

重庆市酸沉降污染经济损失估算*

陈 年 尹启后

(西南师范大学地理系, 重庆 630715)

摘要 重庆市酸沉降污染严重, 为确定其造成的经济损失, 给经济社会发展决策提供依据和拟订、选择满意的防治措施方案, 在人群健康和农林污染危害调查、材料挂片耐蚀试验、模拟酸沉降实验等基础上, 用人力资本法、市场价值法和投入产出损益比较法进行估算。1990和1994年酸沉降污染直接经济损失分别达5.04亿元和11.88亿元, 为同期国民生产总值2.47%和2%, 其显著差异主要系物价因子所致。

关键词 酸沉降, 经济损失, 估算。

污染经济损失是环境质量变化之效益或费用反映, 在制定可持续发展战略、拟订和优选污染防治对策方案、评估建设项目环境影响的经济代价中具有重要作用。重庆酸沉降是国内外最严重地区之一, 本文依据大量调查和试验研究成果, 对主要危害方面的直接经济损失进行估算。

1 酸沉降污染水平

重庆SO₂及酸雨酸雾污染居全国主要城市前列, 是西南酸沉降主要中心。1990年, 全市排放SO₂79.02万t, 城区排放34.44万t; SO₂年日均浓度, 城区0.34 mg/m³、15个郊县区均值0.20 mg/m³; 全市酸雨频率75.9%, 降水pH值4.29、酸雨pH值4.18(最低2.85), 属硫

酸型酸雨, 城、郊无显著差异。1994-01-07, 城区及周围约1000 km²内降黑雨, 其pH值3.92。年均雾日64 d, 1984—1990年全市获全整雾水样本182个, pH均值4.39(最低2.96), 城区4.27, 郊县区平均4.94。

2 酸沉降污染经济损失估算

2.1 城区人群健康受害损失

于城区和近郊相对较清洁的北碚区, 选取年龄构成、职业、文化层次、医疗条件等大致相同的人群, 居住和以天然气为燃料5年以上的家庭(考虑污染危害的长期慢性作用和避免室内燃煤污染影响), 进行1万例呼吸道疾病抽样调查, 逐户逐人登记, 调查结果中相关部分及统计资料简列于表1。

表1 呼吸道疾病调查及相关统计

地区	抽 样 调 查			人口 /万人	城 区 统 计		
	SO ₂ 年日均 浓 度 /mg·m ⁻³	人均医疗 费用 /元·a ⁻¹	劳动者人均 病假日 /d·a ⁻¹		人均纯 收入 /元·a ⁻¹	社会 劳动者 /万人	人均劳动生产率 (净产值计) /元·d ⁻¹
城区	0.34	90.253	4.868	195.93 ¹⁾	1552	117.79 ³⁾	17
北碚	0.11	20.956	0.832	34.66 ²⁾	687.92	18.46 ⁴⁾	5.95

1) 非农业人口 2) 农业人口 3) 城市 4) 农村

* 重庆市科研课题, 并获1994年四川省科技进步二等奖

收稿日期: 1996-04-04

损失估算式：
 $V_1 = (e_P - e_0)N_P$ $V_2 = C \cdot N(e'_P - e'_0)$

式中， V_1 、 V_2 分别为城区人群因医疗费增加和劳动日减少造成的损失； e_P 、 e_0 分别为城区和北碚区人年均呼吸道疾病医疗费用； e'_P 、 e'_0 分别为城区和北碚区劳动者人年均劳动日损失天数； N_P 、 N 分别为城区人口和社会劳动者人数； C 为以净产值计算的劳动生产率。

抽样调查为非农业人口，城区内农业人口平均医疗费按农业和非农业人口的人年均纯收

入之比例关系处理。
估算结果，城区人群因医疗费增加造成的损失为 14642 万元、因劳动日减少造成的损失为 8525 万元，合计 23167 万元。

2.2 城区主要材料腐蚀损失

选择城区和远郊相对清洁的大足县进行碳钢、镀锌钢、油漆涂料的挂片耐蚀试验，获得腐蚀率和钢材力学性能损失值，计算其平均使用寿命，试验条件及结果简列入表 2。

损失估算式：

表 2 材料挂片试验条件及结果

地区	酸 沉 降 水 平						平 均 使 用 寿 命/a					
	年相对	年降	SO ₂ 年日	酸雨	降雨	干、湿总	镀锌层		裸碳钢		油漆涂料	
	湿度	雨量	均浓度	频率	酸度	沉降浓度	室外	室内	室外	室内	室外	室内
	/%	/mm	/mg·m ⁻³	/%	/pH	/μeg·L ⁻¹	直接暴露	遮雨暴露	直接暴露	遮雨暴露	直接暴露	遮雨暴露
城区	81.41	1058	0.30	93.74	4.18	221.9	4	8	3	7	1	
大足	86.08	786	0.05	7.55	4.56	72.5	12	26	7	16	2	

$$M = C \cdot B \cdot D(\frac{1}{D} - \frac{1}{E})$$

式中， M 为材料腐蚀损失， C 为材料或其加工价格， B 为材料消费量， D 、 E 分别为材料在城区和大足之平均使用寿命。

调查统计和计算，1990 年城区镀锌钢消费 7.38 万 t，室内外用量相近，按 1990 年不变价，与镀锌钢有关的小型钢和薄板钢各种规格平均为 1400 元/t、镀锌加工平均 700 元/t；城区室外钢材油漆涂料用量 1.6064 万 t，涂漆总面积 22.562 万 m²，油漆及涂钢加工平均价 22 元/m²。

估算结果，镀锌层室内外共损失 3510 万元、裸碳钢基体室内外共损失 5858 万元，油漆钢油漆涂料损失 2482 万元，合计损失 11850 万元。

2.3 城区农林受害损失

2.3.1 蔬菜受害损失

1990 年城区有菜地 3627 hm²，石灰性土壤（占菜地 5%）因酸沉降改善土壤条件而有增产效应，非石灰性土壤区蔬菜受污染减产。以清洁郊县区为对照，城区分为危害区和相对有益区。

损失评估用 4 种方法：各区选环境条件 and 生产方式基本一致、有代表性的若干生产队和单位，对其主要蔬菜的产量增减及投入产出价值进行统计；各区选一定数量典型农户，调查多年投入产出及损益；盆栽（数百盆次）模拟酸雨危害及减产试验；于污染区大、小面积菜地，分别施多种不同肥料（调整土壤酸度和补充酸沉降淋失的养分）进行田间试验，观测增产效应以反证损失评估可靠性。各方法相互补充、比较

表 3 城区蔬菜酸沉降损益评估结果/元·(hm²)⁻¹

土壤类型	分区相关统计		典型农户调查		盆栽模拟 酸雨试验	田间施肥试验	
	污染区 1	污染区 2	污染区 1	污染区 2		小面积	大面积
非石灰性	6480	8528	7868	11266		8289	6840
土壤损失		7504		9567	9953		7565
石灰性土壤增益		6803		5211			

验证和探寻较优防治措施。以清洁区为对照，城区蔬菜损益评估结果简列于表 3。

损失估算式：

$$S_1 = V_1 \cdot WP_1 - V_2 \cdot WP_2$$

式中， S_1 为蔬菜损失， V_1 、 V_2 分别为非石灰性和石灰性土壤单位面积蔬菜损益(各法均值)， W 为菜地面积， P_1 、 P_2 分别为非石灰性和石灰性土壤占菜地面积比重。

估算结果，蔬菜直接经济损失 2870 万元。

于城区和较清洁郊县区，选择环境条件、种植措施及技术水平等基本一致的农户，对 18 种主要蔬菜产量进行抽样对比调查，获得城区蔬菜酸沉降减产率为 11.2%—55.5%，按各种蔬菜种植面积加权平均为 24.4%。城区 1990 年各季蔬菜复种累计种植 10273 hm²，总产量 29962 万 kg，共减产 9670 万 kg；按统计局蔬菜 1990 年不变价平均 0.31 元/kg，共损失 2998 万元。去除石灰性土壤区蔬菜不减产而增收部分，与前述估算结果十分接近。

2.3.2 粮食减产损失

1990 年城区粮食种植 7887 hm²，产量 3.2 万 t。调研表明，酸沉降污染下粮食作物生长一般较正常，但均不同程度减产。在抽样调查蔬菜同时，调查了城区 5 种主要粮食作物，减产率为 14.4%—29.6%。

损失估算式：

$$S_2 = \sum_{i=1}^n V_i (\frac{R_i}{1 - P_i} \cdot P_i)$$

式中， S_2 为粮食减产损失， V_i 为 i 种粮食价格(统计局 1990 年不变价)， R_i 为 i 种粮食产量， P_i 为 i 种粮食作物减产率。

估算及其结果简列于表 4。

表 4 城区粮食作物酸沉降减产损失

指 标	水稻	小麦	玉米	红苕	豌豆
减产率/%	22.7	14.4	29.6	27.3	23.3
减产量/万 kg	333.25	48.1	289.9	334.17	4.4
价格/元·kg ⁻¹	0.56	0.59	0.42	0.42	0.50
损失/万元	186.62	28.38	121.76	140.35	2.20

城区主要粮食作物减产损失 479 万元。

2.3.3 森林受害林材损失

城区东西两侧低山有森林 5947 hm²，主要树种为马尾松。城区和郊县清洁区实地调查、定点观测和模拟酸雨试验表明，酸沉降使城区森林明显出现衰亡现象，林材损失严重。

损失估算式：

$$S_3 = V \cdot W \cdot R \cdot P$$

式中， S_3 为林材损失， V 为木材价格(统计局 1990 不变价)， W 为森林死亡或受害面积， R 为正常森林木材生长率， P 为材积损失率(按四川盆地马尾松林)。

估算结果简列于表 5。

表 5 城区森林酸沉降危害林材损失量

危害类型	面积/hm ²	正常林积率 /m ³ ·(hm ² ·a) ⁻¹	材积损失率 /%	木材损失量 /m ³ ·a ⁻¹	木材价格 /元·m ⁻³	损失 /万元
死亡	800	4.7	100	3760	450	169
受害	5147	4.7	22.15	5358	450	241

城区森林受害林材损失 410 万元。

酸沉降污染造成城区农林损失共 3759 万元，蔬菜受害损失占 76.35%。

2.4 郊县区损失

取 SO₂ 年日均浓度 0.06 mg/m³ 为致害阈值；酸沉降污染经济损失可大致认为与 SO₂ 年日均浓度和工业产值呈比例关系；在城区损失估算的基础上，建立郊县区损失估算式：

$$V = \sum_{i=1}^n V_0 \cdot \frac{C_i}{C_0} \cdot \frac{(SO_2)_i - 0.06}{(SO_2)_0 - 0.06}$$

式中， V 为郊县区损失， V_0 为城区总损失， C_i 、 C_0 分别为 i 区县和城区工业产值， $(SO_2)_i$ 、 $(SO_2)_0$ 分别为 i 区县和城区 SO₂ 年日均浓度。

按 1990 年重庆市经济统计和环境监测资料估算，15 个郊县区损失合计 11609 万元。

综上，1990 年重庆市酸沉降污染经济损失

总计 50385 万元, 为同年国民生产总值 2.47%, 高于《我国环境污染造成的经济损失估算》结果 (“六五”期间大气 SO_2 污染损失占 1983 年国民生产总值 2.22%)。城区损失 38776 万元, 占全市总损失的 77%; 人群健康损失占城区损失 59.8%, 材料损失占 30.5%, 农林损失占 9.7%。

污染损失估算十分复杂, 许多方面目前尚难以估算或有争议。本文对因患呼吸道疾病而

过早死亡造成工作年减少的损失、其它材料腐蚀损失、文物古迹和园林受害损失、森林生态效益损失等均未估算。因此, 上列总损失值是保守的。

3 污染损失估算中的物价因子

依据前述调查和试验研究成果, 按各类损失估算式, 输入 1994 年度统计、调查及计算的估算参数, 获得各类损失价值简列于表 6。

表 6 1994 年酸沉降污染经济损失/万元

城 区					郊县区		
人群健康损失		材料腐蚀损失			农林减产损失		
医疗费增加	劳动日减少	裸碳钢基体	镀锌层	油漆涂料	蔬菜	粮食	林材
24780	12114	22122	9053	2850	8261	1233	729
	36894		34025			10223	
合计			81142				27684

1994 年直接经济损失总计 118826 万元, 为 1990 年损失的 2.16 倍, 为 1994 年国民生产总值 2%, 城区损失为城区国民生产总值 3.55%。

在估算范围和方法相同的情况下, 污染经济损失主要取决于污染水平、受害人群数量及其劳动价值、医疗费用、材料和产品数量及其市场价格。1994 年, 城区 SO_2 年日均浓度 0.33 mg/m^3 , 郊县区平均 0.15 mg/m^3 ; 全市酸雨频率 65.1%, 降水 pH 值 4.47, 酸雨 pH 值 4.28; 酸沉降水平微有减降。城区人口、劳动者数量及劳动生产率、材料消费量、农作物产量、森林面积等, 较 1990 年增长—18.4%至 31.6%; 但

医疗费用、钢材及镀锌加工价格和农林产品价格上涨 65%—193%; 物价大幅度上扬是导致污染损失价值倍增的主因。

地域环境综合整治规划中, 对未来时段污染经济损失进行分类预测时, 应充分考虑物价因子的影响。

参 考 文 献

- 1 过孝民等. 中国环境科学, 1990, 10(1): 51
- 2 罗启芳. 重庆环境科学, 1994, 16(2): 30
- 3 舒俭民等. 中国环境科学, 1993, 13(4): 279
- 4 梅纳德 M·哈弗斯密特等, 过孝民等译. 环境、自然系统和发展-经济评价指南. 1 版, 北京: 轻工业出版社, 1988: 167

System Eng. & Research Institute, Harbin 150046): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(5), 1996, pp. 16–19

The experiment was conducted in a vertical reactor with a total length of 3.5 m and cross section of 150 mm × 150 mm to simulate flue gas desulfurization with lime and carbide lime slurry injection in the duct. Effects on SO₂ removal were found, of such as the approach to adiabatic temperature at the exit, molar ratio of Ca to S, flux ratio of atomizing gas and slurry, gas inlet temperature, SO₂ initial concentration and gas residence time. Also, it was showed experimentally that SO₂ removal can achieve 65% at $\Delta T = 18^\circ\text{C}$ and Ca/S = 1.5. In addition, a reaction model was developed, i. e., $\eta = 1 - [(T_i - T_w)/(T_0 - T_w)]^{1/\beta} - \frac{\alpha}{\beta} \frac{T_i - T_w}{T_0 - T_w}$, where α and β as equation parameters were determined by the conjugate gradient optimization method, and model predictions agree well with the experimental values with relative errors lower than 7%.

Key words: duct slurry injection, flue gas desulfurization, atomization.

Design of an Annular Denuder to Measure Atmospheric Ammonia. Tian Honghai et al. (Peking University, Beijing 100871): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(5), 1996, pp. 20–23

A new trace gases sampler, annular denuder (AD), was developed and evaluated for the first time in China. Theoretical consideration was given and quality tests have been executed for designed AD. Its absorption efficiency for ammonia is over 97% and the detection limit is down to 0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 m³ sample volume). The intercomparisons of AD with filter pack as well as wet AD methods showed good agreement with one another. In springs of 1985 to 1992, the atmospheric NH₃ concentrations have been measured in Zhong Guancun District in Beijing City. The results range from 4.6 to 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with the average of 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Key words: annular denuder, ammonia, determination of atmospheric ammonia.

The Evaluation of Economic Loss by the Acid Deposition Pollution in Chongqing. Chen Nian and Yun Qihou (Dept. of Geography, Southwest China Normal University, Chongqing 630715): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(5), pp. 24–27

Acid deposition pollution in Chongqing is very serious. In order to define its economic losses, to provide a foundation for the decision making of economic and social development and to select a satisfied control plan, based on investigations in human health and damage of agriculture forest pollution, on tests of materials exposed and simulated experiment of acid deposition, using the methods of market-prices, wages costs and input-output comparison between benefits and losses, the author assessed its economic losses. The total economic losses caused by acid deposition in 1990 and 1994 are 504 million yuan and 1188 million yuan respectively, which are 2.47% and 2.0% of the GNP of the same years. The striking difference in the losses between the two years is caused mainly by the price factor.

Key words: acid deposition, economic loss, evaluation.

Fe-Si Sulfur Capture Promotion During Coal Briquet Combustion. Lin Guozhen et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(5), 1996, pp. 28–29

In this paper, A new Fe-Si promoter for sulfur capture was proposed for coal-briquet combustion at high temperature. Characterization of the slag left after combustion has been carried out by means of X-ray powder diffraction. A new phase $\text{CaFe}_3(\text{SiO}_4)_2\text{OH}$ was identified, which is thermally stable. This might explain its stabilizing role in sulfur fixation.

Key words: coal briquet, sulfur capture, XRPD.

COD and BOD₅ Removal Efficiencies in a Pilot Scale Constructed Reed Bed Receiving Cheese-Processing Wastewater. Huichang Zhu (Huan Qiu Environmental Engineering Co. Shanghai 201203), D. K. Stevens (Utah State University, UT84322, USA): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(5), 1996, pp. 30–32

Under the influent COD concentration between 400–800 mg/L and temperature between 15–23°C, the constructed wetland functioned efficiently for COD removal. COD mass removal efficiencies reached 97 to 98%, and total removal rates reached 23.3 to 28.2 g/m² · d. BOD₅ mass removal efficiencies reached 97 to 99%, while total removal rates reached 12.6 to 17.2 g/m² · d. The influent trench played an important role in COD and BOD₅ removal. Nearly 70 to 90% of the COD and BOD₅ removal occurred in the influent trench. During the entire experimental period, the reed bed effluent water quality met secondary discharge standards if there was no pH shock loading.

Key words: constructed wetland, subsurface flow, reed bed, control bed.

The Study on Regeneration Efficiency of Ion Exchange Resins to Enhance Nitrate Elimination. Gong Wenli et al. (Institute of Environmental Engineering Technology, Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **17**(5), 1996, pp. 33–35

The enhanced nitrate elimination from groundwater by modifications of the CARIX process was described. For raw water with relative low hardness and elevated nitrate concentrations, the process was simplified by applying only an anion exchanger. In the service cycle, sulfate and nitrate species were replaced by bicarbonate species. In the regeneration step, the resin was converted into bicarbonate form by carbonic acid and magnesium oxide. Results of experiments in the laboratory scale have demonstrated that regeneration efficiency is improved apparently by adding magnesium oxide during regeneration. The optimum concentration of magnesium oxide was 0.4%. In this case, all of the resins used in the tests gained the average reduction of nitrate above 50%.

Key words: CARIX process, nitrate carbon dioxide, drinking water.