气象条件变化对哈尔滨市空气质量的影响

高煜中　潘华盛　张桂华　李　铁　周秀杰　侯兆滨

(黑龙江省气象中心 , 哈尔滨 150030)

摘要　用大量观测事实 、统计相关分析表明 ,气象条件包括气压形势场 、相对湿度(高空露点温度) 、气温 、风速和大气的稳定性等变化 ,对空气污染物的 PM_{10} 、SO_2 和 NO_2 浓度扩散程度的影响是明显的有规律的。在不同季节 、不同时期 ,地面和高空气象因子作用是不同的。但另一方面 ,由于污染源因季节冷暖程度不同 ,排放量很难掌握 ,因此 ,气象条件对污染的影响有不确定的一面 ,使问题变得复杂化 。

关键词　气象因子　污染物浓度　降水稀释作用

引言

近年来各地对污染气象及大气质量预报方法研究已有很大进展[1 ,2] ,黑龙江省地处中高纬 ,是我国最寒冷的地区 ,冬季采暖期时间长 ,污染状况具有地域特点 ,气象条件变化的影响也较复杂 ,与其它省差异很大。本文以哈尔滨市区作为研究对象 ,但它却能代表黑龙江省环境污染气象问题。

文中使用的污染物浓度 、气象资料 ,取自哈尔滨市环保监测站和省气象台 。

1　主要污染物浓度近年变化特征及气候条件分析

1.1　污染物浓度年变化

将 2000 ~ 2002 年主要污染物 PM_{10} 、SO_2 、NO_2 浓度年平均值列入表 1 。由表 1 可见 ,SO_2 、NO_2 略有上升趋势 ,上升幅度分别为 0.03 ~ 0.07 mg/ m^3 和 0.05 ~ 0.025 mg/ m^3 ,均达国家二级标准 ; PM_{10} 均超过国家二级标准 ,其中 2001 年污染略重一些 。

表 1　2000 ~ 2002 年哈尔滨市空气主要污染物浓度年平均值　mg/ m^3

	2000 年	2001 年	2002 年	2 级标准
PM_{10}	0.118	0.135	0.132	0.10
SO_2	0.032	0.039	0.042	0.06
NO_2	0.024	0.049	0.054	0.08

1.2　污染物浓度月变化

2000 ~ 2002 年 1 ~ 12 月各污染物的平均浓度逐月变化见图 1 。由图 1 可见 , PM_{10} 1 月污染最重 ,如按日平均标准 ,已达轻度污染 ;2 月污染次之 ,4 月位于第三位 ,12 月居第四位 ,均为轻微污染 ;8 月最小 ,5 ~ 10 月基本为良好 。NO_2 1 、2 月污染较重 ,浓度为 0.09 ~ 0.12 mg/ m^3 ,如按日标准 ,属良好 ,3 ~ 12 月均属优 ,7 、8 月污染最轻 。SO_2 浓度逐月变化同 NO_2 变化 ,基本处于优和良好之间 。可见 ,在采暖期 ,尤其严冬 1 、2 月污染最重 ,其中可吸入颗粒物 PM_{10} 污染较重 。

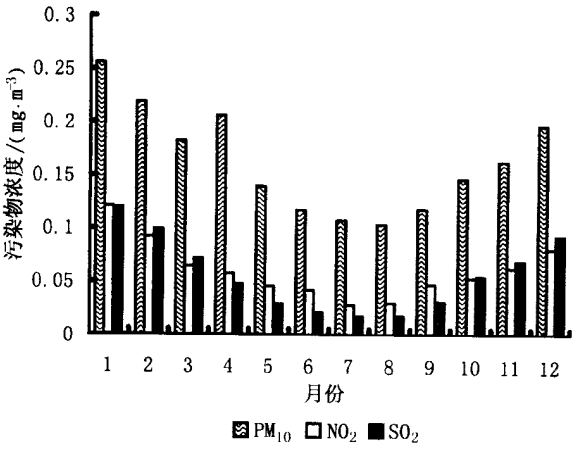

图 1　PM_{10} 、SO_2 、NO_2 浓度逐月变化(2000 ~ 2002 年平均)

黑龙江省科技厅攻关项目 GBOIC205 - 01“大气污染变化潜势与空气质量预报方法研究”和哈尔滨市科技局攻关项目 0114211073“哈尔滨市环境空气质量季节变化及预报技术研究”资助

收稿日期 :2003 年 6 月 30 日 ;定稿日期 :2003 年 8 月 28 日

作者简介 :高煜中 ,男 ,高级工程师 , E mail : Yuzhong _ Gao @yahoo .com .cn

1.3 污染气候条件分析

以 PM_{10} 为代表,污染较重的月份为 2001 年 1、2、4、11 月和 2000 年 12 月。选取 2001 年冬季 1 月和春季 4 月为代表月,一个是寒冷条件下,另一个是春季天气多变条件下造成的污染。由图 2a 2001 年 1 月气压形势场所见,在东亚区域内,黑龙江省处在弱蒙古高压前部和阿留申低压后部,即处在高低压过渡带里,1024hPa 等压线纵贯全省的中部。在这种形势下,哈尔滨盛行偏北风,风力不大,1 月平均风速 2.2 m/s;地面相对湿度大,平均相对湿度为 81 %,均高于其它年份;气温较低,重污染月份气温低于轻污染月份;月降水量大部较小。因此对冬季来说,污染较重须有一个稳定的天气形势,一般风小、温度低、湿度大、降水少污染物不易扩散。春季 4 月污染较重的天气形势见图 2b,东亚区域内我国东部,日本海、贝加尔湖以西维持高压活动,黑龙江及以北维持低压区。这种形势下,盛行西北—东南向锋区,多槽脊活动,贝加尔湖经常有低压东移进入黑龙江及以北地区,受地形槽影响低压加强可控制 1 ~ 3 天,低压西部和东南部为高压控制。在这种东南高西北低或西高东低气压形势场控制下,哈尔滨处在低压或低压暖区或有冷锋过境,经常吹西南大风或偏北大风,2001 年 4 月 30 天中哈尔滨吹 NNW 风 15 次,SSW 风 14 次,大风多造成扬沙和沙尘天气多,污染严重。从 4 月气象因子平均值来看,污染较重月一般气温较高,相对湿度和月降水较其它年小,而平均风速较大,容易发生扬沙和沙尘天气。

2 冬季 11 ~ 2 月气象因子对大气污染物浓度的影响

选取采暖期间污染较重的 2000 年 11 月 1 日至 2001 年 2 月 12 日期间(共 104 天),当天和前一天地面、高空因子与 PM_{10}、SO_2、NO_2 浓度值进行相关系数计算(前一天相关系数值略),结果见表 2。表 2 中污染物浓度与日平均气温、风速、温度露点差是反相关,与相对湿度呈正相关,远大于信度 0.01 相关检验,其中多数达 0.001 信度。

表 2 2000 年 11 月至 2001 年 2 月 12 日污染物浓度与当天地面低空气象因子相关系数

	地面日平均			08:00 925hPa		
	风速	相对湿度	气温	风速	温度露点差	气温
PM_{10}	-0.46	0.52	-0.49	-0.36	-0.42	-0.32
NO_2	-0.36	0.55	-0.65	-0.28	-0.50	-0.50
SO_2	-0.35	0.58	-0.56	-0.25	-0.40	-0.39
平均	-0.39	0.55	-0.57	-0.30	-0.44	-0.40

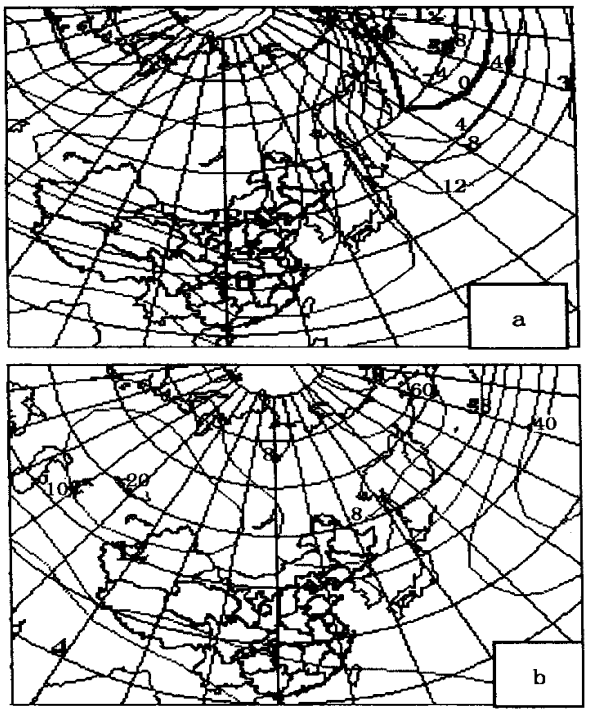

图 2 海平面气压场形势

(a.2001 年 1 月,b.2001 年 4 月,等压线基值 1000hPa)

表 2 表明,冬季风速越小,气温越低,湿度越大,温度露点差越小,大气层结越稳定,污染物越不易扩散,浓度就越大。在 02:00、08:00、14:00、20:00 地面气象因子与污染浓度相关计算中发现 02:00 相关系数最高(表略),表明 02:00 不受太阳辐射影响,各气层之间能量交换小,稳定性最好。利用地面监测资料,绘制 02:00 气温、湿度与 PM_{10} 浓度相关(图 3)。由图 3a 所见,气温与 PM_{10} 浓度反相关关系相当好,相关系数达 -0.53,远大于 0.001 信度,完全可以用指数方程 $y = ce^{bx}$ $(b > 0)$ 去描述。中度污染时浓度 > 0.351 mg/m^3 以上,气温在 -20 ℃以下占 8/9(次),特别是中度重污染时浓度 > 0.421 mg/m^3,气温在 -24 ℃) 以下占 5/5(次)。由图 3b 所见,相对湿度与 PM_{10} 浓度相关系数 0.52,相对湿度越大,污染越重,同样可以用 $y = ce^{bx}$ $(b < 0)$ 指数方程去描述。中度污染,相对湿度 > 84 %以上的占 8/9(次),中度重污染时相对湿度 84 %以上占 4/5(次)。当然气温低,相对湿度大也不完全就一定出现高污染值,还要看其它气象因子,更重要还要由排污量大小来决定,但高污染一定是气温低湿度大。从表 2 得出:①风、相对湿度(高空是 $T - T_d$) 和气温,无论当天与前一天对污染物的影响,地面比高空影响大

得多,越向上影响越小,污染受近地面层混合层高度影响最大。②地面要素当天、前一天值与污染物浓度相关系数总体平均几乎相等,表明前一天气象条件就对当天污染发生影响,气压形势场较稳定,因子持续性好。③地面和 925hPa 气象因子,对当天污染影响最大的是地面气温,其次相对湿度,第三位是 925hPa 的 $T - T_d$ 气温和风速。前一天因子是地面气温,其次相对湿度,最后是风速。④不论高空或地面,当天气象因子与污染物浓度相关最好的是 NO_2,3 种因子平均相关系数为 0.52,PM_{10} 与 SO_2 平均相关系数为 0.50。⑤不同因子对不同污染物影响也是不同的,如地面相对湿度对 PM_{10}、气温对 NO_2、相对湿度对 SO_2 影响大一些。

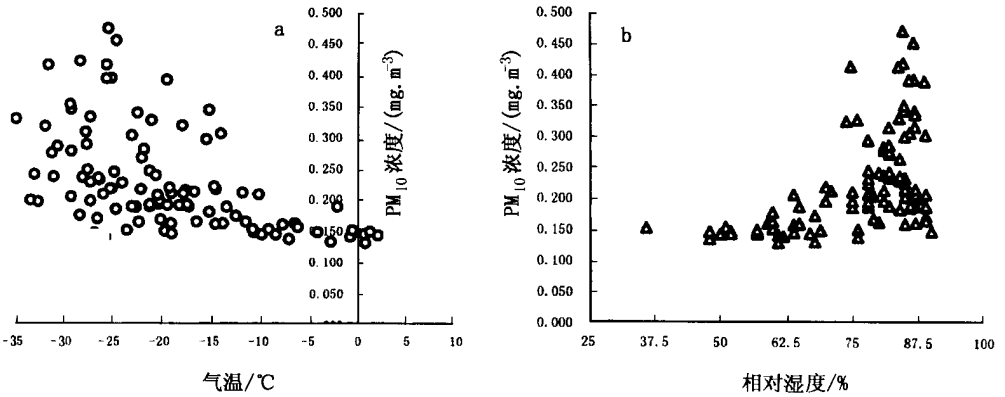

图 3　2000 年 11 月 1 日至 2001 年 2 月 12 日 02:00 气象因子与 PM_{10} 相关图

(a. 气温与 PM_{10},b. 相对湿度与 PM_{10})

3　不同时段气象条件对污染物浓度影响的差异

不同年份不同时期气象条件对污染浓度影响不同,将冬季分为 3 个时段,初冬 11 月 1 日至 12 月 19 日,隆冬 12 月 20 日至下一年 1 月 20 日,后冬 1 月 21 日至 2 月 28 日,春季取 4 月 1 日至 5 月 31 日。选取冬季 2 个年份,春季 2 个年份,计算地面和高空 2 层气象因子与 PM_{10} 浓度相关系数,结果见表 3。由表 3 所见:①不同年份同一时段因子作用是相反的。如初冬地面气温与 PM_{10} 相关系数,2000 年为 -0.68,而 2001 年则为 0.17,表明气温对污染影响有 2 种结果,一种气温越低污染越重,另一种气温越低污染越小。可以这样解释:2000 年初冬气温偏低,煤炭用量大,污染物增加;2001 年初冬特别暖,煤炭用量少,气温高、降水少、地表干燥易起尘土,因此污染也重。在分析初冬污染状况时,应注意冷暖气候背景差异,初冬时期地面相对湿度大小对污染影响是一致的。②同一时段同一气象因子不同高度作用大小是不同的。例如隆冬季节,相对湿度影响,地面不如高空 925hPa 露点的影响,露点越高污染越重。另外注意到气温随高度作用越来越明显,表明大气存在逆温现象,污染加重。③同一时段不同气象因子不同高度作用是不同的。例如后冬季节,地面风速和相对湿度对污染影响大,风速越小,相对湿度越大污染就越重。同时也可看到随着高度的升高地面风速和相对湿度对污染影响逐渐减弱,850hPa 风速和湿度仍然处在高相关中,大于 0.001 信度。另外,地面气温变化对污染作用不明显,但随高度增加相关系数增大,925hPa 气温与污染物浓度相关系数平均 0.37,850hPa 平均相关系数 0.57,接近 0.001 信度检验。④低空因子影响高于地面和高空因子影响。在 925hPa 高度上,风速与污染物浓度相关系数不高,但大多数情况风速大污染重,不论是低压暖区南大风还是冷锋过境西北大风。露点和气温与污染物浓度相关系数接近 0.02 信度检验,露点和气温低污染重。但另一方面应注意到扬沙、沙尘暴天气,风大、相对湿度(或露点)低、气温高也可造成重污染。如 2001 年 4 月 8 日 PM_{10} 浓度 0.924 mg/m^3 属重污染,哈尔滨处在低压暖区里,925hPa 等压面上,哈尔滨气温较前一日上升 2.1 ℃,露点下降 0.7 ℃。地面相对湿度下降 18%,气温上升 3.6 ℃。

综上表明,要特别注意不同季节不同时期以及不同气候背景下,不同高度不同气象因子对污染的作用,这样可以大大提高污染预报的准确率。

表 3 不同时期气象因子与 PM_{10} 浓度相关系数

		地面			925hPa			850hPa		
		风速	相对湿度	气温	风速	露点	气温	风速	露点	气温
初冬	2000-11-01 ~ 2000-12-19	- 0.21	0.70	- 0.68	- 0.03	- 0.33	- 0.45	- 0.18	- 0.18	- 0.33
	2001-11-01 ~ 2001-12-19	- 0.18	0.47	0.17	- 0.17	0.37	0.27	- 0.31	0.38	0.34
隆冬	2000-12-20 ~ 2001-01-20	0.04	0.10	0.29	- 0.02	0.30	0.35	- 0.13	0.29	0.33
	2001-12-20 ~ 2002-01-20	- 0.36	0.52	0.30	- 0.04	0.57	0.52	- 0.17	0.53	0.56
后冬	2001-01-21 ~ 2001-02-28	- 0.80	0.68	0.08	- 0.70	0.39	0.44	- 0.56	0.63	0.62
	2002-01-21 ~ 2002-02-28	- 0.54	0.32	0.02	- 0.36	0.40	0.30	- 0.45	0.27	0.32
春季	2000-04-01 ~ 2000-05-31	0.12	- 0.07	- 0.47	0.12	- 0.39	- 0.37	0.10	- 0.32	- 0.40
	2002-04-01 ~ 2002-05-31	- 0.03	- 0.03	- 0.03	0.19	- 0.25	- 0.22	0.06	- 0.26	- 0.20

4 大气稳定性与空气污染关系

大气的稳定与不稳定是影响冬季空气污染扩散能力的一个很重要物理量。稳定度的判据是大气逆温,气温上升 $\partial T/\partial z > 0$ 时大气稳定;$\partial T/\partial z < 0$ 时不稳定,$\partial T/\partial z = 0$ 时中性。逆温层越厚,大气稳定性越强,空气污染不易扩散,污染越重。哈尔滨冬季,特别严冬季节 12 月下旬至次年 1 月中旬逆温出现频率最大。经统计,冬季 2000 年 11 月 1 日至 2001 年 2 月 12 日的 104 天中,有近 60 天的逆温,占总天数的 58 %。其中初冬(11 月 1 日至 12 月 19 日)出现 17 天,占出现总次数的 28 %;隆冬(12 月 20 日至次年的 1 月 20 日)出现 28 天,占出现总次数的 47 %;后冬(1 月 21 日至 2 月 12 日)出现 15 天,占出现总次数的 40 %;可见隆冬时期出现逆温的频次最多。计算 2000 年 11 月 1 日至 2001 年 2 月 12 日 08 :00 高空 925、850、700、500hPa 4 个层次气温与地面气温差与 PM_{10} 浓度相关系数,结果见表 4。由表 4 可见,大气逆温与 PM_{10} 相关相当好,当天平均相关系数 0.58,前一天平均相关系数 0.63,远高于 0.001 信度检验,且前一天逆温关系好于当天关系,表明前一天逆温可造成后一天污染。逆温层可达到 500hPa 或更高一些,但逆温对污染的影响最大层次在 850hPa(相当于 1400 m 的高空)。图 4 为冬季 08 :00 850hPa 温度与地面温度之差与 PM_{10} 污染浓度相关图。由图 4 可见,浓度 > 0.350 mg/ m^3 中度污染时,逆温值都在 2 ℃以上,占 9/ 9。描述此关系可用方程:$y = 1/(a + be^{-x})$,逆温(x)越强,污染浓度(y)越高。

表 4 冬季 08 :00 各等压面层逆温值与 PM_{10} 浓度相关系数

	$\Delta T_{(925hPa-地面)}$	$\Delta T_{(850hPa-地面)}$	$\Delta T_{(700hPa-地面)}$	$\Delta T_{(500hPa-地面)}$	平均
当天	0.53	0.64	0.57	0.56	0.575
前一天	0.59	0.66	0.64	0.62	0.63

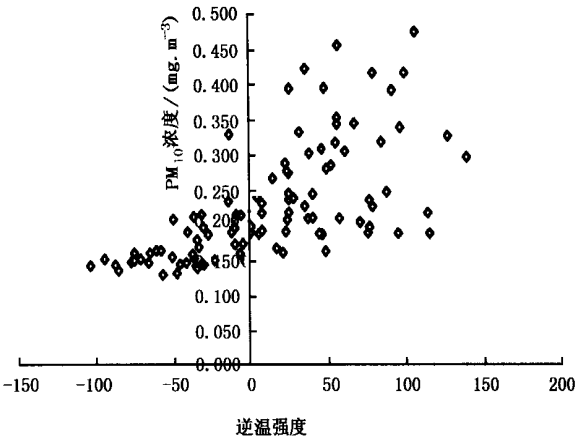

图 4 2000 年 11 月 1 日至 2001 年 2 月 12 日大气逆温($\Delta T_{(850-地面)}$/0.1 ℃)与 PM_{10} 浓度相关图

5 大气降水对空气污染稀释的影响

5.1 降雪的影响

①雪量 ≤1 mm 时大气中 PM_{10}、SO_2、NO_2 浓度在 24h(当天与前一天相比)有微量增加。在 2000 ~ 2002 年冬季 25 天微量降雪中,有 17 天浓度均有微量增加,占总天数 68 %。②雪量大于 1 mm 小于 3 mm 之间,选定 8 天,污染物浓度普遍在增加,其中 PM_{10} 增加次数占总次数 7/ 8,NO_2 增加次数占总次数 5/ 8,SO_2 增加次数占总次数 7/ 8。③雪量大于 5 mm 选取 24 天,PM_{10} 当天浓度增加次数占总次数 14/ 24,NO_2 浓度增加次数占 11/ 24,SO_2 浓度增加次数占 15/ 24。因此可以认为降雪在 24h 内有加重污染的趋势,因为降雪时一般天气较稳定,大气扩散能力很弱,造成污染浓度增加。

5.2 雨量的影响

将不同降雨量(R)天数对应 24h 内污染浓度增加或减少天数进行统计,$R < 1.0$ mm,污染物浓度增加和减少天数几乎各占一半。1.0 mm ≤ R <

5.0 mm,PM_{10}浓度减少天数占总天数 60 %,有一定稀释作用。5.0 mm ≤ R < 10.0 mm 时污染物浓度增加和减少天数也基本各占一半。R ≥10.0 mm 时,NO_2 稀释作用更好一些,浓度减少天数占 73 %。降水对污染物浓度的影响比较复杂,不同季节,不同时段,不同天气形势下的降水的稀释作用不同。如果去掉浓度值 $\pm 10^{-3}$ 变化,只保留 $\pm 10^{-2}$ 浓度变化,降水的稀释作用更明显。对 PM_{10} 稀释作用可达 81 %。从理论上讲,降雪和降雨对大气污染物具有清洗作用,斯林(1977)给出污染物浓度随降水时间呈指数衰减关系:$C_0 = C_0 \exp(-At)$,其中 A、t 表示清洗系数、清洗时间。斯林还给出降水清洗系数 A 与降水强度 J_0 的近似表达式 $A \approx J_0^{3/4}$,表明降水量大,清洗系数就大。另外清洗系数还受到雨滴对污染粒子捕获率大小的影响,而捕获率大小又决定雨滴谱和污染物粒子尺度谱的数量浓度分布函数及雨滴下落末速度。若降水量 ≥10.0 mm,降水为连续性降水,降水时间长,清洗系数值就大,污染物浓度就小。降雪的雪洗情况同雨洗相比较复杂一些,总的要比雨洗弱一些,降雪以固态雪晶冰晶出现,沉降速度比雨滴小的多,雪粒子与空气粒子间隙大,云和降雪卷夹凝聚和吸附作用远不如降雨,因此降雪对污染物粒子的捕获作用比降雨小得多,雪洗系数值就低,而且降雪的稀释作用抵消不了气象条件对空气污染较重的影响。在有些情况下,即使有较大的降雪,仍然有较重的污染天气出现,如 2000 年 12 月 30 日哈尔滨降雪 6.2 mm,PM_{10} 浓度却增加了 0.22 mg/ m^3。

6　小结

气象条件对空气污染的扩散和稀释作用比较复杂,不同气候背景下,不同季节和时段,不同气象因子在不同的高度层上影响是不同的,有时影响是完全相反的。大气污染源随季节、冷暖也在变化,很难掌握,给气象因子对污染的影响带来不确定性。但仍有一些规律性,如大气的稳定性逆温在冬季特别隆冬时期对空气污染的影响很大,春季气压形势场变化与污染物浓度大小关系很密切。今后应进一步加强污染气象机理方面研究,包括因子之间、因子与污染物之间、污染物之间相互作用研究,尤其降水稀释作用的复杂性研究。

参考文献

1　刘小红,洪钟祥,李家伦,等.北京地区严重大气污染的气象和化学因子.气候与环境研究,1999,4(3):231 - 236

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

Influence of Meteorological Conditions on Air Quality in Harbin

Gao Yuzhong　Pan Huasheng　Zhang Guihua　Li Tie　Zhou Xiujie　Hou Zhaobin

(Heilongjiang Provincial Meteorological Center, Harbin 150030, China)

Abstract: Large amount of observed facts and analyses show that meteorological conditions including pressure distribution, relative humidity (upper-air dew-point temperature), temperature, wind speed and the variation of atmospheric stability can affect obviouly the consistency and diffusion of air pollutants, such as PM_{10}, SO_2 and NO_2, with some regularities. In different seasons and different time periods, the surface and upper-air meteorological factors play different roles. On the other hand, because of the variation of pollution sources with seasons and the emitted pollutant amount cannot be obtained exactly.

Key words: meteorological factors, pollutant concentration, precipitation dilution