

雨水酸度与降水物理特性的关系

何珍珍 金安简 黄美元 沈志来 杨蕴玉*

(中国科学院大气物理研究所)

一、引言

酸雨对工农业都有不同程度的危害,为了探讨酸雨的成因及其与降水的关系,我们在安徽芜湖湾里(1982年7月)和浙江宁波(1983年5、8月)进行了雨水 pH 值的观测,观测点都设在楼顶平台。宁波观测点的位置在市区西南边缘,西边是农田,北边和东北边是市区,有一些污染较严重的工厂,其中尤以北方的电缆厂为甚,东边和南边是民房¹⁾。

测量方法:降水开始用口径为35厘米的塑料盆轮换取样,一般情况下取样时间间隔为10分钟,取样后立即用 pH-S3 型酸度计测量雨水 pH 值,仪器误差小于0.05pH。每次取样后测出雨量并计算出雨强。从1982年芜湖观测资料的分析中⁽²⁾,我们发现雨水的 pH 值和雨强有明显的相关。为了进一步了解雨水 pH 值和雨强、雨滴大小的关系,1983年在宁波的观测工作中,在测量雨水 pH 值和雨强的同时,还用吸水纸斑痕法⁽³⁾进行了雨滴谱测量。

二、资料分析

在芜湖、宁波两地的观测中,我们注意到在一次降雨过程中不同时刻雨水的 pH 有较大的变化,其变化大小的极端值可差1—3个 pH 单位,即 H^+ 浓度可差1—3个量级。

在芜湖6次降雨过程的观测中,有3次雨水 $\overline{pH}$ 值小于5.60 ($\overline{pH} = \log \frac{\sum_i H_i^+ mm_i}{\sum_i mm_i}$), 其

中 H_i^+ 为第 i 次观测到的氢离子浓度, mm_i 为该次的降雨量),一次等于5.60。而在每一次降雨过程中都观测到雨水 pH 值小于5.60的酸雨。在宁波的22次降雨过程中,只有7次雨水的 $\overline{pH}$ 值小于5.60,而在降雨过程中出现酸雨的有10次。下面对所取得的资料作初步分析:

1. 雨水 pH 值与风向的关系

在芜湖和宁波的观测中我们看到雨水的 pH 值与风向有比较密切的关系。在芜湖,

1984年10月29日收到修改稿。

* 翁文松、宗长才、沈剑青等同志参加了部分观测工作。

1) 芜湖观测点周围的情况没有作过调查。

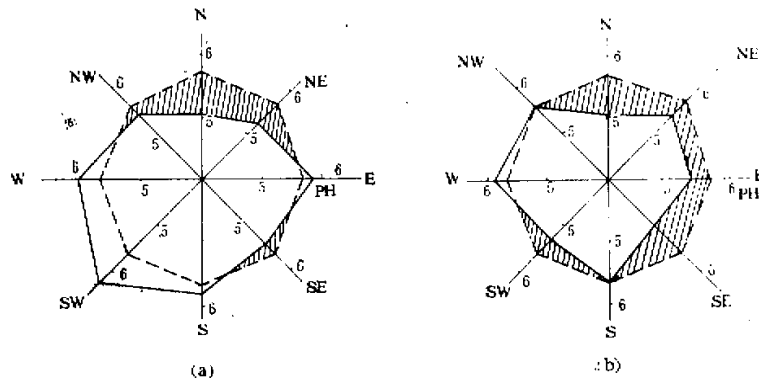


图1 雨水 pH 值与风向的关系

a 芜湖 b 宁波 图中阴影部分表示酸雨

当雨天的地面风向处于 NW-N-NE 时,雨水的 pH 都小于 5.60,尤以刮北风时为最低,如图 1(a)所示。在宁波,下雨时,除西风和西北风外,其它风向的降雨 $\overline{\text{pH}}$ 值均小于 5.60,其中也以地面刮北风时为最低如图 1(b)所示。从观测过程中酸雨的出现频率来看,芜湖刮西南风的 8 次测量中酸雨出现频率为 0,而刮北风的 14 次观测中酸雨出现频率最高,达 57%。宁波刮西北风降雨的 19 次测量中酸雨出现频率最小,为 21%,而刮北风的 23 次降雨观测中酸雨出现频率最高,为 70%。由此可见,雨水的 pH 值与降雨时近地面风场有较密切的关系,这种关系实际上反映了与大气中 SO_2 , NO_x 等污染物源地的关系。此外在雨天静风时,芜湖地区雨水 $\overline{\text{pH}}$ 值为 6.36,而宁波则为 4.90。我们认为这可能因为芜湖观测点所在的远郊机场本地污染并不严重,而宁波观测点附近有较严重的局地污染源。

2. 雨水 pH 值与雨强的关系

表 1 分别给出了芜湖、宁波两地各种不同雨强大小的 pH 值。在宁波,雨强小于 15 毫米/小时的降水,其 $\overline{\text{pH}}$ 都小于 5.60,就降水过程中出现 pH 值小于 5.60 的频率而言,雨强小于 3 毫米/小时,酸雨出现频率为 43%,雨强在 3—15 毫米/小时,酸雨出现频率减少至 36%,而雨强大于 15 毫米/小时,酸雨出现频率仅为 14%。在芜湖,雨强小于

表 1 雨水 pH 与雨强的关系

地 点	宁 波			芜 湖		
	$I \leq 3$ (mm/h)	$3 < I \leq 15$ (mm/h)	$I > 15$ (mm/h)	$I \leq 7$ (mm/h)	$7 < I \leq 40$ (mm/h)	$I > 40$ (mm/h)
雨水 $\overline{\text{pH}}$ 值	5.18	5.35	5.86	5.03	5.76	6.16
观测次数	102	112	14	66	53	13
pH < 5.60 的频率	43%	36%	14%	35%	13%	0%

7 毫米/小时雨水的 $\overline{\text{pH}}$ 为 5.03, 属酸雨性质。从频率分布来看, 这一类降水中酸雨占观测总次数的 35%。雨强在 7 毫米/小时—40 毫米/小时, 雨水 $\overline{\text{pH}}$ 大于 5.60, 酸雨出现频率仅 13%; 当雨强大于 40 毫米/小时, 就无酸雨出现了。从两地观测结果看, 都存在雨水酸度随雨强增大而减弱的趋势。

3. 雨水 pH 值与雨滴谱的关系

我们将宁波 1983 年 5 月份的雨滴谱资料 104 份和 8 月份的雨滴谱资料 264 份按其对应的雨水 pH 值分成 $\text{pH} \leq 4.70$, $4.70 < \text{pH} < 5.60$ 和 $\text{pH} \geq 5.60$ 三类。从表 2 中可见, 三者的雨滴浓度(N)、含水量(q)、雨强(I)的频率分布是不同的。根据三者的分布频率随酸度的变化规律可以作出直径 ≤ 1.6 毫米的雨滴可能是酸的; 直径 > 1.6 毫米雨滴可能不酸的估计。

表 2

雨滴直径 d (mm)	$\text{pH} \leq 4.70$			$4.70 < \text{pH} < 5.60$			$\text{pH} \geq 5.60$		
	$\frac{N}{\Sigma N} \%$	$\frac{q}{\Sigma q} \%$	$\frac{I}{\Sigma I} \%$	$\frac{N}{\Sigma N} \%$	$\frac{q}{\Sigma q} \%$	$\frac{I}{\Sigma I} \%$	$\frac{N}{\Sigma N} \%$	$\frac{q}{\Sigma q} \%$	$\frac{I}{\Sigma I} \%$
$d \leq 0.8$	82.4	21.3	11.2	79.5	19.5	9.7	16.7	10.8	5.2
$0.8 < d < 1.6$	16.2	58.3	60.4	18.3	45.2	41.3	28.2	47.3	41.7
$1.6 < d < 2.4$	1.3	17.8	24.1	1.9	20.2	25.0	4.2	29.7	35.4
$d < 2.4$	0.05	2.5	4.3	0.4	15.2	24.0	0.6	12.2	17.6
合 计	99.95	99.9	100	100.1	100.1	100	100	100	99.9

表 3. 各种不同大小雨滴的 pH 值范围

雨滴直径 (mm)	pH 值
$d \leq 0.8$	3.5—5
$0.8 < d \leq 1.6$	5—6
$1.6 < d \leq 2.4$	6—7
$d > 2.4$	> 7

根据表 2 推算出各类大小雨滴的 pH 值范围 (表 3), 将宁波 8 月份观测到的每份雨滴谱对表 3 的结果进行检验, 检验结果如表 4。在 31 份 $4.70 < \text{pH} < 5.60$ 的雨滴谱资料中, 有 30 份 pH 计算值与实际观测结果一致, 另一份的 pH 计算值比观测值少 0.1; 在 $\text{pH} \geq 5.60$ 的 29 份雨滴谱中, 有 17 份 pH 计算值与观测值相同, 余下的 12 份中 pH 计算值 ≥ 5.60 的有 10 分占该部分的 83%。

表 4 三类雨水 pH 计算值与观测值的符合率

	pH 计算值与观测值的符合率
$\text{pH} \leq 4.70$	100%
$4.70 < \text{pH} < 5.60$	97%
$\text{pH} \geq 5.60$	59%

观测到的雨滴谱,绝大多数为 $N = N_0 e^{\alpha d}$ 的指数递减谱,式中 N 为直径 d 的雨滴浓度, N_0 是总浓度,将雨滴谱按相对应的 pH 值分成三类(表 5),从图 2 和表 5 可以看出各类平均谱的 α 值有明显差别, $\text{pH} \leq 4.70$ 的平均雨滴谱 α 值最大,为 4.0; $\text{pH} \geq 5.60$ 的平均雨滴谱 α 值最小,为 2.4;而 $4.70 < \text{pH} < 5.60$ 的平均雨滴谱 α 值介于两者之间,为 3.0。这一事实说明雨滴 α 值与 pH 值的关系有如下趋势: pH 值小时 α 值较大,也即雨滴谱谱型较陡; pH 值较大时 α 值较小,雨滴谱递减较慢。从图 2 中雨滴谱的宽度也可以看出雨水 pH 值越小谱宽越窄,雨水 pH 值越大谱宽越宽。

4. 雨水 pH 值与降雨类型的关系

我们把观测到的降水分成层状云降水和雷雨云降水两类,进行比较,从表 6 可以看出层状云降水出现酸雨的频率大于雷雨云降水出现酸雨的频率。在芜湖观测到层状云降水的雨水平均 pH 值是 4.80,属酸雨。雷雨云降水的雨水平均 pH 值为 5.95,雨不酸。宁波 8 月份层状云降水雨水平均酸度为 5.12,雷雨云降水雨水平均酸度为 6.84。但是,也有例外,如宁波 5 月 15 日上午的降雨属雷雨云降水,可是在这段时间的 16 次观测中仅有一次雨水 pH 值为 6.41,而其他 15 次

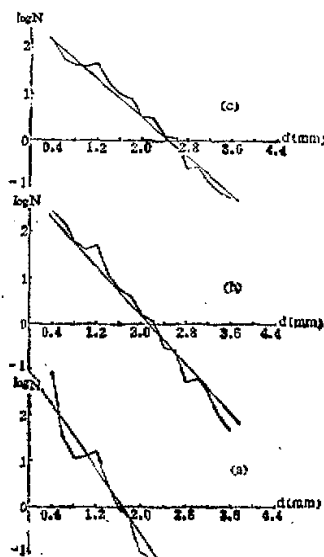


图 2 三种 pH 值雨水的平均谱及其对应的 $N = N_0 e^{\alpha d}$ 直线(1983.8. 宁波)
a— $\text{pH} \leq 4.70$, b— $4.70 < \text{pH} < 5.60$,
c— $\text{pH} \geq 5.60$ 。

表 5 三类不同 pH 值雨滴谱对应的 α 值

pH 值	$\text{pH} \leq 4.70$	$4.70 < \text{pH} < 5.60$	$\text{pH} \geq 5.60$
α	4.0	3.0	2.4

表 6 不同类型降水酸雨出现频率

	芜 湖		宁 波	
	层状云降水	雷雨云降水	层状云降水	雷雨云降水
观测次数	83	49	160	50
酸雨出现次数	26	4	67	17
频 率	31.3%	8.2%	41.0%	34.0%

pH 值都在 5.60 以下。16 次观测的平均 pH 值为 4.82; 5 月 29 日的一次层状云降水,整个降水过程的 36 次观测中仅有一次 pH 观测值是 5.36,其余 35 次观测值都在 5.60 以上,平均 pH 值为 6.12。

5. 讨论

通过对芜湖、宁波两地的雨水 pH 值观测,我们得到以下几点看法:

(1) 芜湖、宁波两地都有酸雨出现,两地的雨水 pH 值都与风向有较密切的关系,北风时出现酸雨的几率较多,这可能与大气中的污染源有关。

(2) 雨水的 pH 值与雨强也有较密切的关系,雨强小时一般 pH 值小,雨强大时,一般 pH 值大,这可能与雨滴在大气中降落时,小雨滴对大气中的 SO_2 、 NO_x 等的吸附量较大有关。在降水过程中,雨水 pH 值都是有起伏的,而有时往往与降水强度的起伏相对应。

(3) 我们推算出地面雨滴中 $d \leq 0.8\text{mm}$ 的雨滴较酸,其 pH 值在 5.0 以下, $0.8 < d \leq 1.6\text{mm}$ 的雨滴 pH 值在 5—6 之间,可能稍酸,也可能不酸, $1.6 < d \leq 2.4\text{mm}$ 的雨滴不酸,其 pH 值在 6—7 之间, $d > 2.4\text{mm}$ 的雨滴则接近中性。结合实际观测资料进行检验,除了不酸的雨水差别较大外,较酸性降雨与推算结果还是比较一致的。这个问题还需进一步用直接观测的方法来进行检验。

(4) pH 值与雨滴谱型也有一定关系,较酸、酸和不酸的三种不同 pH 值的降水其谱型也有一定差异,表现在谱型的递减率和谐宽方面。 $\text{pH} \leq 4.70$ 的降雨谱型递减率最大,谱最窄,不酸的雨 ($\text{pH} \geq 5.60$) 的降雨谱型递减率最小,谱最宽,实际上也即前者小雨滴多后者雨滴大些,这结果与表 3 的推算是较一致的。此外,从层状云降水多酸雨,雷雨云降水雨水酸度小些这点来看,也与 pH 值与谱型的关系是一致的。

参 考 文 献

- [1] 黄美元等,芜湖降雨 pH 值观测. 全国酸雨会议,重庆,1983.
- [2] B. J. 梅森,云物理学 p.619, 科学出版社,1978.