

淮河以南若干中小城市燃料 煤硫品位的控制标准*

孙立广 谢周清 张兆峰 杨晓勇

(中国科技大学地球和空间科学系, 合肥, 230026)

摘 要

采用国家二级标准 ($0.15\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) 作为南方中小城市的环境标准值, 硫品位标准应控制在 1.32% 以下. 对比南方各中小城市 1987 年使用的煤硫品位, 在 98 个城市中, 有 44 个城市符合标准, 另有 54 个城市应控制高硫煤使用量或应用脱硫技术, 以减少大气中 SO_2 浓度.

关键词: 中小型城市, 煤, 硫品位, 控制标准.

铃木伸^[1]、孙立广^[2]等指出: 我国淮河以南 (以下简称南方) 高硫小型煤矿的开采是导致南方酸雨的主要原因. 高硫煤供给中小型城市燃烧使用是云雨酸化的前提条件. 鉴于此, 有必要控制中小城市燃料煤的硫品位, 改善大气环境质量.

本文对南方中小城市燃料煤硫品位的控制标准进行了讨论. 所给出的硫品位函数, 不仅仅考虑客观因素, 同时涉及到经济技术领域. 硫品位标准的建立可使工业-环境平衡发展. 在这里提出的标准是基于对燃料煤未进行技术处理的这种假定条件下, 随着硫处理技术的改善, 本标准将相应发生适当变化.

1. 硫品位函数的建立

对于煤矿行业特别是正在开采的高硫煤矿, 硫品位一般不会变化, 技术的进步一般是提高煤矿开采量, 在这种情况下, 污染物产出更多.

设想南方某地区某中小型城市邻近有 n 个小型煤矿正在开采, 并不断地供给中小城市燃烧使用, 排出的污染物为 SO_2 , 则各个小型高硫煤矿在通过城市这个中间环节后, 它们之间的定量关系为:

$$y_i = 2[g_i^P P_i X_i(t) F_i(S) - g_i^Z z_i X_i(t-1) F_i(S)] \quad (1)$$

右方第一项表示污染物发生量, 第二项表示污染物的治理量. 式中, y_i : 污染物排放量 (T); X_i : i 小型煤矿在 t 年度的产值 (万元); g_i^P : 基准年度 i 小型煤矿产量发生系数 ($\text{T} \cdot \text{万元}^{-1}$); g_i^Z : 基准年度 i 小型煤矿治理系数 ($\text{T} \cdot \text{万元}^{-1}$); P_i : i 小型煤矿产量的发生技术因子. 基准年度取为 1, 随技术进步而提高; Z_i : 中小型城市对污染物治理的技术

* 中国科学院南京土壤圈物质循环开放研究实验室资助项目.

因子. 基准年度取为 1, 随治污技术提高而提高; e_i : 城市对污染物治理的投资系数, 费用由 i 小型煤矿进行环保投资; $F_i(S)$: i 小型煤矿高硫煤的硫品位. 假如中小城市附近各煤矿硫品位变化不大, 则 $F_i(S)$ 实际上可近似认为是中小城市燃料煤硫品位 $F(S)$.

由 (1) 式可知, 中小城市的污染物总排放量为:

$$y = \sum_{i=1}^n W_i y_i = 2F(S) \sum_{i=1}^n [g_i^P P_i X_i(t) - g_i^Z Z_i e_i X_i(t-1)] \quad (2)$$

式中, W_i 为 i 小型煤矿实际供给中小城市使用的煤占总产量的百分比.

在一定发展阶段, 设备条件和技术水平不发生变革, P_i 与 Z_i 在一定范围内波动. 根据 Logic 法则^[3]有:

$$dP_i/dt = r_i^P P_i (1 - P_i/P_i^{\max}) \quad (3)$$

$$dZ_i/dt = r_i^Z Z_i (1 - Z_i/Z_i^{\max}) \quad (4)$$

式中, r_i^P 和 r_i^Z 分别为技术发生因子和治理因子的内禀增长率; $P_i^{\max}$ 和 $Z_i^{\max}$ 分别为在一定发展阶段, 技术发生因子和治理因子所能达到的最大取值; r_i^P , r_i^Z , $Z_i^{\max}$, $P_i^{\max}$ 均为参数, 这些参数可参考历史数据给出.

这两个方程的显式解为:

$$P_i = P_i^{\max} \left[1 + \frac{P_i^{\max} - P_i(t_0)}{P_i(t_0)} \exp(-r_i^P(t)) \right]^{-1} \quad (5)$$

$$Z_i = Z_i^{\max} \left[1 + \frac{Z_i^{\max} - Z_i(t_0)}{Z_i(t_0)} \exp(-r_i^Z(t)) \right]^{-1} \quad (6)$$

式中, $P_i(t_0)$ 及 $Z_i(t_0)$ 分别为基准年度技术发生因子和治理因子.

对 (1) 式进行考察可知, i 小型煤矿的总产量 ($t \cdot a^{-1}$) 为:

$$G_i(t) = g_i^P P_i X_i(t) \quad (7)$$

治理量 ($t \cdot a^{-1}$) 为:

$$R_i(t) = g_i^Z Z_i e_i X_i(t-1) \quad (8)$$

把 (7) 及 (8) 式代入 (2) 式有:

$$y(t \cdot a^{-1}) = 2F(S) \sum_{i=1}^n W_i [G_i(t) - R_i(t)] \quad (9)$$

对 (4) 式进行单位换算:

$$Q(g \cdot s^{-1}) = 2K \cdot F(S) \sum_{i=1}^n W_i [G_i(t) - R_i(t)] \quad (10)$$

式中, $K = 10^6 / (365 \times 24 \times 3600) = 0.03171$; Q 为污染物 SO_2 的实际排放量.

根据 SO_2 浓度的估算公式^[2]:

$$C_0 = \frac{2Q}{\sqrt{2\pi} u \chi^2} \int \frac{1}{\sigma_z} \exp \left[- (h/\sigma_z)^2 / 2 \right] dx \quad (11)$$

式中变量: C_0 : 区域 SO_2 平均浓度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$); u : 平均风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); h : 实际源高 (m); σ_y, σ_z : 水平方向、垂直方向扩散参数 (m); χ : 评价区宽 (m).

把 (10) 式中的 Q 代入 (11) 式有:

$$F(S) = 2C_0 \left\{ \frac{2K}{\sqrt{2\pi} u \chi^2} \sum_{i=1}^n W_i [G_i(t) - R_i(t)] \cdot \int \frac{1}{\sigma_z} \exp \left[- (h/\sigma_z)^2 / 2 \right] dx \right\}^{-1} \quad (12)$$

把 $G_i(t)$ 及 $R_i(t)$ 具体形式代入 (12) 式有:

$$F(S) = 2C_0 \left\{ \frac{(2K)}{\sqrt{2\pi} u \chi^2} \sum_{i=1}^n [g_i^P P_i X_i(t) - g_i^Z Z_i e_i X_i(t-1)] \cdot \int \frac{1}{\sigma_z} \exp \left[- (h/\sigma_z)^2 / 2 \right] dx \right\}^{-1} \quad (1^*)$$

(1^{*}) 式中的 σ_z 取 D 类稳定度下的 Briggs 扩散系数:

$$\sigma_z = 0.14 \chi (1 + 0.0003 \chi)^{-\frac{1}{2}}$$

注意到在一定发展阶段, 中小城市规模和工业布局不会有大幅度改变, 治理技术和发生技术不发生根本变革时, $[G_i(t) - R_i(t)]$ 应趋于一定值, 才能使工业-环境得到协调发展. 令 (1^{*}) 式大括号值为一常数 ξ , 则 (1^{*}) 式化为:

$$F(S) \% = \xi C_0 \cdot (\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (2^*)$$

其中:

$$\xi^{-1} = \frac{2K}{\sqrt{2\pi} u \chi^2} \sum_{i=1}^n [g_i^P P_i X_i(t) - g_i^Z Z_i e_i X_i(t-1)] \cdot \int \frac{1}{\sigma_z} \exp \left[- (h/\sigma_z)^2 / 2 \right] dx \quad (3^*)$$

考察 (1^{*}) 式, 由于 $F(S)$ 通常为定值, 当 C_0 值限定为某一数值时, ξ 值便可以给出, 如果以 $F(S)$ 为纵坐标, C_0 为横坐标, 便可得到一族以 ξ 为斜率的直线. 这样只要知道开采硫品位, 查该直线图, 便能够知道其造成的 SO_2 地面浓度. 由于直线斜率与客观条件及主观因素即工业生产状况及环境状况有关, 所以该直线族图能够直观地反映该地区的工业-环境状况. $F(S)$ 及 C_0 已知, 查阅该图, 如果 ξ 偏大, 在气象因素即平均

风速变化不大情况下, 由于 χ 在一定阶段为定值, 则说明 $[G_i(t) - R_i(t)]$ 偏小, 即工业产值与环保投资比例失调, 治污技术提高较大. 如果环保投资低于正常值, 直线斜率偏小.

2. $F(S)$ 的具体应用

对于某地区在一定发展阶段内, 可认为 P_i 及 Z_i 的内禀增长率不大, 则可认为 ξ 为一固定值. 如果给定环境目标控制值 C_0 , 则相应地 $F(S)$ 应有一个固定值.

对于 ξ 值的确定可根据定义, 也可用最小二乘法拟合. 在运用最小二乘法进行拟合时, 所选用的数据有一定的限制. 如何控制南方中小型城市燃料煤硫品位及实测 SO_2 地面浓度, 表 1 给出了几个南方城市的实测 SO_2 浓度及燃料煤硫品位. 其中有几个城市规模稍大, 导致了 ξ 值有一些误差.

表 1 南方某些地区 SO_2 浓度及硫品位

Table 1 The sulfur contents and concentration of SO_2 on some regions in south China

地 区	衡阳 ¹⁾	遵义 ²⁾	重庆 ¹⁾	贵阳 ¹⁾	黄石 ²⁾	南宁 ³⁾	韶关 ³⁾
$SO_2/mg \cdot m^{-3}$	0.0996	0.3750	0.4300	0.5200	0.1600	0.1100	0.1063
硫品位/%	1.110	4.000	5.000	4.807	1.972	0.9200	1.1180
$F(S)/C_0$	11.14	10.67	11.63	9.24	12.33	8.36	10.52

注: 1) 环境科学学报, 1992, Vol. 12, No. 1, P46—52; 2) 环境科学动态, 1989 年 8 月; 3) 中国环境科学, 1992, Vol. 12, No. 4, P316—319; 4) 黄美元, 待发表.

从表 1 可知 $F(S)/C_0$ 变化不大, 南方地区各个煤矿及其中小城市间根本性差别不大, 即技术发生水平、治理水平均处于同等水平, 注意到黄石 $F(S)/C_0$ 较大, 原因是黄石市在 1985 年进行了大规模投资环保行业, 使环境得到改善, 从而为工业产值的增长打下了基础. 相反, 南宁市 $F(S)/C_0$ 值较小, 今后应加强环境保护. 为了使南方中小型城市的大气环境得到改善, 特别是重视那些酸雨出现频率较高的地区的环境的改善, 取表 1 中较小的两个 ξ 值的平均值作为南方地区的 ξ 值, 更合理的 ξ 值可以从南方大部分地区的 $F(S)/C_0$ 值中进行选择. 根据以上所述 (2[#]) 式化为:

$$F(S)\% = 8.80C_0(mg \cdot m^{-3}) \quad (4^{\#})$$

根据文献[4], 1989 年和 1990 年两年 SO_2 浓度的日平均值南方约为 $0.12mg \cdot m^{-3}$, 大部分城市中 SO_2 的浓度在国家大气环境质量二级标准 ($0.15mg \cdot m^{-3}$) 和一级标准 ($0.05mg \cdot m^{-3}$) 之间浮动, 约有 16% 的城市超过国家二级标准. 因此, 采用国家二级标准^[5]作为南方各中小型城市的环境目标值:

$$F(S)\% = 8.80 \times 0.15 = 1.32$$

根据以上推算, 南方中小城市燃料煤硫品位应控制在 1.32% 以下, 开采硫品位也应在 1.32% 以内.

表 2 给出南方某些中小型城市 1987 年使用的煤硫品位. 从表 2 可知: 在 98 个城市

中, 有 44 个城市符合标准, 另有 54 个城市在今后应加强环保工作. 小型煤矿不要单纯追求产值, 应增大环保投资比例, 或者转而开采硫品位较小的煤矿. 否则, 该地区大气质量在不久的将来超过国家二级标准.

表 2 南方各中小型城市 1987 年使用的煤硫品位*

Table 2 The sulfur contents of the burned coal on the middle and small cities in south China

R	S%	R	S%	R	S%	R	S%	R	S%	R	S%	R	S%
1	1.073	15	0.966	29	3.550	43	2.737	57	9.590	71	3.411	85	2.374
2	0.610	16	2.610	30	0.663	44	1.491	58	0.557	72	1.487	86	1.935
3	1.441	17	0.347	31	1.737	45	5.073	59	1.182	73	2.250	87	1.012
4	2.870	18	0.910	32	3.627	46	4.460	60	0.250	74	1.705	88	3.560
5	7.000	19	0.716	33	2.790	47	1.726	61	0.920	75	1.540	89	4.870
6	3.760	20	1.390	34	0.694	48	1.306	62	1.265	76	0.920	90	3.111
7	3.780	21	1.927	35	0.725	49	1.005	63	0.537	77	1.160	91	3.084
8	1.668	22	4.347	36	1.173	50	0.529	64	1.239	78	1.211	92	4.793
9	1.809	23	3.520	37	0.500	51	3.940	65	1.012	79	0.666	93	0.530
10	0.823	24	5.424	38	0.625	52	0.809	66	0.203	80	1.014	94	0.512
11	2.451	25	4.199	39	0.669	53	0.840	67	4.395	81	0.147	95	0.453
12	0.530	26	3.528	40	4.581	54	3.965	68	0.724	82	0.601	96	5.180
13	1.444	27	3.800	41	1.607	55	0.673	69	1.236	83	1.693	97	1.968
14	2.043	28	7.050	42	1.536	56	0.137	70	6.452	84	1.241	98	2.324

* R 代表南方中小型城市; S% 代表燃料煤硫品位.

3. 结语

在未控制高硫煤使用量或未用脱硫技术及其它有效管理方法的情况下, 南方中小城市及邻近小型煤矿的开采硫品位应控制在 1.32% 以下, 从而使该地区的大气环境质量控制在国家二级标准以内. 对于具体城市可根据本文给出的方程代入各项数据, 求取有关城市的燃料煤硫品位的控制标准.

致谢: 感谢黄美元、席德立、徐达伍、邢光熹等教授提出的宝贵意见.

参 考 文 献

- [1] 铃木伸, 1993. 中国与全球环境问题. 环境科学进展, 1 (6): 16
- [2] Sun Liguang, Yang Xialyong, Zhang Zhaofeng et al., 1994. The Influence of Small-Scale Coal Mines in South China on Acidification of Cloud and Rain, Proceedings of China-Japan Bilateral Symposium on Fluid Mechanics and Management Tools for Environment, The Publishing House OF USTC
- [3] Shudla A, 1987. Mathematical Modeling of Environmented and Ecological Systems. Amsterdam: Elsevier
- [4] 王玉庆, 1993. 中国环境污染的状况和对策. 中国环境科学, 13 (4): 241
- [5] 国家环境保护局科技标准司编, 1992. 环境质量与污染物排放国家标准汇编. 中国标准出版社, P2

1994 年 9 月 23 日收到.

DISCUSSION ON THE CONTROLLED STANDARD OF SULFUR CONTENT OF THE BURNED COAL IN THE MIDDLE AND SMALL CITIES IN THE SOUTH AREA OF THE HUAI RIVER

Sun Liguang Xie Zhouqing Zhang Zhao Feng Yang Xiaoyong

(Department of Earth and Space Sciences and Environmental Sciences Center,

University of Science and Technology of China, Hefei, 230026)

ABSTRACT

We should discuss a controlled standard of sulfur content of the burned coal in the middle and small cities. And the standard should coordinate the profits of environment and the small-scale coal mines.

The sulfur content should be controlled under 1.32%, so that the quality of atmosphere in this region does not exceed the National Second-grade Standards ($0.15\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$). By comparing the sulfur content of the coal used in middle and small cities in 1978 in south China with the standard, we can know that only 44 cities satisfied the standard among 98 cities. We suggest that the other 54 cities should slow down the consumption of the high-sulfur content coal or take desulfuration to reduce the concentration of SO_2 in atmosphere.

Keywords: the middle and small cities, coal, sulfur content, control standard.