

博弈论在节水型社会水市场中的应用

詹红丽¹ 陈 哲² 史晓明¹ 张治平¹

(1. 北京中水新华国际工程咨询有限公司 北京 100053 ; 2. 中国水务投资公司 北京 100053)

摘要 在对国内外水市场现状进行分析的基础上,根据我国当前节水型社会建设的实际情况,将博弈理论引入节水型社会水市场,建立了节水型社会水市场博弈模型。通过对水权转换试点进行实例计算,得出各用水者的水权、公共用水权以及合适的水资源费率等相关结果。实例研究表明,博弈论可有效地应用于节水型社会水市场,可为管理机构和用水者在实践过程中作出正确决策提供理论指导与借鉴。

关键词 博弈论 水市场 节水型社会 水资源

中图分类号 : F407.9

文献标识码 : A

文章编号 : 1006-764X(2007)S2-0033-02

节水型社会水市场是指在节水型社会条件下,以合理开发、利用和节约、保护水资源为目标,经济手段与政府调控相结合,将部分水资源以市场交换的方式进行交易,在交换过程中,各交换主体都以获得最大利益为目标。但事实是,各主体间存在利益均衡问题。博弈论是研究决策主体的行为发生相互作用时如何决策以及这种决策的均衡问题的理论。1968 年,格雷特·哈丁成功地将“囚徒的困境”与资源耗竭结合起来,揭示了生态环境问题产生的根本原因。而水资源作为一种有限而脆弱的资源,其管理的显著特征之一就是各管理主体之间行为的相互作用,因而博弈理论在水资源管理中得到了广泛的重视。它最初用于水资源联合工程的费用分配,由此发展了一系列公平的费用分配方法,如最小核心法、沙普利值法和纳什法。此后,它又被应用于水资源分配的研究中,如 1995 年 Becker 和 Willian 对大湖流域的全流域合作、美国和加拿大不合作、完全不合作 3 种水资源分配方式进行分析,结果表明不合作虽然可使某些州获得局部利益,但导致整个大湖流域整体利益受损;而杨志峰等针对官厅水库跨边界区域水量水质问题进行了博弈分析,为优化该流域的水资源配置提供了支撑^[1]。近年来,我国一些学者在这方面进行了很多有益的研究,其中,傅春等^[2]用合作博弈的理论与方法来解决综合利用水利工程中公共费用的分摊问题,周玉玺等^[3]用长期合

作博弈理论研究农村小流域灌溉组织制度,肖江文等^[4]建立了污水排放申报机制的不完全信息博弈模型,刘文强等^[5]利用博弈论对不同管理模式下水域水分分配问题中用水冲突矛盾进行了分析和解释。这些研究显示了博弈论在水资源领域的应用价值和前景。本文通过建立水市场博弈模型,分析各主体间的均衡策略,从而进一步分析节水型社会水市场形成应该具备的条件。

1 节水型社会水市场利益博弈分析

节水型社会条件下,水市场中两类主体:一类是管理机构,一类是用水者。这两类主体构成了水市场利益博弈的局中人集合。这两类主体之间的市场交易过程可以分成前后两个阶段。第 1 阶段是管理机构决策,第 2 阶段是用水者决策,因此这是一个动态博弈问题。

用水者的决策空间是直接引水量的多少和交易量的多少,其收益是直接引水收益、节水成本以及市场收益之和,他们是个体理性的,追求自身收益最大。管理机构的决策空间是水权分配方案和水资源费率的标准。虽然征收的水资源费是一种直接的财政收入,但是作为政府部门,管理机构不能单纯以水资源费为目标,其职责是在保证社会公平的基础上,优化水资源的配置。

虽然管理者是在第 1 阶段决策,并且不能对第

2 阶段进行直接干预,但管理者可以预期到用水者在第 2 阶段必然会采取最大化自身利益的行为,从而在制定决策的时候采取相应的对策,进行有效的宏观调控。这个过程可以通过建立一个两阶段动态博弈模型进行分析研究,用水者在市场上的最终收益与水市场的价格有关,而水市场的价格又受管、供、求关系的影响,建立博弈模型时必须将这点考虑在内^[6]。

2 节水型社会水市场博弈模型的建立

若用 V_T 表示社会总收益,则

$$V_T = g(w) + \sum_{i=1}^n [f_i(q_i) - s_i(d_i - q_i) + a(r_i - q_i) - b(r_i - q_i) \sum_{j=1}^n (r_i - q_i)] \quad (1)$$

式中: w 为公共水权; $g(w)$ 为公共水效益函数; q_i 为用水者 i 的直接取水量; $f_i(q_i)$ 为取水效益函数; d_i 为用水者 i 的实际需水量; $s_i(d_i - q_i)$ 为节水成本函数; r_i 为用水者 i 的初始水权; a, b 为系数。

建立节水型社会水市场博弈模型如下:

目标函数 $Z = \max V_T \quad (2)$

约束条件
$$\begin{cases} r_i \geq m_i, m_i > 0 \\ w \geq n, n > 0 \\ t > 0 \\ \sum_{i=1}^n r_i + w = Q \end{cases} \quad (3)$$

式中: m_i 为用水者 i 的最低供水保证; n 为流域最小生态需水量; t 为水资源费率; Q 为总水量。

3 算例分析

某试点水权转换过程中,可供管理机构分配的总水量为 88 亿 m^3 ,流域内有两个用水者,需水量分别为 40 亿 m^3 和 50 亿 m^3 。

用水者一的取水效益函数和节水成本函数分别为

$$f_1(q_1) = 0.6q_1 \quad (4)$$

$$s_1(d_1 - q_1) = 0.4(d_1 - q_1)^2 \quad (5)$$

用水者二的取水效益函数和节水成本函数分别为

$$f_2(q_2) = 0.7q_2 \quad (6)$$

$$s_2(d_2 - q_2) = 0.5(d_2 - q_2)^2 \quad (7)$$

公共效益函数为

$$g(w) = 0.5w \quad (8)$$

水市场价格函数为

$$p(x) = 0.8 - 0.01x \quad (9)$$

式中 x 为水市场供需的差值。

用水者水权下限和公共水权下限为

$$r_1 \geq 35; r_2 \geq 45; w \geq 5 \quad (10)$$

将式(4)~(10)代入式(1)~(3),整理得

$$V_1 = 0.6q_1 - 0.4(40 - q_1)^2 - tq_1 + 0.8(r_1 - q_1) - 0.01(r_1 - q_1)(r_1 + r_2 - q_1 - q_2)$$

$$V_2 = 0.7q_2 - 0.5(50 - q_2)^2 - tq_2 + 0.8(r_2 - q_2) - 0.01(r_2 - q_2)(r_1 + r_2 - q_1 - q_2)$$

$$V_T = 0.5w + (q_1 + q_2) + V_1 + V_2$$

因此优化模型为

$$\begin{cases} Z = \max V_T \\ r_1 \geq 35 \\ r_2 \geq 45 \\ w \geq 5 \\ t > 0 \\ r_1 + r_2 + w = 88 \end{cases}$$

对该模型求解,结果为:用水者一的用水权 $r_1 = 37.1$ 亿 m^3 ;用水者二的用水权 $r_2 = 45.1$ 亿 m^3 ;公共用水权 $w = 5.8$ 亿 m^3 ;水资源费率 $t = 0.02$ 元/ m^3 ;用水者一的直接取水量 $q_1 = 39.7$ 亿 m^3 ;用水者二的直接取水量 $q_2 = 42.3$ 亿 m^3 。

可见,用水者一的取水量大于用水权,缺水量需通过水市场购买,而用水者二的取水量小于用水权,其各级剩余水量均可通过水市场转让该部分水权。两用水者之间存在着明显的供求关系,从而可以形成一笔水市场交易。在该案例中,通过水市场的交易可获得 26.81 亿元的社会总收益。

4 模型分析

上述博弈模型的应用前提是水市场正常运转,水价取决于市场供求关系,并且用水者能自由交易。模型还假定公共用水效益函数、用水者的取水效益函数和节水成本函数都存在且可导。通过对模型的求解进行分析,可知:

a. 如果优化模型式(2)有解,则表示管理机构调控下的市场机制能较好地解决水资源配置问题。如果没有解,其主要原因是供需差距太大或用水者的节水成本太高。在这种情况下,管理机构应致力于帮助用水者提高用水效率,增强节水能力,同时适当考虑跨流域的调水。

b. 水资源费 t 既存在于用水者收益表达式中,又存在于个体决策的表达式中,这说明水资源费对用水者的取水行为有影响,能调节用水者的取水量。

c. 水资源费通过影响个体决策来影响社会总收益,具体的影响程度取决于收益(下转第66页)

衍生息、迁徙越冬提供了优良的栖息环境,成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站、越冬栖息地和繁殖地。但是,近年来,由于黄河来水来沙的剧烈变化、海洋动力的侵蚀、土壤盐碱化、人类油气资源开发等诸多因素的影响,使黄河口生态系统的健康发展遭受了巨大压力。因此研究新形势下如何保护和建设黄河口生态系统,使其沿着良性发展的轨迹运行,实现人与自然和谐相处,互利共赢,成为实现黄河口可持续发展急需研究的重要课题。

4 结论与建议

a. 加强原型观测,系统整理资料。目前的黄河口原型观测力度太小,收集的资料不能满足科研与治理工作的需要。尾间河道观测急需解决的问题是在靠近入海口处增设水文测站。拦门沙区和滨海区诸多重要的日常观测工作处于停滞状态,建议国家恢复拦门沙区和滨海区的正常观测。在加大观测力度的同时,要十分重视原始资料的系统整理工作,为黄河口研究提供系统翔实的水文资料。

b. 建立黄河口实体模型,开展模型试验研究。黄河口演化环境极为复杂,与其他江河河口相比具有特殊的规律性。由于黄河口观测资料较少且不系统,加上数模手段本身的局限性,导致黄河口数学模型还不够成熟,因此,建设黄河口实体模型,开展模型试验研究势在必行。黄河口实体模型无论在模拟技术、控制技术、基本理论和研究课题等方面都是难

度极大的,必须从技术上进行全面论证。

c. 争取国家重大科研立项,实现多学科交叉研究。黄河口研究涉及河流、海洋、生态、环境、经济众多学科,建议国家对黄河口研究重点立项,由水利主管部门牵头,协调组织相关学科研究机构联合攻关,本着人与自然协调发展的原则,对新时期黄河口的水沙资源、生态环境、演变规律、海岸变迁、治理规划等展开全面、深入、细致的研究,为黄河三角洲地区的社会经济持续健康发展提供安全可靠的保证。

参考文献:

- [1] 左东启. 黄河河道格局的历史演变及其对现代治黄思路的启示[J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(4): 2-13.
- [2] 赵世来. 黄河下游淤积改土固堤技术研究[J]. 水利水电科技进展, 2002, 22(1): 12-14.
- [3] 王万战, 张俊华. 黄河口河道演变规律探讨[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(2): 5-9.
- [4] 张治昊, 胡春宏. 黄河口水沙变异及尾间河道的萎缩响应[J]. 泥沙研究, 2005(5): 13-21.
- [5] 曾庆华, 张世奇, 胡春宏, 等. 黄河口演变规律及整治[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [6] 王恺忱. 黄河河口与下游河道的关系与整治问题[J]. 泥沙研究, 1982(2): 1-9.
- [7] 尹学良. 黄河口的河床演变[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.
- [8] 叶青超. 流域环境演变与水沙运行规律的研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1994.

(收稿日期 2006-08-22 编辑 高建群)

(上接第 34 页)

函数 $f(q)$ 、成本函数 $s(d-q)$ 以及价格函数 $p(x)$ 的具体形式。即通过政府的转移支付,水资源费可用于帮助落后地区提高用水效率、增强节水能力或改善产业结构等,也就是通过改善取水效益函数 $f_i(q_i)$ 和节水成本函数 $s(d_i - q_i)$ 起到提高社会总收益 V_T 的作用。

5 结论

在水市场正常运转的条件下,水价取决于市场供求关系,且用水者可自由交易,此时可通过建立博弈模型对市场各主体的利益进行均衡分析。通过对博弈模型计算结果进行综合分析,管理机构可得到优化、实用的水权分配方案及合理的水资源费率;用水者则可得出自身利益最大化情况下的直接引水量和交易量。本文研究成果可为我国水市场的建立与完善提供参考。

参考文献:

- [1] 杨志峰. 流域水资源可持续利用保障体系: 理论与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 129-203.
- [2] 傅春, 胡振鹏. 一种综合利用水利工程费用分摊的对策方法[J]. 水利学报, 2000(4): 57-63.
- [3] 周玉玺, 胡继连, 周霞. 基于长期合作博弈的农村小流域灌溉组织制度研究[J]. 水利发展研究, 2000(5): 9-12.
- [4] 肖江文, 罗云峰, 赵勇, 等. 排污申报机制的博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2000(11): 23-27.
- [5] 刘文强, 孙永广, 顾树华, 等. 水资源分配冲突的博弈分析[J]. 系统工程理论与实践, 2000(1): 16-25.
- [6] 孔珂, 解建仓, 岳新利, 等. 水市场的博弈分析[J]. 水利学报, 2005, 36(4): 491-495.

(收稿日期 2006-09-15 编辑 熊水斌)