

文章编号: 1000-2022(2004) 06-0784-07

南宁市酸雨特征及来源分析

黄海洪¹, 董蕙青¹, 陈², 高安宁¹

(1. 广西气象减灾研究所, 广西 南宁 530022; 2. 南宁市环境保护局, 广西 南宁 530018)

摘要:通过对酸雨观测资料和污染源资料的统计分析, 并利用拉格朗日烟团模式计算表明, 南宁市酸雨的频率较高, pH 值较小; 南宁市酸雨的来源构成以外来源为主。运用天气学诊断方法, 对气象要素影响酸雨来源进行了分析, 结果表明, 南宁市酸雨主要受东北方污染源影响, 且冬春两季的影响最大, 风频及逆温对酸雨的影响较大。在上述分析的基础上, 总结出近两年大气环流影响酸雨的几种类型, 其中以高空槽锋面型为最多, 酸雨影响程度也最严重。

关键词:酸雨; 污染来源; 特征分析

中图分类号: X517 **文献标识码:** A

酸性沉降包括酸性雨、酸性雪、酸性雾及酸性干沉降等, 是当今世界重大环境问题之一, 它的产生与工业化污染有着密切的关系。酸雨的来源和形成机理是环境酸化控制研究的一个核心问题^[1]。大气污染物的长距离输送已使酸沉降跨越国境, 引起全球性的关注。如科学家应用大气扩散模型计算分析后指出, 欧洲的大气污染物主要来自大型工业污染区的排放源^[2]。美加两国研究人员证实, 加拿大至少有 60% 的酸沉降来自美国, 而美国只有 15% 的酸沉降来自加拿大^[3]。我国近几年也开展了这方面的工作, 如王文兴等^[4]的分析发现, 中国东部沿海地区的酸沉降主要受朝鲜半岛和日本的影响。南宁市地处我国的酸雨控制区, 虽然“九五”期间加大了大气污染防治, 尤其是加大二氧化硫污染控制的力度, 实现了二氧化硫排放总量大规模削减, 并控制在国家和自治区下达的污染物总量控制指标之内, 但南宁市的酸雨频率一直居高不下, 在广西各城市中列第二。有鉴于此, 对南宁市酸雨来源、成因机制的研究意义重大, 可为有关部门采取措施减少酸雨的影响提供科学依据。

1 试验观测及分析方法

1.1 资料收集及整理

南宁市主要酸雨前体物 SO₂ 的源地调查、排放强度的资料由南宁市环保部门业务监测数据库提供。为了更好地监测酸雨的变化情况, 环保和气象部门联合在市区、郊区和周边县市设置了 12 个酸雨监测点, 开展降水 pH 值、电导率和各种阴阳离子成分的监测, 以及大气、降尘监

收稿日期: 2003-04-01; 改回日期: 2003-07-18

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(0322220)

作者简介: 黄海洪(1963-), 男, 广西南宁人, 高级工程师, 主要从事环境气象学研究。

测。为了提高资料的可比性, 所分析的降水个例都是同一过程的监测信息。

1.2 分析方法

用统计方法分析本地主要污染源排放量的变化和酸雨 pH 值、频率、降水离子成份; 用拉格朗日烟团模式计算酸沉降量, 以确定不同污染源的贡献。在此基础上主要从气象条件入手分析酸雨污染来源。

2 酸雨基本概况

2.1 酸雨 pH 值、频率

根据表 1, 1997 年以来南宁市酸雨频率都在 50 % 以上, 明显高于 20 世纪 90 年代初期, 而降水 pH 值是稳中有降, 年平均值都低于 5.6, 这说明南宁市的酸雨影响是较严重的。对南宁市 1991—2001 年逐月酸雨观测值进行分析(图 1) 可见, 每年 5—8 月月平均 pH 值较高, 相对而言 6 月份较低, 1—3 月 pH 值较小, 尤其以 3 月份最小。酸雨频率则与 pH 平均值变化大致相反, 1—4 月频率较高, 5—9 月频率较低, 其中 2 月份的酸雨频率最高, 达到 90.5 %。

表 1 南宁市二氧化硫排放与酸雨状况年度变化

Table 1 Annual variations of SO₂ concentration and acid rain in Nanning

年份	ms ₂ /t	pH 值	酸雨频率/ %	年份	ms ₂ /t	pH 值	酸雨频率/ %	年份	ms ₂ /t	pH 值	酸雨频率/ %
1991	34 370	5.34	25.6	1995	19 458	4.47	61.8	1999	25 200	5.07	56.1
1992	43 057	5.13	56.4	1996	25 100	4.83	43.4	2000	18 496	4.78	61.8
1993	34 381	4.74	52.6	1997	30 700	4.89	53.8	2001	13 502	4.81	75.3
1994	34 380	4.87	66.1	1998	25 000	4.82	76.8				

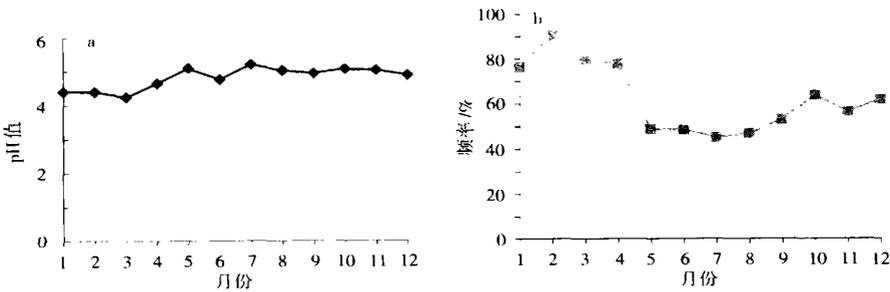


图 1 南宁市酸雨月际变化

a. pH 值; b. 频率

Fig. 1 Monthly variations of acid rain in Nanning

a. pH value; b. acid rain frequency

2.2 降水离子成份

由表 2 可见, 第 1 季度和第 4 季度降水离子浓度较高, 大部分离子浓度的季度变化趋势较一致; 阴/阳离子比例在 0.92 ~ 1.22 间, 其中最高值出现在第 3 季度, 最低值出现在第 1 季度; 在 4 个季度中硫酸根均为降水阴离子的首要成份, 而各季度的阳离子首要成份是钙离子。

表 2 2001—2002 年降水离子成份季度变化

Table 2		Seasonal variations of precipitation ion in 2001—2002								$\mu\text{mol/L}$
	硫酸根	硝酸根	氟离子	氯离子	铵根	钙离子	镁离子	钠离子	钾离子	阴/阳
1 季度	230.2	44.5	25.8	38.8	100.3	202.1	4.0	38.3	23.3	0.92
2 季度	69.1	11.9	12.7	5.8	35.6	40.9	1.1	12.1	5.1	1.05
3 季度	90.2	9.5	11.3	14.1	38.6	48.3	1.5	10.8	3.0	1.22
4 季度	137.1	14.8	13.2	40.1	34.3	107.8	4.6	19.1	12.7	1.15
平均	136.6	20.2	15.8	24.7	52.2	99.8	2.8	20.1	11.0	1.09

3 污染源排放对酸雨的影响

3.1 本地污染源

南宁市降水属典型硫酸型, 1991—2001 年, 硫酸根一直占据降水阴离子的首位。以当量计算, 其所占比例在 54.2% ~ 75.6% 之间。硫酸根主要来源于人类活动过程中排放的二氧化硫。因此分析南宁市本地污染源二氧化硫排放量及大气二氧化硫浓度的变化规律, 对研究南宁市酸雨成因具有重要意义。

由表 1 可知, 南宁市的二氧化硫排放量呈稳步下降趋势, 2001 年与 1991 年相比, 二氧化硫削减率高达 60.7%, 大气二氧化硫从 1995 年起也达到国家空气质量二级标准。尽管如此, 南宁市的酸雨频率及 pH 值基本保持稳定。降水 pH 值与二氧化硫排放量、大气二氧化硫浓度的相关系数分别是 0.559、0.064; 酸雨频率与二氧化硫排放量、大气二氧化硫浓度的相关系数分别是 0.447、0.062。可见, 降水 pH 值、酸雨频率与二氧化硫排放量、大气二氧化硫浓度有一定的相关性, 但并不显著。这说明南宁市的酸雨污染与本地污染源排放有一定的关系, 但更主要的是受到外来源的影响。

3.2 酸沉降模型计算结果

为进一步定量了解南宁市的酸雨来源构成, 根据气象资料和污染源资料, 采用酸沉降模型—RAINS-ASIA 模型进行计算^[5]。烟团轨迹模式是用一系列连续释放的烟团随风场一起变化来模拟烟流, 烟团遵循拉格朗日轨迹运行, 其大小与风运行的距离有关。该模式已在世界银行组织开展的亚洲酸雨模式研究中被采用。

3.2.1 烟团模式简介

(1) 烟团轨迹的计算

$$x(t + \Delta t) = x(t) + [u(t) + u(t + \Delta t)] \times \Delta t / 2;$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + [v(t) + v(t + \Delta t)] \times \Delta t / 2。$$

式中, Δt 为时间步长, $u(t)$ 、 $v(t)$ 为风速分量。

(2) 硫沉降的计算

$$[\text{SO}_2](x_j, y_j, t + \Delta t) = M_{\text{SO}_2}(j, t + \Delta t) \times \exp[-r^2 / (2\sigma^2)] / (2\pi\sigma^2 LV);$$

$$[\text{SO}_4](x_j, y_j, t + \Delta t) = M_{\text{SO}_4}(j, t + \Delta t) \times \exp[-r^2 / (2\sigma^2)] / (2\pi\sigma^2 LV)。$$

上式中, $[\text{SO}_2]$ 、 $[\text{SO}_4]$ 分别为二氧化硫及硫酸盐浓度, M_{SO_2} 、 M_{SO_4} 为二氧化硫及硫酸盐的源强, L 为混合层高度, V 为沉降速率, σ 为扩散参数, r 为烟团中心与计算网格点的距离, j 为模式格点序号。由计算出的浓度值, 可以求出相应的沉降量:

$$m_{d,SO_2} = [SO_2](x_i, y_j, t) V_{SO_2} \Delta t,$$

$$m_{d,SO_4} = [SO_4](x_i, y_j, t) V_{SO_4} \Delta t,$$

$$m_{w,SO_2} = [SO_2](x_i, y_j, t) K_{SO_2} L \Delta t,$$

$$m_{w,SO_4} = [SO_4](x_i, y_j, t) K_{SO_4} L \Delta t,$$

$$\text{总硫沉降量} = (m_{d,SO_2} + m_{w,SO_2})/2 + (m_{d,SO_4} + m_{w,SO_4})/2.$$

式中, m_{d,SO_2} 、 m_{w,SO_2} 表示 SO_2 的干沉降量和湿沉降量, m_{d,SO_4} 、 m_{w,SO_4} 表示 SO_4 的干沉降量和湿沉降量, V_{SO_2} 、 V_{SO_4} 分别表示 SO_2 和 SO_4 的干沉降速率, K_{SO_2} 、 K_{SO_4} 分别表示 SO_2 和 SO_4 的湿沉降速率。

(3) 模式计算方案

假定烟团在垂直方向上的混合层内混合均匀, 在混合层外浓度为零, 水平方向按高斯分布扩散, 面源假定为在面源中心释放的地面源。扩散参数 $\sigma(s) = as^{0.9}$, 其中 s 为烟团运行的距离 (m), a 为经验系数。

3.2.2 模式计算结果

烟团模式的计算表明, 2000 年南宁市本地污染源对硫沉降量贡献率为 30%, 2001 年为 28%; 2001 年硫酸根湿沉降量计算值与同年降水硫酸根实测值的相关系数为 0.9。二氧化硫年平均浓度和年总硫沉降最大中心位于南宁市东北方 100 km 左右的区域。上述模式计算表明, 南宁市二氧化硫排放量较小, 硫沉降总量的贡献率以外来源为主。

4 气象条件对酸雨污染来源的影响

4.1 地面风场的影响

南宁市位于北回归线以南的南宁盆地, 呈枋锥形, 市区位于盆地中部, 整个地形大致是东北部高, 向西南倾斜。统计表明, 南宁市近 5 a 的平均静风频率为 39%, 平均风速为 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。全年盛行东东北、东北、东 3 个风向。从季节变化看, 秋季和冬季偏东北方向的风较多, 而春季和夏季则以偏东南风稍多。表 3 是根据南宁市 1991—2001 年资料统计的。由表 3 可见静风频率与酸雨强度的变化趋势较一致, 即静风频率越大, 酸雨强度越强。从统计分析可知, 在出现酸雨的情况下, 静风的频率达到 53.4%; 除静风外, 南宁市风向频率集中在东东北—偏东方向, 冬半年以偏东北风为主, 夏半年以偏东南风为主。这可能是由于静风更有利于污染物的累积, 而不利于污染物的扩散。

表 3 静风频率与酸雨季度变化对比

Table 3 Comparison of seasonal variations between calm wind frequency and acid rain

静风频率/%		pH 值	酸雨频率/%	静风频率/%		pH 值	酸雨频率/%
第 1 季度	47.5	4.32	82.3	第 3 季度	30.9	5.10	47.2
第 2 季度	36.4	4.84	54.6	第 4 季度	46.5	4.78	61.3

4.2 降雨量的影响

将 1991—2001 年的全部降水样品按 4 个不同范围, 分别统计其平均 pH 值和酸雨频率(表 4)。由表 4 可知, 降水量小于 10 mm 时, pH 值较低; 当降水量超过 10 mm 时, 随着雨量的增大, 雨水对氢离子浓度起了一定的稀释作用, 从而导致降水 pH 值的升高。当降水量小于 10 mm 或

大于 50 mm 时, 酸雨频率较低, 其余降水量范围酸雨频率较高。

表 4 降水与酸雨状况对应分析

Table 4 Comparison of precipitation and acid rain

降水/mm	pH 值	酸雨频率/%	降水/mm	pH 值	酸雨频率/%
< 10	4. 67	64. 3	> 30 且 < 50	4. 88	76. 4
> 10 且 < 30	4. 82	82. 9	> 50	4. 93	75. 2

4. 3 天气系统的影响

1999—2002 年共收集了 418 个降水样本, 其中降水 pH 值小于 5. 6 的有 277 个, 小于 4. 5 的有 119 个。由表 5 可知, 在出现酸雨的个例中, 大气环流的模型主要有 3 类, 即高空槽锋面型、热带系统影响型、高压后部型。其中高空槽锋面型最多, 酸雨影响程度也最严重。以下主要分析前两类天气类型。

表 5 天气系统与酸雨对应分析

Table 5 Comparison of weather system and acid rain

	高空槽锋面型	热带系统影响型	高压后部影响型	其他系统影响型
个例比率/%	71. 4	7. 6	13. 8	7. 2
pH 值	4. 6	5. 4	5. 1	5. 3
酸雨频率/%	82. 5	46. 4	68. 9	73. 8

4. 3. 1 高空槽锋面型

该类型的天气除盛夏冷空气较弱、影响较小外, 其他季节冷空气均可南下影响南宁市, 并造成降水。统计分析发现, 南宁市酸雨的出现与冷空气南下影响广西的路径有密切关系。

一般情况下, 影响广西的冷空气路径主要有 3 条, 即东路、中路、西路。东路冷空气影响与南宁市酸雨的出现关系最密切, pH 值最小的个例也出现在这种类型中。东路冷空气是指北方冷空气进入我国后, 从河套地区以东沿 115°E 附近南下, 经两湖盆地东部地区至湘桂铁路沿线侵入广西。该类冷空气强度较弱, 东北气流与强度相当的西南风暖湿气流相对峙时, 容易造成明显的降水。该类型的大气环流模型是, 我国中纬度环流较平直, 不断有小槽东移, 南支槽较活跃, 西风槽后西北气流与南支槽前西南气流交绥于广西上空, 地面则是东北气流与偏南气流交绥于华南沿海。

中路冷空气影响与南宁市酸雨的出现关系仅次于东路冷空气。中路冷空气一般是指北方冷空气主力进入我国后, 从河套地区沿 110°E 附近南下, 经华中、两湖盆地、黔东和桂东影响南宁市, 此类冷空气南下时, 风力较大, 多伴有降水。

上述两种冷空气影响模式的特点是, 地面冷高压脊从华北经两湖盆地伸入广西, 冷空气到达前, 整个广西吹偏南风, 低层暖湿而带有酸性的气流沿着冷高压脊向北辐合上升, 当气流抬升、气温下降至凝结温度时, 便形成酸性降水。主要辐合区在桂北、桂中一带。在偏北气流引导下, 酸雨南移影响南宁市。由此可见, 位于南宁市北方的柳州工业区、来宾、合山火力发电厂等二氧化硫排放大户是南宁市酸雨污染的重要来源。

西路冷空气影响与南宁市酸雨出现的关系不密切。西路冷空气是指北方冷空气主力进入我国后, 从河套以西经青藏高原, 进入四川盆地、云贵高原南下影响广西。此类系统南下时具有

强度强、风力大、降水时间短等特点, 这时南宁市出现酸雨的几率很小, pH 值也较大。

4.3.2 热带系统影响型

重点对热带风暴的影响进行分析。2002年8月19日热带风暴“黄蜂”在湛江沿海登陆后, 风暴中心进入我区东南部, 19至20日风暴快速向西北方向移动。受该风暴影响, 广西普降大雨, 风暴中心经过的地区有4~6级东到东南风。此次过程的酸雨pH值, 广西除梧州市为5.55, 基本达到酸雨程度外, 南宁、柳州的pH值分别为6.54、6.38, 均达不到酸雨的标准。该类系统的影响特点是风速较大、天气系统移动快, 加之降水上游桂东南和沿海地区工业污染较小, 所以该类型天气对南宁市的酸雨影响不大, 也说明南宁市酸雨污染来源主要不是在东南方。

4.4 近地层逆温对酸雨的影响

大气出现逆温意味着大气稳定度较大, 大量SO₂和NO_x被抑制在逆温层内, 并在一定的条件下通过气相、液相氧化反应过程, 有利于降水的酸化。选取2000—2001年11个酸性降水个例分析酸雨与逆温的关系, 这些个例的逆温是指850 hPa高度以下的低层逆温。由图2可知, 两者基本呈负相关, 即逆温较强有利于酸性的增强, 反之亦然。冬春两季降水时高空逆温较明显, 而且逆温值较大, 因此酸性降水的频率较大。夏秋季节降水时高空逆温不明显甚至没有逆温出现, 因此产生酸雨的频率较小, 说明逆温对酸雨的产生起到一定的作用。

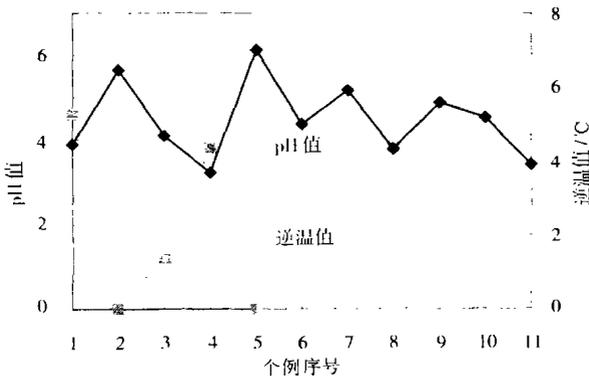


图2 逆温与pH值对比分析

Fig. 2 Comparison of temperature inversion and pH value

5 结论

- (1) 南宁市的酸雨在冬春两季频率较高, pH值较小, 夏秋两季则频率较低, pH值较大。
- (2) 南宁市的SO₂的排放量小, 外来污染源对硫沉降量的贡献率为70%, 说明南宁市酸雨的污染源以外来源为主。
- (3) 南宁市的酸雨污染源主要来自其北方的广西主要工业区。主要影响系统是高空槽锋面型, 冷空气影响的主要路径是东路和中路。
- (4) 静风、逆温对南宁市酸雨的形成起到一定的促进作用。

参考文献:

- [1] 樊后保. 世界酸雨研究情况[J]. 福建林业学院学报, 2002, 22(4): 371-375.
- [2] Ottar B. Organization of long range transport of air pollution monitoring in Europe[C]. Symp Acid Precipitation and the Forest Ecosystem Rep NE-23. Pennsylvania, 1976: 105-117.

- [3] Carroll J. The need for a bilateral resolution[J]. *Alternatives*, 1983, 11(2): 9-12.
- [4] 王文兴, 丁国安. 中国降水酸度和离子浓度的时空分布[J]. *环境科学研究*, 1997, 10(2): 1-6.
- [5] Amdt R L, Carmichael G R. Long-range transport and deposition of sulfur in Asia[J]. *Water Air Soil Polute*, 1995, 85(2): 2 283-2 288.

Characteristics and Origin of Acid Rain in Nanning City

HUANG Hai-hong¹, DONG Hui-qing¹,
CHEN Hong², GAO An-ning¹

(1. Guangxi Research Institute of Meteorological Disaster Mitigation, Nanning 530022, China;

2 Nanning Environment Protection Bureau, Nanning 530018, China)

Abstract: The observed data of acid rain and pollution source are analyzed, and the analysis shows that the frequency of Nanning acid rain is high and the pH value is low. The computational results of the Lagrange plume model indicate that the Nanning acid rain is mainly affected by external pollution sources. The synoptic diagnoses for pollution sources suggest that the Nanning acid rain is mainly affected by the NE pollution source, especially in winter and spring, and it is influenced also by wind frequency and inversion. Based on above analyses, we conclude several types of circulations affecting acid rain, among those, the upper trough-cold front type is the major one.

Key words: acid rain; pollution source; characteristics analysis