

气象条件对石家庄市空气质量的影响

张夏琨¹, 王春玲², 王宝鉴³

(1. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京 210044; 3. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘要:利用河北省石家庄市近40 a的气象资料和2 a的大气污染监测资料,详细分析了气象条件对该市空气质量的影响。结果表明:石家庄市冬季、秋季和春季地面主导风向为NNE、N和SSE,对市区空气污染有加剧作用;风速在一定范围内空气污染物易超标,并不是风速愈小,污染浓度愈大;强降水对空气有净化作用,弱降水会使空气质量变的更差;石家庄市边界层大气层结稳定的几率几乎占50%,不利于有害气体扩散;城市热岛效应明显,容易造成郊区的污染物向市区堆积。

关键词:气象条件;大气污染;空气质量;监测分析

中图分类号:X16

文献标识码:A

引言

从20世纪80年代以来,国内就开始了气象条件与城市空气污染关系的研究^[1-6]。城市空气质量主要取决于2个方面,一是污染源的排放及分布状况,二是大气对污染物的扩散能力。后者主要与大气边界层的风、稳定度、降水等气象要素密切相关,有研究^[4-6]指出城市空气质量与能见度、风速和气压呈反相关,与大气稳定能量成正相关^[7-8]。本文利用多年石家庄市监测的气象和环境资料,分析了风向风速、降水、大气层结稳定度及城市热岛效应与空气质量的关系,得出了一些与已往研究不同的结果,供制作城市空气质量预报参考。

1 资料及相关概念

主要气象观测数据包括:1971~2000年的逐日地面风向风速、气温、降水资料;2000年10~12月市区和郊区的6个气象自动站资料;1961~1999年沙尘暴、扬沙和浮尘日数的逐月统计资料;1981~1997年石家庄市西郊飞机场08时逐日探空资料;1993年12月1~15日在石家庄市上安电厂(38°11'53"N,114°03'35"E)观测的小球测风资料;2000年2月1~15日在华北制药厂(38°02'59"N,114°31'36"E)观测的边界层探测资料。

采用的石家庄市大气污染监测资料包括:2000年1月至2001年12月PM₁₀、SO₂、NO₂空气质量逐日观测资料。

空气质量是表征空气污染程度的量,一般以空气质量等级(1~5级)或空气污染指数范围描述^[9]。等级或指数越高,表明空气污染程度越严重。

2 风向、风速对空气污染的影响

风向、风速对大气污染物扩散起着很重要的作用,风向决定着污染物输送的方向,风速决定着对污染物输送的能力,风速越小越不利于大气污染物的输送,特别是静风时非常不利于大气污染物的扩散^[10],使得大量污染物在市区堆积,导致市区环境空气质量恶化。

2.1 石家庄市区的风向特征

1971~2000年石家庄历年地面各风向平均频率见表1,其中NW—N占23%、S—SE占23%、NNE—NE占10%,最少风向方位为SWS—WWS和EEN—EES,全年静风频率占29%。其中,冬季主导风向为NNE,秋季主导风向为N,春季主导风向为SSE。因此位于石家庄市东北工业区、西北工业区、西北建材区、南部工业区和西南工业区受NNE、N和SSE主导风向影响,对市区空气污染有加剧作用。

收稿日期:2010-12-21;改回日期:2011-01-26

作者简介:张夏琨(1987-),男,河北安平人,硕士生,主要从事中尺度气象学、城市气象学研究。zxc668@126.com

表1 1971~2000年石家庄历年各风向平均频率(单位:%)

Tab.1 The average frequency of the wind direction in Shijiazhuang during 1971-2000(Unit: %)

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	平均
1月	11	6	4	1	2	2	6	7	4	1	1	2	4	5	8	7	29
4月	8	6	5	2	2	3	10	13	6	2	1	1	3	5	6	6	21
7月	8	5	5	2	3	3	9	11	5	1	1	0	2	3	5	6	31
10月	10	5	3	1	2	2	6	8	4	1	1	1	2	5	7	7	35
年	10	6	4	2	2	2	8	10	5	1	1	1	3	4	6	7	29

近地面高空风600 m以下对空气污染起着关键性作用,根据1993年12月15 d的实际观测资料分析得知,冬季50 m的主导风向为SSE和W,200 m的主导风向为S和W,400 m的主导风向为W和S,600 m的主导风向为W,1 000 m的主导风向为WNW。从大气边界层不同高度的风频可以看出,高度在400 m以上时,主导风向为偏西风,因此市区西部的高架源对市区影响最大。

2.2 石家庄市区的风速特征

石家庄市地面年平均风速为1.8 m/s,春季平均风速为2.1~2.3 m/s,夏秋季平均风速为1.5 m/s,冬季平均风速为1.4 m/s。图1给出了静风和小风(0.5 m/s < 风速 < 1 m/s)出现的频率。其中冬季静或小风的频率最大为33.06%,春季最小为26.66%。图2给出了石家庄不同高度的风速变化情况,在200 m以下,由于下垫面的作用,风速随高度升高迅速增大,在300 m以下风速变化基本符合幂指数增长。地面风速为1.8 m/s,300 m以上风速达到7 m/s左右。

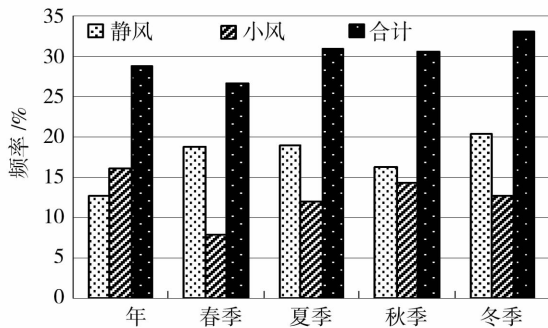


图1 静风和小风频率直方图

Fig.1 Histogram of static wind and small wind frequency

2.3 环境空气质量与风向风速的相关性

以2001年1月为例,环境空气质量与风向、风速有明显的相关性,如表2所示。按《环境空气质

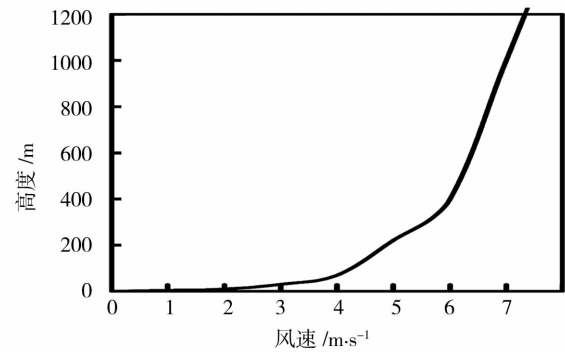


图2 石家庄风速廓线图

Fig.2 The wind speed profile graph of Shijiazhuang

量标准》(GB3095-96)2级标准要求,SO₂日平均浓度标准值为0.15 mg/m³,可吸入颗粒物PM₁₀日平均浓度为0.15 mg/m³,从表2中可以看出,SO₂和PM₁₀日平均浓度均超标,最大值分别超标4.73倍和2.31倍。偏北风时,风速3~4级时,环境大气污染最严重,随着风速的降低,污染有所减轻,主要因为石家庄是东北重工业区内大型污染企业多,按污染排放量进行估算,耗煤量和SO₂排放量占石家庄市区的50%以上。所以当偏北风风速3~4级时便于工业区内污染物向市区内扩散,又不足以使污染物迅速扩散到市外,造成市区内环境空气质量恶化。

表2 环境空气质量与风向风速的对比表

Tab.2 Comparison between ambient air quality and wind speed, wind direction

风向	风速	平均空气污染指数	SO ₂	PM ₁₀
偏北风	1~2级	175	0.516	0.250
	2~3级	183	0.649	0.266
	3~4级	214	0.710	0.346
偏南风	1~2级	166	0.323	0.282
	2~3级	195	0.616	0.264

用2000年6月至2001年2月的风速和环境资料做进一步分析,以国家环境空气质量3级标准来界定环境优劣,PM₁₀、SO₂、NO₂超过空气质量3级标准的日数中,冬季次数最多,12月为60次(PM₁₀ 26次、SO₂ 31次、NO₂ 3次),1月为55次(PM₁₀ 21次、SO₂ 31次、NO₂ 3次),2月为44次(PM₁₀ 14次、SO₂ 28次、NO₂ 2次),夏季最少,6月为6次(PM₁₀ 4次、SO₂ 2次),7月为2次(PM₁₀ 2次),8月为3次(均为PM₁₀)。与之相应的石家庄市超标日污染物(PM₁₀、SO₂、NO₂)的平均浓度,夏季PM₁₀为0.317 mg/m³出现在6月,SO₂为0.268 mg/m³出现在6月,NO₂无超标;秋季PM₁₀为0.616 mg/m³出现在10月,SO₂为0.856 mg/m³出现在11月,NO₂为0.125 mg/m³出现在11月;冬季PM₁₀为0.752 mg/m³出现在1月,SO₂为1.349 mg/m³出现在1月,NO₂为0.166 mg/m³出现在1月。冬季污染物的浓度最大,而且出现在1月。

通过空气质量与风向风速对比分析得出,夏季空气污染超标的风速在1.3~2.1 m/s之间;秋季超标的风速在1.0~1.5 m/s之间;冬季超标的平均风速在1.0~1.9 m/s之间。并不是风速愈小,浓度就

愈大。而是在一定的范围内空气污染浓度易超标。

选取2000年12月18~21日采暖期的一次强冷空气过程为例,当风速从0.5 m/s增加到1.3 m/s时浓度达到最高值,当风速增加到2 m/s时浓度开始下降,以后随着风速的加大空气污染物的浓度急速下降。

3 降水对空气污染的影响

一般研究表明降水对清除大气中的污染物质起着重要的作用:有些污染气体能溶解在水中,在水中起化学反应产生其他物质;同时降水过程还可以起到清除颗粒物的作用^[11]。

表3是石家庄市1981~1997年各月不同等级降雨日数统计,年平均降雨日数为78 d,占全年日数的21%,最多年为98 d(出现在1990年),最少年为57 d(出现在1981年)。其中降雨量在0.1~1.0 mm之间的降雨日数占总降水日数的41.9%,在1~5 mm的降雨日数占27.1%,5~10 mm的占19.2%,>10 mm以上的降雨日数占11.7%。采暖期降雨日数占14.5%,>5 mm的降水日仅占1.9%;非采暖期占85.5%,>5 mm的降水日数占98.1%。

表3 石家庄市1981~1997年分级降水日数统计

Tab. 3 Statistics of precipitation days with different rainfall classification in Shijiazhuang during 1981 - 1997

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
≥0.1 mm	1.8	2.1	3.8	4.2	5.7	8.6	17	12.1	10.9	4.9	4.2	2.3
≥1.0 mm	1.0	1.5	2.5	2.4	3.9	8.6	8.9	9.5	4.5	3.4	2.9	1.1
≥5.0 mm	0.2	0.4	0.9	1.1	2.2	3.4	6.2	16.2	2.3	1.5	1.1	0.2
≥10.0 mm		0.1	0.4	0.7	1.5	4.4	6.2	6.4	2.3	0.7	0.4	

表4是夏、秋和冬季降雨量与空气污染物浓度之间的关系。24 h降雨量越大,空气中污染物的浓度降低越大,其日变量为负值。当降雨量在5 mm以下时,污染物的浓度不但下降,反而上升,其日

变量大多为正值。与表3对比分析得知,有效清除空气中污染物的降雨日数仅占整个降雨日的30.9%,而且主要集中在非采暖期。因此,强降水确实对空气有净化作用,弱降水会使空气质量变的更糟。

表4 石家庄市2000~2001年降水量对市区污染物浓度的影响统计

Tab. 4 The impact of precipitation on the pollutant concentration in urban areas of Shijiazhuang during 2000 - 2001

24 h 降水量 R/mm	夏季浓度日变量			秋季浓度日变量			冬季浓度日变量		
	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂
R ≤ 1.0	0.006	0.038	0.006	-0.09	-0.07	-0.01	-0.04	-0.08	-0.005
1.0 < R ≤ 5.0	0.025	-0.032	-0.002	0.035	0.01	0.012	0.006	0.053	0.004
5 < R ≤ 10.0	-0.015	0.009	0.004	-0.27	-0.04	-0.02	-0.20	-0.15	-0.03
R > 10.0	-0.043	-0.022	-0.005	-0.06	-0.05	-0.02	-0.03	-0.31	-0.009
降雨日数/d	30			21			22		

4 大气稳定度对空气污染的影响

大气稳定度是影响空气污染的气象因素之一^[12],它代表大气垂直扩散能力的强弱。不稳定类天气有利于大气污染物垂直扩散,而大气层结稳定则不利于低层污染物的扩散,对城区空气质量产生不利影响。

图3给出了石家庄市全年及各季的不同稳定度出现的频率。石家庄市全年边界层稳定的几率几乎占了50%,尤其是冬季稳定性层结几率高达60%以上。这种层结结构是石家庄市各种污染源向大气排放的有害气体不易扩散的重要因素之一,所以在采暖期市区空气质量最差。为了弄清石家庄市边界层的结构,于2000年2月在华北制药厂结合环境评价进行了低空气象观测。如表5所示,在106次低空探测中,出现逆温(稳定层结)80次,占观测次数的75.5%,其中底高<300m的逆温出现的次数占总观测次数的51%。在1500m高度内,有时逆温出现多达5层,这说明石家庄稳定层结形成的原因除辐射逆温以外,还有天气过程影响造成的逆温。

石家庄市冬季逆温有明显的日变化特征,如表6所示,一般在傍晚19时形成,平均厚度50m左右,强度较小。随着时间的增加,逆温层的厚度增大,强度加强,到次日5~7时厚度达到200多m,强度达2℃/100m。9时以后逆温层的厚度逐渐变薄,强度减弱,大约在11时左右消失。

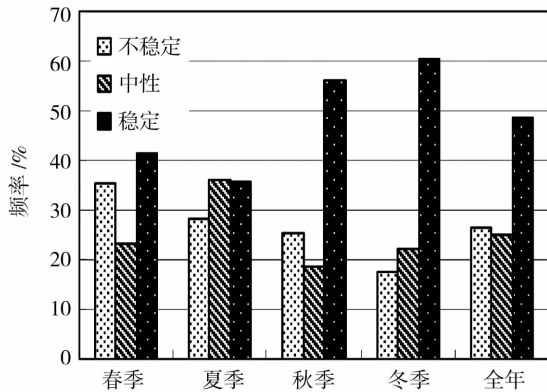


图3 石家庄1981~1997年大气稳定度出现的频率直方图

Fig.3 Histogram of atmospheric stability frequency in Shijiazhuang during 1981-1997

表5 石家庄市冬季边界层逆温的结构特征

Tab.5 The structural characteristics of temperature inversion layer in winter in Shijiazhuang

逆温层次	占总观测次数	占观测次数的比例/%	平均底高/m	平均顶高/m	逆温层厚度/m	强度/(℃/100m)
第1层	58	46.0	69.9	211.9	142.0	1.6
第2层	44	34.0	741.9	939.7	197.8	0.97
第3层	17	13.5	864.7	992.9	128.2	0.84
第4层	6	4.8	1013.3	1098.3	85.0	0.6
第5层	1	0.8	1275.0	1340.0	65.0	0.8

表6 石家庄市冬季逆温层随时间变化的特征

Tab.6 Time-varying characteristics of temperature inversion layer in winter in Shijiazhuang

时间	逆温层平均底高/m	逆温层平均顶高/m	厚度/m	强度/(℃/100m)
19时	10	65	55	1.0
21时	15	115	100	1.3
5~6时	0	150	150	2.0
7时	0	225	225	1.7
9时	75	235	165	1.4

5 沙尘天气对空气污染的影响

石家庄沙尘天气一年四季都可能发生,但有明显的季节性。根据1960~1999年石家庄的多年平均沙尘暴、扬沙和浮尘日数的逐月统计得知,沙尘天气的季节分布是春季多而夏季至初秋(6~10月)少。春季(3~5月)沙尘暴、扬沙和浮尘日数分别占全年总出现日数的56.5%、60.6%和63.8%,而7~9月很少出现沙尘天气,仅占全年的6.5%、3.3%和0.8%。

根据石家庄市不同功能区,在市内布设了8个大气环境采样点,分别位于内燃机厂、军械学院、军营、平安电站、市五金仓库、赵卜口、植物园、经贸大学。通过采样和化学化验分析,得出的浮尘来源见表7。

表7 石家庄市大气浮尘来源类别(单位:%)

Tab.7 The type of atmospheric dust sources (Unit:%)

季节	土壤风沙尘	煤烟尘	钢铁尘	建筑扬尘	汽车尾气	其它
采暖期	22	54	3	17	2	2
非采暖期	40	10	3	42	1	4

采暖期间石家庄市大气浮尘中煤烟尘占 54%, 土壤风沙尘占 22%, 建筑扬尘占 17%, 其它尘占 7%。非采暖期, 建筑扬尘占 42%, 风沙尘 40%, 煤烟尘占 10%, 其它占 8%。从上述分析结果可知, 采暖期从城外风吹来的沙尘分担了 22% 的浮尘比率; 城区污染产生的浮尘占 76%; 非采暖期从城外风吹来的沙尘分担了 36% 的浮尘比率; 城区污染产生的浮尘占 60%, 其它尘分担率为 2%~4%。说明目前污染大于风沙引起的浮尘。

6 城市热岛效应对空气污染的影响

石家庄市市区气温随着城市规模的发展不断上升。如图 4 所示, 1977 年以前年平均气温为 12.9 °C, 1978~1990 年城市进入快速发展期, 年平均气温逐步上升到 13.3 °C, 1995 年平均气温达到了 13.8 °C, 1996~2000 年城市进入高速发展期, 1997~2000 年平均气温达到了 14.7 °C。50 多 a 石家庄 5 a 年平均气温上升了 1.8 °C, 最高气温上升了 1.2 °C, 最低气温上升了 2.5 °C。

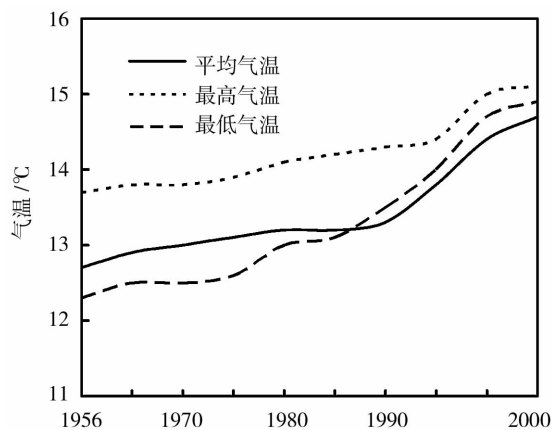


图 4 石家庄多年平均温度演变图

Fig. 4 Evolution of the average temperature during 1956-2000 in Shijiazhuang

城市市区气温较郊区偏高, 如表 8 所示, 它是 2000 年 10~12 月在石家庄市区和郊区设置自动气象站观测资料计算分析的结果。其中在市区设置了 4 个自动站, 分别位于石家庄市气象台、烈士陵园、污水处理厂、第五水厂, 在郊区设置了 2 个自动站, 分别位于地表水厂、花卉中心。可以看出, 城区与郊区平均气温最大差值由深秋到隆冬逐渐增加, 10 月为 1.0 °C, 11 月为 1.2 °C, 12 月为 1.4 °C; 平均最高气温的差值变化很小, 在 2000 年 10~12 月均为 0.5

°C; 平均最低气温的差值最大, 在 2.3~4.3 °C 之间, 这反应出白天城市的建筑物及各种硬化路面吸收的热量晚上大量释放, 加热城市边界层大气, 使城市比郊区的近地层大气辐射降温要来的缓慢。因此城市夜间的热岛效应最强。

表 8 石家庄市自动气象站

10~12 月气温资料分析 (单位: °C)

Tab. 8 Analysis of October-December temperature data from automatic weather stations in Shijiazhuang City (Unit: °C)

月份	10 月平均			11 月平均			12 月平均		
	气温	最高	最低	气温	最高	最低	气温	最高	最低
气象台	13.2	17.8	9.1	4.3	8.4	0.8	1.5	6.2	-2.1
烈士陵园	13.2	17.9	9.4	4.6	8.9	1.2	1.8	6.4	-1.8
污水处理厂	13.3	18.3	9.1	4.3	8.8	0.6	1.1	6.6	-2.9
第五水厂	14.0	18.3	10.4	5.2	8.7	2.3	2.2	6.4	-1.2
地表水厂	13.1	18.1	8.9	4.0	8.7	0.3	0.8	6.1	-3.5
花卉中心	13.0	18.2	8.1	4.2	8.9	-1.5	0.3	6.1	-4.7
最大差值	1.0	0.5	2.3	1.2	0.5	4.3	1.4	0.5	2.5

由于自动气象站 2000 年才建立, 资料积累的时间短, 看不出月际变化, 也看不出城区、近郊、远郊温度差的变化, 所以用部分气象站的观测资料做了进一步分析。图 5 是石家庄 1997~1999 年 3 a 的平均温度分布, 从中可以看出, 市区是一个高温区, 温度以市区为中心向郊区递减。

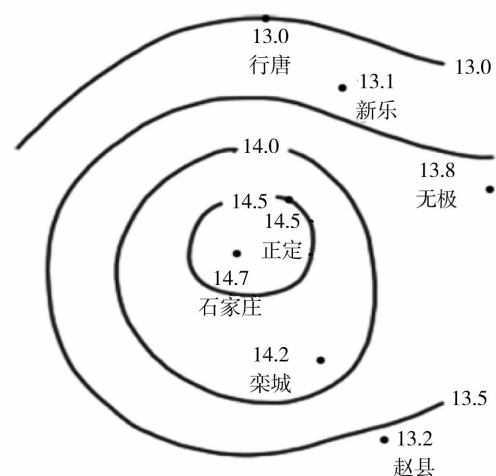


图 5 1997~1999 年石家庄市平均温度 (单位: °C)

Fig. 5 The average temperature from 1997 to 1999 in Shijiazhuang

因此,当天气形势比较稳定,大范围风场较弱时,随着城区热空气的不断上升,郊区的近地面较冷空气必然从四面八方流入市区,风向向市中心辐合,此时较冷空气的流失,必然要补充,于是热岛中心上升的空气又在一定高度上流回郊区、产生下沉气流,形成城市热岛环流,城区上空的污染物随热岛环流向城区四周的郊区分散,在郊区下沉到地面附近,又随着地面空气向城市中心辐合,造成污染物在城区堆积,进一步加重城市污染^[13]。

7 结 论

(1)石家庄市地面冬、春、秋的主导风向分别为NNE、N、SSE。对市区空气污染有加剧作用;边界层风向随高度增加向西偏转,400 m以上主导风向为偏西风,因此石家庄市西部高架污染源对市区影响最大。

(2)石家庄市空气污染程度,并不是风速愈小,浓度就愈大,而是风速在1.3~2.0 m/s之内空气污染浓度易超标,当风速加大到2 m/s时污染浓度开始下降,以后随着风速的加大空气污染物的浓度急速下降。

(3)降水对空气有净化作用,当降雨量>5 mm时,雨量越大空气中的污染物浓度降低的越大,而<5 mm时,大气中污染物的浓度不但不上升,反而上升,日变量为正值。

(4)石家庄市近地面大气逆温层有明显的日变化,一般晚19时形成,次日5~6时达到最强,9时以后开始减弱消亡,大气层结稳定的几率占50%。

(5)沙尘天气是市区大气PM₁₀污染物的主要来

源之一,采暖期占22%,非采暖期占40%。

(6)石家庄市存在着明显的“热岛效应”,市区比郊区最低气温大约高2.3~4.3℃,形成的城市热岛环流,在稳定层结的条件下造成城区大气污染物堆积。

参考文献:

- [1] 戴安国,杨大业. 重庆城市SO₂污染与气象条件的关系[J]. 重庆环境科学,1992,14(4):6-10.
- [2] 杨德保,王式功,黄建国. 兰州市区空气污染与气象条件的关系[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1994,30(1):132-136.
- [3] 尚可政,王式功,杨德保,等. 兰州冬季空气污染与地面气象要素的关系[J]. 甘肃科学学报,1999,11(1):1-5.
- [4] 孟燕军,王淑英,赵习方. 北京地区大雾日大气污染状况及气象条件分析[J]. 气象,2000,26(3):40-43.
- [5] 赵庆云,张武,王式功. 空气污染与能见度及环流特征的研究[J]. 高原气象,2003,22(4):393-396.
- [6] 徐祥德,丁国安,苗秋菊,等. 北京地区气溶胶PM_{2.5}粒子浓度的相关因子及其估算模型[J]. 气象学报,61(6):761-768.
- [7] 尚可政,达存莹,付有智,等. 兰州城区稳定能量及其空气污染的关系[J]. 高原气象,2001,20(1):76-81.
- [8] 孙银川,缪启龙,李艳春,等. 银川市空气质量动力预测系统及预测结果分析[J]. 干旱气象,2006,24(2):89-94.
- [9] 中国气象局. QX/T 41-2006—空气质量预报[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [10] 朱韶峰,黄吉. 静风条件下的大气污染探讨[J]. 浙江气象,1990,11(04):37-41.
- [11] 蒋维楣. 空气污染气象学[M]. 南京:南京大学出版社,2003. 13-14.
- [12] 刘景良. 大气污染控制工程[M]. 北京:中国轻工业出版社,2002. 59-61.
- [13] 徐祥德,汤绪. 城市化环境气象学引论[M]. 北京:气象出版社,2002. 69-72.

Influence of Meteorological Condition on Air Quality over Shijiazhuang of Hebei Province

ZHANG Xiakun¹, WANG Chunling², WANG Baojian³

- (1. College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
2. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
3. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the meteorological data in recent 40 years and two years atmospheric pollution monitoring data of Shijiazhuang, the air quality was analyzed in detail. The results indicated that the surface dominant wind direction is NNE, N and SSE, which increased air pollution of Shijiazhuang. Air pollutants were easy to exceed standard if wind speed was within a certain range, and the smaller the wind speed, not the pollutant concentration was larger. The strong rainfall have depurative effect on air, the thin rainfall resulted in air quality bad. The ratio of air stability near ground in Shijiazhuang was almost 50%, which made against air contamination diffuse. The heat island effect of urban district was easy to result air contamination pile from suburb to urban district.

Key words: meteorological condition; air pollution; air quality; monitoring and analysis