

## 应用简单质量平衡法计算酸沉降临界负荷的研究\*

谢绍东\*\* 郝吉明 周中平

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

**摘 要** 基于植物响应、土壤稳定性、铝浓度、碱度和 pH 标准, 应用简单质量平衡法计算柳州红壤各种土种的酸沉降临界负荷。结果表明: 沙质红泥土、红沙土、潮沙土、中度侵蚀红壤和潮沙泥土的酸沉降临界负荷较低, 棕泥土和红壤土较大; 为保护柳州 95% 的土壤不受酸沉降危害, 柳州土壤的潜在酸度和酸度临界负荷分别为  $1.8$  和  $1.9 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 硫和氮临界负荷分别为  $0.70$  和  $1.5 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ; 地表水的酸度临界负荷为  $0.80 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

**关键词** 酸沉降, 临界负荷, 红壤, 简单质量平衡法, 柳州。

简单质量平衡法(Simple Mass Balance, SMB)在欧洲各国临界负荷区划中得到广泛应用, 然而我国在此方面还鲜见报道。本文承接前文<sup>[1]</sup>的基本理论探讨, 应用简单质量平衡法对柳州地区红壤各种土种的酸沉降临界负荷进行了计算, 并比较同一土种基于不同标准得到的临界负荷值。

## 1 计算方法

潜在酸度、酸度、氮和硫的临界负荷分别按下式计算:

$$\text{CL}(\text{A}_{\text{cpot}}) = \text{ANC}_{\text{W}} - \text{BC}_{\text{U}} + \text{N}_{\text{U}} + \text{N}_{\text{Im}}(\text{crit}) - \text{ANC}_{\text{L}}(\text{crit}) \quad (1)$$

$$\text{CL}(\text{Ac}) = \text{ANC}_{\text{W}} - \text{ANC}_{\text{L}}(\text{crit}) \quad (2)$$

$$\text{CL}(\text{N}) = \text{N}_{\text{U}} + \text{N}_{\text{Im}}(\text{crit}) + \text{NO}_{3,\text{L}}(\text{crit}) \quad (3)$$

$$\text{CL}(\text{S}) = \text{BC}_{\text{Dt}}^* + \text{ANC}_{\text{W}} - \text{BC}_{\text{U}} - (\text{NO}_{3,\text{L}} + \text{ANC}_{\text{L}})(\text{crit}) \quad (4)$$

(1) — (4) 式中各物理量的单位均为  $\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CL}(\text{A}_{\text{cpot}})$ 、 $\text{CL}(\text{Ac})$ 、 $\text{CL}(\text{N})$  和  $\text{CL}(\text{S})$  分别表示潜在酸度、酸度、氮和硫沉降临界负荷,  $\text{ANC}_{\text{W}}$  为由风化产生的碱度(假设等于  $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$  的净释放速率  $\text{BC}_{\text{W}}$ , 即  $\text{ANC}_{\text{W}} = \text{BC}_{\text{W}}$ ),  $\text{BC}_{\text{U}}$  为盐基阳离子的净吸收,  $\text{N}_{\text{Im}}(\text{crit})$  为土壤的临界固氮速率,  $\text{N}_{\text{U}}$  为氮的净吸收,  $\text{ANC}_{\text{L}}$  为淋溶碱度,  $\text{NO}_{3,\text{L}}$  为淋溶硝酸盐,  $\text{BC}_{\text{Dt}}^*$  为非海盐盐基阳离子的总沉降。

$\text{ANC}_{\text{L}}$  根据碱度的定义和不使选择的指示

生物有机体发生危害的临界化学值计算<sup>[1,2]</sup>。对于森林土壤, 当基于 Al 浓度为  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$  计算临界负荷时,  $\text{ANC}_{\text{L}}$  为:

$$\text{ANC}_{\text{L}} = -0.09 \cdot Q - 0.2 \cdot Q \quad (5)$$

当基于植物响应标准  $(\text{BC}/\text{Al})_{\text{crit}}$  计算临界负荷时,  $\text{ANC}_{\text{L}}$  为:

$$\text{ANC}_{\text{L}} = - \left[ 1.5 \cdot \frac{(x_{\text{Ca Mg K}} \cdot \text{ANC}_{\text{W}} + \text{BC}_{\text{D}} - \text{BC}_{\text{U}})}{(\text{BC}_{\text{Ca Mg K}}/\text{Al})_{\text{crit}} \cdot K_{\text{Gibb}}} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot Q^{\frac{2}{3}} - 1.5 \cdot \frac{(x_{\text{Ca Mg K}} \cdot \text{ANC}_{\text{W}} + \text{BC}_{\text{D}} - \text{BC}_{\text{U}})}{(\text{BC}_{\text{Ca Mg K}}/\text{Al})_{\text{crit}} \cdot K_{\text{Gibb}}} \quad (6)$$

当基于土壤稳定性标准计算临界负荷时,  $\text{ANC}_{\text{L}}$  为:

$$\text{ANC}_{\text{L}} = - \left[ \frac{R_{\text{Al}} \cdot \text{BC}_{\text{W}}}{K_{\text{Gibb}}} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot Q^{\frac{2}{3}} - R_{\text{Al}} \cdot \text{BC}_{\text{W}} \quad (7)$$

(5) — (7) 式中,  $Q$  为径流量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $K_{\text{Gibb}}$  为水铝矿溶解平衡常数 ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ )<sup>-2</sup>,  $(\text{BC}_{\text{Ca Mg K}}/\text{Al})_{\text{crit}}$  为作为临界化学值应用的摩尔比率,  $x_{\text{BC}}$  为风化成为  $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$  的分数,  $R_{\text{Al}}$  是铝的风化速率与盐基阳离子风化速率的比率,  $\text{BC}_{\text{D}}$  为  $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$  的沉降。

## 2 数据测量与估算

前述方程所需输入参数都必须是系统在临界状态时的性质, 这只能依据系统目前的属性进行预测, 但较为困难。笔者认为, 除与大气沉

\* 国家自然科学基金项目

\*\* 现在通信地址: 北京大学环境科学中心

收稿日期: 1997-01-31

降有关的参数外, 其它有关生态系统属性的参数可与系统目前的性质近似。对于非海盐盐基阳离子沉降  $BC_{Di}^*$ , 应该是人们希望达到的某空气质量下的沉降。因此, 本研究考虑到柳州空气的质量、除尘控制现状和我国城市环境质量标准估算出  $BC_{Di}^*$  为  $0.5\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。考虑到大气中钠沉降很小, 因此  $BC_D$  的值也近似地取为  $0.5\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。柳州地区的径流量  $Q$  为  $7000\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

土壤参数, 如土壤矿物、质地和水铝矿溶解常数的测量以及盐基阳离子和氮的生物量吸收的计算, 见文献[3]和[4]。表1列出了得到的柳州各种土壤的数据。其中, 土壤盐基阳离子的风化速率是以土壤矿物和土壤质地为基础用 PROFILE 模型计算获得<sup>[3]</sup>。计算时仅考虑土壤 0.5m 深度以上的特性, 因为这部分是森林树根分布的主要区域, 可认为酸化对森林植被影响的最重要的土壤层已被包括。

本研究选择马尾松作为柳州森林土壤的指示生物有机体, 根据“七五”和“八五”的研究结果, 取  $(BC_{Ca\ Mg\ K/Al})_{crit}$  为 1。依据试验测量结果和国外确定临界负荷的经验,  $\log K_{Gibb}$  取为 8.5、 $x_{BC}$  为 0.7 和  $R_{Al}$  为 2。

表1 计算柳州各种土壤类型的临界负荷  
需要的输入的数据 /  $\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

| 土壤类型    | ANC <sub>w</sub> | BC <sub>u</sub> | N <sub>u</sub> |
|---------|------------------|-----------------|----------------|
| 红土红壤    | 1.86             | 1.90            | 0.91           |
| 红泥土     | 1.53             | 0.99            | 0.91           |
| 沙质红泥土   | 0.69             | 0.70            | 0.46           |
| 红壤铁土    | 1.50             | 0.97            | 0.89           |
| 薄层砂页岩红壤 | 1.04             | 0.93            | 0.85           |
| 厚层砂页岩红壤 | 1.27             | 0.94            | 0.86           |
| 红壤土     | 2.31             | 0.99            | 0.90           |
| 红沙土     | 0.20             | 0.36            | 0.33           |
| 中度侵蚀红壤  | 0.95             | 0.82            | 0.75           |
| 棕泥土     | 10.2             | 0.96            | 0.88           |
| 中层酸性紫色土 | 0.56             | 0.60            | 0.54           |
| 潮沙土     | 0.27             | 0.42            | 0.38           |
| 潮沙泥土    | 0.44             | 0.58            | 0.54           |
| 红土赤红壤   | 0.80             | 0.75            | 0.69           |
| 沙泥黄壤    | 0.54             | 0.40            | 0.36           |

3 结果与讨论

以表1的数据, 基于植物响应、土壤稳定性、铝浓度、pH 和碱度标准计算出了柳州红壤各种土种的酸沉降临界负荷, 其结果见表2、表3和表4。

表2列出了用(3)式计算的氮临界负荷。土壤的长期固氮速率, 是根据土壤中氮的总数量除以土壤形成的周期估算, 得到柳州红壤长期平均固氮速率为  $30\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 通过树木吸收的氮的年平均吸收速率为  $N_u = 0.76\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。临界氮淋溶, 是根据径流量和一个临界  $\text{NO}_3^-$  浓度计算。由于临界  $\text{NO}_3^-$  浓度值难于估计, 因此本研究根据国外确定临界负荷的经验取为  $0.1\text{eq} \cdot \text{m}^{-3}$ , 该值比我国生活饮用水标准 ( $0.7\text{eq} \cdot \text{m}^{-3}$ ) 低很多。于是,  $N_L = Q \cdot [\text{NO}_3^-] = 7000 \cdot 0.1 = 0.70\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。因此, 由(3)式可计算出柳州森林红壤的平均氮沉降临界负荷  $CL(N)$  为  $1.49\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。于是, 该地区允许的最大氮沉降为  $\text{NH}_{4D} + \text{NO}_{3D} = 1.49\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。如果同时考虑与酸沉降有关的硫沉降, 那么在临界负荷下允许的实际的氮沉降可能更低。

酸度临界负荷是用(2)式计算, 得到的结果列于表2。如果用 pH 和碱度标准计算森林土壤的酸度临界负荷时, 虽不要求径流中有净碱度产生, 但不能阻碍森林的增长, 通常要求土壤底层的 pH 必须大于 4.4。于是,

$$\begin{aligned} \text{ANCL} &= Q \cdot (-[\text{H}^+] - [\text{Al}^{3+}]) \\ &= 7000 \cdot (-10^{-4.4} - \\ &\quad 10^{-4.4 \times 3} \cdot 10^{8.5}) \\ &= -0.42\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} \end{aligned}$$

对于柳州薄层砂页岩红壤, 其风化速率为  $1.04\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 因此酸度临界负荷  $CL(Ac)$  为  $1.46\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。当用碱度标准时, 通常取临界 ANC 浓度为  $-300\mu\text{eq} \cdot \text{L}^{-1}$ , 于是  $\text{ANCL}$  计算为  $\text{ANCL} = -300 \times 7000 = -2.1\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 得到薄层砂页岩红壤的酸度临界负荷  $CL(Ac)$  为  $3.14\text{keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

表 2 柳州各种土壤类型的酸度临界负荷、氮和地表水的临界负荷

/keq · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>

| 土壤类型    | 计算酸度临界负荷 CL( A c) 的各个标准           |        |       |                                   |          | 氮      | 地表水      |
|---------|-----------------------------------|--------|-------|-----------------------------------|----------|--------|----------|
|         | ( BC <sub>Ca Mg K</sub> / Al) ≥ 1 | 稳定性标准  | 铝浓度标准 | ANC ≥ - 300μeq · L <sup>- 1</sup> | pH> 4. 4 | CL( N) | CL( A c) |
| 红土红壤    | 5. 19                             | 6. 39  | 3. 88 | 3. 95                             | 2. 27    | 1. 64  | 1. 69    |
| 红泥土     | 4. 19                             | 5. 37  | 3. 56 | 3. 63                             | 1. 95    | 1. 64  | 1. 37    |
| 沙质红泥土   | 2. 02                             | 2. 68  | 2. 72 | 2. 79                             | 1. 11    | 1. 19  | 0. 53    |
| 红壤铁土    | 4. 15                             | 5. 29  | 3. 54 | 3. 60                             | 1. 92    | 1. 62  | 1. 34    |
| 薄层砂页岩红壤 | 1. 89                             | 3. 8   | 3. 07 | 3. 14                             | 1. 46    | 1. 58  | 0. 88    |
| 厚层砂页岩红壤 | 2. 46                             | 4. 54  | 3. 3  | 3. 37                             | 1. 69    | 1. 59  | 1. 11    |
| 红壤土     | 4. 85                             | 7. 82  | 4. 34 | 4. 41                             | 2. 73    | 1. 64  | 2. 15    |
| 红沙土     | 1. 17                             | 1. 01  | 2. 23 | 2. 30                             | 0. 62    | 1. 06  | 0. 04    |
| 中度侵蚀红壤  | 2. 64                             | 3. 53  | 2. 98 | 3. 05                             | 1. 37    | 1. 48  | 0. 79    |
| 棕泥土     | 21. 27                            | 31. 85 | 12. 2 | 12. 2                             | 10. 6    | 1. 61  | 9. 97    |
| 中层酸性紫色土 | 1. 19                             | 2. 35  | 2. 59 | 2. 66                             | 0. 98    | 1. 27  | 0. 4     |
| 潮沙土     | 0. 86                             | 1. 25  | 2. 3  | 2. 37                             | 0. 69    | 1. 12  | 0. 11    |
| 潮沙泥土    | 1. 02                             | 1. 82  | 2. 47 | 2. 54                             | 0. 86    | 1. 27  | 0. 31    |
| 红土赤红壤   | 1. 9                              | 3. 06  | 2. 83 | 2. 90                             | 1. 22    | 1. 42  | 0. 64    |
| 沙泥黄壤    | 1. 55                             | 2. 17  | 2. 57 | 2. 64                             | 0. 96    | 1. 09  | 0. 38    |

潜在酸度临界负荷是以式( 1) 计算, 结果见表 3. 例如, 沙质红泥土的风化速率为 0. 693keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>, 树木在此土壤上的盐基阳离子和氮 的吸收速率分别为 0. 701 和 0. 456keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>, 土壤固氮速度为 0. 03keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>. 如果以( BC<sub>Ca Mg K</sub>/ Al) ≥ 1 为计算标准, 得到淋溶 临界碱度 ANC<sub>L</sub> 为- 1. 325keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>, 相当于淋溶的碱度为- 200μeq · L<sup>- 1</sup>. 于是, 该土壤的潜在酸度临界负荷 CL( A c<sub>pot</sub>) 为 1. 803keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>.

表 3 柳州各种土壤的潜在酸度 临界负荷/keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>

| 土壤类型    | 计算潜在酸度临界负荷 CL( A c <sub>pot</sub> ) 的各个标准 |        |       |                                   |          |
|---------|-------------------------------------------|--------|-------|-----------------------------------|----------|
|         | $\frac{BC_{Ca\ Mg\ K}}{Al} \geq 1$        | 稳定性    | 铝浓度   | ANC ≥ - 300μeq · L <sup>- 1</sup> | pH> 4. 4 |
| 红土红壤    | 5. 13                                     | 6. 33  | 3. 83 | 3. 90                             | 2. 22    |
| 红泥土     | 4. 14                                     | 5. 32  | 3. 51 | 3. 58                             | 1. 9     |
| 沙质红泥土   | 1. 80                                     | 2. 46  | 2. 51 | 2. 58                             | 0. 9     |
| 红壤铁土    | 4. 10                                     | 5. 24  | 3. 48 | 3. 55                             | 1. 87    |
| 薄层砂页岩红壤 | 1. 84                                     | 3. 75  | 3. 02 | 3. 09                             | 1. 41    |
| 厚层砂页岩红壤 | 2. 42                                     | 4. 49  | 3. 25 | 3. 32                             | 1. 64    |
| 红壤土     | 4. 80                                     | 7. 77  | 4. 23 | 4. 36                             | 2. 68    |
| 红沙土     | 1. 17                                     | 1. 01  | 2. 23 | 2. 30                             | 0. 63    |
| 中度侵蚀红壤  | 2. 61                                     | 3. 49  | 2. 94 | 3. 01                             | 1. 34    |
| 棕泥土     | 21. 22                                    | 31. 80 | 12. 2 | 12. 2                             | 10. 5    |
| 中层酸性紫色土 | 1. 16                                     | 2. 32  | 2. 56 | 2. 63                             | 0. 95    |
| 潮沙土     | 0. 86                                     | 1. 25  | 2. 3  | 2. 37                             | 0. 69    |
| 潮沙泥土    | 1. 00                                     | 1. 81  | 2. 45 | 2. 52                             | 0. 84    |
| 红土赤红壤   | 1. 86                                     | 3. 03  | 2. 79 | 2. 86                             | 1. 15    |
| 沙泥黄壤    | 1. 55                                     | 2. 17  | 2. 57 | 2. 64                             | 0. 39    |

硫临界负荷用( 4) 式计算, 其结果列于表 4. 例如, 红土 赤 红壤 的风化速率为 0. 796 keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>, 植物在此土壤上吸收盐基阳离子的速率为 0. 754 keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>. 如果以 ( BC<sub>Ca Mg K</sub>/ Al) ≥ 1 为计算标准, 得到淋溶临界 碱度 ANC<sub>L</sub> 为- 1. 1 keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>, 相当于 淋溶碱度为- 157μeq · L<sup>- 1</sup>. 于是, 该森林土壤 的硫临界负荷 CL( S) 为 0. 94keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>.

对于地表水临界负荷的计算, 一般要求 pH 必须大于6. 0. 此时可根据碱度的定义, 由临界

表 4 柳州各种土壤的潜在硫临界负荷/keq · hm<sup>- 2</sup> · a<sup>- 1</sup>

| 土壤类型    | 计算硫临界负荷 CL( S) 的各个标准               |        |        |                                   |          |
|---------|------------------------------------|--------|--------|-----------------------------------|----------|
|         | $\frac{BC_{Ca\ Mg\ K}}{Al} \geq 1$ | 稳定性    | 铝浓度    | ANC ≥ - 300μeq · L <sup>- 1</sup> | pH> 4. 4 |
| 红土红壤    | 3. 99                              | 5. 19  | 2. 69  | 2. 76                             | 1. 08    |
| 红泥土     | 3. 00                              | 4. 18  | 2. 37  | 2. 44                             | 0. 76    |
| 沙质红泥土   | 1. 12                              | 1. 78  | 1. 82  | 1. 89                             | 0. 21    |
| 红壤铁土    | 2. 98                              | 4. 12  | 2. 34  | 2. 44                             | 0. 76    |
| 薄层砂页岩红壤 | 0. 76                              | 2. 67  | 1. 94  | 2. 01                             | 0. 33    |
| 厚层砂页岩红壤 | 1. 33                              | 3. 40  | 2. 16  | 2. 23                             | 0. 55    |
| 红壤土     | 3. 49                              | 6. 63  | 3. 15  | 3. 22                             | 1. 54    |
| 红沙土     | 0. 62                              | 0. 45  | 1. 68  | 1. 75                             | 0. 07    |
| 中度侵蚀红壤  | 1. 62                              | 2. 51  | 1. 96  | 2. 03                             | 0. 35    |
| 棕泥土     | 20. 11                             | 30. 69 | 11. 00 | 11. 07                            | 9. 39    |
| 中层酸性紫色土 | 0. 39                              | 1. 55  | 1. 79  | 1. 50                             | 0. 18    |
| 潮沙土     | 0. 24                              | 0. 63  | 1. 68  | 1. 75                             | 0. 07    |
| 潮沙泥土    | 0. 23                              | 0. 46  | 1. 52  | 1. 75                             | 0. 07    |
| 红土赤红壤   | 0. 94                              | 2. 11  | 1. 87  | 1. 76                             | 0. 26    |
| 沙泥黄壤    | 0. 95                              | 1. 58  | 1. 97  | 2. 04                             | 0. 36    |

pH 计算出淋溶临界碱度  $AN_{CL}$ . 首先, 计算出  $HCO_3^-$ , 即:

$$\begin{aligned} [HCO_3^-] &= K_1 K_H \cdot P_{CO_2} / [H^+] \\ &= 10^{-6.4} \times 10^{-1.43} \times \\ &\quad 5 \times 3.24 \times 10^{-4} / 1 \times 10^{-6} \\ &= 2.396 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

式中,  $3.24 \times 10^{-4}$  为空气中  $CO_2$  的浓度, 这里假设土壤中  $CO_2$  的分压为大气中  $CO_2$  分压的 5 倍. 于是,

$$\begin{aligned} AN_{CL} &= Q(2.39 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-6}) \\ &= 0.02296Q \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \\ &= 0.1607 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} \end{aligned}$$

因此, 对于薄层砂页岩红壤, 其地表水的酸度临界负荷  $CL(Ac)$  为  $0.88 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ .

由表 2、表 3 和表 4 可知, 计算临界负荷的标准不同, 其结果有较大差异. 以土壤稳定性标准计算出的临界负荷较其它标准计算出的临界负荷大. 这是因为我国华南地区红壤是铁铝土, 富含高岭土, 要达到使土壤失去稳定性时的铝消耗水平可以接受较高的酸沉降, 因此此类土壤不适于以土壤稳定性为标准计算临界负荷. 然而, 用 pH 为标准计算的临界负荷又比其它标准计算出的低, 说明该标准也不适合计算我国土壤的临界负荷, 因为要求太严, 实际上不容易达到这样的临界负荷值. 因此, 在计算我国森林土壤的临界负荷时, 建议以  $(BC_{CaMgK}/Al)$ 、碱度和铝浓度标准进行计算, 其结果可取 3 个标准计算出的最低值.

上述计算结果表明, 柳州地区大部分红壤土种的潜在酸度、酸度和硫沉降临界负荷分别为  $1.0—3.0$ 、 $1.0—2.6$  和  $0.50—1.80 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 这与用动态法<sup>[3]</sup>得到的结果较为一致, 表明所用方法和数据基本正确, 结果可靠. 面积覆盖率最大的薄层砂页岩红壤硫临界负荷为  $1.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . 红土赤红壤和沙泥黄壤的硫沉降临界负荷值较为接近, 其值为

$1.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . 各种土壤的潜在酸度与酸度临界负荷相当接近, 说明柳州地区的土地利用产生的酸度较小. 棕泥土和红壤土的酸沉降临界负荷相当高, 而沙质红泥土、红沙土、潮沙土、中度侵蚀红壤和潮沙泥土较低. 棕泥土的硫临界负荷高达  $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 潮沙土低至  $0.35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . 这主要是因为棕泥土是石灰质土壤, 红壤土粘土含量高, 而低临界负荷的土壤一般质地较粗.

为确定保护该地区多少面积的土壤不受酸沉降危害的酸沉降临界负荷, 可绘制各种土种面积积累与临界负荷累积的分布曲线, 限于篇幅不再讨论.

#### 4 结论

(1) 确定我国南方酸沉降临界负荷时, 基于植物响应、碱度和铝浓度标准计算临界负荷, 其结果可取 3 个标准计算出的最低值.

(2) 柳州地区大部分红壤土种的潜在酸度、酸度和硫沉降临界负荷分别为  $1.0—3.0$ 、 $1.0—2.6$  和  $0.50—1.80 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . 其中, 沙质红泥土、红沙土、潮沙土、中度侵蚀红壤和潮沙泥土的酸沉降临界负荷较低, 棕泥土和红壤土较大. 地表水的酸度临界负荷为  $0.80 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ .

(3) 为保护柳州 95% 的土壤不受酸沉降危害, 柳州土壤的潜在酸度和酸度临界负荷分别为  $1.8$  和  $1.9 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 硫和氮临界负荷分别为  $0.70$  和  $1.5 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 大约须将 1995 年硫排放削减 85%.

#### 参 考 文 献

- 1 谢绍东, 郝吉明, 周中平. 稳态法确定酸沉降临界负荷的基本理论探讨. 环境科学, 1997, 18(4): 5—9
- 2 Sverdrup H, De Vries W. Water, Air, and Soil Pollution, 1994, 72: 143—162
- 3 谢绍东, 郝吉明, 周中平. 应用稳态酸化模型计算酸沉降临界负荷. 环境科学, 1997, 18(5): 6—9
- 4 谢绍东, 郝吉明, 周中平. 柳州地区酸沉降临界负荷的确定. 环境科学, 1996, 17(5): 1—4

Abstracts

**Dry Deposition Model for Sulfur Pollutants.**

Gao Huiwang et al. (Institute of Physical Oceanography, Ocean Univ. of Qingdao, 266003): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 1—4

A dry deposition model for sulfur pollutants is developed, in which the effects of atmospheric conditions and surface types on the dry deposition velocity are considered. The dry deposition velocities of  $\text{SO}_2$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  are calculated over several typical land categories. The dry deposition velocities of  $\text{SO}_2$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  vary from 0.2–1.0 cm/s and 0.1–0.8 cm/s respectively. This dry deposition model is one of the bases of the study of Sulfur Deposition Model.

**Keywords:** sulfur pollutant, dry deposition velocity, numerical model, atmospheric.

**Calculation of Critical Loads for Acid Deposition with the Simple Mass Balance Method.**

Xie Shaodong, Hao, Jiming et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 5—8

Based on criteria of plant response, soil stability, aluminum concentration, alkalinity and pH, critical loads of acid deposition for all kinds of red earth in Liuzhou area were calculated by using the simple mass balance method. The results indicate the following: sandy red earth, red sandy soil, fluvo-aquic sandy soil, mid-ling-erosion red earth and fluvo-aquic sandy red earth have lower critical load values of acid deposition, cinnamon red earth and infant red earth have higher values; in order to protect 95% of the Liuzhou soil area from effects of acid deposition, critical loads of acidity, potential acidity, sulfur deposition and nitrogen deposition for red earth are  $1.8 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $1.9 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $0.70 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  and  $1.5 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  respectively; critical load of acidity for surface water is  $0.80 \text{ keq} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ .

**Keywords:** acid deposition, critical load, red earth, simple mass balance method, Liuzhou Area.

**Fourier Transform Infrared Transmission Spectroscopic Analysis of Bisulfate in Ambient Aerosols.**

Liang Yongmei, Wan Meirong et al. (State Key Lab of Environ. Simulation and Pollution Control, Peking University, Beijing 100871), *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 9—12

This paper described the difference about IR absorption between sulfate and bisulfate, and chose the  $750\text{--}500 \text{ cm}^{-1}$  as quantitative analysis range for sulfate and bisulfate. Sulfate and bisulfate in aerosol samples which collected from Zhong Guancun, Beijing in 1994–1995, prepared by pressing into KBr pellets, were analyzed using fourier transform infrared (FTIR) transmission spectroscopy. Analysis results is  $2.56\text{--}60.4 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  and  $\text{ND}\text{--}5.7 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  in terms of sulfate and bisulfate, respectively. The method presented in this paper offers a direct quantitative analysis for bisulfate.

**Keywords:** aerosols, bisulfate, FTIR quantitative analysis, Zhong Guancun Region, atmospheric determination.

**Use of Stable Isotope for Evaluating Washout Process in Summer at Mingnan Area.**

Yao Xiaohong et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua Univ., Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(6), 1997, pp. 13—15

The stable isotope was used for evaluating washout process in summer at Mingnan Area. Abundance ratio of stable isotope of rainwater was determined in summer at Mingnan. It was found that there was a large isotope fraction in rainwater, but the value of  $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$  was stable within common cloud, and which could be used as characteristic variation to distinguish source of rainwater. According to analysis of sulfur isotope, if ratios of sulfur isotope were negative in both aerosol and  $\text{SO}_2$ , it would be abundant  $^{34}\text{S}$  in rainwater. A stable isotope model was used to study washout process, the result showed that ratios of rainout and washout sulfur in beginning are 19.5%, 80.5% respectively, then the ratio become 32.3%, 57.7%, the ratio are 53%, 47% in the end. The ratios of two processes were almost equal in