南宁酸雨综合防治的初步研究

郝吉明 卜天琪* 徐康富
（清华大学环境工程研究所）

酸雨污染已成为世界范围内关注的环境问题之一. 如何有效地将其控制在恰当频率和降水酸度之内，尤为社会所重视. 酸雨综合防治对策的研究首先要综合有关酸雨成因、危害及控制技术和费用的研究成果，确定控制酸雨的合理目标值. 为达到拟定的控制目标，致酸污染物应作何种削减以及各类污染源如何分摊此削减量，便是对策研究的另一重要方面. 它在很大程度上取决于污染源和受体之间的关系. 鉴于目前对酸雨的许多基本方面存在重大的不确定性，其原因在于科学知识不完全，统计数据不完整. 然而大家都认为应当立即采取措施对酸雨污染加以控制或减缓. 这样一来，有关的科学建议只能在不够完善的基础上提出. 本文仅根据我国南宁的酸雨资料，提出综合防治该市酸雨的初步措施.

南宁酸雨的特征

南宁是广西壮族自治区的首府，位于广西盆地的南部、南宁盆地的东部. 南宁盆地海拔约 75m，周围为海拔 100—400m 的丘陵地带[1]. 此种地形对于污染物的扩散是不利的. 这里的土壤为偏酸性红壤和砖红壤，pH 值为 4.5—6.5，地下水 pH 值为 5—6[2]. 南宁属于生态环境对酸雨比较敏感的地区.

南宁地处东经 108°21′，北纬 22°49′，气候炎热，夏长冬短，雨量充沛且集中，干湿季明显，其主要气象参数见表 1[1,3,4].

南宁市面积 1756km²，城区面积 68km²，人口 86 万. 1983 年工业总产值为 15.9 亿元，比 1978 年增长 44.5%，年递增率为 7.46%. 南宁工业以轻纺为主，万元产值的耗能量较低[1]. 这里的大中型企业主要分布于河南、西郊和北郊三个工业区，经济发展的优势和潜力很大，冶金、机械加工等行业的前景尤为可观.

表 1 南宁多年平均气象参数

平均气压	平均气温	主导风向	平均风速
1004.1mb	294.8℃	偏东风	1.8m/s
平均相对湿度	年降雨量	年辐射量	年平均日照
79%	1327.3mm	456kJ/cm²	1827h

南宁能源以煤为主，用电由广西主电网供给. 虽然在丰水期以水电为主，但在枯水期则主要依靠燃煤供电. 1981 年的用煤量为 75.2×10^4t，1986 年猛增至 106×10^4t. 煤产地以广西境内为主，其含硫量较高，平均达 3%，一般为 1—7%

南宁市大气污染属煤型. 根据多年酸雨监测数据，以 pH 值和发生频率而论，二者均是逐年加剧的. 分析降雨中硫酸根与硝酸根离子 mol 之比为(4—7):1，因而可以认为这里的酸雨属硫酸型，应以 SO_2 作为现阶段的重点控制对象，尤应力求降低枯水期的 SO_2 排放量.

影响南宁降雨酸度的因素

南宁酸雨既受 SO_2 排放量影响，又受特

* 原清华大学硕士研究生，现任上海交通大学土建系助教.

定自然条件包括地理、气象等的影响，从而呈现某些特殊的规律.

1. 酸雨与 SO_2 排放量及其在大气中浓度的关系

南宁酸雨主要由 SO_2 引起，但目前情况是：SO_2 污染较轻而酸雨较严重. 由于南宁用煤含硫量较高且用煤量增加很快（1980 年至 1985 年工业用煤量年递增 7.63%，预计 1985 至 1990 年总耗煤量年递增 9.75%），因此 SO_2 的排放导致降雨进一步酸化的威胁是客观存在的.

从定性而言，这里大气中 SO_2 浓度、雨水酸度和耗煤量三者的时间变化趋势大致相同（见图 1—4）. 但据其酸雨分布情况则是城区雨水的酸度高，而郊区雨水酸度急剧下降（见图 5）. 这种酸雨等值线区域与示于图 6 的大气中 SO_2 浓度等值线区域基本重合，酸雨分布的地域性反映了 SO_2 局地排放源对酸雨的影响. 由图 5 还可看出，这里酸雨中心在西郊工业区. 其东南方向是 SO_2 排放量最大的河南工业区，东面和东北面是市区和北郊工业区. 在位于主导风向东南风和东北风交汇区域的酸雨中心处，受 SO_2 排放的影响最大，酸雨也就最严重. 另外从图 5、6 观察，在酸雨中心偏于 SO_2 浓度分布中心的下风向，二者不完全重合. 位于城区东北郊的地区，SO_2 浓度不高，却有一处自成体系的酸雨中心，这说明 SO_2 排放及其在大气中的浓度并非决定南宁降雨酸度的唯一因素. 显然，酸雨中心的西南移动是与主导风向时酸性物质的顺风迁移有关，因而市区东北方向出现酸雨中心很可能与东北方向（柳州、合山等地）的酸性物质迁移有关. 这一情况尚有待进一步论证.

2. 酸雨与雨水成份和碱性物质的关系

南宁雨水中离子浓度和阴、阳离子之比与国内外部分城市的情况相比列在表 2[5,7]. 这里雨水的 SO_4^{2-}/NO_3^- 比值较大，因而可以认为酸雨主要是由于 SO_2 排放所引起. 此外，它的 SO_4^{2-}、Ca^{2+}、和 NH_4^+ 三种离子浓度之和占有雨水中离子总浓度的较高比例，说明降雨酸度主要受这三种离子的浓度及其平衡关系影响. SO_4^{2-} 是酸性离子，主要来自

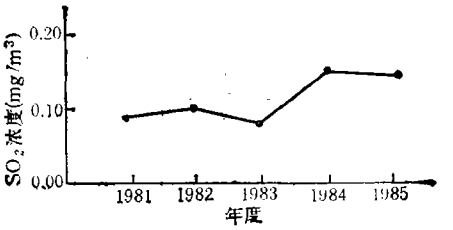

图 1　南宁大气中 SO_2 含量逐年平均浓度

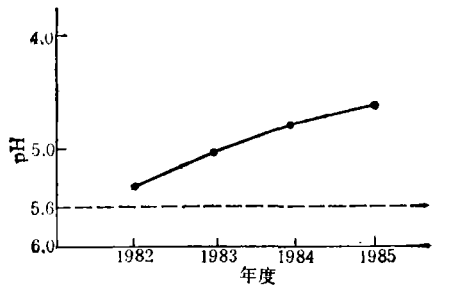

图 2　南宁降雨 pH 逐年平均值

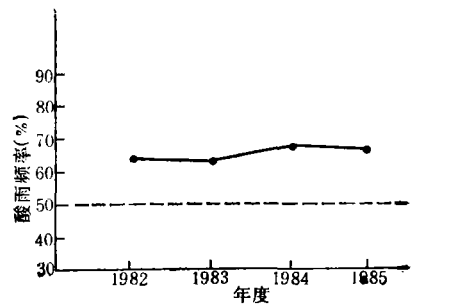

图 3　南宁逐年酸雨频率

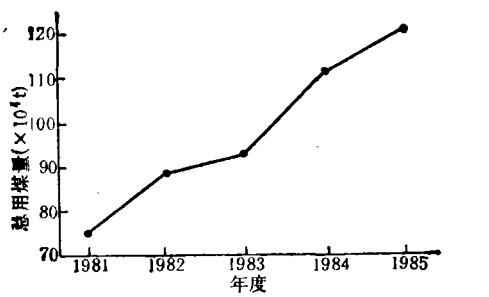

图 4　南宁逐年总用煤量

表 2　部分城市降雨中某些化学成分（单位：μmol/L）

城市	H^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	NH_4^+	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}/NO_3^-	SO_4^{2-}、Ca^{2+}、NH_4^+ 占总离子浓度百分比
重庆	70.0	17.1	14.8	50.3	81.4	141.5	21.5	15.3	6.6	66.33
贵阳	94.9	9.8	9.5	74.5	63.8	172.5	8.5	8.9	20.3	70.25
北京		140.87	42.31	92.5	141.11	136.6	50.32	157.43	2.7	48.64
南宁	8.85	—	—	11.2	28.85	32.8	5.86	—	5.6	83.20
纽约	119.0	35.8	2.4	8.1	11.2	62.6	39.1	43.4	1.6	25.47

注：—为未检出

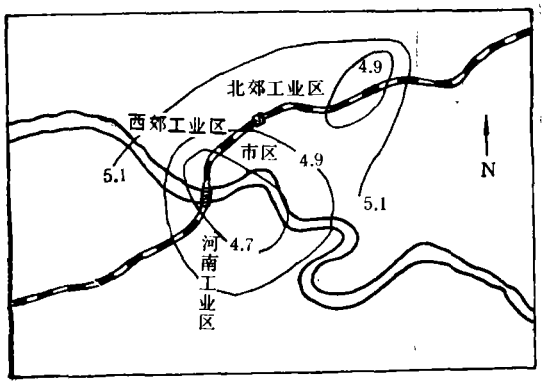

图 5　南宁降雨年平均 pH 值分布

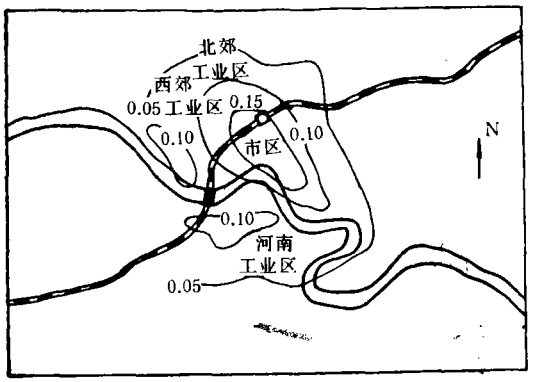

图 6　南宁大气 SO_2 浓度年日平均值分布
（单位：mg/m³）

SO_2 的氧化．Ca^{2+} 和 NH_4^+ 为碱性离子，后者来源于含氮有机物，而前者则来自土壤碱性扬尘和工业过程排放的碱性物质．南宁土壤多偏酸性，NH_4^+ 的排放受到抑制，土壤扬尘多属非碱性物，因而自然中和过程较弱．目前此地在城区执行严格的消烟除尘措施，这就在减少大气悬浮颗粒物的同时，也减少了人为排放的碱性飞尘，必然对这里的酸雨形成和发展带来影响．

3．酸雨与气象因素的关系

南宁降雨酸度与气象因素的相关性大于其他因素．这里的 SO_2 排放量尽管不大，但由于气象因素的作用致使酸性污染物聚集进而转化成酸雨．按统计分析，当降雨量大时，降雨酸度有所减低，此种现象可能与大气中碱性悬浮颗粒物较少，SO_2 浓度较低有关．限于资料，尚待进一步研究．

南宁地处亚热带边缘，夏秋气候炎热，太阳辐射强烈，光氧化作用为 SO_2 转化的主要过程．而冬春阴雨连绵、空气湿度较大，这时的液相氧化作用则是酸雨形成的重要过程．

该地区风速较小，酸性污染物的扩散速度较慢，局地源对酸雨形成的影响较大．其西郊酸雨中心偏于市区 SO_2 分布中心的下风方向（见图 5，6），这是南宁主导风向的下风向，说明风对酸性物质的输送作用．当冬春季节，位于上风向的柳州、合山等工业市镇排出的污染物沿“湘桂走廊”南下，南宁直接受其影响，此期间的酸雨较为严重．

南宁酸雨源-受体相关性分析

根据南宁酸雨监测资料，采用相关分析法对酸雨源-受体关系进行分析研究，建立的综合相关模式示于图 7．

模式计算所采用的月平均数据为1982—1985 年 1、4、7、10 月的降雨酸度、酸雨频率、气压、气温、相对湿度、降雨量、风速、大气

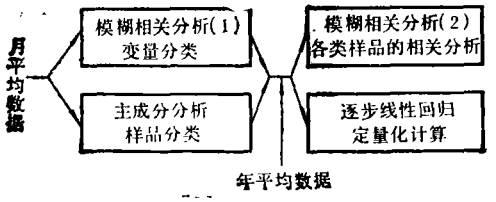

图 7　综合相关关系分析框图

中 SO_2 浓度、降尘量平均值等项，年平均数据也采用上述四年的记录，唯项目较月平均资料增加 SO_2 年排放量一项.

经主成分分析，将月平均数据分为四类，其中主要的为两类，列入表 3 中.

表 3　南宁气象环境监测月平均数据分类

项　目	月—1	月—2
数据组数	5	5
数据组对应的时间	1983.1,1984.1 1984.4,1985.1, 1985.4	1982.4,1982.7, 1983.4,1983.7 1984.7
气压 (mb)	1008.72	998.44
气温 (℃)	14.94	26.28
相对湿度 (%)	80.6	80
降雨量 (mm)	58.94	117.44
风速 (m/s)	1.16	1.90
SO_2 浓度 (mg/m^3)	0.156	0.076
降尘量 (吨/公里^2·月)	13.69	14.44
酸雨频率 (%)	83.78	63.44
降雨酸度 (mol/L)	2.671×10^{-5}	5.223×10^{-6}

分析结果表明：当月平均的气压高、气温低、降雨量小、风速小、SO_2 浓度大时，该地的降雨酸度和酸雨频率明显升高. 这种情况进一步说明南宁酸雨主要是局地源排放的 SO_2 转化所形成.

对分类的月平均数据作模糊相关分析，画出模糊相关树，如图 8、9 所示.

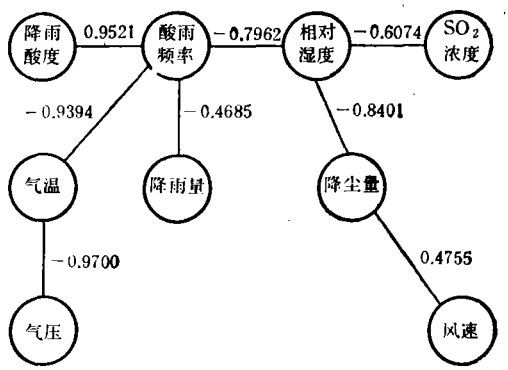

图 8　南宁酸雨月—1 模糊相关树示意图
注：边长为相关系数

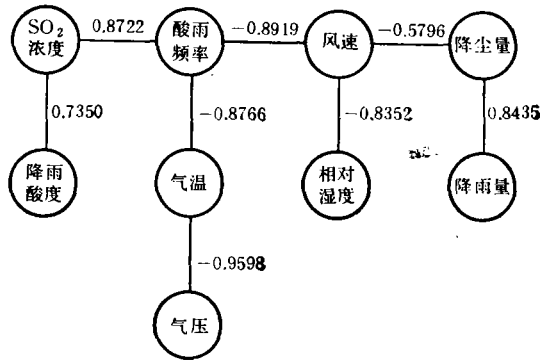

图 9　南宁酸雨月—2 模糊相关树示意图
注：边长为相关系数

由图 8,9 看出，南宁酸雨与气象因素(主要为气压和气温)关系密切，这方面与国内外一些地区情况相类似. 当大气中 SO_2 浓度较高、酸雨较重时，其污染程度主要受转化过程所控制；而当大气中 SO_2 浓度较低，酸雨不甚严重时，则污染主要受反应物 SO_2 的浓度影响.

对两类月平均数据作逐步线性回归分析(先通过模糊相关计算初步选定相关变量)，得出定量关系式如下：

月-1：$Y = -3.323\times10^{-3} + 7.154\times$

$10^{-7}X_1$

月-2: $Y = -3.005 \times 10^{-5} + 4.725 \times 10^{-4}X_7$

式中: Y 为 $[H^+]$ (mol/L); X_1 为酸雨频率,(%); X_7 为 SO_2 浓度 (mg/m³).

对年平均数据进行逐步线性回归分析,得到的回归方程为:

$$Y = -5.341 \times 10^{-5} + 1.12 \times 10^{-9} \times X_9$$

式中: Y 为 $[H^+]$, (mol/L); X_9 为 SO_2 年排出量,(t).

根据对南宁酸雨源-受体年平均数据的定量分析,可见这里的年平均降雨酸度与SO_2排放量线性相关. 因此, 酸雨控制的主要途径是控制 SO_2 排放.

南宁酸雨防治对策建议及初步损益分析

1. 控制目标的制定

根据以上分析,控制燃煤的 SO_2 排放是减缓南宁酸雨的重要方面, 宜采用季节控制政策,尤应在酸雨严重的冬春季,执行严格的 SO_2 排放标准和脱硫指标. 建议将南宁酸雨控制目标定为: 1990 年酸雨污染状况不比 1986 年严重, 即年平均 pH 值在 4.7 以上, 所要求的 SO_2 削减量为 5×10^4t/a, 脱硫率为 43%.

2. 控制 SO_2 排放的建议方案和初步损益分析

目前,南宁有可能采纳的控制 SO_2 排放的技术,主要是: (1) 煤炭加工: ①洗选;②煤气化;③型煤.(2)燃烧脱硫(沸腾炉燃烧). (3)烟气脱硫. 烟气脱硫是控制 SO_2 排放最有效技术之一,但耗资巨大,目前尚不能列为主要措施. 鉴于南宁工业用煤含硫量高的特点,在考虑采用烟气脱硫时,宜对硫进行回收以减少设备投资.

含硫量高于 3% 的原煤, 洗选后硫量可减少 40% 左右. 目前应用洗煤技术的最大困难是脱硫率低, 洗煤废水及洗中煤难以处理, 而且对占南宁用煤量 10% 的褐煤来说无能为力, 因而这一技术只能作为补助手段.

关于煤气化的问题, 这里已有投资计划作为民用,满足部分需要. 但限于财力,目前不可能供应全部城市居民. 从发展趋势, 煤气化作为工业能源要比直接燃煤浪费 20% 以上. 因而虽然从环境效益出发, 南宁的煤气化值得推广,但其控制 SO_2 排放的前景是有限的.

当前南宁控制 SO_2 排放最可行的技术措施为固硫型煤和沸腾炉燃烧脱硫. 据我国工业试验结果,型煤可节能 10% 以上, 烟尘和 SO_2 排放量可分别减少 50%. 若采用有效固硫剂,脱硫率可进一步提高(国外型煤的脱硫率已达到 87% 左右[7]). 另据报道, 工业型煤设备投资为 20—25 元/t原煤,原煤加工成型煤后,成本增加 20 元/t 左右[6]. 一般认为型煤生产投资的综合经济效益比值为 2.4[8],从能源使用部门衡算,此项比值仍可大于 1, 若 1990 年南宁要达到削减 SO_2 5×10^4t 的要求(控制酸雨在目前的水平上), 则需对其所消耗的全部区内产煤采用型煤化加工, 其设备投资约为 3600 万元, 建厂周期为 1—2 年,年运行费亦在此数. 如分两期建设, 则在二期建成后两年左右即可达到盈利运行. 但应注意, 由于型煤脱硫率只有 50%, 随着用煤量的增加, SO_2 排放量也将继续升高, 在 1990 年以后,单靠型煤恐难以控制这里的降雨酸化问题.

沸腾炉燃烧可同时达到节能和减少 SO_2 排放量的双重目的. 南宁已建成此种炉型的示范工程, 若在节能和利用劣质煤的基础上考虑增加石灰石投加系统,减少 SO_2 排放是很有可能的.南宁现有各种工业锅炉 300 台, 可先对其中的大中型煤炉进行改造 (相对费用较小),并添加石灰石投加系统. 若对现有锅炉的 50% 如此处理, 所需投资在 1500—2000 万元, 另需增加二级除尘装置. 为了到

1990 年削减 SO_2 排放量 5×10^4t/a，年需石灰石费用为 220 万元，增加电费 480 万元/年[8]. 在收益方面，由于沸腾炉可节能约 20%，并可利用价廉的区内产高硫煤，从这些方面每年可获利 1800 万元，估计投产三年后即可收回全部投资. 若同时考虑回收硫等资源和灰渣的综合利用，则经济效益会更高.

综上所述，南宁需在"七五"期间达到控制酸雨，削减 SO_2 排放量 5×10^4t/a 的目标，可行的对策系以型煤和沸腾燃烧为主，城市煤气化为辅，即将大中型锅炉改造为循环沸腾炉，并增设二级除尘的配套系统，对未改造的中小型锅炉则采用型煤作燃料. 此两项措施的实现即可满足上项要求，如同时加速城市煤气化建设，不仅这里丰富的褐煤资源得以充分的合理利用；而且环境污染可以得到控制并进而有所改善.

致谢　在本项研究进行中，得到了南宁市环境监测站的大力支持、帮助，在此表示衷心感谢.

参 考 文 献

[1] 广西壮族自治区通志馆，广西市县概况，3 页，广西人民出版社，1985 年.
[2] 南宁市环境保护监测站酸雨课题组，南宁市酸雨现状及成因初探，1985 年.
[3] 南宁市环境保护局等，南宁市降雨酸度研究，1983 年.
[4] 南宁市环境保护监测站，南宁市二氧化硫扩散研究，2 页，1986 年.
[5] 赵殿五等，我国的酸雨及降水化学，6—7 页，1984 年.
[6] 周玉昆，环境科学丛刊，5(11)，54—64 页.
[7] 全国环境保护科技长远规划组，大气污染防治技术与能源环保对策，海洋出版社，1984 年.
[8] 李金昌，环境保护，(8)，6(1985).

环境管理信息系统的设计

盛学良　　刘育民
（南京大学地理系）

一、问题的提出

环境系统是一种具有独特形态、结构和特定功能的物质信息系统，是自然环境要素与人类活动要素相互作用过程中形成的复杂综合体. 自然要素与人文要素之间的主要关系表现为人类通过各种活动对自然环境的污染、破坏、调节、控制和改造，以及自然环境对人类的反馈作用. 环境系统通常具有区域性、多元性、层次性、相关制约性、模糊随机性和高度综合性等特点.

为了使环境系统向人们所期望的方向发展，为了实现经济建设、城乡建设和环境建设的"三同步"，以及经济效益、社会效益和环境效益的"三统一"，迫切需要全面系统地、及时正确地掌握以环境信息为中心的与环境系统有关的一切信息资源，以便为加速环境管理现代化的进程准备物质基础和技术条件，为环境决策机构和决策者提供科学决策依据. 而其唯一的技术途径就是尽快建立起现代化的环境管理信息系统，科学地管理和控制环境系统中物质流和信息流的流量和流向.

二、环境管理信息系统的设计原则

环境管理信息系统，就是以现代数据库技术为核心把环境信息存储在电子计算机存贮器上，在计算机硬件和软件的支持下实现对环境信息的输入、输出、更新（修改、增加、