

# 基于个体理性的水资源需求与节约的博弈分析

张林刚, 严广乐

(上海理工大学管理学院, 上海 200093)

**摘要** 明确水资源是一种“池塘资源”, 而不是纯公共资源, 也不是私人资源, 水资源的开采具有排他性和竞争性。应用简单的博弈模型分析理性个体的行为特点, 提出在产权关系不明确、政府缺乏激励机制的情况下, 水资源会出现开采过度和节约不足现象。

**关键词** 池塘资源; 公地悲剧; 博弈分析; 水资源

**中图分类号** :TV21      **文献标识码** :A      **文章编号** :1004-693X(2006)06-0095-04

## Game-theoretic analysis of demand and saving of water resources based on individual rationality

ZHANG Lin-gang, YAN Guang-le

(School of Management, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract** :Water resources are characterized as ‘pool resources’ rather than pure common resources or private resources. Based on this principle, the exploitation of water resources has the character of exclusivism and rivalrousness. The simple game theoretic model was used to analyze the characteristics of individual behavior. The result indicates that water resources will be exploited excessively and saved insufficiently when the property rights are undefined and the government encouraging mechanism is absent.

**Key words** :pool resources; the tragedy of the commons; game theoretic analysis; water resources

由于产权关系的模糊不清, 一直以来人们都把水资源作为一种公共资源看待, 其供给与需求都遵循个人理性原则, 即水资源的使用者在需求或节约的问题上考虑的是使个体利益最大化。另一方面, 随着人口的不断增长、社会经济的不断发展, 对水资源的需求急剧增长, 水资源逐渐从原来非排他性(non-excludability)、非竞争性(non-rivalrous)的纯公共资源(pure common resource)变成了具有排他性或竞争性的“俱乐部资源(club resource)”或“池塘资源(pool resource)”。从而产生了水资源需求开发时的“公地悲剧”现象和节约水资源时的非自愿现象。

### 1 资源特性

公共资源这一概念在实际使用时, 其概念基本上是比较明确的。如国防、公路、桥梁、基础教育、水

资源以及海洋资源等都可看作是公共资源。但仔细分析他们的特性, 就会发现所谓的公共资源各自都有不同的特性。

从广义上来说, 资源大体上可分为两种<sup>[1]</sup>: 公共资源和私有资源。经济学家 P. Samuelson 在《The Pure Theory of Public Expenditure》中把公共资源定义为: “每个人对这种物品的消费不会造成其他任何人对该物品消费的减少。”自此以后许多经济学家对此问题进行了广泛而深入的研究, 对公共资源和私有资源的概念进行了扩展, 并提出了区分两类资源的标准: 资源是否有消费的排他性和竞争性。消费的排他性是指一种资源的提供只是满足一部分人的需求, 而其他大部分人被排除在消费以外。而且排除他人不需要提供过高的额外成本。消费的竞争性是指一个人对某种资源的消费会减少其他人对该资源的消

费数量或消费质量,也就是说,一个人的消费会影响到他人对该资源消费的收益。如果一种资源同时具有排他性和竞争性,这种资源就是私有资源;而当一种资源在被消费时同时具有非排他性和非竞争性时,就被认为是纯公共资源。除了这两种资源以外,现实生活中更多的是介于二者之间的资源,它们或者是竞争的而非排他的,或者是排他的而非竞争的。

对于水资源来说,当水量比较丰富、人们的需求较小时,通常作为纯公共资源看待,即这时水资源的开采使用没有排他性也没有竞争性。随着人们对水资源需求的增长,原来丰富的水资源现在变得越来越紧缺,这时水资源的特性也发生了变化,由原来的纯公共资源变成了具有排他性或竞争性的“池塘资源”。

## 2 水资源的“公地悲剧”

“公地悲剧”最初来自于文献[2],哈丁认为如果一种资源没有排他性的所有权安排,就会导致对这种资源的过度使用。在中国,水资源的产权一直没有明确界定,虽然法律规定水资源的所有权属于国家,但具体到水资源的使用权、获益权、转让权等却没有明确界定,这就必然导致水资源开发中的“公地悲剧”发生。

假设某区域内有水资源总量  $W$ ,对其产权没有明确界定或管理部门的监督力度不够,水资源的开发量取决于个体愿望。区域内有  $n$  个理性行为个体(使用水资源的个人或集体),第  $i$  个个体确定的水资源的开采量为  $g_i$ ,则区域内对水资源的总的开采量

$$G = \sum_{i=1}^n g_i$$

开采单位水资源获得的收益为  $v$ , $v$  应该是  $G$  的函数,即有  $v = v(G)$ 。当现有的水资源量不足以补偿开采量时,即当  $W < G$  时, $v$  将随  $G$  的增加而减小,也就是说水资源的边际收益递减。同理,若  $c$  为开采单位水资源的成本,则有  $c = c(G)$ , $c$  随  $G$  的增加而增大,即水资源的边际成本在增加。假定

$$\frac{\partial v}{\partial G} \leq 0 \quad \frac{\partial^2 v}{\partial G^2} \leq 0$$

$$\frac{\partial c}{\partial G} \geq 0 \quad \frac{\partial^2 c}{\partial G^2} \geq 0$$

对于每个个体来说,其要考虑的问题是如何确定开采量  $g_i$  使得自己的收益最大化。这时个体  $i$  收益应为

$$\pi_i = g_i [v(G) - c(G)]$$

如果从个体理性出发,区域内  $n$  个理性行为个体开采水资源的最优化问题将转化为区域内  $n$  个理性行为个体的完全信息静态博弈问题<sup>[3]</sup>,即寻求个

体收益最大化的  $G^*$ 。由此可得理性个体  $i$  最优化的一阶条件是

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial g_i} = [v(G) - c(G)] + g_i [v'(G) - c'(G)] = 0$$

解得最优的 Nash 均衡解为

$$G^* = \sum_{i=1}^n g_i^*$$

$$\text{即有} \quad [v(G^*) - c(G^*)] + g_i [v'(G^*) - c'(G^*)] = 0 \quad (1)$$

$$\text{又因为} \quad \frac{\partial^2 \pi_i}{\partial g_i^2} = [v'(G) - c'(G)] + g_i [v''(G) - c''(G)] < 0$$

$$\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial g_i \partial g_j} = [v'(G) - c'(G)] + g_i [v''(G) - c''(G)] < 0$$

$$\text{所以} \quad \frac{\partial g_i}{\partial g_j} = - \frac{\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial g_i \partial g_j}}{\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial g_i^2}} < 0 \quad (2)$$

式(2)说明,第  $i$  个体的水资源开采量随第  $j$  个个体开采量的增加而减少,也说明了在区域水资源的开发过程中会出现公共水资源需求开发的竞争性。

以上结论建立在理性个体最大化自身收益基础上。若从整体收益出发,会得出不同的结果。

将  $n$  个个体最优化一阶条件相加,易得

$$\begin{aligned} n[v(G^*) - c(G^*)] + \sum_{i=1}^n g_i [v'(G^*) - c'(G^*)] &= 0 \\ [v(G^*) - c(G^*)] + \frac{G^*}{n} [v'(G^*) - c'(G^*)] &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

若  $n$  个理性个体不是从自身利益出发来考虑水资源的需求开发,而是从区域内整体利益出发考虑问题,这时它们的 Pareto 最优问题就是最大化

$$\pi = G [v(G) - c(G)]$$

其最优化一阶条件为

$$\frac{\partial \pi}{\partial G} = [v(G) - c(G)] + G [v'(G) - c'(G)] = 0$$

$$\text{得到 Pareto 最优解}$$

$$G = G^{**}$$

即有

$$[v(G^{**}) - c(G^{**})] + G^{**} [v'(G^{**}) - c'(G^{**})] = 0 \quad (4)$$

比较(3)(4)两式,不难得出

$$G^* > G^{**}$$

因为,如果假设  $G^* \leq G^{**}$ 。而  $\frac{\partial v}{\partial G} < 0$   $\frac{\partial c}{\partial G} > 0$ ,故有  $u(G^{**}) < u(G^*)$ ,  $c(G^{**}) > c(G^*)$ 。所以

$$u(G^{**}) - c(G^{**}) < u(G^*) - c(G^*) \quad (5)$$

又因为  $\frac{\partial^2 v}{\partial G^2} < 0$   $\frac{\partial^2 c}{\partial G^2} > 0$

故有  $v'(G^{**}) < v'(G^*)$   
 $c'(G^{**}) > c'(G^*)$

所以  $v'(G^{**}) - c'(G^{**}) < v'(G^*) - c'(G^*)$  (6)

式(6)两边同乘以  $G^{**}$  得

$$G^{**}[v'(G^{**}) - c'(G^{**})] < G^{**}[v'(G^*) - c'(G^*)] \quad (7)$$

式(5)与式(7)两边相加:

$$[u(G^{**}) - c(G^{**})] + G^{**}[v'(G^{**}) - c'(G^{**})] < [u(G^*) - c(G^*)] + G^{**}[v'(G^*) - c'(G^*)] \quad (8)$$

比较式(4),有

$$[u(G^*) - c(G^*)] + G^{**}[v'(G^*) - c'(G^*)] > 0$$

因为式(3),所以有

$$\frac{1}{n}G^* > G^{**} \quad G^* > G^{**}$$

与原假设矛盾,所以最终有  $G^* > G^{**}$ 。

这表明,在区域水资源的需求开发方面,如果政府管理部门不采取适当的制度来调控和管制理性个体的经济行为,那么他将会寻求使自身收益最大化的 Nash 均衡,而不是寻求整体最优的 Pareto 均衡,从而会造成水资源的过度开发,产生水资源的“公地悲剧”。

### 3 水资源节约的“供给不足”

公共物品的私人自愿供给会导致供给不足。如果把个体节约水资源的行为看作是对公共物品的供给,那么如果政府管理部门不给予足够的激励,个体出于追求自身利益最大化的目的,会使节约的水资源非常有限。

设在某一区域内,政府提倡节约水资源,希望每个个体(企业、家庭或个人)安装节水器具。另设区域内有  $n$  个个体,第  $i$  个个体节约水资源量为  $s_i$ ,总节约量为

$$S = \sum_{i=1}^n s_i$$

约束条件为

$$p_x x_i + p_s s_i = M_i$$

式中:  $M_i$  为理性个体  $i$  的预算收入;  $x_i$  为其他物品的消费量,其他物品消费量与水资源节约量之间的边际替代率是递减的;  $p_s$  为节约水资源的单位成本;  $p_x$  为购买其他物品的平均价格。

$i$  个体消费其他物品和节约水资源后所得效用

$$u_i = u(x_i, S)$$

这时每个个体面临的问题是给定其他个体选择的情况下,选择自己的最优战略  $(x_i, s_i)$  以最大化自己的收益  $u_i$ 。可用拉格朗日乘数法来求解该最优化问题,拉格朗日函数为

$$L_i = u(x_i, S) + \lambda(M_i - p_x x_i - p_s s_i)$$

最优化一阶条件为

$$\frac{\partial u_i}{\partial S} - \lambda p_s = 0$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \lambda p_x = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

因此有  $\frac{\partial u_i}{\partial S} / \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = \frac{p_s}{p_x}$  (9)

该条件是个体  $i$  效用最大化的必要条件。式(9)表明  $n$  个理性个体在区域内响应政府管理部门节约用水的号召,若从个体自身利益最大化条件出发,其 Nash 均衡为

$$S^* = (s_1^*, s_2^*, \dots, s_i^*, \dots, s_n^*)$$

$$S^* = \sum_{i=1}^n s_i^*$$

若理性个体从整体利益出发考虑节约水资源的总体社会效益问题会是另外一种情况。假定社会福利函数采用

$$u = \alpha_1 u_1 + \dots + \alpha_i u_i + \dots + \alpha_n u_n$$

总预算约束为  $\sum_{i=1}^n M_i = p_x \sum_{i=1}^n x_i + p_s S$

$$\alpha_i \geq 0 \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

式中:  $\alpha_i$  为权系数;  $\alpha_i$  为个体  $i$  通过节约水资源对社会整体效用的贡献大小。

该模型的 Pareto 最优化一阶条件为

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{\partial u_i}{\partial S} - \lambda p_s = 0$$

$$\alpha_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} - \lambda p_x = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

消去  $\alpha_i$  和  $\lambda$ , 易得 Pareto 最优解  $S^{**}$  满足的均衡条件

$$\sum_i \frac{\partial u_i / \partial S}{\partial u_i / \partial x_i} = \frac{p_s}{p_x}$$

即  $\frac{\partial u_i / \partial S}{\partial u_i / \partial x_i} = \frac{p_s}{p_x} - \sum_{j \neq i} \frac{\partial u_j / \partial S}{\partial u_j / \partial x_j}$  (10)

比较式(9)与(10)不难发现

$$\frac{p_s}{p_x} - \sum_{j \neq i} \frac{\partial u_j / \partial S}{\partial u_j / \partial x_j} < \frac{p_s}{p_x} \quad (11)$$

这就意味着 Pareto 最优的水资源节约量大于 Nash 均衡水资源节约量。表明对于区域内水资源的节约问题,若仅从自愿原则出发,理性个体将不会尽最大努力去实施节水措施。所以政府管理部门不能仅停

留在教育宣传的行动上,而是应该制定相应得激励机制或者利用行政手段,促使理性个体自愿追求整体最优的 Pareto 均衡。

## 4 结 语

在没有明确的产权界定或政府管理不力的情况下,个体对水资源的开采行为通常基于个体利益最大化原则,从而会产生诸如水资源开采过程中的“公地悲剧”和节约水资源时的努力不足等现象。所以建立明确的产权关系以及制定有效的激励机制是解决水资源问题的有效途径。

a. 建立明确的水资源产权关系,确定水权归属。《中华人民共和国水法》虽然明确规定了水资源的所有权,但对水资源的使用权、收益权以及转让权却没有具体规定。水权关系的模糊必然产生水资源开采的“公地悲剧”现象,从而造成水资源的低效率配置。为了使水资源的开采、利用和转让有章可循,建立包括水资源所有权、使用权、收益权和转让权等各种权利在内的产权关系是一项迫在眉睫的工作。

b. 合理利用经济杠杆的调节作用,提高人们的节水意识。目前所实行的水资源价格是公益性的低价位,并不是由市场的需求和供给机制所产生的市

场价格,不能正确反映其真实价值。在此情况下,一方面产生了对水资源的过度需求;另一方面淡化了人们的节水意识。所以在明确产权关系的条件下,利用经济杠杆的调节作用形成合理的价格体系,将促进水资源的合理分配和提高人们的节水意识。

c. 加强政府宏观调控,保证水资源分配的公平性。政府宏观调控的内容主要包括:①建立水权交易市场,加快水资源分配的市场化进程;②平衡供水体制,在保障人民生活基本需求的条件下,使水资源的初始分配尽量体现社会公平,防止水资源分配的过度集中;③加强法律法规建设,依法保障水资源的可持续开采利用。

## 参考文献:

- [1] 郭守前. 资源特性与制度安排——一个理论框架及其应用[M]. 北京: 中国经济出版社, 2004: 49-53.
- [2] HARDIN G. The tragedy of the common[J]. Science, 1968, 162: 1243-1248.
- [3] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海三联书店, 上海人民出版社, 1996: 82-90.
- [4] 郭羽诞, 陈必大. 新编现代西方经济学教程[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 1996: 40-61.

(收稿日期 2005-03-17 编辑 舒建)

(上接第 90 页)

### 2.2.3 微生物降解<sup>[8]</sup>

微生物降解作为能彻底清除海上溢油的唯一途径是长江船舶溢油后期清理技术的一个值得关注的方向。

## 3 溢油风险分析

a. 船舶溢油事故风险评价。①船舶溢油事故(碰撞、搁浅、火灾和爆炸等原因)的统计;②溢油事故的规模、地点、溢油量及油品种类统计;③溢油量预测;④风险度的数学模型和预测计算。

b. 船舶溢油污染损害风险评价。①长江南京段敏感区和易损资源的确定;②敏感区和资源敏感度的确定;③敏感区和资源保护次序;④风险环境影响的数学模型和预测计算。

## 参考文献:

- [1] LEHR W J, BELEN M S, CEKIRGE H M. Simulated oil spills at two offshorefields in the Arabian Gulf[J]. Marine Pollution Bulletin, 1981, 12(11): 371-374.

- [2] TAKAHASHI T, KITAAMURA Y, NAKADA K. Spreading of oil slicks on calm water surfaces: Effect of the viscous drag of an oil slick on its spreading rate[J]. International Chemical Engineering, 1981, 21(2): 244-250.
- [3] BELEN M S, LEHR W J, CEKIRGE H M. Spreading, dispersion, and evaporation of oil slicks in the Arabian gulf[C]// Proceeding-1981 Oil Spill Conference. Atlanta, Ga, USA: API, 1981: 161-164.
- [4] JEFFERY P G. Large-scale experiments on the spreading of oil at sea and its disappearance by natural factors[J]. Bell System Technical Journal, 1973, 52: 469-474.
- [5] LANGE P, HUHNERFUSS H. Drift response of monomolecular slicks to wave and wind action[J]. Journal of Physical Oceanography, 1978, 8: 142-150.
- [6] 孙长青, 赵可胜, 郭耀同. 渤海湾海面溢油数值计算[J]. 海洋科学, 2003, 27(11): 63-67.
- [7] 熊得琪, 杨建立, 严世强. 珠江口区域海上溢油应急预报信息系统的开发研究[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(2): 63-66.
- [8] 蒋发林, 林建国. 有冰海区溢油清理技术及对策研究[J]. 交通环保, 2004, 25(4): 1-4.

(收稿日期 2006-01-09 编辑 舒建)