

# 2006~2018年嘉兴酸雨变化特征分析

曹沈昊 钱戈 何悦

(嘉兴市气象局 浙江 嘉兴 314050)

330119622@qq.com

**摘要** 根据嘉兴酸雨观测和常年气候数据, 统计分析酸雨的月、季、年分布规律, 揭示酸雨 pH 值、酸雨频率和降水量之间的关系, 得出结论: 嘉兴市酸雨月度分布呈两个波峰和一个波谷, 酸雨 pH 值与酸雨频率和降水量存在一定规律, 但 SO<sub>2</sub>月排放量对酸雨月度分布占主导作用; 季度分布来看, 夏季酸雨波谷对应降水量波峰, 其余季节规律性一般; 嘉兴市年度酸雨分布总体呈阶梯式递减, 自 2015 年明显减弱, 年均降水 pH 值将来有望达到非酸雨标准, 完全脱离酸雨区。从长期资料来看, 酸雨和降水强度并不是单一线性关系, 降水平均酸度随降水强度先增大后减小。在嘉兴地区, 中雨的降水强度最为满足湿沉降条件, 可作为本市酸雨防控的参考依据。

**关键词** 酸雨 pH 值 酸雨频率 湿沉降

**引言** 酸雨是指 pH<5.6 的大气降水<sup>[1]</sup>, 是由于人类活动排放的大量酸性物质, 溶于雨水降落到地面所形成的<sup>[2]</sup>, 对生态环境危害极大。在我国的三大酸雨污染区中, 嘉兴市属于华东酸雨区, 其污染强度仅低于华中、西南酸雨区<sup>[3]</sup>。嘉兴市气象局于 2006 年开始酸雨观测, 将酸雨观测历年序列资料与气候数据结合, 研究酸雨历史变化特征和发生发展趋势, 给有关部门对酸雨防控和生态环境保护提供理论支持和决策依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料及来源

酸雨观测按照《GB/T 19117-2017》, 以北京时间 08 时为日界采集降水样品, 当日降水≥1.0mm 时, 测量样品的 pH 值、雨量, 并定期参加观测质量样品考核。资料采用嘉兴国家气象观测站 2006~2018 年酸雨观测资料, 按标准文件进行质量控制, 即根据本站前三年 pH 值、电导率测量极值的第 5 个高(低)位值确定本年度站内复测上(下)限值, 以此为依据去除可疑数据。大气二氧化硫浓度取自 2013~2017 年嘉兴市环境保护监测站的空气自动站数据。

### 1.2 方法

根据中国气象局颁发的《酸雨观测业务规范》, 酸雨分为三个等级: pH 值≥5.6 为非酸雨, 4.5≤pH 值<5.6 为弱酸雨, pH 值<4.5 为强酸雨。根据《GB/T 19117-2017》关于酸雨观测资料的统计方法, 用氢离子浓度-雨量加权法计算平均 pH 值。

$$pH_{avg} = -lg \left\{ \frac{\sum [H^+]_i \cdot V_i}{\sum V_i} \right\} \quad (式 1)$$

pH<sub>avg</sub> 为平均 pH 值

V<sub>i</sub> 为逐日降水量

[H<sup>+</sup>]<sub>i</sub> 为逐日降水的氢离子浓度

氢离子浓度的计算公式为

$$[H^+]_i = 10^{-pH_i} \quad (式 2)$$

pH<sub>i</sub> 为逐日降水 pH 值

酸雨或强酸雨频率的计算公式为

$$F = \left( \frac{N}{N_T} \right) \times 100\% \quad (式 3)$$

F 为酸雨或强酸雨频率

N 为降水 pH 值小于 5.6 或 4.5 的日数

$N_i$  为酸雨观测总日数

本文主要从气象角度出发,酸雨强度以 pH 值和酸雨频率作为评价指标,辅以二氧化硫污染物监测数据,得出各等级酸雨的分布情况和月、季、年度的变化规律,根据酸雨强度的年际走势判定嘉兴市酸雨区落区。

## 2 嘉兴市酸雨分布规律

### 2.1 月度分布

嘉兴市酸雨月度分布存在明显的波峰和波谷。降水 pH 低值区分上下半年,包括 1-4 月和 10-12 月两个阶段,但上半年降水 pH 值低于下半年,其中 1、3、12 月平均降水 pH 值达强酸雨标准。降水 pH 高值区为 6-7 月,其余月份位于中间水平。这主要是由于降水 pH 低值区都处在  $SO_2$  排放量较大的月份,见图 1。

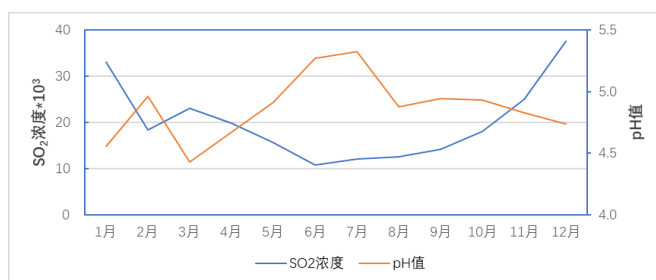


图 1 嘉兴市 2013~2017 年各月  $SO_2$  浓度与降水 pH 值

比较降水 pH 值与酸雨频率和强酸雨频率,可看出降水 pH 值与两者都呈负相关,见图 2。嘉兴市历年 3 月的酸雨发生频率高达 70%,对应 pH 的最低值 4.20,说明酸雨频率高的月份,其酸雨的酸性也较高<sup>[3]</sup>。7 月酸雨发生频率低至 23%,对应 pH 最高值的 5.18,说明酸雨频率低时,酸雨的酸性也随之减弱。

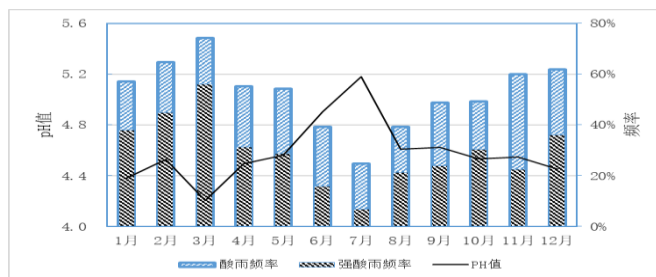


图 2 嘉兴市 2006~2018 年各月平均酸雨频率与降水 pH 值

除了  $SO_2$  排放量对降水 pH 值的主要影响,在  $SO_2$  排放量小的月份,降水量与降水 pH 值也存在规律性。嘉兴处长江中下游,6、7 月受梅雨带影响,降水集中,雨量充沛。2000 年以来,嘉兴市入梅时间以 6 月居多,梅雨期集中降水使得 6 月降水量突增, pH 值上升明显,并在 7 月达到峰值,此后又开始走低。

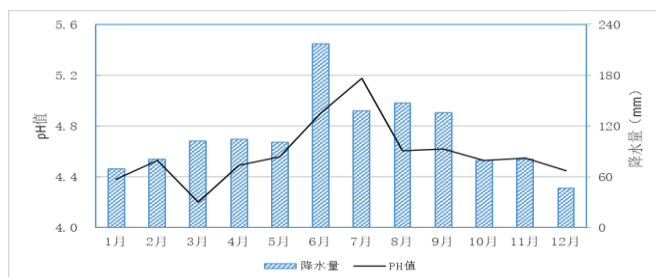


图 3 嘉兴市 2006~2018 年各月平均降水量与 pH 值

### 2.2 季度分布

嘉兴市酸雨季节分布特征较为明显。夏季酸雨 pH 值明显高于其他季节,达 4.9,酸雨和强酸雨频率明显低于其他季节,分别为 34.4%、14.6%,说明夏季酸雨强度最低。春、冬季的酸雨强度最高,两者的 pH 值、酸雨和强酸雨频率基本相当,其中春、冬季 pH 值均为最低,达 4.4,冬季酸雨和强酸雨频率最高,分别为 61.3%、39.5%。秋季酸雨强度相对较低,位于弱酸雨标准。查询嘉兴市历年各季度降水量,发现夏季

酸雨强度的波谷对应了降水量的波峰，但其他季节分布的规律性不十分明显。

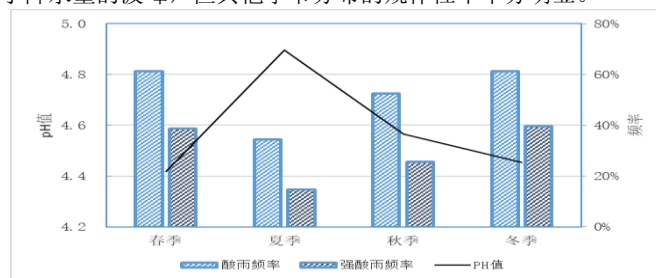


图4 嘉兴市

2006~2018年各季平

均酸雨、强酸雨频率与pH值

### 2.3 年度分布

嘉兴市酸雨年度分布呈前高后低趋势，酸雨频率在 33.5%（2016 年）~65.1%（2009 年）之间，强酸雨频率在 3.6%（2016 年）~50.8%（2007 年）之间，酸雨 pH 值在 5.23（2016 年）~4.20（2007 年）之间。图 5 表明，2006~2010 年，嘉兴酸雨强度维持较高；2011 年起，大气环境逐渐改善；到 2015 年，不仅酸雨和强酸雨频率大幅降低，酸雨 pH 值更是逼近 5.0 大关；此后 2016、2017 两年都维持在 5.2 以上，2018 年的年均 pH 值甚至升至 5.59，即将突破 5.60 达到非酸雨标准，其中一大原因是嘉兴 2018 年降水量达历史第 3 高值，强降水对酸性物质的冲刷和稀释效果显著。

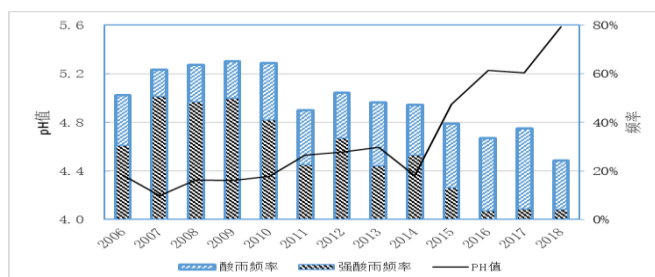


图5 嘉兴市 2006~2018 年平均酸雨、强酸雨频率与 pH 值

### 3 酸雨与降水强度

进一步研究嘉兴酸雨与降水强度的关系，对 2006~2018 年酸雨逐日观测数据、酸雨当日降水量进行统计分析。

在 2006~2018 年逐日酸雨观测数据中，统计日雨量大于 1.0mm 时的有效样品测量值，共计 1353 个样本。由于酸雨观测以北京时间 08 时为采样日界，与地面观测的 20 时日界不同，日雨量以酸雨观测业务软件 OSMAR2005 形成的报文为准。根据降水强度的分级，统计强、弱酸雨频率和降水 pH 均值，得出酸雨与降水强度的简单量化关系。

表 1 可见，酸雨和降水强度的关系并不是单一线性走向，降水平均酸度随降水强度先增大后减小<sup>[4]</sup>，中雨和大雨的降水平均酸度较高，小雨和暴雨则较低，且两者差异显著。比较酸雨频率与降水强度的关系，同样呈先增大后减小的走向，不同的是中雨的强酸雨频率尤为突出，而暴雨的强酸雨频率和酸雨频率明显最低。究其原因，降水量大可稀释大气中污染物的浓度<sup>[5]</sup>，湿沉降效果显著，降水量小则吸收酸性离子能力不足。但同时，降水强度大，尤其是雨滴粒径大、降落速度快，在空中停留时间短，污染物通过雨除和冲刷过程，进入雨滴的相对会减少<sup>[5]</sup>。此外，中雨的强酸雨频率、酸雨频率、降水 pH 均值三项都最为突出，可以认为在嘉兴市，中雨的降水强度最为满足湿沉降条件。

表 1 酸雨和降水强度的关系

项目	降水强度			
	小雨	中雨	大雨	暴雨
强酸雨频率 (%)	33.4	43.0	33.8	25.0
弱酸雨频率 (%)	27.6	32.6	40.3	33.3
酸雨频率 (%)	61.0	75.6	74.1	58.3

在此基础上进一步细分降水量级，对每一量级规划合理的样本数，得出酸雨随降水量增大的详细走势（图 6），与上述结论相符，并且可以看到当降水量级为 1mm 或大于 100mm 时，降水 pH 均值甚至没有达到酸雨标准，进一步佐证了上述观点。

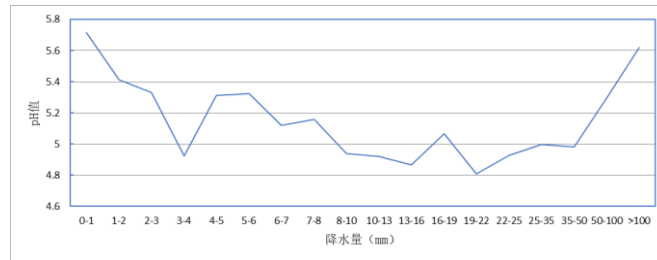


图 6 酸雨和降水量级的关系

李正泉等<sup>[4]</sup>对临安大气本底站 1993~2012 年序列资料进行分析，发现降水酸性和酸雨频率高值主要表现在小雨、中雨降水强度，与嘉兴站结果有所不同，说明湿沉降条件存在地区差异。不同污染物浓度和气候条件下，湿沉降条件也不尽相同，有待进一步探讨。

#### 4 酸雨区划分

过去国内对酸雨区分类尚未有统一标准。一般认为，年均降水 pH 值在 5.30~5.60 之间、酸雨率在 10%~40% 的为轻酸雨区；PH 值在 5.00~5.30 之间、酸雨率在 30%~60% 的为中度酸雨区；PH 值在 4.70~5.00 之间，酸雨率在 50%~80% 的为较重酸雨区；PH 值小于 4.70，酸雨率在 70%~100% 的为重酸雨区<sup>[6]</sup>。这种分类方法虽然综合考虑了 pH 值和酸雨频率，但不同酸雨区的界限较模糊，互相间存在交叉。2017 年颁发的气象行业标准《QX/T 372-2017》以如下标准对酸雨区分类。

表 2 酸雨区等级

级别	平均降水 pH 值
较轻酸雨区	$5.0 \leq \text{pH}_{\text{avg}} < 5.6$
轻酸雨区	$4.5 \leq \text{pH}_{\text{avg}} < 5.0$
重酸雨区	$4.0 \leq \text{pH}_{\text{avg}} < 4.5$
特重酸雨区	$\text{pH}_{\text{avg}} < 4.0$

仅分析嘉兴单站，综合表 2 标准和图 5 数据，2006~2018 年  $\text{pH}_{\text{avg}} = 4.66$ ，嘉兴市应处于轻酸雨区，但实际上，嘉兴市酸雨强度年际变化跨度较大，不能一概而论。按照不同的历史阶段，嘉兴市 2006~2010 年处于重酸雨区，2011~2015 年处于轻酸雨区，2016~2018 年处于较轻酸雨区，年际分布呈阶梯式递减，其中的历史结点具有指示性意义。

#### 5 政府措施

主要污染物排放总量削减是国家在十一五、十二五期间中明确提出的约束性指标，浙江省、市各级政府根据《国务院关于印发节能减排综合性工作方案通知》精神，签订了《主要污染物总量减排目标责任书》，全面推进污染物减排工作。

根据嘉兴市环境保护监测站的空气自动站数据，图 7 列出了 2013~2017 年每月二氧化硫浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) 与酸雨 pH 值的走势对比，很好地说明了问题。得益于十一五、十二五规划的有效落实，嘉兴市及周边地区二氧化硫污染物排放量明显减少，2015 年后市区监测到的二氧化硫浓度大幅降低，与酸雨年际变化的拐点吻合，现今嘉兴市酸雨危害已减弱到可控范围以内。

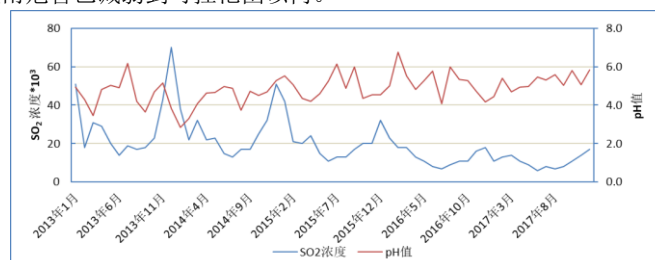


图7 嘉兴市 2013~2017 年每月 SO<sub>2</sub>浓度与酸雨 pH 值

## 6 小结

- 6.1 嘉兴市 3 月酸雨强度最大, 酸雨 pH 值为 4.20; 春、冬季酸雨强度最大, 冬季酸雨频率高达 61.3%, 夏季受充沛降水影响, 酸雨和强酸雨频率明显低于其他季节, 分别为 34.4%、14.6%。
- 6.2 嘉兴市 2006~2010 年均酸雨 pH 在 4.5 以下, 达强酸雨标准, 2011~2018 (2014 年除外) 年均酸雨 pH 值在 4.5 以上, 达弱酸雨标准。
- 6.3 按月度分析, 嘉兴市酸雨 pH 值和酸雨频率、降水量分别存在一定的规律性, 但 SO<sub>2</sub>月排放量对酸雨分布占主导作用。季度分布来看, 夏季酸雨波谷对应降水量波峰, 其余季节规律性一般。
- 6.4 从长期资料分析, 酸雨和降水强度并不是单一线性关系, 降水平均酸度随降水强度先增大后减小。中雨的降水强度最为满足湿沉降条件, 可作为嘉兴市酸雨防控的参考依据。
- 6.5 嘉兴市酸雨年际变化存在 2006~2010 年、2011~2014 年、2015~2018 年三个阶段, 呈阶梯式递减, 将来有望脱离酸雨区, 这主要归功于十一五、十二五规划中政府强制执行的节能减排措施。

## 参考文献:

- [1]李铁峰. 环境地学概论[M]. 北京. 中国环境科学出版社. 1996. 56-57.
- [2]吴丹, 王式功, 尚可政. 中国酸雨研究综述[J]. 干旱气象, 2006, 24(2):70-77.
- [3]魏俊, 吴明江. 嘉兴市酸雨特征及气象条件分析[J]. 南方农业, 2017(36):68-69.
- [4]李正泉, 马浩, 毛裕定等. 临安本底站酸雨长期观测特征分析[J]. 环境科学, 2014, 35(2):481-489.
- [5]赵晓莉, 闫军, 陈中钰等. 2006—2013 年四川酸雨变化特征分析[J]. 气象与环境科学, 2015, 38(2):54-59.
- [6]张俊茹. 浅谈酸雨的形成与危害及其防治方法[J]. 吉林气象, 2006(4):35-36.