

文章编号: 1004-4574(2007)05-0065-04

# 哈尔滨市降水形势对大气污染物浓度稀释的影响

王艳秋<sup>1</sup>, 杨晓丽<sup>2</sup>

(1 哈尔滨市气象局, 黑龙江 哈尔滨 150080 2 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**大量的观测事实和分析表明, 随着季节的变化, 降水对大气污染物浓度稀释的影响是比较复杂的。冬季, 降雪越多, 严重污染出现的概率越大; 降雪时的天气往往风速小, 湿度大, 空气层结较稳定, 扩散能力较弱。春季, 降水对污染物浓度的影响就大一些, 降水对 PM<sub>10</sub> 有较大的稀释作用, 尤其对 NO<sub>2</sub> 稀释的影响更大一些, 高湿的低温东风雨水对污染物浓度有降低的作用。夏季, 降水大于等于 10.0 mm 时高温高湿降水对污染物的稀释作用较大。秋季, 高湿气压降低, 降水 10 mm 以下, 对污染物浓度有降低的作用。

**关键词:**降水; 大气污染物; 季节; 稀释

中图分类号: P426.615 文献标识码: A

## Influence of precipitation condition on dilution of atmospheric pollutant concentration in Harbin City

WANG Yan-qiu<sup>1</sup>, YANG Xiao-li<sup>2</sup>

(1. Harbin Meteorological Bureau Harbin 150080, China 2. Heilongjiang Institute of Meteorological Science, Harbin 150030, China)

**Abstract** Large amount of observation and analysis shows that influence of precipitation on dilution of atmospheric pollutant concentration is more complicated because of seasonal variation. In winter, the more the snowfall, the large the probability of pollution. At snowing time, the weather is often so that the wind speed is small, the air moisture is large, the air stratum is more stable and its diffusion capability is weak. In spring, the influence of precipitation on pollutant concentration and on dilution of PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> is obvious. The weather of high moisture and the rainwater with lower temperature plays a part in decreasing pollutant concentration. In summer, when the precipitation is equal to or larger than 10 mm, the weather with high temperature and moisture has an obvious effect on dilution of pollutant concentration. In Autumn, the decrease of air pressure with high moisture and the precipitation below 10 mm perform a function to reduce the pollutant concentration.

**Keywords** precipitation; atmospheric pollutant; season; dilution

气象要素与大气污染有着非常密切的关系, 尤其是温、压、湿、风、逆温等。而这些气象要素对大气污染物浓度的影响也是互相关联的, 各年、季气象要素对污染物浓度的影响也不一样。这方面研究是较多的<sup>[1-2]</sup>。而降水对大气污染物浓度的影响关系也较复杂, 这方面研究又较少, 但又很重要, 本文就是基于此目的来研究的。本文资料来自黑龙江省气象中心、哈尔滨市环境监测中心站。

收稿日期: 2007-01-30 修订日期: 2007-06-10

基金项目: 环境监测站合作项目 (20030503)

作者简介: 王艳秋 (1968-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事天气气候研究. E-mail: wangyq\_68@yahoo.com.cn

# 1 冬季降雪对大气污染物浓度的影响

对 2000年 11月至 2003年 2月期间冬季的 49次降雪天气,分级统计了它们对污染物  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  浓度的稀释作用,见表 1,由表 1可见,冬季降雪对污染物稀释有一定的作用,但作用不很明显,几乎不能通过信度检验。而且随雪量增加反而污染浓度越重的出现概率越大。雪量在大雪以上  $50 \leq R < 100$  大气污染物浓度减少概率仅占 20% ~ 40%。原因是冬季降水基本以固态冰晶形式出现,其清洗系数比降雨来的弱一些,表现在降雪强度上要比雨强小一个数量级,密度小其沉降速度比雨滴要小的多,雪粒子与空气粒子间隙大,云和降水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的多,雪洗系数就低。即使有较大的降雪,它的稀释作用抵消不了气象条件对空气污染的影响。如 2000年 12月 30日降雪 6.2 mm,  $PM_{10}$ 浓度却增加了  $0.22 \text{ mg/m}^3$ 。降雪当天 02时观测时风速  $1.0 \text{ m/s}$  相对湿度 89%, 温度  $-14.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 。前一天 02时风速也是  $1.0$  相对湿度 81%, 气温  $-21.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。可见风速小,湿度大,气体不利扩散造成污染物浓度增加。同时所见,冬季降雪天气,气温是升高的。这与冬季气温低污染重关系相反。因此,在考虑气象因子对污染物稀释影响时,如果有降雪天气时除了湿度因子以外气温升高也是个主要影响污染加重的条件。

表 1 冬季降雪对污染物稀释影响  
Table 1 Influence of snow fall in winter on dilution of pollutant

降雪量	$0 \leq R < 1.0$			$1.0 \leq R < 5.0$			$5.0 \leq R < 10.0$		
	$PM_{10}$	$NO_2$	$SO_2$	$PM_{10}$	$NO_2$	$SO_2$	$PM_{10}$	$NO_2$	$SO_2$
总天数	29	29	29	15	15	15	5	5	5
$\Delta 24 \text{ h}$ 浓度减少天数 /d	16	15	13	6	10	5	1	2	2
减少天数与总天数的比值 %	55	51	45	40	67	33	20	40	40

# 2 春季降水对污染物稀释的影响

首先统计 2000-2003年期间春季降水与污染物  $PM_{10}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  浓度前一天减当天的浓度基金值进行统计见表 2,从表 2所见,降水对  $PM_{10}$  的稀释影响总的占 52%, 有较大的稀释作用,尤其对  $NO_2$  稀释影响更大一些,  $\Delta 24 \text{ h}$  浓度减少可达 66%, 高于  $PM_{10}$  和  $SO_2$ 。在降水大于  $3.0 \text{ mm}$  时对  $NO_2$ ,  $SO_2$  稀释作用更明显一些。从上也可以看出降水对大气污染物的稀释作用是肯定的,但也是比较复杂的过程。从理论上讲,降雪和降雨对大气污染物具有清洗作用,斯林给出污染物浓度随降水时间呈指数衰减关系:  $C = C_0 \exp(-At)$ , 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:  $A \approx J_0^{3/4}$ , 表示降水量大,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。从降水性质来看,阵性降水,由于时间短,雨滴对污染物粒子捕获率就小一些,清洗系数就小一些。相反连续性降水,降水时间长,雨滴对污染物粒子捕获率就大一些,污染物浓度减轻一些。例如基本相同的二次天气过程,2002年 4月 29日和 2003年 4月 11日,在 14时观测时风向基本 SSW, 风速  $3 \sim 4 \text{ m}$ , 相对湿度分别由前一日的  $0.16 \sim 0.19$  上升至  $0.82 \sim 0.85$  温度分别由前一日的  $23.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $14.0 \text{ }^\circ\text{C}$  下降至  $11.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $8.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 降水量分别为  $5.8 \text{ mm}$ ,  $5.5 \text{ mm}$ 。可污染物  $PM_{10}$  浓度值一个是较前一天增加,另一个是较前一天减少。分析其原因,2003年 4月 11日除了气温低、湿度大以外,就是降水时间长,降水时间为 20时 19分至 0点 56分, 10时 38分至 20时 00分。而 2002年 4月 29日,降水时间较短,为 1时 05分至 7时 50分, 8时 16分至 9时 45分, 12时 50分至 13时 23分,而且下午冷锋过境,风大一些有地面灰尘扬起。另外,一种类型地面吹东风时有降雨,  $PM_{10}$  值将减少,如 2003年 4月 7日降水  $6.3 \text{ mm}$ , 降水时间为 4时 48分至 9时 5分, 下雪时间为 14时 35分至 17时 10分,而且前一天相对湿度 19%, 气温  $13.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , 当天相对湿度 85% 气温  $2.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。可见,高湿低温东风雨时是污染降低的重要原因。

表 2 降水量对污染物  $\Delta 24$  h 浓度内减少天数  
Table 2 Pollutants  $\Delta 24$  h concentration-decreasing days by precipitation

雨量 /mm	0 0<R			1. 0≤R			3 0<R			5 0<R		
	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
总天数	29	29	29	18	18	18	11	11	11	8	8	8
$\Delta 24$ h 浓度减少天数 /d	15	19	14	10	12	8	5	7	7	4	5	5
浓度减少天数比 /%	52	66	48	56	67	45	45	64	64	50	63	63

### 3 夏季降水对污染物的稀释的影响

将 2000-2003 年期间夏季降水分为四个等级即  $0.1 \leq R < 1.0$   $1.0 \leq R < 5.0$   $5.0 \leq R < 10.0$   $10.0 \leq R$ , 分别与污染前一天与当天的浓度差值升降进行统计总样本数 35 d 见表 3。从表 3 明显所见,  $1.0$  mm 以下降水对污染物的稀释作用不明显, 甚至升高的天数还要高于减少的天数。但  $R \geq 10.0$  mm 时降水对污染物的稀释作用较大, 一些污染物浓度减少的概率占 73%。例如 2000 年 8 月 15 日降水量 45.8 mm, 08 时相对湿度 0.92, 气温 23.8℃, 气压 999.5 hPa 由阵性降水转为连续性降水, 有雷暴, 降水强度大, 而且时间长达 3 个多小时, 对大气污染清洗作用明显, 污染降低。同样 2001 年 7 月 11 日雨量在 18.5 mm, 气压 994.8 hPa 但相对湿度较小 0.62 气温较高在 24.2℃, 降水时间短。由于降水量不如 2000 年 8 月 15 日大, 湿度小, 气温高, 白天蒸发量大, 空气很快变干, 市区内容易扬尘污染。因此对夏季来讲气象条件的综合影响很重要, 既要考虑降水的清洗作用, 尤其  $R \geq 10.0$  mm 时降水, 同时综合考虑相对湿度、气温、气压的影响。

表 3 夏季 (6~8 月) 降水对污染物浓度稀释影响  
Table 3 Influence of precipitation in summer on dilution of pollutant

降水量 /mm	0.1≤R<1.0			1.0≤R<5.0			5.0≤R<10.0			10.0≤R		
	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
总天数	7	7	7	2	2	2	5	5	5	11	11	11
$\Delta 24$ h 浓度增加天数	4	4	2	8	6	7	4	5	4	3	3	3
$\Delta 24$ h 浓度减少天数	3	3	5	4	6	5	1	0	1	8	8	8
增加天数与总天数的比值 /%	56	56	30	66	50	58	80	100	80	27	27	27
减少天数与总天数的比值 /%	44	44	70	34	50	42	20	0	20	73	73	73

### 4 秋季降水对污染物稀释的影响

大气降水对污染物的稀释影响与春季一样也较为复杂, 如单从降水考虑见表 4。从表 4 所见, 降水  $0.1 \sim 10.0$  mm 对 PM<sub>10</sub> 的稀释作用很强, 比 NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 要强得多, 而且降水在小于 1.0 mm 稀释作用还要高于降水大于 10 mm 以上的稀释作用。这就很难解释降水量大污染重的道理, 只有从影响污染的气象因子去解释。例如很明显的例子, 2003 年 10 月 8 日和 10 月 9 日两天同降水 14.1 mm, 但两天 PM<sub>10</sub> 浓度结果却不一样, 10 月 8 日 PM<sub>10</sub> 上升 0.045 mg/m<sup>3</sup>, 而 10 月 9 日 PM<sub>10</sub> 下降 0.06 mg/m<sup>3</sup> 从影响气象条件对比分析来看, 见表 5。从表 5 来看 10 月 8 日降水时间 6 h 东南风较小, 气压上升, 湿度较小气温较低有利污染。而 10 月 9 日气压低, 降水时间长 9 h 西南风较大气温升高 (不超过 5 m/s) 有利扩散, 湿度大, 水汽分子可以较多吸附 PM<sub>10</sub> 微粒, 净化空气, 污染降低。又如 2002 年 10 月 6 日降水 13.8 mm, 东风较大 4 m/s 气压降低, 湿度 100% 污染减小。2003 年 9 月 25 日也符合上述污染低的气象条件。综上表明秋季  $R \geq 10.0$  mm 降水时, 如果风速较前一天加大, 气压降低, 相对湿度增加时, 污染就会降低。但也看到气温高低对污染影响不大。另外从表 5 可见,  $5.0 \leq R < 10.0$  mm 的降水对污染物的清洗作用还是很大的。

表 4 秋季 (9~ 11月)降水对污染物稀释影响的百分率

Table 4 Percentage of influence of precipitation in autumn on dilution of pollution

降水量	0.1 ≤ R < 1.0			1.0 ≤ R < 5.0			5.0 ≤ R < 10.0			10.0 ≤ R		
	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
污染物	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
总天数	8	8	8	9	9	9	2	2	2	7	7	7
Δ 24 h 浓度减少天数 /d	5	2	2	6	4	5	2	1	0	3	4	2
Δ 24 h 浓度减少天数与总天数的比值 /%	63	25	25	67	44	56	100	50	0	43	57	30

表 5 当天与前一天 08时气象条件比较

Table 5 Comparison of meteorological condition at 08:00 between the same day and the day before

日期	降水时间 /h	风向	风速 / (m · s <sup>-1</sup> )	气压	相对湿度 /%	气温 /℃
2003- 10- 08	6	西南转东南	2.0	上升	79 (变化不大)	12.1
2003- 10- 09	9	东南转西南	3.0	下降	92(变化大)	13.2

## 5 结论

本文分析了降水对大气污染物浓度稀释影响,因季节的不同,降水量不等对大气污染物浓度影响是不同的,分析表明,掌握天气形势和气象要素变化特点对做好大气质量预报很有必要。

## 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 [ J ].气候与环境研究,1999,4(3):231-236.
- [ 2 ] 高煜中,潘华盛,张桂华,等.气象条件对哈尔滨市空气质量的影响 [ J ].气象科技,2003,31(6):632-365.
- [ 3 ] 司亮,郭长虹,关荣伟,等.环境污染灾害的植物修复 [ J ].自然灾害学报,2006,15(2):85-88