

文章编号: 1006—2610(2015)05—0001—04

基于模糊积分模型的水资源配置方案综合评价

魏光辉

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 文章以天津市为例, 从社会系统、经济系统与资源效率系统 3 个方面筛选评价指标, 通过层次分析法与熵值法相结合的主客观综合赋权法确定评价指标权重, 构建水资源配置方案评价体系; 采用分层模糊积分模型对研究区 8 种水资源配置方案进行综合评价和排序。结果表明: 利用模糊积分模型对水资源配置方案进行评价客观合理、准确。研究结果对当地的水资源配置具有一定的参考价值。

关键词: 水资源配置; 综合赋权法; 模糊测度; 模糊积分; 综合评价

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-2610.2015.05.001

General Assessment on Strategy of Water Resources Arrangement Based on Fuzzy Integral Model

WEI Guang-hui

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In the paper, with case of Tianjin, the assessment indexes are selected from three aspects of social system, economic system and resource efficiency system. The objective and subjective comprehensive weight method combined with analysis hierarchy process and entropy method is applied to assess the weight of the assessment indexes and build the assessment system of the arrangement schemes of water resources. The hierarchical fuzzy integral model is utilized to generally assess and order the eight arrangement schemes of water resources in the study zone. The study shows that it is objective, rational and accurate to assess the arrangement schemes of water resources by application of the fuzzy integral model. The study result provides the arrangement of local water resources with reference.

Key words: arrangement of water resources; comprehensive weight method; fuzzy measure; fuzzy integral; general assessment

0 前言

水资源配置方案的综合评价是实现水资源有效配置和高效利用的重要途径,也是贯彻落实国务院最严格水资源管理制度重要体现。由于水资源配置方案涉及到经济、社会、资源与生态等多方面,关系到不同的利益主体。因此,为实现水资源配置方案的科学、客观与合理评价,必须从多层次、多角度进行统筹规划与科学论证^[1]。

目前,国内外关于水资源配置方案综合评价的研究方法比较多,如模糊熵模型^[1]、D-S 证据理论^[2]、水文-经济学耦合法^[3-6]、模糊优选-BP 神经网络法^[7]、模糊物元法^[8]与三角模糊数-灰色聚类

模型^[9]等。上述方法为中国水资源配置方案的科学客观评价提供了重要理论依据,但这些方法均未能解决水资源配置中多目标(如经济、社会、资源与生态环境)之间的不可公度性和矛盾性问题,且方案评价指标赋权存在一定的主观性。鉴于此,本文在前人研究的基础上,建立了基于主客观综合赋权法与分层模糊积分模型的综合评价模型,并将其应用到区域水资源配置方案评价中,取得了一些有价值的研究成果。

1 评价指标体系的构建

1.1 评价指标选取原则

水资源配置方案综合评价指标体系,是科学评价水资源配置效果的基础。影响水资源配置方案选择的因素很多,各因素间既有相互区别、又密切联系。构建一个科学合理、可操作性强的评价指标体系,就是要从众多影响因素中选择最灵敏的、便于度

收稿日期: 2014-08-07

作者简介: 魏光辉(1981-),男,新疆石河子市人,高级工程师,博士,主要从事干旱区水资源利用与工程建设管理工作。

量且内涵丰富的主导性因素作为评价指标。水资源配置评价指标选择应遵循科学性及导向性原则、可比性与可操作性相结合原则、相对性与绝对性、系统性相结合原则。

1.2 评价指标选择与指标体系构建

水资源配置方案评价指标主要从社会、经济、资源效率3个系统进行综合分析(共计包括10项评价指标)。其中社会系统包括区域缺水率($x_1, \%$)、工业缺水率($x_2, \%$)和农业缺水率($x_3, \%$)3项评价指标;经济系统包括单方水工业产出($x_4, \text{元}/\text{m}^3$)、工业增加值增长率($x_5, \%$)与水利工程投资($x_6, \text{亿元}$)这3项评价指标;资源效率系统包括污水回用量($x_7, \text{亿 m}^3$)、工业用水重复利用率($x_8, \%$)、农业用水有效利用率($x_9, \%$)与城市供水管网漏失率($x_{10}, \%$)这4项评价指标。根据各项指标的重要性构建天津市水资源配置综合评价指标体系(见表1)。

表1 水资源配置方案评价指标体系表

目标层	准则层	指标层
水资源合理配置方案	社会系统	区域缺水率/%
		工业缺水率/%
		农业缺水率/%
	经济系统	单方水工业产出/(元·m ⁻³)
		工业增加值增长率/%
		水利工程投资/亿元
	资源效率系统	污水回用量/亿 m ³
		工业用水重复利用率/%
		农业用水有效利用率/%
		城市供水管网漏失率/%

2 水资源配置方案评价指标权值确定

2.1 层次分析法

2.1.1 层次分析法步骤

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP法)是一种定性和定量相结合的、系统化、层次化的分析方法。其赋权步骤主要包括构造判断矩阵、层次单排序及一致性检验、层次总排序及一致性检验^[10-12]。

2.1.2 权重计算结果

准则层:包含社会系统、经济系统和资源效率系统这3项指标,指标权重分别为0.428、0.267、0.305。

社会系统指标包含区域缺水率 x_1 、工业缺水率 x_2 和农业缺水率 x_3 三项评价指标,指标权重分别为

0.435、0.343、0.222。

经济系统指标包含单方水工业产出 x_4 、工业增加值增长率 x_5 与水利工程投资 x_6 三项评价指标,指标权重分别为0.403、0.271、0.326。

资源效率系统指标:污水回用量 x_7 、工业用水重复利用率 x_8 、农业用水有效利用率 x_9 与城市供水管网漏失率 x_{10} 四项评价指标,指标权重分别为0.311、0.265、0.223、0.201。

2.2 熵值法

熵值法确定评价指标权重的步骤大致分为如下4步^[13-15]。

(1) 假定评价方案有 m 个,每个评价方案有 n 个评价指标,构建评价矩阵:

$$R = (x_{ij})_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

(2) 将评价矩阵进行归一化处理,得归一化评价矩阵 b_{ij} :

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中:当 x_i 为正向指标(越大越优型指标)时, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为该评价指标下不同方案中的最优值(最大值)和最劣值(最小值);当 x_i 为负向指标(越小越优型指标)时, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为该评价指标下不同方案中的最优值(最小值)和最劣值(最大值)。

(3) 评价指标的熵:

$$H_j = \frac{1 + b_{ij}}{-\ln m} \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^m b_{ij}}$$

为使 $\ln f_{ij}$ 有意义,需对 f_{ij} 进行修正,修正结果如下:

$$f_{ij} = \frac{(1 + b_{ij})}{\sum_{i=1}^m (1 + b_{ij})} \quad (4)$$

(4) 计算评价指标熵权 W :

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}, W = (\omega_j)_{1 \times n}, \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \quad (5)$$

2.3 评价指标综合权值的确定

设用主观赋权法(层次分析法)求得的权向量为 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)^T$,用客观赋权法(熵值法)求

得的权向量为 $\beta = (\beta_1 \beta_2 \dots \beta_m)^T$, 设对主观权向量的偏好程度为 μ , 则客观权向量的偏好程度为 $(1 - \mu)$ 指标综合权重计算公式如下:

$$W = [\mu\alpha_1 + (1 - \mu)\beta_1, \mu\alpha_2 + (1 - \mu)\beta_2, \dots, \mu\alpha_m + (1 - \mu)\beta_m]^T \quad (6)$$

设主客观权重的偏好程度相同, 即取 $\mu = 0.5$, 由式(6)即可求得各评价指标综合权重。

3 基于分层模糊积分模型的水资源配置方案综合评价

水资源配置方案评价涉及的指标因素较多, 且各因素之间的主次关系也有所不同。根据文献[16]数据资料, 本文采用分层模糊积分模型来对天津市水资源配置方案进行综合评价。

研究区水资源配置方案集合见表2^[16]。

表2 天津市水资源配置各方案的评价指标值表

方案	社会系统			经济系统				资源效率系统		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
1	29.69	28.79	45.36	1157.8	105.64	34.05	3.6	80	0.57	18
2	26.26	11.19	45.36	1109.1	143.49	58.63	3.6	80	0.57	18
3	21.77	16.22	35.05	1112.7	132.53	49.3	8.29	80	0.57	18
4	18.34	1	35.05	1040.8	159.61	73.48	8.29	80	0.57	18
5	22.28	21.94	31.11	1204.8	119.73	60.01	3.6	85	0.75	12
6	17.82	3.15	31.11	1145.1	159.11	84.19	3.6	85	0.75	12
7	11.97	8.52	18.12	1168.9	149.9	80.9	8.29	85	0.75	12
8	7.5	1	18.12	1111.1	159.61	99.04	8.29	85	0.75	12

3.1 评价指标隶属度计算

表1中的各水资源配置方案评价指标, 有的指标是正向指标, 即指标取值越大越好; 有的指标是负向指标, 即指标取值越小越好。通常用隶属度来表示某项指标对某个系统影响的好坏程度。隶属度计算步骤如下。

(1) 选取理想值 S_i : 对于正向指标, 取各评价方案的最大值为理想值; 对于负向指标, 取各评价方案中的最小值为理想值。

(2) 计算隶属度 $h(I)$: 当 $0 < I \leq 1$ 时 $h(I) = 1$; 当 $I > 1$ 时 $h(I) = e^{1-I}$ 。对于正向指标 $I_i = S_i/C_i$; 对于负向指标 $I_i = C_i/S_i$, 其中 C_i 表示评价指标实际值。

8种水资源配置方案各项评价指标的隶属度 $h(I)$ 见表3。

3.2 模糊测度(指标权重)计算

根据前述的层次分析法、熵权法及式(6), 计算各评价指标的模糊测度(即综合权重)结果见表4。

表3 水资源配置各方案评价指标隶属度表

方案	社会系统			经济系统				资源效率系统		
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
1	0.052	0.000	0.222	0.960	0.600	1.000	0.272	0.939	0.729	0.607
2	0.082	0.000	0.222	0.917	0.894	0.486	0.272	0.939	0.729	0.607
3	0.149	0.000	0.393	0.921	0.815	0.639	1.000	0.939	0.729	0.607
4	0.236	1.000	0.393	0.854	1.000	0.314	1.000	0.939	0.729	0.607
5	0.139	0.000	0.488	1.000	0.717	0.467	0.272	1.000	1.000	1.000
6	0.253	0.116	0.488	0.949	0.997	0.229	0.272	1.000	1.000	1.000
7	0.551	0.001	1.000	0.970	0.937	0.253	1.000	1.000	1.000	1.000
8	1.000	1.000	1.000	0.919	1.000	0.148	1.000	1.000	1.000	1.000

表4 评价指标模糊测度计算表

目标层	准则层	模糊测度	指标层	模糊测度
水资源合理配置方案	社会系统	0.337	区域缺水率/%	0.348
			工业缺水率/%	0.300
			农业缺水率/%	0.352
水资源合理配置方案	经济系统	0.289	单方水工业产出/(元·m ⁻³)	0.338
			工业增加值增长率/%	0.334
			水利工程投资/亿元	0.328
			污水回用量/亿m ³	0.240
资源效率系统	0.374	0.374	工业用水重复利用率/%	0.257
			农业用水有效利用率/%	0.252
			城市供水管网漏失率/%	0.251

3.3 综合评价值计算

准则层与目标层综合评价值采用模糊积分评价模型进行计算, 模型表达式如下:

$$\int_X h(x_i) \cdot g(\cdot) dx \quad (7)$$

式中: $h(x_i)$ 为评价指标隶属度; $g(\cdot)$ 为评价指标模糊测度。

利用式(7)计算得各方案的综合评价值(见表5)。

表5 水资源配置方案综合评价结果表

方案	综合评价值	社会系统评价值	经济系统评价值	资源效率系统评价值	综合排序
1	2.986	0.271	1.733	1.887	8
2	3.334	0.349	1.968	1.887	6
3	3.623	0.519	1.688	2.204	5
4	3.870	1.259	1.682	2.204	3
5	3.308	0.613	1.026	2.251	7
6	3.803	0.686	1.616	2.251	4
7	4.297	1.440	1.692	2.526	2
8	4.700	2.052	1.672	2.526	1

根据表5计算结果可得到研究区水资源配置方案优劣排序: 方案8 > 方案7 > 方案4 > 方案6 > 方案3 > 方案2 > 方案5 > 方案1 (>表示优于)。

根据表2数据, 分析各方案优劣排序的合理性, 可以发现: 方案8的多项指标(除水利工程投资指

标外)均处于最优值,综合评价方案8为最优方案是合理的;方案1的多项指标(除水利工程投资指标外)均处于最劣值或较劣值,综合评价方案1为最劣方案也是合理可信的;方案2至方案7的各项评价指标值均介于最优值与最劣值之间,综合评价方案7>方案4>方案6>方案3>方案2>方案5是合理的。

3.4 评价结果对比分析

为了检验本文所建模型的准确性,将本文计算结果与文献[16]计算结果进行对比,发现两者结论完全一致(见表6),这不仅验证了本模型的准确性,也实现了方法对方法的检验。与此同时,文献[16]采用格序理论对水资源配置评价指标进行客观赋权,未考虑到评价指标在研究区的适应性问题,而本文是基于主观赋权法(层次分析法)与客观赋权法(熵值法)对评价指标进行综合赋权,既考虑了评价指标权重的客观性,也考虑到了研究区的实际情况,因此本文所建模型计算结果更加符合实际情况,是可靠与科学的。

表6 模型评价结果对比表

方案	模糊积分模型		格序理论 ^[16]	
	综合评价值	排序	综合距离	排序
1	2.986	8	0.245	8
2	3.334	6	0.301	6
3	3.623	5	0.405	5
4	3.870	3	0.521	3
5	3.308	7	0.293	7
6	3.803	4	0.468	4
7	4.297	2	0.641	2
8	4.700	1	0.756	1

4 结论

本文从社会系统、经济系统、资源效率系统3个方面构建了包含10项指标的水资源配置评价体系,并通过层次分析法和熵权法相结合的主客观综合赋权法确定各评价指标权重;采用分层模糊积分模型对研究区8种水资源配置方案进行综合评价和排序,得出如下结论:

(1) 采用层次分析法与熵值法对水资源配置方案评价指标进行综合赋权,既考虑了评价指标权重的客观性,也考虑到了研究区的实际情况,使得模型计算结果更加真实、可靠与科学。

(2) 利用模糊积分评价模型对研究区水资源配置方案进行优劣排序,结果表明:方案8>方案7>方

案4>方案6>方案3>方案2>方案5>方案1,研究结果对研究区的水资源配置提供了重要的参考价值。

(3) 本文计算结果(模糊积分评价模型)与文献[16]计算结果完全一致,这不仅实现了方法对方法的检验,也验证了本模型的准确性。

参考文献:

- [1] 余建星,蒋旭光.水资源优化配置方案综合评价的模糊熵模型[J].水利学报,2009,40(6):729-735.
- [2] 董前进,陈森林.基于D-S证据理论的水资源合理配置方案综合评价[J].数学的实践与认识,2011,41(5):26-30.
- [3] Yates D, Sieber J, Purkey D, et al. WEAP21-A Demand-Priority and preference-driven water planning model: Part 1. model characteristics[J]. Water International, 2005, (30): 487-500.
- [4] George B, Malano H. An integrated hydro-economic modelling framework to evaluate water allocation strategies I: Model development[J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(5): 733-746.
- [5] Davidson B, Hellegers P, Bharatid L, et al. An integrated hydro-economic modeling framework to evaluate water allocation strategies II: Scenario assessment[J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(5): 747-758.
- [6] Davidson B, Malanob H, Nawarathnab B, et al. The hydrological and economic impacts of changing water allocation in political regions within the peri-urban south creek catchment in western Sydney I: Model development[J]. Journal of Hydrology, 2013, 499: 339-348.
- [7] 杨丽美.天津市水资源配置方案评价研究[D].天津:天津大学,2007.
- [8] 郭文献,夏自强,王鸿翔,等.基于模糊物元模型的水资源合理配置方案综合评价[J].灌溉排水学报,2007,26(5):75-78.
- [9] Zhang L N, Wu F P, Jia P. Grey evaluation model based on reformative triangular whitenization weight function and its application in water rights allocation system[J]. The Open Cybernetics & Systems Journal, 2013, (7): 1-10.
- [10] 符学葳.基于层次分析法的模糊综合评价研究和应用[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [11] 李旭宏,李玉民,顾政华.基于层次分析法和熵权法的区域物流发展竞争态势分析[J].东南大学学报:自然科学版,2004,34(3):398-401.
- [12] 王书吉,费良军,雷雁斌.两种综合赋权法应用于灌区节水改造效益评价的比较研究[J].水土保持通报,2009,29(4):138-142.
- [13] 曹庆奎,刘开展.用熵计算客观型指标权重的方法[J].河北建筑科技学院学报,2000,17(3):40-42.
- [14] 程楠,祝彦知.基于模糊积分多元决策模型的电源开发排序[J].河南科技大学学报:自然科学版,2009,30(2):45-49.
- [15] 夏训峰,王明新.基于模糊优劣系数法的农村生活污水处理技术优选评价方法[J].环境科学学报,2012,32(9):2287-2293.
- [16] 吴凤平,贾鹏.基于格序理论的水资源配置方案综合评价[J].资源科学,2013,35(11):2232-2238.