

文章编号 1000-5013(2001) 03-0326-05

公共河道水污染的博弈分析

黄贻琳 叶民强 金式容

(华侨大学经济管理学院, 福建泉州 362011)

摘要 企业排污所引起的水资源破坏问题, 是我国各区域面临的一个严峻的现实问题. 如何才能科学地、有效地寻找此类问题的解决对策, 已引起社会各界的普遍关注. 为此, 从博弈分析的角度探讨企业的河道排污的经济行为, 以及其与政府的管理机制之间的内在关系, 进而提出若干解决公共河道水污染的对策.

关键词 水资源, 企业排污与治理, 政府监督, 博弈分析

中图分类号 X 22 : X 52 : X 196 : F 224.32

文献标识码 A

目前, 我国水资源面临严重的污染问题. 大量工业废水外排不达标, 绝大部分生活废水不经处理直接排放, 广大农村地区不合理使用化肥、农药, 对地表水影响日趋严重. 据国家环保总局统计, 1998 年全国废水排放量为 397 亿 t, 生活污水占排放总量的 49.1%. 我国长江、黄河等主要流域 3.1% 的河段超过地区水三类标准, 失去了饮用水功能. 我国淡水湖泊均为中度污染, 巢湖(西半湖)、滇湖和太湖污染严重. 我国城市水环境质量也较差, 在监测的 176 条城市河段中, 绝大多数河段受到不同程度污染, 52% 的河段污染严重. 受调查的 120 多个城市的地下水中, 多数受到不同程度的点和面污染, 且有逐年加重趋势. 由于地面水污染严重, 加剧了地下水的过度抽取, 造成大部分城市和地区地下水位连续下降, 形成了不同规模的地下水位降落漏斗. 如今, 全国漏斗面积超过 100 km^2 的漏斗就有 50 多个, 形势非常地严峻^[1]. 本文从企业排污、治污的角度出发, 分析其产生的原因, 并进一步用博弈分析^[2-4]探讨企业的经济行为.

1 企业与企业之间不合理排污的博弈分析

假设有一条公共的河道, 在政府未加干预或政府的监督力度不足的前提下, 河道两旁的 n 个企业的选择策略, 是直接向该河道排放未经处理过的废水. 其理由是, 每个企业都认为, 只要别人不排污, 即使自己排放未经处理过的废水对水资源的影响也不大, 自己却可得利. 如果其它企业都排污, 即使自己不排污, 河道水资源仍保护不了, 还不如自己也排污. 因此, 最后的结论是, 排污总是合算的. 由于河道的纳污量(Q)有限, 所以河道里水资源的可利用价值随排污量的增加而减少. 当所有的企业在该河道里排污的实际数量超过这个限度时, 该河道里水资源

的可利用价值为零. 显然, 企业在河道中排污后, 其引起河道单位水资源的损失价值 $V(Q)$ 为

$$V(Q) = R_{\max} - R(Q),$$

其中, R_{\max} 为未受污染时河道水资源的可利用价值. 水资源可利用价值 $R(Q)$ 和水资源的损失价值 $V(Q)$ 与排污量 Q 的关系, 如图 1 所示.

假设每个企业都清楚该河道的最大纳污量 Q_{\max} , 以及河内水资源的可利用价值 $R(Q)$ (Q 为总排污量). 那么, 河道上 n 家企业在排污过程中各自决定的最优排污量问题, 属完全信息的静态博弈问题. 在此博弈中, 企业 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 为参与人, 企业 i 的水资源使用量为 q_i^0 , 排污量为 q_i , 废水处理量为 p_i , 且 $q_i^0 = q_i + p_i$. 则河道上 n 家企业

的总用量为 $Q_0 = \sum_{i=1}^n q_i^0$, 总排污量 $Q = \sum_{i=1}^n q_i$, 总处理量 $P = \sum_{i=1}^n p_i$, 且 $Q_0 = Q + P$. 于是, 河道内单位水资源的损失价值 $V(Q)$ 与可利用价值 $R(Q)$ 满足:

$$\left. \begin{aligned} &\text{当 } Q = 0, & V(Q) = 0, & R(Q) = R_{\max}, \\ &\text{当 } 0 < Q < Q_{\max}, & V(Q) = R_{\max} - R(Q) > 0, \\ &\text{当 } Q = Q_{\max}, & V(Q) = V_{\max} = R_{\max}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

在式(1)中, Q_{\max} 指河道的单位水资源可利用价值降为零时的排污量. 这时, 河道单位水资源损失价值达最大为 V_{\max} , 这个损失值等于河道单位水资源可利用价值 R_{\max} . 而当纳污量 Q 为零时, 河道的单位资源可利用价值达最大, 即 $R(Q) = R_{\max}$. 此外, 由于河道内单位水资源可利用价值 $R(Q)$, 随着排污量 Q 的增加而急剧下降, 这表明 $\frac{\partial R}{\partial Q} < 0$, $\frac{\partial^2 R}{\partial Q^2} < 0$. 从而得 $\frac{\partial V}{\partial Q} > 0$, $\frac{\partial^2 V}{\partial Q^2} > 0$.

假定河道上每家企业单位废水的处理成本相同, 记为 C . 则企业 i 的水资源利用与排污的得益 $\pi_i = q_i C - (p_i + q_i) V(Q)$. 这表明, 企业 i 排污 q_i 单位水, 虽节省了 $q_i C$ 的处理成本, 但却造成水资源损失 $(p_i + q_i) V(Q)$ 的价值. 为使 π_i 最大化, 则 $\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = 0$. 即企业 i 的最佳排污量 q_i^* , 应满足下述一阶条件, 得 $C = V(Q) + (p_i + q_i^*) V'(Q)$, $\pi_i^* = q_i^* (p_i + q_i^*) V'(Q) - p_i V(Q)$. 将 n 个一阶条件相加, 易得

$$C = V(Q^*) + \frac{P + Q^*}{n} V'(Q^*), \quad (2)$$

$$\pi^* = \sum_{i=1}^n \pi_i^* = \frac{Q^* (P + Q^*)}{n} V'(Q^*) - P V(Q^*), \quad (3)$$

式(2), (3)中, $Q^* = \sum_{i=1}^n q_i^*$. 若每家企业不是从自身利益出发来考虑排污问题, 而是从 n 家企业整体利益的角度来考虑. 这时, 它们的最优化问题为 $\max \pi = CQ - (P + Q) V(Q)$. 式中的最优化一阶条件和帕累托最优得益 π^{**} 分别为

$$C = V(Q^{**}) + (P + Q^{**}) V'(Q^{**}), \quad (4)$$

$$\pi^{**} = Q^{**} (P + Q^{**}) V'(Q^{**}) - P V(Q^{**}). \quad (5)$$

因为 $V'(Q) > 0$, $V''(Q) < 0$ (且均不恒等于零), 比较式(2), (3)和式(4), (5), 易得 $\pi^{**} > \pi^*$,

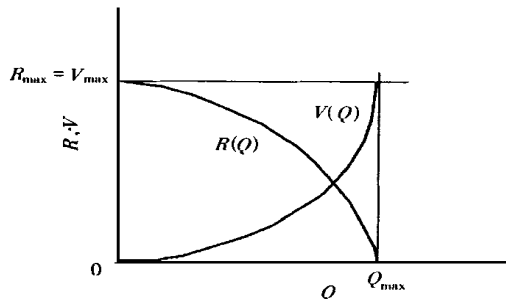


图1 河道水资源可利用价值
与污染损失价值关系图

$Q^{**} < Q^*$. 即企业的纳什均衡排污量,总是大于帕累托最优的排污量. 这说明在企业的排污问题上,若政府没有采用适当的制度安排来控制 and 管制企业的行为,对于追求利润最大化的企业将会寻求其排污的纳什均衡,而不会去寻求整体性帕累托均衡. 从而造成了公共河道被过度地、低效率地使用.

2 企业与企业之间治污的博弈分析

若政府规定企业不能将未处理过的废水直接排放到公共河道中,并监督各企业自觉将所排放的废水经过净化处理后再排放.

假设 g_i 为企业 i 处理的废水量,则总处理的废水量为 $G = \sum_{i=1}^n g_i$. P_G 为处理每单位废水的平均成本, X_i 为企业 i 对其它物品的消费量, P_x 为企业 i 消费其它物品的价格, M_i 为企业 i 的总预算收入,则 $M_i = P_x X_i + P_G g_i$. 为了分析方便,我们假定企业 i 的效用函数取柯布——道格拉斯形式,即 $U_i = U_i(X_i, G) = X_i^\alpha G^\beta$. 其中 $0 < \alpha, \beta < 1, \alpha + \beta < 1$, X_i 和 G 给企业带来的效用都是正的,并且它们的边际替代率是递减的.

那么,各企业选择自己的最优策略 (X_i, G) , 使下列目标函数最大化,即 $L_i = X_i^\alpha G^\beta + \lambda(M_i - P_x X_i - P_G g_i)$, 其中 λ 为拉格朗日常数. 从式中,可以解得纳什均衡下各企业的处理量 $g_i^* = \left[\frac{\beta M_i}{P_G} - \alpha \sum_{j=1}^n g_j \right] / (\alpha + \beta)$. 于是,得到企业的总处理量为

$$G^* = \sum_{i=1}^n g_i^* = \beta \sum_{i=1}^n M_i / (n\alpha + \beta) P_G.$$

尔后从总体效用的角度,考察其整体最佳处理量,使下列目标函数最大化. 即

$$L = \sum_{i=1}^n X_i^\alpha G^\beta + \lambda \left(\sum_{i=1}^n M_i - P_x \sum_{i=1}^n X_i - P_G G \right), \quad (6)$$

其中, λ 为拉格朗日常数. 从式(6)可以解得帕累托最优情况下,整体的处理量为 $G^{**} = \beta \sum_{i=1}^n M_i / (\alpha + \beta) P_G$. 令 $H = G^* / G^{**} = (\alpha + \beta) / (n\alpha + \beta)$. 显然, $H < 1$, 且当 $n > 1$ 时, $H < 1$; 而当 n 充分大时, $G^{**} \gg G^*$. 这说明在政府监督力度不足的情况下,由于各企业只考虑自身的经济利益,单靠各企业自觉处理污水,是无法达到指定标准的. 而且,随着企业个数的增加,各企业自觉处理的污水总量离整体标准将越来越远.

从以上分析可以看出,造成我国的主要流域、城市河段、地下水严重污染的根本原因,在于大量未达标生产、生活废水直接外排. 因为在缺乏各种约束的条件下,要使企业主动把外部费用纳入生产成本,承担环境污染或破坏责任是难以实现的. 相反地,对于追求利润最大化的生产者来说,他们的行为只会加剧环境的恶化.

3 企业治污与政府监督之间的博弈分析

上述分析可以得出在缺乏监督的情况下,生产者将在排污与治理问题上采用不同的行为准则. 也即,过度地排污和不足的治理投入. 这些不利于水资源保护的行为若长期存在,将会使河道的污染进一步恶化. 为确保河道水资源的可持续利用,政府应对企业的排污、治污行为进行严格的监督和管制. 一旦政府对企业的治理行为进行相应的监督,企业与政府之间将面临着企

业治污与政府监督的博弈. 下面进一步分析这类博弈问题.

假设企业在治污或不治污方面所涉及的成本为 C ; 企业治理污水所发生的全部成本为治理成本 C_1 ; 企业逃避污染治理行为被发现后, 必须承担的处罚金或追究法律责任和社会形象受损等方面, 所涉及的成本为处罚成本 C_2 . 若当政府实行监督时, 排污企业被发现并受惩处的概率为 $P(0 \leq P \leq 1)$, 罚金为 X , 则此时 $C_2 = PX$. 它反映了政府的监督效率与执法力度. 设政府的监督费用为 K , 此问题涉及企业治理与政府监督的完全信息静态博弈, 其相应的支付矩阵如表 1 所示. 表中, θ 代表企业进行污染治理的概率, $1-\theta$ 代表企业不进行污染治理的概率, γ 代表政府实行监督的概率, $1-\gamma$ 代表政府不实行监督的概率. 由表 1 数据可知, 政府、企业的期望收益函数分别为

表 1 政府治污与政府监督博弈

项 目	γ	$1-\gamma$
θ	$-C_1, -K$	$-C_1, 0$
$1-\theta$	$-\frac{PX}{PX-K},$ $PX-K$	$0, 0$

$$\pi_g(\theta, \gamma) = \gamma[-\theta K + (1-\theta)(PX - K)], \quad (7)$$

$$\pi_b(\theta, \gamma) = \theta[-C_1\gamma - C_1(1-\gamma)] + (1-\theta)[-PX\gamma]. \quad (8)$$

对式(7)求导, 分别得到政府及企业的最优一阶条件为

$$\frac{\partial \pi_g}{\partial \gamma} = -\theta K + (1-\theta)(PX - K) = 0, \quad \frac{\partial \pi_b}{\partial \theta} = -C_1 + PX\gamma = 0.$$

从而, 得

$$\gamma^* = C_1/PX, \quad \theta^* = 1 - K/PX. \quad (9)$$

式(9)为该博弈的混合战略纳什均衡. 这个均衡表明, 当 $\gamma \in (C_1/PX, 1]$ 时, 企业的最优选择是治理污染; 当 $\gamma \in [0, C_1/PX)$ 时, 企业的最优选择不治理污染; 当 $\theta \in (1 - K/PX, 1]$ 时, 政府的最优选择不监督; 而当 $\theta \in [0, 1 - K/PX)$ 时, 政府的最优选择是监督. 另外, 当 $\gamma = \gamma^* = C_1/PX$, $\theta = \theta^* = 1 - K/PX$ 时, 企业与政府双方达到博弈均衡. 在这个博弈中, 其纳什均衡与企业的治理成本 C_1 、企业处罚金 X 、政府的监督成本 K 和政府的监督效率 P 有关. 政府的监督效率越高, 处罚金越大, 企业不治理的概率就越小; 而监督成本越大, 企业治理的概率就越小. 为促进排污企业能自觉地进行治理, 政府的有关管理部门一方面要加大处罚力度, 即要提高“ X ”. 另一方面, 要提高管理效率. 这个管理效率来自于其监督效率 P 的不断提高, 以及监督成本 K 的不断下降.

上述分析表明, 政府部门的处罚力度和管理效率, 对调控排污企业治理行为是有重要作用. 这是政府部门在环保执法中, 应充分重视的关键. 除了处罚力度和管理效率对企业治理行为有较大的影响外, 政府部门在监督失职中若能承担其经济责任(比如排污逃避污染治理且政府部门未能发现, 则治理这部分污染的费用应由政府部门来承担, 即政府应增加承担 C_1 的费用). 那么这种制度安排, 对进一步促进排污企业治理行为有积极的推动作用. 把政府部门失职的责任加以考虑时, 表 1 中的支付矩阵将被调整为表 2 中的形式. 同理易得, 表 2 的博弈问题的混合纳什均衡为

表 2 政府承担失职责任的监督博弈

项 目	γ	$1-\gamma$
θ	$-C_1, -K$	$-C_1, 0$
$1-\theta$	$-\frac{P(C_1+X)}{PX-K-(1-P)C_1},$ $PX-K-(1-P)C_1$	$0, -C_1$

$$\gamma^{**} = \frac{C_1}{P(X+C_1)}, \quad \theta^{**} = 1 - \frac{K}{P(X+C_1)}. \quad (10)$$

比较式(9), (10), 可得 $\gamma^* < \gamma^*$, $\theta^* > \theta^*$. 由此可见, 一旦政府部门能够承担失职的经济责任, 即使这仅仅是一种口头的承诺, 但这种行动将带来了积极的效果. 一方面将提高排污企业参与治理的概率($\theta^* > \theta^*$); 另一方面它扩大了企业选择治理污染的决策判断区间($(\gamma^*, 1] \subset (\gamma^*, 1]$). 这说明即使排污企业认为政府监督可能性不太大, 也不敢轻易放弃治理污水.

4 结束语

基于以上分析可见, 政府必须对企业的排污、治污进行严格的管制, 才能保证资源、环境、经济增长的协调发展. 针对企业的过度排污和治理不足的问题, 政府可以通过一些有效的措施加以解决. 如成立“河道水资源管理局”等相应机构, 统一对河道上、下游水资源的管理; 加大技术投入, 改善污水处理设备, 提高水资源的回收利用率; 建立污水处理厂; 加强的环保意识教育等. 众所周知, 先进的技术设备、高素质的人才, 以及大量的资金等都可以从外国引进, 唯独环境是不能引进的. 良好的生存环境, 只能依靠大家的共同努力来创造和维护.

参 考 文 献

- 1 万本太. 中国水资源的问题与对策[J]. 环境保护, 1999(7): 30 ~ 32
- 2 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996. 1 ~ 390
- 3 戚 译, 朱秀君. 经济博弈论[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2000. 1 ~ 224
- 4 谢识予. 经济博弈论[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1997. 1 ~ 283

Game Analysis of Water Pollution in Public Streamway

Huang Zelin Ye Mingqiang Jin Shirong

(College of Econ. Manag., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract The damage to water resource resulting from pollution discharge of enterprises is a severe and realist problem to each region of our country. How can we scientifically and effectively seek countermeasures to solve such kind of problems has attracted attention of all circles in the society. From the angle of game analysis, the authors inquire into internal relation between economic behaviour of enterprises and administrative mechanism of government; and then, put forward several countermeasures for settling water pollution in public streamway.

Keywords water resource, pollution discharge of enterprises and its administering, goverment control, game analysis