

基于公理体系的排污总量公平分配模型^{*}

林 巍 傅国伟 刘春华

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘要 指出已有的污染物排放总量“公平分配”规则中隐含的不公平性, 利用环境冲突分析理论, 建立了关于公平的公理体系, 设计出了满足公理体系的排污总量公平分配规则。研究结果对公平处理环境冲突以及改进传统环境规划的不足具有重要意义。

关键词 公平分配, 总量控制, 环境冲突分析。

污染物排放总量控制中, 一般要根据水质保护目标或污染物削减总量, 向各排污源分配污染物允许排放量。在这个规划过程中, 公平和效率是经常考虑的 2 条决策准则。由于分配允许排放量本质上是确定各排污者利用环境资源的权利、确定各排污者削减污染物的义务, 即利益的分配和矛盾的协调, 所以在市场经济条件下, 公平原则是排污总量分配中应遵循的首要原则, 然后在公平的基础上追求效率。公平分配排污总量也是处理污染纠纷, 确定跨界水质标准的依据。因此排污总量分配中的公平性是环境规划中一个非常重要的概念。

1 已有的“公平分配规则”中的不公平性

污染物排放总量分配中的公平性是一个非常重要但又极难量度的概念。已有的研究中提出的“公平分配规则”中隐含着不公平性, 下面将分析说明这个观点, 并用环境冲突分析的理论方法来研究分配中的公平性。

首先对下面将用到的术语和符号进行定义和说明。

m_{i0} : 第 i 个污染源的现状(基准)排放量, kg/d; m_i : 第 i 个污染源的允许排放量, kg/d; a_i : 第 i 个污染源的污染物转输率, 即转输到目标点处的污染量与排放量的比值; η_i : 第 i 源的削减率, $\eta_i = 1 - m_i/m_{i0}$; CP: 目标点处的环境容量, 即本底值以上允许增加的污染物通量,

kg/d; η_0 : 全区的平均削减率, $\eta_0 = 1 - CP/\sum a_i m_{i0}$; c_{ST} : 目标点处规定的水质标准, mg/L; Q : 河流设计流量, m^3/s 。

CP、 c_{ST} 和 Q 之间存在以下关系:

$$CP = 86.4 \cdot c_{ST} \cdot Q$$

已有的研究^[1]中提出了 2 种典型的排污总量公平分配规则, 即:

① 按影响值(转输量)的比例分配应削减的总转输量。这种方法等价于“按影响值比例分配环境容量 CP”或“全区均等削减率”。

② 按源的排放规模(排放量)的比例分配环境容量。

这 2 种分配方式从表面来看似乎都具有某种公平性, 但是当这 2 种规则运用到图 1 所示例子中时, 其中隐含的不公平性是显而易见的。

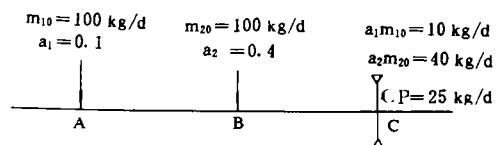


图 1 2 个排污源的例子

如图 1 所示, A、B 2 点各有一个完全相同的排污源, 排放量 $m_{10} = m_{20} = 100$ kg/d, 转输率

^{*} 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1995-08-12

分别为 $a_1=0.1$, $a_2=0.4$; C 点为水质目标点, 环境容量为 $CP=25 \text{ kg/d}$, 现状时的转输量为 $\sum a_i m_{i0}=50 \text{ kg/d}$

(1) 根据方法 1(均等削减率, 或按影响大小分配应削减的转输量):

$$\text{平均削减率 } \eta_0 = 1 - \frac{CP}{\sum a_i m_{i0}} = 50\%$$

即 2 个源的削减率均为 50%, 2 个源的削减量均为 50 kg/d. 在本例中, 2 个源对目标点处的水质影响程度不同(而且悬殊很大), 但是分配的结果却是让 2 个源承担完全相同的削减量, 这显然不公平, 公平合理的分配方式应体现出削减率与转输率正相关, 即转输率越小, 削减率越小, 极端的情况下转输率趋近于零, 削减率也应趋近于零. 这样也才能促使排污者远离环境敏感区.

(2) 根据方法 2(按排放量的比例分配环境容量):

本例中 $CP=25 \text{ kg/d}$, 2 个源排放量相同, 因此双方平分环境容量, 每个源得到的允许转输量均为 12.5 kg/d. 这时第 1 个源分配的允许排放量为 125 kg/d, 它已经大于了现状排污量 100 kg/d, 而目前的情况下并不存在剩余环境容量, 全局的平均消减率是 50%. 这种分配方法太有利于远地源, 也是显然不公平的. 公平的分配方法应当允许近地源比远地源影响大些, 即近地源分配到的允许转输量应该大于同样规模的远地源分配到的允许转输量. 所以说各源在水质目标处分配到的允许转输量应与转输率成正比相关.

2 关于公平的公理假设(Axioms)

把环境管理中有关公平性的实践经验进行去伪存真、去粗取精的提炼, 可以得到有关公平性的一系列公理(当然它还需要不断地完善), 并可以由此推导出满足这些公理的公平分配规则, 或者用这些公理去检验设计出的公平规则. 这种研究方法恰恰就是由 Nash^[2]开始的基于公理的协商理论研究方法(Nash 于 1994 年获得了诺贝尔经济学奖, 这些研究成果是他获奖的重

要原因).

以下是笔者研究得出的公理体系^[3].

公理 1: 各源的削减率应与其转输率成正比相关. 其含义已在上节说明.

公理 2: 各源分配到的环境容量(在目标点处的允许转输量)应与其转输率成正比相关. 其含义已在上节中说明.

公理 3: 允许排放量与现状(基准)排放量成正比. 一个大源分配到的允许排放量应该等于将大源拆成若干个小源后各个小源分配得到的几个允许排放量之和, 而“允许排放量与基准排放量成正比”是其充要条件. 这个性质又等价于“削减量与现状(基准)排放量成正比”, 或各源的削减率与其基准排放量无关.

3 满足公理的公平分配规则

本文提出下述分配规则, 并证明了它满足 3 条公理.

$$\left\{ \begin{aligned} m_i &= F(a_i, m_{i0}, l) = \frac{m_{i0}}{1 + a_i^p \cdot l} \\ \sum a_i m_i &= \sum \frac{a_i m_{i0}}{1 + a_i^p \cdot l} = CP, \quad p \in (0, 1) \end{aligned} \right. \quad (1) \quad (2)$$

其中 p 、 l 为常数, l 表示削减程度, 其值由 (2) 式确定.

可以证明上述分配满足 3 条公理(略).

4 公平分配规则的直观含义

上节提出了满足 3 条公理的公平分配规则, 由于常数 p 可以在 (0, 1) 中任选一值, 因此实际上得到的是一族解. 分析这族解的特点, 有利于我们理解它的直观意义, 并可得到如下结论.

(1) p 可以在 (0, 1) 之间连续变化, 表明上述公理确定的公平具有模糊性. 例如, 当 $p=0$ 时, 这个分配规则就是“均等削减率”的分配规则, 笔者已经分析了这种分配方法的不公平性, 所以 $p=0$ 不在取值范围内. 但是当 p 无限趋近于 0(但不等于 0)时, 分配结果也无限趋近于“均等削减率”的分配结果, 这时, 根据 3 条公理它仍是公平的, 但根据经验, 笔者认为它已接近不公平了. 这说明公平与不公平并不存在明

显的界限,所谓“公平性”具有比较级,或者说它是渐变的,进一步笔者推论出:(0,1)区间有一个特定的 p 值比其它 p 值更公平.研究表明这个值就是 $p=0.5$.

(2) 当 $l=0$ 时,即不削减时,无论 p 选何值,都得到同样的分配结果——现状排放,这与管理的经验判断是符合的;当 $l \rightarrow \infty$ 时,即接近零排放时,各源均接近零排放,但是各源分到的允许转输量(环境容量)仍存在差别,并表现出某种规律,即:

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \frac{a_i m_i / m_{i0}}{a_j m_j / m_{j0}} = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{a_i / (1 + a_i^p l)}{a_j / (1 + a_j^p l)} = \left(\frac{a_i}{a_j} \right)^{1-p}$$

(3)

当 $p \rightarrow 0$ 时, $\lim_{l \rightarrow \infty} \frac{a_i m_i / m_{i0}}{a_j m_j / m_{j0}} = \frac{a_i}{a_j}$; 即各源的

允许转输量与其转输率成正比,或同等规模各源的允许排放量相同;

当 $p \rightarrow 1$ 时, $\lim_{l \rightarrow \infty} \frac{a_i m_i / m_{i0}}{a_j m_j / m_{j0}} = 1$, 即各源的单位允许转输量相同(各源按排放量比例均等分配环境容量),或同等规模各源的允许排放量与转输率成反比.

这 2 种情况恰恰对应着前述的 2 种分配环境容量的方法,第 1 节中分析了这 2 种方法的不公平性,而公平的分配方法介于二者之间.分析表明 $p \rightarrow 1$ 对于上游有利, $p \rightarrow 0$ 对于下游有利,而 $p=0.5$ 是一个大家都接受的公平解.

表 1 是用图 1 中的例子计算得出的公平分配结果.

表 1 分配计算结果($m/\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$; $\text{CP}/\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$; $\eta/\%$)

环境容量 CP	算法 1 均等削减率法 $p=0$ $m=\frac{m_0}{1+l}$	算法 2 $p=1$ $m=\frac{m_0}{1+a \cdot l}$		算法 3 $p=0$ 与 $p=1$ 的 折衷解(平均值)		算法 4(推荐算法) $p=0.5$ $m=\frac{m_0}{1+a^{0.5} \cdot l}$	
	$\eta_0=\eta_1=\eta_2=50$	$\eta_1=33.33$	$\eta_2=66.67$	$\eta_1=41.67$	$\eta_2=58.33$	$\eta_1=41.42$	$\eta_2=58.58$
25	$m_1=50 \quad m_2=50$	$m_1=66.68$	$m_2=33.3$	$m_1=58.35$	$m_2=41.7$	$m_1=58.58$	$m_2=41.42$
	$\eta_0=\eta_1=\eta_2=70$	$\eta_1=56.27$	$\eta_2=83.73$	$\eta_1=63.14$	$\eta_2=76.87$	$\eta_1=62.83$	$\eta_2=77.17$
15	$m_1=30 \quad m_2=30$	$m_1=43.43$	$m_2=16.27$	$m_1=36.86$	$m_2=23.14$	$m_1=37.18$	$m_2=22.83$
	$\eta_0=\eta_1=\eta_2=90$	$\eta_1=84.41$	$\eta_2=95.59$	$\eta_1=87.21$	$\eta_2=92.80$	$\eta_1=86.97$	$\eta_2=93.03$
5	$m_1=10 \quad m_2=10$	$m_1=15.59$	$m_2=4.41$	$m_1=12.80$	$m_2=7.21$	$m_1=13.03$	$m_2=6.97$
	$\eta_0=\eta_1=\eta_2=95$	$\eta_1=92.10$	$\eta_2=97.90$	$\eta_1=93.55$	$\eta_2=96.45$	$\eta_1=93.45$	$\eta_2=96.59$
2.5	$m_1=5 \quad m_2=5$	$m_1=7.9$	$m_2=2.10$	$m_1=6.45$	$m_2=3.55$	$m_1=6.59$	$m_2=3.41$

参 考 文 献

1 Ortolano L. Environmental Planning and Decision Making. New York: Wiley, 1984

2 Nash J F. The Bargaining Problem. Econometrica, 1950, 18: 155-162

3 林 巍. 环境规划与管理中冲突的分析与处理的研究(博士学位文). 北京: 清华大学, 1995

15%. At the conditions of the residence time of 5.9 s for the flue gas in reactor and specific energy of 4 Wh/Nm³, the removal efficiency of NO and NO_x are 42% and 29% respectively.

Key words: pulsed corona discharge, denitrification, flyash, NO, NO_x.

Calculation of Effective Refractive Index of Atmospheric Aerosol and the Effect of Relative Humidity on It. Tian Wenshou et al. (Dept. of Atmospheric Science of Lanzhou Univ., Lanzhou 730000); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 31–34

Based on the scattering and absorbing characteristic of aerosol, a effective medium approximative method was given, and the effective refractive index of aerosol was calculated. The calculated effective refractive index of the winter aerosol of Beijing is 1.561–0.057i, which is agreed with the observational value (1.550–0.057i). Using this method, the effects of soot content contained in atmospheric areosol and the relative humidity on the effective refractive index were further discussed, and some useful conclusions were obtained.

Key words: aerosol, effective refractive index, relative humidity.

Study on Allocating Permissible Pollutants Discharge Based on Axioms System. Lin Wei et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 35–37

In this paper the unfairness hidden in the previous fair allocation of permissible pollutant discharge was pointed out, the axioms system about fair allocation was established and a new allocation rule subject to the axioms system was designed using environmental conflict analysis theory. The fruit of this research is practical significant to resolve environmental conflict fairly and improve the traditional environmental planning and management.

Key words: fair allocation, total quantity control of pollutant discharge, environmental conflict analysis.

Study on the Balance of Increasing Pollutants after Closed-Looped Circulation of Wastewater of Coal Gas. Liu Jingjin et al. (Environ. Protection Research Institute, Hunan University, Changsha 410012); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 38–40

A large amount of experiments and monitoring data showed that after circulation of coal gas washwater, the concentration of pollutants (mainly volatile phenol) does not increase unlimitedly, but reaches a dynamic equilibrium. The concentration of phenol is 1300–2000 mg/L, cyanide is 4–20 mg/L, sulfide is 35–70 mg/L at the range of equilibrium. The result showed that it is completely feasible to use the routine technological treatment of closed-looped circulation of pretreatment of coal gas washwater removing suspended solids and tar.

Key words: closed-looped circulation, washwater of coal gas, dynamic equilibrium.

A Study on the Conversion of Waste Settlings from the Production of Furfural into Complex Fertilizer. Liu Junfeng et al. (Xiang Tan Mineral Institute, Hunan 411201); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 41–43

The results showed that the waste settlings is almost neutral and contains effective phosphorus and potassium, which are all satisfied to the quality standard for the complex fertilizer in furfural formation from straw of rice (or straw of wheat), and the yield of furfural exceeded 9% (as abs dry raw material) by the addition of the materials under the conditions of hydrolysis which showed as following: the temperature 110°C–140°C, the ratio of the additions to straw: 1:2–1:3 by weight, the ratio of the liquid to the solid: 3:1–4:1 by weight, time of hydrolysis: 2–3 h, and 1 atm.

Key words: modification of sulfuric acid catalysis, production of furfural, conversion of waste settlings, complex fertilizer containing phosphate and potassium.

Organic Acid Changes in Two-phase Thermophilic/Mesophilic Anaerobic Digestion Process. Qingliang Zhao and Baozhen Wang (Harbin University of Architecture & Engineering, Harbin 150001), G. Kugel (Niersverband, 41747 Viersen, F. R. Germany); *Chin. J. Environ. Sci.*, 17(3), 1996, pp. 44–47

In order to investigate the changes of organic acids in the two-phase thermophilic/mesophilic anaerobic digestion which was designed for the treatment of mixed substrates from sewage sludge and other high-concentration organic waste, distillation-titration method was adopted for the analyses of volatile organic acids, and GC-MS for