大量工作, 雷孝恩等的城市污染数值预报模式系统和气象科学研究院徐大海、朱蓉^[1]建立的城市空气污染数值预报系统(CAPPS), 是用有限体积法对大气平流扩散方程积分得到的多尺度箱格预报模型与中尺度数值预报模式嵌套构成的城市空气污染数值预报系统。陈万隆^[2]、佟华等^[3]发展了空气污染准业务数值模式, 是将修改过的二维 Mass^[4]风场模式预报的风场根据实测风廓线推广到三维, 用有限元法求解欧拉平流扩散方程预报上海地区 SO₂ 指数和浓度分布, 效果良好。北京、广州、沈阳等城市也开展了城市空气污染浓度的预报, 建立了城市空气污染数值预报模式和统计模式^[5~7]。而城市大气的污染浓度受排污量及大气本身运动状况的直接影响。制作城市的大气污染预报, 必须对该地的污染气象条件作全面的分析, 最关键的是要了解影响当地大气污染的主要因素及近地

层大气污染物聚散的物理过程, 了解形成高浓度污染的天气条件。

文中利用 1990 ~ 2002 年呼和浩特市(以下简称呼市)环境监测点: 小召(国控居民区点位)、糖厂(国控工业区点位)、公安厅(国控文化区点位)、牧机所(清洁对照点)、四毛(市控交通稠密区点位)的污染物 TSP、SO₂、NO_x 浓度值及气象资料, 对呼市大气污染与天气气候的关系进行了分析, 以提高呼市地区空气质量预报的准确率。

1 呼和浩特市大气污染基本状况

1.1 大气污染的时间变化特点

对 1990 ~ 2002 年呼市大气污染物 TSP、SO₂、NO_x 的监测资料进行统计分析, 发现 NO_x 年均值大多在 0.05 mg/m³ 以下, 没有或极少出现大于等于 0.05 mg/m³ 的情况, 基本不超过国家二级标准(0.05 mg/m³)。呼市大气中主要超标的污染物是 SO₂ 和 TSP, 按国家二级标准衡量, 有 40% 的年份 SO₂ 年均值轻度超标, TSP 年均值则普遍超过二级标准 1 ~ 1.5 倍。从多年逐月平均资料可以看到, SO₂ 污染超标全部出现在冬半年, 即从 10 月到次年 4 月, 最高值出现在 12 ~ 1 月; TSP 污染则仅在 7 ~ 8 月稍轻一些, 11 ~ 4 月竟超过国家二级标准 2 倍以上(表 1)。

内蒙古自治区科研项目“大气污染对城市气候的影响”资助

作者简介: 司瑶冰, 女, 1968 年生, 高级工程师, 从事专业气象预报和城市环境气象研究, E-mail: nmgsyb@sohu.com

收稿日期: 2004 年 8 月 16 日; 定稿日期: 2004 年 9 月 25 日

表 1 呼市污染物浓度月变化

污染物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	二级标准
SO ₂	0.25	0.18	0.12	0.08	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.08	0.17	0.24	0.15
TSP	0.68	0.59	0.60	0.68	0.47	0.43	0.35	0.35	0.39	0.53	0.69	0.74	0.30

从主要污染物不同污染等级的逐月发生几率(图 1)可以看到,12~1 月呼市 SO₂ 轻度污染出现的几率达到 65 %以上,而 5~9 月则优良率接近 100 % (图 1a)。呼市发生 TSP 中等以上污染的几率在 10~4 月达到 30 %以上,其中 12~1 月高达 50 % (图 1b)。可见呼市冬半年大气污染超标是比较严重的。

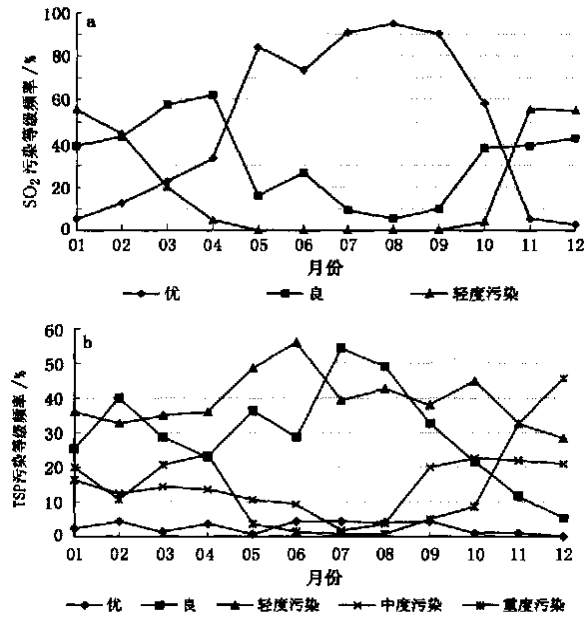


图 1 呼市各月 SO₂(a) 和 TSP(b) 污染等级频率

由 2000~2002 年冬季 SO₂ 浓度的逐时统计资料(图 2)可以看到,呼市大气污染的日变化很明显。早晨和傍晚是呼市 SO₂ 污染的高峰期,而凌晨和午后,市区的 SO₂ 污染却较低,高低相差约 6~8 倍。

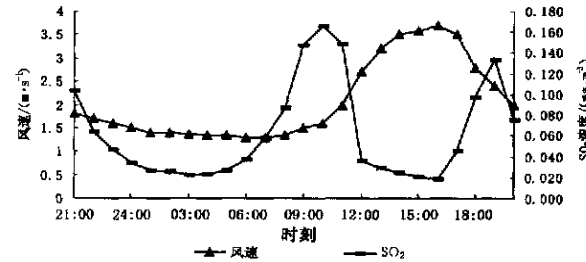


图 2 呼市平均风速逐时变化与冬季 SO₂ 浓度逐时变化曲线

1.2 大气污染物的地面浓度分布特点

受大气低层的某些物理过程的影响,城市大气污染物的分布是不均匀的。从呼市各空气质量观测站在冬、春、夏、秋 4 个代表月(1、4、7、10 月)监测的各级大气污染出现几率(表略)可以看到,无论冬夏,呼市中心到西南部的大气污染状况都比城区其它区域严重,而城区东南郊空气质量最好。在秋冬季节,四毛到小召一带有 30 %~60 %的几率,其污染程度比城区其他地段偏高一个等级。1 月份 SO₂ 轻度污染的几率四毛到小召一带高达 90 %以上,而西城区和北城区为 35 %~46 %,东南郊则仅为 12.8 %。1 月份 TSP 重度污染的几率小召高达 50 %以上,城区的其它地段为 15 %左右,东南郊则不足 5 %。

2 影响污染物浓度分布的因素

2.1 影响污染物排放量的气候因素

呼市地处祖国北疆,纬度偏高,冬季气温较低,必须采暖越冬,是一个严重受燃煤污染的城市,每年 10 月 15 日到次年 4 月 15 日为采暖期。在采暖期内,燃煤产生的大量烟尘和 SO₂ 等有害气体弥漫于城市上空,形成了严重的大气污染。呼市的 SO₂ 污染正是从 10 月份开始增强的,12 月和 1 月 SO₂ 污染达到高峰,此后,随着气温回升,污染程度又逐渐降低。到采暖期结束以后,SO₂ 污染便维持在较低的水平上(图 3)。

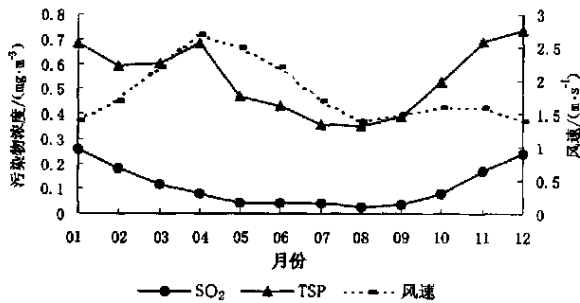


图 3 呼市 SO₂、TSP 浓度及风速逐月变化曲线

燃煤所产生的烟尘也是 TSP 污染的重要来源。据呼市环保局《呼市城区污染源污染途径及评价》所载,20 世纪 80~90 年代,呼市年消耗煤炭约 180 ×

10⁴t,每年燃煤排入大气中的烟尘为 77 116 t,SO₂ 为 37 769 t。燃煤排污是呼市冬季的主要污染源。

TSP 污染的另一来源则是扬尘,受干旱气候的影响,内蒙古大部地区植被率较低。特别是春季,植被尚未长起,干燥裸露的地表成为广阔尘源,而春季的多风天气又为扬尘提供了动力条件,以致春季 TSP 浓度明显升高。这也是为什么 TSP 浓度变化曲线继隆冬之后,在春季又出现第二个高点的原因(图 3)。从图 3 可以发现,12~1 月的 TSP 浓度高峰与采暖燃煤排污有关,而 3~4 月的 TSP 浓度增高则与春季大风扬尘相一致。

2.2 局地环流与呼市污染的时空分布

呼市北靠东西走向的大青山,东临南北走向的蛮汗山,市区处于两山向西南伸展的簸箕口偏北一侧,在西南 70 km 处有黄河自西折向南流经。这种独特的地理环境形成了特殊的热力条件和地方环流背景。无强天气系统影响时,呼市地区大气低层风向会出现顺时针的周日变化:入夜,先以大青山的山风影响为主,呼市吹偏北风;稍晚,来自蛮汗山的山风又逐渐影响市区,风向转为东北;日出后,出现由川地吹向大青山的偏南的谷风;午后又加入蛮汗山的影响,风向转为西南。除风向的日变化外,还有风速的日变化,其变化的特点是:早晨 06:00~08:00 风速最小,风速随太阳升高而增大,午后 14:00~17:00 风速达最大,随后风速又很快减小,20:00 以后转为缓慢减小,每日污染物浓度与风速的变化大体呈反相关(见图 2)。

呼市的这种地方环流特征是在天气系统较弱时,由所处环境的山谷风、城市热岛效应、峡谷效应及热力乱流等共同影响形成的^[8]。其中以山谷风的影响为最大,其次是热岛环流。山谷风的方向是夜间由山区吹向谷地,白天由谷地吹向山区,而城市热岛环流的地面气流方向却总是由城市四周指向市区中心。峡谷效应及热力乱流又对午后的西南风有加强作用。由此形成了呼市城区不同测点的风场特征及地方环流特点。

受地方环境的影响,早晚和夜间呼市的主导风向是偏北风和东北风。此时风速小,大气稳定度高,排污量大,高浓度污染物在主导风向和城市热岛环流的作用下,向市区中心和市区西南部集中,使这一地带出现较重的污染。而在白天,特别是午后,呼市地方环流的主导风向已转为西南风,此时增强了的

热力乱流所引起的高空动量下传以及呼市开向西南的喇叭口峡谷地形,都对西南风有加强作用。这时不仅风速大、清污力强,而且又不是排污高峰时间,所以全市污染物浓度都较低。可见呼市大气污染的时空分布特点与局地环流有着非常密切的关系。

3 天气系统与污染的关系

3.1 天气系统对地面风及污染的影响

污染物进入大气之后,经过混合、稀释和扩散,最终决定城市大气污染物浓度。在这一过程中,风速越大,污染物在单位时间内扩散的空间便越大,而单位体积内的污染物浓度却越小。反之,在风速小,低层大气稳定度高时,则空气污染物浓度增大^[9]。风速小和大气稳定度高,主要发生在反气旋或散弱气压场中。在冬季,内蒙古地区约有 80%的时间是处在庞大的地面蒙古冷高压和变性高压的控制下,此时天气系统比较稳定,又加上受地形影响——呼市处于大青山与蛮汗山形成的“死水区”里,这就造成了局地空气停滞的条件。利用 1990~2002 年呼市地面测风资料统计得出了春、夏、秋、冬四季静风和小风(0.1 m/s<风速≤1 m/s)频率(表 2),可以看到,冬季静风和小风频率最大,为 53.7%,春季最小,为 17.2%,这表明呼市地区冬季在稳定的地面高压控制下,空气的水平输送通常是很弱的。

表 2 呼市各季静风和小风频率				%
	春	夏	秋	冬
静风	0.6	0.4	1.6	8.6
小风(≤1 m/s)	16.6	31.5	41.9	45.1
合计	17.2	31.9	43.5	53.7

表 3 给出呼市 1995~1997 年冬季各级地面风速时不同浓度 SO₂ 出现几率,表 3 表明,在冬季,若呼市地面风速大于等于 2.5 m/s,市区基本不会出现 0.25 mg/m³ 以上 SO₂ 污染,而在地面风速小于等于 1 m/s 时,呼市大气中 SO₂ 浓度在 0.25 mg/m³ 以上的几率却为 95%。可见,风速小与高浓度大气污染密切相关。

表 3 各级地面风速下呼市不同平均浓度 SO ₂ 出现几率						%
风速/(m·s ⁻¹)	SO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)					
	≤0.05	≤0.15	≤0.25	≤0.35	>0.35	
≥2.5	0	7.7	88.5	3.8	0	
≤1.0	0	0	5.0	48.3	46.7	

然而,地面冷高压区也并不都是小风区,在东移南下的地面冷高压的前缘,或与新的强冷空气南侵相配合的冷高压的前缘,往往是大风区。这时,一方面是因极地冷高压的迅速南下而产生的大风,另一方面是高空冷平流造成的强下沉气流将高空动量下传至地面,它们共同造成了地面风速的加大。一般说来,只有高压脊内部的散弱气压场才是小风的所在地。冬季呼市地区90%以上的小风都是出现在稳定的蒙古冷高压控制之下的散弱气压场中,其余的出现在冷锋前低压区的散弱气压场中。而在冷锋后及气旋和低压系统中,却往往产生大风天气。

3.2 天气系统对大气稳定度的影响

大气污染物的扩散速率,可由大气稳定度表示,它主要与风、湍流及大气层结状态有关。由于天气形势不仅决定着大气的运动状况,也影响着大气的温度层结,所以天气形势必然会对大气稳定度有影响。

天气分析表明,在高压控制下,一般是天气晴朗,风速小。而且高压区内存在着微弱的下沉气流,它像盖子一样阻止向上的湍流扩散。特别是冬季呼市地区往往处在稳定的蒙古高压控制下,夜晚极易产生辐射逆温。由于冬季白天地面吸收太阳短波辐射量小,时间短,而夜晚放出的长波辐射量大,时间长,因此常常形成很强的辐射逆温。多次加密低空探测结果表明,呼市12月在晴空条件下从16:00起,大气贴地层就有辐射逆温形成,到次日10:00,低层大气的辐射逆温才消失,低层逆温持续时间长达18 h。在有逆温层存在的情况下,大气非常稳定,污染物被限制在逆温层之下,无法向高空扩散,常产生较高浓度的大气污染。尤其是傍晚和早晨往往出现污染高峰。这是由于傍晚时分,刚刚形成的辐射逆温高度不高,居民做饭、取暖燃煤所生成的烟气,全被限制在逆温层以下不厚的气层里,所以形成很高的污染物浓度。早晨,则太阳刚刚升起,地面附近的逆温开始破坏,但其上仍存在低悬逆温,这就出现了熏烟条件,整个夜间聚集在抬升抑制层的污染物,在垂直混合的作用下,又被引入到近地层,于是低层大气污染物浓度再度升高。

在低压控制时,天气特点一般是云较多,常具有一定的风速,且有微弱的上升运动,大气多为中性或不稳定状态,比较有利于污染物的扩散、稀释。当然在弱低压中也会有少云、小风和辐射逆温产生,但毕

竟是少数情况,就一般情况来说,低压区内的大气稳定度比高压区小得多。

3.3 东亚大气环流对本区大气污染的总体影响

受东亚大气环流季节变化的影响,内蒙古地区四季天气形势差异很大。1961~1990年期间,呼市地区春、夏、秋、冬四季气旋的出现频率分别为16%、25%、8%和5%(内蒙古气候图集,1998)。在气旋活动之外的其余时间,则60%~70%处在高压控制下。可见,冬季呼市地区主要处在蒙古冷高压控制下,而夏季却主要受南亚伸向蒙古一带的热低压影响。天气系统的这种季节变化特点往往成为呼市大气污染变化的决定因素。

东亚是有名的季风气候区,冬季呼市在蒙古冷高压的控制下,主导风向是NW风,而夏季呼市在大陆热低压的影响下,主导风向是S和SSW。冬季风从每年10月初开始,到12月初达到全盛时期,3月初开始减弱,4月初自南向北撤退。在冬季风维持的这段时间内,东亚东海岸经常有一深厚的高空槽维持着,内蒙古地区处在这一低槽的后面,极地冷空气经由本区向南流出,致使呼市地区天气严寒、干燥。冷空气南下以后,呼市又处在蒙古冷高压中心和高压脊内部,风小、大气稳定度高。这种天气气候特点,一方面使人们必须取暖过冬,同时又造成了呼市风小、稳定度高的污染条件。因此这一时期是呼市大气污染最严重的时期,11~1月呼市大气中较重的 SO_2 污染和严重的TSP污染就足以说明这一问题。

夏季风一般从6月中旬开始,7月中旬进入盛期,9月初结束。在夏季风维持的这段时间内,副热带西风急流已北跳到 $40^\circ \sim 45^\circ \text{N}$,正处于内蒙古地区上空,受高空急流和地面热低压的影响,内蒙古地区不稳定天气增多。同时偏南气流又经常将南方的暖湿气流输送到本区,使内蒙古地区云雨天气明显增多。1971~2000年呼市6、7、8月的30年平均雷暴日分别为8.1、10.9和9.4个,可见此时段呼市大气是极不稳定的。同时,夏季太阳辐射强,使热对流和湍流活动增强,而地面低压中的上升气流也有利于低层污染物上传。这些都增强了低层大气污染物的稀释扩散作用,使近地层的大气污染浓度大大降低,夏季呼市地区 SO_2 污染等级为优良的几率达98%以上,从未出现中度以上污染。

根据环流形势和天气系统的演变特点,我们能

够对一个地区未来数日的天气和大气污染状况作出定性的分析估计,并结合污染物浓度预报模型制作准确的空气质量状况预报。因此,充分利用不同季节当地大气污染的天气气候背景资料,能够提高中短期大气污染预报的准确率。

4 结论

(1) 污染物的排放量及大气的稳定度状态是城市大气污染的主要影响因子。要制作城市大气污染预报,必须掌握排污量、天气条件及其相关因素在大气低层相互作用的物理过程,以及它们对城市大气污染的影响,才能提高预报准确率。

(2) 排污量对城市大气污染程度有关键性的影响,我们很难及时获取每日每时城市的排污资料,但是多年的逐月城市大气污染浓度可以作为制作当地大气污染预报的气候背景资料。

(3) 天气变化是城市大气污染物浓度变化的主导因素,依据大气环流特征和东亚各天气系统之间的关系及它们对天气的影响,可以定性的估计城市未来的大气污染变化。

(4) 局地环流是决定城市污染分布的关键因素,依据有关城市在不同天气背景下产生的地方环流特征,可以确定出市内大气污染的分布特点。

参考文献

1 徐大海,朱蓉. 大气平流扩散的箱格预报模式与污染潜势指数预报. 应用气象学报,2000,11(1):1-12
2 陈万隆,肖静玢. 混合层厚度、风速和稳定度对地面 SO₂ 浓度分布影响的数值试验. 南京气象学院学报,1995,18(4):548-554
3 佟华,肖静玢,陈万隆,等. 一个模拟 SO₂ 浓度分布的数值模式研究. 南京气象学院学报,2001,24(3):371-377
4 刘宣飞,朱瑞兆. 复杂地形下的地面风场的数值模拟及实验. 太阳能学报,1992,13(1):8-14
5 王迎春,孟燕军,赵习方. 北京市空气污染业务预报方法. 气象科技,2001,29(4):42-47
6 魏生生,林学范. 北京城区空气污染浓度长期预测. 气象,1999,25(1):43-47
7 杨洪斌,马燕军,白乐生. 城市空气污染预报方法. 辽宁气象,1999,(3):40-42
8 宫德吉,郝慕玲. 一月份呼市地区地方环流的若干统计特征. 内蒙古气象,1994,(2):9-13
9 蒋维楣,曹文俊,蒋瑞宾. 空气污染气象学教程. 北京:气象出版社,1993. 10

Correlation Between Air Pollution Density and Climate in Hohhot

Si Yaobing^{1,2} Gong Chunng² Zheng Youfei¹

(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 2 Inner Mongolia Autonomous Regional Meteorological Office, Hohhot 010051)

Abstract: The features of spatial-temporal distribution of air pollutants in the urban area of Hohhot were analyzed using the monitoring data of pollutant density such as TSP, SO₂ and NO_x in the urban area from 1990 to 2002 to study the relationship between pollutant density and meteorological conditions. Results show that the dominant pollutant in Hohhot is smoke; pollution is more serious in spring and winter than in summer and fall, similarly more serious in the heating period than in the non-heating period. The air pollution in the central Hohhot is most serious. The amount of pollutant emission and the atmosphere stability state are major factors that influence air pollutants in the urban area. The weather change is the dominant factor of the urban air pollution density change. The local circulation is also a key factor influencing pollutant distribution. Therefore, the variations in exhaust gas in different seasons along with weather conditions constitute the basis of Hohhot air pollution prediction.

Key words: air pollution, pollutant emission, weather condition, local circulation