文章编号:1674-7070(2010)01-0051-06

大同市降水 pH 值与 PM_{10} 质量浓度相关性研究

岳江[1,2]　朱彬[1]

摘要

通过对大同市 2006—2009 年 PM_{10} 质量浓度、降水 pH 值及气象常规数据统计分析,得出结论:PM_{10} 质量浓度与降水 pH 值秋冬季呈显著负相关,相关系数分别为 -0.89 和 -0.99(通过 0.02 显著性水平检验)、夏季为弱负相关,春季大风期为弱正相关,非大风期呈弱负相关. 究其原因主要是由于大同春季大风日较多,风力作用导致内蒙碱性沙尘成为气溶胶主要来源,在一定程度上影响降水 pH 值以及酸雨频率;夏季大风日较少,PM_{10} 主要来源为工业酸性污染物,降水偏弱酸性;秋冬季节进入采暖期,稳定的气象条件和采暖燃煤、工业生产使得酸性污染物浓度急剧升高导致酸雨酸雪.

关键词

降水 pH 值;PM_{10};相关性

中图分类号 P401

文献标志码 A

0　引言
Introduction

酸雨是人类工业化进程作用于环境的中间产物,其形成机理及影响已经引起各国学界重视. Farn 等[1]在研究中发现:局地云层可以吸收 SO_2、NO_x、CO_2 等酸性气溶胶从而导致云层内部 pH 值维持在 4.0 左右,易形成酸性降水(pH < 5.6). 黄美元等[2]通过对西南地区酸雨化学特性的研究得出结论:污染较轻的中小城市雨水酸度主要决定于云内过程,而污染严重的大中型城市云下过程对雨水酸化起主要作用,且云下过程雨水中酸碱离子的浓度对酸雨酸度影响很大. 此外,我国酸雨污染集中在南方各省区,其原因主要是这些地区温度、湿度以及静风频率较高,太阳辐射强,土壤和大气气溶胶对酸雨缓冲能力较弱,稳定的气候条件是酸雨形成的一个重要因素[3-8]. 从以上研究中可知,酸雨形成及强度与气象条件、气溶胶凝结核酸碱性以及人为源有密切联系.

大同市是山西省重要的煤化工基地,各类高架源、电厂、以及煤矿生产排入大气的酸性污染物对环境造成严重影响,各季均有不同程度酸沉降现象. 但同时,大同市是山西省的北方门户,地处黄土高原,毗邻内蒙古,春季大风期易受碱性沙尘侵袭,酸雨酸性不强. 文献[9]表明:大同 2006—2007 年间酸性排放物浓度超过国家二级标准 2 倍,同期酸雨频率为 43.8%,强酸雨频率仅为 3%. 因此,大同酸雨与 PM_{10} 的相关研究具有代表性:其特殊的地理、气候环境和工业结构使得 PM_{10} 来源和成分、降水酸碱度均有显著季节性变化,对于开展降水 pH 值与 PM_{10} 相关性研究、改善空气质量有重要意义.

1　资料及方法
Data and methods

1.1　资料

1.1.1　PM_{10} 质量浓度数据

来源于大同国家气候观测台(113.20° E, 40.06° N, 海拔 1 067.2 m)气溶胶测站 2006—2009 年 PM_{10} 逐时质量浓度数据.

1.1.2　降水 pH 值数据

来源于大同国家气候观测台酸雨测站 2006 年 7 月—2009 年 12 月降水 pH 值月文件统计数据.

收稿日期 2009-12-31

资助项目 国家 973 计划(2005CB422205);山西省气象局青年基金

作者简介

岳江,女,助理工程师,硕士生,主要研究大气化学和环境评价. 540222442@qq.com

朱彬(通信作者),男,博士,教授,主要从事大学化学与大气环境的研究. binzhu@nuist.edu.cn

1　南京信息工程大学　大气物理学院,南京,210044

2　山西省气象科学研究所,太原,030002

1.1.3 常规气象资料

来源于大同国家气候观测台 2006—2009 年风速、风向、温度、降水量、露点温度、相对湿度 24 次定时观测数据. 以上各类数据均已进行插值补齐和纠错.

1.2 研究方法

1.2.1 数据处理

采用 VB 编程处理各类数据,求出各要素小时均值、日均值、月均值和年均值.

1.2.2 相关性分析

采用 Excel 统计函数 Correl 计算因子相关性. 相关系数计算、显著性水平检验公式参见文献[10].

1.2.3 非线性拟合

采用 Origin 软件非线性拟合功能对降水 pH 值月季平均数据格点进行拟合回归,得出表征其变化的曲线方程;对各要素间相关系数变化绘图,得出其月际变化规律,并绘制酸雨频率玫瑰图.

1.2.4 后向轨迹模式

由 NCAR/NCEP 1° × 1°在分析资料,通过美国 NOAA 开发的 Hysplit4 后向轨迹模式,计算得到大同指定时间段内(本文指定模拟后向 48 h 轨迹)气团输送轨迹.

2 降水 pH 值变化规律

Variation of the precipitation pH value

大同 2006—2009 年月平均 pH 值、月均降水量变化曲线如图 1 所示(图 1 中 2006—2009 年 1 月、12 月观测到总降水量均小于 1 mm,无法测得 pH 值,故不引用).

由图 1 可知,大同 2006—2009 年冬春季 3 月降水酸性较大. 其中 2 月 pH 值为 6.0,该月 3 a 内仅有 2 次有效降水,总降水量为 7.4 mm,降水日风向偏东且风速较大,降水偏少,不易形成酸雨. 3 月降水平均 pH 值达到月均最低,总降水量为 40.1 mm,地面平均风速较小,气象条件稳定,本地采暖排放煤烟尘和偏南风带来晋南工业园区酸性气溶胶混合导致降水偏酸. 由表 2 可知:2007 年 3 月大同有 2 次强酸雨,降水 pH 值最低为 4.30. 而 2008 年 3 月和 2009 年 3 月总降水量 22 mm,比往年同期略多,平均风速达 3.6 m/s,均未降酸雨,因而 3 月降水呈弱酸性. 图 2a 给出了 2007 年 3 月 17 日气流输送轨迹:该日气团主要来自山西东南部地区,该地区多为工业园区. 煤焦、电厂生产排放的 SO_2、NO_x 污染物进入大气,可经大气氧化过程转化为 H_2SO_4、HNO_3 等酸性气体和气溶胶. 该日近地面层平均风速为 1.9 m/s,稳定的边界层条件和高空风输送的酸性污染物利于酸雨形成,该日降水量仅为 2.5 mm,酸雨 pH 值已低至 4.3,为强酸雨(pH < 4.5). 4 月 pH 值达到月均峰

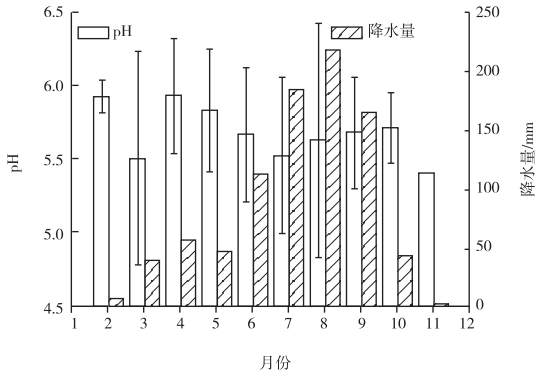


图 1 大同 2006—2009 年月平均 pH 值、降水量变化

Fig. 1 Monthly average pH and precipitation during 2006 to 2009 in Datong

表 1 大同 2006—2009 年降水日月最多风向及对应平均风速

Table 1 Dominant wind direction and average velocity in precipitation days during 2006 to 2009 in Datong

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
风向		ESE	S	E	N	NNW
风速/(m/s)		2.8	1.9	3.5	4.0	1.7
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
风向	ESE	ESE	NNW	NNW	NNW	
风速/(m/s)	3.2	2.2	1.4	2.1	3.7	

表 2 2007—2009 年 3 月有效降水 pH 值汇总

Table 2 Summary of the pH values of valid precipitation in March during 2007 to 2009

	2007 年			2008 年			2009 年	
	3 月 3 日	3 月 17 日	3 月 18 日	3 月 20 日	3 月 22 日	3 月 28 日	3 月 31 日	3 月 11 日
pH	5.71	4.30	4.87	5.71	6.52	5.59	5.87	5.78
日降水量/mm	17.30	2.50	4.30	6.80	1.50	6.60	1.10	6.00

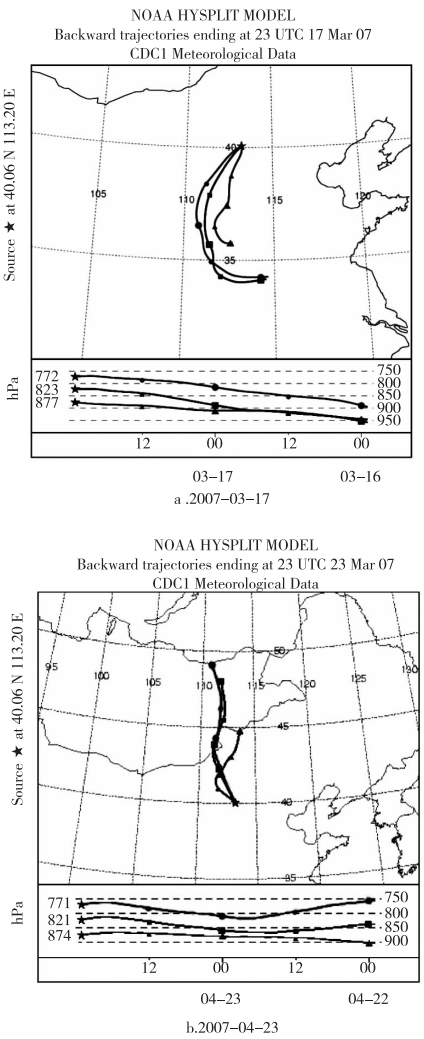


图2 大同典型日48 h气团后向输送轨迹

Fig.2 Backward trajectories of air mass move before 48 hours

值(图1),降水量较3月略有所增加,该月风速较大(表1),大同环境监测站3 a统计数据[11]显示PM_{10}浓度在4月出现峰值,酸雨频率较低,降水pH值偏中性.图2b为2007年4月23日气流输送路线,该日气团主要来自内蒙沙尘区,沙尘、土壤等碱性气溶胶可随气流输送到大同地区.内蒙土壤表土层盐分在雨水作用下淋洗下渗,盐碱化程度严重,土壤pH值大于9,呈碱性[12].由气象常规资料可得该日地面平均风速2.7 m/s,最大风速为4.7 m/s.大风天气中,该日降水量仅为2.3 mm,内蒙碱性沙尘成为气溶胶的主要来源,降水pH值为6.63.5月降水平均pH值达到月均次高值,平均风向为北风;6月降水平均pH值达到月均次低值,降水量迅速增加,至8月降水量达到峰值217.8 mm,pH值稳定于5.4~5.6之间,酸雨频率为34.8%,但酸性不强.9—12月降水锐减,酸雨频率较低,酸雨强度基本为弱酸雨.

3 降水pH值与各要素相关性研究

Correlation of precipitation pH value and other factors

3.1 降水pH值与气象要素相关性研究

大同降水pH值与各要素间相关系数见表3(样本数均为111).

表3 大同降水pH值与气象要素相关系数

Table 3 Correlation coefficients between meteorological factors and precipitation pH values in Datong

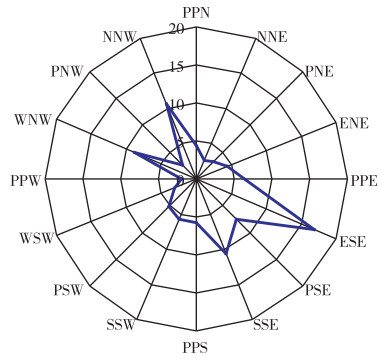
	气温	露点温度	相对湿度	降水量	风速
相关系数	-0.08	-0.07	-0.26	-0.21	-0.20
α水平检验			0.01	0.05	0.05

由表3可得:大同降水pH值与露点温度、相对湿度、最多风向平均风速及PM_{10}质量浓度相关性不同.相对湿度表征空气干湿程度,湿度越大,风力扬尘作用相应减弱.夏秋季节,大气气溶胶来源于工业废气和粉尘的比例较大.如遇对流不稳定气象条件易形成大范围降水(常见于夏秋季节).云降水过程通过云内清除和云下冲刷的酸性粒子增多,降水pH值减小;反之,pH值增大.在相同酸性大气污染条件下,降水量增加有利于溶液的稀释,使pH略增高.

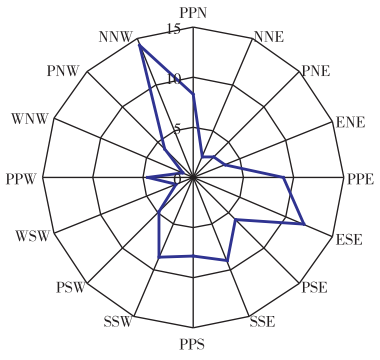
风速风向与降水pH值有一定相关性.图3中在ESE方向上酸雨频率最大,为14.6%,在SSE风向上酸雨频率为8.99%.而在偏北、偏西风向上虽有酸雨产生,但频率较低;非酸雨大都发生于NNW和ESE风向上.在ESE风向上,静风或有短时大风和不利于气溶胶扩散的气象条件(逆温强度大、湿度大或较厚低云)时易形成酸雨;反之,在风速大,气候干燥、晴朗无云的白天,气溶胶较难积聚,或碱性沙粒成为大气气溶胶的主要来源,则不易形成酸雨.因此,风速与降水pH值有相关性,且呈较弱负相关.

3.2 PM_{10}质量浓度与降水pH值相关性研究

大同PM_{10}来源主要为工业排放的酸性污染物和地壳土壤及碱性沙尘.不同季节、时段其主要来源不同,因而导致其组成成分上的差异,影响降水酸碱度.一般说来,工业排放的一次和二次气溶胶粒子多为SO_2和NO_2及SO_4^{2-}和NO_3^-等偏酸气体和离子,土壤表层贮存离子多为Fe、Al、Ca等粗粒碱性离子[13],通过风力、迁移作用进入大气,其混合比例和浓度分布可影响降水的酸碱度.文献[14-15]表明:



a.酸雨频率



b.非酸雨频率

图 3　大同 2006—2009 年风向玫瑰图

Fig. 3　Breeze rose diagrams of the acid rain frequency and non-acid rain frequency during 2006 to 2009

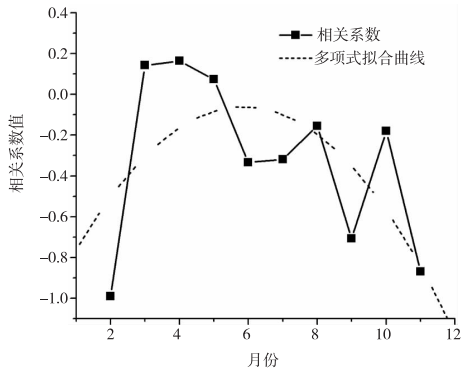


图 4　大同 PM_{10} 质量浓度与降水 pH 值相关系数月变化

Fig. 4　Monthly variety of correlation coefficients between PM_{10} concentration and precipitation pH values

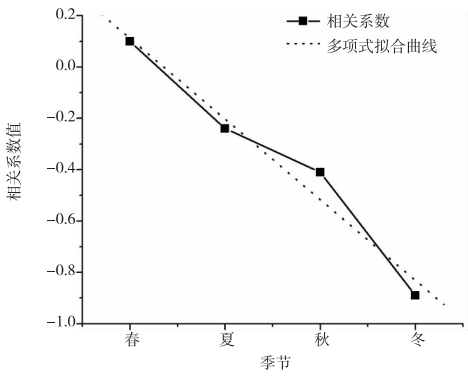


图 5　大同 PM_{10} 质量浓度与降水 pH 值相关系数季节变化

Fig. 5　Seasonal variety of the correlation coefficients between PM_{10} concentration and precipitation pH value

在沙尘日或大风日,PM_{10} 输送、浓度与风向风速等气象条件关系甚大. 朱彬等[16]研究重庆大气气溶胶谱分布规律时得出结论:天气状况、相对湿度、风速风向等气象条件可影响大气气溶胶浓度及谱分布. 因此,应根据不同气象条件,按月、季节、时期研究 PM_{10} 质量浓度与降水 pH 值相关性.

3.2.1　PM_{10} 质量浓度与降水 pH 值相关性月际变化规律

通过计算大同 PM_{10} 质量浓度与降水 pH 值相关系数可以得到二者相关系数变化曲线图(图 4 及图 5).

从图 4 中可以看出:二者相关系数基本呈多项式规律变化:

$$y = -1.08 + 0.35x - 0.03x^2. \qquad (1)$$

2 月、11 月二者呈显著负相关,相关系数分别为 −0.99(样本数 3,显著性水平 0.02)、−0.86(样本数 3,显著性水平 0.1);3—5 月二者为较弱正相关;6—9 月为较弱负相关. 有数据统计[12]:大同 SO_2 月均浓度最低值出现在 7 月,为 0.044 mg/m^3;NO_2、PM_{10} 月均浓度最低值则出现于 7 月,月均浓度分别为 0.028 mg/m^3 和 0.088 mg/m^3,3 种污染物最高值均出现在 1 月前后,月均浓度分别为 SO_2:0.291 mg/m^3、NO_2:0.056 mg/m^3、PM_{10}:0.265 mg/m^3. 由此可知,冬季采暖期是 3 种污染物高浓度时期,酸性和碱性污染物均是大同冬春季大气气溶胶的主要成分,在易形成降水的气象条件下可使降水 pH 值降低,浓度过高时易降强酸雨(如 3 月南风期);而4—5 月风力较强,土壤和沙尘气溶胶比例较大,降水多为弱碱性. 夏季 6—8 月份,各污染物浓度较低,降水充沛,气溶胶粒子在雨水淋洗作用下沉降或溶解致使降水偏弱酸性或中性,PM_{10} 质量浓度与 pH 值负相关性较弱. 图 5 给出了 PM_{10} 与降水 pH 值季节变化规律,四季按相关系数绝对值的大小排序为春 < 夏 < 秋 < 冬,冬天相关性最高,春季情况较复杂,相关不明显,结论与二者相关系数月变化相互印证.

3.2.2 PM_{10}质量浓度与降水 pH 值大风期相关性研究

由于不同季节主导风向各异,将导致气溶胶来源差异,应研究不同季节大风期、非大风期降水 pH 值与 PM_{10} 相关性. 由表 4 可以看出:春季大风期,PM_{10}质量浓度与降水 pH 值为弱正相关性(显著性水平 0.1),非大风期二者呈弱负相关性;夏季二者始终呈弱负相关(显著性水平 0.1);秋冬季二者呈显著负相关(显著性水平 0.02). 张仁健等[13]研究报告中指出:大同秋季气溶胶的主要来源于燃煤尘、土壤尘及工业排放源,而来自地壳源的各离子浓度不大,部分重金属元素离子富集浓度较高,说明人为源污染严重. 此外,对流性不稳定天气较多导致酸雨频降. 冬季采暖与工业源排放大量酸性气溶胶,在稳定的大气状态下,采暖期内逆温层厚度均较低,阻碍了污染物扩散,导致酸性气溶胶浓度过高,酸雨 pH 值偏小,二者呈显著负相关性. 由此说明,PM_{10} 在大风期和非大风期与降水 pH 值的相关性有较大差异.

表 4 大同不同季节、时期降水 pH 值与 PM_{10}质量浓度相关系数表

Table 4 Correlation between PM_{10} concentration and precipitation pH value in different seasons and periods

		大风期	非大风期
春季	样本数	11	12
	相关系数	0.4	-0.16
夏季	样本数	8	49
	相关系数	-0.19	-0.25
秋季	样本数	5	21
	相关系数	-0.84	-0.62
冬季	样本数		4
	相关系数		-0.9

4 主要结论
Conclusion

1) 大同降水 pH 值在 2—5 月份起伏较大,主要与进入降水的气溶胶来源、成分差异以及气流条件有关;降水 pH 值与不同气象要素具有相关性,且与相对湿度、降水量、最多风向对应平均风速关系较密切.

2) 在偏南风向上,酸雨频率较大;在偏北偏西风向上,非酸雨频率更大,主要由于大同风向有较显著的季节性变化,风向的转变导致气溶胶主要来源发生相应改变,从而引起酸雨频率的变化.

3) 大同降水 pH 值与 PM_{10}质量浓度有相关性,且二者相关性随月份、季节、时期变化有明显不同:秋冬季以及采暖期二者呈显著负相关;春季大风期呈弱正相关,非大风期呈弱负相关;夏季呈弱负相关. 其原因主要为:春季中期大风日较多,PM_{10} 主要来源为内蒙碱性沙尘,降水冲刷作用导致降水偏碱性;非大风日 PM_{10}主要为局地源,酸碱成分复杂,相关性不明显. 夏季大风日偏少,PM_{10}主要来源于工业生产排放酸性污染物,因此降水呈弱酸性;秋季主导风向为偏北风,但风速较小,出现弱酸雨,但频率较低. 11 月进入采暖期,燃煤排放、工业排放酸性废气增多,但 11 月降水锐减,酸雨频率只是略有增加. 冬季及初春 3 月天气易于酸雨形成,且采暖燃煤排放的酸性气体被逆温层阻隔难以扩散,无降水时易形成灰霾,降水日易形成酸雨.

参考文献
References

[1] Farn P, Clarence N, Robin M. 酸雨成因机理研究[J]. 大气科学,1987,44:3162-3164
Farn P, Clarence N, Robin M. A study of the mechanisms of acid rain formation [J]. Journal of the Atmosphere, 1987, 44: 3162-3164

[2] 黄美元,沈志来,刘帅仁,等. 中国西南典型地区酸雨形成过程研究[J]. 大气科学,1995,19(3),360-365
HUANG Meiyuan, SHEN Zhilai, LIU Shuairen, et al. A study on the formation of acid rain in some areas of southwest China[J]. Atmospheric Sciences, 1995, 19(3), 360-365

[3] 谷淑芳,金德镇,崔红. 吉林省云水和雨水酸度分析[J]. 吉林气象,1999,2,33-34
GU Shufang, JIN Dezhen, CUI Hong. Analysis of the acidity of cloud water and rain in Jilin Province[J]. Jilin Meteorological Quarterly, 1999, 2, 33-34

[4] 张霞,李兰,魏静. 湖北西部城市酸雨特征及其与气象条件的关系[J]. 暴雨灾害,2007,26(2):175-178
ZHANG Xia, LI Lan, WEI Jing. The acid rain feature of western city in Hubei Province and the analysis of the relation with meteorological condition, 2007, 26(2): 175-178

[5] 赵彩,于俊伟,李宵,等. 遵义市酸雨特征研究[J]. 贵州气象,2009,33(3):16-18
ZHAO Cai, YU Junwei, LI Xiao, et al. A study on the characteristic of acid rain in Zunyi city[J]. Guizhou Meteorological Quarterly, 2009, 33(3): 16-18

[6] 王明星. 大气化学[M]. 北京,气象出版社,1999
WANG Mingxing. Atmospheric chemistry[M]. Beijing, Meteorological Press, 1999

[7] 沈志来,黄美元,吴玉霞. 上海地区云水和雨水酸度及化学组分分析[J]. 大气科学,1989,13(4),460-466
SHEN Zhilai, HUANG Meiyuan, WU Yuxia. Analysis of the acidity and chemistry composition of cloud water and rain in Shanghai region[J]. Atmospheric Sciences, 1989, 13(4), 460-466

[8] 王玉庆. 中国环境污染的状况和对策[J]. 中国环境科学,

1993,13(4):241-245
WANG Yuqing. The environment pollution and countermeasure in China[J]. China Environmental Science,1993,13(4):241-245
[9] 赵大江. 大同市 2005 年至 2007 年大气污染物污染状况分析[J]. 山西能源与节能,2009,53(2):58-59
ZHAO Dajiang. Analysis of pollution condition of Datong city by air pollutants during 2005—2007[J]. Shanxi Energy and Conservation,2009,53(2):58-59
[10] 刘瑞兰,任国玉,吴占华. 山西沙尘天气的相关气候因子分析及预测模型的建立[J]. 干旱气象,2009,27(2):111-117
LIU Ruilan, REN Guoyu, WU Zhanhua. Analysis on correlation climatic factors and establishment of the prediction model for dust storm events in Shanxi Province[J]. Journal of A Rid Meteorology,2009,27(2):111-117
[11] 海春兴,吴红英,秦树辉. 内蒙土默特冲积平原土壤盐碱化过程及改造途经研究[J]. 内蒙古科技与经济,2006,2:63-64
HAI Chunxing, WU Hongying, QIN Shuhui. The transformation process of salinization and method research in alluvial plain of Neimenggu Tumote[J]. The Technology and Economic of Neimenggu,2006,2:63-64
[12] 刘向东,王景龙,张世英. 山西省大气污染源调查及控制对策研究报告[R]. 2007-12:47-97
LIU Xiangdong, WANG Jinglong, ZHANG Shiying. The survey of atmospheric pollutants and research in control countermeasure in Shanxi[R]. 2007-12:47-97
[13] 张仁建,石磊,荆俊山,等. 大同市秋季大气气溶胶化学成分及来源分析[J]. 中国粉体技术,2009,15(2):7-9
ZHANG Renjian, SHI Lei, JING Junshan, et al. Chemical composition and sources apportionment of atmospheric aerosol in autumn at Datong, China[J]. China Power Science and Technology,2009,15(2):7-9
[14] 邱玉军,牛生杰,沈建国. 内蒙古沙地和草地环境下近地面 PM_{10} 分布特征及其与相关气象要素的关系[J]. 气象与环境研究,2009,14(1):97-104
QIU Yujun, NIU Shengjie, SHEN Jianguo. 2009. Characteristics of PM_{10} mass concentration and the influence from meteorological factors in differentunderlying surface conditions in Inner Mongolia[J]. Climatic and Environmental Research,2009,14(1):97-104
[15] Toshihiko T, Teruyuki N. Simulation of future aerosol distribution, radiative forcing, and long-range transport in East Asia[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2001, 79(6): 1139-1155
[16] 朱彬,马力,杨军,等. 重庆冬季大气气溶胶的物理、化学特征[J]. 南京气象学院学报,2006,29(5):662-667
ZHU Bin, MA Li, YANG Jun, et al. Physical and chemical properties of winter aerosol particles in Chongqing[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,2006,29(5):662-667

Research of correlation between precipitation pH value and PM_{10} concentration in Datong

YUE Jiang[1,2] ZHU Bin[1]
1 School of Atmospheric physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044
2 Shanxi Institute of Meteorological Science, Taiyuan 030002

Abstract By using the data of PM_{10} concentration, precipitation pH value and other conventional meteorological data of Datong, Shanxi province, the correlation between pH value and PM_{10} in different weather conditions was analyzed. The results showed that the negative correlation was significant between PM_{10} concentration and the precipitation pH value in autumn and winter. However, the correlation was not significant in summer. In springtime, the correlation coefficient showed small positive value in high wind period and small negative value in non high wind period. The reason of above results may be that strong wind happened frequently in spring, bringing alkaline dust from Inner Mongolia, which affected the pH value of precipitation and the frequency of the acid rain. Summer's windy days are less than that of spring, and the industrial acid pollutants become the main source of PM_{10}, leading to the weak acidic precipitation. In autumn and winter of heating period, the acid rain or acid snow happened more frequently under the conditions of stable meteorological condition, coal burning and abundant industrial acid pollutants.

Key words precipitation pH value; PM_{10}; correlation