

基于模糊数学模型的居民生活用水资源水价的定价方法研究—以西安市为例

刘晓君, 闫俐臻, 白 妤

(西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 随着城市化进程和经济发展速度的加快, 我国西北部城市水资源紧缺的问题日益突出. 西安水资源价格采用标准为国家省域指导的最低价, 现行水价对于城市节水促进作用有限. 通过模糊数学模型测算出西安资源水价为 1.87 元/ m^3 , 相比现在采用的 0.3 元/ m^3 , 有较大的提升空间.

关键词: 居民生活用水; 资源水价; 模糊数学模型; 西安市

中图分类号: TU313; TU375

文献标识码: A

文章编号: 1006-7930(2014)03-0318-05

我国人均可利用水资源仅为世界平均水平1/4, 水资源时空分布不均衡及水体污染等因素加剧了水资源的匮乏. 随着城市化进程和城市水务市场化的推进, 城市用水供需矛盾日渐突出, 水资源的价格杠杆作用越来越受到重视. 西安市水资源总量30.74亿 m^3 , 人均占有地表水资源301 m^3 , 不足全省的1/3, 全国人均占有量的1/6和世界人均占有量的1/24, 远远低于国际公认的维持一个地区可持续发展人均占有量1 000 m^3 的临界值^[1]. 按照国家发改委《关于水资源费征收标准有关问题的通知》(发改价格[2013]29号)的要求, 西安市积极推进水资源费改革, 执行国家发改委地表水水资源费最低标准0.3元/ m^3 征收标准, 仅为北京的1/5(北京、天津为1.6元/ m^3), 对促进水资源节约保护与合理开发发挥了积极作用, 但还存在水资源价值被低估, 居民节水意识不高等问题. 如何制定合理的水资源定价方案, 既能充分反映不同地区水资源禀赋状况, 促进水资源的合理配置, 又能通过价格杠杆促进水资源节约, 并保证市民生活水平不受影响, 是一项复杂而艰巨的任务. 本文将应用模糊数学模型对西安市居民用水的资源水价进行评价研究.

1 水价构成及资源水价的内涵

1.1 水价构成

居民生活用水价格包括资源水价、环境水价和工程水价. 资源水价是体现水资源价值的价格, 表现为水资源费(税); 工程水价指包括工程费(勘测、设计和施工等)、服务费(包括运行、经营、管理、维护和修理等)和资本费(利息和折旧等)的代价, 具体体现为供水价格; 而环境水价是指经使用的水体排出用户范围后污染了他人或公共的水环境, 为污染治理和水环境保护所需要的代价, 具体体现为污水处理费.

1.2 资源水价的内涵

资源水价是体现国家作为所有权主体制定的水资源价格, 包括水资源耗费补偿、水生态环境影响补偿, 为加强对短缺水资源的保护、促进技术开发、促进节水、保护水资源和海水淡化技术进步的投入等. 资源水价的内涵主要体现在三个方面: 产权、有用性和稀缺性. 产权包括: 所有权、使用权、收益权和转让权, 有用性为水资源能够满足人类一种或多种功用的属性或性能, 稀缺性是个相对概念, 不同地区不同时期水资源稀缺性是不同的. 马克思价值理论认为价格是价值的货币表现形式, 价值是价格的源泉, 但水资源的价格并非只是凝结在水资源中无差别的社会必要劳动的货币表现形式, 而是反映了水资源稀缺, 并且体现产权在经济上加以实现的一种经济行为, 是水资源自然特性、经济特性和社会特性的集中反映^[2].

2 资源水价数学模型

2.1 资源水价评价的常用方法及局限性

常用的水资源评价方法有: 影子价格法(Shadow Pricing)、机会成本法(Opportunity cost approach)和供求定价法等. 联合国把影子价格定义为“一种投入(比如资本、劳动力和外汇)的机会成本或它的供应量减少

一个单位给整个经济带来的损失”，例如在讨论水资源价格的时候，可以用供水量的减少所造成的用水企业产值减少量来衡量水资源的稀缺性价值；机会成本法是指在无市场价格的情况下，资源使用的成本可以用所牺牲的替代用途的收入来估算，例如，为保护水源地，禁止砍伐树木和土地开发利用，不是直接用保护资源的收益来测量，而是用为保护水源地而放弃的砍伐树木及土地开发利用的效益来测量其价值。影子价格法和机会成本法侧重于从间接角度评价公共资源的有用性及稀缺性，应用的前提是：资源的稀缺性、多用性和有效利用，但是存在替代用途是否为最优决策，即公共资源的分配方案难以界定是否达到帕累托最优的局限性。供求定价法，主要从资源的供求关系考虑其价值，却忽略的资源本身的质量对其价格的影响。水资源价值系统是个模糊且复杂的系统，除考虑水资源本身，还要综合其他社会和经济等各方面因素，否则难以真正考察水资源价值，常规数学方法在处理这样复杂的系统时是难以如意的，本文将尝试通过模糊数学模型对水资源价格进行直接评价。

2.2 模糊数学在资源水价定价中的应用

模糊数学的运用为评价水资源提供一个良好的方法，该方法将影响水资源价值的因素分成自然因素、社会因素和经济因素等三大类，同时分别对各大类中选择影响因素指标。概括的讲，可以用函数 $V = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 表达，(V 为水资源价值， $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 分别表示水质综合指数、人口密度、人均GDP、人均水量、利润等影响水资源价值的各因素)，引入评价向量 W ， $W=(高, 偏高, 一般, 偏低, 低)$ ，水资源价值综合评价可以用 $V = B \times R$ 表示. (V 表示水资源综合评价值， B 为各要素评价权重值， R 为各要素 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 评价矩阵所组成的综合评价矩阵)，通过升(降)半梯形分布，建立一元性隶属函数来确定各要素评价矩阵，权重 B 通过因素贡献率、置信水平权重和权重分配法等来确定。上述所得到的水资源综合评价值是无量纲的向量，为求出水资源价格，还需进行转换，引入水资源价格向量 L ，水资源价格在 $(0, P]$ 之间，其中， P 表示水资源的价格上限，可以通过社会对水价的最大承受能力来求出，再根据等差向量将其划分价格向量，得到 $L = (0, P_1, P_2, P_3, P)$ ，再根据 $V \times L$ 就可以求出具体的水资源价格数值。

3 居民资源水价模糊数学方法的计算—以西安市为例

3.1 评价指标构建和选取

水资源价值受自然因素，经济因素和社会因素的影响。本文对影响水资源的各类因素进行梳理，并参考相关文献，建立评价指标体系图1：

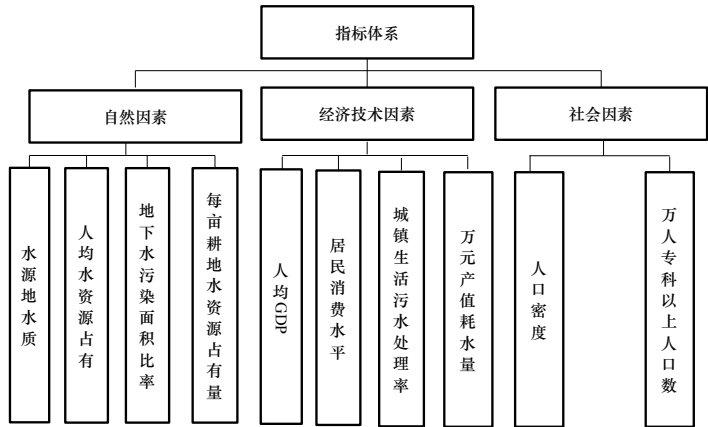


图 1 资源水价评价指标体系

Fig.1 The evaluation index system of water resources

对居民生活用水而言，在自然因素中：水质对水资源价值起决定作用，人均水资源量反映水资源的稀缺性，地下水污染面积比率与水源地水质有较强的相关关系，可用水源地水质指标替代，因为本文主要探讨居民资源水价，每亩耕地水资源占有量指标可以忽略；在经济技术指标中，经济发展离不开水资源的利用，GDP一定程度上可以影响并体现水资源的价值，居民消费水平和城市的经济水平(人均GDP)一般成正相关关系，污水处理率可以反映城市再生水的能力，很大程度影响城市供水总量，万元产值耗水量可以综合反映水资源利用效率，横向反映行业总体经济用水情况；在社会因素中，人口密度高低反映水资源需求总量和依赖程度的高低，万人专科学历以上人口数反映区域人口受教育的程度，可间接反映居民的节水意识，

但和经济发展水平相关性较强,可用人均GDP指标替代.坚持“独立性、可量化性、可获取性”的原则,本文选择饮用水水源地水质 x_1 、人均水资源量 x_2 、人均GDP x_3 、城镇污水处理率 x_4 、万元产值耗水量 x_5 和人口密度 x_6 6大指标对水资源价值的稀缺性、有用性和产权等3个方面进行模糊评估^[3].水资源价值指标集 $u=[x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]$,评价集 $v=[\text{高、较高、中等、较低、低}]$, u 到 v 的一个模糊映射向量是 V 的模糊子集,表示各指标对应评价集高低程度的隶属度^[4].隶属函数一般由一元线性半升(降)隶属度函数确定,即:

$$\begin{aligned} \text{半升梯形: } u_{ij} &= \begin{cases} 0 & v_i \leq x_{ij-1} \\ (v_i - x_{ij-1}) / (x_{ij} - x_{ij-1}) & x_{ij-1} < v_i < x_{ij} \\ 1 & v_i \geq x_{ij} \end{cases} \\ \text{半降梯形: } u_{ij} &= \begin{cases} 1 & v_i \leq x_{ij} \\ (x_{ij+1} - v_i) / (x_{ij+1} - x_{ij}) & x_{ij} < v_i < x_{ij+1} \\ 0 & v_i \geq x_{ij+1} \end{cases} \end{aligned}$$

3.2 模糊综合评价矩阵构造

水源地水质评价标准依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)和《地下水质量标准》(GB/T14848-93)划分.人均水资源量依据Malin Falkenmark的“水紧缺指标”制定^[5].万元GDP用水量标准依据2013年各省市、自治区

表1 2013年西安市水资源价值评价体系

Tab.1 Evaluation system of Xi'an water resource value in evaluation system 2013

评价指标	高	较高	中等	较低	低	2013年西安市实际数
x_1 水质指数	1	2	3	4	5	2.8
x_2 人均水量/ m^3	200	1 400	2 600	3 800	15 000	358
x_3 人均GDP/元	59 932	41 801	36 555	28 764	25 768	56 870
x_4 城镇污水处理率/%	55	65	75	85	95	90.1
x_5 万元GDP用水量/ m^3	50	100	500	1 000	3 000	77.85
x_6 人口密度/人 $\cdot\text{km}^{-2}$	5 000	3 000	2 000	1 000	500	842

万元GDP用水量分等级.人均GDP和人口密度根据《2012年中国统计年鉴》区域位置划分国民经济指标和人口密度.城镇污水处理率根据《2013年中国城市建设统计年报》市政设施分组资料确定.西安市饮用水水源地水质指数主要依据市环境监测站发布的2013年《环境监测科研动态》中全市饮用水源地4个监测点水质状况加权平均计算得出,其他指标实际值来自《2013年西安市统计年鉴》.见表1.

用一元线性半升(降)隶属度函数确定各指标评价矩阵为:

$$R = \begin{pmatrix} R_{\text{水质}} \\ R_{\text{人均水量}} \\ R_{\text{人均GDP}} \\ R_{\text{城市污水处理率}} \\ R_{\text{万元GDP用水量}} \\ R_{\text{人口密度}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0, & 0.8, & 0.2, & 0, & 0 \\ 0.868, & 0.132, & 0, & 0, & 0 \\ 0.831, & 0.169, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0.49, & 0.51 \\ 0.443, & 0.557, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0.684, & 0.316 \end{pmatrix}$$

3.3 评价指标权重确定

权重指标确定有专家咨询法、经验法和层次分析法(AHP)等多种方法,为使评价指标具有较强的科学性及可行性,本文选择AHP法^[6].采用专家打分方法确定各评价指标的重要性排序后,构造判断矩阵如表2所示.

通过经验判断,专家打分表形成的判断矩阵符合我国国情和西安市情,权重排序中水资源的自然属性(水质、水量)应优先考虑,在城市降雨、径流量等因素短期因素不变的情况下,水质比水量更重要;我国处于经济发展高速期,作为生产要素之一的水资源是各个产业发展考虑的关键因素,相对于短期内变化不大的人口密度因素,重要性更强.万元GDP用水量和污水处理率反映了一个城市节水设施和技术水平的高低,相对于城市水资源天然禀赋和GDP、人口等宏观经指标,重要性次之.通过公式 $CR=$

$((\lambda_{\max} - n)/(n - 1))/RI$ (λ_{\max} 为矩阵最大特征值, RI 为平均一致性指标)对矩阵内部一致性进行判断, 求得 $CR=0.0085 \leq 0.1$, 符合判断矩阵一致性的要求。

表 2 评价指标判断矩阵表
Tab.2 Evaluation index judgment matrix

评价指标	x_1 水质指数	x_2 人均水资源量	x_3 人均 GDP	x_4 城镇污水处理率	x_5 万元 GDP 用水量	x_6 人口密度
x_1 水质指数	1	3	4	7	6	5
x_2 人均水量	1/3	1	4	7	6	5
x_3 人均 GDP	1/4	1/4	1	4	3	2
x_4 城镇污水处理率	1/7	1/7	1/4	1	1/3	1/5
x_5 万元 GDP 用水量	1/6	1/6	1/3	3	1	1/4
x_6 人口密度	1/5	1/5	1/2	5	4	1

再分别计算矩阵每行乘积 W_i , 后再对每行乘积 W_i 开 6 次方得到 N_i , 通过 $a = N_i / \sum_{i=1}^6 N_i$ 计算权重系数 $A=(0.4156, 0.2882, 0.1205, 0.0298, 0.0967)$, 用求得水资源模糊综合评价结果 $B=AR=(0.3724, 0.4138, 0.0831, 0.0807, 0.0458)$. B 是无量纲的向量, 为求得资源水价, 需求的水资源价格向量对 B 进行转换。

3.4 水资源价格向量确定

该向量确定首先须确定水资源价格上限, 2013 年西安市人均年可支配收入为 33 100 元, 人均年生活用水量 88.15 m^3 , 居民供水价格 2.9 元/ m^3 , 其中水资源费 0.3 元/ m^3 , 人均水费占可支配收入比重为 0.6%, 远未达到国际公认 3% 的承受上限, 考虑到西安市近 14 年来水费支出比重均低于 1%, 为保证市民心里承受能力, 逐步调整水费支出, 参照相关文献, 承受指数(可以承受的水费支出占收入比重)以 1.5% 计, 采用公式: $P_{\text{上限}}=(A \times K/H)-D$ (A 为水费支出占可支配收入的最大比重, K 为居民年可支配收入, H 为人均年生活用水支出, D 为居民水价剥离资源水价后的工程水价与环境水价之和)。

求得资源水价的合理上限为 2.52, 将 P 采用等差间隔, 获得水资源向量 $Q(2.52, 1.89, 1.26, 0.63, 0)$ 。根据 3.3 部分求得的水资源模糊综合评价向量, 求得 2013 年西安市合理资源水价为 $P=B \times QK=1.87\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

4 结论

本文通过模糊数学模型测算出西安资源水价为 1.87 元/ m^3 , 相比现在采用的 0.3 元/ m^3 , 有较大的提升空间, 测算的资源水价加上工程水价、环境水价(污水处理费)后, 西安市水价应为 4.47 元/ m^3 , 水费支出占可支配收入的比重为 1.19%, 远低于国际 3% 的标准, 说明现有水价偏低, 而且居民对水价上涨承受能力可以进一步提高。制定合理水价有助于解决水价偏低造成水资源的浪费, 在目前推进阶梯水价遇到“一户一表、抄表到户”技术和经济问题尚未找到妥善解决的情况下, 我国其他城市可根据区域实际, 逐步制定合理水价政策, 在保证居民正常生活水平不受影响的前提下, 达到优化资源配置, 合理利用和保护水资源的目的。

参考文献 References

[1] 西安市水务局,2012 年水资源公报[R].2012.
Xi'an Municipal Bureau of water resources, Water resources bulletin2012[R].2012.

[2] 王为人.上海市资源水价确定方案研究[J].统计研究,2005(1): 72-74.
WANG Weiren. Study on determination scheme of water resources in Shanghai [J]. Statistical Research, 2005(1): 72-74.

[3] 章胜. 基于 ELES 模型的城市居民生活用水定价研究—以杭州市为例[D].杭州:杭州电子科技大学,2011.
ZHANG Sheng. The study of urban water price based on ELES model with the case of Hangzhou [D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University,2011.

[4] 姜文来, 武霞, 林桐风.水资源价值模型评价研究[J].地球科学进展,1998,13(2):178-183.
JIANG Wenlai, WU Xia, LIN Tongfeng. The study of evaluation on the model of water resources value[J]. Earth Science Progress,1998,13(2):178-183.

[5] MAHMOOD Ahmad. Water pricing and markets in the Near East: policy issues and options[J].Water policy, 2000, 2(3): 229-242.

[6] 潘桂娥.基于 AHP 法的水价结构研究[D].杭州:浙江大学,2008.
PAN Guie. Study of water price structure based on AHP method [D]. Hangzhou: Zhejiang University,2008.

Evaluation based on fuzzy mathematical model for water resource price of Xi'an

LIU Xiaojun, YAN Lizhen, BAI Yu

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: With urbanization and economic development, the problem of water resources shortage in China's northwest cities has become increasingly prominent. Water price in Xi'an is lowest according to the national guidance price. Current water price is playing a limited role in promoting urban water conservation. In this paper, fuzzy mathematical model used in to calculate the actual water resource price of Xi'an in 2013 is 1.87 yuan/m³. Comparing with the 0.3 yuan/m³, there is large space for improvement.

Keywords: residents living water; water resource price; fuzzy mathematical model; Xi'an

(本文编辑 吴海西)

(上接第312页)

LIU Hui, ZHANG Jianfeng, YU Zhong. The investigation on the damage of building wall insulation in Wenchuan earthquake[J]. Construction Science and Technology, 2008(21): 62-65.

[8] JGJ137-2001 多孔砖砌体结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

JGJ137-2001 Technical code for perforated Specification for brick masonry structures[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.

[9] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

GB50011-2010 Code for seismic design of buildings[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.

[10] JGJ101-96 建筑抗震试验方法规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

JGJ101-96 Specifying of testing methods for earthquake resistant building[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.

The out-of-plane shaking table test study on RC shear wall plug in WDF system

BAI Guoliang¹, WANG Qi¹, YU Qing¹, FU Guangming¹, WANG Hui²

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. Xinjiang Kaile New Materials Co., Ltd, Urumqi 830009, China)

Abstract: Shale sintered composite external wall thermal insulation brick (WDF) is a new type of exterior wall thermal insulation material. In this paper, a seismic station out of plane vibration performance test was carried out by designing a total of four pieces of RC shear wall plug WDF specimens as the full-scale mode. The effects of anchor bolt arrangement number and arrangement of components on the seismic performance of out-of-plane were mainly studied. The results of the test show that, four pieces of wall are of good seismic performance. The relative displacement between the WDF and the primary wall reaches a maximum at the top of the wall. Moreover, the anchor has an inhibiting effect on the vibration frequency attenuation of component. The effects of anchor bolt on the acceleration of out-of-plane is smaller when a number of 4 per square meter is arranged, and the relative displacement between the WDF and the primary wall is minimum. In addition, the cracks between the WDF and the primary wall are fewer and dehiscence slowly when the clubs layout form is applied, so the anti-seismic performance out-of-plane is better. Therefore, it is suggested that the clubs layout form be applied as far as possible to the actual construction.

Key words: RC shear wall; WDF; exterior insulation; out-of-plane anti-seismic performance; anchor bolt

(本文编辑 桂智刚)