

上海市水资源模糊定价模型

王建刚¹, 毛惟德², 于英川³

- (1. 上海经济管理中心 , 上海 200072 ;
2. 上海市水环境监测中心 , 上海 200232 ;
3. 上海大学国际工商与管理学院 , 上海 200072)

摘要 : 阐述了水资源系统的复杂性和模糊性 , 分析了与水资源价值评价有关的水量、水质及社会经济要素 , 探讨了水资源价值模糊综合评价数学模型和水资源价格计算模型 , 并在此基础上分析确定了上海市水资源价值的价格 , 使上海市的水资源价格更趋合理。

关键词 : 水资源 ; 定价 ; 价值 ; 模糊数学

中图分类号 : F416.9 **文献标识码** : A **文章编号** : 1004-693X(2004)06-0031-04

水资源是生命生存不可替代的自然资源 , 水资源危机引起了世界各国的关注与不安。有关国际水资源会议指出 , 提高水的价值、减少浪费是避免水资源危机的重要手段 , 它不仅保护和改善水质 , 而且可以促使水土环境持续利用。在市场经济条件下 , 为了实现水资源优化配置 , 必须有偿使用水资源 , 为此 , 必须合理确定水资源价格。水资源价格是指水资源使用者为获得水资源的使用权应向水资源所有者支付的货币额 , 它是水资源所有权在经济上的实现形式。因此 , 合理的水资源价格应当建立在水资源价值的科学评价基础上^[1]。

水资源价值是一个复杂且模糊的系统。它的复杂在于 : ①它是自然系统与社会经济系统相互影响、相互作用的复合系统。就每个系统本身而言 , 又是复杂因素共同作用的复合体。对于这样的复杂系统 , 运用常规的数学模型来评价水资源价值是难以如意的。②水资源问题的动态性、水资源工程的多目标和多宗旨性 , 获取、传递和处理数据的困难以及在水资源决策过程中技术、环境、社会、体制、政治、经济等因素。水资源价值系统又是一个模糊系统 , 例如在研究水环境系统时 , 有严重污染、重污染、轻污染 , 评价水质有优良、良好、中等、差、劣等多种情况 , 它们都不能用一个简单的“是”或“否”、“非此即彼”来回答。同样 , 水资源丰富程度、水资源价值高低 , 往往并无严格的明确界限 , 而对这种界限不分明的事物 , 需要有一种能对事物渐变过程中的不分明性加以描述的数学形式^[2]。

鉴于水资源价值系统的复杂性和模糊性 , 本文应用模糊数学的理论和方法来研究水资源定价问题 , 首先建立水资源价值模糊综合评价数学模型 , 进而建立水资源价值的模糊定价模型 , 最后确定上海市的水资源价值的价格。

1 水资源价值模糊综合评价数学模型

1.1 评价要素

水资源价值是水资源水量和水质的统一体 , 同时 , 水资源价值的高低还与社会经济因素有关。首先 , 水资源价值决定于水资源水量的丰富程度。水资源水量越是相对稀缺 , 其价值就越高。就我国情况而言 , 北方地区水资源较南方缺乏 , 北方的水资源更是珍贵 , 其价值亦较南方为高。应该指出 , 作为评价一个地区水资源价值的水量要素 , 重要的并不决定于水资源的绝对水量 , 而是取决于水量的相对稀缺程度 , 为此 , 可采用“当地人均水资源量”、“平均水资源量”、“径流系数”等指标来反映水资源的相对稀缺性。

水资源价值又是与水质状况紧密联系的 , 因为水资源功能往往决定于水质 , 而水资源功能不同 , 单位水资源所创造的价值亦不同 , 即不同功能的水资源对国民经济的贡献存在着差异 , 故其价值也不应相同。水质好 , 则水体功能多样 , 其价值就高 ; 而水质差则功能单一 , 甚至失去原有功能成为废水 , 其价值就低。水质是水体质量的简称 , 它标志着水体的物理、化学、生物的特征及其组成的状况 , 是水体环

作者简介 : 王建刚(1977—) , 男 , 山东东营人 , 硕士研究生 , 主要从事管理决策优化、战略管理等方面的研究。

境自然演化过程和人类在集水区域内活动程度的反映。在水资源价值评价中,可根据全部指标来评价,也可从实际出发,按其中若干主要指标如 DO、BOD、COD_{Cr}、NH₃-N、TP、TN、FN 等进行评价^[3]。

社会经济因素在水资源价值形成过程中也起着重要的作用。一方面,无论水资源水量多么丰富,水质多么好,如不去开发利用,不与社会经济因素结合起来,水资源价值充其量只是表现为生态价值,其经济价值则无法体现;另一方面,不少国家和地区以河口或港口城市为依托,以主要江河为枢纽,形成整体发展态势,并成为这些国家和地区社会经济发展的重要支柱,这表明了水资源与社会经济因素的有效结合是水资源价值产生的资源。在进行水资源价值评价时,必须考虑社会经济因素中哪些能够反映水资源在社会经济发展中的作用,以及社会经济发展对水资源的需求情况和依赖程度,如人口、经济发展水平、经济结构、科技水平等。一般来说,水资源在社会经济发展中的作用越大,社会经济发展对水资源的需求越大,依赖程度越高,其价值相对就越高。本文选择“人口密度”、“人均 GDP”、“每万元 GDP 需水量”、“灌溉水利用系数”等,作为水资源价值评价中社会经济因素方面的评价指标^[4],见表 1。

表 1 评价要素及评价指标

水量	当地人均水资源量、平均水资源量、径流系数
水质	DO、BOD、COD _{Cr} 、NH ₃ -N、TP、TN、FN
社会经济	人口密度、人均 GDP、每万元 GDP 需水量、灌溉水利用系数

1.2 评价模型

1.2.1 模糊综合评价模式

设论域 U 为水资源价值要素集, $U = \{\text{水量, 水质, 社会经济}\}$; 水资源价值评价等级构成评价集 V , 且 $V = \{\text{高, 偏高, 一般, 偏低, 低}\}$ 。水资源价值模式

$$B = \omega \circ R \tag{1}$$

式中: B 为综合评价结果矩阵, 矩阵中的元素应按照模糊矩阵复合运算法则确定; ω 为要素权重分配矩阵; R 为单要素评价矩阵, 表示要素集 U 与评价集 V 之间的模糊关系, 它是以各单要素模糊评价结果为行向量构建而成; $\circ$ 为模糊矩阵的复合运算。

式(1)表明, 水资源价值的评价包括单要素模糊评价和综合评价两个层次。

1.2.2 单要素评价矩阵

单要素评价矩阵 R 是以水量、水质、社会经济各单要素评价向量 R_i 为基础构造的,

$$R_i = \omega_i \circ \mu \tag{2}$$

式中: ω_i 为单要素中各评价因子的权重; μ 为各评价因子的隶属度矩阵, 通过各自的隶属度函数确定^[5]。

隶属度函数的形式比较多, 选用半梯形(半升、半降)分布, 建立一元线性隶属函数^[6], 即

半升梯形:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 0 & v_i \leq x_{ij-1} \\ \frac{v_i - x_{ij-1}}{x_{ij} - x_{ij-1}} & x_{ij-1} < v_i < x_{ij} \\ 1 & v_i \geq x_{ij} \end{cases} \tag{3}$$

半降梯形:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1 & v_i \leq x_{ij} \\ \frac{x_{ij+1} - v_i}{x_{ij+1} - x_{ij}} & x_{ij} < v_i < x_{ij+1} \\ 0 & v_i \geq x_{ij+1} \end{cases} \tag{4}$$

式中: v_i 为评价因子的实际值; x_{ij-1} 、 x_{ij} 为评价因子相邻两等级的设定标准值, i 为评价因子标号, $j = 1, 2, \dots, n$, 对评价结果为高、偏高、一般、偏低、低 5 个等级, $n = 5$; μ_{ij} 为评价因子 i 的隶属度, $j = 1, 2, \dots, n$ 。

在利用式(3)(4)计算时, 对于设定标准值越高等级越高的情况, 需将标准值和实际值变成负值, 再代入计算。根据各单要素中所有评价因子的隶属函数计算结果, 可以构建相应的隶属度矩阵 μ 。

在此基础上, 分别对各要素中所有评价因子分配合适的权重, 构成评价因子模糊权重 ω_i ; 再对 ω_i 、 μ 施以模糊矩阵复合运算, 求得各单要素评价向量作为行向量, 即构成水资源价值综合评价的单要素评价矩阵 R 。

1.2.3 权重分配矩阵

在水资源价值综合评价中, 权重反映水量、水质和社会经济因素对水资源价值综合评价结果的贡献。在单要素评价中, 权重反映的是各单要素中不同评价因子的影响。通过层次分析法(AHP)来确定水资源价值评价中各有关因素的权重分配^[7]。

1.2.4 水资源价值综合评价

将单要素评价矩阵及各要素相应的权重代入综合评价模式(1), 即可求得水资源价值综合评价结果 B 。矩阵 B 中的元素 b_i 按照模糊矩阵复合运算法则确定, 采用加权平均法^[6]:

$$b_i = (\omega_1 \cdot r_{1j}) \oplus (\omega_2 \cdot r_{2j}) \oplus \dots \oplus (\omega_m \cdot r_{mj}) \\ j = 1, 2, \dots, n \tag{5}$$

式中: ω_i 为各要素权重分配矩阵中的元素, $i = 1, 2, \dots, m$, m 为评价要素的个数; r_{ij} 为单要素评价矩阵中的元素, $j = 1, 2, \dots, n$, n 为评价等级数; $\oplus$ 为模糊数学中加法运算的一种类型。

2 水资源价格计算模型

为了使水资源价值在经济上得以实现, 需引进

合适的价格向量 ,将水资源价值模糊综合评价的无量纲隶属度“ 向量结果 ”转换为相应的水资源价格“ 标量值 ”。水资源价格

W = B × S (6)

式中 :B 为水资源模糊综合评价结果 ;S 为水资源价格向量。

一般来说 ,价格是价值的货币表现形式 ,价值高的商品或资源 ,其价格亦高 ;反之 ,其价格亦低。因此 ,价格向量的确定 ,必须与水资源综合评价的“ 向量结果 ”相协调。

2.1 计算水费承受指数

水费承受指数是反映用水户为获得水商品及接受水服务所支付费用(水费)的承受能力的一个指标 ,

I_{ci} = C_w/A_i (7)

式中 :I_{ci} 为水费承受指数 ;C_w 为水费支出 ;A_i 为实际收入。

在一定社会经济环境下 ,由于用户物质与心理两方面的原因 ,水费支出占实际收入的比例不宜过高 ,即存在一个最大水费承受指数 ,超过该最大指数值的相应水费支出 ,用户将难以接受 ,故这样的水费水平是不合理的。通常 ,水费是以水价为基础计收的 ,合理的水价应该是水资源价值和水资源生产成本及正常利润之和。因此 ,作为水费计收依据的重要组成部分 ,水资源价格自然要受到最大水费承受指数的限制 ,就是说存在一个水资源价格上涨限 ,诚然 ,不同的用水部门 ,其最大水费承受指数是不同的 ,因而其水资源价格上限亦不同。

2.2 确定水资源价格上限

水资源价格上限就是达到最大水费承受指数时的水资源价格 ,

P_u = I_{wci} × A_i/Q_w - G_p (8)

式中 :P_u 为水资源价格上限 ;I_{wci} 为最大水费承受指数 ;Q_w 为用水量 ;G_p 为单位供水成本及正常利润。

2.3 确定价格向量

既然水资源价格上限为 P_u ,则实际水资源价格

应在(P_u ,0)之间 ,由于水资源所处的具体地理位置不同 ,使其具有区域性特征 ,因此水资源在被开发与利用的过程中 ,将产生不尽相同的区位价格。可以根据实际情况 ,按一定的间隔关系 ,如采用线性或非线性关系 ,将水资源价格区间进行划分 ,得到价格向量。采用等差间隔 ,

S = (P_u 3/4 P_u 2/4 P_u 1/4 P_u 0) (9)

确定了水资源价格向量 ,代入式(6) ,按一般矩阵运算规则进行计算 ,即可求出与水资源价值模糊综合评价结果相应的水资源价格。

3 上海市水资源价值的实证分析

上海市水资源价值评价要素的实际值及标准/设定值见表 2。

由层次分析法求得水量、水质和社会经济因素单个因子的权重 :

ω_{水量} = (0.6 0.2 0.2)

ω_{水质} = (0.2 0.2 0.2 0.1 0.1 0.1 0.1)

ω_{社会经济因素} = (0.3 0.3 0.2 0.2)

最后求得水资源价值的综合评价矩阵(归一化后)为

R = [R₁ R₂ R₃] = [0.67 0 0 0.22 0.11 0.25 0.125 0.25 0.25 0.125 0.3 0.3 0 0.2 0.2]

水量、水质和社会经济因素的权重分配矩阵 ω = (0.4 0.4 0.2)。

按模糊复合运算法则式(1) ,可求得水资源价值综合评价结果(归一化后)

B = (0.308 0.154 0.192 0.192 0.154)

上海市 2001 年人均月收入以 12883 元计 ,人均用水量为 253 L/d ,污水处理后人均用水量为 146 L/d ,水费承受指数按 3% 计 ,单位供水成本及利润取 0.989 元/m³ ,则水资源价格上限为 :污水处理 P_u 为 3.20 元/m³ ,污水处理后的 P_u 为 6.26 元/m³。

将 3.2 进行等差间隔 ,间差为 0.8 ,得到水资源价格向量

表 2 上海市水资源价值评价要素(2001 年数据)

价 值		水资源水量			污染物质量浓度/(mg·L ⁻¹)							社会经济因素			
		当地人均 水资源量 /m ³	平均水 资源量 (m ³ ·km ⁻²)	径流 系数	DO	BOD	COD _{Cr}	NH ₃ -N	TP	TN	FN	人口密度 (人·km ²)	人均 GDP /元	每万元 GDP 需水量 /m ³	灌溉水 利用系数
标准 / 设定值	高	400	100 000	0.05	8	3	15	0.15	0.02	0.2	0.001	3 000	5 000	3 500	0.30
	偏高	800	200 000	0.20	6	4	18	0.5	0.1	0.5	0.002	150	3 000	3 000	0.40
	一般	1 200	300 000	0.30	5	5	20	1	0.2	1	0.005	50	2 000	2 500	0.50
	偏低	2 000	400 000	0.40	3	6	30	1.5	0.3	1.5	0.010	10	1 000	2 000	0.60
	低	3 000	500 000	0.50	2	10	40	2	0.4	2	0.100	5	500	1 000	0.80
实际值		193	403 280	0.49	3.9	2.8	23	0.62	0.218	2.98	0.001	2 093	37 382	238 *	0.65 *

注 :数据来源《上海水资源统计年鉴》2001、2000 及有关资料整理 ;* 为 2000 年数据。

$$S_1 = (3.2 \quad 2.4 \quad 1.6 \quad 0.8 \quad 0)^T$$

将 6.26 进行等差间隔,间差为 1.565,得到水资源价格向量

$$S_2 = (6.26 \quad 4.695 \quad 3.13 \quad 1.565 \quad 0)^T$$

将 S_1, S_2 代入式(6),上海市 2001 年水资源价格计算为

$$W_1 = B \times S_1 = 1.816 \text{ 元/m}^3$$

$$W_2 = B \times S_2 = 3.553 \text{ 元/m}^3$$

4 结 论

考虑水量、水质及社会经济因素的综合影响,上海市水资源价值等级“高、偏高、一般、偏低、低”的隶属度分别为:0.308,0.154,0.192,0.192,0.154,因此,简单地将其判断为属于某一个等级是不合适的。根据水资源价值的综合评价结果,上海市 2001 年生活用水资源本身的价格应为 1.816 元/m³,如果考虑供水单位的供水成本及正常利润,其生活用水水价应为 2.805 元/m³,如果考虑污水处理费用,水价应为 3.553 元/m³。

从水资源价值系统实际存在的复杂性和模糊性出发,水资源价值模糊综合评价模型综合考虑了水量、水质、社会经济因素对水资源价值的影响,评价

结果较之简单的判定水资源价值属于哪一个等级更合理。同时,水资源价值模糊综合评价模型本身较好地考虑水资源价值随水量、水质及社会经济因素而变化的水资源价值系统的动态性。该模型将水资源价格与水的用途效益联系起来,使水资源价格更趋合理,从而有利于促进水资源优化配置目标的实现。

参考文献:

- [1] 王建生.水资源紧缺成都评价指标[J].水利计划,1998,(2):27~30.
- [2] 李广贤.水资源利用工程与管理[M].北京:清华大学出版社,1998.22~24.
- [3] 姜文来.水资源价值模型研究[J].资源科学,1998(4):21~23.
- [4] 顾圣平.水资源模糊定价模型[J].水利发展研究,2002,(1):17~19.
- [5] 陈鸣钊.模糊数学及其应用[M].南京:河海大学出版社,1993.7~8.
- [6] 齐欢.数学模型方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1996.2~4.
- [7] 梁梁,盛昭瀚,徐南荣.一种改进的层次分析法[J].系统工程,1989(6):33~74.

(收稿日期 2003-08-25 编辑 舒建)

(上接第 30 页)

即能满足经济发展所需的硬环境。

3.4 第 4 类水体:其他

此类水体污染因子主要是石油因子,受工业和交通的影响较大,尤其是长吉高速公路监测断面,石油质量浓度高达 1.6 mg/L,因其地处交通要道,时常有私人洗车经营,严重污染了此处水体;其他水体多位于长春市汽车厂附近,石油因子也较高。这些水体的治理可针对去除石油污染物来设计污水处理技术,避免无效投资。

4 结 论

利用因子分析和聚类分析法进行长春市水环境分析,可明确水环境的污染原因和水环境的空间特征,针对不同水体提出相应的治理措施,为本项目水环境的宏观规划提供了科学依据,节省了大量的无效投资,并能准确查出主要污染贡献,以便有针对性地减少污染物排放,采取必要的微观措施。

参考文献:

- [1] 卢纹岱.SPSS for Windows 统计软件[M].北京:电子工业出版社,2000.92~237.

- [2] 王茂军,张学霞.中国区域可持续发展水平的时空分异初探[J].中国人口、资源与环境,2001,11(2):80~85.
- [3] 王晓鹏.河流水质综合评价之主成分分析方法[J].数理统计与管理,2001,20(4):49~52.
- [4] 国家环境保护局科技标准司.城市污水土地处理技术指南[M].北京:中国环境科学出版社,1997.60~79.
- [5] 郝明家,王莹.城市水污染集中控制指南[M].北京:中国环境科学出版社,1996.230~237,292~318.
- [6] 郭扬善.城市污水处理——投资与决策[M].北京:中国环境科学出版社,1992.179~206.

(收稿日期 2004-02-20 编辑 舒建)

