

Study Of The Cooperative Game Model For Subsidy Strategy

HE Meng-na, ZHANG Xue-hua

Environment and Economy Institute, Tianjin Polytechnic University, Tianjin, China

Email: xuehua671231@163.com

Abstract

Reclaimed water is the second water source of city and can effectively alleviate the water crisis. Based on the analyzing of reclaimed water pricing, the extended Hotelling model was employed to illustrate the price relation between reclaimed water and fresh water, which was used as a constraint condition. And from the perspective of the cooperative game theory, exploring the different expectations, the paper elaborated the relationship between the marginal cost and the amount of financial subsidies of reclaimed water. The results showed that: the reclaimed water price and the fresh water price have positive correlation, and the state financial subsidies level of the reclaimed water is inversely proportional to the marginal cost of reclaimed water.

Keywords

Reclaimed water; hotelling model; cooperative games; subsidy

Subject Areas Earth & Environment**基于合作博弈的再生水补贴策略研究**

何蒙娜, 张雪花

天津工业大学环境经济研究所, 天津

Email: xuehua671231@163.com

收稿日期: 2017年6月21日; 发布日期: 2017年6月23日

摘要

再生水作为城市的第二水源,能有效缓解水资源危机。本文在对再生水定价分析的基础上,利用扩展的Hotelling模型,分析再生水与自来水之间的比价关系,以此作为影响因素,从合作博弈的视角,探索在不同期望下,财政补贴额度与再生水的边际成本之间的关系。结果显示:再生水价格与自来水价格呈正向相关关系,国家对再生水的财政补贴水平与再生水企业的边际成本成反比。

关键词

再生水; Hotelling模型; 合作博弈; 补贴

1.研究背景

随着经济的发展,城市化进程的加快,水资源短缺的现状以及水环境恶化引发的一系列水问题,已日益成为城市发展的瓶颈。再生水利用是目前解决城市水资源短缺、建设节水型城市的有效途径。

再生水又名中水,是指污水或雨水经过适当处理后,达到一定的水质指标,满足某种使用要求,可以进行有益使用的水。再生水水质介于污水和自来水之间,可用于农业灌溉、工业冷却、市政杂用和补充地表水等方

面, 被誉为城市的第二水源。目前, 再生水在世界许多国家得到广泛利用, 美国、日本、以色列等国家在再生水回用量上处于领先地位, 而我国的再生水利用率却很低, 主要原因是再生水与自来水相比, 在发展初期具有成本较高和正外部性等特征, 所以在其发展初期需要政府的扶持。本文首先从再生水作为自来水替代水源的属性出发, 分析了再生水与自来水价格的关系, 再从合作博弈的视角, 研究政府在不同目标函数下的补贴额度。

2. 综述

2.1 合作博弈在定价领域的应用

李森等^[1]研究了开放系统中同成本、不同成本及考虑营销费用的合作博弈定价模型, 丰富了博弈论的方法体系, 运用了统计分析确定了成本函数。然而需求函数也是合作博弈研究的必要条件, 但成本函数较容易确定, 而需求函数则较难估算。本文从再生水用户的角度确定了需求函数的表达式, 进而对再生水企业补贴进行研究。

张宏伟^[2]等利用沙普利值推导出的再生水定价模型结果表明, 再生水定价与自来水价格相关。当再生水成本不变的情况下, 自来水价格越高, 再生水与自来水价格差越大, 用户使用再生水的意愿就越强烈。本文在此基础上引入了再生水与自来水的替代系数, 表明再生水的价格与消费者对水质的偏好程度有关。

2.2 补贴模型

马静等^[3]从城市供水行业的技术经济特性出发, 分析了财政补贴对于城市供水行业发展的必要性, 以政府、消费者、企业三者为研究主体, 分析并提出了以博弈论方法研究城市供水行业财政补贴问题的合理性。本文对研究主体进行扩展, 将再生水企业纳入竞争环境中, 并对其进行补贴策略研究。

李昌彦等^[4]结合了江西省的水资源情况, 构建了一个同时包括水资源要素和水生产与供应业的水资源 CGE 模型, 采用影子价格计算水资源要素报酬, 并将生产用水补贴纳入模型。而本文主要是从需求角度, 对不同期望条件下的补贴模型进行研究。

2.3 消费函数的应用

单海燕等^[5]研究了 n 个企业同时博弈的动态古诺模型, 考虑了当新增市场容量为一非负单调递减序列或允许为负数的情形时, 合作及非合作情形下的产量均衡解, 得到了在博弈的任何阶段, 无论是非合作情形还是合作情形, 产量均衡解、利润值、利润率均随着阶段数的增加呈单调递减趋势, 以及合作情形下的利润值、利润率严格大于非合作情形下对应情形等结论。本文将再生水企业和自来水企业融入了古诺模型, 从消费函数角度出发, 多其进行补贴博弈并确定补贴策略。

万君康等^[6]结合了古诺模型和斯坦伯格模型对不同市场结构下的消费者剩余和生产者剩余进行了比较, 认为古诺均衡有效增加了私有物品的经济剩余, 而对公共物品经济剩余的增加效率较低; 而斯坦伯格模型说明了优先进行技术创新的企业不仅可以获得“先行优势”, 而且增加了经济剩余。对于公共物品, 政府为了提高社会福利, 应加强其组织协调和制约的职能, 通过一定的制度安排, 促使人们放弃自身利益最大化而追求总体利益最大化下的自身利益最大化, 或由私人提供公共物品,

或通过征税或类似的费用而使外部成本内部化，而实现公共资源的合理使用和经济的可持续发展。本文在古诺模型的基础上研究了再生水的补贴策略，在政府不同的期望条件下确定了补贴额度，最终实现社会的福利最大化。

3.基于合作博弈的再生水定价与补贴模型构建

3.1再生水定价的影响因素分析

再生水价格，是指再生水作为一种商品所具有的价格，是再生水厂商向用户提供再生水产品以及相应的配套服务所获得的每单位水量的收入。要制定合理的价格，就要充分考虑各种因素的影响，而这些影响因素可归纳为生产成本、自来水价格、供求关系和政策补贴等四个方面，分析如下：

生产成本。再生水作为市场的供给方，生产成本是关注的焦点。再生水的生产成本包括：药剂费、设备运行维护费、动力费用，固定资产折旧、工资福利、运输管理费用及其他。

自来水价格。再生水作为自来水的替代品，其价格会受到自来水价格的直接影响。自来水价格越高，再生水与自来水的价格差越大，再生水的需求量越大，利用度越高。反之，如果自来水价格较低，再生水厂为了增大市场需求，会相应降低再生水价格，其利润空间会随之降低，甚至导致无利润。

供求关系。再生水价格的确定要受到供求关系的制约。如果再生水的供给量大于需求量，再生水价格就会降低；如果再生水的需求量大于供给量，再生水的价格就会上升。

政策补贴。再生水作为具有显著正外部性的产品，当产业发展陷入困境时需要政府支持。政府应对再生水产业提供财政补贴，采取鼓励和扶持的政策，能够直接降低再生水的成本，使得再生水在价格上具有竞争优势。

3.2再生水与自来水的市场价格竞争模型构建

再生水作为自来水的替代水源，与自来水存在显著的质量差异，若在此市场中不具备价格优势，则再生水市场很难存活。据此我们从再生水与自来水市场价格竞争的角度，用消费者的效用函数对此进行分析。以下在吴艳^[2]等的研究基础上引入具有产品质量差异的扩展 Hotelling 模型，建立自来水和自来水的替代品再生水的纵向差异化双寡头垄断市场的价格竞争模型，用来分析再生水需求和竞争均衡价格，使其为再生水定价提供理论支撑。

3.2.1引入具有产品质量差异的扩展Hotelling模型

3.2.1.1模型假设

假设在一个长度为 1 的“线性城市”中，存在一个由厂商 1 自来水厂和厂商 2 再生水厂构成的双寡头垄断市场。厂商 1 与厂商 2 在线性空间中随机分布，分别定位于 $a, 1-b$ 处，满足 $0 \leq a \leq 1-b$ 。它们分别向市场提供具有纵向差异的产品自来水和再生水，用 p_1 表示自来水价格， p_2 表示再生水价格。

假设市场为理想市场，消费者在区间 $[0,1]$ 上均匀分布，并且消费者的总需求标准化为 1，每次只购买 1 单位商品。由于再生水与自来水的替代性，引入替代系数 β ， $0 \leq \beta \leq 1$ 。设水资源的客观效用为 u ，则再生水的客观效用为 βu 。由于水资源不可或缺，即 u 足够大能覆盖整个水资源市场。在此城市模型中，消费者居住位置为 x 。



图 1 自来水和再生水双寡头垄断模型

3.2.1.2 模型分析

在线性城市模型中，消费者对两厂商 1、2 产品的偏好由其在城市中居住的位置 x 来表示，消费者与厂商所在地之间的距离表示购买产品的运输成本。 θ 表示消费者的主观偏好，即对水质的重视程度， $0 \leq \theta \leq 1$ 。位于 x 的消费者购买厂商 1 的产品即自来水获得的总效用除了客观效用 u 之外，还要承担运输成本带来的效用损失 $(x-a)(1-\theta)$ ；若消费者转向购买厂商 2 的产品即再生水，获得的总效用除了再生水的客观效用 βu 外，还要承担效用损失 $(1-b-x)t$ 。当 $\theta = 0$ 表明此时消费者认为自来水与再生水是同质的，即购买再生水的效用损失为 0；当 $\theta = 1$ 表明消费者十分在意水质，这是购买再生水的效用损失为 $(1-b-x)$ 。另外消费者还需要承担转移成本 $V_{转}$ ，即购买自来水的消费者转而购买再生水发生的成本，该成本取决于将自来水输水管网转换为再生水输水管网需要多支付的费用，用再生水企业建造管网的成本 $v_{管}$ 和自来水与再生水的运输管网的共用度 α 衡量。转移成本可表示为：

$$V_{转} = (1-\alpha)V_{管}(1-b-x) \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \tag{1}$$

当 $\alpha = 0$ ，表示再生水管网和自来水管网完全不能共用；当 $\alpha = 1$ 时，表示再生水管网和自来水管网可以完全共用。而在一般情况下，为了保证水质的安全，管网不可完全共用，即 α 只能小于 1。因此位置在 x 偏好为 t 的消费者购买产品 i 的效用为：

$$U_i(x,t) \begin{cases} u - p_1 - (x-a)(1-\theta) & i = 1 \\ \beta u - p_2 - (1-b-x)\theta - (1-\alpha)V_{管}(1-b-x) & i = 2 \end{cases} \tag{2}$$

令 $U_1 = U_2$ ，可以得到无差异消费者位于

$$x^* = \frac{(1-\beta)u - (p_1 - p_2) + (1-b-a)\theta + a + (1-\alpha)V_{管}(1-b)}{1 + (1-\alpha)V_{管}} \tag{3}$$

假定“线形城市”中消费者的总数 $N = 1$ ，则自来水和再生水的需求量分别为：

$$q_1(p_1, p_2, t) = x^* = \frac{(1-\beta)u - (p_1 - p_2) + (1-b-a)\theta + a + (1-\alpha)V_{管}(1-b)}{1 + (1-\alpha)V_{管}}$$

$$q_2(p_1, p_2, t) = 1 - x^* = \frac{-(1-\beta)u + (p_1 - p_2) - (1-b-a)\theta - a - b(1-\alpha)V_{\text{管}}}{1 + (1-\alpha)V_{\text{管}}} \quad (4)$$

由式(4)可以看出影响再生水需求因素包括自来水价格 p_1 、再生水价格 p_2 、厂商 1,2 的选址位置 $a, 1-b$ 、消费者对水质的主观偏好系数 t 、水资源的客观效用 u 、替代系数 β 、管网成本 $V_{\text{管}}$ 和输水管网共用度 α 。

3.2.1.3 再生水的价格确定

自来水厂商 1 的生产成本为 C_1 ，再生水厂商 2 的生产成本为 C_2 ，双方通过价格决策机制进行市场的竞争博弈，假设两个厂商均为理性经济人，追求利润的最大化。

那么两个厂商的利润最大化问题分别为：

$$\begin{aligned} \max_{p_1} \pi_1 &= \max(p_1 q_1 - C_1) \\ \max_{p_2} \pi_2 &= \max(p_2 q_2 - C_2) \end{aligned} \quad (5)$$

对其利润函数求导，解得水市场最优决策的自来水和再生水的市场均衡价格：

$$\begin{aligned} p_1^* &= \frac{1 + (1-\beta)u + (1-b-a)\theta + a + (2-3b)(1-\alpha)V_{\text{管}}}{3} \\ p_2^* &= \frac{2 - (1-\beta)u - (1-b-a)\theta - a + (1-3b)(1-\alpha)V_{\text{管}}}{3} \end{aligned} \quad (6)$$

由上式(6)可以看出，水市场达到均衡时，再生水的价格取决于以下几个因素：(1) 替代系数 β ， β 越大，再生水的价格越高； β 越小，再生水的价格越低；(2) 消费者对水质的主观偏好系数 θ ， θ 越大，再生水价格越低； θ 越小，再生水价格越高；(3) 水资源的客观功用 u ，效用越大，再生水价格越低，此结论建立在 $0 \leq \beta < 1$ 的基础上；(4) 输水管网共用度 α 越大，再生水价格越低， α 越小，再生水价格越高；(5) 管网成本 $V_{\text{管}}$ 越大，再生水的价格越高，管网成本 $V_{\text{管}}$ 越小，再生水的价格越低。

3.2.2 模型简化

3.2.2.1 两厂商选址位置确定

由于本文借鉴了企业竞争策略研究的扩展 Hotelling 模型^[3]，在对两企业选址进行利润最大化分析时，得到企业的最优选址决策为 $a^* = 0, b^* = 0$ （即产品横向最大化）。故在此基础上对模型进行简化，将厂商 1 定位于线性空间 $[0,1]$ 的左端点，即 $a = 0$ ；厂商 2 定位于线性空间 $[0,1]$ 的右端点，即 $1-b = 0$ 。

3.2.2.2 两种极端情况分析

为使自来水与再生水的替代比例更明显，我们对两种极端情况进行分析：情况 1 是假设再生水对自来水的替代效用 $\beta = 1$ ，即再生水与自来水是同质的；情况 2 是假设再生水对自来水的替代效用 $\beta = 0$ ，即再生水与自来水的完全不可替代性。两种情况下的消费者对水质的主观偏好系数 t 为 1，并且再生水管网和自来水管网完全不可共用，即 $\alpha = 0$ 。

(1) 第一种情况

在再生水对自来水的替代效用 $\beta = 1$ ，消费者对水质的主观偏好系数 θ 为 1 以及再生水管网和自来水管网完全不可共用 $\alpha = 0$ 的三种假设条件下，自来水与再生水的价格之比为：

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\frac{1+1+2V_{\text{管}}}{3}}{\frac{2-1+2V_{\text{管}}}{3}} = \frac{2}{1} \quad (7)$$

(2) 第二种情况

在再生水对自来水的替代效用 $\beta = 0$ ，消费者对水质的主观偏好系数 θ 为 1 以及再生水管网和自来水管网完全不可共用 $\alpha = 0$ 的三种假设条件下，自来水与再生水的价格之比为：

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\frac{2+u+2V_{\text{管}}}{3}}{\frac{1-u+2V_{\text{管}}}{3}} \quad (8)$$

在公式 (8) 的测算中，再生水价格与自来水价格的比例关系有水资源带来的客观效用 u 和输水再生水的管网成本 $V_{\text{管}}$ ，如果不考虑管网成本 $V_{\text{管}}$ ，即假定 $V_{\text{管}} = 0$ ，可以得到与公式 (7) 相同的比例关系，即再生水价格为自来水价格的 1/2。

我们从再生水与自来水的产品差异化竞争模型中得出结论，再生水价格不应高于自来水价格 1/2，即 $2p_2 \leq p_1$ 。我们可以利用此结论作为约束条件对下述再生水补贴模型进行分析。

3.3 基于合作博弈的再生水补贴模型构建

3.3.1 补贴机制设计

再生水行业中的财政补贴是指让用户以低于市场价格即自来水价格购买再生水所采取的价格支持来降低供水方的成本。在此问题中，会出现三个参与主体，即政府、再生水企业和自来水企业。政府在其目标函数下，选择具体的补贴标准，即设计一个博弈规则。这里政府和再生水企业之间构成一种委托代理关系，政府是委托人，再生水企业是代理人。政府设计补贴机制的目标是使自己的期望效用达到最大化，但同时要面临两个约束条件。第一个约束是选择理性的代理人即再生水企业参与博弈，也就是说，再生水企业接受政府设计机制的条件是在此博弈局里面所获得的效用不小于他不参与博弈的期望效用。即参与约束的条件是 $E \geq 0$ 。第二个约束是由于政府与再生水企业之间的信息不对称性，政府无法获得有关企业的有效信息，这就导致了风险规避的再生水企业在获得补贴的过程中，存在着隐藏的行动风险。只有当再生水企业从政府的博弈局中所获得的效用不小于从其他行动中所获得的效用时，再生水企业才有可能积极参与博弈。从另一方面看，再生水企业在拿到政府补贴后生产的产品即再生水所得到的利润要大于其获得的补贴水平，才会努力进行产品生产。即此约束为激

励相容约束，与再生水企业的努力程度 d 有关，约束式为 $E \geq t \times q$ 。参考马静^[4]等对城市供水补贴的博弈分析，可用图示表示如下，其中政府的期望效用在后，再生水企业的期望效用在后。

		政府	
		补贴	不补贴
再生水企业	努力	$[\omega(t), E]$	$[\omega, p \times q - c]$
	不努力	$[\omega(t), t \times q]$	$[\omega, 0]$

3.3.2 模型构建

3.3.2.1 模型假设条件

(1) 政府在制定博弈规则时有短期目标和长期目标之分，短期目标是政府选取一个最大的补贴率使社会福利水平最大化；长期目标是扶持再生水企业的发展，以环境先导为目标，使其能够持续不断的提供再生水产品；

(2) 水能源市场的价格完全由市场决定，即市场出清，水资源价格 P_i 为供给量 Q_i 的函数；

(3) 在再生水产业发展初期，其成本要高于自来水企业。所以我们利用模型(2-2-1)的分析结论，将 $2p_2 \leq p_1$ 作为第三个约束条件融入模型。

(4) 再生水企业与自来水企业的决策均是理性的，即遵循利润的最大化原则。

3.3.2.2 模型建立

再生水企业和自来水企业采取古诺 (Cournot) 博弈，同时选择自己的产量，自来水企业和再生水企业各自生产 q_1 和 q_2 ，用 Q 表示水市场产品的总供给，则市场的出清价格 P_i 为 Q_i 的函数，函数表达式： $P_i = P_i(Q_i) = \varepsilon - Q_i$ ， $i = 1, 2$ 。再假设两企业的边际成本为常数 c_1, c_2 ，因为此模型不讨论企业的进入壁垒，故忽略对固定成本的研究。两企业的利润分别为 E_1, E_2 ，函数表达为：

$$E_1(q_1, q_2; t) = q_1 \times (\varepsilon - q_1 - q_2) - c_1 \times q_1 \tag{9}$$

$$E_2(q_1, q_2; t) = q_2 \times (\varepsilon - q_1 - q_2) - c_2 \times q_2 + t \times q_2 \tag{10}$$

政府所获得的期望效用应为社会总福利。若政府关注短期目标，用 ω_1 来表示，包括消费者剩余、再生水企业的利润、自来水企业的利润扣除政府对再生水企业的财政补贴；若政府关注长期目标，用 ω_2 来表示，包括消费者剩余、再生水企业的利润扣除政府对再生水企业的财政补贴。以下为政府的期望效用函数，其中

$\frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2$ 表示再生水用户的消费者剩余：

$$\omega_1 = \omega(q_1, q_2; t_1) = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2 + E_1 + E_2 - t_1 \times q_2 \tag{11}$$

$$\omega_2 = \omega(q_1, q_2; t_2) = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2 + E_2 - t_2 \times q_2 \tag{12}$$

3.3.2.3 模型分析

政府、再生水企业和自来水企业的博弈过程可分为两个阶段，第一个阶段，政府根据自己的目标选择对再生水企业的最优补贴率；第二个阶段，再生水企业与自来水企业根据政府制定的博弈规则进行产量博弈。由于无法直接确定最优的补贴率，我们首先对再生水企业与自来水企业的产量进行分析，求得子博弈精炼纳什均衡解，然后再确定最优补贴策略。

(1) 政府关注短期目标

若政府更关注于短期目标，那么作为博弈的得益方它的目标是短期内社会的总福利，即使得再生水企业和自来水企业同时达到利润最大化，根据 (9) (10) 可以得到：

$$\frac{\partial E_1}{\partial p_1} = q'_1 \times (\varepsilon - q_1 - q_2) + q_1 \times (\varepsilon - q_1 - q_2)' - (c_1 \times q_1)' = \varepsilon - q_1 - q_2 - q_1 - c_1 = 0$$

$$\frac{\partial E_2}{\partial p_2} = q'_2 \times (\varepsilon - q_1 - q_2) + q_2 \times (\varepsilon - q_1 - q_2)' - (c_2 \times q_2)' + (t_1 \times q_2)' = \varepsilon - q_1 - q_2 - q_2 - c_2 + t_1 = 0$$

化简可得：

$$2q_1 = \varepsilon - q_2 - c_1 \quad (13)$$

$$2q_2 = \varepsilon - q_1 - c_2 + t_1 \quad (14)$$

联立 (13) (14) 可以求出

$$q_1 = \frac{\varepsilon - 2c_1 + c_2 - t_1}{3}$$

$$q_2 = \frac{\varepsilon + c_1 - 2c_2 + 2t_1}{3} \quad (15)$$

根据 (15) 式我们可以看出，如果政府没有对再生水企业进行补贴，且两企业的边际成本相同，即 $t_1 = 0, c_1 = c_2$ 。那么两企业的均衡产量均为 $(\varepsilon - c)/3$ ，与古诺的均衡产量结论相同。同时从两个需求函数中我们可以看出，再生水产品的需求量随着政府补贴的提高、再生水成本的下降、自来水成本的上升而增加。根据 (15) 式，现在我们对最优补贴率进行分析，政府的期望效用函数为：

$$\begin{aligned} & \max_{t_1 \geq 0} \omega(q_1, q_2; t_1) \\ & s.t. E_2 \geq t_1 \times q_2 \\ & E_2 \geq 0 \\ & 2p_2 \leq p_1 \end{aligned} \quad (16)$$

将 (15) 式的均衡产量 q_1, q_2 代入政府的期望效用函数中

$$\begin{aligned} \omega(q_1, q_2; t_1) &= \frac{2\varepsilon - c_1 - c_2 + t_1}{3} \times \frac{4\varepsilon + c_1 + c_2 - t_1}{6} - \frac{\varepsilon c_2 - 2c_2^2 + c_2 c_1 + 2c_2 t_1}{3} - \\ & \frac{\varepsilon c_1 + c_1 c_2 - 2c_1^2 - c_1 t_1}{3} \end{aligned} \quad (17)$$

令 (17) 式对 t_1 取一阶导数有：

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t_1} = 0, \text{ 解得 } t_1 = \varepsilon + 4c_1 - 5c_2 \quad (18)$$

将(18)代入(15)得:

$$\begin{aligned} q_1^* &= 2(c_2 - c_1) \\ q_2^* &= \varepsilon + 3c_1 - 4c_2 \end{aligned} \quad (19)$$

式(19)为在补贴水平为 $t_1 = \varepsilon + 4c_1 - 5c_2$ 下, 再生水企业和自来水企业的最佳产量。在(16)式的约束条件下, 可以计算得出 $\frac{2\varepsilon - 4c_1 + 5c_2}{5} \leq t_1 \leq \frac{7\varepsilon - 31c_2}{3}$ 。

(2) 政府关注长期目标

若政府更关注长期目标, 就会以再生水产业持续发展为导向, 同时降低环境污染。即不考虑自来水的利润, 只追求再生水企业的利润最大化。那么政府的期望效用为(12)式:

$$\omega_2 = \omega(q_1, q_2; t_2) = \frac{1}{2}(q_1 + q_2)^2 + E_2 - t_2 \times q_2$$

将所求(15)式两企业各自的产量代入(12)式中得:

$$\omega_2 = \frac{1}{2}(2\varepsilon - c_1 - c_2 + t_2)^2 / 9 + (\varepsilon - 2c_2 + c_1 - t_2) / 3 \times (\varepsilon - 2c_2 + c_1 + 2t_2) / 3 \quad (20)$$

令上式对 t_2 取一阶导数, 有

$$\frac{\partial \omega_2}{\partial t_2} = 0, \text{ 解得: } t_2 = \varepsilon - c_2 \quad (21)$$

将(21)代入(15)式可得:

$$\begin{aligned} q_1^* &= \frac{2(c_2 - c_1)}{3} \\ q_2^* &= \frac{3\varepsilon - 4c_2 + c_1}{3} \end{aligned} \quad (22)$$

式(22)为在补贴水平为 $t_2 = \varepsilon - c_2$ 下, 再生水企业和自来水企业的最佳产量。在(16)式的约束条件下, 计算得出 $c_2 \geq (3\varepsilon + c_1) / 4$, 所以有 $\frac{2\varepsilon - 4c_1 + 5c_2}{5} \leq t_2 \leq \frac{\varepsilon - 4c_1}{4}$ 。

4. 结论

本文研究结果显示:

(1) 再生水价格与自来水价格呈正向相关关系, 因此在确定再生水价格时需要考虑再生水与自来水的替代系数, 并根据消费者对水质的不同偏好程度采取不同的价格。

(2) 国家对再生水的财政补贴水平与再生水企业的边际成本成反比, 与自来水企业的边际成本成正比。这也就意味着, 为了使得社会边际收益达到最大值, 再生水的成本越低, 正外部性越强, 越值得补贴; 而自来水的成本越高, 再生水越值得补贴。

(3) 当政府更关注长期发展目标时, 对于再生水企业的补贴额度更高, 并且其补贴标准与再生水企业的边际成本呈反比, 与自来水企业的边际成本无关。

基金项目

天津市哲学社会规划项目 (TJLJ15-08) “绿色化视角下天津市低碳经济发展对周边地区辐射带动作用研究”; 国家社科基金面上项目, 12BJY025, “全碳效率”测度与区域生态经济评价研究。

参考文献

- [1] 李森. 开放系统下企业产品博弈定价的理论与实证研究[D]. 东北大学, 2009.
- [2] 张宏伟, 胥然然, 张雪花. 直饮水设施最佳成本决策合作博弈模型[J]. 系统工程, 2014, (02):98-102.
- [3] 马静. 城市供水行业财政补贴问题的博弈分析[D]. 首都经济贸易大学, 2013.
- [4] 李昌彦, 王慧敏, 佟金萍, 刘尚. 基于 CGE 模型的水资源政策模拟分析——以江西省为例[J]. 资源科学, 2014, (01):84-93.
- [5] 单海燕, 王文平. 多个企业同时博弈的动态古诺模型的研究[J]. 统计与决策, 2009, (20):59-61.
- [6] 万君康, 邹蔚, 胡韞频. 经济剩余的博弈模型分析及应用——以古诺模型和斯坦博格模型为例[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2005, (05):30-34.
- [7] 吴艳, 宋健峰, 郑垂勇. 基于产品差异化的再生水需求与市场定价模型[J]. 统计与决策, 2011, (14):48-51.
- [8] 刁新军, 杨德礼, 任雅威. 基于扩展 Hotelling 模型的企业竞争策略研究[J]. 管理学报, 2009, (07):867-872.
- [9] 冯庆水, 张学威. Hotelling 模型均衡结果的重新推导[J]. 中国管理科学, 2013, (S1):86-91.
- [10] 胡毓瑾. 城市再生水利用项目的技术经济综合评价研究[D]. 西安建筑科技大学, 2004.
- [11] 段涛. 基于质量差异模型的再生水市场定价公式及应用实例研究[J]. 生态经济, 2015, (08):109-111+124.
- [12] 李育宏, 黄建军, 李阳. 我国再生水利用发展现状分析[J]. 水工业市场, 2012, (05):34-37.
- [13] 吴迪, 赵勇, 裴源生, 耿华. 我国再生水利用管理的建议[J]. 水利水电技术, 2010, (10):10-14.