

灌区水资源综合效益的改进多级模糊优选评价

冯 峰^{1,2}, 许士国¹

(1. 大连理工大学土木水利学院水环境研究所, 大连 116024; 2. 黄河水利职业技术学院水资源工程系, 开封 475003)

摘 要: 针对灌区水资源综合效益的评价问题, 对于不同层次权向量的确定方法进行改进, 构建了改进的多级多目标模糊优选评价模型。利用各评价指标的具体变异程度所反映信息的效用程度进行第一层熵权值的计算; 对于中间层的权向量, 通过熵权值与主观权重线性或均值相结合方法来确定, 兼顾了决策者意愿偏好和客观数据属性, 以最高层的输出进行方案整体评价。以陕西省某灌区进行实例验证, 评价结果表明灌区规划年各项效益均呈递增趋势, 2015 年即方案三为最优方案, 其综合效益比 1997 年、2005 年分别提高了 22.6% 和 39.6%。并与其他两种方法进行了对比, 认为该方法不仅能够用于方案优选, 而且对每个方案能给予优劣评价, 结果合理可靠, 适用于灌区水资源综合效益的评价。

关键词: 水资源, 灌溉, 综合权向量, 多级模糊优选, 熵权, 综合评价

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.010

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0056-06

冯 峰, 许士国. 灌区水资源综合效益的改进多级模糊优选评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 56—61.

Feng Feng, Xu Shiguo. Improved fuzzy-optimized multi-level evaluation for comprehensive benefit of water resources in irrigation area[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 56—61. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

灌区水资源效益评价是一项以水资源高效利用为核心目标的工作, 涉及评价指标的合理构建、评价方法的科学选择、评价结果的深入分析和延伸利用等多方面^[1]。可靠适用的评价方法可以对不同灌区进行实例计算和分析评价, 结果可以在水资源合理配置、节约保护以及科学管理等方面进行应用。因此对灌区水资源效益评价的研究不仅有着理论指导意义, 也有着重要的现实作用。其对于提高灌区生产效益、发展节水灌溉、确保农业水资源永续利用、经济可持续发展、构建和谐农业及社会具有重要深远的影响。

在以往的灌区水资源效益评价研究中, 总是以经济效益最大作为优化目标, 而忽视生态环境效益和社会效益。其结果是虽然灌区水资源利用和生产效益取得了暂时和显著的经济效益, 但却引发了区域生态环境的日益恶化。这类事例在干旱区、干旱和半干旱区表现得尤为突出。灌区水资源效益评价是对水资源开发利用的生态环境、经济后果、社会影响做出科学评估, 对供需之间可能出现的矛盾和合理开发利用水资源提供一个科学的依据^[2]。水资源效益评价是一种复杂的多层次多目标的评价过程, 影响因素较多, 且各因素之间关系错综复杂, 在不同地区、气候、工程和环境背景下综合效益相差很大。在已有的研究文献中, 周维博^[3]等构建了干旱半干旱

地域灌区水资源综合效益评价体系, 并利用层次分析法(AHP)对灌区进行了评价; 杨晴^[4]等构建了灌区水资源开发利用特性评价模型, 从灌区水资源禀赋、水量供需和水质环境 3 个方面建立了 5 个指标, 依据国际评价量值进行了指标定值分析; 冯峰^[5]等构建了半结构性水资源综合效益评价体系, 运用多层次多目标模糊优选理论对陕西省某灌区的水资源效益进行了评价。

现有的灌区水资源效益评价方法, 都存在着主观确定指标权重的问题, 主要依据专家或相关人士对指标之间关系的主观认识确定权重, 没有考虑指标数据本身所携带的信息量, 使评价结果有失公正。为了防止不公正的结果在指导实际灌区生产和管理过程中产生更大的偏差, 对评价方法和模型进行科学合理、可靠有效地改进是十分必要的。对于多层次多目标评价而言, 输入层、中间层和输出层各层指标权重确定的合理与否直接关系到评价的最终结果。按权重的赋值方式可分为主观权重和客观权重, 主观权重体现了决策者的意愿偏好, 而客观权重反映了数据对决策的贡献度。本文引入熵权法确定各层次各目标的客观权重, 并在中间层与主观权重相结合, 基于模糊优选模型进行多方案优选, 通过位于干旱和半干旱地区的陕西省某灌区进行实例验证, 并与未改进方法的评价结果进行比较, 分析其可行性、合理性和适用性。

1 基于熵权的改进多级模糊评价模型

1.1 多级半结构性评价模型的构建

利用陈守煜提出的多层次半结构性模糊优选理论^[6]来对灌区水资源利用综合效益进行评价。

对于多层次系统分解为 H 层, 最高层为 H , 若最低层即第 1 层(输入层)有 M 个目标相对优属度输入到有若干个并列单元系统的第 2 层, 该层每个单元系统均有

收稿日期: 2008-06-02 修订日期: 2009-06-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(50679012); 河流洪水资源优化利用理论与方法研究; “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAB14B05); 雨洪资源利用的风险与效益评估研究

作者简介: 冯 峰(1978—), 女, 河南驻马店人, 博士生, 主要从事水文水资源方面的研究。大连 大连理工大学土木水利学院水环境研究所, 116024。Email: fengfeng_624@163.com

多个目标相对优属度输入，每个目标有不同的权重，对每个单元系统计算输出，即方案相对优属度向量

$$u'_i = (u'_{i1}, u'_{i2}, \dots, u'_{ik}) \quad (1)$$

式中： u'_i ——第 i 个单元系统的相对优属度向量，第 1 层的输出也是第 2 层的输入； u'_{ik} ——第 i 个单元系统第 k 个方案的相对优属度向量； u ——相对优属度向量； k ——评价方案的个数。

式 (1) 构成第 3 层中某个单元系统的第 i 个输入，如图 1 所示。令

$$(u'_{ij}) = (r_{ij}) \quad (2)$$

式中： r_{ij} ——第 i 行第 j 列的相对优属度向量； i ——矩阵第 i 行，共 m 行，与指标数相同； j ——矩阵第 j 列，共 n 列，与评价方案数相同。

如此从第 1 层向最高层（第 H 层）进行计算，由于第 H 层只有 1 个单元系统，可得 H 层单元系统的输出，即方案相对优属度向量

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_h) \quad (3)$$

式中： u_1 ——对应于等级 1 的相对优属度向量； h ——评价等级级数。

据此可对各个方案进行优选和综合评价^[7]。

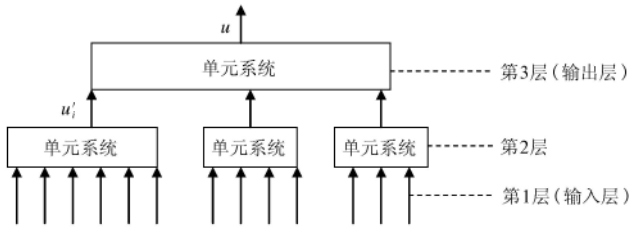


图 1 3 层模糊优选系统

Fig.1 Three-layer system of fuzzy optimization

1.2 水资源综合效益评价计算过程

1) 确定定量指标的相对优属度矩阵 R ，根据指标的类型，越大越优型指标用式 (4) 计算；越小越优型指标用式 (5) 计算。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_j x_{ij}}{x_{ij}} \quad (5)$$

式中 x_{ij} ——第 i 行第 j 列的指标。

2) 确定定性指标的相对优属度矩阵，按二元比较互补性决策思维理论^[6]和方法确定。

3) 确定指标、子系统权向量。

4) 计算第 1 层各子系统相对优属度向量，利用多级模糊优选理论公式 (6) 计算。

$$u_{hj} = \begin{cases} 0 & h < a_j \text{ 或 } h > b_j \\ (d_{hj}^2 \cdot z_j)^{-1} & a_j \leq h \leq b_j, d_{hj} \neq 0 \\ 1 & d_{hj} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$h = a_j, a_{j+1}, \dots, b_j; j = 1, 2, \dots, n$

式中： u_{hj} ——第 j 个方案对应级别 h 的相对优属度向量；

d_{hj}, z_j ——计算参数， $d_{hj}^2 = \sum_{i=1}^m [\omega_i (r_{ij} - s_h)]^2$ ， $z_j = \sum_{k=a_j}^{b_j} (d_{kj}^2)^{-1}$
 $= \sum_{k=a_j}^{b_j} (d_{hj}^2)^{-1}$ ； ω_i ——第 i 个指标的权重； s_h ——等级 h 对应的标准值向量。

5) 计算第 2 层亚系统相对优属度向量，把各子系统的输出当输入，计算原理同第 (4) 步。

6) 得出最高层输出相对优属度向量，用式 (7) 计算各方案的级别特征值。

$$H = h \cdot u_{hj} \quad (7)$$

式中 H ——第 j 个方案的级别特征值。

1.3 熵权法确定权向量

1.3.1 熵权法确定第 1 层（输入层）指标权向量

模糊优选模型的指标权向量确定是利用排序一致性标度矩阵对指标进行重要性排序，利用模糊语气算子与相对隶属度的关系表^[7]，确定每个指标相对隶属度，归一化处理后得到指标权向量。此方法主要依据人对评价事物构成指标的主观认识和以往经验，随意性较大，这样就会造成评价结果可能由于人为主观因素而形成偏差。引入熵值法计算指标权向量，在信息论中，熵值反映了信息无序化程度，其值越小，系统无序度越小^[8]。故可用信息熵评价所获系统信息的有序度及其效用，即由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重，它能尽量消除各指标权重计算的人为干扰，特别是对于第 1 层（输入层）各指标而言，人为无法判断哪个更重要时，由指标数据所携带的信息熵来确定其权重，会使评价结果更符合实际。其计算步骤如下^[9]：

1) 构建 n 个方案 m 个评价指标的判断矩阵

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

2) 将判断矩阵归一化处理，得到归一化判断矩阵 B 根据指标的类型，越大越优型指标用式 (8) 计算；越小越优型指标用式 (9) 计算。

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}}; \forall j \quad (8)$$

$$b_{ij} = \frac{\max_j x_{ij} - x_{ij}}{\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}}; \forall j \quad (9)$$

式中 b_{ij} ——归一化判断矩阵中第 i 行第 j 列的元素。

3) 引入熵值法计算指标权向量。在信息论中，熵值反映了信息无序化程度，其值越小，系统无序度越小^[10]。故可用信息熵评价所获系统信息的有序度及其效用，即由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重，它能尽量消除各指标权重计算的人为干扰，由指标数据所携带的信息熵来确定其权重。根据熵的定义，确定评价指标的熵为

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \left[\sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \right] \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

式中: H_i ——指标 i 的熵值; f_{ij} ——熵值计算的参数,

$$f_{ij} = \frac{1+b_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1+b_{ij})}$$

4) 计算评价指标熵权向量

$$\omega_i = \frac{1-H_i}{m-\sum_{i=1}^n H_i}, \text{ 且满足 } \sum_{i=1}^m \omega_i = 1 \quad (11)$$

1.3.2 综合法确定第2层各单元系统的权向量

从水资源与经济、环境、社会相互作用的角度出发, 水资源效益含有经济效益、生态环境效益和社会效益 3 个子系统。在评价过程中期望能够同时获得经济效益、生态环境效益和社会效益。对于 3 个子系统作为评价事物的第 2 层, 并没有相关的具体指标, 为了合理确定权向量, 由输入层的输出即相对优属度向量构成的矩阵作为子系统的输入, 如式 (2) 所示, 构成判断矩阵进行熵值权向量计算。熵权法的基本思想是认为指标的差异程度越大越重要, 则权重相应也越大, 从数据本身来反映其对决策的贡献度, 对于水资源效益评价中的 3 个子系统而言, 决策人的主观认识和意愿偏好会体现出符合实际的评价结果。故应该综合主观判断和客观计算会更加合理。综合客观权重与主观权重有两种方法, 其一是将两种权重线性结合, 如式 (12) [11], 其二是计算两种权重的平均值, 如式 (13)

$$\omega' = (\omega_l)_{1 \times k}; \omega_l = \frac{\omega_{li} \cdot \omega_{lm}}{\sum_{l=1}^k \omega_{li} \cdot \omega_{lm}}; (l=1, 2, \dots, k) \quad (12)$$

$$\omega'' = (\omega_l')_{1 \times k}; \omega_l' = 1/2(\omega_{li} + \omega_{lm}); (l=1, 2, \dots, k) \quad (13)$$

式中: ω' ——线性综合权向量; ω'' ——平均综合权向量; ω_l ——第 l 个子系统的线性综合权向量; ω_l' ——第 l 个子系统的平均综合权向量; ω_{li} ——第 l 个子系统的熵值权向量; ω_{lm} ——第 l 个子系统的主观权向量; k ——第 2 层单元系统的个数。

2 灌区水资源效益评价实例

2.1 评价指标的选取

灌区水资源综合效益包括经济效益、生态效益和社会效益。它是一个复杂系统, 影响因素众多, 要全面反映各因子对综合效益影响是比较困难的, 只能根据具体问题具体分析建立相应的评价模型及指标体系[12]。首先构建灌区水资源综合效益评价指标体系, 最上层为目标层, 即综合效益; 第 2 层为准则层, 包括经济效益、生态环境效益和社会效益; 第 3 层为指标层, 由若干各有侧重又相互关联的具体指标构成。经济效益指标主要从水资源利用程度、现有数量、产生效益和管理水平等方面考虑, 例如在水资源利用程度这个方面, 无论是地表水还是地下水的开发利用程度都和水资源的可持续利用、灌区的配套续建、节水改造规划等有着密切的关系[13], 因此由以下指标构成: 地表水资源开发利用程度、地下水开发利用程度、缺水程度和耕地灌溉率等。生态

环境指标主要从灌区周边环境的改善、对水资源的保护等方面考虑[14], 包含以下指标: 森林覆盖率、降低气候干燥度、污水处理率和工业废水排放达标率等。例如污水处理率、工业废水排放达标率指标所反映的是污水、废水对灌区周边水环境、生态的污染和影响程度[15]。社会效益主要从增加 GDP、提高农民收入、改善生活质量和推进社会文明进步等方面考虑, 主要包括人均 GDP、人均粮食占有量、年均收入、生活满意度和社会文明程度等指标。

结合干旱半干旱地域水资源开发利用现状和灌区用水特点, 考虑到指标的易得性、独立性和资料的局限性, 构建了陕西省某灌区多层次多目标半结构性指标体系, 共有 14 个定量指标和 5 个定性指标[4], 如表 1 所示。

表 1 陕西省某灌区水资源综合效益评价指标数据
Table 1 Index data of comprehensive benefit evaluation of water resources in a certain irrigation area in Shaanxi Province

子系统	指标名称	符号	不同水平年指标数据		
			1997 年 方案 1	2005 年 方案 2	2015 年 方案 3
1 经济效益指标	地表水资源开发利用程度/%	I_1	47.5	34.3	40.4
	地下水开发利用程度/%	I_2	68.5	71.3	61.8
	灌溉水利用系数	I_3	0.50	0.56	0.6
	渠系水利用系数	I_4	0.58	0.62	0.65
	耕地灌溉率/%	I_5	97.0	97.9	100.0
	单位灌溉水粮食产量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	I_6	1.67	1.97	2.05
	单位水量工业产值/ $\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	I_7	100	140	182
2 生态环境指标	灌区运行维护费用	I_a	定性指标		
	污水处理率/%	I_8	20	40	60
	工业废水排放达标率/%	I_9	75	80	95
	盐碱地治理及除涝面积比率/%	I_{10}	84	87	90
	林草覆盖率	I_b	定性指标		
	气候干燥度	I_c	定性指标		
3 社会效益指标	人均粮食占有量/kg	I_{11}	314.9	372.2	396.7
	人均 GDP/元	I_{12}	3 613	5 215	14 358
	居民年均收入/元	I_{13}	3 028	5 200	10 000
	农民年均收入/元	I_{14}	1 093	2 017	5 520
	生活满意度	I_d	定性指标		
	社会文明程度	I_e	定性指标		

2.2 确定定性指标相对优属度矩阵

子系统 1 下定性指标运行维护费用 I_a , 子系统 2 下的定性指标林草覆盖率 I_b 、气候干燥度 I_c 和子系统 3 下的定性指标生活满意度 I_d 、社会文明程度 I_e 根据语气算子和相对隶属度的关系表, 可查出每个定性指标的相对优属度矩阵。

$$R_1 = [1 \quad 0.667 \quad 0.429]$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.818 & 0.905 & 1 \\ 0.667 & 0.818 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.538 & 0.667 & 1 \\ 0.600 & 0.739 & 1 \end{bmatrix}$$

2.3 计算第 1 层（输入层）指标熵权向量

第 1 层（输入层）3 个子系统下各指标权向量的计算，令定性指标的相对优属度为其构成判断矩阵的数据值与定量指标组合，应用式（8）、（9）构建各子系统归一化判断矩阵 B

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1.0000 & 0.5379 \\ 0.2947 & 0 & 1.0000 \\ 0 & 0.6000 & 1.0000 \\ 0 & 0.5714 & 1.0000 \\ 0 & 0.3000 & 1.0000 \\ 0 & 0.7895 & 1.0000 \\ 0 & 0.4878 & 1.0000 \\ 1.0000 & 0.4168 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.5000 & 1.0000 \\ 0 & 0.2500 & 1.0000 \\ 0 & 0.5000 & 1.0000 \\ 0 & 0.4780 & 1.0000 \\ 0 & 0.4535 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.7005 & 1.0000 \\ 0 & 0.1491 & 1.0000 \\ 0 & 0.3115 & 1.0000 \\ 0 & 0.2087 & 1.0000 \\ 0 & 0.2792 & 1.0000 \\ 0 & 0.3475 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

应用式（10）、（11）计算第 1 层（输入层）指标熵值权向量为

$$\omega_1 = (0.120, 0.134, 0.120, 0.120, 0.134, 0.125, 0.122, 0.125)$$

$$\omega_2 = (0.194, 0.222, 0.194, 0.194, 0.196)$$

$$\omega_3 = (0.148, 0.189, 0.162, 0.177, 0.166, 0.158)$$

2.3 计算第 1 层子系统的相对优属度向量

应用式（6）、（7）计算得出第 1 层的输出，既经济效益、生态环境效益和社会效益子系统的相对优属度向量分别为

$$u_1 = (0.808, 0.861, 0.841)$$

$$u_2 = (0.724, 0.815, 1)$$

$$u_3 = (0.527, 0.644, 1)$$

2.4 计算第 2 层亚系统的权向量和级别特征值向量

根据多层次多目标多级模糊优选原理，第 1 层子系统的输出就是第 2 层亚系统的输入。应用式（2）令第 2 层的输入即各子系统的方案相对优属度矩阵 R 为判断矩阵，构建归一化判断矩阵 B 为

$$R = \begin{bmatrix} 0.808 & 0.861 & 0.841 \\ 0.724 & 0.815 & 1.000 \\ 0.527 & 0.644 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1.0000 & 0.6226 \\ 0 & 0.3298 & 1.0000 \\ 0 & 0.2474 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

应用式（10）～（13）分别计算 3 个子系统的熵值权向量、线性综合权向量和平均综合权向量，应用式（6）、（7）计算级别特征值向量，结果见表 2。根据最高层的输出，即方案相对优属度最大或级别特征值最小的优选原则，陕西省某灌区的水资源综合效益用 4 种方法计算显示的结果均为方案 3 为满意或最优方案，即 2015 年水资源综合效益最优。

表 2 各子系统权向量和输出层级别特征值

Table 2 Weight vectors of each subsystem and rank eigenvalues of output layer

计算方法	各子系统权向量 w			级别特征值向量 H			最优方案
	子系统 1	子系统 2	子系统 3	方案 1	方案 2	方案 3	
模糊优选法	0.454	0.302	0.244	2.316	1.963	1.235	方案 3
熵值权向量法	0.307	0.335	0.358	2.566	2.090	1.202	方案 3
线性综合权向量法	0.425	0.309	0.266	2.311	2.001	1.387	方案 3
平均综合权向量法	0.381	0.319	0.300	2.419	2.005	1.322	方案 3

3 评价结果对比分析

3.1 评价结果对比

由于 $H=1, 2, 3$ 级所对应的相对优属度标准值分别为 1、0.8、0.6，按线性内插得到系统的方案相对优属度

向量，与层次分析法（AHP）、模糊优选理论的计算结果进行比较，评价结果完全一致。根据 5 级相对优属度标准值向量取值 $S=(1 \ 0.8 \ 0.6 \ 0.3 \ 0)$ 对应的优、良、中、可、劣，对方案等级进行判断，5 种方法结果见表 3。

表 3 各方案综合评价价值和评价级别

Table 3 Comprehensive evaluation values and evaluation grade of each scheme

评价方法	综合评价值			评价级别			最优方案
	方案 1	方案 2	方案 3	方案 1	方案 2	方案 3	
层次分析法（AHP）	0.778	0.833	0.950	良偏中	良	优	方案 3
模糊优选法	0.737	0.807	0.953	良偏中	良	优	方案 3
熵权值模糊优选	0.687	0.782	0.959	中	良	优	方案 3
线性综合模糊优选	0.737	0.800	0.923	良偏中	良	优	方案 3
平均综合模糊优选	0.716	0.799	0.936	良偏中	良	优	方案 3

3.2 评价结果分析

根据评价结果对比,可见层次分析法、模糊优选法、线性综合模糊优选和平均综合模糊优选的评价结果完全一致,熵权值模糊优选的评价结果对于方案 2、3 的评价结果也与其他 4 种方法一致,仅有方案 1 评价结果与其他方法不同,低一个等级。主要原因为权向量计算方法不同所导致的差异,从表 2 中所列权向量可见,熵值权向量依据数据本身所携带的信息,为熵值客观反映的权向量值,在 3 个子系统中社会效益所占权重最大为 0.358,经济效益所占权重最小为 0.307。模糊优选法的权向量为主观认识的反映,表现为经济效益最重要,权向量为 0.454,而社会效益子系统对决策的贡献度最小为 0.244。

对于多层次多目标综合评价问题,在输入层计算各指标权向量时,熵权法的基本思想是认为指标的差异程度越大越重要,则权重相应也越大,从数据本身来反映其对决策的贡献度,较客观合理,消除指标权重确定的人为因素。在中间层计算权向量时,主观权重与客观权重存在着极大的差异,甚至出现了截然相反的情况^[16]。为了消除这种现象,应综合考虑主观权重和客观权重。而仅仅依靠指标的差异程度既熵值来确定权重就显得不全面,主观权重反映了在不同进期对评价事物的侧重点不同,用线性综合法和平均综合法计算权向量均较科学合理,最终的评价结果也更贴近实际。

4 结 论

1) 针对灌区水资源效益综合评价存在的相关问题,如层次复杂、指标繁多、权重不易确定等,本文构建了包括经济、生态环境和社会 3 类效益的半结构多层次指标体系。并在模糊优选原理的基础上,对评价模型不同层次权向量的确定方法进行了改进。令第 1 层(输入层)定性指标的相对优属度向量为基础数据,与定量指标构成判断矩阵,利用各评价指标的具体变异程度所反映信息的效用程度进行熵权值的计算;对于中间层的权向量,令第 1 层(输入层)的输出(即相对优属度向量)构成判断矩阵,通过熵权值与主观权重线性或均值相结合方法来确定,兼顾了决策者意愿偏好和客观数据属性,以最高层的输出进行方案评价。

2) 以陕西省某灌区对改进后的模型进行了实例论证,评价结果表明灌区规划年各项效益均呈递增趋势,2015 年即方案三为最优方案,其综合效益比 1997 年、2005 年分别提高了 22.6% 和 39.6%,符合规划年的实际水平要求。并与其他 3 种评价方法:层次分析法、模糊优选法、熵权值模糊优选法的结果进行了比较,认为改进后的方法不仅能够用于方案优选,而且对每个方案能给予优劣评价,结果合理可靠,适用性更强。

3) 通过实例分析,认为改进后的方法能较好解决以往灌区水资源效益评价中存在的主观因素导致的结果不公平问题,为灌区水资源的可持续利用和更大的发挥经济、生态环境、社会效益奠定了良好的理论基础,为指导灌区根据评价结果进行合理的配套改进、节水改造、

可持续规划和科学管理有着实际意义。

[参 考 文 献]

- [1] 黄修桥,高峰,王宪杰. 节水灌溉与 21 世纪水资源的持续利用[J]. 灌溉排水, 2001, 20(3): 1—5.
Huang Xiuqiao, Gao Feng, Wang Xianjie. Water-saving irrigation and sustainable utilization of water resources in 21 century[J]. Irrigation and Drainage, 2001, 20(3): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [2] 邵东国,刘武艺,张湘隆. 灌区水资源高效利用调控理论与技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 251—257.
Shao Dongguo, Liu Wuyi, Zhang Xianglong. Review of the researches on theory and technology of regulation for high efficient utilization of water resources in the irrigation and drainage system[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 251—257. (in Chinese with English abstract)
- [3] 周维博,李佩成. 干旱半干旱地域灌区水资源综合效益评价体系研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 288—293
Zhou Weibo, Li Peicheng. Study on integrated benefit of water resources in arid and semi-arid irrigated district [J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(5): 288—293. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杨晴,曾肇京,雷声隆. 灌区水资源利用特性评价模型研究[J]. 水力发电, 2002, 21(5): 11—16
Yang Qing, Zeng Zhaojing, Lei Shenglong. Evaluation model utilization characteristics of water resources in irrigated district[J]. Water Power, 2002, 21(5): 11—16. (in Chinese with English abstract)
- [5] 冯峰,许士国. 基于模糊优选理论的水资源效益评价体系研究[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(2): 35—38
Feng Feng, Xu Shiguo. Benefit evaluation system of water resources based on fuzzy optimization theory[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(2): 35—38. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 吉林: 吉林大学出版社, 2002: 50—55.
Chen Shouyu. Theories and Application of Fuzzy Optimization Recognition in Complex Water Resources System[M]. Jilin: Jilin University Press, 2002: 50—55. (in Chinese)
- [7] 陈守煜. 水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法[M]. 辽宁: 大连理工大学出版社, 2005: 53—57, 65—77.
Chen Shouyu. Theories and Methods of Variable Fuzzy Sets in Water Resources and Flood Control System[M]. Liaoning: Dalian University of Technology Press, 2005: 53—57, 65—77. (in Chinese)
- [8] 张先起,梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1057—1061.
Zhang Xianqi, Liang Chuan. Application of fuzzy matter-element model based on coefficients of entropy in comprehensive evaluation of water quality[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(9): 1057—1061. (in Chinese with English abstract)
- [9] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京: 机械工业出版

- 社, 2001: 23—36.
- Qiu Wanhua. Managerial Decision and Applied Science of Entropy[M]. Beijing: China Machine Press, 2001: 23—36. (in Chinese)
- [10] 闫文周, 顾连胜. 熵权决策法在工程评价中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报, 2004, 36(1): 98—100.
- Yang Wengzhou, Gu Liansheng. Application of entropy weight decision-making method in engineering evaluation[J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology, 2004, 36(1): 98—100. (in Chinese with English abstract)
- [11] 周惠成, 张改红, 王国利. 基于熵权的水库防洪调度多目标决策方法及应用[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 100—106.
- Zhou Huicheng, Zhang Gaihong, Wang Guoli. Multi-objective decision making approach based on entropy weights for reservoir flood control operation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(1): 100—106. (in Chinese with English abstract)
- [12] 周维博, 郭小砾, 马艳. 干旱地区灌区水资源综合效益的模糊评价[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(6): 41—43.
- Zhou Weibo, Guo Xiaoli, Ma Yan. Fuzzy evaluation on comprehensive benefit of water resources in arid irrigation district[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(6): 41—43. (in Chinese with English abstract)
- [13] Richard Iovanna, Charles Griffiths. Clean water, ecological benefits, and benefits transfer: A work in progress at the U.S.EPA[J]. Ecological Economics, 2006, (9): 473—482.
- [14] 王浩, 尹明万, 秦大庸, 等. 水利建设边际成本与边际效益评价[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 54—60.
- Wang Hao, Ying Mingwan, Qing Dayong, et al. Evaluation of marginal cost and marginal benefit of water conservancy construction[M]. Beijing: Science Press, 2004: 54—60. (in Chinese)
- [15] Jiang Ming, Lu Xianguo, Xu Linshu. Flood mitigation benefit of wetland soil: A case study in Momoge National Nature Reserve in China[J]. Ecological Economics, 2006, (11): 2—7.
- [16] 迟道才, 马涛, 李松. 基于博弈论的可拓评价方法在灌区运行状况评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 36—39.
- Chi Daocai, Ma Tao, Li Song. Application of extension assessment method based on game theory to evaluate the running condition of irrigation areas[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 36—39. (in Chinese with English abstract)

Improved fuzzy-optimized multi-level evaluation for comprehensive benefit of water resources in irrigation area

Feng Feng^{1,2}, Xu Shiguo¹

(1. Institute of Water Environment, School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Department of Water Resources Engineering, Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475003, China)

Abstract: The fuzzy-optimized, multi-objective and multilevel comprehensive evaluation model for the comprehensive benefits of water resources in irrigation area was established on the premise of improving the weight vector decision method of different layers. The entropy weight evaluation of the first layer could be calculated as per the utility degree of information, which embodied variation extent of evaluation indices. The weight vectors of the intermediate layer could be determined by means of combining the entropy weights with linear subjective weights or mean value, which gave attention to both the preference of decision-makers and the objective data. Finally, the output of the topmost layer was used to evaluate the whole solution. A certain irrigation area in Shaanxi was taken as a verification example, and the results showed that all the benefit indices increased progressively. Scheme three of the year 2015 was the best one, in which the comprehensive benefits had increased 22.6% and 39.6% comparing with that in 1997 and 2005. The model not only to be used for program optimization, but also to evaluate the each scheme. The model is considered more reasonable and more feasible for comprehensive benefit evaluation in irrigation area than the other two methods in practice.

Key words: water resources, irrigation, comprehensive weight vector, multilevel fuzzy optimization, entropy weight, comprehensive evaluation