

城市供水价格的确定及模型

——以兰州市为例

李德生^{1 2} 潘鹰希³ 程国栋²

(1. 兰州交通大学环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070 ;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000 ;

3. 兰州市环保局, 甘肃 兰州 730000)

摘要 :应用价值模糊数学模型和供求关系数学模型对兰州市城市自来水水价进行估算。选定水质、人均水资源量、人均国民生产总值、人口密度 4 项参数对兰州市的水资源价值进行评价,计算出兰州市城市供水价格,将计算结果与兰州市的实际供水价格进行了比较,同时运用水资源供求关系模型,对用水量进行了测算,评估了供水价格的变化对城市用水量的影响,通过分析,找出了兰州市实际供水水价中可能存在的问题,为今后兰州市供水价格的调整提供依据。

关键词 城市供水价格;水价制定;工程成本;水资源成本;环境成本;数学模型

中图分类号 :F726.1

文献标识码 :A

文章编号 :1003-9511(2008)02-0033-04

以水资源为加工原料的城市供水,不仅具有城市供水的一般商品特性,即有用性、可交换性、相对稀缺性^[1-2],还具有其独有的特性,即不可替代性、政府对水价的控制性(政策的高风险性)及回报率低、可再生性、水文的循环性、供水的区域性和市场的垄断性等特性^[3]。因此城市供水价格的制定不仅关系到保护城市居民的基本生存权利,维持城市社会的基本公平,也关系到城市的经济和可持续发展,其变化受到社会的广泛关注,其价格不仅应体现城市供水的商品性,也应体现其社会性和环境性。

目前我国供水价格存在的水价确定原则还不够明确,水价的制定不能完全适应市场经济的要求,供水管理体制还不太合理,还存在着价格结构单一等主要问题^[3-7],研究不同地区,不同资源环境下的城市供水价格对地区稳定至关重要。笔者以西北工业重镇兰州市为例,研究西部城市供水价格的制定以及合理模式,这对黄河上游水资源的合理利用,对城市供水市场的合理开发将具有积极的指导和推动作用。

1 兰州市水资源及社会发展状况

1.1 兰州市水资源状况

兰州市地处我国西部,市区内有黄河及湟水支流。兰州市大部分地区属温带半干旱大陆性季风气

候,温差大,降水少,冬季较长。年平均降水量 324.85 mm,降水多集中在 7~9 月,占全年降水量的 60%左右,年平均蒸发量 1468 mm,为平均降水量的 4.5 倍。

目前兰州市境内多年自产平均水资源 23900 万 m³,可用水资源主要依靠黄河地表水,但受分配给甘肃黄河流域水资源总量的限制,兰州市可利用水资源量十分有限,人均每年仅为 742 m³,远远低于国际缺水警戒线 1700 m³ 的水平。目前兰州市的用水 90% 来自黄河地表水^[8-9]。10 a 前,兰州市每天地下取水涉及能力超过 20 万 t,而目前只能取水 5 万 t。虽然黄河水无论水质、成品水的成本都好于地下水,但黄河上游严重的工业污染给黄河水源造成重大的威胁。兰州市目前有近 200 万人,一些大中型企业的崛起和大批流动人口的涌入,使兰州市的供水量供不应求。尤其在夏季高峰期,兰州市每天有 5 万~7 万 t 的水量缺口,其目前的水价是全国 36 个大型城市中偏低的城市之一。

1.2 兰州市社会发展状况

a. 兰州市面积为 13 085.6 km²,城区面积 146 km²。兰州市 2005 年总人口 312 万人,其中非农业人口 183.93 万人。

b. 2005 年兰州市国内生产总值为 567.04 亿元,具体分类见表 1。

基金项目 :甘肃省攻关课题资助项目(02B17-13)

作者简介 :李德生(1965—),男,山东定陶人,教授,博士研究生,主要从事水质工程理论与技术、水质评价。

c. 兰州地区工业布局及发展现状。石油、化工、机械、冶金行业为兰州市的 4 大工业支柱,兼以毛纺、食品、制药等具有地方特色的轻工业及电力、煤炭、建材等行业,产业门类齐全,产品繁多。全市工业经济运行质量和效益逐年明显提高。新兴产业和高新技术产业积极发展,能源、交通、石化、冶金、烟草、医药等重点行业持续发展,工业经济持续稳定增长,实现工业增加值在 500 亿以上,增长率达 13.6%,工业经济效益综合指数年增长率为 11% 以上。非公有制经济在进一步放宽政策、搞活机制的促进下实现增加值的年增长率为 13%。

d. 农业发展现状。全市农业和农村经济的整体效益提升,加快发展农业科学技术创新,积极调整农业经济结构,同时大力推进农业布局区域化,实现农业年增加值 22 亿元,年增长率为 4.05%,种植业结构也进一步优化,粮经比例为 66:34。人民生活水平逐年提高,消费支出也同比提高,全市现有总耕地面积 21.143 万 hm^2 ,人均耕地面积 0.16 hm^2 。

2 兰州市给水排水现状

兰州市目前已经形成了日供水 118 万 t 和日处理城市污水 35.09 万 t 能力,具体指标见表 2。

3 兰州市供水价格的确定

在市场经济体制下,价格是最重要的市场信号和资源配置手段。由供求关系决定的水价包含着水资源稀缺性、消费者的支付意愿和供水成本等重要信息,直接影响到消费者的消费水平和企业的利润预期,引导消费者和生产者调整消费和生产行为,能够引导水资源的重新配置,水价是否合理,对水资源配置和使用有着决定性的影响。自来水价格不应只

是处理自来水的价格,而是一个系统化的概念^[10],它应真实反映水的真正价格。自来水价格要按经济、环境和社会 3 个效益原则而定。合理的水价构成应该包括资源水价(水资源费)、工程水价和环境水价 3 部分^[11-12],即:

$$\text{自来水价格} = \text{工程成本} + \text{水资源成本} + \text{环境成本}$$

3.1 工程成本的计算

工程成本采用供水部门测算价格:1.08 元/ m^3 。

3.2 环境成本的计算

a. 污水处理费。兰州市市政工程管理处提供数据,目前兰州市的污水处理成本为 0.90 ~ 1.30 元/ m^3 ,本文取 1.00 元/ m^3 。

b. 水质维护成本的定量化难度较大,本文参考文献^[13]直接给出水质维护的示意性成本为 0.1 元/ m^3 。

c. 生态成本:黄河水资源丰富,水质恶化是因为污染物的大量排入,兰州市生活取水对黄河的生态用水产生很小影响,故不计入生态水价。则兰州市自来水环境成本 = 污水处理成本 + 水质维护成本 = 1.10 元/ m^3

3.3 水资源成本的计算

运用模糊数学模型对兰州市城市水资源价格进行测算^[14-15]。

3.3.1 评价参数的选择及评价标准

选取水质、人均水资源量、人均国民生产总值和人口密度 4 项重要的水资源价值要素作为评价参数,其评价标准见表 3。

3.3.2 水质评价

根据兰州市的实际情况,选取 BOD、COD、氨氮、铅和总磷作为水质单要素的评价因子。运用隶属函数计算得到水质单要素的隶属矩阵:

表 1 2001~2005 年兰州市主要社会经济指标

年度	国内生产总值/亿元	第一产业生产总值/亿元	第二产业生产总值/亿元	第三产业生产总值/亿元	人均国内生产总值/(元·人 ⁻¹ ·a ⁻¹)	年均增长速度/%
2001	348.75	16.89	181.31	150.55	11877	10.03
2002	386.78	17.68	201.42	167.68	12948	13.30
2003	438.68	18.38	232.61	187.69	14545	9.60
2004	504.65	20.61	274.97	209.07	16479	11.40
2005	567.04	22.13	305.22	294.92	18296	11.11

表 2 2001~2005 年兰州市供排水指标

年度	自来水日生产能力/万 t	年供水总量/万 t	用水人口/万人	年污水排放量/万 t	污水日处理能力/万 t	排水管道长度/km
2001	137	33426	161	25343	16.6	613
2002	118	26696	150	24564	17.0	639
2003	118	25114	150	22735	24.0	683
2004	118	23572	164	16084	25.38	683
2005	118	23572	164	17214	35.09	699

表 3 水资源价值要素评价标准

价值评价	水质	人均水资源量/ m ³	人均国民生产总值/ 美元	人口密度/ (人·km ⁻²)
高	I类	500	9266	5000
偏高	II类	1000	5000	3800
一般	III类	1700	3126	2600
偏低	IV类	3000	1500	1400
低	V类	5000	755	200

注 水质评价标准根据 GB3838—2002《地面水环境质量标准》的 V 类水质标准进行划分,人均水资源量标准的确定是依据瑞典水文学家 Malin Falkenmark 提出的“水紧缺指标(Water-stress index)^[63]”;人均国民生产总值标准依据《2001 年世界发展指标》进行划分;人口密度标准依据 2004 年全国各省市、自治区的统计数据等进行等级划分。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.5000 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5000 & 0.5000 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6914 & 0.3086 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4872 & 0.4872 & 0.0256 & 0 & 0 \\ 0.2500 & 0.7500 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

用层次分析法计算各评价因子的权重,根据各影响因子彼此之间的相对重要性,确定判断矩阵为

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

根据判断矩阵 A_1 的排序权重,判断矩阵 A_1 的最大特征根 $\lambda_{\max} = 5.014$ 。

依据公式 $A_1 W = \lambda_{\max} W$ 求得矩阵 A_1 的最大特征根所对应的特征向量为

$$W = (0.21, 0.36, 0.21, 0.11, 0.11)$$

由 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 得 $CI = 0.0035$, CI 为判断矩阵的一致性指标值。当 $CI = 0$ 时,判断矩阵具有完全一致性。 RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标,当 $\lambda_{\max} = 4$ 时, $RI = 1.12$ 。根据判断矩阵一致性的判断方法,当 $CR = CI/RI < 0.10$ 时,则判断矩阵有满意的一致性。否则,重新判断,直到满意^[16]。

因 $CR = CI/RI = \frac{0.0035}{1.12} = 0.0031 < 0.10$,因此判断矩阵 A_1 具有满意的一致性,以特征向量 W 的各分量作为各评价因子的权重比较合理。

因此根据上述单要素评价矩阵的计算方法,兰州市水质评价向量 R_1 为(0.5113, 0.4859, 0.0028, 0, 0)。

3.3.3 人均水资源量评价

兰州市水资源可利用量约为 23 亿 m³,人均水

资源量为 763 m³。根据上述人均水资源量评价标准,可求得人均水资源量评价向量 R_2 为(0.4740, 0.5260, 0, 0, 0)。

3.3.4 人均国民生产总值评价

2004 年,兰州市人均国民生产总值为 16385 元,同理可求得人均国民生产总值评价向量 R_3 为(0, 0, 0.3215, 0.6785, 0)。

3.3.5 人口密度评价

2004 年,兰州市人口密度为 1217 人/km²,则人口密度评价向量 R_4 为(0, 0, 0, 0.8475, 0.1525)。

3.3.6 水资源价值模糊综合评价

由上面计算可得,兰州市水资源价值综合评价矩阵 R 为:

$$R = (R_1, R_2, R_3, R_4)^T = \begin{bmatrix} 0.5113 & 0.4859 & 0.0028 & 0 & 0 \\ 0.4740 & 0.5260 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3215 & 0.6785 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8475 & 0.1525 \end{bmatrix}$$

以专家咨询为基础,运用上述的层次分析法得到水质、人均水资源量、人均国民生产总值和人口密度的权重分别为 0.32, 0.392, 0.144, 0.144, 即

$$A = (0.32, 0.392, 0.144, 0.144)$$

得综合评价指数:

$$V = AR = (0.32, 0.392, 0.144, 0.144) \cdot \begin{bmatrix} 0.5113 & 0.4859 & 0.0028 & 0 & 0 \\ 0.4740 & 0.5260 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3215 & 0.6785 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8475 & 0.1525 \end{bmatrix} =$$

$$(0.349, 0.362, 0.047, 0.220, 0.022)$$

3.3.7 兰州市水资源价格的计算

2004 年兰州市居民人均收入 E 为 7683 元,家庭人均用水 C 平均为 5.4 m³/月。根据亚太经济和社会委员会(ESCAP)的建议,居民用水的水费占家庭收入的百分比最大不应超过 3%。因此,家庭水费承受指数 A 以 0.03 计, D 为供水成本及正常利润为 1.08。由此可知,水资源价格在 (P, D) 之间。

则水资源价格上限 P 为

$$P = \frac{AE}{C} - D = \frac{0.03 \times 7683}{5.4 \times 12} - 1.08 = 2.48$$

将 P 值进行等差间隔,得到水资源价格向量 $S=(2.48, 1.86, 1.24, 0.62, 0)$

由水资源价值(价格) $W_{lj} = V \cdot S$, W_{lj} 为水资源价格, V 为资源价值综合评价的结果, S 为水资源价格向量。

则兰州市水资源价格为: $W_{lj} = V \cdot S = (0.349, 0.362, 0.047, 0.220, 0.022) \cdot (2.48, 1.86, 1.24, 0.62, 0) = 1.73$ (元/ m^3)

3.4 兰州市自来水价格

根据以上计算结果,兰州市自来水价格 = 工程成本 + 水资源成本 + 环境成本 = 3.91 (元/ m^3)

计算结果表明:在考虑自然、经济和社会影响因素后,兰州市水价应在 3.91 元/ m^3 左右。

3.5 应用供求价格模型对测算价格进行分析

以供水作为商品的供求价格模型^[17]为

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^E$$

式中: Q_2 为调整价格后的用水量; Q_1 为原水价的用水量; P_1 为原水价; P_2 为调整后的水价; E 为水价弹性系数。

我国潍坊、泰安等地的弹性系数为 0.4~0.8,上海为 0.38^[18],兰州市的弹性系数取 0.45。兰州市目前自来水价格为 1.85 元/ m^3

2004 年,兰州市供水量为 23 572 万 m^3 。则水价调整到基于优质水资源量计算得到的水价时,用水量为

$$Q_2 = 23\,572 \text{ 万 } m^3 \times \left(\frac{1.85}{3.91} \right)^{0.45} = 16\,832 \text{ 万 } m^3$$

与 2004 年用水量相比减少 28.6%,用此方法计算节水效果显著。从目前兰州市水价和用水结构分析,适当提高水价是缓解优质水源缺乏的有效手段^[19]。

3.6 兰州市水价测算结果分析

根据发展中国家水费承受能力的国际通用标准规定,水费支出占可支配收入的比例一般在 3% 以内^[20]。以本文计算出的 3.91 元/ m^3 的价格为水费标准,按平均每人每月 2.5 t 的用水量计算,全年每个人的水费支出为 115.8 元,再除以实际年平均收入 7 683 元,可得出两者的比值为 1.5%,完全符合国际标准的规定。

兰州市自来水目前平均价格为 1.85 元/ m^3 ,其中城市污水处理费为 0.30 元/ m^3 。根据前述测算结果,兰州市的水价构成没有包含水资源费这一项,不尽合理,并且体现环境水价这一部分的污水处理费的征收标准远远低于处理成本,这不符合水价制定

原则中的成本回收原则及可持续发展原则,对鼓励节约用水不利。

4 结论与建议

a. 选取水质、人均水资源量、人均国民生产总值、人口密度等 4 项指标参与水资源价格评价,并应用水资源模糊数学模型进行测算,可科学反映水量、水质和经济社会的发展对资源水价的影响;采用成本核算的方法测算包括水源工程、水处理工程、配水工程的工程水价费用,体现了成本回收的原则,测算结果科学合理可行。

b. 兰州市城市供水价格的制定应考虑水资源费用,对污水处理费的征收标准应与处理成本挂钩。

c. 应进一步完善水价形成机制,在制定水价时将水资源开发利用的外部成本内部化,在成本中体现水资源开发利用对生态环境影响的补偿。

参考文献:

- [1] Van HIJUM Y J. Financing public water management :dealing with economic costs of water use[J]. Wat Sci Tech, 1998, 38 (11):7-14.
- [2] 徐中民,龙爱华. 中国社会化水资源稀缺评定[J]. 地理学报, 2004, 59(6):982-988.
- [3] 沈大军,梁瑞驹. 水价理论与实践[M]. 北京:科学出版社, 1999:15-89.
- [4] 苏宝军. 运用价格杠杆,实现水资源有效控制[J]. 地下水, 2003, 25(3):129-130.
- [5] 韩慧芳,刘振秋,何勇健. 我国水价形成机制:改革思路[J]. 价格理论与实践, 2001, 21(5):18-20.
- [6] 方玲,裴源生,王立. 我国城市水价浅析[J]. 水利经济, 2003, 21(2):32-34.
- [7] 马训舟,姚建. 对建立季节性阶梯式计量水价定价模型的初探[J]. 水利科技与经济, 2006, 11(11):734-736.
- [8] 朱玉萍. 甘肃水资源开发治理现状及对策[J]. 甘肃水利水电技术, 2002, 38(4):261-297.
- [9] 冯治良. 甘肃省水价改革初探[J]. 水利经济, 2005, 23(2):24-26.
- [10] 杜建明. 对水价构成的探讨[J]. 中国水利, 2002, 53(1):55-56.
- [11] 汪恕诚. 资源水利:人与自然和谐相处[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003:52-145.
- [12] 沈菊琴,孙济惠,薛亚云. 水价探析[J]. 水利经济, 2007, 25(3):44-47.
- [13] 倪红珍,王浩. 基于环境价值论的商品水定价[J]. 水利学报, 2003(10):101-107.
- [14] 姜文来. 水资源价值论[M]. 北京:科学出版社, 1999:52-138.

(下转第 39 页)

且与流域水资源调节的目标和基本原则相一致。

b. 流域农业水价调整的水资源费价格形成的理论机制。在有关水价调整研究中,水资源的稀缺度越高,水资源费越高^[1-2]。显然水资源费价格形成应以潜在市场供求形成的机制为基础,这是水资源市场价格形成的理论基础。但是,现在水资源管理实行的是行政管理,缺少水资源费价值形成的水市场和定价机制,无法形成水资源交易和交易价格,只能由政府定价。在塔河流域,如果政府可以根据水资源稀缺程度和供求条件调整水资源费的价格,那么在行政管理体制下,水资源费不单纯是国家所有权收益的形式(水租),而是可以基于水资源稀缺价值等形式,利用潜在市场机制调节水资源的优化配置和高效利用,体现资源水价的特征。因此,这种基于行政管理体制的水资源费价格的准市场机制不仅是向水资源市场管理机制过渡的一种中间形式,而且能很好适应塔河流域现今水资源行政管理体制。

c. 基于生态用水的塔河流域环境水价是未来农业水价调整的另一个重要内容。目前,生态需水的保证不仅是塔河流域现有生态环境维护的关键,也是流域下游生态环境恢复重建的核心要素。实际上,向塔河流域下游的应急输水主要是为解决流域生态用水不足的问题,使塔河干流的生态环境能够有所恢复。因此,基于生态需水的环境水价调整可使流域环境外部成本内部化,避免和缓解流域生产用水对生态需水的挤占,促进流域生态环境维持和恢复重建,解决向干流应急输水的长久水源问题。以现有生态环境维护和以生态环境恢复重建为目标,存在不同环境水价调整的价值计量和计价模型的确定问题,这是塔河流域农业水价调整的重要研究内容之一。

3 塔河流域未来农业水价调整研究的主要问题

3.1 塔河流域未来农业水价调整的水价模型

a. 水资源费的计量和计价模型。基于上述分析,根据水资源费的进一步细分,水资源费的调整研

究分为5个部分:①水资源绝对水租的计量和计价模型;②水资源级差水租的计量和计价模型;③水资源稀缺价值的计量和计价模型;④水资源选择价值的计量和计价模型;⑤超额用水价值的计量和计价模型。

b. 生态需水的价格计量和计价模型。生态需水的价格确定和计量又可分为两部分:①维持现有生态用水目标的生态用水价格计量;②基于目前生态恢复重建目标的生态用水的价格计量和环境损失计量。

c. 工程水价的计量和计价模型。塔河流域工程水价的确定和计量,主要是在现有成本水价调整基础上,进一步核定成本,使水价调整到成本水价。目前工程水价调整的理论、方法和实践已经相对比较成熟,而且塔河流域水价的调整已经接近了成本价,显然在塔河流域的农业水价调整中,水资源费和环境水价的研究是今后应当重点探讨的内容。

3.2 塔河流域未来农业水价调整的效应与补偿机制

塔河流域农业水价调整在不断进行,但是水价调整是个敏感问题,涉及用水户的负担能力和节水补偿问题,这不仅影响现行塔河流域的水价调整,而且必将成为塔河流域农业水价进一步调整的重要因素。另外,对落后的塔河流域地区,农业水价调整尤其应当加强基于水价调整效应、农户用水负担机制和节水补偿效应的研究,以便指导未来农业水价调整的理论和实践。

参考文献:

- [1] 沈大军. 水管理学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 68-78.
- [2] 王浩, 阮本清, 沈大军. 面向可持续发展的水价理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 159-161.
- [3] 姜文来, 唐曲, 雷波, 等. 水资源管理学导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 92-95.
- [4] 田圃德, 张春玲. 我国农业用水水价分析[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 342-346.

(收稿日期 2007-09-24 编辑 徐广生)

(上接第36页)

- [15] 杨林, 李小玲. 模糊数学在湟水流域水质综合评价中的应用[J]. 中国环境监测, 2000, 16(6): 49-52.
- [16] 张超, 刑毅, 黄子平. 水库群开发多指标评价层次分析模型及运用[J]. 水利水运科学研究, 1996(2): 133-142.
- [17] 胡昌暖. 价格学概论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990: 22-98.

- [18] 李金昌. 资源核算论[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 32-108.
- [19] 李琳琳, 陈晓光. 水价对中国北方城市居民用水需求影响分析[J]. 水利经济, 2007, 25(2): 41-42.
- [20] 李种. 价值和价格论: 对有关世界难题的思考与探索[M]. 广州: 中山大学出版社, 1989: 12-98.

(收稿日期 2007-10-22 编辑 徐广生)