

文章编号: 1673 - 9620 (2007) 04 - 0060 - 03

再生水资源成本分析^{*}

万玉山, 徐长久, 冯俊生, 李定龙

(江苏工业学院 环境与安全工程学院, 江苏 常州, 213164)

摘要: 在再生水全成本价格模型中, 需要计算再生水的资源成本。资源成本是一个模糊系统, 其影响因素主要包括水质、水量、人均国内生产总值、人口密度等。选择 COD、SS、氮、磷 4 项进行定量评价, 建立隶属函数; 水量、人均国内生产总值、人口密度是依据从全国大中城市中选择 30 个左右城市的数据, 构建隶属函数。再计算出污水水资源的综合评价向量, 转换为污水资源价格, 即再生水的资源成本。

关键词: 再生水; 资源成本; 水质; 水量

中图分类号: X 196 **文献标识码:** A

Analysis of the Resource Cost of Reclaimed Water

WAN Yu - shan, XU Chng - jiu, FENG Jun - sheng, LI Ding - long

(School of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China)

Abstract: It is necessary to calculate the resource cost in the all - cost price model structure of reclaimed water. Resource cost is a fuzzy system, and its impacting factors include water quality, water quantity, per capita GDP, population density, etc. Subject functions of water quantity, per capita GDP and population density may be set up according to the 30 cities data across the country. Then the synthetical vector and price of wastewater resource were calculated. The price of wastewater resource is the resource cost of reclaimed water.

Key words: reclaimed water; resource cost; water quality; water quantity

污水再生回用是解决水资源短缺的有效途径。而再生水的价格是影响污水再生回用的关键因素。从全社会的角度出发, 再生水的定价应采用全成本价格模型, 再生水的全成本价格包含 3 个组成部分: 资源成本、工程成本和环境成本。再生水的资源成本计算实际上就是确定再生水的原水——污水的价值 (格), 它适于用模糊数学的方法进行处理。

1 资源成本影响因素的选择

影响污水水资源的因素是多方面的, 它不仅有社会、经济、自然方面的, 还有污水资源系统自身方面的。面对诸多影响因素, 在污水资源价值模型中不可能全部纳入。本文所选的模型参数包括: 水质、水量、人均国内生产总值、人口密度 4 个因素。

2 资源成本数学模型的建立

资源成本数学模型可以用 1 个函数表示^[1,2]:

$$V = f (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

* 收稿日期: 2006 - 12 - 07

作者简介: 万玉山 (1969 -), 男, 安徽淮北人, 讲师, 博士。

式中: V 为污水水资源价值; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 分别为影响价值的因素如水质、水量、人均国内生产总值、人口密度等等。污水水资源价值综合评价可以用下式来表示:

$$V = A \cdot R \quad (2)$$

式中: $A = X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 要素评价的权重值; \cdot - 模糊矩阵的复合运算符号, 一般为取算子“ \wedge ”或“ \vee ”; R - 单要素 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 评判矩阵所组成的综合评价矩阵。 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{14} & R_{15} & R_{16} & R_{17} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} & R_{25} & R_{26} & R_{27} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & R_{n3} & R_{n4} & R_{n5} & R_{n6} & R_{n7} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 R_{ij} ($i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) 代表 i 要素 j 级评价值。

2.1 水质

因为把污水作为一种劣等水资源看待, 水质就以地表水资源 GB3838 - 2002 标准和污水排放 GB18918 - 2002 标准为参考, 选择 COD、SS、氨氮、磷 4 项进行定量评价^[3]。

2.1.1 COD

GB3838 - 2002 标准中 COD 的规定值为: 类 15 mg/L、类 15 mg/L、类 20 mg/L、类 30 mg/L、类 40 mg/L。由此可组建判断标准为 (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70)。

确定隶属函数, 选用左、右 (或称升、降) 半梯形分布, 建立一元线性隶属函数:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1.0, & 0 \leq x \leq 10 \\ (20 - x) / 10, & 10 < x < 20 \\ 0, & x < 0 \text{ 或 } x > 20 \end{cases}$$

$$\mu_2 = \begin{cases} (x - 10) / 10, & 10 \leq x \leq 20 \\ (30 - x) / 10, & 20 < x < 30 \\ 0, & x < 10 \text{ 或 } x > 30 \end{cases}$$

$$\mu_3 = \begin{cases} (x - 20) / 10, & 20 \leq x \leq 30 \\ (40 - x) / 10, & 30 < x < 40 \\ 0, & x < 20 \text{ 或 } x > 40 \end{cases}$$

$$\mu_4 = \begin{cases} (x - 30) / 10, & 30 \leq x \leq 40 \\ (50 - x) / 10, & 40 < x < 50 \\ 0, & x < 30 \text{ 或 } x > 50 \end{cases}$$

$$\mu_5 = \begin{cases} (x - 40) / 10, & 40 \leq x \leq 50 \\ (60 - x) / 10, & 50 < x < 60 \\ 0, & x < 40 \text{ 或 } x > 60 \end{cases}$$

$$\mu_6 = \begin{cases} (x - 50) / 10, & 50 \leq x \leq 60 \\ (70 - x) / 10, & 60 < x < 70 \\ 0, & x < 50 \text{ 或 } x > 70 \end{cases}$$

$$\mu_7 = \begin{cases} 1.0, & x \leq 70 \\ (x - 60) / 10, & 60 < x < 70 \\ 0, & x < 50 \end{cases}$$

根据某地实测的 COD 数值, 代入上述的隶属函数, 计算出当地的 COD 隶属度向量: ($t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}$)。

2.1.2 SS、氨氮和磷

同理, 可以计算出当地的 SS、氮、磷的隶属度向量。这样就可以得到水质的隶属度矩阵:

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} & t_{15} & t_{16} & t_{17} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} & t_{25} & t_{26} & t_{27} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} & t_{35} & t_{36} & t_{37} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} & t_{45} & t_{46} & t_{47} \end{bmatrix} \quad (4)$$

水质的权重向量可以采用专家估测法、层次分析法等方法进行确定, 为了研究和计算的方便这里近似认为: COD、SS、氮、磷差不多具有同等的重要性, 水质的 4 个参数权重相同, 都是 0.25, 即水质的权重向量 $A_1 = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25)$, 则水质的合成矩阵 (隶属度向量) 为:

$$V_1 = A_1 \cdot T = (0.25, 0.25, 0.25, 0.25) \cdot \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} & t_{15} & t_{16} & t_{17} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} & t_{25} & t_{26} & t_{27} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} & t_{35} & t_{36} & t_{37} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} & t_{45} & t_{46} & t_{47} \end{bmatrix} = (R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15}, R_{16}, R_{17}) \quad (5)$$

2.2 水量、人均国内生产总值和人口密度

水量采用人均水资源占有量, 从全国大中城市中, 选择北京 285 m^3 、上海 185 m^3 等 30 个左右城市, 按其年人均水资源占有量从小到大排列, 然后分成 7 组, 分析每组数据, 取其平均值组建判断标准, 结果如下: (197, 327, 472, 611, 1 310, 2 107, 4 200)。

根据上述判断标准, 构建隶属函数。根据某城市的人均水资源占有量数值, 代入隶属函数, 计算出当地的人均水资源占有量的隶属度向量: ($R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{24}, R_{25}, R_{26}, R_{27}$)。

同水量的选择一样, 选择北京、上海等 30 多个城市的人均国内生产总值和人口密度, 按从大到小排列, 然后分成 7 组, 每组平均值取整数组建判断标准, 分别构建隶属函数。根据某城市的人均国

内生产总值和人口密度数值, 代入其隶属函数, 计算出当地的人均国内生产总值和人口密度的隶属度向量: $(R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34}, R_{35}, R_{36}, R_{37})$; $(R_{41}, R_{42}, R_{43}, R_{44}, R_{45}, R_{46}, R_{47})$ 。

综上所述, 就可以得到污水水资源价值各单要素组成的综合评价矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \dots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{14} & R_{15} & R_{16} & R_{17} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} & R_{25} & R_{26} & R_{27} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & R_{34} & R_{35} & R_{36} & R_{37} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & R_{44} & R_{45} & R_{46} & R_{47} \end{bmatrix} \quad (6)$$

再应用式 (2) 计算出污水水资源价值的综合评价向量: $(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7)$, 它是一个无量纲的向量, 归一化后为: $V = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7)$ 。

然后计算污水资源价格, 计算公式为:

$$C_1 = V \times P \quad (7)$$

其中: C_1 - 再生水资源成本; P - 污水水资源价格向量。 P 的确定方法如下^[3]: 价格向量采用社会承受能力的方法加以确定。水价就是达到最大水费承受指数时的价格。生活用水与工业用水、商业用水及其他用水相比, 水费的承受能力最低, 且水是人们生活的必需品, 因此应用生活用水水费的承受能力来计算水价上限是合理的。

商品水 (或成品水) 的价格上限减去供水成本及正常利润就可得到水的资源价格上限, 即:

$$Z = B \times D / M - E \quad (8)$$

式中: Z - 水资源价格上限; B - 最大水费承受指数, 哈尔滨市多年收费调查证明, 生活用水水费承受指数应以 0.025 ~ 0.03 为宜; D - 实际收入; M - 用水量; E - 供水成本及正常利润。对于污水水资源来说, 其价值 (价格) 在目前的经济技术条件下, 可能会出现负值。因此按等差间隔等方法建立的价格向量为

$$P = (Z_1, Z_2, Z_3, 0, Z_4, Z_5, Z_6)^T$$

3 案 例

徐州市经调查研究拟在徐州污水处理厂出水的基础上, 建造产水量为 2 万 m^3/d 的再生水示范项目。采用常规处理工艺 (二级出水 混凝 沉淀 过滤 消毒)。徐州污水处理厂进水水质: $(\text{COD}) = 250 \text{ mg/L}$, $(\text{SS}) = 280 \text{ mg/L}$, $(\text{NH}_3 - \text{N}) = 30 \text{ mg/L}$, $(\text{TP}) = 5 \text{ mg/L}$ 。把再生水厂进水水质: $(\text{COD}) = 60 \text{ mg/L}$,

$(\text{SS}) = 15 \text{ mg/L}$, $(\text{NH}_3 - \text{N}) = 3 \text{ mg/L}$, $(\text{TP}) = 1 \text{ mg/L}$ 等数据代入水质的隶属函数中可分别得到隶属度向量, 则水质的合成矩阵 (隶属度向量) 为: $R_1 = A_1 \cdot T$ 。

归一化后为 $V_1 = (0, 0, 0.333, 0, 0.333, 0.333, 0)$ 。

水量的隶属度向量 $R_2 = (0, 0, 0.388, 0.612, 0, 0, 0)$; 人均国内生产总值的隶属度向量 $R_3 = (0, 0, 0, 0, 0.001, 0.999, 0)$; 人口密度的隶属度向量 $R_4 = (0.28, 0.72, 0, 0, 0, 0, 0)$ 。则可组成污水水资源价值各单要素的综合评价矩阵 R 。权重 A 采用专家咨询与经验相结合的方法, 确定为^[4]: $A = (0.35, 0.35, 0.15, 0.15)$, 则 $V = A \cdot R$ 。

归一化后为: $V = (0.09, 0.09, 0.21, 0.21, 0.2, 0.2, 0)$ 。

2004 年徐州市城市人均可支配收入为 9 840 元, 人均生活用水量为 30 m^3 , 代入公式 (8)。最大水费承受指数 B 取 0.03。本文采用北京市自来水集团 2003 年的成本参数 1.44 元/ m^3 , 则: $Z = 0.03 \times 9840 / 30 - 1.44 = 8.4$ 。

建立污水水资源价格向量 $P = (8.4, 5.6, 2.8, 0, -2.8, -5.6, -8.4)^T$ 。

$C = V \times P = (0.09, 0.09, 0.21, 0.21, 0.2, 0.2, 0) \cdot (8.4, 5.6, 2.8, 0, -2.8, -5.6, -8.4)^T = 0.168$ (元/ m^3)。

年资源成本为 $365 \times 2 \times 0.168 = 122.64$ (万元/年)。

4 结 语

通过组建判断标准, 构建隶属函数, 计算出污水水资源价值的综合评价向量, 再与污水水资源价格向量相乘转换为污水资源价格, 即再生水的资源成本。再生水的资源成本与工程成本、环境成本相结合就可以确定再生水的全成本价格, 为全面合理地制定再生水的价格提供参考依据。

参考文献:

- [1] 王锐. 济南市城区水资源价值模糊综合评价 [J]. 资源开发与市场, 2006, 22 (1): 30-34.
- [2] 程中山, 张济世. 兰州市城区水资源价值模糊评价 [J]. 兰州交通大学学报, 2005, 24 (6): 75-78.
- [3] 胡岩, 曹升乐, 赵然杭, 等. 水资源价值模糊评判模型 [J]. 山东大学学报, 2003, 33 (3): 341-345.
- [4] 姜文来. 水资源价值论 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.