

模糊综合评价模型在水资源费测算中的应用

顾金霞^a, 袁汝华^b

(河海大学 a. 水利经济研究所; b. 商学院, 南京 211100)

摘要: 水是工业生产过程中的不可缺少的资源, 水资源费的波动对工业生产有着较大影响。目前全国 31 个省、市、自治区已先后开始征收水资源费, 但征收标准存在较大差异且多数标准并未随经济社会发展而调整。根据影响水资源费的社会经济和自然环境多种要素, 构建了水资源费模糊综合评价模型, 并将该模型应用到江苏某市一般工业地表水的水资源费测算中。测算结果表明, 不同地区水资源费与当地自然及社会经济情况相关。因此, 地方政府在制定水资源费的标准时需要充分考虑当地的实际状况。

关键词: 水资源费; 模糊综合评价模型; 测算方法

中图分类号: F407.9 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2014)04-0177-04

Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Model in the Calculation of Water Resource Fee

GU Jin xia^a, YUAN Ru hua^b

(a. Institute Research of Water Economy, Hohai University, Nanjing 211100, China;

b. School of Business, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Water is an indispensable resource in industrial production, and the fluctuation of water resource fee has great impacts on the production process. At present, 31 provinces and autonomous regions have collected the water resources fee, but the criteria are quite different and haven't been adjusted with the social and economic development. In this paper, the factors of social economy and natural environment which affect the water resource fee were analyzed and a fuzzy comprehensive evaluation method was developed to quantify the factors and applied in the calculation of industrial water resource fee in a city of Jiangsu Province. The results suggested that the water resource fee in different area is related to the local environment and economic development. Therefore, the local conditions should be considered in the enactment of the criteria of water resource fee.

Key words: water resources fee; fuzzy comprehensive evaluation method; calculation method

1 研究背景

水资源是人类赖以生存的自然资源,也是支撑国民经济健康发展的经济资源。然而水资源的稀缺性,使水资源可供量难以充分满足社会各利益群体的需求,且这一矛盾随着人口的增加、经济社会文明程度的提高而愈加突出。因此,在自然资源更加稀缺的时代,水资源的合理开发和配置显得愈加迫切。合理开发使用水资源不仅要靠节水和水资源保护方面的宣传,更需要建立一种社会运作程序,形成一套良好的利益平衡机制,使人们在市场经济条件下,借助政府的宏观调控,形成合理使用水资源的生产、生活方式。通过水价合理配置水资源则是一种重要的经济手段^[1]。而水资源费是水价的基础组成部分,是最活跃的因素,具有可调控性。

水资源费的影响因素众多,测算方法各异。目前,水资源费的测算方法主要有成本费用定价法、市场供需定价法、模糊综合评价法等。较其他方法而言,模糊综合评价法可以通过对影响水资源费的多种因素进行等级划分,将定性及部分模糊的指标转为定量指标进行测算,且测算结果较为清晰,具有一定的综合性、系统性。为此,本文运用模糊综合评价模型来研究水资源费测算,并针对目前国内水资源费征收存在的问题提出建议。

2 水资源费测算的评价要素

通常认为,水资源费的影响因素包括 3 类^[2]: 自然因素(包括环境因素)、经济因素、社会因素。由于水资源开发和利用涉及的环境问题日益严重且成为决策者重要的考虑因

收稿日期: 2013-11-14 修回日期: 2014-02-28 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

基金项目: 江苏省水利科技评价及贡献率定量分析(2012021)

作者简介: 顾金霞(1989-),女,江苏泰州人,硕士研究生,主要从事水资源管理、水价管理方面的研究工作。E-mail: gujinxia95@163.com

通讯作者: 袁汝华(1962-),男,江苏兴化人,教授,研究员,从事水资源管理、水价测算方面的研究。E-mail: yrh@hhu.edu.cn

素,因此本文将环境因素单独列项,即水资源费评价因素包括自然因素、环境因素、经济因素和社会因素。

自然因素反映了水资源的现有状况,主要指某一地区水资源的稀缺程度。水资源费与稀缺程度存在着不可分割的必然联系。在水资源较稀缺的地区,水资源的供应量较少,人们对于每一单位水资源的支付意愿较高,因此,在实际支付的水价不变的情况下,水资源费相对较高。反之,在水资源较丰富的地区,水资源费较低。本文选取“人均水资源量”指标来衡量水资源的相对稀缺性。

环境因素主要反映了水资源的状况,即水中各种化学成分含量或其他水质指标。水资源费与水质状况密切相关,一般地说,水资源功能的多少取决于水质,好的水质功能多样,差的水质则功能单一,甚至失去原有功能而成为废水。本文选用“水质等级”来衡量水资源的状况。

经济因素主要包括产业结构、规模、国民收入等,是指某一地区的经济发展水平。经济发展水平不同的地区,水资源能够创造的收益是不同的。在经济发展水平高的地区,水资源能够创造较高的收益,反之,创造的收益相对较少。在支付意愿比例不变的情况下,地区经济发展水平越高,用户的支付意愿绝对数越高,在实际支付的水价不变的情况下,水资源费相对越高。为此,本文选“人均GDP”作为衡量经济因素的评价指标。

社会因素主要包括技术、人口、政策、文化历史背景等,它决定了当地的用水效率、科技水平和政策导向等。一般地,水资源在社会发展中的作用越大,社会经济发展对水资源的需求就越大,水资源价值相对越高。因此,本文选取“万元工业增加值用水量”作为衡量社会因素的评价指标。

3 水资源费测算的模糊数学模型

模糊综合评价法是指评价主体从影响评价指标的主要因素出发,根据判断对评价指标分别做出不同程度的模糊评价,通过模糊数学进行计算,得出定量综合评价结果。建立水资源费的模糊综合评价模型,需要确定评价要素、隶属函数、权重向量等,具体步骤如下。

(1) 评价要素向量。

本文选取水质等级、人均水资源量、人均GDP、万元工业增加值用水量作为评价要素。评价要素向量 R 由各单要素评价因子 R_i 构造而成,如式(1)。

$$R = (R_{\text{水质等级}}, R_{\text{人均水资源量}}, R_{\text{人均GDP}}, R_{\text{万元工业增加值用水量}}) \quad (1)$$

(2) 隶属度矩阵。

选用半梯形(半升、半降)分布,建立一元线性隶属函数^[3],如式(2)和式(3)。

半升梯形:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 0 & R_i \leq x_{ij-1} \\ \frac{R_i - x_{ij-1}}{x_{ij} - x_{ij-1}} & x_{ij-1} < R_i < x_{ij} \\ 1 & x_{ij} \leq R_i \end{cases} \quad (2)$$

半降梯形:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1 & R_i \leq x_{ij-1} \\ \frac{x_{ij+1} - R_i}{x_{ij+1} - x_{ij}} & x_{ij} < R_i < x_{ij+1} \\ 0 & x_{ij+1} \leq R_i \end{cases} \quad (3)$$

式中: μ_{ij} 表示评价因子 i 的隶属度; R_i 表示单要素评价因子的实际值; x_{ij-1} 、 x_{ij} 表示评价因子相邻两等级的设定标准值; i 表示评价因子标号; j 表示评价结果序号,评价结果有“高、偏高、一般、偏低、低”5个等级,即 $j = 1, 2, \dots, 5$ 。

(3) 权重向量。

权重 $\omega = (\omega_{\text{水质等级}}, \omega_{\text{人均水资源量}}, \omega_{\text{人均GDP}}, \omega_{\text{万元增加值用水量}})$ 分别反映了水质等级、人均水资源量、人均GDP和万元增加值用水量对水资源价格综合评价结果的贡献。权重反映的是各评价要素的重要程度,运用分析者导出法,将要素两两进行比较,可得出判断矩阵 A 。权重的计算方法主要有和法、根法、特征根法、最小方法等,本文选取和法进行计算,将判断矩阵的列向量归一化处理后,用列向量的算术平均作为权重向量,如式(4)。

$$w_i = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n a_{kj}} \quad (4)$$

式中: a_{ij} 是要素与要素的重要性比值归一化处理后的数值, $i, j, k = 1, 2, 3, 4, n = 4$ 。

(4) 模糊综合评价模型。

水资源价值综合评价见式(5)^[45]。

$$B = \omega \cdot \mu \quad (5)$$

式中: B 表示综合评价结果矩阵; ω 表示要素权重分配矩阵; μ 表示隶属度矩阵。 B 具体可表示为:

$$B = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_{11} & \dots & B_{15} \\ B_{21} & \dots & B_{25} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & \dots & B_{n5} \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中: $B_j (i = 1, 2, 3, 4, j = 1, 2, 3, 4, 5)$ 代表 i 要素的 j 级评价价值。

(5) 价格上限。

水资源价格上限是指达到最大水费承受指数(水费支出/总收入)时资源的价格,可以表示为:

$$P = \frac{AE}{Q} - C \quad (7)$$

式中: P 为水资源价格上限; A 为最大水资源费承受指数; E 为实际收入; Q 为水资源量; C 为资源成本及正常利润; AE/Q 表示用水户所能承受的最大水费支出,包括资源开发利用成本和资源费两部分。

(6) 价格向量。

价格向量采用社会承受能力的方法确定。由于水资源费的价格在 $[P, 0]$ 之间,本文将资源价格上限 P 等分四个价格区间段,构建价格向量 S ,即有

$$S = (P, \frac{3}{4}P, \frac{1}{2}P, \frac{1}{4}P, 0)^T \quad (8)$$

(7) 水资源费。

本文采用的水资源费模型如式(9)所示。

$$F = B \cdot S \quad (9)$$

式中: F 为论域的水资源费; B 为综合评价结果矩阵; S 为水资源价格向量。

4 实例研究

江苏省某市水资源管理水平居全国领先水平,基础数据完整、系统,水资源管理政策执行到位,因此本文选取该市为

典型地区,应用模糊数学模型测算其一般工业使用地表水的水资源费。

该市水资源费评价指标统计状况见表1。

表1 江苏某市水资源费评价指标统计

Table 1 Statistics of evaluation indexes of water resource fee in a city of Jiangsu Province

县区	水质等级	人均水资源量 /m ³	人均GDP /元	万元增加值用水量 /m ³
BH	0	456.53	905.76	92.17
DF	0-0	729.13	2 148.77	81.54
DT	0-0	533.70	1 788.51	63.30
FN	0	516.03	984.01	68.53
JH	0-0	768.49	1 566.16	74.60
SY	0-0	641.18	1 441.28	110.14
TH	0-0	842.43	1 082.39	144.57
XS	0	545.09	992.44	34.84
YD	0	654.30	1 787.86	49.60

工业地表水资源费价格上限为工业最高水价扣除工业地表水供水成本,而工业最高水价是根据工业单位用水量增加值(综合)的3.5%¹计算的。该市工业地表水资源费价格上限计算结果见表2。

表2 工业地表水资源费价格上限计算

Table 2 Calculation of price ceiling of industrial water resources fee

县区	单位水增加值	最高水价	工业地表水供水成本	工业地表水资源费价格上限 /m ³
BH	108.50	3.80	0.83	2.97
DF	122.64	4.29	2.17	2.12
DT	157.98	5.53	1.74	3.79
FN	145.92	5.11	2.47	2.64
JH	134.05	4.69	1.614	3.08
SY	90.79	3.18	1.03	2.15
TH	69.17	2.42	0.57	1.85
XS	287.02	10.05	1.97	8.08
YD	201.60	7.06	2.07	4.99

表2表明,该市9个县区的工业地表水资源费上限分别为2.97、2.12、3.79、2.64、3.08、2.15、1.85、8.08、4.99元/m³。

下面以县区*i*=BH为例,说明水资源费的测算步骤。

采用表3所示的评价标准确定单要素评价向量μ_{*i*}。

一般工业用水的万元增加值用水量为92.17m³。因指标属于逆指标,则标准值改为R_{*i*}=-92.17,且评价等级从高到低对应的指标值设为:(-300,-209,-118,-84,-50)。由式(3)得隶属度μ_{BH}万元增加值用水量=(0,0,0.24,0.76,0)。同理可得其他指标的隶属度,且隶属度矩阵μ_{BH}为:

$$\mu_{BH} = \begin{bmatrix} \mu_{BH} \text{水质等级} \\ \mu_{BH} \text{人均水资源量} \\ \mu_{BH} \text{人均GDP} \\ \mu_{BH} \text{万元增加值用水量} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.20 & 0.80 \\ 0.00 & 0.00 & 0.24 & 0.76 & 0.00 \end{bmatrix}$$

水质等级、人均水资源量、人均GDP、万元工业增加值用

表3 水资源费测算单要素向量评价标准

Table 3 Evaluation criteria of single factor vector in calculation of water resource fee

评价要素	价值评价				
	高	偏高	一般	偏低	低
水质	N类	0类	0类	0类	0类
人均水资源量/m ³	500	1 000	1 700	3 000	5 000
人均GDP/美元	9 266	5 000	3 125	1 500	755
万元增加值用水量 /m ³	300	209	118	84	50

注:水质评价标准根据GB 3838-2002《地面水环境质量标准》的五类水质标准进行划分;人均水资源量标准依据瑞典水文学家Madin Falkenmark提出的水紧缺指标(Water stress index)²而确定;人均国民生产总值标准依据《2001年世界发展指标》进行划分;万元增加值用水量根据我国“十一五”规划目标设定。

水量等四个评价指标的判断矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{3}{2} & \frac{3}{2} & 3 \\ \frac{2}{3} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{2}{3} & 1 & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

将矩阵A归一化处理,由式(4)得出各评价指标的权重ω=(ω_{水质}, ω_{人均水资源量}, ω_{人均GDP}, ω_{万元增加值用水量})=(0.12, 0.23, 0.23, 0.42),经计算,通过一致性检验。

由式(5)得,μ_{BH} = ω_{BH} · μ_{BH} = (0.12, 0.23, 0.23, 0.42) · μ_{BH} = (0.23, 0, 0.22, 0.37, 0.18)。

由式(8)得,地表水资源价格向量S_{BH} = (2.97, 2.23, 1.48, 0.74, 0.00)^T。

由式(9)得, F_{BH} = μ_{BH} · S_{BH} = (0.23, 0, 0.22, 0.37, 0.18) · (2.97, 2.23, 1.48, 0.74, 0.00)^T = 1.28,即BH一般工业地表水的水资源费为1.28元/m³。

其他县区的水资源费可利用同样的步骤获得,则该市的水资源费测算结果为(单位:元/m³): F=(F_{BH}, F_{DF}, ..., F_{XS}, F_{YD})=(1.28, 0.91, 1.67, 1.15, 1.27, 0.96, 0.76, 3.14, 2.14),见图1。

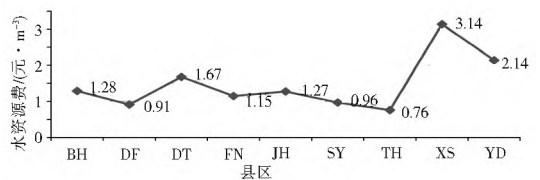


图1 工业地表水水资源费测算结果

Fig. 1 Calculation results of industrial water resource fee

由图1可看出如下结果。

(1) 测算的各县区水资源费平均值为1.48元/m³,除XS、YD明显较高外,其他区县的测算值较为平稳。

(2) 该市水资源费最高达3.14元/m³,最低仅0.76元/m³,最高值约为最低值的4倍,各县区的测算结果差异较为显著。以XS为例,其水资源费居该市之首,主要原因是其

¹ 参考联合国等相关研究报告及我国各地区社会经济发展状况综合而定。

单位用水增加值、最高水价在各县区中最高,但人均水资源量、人均GDP却处于较低水平。由此可见,水资源费与区域经济发展程度具有较强的相关性,征收标准的制定应充分考虑各县区的水资源条件、经济社会发展状况等,在不同区域内有所差异,以保障征收的合理性。

(3) 苏价工[2004]136号规定:江苏省一般工业地表水资源费标准为0.13元/m³,远低于测算结果的最低值。为更好地保护水资源,合理使用水资源,政府相关部门在调整水资源费征收标准上需要充分考虑水质、人均GDP等动态变化要素,使水资源费的征收水平更具科学合理性。

5 水资源费征收的相关建议

的征收经历了探索、扩大征收范围、框架标准完善三个阶段^[6],2009年开始,全国31个省、市、自治区均已实现了水资源费的征收,但各地区标准各不相同,结合文章的测算结果,对今后的水资源费征收管理提出如下建议。

(1) 适当提高水资源费的征收标准,完善征收制度和措施。水资源费是国家水资源所有权的经济体现^[7],征收水资源费需要结合当地的经济社会发展水平适当调整。以江苏省为例,水资源费的征收标准已实行多年,费用标准处于较低水平,不利于促进水资源节约与保护。科学、动态地调整水资源费征收标准可以发挥水资源费的经济杠杆作用^[8],实现水资源的最优利用。

(2) 实行统一管理、差异征收。目前,水资源费的征收标准主要由地方政府制定。地方政府在辖区内征收水资源费应具有相对统一的征收范围、征收原则,对因地制宜制定免征等相关法规的政策手段需统一规范^[9]。

参考文献(References):

- [1] 沈大军. 水资源费征收的理论依据及定价方法[J]. 水利学报, 2006, 37(1): 120-125. (SHEN Da jun. The Theory Basis and Pricing Methods in Water Resources Fee[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(1): 120-125. (in Chinese))
- [2] 茅健华, 袁汝华. 加权法在水资源费标准测算中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2010, 38(2): 324-327. (MAO Jian hua, YU AN Ru hua. Additive Weighting Method Applying to Water Resources Fee[J]. Academic Journal of Hohai University(Natural Science Edition), 2010, 38(2): 324-327. (in Chinese))
- [3] 陈守煜, 王子茹, 罗宝力, 等. 可变模糊模式识别方法及在水电站地下厂房岩体稳定性评价中的应用[J]. 水利学报, 2011, 42(4): 396-402. (CHEN Shou yu, WANG Zi ru, LU O Bao li, et al. Variable Fuzzy Recognition Method and its Appliance to Evaluate the Rock Mass Stability of the Underground Powerhouse of Hydropower Station[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, 18(6): 38-42. (in Chinese))
- [4] 刘友金, 刘洪宇. 企业技术创新效果的模糊综合评价模型设计及其应用[J]. 系统工程, 2000, 18(6): 38-42. (LIU You jin, LIU Hong yu. Design and Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in the Enterprise Technology Innovation [J]. System Engineering, 2000, 18(6): 38-42. (in Chinese))
- [5] 李宝萍. 基于模糊综合评价模型的水价计算[J]. 水力发电, 2008, 34(8): 88-90. (LI Bao ping. Calculation of Water Price Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Model[J]. Hydroelectric Power, 2008, 34(8): 88-90. (in Chinese))
- [6] 李荣生. 我国水资源费发展演变历程及征管现状[J]. 知识经济, 2013, (3): 55. (LI Rong sheng. Development, Evolution and Situation of Water Resources Fee in China[J]. Knowledge Economy, 2013, (3): 55. (in Chinese))
- [7] 陈明忠. 水资源费是国家水资源所有权的经济体现[J]. 水利经济, 1992, (7): 46-49. (CHEN Zhong ming. Water Resources Fee is the Economic Reflect of State Water Resources Ownership[J]. Water Conservancy Economy, 1992, (7): 46-49. (in Chinese))
- [8] 刘芳, 王海燕, 李占勇. 阶梯式水资源费探讨[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(7): 582-583. (LIU Fang, WANG Hai yan, LI Zhan yong. Study on the Stepped Water Resources Fee[J]. Water Technology and Economy, 2009, 15(7): 582-583. (in Chinese))
- [9] 王敏. 中国水资源费征收标准现状问题分析与对策建议[J]. 中央财经大学学报, 2012, (11): 19-24. (WANG Min. Analysis of Water Resources Fee Problems and its Suggestion in China[J]. Academic Journal of Central University of Finance and Economics, 2012, (11): 19-24. (in Chinese))