

基于纳什均衡理论的水权交易问题分析

戴天晟¹, 顾宝炎¹, 赵文会²

(1. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2. 上海电力学院 经济与管理学院, 上海 200090)

摘 要: 利用 完全信息 静态 博弈论 的方法 对水权交易下, 企业关于 产量、节水量、需要购买水权数量及水权初始价格等问题进行了分析, 并利用 一阶最优性条件 分别导出了 企业产量和节水量的纳什均衡以及水权均衡价格. 最后, 以某区域水权交易为例进行了实证分析, 结果表明, 本文设计的水权交易博弈模型具有可行性和可操作性.

关键词: 水权; 纳什均衡; 一阶最优性条件; 节水量

中图分类号: F713 TV213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007- 2683(2011) 01- 0132- 03

Analysis of Nash Equilibrium Model for Water Rights Market

DAI Tian-sheng¹, GU Bao-yan¹, ZHAO Wen-hui²

(1. Business School University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

2. School of Economics and Management Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract In this paper, the problems of how firms decide on output, water saving amount, demanded water rights and the initial price of water rights in water market are analyzed using the techniques of perfect information static game theory. Furthermore, the Nash equilibriums of firms output and water-saving amount as well as the equilibrium price of water rights is derived respectively by using the first-order optimality conditions. Finally a numerical example is presented and the result shows that the Nash equilibrium model is available and operable.

Key words water rights; Nash equilibrium; first-order optimality conditions; water-saving amount

0 引 言

水是生命之源, 是人类赖以生存与发展不可替代的基础性资源, 也是生态环境的基本要素. 它直接关系到国计民生、社会发展和国家兴衰. 面对人类不断膨胀和加大的水需求以及频繁发生的气候灾害, 水资源需求缺口在不断加大, 水环境恶化也在不断加深. 如何按照经济规律提高水资源的使用效率和配置效率, 形成节约用水的激励机制和避免水资源浪费的约束机制显然非常重要. 水权和水市场可以

提高整个社会的用水效率, 实现全社会的水资源最优配置已成为实现水资源优化配置的重要经济手段, 这在国外学术界已经得到了广泛的讨论和证实^[1- 5].

水权交易市场一般分为一级和二级水市场, 在一级水市场, 水资源权力机构将属于公共的水资源使用权分配给水资源的使用机构或个人, 即初始水权界定, 可采取拍卖、竞标、免费分配等多种形式; 二级水市场是指初始水权界定后用水户之间的二次水权交易, 通过二级水市场, 水资源的使用权实现在用水户之间的流转, 也是对一级水市场水权分配的重

收稿日期: 2010- 04- 11
基金项目: 上海市教委科研创新项目 (09YZ335); 上海市哲学社科规划基金青年项目 (2008EZH001)
作者简介: 戴天晟 (1973—), 男, 讲师, 博士研究生, Email: tianshengda@163.com;
顾宝炎 (1945—), 男, 教授.

新调整. 初始水权界定后, 通过二级水市场的水权交易, 可以提高水资源的配置效率和使用效率.

构建有效的水权价格形成和运行机制是水权市场建设的关键环节, 水权价格研究一般建立在西方经济学的效用价值论和劳动论基础之上, 西方学者基于对水资源稀缺性、效益性和价值性的认识背景, 开创和推动了水权价格问题的理论和实证研究, 国内外学者在近年来对此进行了更为深入的研究, 取得了非常有价值的结论. Gong和 Jin认为用边际机会成本方法对水资源价格进行定价能促进水资源的有效利用^[6]. Franco is M olle利用边际价格模型、平均价格模型和希恩的价格征收模型研究了美国南方和西部地区价格弹性, 结果证明分区水价结构能够激发节水行为^[7]. 姜文来、林佩凤等人基于对影响水资源价格多种因素的模糊评价价值来计算水资源价格^[8-10]. 司训练、陈金贤提出水资源层次定价模型, 认为解决水资源危机需要制定一套可以动态调整的满足多目标的水资源层次价格系统^[11]. 总体来说, 国内外研究中所提出的水资源定价方法包括平均成本定价法、影子价格定价法、供求定价法、CGE 模型定价法、模糊定价法以及生产定价法、水资源存在价值与经济价值法等, 每一种定价法都有一定的视角和独到之处.

上述的研究成果对水资源的合理定价及交易价格的形成有很大帮助, 但是企业在水权交易制度下, 除了结合自身的情况对购买的水资源的价格进行评估外, 还要在水权购买数量与节水数量两种策略下进行抉择. 显然, 现有的水权定价理论不能完全回答上述系列问题, 本文运用完全信息静态博弈论的知识, 分析了这些问题并提出了求解纳什均衡的方法, 最后以某区域水权交易为例进行实证分析.

1 水权交易下企业博弈模型

1.1 模型基本假定

假设 1 某地区存在 $n(n > 1)$ 个生产同类无差别产品的企业, 企业 $i(i = 1, \dots, n)$ 生产的产品产量为 q_i . 在产品市场上, 逆需求函数为 $p = a - bQ$, (a, b 为常数), 该地区的生产总量 $Q = \sum_{i=1}^n q_i$.

假设 2 企业 i 单位产量的耗水量为 ρ_i , 单位产量节水量为 α_i (这里假设企业单位产量的节水量小于最大节水潜能), 则它最终需水量为 $\rho_i q_i - \alpha_i q_i = E_i$. 假设该地区可供应水量为 $\bar{E}$.

假设 3 企业的节水行为虽然可以节约一定的购水数量, 但是在相关的技术改造、管理、生产计划等环节都会发生一定的费用, 这里认为: 总的来说节水成本是非负的. 设企业 i 的节水成本是产量 q_i 与单位产量的节水量 α_i 的二次函数, $k(q_i, \alpha_i) = d\alpha_i q_i + e\alpha_i^2 q_i^2$ ($d, e \geq 0$), $i = 1, \dots, n$, 其中 d 和 e 为工艺系数. 企业 i 的单位产品生产成本为 c_i (c_i 取决于企业的生产规模及生产水平, 与节水成本无关).

1.2 水权交易下的企业竞争模型

在这个博弈模型中, 有 n 个参与人, 分别是企业 $1, \dots, n$, 每个企业的战略是选择产量和单位产量节水量. 支付是利润, 它是这 n 个企业产量与单位产量节水量的函数. 假设 W_i 为企业 i 的生产产品的净利润函数. 则企业 i 希望实现利润最大化

$$\max_{q_i, \alpha_i} W_i = pq_i - c_i q_i - k(q_i, \alpha_i) - \lambda E_i = \left[a - b \sum_{j=1}^n q_j \right] q_i - c_i q_i - d\alpha_i q_i - e\alpha_i^2 q_i^2 - \lambda(\rho_i q_i - \alpha_i q_i) \quad (i = 1, \dots, n)$$

在纳什均衡中, 每个企业的利润函数可以实现一阶最优性条件, 于是根据 KKT 条件, 对 α_i 求偏导, 得

$$\frac{\partial W_i}{\partial \alpha_i} = -d q_i - 2e\alpha_i q_i^2 + \lambda q_i = 0$$

整理后可以得到企业应该选择单位产量节水量

$$\alpha_i = \frac{\lambda - d}{2eq_i}, \quad i = 1, \dots, n \tag{1}$$

水权初始价格为 $\lambda = d + 2e\alpha_i q_i$, 而且 $\frac{dk(q_i, \alpha_i)}{d(\alpha_i q_i)} = d + 2e\alpha_i q_i$, 即 $\lambda = \frac{dk(q_i, \alpha_i)}{d(\alpha_i q_i)}$, 该式表明水权的初始价格等于企业的边际节水成本, 与经典的经济学理论相符合.

在同类产品市场中, 这 n 家企业生产产量之间是相互影响的. 考虑均衡状态时企业的边际节水成本是相同的, 根据一阶最优化条件有

$$\frac{\partial W_i}{\partial q_i} = -b q_i + \left[a - b \sum_{j=1}^n q_j \right] - c_i - \lambda \rho_i = 0 \quad i = 1, \dots, n$$

上述 n 个一阶条件分别定义了 n 个反应函数

$$q_i = \frac{a - b \sum_{j \neq i} q_j - c_i - \lambda \rho_i}{2b}, \quad i = 1, \dots, n \tag{2}$$

反应函数意味着每个企业的生产产量是其他企业产量与水权均衡价格 λ 的函数. n 个反应函数的交叉点就是纳什均衡解 $q^* = (q_1^*, \dots, q_n^*)$, $q_i^* =$

$R_i(\lambda)$, 可以证明企业间产量存在纳什均衡并且是唯一的. 事实上, 由 n 个反应函数定义的线性方程组的系数矩阵具有这样的特征: 系数矩阵是对角线元素为 $2b$, 非对角线元素均为 b 的 n 阶方阵. 因此, 在 $b \neq 0$ 的条件下, 系数矩阵满秩, 线性方程组有唯一解, 根据克莱姆法则可以求出均衡产量 $q_i^* = R_i(\lambda)$.

把 $q_i^* = R_i(\lambda)$ 带入到 n 个利润函数, 由单位产量节水的一阶最优性条件 $\lambda = d + 2e\alpha_i q_i^*$ 可以得到 n 个方程: $\lambda = d + 2e\alpha_i R_i(\lambda)$, $i = 1, \dots, n$. 在均衡产量条件下根据水资源总量限制有

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n (\rho_i - \alpha_i) q_i^* \leq \bar{E} \quad (3)$$

把 $n+1$ 个方程联立, 求解出水权均衡价格 λ 和企业的节水水平的纳什均衡 $\alpha^* = (\alpha_1^*, \dots, \alpha_n^*)$.

2 实证分析

设某区域有甲乙两个企业, 该地区可售水资源总量为 $\bar{E} = 1\,000$ 万吨, 需求函数参数分别为 $a = 1\,500$ 和 $b = 0.2$, 生产成本参数 $c = 200$, 节水成本函数工艺参数 $d = 100$ 和 $e = 0.4$. 企业甲、乙生产单位产量的耗水量为 $\rho_1 = 0.2$, $\rho_2 = 0.8$. 代入生产产量均衡方程式 (2), 有

$$\begin{cases} 0.4q_1 + 0.2q_2 = 1\,300 - 0.2\lambda \\ 0.2q_1 + 0.4q_2 = 1\,300 - 0.8\lambda \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_1^* = \frac{1}{3}(6\,500 + 2\lambda) \\ q_2^* = \frac{1}{3}(6\,500 - 7\lambda) \end{cases}$$

代入节水水平均衡方程式 (1) 得

$$\alpha_1 = \frac{\lambda - d}{2e q_1^*}, \quad \alpha_2 = \frac{\lambda - d}{2e q_2^*}$$

并由总量限制式 (3) 得

$$1\,000 = (0.2 - \alpha_1) q_1^* + (0.8 - \alpha_2) q_2^*,$$

解这个线性方程组可以得到

$$\lambda = 334.65, \quad \alpha_1^* = 0.123, \quad \alpha_2^* = 0.212$$

$$q_1^* = 2\,389.76, \quad q_2^* = 1\,385.83$$

计算结果意味着初始水权的均衡价格为 334.646, 甲、乙产品产量分别是 2 389.764 和 1 385.827 单位; 每生产一单位产品需节约水 0.123 和 0.212

万吨; 进而可知甲、乙需要购买的水权量分别为: $E_1 = 184.645$ 7 万吨, $E_2 = 815.354$ 3 万吨; 利润分别为 $W_1 = 1\,176\,605.803$, $W_2 = 418\,514.787$.

3 结 语

本文分析了水权交易市场中企业产量、节水量、需购买水权数量以及水权均衡价格等问题. 实例表明, 本文所建立的完全信息静态博弈具有可操作性和合理性, 有助于企业在水权交易中的报价和交易数量的决策. 不过, 本模型的前提假设是排污企业掌握竞争企业的单位产量的耗水量、生产成本和节水成本等信息, 这对于企业来说, 自然有一定难度. 因此, 这些信息的准确性将对模型结果的精确度产生直接影响.

参 考 文 献:

- [1] 汪恕诚. 水权与水市场—谈实现水资源优化配置的经济手段 [J]. 中国水利, 2000(11): 6–9.
- [2] 戴天晟, 赵文会, 顾宝炎, 等. 基于实物期权理论的水权价值评估模型 [J]. 系统工程, 2009, 27(5): 67–71.
- [3] 佟金萍, 王慧敏, 牛文娟. 流域水权初始分配系统模型 [J]. 系统工程, 2007(3): 106–111.
- [4] HOME CW, SCHURMEER DR, SHAW WD. Innovative Approaches to Water Allocation: the Potential for Water Markets [J]. Water Resources Research, 1986(22): 439–445.
- [5] 李磊, 丁小明, 祁凯. 模糊数据挖掘在水资源管理中的应用 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2006, 11(6): 99–101, 105.
- [6] LI Gong, JIN Chunling. Fuzzy Comprehensive Evaluation Carrying Capacity of Regional Water Resources [J]. Water Resources Management, 2009, 23(1): 2505–2513.
- [7] FRANCO ISM. Role of Water Scarcity, Prices and Quotas: a Review of Evidence on Irrigation Volumetric Pricing [J]. Irrigation and Drainage Systems, 2009, 23(1): 43–58.
- [8] 姜文来. 水资源价值初论 [J]. 中国水利, 1999, 7: 10–11.
- [9] 林佩凤, 王丽琼, 张江山. 水资源价值损失模糊估算模型的改进与应用 [J]. 环境科学与技术, 2007, 30(1): 66–67, 75.
- [10] 司训练, 陈金贤. 水资源层次定价模型的建立 [J]. 管理工程学报, 2006, 20(3): 74–77.

(编辑: 付长缨)