

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2020.03.005

基于云模型的城市资源水价研究

李晓英¹, 江崇秀¹, 张琛²

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 吉林省水利水电勘测设计研究院, 吉林 长春 130021)

摘要: 分析合肥市的社会经济状况, 选取水质、人均水资源量、人均 GDP、人均可支配收入、人口密度等反映水资源功能、稀缺程度和水价承受能力的 5 个指标作为资源水价影响因子, 在依据水费承受指数和供水因素分析确定资源水价上限的基础上, 建立云模型分析影响因子对应各等级的确定度, 结合超标倍数法确定各指标权重, 分析得到合肥市 2014—2017 年资源水价分别为 3.06 元/m³、3.70 元/m³、4.28 元/m³、5.35 元/m³。研究表明, 伴随经济增长, 资源水价随之升高, 水资源对社会经济发展的制约作用越来越大。

关键词: 云模型; 水资源价值; 影响因子; 综合确定度; 资源水价; 合肥市

中图分类号: F426.91 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2020)03-0215-07

Study on city resource water price based on cloud model

LI Xiaoying¹, JIANG Chongxiu¹, ZHANG Chen²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Jilin Province Water Resource and Hydropower Consultative Company, Changchun 130021, China)

Abstract: By analyzing the social and economic conditions of Hefei City, the water quality, water resources per capita, GDP per capita, disposable income per capita, and population density, which can reflect the function and scarcity of water resources as well as the affordability of water price, were chosen as the impact factors of resource water price. Cloud model was established on the basis of upper limit of resource water price that was determined by the affordability index of water price and water supply factors, and the weight of each index was determined in combination with the excess multiple method. According to the analysis, the resource water price during 2014—2017 in Hefei City was 3.06 yuan/m³, 3.70 yuan/m³, 4.28 yuan/m³ and 5.35 yuan/m³, accordingly. With the development of economy, the resource water price has a rise and the water resource is more important for the development of society and economy.

Key words: cloud model; value of water resource; impact factor; comprehensive certainty degree; resource water price; Hefei City

全成本水价由资源水价、工程水价、环境水价构成^[1-2]。资源水价代表水资源的稀缺程度和水资源质量及使用价值, 工程水价代表供水工程方面所耗费的财力^[3], 环境水价代表污水对水质造成影响所带来的污水处理和环境补偿费用等。冯耀龙等^[4]对于资源水价的内涵与形成机制进行了分析, 从水资源的有用性、产权性、稀缺性 3 个方面对资源水价进行分析计算; 甘泓等^[5]从经济学领域探讨了水资源价值的构成, 为水

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0400909); 水利部黄河泥沙重点实验室开放课题基金(2017003); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 李晓英(1978—), 女, 副教授, 博士, 主要从事水资源系统规划与利用研究。E-mail:lix3@hhu.edu.cn

通信作者: 江崇秀, 硕士研究生。E-mail:289391061@qq.com

引用本文: 李晓英, 江崇秀, 张琛. 基于云模型的城市资源水价研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(2): 215-221.

LI Xiaoying, JIANG Chongxiu, ZHANG Chen. Study on city resource water price based on cloud model[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2020, 48(2): 215-221.

资源价值的分析计算提供了依据和思路;傅平等^[6]探讨了完全成本水价法的水价定制应用,结合水资源价值理论可以为城市水价的制定提供基础;马黎华等^[7]采用 ELES 模型对重庆市生活用水水价进行了分析。资源水价受自然、社会、经济等带有模糊性因素的影响,难以准确确定,但又代表了水资源的主要价值。因此,模糊数学的方法在这一领域中应用较广^[8-9],但其主观性太强,掺杂的人为因素过多。

云模型是一种可以用于计算不确定性的模型,并能够实现定性到定量的转换。它可以通过逆向云发生器获得样本的数字特征,还可以通过正向云发生器生成随机变量,以更好的模拟样本。云模型从提出到现在,在水资源方面有了较多的应用,蔡怡馨等^[10]通过基于粒子群算法的云模型对云南省水资源利用效率进行分析,优化了单一评价方法可能会遗漏信息的问题;成琨等^[11]用熵权和云模型结合对黑龙江省水资源承载力进行评价,把评价过程中的模糊性与随机性相结合,为水资源的开发利用提供依据;汪伦焰等^[12]采用云模型对贾鲁河的水环境质量进行评价,建立水环境质量评价指标体系,提高了评价精度^[13-16]。现阶段云模型主要用于水资源的评价方面,鲜有关于资源水价计算方面的应用,本文拟通过云模型来分析城市资源水价的影响因素,对资源水价进行确定性计算。

1 计算方法

1.1 资源水价计算模型

影响资源水价的因素众多,需要从这些因素中选取一些具有代表性的因素作为分析对象,通过对这些因素进行分析计算得到水资源实际的价值。由于资源水价系统的模糊性和复杂性,影响资源水价的因素包括自然、经济和社会等方面,遵循指标挑选的原则:能够反映被评价对象真实属性,各评价指标之间相关度较低,挑选的指标相对全面,选取水质、人均水资源量、人均 GDP、人均可支配收入、人口密度 5 个影响因素作为分析资源水价的依据。

具体做法是,在水资源价值理论的基础上,根据当地社会经济的实际数据进行计算得到水价上限,以水价上限为依据将资源水价分为多个等级,通过云模型计算影响因素指标对各个等级的确定度,加权得到该地区的综合确定度,基于此确定度得到该地区的资源水价。

1.1.1 资源水价上限计算

水在人们的生活中是一个不可或缺的物质,但其价格与其他生活必需品来说相对较低,所需要的数量以及它本身的品质受到社会、自然各种因素的影响。因此,需要通过确定合理的价格,在保证人们需要的情况下发挥其最大的效益。为了合理的确定资源水价,需要计算水价上限。水价上限是指某地区的最高上限水价,是一个可以通过水费承受指数并根据居民收入、用水量和一些其他的供水因素确定的指标,可以根据水价模型计算资源水价上限,为资源水价的确定提供依据。资源水价上限就是水费承受指数达到最大时的价格,根据姜文来^[17]提出的水价模型,将城市用水分为工业用水和生活用水,资源水价上限的计算公式为

$$A = \left(Z_1 \frac{E_1}{C_1} - D \right) \lambda_1 + \left(Z_2 \frac{E_2}{C_2} - D \right) \lambda_2 \quad (1)$$

式中: Z_1 、 Z_2 ——工业用水、居民生活用水水费最大承受指数; E_1 ——工业年生产总值; E_2 ——人均可支配收入; C_1 ——工业年用水量; C_2 ——人均年用水量; λ_1 、 λ_2 ——工业用水、生活用水比例; D ——供水成本及费用。

1.1.2 指标等级确定度计算

为得到符合当地实际情况的合理资源水价,需要确定当地对于不同资源水价等级的综合确定度,以反映当地的自然、社会和经济状况。在此,通过云模型计算分析各个指标对于不同等级的确定度,并基于权重计算得到综合确定度,用于最后的资源水价计算:

$$U_j = \sum_{i=1}^n R_{ij} w_i \quad (2)$$

式中: U_j ——第 j 个等级的综合确定度; j ——指标等级; n ——指标个数; R_{ij} ——第 i 个指标对第 j 个等级的确定度; w_i ——第 i 个指标的权重。

1.1.3 资源水价计算

资源水价计算模型是根据资源水价等级综合确定度向量、当地经济社会情况计算出的水价向量,将二者结合得到当地资源水价:

$$V = U \cdot A \quad (3)$$

式中: V ——资源水价; U ——综合等级确定度向量; A ——资源水价向量。

1.2 云模型

云模型主要由云数字特征和云发生器组成。云数字特征包括云期望 E_x (最能够代表定性概念的点)、熵 E_n (定性概念的不确定性度量) 和超熵 H_e (熵的不确定性度量)。云发生器包括正向云发生器和逆向云发生器,正向云发生器是根据云的数字特征 (E_x, E_n, H_e) 产生云滴和各个云滴的确定度;逆向云发生器则是根据各个云滴及确定度来计算云的3个数字特征。

1.2.1 云评价状态集数字特征的确定

将评价等级分为5个等级,每个等级的上下限根据国家标准或依据中国现状均分后得到。

a. 不同等级的 E_x : 将该等级的上下限取平均值获得,其中第一个等级和最后一个等级分别以该指标的上限和下限作为期望。

b. 同等级的 E_n : 根据正态云中的“ $3E_n$ 规则”得到,计算公式为

$$E_n = \frac{E_{x_{n+1}} - E_{x_n}}{3} \quad (4)$$

c. 不同指标的 H_e : 根据不同指标具体数值的大小凭经验取。

1.2.2 云滴数字特征的计算

云滴的数字特征需要以当地的实测指标作为样本,通过逆向云发生器进行计算得到,并在此基础上建立正向云发生器,生成云滴来模拟实际情况。云滴的数学期望、云滴的熵、云滴的超熵的计算公式分别为

$$E_x = \bar{X} \quad (5)$$

$$E_n = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - E_x| \quad (6)$$

$$H_e = \sqrt{S^2 - E_n^2} \quad (7)$$

式中: \bar{X} ——样本的均值; x_i ——样本中每个单位的具体值; S^2 ——样本的方差。

1.2.3 确定度的计算

钟形隶属函数具有连续性和中介过渡性,并且近几十年来,模糊数学中的隶属函数大多采用钟形隶属函数,而正态云模型的普适性正是建立在钟形隶属函数的普适性上,因此,采用钟形隶属函数来计算各指标的确定度,计算公式为

$$\mu_{ij} = \exp \frac{-(x_i - E_{x_{ij}})^2}{2E_{n_{ij}}^2} \quad (8)$$

式中: μ_{ij} ——第 i 个指标对第 j 个等级确定度; $E_{x_{ij}}$ ——第 i 个指标第 j 个评价等级数字特征中的期望; $E_{n_{ij}}$ ——第 i 个指标第 j 个评价等级数字特征中的方差。

2 合肥市资源水价分析

合肥市位于中国华东地区,为安徽省省会,总面积 11 445.1 km²,多年平均降雨量 995.3 mm,水资源总量 49.69 亿 m³,常住人口 796.5 万人。利用《中国统计年鉴》《合肥统计年鉴》《合肥市水资源公报》,统计合肥近年社会经济基础数据及用水指标,分别见表 1 和表 2。

表 1 2014—2017 年合肥市社会经济数据

Table 1 Society and economy data of Hefei City from 2014 to 2017

年份	人均水资源量/ m ³	工业总产值/ 亿元	人均 GDP/ 万元	人均可支配收入/ 万元	人口/万人	供水成本/ (元·m ⁻³)
2014	645.66	2285.10	7.27	2.93	712.16	2.79
2015	638.77	2378.41	7.91	3.19	717.72	3.03
2016	1114.88	2562.66	8.66	3.48	729.83	3.32
2017	472.57	2758.81	9.51	3.70	742.76	3.64

表2 2014—2017年合肥市用水指标

Table 2 Water consumption data of Hefei City from 2014 to 2017

年份	城镇用水总量/亿 m ³	工业用水量/亿 m ³	工业用水比例/%	生活用水量/亿 m ³	生活用水比例/%	人均生活用水量/m ³
2014	8.44	5.72	68	2.72	32	51.13
2015	8.34	5.52	66	2.82	34	51.45
2016	8.29	5.44	66	2.85	34	50.26
2017	7.91	5.07	64	2.84	36	48.38

2.1 基于云模型的水质确定度分析

水质代表水资源本身的质量。水资源功能决定于水质,好的水质功能多样,而差的水质功能单一,甚至失去其功能成为废水。一个地区水质越好,代表其单位质量水资源所能创造的价值就越高,水资源本身的价值也就越高;与此相对应,水质越差,水资源自身的价值也就越低。

2.1.1 计算标准的确定

水质的评价基于水中主要污染物,水质评价标准依据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》^[18],选 BOD(生化)、氨氮、石油类、总氮、总磷、COD 这 6 个具有代表性污染物指标作为评价指标集。指标及等级划分见表 3。

表3 地表水环境质量标准

Table 3 Environmental quality standards for surface water mg/L

等级	$\rho(\text{BOD})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{石油类})$	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{COD})$
I类	≤ 3	≤ 0.015	≤ 0.05	≤ 0.2	≤ 0.010	≤ 15
II类	3	0.500	0.05	0.2	0.025	15
III类	4	1.000	0.05	1.0	0.050	20
IV类	6	1.500	0.50	1.5	0.100	30
V类	10	2.000	1.00	2.0	0.200	40

2.1.2 云评价状态集的生成

根据表 3 中的评价标准以及式(5)~(7),计算云评价状态集数字特征即云滴的数学期望、熵和超熵,并生成指标评价云图如图 1 所示。

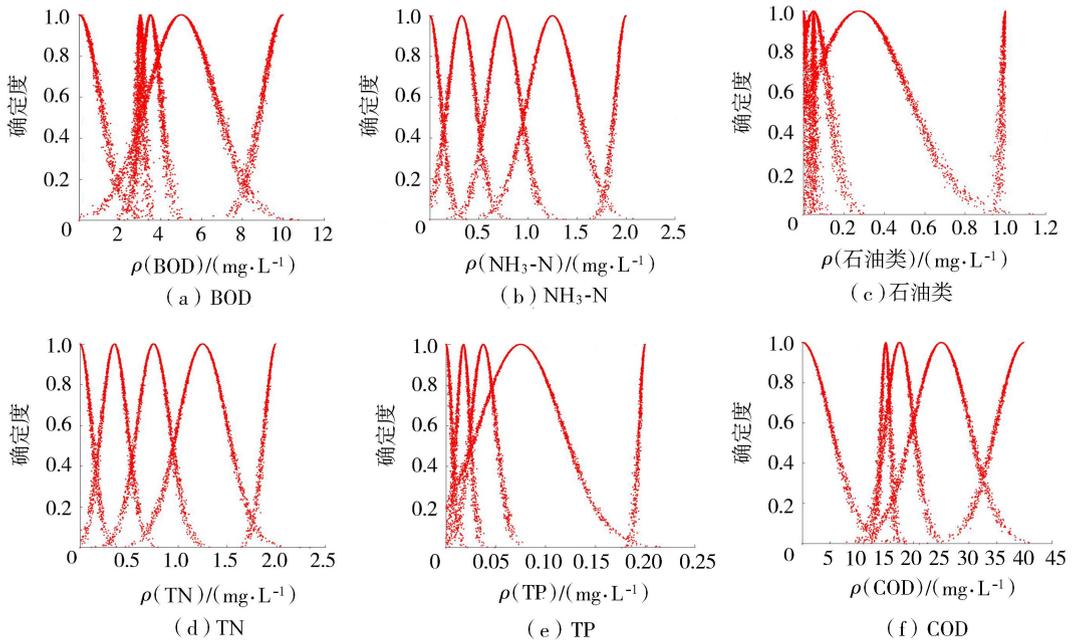


图1 各水质指标评价云图

Fig. 1 Cloud map of water quality index evaluation

2.1.3 水质污染物指标权重的确定

影响水质的主要污染物指标包括 BOD(生化)、氨氮、石油类、总氮、总磷、COD,为了突出影响水质主要污染物的作用,并考虑不同指标评价等级标准的差异,此处通过能够突出主要指标影响的超标倍数赋权法进行水质污染物指标赋权。超标倍数赋权法计算公式为

$$w_i = \frac{x_i}{S_i} / \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{S_i} \right) \quad (9)$$

式中: S_i ——指标各等级标准的均值。

根据式(9)及污染物指标多年检测数据和等级标准计算得到 BOD、氨氮、石油类、总氮、总磷、COD 等指标权重依次为 0.1015、0.0930、0.0795、0.2123、0.3434、0.1703。

2.1.4 水质确定度计算

水质是影响资源水价的各指标中最最重要的一个,它反映了影响水资源的自然因素。由于有效的水质检测指标样本太少,为了能更好地反映当地实际情况,在此通过云模型进行模拟。具体步骤:(a)运用逆向云发生器计算水质指标 2014 年样本的期望(E_x)、熵(E_n)和超熵(H_e)3 个数字特征;(b)根据第一步计算的数字特征,运用正向云发生器进行模拟,生成大量云滴即水质样本;(c)将生成的云滴带入钟形隶属函数中计算各等级确定度并取平均值进行归一;(d)结合各污染物指标权重,计算 2014 年水质综合确定度,计算结果见表 4。

表 4 2014 年合肥市水质污染物指标等级确定度

Table 4 Certainty degree of water quality index of Hefei in 2014

等级	BOD	氨氮	石油类	总氮	总磷	COD	综合确定度
I 类	0.0688	0.0492	0.0267	0.0156	0.0092	0.0365	0.0264
II 类	0.0412	0.1491	0	0.0314	0.0151	0.0169	0.0328
III 类	0.2017	0.4232	0.1936	0.0691	0.0325	0.0623	0.1116
IV 类	0.5041	0.2544	0.7160	0.1688	0.0802	0.1710	0.2242
V 类	0.1842	0.1241	0.0637	0.7151	0.8631	0.7133	0.6050

根据表 4,2014 年合肥市水质中的 BOD、氨氮和石油类指标对应 III 类、IV 类的确定度较高,总氮、总磷和 COD 对应 V 类的确定度较高,较高综合确定度则主要分布在 III 类、IV 类、V 类。

2.2 社会经济指标确定度计算

社会经济指标包括人均水资源量、人均 GDP、人均可支配收入和人口密度 4 个指标。人均水资源量和人口密度代表水资源的稀缺程度,人均 GDP 和人均可支配收入影响当地居民能承受的资源水价上限。

等级划分的依据是将各指标全国最高和最低值作为上下限,进行均分得到等级评价标准(表 5),并采取与水质相同的方法生成评价云图(图 2)。

表 5 社会经济指标等级划分标准

Table 5 Gradation standard of society and economy index

等级	人均水资源量/万 m ³	人均 GDP/万元	人均可支配收入/万元	人口密度/(人·km ⁻²)
I 类	[0.0076,2.81]	[8.96,10.52]	[3.89,4.59]	[3081.10,3850.70]
II 类	[2.81,5.61]	[7.40,8.96]	[3.18,3.89]	[2311.50,3081.10]
III 类	[5.61,8.41]	[5.84,7.40]	[2.48,3.18]	[1541.80,2311.50]
IV 类	[8.41,11.21]	[4.28,5.84]	[1.77,2.48]	[772.20,1541.80]
V 类	[11.21,14.02]	[2.72,4.28]	[1.07,1.77]	[2.50,772.20]

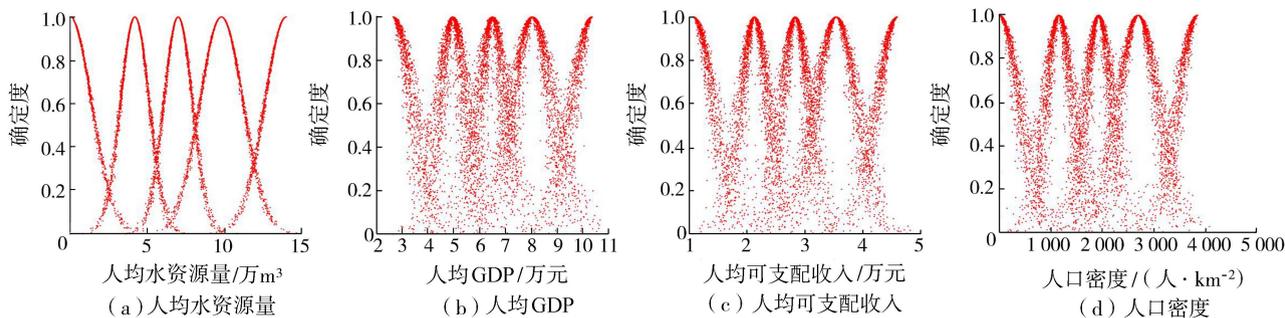


图 2 社会经济指标评价云图

Fig. 2 Cloud map of society and economy index evaluation

与水质指标的计算相同,通过确定度函数计算得到 2014 年社会经济 4 个指标各等级的确定度并进行归一化,结果见表 6。

表 6 中显示合肥市的社会经济指标中的人均 GDP、人均可支配收入处于全国平均水平,水资源总量虽较为丰富,但由于人口较多,使人均水资源量处于全国较低水平,人口密度对应较低等级确定度较大。可以看出合肥市的经济状况良好,人口密度偏大。

2.3 资源水价计算

2.3.1 综合确定度计算

水质为自然因素,考虑其对资源水价的影响,综合相关专家意见,赋权为0.3;人均水资源量、人均GDP、人均可支配收入和人口密度等社会因素总权重为0.7。利用合肥市社会经济指标的统计资料,采用熵值^[19]进行分项权重计算。熵值代表一个指标的混乱程度,熵值越大,该指标稳定性越低,对系统的影响就越小,相应的权重也就越低,社会经济各指标权重计算结果分别为0.2244、0.1377、0.1304、0.2075。根据2.2节中计算的各指标对应各等级的确定度,计算得到合肥市2014年资源水价对应I~V类级别的综合确定度向量为(0.2528, 0.1079, 0.1548, 0.1534, 0.3311)。

2.3.2 近年资源水价计算

依据2014年合肥市社会经济数据及用水量,居民生活用水水费承受指数取最大值0.03,工业用水费用取产值的1.5%,即工业用水水费承受指数为0.015,根据式(1)得到合肥市资源水价上限为6.82元/m³。因此,资源水价向量为(6.82, 5.12, 3.41, 1.70, 0)。结合资源水价向量与综合确定度,由式(3)计算得到2014年合肥市资源水价为3.06元/m³。

2.3.2 近年资源水价计算

采用相同的方法,根据2015—2017年合肥市水质和社会经济统计数据,计算各年资源水价综合确定度和资源水价上限、资源水价上限分别为7.55元/m³、8.46元/m³、10.04元/m³,综合确定度见表7。

根据水价上限得到价格向量后,与综合确定度向量相乘,得到资源水价,结果为3.70元/m³、4.28元/m³、5.35元/m³。可以明显看出合肥市资源水价在逐年增加,这一结果在自然方面体现出了合肥市水质有所改善,在社会方面体现出了合肥市经济增长。

3 结 语

a. 运用正向云发生器对选取的水质、人均水资源量、人均GDP、人均可支配收入和人口密度5个指标进行模拟,用云模型结合超标倍数赋权法对模拟结果进行确定度计算,得到城市资源水价相关影响因子对于各等级的确定度,基于此确定度计算出资源水价,实现了水资源价值论中资源水价这一定性概念的量化。

3 结 语

b. 从社会经济影响因子确定度表格中可以看出,2014年合肥市人均GDP和人均可支配收入2个经济指标处于全国平均水平,但人均水资源占有量较低,人口密度较大。计算得到合肥市2014—2017年资源水价分别为3.06元/m³、3.70元/m³、4.28元/m³、5.35元/m³,高于合肥市历年水价,近年合肥市经济发展较快,资源水价随之升高,因此本研究可以为相关部门调整水价时提供参考,使水资源价值得到更好的发挥。

c. 资源水价体现水资源其自身价值,主要受到自然因素和社会因素的影响。因此分析资源水价的变化,不仅能体现当地水资源质量的改善,也能反映出当地的社会经济状况,是一个值得深入研究的课题。

参考文献:

- [1] 汪党献,王浩,尹明万. 水资源价值水资源影子价格[J]. 水科学进展,1999,10(2):96-101. (WANG Dangxian, WANG Hao, YIN Mingwan. Implication of water resources and its value[J]. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 1999, 10(2):96-101. (in Chinese))
- [2] 倪红珍,王浩,阮本清,等. 基于环境价值论的商品水定价[J]. 水利学报,2003,34(10):101-107. (NI Hongzhen, WANG Hao, RUAN Benqing, et al. Water pricing based on environment value theory[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 34(10):101-107. (in Chinese))
- [3] 黄涛珍,王璐,王苏,等. 江苏省水利工程水价结构优化研究[J]. 水利经济,2018,36(2):20-23. (HUANG Taozhen, WANG

表6 2014年社会经济指标等级确定度

Table 6 Certainty degree of economy and society index in 2014

等级	人均水资源量	人均GDP	人均可支配收入	人口密度
I类	0.9999	0.0952	0.0568	0
II类	0.0001	0.4290	0.2988	0
III类	0	0.3843	0.5250	0
IV类	0	0.0738	0.1014	0.3021
V类	0	0.0177	0.0180	0.6979

表7 2015—2017年资源水价综合确定度

Table 7 Comprehensive certainty degree of resource water price from 2015 to 2017

年份	I类	II类	III类	IV类	V类
2015	0.2637	0.1406	0.1520	0.1820	0.2617
2016	0.2693	0.1487	0.1629	0.1735	0.2457
2017	0.2840	0.1576	0.1735	0.1746	0.2103

- Lu, WANG Su, et al. Structural optimization of water price for water conservancy projects in Jiangsu Province[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(2): 20-23. (in Chinese))
- [4] 冯耀龙,王宏江. 资源水价的研究[J]. 水利学报,2003,34(8): 111-116,121. (FENG Yaolong, WANG Hongjiang. Study on resources value of water[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 34(8):111-116,121. (in Chinese))
- [5] 甘泓,秦长海,汪林,等. 水资源定价方法与实践研究 I:水资源价值内涵浅析[J]. 水利学报,2012, 43(3):289-295,301. (GAN Hong, QIN Changhai, WANG Lin, et al. Study on water pricing method and practice I :discussion on the connotation of water resources value[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012,43(3):289-295,301. (in Chinese))
- [6] 傅平,谢华,张天柱,等. 完全成本水价与我国的水价改革[J]. 中国给水排水,2003,19(10):22-24. (FU Ping, XIE Hua, ZHANG Tianzhu, et al. Complete cost water price and water price reform in China[J]. China Water and Waste Water, 2003, 19(10):22-24. (in Chinese))
- [7] 马黎华,粟晓玲,胡晓. 基于 ELES 模型的城市居民生活用水水价分析:以重庆市为例[J]. 水利经济,2017,35(2):56-58. (MA Lihua, SU Xiaoling, HU Xiao. Water price for urban domestic water based on ELES model: a case study of Chongqing City [J]. Journal of Economics of Water Resources,2017,35(2):56-58. (in Chinese))
- [8] 赵平萍,温小虎,毕延凤,等. 青岛市水资源价值模糊综合评价[J]. 人民黄河,2010,32(7):66-67,70. (ZHAO Pingping, WEN Xiaohu, BI Yanfeng, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of water resources value in Qingdao City[J]. Yellow River, 2010,32(7):66-67,70. (in Chinese))
- [9] 张国珍,李毅华,褚润. 兰州市水资源价值计算研究[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(4):108-112. (ZHANG Guozhen, LI Yihua, CHU Run. Valuation and calculation of water resource in Lan Zhou [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2008,22(4):108-112. (in Chinese))
- [10] 蔡怡馨,王静,刘鹏玲,等. 利用组合模型评价云南省水资源利用效率[J]. 人民黄河,2015,37(5):58-61. (CAI Yixin, WANG Jing, LIU Pengling, et al. Water use efficiency assessment of Yunnan based on combined model[J]. Yellow River, 2015,37(5):58-61. (in Chinese))
- [11] 成琨,付强,任永泰,等. 基于熵权与云模型的黑龙江省水资源承载力评价[J]. 东北农业大学学报,2015,46(8):75-80. (CHENG Kun, FU Qiang, REN Yongtai, et al. Evaluation of bearing capacity of water resources in Heilongjiang Province based on entropy weight and cloud model[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2015,46(8):75-80. (in Chinese))
- [12] 汪伦焰,曹永超,李慧敏,等. 基于云模型的水环境质量评价:以贾鲁河郑州段为例[J]. 节水灌溉,2018(7):61-64,70. (WANG Lunyan, CAO Yongchao, LI Huimin, et al. Water environment quality evaluation based on cloud model: a case study of Jialu River in Zhengzhou[J]. Water Saving Irrigation, 2018(7):61-64,70. (in Chinese))
- [13] 黄显峰,刘展志,方国华. 基于云模型的水利现代化评价方法与应用[J]. 水利水电科技进展,2017,37(6):54-61. (HUANG Xianfeng, LIU Zhanzhi, FANG Guohua. Evaluation and application of water conservancy modernization index system based on a cloud model[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37(6):54-61. (in Chinese))
- [14] 季晓翠,王建群,傅杰民. 基于云模型的滨海小流域水生态文明评价[J]. 水资源保护,2019,35(2):74-79. (JI Xiaocui, WANG Jianqun, FU Jiemin. Evaluation of water ecological civilization in small coastal watershed based on cloud model[J]. Water Resources Protection,2019,35(2):74-79. (in Chinese))
- [15] 唐新玥,唐德善,常文倩,等. 基于云模型的区域河长制考核评价模型[J]. 水资源保护,2019,35(1):41-46. (TANG Xinyue, TANG Deshan, CHANG Wenqian, et al. Evaluation model of regional river chief system based on cloud model[J]. Water Resources Protection,2019,35(1):41-46. (in Chinese))
- [16] 苏阳悦,纪昌明,张验科,等. 基于云模型的水资源管理综合评价方法:以惠州市为例[J]. 中国农村水利水电,2017(12):53-58. (SU Yangyue, JI Changming, ZHANG Yanke, et al. Comprehensive evaluation method of water resources management based on cloud model: a case study of Huizhou City[J]. China Rural Water and Hydropower, 2017(12):53-58. (in Chinese))
- [17] 姜文来. 水资源价值论[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [18] 国家环境保护局. GB3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [19] 徐绪堪,赵毅,成春阳. 西安市水资源可持续利用预警分级[J]. 水资源保护,2017,33(5):25-30. (XU Xukan, ZHAO Yi, CHENG Chunyang. Early-warning grading of sustainable utilization of water resources in Xi'an City [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(5):25-30. (in Chinese))

(收稿日期:2019-01-08 编辑:张志琴)